

铸造工程师 手册

■ 铸造工程师手册编写组 编

TG2-62

9800125

铸造工程师手册

铸造工程师手册编写组 编



机械工业出版社

本书是综合性铸造专业技术手册，具有较强的实用性。内容包括实际工作中常用的数据、铸钢、铸铁、有色金属及合金、造型材料、铸造工艺、特种铸造和铸件品质（质量）等。

本书除提供大量的信息和数据外，还提到一些基本的理论和技术观点，因而具有一定的可读性。

本书是铸造专业工程技术人员的工具书，也可供技术工人和涉及铸造技术的各界人士参考。

图书在版编目（CIP）数据

铸造工程师手册/铸造工程师手册编写组编. -北京：
机械工业出版社，1997.12

ISBN 7-111-05525-X

I. 铸… II. 铸… III. 铸造-技术手册 IV. TG2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（97）第 02899 号

出 版 人：马九荣（北京市百万庄南街1号 邮政编码 100037）

责任编辑：劳瑞芬 刘彩英 版式设计：霍永明 责任校对：李汝庚

封面设计：郭景云 责任印制：王国光

北京交通印务实业公司印刷·新华书店北京发行所发行

1997年12月第1版 第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·54.5 印张·2 插页·1855 千字

0 001—3 000 册

定价：98.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

铸造工程师手册编写组

主 编 李传棣
副主编 杨国杰 张振斌
主 审 张武城
编 者 李传棣 (1、4、5 章)
周家石 (2 章)
杨国杰 (3、8 章)
李俊峰 杨平海 (6 章)
林柏年 佟天夫 耿鑫明 孙保纯
李玉海 郭广思 董秀琦 齐丕骧
吴志超 黄乃瑜 高以熹 何湘平
(7 章)

前 言

机械工业出版社计划于近期出版 4 种关于热加工技术的“工程师手册”，本书是其中之一。

本书是中型专业性技术工具书，主要供生产企业的工程技术人员在现场工作中查阅，也可供涉及铸造技术的各界人士参考。

当前，技术发展很快，新材料、新工艺层出不穷，对产品品质的要求也不断提高。因此处理生产中的技术问题，需要更多先进实用的信息和数据作为依据，而且，此种信息和数据还必须不断更新。

编撰大部头的工具书，就信息量而言，当然是较好的选择。但编辑出版工作很费时日，从着手编写到出版问世，往往要五年以上，在及时传送信息方面，却又不甚可取。

编辑出版小型的工具书，短、平、快当然是不成问题的，但信息量不够。

编写一部中型工具书，篇幅略大而不分多卷的综合性铸造专业手册，实际上是出于对以上两种考虑的兼顾，并设想到日后的修订工作会较为灵活。

具体编写时，我们的指导思想是：不贪大而求全求新。由于不少执笔的同志是在百忙之中挤时间完成书稿的，疏漏在所难免，而且主持编写者的水平有限，书中不尽如人意之处，尚望广大读者批评、指正。

编 者

1997 年 10 月

目 录

| | | | |
|-------------------------------------|------|---|-------|
| 第一章 综合性资料 | (1) | 9 造渣材料及其它材料 | (48) |
| 1 标准编号 | (1) | 9.1 造渣材料 | (48) |
| 1.1 中国标准代号 | (1) | 9.2 其它有关材料 | (49) |
| 1.2 部分国外标准代号 | (2) | 10 铸造生产中常用的相图 (包括氢在某些金属中的溶解度) | (51) |
| 2 国际单位制和我国的法定计量单位 | (2) | 10.1 铁系二元相图 | (51) |
| 2.1 国际单位制的构成 | (2) | 10.2 铝系二元相图 | (55) |
| 2.2 我国的法定计量单位 | (3) | 10.3 铜系二元相图 | (59) |
| 2.3 常用计量单位的换算 | (3) | 10.4 镁系二元相图 | (63) |
| 3 一些元素的物理性能和铸造行业常用 化工产品的性质 | (8) | 10.5 镍系二元相图 | (64) |
| 3.1 一些元素的物理性能 | (8) | 10.6 一些重要氧化物的二元相图 | (65) |
| 3.2 一些常用的无机化工产品的 基本性质 | (9) | 第二章 铸钢及其熔炼 | (67) |
| 3.3 一些常用的有机化工产品的 基本性质 | (9) | 1 铸钢材料 | (67) |
| 3.4 铸造生产中常用盐类的性质 | (12) | 1.1 铸钢牌号的表示方法 | (67) |
| 4 铸造生产中常见矿物的基本特性 | (13) | 1.2 一般工程用铸造碳钢 | (68) |
| 5 常用平面图形和几何体的计算公式 | (15) | 1.3 焊接结构用铸造碳钢 | (71) |
| 5.1 常用平面图形的计算公式 | (15) | 1.4 低合金高强度铸钢 | (71) |
| 5.2 常用几何体的计算公式 | (18) | 1.5 承压铸钢件 | (81) |
| 6 熔炼铸造合金用的金属原料和 合金化材料 | (21) | 1.6 微量合金化铸钢 | (93) |
| 6.1 生铁 | (21) | 1.7 铸造不锈钢和耐蚀合金 | (96) |
| 6.2 硅铁及含硅材料 | (24) | 1.8 铸造耐热钢 | (108) |
| 6.3 锰铁、金属锰和以锰为主的合金 | (26) | 1.9 耐磨钢和抗磨钢 | (113) |
| 6.4 铬铁和金属铬 | (27) | 1.10 特殊用途的铸钢 | (115) |
| 6.5 其它铁合金 | (28) | 2 铸造用钢的熔炼和浇注 | (122) |
| 6.6 有色金属和合金 | (30) | 2.1 熔炼过程简述 | (122) |
| 6.7 其它合金 | (36) | 2.2 电弧炉炼钢 | (127) |
| 6.8 轴承合金 | (36) | 2.3 平炉炼钢 | (137) |
| 7 耐火材料和隔热材料 | (37) | 2.4 感应电炉炼钢 | (139) |
| 7.1 耐火材料的耐火度及其评定 | (37) | 2.5 其它冶炼方法 | (142) |
| 7.2 耐火材料的分类 | (38) | 2.6 铸钢的浇注 | (142) |
| 7.3 成形耐火制品 | (38) | 3 炉外精炼 | (144) |
| 7.4 不定形耐火材料 | (41) | 3.1 液流脱气法 | (144) |
| 7.5 隔热材料 | (43) | 3.2 搅拌脱气法 | (146) |
| 8 燃料 | (45) | 3.3 加热精炼法 | (146) |
| 8.1 固体燃料 | (45) | 3.4 喷粉精炼法 | (148) |
| 8.2 液体燃料 | (47) | 4 铸钢件的热处理 | (149) |
| 8.3 气体燃料 | (47) | 4.1 铸钢件热处理的工艺要素 | (149) |
| | | 4.2 各种铸钢件的热处理工艺 | (149) |
| | | 4.3 铸钢件的其它热处理方法 | (155) |
| | | 第三章 铸铁及其熔炼 | (156) |

| | | | |
|-------------------------|-------|-----------------------------------|-------|
| 1 灰铸铁 | (156) | 7 耐蚀铸铁 | (275) |
| 1.1 灰铸铁的牌号 | (156) | 7.1 铝铸铁及铝硅铸铁 | (275) |
| 1.2 灰铸铁的性能 | (159) | 7.2 高硅耐蚀铸铁 | (276) |
| 1.3 灰铸铁的金相组织 | (163) | 7.3 高铬耐蚀铸铁 | (277) |
| 1.4 灰铸铁的化学成分 | (168) | 7.4 高镍耐蚀铸铁 | (277) |
| 1.5 配料及过热熔炼 | (172) | 8 铸铁的熔炼 | (279) |
| 1.6 灰铸铁的孕育处理 | (173) | 8.1 冲天炉熔炼 | (279) |
| 1.7 灰铸铁的冶金品质(质量) 指标 | (179) | 8.2 电炉熔炼 | (293) |
| 1.8 灰铸铁的时效、振动时效及 热处理 | (182) | 8.3 回转炉熔炼 | (302) |
| 1.9 灰铸铁件 | (184) | 8.4 双联熔炼 | (303) |
| 2 球墨铸铁 | (192) | 9 铁液品质(质量)控制及浇注 | (304) |
| 2.1 球墨铸铁的牌号 | (192) | 9.1 铁液脱硫 | (304) |
| 2.2 球墨铸铁的性能 | (194) | 9.2 铁液品质(质量)的炉前 快速检测 | (307) |
| 2.3 球墨铸铁的金相组织 | (199) | 9.3 浇注温度 | (311) |
| 2.4 球墨铸铁的化学成分 | (203) | 9.4 自动浇注 | (312) |
| 2.5 球化及孕育 | (209) | 第四章 铸造有色金属和合金 及其熔炼 | (315) |
| 2.6 球墨铸铁件的热处理 | (213) | 1 铸造有色金属和合金的牌号表示 方法 | (315) |
| 2.7 球墨铸铁的应用 | (216) | 1.1 铸造有色纯金属 | (315) |
| 3 蠕墨铸铁 | (221) | 1.2 铸造有色合金 | (315) |
| 3.1 蠕墨铸铁的牌号 | (221) | 2 铸造纯铜和铜合金 | (316) |
| 3.2 蠕墨铸铁的性能 | (222) | 2.1 铸造纯铜和低合金铜 | (316) |
| 3.3 蠕墨铸铁的金相组织 | (226) | 2.2 铸造铜合金 | (319) |
| 3.4 蠕墨铸铁的化学成分 | (228) | 2.3 铜合金的熔炼 | (336) |
| 3.5 蠕化及孕育 | (232) | 3 铸造纯铝和铝合金 | (340) |
| 3.6 蠕墨铸铁的热处理 | (236) | 3.1 工业纯铝铸件 | (340) |
| 3.7 蠕墨铸铁的应用 | (236) | 3.2 铸造铝合金 | (340) |
| 4 可锻铸铁 | (238) | 3.3 铝合金的熔炼 | (353) |
| 4.1 可锻铸铁的分类 | (238) | 4 铸造镁合金 | (357) |
| 4.2 可锻铸铁的牌号 | (239) | 4.1 铸造镁合金的分类及其主要 特点 | (357) |
| 4.3 黑心(铁素体)可锻铸铁 | (240) | 4.2 铸造镁合金的规格 | (358) |
| 4.4 珠光体可锻铸铁 | (248) | 4.3 铸造镁合金的熔炼 | (359) |
| 4.5 白心可锻铸铁 | (250) | 4.4 镁合金铸件的热处理 | (361) |
| 4.6 球墨可锻铸铁 | (251) | 5 铸造锌合金 | (362) |
| 5 抗磨铸铁 | (254) | 5.1 合金及性能 | (362) |
| 5.1 抗磨白口铸铁 | (254) | 5.2 锌合金的熔炼和热处理 | (364) |
| 5.2 冷硬铸铁 | (262) | 6 铸造纯钛和钛合金 | (364) |
| 5.3 中锰球墨铸铁 | (267) | 6.1 钛和钛合金中的合金元素 | (364) |
| 6 耐热铸铁 | (270) | 6.2 钛合金的分类 | (365) |
| 6.1 耐热铸铁的牌号 | (270) | 6.3 铸造纯钛和钛合金的规格 | (365) |
| 6.2 铬系耐热铸铁 | (272) | 6.4 钛合金的熔炼和铸造 | (366) |
| 6.3 中硅耐热铸铁 | (272) | 6.5 钛和钛合金铸件的热处理 | (367) |
| 6.4 铝系耐热铸铁 | (273) | | |
| 6.5 耐热铸铁的应用 | (275) | | |

| | | | |
|-------------------------------------|-------|--------------------------------|-------|
| 7 铸造轴承合金 | (367) | 8.3 湿法再生设备 | (447) |
| 7.1 轴承合金的分类 | (368) | 第六章 铸造工艺 | (449) |
| 7.2 铸造轴承合金的规格 | (368) | 1 概述 | (449) |
| 7.3 轴承合金的熔炼和浇注 | (371) | 1.1 铸造工艺设计的概念 | (449) |
| 8 铸造纯镍和镍合金 | (371) | 1.2 设计依据 | (449) |
| 第五章 造型材料 | (373) | 1.3 铸件工艺设计的内容和编制 程序 | (449) |
| 1 原砂 | (373) | 1.4 铸造工艺符号及表示方法 | (450) |
| 1.1 硅砂 | (373) | 2 铸件的凝固和收缩 | (450) |
| 1.2 非硅质砂 | (374) | 2.1 铸件的凝固 | (450) |
| 1.3 原砂的粒度和粒度分布 | (377) | 2.2 铸件形成过程中金属的收缩 | (452) |
| 1.4 原砂的颗粒形状 | (381) | 2.3 补偿各种收缩的措施 | (452) |
| 1.5 原砂的含泥量和砂粒的表面 性状 | (381) | 2.4 铸铁的收缩特点及其影响 | (453) |
| 1.6 原砂的 pH 值和需酸量 | (382) | 3 铸件设计要点和铸件的工艺性 | (453) |
| 1.7 我国一些重要的天然硅砂产地 | (383) | 3.1 铸件品质(质量)对零件结构 的要求 | (454) |
| 2 常用的粘结材料和辅助材料 | (384) | 3.2 铸造工艺对零件结构的要求 | (459) |
| 2.1 粘土 | (384) | 3.3 不同铸造合金对零件结构 的要求 | (464) |
| 2.2 水玻璃 | (388) | 4 砂型铸造的工艺方案 | (470) |
| 2.3 树脂粘结剂 | (390) | 4.1 造型和造芯方法 | (471) |
| 2.4 油类粘结剂 | (395) | 4.2 确定浇注位置的原则 | (477) |
| 2.5 其它粘结剂 | (396) | 4.3 确定分型面的原则 | (477) |
| 2.6 常用的辅助材料 | (398) | 4.4 一型中铸件数量的确定及其 安排 | (477) |
| 3 粘土粘结砂 | (403) | 5 工艺参数的选择 | (478) |
| 3.1 粘土砂的特点 | (403) | 5.1 铸造收缩率 | (478) |
| 3.2 粘土湿型砂 | (405) | 5.2 铸件尺寸公差 | (479) |
| 3.3 粘土干型及表面干燥型用砂 | (410) | 5.3 铸件质(重)量公差 | (482) |
| 4 水玻璃粘结砂 | (411) | 5.4 机械加工余量 | (483) |
| 4.1 水玻璃砂的特点 | (411) | 5.5 起模斜度 | (487) |
| 4.2 吹 CO ₂ 硬化的水玻璃砂 | (413) | 5.6 非加工壁厚的负余量 | (489) |
| 4.3 脱水硬化的水玻璃砂 | (418) | 5.7 最小铸出孔和槽 | (489) |
| 4.4 自硬水玻璃砂 | (418) | 5.8 反变形量 | (490) |
| 5 树脂粘结砂 | (420) | 5.9 工艺肋(筋) | (492) |
| 5.1 加热硬化工艺 | (421) | 5.10 分型负数 | (494) |
| 5.2 自硬砂工艺 | (424) | 6 砂芯设计 | (495) |
| 5.3 吹气(雾)硬化的工艺 | (428) | 6.1 砂芯的分级 | (495) |
| 6 其它型砂和芯砂 | (431) | 6.2 砂芯的设置 | (495) |
| 6.1 水泥粘结砂 | (431) | 6.3 砂芯的固定 | (497) |
| 6.2 油砂 | (433) | 6.4 砂芯的定位 | (499) |
| 7 铸造涂料 | (435) | 6.5 芯头的尺寸和间隙 | (499) |
| 7.1 铸造涂料所用的原材料 | (435) | 6.6 芯撑 | (506) |
| 7.2 涂料的流变性能 | (438) | 6.7 芯骨 | (507) |
| 7.3 涂料的使用 | (442) | 6.8 砂芯的排气 | (507) |
| 8 旧砂再生 | (443) | | |
| 8.1 机械再生设备 | (443) | | |
| 8.2 热法再生设备 | (446) | | |

| | | | |
|--------------------------|-------|---------------------------|-------|
| 6.9 砂芯的组合及预装配 | (510) | 6.1 挤压铸造工艺概述 | (759) |
| 7 浇注系统 | (510) | 6.2 挤压铸造机 | (760) |
| 7.1 浇注系统各组元 | (510) | 6.3 挤压铸造铸型 | (763) |
| 7.2 浇注系统的类型和选择 | (513) | 6.4 挤压铸造工艺参数 | (767) |
| 7.3 铸铁件的浇注系统 | (520) | 6.5 挤压铸造工艺应用举例 | (768) |
| 7.4 铸钢件的浇注系统 | (534) | 7 离心铸造 | (770) |
| 7.5 有色金属铸件的浇注系统 | (539) | 7.1 概述 | (770) |
| 7.6 特殊形式浇注系统 | (549) | 7.2 离心铸造原理 | (772) |
| 8 冒口 | (572) | 7.3 离心铸造工艺 | (773) |
| 8.1 冒口的种类 | (572) | 7.4 离心铸造机 | (778) |
| 8.2 铸钢件的冒口 | (572) | 7.5 离心铸型 | (778) |
| 8.3 灰铸铁件的冒口 | (607) | 7.6 离心铸铁管 | (784) |
| 8.4 球墨铸铁件的冒口 | (611) | 7.7 离心铸铁轧辊 | (788) |
| 8.5 可锻铸铁件的冒口 | (613) | 7.8 离心铸造气缸套 | (789) |
| 8.6 铜合金铸件的冒口 | (615) | 7.9 离心铸造铜管 | (790) |
| 8.7 铝合金铸件的冒口 | (620) | 7.10 离心铸造钢背轴套 | (790) |
| 第七章 特种铸造 | (623) | 8 消失模铸造 | (792) |
| 1. 特种铸造工艺概述 | (623) | 8.1 概述 | (792) |
| 1.1 特种铸造方法及其工艺过程特点 | (623) | 8.2 成形基础理论 | (793) |
| 1.2 各种特种铸造法的应用范围 | (626) | 8.3 模样材料及制模技术 | (794) |
| 2 熔模铸造 | (626) | 8.4 涂料技术 | (796) |
| 2.1 概述 | (626) | 8.5 铸造工艺 | (798) |
| 2.2 模料和制模工艺 | (626) | 8.6 铸造缺陷 | (800) |
| 2.3 制壳材料和工艺 | (631) | 9 石膏型铸造 | (801) |
| 2.4 熔失熔模、型壳焙烧和浇注 | (647) | 9.1 石膏型铸造的工艺特点 | (801) |
| 2.5 脱壳和铸件清理 | (650) | 9.2 石膏型铸造方法的分类、工艺过程 | (801) |
| 2.6 熔模铸件常见缺陷分析 | (652) | 9.3 石膏及石膏型的理论基础 | (802) |
| 3 金属型铸造 | (655) | 9.4 制备石膏型用的各种原材料 | (804) |
| 3.1 金属型铸造的特点 | (655) | 9.5 石膏混合料浆体的制备及灌注 | (807) |
| 3.2 金属型铸造机的选用 | (656) | 10 陶瓷型精密铸造 | (808) |
| 3.3 铸造工艺设计 | (657) | 10.1 概述 | (808) |
| 3.4 金属型设计 | (667) | 10.2 陶瓷型工艺 | (809) |
| 3.5 金属型铸造工艺 | (682) | 10.3 影响尺寸精度的因素 | (811) |
| 3.6 铸件常见缺陷及防止方法 | (688) | 10.4 影响表面粗糙度的因素 | (811) |
| 4 压力铸造 | (691) | 11 连续铸造 | (812) |
| 4.1 压铸工艺原理及参数 | (691) | 11.1 概述 | (812) |
| 4.2 压铸合金 | (694) | 11.2 连续铸造钢环 | (812) |
| 4.3 压铸机 | (698) | 11.3 (半)连续铸造铁管 | (816) |
| 4.4 压铸件的设计 | (704) | 11.4 连续铸造铁坯 | (821) |
| 4.5 压铸件 | (711) | 11.5 有色合金的连续铸造 | (822) |
| 5 低压铸造及反压铸造 | (748) | 12 真空吸铸 | (828) |
| 5.1 低压铸造 | (748) | 12.1 概述 | (828) |
| 5.2 反压铸造 | (757) | 12.2 真空吸铸工艺 | (828) |
| 6 挤压铸造 | (759) | 12.3 真空吸铸机 | (830) |

| | | | |
|----------------------------|-------|---------------------------|-------|
| 第八章 铸件品质 (质量) | (834) | 3.4 铸造表面粗糙度评定方法 | (839) |
| 1 铸件的尺寸精度 | (834) | 4 铸件缺陷的检验 | (840) |
| 1.1 尺寸公差 | (834) | 4.1 目视检验与无损检测 | (840) |
| 1.2 壁厚公差 | (835) | 4.2 渗透检测 | (841) |
| 1.3 错型量 | (835) | 4.3 磁粉探伤 | (844) |
| 1.4 公差带设置 | (836) | 4.4 超声波探伤 | (845) |
| 1.5 公差在图样上的标注 | (836) | 4.5 射线探伤 | (847) |
| 1.6 铸件尺寸公差等级的选择 | (836) | 5 铸件缺陷修复 | (848) |
| 1.7 铸件尺寸精度的行业规定 | (836) | 5.1 铸钢件的焊补 | (848) |
| 2 铸件的质 (重) 量公差 | (837) | 5.2 铸铁件的焊补 | (849) |
| 2.1 质 (重) 量公差等级 | (837) | 5.3 铸铝件的焊补 | (851) |
| 2.2 质 (重) 量公差等级的选择 | (838) | 5.4 浸渗修补 | (851) |
| 2.3 铸件质 (重) 量偏差的影响因素 | (838) | 6 铸件的品质 (质量) 等级 | (852) |
| 3 铸造表面粗糙度 | (838) | 6.1 品质 (质量) 评定内容及等级 | (852) |
| 3.1 表面粗糙度参数 | (838) | 6.2 品质 (质量) 分等 | (853) |
| 3.2 铸件表面粗糙度的选定 | (838) | 6.3 评定方法 | (856) |
| 3.3 铸造表面粗糙度比较样块 | (838) | 参考文献 | (858) |

第一章 综合性资料

(续)

1 标准编号

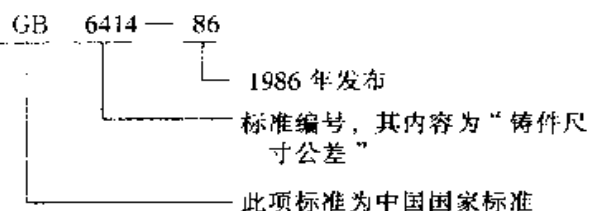
我国、国际标准化组织及其它各工业国的标准编号都包括三个部分：代号、顺序号和年代号。

代号是标准发布单位发布标准所用的代表符号。

顺序号即标准的编号。

年代号表明标准发布的年代。

例如：



以下仅就与铸造行业有关的各种标准代号作概略的介绍。

1.1 中国标准代号

1) 国家标准及其它国家级的标准的代号，见表 1-1。

2) 部标准及相当于部一级的标准代号，见表 1-2。

表 1-1 国家标准及国家级标准的代号

| 代号 | 含 义 |
|------|------------|
| GB | 国家标准 |
| GB/T | 国家标准 (推荐性) |
| GBn | 国家标准 (内部) |
| GBJ | 国家工程建设标准 |
| GJB | 国家军用标准 |

表 1-2 部标准及相当于部一级的标准代号

| 代号 | 含 义 |
|----|---------------------|
| CB | 中国船舶工业总公司标准 |
| FZ | 纺织工业总会标准 (原纺织工业部标准) |
| HG | 化学工业部标准 |
| JB | 机械工业部标准 |
| JC | 国家建筑材料工业局标准 |
| NJ | 机械工业部标准 (农机部分) |

| 代号 | 含 义 |
|----|---------|
| QB | 轻工业部标准 |
| SJ | 电子工业部标准 |
| SY | 石油工业部标准 |
| YB | 冶金工业部标准 |

注：1. 标准代号后置斜线，其后加“T”字样，如 JB/T，表示该标准为推荐性标准。

2. 标准代号后置斜线，其后加“Z”字样，表示该文件为相应部级指导性技术文件，如 JB/Z 为机械工业部指导性技术文件。

3) 我国国家技术监督局统一分类编号的各专业标准代号，见表 1-3。

表 1-3 国家技术监督局统一分类的有关专业标准代号

| 代号 | 含 义 | 代号 | 含 义 |
|------|--------------------|-----|---------------|
| ZB | 专业标准 (强制性) | ZBL | 电子基础、计算机与信息处理 |
| ZB/T | 专业标准 (推荐性) | ZBM | 通信、广播 |
| ZBA | 综合性专业标准 (以下略去专业标准) | ZBN | 仪器、仪表 |
| ZBB | 农业、林业 | ZBP | 土木建筑 |
| ZBC | 医药卫生、劳动保护 | ZBQ | 建材 |
| ZBD | 矿业 | ZBR | 公路、水路运输 |
| ZBE | 石油工业 | ZBS | 铁路 |
| ZBG | 化学工业 | ZBT | 车辆 |
| ZBH | 冶金工业 | ZBU | 船舶 |
| ZBF | 能源、核能 | ZBV | 航空、航天 |
| ZBJ | 机械工业 | ZBW | 纺织 |
| ZBK | 电工 | ZBZ | 环境保护 |

4) 机械系统的专业内部标准代号，见表 1-4。

表 1-4 机械系统的专业内部标准代号

| 代号 | 含 义 |
|-------|-------------|
| JB/DQ | 电工专业内部标准 |
| JB/GQ | 机床工具专业内部标准 |
| JB/JQ | 机械基础件专业内部标准 |

(续)

| 代号 | 含 义 |
|-------|--------------|
| JB/NQ | 农业机械专业内部标准 |
| JB/SQ | 工程机械专业内部标准 |
| JB/TQ | 通用机械专业内部标准 |
| JB/YQ | 仪器仪表专业内部标准 |
| JB/ZQ | 重型矿山机械专业内部标准 |

1.2 部分国外标准代号

国际标准化组织及一些国家和机构的标准代号, 见表 1-5。

表 1-5 部分国外标准代号

| 代号 | 表示内容 | 代号 | 表示内容 |
|-------|-------------|------|------------------|
| ISO | 国际标准化组织标准 | MSS | 美国阀类及管件制造标准化协会标准 |
| AA | 国际铝业协会标准 | SAE | 美国汽车工程师学会标准 |
| AIICI | 美国压铸学会标准 | ГОСТ | 原苏联国家标准 |
| ACI | 美国合金铸造学会标准 | BS | 英国标准 |
| AISI | 美国钢铁学会标准 | NF | 法国标准 |
| ANSI | 美国国家标准学会标准 | JIS | 日本工业标准 |
| ASME | 美国机械工程师学会标准 | DIN | 德国标准 |
| ASTM | 美国材料与试验学会标准 | AS | 澳大利亚标准 |
| MIL | 美国军用标准 | API | 美国石油学会标准 |
| VDMA | 德国机械制造业标准 | LR | 英国劳氏船级社规范和条例 |

2 国际单位制和我国的法定计量单位

国际单位制简称 SI。SI 单位是国际单位制中与基本单位构成一贯单位制的那些单位。

2.1 国际单位制的构成

国际单位制(SI) { SI 基本单位(表 1-6)
SI 单位 { SI 辅助单位(表 1-7)
SI 导出单位(表 1-8)
SI 单位倍数(词头)(表 1-9)

表 1-6 SI 基本单位

| 量的名称 | 单位名称 | 单位符号 |
|------|--------|------|
| 长度 | 米 | m |
| 质量 | 千克(公斤) | kg |
| 时间 | 秒 | s |

(续)

| 量的名称 | 单位名称 | 单位符号 |
|-------|-------|------|
| 电流 | 安[培] | A |
| 热力学温度 | 开[尔文] | K |
| 物质的量 | 摩[尔] | mol |
| 发光强度 | 坎[德拉] | cd |

注:1. 圆括号中的公斤是千克的同义词。

2. 方括号中的字,在不致引起误解的情况下可以省略,下同。

表 1-7 SI 辅助单位

| 量的名称 | 单位名称 | 单位符号 |
|-------|------|------|
| [平面]角 | 弧度 | rad |
| 立体角 | 球面度 | sr |

表 1-8 具有专门名称的 SI 导出单位

| 量的名称 | 名称 | 符号 | SI 导出单位 | |
|-----------------|--------|-------------|-------------|--|
| | | | 用 SI 单位示例 | 其它表示式 用 SI 基本单位 |
| 频率 | 赫[兹] | Hz | — | s^{-1} |
| 力,重力 | [牛顿] | N | — | $m \cdot kg \cdot s^{-2}$ |
| 压力,压强,应力 | 帕[斯卡] | Pa | N/m^2 | $m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$ |
| 能[量],功,热量 | 焦[耳] | J | $N \cdot m$ | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$ |
| 功率,辐[射]能[量]通量 | 瓦[特] | W | J/s | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$ |
| 电荷[量] | 库[仑] | C | — | $s \cdot A$ |
| 电压,电动势,电位(电势) | 伏[特] | V | W/A | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$ |
| 电容 | 法[拉] | F | C/V | $m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$ |
| 电阻 | 欧[姆] | Ω | V/A | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$ |
| 电导 | 西[门子] | S | A/V | $m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$ |
| 磁通[量] | 韦[伯] | Wb | $V \cdot s$ | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$ |
| 磁通[量]密度,磁感应强度 | 特[斯拉] | T | Wb/m^2 | $kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$ |
| 电感 | 亨[利] | H | Wb/A | $m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$ |
| 摄氏温度 | 摄氏度 | $^{\circ}C$ | — | K |
| 光通量 | 流[明] | lm | — | $cd \cdot sr$ |
| [光]照度 | 勒[克斯] | lx | lm/m^2 | $m^{-2} \cdot cd \cdot sr$ |
| [放射性]活度 | 贝可[勒尔] | Bq | — | s^{-1} |
| 吸收剂量[指数],比投[予]能 | 戈瑞 | Gy | J/kg | $m^2 \cdot s^{-2}$ |
| 剂量当量[指数] | 希[沃特] | Sv | J/kg | $m^2 \cdot s^{-2}$ |

表 1-9 SI 单位的倍数单位 (词头)

| 因 数 | 词 头 名 称 | | 符 号 |
|------------|---------|--------|-------|
| | 原文 (法) | 中 文 | |
| 10^{18} | exa | 艾 [可萨] | E |
| 10^{15} | peta | 拍 [它] | P |
| 10^{12} | tera | 太 [拉] | T |
| 10^9 | giga | 吉 [咖] | G |
| 10^6 | méga | 兆 | M |
| 10^3 | kilo | 千 | k |
| 10^2 | hecto | 百 | h |
| 10^1 | déca | 十 | da |
| 10^{-1} | déci | 分 | d |
| 10^{-2} | centi | 厘 | c |
| 10^{-3} | mili | 毫 | m |
| 10^{-6} | micro | 微 | μ |
| 10^{-9} | nano | 纳 [诺] | n |
| 10^{-12} | pico | 皮 [可] | p |
| 10^{-15} | femto | 飞 [母托] | f |
| 10^{-18} | atto | 阿 [托] | a |

2.2 我国的法定计量单位

我国的法定计量单位是以 SI 单位为基础, 同时选用了一些非国际单位制的单位构成的。采用一些非国际单位制的单位, 是因为它们广泛使用, 而且实际上是需要的。可与 SI 单位并用的我国法定计量单位列于表 1-10。根据习惯, 在某些情况下, 表 1-10 中

的单位还可与 SI 单位构成组合单位。

表 1-10 可与 SI 并用的我国法定计量单位

| 量的名称 | 单位名称 | 单位符号 | 与 SI 单位的关系 |
|--------|--------|--------|---|
| 时间 | 分 | min | 1min = 60s |
| | [小时] | h | 1h = 60min = 3600s |
| | 日, (天) | d | 1d = 24h = 86400s |
| [平面]角 | 度 | (°) | 1° = ($\pi/180$)rad |
| | 角, ′ | (′) | 1′ = (1/60)° = ($\pi/10800$)rad |
| | [角秒] | (″) | 1″ = (1/60)′ = ($\pi/64800$)rad |
| 体积, 容积 | 升 | L, (l) | 1L = 1dm ³ = 10 ⁻³ m ³ |
| | 吨 | t | 1t = 10 ³ kg |
| 质量 | 原子质量单位 | u | 1u ≈ 1.6605655 × 10 ⁻²⁷ kg |
| | 旋转速度 | 转每分 | r/min |
| 长度 | 海里 | n mile | 1n mile = 1852m (只用于航程) |
| | 速度 | 节 | kn |
| 能 | 电子伏 | eV | 1eV ≈ 1.6021892 × 10 ⁻¹⁹ J |
| 级差 | 分贝 | dB | |
| 线密度 | 特(克斯) | tex | 1tex = 10 ⁻⁶ kg/m |

2.3 常用计量单位的换算

2.3.1 常用法定计量单位及相关单位的换算见表 1-11。

表 1-11 常用法定计量单位及其换算

| 物理量名称 | 法定计量单位 | | 非法定计量单位 | | 单 位 换 算 |
|-------|----------|--------------------------|---------|-------------------|---|
| | 单位名称 | 单位符号 | 单位名称 | 单位符号 | |
| 长度 | 米 | m | 微米 | μ m | 1 μ m = 10 ⁻⁶ m |
| | 海里 | n mile | 埃 | Å | 1Å = 0.1nm = 10 ⁻¹⁰ m |
| | | | 英尺 | ft | 1ft = 0.3048m |
| | | | 英寸 | in | 1in = 0.0254m |
| | | | 英里 | mile | 1mile = 1609.344m |
| | | | 密耳 | mil | 1mil = 25.4 × 10 ⁻⁶ m |
| 面积 | 平方米 | m ² | 公顷 | ha | 1ha = 10 ⁴ m ² |
| | | | 公亩 | ba | 1ba = 10 ³ m ² |
| | | | 平方英尺 | ft ² | 1ft ² = 0.0929030m ² |
| | | | 平方英寸 | in ² | 1in ² = 6.4516 × 10 ⁻⁴ m ² |
| | | | 平方英里 | mile ² | 1mile ² = 2.58999 × 10 ⁶ m ² |
| 体积、容积 | 立方米 升 | m ³ L, (l) | 立方英尺 | ft ³ | 1ft ³ = 0.0283168m ³ |
| | | | 立方英寸 | in ³ | 1in ³ = 1.63871 × 10 ⁻⁵ m ³ |
| | | | 英加仑 | UKgal | 1UKgal = 4.54609dm ³ |
| | | | 美加仑 | USgal | 1USgal = 3.78541dm ³ |
| | | | 质量 | 千克(公斤) | kg |
| | 吨 | t | 英担 | cwt | 1cwt = 50.8023kg |
| | 原子质量单位 | u | 英吨 | ton | 1ton = 1016.05kg |

(续)

| 物理量名称 | 法定计量单位 | | 非法定计量单位 | | 单位换算 |
|---------------|---------------------|--|----------|---------------------|---|
| | 单位名称 | 单位符号 | 单位名称 | 单位符号 | |
| 质量 | 千克(公斤) | kg | 短吨 | sh ton | 1 sh ton = 907.185kg |
| | 吨 | t | 盎司 | oz | 1oz = 28.3495g |
| | 原子质量单位 | u | 格令 | gr, gn | 1gr = 0.064798 91g |
| | | | 夸特 | qr, qtr | 1qr = 12.7006kg |
| 温度 | 开[尔文] | K | 米制克拉 | | 1米制克拉 = 2×10^{-4} kg |
| | 摄氏度 | ℃ | | | 表示温度差和温度间隔时: 1℃ = 1K 表示温度数值时: ℃ = K - 273.15 表示温度和温度间隔时: $1^{\circ}\text{F} = \frac{5}{9}^{\circ}\text{C}$ 表示温度数值时: $\text{K} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} + 459.67)$, $\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$ |
| | | | 华氏度 | °F | 表示温度数值时: $\text{K} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} + 459.67)$, $\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32)$ |
| | | | 兰氏度 | R | 表示温度数值时: $\text{C} = \frac{5}{9} \text{R} - 273.15$ 表示温度差和温度间隔时: $\text{K} = \frac{5}{9} \text{R}$ |
| 旋转速度 | 每秒 转每分 | s^{-1} r/min | | rpm | 1rpm = 1r/min = $(1/60)\text{s}^{-1}$ |
| 力, 重力 | 牛[顿] | N | 达因 | dyn | 1dyn = 10^{-5} N |
| | | | 千克力 | kgf | 1kgf = 9.80665N |
| | | | 磅力 | lbf | 1lbf = 4.44822N |
| | | | 吨力 | tf | 1tf = 9.80665×10^3 N |
| 压力, 压强; 应力 | 帕[斯卡] | Pa | 巴 | bar | 1bar = 10^5 Pa |
| | | | 千克力每平方厘米 | kgf/cm ² | 1kgf/cm ² = 0.0980665MPa |
| | | | 毫米水柱 | mmH ₂ O | 1mmH ₂ O = 9.80665Pa |
| | | | 毫米汞柱 | mmHg | 1mmHg = 133.322Pa |
| | | | 托 | Torr | 1Torr = 133.322Pa |
| | | | 工程大气压 | at | 1at = 98066.5Pa = 98.0665kPa |
| | | | 标准大气压 | atm | 1atm = 101325Pa = 101.325kPa |
| | | | 磅力每平方英尺 | lbf/ft ² | 1lbf/ft ² = 47.8803Pa |
| 磅力每平方英寸 | lbf/in ² | 1lbf/in ² = 6894.76Pa = 6.89476kPa | | | |
| 能量; 功; 热 | 焦[耳] | J | 尔格 | erg | 1erg = 10^{-7} J |
| | 电子伏 | eV | 千克力米 | kgf·m | 1kgf·m = 9.80665J |
| | 千瓦时 | kW·h | 英马力小时 | hp·h | 1hp·h = 2.68452MJ |
| | | | 卡 | cal | 1cal = 4.1868J |
| | | | 热化学卡 | cal _{th} | 1cal _{th} = 4.1840J |
| | | | 马力小时 | | 1马力小时 = 2.64779MJ |
| | | | 电工马力小时 | | 1电工马力小时 = 2.685 60MJ |
| | | | 英热单位 | Btu | 1Btu = 1055.06J = 1.05506kJ 1kW·h = 3.6MJ |

(续)

| 物理量名称 | 法定计量单位 | | 非法定计量单位 | | 单位换算 |
|--------------|---------------|--------------------------|----------|-----------------------|--|
| | 单位名称 | 单位符号 | 单位名称 | 单位符号 | |
| 功率, 辐射通量 | 瓦[特] | W | 千克力米每秒 | kgf·m/s | 1kgf·m/s = 9.806 65W |
| | | | 马力, 米制马力 | 法 ch, CV; 德 PS | 1ch = 735.499W |
| | | | 英马力 | hp | 1hp = 745.700W |
| | | | 电工马力 | | 1 电工马力 = 746W |
| | | | 卡每秒 | cal/s | 1cal/s = 4.1868W |
| | | | 千卡每小时 | kcal/h | 1kcal/h = 1.163W |
| | | | 热化学卡每秒 | cal _{th} /s | 1cal _{th} /s = 4.184W |
| | | | 伏安 | VA | 1VA = 1W |
| | | | 乏 | var | 1var = 1W |
| 英热单位每小时 | Btu/h | 1Btu/h = 0.293071W | | | |
| 电导 | 西[门子] | S | 姆欧 | Ω | 1Ω = 1S |
| 磁通量 | 韦[伯] | Wb | 麦克斯韦 | Mx | 1Mx = 10 ⁻⁸ Wb |
| 磁通量密度, 磁感应强度 | 特[斯拉] | T | 高斯 | Gs, G | 1Gs = 10 ⁻⁴ T |
| 光照度 | 勒[克斯] | lx | 英尺烛光 | lm/ft ² | 1lm/ft ² = 10.76lx |
| 速度 | 米每秒 | m/s | 英尺每秒 | ft/s | 1ft/s = 0.3048m/s |
| | | kn | 英寸每秒 | in/s | 1in/s = 0.0254m/s |
| | 千米每小时 | km/h | 英里每小时 | mile/h | 1mile/h = 0.44704m/s |
| | | m/min | | | 1m/min = 0.0166667m/s |
| 加速度 | 米每二次方秒 | m/s ² | 英尺每二次方秒 | ft/s ² | 1ft/s ² = 0.3048m/s ² |
| | | | 伽 | Gal | 1Gal = 10 ⁻² m/s ² |
| 线密度、纤度 | 千克每米 特[克斯] | kg/m tex | 旦[尼尔] | den | 1den = 0.111 112 × 10 ⁻⁶ kg/m |
| | | | 磅每英尺 | lb/ft | 1lb/ft = 1.488 16kg/m |
| | | | 磅每英寸 | lb/in | 1lb/in = 17.858 0kg/m |
| 密度 | 千克每立方米 | kg/m ³ | 磅每立方英尺 | lb/ft ³ | 1lb/ft ³ = 16.0185kg/m ³ |
| | | | 磅每立方英寸 | lb/in ³ | 1lb/in ³ = 27679.9kg/m ³ |
| 比容 (比体积) | 立方米每千克 | m ³ /kg | 立方英尺每磅 | ft ³ /lb | 1ft ³ /lb = 0.0624280m ³ /kg |
| | | | 立方英寸每磅 | in ³ /lb | 1in ³ /lb = 3.61273 × 10 ⁻⁵ m ³ /kg |
| 质量流率 | 千克每秒 | kg/s | 磅每秒 | lb/s | 1lb/s = 0.453592kg/s |
| | | | 磅每小时 | lb/h | 1lb/h = 1.25998 × 10 ⁻⁴ kg/s |
| 体积流率 | 立方米每秒 升每秒 | m ³ /s L/s | 立方英尺每秒 | ft ³ /s | 1ft ³ /s = 0.0283168m ³ /s |
| | | | 立方英寸每小时 | in ³ /h | 1in ³ /h = 4.55196 × 10 ⁻⁹ m ³ /s |
| 转动惯量 | 千克二次方米 | kg·m ² | 磅二次方英尺 | lb·ft ² | 1lb·ft ² = 0.0421401kg·m ² |
| | | | 磅二次方英寸 | lb·in ² | 1lb·in ² = 2.92640 × 10 ⁻⁴ kg·m ² |
| 动量 | 千克米每秒 | kg·m/s | 磅英尺每秒 | lb·ft/s | 1lb·ft/s = 0.138255kg·m/s |
| 角动量 | 千克二次方米每秒 | kg·m ² /s | 磅二次方英尺每秒 | lb·ft ² /s | 1lb·ft ² /s = 0.0421401kg·m ² /s |
| 力矩 | 牛顿米 | N·m | 千克力米 | kgf·m | 1kgf·m = 9.80665N·m |
| | | | 磅力英尺 | lbf·ft | 1lbf·ft = 1.35582N·m |
| | | | 磅力英寸 | lbf·in | 1lbf·in = 0.112985N·m |

(续)

| 物理量名称 | 法定计量单位 | | 非法定计量单位 | | 单位换算 |
|------------|------------|-----------------------|----------------|-----------------------------|--|
| | 单位名称 | 单位符号 | 单位名称 | 单位符号 | |
| [动力]粘度 | 帕斯卡秒 | Pa·s | 泊 | P, Po | 1P = 10 ⁻¹ Pa·s |
| | | | 厘泊 | cP | 1cP = 10 ⁻² Pa·s |
| | | | 千克力秒每平方米 | kgf·s/m ² | 1kgf·s/m ² = 9.80665Pa·s |
| | | | 磅力秒每平方英尺 | lbf·s/ft ² | 1lbf·s/ft ² = 47.8803Pa·s |
| | | | 磅力秒每平方英寸 | lbf·s/in ² | 1lbf·s/in ² = 6894.76Pa·s |
| 运动粘度, 热扩散率 | 二次方米每秒 | m ² /s | 斯[托克斯] | St | 1St = 10 ⁻⁴ m ² /s |
| | | | 厘斯[托克斯] | cSt | 1cSt = 10 ⁻⁶ m ² /s |
| | | | 二次方英尺每秒 | ft ² /s | 1ft ² /s = 9.29030 × 10 ⁻² m ² /s |
| | | | 二次方英寸每秒 | in ² /s | 1in ² /s = 6.4516 × 10 ⁻⁴ m ² /s |
| | | | 千卡每千克 | kcal ₁₅ /kg | 1kcal/kg = 4186.8J/kg |
| 比能 | 焦耳每千克 | J/kg | 热化学千卡每千克 | kcal ₁₅ /kg | 1kcal ₁₅ /kg = 4184J/kg |
| | | | 英热单位每磅 | Btu/lb | 1Btu/lb = 2326J/kg |
| | | | 千卡每千克开尔文 | kcal/(kg·K) | 1kcal/(kg·K) = 4186.8J/(kg·K) |
| 比热容, 比焓 | 开尔文 | J/(kg·K) | 热化学千卡每千克开尔文 | kcal ₁₅ /(kg·K) | 1kcal ₁₅ /(kg·K) = 4184J/(kg·K) |
| | | | 英热单位每磅华氏度 | Btu/(lb·°F) | 1Btu/(lb·°F) = 4186.8J/(kg·K) |
| | | | 卡每平方厘米秒开尔文 | cal/(cm ² ·s·K) | 1cal/(cm ² ·s·K) = 41868W/(m ² ·K) |
| 传热系数 | 瓦特每平方米×开尔文 | W/(m ² ·K) | 千卡每平方米小时开尔文 | kcal/(m ² ·h·K) | 1kcal/(m ² ·h·K) = 1.163W/(m ² ·K) |
| | | | 英热单位每平方英尺小时华氏度 | Btu/(ft ² ·h·°F) | 1Btu/(ft ² ·h·°F) = 5.67826W/(m ² ·K) |
| | | | 卡每厘米秒开尔文 | cal/(cm·s·K) | 1cal/(cm·s·K) = 418.68W/(m·K) |
| 热导率 | 瓦特每米开尔文 | W/(m·K) | 千卡每米小时开尔文 | kcal/(m·h·K) | 1kcal/(m·h·K) = 1.163W/(m·K) |
| | | | 英热单位每英尺小时华氏度 | Btu/(ft·h·°F) | 1Btu/(ft·h·°F) = 1.73073W/(m·K) |

2.3.2 摄氏—华氏温度换算表

(续)

表 1-12 是索维尔式换算表, 使用方便。每一组均有 3 列。换算时, 先从中间一列找到待换算的数值, 如欲由华氏温度换算为摄氏, 则其左列对应的数字即是; 如由摄氏温度换算为华氏, 则其右列对应的数字即是。

表 1-12 摄氏—华氏温度换算表

| -459.4~0 | | | | | | | |
|----------|--------|---|------|------|---|------|-------------|
| ℃ | | ℉ | ℃ | | ℉ | ℃ | ℉ |
| -273 | -459.4 | | -234 | -390 | | -196 | -320 |
| -268 | -450 | | -229 | -380 | | -190 | -310 |
| -262 | -440 | | -223 | -370 | | -184 | -300 |
| -257 | -430 | | -218 | -350 | | -179 | -290 |
| -251 | -420 | | -212 | -350 | | -173 | -280 |
| -246 | -410 | | -207 | -340 | | -169 | -273 -459.4 |
| -240 | -400 | | -201 | -330 | | -168 | -270 -454 |

| -459.4~0 | | | | | | | |
|----------|------|------|-------|------|------|-------|----------|
| ℃ | | ℉ | ℃ | | ℉ | ℃ | ℉ |
| -162 | -260 | -436 | -112 | -170 | -274 | 62 | -80 -112 |
| -157 | -250 | -418 | -107 | -160 | -256 | -57 | -70 -94 |
| -151 | -240 | -400 | -101 | -150 | -238 | -51 | -60 -76 |
| -146 | -230 | -382 | -96 | -140 | -220 | -46 | -50 -58 |
| -140 | -220 | -364 | -90 | -130 | -202 | -40 | -40 -40 |
| -134 | -210 | -346 | -84 | -120 | -184 | -34 | -30 -22 |
| -129 | -200 | -328 | -79 | -110 | -166 | -29 | -20 -4 |
| -123 | -190 | -310 | -73 | -100 | -148 | -23 | -10 14 |
| -118 | -180 | -292 | -68 | -90 | -130 | -17 | 0 32 |
| 0~100 | | | | | | | |
| ℃ | | ℉ | ℃ | | ℉ | ℃ | ℉ |
| -17.8 | 0 | 32 | -15.0 | 5 | 41.0 | -12.2 | 10 50.0 |
| -17.2 | 1 | 33.8 | -14.4 | 6 | 42.8 | -11.7 | 11 51.8 |
| -16.7 | 2 | 35.6 | -13.9 | 7 | 44.6 | -11.1 | 12 53.6 |
| -16.1 | 3 | 37.4 | -13.3 | 8 | 46.4 | -10.6 | 13 55.4 |
| -15.6 | 4 | 39.2 | -12.8 | 9 | 48.2 | -10.0 | 14 57.2 |

(续)

(续)

| 0~100 | | | | | | | | |
|-------|----|-------|------|----|-------|------|-----|-------|
| ℃ | ℉ | ℃ | ℉ | ℃ | ℉ | ℃ | ℉ | ℃ |
| -9.4 | 15 | 59.0 | 6.7 | 44 | 111.2 | 22.2 | 72 | 161.6 |
| -8.9 | 16 | 60.8 | 7.2 | 45 | 113.0 | 22.8 | 73 | 163.4 |
| -8.3 | 17 | 62.6 | 7.8 | 46 | 114.8 | 23.3 | 74 | 165.2 |
| -7.8 | 18 | 64.4 | 8.3 | 47 | 116.6 | 23.9 | 75 | 167.0 |
| -7.2 | 19 | 66.2 | 8.9 | 48 | 118.4 | 24.2 | 76 | 168.8 |
| -6.7 | 20 | 68.0 | 9.4 | 49 | 120.2 | 25.0 | 77 | 170.6 |
| -6.1 | 21 | 69.8 | 10.0 | 50 | 122.0 | 25.6 | 78 | 172.4 |
| -5.6 | 22 | 71.6 | 10.6 | 51 | 123.8 | 26.1 | 79 | 174.2 |
| -5.0 | 23 | 73.4 | 11.1 | 52 | 125.6 | 26.7 | 80 | 176.0 |
| -4.4 | 24 | 75.2 | 11.7 | 53 | 127.4 | 27.2 | 81 | 177.8 |
| -3.9 | 25 | 77.0 | 12.2 | 54 | 129.2 | 27.8 | 82 | 179.6 |
| -3.3 | 26 | 78.8 | 12.8 | 55 | 131.0 | 28.3 | 83 | 181.4 |
| -2.8 | 27 | 80.6 | 13.3 | 56 | 132.8 | 28.9 | 84 | 183.2 |
| -2.2 | 28 | 82.4 | 13.9 | 57 | 134.6 | 29.4 | 85 | 185.0 |
| -1.7 | 29 | 84.2 | 14.4 | 58 | 136.4 | 30.0 | 86 | 186.8 |
| -1.1 | 30 | 86.0 | 15.0 | 59 | 138.2 | 30.6 | 87 | 188.6 |
| 0.6 | 31 | 87.8 | 15.6 | 60 | 140.0 | 31.1 | 88 | 190.4 |
| 0.0 | 32 | 89.6 | 16.1 | 61 | 141.8 | 31.7 | 89 | 192.2 |
| 0.6 | 33 | 91.4 | 16.7 | 62 | 143.6 | 32.2 | 90 | 194.0 |
| 1.1 | 34 | 93.2 | 17.2 | 63 | 145.4 | 32.8 | 91 | 195.8 |
| 1.7 | 35 | 95.0 | 17.8 | 64 | 147.2 | 33.3 | 92 | 197.6 |
| 2.2 | 36 | 96.8 | 18.3 | 65 | 149.0 | 33.9 | 93 | 199.4 |
| 2.8 | 37 | 98.6 | 18.9 | 66 | 150.8 | 34.4 | 94 | 201.2 |
| 3.3 | 38 | 100.4 | 19.4 | 67 | 152.6 | 35.0 | 95 | 203.0 |
| 3.9 | 39 | 102.2 | 20.0 | 68 | 154.4 | 35.6 | 96 | 204.8 |
| 4.4 | 40 | 104.0 | 20.6 | 69 | 156.2 | 36.1 | 97 | 206.6 |
| 5.0 | 41 | 105.8 | 21.1 | 70 | 158.0 | 36.7 | 98 | 208.4 |
| 5.6 | 42 | 107.6 | 21.7 | 71 | 159.8 | 37.2 | 99 | 210.2 |
| 6.1 | 43 | 109.4 | 21.7 | 71 | 159.8 | 37.8 | 100 | 212.0 |

| 100 - 1000 | | | | 1000 - 2000 | | | | | | | |
|------------|-----|-----|-----|-------------|------|-----|------|------|-----|------|------|
| ℃ | ℉ | ℃ | ℉ | ℃ | ℉ | ℃ | ℉ | | | | |
| 38 | 100 | 212 | 260 | 500 | 932 | 538 | 1000 | 1832 | 816 | 1500 | 2732 |
| 43 | 110 | 230 | 266 | 510 | 950 | 543 | 1010 | 1850 | 821 | 1510 | 2750 |
| 49 | 120 | 248 | 271 | 520 | 968 | 549 | 1020 | 1868 | 827 | 1520 | 2768 |
| 54 | 130 | 266 | 277 | 530 | 986 | 554 | 1030 | 1886 | 832 | 1530 | 2786 |
| 60 | 140 | 284 | 282 | 540 | 1004 | 560 | 1040 | 1904 | 838 | 1540 | 2804 |
| 66 | 150 | 302 | 288 | 550 | 1022 | 566 | 1050 | 1922 | 843 | 1550 | 2822 |
| 71 | 160 | 320 | 293 | 560 | 1040 | 571 | 1060 | 1940 | 849 | 1560 | 2840 |
| 77 | 170 | 338 | 299 | 570 | 1058 | 577 | 1070 | 1958 | 854 | 1570 | 2858 |
| 82 | 180 | 356 | 304 | 580 | 1076 | 582 | 1080 | 1976 | 860 | 1580 | 2876 |
| 88 | 190 | 374 | 310 | 590 | 1094 | 588 | 1090 | 1994 | 866 | 1590 | 2894 |

| 100 - 1000 | | | | 1000 - 2000 | | | | | | | |
|------------|-----|------|-----|-------------|------|-----|------|------|------|------|------|
| ℃ | ℉ | ℃ | ℉ | ℃ | ℉ | ℃ | ℉ | | | | |
| 93 | 200 | 392 | 316 | 600 | 1112 | 593 | 1100 | 2012 | 871 | 1600 | 2912 |
| 99 | 210 | 410 | 321 | 610 | 1130 | 599 | 1110 | 2030 | 877 | 1610 | 2930 |
| 100 | 212 | 413 | 327 | 620 | 1148 | 604 | 1120 | 2048 | 882 | 1620 | 2948 |
| 104 | 220 | 428 | 332 | 630 | 1166 | 610 | 1130 | 2066 | 888 | 1630 | 2966 |
| 110 | 230 | 446 | 338 | 640 | 1184 | 616 | 1140 | 2084 | 893 | 1640 | 2984 |
| 116 | 240 | 464 | 343 | 650 | 1202 | 621 | 1150 | 2102 | 899 | 1650 | 3002 |
| 121 | 250 | 482 | 349 | 660 | 1220 | 627 | 1160 | 2120 | 904 | 1660 | 3020 |
| 127 | 260 | 500 | 354 | 670 | 1238 | 632 | 1170 | 2138 | 910 | 1670 | 3038 |
| 132 | 270 | 518 | 360 | 680 | 1256 | 638 | 1180 | 2156 | 916 | 1680 | 3056 |
| 138 | 280 | 536 | 366 | 690 | 1274 | 643 | 1190 | 2174 | 921 | 1690 | 3074 |
| 143 | 290 | 554 | 371 | 700 | 1292 | 649 | 1200 | 2192 | 927 | 1700 | 3092 |
| 149 | 300 | 572 | 377 | 710 | 1310 | 654 | 1210 | 2210 | 932 | 1710 | 3110 |
| 154 | 310 | 590 | 382 | 720 | 1328 | 660 | 1220 | 2228 | 938 | 1720 | 3128 |
| 160 | 320 | 608 | 388 | 730 | 1346 | 666 | 1230 | 2246 | 943 | 1730 | 3146 |
| 166 | 330 | 626 | 393 | 740 | 1364 | 671 | 1240 | 2264 | 949 | 1740 | 3164 |
| 171 | 340 | 644 | 399 | 750 | 1382 | 677 | 1250 | 2282 | 954 | 1750 | 3182 |
| 177 | 350 | 662 | 404 | 760 | 1400 | 682 | 1260 | 2300 | 960 | 1760 | 3200 |
| 182 | 360 | 680 | 410 | 770 | 1418 | 688 | 1270 | 2318 | 966 | 1770 | 3218 |
| 188 | 370 | 698 | 416 | 780 | 1436 | 693 | 1280 | 2336 | 971 | 1780 | 3236 |
| 193 | 380 | 716 | 421 | 790 | 1454 | 699 | 1290 | 2354 | 977 | 1790 | 3254 |
| 199 | 390 | 734 | 427 | 800 | 1472 | 704 | 1300 | 2372 | 982 | 1800 | 3272 |
| 204 | 400 | 752 | 432 | 810 | 1490 | 710 | 1310 | 2390 | 988 | 1810 | 3290 |
| 210 | 410 | 770 | 438 | 820 | 1508 | 716 | 1320 | 2408 | 993 | 1820 | 3308 |
| 216 | 420 | 788 | 443 | 830 | 1526 | 721 | 1330 | 2426 | 999 | 1830 | 3326 |
| 221 | 430 | 806 | 449 | 840 | 1544 | 727 | 1340 | 2444 | 1004 | 1840 | 3344 |
| 227 | 440 | 824 | 454 | 850 | 1562 | 732 | 1350 | 2462 | 1010 | 1850 | 3362 |
| 232 | 450 | 842 | 460 | 860 | 1580 | 738 | 1360 | 2480 | 1016 | 1860 | 3380 |
| 238 | 460 | 860 | 466 | 870 | 1598 | 743 | 1370 | 2498 | 1021 | 1870 | 3398 |
| 243 | 470 | 878 | 471 | 880 | 1616 | 749 | 1380 | 2516 | 1027 | 1880 | 3416 |
| 249 | 480 | 896 | 477 | 890 | 1634 | 754 | 1390 | 2534 | 1032 | 1890 | 3434 |
| 254 | 490 | 914 | 482 | 900 | 1652 | 760 | 1400 | 2552 | 1038 | 1900 | 3452 |
| 260 | 500 | 932 | 488 | 910 | 1670 | 766 | 1410 | 2570 | 1043 | 1910 | 3470 |
| 266 | 510 | 950 | 493 | 920 | 1688 | 771 | 1420 | 2588 | 1049 | 1920 | 3488 |
| 271 | 520 | 968 | 499 | 930 | 1706 | 777 | 1430 | 2606 | 1054 | 1930 | 3506 |
| 277 | 530 | 986 | 504 | 940 | 1724 | 782 | 1440 | 2624 | 1060 | 1940 | 3524 |
| 282 | 540 | 1004 | 510 | 950 | 1742 | 788 | 1450 | 2642 | 1066 | 1950 | 3542 |
| 288 | 550 | 1022 | 516 | 960 | 1760 | 793 | 1460 | 2660 | 1071 | 1960 | 3560 |
| 293 | 560 | 1040 | 521 | 970 | 1778 | 799 | 1470 | 2678 | 1077 | 1970 | 3578 |
| 299 | 570 | 1058 | 527 | 980 | 1796 | 804 | 1480 | 2696 | 1082 | 1980 | 3596 |
| 304 | 580 | 1076 | 532 | 990 | 1814 | 810 | 1490 | 2714 | 1088 | 1990 | 3614 |
| 310 | 590 | 1094 | 538 | 1000 | 1832 | | | | 1093 | 2000 | 3632 |

(续)

| 2000~3000 | | | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| ℃ | ℉ | ℃ | ℉ | ℃ | ℉ | ℃ | ℉ |
| 1093 | 2000 | 3632 | 1232 | 2250 | 4082 | 1371 | 2500 |
| 1099 | 2010 | 3650 | 1238 | 2260 | 4100 | 1377 | 2510 |
| 1104 | 2020 | 3668 | 1243 | 2270 | 4118 | 1382 | 2520 |
| 1110 | 2030 | 3686 | 1249 | 2280 | 4136 | 1388 | 2530 |
| 1116 | 2040 | 3704 | 1254 | 2290 | 4154 | 1393 | 2540 |
| 1121 | 2050 | 3722 | 1260 | 2300 | 4172 | 1399 | 2550 |
| 1127 | 2060 | 3740 | 1266 | 2310 | 4190 | 1404 | 2560 |
| 1132 | 2070 | 3758 | 1271 | 2320 | 4208 | 1410 | 2570 |
| 1138 | 2080 | 3776 | 1277 | 2330 | 4226 | 1416 | 2580 |
| 1143 | 2090 | 3794 | 1282 | 2340 | 4244 | 1421 | 2590 |
| 1149 | 2100 | 3812 | 1288 | 2350 | 4262 | 1427 | 2600 |
| 1154 | 2110 | 3830 | 1293 | 2360 | 4280 | 1432 | 2610 |
| 1160 | 2120 | 3848 | 1299 | 2370 | 4298 | 1438 | 2620 |
| 1166 | 2130 | 3866 | 1304 | 2380 | 4316 | 1443 | 2630 |
| 1171 | 2140 | 3884 | 1310 | 2390 | 4334 | 1449 | 2640 |
| 1177 | 2150 | 3902 | 1316 | 2400 | 4352 | 1454 | 2650 |
| 1182 | 2160 | 3920 | 1321 | 2410 | 4370 | 1460 | 2660 |
| 1188 | 2170 | 3938 | 1327 | 2420 | 4388 | 1466 | 2670 |
| 1193 | 2180 | 3956 | 1332 | 2430 | 4406 | 1471 | 2680 |
| 1199 | 2190 | 3974 | 1338 | 2440 | 4424 | 1477 | 2690 |
| 1204 | 2200 | 3992 | 1343 | 2450 | 4442 | 1482 | 2700 |
| 1210 | 2210 | 4010 | 1349 | 2460 | 4460 | 1488 | 2710 |
| 1216 | 2220 | 4028 | 1354 | 2470 | 4478 | 1493 | 2720 |
| 1221 | 2230 | 4046 | 1360 | 2480 | 4496 | 1499 | 2730 |
| 1227 | 2240 | 4064 | 1366 | 2490 | 4514 | 1504 | 2740 |
| | | | | | | 1649 | 3000 |
| | | | | | | 5432 | |

(续)

| 密度 (g/cm ³) | 波美度 | 特沃德尔 比重度 | 密度 (g/cm ³) | 波美度 | 特沃德尔 比重度 |
|----------------------------|-------|-------------|----------------------------|-------|-------------|
| 1.14 | 17.81 | 28 | 1.48 | 47.03 | 96 |
| 1.15 | 18.91 | 30 | 1.49 | 47.68 | 98 |
| 1.18 | 20.00 | 32 | 1.50 | 48.33 | 100 |
| 1.17 | 21.07 | 34 | 1.51 | 48.97 | 102 |
| 1.18 | 22.12 | 36 | 1.52 | 49.60 | 104 |
| 1.19 | 23.15 | 38 | 1.53 | 50.23 | 106 |
| 1.20 | 24.17 | 40 | 1.54 | 50.84 | 108 |
| 1.21 | 25.16 | 42 | 1.55 | 51.45 | 110 |
| 1.22 | 26.15 | 44 | 1.56 | 52.05 | 112 |
| 1.23 | 27.11 | 46 | 1.57 | 52.64 | 114 |
| 1.24 | 28.06 | 48 | 1.58 | 53.23 | 116 |
| 1.25 | 29.00 | 50 | 1.59 | 53.80 | 118 |
| 1.26 | 29.92 | 52 | 1.60 | 54.38 | 120 |
| 1.27 | 30.83 | 54 | 1.61 | 54.94 | 122 |
| 1.28 | 31.72 | 56 | 1.62 | 55.49 | 124 |
| 1.29 | 32.60 | 58 | 1.63 | 56.04 | 126 |
| 1.30 | 33.46 | 60 | 1.64 | 56.58 | 128 |
| 1.31 | 34.31 | 62 | 1.65 | 57.12 | 130 |
| 1.32 | 35.15 | 64 | 1.66 | 57.65 | 132 |
| 1.33 | 35.98 | 66 | 1.67 | 58.17 | 134 |
| 1.34 | 36.79 | 68 | 1.68 | 58.69 | 136 |
| 1.35 | 37.59 | 70 | 1.69 | 59.20 | 138 |
| 1.36 | 38.38 | 72 | 1.70 | 59.71 | 140 |
| 1.37 | 39.16 | 74 | 1.71 | 60.20 | 142 |
| 1.38 | 39.93 | 76 | 1.72 | 60.70 | 144 |
| 1.39 | 40.68 | 78 | 1.73 | 61.18 | 146 |
| 1.40 | 41.43 | 80 | 1.74 | 61.67 | 148 |
| 1.41 | 42.16 | 82 | 1.75 | 62.14 | 150 |
| 1.42 | 42.89 | 84 | 1.76 | 62.61 | 152 |
| 1.43 | 43.60 | 86 | 1.77 | 63.08 | 154 |
| 1.44 | 44.31 | 88 | 1.78 | 63.54 | 156 |
| 1.45 | 45.00 | 90 | 1.79 | 63.99 | 158 |
| 1.46 | 45.68 | 92 | 1.80 | 64.44 | 160 |
| 1.47 | 46.36 | 94 | — | — | — |

2.3.3 密度与波美度、特沃德尔比重度的换算

(表 1-13)

密度 (γ) 以波美度 (符号为 °Bé) 的换算式为

$$\gamma = \frac{144.3}{144.3 - ^\circ\text{Bé}}$$

表 1-13 是 3 种密度单位的对应关系。

表 1-13 密度与波美度、特沃德尔比重度换算表

| 密度 (g/cm ³) | 波美度 | 特沃德尔 比重度 | 密度 (g/cm ³) | 波美度 | 特沃德尔 比重度 |
|----------------------------|------|-------------|----------------------------|-------|-------------|
| 1.00 | 0.00 | 0 | 1.07 | 9.49 | 14 |
| 1.01 | 1.44 | 2 | 1.08 | 10.74 | 16 |
| 1.02 | 2.84 | 4 | 1.09 | 11.97 | 18 |
| 1.03 | 4.22 | 6 | 1.10 | 13.18 | 20 |
| 1.04 | 5.58 | 8 | 1.11 | 14.37 | 22 |
| 1.05 | 6.91 | 10 | 1.12 | 15.54 | 24 |
| 1.06 | 8.21 | 12 | 1.13 | 16.68 | 26 |

3 一些元素的物理性能和铸造行业常用化工产品的性质

3.1 一些元素的物理性能 (表 1-14)

表 1-14 一些元素的物理性能

| 元素符号 | 名称 | 20℃时的密度 (g/cm ³) | 熔点 (℃) | 101.3kPa 下的沸点 (℃) | 20℃下的 比热容 [J/(kg·K)] | 熔解热 (J/kg) | 20℃下的 热导率 [W/(m·K)] | 20℃下的 线胀系数 (10 ⁻⁶ /K) | 电阻率 (×10 ⁻⁸ Ω·m) |
|------|------|---------------------------------|-----------|-------------------------|----------------------------|---------------|---------------------------|--|--------------------------------|
| Ag | 银 | 10.5 | 960.5 | 2150 | 0.233 | 92.1 | 412.2 | 19.3 | 1.62 |
| Al | 铝 | 2.70 | 660 | 1800 | 0.878 | 386.9 | 201 | 23.86 | 2.65 |
| As | 砷 | 5.73 | — | 615℃ 升华 | 0.317 | — | — | 5.59 | 35.0 |
| Au | 金 | 19.32 | 1063 | 2530 | 0.132 | 67.4 | 293 | 14.43 | 2.42 |
| Ba | 钡 | 3.75 | 704 | 1140 | 0.285 | — | — | — | — |
| Be | 铍 | 1.93 | 1281 | 2500 | 1.78 | 133.5 | 164.5 | 12.3 | 18.5 |
| Bi | 铋 | 9.78 | 271 | 1438 | 0.127 | 54.4 | 8.12 | 13.5 | 115.0 |
| C | 碳 | 2.30 | 3500 | — | 0.703 | — | 16.3 | 7.9 | — |
| Ca | 钙 | 1.54 | 851 | 1170 | 0.607 | 238.7 | — | 25.0 | 10.50 |
| Cd | 镉 | 8.64 | 321 | 767 | 0.229 | 58.6 | 92.9 | 30.69 | 7.50 |
| Ce | 铈 | 6.92 | 804 | 2690 | 0.187 | — | — | — | — |
| Co | 钴 | 8.60 | 1490 | 3467 | 0.431 | 244.5 | 69.25 | 12.36 | 9.71 |
| Cr | 铬 | 7.10 | 1830 | 2260 | 0.435 | 132.7 | 272 | 8.1 | 13.1 |
| Cu | 铜 | 8.94 | 1083 | 2325 | 0.381 | 180.0 | 397 | 16.6 | 1.69 |
| Fe | 铁 | 7.86 | 1530 | 3235 | 0.437 | 200.5 | 73.7 | 11.82 | 10.0 |
| Ga | 镓 | 5.95 | 29.8 | 2000 | 0.331 | 80.2 | — | 18.3 | 57.1 |
| Hg | 汞 | 13.56 | -38.8 | 356.7 | 0.139 | 12.6 | 6.19 | 182.0 | 21.3 |
| In | 铟 | 7.36 | 155 | 1450 | 0.239 | — | 23.9 | 33.0 | 9.0 |
| Ir | 铱 | 22.41 | 2350 | 4800 | 0.135 | — | 59.0 | 11.82 | 10.0 |
| K | 钾 | 0.862 | 63.6 | 758 | 0.783 | 67.0 | 99.0 | 83.0 | 6.64 |
| Li | 锂 | 0.534 | 186 | 1400 | 3.50 | 137.4 | 70.0 | 60.0 | 8.40 |
| Mg | 镁 | 1.74 | 659 | 1107 | 1.03 | 194.7 | 157.4 | 26.94 | 4.35 |
| Mn | 锰 | 7.39 | 1242 | 2095 | 0.511 | 152.8 | — | 22.8 | 5.00 |
| Mo | 钼 | 10.0 | 2622 | 3550 | 0.276 | — | 146.0 | 12.79 | 4.77 |
| Na | 钠 | 0.97 | 97.6 | 877 | 1.18 | 115.1 | 134.9 | 72.0 | 4.74 |
| Nb | 铌 | 8.57 | 2500 | 3700 | 0.268 | 286.8 | 52.3 | 0.75 | 14.6 |
| Os | 锇 | 22.48 | 2700 | 约 5500 | 0.130 | — | — | 0.46 | 9.5 |
| P | 磷(黄) | 1.83 | 44.1 | 280 | 0.791 | 20.9 | — | 6.24 | 10.7 |
| Pb | 铅 | 11.37 | 327 | 1755 | 0.126 | 20.9 | 34.7 | 29.24 | 20.80 |
| Pd | 钯 | 11.4 | 1549 | 3167 | 0.248 | 150.7 | 71.2 | 11.76 | 11.0 |
| Pt | 铂 | 21.50 | 1774 | 4300 | 0.136 | 113.0 | 69.5 | 8.99 | 10.50 |
| Rh | 铑 | 12.44 | 1966 | 5900 | 0.243 | — | 88.0 | 8.5 | 5.10 |
| S | 硫(s) | 2.07 | 113 | 444.5 | 0.068 | 37.7 | 272 | 70 | — |
| Sb | 锑 | 6.68 | 630 | 1640 | 0.207 | 101.7 | 18.4 | 11.52 | 39.0 |
| Si | 硅 | 2.30 | 1415 | 2392 | 0.515 | 502.4 | 83.7 | 7.63 | — |
| Sn | 锡 | 7.29 | 232 | 2270 | 0.224 | 61.1 | 64.9 | 22.34 | 11.3 |
| Sr | 锶 | 2.6 | 771 | 1366 | 0.230 | — | — | — | 25.0 |
| Ta | 钽 | 16.6 | 2996 | 5429 | 0.126 | 155 | 54.4 | 8.0 | 14.6 |
| Te | 碲 | 6.25 | 450 | 989.8 | 0.220 | 31.0 | 6.03 | 16.8 | 21.0 |
| Ti | 钛 | 4.5 | 1677 | 3277 | 0.511 | 376.8 | 17.2 | 7.14 | 3.0 |
| Tl | 铊 | 11.88 | 302 | 1457 | 0.136 | — | — | 30.21 | — |
| U | 铀 | 18.7 | 1300 | 3927 | 0.142 | 82.7 | 25.1 | — | 30 |
| V | 钒 | 6.11 | 1917 | 3000 | 0.483 | 335 | 29.3 | 8.3 | 24.8 |
| W | 钨 | 19.3 | 3400 | 5900 | 0.142 | 167.5 | 146.5 | 4.44 | 5.48 |
| Zn | 锌 | 7.10 | 419.5 | 913 | 0.384 | 110.1 | 111 | 30 | 6.1 |
| Zr | 锆 | 6.5 | 1857 | 3577 | 0.276 | 252.5 | 23.9 | 5.0 | 44.0 |

3.2 一些常用的无机化工产品的基本性质 (表 1-15)

3.3 一些常用的有机化工产品的基本性质 (表 1-16)

表 1-15 一些常用的无机化工产品的基本性质

| 名称 | 分子式 | 物态 | 密度 (g/cm ³) | 熔点 (℃) | 沸点 (℃) | 特点 |
|--------|--|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------|----------------------------|
| 盐酸 | HCl | 36%~38% 水溶液 | 1.16~1.18 | | | 无色,有杂质时呈微黄色,有刺激性气味,强腐蚀性 |
| 硝酸 | HNO ₃ | 液 | 1.52 | -42 | 86 | 无色或微黄色,在空气中冒烟,有刺激性气味,强氧化剂 |
| 硫酸 | H ₂ SO ₄ | 液 | 1.84 | | 290 | 无色油状液体,能与水和醇混溶,强腐蚀性和氧化性 |
| 硼酸 | H ₃ BO ₃ | 固 | 1.43 | 184 | 300 | 白色结晶粉末,有滑腻手感,无味,溶于水和醇 |
| 磷酸 | H ₃ PO ₄ | 固 | 1.84 | 22 | 261 | 不稳定的斜方晶体,市售85%水溶液为糖浆状稠液 |
| 明矾 | KAl(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O | 固 | 1.73 | 92.5 | | 无色结晶,无臭,易溶于甘油,溶于水,不溶于甲、乙醇 |
| 氢氧化钠 | NaOH | 固 | 2.13 | 318.4 | 1390 | 无色晶体,吸湿性强,极易溶于水,对皮肤侵蚀力强 |
| 氢氧化钾 | KOH | 固 | 2.04 | 380 | | 白色颗粒或块状,吸湿性强,易溶于水,对皮肤侵蚀力强 |
| 双氧水 | H ₂ O ₂ | 27%~35% ^① 水溶液 | 约 1.1 | | | 无色,具腐蚀性和氧化性,侵蚀皮肤 |
| 液化二氧化硫 | SO ₂ | 液 | 1.43 | -72.7 | -10 | 不稳定的液化气体,强刺激性气味、有毒 |
| 二硫化碳 | CS ₂ | 液 | 1.26 | -111.6 | 46.5 | 无色,有臭味,易燃,有毒 |
| 铅丹 | Pb ₃ O ₄ | 固 | 9.1 | 500℃分解为 PbO 和 O ₂ | | 桔红色粉末,具氧化性,有毒 |
| 钛白粉 | TiO ₂ | 固 | 4.0 | 1855 | | 白色粉末,不溶于水和一般的酸 |
| 碳化钛 | TiC | 固 | 4.93 | 3140±90 | 4300 | 灰色金属结晶,质硬 |
| 碳化硅 | SiC | 固 | 3.23 | 2000℃以上分解 | | 绿色到蓝黑色结晶,质硬 |
| 五氧化二钒 | V ₂ O ₅ | 固 | 3.35 | 690 | 1750℃分解 | 黄至红色结晶,微溶于水,溶于酸、碱 |
| 变色硅胶 | mSiO ₂ ·nH ₂ O | 固 | | | | 蓝色或浅蓝色透明颗粒,吸水后变为粉红色,烘干后仍蓝色 |
| 氧化锌 | ZnO | 固 | 5.6 | 1975 | | 白色粉末,无气味,不溶于水和醇 |

① 指质量分数。

表 1-16 一些常用的有机化工产品的基本性质

| 名称 | 分子式 | 物态 | 密度 (g/cm ³) | 熔点 (℃) | 沸点 (℃) | 特点及用途 |
|----|-------------------------------|----|----------------------------|-----------|-----------|----------------------------|
| 乙炔 | C ₂ H ₂ | 气 | 1.17g/L | -80.8 | -84 | 无色,在氧中燃烧,火焰温度高达 3000~4000℃ |
| 甲烷 | CH ₄ | 气 | 0.72g/L | -182.5 | -161.5 | 无色,无味可燃气体,可液化 |
| 丙烷 | C ₃ H ₈ | 气 | 2.02g/L | -190 | -45 | 无色气体,不易发生化学反应,可燃,可液化 |
| 甲醛 | CH ₂ O | 气 | 1.38g/L | -92 | -19.5 | 易溶于水,工业品为 37% 的水溶液,强烈刺激气味 |
| 甲醇 | CH ₃ OH | 液 | 0.791 | -97.8 | 64.7 | 易燃,有毒,能与水、乙醇混溶 |

(续)

| 名称 | 分子式 | 物态 | 密度 (g/cm ³) | 熔点 (°C) | 沸点 (°C) | 特点及用途 |
|---------|---|----|----------------------------|------------|------------|--------------------------|
| 乙醇 | C ₂ H ₅ OH | 液 | 0.798 | -130 | 78.5 | 易燃,能与水及多种溶剂混溶,工业品含乙醇≥95% |
| 异丙醇 | CH ₃ CHOHCH ₃ | 液 | 0.785 | -88.5 | 82.5 | 无色,易燃,有丙酮和乙醇混合物气体,与水混溶 |
| 甘油(丙三醇) | CH ₂ OH-CHOH-CH ₂ OH | 液 | 1.26 | 17.8 | 290 | 无色,甜味粘稠液体,能与水或醇混溶 |
| 丙酮 | CH ₃ COCH ₃ | 液 | 0.789 | -94 | 56.5 | 无色,易燃,有微香气味,能与水或乙醇混溶 |
| 苯 | C ₆ H ₆ | 液 | 0.879 | 5.5 | 80.1 | 无色,易挥发,有强烈香味,有毒,与乙醇混溶 |
| 甲苯 | C ₆ H ₅ CH ₃ | 液 | 0.866 | -95 | 110.6 | 无色,有苯样气味,可燃,毒性中等,溶于乙醇和苯 |
| 二甲苯 | C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂ | 液 | 0.865 | - | 137~140 | 无色,有特殊气味,可燃,毒性中等,不溶于水 |
| 苯酚 | C ₆ H ₅ OH | 固 | 1.54 | 41 | 182 | 针状结晶,可燃,腐蚀力强,可吸收空气中的水溶解 |
| 双酚 A | C ₁₅ H ₁₆ O ₂ | 固 | 1.20 | 153 | 220 | 白色结晶,微具苯酚气味,能溶于醇,不溶于水 |
| 糠醛 | C ₅ H ₄ O ₂ | 液 | 1.56 | -36.5 | 162 | 无色油状液,有特殊气味,极易溶于醇,微溶于水 |
| 糠醇 | C ₅ H ₆ O ₂ | 液 | 1.28 | - | 170 | 无色液体,可燃,有苦味,有毒,能与水混溶 |
| 醋酸 | CH ₃ COOH | 液 | 1.05 | 16.63 | 118 | 无色液体,有刺激气味,能与水或乙醇混溶 |
| 草酸 | C ₂ H ₂ O ₄ ·2H ₂ O | 固 | 1.65 | 101~102 | - | 透明单斜片状晶体,无气味,有毒,略溶于水 |
| 三氯甲烷 | CHCl ₃ | 液 | 1.485 | -63.5 | 61.2 | 无色,易挥发,有特殊香味,不燃,易与乙醇或苯混合 |
| 四氯化碳 | CCl ₄ | 液 | 1.59 | -23 | 76.7 | 无色,有香味,不燃,有毒,易与乙醇或苯混合 |
| 二氯乙烷 | C ₂ H ₄ Cl ₂ | 液 | 1.176 | -98 | 57.3 | 无色,有香味,有毒,能溶于醇,微溶于水 |
| 乙二胺 | C ₂ H ₈ N ₂ | 液 | 0.898 | 8.5 | 116 | 无色,有氨臭,易挥发,易溶于水生成水合乙二胺 |
| 三乙胺 | (C ₂ H ₅) ₃ N | 液 | 0.729 | -115 | 89.7 | 无色,有烈氨味,与醇混溶,微溶于水,易燃 |
| 乌洛托品 | C ₆ H ₁₂ N ₄ | 固 | 1.27 | 263°C 升华 | - | 白色结晶,无气味,可燃,能溶于水和乙醇 |
| 醋酸乙酯 | CH ₃ COOC ₂ H ₅ | 液 | 0.902 | -83 | 77 | 无色,有芳香味,易挥发,易燃,溶于乙醇或甲醇 |
| 甘油二醋酸酯 | C ₇ H ₁₂ O ₅ | 液 | 1.18 | -40 | 259 | 无色,易吸潮,溶于水、醇和苯 |
| 甘油三醋酸酯 | C ₉ H ₁₄ O ₆ | 液 | 1.156 | -78 | 258 | 无色油状液体,溶于水、醇和苯 |
| 乙二醇二醋酸酯 | C ₆ H ₁₀ O ₄ | 液 | 1.11 | -31 | 190 | 无色,能与醇混溶,略溶于水 |
| 聚乙烯醇 | | 固 | 1.27~1.3 | 200°C 软化分解 | - | 白色粉末或粒状,易溶于热水,作粘结剂用 |

(续)

| 名称 | 分子式 | 物态 | 密度 (g/cm ³) | 熔点 (°C) | 沸点 (°C) | 特点及用途 |
|---------|--|----|----------------------------|------------|------------|-----------------------|
| 聚乙烯醇缩丁醛 | | 固 | 1.1 | 60~65°C 软化 | | 白色粉末,溶于醇和醋酸乙酯,作粘结剂用 |
| 聚乙烯醇缩甲醛 | | 固 | 1.2 | 约 190°C 软化 | | 微黄色粉末,能溶于丙酮和氯代烃 |
| 聚丙烯酸钠 | | 固 | | | | 白色粉末或块状,能溶于水,作粘结剂用 |
| 聚丙烯酰胺 | | 固 | | | | 白色粉末,水溶性高聚物,作增稠剂用 |
| 海藻酸钠 | (C ₆ H ₇ NaO ₆) _x | 固 | | | | 白色或黄色粉末,无味无臭,溶于水,不溶于醇 |
| 硬脂酸钙 | Ca(C ₁₈ H ₃₅ O ₂) ₂ | 固 | 1.08 | 179 | | 白色颗粒,不溶于水,微溶于热醇,作润滑剂用 |
| 虫胶 | | 固 | 1.03~1.14 | 115 | | 黄色透明片状,易溶于醇,作模样涂料用 |

3.4 铸造生产中常用盐类的性质(表 1-17)

表 1-17 铸造生产中常用盐类的性质

| 名称 | 分子式 | 相对分子质量 | 密度 (g/cm ³) | 熔化温度 (°C) | 沸腾温度 (°C) | 特点 |
|-------|--|--------|----------------------------|--------------|--------------|---------------|
| 氯化铝 | AlCl ₃ | 133.34 | 2.44 | 192 | 182.7 | 白色结晶或粉末,溶于水 |
| 氯化钙 | CaCl ₂ | 110.99 | 2.51 | 772 | >1600 | 白色颗粒或块状,强吸湿性 |
| 氯化钾 | KCl | 74.55 | 1.72 | 773 | 1500 | 白色结晶,易溶于水 |
| 氯化镁 | MgCl ₂ | 95.21 | 2.33 | 718 | | 白色粉末,易溶于水 |
| 氯化钠 | NaCl | 58.45 | 2.17 | 804 | 1413 | 四方形结晶或粉末,溶于水 |
| 氯化铵 | NH ₄ Cl | 53.50 | 1.53 | 340°C 升华 | | |
| 氯化锌 | ZnCl ₂ | 136.29 | 2.91 | 290 | 732 | 白色粒状或粉末,易溶于水 |
| 氟化铝 | AlF ₃ | 83.98 | 2.88 | 1291°C 升华 | | |
| 氟化钾 | KF | 58.10 | 2.48 | 859.9 | 1505 | 白色结晶,有毒,易溶于水 |
| 氟化钠 | NaF | 42.00 | 2.78 | 993 | 1704 | 无色结晶,有毒,略溶于水 |
| 氟化锌 | ZnF ₂ | 103.38 | 5.0 | 872 | 1500 | 白色针状结晶,溶于盐酸 |
| 碳酸钙 | CaCO ₃ | 100.00 | 2.83 | 825°C 分解 | | 白色粉末或结晶,不溶于水 |
| 碳酸钾 | K ₂ CO ₃ | 138.20 | 2.29 | 891 | | 白色颗粒或粉末,吸湿 |
| 碳酸镁 | MgCO ₃ | 84.31 | 2.9~3.1 | 700°C 以上分解 | | 白色或灰白色岩石,有光泽 |
| 碳酸钠 | Na ₂ CO ₃ | 106.0 | 2.53 | 851 | | 白色粉末,溶于水 |
| 硝酸钾 | KNO ₃ | 101.10 | 2.11 | 333 | | 强氧化剂,危险品 |
| 硝酸钠 | NaNO ₃ | 85.01 | 2.26 | 308 | | 白色颗粒,强氧化剂 |
| 硝酸铵 | NH ₄ NO ₃ | 80.05 | 1.72 | 约 155 | 400°C 能引爆 | 白色结晶或粉末,易潮解 |
| 亚硝酸铵 | NH ₄ NO ₂ | 64.04 | 1.69 | 60~70 | 分解爆炸 | 白色、微黄色结晶,易溶于水 |
| 硫酸钙 | CaSO ₄ | 136.14 | 2.96 | 1450 | | 白色粉末,不溶于水,溶于酸 |
| 焦磷酸钠 | Na ₄ P ₂ O ₇ | 265.95 | 2.45 | 880 | | 白色粉末,溶于水 |
| 三聚磷酸钠 | Na ₅ P ₃ O ₁₀ | 367.91 | | | | 白色粉末,溶于水 |
| 铬酸钾 | K ₂ CrO ₄ | 194.20 | 2.73 | 975 | | 黄色结晶,溶于水 |
| 重铬酸钾 | K ₂ Cr ₂ O ₇ | 294.21 | 2.68 | 398 | 500°C 分解 | 橙红色结晶,略溶于水 |
| 氟硅酸钠 | Na ₂ SiF ₆ | 188.06 | 2.68 | 450°C 分解 | | 白色或红色结晶,微溶于水 |
| 冰晶石 | Na ₃ AlF ₆ | 209.94 | 2.95 | 1000 | | 白色结晶,有毒,微溶于水 |
| 硼砂 | Na ₂ B ₄ O ₇ | 201.26 | 2.37 | 878 | | 白色粉末,吸湿 |

4 铸造生产中常见矿物的基本特性

和炉渣等方面,都会涉及各种矿物。主要的矿物的基本特性见表 1-18。

铸造生产中,在造型材料、耐火材料、冶金反应

表 1-18 主要矿物的基本特性

| 名称 | 分子式 | 晶系 | 密度 (g/cm ³) | 莫氏 硬度 | 熔点 (℃) | 特 点 | | | | |
|---------|--|------|----------------------------|----------|-----------|---|-------|-------|------|--------|
| 一、均质性矿物 | | | | | | | | | | |
| 白榴石 | KS ₂ AlO ₆ | 正方 | 2.74 | 5~6 | 1686 | 常见于高炉粘土砖和高铝砖用后的反应带中,冶金炉渣中。加热到 625℃ 以上变为等轴晶系。断面呈脂肪光泽 | | | | |
| 方镁石 | MgO | 等轴 | 3.56 | 5.5 | 2800 | 是镁质耐火制品中的主要矿物组成。晶体常呈八面体、立方体。颜色为白、灰、黄色,随 FeO 含量增多而变深 | | | | |
| 氧化钙 | CaO | 等轴 | 3.32 | 3.5 | 2570 | 见于白云石制品及炉渣中。大气中稳定性差,易水化成 Ca(OH) ₂ 晶体常呈立正体,解理完全 | | | | |
| 尖晶石 | (Mg, Fe, Zn, Mn) (Al ₂ , Cr, Fe) ₂ O ₄ | 等轴 | | | | 尖晶石成分复杂。括弧内元素可以任意比例取代。常见于耐火制品及炉渣中,可分为以下几种: | | | | |
| 镁铝尖晶石 | 锰尖晶石 | 锌尖晶石 | 铬铁矿 | 镁铬尖晶石 | 镍铬尖晶石 | 磁铁矿 | 镁铁尖晶石 | 锌铁尖晶石 | 铁尖晶石 | |
| 颜色 | 无色 | 浅黄 | 无色 | 橙红,黑 | 灰白,绿色 | 浅绿色 | 黑色 | 红色 | 褐色 | 绿色,淡紫色 |
| 密度 | 3.55 | 4.23 | 4.6 | 4.88 | 4.39 | | 5.14 | 4.2 | 5.3 | 4.05 |
| 熔点 | 2135 | | | >1800 | >1800 | | 1590 | 1750 | | >1750 |
| 铁酸镁 | MgFe ₂ O ₄ | 等轴 | 4.5 | 6~6.5 | 1580 | 晶体通常为粒状,无解理,强磁性。薄片为深红棕色。常见于使用后的碱性耐火制品中 | | | | |
| 黄铁矿 | FeS ₂ | 等轴 | 4.9~5.2 | 6~6.5 | | 浅黄铜色,表面有黄褐色,金属光泽。我国安徽,广东等地出产 | | | | |
| 褐铁矿 | (Fe ₂ O ₃)·nH ₂ O | 斜方 | 3.3~4.0 | 1~4 | | 常呈块状。黄褐色至黑褐色,半金属光泽 | | | | |
| 二、一轴晶矿物 | | | | | | | | | | |
| 方解石 | CaCO ₃ | 三方 | 2.71 | 3 | 900℃ 分解 | 有时呈不规则的等向粒状、球粒状、叶片状、钟乳状。一般为乳白色,透明至半透明,玻璃光泽 | | | | |
| 白云石 | CaMg(CO ₃) ₂ | 三方 | 2.85 | 3.5~4 | | 白色,有时带浅黄、浅绿色或浅褐色。透明至半透明,玻璃光泽,是分布广泛的矿物 | | | | |
| 菱镁矿 | MgCO ₃ | 三方 | 3.0 | 4 | 700℃ 分解 | 致密块状集合体。白色、灰白色、浅黄色或棕色、玻璃光泽,透明至不透明 | | | | |
| 水镁石 | Mg(OH) ₂ | 三方 | 2.4 | 2.5 | 300℃ 分解 | 常为片状集合体。白色或浅绿色,珍珠光泽或蜡状光泽。常与菱镁矿、镁橄榄石、蛇纹石共生 | | | | |
| 石英 | SiO ₂ | 六方 | 2.65 | 7 | 1710 | 低温 β-石英为三方晶系。致密块状,无解理,断面呈贝壳状,玻璃光泽 | | | | |

(续)

| 名称 | 分子式 | 晶系 | 密度 (g/cm ³) | 莫氏 硬度 | 熔点 (℃) | 特 点 |
|---------|--|------------|----------------------------|----------|-----------------|--|
| 二、一轴晶矿物 | | | | | | |
| 方石英 | SiO ₂ | α等轴 β正方 | 2.32 | 6~7 | 1710 | 自然界中极少见,主要出现煨烧过的硅质耐火制品中。晶体为小的板状体,乳白色,无解理,玻璃光泽 |
| 锆英石 | ZrSiO ₄ | 四方 | 4.6~4.8 | 7.5 | 2430 | 通常为短柱状颗粒。亦有圆粒或不规则粒状者,金刚光泽,透明至半透明,常被染成黄棕、橙红色 |
| 金红石 | TiO ₂ | 四方 | 4.23 | 6~6.5 | 1825 | 晶体常呈柱状和针状,集合体为致密块状。褐红色,条痕浅褐或黄色。金刚光泽,铁金红石为半金属光泽 |
| 电气石 | (Na,Ca)(Mg,Fe) ₃ Al ₆ (OH) ₄ (BO ₃) ₃ Si ₆ O ₁₈ | 三方 | 2.9~3.2 | 7~7.5 | | 晶体呈短柱状,柱状至针状,集合体呈放射状、束针状、纤维状。黑色、暗绿色、暗蓝色、暗褐色,条痕白色,玻璃光泽,断口参差 |
| 赤铁矿 | Fe ₂ O ₃ | 三方 | 5.2 | 5 | 1350 | 晶体呈片状、板状,多以鳞片状及致密块状集合体出现,铁黑色至钢灰色、粉末红色,条痕为樱桃红色,金属或半金属光泽 |
| 三、二轴晶矿物 | | | | | | |
| 磷石英 | SiO ₂ | 斜方 | 2.27 | 6~7 | 1670 | 高温变体(870~1470℃下稳定)为六方晶体。磷石英是硅质耐火制品中的矿物组分。白色或灰白色,玻璃光泽 |
| 正长石 | KaAlSi ₃ O ₈ | 单斜 | 2.57 | 6~6.5 | 1170℃分解 | 晶体呈厚板状或短柱状。浅玫瑰色、褐黄色或粉红色,产于火成岩中。也见于使用过的高铝砖或粘土砖,玻璃光泽 |
| 钠长石 | NaAlSi ₃ O ₈ | 三斜 | 2.61~2.62 | 6~6.5 | 1180 | 晶体呈板状或叶片状。白色或灰白色,玻璃光泽。产于花岗岩,伟晶岩和正长岩中 |
| 钙长石 | CaAl ₂ Si ₂ O ₈ | 三斜 | 2.75 | 6~6.5 | 1550 | 晶体呈板状或柱状。灰白色至暗灰色,玻璃光泽。产于基性火成岩中 |
| 斜长石 | | | | | | 由钠长石和钙长石组成的,类质同象系列矿物。通常分为更长石(钠长石90%~70% ^①),中长石(钠长石70%~50%),拉长石(钠长石50%~30%)和培长石(钠长石30%~10%)4种 |
| 叶蜡石 | Al(OH)Si ₂ O ₅ | 单斜 | 2.84 | 1~2 | 1700 | 晶体为片状或放射状集合体。白色微带浅黄或绿色。玻璃光泽或蜡状光泽,性柔、滑腻感。薄片有挠性,著名的青田石、寿山石均是叶蜡石 |
| 滑石 | Mg ₃ (OH) ₂ Si ₄ O ₁₀ | 单斜 | 2.8 | 1 | 950℃脱水 约1550 | 常为片状或粒状致密集合体。白色、微带浅绿或浅黄色。玻璃或珍珠光泽,系富镁岩石经热液蚀变而成 |
| 蛇纹石 | Mg ₃ (OH) ₄ Si ₂ O ₅ | 斜方 | 2.6 | 2.5~3.5 | 1557℃分解 | 是蛇纹石族矿物的总称,因具有斑点状花纹,其磨光面象蛇纹,故名。按其内部结构层形状分为:利蛇纹石、叶蛇纹石、纤蛇纹石,暗绿色、黄绿色,蜡状光泽 |

(续)

| 名称 | 分子式 | 晶系 | 密度 (g/cm ³) | 莫氏 硬度 | 熔点 (℃) | 特 点 |
|--------|--|----|----------------------------|----------|---------------|---|
| 三、轴晶矿物 | | | | | | |
| 堇青石 | Mg ₂ Al ₄ Si ₃ O ₁₈ | 斜方 | 2.6 | 7~7.5 | 1450 | 通常为致密块状,有时为柱状或粒状。无色但常被染成蓝色。颜色随观察方向而异 |
| 莫来石 | Al ₄ OSi ₂ Al ₂ O ₁₂ | 斜方 | 3 | 6 | 1810 | 晶体呈长柱状或针状。无色或淡紫色,有时具多色性,是粘土、高铝制品及其蚀变带中的主要矿物组成部分 |
| 硅线石 | Al ₂ OSiO ₄ | 斜方 | 3.25 | 7 | 1816 | 针状或柱状晶体,集合体呈放射状或纤维状。灰色、浅褐、浅绿等色。透明至半透明,玻璃光泽,与红柱石、蓝晶石为同质多象变体 |
| 红柱石 | Al ₂ OSiO ₄ | 斜方 | 3.13~3.2 | 7~7.5 | | 晶体呈柱状,晶体中常有碳质及粘土质包裹体,并按固定结晶方向排列,以致在横断面上呈黑十字形。红柱石多呈灰色,部分呈黄色、红色及深绿色。玻璃光泽,透明至半透明 |
| 蓝晶石 | Al ₂ OSiO ₄ | 三斜 | 3.6 | | 1200℃ 分解 | 硬度因方向而异,晶体呈扁平的柱体,晶面有横向条纹。多为蓝色或青色 |
| 镁橄榄石 | Mg ₂ SiO ₄ | 斜方 | 3.2 | 6.5~7 | 1890 | 晶体呈柱状,常为粒状集合体。无色或淡黄色、淡绿色,透明。见于接触变质或区域变质的不纯白云质大理岩中 |
| 钙镁橄榄石 | CaMgSiO ₄ | 斜方 | 3.2 | 5~5.5 | 1498℃ 分解熔融 | 晶体呈柱状或粒状。无色或灰白色。是镁质、铬镁质、镁铝质耐火材料中的矿物组分。也见于炉渣中 |
| 硅灰石 | Ca ₃ Si ₃ O ₉ | 三斜 | 2.9 | 4.5~5 | 1540 | 晶体呈板状。常形成放射状集合体。白色,有时带浅灰色或浅红色,玻璃光泽 |

① 本书中的百分含量无特殊说明的,均指质量分数,全书同。

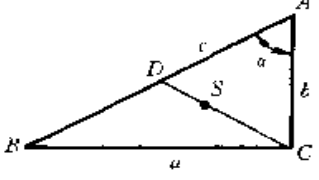
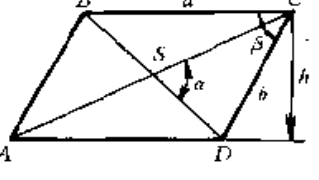
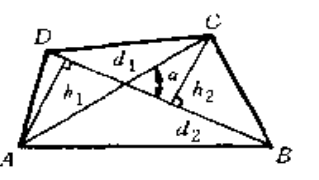
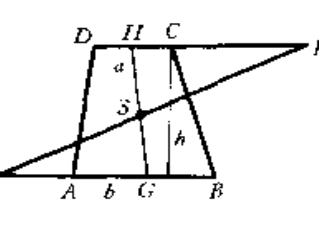
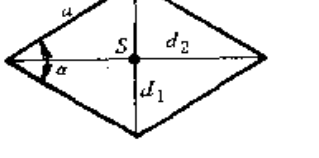
5 常用平面图形和几何体的计算公式

5.1 常用平面图形的计算公式(表 1-19)

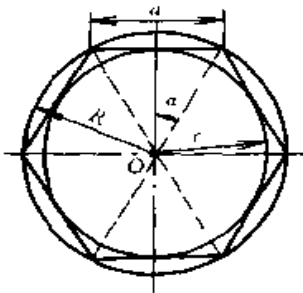
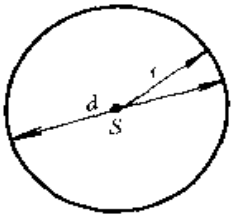
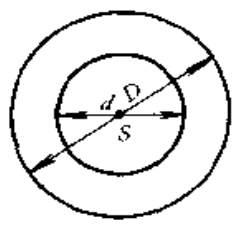
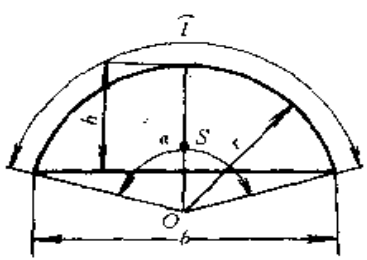
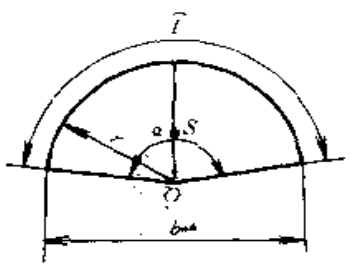
表 1-19 常用平面图形的计算公式

| 说 明 | 图 形 | 计 算 公 式 |
|---|-----|---|
| 1. 三角形 ABC h—高 BD—AC 上的中线 a, b, c—边长 S—重心位置 | | $\text{面积 } A = \frac{1}{2}bh$ $= \frac{1}{2}absina$ $= \sqrt{l(l-a)(l-b)(l-c)}$ $\text{半周长} = \frac{1}{2}(a+b+c)$ $SD = \frac{1}{3}BD$ |

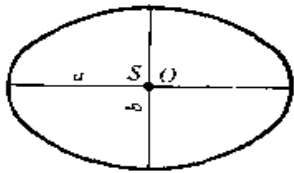
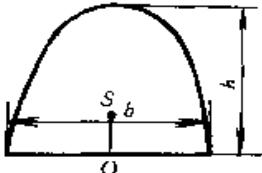
(续)

| 说明 | 图形 | 计算公式 |
|---|---|--|
| 2. 直角三角形 ABC a, b—直角边 c—斜边 S—重心位置 |  | $A = \frac{1}{2} ab$ $= \frac{1}{4} c^2 \sin 2\alpha$ $SD = \frac{1}{3} DC$ |
| 3. 平行四边形 ABCD a, b—邻边 h—对边距离 S—重心位置 |  | 面积 $A = ah = ab \sin \beta$ $= \frac{AC \times BD}{2} \sin \alpha$ 周长 $2l = 2(a + b)$ S 在对角线 AC 和 BD 的交点 |
| 4. 四边形 ABCD d_1, d_2 —对角线 α —对角线夹角 h_1 — $\triangle ABD$ 之高 h_2 — $\triangle BCD$ 之高 |  | 面积 $A = \frac{1}{2} d_2 (h_1 + h_2)$ $= \frac{1}{2} d_1 d_2 \sin \alpha$ |
| 5. 梯形 ABCD a—CD 之长 b—AB 之长 CE = AB AF = CD h—高 S—重心位置 |  | 面积 $A = \frac{1}{2} h (a + b)$ 取 H 为 CD 之中点 G 为 AB 之中点 $HS = \frac{h}{3} \cdot \frac{a + 2b}{a + b}$ $GS = \frac{h}{3} \cdot \frac{2a - b}{a + b}$ |
| 6. 菱形 a—边 α —夹角(锐) d_1, d_2 —对角线 |  | 面积 $A = a^2 \sin \alpha$ $= \frac{1}{2} d_1 d_2$ 重心 S 在对角线的交点 |

(续)

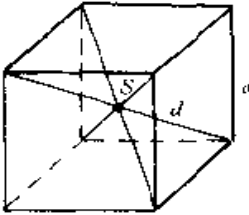
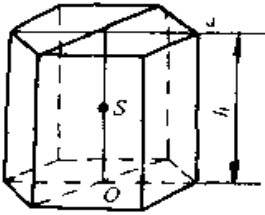
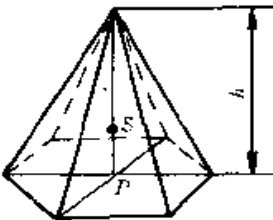
| 说 明 | 图 形 | 计 算 公 式 |
|--|---|--|
| 7. 正多边形 r —内切圆半径 R —外接圆半径 a —边长 n —边数 α —中心角之半 |  | 面积 $A = \frac{n}{2} \cdot R^2 \sin 2\alpha$ $= \frac{1}{2} nar$ 重心 S 在圆心 O 点上 |
| 8. 圆形 r —半径 d —直径 S —重心位置 |  | 面积 $A = \pi r^2$ $= \frac{\pi}{4} d^2$ 周长 $p = 2\pi r$ $= \pi d$ 重心 S 在圆心上 |
| 9. 圆环 D —外径 d —内径 S —重心位置 |  | 面积 $A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$ S 在圆心上 |
| 10. 弓形 r —圆半径 l —弧长 d —弦长 h —高 α —中心角(度数) S —重心位置 |  | 面积 $A = \frac{1}{2} [rl - b(r-h)]$ $b = 2\sqrt{h(2r-h)}$ $SO = \frac{1}{12} \frac{b^3}{A}$ $A = \frac{1}{2} r^2 \left(\frac{\alpha\pi}{180} - \sin\alpha \right)$ $h = r - \frac{1}{2} \sqrt{4r^2 - b^2}$ |
| 11. 扇形 b —弦长 r —半径 l —弧长 α —中心角(度数) S —重心位置 |  | 面积 $A = \frac{1}{2} rl$ $l = \frac{\alpha}{360} \cdot 2\pi r = \frac{\alpha}{180} \pi r$ $SO = \frac{2}{3} \frac{rb}{l}$ |

(续)

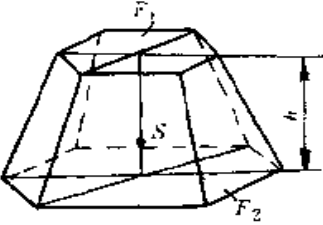
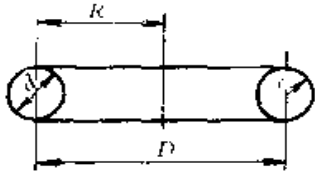
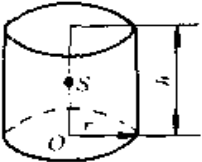
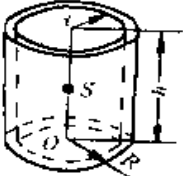
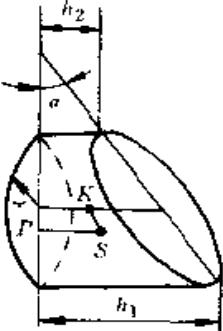
| 说 明 | 图 形 | 计 算 公 式 |
|---|---|---|
| 12. 椭圆形 a —长轴 b —短轴 S —重心位置 |  | 面积 $A = \frac{1}{4}\pi ab$ 重心位置 S 与 a 和 b 的交点 O 重合 |
| 13. 抛物线构成的平面 b —底 h —高 S —重心位置 |  | 面积 $A = \frac{2}{3}bh$ $SO = \frac{2}{5}h$ |

5.2 常用几何体的计算公式(表 1-20)

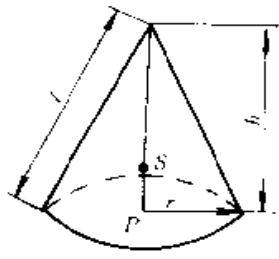
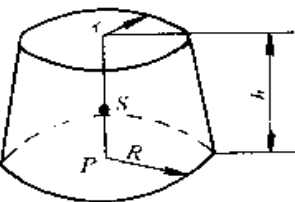
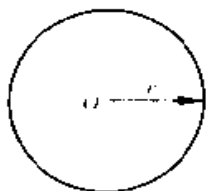
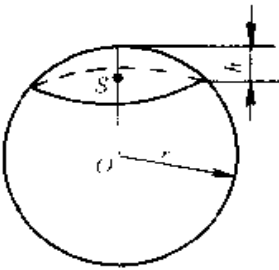
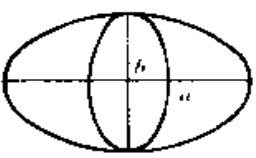
表 1-20 常用几何体的计算公式

| 说 明 | 图 形 | 计 算 公 式 |
|---|---|---|
| 1. 立方体 a —边长 d —对角线 S —重心位置 |  | 体积 $V = a^3$ 全面积 $A = 6a^2$ S 在两对角线的交点上 |
| 2. 正六角柱 a —边长 h —高 S —重心位置 O —底面对角线交点 |  | 底面积 $F = \frac{3\sqrt{3}}{2}a^2$ 体积 $V = \frac{3\sqrt{3}}{2}a^2h$ $SO = \frac{1}{2}h$ |
| 3. 棱柱 n —侧面组合三角形数 f —每一组合三角形面积 F —底面积 h —高 S —重心位置 |  | 体积 $V = \frac{1}{3}hF$ 总面积 $A = nf + F$ 重心 $SP = \frac{1}{4}h$ |

(续)

| 说 明 | 图 形 | 计 算 公 式 |
|--|---|---|
| <p>4. 棱台 F_1, F_2—棱台两平行底面的面积 h—底面间的距离 f—每一组合梯形的面积 n—组合梯形数 S—重心位置</p> |  | <p>体积 $V = \frac{1}{3}h(F_1 + F_2 + \sqrt{F_1 F_2})$ 总面积 重心 $A = nf + F_1 + F_2$ $SP = \frac{1}{4}h \frac{F_1 + 2\sqrt{F_1 F_2} + 3F_2}{F_1 + \sqrt{F_1 F_2} + F_2}$</p> |
| <p>5. 圆环胎 D—胎平均直径 R—胎平均半径 d—环截面直径 r—环截面半径</p> |  | <p>体积 $V = 2\pi^2 R r^2 = \frac{\pi^2}{4} D d^2$ 总面积 $A = 4\pi^2 R r$ 重心 S 在环中心</p> |
| <p>6. 圆柱体 r—半径 h—高 S—重心位置</p> |  | <p>体积 $V = \pi r^2 h$ 总面积 $A = 2\pi r(r + h)$ $SO = \frac{1}{2}h$</p> |
| <p>7. 空间圆柱 R—外半径 r—内半径 h—高 t—柱壁厚度</p> |  | <p>体积 $V = \pi h(R^2 - r^2)$ 总面积 $A = 2\pi h(R + r) + 2\pi(R^2 - r^2) = 2\pi(R + r)(h + t)$ $SO = \frac{1}{2}h$</p> |
| <p>8. 斜截直圆柱 h_1—最大高度 h_2—最小高度 r—底面半径 α—斜截面与底面之夹角 S—重心位置</p> |  | <p>体积 $V = \pi r^2 \frac{h_1 + h_2}{2}$ 总面积 $A = \pi r(h_1 + h_2) + \pi r^2 \left(1 + \frac{1}{\cos \alpha}\right)$ $SP = \frac{1}{4}(h_1 + h_2) + \frac{1}{4} \frac{r^2}{h_1 - h_2} \operatorname{tg}^2 \alpha$ $SK = \frac{1}{2} \frac{r^2}{h_1 + h_2} \operatorname{tg} \alpha$</p> |

(续)

| 说 明 | 图 形 | 计 算 公 式 |
|--|---|--|
| <p>9. 圆锥体</p> <p>r—底面半径</p> <p>h—高</p> <p>l—母线</p> <p>S—重心位置</p> |  | <p>体积 $V = \frac{1}{3} \pi r^2 h$</p> <p>$l = \sqrt{r^2 + h^2}$</p> <p>总面积 $A = \pi r \sqrt{r^2 + h^2} + \pi r^2$</p> <p>$= \pi r (\sqrt{r^2 + h^2} + r)$</p> <p>$SP = \frac{1}{4} h$</p> |
| <p>10. 截头圆锥</p> <p>h—高</p> <p>R—下底半径</p> <p>r—上底半径</p> <p>S—重心位置</p> |  | <p>体积 $V = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + r^2 + Rr)$</p> <p>总面积 $A = \pi (R^2 + r^2) + \pi (R + r) \times \sqrt{(R - r)^2 + h^2}$</p> <p>$SP = \frac{1}{4} h \frac{R^2 + 2Rr + 3r^2}{R^2 + Rr + r^2}$</p> |
| <p>11. 球体</p> <p>r—半径</p> |  | <p>体积 $V = \frac{3}{4} \pi r^3$</p> <p>面积 $A = 4 \pi r^2$</p> <p>重心在球心上</p> |
| <p>12. 球截体</p> <p>r—球半径</p> <p>h—截体高</p> <p>S—重心位置</p> |  | <p>体积 $V = \pi h^2 \left(r - \frac{h}{3} \right)$</p> <p>总面积 $A = \pi h (2r - h) + 2 \pi r h$</p> <p>$= \pi h (4r - h)$</p> <p>$SO = \frac{3}{4} \frac{(2r - h)^2}{3r - h}$</p> |
| <p>13. 椭圆球</p> <p>a—长轴之半</p> <p>b—短轴之半</p> |  | <p>体积 $V = \frac{4}{3} \pi a b^2$</p> <p>重心在长轴与短轴的交点上</p> |

6 熔炼铸造合金用的金属原料和合金化材料

具体要求和供货条件选用,有关国家标准和部标准共有6种。

6.1 生铁

6.1.1 灰铸铁件用的生铁

灰铸铁件一般用 GB718—82 所规定的铸造用生铁,见表 1-21。

目前,我国已有多种不同的生铁系列供应,可根据

表 1-21 铸造用生铁(GB 718—82)

| 铁号 | 牌号 | 铸 34 | 铸 30 | 铸 26 | 铸 22 | 铸 18 | 铸 14 | |
|---------|----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------|
| | 代号 | Z34 | Z30 | Z26 | Z22 | Z18 | Z14 | |
| 化学成分(%) | C | >3.3 | | | | | | |
| | Si | >3.20~3.60 | >2.80~3.20 | >2.40~2.80 | >2.00~2.40 | >1.60~2.00 | >1.25~1.60 | |
| | Mn | 1组 | ≤0.05 | | | | | |
| | | 2组 | >0.50~0.90 | | | | | |
| | | 3组 | >0.90~1.30 | | | | | |
| | P | 1级 | ≤0.06 | | | | | |
| | | 2级 | >0.06~0.10 | | | | | |
| | | 3级 | >0.10~0.20 | | | | | |
| | | 4级 | >0.20~0.40 | | | | | |
| | | 5级 | >0.40~0.90 | | | | | |
| | S | 1类 | ≤0.03 | | | | | ≤0.04 |
| | | 2类 | ≤0.04 | | | | | ≤0.05 |
| | | 3类 | ≤0.05 | | | | | ≤0.06 |

① 本书凡涉及成分时,其百分数、含量均指质量分数,特别指明的除外。

近年来,铸铁中微量元素的影响日益受到重视。为控制微量元素的含量,冶金部制订了一项限定微量元素含量的生铁标准,即 YB(T)14—90。其中所列的6个牌号的铸造用生铁,代号和 C、Si、Mn 含量均与

GB718—82 所规定相同,但 P、S 含量较低,并限制了微量元素的含量,可在有必要时按此标准订货,见表 1-22。

表 1-22 铸造用生铁(规定微量元素)[YB(T)14—90]

| 铁号 | 牌号 | 铸 34 | 铸 30 | 铸 26 | 铸 22 | 铸 18 | 铸 14 | |
|---------|----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|
| | 代号 | Z34 | Z30 | Z26 | Z22 | Z18 | Z14 | |
| 化学成分(%) | C | >3.3 | | | | | | |
| | Si | >3.20~3.60 | >2.80~3.20 | >2.40~2.80 | >2.00~2.40 | >1.60~2.00 | >1.25~1.60 | |
| | Mn | 1组 | ≤0.50 | | | | | |
| | | 2组 | >0.50~0.90 | | | | | |
| | | 3组 | >0.90~1.30 | | | | | |
| | P | ≤0.06 | | | | | | |
| | S | 1类 | ≤0.03 | | | | | |
| | | 2类 | ≤0.04 | | | | | |

(续)

| 铁号 | 牌 号 | | 铸 34 | 铸 30 | 铸 26 | 铸 22 | 铸 18 | 铸 14 |
|-------------------------|-----|---------------|---------------|------|------|------|------|------|
| | 代 号 | | Z34 | Z30 | Z26 | Z22 | Z18 | Z14 |
| 化 学 成 分 (%) | As | | ≤ 0.0008 | | | | | |
| | Pb | 1 等 | ≤ 0.0005 | | | | | |
| | | 2 等 | ≤ 0.0007 | | | | | |
| | Sn | | ≤ 0.0065 | | | | | |
| | Sb | | ≤ 0.0006 | | | | | |
| | Zn | 1 等 | ≤ 0.0003 | | | | | |
| | | 2 等 | ≤ 0.0020 | | | | | |
| | Cr | 1 等 | ≤ 0.0064 | | | | | |
| | | 2 等 | ≤ 0.0082 | | | | | |
| | Ni | | ≤ 0.0064 | | | | | |
| | Cu | | ≤ 0.0040 | | | | | |
| | V | | ≤ 0.0115 | | | | | |
| | Ti | 1 等 | ≤ 0.0700 | | | | | |
| | | 2 等 | ≤ 0.0870 | | | | | |
| | Mo | | ≤ 0.0012 | | | | | |
| 微量元素 1 等 | | ≤ 0.1022 | | | | | | |
| 总和 $\sum T$ 2 等 | | ≤ 0.1229 | | | | | | |

6.1.2 合金铸铁件用的生铁

我国的含钒生铁中,通常含有伴生的钛, YB/T 5125—93(原 GB 5025—85)共规定了 4 个牌号(表 1-

23),可用以生产钒钛耐磨铸铁件,也可用于其它需含有钒和钛的铸铁。

表 1-23 含钒生铁(YB/T 5125—93)

| 铁号 | 牌 号 | | 钒 02 | 钒 03 | 钒 04 | 钒 05 |
|-------------------------|-----|----|--------------------|-------------|-------------|-------------|
| | 代 号 | | F02 | F03 | F04 | F05 |
| 化 学 成 分 (%) | V | | ≥ 0.20 | ≥ 0.30 | ≥ 0.40 | ≥ 0.50 |
| | Ti | | ≤ 0.60 | | | |
| | Si | 一组 | ≤ 0.45 | | | |
| | | 二组 | $> 0.45 \sim 0.80$ | | | |
| | P | 一级 | ≤ 0.15 | | | |
| | | 二级 | $> 0.15 \sim 0.25$ | | | |
| | | 三级 | $> 0.25 \sim 0.40$ | | | |
| | S | 一类 | ≤ 0.05 | | | |
| | | 二类 | ≤ 0.07 | | | |
| | | 三类 | ≤ 0.10 | | | |

YB/T5120—93 还规定了磷铜钛低合金耐磨铸铁,共 6 个牌号,见表 1-24。

表 1-24 铸造用磷铜钛低合金耐磨生铁(YB/T 5120—93)

| 铁 号 | | NMZ34 | NMZ30 | NMZ26 | NMZ22 | NMZ18 | NMZ14 | |
|---------|-------------|------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|
| 化学成分(%) | C | ≥ 3.30 | | | | | | |
| | Si | $> 3.2 \sim 3.6$ | $> 2.8 \sim 3.2$ | $> 2.4 \sim 2.8$ | $> 2.0 \sim 2.4$ | $> 1.6 \sim 2.0$ | $1.25 \sim 1.60$ | |
| | Mn | 1组 | ≤ 0.50 | | | | | |
| | | 2组 | $> 0.50 \sim 0.90$ | | | | | |
| | | 3组 | > 0.90 | | | | | |
| | S | 1类 | ≤ 0.03 | | | | | ≤ 0.04 |
| | | 2类 | ≤ 0.04 | | | | | ≤ 0.05 |
| | | 3类 | ≤ 0.05 | | | | | |
| | P | A级 | $0.35 \sim 0.60$ | | | | | |
| | | B级 | $> 0.60 \sim 0.90$ | | | | | |
| | | C级 | > 0.90 | | | | | |
| | Cu | A级 | $0.30 \sim 0.70$ | | | | | |
| | | B级 | > 0.70 | | | | | |
| Ti | ≥ 0.06 | | | | | | | |

6.1.3 球墨铸铁件用的生铁

生产球墨铸铁件用的生铁,对 Si、Mn、P 和 S 等元素的含量都有较严格的限定,现行的标准中有 3 个牌号,见表 1-25。制造高韧性球墨铸铁时,应选用含 Mn 量低的组别。

表 1-25 球墨铸铁用生铁(GB 1412—85)

| 牌 号 | | Q10 | Q12 | Q16 | |
|---------|----|-------------|--------------------|--------------------|--|
| 化学成分(%) | Si | ≤ 1.00 | $> 1.00 \sim 1.40$ | $> 1.40 \sim 1.80$ | |
| | Mn | 一组 | ≤ 0.20 | | |
| | | 二组 | $> 0.20 \sim 0.50$ | | |
| | | 三组 | $> 0.50 \sim 0.80$ | | |
| | P | 特级 | ≤ 0.05 | | |
| | | 一级 | $> 0.05 \sim 0.06$ | | |
| | | 二级 | $> 0.06 \sim 0.08$ | | |
| | | 三级 | $> 0.08 \sim 0.10$ | | |
| | S | 特类 | ≤ 0.02 | | |
| | | 一类 | $> 0.02 \sim 0.03$ | | |
| | | 二类 | $> 0.03 \sim 0.04$ | | |
| | | 三类 | ≤ 0.06 | ≤ 0.05 | |

6.1.4 炼钢生铁

铸造生产中,炼钢生铁可用作炼钢的炉料,也用来配制可锻铸铁,见表 1-26。

表 1-26 炼钢用生铁(GB 1717—82)

| 铁号 | 牌号 | 炼 04 | 炼 08 | 炼 10 | |
|---------|----|-------------|--------------------|--------------------|--|
| | 代号 | L04 | L08 | L10 | |
| 化学成分(%) | Si | ≤ 0.45 | $> 0.45 \sim 0.85$ | $> 0.85 \sim 1.25$ | |
| | Mn | 一组 | ≤ 0.30 | | |
| | | 二组 | $> 0.30 \sim 0.50$ | | |
| | | 三组 | > 0.50 | | |
| | P | 一级 | ≤ 0.15 | | |
| | | 二级 | $> 0.15 \sim 0.25$ | | |
| | | 三级 | $> 0.25 \sim 0.40$ | | |
| | S | 特类 | ≤ 0.02 | | |
| | | 一类 | $> 0.02 \sim 0.03$ | | |
| | | 二类 | $> 0.03 \sim 0.05$ | | |
| | | 三类 | $> 0.05 \sim 0.07$ | | |

6.1.5 一些国产生铁的参考数据

由于国家标准对生铁含碳量的限定很宽,有时会觉得不便选用,现将一些国产生铁的概略化学成分列于表 1-17,供参考。

表 1-27 一些国产生铁的参考数据

| 生铁品种 | 化 学 成 分 (%) | | | | |
|------|-------------|----------|---------|-----------|-----------|
| | C | Si | Mn | P | S |
| 本溪生铁 | 3.8~4.0 | 1.5~2.0 | 0.4~0.7 | <0.07 | <0.05 |
| 武钢生铁 | 3.4~3.8 | 1.5~2.0 | 0.2~0.9 | <0.1 | <0.04 |
| 邯郸生铁 | 3.3~4.0 | 1.5~2.0 | 0.1~0.3 | <0.09 | 0.04~0.07 |
| 湘钢生铁 | 4.1~4.3 | 1.5~1.75 | 0.7~0.9 | <0.1 | <0.08 |
| 安阳生铁 | 3.9~5.0 | 1.5~2.0 | <0.1 | 0.07~0.08 | 0.03~0.08 |
| 徐州生铁 | 3.9~4.1 | 1.3~1.5 | 0.1 | 0.07~0.08 | 0.03~0.05 |
| 首钢生铁 | 4.2 | 0.4 | 0.07 | 0.02 | 0.035 |
| 临汾生铁 | 4.0 | 2.03 | 1.08 | 0.14 | 0.01 |
| 新绛生铁 | 3.9 | 2.07 | 0.10 | 0.14 | 0.04 |
| 沂蒙生铁 | 4.13 | 1.96 | 0.59 | 0.13 | 0.02 |

6.2 硅铁及含硅材料

6.2.1 硅铁(表 1-28)

表 1-28 硅铁(GB 2272—87)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | |
|---------------|-------------|-----|------|------|------|-------|-------|-----|
| | Si | Al | Ca | Mn | Cr | P | S | C |
| FeSi90Al1.5 | 87.0~95.0 | 1.5 | 1.5 | 0.40 | 0.20 | 0.04 | 0.02 | 0.2 |
| FeSi90Al3 | | 3.0 | | | 0.30 | | | |
| FeSi75Al0.5-A | 74.0~80.0 | 0.5 | 1.0 | 0.50 | 0.50 | 0.04 | | 0.1 |
| FeSi75Al0.5-B | 72.0~80.0 | | | 0.40 | 0.30 | 0.035 | | 0.1 |
| FeSi75Al1.0-A | 74.0~80.0 | 1.0 | | 0.50 | 0.50 | 0.04 | | 0.2 |
| FeSi75Al1.0-B | 72.0~80.0 | | | 0.40 | 0.30 | 0.035 | | 0.1 |
| FeSi75Al1.5-A | 74.0~80.0 | 1.5 | | 0.50 | 0.50 | 0.04 | | 0.2 |
| FeSi75Al1.5-B | 72.0~80.0 | | | 0.40 | 0.30 | 0.035 | | 0.1 |
| FeSi75Al2.0-A | 74.0~80.0 | 2.0 | | 0.40 | 0.30 | 0.035 | | 0.1 |
| FeSi75Al2.0-B | | | | 0.50 | 0.50 | 0.04 | | 0.2 |
| FeSi75Al2.0-C | 72.0~80.0 | — | | — | 0.50 | 0.50 | 0.04 | 0.2 |
| FeSi75-A | 74.0~80.0 | — | | — | 0.40 | 0.30 | 0.035 | 0.1 |
| FeSi75-B | | | 0.50 | | 0.50 | 0.04 | 0.2 | |
| FeSi75-C | 72.0~80.0 | — | — | 0.60 | 0.50 | 0.04 | — | |
| FeSi65 | 65.0~72.0 | — | — | 0.70 | — | — | — | |
| FeSi45 | 40.0~47.0 | — | — | — | — | — | — | |

6.2.2 硅钙类合金

硅钙合金是良好的铸铁孕育剂,可在炼优质钢时作脱氧剂,其规格见表 1-29。

由于钙的沸点为 1170℃,在处理铸铁时,特别是用作炼钢的脱氧剂时,硅钙合金中的钙损失很大。为减轻钙的损失,有效的方法是在合金中加入钡作为缓冲剂。硅钙钡铝合金是性能良好的炼钢用复合脱氧剂,可显著改善钢中夹杂物的分布,并减少其数量。我国现已制订这种合金的标准,见表 1-30。

表 1-29 硅钙合金(YB/T 5051—93)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | |
|----------|-------------|-------|------|-----|------|------|
| | Ca ≥ | Si | 杂质 ≤ | | | |
| | | | C | Al | P | S |
| Ca31Si60 | 31 | 55~65 | 0.8 | 2.4 | 0.04 | 0.06 |
| Ca28Si60 | 28 | | | | | |
| Ca24Si60 | 24 | | | 2.5 | | |

表 1-30 硅钙钡铝合金的化学成分
(YB/T 067—1995)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | |
|-----------------|-------------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| | Si | Ca | Ba | Al | Mn | C | P | S |
| | 不小于 | | | | 不大于 | | | |
| Fe16Ba9Ca12Si30 | 30.0 | 12.0 | 9.0 | 16.00 | 0.400 | 0.400 | 0.040 | 0.02 |
| Fe12Ba9Ca9Si35 | 35.0 | 9.0 | 9.0 | 12.00 | 0.400 | 0.400 | 0.040 | 0.02 |
| Fe8Ba12Ca6Si40 | 40.0 | 6.0 | 12.0 | 8.00 | 0.400 | 0.400 | 0.040 | 0.02 |

注: Si、Ca、Ba、Al 为必测元素。

6.2.3 含稀土的硅铁合金

稀土硅铁合金(表 1-31), 主要是在炼钢时作脱氧剂和稀土加入剂用。

稀土硅铁镁合金(表 1-32), 主要用作球墨铸铁的球化剂。

表 1-31 稀土硅铁合金(GB/T 4137—93)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | Fe |
|------------|-------------|------|-----|-----|-----|----|
| | RE | Si | Mn | Ca | Ti | |
| FeSiRE23 | 21.0~24.0 | 44.0 | 3.0 | 5.0 | 3.0 | 余量 |
| FeSiRE26 | 24.0~27.0 | 43.0 | | | | |
| FeSiRE29 | 27.0~30.0 | 42.0 | | | | |
| FeSiRE32-A | 30.0~33.0 | 40.0 | 4.0 | 1.0 | | |
| FeSiRE32-B | 30.0~33.0 | 40.0 | | | | |
| FeSiRE35-A | 33.0~36.0 | 39.0 | 3.0 | 1.0 | | |
| FeSiRE35-B | 33.0~36.0 | 39.0 | | | | |
| FeSiRE38 | 36.0~39.0 | 38.0 | 3.0 | 2.0 | | |
| FeSiRE41 | 39.0~42.0 | 37.0 | 3.0 | 2.0 | | |

表 1-32 稀土硅铁镁合金(GB/T 4138—93)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | Fe |
|--------------|-------------|----------|---------|------|-----|-----|----|
| | RE | Mg | Ca | Si | Mn | Ti | |
| FeSiMg6RE1 | 0.5~2.0 | 5.0~7.0 | 1.5~3.0 | 44.0 | 1.0 | 1.0 | 余量 |
| FeSiMg7RE1 | 0.5~2.0 | 6.0~8.0 | ≤1.5 | | | | |
| FeSiMg7RE3 | 2.0~4.0 | 6.0~8.0 | 2.0~3.5 | | | | |
| FeSiMg8RE3-A | 2.0~4.0 | 7.0~9.0 | ≤2.0 | | | | |
| FeSiMg8RE3-B | 2.0~4.0 | 7.0~9.0 | 2.0~3.5 | | | | |
| FeSiMg8RE5 | 4.0~6.0 | 7.0~9.0 | ≤3 | | 2.0 | | |
| FeSiMg8RE7 | 6.0~8.0 | 7.0~9.0 | ≤3 | | | | |
| FeSiMg10RE7 | 6.0~8.0 | 9.0~11.0 | ≤3 | | | | |
| FeSiMg9RE9 | 8.0~10.0 | 8.0~10.0 | ≤3 | | | | |
| FeSiMg8RE18 | 17.0~20.0 | 7.0~10.0 | ≤3 | | | | |

(续)

6.2.4 其它以含硅为主的合金

硅铝合金(表 1-33)主要用作炼钢的脱氧剂。

硅铬合金(表 1-34), 主要在炼含铬钢时作为脱氧剂和合金化材料。

表 1-33 硅铝合金

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | |
|------------|-------------|----|------|------|------|------|
| | Si | Al | Mn | C | P | S |
| | 不小于 | | | 不大于 | | |
| FeAl52Si5 | 5 | 52 | 0.20 | 0.20 | 0.02 | 0.02 |
| FeAl47Si10 | 10 | 47 | 0.20 | 0.20 | 0.02 | 0.02 |

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | |
|------------|-------------|----|------|------|------|------|
| | Si | Al | Mn | C | P | S |
| | 不小于 | | | 不大于 | | |
| FeAl42Si15 | 15 | 42 | 0.20 | 0.20 | 0.02 | 0.02 |
| FeAl37Si20 | 20 | 37 | 0.20 | 0.20 | 0.02 | 0.02 |
| FeAl32Si25 | 25 | 32 | 0.20 | 0.20 | 0.02 | 0.02 |
| FeAl27Si30 | 30 | 27 | 0.40 | 0.40 | 0.03 | 0.03 |
| FeAl22Si35 | 35 | 22 | 0.40 | 0.40 | 0.03 | 0.03 |
| FeAl17Si40 | 40 | 17 | 0.40 | 0.40 | 0.03 | 0.03 |

注: Si、Al 为必测元素。

表 1-34 硅铬合金(GB 4009—89)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | |
|--------------|-------------|------|------|------|------|------|
| | Si | Cr | C | P | | S |
| | | | | I | II | |
| | ≥ | | ≤ | | | |
| FeCr30Si40-A | 40.0 | 30.0 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.01 |
| FeCr30Si40-B | | | 0.04 | | | |
| FeCr30Si40-C | | | 0.06 | | | |
| FeCr30Si40-D | | | 0.10 | | | |
| FeCr32Si35 | 35.0 | 32.0 | 1.0 | | | |

6.2.5 含硅的非金属材料

铸造生产中,工业硅主要用于配制合金,其规格见表 1-35。

碳化硅可作为炼钢和熔制铸铁时的加入剂。在以废钢为主要炉料,用电炉熔制铸铁时,碳化硅是重要的增加 C 和 Si 的材料,在此情况下,多采用品位较低的牌号或利用下脚料,见表 1-36。

表 1-35 工业硅(GB 2881—91)

| 名称 | 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | 应用范围 |
|------|------|-------------|--------|-----|-----|------|
| | | Si 不小于 | 杂质,不大于 | | | |
| | | | Fe | Al | Ca | |
| A 级硅 | Si-A | 99.3 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 化学用硅 |
| B 级硅 | Si-B | 99.0 | 0.5 | 0.3 | 0.2 | |
| 一级硅 | Si-1 | 98.5 | 0.6 | — | 0.3 | 冶金用硅 |
| 二级硅 | Si-2 | 98.0 | 0.7 | — | 0.5 | |
| 三级硅 | Si-3 | 97.0 | 1.0 | — | 1.0 | |

表 1-36 碳化硅的规格

| SiC 含量 (质量分数) (%) | 固定碳 (质量分数) (%) | FeO ₂ (质量分数) (%) | Al ₂ O ₃ (质量分数) (%) |
|-------------------------|----------------------|-----------------------------------|---|
| ≥98 | <0.6 | <0.7 | — |
| ≥90 | <1.5 | <1.2 | — |
| ≥85 | <2.5 | <2 | <1.2 |
| ≥80 | <15 | <2 | <1.5 |
| ≥50 | <15 | <2 | <2.0 |

6.3 锰铁、金属锰和以锰为主的合金

6.3.1 锰铁

高炉锰铁价格便宜,炼钢和熔制铸铁时宜优先采用,其规格见表 1-37。

电炉炼制的锰铁(表 1-38)中,含碳量愈低,则价格愈贵,选用时应力求采用含碳较高的牌号。

表 1-37 高炉锰铁(GB 4007—83)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | |
|---------|-------------|--------|-----|------|------|------|
| | Mn ≥ | 其余元素 ≤ | | | | |
| | | C | Si | | P | |
| GFeMn76 | 76.0 | 7.5 | 2.0 | I 级 | II 级 | 0.03 |
| GFeMn72 | 72.0 | 7.3 | | | | |
| GFeMn68 | 68.0 | 7.0 | 1.0 | 0.40 | 0.60 | |
| GFeMn64 | 64.0 | | | 2.5 | | |
| GFeMn60 | 60.0 | 7.0 | 2.5 | I 级 | II 级 | 0.03 |
| GFeMn56 | 56.0 | | | | | |
| GFeMn52 | 52.0 | | | | | |

表 1-38 电炉锰铁(GB 3795—87)

| 类 别 | 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | |
|------------|--------------|-------------|------|--------|-----|------|------|------|------|
| | | Mn | C | 其余元素 ≤ | | S | | | |
| | | | | Si | | | P | | |
| 低碳锰铁 | FeMn85C0.2 | 85.0—90.0 | 0.20 | I | II | 0.10 | 0.02 | | |
| | FeMn80C0.4 | | 0.40 | | | 0.15 | | | |
| | FeMn80C0.7 | | 0.70 | | | 0.30 | | | |
| FeMn80C1.0 | 1.0 | 0.7 | | | | | | | |
| 中碳锰铁 | FeMn78C1.5 | 78.0—85.0 | 1.5 | 1.5 | 2.5 | 0.33 | 0.03 | | |
| | FeMn75C1.5 | | 1.5 | | | 0.40 | | | |
| | FeMn75C2.0 | | 2.0 | | | 0.20 | | | |
| 高碳锰铁 | FeMn79C7.5 | 79.0—85.0 | 7.5 | 1.2 | 1.2 | 0.30 | | 0.03 | |
| | FeMn75C7.5-A | 75.0—<79.0 | | | | 1.5 | 2.5 | | 0.33 |
| | FeMn75C7.5-B | | | | | | | | 0.38 |
| | FeMn70C7.0 | 70.0—75.0 | | | | 7.0 | 2.0 | | 3.0 |
| | FeMn65C7.0 | 65.0—70.0 | 7.0 | 2.5 | 4.5 | 0.40 | | | |

6.3.2 金属锰

金属锰(表 1-39)和电解金属锰(表 1-40),主要用于配制含铁量低的有色合金。

表 1-39 金属锰(GB 2774—87)

| 牌号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | |
|-------|-------------|-------|-----|------|-------|------|-------|------|----------|
| | Mn ≥ | 其余元素≤ | | | | | | | |
| | | C | Si | Fe | P | S | Ni | Cu | Al+Ca+Mg |
| JMn97 | 97.00 | 0.08 | 0.4 | 2.00 | 0.040 | 0.04 | | | |
| JMn96 | 96.50 | 0.10 | 0.5 | 2.30 | 0.05 | | 0.020 | 0.03 | 0.07 |
| JMn95 | 95.00 | 0.15 | 0.8 | 2.80 | 0.06 | | | | |
| JMn93 | 93.50 | 0.20 | 1.8 | | | | | | |

表 1-40 电解金属锰(YB/T 051—93)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | |
|----------|-------------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| | Mn 不小于 | C | S | P | Si | Fe | | Se |
| | | | | | | I | II | |
| DJMn99.8 | 99.8 | 0.02 | 0.03 | 0.005 | 0.005 | 0.010 | 0.030 | 0.06 |
| DJMn99.7 | 99.7 | 0.04 | 0.05 | 0.005 | 0.010 | 0.010 | 0.030 | 0.10 |
| DTMn99.5 | 99.5 | 0.08 | 0.10 | 0.010 | 0.015 | 0.05 | 0.15 | |

注:锰含量由减量法减去表中杂质含量之和得到。

6.3.3 锰硅合金(表 1-41)

表 1-41 锰硅合金(GB 4008—87)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | |
|------------|-------------|-----------|------|-----------|------|------|------|
| | Mn | Si | C | 其它元素≤ | | | S |
| | | | | I | II | III | |
| FeMn60Si25 | 60.0~70.0 | 25.0~28.0 | 0.5 | | | | 0.25 |
| FeMn63Si22 | 63.0~70.0 | 22.0~25.0 | 0.7 | | | | |
| FeMn65Si20 | 65.0~70.0 | 20.0~22.0 | 1.2 | | | | |
| FeMn65Si17 | | 17.0~20.0 | 1.8 | 0.100 | 0.15 | | |
| FeMn60Si17 | 60.0~70.0 | 17.0~20.0 | 1.8 | | | | 0.20 |
| FeMn65Si14 | 65.0~70.0 | 14.0~17.0 | 2.5 | | | | 0.30 |
| FeMn60Si14 | | | | 0.200 | 0.25 | | |
| FeMn60Si12 | 60.0~70.0 | 12.0~14.0 | 3.00 | 0.300 | 0.30 | | |
| FeMn60Si10 | | | | 10.0~12.0 | 3.50 | 3.50 | 3.50 |

6.4 铬铁和金属铬

6.4.1 铬铁

GB 5683—87“铬铁”共规定了 22 个牌号的铬铁(表 1-42),含碳量愈低则价格愈贵。

表 1-42 铬铁(GB 5683—87)

| 类 别 | 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | |
|------------|-------------|-------------|------|------|-----|-----|------|------|-------|------|------|
| | | Cr | | C | Si | | P | | S | | |
| | | 范 围 | ≥ | | I | II | I | II | I | II | |
| 微碳铬铁 | FeCr69C0.03 | 63.0~75.0 | | 0.03 | 1.0 | | | | 0.25 | | |
| | FeCr55C3 | | 60.0 | 52.0 | | 1.5 | 2.0 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | |
| | FeCr69C0.06 | 63.0~75.0 | | 0.06 | 1.0 | | | | 0.025 | | |
| | FeCr55C6 | | 60.0 | 52.0 | | 1.5 | 2.0 | 0.04 | 0.06 | 0.03 | |
| | FeCr69C0.10 | 63.0~75.0 | | 0.10 | 1.0 | | 0.03 | | 0.25 | | |
| | FeCr55C10 | | 60.0 | 52.0 | | 1.5 | 2.0 | 0.04 | 0.06 | 0.03 | |
| | FeCr69C0.15 | 63.0~75.0 | | 0.15 | 1.0 | | 0.03 | | 0.025 | | |
| 低碳铬铁 | FeCr69C0.25 | 63.0~75.0 | | 0.25 | 1.5 | | 0.03 | | 0.025 | | |
| | FeCr55C25 | | 60.0 | 52.0 | | 2.0 | 3.0 | 0.04 | 0.06 | 0.03 | 0.05 |
| | FeCr69C0.50 | 63.0~75.0 | | 0.50 | 1.5 | | 0.03 | | 0.025 | | |
| | FeCr55C50 | | 60.0 | 52.0 | | 2.0 | 3.0 | 0.04 | 0.06 | 0.03 | 0.05 |
| 中碳铬铁 | FeCr69C1.0 | 63.0~75.0 | | 1.0 | 1.5 | | 0.03 | | 0.025 | | |
| | FeCr55C100 | | 60.0 | 52.0 | | 2.5 | 3.0 | 0.04 | 0.06 | 0.03 | 0.05 |
| | FeCr69C2.0 | 63.0~75.0 | | 2.0 | 1.5 | | 0.03 | | 0.025 | | |
| | FeCr55C200 | | 60.0 | 52.0 | | 2.5 | 3.0 | 0.04 | 0.06 | 0.03 | 0.05 |
| | FeCr69C4.0 | 63.0~75.0 | | 4.0 | 1.5 | | 0.03 | | 0.025 | | |
| FeCr55C400 | | 60.0 | 52.0 | | 2.5 | 3.0 | 0.04 | 0.06 | 0.03 | 0.05 | |

(续)

| 类别 | 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | |
|------|-------------|-------------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| | | Cr | | C | Si | | P | | S | | | |
| | | 范 围 | I | | II | I | II | I | II | | | |
| 高碳铬铁 | FeCr67C6.0 | 62.0 ~ 72.0 | | 6.0 | 3.0 | 5.0 | 0.04 | 0.06 | 0.04 | 0.06 | | |
| | FeCr55C600 | 60.0 | 52.0 | | | | | | | | 0.03 | 0.04 |
| | FeCr67C9.5 | 62.0 ~ 72.0 | | 9.5 | | | | | | | 0.03 | |
| | FeCr55C1000 | 60.0 | 52.0 | 10.0 | | | | | | | 5.0 | 0.04 |

真空微碳铬铁(表 1-43)用于冶炼超低碳不锈钢和精密合金。

氮化铬铁(表 1-44)用于含氮的耐热钢。

表 1-43 真空微碳铬铁(GB 5684—87)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | |
|----------------|-------------|-------|-----|-----|-------|-------|------|
| | Cr | C | Si | | P | | S |
| | | | I | II | I | II | |
| ZKFeCr67C0.010 | 67.0 | 0.010 | 1.0 | 2.0 | 0.025 | 0.030 | 0.03 |
| ZKFeCr67C0.020 | | 0.020 | | | | | |
| ZKFeCr65C0.010 | 65.0 | 0.010 | 1.0 | 2.0 | 0.025 | 0.035 | 0.04 |
| ZKFeCr65C0.030 | | 0.030 | | | | | |
| ZKFeCr65C0.050 | | 0.050 | | | | | |
| ZKFeCr65C0.100 | | 0.100 | | | | | |

表 1-44 氮化铬铁(YB/T 5140—93)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | |
|-----------|-------------|-----|------|-----|------|------|
| | Cr | N | C | Si | P | S |
| | ≥ | ≤ | | | | |
| FeNCr3-A | 60.0 | 3.0 | 0.03 | 1.5 | 0.03 | 0.04 |
| FeNCr3-B | | 5.0 | | 2.5 | | |
| FeNCr6-A | | 3.0 | 0.06 | 1.5 | | |
| FeNCr6-B | | 5.0 | | 2.5 | | |
| FeNCr10-A | | 3.0 | 0.10 | 1.5 | | |
| FeNCr10-B | | 5.0 | | 2.5 | | |

6.4.2 金属铬(表 1-45)

表 1-45 金属铬(GB 3211—87)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------------|-----------|------|------|------|------|------|--------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|---|
| | Cr | 其 它 元 素 ≤ | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Fe | Si | Al | Cu | C | S | P | Pb | Sn | Sb | Bi | As | N | H | O |
| JCr99-A | 99.0 | 0.35 | 0.25 | 0.30 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.0005 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.05 | 0.01 | 0.50 | |
| JCr99-B | | 0.40 | 0.30 | | 0.04 | | | | | | | | | | | |
| JCr98.5-A | 98.5 | 0.45 | 0.35 | 0.50 | 0.03 | 0.03 | 0.06 | 0.05 | 0.03 | — | — | — | — | — | — | |
| JCr98.5-B | | 0.50 | 0.40 | | | | | | | | | | | | | |
| JCr98 | 98.0 | 0.80 | 0.40 | 0.80 | 0.06 | 0.05 | 0.03 | — | — | — | — | — | — | — | — | |

6.5 其它铁合金

6.5.1 钨铁(表 1-46)

表 1-46 钨铁(GB 3648—87)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | | | |
|---------|-------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | W | 其 它 元 素 ≤ | | | | | | | | | | | |
| | | Mn | Cu | S | P | C | Si | As | Sn | Pb | Sb | Bi | Al |
| FeW80-A | 75.0 ~ 85.0 | 0.30 | 0.07 | 0.02 | 0.02 | 0.10 | 0.5 | 0.02 | 0.02 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.10 |
| FeW80-B | | 0.25 | 0.10 | 0.05 | 0.03 | | | 0.04 | 0.06 | | | | |
| FeW80-C | | | | 0.08 | 0.04 | 0.20 | 0.05 | 0.08 | | | | | |
| FeW75 | | 70.0 ~ 80.0 | 0.15 | 0.08 | 0.04 | 0.20 | 0.5 | 0.05 | 0.08 | | | | |

6.5.2 钼铁(表 1-47)

表 1-47 钼铁(GB 3649—87)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | |
|-------------|-------------|-------|------|------|------|------|------|------|
| | Mo | 其它元素≤ | | | | | | |
| | | Si | S | P | C | Cu | Sb | Sn |
| FeMo70 | | 1.5 | | | | 0.50 | | |
| FeMo70Cu1 | 65.0~75.0 | 2.0 | 0.10 | 0.05 | | 1.0 | | |
| FeMo70Cu1.5 | | 2.50 | 0.20 | 0.10 | 0.10 | 1.5 | | |
| FeMo60-A | | 1.0 | | 0.04 | | | 0.04 | 0.04 |
| FeMo60-B | 55.0~65.0 | 1.5 | 0.10 | | | 0.50 | 0.05 | 0.06 |
| FeMo60-C | | 2.0 | 0.15 | 0.05 | 0.20 | 1.0 | 0.08 | 0.08 |
| FeMo60 | ≥60.0 | 2.0 | | | 0.15 | | 0.04 | 0.04 |
| FeMo55-A | | 1.0 | | | 0.08 | 0.20 | 0.05 | 0.06 |
| FeMo55-B | ≥55.0 | 1.5 | 0.15 | 0.10 | 0.25 | 1.0 | 0.08 | 0.08 |

6.5.3 钒铁(表 1-48)

表 1-48 钒铁(GB 4139—87)

| 牌 号 | V | 化 学 成 分 (%) | | | | | |
|---------|------|-------------|-----|------|------|-----|------|
| | | 其它元素≤ | | | | | |
| | | C | Si | P | S | Al | Mn |
| FeV40-A | 40.0 | 0.75 | 2.0 | 0.10 | 0.06 | 1.0 | — |
| FeV40-B | | 1.00 | 3.0 | 0.20 | 0.10 | 1.5 | — |
| FeV50-A | 50.0 | 0.40 | 2.0 | 0.07 | 0.04 | 0.5 | 0.50 |
| FeV50-B | | 0.75 | 2.5 | 0.10 | 0.05 | 0.8 | |
| FeV75-A | 75.0 | 0.20 | 1.0 | 0.05 | 0.04 | 2.0 | |
| FeV75-B | | 0.30 | 2.0 | 0.10 | 0.05 | 3.0 | |

6.5.4 钛铁(表 1-49)

表 1-49 钛铁(GB 3282—87)

| 牌 号 | Ti | 化 学 成 分 (%) | | | | | | |
|----------|-----------|-------------|-----|------|------|------|------|-----|
| | | 其它元素≤ | | | | | | |
| | | Al | Si | P | S | C | Cu | Mn |
| FeTi30-A | 25.0~35.0 | 8.0 | 4.5 | 0.05 | 0.03 | 0.10 | | |
| FeTi30-B | | 8.5 | 5.0 | 0.06 | 0.04 | 0.13 | | |
| FeTi40-A | 35.0~45.0 | 9.0 | 3.0 | 0.03 | 0.03 | 0.10 | 0.40 | 2.5 |
| FeTi40-B | | 9.5 | 4.0 | 0.04 | 0.04 | 0.15 | | |

6.5.5 铌铁(表 1-50)

表 1-50 铌铁(GB 7737—87)

| 牌 号 | Nb+Ta | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-------|-------------|-----|-----|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|----|----|
| | | 其它元素≤ | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Ta | Al | Si | C | S | P | W | Ti | Cu | Mn | As | Sn | Sb | Pb | Bi |
| FeNb70 | 70~80 | 0.8 | 3.8 | 1.5 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.30 | 0.3 | | | | | | | |
| FeNb60-A | 60~70 | 0.5 | | 0.4 | | 0.02 | 0.02 | | 0.2 | | | | | | | |
| FeNb60-B | | 0.8 | 2.0 | 1.0 | | | | 0.3 | 0.3 | 0.005 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | 0.002 | | |
| FeNb50-A | 50~60 | | | 1.2 | 0.05 | 0.03 | 0.03 | | 0.10 | | | | | | | |
| FeNb50-B | | 1.5 | | 4.0 | | | | | | | | | | | | |

6.5.6 铌锰铁(表 1-51)

表 1-51 铌锰铁合金(YB/T 5216—93)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | 铌磷比 Nb/P | | |
|------------|-------------|-------|-----|-----|----|----------|----|-----|
| | Nb | Mn | Si | C | Fe | I | II | III |
| | | | | | | | | |
| FeMn50Nb17 | 16~18 | 40~60 | | | | | | |
| FeMn30Nb17 | | 20~40 | | | | | | |
| FeMn50Nb15 | 14~16 | 40~60 | | | | | | |
| FeMn30Nb15 | | 20~40 | | | | | | |
| FeMn50Nb13 | 12~14 | 40~60 | 3.0 | 8.0 | 余量 | ≥10 | ≥7 | ≥5 |
| FeMn30Nb13 | | 20~40 | | | | | | |
| FeMn50Nb11 | 10~12 | 40~60 | | | | | | |
| FeMn30Nb11 | | 20~40 | | | | | | |

注：铌锰铁是一种新的铁合金，其价格较便宜，可用以作铌的加入剂。

6.5.7 硼铁(表 1-52)

表 1-52 硼铁(GB 5682—87)

| 类别 | 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | |
|------|------------|-------------|-------|-----|------|------|------|------|
| | | B | 其它元素≤ | | | | | |
| | | | C | Si | Al | S | P | Cu |
| 低碳硼铁 | FeB23C0.05 | 20.0~25.0 | 0.05 | 2.0 | | | 0.01 | 0.05 |
| | FeB22C0.1 | 19.0~24.0 | | | 3.0 | | 0.03 | |
| | FeB17C0.1 | 14.0~<19.0 | 0.1 | 4.0 | | 0.01 | | |
| 中碳硼铁 | FeB12C0.1 | 9.0~<14.0 | | | 6.0 | | 0.1 | |
| | FeB17C2.5 | 14.0~19.0 | | | | | | |
| | FeB12C2.5 | 9.0~<14.0 | 2.5 | | 10.0 | 0.2 | 0.1 | 0.2 |
| | FeB7C2.5 | 4.0~<9.0 | | | 15.0 | 0.3 | | |

6.5.8 磷铁(表 1-53)

表 1-53 磷铁(YB/T 5036—93)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | |
|-------|-------------|--------|-----|-----|-----|
| | P | 其它元素 ≤ | | | |
| | | Si | C | S | Mn |
| FeP24 | 23.0~25.0 | 3.0 | 1.0 | 0.5 | 2.0 |
| FeP21 | 20.0~23.0 | | | | |
| FeP18 | 17.0~20.0 | | | | |
| FeP16 | 15.0~17.0 | | | | |

注:磷铁主要用于熔制耐磨铸铁,磷在各种铸钢及大多数铸铁中都是有害元素,现场的磷铁应特别注意分隔保管。

6.6 有色金属和合金

6.6.1 铜及其合金

表 1-54 所列的两种牌号的铜均适于配制铜合金,电解铜则应符合一号铜的要求。

铸造青铜锭(表 1-55)和铸造黄铜锭(表 1-56)均供重熔铜合金用,铸造厂采用非常方便,可免自行配制合金的麻烦,应优先采用。

铜中间合金锭供配制铜合金用,见表 1-57。

表 1-54 铜分类(GB 466—82)

| 牌 号 | 代 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | | |
|-----|------|-------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Cu+Ag ≥ | 杂 质 含 量 ≤ | | | | | | | | | | |
| | | | As | Sb | Bi | Fe | Pb | Sn | Ni | Zn | S | P | 总和 |
| 一号铜 | Cu-1 | 99.95 | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.004 | 0.003 | 0.002 | 0.002 | 0.003 | 0.004 | 0.001 | 0.050 |
| 二号铜 | Cu-2 | 99.90 | | | | 0.005 | 0.005 | | | 0.004 | | | |

表 1-55 铸造青铜锭(GB 8739—88)

| 牌 号 | 化 学 成 分 | | | | | | | | | | 杂 质 ≤ | | | | | | | | | | |
|--------------|----------|----------|-----------|---------|---------|----------|---------|---------|----|----|-------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 主 要 成 分 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sn | Zn | Pb | P | Ni | Al | Fe | Mn | Cu | Sn | Zn | Pb | P | Ni | Al | Fe | Mn | Sb | Si | S | |
| ZQSnD3-8-6-1 | 2.0~4.0 | 6.3~9.3 | 4.0~6.7 | — | 0.5~1.5 | — | — | — | — | — | — | — | 0.05 | — | 0.02 | 0.3 | — | 0.3 | 0.02 | — | |
| ZQSnD3-11-4 | 2.0~4.0 | 9.5~13.5 | 3.0~5.8 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.05 | — | 0.02 | 0.4 | — | 0.3 | 0.02 | — | |
| ZQSnD5-5-5 | 4.0~6.0 | 4.5~6.0 | 4.0~5.7 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.03 | — | 0.01 | 0.25 | — | 0.25 | 0.01 | 0.10 | |
| ZQSnD6-6-3 | 5.0~7.0 | 5.3~7.3 | 2.0~3.8 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.05 | 0.3 | — | 0.2 | 0.05 | — | — | |
| ZQSnD10-1 | 9.2~11.5 | — | — | 0.6~1.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.05 | 0.25 | — | 0.1 | 0.01 | 0.08 | 0.05 | 0.02 | 0.05 |
| ZQSnD10-2 | 9.2~11.2 | 1.0~3.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1.3 | 0.03 | — | 0.6 | 0.2 | 0.3 | 0.01 | 0.10 |
| ZQSnD10-5 | 9.2~11.0 | — | 4.0~5.8 | — | — | — | — | — | 余量 | — | 1.0 | — | 0.05 | — | 0.01 | 0.2 | — | 0.2 | 0.01 | — | — |
| ZQPbD10-10 | 9.2~11.0 | — | 8.5~10.5 | — | — | — | — | — | — | — | 2.0 | — | 0.05 | — | 0.01 | 0.15 | 0.2 | 0.5 | 0.01 | 0.10 | — |
| ZQPbD15-8 | 7.2~9.0 | — | 13.5~16.5 | — | — | — | — | — | — | — | 2.0 | — | 0.05 | — | 0.01 | 0.15 | 0.2 | 0.5 | 0.01 | 0.1 | — |
| ZQPbD17-4-4 | 3.5~5.0 | 2.0~6.0 | 14.5~19.5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.05 | — | 0.02 | 0.3 | — | 0.3 | 0.02 | 0.05 | — |
| ZQPbD20-5 | 4.0~6.0 | — | 19.0~23.0 | — | — | — | — | — | — | — | 2.0 | — | 0.05 | — | 0.01 | 0.15 | 0.2 | 0.75 | 0.01 | 0.1 | — |
| ZQPbD30 | — | — | 28.0~33.0 | — | — | — | — | — | — | — | 0.1 | — | 0.08 | — | 0.01 | 0.2 | — | 0.2 | 0.01 | 0.05 | — |
| ZQAlD9-2 | — | — | — | — | — | 8.2~10.0 | — | 1.5~2.5 | — | — | 0.2 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | — | — | 0.5 | — | 0.05 | 0.2 | — |
| ZQAlD9-4-4-2 | — | — | — | — | 4.0~5.0 | 8.7~10.0 | 4.0~5.0 | 0.8~2.5 | — | — | — | — | 0.02 | — | — | — | — | — | — | 0.15 | — |

(续)

| 牌 号 | 化 学 成 分 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|---------|----|----|---|---------|----------|---------|-----------|----|-------|-----|------|------|-----|----|-----|-----|----|------|------|---|
| | 主 要 成 分 | | | | | | | | | 杂 质 ≤ | | | | | | | | | | | |
| | Sn | Zn | Pb | P | Ni | Al | Fe | Mn | Cu | Sn | Zn | Pb | P | Ni | Al | Fe | Mn | Sb | Si | S | |
| ZQAID10-2 | — | — | — | — | — | 9.2~11.0 | — | 1.5~2.5 | 余量 | 0.2 | 1.0 | 0.1 | 0.1 | — | — | 0.5 | — | — | 0.2 | — | |
| ZQAID9-4 | — | — | — | — | — | 8.7~10.7 | 2.0~4.0 | — | | 0.2 | 0.4 | 0.1 | — | — | — | — | 1.0 | — | 0.1 | — | |
| ZQAID10-3-2 | — | — | — | — | — | 9.2~11.0 | 2.0~4.0 | 1.0~2.0 | | 0.1 | 0.5 | 0.1 | 0.01 | 0.5 | — | — | — | — | 0.05 | 0.1 | — |
| ZQMnD12-8-3 | — | — | — | — | — | 7.2~9.0 | 2.0~4.0 | 12.5~14.5 | | — | 0.3 | 0.02 | — | — | — | — | — | — | — | 0.15 | — |
| ZQMnD12-8-3-2 | — | — | — | — | 1.8~2.5 | 7.2~8.5 | 2.5~4.0 | 11.5~14.0 | | 0.1 | 0.1 | 0.02 | 0.01 | — | — | — | — | — | — | 0.15 | — |

表 1-56 铸造黄铜锭(GB 8737—88)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|----|-----------|------|------------------|------|-----|-----|------|------|------|
| | 主 要 成 分 | | | | | | | 杂 质 含 量 ≤ | | | | | | | | |
| | Cu | Al | Fe | Mn | Si | Pb | Zn | Fe | Pb | Sb | Mn | Sn | Al | P | Si | |
| ZHD68 | 67.0~70.0 | — | — | — | — | — | 余量 | 0.1 | 0.03 | 0.01 | — | 1.0 | 0.1 | 0.01 | — | |
| ZHD62 | 60.0~63.0 | — | — | — | — | — | | 0.2 | 0.08 | 0.01 | — | 1.0 | 0.3 | 0.01 | — | |
| ZHAID67-5-2-2 | 67.0~70.0 | 5.0~6.0 | 2.0~3.0 | 2.0~3.0 | — | — | | — | 0.5 | 0.01 | — | 0.5 | — | 0.01 | — | |
| ZHAID63-6-3-3 | 60.0~66.0 | 4.5~7.0 | 2.0~4.0 | 1.5~4.0 | — | — | | — | 0.2 | — | — | 0.2 | — | — | 0.10 | |
| ZHAID62-4-3-3 | 60.0~66.0 | 2.5~5.0 | 1.5~4.0 | 1.5~4.0 | — | — | | — | 0.2 | — | — | 0.2 | — | — | 0.10 | |
| ZHAID67-2.5 | 66.0~68.0 | 2.0~3.0 | — | — | — | — | | — | 0.6 | 0.5 | 0.05 | 0.5 | 0.5 | — | — | |
| ZHAID61-2-2-1 | 57.0~65.0 | 0.5~2.5 | 0.5~2.0 | 0.1~3.0 | — | — | | — | 0.5 | 0.4 ^① | — | 1.0 | — | — | 0.10 | |
| ZHMnD58-2-2 | 57.0~60.0 | — | — | 1.5~2.5 | — | 1.5~2.5 | | — | 0.6 | — | 0.05 | — | 0.5 | 1.0 | 0.01 | — |
| ZHMnD58-2 | 57.0~60.0 | — | — | 1.0~2.0 | — | — | | — | 0.6 | 0.1 | 0.05 | — | 0.5 | 0.5 | 0.01 | — |
| ZHMnD57-3-1 | 53.0~58.0 | — | 0.5~1.5 | 3.0~4.0 | — | — | | — | 0.3 | 0.05 | — | 0.5 | 0.5 | 0.01 | — | |
| ZHPbD65-2 | 63.0~66.0 | — | — | — | — | 1.0~2.8 | | — | 0.7 | — | — | 0.2 | 1.5 | 0.1 | 0.02 | 0.03 |
| ZHPbD59-1 | 57.0~61.0 | — | — | — | — | 0.8~1.9 | | — | 0.6 | — | 0.05 | — | — | 0.2 | 0.01 | — |
| ZHPbD60-2 | 58.0~62.0 | 0.2~0.8 | — | — | — | 0.5~2.5 | | — | 0.7 | — | — | 0.5 | 1.0 | — | — | 0.05 |
| ZHSiD80-3 | 79.0~81.0 | — | — | — | 2.5~4.5 | — | | — | 0.4 | 0.1 | 0.05 | 0.5 | 0.2 | 0.1 | 0.02 | — |
| ZHSiD80-3-3 | 79.0~81.0 | — | — | — | 2.5~4.5 | 2.0~4.0 | — | 0.4 | — | 0.05 | 0.5 | 0.2 | 0.2 | 0.02 | — | |

① 此处 Sb+P+As 的总量不大于 0.4。

表 1-57 铜中间合金锭(GB 8736—88)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | | 物 理 性 能 | | |
|--------|---------------|----|-------|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|-----------|-----|-----|
| | 主 要 成 分 | | 杂 质 ≤ | | | | | | | | | 熔 化 温 度 | | 特 性 |
| | 合金元素 | Cu | Si | Mn | Ni | Fe | Sb | P | Pb | Zn | Al | (℃) | | |
| CuSi16 | Si, 13.5~16.5 | 余量 | — | — | — | 0.50 | — | — | — | 0.10 | 0.25 | 800 | 脆 | |
| CuMn28 | Mn, 25.0~30.0 | | — | — | — | 1.0 | 0.1 | 0.1 | — | — | — | 870 | 韧 | |
| CuMn22 | Mn, 20.0~25.0 | | — | — | — | 1.0 | 0.1 | 0.1 | — | — | — | 850~900 | 韧 | |
| CuNi15 | Ni, 14.0~18.0 | | — | — | — | 0.5 | — | — | — | 0.3 | — | 1050~1200 | 韧 | |
| CuFe10 | Fe, 9.0~11.0 | | — | 0.10 | 0.10 | — | — | — | — | — | — | 1300~1400 | 韧 | |
| CuFe5 | Fe, 4.0~6.0 | | — | 0.10 | 0.10 | — | — | — | — | — | — | 1200~1300 | 韧 | |
| CuSb50 | Sb, 49.0~51.0 | | — | — | — | 0.2 | — | 0.1 | 0.1 | — | — | — | 680 | 脆 |

(续)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | | 物 理 性 能 | |
|--------|---------------|----|-------|----|----|------|----|---|----|----|------|--------------|----|
| | 主要成分 | | 杂 质 ≤ | | | | | | | | | 熔化温度 (°C) | 特性 |
| | 合金元素 | Cu | Si | Mn | Ni | Fe | Sb | P | Pb | Zn | Al | | |
| CuBe4 | Be, 3.8~4.3 | 余量 | 0.18 | — | — | 0.15 | — | — | — | — | 0.13 | 1100~1200 | 韧 |
| CuP14 | P, 13.0~15.0 | | — | — | — | 0.15 | — | — | — | — | — | 900~1020 | 脆 |
| CuP12 | P, 11.0~13.0 | | — | — | — | 0.15 | — | — | — | — | — | 900~1020 | 脆 |
| CuP10 | P, 9.0~11.0 | | — | — | — | 0.15 | — | — | — | — | — | 900~1020 | 脆 |
| CuP8 | P, 8.0~9.0 | | — | — | — | 0.15 | — | — | — | — | — | 900~1020 | 脆 |
| CuMg20 | Mg, 17.0~23.0 | | — | — | — | 0.15 | — | — | — | — | — | 1000~1100 | 脆 |
| CuMg10 | Mg, 9.0~11.0 | | — | — | — | 0.15 | — | — | — | — | — | 750~800 | 脆 |

注:作为脱氧利用的 CuP14, CuP12, CuP10, CuP8, 其杂质 Fe 的含量可允许不大于 0.3%。

表 1-58 列出了铜铍中间合金锭的规格。这两个牌号也可认为是对表 1-57 中 CuBe4 牌号的补充。

1196—88 中规定牌号,见表 1-60。

表 1-58 铜铍中间合金(GB 6897—86)

表 1-60 重熔用铝锭(GB 1196—88)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | |
|-------|-------------|----------|--------|------|------|-------|
| | 主要成分 | | 杂质含量 ≤ | | | |
| | Cu | Be | Fe | Si | Al | Pb |
| CuBe1 | 余量 | 4.1~3.8 | 0.13 | 0.13 | 0.11 | 0.002 |
| CuBe2 | | <3.8~3.5 | | | | |

| 级别 | 牌 号 | Al ≥ | 杂 质 ≤ | | | | 杂质 总和 |
|-----|--------|---------|-------|------|-------|-------|----------|
| | | | Fe | Si | Fe+Si | Ca | |
| 特一级 | Al99.7 | 99.70 | 0.16 | 0.13 | 0.26 | 0.010 | 0.30 |
| 特二级 | Al99.6 | 99.60 | 0.25 | 0.18 | 0.36 | 0.010 | 0.40 |
| 一级 | Al99.5 | 99.50 | 0.30 | 0.25 | 0.45 | 0.015 | 0.50 |
| 二级 | Al99.0 | 99.00 | 0.50 | 0.45 | 0.90 | 0.020 | 1.00 |
| 三级 | Al98.0 | 98.00 | 1.10 | 1.00 | 1.80 | 0.050 | 2.00 |

6.6.2 电解镍(表 1-59)

表 1-59 电解镍(GB 6516—86)

| 牌 号 | 零号镍 | 一号镍 | 二号镍 | 三号镍 | |
|----------------------------|---------|--------|--------|--------|-------|
| 代 号 | Ni-0 | Ni-1 | Ni-2 | Ni-3 | |
| 化 学 成 分 量 ≤ | Ni+Co ≥ | 99.99 | 99.9 | 99.5 | 99.2 |
| | Co ≤ | 0.005 | 0.10 | 0.15 | 0.50 |
| | C | | 0.01 | 0.02 | 0.10 |
| | Si | 0.001 | 0.02 | — | — |
| | P | | 0.001 | 0.003 | 0.02 |
| | S | 0.002 | 0.001 | — | — |
| | Fe | | 0.03 | 0.020 | 0.05 |
| | Cu | 0.0015 | 0.02 | 0.04 | 0.15 |
| | Zn | | | 0.001 | 0.005 |
| | As | 0.0008 | 0.001 | — | — |
| | Cd | | | — | — |
| | Sn | 0.0003 | 0.0008 | — | — |
| | Sb | | | — | — |
| | Pb | 0.0001 | 0.0001 | 0.002 | 0.005 |
| | Bi | | | 0.0008 | — |
| Al | 0.001 | — | — | — | |
| Mn | | — | — | — | |
| Mg | | — | — | — | |

注:电解镍主要用于制造镍基合金和含镍的铸钢,有时也用于铜合金。

6.6.3 铝及其合金

铸造生产中配制一般的铝合金,应尽量采用 GB

为改善铸造铝合金的性能,我国和一些工业国正不断扩大高纯度铝合金的应用。GB 8179—87 规定的高纯铝(表 1-61),可供配制高纯度铝合金用。

表 1-61 高纯铝(GB 8179—87)

| 牌 号 | 化 学 成 分 | | | | | | | | | | |
|--------|-------------|-----------------------------------|-------|----|------|------|------|------|------|------|-----|
| | Al ≥ (%) | 杂质含量 ≤ (10 ⁻⁶) | | | | | | | | | |
| | | Si | Fe | Cu | Pb | Zn | Ga | Ti | Cd | Ag | In |
| Al-05 | 99.999 | 2.82 | 82.80 | Si | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.0 |
| Al-055 | 99.9995 | Si + Fe + Cu + Zn + Ti + Ga < 5.0 | | | | | | | | | |

炼钢脱氧用的铝,要求不必太高,可用表 1-62 规定的 4 号铝。

表 1-62 炼钢脱氧用铝锭(YB/Z 4—75)

| 牌 号 | 代 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | |
|------|-----|-------------|-------|-----|------|-------|------|
| | | Al 不小于 | 杂质不大于 | | | | |
| | | | Fe | Si | Cu | Cu+Si | 杂质总量 |
| 4 号铝 | Al4 | 95.0 | 3.5 | 2.0 | 0.05 | 4.8 | 5.0 |

铸造厂熔制铝合金时,如直接采用相同牌号的铝合金锭,是很方便的。GB 8733—88 规定了各种铸造铝合金锭的基本化学成分(表 1-63)和允许的杂质含量(表 1-64),可参照选用。

表 1-63 各种铸造铝合金锭的基本化学成分(GB 8733—88) (%)

| 合金牌号 | 合金代号 | Si | Cu | Mg | Zn | Mn | Ti | 其它 | Al | |
|---------|--------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|-------------|------------|---|
| 101号铸铝锭 | ZLD101 | 6.5~7.5 | — | 0.30~0.50 | — | — | — | — | 余量 | |
| 102号铸铝锭 | ZLD102 | 10.0~13.0 | — | — | — | — | — | — | | |
| 103号铸铝锭 | ZLD103 | 4.5~6.0 | 2.0~3.5 | 0.4~0.7 | — | 0.3~0.7 | — | — | | |
| 104号铸铝锭 | ZLD104 | 8.0~10.5 | — | 0.2~0.35 | — | 0.2~0.5 | — | — | | |
| 105号铸铝锭 | ZLD105 | 4.5~5.5 | 1.0~1.5 | 0.45~0.65 | — | — | — | — | | |
| 106号铸铝锭 | ZLD106 | 7.5~8.5 | | 0.35~0.55 | — | 0.3~0.5 | 0.10~0.25 | — | | |
| 107号铸铝锭 | ZLD107 | 6.5~7.5 | 3.5~4.5 | — | — | — | — | — | | |
| 108号铸铝锭 | ZLD108 | 11.0~13.0 | 1.0~2.0 | 0.5~1.0 | — | 0.3~0.9 | — | — | | |
| 109号铸铝锭 | ZLD109 | | 0.5~1.5 | 0.9~1.5 | — | — | — | Ni0.8~1.5 | | |
| 110号铸铝锭 | ZLD110 | 4.0~6.0 | 5.0~8.0 | 0.3~0.5 | — | — | — | — | | |
| 111号铸铝锭 | ZLD111 | 8.0~10.0 | 1.3~1.8 | 0.45~0.65 | — | 0.1~0.35 | 0.1~0.35 | — | | |
| 115号铸铝锭 | ZLD115 | 4.8~6.2 | — | 0.45~0.7 | 1.2~1.8 | — | — | Sb0.1~0.25 | | |
| 116号铸铝锭 | ZLD116 | 6.5~8.5 | — | 0.40~0.60 | — | — | 0.10~0.30 | Be0.15~0.40 | | |
| 201号铸铝锭 | ZLD201 | — | 4.5~5.3 | — | — | — | 0.6~1.0 | 0.15~0.35 | | — |
| 202号铸铝锭 | ZLD202 | | 9.0~11.0 | — | — | — | — | — | | — |
| 203号铸铝锭 | ZLD203 | — | 4.0~5.0 | — | — | — | — | — | | |
| 207号铸铝锭 | ZLD207 | 1.6~2.0 | 3.0~3.4 | 0.2~0.3 | — | — | 0.9~1.2 | — | ① | |
| 301号铸铝锭 | ZLD301 | — | — | 0.15~0.25 | — | — | — | — | — | |
| 303号铸铝锭 | ZLD303 | 0.8~1.3 | | 4.6~5.6 | — | — | 0.1~0.4 | — | — | |
| 305号铸铝锭 | ZLD305 | — | | 7.6~9.0 | 1.0~1.5 | — | — | 0.1~0.2 | Be0.03~0.1 | |
| 401号铸铝锭 | ZLD401 | 6.0~8.0 | | — | 0.15~0.35 | 9.2~13.0 | — | — | — | |
| 402号铸铝锭 | ZLD402 | — | | — | 0.55~0.70 | 5.2~6.5 | — | 0.15~0.25 | Cr0.4~0.6 | |
| 001号铸铝锭 | ZLD001 | — | — | — | — | — | 1.5~1.7 | — | | |

① ZLD207含Ni0.2%~0.3%,Zr0.15%~0.25%和RE1.4%~5.0%。

表 1-64 各种铸造铝合金锭的杂质最高含量(GB 8733—88) (%)

| 合金代号 | Fe | Si | Cu | Mg | Zn | Mn | Ti | Zr | Ti+Zr | Be | Ni | Sr | Pb | 其它 | 总和 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-------|------|------|------|------|--------------------|------|
| ZLD101 | 0.45 | — | 0.2 | — | 0.2 | 0.35 | — | — | 0.15 | 0.1 | — | 0.01 | 0.05 | — | 1.4 |
| ZLD102 | 0.6 | — | 0.3 | 0.10 | 0.1 | 0.5 | 0.20 | — | — | — | — | — | — | — | 1.6 |
| ZLD103 | 0.45 | — | — | — | 0.25 | — | — | — | — | — | — | 0.01 | 0.05 | — | 1.2 |
| ZLD104 | 0.45 | — | 0.1 | — | 0.25 | — | — | — | 0.15 | — | — | 0.01 | 0.05 | — | 1.2 |
| ZLD105 | 0.45 | — | — | — | 0.2 | 0.5 | — | — | 0.15 | 0.1 | — | 0.01 | 0.05 | — | 1.3 |
| ZLD106 | 0.5 | — | — | — | 0.2 | — | — | — | — | — | — | 0.01 | 0.05 | — | 1.1 |
| ZLD107 | 0.4 | — | — | 0.1 | 0.2 | 0.3 | — | — | — | — | — | 0.01 | 0.05 | — | 0.9 |
| ZLD108 | 0.4 | — | — | — | 0.2 | — | 0.20 | — | — | — | 0.3 | 0.01 | 0.05 | — | 0.8 |
| ZLD109 | 0.4 | — | — | — | 0.2 | 0.2 | 0.20 | — | — | — | — | 0.01 | 0.05 | — | 0.8 |
| ZLD110 | 0.5 | — | — | — | 0.5 | 0.5 | — | — | — | — | 0.3 | 0.01 | 0.05 | — | 1.5 |
| ZLD111 | 0.35 | — | — | — | 0.1 | — | — | — | — | — | — | 0.01 | 0.05 | — | 1.0 |
| ZLD115 | 0.25 | — | 0.1 | — | — | 0.1 | — | — | — | — | — | 0.01 | 0.05 | — | 1.0 |
| ZLD116 | 0.5 | — | 0.3 | — | 0.3 | 0.1 | — | 0.2 | — | — | — | 0.01 | 0.05 | Be0.10 | 1.0 |
| ZLD201 | 0.20 | 0.3 | — | 0.05 | 0.2 | — | — | 0.2 | — | — | 0.1 | — | — | — | 1.0 |
| ZLD202 | 0.8 | 1.0 | — | 0.3 | 0.5 | 0.5 | — | — | — | — | 0.5 | — | — | — | 3.0 |
| ZLD203 | 0.6 | 1.2 | — | 0.03 | 0.2 | 0.1 | 0.20 | 0.1 | — | — | — | 0.01 | 0.05 | — | 2.2 |
| ZLD207 | 0.5 | — | — | — | 0.2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.8 |
| ZLD301 | 0.25 | 0.3 | 0.1 | — | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.2 | — | 0.07 | 0.05 | 0.01 | 0.05 | — | 1.0 |
| ZLD303 | 0.45 | — | 0.1 | — | 0.2 | — | 0.2 | — | — | — | — | — | — | — | 0.7 |
| ZLD305 | 0.25 | 0.2 | 0.1 | — | — | 0.1 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.9 |
| ZLD401 | 0.6 | — | 0.6 | — | — | 0.5 | — | — | — | — | — | — | — | — | 1.6 |
| ZLD402 | 0.4 | 0.3 | 0.25 | — | — | 0.1 | — | — | — | — | — | — | — | 各0.05 ^① | 1.25 |
| ZLD001 | 0.3 | 0.20 | — | — | — | — | 0.15 | — | — | — | — | — | — | Re0.03 | |

① 其它杂质的总量为0.15。

GB8735—88 规定了供配制铝合金用的各种铝中间合金锭的化学成分和主要物理性能,见表 1-65。

表 1-65 各种铝中间合金锭的化学成分和主要物理性能(GB 8735—88)

| 合金 牌号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | | | | 物 理 性 能 | | |
|----------|-----------------------|----|-----------|------|------|------|-------|-------|-----------|-------|-------|------|------|-----------------|-----------|-----|
| | 主要成分 | | 杂 质 含 量 ≤ | | | | | | | | | | | 熔 化 温 度 (°C) | 特 性 | |
| | 合金元素 | Al | Cu | Si | Mn | Ti | Ni | Cr | Zr | Fe | Zn | Mg | Pb | | | Sn |
| AlCu50 | Cu48.0~52.0 | 余量 | — | 0.40 | 0.35 | 0.10 | 0.20 | 0.10 | — | 0.45 | 0.30 | 0.30 | 0.20 | 0.10 | 570~600 | 脆 |
| AlSi24 | Si22.0~26.0 | | 0.20 | — | 0.35 | 0.1 | 0.20 | 0.10 | — | 0.45 | 0.2 | 0.40 | 0.10 | 0.10 | 700~800 | 脆 |
| AlSi20 | Si18.0~21.0 | | 0.20 | — | 0.35 | 0.1 | 0.20 | 0.10 | — | 0.45 | 0.2 | 0.40 | 0.10 | 0.10 | 640~700 | 脆 |
| AlMn10 | Mn9.0~11.0 | | 0.20 | 0.40 | — | 0.1 | 0.20 | 0.10 | — | 0.45 | 0.2 | 0.50 | 0.10 | 0.10 | 770~830 | 韧 |
| AlTi4 | Ti3.0~5.0 | | — | 0.2 | — | — | — | — | — | 0.3 | 0.1 | — | — | — | 1020~1070 | 易偏析 |
| AlTi5 | Ti4.5~6.0 | | 0.15 | 0.50 | 0.35 | — | 0.10 | 0.10 | V 0.25 | 0.45 | 0.15 | 0.50 | 0.10 | 0.10 | 1050~1100 | 易偏析 |
| AlNi10 | Ni9.0~11.0 | | — | 0.2 | 0.1 | — | — | — | — | 0.5 | — | — | 0.1 | — | 680~730 | 韧 |
| AlCr2 | Cr2.0~3.0 | | — | 0.2 | — | — | — | — | — | 0.5 | 0.1 | — | — | — | 900~1000 | 易偏析 |
| AlB3 | B2.5~3.5 | | 0.1 | 0.2 | — | — | — | — | — | 0.4 | 0.1 | — | — | — | 800 | 韧 |
| AlB1 | B0.5~1.5 | | 0.1 | 0.2 | — | — | — | — | — | 0.3 | 0.1 | — | — | — | 800 | 韧 |
| AlZr4 | Zr3.0~5.0 | | — | 0.2 | — | — | — | — | — | 0.3 | 0.1 | — | 0.1 | — | 800~850 | 易偏析 |
| AlSb4 | Sb3.0~5.0 | | — | 0.2 | — | — | — | — | — | 0.3 | — | — | — | — | 660 | 易偏析 |
| AlFe20 | Fe18.0~22.0 | | 0.1 | 0.2 | 0.3 | — | — | — | — | 0.1 | — | — | — | — | 1020 | 脆 |
| AlTi5B1 | Ti5.0~6.2 B0.9~1.4 | | 0.020 | 0.20 | 0.02 | — | 0.040 | 0.020 | 0.020 | 0.300 | 0.030 | 0.02 | — | — | 800 | 易偏析 |
| AlBe3 | Be2.0~4.0 | — | 0.2 | — | — | — | — | — | 0.25 | 0.1 | — | — | — | 820 | 韧 | |

6.6.4 镁

金用,见表 1-66。

GB 3499—83 规定供重熔用的镁锭,供配制镁合

表 1-66 重熔用镁锭(GB 3499—83)

| 级别 | 牌号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | |
|----|---------|-------------|-----------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| | | Mg 不少于 | 杂 质 不 大 于 | | | | | | | |
| | | | Fe | Si | Ni | Cu | Al | Cl | Mn | 杂质总量 |
| 一级 | Mg99.95 | 99.95 | 0.02 | 0.01 | 0.001 | 0.005 | 0.01 | 0.003 | 0.015 | 0.05 |
| 二级 | Mg99.90 | 99.90 | 0.04 | 0.01 | 0.001 | 0.01 | 0.02 | 0.005 | 0.03 | 0.10 |
| 三级 | Mg99.80 | 99.80 | 0.05 | 0.03 | 0.002 | 0.02 | 0.05 | 0.005 | 0.06 | 0.20 |

6.6.5 锌及其合金

锌锭见表 1-67, 铸造锌合金锭见表 1-68。

表 1-67 锌锭 (GB 470—83)

| 牌号 | 代号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | |
|-----|------|-------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| | | Zn ≥ | 杂 质 含 量 ≤ | | | | | | | | 总和 | |
| | | | Pb | Fe | Cd | Cu | Sn | Al | As | Sb | | |
| 0号锌 | Zn-0 | 99.995 | 0.003 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | — | — | — | — | — | 0.005 |
| 一号锌 | Zn-1 | 99.99 | 0.005 | 0.003 | 0.002 | | | | | | | 0.010 |
| 二号锌 | Zn-2 | 99.95 | 0.020 | 0.010 | 0.02 | 0.002 | — | — | — | — | — | 0.050 |
| 三号锌 | Zn-3 | 99.9 | 0.05 | 0.02 | | | | | | | | 0.10 |
| 四号锌 | Zn-4 | 99.5 | 0.3 | 0.03 | 0.07 | 0.005 | 0.002 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.01 | 0.50 |
| 五号锌 | Zn-5 | 98.7 | 1.0 | 0.07 | 0.2 | | | | | | | 0.01 |

表 1-68 铸造锌合金锭 (GB 8738—88)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------|------------|---------|-------|------------|-------|-------|-------|------|------|
| | 主 要 成 分 | | | | | 杂 质 \leq | | | | | |
| | Al | Cu | Mg | Pb | Zn | Fe | Pb | Cd | Sn | Si | Cu |
| ZZnAlD4A | 3.9~4.3 | — | 0.03~0.06 | — | 余量 | 0.03 | 0.003 | 0.003 | 0.001 | — | 0.03 |
| ZZnAlD4 | 3.9~4.3 | — | 0.03~0.06 | — | | 0.1 | 0.005 | 0.003 | 0.002 | — | 0.03 |
| ZZnAlD4-0.1 | 3.5~4.3 | 0.10~0.15 | 0.05~0.1 | — | | 0.1 | 0.005 | 0.003 | 0.003 | — | — |
| ZZnAlD4-0.5 | 3.5~4.3 | 0.5~0.9 | 0.08~0.15 | — | | 0.1 | 0.015 | 0.01 | 0.005 | — | — |
| ZZnAlD4-1A | 3.9~4.3 | 0.50~1.25 | 0.03~0.06 | — | | 0.03 | 0.003 | 0.003 | 0.001 | — | — |
| ZZnAlD4-1 | 3.9~4.3 | 0.50~1.25 | 0.03~0.06 | — | | 0.1 | 0.005 | 0.003 | 0.002 | — | — |
| ZZnAlD4-3A | 3.9~4.3 | 2.50~3.50 | 0.03~0.06 | — | | 0.05 | 0.003 | 0.003 | 0.001 | — | — |
| ZZnAlD4-3 | 3.9~4.3 | 2.50~3.50 | 0.03~0.06 | — | | 0.1 | 0.005 | 0.003 | 0.002 | — | — |
| ZZnAlD5-1 | 4.5~6.0 | 0.8~1.8 | 0.02~0.05 | — | | 0.1 | 0.03 | 0.005 | 0.005 | — | — |
| ZZnAl5-5-1 | 4.5~5.5 | 4.5~5.5 | — | 0.5~1.5 | | 0.1 | — | 0.005 | 0.002 | — | — |
| ZZnAlD6-4 | 6.5~7.5 | 3.5~4.5 | 0.03~0.06 | — | | 0.2 | 0.007 | 0.005 | 0.005 | — | — |
| ZZnAlD9-1.5 | 9.0~11.0 | 1.0~2.0 | 0.03~0.06 | — | | 0.1 | 0.02 | 0.015 | 0.01 | 0.03 | — |
| ZZnAlD10-1 | 9.0~11.0 | 0.6~1.0 | 0.02~0.05 | — | | 0.1 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | — | — |
| ZZnAlD10-2 | 9.0~12.0 | 1.5~2.5 | 0.03~0.06 | — | | 0.2 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | — | — |
| ZZnAlD10-5 | 9.0~12.0 | 4.0~5.5 | 0.03~0.06 | — | | 0.1 | 0.02 | 0.015 | 0.01 | 0.03 | — |
| ZZnAlD11-1 | 10.5~11.5 | 0.50~1.25 | 0.015~0.03 | — | 0.075 | 0.004 | 0.003 | 0.002 | — | — | |

6.6.6 锡、铅、铋

锡锭见表 1-69, 铅锭见表 1-70, 铋见表 1-71。

表 1-69 锡锭 (GB 728—84)

| 牌 号 | 代 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | |
|-----|-------|-------------|----------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | | Sn \geq | 杂 质 含 量 \leq | | | | | | | |
| | | | As | Fe | Cu | Pb | Bi | Sb | S | 总和 |
| 高级锡 | Sn 00 | 99.99 | 0.0007 | 0.0025 | 0.001 | 0.0035 | 0.0025 | 0.0020 | 0.0005 | 0.010 |
| 特号锡 | Sn 0 | 99.95 | 0.003 | 0.004 | 0.004 | 0.025 | 0.006 | 0.01 | 0.001 | 0.05 |
| 一号锡 | Sn-1 | 99.90 | 0.01 | 0.007 | 0.008 | 0.045 | 0.015 | 0.02 | | 0.10 |
| 二号锡 | Sn-2 | 99.80 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.065 | 0.05 | 0.05 | 0.005 | 0.20 |
| 三号锡 | Sn-3 | 99.50 | | 0.02 | 0.03 | 0.35 | | 0.08 | 0.01 | 0.50 |

表 1-70 铅锭 (GB 469—83)

| 牌 号 | Pb \geq | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | |
|------|-----------|----------------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|
| | | 杂 质 含 量 \leq | | | | | | | | |
| | | Ag | Cu | Bi | As | Sb | Sn | Zn | Fe | 总和 |
| Pb-1 | 99.994 | 0.0005 | 0.001 | 0.003 | 0.0005 | 0.001 | 0.001 | 0.0005 | 0.0005 | 0.006 |
| Pb-2 | 99.9 | 0.002 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.05 | 0.01 | 0.002 | 0.002 | 0.10 |
| Pb-3 | 99.0 | 0.003 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 0.2 | 0.01 | 0.01 | 1.0 |

表 1-71 锡分类及技术条件 (GB 1599—79)

| 牌号 | 代号 | Sb ≥ | 化 学 成 分 (%) | | | | | 总和 |
|-----|------|---------|-------------|------|------|------|------|----|
| | | | 杂 质 含 量 ≤ | | | | | |
| | | | As | Fe | S | Cu | | |
| 一号锡 | Sl-1 | 99.95 | 0.05 | 0.02 | 0.04 | 0.01 | 0.15 | |
| 二号锡 | Sb-2 | 99.65 | 0.10 | 0.03 | 0.06 | 0.05 | 0.35 | |
| 三号锡 | Sb-3 | 99.95 | 0.15 | 0.05 | 0.08 | 0.08 | 0.50 | |
| 四号锡 | Sb-4 | 99.00 | 0.25 | 0.25 | 0.20 | 0.20 | 1.00 | |

6.7 其它合金

6.7.1 稀土混合金属

主要供配制有色合金用, 见表 1-72。

表 1-72 稀土混合金属 (GB 4453—84) (%)

| 牌号 | 总稀土金属 含量 ≥ | 稀土中铈 含量 ≥ | 杂 质 含 量 ≤ | | | |
|---------|---------------|--------------|-----------|------|------|------|
| | | | Fe | Si | S | P |
| RECe—48 | 99 | 48 | 0.5 | 0.07 | 0.02 | 0.01 |
| RECe—45 | 98 | 45 | 1.0 | 0.15 | | |

6.7.2 钒铝合金

主要供熔制钛合金时用, 见表 1-73。

表 1-73 钒铝合金 (GB 5063—85) (%)

| 牌号 | V | 化 学 成 分 (%) | | | | Al |
|-------|------------|-------------|------|------|------|----|
| | | Fe | Si | C | O | |
| AlV55 | 50.0~60.0 | 0.35 | 0.30 | 0.15 | 0.20 | 余量 |
| AlV65 | >60.0~70.0 | 0.30 | 0.30 | 0.20 | 0.20 | |
| AlV75 | >70.0~80.0 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | — | |
| AlV85 | >80.0~90.0 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | — | |

6.8 轴承合金

6.8.1 铸造锡基轴承合金锭 (表 1-74)

6.8.2 铸造铅基轴承合金锭 (表 1-75)

表 1-74 铸造锡基轴承合金锭 (GB 8740—88)

| 牌 号 | | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | | 硬 度 ≥ (HBS) |
|--------------------|---------------------|-------------|---------|-----------|----|------|-----------|------|-------|------|-------|------|-------------------|
| | | 主 要 成 分 | | | | | 杂 质 含 量 ≤ | | | | | | |
| 汉字牌号 | 代 号 | Sb | Cu | Pb | Sn | As | Pb | Fe | Zn | Bi | Al | 总和 | |
| 4-4 锡基轴承合金锭 | ZChSnSbD 4-4 | 4.0~5.0 | 4.0~5.0 | — | 余量 | 0.10 | 0.35 | 0.06 | 0.008 | 0.08 | 0.005 | 0.6 | 20 |
| 8-4 锡基轴承合金锭 | ZChSnSbD 8-4 | 7.0~8.0 | 3.0~4.0 | — | 余量 | 0.10 | 0.35 | 0.06 | 0.008 | 0.08 | 0.005 | 0.6 | 24 |
| 8-8 锡基轴承合金锭 | ZChSnSbD 8-8 | 7.5~8.5 | 7.5~8.5 | — | 余量 | 0.10 | 0.35 | 0.08 | 0.008 | 0.08 | 0.005 | 0.6 | 27 |
| 9-7 锡基轴承合金锭 | ZChSnSbD 9-7 | 8.0~10.0 | 6.0~8.0 | — | 余量 | 0.10 | 0.35 | 0.1 | 0.01 | 0.1 | 0.01 | 0.65 | — |
| 11-6 锡基轴承合金锭 | ZChSnSbD 11-6 | 10.0~12.0 | 5.5~6.5 | — | 余量 | 0.05 | 0.35 | 0.08 | 0.008 | 0.05 | 0.005 | 0.5 | 27 |
| 12-10-4 锡基轴承合金锭 | ZChSnSbD 12-10-4 | 11.0~13.0 | 2.5~5.0 | 9.0~11.0 | 余量 | 0.1 | — | 0.08 | 0.008 | 0.08 | 0.01 | 0.3 | 29 |
| 32-8-3 锡基轴承合金锭 | ZChSnSbD 32-8-3 | 7.0~9.0 | 3.0~3.5 | 30.0~35.0 | 余量 | 0.1 | — | 0.1 | 0.01 | 0.08 | 0.01 | 0.4 | 15~20 |

注: 铸锭的硬度值仅做参考, 不做验收依据。

表 1-75 铸造铅基轴承合金锭 (GB 8740—88)

| 牌 号 | | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | | 硬 度 ≥ (HBS) | | |
|--------------------|---------------------|---------------|-------------|---------------|-------------|----|-----------|-----|------|-------|-----|------|-------------------|-----|----|
| | | 主 要 成 分 | | | | | 杂 质 含 量 ≤ | | | | | | | | |
| 汉字牌号 | 代 号 | Sb | Cu | Sn | As | Cd | Pb | As | Fe | Zn | Bi | Cu | Al | 总和 | |
| 16-1-1 铅基轴承合金锭 | ZChPbSbD 16-1-1 | 14.5~ 17.5 | — | 0.8~ 1.2 | 0.8~ 1.4 | — | 余量 | — | 0.1 | 0.005 | 0.1 | 0.6* | 0.005 | 0.3 | 21 |
| 16-16-2 铅基轴承合金锭 | ZChPbSbD 16-16-2 | 15.0~ 17.0 | 1.5~ 2.0 | 15.0~ 17.0 | — | — | 余量 | 0.1 | 0.08 | 0.05 | 0.1 | — | 0.01 | 0.4 | 30 |

(续)

| 牌 号 | | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | | | 硬 度 ≥ (HBS) | |
|--------------------|---------------------|---------------|-------------|--------------|-------------|-------------|----|-----------|-----|------|-----|------|-------|-------------------|-----------|
| | | 主 要 成 分 | | | | | | 杂 质 含 量 ≤ | | | | | | | |
| 汉字牌号 | 代 号 | Sb | Cu | Sn | As | Cd | Pb | As | Fe | Zn | Bi | Cu | Al | 总和 | |
| 15-11-2 铅基轴承合金锭 | ZChPbSbD 15-11-2 | 14.0~ 16.0 | 1.0~ 2.0 | 9.0~ 12.0 | — | — | 余量 | 0.1 | 0.1 | 0.05 | 0.1 | — | 0.05 | 0.5 | — |
| 15-10 铅基轴承合金锭 | ZChPbSbD 15-10 | 14.0~ 16.0 | 0.1~ 0.5 | 9.0~ 11.0 | — | — | 余量 | 0.2 | 0.1 | 0.05 | 0.1 | — | 0.005 | 0.5 | 24 |
| 15-5-3 铅基轴承合金锭 | ZChPbSbD 15-5-3 | 14.0~ 16.0 | 2.5~ 3.0 | 5.0~ 6.0 | 0.6~ 1.0 | 1.8~ 2.3 | 余量 | — | 0.1 | 0.05 | 0.1 | — | — | 0.3 | 32 |
| 15-5 铅基轴承合金锭 | ZChPbSbD 15-5 | 14.0~ 15.5 | 0.5~ 1.0 | 4.0~ 5.5 | — | — | 余量 | 0.2 | 0.1 | 0.05 | 0.1 | — | 0.01 | 0.5 | 20 |
| 14-5 铅基轴承合金锭 | ZChPbSbD 14-5 | 14.0~ 15.0 | 0.1~ 0.5 | 4.0~ 6.0 | — | — | 余量 | 0.1 | 0.1 | 0.05 | 0.1 | — | 0.01 | 0.4 | 20~ 27 |
| 13-7-1 铅基轴承合金锭 | ZChPbSbD 13-7-1 | 12.0~ 14.0 | — | 6.0~ 8.0 | 0.8~ 1.2 | — | 余量 | — | 0.1 | 0.05 | 0.1 | 0.5* | 0.01 | 0.3 | — |
| 10-6 铅基轴承合金锭 | ZChPbSbD 10-6 | 9.0~ 11.0 | 0.1~ 0.5 | 5.0~ 7.0 | — | — | 余量 | 0.1 | 0.1 | 0.05 | 0.1 | — | 0.01 | 0.4 | 18 |

注：1. 铸锭的硬度值仅做参考，不做验收依据。

2. 带*号者均不计入杂质总和内。

7 耐火材料和隔热材料

7.1 耐火材料的耐火度及其评定

耐火材料在高温下难熔的程度称为耐火度。耐火制品中都含有起烧结作用的易熔物质，其熔融不像晶体那样在某一固定温度下进行，而是在一较宽的温度范围内进行。在较低的温度下即有少量熔体形成，随着所处的温度升高，熔体的量不断增加，表现为制品逐渐软化。耐火度和熔点（晶体的）是不同的概念。

各种耐火材料，因其形态和使用条件不同，用不同的指标说明其耐火性能，试验方法当然也各异。一般说来，不定形耐火材料用耐火度；成形耐火制品用荷重软化温度；隔热材料用高温下的重烧线变化。

7.1.1 用高温试锥测定耐火度

将待试的制品破碎、磨细，加入不影响耐火度的有机粘结剂（通常为糊精），用水调和，制成标准尺寸的试锥，见图 1-1。试锥为正三角角锥，底部边长 8.5mm，顶部边长为 2mm。

试验时，选用相当于待试制品耐火度的高温标准锥 2 个，高 1 号和低 1 号的高温标准锥各一个，与 2 个待测试锥一并按规定插在高铝料制成的锥台上，使一个锥棱与垂线成 $8^\circ \pm 1^\circ$ 的夹角倾斜。然后，将锥台置高温炉中加热。当试锥与某一高温标准锥同时弯倒到顶部接触锥台，则此高温标准锥的耐火度就是待试制品的耐火度。

我国规定的高温标准锥共有 26 个锥号，其对应

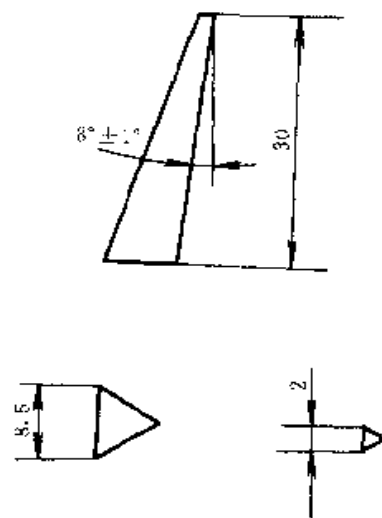


图 1-1 试锥示意图

的最低耐火度为 1230℃，最高耐火度为 1830℃。锥号的数字，是其对应耐火度温度（℃）值的 1/10。

国际上使用甚广的高温标准锥是塞格（Segger）锥，共有 59 个锥号，其对应的耐火度最低者为 600℃、最高者为 2000℃。

有时，耐火制品上标有塞格锥号以显示其耐火度，如 SK32 表示其耐火度相当于塞格 32 号锥，即 1710℃。

我国高温标准锥与塞格锥的对照，及其对应的耐火度列于表 1-76。表中塞格锥号未全部列入，只取其耐火度与我国高温标准锥相当的 26 个。

表 1-76 高温标准锥

| 我国高温标准锥号 | Segeer 锥号 SK | 对应的耐火度温度 (°C) | 我国高温标准锥号 | Segeer 锥号 SK | 对应的耐火度温度 (°C) |
|----------|--------------|---------------|----------|--------------|---------------|
| 123 | 7 | 1230 | 154 | | 1540 |
| 125 | 8 | 1250 | | 26 | 1560 |
| 128 | 9 | 1280 | 158 | | 1580 |
| 130 | 10 | 1300 | 161 | 27 | 1610 |
| 132 | 11 | 1320 | 163 | 28 | 1630 |
| 135 | 12 | 1350 | 165 | 29 | 1650 |
| 138 | 13 | 1380 | 167 | 30 | 1670 |
| 141 | 14 | 1410 | 169 | 31 | 1690 |
| 143 | | 1430 | 171 | 32 | 1710 |
| | 15 | 1435 | 173 | 33 | 1730 |
| 146 | 16 | 1460 | 175 | 34 | 1750 |
| 148 | 17 | 1480 | 177 | 35 | 1770 |
| 150 | 18 | 1500 | 179 | 36 | 1790 |
| 152 | 19 | 1520 | | 37 | 1825 |
| | 20 | 1530 | | | 1830 |

7.1.2 测定荷重软化温度

将耐火制品破碎、磨细，加粘结剂和水调和，制成外径 50mm，内径 12~13mm，高 50mm 的试样。使其承受恒定的载荷（一般为 0.2MPa），加热并持续升温，直到其产生规定的变形。此时记录的温度即待试制品的荷重软化温度。

7.1.3 测定重烧线变化

将耐火制品按前述方法备料，制成 50mm ×

表 1-78 一般用途的粘土质耐火砖 (YB/T 5106—93)

| 项 目 | 牌 号 及 指 标 | | | | | | | |
|------------------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | N-1 | N-2a | N-2b | N-3a | N-3b | N-4 | N-5 | N-6 |
| 耐火度 ≥ (°C) | 1750 | 1730 | 1730 | 1710 | 1710 | 1690 | 1670 | 1580 |
| 0.2MPa 载荷软化开始温度 ≥ (°C) | 1400 | 1350 | — | 1320 | — | 1300 | — | — |
| 重烧线变化 (%) | 1400°C, 2h | +0.1 | +0.1 | +0.2 | — | — | — | — |
| | | -0.4 | -0.5 | -0.5 | — | — | — | — |
| 重烧线变化 (%) | 1350°C, 2h | — | — | — | +0.2 | +0.2 | +0.2 | +0.2 |
| | | — | — | — | -0.5 | -0.5 | -0.5 | -0.5 |
| 显气孔率 ≤ (%) | 22 | 24 | 26 | 24 | 26 | 24 | 26 | 28 |
| 常温耐压强度 ≥ (MPa) | 29.4 | 24.5 | 19.6 | 19.6 | 14.7 | 19.6 | 14.7 | 14.7 |

50mm × (60 ± 2) mm 的长方棱柱，置于氧化气氛的炉内，按规定的速率加热到试验温度，保温一定时间，冷却到室温，测量其长度。试样在长度方面的尺寸变化与初始尺寸之比，即重烧线变化。

7.2 耐火材料的分类

耐火材料可按其形态分为成形耐火制品和不定形耐火材料两大类。每一类中，又可按其化学成分和抗炉渣侵蚀的性能分为酸性、碱性和中性三个类别。

耐火材料的类别及其特点，见表 1-77。

表 1-77 耐火材料的类别及其特点

| 耐火材料类别 | 特 点 | 常 用 品 种 |
|--------|--------------------------------|--------------------------|
| 酸性 | 高温下能耐酸性炉渣的侵蚀，但易被碱性炉渣侵蚀 | 硅砖，粘土质耐火砖，红硅石，以硅砂为主的打结材料 |
| 碱性 | 耐火度都较酸性耐火材料高，耐碱性炉渣侵蚀，但易被酸性炉渣侵蚀 | 镁砖，镁铬或镁硅质砖，镁砂，白云石，镁橄榄石 |
| 中性 | 在高温下与碱性或酸性炉渣反应轻微或无反应 | 高铝质耐火材料，碳质耐火材料，石墨，碳化硅 |

7.3 成形耐火制品

7.3.1 粘土质耐火砖

粘土质耐火砖，因其使用条件不同而有许多品种，对其性能的要求也不尽相同。

一般用途的粘土质耐火砖的性能要求，见表 1-78。

浇注用粘土质耐火砖（表 1-79）包括：漏斗砖、铸管砖、中心砖、流钢砖和铸口砖等多种制品，主要供铸盘铸钢锭用，大型铸件也用其中某些品种作浇注系统。

表 1-79 浇注用粘土质耐火砖（YB/T 5109—93）

| 项 目 | 牌 号 及 指 标 | | |
|---|-----------|--------------|--------|
| | JZN-40 | JZN-36 | JZN-28 |
| Al ₂ O ₃ 含量 ≥ (%) | 40 | 36 | 28 |
| 耐火度 ≥ (°C) | 1710 | 1690 | 1670 |
| 1350°C, 2h 重烧线变化 (%) | | +0.1 -0.3 | |
| 显气孔率 (%) | | 17~25 | |

盛钢桶用粘土质衬砖供修砌浇包用，其牌号和规格，见表 1-80。

盛钢桶内用粘土质耐火砖，包括塞头砖、铸口砖、袖砖和座砖，其牌号和规格见表 1-81。

表 1-80 盛钢桶用粘土质衬砖（YB/T 5111—93）

| 项 目 | 牌 号 及 指 标 | | |
|---|-----------|-------|-------|
| | CN-42 | CN-40 | CN-36 |
| Al ₂ O ₃ 含量 ≥ (%) | 42 | 40 | 36 |
| 耐火度 ≥ (°C) | 1750 | 1730 | 1690 |
| 0.20MPa 载荷软化开始温度 ≥ (°C) | 1430 | 1400 | 1370 |
| 1400°C, 2h 重烧线变化 (%) | -0.3 | -0.3 | -0.3 |
| 显气孔率 ≤ (%) | 18 | 19 | 19 |
| 常温耐压强度 ≥ (MPa) | 39.2 | 34.3 | 29.4 |

表 1-81 盛钢桶内用粘土质耐火砖（YB/T 5112—93）

| 项 目 | 牌 号 及 指 标 | | | |
|---|--------------|--------------|-------------|-------------|
| | 塞头砖 SN-40 | 铸口砖 KN-40 | 袖砖 XN-40 | 座砖 ZN-40 |
| Al ₂ O ₃ 含量 ≥ (%) | 40 | | | |
| 耐火度 ≥ (°C) | 1710 | | | |
| 0.20MPa 载荷软化开始温度 ≥ (°C) | 1370 | | — | |
| 1350°C, 2h 重烧线变化 (%) | — | | -0.3 | — |
| 显气孔率 (%) | 15~23 | ≥22 | 15~25 | ≥23 |
| 常温耐压强度 ≥ (MPa) | — | | | 19.6 |

7.3.2 高铝质耐火砖

含 Al₂O₃ 45% 以上的耐火材料，都称为高铝质耐火材料，Al₂O₃ 含量愈高，耐火性能就愈好。高铝质耐火材料的耐火度和抗炉渣侵蚀性能都比粘土质耐火材料好。各种高铝质耐火砖的理化指标，见表 1-82。

表 1-82 各种高铝质耐火砖的理化指标

| 耐火砖的种类和牌号 | | Al ₂ O ₃ 含量 ≥ (%) | 耐火度 ≥ (°C) | 0.20MPa 载荷软化开始温度 ≥ (°C) | 重烧线变化 (%) | | 显气孔率 ≤ (%) | 常温耐压强度 ≥ (MPa) | 依据标准 |
|-----------|-------|---|------------|-------------------------|-------------------|--------------|----------------------|----------------------|-------------|
| | | | | | 1500°C 2h | 1450°C 2h | | | |
| 一的一般高用铝途砖 | LZ-75 | 75 | 1790 | 1520 | +0.1 -0.4 | — | 23 | 53.9 | GE2988—87 |
| | LZ-65 | 65 | | 1500 | | | | 49.0 | |
| | LZ-55 | 55 | 1770 | 1470 | 22 | 44.1 | | | |
| | LZ-48 | 48 | 1750 | 1420 | | 39.2 | | | |
| 炼用钢高电铝炉砖顶 | DL-80 | 80 | 1790 | 1550 | -0.3 ^① | — | 19 (21) ^② | 78.5 | YB/T5017—93 |
| | DL-75 | 75 | | 1530 | -0.4 ^③ | — | | 68.6 | |
| | DL-65 | 65 | | 1520 | -0.4 | — | | 22 (23) ^③ | |

(续)

| 耐火砖的种类和牌号 | Al ₂ O ₃ 含量 ≥ (%) | 耐火度 ≥ (°C) | 0.20MPa载 荷软化开 始温度 ≥ (°C) | 重烧线变化 (%) | | 显气孔率 ≤ (%) | 常温耐 压强度 ≥ (MPa) | 依据标准 |
|--|--|--------------------|-----------------------------------|--------------|--------------|--------------------|-----------------------|--------------|
| | | | | 1500°C 2h | 1450°C 2h | | | |
| 盛高 铝 桶 质 用 衬 砖 | CL-48 | 48 | 1750 | — | +0.1 -0.4 | 21 | 34.3 | YB/T 5020—93 |
| | CL-55 | 55 | 1770 | — | +0.1 -0.4 | 22 | 39.2 | |
| | CL-65 | 65 | 1790 | +0.1 -0.5 | — | 23 | 34.3 | |
| | CL-75 | 75 | 1790 | — | — | 23 | 39.2 | |
| 盛高 铝 桶 质 内 耐 铸 火 钢 砖 用 | 塞头砖 SL-48 | 48~55 ^② | 1750 | 1450 | — | 18~24 ^④ | — | YB/T 5021—93 |
| | 铸口砖 KI-48 | | | | | | | |
| | 袖砖 XL-48 | | | | | 18~24 ^④ | | |
| | 座砖 ZL-48 | | | | | 25 | | |

- ① DL-80 和 DL-75 的重烧线变化的试验条件为：1550°C，2h。
- ② 括号外数字是炉顶砖的规格要求，括号内的为拱角砖的要求。
- ③ 此栏 Al₂O₃ 含量的规格为范围值。
- ④ 此栏显气孔率的规格为范围值。

7.3.3 硅质耐火砖

简称为硅砖，其牌号和规格见表 1-83。

表 1-83 硅砖 (GB2608—87)

| 项 目 | 牌号及指标 | | |
|----------------------------|-------|-------|-------|
| | GZ-95 | GZ-94 | GZ-93 |
| SiO ₂ 含量 ≥ (%) | 95 | 94 | 93 |
| 耐火度 ≥ (°C) | 1710 | 1710 | 1690 |
| 0.20MPa 载荷软化开始温度 ≥ (°C) | 1650 | 1640 | 1620 |
| 显气孔率 ≤ (%) | 22 | 23 | 25 |
| 常温耐压强度 ≥ (MPa) | 29.4 | 24.5 | 19.6 |
| 真密度 ≤ (g/cm ³) | 2.37 | 2.38 | 2.39 |

(续)

| 项 目 | 牌号及指标 | | | |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | MZ-91 | MZ-89 | MZ-87 | MZ-82 |
| 0.20MPa 载荷软化开始温度 ≥ (°C) | 1550 | 1540 | 1520 | 1550 |
| 显气孔率 ≤ (%) | 18 | 20 | 20 | 20 |
| 常温耐压强度 ≥ (MPa) | 58.8 | 49 | 39.2 | 39.2 |
| 1650°C，2h 重烧线变化 ≤ (%) | 0.5 | 0.6 | — | — |

7.3.4 镁质耐火砖

镁质耐火砖包括镁砖、镁硅砖、镁铬砖和镁铝砖等多种以 MgO 为主要成分的碱性耐火砖，其理化指标分别见表 1-84、表 1-85 和表 1-86。

表 1-84 镁砖及镁硅砖 (GB2275—87)

| 项 目 | 牌号及指标 | | | |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | MZ-91 | MZ-89 | MZ-87 | MZ-82 |
| MgO 含量 ≥ (%) | 91 | 89 | 87 | 82 |
| SiO ₂ 含量 (%) | — | — | — | 5~10 |
| CaO 含量 ≥ (%) | 3 | | | 2.5 |

表 1-85 镁铬砖 (YB/T5011—93)

| 项 目 | 牌号及指标 | | | |
|---|--------|--------|--------|-------|
| | MGe-20 | MGe-16 | MGe-12 | MGe-8 |
| MgO 含量 ≥ (%) | 40 | 45 | 55 | 60 |
| Cr ₂ O ₃ 含量 ≥ (%) | 20 | 16 | 12 | 8 |
| 0.20MPa 载荷软化开始温度 ≥ (°C) | 1550 | 1550 | 1550 | 1530 |
| 显气孔率 ≤ (%) | 23 | 23 | 23 | 24 |
| 常温耐压强度 ≥ (MPa) | 24.5 | 24.5 | 24.5 | 24.5 |

表 1-86 平炉用镁铝砖 (GB2276—87)

| 项 目 | 牌号及指标 | |
|---------------------------------------|--------|--------|
| | ML 80A | ML-80B |
| MgO 含量 \geq (%) | 80 | 80 |
| Al ₂ O ₃ 含量 (%) | 5~10 | 5~10 |
| 0.2MPa 载荷软化开始温度 \geq (°C) | 1600 | 1580 |
| 显气孔率 \leq (%) | 18 | 20 |
| 常温耐压强度 \geq (MPa) | 39.3 | 29.4 |

7.3.5 碳质砖和碳化硅砖

碳质砖以焦炭粉或无烟煤粉为主要原料,以焦油沥青为粘结剂,经成形、烧结而成。天然石墨砖以天然石墨为主料,以焦油沥青为粘结剂,经成形、烧结而成。

人造石墨砖则是以沥青焦或石油焦为主要原料,以焦油沥青为粘结剂,经成形、烧结、高温石墨化和必要的加工制成的。

碳化硅砖以碳化硅为主要原料,以不同的粘结剂结合,经成形、烧结而成。

由于这类砖目前尚无标准,现将一些性能数据列于表 1-87 和表 1-88。供参考。

表 1-87 碳质砖和石墨砖的性能

| 品 种 | | 固定碳 \geq (%) | 挥发分 (%) | 气孔率 \leq (%) | 密度 \geq (g/cm ³) | 灰分 \leq (%) | 耐压强度 \geq (MPa) |
|-------|----|----------------------|------------|----------------------|--------------------------------------|---------------------|-------------------------|
| 碳质砖 | 一类 | 90 | ≥ 1.0 | 20 | 1.5 | 8 | 34.3 |
| | 二类 | 88 | ≤ 1.0 | 25 | 1.5 | 10 | 19.6 |
| 天然石墨砖 | 一类 | 80 | ≤ 1.0 | 20 | 1.7 | 18 | 19.6 |
| | 二类 | 78 | ≤ 1.0 | 23 | 1.6 | 20 | 14.7 |
| 人造石墨砖 | | 97 | ≤ 1.0 | 30 | 1.5 | 1.5 | 24.5 |

表 1-88 碳化硅砖的主要性能

| 品 种 | 主要组成成分 (°C) | 耐火度 \geq (°C) | 最高使用温度 (°C) | 显气孔率 \leq (%) | 常温耐压强度 \geq (MPa) | 0.2MPa 载荷软化点 (°C) | 密度 \geq (g/cm ³) |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------|----------------|-----------------------|---------------------------|----------------------|--------------------------------------|
| 粘土结合的碳化硅砖 | SiC 约 87 SiO ₂ 约 10 | 1800 | 1450 | 30 | 68.6 | >1620 | 2.1 |
| 硅铁结合的碳化硅砖 | SiC 约 87 硅铁约 10 | 1800 | 1500 | 16 | 73.5 | >1680 | 2.4 |
| 再结晶的碳化硅砖 | SiC 近于 100 | | 1800 | 32 | 68.6 | >1700 | 2.0 |

7.4 不定形耐火材料

7.4.1 碱性耐火材料

常用的碱性耐火材料是白云石和镁砂。镁砂是菱镁矿经高温煅烧制得的,铸造生产用于捣打炉衬和补

炉用的镁砂,见表 1-89。

表 1-89 补炉和捣打炉衬用镁砂 (GB 2273—88)

| 牌号和级别 | 化学成分 (%) | | | | 灼烧减量 ≤ (%) | 颗粒组成 |
|-----------------------|----------|------------------|--------------------------------|------|---------------|---|
| | MgO | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | CaO | | |
| MS-88 | ≥88 | 4.0 | — | 5.0 | 0.5 | 0-120mm 组, 其中: >120mm 者 ≤10%; <1mm 者 ≤15% 0-10mm 组, 其中: >10mm 者 ≤10%; <1mm 者 ≤25% 2-10mm 组, 其中: >10mm 者 ≤10%; 2mm 者 ≤10% 0-3mm 或 0-5mm 组, 其中: >3 或 5mm 者 ≤5% |
| MS-83 | ≥83 | 5.0 | | 8.0 | 0.8 | |
| MS-80 | ≥80 | 6.0 | | 12.0 | 0.8 | |
| MTS [Ⓐ] -68A | a | 68-78 | 10.0 | 9.0 | 0.5 | |
| | b | | | | | |
| MTS ^I -68B | 68-78 | 5.0 | — | — | 0.8 | |

① 牌号为 MTS 者系竖窑生产的镁铁砂。

炉衬用的白云石, 应为特级品, 其煅烧前的规格见表 1-90。供作耐火材料及冶炼用的白云石, 煅烧前的化学成分, 见表 1-91。

表 1-90 炉衬用白云石(煅烧前)(ZBD 52002—90)

| 级 别 | 化 学 成 分 (%) | | | |
|-----|-------------|--|---------------------|------|
| | MgO | Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ + SiO ₂ + Mn ₂ O ₄ | 其中 SiO ₂ | |
| 特级品 | I | ≥20 | ≤2 | ≤1.0 |
| | II | ≥20 | ≤3 | ≤1.5 |

表 1-91 耐火材料及冶炼用白云石
(煅烧前)(ZBD 52002—90)

| 级 别 | 化 学 成 分 (%) | | |
|-------|-------------|-------|--------------------|
| | MgO ≥ | CaO ≥ | SiO ₂ ≤ |
| 一级品 | 19 | — | 2.0 |
| 二级品 | | | 3.5 |
| 三级品 | | | 4.0 |
| 四级品 | | | 5.0 |
| 镁化白云石 | 22 | 36 | 2.0 |

7.4.2 酸性耐火材料

硅砂是最重要的不定形酸性耐火材料, 用于打结感应电炉炉衬的硅砂, 推荐用表 1-92 所示的规格。作其它炉衬用的硅砂, 化学成分也应符合表 1-92 的要求, 粒度级配则应按具体情况另行确定。

其它一些以 SiO₂ 为主要成分的天然石材, 也可以用作冲天炉炉衬。河北的红硅石、四川的白泡石均已在生产中应用, 效果不错。其主要特点是价格便宜。红硅石和白泡石的基本情况见表 1-93。红硅石的碎屑也可以用来代替硅砂制作炉衬或包衬。

表 1-92 打结感应电炉炉衬用硅砂

| 化学成分 (%) | 粒度级配 | |
|--|------------------|--------------------|
| | 炉衬材料 | 炉顶材料 |
| SiO ₂ ≥98 | 5-6mm 者 25% | 1-2mm 者 30% |
| Na ₂ O + K ₂ O ≤0.2 | 2-3mm 者 20% | 0.2-0.5mm 者 50% |
| Al ₂ O ₃ ≤0.2 | 0.5-1mm 者 30% | 细粉 20% |
| Fe ₂ O ₃ ≤0.3 | 细粉 25% | |
| CaO ≤0.25 | | |

表 1-93 红硅石和白泡石

| 名称 | 主要成分 (%) | | | 显气孔率 (%) | 密度 (g/cm ³) | 耐压强度 (MPa) |
|-----|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|----------------------------|---------------|
| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | | | |
| 红硅石 | 94-97 | <4 | 约 0.65 | 约 17 | 约 2.2 | 约 37.5 |
| 白泡石 | 73-90 | 7-21 | 0.2-1.8 | 3-6 | 2.5-2.6 | 93-110 |

7.4.3 中性耐火材料

铸造生产中常用的中性耐火材料为焦炭粒和高铝矾土熟料。高铝矾土熟料是将铝矾土高温煅烧而得的, 故称为熟料, 未经煅烧的铝矾土则称为生料。

高铝矾土熟料的规格, 见表 1-94。

表 1-94 高铝矾土熟料 (YB 2212—82)

| 品 级 | 化学成分 (%) | | | 耐火度 ≥ (°C) | 密度 ≥ (g/cm ³) |
|-----|--------------------------------|--------|------------------------------------|---------------|------------------------------|
| | Al ₂ O ₃ | CaO, ≤ | Fe ₂ O ₃ , ≤ | | |
| 特级品 | >85 | 0.6 | 2.0 | 1790 | 3.0 |
| 一级品 | >80 | | 3.0 | | 2.8 |
| 二级品 | 甲 | 0.8 | 3.0 | | 1770 |
| | 乙 | | | 2.55 | |
| 三级品 | 50-60 | — | 2.5 | — | 2.45 |

优质高铝矾土熟料的规格, 见表 1-95。

表 1-95 优质高铝矾土熟料 (GB 8356—87)

| 牌 号 | 化学成分 (%) | | | | | 密度 (g/cm ³) | 吸水率 (%) |
|--------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|---------|------------------------------------|----------------------------|------------|
| | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | CaO+MgO | K ₂ O+Na ₂ O | | |
| GAl-88 | ≥88 | ≤1.5 | ≤4.0 | ≤0.4 | ≤0.4 | ≥3.15 | ≤4 |
| GA-85 | ≥85 | ≤1.8 | | | | ≥3.10 | ≤4 |
| GAl-80 | >80 | ≤2.0 | — | ≤0.5 | ≤0.5 | ≥2.90 | ≤5 |
| GA-70 | >70~80 | ≤2.0 | | | | ≥2.75 | ≤5 |
| GA-60 | >60~70 | ≤2.0 | — | ≤0.6 | ≤0.6 | ≥2.65 | ≤6 |
| GAl-50 | >50~60 | ≤2.5 | | | | ≥2.45 | ≤6 |

7.4.4 各种耐火泥

粘土质耐火泥 (表 1-96)、硅质耐火泥 (表 1-97)、镁质耐火泥 (表 1-98) 和高铝质耐火泥 (表 1-99), 分别用于砌筑品质相同的耐火砖。

表 1-96 粘土质耐火泥 (GB/T 14982—91)

| 项 目 | 牌号及指标 | | | |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| | NF-40 | NF-38 | NF-34 | NF-28 |
| 耐火度≥(℃) | 1730 | 1690 | 1650 | 1580 |
| 水分≤(%) | 6 | | | |

表 1-97 硅质耐火泥 (YB 384—91)

| 项 目 | 牌 号 及 指 标 | | |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | GF-93 | GF-90 | GF-85 |
| SiO ₂ 含量 (%) | >93 | 90~93 | 85~90 |
| 耐火度 (℃) | >1690 | 1650~1690 | 1580~1650 |

表 1-98 镁质耐火泥 (YB/T 5009—93)

| 项 目 | 牌号及指标 | |
|-------------------------|-------|-------|
| | MF-82 | MF-78 |
| MgO含量≥(%) | 82 | 78 |
| SiO ₂ 含量≤(%) | 5 | 6 |
| 灼烧减量≤(%) | 2 | 2 |

表 1-99 高铝质耐火泥
(GB 2994—82) (YB/T 5019—93)

| 项 目 | 牌号及指标 | | | |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | LF-75 | LF-70 | LF-60 | LF-50 |
| Al ₂ O ₃ 含量 (%) | >75 | 70~75 | 60~70 | 50~60 |
| 耐火度≥(℃) | 1790 | 1770 | 1750 | |
| 灼烧减量≤(%) | 5 | | | |

7.5 隔热材料

7.5.1 粘土质隔热耐火砖 (表 1-100)

表 1-100 粘土质隔热耐火砖 (GB 3994—83)

| 项 目 | 牌号及指标 | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | NG-1.5 | NG-1.3a | NG-1.3b | NG-1.0 | NG-0.9 | NG-0.8 | NG-0.7 | NG-0.6 | NG-0.5 | NG-0.4 |
| 密度≤(g/cm ³) | 1.5 | 1.3 | | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.4 |
| 常温耐压强度 ≥(MPa) | 5.9 | 4.4 | 3.9 | 2.9 | 2.5 | | 2.0 | 1.5 | 1.2 | 1.0 |
| 重烧线变化不大于 2%的试验温度 (℃) | 1400 | | 1350 | | 1300 | 1250 | | 1200 | 1150 | |
| 热导率 (平均温度 350±25℃) ≤[W/(m·K)] | 0.70 | 0.60 | | 0.50 | 0.40 | 0.35 | | 0.25 | | 0.20 |

7.5.2 高铝质隔热耐火砖 (表 1-101)

表 1-101 高铝质隔热耐火砖 (GB 3995—83)

| 项 目 | 牌号及指标 | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | LG-1.0 | LG-0.9 | LG-0.8 | LG-0.7 | LG-0.6 | LG-0.5 | LG-0.4 |
| Al ₂ O ₃ 含量 ≥ (%) | 48 | | | | | | |
| Fe ₂ O ₃ 含量 ≤ (%) | 2.0 | | | | | | |
| 密度 ≤ (g/cm ³) | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.4 |
| 常温耐压强度 ≥ (MPa) | 3.9 | 3.4 | 2.9 | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 0.8 |
| 重烧线变化不大于 2% 的 试验温度 (°C) | 1400 | | | 1350 | | 1250 | |
| 热导率 (平均温度 350 ± 25°C) [W/(m·K)] | 0.50 | 0.45 | 0.35 | | 0.30 | 0.25 | 0.20 |

7.5.3 硅质隔热耐火砖 (表 1-102)

表 1-102 硅质隔热耐火砖 (YB/T 386—94)

| 项 目 | 指 标 | | | |
|--------------------------------------|-------------|----------|----------|----------|
| | GGR-1.00 | GGR-1.10 | GGR-1.15 | GGR-1.20 |
| SiO ₂ (%) 不小于 | 91 | 91 | 91 | 91 |
| 密度 (g/cm ³) 不低于 | 1.00 | 1.10 | 1.15 | 1.20 |
| 常温耐压强度 (MPa) 不低于 | 2.0 | 3.0 | 5.0 | 5.0 |
| 重烧线变化 (%) 不大于 | 1550°C (2h) | — | — | 0.5 |
| | 1450°C (2h) | 0.5 | 0.5 | — |
| 0.1MPa 载荷软化开始温度, °C 不低于 | 1400 | 1420 | 1500 | 1520 |
| 热导率 [W/(m·K)] 平均温度 350 ± 10°C 不大于 | 0.55 | 0.60 | 0.65 | 0.70 |

注: 热导率为参考指标, 但必须进行此项检验, 实测数据在质量证明书中注明

7.5.4 硅藻土隔热制品 (见表 1-103)

表 1-103 硅藻土隔热制品 (GB 3996—83)

| 项 目 | 牌 号 及 指 标 | | | | | |
|--|-----------|---------|--------|---------|---------|-------------------|
| | GG-0.7a | GG-0.7b | GG-0.6 | GG-0.5a | GG-0.5b | GG-0.4 |
| 密度 ≤ (g/cm ³) | 0.7 | | 0.6 | 0.5 | | 0.4 |
| 常温耐压强度 ≥ (MPa) | 2.45 | 1.18 | 0.78 | | 0.59 | 0.39 ^① |
| 重烧线变化不大于 2%, 保温 8h 的试验 温度 (°C) | 900 | | | | | |
| 热导率 (平均温 度 300 ± 10°C) ≤ [W/(m·K)] | 0.20 | 0.21 | 0.17 | 0.15 | 0.16 | 0.13 |

① 此处, GB 3996—83 文本中为 8kgf/cm², 应为 4kgf/cm², 换算为 0.39MPa。

7.5.5 其它常用隔热制品 (表 1-104)

表 1-104 其它常用隔热制品的主要性能

| 材 料 品 种 | | 耐火度 (℃) | 最高使用 温度 (℃) | 密度 (kg/m ³) | 常温耐压 强度 (MPa) | 热导率 (W/(m·K)) | |
|----------|----------|------------|----------------|----------------------------|------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 石棉制品 | 石棉粉 | 一级 | 600 (耐热温度) | 500 | | <0.081 | |
| | | 二级 | | | | <0.093 | |
| | 石棉绳 | | 300 | 约 800 | | $0.073 + 0.31 \times 10^{-3}\theta$ | |
| | 石棉板 | | 600 | 1000~1400 | | $0.157 + 0.186 \times 10^{-4}\theta$ | |
| 矿渣制品 | 粒状高炉渣 | | | 600 | 500~550 | | $0.093 + 0.29 \times 10^{-3}\theta$ |
| | 矿渣棉 | 一级 | 700 (烧结温度) | 600 | | <125 | $0.041 + 0.186 \times 10^{-3}\theta$ |
| | | 二级 | | | | <150 | $0.041 + 0.186 \times 10^{-3}\theta$ |
| | | 三级 | | | | <200 | $0.046 + 0.186 \times 10^{-3}\theta$ |
| 水玻璃矿渣棉制品 | | | 750 | 400~450 | | <0.069 | |
| 蛭石制品 | 膨胀蛭石粉 | 一级 | 1300~1700 | 1000 | | <100 | 0.052~0.058 |
| | | 二级 | | | | <200 | |
| | | 三级 | | | | <300 | |
| | 水泥蛭石制品 | | | 600 | 450~500 | >0.25 | 0.093~0.140 |
| | 水玻璃蛭石制品 | | | 800 | 400~450 | >0.49 | 0.080~0.105 |
| 沥青蛭石制品 | | | 90 | 300~400 | >0.2 | 0.080~0.105 | |
| 珍珠岩制品 | 膨胀珍珠岩 | 一级 | <1300 | 800 | | <65 | 0.019~0.029 |
| | | 二级 | | | | 65~160 | 0.029~0.038 |
| | | 三级 | | | | 161~300 | 0.046~0.062 |
| | 水玻璃珍珠岩制品 | | | ≥900 | 650 | <250 | >0.6 |
| 水泥珍珠岩制品 | | | ≥1250 | 800 | <400 | >0.98 | <0.128 |
| 磷酸盐珍珠岩制品 | | | ≥1360 | 1000 | <220 | >0.69 | $0.052 + 0.29 \times 10^{-3}\theta$ |
| 玻璃纤维制品 | 超细玻璃棉 | | | 450 | <20 | | <0.033 |
| | 超细树脂毡 | | | 250 | <20 | | <0.033 |
| | 超细保温管壳 | | | 250 | <80 | | <0.033 |
| | 无碱超细玻璃棉 | | | 600 | <20 | | <0.033 |
| | 高硅氧玻璃纤维 | | | 1000 | <70 | | 0.037~0.040 |

注: θ 为摄氏温度值。

8 燃料

本节只列铸造生产中常用的燃料。

8.1 固体燃料

8.1.1 铸造用焦炭

铸造行业中使用焦炭的场合很多,但只有冲天炉熔制铸铁时所用的焦炭称为铸造焦炭。

由于冲天炉熔铁和高炉炼铁是性质不相同的过程,对铸造焦炭的要求也就不同于高炉所用的冶金焦炭。主要差异是:铸造焦炭要求反应能力低,冶金焦炭则应是反应能力强的。此外,铸造焦炭的块度应比冶金焦炭大,对块度的要求也较严格。

两种焦炭也有要求相同的方面,如灰分低、含硫最低和强度高。

铸造焦炭的规格,见表 1-105。

目前我国铸造行业使用较多的焦炭的情况,见表 1-106。

表 1-105 铸造焦炭 (GB 8729—88)

| 指 标 | 级 别 | | |
|----------------------------------|-------|------------|-------------|
| | 特 级 | 一 级 | 二 级 |
| 块度 (mm) | >80 | | |
| | 80~60 | | |
| 水分 ≤ (%) | >60 | | |
| | 5.0 | | |
| 灰分 (%) | ≤8.00 | 8.01~10.00 | 10.01~12.00 |
| 挥发分 ≤ (%) | 1.50 | | |
| 硫分 ≤ (%) | 0.60 | 0.80 | 0.80 |
| 转鼓强度 (M ₄₀) ≥ (%) | 85.0 | 81.0 | 77.0 |
| 落下强度 ≥ (%) | 90.2 | 88.0 | 84.0 |
| 显气孔率 ≤ (%) | 40 | 45 | 45 |
| 碎焦率 (<40mm) ≤1% | 4.0 | | |

表 1-106 目前使用较广的几种铸造焦炭

| 生产厂 | 灰分 (%) | 挥发分 (%) | 硫分 (%) | 气孔率 (%) | 抗碎强度 M_{40} (%) | 块度 |
|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-------------------|---------------------|
| 镇江焦化厂 | 8.87~9.60 | 1.18~1.35 | 0.63~0.69 | 31.1~31.7 | 83.4~85.7 | 均有 >80mm 和 >60mm 两种 |
| 保定地区焦化厂 | 11.55~11.82 | 1.31~1.34 | 0.45~0.47 | 35.1~37.7 | 78.8~82.0 | |
| 山东薛城焦化厂 | 10.61~10.88 | 1.10~1.70 | 0.61~0.67 | 31.0~31.8 | 80.0~83.6 | |
| 山西柳林焦化厂 | 7.24~9.46 | 1.10~1.22 | 约 0.43 | 38~43 | 87.0~88.0 | |
| 江西丰城焦化厂 | 9.30~9.96 | 0.91~1.11 | 约 0.98 | 约 32.8 | 约 88.7 | |
| 山西古县焦化厂 | 8.30~9.12 | 0.87~0.88 | 0.52~0.57 | 约 42.9 | 83.0~87.0 | |
| 北京焦化厂 | 12.01~13.90 | ≤1.5 | ≤0.80 | ≤45 | ≥77 | |
| 陕西韩城焦化厂 | 12.01~13.90 | ≤1.5 | ≤0.80 | ≤45 | ≥77 | |
| 山东济宁煤化公司 | 12.01~13.90 | ≤1.5 | ≤0.80 | ≤45 | ≥77 | 90~150mm 者 ≥85% |
| 山西介休七五焦化厂 | 8.97~9.58 | 0.90~1.19 | 0.36~0.58 | — | — | |

8.1.2 冶金焦炭

目前我国仍有相当多的铸造厂用冶金焦炭熔制铸铁，尽管这种选择不很相宜，但由于价格、供应条件

等方面的制约，这样的局面短期内仍不可能扭转。此处仍列出冶金焦炭的规格（表 1-107），供参考。

表 1-107 表 2-83 冶金焦炭 (GB/T 1996—94)

| 种类 | 灰分 Ad (%) | | | 硫分 Std (%) | | | 机械强度 (%) | | | | | | 挥发分 (%) | 水分 (%) | 焦末含量 (%) |
|----------------|-----------|-------------|-------------|------------|-----------|-----------|---------------|------|-------|---------------|------|-------|---------|-----------|----------|
| | 牌号 I | 牌号 II | 牌号 III | I 类 | II 类 | III 类 | 抗碎强度 M_{40} | | | 耐磨强度 M_{10} | | | | | |
| | | | | | | | I 组 | II 组 | III 组 | I 组 | II 组 | III 组 | | | |
| 大块焦 (>40mm) | ≤12.00 | 12.01~13.50 | 13.51~15.00 | ≤0.60 | 0.51~0.80 | 0.81~1.00 | > | 92.0 | 88.0 | ≤ | ≤ | ≤ | ≤19 | 4.0 ± 1.0 | ≤4.0 |
| 大中块焦 (>25mm) | | | | | | | 92.0 | 88.1 | 83.0 | 7.0 | 8.5 | 10.5 | | 5.0 ± 2.0 | ≤5.0 |
| 中块焦 (25~<40mm) | | | | | | | 按供需双方协议 | | | | | | | ≤12.0 | ≤12.0 |

注：1. M_{40} 和 M_{10} 均为转鼓试验测定的强度， M_{40} 系出鼓焦炭中大于 40mm 者占入鼓焦炭的百分数； M_{10} 系出鼓焦炭中小于 10mm 者占入鼓焦炭的百分数。

2. 水分为生产中控制指标，不做质量考核依据。

8.1.3 煤炭

表 1-108 列出了我国一些煤炭的特性数据，供参考。

表 1-108 我国一些煤炭的特性数据

| 产地 | 煤种 | 工业分析 (%) | | | 元素分析 (%) | | | | | 热值 (kJ/kg) |
|----|--------|----------|------|-------|----------|------|------|-------|------|-------------|
| | | 水分 | 灰分 | 挥发分 | C | H | N | O | S | |
| 大同 | 弱粘结性烟煤 | 1.42 | 4.69 | 29.59 | 83.38 | 5.24 | 0.64 | 10.21 | 0.53 | 29680~30850 |

(续)

| 产地 | 煤种 | 工业分析 (%) | | | 元素分析 (%) | | | | | 热值 (kJ/kg) |
|--------|----------|----------|------|-------|----------|------|------|------|------|-------------|
| | | 水分 | 灰分 | 挥发分 | C | H | N | O | S | |
| 兰州, 阿镇 | 不粘结烟煤 | 2.13 | 11.6 | 25.66 | 80.2 | 4.5 | 0.74 | 12.0 | 2.31 | 27350-28310 |
| 京西, 城子 | 无烟煤 (中块) | 2.8 | 18.0 | 6.5 | — | — | — | — | 0.32 | 24980 |
| 焦作 | 无烟煤 | 1.43 | 20.0 | 5.62 | 92.29 | 2.87 | 1.05 | 3.32 | 0.38 | 25120-26125 |
| 抚顺 | 原煤 | — | 15.0 | 46.0 | — | — | — | — | 0.80 | 21770 |
| 阳泉 | 无烟煤 | 0.98 | 16.6 | 9.57 | 89.78 | 4.37 | 1.02 | 4.37 | 0.38 | 27780-28830 |

8.2 液体燃料

铸造生产所用的液体燃料主要是重柴油和重油, 两者的牌号和规格分别见表 1-109 和表 1-110。

表 1-109 重柴油
(GB 445—77, 1988 年确认)

| 项 目 | 牌号及质量指标 | | | 试验方法 |
|--|---------|------|------|-------|
| | 10号 | 20号 | 30号 | |
| 运动粘度 (50℃) ≤ (10 ⁻⁶ m ² /s) | 13.5 | 20.5 | 36.2 | GB265 |
| 残炭 ≤ (%) | 0.5 | 0.5 | 1.5 | GB268 |
| 灰分 ≤ (%) | 0.04 | 0.06 | 0.08 | GB508 |
| 硫含量 ≤ (%) | 0.5 | 0.5 | 1.5 | GB387 |
| 机械杂质 ≤ (%) | 0.1 | 0.1 | 0.5 | GB511 |
| 水分 ≤ (%) | 0.5 | 1.0 | 1.5 | GB260 |
| 闪点 (闭口) ≥ (℃) | 65 | 65 | 65 | GB261 |
| 凝点 ≤ (℃) | 10 | 20 | 30 | GB510 |
| 水溶性酸或碱 | 无 | 无 | — | GB259 |

表 1-110 重油
(燃料油) (SY 1091—77, 1988 年确认)

| 项 目 | | 牌号及质量指标 | | | | 试验方法 |
|------------------|--------|---------|------|------|---------|-------|
| | | 20号 | 60号 | 100号 | 200号 | |
| 恩氏粘度 ≤ (°E) | 30℃以下 | 50 | 11.0 | 15.5 | | GB266 |
| | 100℃以下 | | | | 5.5~9.5 | |
| 闪点 (开口) ≥ (℃) | | 80 | 100 | 120 | 130 | GB267 |
| 凝点 ≤ (℃) | | 15 | 20 | 25 | 36 | GB510 |
| 灰分 ≤ (%) | | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | GB508 |
| 水分 ≤ (%) | | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.0 | GB260 |
| 硫含量 ≤ (%) | | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 3.0 | GB387 |
| 机械杂质 ≤ (%) | | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 2.5 | GB511 |

8.3 气体燃料

各种常用气体燃料的成分和热值, 见表 1-111。

表 1-111 各种常用气体燃料的成分和热值

| 种 类 | 平均成分 (%) | | | | | | | 热值 (kJ/m ³) |
|-----------|-----------------------------------|----------------|-------|----------------|-----------------|-------------------------------|----------------|----------------------------|
| | CO ₂ +H ₂ S | O ₂ | CO | H ₂ | CH ₄ | C _n H _n | N ₂ | |
| 发生炉煤气 | 4.3~4.5 | 0.2~0.4 | 29~30 | 13~14 | 2~4 | 0.2~0.5 | 47~50 | 6070~6615 |
| 高炉煤气 | 9~15.5 | — | 25~31 | 2~3 | 0.3~0.5 | — | 55~58 | 3560~4600 |
| 天然气 | 0.1~2.0 | — | — | 0~2 | 85~97 | 0.1~4 | 1.2~4.0 | 33490~38520 |
| 乙炔 | 0.05~0.08 | — | — | 微量 | 微量 | 97~99 | — | 46000~58620 |
| 半焦化煤气 | 12~15 | 0.2~0.3 | 7~12 | 6~12 | 45~62 | 5~8 | 2~10 | 22190~29300 |
| 焦炉煤气 | 2~3 | 0.7~1.2 | 4~8 | 53~60 | 19~25 | 1.6~2.3 | 7~13 | 15500~16750 |
| 水煤气 | 5~7 | 0.1~0.2 | 35~40 | 47~52 | 0.3~0.6 | — | 2~6 | 10050~10460 |
| 高炉、焦炉混合煤气 | 7~8 | 0.3~0.4 | 17~19 | 21~27 | 9~12 | 0.7~1 | 33~39 | 8580~10300 |

9 造渣材料及其它材料

9.1 造渣材料

此处只列炼钢和熔制铸铁时所用的造渣材料和熔剂。熔制有色金属及合金所用的熔剂见第四章。

炼钢时用作氧化剂的铁矿石，还原渣料中的炭粉、石墨粉或电石，均看作造渣材料。

电石也供铸铁炉外脱硫用。用于制备乙炔的电石也可参照。

9.1.1 冶金用石灰石 (表 1-112)

9.1.2 冶金石灰 (表 1-113)

表 1-112 冶金用石灰石
(ZBD 53002—90)

| 类别 | 指标 品级 | 化学成分 (%) | | | | | |
|-------|----------|-------------|---------|-----|------------------|-------|-------|
| | | 主要成分 \geq | | | 杂质 \leq | | |
| | | CaO | CaO+MgO | MgO | SiO ₂ | P | S |
| 普通石灰石 | 特级品 | 54 | — | 3 | 1.0 | 0.005 | 0.025 |
| | 一级品 | 53 | — | 3 | 1.5 | 0.01 | 0.080 |
| | 二级品 | 52 | — | 3 | 2.2 | 0.02 | 0.10 |
| | 三级品 | 51 | — | 3 | 3.0 | 0.03 | 0.12 |
| 镁质石灰石 | 特级品 | — | 55 | 8 | 1.0 | 0.005 | 0.025 |
| | 一级品 | — | 54 | 8 | 1.5 | 0.01 | 0.080 |
| | 二级品 | — | 53 | 8 | 2.2 | 0.02 | 0.10 |
| | 三级品 | — | 52 | 8 | 3.0 | 0.03 | 0.12 |
| 石灰 | 四级品 | — | 51 | 8 | 4.0 | 0.04 | 0.15 |

表 1-113 冶金石灰的化学成分和物理性能 (YB/T 042—93)

| 类别 | 指标 品级 | 化学指标, % | | | | | | | | 活性度 (4mol/HCl 40±1℃, 10min) |
|--------|----------|---------|---------|----------|------------------|-------|------|-----------------|----|--------------------------------|
| | | CaO | CaO+MgO | MgO | SiO ₂ | S | (P) | CO ₂ | 灼减 | |
| | | 不小于 | | | 不大于 | | | | | |
| 普通冶金石灰 | 特级 | 92.0 | | <5 | 1.5 | 0.025 | 0.01 | 2 | | 360 |
| | 一级 | 90.0 | | | 2.5 | 0.10 | 0.02 | | 5 | 300 |
| | 二级 | 85.0 | | | 3.5 | 0.15 | 0.03 | | 7 | 250 |
| | 三级 | 80.0 | | | 5.0 | 0.20 | 0.04 | | 9 | 180 |
| 镁质冶金石灰 | 特级 | | 93.0 | \geq 5 | 1.5 | 0.025 | 0.01 | 2 | | 360 |
| | 一级 | | 91.0 | | 2.5 | 0.10 | 0.02 | | 6 | 280 |
| | 二级 | | 86.0 | | 3.5 | 0.15 | 0.03 | | 8 | 230 |
| | 三级 | | 81.0 | | 5.0 | 0.20 | 0.04 | | 10 | 180 |

注：如供方能保证磷含量符合表 1-113 规定，经需方同意可不进行磷含量分析。

9.1.3 冶金用氟石 (表 1-114)

9.1.5 炼钢用铁矿石 (表 1-116)

9.1.4 冰晶石 (表 1-115)

9.1.6 电石 (表 1-117)

表 1-114 冶金行业用氟石块矿的化学成分
(YB/T 5167—93) (%)

| 品级 | CaF ₂ \geq | 杂质 \leq | | |
|-----|----------------------------|------------------|------|------|
| | | SiO ₂ | S | P |
| 特一级 | 98 | 1.5 | 0.05 | 0.03 |
| 特二级 | 97 | 2.5 | 0.08 | 0.05 |
| 一级品 | 95 | 4.5 | 0.10 | 0.06 |
| 二级品 | 90 | 9.0 | 0.10 | 0.06 |
| 三级品 | 85 | 14.0 | 0.15 | 0.06 |
| 四级品 | 80 | 18.0 | 0.20 | 0.08 |
| 五级品 | 75 | 23.0 | 0.20 | 0.08 |
| 六级品 | 70 | 28.0 | 0.25 | 0.08 |
| 七级品 | 65 | 32.0 | 0.30 | 0.08 |

表 1-115 人造冰晶石的规格 (GB4291—84)

| 等级 | 化学成分 (%) | | | | | | 水分 不大于 (%) |
|----|----------|----|----|--|-------------------------------|-------------------------------|------------------|
| | F | Al | Na | SiO ₂ +Fe ₂ O ₃ | SO ₄ ²⁻ | P ₂ O ₅ | |
| | 不小于 | | | 不大于 | | | |
| 特级 | 53 | 13 | 31 | 0.25 | 0.8 | 0.02 | 0.5 |
| 一级 | 53 | 13 | 31 | 0.40 | 1.2 | 0.05 | 0.8 |
| 二级 | 53 | 13 | 31 | 0.50 | 1.5 | 0.05 | 1.3 |

表 1-116 炼钢用铁矿石

| 用途 | 化学成分 (%) | | | | 块度要求 (mm) |
|------|-----------|------------------|------------|------------|--------------|
| | Fe | SiO ₂ | S | P | |
| 平炉用 | \geq 50 | \leq 10 | \leq 0.2 | — | 30~250 |
| 电弧炉用 | \geq 55 | \leq 8 | \leq 0.1 | \leq 0.1 | 30~100 |

表 1-117 电石的理化指标 (GB 10665—89)

| 指标名称 | | 指标 | | | | |
|--------------------|------------|--------|------|------|------|------|
| | | 优级品 | 一级品 | 二级品 | 三级品 | |
| 发气量 (L/kg) ≥ | 粒度 (mm) | 81~150 | 305 | 295 | 280 | 255 |
| | | 51~80 | 305 | 295 | 280 | 255 |
| | | 2~50 | 300 | 290 | 275 | 250 |
| 乙炔中磷化氢(%) (V/V) ≤ | | 0.06 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 |
| 乙炔中硫化氢(%) (V/V) ≤ | | 0.10 | 0.10 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |

表 1-118 炼钢用石墨粉和焦炭粉

| 名称 | 化学成分 | | | | 粒度 (mm) |
|-----|------|-----|------|------------------|------------|
| | C | 灰分 | S | H ₂ O | |
| 石墨粉 | >90 | <3 | <0.1 | <0.5 | 0.5~1 |
| 焦炭粉 | >80 | <15 | <0.1 | <0.5 | 0.5~1 |

表 1-119 石墨电极和高功率石墨电极的性能 (YB 4088—92)
(YB 4089—92)

| 项 目 | 石墨电极 | | | | | | | | 高功率石墨电极 | | |
|---|------|--------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------------|--|
| | 电极 | 电极的公称直径 (mm) | | | | | | | | 电极的公称直径 (mm) | |
| | | 75~130 | 150~200 | | 250~350 | | 400~500 | | 300,500 | 400,450,500 | |
| 电阻率 ≤ (μΩ·m) | 电极 | 优级 8.5 | 一级 10 | 优级 9.0 | 一级 11 | 优级 9.0 | 一级 11 | 优级 9.0 | 一级 11 | 7 | |
| | 接头 | 8.5 | | 8.5 | | 8.5 | | 8.5 | | 6.5 | |
| 抗折强度 ≥ (MPa) | 电极 | 9.8 | | 9.8 | | 7.8 | | 6.4 | | 9.8 | |
| | 接头 | 12.7 | | 12.7 | | 12.7 | | 12.7 | | 14.0 | |
| 弹性模量 ≤ (GPa) | 电极 | 9.3 | | 9.3 | | 9.3 | | 9.3 | | 12.0 | |
| | 接头 | 13.7 | | 13.7 | | 13.7 | | 13.7 | | 14.0 | |
| 灰分 ≤ (%) | | 0.5 | | 0.5 | | 0.5 | | 0.5 | | 0.3 | |
| 密度 ≥ (g/cm ³) | 电极 | 1.58 | | 1.52 | | 1.52 | | 1.52 | | 1.60 | |
| | 接头 | 1.63 | | 1.63 | | 1.68 | | 1.68 | | 1.70 | |
| 热膨胀系数 ≤ 100~600℃ × 10 ⁻⁶ (1/℃) | 电极 | 2.9 | | 2.9 | | 2.9 | | 2.9 | | 2.2 | |
| | 接头 | 3.0 | | 3.0 | | 3.2 | | 3.2 | | 2.4 | |

表 1-120 石墨电极的允许电流负荷 (YB 4088—92)
(YB 4089—92)

| 电极的公称直径 (mm) | 允许的电流负荷 (A) | |
|-----------------|-------------|---------|
| | 石墨电极 | 高功率石墨电极 |
| 75 | 1000~1400 | |
| 100 | 1500~2400 | |
| 130 | 2200~3400 | |
| 150 | 3000~4500 | |
| 200 | 5000~6900 | |
| 250 | 7000~10000 | |

9.1.7 炼钢用石墨粉和焦炭粉 (表 1-118)

9.2 其它有关材料

9.2.1 石墨电极

关于石墨电极,目前我国共有4个系列:YB 4088—92“石墨电极”、YB 4089—92“高功率石墨电极”供电弧炉炼钢用;YB 4090—92“超高功率电极”供高功率电弧炉和炉外精炼装置用;YB/T 5214—93“抗氧化涂层石墨电极”适用于电弧炉。表 1-119 和表 1-120 综合列出了 YB 4088—92 和 YB 4089—92 规定的电极性能指标和不同直径电极允许的电流负荷。

(续)

| 电极的公称直径 (mm) | 允许的电流负荷 (A) | |
|-----------------|-------------|-------------|
| | 石墨电极 | 高功率石墨电极 |
| 300 | 10000~13000 | 13000~17400 |
| 350 | 13500~18000 | 17400~24000 |
| 400 | 18000~23500 | 21900~31000 |
| 450 | 22000~27000 | 25000~40000 |
| 500 | 25000~32000 | 40000~48000 |

超高功率石墨电极的技术指标见表 1-121, 电极的电流负荷按表 1-122。

表 1-121 超高功率石墨电极的技术指标 (YB 4090—92)

| 直径 | 电阻率 不大于 ($10^{-6}\Omega\cdot m$) | | 抗折强度 不小于 (MPa) | | 弹性模量 不大于 (GPa) | | 体积密度 不小于 (g/cm^3) | | 热膨胀系数 (100~600℃) 不大于 ($10^{-6}/\text{℃}$) | | 灰分 不大于 (%) |
|-------------------|--|-----|----------------------|------|----------------------|------|-----------------------------|------|--|-----|---------------|
| | 电极 | 接头 | 电极 | 接头 | 电极 | 接头 | 电极 | 接头 | 电极 | 接头 | |
| 400 450 500 | 6.5 | 5.5 | 10.0 | 15.0 | 14.0 | 15.0 | 1.65 | 1.70 | 1.4 | 1.6 | 0.3 |

表 1-122 超高功率石墨电极的电流负荷
(YB 4090—92)

| 公称直径 (mm) | 允许电流负荷 (A) | 电流密度 (A/cm^2) |
|-----------|---------------|-------------------|
| 400 | 25000~40000 | 19~30 |
| 450 | 32000~45000 | 19~27 |
| 500 | 38000~55000 | 18~27 |

抗氧化涂层石墨电极见表 1-123。

表 1-123 抗氧化涂层石墨电极 (YB/T 5214—93)

| 电极公称直径 (mm) | 电阻率 \leq ($10^{-6}\Omega m$) | | 涂层厚度 (mm) | 涂层增重 (kg/m^2) |
|---------------------------------|----------------------------------|----------|--------------|----------------------|
| | 优级 | 一级 | | |
| 300 350 400 450 500 | ≤ 6.5 | ≤ 8 | 0.5~1.0 | 1.5~2.0 |

9.2.2 氧气、氮气和氩气

工业用气态氧，见表 1-124。

表 1-124 工业用气态氧 (GB 3863—83)

| 项 目 | 类别及指标 | | |
|-------------------|-------------------|------|------|
| | I 类 | II 类 | |
| | | 一级 | 二级 |
| 氧的体积分数 (%) \geq | 99.5 | 99.5 | 99.2 |
| 水分 | 游离水 \leq (mL/瓶) | — | 100 |
| | 露点 \leq (℃) | -43 | — |

工业用气态氮见表 1-125。

表 1-125 工业用气态氮 (GB 3864—84)

| 项 目 | 类别及指标 | | |
|-------------------|-------------------|------|------|
| | I 类 | II 类 | |
| | | 一级 | 二级 |
| 氮的体积分数 \geq (%) | 99.5 | 99.5 | 98.5 |
| 氧的体积分数 \leq (%) | 0.5 | 0.5 | 1.5 |
| 水分 | 游离水 \leq (mL/瓶) | — | 100 |
| | 露点 \leq (℃) | -43 | — |

氩气见表 1-126。

表 1-126 氩气 (GB 4842—84)

| 项 目 | 指标 |
|--|-------|
| 氮的体积分数 \geq (%) | 99.99 |
| 氧的体积分数 \leq (10^{-6}) | 70 |
| 氢的体积分数 \leq (10^{-6}) | 10 |
| 氩的体积分数 \leq (10^{-6}) | 5 |
| 总碳的体积分数 (以甲烷计) \leq (10^{-6}) | 10 |
| 水的体积分数 \leq (10^{-6}) | 20 |

10 铸造生产中常用的相图 (包括氢在某些金属中的溶解度)

10.1 铁系二元相图 (图 1-2 ~ 图 1-17)

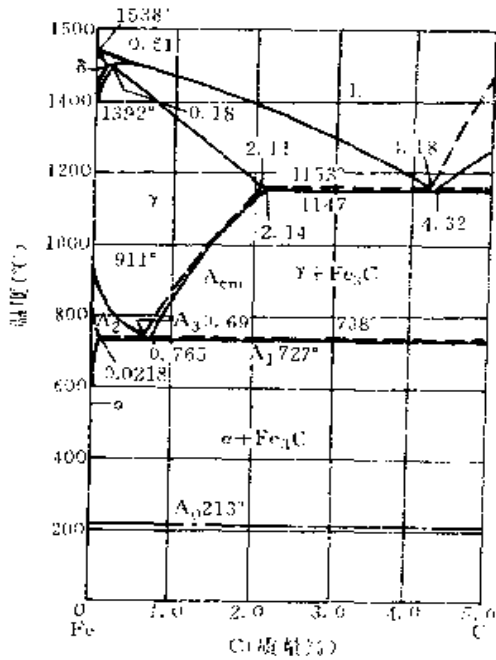


图 1-2 Fe-C 相图

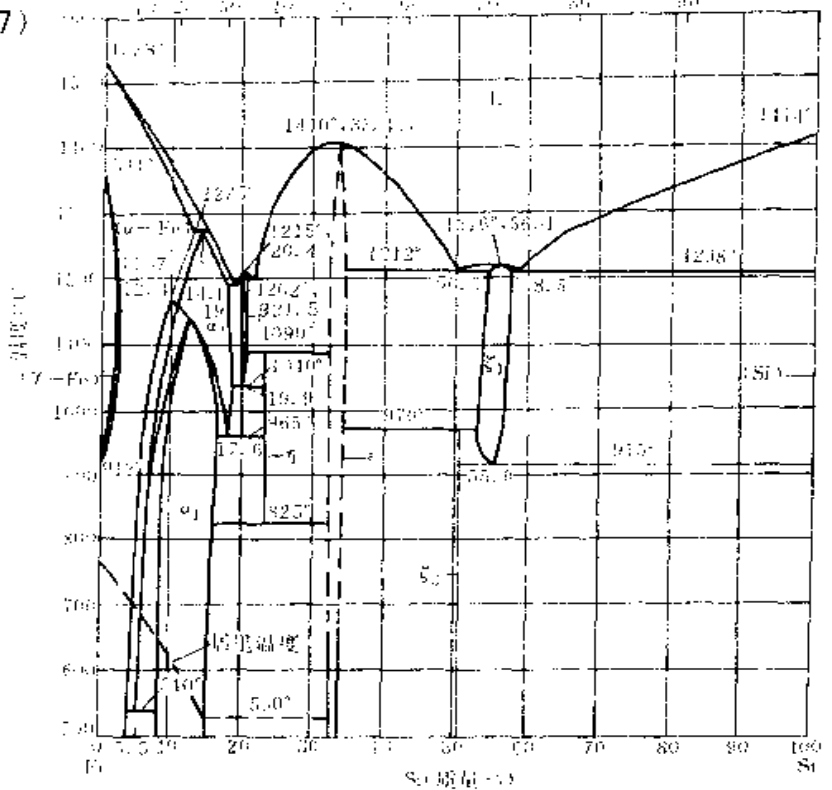


图 1-3 Fe-Si 相图

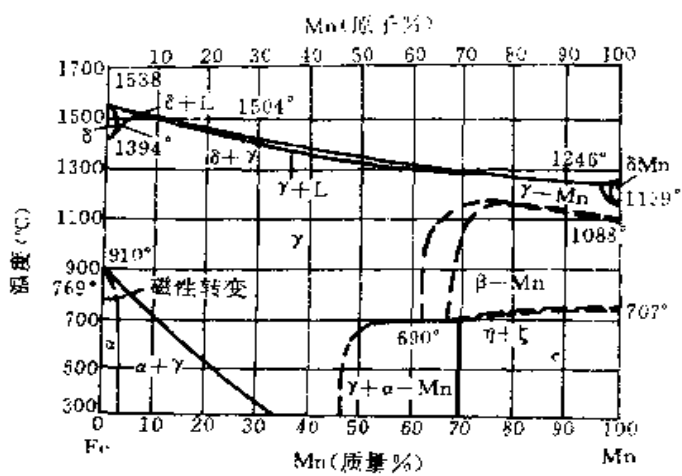


图 1-4 Fe-Mn 相图

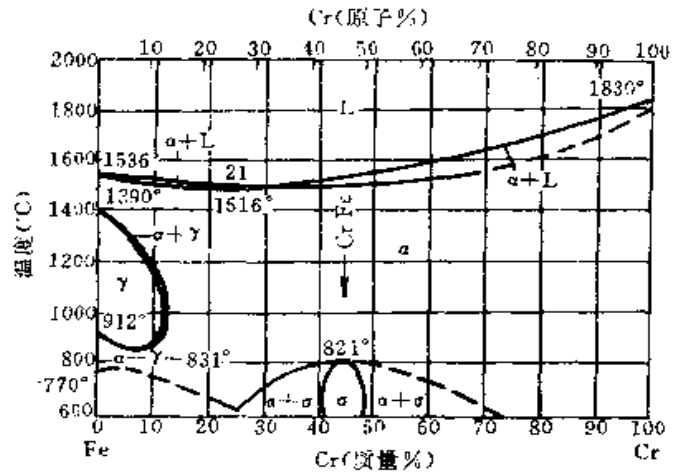


图 1-5 Fe-Cr 相图

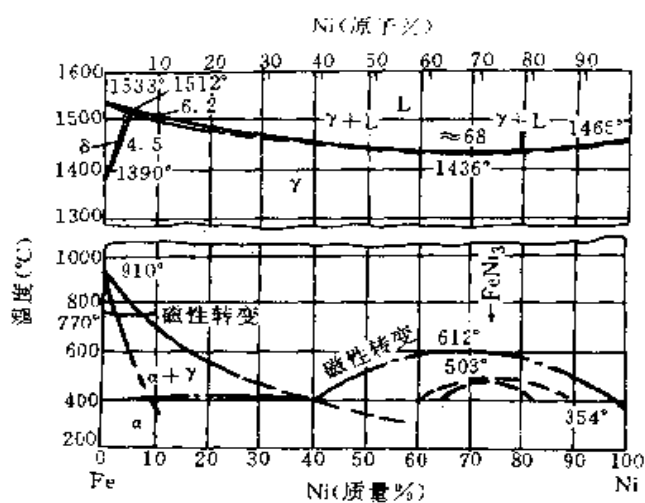


图 1-6 Fe-Ni 相图

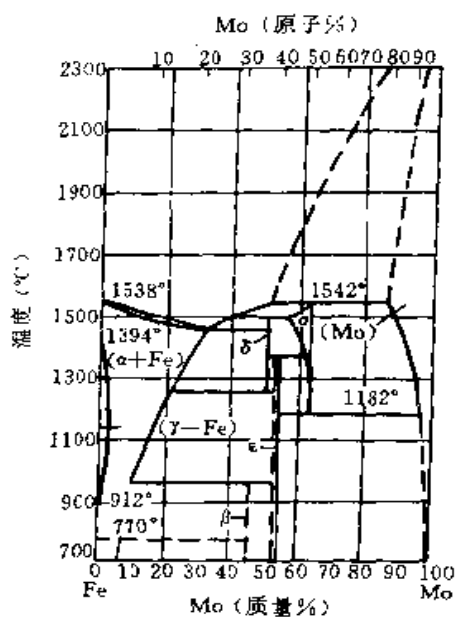


图 1-7 Fe-Mo 相图

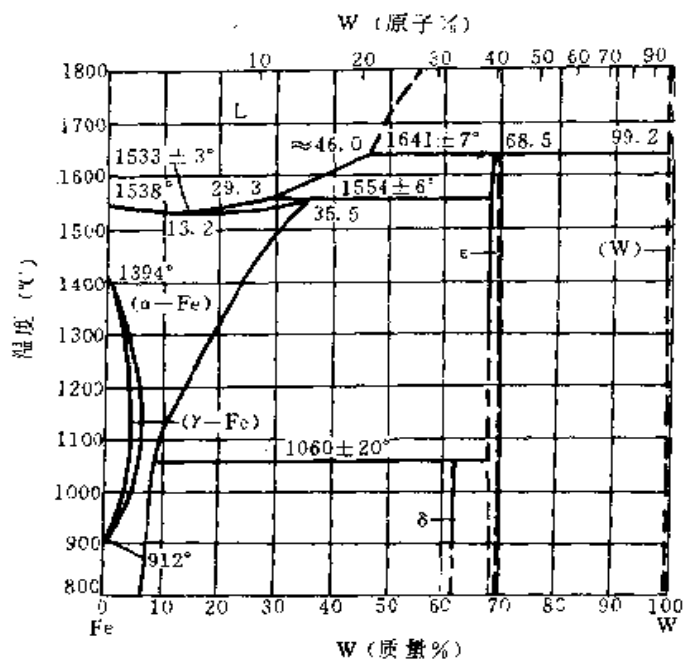


图 1-8 Fe-W 相图

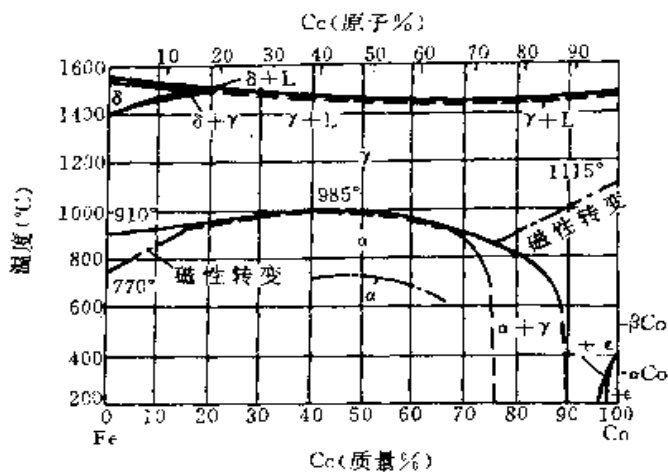


图 1-9 Fe-Co 相图

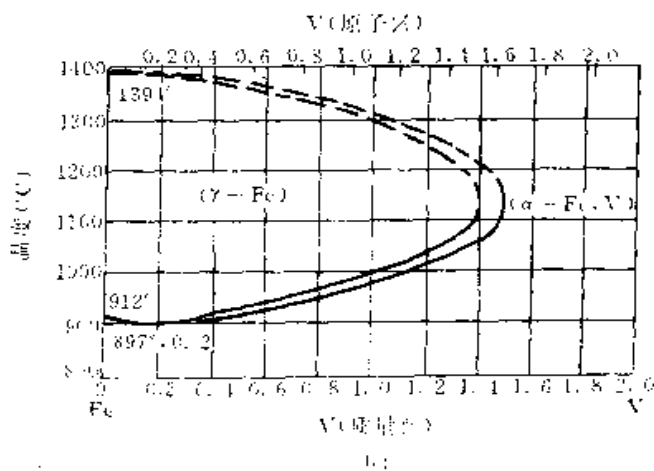
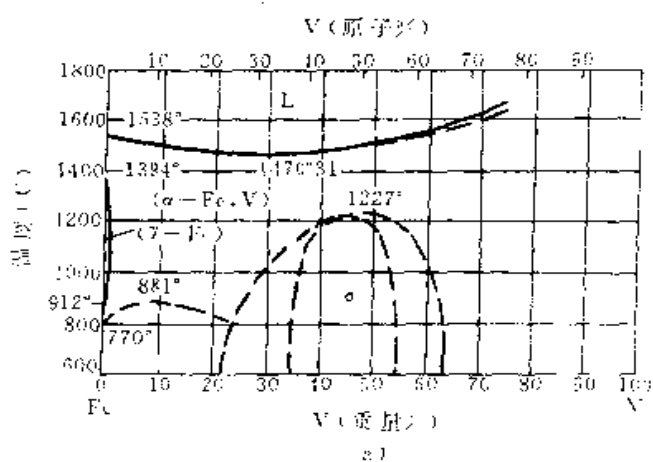


图 1-10 Fe-V 相图

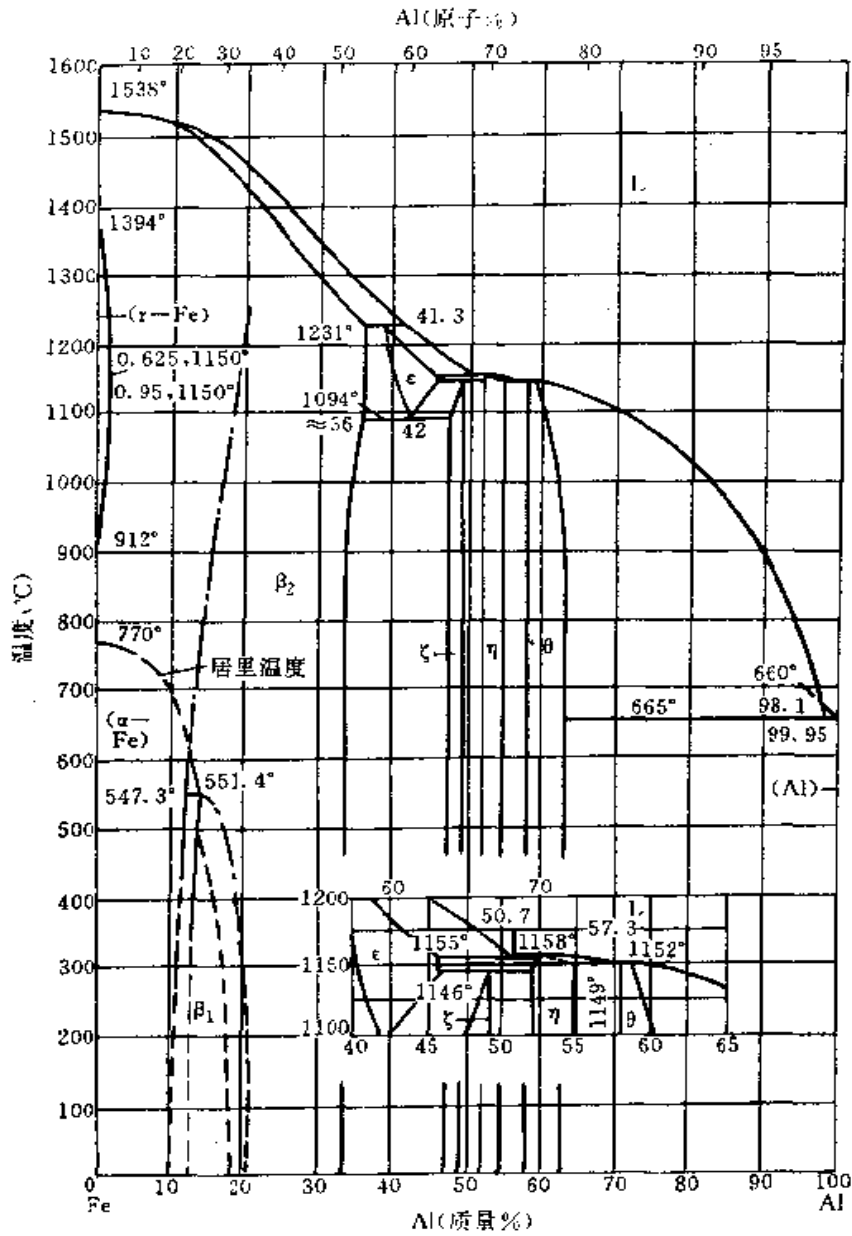


图 I-11 Fe-Al 相图

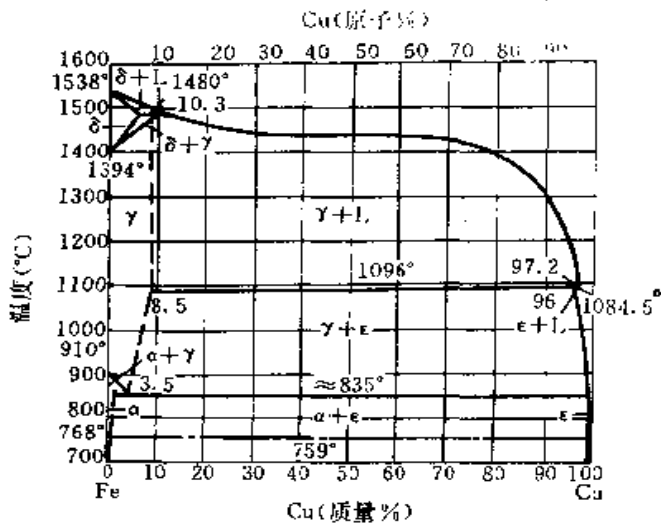


图 I-12 Fe-Cu 相图

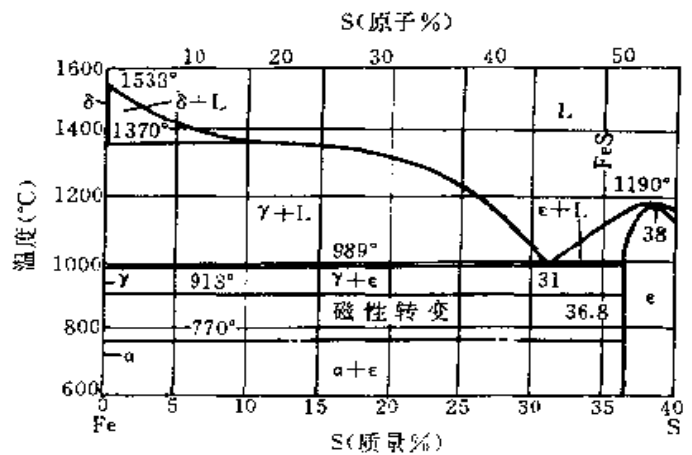


图 I-13 Fe-S 相图

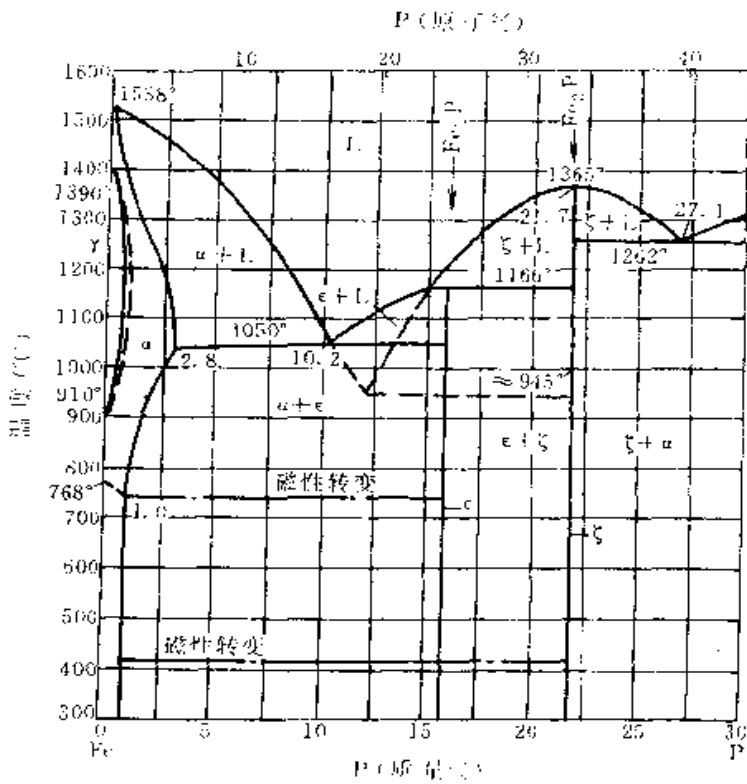


图 1-14 Fe-P 相图

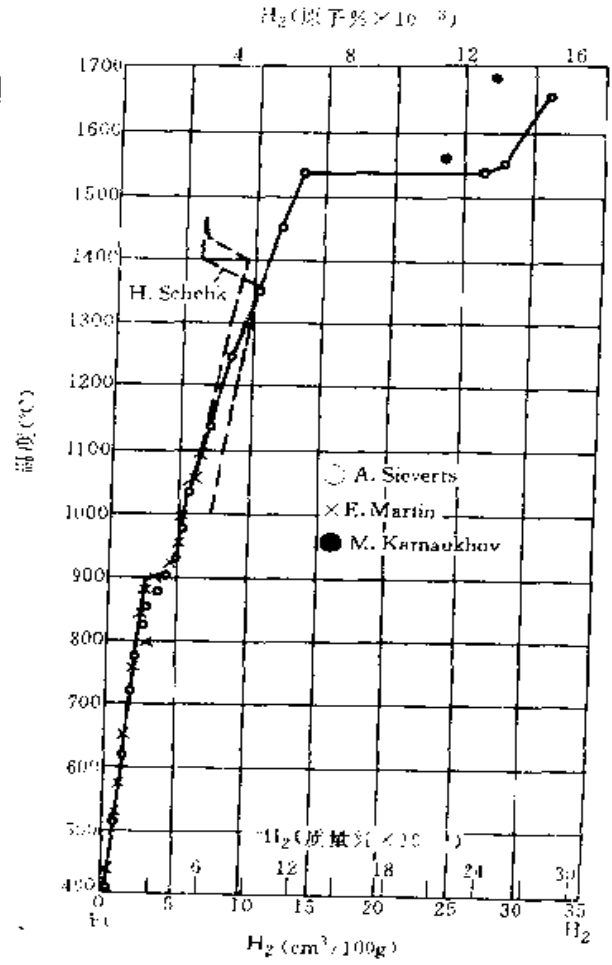


图 1-15 氢在铁中的溶解度

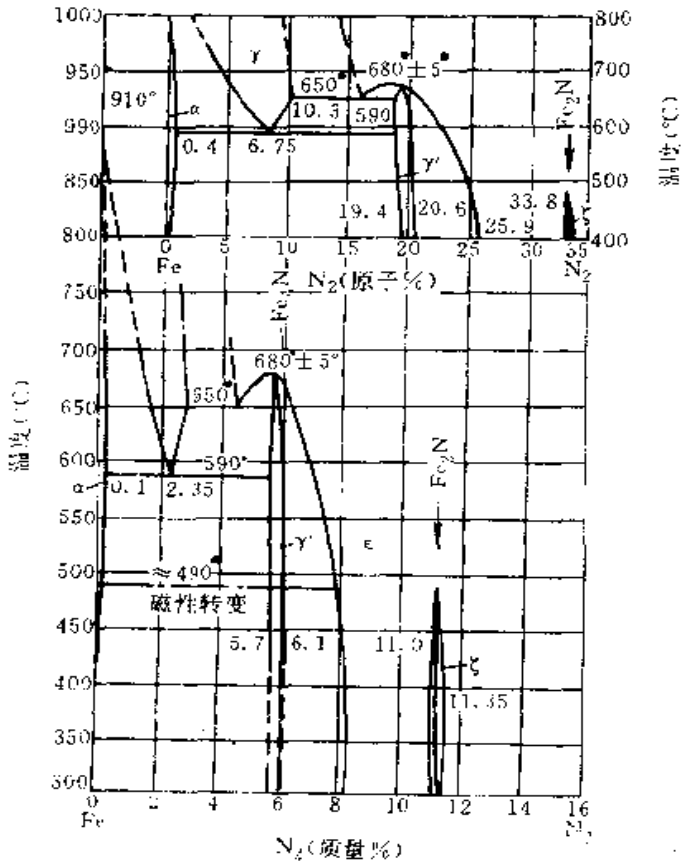


图 1-16 Fe-N₂ 相图

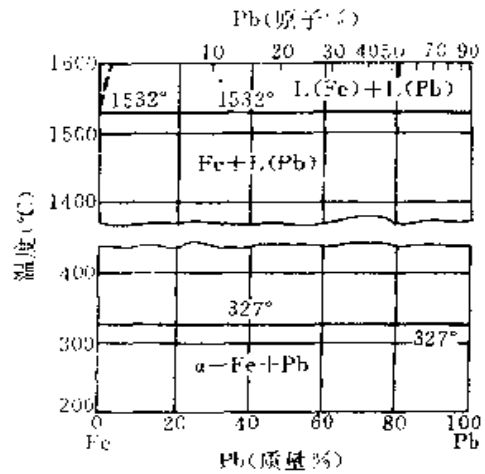


图 1-17 Fe-Pb 相图

10.2 铝系二元相图 (图 1-18~图 1-29)

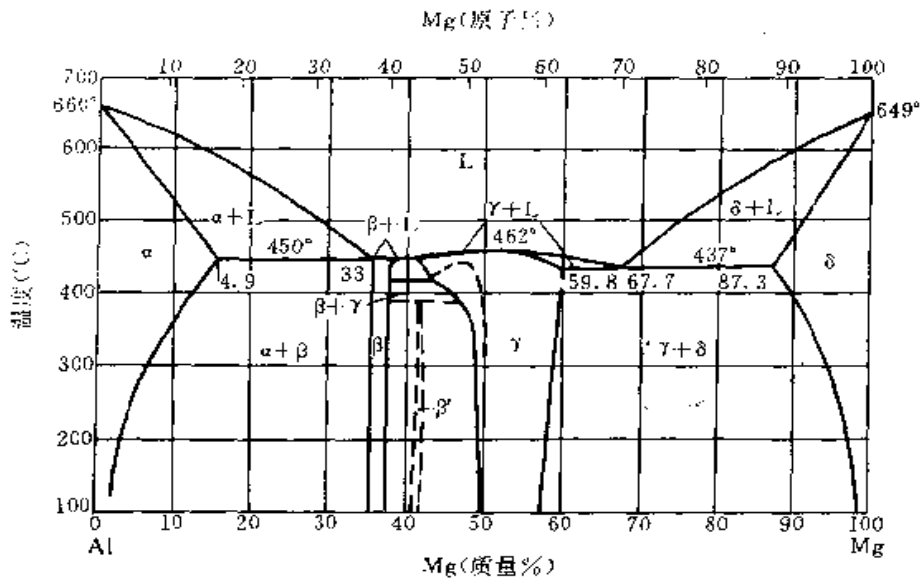


图 1-18 Al-Mg 相图

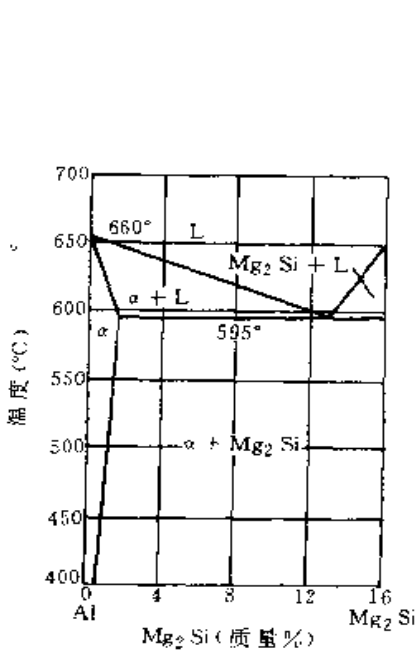


图 1-19 Al-Mg₂Si 相图

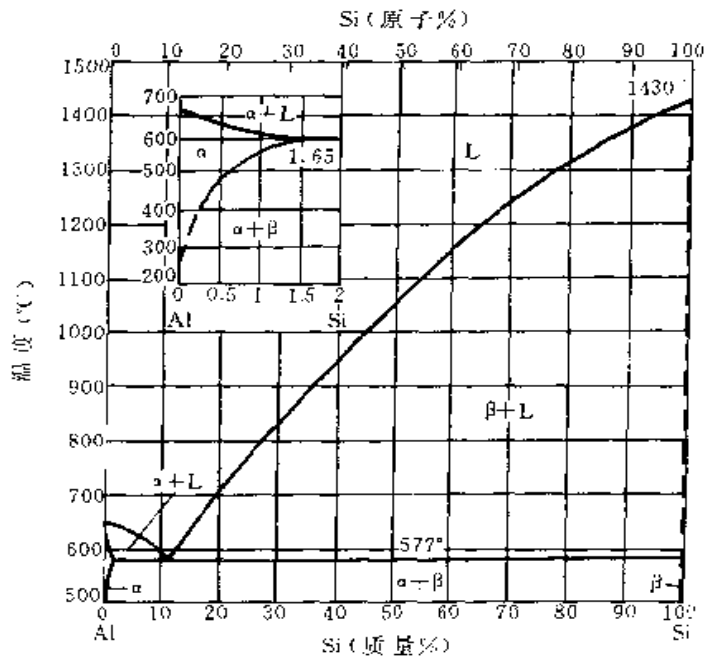


图 1-20 Al-Si 相图

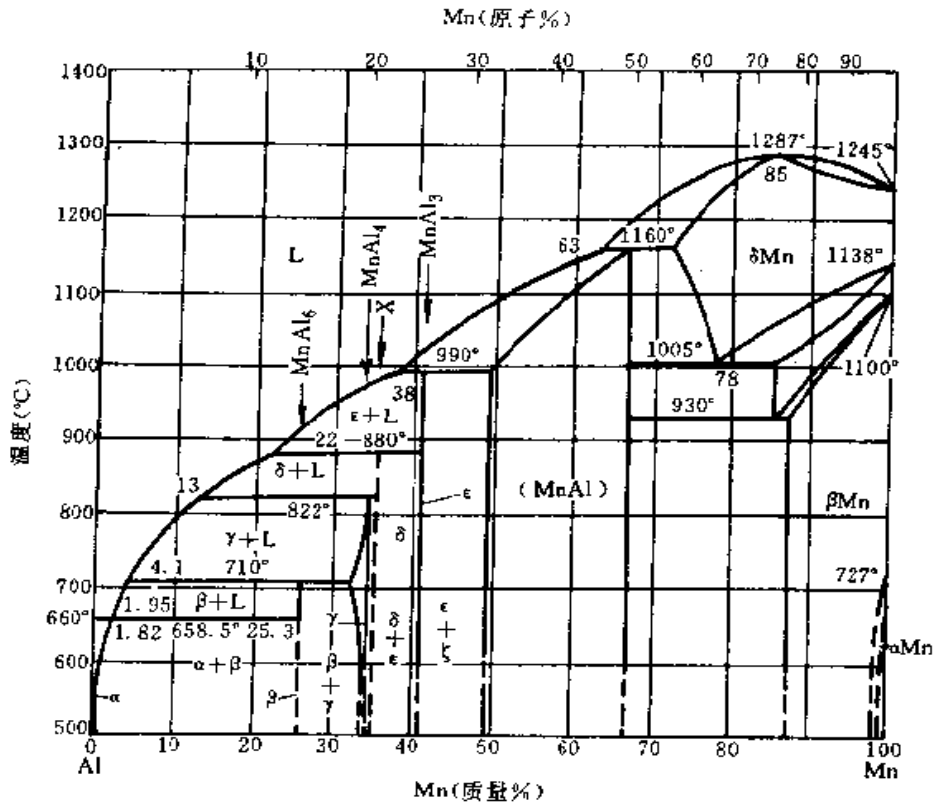


图 1-21 Al-Mn 相图

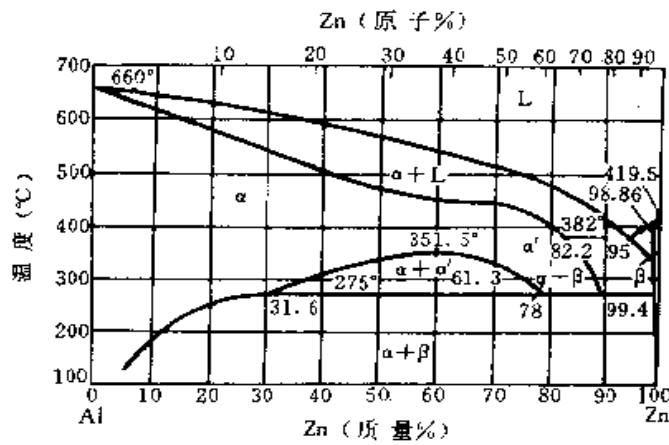


图 1-22 Al-Zn 相图

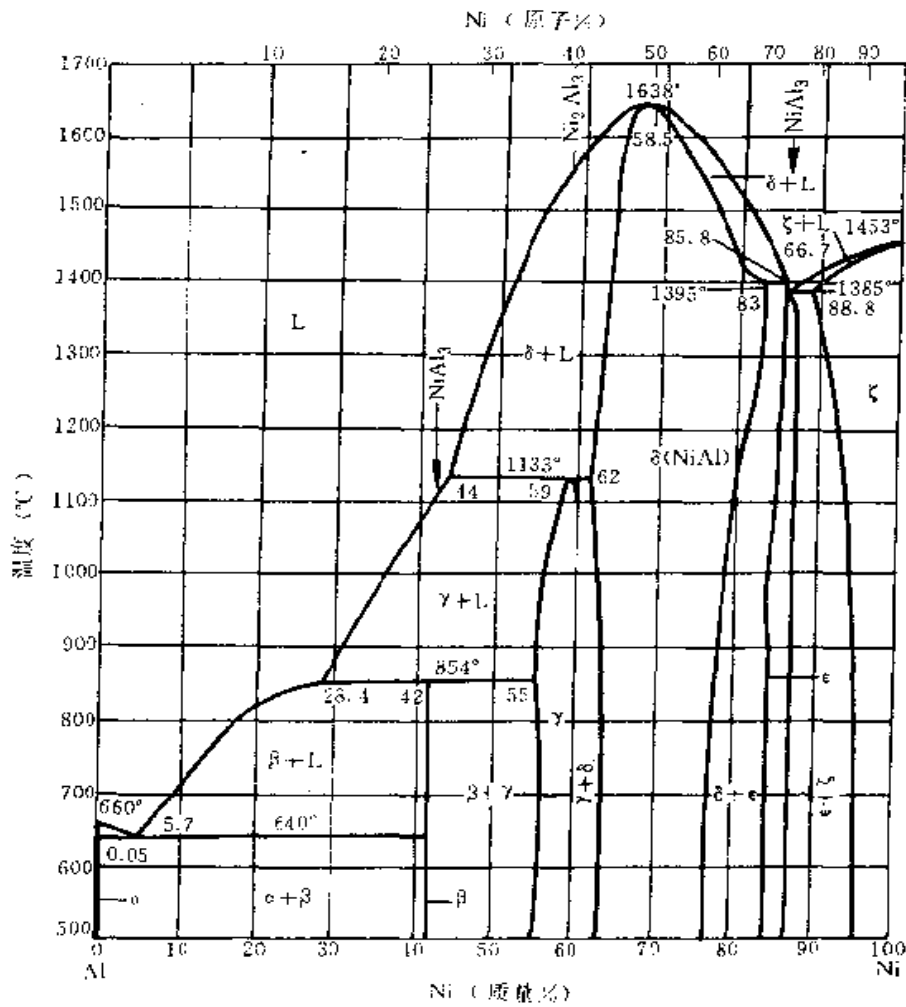


图 1-23 Al-Ni 相图

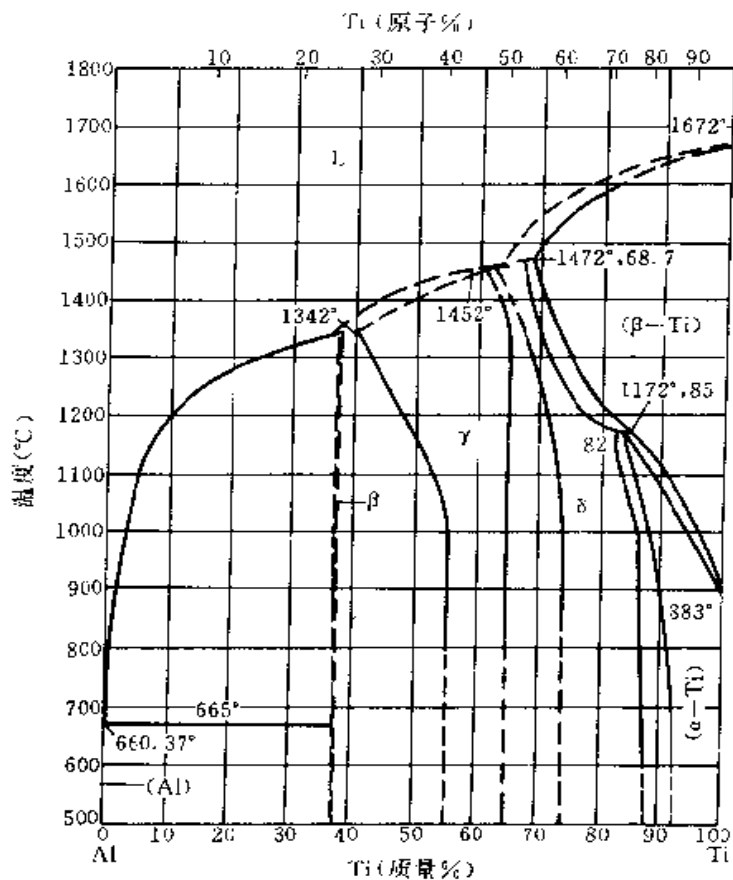


图 1-26 Al-Ti 相图

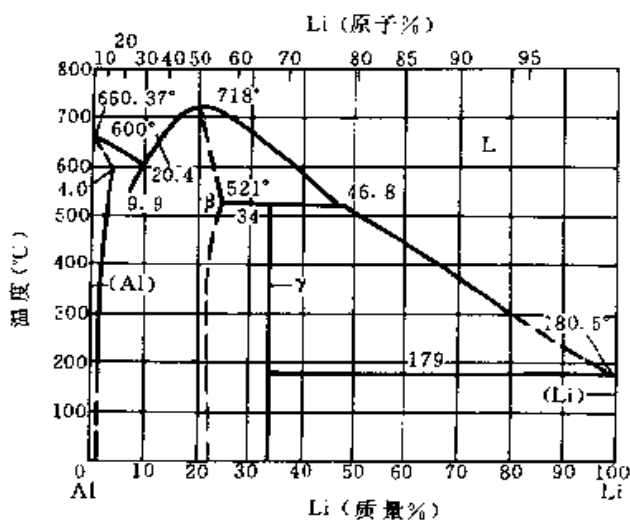


图 1-27 Al-Li 相图

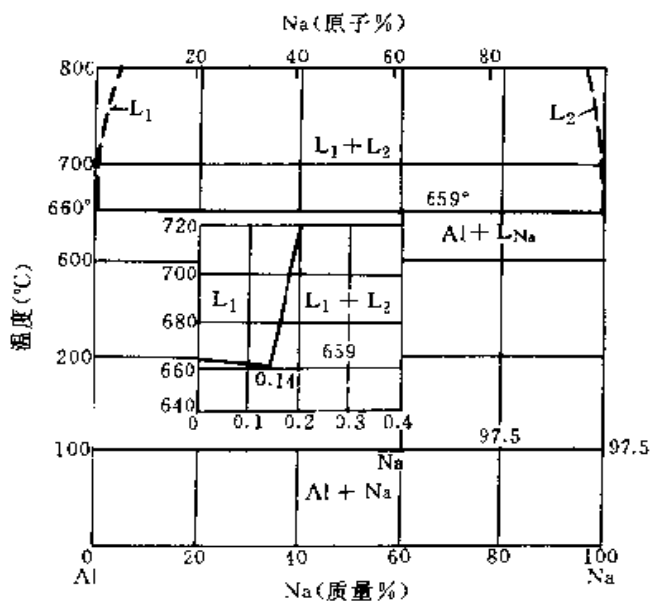


图 1-28 Al-Na 相图

10.3 铜系二元相图 (图 1-30~图 1-42)

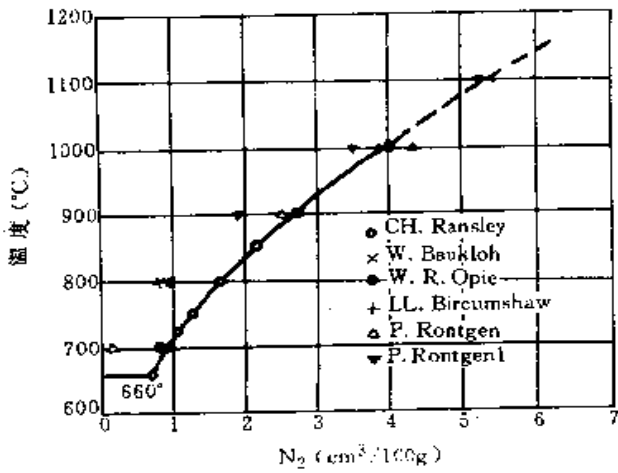


图 1-29 氢在铝中的溶解度

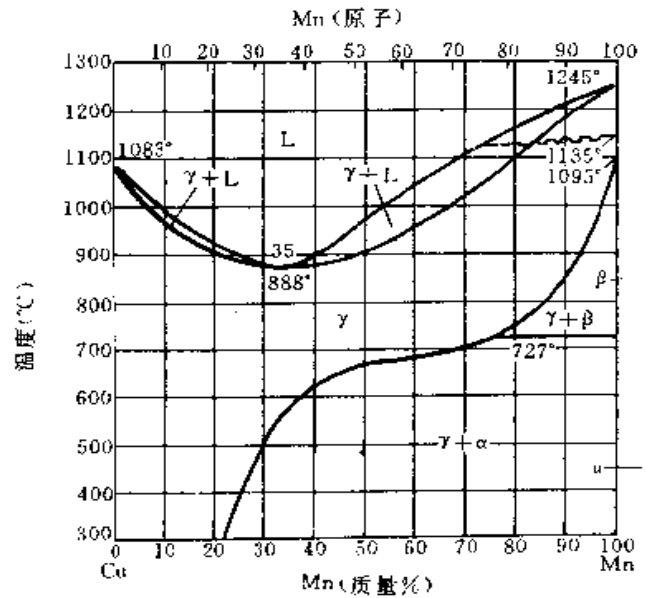


图 1-30 Cu-Mn 相图

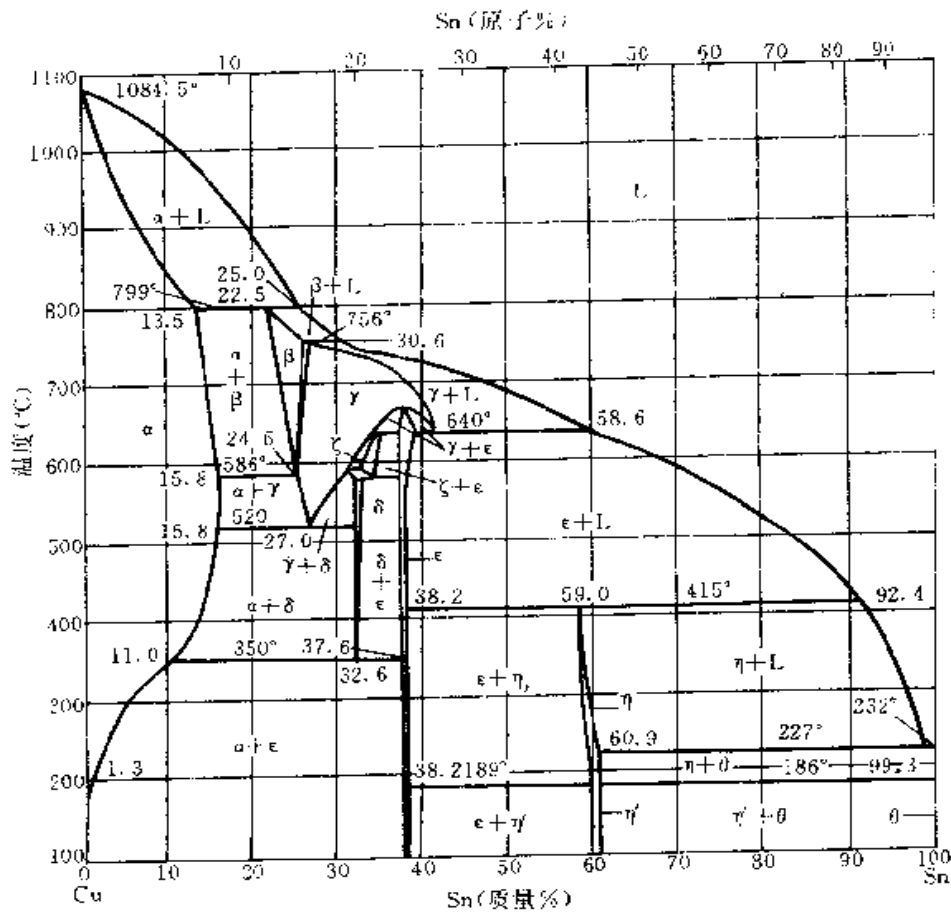


图 1-31 Cu-Sn 相图

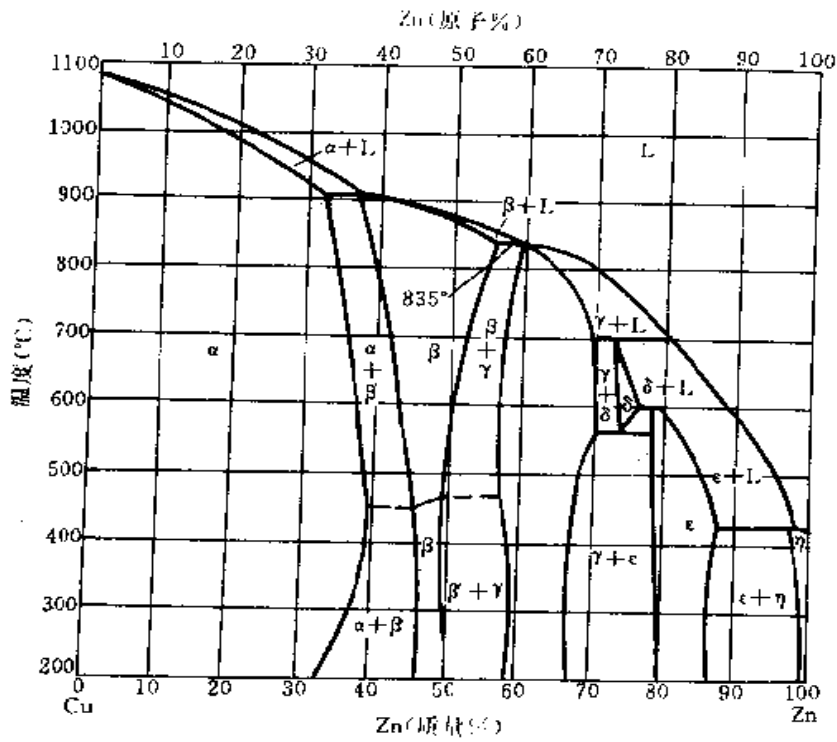


图 1-32 Cu-Zn 相图

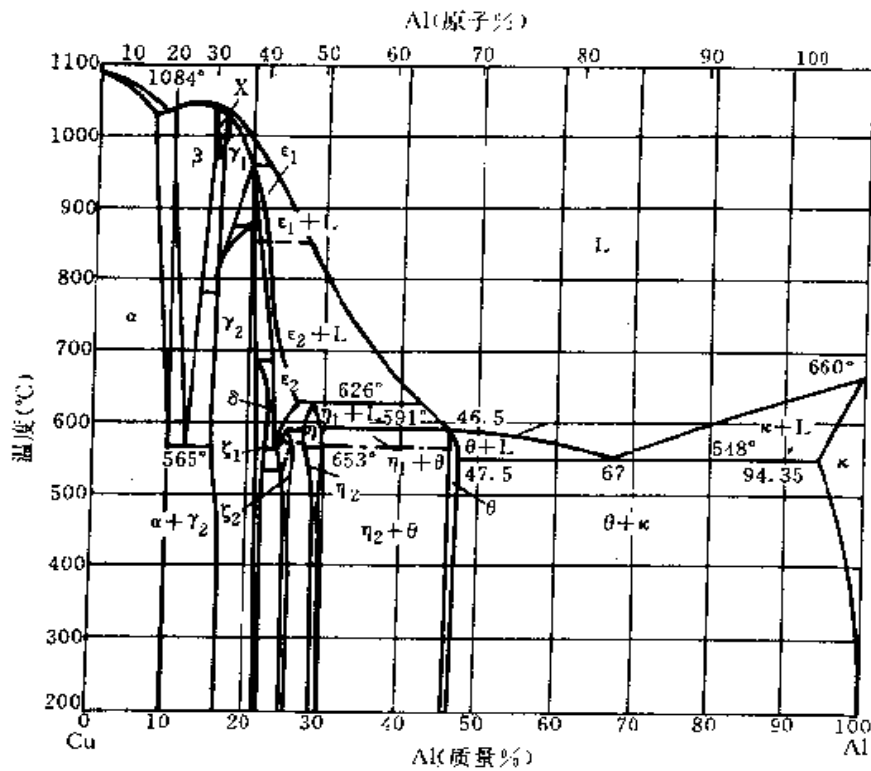


图 1-33 Cu-Al 相图

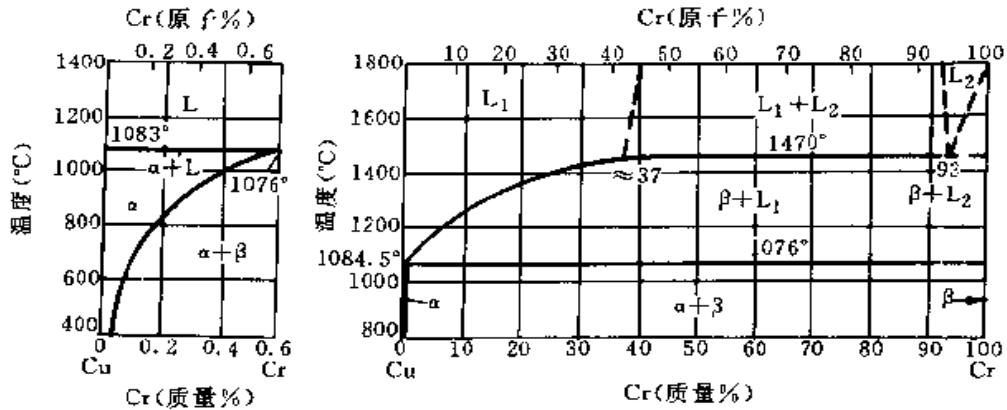


图 1-34 Cu-Cr 相图

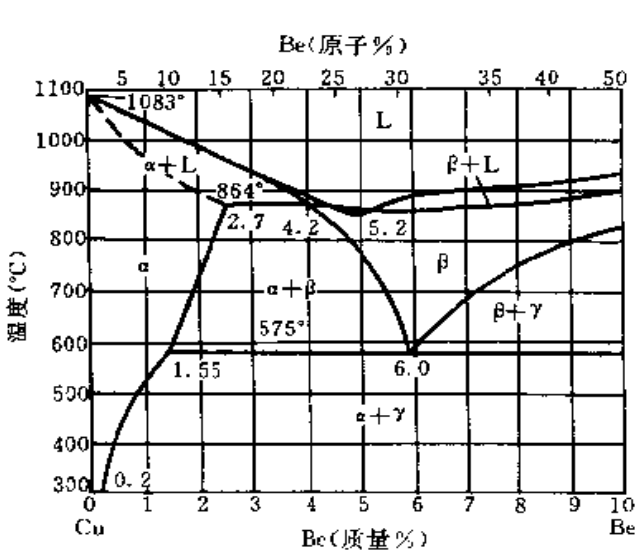


图 1-35 Cu-Be 相图

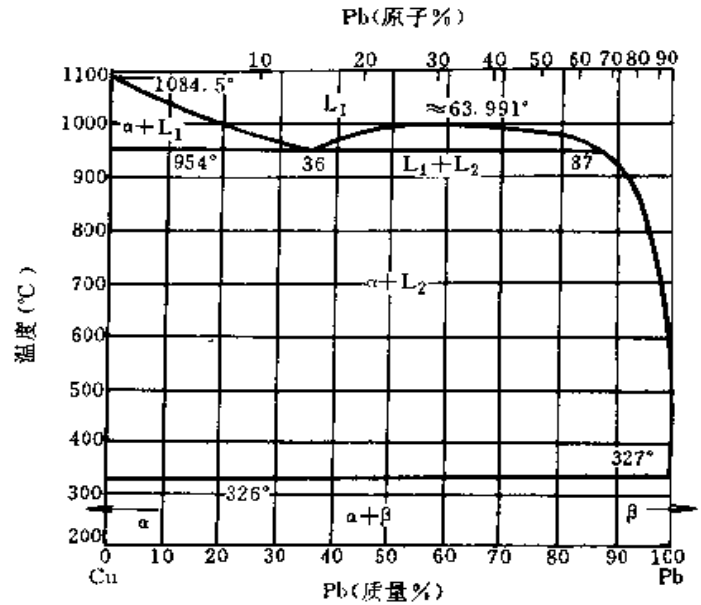


图 1-36 Cu-Pb 相图

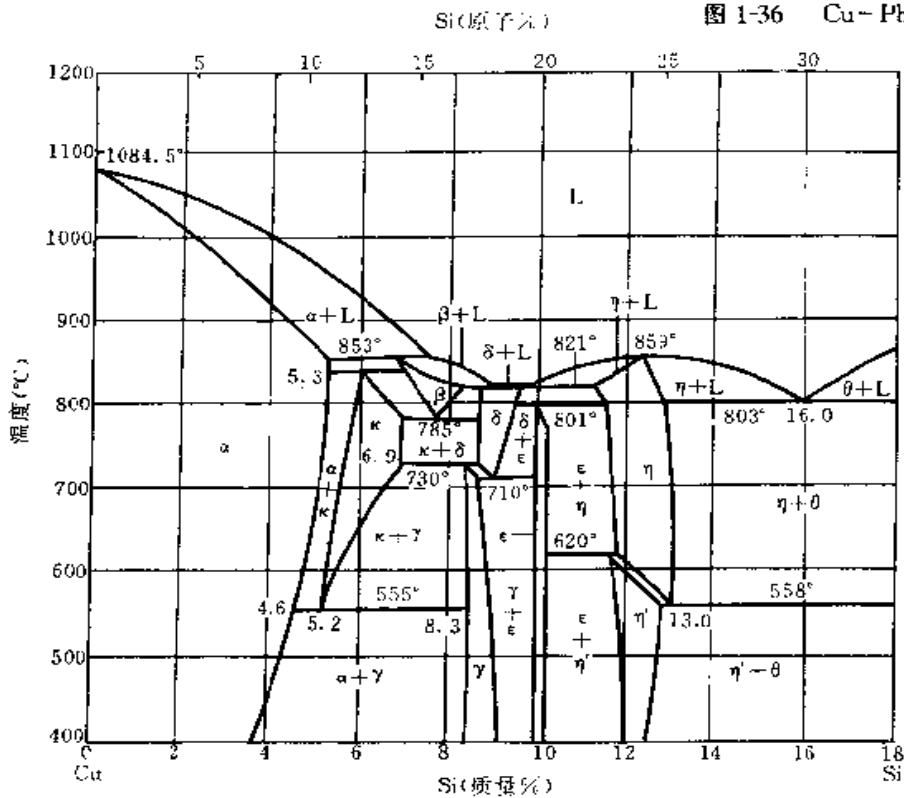


图 1-37 Cu-Si 相图

原书缺页

10.4 镁系二元相图 (图 1-43 ~ 图 1-46)

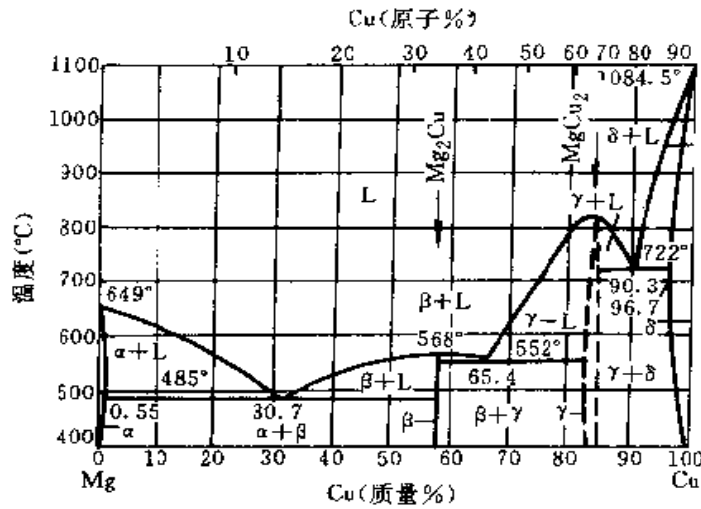


图 1-43 Mg - Cu 相图

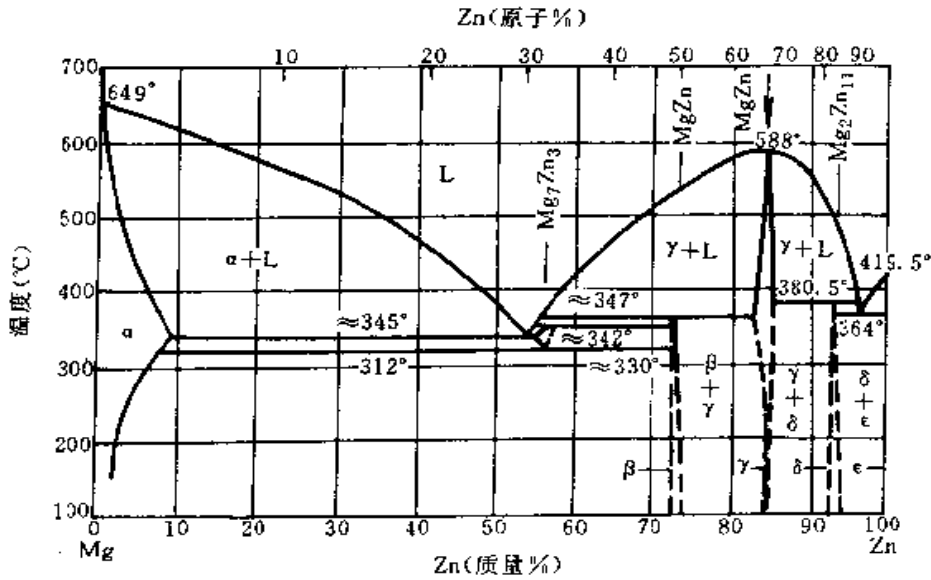


图 1-44 Mg - Zn 相图

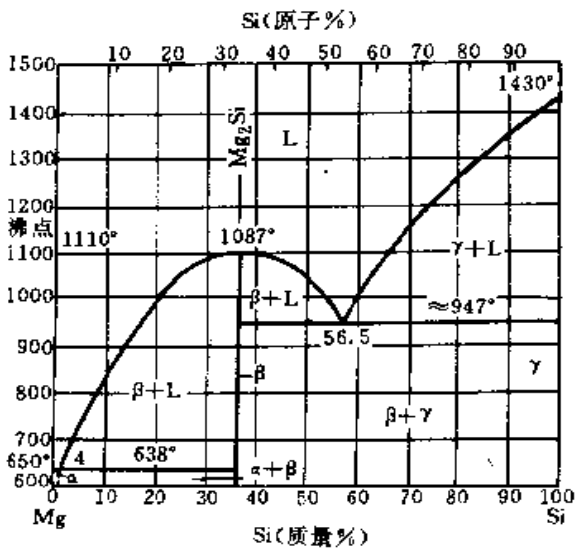


图 1-45 Mg - Si 相图

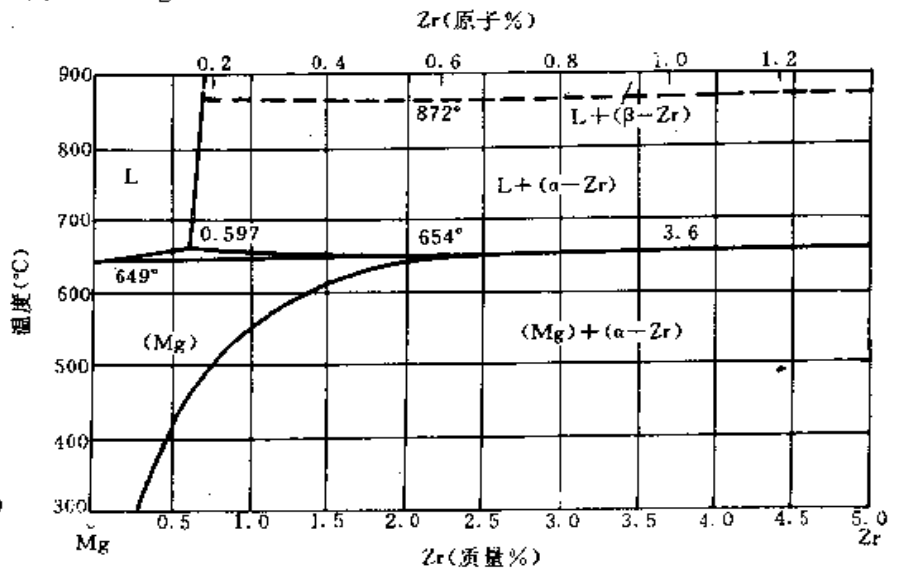


图 1-46 Mg - Zr 相图

10.5 镍系二元相图 (图 1-47~图 1-51)

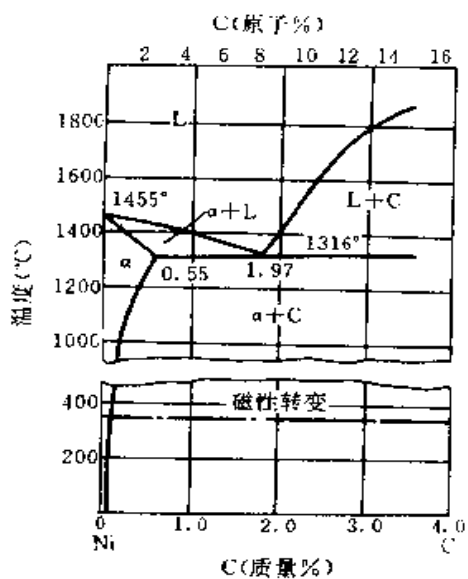


图 1-47 Ni-C 相图

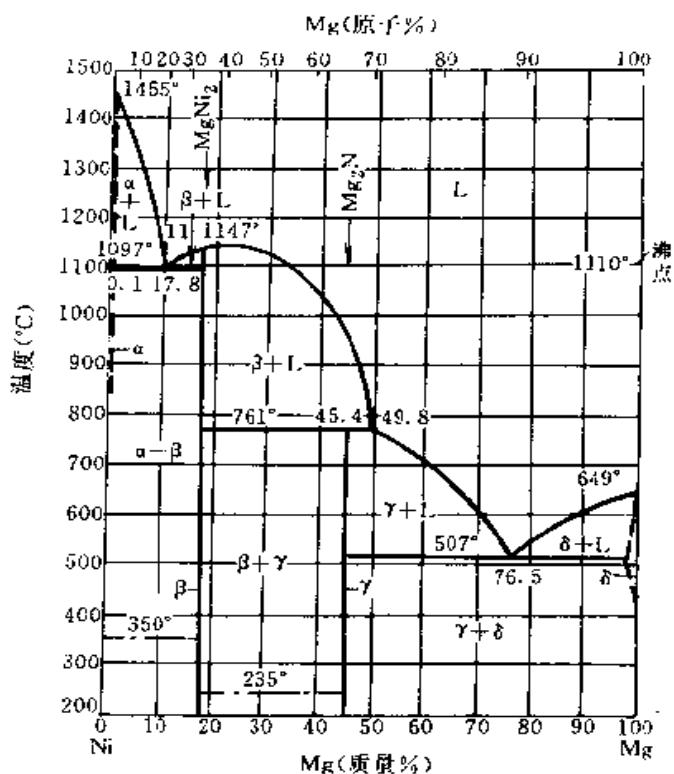


图 1-49 Ni-Mg 相图
350°C 和 235°C 处的点划线表示磁性转变

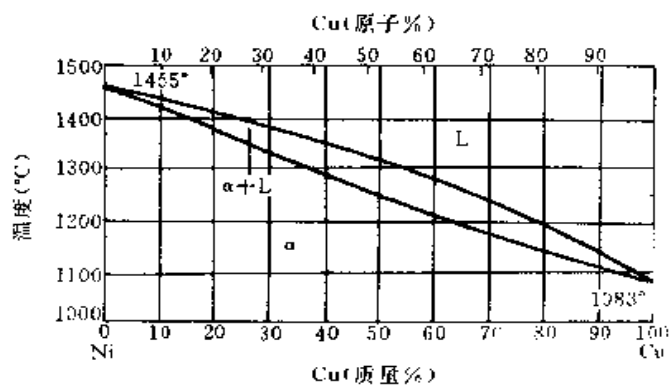


图 1-48 Ni-Cu 相图

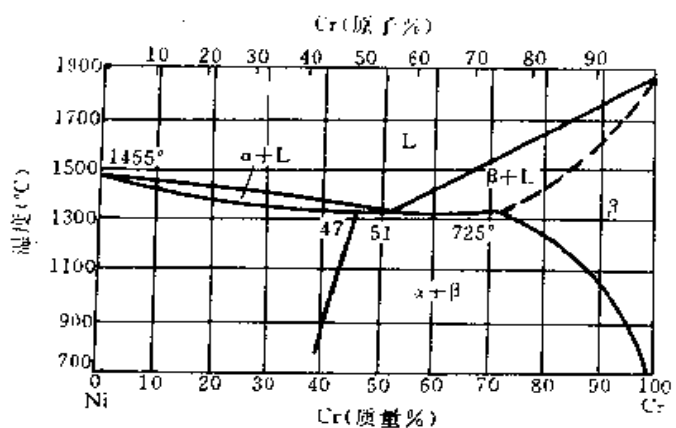


图 1-50 Ni-Cr 相图

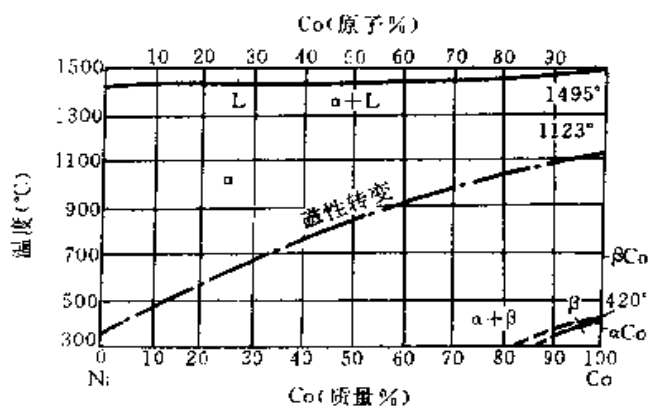


图 1-51 Ni-Co 相图

10.6 一些重要氧化物的二元相图 (图 1-52~图 1-58)

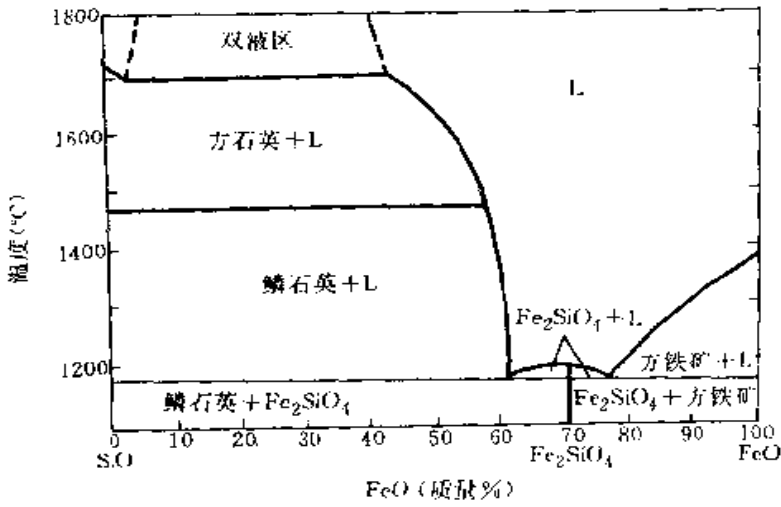


图 1-52 SiO₂ - FeO 相图

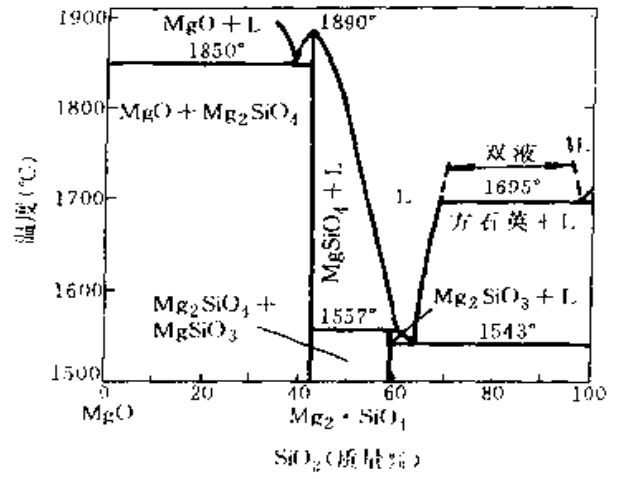


图 1-53 MgO - SiO₂ 相图

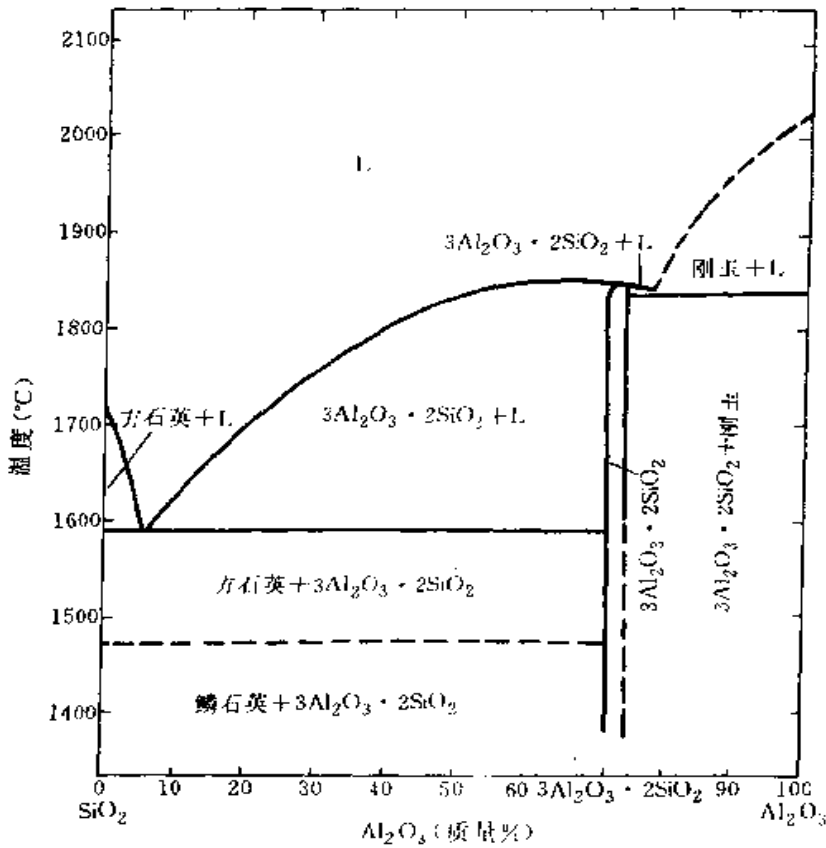


图 1-54 SiO₂ - Al₂O₃ 相图

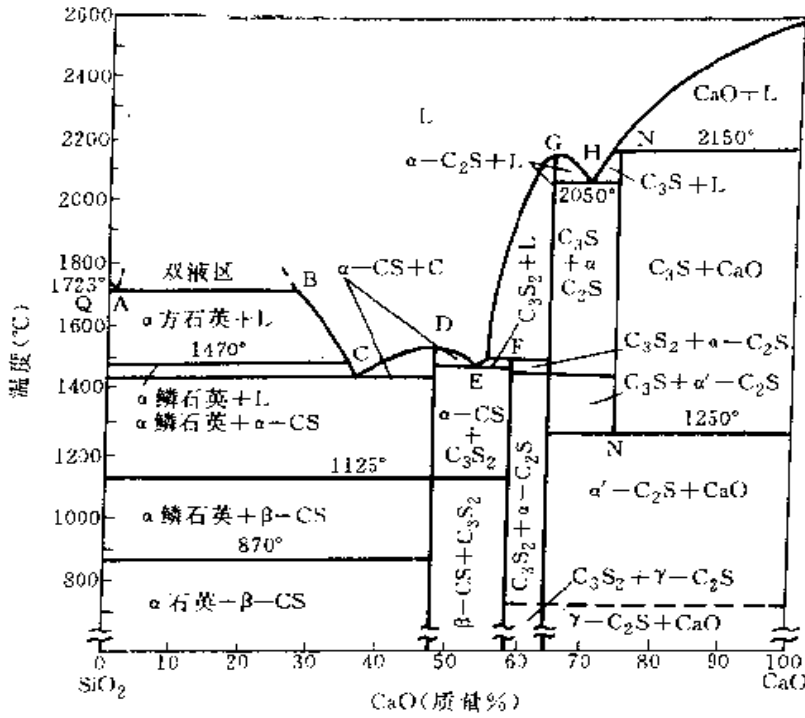


图 1-55 SiO₂-CaO 相图
 CS-CaO·SiO₂ C₃S₂-3CaO·2SiO₂
 C₃S-2CaO·SiO₂ C₃S-3CaO·SiO₂

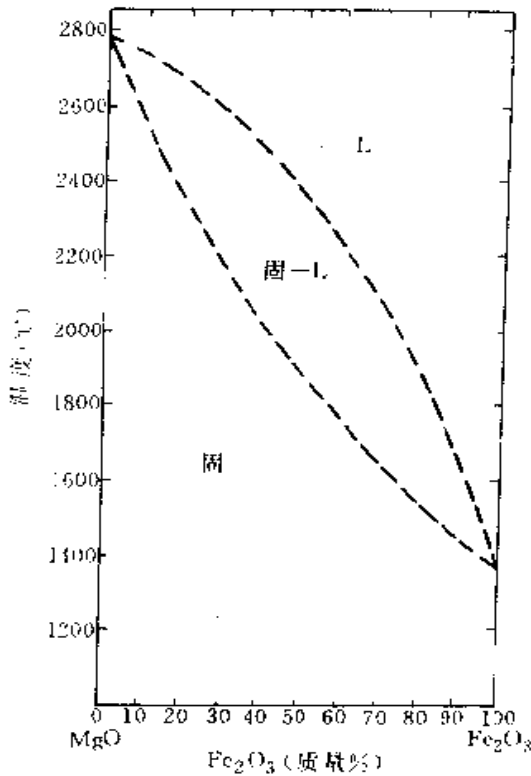


图 1-56 MgO-Fe₂O₃ 相图

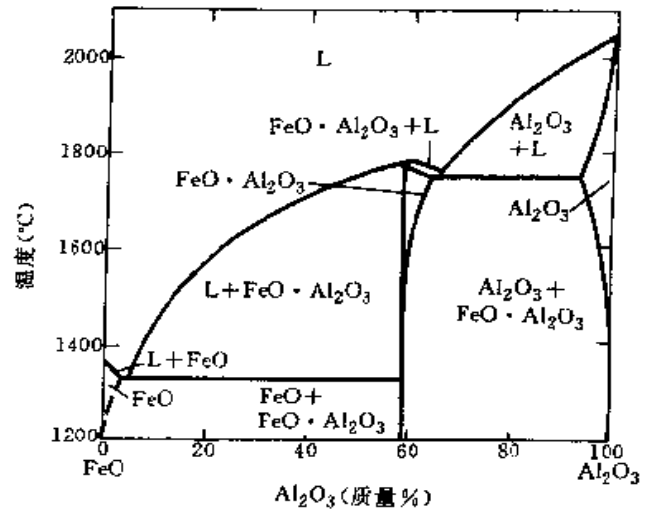


图 1-57 FeO-Al₂O₃ 相图

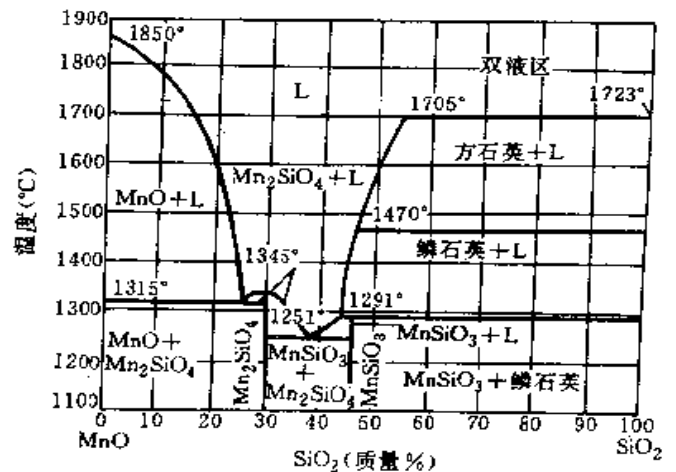


图 1-58 MnO-SiO₂ 相图

第二章 铸钢及其熔炼

1 铸钢材料

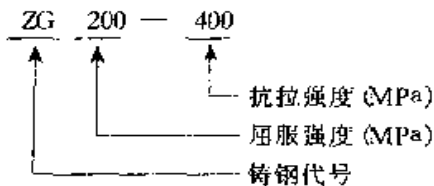
1.1 铸钢牌号的表示方法

铸钢牌号的表示方法可分为以主要元素的含量表示和以强度分级两种，特殊用途的铸钢，某些国家采用在此基础上增加特定字母的方法加以区分。

1.1.1 我国铸钢牌号的表示方法

我国除一般工程与结构用铸造碳钢和高强度钢用强度分级方法表示外，其余均用主要元素含量方法表示。无论采用哪一种方法表示，均在牌号前冠以大写字母 ZG 表示铸钢。

(1) 一般工程与结构用铸造碳钢和高强度钢 在 ZG 后面加两组数字，第一组表示屈服强度，第二组表示抗拉强度。之间用“—”隔开，例如：



(2) 铸造合金钢 在 ZG 后面用一组数字表示名义万分含碳量。平均碳含量大于 1% 的铸钢，不标注平均碳含量；平均碳含量小于 0.1% 的铸钢其名义含量标注“0”；只给出碳含量上限，未给出下限的铸钢，名义碳含量用上限表示。其后，依次排列主要合金元素符号，各元素的名义百分含量范围在相应的元素符号后面用整数表示。

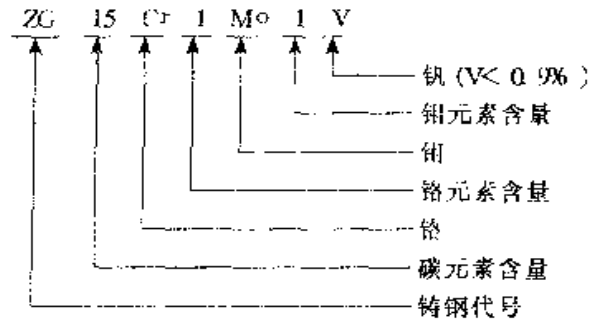
锰元素的平均含量小于 0.9% 时，不标元素符号；平均含量为 0.9%~1.4% 时，只标符号不标含量。

钼元素平均含量小于 0.15% 时，其它元素平均含量小于 0.5% 时，不标元素符号；钼的平均含量为 0.15%~0.90% 时，其它元素平均含量为 0.5%~0.90% 时，只标元素符号不标含量；平均含量为 0.9%~1.4% 时，在该元素符号后面标注数字 1。

钛、钒的平均含量小于 0.9 时，微量合金元素铌、硼、氮、稀土等的平均含量小于 0.5% 时，只标注其它元素符号，不标含量。

主要合金元素多于三种时，可只标注前两种或前三种元素的名义含量。

例如：



1.1.2 ISO 及一些国家铸钢牌号表示方法

(1) 国际标准化组织 (ISO) “一般工程用铸造碳钢”和“一般工程与结构用高强度铸钢”均按屈服强度和抗拉强度分级，高合金铸钢以化学成分表示牌号。

(2) 美国试验与材料学会 (ASTM) 一般工程用碳钢铸件 (ASTM A27/A27M^①)，高强度铸钢结构件 (ASTM A48/A148M) 和公路桥梁用铸钢件 (ASTM A486/A486M) 均按强度分级。

高合金铸钢采用美国合金铸造协会 (ACI) 的表示方法。

(3) 日本标准 (JIS) 日本铸钢牌号前冠以大写字母 SC，其后，不同用途的铸钢采用特定的字母和数字表示牌号。

一般碳素铸钢件的牌号用强度表示，在 SC 后的三位数字，即抗拉强度 (MPa) 的最低值。

焊接结构用铸钢件的牌号也用强度表示，在 SC 后加字母 W 表示焊接用，再用数字表示最低抗拉强度 (MPa)。

结构用高强度碳钢及低合金钢按合金元素分类。碳钢为 SCC，后加一分类号。低锰钢为 SCM_n，后加一分类号。锰铬钼钢为 SCM_nCrMo，后加一分类号。

在 SC 后，加字母“S”表示铸造不锈钢，加“H”表示耐热铸钢，加“PH”表示高温用压力容器铸钢，加“PL”表示低温用压力容器铸钢。其后加 1~2 位数字的顺序号。

① 美国 ASTM 标准，凡在标准号后加“M”字样，即表示该标准已采用公制单位，此处 A27 系英制标准，A27M 系公制标准，两者中间加斜线并列，即两种单位制的标准同时存在，下同此。

(4) 德国标准 (DIN) 所有碳素铸钢和低合金铸钢牌号均冠以大写字母 GS。

一般铸钢件按强度分级, 在 GS 后加一组二位数字, 表示抗拉强度 ($\frac{1}{10}$ MPa)。要求焊接性能较好的铸钢及合金钢则以化学成分表示牌号。

(5) 英国标准 (BS) 英国有三种铸钢系列: BS3100 为一般工程用铸钢件。

BS3146 金属熔模精铸件, 其中第一部分为碳钢和低合金钢, 第二部分为耐蚀耐热钢, 第三部分为真空熔炼的合金。

BS1504 为承压的铸钢件, 其中碳钢铸件为一组

(BS1504—161), 牌号为三位数字, 即抗拉强度 (MPa)。低、中合金钢牌号按成分分为 8 种, 高合金钢的牌号与 BS3100 相同。

1.2 一般工程用铸造碳钢

一般工程用铸造碳钢主要以力学性能作为验收依据, 对化学成分不作严格的限定。化学成分除规定 P、S 含量外, 其它元素不限定或只规定上限。

1.2.1 一般工程用铸造碳钢的化学成分

ISO5755—91 只规定 P、S 的最大值为 0.035%。日本除限定 P、S 的最大值为 0.04% 外, 还规定了各牌号铸钢的最高含碳量。我国标准和 ASTM 标准对化学成分的要求见表 2-1。

表 2-1 一般工程用铸造碳钢的化学成分^①

(%)

| 标准 | 牌 号 | C ^② | Si | Mn ^③ | S | P | 残余元素 ^④ | | | | |
|-------------------------|-------------------|----------------|------|-----------------|------|------|-------------------|------|------|------|------|
| | | | | | | | Ni | Cr | Cu | Mo | V |
| 我国标准 (GB11352-89) | ZG200-400 | 0.20 | 0.50 | 0.80 | 0.01 | 0.01 | 0.30 | 0.35 | 0.30 | 0.20 | 0.05 |
| | ZG230-450 | 0.30 | | | | | | | | | |
| | ZG270-500 | 0.40 | 0.90 | | | | | | | | |
| | ZG310-570 | 0.50 | 0.60 | | | | | | | | |
| | ZG340-640 | 0.60 | | | | | | | | | |
| 美国标准 (ASTM A22/A27M) | N-1 ^⑤ | 0.25 | 0.80 | 0.75 | 0.06 | 0.05 | — | — | — | — | — |
| | N-2 ^⑤ | 0.35 | 0.80 | 0.60 | 0.06 | 0.05 | | | | | |
| | U-415-205 (60-30) | 0.25 | 0.80 | 0.75 | 0.06 | 0.05 | | | | | |
| | 415-205 (60-30) | 0.30 | 0.80 | 0.60 | 0.06 | 0.05 | | | | | |
| | 450-240 (65-35) | 0.30 | 0.80 | 0.70 | 0.06 | 0.05 | | | | | |
| | 485-250 (70-36) | 0.35 | 0.80 | 0.70 | 0.06 | 0.05 | | | | | |
| | 485-275 (70-40) | 0.25 | 0.80 | 1.20 | 0.06 | 0.05 | | | | | |

① 表中数值为化学成分的上限值。

② 美国标准中除牌号标志外, 需规定类别即 [(N-1) 或 (N-2)]。(N-1) 类只作成分分析, (N-2) 类需热处理但不作力学性能试验, U-415-250 不经热处理但需作力学性能试验。其余需作热处理和力学性能试验。括号内的数值为英制单位的指标。

③ C 比上限每降低 0.01%, 允许 Mn 含量增加 0.04%。但 Mn 含量最高除 ZG200—400 不超过 1.20%, 70—40 铸钢不超过 1.40% 外, 其余牌号铸钢中不允许超过 1.00%。

④ 需方不要求时, 残余元素不作分析。

1.2.2 一般工程用铸造碳钢的力学性能

我国标准, ASTM A27/A27M, JISG5101 对一般工程用铸造碳钢的力学性能, 只限定下限值, ISO

3755—91 除抗拉强度的下限值外, 还规定了上限值, 见表 2-2。

表 2-2 铸造碳钢的力学性能下限值

| 标准 | 牌 号 | σ_s (MPa) | σ_b (MPa) | δ (%) | 根据订货合同选取 | | |
|----------------------|-----------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------|-------------------|-------------------------------|
| | | | | | ψ (%) | 冲击韧度 ^① | |
| | | | | | | A_{KV} (J) | a_k (J/cm ²) |
| 我国标准 (GB11352—89) | ZG200-400 | 200 | 400 | 25 | 40 | 30 | 60 |
| | ZG230-450 | 230 | 450 | 22 | 32 | 25 | 45 |
| | ZG270-500 | 270 | 500 | 18 | 25 | 22 | 35 |
| | ZG310-570 | 310 | 570 | 15 | 21 | 15 | 30 |
| | ZG340-640 | 340 | 640 | 10 | 18 | 10 | 20 |

(续)

| 标准 | 牌 号 | σ_s (MPa) | σ_b (MPa) | δ (%) | 根据订货合同选取 | | |
|---|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------|-------------------|-------------------------------|
| | | | | | ψ (%) | 冲击韧度 ^① | |
| | | | | | | A_{KV} (J) | a_K (J/cm ²) |
| 美国标准 ^② (ASTM A27/A27M-87) | U-415-205 (60-30) | 205 | 415 | 22 | 30 | | |
| | 415-205 (60-30) | 205 | 415 | 24 | 35 | | |
| | 450-240 (65-35) | 240 | 450 | 24 | 35 | | |
| | 485-250 (70-36) | 250 | 485 | 22 | 30 | | |
| | 485-275 (70-40) | 275 | 485 | 22 | 30 | | |
| 日本标准 (JISG5101-91) | SC360 | 175 | 360 | 23 | 35 | | |
| | SC410 | 205 | 410 | 21 | 35 | | |
| | SC450 | 225 | 450 | 19 | 30 | | |
| | SC480 | 245 | 480 | 17 | 25 | | |
| ISO3755-91 | 200-400 | 200 | 400-550 | 25 | 40 | 30 | |
| | 230-450 | 230 | 450-600 | 22 | 31 | 25 | |
| | 270-480 | 270 | 480-630 | 18 | 25 | 22 | |
| | 340-550 | 340 | 550-700 | 15 | 21 | 20 | |

① 冲击韧度 A_{KV} 为冲击吸收功 (V形缺口) 和 a_K 冲击韧度 (U形缺口)。② 美国标准中伸长率为 δ_{50} 值。

1.2.3 一般工程用铸造碳钢的物理性能

1) 铸造碳钢的临界温度和线膨胀系数, 见表 2-3。

表 2-3 铸造碳钢的临界温度和线膨胀系数

| 名义 C 含量 (%) | 临界温度(°C) | | | | 线膨胀系数 $\alpha \times 10^{-6}(1/^\circ\text{C})$ (在 20°C 至下列温度间) | | | |
|-------------|----------|--------|--------|--------|---|-------|-------|-------|
| | Ac_1 | Ac_3 | Ar_3 | Ar_1 | 100°C | 200°C | 400°C | 600°C |
| | | | | | | | | |
| 0.15 | 735 | 863 | 840 | 685 | 11.75 | 12.41 | 13.60 | 13.90 |
| 0.25 | 735 | 840 | 824 | 680 | 12.18 | 12.66 | 13.47 | 14.41 |
| 0.35 | 724 | 802 | 774 | 680 | 11.10 | 11.90 | 13.40 | 14.40 |
| 0.45 | 724 | 780 | 751 | 682 | 11.59 | 12.32 | 13.71 | 14.67 |
| 0.55 | 727 | 774 | 755 | 690 | 10.89 | 11.85 | 13.40 | 14.50 |

2) 不同成分碳钢的热导率, 见表 2-4。

表 2-4 不同成分碳钢的热导率 [W/(m·°C)]

| 温度 (°C) | 软钢 (C0.06%) | | 低碳钢 (C0.23%) | | 中碳钢 (C0.40%) | | 共析钢 (C0.80%) | |
|---------|----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|
| | P | A | P | A | P | A | P | A |
| | 0 | 65.4 | | 51.9 | | 51.9 | | 49.8 |
| 50 | 62.8 | | 51.5 | | 51.5 | | 49.4 | — |
| 100 | 60.2 | | 50.5 | | 50.7 | | 48.1 | — |
| 150 | 57.8 | | 49.8 | | 49.8 | | 46.9 | — |
| 200 | 55.7 | | 48.6 | | 48.1 | | 45.2 | — |
| 250 | 53.1 | | 46.5 | | 46.9 | | 43.1 | — |
| 300 | 51.1 | | 44.4 | | 45.6 | | 41.4 | — |
| 350 | 48.6 | | 43.6 | | 44.4 | | 40.2 | — |
| 400 | 46.5 | | 42.7 | | 41.9 | | 38.1 | — |
| 450 | 43.5 | | 41.1 | | 40.2 | | 36.4 | — |
| 500 | 41.1 | | 39.3 | | 38.1 | | 35.1 | — |
| 550 | 39.3 | | 37.7 | | 36.1 | | 33.9 | — |
| 600 | 37.7 | | 35.6 | | 33.9 | | 32.7 | — |
| 650 | 36.1 | | 33.9 | | 32.2 | | 31.4 | — |

(续)

| 温度 (°C) | 软钢 (C0.06%) | | 低碳钢 (C0.23%) | | 中碳钢 (C0.40%) | | 共析钢 (C0.80%) | |
|------------|----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|------|
| | P | A | P | A | P | A | P | A |
| | 700 | 34.0 | | 31.9 | 23.8 | 30.1 | 23.0 | 30.1 |
| 750 | 31.9 | 25.1 | 28.5 | 24.7 | 27.2 | 23.5 | 26.7 | 23.0 |
| 800 | 30.1 | 25.6 | 25.9 | 25.1 | 24.7 | 24.3 | 24.3 | 23.8 |
| 850 | 27.7 | 25.9 | 25.9 | 25.6 | 24.7 | 25.1 | 24.3 | 24.7 |
| 900 | 27.2 | 26.4 | — | 26.4 | 25.6 | 25.9 | — | 25.6 |
| 950 | — | 27.2 | — | 26.7 | — | 26.7 | — | 26.4 |
| 1000 | — | 27.7 | — | 27.2 | — | 27.2 | — | 26.7 |
| 1050 | — | 28.0 | — | 28.0 | — | 28.0 | — | 27.7 |
| 1100 | — | 28.5 | — | 28.5 | — | 28.0 | — | 28.5 |

3) 铸造碳钢的结晶温度和线收缩率, 见表 2-5。

表 2-5 铸造碳钢的结晶温度和线收缩率

| 含碳量 (%) | 液相线 (°C) | 固相线 (°C) | 自由线收缩 率 (%) | 受阻线收 缩率 (%) |
|------------|-------------|-------------|----------------|----------------|
| 0.15~0.30 | 1525 | 1490 | | |
| 0.25~0.40 | 1520 | 1460 | 2.1~2.5 | 1.4~1.8 |
| 0.40~0.50 | 1510 | 1430 | | |

4) 碳钢在不同温度范围内的平均比热容, 见表 2-6。

表 2-6 碳钢的平均比热容 [J/(kg·°C)]

| 温度范围 (°C) | 软钢 (C0.08%) | | 低碳钢 (C0.23%) | | 中碳钢 (C0.40%) | | 共析钢 (C0.80%) | |
|--------------|----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|
| | P | A | P | A | P | A | P | A |
| | 50~100 | 481 | | 486 | | 486 | | 490 |
| 100~150 | 502 | | 506 | | 502 | | 519 | — |
| 150~200 | 523 | | 519 | | 515 | | 532 | — |
| 200~250 | 544 | | 531 | | 528 | | 548 | — |
| 250~300 | 557 | | 557 | | 548 | | 565 | — |
| 300~350 | 569 | | 574 | | 569 | | 586 | — |
| 350~400 | 595 | | 599 | | 586 | | 607 | — |
| 400~450 | 624 | | 624 | | 611 | | 628 | — |
| 450~500 | 661 | | 661 | | 649 | | 670 | — |
| 500~550 | 695 | | 703 | | 691 | | 695 | — |
| 550~600 | 741 | | 749 | | 708 | | 712 | — |
| 600~650 | 791 | | 787 | | 733 | | 702 | — |

(续)

| 温度范围 (°C) | 软钢 (C0.08%) | | 低碳钢 (C0.23%) | | 中碳钢 (C0.40%) | | 共析钢 (C0.80%) | |
|--------------|----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|
| | P | A | P | A | P | A | P | A |
| | 650~700 | 858 | | 846 | 641 | 770 | | 770 |
| 700~750 | 1139 | 641 | 1432 | 645 | 1583 | 599 | 2081 | 590 |
| 750~800 | 959 | 641 | 950 | 645 | 624 | 603 | 615 | 599 |
| 800~850 | 867 | 645 | 737 | 645 | 502 | 611 | 657 | 607 |
| 850~900 | 816 | 649 | | 649 | 548 | 615 | | 620 |
| 900~950 | | 649 | | 649 | | 624 | | 624 |
| 950~1000 | | 657 | | 649 | | 624 | | 632 |
| 1000~1050 | | 657 | | 649 | | 632 | | 345 |
| 1050~1100 | | 662 | | 649 | | 632 | | 653 |

1.2.4 一般工程用铸造碳钢的铸造性能

(1) 流动性 碳钢的流动性比铸铁差, 比大多数的合金钢好。钢中的碳、硅和磷是提高流动性的元素, 其中碳的作用最大, 硅和磷的影响不如碳明显。一般的看法是随着含碳量的增加, 钢的流动性提高。锰在铸钢中含量少, 影响不大, 高锰钢的流动性比碳钢好得多。硫是降低流动性的元素。

生产过程中, 由于同种牌号的铸钢中各元素含量的可调节范围有限, 流动性的差别并不明显。想要获得合适的充型能力, 最重要的是使钢液充分脱氧, 其次是从浇注温度和浇注系统的设计上着手。提高浇注温度有利于改善流动性, 但随之带来的是由于过热造成的晶粒粗大和缩孔率增加。

(2) 碳钢的收缩 含碳量对凝固收缩的影响, 见表 2-7, 含碳量对体积收缩的影响, 见表 2-8, 含碳量对自由线收缩的影响, 见表 2-9。

对碳钢收缩的影响较大的因素是钢液温度, 温度越高, 液态收缩越大。钢液温度对缩孔率的影响, 见表 2-10。

表 2-7 含碳量对凝固收缩的影响 (%)

| 含碳量 | 0.1 | 0.35 | 0.45 | 0.70 |
|------|-----|------|------|------|
| 凝固收缩 | 2 | 3 | 4.3 | 5.3 |

表 2-8 含碳量对体积收缩的影响 (%)

| 含碳量 | 0.10 | 0.40 | 0.70 | 1.00 |
|-------|------|------|------|------|
| 总体积收缩 | 10.5 | 11.3 | 12.1 | 14.0 |
| 缩孔体积 | — | — | 6.00 | 6.00 |

表 2-9 含碳量对自由线收缩的影响 (%)

| 含碳量 | 临界区以上的收缩 | 临界区内的膨胀 | 临界区以下的收缩 | 总自由线收缩 |
|------|----------|---------|----------|--------|
| 0.08 | 1.42 | 0.11 | 1.16 | 2.47 |
| 0.14 | 1.52 | 0.11 | 1.06 | 2.46 |
| 0.35 | 1.47 | 0.11 | 1.04 | 2.40 |
| 0.45 | 1.39 | 0.11 | 1.07 | 2.35 |
| 0.58 | 1.35 | 0.09 | 1.05 | 2.31 |
| 0.90 | 1.21 | 0.01 | 0.98 | 2.18 |

表 2-10 钢液温度对缩孔率的影响

(C0.25%)

| 钢液温度 (°C) | 缩孔率 (%) |
|-----------|---------|
| 1500 | 6.3 |
| 1550 | 7.4 |
| 1650 | 9.5 |
| 1750 | 11.6 |

(3) 碳钢的裂纹倾向 碳钢铸件的裂纹分冷裂和热裂。冷裂产生于凝固完成以后,因收缩受阻或外力碰撞而形成。热裂形成于凝固过程中,抵抗热裂的能力主要取决于钢的化学成分组成和元素含量,即材料本身。铸造碳钢中含碳量对裂纹倾向影响最大。含碳量与抗热裂能力的关系如图 2-1。钢中硫和磷含量增加,抵抗热裂能力下降,生产过程中应有效控制其含量。在常用铸造碳钢的成分允许范围内,硅和锰有利于提高抵抗热裂的能力。

1.2.5 一般工程用铸造碳钢的组织特征

一般工程用铸造碳钢都是亚共析钢,组织为共析铁素体和珠光体。实际上,铸件都沿厚度方向长成不同的晶粒形状,铸件越厚,柱状晶和粗等轴晶越发达,这会使钢的力学性能降低,尤其是韧度很差。

亚共析钢中铁素体的形态与钢的含碳量和铸件壁厚有关。条状铁素体组织(魏氏组织)和网状铁素体

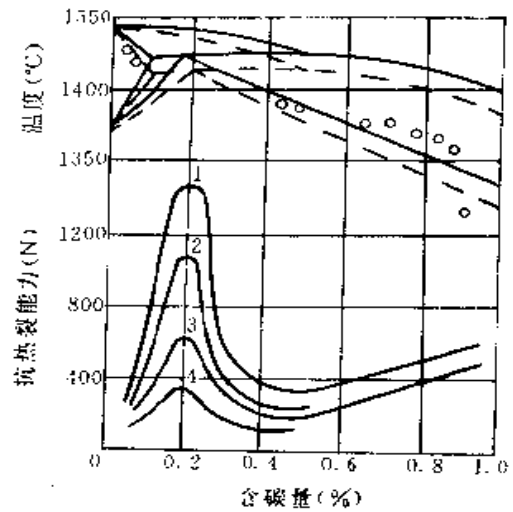


图 2-1 铸造碳钢中含碳量与抗热裂能力的关系

1—浇注温度 1550°C, 含 Mn 0.8%

2—浇注温度 1550°C, 含 Mn 0.4%

3—浇注温度 1600°C, 含 Mn 0.8%

4—浇注温度 1600°C, 含 Mn 0.4%

组织均使铸件力学性能下降。

通过适当的热处理可使铸件得到粒状组织。

1.3 焊接结构用铸造碳钢

这类铸钢要求有良好的可焊性,主要特点是:要求碳含量低,并在有要求时控制碳当量。常用焊接结构用铸钢的化学成分及碳当量要求,见表 2-11。常用焊接结构用铸钢的力学性能,见表 2-12。

1.4 低合金高强度铸钢

低合金高强度铸钢是在铸造碳钢的基础上加入合金元素,使其在不大幅度增加 C 的含量的情况下,能获得较高强度的同时具备良好的韧性和淬透性。这类钢必须经过适当的热处理才能充分发挥合金元素的作用。

低合金高强度铸钢中,合金元素的总加入量不超过 8%,而碳含量低于 0.45%。各合金元素含量一般大于以下值: Mn 1.50%、Si 0.80%、Cr 1.50%、Ni 0.50%、Cu 1.00%、Mo 0.80%、V 0.20%、W 0.10%。

表 2-11 常用焊接结构用铸钢的化学成分及碳当量上限值

(%)

| 标准 | 牌 号 | C ^① | Mn ^① | Si | P | S | 残余元素 | | | | | | 碳当量 ^② |
|-----------------------|----------|----------------|-----------------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|-----|------------------|
| | | | | | | | Ni | Cr | Cu | Mo | V | 总量 | |
| 国际标准 (ISO 3755—91) | 200-400W | 0.25 | 1.00 | 0.60 | 0.035 | 0.035 | 0.40 | 0.35 | 0.40 | 0.15 | 0.05 | 1.0 | |
| | 230-450W | 0.25 | 1.20 | 0.60 | 0.035 | 0.035 | 0.40 | 0.35 | 0.40 | 0.15 | 0.05 | 1.0 | |
| | 270-480W | 0.25 | 1.20 | 0.60 | 0.035 | 0.035 | 0.40 | 0.35 | 0.40 | 0.15 | 0.05 | 1.0 | |
| | 340-550W | 0.25 | 1.50 | 0.60 | 0.035 | 0.035 | 0.40 | 0.35 | 0.40 | 0.15 | 0.05 | 1.0 | |

(续)

| 标准 | 牌 号 | C ^① | Mn ^① | Si | P | S | 残余元素 | | | | | | 碳当量 ^② |
|--------------------------|------------|----------------|-----------------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-----|------------------|
| | | | | | | | Ni | Cr | Cu | Mo | V | 总量 | |
| 我国标准 (GB 7659—87) | ZG200-400H | 0.20 | 0.80 | 0.50 | 0.04 | 0.04 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.15 | 0.05 | 0.8 | 0.38 |
| | ZG230-450H | 0.22 | 1.20 | 0.50 | 0.04 | 0.04 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.15 | 0.05 | 0.8 | 0.43 |
| | ZG270-485H | 0.25 | 1.20 | 0.50 | 0.04 | 0.04 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.15 | 0.05 | 0.8 | 0.45 |
| 日本标准 (JIS G5102—1991) | SCW410 | 0.22 | 1.50 | 0.80 | 0.04 | 0.04 | | | | | | | 0.40 |
| | SCW450 | 0.22 | 1.50 | 0.80 | 0.04 | 0.04 | | | | | | | 0.43 |
| | SCW480 | 0.22 | 1.50 | 0.80 | 0.04 | 0.04 | 0.50 | 0.50 | | | | | 0.45 |
| | SCW550 | 0.22 | 1.50 | 0.80 | 0.04 | 0.04 | 2.50 | 0.50 | | 0.30 | 0.20 | | 0.48 |
| | SCW620 | 0.22 | 1.50 | 0.80 | 0.04 | 0.04 | 2.50 | 0.50 | | 0.30 | 0.20 | | 0.50 |
| 美国标准 (ASTM A216—89) | WCA | 0.25 | 0.70 | 0.60 | 0.04 | 0.045 | 0.50 | 0.40 | 0.50 | 0.25 | 0.03 | 1.0 | 0.50 |
| | WCB | 0.30 | 1.00 | 0.60 | 0.04 | 0.045 | 0.50 | 0.40 | 0.50 | 0.25 | 0.03 | 1.0 | 0.50 |
| | WCC | 0.25 | 1.20 | 0.60 | 0.04 | 0.045 | 0.50 | 0.40 | 0.50 | 0.25 | 0.03 | 1.0 | 0.55 |

① ISO 3755—91 规定,碳含量每比上限低 0.01%,允许 Mn 比上限增高 0.04%,200—400W 的最高含 Mn 量为 1.2%;270—480W 的最高含锰量为 1.40%。

GB 7659—87 规定,碳含量每比上限低 0.01%,允许含 Mn 量比上限增高 0.04%,但 Mn 的增量不得大于 0.20%。

ASTM A216—89 规定,牌号 WCA,碳每比上限低 0.01%,允许含 Mn 量比上限增高 0.04%,Mn 含量最高可到 1.10%。

② GB 7659—87 规定,需方有要求时控制碳当量,计算式: $CE(\%) = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}$ 。

JIS G5102—1991 规定,碳当量计算式: $CE = C + \frac{Mn}{6} - \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14}$ 。

ASTM A216—89 规定,订货有要求时,控制碳当量。碳当量的计算式与 GB7659—87 相同。

表 2-12 焊接结构用铸钢的力学性能

| 标准 | 牌 号 | σ_s (MPa) | σ_b (MPa) | δ (%) | ψ (%) | 冲击性能 | |
|--------------------------|------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------|--------------|-------------------------------|
| | | | | | | A_{KV} (J) | a_{KV} (J/cm ²) |
| 国际标准 (ISO3755—91) | 200-400W | 200 | 400~550 | 25 | 40 | 45 | |
| | 230-450W | 230 | 450~600 | 22 | 31 | 45 | |
| | 270-480W | 270 | 480~630 | 18 | 25 | 22 | |
| | 340-550W | 340 | 550~700 | 15 | 21 | 20 | |
| 我国标准 (GB7659—87) | ZG200-400H | 200 | 400 | 25 | 40 | 30 | 59 |
| | ZG230-450H | 230 | 450 | 22 | 35 | 25 | 44 |
| | ZG270-485H | 275 | 485 | 20 | 35 | 22 | 34 |
| 日本标准 (JIS G5102—1991) | SCW410 | 235 | 410 | 21 | | 28 | |
| | SCW450 | 255 | 450 | 20 | | 28 | |
| | SCW480 | 275 | 480 | 20 | | 28 | |
| | SCW550 | 355 | 550 | 18 | | 28 | |
| | SCW620 | 430 | 620 | 17 | | 28 | |

(续)

| 标准 | 牌 号 | σ_s (MPa) | σ_b (MPa) | δ (%) | ψ (%) | 冲击性能 | |
|-----------------------------|-----|---------------------|---------------------|-----------------|---------------|--------------|-------------------------------|
| | | | | | | A_{KV} (J) | a_{KV} (J/cm ²) |
| 美国标准 (ANSI/ASTM A216—83) | WCA | 205 | 415~585 | 24 | 35 | | |
| | WCB | 205 | 485~655 | 24 | 35 | | |
| | WCC | 275 | 485~655 | 24 | 35 | | |

注：1. 表中无范围的数值均为下限值。

2. 日本标准中冲击吸收功为三个试样平均值，试验温度0℃。

3. 国际标准中 ψ 与 A_{KV} 值验收时商定只选其一，或由铸造厂选定。

各个合金元素的作用如下：

锰 提高钢的淬透性，从而通过热处理使钢获得良好的强度，硬度及耐磨性。但缺点是易造成晶粒粗大，有过热敏感性和回火脆性。

硅 对铁素体的固溶强化作用，能提高钢的屈服强度。硅和锰的适当配合，还可稍稍减小锰钢热处理时的晶粒长大倾向。

钼 提高淬透性，减小回火脆性。钼钼钢具有较高的低温冲击韧度和抗蠕变能力。

铬 在钢中铁和碳形成碳化物，并能部分溶入固溶体中，并有改善高温性能的作用。

钨 是强烈形成碳化物的元素，能提高回火温度和稳定组织，使钢在高温时具有良好的耐磨性、塑性和导热性。钒的主要作用在于细化晶粒。

钒 在低含量时细化晶粒，提高韧性。

低合金高强度铸钢由于合金元素的加入，相对碳钢而言，流动性略微降低，导热性较差，铸造应力相对增大，切割浇冒口最好在退火或正火后进行。

1.4.1 我国的低合金铸钢件标准

GB/T 14408—93“一般工程与结构用低合金钢铸件”，规定以力学性能为主要验收依据，化学成分方面只限定P和S的含量。

力学性能要求，见表2-13，对P、S含量的限定，见表2-14。

表 2-13 一般工程与结构用铸钢件的力学性能
(GB/T 14408—93)

| 牌 号 | 最 小 值 | | | |
|-----------|--------------------------------------|---------------------|-------------------|---------------|
| | σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ (MPa) | σ_b (MPa) | δ_5 (%) | ψ (%) |
| ZG270-480 | 270 | 480 | 18 | 35 |
| ZG290-510 | 290 | 510 | 16 | 35 |

(续)

| 牌 号 | 最 小 值 | | | |
|------------|--------------------------------------|---------------------|-------------------|---------------|
| | σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ (MPa) | σ_b (MPa) | δ_5 (%) | ψ (%) |
| ZG345-570 | 345 | 570 | 14 | 35 |
| ZG410-620 | 410 | 620 | 13 | 35 |
| ZG535-720 | 535 | 720 | 12 | 30 |
| ZG650-830 | 650 | 830 | 10 | 25 |
| ZG730-910 | 730 | 910 | 8 | 22 |
| ZG840-1030 | 840 | 1030 | 6 | 20 |

为便于铸造厂选定化学成分，现就表2-13中的各牌号，推荐一些可供选用的化学成分，并列出其热处理规范和力学性能，见表2-15，供参考。

我国常用的一些低合金高强度铸钢的化学成分和力学性能，见表2-16。

表 2-14 对低合金铸钢件P、S含量的规定
(GB/T 14408—93)

| 牌 号 | 最高含量 (%) | |
|------------|----------|-------|
| | S | P |
| ZG270-480 | 0.04 | 0.04 |
| ZG290-510 | | |
| ZG345-570 | | |
| ZG410-620 | | |
| ZG535-720 | | |
| ZG650-830 | | |
| ZG730-910 | 0.035 | 0.035 |
| ZG840-1030 | | |

1.4.2 国外的低合金高强度铸钢件

1) ISO 9477—92“一般工程与结构用高强度铸钢”，按强度等级规定了4个牌号，见表2-17。

表 2-15 推荐的低合金铸钢的化学成分、热处理规范和力学性能的参考值

| 牌 号 | 序 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | | 力 学 性 能 | | | | | | 热 处 理 规 范 |
|------------|-----|--------------|-----------|-----------|-------|-------|-----------|------|-----------|---------------------|--------------------------|---------------------|-------------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------------|--|-----------|
| | | 未给出范围者为 最高含量 | | | | | | | | | | | 最 小 值 | | | | | | |
| | | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Mo | 其它 | $\sigma_{0.02}$ (MPa) | σ_b (MPa) | δ_5 (%) | ψ (%) | A_{KV} (J) | A_{KU} (J) | 硬 度 (HB) | | |
| ZG 270-480 | 1 | 0.2 | 0.60 | 0.50~0.80 | 0.04 | 0.045 | 1.00~1.50 | 0.50 | 0.45~0.65 | Cu: 0.50, W: 0.10 | 275 | 485~655 | 20 | 35 | | | 正火 + 595℃ 回火 | | |
| | 2 | 0.18 | 0.60 | 0.40~0.70 | 0.04 | 0.045 | 2.00~2.70 | 0.50 | 0.90~1.20 | Cu: 0.50, W: 0.10 | 275 | 485~655 | 20 | 35 | | | 正火 + 675℃ 回火 | | |
| | 3 | 0.2 | 0.60 | 0.30~0.80 | 0.04 | 0.045 | 1.00~1.50 | | 0.45~0.65 | V: 0.15 | 276 | 488 | 18 | 35 | | | 1010~1065℃ 正火 + 回火 | | |
| | 4 | 0.15 | 0.60 | 0.50~0.80 | 0.04 | 0.045 | 3.00~4.00 | | 0.45~0.65 | | 275 | 485~655 | 24 | 35 | | | 正火 + 回火, 淬火 + 回火 | | |
| | 5 | 0.20 | 0.60 | 0.50~0.80 | 0.04 | 0.04 | | | 0.45~0.65 | Cu, Ni: 0.5, W: 0.1 | 275 | 481 | 17 | 35 | | | | | |
| ZG 290-510 | 6 | 0.23 | 0.60 | 1.00~1.50 | 0.025 | 0.025 | 0.30 | 0.40 | 0.15 | | 295 | 510 | 14 | 30 | 39 | | 正火 + 回火 | | |
| | 7 | 0.17~0.23 | 0.20~0.40 | 1.10~1.40 | 0.030 | 0.030 | 0.30 | 0.30 | 0.20~0.30 | Cu: 0.30 | 295 | 490 | 16 | | | | 正火 + 回火 | | |
| | 8 | 0.15~0.20 | 0.30~0.60 | 0.50~0.80 | 0.040 | 0.040 | 1.20~1.50 | | 0.45~0.55 | | 295 | 540 | 15 | 35 | 39 | | | | |
| | 9 | 0.10~0.15 | 0.45 | 0.40~0.70 | 0.030 | 0.030 | 0.30~0.50 | | 0.40~0.60 | | 295 | 510 | 17 | | | | 正火 + 回火 | | |
| ZG 345-570 | 10 | 0.30~0.40 | 0.50~0.75 | 0.90~1.2 | 0.030 | 0.030 | 0.50~0.80 | | | | 345 | 690 | 14 | 30 | | | 正火 + 回火 | | |
| | 11 | 0.12~0.20 | 0.17~0.37 | 0.40~0.70 | 0.030 | 0.030 | 1.20~1.70 | | 0.70~1.20 | | 350 | 500 | 15 | 30 | | | 二次正火 + 回火 | | |
| | 12 | 0.25~0.35 | 0.60~0.80 | 1.10~1.40 | 0.040 | 0.040 | | | | | 345 | 590 | 14 | 25 | | | 正火 + 回火 | | |
| | 13 | 0.15~0.21 | 0.30~0.60 | 0.50~0.80 | 0.020 | 0.015 | 1.00~1.50 | 0.50 | 0.45 | Cu: 0.33, Al: 0.01 | 345 | 550~725 | 18 | 45 | | | 正火 + 675℃ 回火 | | |
| ZG 410-620 | 14 | 0.35~0.45 | 0.20~0.40 | 1.60~1.80 | 0.030 | 0.030 | | | | | 395 | 590 | 20 | 55 | | | 正火 + 回火 | | |
| | 15 | 0.35~0.45 | 0.20~0.40 | 0.50~0.80 | 0.030 | 0.030 | 0.80~1.10 | 0.30 | 0.15 | Cu: 0.25, V: 0.15 | 345 | 630 | 18 | 26 | | | 正火 + 回火 | | |
| | 16 | 0.30~0.40 | 0.60~0.80 | 1.10~1.40 | 0.030 | 0.030 | | | | | 415 | 640 | 12 | 25 | | | 调质 | | |

(续)

| 牌号 | 化学成分 (%) | | | | | | | | | | | 力学性能 | | | | | | 热处理规范 |
|-------------|----------|-------------|-----------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-------------|----------------------|-----------------------|------------------|----------------|------------|--------------|--------------|-----------------|-------|
| | 序号 | 未给出范围者为最高含量 | | | | | | | | | | 值 | | | | | | |
| | | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Mo | 其它 | $\sigma_{0.02}$ (MPa) | σ_b (MPa) | δ_5 (%) | ψ (%) | A_{KV} (J) | A_{KU} (J) | 硬度 (HB) | |
| ZG 410-620 | 17 | 0.30 | 0.75 | 0.40~0.70 | 0.040 | 0.040 | 4.00~6.00 | 0.40 | 0.45~0.65 | Cu:0.30 | 420 | 620 | 13 | | 25 | | 179~225 | |
| | 18 | 0.25~0.35 | 0.30~0.60 | 1.00~1.60 | 0.04 | 0.04 | | | | | 441 | 637 | 17 | 35 | | | 正火+回火 | |
| | 19 | 0.15 | 0.30 | 0.50 | 0.030 | 0.030 | 1.20 | — | 0.90 | V:0.20 | 440 | 590~780 | 15 | 40 | 24 | | 正火+回火 | |
| | 20 | 0.22~0.30 | 0.50~0.80 | 1.30~1.60 | 0.035 | 0.035 | | Cu:0.30 | V:0.07~0.15 | Ti:0.02~0.05 | 416 | 622 | 22 | 45 | 44.1 | 179~241 | | |
| ZG 535-720 | 21 | 0.22 | 0.50 | 0.55~0.75 | 0.04 | 0.045 | 2.50~3.50 | 1.35~1.85 | 0.30~0.60 | | 550 | 725~895 | 18 | 30 | 41 | | 正火+回火; 液淬+回火 | |
| | 22 | 0.20 | 0.60 | 0.40~0.70 | 0.020 | 0.020 | 1.50~2.0 | 2.75~3.90 | 0.40~0.60 | | 585 | 725 | 15 | 30 | | | 正火+回火; 液淬+回火 | |
| | 23 | 0.25~0.35 | 0.30~0.60 | 1.20~1.60 | 0.040 | 0.040 | 0.30~0.70 | 0.15~0.35 | 0.15~0.30 | | 539 | 736 | 13 | 30 | | | 正火+回火 | |
| | 24 | 0.38~0.45 | 0.30~0.60 | 0.60~1.00 | 0.025 | 0.025 | 0.80~1.20 | 0.20~0.30 | 0.20~0.30 | | 540 | 740~880 | 12 | | | 220~260调质 | | |
| | 25 | 0.30~0.37 | 0.30~0.50 | | | | | | | | 550 | 700 | 14 | 25 | | | | |
| ZG 650-830 | 26 | 0.30~0.37 | 0.30~0.60 | 0.60~1.00 | 0.025 | 0.025 | 1.40~1.70 | 1.40~1.70 | 0.15~0.35 | V:0.05, Cu:0.25 | 650 | 800~950 | 12 | | | | 220~270调质 | |
| | 27 | 0.35~0.45 | 0.20~0.40 | 1.60~1.80 | 0.030 | 0.030 | 0.30 | 0.30 | 0.15 | V:0.05; Cu:0.25 | 685 | 835 | 13 | 45 | 35 | 269~302调质 | | |
| | 28 | 0.33 | 0.60 | 1.00 | 0.040 | 0.035 | 0.80~1.20 | 1.70~2.30 | 0.30~0.60 | | 680 | 850 | 12 | 25 | 22 | | | |
| ZG 730-910 | 29 | 0.25~0.35 | 0.30~0.60 | 0.90~1.50 | 0.040 | 0.040 | 0.30~0.90 | 1.60~2.00 | 0.15~0.35 | | 784 | 981 | 9 | 20 | | | 淬火+回火 | |
| | 30 | 0.10~0.18 | 0.20~0.40 | 0.30~0.55 | 0.030 | 0.030 | 1.20~1.70 | 1.40~1.80 | 0.20~0.30 | V:0.08~0.15, Cu:0.30 | 750 | 1000 | 10 | 20 | | | 淬火+回火 | |
| ZG 840-1030 | 31 | 0.30 | 0.70 | 1.1 | 0.03 | 0.04 | 0.11 | 0.14 | 0.22 | V:0.09, Cu:0.12 | 875 | 1050~1106 | 9 | 22 | | | 淬火+回火 | |
| | 32 | 0.30~0.38 | | 0.70~0.90 | 0.04 | 0.04 | 0.40~0.60 | 0.60~0.90 | 0.17~0.25 | | 875 | 1050 | 9 | 22 | | | 淬火+回火 | |
| | 38 | 0.22~0.34 | 0.3~0.6 | 0.3~0.8 | 0.025 | 0.025 | 0.5~1.3 | 0.5~3.0 | 0.2~0.7 | Cu:0.4 | 880 | 1080 | 8 | 30 | | 262~321 | 退火+液淬+回火 | |

表 2-16 我国常用的一些低合金高强度铸钢的化学成分和力学性能

| 类别 | 牌号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | 热 处 理 | | σ_s (MPa) | σ_b (MPa) | δ_5 (%) | ψ (%) | ψ_k (J/cm ²) | HBS | | |
|----------|---------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---|----|----|---------|----|-------|-------|------|----------------------|--|--------------------|---------------|----------------------------------|---------|---------|---------|
| | | C | Si | Mn | Mo | V | Cr | Cu | S, P(≤) | 方式 | 温度(℃) | | | | | | | | | | |
| 锰 钢 | ZG22Mn | 0.18~ 0.28 | ≤0.5 | 1.10~ 1.70 | | | | | | | | | | 正火 回火 | 880~900 680~700 | 295 | 540 | 18 | 30 | 40 | 155 |
| | ZG25Mn | 0.20~ 0.30 | 0.30~ 0.45 | 1.10~ 1.30 | | | | | | | | | | 退火 或正火 | — | 295~375 490~540 | 30~35 | 45~55 | 100~150 | 155~170 | |
| | ZG25Mn ₂ | 0.20~ 0.30 | 0.30~ 0.45 | 1.70~ 1.90 | | | | | | | | | | 同上 | — | 345~440 590~685 | 20~30 | 45~55 | 80~150 | 200~250 | |
| | ZG30Mn | 0.25~ 0.35 | 0.30~ 0.45 | 1.05~ 1.35 | | | | | | | | | | 同上 | — | 295~363 554~598 | 27~30 | 40~55 | 70~90 | 160~170 | |
| | ZG35Mn | 0.30~ 0.40 | 0.17~ 0.37 | 1.20~ 1.60 | | | | | | | | | | 正火 回火 | 850~860 560~600 | 345 | 590 | 14 | 30 | 50 | — |
| | ZG40Mn | 0.35~ 0.45 | 0.30~ 0.45 | 1.20~ 1.50 | | | | | | | | | | 正火 回火 | 850~860 400~450 | 295 | 635 | 12 | 30 | — | 103 |
| | ZG40Mn ₂ | 0.35~ 0.45 | 0.20~ 0.40 | 1.60~ 1.80 | | | | | | | | | | 退火 淬火 回火 | 870~890 830~850 350~450 | 324 | 635 | 12 | — | — | 187~255 |
| | ZG45Mn | 0.40~ 0.50 | 0.30~ 0.45 | 1.20~ 1.50 | | | | | | | | | | 正火 回火 | 840~850 550~600 | 333 | 657 | 11 | 20 | — | 196~235 |
| | ZG65Mn | 0.62~ 0.70 | 0.17~ 0.37 | 0.90~ 1.20 | | | | | | | | | | 正火 回火 | 840~860 600~650 | — | — | — | — | — | 187~241 |
| | 硅 锰 钢 | ZG20MnSi | 0.16~ 0.22 | 0.60~ 0.80 | 1.00~ 1.30 | | | | | | | | 0.03 | | 正火 回火 | 900~920 570~600 | 295 | 510 | 14 | 30 | 50 |
| ZG30MnSi | | 0.25~ 0.35 | 0.60~ 0.80 | 1.10~ 1.40 | | | | | | | | 0.04 | | 正火 回火 淬火 回火 | 870~890 570~600 870~880 400~450 | 345 | 590 | 14 | 25 | 30 | — |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 390 | 635 | 14 | 30 | 50 | — |

| 类别 | 牌号 | 化学成分(%) | | | | | | | | | | 热处理 | | σ_s (MPa) | σ_b (MPa) | δ_5 (%) | ψ (%) | α_K (J/cm ²) | FBS | |
|----------------------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----|----|---------|----|----------------|-----|----------------|-------------------------------|---------------------|-------------------|---------------|------------------------------------|-----|---------|
| | | C | Si | Mn | Mo | V | Cr | Cu | S, P(≤) | 方式 | 温度(℃) | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 硅 锰 钢 | ZG35MnSi | 0.30~ 0.40 | 0.60~ 0.80 | 1.10~ 1.40 | | | | | | | 0.04 | | | | | | | | | |
| | ZG35SiMn | 0.30~ 0.40 | 1.10~ 1.40 | 1.10~ 1.40 | | | | | | | 0.04 | | 正火 回火 | 800~860 550~650 | 345 | 569 | 12 | 20 | 30 | — |
| | | | | | | | | | | | | | 正火 回火 | 840~860 550~650 | 412 | 618 | 12 | 25 | 40 | — |
| | ZG45SiMn | 0.40~ 0.48 | 1.10~ 1.40 | 1.10~ 1.40 | | | | | | | 0.04 | | 正火 回火 | 860~880 520~680 | 373 | 588 | 12 | 20 | 30 | |
| 锰 钼 钢 | ZG20MnMo | 0.17~ 0.27 | 0.17~ 0.37 | 0.90~ 1.20 | 0.20~ 0.30 | | | | | | 0.04 | | 正火 回火 | | 265 | 471 | 19 | 40 | 50 | 156 |
| | ZG35SiMnMo | 0.32~ 0.40 | 1.10~ 1.40 | 1.10~ 1.40 | 0.20~ 0.40 | | | | | | 0.04 | | 正火 回火 | 840~860 550~650 | 390 | 635 | 12 | 20 | 30 | |
| 硅 锰 钼 钒 及 钢 | ZG42MnMoV | 0.38~ 0.45 | 0.17~ 0.37 | 1.20~ 1.50 | 0.20~ 0.30 | 0.10~ 0.20 | | | | | 0.03, 0.035 | | 正火 回火 | 840 560 | 490 | 685 | 12 | 20 | 35 | 241~286 |
| | ZG35SiMnMoV | 0.32~ 0.40 | 0.60~ 0.90 | 1.10~ 1.40 | 0.20~ 0.30 | 0.10~ 0.20 | | | | | 0.03, 0.035 | | 正火 回火 | 880 620 | 540 | 685 | 14 | 25 | 50 | 228 |
| | ZG15MnMoVCu | 0.10~ 0.15 | 0.35~ 0.45 | 0.90~ 1.40 | 0.80~ 1.20 | 0.10~ 0.30 | | | | | 0.04, 0.035 | | 退火 正火 回火 | 940~980 900~960 600~700 | 585 | 785 | 15 | 45 | 50 | 220 |

(续)

表 2-17 高强度铸钢的力学性能 (ISO 9477-92)

| 牌 号 | 屈服应力 ≥ (MPa) | 抗拉强度 (MPa) | 伸长率 ≥ (%) | 根据合同选取 | |
|----------|--------------------|---------------|-----------------|----------------|----------------|
| | | | | 断面收缩率 ≥ (%) | 冲击吸收功 ≥ (J) |
| 410-620 | 410 | 620~770 | 16 | 40 | 20 |
| 540-720 | 540 | 720~870 | 14 | 35 | 20 |
| 620-820 | 620 | 820~970 | 11 | 30 | 18 |
| 840-1030 | 840 | 1030~1180 | 7 | 22 | 15 |

注:测定力学性能的试样,应自厚 28mm 的试块上截取。

化学成分方面,规定各牌号铸钢 $Si \leq 0.06\%$ 、 $P \leq 0.035\%$ 、 $S \leq 0.035\%$ 。对其它元素的含量不作限制。
2) ASTM A148/A148M-89 “结构用高强度铸钢件”,按强度等级规定了 15 个牌号,见表 2-18。

表 2-18 结构用高强度铸钢件 (ASTM A148M-89)

| 牌 号 | 化学成分 (%) | | 抗拉强度 ≥ (MPa) | 屈服强度 ≥ (MPa) | 伸长率 ≥ (%) | 断面收缩率 ≥ (%) | 冲击吸收功 ≥ (J) | |
|------------|----------|-------|--------------------|--------------------|-----------------|-------------------|--------------|------------|
| | P | S | | | | | 两个试样 的平均值 | 单个试样 的值 |
| 550-275 | 0.050 | 0.060 | 550 | 275 | 18 | 30 | — | — |
| 550-345 | | | 550 | 345 | 22 | 35 | — | — |
| 620-415 | | | 620 | 415 | 20 | 40 | — | — |
| 725-585 | | | 725 | 585 | 17 | 35 | — | — |
| 795-655 | | | 795 | 655 | 14 | 30 | — | — |
| 895-795 | | | 855 | 795 | 11 | 25 | — | — |
| 930-860 | | | 930 | 860 | 9 | 22 | — | — |
| 1035-930 | | | 1035 | 930 | 7 | 18 | — | — |
| 1105-1000 | | | 1105 | 1000 | 6 | 12 | — | — |
| 1140-1035 | | | 0.020 | 0.020 | 1140 | 1035 | 5 | 20 |
| 1140-1035L | 1140 | 1035 | | | 5 | 20 | 27 | 22 |
| 1450-1240 | 1450 | 1240 | | | 4 | 15 | — | — |
| 1450-1240L | 1450 | 1240 | | | 4 | 15 | 20 | 16 |
| 1795-1450 | 1795 | 1450 | | | 3 | 6 | — | — |
| 1795-1450L | 1795 | 1450 | | | 3 | 6 | 8 | 5 |

3) JIS G5111-1991 “结构用高强度铸造碳钢及低合金钢铸件”,规定了 16 个牌号,化学成分要求,见表 2-19,热处理规范和力学性能要求见表 2-20。

表 2-19 结构用高强度铸钢的化学成分 (JIS G5111-1991)

| 类别 | 牌 号 | 化学成分(未给出范围者为最大值) (%) | | | | | | | |
|----|-------|----------------------|-----------|-----------|------|------|----|----|----|
| | | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo |
| 碳钢 | SCC3 | 0.3~0.4 | 0.30~0.60 | 0.50~0.80 | 0.04 | 0.04 | — | — | — |
| | SCC5 | 0.4~0.5 | | | | | | | |
| 锰钢 | SCMn1 | 0.2~0.3 | 0.30~0.60 | 1.0~1.6 | 0.04 | 0.04 | — | — | — |
| | SCMn2 | 0.25~0.35 | | | | | | | |
| | SCMn3 | 0.3~0.4 | | | | | | | |
| | SCMn5 | 0.4~0.5 | | | | | | | |

(续)

| 类别 | 牌 号 | 化学成分(未给出范围者为最大值) (%) | | | | | | | |
|------|----------|----------------------|-----------|-----------|------|------|-----------|-----------|-----------|
| | | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo |
| 硅锰钢 | SCSiMn2 | 0.25~0.35 | 0.50~0.80 | 0.90~1.20 | 0.04 | 0.04 | — | — | — |
| 锰铬钢 | SCMnCr2 | 0.25~0.35 | | | | | | | |
| | SCMnCr3 | 0.30~0.40 | 0.30~0.60 | 1.20~1.60 | 0.04 | 0.04 | — | 0.40~0.80 | — |
| | SCMnCr4 | 0.35~0.45 | | | | | | | |
| 锰钼钢 | SCMnM3 | 0.30~0.40 | 0.30~0.60 | 1.20~1.60 | 0.04 | 0.04 | — | 0.20 | 0.15~0.35 |
| 铬钼钢 | SCCrM1 | 0.20~0.30 | 0.30~0.60 | 0.50~0.80 | 0.04 | 0.04 | — | 0.80~1.20 | 0.15~0.35 |
| | SCCrM2 | 0.30~0.40 | | | | | | | |
| 锰铬钼钢 | SCMnCrM2 | 0.25~0.35 | 0.30~0.60 | 1.20~1.60 | 0.04 | 0.04 | — | 0.03~0.70 | 0.15~0.35 |
| | SCMnCrM3 | 0.30~0.40 | | | | | | | |
| 镍铬钼钢 | SCNiCrM2 | 0.25~0.35 | 0.30~0.60 | 0.90~1.50 | 0.04 | 0.04 | 1.60~2.00 | 0.30~0.90 | 0.15~0.35 |

表 2-20 结构用高强度铸钢的热处理和力学性能

| 牌 号 | 热处理 | 力学性能 (最低值) | | | | |
|---------|-----|------------------|------------------|--------------|------------|-----|
| | | σ_b (MPa) | σ_s (MPa) | δ (%) | ψ (%) | HBS |
| SCC3 | 1 | 520 | 265 | 13 | 20 | 143 |
| | 2 | 620 | 375 | | | 183 |
| SCC5 | 1 | 620 | 295 | 9 | 15 | 163 |
| | 2 | 690 | 440 | | | 201 |
| SCMn1 | 1 | 540 | 275 | 17 | 35 | 143 |
| | 2 | 590 | 390 | | | 170 |
| SCMn2 | 1 | 590 | 345 | 16 | 35 | 163 |
| | 2 | 640 | 440 | | | 183 |
| SCMn3 | 1 | 640 | 370 | 13 | 30 | 170 |
| | 2 | 690 | 490 | | | 197 |
| SCMn5 | 1 | 690 | 390 | 9 | 20 | 183 |
| | 2 | 740 | 540 | | | 212 |
| SCSiMn2 | 1 | 590 | 295 | 13 | 35 | 163 |
| | 2 | 640 | 440 | | | 183 |
| SCMnCr2 | 1 | 590 | 370 | 13 | 30 | 170 |
| | 2 | 640 | 440 | | | 183 |
| SCMnCr3 | 1 | 640 | 390 | 9 | 25 | 183 |
| | 2 | 690 | 490 | | | 207 |
| SCMnCr4 | 1 | 690 | 410 | 9 | 20 | 201 |
| | 2 | 740 | 540 | | | 223 |
| SCMnM3 | 1 | 690 | 390 | 13 | 30 | 183 |
| | 2 | 740 | 490 | | | 212 |
| SCCrM1 | 1 | 590 | 390 | 13 | 30 | 170 |
| | 2 | 690 | 490 | | | 201 |
| SCCrM3 | 1 | 690 | 440 | 9 | 25 | 201 |
| | 2 | 740 | 540 | | | 217 |

(续)

| 牌 号 | 热处理 | 力学性能 (最低值) | | | | |
|----------|-----|------------------|------------------|--------------|------------|-----|
| | | σ_s (MPa) | σ_b (MPa) | δ (%) | ψ (%) | HBS |
| SCMnCrM2 | 1 | 690 | 440 | 13 | 30 | 201 |
| | 2 | 740 | 540 | | | 212 |
| SCMnCrM3 | 1 | 740 | 540 | 9 | 25 | 212 |
| | 2 | 830 | 635 | | | 223 |
| SCNiCrM2 | 1 | 780 | 590 | 9 | 20 | 223 |
| | 2 | 880 | 685 | | | 269 |

注: 热处理代号 1—850~950℃正火, 550~650℃回火。

2—850~950℃淬火, 550~650℃回火。

1.5 承压铸钢件

国际标准化组织 (ISO)、美国、日本、英国等, 都已制订承压铸钢件标准。

我国于 1993 年开始制订关于承压铸钢件的国家标准, 已确定等效采用 ISO4991—94 “承压铸钢件”, 目前尚未正式发布实施。

1.5.1 ISO4991—94 “承压铸钢件”规定了三类铸钢, 共 38 个牌号, 化学成分要求, 见表 2-21, 热处理规范和力学性能要求见表 2-22。如铸件在高温下使用, 高温屈服应力值按表 2-23。标准还列出了蠕变性能控制值 (供参考), 见表 2-24。

表 2-21 承压铸钢件的化学成分要求 (ISO4991—94)

| 钢 号 | 化学成分 (除规定范围者外均为最大值) (%) ^{①②} | | | | | | | | |
|---------------------|---------------------------------------|-----------|--------------------|-------|-------|-----------|-----------|------|------------|
| | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | 其它 |
| 非 合 金 钢 | | | | | | | | | |
| C23-45A | 0.25 | 0.60 | 1.20 | 0.035 | 0.035 | — | — | — | — |
| C23-45AH | 0.25 | 0.60 | 1.20 | 0.035 | 0.035 | — | — | — | — |
| C23-45B | 0.20 | 0.60 | 1.00~1.60 | 0.035 | 0.035 | — | — | — | — |
| C23-45BH | 0.20 | 0.60 | 1.00~1.60 | 0.035 | 0.035 | — | — | — | — |
| C23-45BL | 0.20 | 0.60 | 1.00~1.60 | 0.030 | 0.030 | — | — | — | — |
| C26-52 | 0.25 ^{③④} | 0.60 | 1.20 ^{⑤⑥} | 0.035 | 0.035 | — | — | — | — |
| C26-52H | 0.25 ^{③⑤} | 0.60 | 1.20 ^{⑥⑦} | 0.035 | 0.035 | — | — | — | — |
| C26-52L | 0.25 ^③ | 0.60 | 1.20 ^⑧ | 0.030 | 0.030 | — | — | — | — |
| 铁 素 体 和 马 氏 体 合 金 钢 | | | | | | | | | |
| C28H | 0.15~0.23 | 0.30~0.60 | 0.50~1.00 | 0.035 | 0.035 | 0.30 | 0.40~0.60 | — | — |
| C31L | 0.28 | 0.30~0.60 | 0.50~0.80 | 0.030 | 0.030 | 0.90~1.20 | 0.15~0.30 | — | — |
| C32H | 0.10~0.20 ^⑨ | 0.30~0.60 | 0.50~0.80 | 0.035 | 0.035 | 1.00~1.50 | 0.45~0.65 | — | — |
| C33H | 0.10~0.17 | 0.30~0.60 | 0.40~0.70 | 0.035 | 0.035 | 0.30~0.60 | 0.40~0.60 | 0.40 | V0.22~0.32 |
| C34AH | 0.08~0.15 | 0.30~0.60 | 0.50~0.80 | 0.035 | 0.035 | 2.00~2.50 | 0.90~1.20 | — | — |
| C34BH | 0.13~0.20 | 0.30~0.60 | 0.50~0.80 | 0.035 | 0.035 | 2.00~2.50 | 0.90~1.20 | — | — |
| C34BL | 0.20 | 0.30~0.60 | 0.50~0.80 | 0.030 | 0.030 | 2.00~2.50 | 0.90~1.20 | — | — |

(续)

| 钢号 | 化学成分(除规定范围者外均为最大值) (%) ^{①②} | | | | | | | | |
|------------|--------------------------------------|-----------|-----------|-------|-------|------------------------|-----------|-----------|----------------|
| | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | 其它 |
| 铁素体和马氏体合金钢 | | | | | | | | | |
| C35BH | 0.13~0.20 | 0.30~0.60 | 0.50~0.80 | 0.035 | 0.035 | 1.20~1.60 ^③ | 0.90~1.20 | ⑦ | V0.15~0.35 |
| C37H | 0.12~0.19 | 0.80 | 0.50~0.80 | 0.035 | 0.035 | 4.00~6.00 | 0.45~0.65 | — | — |
| C38H | 0.10~0.17 | 0.80 | 0.50~0.80 | 0.035 | 0.035 | 8.00~10.0 | 1.00~1.30 | — | — |
| C39CH | 0.10~0.17 | 0.80 | 1.00 | 0.035 | 0.035 | 11.5~13.5 | 0.50 | 1.00 | — |
| C39CNiH | 0.05~0.10 | 0.80 | 0.40~0.80 | 0.035 | 0.035 | 11.5~13.5 | 0.20~0.50 | 0.80~1.80 | — |
| C39NiH | 0.08 | 1.00 | 1.50 | 0.035 | 0.035 | 11.5~13.0 | 1.00 | 3.50~5.00 | — |
| C39NiL | 0.08 | 1.00 | 1.50 | 0.030 | 0.030 | 11.5~13.5 | 1.00 | 3.50~5.00 | — |
| C40H | 0.20~0.26 | 0.20~0.40 | 0.50~0.70 | 0.035 | 0.035 | 11.3~12.3 | 1.00~1.20 | 0.70~1.00 | V0.25~0.35 |
| C40L | 0.14 | 0.30~0.60 | 0.50~0.80 | 0.030 | 0.030 | — | — | 3.00~4.00 | — |
| C43C1L | 0.24 | 0.30~0.60 | 0.80~1.20 | 0.030 | 0.030 | — | 0.15~0.30 | 1.50~2.00 | — |
| C43E2aL | 0.22 | 0.60 | 0.40~0.80 | 0.030 | 0.030 | 1.35~2.00 | 0.35~0.60 | 2.50~3.50 | — |
| C43E2bL | 0.22 | 0.60 | 0.40~0.80 | 0.030 | 0.030 | 1.50~2.00 | 0.35~0.60 | 2.75~3.90 | — |
| 奥氏体不锈钢 | | | | | | | | | |
| C46 | 0.03 | 2.00 | 2.00 | 0.045 | 0.035 | 17.0~19.0 | — | 9.0~12.0 | — |
| C47 | 0.07 | 2.00 | 2.00 | 0.045 | 0.035 | 18.0~21.0 | — | 8.0~11.0 | — |
| C47H | 0.04~0.10 | 2.00 | 2.00 | 0.045 | 0.035 | 18.0~21.0 | — | 8.0~12.0 | — |
| C47L | 0.07 | 2.00 | 2.00 | 0.045 | 0.035 | 17.0~20.0 | — | 9.0~12.0 | — |
| C50 | 0.08 | 2.00 | 2.00 | 0.045 | 0.035 | 18.0~21.0 | — | 9.0~12.0 | Nb 8×C%≤1.0 |
| C57 | 0.03 | 2.00 | 2.00 | 0.045 | 0.035 | 17.0~21.0 | 2.0~2.5 | 9.0~13.0 | — |
| C60 | 0.07 | 2.00 | 2.00 | 0.045 | 0.035 | 17.0~21.0 | 2.0~2.5 | 9.0~13.0 | — |
| C60H | 0.04~0.10 | 2.00 | 2.00 | 0.045 | 0.035 | 17.0~21.0 | 2.0~2.5 | 9.0~13.0 | — |
| C60Nb | 0.08 | 2.00 | 2.00 | 0.045 | 0.035 | 17.0~21.0 | 2.0~2.5 | 9.0~13.0 | Nb 8×C%≤1.0 |
| C61LC | 0.03 | 2.00 | 2.00 | 0.045 | 0.035 | 17.0~21.0 | 2.5~3.0 | 9.0~13.0 | — |
| C61 | 0.07 | 2.00 | 2.00 | 0.045 | 0.035 | 17.0~21.0 | 2.5~3.0 | 9.0~13.0 | — |

① 表中未列入的元素,未经需方同意不得有意加入。除了完成热处理的目的外,未经需方同意,非合金钢的下列元素不得超过规定的含量(百分数):

Cr:0.40, Mo:0.15, Ni:0.40, V:0.03, Cu:0.40

Cr + Mo + Ni + V + Cu:1.00

② 试块校核分析的允许偏差按 ISO4990 的规定。

③ 碳含量低于最大值时,每降低 0.01% 的碳,允许锰含量比上限值高 0.04%,直到最大锰含量达 1.40% 为止。

④ 在某些应用场合,以及询价、订货时经双方同意,该级别钢可按最大碳含量 0.30%、最大锰含量 0.90% 供应。

⑤ 表 2-24 中, C32H 钢的蠕变性能是在碳含量为 0.15%~0.20% 的铸件上取得的。

⑥ 对薄截面铸件,铬的最小值允许为 1.00%。

⑦ 根据壁厚,镍的含量可以小于 1.0%。

表 2-22 承压钢铸件的热处理和力学性能要求^①

| 钢号 | 力学性能 ^② | | | | | | | 热处理 ^③ | | | | |
|------------|-----------------------|----------------------|----------|-------------------|---------------------|---------------------|----|--------------------------------------|-----------|-----------------|--------------|-----------------|
| | $\sigma_s^{\text{④}}$ | σ_a | δ | $\psi^{\text{⑤}}$ | $A_{K1}^{\text{⑥}}$ | $A_{KV}^{\text{⑦}}$ | | 符号 ^⑧ | 奥氏体化温度(℃) | 冷却 ^⑨ | 回火温度(℃) | 冷却 ^⑩ |
| | MPa | % | (J) | ℃ | J | | | | | | | |
| 非合金钢 | | | | | | | | | | | | |
| C23-45A | 240 | 450~600 | 22 | 35 | 27 | — | — | Aa N(+T) (Q+T) | 890~980 | F A L | — 600~700 | — |
| C23-45AH | 240 | 450~600 | 22 | 35 | 27 | — | — | N(+T) ^⑪ Q+T | 890~980 | A L | 600~700 | A,L |
| C23-45B | 240 | 450~600 | 22 | 35 | 45 | — | — | A N(+T) (Q+T) | 890~980 | F A L | — 600~700 | A,L |
| C23-45BH | 240 | 450~600 | 22 | 35 | 45 | — | — | N(+T) Q+T | 890~980 | A L | 600~700 | A,L |
| C23-45BL | 240 | 450~600 | 22 | — | — | -40 | 27 | (N+T) Q-T | 890~980 | A L | 600~700 | A,L |
| C26-52 | 280 | 520~670 ^⑫ | 18 | 30 | 35 | — | — | A N(-T) (Q+T) | 890~980 | F A L | — 600~700 | A,L |
| C26-52H | 280 | 520~670 ^⑬ | 18 | 30 | 35 | — | — | N(+T) Q+T ^⑭ | 890~980 | A L | 600~700 | A,L |
| C26-52L | 280 | 520~670 ^⑮ | 18 | — | — | -35 | 27 | N(+T) Q-T | 890~980 | A L | 600~700 | A,L |
| 铁素体和马氏体合金钢 | | | | | | | | | | | | |
| C28H | 250 | 450~600 | 21 | 35 | 25 | — | — | N+T Q-T | 900~960 | A L | 630~710 | A,L |
| C31L | 370 | 550~700 | 16 | 30 | — | -45 | 27 | (N-T) Q-T | 850~910 | A L | 640~690 | A,L |
| C32H | 290 | 490~640 | 18 | 35 | 27 | — | — | N-T Q-T | 900~960 | A L | 650~720 | A,L |
| C33H | 320 | 500~650 | 17 | 30 | 13 | — | — | N+T | 950~1000 | A | 680~750 | A,L |
| C34AH | 280 | 510~660 | 18 | 35 | 25 | — | — | N+T | 930~970 | A | 680~750 | A,L |
| C34BH | 390 | 600~750 | 18 | 35 | 40 | — | — | (N+T) N _{ac} +T (Q+T) | 930~970 | A AC L | 680~750 | A,L |
| C34BL | 390 | 600~750 | 18 | — | — | -50 | 27 | (N-T) (N _{ac} +T) Q-T | 930~970 | A AC L | 680~750 | A,L |
| C35BH | 420 | 590~740 | 15 | 35 | 24 | — | — | N _{ac} +T Q+T | 940~980 | AC L | 680~750 | A,L |
| C37H | 420 | 630~780 | 16 | 35 | 25 | — | — | N+T | 930~990 | A | 620~750 | A,L |
| C38H | 420 | 630~780 | 16 | 35 | 20 | — | — | N+T | 930~990 | A | 620~750 | A,L |

(续)

| 钢号 | 力学性能 ^① | | | | | | | 热处理 ^② | | | | |
|------------|-------------------|------------|----------|--------------|-----------------|----------------|----|------------------------------------|-----------------------|-----------------|---------|-----------------|
| | $\sigma_s^{(c)}$ | σ_b | δ | $\psi^{(d)}$ | $A_{KV}^{(e)}$ | $A_{KV}^{(f)}$ | | 符号 ^③ | 奥氏体化温度(℃) | 冷却 ^④ | 回火温度(℃) | 冷却 ^⑤ |
| | MPa | | % | | (J) | ℃ | J | | | | | |
| 铁素体和马氏体合金钢 | | | | | | | | | | | | |
| C39CH | 450 | 620~770 | 14 | 30 | 20 | — | — | N+T | 950~1050 | A | 620~750 | A |
| C39CNH | 360 | 540~690 | 18 | 35 | 35 | — | — | N+T | 950~1050 ^⑥ | A | 650~720 | A、L |
| C39NiH | 550 | 750~900 | 15 | 35 | 45 | — | — | N+T | 950~1050 | A | 570~620 | A、L |
| C39NiL | 550 | 750~900 | 15 | — | — | -80 | 27 | N _{ac} +T (Q+T) | 950~1050 | AC L | 570~620 | A、L |
| C40H | 540 | 740~880 | 15 | 20 | 21 ^⑦ | — | — | N+T | 1020~1070 | A | 680~750 | A、L |
| C43L | 300 | 460~610 | 20 | — | — | -70 | 27 | Q+T | 820~870 | L | 590~660 | A ^⑧ |
| C43CIL | 380 | 520~670 | 20 | — | — | -35 | 27 | Q+T | 900~950 | L | 600~670 | A ^⑧ |
| C43E2aL | 450 | 620~800 | 16 | — | — | -80 | 27 | (N+T) N _{ac} +T Q+T | 900~950 | A AC L | 580~650 | A ^⑧ |
| C43E2bL | 655 | 800~950 | 13 | — | — | -60 | 27 | N+T N _{ac} +T Q+T | 900~950 | A AC L | 580~650 | A ^⑧ |
| 奥氏体不锈钢 | | | | | | | | | | | | |
| C46 | 210 | 400~640 | 30 | — | ⑭ | — | — | S | 1040~1100 | L ^⑨ | — | |
| C47 | 210 | 400~640 | 30 | — | ⑭ | — | — | S | 1040~1100 | L ^⑨ | — | |
| C47H | 230 | 470~670 | 30 | — | ⑭ | — | — | S | 1040~1100 | L ^⑨ | — | |
| C47L | 210 | 440~640 | 30 | — | — | ⑮ -195 | 45 | S | 1040~1100 | L ^⑨ | — | |
| C50 | 210 | 440~640 | 25 | — | ⑭ | — | — | S | 1040~1100 | L ^⑨ | — | |
| C57 | 210 | 440~640 | 30 | — | ⑭ | — | — | S | 1050 | L ^⑨ | — | |
| C60 | 210 | 440~640 | 30 | — | ⑭ | — | — | S | 1050 | L ^⑨ | — | |
| C60H | 230 | 470~670 | 30 | — | ⑭ | — | — | S | 1050 | L ^⑨ | — | |
| C60Nb | 210 | 440~640 | 25 | — | ⑭ | — | — | S | 1050 | L ^⑨ | — | |
| C61LC | 210 | 440~640 | 30 | — | ⑭ | — | — | S | 1050 | L ^⑨ | — | |
| C61 | 210 | 440~640 | 30 | — | ⑭ | — | — | S | 1050 | L ^⑨ | — | |

① 表 2-22 的力学性能要求是对单独铸出的或附连在所代表铸件上的 28mm 厚基准试块的要求。这种试块的试验数据代

表浇铸这些铸件的钢的质量,而不一定能代表铸件本身的性能。铸件的性能受凝固条件、热处理冷却速度的影响,即受到铸件形状、尺寸和壁厚影响。如果铸件的厚度大于 28mm,可以考虑采用 ISO4990 中补充要求 9.6(见 11.2; ISO 4990 的 9.6.1)。

- ② δ 为断后伸长率, $L_0 = 5.65 \sqrt{S_0}$, 冲击性能为夏比 V 型缺口试样。
- ③ 如能保性能符合要求, 可选其他的热处理温度(双方有协议者除外)
- ④ σ_s 对非奥氏体钢为上屈服点, 或总伸长 0.5% 时的应力, 或 0.2% 屈服应力。对奥氏体钢, 如测定 0.2% 屈服应力 ($\sigma_{0.2}$), 则测定值低于表列规定值的差额不得超过 30MPa。
- ⑤ 除另有规定外, 断面收缩率与冲击性能由制造厂任选一项。但需方应注意某些国家或 ISO 规范对冲击试验的要求。
- ⑥ 表列的规定值为三个冲击试样试验的平均值。三个单值中允许有一个低于规定值, 但不得低于规定值的 70%。
- ⑦ Aa: 退火(加热到 A_{c3} 以上, 炉冷);
N: 正火(加热到 A_{c3} 以上, 空冷);
Q: 淬火(加热到 A_{c3} 以上, 液体淬火);
T: 回火
Nac: (加热到 A_{c3} 以上, 快速空冷);
S: 固溶处理。
括号中的热处理方法只适用于特定情况。
- ⑧ A: 空冷, F: 炉冷, L: 液体淬火, AC: 快速空冷。
- ⑨ 对 C23—45AH 或 C26—52H 钢, 表 2-24 中的蠕变性能仅从 N+T 或 Q+T 状态的试件上取得。
- ⑩ 如能满足最低屈服点要求, 则允许抗拉强度低于 500MPa。
- ⑪ 冷却到低于 100℃ 以后, 可以采用亚临界热处理: 820—870℃ 随后空冷。
- ⑫ 该型号钢一般仅用于温度超过 525℃ 的场合。
- ⑬ 除需方在询价和订货时另有规定外, 允许用液体冷却。
- ⑭ 奥氏体钢通常具有高韧性。
- ⑮ 根据厚度情况, 也可采用快速空冷。
- ⑯ 该低温冲击功也是室温下所期望的。如订货时要求低温的级别, 该冲击功已经过试验校核。

表 2-23 高温下 0.2% 或 1.0% 屈服应力 ($\sigma_{0.2}$ 或 $\sigma_{1.0}$) 的最小值^①

| 钢号 | 参考热处理 ^{②③} | 下列各温度(℃)下的 $\sigma_{0.2}$ 或 $\sigma_{1.0}$ ^④ (MPa) 不小于 | | | | | | | | | | | |
|----------|---------------------|---|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 20 | 50 ^⑤ | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 |
| C23-45AH | N(+T), Q+T | 240 | 235 | 215 | 195 | 175 | 160 | 145 | 140 | 135 | 130 | — | — |
| C23-45BH | N(+T), Q+T | 240 | 235 | 215 | 195 | 175 | 160 | 145 | 140 | 135 | 130 | — | — |
| C26-52H | N(-T), Q+T | 280 | 265 | 250 | 230 | 215 | 200 | 190 | 180 | 170 | 155 | — | — |
| C28H | N+T, Q+T | 250 | 240 | 230 | 215 | 205 | 185 | 170 | 160 | 155 | 150 | 140 | — |
| C32H | N+T, Q+T | 290 | 285 | 275 | 260 | 250 | 240 | 230 | 220 | 205 | 195 | 180 | 160 |
| C34AH | N+T, (Q+T) | 280 | 275 | 270 | 260 | 255 | 245 | 240 | 235 | 230 | 220 | 205 | 130 |
| C34BH | N+T, (Nac+T), Q+T | 390 | 380 | 375 | 365 | 355 | 345 | 340 | 330 | 315 | 300 | 280 | 240 |
| C35BH | Nac+T, Q+T | 420 | 410 | 400 | 395 | 385 | 375 | 365 | 350 | 335 | 320 | 300 | 260 |
| C38H | N+T | 420 | 410 | 395 | 385 | 375 | 365 | 355 | 335 | 320 | 295 | 265 | — |
| C39CNiH | N+T | 360 | 335 | 305 | 285 | 275 | 270 | 265 | 260 | 255 | — | — | — |
| C39NiH | N+T | 550 | 535 | 515 | 500 | 485 | 470 | 455 | 440 | — | — | — | — |
| C40H | N+T | 540 | 510 | 480 | 460 | 450 | 440 | 430 | 410 | 390 | 370 | 340 | 290 |
| C47H | Q | 230 | 195 | 170 | 155 | 145 | 135 | 130 | 125 | 120 | 116 | 113 | 10 |
| C60H | Q | | | | | | | | | | | | |

- ① 如能取得更多的数据, 表中数值可以修正。
- ② 温度及冷却条件见表 2-22。
- ③ N: 静止空气冷却正火, Q: 淬火, T: 回火, Nac: 快速空冷正火。括号内用于特定情况。
- ④ 对 C23—45AH—C40H 为 $\sigma_{0.2}$, 对 C47H 和 C60H 为 $\sigma_{1.0}$ 。奥氏体钢的 $\sigma_{0.2}$ 比 $\sigma_{1.0}$ 低 30MPa。
- ⑤ 50℃ 的应力值是用内插法得到的, 仅供设计之用, 不作验证。

表 2-24 高温断裂应力^①

| 钢号 | 参考热处理 ^② | 断裂时间 10 ⁴ 小时 | 下列各温度(°C)下,估算的断裂平均应力 ^③ (MPa) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| | | | 400 | 410 | 420 | 430 | 440 | 450 | 460 | 470 | 480 | 490 | 500 | 510 | 520 | 530 | 540 | 550 | 560 | 570 | 580 | 590 | 600 | |
| C23-45AH、 C23-45BH、 C26-52 | N+T Q+T | 1 | 225 | 208 | 191 | 175 | 160 | 145 | 130 | 117 | 105 | 94 | 84 | | | | | | | | | | | |
| | | 10 | 177 | 157 | 138 | 121 | 105 | 90 | 78 | 68 | 59 | 53 | 50 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| | | 20 | 163 | 142 | 123 | 105 | 88 | 74 | 63 | 55 | 50 | 45 | 41 | | | | | | | | | | | |
| C28H | N+T Q+T | 1 | 360 | 346 | 330 | 312 | 293 | 275 | 250 | 228 | 205 | 182 | 160 | 134 | 110 | 90 | 74 | 66 | | | | | | |
| | | 10 | 310 | 292 | 273 | 252 | 229 | 205 | 180 | 157 | 132 | 108 | 85 | 68 | 54 | 43 | 35 | 30 | — | — | — | — | — | |
| | | 20 | 290 | 271 | 251 | 229 | 206 | 180 | 156 | 131 | 109 | 88 | 70 | 54 | 41 | 32 | 26 | 23 | | | | | | |
| C32H ^③ | N+T | 1 | | | | | | 321 | 292 | 265 | 238 | 212 | 187 | 165 | 145 | 127 | 112 | 98 | | | | | | |
| | | 10 | | | | | | 244 | 214 | 186 | 160 | 137 | 117 | 98 | 83 | 70 | 61 | 55 | — | — | — | — | — | |
| | | 20 | | | | | | 222 | 191 | 163 | 138 | 116 | 96 | 80 | 67 | 56 | 49 | 44 | | | | | | |
| C34AH | N+T | 1 | | | | | | 281 | 261 | 241 | 221 | 201 | 182 | 163 | 147 | 133 | 121 | 110 | 96 | 85 | 76 | 68 | 61 | |
| | | 3 | | | | | | 255 | 234 | 212 | 191 | 171 | 153 | 137 | 123 | 111 | 100 | 88 | 79 | 70 | 61 | 54 | 48 | |
| | | 5 | | | | | | 242 | 220 | 198 | 176 | 157 | 140 | 125 | 113 | 101 | 89 | 80 | 71 | 62 | 54 | 47 | 42 | |
| | | 10 | | | | | | 222 | 199 | 177 | 156 | 139 | 124 | 111 | 99 | 85 | 79 | 69 | 59 | 51 | 44 | 38 | 34 | |
| C34BH | N+T N _{ac} +T Q+T | 1 | 404 | 374 | 348 | 324 | 302 | 282 | 262 | 242 | 224 | 206 | 188 | 170 | 152 | 136 | 120 | 106 | 93 | 81 | 72 | 63 | 58 | |
| | | 10 | 324 | 298 | 274 | 254 | 236 | 218 | 201 | 184 | 166 | 150 | 136 | 120 | 106 | 92 | 79 | 66 | 56 | 46 | 38 | 32 | 28 | |
| | | 20 | 304 | 278 | 256 | 236 | 218 | 200 | 183 | 165 | 151 | 134 | 120 | 104 | 90 | 76 | 64 | 52 | 42 | 34 | 28 | 24 | 22 | |
| C35BH | N _{ac} +T Q+T | 1 | 479 | 451 | 423 | 395 | 368 | 342 | 316 | 291 | 266 | 243 | 222 | 203 | 187 | 171 | 157 | 144 | 131 | 119 | 107 | 96 | 86 | |
| | | 10 | 419 | 390 | 360 | 332 | 303 | 275 | 240 | 224 | 201 | 180 | 160 | 144 | 129 | 114 | 101 | 88 | 76 | 64 | 53 | 41 | 50 | |
| | | 20 | 395 | 364 | 335 | 307 | 279 | 253 | 226 | 202 | 180 | 160 | 141 | 125 | 110 | 96 | 88 | 71 | 89 | 47 | 36 | 26 | 14 | |
| C40H | N+T | 1 | 504 | 478 | 454 | 430 | 407 | 388 | 359 | 336 | 313 | 291 | 269 | 248 | 227 | 206 | 186 | 167 | 148 | 130 | 114 | 98 | 83 | |
| | | 10 | 426 | 401 | 377 | 354 | 331 | 309 | 288 | 267 | 247 | 227 | 207 | 187 | 171 | 152 | 135 | 116 | 103 | 88 | 74 | 60 | 49 | |
| | | 20 | 394 | 369 | 345 | 322 | 300 | 279 | 259 | 241 | 223 | 205 | 187 | 169 | 151 | 134 | 118 | 103 | 88 | 74 | 61 | 49 | 39 | |
| C47H | Q | 1 | | | | | | | | | | | | 150 | 139 | 131 | 124 | 117 | 110 | 104 | 98 | 91 | 85 | 80 |
| | | 10 | | | | | | | | | | | | 115 | 108 | 100 | 93 | 86 | 80 | 75 | 69 | 64 | 59 | 55 |
| | | 25 | | | | | | | | | | | | 102 | 94 | 88 | 81 | 75 | 70 | 65 | 60 | 56 | 51 | 47 |

① 如能取得更多的数据,表列数值可修正。

② N:正火空冷,Q:淬火,T:回火,N_{ac}:正火快速空冷。温度及冷却条件见表 2-22。

③ 下面划有横线的数值是根据应力范围的试验数据外推得到的,故可靠性较差。

1.5.2 美国 ASTM 关于承压铸钢件的标准较为完备,共有 6 种,它们是:

1) ASTM A487/A487M—89,在压力条件下使用的铸钢件,化学成分要求,见表 2-25、表 2-26,力学性能和热处理规范,见表 2-27。

2) ASTM A217/A217M—89,高温承压件用合金钢和马氏体不锈钢铸件,其化学成分和力学性能要求,见表 2-28。

3) ASTM A389/A389M—89,经特殊处理的高温承压合金钢铸件的化学成分,见表 2-29,热处理和力学性能见表 2-30。

4) ASTM A757/A757M—90,低温承压件用铁素体和马氏体铸钢件(主要供油、气管线用的承压铸钢件用)的化学成分,见表 2-31,各牌号钢的热处理和力学性能,见表 2-32。

5) ASTM A352/A352M—89,低温承压件用铁素体和马氏体钢铸件(主要供阀类、管件等铸钢件用)的化学成分和力学性能要求,见表 2-33。

6) ASTM A356/A356M—90 汽轮机厚壁铸件用碳钢和低合金钢的化学成分和力学性能要求,见表 2-34。

表 2-25 ASTM A487—89 承压用铸钢件的化学成分(一)
(未示范围者为最高值)(%)

| 牌号 | 1 | 2 | 4 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| C | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.05~0.38 | 0.05~0.20 | 0.05~0.20 | 0.05~0.33 | 0.30 | 0.05~0.20 | 0.05~0.20 |
| Mn | 1.00 | 1.00~1.40 | 1.00 | 1.30~1.70 | 0.60~1.00 | 0.50~0.90 | 0.60~1.00 | 0.60~1.00 | 0.50~0.80 | 0.40~0.70 |
| P | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| S | 0.045 | 0.045 | 0.045 | 0.045 | 0.045 | 0.045 | 0.045 | 0.045 | 0.045 | 0.045 |
| Si | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.60 | 0.60 |
| Ni | — | — | 0.04~0.80 | 0.40~0.80 | 0.70~1.00 | — | — | 1.40~2.00 | 0.70~1.10 | 0.60~1.00 |
| Cr | — | — | 0.40~0.80 | 0.40~0.80 | 0.40~0.80 | 2.00~2.75 | 0.75~1.10 | 0.55~0.90 | 0.50~0.80 | 0.50~0.90 |
| Mo | — | 0.10~0.30 | 0.15~0.30 | 0.30~0.40 | 0.40~0.60 | 0.90~1.10 | 0.15~0.30 | 0.20~0.40 | 0.45~0.65 | 0.90~1.20 |
| V | 0.04~0.12 | — | — | — | 0.03~0.10 | — | — | — | — | — |
| B | — | — | — | — | 0.002~0.006 | — | — | — | — | — |
| Cu | — | — | — | — | 0.15~0.50 | — | — | — | — | — |
| 残留元素: | | | | | | | | | | |
| Cu | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| Ni | 0.50 | 0.50 | — | — | — | — | 0.50 | — | — | — |
| Cr | 0.35 | 0.35 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Mo+W | 0.25 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| W | — | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| V | — | 0.03 | 0.03 | 0.03 | — | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| 总量 | 1.00 | 1.00 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 1.00 | 0.60 | 0.50 | 0.50 |

表 2-26 ASTM A487—89 承压用铸钢件的化学成分(二)
(未示范围者为最高值)(%)

| 牌 号 | 13 | 14 | 16 | CA15 | CA15M | CA6NM |
|-------|-----------|-----------|-------------------|-----------|-----------|-----------|
| C | 0.30 | 0.55 | 0.12 ^B | 0.15 | 0.15 | 0.06 |
| Mn | 0.80~1.10 | 0.80~1.10 | 2.10 ^B | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| P | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.040 | 0.040 | 0.04 |
| S | 0.045 | 0.045 | 0.02 | 0.040 | 0.040 | 0.03 |
| Si | 0.60 | 0.60 | 0.50 | 1.50 | 0.65 | 1.00 |
| Ni | 1.40~1.75 | 1.40~1.75 | 1.00~1.40 | 1.00 | 1.0 | 3.5~4.5 |
| Cr | — | — | — | 11.5~14.0 | 11.5~14.0 | 11.5~14.0 |
| Mo | 0.20~0.30 | 0.20~0.30 | — | 0.50 | 0.15~1.0 | 0.4~1.0 |
| B | — | — | — | — | — | — |
| Cu | — | — | — | — | — | — |
| 残留元素: | | | | | | |
| Cu | 0.50 | 0.50 | 0.20 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| Ni | — | — | — | — | — | — |
| Cr | 0.40 | 0.40 | 0.20 | — | — | — |
| Mo | — | — | 0.10 | — | — | — |
| W | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| V | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| 总量 | 0.75 | 0.75 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |

表 2-27 ASTM A487—89 各牌号钢的热处理和力学性能

| 牌 号 | 等级 | 以前采用 的代号 | 热 处 理 | | | | 力学性能(未示范围者为最低值) | | | |
|------|----|-------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------|
| | | | 奥化温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 冷却介 质 ¹ | 淬火冷却到 ($^{\circ}\text{C}$) | 回火温度 ($^{\circ}\text{C}$) | σ_t (MPa) | σ_s (MPa) | δ (%) | ψ (%) |
| 1 | A | 1N | ≥ 870 | A | ≤ 230 | 595 | 588~760 | 380 | 22 | 10 |
| 1 | B | 1Q | ≥ 870 | L | ≤ 260 | 595 | 620~795 | 450 | 22 | 45 |
| 1 | C | | ≥ 870 | AL | ≤ 260 | 620 | 620 | 450 | 22 | 45 |
| 2 | A | 2N | ≥ 870 | A | ≤ 230 | 595 | 585~760 | 365 | 22 | 35 |
| 2 | B | 2Q | ≥ 870 | L | ≤ 260 | 595 | 620~795 | 450 | 22 | 40 |
| 2 | C | | ≥ 870 | AL | ≤ 260 | 620 | 620 | 450 | 22 | 40 |
| 4 | A | 4N | ≥ 870 | AL | ≤ 260 | 595 | 620~795 | 415 | 18 | 40 |
| 4 | B | 4Q | ≥ 870 | L | ≤ 260 | 595 | 725~895 | 585 | 17 | 35 |
| 4 | C | | ≥ 870 | AL | ≤ 260 | 620 | 620 | 415 | 18 | 35 |
| 4 | D | | ≥ 870 | L | ≤ 260 | 620 | 690 | 515 | 17 | 35 |
| 4 | E | 4QA | ≥ 870 | L | ≤ 260 | 595 | 795 | 655 | 15 | 35 |
| 6 | A | 6N | ≥ 845 | A | ≤ 260 | 595 | 795 | 550 | 18 | 30 |
| 6 | B | 6Q | ≥ 845 | L | ≤ 260 | 595 | 825 | 655 | 12 | 25 |
| 7 | A | 7Q | ≥ 900 | L | ≤ 315 | 595 | 795 | 690 | 15 | 30 |
| 8 | A | 8N | ≥ 955 | A | ≤ 260 | 675 | 585~760 | 380 | 20 | 35 |
| 8 | B | 8Q | ≥ 955 | L | ≤ 260 | 675 | 725 | 585 | 17 | 30 |
| 8 | C | | ≥ 955 | L | ≤ 260 | 675 | 690 | 515 | 17 | 35 |
| 9 | A | 9N | ≥ 870 | AL | ≤ 260 | 595 | 620 | 415 | 18 | 35 |
| 9 | B | 9Q | ≥ 870 | L | ≤ 260 | 595 | 725 | 585 | 16 | 35 |
| 9 | C | | ≥ 870 | AL | ≤ 260 | 620 | 620 | 415 | 18 | 35 |
| 9 | D | | ≥ 870 | L | ≤ 260 | 620 | 690 | 515 | 17 | 35 |
| 9 | E | | ≥ 870 | L | ≤ 260 | 595 | 795 | 655 | 15 | 35 |
| 10 | A | 10N | ≥ 845 | A | ≤ 260 | 595 | 690 | 485 | 18 | 35 |
| 10 | B | 10Q | ≥ 845 | L | ≤ 260 | 595 | 860 | 690 | 15 | 35 |
| 11 | A | 11N | ≥ 900 | A | ≤ 315 | 595 | 484~655 | 275 | 20 | 35 |
| 11 | B | 11Q | ≥ 900 | L | ≤ 315 | 595 | 725~895 | 585 | 17 | 35 |
| 12 | A | 12N | ≥ 955 | A | ≤ 315 | 595 | 485~655 | 275 | 20 | 35 |
| 12 | B | 12Q | ≥ 955 | L | ≤ 205 | 595 | 725~895 | 585 | 17 | 35 |
| 13 | A | 13N | ≥ 845 | A | ≤ 260 | 595 | 620~795 | 415 | 18 | 35 |
| 13 | B | 13Q | ≥ 845 | L | ≤ 260 | 595 | 725~895 | 585 | 17 | 35 |
| 14 | A | 14Q | ≥ 845 | L | ≤ 260 | 595 | 825~1000 | 655 | 14 | 30 |
| 16 | A | 16N | ≥ 870 | A | ≤ 315 | 595 | 485~655 | 275 | 22 | 35 |
| CA15 | A | CA15A | ≥ 955 | AL | ≤ 205 | 480 | 965~1170 | 760~895 | 10 | 25 |

表 2-28 ASTM A217—89 高温承压件用马氏体不锈钢铸件

| 牌号 | WC1 | WC4 | WC5 | WC6 | WC9 | WC11 | C5 | C12 | CA-15 | |
|---------------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| 化学成分 (%) | C | ≤0.25 | ≤0.20 | ≤0.20 | ≤0.20 | ≤0.18 | ≤0.20 | ≤0.20 | ≤0.20 | ≤0.15 |
| | Mn | 0.50~0.80 | 0.50~0.80 | 0.40~0.70 | 0.05~0.80 | 0.40~0.70 | 0.40~0.70 | 0.40~0.70 | 0.35~0.65 | ≤1.00 |
| | P | ≤0.04 | ≤0.04 | ≤0.04 | ≤0.04 | ≤0.04 | ≤0.020 | ≤0.04 | ≤0.04 | ≤0.040 |
| | S | ≤0.045 | ≤0.045 | ≤0.045 | ≤0.045 | ≤0.045 | ≤0.015 | ≤0.045 | ≤0.045 | ≤0.040 |
| | Si | ≤0.60 | ≤0.60 | ≤0.60 | ≤0.60 | ≤0.60 | 0.30~0.60 | ≤0.75 | ≤1.00 | ≤1.50 |
| | Ni | — | 0.70~1.10 | 0.60~1.00 | — | — | — | — | — | ≤1.00 |
| | Cr | — | 0.50~0.80 | 0.50~0.90 | 1.00~1.50 | 2.00~2.75 | 1.00~1.50 | 4.00~6.50 | 8.00~10.00 | 11.5~14.00 |
| | Mo | 0.45~0.65 | 0.45~0.65 | 0.90~1.20 | 0.45~0.65 | 0.90~1.20 | 0.45~0.65 | 0.45~0.65 | 0.90~1.20 | ≤0.50 |
| | Al | — | — | — | — | — | ≤0.01 | — | — | — |
| 残留元素 (%) | 总量 | ≤1.00 | ≤0.60 | ≤0.60 | ≤1.00 | ≤1.00 | ≤1.00 | ≤1.00 | ≤1.00 | — |
| | Cu | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.35 | 0.50 | 0.50 | — |
| | Ni | 0.50 | — | — | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | — |
| | Cr | 0.35 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | W | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | — | 0.10 | 0.10 | — |
| | V | — | — | — | — | — | 0.03 | — | — | — |
| σ_b (MPa) | 450~620 | 485~655 | 485~655 | 485~655 | 485~655 | 550~725 | 620~795 | 620~795 | 620~795 | |
| σ_s (MPa) | 240 | 275 | 275 | 275 | 275 | 345 | 415 | 415 | 450 | |
| δ (%) | 24 | 20 | 20 | 20 | 20 | 18 | 18 | 18 | 18 | |
| ψ (%) | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 45 | 35 | 35 | 30 | |

表 2-29 ASTM A389—89 经特殊热处理的高温承压合金钢铸件的化学成分

| 牌 号 | 化学成分 (未示范围者为最高值) (%) | | | | | | | |
|-----|----------------------|-----------|------|-------|------|-----------|-----------|-----------|
| | C | Mn | P | S | Si | Cr | Mo | V |
| C23 | 0.20 | 0.30~0.80 | 0.04 | 0.045 | 0.60 | 1.00~1.50 | 0.45~0.65 | 0.15~0.25 |
| C24 | — | — | — | — | — | 0.80~1.25 | 0.90~1.20 | 0.15~0.25 |

表 2-30 ASTM A389—89 高温承压合金钢铸件的热处理和力学性能

| 牌号 | 正火温度 (°C) | 回火 | | σ_b (MPa) | σ_s (MPa) | δ (%) | ψ (%) |
|-----|-----------|---------|----------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------|
| | | 温度 (°C) | 保温时间 (h) | | | | |
| C23 | 1010~1065 | 675~730 | 1 ^① | ≥483 | ≥276 | ≥18.0 | ≥35.0 |
| C24 | | | 12 | ≥552 | ≥345 | ≥15.0 | |

① 每 25mm 厚截面 1h。

表 2-31 ASTM A757—90 低温承压件用铁素体、马氏体铸钢件的化学成分^① (%)

| 牌号 | A1Q | A2Q | B2N B2Q | B3N B3Q | B4N B4Q | C1Q | D1N1D1Q1 D1N2D1Q2 D1N3D1Q3 | E1Q | E2N E2Q | E3N |
|------------|-------|-------------------|------------------------|------------|------------|-----------|----------------------------------|-----------|------------|-----------|
| | C | 0.30 | 0.25 ^② | 0.25 | 0.15 | 0.15 | 0.25 | 0.20 | 0.22 | 0.20 |
| Mn | 1.00 | 1.20 ^② | 0.50/0.80 ^③ | 0.50/0.80 | 0.50/0.80 | 1.20 | 0.40/0.80 | 0.50/0.80 | 0.40/0.70 | 1.00 |
| P | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.020 | 0.030 |
| S | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.025 | 0.020 | 0.030 |
| Si | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 1.00 |
| Ni | — | — | 2.0/3.0 | 3.0/4.0 | 4.0/5.0 | 1.5/2.0 | — | 2.5/3.5 | 2.75/3.90 | 3.5/4.5 |
| Cr | — | — | — | — | — | — | 2.0/2.75 | 1.35/1.85 | 1.50/2.0 | 11.5/14.0 |
| Mo | — | — | — | — | — | 0.15/0.30 | 0.90/1.20 | 0.35/0.60 | 0.40/0.60 | 0.40/1.0 |
| 以下为规定的残余元素 | | | | | | | | | | |
| V | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | — |
| Cu | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| Ni | 0.50 | 0.50 | — | — | — | — | 0.50 | — | — | — |
| Cr | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | — | — | — | — |
| Mo | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | — | — | — | — | — |
| W | — | — | — | — | — | — | 0.10 | — | 0.10 | 0.10 |
| 总量 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.70 | 0.70 | 0.50 |

① 未规定范围者均为最大值。

② 含 C 量对上限值每降低 0.01%，允许含 Mn 量在上限值以上增加 0.04%，但最高值为 1.4%。

③ 含 Mn 量 0.50/0.80，表示其范围值自 0.50% 到 0.80%，以下均同。

表 2-32 ASTM A757—90 各牌号钢的力学性能

| 牌 号 | 热处理 ^① | τ_b (MPa) ^② | σ_s (最低值) (MPa) | δ (最低值) (%) | ψ (最低值) (%) |
|------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|
| A1Q | QT | 450 | 240 | 24 | 35 |
| A2Q | QT | 485 | 275 | 22 | 35 |
| B2N, B2Q | NT/QT ^① | 485 | 275 | 24 | 35 |
| B3N, B3Q | NT/QT | 485 | 275 | 24 | 35 |
| B4N, B4Q | NT/QT | 485 | 275 | 24 | 35 |
| C1Q | QT | 515 | 380 | 22 | 35 |
| D1N1, D1Q1 | NT/QT | 585—795 | 380 | 20 | 35 |
| D1N2, D1Q2 | NT/QT | 655—860 | 515 | 18 | 35 |
| D1N3, D1Q3 | NT/QT | 725—930 | 585 | 15 | 30 |
| E1Q | QT | 620 | 450 | 22 | 40 |
| E2N1, E2Q1 | NT/QT | 620—825 | 485 | 18 | 35 |
| E2N2, E2Q2 | NT/QT | 725—930 | 585 | 15 | 30 |
| E2N3, E2Q3 | NT/QT | 795—1000 | 690 | 13 | 30 |
| E3N | NT | 760 | 550 | 15 | 35 |

① QT 为淬火回火，NT 为正火回火，NT/QT 为正火回火或淬火回火。

② 未注范围者为最低值。

表 2-33 ASTM A352—89 适于低温的承压件用铁素体及马氏体钢铸件

| 牌号 | LCA | LCB | LCC | LC1 | LC2 | LC2-1 | LC3 | LC4 | LC9 | CA6NM |
|--------------------------------|-------------------|---------|-------------------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1. 化学成分要求 (未示范围者为最大值) (%) | | | | | | | | | | |
| C | 0.25 ^① | 0.30 | 0.25 ^① | 0.25 | 0.25 | 0.22 | 0.15 | 0.15 | 0.13 | 0.06 |
| Si | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.60 | 0.50 | 0.60 | 0.60 | 0.45 | 1.00 |
| Mn | 0.70 ^① | 1.00 | 1.20 ^① | 0.5~0.80 | 0.5~0.80 | 0.55~0.75 | 0.50~0.80 | 0.50~0.80 | 0.90 | 1.00 |
| P | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| S | 0.045 | 0.045 | 0.045 | 0.045 | 0.045 | 0.045 | 0.045 | 0.045 | 0.045 | 0.03 |
| Ni | 0.50 | 0.50 | 0.50 | — | 2.0~3.0 | 2.50~3.50 | 3.00~4.00 | 4.00~5.00 | 8.50~10.0 | 3.5~4.5 |
| Cr | 0.50 | 0.50 | 0.50 | — | — | 1.35~1.85 | — | — | 0.50 | 11.5~14.0 |
| Mo | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.45~0.65 | — | 0.30~0.60 | — | — | 0.20 | 0.40~1.0 |
| Cu | 0.30 | 0.30 | 0.30 | — | — | — | — | — | 0.30 | — |
| V | 0.03 | 0.03 | 0.03 | — | — | — | — | — | 0.03 | — |
| 2. 力学性能要求 (未示范围者为最低值) | | | | | | | | | | |
| σ_b (MPa) | 415~585 | 450~620 | 485~655 | 450~620 | 485~655 | 725~895 | 485~655 | 485~655 | 585 | 760~930 |
| $\sigma_{0.2}$ (MPa) | 205 | 240 | 275 | 240 | 275 | 550 | 275 | 275 | 515 | 550 |
| δ % | 24 | 24 | 22 | 24 | 24 | 18 | 24 | 24 | 20 | 15 |
| ψ (%) | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 30 | 35 | 35 | 30 | 35 |
| 夏氏 V 型缺口冲击韧度 A_k (J) | | | | | | | | | | |
| 3个试样 平均值 | 18 | 18 | 20 | 18 | 20 | 41 | 20 | 20 | 27 | 27 |
| 单个试样 最低值 | 14 | 14 | 16 | 14 | 16 | 34 | 16 | 16 | 20 | 20 |
| 试验温度 ($^{\circ}\text{C}$) | -32 | -46 | -46 | -59 | -73 | -73 | -101 | -115 | -196 | -73 |

① 含碳量每比上限降低 0.01%，允许 Mn 比上限增高 0.04，LCA Mn 的最高含量为 1.10%，LCC 为 1.40%。

表 2-34 ASTM A356—90 汽轮机厚壁铸件用碳钢和低合金钢

| 牌号 | 钢种 | 化学成分 (除示出范围者外为最大值) (%) | | | | | | | | 力学性能 (最低值) | | | |
|----|-------------------|------------------------|-------------------|------|-------|-------|---------------|---------------|---|---------------------|---------------------|-----------------|---------------|
| | | C | Mn | Si | P | S | Mo | Cr | V | σ_b (MPa) | σ_s (MPa) | δ (%) | ψ (%) |
| 1 | 碳钢 | 0.35 ^① | 0.70 ^① | 0.60 | 0.035 | 0.030 | — | — | — | 485 | 250 | 20.0 | 35.0 |
| 2 | Mo0.5% | 0.25 ^① | 0.70 ^① | 0.60 | 0.035 | 0.030 | 0.45~ 0.65 | — | — | 450 | 240 | 22.0 | 35.0 |
| 5 | Co0.5% Mo0.5% | 0.25 ^① | 0.70 ^① | 0.60 | 0.035 | 0.030 | 0.40~ 0.60 | 0.40~ 0.70 | — | 485 | 275 | 22.0 | 35.0 |
| 6 | Cr1.25% Mo0.5% | 0.20 以下 | 0.50~ 0.80 | 0.60 | 0.035 | 0.030 | 0.45~ 0.65 | 1.00~ 1.50 | — | 485 | 310 | 22.0 | 35.0 |

表 2-37 JIS G5152—1991 低温承压件用铸钢的化学成分

(%)

| 牌 号 | 化学成分 (除给出范围者外, 均为 \leq) | | | | | | | 杂质含量 \leq | | | |
|--------|----------------------------|------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-------------|------|------|------|
| | C | Si | Mn | P | S | Ni | Mo | Cu | Ni | Cr | 总量 |
| SCPL1 | 0.30 | 0.60 | 1.00 | 0.040 | 0.040 | — | — | 0.50 | 0.50 | 0.25 | 1.00 |
| SCPL11 | 0.25 | 0.60 | 0.50~0.80 | 0.040 | 0.040 | — | 0.45~0.65 | 0.50 | — | 0.35 | — |
| SCPL21 | 0.25 | 0.60 | 0.50~0.80 | 0.040 | 0.040 | 2.00~3.00 | — | 0.50 | — | 0.35 | — |
| SCPL31 | 0.15 | 0.60 | 0.50~0.80 | 0.040 | 0.040 | 3.00~4.00 | — | 0.50 | — | 0.35 | — |

表 2-38 JIS G5152—1991 低温承压件用铸钢的力学性能

| 牌 号 | 拉伸性能 \geq | | | | 冲击试验 温度 ($^{\circ}$ C) | 夏氏冲击功 \geq (J) | | | | | |
|--------|---------------------|---------------------|--------------|------------|-------------------------------|-------------------|-----|--------------------|-----|------------------|-----|
| | σ_b (MPa) | σ_s (MPa) | δ (%) | ψ (%) | | 10 \times 10 试样 | | 10 \times 7.5 试样 | | 10 \times 5 试样 | |
| | | | | | | 3个平 均值 | 单个值 | 3个平 均值 | 单个值 | 3个平 均值 | 单个值 |
| SCPL1 | 450 | 245 | | | -45 | 18 | 14 | 15 | 12 | 12 | 9 |
| SCPL11 | 450 | 245 | 21 | 35 | -60 | 18 | 14 | 15 | 12 | 12 | 9 |
| SCPL21 | 480 | 275 | | | -75 | 21 | 17 | 18 | 14 | 14 | 11 |
| SCPL31 | 480 | 275 | | | -100 | 21 | 17 | 18 | 14 | 14 | 11 |

1.6 微量合金化铸钢

微量合金化铸钢之所以称微量, 是因为钢中的合金元素加入量不超过 0.10%。这类钢中的合金元素一般指以元素周期表中 VB 族的钒、铌、钽, IVB 族中的钛、锆、IIA 族中的铍, IIIA 族中的硼和稀土元素。较常用的是钒、铌、硼和稀土元素。

微量合金化铸钢是低合金高强度铸钢的发展, 但实际应用还不很多。值得一提的是, 我国稀土元素储量相当丰富, 价格低廉, 应用也较为广泛。

1.6.1 微量合金化铸钢的特点

(1) 钒、铌系微量合金化铸钢 主要特点是强度高、韧性好, 具有良好的焊接性能。

钒、铌在钢中最终形成 Nb (C,N) 和 V (C,N), 使晶粒细化, 并有时效特性。如钢中加入 Mn 和 Mo, 细化晶粒作用更为显著。同时, 加 Mo 还能延缓钒的 C、N 化物在奥氏体中的沉淀, 导致铁素体中细微沉淀相增加, 使钢强化, 并减轻其回火脆性。

钒、铌钢一般要求碳、硫含量低, 含氮量也应严格控制, 以保证韧性和可焊性。

(2) 硼系微量合金化铸钢 硼能强烈提高钢的淬透性, 因而此类铸钢适用于大断面或壁厚变化大的铸件。

钢的实际含硼量不宜过高, 应控制在 0.001%~0.003% 之间, 过高将导致钢的脆性增加。冶炼时, 为避免硼与钢中氮、氧作用而损失, 应在用铝或钛脱氧后加入, 最好采用炉外精炼技术。这类钢淬透后使用方能充分发挥硼的作用。热处理时加热速度尽可能低、冷却速度应快。

(3) 稀土系微量合金化铸钢 稀土的脱氧能力较铝强, 脱硫能力强于锰, 同时有消除低熔点夹杂物, 净化钢液的作用。稀土使钢液中的硫化夹杂物变为稀土硫化物及硫的氧化物, 且分布在晶粒内而不是晶界上。稀土能使晶粒细化, 并可消除柱状晶及魏氏组织。

1.6.2 国内采用的微量合金化铸钢的化学成分及力学性能 (表 2-39)

1.6.3 国外一些微量合金化铸钢的化学成分及力学性能 (表 2-40、表 2-41)

表 2-39 我国采用的微量合金化铸钢的化学成分及力学性能

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | | | | 热 处 理 | σ_b (MPa) | σ_s (MPa) | δ_5 (%) | ψ (%) | a_K (J/cm ²) | |
|-------------------------------|----------------|---------------|---------------|-------------------|--------|---------------|-------------|----------------|---------------|-------|------|---|---|----------------------|---------------------|---------------------|-------------------|---------------|-------------------------------|---|
| | C | Mn | Si | P | S | Al | Cu | Ti | Nb | V | Mo | B | | | | | | | | |
| ZG06MnNb ^① | ≤0.07 | 1.2 ~1.6 | 0.17 ~0.37 | ≤0.015 | ≤0.015 | — | — | — | 0.02 ~0.04 | — | — | — | — | 900℃ 正火 + 600℃ 回火 | 417 | 262 | 28.7 | 69.4 | 250 | |
| 06Mn2AlCuTi 铸 ^② | ≤0.06 | 1.8 ~2.0 | ≤0.20 | ≤0.02 | ≤0.03 | 0.05 ~0.12 | 0.3 ~0.6 | 0.008 ~0.04 | — | — | — | — | — | — | 528 | 453 | 31.0 | 68.6 | 170 | |
| 08MnNbAlCuN 铸 ^③ | ≤0.08 | 0.9 ~1.3 | ≤0.35 | ≤0.02 | ≤0.035 | 0.03 ~0.12 | 0.3 ~0.5 | — | 0.03 ~0.09 | — | — | — | — | 940℃ 水淬 + 正 火 | 400 | ≥300 | ≥21 | ≥60 | 60 | |
| MnMoNbVTi ^④ | 0.20 | 1.39 | 0.36 | 0.019 | 0.021 | — | — | 0.019 | 0.03 | 0.064 | 0.26 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| ZG40B | 0.37 ~0.44 | 0.5 ~0.80 | 0.17 ~0.37 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| ZG40MnB | 0.37 ~0.44 | 1.00 ~1.40 | 0.17 ~0.37 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| ZG40CrB | 0.37 ~0.44 | 0.70 ~1.00 | 0.17 ~0.37 | Cr: 0.40 ~0.60 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| ZG20MnMoB | 0.162 ~0.22 | 0.90 ~1.20 | 0.17 ~0.37 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| ZG40MnVB | 0.37 ~0.44 | 1.10 ~1.40 | 0.17 ~0.37 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| ZG40CrMnMoVB | 0.35 ~0.44 | 1.10 ~1.40 | 0.17 ~0.37 | 0.50 ~0.80 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

① 锦西化工机械厂。
 ② 甘肃阀门厂。
 ③ 上海材料研究所。
 ④ 铁道部四方机车车辆厂。

表 2-40 国外一些微量合金化铸钢的化学成分

(%)

| 生产厂家 | 牌 号 | C | Si | Mn | Nb | V | Mo | Ni | Cr | Cu |
|-----------------|----------------------------------|---------------|--------------|---------------|-----------|----------|-----------|------------|--------------|-------------|
| AFNOR | 12MDV6-M | 0.15 | 0.60 | 1.2~1.5 | | 0.05~0.1 | 0.2~0.4 | | | |
| CTIF | 12MDV6-M | 0.145 | 0.57 | 1.50 | | 0.05 | 0.32 | | | |
| Sambre et Meuse | 10MDV6-M | 0.10 | 0.40 | 1.60 | 0.010 | 0.040 | 0.30 | | | |
| Paris ouireau | HRS | ≤0.15 | | ≤1.50 | ≤0.06 | ≤0.06 | ≤0.30 | ≤0.30 | ≤0.25 | |
| A·F·E | Euraferm 400TK Euraferm 500TK | ≤0.22 | 0.3 ~0.6 | ≤1.70 | ≤0.05 | ≤0.10 | 0.1~0.6 | | | |
| Pontra-Mousson | Centrishore I | ≤0.08 | ≤0.30 | 1.20~2.00 | — | | 0.25~0.40 | — | | |
| | Centrishore II | ≤0.08 | ≤0.30 | 1.20 ~2.00 | 0.03~0.07 | | 0.25~0.40 | — | | |
| | Centrishore III | ≤0.08 | ≤0.30 | 1.20~2.00 | 0.03~0.07 | | 0.25~0.40 | 1.00~1.50 | | |
| | Centrishore IV | ≤0.08 | ≤0.30 | 1.20~2.00 | 0.03~0.07 | | 0.25~0.40 | 1.50~2.50 | | |
| | Centrishore V | ≤0.10 | ≤0.40 | 1.70~2.30 | 0.05~0.08 | | 0.20~0.40 | 2.50~3.50 | | |
| Sulzer | | 0.04 ~0.08 | 0.3~0.5 | 1~1.4 | 0.05~0.12 | 0.05~0.1 | 0.2~0.6 | | | |
| Thyssen | GS-10Mn7 | 0.08 | 0.4 | 1.7 | 0.04 | 0.06 | | | | |
| | GS-10MnMo74 | 0.08 | 0.4 | 1.7 | 0.04 | 0.06 | 0.4 | | | |
| | GS-8MnMo64 | 0.06 | 0.4 | 1.5 | 0.04 | 0.06 | 0.4 | | | |
| | GS-15MnCrMo634 | 0.14 | 0.4 | 1.5 | 0.04 | 0.06 | 0.4 | | 0.7 | |
| PHB | 502 | 0.10 | 0.5 | 1.8 | | 0.10 | | | | |
| | 503 | 0.10 | 0.5 | 1.8 | 0.08 | 0.08 | | | | |
| | 504 | 0.12 | 0.5 | 1.8 | | 0.10 | 0.4 | | | |
| | 505—506 | 0.12 | 0.5 | 1.8 | 0.08 | 0.08 | 0.4 | | | |
| | 508 | 0.12 ~0.15 | 0.5 | 1.8 | 0.08 | 0.08 | 0.4 | | | |
| BSC | | ≤0.18 | 0.1~0.5 | 1.2~1.6 | ≤0.04 | ≤0.08 | ≤0.2 | ≤0.5 | | |
| Vöest | | 0.13 | | 1.6 | 0.04 | 0.08 | 0.25 | | | |
| | | 0.08 | | 1.7 | 0.04 | 0.08 | 0.25 | | | |
| INCO | IN866 | 0.08 ~0.10 | 0.2 ~0.35 | 1.6~1.9 | | | 0.16~0.2 | 2 | 0.4 ~0.65 | 1.1 ~1.3 |
| 住友 | HT80 | 0.14 | 0.3 | 0.3 | | 0.04 | 0.5 | 0.85 ~1 | 0.5 | 0.25 |

表 2-41 国外一些微量合金化铸钢的力学性能

| 生产厂家 | 牌 号 | σ_s (MPa) | σ_b (MPa) | δ (%) | ψ (%) | 冲击吸收功 (J) | | | | | HBC |
|-----------------|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------|------------|-----------|-----------|-------|-----------|---------|
| | | | | | | +20℃ | 0℃ | -20℃ | -40℃ | -50℃ | |
| AFNOR | 12MDV6-M | ≥ 400 | ≥ 500 | ≥ 18 | ≥ 35 | ≥ 30 | | | | | 150 |
| CTIF | 12MDV6-M | 447 | 579 | 21 | 44 | 40 | | | | | 174 |
| Sambre et Meuse | 12MDV6-M | 550 | 650 | 16 | 55 | 60 | | | 40 | | |
| Paris Outreau | HRS | ≥ 600 | ≥ 700 | ≥ 15 | ≥ 50 | ≥ 64 | | ≥ 40 | | ≥ 20 | 210~240 |
| A·F·E | Euraferm 400TK1 | ≥ 400 | ≥ 550 | ≥ 20 | ≥ 36 | ≥ 36 | ≥ 28 | | | | |
| | Euraferm 500 TK | ≥ 500 | ≥ 610 | ≥ 18 | ≥ 32 | ≥ 56 | ≥ 40 | | | | |
| Pont-a-Mousson | Centrishore I | 340~400 | 500~640 | 20 | 50 | | | 64 | 64 | | |
| | Centrishore II | 400~500 | 520~660 | 18 | 50 | | | 64 | 64 | | |
| | Centrishore III | 500~600 | 600~700 | 16 | 50 | | | 64 | 40 | | |
| | Centrishore IV | 600~650 | 650~735 | 15 | 40 | | | 40 | 40 | | |
| | Centrishore V | ≥ 650 | ≥ 735 | 14 | 40 | | | 40 | 40 | | |
| Sulzer | | 450~510 | 490~690 | 20~33 | 70~80 | | | | | | |
| Thyssen | GS-10Mn7 | 400~540 | 500~620 | 18~22 | | 60~100 | 45~80 | 35~45 | 20~30 | | |
| | GS-10MnMo74 | 400~580 | 500~680 | 16~22 | | 60~120 | 45~100 | 35~60 | 20~40 | | |
| | GS-8MnMo64 | 370~480 | 480~580 | 20~26 | | ≥ 120 | 100~110 | 50~100 | 70~90 | ≥ 40 | |
| | GS-15MnCrMo | 650 | 750 | 14 | | ≥ 30 | | | | | |
| | 634 | | | | | | | | | | |
| PHE | 502 | 450 | 550~650 | 22 | 40 | | | | | | |
| | 503 | 500 | 600~700 | 16 | 30 | | | | | | |
| | 504 | 450 | 550~700 | 20 | 40 | | | | | | |
| | 505-506 | 500~550 | 600~750 | 18~19 | 30~35 | | | | | | |
| | 508 | 700 | 780 | 11 | 25 | | | | | | |
| BSC | | 370 | | 30 | 55 | | | 130 | 80 | | |
| VöestF | | 450 | | | | | | | | | |
| | | 400 | | | | | | | | | |
| INCO | IN866 | 488 | 685 | 13 | 30 | 91 | | 46 | 40 | | |
| Sumitomo | HT80 | 750~780 | 800~840 | | | | | | | | |

1.7 铸造不锈钢和耐蚀合金

铸造不锈钢,按其化学成分可分为铬钢、铬镍钢和镍铬钢;按其显微组织可分为马氏体钢、铁素体钢、双相(奥氏体基体中有铁素体)钢和奥氏体钢。

高铬钢为马氏体组织或铁素体组织;铬镍钢多数为铁素体-奥氏体两相组织;镍铬钢则是奥氏体组织。

铸造不锈钢,按使用条件可分为工程结构用中、高强度马氏体不锈钢和耐腐蚀不锈钢。

表 2-42 GB6967—86 工程结构用中、高强度马氏体不锈钢铸件的化学成分及力学性能

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | 热 处 理 | | σ_b (MPa) | δ (%) | ψ (%) | a_{KV}^{50} (J) | HBS | |
|---------------|-----------------------|-----|-----|-----------|---------|-----------|-------|-------|------|------|-------|----|---------------------|-----------------|---------------|----------------------|---------|------------|
| | C | Si | Mn | Cr | Ni | Mo | S | P | Cu | V | W | 方式 | | | | | | 温度 (°C) |
| | 残余元素 ^② (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ZG10Cr13 | 0.15 | 1.0 | 0.6 | 11.5~13.5 | — | — | 0.030 | 0.035 | 0.50 | 0.03 | 0.10 | | | 343 | 18 | 40 | 163~224 | |
| ZG20Cr13 | 0.16~0.24 | 1.0 | 0.6 | 11.5~13.5 | — | — | 0.030 | 0.035 | 0.50 | 0.03 | 0.10 | | | 392 | 16 | 35 | 170~235 | |
| ZG10Cr13Ni1 | 0.15 | 1.0 | 1.0 | 11.5~13.5 | 1.0 | 0.5 | 0.030 | 0.035 | 0.50 | 0.03 | 0.10 | | | 444 | 16 | 35 | 170~241 | |
| ZGCr13Ni1Mo | 0.15 | 1.0 | 1.0 | 11.5~13.5 | 1.0 | 0.15~1.00 | 0.030 | 0.035 | 0.50 | 0.03 | 0.10 | | | 444 | 16 | 35 | 170~241 | |
| ZG06Cr13Ni4Mo | 0.07 ^① | 1.0 | 1.0 | 11.5~13.5 | 3.5~5.0 | 0.40~1.00 | 0.030 | 0.035 | 0.50 | 0.03 | 0.10 | | | 550 | 15 | 35 | 217~286 | |
| ZG06Cr13Ni6Mo | 0.07 ^① | 1.0 | 1.0 | 11.5~13.5 | 5.0~6.5 | 0.40~1.00 | 0.030 | 0.035 | 0.50 | 0.03 | 0.10 | | | 550 | 15 | 35 | 221~286 | |
| ZG06Cr15Ni5Mo | 0.06 | 1.0 | 1.0 | 15.5~17.5 | 4.5~6.0 | 0.40~1.00 | 0.030 | 0.035 | 0.50 | 0.03 | 0.10 | | | 588 | 15 | 35 | 221~286 | |

① 铸焊结构工程使用时控制 C≤0.06%。

② 残余元素总量控制在 0.80% 以内。

③ 我国标准中订货方无特殊要求时，不作验收依据。

表 2-43 ZG06Cr13Ni6Mo 钢的物理性能

| 温 度 (°C) | 20 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 716 | 743 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 热扩散率 α [$m^2/s \times 10^{-4}$] | 0.0400 | 0.0402 | 0.0403 | 0.0393 | 0.0395 | 0.0380 | 0.0359 | 0.0328 | 0.0321 | 0.0400 | 0.0495 | 0.0522 | 0.0572 | 0.0541 | 0.0574 |
| 比热容 C_p [J/(kg·°C)] | 444 | 461 | 490 | 523 | 565 | 620 | 695 | 804 | 835 | 757 | 657 | 687 | 670 | 666 | 674 |
| 热导率 λ [W/(m·°C)] | 14.0 | 14.6 | 15.6 | 16.5 | 17.4 | 18.6 | 19.7 | 20.8 | 21.1 | 23.9 | 25.7 | 28.3 | 30.2 | 28.4 | 30.5 |

1.7.1 工程结构用中高强度马氏体不锈钢

这类钢在一般条件的腐蚀介质中工作，具有较高的强度和良好的抗腐蚀能力。因用于工程结构，故需要有优良的焊接性能。验收的主要依据是力学性能，抗腐蚀性能一般不作验收项目。

马氏体不锈钢还包括沉淀硬化型不锈钢。后者的组织是在马氏体基础上存在少量残余奥氏体和 δ 铁素体，经时效强化后，析出亚微观沉淀相，从而使钢具有较高的屈服强度和抗拉强度。沉淀硬化型不锈钢采用电渣熔铸工艺，由于有精炼的钢液和快速结晶的优点，能改善夹杂和偏析程度，使钢能在获得高强度的同时，改善冲击韧度和疲劳强度，具备良好的综合性能。

1) GB 6967—86“工程结构用中高强度马氏体不锈钢铸件”规定了7种牌号，化学成分及力学性能见

表 2-44 ASTM A747—89 沉淀硬化不锈钢铸件的化学成分

| 牌 号 | 化学成分 (未示范围者为最高值) (%) | | | | | | | | | |
|---------|----------------------|------|-------|------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|
| | C | Mn | P | S | Si | Cr | Ni | Cu | Nb | N ₂ |
| BG7Cu-1 | 0.07 | 0.70 | 0.035 | 0.03 | 1.00 | 15.5~17.7 | 3.60~4.60 | 2.50~3.20 | 0.15~0.35 | 0.05 |
| BG7Cu-2 | | | | | | 14.0~15.5 | 4.50~5.50 | | | |

表 2-45 ASTM A747—89 不锈钢沉淀硬化工艺及其力学性能

| 牌 号 | 沉淀硬化 | | 硬 度 (HB) | σ_b (MPa) | $\sigma_{0.2}$ (MPa) | δ (%) |
|----------------------|----------|----------------------------------|-------------|---------------------|-------------------------|--------------|
| | 代 号 | 处 理 方 法 | | | | |
| CB7Cu-1 或 CB7Cu-2 | H900 | 480℃, 1.5h, 空冷 | ≥375 | ≥1170 | ≥1000 | ≥5 |
| | H925 | 495℃, 1.5h, 空冷 | ≥375 | ≥1205 | ≥1035 | ≥5 |
| | H1025 | 550℃, 4.0h, 空冷 | ≥311 | ≥1035 | ≥965 | ≥9 |
| | H1075 | 580℃, 4.0h, 空冷 | ≥277 | ≥1000 | ≥795 | ≥9 |
| | H1100 | 595℃, 4.0h, 空冷 | ≥269 | ≥930 | ≥760 | ≥9 |
| | H1150 | 620℃, 4.0h, 空冷 | ≥269 | ≥860 | ≥670 | ≥10 |
| | H1150M | 760℃, 2.0h, 空冷 | ≤310 | — | — | — |
| | H1150DEL | 620℃, 4.0h, 空冷 620℃, 4.0h, 空冷 | ≤310 | — | — | — |

注：1. 沉淀硬化处理的允差温度为 $\pm 15^\circ\text{C}$ 。

2. 沉淀硬化前，铸件应经固溶退火，规范为： $1050 \pm 30^\circ\text{C}$ 保温（每毫米壁厚 1.2min，但不少于 30min），炉冷到 30°C 。

3. 如供需双方商定，可在固溶退火前进行均匀化处理，其规范为： 1040°C 保温至少 1.5h，炉冷到 30°C 。

1.7.2 铸造耐腐蚀不锈钢

耐腐蚀不锈钢，主要用于各种介质腐蚀条件，抗腐蚀性能是最基本的要求。

耐腐蚀不锈钢有铬不锈钢和镍铬不锈钢两类，要求其含碳量低，以保证良好的抗腐蚀性能。

如果购买未在订货时提出进行晶间腐蚀试验或其它试验，各种耐腐蚀不锈钢铸件的耐蚀性能是由其化学成分保证的，一般都不以耐蚀试验作为验收依据，有的标准甚至不以力学性能作为验收依据。

表 2-42。其中含 Cr13%、Ni4% 左右的钢，组织为单一的低碳板条马氏体，消除了 δ 铁素体和残余奥氏体，因而，韧性、焊接性能和其它力学性能有了显著的改善。瑞典首先取得了这种钢的专利权，并公布了其专利成分范围为 Cr13%、Ni4%~8%。各国也相应规定了与此成分相近的钢种牌号。我国的 ZG06Cr13Ni4Mo 及美国标准中 CA6NM 钢即是类似的例子。ZG06Cr13Ni6Mo 钢的物理性能见表 2-43。

2) 美国 ASTM 标准中，工程结构用马氏体不锈钢 CA6NM, E3N, CA15, CA15M 分别列于各相关标准（见表 2-25~表 2-28, 表 2-31~表 2-32）中。此外，ASTM A747/A747M—89“沉淀硬化不锈钢铸件”另列了两种含铜钢的牌号，其化学成分见表 2-44，不锈钢沉淀硬化工艺及力学性能见表 2-45。

(1) GB 2100—80“不锈钢耐酸钢技术条件”标准共规定了各种类型的耐腐蚀不锈钢共 17 个牌号。不锈钢耐酸钢的牌号和化学成分见表 2-46，热处理规范和力学性能要求见表 2-47。

(2) ISO/DIS 11972“一般用途的耐蚀铸钢”国际标准化组织关于耐蚀铸钢的标准已接近完成，ISO/DIS 11972 是最近的草案。耐蚀铸钢化学成分见表 2-48，热处理规范和力学性能要求见表 2-49。

表 2-46 不锈钢铸钢的牌号和化学成分要求 (GB 2100—80)

| 组织类型序号 | 牌 号 | 代 号 | 化学成分 (未给出范围者为最大值) (%) | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|----------------------|------|-----------------------|----------|-----------|-----------|----------|---------|---------|----|---|---|---|---|---|---|
| | | | C | Si | Mn | Cr | Ni | Mo | Cu | Ti | S | P | N | | | |
| 马氏体型 | ZG1Cr13 | 101 | 0.08~0.15 | 1.0 | 0.6 | 12.0~14.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | ZG2Cr13 | 102 | 0.16~0.24 | | | | | | | | | | | | | |
| 铁素体型 | ZG1Cr17 | 201 | 0.12 | 1.2 | 0.7 | 16.0~18.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | ZG1Cr19Mo2 | 202 | 0.15 | 0.8 | 0.5~0.8 | 18.5~20.5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | ZGCr28 | 203 | 0.50~1.00 | 0.5~1.3 | 0.5~0.8 | 26.0~30.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 奥氏体型 | ZG00Cr18Ni10 | 301 | 0.03 | 1.5 | 0.8~2.0 | 17.0~20.0 | 8.0~12.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | ZG0Cr18Ni9 | 302 | 0.08 | | | | | | | | | | | | | |
| | ZG1Cr18Ni9 | 303 | 0.12 | | | | | | | | | | | | | |
| | ZG0Cr18Ni9Ti | 304 | 0.08 | | | | | | | | | | | | | |
| | ZG1Cr18Ni9Ti | 305 | 0.12 | | | | | | | | | | | | | |
| | ZG0Cr18Ni12Mo2Ti | 306 | 0.08 | | | | | | | | | | | | | |
| | ZG1Cr18Ni12Mo2Ti | 307 | 0.12 | | | | | | | | | | | | | |
| ZG1Cr24Ni20Mo2Cu3 | 308 | 0.12 | | | | | | | | | | | | | | |
| 奥氏体-铁素体型 | ZG1Cr18Mn8Ni4N | 309 | 0.10 | 7.5~10.0 | 17.0~19.0 | 3.5~5.5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | ZG1Cr17Mn9Ni4Mo3Cu2N | 401 | 0.12 | 8.0~10.0 | 16.0~19.0 | 3.0~5.0 | 2.9~3.5 | 2.0~3.0 | 3.0~4.0 | — | — | — | — | — | — | — |
| 沉淀硬化型 | ZG1Cr18Mn13Mo2CuN | 402 | 0.12 | 1.5 | 12.0~14.0 | 17.0~20.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | ZG0Cr17Ni4Cu4Nb | 501 | 0.07 | 1.0 | 1.0 | 15.5~17.5 | 3.0~5.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

注: 1. 铸焊结构件的奥氏体型铸钢件的含磷量应不大于0.040%, 含硅量应不大于1.2%。

2. 技术文件中不得用代号。

表 2-47 不锈钢耐酸钢的热处理规范和力学性能要求

| 组织类型 | 牌 号 | 代号 | 热处理 | | σ_b (MPa) | σ_s (MPa) | δ (%) | ϕ (%) | a_K ($\times 10J/cm^2$) | HBS |
|--------------|-----------------------|-----|------------|------------------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------|--------------------------------|------------|
| | | | 方式 | 温度 | | | | | | |
| 马氏体型 | ZG1Cr13 | 101 | 退火 | 950℃ | 549 | 392 | 20 | 50 | 8 | — |
| | | | 水淬 回火 | 1050℃ 750℃ | | | | | | |
| 马氏体型 | ZG2Cr13 | 102 | 退火 | 950℃ | 618 | 441 | 16 | 40 | 6 | — |
| | | | 油淬 回火 | 1050℃ 750~850℃ | | | | | | |
| 铁素体型 | ZG1Cr17 | 201 | 退火 | 750~800℃ | 392 | 245 | 20 | 30 | — | — |
| | ZG1Cr19Mo2 | 202 | 退火 | 800℃ | 392 | — | — | — | — | — |
| | ZGCr28 | 203 | 退火 | 800℃ | 343 | — | — | — | — | — |
| 奥氏体型 | ZG00Cr18Ni10 | 301 | 水淬 | 1050~1100℃ | 392 | 177 | 25 | 32 | 10 | — |
| | ZG0Cr18Ni9 | 302 | 水淬 | 1080~1130℃ | 441 | 196 | 25 | 32 | 10 | — |
| | ZG1Cr18Ni9 | 303 | 水淬 | 1050~1100℃ | 441 | 196 | 25 | 32 | 10 | — |
| | ZG0Cr18Ni9Ti | 304 | 水淬 | 950~1050℃ | 441 | 196 | 25 | 32 | 10 | — |
| | ZG1Cr18Ni9Ti | 305 | 水淬 | 950~1050℃ | 441 | 196 | 25 | 32 | 10 | — |
| | ZG0Cr18Ni12Mo2Ti | 306 | 水淬 | 1100~1150℃ | 490 | 216 | 30 | 30 | 10 | — |
| | ZG1Cr18Ni12Mo2Ti | 307 | 水淬 | 1100~1150℃ | 490 | 216 | 30 | 30 | 10 | — |
| | ZG1Cr24Ni20Mo2Cu3 | 308 | 水淬 | 1100~1150℃ | 441 | 245 | 20 | 32 | 10 | — |
| 奥氏体- 铁素体型 | ZG1Cr18Mn13 Mo2CuN | 401 | 水淬 | 1150~1180℃ | 588 | 392 | 25 | 35 | 10 | — |
| | ZG1Cr18Mn13 Mo2CuN | 402 | 水淬 | 1100~1150℃ | 588 | 392 | 30 | 40 | 10 | — |
| 沉淀硬化型 | ZG0Cr17Ni4 Cu4Nb | 501 | 水或空 淬时效 | 1020~1100℃ 485~575℃ | 981 | 785 | 5 | 10 | — | ≥ 337 |

表 2-48 耐蚀铸钢的化学成分 (ISO/DIS 11972)

| 铸 钢 牌 号 | 化学成分 (未给出范围者为最大值) (%) | | | | | | | | |
|---------------|-----------------------|-----|-----|-------|-------|-----------|---------|----------|------------|
| | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | 其 它 |
| GX12Cr12 | 0.15 | 0.8 | 0.8 | 0.035 | 0.025 | 11.5~13.5 | 0.5 | 1.0 | |
| GX8CrNiMo121 | 0.10 | 0.8 | 0.8 | 0.035 | 0.025 | 11.5~13.0 | 0.2~0.5 | 0.8~1.8 | |
| GX4CrNi124 | 0.06 | 1.0 | 1.5 | 0.035 | 0.025 | 11.5~13.0 | 1.0 | 3.5~5.0 | |
| GX4CrNiMo1651 | 0.06 | 0.8 | 0.8 | 0.035 | 0.025 | 15.0~17.0 | 0.7~1.5 | 4.0~6.0 | |
| GX2CrNi 1810 | 0.03 | 1.5 | 1.5 | 0.040 | 0.030 | 17.0~19.0 | — | 9.0~12.0 | |
| GX2CrNiN18 10 | 0.03 | 1.5 | 1.5 | 0.040 | 0.030 | 17.0~19.0 | — | 9.0~12.0 | N0.10~0.20 |

(续)

| 铸 钢 牌 号 | 化 学 成 分 (未给出范围者为最大值) (%) | | | | | | | | |
|---------------------|--------------------------|-----|-----|-------|-------|-----------|---------|----------|------------------------------|
| | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | 其 它 |
| GX5CrNi 19 9 | 0.07 | 1.5 | 1.5 | 0.040 | 0.030 | 18.0~21.0 | — | 8.0~11.0 | |
| GX6CrNiNb 19 10 | 0.08 | 1.5 | 1.5 | 0.040 | 0.030 | 18.0~21.0 | — | 9.0~12.0 | Nb \geq 8×C(%), \leq 1.0 |
| GX2CrNiMo 19 112 | 0.03 | 1.5 | 1.5 | 0.040 | 0.030 | 17.0~20.0 | 2.0~2.5 | 9.0~12.0 | |
| GX2CrNiMoN 19 112 | 0.03 | 1.5 | 1.5 | 0.040 | 0.030 | 17.0~20.0 | 2.0~2.5 | 9.0~12.0 | N 0.10~0.20 |
| GX5CrNiMo 19 112 | 0.07 | 1.5 | 1.5 | 0.040 | 0.030 | 17.0~20.0 | 2.0~2.5 | 9.0~12.0 | |
| GX6CrNiMoN 619 112 | 0.08 | 1.5 | 1.5 | 0.040 | 0.030 | 17.0~20.0 | 2.0~2.5 | 9.0~12.0 | Nb \geq 8×C(%), \leq 1.0 |
| GX2CrNiMo 19 113 | 0.03 | 1.5 | 1.5 | 0.040 | 0.030 | 17.0~20.0 | 3.0~3.5 | 9.0~12.0 | |
| GX2CrNiMoN 19 113 | 0.03 | 1.5 | 1.5 | 0.040 | 0.030 | 17.0~20.0 | 3.0~3.5 | 9.0~12.0 | N 0.10~0.20 |
| GX5CrNiMo 19 113 | 0.07 | 1.5 | 1.5 | 0.040 | 0.030 | 17.0~20.0 | 3.0~3.5 | 9.0~12.0 | |
| GX2CrNiCuMoN 26 533 | 0.03 | 1.0 | 1.5 | 0.035 | 0.020 | 25.0~27.0 | 2.5~3.5 | 4.5~6.5 | Cu 2.5~3.5, N 0.12~0.25 |
| GX2CrNiMoN 26 53 | 0.03 | 1.0 | 1.5 | 0.035 | 0.020 | 25.0~27.0 | 2.5~3.5 | 4.5~6.5 | N 0.12~0.25 |

表 2-49 耐蚀铸钢的热处理规范和力学性能 (ISO/DIS11972)

| 铸 钢 牌 号 | 热 处 理 | 基本壁厚 的最大值 (mm) | 力 学 性 能 (最低值) | | | |
|---------------|--------------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| | | | $\sigma_{0.2}$ (MPa) | σ_b (MPa) | δ^C (%) | A_{KV}^D (J) |
| GX12Cr12 | 950~1050℃空冷 650~750℃回火, 空冷 | 150 | 450 | 620 | 14 | 20 |
| GX8CrNiMo121 | 1000~1050℃空冷 620~720℃回火, 空冷 | 300 | 440 | 590 | 15 | 27 |
| GX4CrNiMo124 | 1000~1100℃空冷 570~620℃空冷或炉冷 | 300 | 550 | 750 | 15 | 45 |
| | 1000~1100℃空冷 500~630℃空冷或炉冷 | | 830 | 900 | 12 | 35 |
| GX4CrNiMo1651 | 1020~1070℃空冷 580~630℃空冷或炉冷 | 300 | 540 | 760 | 15 | 60 |
| GX2CrNi1810 | 1050℃以上淬火按壁厚, 强化空冷 | 150 | 180 ^② | 440 | 30 | 80 |
| GX2CrNiN1810 | 1050℃以上淬火按壁厚, 强化空冷 | 150 | 230 ^② | 510 | 30 | 80 |

(续)

| 铸 钢 牌 号 | 热 处 理 | 基本壁厚 的最大值 (mm) | 力学性能 (最低值) | | | |
|-------------------|---|----------------------|-------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | | $\sigma_{0.2}$ (MPa) | σ_b (MPa) | $\delta^{\text{①}}$ (%) | $A_{KV}^{\text{②}}$ (J) |
| GX5CrNi199 | 1050℃ 以上淬火按壁厚, 强化空冷 | 150 | 180 ^② | 440 | 30 | 60 |
| GX6CrNiNb1910 | 1050℃ 以上淬火按壁厚, 强化空冷 | 150 | 180 ^② | 440 | 25 | 40 |
| GX2CrNiMo19112 | 1080℃ 以上淬火按壁厚, 强化空冷 | 150 | 180 ^② | 440 | 30 | 80 |
| GX2CrNiMoN19112 | 1080℃ 以上淬火按壁厚, 强化空冷 | 150 | 230 ^② | 510 | 30 | 80 |
| GX5CrNiMo19112 | 1080℃ 以上淬火按壁厚, 强化空冷 | 150 | 180 ^② | 440 | 30 | 60 |
| GX6CrNiMoNb19112 | 1080℃ 以上淬火按壁厚, 强化空冷 | 150 | 180 ^② | 440 | 25 | 40 |
| GX2CrNiMo19113 | 1120℃ 以上淬火按壁厚, 强化空冷 | 150 | 180 ^② | 440 | 30 | 80 |
| GX2CrNiMoN19113 | 1120℃ 以上淬火按壁厚, 强化空冷 | 150 | 230 ^② | 510 | 30 | 80 |
| GX5CrNiMo19113 | 1120℃ 以上淬火按壁厚, 强化空冷 | 150 | 180 ^② | 440 | 30 | 60 |
| GX2CrNiCrMoN26533 | 1120℃ 以上淬水, 形状复 杂件, 淬水前冷到 1040~ 1010℃ | 150 | 450 | 650 | 18 | 50 |
| GX3CrNiMoN2653 | 1120℃ 以上淬水, 形状复 杂件, 淬水前冷到 1040~ 1010℃ | 150 | 450 | 650 | 18 | 50 |

① 标距长度 = 5.65 $\sqrt{\text{原始截面积}}$ 。② $\sigma_{0.1}$ 应比表列数值高 25MPa。

③ ISO V 型缺口冲击吸收功。

(3) JISG5121—1991 “不锈钢铸件” 日本 JIS 见表 2-50, 热处理工艺和力学性能要求见表 2-51。
标准关于铸造不锈钢规定了 26 个牌号, 其化学成分

表 2-50 JIS G5121—1991 铸造不锈钢的化学成分

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | |
|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|----|-----|
| | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo | Cu | 其 它 |
| SCS1 | ≤0.15 | ≤1.50 | ≤1.00 | ≤0.04 | ≤0.04 | ① | 11.5~14.0 | ② | | |
| SCS2 | 0.16~0.24 | ≤1.50 | ≤1.00 | ≤0.04 | ≤0.04 | ① | 11.5~14.0 | ② | | |
| SCS2A | 0.25~0.40 | ≤1.50 | ≤1.00 | ≤0.04 | ≤0.04 | ① | 11.5~14.0 | ② | | |
| SCS3 | ≤0.15 | ≤1.00 | ≤1.00 | ≤0.04 | ≤0.04 | 0.50~1.50 | 11.5~14.0 | 0.15~1.00 | | |
| SCS4 | ≤0.15 | ≤1.50 | ≤1.00 | ≤0.04 | ≤0.04 | 1.50~2.50 | 11.5~14.0 | | | |

(续)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | |
|--------|-------------|-------|-------|-------|-------|------------|-----------|-----------|-----------|-------------------------|
| | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo | Cu | 其 它 |
| SCS5 | ≤0.06 | ≤1.00 | ≤1.00 | ≤0.04 | ≤0.04 | 3.50~4.50 | 11.5~14.0 | | | |
| SCS6 | ≤0.06 | ≤1.00 | ≤1.00 | ≤0.04 | ≤0.04 | 3.50~4.50 | 11.5~14.0 | 0.40~1.00 | | |
| SCS10 | ≤0.03 | ≤1.50 | ≤1.50 | ≤0.04 | ≤0.04 | 4.50~8.50 | 21.0~26.0 | 2.50~4.00 | | NO.08~0.30 ^③ |
| SCS11 | ≤0.08 | ≤1.50 | ≤1.00 | ≤0.04 | ≤0.04 | 4.00~7.00 | 23.0~27.0 | 1.50~2.50 | | |
| SCS12 | ≤0.20 | ≤2.00 | ≤2.00 | ≤0.04 | ≤0.04 | 8.00~11.00 | 18.0~21.0 | | | |
| SCS13 | ≤0.08 | ≤2.00 | ≤2.00 | ≤0.04 | ≤0.04 | 8.00~11.00 | 18.0~21.0 | | | |
| SCS13A | ≤0.08 | ≤2.00 | ≤1.50 | ≤0.04 | ≤0.04 | 8.00~11.00 | 18.0~21.0 | | | |
| SCS14 | ≤0.08 | ≤2.00 | ≤2.00 | ≤0.04 | ≤0.04 | 10.0~14.0 | 17.0~20.0 | 2.00~3.00 | | |
| SCS14A | ≤0.08 | ≤1.50 | ≤1.50 | ≤0.04 | ≤0.04 | 9.00~12.00 | 18.0~21.0 | 2.00~3.00 | | |
| SCS15 | ≤0.08 | ≤2.00 | ≤2.00 | ≤0.04 | ≤0.04 | 10.0~14.0 | 17.0~20.0 | 1.75~2.75 | 1.00~2.50 | |
| SCS16 | ≤0.03 | ≤1.50 | ≤2.00 | ≤0.04 | ≤0.04 | 12.0~16.0 | 17.0~20.0 | 2.00~3.00 | | |
| SCS16A | ≤0.03 | ≤1.50 | ≤1.50 | ≤0.04 | ≤0.04 | 9.00~13.0 | 17.0~21.0 | 2.00~3.00 | | |
| SCS17 | ≤0.20 | ≤2.00 | ≤2.00 | ≤0.04 | ≤0.04 | 12.0~15.0 | 22.0~26.0 | | | |
| SCS18 | ≤0.20 | ≤2.00 | ≤2.00 | ≤0.04 | ≤0.04 | 19.0~22.0 | 23.0~27.0 | | | |
| SCS19 | ≤0.03 | ≤2.00 | ≤2.00 | ≤0.04 | ≤0.04 | 8.00~12.0 | 17.0~21.0 | | | |
| SCS19A | ≤0.03 | ≤2.00 | ≤1.50 | ≤0.04 | ≤0.04 | 8.00~12.0 | 17.0~21.0 | | | |
| SCS20 | ≤0.03 | ≤2.00 | ≤2.00 | ≤0.04 | ≤0.04 | 12.0~16.0 | 17.0~20.0 | 1.75~2.75 | 1.00~2.50 | |
| SCS21 | ≤0.08 | ≤2.00 | ≤2.00 | ≤0.04 | ≤0.04 | 9.00~12.00 | 18.0~21.0 | | | Nb+Ta ^④ |
| SCS22 | ≤0.08 | ≤2.00 | ≤2.00 | ≤0.04 | ≤0.04 | 10.0~14.0 | 17.0~20.0 | 2.00~3.00 | | Nb+Ta ^④ |
| SCS23 | ≤0.07 | ≤2.00 | ≤2.00 | ≤0.04 | ≤0.04 | 27.5~30.5 | 19.0~22.0 | 2.00~3.00 | 3.00~4.00 | |
| SCS24 | ≤0.07 | ≤1.00 | ≤1.00 | ≤0.04 | ≤0.04 | 3.00~5.00 | 15.5~17.5 | | | Nb+Ta0.15~0.45 |

① 可加入 1.00% 以下的 Ni。

② 允许含 0.50% 以下的 Mo。

③ 必要时可相应加入表中未列的合金元素。

④ Nb+Ta 的总量的下限为 C 含量的 10 倍, 上限为 1.35%。

表 2-51 JIS G5121-1991 铸造不锈钢的热处理和力学性能

| 牌 号 | 热 处 理 | | $\sigma_b \geq$ (MPa) | $\sigma_s \geq$ (MPa) | $\delta \geq$ (%) | $\psi \geq$ (%) | 硬 度 (HBS) |
|-------|------------------|----------|--------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------|--------------|
| | 淬 火 ^① | 回 火 | | | | | |
| SCS1 | 950℃ 油淬或空冷 | 680~740℃ | 540 | 345 | 18 | 40 | 163~229 |
| | | 590~700℃ | 620 | 450 | 16 | 30 | 179~241 |
| SCS2 | 950℃ 油淬或空冷 | 680~740℃ | 590 | 390 | 16 | 35 | 170~235 |
| SCS2A | 950℃ 油淬或空冷 | 600℃ 以上 | 690 | 490 | 15 | 25 | ≤269 |
| SCS3 | 900℃ 油淬或空冷 | 650~740℃ | 590 | 440 | 16 | 40 | 170~235 |
| SCS4 | 900℃ 油淬或空冷 | 650~740℃ | 640 | 490 | 13 | 40 | 192~255 |

(续)

| 牌 号 | 热 处 理 | | $\sigma_b \geq$ (MPa) | $\sigma_s \geq$ (MPa) | $\delta \geq$ (%) | $\psi \geq$ (%) | 硬度 (HBS) |
|--------|-----------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------|-------------|
| | 淬火 ^① | 回火 | | | | | |
| SCS5 | 900℃ 油淬或空冷 | 600~700℃ | 740 | 540 | 13 | 40 | 217~277 |
| SCS6 | 950℃ 油淬或空冷 | 570~620℃ | 750 | 550 | 15 | 35 | ≤285 |
| SCS10 | 1050~1150℃ 水淬 | | 620 | 390 | 15 | — | ≤302 |
| SCS11 | 1030~1150℃ 水淬 | | 590 | 345 | 13 | — | ≤241 |
| SCS12 | 1030~1150℃ 水淬 | | 480 | 205 | 28 | — | ≤183 |
| SCS13 | 1030~1150℃ 水淬 | | 440 | 185 | 30 | — | ≤183 |
| SCS13A | 1030~1150℃ 水淬 | | 480 | 205 | 33 | — | ≤183 |
| SCS14 | 1030~1150℃ 水淬 | | 440 | 185 | 28 | — | ≤183 |
| SCS14A | 1030~1150℃ 水淬 | | 480 | 205 | 33 | — | ≤183 |
| SCS15 | 1030~1150℃ 水淬 | | 440 | 185 | 28 | — | ≤183 |
| SCS16 | 1030~1150℃ 水淬 | | 390 | 175 | 33 | — | ≤183 |
| SCS16A | 1030~1150℃ 水淬 | | 480 | 205 | 33 | — | ≤183 |
| SCS17 | 1030~1150℃ 水淬 | | 480 | 205 | 28 | — | ≤183 |
| SCS18 | 1030~1150℃ 水淬 | | 450 | 195 | 28 | — | ≤183 |
| SCS19 | 1030~1150℃ 水淬 | | 390 | 185 | 33 | — | ≤183 |
| SCS19A | 1030~1150℃ 水淬 | | 480 | 205 | 33 | — | ≤183 |
| SCS20 | 1030~1150℃ 水淬 | | 390 | 175 | 33 | — | ≤183 |
| SCS21 | 1030~1150℃ 水淬 | | 480 | 205 | 28 | — | ≤183 |
| SCS22 | 1030~1150℃ 水淬 | | 440 | 205 | 28 | — | ≤183 |
| SCS23 | 1070~1180℃ 水淬 | | 390 | 165 | 30 | — | ≤183 |
| SCS24 | 1020~1080℃ 水淬 | 时效 ^② | 1240 | 1030 | 6 | — | ≥375 |
| | | 时效 ^③ | 980 | 885 | 9 | — | ≥311 |
| | | 时效 ^④ | 960 | 785 | 9 | — | ≥277 |
| | | 时效 ^⑤ | 850 | 665 | 10 | — | ≥269 |

① 淬火温度未给范围者均为最低淬火温度。

② 475~525℃, 90min 空冷。

③ 535~585℃, 4h 空冷。

④ 565~615℃, 4h 空冷。

⑤ 605~655℃, 4h 空冷。

1.7.3 耐蚀合金

目前, 我国尚未制订铸造耐蚀合金的标准。美国 ASTM 关于铸造耐蚀合金有两项标准: ASTM A743/A743M 供一般耐蚀条件下用; ASTM A744/A744M 供有特别要求的较苛刻的工况条件下用。两项标准中

多数合金是相同的, 故将其综合列出。标准中所列的, 既有不锈钢, 也有镍基合金。化学成分要求见表 2-52, 铸件的供货状态见表 2-53。力学性能仅在买方有要求时, 才作为验收依据, 见表 2-54。

(续)

化学成分 (除给出范围者外, 均为上限值) (%)

| 牌 号 | C | Mn | Si | P | S | Cr | Ni | Mo | Nb | Se | Cu | W | V | Co | Fe | N ₂ |
|----------|----------|---------|---------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|----|----|-----------|----------|---------|------|------|----------------|
| CN-3M | 0.03 | 2.00 | 1.00 | 0.03 | 0.03 | 20.0~22.0 | 23.0~27.0 | 4.5~5.5 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| CN-7M | 0.07 | 1.50 | 1.50 | 0.04 | 0.04 | 19.0~22.0 | 27.5~30.5 | 2.0~3.0 | — | — | 3.0~4.0 | — | — | — | — | — |
| CN-7MS | 0.07 | 1.00 | 2.5~3.5 | 0.04 | — | 18.0~20.0 | 22.0~25.0 | 2.5~3.0 | — | — | 1.5~2.0 | — | — | — | — | — |
| CA-6NM | 0.06 | 1.00 | 1.00 | 0.04 | 0.03 | 11.5~14.0 | 3.5~4.5 | 0.40~1.0 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| CW-12M | 0.12 | 1.00 | 1.50 | 0.04 | 0.03 | 15.5~20.0 | 其余 | 16.0~20.0 | — | — | — | 5.25 | 0.40 | 2.50 | 7.50 | — |
| CD-4MCu | 0.04 | 1.00 | 1.00 | 0.04 | 0.04 | 24.5~26.5 | 4.75~6.0 | — | — | — | 2.75~3.25 | — | — | — | — | — |
| CA-6N | 0.06 | 0.50 | 1.00 | 0.02 | 0.02 | 10.5~12.5 | 6.0~8.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| CA-28MWV | 0.2~0.28 | 0.5~1.0 | 1.00 | 0.03 | 0.03 | 11.0~12.5 | 0.50~1.00 | 0.9~1.25 | — | — | — | 0.9~1.25 | 0.2~0.3 | — | — | — |
| CK-3MCuN | 0.25 | 1.20 | 1.00 | 0.045 | 0.010 | 19.5~20.5 | 17.5~19.5 | 6.0~7.0 | — | — | 0.5~1.0 | — | — | — | — | 0.18~0.24 |
| N-12M | 0.12 | 1.00 | 1.00 | 0.04 | 0.03 | 1.00 | 其余 | 26.0~33.0 | — | — | — | — | 0.60 | 2.50 | 6.00 | — |
| CY-40 | 0.40 | 1.50 | 3.00 | 0.03 | 0.03 | 14.0~17.0 | 其余 | — | — | — | — | — | — | — | 11.0 | — |
| CZ-100 | 1.00 | 1.50 | 2.00 | 0.03 | 0.03 | — | 其余 | — | — | — | 1.25 | — | — | — | 3.00 | — |
| M-35-1 | 0.35 | 1.50 | 1.25 | 0.03 | 0.03 | — | 其余 | — | — | — | 26.0~33.0 | — | — | — | 3.50 | — |
| M-35-2 | 0.35 | 1.50 | 2.00 | 0.03 | 0.03 | — | 其余 | — | — | — | 26.0~33.0 | — | — | — | 3.50 | — |

① CF-8C合金中Nb含量为C含量的8倍以上, 但不得超过1.00%。

如用Nb; Ta为3左右的铌钽合金作稳定剂, 则Nb和Ta的总量应不少于C含量的9倍, 且不得超过1.1%

② CF-30合金中, 可加入Cu 0.09%~1.20%

表 2-53 ASTM A743 和 ASTM A744 中各种合金铸件的供货状态和热处理要求

| 合 金 牌 号 | 供 货 状 态 和 热 处 理 要 求 |
|--|---|
| CF-8, CG-8M, CG-12 CF-8C, CF-16F, CF-16Fa | 加热到 1040℃ 以上, 保持足够的加热时间, 然后淬水或以其他方式快速冷却, 以使其有必要的耐蚀性 |
| CH-20, CE-30, CK-20 | 加热到 1093℃ 以上, 保持足够的加热时间, 然后淬水或以其他方式快速冷却, 以使铸件有必要耐蚀性 |
| CA-15, CA-15M, CA-40 | 1. 加热到 955℃ 以上, 空冷, 595℃ 以上回火。或 2. 790℃ 以上退火 |
| CB-30, CC-50 | 加热到 790℃ 以上, 空冷。或 790℃ 以上炉冷 |
| CF-3, CF-3M | 1. 加热到 1040℃ 以上, 保持足够的时间, 快速冷却。或 2. 铸态 (如有必要的耐蚀性) |
| CN-7M, CN-7MS, CG-6MMN | 加热到 1120℃ 以上, 保持足够的时间, 淬水或以其他方式快速冷却, 以使铸件有必要的耐蚀性 |
| Cr-40, M-35, CZ-100 | 铸态 |
| CW-12M, N-12M | 供需双方商定, 以使铸件有必要的耐蚀性为原则 |
| CA-6NM | 加热到 955℃ 以上, 空冷到 95℃ 以下, 565~620℃ 回火 |
| CD-4MCu | 加热到 1040℃ 以上, 保持足够的均热时间, 淬水或以其他方式快速冷却 |
| CA-6N | 1040℃, 空冷, 再加热到 815℃, 空冷, 然后在 425℃ 时效 |
| CF10SMnN | 加热, 保温, 然后淬水或以其他方式快速冷却 |
| CA-28MWV | 1. 加热到 1025~1050℃, 空冷或淬油, 620℃ 以上退火。或 2. 760℃ 以上回火 |

表 2-54 ASTM A743—89, A744—89 中各种合金铸件的力学性能 (最低值)

| 牌 号 | 抗拉强度 σ_b (MPa) | σ_s (MPa) | δ (%) | ψ (%) | 牌 号 | σ_b (MPa) | σ_s (MPa) | δ (%) | ψ (%) |
|--------|--------------------------|---------------------|--------------|------------|--------|---------------------|---------------------|--------------|------------|
| CF-8 | 485 | 205 | 35 | — | CG6MMN | 585 | 290 | 30 | — |
| CG-12 | 485 | 195 | 35 | — | CG-8M | 520 | 240 | 25 | — |
| CF-20 | | | | | | | | | |
| CF-8M | 485 | 205 | 30 | — | CN-3M | 435 | 170 | 30 | — |
| CF-8C | | | | | | | | | |
| CF-16F | 485 | 205 | 25 | — | CN-7M | 425 | 170 | 35 | — |

(续)

| 牌 号 | 抗拉强度 σ_b (MPa) | σ_s (MPa) | δ (%) | ψ (%) | 牌 号 | σ_b (MPa) | σ_s (MPa) | δ (%) | ψ (%) |
|-----------------|--------------------------|---------------------|--------------|------------|----------|---------------------|---------------------|--------------|------------|
| CH-20 | 485 | 205 | 30 | — | CN-7MS | 485 | 205 | 35 | — |
| CK-20 | 450 | 195 | 30 | — | CA-6NM | 755 | 550 | 15 | 35 |
| CE-30 | 550 | 275 | 10 | — | CW-12M | 495 | 315 | 40 | — |
| CA-15 CA-15M | 620 | 450 | 18 | 30 | CD-4MCu | 690 | 485 | 16 | — |
| CB-30 | 450 | 205 | — | — | CA-6N | 965 | 930 | 15 | 50 |
| CC-50 | 380 | — | — | — | CA-28MWV | 965 | 760 | 10 | 24 |
| CA-40 | 690 | 485 | 15 | 25 | CK-3MCuN | 550 | 260 | 35 | — |
| CA-40F | 690 | 485 | 12 | — | N-12M | 495 | 315 | 6 | — |
| CF-3 | 485 | 205 | 35 | — | CY-40 | 485 | 195 | 30 | — |
| CF-10SMnN | 585 | 290 | 30 | — | CZ-100 | 345 | 125 | 10 | — |
| CF-3M | 485 | 205 | 35 | — | M-35-1 | — | — | — | — |
| CF-3MN | 515 | 255 | 35 | — | M-35-2 | 450 | 205 | 25 | — |

注：力学性能仅在买方在订货时有要求的条件下才作为验收依据。

1.8 铸造耐热钢

耐热钢中的主要合金元素与不锈钢相近，由于工作温度在 650℃ 以上，要求具有一定的高温强度，所以含碳量较不锈钢高。常用的有铬钢、铬镍钢和镍铬钢三种类型。

高铬钢含 Cr 8%~30%，有少量 Ni 或不含 Ni。组织为铁素体，高温强度较低。主要用于抗燃气腐蚀条件。

高铬镍钢含 Cr $\geq 18\%$ ，含 Ni $\geq 8\%$ ，基本组织为奥氏体，有少量铁素体。高温强度和塑性较高，耐腐蚀能力也较强，适用于 1093℃ 以下的工况条件。在 649~870℃ 易产生 σ 相。

高镍铬钢含 Ni $\geq 23\%$ ，含 Cr $\geq 10\%$ ，含 Ni 量高于含 Cr 量。组织为单一奥氏体，有较好的抗热冲击和热疲劳性能，适用温度可达 1149℃。

1.8.1 耐热钢的性能

就其在高温下的特性而言，耐热钢有两种：一是热强钢，即以在高温下保持强度为主；另一是热稳定钢，即以在高温下耐介质腐蚀为主。当然，这两种特性也不可能截然分开。

耐热钢的性能，是由其化学成分保证的。所以，在一般情况下都以化学成分作为验收依据。常温力学性

能或高温性能，都只有在买方在订货时提出要求，经双方商定才作为验收依据。

(1) 耐热钢的耐热性能 耐热性能包括高温条件下的力学性能和抗氧化性。高温力学性能又可分为持久性能和蠕变性能。高温抗氧化性能可用试样氧化增重或除去氧化皮后的减重来评定。

(2) 耐热钢的可焊性 一般说来，耐热钢的可焊性尚好，但加热到 427℃ 以上会发生敏化而影响其耐腐蚀性，所以要注意以下几点：

- 1) 一般不在焊前预热；
- 2) 焊后在强腐蚀条件下使用的工件，施焊后应予以固溶处理；

3) 铁素体型耐热钢施焊时宜采用材质与工件相同的焊条，马氏体型钢和奥氏体型钢宜采用奥氏体焊条。

1.8.2 几种有关耐热钢的标准

(1) GB8492—87“耐热钢铸件” 各牌号钢的化学成分和力学性能，见表 2-55，力学性能仅在买方订货时有要求才作为验收依据。除牌号为 ZG40Cr9Si2 的铸件需经退火处理外，其他各种耐热钢铸件均可不经热处理在铸态下交货。

表 2-55 耐热钢铸件的化学成分要求和力学性能 (GB 8492—87)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | 热 处 理 | $\sigma_{0.2}$ (MPa) | σ_b (MPa) | δ (%) | | | |
|------------------|---------------|-----------|-----------|------------|-----------|-------|---|---|---|--|-------|-------------------------|---------------------|-----------------|-----|-----|----|
| | C | Mn | Si | Cr | Ni | Mo | N | P | S | | | | | | | | |
| ZG40Cr9Si2 | 0.35~0.50 | ≤0.70 | 2.00~3.00 | 8.00~10.00 | | | | | | | | ≤0.035 | ≤0.030 | 950℃退火 | — | 550 | — |
| ZG30Cr18Mn12Si2N | 0.26~0.36 | 11.0~13.0 | 1.60~2.40 | 17.0~20.0 | | | | | | | | 0.22~0.28 | ≤0.04 | | 490 | 8 | |
| ZG35Cr24Ni7SiN | 0.30~0.40 | 0.80~1.50 | 1.30~2.00 | 23.0~25.5 | 7.00~8.50 | | | | | | | 0.20~0.28 | ≤0.04 | | 540 | 12 | |
| ZG30Cr26Ni15 | 0.20~0.40 | ≤1.00 | ≤2.00 | 24.0~28.0 | 4.00~6.00 | ≤0.50 | | | | | | ≤0.04 | ≤0.04 | | — | 590 | — |
| ZG30Cr20Ni10 | 0.20~0.40 | ≤2.00 | ≤2.00 | 18.0~23.0 | 8.00~12.0 | ≤0.50 | | | | | | ≤0.04 | ≤0.04 | | 235 | 490 | 23 |
| ZG35Cr25Ni12 | 0.20~0.50 | ≤2.00 | ≤2.00 | 24.0~28.0 | 11.0~14.0 | | | | | | | ≤0.04 | ≤0.04 | | 235 | 490 | 8 |
| ZG40Cr28Ni16 | 0.20~0.50 | ≤2.00 | ≤2.00 | 20.0~30.0 | 14.0~18.0 | ≤0.50 | | | | | | ≤0.04 | ≤0.04 | | 235 | 490 | 8 |
| ZG40Cr25Ni20 | 0.35~0.45 | ≤1.50 | ≤1.75 | 23.0~27.0 | 19.0~22.0 | ≤0.50 | | | | | | ≤0.04 | ≤0.04 | | 235 | 440 | 8 |
| ZG40Cr30Ni20 | 0.26~0.60 | ≤2.00 | ≤2.00 | 28.0~32.0 | 18.0~22.0 | ≤0.50 | | | | | | ≤0.04 | ≤0.04 | | 245 | 450 | 8 |
| ZG35Ni24Cr18Si2 | 0.30~0.40 | ≤1.50 | 1.50~2.50 | 17.0~20.0 | 23.0~26.0 | | | | | | | ≤0.035 | ≤0.03 | | 195 | 390 | 5 |
| ZG30Ni35Cr15 | 0.20~0.35 | ≤2.00 | ≤2.50 | 13.0~17.0 | 33.0~37.0 | | | | | | | ≤0.04 | ≤0.04 | | 195 | 440 | 13 |
| ZG45Ni35Cr26 | 0.35~0.75 | ≤2.00 | ≤2.00 | 24.0~28.0 | 33.0~37.0 | ≤0.50 | | | | | | ≤0.04 | ≤0.04 | | 235 | 440 | 5 |

(2) ASTM A297/A297M—84 化学成分和力学性能, 见表 2-56。铸件一般都以铸态交货。

表 2-56 一般用途的耐热 Fe—Cr 和 Fe—Cr—Ni 合金铸件 (ASTM A29789)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | $\sigma_{0.2}$ ≥ (MPa) | σ_b ≥ (MPa) | δ ≥ (%) |
|---------------|-------------|-------|-------|-----------|-----------|-----------------|------|------|------------------------------|--------------------------|----------------------|
| | C | Mn | Si | Cr | Ni | Mo ^① | P | S | | | |
| HF (19Cr9Ni) | 0.20~0.40 | ≤2.00 | ≤2.00 | 18.0~23.0 | 8.0~12.0 | ≤0.50 | 0.04 | 0.04 | 240 | 485 | 25 |
| HH (25Cr12Ni) | 0.20~0.50 | ≤2.00 | ≤2.00 | 24.0~28.0 | 11.0~14.0 | ≤0.50 | 0.04 | 0.04 | 240 | 515 | 10 |
| HI (28Cr15Ni) | 0.20~0.50 | ≤2.00 | ≤2.00 | 26.0~30.0 | 14.0~18.0 | ≤0.50 | 0.04 | 0.04 | 240 | 485 | 10 |
| HK (25Cr20Ni) | 0.20~0.60 | ≤2.00 | ≤2.00 | 24.0~28.0 | 18.0~22.0 | ≤0.50 | 0.04 | 0.04 | 240 | 450 | 10 |
| HE (29Cr9Ni) | 0.20~0.50 | ≤2.00 | ≤2.00 | 26.0~30.0 | 8.0~11.0 | ≤0.50 | 0.04 | 0.04 | 275 | 585 | 9 |
| HT (15Cr35Ni) | 0.35~0.75 | ≤2.00 | ≤2.50 | 15.0~19.0 | 33.0~37.0 | ≤0.50 | 0.04 | 0.04 | — | 450 | 4 |
| HU (19Cr39Ni) | 0.35~0.75 | ≤2.00 | ≤2.50 | 17.0~21.0 | 37.0~41.0 | ≤0.50 | 0.04 | 0.04 | — | 450 | 4 |
| HW (12Cr60Ni) | 0.35~0.75 | ≤2.00 | ≤2.50 | 10.0~14.0 | 58.0~62.0 | ≤0.50 | 0.04 | 0.04 | — | 415 | — |
| HX (17Cr66Ni) | 0.35~0.75 | ≤2.00 | ≤2.50 | 15.0~19.0 | 64.0~68.0 | ≤0.50 | 0.04 | 0.04 | — | 415 | — |
| HC (28Cr) | ≤0.50 | ≤1.00 | ≤2.00 | 26.0~30.0 | ≤4.00 | ≤0.50 | 0.04 | 0.04 | — | 380 | — |
| HD (28Cr5Ni) | ≤0.50 | ≤1.50 | ≤2.00 | 26.0~30.0 | 4.0~7.0 | ≤0.50 | 0.04 | 0.04 | 240 | 515 | 8 |
| HL (29Cr20Ni) | 0.20~0.60 | ≤2.00 | ≤2.00 | 28.0~32.0 | 18.0~22.0 | ≤0.50 | 0.04 | 0.04 | 240 | 450 | 10 |
| HN (20Cr25Ni) | 0.20~0.50 | ≤2.00 | ≤2.00 | 19.0~23.0 | 23.0~27.0 | ≤0.50 | 0.04 | 0.04 | — | 435 | 8 |
| HP (26Cr35Ni) | 0.35~0.75 | ≤2.00 | ≤2.50 | 24.0~28.0 | 33~37 | ≤0.50 | 0.04 | 0.04 | 235 | 430 | 4.5 |

注: 力学性能仅在买方要求并商定后, 才作为验收依据。经双方商定, 可规定含铅量。

(3) ASTM A447/A447M—87 “高温用 Cr—Ni 合金铸件” 标准只规定了一种合金, 其化学成分见表 2-57, 性能要求见表 2-58。铸件一般不经热处理, 以铸态交货。

表 2-57 ASTM A447—87 高温用铸造 Cr—Ni 合金的化学成分 (%)

| Ni ^① | Cr | C | N | Mn | Si | P | S | Fe 及其它元素 |
|-----------------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 10.0~14.0 | 23.0~28.0 | 0.20~0.45 | ≤0.20 | ≤2.50 | ≤1.75 | ≤0.05 | ≤0.05 | 商定 |

① Ni 中含有少量的 Co, 常用限度以内 Co 可作为 Ni 计入成分。

表 2-58 ASTM A447—87Cr—Ni 合金的性能要求

| | σ_b (MPa) | δ (%) | 透磁率 | 870±5.5℃ 16h 假断应力 (MPa) | 870±5.5℃ 1h 拉伸试验 | |
|------|------------------|--------------|-------|----------------------------|------------------|--------------|
| | | | | | σ_b (MPa) | δ (%) |
| I 类 | ≥550 | ≥9 | ≤1.70 | ≥34 | 商定 | 商定 |
| II 类 | ≥550 | ≥4 | ≤1.05 | ≥55 | ≥140 | ≥8 |

(4) ASTM A351/A351M “高温用奥氏体钢铸件” 标准共规定了 23 个牌号, 化学成分和力学性能都是验收的依据, 见表 2-59。

除 HK 和 HT 牌号的铸件以铸态交货外, 所有的铸件都应经热处理。热处理工艺按铸件结构和化学成分确定。

分确定。

CD4MCu 牌号的铸件, 应加热到 1120℃ 保温, 使铸件均热, 然后炉冷到 1040℃, 至少在此温度保持 15min, 淬火或用其它方式快速冷却。

(续)

| 牌号 | CF3 | CF8 | CF3M/CF8M | CF-3MN | CF8 C | CF-10M | CF-10M | CF8 | CF-10 | CF-10M | CF-8 | CH10 | CH20 | CK20 | HK30 | HK40 | HT30 | CF-10MC | CF-7M | CD-4MCu | CD-8MN | CG-8M | CF10S MnN | CF-15C | CK-3MnN | |
|---------------------------|------|------|-----------|--------|-------|--------|--------|------|-------|--------|------|------|------|------|------|------|------|---------|-------|---------|--------|-------|-----------|--------|---------|------|
| 1. 化学成分要求 (未示范围者为最大值) (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| V | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.10 | - | - | - | - | |
| N2 | - | - | - | 0.10 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.10 | - | 0.08 | - | 0.18 | |
| Cu | - | - | - | 0.20 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.30 | - | 0.18 | - | 0.24 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.50 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1.00 | |
| 2. 力学性能要求 (最低值) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| σ_b (MPa) | 485 | 485 | 485 | 515 | 485 | 485 | 485 | 485 | 485 | 485 | 450 | 485 | 485 | 450 | 425 | 450 | 450 | 485 | 425 | 690 | 655 | 585 | 515 | 585 | 435 | 550 |
| σ_s (MPa) | 205 | 205 | 205 | 255 | 205 | 205 | 205 | 205 | 205 | 205 | 195 | 205 | 205 | 195 | 240 | 240 | 195 | 205 | 170 | 485 | 450 | 295 | 240 | 295 | 170 | 260 |
| δ (%) | 35.0 | 35.0 | 30.0 | 35.0 | 30.0 | 30.0 | 30.0 | 30.0 | 35.0 | 30.0 | 30.0 | 30.0 | 30.0 | 30.0 | 10.0 | 10.0 | 15.0 | 20.0 | 35.0 | 16.0 | 25.0 | 30.0 | 25.0 | 30.0 | 20.0 | 35.0 |

① CF8C的含Nb量不少于含C量的8倍,但不超过1.0%。

② CF10MC的含Nb量不少于含C量的10倍,但不超过1.20%。

(5) JIS G5122—1991“耐热钢铸件” 化学成分和力学性能, 见表 2-60。

表 2-60 JIS G5122—1991 耐热钢铸件

| 牌 号 | 化 学 成 分 ^① (%) | | | | | 退火温度 (°C) | $\sigma_b \geq$ (MPa) | $\sigma_s \geq$ (MPa) | $\delta \geq$ (%) |
|--------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|
| | C | Si | Mn | Ni | Cr | | | | |
| SCH1 | 0.20~0.40 | 1.50~3.00 | ≤ 1.00 | ≤ 1.00 | 12.00~15.00 | 800~900 | 490 | — | — |
| SCH2 | ≤ 0.40 | ≤ 2.00 | ≤ 1.00 | ≤ 1.00 | 25.00~28.00 | 800~900 | 340 | — | — |
| SCH3 | ≤ 0.40 | ≤ 2.00 | ≤ 1.00 | ≤ 1.00 | 12.00~15.00 | 800~900 | 490 | — | — |
| SCH11 | ≤ 0.40 | ≤ 2.00 | ≤ 1.00 | 4.00~6.00 | 24.00~28.00 | — | 590 | — | — |
| SCH12 | 0.20~0.40 | ≤ 2.00 | ≤ 2.00 | 8.00~12.00 | 18.00~23.00 | — | 490 | 235 | 23 |
| SCH13 | 0.20~0.50 | ≤ 2.00 | ≤ 2.00 | 11.00~14.00 | 24.00~28.0 | — | 490 | 235 | 8 |
| SCH13A | 0.25~0.50 | ≤ 1.75 | ≤ 2.50 | 12.0~14.0 | 23.0~26.0 | — | 490 | 235 | 8 |
| SCH15 | 0.35~0.70 | ≤ 2.50 | ≤ 2.00 | 33.0~37.0 | 15.0~19.0 | — | 440 | — | 4 |
| SCH16 | 0.20~0.35 | ≤ 2.50 | ≤ 2.00 | 33.0~37.0 | 13.0~17.0 | — | 440 | 195 | 13 |
| SCH17 | 0.20~0.50 | ≤ 2.00 | ≤ 2.00 | 8.00~11.00 | 26.0~30.0 | — | 540 | 275 | 5 |
| SCH18 | 0.20~0.50 | ≤ 2.00 | ≤ 2.00 | 14.0~18.0 | 26.0~30.0 | — | 490 | 235 | 8 |
| SCH19 | 0.20~0.50 | ≤ 2.00 | ≤ 2.00 | 23.0~27.0 | 19.0~23.0 | — | 390 | — | 5 |
| SCH20 | 0.35~0.75 | ≤ 2.50 | ≤ 2.00 | 37.0~41.0 | 17.0~21.0 | — | 390 | — | 4 |
| SCH21 | 0.25~0.35 | ≤ 1.75 | ≤ 1.50 | 19.0~22.0 | 23.0~27.0 | — | 440 | 235 | 8 |
| SCH22 | 0.35~0.45 | ≤ 1.75 | ≤ 1.50 | 19.0~22.0 | 23.0~27.0 | — | 440 | 235 | 8 |
| SCH23 | 0.20~0.60 | ≤ 2.00 | ≤ 2.00 | 18.0~22.0 | 28.0~32.0 | — | 450 | 245 | 8 |
| SCH24 | 0.35~0.75 | ≤ 2.00 | ≤ 2.00 | 33.0~37.0 | 24.0~28.0 | — | 440 | 235 | 5 |

① 各牌号铸造耐热钢 P、S 含量的上限均为 0.040%。

1.9 耐磨钢和抗磨钢

耐磨钢和抗磨钢铸件主要用于需要承受冲击、挤压、物料磨损等恶劣工况条件, 破坏形式以磨损消耗为主, 部分断裂、变形。磨损分为三种: 金属构件表面相互接触并运动的摩擦磨损; 其它金属或非金属材料打击金属表面的磨料磨损和流动气体或液体与金属接触导致的冲蚀磨损。耐磨钢的耐磨性能取决于材料本身, 而抗磨钢则在不同的工况条件下表现出不同的耐磨性, 材料本身和工况条件两者才能决定其耐磨性能。

铸造耐磨钢和抗磨钢以奥氏体锰钢为主, 在一定的条件下经适当热处理的低合金钢也有很好的效果, 石墨钢则用于润滑摩擦的工况条件。

1.9.1 高锰钢

高锰钢是典型的抗磨钢, 铸态组织为奥氏体加碳化物。经 1000°C 左右水淬处理后组织转变为单一的奥氏体或奥氏体加少量碳化物, 韧性反而提高, 因此称水韧处理。

高锰钢最重要的特点是在强烈的冲击、挤压条件下, 表层迅速发生加工硬化现象, 使其在芯部仍保持

奥氏体良好的韧性和塑性的同时硬化层具有良好的耐磨性能。这是其它材料所不及的。但高锰钢的耐磨性只是在具备足以形成加工硬化的条件下才表现出其优越性, 其他情况下则很差。

1) 高锰钢的化学成分及力学性能, 见表 2-61。

2) 高锰钢的物理性能, 见表 2-62。

3) 高锰钢的铸造性能: 高锰钢的线收缩较碳钢大 30%, 模样制作时应加以考虑。流动性好, 浇注温度应尽可能低, 这是因为浇注温度高和浇注后相对缓慢的冷却速度将会导致晶粒粗大, 降低钢的力学性能。当然, 高锰钢一般是在水韧处理后使用, 可以消除一部分由于晶粒粗大对钢的影响, 但工艺条件是影响其力学性能的一个重要因素。因此, 可行的办法是在保证浇足的前提下尽量降低浇注温度。

在用石英砂铸造高锰钢时, 硅砂中酸性的 SiO_2 易于高温钢液中的 MnO 发生化学反应导致铸件粘砂缺陷, 因此, 在条件允许的情况下, 宜尽量采用适当的涂料。目前一般采用镁砂粉为骨料的涂料, 另一种方法是型砂使用镁橄榄砂, 效果也很好。

表 2-61 高锰钢的化学成分及力学性能

| 标准 | 牌号 | 化学成分 (%) | | | | | | | | | | 热处理 | σ_b (MPa) | σ_s (MPa) | δ (%) | A_{KV} (J) | HTS | 适用范围 | | |
|----------------------------------|----------|-----------|-------------|-----------|-------|-------|----|-----------|--|--|-----------------|-------|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----|---------|-----|--|
| | | C | Mn | Si | S | P | Cr | 其它 | | | | | | | | | | | | |
| 我国标准 GB1680-85 | ZGMn13-1 | 1.10~1.50 | | 0.30~1.00 | | 0.090 | | | | | | 1000℃ | 637 | | 20 | | | | 低冲击 | |
| | ZGMn13-2 | 1.00~1.40 | | | 0.050 | | | | | | | 水韧 | 686 | | 25 | 147 | 229 | 普通件 | | |
| | ZGMn13-3 | 0.90~1.30 | | 0.30~0.80 | | 0.070 | | | | | | | 735 | | 35 | | | 复杂件 | | |
| | ZGMn13-4 | 0.90~1.20 | | | | 0.10 | | | | | | 1000℃ | | | | | | 高冲击 | | |
| 日本标准 JIS G 5131-1991 | SCMnH1 | 0.90~1.30 | | | | 0.040 | | | | | | 水韧 | 740 | | 35 | | | 普通件 | | |
| | SCMnH2 | 0.90~1.20 | | 0.80 | | 0.07 | | | | | | | 740 | | 35 | | | 高级、非磁性件 | | |
| | SCMnH3 | 0.90~1.20 | | 0.30~0.80 | | 0.035 | | | | | | | 740 | | 35 | | | 道岔 | | |
| | SCMnH11 | 0.90~1.30 | | | | 0.040 | | 1.50~2.50 | | | | 1050℃ | 740 | | 20 | | | 锤、钢板 | | |
| 美国标准 ANSI/ ASTM A128-90 | SCMnH21 | 1.00~1.35 | | 0.80 | | 0.040 | | 2.00~3.00 | | | V; 0.40~0.70 | 水韧 | 740 | | 10 | | | 履带板 | | |
| | A | 1.05~1.35 | ≥ 11.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | B-1 | 0.90~1.05 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | B-2 | 1.05~1.20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | B-3 | 1.12~1.28 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | B-4 | 1.20~1.35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | C | 1.05~1.35 | 11.5~14.0 | 1.00 | | 0.07 | | 1.5~2.5 | | | | | | | | | | | | |
| | D | 0.70~1.30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | E-1 | 0.70~1.30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | E-2 | 1.05~1.45 | 11.5~14.0 | 1.00 | | 0.07 | | | | | | | | | | | | | | |
| | F | 1.05~1.35 | 6.0~8.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

注：1. 表中化学成分除给出范围外，均为最大值。

2. 表中力学性能均为最小值。

表 2-62 高锰钢的物理性能

| 热导率 (W/m·K) 在下列温度时 (°C) | | 线胀系数 $\alpha \times 10^6$ (mm/mm·°C) 在 0°C 和下列温度间 (°C) | | | | | | | 比热容 [J/(kg·K)] 在下列温度间 (°C) | | | | 密度 ρ (g/cm ³) | | | | | |
|----------------------------|-------|---|------|------|------|------|------|------|-------------------------------|---------|---------|---------|-----------------------------------|----------|-----|-----|-----|-----------|
| 0 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | 1000 | 800 | 600 | 400 | 350~400 | 550~600 | 750~800 | | 950~1000 | | | | |
| 12.08 | 16.32 | 19.2 | 21.7 | 23.4 | 25.5 | 18 | 19.4 | 21.7 | 19.9 | 21.9 | 23.1 | 519 | 565 | 607 | 703 | 648 | 703 | 7.87~7.98 |

高锰钢由于加工硬化现象,应尽量避免对铸件进行加工。铸件上的孔、槽尽可能铸出。但对高锰钢的加工也并非完全不可能。刀具修整一次进刀加工完的可以进行,不可避免的加工应在铸件工艺设计时放大加工量,以使加工的进刀量避开加工硬化层。

高锰钢的铸造性能见表 2-63。

表 2-63 高锰钢的铸造性能

| 凝固收缩 (%) | 自由线收缩率 (%) | 液相线 (°C) |
|----------|------------|----------|
| 6.0 | 2.4~3.0 | ~1400 |

4) 高锰钢的焊接性能:高锰钢重新加热时,在 250~800°C 间存在碳化物析出的脆性温度区间,且铸态高锰钢又存在网状碳化物以及铸造应力,因此,焊接性能很差。

高锰钢铸件,应在水韧处理后割冒口或缺陷焊补,焊后应快速冷却。为消除或尽可能减小热影响

区,应用小电流,不连续施焊,或边焊边浇水冷却。焊条采用高锰钢焊条或奥氏体不锈钢焊条。若存在加工硬化层,应在焊前去除。

1.9.2 低合金钢

制作耐磨铸件用的低合金钢,含碳量应较高,一般在 0.4% 以上。可根据铸件厚度、工况条件,参照表 2-16,选用适当的钢种。热处理工艺一般是在油中淬火,然后按要求的韧性和硬度回火。在要求淬硬层的厚度甚小时,可在调质后进行表面淬火。

1.9.3 石墨钢

铸造石墨钢是超高碳过共析钢,经过适当的热处理,一部分碳以石墨形态析出。这种钢主要依靠石墨起润滑作用,是一种耐摩擦磨损的材料。随着蠕墨和球墨铸铁的发展,这种钢已很少采用。

(1) 石墨钢的化学成分 几种石墨钢的化学成分见表 2-64。

表 2-64 几种石墨钢的化学成分 (%)

| 用途 | C | Si | Cu | Mo | Mn | Ni | Cr | S | P |
|-----|-----------|-----------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|
| 曲轴 | 1.40~1.60 | 0.90~1.1 | 1.0~1.5 | — | 0.6~0.8 | — | ≤0.08 | ≤0.06 | ≤0.08 |
| 铸件 | 0.9~1.4 | 0.8~1.5 | ≤0.2 | — | 0.3~0.6 | — | ≤0.10 | ≤0.07 | ≤0.07 |
| 模具 | 1.18~1.24 | 1.11~1.21 | — | — | 0.48~0.58 | 0.28~0.41 | 0.07~0.12 | ≤0.032 | ≤0.043 |
| 制动鼓 | 1.4~1.6 | 0.9~1.1 | 1.5~2.0 | 0.1~0.2 | 0.7~0.9 | — | 0.4~0.5 | ≤0.06 | ≤0.1 |
| 活塞 | 1.35~1.7 | 0.9~1.3 | 2.5~3.0 | — | 0.6~1.0 | — | 0.08~0.15 | ≤0.08 | ≤0.1 |

(2) 石墨钢的铸造性能

流动性优于碳钢,且随着含 C 量的增加,流动性提高,硅对流动性的影响较小。浇注温度为 1320~1420°C,自由收缩率 1.8%~2.2%,接近白口铁。导热性低,脆性大,易应力开裂,但热裂倾向小。

1.10 特殊用途的铸钢

1.10.1 低温用铸钢

在低温环境中工作的铸钢,由于温度的降低,强度并无太大变化,而塑性和韧性则显著降低。因此,低温用铸钢的化学成分选择是围绕着如何保证低温下的韧性来进行的。低温用钢的品种很多,目前常用的是铁素体铸钢和奥氏体铸钢,其共同特点是含 C 量偏低,S 和 P 也比一般铸钢要求低。

低温用碳钢含碳量在 0.30% 以下,虽然低温韧性好,但强度低,适用最低温度 -45°C。低合金钢中合金元素的加入并非为取得更高的强度,而是为了在保持一定强度的同时进一步降低含 C 量,以改善钢

的韧性。

奥氏体钢用于低温时韧性下降不如铁素体钢明显,即使在 -200°C 其韧性仍然较好,因而适用温度低于铁素体钢。

迄今我国尚未制订低温用铸钢的标准,曾试用过的几种低合金钢见表 2-65。美国的低温用铸钢的化学成分及力学性能参见表 2-31、表 2-32 和表 2-33,日本的有关钢种,见表 2-37。

1.10.2 铸造工具钢

铸造工具钢包括刀具钢和模具钢,主要是模具钢,刀具钢使用很少。我国尚无有关标准。铸造刀具时可参照锻轧高速钢的标准选用适当的钢号,模具钢则可参考国外标准中的牌号。美国国家标准中所列工具钢为各国广泛采用,其化学成分见表 2-66。其中 CH-13 是非常重要的压铸压型材料,各国铸造压型大都采用。

表 2-65 几种低温用钢的化学成分及力学性能

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | 热 处 理 | V 型缺口冲击功 (J) | | | | | 使 用 温 度 (° C) | | |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|--------|-------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-----------------|-------|--------|
| | C | Si | Mn | Al | Cu | N | Nb | V | Re | S | | P | -40°C | -60°C | -70°C | -80°C | | -90°C | -100°C |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ZG06 MnNb | ≤0.07 | 0.17 ~0.37 | 1.60 ~1.80 | - | - | - | 0.03 ~0.04 | - | - | ≤0.03 | ≤0.03 | 900°C 正火 | 18.5 | | | | | -90 | |
| ZG16Mn | 0.12 ~0.20 | 0.20 ~0.50 | 1.20 ~1.60 | - | - | - | - | - | - | ≤0.045 | ≤0.04 | 900°C 正火 600°C 回火 | 12 | | | | | -40 | |
| ZG09Mn2V | ≤0.12 | 0.02 ~0.50 | 1.40 ~1.80 | - | - | - | - | 0.04 ~0.10 | 0.02 ~0.03 | ≤0.04 | ≤0.04 | 930°C 正火 670°C 回火 | 24 | | | | | -70 | |
| ZG06 AlNbCuN | ≤0.08 | ≤0.35 | 0.80 ~1.25 | 0.04 ~0.15 | 0.30 ~0.40 | 0.01 ~0.015 | 0.04 ~0.08 | - | - | ≤0.035 | ≤0.02 | 900°C 正火 | 33 | 40 | 1.1 | | | -120 | |

表 2-66 美国标准铸造工具钢的化学成分^①
(ANSI/ASTM A597-79)

(%)

| 牌 号 | C | Mn | Si | S | P | Cr | Mo | V | Co | W | Ni |
|-------|---------------|---------------|---------------|------|------|-----------------|---------------|----------------------------|----------------------------|---------------|----------------------------|
| CA-2 | 0.95 ~1.05 | 0.75 | 7.50 | 0.03 | 0.03 | 4.75 ~5.50 | 0.90 ~1.40 | 0.25 ^② ~0.50 | — | — | — |
| CD-2 | 1.40 ~1.60 | 1.00 | 1.50 | 0.03 | 0.03 | 11.00 ~13.00 | 0.70 ~1.20 | 6.40 ^② ~1.00 | 0.70 ^② ~1.00 | — | — |
| CD-5 | 1.35 ~1.60 | 0.75 | 1.50 | 0.03 | 0.03 | 11.00 ~13.00 | 0.70 ~1.20 | 0.35 ~0.55 | 2.50 ~3.50 | — | 0.40 ^② ~0.60 |
| CS 5 | 0.50 ~0.65 | 0.60 ~1.00 | 1.75 ~2.25 | 0.03 | 0.06 | 0.35 | 0.20 ~0.80 | 0.35 | — | — | — |
| CH-12 | 0.30 ~0.40 | 0.75 | 1.50 | 0.03 | 0.05 | 4.75 ~5.75 | 1.25 ~1.75 | 0.20 ~0.50 | — | 1.00 ~1.70 | — |
| CH-13 | 0.30 ~0.42 | 0.75 | 1.50 | 0.03 | 0.03 | 4.75 ~5.75 | 1.25 ~1.75 | 0.75 ~1.20 | — | — | — |
| CO-1 | 0.85 ~1.00 | 1.00 ~1.30 | 1.50 | 0.03 | 0.03 | 0.40 ~1.00 | — | 0.30 | — | 0.40 ~0.60 | — |

① 除给出范围外，均为最大值。

② 任选元素，如买方需要应在合同中规定。

1.10.3 专业用钢

4) 机车车辆常用铸钢，见表 2-70。

1) 重型与矿山机器行业常用的钢种，见表 2-67。

5) GB 1503—79 铸钢轧辊化学成分及力学性能，见表 2-71。

2) 水轮机常用铸钢，见表 2-68。

6) 无磁及电工用铸钢，见表 2-72，表 2-73。

3) 汽轮机常用铸钢，见表 2-69。

表 2-67 重型与矿山机器用铸钢

| 牌 号 | 用 途 | 热 处 理 | 备 注 |
|---------|--------------------------------|---|-----|
| ZG25 | 铁铮台、机座、锤轮、各种箱体 | 800~870℃退火，900℃正火， 620~680℃回火（空冷） | |
| ZG35 | 飞轮、机架、蒸汽锤、桩锤、齿凸轮，水 压机工作缸及横梁 | 880~900℃正火，620~680℃回火（空冷 或炉冷） 850~860℃退火，850~870℃水淬 530~580℃回火（空冷） | |
| ZG45 | 联轴器轮、汽缸、齿轮齿圈 | 850~870℃退火，870~890℃正火， 600~650℃回火（空冷） | |
| ZG40Mn | 整体大齿轮 | 850~870℃正火，400~450℃回火 | |
| ZG40Mn2 | 大断面球磨机齿轮及其它大齿轮 | 870~890℃退火，830~850℃正火， 350~450℃回火（空冷） | |

(续)

| 牌 号 | 用 途 | 热 处 理 | 备 注 |
|------------|--------------------------------|---|------------|
| ZG20MnSi | 水压机工作缸及各种较大断面零件 | 900~920℃正火, 580~600℃回火(炉冷) | |
| ZG20MnMo | 压力容器 | 880~900℃正火(空冷), 600~620℃回火(空冷或炉冷) | |
| ZG35MnSi | 齿轮、滚子等耐磨件,及各种较大断面零件 | 880~900℃正火, 400~450℃回火(炉冷) | |
| ZG35CrMo | 全链轮、支撑轴、轴套、齿圈等 | 850~870℃油淬, 580~600℃回火(空冷或炉冷) | |
| ZG35SiMnMo | 高强度齿轮、表面淬火45~50HRC | 840~860℃油淬, 580~620℃回火(空冷或炉冷) | |
| ZG40Cr | 齿轮、齿轮缘等较高强度的零件 | 830~860℃正火, 520~580℃回火(空冷或炉冷) | |
| | | 830~860℃正火,830~860℃油淬, 520~680℃回火(空冷或炉冷) | |
| ZG65Mn | 起重机及矿山机械的车轮 | | |
| ZGMn13 | 各种矿碎机衬板、锤头、挖掘机铲头、斗牙、履带板等耐冲击磨损件 | 1050~1100℃水淬 | |
| GS17CrMn55 | 风扇磨煤机前后盘、轮毂 | 910~930℃正火(空冷) 640~660℃回火(空冷) | 联邦德国 标准 |
| GS22Mo4 | 风扇磨连接板、气缸 | 910~930℃正火(空冷) 640~660℃回火(空冷) | |

表 2-68 水轮机常用铸钢

| 牌 号 | 用 途 举 例 |
|---------------|------------------------------------|
| ZG20SiMn | 转轮、焊接主轴及其它强度高或焊接量大的零件 |
| ZG30 | 转轮、座环、底环、顶盖、控制环、导水瓣等 |
| ZG10Cr13Ni | 用于较高水头,汽蚀较严重零件 |
| ZG10Cr13Ni1Mo | 用于较高水头,汽蚀较严重零件 |
| ZG06Cr13Ni4Mo | 用于大中型机组、铸焊结构、抗汽蚀,抗磨损性要求高的零件及工地组装焊件 |
| ZG06Cr13Ni6Mo | |
| ZG06Cr16Ni5Mo | |

(续)

| 牌 号 | 用 途 举 例 |
|-------------------------------|---|
| ZG04Cr16Ni5Mo ^① | 用于大中型机组、铸焊结构、抗汽蚀、抗磨损性要求高的零件或工地组装铸件。采用炉外精炼技术 |
| ZG06Cr17Ni4Cu3Mo ^① | 采用炉外精炼技术或电渣熔铸，用于抗泥沙、磨损严重的条件 |
| ZG06Cr13Ni5Mo ^① | 同 ZG06Cr13Ni4Mo 和 ZG06Cr13Ni6Mo |

① 此三种钢的化学成分可参照牌号中标明的数字确定。

表 2-69 汽轮机常用铸钢

| 牌 号 | 热 处 理 | | | σ_s (MPa) | σ_b (MPa) | δ_5 (%) | ψ (%) | a_K (J/cm ²) | HBS | 用途举例 |
|-------------|-----------------------------------|---------------------------|-----------------|---------------------|---------------------|-------------------|---------------|-------------------------------|---------|---------------------------|
| | 方式 | 温 度 (°C) | 冷 却 | | | | | | | |
| ZG20Mo | 正火 回火 | 900~920 600~650 | 空冷 炉冷或 空冷 | 235 | 441 | 16 | 28 | 50 | 135 | 450~ 500°C时工作的汽缸、蒸汽室等 |
| ZG20CrMo | 正火 回火 | 900 650 | 空冷 空冷 | 245 | 461 | 18 | 30 | 30 | 135~180 | 500°C时工作的前汽缸、喷嘴室、蒸汽室及主汽门等 |
| ZG20CrMoV | 正火 正火 回火 | 940~950 920 690~710 | 空冷 空冷 空冷 | 314 | 490 | 15 | 30 | 30 | 140~201 | 565°C时工作的前汽缸、喷嘴室、蒸汽室及主汽门等 |
| ZG15Cr1Mo1V | 退火 正火 | 1040 990 | 炉冷 空冷 | 343 | 490 | 15 | 30 | 30 | 140~201 | 580°C时工作的前汽缸、喷嘴室、蒸汽室等 |
| | 以100°C/h速率冷至600°C再加热至720°C然后冷1/2h | | | | | | | | | |
| | 正火 回火 | 1020~1050 680~650 | 空冷 空冷 | | | | | | | |
| ZG22Mn | 正火 | 880~900 | 空冷 | 294 | 539 | 18 | 30 | 40 | 155 | — |
| ZG25 | 回火 | 680~700 | 空冷 | 253 | 441 | 20 | 32 | 45 | 131~179 | — |
| ZG35 | | | | 275 | 490 | 16 | 25 | 35 | 143~197 | — |

注：1. 汽轮机专业经常用的铸钢还有 ZGCr11MoV、ZG1Cr13 和美国牌号 8N、8Q 等。

2. 力学性能数值除给出范围外，均为最低值。

表 2-70 机车车辆常用铸钢的化学成分及力学性能

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | 热 处 理 | σ_s (MPa) | σ_b (MPa) | δ_5 (%) | ψ (%) | a_K (J/cm ²) | 备 注 |
|-------------|-------------|-----------|-----------|--------------------------|-------|---------------------|---------------------|-------------------|----------------|----------------------------|--|
| | C | Mn | Si | | | | | | | | |
| ZG15 | 0.12~0.20 | 0.35~0.65 | 0.17~0.37 | | | 196 | 392 | 24 | 35 | 50 | |
| ZG20 | 0.17~0.25 | 0.35~0.65 | 0.17~0.37 | | | 216 | 410 | 23 | 35 | 50 | |
| ZG25 | 0.22~0.30 | 0.50~0.80 | 0.17~0.37 | | | 235 | 441 | 19 | 30 | 40 | 用于一般铸件 |
| ZG30 | 0.27~0.35 | 0.50~0.80 | 0.17~0.37 | 正火或退火 | | 255 | 471 | 17 | 30 | 25 | |
| ZG40 | 0.37~0.45 | 0.50~0.80 | 0.17~0.37 | | | 294 | 520 | 14 | 25 | 30 | |
| ZG45 | 0.42~0.50 | 0.50~0.80 | 0.17~0.37 | | | 314 | 539 | 12 | 20 | 30 | 用于耐磨铸件 |
| ZGMn13 | | | | | | | | | | | 用于道岔 |
| ZG20MnSi | 0.16~0.22 | 1.00~1.30 | 0.6~0.8 | 900~920℃正火 520~550℃回火 | | 333 | 539 | 25 | 47 | 90 | 摇枕, 侧架, 车钩 |
| ZG20Cr3MoVB | 0.16~0.22 | 0.80~1.00 | 0.20~0.50 | | | | | | | | 内燃机车增压器齿轮 |
| 车钩一组 | 0.22~0.30 | 0.50~0.80 | 0.17~0.37 | 正火或退火 | | 235 | 441 | 19 | 30 | 40 | 车钩中的重要件 |
| 车钩二组 | 0.22~0.30 | 0.50~0.80 | 0.17~0.37 | | | 235 | 441 | 19 | 30 | 40 | 车钩中的一般件 |
| 车钩三组 | 0.22~0.30 | 1.1~1.6 | 0.17~0.37 | 正火淬火、回火 | | 382~539 441~539 | 549~569 637~735 | 18~20 15~18 | 27~33 25~35 | 75~90 75~100 | -40℃时的 a_K 值 40~50 -40℃时的 a_K 值 40~60 用于...组车钩, 可减重, 并 延长寿命 |

注: 力学性能数值, 除给出范围外, 均为最低值。

表 2-71 铸钢轧辊的化学成分及力学性能 (GB 1503--79)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | | σ_b (MPa) | δ_5 (%) | HRS | a_K ($10^6 J/cm^2$) | | |
|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------|----|-----------|-----------|---|---|---|---|---------------------|-------------------|-----|----------------------------|----|-----|
| | C | Mn | Si | Cr | Ni | Mo | V | W | P | S | | | | | | | |
| ZU70 | 0.67~0.75 | 0.50~0.80 | 0.20~0.45 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.040 | 0.040 | 650 | 7 | 32 | 2.0 |
| ZU80 | 0.77~0.85 | 0.50~0.80 | 0.20~0.45 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.040 | 0.040 | 705 | 6 | 34 | 1.0 |
| ZU70Mn | 0.67~0.75 | 0.90~1.20 | 0.20~0.45 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.040 | 0.040 | 735 | 6 | 32 | 1.5 |
| ZU40CrMnMoV | 0.37~0.45 | 0.90~1.20 | 0.20~0.45 | 0.90~1.20 | — | 0.20~0.30 | 0.10~0.20 | — | — | — | — | 0.035 | 0.030 | 765 | 7 | 35 | 1.1 |
| ZU50Cr | 0.47~0.55 | 0.50~0.80 | 0.20~0.45 | 0.80~1.10 | — | — | — | — | — | — | — | 0.035 | 0.030 | 690 | 8 | 33 | 2.0 |
| ZU70Mn2 | 0.67~0.75 | 1.40~1.80 | 0.20~0.45 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.035 | 0.030 | 735 | 6 | 34 | 1.0 |
| ZU70Mn2Mo | 0.67~0.75 | 1.40~1.80 | 0.20~0.45 | — | — | 0.25~0.45 | — | — | — | — | — | 0.035 | 0.030 | 765 | 6 | 36 | 1.0 |
| ZU75CrMo | 0.72~0.80 | 0.60~0.90 | 0.20~0.45 | 0.75~1.00 | — | 0.25~0.45 | — | — | — | — | — | 0.035 | 0.030 | 765 | 6 | 36 | 1.0 |
| ZU80Cr | 0.77~0.85 | 0.50~0.80 | 0.20~0.45 | 0.45~0.70 | — | — | — | — | — | — | — | 0.035 | 0.030 | 785 | 6 | 38 | 0.8 |
| ZU80CrMo | 0.77~0.85 | 0.50~0.80 | 0.20~0.45 | 0.80~1.35 | — | 0.80~1.20 | — | — | — | — | — | 0.035 | 0.030 | 835 | 6 | 38 | 0.8 |

注：1. 表中化学成分除给出范围外，均为最大值；力学性能为最小值。

2. a_K 值暂不作为验收条件，但供方必须提供数据。

表 2-72 无磁铸钢的化学成分及力学性能

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | σ_b (MPa) | σ_s (MPa) | δ_5 (%) | ψ (%) | HBS | 磁导率 $\left[4\pi \cdot 10^{-7} \times \frac{T}{A \cdot m} \right]$ |
|-------------|-------------|---------|-------|-----------------|-----------------|---------|--------------|---------------------|---------------------|-------------------|---------------|---------|---|
| | C | Si | Mn | P (\leq) | S (\leq) | Cr | N | | | | | | |
| ZG25Mn18Cr4 | 0.2~0.3 | 0.2~0.6 | 17~19 | 0.08 | 0.03 | 3.5~4.5 | — | 360 | 160 | 15 | 20 | 170~230 | ≤ 1.1 |
| ZG40Mn18Cr3 | 0.3~0.5 | 0.3~0.8 | 17~19 | 0.08 | 0.05 | 3.0~3.5 | 允许 0.08~0.12 | 450 | 240 | 19 | 30 | 170~230 | ≤ 1.1 |

表 2-73 电工用铸钢的化学成分 (%)

| 牌 号 | C | Si | Mn | P | S | Al |
|-----|-------|-------|-------|--------|--------|-----------|
| DT3 | ≤0.04 | ≤0.02 | ≤0.30 | ≤0.020 | ≤0.020 | ≤0.50 |
| DT4 | ≤0.02 | ≤0.02 | ≤0.30 | ≤0.020 | ≤0.020 | 0.15~0.50 |

注：冶炼时控制 $S \leq 0.015\%$ ；

钢中残余元素含量均为： $Ni \leq 0.02\%$ ， $Cr \leq 0.10\%$ ， $Cu \leq 0.20\%$

2 铸造用钢的熔炼和浇注

2.1 熔炼过程简述

炼钢，包括钢液内、炉渣内、钢液与炉渣间、钢液与炉内气氛间、炉渣与炉内气氛间以及炉渣与炉衬间发生的一系列氧化和还原反应，是在高温下、多相间进行的复杂的物理的、化学的和物理化学的过程。

2.1.1 有关的物理化学概念

(1) 反应热 一种化学反应发生时，总是伴随着吸热或放热。如果反应生成物所含的能量少于反应物所含的能量，就是放热反应；如果反应需外界给予能量，就是吸热反应。一种反应的反应热，可以由实验测定，也可以由已有的参与反应物质的生成热的数据计算得到。表 2-74 是一些常见的反应物质的生成热 (ΔH)。 ΔH 为负值时，物质生成时是放热的， ΔH 为正值时则是吸热的。

(2) 自由能 物质的自由能是其所含的总能量 (焓) 中可用于产生有效功的部分，在压力不变时，自由能和总能量 (焓) 的关系用吉布斯公式表示：

$$G = H - TS$$

式中 G ——自由能；

H ——焓；

T ——温度 (K)；

S ——熵。

物质所具有的总能量是无法测定的，但其由一种状态转变到另一种状态后的能量变化 (ΔH) 则是可以测定的。同样，自由能也是如此。

在一定的温度和压力下发生的化学反应，其自由能的变化 (ΔG) 等于总能量的变化 (ΔH) 和不自由能变化 ($T\Delta S$) 的差，即

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

一种化学反应，如能对外界作功，则反应能够发生，所作的功的大小是该反应趋向强弱的量度。因此， ΔG 是在一定的温度和压力下化学反应进行趋向的判据。 ΔG 为负值，表明反应发生时系统对外界作功。负值愈大，则进行反应的趋势愈强； ΔG 为零，反应处于化学平衡状态； ΔG 为正值，则此反应将向反方向进行。

同样，一种化合物的生成热也是该化合物的稳定性的判据。生成热的负值愈大，则化合物愈稳定。

(3) 化学平衡和平衡常数 一切化学反应，在一定的条件下都是可逆的。当发生反应的速率和发生逆反应的速率相等 ($\Delta F = 0$) 时，反应处于平衡状态。

对于反应 $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ ，其平衡状态意味着 $(cF_C + dF_D) - (aF_A + bF_B) = \Delta G = 0$

质量作用定律表明，对于理想溶液和理想气体，在平衡状态下，各反应生成物的浓度的乘积与各反应物浓度的乘积的比为一常数，即平衡常数 (K)。它与反应时系统的自由能变化的关系为：

$$\Delta G = -RT \ln K = -4.575 T \lg K$$

式中 R ——气体常数；

T ——温度 (K)。

炼钢过程中各种氧化反应的自由能变化，可由参与反应的各化合物 (或单质) 的生成热计算求得，也可由图 2-2 查出。

(4) 活度 某一物质在化学反应系统中的活度，决定于它在系统中的浓度和在所处温度和压力条件下参与反应的能力。对于理想溶液或理想气体，化学反应平衡时，平衡常数是参与反应物质的浓度的函数。对于非理想溶液或气体，应以参与反应物质的活度代替其浓度来考虑反应平衡的条件。所以，活度也称为有效浓度 a 。

$$a = \gamma \cdot N$$

式中 γ ——物质的活度系数；

N ——物质的浓度。

(5) 分解压力 如果化合物分解时产生气体，则其稳定性可用其分解压力来量度。

以氧化物为例。氧化反应只有在某一特定的氧气压力下才处于平衡状态，这也是该氧化物的分解压力，见图 2-3。

分解压力愈高，则化合物愈易分解，即化合物愈不稳定。

(6) 物质在各相间的分配 一个系统包括两个以上的相并处于平衡状态时，系统中任一组分在各相中的分配决定于其在各相中的活度。

例如，FeS 分配在炉渣和钢液中处于平衡时，其

表 2-74 反应物质的生成热

| 物质名称 | $-\Delta H_{298}$ ($\times 4186.8J$) | $-\Delta H$ 1800 ($\times 4186.8J$) | 物质名称 | $-\Delta H$ 1800 ($\times 4186.8J$) | 物质名称 | $-\Delta H_{298}$ ($\times 4186.8J$) | $-\Delta H$ 1800 ($\times 4186.8J$) | 物质名称 | $-\Delta H_{298}$ ($\times 4186.8J$) | $-\Delta H$ 1800 ($\times 4186.8J$) |
|--------------------------------|---|---|--------------------------------|---|-----------------------|---|---|-----------------------|---|---|
| Al | 0 | 0 | CaCl ₂ | 189.5 | H ₂ (气体) | 0 | 0 | N ₂ (气体) | 0 | 0 |
| Al ₂ O ₃ | 400.4 | 401.7 | CaO | 151.8 | H ₂ O (气体) | 57.80 | 60.04 | O ₂ | 0 | 0 |
| B (固体) | 0 | 0 | CaCO ₃ | 42.5 | H ₂ S (气体) | 4.8 | 21.53 | OH (气体) | -10.06 | -9.58 |
| B ₂ O ₃ | 300.98 | 295.9 | Cr | 0 | Mg | 0 | 0 | S (菱形体) | 0 | - |
| C (石墨) | 0 | 0 | Cr ₂ O ₃ | 272.7 | MgO | 143.8 | 175.0 | S (气体) | -56.9 | -42.73 |
| CO | 26.42 | 28.09 | Fe | 0 | MgS | 84.23 | 132.54 | SO ₂ (气体) | 70.86 | 86.13 |
| CO ₂ | 94.05 | 94.75 | FeO | 63.5 | Mn | 0 | 0 | SiO ₂ (固体) | 217.3 | 226.5 |
| Ca | 0 | 0 | Fe ₃ O ₄ | 266.8 | MnO | 92.05 | 97.45 | | | |
| CaF ₂ | 290.3 | 315.5 | Fe ₂ O ₃ | 196.2 | MnS | 48.75 | 69.30 | | | |

注： $-\Delta H$ 的脚注是绝对温度值， $-\Delta H_{298}$ 是常温下的生成热。 $-\Delta H$ 1800是1800K下的生成热，在这样高的温度，温度有所变化， ΔH 的改变很少，故可用于炼钢范围内的任何温度而不致有重大的误差。

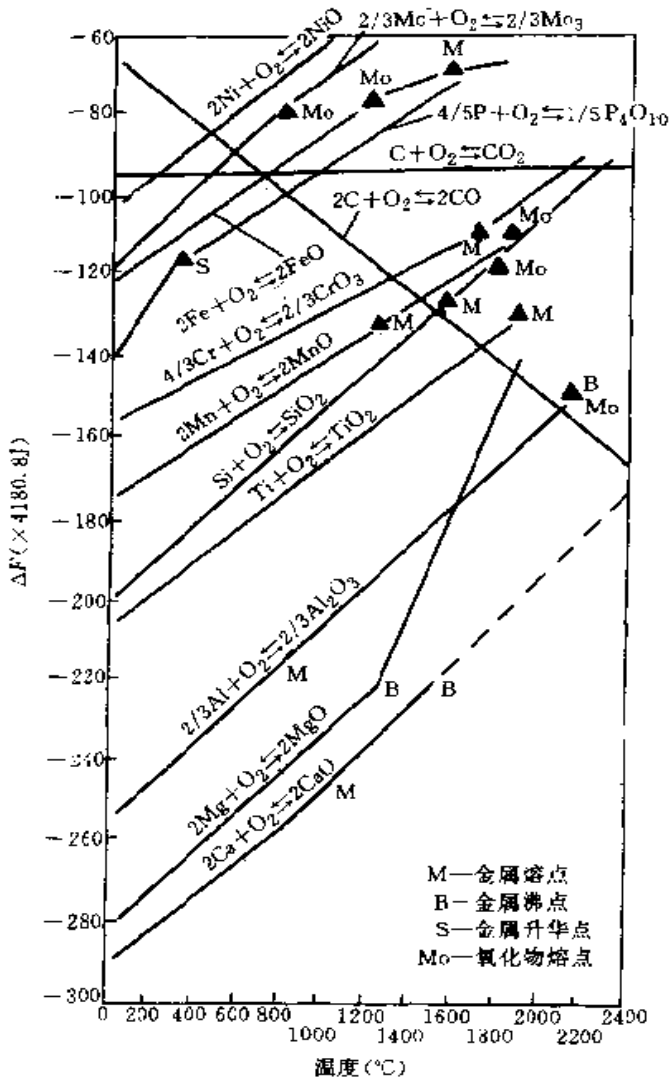


图 2-2 各种氧化物生成的自由能

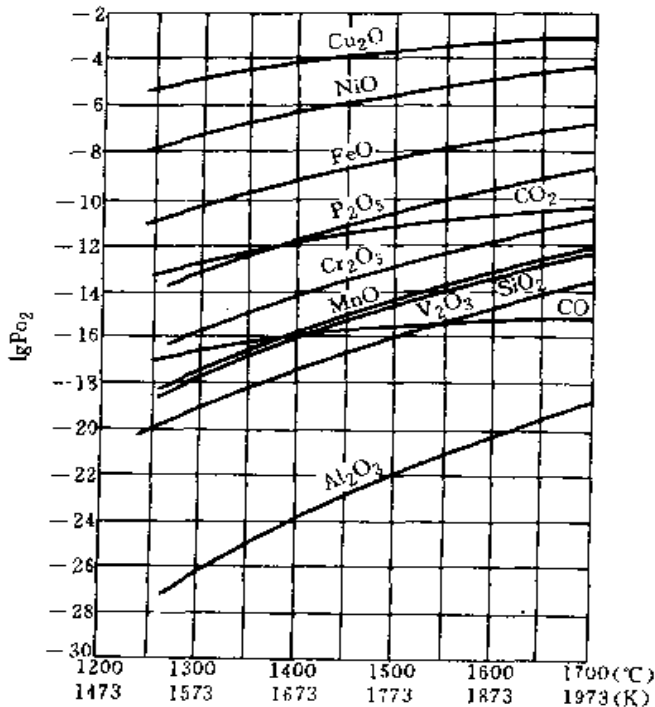


图 2-3 各种氧化物在不同温度下的分解压力

在炉渣中的活度与其在钢液中的活度之比为—常数，即

$$\frac{a_{\text{FeS}}(\text{炉渣中})}{a_{\text{FeS}}(\text{钢液中})} = \text{常数}$$

在炼钢条件下，可近似地认为

$$\frac{(\text{FeS})^{\text{①}}}{[\text{FeS}\%]} = L_{\text{FeS}}$$

式中 (FeS) —— FeS 在炉渣中的摩尔浓度；

$[\text{FeS}\%]$ —— FeS 在钢液中的质（重）量百分数；

L_{FeS} —— FeS 在炉渣和钢液中的分配系数，常数。

2.1.2 炉渣

在炼钢过程中，炉渣是参与各种反应的重要的相，并有清除钢中的杂质和保护钢液的作用。在炼钢的各阶段都应保持炉渣的状态良好，这是生产优质钢的重要条件之一。

(1) 炉渣的化学组成 炉渣是由多种碱性和酸性氧化物以及它们的复合化合物所组成的，是一个非常复杂的系统。组成炉渣的化合物，按自左向右碱性递增的顺序排列如下：

$\text{B}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2, \text{P}_2\text{O}_5, \text{Al}_2\text{O}_3, (\text{TiO}_2), \text{FeO}, \text{MgO}, \text{MnO}, \text{CaO}$

可以粗略地认为，实际电弧炉炼钢过程中的炉渣的基本组成，见表 2-75。

表 2-75 电弧炉炉渣的基本组成

| 炼钢方法 | 炉渣的基本组成 | |
|-------|---------------------------|-----------|
| 酸性炉炼钢 | $\text{FeO} + \text{MnO}$ | 约 50% |
| | SiO_2 | 约 50% |
| 碱性炉炼钢 | 氧化渣 | |
| | CaO/SiO_2 | 2% ~ 3.5% |
| | Al_2O_3 | 10% ~ 15% |
| | FeO | 5% ~ 30% |
| | 还原渣 | |
| | CaO/SiO_2 | 2% ~ 3.5% |
| | Al_2O_3 | 10% ~ 15% |
| | CaF_2 | 2% ~ 5% |
| | FeO | < 0.8% |

(2) 炉渣的来源

1) 为控制炉渣而有意加入的，如石灰 (CaO)、萤石 (CaF_2)、硅砂 (SiO_2)、铁矿 (Fe_2O_3) 和焦炭

① $()$ 中为炉渣中的组分， $[]$ 中为钢液中的组分，以下均同此。

粉(C)等。

2) 钢中所含元素氧化的产物, 如 FeO、MnO、SiO₂ 和 Cr₂O₃ 等。

3) 炉衬熔化而进入的, 如 SiO₂、MgO 和 Al₂O₃ 等。

(3) 炉渣的碱度 通常用碱度 (R) 来表示炉渣中碱性氧化物与酸性氧化物的相对含量, 以说明炉渣的化学性质。

$$R = \frac{\text{各种碱性氧化物含量 (质量\%)} \text{ 的总和}}{\text{各种酸性氧化物含量 (质量\%)} \text{ 的总和}}$$

实际上, 常用 $\frac{(\text{CaO}\%)}{(\text{SiO}_2\%)} + \frac{(\text{MgO}\%)}{(\text{SiO}_2\%)}$ 或 $\frac{(\text{CaO}\%)}{(\text{SiO}_2\%)}$ 代表炉渣的碱度。

碱度愈高, 则炉渣中 CaO 的活度愈大, 促使钢液中的 P 或 S 向炉渣中转移的能力愈强。但碱度过高时炉渣的粘度增大, 也不利于脱磷和脱硫。碱性炉渣的碱度一般以 2~3.5 为宜。

(4) 炉渣的粘度 炼钢过程中许多重要的反应(如脱磷和脱硫)都是在钢液-炉渣间通过扩散作用进行的。扩散速率决定于炉渣的粘度, 保持炉渣有良好的流动性是非常重要的。

提高温度可使炉渣的粘度下降, 但这会影响炉衬的寿命, 钢液的品质(质量)也不易保证。

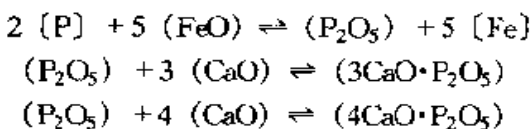
通常, 炉渣的粘度可通过加入造渣材料改变其组成来控制, 加入的材料对不同炉渣的作用, 见表 2-76。

表 2-76 造渣材料在不同炉渣中的作用

| 炉渣性质 | 起提高或降低炉渣粘度的材料 | |
|------|---------------|---------------------|
| | 提高粘度者 | 降低粘度者 |
| 酸性 | 硅砂 | 氧化铁皮, 石灰, 镁砂 |
| 碱性 | 石灰, 镁砂粉 | 硅砂, 氧化铁皮, 萤石, 耐火砖碎块 |

2.1.3 脱磷

磷在钢液中以 Fe₂P 和 Fe₃P 的形态存在, 磷在炉渣中则以 3CaO·P₂O₅ 和 4CaO·P₂O₅ 为最稳定。钢液脱磷, 是使其中的磷氧化并进入炉渣与 CaO 结合, 其反应如下:



炉渣中的 FeO 含量对脱磷反应有极重要的作用,

没有氧化条件一般是不能脱磷的。

炉渣有较高的碱度(有相当多的 CaO)是脱磷的重要条件, 不形成稳定的 3CaO·P₂O₅ 或 4CaO·P₂O₅, 磷仍可进入钢液。所以只有在碱性炉中冶炼才能脱磷。

炉渣中 FeO 含量及其碱度对炉渣中 FeO 的活度的影响, 见图 2-4。

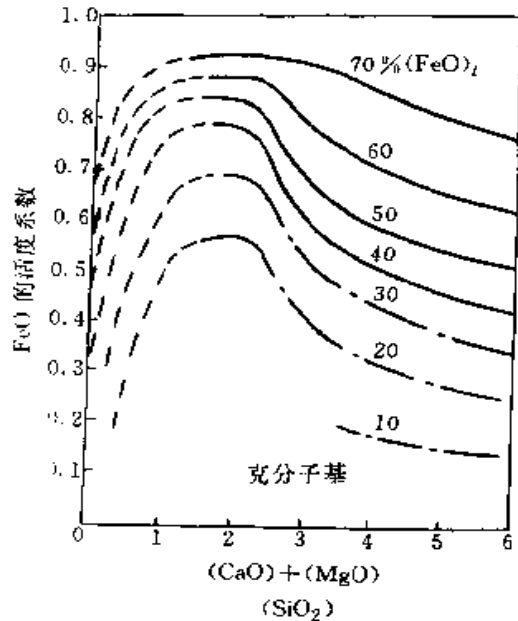


图 2-4 在不同 FeO 浓度下, 炉渣碱度对氧化铁活度系数的影响

- 注: 1. (FeO)₂ 系指将炉渣中全部含铁量折合为 FeO, 而算出的 FeO 的充分分子浓度。
 2. 图中实线系与 MgO 坩埚平衡的炉渣取得的数据。
 3. 图中低碱度部分虚线为炉渣中 MgO 含量小于 3%。
 4. 图中高碱度部分的点划线是由离子处理方法算出的。

提高钢液中的 FeO 含量, 可使炉渣中 FeO 含量增高, 炉渣中 FeO 的活度随之增强, 这有利于脱磷。炉渣的碱度过高(3.0 以上), 则其中 FeO 的活度显著下降, 不利于脱磷。

脱磷是放热反应, 所以较低的操作温度对脱磷有利, 但必须能保持炉渣有良好的流动性。

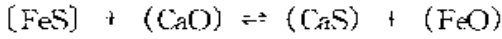
溶清后部分扒渣, 氧化期增大渣量并自动流渣, 都是有效的去磷操作。

2.1.4 脱硫

硫以 FeS 的形态溶于钢液, 但不能固溶于固态钢中。FeS 和 Fe 的共晶体在钢液凝固过程中沿初生晶

晶界析出，这就是硫使钢有热脆性的原因。硫化物夹杂还会使钢的韧性和冲击韧度显著下降。

在碱性炉中冶炼，脱硫效果是令人满意的。炼钢过程中脱硫，主要是钢液中的 FeS 向炉渣中迁移，并与渣中的 CaO 反应，生成不溶于钢液的 CaS。总的过程可表示为：



对脱硫反应的分析，可得到以下几点。

1) 提高炉渣中 CaO 的含量。降低炉渣中 FeO 的含量均有利于脱硫反应的进行。图 2-5 进一步作了定量的说明。

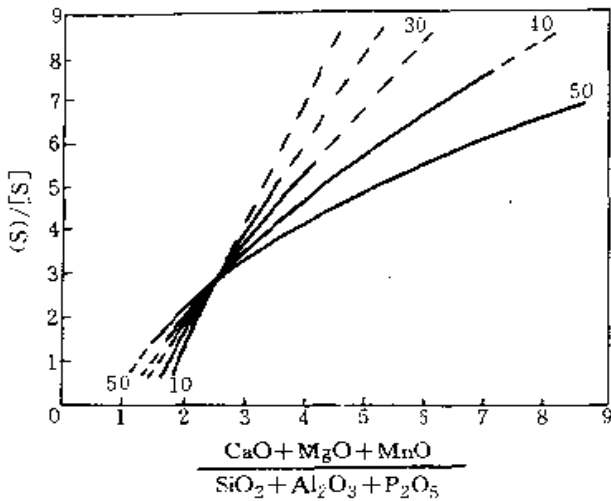


图 2-5 炉渣的碱度和 FeO 含量

对脱硫比例的影响 (1570~1630℃)

碱性电炉冶炼时，还原期炉渣的碱度可在 3 以上 (其中的 CaO 含量可在 50% 以上)，炉渣中的 FeO 可在 1.0% 以下。在此情况下， $\frac{(S)}{[S]}$ 可大于 30，故脱硫主要是在还原期进行的。

在氧化期内，如炉渣中的 CaO 含量很高，炉渣的流动性良好， $\frac{(S)}{[S]}$ 可在 3 左右，也能稍稍脱硫。

2) 为强化脱氧，使 FeO 中的 Fe 还原，宜有较高的炉温，故温度高有利于脱硫。

3) 加大渣量有利于脱硫。当要求钢中含硫量降到 0.02% 以下时，还原渣量宜为钢液的 5% 以上。

2.1.5 钢中的氢和氮

在不进行炉外精炼的常规熔炼过程中，降低钢液中含氢量的有效方法是于氧化期间使钢液作良好的沸腾。沸腾期间的脱碳量与钢液中含氢量的关系见图 2-6 和图 2-7。过多地脱碳亦无必要。

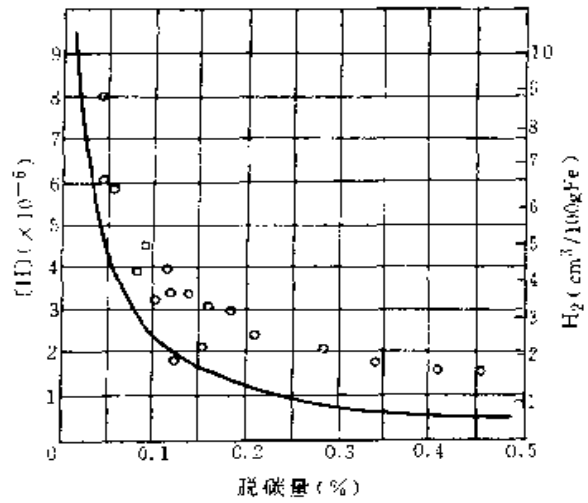


图 2-6 钢液沸腾脱碳量与含氢量的关系

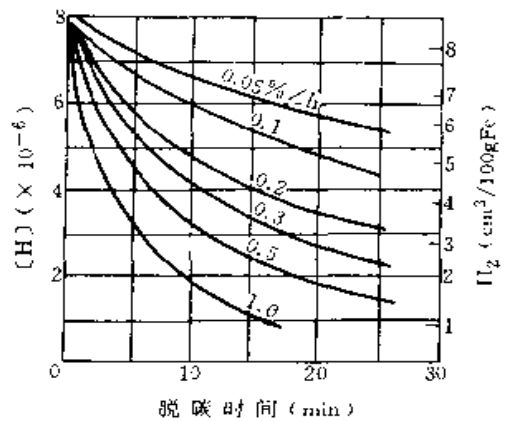


图 2-7 钢液脱碳速率和脱碳时间含氢量的关系

除某些含氮的耐热钢要通过加入氮化铬铁增氮外，通常钢中的含氮量也是愈低愈好。电弧炉炼钢，因电弧的高温使空气中的氮离子化而被钢吸收，钢中的含氮量较用其他方法冶炼的钢为高。必要时，可通过加入 Ti、V、Zr 等元素形成氮化物而降低钢中的含氮量，但良好的沸腾也是降低含氮量的重要手段。

只要炼钢操作正常，如使用干燥无油的炉料、不用粉状石灰、氧化期脱碳 0.2%~0.3% 等，由于氢和氮而使铸件产生气孔的情况是极少见的。过份追求降低含气量是不必要的，不仅是花费很大的代价，而且所得到的低含气量的钢在出钢的浇注过程中很容易再度吸气。钢液中氢和氮的一般含量，见表 2-77。

表 2-77 平炉和电弧炉熔炼的钢中氢和氮的一般含量 (质量分数)

| 熔炼炉 | 熔炼方法 | 钢种 | 钢液中气体含量 (10^{-6}) | |
|-----|------|-------|--------------------------|-------|
| | | | [H] | [N] |
| 平炉 | 碱性 | 碳素结构钢 | 4~6 | 40~60 |
| | | 合金结构钢 | 6~8 | 40~60 |
| | 酸性 | 碳素结构钢 | 3~5 | 40~50 |
| | | 合金结构钢 | 4~6 | 50~60 |
| 电弧炉 | 碱性 | 合金结构钢 | 4~8 | ~70 |
| | | 高合金钢 | 8~11 | ~150 |
| | 酸性 | 合金结构钢 | 3.5~5 | — |
| | | 高合金钢 | 5~8 | — |

生产有特殊要求的钢,可采用其它冶炼方法或炉外精炼技术。

2.1.6 脱氧

脱氧的目的是降低钢液中 FeO 的浓度,并尽可能地使钢中非金属夹杂物的数量减少,形态改善。如果钢液中含 FeO 过高,在凝固过程中,钢中的 C 将还原 FeO,释放出 CO,这是铸钢件产生气孔的主要原因。这种气孔一旦形成,钢中的氢将向孔中扩散,使气孔增大。

用常规冶炼方法时,脱氧有两种基本方法,即沉淀脱氧和扩散脱氧。

(1) 沉淀脱氧 将脱氧剂直接加入钢液中,与钢液中的 FeO 反应,生成密度小且不溶于钢中的氧化物。脱氧剂的脱氧能力,决定于该元素在钢液中的活度、其氧化物的生成自由能和活度、钢液的温度及炉渣的状况。生产中常用的脱氧元素有 Mn、Si、Ti、

表 2-78 钢中常见的非金属夹杂物

| 夹杂物类型 | 熔点 ($^{\circ}\text{C}$) | 密度 (室温) (g/cm^3) |
|-------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| 硅酸铁 (含 Fe<40%) | 1180~1380 | 4.0~5.8 |
| 硅酸铁 (含 Fe>40%) | 1380~1700 | 2.3~4.0 |
| 硅酸锰 (含 Si15%~50%) | 1200~1600 | 4.0~5.0 |
| Al_2O_3 | 2030 | 4.0 |
| SiO_2 | 1710 | 2.65 |
| MnO | 1785 | 5.18 |
| FeO | 1369 | 5.8 |
| TiO_2 | 1840 | 4.26 |
| MgO | 2800 | 3.65 |
| Cr_2O_3 | 2265 | 5.21 |
| ZrO_2 | 2700 | 5.6 |

Al、稀土元素和 Ca 等。此法的优点是脱氧过程短,但脱氧产物会留在钢液中,成为非金属夹杂物。常见非金属夹杂物的熔点和密度,见表 2-78。

夹杂物的排除,主要依靠其在钢液中上浮。影响夹杂物上浮速度的因素是其颗粒度和密度、钢液的粘度的及夹杂物是否易被钢液润湿。采用复合脱氧剂,如 Mn-Si 类、Si-Mn-Al 类、Ca-Si 类和 Ca-Si-Ba-Al 类,能在钢液中同时产生几种脱氧反应,并生成熔点低、颗粒大的复合脱氧产物。因而,脱氧效果良好,且脱氧产物较易进入炉渣中。

用 Al 脱氧所生成的刚玉晶体,不易被钢液润湿,能聚集而上浮,比氧化硅夹杂物容易排出。

(2) 扩散脱氧 将脱氧剂加在炉渣中,降低炉渣中的 FeO 含量,使钢液中的 FeO 向炉渣中扩散,从而达到降低钢液中 FeO 含量的目的。扩散脱氧所用的脱氧剂有炭粉、电石、硅铁粉、铝屑和硅钙合金粉等多种。炭粉是最常用的脱氧剂,其价格便宜,而且脱氧产物是气体,不会产生非金属夹杂物。扩散脱氧的优点是钢中夹杂物较少,缺点是脱氧进程缓慢,冶炼时间延长。

生产中常将扩散脱氧和沉淀脱氧结合使用,即先用扩散法去除一部分 FeO,再用沉淀法补充脱氧,既能保证钢的品质(质量),又不致使冶炼时间过长。

2.1.7 炼钢过程中钢液的搅拌

加强搅拌是促进冶金反应的积极手段,对于强化钢液和炉渣间的作用,使钢液的温度和成分均匀,排除非金属夹杂物和气体,都有非常重要的作用。在当前被广泛采用的各种炉外精炼技术中,“搅拌”都占有极重要的地位。

对于常规的电弧炉炼钢,要特别强调搅拌的重要性。为克服人工搅拌的不充分,可采取以下措施。

(1) 电磁搅拌 将电弧炉底壳改为无磁性钢,在其下面装设感应搅拌装置。

(2) 气体搅拌 利用气体搅拌是炼钢过程中常采用的方式,钢液在氧化期的沸腾、吹氧等都有搅拌作用。此外,还可吹氩或吹氮来增强搅拌。

2.2 电弧炉炼钢

2.2.1 交流电弧炉和直流电弧炉

2.2.1.1 交流电弧炉 三相交流电弧炉一直是铸钢熔炼的基本设备,在可以预见的将来情况不会有大的改变。

1. 三相电弧炉的结构和主要技术参数 目前我国广泛采用的是 HX 型三相电弧炉,其结构简图见图 2-8,各种型号电弧炉的主要技术规格见表 2-79。

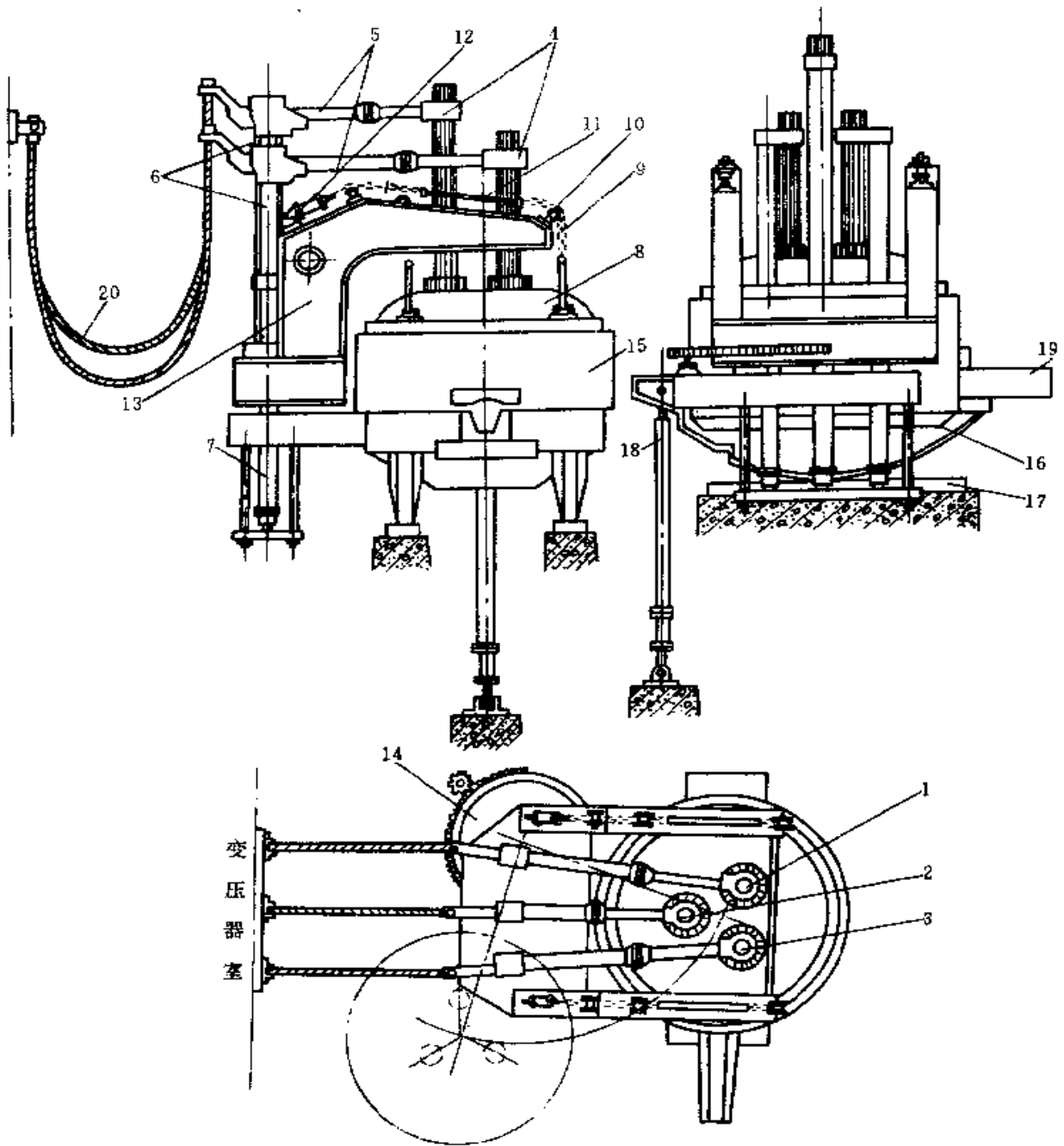


图 2-8 HX 型三相电弧炉结构简图

- 1、2、3—1号电极、2号电极、3号电极 4—电极夹持器
 5—电极支承横臂 6—升降电极立柱 7—升降电极液压缸 8—炉盖
 9—提升炉盖链条 10—滑轮 11—拉杆 12—提升炉盖液压缸
 13—提升炉盖支承臂 14—转动炉盖机构 15—炉体 16—月牙板 17—支承轨道
 18—倾炉液压缸 19—出钢槽 20—电缆

表 2-79 HX 系列三相电弧炉的主要技术规格 (JB2529—79)

| 型 号 | HX—0.5 | HX—1.5 | HX—3 | HX—5 | HX—10 | HX—20 | HX—30 | HX—50 | HX—75 | HX—100 |
|----------------------------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------|--------|
| 炉壳内径 (mm) | 1600 | 2100 | 2500 | 3000 | 3500 | 4200 | 4600 | 5400 | 5800 | 6400 |
| 额定容量 (t) | 0.5 | 1.5 | 3 | 5 | 10 | 20 | 30 | 50 | 75 | 100 |
| 变压器额定容量 (kVA) | 650 | 1250 | 2200 | 3200 | 5500 | 9000 | 12500 | 18000 | 25000 | 32000 |
| 电抗器额定容量 W (kvar) | | 200 (内装) | 250 (内装) | 320 (内装) | 350 (内装) | 400 (内装) | — | — | — | — |
| 变压器一次电压 (kV) | 6 | 6 | 6 | 6 | 10 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| | 10 | 10 | 10 | 10 | | | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 变压器二次电压 (V) | 200 | 210 | 220 | 240 | 260 | 300 | 340 | 380 | 430 | 480 |
| | ~98 | ~104 | ~110 | ~121 | ~139 | ~140 | ~150 | ~160 | ~170 | ~180 |
| 额定电弧电流 (kA) | 1.8 | 3.4 | 5.78 | 7.7 | 12.2 | 17.32 | 21.2 | 27.34 | 33.56 | 38.5 |
| 频 率 (Hz) | 50 | | | | | | | | | |
| 石墨电极直径 (mm) | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 350 | 400 ~450 | 500 | 500 | 600 |
| 倾炉角: 出钢方向/出渣方向 | 45°/14° | | | | | 45°/12° | | | | |
| 冷却水消耗量 (m ³ /h) | 12 | 15 | 20 | 30 | 40 | 70 | 80 | 90 | 100 | — |
| 金属结构质量 (t) | | 8 | 19 | 42 | 62 | 125 | 165 | 277 | 370 | — |
| 炉体总质量 (t) | | 16.6 | 37 | 66 | 91 | 192 | 243 | 372 | 500 | — |

1988 年制订了新系列三相交流电弧炉的标准 (GB 10067.2—88), 与 HX 系列主要不同之处是每一额定容量的电炉都按其配套的变压器容量分为三类: 1 类是普通功率电炉, 2 类是高功率电炉, 3 类是超功率电炉。新系列电弧炉的主要技术规格, 见表 2-

表 2-80 新系列三相电弧炼钢炉的主要技术规格

| 额定容量/最大容量 (t) | 炉壳内径 (m) | 变压器额定功率(MVA) | | | 石墨电极直径 ^① (mm) |
|------------------|-------------|--------------|------|-----------|-----------------------------|
| | | 1 类 | 2 类 | 3 类 | |
| 0.6/1 | 1.6 | 0.63 | — | — | (150), 100 |
| 1.5/2.5 | 2.1 | 1.25 | — | — | (200), 150 |
| 3/5 | 2.5 | 2 | — | — | (250), 200 |
| 6/10 | 3.0 | 3.15 | — | — | (300), 250 |
| 12/15 | 3.5 | 5 或 6.3 | — | — | 300, 350 |
| 15/20 | 3.7 | 6.3 | 10 | 12.5 | (400), 350 |
| 20/25 | 4.0 | 8 | 12.5 | 16 | 400, 350 |
| 25/30 | 4.3 | 10 | 12.5 | 16 或 20 | (450), 400 |
| 30/40 | 4.6 | 12.5 | 16 | 20 或 25 | 450, 400 |
| 40/50 | 5.0 | 16 | 20 | 25 或 31.5 | 500, 450 |
| 50/60 | 5.2 | 20 或 16 | 25 | 31.5 或 40 | 500, 450 |
| 60/75 | 5.5 | 20 | 25 | 40 | 500, 450 |
| 80/100 | 6.1 | 25 | 31.5 | 40 或 50 | 550, 500 |
| 100/125 | 6.4 | — | 40 | 50 或 63 | 550, 500 |
| 125/160 | 6.8 | — | — | 63 | (600), 550 |
| 160/200 | 7.4 | — | — | 80 | 600 |

① 根据石墨电极允许的电流负荷, 可在两种给出的电极直径中选用其一, 但括号中的数值不推荐。

2. 交流电弧炉的重要改进措施 改进措施如下:

(1) 提高电炉单位容量的功率 为缩短冶炼时间、提高生产率,从本世纪60年代起开始采用高功率电炉,70年代起开始采用超高功率电炉,每吨容量的功率输入如下:

| | |
|--------|----------------|
| 普通功率电炉 | 300~400kVA/t; |
| 高功率电炉 | 500~600kVA/t; |
| 超高功率电炉 | 700~1000kVA/t. |

我国 GB 10067.2—88 规定的新电弧炉系列就体现了这一趋势。

(2) 采用短电弧操作 如通过增高电压来提高功率,则会因电弧长而使对炉衬的辐射增大,而且还将工作电流和短路电流的差值增大、电网电压的波动增强。采用大电流、短电弧操作,可提高热效率并减轻对电网的干扰。

由于炉体结构的限制,在增大工作电流时不可能大幅度增大电极的直径,因此,近年来研制了高功率石墨电极、超高功率电极和抗氧化涂层石墨电极。我国已有的相关标准是:高功率石墨电极(YB 4089—92)超

高功率电极(YB 4090—92)和抗氧化涂层石墨电极(YB/T5214—93),具体要求参见第一章。

(3) 改善三相交流电弧炉的功率平衡 由于电弧炉二次回路的三相导线长度不同,三相的阻抗也不同。二相功率最大,一相功率最小。这种三相功率不平衡的情况,随二次电流的增大而更为显著,导致热点区炉衬早期损坏。超高功率电炉,通常对短网作如下的改进。

1) 按几何均距法对各相电抗进行分析,改变各相导线之间的距离,使三相的电抗平衡。

2) 将二相导线位置提高,使三相导线处于等边三角形的三个顶点,以保证三相导线耦合。

2.2.1.2 直流电弧炉 直流电弧炉是一种新型冶炼设备,其主要优点是作业时噪声小、石墨电极的耗量大幅度降低。缺点是设备费用高。

国外多采用单电极直流电弧炉。我国已研制一种与国外不同的直流电弧炉,即双电极磁镜式电弧炉,于1986年获国家专利,具体规格见表2-81。

表 2-81 WTD 系列双电极磁镜式直流电弧炉

| 项 目 | 单 位 | 规 格 | | | | | | | | | |
|---------------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | WTD -0.5 | WTD -1.5 | WTD -3 | WTD -5 | WTD -10 | WTD -15 | WTD -20 | WTD -25 | WTD -30 | WTD -40 |
| 额定容量 | t | 0.5 | 1.5 | 3 | 6 | 12 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 |
| 允许超装容量 | t | 1 | 2.5 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 |
| 变压器额定容量 | kVA | 630 | 1250 | 2000 | 3150 | 5000 | 6300 | 8000 | 10000 | 12500 | 16000 |
| 直流电压 | V | $\frac{270}{132}$ | $\frac{284}{140}$ | $\frac{284}{140}$ | $\frac{297}{149}$ | $\frac{324}{163}$ | $\frac{351}{188}$ | $\frac{351}{188}$ | $\frac{378}{257}$ | $\frac{424}{157}$ | $\frac{477}{185}$ |
| 直流电流 | A | 2228 | 4210 | 6735 | 10125 | 14730 | 17134 | 21760 | 29460 | 32736 | 37100 |
| 石墨电极直径 | mm | φ150 | φ200 | φ250 | φ300 | φ350 | φ350 | φ400 | φ450 | φ500 | φ500 |
| 炉壳直径 | mm | 1600 | 2100 | 2500 | 2800 | 3500 | 3700 | 4000 | 4300 | 4600 | 5000 |
| 电极上升速度 | m/min | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.0 | 4.5 | 5 | 5.5 | 6 |
| 电极响应时间 | s | $\frac{0.15}{0.1}$ | $\frac{0.15}{0.1}$ | $\frac{0.15}{0.1}$ | $\frac{0.15}{0.1}$ | $\frac{0.15}{0.1}$ | $\frac{0.15}{0.1}$ | $\frac{0.15}{0.1}$ | $\frac{0.1}{0.07}$ | $\frac{0.1}{0.07}$ | $\frac{0.1}{0.07}$ |
| 电极下降速度 | m/min | 1.2 | 1.5 | 1.8 | 2.0 | 2.5 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 3.8 | 4 |
| 变压器二次接线 | | △ | △或 △—12 △—6 | △—12 △—6 | △—12 △—6 | △—12 △—6 | △—12 △—6 | 三组 | 四组 | 四组 | 四组 |
| 整流方式 (不可控) | | 二极管 | 二极管 | 三相桥 二组并 | 三相桥 二组并 | 三相桥 二组并 | 三相桥 二组并 | 三相桥 三组并 | 三相桥 四组并 | 三相桥 四组并 | 三相桥 四组并 |
| 电极控制方式 | | KZY | KZY | KZY | KZY | KZY | KZY | KZY | 液压 | 液压 | 液压 |

交流电弧炉和直流电弧炉的比较,见表 2-82。

表 2-82 交流与直流电弧炉的比较

| 序号 | 项 目 | 交流电弧炉 | 直流电弧炉 |
|----|--|--|---|
| 1 | 电弧稳定性 | 差,每秒点燃熄灭 100 次,在熔化初期,易形成短路,对电力网产生闪烁效应 | 无自然的点、灭过程,稳定性好 |
| 2 | 电极消耗量 | 电极表面崩碎损耗大,单位能耗的电极消耗率为 $6\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ | 约为 $1.4\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ |
| 3 | 噪声污染程度 | 电弧产生 100Hz 频率的噪声,这种低频噪声难以隔声或吸声消除 | 噪声频率 300Hz 以上,而声量低,易于采取措施降低 |
| 4 | 电能消耗($\text{kW}\cdot\text{h}/\text{t}$ 钢) | 较高 | 较低(低 3%~5%) |
| 5 | 炉壁耐火材料烧损 | 靠近炉壁部分烧损严重 | 炉壁距电极远,烧灼轻 |
| 6 | 电弧长度 | 较短 | 较长,有利于减少钢液增碳 |
| 7 | 电磁搅拌作用 | 交变磁场,不会产生机械搅拌作用 | 恒定方向的磁场产生机械搅拌作用,使成分、温度均匀 |

2.2.1.3 电弧炉炉衬 按照所用的炉衬材料不同,电弧炉可分为碱性炉和酸性炉。碱性炉造碱性炉渣,可在冶炼过程中脱磷、脱硫,对炉料的要求不太严格。酸性炉造酸性渣,不能脱除磷、硫,但炼钢的能耗较碱性炉低,且钢液的流动性好,有利于浇注薄壁铸件。

1. 炉体耐火材料的砌筑 碱性电弧炉炉衬的结构,见图 2-9。打结镁砂层采用粒度为 2~8mm 的镁砂,且应粗细兼有,粘结剂用脱水煤焦油或卤水。打结层的也可用煅烧白云石代替镁砂。

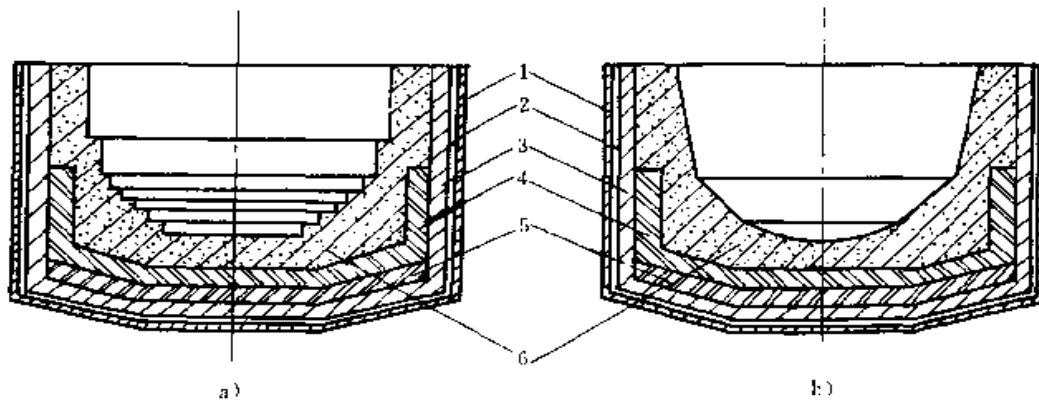


图 2-9 碱性电弧炉的炉衬结构

a) 阶梯式 b) 平滑蝶式

1—炉壳钢板 2—8~15mm 厚石棉板(补偿耐火砖受热膨胀并绝热用) 3—115mm 厚侧砌镁砖
4—115mm 厚直砌镁砖 5—65mm 厚平砌粘土砖(绝热层) 6—打结镁砂层

酸性电弧炉用硅砖砌筑,打结层则用水玻璃粘结的硅砂。

2. 炉盖 电弧炉的炉盖通常用砌火砖砌成,外沿为钢板制成的水冷炉盖圈,见图 2-10。碱性电炉的炉盖一般用高铝砖砌筑,酸性电炉则用硅砖砌筑。

2.2.1.4 交流电弧炉的合理用电规范 电炉炼钢是能耗很高的作业,节约电能是炼钢的重要课题。根据电炉的特性曲线确定作业电流,并按熔炼各时期的特

点规定用电规范,是节电的重要措施。

1. 作业电流 图 2-11 是交流电弧炉的特性曲线示意图。每一电炉,都可在测定线路各部分的阻抗后,就不同的电压作出这样的曲线。

由图 2-11,可以知道以下几点。

1) 在一定的电压下,随着电流的增大,自电网得到的有效功率 P_1 增大。到达 P_1 曲线的峰值点以后,继续增大电流, P_1 不但不增大,反而急剧下降。

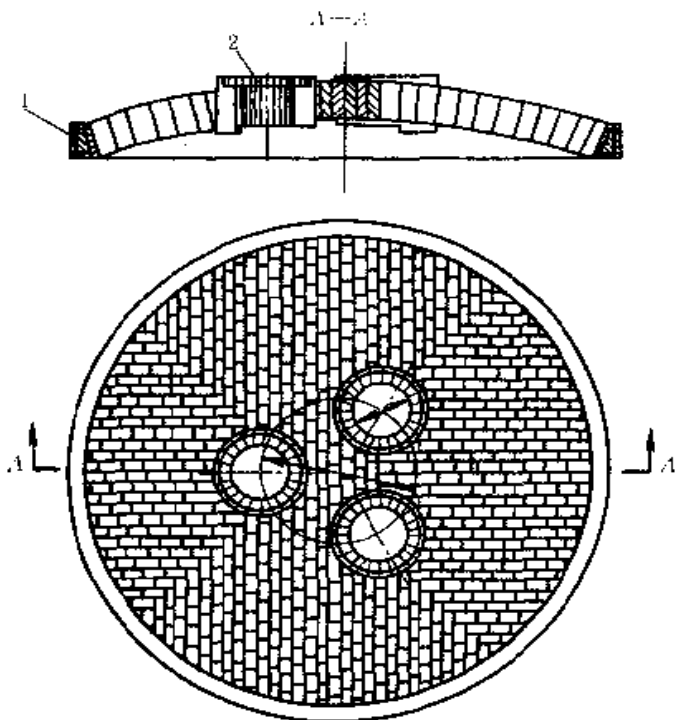


图 2-10 砖砌电弧炉炉盖
1—水冷炉盖圈 2—电极孔砖

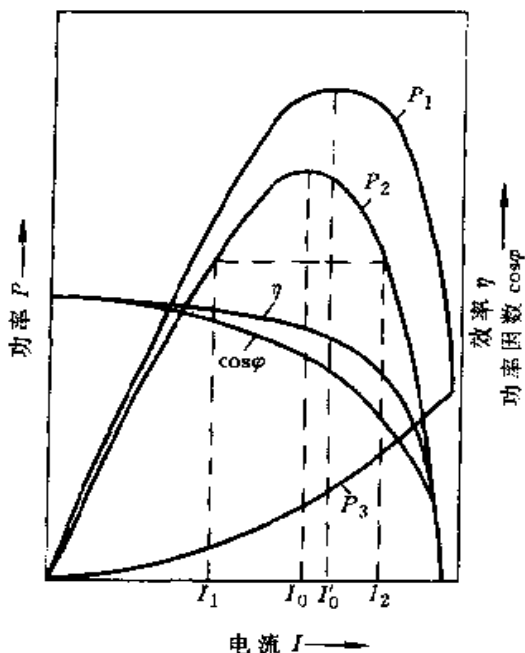


图 2-11 交流电弧炉特性曲线示意图
 P_1 —电炉自电网得到的有效功率
 P_2 —实际上用于炼钢的有用功率
 P_3 —损失功率
 η —电炉效率
 $\cos\phi$ —电炉的功率因数

这是因为设备的功率因数下降、无功功率增大。可见，用过大的电流操作并无益处。

2) 实际上用于炼钢的有用功率 P_2 的峰值与 P_1 的峰值所对应的电流并不相同。一般情况下， P_2 峰值对应的电流 I_0 总是小于 P_1 峰值对应的电流 I'_0 。 P_1 最大时，由于电器设备发热而损失的功率 P_3 增大，效率 η 下降，有用功率 P_2 并不最大。从炼钢的角度来看，需要 P_2 最大。所以，电弧炉运行的工作电流应是 I_0 ，无论如何也不能超过 I'_0 。

3) 目前还不可能用仪表显示有用功率 P_2 并用以控制电炉的供电，通常采用电流控制。电流控制是灵敏的，但如无特性曲线作依据，则很可能导致效率降低，电耗增大。例如，当工作电流为 I_1 时，感到有用功率不足而加大电流，当然是应该的。但是，如盲目将电流增加到 I_2 ，输入功率几乎增加一倍，而有用功率实际上并未增加。

2. 作业电压 电炉运行的工作电压愈高，则输入功率愈大。但是，电压愈高，则电弧愈长，对炉墙和炉盖的辐射增强，热损失增大。

只有在熔化期间，电弧埋入炉料以后才可用最高电压，正好这时需要最大的功率。

氧化期间，钢液处于沸腾状况，且此时炉渣黑度系数大、易于吸热，电弧的能量较易于传递到钢液和炉渣，故可用较高的工作电压。由于此时电弧是裸露的，不宜用最高电压。

还原期间，钢液是静止的，不利于提温，而且这时炉渣的黑度系数小，较易反射电弧的热量于炉衬。此时，应避免电弧过长，宜用低作业电压。

2.2.2 碱性电弧炉炼钢

2.2.2.1 氧化法 氧化法是最基本的冶炼方法，可生产碳钢、低合金钢和各种高合金钢，其他冶炼方法是在此基础上发展起来的。

1. 修补炉衬 炼钢过程中，炉衬受到高温炉渣和钢液的侵蚀和电弧的辐射而损坏，每炼一炉钢后应认真修补炉衬。正确地补炉能延长炉衬的寿命，并可使冶炼过程顺利。

出钢后立即用镁砂或白云石混和粘结剂（卤水、焦油、沥青等）补炉。补炉用的耐火材料颗粒应较细（2~4mm），并应在高温条件下快补，使补炉材料能自行烧结。

补炉后在炉底铺薄层石灰，约占装料重的 1%~1.5%。

2. 装料 一般采用顶装料方式，要求上松下实，力求一次装完。

炉料的配比，应使熔清后钢液的含碳量比规格上

限高0.2%以上。

3. 熔化期 在电弧埋入金属炉料之后,用最高电压、最大功率用电,以加速炉料的熔化。电弧稳定后,立即撤除电抗。

在炉料已熔60%或未熔钢料温度在900℃以上,可吹氧助熔,使大块钢料及炉坡附近的炉料迅速熔化。

在炉料大部熔清后,应加造渣料,以利于脱磷。

4. 氧化期 氧化期的主要任务是:

(1) 脱磷 熔化末期、氧化初期是脱磷的最好时机。为此,应造成高碱度、富氧化铁且流动性好的泡沫渣,渣量为钢液的3%~5%。可利用前期的沸腾使大部分炉渣自行流出,并补加造渣料。氧化结束时,磷应少于规范上限的一半。

(2) 去除气体和夹杂物 碳的氧化使钢液呈沸腾状,可有效地排除气体和夹杂物。一般要求脱碳量是:碳钢>0.20%;合金钢>0.30%。由于低温氧化对钢的品质(质量)不利,加矿石脱碳时,钢液温度应高于1570℃。吹氧脱碳时,钢液温度应高于1560℃。

(3) 调整合金成分 Ni、Mo、W、Co、Cu等不易氧化的合金元素可在氧化期加入。

(4) 调整钢液温度 氧化末期钢液温度应比出钢温度高20~30℃。

5. 还原期 还原期的任务是:

(1) 脱氧 通常采用沉淀脱氧和扩散脱氧结合的方式。清除氧化渣以后,按Mn的规格下限加入锰铁,按加Si 0.1%~0.20%加入硅铁,并立即造稀薄渣覆盖钢液。此后,按钢的含碳量造白渣,弱电石渣或电石渣进行扩散脱氧(表2-83)。电石渣脱氧能力较白渣强,但钢液增碳较多,故用于含碳较高的钢。电石渣的粘度大,出钢过程中易于被钢液卷入而造成非金属夹杂物过多,出钢前应予以破坏,使其变为白渣。

表 2-83 还原渣的应用

| 钢的含碳量 (%) | <0.35 | 0.35~0.60 | >0.60 |
|-----------|-------|-----------|-------|
| 炉渣种类 | 白渣 | 弱电石渣 | 电石渣 |

还原渣造渣方法见表2-84。

表 2-84 还原渣造渣方法

| 炉渣种类 | | 白渣 | | 弱电石渣或电石渣 | | |
|---------------------|---------------------|-------------|-------|--------------------------------------|-------|--|
| 造渣 | 一次性加入全部渣料 (kg/t 钢) | 石灰 | 8~12 | 8~12 | | |
| | | 氟石 | 1~2 | 2~4 | | |
| | | 炭粉 | 1.5~2 | 2~3 (弱电石渣) ^① 4~5 (电石渣) | | |
| 加料后至形成良好渣所需时间 (min) | | 10~15 | | 15~20 | | |
| 调整炉渣 | 钢液在良好还原渣下还原时间 (min) | | 20~30 | | 15~25 | |
| | 分批加料时间间隔 (min) | | 6~8 | | 8~12 | |
| | 每批加入渣料 (kg/t 钢) | 石灰 | 4~6 | 4~6 | | |
| | | 碳粉 | | 1~2 | | |
| | | 硅铁粉 | 2~3 | | | |
| 最后一批渣料加入时间 | | 不晚于出钢前 7min | | 不晚于出钢前 12min | | |

① 也可直接加入电石代替碳粉造电石渣。

(2) 脱硫 如炉渣碱度 ≥ 2.5 、(FeO) < 1.0%、流动性好,而且钢液温度较高。脱硫率一般可达50%~70%。

(3) 调整钢液的成分和温度 除前述几种元素可在氧化期加入外,大部分合金都在还原期加入,见表2-85。

表 2-85 合金加入量及加入时间

| 合金名称 | 合金加入量 (%) | 加入时间 (min) | 操作要求 | 回收率 (%) |
|------|-----------|------------|-----------------------|---------|
| 硅铁 | <3 | 出钢前 10~20 | 中期调整 出钢前 10min 调整完 | 95~97 |
| 锰铁 | <20 | 还原初期 | | 95~97 |
| 铬铁 | <20 | 还原初期 | | 95~97 |
| 镍 | <10 | 装料或熔清前 | | 97~99 |
| 钨铁 | <1 | 装料或熔清前 | | 97~99 |

(续)

| 合金名称 | 合金加入量 (%) | 加入时间 (min) | 操作要求 | 回收率 (%) |
|------|-----------------------|------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 钒铁 | <0.3 | 出钢前 10~15 | 渣中 FeO ≤ 0.5% | 80~95 |
| 钛铁 | <0.5 | 出钢前 5~10 | 渣中 FeO ≤ 0.5%，注意回硅 | 40~60 |
| 钨铁 | <0.1 | 出钢前 10~15 | 注意充分搅拌 | 80~95 |
| 钨铁 | <3 | 氧化末期或还原初期 | 出钢前 30min 调整完 | 80~95 |
| 氯化锰铁 | N ₂ < 0.35 | 还原前期 | 出钢前 15min 调整完 | N ₂ 65~80 Mn 95~97 |
| 氯化铬铁 | N ₂ < 0.35 | 还原前期 | 出钢前 15min 调整完 | N ₂ 80~90 Cr 95~97 |
| 铝 | 6~9 <1.0 | 出钢前插入炉内 | | 90 70~85 |
| 硼铁 | <0.005 | 出钢槽内或包内 | 渣中 FeO ≤ 0.5%，炉内插铝，后加 Ti-Fe | 40~60 |
| 硅钙 | — | 出钢槽内或包内 | | Si 50~80 |

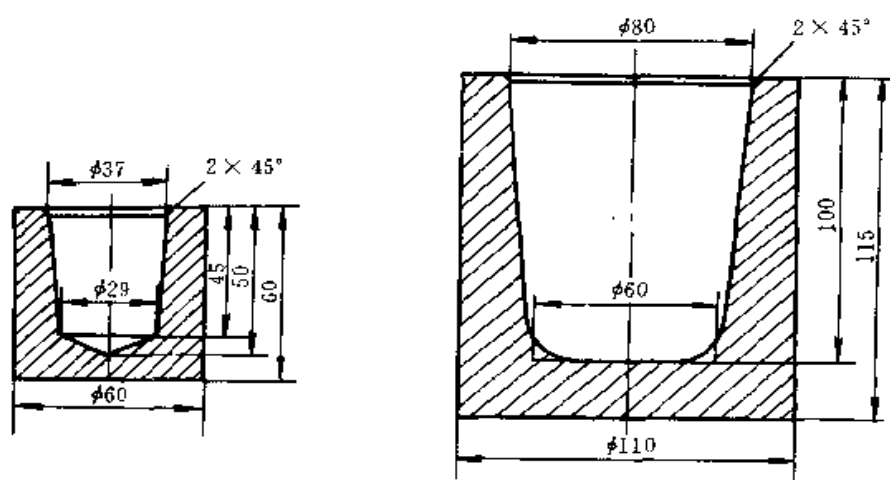


图 2-12 圆杯试样用铸型

(4) 脱氧程度的检验 加铝进行终脱氧前，取钢液浇注圆杯试样以判断脱氧是否良好。圆杯试样所用的铸型见图 2-12。

如试样顶面因收缩而有显著的凹陷，表示脱氧良好。

试样表面凹陷不明显或不凹陷，表示脱氧不良。

试样表面凸起，表示脱氧很差。

(5) 确认钢液脱氧良好后，如钢液温度合适，即加铝进行终脱氧，准备出钢。加铝方法见表 2-86，加铝量见表 2-87。

表 2-86 终铝脱氧加铝方法

| 加铝方式 | 插 铝 | 冲 铝 |
|------|------------------------------|---|
| 操作要点 | 将铝固定在钢钎端部，于出钢前 2~3min 插入钢液搅动 | 出钢过程中，钢液在钢包内上升至 1/4 高度时，将铝块投入出钢槽内，用钢液冲熔 |
| 特点 | 方法复杂，但能保证铝被钢液熔化，吸收，效果好 | 方法简便，但有时铝块易被炉渣包住，脱氧效果不好 |

表 2-87 终脱氧加铝量

| 钢 液 用 途 | 加铝量 (%) ^① | |
|---------|----------------------|------|
| 浇注铸件 | 湿型 | 0.15 |
| | 干型 | 0.10 |
| 浇注铸锭 | 中、低碳钢 | 0.08 |
| | 高碳钢 | 0.06 |

① 指加铝量占钢液质量比例。

6. 出钢 钢液出炉温度应考虑适宜的浇注温度和出炉后钢液的温度下降。

出钢温度 = 浇注温度 - 出钢过程降温 + 包中停留降温

碳钢的浇注温度，见表 2-88。出钢降温及钢包中停留降温，见表 2-89。

表 2-88 碳钢的浇注温度

| 钢的含碳量 (%) | 浇注温度 (°C) |
|-----------|-----------|
| 0.10~0.20 | 1540~1560 |
| 0.20~0.30 | 1530~1550 |
| 0.30~0.40 | 1520~1540 |
| 0.40~0.50 | 1510~1530 |
| 0.50~0.60 | 1500~1520 |

表 2-89 出钢降温及钢包中降温

| 钢液重量 (t) | 1 | 3 | 5 | 10 | 15 |
|-------------------|--------|-------|-------|-------------|-------|
| 出钢降温 (°C) | 80~100 | 70~90 | 60~80 | 50~70 | 40~60 |
| 钢包中降温 (°C/min) | 4~6 | 3~4 | 2~3 | 1.8~ 2.5 | 1.5~2 |

常用的低合金钢的出钢温度, 见表 2-90。

7. 几种常用钢种用氧化法熔炼的工艺要点碳钢的氧化法冶炼工艺要点见表 2-91。ZG20CrMo 的氧化法冶炼工艺要点, 见表 2-92。ZG1Cr18Ni9Ti 的氧化法冶炼工艺要点, 见表 2-93。ZGMn13 的氧化法冶炼工艺

要点, 见表 2-94。

表 2-90 低合金钢的出钢温度

| 牌 号 | 出钢温度 (°C) |
|-----------|-----------|
| ZG16Mn | 1620~1640 |
| ZG20CrMn | 1610~1630 |
| ZG20MnMo | 1600~1620 |
| ZG20MnSi | 1600~1620 |
| ZG35CrMo | 1600~1620 |
| ZG35MnSi | 1590~1610 |
| ZG40Cr | 1590~1610 |
| ZG5CrMnMo | 1580~1600 |

表 2-91 碳素钢的氧化法冶炼工艺要点

| 冶炼阶段 | 工 艺 要 点 |
|------|---|
| 熔化期 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 电极下垫焦炭块, 使电弧稳定, 并用较低的电压, 电流 2. 电极进入炉料后, 用最大功率送电 3. 炉料已熔 60% 以上时, 可吹氧助熔 4. 熔化末期, 降低作业电压 |
| 氧化期 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 如炉料含磷量高, 氧化期初期, 可出渣二分之一左右, 并补加渣料 2. 如用矿石氧化, 应在钢液温度在 1570°C 以上时开始分批加入矿石, 每吨钢脱碳 0.01%, 约需矿石 1kg 3. 如用吹氧脱碳, 应在钢液温度高于 1560°C 时吹氧, 吹氧压力 0.6~0.8MPa, 每吨钢液每脱 0.1% 的碳, 约耗氧气 1.5~2m³ 4. 最后一批矿石加入后, 或吹氧结束后, 保持净沸腾 10min 以上 5. 含碳量比规格下限低 0.05% 左右, 钢液温度比出钢温度高 20~30°C, 含碳量低于规格下限, 可扒除氧化渣 |
| 还原期 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 参照表 2-83 和表 2-84 加入还原渣料, 同时按规格下限加入锰铁, 按加硅 0.15%~0.20% 加入硅铁 2. 还原期用低电压, 大电流供电 3. 渣料熔化后加炭粉, 撒在表面, 关闭炉门, 15min 后取样分析 4. 不断观察炉渣状况, 每次开启炉门后, 均应加入少量炭粉 5. 整个还原期内保持白渣, 造电石渣时, 应在出钢前使其变为白渣 6. 根据炉前分析结果调整钢液成分。 |
| 出钢 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 出钢条件: 钢液化学成分符合控制目标值 脱氧良好 温度符合要求 2. 加铝终脱氧 (插铝或冲入) |

表 2-92 ZG20CrMo 的氧化法冶炼工艺要点 (参照表 2-91)

| 冶炼阶段 | 工 艺 要 点 |
|------|---|
| 熔化期 | 同表 2-91, 但在熔化末期加入铝铁 |
| 氧化期 | 同表 2-91 |
| 还原期 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 加入还原渣料, 加锰铁和硅铁预脱氧, 渣料熔化后加入预热过的铬铁, 撒加炭粉, 造白渣还原 2. 铬铁熔清后, 取样分析化学成分, 并取渣样 3. 根据分析结果, 调整钢液成分 4. 钢液温度 1610~1630°C, 作圆杯试验, 检查脱氧是否良好 |
| 出钢 | 同表 2-91 |

表 2-93 ZG1Cr18Ni9Ti 氧化法冶炼工艺要点

| 时期 | 序号 | 工 序 | 操 作 要 点 |
|-------------|----|---------|---|
| 熔 化 期 | 1 | 通电熔化 | 用最大功率供电, 熔化炉料 |
| | 2 | 助熔 | 推料助熔, 熔化后期加入 2%~3% 渣料及适量矿石 (视含磷量而定), 熔化到 60%~80% 可以吹氧助熔, 并加入矿石 1%, 末期适当减小送电功率 |
| | 3 | 取样、扒渣 | 熔清后搅拌, 取 1 号样分析 C、P、Ni (要求 C: 0.25%~0.45%, $P \leq 0.010\%$) 扒除全部渣后, 补 2% 的渣料 |
| 氧 化 期 | 4 | 脱碳 | 钢液达 1560℃ 以上时, 吹氧脱碳, 氧压 0.6~0.8MPa, 耗氧 12~18m ³ /t 钢 |
| | 5 | 估碳、取样 | 碳降至 0.1% 以下时, 升高电极, 停止供电, 继续吹氧, 降至 0.04% 时, 停止吹氧, 搅拌钢液, 取 2 号样, 分析 C、P |
| 还 原 期 | 6 | 预脱氧、加铬铁 | 加低碳锰和硅钙预脱氧, 快速加入烤红的铬铁 (全部量的 2/3), 并加硅钙粉还原, 恢复通电, 用大功率, 熔化铬铁, 熔清后加另 1/3, 继续加硅钙粉还原, 适当减小功率 |
| | 7 | 取样、扒渣 | 铬铁熔清后, 渣色由黑变绿时, 取 3 号样, 分析 C、P、Si、Mn, 扒除绝大部分渣, 补入新渣料, 用混合还原剂 ^① 还原, 渣变白时, 取样分析 (FeO) 要求小于 0.5%, 测钢液温度 |
| | 8 | 调整成分 | 根据分析结果调整成分, 继续用混和还原剂还原 |
| | 9 | 加钛铁 | 温度 1640~1660℃ 时, 作圆杯试样, 良好, 即可升高电极停电, 插铝 0.5kg/t 钢, 推开渣加入钛铁 |
| 出 期 | 10 | 出钢 | 插铝 0.8kg/t 钢, (铝稍过量比) 终脱氧, 出钢 |

① 混合还原剂含硅铁粉 1/3, 硅钙粉 2/3, 每吨钢用量约 5kg。

表 2-94 ZGMn13 氧化法冶炼工艺

| 时期 | 序号 | 工 序 | 操 作 要 求 |
|-------------|----|--------|---|
| 熔 化 期 | 1 | 通电熔化 | 用允许的最大功率供电, 熔化炉料 |
| | 2 | 助熔 | 推料助熔, 熔化后期加适量渣料及矿石, 炉料熔化至 60%~80%, 可吹氧助熔, 末期减小供电功率 |
| | 3 | 取样、扒渣 | 炉料全熔后, 搅拌, 取 1 号样, 分析 C、P, 根据 P 的高低, 确定扒除全部或大部分渣, 另造新渣 |
| 氧 化 期 | 4 | 氧化脱碳 | 温度 1560℃ 以上, 渣流动性良好, 吹氧脱碳, 氧压 0.6~0.8MPa |
| | 5 | 估碳、取样 | 估计碳降至 0.22% 左右时, 停止吹氧, 搅拌钢液取 2 号样, 分析 C、P (要求 $P \leq 0.015\%$, 方可扒除氧化渣) |
| 还 原 期 | 6 | 预脱氧 | 扒除氧化渣后, 加锰铁 5~10kg/t 钢, 加稀薄渣料 |
| | 7 | 加锰铁、还原 | 稀薄渣形成后, 加入烤红的锰铁, 即造电石渣还原, 还原 15min 后, 将电石渣变为白渣 |
| | 8 | 取样 | 锰铁熔清后, 经充分搅拌, 取 3 号样, 作全分析, 并继续还原, 取渣样分析, 要求 (FeO) $\leq 0.5\%$ |
| | 9 | 调整成分 | 根据分析结果, 调整成分 (Si 应在出钢前 10min 内调整) |
| | 10 | 作弯曲试样 | 浇弯曲试样检验, 不合格继续试验至合格 |
| 出 钢 | 11 | 测温 | 出钢温度 1470~1490℃, 作圆杯试样, 检查脱氧情况 |
| | 12 | 出钢 | 温度及成分合格后, 脱氧良好, 即可停电升起电极, 插铝 1.0kg/t _钢 终脱氧, 出钢 |

2.2.2.2 不氧化法炼钢 不氧化法冶炼实质上是重熔。将铁合金、返回料和计算好的其他炉料一同装炉，全部炉料熔清后即开始还原。此法有合金元素烧损少、熔炼时间短、电耗少和劳动强度低等优点，但对炉料的要求很严，适于冶炼含碳量较高的高合金钢，如高锰钢、高速钢和某些耐热钢。

为排除部分气体和非金属夹杂物，可在炉底装少量石灰石（约为装料的1%），待接近炉料熔清时，石灰石分解产生 CO_2 逸出，造成钢液沸腾，可有一定的净化作用。生产中还可采用低压吹氧（ $<0.4\text{MPa}$ ），使钢液少量脱碳并沸腾。吹氧应在钢液温度较高时进行，以减少合金元素的烧损。吹氧后应立即用扩散脱氧法使炉渣和钢液中的 FeO 还原。

2.2.2.3 返回料吹氧熔炼法 自电弧炉广泛采用氧气炼钢后，在不氧化法的基础上，返回料吹氧法有了很大的发展。可以利用相同钢种的返回料，熔炼各种高合金钢。其操作要点是：

(1) 严格配料 返回料可用到50%~80%，余下的应配入所需的铁合金和干净的废钢。

(2) 高温高压吹氧 为防止Cr、Mn等合金元素氧化，严禁低温吹氧。为减少合金元素的损失，应在钢液温度够高时，以高压吹氧（1.5~2.0MPa），吹氧量为 $4\sim 6\text{m}^3/(\text{min}\cdot\text{t})$ 。

(3) 氩-氧混吹 熔炼高合金钢时，为避免钢液含氧量太高和温度过高，可采用氩氧混吹。

(4) 吹氧结束后，加Ca-Si粉、Fe-Si粉于炉渣上面脱氧约8~10min，取样分析。然后根据分析结果，加入合金以调整成分。

2.2.2.4 单渣熔炼法 与碱性平炉的冶炼相似，适用于生产品质（质量）要求不太高的铸钢件

在熔化末期、氧化初期进行脱磷作业。待钢液温度升到 1560°C 以上后，加矿石（或吹氧）沸腾脱碳。脱碳量 $\geq 0.20\%$ 后，让钢液净沸腾。

净沸腾结束时，按含Mn量的中限加锰铁并按加硅0.20%~0.30%加入硅铁。待钢液温度合适时，即可出钢。此时，按含硅量的要求将硅铁或硅钙合金加在包内，同时按铝钢质量比 1kg/t 加铝。

2.2.3 酸性电弧炉炼钢

酸性电弧炉所用的耐火材料主要是硅质砖和硅砂，价格较碱性耐火材料便宜，而且炉衬寿命较长。

酸性电弧炉冶炼时间比碱性电弧炉短得多，而且酸性耐火材料的热导率约为碱性耐火材料的1/4，通

过炉衬损失的功率比碱性炉小。因此，酸性炉炼钢的能耗比碱性电炉低很多。

酸性电弧炉所炼的钢，所含的气体和夹杂物都较少。在相同的温度下，钢液的流动性比碱性炉炼的钢好。这对于制造薄壁和结构复杂的铸件是很有利的。

上面说到了酸性电弧炉炼钢的主要优点。其缺点则是不能进行脱磷、脱硫操作，要求用低磷硫废钢作炉料，因而限制了它的发展。在废钢质量有保证的条件下，用酸性电弧炉熔炼铸造用碳钢和低合金钢是十分可取的。

酸性电弧炉熔炼时，熔化时间约占整个熔炼期的3/4，氧化期和还原期都很短，冶金反应的变化快，要严密注意炉渣和钢液的变化，尤其是钢液的碳、硅含量。

氧化期可借加入铁矿石或吹氧进行脱碳沸腾。当炉渣温度很高时，炉渣中的 SiO_2 可以被还原而得硅，从而使钢液脱氧而停止钢液的沸腾。这种情况通常称之为“硅还原”。出现硅还原时，应放出部分炉渣，并加入石灰以抑制 SiO_2 的还原，使炉渣中约含 $\text{CaO}30\%$ 。

冶炼过程中，炉渣随钢液的温度和化学成分而变化。在氧化期，炉渣中 FeO 含量一般为25%~40%，渣冷却后呈黑色，断口致密。氧化终了时，炉渣中 FeO 含量为12%~20%，逐渐变为绿色。在沸腾脱碳到达终点时，扒去部分氧化渣，并加入干燥的硅砂造渣，即可制止沸腾。

酸性电弧炉冶炼，通常采用单渣法，即不扒除氧化渣。开始还原时，先加锰铁预脱氧，然后加炭粉进行扩散脱氧。还原期一般为15~20min，钢液温度合适时，即调整成分、出钢。

2.3 平炉炼钢

平炉以煤气或重油为燃料，和预热送风相结合，产生的高温火焰直接喷射到熔池表面，熔化炉料并冶炼钢液。平炉容量较电弧炉大，从几十吨到几百吨。目前，我国几个大型重机厂都是用平炉炼钢浇注重型铸件。

按砌筑炉衬所用耐火材料的性质，平炉可分为碱性平炉和酸性平炉。

2.3.1 平炉的结构

平炉容量较大，一般都是固定不可倾动的，其结构见图2-13。

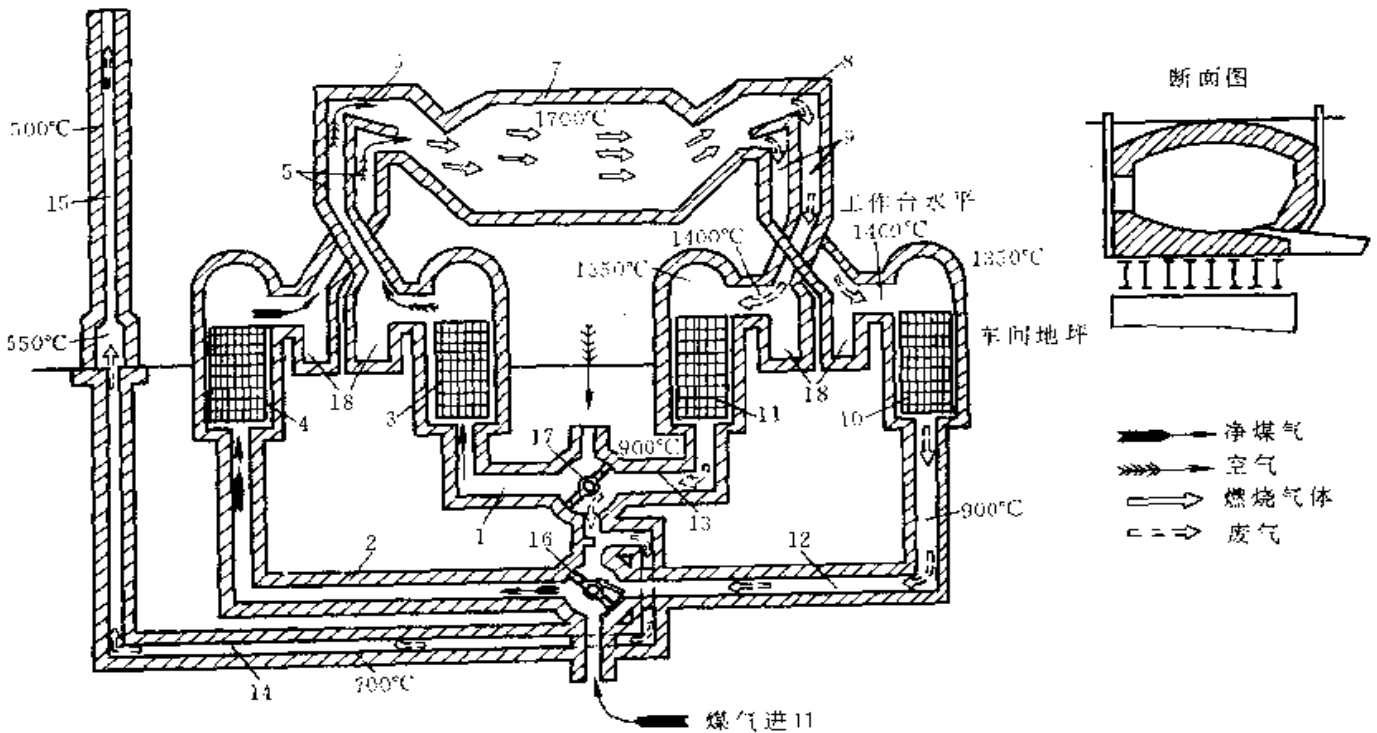


图 2-13 平炉的结构示意图

- 1、13—空气支烟道 2、12—煤气支烟道 3、11—空气蓄热室 4、10—煤气蓄热室
 5、9—上升道 6、8—炉头 7—熔炼室 14—总烟道 15—烟罩
 16—煤气换向阀 17—空气换向阀 18—沉渣室

表 2-95 是三种平炉的熔池尺寸，供参考。

表 2-95 三种平炉的熔池尺寸

| 名称 | 炉容量 (t) | | |
|------------------------|---------|------|-------|
| | 35 | 50 | 60 |
| 炉底面积 (m ²) | 23.0 | 29.0 | 32.67 |
| 熔池长度 (m) | 7.65 | 8.65 | 8.95 |
| 熔池宽度 (m) | 3.0 | 3.35 | 3.65 |
| 熔池深度 (m) | 0.55 | 0.60 | 0.625 |
| 熔池长度比 | 2.55 | 2.58 | 2.45 |
| 容量与炉底面积比 | 1.52 | 1.72 | 1.83 |
| 炉底高度 (m) | 1.95 | 2.05 | 2.20 |

2.3.2 碱性平炉炼钢

碱性平炉在冶炼过程中造碱性渣，能有效地脱磷、脱硫，对炉料的要求宽，得到广泛的应用。

碱性平炉炼钢法按照炉料中生铁与废钢的比例不同可分为矿石法、废钢矿石法和废钢法。重型机械厂的平炉车间一般采用固体生铁和废钢作炉料的废钢矿石法炼钢。

碱性平炉炼钢过程分为补炉、装料、熔化、精炼、脱氧及合金化、出钢几个时期。

(1) 补炉期 指前一炉钢出完至本炉第一槽料装入为止的时间。主要任务是修补由于加料时的机械作用以及高温下炉渣与钢液的侵蚀作用而产生的炉料损坏部位，以保持熔池的正常形状和尺寸。

(2) 装料期 从装入第一槽料起至装完最后一槽料止为装料期。这个时期与整个熔化时间的 20% 左右，在很大程度上影响熔化和精炼时间的长短。在尽量加速装料的同时，要求合理布料，烧好、烧透炉料，以加速其熔化。

(3) 熔化期 废钢矿石法（冷装法）的熔化期是指从最后一槽料装完至料熔毕这段时间，占全部熔炼时间一半以上。

(4) 精炼期 从熔毕至脱氧或出钢（炉后脱氧）为止的一段时间称精炼期。这一阶段的作用是：脱除钢中的气体和非金属夹杂物，使钢液的温度达到要求，调整合金成分。做好氧化沸腾是作业的关键，加矿石沸腾后，要有一段净沸腾期。

(5) 脱氧及合金化 是指向炉内加入脱氧剂开始至出钢为止这一阶段。按照脱氧程度不同可将平炉钢分为三类：沸腾钢、半镇静钢和镇静钢。用于浇注铸件的都是镇静钢。生产镇静钢可采用两种方法：

1) 炉内预脱氧和包内补充脱氧，即在炉内加锰

铁、包内加硅锰合金及铝；或是炉内加锰铁、硅铁（或硅锰合金），包内加硅铁和铝脱氧。炉内脱氧的优点是：可以准确控制钢的成分；成品钢中非金属夹杂物含量较少；可以避免因大量脱氧剂的加入降低钢液温度。

2) 钢包内脱氧，即向沸腾的熔池内加入铁合金进行合金化，再于钢包中按次序加入锰铁、硅铁及铝。其优点是：脱氧剂耗量少；冶炼时间可缩短 10~15min；硅铁不加在炉内，炉衬腐蚀减轻；成品钢中含氮低、含磷较低。

(6) 出钢 采用炉内脱氧及合金化时，操作完成后，镇静一定时间（5~10min），即可出钢。

2.3.3 酸性平炉炼钢

酸性平炉熔池部分是用酸性耐火材料砌筑的，冶炼过程中造酸性渣。其优点是，由于炉衬材料和炉渣中含有大量的 SiO_2 ，熔池温度升高后，会发生硅的还原，使钢液自动脱氧。因而，炼得的钢液含氧低，可以不加或少加脱氧剂，生成的脱氧产物少，故非金属夹杂物少，且呈球形分布。酸性平炉钢比碱性平炉钢的塑性好，对白点的敏感性低。酸性平炉适宜炼碱性平炉不能炼的重要高级优质合金钢（如化工设备及电站设备中的大型锻件用钢）。

酸性平炉炼钢的缺点是不能脱除磷和硫，必须选用低磷、硫炉料。

酸性平炉炼钢的过程大致与碱性平炉炼钢相同，但在精炼和脱氧阶段有其特点。酸性平炉炼钢有硅还原法和限制硅还原法，其要点如下：

采用硅还原法时，脱氧前即发生硅还原反应，到脱氧和合金化阶段，钢中的硅含量已达到规格要求，不必加硅铁脱氧，只需加入锰铁脱氧并使之达到规格要求，然后按要求加入合金元素。每补充脱氧、出

钢。

限制硅还原法，则在精炼期间加入较多的矿石或石灰，维持熔池的沸腾并限制硅还原。到含碳量适当时，再加入硅铁和锰铁预脱氧，然后加入合金元素。再补充脱氧、出钢。

2.4 感应电炉炼钢

炼钢用的感应电炉通常都是无铁芯的，按电炉的容量用不同频率的电源。实际生产中，容量为 50~1000kg 的电炉，电源频率一般为 1000~2500Hz，称为中频感应电炉，由中频发电机或可控硅变频器供电。大容量感应电炉，可采用工业频率（我国为 50Hz）的电源，称为工频感应电炉。

与其他熔炼设备相比，用感应电炉炼钢有如下优点。

- 1) 不使用石墨电极，钢液无增碳问题。
- 2) 无高温电弧分解气体，可以制得气体含量很低的钢。
- 3) 电效率高。
- 4) 钢液有搅拌作用，温度均匀且易于调整。
- 5) 金属和合金元素的烧损少。
- 6) 便于实施在真空下或设定的有利气氛下熔炼。

感应电炉炼钢的缺点有二：

1) 炉渣靠钢液加热、温度低于钢液，对一些冶金反应不利。因此，感应电炉炼钢基本上是熔化过程，对炉料的要求很高。

2) 为保证漏磁少、电效率高，炉衬通常较薄，加之金属流不断冲刷和较大的内外温差，炉衬的寿命较短。

2.4.1 感应电炉设备

我国目前广泛采用的中频无芯感应电炉的技术规格及生产厂，见表 2-96。

表 2-96 中频无芯感应电炉主要技术规格

| 型号 | 容量 (t) | 功率 (kW) | 频率 (Hz) | 感应器电压 (V) | 输入电压 (V) | 工作温度 (°C) | 熔炼时间 (min) | 耗电量 (kW·h/t) | 冷却水耗量 (t/h) | 外型尺寸 (长×宽×高) (mm) | 生产厂 |
|------------------|--------|---------|---------|-----------|----------|-----------|------------|--------------|-------------|-------------------|----------------|
| GGW-0.06 | 0.06 | 50 | 2500 | 750 | 380 | 1600 | 60 | 1000 | 1 | 1245×1030×1095 | 湘潭电机厂 |
| GGW-0.15 | 0.15 | 100 | 2500 | 1000 | 380 | 1600 | 75 | 950 | 1 | 1245×1030×1095 | |
| GGW-0.43S | 0.43 | 250 | 2500 | 2000 | 6000 | 1600 | 75 | 940 | 5 | 2280×1920×2180 | |
| GGW-0.9Y | 0.9 | 500 | 1000 | 2000 | 6000 | 1600 | 70 | 770 | 4.5 | 2120×2700×3800 | |
| GW-0.05-50X | 0.05 | 50 | 2500 | 750 | | 1600 | 60 | 1000 | 1 | 960×560×770 | 锦州电炉厂 |
| GW-0.15-100/2.5X | 0.15 | 100 | 2500 | 1000 | 380 | 1600 | 75 | 855 | 1.5 | 1580×1200×1347 | 湘潭电机厂 锦州电炉厂 |

(续)

| 型号 | 容量 (t) | 功率 (kW) | 频率 (Hz) | 感应器电压 (V) | 输入电压 (V) | 工作温度 (°C) | 熔炼时间 (min) | 耗电量 (kW·h/t) | 冷却水耗量 (t/h) | 外型尺寸 (长×宽×高) (mm) | 生产厂 |
|------------------|--------|---------|---------|-----------|----------|-----------|------------|--------------|-------------|-------------------|------------------|
| GW-0.15-160/2.5X | 1.5 | 160 | 2500 | 1500 | 380 | 1600 | 41 | | | 1580×1200×1347 | 湘潭电机厂 |
| GW-0.5-250/2.5X | 0.5 | 250 | 2500 | 2000 | 6000 | 1600 | 85 | 800 | 2.5 | 2150×1560×1870 | |
| GW-1-500/1X | 1 | 500 | 1000 | 2000 | 6000 | 1600 | 79 | | 5.5 | 2220×1700×2271 | |
| GW-3-1000 | 3 | 1000 | 150 | 1000 | 380 | 1600 | 100 | 650 | 16 | | 锦州电炉厂 |
| GW-5-1500 | 5 | 1500 | 150 | 1000 | 380 | 1600 | 150 | 600 | 20 | | |
| GW-0.05-50J | 0.05 | 50 | 2500 | 750 | 380 | 1600 | 60 | 1000 | 1 | | 锦州电炉厂 无锡电炉厂 |
| GW-0.15-100J | 0.15 | 100 | 1000 | 750 | 380 | 1600 | 70 | 860 | 2 | 1580×1200×1347 | 湘潭电机厂 上海实验电炉厂 |
| GW-0.5-250J | 0.5 | 250 | 1000 | 2000 | 380 | 1600 | 83 | 725 | 2.5 | 2150×1560×1870 | 西安变压器 电炉厂 |
| GW-1-500J | 1 | 500 | 1000 | 2000 | | 1600 | 79 | 780 | 5.5 | 2220×1700×2271 | 无锡电炉厂 |

新系列中频无芯感应电炉的规格, 见表 2-97。

表 2-97 新系列中频无芯感应熔炼炉

| 型号 | 额定功率 (kW) | 额定电压 (V) | 坩埚容量 (t) | 额定温度 (°C) | 耗电量 (kW·h/t) |
|------------|-----------|----------|----------|-----------|--------------|
| GW0.05-50 | 50 | 380 | 0.05 | 1600 | 900 |
| GW0.15-160 | 160 | | 0.15 | | 746 |
| GW0.25-160 | 160 | | 0.25 | | 815 |
| GW0.5-250 | 250 | | 0.5 | | 700 |
| GW0.8-500 | 500 | 600 | 0.8 | | 630 |
| GW1-500 | 500 | | 1 | | 650 |
| GW2.5-2000 | 2000 | | 2.5 | | 627 |
| GW5-3000 | 3000 | | 5 | | 619 |

无芯工频感应电炉的技术规格, 见表 2-98。

表 2-98 无芯工频感应电炉的技术规格

| 序号 | 技术性能 | 电炉容量 (kg) | | | | | | | | |
|----|------------------|-----------|------|------|---------|------|------|----------|-------|----------|
| | | 100 | 150 | 250 | 400 | 500 | 700 | 1500 | 3000 | 10000 |
| 1 | 额定功率 (kW) | 100 | 100 | 130 | 135~200 | 180 | 310 | 450 | 750 | 2700 |
| 2 | 感应圈电压 (V) | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 1000 | 380 | 500 | 1000 |
| 3 | 感应圈匝数 | 70 | 54 | 46 | 40 | 36 | 60 | 18+18 | 18+18 | 16+18+18 |
| 4 | 每匝电压 (V) | 5.43 | 7 | 8.26 | 9.5 | 10.6 | 16.7 | 21.1 | 27.8 | 55.6 |
| 5 | 频率 (Hz) | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| 6 | 功率消耗 (kW/kg) | 1 | 0.67 | 0.52 | 0.43 | 0.36 | 0.43 | 0.3 | 0.25 | 0.27 |
| 7 | 炼钢生产率 (kW/h) | — | 100 | — | — | — | — | 500~700 | — | — |
| 8 | 炼钢单位耗电量 (kW·h/t) | — | 1200 | — | — | — | — | 900~1000 | — | — |

2.4.2 感应电炉炼钢

感应电炉根据炉衬材料的性质分为碱性炉和酸性炉。

2.4.2.1 坩埚的打结

表 2-99 酸性炉筑炉用硅砂的粒度组成

| 材料名称 | 炉衬材料 | | | 炉领材料 | | | |
|------------|------|-----|-------|------|-----|---------|-----|
| | 5~6 | 2~3 | 0.5~1 | 硅石粉 | 1~2 | 0.2~0.5 | 硅石粉 |
| 硅砂、粒度 (mm) | 5~6 | 2~3 | 0.5~1 | 25 | 30 | 50 | 20 |
| 配比 (%) | 25 | 20 | 30 | 25 | 30 | 50 | 20 |

炉衬部分粘结剂为硼酸，加入量为 1.5%~2.0%。炉领部分用水玻璃作粘结剂，加入量约 8%~10%。

酸性电炉可用于熔炼各种碳钢和低合金钢，使用范围甚广。

高锰钢和高铬钢，因生成的 MnO 和 Cr_2O_3 会侵蚀 SiO_2 ，不能用酸性炉冶炼。在此情况下，应采用碱性炉衬。基本材料一般用品位较高的煅烧镁砂，有特殊要求时采用电熔镁砂，也可将煅烧镁砂和电熔镁砂配合使用。镁砂也要注意粒度级配，可参照酸性炉用硅砂的粒度级配。粘结剂也用硼酸或水玻璃。

(2) 绝缘层 为保证感应器与炉料之间绝缘并减少坩埚向外散热，在紧靠感应线圈内，用一层石棉板（或石棉布，玻璃丝布）围成筒状。坩埚底部也铺 2~3 层石棉板隔热。

(3) 坩埚模样 指打结时使用的坩埚内腔模样，有石墨和钢板两种。钢模样多用钢板焊成圆筒状，打

(1) 炉衬材料 酸性感应电炉炉衬的基本材料是硅砂，为使炉衬致密，硅砂的粒度级配非常重要，具体要求见表 2-99。

结完炉衬后，一般不取出，烘干和烧结时起感应加热作用。石墨模样在坩埚打结完后不取出，利用其感应加热作用烧结炉衬，烧结完毕后取出。

(4) 打结方法 绝缘层铺好后，在炉底铺 20~40mm 厚坩埚材料并捣实。然后对准中心线放入模样，将其固定。在坩埚底部与壁连接处划毛，然后逐层加料捣实，每次加料 20~30mm 高，不宜过多，否则捣不紧实。至于炉领部分改用炉领材料。

捣实方法可用人工或风动工具捣实。但应注意炉底的外侧与炉衬壁连接部位，需精心操作。用石棉布作绝缘层时避免捣固时损坏石棉布，使其夹杂于炉衬中，减小有效壁厚，埋下漏钢隐患。各部位紧实应均匀。

2.4.2.2 坩埚的烧结 一般采用电烘法，应在钢模样筒壁上钻许多直径 3mm 的小孔，增大电阻，加速烘干和烧结过程。表 2-100 和表 2-101 是炉衬烘干和烧结规范的两个实例，供参考。

表 2-100 150kg 感应电炉烘炉规范

| | | | | | | | |
|----------|-----|-----|-----|------------------|-----|-----|-----|
| 送电电压 (V) | 220 | 220 | 220 | 380 | 220 | 220 | 380 |
| 送电时间 (s) | 1.5 | 2 | 2 | 0.5~1 | 2 | 2 | 熔化 |
| 断电时间 (h) | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 4~6 ^① | 0.3 | 0.3 | — |

① 4~6h 是水分充分挥发所需的时间。

表 2-101 1.5t 感应电炉烘炉规范

| | | | | | | |
|--------------|-----|-----|------|---------|------|---------|
| 烘炉时间 (h) | 0~2 | 2~4 | 4~6 | 6~8 | 8~10 | 10~12 |
| 每 5min 内送电时间 | 30s | 45s | 1min | 1min30s | 2min | 2min30s |

2.4.2.3 酸性感应电炉炼钢 酸性感应电炉采用不氧化法熔炼时，各种合金元素加入的适宜时间和收得率，见表 2-102。

装料是感应电炉熔炼的关键，合理布料的原则是：在坩埚底部加小块料，小块料上放铁合金，其上加中块料。坩埚四周排放大块料，大块料之间填小料，务使紧实，以利于透磁和导电。

2.4.2.4 碱性感应电炉炼钢 碱性感应电炉一般用于以不氧化法熔炼高锰钢或高铬钢，各种合金的适宜加入时间和元素的收得率，见表 2-103。

表 2-102 酸性感应电炉不氧化熔炼时合金的加入时机和收得率

| 合金名称 | 适宜的加入时间 | 收得率 (%) |
|------|-----------|---------|
| 金属镍 | 装料时 | 100 |
| 钨 铁 | | 98 |
| 钨 铁 | | 98 |
| 铈 铁 | | 95 |
| 锰 铁 | 出钢前 10min | 90 |
| 硅 铁 | 出钢前 7min | 100 |
| 钼 铁 | 出钢前 7min | 92~95 |

表 2-103 碱性炉不氧化法炼钢中合金元素收得率

| 合金名称 | 适宜的加入时间 | 收得率 (%) |
|---------|----------------|---------|
| 金属镍 | 装料时 | 100 |
| 金属铜 | | 100 |
| 钼 铁 | | 100 |
| 铈 铁 | | 100 |
| 钨 铁 | | 100 |
| 铈 铁 | | 97-98 |
| 锰铁、金属锰 | | 90 |
| | 还原期 | 94-97 |
| 氮化锰、氮化铬 | 还原期 (加稀土时) | 40-50 |
| | 还原期 (不加稀土时) | 85-95 |
| 钒 铁 | 还原期 | 95-98 |
| 硅 铁 | 出钢前 10min | 90 |
| 金属铝 | 出钢前 3-5min 内 | 93-95 |
| 钛 铁 | 插 Al 终脱氧后 | 85-92 |
| 硼 铁 | 临出钢前或出钢时加入包内冲熔 | 50 |

2.5 其它冶炼方法

2.5.1 电渣熔铸

电渣熔铸法是在电渣焊和电渣熔铸法的基础上发展起来的,使自耗电极在熔渣中熔化并得精炼,随即在水冷的铸型中成形。

70年代初原苏联率先用电渣熔铸法制成重 150t 的柴油机曲轴和其他铸件。由于有冶金品质(质量)高、组织致密、晶粒细小等优点,用电渣熔铸法制成的铸钢件,品质(质量)可与锻钢件媲美,很快受到了广泛的重视。

日本曾用电渣熔铸旋转制管法,制成大型钢管以代替离心铸造管。

美国和加拿大也都在 70 年代后期开始注意电渣熔铸。

我国在 70 年代曾用电渣熔铸法制成重 9.8t 的船用柴油机曲轴。70 年代末,江西黎川特钢厂用电渣熔铸一步成形技术制成 6 缸汽油机曲轴,1986 通过原机械部鉴定,已形成批生产能力。

电渣熔铸法一般都采用水冷铜型,据报道,用铸造的纯铝型效果也很好,制造成本仅为铜型的 1/3,是值得注意的。

2.5.2 等离子熔炼

等离子熔炼是利用等离子弧作热源来熔化和精炼的方法。等离子弧有直流和交流两种,目前工业应用的多为直流等离子弧,它是用等离子枪使电弧压缩而形成的。

1962 年美国联合碳化物公司首先建成 120kW 的

等离子电弧炉。由于等离子熔炼的优点很多,适用范围很广,在世界各地发展很快。

可在铸钢生产中应用的设备有等离子电弧炉和等离子感应电炉。后者是在密闭的感应电炉中插入等离子枪,强化感应电炉中的冶金反应。

用等离子熔炼,可生产含碳 0.005%~0.009% 的超低碳不锈钢。

2.5.3 电子束熔炼

用高真空下产生的高压电子束,轰击另一真空室内的固体金属,将其熔化、精炼,并在水冷的结晶器中形成金属锭或铸件。

电子束熔炼多用于高熔点的活泼金属,如钛、锆、钽等,也用于制造超级不锈钢和高温合金铸件。

2.5.4 磁悬浮熔炼

用感应加热将固体坯料熔化,同时使熔融金属悬浮于电磁场中,这是不用耐火炉衬的新的熔炼方法。

由于无炉衬熔炼,没有金属与耐火材料间的反应,金属中的非金属夹杂物大为减少。

电磁场还有搅拌金属的作用,可使其成分均匀、温度梯度缩小,并可促进脱气。

磁悬浮熔炼可在大气中、设定的气氛中或真空下进行。

由于不用坩埚,无论在何种条件下熔炼,设备的体积都比相应的感应电炉小得多,设备的投资较少。

目前,已有每次熔 13.5kg 的装置在运行中。

2.6 铸钢的浇注

浇注是铸钢件生产中的重要工序,直接影响铸件

的品质(质量)。应选用适宜的钢包,做好砌筑、烘烤等作业。还应根据铸件的质(重)量、材质、结构等因素,确定浇注温度和浇注时间,并掌握正确的操作方法。

2.6.1 钢包

钢包有三种形式:倾转式、底注式和茶壶式,见图2-14。

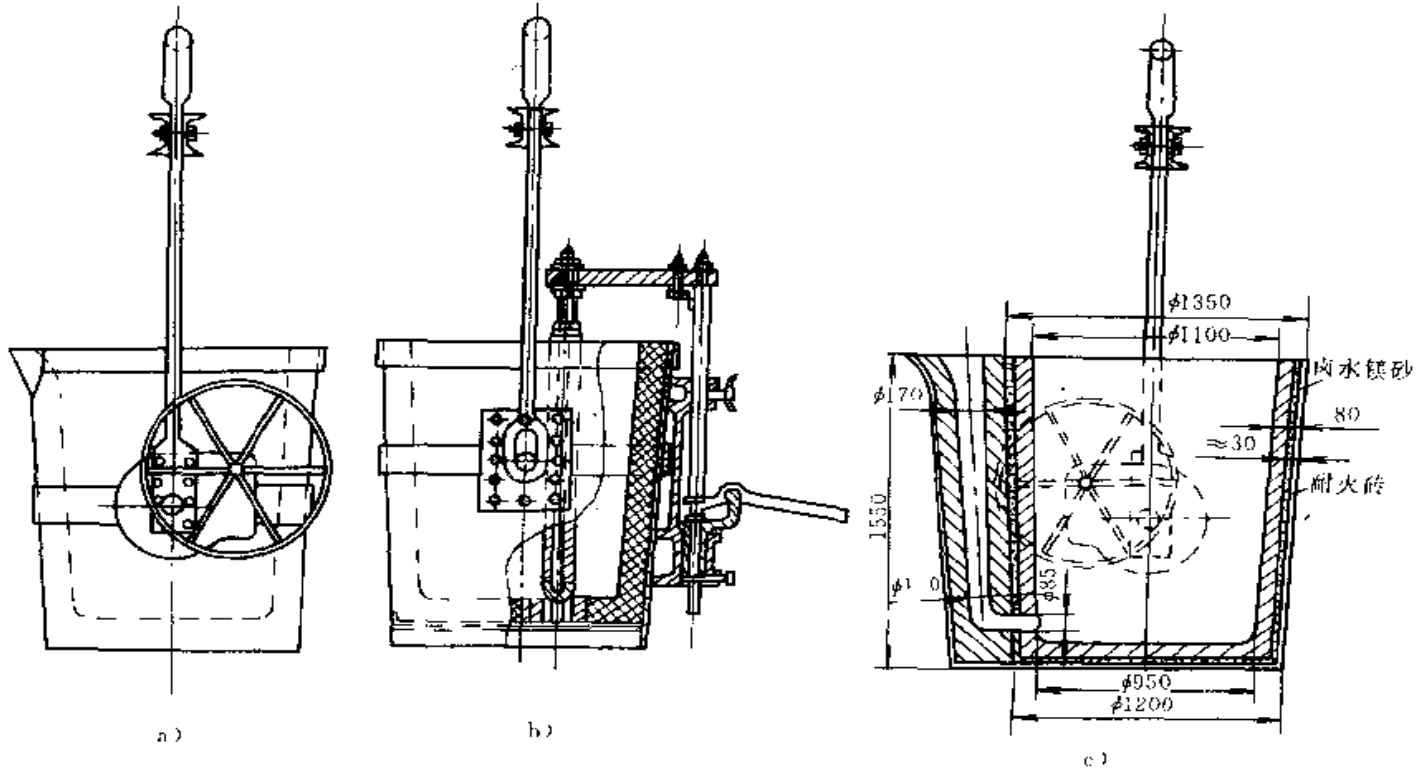


图2-14 钢包的形式

a) 倾转式 b) 底注式 c) 茶壶式(5t)

倾转式钢包结构简单、维修方便,但浇注时渣易随钢液流入铸型。茶壶式包用于浇注批量生产的小铸件,挡渣理想,又不受浇注次数限制。大、中型铸造

厂,多使用底注式钢包,其规格及主要技术数据,见表2-104。

表2-104 底注包的规格及数据

| 序号 | 型号 | 正常钢液装入量(t) | 有效容积(m ³) | 正常钢渣装入量(t) | 自重(钢结构)(t) | 衬砖重(t) | 总质量(重)(t) | 包高(mm) | 包上口外径(mm) |
|----|----------|------------|-----------------------|------------|------------|--------|-----------|--------|-----------|
| 1 | LG310-1 | 310 | 46.3 | 7 | 40.33 | 36.264 | 393.6 | 5120 | 4516 |
| 2 | LG-275-1 | 275 | 41.2 | 6.68 | 32.785 | 36 | 350.5 | 5005 | 4280 |
| 3 | LG-205-1 | 205 | 30.2 | 3.18 | 27.955 | 30 | 266 | 4665 | 3582 |
| 4 | LG-175-1 | 175 | 20.23 | 2.56 | 20.085 | 21.3 | 179 | 3923 | 3450 |
| 5 | LG-105-1 | 105 | 16.09 | 3.53 | 14.287 | 13.4 | 136.27 | 3725 | 3124 |
| 6 | LG-90-1 | 90 | 13.44 | 4.04 | 13.25 | 12.92 | 120.21 | 3260 | 3115 |
| 7 | LG-60-1 | 60 | 9 | 2.1 | 7.82 | 8.88 | 78.8 | 3075 | 2657 |
| 8 | LG-45-1 | 45 | 7.2 | 1.68 | 7.363 | 7.1 | 61.143 | 2600 | 2485 |
| 9 | LG-35-1 | 35 | 5.6 | 2.1 | 9.115 | 5.77 | 51.98 | 2660 | 2298 |
| 10 | LG-25-1 | 25 | 4 | 1.5 | 8.274 | 4.489 | 39.263 | 2390 | 2110 |
| 11 | LG-20-1 | 20 | 3.2 | 1.2 | 5.579 | 3.735 | 30.514 | 2150 | 1985 |
| 12 | LG-15-1 | 15 | 2.4 | 0.9 | 3.839 | 3.184 | 22.923 | 1950 | 1855 |
| 13 | LG-10-1 | 10 | 1.6 | 0.6 | 2.471 | 2.274 | 15.347 | 1750 | 1629 |
| 14 | LG-6-1 | 6 | 0.97 | 0.399 | 1.512 | 1.286 | 9.200 | 1400 | 1408 |
| 15 | LG-3-1 | 3 | 0.498 | 0.238 | 1.197 | 0.792 | 4.958 | 1188 | 1132 |

2.6.2 铸件的浇注温度及时间

1) 各种碳钢件浇注温度, 见表 2-105。

表 2-105 碳钢铸件的浇注温度 (°C)

| 铸件类型 | 壁厚 (mm) | 质 (重) 量 (kg) | 钢液含碳量 (%) | | | |
|-------|---------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | | 0.20~0.30 | 0.30~0.40 | 0.40~0.50 | 0.50~0.60 |
| 小铸件 | 6~20 | <100 | 1530~1550 | 1520~1540 | 1510~1530 | 1500~1520 |
| 薄壁铸件 | 12~25 | <500 | 1520~1540 | 1510~1530 | 1500~1520 | 1490~1510 |
| 结构复杂件 | 20~30 | <3000 | 1510~1530 | 1500~1520 | 1490~1510 | 1480~1500 |
| 中等铸件 | 30~75 | <5000 | 1505~1530 | 1500~1515 | 1495~1520 | 1485~1510 |
| 厚大铸件 | 70~150 | 2500~5000 | 1510~1530 | 1500~1520 | 1490~1510 | 1480~1500 |
| 重型铸件 | 150~500 | >5000 | 1500~1520 | 1490~1510 | 1480~1500 | 1470~1490 |
| 形状简单件 | <500 | <3000 | 1495~1520 | 1490~1510 | 1475~1500 | 1470~1495 |

2) 浇注时间应根据铸件具体情况而定, 一般要求薄壁和结构复杂件, 宜快浇。铸件有大平面在上时, 也应快浇。实际生产中, 准确控制浇注时间的可能性不大, 只能是定性而难以定量要求。浇注时间和相应的浇注速率取决于注口砖的注口面积 (直径) 和工人的操作。

2.6.3 浇注操作工艺要点

1) 从铸件浇足考虑, 一包钢液浇注多个铸型时, 应先浇小铸件, 薄壁件及结构复杂的铸件, 大件、厚壁件及结构简单件放在后面浇注。但在浇注温度足够高而又没有壁特别薄的铸件时, 应先浇重要件、大件, 再浇小件。

2) 铸件浇注时, 同一铸型应先以小流浇注, 而后逐渐增大, 钢液浇注上升至冒口时, 稍稍减小, 然后增大液流继续浇注, 直到冒口内规定的高度。其间不允许断流。

3) 大型铸件浇注时, 根据工艺要求补浇冒口。

4) 浇注完毕, 应用覆盖剂覆盖冒口。如草灰、专用冒口覆盖剂等。

5) 浇注过程中发现跑火, 应一面采取措施, 堵住跑火位置, 另一方面细流浇注, 不可断流, 以免产生冷隔。

3 炉外精炼

最初, 炉外精炼的目的是将炼钢炉炼好的钢液在炉外作进一步的处理, 使钢中所含的气体和非金属夹杂物减少。后来, 随着处理方法的不断改进, 又有所发展, 除达到上述目的外, 还将原来在炼钢炉内进行的精炼过程移到炉外精炼设备中来完成, 从而可缩短炼钢炉内的冶炼时间, 提高生产率。

1940 年, 原苏联的 Л.М.Новик 和 А.М.Самарин 提出将盛有钢液的钢包置密闭的容器内, 然后抽真空, 在真空下保持 12~15min, 以降低

钢中的氧、氮和氢的含量。40 年代末, 此法在生产中应用, 应该说, 这是炉外精炼技术的先导。但是, 用此法处理有两问题。

一是钢包上部能产生沸腾, 有脱除气体和夹杂物的作用, 而下部钢液因受钢液的静压作用不易沸腾, 容量大的钢包尤甚, 总的来讲, 效果并不理想。

其二是在处理过程中钢液温度下降。为补偿这种温降, 不得不提高出钢温度, 从而引发其他的负面作用。

针对上述两方面的问题, 陆续出现了多种不同形式的炉外精炼技术和设备, 其基本作用都不外以下两点。

(1) 加强钢液的搅拌 搅拌的方式有吹氧沸腾搅拌、吹惰性气体 (广泛使用的是氩) 搅拌、电磁搅拌、将钢液分散为液流等。

(2) 钢液加热 加热的方式有吹氧使碳燃烧产生热量、电弧加热、感应加热等。

此外, 喷粉精炼也是很有前途的工艺, 有处理时间短、设备较简单等优点, 尤其适用于铸钢生产。其不足之处是不能氧化脱碳, 对含碳量很低的钢种, 无辅助脱碳之功效。

以下, 简要地介绍一些采用较广的炉外精炼工艺。

3.1 液流脱气法

基本原理是使钢液以流束状态在真空室中下落, 由于负压作用, 流束分散为大量液滴, 其面积对体积的比很大, 强化了真空对钢液的作用, 脱氢率在 70% 以上, 脱氧率约为 20%。以下是几种有代表性的装置。

(1) 倒包脱气法 图 2-15 是此种处理法的示意图。在真空室内放好浇注钢包 2, 顶部钢包 5 盛钢液后置于真空室上, 塞座口与铝盘 4 相接。顶部钢包放出钢液时将铝盘熔化, 钢液通过耐火材料套管 3 流入

浇注钢包。处理时，可通过加料斗 7 加入合金，以调整化学成分。

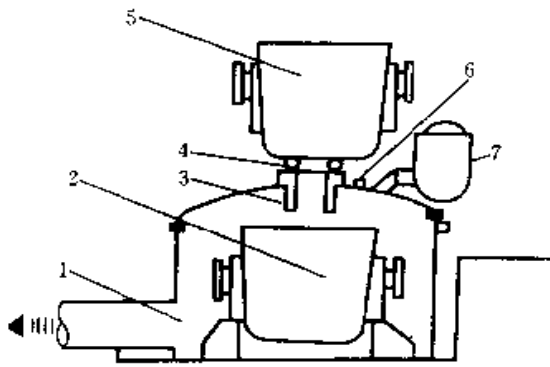


图 2-15 倒包除气法示意图
1—真空抽气管道 2—浇注钢包
3—耐火材料套管 4—铝盘
5—顶部钢包 6—观察孔 7—加料斗

(2) 真空提升脱气法 (DH 法) 此法由德国 Dortmund-Hörder 冶金联合公司所开发，故称 DH 法 (图 2-16)。

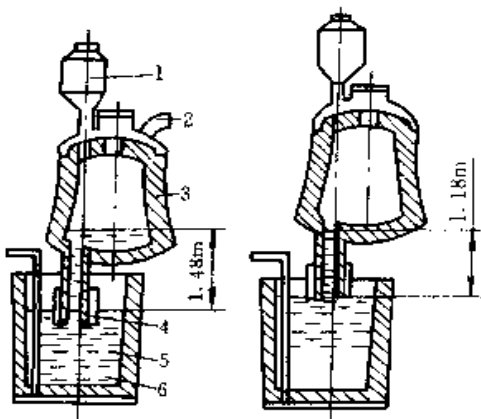


图 2-16 真空提升脱气法 (DH 法) 示意图
1—合金料斗 2—真空泵 3—真空室
4—吸管 5—钢包 6—钢液

将真空脱气室下的吸嘴插入钢液，抽真空时，钢液就上升到脱气室内脱气。处理后，钢液借自重返回钢包。此后，再吸一批钢液处理，并如此反复多次。真空脱气室还可以作相对于钢包的运动，也可上升或下降。

(3) 真空循环脱气法 (RH 法) 此法由德国 Ruhrstahl 公司和 Heracus 公司开发，故称 RH 法，见图 2-17。

脱气室下部装有钢液吸入管和释放管，处理时将其插入钢液，将脱气室抽真空，并由氩气管 4 吹入氩气驱动钢液由吸入管上升并喷射于脱气室 3。脱气后的钢液汇集在脱气室底部，由释放管回到钢包 6。如

此循环，经一段时间，脱气过程即告结束。

(4) 出钢脱气法 (TD 法) 钢液从平炉或电炉中直接注入中间包后进入真空室中的钢包中，减少了倒包过程，因而，在出钢的同时完成脱气处理，中间过程少，温降相对较小，见图 2-18。

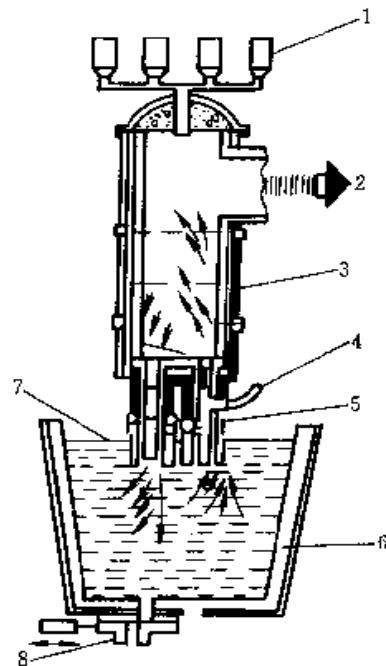


图 2-17 真空循环脱气法 (RH 法) 示意图
1—合金料斗 2—真空管道
3—脱气室 4—氩气管
5—吸入管 6—钢包
7—钢液 8—滑动水口

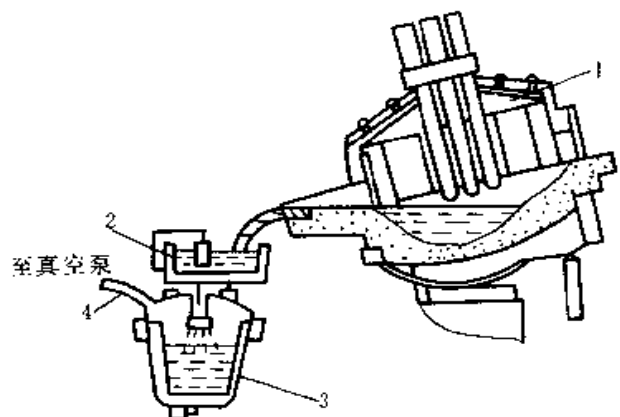


图 2-18 出钢脱气法示意图
1—炼钢炉 2—中间包 3—钢包 4—真空管道

3.2 搅拌脱气法

除液流脱气外，也可用搅拌钢液的方法来改善钢包真空处理。

(1) 真空电磁搅拌法 图 2-19 是这种处理方法的示意图。

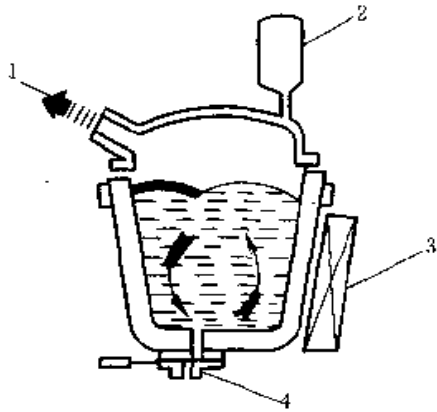


图 2-19 真空电磁搅拌法示意图
1—真空管道 2—合金料斗
3—电磁搅拌线圈 4—滑动水口

采用电磁搅拌，搅拌强度可任意选定和调整，但钢包外壳需用无磁性钢制造，设备费用高昂。

(2) 真空吹氩搅拌法 见图 2-20。

3.3 加热精炼法

真空液流脱气和真空搅拌脱气，在脱气和去除非金属夹杂物方面都有很好的效果，但仍存在一个共同的问题，即钢液温度下降过多。如：15min 的液流脱气可使钢液温度下降 100℃。为补偿这种热损失，出现了带加热装置的真空处理方法。

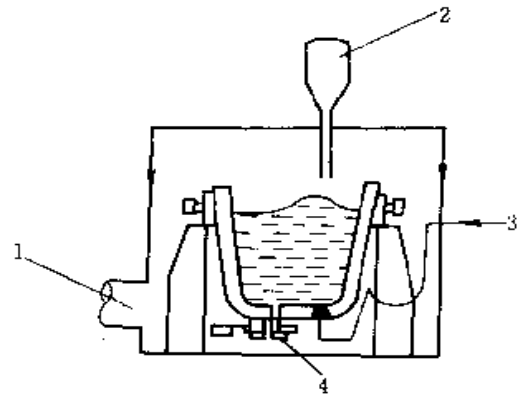


图 2-20 真空吹氩搅拌法示意图
1—真空管道 2—合金料斗
3—氩气管 4—滑动水口

3.3.1 电弧加热精炼法

电弧加热的炉外精炼方法采用甚广，主要有以下几种。

(1) 钢包真空精炼法（ASEA—SKF 法） 1965 年由瑞典 ASEA 公司和 SKF 公司联合研制成功。钢液进入精炼炉后，在真空和电磁搅拌的情况下进行精炼。钢液温度降低后，撤去真空，使钢液在电磁搅拌的作用下被电弧加热。此后，还可再次进行精炼，直到钢液品质（质量）符合要求为止。

精炼炉有固定式和移动式两种：精炼炉固定者，真空封严炉盖和电弧加热炉盖可以移动；精炼炉移动者，真空封严炉盖和电弧加热炉盖固定。设备示意图见图 2-21。

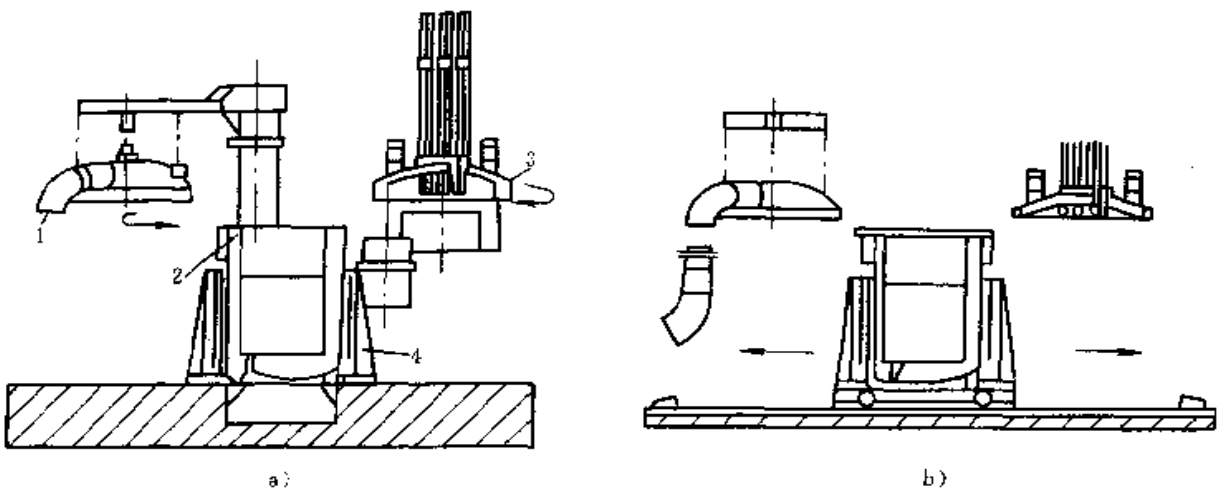


图 2-21 ASEA—SKF 炉外精炼设备示意图
a) 固定式精炼炉 b) 移动式精炼炉
1—真空封严炉盖 2—精炼炉 3—电弧加热炉盖
4—电磁搅拌装置

因装电磁搅拌设备, 炉壳需用无磁性钢制造。

(2) 真空加热吹氩脱气法 (FINKL-VAD 法)

此法是在图 2-20 真空吹氩脱气法的基础上, 于真空盖上增加了电弧加热装置 (图 2-22)。必要时, 还可在真空盖上加吹氧管, 进行真空吹氧脱碳操作。

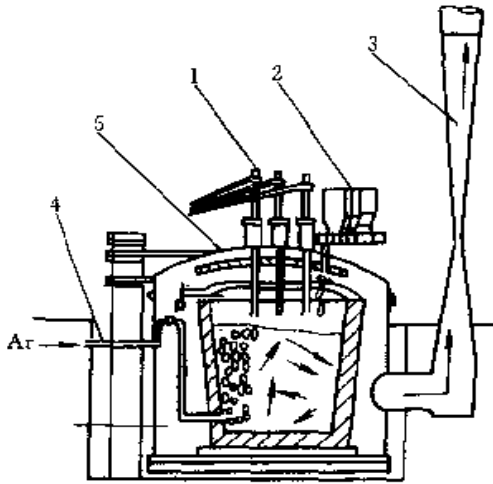


图 2-22 真空加热吹氩脱气法示意图

1—电极 2—钢包盖 3—真空管道
4—氩气管 5—合金料斗

(3) 钢包炉精炼法 (LF 炉精炼法)

此法 1971 年由日本首先使用, 也有人称之为日本式钢包炉精炼法。工艺要点与 ASEA-SKF 法和 FINKL-VAD 法相似, 用氩气搅拌, 在大气压力下用石墨电极埋弧加热钢液, 然后抽真空并吹氩脱气 (图 2-23)。

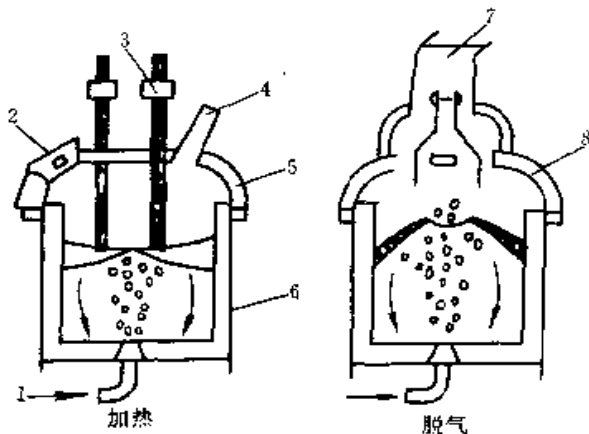


图 2-23 钢包炉精炼法示意图

1—吹氩 2—取样、测量口 3—电极
4—加料口 5—加热时用炉盖 6—钢包
7—抽气管道 8—真空室盖

3.3.2 感应加热精炼法

不采用电弧加热而用感应加热也是可行的, ASEA 公司的 CALIDUS 法和 Legbold-Hieracus 公司的 VID 法都是用感应加热的, 但使用者不多。

3.3.3 吹氧脱碳精炼法

(1) 真空氧脱碳法 (VOD 法) 此法是真空处理的进一步发展, 在真空容器内自钢包顶部向钢液吹氧, 一方面有精炼作用, 又可利用碳氧化产生的热补偿处理过程中的热损失。同时, 还自钢包底部吹入少量氩气, 以搅拌钢液并促进气体和非金属夹杂物的脱除, 故也称之为真空氩氧脱碳法 (图 2-24)。

此法主要用于生产低碳或超低碳不锈钢, 炼钢炉提供 VOD 装置精炼的钢液, 含碳量一般为 0.4%~0.5%, 因而可采用价廉的高碳铬铁。

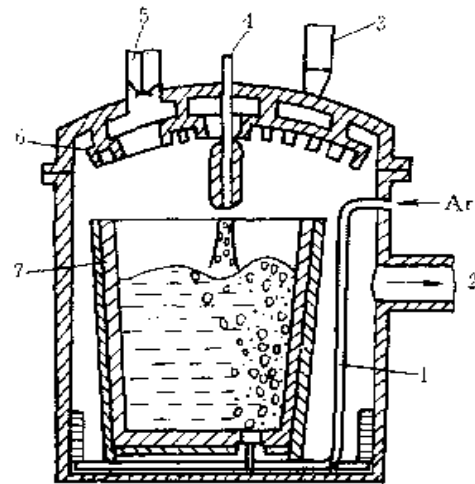


图 2-24 真空氧脱碳法

(VOD 法) 示意图

1—吹氩装置 2—脱气真空室 3—铁合金
加料装置 4—吹氧装置 5—取样和
测量装置 6—保护盖 7—钢包

(2) 氩氧脱碳法 (AOD 法)

氩氧脱碳法是继各种真空处理之后在炉外精炼方面的重要发展。60年代初, 美国联合碳化物公司和 Joslyn 不锈钢公司联合进行了 AOD 法的研究, 1968 年在 Joslyn 公司装设了第一台容量为 15t 的装置, 到 1969 年底共精炼了一千余炉。1973 年, 美国 ESCO 公司的铸钢厂建成一套容量为 4t 的 AOD 装置, 1976 年又增添了一套 20t 的装置。1978 年 ESCO 公司开始用 AOD 法精炼低合金钢, 用以制造铸件。从当前国外的情况来看, AOD 法已成为铸钢生产中最重要炉外精炼法。据报道, 到 1987 年初, 美国共有 25 家铸钢厂将 AOD 法用于生产, 装置的容量不等, 最小的 1t, 最

大的 60t。我国目前正接受联合国开发计划署的援助，筹建铸钢 AOD 技术示范中心，为推广这一技术服务。

AOD 法精炼的示意图见图 2-25。

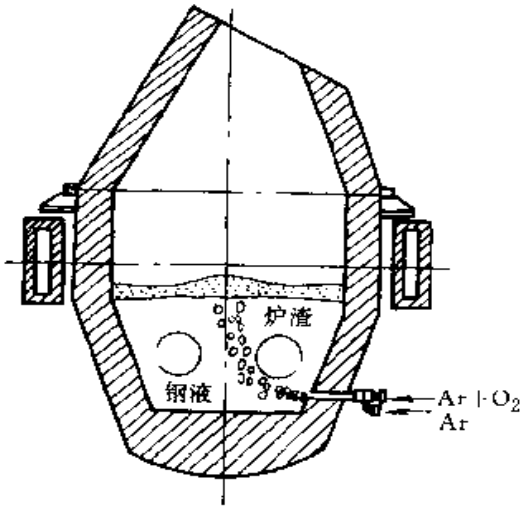


图 2-25 氩氧脱碳法 (AOD 法) 示意图

接收炼钢炉送来的钢液后，根据其中 C、Si、Mn 的含量，计算吹炼所需的氧，通常分四个阶段吹气精炼。

第一阶段 钢液中含 C 量较高，按氧氩比为 3:1 供气，以吹氧脱碳为主。

第二阶段 按氧氩比为 2:1 供气。由于气泡中氩气增多，降低了 CO 分压力，改变了原来的 C—O 平衡，使脱碳反应继续进行。

第三阶段 按氧氩比为 1:2 供气，将碳降到规格上限。

第四阶段 吹纯氩。此时钢液温度较高，吹氩可促使钢中的碳脱氧。然后，加硅铁和铝等还原剂，并按成分要求添加合金元素。

吹炼时间一般为 1.5h 左右。吹气系统装有切换装置，在吹炼的空隙时间自动关闭氩气，切换为压缩空气或氮气，以节省昂贵的氩。

3.4 喷粉精炼法

用氩气或其他惰性气体为载体，通过插入钢液的喷枪将粉状精炼剂射入钢液深部，利用气体的搅拌作用强化精炼剂与钢液的反应。

目前采用的粉状精炼剂，主要是含钙的合金，如硅钙合金、硅钙钡铝合金和电石粉。常压下，钙的沸点为 1492℃，通常往钢液中加入硅钙合金时，钙的

收得率很低。如将硅钙射入钢液深部，钢液的静压头可抑制钙的气化，从而改善精炼效果。硅钙合金中的钡是缓冲剂，目的是减缓钙的气化，无其他作用。

用钙基粉剂精炼，脱氧、脱硫的作用很强，而且钢中非金属夹杂物的数量减少、形态改善。对于某些钢种，喷粉精炼后，钢的品质（质量）可达到电渣重熔钢的水平。

由于喷粉精炼设备比其他炉外精炼设备简单、投资少，近年来发展很快，对于铸钢生产尤为适宜。

常用的一种喷粉装置（TN 法）见图 2-26。

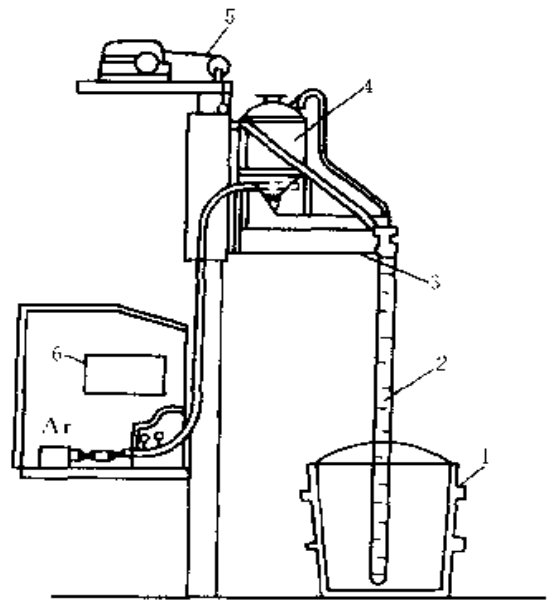


图 2-26 喷粉装置 (TN 法) 示意图

1—钢包 2—喷枪

3—可移动的悬臂 4—粉料罐

5—升降装置 6—控制室

粉料罐和喷枪都装在可移动的悬臂上，粉料出口离喷枪很近，压力损失小。悬臂还有升降装置，操作喷枪非常方便。粉料罐有高度不同的两个出料口，可根据粉料特性采用完全流态化或部分流态化输送粉料。

在喷粉精炼基础上出现的射丝精炼法，也是值得注意的。

所用的精炼丝，是由钢皮包裹粉状精炼剂制成的。精炼剂主要是金属钙或其合金制成的粉，精炼的原理与喷粉精炼相同，但不用惰性气体为载体射入，而制成精炼丝射入。精炼丝的成分及与工艺相关的参数，见表 2-106。

表 2-106 钢液精炼丝的主要参数

| 尺寸 (mm) | 成分 (%) (其余为 Fe) | 每米精炼丝的质 (重) 量 (g) | 每米精炼丝含钙量 (g) | 每米精炼丝含其他元素量 (g) |
|---------|-----------------|-------------------|--------------|-----------------|
| 5.4 | Ca 38 | 63.4 | 24.1 | — |
| 5.4 | Ca 26, Al 17 | 64.1 | 16.7 | Al 10.9 |
| 8.0 | Ca 32, Al 22 | 111.0 | 35.5 | Al 24.4 |
| 8.0 | Ca 48 | 117.4 | 56.4 | — |
| 8.0 | 硅钙合金 45 | 132.2 | 18.3 | Si 35.3 |

精炼丝以 80~300m/min 的速度射入钢液, 使钙与钢液接触时已进入钢包下层, 可以由钢液的静压头抑制钙的气化。钙以液体状态上浮一定距离 (与钢液温度有关) 后成为气泡。

4 铸钢件的热处理

4.1 铸钢件热处理的工艺要素

铸钢件的热处理工艺包括三个要素: 加热、保温和冷却。具体工艺参数的选定, 取决于铸件材质、结构以及技术要求。

1. 加热 工件的加热应选择适当的加热速率、加热方式及装料方式。

(1) 加热速率 一般铸钢件, 可采用炉子的最大功率快速加热。热炉装料能有效地提高生产效率, 缩短加热时间。形状结构复杂, 壁厚差大的铸件, 600℃以下宜用较低的加热速率 (10~30℃/h), 或在中、低温阶段停留一次或两次进行预热, 然后快速升至要求温度。

(2) 加热方式 主要有辐射加热、盐浴加热和感应加热等。加热方式的选定, 以保证铸件加热均匀, 便于控制温度和高的热效率为原则, 由铸件大小和材质、生产条件确定。

(3) 装料方式 装料原则是充分利用加热炉的容积, 防止铸件变形, 创造较好的均匀受热条件。对于需要快速冷却 (如水冷淬火) 铸件, 装料时还应考虑其入水方向。

2. 保温

(1) 保温温度 对亚共析钢, 以碳化物能较快溶于奥氏体, 且能保持细晶粒为原则, 退火或淬火, 一般为 A_{c3} 以上 20~50℃。正火温度略高于淬火和退火温度。过共析钢正火, 应加热到 A_{cm} 以上, 淬火

时则在 A_{c1} 和 A_{cm} 之间。含锰的钢晶粒长大倾向较大, 保温温度宜低。

(2) 保温时间 铸钢件热处理保温的目的是使铸件表面温度与心部温度一致, 使组织均匀化。壁厚是确定保温时间的重要依据, 按经验, 每 25mm 壁厚, 保温 30~60min。大于 25mm 者, 每增加壁厚 25mm 保温时间延长 30min。回火及时效处理, 因低温下扩散较慢, 保温时间应相应延长。

(3) 冷却 铸钢件保温后可用不同的速率冷却, 以获得不同的金相组织。冷却速率高, 有利于细化晶粒, 提高钢的力学性能, 但也容易产生较大的应力, 导致铸件变形甚至开裂。

对一些有回火脆性的低合金钢, 应快速冷却通过脆性区, 以免降低钢的韧性。

热处理冷却方式有随炉冷却、油冷、水冷、盐水及熔盐冷却、空气中冷却、气流冷却和水雾冷却等。

4.2 各种铸钢件的热处理工艺

4.2.1 碳钢铸件的热处理

碳钢铸件通常采用的热处理方法是退火、正火、正火加回火。

对于一般形状不太复杂, 壁厚不太厚的铸钢件最常用的是正火。形状复杂, 容易变形和开裂的铸件, 则采用退火比较适宜。厚大的铸件采用正火加回火, 回火温度为 550~650℃, 然后空冷。

含碳量在 0.35% 以上的碳钢铸件, 也可采用淬火加回火的调质处理, 以改善其综合力学性能。小件可铸态直接调质, 大件或复杂件应在正火处理后进行。

表 2-107 列出了碳钢铸件退火、正火及正火后回火的工艺及处理后的硬度范围。表 2-108 为碳钢铸件的调质工艺及硬度范围。

表 2-107 碳钢铸件退火、正火工艺及处理后的硬度

| 含碳量 (%) | 退 火 | | | 正火、正火+回火 ^① | | | |
|-----------|---------|--------------|-----------|-----------------------|----------|------|-----------|
| | 温 度 (℃) | 冷却方式 | 硬 度 (HBS) | 正火温度 (℃) | 回火温度 (℃) | 冷却方式 | 硬 度 (HBS) |
| 0.10~0.20 | 910~980 | 炉冷至 620℃ 后空冷 | 115~143 | 930~900 | — | 空冷 | 126~149 |
| 0.20~0.30 | 880~850 | 炉冷至 620℃ 后空冷 | 133~156 | 900~870 | — | 空冷 | 139~169 |

(续)

| 含碳量 (%) | 退 火 | | | 正火、正火+回火 ^① | | | |
|-----------|----------|-------------|-----------|-----------------------|-----------|------|-----------|
| | 温 度 (°C) | 冷却方式 | 硬 度 (HBS) | 正火温度 (°C) | 回火温度 (°C) | 冷却方式 | 硬 度 (HBS) |
| 0.30~0.40 | 850~820 | 炉冷至620°C后空冷 | 143~187 | 870~840 | 550~650 | 空冷 | 149~187 |
| 0.40~0.50 | 820~800 | 炉冷至620°C后空冷 | 156~217 | 840~820 | 550~650 | 空冷 | 163~217 |
| 0.50~0.60 | 800~780 | 炉冷至620°C后空冷 | 187~230 | 820~800 | 550~650 | 空冷 | 187~228 |

① 形状复杂者可在正火后回火，一般不必回火。

表 2-108 碳钢铸件的调质工艺及硬度范围

| 含碳量 (%) | 淬火温度 (°C) | 回火温度 (°C) | 回火后硬度 (HBS) |
|-----------|-----------------|-----------|-------------|
| 0.35~0.45 | 850~830 (水淬) | 340~400 | 364~444 |
| | | 400~450 | 321~415 |
| | | 510~550 | 241~286 |
| | | 540~580 | 228~269 |
| | | 580~640 | 192~228 |
| 0.45~0.55 | 830~810 (水淬) | 550~630 | 220~240 |
| | | 450 | ≈269 |
| | | 550 | ≈248 |
| | | 650 | ≈228 |

4.2.2 中、低合金钢铸件的热处理

中、低合金钢淬透性较好，通过热处理，可得到良好的综合性能。

一般来说，抗拉强度要求低于 650MPa 的低合金钢铸件，采用正火+回火的方式；对于高强度铸钢，采用调质处理方式。

较好的方式是：在调质处理前，先进行一次正火或正火及回火作为预处理，以细化晶粒，均匀组织，使最终调质处理效果更好。中、低合金钢淬火处理要求尽可能得到完全马氏体组织，淬火后应立即回火，

以达到所需的综合性能。

对于高强度中碳合金钢铸件，为改善其塑性和韧性，可以进行韧化处理。方法有如下两种。

(1) 高温淬火 提高淬火温度，使其淬后组织中以板条马氏体为主。钢的强度高，韧性好，且消除了钢中有害杂质在晶界上的吸附，有利于韧性的改善。

(2) 亚临界（两相）区淬火 在温度 $A_{c1} \sim A_{c1}$ 之间淬火，组织为马氏体和均匀分布的细小铁素体复相组织，可减少回火脆性，提高钢的韧性。

常用低合金钢的热处理规范见表 2-109。

4.2.3 高锰钢铸件的热处理

高锰钢铸态组织为奥氏体和碳化物，为获得高韧性，必须采用消除碳化物的热处理，使组织转变为单一奥氏体。高锰钢铸件一般采用水淬，使碳化物固溶，结果导致韧性显著提高，因此，这种热处理通常称为水韧处理。

(1) 水韧温度 为 1050~1080°C。温度过高，会造成铸件表面严重脱碳。更重要的是：奥氏体晶粒和晶界上将析出共晶碳化物，不能借重新热处理消除。

(2) 加热速率 高锰钢导热性较差，快速升温易引起应力。一般薄壁简单件加热速率可较快；厚壁件则宜缓慢加热。常用的办法是加热至 650°C 左右停留一段时间，再快速加热。

表 2-109 常用低合金钢铸件热处理规范

| 牌 号 | 正火或正火+回火 | | 调 质 | |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 正火温度 (°C) | 回火温度 (°C) | 淬火温度 (°C) | 回火温度 (°C) |
| ZG22Mn | 880~900 | — | | |
| ZG35Mn | 850~870 | 560~600 | 850~860 | 600~650 |
| ZG40Mn | 850~870 | 550~620 | | |
| ZG40Mn2 | 850~870 | 550~600 | 830~850 | 530~600 |
| ZG50Mn2 | 820~840 | 590~650 | | |
| ZG20SiMn | 900~920 | 580~600 | | |
| ZG35SiMn | 860~880 | 600~620 | 870~890 | 580~600 |

(续)

| 牌 号 | 正火或正火+回火 | | 调 质 | |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 正火温度 (°C) | 回火温度 (°C) | 淬火温度 (°C) | 回火温度 (°C) |
| ZG42SiMn | 860~880 | 500~600 | 850~870 | 550~650 |
| ZG50SiMn | 850~870 | 580~600 | | |
| ZG40Cr | 830~850 | 520~680 | 830~850 | 520~680 |
| ZG35CrMo | 860~880 | 550~600 | 850~880 | 590~610 |
| ZG30CrMnMo | 860~880 | 650~700 | 840~860 | 540~600 |
| ZG35CrMnSi | 850~900 | 550~600 | 830~860 | |
| ZG20MnMo | 900~920 | 550~660 | | |
| ZG35SiMnMo | 880~900 | 550~650 | 830~860 | 550~650 |
| ZG40CrNi | | | 850~860 | 570~600 |
| ZG30CrNiMo | | | 860~870 | 600~650 |
| ZG18Cr2MnMoB | | | 860 | 650 |
| ZG30CrNiB | | | 860~870 | 600~650 |
| ZG40CrNiMo | | | 860~880 | 600~650 |

(3) 保温时间 通常保温时间可按每 25mm 壁厚保温 1h 计算。

(4) 冷却 采用水冷, 入水前铸件温度不得低于 950°C, 水温保持在 40°C 以下。

添加有 Mo 或其它碳化物形成元素的高锰钢, 可进行弥散硬化处理。先在 580~610°C 退火 12h, 以便

析出碳化物强化奥氏体, 然后再进行水韧处理。

经水韧处理的高锰钢, 只有在薄壁简单件中才可能是完全奥氏体组织, 通常仍存在少量碳化物。碳化物的分布、数量、尺寸是确定高锰钢性能等级的一个重要依据。

(5) 典型高锰钢的热处理工艺 见图 2-27。

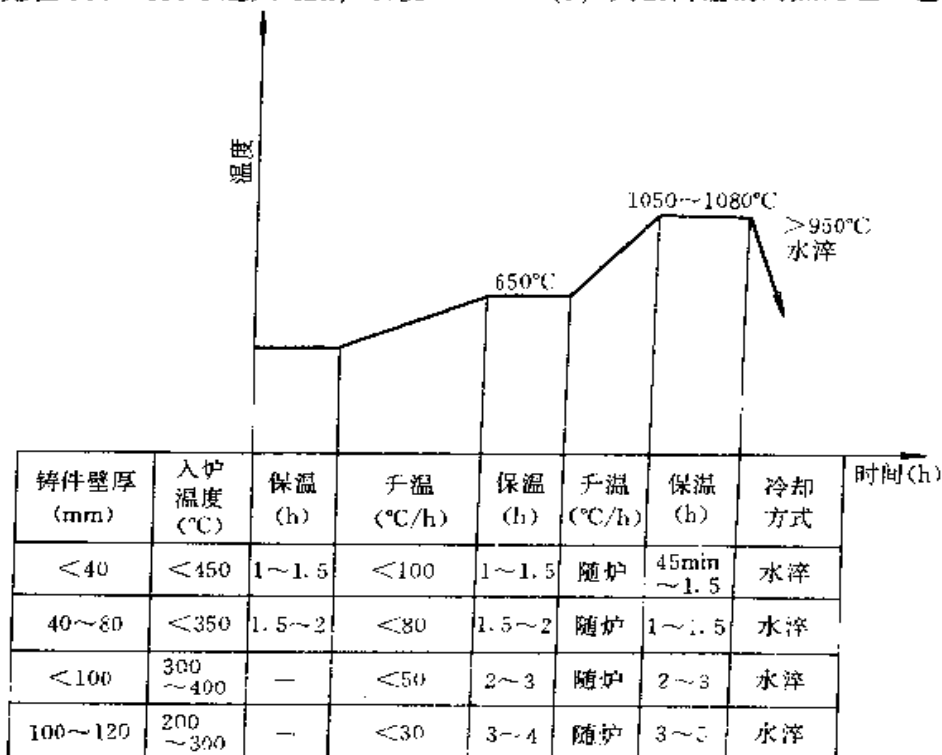


图 2-27 典型高锰钢的热处理工艺

4.2.4 不锈钢铸件的热处理

1. 马氏体不锈钢铸件的热处理 常用调质处理工艺, 加热到 1000~1050℃ 油冷或空冷, 然后在 300~750℃ 回火。淬火后应立即进行回火, 以防淬火应力导致铸件开裂。回火温度直接影响到铸件的力学性能。回火温度提高, 则铸件硬度降低, 强度降低、韧

性提高。

马氏体不锈钢的热处理规范见表 2-110。

含少量镍、钼、硅等元素的高强度低碳马氏体铸件, 通常选择正火回火处理。950~1050℃ 正火, 600~670℃ 回火。

表 2-110 马氏体不锈钢的热处理规范

| 牌 号 | 退火 (℃) | 淬火 (℃) | 回火 (℃) | σ_b (MPa) | HRC |
|-----------------|---------|----------|---------|------------------|-------|
| ZGCr13 (CA-15) | 845~900 | — | — | 550 | >45 |
| | | 925~1010 | <310 | 1380 | 36~45 |
| | | 925~1010 | 590~760 | 690~930 | 30~18 |
| ZG4Cr13 (CA-40) | 840~900 | — | — | 620 | >55 |
| | | 980~1010 | <315 | 1380 | 45~55 |
| | | 980~1010 | 595 | 1030 | 32~36 |
| | | 980~1010 | 650 | 960 | 28~32 |
| | | 980~1010 | 760 | 760 | <28 |
| CA-6NM | 760~815 | 950~980 | 595~620 | 830 | — |

2. 铁素体不锈钢铸件的热处理 铁素体不锈钢加热时无相变, 不能借热处理来强化。但予以适当的热处理可改善耐蚀性能和加工性能, 加热温度宜在 540℃ 和 850℃ 之间, 以避免脆性, 保温后空冷或水冷, 不宜炉冷。耐蚀性要求不高的铸件, 可在铸态使用。

高铬不锈钢铸件加热时易引起晶粒粗大, 应避免过热。铁素体不锈钢铸件自 850℃ 以上的高温快冷时会发生敏化现象而产生晶间腐蚀, 故退火温度不应超过 850℃。在 700~800℃ 间会产生脆性 σ 相, 在 370~540℃ 加热也会产生脆性。

3. 奥氏体不锈钢的热处理

(1) 固溶处理 将铸件加热到 1065~1130℃, 保温后水冷, 油冷或空气中冷却, 使碳化物完全溶解, 得到单相组织。固溶温度取决于钢中碳含量, 碳含量越高, 固溶温度越高。加热方式应先低温预热, 再快速升温。

不宜采用固溶处理方式的, 可在 870℃~980℃ 保温 24~48h 然后空冷。但含碳极低或加工后需焊接的铸件不宜采用此工艺。

常用奥氏体钢固溶处理规范见表 2-111。

(2) 稳定化处理 固溶处理后的奥氏体不锈钢铸件, 重新加热到 500~850℃, 或铸件在此温度区间使用时, 碳化物又会重新沿奥氏体晶界析出。为克服这一现象, 可在钢中加钛、铌等元素, 并在固溶处理后, 重新加热到 850~930℃, 快冷, 这种方法称为稳定化处理。

表 2-111 奥氏体不锈钢固溶处理规范

| 牌 号 | 固溶温度 (℃) | 硬度 (HBS) |
|------------------------------|-----------|----------|
| ZG0Cr18Ni10 | 1050~1100 | — |
| ZG0Cr18Ni9 | 1080~1130 | — |
| ZG1Cr18Ni8 (G-X15CrNi18 8) | 1050~1100 | 140~190 |
| ZGCr18Ni9Ti (X18H9Ti1) | 950~1050 | 125~180 |
| ZGCr18Ni9Mo2Ti (X18H9M2) | 1000~1050 | 140~190 |
| ZGCr18Ni12Mo2Ti (X18H12M2) | 1100~1150 | — |
| ZGCr18Ni11B (X18H11B) | 1100~1150 | — |
| ZGCr19Ni10 (CF-3) | 1040~1120 | — |
| ZGCr19Ni11Mo3 (CF-3M) | 1040~1120 | 150~170 |
| ZGCr19Ni9 (CF-8) | 1040~1120 | 140~156 |
| ZGCr19Ni10Nb (CF-8C) | 1065~1120 | 149 |
| | 870~900 | — |
| | 稳定化 | — |
| ZGCr19Ni10Mo3 (CF8M, CF-12M) | 1065~1120 | 156~210 |
| ZG1Cr19Ni10 (CF-16F) | 1095~1150 | 150 |
| ZG2Cr19Ni9 (CF-20) | 1095~1150 | 163 |
| ZGCr19Ni11Mo4 (CG-8M) | 1040~1120 | 176 |
| ZGCr24Ni13 | 1095~1150 | 190 |
| ZG1Cr24Ni20Mo2Cu3 | 1100~1150 | — |
| ZG2Cr25Ni20 (CK-20) | 1095~1175 | 144 |
| ZGCr20Ni29Mo3Cu3 (CH-7M) | >1120 | 130 |
| ZG1Cr17Mn13N | 1100 | 223~235 |
| ZG1Cr17Mn13Mo2CuN | 1100 | — |
| ZG0Cr17Mn13Mo2CuN | 1100 | 223~248 |

4. 沉淀硬化不锈钢铸件的热处理 沉淀硬化型不锈钢首先进行固溶化处理, 使铸态析出的硬化相充分溶解, 然后再进行时效沉淀硬化处理, 使二次硬化

相析出, 达到提高不锈钢铸件的强度, 并使之兼有良好的耐腐蚀性能的目的。

固溶处理温度为 1020~1060℃, 保温时间按壁厚每 25mm 保温 1h 计算。形状复杂的铸件, 可将固溶温度降低到 927℃。

时效处理规范见表 2-112。

表 2-112 不同性能的沉淀硬化
不锈钢的时效处理规范

| 铸件性能要求 | 时效处理规范 |
|--------|----------------------------|
| 中等强度 | 565℃ × 4h |
| 高韧度 | 580℃ × 4h 或 620℃ ± 5℃ × 4h |
| 高冲击韧度 | 650℃ × 4h |

为消除铸件中的树枝状组织及成分偏析, 最好在固溶前进行高温均匀化处理。均匀化温度 1000~1150℃, 保温时间根据铸件壁厚定。

4.2.5 耐热铸钢件的热处理

马氏体耐热铸钢常采用正火及回火处理, 其中含 Cr13% 的钢正火后应立即在 300℃ 或 600~800℃ 回火, 而不允许在 480℃ 回火, 以免铸件变脆; 铁素体耐热铸钢件以铸态供货, 必要时进行退火, 且快速冷却以迅速通过 400~550℃ 脆性区; 奥氏体耐热钢一般以铸态供货, 在要求较高蠕变强度情况下, 对铸件施行固溶处理和时效处理。

表 2-113 为耐热钢铸件的热处理规范。

表 2-113 耐热钢铸件的热处理规范

| 类型 | 牌 号 | 供货状态及组织 | 热处理工艺 | 使用温度 (℃) |
|----------|--|--------------|--|----------|
| 马氏体 型 | ZGCr5Mo | 马氏体 珠光体 | 900~1000℃ 正火 550~750℃ 回火或 980℃ 退火 | <600 |
| | ZG1Cr6Si2Mo | 马氏体 珠光体 | 930~950℃ 退火 940~960℃ 正火 650~800℃ 回火 | <600 |
| | ZG4Cr9Si2 | 马氏体 碳化物 | 1000℃ 淬火或正火 680~700℃ 回火 | <700 |
| | ZG4Cr9Mo1 | 马氏体 少量碳化物 | 885℃ 退火 995℃ 正火 675℃ 回火 | <700 |
| | ZG1Cr13 ZG2Cr13 ZG3Cr13 ZG4Cr13 | 马氏体 少量碳化物 | 1000~1050℃ 淬火 1000~1050℃ 淬火 1000~1050℃ 淬火 1020~1060℃ 淬火 | <700 |
| 铁素体 型 | ZG4Cr17Ni2 | 铁素体 碳化物 | 950℃ 退火 1050~1100℃ 固溶 750℃ 回火 | — |
| | ZG5Cr25Ni2 | 铁素体 碳化物 | 800~850℃ 退火空冷 | — |
| | ZG3Cr25Si3Ni | 铁素体 碳化物 | 800~850℃ 退火 | — |
| | ZGCr28 | 铁素体 | 800~850℃ 退火 | — |
| | ZGCr28Ni5 | 铁素体 少量奥氏体 | 800~850℃ 退火 | — |

(续)

| 类型 | 牌 号 | 供货状态及组织 | 热处理工艺 | 使用温度 (°C) |
|----------|-------------------|------------------|-----------------------------------|-----------|
| 奥氏体 型 | ZG1Cr14Ni14Mo2WNb | 奥氏体 碳化物 铸态 | 1180°C 固溶 800°C 时效 750°C 时效 | < 600 |
| | ZG1Cr25Ni13Ti | 奥氏体 碳化物 铸态 | 1160~1180°C 固溶 760~780°C 时效 | 600~650 |
| | ZG3Cr18Ni25Si2 | 奥氏体 碳化物 铸态 | 1100°C 固溶 | < 1100 |
| | ZG4Cr22Ni4N | 奥氏体 碳化物 铸态 | 1100~1150°C 固溶 | < 1100 |
| | ZG3Cr24Ni7N | 奥氏体 碳化物 | 1100~1150°C 固溶 | < 1100 |
| | ZG6Mn18Al5Si2Ti | 奥氏体 碳化物 | 铸态或 1100°C 固溶 | < 900 |
| | ZG6Mn28Al7TiRE | 奥氏体 碳化物 | 铸态 | < 950 |
| | ZG6Mn28Al9TiRE | 奥氏体 碳化物 | 铸态 | < 950 |
| | ZGCr18Mn12Si2N | 奥氏体 碳化物 | 1100~1150°C 固溶 | < 950 |

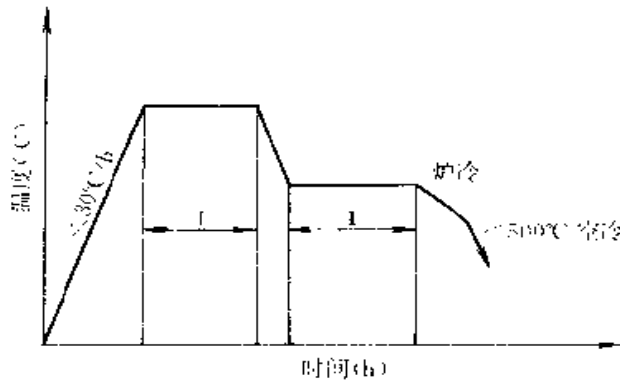
4.2.6 铸造工、模具钢的热处理

铸造工、模具钢的热处理方法是随其成分及使用条件而定的。工具钢铸件以保证强度、红硬性及防止变形开裂为主；模具钢则以保证高强度和良好韧性为

主。一般常用的热处理方法为预先退火处理，再淬火、回火，以及表面化学处理。

铸造工、模具钢热处理规范见表 2-114、115~表 2-116。

表 2-114 铸造工、模具钢退火工艺



| 牌 号 | 退火工艺规范 | | | | 退火后硬度 (HBS) |
|------------------------|-------------|----------|---|-------------|-------------|
| | 温度 (I) (°C) | 保温时间 (h) | 冷却方式 (II) | 冷却速率 (°C/h) | |
| ZGW18Cr4V | 930~950 | 2 | 炉冷至 740~760°C，保温 2~4h，再炉冷至 500~600°C，空冷 | 30~40 | ≤250 |
| ZGW9Cr4V | 930~950 | 2 | | 30~40 | < 250 |
| ZG3Cr2W8 | 840~860 | 2~4 | 炉冷至 ≤500°C，空冷 | ≤50 | 207~255 |
| ZG5CrMnMo | 850~870 | 2~4 | 炉冷至 680°C，保温 4~6h，再炉冷至 < 500°C，空冷 | ≤50 | 197~241 |
| ZG5CrNiMo | 760~790 | 4~6 | | ≤50 | 197~241 |
| ZG4Cr5MoSiVI (美国 CH13) | 890~920 | 2~4 | 炉冷至 720~740°C，保温 2~4h 再炉冷至 < 500°C，空冷 | ≤50 | 185~250 |

表 2-115 铸造工、模具钢的淬火工艺

| 牌 号 | 预 热 | | | | 温 度 ($^{\circ}\text{C}$) | 淬 火 | | 淬火后 硬度 (HRC) |
|--------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| | 一 次 | | 二 次 | | | 保 温 时 间 (min/mm) | | |
| | 空气炉 | | 盐浴炉 | | | 空气炉 | 盐浴炉 | |
| | 温 度 ($^{\circ}\text{C}$) | 时 间 (min/mm) | 温 度 ($^{\circ}\text{C}$) | 时 间 (min/mm) | | | | |
| ZGCr18Cr4V | 500~550 | 2~3 | 800~850 | 0.4~0.5 | 1180~1220 | 1~2 | 到温后, 保温 15~20min | >62 |
| ZGCr9Cr4V | 500~550 | 2~3 | 800~850 | 0.4~0.5 | 1220~1260 | 1~2 | 0.3~0.4 | 62~65 |
| ZG3Cr2W8 | 600~650 | 2~3 | 800~850 | 0.4~0.5 | 1050~1120 | 1~2 | 0.15~0.3 | 54~56 |
| ZG4Cr5MoSiV1 | 600~650 | 2~3 | 800~850 | 0.4~0.5 | 1000~1050 | 1~2 | 0.15~0.3 | 56~58 |
| ZG5CrMnMo | — | — | 800~850 | 0.3 | 820~850 | 1~2 | 0.1 | 52~54 |
| ZG5CrNiMo | — | — | 800~850 | 0.3 | 840~860 | 1~2 | 0.1 | 50~52 |
| ZGCr12 | 500~550 | 2~3 | 800~850 | 0.5~0.6 | 960~980 1080~1100 | 1~2 | 0.3~0.4 | 62~64 40~50 |

表 2-116 铸造工、模具钢回火工艺

| 牌 号 | 回 火 规 范 | | | 冷 却 方 式 | 回 火 后 硬 度 (HRC) |
|--------------------|----------------------------|-----|-------------|---------------------------------|-----------------|
| | 温 度 ($^{\circ}\text{C}$) | 次 数 | 保 温 时 间 (h) | | |
| ZGCr18Cr4V | 550 | 3 | 1.5 | 空 | >62 |
| ZGCr9Cr4V | 570~590 | 4 | 1.5 | 空 | ≥ 63 |
| ZG4Cr5MoSiV1 (H13) | 590~630 620~650 | 2~3 | 1.5 | 空 | 45~48 |
| ZG5CrMnMo | 490~580 | 1 | 2~3 | 空 | 34~47 |
| ZG5CrNiMo | 490~540 | 1 | 2~3 | 油冷至 100 $^{\circ}\text{C}$ 以下空冷 | 38~47 |

4.3 铸钢件的其它热处理方法

铸钢件的其它热处理方法, 包括除氢处理、表面淬火和表面渗碳、渗氮、碳氮共渗等。铸造厂平时不作此类处理, 只有用户特殊要求时, 方才进行。

(1) 除氢处理 将钢加热到 200~230 $^{\circ}\text{C}$ 保温, 使钢中所含氢气逸出。保温时间按每 25mm 壁厚 20~25h 计算, 厚大件时间长, 不便采用。

(2) 表面淬火 采用感应加热或火焰加热的办

法, 使零件表面部分迅速升温到相变温度以下, 随即水冷或油冷的方法叫表面淬火。适用于处理异形、大型工件。淬火后铸件应作回火处理。

(3) 表面化学处理 (渗碳、渗氮及碳氮共渗) 将铸件置于含有渗入元素 (碳、氮) 的介质中加热, 通过渗入的活性原子被铸件表面吸收及向金属内部扩散的方式, 改变铸件表面的成分及性能。这种方法常用于心部要求良好的力学性能而表面需要耐磨、耐腐蚀和高疲劳强度、抗咬合性的专用铸钢件。

第三章 铸铁及其熔炼

根据 GB 5612—85《铸铁牌号表示方法》的规定，铸铁的种类、代号及其牌号的表示方法见表 3-1。

铸铁牌号依次由代号、元素符号及含量、力学性能组成：

1) 代号取自表示铸铁特征的汉语拼音字的一个大写字母。当两种铸铁代号字母相同时，在大写字母后加小写字母区别之。同一名称铸铁需要细分时，取其细分特点的汉语拼音字第一大写字母，排列在后面。

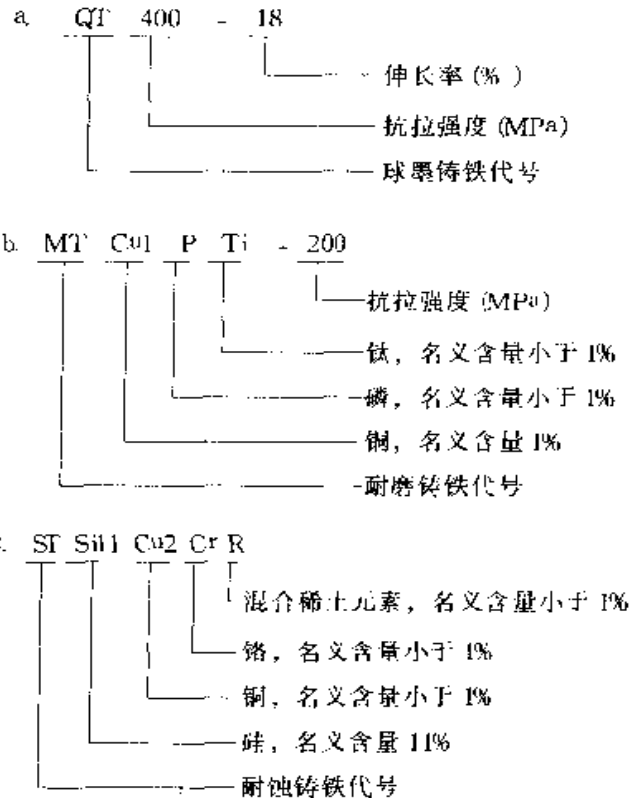
2) 合金元素用化学符号表示，混合稀土元素用符号“R”表示。合金元素的先后按其含量递减次序排列；含量相等时，按元素符号的字母顺序排列。合金元素含量 ≥ 1 时，用整数表示； < 1 时一般不标注，只有影响较大时，才予以标注。常规五元素 C、Si、Mn、S、P 一般不标注；有特殊作用时，才标注其符号及含量。

3) 力学性能以数字形式排在最后。第一组数字表示抗拉强度值 (MPa)，第二组数字表示伸长率值 (%)。

表 3-1 铸铁的种类、代号及牌号表示方法实例 (GB 5612—85)

| 铸铁名称 | 代号 | 牌号表示方法示例 |
|---------|------|--------------|
| 灰铸铁 | HT | HT100 |
| 蠕墨铸铁 | RuT | RuT420 |
| 球墨铸铁 | QT | QT400-18 |
| 黑心可锻铸铁 | KTH | KTH300-06 |
| 白心可锻铸铁 | KTB | KTB350-04 |
| 珠光体可锻铸铁 | KTZ | KTZ450-06 |
| 耐磨铸铁 | MT | MTCu1PTi-200 |
| 抗磨白口铸铁 | KmTB | KmTBMn5Mo2Cu |
| 抗磨球墨铸铁 | KmTQ | KmTQMn6 |
| 冷硬铸铁 | LT | LTCrMoR |
| 耐蚀铸铁 | ST | STSi15R |
| 耐蚀球墨铸铁 | STQ | STQAl5S5 |
| 耐热铸铁 | RT | RTCr2 |
| 耐热球墨铸铁 | RTQ | RTQAl6 |
| 奥氏体铸铁 | AT | |

铸铁牌号示例说明如下：



1 灰铸铁

灰铸铁是断面呈灰色、碳主要以片状石墨形式出现的铸铁。

1.1 灰铸铁的牌号

1.1.1 牌号

对于在砂型中或导热性相当于砂型的铸型中铸造的灰铸铁，GB 9439—88《灰铸铁件》根据 $\phi 30\text{mm}$ 单铸试棒的抗拉强度规定了六个牌号，见表 3-2。

表 3-2 灰铸铁单铸试棒的抗拉强度 (GB 9439—88)

| 牌号 | 抗拉强度 $\sigma_b \geq$ | |
|-------|----------------------|------------------------------|
| | MPa | (kgf/mm^2) |
| HT100 | 100 | (10.2) |
| HT150 | 150 | (15.3) |
| HT200 | 200 | (20.4) |
| HT250 | 250 | (25.5) |
| HT300 | 300 | (30.6) |
| HT350 | 350 | (35.7) |

注：验收时， n 牌号的灰铸铁，其抗拉强度应在 $n - (n + 100)$ MPa 的范围内。

1.1.2 力学性能标准

(1) 单铸试棒及其力学性能 单铸试棒见图 3-1。

单铸试棒用砂型（或具有相似冷却条件的铸型），竖浇；经供需双方协商同意，也可以用湿砂型。同一铸型中可以浇注若干根试棒，其自由间距不得小于 50mm。试棒的长度 L 根据试样和夹持装置的长度确定。试棒与铸件须用同一批铁液浇注。开型温度 $\geq 500^{\circ}\text{C}$ 。若需热处理，则试棒和其所代表的铸件同炉处理；但若铸件仅时效处理清除应力，则试棒不予以处理。

单铸试棒（加工成试样测试）的力学性能见表 3-2。

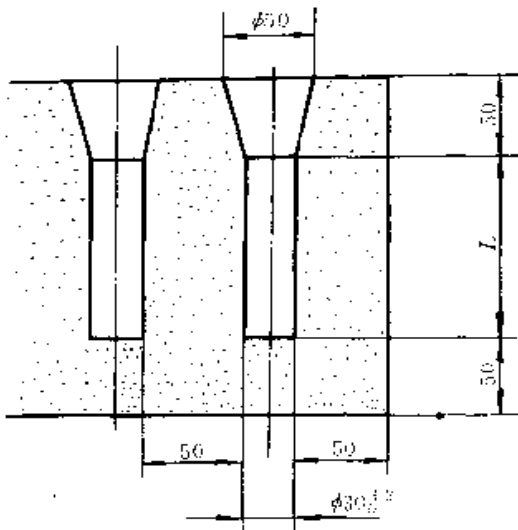


图 3-1 单铸试棒 (GB 9439--88)

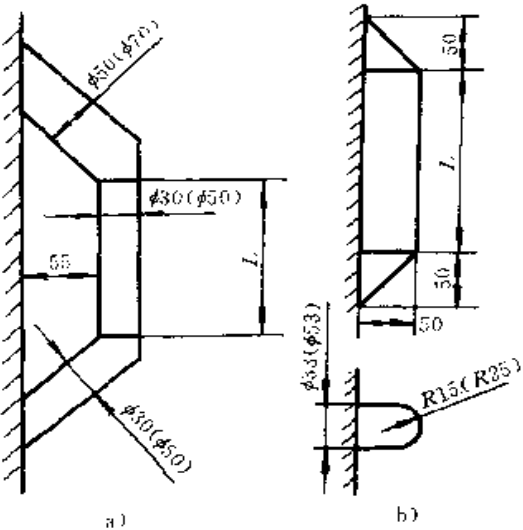


图 3-2 附铸试棒、试块 (GB 9439--88)

a) 附铸试棒 b) 附铸试块

附铸试棒（块）的冷却条件应与所代表的铸件大致相仿。试棒（块）的类型及附铸的部位应供需双方协商协定；若无协议，则应附铸在有代表性的部位。试棒（块）的长度 L 根据试样和夹持装置的长度确定。若铸件需热处理，则应在热处理之后切下试棒（块）。

附铸试棒和试块（加工成试样测试）的力学性能见表 3-3。

表 3-3 附铸试棒的力学性能

| 牌 号 | 铸件壁厚 (mm) | | $\sigma_b \geq$ MPa (kgf/mm ²) | | | | 铸件 (仅供参考) |
|-------|--------------|--------|--|--------------------|---------------|------------|--------------|
| | | | 附铸试棒 (图 3-2a) | | 附铸试块 (图 3-2b) | | |
| | > | \leq | $\phi 30\text{mm}$ | $\phi 50\text{mm}$ | R15mm | R25mm | |
| HT150 | 20 | 40 | 130 (13.3) | | [120] (12.2) | | 120 (12.2) |
| | 40 | 80 | 115 (11.7) | [115] (11.7) | 110 (11.2) | | 105 (10.7) |
| | 80 | 150 | | 105 (10.7) | | 100 (10.2) | 90 (9.2) |
| | 150 | 300 | | 100 | | 90 (9.2) | 80 (8.2) |
| HT200 | 20 | 40 | 180 (18.4) | | [170] (17.3) | | 165 (16.8) |
| | 40 | 80 | 160 (16.3) | [155] (15.8) | 150 (15.3) | | 145 (14.8) |
| | 80 | 150 | | 145 (14.8) | | 140 (14.3) | 130 (13.3) |
| | 150 | 300 | | 135 (13.8) | | 130 (13.3) | 120 (12.2) |
| HT250 | 20 | 40 | 220 (22.4) | | [210] (21.4) | | 205 (20.9) |
| | 40 | 80 | 200 (20.4) | [190] (19.4) | 190 (19.4) | | 180 (18.4) |
| | 80 | 150 | | 180 (18.4) | | 170 (17.3) | 165 (16.8) |
| | 150 | 300 | | 165 (16.8) | | 160 (16.3) | 150 (15.3) |

(续)

| 牌 号 | 铸件壁厚 (mm) | | $\sigma_b \geq MPa$ (kgf/mm ²) | | | | |
|-------|--------------|-----|--|--------------|---------------|------------|--------------|
| | | | 附铸试棒 (图 3-2a) | | 附铸试块 (图 3-2b) | | 铸件 (仅供参考) |
| | > | ≤ | φ30mm | φ50mm | R15mm | R25mm | |
| HT300 | 20 | 40 | 260 (26.5) | | [250] (25.5) | | 245 (25.0) |
| | 40 | 80 | 235 (24.0) | [230] (23.5) | 225 (23.0) | | 215 (21.9) |
| | 80 | 150 | | 210 (21.4) | | 200 (20.4) | 195 (19.9) |
| | 150 | 300 | | 195 (19.9) | | 185 (18.9) | 180 (18.4) |
| HT350 | 20 | 40 | 300 (30.6) | | [290] (29.6) | | 285 (29.1) |
| | 40 | 80 | 270 (27.5) | [265] (27.0) | 260 (26.5) | | 255 (26.0) |
| | 80 | 150 | | 240 (24.5) | | 230 (23.5) | 225 (23.0) |
| | 150 | 300 | | 215 (21.9) | | 210 (21.4) | 205 (20.9) |

- 注：1. HT100 在厚断面处强度太低，故没有实用价值。
 2. 当铸件壁厚超过 300mm 时，其力学性能应由供需双方协商确定。
 3. 方括弧内的数值仅适于铸件壁厚大于试样直径时使用。
 4. 附铸试棒（块）的长度 L 根据试样和夹持装置的长度确定。

(3) 不同壁厚灰铸铁件的抗拉强度 灰铸铁的力学性能与铸件的壁厚有关。各牌号不同壁厚的灰铸铁件能达到的力学性能的参考值见表 3-4。若供需双方协商同意，也可以从铸件上切下试块加工成试样，测定其抗拉强度。

表 3-4 灰铸铁件的抗拉强度 (GB 9439—88)

| 牌 号 | 铸件壁厚 (mm) | | $\sigma_b \geq MPa$ (kgf/mm ²) |
|-------|--------------|----|--|
| | > | ≤ | |
| HT100 | 2.5 | 10 | 130(13.3) |
| | 10 | 20 | 100(10.2) |
| | 20 | 30 | 90(9.2) |
| | 30 | 50 | 80(8.2) |
| HT150 | 2.5 | 10 | 175(17.8) |
| | 10 | 20 | 145(14.8) |
| | 20 | 30 | 130(13.3) |
| | 30 | 50 | 120(12.2) |
| HT200 | 2.5 | 10 | 220(22.4) |
| | 10 | 20 | 195(19.9) |
| | 20 | 30 | 170(17.3) |
| | 30 | 50 | 160(16.3) |

(续)

| 牌 号 | 铸件壁厚 (mm) | | $\sigma_b \geq MPa$ (kgf/mm ²) |
|-------|--------------|----|--|
| | > | ≤ | |
| HT250 | 4.0 | 10 | 270(27.5) |
| | 10 | 20 | 240(24.5) |
| | 20 | 30 | 220(22.4) |
| | 30 | 50 | 200(20.4) |
| HT300 | 10 | 20 | 290(29.6) |
| | 20 | 30 | 250(25.5) |
| | 30 | 50 | 230(23.5) |
| HT350 | 10 | 20 | 340(24.7) |
| | 20 | 30 | 290(29.6) |
| | 30 | 50 | 260(26.5) |

注：当一定牌号的铁液浇注壁厚均匀而形状简单的铸件时，壁厚变化所对应的抗拉强度变化，可从本表查出参考性数据；当铸件壁厚不均匀或有芯时，本表仅能近似给出不同壁厚处的大致抗拉强度值，铸件设计应依据关键部位的实测值。

(4) 硬度牌号 灰铸铁根据硬度分为六种牌号，见表 3-5。

表 3-5 灰铸铁的硬度牌号 (GB 9439—88)

| 硬度牌号 | H145 | H175 | H195 | H215 | H235 | H255 |
|--------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 铸件上的硬度范围(HB) | 最大不超过 170 | 150~200 | 170~220 | 190~240 | 210~260 | 230~280 |

- 注：1. 硬度分级是规定位置上的平均值。
 2. H235 和 H255 所预计的硬度值相当于质量 < 200kg，且壁厚 < 20mm 的铸件硬度。

经供需双方协商同意，硬度可以作为铸铁件的验收条件。硬度应在供需双方确定的铸件上某位置或有代表性的位置测定；对于壁厚 < 20mm 的铸件，经供

需双方协商，硬度也可以用图 3-3 所示的附铸试块测定。铸铁的硬度和抗拉强度之间有一定的关系，见本节 1.7。

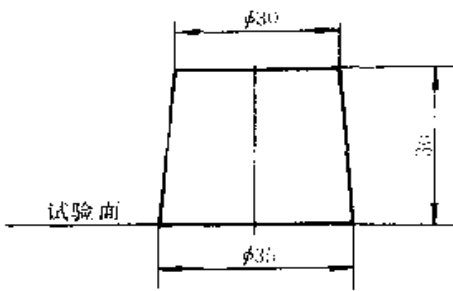


图 3-3 布氏硬度的附铸试块 (GB 9439—88)

1.2 灰铸铁的性能

1.2.1 力学性能 (供参考)

1.2.1.1 静载力学性能 (表 3-6)

1.2.1.2 动载力学性能

1. 冲击性能 灰铸铁是脆性材料, 不适于承受强冲击。其冲击性能的参考值见表 3-7。

表 3-6 灰铸铁的静载力学性能

| 牌 号 | 抗拉强度 | 伸长率 | 抗弯强度 | 挠度 | 抗压强度 | 硬度 | 抗剪强度 | 抗扭强度 | 拉伸弹性 | 抗扭弹性 | 备 注 | |
|-------------|---------------------|-----------------|------------------------|-------------|---------------------|---------|-------|---|-------------------|-------------|---|--------------|
| | σ_b (MPa) | δ (%) | σ_{bb} (MPa) | f (mm) | σ_k (MPa) | (HB) | (MPa) | (MPa) | 模量 E_0 (GPa) | 模量 (GPa) | | |
| HT100 | 100 | | 260 | 2 | — | 143~229 | — | | | | 1. $\phi 30\text{mm}$ 试棒 2. 除 σ_b 外, 其它性能仅供参考 | |
| HT150 | 150 | | 330 | 2.5 | 600~800 | 143~241 | — | 抗扭强度 =(1.11 ~1.45 σ_b) | 参考密 烘铸铁 | | | |
| HT200 | 200 | 0.3~ | 400 | 2.5 | 600~800 | 163~241 | 248 | | | | | |
| HT250 | 250 | 0.8 | 470 | 3 | 800~1000 | 163~255 | 282 | | | | | |
| HT300 | 300 | | 540 | 3 | 1000~1200 | 170~255 | 293 | | | | | |
| HT350 | 350 | | 610 | 3.5 | 1200~1350 | 170~269 | 422 | | | | | |
| GF150 | 150 | | | | 650 | 150~190 | 150 | | | | 90 | |
| GE200 | 200 | | | | 800 | 170~210 | 200 | | 105 | | | |
| GE225 | 225 | | | | 875 | 175~215 | 225 | | 112 | | | |
| GD250 | 250 | | | | 950 | 180~220 | 250 | | 120 | | | |
| GC275 | 275 | | 575 ^① | 6.6~8.7 | 1025 | 185~225 | 275 | 322 ^② | 128 | | | |
| GB300 | 300 | | 595 ^① | 7.0~8.7 | 1100 | 190~230 | 300 | 392 ^② | 135 | | | |
| GA350 | 350 | | 625 ^① | 7.0~8.7 | 1250 | 200~240 | 350 | 423 ^② | 145 | | | |
| GM400 | 400 | | 655 ^① | 7.0~8.7 | 1400 | 210~280 | 400 | 450 ^② | 150 | | | |
| ASTM A48-88 | 20 | 138 | 0.6 | | | 572 | 156 | 179 | 66~97 | 27~39 | 壁厚 (mm) | 试棒直径 (mm) |
| | 25 | 172 | 0.6 | | | 669 | 174 | 220 | 79~102 | 32~41 | <6 | a |
| | 30 | 207 | 0.6 | | | 752 | 210 | 276 | 90~113 | 36~45 | 6~12 | $\phi 22.4$ |
| | 35 | 241 | 0.6 | | | 855 | 212 | 334 | 100~119 | 40~48 | 13~25 | $\phi 30.5$ |
| | 40 | 276 | 0.6 | | | 965 | 235 | 393 | 110~138 | 44~54 | 26~50 | $\phi 50.8$ |
| | 50 | 345 | 0.6 | | | 1130 | 262 | 503 | 130~157 | 50~55 | >50 | a |
| | 60 | 414 | 0.6 | | | 1293 | 302 | 610 | 141~162 | 54~59 | a | a 供需双方商定 |

① 试棒 $\phi 30.5\text{mm}$, 长 458mm。

② 试棒 $\phi 19\text{mm}$, 长度 382mm。

表 3-7 灰铸铁的冲击性能

| 牌 号 | HT100 | | HT150 | | HT200 | | HT250 | | HT300 | | HT350 | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-----------|--|-----------|-------|------------|--|
| 冲击初度 a_K (J/cm ²) | — | | — | | 1.96~4.90 | | 3.92~7.85 | | 6.86~9.81 | | 8.83~10.79 | |
| 密烘铸铁 | GF150 | GE200 | GF225 | GD250 | GC275 | GB300 | GA350 | | | GM400 | | |
| 冲击吸收功(J) 10mm×10mm, 无缺口 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | | | 10 | | |

注: a_K 为夏氏 V 缺口冲击初度。

2. 疲劳性能 由于石墨以片状存在, 即使高强度灰铸铁, 光洁试样的对称弯曲疲劳极限也难以达到 200MPa。

灰铸铁的疲劳性能见表 3-8, 缺口敏感性见表 3-9, 片状石墨减小缺口敏感性, 灰铸铁的缺口敏感系数约为 1 或接近 1。

表 3-8 灰铸铁的疲劳性能

| 牌 号 | HT100 | HT150 | HT200 | HT250 | HT300 | HT350 | | |
|----------------------------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|
| 抗拉强度 σ_b (MPa) | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | | |
| 疲劳极限 σ_{-1} (MPa) | — | — | 88~108 | 98~127 | 127~167 | 147~196 | | |
| 疲劳比 σ_{-1}/σ_b | — | — | 0.44~0.54 | 0.39~0.51 | 0.42~0.56 | 0.42~0.56 | | |
| 密烘铸铁牌号 | GF150 | GE200 | GE225 | GD250 | GC275 | GB300 | GA350 | GM400 |
| 抗拉强度 σ_b (MPa) | 150 | 200 | 225 | 250 | 275 | 300 | 350 | 400 |
| 疲劳极限 σ_{-1} (MPa) | 70 | 90 | 100 | 110 | 125 | 140 | 160 | 190 |
| 疲劳比 σ_{-1}/σ_b | 0.47 | 0.45 | 0.44 | 0.44 | 0.45 | 0.47 | 0.46 | 0.48 |
| 美国 ASTM A48—83 牌号 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 | |
| 抗拉强度 σ_b (MPa) | 138 | 172 | 207 | 241 | 276 | 379 | 414 | |
| 疲劳极限 σ_{-1} (MPa) | 69 | 79 | 97 | 110 | 128 | 148 | 169 | |
| 疲劳比 σ_{-1}/σ_b | 0.45 | 0.44 | 0.45 | 0.44 | 0.44 | 0.41 | 0.39 | |

注: A48—83 用铸态试棒。

表 3-9 灰铸铁的缺口敏感性

| 抗拉强度 σ_b (MPa) | 疲劳极限 σ_{-1} (MPa) | 缺口试样 疲劳极限 σ_{-1k} (MPa) | 疲劳比 σ_{-1}/σ_b | 缺口敏感 系数 σ_{-1}/σ_{-1k} |
|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|--|
| 160 | 81 | 77 | 0.51 | 1.05 |
| 209 | 104 | 94 | 0.50 | 1.09 |
| 256 | 134 | 113 | 0.52 | 1.20 |
| 293 | 167 | 131 | 0.57 | 1.26 |

表 3-11 灰铸铁的低温力学性能

| 性 能 | 变 化 规 律 |
|---|---|
| 抗拉强度 | 随温度降低, 抗拉强度升高。从室温至 -100°C , 约升高 10%~15%; 铸态孕育灰铸铁约在 -175°C 时, 而退火后约在 -200°C 左右时, 出现最高值。通常每降低 100°C 升高 23~39MPa |
| 屈服强度 | 随温度降低, 屈服强度升高。每降低 100°C , 约增加 17~27MPa。但其升高速率很不均匀 |
| 屈服比 $\left(\frac{\sigma_{0.1}}{\sigma_b}\right)$ | 随温度降低, 屈服比增加, 通常在 -200°C 以下, 比值达到 1; 因此, 灰铸铁在 -200°C 以下, 永久变形超过 0.1% 均发生破坏 |
| 伸长率 | 低于室温, 伸长率下降 |
| 硬度 | 低于室温时, 硬度增加; 在 -200°C 时, 硬度约增加 100HB |
| 冲击韧度 | 低于室温时, 冲击韧度降低; 从室温至 -100°C , 约降低 30% |
| 疲劳性能 | 从 $+27^{\circ}\text{C}$ 降至 -40°C , 疲劳极限增加, 疲劳比基本不变, 缺口敏感性无明显变化 |

3. 断裂韧度 根据统计资料, 灰铸铁的 K_{Ic} 为 12~24MPa \sqrt{m} , 但也有文献测出 K_{Ic} 为 11~19MPa \sqrt{m} 。

细化石墨, 可改善断裂韧度。如铸态珠光体灰铸铁 (C 3.35%, Si 2.06, Mn 0.46%, P 0.038%, S 0.055%); 石墨片长 0.12mm 时, $K_{Ic} = 19.9\text{MPa}\sqrt{m}$, 石墨片长 0.10mm 时, $K_{Ic} = 20.6\text{MPa}\sqrt{m}$ (m 为裂纹深度, mm)。

1.2.1.3 高温及低温力学性能 (表 3-10, 表 3-11)

表 3-10 灰铸铁的高温力学性能

| 性 能 | 变 化 规 律 |
|---------|--|
| 抗拉强度和硬度 | 室温~ 200°C , $\sigma_b, \sigma_s, \text{HB}$ 略有下降; $200\sim 400^{\circ}\text{C}$, $\sigma_b, \sigma_s, \text{HB}$ 略有升高; $>400^{\circ}\text{C}$, 珠光体分解, $\sigma_b, \sigma_s, \text{HB}$ 急剧下降 |
| 冲击韧度 | 在室温~ 240°C , a_K 变化不大; $>400^{\circ}\text{C}$, a_K 稍升高 |
| 疲劳性能 | 室温~约 260°C , σ_{-1} 稍下降; 约 $>260^{\circ}\text{C}$, σ_{-1} 升高; 约 400°C , σ_{-1} 达到最高值; 约 $>450^{\circ}\text{C}$, σ_{-1} 大幅度下降, 室温~ 600°C , 疲劳比无明显变化 |

1.2.2 物理性能 (供参考)

各种灰铸铁的物理性能见表 3-12。

1. 铁液性能 含碳量增加, 粘度增大; 温度升高, 粘度减小。含 C 2.07%~3.96% 的铸铁: 1400°C 时, 铁液粘度约 $(5.1\sim 6.3) \times 10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}$; 1500°C 时, 铁液粘度约 $(4.5\sim 5.2) \times 10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。

灰铸铁铁液在 1400°C 时, 表面张力通常为 $(6.50\sim 9.00) \times 10^{-3}\text{N/cm}$ 。

2. 密度一般 $6.80 \sim 7.40 \text{g/cm}^3$ ，牌号灰铸铁的密度见表 3-12。铁液的密度为 $7.16 \sim 7.27 \text{g/cm}^3$ ，或在 7.20g/cm^3 以下。

碳当量减少，或石墨量减少，则密度增大；退火后，珠光体分解，析出石墨，密度减小 $0.1 \sim 0.2 \text{g/cm}^3$ 。

3. 热性能 温度升高，比热容增加，见表 3-12。灰铸铁的溶解热见表 3-12。

温度愈高，热膨胀系数愈大，见表 3-12。

表 3-12 灰铸铁的物理性能

| 铸铁 牌号 | 密度 ρ (g/cm^3) | 比热容 C_p ($\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$) | | | 溶解热 L (J/g) | 热膨胀系数 $\alpha \times 10^{-6}$ ($1/^\circ\text{C}$) | | | | 热导率 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ | 电阻率 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ |
|----------|----------------------------------|---|------------------------------|---------|-----------------------------|--|------------------------------|------------------------------|------------------------------|---|----------------------------------|
| | | 0 ~ 200 $^\circ\text{C}$ | 0 ~ 1000 $^\circ\text{C}$ | 常温 ~ 熔点 | | 一般 | 0 ~ +100 $^\circ\text{C}$ | 0 ~ +200 $^\circ\text{C}$ | 0 ~ +500 $^\circ\text{C}$ | | |
| HT100 | 6.8 ~ 7.0 | | | | | | | | | 54.43 ~ 58.61 | 90 ~ 105 |
| HT150 | 7.0 ~ 7.2 | | | | | | | | | 52.34 ~ 56.52 | 80 ~ 95 |
| HT200 | 7.2 ~ 7.3 | 502.42 | 669.89 | 921.10 | 209.34 | 10.1 | | 11.5 | 13.0 | 50.24 ~ 54.43 | 75 ~ 85 |
| HT250 | 7.25 ~ 7.35 | | | | | | | | | 48.15 ~ 52.34 | 65 ~ 75 |
| HT300 | 7.3 ~ 7.4 | 544.28 | 711.76 | 962.96 | 230.27 | 12.6 | | 12.0 | 13.5 | 46.05 ~ 50.24 | 55 ~ 65 |
| HT350 | 7.3 ~ 7.45 | | | | | | | | | 43.96 ~ 48.15 | 50 ~ 60 |
| GF150 | 7.0 | | | | | | | | 13 | 55 | |
| GF200 | 7.1 | | | | | | | | 13 | 53 | |
| GE225 | 7.15 | | | | | | | | 13 | 52 | |
| GD250 | 7.2 | | | | | | | | 13 | 51 | |
| GC275 | 7.25 | | | | | | | | 13 | 50 | |
| GB300 | 7.3 | | | | | | | | 13 | 49 | |
| GA350 | 7.3 | | | | | | | | 13 | 47 | |
| GM400 | 7.4 | | | | | | | | 13 | 45 | |

注：GF150 ~ GM400 为密烘铸铁 (Mechanite) 标准。

灰铸铁的热导率为 $46.05 \sim 57.36 \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。温度升高，热导率下降， 500°C 时，热导率约下降到 $38.5 \sim 48.15 \text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

合金元素硅、镍、铝明显降低热导率。磷、锰略降低热导率。铜 2% 时，略降低热导率；铜更多，影响很小。铬、钼、钒的影响尚不清楚。

4. 电磁性能

(1) 电阻率 见表 3-12。石墨细小，电阻率小；石墨粗大，电阻率大。石墨碳每增加 1%，电阻率增加 10% ~ 20%。铁素体增加电阻率，珠光体降低电阻率。锰、磷、铝等增加电阻率，铬、钒减小电阻率。

(2) 磁性能 以珠光体为主的牌号灰铸铁，最大磁导率约 $309 \sim 450 \mu\text{H}/\text{m}$ ($\mu\text{T}\cdot\text{m}/\text{A}$)。

珠光体磁导率低，磁滞损失大；铁素体相反。铁素体基体的磁导率为珠光体基体的 3~4 倍多。

温度升高，磁导率增高，直到居里点约 770°C (铸铁)。

1.2.3 使用性能

(1) 耐磨性 灰铸铁的牌号愈高愈耐磨。

耐磨性决定于金相组织。耐磨铸铁最宜为多相组

织，其特点见表 3-13。

表 3-13 耐磨灰铸铁金相组织的特点

| 组织 | 要求及说明 | 作用 |
|-----|---|---------------------------------------|
| 基体 | 宜为细片状珠光体，愈细愈好，片间距愈小愈好。粒状珠光体中的碳化物易脱落，加剧磨损。 | 珠光体中的铁素体为软基底，渗碳体构成滑动面承载，耐磨。 |
| 石墨 | 宜为 A 型，中等片状适当数量，均布。过量，过粗大，削弱基体；过细，常伴生铁素体，均降低减摩性。 | 作为“自生润滑剂”，吸附和保存润滑油，保持油膜连续性。减摩、润滑，抗咬合。 |
| 硬化相 | 磷共晶细小，网状分布，硬度 HV500；硼碳化物均匀分布，HV1000 ~ 1400；W、V、Ti、Nb、Cr 等元素形成的碳化物细小，弥散。 | 起主要滑动面作用；有独立相存在时，减摩性大增。 |

硬化相形成元素较多，其中磷、硼、钒、钛等使用最多。合金元素形成硬化相、提高耐磨性的顺序如下：

$$\text{B} > \text{Cr} > \text{Mo} > \text{Cu}$$

(2) 耐热性 灰铸铁的抗氧化、抗生长性见表 3-14。

表 3-14 灰铸铁的抗氧化、抗生长性

| 温度(℃) | <350 大气中 | >500 | >700 | 900 | 1000 |
|--------------------------|----------|------|------|-------|------|
| 氧化 g/(m ² ·h) | 几乎不氧化 | 氧化明显 | 急剧氧化 | 18~20 | 37 |
| 生长 (%) | 几乎不生长 | 有生长 | 急剧生长 | 4.5 | 剧烈变形 |

铬、铜、铝、锡、硅、钒、钛等合金元素，可以改善耐热性。

珠光体基体，A型石墨，石墨片较多，均有利于提高热疲劳性；D型石墨铸铁，热疲劳性较低。合金元素钒、铬，尤其铜，显著提高热疲劳性。

(3) 耐蚀性 灰铸铁不是良好的耐蚀材料。其耐

蚀性与球墨铸铁相近。

(4) 减振性 若干材料的减振性见表 3-15。灰铸铁的牌号愈高，石墨片愈细，减振性愈差。

磷显著降低减振性。珠光体退火成铁素体，减振性增加几倍。

表 3-15 若干金属材料的减振性

| 材 料 | 灰铸铁 σ_b 210MPa | 灰铸铁 σ_b 280MPa | 灰铸铁 σ_b 350MPa | 球墨铸铁 | 可锻铸铁 | 碳钢 |
|-------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------|---------|---------|
| 每次循环振幅的相对衰减 | 20.0~60.0 | 8.5~12.0 | 4.0~9.0 | 3.0~9.4 | 3.3~6.3 | 1.0~2.0 |

(5) 致密性 珠光体基体不易渗漏；石墨愈多愈长，愈易渗漏；共晶团数量太多或过粗大，易渗漏。

CE>3.6%，凝固期会发生膨胀，迫使型壁位移，引起缩孔、缩松。磷过高，厚断面易枝晶缩松，应控制 P<0.8%，宜<0.6%。合金元素铬、铜、镍、锡可提高致密度。

孕育可提高致密度。但孕育过度，促进不致密，如某厂缸体、缸盖，加硅铁 0.4% 孕育，引起内部缩

松，宜控制到约 0.1%。

提高砂型刚度，夹紧或加压铁，可减少内部缩松。

适宜降低浇注温度，重要铸件或厚大铸件设置冒口或冷铁，有利于消除、缩孔、缩松，获得致密铸件。

1.2.4 工艺性

(1) 铸造性能 灰铸铁的铸造性能良好，见表 3-16。

表 3-16 灰铸铁的铸造性能

| 性能 | 规 律 及 说 明 | | | | | | |
|--|---|--|---------|---------|---------|-------|-----|
| 流动性 | 铁液近共晶成分，流动性好，亚共晶时，碳、硅、锰(质量分数 0.5%~1.2%)提高流动性；过共晶成分时，碳、硅降低流动性。硫降低流动性，磷明显提高流动性 提高铁液过热温度和浇注温度，可有效提高流动性 净化铁液，去除气体、杂质，可提高流动性 | | | | | | |
| 收缩性 | 1. 液相收缩(浇注温度至液相线温度)如下： | | | | | | |
| | 铁液含碳量(%) | | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
| | 液相收缩 | 浇注 1400℃ | 0.7 | 1.5 | 2.4 | 3.5 | 4.7 |
| | ϵ 液(%) | $t_{\text{浇}} - t_{\text{液}} = 50^\circ\text{C}$ | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 |
| 2. 凝固收缩或膨胀(液相线至固相线之间)：普通灰铸铁，刚性铸型时；CE<3.6%，仅有收缩；CE>3.6%，出现膨胀。 合金元素增加收缩 | | | | | | | |
| 3. 线收缩(凝固后期，形成连续固相骨架后的固态收缩)如下 | | | | | | | |
| 铸 铁 | | HT100, HT150, HT200 | | | HT250 | HT350 | |
| | | 小中件 | 中大件 | 特大件 | HT300 | | |
| 自由线收缩率(%) | | 0.9~1.1 | 0.8~1.0 | 0.7~0.9 | 0.9~1.1 | 1.5 | |
| 铸造收缩(受阻收缩)率(%) | | 0.8~1.0 | 0.7~0.9 | 0.6~0.8 | 0.7~0.9 | 1.0 | |
| 4. 收缩孔总体积约 -0.5%~0.2% | | | | | | | |

(续)

| 性能 | 规律及说明 |
|-------|--|
| 铸造应力 | 铸造应力是热应力(约发生在550℃)、相变应力、收缩应力三者相互抵消或叠加的结果 灰铸铁的铸造应力小:一般19.6~49MPa;薄壁(15~20mm)水冷金属型铸造的气缸套,外表面也只有58.8MPa 单件小批或尺寸精度要求高的铸件,可在500~600℃退火消除铸造应力。中小发动机缸体可不退火,宜采取熔炼、孕育、型内冷却等措施避免铸造应力 |
| 断面敏感性 | 不孕育,铸件内部或厚壁处冷却慢,易晶粒粗大、石墨粗大,强度和硬度低;而在外表面或薄壁、棱角处冷却快,硬度高,且易生成过冷石墨或白口 孕育处理和低合金化(如钼、钒、铬、铜、镍、锡等),可明显改善组织和性能的均匀性 |

(2) 焊接性 灰铸铁的焊接性差。一般铸铁件,可以冷焊补;复杂的薄壁铸铁件,宜热焊补,焊前预热,焊后退火或缓冷。

焊补方法见第八章。

(3) 可加工性

1) 灰铸铁的可加工性与其硬度有关:低硬度,160~190HB,易切削;中硬度,190~220HB,切削顺利;高硬度,220~240HB,可加工。

2) 灰铸铁的可加工性指标 m 为抗拉强度 σ_b (MPa) 与布氏硬度 HB 之比:

$$m = \frac{\sigma_b}{HB}$$

在德国,各牌号灰铸铁的 m 值控制范围如下:
GG10, $m = 0.67 \sim 1.00$; GG15, $m = 0.79 \sim 1.07$;
GG20, $m = 0.95 \sim 1.18$; GG25, $m = 1.04 \sim 1.39$;
GG30, $m = 1.15 \sim 1.50$; GG35, $m = 1.25 \sim 1.67$;
GG40, $m = 1.33 \sim 1.74$ 。

中国牌号与德国牌号相当。

1.2.5 改善灰铸铁性能的途径

改善灰铸铁性能的主要途径有如下几个方面:控制金相组织,合理选择化学成分,合金化,改善炉

料,过热铁液,孕育处理等。

1.3 灰铸铁的金相组织

灰铸铁的金相组织由金属基体、片状石墨及少量磷共晶、碳化物和硫化物等组成。

1.3.1 金相标准 (GB 7216—87《灰铸铁金相》)

1. 石墨

(1) 石墨的分布形状 分为6类,见表3-17和图3-4。试样不浸蚀,放大100倍,对照标准图片鉴别。

在美、德等国家,石墨分布形状分为5种,没有F型星状石墨。

表 3-17 石墨分布形状分类 (GB 7216—87)

| 名称 | 代号 | 说明 |
|------|----|------------------------|
| 片状 | A | 片状石墨均匀分布 |
| 菊花状 | B | 片状与点状石墨聚集成菊花状分布 |
| 块片状 | C | 部分带尖角块状、粗大片状初生石墨及小片状石墨 |
| 枝晶点状 | D | 点、片状枝晶间石墨呈无向分布 |
| 枝晶片状 | E | 短小片状枝晶石墨呈方向性分布 |
| 星状 | F | 星状(或蜘蛛状)与短片状石墨混合均匀分布 |

(2) 石墨长度 分为8级,见表3-18。



片状(A型)



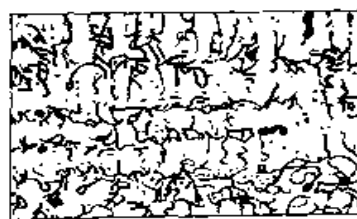
菊花状(B型)



块片状(C型)



枝晶点状(D型)



枝晶片状(E型)



星状(F型)

图 3-4 石墨分布形状

表 3-18 灰铸铁的石墨长度分级 (GB 7216—87)

| 级 别 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------|--------|---------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|
| 名 称 | 石长 100 | 石长 75 | 石长 38 | 石长 18 | 石长 9 | 石长 4.5 | 石长 2.5 | 石长 1.5 |
| 石墨长度(mm) | >100 | >50~100 | >25~50 | >12~25 | >6~12 | >3~6 | >1.5~3 | <1.5 |

2. 金属基体

(1) 基体组织特征 灰铸铁在铸态或热处理后基

体组织的特征见表 3-19。对照标准图片鉴别,并估计各组织的数量。

表 3-19 灰铸铁的基体组织特征 (GB 7216—87)

| 组织名称 | 说 明 |
|-------|---|
| 铁素体 | 白色块状组织为 α 铁素体 |
| 片状珠光体 | 珠光体中碳化物和铁素体均成片状,近似平行排列 |
| 粒状珠光体 | 在白色铁素体基体上分布着粒状碳化物 |
| 托氏体 | 在晶界呈黑团状组织。高倍观察时,可看到针片状铁素体和碳化物的混合体 |
| 粒状贝氏体 | 在大块铁素体上有小岛状组织。岛内可能是奥氏体,奥氏体分解产物(珠光体或马氏体) |
| 针状贝氏体 | 形状呈针片状,高倍观察时,可看到针片状铁素体上分布着点状碳化物,边缘多分枝,无明显夹角关系 |
| 马氏体 | 高碳马氏体外形为透镜状,有明显的中脊面,不回火时针面明亮。有明显的 60° 或 120° 夹角特征 |

(2) 珠光体的片间距 片状珠光体是共析反应所形成的铁素体和渗碳体片层相间、交替排列的组织。珠光体片间距分为 4 级,见表 3-20。对照标准图片评级。

(3) 珠光体的数量 分为 8 级(珠光体+铁素体=100%),见表 3-21。对照标准图片评级。

表 3-20 珠光体间间距分级 (GB 7216—87)

| 级别 | 名 称 | 说 明 |
|----|---------|-------------------------------------|
| 1 | 索氏体型珠光体 | 放大 500 倍下,铁素体和渗碳体难以分辨 |
| 2 | 细片状珠光体 | 放大 500 倍下,片间距 $\leq 1\mu\text{m}$ |
| 3 | 中等片状珠光体 | 放大 500 倍下,片间距 $>1\sim 2\mu\text{m}$ |
| 4 | 粗片状珠光体 | 放大 500 倍下,片间距 $>2\mu\text{m}$ |

表 3-21 珠光体数量分级 (GB 7216—87)

| 级别 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|

(2) 磷共晶的分布形状 分为4种：孤立块状、均匀分布，断续网状，连续网状。对照标准图片鉴别。

(3) 磷共晶的数量 分为6级，见表3-24。对照标准图片评级。

表 3-24 磷共晶数量分级 (GB 7216—87)

| 级 别 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 名称 | 磷 1 | 磷 2 | 磷 4 | 磷 6 | 磷 8 | 磷 10 |
| 磷共晶数量 (%) | ≈1 | ≈2 | ≈4 | ≈6 | ≈8 | ≥10 |

5. 共晶团 铸铁凝固过程中，在共晶温度时，剩余液相发生共晶转变，生成奥氏体和石墨的二相共晶组织，称为共晶团。一个共晶团是以一个石墨核为中心，石墨—奥氏体两相共生生长所形成的一个共晶晶粒，见图3-5。

灰铸铁的共晶团数量按放大倍数分为 A (10倍)、B (40倍) 两组 8 级，见表 3-25。对照标准图片评级。

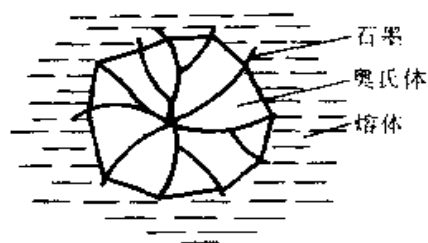


图 3-5 片状石墨—奥氏体共晶团示意图 (GB 9439—88)

表 3-25 共晶团数量分级 (GB 7216—87)

| 级 别 | 直径 $\phi 70\text{mm}$ 图片中共晶团数量 / 个 | | 单位面积中实际共晶团数量 (个/ cm^2) |
|-----|------------------------------------|---------|----------------------------------|
| | 放大 10 倍 | 放大 40 倍 | |
| 1 | >400 | >25 | >1040 |
| 2 | ≈400 | ≈25 | ≈1040 |
| 3 | ≈300 | ≈19 | ≈780 |
| 4 | ≈200 | ≈13 | ≈520 |
| 5 | ≈150 | ≈9 | ≈390 |
| 6 | ≈100 | ≈6 | ≈260 |
| 7 | ≈50 | ≈3 | ≈130 |
| 8 | <50 | <3 | <130 |

1.3.2 金相组织与性能的关系

灰铸铁的各种性能决定于金相组织—石墨，基体，共晶团和非金属夹杂物。

金相组织的影响因素可以归纳为四类：①化学成分—基本元素，合金元素，微量元素。②成核条件—炉料遗传性，熔炼工艺，铁液过热与保温，孕育处理等。③冷却速度—铸件壁厚，铸型材料，浇注温度。④热处理。这些因素都是由于改变金相组织而影响性能。

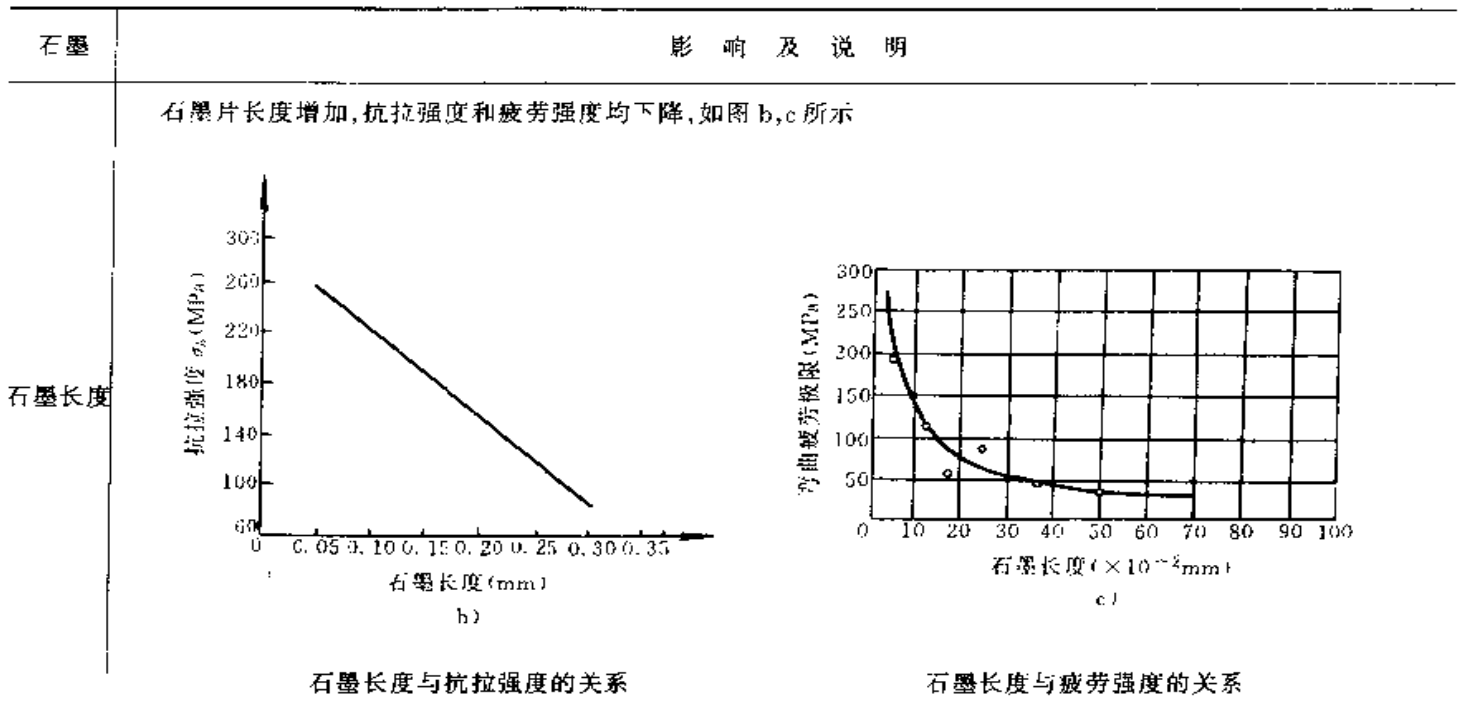
1. 石墨与性能的关系

(1) 石墨与力学性能 石墨软而脆， $\sigma_b < 1.96\text{MPa}$ ， $\delta \approx 0$ ，其尖角割裂金属基体，造成应力集中。故石墨的分布形状、数量、大小、形状基本上决定了灰铸铁的力学性能。见表3-26。

表 3-26 石墨对灰铸铁力学性能的影响

| 石墨 | 影响及说明 |
|--------|---|
| 石墨分布形状 | 呈 A 型时，力学性能最好；呈 B 型时，力学性能不高；呈 C、D、E、F 型时，力学性能都较差 |
| 石墨量 | <p>1. 当石墨、形状和分布形状相同时，石墨数量增加，抗拉强度明显下降，如图 a 所示</p> <p>2. 石墨量增加，弹性模量降低</p> <div style="text-align: center;"> <p>石墨量与抗拉强度的关系</p> </div> |

(续)



石墨粗大, 强度、挠度都降低, 其数值如下:

| 总碳 (%) | 化合碳 (%) | 石墨碳 (%) | 粗大石墨 | | | 细小石墨 | | |
|--------|---------|-------------------|-----------------------|--------------------------|-------------|-----------------------|--------------------------|-------------|
| | | | 抗拉强度 σ_b (MPa) | 抗弯强度 σ_{bb} (MPa) | 挠度 f (mm) | 抗拉强度 σ_b (MPa) | 抗弯强度 σ_{bb} (MPa) | 挠度 f (mm) |
| 3.69 | 0.38 | 3.31 | 139 | 260 | 7.2 | | | |
| | 0.04 | 3.65 | | | | 192 | 544 | 16.4 |
| 3.36 | 0.36 | 3.00 | 189 | 303 | 10.1 | | | |
| | 0.09 | 3.27 | | | | 238 | 520 | 22 |
| 3.27 | 0.43 | 2.84 | 209 | 352 | 10.2 | | | |
| | 0.14 | 3.13 | | | | 301 | 601 | 32 |
| 2.79 | 0.48 | 2.31 ^① | 331 | 451 | 3.4 | | | |
| | 0.05 | 2.74 | | | | 432 | 745 | 167.8 |

① 石墨呈团絮状。

(2) 石墨与其它性能 片状石墨增加导热能力。

灰铸铁的热导率高于球墨铸铁, 远远高于钢。

片状石墨降低导电能力。铸件壁愈厚, 石墨片愈粗大, 电阻愈大, 导电能力愈小。

片状石墨割裂基体, 阻止振动的传播, 石墨片愈粗大, 数量愈多, 吸振能力愈大。

石墨数量愈多, 灰铸铁愈不耐磨。耐磨灰铸铁要求细珠光体加中等片状、适当数量、均布、无方向性的 A 型石墨。

(3) 共晶石墨与致密性 共晶度愈高, 共晶石墨量愈多, 共晶膨胀力愈大, 型壁可能位移, 缩松几率增加, 灰铸铁的共晶石墨量 EGM 可根据共晶度 S_c 按

下列二式计算

$$\text{当 } S_c \leq 1.0 \text{ 时, } EGM = C_{\text{总}} - 1.3 + 0.1(Si + P)$$

$$\text{当 } S_c > 1.0 \text{ 时, } EGM = 2.93 - 0.22(Si + P)$$

式中 $C_{\text{总}}$ ——灰铸铁总碳量的质量分数 (%) ;

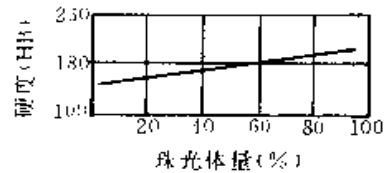
Si, P——分别为灰铸铁硅、磷量的质量分数 (%)。

2. 金属基体与性能的关系

(1) 基体与力学性能 灰铸铁的基体通常由珠光体和铁素体组成。基体虽然是灰铸铁力学性能的根本, 但其作用远远抵不过石墨片的割裂作用; 除硬度外, 强度、塑性、韧性、弹性等性能主要决定于石墨。基体与力学性能的关系见表 3-27。

表 3-27 金属基体对灰铸铁力学性能的影响

| 基体 | 影响及说明 | | | | |
|---------------------------------|---|----------|------------|-----------|------------|
| 基体类型 | 1. 基体类型对强度、塑性、韧性、硬度的影响如下: | | | | |
| | 力学性能 | A型石墨灰铸铁 | | D、E型石墨灰铸铁 | |
| | | 珠光体 | 珠光体 铁素体 | 珠光体 | 珠光体 铁素体 |
| | 抗拉强度 σ_b (MPa) | 177~392 | 118~177 | 147~294 | 98~147 |
| | 弹性模量 E (GPa) | 69~137 | 49~118 | 98~147 | 78~127 |
| | 抗弯强度 $\sigma_{0.2}$ (MPa) | 353~686 | 235~353 | 314~441 | 235~314 |
| | 挠度 f_{600} (mm) | 6~8 | 8~12 | 5~6 | 6~8 |
| | 抗压强度 (MPa) | 686~1373 | 490~785 | 588~1177 | 441~637 |
| 冲击韧性 a_K (J/cm ²) | 4.9~9.8 | 9.8~14.7 | 2.9~4.9 | 4.9~9.8 | |
| 硬度 (HB) | 180~269 | 100~140 | 180~269 | 100~140 | |
| 珠光体量 | 2. 灰铸铁的硬度决定于基体。铁素体基体, 硬度低; 珠光体基体, 硬度高。基体中有渗碳体、磷共晶等硬化相时, 硬度亦提高 | | | | |
| | 珠光体数量增多, 抗拉强度和硬度明显提高, 如图所示 | | | | |
| 铁素体量 | 增加铁素体量, 甚至基体由珠光体变为铁素体, 强度下降, 但冲击韧性增加不多, 不改变脆性本质 | | | | |



(2) 珠光体与耐磨性 珠光体量增加, 铁素体量减少, 灰铸铁的耐磨性提高。耐磨灰铸铁要求细珠光体基体。

3. 共晶团与性能的关系 共晶团数多, 可以提高强度, 减轻白口, 但增加缩孔、缩松倾向, 见表 3-28和图 3-6a、b。国外一些工厂控制共晶团数 300~450个/cm²。

表 3-28 共晶团对灰铸铁强度和缩松倾向的影响

| 共晶团数 (个/cm ²) | 抗拉强度 σ^b (MPa) | 抗弯强度 $\sigma_{0.2}$ (MPa) | 共晶团数 (个/cm ²) | 缩松程度 |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------|------|
| 320 | 258 | 416 | 236 | 轻微 |
| 335 | 278 | 439 | 320 | 少量 |
| 517 | 288 | 485 | 400 | 少量 |
| 772 | 292 | 490 | 590 | 较严重 |
| 865 | 318 | 560 | 700 | 严重 |

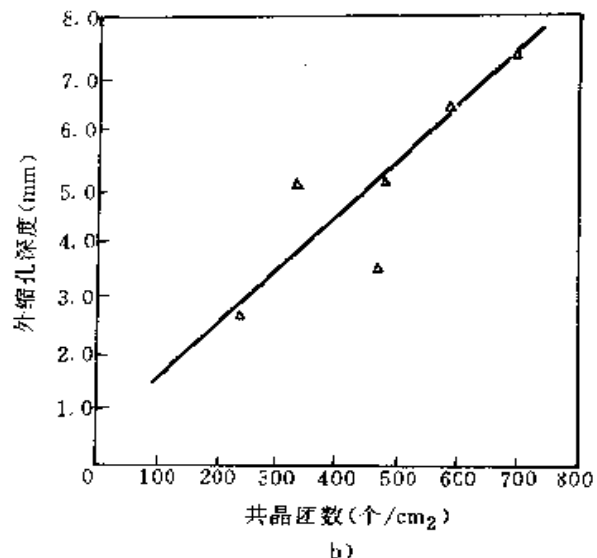
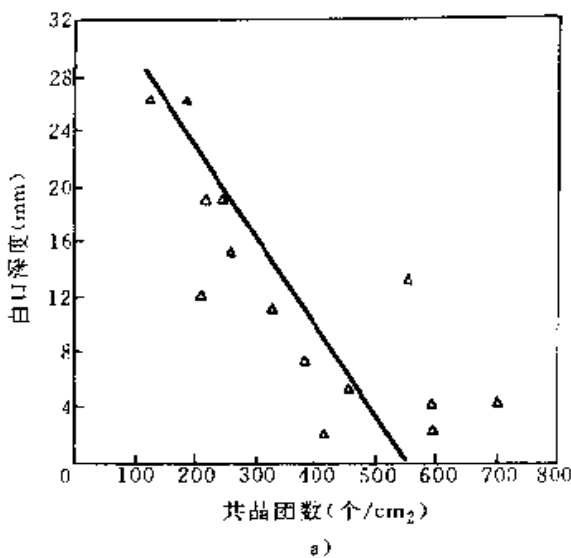


图 3-6 共晶团数与白口倾向、缩孔之间关系

a) 共晶团数与白口倾向的关系 b) 共晶团数与缩孔的关系

1.3.3 各牌号灰铸铁的实际金相组织

各工厂的铸件不同，原材料不同，生产条件不同，金相组织亦不同。在我国，一些牌号灰铸铁的金相组织的控制范围见表 3-29。供参考。

表 3-29 一些工厂牌号灰铸铁金相组织

| 牌号 | 石 墨 | 基体组织 |
|-------|---|--|
| HT100 | C 型石墨, 长度 250 ~ 1000 μm , 无定向分布, 含量 12% ~ 15% | 珠光体 30% ~ 70%, 粗片状, 铁素体 30% ~ 70%; 二元磷共晶 < 7% |
| HT150 | A 型石墨, 长度 120 ~ 500 μm , 无定向分布, 含量 7% ~ 11% | 珠光体 40% ~ 90%, 中粗片状, 铁素体 10% ~ 60%; 二元磷共晶 < 7% |
| HT200 | A 型石墨 80% ~ 90%, D 型石墨 10% ~ 20%, 长度 60 ~ 250 μm , 无定向分布, 含量 6% ~ 9% | 珠光体 > 95%, 中片状; 铁素体 < 5%; 二元磷共晶 < 4% |
| HT250 | A 型石墨 80% ~ 95%, D 型石墨 5% ~ 15%, 长度 60 ~ 250 μm , 无定向分布, 含量 4% ~ 7% | 珠光体 > 98%, 中细片状; 二元磷共晶 < 2% |
| HT300 | A 型石墨 80% ~ 95%, D 型石墨 5% ~ 20%, 长度 30 ~ 120 μm , 含量 3% ~ 6% | 珠光体 > 98%, 中细片状; 二元磷共晶 < 2% |
| HT350 | A 型石墨 75% ~ 90%, D 型石墨 10% ~ 25%, 长度 30 ~ 120 μm , 含量 2% ~ 4% | 珠光体 > 98%, 细片状; 二元磷共晶 < 1% |

1.4 灰铸铁的化学成分

1.4.1 碳当量和共晶度

(1) 碳当量 以硅、锰、磷、硫对共晶点的影响程度，将其折合成碳量的增减，所求得的碳量，称为碳当量，用 CE 表示，公式如下

$$CE\% = C + 0.3(Si + P) + 0.4S - 0.03Mn \approx C + 0.3(Si + P)$$

根据铸铁的碳当量，可以判断其成分偏离共晶点的方向和程度： $CE < 4.28\%$ ，亚共晶铸铁； $CE = 4.28\%$ ，共晶铸铁； $CE > 4.28\%$ ，过共晶铸铁。

(2) 共晶度 灰铸铁的含碳量与共晶点实际碳量的比值，称为共晶度，用 S_c 表示，计算公式如下

$$S_c = \frac{C}{C_c} = \frac{C}{4.26 - 0.31Si - 0.27P - 0.4S - 0.74Cu + 0.31Cr + 0.027Mn}$$

可简化为 $S_c = \frac{C}{4.26 - 0.31Si - 0.27P}$

或
$$S_c = \frac{C}{4.3 - \frac{1}{3}(Si + P)}$$

式中 C——铸铁的含碳量 (%)；
 C_c ——铸铁共晶点实际碳量(稳定系)(%)。
 S_c 也可以由图 3-7 所示的线解图求出。

亚共晶灰铸铁的共晶度 S_c 还可以用热分析法确定。根据迈耶 (Mayer) 的研究， S_c 与凝固温度范围 ΔT 的关系式如下

$$\Delta T (^\circ\text{C}) = 453.4 - 433.8S_c$$

式中

$$\Delta T = \text{液相线温度} - \text{固相线温度} = T_L - T_S$$

共晶度 S_c 可以表示铸铁偏离共晶点的方向和程度； $S_c < 1$ ，为亚共晶铸铁； $S_c = 1$ ，为共晶铸铁； $S_c > 1$ ，为过共晶铸铁。

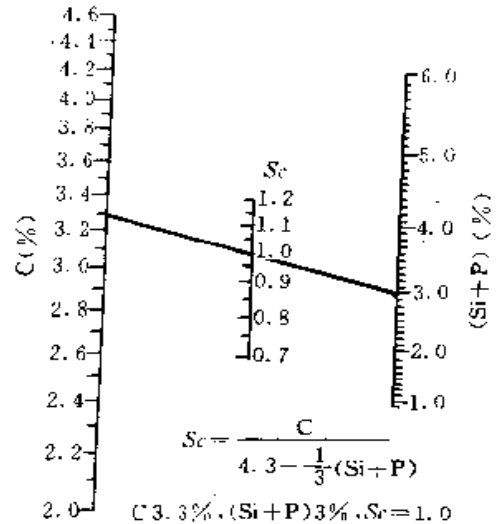


图 3-7 共晶度 S_c 的线解图

1.4.2 化学成分的影响

1. 基本元素 碳、硅、锰、磷、硫对金相组织、力学性能、铸造性能的影响见表 3-30 ~ 表 3-32 和图 3-8。

表 3-30 基本元素对灰铸铁组织的影响

| 组织及转变 | | C | Si | Mn | P | S | |
|-------|-------|----|------------|------------|-----------|-----|-----|
| 石 墨 | 石墨化 | 共晶 | 促进 | 促进 | 稍阻碍 | 可忽略 | 强阻碍 |
| | | 共析 | 促进 | 强促进 | 阻碍 | 稍阻碍 | 强阻碍 |
| | 枝晶间石墨 | 倾向 | 阻碍 | 无 | 促进 | 阻碍 | 促进 |
| | | 大小 | 粗大 | 无 | 细小 | 粗大 | 细小 |
| 共晶团 | | | 粗大 | 无 | 无 | 细小 | 细小 |
| 基体组织 | | | 稍促成 铁素体 | 强促成 铁素体 | 细化 珠光体 | | |

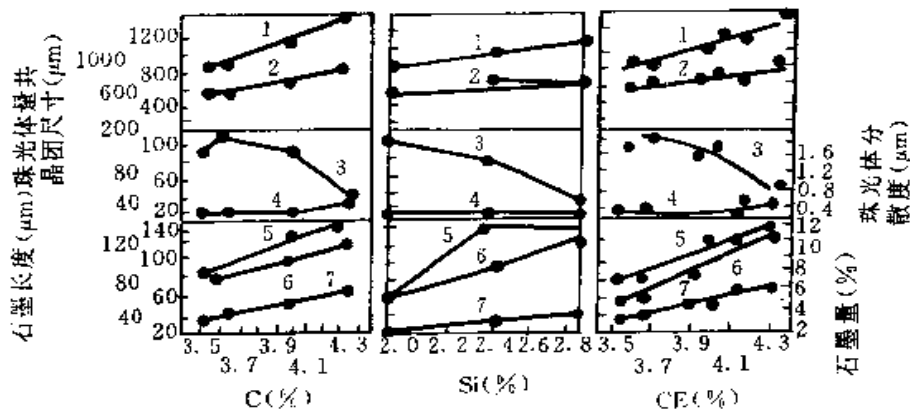


图 3-8 C、Si、CE 对灰铸铁组织的影响

1—共晶团最大尺寸 2—共晶团平均尺寸 3—珠光体数量 4—珠光体分散度
5—石墨最大长度 6—石墨数量 7—石墨平均长度

表 3-31 基本元素对灰铸铁力学性能的影响

| 元素 | 影响及说明 |
|---------|--|
| 碳 含量 | <p>CE 增加, 强度显著降低, 挠度提高, 冲击韧度稍提高而约在 CE>3.8% 后又下降, 如图示</p> <p>CE 对力学性能的影响</p> |
| 锰 | Mn 0.8%~1.2%, 稳定细化珠光体, 提高强度, 硬度。Mn>1.2%, 易在晶界析出二次渗碳体, 降低强度, 增大变脆 |
| 磷 | 磷高, 磷共晶增加, 分布于晶界, 割裂晶间, 故降低强度、塑性, 提高硬度和耐磨性, 增加脆性。耐磨灰铸铁可以提高含磷量 |
| 硫 | 锰低时, 硫形成 FeS, 脆而软, 削弱晶界。S 增加, 硬度升高, 力学性能恶化 |

表 3-32 基本元素对灰铸铁铸造性能的影响

| 铸造性能 | 影响及说明 |
|-------------|---|
| 流动性 | <p>化学成分影响共晶度和夹杂物含量、存在形式, 进而影响流动性</p> <ol style="list-style-type: none"> 共晶 ($S_c = 1$) 铸铁, 流动性最好。亚共晶铸铁 ($S_c < 1$), 增加 C、Si, 可提高流动性。过共晶 ($S_c > 1$) 铸铁, 降低 C、Si, 可提高流动性 锰、硫若形成高熔点 MnS, 降低流动性; 若形成 FeS, 影响不大 磷增加共晶度, 降低铁液粘度, 形成低熔点共晶体, 故可明显提高流动性 |
| 收缩及 伴生现象 | <ol style="list-style-type: none"> 液态线收缩随碳量提高而增加。碳愈高, 液态收缩愈大 凝固收缩随碳量提高而降低。石墨化高到一定程度, 会发生缩前膨胀, 使型壁位移, 引起缩孔、缩松 固态收缩时, 若共晶团粗大且 S/Mn 比较高, 硫化物沿晶界分布, 则易热裂。若碳当量高, 促进石墨化, 可减少铸造应力和冷裂 |

2. 合金元素 低合金化和微量合金化是改善灰铸铁性能的重要途径。许多合金元素阻碍石墨化,增加白口倾向,大量使用合金元素对灰铸铁不仅无益,反而有害。

(1)低合金灰铸铁 通常指合金元素总量小3%的灰铸铁。其组织仍然是金属基体+片状石墨,但在

合金元素作用下又具有新的特点:①铁素体量通常减少或消失;②珠光体细化,其中的铁素体溶有较多合金元素而强化;③片状石墨细化;④合金元素少,不形成新相。

(2)合金元素的作用 见图3-9和表3-33。

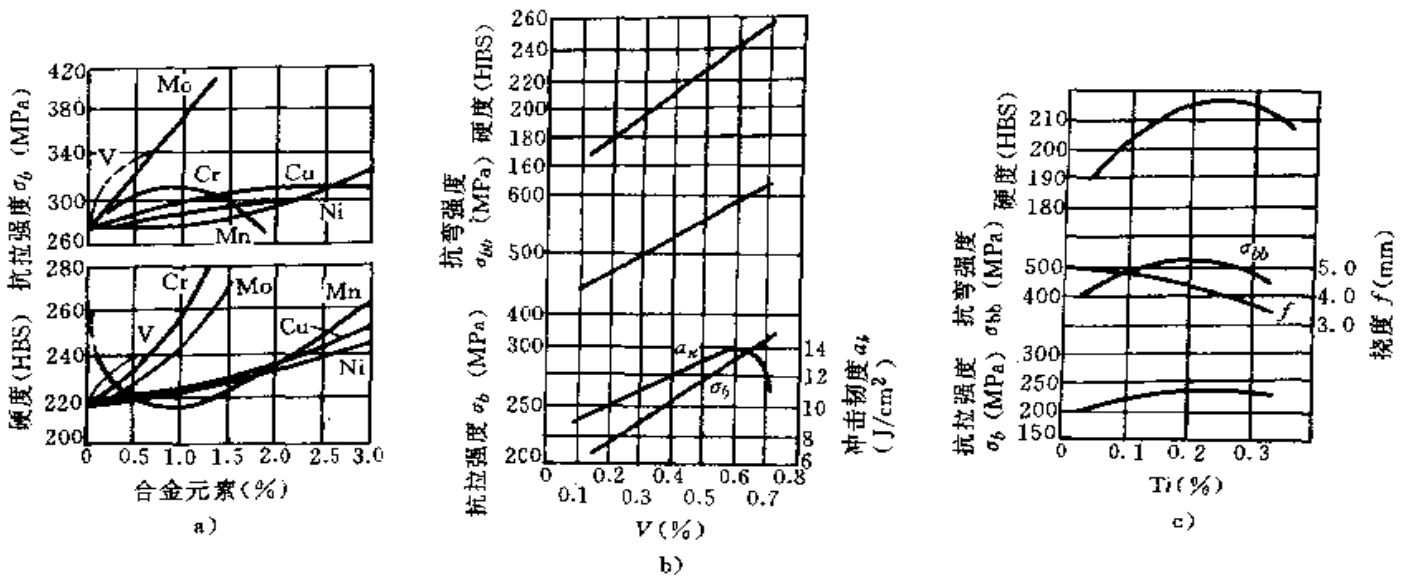


图3-9 合金元素对灰铸铁力学性能的影响

- a)合金元素对灰铸铁力学性能的影响 (C 3.24%、Si 1.88%、Mn 0.71%、P 0.17%、S 0.09%、 σ_b 273MPa, HBS217)
- b)钒对灰铸铁力学性能的影响 (C 3.40%~3.53%、Si 1.75%~1.88%、Mn 0.62%~0.72%、P 0.07%~0.11%、S 0.07%~0.11%、Ti 0.08%~0.12%)
- c)钛对灰铸铁力学性能的影响 (C 3.5%~3.6%、Si 1.3%~1.53%、Mn 0.67%~0.73%、P 0.06%~0.07%、S 0.08%~0.10%、V 0.25%~0.28%)

表 3-33 若干合金元素对灰铸铁组织和性能的影响

| 元素 | 含量(%) | 组 织 | 力学性能 | 使用性能 | | | 工艺性能 | |
|----|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------|------|-----|--------------|----------------|-------------------------|
| | | | | 耐磨性 | 耐热性 | 耐腐蚀性 | 可切削性 | 铸造性能 |
| Ni | 0.5 ~ 2.0 常与 Cr、Cu、Mo 合用 | 促进石墨化,消除白口和游离渗碳体;细化石墨;稳定且细化珠光体,促成索氏体 | 提高强度、硬度、冲击韧度 | 提高 | 提高 | 提高 | 优于同硬度和强度的非合金铸铁 | 减少缩松,提高铸件致密度。断面壁厚差大时尤有效 |
| Cu | 0.5 ~ 2.0 常与 Ni、Cr、Mo、V 合用 | 弱石墨化;细化且均化珠光体和石墨;减少薄断面白口,改善大断面组织敏感性 | 提高强度、硬度、韧度。低碳铸铁尤显著 | 提高 | 提高 | 提高。尤耐弱酸和大气腐蚀 | 改善 | 改善流动性提高铸件致密度 |

(续)

| 元素 | 含量(%) | 组织 | 力学性能 | 使用性能 | | | 工艺性能 | |
|----|-------------------------------|--|---|----------------------|----------------------|-----------|-------------------|-----------------------------|
| | | | | 耐磨性 | 耐热性 | 耐蚀性 | 可切削性 | 铸造性能 |
| Cr | 0.2 ~ 1.0 常与 Cu、Mo、Ni 合用 | 强阻碍石墨化, 促成碳化物; 细化石墨; 细化且稳定珠光体; 促进白口 | 提高强度、硬度; Cr 约 > 0.5%, 降低塑性、韧性 | 显著提高。与 Cu、Mo、Ni 合用更好 | 提高。铬愈多愈显著 | 提高。铬愈多愈显著 | 降低。少量影响不大 | Cr > 1.0, 降低流动性; 增加收缩, 增大白口 |
| Mo | 0.3 ~ 1.0 单独或与 Ni、Cu、Cr 合用 | 细化石墨; 强稳定、增加、细化珠光体; 温和促成碳化物; 改善大断面组织均匀性 | 显著提高强度、硬度、冲击韧度、疲劳强度、高温 (< 550°C) 性能、大断面性能 | 显著提高 | 提高 | 稍改善 | 改善 | 减少收缩, 改善热处理性能 |
| V | 0.1 ~ 0.4 常与 Ti 合加 | 阻碍石墨化; 细化、均化石墨; 细化珠光体; 强烈促成碳化物; 消除大断面的铁素体和枝晶组织 | 少量 V, 可显著提高强度、硬度, 提高冲击韧度 | 显著提高。与 Cu、Ti 合用更好 | 提高 350 ~ 650°C 的抗生长性 | | 少量 V 不降低可切削性; 难磨削 | 降低流动性, 增加收缩, 促进白口、麻口 |
| Ti | 0.05 ~ 0.15 常与 V 合加 | 微量, 促进石墨化, 细化石墨和晶粒; 减少白口和硬点; 过量, 形成 D 型石墨、TiC、TiCN | 脱氧、净化和孕育作用大于合金化作用。适量 Ti, 提高强度 | 提高 | 提高抗生长性 | 提高耐酸性 | 少量 Ti, 改善可切削性 | 改善流动性 |
| B | 0.02 ~ 1.0 | 细化但减少石墨; 促成碳化物; 在含磷铸铁中形成复合共晶, 硬度 HV > 1000 | 提高强度, 降低塑性、冲击韧度 | 提高 | 影响不大 | | 降低 | 脱氧、去硫; 增大白口倾向 |
| Sn | 0.04 ~ 0.10 | 减少或消除铁素体, 稳定且细化珠光体; 改善断面均匀性 | 显著提高强度、硬度。碳当量高时, 效果好 | 提高 | 提高 | 改善 | 改善 | Sn 0.05 ~ 0.1%, 保持铸造性能良好 |
| Sb | 0.03 ~ 0.08 | 减少或消除铁素体, 强促成、稳定细化珠光体 | 提高强度、硬度 | 提高 | 提高高温 (> 700°C) 寿命 | | 稍差 | 稍差 |

(3) 合金元素的选择 常用合金元素有 Cr, 的, 适当选择, 见表 3-34。

Ni, Mo, Cu, Mn, V, Ti, Sn, B, P 等。应根据目

表 3-34 低合金灰铸铁合金元素的选择

| 目的 | 合金元素及效果 | | | | | | |
|----------------|--|------|------|-------|------|------|------|
| | Mo, V 最有效, Cr 次之, 均常与 Cu、Ni 合用, 以抵消形成碳化物的倾向, 效果如下: | | | | | | |
| 提高 强度 硬度 | 合金元素 | Ni | Cu | Mn | Cr | Mo | V |
| | 最大使用量 (%) | 3.00 | 1.50 | 决于定 S | 0.50 | 1.00 | 0.35 |
| | 加入 1% 强度增加率 (%) | 10 | 10 | 10 | 20 | 40 | 45 |
| | 激冷倾向 | 弱或无 | 弱或无 | 弱 | 强 | 中强 | 很强 |
| | 注: 铸铁成分 (%): C 3.0, Si 2.0, Mn 0.7 | | | | | | |
| 改善韧度、 塑性 | 铝最有效, 铜次之。铝铜结合或铝镍结合, 更有效。效果如下 ($\phi 30$ mm 铸态试棒) | | | | | | |

(续)

| 目的 | | 合金元素及效果 | | | |
|--|--|---------|-------------------|---------------------------|-----------|
| 改善 韧度、 塑性 | 合金元素加入量(%) | | 艾氏冲击吸收功(J) | | 塑性增加(%) |
| | Mo 0.47 | | 38.8 | | 23.0 |
| | Cu 1.80 | | 36.9 | | 17.1 |
| | Mo 0.54 + Cu 0.65 | | 56 | | 80.0 |
| | Mo 0.54 + Ni 0.66 | | 53.3 | | 69.0 |
| 注:铸铁成分(%):C 3.30, Si 2.00, Mn 0.93, P 0.11, S 0.03。艾氏冲击吸收功 31.6J | | | | | |
| 改善断面敏感性、大断面性能均匀性 | 钼最有效,钒、铬、铜、镍次之。铬、钼结合,效果更好;钼、钒、镍结合,效果亦好。如 Mo 0.5%,可使 $\phi 75-100\text{mm}$ 试棒断面中心和边缘的硬度差仅为 10HB 左右 | | | | |
| 提高耐磨性 | Mn, Cr, Cu, Mo, Ni, P, V 等 | | | | |
| 提高耐腐蚀性 | Cr, Cu, Ni, P, Si 等 | | | | |
| 改善高温性能 | 高温性能 | 抗蠕变性 | 珠光体稳定性 | 抗氧化性 | 抗热疲劳性 |
| | 常用元素 | Mo | Cr, V, Mo, Sn, Cu | Ni, Cr, V, Mo, Si, Al, Sn | Mo, V, Cr |

1.4.3 灰铸铁的化学成分

铸件结构不同,熔炼、孕育、造型、热处理工艺

灰铸铁的化学成分由铸造厂确定,一般不作为铸件验收依据。用户有要求时,由供需双方商定。

不同,化学成分亦有差异。我国一些工厂砂型铸造灰铸铁件的化学成分见表 3-35。

表 3-35 砂型铸造灰铸铁化学成分的参考数据

(%)

| 牌 号 | 铸件主要壁厚 (mm) | C | Si | Mn | P | S | |
|-------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|
| 普通 灰 铸 铁 | TH100 所有尺寸 | 3.2~3.8 | 2.1~2.7 | 0.5~0.8 | <0.3 | ≤0.15 | |
| | HT150 | <15 | 3.3~3.7 | 2.0~2.4 | 0.5~0.8 | <0.2 | ≤0.12 |
| | | 15~30 | 3.2~3.6 | 2.0~2.3 | | | |
| | | 30~50 | 3.1~3.5 | 1.9~2.2 | | | |
| HT200 | <15 | 3.2~3.6 | 1.9~2.2 | 0.6~0.9 | <0.15 | ≤0.12 | |
| | 15~30 | 3.1~3.5 | 1.8~2.1 | 0.7~0.9 | | | |
| | 30~50 | 3.0~3.4 | 1.5~1.8 | 0.8~1.0 | | | |
| | >50 | 3.0~3.2 | 1.4~1.7 | 0.8~1.0 | | | |
| 孕 育 铸 铁 | HT250 | <15 | 3.2~3.5 | 1.8~2.1 | 0.7~0.9 | <0.15 | ≤0.12 |
| | | 15~30 | 3.1~3.4 | 1.6~1.9 | 0.8~1.0 | | |
| | | 30~50 | 3.0~3.3 | 1.5~1.8 | 0.8~1.0 | | |
| | | >50 | 2.9~3.2 | 1.4~1.7 | 0.9~1.1 | | |
| HT300 | <15 | 3.1~3.4 | 1.5~1.8 | 0.8~1.0 | <0.15 | ≤0.12 | |
| | 15~30 | 3.0~3.3 | 1.4~1.7 | 0.8~1.0 | | | |
| | 30~50 | 2.9~3.2 | 1.4~1.7 | 0.9~1.1 | | | |
| | >50 | 2.8~3.1 | 1.3~1.6 | 1.0~1.2 | | | |
| HT350 | <15 | 2.9~3.2 | 1.4~1.7 | 0.9~1.2 | <0.15 | ≤0.12 | |
| | 15~30 | 2.8~3.1 | 1.3~1.6 | 1.0~1.3 | | | |
| | 30~50 | 2.8~3.1 | 1.2~1.5 | 1.0~1.3 | | | |
| | >50 | 2.7~3.0 | 1.1~1.4 | 1.1~1.4 | | | |

1.5 配料及过热熔炼

根据铁水成分要求、炉料情况、熔炼过程中元素

1. 配料 金属炉料一般由新生铁、废钢、回炉料、铁合金组成。增加废钢加入量可有效地降低铁水含碳量,提高灰铸铁的力学性能。

的变化等确定炉料配比,是保证铸铁化学成分的首要环节。牌号灰铸铁的配料比见表 3-36。

表 3-36 灰铸铁的参考配料比

| 牌 号 | 铸件 壁厚 (mm) | 配料 (%) | | | 化学成分 (%) | | | | 孕育剂 75 SiFe 加入量 (%) |
|-------|------------------|--------|-------|-------|----------|---------|---------|---------|---------------------------|
| | | 废钢 | 回炉料 | 新生铁 | C | Si | | Mn | |
| | | | | | | 原铁液 | 孕育后 | | |
| HT100 | | 0 | 酌情 | 酌情 | 3.2~3.8 | 2.1~2.7 | | 0.5~0.8 | — |
| HT150 | | 0~10 | 45~55 | 35~45 | 3.1~3.7 | 1.8~2.4 | | 0.5~0.8 | — |
| HT200 | | 15~25 | 40~50 | 30~40 | 3.0~3.6 | | 2.2~1.4 | 0.6~1.0 | 少量 |
| HT250 | 15 | 25 | 40~45 | 30~35 | 3.1~3.3 | 1.2~1.4 | 1.7~1.5 | 0.8~1.0 | 0.2~0.4 |
| | 35 | 30 | 35~40 | 30~35 | | | | | |
| | 60 | 35 | 35~40 | 25~30 | | | | | |
| HT300 | 15 | 35 | 35~40 | 25~30 | 3.0~3.2 | 1.1~1.2 | 1.7~1.4 | 1.0~1.2 | 0.4~0.6 |
| | 35 | 40 | 30~35 | 25~30 | | | | | |
| | 60 | 45 | 30~35 | 20~25 | | | | | |
| HT350 | 20 | 45 | 30~35 | 20~25 | 2.8~3.1 | 0.8~1.0 | 1.5~1.3 | 1.2~1.4 | 0.5~0.8 |
| | 35 | 50 | 25~30 | 20~25 | | | | | |
| | 60 | 55 | 25~30 | 15~20 | | | | | |

2. 过热熔炼 为净化、孕育处理等目的而将铁液加热到正常温度以上, 都称为过热熔炼。

(1) 过热温度 铁液的过热温度通常为 1500℃; 超过 1550℃, 则铸铁白口倾向大。

(2) 过热的作用

1) 过热可以去除杂质, 净化铁液, 主要是降低铁液中的溶氧量。见图 3-10, 虚曲线区为实测溶氧量变化区; 铁液温度由 1350℃ 升高, 溶氧量增加; 约 1450℃, 溶氧量达到峰值; 温度 >1450~1500℃, 发生碳氧反应, 生成 CO 逸出, 溶氧量下降。

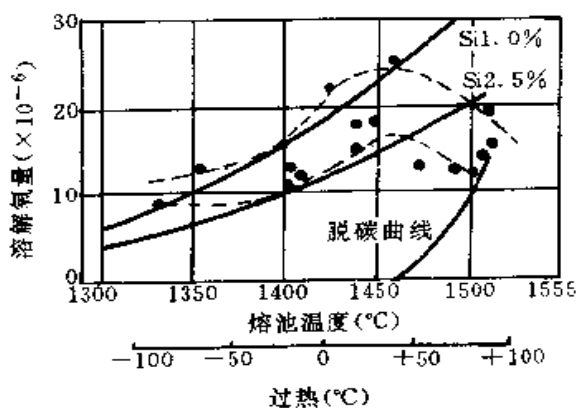


图 3-10 铁液过热对溶解氧的影响

实线—含 Si 1.0%、Si 2.5%, 硅脱氧的溶解氧平衡溶解度曲线和不同含碳量时的脱碳曲线

2) 铁液过热温度与铸铁力学性能的关系如下: 抗拉强度 σ_b 随铁液温度升高而增加。铁液温度 <1460℃, 温度提高, 硬度 HB 增加; 铁液温度 >1500℃, 温度升高, 硬度 HB 下降。

铁液过热温度与铸铁冶金质量指标的关系如下: 过热温度升高, 成熟度 RG 提高; 过热温度约 >1460℃, 相对硬度 RH 明显下降; 品质系数 Qi 随过热温度升高而增加。

3) 过热为孕育处理创造了必要条件。

4) 过热可以提高铁液流动性, 保证铸件健全, 减少废品。

5) 过热温度过高或保温时间过久, 铸铁白口倾向增大, A 型石墨减少, D 型石墨增多, 共晶团减少。故必须孕育处理, 且孕育后不宜再长期保温。

1.6 灰铸铁的孕育处理

在一定条件下, 向铁加入少量物质, 促进石墨成核, 从而显著改善铸铁组织和性能的处理方法, 称为孕育处理。所加入的物质, 称为孕育剂。

孕育处理的作用: ①促进石墨化, 有效地降低低碳铁液的白口倾向。②细化石墨: 变 D、E 型石墨为均布的 A 型石墨。③促成且细化珠光体; 减少铁素体。④细化 (增加) 共晶团。⑤改善铸件不同断面的组织均匀性。⑥改善铸铁的力学性能 (如提高抗拉强度, 降低硬度) 和其它性能 (如可切削性、耐磨性)。

1.6.1 原铁液 (表 3-37)

表 3-37 孕育铸铁对原铁液的基本要求和孕育剂加入量

| 铸铁牌号 | 总碳量 | Mn(%) | Si(%) | | 孕育剂(75%硅铁) 加入量(%) | 铁液温度 (℃) |
|-------|---------|---------|---------|---------|----------------------|-------------|
| | | | 孕育前 | 孕育后 | | |
| HT250 | 3.1~3.3 | 0.8~1.0 | 1.2~1.4 | 1.5~1.8 | 0.2~0.4 | >1420 |
| HT300 | 3.0~3.2 | 0.9~1.0 | 1.0~1.2 | 1.3~1.7 | 0.4~0.6 | >1440 |
| HT350 | 2.9~3.1 | 1.0~1.3 | 0.8~1.0 | 1.2~1.6 | 0.4~0.7 | >1450 |

注：孕育剂的粒度：处理铁液量<500kg，粒度2~5mm；>500kg，粒度5~10mm。

1.6.2 孕育剂

孕育剂有数百种。在我国，最常用的是75%硅铁和硅钙合金。近年来，含其它元素的孕育剂迅速发展。

据国外研究，纯硅或纯硅铁对灰铸铁很少，或甚至没有孕育作用。硅铁起载体作用，真正起孕育作用者是其中的铝、钙等。因此，一些国家规定在硅铁中Al、Ca含量，如美国规定Al 0.75%~1.75%，Ca

0.5%~1.5%；前苏联规定Al 1.8%~2.5%。

硅钙合金的孕育效果比75%硅铁大50%，且钙兼有去硫、脱氧作用。

若干种类专用孕育剂的成分、特点、应用见表3-38~表3-45。

在使用时，应根据生产条件和铸件要求适当选择孕育剂。

表 3-38 硅铁、硅钙孕育剂

(%)

| 商品名称 | Si | Al | Ca | Zr | Fe | 备注 |
|--------|-------|----------|---------|--------------------------------|----|------------|
| SiFe-1 | 74~79 | 0.8~1.6 | 0.5~1.0 | Mn≤0.5 Cr≤0.5 | 余量 | 吉林铁合金厂 |
| SiFe-2 | 74~79 | 0.8~1.6 | 0.1~0.5 | P≤0.04 S≤0.02 | 余量 | 山川铁合金厂 |
| 硅钙合金 | 55~65 | ≥2.4~2.5 | ≤24~31 | C≥0.8 P≥0.04 S≥0.04~0.06 | 余量 | GB 3419-82 |
| CaSi | 60~65 | ≤0.2 | 30~33 | — | 余量 | 德国 GFE 公司 |

表 3-39 含锶硅铁的成分、特点及应用

| 项 目 | 说 明 | | | | | | |
|--------|--|---------|---------|---------|------|------|----|
| 成分(%) | 国产含锶硅铁的成分如下： | | | | | | |
| | 商标 | 代号 | Si | Sr | Al | Ca | Fe |
| | Sr I | Si75Sr1 | 73~78 | 0.6~1.0 | <0.5 | ≤0.1 | 余量 |
| | Sr II | Si50Sr1 | 46~50 | 0.6~1.0 | <0.5 | ≤0.1 | |
| Sr III | Si75Sr2 | 73~78 | 1.0~2.0 | <0.5 | ≤0.5 | | |
| 作用与特点 | 1. 消除白口能力特强。硅铁中含Sr0.6%~1.0%，孕育效果最佳。Sr更高，作用不能发挥，只耗锶多 2. 石墨化能力强；加入量0.15%，比普通硅铁的能力高一倍。含硅量高者效果好，稳定。硅铁中的Ca、Al抵消其石墨化能力，Ca>0.1%，锶无效，故应控制Ca≤0.1%，Al≤0.3% 3. 不大增加共晶团数，故可减少铸件不致密和缩孔倾向，对防止气缸体，气缸盖等铸件的缩松、渗漏有特殊意义 | | | | | | |
| 应用 | 1. 尤适于高牌号薄壁灰铸铁件，断面敏感性小，组织均匀，硬度均匀 2. 也用于球墨铸铁，对防止薄壁件产生白口极有效，但据研究认为，不适于含磷铸铁 | | | | | | |

表 3-40 含钡硅铁的成分、特点及应用

| 项目 | 说 明 | | | | | | | |
|-----------|---|-------|---------|------|---------|---------|--------|---------|
| 成分 (%) | 国产含钡硅铁的主要成分如下: | | | | | | | |
| | 牌号 | Si | Ba | Mn | Ca | Al | Fe | 生产厂 |
| | Si65Ba5 | 60~65 | 4~6 | | | | 余 量 | 南京特种合金厂 |
| | SiBa5 Mn10 | 60~65 | 4~6 | 9~11 | 1.0~2.5 | 1.0~2.0 | | |
| | SiBa3 | 65~72 | 2.5~4.5 | | | | | |
| | Si55Ba18 | 50~60 | 10~20 | | 4~6 | 1.5~2.5 | 余 量 | 丹东铁合金厂 |
| | SiBa-1 | 60~68 | 4~6 | 8~10 | 0.8~2.2 | 1.0~2.0 | | |
| | SiBa-2 | | | | | | | |
| | Si + Ba ≥ 75 | 4~30 | | 1~3 | 1~2 | | 吉林铁合金厂 | |
| 作用与 特点 | 1. 孕育效果十分显著:加入量为 75 硅铁的一半,增加共晶团,促成 A 型石墨,消除白口和游离渗碳体,抗衰退,改善断面敏感性。若与 Mn、Ca、Zr 等复合,效果更好 2. 其特点不在于高效,而在于长效 | | | | | | | |
| 应用 | 1. 适于薄壁而要求无白口或断面不均而要求致密的灰铸铁件,可消除 HT200 缸体(195 柴油机)的白口,改善缸套的石墨形状、分布,消除其过冷石墨 2. 也适于球墨铸铁。在 Mg-Fe-Si 球化剂中加入 Ba5%~10%,石墨球相当弥散,球化率很高 | | | | | | | |

表 3-41 含锆硅铁的成分、特点及应用

| 项目 | 说 明 | | | | | | | |
|-----------|--|-------|---------|-------|---------|---------|--------|----|
| 成分 (%) | 主要成分如下: | | | | | | | |
| | 牌号 | Si | Zr | Mn | Ca | Al | Fe | 备注 |
| | SiMn6Zr6 | 60~65 | 5~7 | 5~7 | 0.5~1.5 | 0.5~1.5 | 余量 | 中国 |
| | Si75Zr2 | 73~78 | 1.5~2.5 | | 1~2.5 | 1~3 | | |
| CaSiZr | 50~55 | 15~20 | | 15~20 | ~1.0 | 余量 | 德国 GFE | |
| 作用与 特点 | 1. 锆脱氧去硫,有利于改善铁水流动性,消除气孔 2. 抗衰退,增加共晶团,减小白口,促成均匀、细小的 A 型石墨。配少量 Ba、Ti,提高成核和石墨化能力 3. 锰的熔点低,故适用温度范围宽 | | | | | | | |
| 应用 | 适于灰铸铁和球墨铸铁 | | | | | | | |

表 3-42 含钛硅铁的成分、特点及应用

| 项目 | 说 明 | | | | | | |
|-----------|---|--|--|--|--|--|--|
| 成分 (%) | 美国 Foote 公司 Graphidox(商品名); Si 50~65, Al 1.0~1.3, Ca 5~7, Ti 9~11, Fe 余量 Si 50~55, Al 1.0~1.3, Ca 0.5~1.5, Ti 9~11, Fe 余量 | | | | | | |
| 特点 | 1. 对薄壁灰铸铁件,防白口十分有效 2. 钛强烈脱氧,固氮,有利于防止因炉料(废钢、增碳剂)或粘结剂(呋喃树脂)产生的氮气孔 | | | | | | |
| 应用 | 适于灰铸铁。钛干扰球化,不适于球墨铸铁 | | | | | | |

表 3-43 稀土孕育剂的成分、特点及应用

| 项目 | 说 明 | | | | | |
|--------|--|-------|------|-----|-----|-----------|
| 成分 (%) | 若干国产稀土孕育剂的成分如下: | | | | | |
| | 种类 | Si | RE | Ca | Al | 其它 |
| | 硅钙稀土 | 40 | 12.5 | 0.3 | | 其中 Ce10 |
| | 硅钙稀土 | 48 | 12 | 6 | | |
| | 硅钙钡稀土 | 60~65 | 5~10 | 2~9 | 1~2 | Ba3~8 |
| | 硅钛锰钙稀土 | 40 | 30 | 5 | | Ti6, Mn6 |
| | 硅铬锰钙铝稀土 | 35~40 | 6~8 | 5~6 | 3~4 | Cr15, Mn6 |
| 作用与特点 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 与 75SiFe 相比, 孕育效果高几倍, 白口倾向大减, 强度高, 耐磨 2. 高效且长效, 在生产中效益显著。如改善缸体、缸盖的质量, 机床床身的轨面硬度, 暖气片的耐压性, 机车车辆闸瓦的抗弯强度等 3. 如上述, 其孕育作用或蠕化作用决定于加入量, 且与硫有关。稀土硫化物是石墨的晶核之一 4. 可消除铅、铋对灰铸铁石墨形态的危害, 减小铈等的过冷作用 5. 钇基重稀土硅铁 ($\Sigma RE 23.74\%$, Si46.8%, Ca5%, Fe 余量), 细化共晶团, 使石墨呈细片均布, $\sigma_b 250 \sim 300 MPa$, $\delta 1\% \sim 2\%$, 抑制白口能力超过钡基, 抗衰退(30min 无明显变化) 6. 稀土钙钡 (RE5%~10%, Ca2%~9%, Ba3%~8%) 孕育剂, 显著消除白口, 均化断面组织, 提高成熟度 RG, 抗衰退, 可稳定生产, 如冲天炉铁水, (CE3.95%~4.15%) 孕育后, 8~10min 内稳定在 HT250 牌号 7. 熔点高, 溶解与扩散慢, 故处理温度应为 1370~1400°C, 稀土元素回收率 40% | | | | | |
| 应用 | 灰铸铁, 有利于生产高强度薄壁铸铁; 球墨铸铁; 蠕墨铸铁 | | | | | |

表 3-44 碳硅系孕育剂的成分、特点及应用

| 项目 | 说 明 |
|--------|---|
| 成分 (%) | <ol style="list-style-type: none"> 1. 一般成分: C 10~40, Si 40~60, 有时 Ca 5~8, 其它元素余量 2. 南京特种合金厂的 TG-1 牌号: Si 33~40, C 30~38, Ca 4~6, Al < 1 |
| 作用与特点 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 可使灰铸铁获得极佳组织, 石墨均匀、细小, A 型; 共晶团小; 珠光体近 100%, 细片状 2. 与 75SiFe, Zr-SiFe, Ba-SiFe, Sr-SiFe 比, C-Si 系抑制白口能力最强 3. 处理冲天炉铁液, 比其它孕育剂提高强度 20~40MPa。阶梯试块各断面的硬度差最小。抗衰退, 12min 内无变化 4. 其中往往含有 Sr, Ba, Zr 等特殊元素 若配入 Sr, Ba, Zr 等元素, 具有更显著的复合作用 5. 其中碳是高纯晶体石墨, 可吸附杂质元素, 纯净铁水 6. 熔点高, 铁液不易吸收, 故粒度宜小, 处理温度 > 1400°C |
| 应用 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 主要用于高强度灰铸铁, 如内燃机缸体、缸盖, 耐压致密件, 机床床身等 2. 球墨铸铁含硫低, 孕育衰退快, 故不适用。 |

表 3-45 稳定化孕育剂的成分、特点及应用

| 项目 | 说 明 | | | | | | | |
|---|---|-------|------|-----------------------|-------|--------------------|------|----------|
| 典型成分 (%) | 种类 | Cr | Si | Ca | Al | Mn | C | Ti |
| | Cr-Si-Mn | 40 | 10 | 0.5 | 0.2 | 10 | | 0.75 |
| | Cr-Si | 60 | 15 | | | | 5 | |
| | Cr-SiCide | 43 | 40 | | 0.1 | | 0.05 | |
| | Cr-Si-Mn-C | 54 | 10 | | | 6.5 | 5.5 | |
| DWF(商品名) | 5.0~50 | 25~50 | <1.0 | ZrO ₂ ~5.0 | Bi 适量 | N ₂ ~10 | | 上海市汇南综合厂 |
| 其中 Cr-Si-Mn 最普通,最有效。对于薄壁铸件,应复合使用石墨孕育剂 0.05%~0.1%,以避免白口,国产品种常含稀土 10%~20% | | | | | | | | |
| 作用、特点、应用 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 可用于共晶和过共晶成分的厚大铸件,增加细化珠光体,防止铁素体,细化石墨,提高强度。对于低碳当量和薄壁铸件,应少用 2. 提高灰铸铁强度,效果超过石墨化孕育剂;厚度增加,效果差别更大。由于含 Cr,不适于球墨铸铁 3. 加入量(一般 0.5%~1.5%)增加,铸铁强度,硬度增加,无激冷现象 4. 对处理温度和停留时间不敏感,不衰退 | | | | | | | |

此外,混合孕育剂对铸铁有多方面有利影响。例如钼硅铁 75% + 铬铁 15% + 锰铁 10%, 加入量 0.8%。孕育效果: σ_b 由 235~255MPa 提高到 253~392MPa, 共晶团细化, 断面均匀性好, 白口倾向小, 且不降低可切削性。

稀土金属 + 稳定化孕育剂 (Cr, Sn, Mo, Cu, V), 效果亦好。

1.6.3 孕育方法

孕育方法分为两大类: 包内孕育, 后孕育。


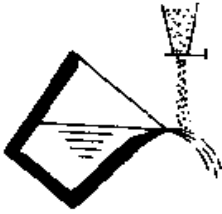
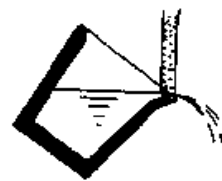
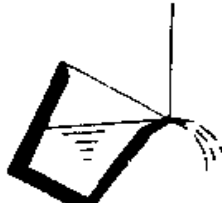
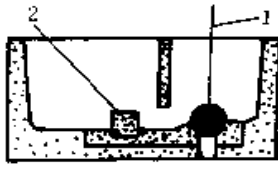
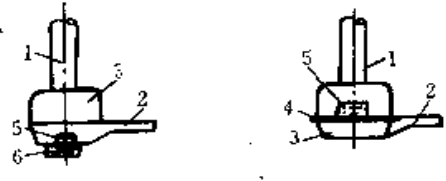
包内孕育是传统工艺, 孕育剂(全部或分成二、三份)加于出铁槽或浇包内, 铁液在包内完成孕育, 见表 3-46。

后孕育是在从浇注到进入型腔的各阶段孕育铁液的方法, 包括浮硅孕育, 漏斗孕育, 孕育棒孕育, 孕育丝孕育, 浇口孕育, 型内孕育等。不仅节省孕育剂, 减少针孔等缺陷, 而且不衰退或很少衰退, 见表 3-47。

表 3-46 包内孕育方法及特点

| 方法 | 说 明 | | |
|-------------|---|---------|----------|
| 出铁槽孕育(一次孕育) | 出铁时, 将孕育剂加入出铁槽的铁流中 | | |
| | 1. 对硅铁孕育剂粒度如下 | | |
| | 铁液量(kg) | 50~100 | 100~1000 |
| | 粒度(mm) | 2~5 | 5~10 |
| | 加入量: 孕育硅量 < 0.35%; 达到 0.6% 时, 效果不增加。75 硅铁加入量约 0.2%~0.5%, 薄壁件 0.3%~0.5%, 厚壁铸件 0.2%~0.4%。铁液牌号愈高, 加入量愈多。孕育硅量与碳当量的关系如下: | | |
| | 碳当量 CE (%) | 3.3~3.5 | 3.6~3.9 |
| | 孕育硅量与原铁液硅量之比 (%) | 50~60 | 10~25 |
| 冲入孕育 | 徐徐加于出铁槽, 占出铁时间 3/4 | | |
| | <ol style="list-style-type: none"> 2. 石墨系孕育剂 增碳应 < 0.1%; 加入量 > 0.2%, 效果不提高 3. 强效孕育剂, 效果显著 该法操作简便。孕育剂易氧化, 加入量大, 铁水降温多, 衰退快, 易引起夹渣、皮下气孔、硅脆等缺陷 | | |
| 二次(倒包)孕育 | 孕育剂加于浇包中, 然后冲入铁液 孕育剂用量大、易烧损, 易粘渣, 衰退快 | | |
| 二次(倒包)孕育 | 临近浇注前, 一般是从大包倒入浇注包时进行孕育, 孕育剂用量少, 效果好 | | |

表 3-47 后孕育方法及特点

| 方法 | 说 明 | |
|--------------|---|--|
| <p>浮硅孕育</p> | <p>扒渣,在铁液表面加一、二块硅铁,搅拌,覆盖草灰。如图示。浇注时,下部铁液携带部分富硅层流出,被孕育 操作简便,不衰退,孕育剂用量多</p> |  |
| <p>漏斗孕育</p> | <p>漏斗(或人工)向铁液流撒孕育剂,如图示。粒度 2~3mm,加入量 0.1%~0.15% 孕育剂用量少,效果好;加入量不易准确</p> |  |
| <p>孕育棒法</p> | <p>孕育棒外皮为薄铁管(或铜管),内装用水玻璃粘结的孕育剂粉。浇注时,自动进给,如图示。加入量 0.07%~0.12% 基本上无衰退。孕育剂剂量不易控制</p> |  |
| <p>孕育丝法</p> | <p>孕育丝外皮为铁、铜、镍、铝皮,内装孕育剂粉。架在包嘴上或送入浇口杯或直浇道中。加入量 <0.08% 孕育剂用量少,基本上无衰退</p> |  |
| <p>浇口杯孕育</p> | <p>如图示。浇口杯容纳铸型需要的全部铁液,孕育后拔塞浇注。孕育剂粒度 1mm,加入量 0.06%~0.12% 孕育效果好,基本上无衰退,不适于大铸件</p> |  <p style="text-align: center;">1—塞杆 2—孕育剂</p> |
| <p>浇口内孕育</p> | <p>将孕育剂细粒放入或将孕育丝送入直浇道内,浇注时熔入铁液。孕育剂粒度 0.5~1mm,用量 0.08% 孕育效果好,无衰退</p> | |
| <p>型内孕育</p> | <p>孕育块放于浇注系统的反应室内,用量 0.05%~0.10% 无衰退,易生渣孔</p> |  <p style="text-align: center;">1—直浇道 2—横浇道 3—反应室 4—滤网芯 5—孕育剂 6—砂芯</p> |
| <p>局部孕育</p> | <p>在型腔内某些局部位置,放小孕育块,或涂或喷孕育剂粉 局部明显减少白口,增加共晶团数</p> | |

1.7 灰铸铁的冶金品质(质量)指标

根据长期的试验研究和生产实践,影响铸铁性能的因素可以归纳为三方面:①化学成发;②冷却速度;③冶金因素。其中“冶金因素”是指前二者以外的全部其它因素,如原材料,熔炼工艺及设备,耐火材料,炉内气氛,铁水处理等。

如果用湿型浇注 $\phi 30\text{mm}$ 的试棒,可以近似地排除冷却速度的影响;如果生产条件保持一定,即冶金因素的影响不变,那么,铸铁的强度、硬度与其化学成分之间可以建立数学关系。反之,在建立了这种数学关系之后,亦可以根据实际测定值和理论计算值之间的偏差,即成熟度、相对强度、硬化度、相对硬度、品质系数,判断铸铁质量的优劣及生产者对冶金因素的控制情况。

以下提及的实“测”值除注明者外,均指在 $\phi 30\text{mm}$ 铸态试棒上的实际测定值;强度单位除注明者外,均为 MPa。

1.7.1 成熟度及相对强度

(1) 成熟度

根据欧洲的大量统计数据,铸铁的抗拉强度可以依其共晶度 S_c 计算出来,该强度称为正常强度,计算公式如下

$$\begin{aligned} \text{正常强度 (MPa)} &= 981 - 785S_c \\ &\approx 1000 - 800S_c \end{aligned}$$

铸态试棒的实测强度 $\sigma_{b\text{测}}$ 与依其共晶度计算出的正常强度之比,称为成熟度 RG (亦称为正常度 IN)。对于抗拉强度 = 200~400MPa 的低磷灰铸铁,成熟度 RG 的计算公式如下

$$\begin{aligned} RG &= \frac{\text{铸态试棒强度}}{\text{正常强度}} \times 100\% \\ &= \frac{\sigma_{b\text{测}}}{981 - 785S_c} \times 100\% \\ &\approx \frac{\sigma_{b\text{测}}}{1000 - 800S_c} \times 100\% \end{aligned}$$

根据灰铸铁铸态试棒的抗拉强度 $\sigma_{b\text{测}}$ 和共晶度 S_c 亦可以由图 3-11 确定其成熟度 RG 。

在 1.4 中已讲过共晶度 S_c 与凝固温度段 ΔT ($\Delta T = \text{液相线温度} - \text{固相线温度} = T_L - T_S$) 有关系

$$\Delta T(^{\circ}\text{C}) = 453.4 - 433.8S_c$$

所以,成熟度 RG 还可以由热分析法测定的 T_L 和 T_S 按下式计算,或由图 3-12 确定:

$$\begin{aligned} RG\% &= \frac{\sigma_{b\text{测}}}{160.53 + 1.81(T_L - T_S)} \times 100\% \\ &\approx \frac{\sigma_{b\text{测}}}{161 + 1.8(T_L - T_S)} \times 100\% \end{aligned}$$

(2) 相对强度 RZ 灰铸铁的正常抗拉强度亦可以

由 $\phi 30\text{mm}$ 铸态试棒的实测布氏硬度 $HB_{\text{测}}$ 计算。对于抗拉强度 200~400MPa 的低磷灰铸铁,其计算公式如下

$$\text{正常强度 (MPa)} = 2.27HB_{\text{测}} - 227$$

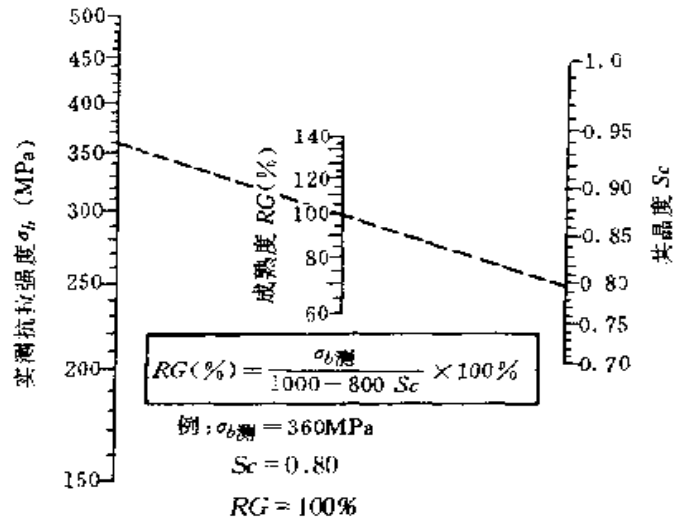


图 3-11 成熟度 RG 的线解图

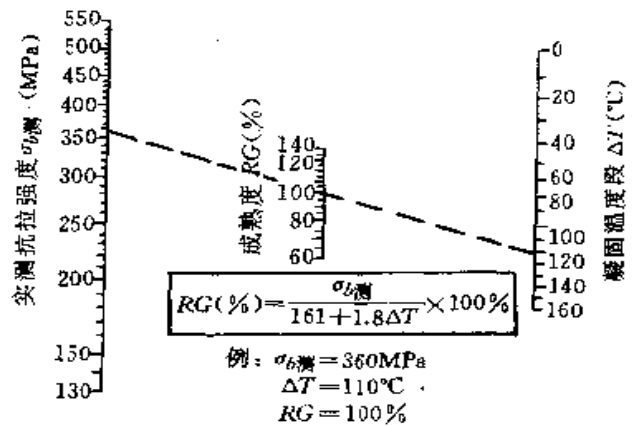


图 3-12 由凝固温度段 ΔT 计算成熟度 RG 的线解图

$\phi 30\text{mm}$ 铸态试棒的实测强度 $\sigma_{b\text{测}}$ 与依其硬度 ($HB_{\text{测}}$) 计算出的正常强度之比,称为相对强度 RZ ,计算公式如下

$$\begin{aligned} RZ\% &= \frac{\text{铸态试棒强度}}{\text{正常强度}} \times 100\% \\ &= \frac{\sigma_{b\text{测}}}{2.27HB_{\text{测}} - 227} \times 100\% \end{aligned}$$

根据灰铸铁铸态试棒实测的抗拉强度和布氏硬度,亦可以由图 3-13 确定其相对强度 RZ 。

(3) 成熟度 RG 与相对强度 RZ 的关系

成熟度 RG 与相对强度 RZ 都是实测强度与计算的正常强度之比,概念相近,但它们是根据不同的数学表达式(即不同的计算硬度)给予的不同命名,意义近似但数值不等。二者不可混淆。例如不能用 RZ 的控制参数去判定 RG 的数据是否达到要求;反之,亦然。

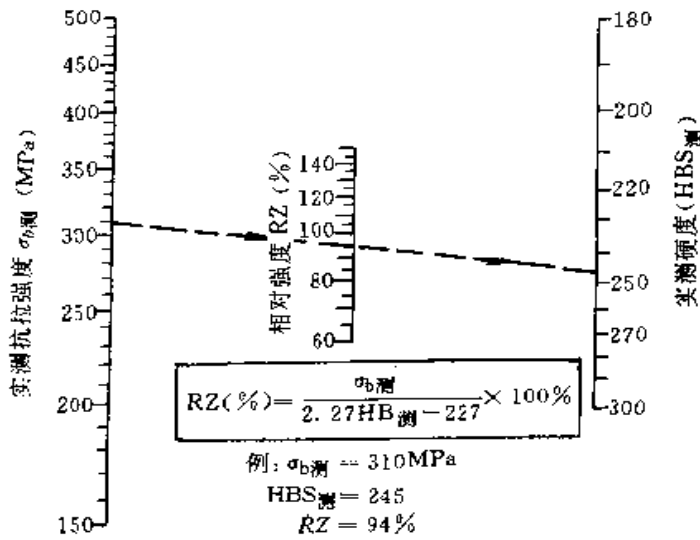


图 3-13 相对强度 RZ 的线解图

1.7.2 硬化度及相对硬度

(1) 硬化度 HG 铸铁的硬度可以依其共晶度 S_c 计算出来, 该硬度称为正常硬度。对于低磷灰铸铁, 其计算公式如下

当 $HB < 186$ 时 正常硬度 = $530 - 344S_c$
 当 $HB > 186$ 时 正常硬度 = $930 - 744S_c$

由铸态试棒实测的布氏硬度 $HB_{\text{测}}$ 与依其共晶度计算出的正常硬度之比, 称为硬化度 HG。其计算公式如下:

当 $HB < 186$ 时

$$HG = \frac{HB_{\text{测}}}{530 - 344S_c}$$

当 $HB > 186$ 时

$$HG = \frac{HB_{\text{测}}}{930 - 744S_c}$$

根据凝固温度段 $\Delta T (T_L - T_S)$ 与共晶度 S_c 的关系, 硬化度 HG 亦可以由热分析法测定的 T_L 和 T_S 来计算

当 $HB < 186$ 时

$$HG = \frac{HB_{\text{测}}}{170.5 + 0.793 (T_L - T_S)}$$

当 $HB > 186$ 时

$$HG = \frac{HB_{\text{测}}}{152.4 + 1.72 (T_L - T_S)}$$

根据铸态试棒的实测布氏硬度和热分析测得的 T_L 、 T_S , 还可以由图 3-14 确定其硬化度。

上述公式仅适用于低磷灰铸铁。磷的影响可以如下估算: 合磷量增加 0.1%, 硬度约提高 2.44HB。

(2) 相对硬度 RH 灰铸铁的正常硬度亦可以由 $\phi 30\text{mm}$ 铸态试棒测得的抗拉强度 $\sigma_{b\text{测}}$ 计算出来, 对

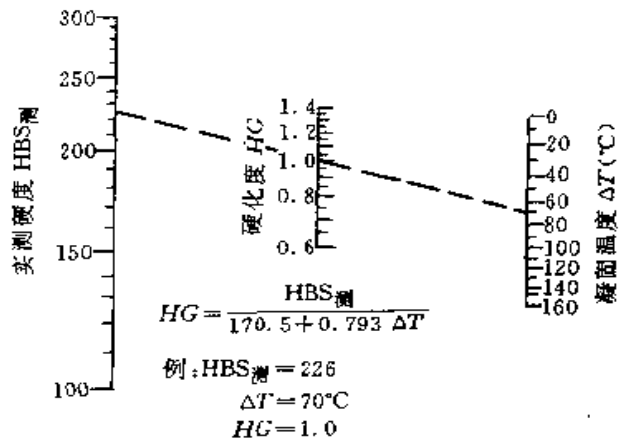


图 3-14 由凝固温度段 ΔT 计算硬化度 HG 的线解图于低磷灰铸铁, 计算公式如下

当 $\sigma_b = 200 \sim 400\text{MPa}$ 时
 正常硬度 = $100 + 0.44\sigma_{b\text{测}}$
 当 $\sigma_b < 200\text{MPa}$ 时
 正常硬度 = $44 + 0.724\sigma_{b\text{测}}$

由 $\phi 30\text{mm}$ 铸态试棒实测的布氏硬度 $HB_{\text{测}}$ 与其抗拉强度 ($\sigma_{b\text{测}}$) 计算出的正常硬度之比, 称为相对硬度 RH, 计算公式如下

当 $\sigma_b = 200 \sim 400\text{MPa}$ 时

$$RH = \frac{\text{铸态试棒硬度}}{\text{正常硬度}} = \frac{HB_{\text{测}}}{100 + 0.44\sigma_{b\text{测}}}$$

当 $\sigma_b < 200\text{MPa}$ 时

$$RH = \frac{HB_{\text{测}}}{44 + 0.724\sigma_{b\text{测}}}$$

根据灰铸铁铸态试棒的抗拉强度和布氏硬度, 可以由图 3-15 确定其相对硬度 RH:

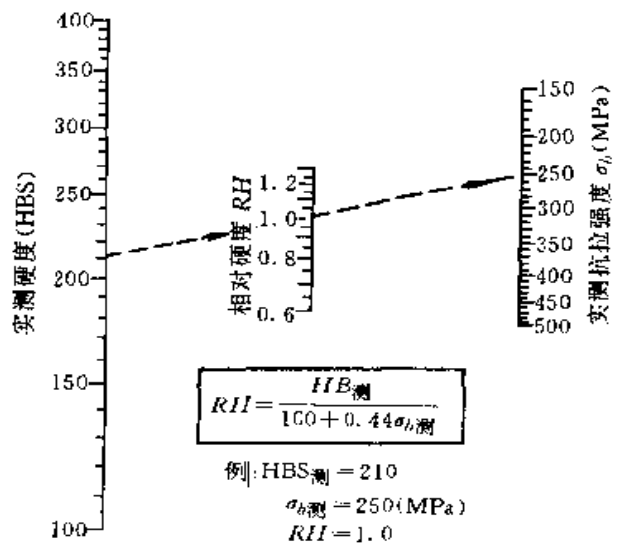


图 3-15 相对硬度 RH 的线解图

上述公式仅适用于低磷灰铸铁。磷的影响可由如下方法来估算：含磷量增加 0.1%，抗拉强度约提高 24MPa。

(3) 硬化度 HG 与相对硬度 RH 的关系 硬化度 HG 与相对硬度 RH 都是实测硬度与计算的正常硬度之比，概念相近，但它们亦是根据不同的数学表达式（即不同的计算硬度）给予的不同命名，意义近似但数值不等。二者不可混淆。例如不能用 RH 的控制参数去判定 HG 的数据是否达到要求；反之，亦然。

1.7.3 品质系数或品质（质量）指数

灰铸铁的成熟度 RG 与硬化度 HG 之比，称为品质系数，又称为质量指数，用 Qi 表示，计算公式如下

$$Qi = \frac{RG}{HG}$$

1.7.4 冶金品质（质量）指标的意义

(1) 成熟度 RG 灰铸铁，一般 $RG = 50\% \sim 130\%$ 。成熟度 RG 的意义如下（相对强度 RZ 与之相似）。

$RG = 100\%$ ，灰铸铁的材质达到了正常水平，即平均水平。

$RG < 100\%$ ，生产者对冶金因素控制不力，例如铁液孕育不良等，因而铸铁的性能未充分发挥，达不到正常水平。

$RG > 100\%$ ，铸铁优质，高强度低硬度。对冶金因素控制得愈好，则 RG 愈大，实测抗拉强度愈高。若生产技术水平能保证 RG 较高，要达到欲求的抗拉强度，可望采用较高共晶度，当然，其铸造性能较好，容易得到健全铸件。

据德国一些工厂的经验， RG 控制在 115% ~ 120%，灰铸铁的性能最佳。

(2) 相对硬度 RH 对于灰铸铁，相对硬度 RH 的意义如下（硬化度 HG 与之相似）：

$RH = 1$ ，铸铁材质达到了正常水平，即平均水平。

$RH > 1$ ，铸铁材质强度较低而硬度较高，切削较难；若保证其可切削性，则抗拉强度较低。

$RH < 1$ ，铸铁的实测硬度较低，易切削。

只要灰铸铁的 RH 控制在 0.8 ~ 1.0，均具有良好的可切削性。

(3) 品质系数

$Qi = 1$ ，铸铁品质（质量）达到了正常水平。

$Qi < 1$ ，铸铁品质（质量）未达到正常水平。

$Qi > 1$ ，铸铁是优质的。高强度，低硬度，易切削。

品质系数是反映铸铁强度与硬度关系的指标。通常，既要求强度高，即成熟度高，又要求可切削性好，即硬化度低。一般 $Qi = 0.7 \sim 1.5$ ，宜控制在 1.0 以上。

1.7.5 强度与硬度的关系

相对硬度 RH 主要决定于原材料、熔炼工艺、铁液处理、铸件冷却速度等。在同一铸造车间里，对于牌号相同、壁厚和质量相近的灰铸铁件，上述因素大致一定。因此，由相对硬度 RH 和实测硬度可以确定铸铁的抗拉强度。计算公式如下（GB 9489—88《灰铸铁件》）

当 $\sigma_b \geq 196\text{MPa}$ 时

$$\sigma_b = \frac{HB}{0.44RH} - \frac{100}{0.44}$$

当 $\sigma_b < 196\text{MPa}$ 时

$$\sigma_b = \frac{HB}{0.724RH} - \frac{44}{0.724}$$

当 RH 为 0.8、0.9、1.0、1.1、1.2 时，硬度与抗拉强度的对应关系见表 3-48 和图 3-16。

表 3-48 灰铸铁的硬度与抗拉强度的关系
(GB 9439—88)

| σ_b MPa(kgf/mm ²) | RH | | | | |
|---|----------|-----|-----|-----|-----|
| | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.2 |
| | 布氏硬度(HB) | | | | |
| 80(8.2) | 82 | 92 | 102 | 112 | 122 |
| 100(10.2) | 93 | 105 | 116 | 128 | 140 |
| 120(12.2) | 105 | 118 | 131 | 144 | 157 |
| 140(14.3) | 116 | 131 | 145 | 160 | 174 |
| 160(16.3) | 129 | 144 | 160 | 176 | 192 |
| 180(18.4) | 139 | 157 | 174 | 192 | 209 |
| 200(20.4) | 150 | 169 | 188 | 206 | 225 |
| 220(22.4) | 157 | 177 | 196 | 216 | 236 |
| 240(24.5) | 164 | 185 | 205 | 226 | 247 |
| 260(26.5) | 171 | 192 | 214 | 235 | 257 |
| 280(28.6) | 178 | 200 | 223 | 245 | 267 |
| 300(30.6) | 185 | 208 | 231 | 255 | 278 |
| 320(32.6) | 192 | 216 | 240 | 264 | 288 |
| 340(34.7) | 199 | 224 | 249 | 274 | 298 |
| 360(36.7) | 205 | 232 | 258 | 283 | 309 |
| 380(38.8) | 213 | 240 | 266 | 293 | 320 |
| 400(40.8) | 220 | 248 | 275 | 303 | 330 |

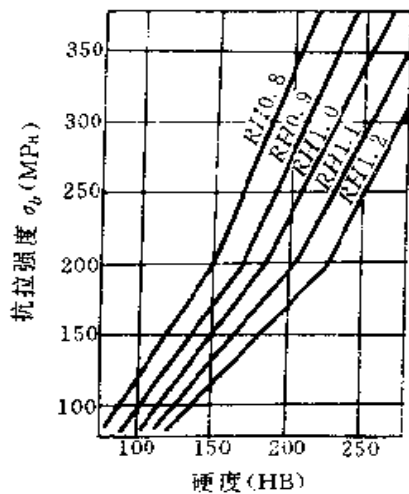


图 3-16 灰铸铁硬度与抗拉强度的关系

1.8 灰铸铁的时效、振动时效及热处理

灰铸铁常用时效和石墨化退火；耐磨铸铁常用表

表 3-49 灰铸铁的人工时效规范

| 铸件种类 | 铸件质量 (kg) | 铸件壁厚 (mm) | 装炉温度 (°C) | 升温速度 (°C/h) | 加热温度(°C) | | 保温时间 (h) | 缓冷速度 (°C/h) | 出炉温度 (°C) |
|----------|-----------|-----------|-----------|-------------|----------|---------|----------|-------------|-----------|
| | | | | | 普通铸铁 | 低合金铸铁 | | | |
| 一般铸件 | <200 | | ≤200 | ≤100 | 500~550 | 550~570 | 4~6 | 30 | ≤200 |
| | 200~2500 | | ≤200 | ≤80 | 500~550 | 550~570 | 6~8 | 30 | ≤200 |
| | >2500 | | ≤200 | ≤60 | 500~550 | 550~570 | 8 | 30 | ≤200 |
| 精密铸件 | <200 | | ≤200 | ≤100 | 500~550 | 550~570 | 4~6 | 20 | ≤200 |
| | 200~3500 | | ≤200 | ≤80 | 500~550 | 550~570 | 6~8 | 20 | ≤200 |
| 简单或圆筒状铸件 | <300 | 10~40 | 100~300 | 100~150 | 550~600 | | 2~3 | 40~50 | <200 |
| 一般精度铸件 | 100~1000 | 15~60 | 100~200 | <75 | 500 | | 8~10 | 40 | <200 |
| 结构复杂 | 1500 | <40 | <150 | <60 | 420~450 | | 5~6 | 30~40 | <200 |
| 较高精度铸件 | 1500 | 40~70 | <200 | <70 | 450~550 | | 8~9 | 20~30 | <200 |
| | 1500 | >70 | <200 | <75 | 500~550 | | 9~10 | 20~30 | <200 |
| 纺织机械小铸件 | <50 | <15 | <150 | 50~70 | 500~550 | | 1.5 | 30~40 | 150 |
| 机床小铸件 | <1000 | <60 | ≤200 | <100 | 500~550 | | 3~5 | 20~30 | 150~200 |
| 机床大铸件 | >2000 | 20~80 | <150 | 30~60 | 500~550 | | 8~10 | 30~40 | 150~200 |

面淬火；有时也用正火、淬火、等温淬火等工艺。

1. 时效

(1) 自然时效 铸件露天放置半年或 1~2 年，风吹日晒，自然缓慢地变形，松弛或部分消除残留应力，称为自然时效。无需设备，无需加热，但周期长，占地大，效率低，残留应力最多减小 10%~30%。

(2) 人工时效 将铸件加热到材料的弹、塑性温度范围，保温，消除、松弛或均化残留应力，然后缓慢冷却，称为人工时效，亦称为热时效，消除应力退火。规范见表 3-49。

严格控制熔炼工艺，化学成分，孕育处理，延长型内冷却时间等，能减少铸造应力，一般铸件，甚至中小发动机缸体、缸盖等铸件，均可以不时效热处理。

2. 振动时效 借助外加激振器产生的激振力，使工件产生低频共振，从而消除或均化残留应力的方法，称为振动时效。

振动时效周期短，效率高，比热时效节能 90%~95%。

(1) 作用 振动时效可以减少或均化工件的残留应力，提高尺寸稳定性。还可以强化金属，提高弹性模量，改善工件承载抗变形能力。如抗静载和抗动载能力分别增加 30% 和 100%~300%。

(2) 激振器 有三种：①电磁式，振动频率 20

~3000Hz, 激振力最大 1000N, 适于中小件。②液压式, 振动频率 0~300Hz, 激振力数千 N, 适于处理大型和高刚性工件。③直流电动机, 直流它激式负载性比单相交流串激式好。前二种昂贵, 很少使用; 后一种便宜, 多使用。

(3) 操作 振动时效控制要素有三: 动应力(和激振力)、激振频率、振动时间。应根据工件的材质、质量、刚度、形状、支承方式等确定。振动时间主要决定于质量: 工件 1t, 10~20min; 工件 1~4.5t, 20~30min; 工件 >4.5t, 30~35min。

工件的支承方式如下: 梁形工件, 二点支承; 筒形工件, 四点支承; 长工件, 三等分二点支承。

激振器牢固地固定在波峰处(自由振动时振幅最大处)。特大或特长工件可在若干位置分别激振。

3. 石墨化退火 石墨化退火的目的是降低硬度, 改善可加工性, 提高塑性和韧性。

低温石墨化退火是加热到稍低于共析温度 AC, 使共析渗碳体分解和粒化, 然后缓慢冷却, 获得珠光体+铁素体+石墨或铁素体+石墨, 降低硬度、改善塑性。规范见表 3-50。

表 3-50 灰铸铁的低温石墨化退火规范

| 铸铁基体组织 | | 退火规范 | | 冷却效果 | 退火效果 |
|-------------|---------|---------|---------|-------|--------------|
| 原有 | 要求 | 温度(℃) | 保温时间(h) | | |
| 珠光体 | 珠光体+铁素体 | 650~750 | 1~5 | 炉冷或空冷 | 改善可加工性 |
| 珠光体或珠光体+铁素体 | 铁素体 | 650~750 | 8~2 | 炉冷或空冷 | 改善可加工性, 提高塑性 |

高温石墨化退火是加热到 Ac 上限以上, 自由渗碳体在高温分解成奥氏体+石墨, 降低硬度, 改善性能。只有在成分不当, 孕育不足, 或冷却太快, 铸件白口, 切削困难时, 才进行高温退火, 规范见表 3-51。

正确的工艺是严格控制化学成分, 加强孕育, 尽量减少白口, 而不依靠石墨化退火去消除白口。

4. 表面热处理 耐磨灰铸铁件, 如缸套、机床导轨等, 常采用表面淬火工艺, 见表 3-52。表面既能获得硬而耐磨的马氏体, 内部又保持良好的韧性。

表 3-51 灰铸铁高温石墨化退火规范

| 铸件状况及要求 | 装炉温度(℃) | 加热速度(℃/h) | 加热温度(℃) | 保温时间(h) | 冷却方式及速度 |
|--------------|---------|-----------|---------|----------|---|
| 局部白口且不深 | | | 850~900 | 0.25~0.5 | 炉冷或空冷 |
| 白口层深 | <200 | 70~100 | 900~960 | 1~4 | 炉冷或空冷 |
| 铁素体基体高塑性、韧性 | <300 | 70~100 | 900~960 | 1~4 | 1. 炉冷至室温或 600℃ 出炉空冷 2. 炉冷至 720~760℃ 二阶段石墨化+炉冷至室温, 或炉冷至 600℃ 出炉空冷 |
| 珠光体基体高强度, 耐磨 | <300 | 70~100 | 900~960 | 1~4 | 1. 出炉空冷至室温 2. 出炉空冷至 600℃, 再进炉, 以速度 50~100℃/h 冷至 300℃ 以下, 出炉空冷。减少二次应力 |

表 3-52 常用表面淬火工艺

| 方法 | 工艺特点 |
|------|---|
| 火焰淬火 | 用氧—乙炔焰加热表面到淬火温度(约 900~1000℃), 喷水冷却, 或将零件投入淬火槽。淬硬层深度 2~6mm, 硬度 40~48HRC。如床身, 长 2.5~3m, 淬硬深度 3~5mm 时, 变形 0.3~0.4mm, 磨削后可消除。简便, 但温度难控制, 过热淬火后变形大。适于单件或小批生产的大工件 |

(续)

| 方法 | 工艺特点 |
|---------|---|
| 感应淬火 | <p>1. 中频淬火 常用频率 2500~8000Hz。工作表面被快速加热到淬火温度后,喷水或浸液,穿透层较深。淬硬层约 3~5mm,硬度 >50HRC。调节阳极电流、频率和加热时间,可以控制淬火温度和深度。淬火质量稳定,工件变形较小。适用于大件、中件、小件。</p> <p>2. 高频淬火 常用频率 200~300kHz。加热速度 200~1000℃/s。穿透层浅。淬硬层约 1~2mm。淬火温度 850℃,表面硬度可达 50HRC 以上;淬火温度 900~1000℃,表面硬度可达 60HRC。淬火质量稳定,氧化脱碳少,工件变形小。适用于套筒类工件、齿轮、机床导轨等</p> |
| 电接触自冷淬火 | <p>原理,电极与工件表面接触,以低电压大电流,将接触处加热到奥氏体化温度,然后电极移动,该处因工件(如机床导轨)自身的热传导而迅速冷却。设备、工艺和操作简单,投资少、工件变形小。</p> <p>1. 碳棒电极手工操作 二次开路电压 2~3V,短路电流 80~160A,电极接触端 1~2mm²,移动速度 2~3圈/s,每圈直径 3~5mm。淬硬层深度 0.07~0.13mm,硬度 54HRC 以上</p> <p>2. 铜滚轮机动操作 二次开路电压 <5V 短路电流 500~600A,滚轮与导轨面接触压力 20~30N,滚轮线速度 2~3m/min。淬硬层深度 0.2~0.25mm,硬度 54HRC 以上</p> |

1.9 灰铸铁件

1.9.1 灰铸铁的应用 (表 3-53)

表 3-53 灰铸铁的应用

| 牌号 | 特性 | 工作条件 | 应用举例 |
|---------------------------|---|---|---|
| HT100 | <ol style="list-style-type: none"> 减振性优良 铸造性能好 无需热时效 | <ol style="list-style-type: none"> 小载荷 不要求耐磨 | 形状简单,不重要零件,如手柄、手轮、盖、罩、油盘、底板、支架、铁栏、重锤等,不加工或简单加工。 |
| HT150 | <ol style="list-style-type: none"> 有一定强度 减振性良好 铸造性能好 铸造应力小,无需热时效 | <ol style="list-style-type: none"> 中等载荷 摩擦面的压力 > 490kPa 较弱腐蚀介质 | <ol style="list-style-type: none"> 一般机械零件,如支柱、轴承座;化工用泵壳、容器、塔器;机床的底座、溜板、工作台等 发动机的进、排气管、液压泵进油管、机油壳等 较轻的薄壁零件,工作压力不大的管件 圆周速度 5~12m/s 的带轮 |
| HT200 HT250 | <ol style="list-style-type: none"> 强度、耐磨性、耐热性良好 减振性良好 铸造性能较好 一般需热时效 | <ol style="list-style-type: none"> 较大载荷 摩擦面压力 > 490kPa (10t 以上铸件可 > 1470kPa) 要求韧性、抗胀性 要求较高气密性 较弱腐蚀介质 | <ol style="list-style-type: none"> 较重要机械零件,如气缸,衬套,齿轮,棘轮、链轮、飞轮,机床床身,泵壳,容器,塔器,法兰 发动机缸体、缸盖、活塞、活塞环、齿轮、齿轮室盖、飞轮、飞轮壳等 汽车、拖拉机的离合器壳、左右半轴壳、刹车毂、联轴器盘等 中压油缸、阀体、泵体等 圆周速度 12~15m/s 的带轮 |
| HT300 HT350 (HT400) | <ol style="list-style-type: none"> 强度高,耐磨 铸造性能差 白口倾向大,需热时效 | <ol style="list-style-type: none"> 高拉力和高弯曲力 摩擦面压力 > 1960kPa,或需表面淬火 要求高气密性 | <ol style="list-style-type: none"> 重要机械零件,如齿轮、凸轮、衬套等 机床导轨,冲床、剪床、压力机、车床和重型机床的床身、机座、主轴箱、卡盘等 大型发动机缸体、缸盖、缸套等 高压油缸、水缸、泵体、阀体等 圆周速度 20~25m/s 的带轮 |

1.9.2 发动机缸体、缸盖

发动机缸体、缸盖多用 HT250 低合金灰铸铁,见表 3-54、3-55。

表 3-54 国内若干发动机缸体、缸盖用灰铸铁

| 铸 件 | 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | |
|-----------------------------------|--------|-------------|---------|-----------|-------|-------|-----------------|-----------|---------|
| | | C | Si | Mn | P | S | Cr | Cu | Mo |
| CA-140 汽车 发动机缸盖 | HT250 | 3.2~3.4 | 1.8~2.0 | 0.5~0.8 | <0.07 | <0.12 | — | 0.4~0.6 | 0.4~0.6 |
| EQ-140 汽车 发动机缸体 | HT250 | 3.2~3.4 | 1.9~2.1 | 0.6~0.9 | ≤0.08 | ≤0.12 | 0.25~0.35 | — | — |
| 475Q 汽油机缸 体 | HT250 | 3.15~3.4 | 2.1~2.5 | 0.65~0.75 | 0.06 | 0.06 | 0.25~0.35 | 0.3~0.4 | — |
| Q376 汽油机缸 体 | 220MPa | 3.2~3.4 | 2.0~2.3 | 0.70 | <0.1 | <0.1 | Sb 0.02~0.04 | — | — |
| 船用柴油机缸盖 | HT250 | 3.1~3.3 | 1.6~2.1 | 0.75~1.0 | ≤0.2 | ≤0.1 | 0.2~0.4 | 0.5~1.0 | 0.3~0.5 |
| 130 系列(4缸,6 缸,8V,12V)柴 油机缸体 | HT250 | 3.0~3.2 | 1.7~1.9 | 0.8~1.0 | 0.06 | <0.1 | — | — | — |
| R100 系列柴油 机缸体、缸盖 | HT250 | 3.25~3.45 | 1.8~2.2 | 0.6~0.9 | ≤0.08 | ≤0.10 | 0.25~0.35 | 0.35~0.45 | — |
| 195 柴油机缸盖 | HT250 | 3.2~3.5 | 2.0~2.4 | 0.6~1.0 | ≤0.15 | ≤0.1 | 0.2~0.4 | 0.7~1.0 | — |

表 3-55 德国某汽车公司的缸体材质

(续)

| 类别 | A | B |
|-------|---|-----------|
| 适用范围 | 高要求汽油机缸 体和柴油机缸体 | 一般汽油机缸体 |
| C(%) | 3.0~3.5 | 2.8~3.4 |
| Si(%) | 1.8~2.7 | 1.8~2.8 |
| Mn(%) | 0.3~1.0 | |
| P(%) | <0.2 | |
| S(%) | <0.14 | |
| Cr(%) | 0.15~0.45 | 0.15~0.40 |
| Cu(%) | <0.8 | |
| Ti(%) | 0.03~0.10 | ≤0.10 |
| Sn(%) | <0.1 | |
| Al(%) | <0.008 | |
| 共晶度 | $S_c = \frac{C}{4.3 - \frac{1}{3}(Si+P)} \leq 0.95$ | |
| 基 体 | 片状珠光体 | |

| 类别 | A | B |
|------------------------------|-------------------------------|-----|
| 其中铁素体量 | ≤3% | ≤5% |
| 石墨类型 | I型 | I型 |
| 石墨大小(缸筒上取样) | 3~5 | 4~7 |
| 硬度(5/750 ^① , HJB) | 195~235(逐个检查) | |
| 抗拉强度 | $\sigma_b \geq 220\text{MPa}$ | |

① 5/750—球径 $\phi 5\text{mm}$, 载荷 7500N。

1.9.3 气缸套及活塞环

气缸套和活塞环是在高温、高压、腐蚀、半润滑条件下工作的一对滑动摩擦副。

(1) 气缸套 GB 1150—82 规定缸套材料的强度不低于 HT200, 硬度见表 3-56。各种缸套耐磨铸铁的成分、性能及应用见表 3-57。

(2) 活塞环 活塞环常用合金铸铁, 少量用球墨铸铁、可锻铸铁等材料。铸造方法有两种: 单体铸造和筒体铸造。性能要求见表 3-58, 常用耐磨铸铁见表 3-59。

表 3-56 气缸套的硬度要求 (GB 1150—82)

| 类型 | 硬度 (HB) | 其它 | 类型 | 硬度 (HB) | 其它 |
|----------|---------|----|---------|---------|-----------|
| 汽油干式气缸套 | ≥190 | — | 表面淬火气缸套 | HRC≥43 | 硬化层≥1.5mm |
| 汽油机湿式气缸套 | ≥210 | — | 整体淬火气缸套 | 363~444 | — |
| 柴油机干式气缸套 | ≥210 | — | | | |

表 3-57 气缸套耐磨铸铁成分、性能及应用

| 材质 | 磷铝铸铁 | 磷铸铁 | 磷铝铜 铸铁 | 磷钒铸铁 | 磷铝钼 铸铁 | 铝钼铜 铸铁 | 铝钼铜 铸铁 | 铝钼铜 铸铁 | 磷镍铸铁 | 球墨铸铁 | 硼铸铁 | | |
|---------|-----------------------|-----------|--------------------------|-------------|------------------------------|----------------------------|------------------|--|--|--------------------------------------|-------------|-----------|---|
| 化学成分(%) | C | 3.0~3.4 | 2.9~3.4 | 3.2~3.4 | 3.2~3.6 | 3.1~3.4 | 3.2~3.9 | 2.7~3.2 | 2.9~3.3 | 3.2~3.6 | 3.6~3.8 | 3.1~3.3 | |
| | Si | 2.1~2.4 | 2.2~2.6 | 2.4~2.6 | 2.1~2.4 | 2.2~2.6 | 1.8~2.0 | 1.5~2.0 | 1.3~1.9 | 1.9~2.4 | 2.0~2.4 | 1.7~1.9 | |
| | Mn | 0.8~1.2 | 0.8~1.2 | 0.5~0.7 | 0.6~0.8 | 0.5~0.8 | 0.5~0.7 | 0.8~1.1 | 0.7~1.0 | 0.6~0.8 | 0.6~0.8 | 0.6~0.8 | |
| | P | 0.55~0.75 | 0.6~0.8 | 0.25~0.4 | 0.4~0.5 | 0.55~0.8 | ≤0.15 | ≤0.15 | 0.2~0.4 | 0.3~0.4 | <0.10 | 0.25~0.35 | |
| | S | <0.10 | <0.10 | ≤0.12 | ≤0.10 | ≤0.10 | ≤0.12 | ≤0.10 | ≤0.12 | ≤0.08 | <0.03 | ≤0.12 | |
| 其它 | Cr 0.35~0.55 | | Cr 0.2~0.3 Cu 0.4~0.7 | V 0.15~0.25 | Cr 0.35~0.55 Mo 0.15~0.35 | Cr 0.3 Mo 0.4 Cu 0.6 | | Cr 0.2~0.4 Mo 0.8~1.2 Cu 0.8~1.2 | Cr 0.25~0.45 Mo 0.30~0.50 Cu 0.7~1.3 | Sb(加入量) 0.06~0.08 Mg 0.05~0.07 | B 0.04~0.08 | | |
| 力学性能 | σ_b (MPa) | >200 | >200 | 250 | >200 | 250 | 250 | 300 | ≥280 | 200 | >600 | 250 | |
| | σ_{bb} (MPa) | >400 | >400 | 470 | >400 | 470 | 470 | 540 | ≥480 | 400 | | 470 | |
| | f (mm) | | | | | | | ≥1.2(支距100) | | 伸长率 $\delta \geq 2\%$ | | — | |
| | 硬度(HB) | 220~280 | >220 | 190~240 | >220 | 240~280 | | | 202~255 | 190~248 | >190 | 240~280 | — |
| | 硬度差(HB) | <30 | <30 | <30 | <30 | <30 | | | | | | | |
| 应用 | 汽车、拖拉机缸套(金属型离心浇注、湿涂料) | 柴油机、拖拉机缸套 | 柴油机缸套 | 汽车、拖拉机缸套 | 柴油机缸套(金属型离心铸造) | 中小柴油机缸套(砂型铸造) | 内燃机车、柴油机缸套(砂型铸造) | 大型船用柴油机缸套 | 汽车缸套 | 拖拉机缸套 | 中小型柴油机缸套 | | |

表 3-58 活塞环的性能要求 (GB 1149—82)

| 材 质 | | 硬度 (HRB) | 硬度差 (HB) | 材 质 | 弹性模量 E (GPa) | 抗弯强度 σ_{bb} (MPa) |
|-------|-----------------------|----------|----------|-----------|--------------|--------------------------|
| 合金铸铁环 | $D \leq 150\text{mm}$ | 98~108 | ≥3 | 合金铸铁环 | 单体铸造 | 392 |
| | $D > 150\text{mm}$ | 94~105 | ≥3 | | 筒体铸造 | 471 |
| 其它材料环 | | 符合产品图样 | | 球墨铸铁可锻铸铁环 | 156.906 | 符合产品图样 |

注：1. 环径 $D \leq 150\text{mm}$ 的钨合金铸铁环硬度 HRB96~106。

2. 热稳定性：合金铸铁整体环的弹力保持系数 $\delta \leq 88\%$ ；其它材料环应符合产品图样。

表 3-59 活塞环用耐磨铸铁

| 分类 | 材质 | 化学成分(%) | | | | | | 力学和物理性能 | | | | | | | | |
|------|-----|---------|---------|---------|----------|------|-----------|---------|----------|---------------------|--------|-----------------|-----------|------------------|---------|--------|
| | | C | Si | Mn | P | S | 合金元素 | 硬度(HB) | 硬度差(HRC) | σ_{bb} (MPa) | E(MPa) | E/σ_{bb} | 残余变形 C(%) | 弹力消失率 ϕ (%) | 径向压力(N) | 应用举例 |
| 钨系铸铁 | 钨铸铁 | 3.6~3.9 | 2.2~2.7 | 0.6~1.0 | 0.35~0.5 | ≤0.1 | W0.4~0.65 | 101~103 | 3.0 | 469 | 88400 | 190 | 5.3 | 22.6 | 75 | 汽车、拖拉机 |

(续)

| 分类 | 材质 | 化学成分(%) | | | | | 合金元素 | 力学和物理性能 | | | | | | | 应用举例 | |
|--------|----------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------------|---|-----------------|--------------|-------------------------|-----------------------|------------------------------|--------------|-------------------------|---------------|-------------------------------------|
| | | C | Si | Mn | P | S | | 硬度 (HB) | 硬度 差(HRC) | $\sigma_{0.2}$ (MPa) | E(MPa) | E_{\leq} $\sigma_{0.2}$ | 残余变形 C(%) | 弹力消 失率 ϕ (%) | | 径向 压力 (N) |
| 铸 铁 | 钨钒 铸铁 | 3.6~ 3.9 | 2.2~ 2.5 | 0.6~ 1.0 | 0.3~ 0.6 | ≤ 0.1 | W 0.3~0.5 V 0.15~0.2 Ti 0.1~0.2 | 100 ~ 102 | 3.0 | 485 | 95000 | 196 | 4.2 | 25 | 80 | 汽车、拖 拉机 |
| | 钨钼 铸铁 | 3.6~ 3.8 | 2.5~ 2.7 | 0.7~ 0.9 | 0.3~ 0.5 | ≤ 0.1 | W 0.35~0.45 Cr 0.2~0.3 Mo 0.2~0.3 | 98~ 102 | 3.0 | 500 | 76400 ~ 83400 | 150 ~ 168 | 6.6~ 10 | 25 | 54~ ~70 | 汽油机 柴油机 |
| | 钨钼 稀土 铸铁 | 3.7~ 3.9 | 2.3~ 2.6 | 0.7~ 0.9 | 0.3~ 0.5 | ≤ 0.1 | RE 0.012~ 0.015 W 0.4~0.6 | 101 ~ 102 | 3.0 | 460 | 75000 ~ 95000 | 185 | <10 | | 45 ~ 70 | |
| 铸 铁 | 钨钼 铸铁 | 3.6~ 3.8 | 2.2~ 2.8 | 0.8~ 1.0 | 0.3~ 0.5 | ≤ 0.1 | W 0.5~0.9 Cr 0.2~0.3 | 98 ~ 105 | 3.0 | 500 | 96400 ~ 83400 | 190 ~ 168 | 7.7~ 10 | 25 | 54 ~ 80 | 活塞环寿 命较好, 达2000h |
| | 钨钼 铸铁 | 3.7~ 3.9 | 2.0~ 2.5 | 0.6~ 0.9 | 0.3~ 0.5 | ≤ 0.1 | Mo 0.25~0.45 Cr 0.25~0.35 | 99~ 102 | 3.0 | 448 | 74300 | 164 | 6.0 | 25 | 66 | 汽车、 拖拉机 |
| 铸 铁 | 钨钼 铸铁 | 2.9~ 3.3 | 2.0~ 2.4 | 0.7~ 1.0 | 0.35~ 0.6 | ≤ 0.1 | Mo 0.6~0.8 Cr 0.4~0.6 | 98~ 108 | 3.0 | ≥ 550 | 100000 ~ 140000 | \leq 220 | <10 | ≤ 20 | | 柴油机、 拖拉机 |
| | 钨钼 铸铁 | 3.0~ 3.3 | 1.9~ 2.4 | 0.8~ 1.2 | 0.35~ 0.7 | ≤ 0.1 | Mo 0.3~0.6 Cr 0.2~0.4 Cu 0.7~1.0 | 96~ 107 | 3.0 | ≥ 600 | 100000 ~ 130000 | \leq 220 | <10 | 18 | | 拖拉机、 柴油机、 压缩机 |
| | 钨钼 铸铁 | 2.8~ 3.2 | 1.6~ 2.0 | 0.9~ 1.3 | 0.25~ 0.4 | ≤ 0.1 | Mo 0.6~0.8 Cr 0.4~0.6 Cu 0.9~0.14 | 98~ 105 | 3.0 | ≥ 600 | 110000 ~ 140000 | \leq 220 | <10 | 18 | | 拖拉机、 大型船用 柴油机 |
| 铸 铁 | 钨钼 铸铁 | 2.9~ 3.3 | 2.0~ 2.4 | 0.9~ 1.3 | 0.35~ 0.7 | ≤ 0.1 | Mo 0.3~0.6 Cr 0.25~0.5 Cu 0.7~1.0 Ti 0.05~0.15 | 98~ 105 | 3.0 | ≥ 550 | 100000 ~ 140000 | \leq 220 | <10 | 18 | | 工作温度 高的火焰 平环,重 要的柴油 发动机 |
| | 钨钼 铸铁 | 2.9~ 3.1 | 1.7~ 2.1 | 0.8~ 0.9 | 0.5~ 0.6 | 0.06 ~ 0.10 | Mo 0.2~0.3 Cr 0.4~0.45 W 0.35~0.45 Cu 0.8~0.9 | 99~ 102 | <3 | | | | | | 40~65 | |
| 铸 铁 | 钨钼 铸铁 | 2.9~ 3.3 | 2.0~ 2.4 | 0.9~ 1.3 | 0.35~ 0.6 | ≤ 0.1 | Ni 0.8~1.2 Cr 0.2~0.4 Mo 0.3~0.6 | 98~ 107 | 3.0 | ≥ 550 | 100000 ~ 130000 | \leq 220 | <10 | 20 | | 船用或内 燃机车柴 油机 |
| | 钨钼 铸铁 | 3.0~ 3.3 | 2.0~ 2.4 | 0.8~ 1.2 | 0.4~ 0.6 | ≤ 0.1 | Ni 0.6~1.0 Cr 0.3~0.5 | 98 ~ 106 | 3.0 | ≥ 550 | 100000 ~ 140000 | \leq 220 | — | 20 | | 冷冻机 |
| | 钨钼 铸铁 | 3.5~ 3.75 | 1.5~ 1.9 | 0.5~ 0.8 | 0.3~ 0.5 | ≤ 0.1 | Ni 0.5~1.5 Cr 0.25~0.6 Mo 0.25~0.6 | | | | | | | | | 高速汽车 |
| 铸 铁 | 钨钼 铸铁 | 4.08 | 2.68 | 0.68 | 0.24 | 0.048 | B 0.05 W 0.55 | 102 ~ 104 | 1~ 1.5 | 460~ 484 | 80000 ~ 88000 | 171 ~ 187 | 4.2~ 6.2 | | | 组织:细 片状珠光 体+含硼 复合物 |

(续)

| 分类 | 材质 | 化学成分(%) | | | | | 力学和物理性能 | | | | | | | 应用举例 | | |
|-----|-------|---------|---------|---------|---------|-------------|---|-----------------|----------|----------------------|--------|-----------|----------|------|------------------|----------|
| | | C | Si | Mn | P | S | 合金元素 | 硬度(HB) | 硬度差(HRC) | $\sigma_{0.2}$ (MPa) | E(MPa) | $E_{0.2}$ | 残余变形C(%) | | 弹力消失率 ψ (%) | 径向压力(N) |
| 磷钒钛 | 磷钒钛铸铁 | 3.6~3.9 | 2.5~2.7 | 0.6~0.9 | 0.4~0.6 | ≤ 0.1 | Cu 0.4~0.6 V 0.15~0.25 Ti 0.1~0.2 | 103 — 107 | 3.0 | 539 | 94300 | 176 | 4.5 | 24.6 | | 内燃机 |
| | | 3.6~3.8 | 2.4~2.6 | 0.8~1.1 | 0.5~0.8 | ≤ 0.1 | | 101 — 103 | 3.0 | 450 | 90600 | 201 | 5.5 | 25 | | |
| | | 3.7~3.9 | 2.4~2.6 | 0.6~0.9 | 0.5~0.7 | ≤ 0.1 | RE 0.013 | 100 — 102 | 3.0 | 440 | 87000 | 199 | 6.6 | 25 | 80 | |
| 球墨 | 球墨铸铁 | 3.6~3.8 | 3.0~3.3 | 0.7~0.9 | < 0.2 | ≤ 0.05 | RE 0.03~0.05 Mg 0.03~0.05 Sn 0.08~0.1 | | | | | | | | | |
| | | 3.6~3.8 | 3.0~3.3 | 0.7~0.9 | 0.10 | ≤ 0.05 | RE 0.04 Mo 0.25 Cr 0.30 | 103 — 106 | 3.0 | 1208 | 159000 | 155 | 0.05 | 25 | 114 | 高速高负荷内燃机 |
| | | 3.6~3.9 | 2.3~2.6 | 0.6~0.8 | 0.3~0.5 | ≤ 0.1 | Cr 0.32 Cu 0.46 Sb 0.03 V 0.05 | 90 — 106 | 3.0 | 408 | 68000 | 167 | 6.0 | 25 | 68 | |

1.9.4 机床铸件

机床零件常用磷系、钒钛系、稀土系、铬钼铜系、硼系、铋系耐磨铸铁。

(1) 磷系铸件 机床导轨用磷系铸铁的牌号、化学成分、力学性能见表 3-60, 导轨硬度要求见表 3-

61。其中力学性能和磷、铜、钛含量是验收指标; 其它元素供熔炼配料参考。

磷系铸铁金相组织见表 3-62。一般在导轨面或导轨附铸的金相试块上检测, 仅作为控制品质(质量)的参考, 不作为判定合格依据。

表 3-60 机床用磷系铸铁的牌号、成分、性能 (JB/GQ 1020—81)

| 铸铁名称 | 牌 号 | 化学成分(%) | | | | | 抗拉强度(MPa) |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|--------------|-----------|
| | | C | Si | Mn | S | 合金元素 | |
| 磷铜钒耐磨铸铁 | MTPCuTi20 | 3.20~3.50 | 1.80~2.50 | 0.50~0.90 | ≤ 0.12 | P 0.35~0.60 | 200 |
| | MTPCuTi25 | 3.00~3.30 | 1.40~1.80 | 0.50~1.00 | | Cu 0.60~1.00 | 250 |
| | MTPCuTi30 | 2.90~3.20 | 1.20~1.70 | 0.60~1.00 | | Ti 0.09~0.15 | 300 |
| 高磷耐磨铸铁 | MTP20 | 3.20~3.50 | 1.80~2.50 | 0.50~0.90 | ≤ 0.12 | | 200 |
| | MTP25 | 3.00~3.30 | 1.40~1.80 | 0.50~1.00 | | P 0.40~0.65 | 250 |
| | MTP30 | 2.90~3.20 | 1.20~1.70 | 0.60~1.00 | | | 300 |

注: 抗拉试样毛坯直径 $\phi 30^{+0.2}$ mm 按 GB 977—84 试验。

表 3-61 磷系耐磨铸铁道轨装配时的硬度
(JB/GQ 1020—81)

| 道轨长度 或铸铁 质(重)量 | HB \leq | | HB \geq |
|----------------------|---------------------|---|-----------|
| | MTPCuTi30; MFP30 | MTPCuTi25, MTPCu- Ti20; MTP25, MTP20 | |
| $\leq 2500\text{mm}$ | 190 | 180 | 255 |
| $> 2500\text{mm}$ | 180 | 170 | 241 |
| $> 10\text{t}$ | 170 | 160 | 241 |

表 3-62 磷系铸铁的金相组织 (JB/GQ 1020—81)

| 铸材质(重)量(t) | ≤ 2 | > 2 |
|------------|--|--|
| 石墨 | 以 A 型为主; 长 度为 10 ~ 25mm (放大 100 倍) | 以 A 型为主; 长 度为 10 ~ 35mm (放大 100 倍) |
| 珠光体 | 数量“珠 95”以上 | 数量“珠 90”以上 |
| 磷共晶 | 数量为“磷 4”~“磷 8”, 呈断续网状分布 | |
| 自由渗碳体 | 数量不大于“碳 3” | |

(2) 钒钛系铸铁 (表 3-63、表 3-64)。

表 3-63 钒钛铸铁的成分、性能和应用

| 铸铁与牌号 | | 化学成分 (%) | | | | | 力学性能 | | | | 减摩性 | 应用举例 | |
|-------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--|---------------------|------------------------|------------------------|-------------|------------------------|----------------------------------|
| | | C | Si | Mn | P | S | 合金元素 | σ_b (MPa) | σ_{bb} (MPa) | $f^{\text{③}}$ (mm) | | | 硬度 (HB) |
| 钒 钛 铸 铁 ^② | MTVTi 20 | 3.3~ 3.70 | 1.4~ 2.20 | 0.6 | | | | | | | | 为 HT 200 的 2~3 倍 | 机床导 轨 JB/GQ 1021—81 |
| | MTVTi 25 | 3.1~ 3.50 | 1.3~ 2.00 | | ≤ 0.40 | ≤ 0.12 | V0.15 ~0.45 Ti0.06 ~0.15 | 200 250 300 | | | ① | | |
| | MTVTi 30 | 2.9~ 3.30 | 1.2~ 1.80 | | | ~1.20 | | | | | | | |
| 稀土钒 钛铸铁 | 3.8~ 4.2 | 1.9~ 2.4 | 0.8~ 1.0 | 0.25~ 0.4 | | ≤ 0.10 | V0.35~ 0.5 Ti0.15 ~0.3 Re0.04 ~0.07 | 250~ 300 | 470~ 540 | ≥ 3 | 220~ 240 | 比 HT 300 提 高 4 倍 | 磨床、 铣床、齿 轮机床床 身、工作 台 |
| 磷铜钒 钛铸铁 | 2.9~ 3.3 | 1.5~ 2.1 | 0.7~ 1.0 | 0.25~ 0.4 | | ≤ 0.12 | V0.1~ 0.2 Ti0.1 ~0.2 Cu0.5 ~1.0 | 250~ 300 | 470~ 540 | ≥ 2.8 | 200~ 250 | | |

① 钒钛铸铁导轨装配时的硬度要求: 导轨长度 $\leq 2500\text{mm}$ 时 HB ≤ 170 , ≥ 241 ; 导轨长度或铸件重量 $> 2500\text{mm}$ 或 3t 时 HB ≤ 160 , ≥ 241 。

② JB/GQ1021—81。导轨用钒钛铸铁的力学性能和钒、钛含量作为验收指标, 其它元素仅作为熔炼配料时参考, 不作为判定合格的依据。抗拉强度试样毛坯 $\phi 30 \times 70\text{mm}$, 按 GB 977—84 试验。

③ f 为挠度, 下同。

表 3-64 钒钛系铸铁的金相组织

| 铸铁名称 | 金 相 组 织 | | |
|--------------------------------|--|----------------------------------|----------------------------------|
| | 按 JB 2264--78《灰铸铁金相标准》检验 | | |
| | 项 目 | 铸件质量(t) | |
| ≤2 | | >2 | |
| 钛铸铁 (JB/ GQ 1021 —81) | 石墨 | A型或D、E型为主。以A型为主时,长度10~25mm(100×) | A型或D、E型为主。以A型为主时,长度10~35mm(100×) |
| | 珠光体 | 数量“珠90”以上 | 数量“珠80”以上 |
| | 钒钛碳氮化合物 | 弥散分布 | |
| | 磷共晶 | 数量在“磷4”以下 | |
| | 自由渗碳体 | 数量在“碳3”以下 | |
| 稀土钒钛铸铁 | 1. 基体:全珠光体,晶粒较小,片间距较小 2. 石墨:较细,一般心部长度60~500μm,外层15~250μm,含量8%~10% 3. 硬化相:二元及三元磷共晶4%~5%,呈断续网状;钒钛的碳、氮化合物以菱形或块状均布,分散度较高 | | |
| 磷铜钒钛铸铁 | σ_b 300MPa(σ_b 250MPa): 1. 基体:珠光体细片状(中细片状,铁素体允许10%~30%) 2. 石墨:A型,少量E型(A型,少量D、E型),大小4~6级,面积6%~9%(7%~11%) 3. 二元磷共晶:小块状3%~5%; 4. 不允许合金偏析 | | |

(3) 稀土系铸铁 (表 3-65)。

表 3-65 稀土系铸铁的成分和性能

| 铸铁名称 | 化学成分(%) | | | | | | 力学性能 | | | |
|-------|---------|---------|---------|---------|-------|-----------------------------|---------------------|-------------------------|-----------|---------|
| | C | Si | Mn | P | S | RE | σ_b (MPa) | $\sigma_{0.2}$ (MPa) | f (mm) | HB |
| 稀土铸铁 | 3.4~3.9 | 2.0~2.8 | 0.8~1.1 | ≤0.2 | ≤0.03 | 0.03~0.07 | 350~500 | 700~1000 | 3~7 | 180~240 |
| 稀土磷铸铁 | 3.4~3.8 | 2.2~2.4 | 0.7~1.1 | 0.2~0.4 | ≤0.03 | 0.03~0.07 (稀土加入量0.3~0.5) | 350~500 | 700~1000 | ≥3 | 220~260 |

(4) 铬钼铜系铸铁 牌号、成分、强度见表 3-66, 硬度见表 3-67。其中力学性能和铬、钼、铜含量是验收指标; 其它元素含量仅供熔炼配料参考。金相组织见表 3-68。

表 3-66 铬钼铜系铸铁的牌号、成分和强度 (JB/GQ 1022—82)

| 铸铁名称 | 牌 号 | 化学成分(%) | | | | | σ_b (MPa) 不小于 | |
|-------------|------------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|----------------------------|-----|
| | | C | Si | Mn | P | S | | |
| 铬钼铜 耐磨铸铁 | MTCrMoCu25 | 3.00~3.50 | 1.50~2.40 | 0.60~1.00 | ≤0.15 | <0.12 | Cr0.20~0.45 | 250 |
| | MTCrMoCu30 | 2.90~3.30 | 1.40~2.10 | 0.70~1.10 | | | Mo0.15~0.35 | 300 |
| | MTCrMoCu35 | 2.80~3.10 | 1.30~1.90 | 0.80~1.20 | | | Cu0.60~1.10 | 350 |
| 铬铜耐 磨铸铁 | MTCrCu25 | 3.00~3.50 | 1.50~2.40 | 0.60~1.00 | ≤0.25 | <0.12 | Cr0.20~0.5 | 250 |
| | MTCrCu30 | 2.90~3.30 | 1.40~2.10 | 0.70~1.10 | | | Cu0.60~1.10 | 300 |
| | MTCrCu35 | 2.80~3.10 | 1.30~1.90 | 0.80~1.20 | | | | 350 |

注: 抗拉试样毛坯直径 $\phi 30 \pm 0.05$ mm, 按 GB 977--84 试验。

表 3-67 导轨铸铁件装配时的硬度 HB (JB/GQ 1022—82)

| 导轨长度或铸件重量 | MTCrMoCu30, MTCrMoCu35, MTCrCu30, MTCrCu35 | MTCrMoCu25, MTCrCu25 | 不大于 |
|--------------|---|----------------------|-----|
| ≤2500mm | ≤190 | ≤185 | 255 |
| >2500mm 或 3t | ≤185 | ≤180 | |
| >10t | ≤180 | ≤175 | 241 |

表 3-68 铬铜系铸铁金相组织 (JB/GQ 1022—82)

| 项 目 | 铸件质量(t) | |
|-------|-------------------------------|-------------------------------|
| | ≤2 | >2 |
| 石墨 | 分布形状以 A 型为主。长度为 10~25mm(100×) | 分布形状以 A 型为主。长度为 10~35mm(100×) |
| 珠光体 | 数量在“珠 95”以上 | |
| 磷共晶 | 数量在“磷 4”以下 | |
| 自由渗碳体 | 数量不大于“碳 3” | |

(5) 锡系铸铁 成分、性能、应用见表 3-69。锡铜铸铁的基体组织为珠光体 >98%，磷化物 2%。

表 3-69 锡系铸铁的成分、性能、应用

| 铸铁名称 | 化学成分(%) | | | | | | 力学性能 | | | | 应用举例 |
|------------|---------|---------|---------|---------|-------|--|---------------------|------------------------|-------------|---------|----------------------|
| | C | Si | Mn | P | S | 合金元素 | σ_b (MPa) | σ_{bb} (MPa) | f (mm) | HB | |
| 锡铜铸铁 | 3.2~3.4 | 1.2~1.5 | 0.5~0.7 | ≤0.12 | ≤0.12 | Sb 0.04~0.08 Cu 0.8~1.0 | 200~250 | 400~470 | 2.5~3.5 | 190~220 | 蜗轮轴套、 工作台、螺母 等 |
| 锡铜稀 土铸铁 | 3.3~3.5 | 1.6~1.9 | 0.8~1.0 | ≤0.12 | ≤0.12 | Sb 0.03~0.05 Cu 0.2~0.3 RE 0.02~0.05 | 150~200 | 300~400 | -- | 210~230 | |
| 锡铸铁 | 3.1~3.4 | 2.0~2.5 | 0.5~0.9 | ≤0.12 | ≤0.12 | Sb 0.03~0.07 | 200~220 | 380~400 | 3.0~3.2 | 200~220 | 轴套、滑块、 螺母等 |
| 锡磷铸铁 | 3.2~3.6 | 1.9~2.4 | 0.6~0.8 | 0.3~0.4 | ≤0.08 | Sb 0.03~0.04 | 200~220 | 400~450 | -- | >190 | 轴套、滑块、 螺母等 |

(6) 硼系铸铁 (表 3-70)。

表 3-70 硼铸铁的化学成分、性能

| 铸铁名称 | 化学成分(%) | | | | | | 力学性能 | | | |
|------|---------|---------|---------|---------|-------|-----------------|---------------------|------------------------|----------|---------|
| | C | Si | Mn | P | S | 合金元素 | σ_b (MPa) | σ_{bb} (MPa) | f (mm) | HB |
| 硼铸铁 | 2.9~3.2 | 1.2~1.7 | 0.5~0.8 | ≤0.3 | ≤0.12 | B 0.03 -0.06 | 210~250 | | | |
| | 3.2~3.5 | 1.6~1.8 | 0.5~0.6 | <0.1 | <0.12 | B 0.04 -0.07 | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| 硼磷铸铁 | 2.9~3.3 | 2.0~2.4 | 0.5~0.7 | 0.4~0.6 | ≤0.1 | B 0.04 -0.06 | 270~300 | 480~540 | 2.5~3.5 | 220~260 |

2 球墨铸铁

(续)

球墨铸铁是铁液经球化处理，石墨全部或大部呈球状的铸铁。

2.1 球墨铸铁的牌号

2.1.1 牌号

对于在砂型或导热性与砂型相当的铸型中铸造的普通和低合金球墨铸铁，GB 1348—88《球墨铸铁件》按单铸试块和附铸试块规定了2类13个牌号。

1) 按单铸试块的力学性能分为8个牌号，见表3-71、表3-72。

2) 按附铸试块的力学性能分为5个牌号，见表3-73、表3-74。

表 3-71 单铸试块的力学性能 (GB 1348—88)

| 牌号 | σ_b MPa | $\sigma_{0.2}$ MPa | δ (%) | 供参考 | |
|----------|------------------------|------------------------|-----------------|------------|--------------|
| | (kgf/mm ²) | (kgf/mm ²) | | 硬度 (HB) | 主要金相组织 |
| | 最小值 | | | | |
| QT400-18 | 400(40.80) | 250(25.50) | 18 | 130~180 | 铁素体 |
| QT400-15 | 400(40.80) | 250(25.50) | 15 | 130~180 | 铁素体 |
| QT450-10 | 450(45.90) | 310(31.60) | 10 | 160~210 | 铁素体 |
| QT500-7 | 500(51.00) | 320(32.65) | 7 | 170~230 | 铁素体 + 珠光体 |

| 牌号 | σ_b MPa | $\sigma_{0.2}$ MPa | δ (%) | 供参考 | |
|---------|------------------------|------------------------|-----------------|------------|---------------|
| | (kgf/mm ²) | (kgf/mm ²) | | 硬度 (HB) | 主要金相组织 |
| | 最小值 | | | | |
| QT600-3 | 600(61.20) | 370(37.75) | 3 | 190~270 | 珠光体 + 铁素体 |
| QT700-2 | 700(71.40) | 420(42.85) | 2 | 225~305 | 珠光体 |
| QT800-2 | 800(81.60) | 480(48.98) | 2 | 245~335 | 珠光体或 回火组织 |
| QT900-2 | 900(91.80) | 600(61.20) | 2 | 280~360 | 贝氏体或 回火马氏体 |

表 3-72 单铸试块 V 型缺口试样的冲击韧度 (GB 1348—88)

| 牌 号 | 最小冲击韧度 a_K J/cm ² (kgf·m/cm ²) | | | |
|-----------|---|-----------|-------------|----------|
| | 室温 23±5℃ | | 低温 -20±2℃ | |
| | 三个试样 平均值 | 个别值 | 三个试样 平均值 | 个别值 |
| QT400-18 | 14 (1.43) | 11 (1.12) | — | — |
| QT400-18L | — | — | 12 (1.22) | 9 (0.92) |

注：字母“L”表示该牌号在低温时的冲击韧度。

表 3-73 附铸试块的力学性能 (GB 1348—88)

| 牌 号 | 铸件壁厚 (mm) | σ_b MPa | $\sigma_{0.2}$ (MPa) | δ (%) | 供参考 | |
|-----------|--------------|------------------------|------------------------|-----------------|------------|--------------|
| | | (kgf/mm ²) | (kgf/mm ²) | | 硬度 (HB) | 主要金相组织 |
| | | 最小值 | | | | |
| QT400-18A | >30~60 | 390 (39.80) | 250 (25.50) | 18 | 130~180 | 铁素体 |
| | >60~200 | 370 (37.75) | 240 (24.48) | 12 | | |
| QT400-15A | >30~60 | 390 (39.80) | 250 (25.50) | 15 | 130~180 | 铁素体 |
| | >60~200 | 370 (37.75) | 240 (24.48) | 12 | | |
| QT500-7A | >30~60 | 450 (45.90) | 300 (30.60) | 7 | 170~240 | 铁素体 + 珠光体 |
| | >60~200 | 420 (42.85) | 290 (29.60) | 5 | | |
| QT600-3A | >30~60 | 600 (61.20) | 360 (36.70) | 3 | 180~270 | 珠光体 + 铁素体 |
| | >60~200 | 550 (56.10) | 340 (34.70) | 1 | | |
| QT700-2A | >30~60 | 700 (71.40) | 400 (40.80) | 2 | 220~320 | 珠光体 |
| | >60~200 | 650 (66.30) | 380 (38.77) | 1 | | |

注：牌号后面的字母 A 系表示该牌号在附铸试块上测定的力学性能，以区别表的单铸试块测定的性能。

表 3-74 附铸试块 V 型缺口试样的冲击韧度 (GB 1348—88)

| 牌 号 | 铸件壁厚 (mm) | 最小冲击韧度 a_K J/cm ² (kgf·m/cm ²) | | | |
|-------------|--------------|---|-----------|-------------|----------|
| | | 室温 23±5℃ | | 低温 -20±2℃ | |
| | | 三个试样 平均值 | 个别值 | 三个试样 平均值 | 个别值 |
| QT 400-18A | >30~60 | 14 (1.43) | 11 (1.12) | — | — |
| | >60~200 | 12 (1.22) | 9 (0.92) | — | — |
| QT 400-18AL | >30~60 | — | — | 12 (1.22) | 9 (0.92) |
| | >60~200 | — | — | 10 (1.02) | 7 (0.71) |

2.1.2 试块和试样

(1) 单铸试块 单铸试块的形状由供需双方商定, 可以从图 3-17 和图 3-18 中选择, 尺寸见表 3-75 和 3-76。也可以选用图 3-19 所示的敲落试块。

表 3-75 U型单铸试块尺寸 (GB 1348—88)

| 试块类型 | 试块尺寸 (mm) | | | | | 试块的吃砂量 |
|------|-----------|-----|----|-----|-----------|--|
| | U | V | X | Y | Z | |
| I | 12.5 | 40 | 30 | 80 | 根据试样的总长确定 | 对 I、II a 和 II b 型最小为 40mm。对 III 和 IV 型最小为 80mm |
| II a | 25 | 55 | 40 | 100 | | |
| II b | 25 | 90 | 40 | 100 | | |
| III | 50 | 90 | 60 | 150 | | |
| IV | 75 | 125 | 65 | 165 | | |

注: 1. I 型试块尺寸一般只用于薄壁件。

2. “Y” 尺寸数值供参考。

表 3-76 Y型单铸试块尺寸 (GB 1348—88)

| 试块类型 | 试块尺寸 (mm) | | | | | 试块的吃砂量 |
|------|-----------|-----|----|-----|-----------|---|
| | U | V | X | Y | Z | |
| I | 12.5 | 40 | 25 | 135 | 根据试样的总长确定 | 对 I、和 II 型最小为 40mm。对 III 和 IV 型最小为 80mm |
| II | 25 | 55 | 40 | 140 | | |
| III | 50 | 100 | 50 | 150 | | |
| IV | 75 | 125 | 65 | 175 | | |

注: “Y” 尺寸数值供参考。

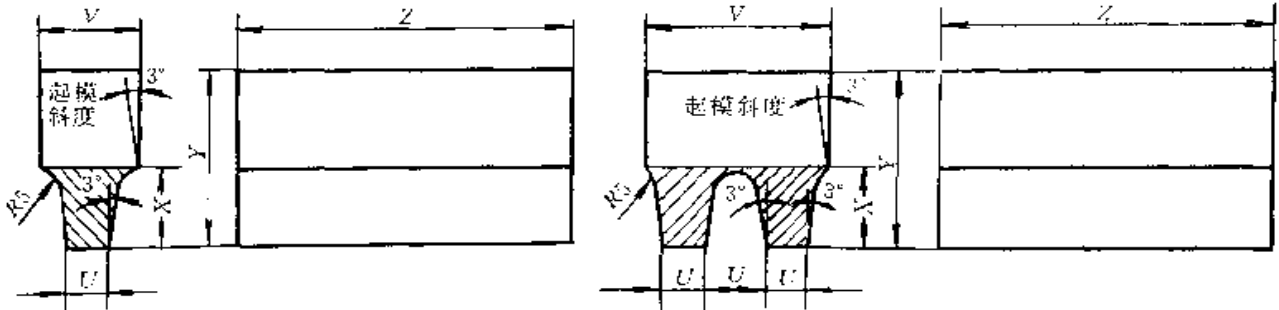


图 3-17 U型单铸试块

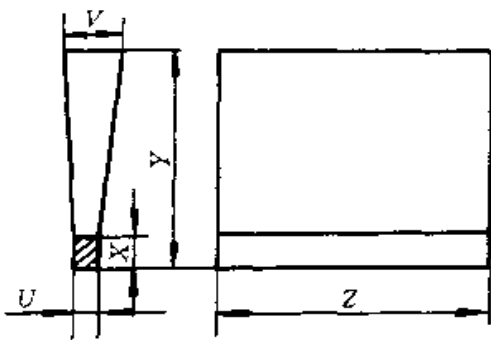


图 3-18 Y型单铸试块

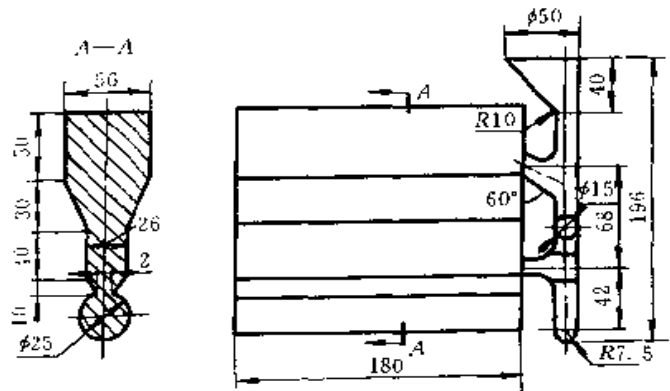


图 3-19 敲落试块

(2) 附铸试块 当铸件质量 $\geq 2000\text{kg}$, 且壁厚为 30~200mm 时, 一般采用附铸试块, 见图 3-20 和表 3-77。试块在铸件上的位置由供需双方商定, 不得影响铸件性能, 热处理后切取。

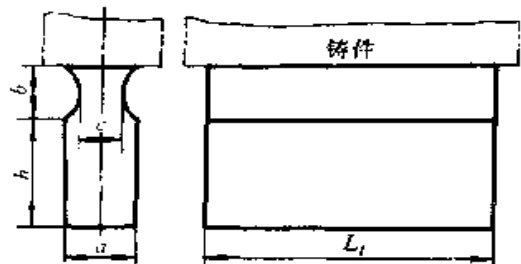


图 3-20 附铸试块

表 3-77 附铸试块的尺寸

(GB 1348—88) (mm)

| 铸件壁厚 | a | b | | c | h | L _c |
|---------|----|------|----|---|--------|----------------|
| | | 最小值 | | | | |
| >30~60 | 40 | 30 | 20 | | 40或60 | 180 |
| >60~200 | 70 | 52.5 | 35 | | 70或105 | 180 |

注：1. 在特殊情况下，表中 L_c 可以适当减少，但不得小于 125mm。

2. 如用较小尺寸的附铸试块时，则应按下式规定

$$b = 0.75a, C = \frac{a}{2}$$

表 3-78 球墨铸铁的硬度 (GB 1348—88)

| 硬度牌号 | 硬度 (HB) | 主要金相组织 | 供参考最小值 | | |
|---------|----------|-----------|--|--|-------|
| | | | σ _b MPa (kgf/mm ²) | σ _{0.2} MPa (kgf/mm ²) | δ (%) |
| QT-H330 | 280~360 | 贝氏体或回火马氏体 | 900 (91.80) | 600 (61.20) | 2 |
| QT-H300 | 245~33.5 | 珠光体或回火组织 | 800 (81.60) | 480 (48.96) | 2 |
| QT-H265 | 225~305 | 珠光体 | 700 (71.40) | 420 (42.84) | 2 |
| QT-H230 | 190~270 | 珠光体+铁素体 | 600 (61.20) | 370 (37.74) | 3 |
| QT-H200 | 170~230 | 铁素体+珠光体 | 500 (51.00) | 320 (32.64) | 7 |
| QT-H185 | 160~210 | 铁素体 | 450 (45.90) | 310 (31.60) | 10 |
| QT-H155 | 130~180 | 铁素体 | 400 (40.80) | 250 (25.50) | 15 |
| QT-H150 | 130~180 | 铁素体 | 400 (40.80) | 250 (25.50) | 15 |

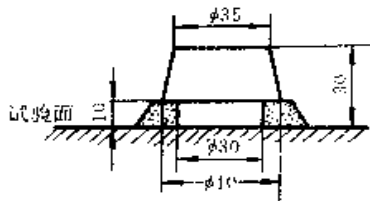


图 3-21 附铸硬度试块

2.1.3 硬度牌号及硬度试验

(1) 硬度牌号 在特殊情况下，经供需双方同意，允许根据所测得的硬度值规定球墨铸铁的硬度牌号。GB 1348—88 按硬度分为 8 个牌号，见表 3-78。

(2) 附铸硬度试块 若不能在铸件本体上测定硬度，经供需双方同意，可在附铸试块上测定，见图 3-21。附铸试块的位置不得影响铸件的使用性能。若

需要热处理，则硬度试块在热处理之后从铸件上取下。

2.2 球墨铸铁的性能

2.2.1 力学性能 (供参考)

(1) 静载性能 不同基体的球墨铸铁的力学性能见表 3-79。

表 3-79 球墨铸铁的常温力学性能

| 球墨铸铁种类 | 抗拉强度 σ _b (MPa) | 屈服强度 σ _s (MPa) | 伸长率 δ (%) | 弹性模量 (GPa) | 硬度 (HB) | 冲击初度 α _K (J/cm ²) | 热处理 |
|-------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|------------|----------|--|----------|
| 铸态铁素体 | 450~550 | 280~400 | 10~20 | 160~170 | 140~190 | 50~150 | 铸态 |
| 退火铁素体 | 400~500 | 250~350 | 12~25 | 160~170 | 120~180 | 100~160 | 退火 |
| 铸态珠光体 | 600~750 | 400~500 | 2~4 | 170~180 | 217~269 | 15~35 | 铸态 |
| 正火珠光体 | 700~950 | 450~650 | 2~5 | 170~180 | 220~300 | 20~40 | 正火 |
| 铁素体+珠光体 | 500~600 | 350~420 | 5~10 | | 147~241 | | 铸态或正火 |
| 珠光体+分散分布铁素体 | 600~700 | 420~630 | 4~9 | | 207~280 | 40~90 | 部分奥氏体化正火 |
| 回火马氏体 | 700~900 | | 0.5~1.0 | | HRC55~61 | 5~30 | 淬火+低温回火 |
| 回火马氏体+回火索氏体 | 1000~1300 | | | | HRC45~50 | | 淬火+回火 |
| 回火索氏体 | 700~1200 | 600~750 | 1~5 | | HRC32~43 | 20~60 | 淬火+高温回火 |
| 奥氏体 | 380~520 | 230~270 | 6~40 ^[1] | 83~138 | 130~240 | <39 | — |
| 上贝氏体 | 800~1250 | 500~1000 | 3~18 | | HRC30~50 | 40~160 | 等温淬火 |
| 下贝氏体 | 1100~1600 | 800~1250 | 1~4 | | HRC38~50 | 30~100 | 等温淬火 |

正火珠光体球墨铸铁的抗弯强度 1600~2640MPa。正火珠光体及下贝氏体球墨铸铁的扭转强

度分别为 700~776MPa 及 1300~1450MPa。铁素体及珠光体球墨铸铁的切变模量 63~64GPa，泊松比

0.2~0.3。

(2) 动载性能 各种球墨铸铁的冲击韧度见表 3-79。

当冲击能较小 (<2.4J) 时, 珠光体球墨铸铁的

小能量多次重复冲击韧度优于 45 正火钢, 故适于做曲轴类零件。见表 3-80。

疲劳性能和断裂韧度见表 3-81。含碳量较高和含硅、磷较低, 可以改善断裂韧性。

表 3-80 球墨铸铁的小能量多次冲击韧度

| 珠光体 (%) | 冲击吸收功 (J) | | | | 次冲击韧度 无缺口 (J/cm ²) |
|---------|--------------------------|------|------|------|--------------------------------------|
| | 2.35 | 1.57 | 0.78 | 0.49 | |
| | 冲击次数 × 10 ³ 次 | | | | |
| 100 | 7.97 | 38.9 | — | 877 | 23.62 |
| 95 | 8.04 | 17.3 | 161 | 731 | 20.29 |
| 85 | 5.05 | 10.9 | 126 | 539 | 33.81 |
| 75 | 5.46 | 9.8 | 90 | 314 | 33.61 |

表 3-81 球墨铸铁的疲劳性能与断裂韧度

| 球墨铸铁的基体 | | 抗拉强度 σ_b (MPa) | 无缺口试样 | | 45 ^o V 缺口试样 | | | 断裂韧度 K_{Ic} MPa \sqrt{m} |
|------------------------|-------|-----------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------|--|------------------------------|
| | | | 疲劳极限 σ_{-1} (MPa) | $\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_b}$ | 疲劳极限 σ_{1K} (MPa) | $\frac{\sigma_{1K}}{\sigma_b}$ | 缺口敏感系数 $\frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{1K}}$ | |
| 铁素体 | 一般 | 441~539 | 192~245 | 0.43~0.52 | — | — | — | 42.8~81.3 |
| | ① | 490 | 210 | 0.43 | 145 | 0.30 | 1.4 | |
| 铁素体 + 珠光体 ^② | | 621 | 276 | 0.44 | 166 | 0.27 | 1.7 | — |
| 珠光体 | ~100% | 728 | 240 | 0.33 | 172 | 0.25 | 1.4 | 31.0~51.7 |
| | ~95% | 781 | 250 | 0.32 | 201 | 0.25 | 1.24 | |
| | ~85% | 843 | 270 | 0.32 | 221 | 0.26 | 1.22 | |
| 回火马氏体 ^③ | | 931 | 338 | 0.36 | 207 | 0.22 | 1.6 | 22.7~34.2 ^⑤ |
| 奥氏体 + 上贝氏体 | | 879~996 | 316~357 | 0.36 | — | — | — | 83.9~90.4 ^⑥ |
| 下贝氏体 | | 1177~1471 | 304~343 | 0.23~0.26 | — | — | — | 53.8~61.4 |

① 美国 ASTM A536—70 牌号 65-45-12。

② 美国 ASTM A536—70 牌号 80-55-06。

③ 美国 ASTM A536—70 牌号 120-90-02。900^oC 油淬 + 600^oC 回火。

④ 断裂韧度是所对应基体的统计数据, 与左侧的其它力学性能不对应。

⑤ 某厂实测: 若 920^oC/2h, 硝盐淬火, 380^oC/12min 回火, $K_{Ic} 22.7 \text{ MPa} \sqrt{m}$; 若 860^oC/2h, 硝盐淬火, 380^oC/12min 回火, $K_{Ic} 34.2 \text{ MPa} \sqrt{m}$ 。

⑥ 等温淬火: 890^oC/0.5h, 360^oC/2h。

(续)

(3) 高温力学性能

1) 短时高温力学性能, 见表 3-82。

表 3-82 球墨铸铁短时高温力学性能

| 力学性能 | 变化规律及说明 |
|--------------------------------------|--|
| 抗拉强度 σ_b 和屈服强度 $\sigma_{0.2}$ | 铁素体基体: <315 ^o C, σ_b 和 $\sigma_{0.2}$ 略有降低; >315~400 ^o C, σ_b 和 $\sigma_{0.2}$ 平缓下降; >400~700 ^o C, σ_b 和 $\sigma_{0.2}$ 显著下降, 珠光体基体: 温度升高, σ_b 和 $\sigma_{0.2}$ 均连续大幅度下降; <420 ^o C, 珠光体稳定; >540 ^o C, 其中的碳化物分解; >650 ^o C, 石墨化速度明显; >700 ^o C, 石墨化短期完成 |

| 力学性能 | 变化规律及说明 |
|--------------|--|
| 伸长率 δ | 铁素体基体, 温度升高, δ 连续下降; 500~600 ^o C, δ 降到最低, 温度再升高, δ 急剧增加 珠光体基体: 温度升高, δ 平缓下降; 约 425 ^o C 时, δ 降到最低; >425 ^o C, δ 陡然增加 |
| 弹性模量 E | 温度升高, E 降低; 400 ^o C 时约下降 11%; 700 ^o C 时约下降 26%~29%。珠光体基体时 E 高于铁素体基体 |
| 冲击韧度 a_K | 600 ^o C 以下, a_K 值变化不大 |

2) 高温持久强度: 长期工作温度在 400^oC 以下, 受载零件宜采用珠光体球墨铸铁; 工作温度 450^oC 以

上,宜采用铁素体球墨铸铁;工作温度 600~650℃以上,宜采用奥氏体球墨铸铁。见表 3-83。

3) 高温疲劳强度见表 3-84。

表 3-83 球墨铸铁的高温持久强度

| 材料 | 室温 20℃ 力学性能 | 试验温度 (℃) | 高温持久强度 (MPa) | |
|---------------|---------------------------------------|-------------|-----------------|-------|
| | | | 100h | 1000h |
| 退火铁素体 球墨铸铁 | σ_b 443.3MPa δ 22% | 427 | 210.8 | 169.7 |
| | | 538 | 68.4 | 51.6 |
| | | 649 | 22.8 | 15.2 |
| 正火珠光体 球墨铸铁 | σ_b 902.2MPa δ 5.0% | 427 | 353 | 285.4 |
| | | 538 | 115.2 | 62.3 |
| | | 649 | 27.5 | 16.7 |
| 奥氏体 球墨铸铁 | σ_b 429.5MPa δ 35.0% | 427 | 277.5 | 236.3 |
| | | 538 | 176.5 | 142.2 |
| | | 649 | 81.9 | 60.8 |
| | | 760 | 38 | 22.8 |

表 3-84 球墨铸铁的高温疲劳强度 (MPa)

| 温度 ℃ | 退火铁素体 σ_{-1} | 铸态珠光体 σ_{-1} | 温度 ℃ | 正火珠光体 σ_{-1} |
|---------|------------------------|------------------------|---------|------------------------|
| 20 | 183.4 | 223.6 | 20 | 247.1 |
| 250 | 183.4 | 204 | 100 | 235.4 |
| 400 | 132.4 | 176.5 | 200 | 215.7 |
| | | | 300 | 196.1 |
| 550 | 132.4 | 170.6 | 400 | 168.7 |

(4) 低温力学性能

1) 低温静载性能,见表 3-85。

表 3-85 球墨铸铁的低温静载性能
(Si 2.1%, P 0.09%)

| 温度 (℃) | 退火铁素体球墨铸铁 | | 正火珠光体球墨铸铁 | |
|--------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| | σ_b (MPa) | δ (%) | σ_b (MPa) | δ (%) |
| 20 | 471 | 24 | 804 | 2 |
| 0 | 493 | 24 | 760 | 2 |
| -25 | 516 | 24 | 745 | 1 |
| -50 | 539 | 19 | 740 | 1 |
| -75 | 555 | 13 | 745 | 1 |
| -100 | 565 | 9 | 770 | 0.5 |
| -125 | 549 | 5 | 785 | 0.5 |
| -150 | 559 | 3 | 755 | 0.5 |
| -196 | 628 | 0.5 | 701 | 0.5 |
| -296 | 606 | 0 | 630 | 0 |

此外,随温度降低,硬度增加,-200℃时约增加 100HB;弹性模量稍有增加。

2) 低温冲击韧度:珠光体球墨铸铁的脆性转变温度常在室温。

铁素体球墨铸铁 (Si 量 \approx 2.6%) 的脆性转变温度约在 -40℃。主要决定于硅、锰、磷的含量,见表 3-86。

表 3-86 硅、锰、磷与铁素体球墨铸铁
低温冲击韧性的关系

| 元素 | 低温冲击韧度变化规律及说明 | | | | |
|---|--|------|-----|-------------|-----|
| 硅 | 1. Si 与脆性转变温度的关系如下 (Mn 约 0.5%, P<0.07%) | | | | |
| | Si (%) | 2.04 | 2.5 | 2.95 3.45 | |
| | 脆性转变温度 (℃) | -62 | -51 | -23 | +21 |
| | 2. Si 2.15%~2.7%, -40℃ 的冲击韧度变化较小 | | | | |
| 硅 锰 磷 | 1. Si>3.2%, 或 Mn>0.5%, 或 P>0.16%, 脆性转变温度高于室温 | | | | |
| | 2. P 由 0.08% 增加到 0.10%~0.12%, -40℃ 的冲击韧度下降 50% 以上 | | | | |
| | 3. Si、Mn、P 其中之一低一些, 另二元素可稍高些, 但均宜低, 例如: | | | | |
| | 1) P 0.05%~0.07% 时, 若 Mn<0.2%~0.3% 硅高至 2.9%, 仍保持较好韧性 | | | | |
| 2) Mn 0.5%, Si<2.6%, P 0.075%~0.1%, -40℃ 冲击韧度良好; 但当 Si 2.8%~3.0%, P 0.08%~0.10% 时, -40℃ 冲击韧度下降 50% 左右 | | | | | |

2.2.2 物理性能

(1) 密度 见表 3-87。

(2) 热性能 见表 3-88~表 3-90。

(3) 电磁性能 见表 3-91、表 3-92。

表 3-87 球墨铸铁的密度

| 材 料 | 铁素体球墨铸铁 | | 珠光体球墨铸铁 | | 碳当量 4.4%~4.9% |
|--|---------|---------|-------------|-------------|------------------|
| | 6.9~7.2 | 7.1~7.5 | 7.073~7.054 | 7.073~7.054 | |
| 常温密度 (g/cm ³) | 6.9~7.2 | 7.1~7.5 | 7.073~7.054 | 7.073~7.054 | |
| 温度 (℃) | 1225 | 1300 | 1335 | 1350 | 1375 1415 |
| 熔融态密度 ^① (g/cm ³) | 7.05 | 6.94 | 6.91 | 6.85 | 6.78 6.75 |

① 球墨铸铁: C 3.44%, Si 2.56%, Mn 0.22%, P 0.11%。

表 3-88 非合金球墨铸铁的比热容

| 温度/℃ | 20 | 20~200 | 20~300 | 20~400 | 20~500 | 20~600 | 20~700 | 1200 | 1300 | 1350 |
|--------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|------|------|
| 比热容 J/(kg·K) | 418.7 | 461 | 494 | 507 | 515 | 536 | 603 | | | |

表 3-89 球墨铸铁的线膨胀系数

($\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{℃}$)

| 温度范围/℃ | 20~100 | 20~200 | 20~300 | 20~400 | 20~500 | 20~600 | 20~700 | 20~760 | 20~870 |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 铁素体球墨铸铁 | 11.2 | 12.2 | 12.8 | 13.2 | 13.5 | 13.7 | 13.8 | 14.8 | 15.3 |
| 球光体球墨铸铁 | 10.6 | 11.7 | 12.4 | 13.0 | 13.3 | 13.6 | — | 14.8 | 15.3 |
| 奥氏体球墨铸铁 ^① | — | 4~19 | — | — | — | — | — | — | — |

① 含 Ni 20%~30%。

表 3-90 球墨铸铁的热导率

| 金相组织 (%) | | | 石墨大小 mm×100 | 化学成分 (%) | | | | | | | 热导率 W/(m·K) |
|----------|-----|----|----------------|----------|------|------|-------|-------|------|------|----------------|
| 铁素体 | 珠光体 | 石墨 | | C | Si | Mn | P | S | Mg | Ni | |
| 85 | 5 | 10 | 2.06 | 3.36 | 4.34 | 0.40 | 0.030 | 0.010 | 0.06 | 1.23 | 35.2 |
| 55 | 35 | 9 | 2.44 | 3.47 | 3.52 | 0.29 | 0.030 | 0.012 | 0.06 | 1.3 | 36.0 |
| 30 | 61 | 9 | 4.71 | 3.57 | 1.12 | 0.33 | 0.035 | 0.004 | 0.06 | 1.33 | 37.7 |
| 5 | 85 | 10 | 4.44 | 3.33 | 2.28 | 0.50 | 0.0 | 0.010 | 0.06 | 1.12 | 35.7 |

表 3-91 球墨铸铁的电阻率

| 材 料 | 基体组织 | 化学成分 (%) | 电阻率 ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$) |
|---------|------------------|---|-----------------------------------|
| 铁素体球墨铸铁 | 铁素体 95% + 珠光体 5% | C 3.60~3.62, Si 2.4, Mn 0.5, P 0.087 | 55 |
| 珠光体球墨铸铁 | 珠光体 95%, 铁素体 5% | | 59 |

表 3-92 球墨铸铁的磁性

| 材 料 | 矫顽力 H_c (A/m) | 剩余磁感 B_r (T) | 最大磁导率 μ_{max} ($\mu\text{H}/\text{m}$) | 在 μ_{max} 时 的磁场强度 $H_{j\text{max}}$ (A/m) | 饱和磁感 I_s (T) | | 磁滞损耗 P_H [J/($\text{m}^3\cdot\text{Hz}$)] |
|---------|-----------------------|----------------------|---|---|-----------------|------------------|--|
| | | | | | $H=5968$ A/m | $H=71620$ A/m | |
| 铁素体球墨铸铁 | 191 | 0.51 | 1759 | 437.6 | 1.61 | 1.91 | 1632 |
| 球光体球墨铸铁 | 716 | 0.80 | 696 | 1114 | 1.485 | 1.85 | 4930 |

注：1. 成分 C 3.6%，Si 2.5%，Mn 0.60%，P 0.08%，S 0.009%。

2. 磁导率单位：1 $\mu\text{H}/\text{m}=1\mu\text{T}\cdot\text{m}/\text{A}$ 。

(4) 减振性 球墨铸铁的减振性不及灰铸铁而 优于钢，见表 3-93。

表 3-93 灰铸铁、球墨铸铁等的减振性

| 材 料 | 灰铸铁 | 孕育铸铁 | 球墨铸铁 | | 铸 钢 |
|---------|-----|------|------|-----|-----|
| | | | 铁素体 | 珠光体 | |
| 减振性 (%) | <30 | <25 | 5 | 5 | 2 |

2.2.3 使用性能

超过灰铸铁、锻钢、低合金钢，适合做曲轴、凸轮轴、齿轮等零件，见表 3-94。

(1) 耐磨性 在润滑条件下，球墨铸铁的耐磨性

表 3-94 柴油机曲轴的磨损量

| 名称 | 热处理工艺 | 运转时间 (h) | 主轴颈磨损量 (mm) | 曲轴销颈磨损量 (mm) |
|-------------------|---------|----------|-------------|--------------|
| 45 锻钢曲轴 | 正火，表面淬火 | 1000 | 0.020~0.064 | 0.030~0.110 |
| 稀土镁球墨铸铁曲轴 | 正火 | 1500 | 0.002~0.006 | 0.001~0.004 |
| 12V175E 柴油机球墨铸铁曲轴 | | >30 万 km | 0.013 | 0.012 |

在磨料磨损条件下，普通球墨铸铁仅有一定的抗磨性，合金、中锰或奥贝球墨铸铁是良好的抗磨材料。

(2) 耐热性 普通球墨铸铁的耐热性优于灰铸铁，其抗氧化性可保持到 650℃，见表 3-95。

表 3-95 铸铁的抗氧化性与抗生长性

| 材料 | 氧化速度 [g/(m ² ·h)] | | 生长率 (%) | |
|-------|------------------------------|------|---------|------|
| | 300℃ | 600℃ | 300℃ | 600℃ |
| 孕育灰铸铁 | 0.038 | 3.91 | 0.13 | 0.69 |
| 合金灰铸铁 | 0.023 | 3.28 | 0.05 | 0.39 |
| 球墨铸铁 | 0.015 | 2.41 | 0.03 | 0.31 |

珠光体球墨铸铁在 400℃ 以下尺寸稳定，450℃ 以上生长明显。铁素体球墨铸铁优于珠光体球墨铸铁，可以制作钢锭模。

较高含硅量和含铝量可以明显改善抗氧化性。铬、钼、锡、铜、钨、钒等虽然可以改善抗氧化性，但对于低合金球墨铸铁影响不大。硼、砷的影响亦不

大。

铬，铬+钼，或锡，稳定珠光体，可降低生长速度。但铜因在高温促使珠光体分解而有增加生长的倾向。

(3) 耐蚀性 球墨铸铁在大气、工业烟气、淡水、河水、海水、土壤中的耐蚀性均优于钢，与灰铸铁相近。在 1% 盐酸中，耐蚀性优于灰铸铁；在 0.5% 硫酸中，长期耐蚀性不及灰铸铁。在 5℃、10% 氢氧化钠碱液、室温、10% 硫酸钠溶液中，耐蚀性显著高于灰铸铁。铁素体基体是单相组织，耐蚀性优于珠光体基体。

但是，普通球墨铸铁并不是良好的耐蚀材料。通常采用合金化，加硅、铜、镍、铬、铝等，改善和提高耐蚀性。

2.2.4 工艺性能

1. 铸造性能

(1) 流动性 与亚共晶灰铸铁（高牌号）相比，球墨铸铁的流动性良好；碳当量相同时，球墨铸铁的流动性不及灰铸铁；稀土镁球墨铸铁的流动性比镁球墨铸铁好，见表 3-96。

表 3-96 若干种铸铁流动性对比

| 铸铁种类 | 化学成分 (%) | 浇注温度 (℃) | 螺旋试样长度 (mm) | 备注 |
|---------|--|--------------|--------------|----------------|
| 亚共晶灰铸铁 | CE 4.0, Cr 0.3 | 1295 | 380 | 铸型条件相同 |
| 镁球墨铸铁 | CE 4.6~4.7 | 1250 | 750 | |
| 稀土镁球墨铸铁 | CE 4.6~4.7 | 1260 1270 | 1103 1107 | |
| 灰铸铁 | C 3.62, Si 1.85, Mn 0.27, P 0.064, S 0.035 | 1247 1296 | 684 978 | 铸型，煤粉砂压头 210mm |
| 球墨铸铁 | C 3.62, Si 1.91, Mn 0.27, P 0.064 S 0.027, Mg 0.052, RE 0.043, Cu 0.4 | 1280 | 410 | |
| | | 1296 | 660 | |
| | | 1338 | 980 | |

(2) 收缩性

1) 线收缩见表 3-97 和表 3-98。球墨铸铁自由线收缩的特点是收缩前膨胀大。实际线收缩率一般为

0.4%~1.0%，砂型铸造时，缩尺取小值，甚至负值。

表 3-97 若干种铸铁和碳钢的线收缩

| 合金种类 | 自由收缩率 (%) | | | | | 受阻收缩 (%) |
|-----------|-----------|-----------|---------|-----------|----------|----------|
| | 收缩前膨胀 | 珠光体前收缩 | 共析膨胀 | 珠光体后收缩 | 总收缩 | |
| 灰铸铁 | 0~0.3 | 0~0.4 | 0.1 | 0.94~1.06 | 0.9~1.3 | 0.8~1.0 |
| 球墨铸铁 | 0.4~0.94 | 0.3~0.6 | 0~0.08 | 0.14~1.00 | 0.5~1.2 | 0.7~1.0 |
| 未孕育白口球墨铸铁 | 0 | 0.7~1.35 | 0 | 0.92~1.01 | 1.6~2.3 | 1.5~1.8 |
| 碳钢 | 0 | 1.06~1.47 | 0~0.011 | 0.9~1.07 | 2.03~2.4 | 1.8~2.0 |

表 3-98 球墨铸铁的铸造缩尺

| 金相组织 | 退火铁素体 | 铸态铁素体 | 铸态珠光体 | 含有较多自由渗碳体 |
|------|--------|--------|--------------|--------------|
| 模样缩尺 | 4/1000 | 5/1000 | (12~13)/1000 | (15~18)/1000 |

2) 共晶膨胀：共晶凝固时，析出石墨，体积膨胀。球墨铸铁的共晶膨胀量大，碳当量 CE 4.65% 时，膨胀量最大，约 2.1%；而灰铸铁 CE 4.3% 时膨胀最大，约 0.3%。球墨铸铁共晶膨胀力亦大：湿砂型时，为 0.29~0.98MPa；干砂型时，0.98~1.96MPa；金属型时，>2.96~4.93MPa。采用刚性铸型（如覆砂金属型），控制铁液成分、浇注温度、浇口尺寸，就可以实施无冒口铸造，而获得健全铸件。

3) 体收缩：若采用非刚性砂型，由于共晶膨胀，型壁位移，铸件易胀大；而后收缩，体收缩率约 3%~9%，故铸件易缩孔。干型、水玻璃砂型、湿型的冒口补缩量分别为 4.6%，5.5%，8.5%。

(3) 铸造应力 球墨铸铁的铸造应力是灰铸铁的 2~3 倍，接近铸钢。例如，镁球墨铸铁，铸造应力约 39.2~107.9MPa。铁液成分、铸件结构、铸造工艺应考虑防冷裂、防变形、消除应力。

表 3-99 球墨铸铁的常用切削速度

| 基体组织 (%) | | 高速钢刀具 (m/min) | | | | | | 硬质合金钢刀具 (m/min) | | |
|----------|-----|---------------|-------|-------|-------|-------|------|-----------------|-------|--------|
| 铁素体 | 珠光体 | 车 | 钻 | 铰 | 铣 | 刨 | 拉 | 车 | 铰 | 铣 |
| 100 | 0 | 15~45 | 24~39 | 15~30 | 15~38 | 12~30 | 6~10 | 52~120 | 22~45 | 60~120 |
| 50 | 50 | 12~27 | 15~30 | 12~21 | 10~20 | 9~22 | 4~6 | 30~90 | 15~27 | 52~100 |
| 0 | 100 | 12~27 | 15~21 | 12~21 | 10~20 | 9~20 | 4~6 | 30~90 | 15~27 | 52~100 |

2.3 球墨铸铁的金相组织

2.3.1 金相标准

1. 石墨

(1) 球化分级 在 GB 9441—88《球墨铸铁金相》中，球化分为 6 级，对照标准图片评定，见表 3-100。

(4) 断面敏感性 球墨铸铁的断面敏感性比其它铸铁小，非常薄的断面可形成白口。厚断面可能发生下列问题：石墨漂浮；形成粗大石墨球和粗大共晶团，并加重铬等元素在共晶团晶界的偏析；形成较多的铁素体。

降低含碳量，添加 Ni、Cu、Mo、Sn 等合金元素，采用热处理工艺，可以减少断面敏感性。

2. 焊接性 球墨铸铁的焊接性优于灰铸铁、蠕墨铸铁、可锻铸铁。

多采用铁素体球墨铸铁焊条或低碳钢焊条。亦可以采用镍铁、镍铜或铜铁焊条，冷焊，工件不预热或预热到 150~200℃。

焊缝区石墨呈球状，比本体细小且均匀；近焊缝区基体有不同程度的渗碳体或马氏体。

铸件复杂，焊补要求高时，采用热焊，铸件预热到 550~600℃。一般焊后 650~700℃ 保温缓冷，避免裂纹；若要求铁素体基体，则焊后高温退火；若要求珠光体基体，则焊后正火。

经热处理后，焊缝区的金相组织、力学性能与本体相近。

3. 可加工性能 球墨铸铁介于灰铸铁和钢之间，见表 3-99。

表 3-100 球化分级 (GB 9441—88)

| 球化级别 | 说 明 |
|------|---|
| 1 级 | 石墨呈球状, 少量团状, 允许极少量团絮状, 球化率 > 95% |
| 2 级 | 石墨大部分呈球状, 余为极少量团絮状, 球化率 90% ~ < 95% |
| 3 级 | 石墨大部分呈团状和球状, 余为团絮状, 允许极少量蠕虫状, 球化率 80% ~ < 90% |
| 4 级 | 石墨大部分呈团絮状和团状, 余为球状和少量蠕虫状, 球化率 70% ~ < 80% |
| 5 级 | 石墨呈分散分布的蠕虫状和球状、团状、团絮状, 球化率 60% ~ < 70% |
| 6 级 | 石墨呈聚集分布的蠕虫状和片状及球状、团状、团絮状 |

注: 石墨形态按石墨的面积率划分; 面积率 ≥ 0.81 , 为球状石墨; 面积率 0.80 ~ 0.61, 为团状石墨; 面积率 0.60 ~ 0.41, 为团絮状石墨; 面积率 0.40 ~ 0.10, 为蠕虫状石墨, 面积率 < 0.10, 为片状石墨。

(2) 石墨大小 见表 3-101。

表 3-101 石墨大小分级 (GB 9441—88)
(mm)

| 级别 | 3 级 | 4 级 | 5 级 | 6 级 | 7 级 | 8 级 |
|----------------|--------|--------|-------|----------|------------|----------|
| 石墨直径 (100×) | >25~50 | >12~25 | >6~12 | > 3~6 | > 1.5~3 | ≤ 1.5 |

2. 基体组织

(1) 铁素体 在 GB 9441—88 中, 分散分布的块状或网状铁素体数量分为 6 级, 对照标准图片评定, 见表 3-102。

表 3-102 分散分布铁素体数量分级
(GB 9441—88)

| 级别名称 | 铁 5 | 铁 10 | 铁 15 | 铁 20 | 铁 25 | 铁 30 |
|----------------|-----|------|------|------|------|------|
| 块状或网状铁素体数量 (%) | ≈5 | ≈10 | ≈15 | ≈20 | ≈25 | ≈30 |

(2) 珠光体 粗细和数量分级分别见表 3-103、表 3-104。

表 3-103 珠光体粗细分级 (GB 9441—88)

| 级别名称 | 说 明 (在 500 倍下) |
|--------|--------------------|
| 粗片状珠光体 | 珠光体中渗碳体、铁素体片间距较大 |
| 片状珠光体 | 珠光体中渗碳体、铁素体片间距明显可辨 |
| 细片状珠光体 | 珠光体中渗碳体、铁素体片间距难以分辨 |

表 3-104 珠光体数量分级 (GB 9441—88)

| 级别名称 | 珠 95 | 珠 85 | 珠 75 | 珠 65 | 珠 55 | 珠 45 |
|-----------|---------|------|------|------|------|------|
| 珠光体数量 (%) | > 90 | > 80 | > 70 | > 60 | > 50 | > 40 |
| 级别名称 | 珠 35 | 珠 25 | 珠 20 | 珠 15 | 珠 10 | 珠 5 |
| 珠光体数量 (%) | > 30~40 | ≈25 | ≈20 | ≈15 | ≈10 | ≈5 |

(3) 马氏体及其回火组织 马氏体是过冷奥氏体在马氏体相变区的转变产物。马氏体在不同温度回火后可分解成不同的回火组织。见表 3-105。

表 3-105 马氏体及其回火组织

| 组织名称 | 特征及说明 |
|-------|---|
| 淬火马氏体 | 奥氏体淬火制约 230℃ 以下转变而成呈白色针叶状, 交叉或排状分布。由面心立方晶格的奥氏体共格式相变而成的体心立方晶格的碳在 α -Fe 中的过饱和间隙固溶体 |
| 回火索氏体 | 淬火马氏体在高温 (500~600℃ 以上) 回火分解成的铁素体和细小渗碳体质点的混合物组织。其中的渗碳体显著聚集长大 |
| 回火托氏体 | 淬火马氏体在中温 (350~500℃) 回火分解完毕而生成的铁素体和细小弥散渗碳体质点的混合物 |
| 回火马氏体 | 在低温 (140~250℃) 回火开始分解而成以 3% 硝酸酒精溶液轻轻腐蚀, 即呈现清晰的黑色细针叶状。淬火马氏体针叶上弥散析出并聚集极细小碳化物微粒 |

(4) 贝氏体 贝氏体是过冷奥氏体在贝氏体相变区分解而成的铁素体和渗碳体的混合物。见表 3-106。

表 3-106 贝氏体组织

| 组织名称 | 特征及说明 |
|------|--|
| 上贝氏体 | 奥氏体在 500~350℃ (常 380~360℃) 等温淬火或连续冷却转变而成, 呈羽毛状。其中: 铁素体呈密集而平行排列的扁片, 片间夹着断续、细小的渗碳体颗粒 |
| 下贝氏体 | 奥氏体在 350~230℃ (常 300~280℃) 等温淬火或连续冷却转变而成呈针状, 交叉分布。其中: 铁素体呈针状, 微细渗碳体质点弥散在铁素体针内 |

(5) 奥氏体 奥氏体是碳在 γ -Fe 中的固溶体, 面心立方晶格。奥氏体一般在高温稳定, 在一定条件下, 可在室温存在。见表 3-107。

表 3-107 奥氏体及其伴生组织

| 铸铁种类 | 成分特点 | 奥氏体及其伴生组织 |
|---------|----------------------------|------------------------------------|
| 奥氏体球墨铸铁 | 含 Ni13~36% 或 Mn7.0%~9.0% 等 | 奥氏体 + 碳化物 |
| 奥贝球墨铸铁 | 含 Ni、Mo、Cu 等 | 奥氏体 20%~40% 分散分布于晶界附近 + 上贝氏体 + 碳化物 |
| 中锰球墨铸铁 | 含 Mn7.6%~9.0%, Si3.8%~4.4% | 奥氏体约 70% + 针状组织 + 碳化物 |
| | 含 Mn5.5%~7.5%, Si3.6%~4.3% | 奥氏体 + 针状组织约 70% + 碳化物 |

3. 渗碳体 见表 3-108

表 3-108 渗碳体分级 (GB 9441—88)

| 级别名称 | 渗 1 | 渗 2 | 渗 3 | 渗 5 | 渗 10 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|------|
| 渗碳体数量 (%) | ≈1 | ≈2 | ≈3 | ≈5 | ≈10 |

4. 磷共晶 见表 3-109

表 3-109 磷共晶数量分级 (GB 9441—88)

| 级别名称 | 磷 0.5 | 磷 1 | 磷 1.5 | 磷 2 | 磷 3 |
|-----------|-------|-----|-------|------|------|
| 磷共晶数量 (%) | ≈0.5 | ≈1 | ≈1.5 | ≈2.0 | ≈3.0 |

2.3.2 金相组织对性能的影响

2.3.2.1 基体组织与性能的关系 球墨铸铁, 由于石墨呈球状, 故基体组织成为决定性能的主导因素。

1. 基本组织 不同的基体组织具有不同的力学性能、物理性能、使用性能和工艺性能。

(1) 各种不同基体球墨铸铁的力学性能 见表 3-79。

铁素体 低强度、硬度、高塑性、韧度。 $\sigma_b = 343 \sim 392 \text{MPa}$, $\text{HB} = 80 \sim 90$, $\delta = 30\% \sim 50\%$, $a_K = 245 \sim 294 \text{J/cm}^2$ 。

珠光体 较高强度、硬度、较低塑性、韧度。 $\sigma_b = 490 \sim 1373 \text{MPa}$, $\text{HB} = 160 \sim 300$, $\delta = 0.6\% \sim 15\%$, $a_K = 20 \sim 39 \text{J/cm}^2$ 。小能量冲击韧度高。

马氏体 高强度、硬度、低塑性、韧度

回火马氏体 综合性能比马氏体稍缓和。

回火托氏体 综合性能较好, 比回火马氏体更缓和; 较高强度、硬度、弹性、韧度

回火索氏体 综合性能良好: 高强度、高塑性、高韧度。

上贝氏体 + 奥氏体 30%~40% 综合性能优良; 高强度、高塑性, 高韧度, 高硬度, 耐疲劳。

下贝氏体 综合性能优良; 超强度, 一定塑性, 高韧度, 高硬度, 耐疲劳。

奥氏体 低强度、硬度、高塑性、韧度。 $\sigma_b = 392 \sim 785 \text{MPa}$, $\text{HB} = 160 \sim 200$, $\delta = 40\% \sim 50\%$ 。

渗碳体硬而脆: $\sigma_b = 29 \sim 49 \text{MPa}$, $\text{HB} = 800 \sim 900$, $\delta \approx 0$, $a_K \approx 0$ 。降低强度, 破坏塑性、韧性, 呈连续网状时尤其。

磷共晶 硬而脆; $\text{HB} = 400 \sim 600$ 。降低强度, 破坏塑性、韧度, 呈连续网状时尤其。

(2) 基体组织与使用性能的关系 上贝氏体、下贝氏体、马氏体的耐磨性优良, 回火组织、珠光体良好, 铁素体不耐磨。渗碳体呈断网状或块粒状, 提高抗磨性。磷共晶提高耐磨性。

奥氏体、铁素体的耐热性、耐蚀性良好、珠光体等较差。

(3) 基体组织与可加工性能 铁素体容易加工, 珠光体好加工, 回火组织较好加工或可加工, 马氏体、贝氏体难加工或近难加工。奥氏体可加工, 但加工硬化。渗碳体和磷共晶破坏可加工性。

2. 珠光体和磷共晶对性能的影响 见表 3-110。

表 3-110 珠光体、磷共晶对球墨铸铁性能的影响

| 因素 | 影响及说明 |
|-------|---|
| 珠光体形态 | 珠光体愈弥散, 即片层愈薄愈细, 强度、硬度愈高, 愈抗疲劳, 愈耐磨 |
| | 珠光体粒化 (如低碳奥氏体化正火 + 640℃ 回火), 可以降低硬度至 $\text{HB}305$, 提高韧度至 $a_K 34.52 \text{J/cm}^2$, 提高耐磨性, 改善可加工性 |

(续)

| 因素 | 影响及说明 | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------------------|---------|------|------|-----|
| 珠光体量 | 珠光体愈多, 强度、硬度愈高。珠光体量对稀土镁球墨铸铁的影响如下: | | | | | | |
| | 珠光体量 (%) | 抗拉强度 σ_b (MPa) | 伸长率 δ (%) | 硬度 (HB) | | | |
| | <10 | 392~490 | 12~25 | 159~163 | | | |
| | 10~20 | 411~510 | 12~22 | 163~179 | | | |
| | 20~30 | 490~549 | 8~15 | 174~187 | | | |
| | 30~40 | 510~569 | 6~7.5 | 179~217 | | | |
| | 40~50 | 539~618 | 4.5~6.5 | 217~235 | | | |
| | 50~60 | 569~637 | 3.5~5.5 | 223~241 | | | |
| | 60~70 | 686~785 | 2~4.5 | 241~269 | | | |
| | 70~80 | 686~804 | 1.7~4.0 | 250~280 | | | |
| | 80~90 | 706~834 | 1.5~3.8 | 262~290 | | | |
| >90 | 735~883 | 1.5~3.5 | 269~302 | | | | |
| 注: 楔形试块, 球化级别>4级, 石墨球径 0.02~0.04mm | | | | | | | |
| 磷共晶 | 在珠光体球墨铸铁中, 磷共晶对力学性能的影响如下 | | | | | | |
| | 磷共晶量 (%) | 0.5 | 1.0 | 1.2 | 1.5 | 2.0 | 2.5 |
| | σ_b (MPa) | 755 | 775 | 735 | 696 | 637 | 608 |
| | δ (%) | 3.0 | 2.2 | 2.0 | 2.0 | 1.2 | 0.8 |
| | a_K (J/cm ²) | 39.2 | 29.4 | 24.5 | 19.6 | 17.7 | 9.8 |
| 注: 珠光体 80%~90%, 冲击试样 10mm×10mm×55mm | | | | | | | |

2.3.2.2 石墨对性能的影响 见表 3-111。

表 3-111 球墨铸铁中石墨对性能的影响

| 因素 | 影响及说明 |
|-----|--|
| 球化率 | 球化率愈高, 力学性能愈好。球化级别与性能的关系如下: 1~3级(球状+团球状), 性能变化不大; 4级(出现团片状), 性能下降; 4、5级以下(出现厚片状), 性能大幅度下降。小能量多次冲击韧度变化如下: 1~3级, 变化不大; 4级, 有较大降低; 5级及以下, 大幅度下降, 厚石墨片分散分布优于聚集分布 |

(续)

| 因素 | 影响及说明 | | | | | |
|-----------|---|------------------|--------------|-------|----------------------------|---------|
| 石墨大小 | 球径愈小, 力学性能愈好。其性能如下: | | | | | |
| | 石墨球径 (mm) | σ_b (MPa) | δ (%) | HB | a_K (J/cm ²) | |
| | 0.05~0.11 | 677 | 1.1 | 262 | 11.3 | |
| | 0.04~0.08 | 736 | 1.9 | 269 | 18.1 | |
| 0.04~0.06 | 785 | 2.1 | 277 | 27.9 | | |
| 石墨数量 | 石墨球愈多, 铁素体愈多, 降低强度、疲劳强度、硬度, 提高塑性, 如下所列: | | | | | |
| | 石墨球数 (个/mm ²) | 60~70 | 70~80 | 80~90 | 90~100 | 110~120 |
| | 铁素体量 (%) | 15 | 15~20 | 20~25 | 40~50 | 60~70 |
| | σ_b (MPa) | 715 | 723 | 678 | 610 | 526 |
| | δ (%) | 3.2 | 2.6 | 3.5 | 4.3 | 6.5 |
| | HB | 286 | 273 | 201 | 191 | 180 |
| | 注: 含 V0.24%~0.37%, Ti0.11%~0.15%。 | | | | | |

2.3.3 球墨铸铁金相组织的控制范围

金相组织的控制范围见表 3-112。表列数据取于近似的旧牌号, 故仅供参考, 在生产中应更严格控制。

表 3-112 球墨铸铁金相组织的控制范围 (供参考)

| 球墨铸铁牌号 | 基体组织及其数量 | 石墨 | |
|---------|----------------------------------|------------------------------------|--|
| 铁素体球墨铸铁 | QT 400-18 QT 400-15 | 铁素体>90%, 珠光体<10%; 游离渗碳体<3%; 磷共晶<1% | 球化等级达4级以上, 石墨呈球状、团球状, 不允许出现聚集的厚片状石墨。石墨尺寸愈小愈好 |
| | QT 450-10 | 铁素体>85%, 珠光体<15%; 渗碳体<3%; 磷共晶<1% | |
| 球光体球墨铸铁 | QT 600-3 QT 790-2 QT 800-2 | 球光体或索氏体, 少量铁素体。严格控制游离渗碳体; 消除磷共晶 | 石墨球化良好, 尺寸细小 |

(续)

| 球墨铸铁牌号 | 基体组织及其数量 | 石墨 |
|---------|-------------------------------------|-------------|
| 贝氏体球墨铸铁 | QT 1200-1 下贝氏体为主, 没有游离渗碳体; 微量磷共晶 | 石墨呈球状, 细小圆整 |

2.4 球墨铸铁的化学成分

2.4.1 化学成分对性能的影响

(1) 基本元素的影响 见表 3-113。

(2) 合金元素的影响 见表 3-114。

表 3-113 球墨铸铁基本元素与性能的关系

| 元素 | 影响及说明 |
|------|--|
| 碳 C | <ol style="list-style-type: none"> 1. 碳促进石墨化, 减少白口倾向, 增加铁素体。提高镁吸收率, 有利于石墨球化、细化和圆整 2. 碳不明显削弱基体和力学性能, 改善韧性, 稍降低脆变温度, 提高热导率, 改善减摩性、耐腐蚀性、减振性。提高流动性、可加工性, 增加体积膨胀 3. 碳量超过共晶成分, 易石墨漂浮; C>4%, 必石墨漂浮 |
| 硅 Si | <ol style="list-style-type: none"> 1. 硅强烈促进石墨化和渗碳体分解, 细化石墨有利于石墨球化、细化和圆整; 增加孕育硅量, 效果更明显。故硅可显著提高动载性能 2. 硅增加且强化铁素体; Si>2.6%, 即使正火也难得到完全珠光体。故硅降低强度、硬度、提高塑性 3. Si<3.3%, 大幅度提高冲击韧度; Si>3.3%, 发生“硅脆性”, 冲击韧度急剧下降。硅显著提高脆变温度 4. Si>2.8%, 明显提高退火态强度, 伸长率。硅增加, 正火态强度略增加, 伸长率降低。等温淬火使硅的强化作用充分发挥。如下二图所示 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="239 1187 798 1792"> </div> <div data-bbox="957 1276 1356 1769"> </div> </div> <p style="text-align: center;">硅对球墨铸铁热处理后性能的影响</p> |

(续)

| 元素 | 影响及说明 | | | | | | | |
|---|--|------------------------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 锰 Mn | 1. 锰稳定并细化珠光体, 促成渗碳体和磷共晶珠光体基体, Mn 0.6%~0.8%。铁素体基体, MnO<0.3% 宜更低; Mn>0.8%、退火困难。贝氏体基体, Mn<0.5% 2. 锰提高强度、硬度, 降低塑性、韧性。提高耐磨性, 降低可加工性 3. 锰提高淬透性。锰过量, 易在共晶边界网状偏析, 恶化铸态、正火、回火, 等温淬火状态的力学性能, 尤其韧性。例如, 正火珠光体球墨铸铁, Mn 由 0.071% 增加到 0.74%, α_K 值由 47.9 降到 24.7J/cm ² 4. 锰稳定奥氏体: Mn 3.78% 左右, 奥氏体可保持到室温; Mn 5%~7%, 基体为马氏体 (或针状体) + 少量奥氏体; Mn 7%~9%, 基体为奥氏体 + 少量针状体。均有优良的抗磨性。奥氏体无 (或弱) 磁性 5. 锰显著提高脆性转变温度 6. 锰提高耐磨性, 降低可加工性 | | | | | | | |
| 磷 P | 1. P<0.05%, 固溶于铁, 不明显影响力学性能。P 0.05%~0.07%, 强度和韧性的综合性能尚好。P 增加, 易在共晶团边界偏析, 生成各种磷共晶, 恶化强度、塑性, 尤其冲击韧性。若阻碍石墨化元素多, 或快速冷却, 析出三元磷共晶, 危害更甚 2. 磷强烈降低低温韧性。磷量每增加 0.01%, 脆性转变温度上升 4~4.5℃。P>0.2%, 易冷裂 3. 磷与钼生成磷钼共晶, 降低钼的有效作用 4. 磷提高硬度, 高磷球墨铸铁具有良好的耐磨性 5. 磷增加疏松、缩孔倾向, 含钼时更突出。降低可加工性 | | | | | | | |
| 硫 S | 硫极有害, 控制硫是稳定球化, 提高质量的关键 1. 硫消耗球化剂, 如下所列。硫过量, 球化不良或衰退。 | | | | | | | |
| | 原铁液含 S 量 (%) | 0.11 ~0.10 | 0.10 ~0.085 | 0.085 ~0.07 | 0.07 ~0.06 | 0.06 ~0.05 | 0.05 ~0.04 | 0.04 ~0.03 |
| | 球化剂加入量 (%) | 1.9 | 1.8 | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.3 |
| | 球化剂成分 (%) | Mg 8~12, RxOx 8~12, Si 38~42 | | | | | | |
| 2. 硫阻碍石墨化, 增大白口倾向 3. 高硫铁液处理后, 铁液强度低, 流动性差, 硫化物 (MgS、RE ₂ S ₃ 、MnS 等) 多, 铸件易产生夹渣、皮下气孔等 4. 含微量硫和氧的铁液, 可自行球化 | | | | | | | | |

表 3-114 球墨铸铁中常用合金元素与性能的关系

| 元素 | 影响及说明 | | | | |
|------|--|------------|-----------|---------|---------|
| 钼 Mo | 钼一般加入 0.2%~0.5%; 铸态贝氏体, Mo>1.2%~1.5% 1. 钼细化石墨, 强烈促成碳化物 (Mo<0.6 时缓和); 强化基体, 匀化组织。改善综合性能 (强度, 硬度, 韧性, 疲劳强度) 2. Mo<1%, 固溶于铁; Mo 0.52%, 珠光体由片状过渡向粒状, 提高强度, 降低塑性; Mo 0.78%, 正火后强度显著提高, $\frac{\sigma_s}{\sigma_b}$ 由 0.7 提高到 0.9 3. 钼降低共析转变温度, 影响基体组织, 如下: | | | | |
| | Mo (%) | 0.2~1 | 1~1.2 | 1.2~1.5 | >2.5 |
| | 铸态组织 | 细珠光体 + 索氏体 | 索氏体 + 贝氏体 | 贝氏体 | 产生自由渗碳体 |
| | 4. 钼使 S 曲线和 CCT 曲线明显右移, 提高淬透性的能力超过镍、锰, 仅次于铬。含钼球墨铸铁经等温淬火, 甚至正火, 可以得到针状组织 (贝氏体)。钼防止回火脆性 5. 钼与铜合用, 可改善厚断面铸件中心的球化质量, 抑制石墨漂浮 6. 钼易与磷形成复合四元共晶 (P 0.4%, Mo 5.8%), 消耗钼, 且易使缓冷铸件产生疏松和微观缩孔, 故 P 应 < 0.2% 7. 钼改善中温 (400~600℃) 耐热性 | | | | |

(续)

| 元素 | 影响及说明 | | | | | | | | | | |
|--|---|-----------|-----------|-----------|-----------|----|--------|---------|---------|--|--|
| 铜 Cu | <p>铜一般加 0.5%~1.5%，宜 < 1.0%。单独加铜，一般 0.2%~0.5%</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 铜细化石墨球。Cu < 2%，改善石墨圆整度。加 Cu 3%，减少或消除大断面铸件心部的块状石墨。加 Cu 3.5%，出现游离铜，强度、塑性下降 2. 铁素体球墨铸铁中，Cu < 1.4%，固溶于并强化铁素体，增加强度、硬度；Cu > 1.5%，强度下降 3. 铸态或大断面珠光体球墨铸铁中，加 Cu 0.5%，可稳定且细化珠光体；加 Cu 1%，可显著提高强度。Cu 0.7%~0.8% + Mo 0.3%~0.4%，铸态 σ_b 686MPa，δ > 3%，a_K > 24.5J/cm²；正火后，σ_b 883MPa，δ 2%，a_K 34.3J/cm² 4. Cu < 0.8%，与 Mo 合用，可提高中锰球墨铸铁的淬透性；Cu 0.5%~1.0%，与 Mo、Ni 合用，可改善贝氏体球墨铸铁的淬透性 5. 铜提高耐磨性、耐蚀性 | | | | | | | | | | |
| 镍 Ni | <ol style="list-style-type: none"> 1. 镍促进石墨化。Ni 1%，即使减 Si 0.3% 亦不会增加自由渗碳体，且利于消除厚大断面的块状石墨。Ni > 2%，显著影响球化 2. 镍降低共析转变温度，使 S 曲线和 CCT 曲线右移，提高淬透性 3. 铁素体球墨铸铁中，Ni 0.5%，强化基体，显著提高强度，降低脆性转变温度 4. 珠光体球墨铸铁中，Ni < 1%，增加、细化珠光体，强化其中的铁素体，显著提高强度；Ni ≤ 2%，稳定、细化铸态或大断面铸件的珠光体 5. 少量 Ni + Mo，可以促使奥氏体等温转变成贝氏体。足够量的 Ni + Mo 或 Ni + Mo + Cu（如壁厚 25mm，总量 > 2.5%）可获得铸态奥氏体 + 上贝氏体组织 6. 镍奥氏体球墨铸铁含 Ni 13%~36%，非磁性，耐低温，耐磨、耐热、耐蚀 | | | | | | | | | | |
| 钨 W | <ol style="list-style-type: none"> 1. 钨稳定碳化物。过量，促成莱氏体 2. 钨固溶于并强化铁素体，提高常温和中温（350~600℃）力学性能 3. 少量钨，稳定且细化珠光体；加 W 2.5%，可获得铸态索氏体和托氏体 4. 钨使 S 曲线右移，提高淬透性，改善耐磨性 | | | | | | | | | | |
| 钒 V | <ol style="list-style-type: none"> 1. 含 V 0.2%~0.3% 的钒铁生铁不宜用于铸态铁素体球墨铸铁 2. V < 0.3%，稳定且细化珠光体，提高强度、硬度；过量，促成自由渗碳体，性能下降 3. V < 0.5%，不影响球化；V > 0.5%，石墨畸变 4. 钒、钛常合用，可防白口。钒、钛的碳氮化合物质点弥散，显微硬度 1000~1300HV，显著提高耐磨性 | | | | | | | | | | |
| 钛 Ti | <ol style="list-style-type: none"> 1. 钛反球化。若原铁液含 Ti 0.2%，则需含 RE 11%~13% 的稀土镁（7%~8%）球化剂处理，若稀土量不足以抵消，则促成蠕虫状石墨，严重损害力学性能 2. 钒钛合用，提高耐磨性 | | | | | | | | | | |
| 铬 Cr | <p>铬强烈稳定珠光体，促成且稳定碳化物。少量铬（0.09%~0.18%）；即降低塑性、韧性。通常不用作合金元素，前苏联许多汽车、拖拉机厂，加 Cr 0.12%~0.25%，生产粒状珠光体球墨铸铁</p> | | | | | | | | | | |
| 锡 Sn | <ol style="list-style-type: none"> 1. 锡强烈稳定珠光体。加 Sn 0.04%，可消除铁素体获得铸态珠光体；加 Sn 0.06%~0.10%，可使 64mm 厚的断面在铸态完全珠光体，且不形成游离渗碳体。提高强度、硬度、耐磨性、耐热性（< 600℃） 2. 锡使 S 曲线右移。Sn 0.08%，显著提高淬透性 3. Sn > 0.1%，反球化，石墨畸变成线点状。要求韧性时，应控制 Sn，Si 亦应 < 2%~2.5% 4. 锡提高珠光体的热稳定性，延长球墨铸铁在 600℃ 以下的使用寿命。Sn 0.11%，550℃ 回火 4 星期，硬度不减 | | | | | | | | | | |
| 铋 Sb | <ol style="list-style-type: none"> 1. 无铋时，铋强烈干扰球化，钛促进其作用，数据如下： | | | | | | | | | | |
| | <table border="1" data-bbox="178 1686 1497 1787"> <thead> <tr> <th data-bbox="178 1686 478 1736">Sb (%)</th> <th data-bbox="478 1686 821 1736">0.01</th> <th data-bbox="821 1686 1145 1736">0.02~0.03</th> <th data-bbox="1145 1686 1497 1736">0.05~0.06</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="178 1736 478 1787">作用</td> <td data-bbox="478 1736 821 1787">石墨球形变坏</td> <td data-bbox="821 1736 1145 1787">石墨球大量消失</td> <td data-bbox="1145 1736 1497 1787">完全珠光体基体</td> </tr> </tbody> </table> | Sb (%) | 0.01 | 0.02~0.03 | 0.05~0.06 | 作用 | 石墨球形变坏 | 石墨球大量消失 | 完全珠光体基体 | | |
| Sb (%) | 0.01 | 0.02~0.03 | 0.05~0.06 | | | | | | | | |
| 作用 | 石墨球形变坏 | 石墨球大量消失 | 完全珠光体基体 | | | | | | | | |
| <ol style="list-style-type: none"> 2. 有铋时，微量铋可细化石墨，促进球化，尤用于大断面铸件。Sb 0.002% + Ce 0.02%，可阻止厚大断面生成块状石墨，细化组织，且仍然获得完全铁素体。加 Sb 0.002%~0.006%，可使 200mm 立方体试块的石墨球显著增多。加 Sb 0.006%~0.01%，内燃机车曲轴（主轴颈 ϕ 200mm，毛重 1147kg），石墨形态和力学性能超过 Ni-Cu-Mo 合金球墨铸铁 3. 微量铋与铋（10 倍于铋量）组成孕育剂，在美国成功地用于工业生产。但随孕育加 Sb > 0.01%，晶界析出星形和块状石墨力学性能恶化 4. 铋强烈促成且稳定珠光体，加 Sb 0.01%~0.08%，可获得铸态珠光体，σ_b = 647~726MPa，δ = 2.3%~4.1% | | | | | | | | | | | |

(3) 微量元素的影响 微量元素未必都干扰球化与灰铸铁相似。常见微量元素的作用见表 3-115。化，有一些具有合金化作用。它们对基体组织的影响

表 3-115 球墨铸铁中的微量元素

| 类型 | 元素 | 阻碍石墨化 | 干扰球化 | 干扰作用 与石墨形态 | 临界含量 (%) | | 备注 |
|-------|------|-------|------|---|----------|-------|---|
| | | | | | 铁素体基体 | 珠光体基体 | |
| 消耗型 | 硫 S | ○ | ○ | 消耗镁、稀土，生成 MgS、MgO、MgSe、MgTe 及稀土化合物，造成球化不良。石墨形状：厚片状，共晶状，片状 | 0.04 | 0.04 | 纯镁处理，Te<0.02 |
| | 氧 O | | ○ | | — | — | |
| | 硒 Se | | ○ | | 0.03 | 0.03 | |
| | 碲 Te | | ○ | | 0.01 | 0.01 | |
| 晶界偏析型 | 钛 Ti | | ○ | 不消耗镁和稀土，而在奥氏体边界偏析，使碳结晶成畸形石墨：枝晶状，线点状，粒状、团状、团片状、团聚状 | 0.05 | 0.05 | 纯镁处理，Ti<0.1% 加 RE 时，Ti≤0.16%；对韧性要求低时，Ti≤0.25% |
| | 砷 As | △ | ○ | | 0.02 | 0.10 | |
| | 硼 B | | ○ | | 0.005 | 0.05 | 纯镁处理，B<0.005% |
| | 铝 Al | | ○ | | 0.02 | 0.02 | 球化处理时，加 Sb0.005%~0.01%，RE 0.005%~0.05%，可改善大断面铸件球化 |
| | 锑 Sb | ○ | ○ | | 0.002 | 0.03 | |
| | 锡 Sn | △ | ○ | | 0.02 | 0.10 | |
| | 铜 Cu | △ | 弱 | | 0.15 | 2.0 | 厚大断面铸件允许 Cu≤3.0% |
| 混合型 | 铅 Pb | | ○ | 消耗镁和稀土，且在奥氏体边界偏析，结晶成畸形石墨。石墨形状见以上二类 | 0.002 | 0.004 | 纯镁处理，Pb<0.002% |
| | 铋 Bi | ○ | ○ | | 0.001 | 0.03 | 纯镁处理，Bi<0.002% 与 RE 复合孕育，改善球化，增加石墨球数 |
| | 镉 Cd | | ○ | | 0.005 | 0.005 | |
| | 锌 Zn | | 弱 | | 0.10 | 0.20 | |

注：1. “○”为阻碍各阶段石墨化或干扰球化作用。“△”促进共晶时石墨化，但阻碍共析时石墨化。

2. 钛、硼等元素在微量时促进石墨化，含量较高时阻碍石墨化。

2.4.2 化学成分

1. 铁素体球墨铸铁，化学成分见表 3-116。

表 3-116 铁素体和珠光体球墨铸铁的化学成分 (推荐%)

| 铸铁种类 | | C | Si | Mn | P | S | Cu | Mo | Mg | RE |
|-----------|--------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|-------|--------|-----------------------|-----------|-----------|
| 铁素体 | 铸态 | 3.5~4.0 宜≤3.9 | 2.5~3.0 | ≤0.4 宜≤0.3 国外≤0.2 | ≤0.07 国外≤0.05 | ≤0.02 | | 不宜含 V、Ti、Cu、W、Mo、Cr 等 | 0.03~0.06 | 0.02~0.04 |
| | 退火 | 3.5~4.0 宜≤3.9 | 2.0~2.7 | ≤0.6 | ≤0.07 | ≤0.02 | | | 0.03~0.06 | 0.02~0.04 |
| | 低温工作铸件 | 3.4~3.6 | 1.4~2.0 | <0.3 宜≤0.2 | ≤0.04 宜<0.03 | ≤0.01 | Ni<1.0 | | 0.04~0.06 | 尽量不用 |
| | 大断面铸件 | 3.3~3.6 | 2.0~2.4 | 0.1 甚至 0.03 | <0.04 | <0.01 | | | | |
| 铁素体 + 珠光体 | 铸态 | 3.5~3.8 | 2.2~2.7 宜≤2.5 | <0.5 | <0.07 | ≤0.02 | | | | |
| | 退火 | 3.5~3.8 | 2.0~2.5 | ≤0.06 | ≤0.07 | ≤0.02 | | | | |

(续)

| 铸铁种类 | | C | Si | Mn | P | S | Cu | Mo | Mg | RE |
|--------------------------|------------------------|------------------|---|--------------------------|-------|-------|---------|---------|----|----|
| 珠 光 体 ^② | 铸态 | 3.5~3.9 宜≤3.8 | 2.1~2.5 宜1.8 ~2.3 或≤2.1 ^③ | 0.3~0.5 | ≤0.07 | ≤0.02 | 0.5~1.0 | 0~0.2 | | |
| | 热处理 | 3.5~3.7 | 2.0~2.4 | 小件 0.4~0.8; 大件<0.5 | ≤0.07 | ≤0.02 | 0~1.0 | 0~0.2 | | |
| | 大断面 铸件 ^① | 3.6~3.8 | 2.0~2.4 | <0.5 宜0.4 | <0.07 | <0.01 | 0.4~1.0 | 0.2~0.4 | | |

① 若要求冲击韧度, 则宜低Si; 非合金曲轴, Si1.8%~2.3%; 含铜合金曲轴, Si1.8%~2.1%。

② 壁厚>100mm, 称为大断面。杂质元素Pb、Bi、As、Co、Cr、V、Ti、Zn、B等, 应尽量少。

③ 可加Sn 0.05~0.10%, Ni<1%。

铸态铸件, 成分应低硅(尽量低), 低锰(宜≤0.2%), 低磷(≤0.05%)。炉料亦应低硅、低锰、低磷, 尽量纯净(国外多采用废钢和碳化硅)。强化孕育: 控制中小铸件原铁液Si 1.5%~2.0%, 终Si 2.7%~3.0%; 厚大铸件原铁液Si 1.0%~1.2%, 终Si 2.4%~2.8%。大断面铸态铸件, 更强调Mn<0.2%, 甚至更低(如0.03%)。

我国优质生铁等不容易保证供应, 对韧度要求不高、常温工作的铸件, 可稍放宽Si、Mn、P。

2. 铁素体+珠光体球墨铸铁 化学成分见表3-116。该成分仅适用于QT 500-7, 不适于以珠光体为主的QT 600-3(其成分归入表中的珠光体类)。

铸态铸件, 宜低硅、低锰、低磷、纯净炉料, 加强孕育。汽车底盘零件, 硅宜2.2%~2.5%; 韧度要求不高的铸件, 可稍放宽锰。

3. 珠光体球墨铸铁 化学成分见表3-116。

铸态铸件: 应低Si、Mn、P, 例如曲轴, 无合金时Si应<2.3%, 含Cu时Si应为1.8%~2.1%。适当加Cu、Mo、Ni、Sn等合金元素。纯净炉料, 严格控制碳化物形成元素、干扰元素。强化孕育。

薄小铸件: C适量高; Si适量高; Mn尽量低。

厚大铸件: C适量低; Si尽量低; Mn尽量低; 添加合金元素, 如Cu≤1.0%, Mo≤0.4%, V≤0.3%, Sn 0.04~0.10%, Ni≤2.0%等。

特大铸件: 除上述外, 还宜在球化处理时, 复合

添加Sb和RE, 增加细化, 圆整石墨球, 且消除畸变石墨。

4. 奥贝球墨铸铁 基体组织为上贝氏体+残余奥氏体20%~40%, 故名上贝氏体球墨铸铁, 国内通常称为奥氏球墨铸铁。

获得奥贝球墨铸铁的途径有二: 一是上贝氏体等温淬火, 即奥氏体化(890~950℃)后, 淬火到贝氏体转变区的上半部(450~350℃, 通常380~340℃), 过冷奥氏体等温转变成上贝氏体。二是添加合金元素Mn、Mo、Cu、Ni等, 使等温转变曲线(S曲线)大幅度右移, 过冷奥氏体在连续冷却中转变成上贝氏体。

奥贝球墨铸铁的常用合金元素, 见表3-118。合金元素加入量, 见表3-119。

铸态铸件: 钼提高淬透性, 加Mo 1.2%~1.5%可在铸态获得贝氏体, 但易在共晶团边界偏析, 且与磷形成四元共晶。常Mo-Cu合用, Mo-Ni合用, 或Mo-Ni-Cu合用。铜强化少量Mo提高淬透性的作用, 镍改善淬透性, 均化、细化组织, 提高韧性。铸件通常在特殊介质中余热处理; 或中、低温回火, 消除应力, 改善组织。

强制空冷铸件: 需加Mo、Cu、Ni等合金元素。

等温淬火铸件: 薄壁小铸件, 不加合金元素; 厚大铸件, 需加Mo、Cu、Ni、Sn等元素。

表 3-117 贝氏体球墨铸铁的化学成分

| 铸铁名称 | | 基本成分 ^① (%) | 合金元素 (%) | 备注 |
|----------|--------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| 奥贝球墨铸铁 | 铸态 | C 3.5~3.8 Si 2.4~3.4 | Mo+Cu, Mo+Ni, Mo+Cu+Ni | 通常余热处理或中、低温回火 |
| | 强制空冷 | Mn<0.30 P<0.07 | Mo, Mo+Cu, Mo+Ni, Mo+Cu+Ni | 合金元素量参考表 3-118、表 3-119 |
| | 盐浴等温淬火 | S<0.02 | Mo, Mo+Cu, Mo+Ni, Mo+Cu+Ni | |
| 下贝氏体球墨铸铁 | 一般铸件 | C 3.5~3.8 Si 2.4~3.4 | Mn<0.5, 可以不加合金元素 | |
| | 重要中小件 | Mn<0.30 P<0.07 | Ni+Mo, Cu+Mo, Cu+Mo+V, Cu+V, V | Cu 0~0.4%, Mo 0~0.2% |
| | 厚壁铸件 | S<0.02 | | Cu 0.5%~0.8%, Mo 0.2%~0.4% |

① 成分为推荐值。

表 3-118 奥贝球墨铸铁的常用合金元素

| 元素 | 作用及含量 | | | |
|-----|--|------|------|------|
| 锰 | Mn 限量 0.25%~0.5%。若要求韧度和塑性, Mn<0.3%。Mn 对冲击韧度的影响如下: | | | |
| | Mn (%) | 0.07 | 0.47 | 0.74 |
| | α_K (J/cm ²) | 78.2 | 55.5 | 36.3 |
| 钼 | 推荐 Mo 0.2%~0.3%; Mo 和 Mn 对奥氏体转变有同向作用, 故当 Mn>0.3% 时, 应考虑 Mo+Mn 的综合影响 | | | |
| 镍、铜 | Ni 和 Cu 均改善锰或钼提高淬透性的作用。厚壁奥贝球墨铸铁中加入铜镍、铜铜或铜镍铜, 具有极好的等温转变性能。Ni<3%, Cu<1.5% 时延缓第一和第二阶段转变, 但对等温转变后的性能无害 | | | |
| 其它 | Sn、V 或 Cr 可以有限制地用于控制奥氏体等温转变。如加 Sn 0.04%~0.07%, 可促成贝氏体, 且几乎不偏析; V 0.2%, 可拓宽热处理工艺带 | | | |

表 3-119 奥贝球墨铸铁的合金元素

(%)

| 铸件壁厚 mm | 8 | 10 | 25 | 37 | 50 | 备注 |
|------------|--|----------------------------|--------------------------------|---|---------------|--|
| 铸态 | 合金元素用量较多, 如壁厚 25mm 的试件, 铸态达到 σ_s 900MPa, δ_3 %, 需加 Mo+Cu+Ni 总量>2.5 | | | | | 通常余热处理, 或中、低温回火 |
| 强制空冷 | Mo 0.3 | Mo 0.48; Mo 0.35+Cu 1.0 | Mo 0.3+Cu 1.0 Mo 0.3+Cu 1.5 | Mo 0.7+Cu 1.0 Mo 0.5+Ni 2.0 Mo 1+Ni 0.6 | Mo 0.5+Ni 2.3 | 铸铁成分 ^① : C 3.3, Si 2.4, Mn 0.32 |
| 盐浴等温淬火 | 0 | 0 | Mo 0.3 | Mo 0.5; Mo 0.35+Cu 1.0 | | |
| | 厚壁铸件, 加 Mo, Mo+Cu, Mo+Ni, 或 Mo+Cu+Ni。一般, Mo 0.2~0.3, Cu<1.5, Ni<3.0 | | | | | Mn 宜<0.3 可加 V 0.2 |

① 左列合金含量是对应该铸件的推荐量。

5. 下贝氏体球墨铸铁 基体组织以下贝氏体为主+少量残余奥氏体, 故名。

获得下贝氏体球墨铸铁的途径有二: 一是上贝氏体化等温淬火, 即奥氏体化 (850~900℃) 后, 淬

火到贝氏体转变区的下半部 (350~230℃, 通常 320~270℃) 等温转变成下贝氏体。二是添加合金元素 Mo、Cu、Ni 等, 使过冷奥氏在冷速冷却中转变成下贝氏体。

下贝氏体球墨铸铁的化学成分见表 3-117。

一般铸件：可稍放宽锰，如凸轮轴 Mn 0.5%~0.8%，拖拉机履带板 Mn<0.5%，耙片 Mn<1%，但为防止锰偏析，Mn 应<0.5%。

要求较高的铸件，可根据壁厚添加合金元素 Mo、Cu、Ni、V 等，显著改善力学性能，尤其疲劳强度。如低锰高硅球墨铸铁中加 Cu 0.46%~0.49%，Mo 0.4%~0.45%，V 0.08%~0.10%， σ_{-1} 可达 315~355MPa。

2.5 球化及孕育

2.5.1 球化元素与球化剂

1. 球化元素 有工业使用价值的球化元素是镁和稀土元素（包括铈和钇）。

(1) 镁 在镁球墨铸铁中，只要能保证球化，残镁量愈低愈好。一般 $Mg_{残}$ 0.03%~0.05%；厚大铸件允许 0.05%~0.08%。 $Mg_{残}>0.1%$ ，石墨球形不圆整。

(2) 稀土 稀土宜与镁同时使用；球化主要靠镁，稀土净化铁液、稳定生产。为保证石墨球形圆整，避免稀土在晶间偏析，应使 $Mg_{残}/RE_{残}>1$ 。

般 $RE_{残}$ 0.02%~0.04%。推荐量见表 3-120。

表 3-120 球化所需的残留镁量和稀土量

| 铸件壁厚 (mm) | <30 | 30~70 | 70~130 | 130~250 |
|---------------------|-----------|------------|------------|-----------|
| $Mg_{残}$ (%) | 0.03~0.04 | 0.03~0.045 | 0.035~0.05 | 0.06~0.08 |
| $(RE_xO_y)_{残}$ (%) | <0.02 | 0.02~0.03 | 0.03~0.04 | 0.01~0.02 |

铸件壁厚<30mm，若残余稀土过高，易产生自由渗碳体和反白口，恶化韧性、塑性。

厚断面铸件对稀土的副作用敏感， $Mg_{残}$ 宜高， $RE_{残}$ 宜<0.03%，以免球化不良，晶间偏析，白口倾向大。

化学分析时，稀土元素都变成氧化物，对于轻稀土，稀土总量 RE；稀土氧化物 $RE_xO_y=0.834$ ，故 $RE=0.834RE_xO_y$ 。

2. 球化剂

(1) 标准球化剂及其使用条件 见表 3-121、表 3-122。

(2) 标准稀土硅铁镁合金 见第一章。

(3) 常用球化剂 见表 3-123。

表 3-121 球化剂的牌号和成分 (ZBJ31 010—90)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | |
|-----------|-------------|-------------------|------------|----------|-----|------|-----|-------|
| | Mg | RE | Si | Ca | Mn | Al | Ti | Fe |
| | | | | | ≤ | | | |
| ORMg5RE1 | 4.0~<6.0 | 0.5~<1.5 | 35.0~44.0 | 1.5~<2.5 | 4.0 | 0.5 | 0.5 | 余量 |
| QRMg7RE1 | 6.0~<8.0 | 0.5~<1.5 | 35.0~44.0 | ≤4.0 | 4.0 | 0.5 | 0.5 | 余量 |
| QRMg6RE2 | 5.0~<7.0 | 1.5~<2.5 | 35.0~44.0 | 2.0~3.0 | 4.0 | 0.5 | 0.5 | 余量 |
| QRMg7HRE2 | 6.0~<8.0 | (HRE) 1.5~<2.5 | 35.0~44.0 | ≤4.0 | 4.0 | 0.5 | 0.5 | 余量 |
| QRMg8RE3 | 7.0~<9.0 | 2.5~<4.0 | 35.0~<44.0 | 2.0~3.5 | 4.0 | 0.5 | 1.0 | 余量 |
| QRMg8RE5 | 7.0~<9.0 | 4.0~<6.0 | 35.0~44.0 | ≤4.0 | 4.0 | 0.5 | 1.0 | 余量 |
| QRMg8RE7 | 7.0~<9.0 | 6.0~<8.0 | 35.0~44.0 | ≤4.0 | 4.0 | 0.5 | 1.0 | 余量 |
| QRMg10RE7 | 9.0~<11.0 | 6.0~<8.0 | 35.0~44.0 | ≤4.0 | 4.0 | 0.5 | 1.0 | 余量 |
| QLMg6RE2 | 5.5~<6.5 | 1.5~<2.5 | 4.0~5.0 | ≤4.0 | 1.3 | 0.5 | 0.4 | 余量 |
| QLMg8RE3 | 7.5~<8.5 | 2.5~3.5 | 4.5~5.5 | ≤0.5 | 1.4 | 0.5 | 0.6 | 余量 |
| QLMg8RE5 | 7.5~8.5 | 4.5~5.5 | 7.5~8.5 | ≤0.8 | 1.6 | 0.5 | 1.0 | 余量 |
| Mg 99 | ≥99.85 | — | ≤0.03 | — | — | 0.05 | — | ≤0.05 |

注：1. HRE 为重稀土的代号。

2. Q、R、L 分别为球化剂、热熔炼法、冷压制法的汉语拼音字头。

3. 球化剂不得粉化。MgO 含量不得>1.0%。粒度分三档：5~15mm，10~25mm，20~40mm。

表 3-122 球化剂的推荐使用条件

| 牌 号 | 推 荐 使 用 条 件 | | | 备 注 | |
|-----------|--------------------|------------|------------|--------|-------------------------------|
| | 原 铁 液 | | 适 用 铸 件 | | |
| | 熔 炼 方 法 | 处 理 温 度 | | | S (%) |
| QRMg5RE1 | 冲天炉 —脱 S —电炉 | 1450~1520℃ | ≤0.02 | 铁素体球铁件 | 所推荐适用铸件类型并无绝对界限 |
| QRMg6RE2 | | | ≤0.03 | | |
| QRMg8RE3 | 电 炉 | 1450~1520℃ | 0.025~0.04 | 铁素体球铁件 | |
| QRMg8RE5 | | | | 珠光体球铁件 | |
| QRMg8RE7 | 冲天炉 | 1400~1450℃ | 0.06~0.10 | 各类球铁件 | |
| QRMg10RE7 | | | | | |
| QRMg7RE1 | 冲天炉 —脱 S —电炉 | 1450~1520℃ | ≤0.02 | 大断面球铁件 | 生产球光体铸件时,可熔入或外加适量 Cu 和 Ni 等金属 |
| QRMg7HRE2 | 电炉 | | ≤0.05 | | |
| QLMg6RE2 | 冲天炉 电炉 | 1400~1520℃ | ≤0.10 | 各类球铁件 | |
| QLMg8RE3 | | | | | |
| QLMg8RE5 | | | | | |
| Mg99 | | | | | 必要时可加适量稀土镁硅铁合金 |

表 3-123 常用球化剂

| 球化剂 | 基本成分 (%) | 密度 (g/cm ³) | 熔点 (°C) | 沸点 (°C) | 球化处理方法 | 应 用 |
|----------|--|-------------------------|-----------|---------|-----------|--------------------------------------|
| 纯镁 | 镁 | 1.74 | 651 | 1105 | 压力加镁或钟罩加镁 | 用于动载性能要求高的铸件 |
| 稀土硅铁镁合金 | 稀土 3%~20% 镁 7%~12% 硅 35%~45% 钙 4% | 4.5~4.6 | 约 1100 | | 冲入法,型内球化法 | 用于多数铸件 |
| 稀土硅铁镁钙合金 | 稀土 6%~8% 镁 3%~4% 钙 10%~13% 硅 50%~55% | 3.5~4.1 | 1120~1180 | | 冲入法 | 薄壁铸件白口倾向小,易得到铁素体基体,成本低。但需同时使用助熔剂和引爆剂 |
| 钇基重稀土合金 | 钇基重稀土氧化物 20%~35% (其中钇 55%~60%) 硅 40%~45% 钙 5%~8% | 4.4~5.1 | 1400~1450 | | 冲入法 | 用于大断面铸件 |
| 铜镁合金 | 铜 80% 镁 20% | 7.5 | 800 | | 冲入法 | 缺乏稀土,或要求珠光体基体时用。价贵 |

(4) 型内球化用球化剂 见表 3-124。

表 3-124 型内球化用球化剂

| 应用 | 球化剂成分 (%) | | | | | | | 适用条件 | | |
|------|-----------|-----|-----|-------|---------|-----|----|------------|-----------|---|
| | Mg | RE | Ce | Si | Ca | Al | Fe | 原铁液含 S 量 % | 浇注温度 (°C) | 流量强度 ^① kg/(s·dm ³) |
| 推荐常用 | 7~9 | 4~6 | — | 38~42 | 0.5~1.5 | — | 余 | ≤0.04 | 1370~1430 | 4.5 |
| 国外 | 8~10 | 5~7 | — | 35~38 | ≤5 | — | 余 | ≤0.04 | 1370~1430 | 3.5 |
| 用 | 6 | — | 0.7 | 47 | 0.4 | 0.9 | 余 | ≤0.01 | | |

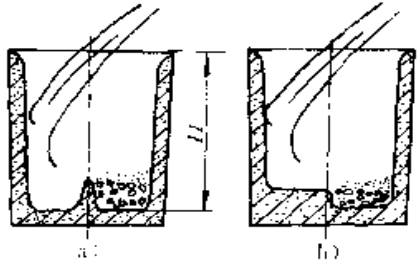
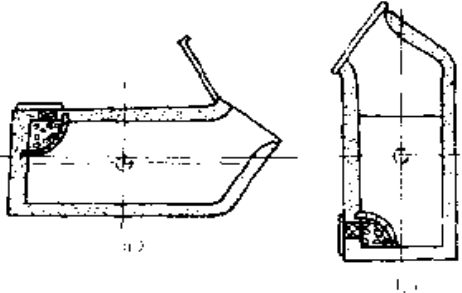
① 流量强度是指从反应室单位体积 (1dm³) 在单位时间 (1秒) 流过的铁液量 (kg)。

2.5.2 球化处理

加镁法，转包法和型内球化法。

球化处理工艺见表 3-125。最常用冲入法，压力

表 3-125 球化处理工艺

| 方法 | 要点及说明 | | | | |
|--|---|---------|-----------|-----------|-----------|
| 冲入法 | 1. 处理包如图示， $H/D=1.5\sim 2$ 。常用凹坑式或堤坝式，坑（坝）内面积占包底的 $2/5\sim 1/2$ ，深度应刚好容纳球化剂和覆盖剂 2. 宜采用含 Mg<15% 的合金球化剂，如稀土镁硅铁，硅铁镁，铜镁，镍镁，铁镁等 稀土镁硅铁 (Mg 8%~10%，Si 35%~40% 的加入量和粒度如下 (铁液温度 1380~1450℃)： | | | | |
| |  | | | | |
| | 冲入法处理 a) 堤坝式 b) 凹坑式 | | | | |
| | 原铁水含 S 量 (%) | <0.03 | 0.03~0.05 | 0.05~0.07 | 0.07~0.10 |
| | 球化剂加入量 (%) | 0.6~0.8 | 0.8~1.1 | 1.1~1.3 | 1.3~1.6 |
| | 处理铁液量 (kg) | <100 | 100~500 | 500~1000 | >1000 |
| 球化剂粒度 (mm) | 10~20 | 20~30 | 30~50 | 30~50 | |
| 3. 处理温度宜 1400~1430℃。先冲入铁液 $\frac{1}{2}\sim\frac{2}{3}$ ，反应 $>1\text{min}$ ，沸腾将结束时，补充铁液，扒渣，孕育 | | | | | |
| 盖包法 | 盖包是冲入法处理包上加带有浇口杯的盖。镁光少，操作简便。工艺与冲入法一样 | | | | |
| 转包法 | 1. 转包如图示，反应室用石墨粘土制成 2. 球化剂为纯镁、镁焦 (Mg 43%) 等。镁利用率高。可处理含 S 0.3% 的原铁液 3. 处理温度 1400~1500℃ | | | | |
| |  | | | | |
| 转包处理 a) 浇入铁液 b) 转 90° 球化反应 | | | | | |

(续)

| 方法 | 要点及说明 | | | | | |
|-------|--|-------|------|-----------|-----------|-----------|
| 压力加镁法 | 1. 处理包加盖密封, 钟罩加镁, 在铁液表面建立气压条件发生球化反应。少量镁气化形成压力, 称为自压式(或天容式); 通入 500~700kPa 压缩空气建立压力, 称为外压式 | | | | | |
| | 2. 球化剂为纯镁, 或纯镁加稀硅铁(粒度 20~40mm), 残镁量 0.04%~0.08%, 加镁量如下: | | | | | |
| | 原铁液含 S 量 (%) | 0.02 | 0.03 | 0.04~0.06 | 0.06~0.08 | 0.08~0.12 |
| | 加镁量 (%) | ~0.10 | 0.11 | 0.12~0.15 | 0.15~0.18 | 0.18~0.22 |
| | 3. 处理温度 $\geq 1400^{\circ}\text{C}$ | | | | | |
| 型内球化法 | 1. 在浇注系统设有反应室, 球化剂放于其中 2. 原铁液含 S 应 $\leq 0.04\%$, 稀上镁球化剂加入量 0.8% 左右。S 愈低愈好, 球化剂粒度: 小铸件 $\leq 50\text{kg}$, 1~4mm, 中等铸件 50~100kg, 2~6mm; 不得粉状 3. 浇注温度宜 1370~1430 $^{\circ}\text{C}$, 允许 1350~1450 $^{\circ}\text{C}$ | | | | | |
| 型上球化法 | 型内球化法的变种, 反应室设在盒式浇口杯中 球化剂 (%): RE 2 \pm 0.5, Mg 8 \pm 0.5, Al 2.5 \pm 0.5, Sb 2 \pm 0.5, Si 50 \pm 2; 粒度 2~8mm, 加入量 0.8% (生产 S195 曲轴) | | | | | |

2.5.3 孕育处理

(1) 孕育剂 常用孕育剂及其加入量见表 3-126。

表 3-126 球墨铸铁常用孕育剂

| 种类 | 化学成分 (%) | | | | 加入量 (%) | 用途, 特点 |
|------|----------|-------------|-------------|--|------------------------------------|--|
| | Si | Ca | A | 其它 | | |
| 硅铁 | 74~79 | 0.5~1 | 0.8~1.6 | | 壁厚 < 7mm 加 1.0; 壁厚 10~20mm, 加 0.75 | 广泛使用, 后孕育效果好, 随流或型内孕育尤佳, 衰退快 (8min) |
| | 74~79 | <0.5 | 0.8~1.6 | | | |
| 稀土硅铁 | 36~40 | ≤ 0.50 | ≤ 0.50 | Ce 9~11, 总稀土 11~15, Fe 余 | ≤ 0.10 | 后孕育。防球化衰退, 增加石墨球数 |
| 硅钙 | 60~65 | 25~30 | — | Fe 余 | 0.2~0.5 | 与稀土复合, 特显著增加石墨球数。需高温铁液 |
| 钡硅铁 | 60~65 | 0.8~2.2 | 1.0~2.0 | Ba 4~6 Mn 8~10, Fe 余 | 0.25~0.40 | 大件或浇注时间长。长效, 防衰退, 含 Mn 者熔点低 |
| | 63~68 | 0.8~2.2 | 1.0~2.0 | Ba 4~6, Fe 余 | | |
| 镁硅铁 | 46~50 | 0.60~0.90 | ≤ 1.25 | Mg 1.00~1.50, Fe 余 | 0.3~1.0 | 后孕育。既球化又孕育。镁回收率 70%。可减少球化剂用量 |
| | 58~61 | 0.50~0.70 | 0.9~1.20 | Mg 2.00~2.50 NaNO ₃ 10.0, Fe 余 | 0.3~1.0 | 商品名 Thermosil。NaNO ₃ 发生放热反应。后孕育特效 |
| 铋 | — | — | — | Bi ≥ 99.5 | 20~100ppm | 与稀土或钙复合, 显著增加石墨球数, 提高塑性韧度。适于铸态铁素体薄壁件 |

(2) 孕育处理 一般采用包内孕育(一次孕育), 亦常采用二次孕育和后孕育。见表 3-127。

表 3-127 球墨铸铁的孕育处理

| 方法 | 工艺要点及说明 (加入量除指明者外, 以硅铁计) | | | | | |
|----------------|--|-------|------------|---------|------------|-----------|
| 包内孕育 (一次孕育) | 冲天法球化处理后, 在出铁槽加孕育剂随补充铁液冲入浇包。加入量和粒度如下: | | | | | |
| | 铸铁种类 | | 孕育剂加入量 (%) | | 孕育硅加入量 (%) | |
| | 铁素体球墨铸铁 | | 0.8~1.6 | | >0.6 | |
| | 珠光体球墨铸铁 | | 0.5~1.0 | | >0.4 | |
| | 浇包容量 (kg) | ≤20 | 20~200 | 200~500 | 500~1500 | 1500~5000 |
| 孕育剂粒度 (mm) | 0.2~1 | 0.5~2 | 2~5 | 5~10 | 10~20 | |
| 二次孕育 (倒包孕育) | 在浇注前或铁液从大包转入浇注包时进行的孕育, 效果好 加入量: 硅铁 0.2%~0.4%, 粒度同包内孕育; 硅钙 0.2%; 锰硅铁 0.2%~0.4%; 铝 0.04%~0.08% | | | | | |
| 浮硅孕育 | 孕育剂 75SiFe。每包铁液 3~5 块 加入量: 0.3% (珠光体球墨铸铁) ~0.6% (铁素体球墨铸铁)。30min 不衰退。 | | | | | |
| 浇注随流孕育 | 1. 漏斗法 孕育剂加入量 0.10%~0.15%。粒度 ≤0.075mm; 铸件壁厚 <30mm, 粒度 0.075~0.425mm; 铸件壁厚 30~100mm, 粒度 0.425~0.850mm 2. 孕育棒法 孕育剂加入量 0.05%~0.12%。大铸件, 可在包嘴插两根或多根 | | | | | |
| 型内孕育 | 一般不单独使用, 常与型内球化法合用, 球化剂中添加孕育剂 0.05%~0.10%, 同时球化孕育, 效果良好 | | | | | |

2.6 球墨铸铁件的热处理

2.6.1 退火

低温退火: 720~760℃/3~6h, 炉冷至 600~650℃, 空冷。使共析渗碳体分解, 获得铁素体基体。用于下列情况: 铸态组织的渗碳体 <3%, 无三元或复合磷共晶, QT450-10 中铁素体 <85%, QT400-18

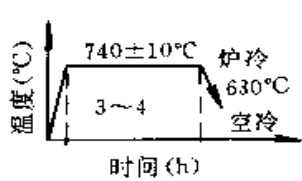
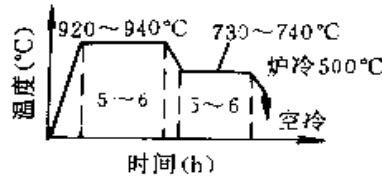
的铁素体 <90%

高温退火: 900~960℃ (甚至更高) /2~4h, 炉冷至 600℃, 空冷。消除自由渗碳体和磷共晶。

两阶段退火: 高温退火 + 低温退火。用于下列情况: 铸态组织中渗碳体 ≥3%, 磷共晶 ≥1%, 有三元或复合磷共晶。

退火工艺见表 3-128。

表 3-128 铁素体球墨铸铁的石墨化退火实例

| 铸 件 | 化学成分 (%) | 退火规范 | 力学性能 | 退火前组织 | 退火后组织 |
|-------------------------------|---|---|--|-----------------|----------------------|
| 拖拉机零件: 差速器壳、摆臂、拨叉、踏板、轮毂、轴承座盖等 | C 3.2~3.6 Si 2.6~2.8 Mn 0.6~0.7 P ≤0.1 S 0.016~0.03 Mg 0.035~0.038 RE 0.04~0.05 |  | σ_b 461~500MPa δ 14%~12% α_K 58.8~132J/cm ² | 铸态无自由渗碳体及严重成分偏析 | 铁素体 ≥80% 珠光体 ≤20% |
| 汽车零件: 离合器踏板、中间传动轴支架、后桥壳、壳盖 | C 3.8~4.1 Si 2.0~2.4 Mn 0.5~0.8 P <0.1 S <0.06 Mg 0.03~0.04 RE 0.03~0.04 |  | σ_b 456MPa δ 18%~22% α_K 147J/cm ² HB 170 | | 铁素体 >90% 自由渗碳体 <1% |

2.6.2 正火

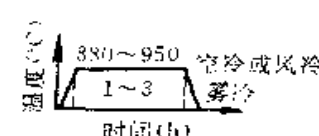
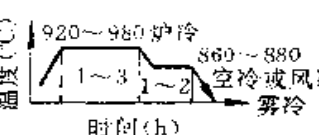
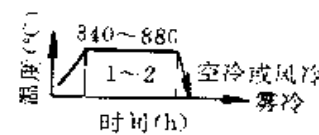
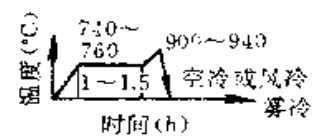
正火是当铸态珠光体 $<80\% \sim 90\%$ 时,将铸件加热到Ac上限以下或以上,奥氏体化,然后空冷、风冷或喷雾冷,获得珠光体或索氏体,增加其数量和弥散度。用于QT600-3、QT700-2、QT800-2,提高强度、硬度和耐磨性。

(1) 完全奥氏体化正火 正火工艺见表3-129。一般加回火:500~600℃,2~4h。

奥氏体化正火用于铸态组织中无渗碳体、三元或复合磷共晶。

两阶段正火用于铸态组织中渗碳体 $\geq 3\%$,有三元或复合磷共晶。

表 3-129 珠光体球墨铸铁的常用正火工艺

| 热处理名称 | 目的 | 热处理规范 | 基体组织 | 备注 |
|----------|---------------------------|---|-------------------|---------------------|
| 高温奥氏体化正火 | 提高组织均匀性,提高强度、硬度、耐磨性或消除渗碳体 |  | 珠光体 + 少量铁素体 (牛眼状) | 冷却时易析出二次渗碳体;复杂件要回火 |
| 两阶段正火 | 目的同上,但能防止二次渗碳体出现 |  | 珠光体 + 少量铁素体 (牛眼状) | 复杂件要回火 |
| 部分奥氏体化正火 | 获得良好的强度和韧度 |  | 珠光体 + 铁素体 (破碎状) | 原始组织不应有游离渗碳体,复杂件要回火 |
| 高温不保温正火 | 获得良好的强度和韧度 |  | 珠光体 + 少量铁素体 (破碎状) | 原始组织无游离渗碳体。复杂件要回火 |

(2) 部分奥氏体化正火 可以获得珠光体和破碎铁素体混合组织,改善韧度。还可以显著改善含较高磷($P \leq 0.13\%$)的球墨铸铁的性能。

当铸态组织中无渗碳体、三元或复合磷共晶时,正火工艺见表3-129。一般还进行回火:500~600℃,2~4h

当铸态组织中渗碳体 $>3\%$,有三元或复合磷共晶时,可采用高温退火+部分奥氏体化正火:920~980℃/(2~3)h+820~880℃/(1~2)h+空冷,风冷,或喷雾冷;然后550~660℃(2~4h)回火

(3) 高温不保温正火 可以获得粒状珠光体,具有较高的塑性和韧度。也可显著改善含较高磷的球墨铸铁的力学性能。正火工艺见表3-129,一般还进行回火(640℃,30min)。

(4) 冷却速度与珠光体的关系 在上述正火工艺中,冷却速度与珠光体量有密切关系,见表3-130。

2.6.3 淬火与回火

淬火是将铸件加热到Ac₃以上,保温,完全奥氏

表 3-130 珠墨铸铁正火冷却速度对珠光体数量的影响

| 温度(℃) | 正火规范 | | 珠光体数量(%) | 备注 |
|-------|-------|------|----------|---------------|
| | 时间(h) | 冷却方式 | | |
| 920 | 1 | 空冷 | 70~75 | 正火后均经550℃回火1h |
| 920 | 1 | 风冷 | 85 | |
| 920 | 1 | 喷雾冷 | 90~95 | |
| 900 | 1.5 | 空冷 | 70~75 | |
| 900 | 1.6 | 风冷 | 85 | |
| 900 | 1.5 | 喷雾冷 | 90~95 | |

体化,然后淬入冷却介质,获得马氏体组织,提高硬度、强度、耐磨性。再加热到较低温度(Ac₁以下)回火,改善塑性、韧度,消除残余应力。

铸态组织中晶团细小均匀,不存在游离渗碳体和磷共晶,可以淬火与回火处理。否则,应先石墨化退火或正火,然后淬火与回火。工艺见表3-131。

表 3-131 球墨铸铁的淬火回火工艺

| 工序 | 说 明 | | | | | | | | | | |
|---------|---|--------|-----------|---------|-------------------------------|---------|--------------------------------------|--------|---|------|---------------------------|
| 淬火 | <p>1. 完全奥氏体化后淬火 一般加热到 A_{c3} (加热时共析转变温度) 上限以上 30~50℃, 普通球墨铸铁 850~880℃, 淬火后为马氏体组织, 再回火。HRC>50, $a_k 10 \sim 20 \text{ J/cm}^2$</p> <p>2. 部分奥氏体化后淬火 加热到共析转变范围内 (即加热时共析转变的上、下限之间), 淬火后为马氏体和少量分散分布的铁素体, 再回火。270~350HB, $a_k 20 \sim 40 \text{ J/cm}^2$</p> | | | | | | | | | | |
| 回火 | <p>1. 低温回火 (140~250℃) 马氏体开始分解, 析出碳化物微粒, 成为回火马氏体 (即含碳量比淬火马氏体少的马氏体)。终组织为细针状回火马氏体+残余奥氏体+球墨 降低残余应力和脆性, 保持高硬度和耐磨性</p> <p>2. 中温回火 (350~500℃) 马氏体分解終了, 形成铁素体与细小弥散渗碳体质点的混合组织, 称为回火托氏体或托氏体 弹性高, 韧性好。仅用于废气涡轮的球墨铸铁密封环, 其它应用很少</p> <p>3. 高温回火 (500~600℃, 一般 550~600℃) 马氏体析出的渗碳体显著地聚集长大, 称为回火索氏体或索氏体。调质 (淬火加高温回火) 后, 综合性能良好: 高塑性、高韧度、高强度。应用较多 铜铝球墨铸铁淬火马氏体, 在不同温度回火时, 组织变化如下表:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>回火温度/℃</th> <th>组 织 与 性 能</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>550~560</td> <td>索氏体, 保留淬火马氏体痕迹, 针状均布。强度高, 脆性大</td> </tr> <tr> <td>570~580</td> <td>针状组织与针间马氏体分解物 (碳化物) 颗粒粗化, 均布。综合性能较理想</td> </tr> <tr> <td>600 左中</td> <td>马氏体分解在原石墨四周, 由于渗碳体过热分解, 使索氏体严重粗化, 针叶间仅残留极少而近消失的细小点状渗碳体粒</td> </tr> <tr> <td>≥600</td> <td>珠光体充分分解, 针状组织消失, 变成铁素体+石墨</td> </tr> </tbody> </table> | 回火温度/℃ | 组 织 与 性 能 | 550~560 | 索氏体, 保留淬火马氏体痕迹, 针状均布。强度高, 脆性大 | 570~580 | 针状组织与针间马氏体分解物 (碳化物) 颗粒粗化, 均布。综合性能较理想 | 600 左中 | 马氏体分解在原石墨四周, 由于渗碳体过热分解, 使索氏体严重粗化, 针叶间仅残留极少而近消失的细小点状渗碳体粒 | ≥600 | 珠光体充分分解, 针状组织消失, 变成铁素体+石墨 |
| 回火温度/℃ | 组 织 与 性 能 | | | | | | | | | | |
| 550~560 | 索氏体, 保留淬火马氏体痕迹, 针状均布。强度高, 脆性大 | | | | | | | | | | |
| 570~580 | 针状组织与针间马氏体分解物 (碳化物) 颗粒粗化, 均布。综合性能较理想 | | | | | | | | | | |
| 600 左中 | 马氏体分解在原石墨四周, 由于渗碳体过热分解, 使索氏体严重粗化, 针叶间仅残留极少而近消失的细小点状渗碳体粒 | | | | | | | | | | |
| ≥600 | 珠光体充分分解, 针状组织消失, 变成铁素体+石墨 | | | | | | | | | | |

2.6.4 等温淬火

等温淬火是将铸件加热到 950~850℃, 保温, 奥氏体化, 再迅速过冷到贝氏体转变区 (450~250℃ 通常 380~280℃), 等温转变成上贝氏体或下贝氏体, 然后空冷。

(1) 上贝氏体等温淬火 通常加热到 890~940℃, 保温 40min~2h, 奥氏体化; 淬火到 340~380℃ 等温 0.5~2h, 获得上贝氏体+残余奥氏体组织, 达到优良的综合性能。工艺控制见表 3-132, 实例见表 3-135。

表 3-132 奥贝球墨铸铁等温淬火工艺的控制

| 项目 | 控 制 参 数 |
|-----------|--|
| 奥氏体化温度与时间 | <p>1. 奥氏体化温度 通常 890~930℃ 含硅量高时, 或铸件中石墨球少时 (硅偏析严重), 奥氏体化温度应较高</p> <p>2. 奥氏体化时间 通常 1~2h 从淬透性看, $\phi 25\text{mm}$ 试棒完全奥氏体时间为 2h。延长奥氏体化时间, 淬透性轻度增加 高温短时奥氏体化, 可显著改善韧性。这种效果只存在原基体为全部铁素体时才能出现</p> |

(续)

| 项目 | 控制参数 | |
|---|----------------------------------|------------|
| 淬火冷却速度 | 淬火的激烈程度与淬火池的关系如下: | |
| | 淬火介质及状态 | 淬火激烈程度 H |
| | 350℃ 盐 + 搅拌 | $H=0.3$ |
| | 350℃ 盐 + 12% 水 + 搅拌 | $H=0.5$ |
| | 350℃ 盐 + 12% 水 + 搅拌 | $H=1.3$ |
| 20℃ 静水 | $H=1$ | |
| 附加过饱和水, 可大增淬火激烈程度, 故可以减少合金加入量, 或处理更大断面的铸件 | | |
| 等温时间 | 一般 1~2h; 薄壁铸件 (如厚 15mm) 可以 30min | |

(2) 下贝氏体等温淬火 通常加热到 850~900℃ (决定于化学成分, 尤其硅, 含硅量高时, 最佳温度取高值), 保温 30~90min, 奥氏体化或部分奥氏体, 淬火到 300℃ 左右 (240~320℃), 等温 60~90min, 获得下贝氏体组织, 并达到优良的综合性能。实例见表 3-133。

表 3-133 下贝氏体球墨铸铁等温淬火工艺应用实例

| 铸件 | 化学成分 (%) | 等温淬火工艺曲线 | 力学性能 | 基体组织 |
|--------------|--|----------|---|---|
| 拖拉机链轨机 | C 3.2~3.4 Si 2.6~3.3 Mn 0.56~0.78 P ≤ 0.115 S ≤ 0.025 Mg 0.03~0.041 Re 0.034~0.064 | | 硬度 HRC = 38~47 压力试验: 左侧 11.2~16.5t 右侧 10.0~24.0t | 下贝氏体 + 少量马氏体和残余奥氏体 |
| 凸轮轴 | C 3.10~3.37 Si 2.22~3.08 Mn 0.90~1.50 P 0.10~0.15 S 0.015~0.07 Mg 0.05~0.03 RE 0.05~0.07 | | $\sigma_b = 8.9 \sim 10.6 \text{MPa}$ $\delta = 0.8\% \sim 1.2\%$ $a_K = 18.62 \sim 52.92 \text{J/cm}^2$ HR = 241~302 | 下贝氏体 + 少量马氏体和残余奥氏体 |
| 54 拖拉机大小减速齿轮 | C 3.6~3.8 Si 2.8~3.2 Mn < 0.5 P < 0.1 S < 0.03 Mg 0.035~0.07 RE 0.035~0.07 | | 基尔试样试验要求: $\sigma_b = 12.7 \sim 15 \text{MPa}$ $\delta = 1\% \sim 2\%$ $a_K = 29.4 \sim 58.8 \text{J/cm}^2$ HRC = 40~45 | 下贝氏体 + ≤10% 马氏体 + 残余奥氏体 + ≤3% 铁素体 + ≤0.5% 碳化物和磷共晶 |

注: () 内数据为小减速齿轮。

2.7 球墨铸铁的应用

2.7.1 牌号球墨铸铁的应用 (表 3-134)

2.7.2 奥贝球墨铸铁的应用实例 (表 3-135)

2.7.3 球墨铸铁的特殊应用 (表 3-136)

表 3-134 牌号球墨铸铁的应用

| 牌号 | 状态 | 取样 | 化学成分 ^D (%) | | | | | | | | 铸件 |
|----------|----|---------|-----------------------|-----------------|----------|-------|-----------------|-----------|-----------|-----------------------------|-------------------|
| | | | C | Si | Mn | P | S | Mg | RE | 合金元素 | |
| QT400-18 | 铸态 | 处理后 | 3.5~4.0 | 2.5~3.0 | ≤0.3 | ≤0.07 | ≤0.02 | 0.03~0.06 | 0.02~0.04 | | 推荐 |
| | | 处理后 | 3.5~4.0 | 2.0~2.7 | ≤0.5 | ≤0.07 | ≤0.02 | 0.03~0.06 | 0.02~0.04 | | 推荐 |
| | 退火 | 处理后 | 3.6~3.8 | 2.3~2.7 | <0.5 | <0.08 | <0.025 | 0.03~0.05 | 0.02~0.03 | | 汽车底盘零件 |
| | | 处理后 | 3.5~3.6 | 2.0~2.4 | <0.4 | <0.07 | <0.02 | 0.03~0.05 | 0.01~0.02 | | 阀体、使用温度-40~450℃ |
| QT400-15 | 铸态 | 处理后 | 3.5~4.0 | 2.5~3.0 | ≤0.3 | ≤0.07 | ≤0.02 | 0.03~0.06 | 0.02~0.04 | | 推荐 |
| | | 处理后 | 3.4~3.6 | 2.8~3.0 | 0.3~0.4 | ≤0.07 | 0.013 | | | | 汽车零件 |
| | | 原铁液冲入法 | 3.6~3.9 | 1.2~1.55<3.0 | <0.4 | <0.07 | <0.05~0.02~0.04 | 0.03~0.05 | 0.03~0.05 | | EQ240 汽车 |
| | | 原铁液型内球化 | 3.5~3.9 | 2.3~2.5~2.5~2.7 | <0.4 | <0.07 | <0.02 | 0.03~0.06 | 0.02~0.04 | | 驱动桥壳体亦可采用QT450-10 |
| | 退火 | 处理后 | 3.5~4.0 | 2.0~2.7 | ≤0.5 | ≤0.07 | ≤0.02 | 0.03~0.06 | 0.02~0.04 | | 推荐 |
| | | 原铁液处理后 | 3.8~4.0 | 1.8~2.3 | 0.4~0.5 | <0.07 | 0.04~0.08~0.02 | | | | 汽车前后桥, 万向节轴叉 |
| | | 原铁液处理后 | 3.4~3.8 | 2.0~2.2 | 0.4~0.5 | <0.07 | ≤0.07~0.025 | | | | 无铍型, 农机零件 |
| | | 原铁液处理后 | 3.5~3.8 | 2.0~2.5 | 0.4~0.5 | <0.1 | — | | | | 中压阀门 |
| QT450-10 | 铸态 | 处理后 | 3.5~4.0 | ≤3.2 | ≤0.3 | ≤0.07 | ≤0.02 | 0.03~0.06 | 0.02~0.04 | | 推荐 |
| | | 原铁液处理后 | 3.75~3.95 | 1.6~1.8~2.7~3.1 | <0.5 | ≤0.08 | <0.08~<0.03 | | | | 汽车后桥, 万向节轴叉 |
| | | 原铁液处理后 | 3.4~3.9 | 2.3~2.4~2.7~3.3 | 0.2~0.5 | ≤0.07 | <0.1 | | | | 农机配件 |
| | 退火 | 处理后 | 3.5~4.0 | ≤3.2 | ≤0.5 | ≤0.07 | <0.02 | 0.03~0.06 | 0.02~0.04 | | 推荐 |
| | | 处理后 | 3.5~3.9 | 2.0~3.0 | <0.4 | <0.1 | 0.015~0.03 | 0.03~0.04 | 0.03~0.07 | | 高、中压阀门 |
| | | 原铁液处理后 | 3.8~4.0 | 1.1~1.4~2.6~3.1 | 0.4~0.5 | ≤0.10 | — | | | V 0.05~0.17 Ti 0.05~0.13 | 汽车零件 |
| QT500-7 | 铸态 | 原铁液处理后 | 3.65~3.80 | 2.20~2.50 | 0.5~0.65 | <0.07 | ≤0.03 | | | | 重型汽车底盘零件 QT 500-5 |
| | | 处理后 | 3.6~3.8 | 2.5~2.9 | <0.6 | <0.08 | <0.025 | 0.03~0.05 | 0.03~0.05 | | 机油泵齿轮 |
| | 退火 | 处理后 | 3.8~4.0 | 2.5~3.0 | 0.4~0.7 | ≤0.1 | ≤0.06 | | | | 空压机前后桥 |
| | | 原铁液处理后 | 3.6~4.1 | 1.5~2.0 | 0.5 | | 0.05 | | | | 圆盘耙 |
| | | | 3.4~3.8 | 2.8~3.3 | | | 0.03 | | | | |

(续)

| 牌号 | 状态 | 取样 | 化学成分 ^① (%) | | | | | | | 合金元素 | 铸件 |
|----------|------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------|----------------|---------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| | | | C | Si | Mn | P | S | Mg | RE | | |
| QT600-3 | 铸态 | 处理后 | 3.75~3.95 | 1.8~2.1 | ≤0.5 | ≤0.07 | ≤0.02 | 0.035~0.05 | 0.02~0.04 | Cu 0.45~0.6 | 6100 柴油 机曲轴 |
| | | 处理后 | 3.6~3.9 | 2.0~2.5 | 0.5~0.8 | <0.1 | <0.04 | 0.04~0.06 | 0.04~0.06 | | 195 柴油 机曲轴 |
| | 正火 | 处理后 | 3.5~3.7 | 2.0~2.5 | <0.5 | <0.08 | <0.025 | 0.04~0.07 | 0.015~0.03 | Cu 0.3~0.8 Mo 0.15~0.4 | φ200~250mm 曲轴 |
| | | 原铁液 处理后 | 3.85 3.81 | 1.1 2.2 | 0.45~ 0.65 | 0.04 0.02 | 0.028 0.024 | | | Mo 0.26 | 490 柴油 机曲轴 |
| | | 原铁液 处理后 | 3.8~4.0 3.3~3.9 | 1.1~1.3 2.0~2.2 | 0.5~0.7 | <0.07 | <0.06 0.02 | | | Cu 0.4~1.0 Mo 0.5~0.6 | 6300 马力 柴油机曲轴 |
| | | 处理后 | 3.6~3.8 | 2.2~2.4 | 0.5~0.7 | <0.07 | ≤0.03 | 0.04~0.06 | 0.07~0.10 | Cu 0.6~0.8 Mo ≤0.2 | 28t 机床床 身 |
| QT700-2 | 铸态 | 处理后 | 3.6~3.9 | 1.8~2.3 | 0.7~1.0 | <0.1 | <0.04 | 0.025~0.05 | 0.025~0.05 | | A195 柴油 机曲轴 |
| | | 原铁液 处理后 | 3.85~ 4.0 3.8~ 3.95 | 0.9~ 1.1 1.8~ 2.1 | 0.55~ 0.7 0.55~ 0.7 | ≤0.07 ≤0.07 | — ≤0.015 | — 0.035~ 0.05 | — 0.02~ 0.04 | Cu 0.5~0.6 | EQ140 汽 车曲轴 |
| | 正火 | 处理后 | 3.7~4.0 | 2.3~2.6 | 0.5~0.8 | <0.1 | <0.02 | 0.035~0.065 | 0.035~0.065 | Cu 0.4~0.8 Mo 0.15~0.4 | 135 柴油 机连杆 |
| | | 正火 ^② 处理后 | 3.7~3.9 | 2.2~2.4 | 0.6~0.8 | <0.1 | <0.04 | | | | 曲轴, 连 杆, 齿轮 |
| | | 淬火 回火 | 处理后 | 3.4~3.8 | 2.4~2.8 | 0.5~0.7 | 0.08 | 0.03 | 0.04~0.06 | 0.015~0.03 | |
| QT800-2 | 正火 | 处理后 | 3.7~4.0 | 2.5 | <0.5 | ≤0.07 | ≤0.03 | | | Cu 0.82 Mn 0.39 | 汽车曲轴 |
| | | 正火 ^② 处理后 | 3.7~3.9 | 2.2~2.5 | 0.3~0.5 | <0.05 | <0.03 | 0.04~0.07 | 0.02~0.03 | Cu 0.4~0.6 Mn 0.2~0.3 | 4270, 6270, 6250 柴油 机曲轴 |
| | 淬火 回火 | 处理后 | 3.8~3.9 | 2.2~2.4 | 0.4~0.8 | | | 0.04~0.06 | 0.02~0.04 | Cu 0.4, Mo 0.2 | 大型船用 柴油机曲轴 |
| | | 处理后 | 3.5~3.8 | 2.4~2.5 | 0.74~ 0.96 | 0.046~ 0.061 | 0.01 | | | Cu 0.42~0.53 Mo 0.15~0.20 | 4000 马力 柴油机曲轴 |
| QT900-2 | 正火 ^③ 处理后 | 3.6~3.8 | 2.1~2.4 | 0.3~0.5 | ≤0.075 | ≤0.03 | 0.045~0.07 | 0.03~0.05 | Cu 0.5~0.7 Mo 0.25~0.35 | 汽车曲轴 | |
| | 淬火 回火 | 处理后 | 3.6~ 3.8 | 2.1~2.5 | 0.3~0.4 | <0.07 | ≤0.03 | | | Cu 0.045~0.085 Mo 0.4 | 6120 柴油 机曲轴 |
| QT1200-1 | 等温 淬火 | 处理后 | 3.4~3.8 | 2.6~3.0 | ≤0.5 | ≤0.07 | ≤0.02 | | | Cu 0.5~0.7 Mo 0.2 | 汽车螺旋 伞齿 |
| | | 处理后 | 3.3~3.7 | 大 2.9~3.1 小 2.7~2.9 | <0.5 | <0.07 | <0.03 | 0.035~ 0.055 | 0.03~ 0.05 | Cu 0.3~0.5 Mo 0.15~0.2 | 75 拖拉机 大小减速齿轮 |
| | | 处理后 | 3.6~3.8 | 2.8~3.2 | <0.5 | <0.1 | <0.03 | 0.035~ 0.07 | 0.035~ 0.07 | | 54 拖拉机 大小减速齿轮 |
| | | 处理后 | 3.7~3.9 | 2.0~2.4 | 0.5~0.8 | <0.08 | <0.02 | | | | 凸轮轴 |

① 由于受炉料条件限制, 一些铸件的锰、磷、硫含量偏高, 应当尽量降低。

② 部分奥氏体化正火+回火。

③ 低碳奥氏体化正火+回火。

表 3-135 奥-贝球墨铸铁实例

| 材料 | 铸 件 | 参 数 | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------|--|------------------|------------------|----------------------------|----------------------------|----|------------|-----------|----------|---------|----------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|
| 铸态奥-贝球墨铸铁 | 大功率柴油机整铸活塞 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 整铸；立浇；中温三阶段回火（400℃保温+630℃保温+空冷）、消除内应力 2. 组织：铁素体<10%，残余奥氏体14.8%~19.2%；石墨1A级 3. 性能：σ_b882MPa，δ5.6%，a_K58.8J/cm² | | | | | | | | | | | | | | | |
| 铜铝合金奥-贝球墨铸铁 | 480 柴油机曲轴 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 化学成分（%）：C 3.6，Si 2.65，Mn 0.27（<0.4），P 0.048，S 0.021，Cu 0.80~1.0，Mo 0.21（<0.3），RE 0.026，Mg 0.057 2. 等温淬火工艺：奥氏体化920±5℃/1h+硝盐浴等温淬火330~380℃/1~2h 3. 组织：贝氏体细小均匀，球化级别1~2级 4. 性能：σ_b>1100MPa，δ>6.0%，a_K>110J/cm² | | | | | | | | | | | | | | | |
| 铜相奥-贝球墨铸铁 | R180 柴油机曲轴 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 化学成分（%）：C 3.4~3.6，Si 2.8~3.2，Mn<0.3，P<0.07，S<0.03，加Cu 1.5，Mo 0.25 2. 等温淬火：910℃/100min左右+盐浴（KNO₃50%+NaNO₃50%）360~380℃/120min 3. 本体金相组织：奥氏体+贝氏体 4. 本体性能：σ_b881~978MPa，δ4.0%~7.0%，a_K约86J/cm²以上，25.8~33.3HRC；在-60℃时，a_K>38J/cm² | | | | | | | | | | | | | | | |
| 铜铝奥-贝球墨铸铁 | 汽车大、小正时齿轮 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 化学成分（%）：C 3.87，S 2.70，Mn 0.32，P 0.067，S 0.022，Cu 0.73，Mo 0.3，RE 0.041，Mg 0.055，有些齿轮加少量Cr 2. 球化温度1430~1450℃。75SiFe二次孕育，总孕育量0.9%。小包浇注时，瞬时孕育，0.1%。浇注温度1740~1360℃。毛坯高温退火，组织为铁素体+少量珠光体 3. 等温淬火：890℃/60min+340℃/90min 4. 组织：上贝氏体+奥氏体 5. 性能：σ_b850~104MPa，δ3.6%~8.0%，a_K56~85J/cm²，34~36HRC | | | | | | | | | | | | | | | |
| 非合金奥-贝球墨铸铁 | CA141 汽车（后拖钩）支承座、衬套（壁厚<15mm） | <ol style="list-style-type: none"> 1. 化学成分（%）：C 3.60~3.80，Si 2.60~2.80，Mn<0.5，P<0.07，S<0.03，RE 0.01~0.03，Mg 0.03~0.05 2. 等温淬火：900±10℃/30±5min+360±10℃/30±5min 3. 组织：残余奥氏体+贝氏体 4. 同成分不同基体球墨铸铁的性能对比如下： | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>材 料</th> <th>σ_b (MPa)</th> <th>δ (%)</th> <th>a_K (J/cm²)</th> <th>硬度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>非合金奥-贝球墨铸铁</td> <td>1000~1250</td> <td>9.0~14.0</td> <td>100~150</td> <td>30~36HRC</td> </tr> <tr> <td>铸态铁素体球墨铸铁</td> <td>420~550</td> <td>10.0~18.0</td> <td>100~150</td> <td>143~179HB</td> </tr> </tbody> </table> | 材 料 | σ_b (MPa) | δ (%) | a_K (J/cm ²) | 硬度 | 非合金奥-贝球墨铸铁 | 1000~1250 | 9.0~14.0 | 100~150 | 30~36HRC | 铸态铁素体球墨铸铁 | 420~550 | 10.0~18.0 | 100~150 | 143~179HB |
| | | 材 料 | σ_b (MPa) | δ (%) | a_K (J/cm ²) | 硬度 | | | | | | | | | | | |
| 非合金奥-贝球墨铸铁 | 1000~1250 | 9.0~14.0 | 100~150 | 30~36HRC | | | | | | | | | | | | | |
| 铸态铁素体球墨铸铁 | 420~550 | 10.0~18.0 | 100~150 | 143~179HB | | | | | | | | | | | | | |
| 奥-贝基体铸件万公里的总磨损量0.64a~0.364mm，使用寿命比铸态铁素体长70倍 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 铜镍奥-贝球墨铸铁 | CA141 汽车后拖钩和十字头（壁厚约45~50mm以上） | <ol style="list-style-type: none"> 1. 化学成分（%）：C 3.6~3.8，Si 2.7~3.0，Mn<0.5，P 0.042~0.058，S约0.02%，Nb 0.06~0.15，Cu 0.7~1.3，Mg 0.029~0.04 2. 常规等温淬火：900℃/30min+350℃/90min 3. 综合性能特优异：σ_b1220~1260MPa，δ12%~16%，a_K140~167J/cm²，-60℃时a_K>35J/cm²；耐磨性优于Cu-Mo、Ni-Mo、Cu-Ni-Mo等奥-贝球墨铸铁；K_{IC}达2458Nmm^{3/2}；-60℃时a_K>35J/cm²，且未出现冷脆转变 4. 铜镍奥-贝球墨铸铁的淬透性低，该二铸件的表层（约2mm）为奥-贝组织，内部为珠光体。加Mo 1.5%~2.0%，淬火后可得到完全奥-贝组织 5. 二级等温淬火900℃/60min+225℃/15min+360℃/60min，也可使CuNb和CuNbMo₂球墨铸铁获得奥-贝组织，淬透直径分别从ϕ25mm和ϕ50mm提高到ϕ45mm和ϕ65mm。σ_b提高，而δ和a_K有所降低 | | | | | | | | | | | | | | | |

(续)

| 材料 | 铸 件 | 参 数 |
|-----------|--------------------|--|
| 铜钼奥-贝球墨铸铁 | 150型颗粒机的筛模(壁厚50mm) | 1. 化学成分(%): C 3.4~3.6, Si 2.8~3.0, Mn<0.4, P<0.07, S<0.03, Mg 0.04~0.06, RE 0.025~0.035, Mo<0.3, Cu<0.6 2. 冲天炉出铁温度1430℃, 用稀土硅铁镁合金冲入法球化。干型铸造 3. 等温淬火: 900±10℃/60min+370±5℃/90min+空冷 4. 组织: 羽毛状上贝氏体+奥氏体(25%~30%), 球化级别1~2级。 5. 性能: σ_b 860~1210MPa, δ_5 4.8%~10.2%, a_K 46~89J/cm ² , 23.5~32.5HRC, 寿命超过进口的20CrMnTi锻钢筛模 |
| 锰奥-贝球墨铸铁 | 磨球(φ55~100mm) | 1. 化学成分(%): C 3.2~3.8, Si 2.0~3.5, Mn 2.0~3.5, P<0.15, S<0.03, 合金元素微量, Mg 0.02~0.05, RE 0.02~0.05 2. 冲天炉熔化, 出铁温度≥1390℃; 冲入法球化; 多次孕育; 金属型(150~300℃)铸造, 分型面喷涂料 不等温淬火, 仅利用余热, 使用特殊介质处理 3. 组织: 以针状组织为主体的奥-贝组织, 即贝氏体+少量马氏体和残余奥氏体+极少量碳化物 4. 性能: δ_b 784~1136MPa, a_K >10J/cm ² , 50HRC以上; 湿磨钢矿时, 磨耗仅为中锰球墨铸铁的60% |

表 3-136 球墨铸铁管及钢锭模

| 铸 件 | 化学成分, 工艺要点及说明 | | | | | | | |
|-----------|---|---------|---------|---------|-----------|-------------|------------|---------------|
| 我国的一种离心铸管 | 铸铁成分(%): C 3.4~3.8, Si 1.6~2.0, Mn<0.6, P<0.08, S<0.03 高炉+工频感应电炉双联熔炼。球化剂REMg 5~8, 1420~1480℃冲入法处理。水冷金属型铸造。退火, 加热1020~1060℃, 保温980~1020℃, 缓冷800~400℃ 退火后力学性能: σ_b ≥466MPa, δ ≥3% | | | | | | | |
| ISO离心铸管 | ISO2531—1974规定, 本体取样。力学性能: 管径φ80~1000mm, σ_b ≥420MPa, $\sigma_{0.2}$ ≥300MPa, δ ≥10%; 大于φ1000mm, σ_b ≥420MPa, $\sigma_{0.2}$ ≥300MPa, δ ≥7% 熔炼方法: 冲天炉+工频感应电炉、高炉+工频感应电炉、转炉+工频感应电炉等。原铁液化学成分(%) 一例: C 3.4~3.6, Si 2.2~2.4, Mn<0.4, P<0.08, Cr<0.15, Cu<0.3, Sn<0.02, Al<0.03, Ti<0.02, Pb<0.01 离心铸造方法: 水冷金属型、金属型覆砂热金属型等 | | | | | | | |
| 日本离心铸管 | 铸铁化学成分(%)如下: | | | | | | | |
| | 工艺 | C | Si | Mn | P | S | Mg | 备 注 |
| | 金属型 | 3.6~3.8 | 1.7~2.0 | 0.3~0.5 | 0.05~0.09 | 0.01~0.015 | 0.03~0.04 | 管径φ75~600mm |
| | 金属型覆树脂砂层2.0mm | 3.3~3.5 | 1.6~2.1 | 0.3~0.5 | 0.04~0.06 | 0.006~0.015 | 0.04~0.055 | 管径φ600~2600mm |
| 压力加镁 | 3.4~3.5 | 1.8~2.0 | <0.5 | <0.1 | <0.01 | | 铸铁管株式会社 | |
| | 退火规范: 升温, 950℃/2h, 冷却1.4℃/min JWVA—G105(日本水道协会标准)规定 σ_b ≥380MPa, δ ≥3%(管体); JIS规定 σ_b ≥400MPa, δ ≥5% | | | | | | | |
| 美国离心铸管 | 美国离心机公司提供铸铁成分(%)如下: C 3.2~3.4, Si 2.6~2.8, Mn 0.2~0.3, P 0.04~0.06, S 0.005~0.010, Mg 0.030~0.035; 允许Al 0.010, Cu 0.150, Sn 0.010, Sb 0.001, Pb 0.001, Ti 0.070, As 0.010, Mo 0.050, Zn 0.001, B 0.002, Ni 0.250, Zr 0.001, Bi 0.001, Se 0.001, Cr 0.100, Te 0.001 | | | | | | | |

(续)

| 铸 件 | 化学成分, 工艺要点及说明 | | | | | | | | | | |
|-----------|--|--------------|--------------|--------------|----------------|----------------|----------------|------------|---------------|--|--|
| 德国离心铸管 | 1. 蒂森公司 压力加镁。热处理。铸铁成分 (%) 如下: C 3.5~3.6、Si 2.15~2.5、Mn<0.4、P<0.08、S<0.01、Mg 0.035~0.04、Cr<0.1、Ti<0.06、As<0.016 | | | | | | | | | | |
| | 2. 沙士基打公司 铸铁成分如下: C 3.4~3.6、Si 2.3~2.6、Mn<0.4、P<0.04、S<0.05、Ni<0.04、Cu<0.3、Cr<0.15、Sn<0.02、Mo<0.01、Pb<0.01、Al<0.03、Ti<0.04。热处理 | | | | | | | | | | |
| 中国连续铸管 | 某钢铁公司铸造厂, 连铸球墨铸铁管 ϕ 300~1200。原铁液成分/终成分 (%) 如下: C 3.75~3.95/3.5~3.9、Si 1.7~2.2/2.6~3.2、Mn<0.6/<0.6、P<0.1/≤0.05; S<0.05/≤0.03、RE≥0.015~0.03、Mg≥0.02~0.035 | | | | | | | | | | |
| | 高炉+电炉, 或冲天炉+电炉、或电炉熔炼。球化剂 RE7Mg9SiFe, 加入量 0.6%~1.0%; 孕育剂 75SiFe, 加入量 0.8%~1.0%。浇注温度 1320~1400℃。根据管径, 拉管速度 1.3~1.6m/min 或 0.8~1.3m/min 性能指标: σ_b ≥350MPa, 压扁率>5%, 硬度<230HB, 水压试验: ϕ ≤400mm, 400MPa; ϕ ≥500mm, 350MPa | | | | | | | | | | |
| 10 扁平型钢锭模 | 钢锭模质量 10.4t, 锭材质量 9340kg。铸铁成分、寿命如下: | | | | | | | | | | |
| | 材质 | C% | Si% | Mn% | P% | S% | Mg% | 平均寿命, 次 | 报废原因 | | |
| | 冲天炉熔炼 高炉熔炼 | 3.68 4.02 | 1.91 1.52 | 0.72 0.71 | 0.085 0.170 | 0.009 0.010 | 0.088 0.097 | 228 240 | 直横裂 横裂, 熔损 | | |
| 法国钢锭模 | 锭材 3.1t。钢锭模: 普通设计, 平均壁厚 106mm, 2.7t; 改进设计, 平均壁厚 99mm, 2.2t。基体, 化学成分、寿命如下: | | | | | | | | | | |
| | 基体组织 (%) | | C | Si | Mn | P | S | 平均寿命 (次) | | | |
| | 铁素体>85% | | 3.57~3.75 | 1.87~2.43 | 0.17~0.41 | 0.042~0.070 | ≤0.002 | 普通设计, 112 | | | |
| | 混合组织珠光体 19%~33% | | 3.55~3.62 | 2.28~2.58 | 0.26~0.51 | 0.045~0.065 | 0.001~0.003 | 改进设计, 122 | | | |
| 珠光体>90% | | 3.65~3.75 | 1.77~2.05 | 0.41~0.48 | 0.046~0.056 | ≤0.002 | 普通设计, 136 | | | | |

3 蠕墨铸铁

蠕墨铸铁是铁水经蠕化处理, 石墨呈蠕虫状 (介于片状和球状之间) 的铸铁。

3.1 蠕墨铸铁的牌号

3.1.1 牌号

对于砂型或相当于砂型冷却条件的铸型铸造的普通和低合金蠕墨铸铁, JB 4403—87《蠕墨铸铁件》按单铸试块的力学性能规定了五个牌号, 见表 3-137。

表 3-137 蠕墨铸铁的牌号 (JB 4403—87)

| 牌 号 | σ_b | $\sigma_{0.2}$ | δ | 硬度值范围 (HB) | 蠕化率 (%) | 主要基体组织 |
|--------|----------------------------|----------------------------|----------|------------|---------|---------|
| | MPa (kgf/mm ²) | MPa (kgf/mm ²) | (%) | | 不小于 | |
| RuT420 | 420 (42.8) | 335 (34.2) | 0.75 | 200~280 | 50 | 珠光体 |
| RuT380 | 380 (38.7) | 300 (30.6) | 0.75 | 193~274 | | 珠光体 |
| RuT340 | 340 (34.7) | 270 (27.5) | 1.0 | 170~249 | | 珠光体+铁素体 |
| RuT300 | 300 (30.6) | 240 (24.5) | 1.5 | 140~217 | | 铁素体+珠光体 |
| RuT260 | 260 (26.5) | 195 (19.9) | 3 | 121~197 | | 铁素体 |

一般以单铸试块的抗拉强度作为验收依据, 其中 RuT260 增加验收伸长率。若需方要求其它性能, 则按表中指标验收。力学性能可以经过热处理达到。

一般以表中规定的蠕化率作为验收依据。根据铸件的用途和特点, 经供需双方协商, 蠕化率亦可以符合特定要求。

3.1.2 试块和试样

(1) 单铸试块 Y形标准试块见图 3-22, U形试块见图 3-23, 试块的尺寸见表 3-138。一般应优先选用 Y形的 II型。经供需双方协商, 亦可选用 Y形中的其它型, 参考表 3-139; 或 U形试块; 或经过验证的其它形式试块。

试块应与铸件同包铁液，且在铸件浇注后期浇注。开型温度 $\geq 500^{\circ}\text{C}$ 。试块与铸件同炉热处理。

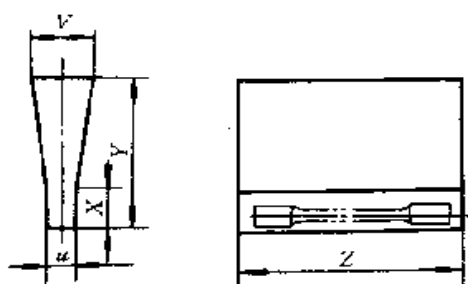
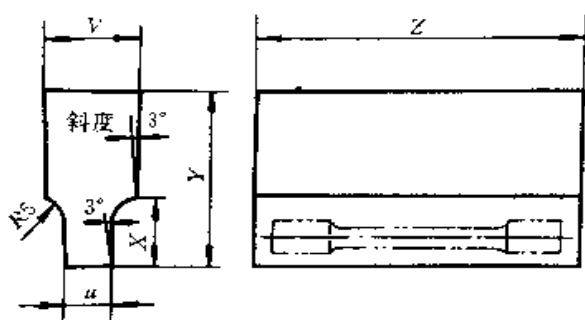
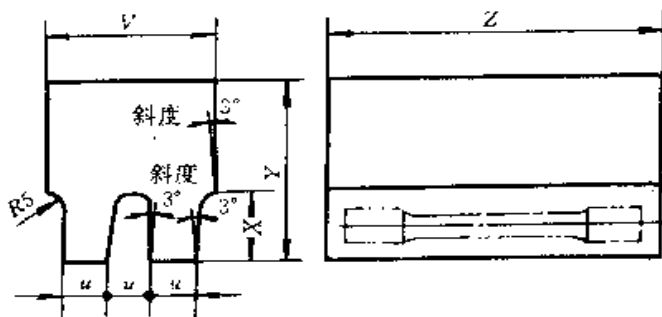


图 3-22 Y形单铸试块



I, IIa, III 和 IV



II b

图 3-23 U形单铸试块

表 3-138 单铸试块的尺寸

| Y 形试块 类型 | 试块尺寸 (mm) | | | | | 试块最小吃砂量(mm) |
|-------------|-----------|-----|----|-----|----------------------------|-------------|
| | u | V | X | Y | Z | |
| I | 12 | 40 | 25 | 135 | 由 拉 力 试 样 定 | 30 |
| II | 25 | 55 | 40 | 140 | | 40 |
| III | 50 | 100 | 50 | 150 | | 80 |
| IV | 75 | 125 | 65 | 175 | | 80 |
| U 形试块 类型 | 试块尺寸 (mm) | | | | | 试块最小吃砂量(mm) |
| | u | V | X | Y | Z | |
| I | 12 | 40 | 30 | 80 | 由 拉 力 试 样 定 | 30 |
| II a | 25 | 55 | 40 | 100 | | 40 |
| II b | 25 | 90 | 40 | 100 | | 40 |
| III | 50 | 90 | 60 | 150 | | 80 |
| IV | 75 | 125 | 65 | 165 | 80 | |

表 3-139 Y形试块选择参考

| 铸件壁厚 (mm) | 8~14 | 15~40 | 41~60 | 61~100 |
|-----------|------|-------|-------|--------|
| Y 形试块类型 | I | II | III | IV |

注：蠕墨铸铁有一定的壁厚敏感性，当采用 II 型（25mm 厚）代表厚壁铸件时，应估计到铸件本体抗拉强度会较低，而伸长率会略高；当按壁厚选用 III、IV 试块时，其抗拉强度和硬度会低于标准规定指标。当铸件壁厚 $< 13\text{mm}$ 时，应更注意其壁厚敏感性。

(2) 附铸试块 形状、尺寸与球墨铸铁相同。

3.2 蠕墨铸铁的性能

蠕墨铸铁的性能介于灰铸铁和球墨铸铁之间，具有良好的力学性能，使用性能（致密、耐磨、耐热）、工艺性能（铸造性能、可加工性）。

3.2.1 力学性能

(1) 静载性能 见表 3-140、表 3-141。

表 3-140 灰铸铁，蠕墨铸铁，球墨铸铁的静载力学性能

| 性能 | 灰铸铁 | 蠕墨铸铁 ^① | 球墨铸铁 |
|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 抗拉强度 σ_b (MPa) | 100~400 | 300~500 | 350~900 |
| 0.2% 屈服极限 $\sigma_{0.2}$ (MPa) | — | 250~400 | 256~600 |
| 伸长率 (%) | 最大 1.5 | 1.5~8.0 | 3~25 |
| 抗弯强度 $\sigma_{\text{弯}}$ (MPa) | 300~600 | 500~800 | 800~1200 |
| 抗压强度 σ_k (MPa) | 500~1400 | 600~1200 | 600~1200 |
| 抗剪强度 τ_b | $\tau_b = (1.1 \sim 1.2) \sigma_b$ | $\tau_b = 0.97 \sigma_b$ | $\tau_b = 0.9 \sigma_b$ |
| 布氏硬度 (HB) | 140~300 | 140~240 | 120~350 |
| 弹性模量 E (GPa) | 74~152 | 137~167 | 162~181 |
| σ_b/HB | 0.8~1.8 | 1.9~2.7 | 2.7~3.1 |
| $\sigma_b/\sigma_{0.2}$ | — | 0.72~0.82 | 0.6~0.65 |
| 泊松比 | — | 0.27~0.28 | — |

① 文献的数据，均为冲天炉熔炼。

表 3-141 蠕墨铸铁的静载力学性能

| 力学性能 ($\phi 30\text{mm}$ 试棒) | 基 体 类 型 | | |
|-------------------------------|---------|---------|---------|
| | 铁素体型 | 混 合 型 | 珠光体型 |
| 铁素体含量 (%) | >80 | 20~80 | <20 |
| 最小抗拉强度 σ_b (MPa) | 280 | 350 | 400 |
| 最小屈服点 $\sigma_{0.2}$ (MPa) | 200 | 240 | 290 |
| 最小伸长率 (%) | 3 | 1 | 0.7~1 |
| 布氏硬度 (HB) | 130~180 | 160~200 | 200~240 |

(2) 动载力学性能见表 3-142、表 3-143。

表 3-142 蠕墨铸铁的冲击韧度

| 材 料 | 无缺口 a_K (J/cm ²) | | | 有缺口 a_K (J/cm ²) | | |
|-------------------------------|--------------------------------|------|------|--------------------------------|------|------|
| | +20℃ | -20℃ | -40℃ | +20℃ | -20℃ | -40℃ |
| 铁素体 >95%, 蠕墨 95% ^① | 32.1 | 26.5 | 26.7 | 9.3 | 6.6 | — |
| GGV-30 (铁素体) ^② | 室温最大 25 | — | — | 室温最大 10 | — | — |
| 珠光体基体 ^③ | — | — | — | 2.7 | — | — |

① σ_b 336MPa, δ 6.7%。Y 形试块 25mm。

② 德国牌号, $\sigma_b \geq 300\text{MPa}$, $\delta \geq 2\%$ 。

③ 基尔试块 44.5mm。

表 3-143 蠕墨铸铁的疲劳性能

| 基 体 | 抗拉强度 σ_b (MPa) | 无缺口疲劳极限 σ_{-1} (MPa) | 持久比 σ_{-1}/σ_b | V 缺口疲劳极限 σ_{-1K} (MPa) | 缺口敏感系数 σ_{-1}/σ_{-1K} |
|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 铁素体 GGV-30 | ≥ 300 | >170 | 0.57 | — | — |
| 铁素体 | 388 | 178 | 0.46 | 100 | 1.78 |
| 珠光体 | 414 | 185 | 0.45 | 108 | 1.71 |
| 珠光体 (球状石墨较多) | 473 | 208 | 0.44 | 116 | 1.8 |

注: GGV-30 为德国牌号。

(3) 高低温力学性能 蠕墨铸铁抗拉强度约在 400℃ 以上显著降低, 塑性约在 600℃ 以上急剧增加, 见表 3-144。

铁素体蠕墨铸铁的脆性转变温度在 0~15℃, 珠

光体蠕墨铸铁的冲击韧度在 100℃ 以下逐渐降低, 见表 3-145。蠕墨铸铁的脆性转变温度高于同基体球墨铸铁, 低温力学性能低于同基体球墨铸铁, 但优于灰铸铁。

表 3-144 灰铸铁、蠕墨铸铁、球墨铸铁的高温力学性能

| 试验温度 (℃) | 灰铸铁 | | VG90% | | VG70% | | VG50% | | VG30% | | 球墨铸铁 | |
|-------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| | σ_b (MPa) | δ (%) | σ_b (MPa) | δ (%) | σ_b (MPa) | δ (%) | σ_b (MPa) | δ (%) | σ_b (MPa) | δ (%) | σ_b (MPa) | δ (%) |
| 室温 | 215 | 0.6 | 385 | 3.0 | 410 | 3.0 | 460 | 1.9 | 490 | — | 600 | 2 |
| 200 | — | — | 340 | 4.0 | 325 | — | 420 | 1.8 | 425 | 3.5 | — | — |
| 300 | — | — | 310 | 3.0 | 370 | 2.5 | 450 | 5.5 | 430 | 4.0 | — | — |
| 400 | — | — | 320 | 5.0 | 400 | 3.5 | 465 | 3.7 | 450 | 5.0 | — | — |
| 500 | 135 | 2.0 | 230 | 3.0 | 250 | — | 300 | — | 300 | 5.0 | 190 | 1.2 |

(续)

| 试验温度 (°C) | 灰铸铁 | | VG90% | | VG70% | | VG50% | | VG30% | | 球墨铸铁 | |
|--------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| | σ_b (MPa) | δ (%) | σ_b (MPa) | δ (%) | σ_b (MPa) | δ (%) | σ_b (MPa) | δ (%) | σ_b (MPa) | δ (%) | σ_b (MPa) | δ (%) |
| 600 | — | — | 155 | 3.0 | 150 | 3.0 | 250 | 5.0 | 270 | 6.0 | — | — |
| 700 | 39 | 3.0 | 70 | 19.0 | 54 | 15.0 | 57 | 16.5 | 90 | 22.0 | 3.3 | 7.5 |

注：VG—蠕墨铸铁磷化率。

表 3-145 不同基体蠕墨铸铁的冲击韧度 (V 缺口试样)

| 基体 | 试 样 | 平均冲击韧度 (J/cm ²) | | | | | | | | | | |
|-----|-----------------|-----------------------------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| | | -60°C | -20°C | 0°C | +10°C | +20°C | +40°C | +60°C | +80°C | +100°C | +160°C | +200°C |
| 铁素体 | 试块 44.5mm | 4.0 | 4.7 | 5.3 | 5.3 | 6.0 | 6.7 | 6.7 | 6.7 | 6.7 | — | — |
| | 试样 ϕ 200mm | 4.0 | 5.3 | 6.7 | 6.7 | 6.7 | 6.7 | 7.4 | 7.4 | 7.4 | — | — |
| 珠光体 | 试块 44.5mm | — | 2.6 | — | — | 2.6 | — | 3.3 | — | 4.0 | 4.7 | 4.7 |
| | 试样 ϕ 200mm | — | 2.6 | — | — | 3.3 | — | 4.0 | — | 4.0 | 5.3 | 5.3 |

注：1. 在 10mm²V 形缺口试样上测定。

2. 铁素体基体成分 (%), C 3.9, Si 2.0, Mn 0.13, Mg 0.023, Ti 0.108。

珠光体基体成分 (%), C 3.6, Si 1.7, Mn 0.34, Mg 0.020, Ti 0.052。

3.2.2 物理性能

蠕墨铸铁的物理性能介于灰铸铁和球墨铸铁之间，见表 3-146、表 3-147。

表 3-146 灰铸铁、蠕墨铸铁、球墨铸铁的物理性能

| 性 能 | 灰铸铁 | 蠕墨铸铁 | 球墨铸铁 |
|--|---------|---------|---------|
| 密度 (g/cm^3) | 7.0~7.5 | 7.0~7.2 | 7.1~7.3 |
| 线膨胀系数 (20~200°C) [$\mu m/(m \cdot K)$] | 11~12 | 12~14 | 11.3~13 |
| 热导率 (20~200°C) [$W/(m \cdot K)$] | 46~59 | 38~50 | 25~38 |
| 电阻率 (20°C) ($\mu\Omega \cdot cm$) | 50~100 | 70~80 | 50~70 |

表 3-147 灰铸铁、蠕墨铸铁、球墨铸铁的热导率

[W/(m·K)]

| 温度 t/°C | 灰铸铁 | | 蠕墨铸铁 | | | | 球墨铸铁 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | HT250 | HT300 | VG90% | VG70% | VG60% | VG40% | |
| 100 | 54.87 | 46.49 | 40.21 | 35.60 | 31.83 | 34.76 | 28.48 |
| 200 | 50.58 | 45.23 | 41.04 | 38.11 | 31.41 | 35.60 | 28.90 |
| 300 | 46.91 | 40.21 | 40.62 | 37.69 | 31.41 | 35.18 | 29.32 |
| 400 | 43.98 | 36.86 | 39.37 | 36.86 | 30.57 | 34.34 | 28.48 |
| 500 | 41.04 | 33.50 | 36.02 | 33.92 | 29.32 | 30.99 | 27.23 |
| 700 | 35.60 | 30.99 | 27.27 | 24.71 | 25.55 | 31.83 | 27.64 |
| 900 | 37.27 | 30.99 | 24.71 | 18.61 | 24.29 | 26.39 | 17.59 |

3.2.3 使用性能

与钢铸铁相近。

1. 耐磨性 蠕墨铸铁具有良好的耐磨性，为灰铸铁 HT300 的 2.2 倍，比高磷铸铁提高 1 倍，与磷

2. 耐热性

(1) 抗氧化、抗生长性 在 600°C，蠕墨铸铁的

抗氧化、抗生长性明显优于灰铸铁，见图 3-24 和表 3-148。

(2) 抗热疲劳性 蠕墨铸铁的抗热疲劳性介于灰铸铁和球墨铸铁之间，包括厚断面铸件在内，都具有良好的综合抗热疲劳性能（耐龟裂性、耐开裂性、耐热变形性），因此，更适于制造内燃机缸盖、缸套、排气管、钢锭模等。

灰铸铁、蠕墨铸铁、球墨铸铁的热疲劳性能见表 3-149。

表 3-148 铸铁在 850℃ 加热 150h 的氧化和生长

| 材 料 | 灰铸铁 | 蠕墨铸铁 | 球墨铸铁 |
|------------------------------|--------|--------|-------|
| 氧化增重 [g/(m ² ·h)] | 13.690 | 11.788 | 6.213 |
| 生长率 (%) | 1.59 | 0.43 | — |

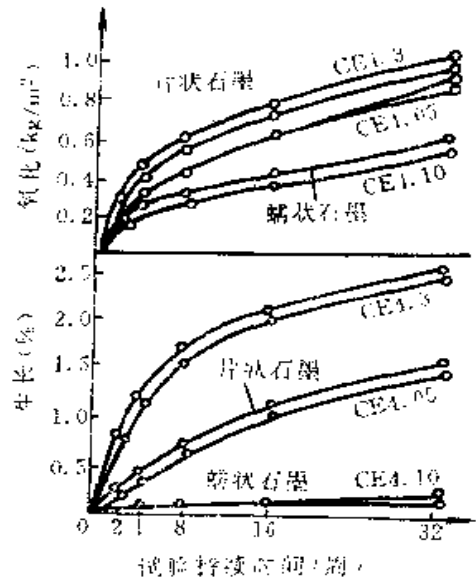


图 3-24 灰铸铁与蠕墨铸铁的氧化和生长 (厚断面, 630℃, 加热 32 星期)

表 3-149 灰铸铁、蠕墨铸铁、球墨铸铁的热疲劳性能

| 材 料 | 化学成分 (%) | | | | | 珠光体 (%) | 出现裂纹循环次数(次) | | |
|------------|----------|------|-------|-------|----------|---------|-------------|----------|----------|
| | C | Si | S | RF | Ca | | 250~500℃ | 250~700℃ | 250~900℃ |
| 灰铸铁 HT200 | 3.30 | 1.52 | 0.014 | — | — | 100 | 7600 | 383 | 120 |
| 蠕墨铸铁 VG90% | 3.80 | 2.67 | 0.018 | 0.070 | 0.0013 | 30 | 11250 | 1362.5 | 513 |
| 蠕墨铸铁 VG50% | 3.65 | 3.72 | 0.014 | 0.099 | 0.0024 | 50 | 15760 | 1650 | 650 |
| 球墨铸铁 | 3.67 | 2.51 | 0.005 | 0.085 | Mg 0.034 | 75 | 18000 | 1433 | 636 |

注：1. 试验条件：

- 感应加热 250~500℃, 0.5s; 气体冷却, 5s;
- 250~700℃, 1.5s; 1s;
- 250~900℃, 8.0s; 26s.

2. 250~700℃和 250~900℃的次数为一起测试数据的平均值，其它为一个测试数据。

3. 致密性 蠕墨铸铁的体收缩和型壁位移倾向介于灰铸铁和球墨铸铁之间，其缩孔、缩松倾向也介于二者之间。但它比高牌号合金灰铸铁的收缩、缩松倾向小，例如比 HT300 灰铸铁的缩孔倾向小 25%~50%。

国内外有许多实例成功地以蠕墨铸铁代替合金铸铁制造耐压件。例如在德国，在减小甚至无冒口的条件下，解决了大功率柴油机缸盖（原为合金铸铁）的不致密问题；在原苏联、我国亦如此。显著改善了铸件的致密性和抗渗漏性。当然，提高铸型刚度、采用近共晶成分，适当降低浇注温度，设计类似球墨铸铁的浇冒口系统，均能改善致密性。

4. 减振性 见表 3-150。

表 3-150 铸铁的声波减振能力

| 材 料 | 珠光体蠕墨铸铁断面尺寸 (mm) | | | | 球墨铸铁 |
|-------------------------|------------------|-----|----|------------------|------|
| | 15 | 30 | 53 | 200 | |
| 减振能力 × 10 ⁻⁴ | 13.2 | 4.6 | 5 | 7.3 ^① | 2.5 |
| | 4 | 4.3 | +3 | 6.3 ^② | |

① 上列数据碳当量 CE=4.0；下列数据 CE=4.3。

3.2.4 工艺性能

1. 铸造性能

(1) 流动性 蠕墨铸铁的成分 (CE 4.3%~4.6%) 在共晶附近，而且又经蠕化剂（稀土、镁、钙等），脱硫、脱氧、去气，因此，流动性良好，超过灰铸铁，见表 3-151。

表 3-151 蠕墨铸铁、灰铸铁流动性的对比

| 材 料 | HT300 | 蠕墨铸铁 | | | HT200 | HT300 | 蠕墨铸铁 |
|------------|-------|------|------|------|-------|-------|------|
| 浇注温度 (°C) | 1270 | 1270 | 1327 | 1280 | 1350 | 1280 | |
| 砂型条件 | 湿型 | 湿型 | 湿型 | 干型 | 干型 | 干型 | 干型 |
| 螺旋线长度 (mm) | 210 | 980 | 1033 | 710 | 245 | 1140 | |

(2) 收缩性 蠕墨铸铁的线收缩率接近灰铸铁, 见表 3-152。

表 3-152 灰铸铁、蠕墨铸铁的收缩率

| 材 料 | 灰铸铁 σ_b 100~400 MPa | 蠕墨铸铁 σ_b 300~500 MPa | 球墨铸铁 σ_b 350~900 MPa |
|----------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 缩前膨胀 (%) | 0.05~0.25 | 0.3~0.6 | 0.6~1.0 |
| 线收缩率 (%) | 1.0~1.2 | 0.9~1.1 | 0.7~1.0 |
| 体收缩率 (%) | 1~3 | 1~5 | 7~10 |

体收缩率 (ϵ_v) 与蠕化率 (VG) 的关系如下: VG < 20% ~ 30%, $\epsilon_v = 5.0\% \sim 7.0\%$; VG 50% ~ 60%, $\epsilon_v = 4.0\% \sim 5.0\%$; VG 70% ~ 90%, $\epsilon_v = 3.0\% \sim 5.0\%$ 。

(3) 铸适应力 (表 3-153)。

表 3-153 灰铸铁、蠕墨铸铁的铸适应力

| 材 料 | 灰铸铁 | | 蠕墨铸铁 | |
|---------------|-------------|----------|------------|------------|
| | HT200 | HT300 | VG ≥50% | VG <50% |
| 铸造应力 (MPa) | 试验数据 4.5 | 5.5~5.95 | 5.1~6.0 | 5.4~6.84 |
| | 平均值 4.5 | 5.7 | 5.5 | 6.1 |

(4) 白口倾向 薄断面蠕墨铸铁比灰铸铁容易形成白口, 但不及球墨铸铁敏感, 见表 3-154。

表 3-154 灰铸铁、蠕墨铸铁、球墨铸铁的白口+麻口深夜 (mm)

| 石墨形态 | 片 状 | | | 蠕虫状 | | | 球 状 | | |
|---------------|--------------------|---|---|-----|----|---|-----|----|---|
| | 3 | 6 | 9 | 3 | 6 | 9 | 3 | 6 | 9 |
| 薄板铸件断面厚度 (mm) | | | | | | | | | |
| 碳当量 CE (%) | 浇注温度固定 1340°C | | | | | | | | |
| 4.3 | 灰 | 灰 | 灰 | 18 | 3 | 灰 | 白 | 14 | 3 |
| 4.1 | 灰 | 灰 | 灰 | 21 | 8 | 灰 | 22 | 16 | 灰 |
| 3.8 | 灰 | 灰 | 灰 | 白口 | 15 | 灰 | 白 | 白 | 3 |
| 碳当量 CE (%) | 浇注温度固定, 液相线上 150°C | | | | | | | | |
| 4.3 | 灰 | 灰 | 灰 | 18 | 3 | 灰 | 白 | 14 | 3 |
| 4.1 | 灰 | 灰 | 灰 | 12 | 3 | 灰 | 白 | 白 | 4 |
| 3.8 | 灰 | 灰 | 灰 | 白口 | 15 | 灰 | 白 | 白 | 6 |

(5) 断面敏感性 蠕墨铸铁的断面敏感性较小, 见表 3-155。

表 3-155 壁厚对蠕墨铸铁铸态力学性能的影响

| 熔炼条件 | 冲天炉① | | 感应电炉② | | |
|-----------------------|-----------|-----|-------------|-----|-----|
| | 25 | 180 | 25 | 60 | 100 |
| 蠕虫状石墨量 (%) | 95 (团状 5) | | 95 (聚片状 5%) | | |
| 壁厚 (mm) | 25 | 180 | 25 | 60 | 100 |
| 珠光体量 (%) | 10 | 15 | 65 | 65 | 70 |
| 铁素体量 (%) | 90 | 85 | 35 | 35 | 30 |
| 抗拉强度 σ_b (MPa) | 376 | 317 | 381 | 302 | 298 |
| 屈服强度 σ_s (MPa) | 305 | 268 | 309 | 268 | 251 |
| 伸长率 (%) | 4.6 | 4.9 | 1.4 | 1.5 | 1.3 |
| 硬 (HB) | 161 | 153 | 202 | 187 | 166 |

① 化学成分 (%): C 3.37、Si 2.97、Mn 0.20、P 0.045、 $S_{总}$ 0.076/ $S_{球}$ 0.014。

② 化学成分 (%): C 3.52、Si 2.06、Mn 0.45、P 0.04、 $S_{总}$ 0.012/ $S_{球}$ 0.008、V 0.20、Ti 0.08。

当蠕化率高时, 不同壁厚断面的组织均匀, 性能变化不大。蠕化率达到最大值时的壁厚称为临界壁厚; 小于临界壁厚, 冷却速度大, 球墨增多、蠕墨减少或消失; 大于临界壁厚, 冷却速度减小, 但蠕化率不再提高。

2. 可加工性 见表 3-156。

表 3-156 蠕墨铸铁的可加工性

| 性 能 | 说 明 |
|------|---|
| 可切削性 | 刀具寿命等介于同基体灰铸铁和球墨铸铁之间, 优于合金灰铸铁 |
| 钻削性 | 与球墨铸铁相似, 钻头磨损比灰铸铁大 |
| 研磨性 | 加工研磨后, 表面粗糙度可达 $R_a 0.10 \sim 0.16 \mu m (\nabla 10)$ |

3.3 蠕墨铸铁的金相组织

3.3.1 金相组织的特点

蠕墨铸铁中的石墨长度 l 与厚度 d 之比 $\frac{l}{d} = 2 \sim 10$ 。

蠕墨铸铁铸态组织含有较多的铁素体; 常达

40%~50%，或更高；含硅量高时，达60%~70%。加入稳定珠光体的元素，如铜、锡、锑等，铸态珠光体可达70%左右；正火后可达90%~95%左右。

3.3.2 金相组织

(1) 石墨形态 (表 3-157)

(2) 蠕化率 蠕墨铸铁中，蠕虫状石墨占全部石墨量的百分比，称为蠕化率。评定方法，通常采用下列两种。

1) 石墨数比例法

$$\text{蠕化率}(\%) = \frac{N_{VG}}{N_{VG} + N_{SG}} \times 100\%$$

式中 N_{VG} , N_{SG} ——分别为蠕虫状、球状石墨数。

检查中规定：放大100倍，检测10个视场，求平均值。

2) 面积比例法

$$\text{蠕化率}(\%) = \frac{S_{VG}}{S_G} \times 100\%$$

式中 S_{VG} , S_G ——分别为视场中蠕虫状石墨所占面积和石墨总面积。

JB 3829—84《蠕墨铸铁金相标准》规定，试样抛光不浸蚀，放大100倍，按大多数视场对照标准图

片评定。蠕化率分级见表 3-158。

表 3-157 蠕墨铸铁的石墨形态 (JB 3829—84)

| 石墨形态 | 特 征 |
|-------|---|
| 蠕虫状石墨 | 1. 未浸蚀试样，在光学显微镜下的二维形态；大部分表现为彼此孤立、两侧不甚平整、端部圆钝的石墨 2. 试样深腐蚀后，在扫描电子显微镜下观察，其三维形态如下： 在共晶团内蠕虫状石墨分枝生长而又联系在一起 光学显微镜下观察到的部分圆形石墨与蠕虫状石墨联系在一起，是蠕虫状石墨的部分分枝，蠕虫状石墨分枝的端部圆钝，通常呈螺旋生长特征 蠕虫状石墨分枝的两侧面呈层叠状特征 |
| 卷曲状石墨 | 1. 石墨呈卷曲形，端部尖锐，有时呈枝晶间分布，属片状石墨 2. 三维形态：石墨呈卷曲形，端部尖锐，共晶团内石墨之间互相联系，分枝频繁 |
| 珊瑚状石墨 | 1. 石墨细小，端部平钝，有时呈枝晶间分布 2. 三维形态：共晶团内石墨之间互相联系，分枝频繁，呈棒状特征，端部平钝 |

注：卷曲状石墨和珊瑚状石墨在蠕墨铸铁中可能出现，但都不是蠕虫状石墨。

表 3-158 蠕化率分级 (JB 3829—84)

| 蠕化率级别 | 蠕 95 | 蠕 85 | 蠕 75 | 蠕 65 | 蠕 55 | 蠕 45 | 蠕 35 | 蠕 25 | 蠕 15 |
|-------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 蠕虫状石墨数量 (%) | >90 | >80~90 | >70~80 | >60~70 | >50~60 | >40~50 | >30~40 | >20~30 | >10~20 |

(3) 珠光体数量 珠光体数量级别见表 3-159，按大多数视场对照标准图片评定。试样用 2%~5% 硝酸酒精溶液浸蚀，放大 100 倍，

表 3-159 蠕墨铸铁的珠光体数量分级 (JB 3829—84)

| | | | | | |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 名 称 | 珠 95 | 珠 85 | 珠 75 | 珠 65 | 珠 55 |
| 珠光体数量 (%) | >90 | >80~90 | >70~80 | >60~70 | >50~60 |
| 名 称 | 珠 45 | 珠 35 | 珠 25 | 珠 15 | 珠 5 |
| 珠光体数量 (%) | >40~50 | >30~40 | >20~30 | >10~20 | ≤10 |

(4) 磷共晶 磷共晶分为 4 种：二元磷共晶、三元磷共晶、二元磷共晶复合物、三元磷共晶复合物。试样浸蚀后，放大 400 倍对照标准图片 (JB 3824—84) 评定。

磷共晶数量分 5 级，见表 3-160。试样放大 100 倍，对照标准图片评定。

表 3-160 蠕墨铸铁磷共晶数量分级 (JB 3829—84)

| 名 称 | 磷 0.5 | 磷 1 | 磷 2 | 磷 3 | 磷 5 |
|-----------|-------|-----|-----|-----|-----|
| 磷共晶数量 (%) | ≈0.5 | ≈1 | ≈2 | ≈3 | ≈5 |

(5) 碳化物 蠕墨铸铁中常见碳化物有莱氏体

型(呈骨骸状)、块状、条状等。数量分6级,见表3-161。试样浸蚀后,放大400倍对照标准图片评定。

表 3-161 蠕墨铸铁碳化物数量分级 (JB 3829—84)

| 级 别 | 碳 1 | 碳 2 | 碳 3 | 碳 5 | 碳 7 | 碳 10 |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 碳化物数量(%) | ≈1 | ≈2 | ≈3 | ≈5 | ≈7 | ≈10 |

3.3.3 金相组织对性能的影响

1. 石墨

(1) 蠕化率 蠕化率提高,即球状石墨减少,蠕墨铸铁的强度、塑性、韧性下降,见表3-162和图3-25。

表 3-162 蠕化率对蠕墨铸铁力学性能的影响

| 蠕化率 | 抗拉强度 σ_b (MPa) | 抗弯强度 $\sigma_{0.2}$ (MPa) | 冲击韧度 α_k (J/cm ²) | 硬度 (HB) |
|-----|-----------------------|---------------------------|--------------------------------------|---------|
| V90 | 352~374 | 724~746 | — | 180~185 |
| V80 | 370~388 | 742~784 | — | 183~186 |
| V70 | 382~414 | 802~848 | 1.2~1.6 | 187~193 |
| V60 | 423~463 | 844~887 | 1.2~1.8 | 190~200 |
| V50 | 434~454 | 875~927 | 1.6~2.0 | 205~219 |
| V30 | 446~470 | 931~973 | 2.2~2.9 | 230~236 |

注:1. 试样基体中含70%左右铁素体,30%左右珠光体。

2. 蠕化率低,球状石墨多,故强度高。

蠕化率>70%的,蠕墨铸铁在500℃以下的热导率与灰铸铁相近;蠕化率<70%,热导率接近球墨铸铁。

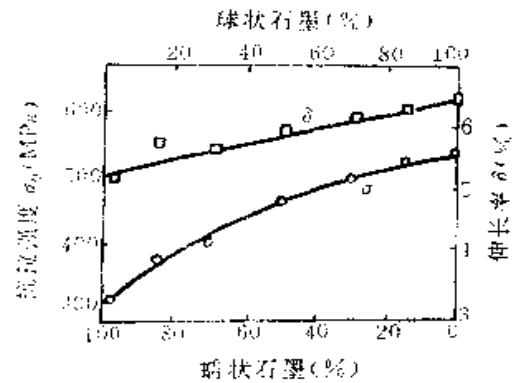


图 3-25 蠕化率对蠕墨铸铁力学性能的影响

蠕化率下降,热疲劳性能提高。蠕化率<50%以下,热疲劳性能接近球墨铸铁。

蠕化率≥50%时,强度较高,热疲劳性较好,铸件致密耐压,铸造性能良好。蠕化率≥80%,导热性好,壁厚敏感性小。

长期以来,各国对蠕化率控制指标有争议。欧美国家建议蠕化率>80%。国际标准化组织在蠕墨铸铁暂行规范中规定蠕化率>80%,某些铸件允许≥50%。在我国,目前大多控制蠕化率≥50%。生产钢锭模,控制蠕化率10%~50%;只有生产要求高导热性的铸件,才控制蠕化率>80%。

我国标准(JB 4403—87)规定:蠕墨铸铁的蠕化率<50%。

(2) 石墨形态,蠕虫状石墨按其长厚比分为I、II、III三型,它们对力学性能的影响见表3-163,其中II型石墨接近球墨铸铁。在基体组织,化学成分相同时,长厚比愈接近1,强度愈好。

表 3-163 蠕虫状石墨形态对蠕墨铸铁性能的影响

| 蠕虫状石墨类型 | 石墨尺寸 | | | 蠕墨铸铁力学性能 | | | 生产方法 |
|---------|----------------------------|----------------------------|------|-----------------------|------------------|---------|-------------------|
| | 最大长度 l (μm) | 最大厚度 d (μm) | 长/厚 | 抗拉强度 σ_b (MPa) | 伸长率 δ (%) | 硬度 (HB) | |
| I | 20 | 10 | 2~4 | 300~450 | 2~5 | 150~240 | 用Ca强烈脱S(S<0.002%) |
| II | 50 | 50 | 2~5 | 350~500 | 3~9 | 150~240 | 用Ca或RE处理 |
| III | 150 | 20 | 3~10 | 300~450 | 1~3.5 | 150~250 | 加Ti、Al或Sb,用Mg处理 |

2. 基体 在蠕化率相同的条件下,珠光体蠕墨铸铁的抗拉强度,屈服强度、硬度、弹性模量、疲劳极限、耐磨性等较高,而伸长率、冲击韧度、热导率,可加工性等较低。铁素体蠕墨铸铁与之相反。

3.4 蠕墨铸铁的化学成分

3.4.1 化学成分对性能的影响

(1) 基本元素 碳、硅、锰、磷、硫对蠕墨铸铁性能的影响,与球墨铸铁相似,见表3-164。

表 3-164 蠕墨铸铁中的基本元素

| 元素 | 影响及说明 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|--|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 碳当量 CE | <p>1. CE 增加, 强度平缓下降, 如图示</p> <p>2. CE 太低, 白口倾向大, 易出现晶间石墨或渗碳体; 且铸的变质作用难发挥; CE 太高, 易石墨漂浮和夹渣</p> <p>3. CE 在共晶附近, 可改善铸造性能</p> <div data-bbox="1101 414 1428 660" style="text-align: right;"> <p style="text-align: center;">CE 与抗拉强度的关系 ($\phi 30\text{mm}$ 试棒)</p> </div> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 碳和硅 | <p>1. C 增加或 Si 增加, 则珠光体减少, 铁素体增加。生产铁素体蠕墨铸铁的办法是加硅并进行铁素体化处理: $900^{\circ}\text{C} / (4 \sim 8\text{h})$, $650^{\circ}\text{C} / (8 \sim 16\text{h})$</p> <p>2. C 增加, 则流动性好, 收缩性小。为保证铸造性能可高碳低硅。</p> <p>3. Si 由 1.2% 增至 2.6%, 铸态和退火态的抗拉强度、屈服强度, 硬度均有提高, 铸态伸长率提高而退火态伸长率降低</p> <p>4. Si 降低低温冲击韧度</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 锰 | <p>锰阻碍石墨化, 稳定珠光体 $\text{Mn} < 0.3\% \sim 0.4\%$, 有利于获得铸态铁素体; $\text{Mn} < 1.0\%$ 有利于获得球光体, 且对石墨蠕化、强度、硬度无明显影响</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 磷 | <p>1. 磷降低塑性、韧度, 提高脆变温度; $P > 0.05\%$, 冲击韧度 α_K 明显下降, 故厚壁铸件磷应低。 $P > 1.0\%$, 伸长率 δ 急剧下降</p> <p>2. 甘蔗榨辊含 P 0.25% ~ 0.35%, 用稀土蠕化处理, 基体中含磷共晶 4% ~ 8%, 耐磨性提高 20 倍</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 硫 | <p>1. 铁液中含 S $< 0.002\%$, 快冷 (如金属型), 可直接获得蠕墨铸铁, 硫增加, 石墨粗化, 且由蠕虫状逐渐变成片状, 力学性能下降, 如图示</p> <p>2. 硫恶化蠕化效果, 终 S $> 0.03\%$, 蠕化作用很差</p> <p>3. 硫高, 蠕化剂耗量大 (见下列数据); 且增加硫化物夹杂</p> <div data-bbox="997 1411 1380 1758" style="text-align: right;"> <p style="text-align: center;">硫对强度的影响</p> </div> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 25%;">原铁液含 S 量 (%)</td> <td>0.03</td><td>0.04</td><td>0.05</td><td>0.06</td><td>0.07</td><td>0.08</td><td>0.09</td><td>0.10</td><td>0.11</td> </tr> <tr> <td>稀土元素加入量 (%)</td> <td>0.176</td><td>0.210</td><td>0.246</td><td>0.280</td><td>0.315</td><td>0.350</td><td>0.384</td><td>0.424</td><td>0.462</td> </tr> <tr> <td>含稀土 21% 的稀土硅铁加入量 (%)</td> <td>0.82</td><td>0.98</td><td>1.14</td><td>1.30</td><td>1.47</td><td>1.63</td><td>1.79</td><td>1.97</td><td>2.15</td> </tr> </table> | 原铁液含 S 量 (%) | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.10 | 0.11 | 稀土元素加入量 (%) | 0.176 | 0.210 | 0.246 | 0.280 | 0.315 | 0.350 | 0.384 | 0.424 | 0.462 | 含稀土 21% 的稀土硅铁加入量 (%) | 0.82 | 0.98 | 1.14 | 1.30 | 1.47 | 1.63 | 1.79 | 1.97 | 2.15 |
| 原铁液含 S 量 (%) | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.10 | 0.11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 稀土元素加入量 (%) | 0.176 | 0.210 | 0.246 | 0.280 | 0.315 | 0.350 | 0.384 | 0.424 | 0.462 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 含稀土 21% 的稀土硅铁加入量 (%) | 0.82 | 0.98 | 1.14 | 1.30 | 1.47 | 1.63 | 1.79 | 1.97 | 2.15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

(2) 合金元素和微量元素常用合金元素和微量元素见表 3-165。

表 3-165 蠕墨铸铁中常用合金元素和微量元素

| 元素 | 常用量及影响 |
|----|--|
| 钛 | <p>1. 钛抑制镁的球化作用，放宽残镁量，如图示。用镁钛稀土合金处理，使铁液中含 Ti 0.15%~0.5%，可稳定地获得蠕墨铸铁</p> <p>2. Ti>0.04%，即得不到球状石墨。Ti<0.1%，促进石墨化，细化石墨。Ti>0.1%，强烈形成碳化物，呈弥散质点，提高耐磨性</p> <div data-bbox="973 369 1492 750" style="text-align: right;"> <p>钛、铝对镁钒铸铁石墨形态的影响</p> </div> |
| 铝 | <p>1. 铝抑制镁的球化作用。Al 0.3%，即使 $Mg_{残}$ 为 0.05%，石墨仍以蠕虫为主，见上图</p> <p>2. Ti 0.06%~0.15%，$Mg_{残}$ 适量，Al 0.025%~0.09%，可稳定地得到蠕虫状石墨</p> |
| 锆 | <p>1. 锆可脱氧，提高过冷度和共晶团生长速度</p> <p>2. 锆抑制球墨，促成蠕墨。加 Zr 0.5%（残留 0.4%），$\phi 25.4mm$ 砂型试棒中蠕墨约 80%，$\phi 50.8mm$ 试棒中蠕墨约 60%</p> <p>3. Zr 量增加，蠕墨铸铁强度随之增加，如图示</p> <div data-bbox="1101 1131 1452 1478" style="text-align: right;"> <p>锆对抗拉强度的影响 (砂型试棒 $\phi 25.4mm$, $S < 0.002\%$)</p> </div> |
| 铜 | <p>一般加 0.5%~1.5%</p> <p>1. 增加且细化珠光体，提高强度、硬度，降低伸长率。但即使加 Cu 2.5%，也不能完全消除蠕墨铸铁中的铁素体</p> <p>2. 在本应大量蠕化的镁钒铸铁中，铜促成球墨，加 Cu 1.0%，球墨约 60%；在无钒铸铁中，铜促成片状石墨，降低强度</p> |
| 钨 | <p>一般加 0.3%~0.5%，耐热铸件可到 0.6%</p> <p>1. 稳定、细化珠光体，强化基体，改善综合性能，铸态、正火态强度、硬度、抗磨性、耐热性</p> <p>2. 过量即强烈促成碳化物，降低塑性</p> |

(续)

| 元素 | 常用量及影响 |
|----|---|
| 镍 | <p>一般加 0.5%~1.5%</p> <p>1. 少量镍, 强化铁素体, 提高强度。较多镍, 增加、细化珠光体, 减少白口, 提高强度、硬度、耐磨性, 铸件均匀性</p> <p>2. 镍改善铸态蠕墨铸铁的力学性能, 如图示</p> <p>3. 镍显著改善退火, 正火态蠕墨铸铁的力学性能。如: 含 Ni 0.78%, 正火态 σ_b427MPa, δ1.5%, 215HB。Ni 1.53%, 退火态 σ_b331MPa, δ6%, 137HB; 正火态 σ_b501MPa, δ2%, 235HB</p> |
| | <p>镍对铸态力学性能的影响</p> |
| 锰 | <p>锰增加珠光体, 其作用没有在灰铸铁和球墨铸铁中那样明显。Mn 2.7%左右, 才基本消除铁素体, 但显著增多渗碳体, 且易偏析。故一般不用锰获得珠光体基体; 有特殊要求时, 可加 Mn 1.0%~2.4%</p> |
| 锑 | <p>一般加 0.03%~0.07%</p> <p>1. 强烈促成珠光体, 细化共晶团, 提高硬度和耐磨性。如钕铁蠕墨铸铁加 Sb 0.01%~0.03%, 基体以珠光体为主, 耐磨性比 HT200 提高 2~4.8 倍; 又如机床导轨加 Sb 0.03%~0.07%, 珠光体约 70%, HB180~240</p> <p>2. 加 Sb 0.1%, 珠光体几乎 100%, 但出现畸型石墨</p> |
| 锡 | <p>一般加 0.05%~0.10%</p> <p>1. 锡增加且细化珠光体, 细化共晶团, 提高硬度和耐磨性</p> <p>2. 加 Sn 0.03%~0.05%, 可改善机床用蠕墨铸铁的力学性能</p> <p>3. 在本应出现蠕虫状石墨的镁, 铈铸铁中, 加锡将促使大部分石墨呈球状。如加 Sn 0.1%, 球墨达 60%。在无铈铸铁中, 锡促成片状石墨</p> |
| 铬 | <p>一般加 0.1%~0.3%, <0.4%。如用于发动机的缸套铬促成且细化珠光体, 强烈促成碳化物, 提高强度、硬度、耐磨性, 耐热性, 降低塑性、韧性</p> |

3.4.2 化学成分的控制范围 碳, 低磷、硫, 一定量的硅、锰。选择范围见表 3-166。蠕墨铸铁的化学成分与球墨铸铁相似, 也是高 166。

表 3-166 蠕墨铸铁的化学成分

| 基体 | 基本元素 (%) | | | | | | 蠕化元素残留量 (%) | 合金元素 (%) |
|--------|----------|---------------|---------|----------|------------|-----------|--|---|
| | CE | C | Si | Mn | P | S | | |
| 美国典型成分 | | 2.5~4.0 | 1.0~3.0 | 0.2~1.0 | 0.01~0.1 | 0.01~0.03 | | |
| 铁素体 | 4.3~4.6 | 一般 3.0~4.0 | 2.0~3.0 | <0.3~0.4 | <0.06~0.08 | 0.01~0.03 | RE 0.045~0.075; 或 RE 0.021~0.045 + Mg 0.013~0.022; 或 Ti 0.06~0.13 + Mg 0.015~0.030 | 常用 Mn, Cu, Mo, Ni, Cr, Sn, Sb, V, Ti, B 等 |
| 珠光体 | | 常用 3.6~3.8 | | | | | | |

注: 1. 蠕化处理时, 铁液减碳 0.1%~0.2%, 表中碳量为终碳量。

2. 表中钛不是蠕化元素, 而是放宽 Mg 蠕化范围的干扰元素。

薄壁铸件, C、Si 取上限; 厚壁铸件, C、Si 取下限。牌号高, 适当降低 CE、C、Si 量。

铸态蠕墨铸铁中, 一般含较多的铁素体 40% ~ 60% 以上, 生产铁素体基体的措施是高硅和铁素体化处理。

珠光体蠕墨铸铁, 应低 CE、C、Si, 并且添加合金元素和热处理。加稳定珠光体元素, 如 Cu、Mo、Ni、Sb、Sn 等, 铸态珠光体可增加到 70% 左右, 再正火处理, 珠

光体可增加到 90% ~ 95% 左右。

单一合金元素增加珠光体的作用不强烈, 如单一锰达 2.7% 才能获得珠光体基体, 但同时产生大量渗碳体。因此, 生产中常复合采用两种或多种合金元素。

3.5 蠕化及孕育

3.5.1 蠕化元素和蠕化剂

(1) 蠕化元素 常用的蠕化元素是镁、稀土、钙。其作用, 吸收率见表 3-167。

表 3-167 常用蠕化元素的作用及吸收率

| 元素 | 作用及吸收率 |
|----|---|
| 镁 | 1. 镁的作用是脱硫、脱氧、蠕化等。加入量如下: $Mg_{总} = Mg_{硫} + Mg_{脱} + Mg_{蠕}$ 其中: $Mg_{硫} = 0.76(S_{原} - S_{残})$ 2. 镁的吸收率($Mg_{硫}$ 和 $Mg_{蠕}$ 所占的比例)如下: 一般, 30% 左右; 铁液含 S 很低时, 可达 50% 左右; 冲入法, 约 30% ~ 50% 3. 单独用镁蠕化, $Mg_{残} 0.0150\% \sim 0.020\%$, 控制十分困难。生产中, 镁与钛或稀土合用, 扩大 Mg 蠕化含量范围 |
| 稀土 | 1. 蠕化含量范围大小依次如下: $La(镧) > Pr(镨) > Nd(钕) > Ce(铈)$ 2. 稀土的作用是脱硫(到 0.02% 以下), 去气(氧、氮、氢)蠕化。其中脱硫耗量如下: 轻稀土(平均原子量按 142 计) 轻 $RE_{硫} = 3(S_{原} - S_{残})$ 重稀土(平均原子量按 108 计) 重 $RE_{硫} = 2.2(S_{原} - S_{残})$ 钇(原子量 88.9) $Y_{硫} = 1.8(S_{原} - S_{残})$ 稀土还细化共晶团, 中和干扰元素, 增大过冷程度, 稳定碳化物。但减少碳化物, 减少白口倾向 3. 稀土在铁液中的吸收率约 60% |
| 钙 | 1. 钙的脱硫能力小于铈大于镁, 脱氧能力大于铈更大于镁, 蠕化能力小于铈大于镁 2. 对于低硫($S < 0.008\%$), 钙可使石墨蠕化量的范围最宽(VC50% ~ 100%) 3. 钙在铁液中的吸收率仅 3% 左右, 获得同样蠕虫状石墨, 钙的加入量几乎比稀土加入量多 7 倍。蠕化能力差。 |

(2) 蠕化剂 蠕化剂的分类、我国常用蠕化剂及加入量分别见表 3-168 ~ 表 3-170。

表 3-168 蠕化剂的分类及典型成分

| 分类 | 典型成分及加入量 |
|-------|---|
| 镁系蠕化剂 | 1. 镁钛合金(Foote CG 合金) 成分(%): Mg 4.0 ~ 5.0, Ti 8.5 ~ 10.5, Ce 0.25 ~ 0.35, Ca 4.0 ~ 5.5, Al 1.0 ~ 1.5, Si 48.0 ~ 52.0, Fe 余量 适于大量生产。 $S_{铁液} < 0.045\%$, 加入量 1.1% ~ 1.3%; $S_{铁液} < 0.03\%$, 加入量 0.7% ~ 1.3%。用冲入法粒度 15 ~ 20mm 2. 低钙镁钛合金(Foote 低钙 CG 合金)成分(%), Mg 4.5 ~ 5.5, Ti 8.0 ~ 10.5, Ce 0.3 ~ 0.4, Ca ≤ 1.0 , Al ≤ 1.5 , Si 50 ~ 54, Fe 余量 3. 镁钛钪合金 成分(%): Mg 4 ~ 6, Ti 5 ~ 8, Ce 0.1 ~ 0.5, Si 40 ~ 60, Fe 余量 适宜比例: $Mg/Ti = 1 \sim 1/2$; $Mg/Ce = 50/1 \sim 1/2$, 宜 50/1 ~ 10/1 适用范围: 宜 $S_{铁液} < 0.02\%$; $S_{铁液} = 0.035\%$, 亦能蠕化, 加入量 0.8% ~ 1.8% |

(续)

| 分类 | 典型成分及加入量 | | | | | |
|--------------------------------------|---|-----------------------------|------------|--------------------|----------|----------|
| 稀土系蠕化剂 | 1. 低铈混合稀土合金 成分(%):Ce 50,La 33,Nd 12,Pr 4,其它稀土 1; 加入量如下: | | | | | |
| | 熔炼条件 | 铁液含 S 量(%) | | 混合稀土加入量(%) | | 稀土残余量(%) |
| | 冲天炉 | 0.003(CaC ₂ 脱 S) | | 0.05 | | 0.02 |
| | | 0.033(CaC ₂ 脱 S) | | 0.25 | | |
| | | 0.076 | | 0.67 | | |
| | 感应电炉 | 0.012 | | 0.10 | | |
| | | 0.132 | | 1.05 | | |
| | | 0.160 | | 1.20 | | |
| | 2. 重稀土硅铁 成分(%):RE 30,Y4~5,Si 40~50; 加入量如下: | | | | | |
| | 原铁液含 S 量 (%) | | 0.015~0.03 | | 0.08~0.1 | |
| | 重稀土硅铁加入量 (%) | | 0.7~0.9 | | 2~2.5 | |
| | 生产薄壁(<20mm)铸件,加入量减少 15%~20% | | | | | |
| | 3. 轻稀土硅铁 成分(%):轻稀土(含 Ce 25%)45,Si 40~50,其余 Fe; 加入量如下: | | | | | |
| | 原铁液含 S 量 (%) | 0.03 | 0.05 | 0.07 | 0.09 | 0.11 |
| | 轻稀土硅铁加入量(%) | 0.7 | 0.99 | 1.26 | 1.54 | 1.85 |
| 4. 稀土硅钙合金 成分与效果如下: | | | | | | |
| RE(%) | Ca(%) | Si(%) | Fe | 效 果 | | |
| 10~15 | 15~20 | ~50 | 其余 | 加入量的临界范围宽,白口倾向小 | | |
| ~10 | ~20 | ~50 | 其余 | 加入量 1.2%,蠕虫状石墨 80% | | |
| 5. 稀土镁钙合金(日本 SHIN-ETSU 化学公司)成分(%)如下: | | | | | | |
| 牌号 | RE | Mg | Ca | Si | Fe | |
| HMC-3 | 4~6 | 2~4 | 5~7 | 43~47 | 余 | |
| HMC-6 | 4~6 | 5~7 | 4~6 | 43~47 | 余 | |
| HMC-7 | 1~3 | 6~8 | 5~7 | 43~47 | 余 | |
| CVB | 7.5~8.5 | 3~4 | 1.5~2.5 | 43~47 | 余 | |
| CVR-8 | 17~19 | 7~9 | 3~4 | 40~44 | 余 | |
| 钙系蠕化剂 | 1. 钙稀土硅铁合金 成分(%):Ca 19.87,RE 12.93,Si 50,Fe 余量。S _{铁液} 0.015%~0.020%、0.020%~0.030%、0.030%~0.040%时,分别加入 0.7%~0.8%、0.8%~1.0%、1.0%~1.2%; 萤石粉作助熔剂(合金量的 $\frac{1}{10}$)。某厂用于生产液压件 | | | | | |
| | 2. 钙稀土硅铁合金(欧洲) 成分(%):Ca 35,RE 3,Si 55,Fe 余量 铁液含 S 0.015%,加入量 $\geq 1.4\%$ ~1.8%,石墨呈蠕虫状。 σ_s 362~399MPa, δ 2.5%~6.0%,硬度 148~179HB | | | | | |

表 3-169 我国常用蠕化剂的成分

(%)

| 名称 | 代号 | RE | Ca | Mg | Ti | Al | Si | Zn | Fe |
|---------|--------------|---------|-------|---------|------|---------|-----|-----|----|
| 稀土硅铁合金 | R20 | 17~20 | 1~5 | 0.4~1.3 | 2~6 | 0.5~0.9 | <48 | | 余量 |
| | R24 | 20~24 | 1~5 | 0.4~1.3 | 2~6 | 0.5~0.9 | <44 | | |
| 稀土钙硅合金 | RECa15-15 | 10~15 | 10~15 | | | | <60 | 余量 | |
| | RECa20-10 | 15~20 | 7~10 | | | | <55 | 余量 | |
| | RECa25-10 | 20~25 | 7~10 | | | | <50 | 余量 | |
| 稀土钙镁硅合金 | 10RECaMg10-7 | 7~10 | ≥10 | 5~7 | | | <48 | 余量 | |
| | 15RECaMg8-5 | 10~15 | ≥8 | 3~5 | | | <48 | 余量 | |
| | 1RECaMg4-6 | 0.5~1.0 | 3~5 | 5~7 | | | <48 | 余量 | |
| 稀土钛镁硅合金 | 1RETiMg6-5 | 0.5~2 | 4~6 | 4~6 | 4~7 | | <48 | 余量 | |
| | 1RETiMg10-5 | 0.5~2 | 4~6 | 4~6 | 7~10 | | <48 | 余量 | |
| | 10RETiMg6-5 | 7~10 | 4~6 | 4~6 | 4~10 | | <48 | 余量 | |
| 稀土锌镁硅合金 | 20REZnMg4-4 | 18~22 | | 3~5 | | | <45 | 3~5 | |

表 3-170 蠕化剂加入量

(%)

| 蠕化剂 | 原铁水含硫量(%) | | | | | | |
|------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.10 |
| 稀土硅铁合金 R20 | 0.8~1.1 | 1.1~1.3 | 1.3~1.5 | 1.5~1.7 | 1.7~1.8 | 1.8~2.0 | 2.0~2.2 |
| 稀土钙硅合金 RECa20-10 | 1.0~1.2 | 1.2~1.4 | 1.4~1.6 | 1.6~1.8 | — | — | — |
| 稀土钙镁硅合金: | | | | | | | |
| 15RECaMg8-5 | 0.9~1.0 | 1.0~1.1 | 1.1~1.2 | 1.2~1.3 | 1.3~1.4 | 1.4~1.5 | 1.5~1.6 |
| 1RECaMg4-6 | 1.3~1.4 | 1.4~1.5 | 1.5~1.6 | 1.6~1.7 | 1.7~1.9 | 1.9~2.1 | 2.1~2.2 |
| 稀土钛镁合金 RETiMg | 1.4~1.5 | 1.5~1.6 | 1.6~1.7 | 1.7~1.8 | 1.8~1.9 | 1.9~2.1 | 2.1~2.2 |
| 稀土镁锌合金 20REMgZn | 0.7~0.9 | 0.9~1.0 | 1.0~1.2 | 1.2~1.3 | 1.3~1.4 | 1.4~1.6 | 1.6~1.8 |

3.5.2 蠕化处理

蠕化处理类似于球化处理,但必须稳定铁液质量(尤其含 S 量),合理选择蠕化剂,严格控制处理工艺

(铁水量,处理温度等)。不然,蠕化不足,则无异于灰铸铁;蠕化过度,则近似于球墨铸铁。常用蠕化处理工艺见表 3-171。

表 3-171 蠕化处理工艺

| 项目 | 控制参数 |
|-------|--|
| 蠕化剂准备 | 1. 合金块度不宜大,视铁水包大小,一般如下:稀土硅铁 2~12mm;稀土硅钙,2~7mm 2. 采用高钙蠕化剂(如稀土钙、稀土钙镁)时,应拌入食盐 10%或萤石作稀释剂 |

(续)

| 项目 | 控制参数 | | |
|--------|---|---|---------|
| 蠕化处理方法 | 1. 冲入法如下图所示,反应时间 2.5~4.0min | | |
| | | | |
| | 2. 稀土硅钙合金表面有高熔点反应膜,多采用出铁槽加入法 | | |
| 处理温度 | 处理温度不得 $<1400^{\circ}\text{C}$;若低于 $1400\sim 1380^{\circ}\text{C}$,则蠕化剂不要捣实,且适当加大加入量。稀土硅钙难熔,处理温度需更高。推荐如下: | | |
| | 稀土硅铁 | 大件, $1390\sim 1410^{\circ}\text{C}$;小件 $1400\sim 1430^{\circ}\text{C}$ | |
| | 稀土硅钙 | 大件, $1450\sim 1480^{\circ}\text{C}$;小件 $1480\sim 1520^{\circ}\text{C}$ | |
| 孕育处理 | 1. 孕育剂的加入量根据炉前三角试片的白口深度调整。75% Si-Fe 的加入量和块度如下: | | |
| | 孕育方法 | 炉前孕育 | 后孕育 |
| | 加入量(%) | 0.3~0.8 | 0.1~0.3 |
| 块度(mm) | 2~8 | 1~3 | |
| | 采用含稀土 25%~30%的硅铁孕育剂,可提高孕育效果。采用含 Zr 20%~33%的硅铁基复合孕育剂,其加入量仅为硅铁的 1/4~1/3,可使蠕化率 $>80\%$ | | |
| | 2. 孕育方法和其它孕育剂见本章灰铸铁和球墨铸铁的孕育 | | |
| | 3. 孕育温度宜 $1360\sim 1400^{\circ}\text{C}$ | | |
| 浇注 | 蠕化处理,应在 15min 内浇注完 | | |

3.5.3 孕育处理

此,孕育处理可以借鉴于球墨铸铁,见表 3-172。

铁液经蠕化处理,其特性更接近球墨铸铁,因

表 3-172 蠕墨铸铁的孕育剂和孕育工艺

| | 说明 |
|-----|---|
| 孕育剂 | 1. 常用 75% 硅铁。加入量一般为铁重量的 0.5%~0.7% 2. 硅铁+硅钙(铁量的 0.10%~0.15%)+铝(铁量的 0.02%~0.05%),可有效地促成蠕虫状石墨,改善组织 3. 含 Ba、Sr、Zr、Ce、Ti、Mg 等元素的专用孕育剂,对蠕墨铸铁亦有效 |

(续)

说 明

孕育处理

1. 可采用一次孕育。冲入法蠕化处理后,孕育硅铁随补加铁冲入浇包
2. 后孕育法都可以用于蠕墨铸铁,减少孕育剂量,增加孕育效果
3. 孕育处理温度不得低于1360℃。低于1360℃,宜采用发热孕育剂,且充分搅拌,延长溶解时间,不然孕育剂扩散不均会产生大量初生石墨球,浇注温度太低,会产生不良石墨和渗碳体
4. 若蠕化不足,可加 FeSiMg(含 Mg 1%~2%)调整;若蠕化过度(球化),可加 FeSiTi(含 Ti 4.5%)调整
5. 稀土镁蠕墨铸铁易孕育不足,引起孕育衰退快,白口过大,渗碳体难消除;还易孕育过度,促成球状石墨,减少蠕虫状石墨。故必须严格控制处理工艺,如:处理温度、铁液量、孕育剂及其加入量、处理方法等

3.6 蠕墨铸铁的热处理

退火的目的是增加铁素体量或消除渗碳体,见表 3-

(1)退火 蠕墨铸铁一般可以不消除应力退火。 173。

表 3-173 蠕墨铸铁的退火工艺

| 名称 | 原始基体 | 目的 | 退火规范 |
|--------|-----------------|--------------------------------------|---|
| 铁素体化退火 | 铁素体+珠光体。无渗碳体 | 分解珠光体中的共析渗碳体,获得铁素体>85% | 720~770℃/保温、炉冷, $\leq 200^{\circ}\text{C}$出炉 |
| 石墨化退火 | 铁素体+珠光体+少量自由渗碳体 | 消除自由渗碳体,钝化磷共晶,分解共析渗碳体,获得铁素体>85%~100% | 900~950℃/1.5h,炉冷 |

(2)正火 正火可以减少铸态铁素体,增加珠光体。铸态蠕墨铸铁常含有大量铁素体(40%~70%),添加铜、锡、锑等合金元素,且正火处理,珠光体量可达90%,尚难以达到更高量。故普通正火可以提高强度 $\sigma_b \geq 400\text{MPa}$,而不容易达到500MPa以上,但可以显著改善耐磨性。

当铸态组织中无渗碳体时,可采用完全奥氏体化正火(900~950℃/1~1.5h)+回火,增加珠光体 $\geq 85\%$,提高强度、硬度、耐磨性;当铸态组织含少量渗碳体和磷共晶时,可采用二阶段奥氏体化正火+回火,力

学性能优于完全奥氏体化正火。

正火规范可参考球墨铸铁的正火热处理。

蠕墨铸铁亦可以淬火、等温淬火。

3.7 蠕墨铸铁的应用

(1)牌号蠕墨铸铁

铁素体蠕墨铸铁宜用于要求较高塑性、热导率、耐热疲劳性的零件;珠光体蠕墨铸铁宜用于要求较高强度、硬度、耐磨性的零件;混合基体则用于二类之间的零件。见表 3-174。

表 3-174 蠕墨铸铁的应用(JB 4403—87)

| 牌 号 | 性 能 特 点 | 举 例 |
|--------|---|---|
| RuT260 | 强度一般,硬度较低,塑性、韧度和热导率较高,铸件一般需退火热处理,适用于制造承受冲击载荷和热疲劳的零件 | 增压器废气进气壳体,汽车、拖拉机的某些底盘零件等 |
| RuT300 | 强度和硬度适中,有一定塑性,韧度,热导率较高,致密性较好。适用于制造较高强度及承受热疲劳的零件 | 排气管,变速箱体、气缸盖、纺织机零件、液压件、钢锭模、某些小烧结机篦条等 |
| RuT340 | 强度、硬度、耐磨性、热导率较高。适用于制造要求较高强度、刚度及耐磨的零件 | 带轨面的重型机床件,大型龙门铣横梁,大型齿轮箱体、盖、座、刹车鼓,飞轮,玻璃模具,起重机卷筒,烧结机滑板等 |

(续)

| 牌 号 | 性 能 特 点 | 举 例 |
|--------|--|----------------------------------|
| RuT380 | 强度高,硬度高,耐磨,热导率较高。铸铁中需加合金元素或经正火处理。适用于制造要求强度和耐磨性高的零件 | 活塞环、气缸套、制动盘、玻璃模具、刹车鼓、钢珠研磨盘、吸淤泵体等 |
| RuT420 | | |

(2)应用实例 见表 3-175。

表 3-175 蠕墨铸铁件实例

| 铸件及说明 | 化学成分、熔炼及处理 | 性 能 |
|--|--|--|
| 12V240 柴油机缸盖 RuT300 代 HT300 (Cr-MoCu 合金铸铁) | 成分(%): C 3.6~3.8, Si < 1.5/2.5~2.8, Mn 0.7~0.9, P < 0.1, S ≤ 0.04/0.02, RE 0.040~0.055 1.5t T 频感应电炉熔炼。1480~1510℃ 加 RESiFe 0.7%~0.9% 蠕化。加 75SiFe 1.3% 孕育 | 毛坯质量 124kg, 壁厚 8~45mm, 蠕化率 > 60%, 混合基体 σ_b 300~400MPa, δ 1%~4%, HB160~210, 耐水压合格率由 73% 提高到 95%, 冒口减轻 24% |
| 柴油机缸盖(德国布魯迪钢铁厂) | 成分(%): C 3.7~3.8, Si 2.2~2.4, Mn 0.14, P 0.06~0.08, S < 0.007 冲天炉+感应电炉熔炼。Mg-Ti 或 RE 合金蠕化。1370~1380℃ 浇注。树脂砂型、底注, 设边冒口 | 毛坯质量 512kg, 壁厚 13~85mm, σ_b ≥ 300MPa, δ > 2%。气密性高(水压试验很少报废) |
| 6300 (441、552kW) 和 G8300 (993kW) 柴油机缸盖, RuT350 代镍铬合金铸铁 | 原/终铁液成分(%): C 3.6~3.9, Si 1.5~2.0/2.3~2.7, Mn 0.5~0.7, S 0.06~0.09/≤0.035, P < 0.1 6t/h 冲天炉熔炼, 出铁 > 1390℃, 处理量 0.7~1t。蠕化剂(%): RE (6~8)Mg (7~9) 硅铁, RE (17~20)Mg (0.5~1.0)Ca (2) 硅铁, Ca (28)Si (45); 加入量 1.4%。稀土硅铁、硅铁、浮硅孕育 | 蠕化率 > 30%, 混合基体。 σ_b > 350MPa, $\sigma_{0.2}$ > 610MPa, HB170~241 6300 缸盖渗漏率由 24% 降到 4%, 8300 缸盖更有效, 可切削性良好 |
| 拖拉机 4125 柴油机缸盖 | 成分(%): C 3.65, Si 1.83/2.7, Mn 0.82/0.81, P 0.08/0.097, S 0.11/0.022, Mg 0.018, RE 痕量 | σ_b 426~434MPa |
| 涡轮增压机壳体, 柴油机零件(前苏联古比雪夫内燃机车厂) | 成分(%): C 3.3~4.0, Si 2.0~3.0, Mn 0.5~1.2, P < 0.1, S < 0.01 电弧炉熔炼。1480~1520℃ 加稀土合金(含 Y 3%~5%)蠕化。1390~1400℃ 加 75SiFe 1.0%~1.2% 孕育 | 毛坯质量 170~350kg, 壁厚 10~65mm, 蠕化率 ≥ 70%, 珠光体 0~30%。 σ_b 380MPa, δ 1.5%, 硬度 170~241HB |
| EQ140 汽车发动机排气管 RuT300 代 HT150 | 原铁液成分(%): C 3.6~3.9, Si 1.7~2.0, Mn ≤ 0.5, P < 0.1, S ≤ 0.04 10t T 频感应电炉熔炼。蠕化剂 Mg (5%)Ti (3%)Ca (5%)RE (2%) 硅铁, 加 1.1%~1.4%。75SiFe 随流孕育 | 毛坯质量 14.2kg, 壁厚 5mm, 局部 22mm, σ_b 324~370MPa, δ 7.5%~7.8%, HB136~170 服役温度室温~1000℃。蠕化率 ≥ 50%, 铁素体 > 50%。不开裂, 寿命提高 3~5 倍 |
| n50 发动机缸套(古比雪夫机车厂) | 成分(%): C 3.15, Mn 0.55, Si 2.40, P 0.12, S 0.01, Cr 0.22, Ni 0.33 铁液在浇包中用 CaC ₂ 脱硫并吹氩。稀土合金(含 Y 3%~5%)蠕化处理 | 蠕化率 80%~85%, 铁素体 30%~40%, 自由渗碳体 0.5%, 磷共晶少量。 σ_b 458MPa, δ 1.4%, $\sigma_{0.2}$ 782MPa, f 4.8mm; 硬度 197~207HB。耐磨性与 NiM。灰铸铁一样 |

(续)

| 铸件及说明 | 化学成分、熔炼及处理 | 性能 |
|--|--|--|
| 液压件:351 单级叶片泵体, YB11 单级叶片泵体, 783 电液转向阀体 代 HT300 | 成分(%):C 3.7~4.1, Si 2.2~3.0, Mn 0.3~0.9, P<0.1, S<0.02, RE 0.035, Ca 痕量 1.5t 工频感应电炉熔炼。蠕化; 大件 1450~1480℃, 小件 1480~1520℃。RE(10%~15%) Ca(15%~20%)合金, 在炉盖上加料斗撒入出铁流, 粒度<7mm, 加入量 0.7%~1.2% 75SiFe 孕育 | 蠕化率 60%~80%。铁素体 50%~60%, σ_b 350~400MPa, 硬度 187~207HB。 超压 1.25~1.5 倍不渗漏; 爆破压 100~144MPa 不渗漏, 泄压 铸造性能良好, 流动性比 HT300 高 1 倍多 |
| 重型机床导轨, 质量最大 40t | 成分(%):C 3.7~4.1, Si 1.2~1.8, Mn 0.8~1.3, P<0.15, S 0.05~0.08 双槽旋涡冲入法处理。蠕化剂 RE(23%~29%)Ca(5%)Ti(6%)硅铁, 或 RE(23%~29%)Ca(6%)Mg(2%~4%)Ti(2%)硅铁, 加入 1.2%~1.8% | 蠕化率 20%~50% 以上, σ_b 300~500MPa, E150~163GPa。精度稳定性高。耐磨性比 HT200 提高 2~4 倍。可切削性与灰铸铁相当 |
| 机床其它铸件 | 成分(%):C 3.7~4.1, Si 1.2~1.8, Mn 0.5~0.9, P<0.15, S 0.05~0.08 蠕化剂同上述重型机床导轨 | |
| 4.5t 钢锭模 | 原铁液成分(%):C 3.4~4.0, Si 1.0~1.4, Mn 0.7~1.0, P 0.05~0.07, S 0.06, Ti 0.06~0.08 12t 冲天炉熔炼。10t 堤坝式浇包处理, 1320~1350℃, 蠕化剂 RE(6%~8%)Mg(9%~10%)Ca(5%)Ti(2%)硅铁, 加入 0.7%~0.9%。孕育剂 75SiFe, 加入 0.5% | 蠕化率 20%~40% 寿命长 |

注:1. 除指明国名者外, 其它铸体为国内实例。

2. 成分含量的表示方法: 原铁液含量/终含量。

可锻铸铁除铁素体(黑心)、珠光体、白心可锻铸铁三

类外, 还有球墨可锻铸铁, 见表 3-176。

4 可锻铸铁

4.1 可锻铸铁的分类

表 3-176 可锻铸铁的分类

| 分类 | 金相组织及特性 | 生产方法 | 应用 |
|-------------|---|---|--|
| 黑心(铁素体)可锻铸铁 | 铁素体+团絮状石墨 中等强度, 高塑性, 高韧性 | 白口铸铁坯件在非氧化介质中石墨化退火, 莱氏体和珠光体分解 | 我国, 黑心可锻铸铁产品占可锻铸铁总量的 90% 以上。广泛应用于汽车、拖拉机、铁路、建筑、水暖管件、线路器材等 |
| 珠光体可锻铸铁 | 片状或粒状珠光体+团絮状石墨 基体可处理成贝氏体, 回火马氏体 较高强度、硬度 | 白口铸铁坯件在非氧化介质中石墨化退火, 莱氏体分解 | 应用少。国外有用于汽车轮毂、方向轴节、发动机曲轴, 连杆, 农机具零件等 |
| 白心可锻铸铁 | 1. 小断面($\leq 6\text{mm}$)。外层为铁素体; 心部为铁素体+少量珠光体, 无退火碳 2. 大断面(6~15mm); 外层为铁素体; 中间为铁素体+珠光体 心部为珠光体+铁素体+退火碳 焊接性良好 | 白口铸铁坯件在氧化性介质中脱碳退火, 外层中的碳被氧化成 CO、CO ₂ 而脱离铸件 | 国内应用很少。欧洲用作水暖管件、自行车零件、农机具、渔具、汽车零件等。铸件壁厚 $\geq 15\text{mm}$ |

(续)

| 分类 | 金相组织及特性 | 生产方法 | 应用 |
|--------|---|--|-----------------------------------|
| 球墨可锻铸铁 | 石墨成球状 基体因热处理而异:有铁素体、珠光体、贝氏体、马氏体等 兼有球墨铸铁和可锻铸铁的特点 | 铁液经球化处理,白口铸件经高温石墨化退火,正火,回火或等温淬火等,获得不同基体和球状石墨 | 高速柴油机减振器壳体,玻璃制品模具。线路器材(如铁帽),汽车零件等 |

4.2 可锻铸铁的牌号

(1) 牌号 GB 9440—88《可锻铸铁件》规定了黑心

可锻铸铁、珠光体可锻铸铁和白心可锻铸铁的牌号,见表 3-177。适用于砂型或导热性与之相仿的铸型铸造的铸件,其它铸型铸造的铸件也可以参考使用。

表 3-177 黑心可锻铸铁、珠光体可锻铸铁及白心可锻铸铁的牌号和力学性能(GB 9440—88)

| 种类 | 牌 号 | | 试样直径 d (mm) | 抗拉强度 σ_k | 屈服强度 $\sigma_{c.2}$ | 伸长率 δ (%) ($L_0 = 3d$) | 硬度 (HB) |
|---------|-----------|-----------|------------------|-----------------|---------------------|---------------------------------------|------------|
| | A | B | | MPa | | | |
| 黑心可锻铸铁 | KTH300-06 | KTH330-08 | 12 或 15 | 300 | — | 6 | ≥ 150 |
| | KTH350-10 | | | 300 | — | 8 | |
| | KTH370-12 | | | 350 | 200 | 10 | |
| | | | | 370 | — | 12 | |
| 珠光体可锻铸铁 | KTZ450-06 | 12 或 15 | 12 或 15 | 450 | 270 | 6 | 150~200 |
| | KTZ550-04 | | | 550 | 340 | 4 | 180~230 |
| | KTZ650-02 | | | 650 | 430 | 2 | 210~260 |
| | KTZ700-02 | | | 700 | 530 | 2 | 240~290 |
| 白心可锻铸铁 | KTB350-04 | 12 或 15 | 9 | 340 | — | 5 | ≥ 230 |
| | | | 12 | 350 | — | 4 | |
| | | | 15 | 360 | — | 3 | |
| | KTB380-12 | 12 或 15 | 9 | 320 | 170 | 15 | ≥ 200 |
| | | | 12 | 380 | 200 | 12 | |
| | | | 15 | 400 | 210 | 8 | |
| | KTB400-05 | 12 或 15 | 9 | 360 | 200 | 8 | ≥ 220 |
| | | | 12 | 400 | 220 | 5 | |
| | | | 15 | 420 | 230 | 4 | |
| | KTB450-07 | 12 或 15 | 9 | 400 | 230 | 10 | ≥ 220 |
| | | | 12 | 450 | 260 | 7 | |
| | | | 15 | 480 | 280 | 7 | |

注:1. 黑心和珠光体可锻铸铁,试样直径 12mm 只适用于主要壁厚 $< 12\text{mm}$ 的铸件。牌号 KTH300-06 适于气密性零件。B 系列为过渡牌号。

2. 白心可锻铸铁,试样直径由供需双方按铸件壁厚协议,应尽量与铸件主要壁厚相近。牌号 KTB380-12 适于要求强度和焊接后不热处理的零件。

可锻铸铁的力学性能以试样的抗拉强度和伸长率作为验收依据。当需方要求屈服强度和硬度时,经供需双方协商,应符合表中规定。若需方要求其它性能(如抗压、弯曲、扭转、冲击、弹性模量等),应订货时达成协议。

化学成分由供方选定,不作为验收依据。若需方对化学成分有要求,则由供需双方规定,在订货协议中。

(2) 拉伸试样 拉伸试样的形状和尺寸见图 3-26。试样不切削加工,但允许用砂轮或锉刀修磨毛刺。

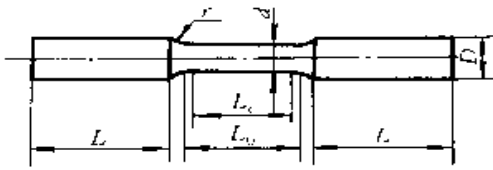


图 3-26 拉伸试样

mm

| d | D | L | 标距 $L_0=3d$ | 最小平行段 L_c | 肩部半径 r |
|--------------|-----|-----|----------------|----------------|----------|
| 9 ± 0.5 | 13 | 40 | 27 | 30 | 6 |
| 12 ± 0.7 | 16 | 50 | 36 | 40 | 8 |
| 15 ± 0.7 | 19 | 60 | 45 | 50 | 8 |

注:端部尺寸可根据试验机夹具的要求适当修正。

试样和所代表的铸件在相同条件下单独浇注,并在相同条件下热处理。

4.3 黑心(铁素体)可锻铸铁

铸态为白口,经石墨化退火后,断口外圈呈灰色、心部呈黑绒状,组织为铁素体和团絮状石墨,按断口称为黑心可锻铸铁,按组织称为铁素体可锻铸铁。

4.3.1 黑心可锻铸铁的性能

1. 力学性能 静载性能、动载性能、高低温力学性能见表 3-178~表 3-180。

2. 物理性能 见表 3-181。

表 3-178 黑心可锻铸铁的静载性能

| 牌 号 | 抗拉强度 | 屈服强度 | 抗弯强度 | 抗压强度 | 抗扭强度 | 抗剪强度 | 伸长率 | 弹性模量 | 泊松比 | 硬度 |
|-----------|---------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|-------|-------|-----------------|--------------|-------|------------|
| | σ_t (MPa) | $\sigma_{0.2}$ (MPa) | σ_b (MPa) | σ_c (MPa) | (MPa) | (MPa) | δ (%) | E (GPa) | | (HB) |
| KTH300-06 | 300 | 190 | 481 | — | 333 | 265 | 6 | 155 | | ≥ 150 |
| KTH330-08 | 330 | 210 | 520 | — | 338 | 284 | 8 | 160 | 0.25~ | ≥ 150 |
| KTH350-10 | 350 | 220 | 559 | 1432 | 343 | 294 | 10 | 166 | 0.28 | ≥ 150 |
| KTH370-12 | 370 | 230 | 569 | — | 363 | 294 | 12 | 170 | | ≥ 150 |

表 3-179 黑心可锻铸铁的动载性能

| 牌 号 | KTH300-06 | KTH330-08 | KTH350-10 | KTH370-12 |
|---------------------------------|---|-----------|-----------|-----------|
| 冲击韧度 a_K (J/cm ²) | 11.8 | 12.7 | 13.7 | 15.7 |
| 疲劳性能 | 一般 $\sigma_{-1} = 172 \sim 206 \text{ MPa}$, $\sigma_{-1}/\sigma_b \approx 0.5$, $\sigma_{-1}/\sigma_{-1K} = 1.30 \sim 1.67$ 一例: $\sigma_b = 329 \text{ MPa}$, $\sigma_{-1} = 193 \text{ MPa}$, $\sigma_{-1}/\sigma_b = 0.58$, $\sigma_{-1K} = 147 \text{ MPa}$, $\sigma_{-1}/\sigma_{-1K} = 1.32$ | | | |

表 3-180 黑心可锻铸铁的高低温力学性能

| 性能 | 说 明 | | | |
|----------|--|------|------|------|
| 抗拉强度与屈服点 | 室温~370℃,短时强度变化不大。持久强度随温度升高而降低室温~0℃以下,抗拉强度随温度降低而升高,每下降 100℃约提高 70MPa | | | |
| 硬度 | 室温~400℃,变化不大; >400℃,急剧下降 | | | |
| 塑性 | 零塑性转变温度低于 -100℃,一般在 -175℃~-220℃室温~250℃,韧度变化不大 | | | |
| 冲击韧度 | 脆性转变温度决定于硅,尤其是磷; Si 1.6% + P 0.064%,冲击韧度在 -28℃骤然下降; Si% + 6P% ≤ 1.9%,汽车零件可在 -40℃安全服役 | | | |
| 断裂韧性 | 退火后, $\sigma_b 345 \text{ MPa}$, $\delta 10\%$ (美 ASTM 牌号 M3210) 可锻铸铁的断裂韧度 K_{Ic} 如下: | | | |
| | 屈服强度 σ_s (MPa) | 230 | 241 | 251 |
| | 试验温度(℃) | 24 | -19 | -59 |
| | K_{Ic} (MPa√m) | 44.3 | 41.4 | 43.5 |

表 3-181 可锻铸铁的物理性能

| 物理性能 | 黑心可锻铸铁 | 珠光体可锻铸铁 |
|---|-----------|-----------|
| 密度 ρ [g/cm ³] | 7.2~7.4 | 7.2~7.4 |
| 比热容 $C_{21^\circ\text{C}}$ [J/(kg·K)] | 460 | 460 |
| 0~100℃ [J/(kg·K)] | 510.8 | 510.8 |
| 425℃ [J/(kg·K)] | 690 | 690 |
| 热导率 λ 室温 | 71.2~55.7 | 51.9~46.1 |
| 430℃ [W/(m·K)] | 57.8 | |
| 线膨胀系数 $\alpha_{20\sim 200^\circ\text{C}}$ [$10^{-6}/^\circ\text{C}$] | 10~13 | 12~16 |
| 电阻率 $\rho_{21^\circ\text{C}}$ ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$) | 28~34 | 37~41 |
| 427℃ | 室温值的 2 倍 | 室温值的 2 倍 |
| 最大磁导率 μ_{max} ($\mu\text{H}/\text{m} = \mu\text{T}\cdot\text{m}/\text{A}$) | 2890 | 540 |
| 饱和磁感强度 I_s (T) | 1.8 | < 1.8 |
| 磁滞损失 P_H [J/(m ³ ·Hz)] | 690 | 1000~1650 |
| 剩磁磁感 B_r (T) | 0.54 | 0.65~0.85 |
| 矫顽磁力 H_c (A/m) | 183 | 597~1194 |

3. 使用性能见表 3-182。

表 3-182 可锻铸铁的使用性能

| 使用性能 | 说 明 |
|------|--|
| 耐磨性 | 黑心可锻铸铁不耐磨,珠光体可锻铸铁的耐磨性优于一般碳钢 马氏体或贝氏体可锻铸铁硬度高,更具有优良的耐磨性 |
| 耐热性 | 石墨呈团絮状,氧化不易沿石墨深入,珠光体可锻铸铁的耐热性优于灰铸铁和碳钢,铁素体可锻铸铁在 480℃ 以下反复加热冷却,不明显生长; σ_0 262MPa 的铸铁,在 500℃ 加热 64 星期,仅增长 0.01% 优于珠光体可锻铸铁 |
| 耐腐蚀性 | 在大气中,耐蚀性优于低碳(C 0.2%) 钢;在水或盐水中,耐蚀性优于碳钢。加 Cu 0.25%~0.75%,可提高在大气和 SO ₂ 气氛中的耐蚀性 黑心可锻铸铁优于珠光体可锻铸铁 |

4. 工艺性能

到,缩松、裂纹,故应采取种种工艺措施,见表 3-183。

(1) 铸造性能 可锻铸铁的铸造性能差,易浇不

表 3-183 可锻铸铁的铸造性能

| 铸造性能 | 特性及工艺措施 |
|-----------|---|
| 流动性 | 碳硅低,液相线高(1280~1300℃),凝固温度段大,流动性必然差。宜大浇口,较高浇注温度;一般, >1360℃;薄壁水管件,宜更高。但浇注温度过高,则增大收缩和开裂倾向 |
| 线收缩 | 铸态为白口,线收缩 1.8%~2.0%;退火时石墨化膨胀,含 C 2.20%~2.80%,铸件增长 1.4%~1.8%。视铁液含碳高低,铸体复杂程度、铸型硬度等因素,黑心可锻铸铁件的铸造收缩率可选 0~1.0%,通常 8%~10% |
| 铸造应力及裂纹 | 线收缩大,尤其珠光体前收缩达 1%~1.2%,相当于灰铸铁的 5~6 倍,故铸件应力大、易开裂。当铁液碳、硅量过低,磷、硫量过高时,尤甚。型砂芯砂应溃散性好 |
| 体收缩及缩孔、缩松 | 体收缩大,5.4%~6.0%;凝固温度段大,易生成树枝状奥氏体初晶和板条状莱氏体,补缩性差。故铸件易缩孔、缩松、应设冒口,高压头,加冷铁,避免铸件有热节 |
| 断面敏感性 | 由于热处理,断面厚度对性能的影响很小。最薄断面厚度仅受铁液之型能力的限制最后断面厚度则应避免出现麻口组织 |

(2)可焊性 黑心可锻铸铁焊接困难,不宜焊接。

(3)可加工性 黑心可锻铸铁可加工性良好;珠光体可锻铸铁次之(粒状珠光体较好)。二者均优于灰铸铁,分别优于或接近易切削钢。

可锻铸铁的可加工性决定于其化合碳量;化合碳少而形成铁素体,可加工性最好;化合碳较多而形成珠光体,可加工性良好;化合碳 $>0.9\%$,可加工性较差;化合碳达 1.5% ,可加工性非常恶劣。

表皮层组织不均匀,极有害于可加工性。

4.3.2 黑心可锻铸铁的金相组织

1. 金相标准 JB 2122—77《铁素体可锻铸铁金相标准》适用于黑心可锻铸铁。

(1)石墨的分类、形状级别、分布级别、数量(大小)级别 分别见表 3-184~表 3-187。

表 3-184 黑心可锻铸铁的石墨形状分类及特征 (JB 2122—77)

| 类型 | 说明 |
|-----|-------------------------|
| 团球状 | 石墨较致密,外形近似圆形,周界凹凸 |
| 团絮状 | 类似棉絮团,外形较不规则 |
| 絮状 | 较团絮状石墨松散 |
| 聚虫状 | 石墨松散,类似蠕虫状石墨聚集而成 |
| 枝晶状 | 由颇多细小的短片状、点状石墨聚集呈树枝状分布。 |

注:试样不浸蚀,放大 100 倍,对照标准图片评定。

表 3-185 黑心可锻铸铁的石墨形状分级 (JB 2122—77)

| 级别 | 说明 |
|----|--|
| 1 | 石墨大部分呈团球状,允许有不大于 15% 的团絮状石墨存在,但不允许有枝晶状石墨 |
| 2 | 石墨大部分呈团球状、团絮状,允许有不大于 15% 的絮状等石墨存在,但不允许有枝晶状石墨 |
| 3 | 石墨大部分呈团絮状、絮状,允许有不大于 15% 的聚虫状及小于试样截面积 1% 的枝晶状石墨存在 |
| 4 | 聚虫状石墨大于 15% ,枝晶状石墨小于试样截面积的 1% |
| 5 | 枝晶状石墨大于等于试样截面积的 1% |

注:试样不浸蚀,放大 100 倍,对照标准图片评定。

表 3-186 黑心可锻铸铁的石墨分布分级 (JB 2122—77)

| 级别 | 1 | 2 | 3 |
|----|------------|---------------|----------|
| 说明 | 石墨分布均匀或较均匀 | 石墨分布不均匀,但无方向性 | 石墨有方向性分布 |

注:试样不浸蚀,放大 100 倍,对照标准图片评定。

表 3-187 黑心可锻铸铁的石墨颗粒数分级 (JB 2122—77)

| 级别 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------------------|--------|----------------------|---------------------|--------------------|-----------|
| 石墨颗粒数 (粒/ mm^2) | >150 | >110 ~ 150 | >70 ~ 110 | >30 ~ 70 | ≤ 30 |

注:试样不浸蚀,放大 100 倍,对照标准图片评定。

(2)珠光体的形状分类和残余量分级 见表 3-188。

表 3-188 黑心可锻铸铁的珠光体的形状分类和残余量分级 (JB 2122—77)

| 珠光体形状分类 | 片状珠光体 | | | 粒状珠光体 | |
|-----------|------------|---------------|---------------|---------------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 说明 | 珠光体中渗碳体呈片状 | | | 珠光体中渗碳体呈粒状 | |
| 珠光体残余量分级 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 珠光体残余量(%) | ≤ 10 | $>10 \sim 20$ | $>20 \sim 30$ | $>30 \sim 40$ | >40 |

注:试样用 $2\% \sim 5\%$ 硝酸酒精溶液浸蚀,形状和残余量分别放大 500 和 100 倍,对照标准图片评定。

(3)渗碳体残余量分为二级 见表 3-189。

表 3-189 黑心可锻铸铁的渗碳体残余量分级 (JB 2122—77)

| 级别 | 1 | 2 |
|-----------|----------|------|
| 渗碳体残余量(%) | ≤ 2 | >2 |

注:试样经碱性苦味酸钠热浸蚀,放大 100 倍,对照标准图片评定。

(4)表皮层厚度 可锻铸铁表层在退火过程中形成不均匀组织,称为表皮层。其厚度自试样外缘起至无石墨全铁素体层结束处止。 $\phi 16\text{mm}$ 试棒上表皮层厚度分级见表 3-190。

表 3-190 黑心可锻铸铁的表皮层厚度分级 (JB 2122—77)

| 级别 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------|------------|-----------------|-----------------|--------|
| 表皮层厚度 mm | ≤ 0.1 | $>1.0 \sim 1.5$ | $>1.5 \sim 2.0$ | >2.0 |

注:试样用 $2\% \sim 5\%$ 硝酸酒精溶液浸蚀,放大 60 倍,参考标准图片测量评定。

2. 金相组织对性能的影响及控制途径 见表 3-191。

表 3-191 黑心可锻铸铁金相组织对性能的影响及控制

| 组织 | | 影响及控制 |
|-----|---|--|
| 石墨 | 形状 | 球状、团球状,力学性能最好;团絮状,次之,但能满足性能要求;絮状、聚虫状、枝晶状,性能差宜圆整、紧密 (1)Si、P、S、Mn/S低,Al或B孕育不过量,第一阶段石墨化缓升温且 $\leq 980^{\circ}\text{C}$,可避免石墨变形、松散、分枝开枝 (2)采用稀土、镁、钙、硅铈、硼铈孕育,或低温($300\sim 400^{\circ}\text{C}/3\sim 5\text{h}$)预处理,可细化、圆整石墨 |
| | 数量与大小 | 粒数多对强度影响不大,但明显降低伸长率。石墨粗大,性能降低 数量宜 $100\sim 150$ 粒/ mm^3 ,直径宜 $\phi 0.03\sim 0.07\text{mm}$ 增加石墨核心,细化石墨,避免粗化的措施如下: 铸件壁厚 $< 30\text{mm}$,C或Si高,加Si-B、B-Bi-Al、B或稀土孕育,金属型铸造,低温预处理,退火缓升温,温度 $\leq 980^{\circ}\text{C}$,保温不过长 |
| | 分布 | 少量不均布或呈网状,对性能影响不大;呈定向分布,则性能恶化 宜均布,无方向性 孕育不当,如Bi $> 0.01\%$ 、Al $> 0.015\%$ 、B $> 0.002\%$,石墨可能呈串珠状分布 |
| 珠光体 | 铁素体愈多,伸长率和韧度愈高。宜大部或全部为铁素体珠光体多,伸长率下降,强度提高,片状珠光体宜少; 粒状珠光体的力学性能、可加工性较好,可稍放宽 渗碳体 $< 2\%$,不允许磷共晶 铁素体晶粒粗大,性能降低,一般宜 $60\sim 250$ 个/ mm^2 (1)控制化学成分,尤其控制Mn、S、P、Cr等元素,净化炉料 (2)加稀土孕育,可细化渗碳体并在其界面上析出细小石墨点,在退火时有利于渗碳体分解 (3)控制退火工艺,完全分解珠光体、渗碳体 (4)复合孕育,合理退火(如 $\leq 980^{\circ}\text{C}$)等,可细化晶粒 | |

3. 金相组织的控制范围 牌号黑心可锻铸铁的石墨和珠光体组织的控制范围参考表 3-192。粒状珠光体的塑性、韧度较好,故其残余量允许稍宽。此外,各牌号的残余渗碳体应 $< 2\%$,不允许出现磷共晶。

表 3-192 黑心可锻铸铁金相组织的控制范围(供参考)

| 牌 号 | 石 墨 | | 珠光体残余量(%) | | | |
|-----------|---|-----|-------------------------------------|----------|--------|--------|
| | 形状及数量 | 级别 | 一般 | 级别 | 片状珠光体 | 粒状珠光体 |
| 级外 | 枝晶石墨 \geq 试样截面积 1% | 5 级 | > 40 | 5 级 | | |
| KTH300-06 | 聚虫状石墨 $> 15\%$,枝晶状石墨 $<$ 试样截面积的 1% | 4 级 | $> 30\sim 40$ 或 $> 20\sim 30$ | 4 级或 3 级 | < 30 | < 50 |
| KTH330-08 | 石墨大部分呈团絮状、絮状;聚虫状石墨 $\geq 15\%$;枝晶状石墨 $<$ 试样截面积的 1% | 3 级 | $> 20\sim 30$ 或 $> 10\sim 20$ | 3 级或 2 级 | < 20 | < 40 |
| KTH350-10 | 石墨大部分呈团球状、团絮状;絮状石墨 $\geq 15\%$;不允许枝晶状石墨 | 2 级 | $> 10\sim 20$ | 2 级 | < 15 | < 30 |
| KTH370-12 | 石墨大部分呈团球状、团絮状石墨 $\geq 15\%$,不允许枝晶状石墨 | 1 级 | ≤ 10 | 1 级 | < 10 | < 20 |

4.3.3 黑心可锻铸铁的化学成分

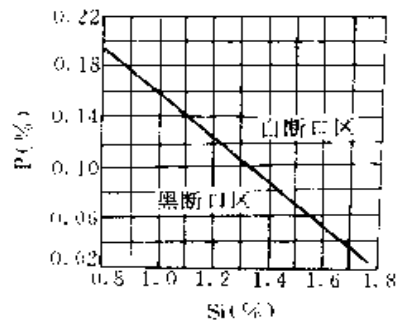
(1)化学成分的作用 见表 3-193。

表 3-193 黑心可锻铸铁化学成分的作用与选择

| 成分 | 选择范围及影响 |
|------|--|
| 选择原则 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 保证铸坯断面全白口,无麻口、灰点 2. 控制金相组织,提高力学性能 3. 改善铸造性能,以获得健全铸件 4. 尽量缩短石墨化退火周期 |

(续)

| 成分 | 选择范围及影响 | | | | | | | | | | |
|------------------|--|--|--|------|-----|-----------|----|-----|-----------|----|--|
| 碳 — 硅 | 一般, C+Si=3.8%~4.2%, 碳宜低, 硅可适当放宽 1. 通常先根据牌号决定碳, 牌号愈高碳愈低; 然后确定硅。见表 3-194 2. 管接头等可用高碳(2.8%~3.1%)低硅(0.85%~1.3%)铸铁 3. 加铈(0.01%)和硼(0.001%)孕育, 可以适当提高碳、硅量, 改善铸造性能。碳、硅量如下: | | | | | | | | | | |
| | 铸件主要壁厚 (mm) | C+Si(%) | | | | | | | | | |
| | | 不加铈 | 加铈 0.008% | | | | | | | | |
| | <5 5~10 10~15 15~20 20~40 40~60 | 3.9~4.2 3.8~4.1 3.7~4.0 3.6~3.9 3.5~3.8 3.4~3.6 | 4.2~4.5 4.0~4.3 3.9~4.2 3.8~4.1 3.7~4.0 3.6~3.9 | | | | | | | | |
| 碳 | 冲天炉熔炼, 一般 C 2.4%~2.8%; KTH 370-12, C 2.4%~2.6%。冲天炉+反射炉、反射炉或感应电炉熔炼, 大多 C 2.4%~2.6%; 或 2.0%~2.3%, 可以提高硅量加速退火 1. 碳高, 对石墨化第一阶段影响不大, 可缩短第二阶段。但石墨多而大, 强度、伸长率明显下降 2. 碳愈低, 铸态愈易白口。过低, 铸造性能恶化, 易浇不到、缩松、裂纹等 | | | | | | | | | | |
| 硅 | 一般 Si<1.4%; 炉前加铈、铈、磷孕育, Si 1.2%~1.8%。国外, Si 0.9%~1.5% 1. 硅加速第一阶段, 尤其第二阶段石墨化 2. 硅固溶于并强化铁素体, 提高强度和伸长率。Si>1.4%, 易麻口; Si>1.8%, 可恶化石墨形态, 力学性能下降 3. 高硅, 尤其高硅磷, 会引起低温脆性和回火脆性 4. 硅可以改善铸造性能 | | | | | | | | | | |
| 锰 — 硫 比 | 为消除 S 的反石墨化作用, 锰一般按下式确定 $Mn=1.7S-(0.15\sim0.25)$ 或 $Mn=3.3S$ 通常, Mn/S=2.5 左右为宜 1. Mn/S 与石墨形态的关系如下: | | | | | | | | | | |
| | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Mn/S</th> <th>石墨形态</th> <th>力学性能</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4~5</td> <td>团絮状, 比较粗松</td> <td>较低</td> </tr> <tr> <td>2~3</td> <td>团絮状, 渐趋紧密</td> <td>提高</td> </tr> </tbody> </table> | Mn/S | 石墨形态 | 力学性能 | 4~5 | 团絮状, 比较粗松 | 较低 | 2~3 | 团絮状, 渐趋紧密 | 提高 | 2. Mn/S 低, FeS(熔点 1170℃)多, 增大铁液过冷倾向, 促进白口, 延缓固态石墨化; Mn/S 高, MnS(熔点 1650℃)多, 部分以质点存在, 有利于退火 |
| Mn/S | 石墨形态 | 力学性能 | | | | | | | | | |
| 4~5 | 团絮状, 比较粗松 | 较低 | | | | | | | | | |
| 2~3 | 团絮状, 渐趋紧密 | 提高 | | | | | | | | | |
| 锰 | 一般 Mn 0.3%~0.6% 1. 锰抵消硫的作用, 且细化退火碳 2. 锰过量, 稳定珠光体和渗碳体, 阻碍第二阶段石墨化, 常使伸长率不合格 | | | | | | | | | | |
| 硫 | 一般 S<0.2%; 更宜 S<0.15%。若生铁中 S>0.2%, 硅应高至 1.7%, 且控制 Mn/S, 以 Mn 抵消 S; 或在铁液中加铈、镁, 生成高熔点 ZrS、MgS, 以缩短退火时间 1. S 促进白口, 强烈阻碍第一、二阶段石墨化 2. S 使石墨松散, 降低强度; 形成夹杂物、偏析, 阻碍碳扩散, 降低伸长率, 增加脆性 3. 高 S, 降低铁液流动性, 增大热裂倾向 | | | | | | | | | | |
| 磷 | 一般 P<0.2%, 最好 P<0.1%。若硅高, 磷宜低 1. 磷高, 石墨分枝, 降低塑性、韧性。P>0.1% 可形成磷共晶 2. 磷显著提高脆性转变温度, 硅高时, 磷更危险。低温工作的零件, 尤应低磷。如在 -40℃ 下工作, 应控制在图示斜线下方的黑断口区。某汽车厂规定 $Si\%+P\% \leq 1.9\%$; 若 Si 1.35~1.5%, 则 P 0.05%~0.07% | | | | | | | | | | |



磷、硅量的控制范围

(2)各种元素对固态石墨化影响 见图 3-27。

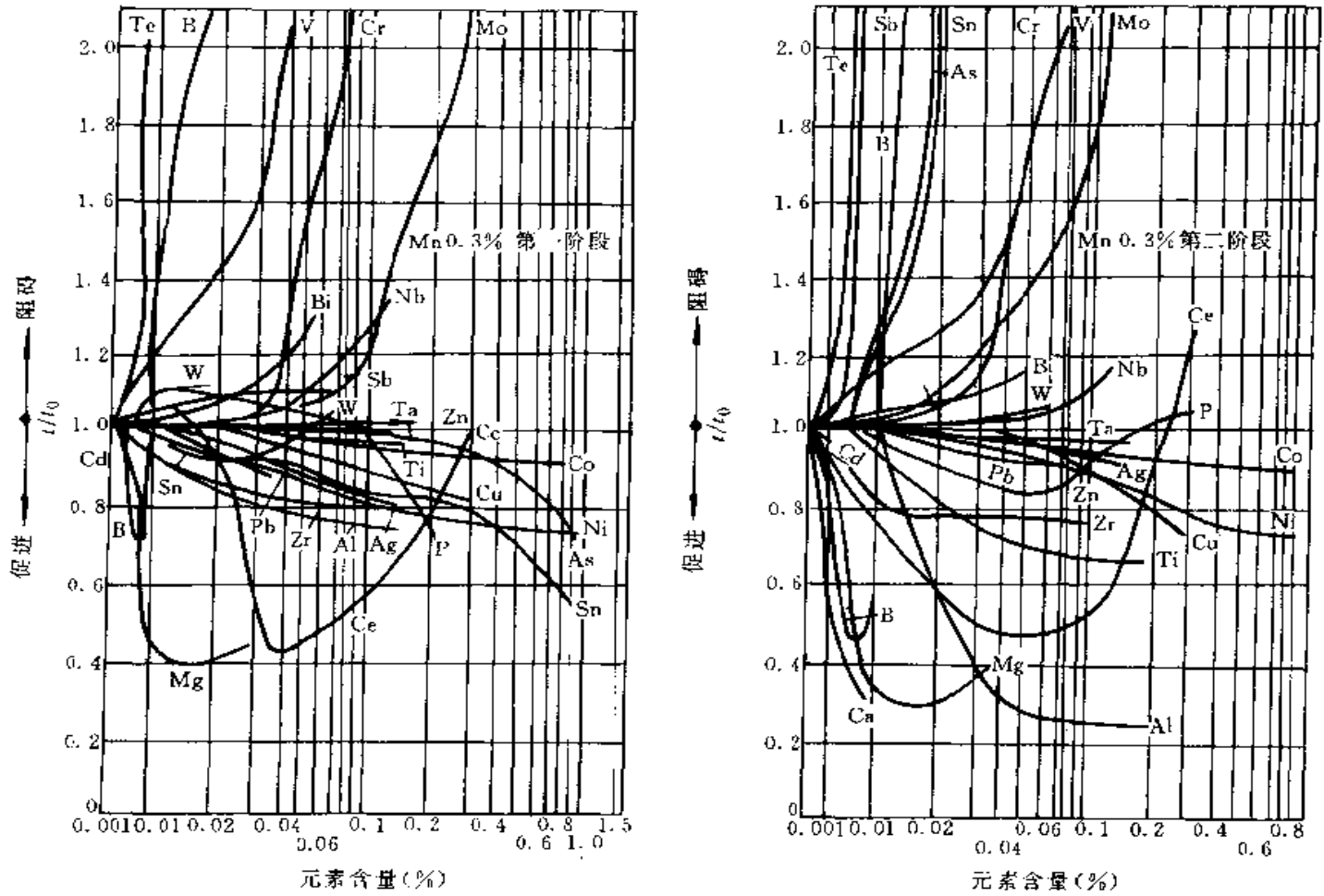


图 3-27 各种元素对第一、二阶段石墨化的影响

t —添加试料石墨化完成时间 t_0 —无添加试料石墨化完成时间

(3)牌号黑心可锻铸铁的化学成分 见表 3-194。

表 3-194 牌号黑心可锻铸铁的化学成分

| I | 牌 号 | | C(%) | Si(%) | Mn(%) | P(%) ^① | S(%) |
|---------------|-----------|-----------|---------|---------|---------|-------------------|-------|
| | A | B | | | | | |
| 般 | KTH300-06 | | 2.7~3.1 | 0.7~1.1 | 0.3~0.6 | <0.2 | 0.18 |
| | | KTH330-08 | 2.5~2.9 | 0.8~1.2 | 0.3~0.6 | <0.2 | 0.18 |
| | KTH350-10 | | 2.4~2.8 | 0.9~1.4 | 0.3~0.6 | <0.2 | 0.12 |
| | | KTH370-12 | 2.2~2.5 | 1.0~1.5 | 0.3~0.6 | <0.2 | 0.12 |
| Al-Bi 孕育处理 | KTH300-06 | | 2.7~2.9 | 1.3~1.5 | 0.4~0.6 | <0.12 | ≤0.20 |
| | | KTH330-08 | 2.6~2.8 | 1.4~1.6 | 0.4~0.6 | <0.12 | ≤0.18 |
| | KTH350-10 | | 2.4~2.6 | 1.5~1.7 | 0.4~0.6 | <0.12 | ≤0.12 |
| | | KTH370-12 | 2.3~2.5 | 1.6~1.8 | 0.4~0.6 | <0.12 | ≤0.10 |

① 宜控制 P≤0.1%。

(4)黑心可锻铸铁化学成分实例 见表 3-195。

4.3.4 孕育处理

可锻铸铁孕育的目的:①促进铸态白口组织;②缩短石墨化退火时间或降低退火温度;③脱氧,去硫,以利于石墨化。

孕育剂已从单一元素(如铝或铈)向多种元素发展。由一种或几种石墨化元素和一种或几种反石墨化元素组成的孕育剂,称为复合孕育剂。各种孕育剂及其效果见表 3-196。铈的效力比铝大 2~3 倍,但有恶臭,已很少使用。

表 3-195 我国部分工厂可锻铸铁化学成分(加孕育剂)

| 生产单位 | 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | 孕 育 剂 (%) | | | |
|----------|-----------|-------------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------------|-------------|-------|-----------|--------------|--|--|
| | | C | Si | Mn | S | P | Cr | C+Si | Mn/S | Bi | Al | B | 其它 | | |
| 北京玛钢厂 | KTH350-10 | 2.5~2.8 | 1.4~1.8 | 0.6~0.7 | <0.2 | <0.10 | <0.05 | 3.9~4.5 | 2.5~3.0 | 0.005~0.02 | <0.01 | | | | |
| | KTH330-8 | | | | | | | | | | | | | | |
| 北京汽车厂 | KTH350-10 | 2.5~2.9 | 1.4~1.6 | 0.4~0.6 | <0.2 | <0.10 | <0.06 | | | 0.006~0.015 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| 天津第一玛钢厂 | KTH330-8 | 2.6~2.8 | 1.5~1.8 | 0.55~0.7 | 0.25~0.3 | <0.12 | <0.05 | 4.1~4.5 | 2.1~3.0 | 0.005~0.015 | <0.01 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| 上海华丰钢铁厂 | KTH350-10 | 2.4~2.6 | 1.55~1.75 | 0.45~0.6 | <0.2 | <0.05 | 3.95~4.35 | 2.8~3.5 | 0.003~0.005 | 0.001~0.003 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| 上海马钢厂 | KTH370-12 | 2.2~2.6 | 1.5~2.0 | 0.4~0.6 | 0.15~0.2 | <0.12 | 3.8~4.6 | 2.5~3.2 | 0.006~0.01 | 0.008 | | | | | |
| | KTH350-10 | | | | | | | | | | | | | | |
| 沈阳市钢铁厂 | KTH330-8 | 2.3~2.5 | 1.3~1.5 | 0.5~0.8 | 0.2~0.3 | <0.05 | 3.5~4.0 | 2.5~3.0 | 0.0015~0.002 | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| 长春第一汽车厂 | KTH350-10 | 2.6~2.8 | 1.4~1.6 | 0.4~0.66 | 0.15~0.3 | <0.07 | | | 0.01~0.015 | 0.01 | 0.003 | | 硅铁 0.1 | | |
| | KTH330-8 | | | | | | | | | | | | | | |
| 南京可锻铸铁厂 | KTH350-10 | 2.5~2.7 | 1.6~1.8 | 0.5~0.6 | <0.25 | <0.1 | 4.1~4.5 | | 0.006~0.025 | 0.004~0.008 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| 昆明市阀门厂 | KTH350-10 | 2.5~2.8 | 1.4~1.8 | 0.3~0.5 | <0.15 | <0.12 | | | 0.008~0.02 | <0.015 | | | | | |
| | KTH330-8 | | | | | | | | | | | | | | |
| 重庆市马铁铸造厂 | KTH350-10 | 2.2~2.5 | 1.65~1.9 | 0.5~0.7 | <0.3 | ≤0.10 | 4.15左右 | 2.4~3.2 | 0.0025~0.0035 | <0.015 | | | 稀土 0.07~0.08 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| 重庆杆塔厂 | KTH350-10 | 2.4~2.6 | 1.3~1.7 | 0.4~0.6 | 0.1~0.15 | <0.1 | 3.6~4.5 | 2.5~3.5 | 0.005~0.01 | | | | 1 稀土 0.2~0.4 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| 厦门铸造厂 | KTH370-12 | 2.4~2.6 | 2.0~2.2 | 0.4~0.6 | 0.08~0.10 | 0.05~0.09 | 4.0~4.5 | 3.2~3.5 | 0.005 | | | | | | |

表 3-196 可锻铸铁的常用孕育剂

| 孕育剂 | 加入量,效果及说明 |
|--------|--|
| 铈 | 加入量 0.01%~0.012% 1. 铈在铁液凝固时强烈阻碍石墨化,可保证厚壁铸件获得自由组织 2. 处理后 8~10min 内须浇完,以免挥发,氧化而失效 |
| 铈 | 适于低碳($\leq 2.5\%$)低硅($\leq 1.5\%$)铁液,加入量 0.01%~0.05%,铈易偏析,应搅拌。铈显著促进铸态白口,对第一阶段石墨化影响不大。 $Sb > 0.02\%$ 第二阶段石墨化非常困难 |
| 铝 | 加入量:0.01%~0.015% (C 2.4~2.7, Si < 1.5 时) 加铝过量,石墨形状和分布均恶化,铸件易“树枝状疏松”,且中心出现灰点 |
| 铋-铝 | 加入量:Bi 0.005%~0.010%, Al 0.005%~0.015%。原铁液:Si 1.40%~1.75%, Mn/S = 2.5~3.5 或 $Mn = 1.7S + (0.1 \sim 0.2)$ 铋促进铈的反石墨化作用。与低温时效配合,增加石墨核心 |
| 硼-铋 | 加入量: B 0.0015%~0.0025%, Bi 0.005%~0.008% 1. 硼促进石墨化,尤其第二阶段石墨化;增加石墨核心的作用超过铝,故退火时可快速升温,不必低温顶处理。硼过量,石墨松散 2. 适用于硅量较高的铁液。孕育效果优于铋-铝,石墨呈球团状且紧密,力学性能好 |
| 硼-铝-铋 | 加入量: B 0.001%~0.0025%, Bi 0.006%~0.010%, Al 0.008%~0.012% 1. 综合了三元素的优点。退火时间缩短为 30h。当铁液中 Si > 1.3%,退火时快速升温(取消低温处理),效果更好。适于厚大铸件 2. 退火规范如下:升温 10~22h \rightarrow 950~960 $^{\circ}$ C /3~5h \rightarrow 炉冷 1h \rightarrow 750 $^{\circ}$ C 降至 730 $^{\circ}$ C /8~12h \rightarrow 出炉 |
| 硅-铋 | 加入量:75%硅铁 0.4%~0.7%, Bi 0.006%~0.008%。原铁液一般为: C 2.40%~2.65%; Si 1.1%~1.3%, Mn/S \approx 2.5; 终 Si 1.5%~1.8% 1. 石墨核心增加 3~4 倍。石墨大都呈团球状,直径明显减小。退火时间缩短。终 Si 1.5%~1.8% 时,石墨近球形,性能达 KTH370~12 2. 退火规范如下:升温 15~20h \rightarrow 920~940 $^{\circ}$ C /5~8h \rightarrow 炉冷至 780 $^{\circ}$ C /4h \rightarrow 降温至 700 $^{\circ}$ C /10~18h \rightarrow 出炉。总周期 40~50h |
| 高硅-铋 | 加入量: Bi 0.004%~0.008%。原铁液: Si 1.7%~2.0%; Si \approx 2.0%, 力学性能最好; Si > 2.0%, 低温韧度下降,铁液收缩大,应稍放大冒口 |
| 硅-铋 | 加入量: Sb 0.003%~0.005%, 终 Si 1.3%~1.5%; Sb 0.005%~0.010%, 终硅 1.5%~1.7%。铋加入量视硅量而定;过多,则阻碍第一阶段石墨化 铋易偏析,加入时须搅拌。力学性能稍逊于采用硅-铋 |
| 稀土硅铁-铋 | 加入量:稀土硅铁合金(成分见第一章)0.2%~0.4%, Bi 0.004%~0.008% 1. 稀土元素生成氧化物、硫化物,增加核心,故可缩短退火时间;且净化铁液,细化晶粒,球化石墨,改善力学性能 2. 稀土硅铁合金增硅过多,可能发生灰点 |

4.3.5 黑心可锻铸铁的石墨化退火 间冷却,第二阶段石墨化,出炉冷却。见图 3-28 和表 3-197。
退火工艺分为五阶段:升温,第一阶段石墨化,中

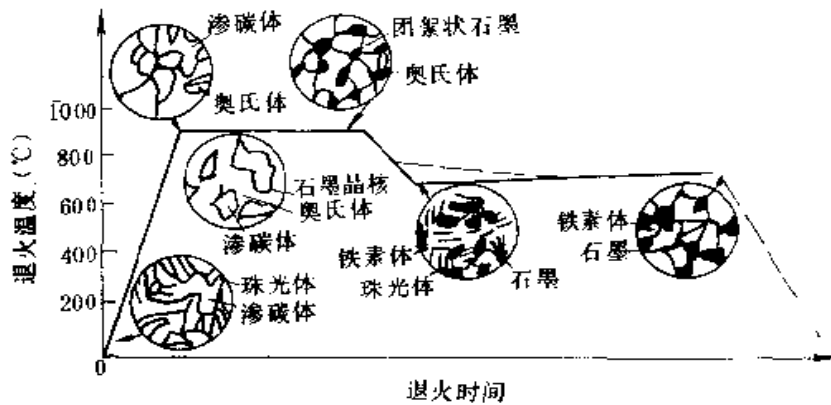


图 3-28 铁素体可锻铸铁的退火工艺

表 3-197 铁素体可铸铁石墨化退火实例

| 产品名称 | 铸铁牌号 | 化学成分(%) | 孕育剂(%) | 退火炉 | 退火规范 |
|--------------|---|---|---------------------------------|-----------|------|
| 汽车底盘零件 | KTH350-10 | C 2.5~2.7 Si 1.3~1.6 Mn 0.35~0.5 P 0.05~0.07 S<0.15 | B 0.002 Bi 0.006 Al 0.008 | 25t 升降式电炉 | |
| 汽车、拖拉机、铁道等零件 | KTH350-10 KTH370-12 | C 2.3~2.6 Si 1.5~2.0 Mn 0.4~0.6 P<0.12 S 0.15~0.20 | Al 0.008 Bi 0.006 ~0.01 | 连续式火焰隧道炉 | |
| 阀门、手扶拖拉机零件 | KTH350-10 | C 2.3~2.7 Si 1.14~1.36 Mn 0.3~0.4 P<0.1 S 0.07~0.09 | Al 0.015 | | |
| | σ_b 330~400MPa δ_8 % ~20% 120~163HB | C 2.65~2.80 Si 1.5~1.7 Mn 0.40~0.60 P<0.1 S<0.20 Cr<0.06 | | 燃煤炉 | |
| 水暖管体 | KTH300-06 KTH330-08 | C 2.3~2.8 Si 1.2~1.8 Mn 0.4~0.6 P<0.05 S<0.18~0.25 | Bi 0.008 ~0.01 | 台车式煤或煤粉炉 | |

4.4 珠光体可锻铸铁

4.4.1 珠光体可锻铸铁的性能

铸态为白口,经石墨化退火后,组织为珠光体和团絮状石墨的铸铁,称为珠光体可锻铸铁。

(1)力学性能 见表 3-198~表 3-200。

表 3-198 珠光体可锻铸铁的静载性能

| 牌号 | 抗拉强度, 屈服点, 伸长率, 硬度 | 抗弯强度 σ_b (MPa) | 抗压强度 σ_A (MPa) | 抗扭强度 (MPa) | 抗剪强度 (MPa) | 弹性模量 E (GPa) | 切变模量 (GPa) | 泊松比 |
|-----------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|------|
| KTZ450-06 | 见 4.2 牌号 | 598 | 1353~2001 | 441 | 314 | 155.4 | 69.6 | 0.26 |
| KTZ550-04 | | 706 | 1353~2001 | 510 | 253 | | 69.6 | |
| 一般 | | | 1342~3534 | 等于或稍 低于 σ_b | $\sigma_b \times (70\% \sim 90\%)$ | 177.9 | 62.8~ 71.3 | 0.28 |

表 3-199 珠光体可锻铸铁的疲劳性能

| 种类 | σ_b (MPa) | σ_{-1} (MPa) | σ_{-1}/σ_b | σ_{-1K} (MPa) | σ_{-1}/σ_{-1K} |
|-------|---------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 一般 | 450~700 | 220~260 | 约 0.5~0.35 | — | 1.2~2 |
| 气冷珠光体 | 570 | 263 | 0.46 | 154 | 1.70 |
| 液淬珠光体 | 704 | 301 | 0.43 | 147 | 2.05 |

表 3-200 珠光体可锻铸铁的断裂韧度

| 牌号 ^① (美国) | 热处理 | 力学性能 | | | | 断裂韧度 K_{Ic} (MPa \sqrt{m}) | | |
|-------------------------|-------|---------|------------------|--------------|-------------------------------|---------------------------------|------|----------------|
| | | HB | σ_b (MPa) | δ (%) | σ_s (MPa) ^② | 24℃ | -19℃ | -57℃ |
| M4504 | 空淬+回火 | 163~217 | 448 | 4 | 359, 377, 392 | 54.9 | 48.1 | 29.7 |
| M5503 | 液淬+回火 | 187~241 | 517 | 3 | 416, 431, 542 | 44.6 | 51.7 | (-58℃) 29.8 |
| M7002 | 液淬+回火 | 229~269 | 621 | 2 | 516, 552, 574 | 54.0 | 38.9 | (-58℃) 39.3 |

① 美国 ANSI/ASTM A602—87 硬度为验收依据。

② 每个牌号屈服强度 σ_s 的三个测试值分别对应三个不同温度(24℃, -19℃, -57℃)的断裂韧度值。

(2) 物理性能、使用性能、工艺性能 参考黑心可锻铸铁的性能。

4.4.2 珠光体可锻铸铁的金相组织

牌号珠光体可锻铸铁的金相组织, 见表 3-201。

表 3-201 牌号珠光体可锻铸铁的金相组织

| 牌 号 | KTZ450-06 | KTZ550-04 | KTZ650-02 | KTZ700-02 |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 石墨形态 | 团聚状 | 团聚状 | 团聚状 | 团聚状 |
| 珠光体量 (%) | >70 | >80 | >90 | >95 |

4.4.3 珠光体可锻铸铁的化学成分

化学成分与黑心可锻铸铁差别很小, 只是稳定珠光体的元素稍高, 亦可在铁液中加入少量铜、镍、钼、钒、钛等, 如加 Cu 0.1%~0.5%, Ti 0.01%~0.20%; 一般不宜加 Sb、Sn、Cr 等元素。

合金珠光体可锻铸铁有: 锰可锻铸铁, Mn 0.85%

~1.10%, 美国生产较多; 高硫可锻铸铁, S 0.25%~0.30%, 以硫代锰; 镍铬钼可锻铸铁, Ni 1.0%~1.5%; Cr 0.2%~0.3%; Mo 0~0.6%; 钒钛可锻铸铁; 铜镍可锻铸铁等。

珠光体可锻铸铁的基本化学成分见表 3-202。低牌号, 碳、硅宜稍高, 锰宜稍低; 高牌号, 则与之相反。

表 3-202 珠光体可锻铸铁的基本成分

(%)

| 国别 | C | Si | Mn | P | S | 备注 |
|----|---------|---------|---------|-----------|-----------|------|
| 美国 | 2.0~2.9 | 0.9~1.9 | 0.2~1.3 | 0.02~0.20 | 0.05~0.20 | 典型成分 |
| 中国 | 2.3~2.8 | 1.3~2.0 | 0.4~0.6 | <0.1 | <0.20 | 通用 |
| | 2.3~2.6 | 1.3~1.6 | 0.4~0.7 | <0.10 | <0.16 | 常用 |

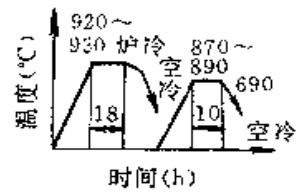
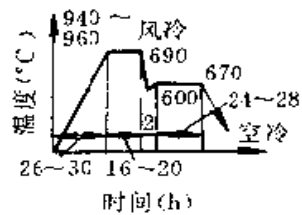
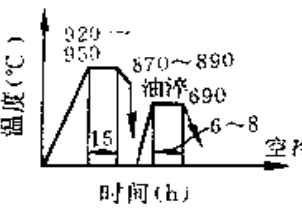
4.4.4 珠光体可锻铸铁的热处理

珠光体可锻铸铁的退火与黑心可锻铸铁的第一阶段石墨化相同,但没有第二阶段石墨化或在第一阶段石墨化之后淬火+高温回火,见表 2-203。

在美国,珠光体可锻铸铁(ANSI/ASTM A602—

87)若硬度要求 HB163~241(σ_b 448~517MPa, δ 4%~3%)时,则进行空淬或液淬+回火;若硬度要求 HB187~302(σ_b 517~724MPa, δ 3%~1%)时,则进行液淬+回火。

表 3-203 珠光体可锻铸铁的退火规范

| 产品名称 | 铸铁牌号 | 化学成分 (%) | 孕育剂 (%) | 退火炉 | 退火规范 | 基体组织 |
|-------------------|------------------------|--|------------------------------|-------|---|--------|
| 手扶拖拉机轴承座,插销等 | KTZ450-06 KTZ550-04 | C 2.4~2.6 Si 1.3~1.5 Mn 0.4~0.8 P<0.1 S<0.2 | | 室式煤粉炉 |  | 片状珠光体 |
| 台车车轮,拖拉机履带板,农机具零件 | KTZ450-06 KTZ550-04 | C 2.4~2.8 Si 1.0~1.3 Mn 0.85~1.2 P<0.1 S<0.15 | | 室式煤粉炉 |  | 粒状珠光体 |
| 汽车曲轴 | KTZ650-02 KTZ700-02 | C 2.4~2.6 Si 1.3~1.5 Mn 0.4~0.5 P<0.07 S<0.15 | Bi 0.01 B 0.003 Cu 1.0 | 电炉 |  | 细粒状索氏体 |

4.5 白心可锻铸铁

铸态为白口经氧化脱碳退火得到,断面外缘为脱碳层,内部呈白色的铸铁,称为白心可锻铸铁。

4.5.1 白心可锻铸铁的性能

力学性能见 4.2。由于铸件外层以铁素体为主,并无石墨,故焊接性能良好。

4.5.2 白心可锻铸铁的化学成分(表 3-204)

表 3-204 白心可锻铸铁的化学成分

(%)

| 类型 | C | Si | Mn | P | S | Cr |
|----------|---------|----------|---------|-------|-------|-------|
| 国外白心可锻铸铁 | 2.6~3.4 | 0.4~1.2 | <0.6 | <0.2 | <0.3 | <0.15 |
| 常用成分 | 2.8~3.4 | 0.7~1.1 | 0.4~0.7 | <0.2 | <0.2 | |
| 冲天炉熔炼 | 2.8~3.2 | 0.6~1.15 | ≤0.60 | ≤0.20 | ≤0.10 | ≤0.04 |
| 感应电炉熔炼 | 2.6~3.4 | 0.6~1.2 | ≤0.50 | ≤0.20 | ≤0.10 | ≤0.03 |
| 感应电炉熔炼 | 2.3~3.1 | 0.7~1.4 | ≤0.60 | ≤0.15 | ≤0.10 | ≤0.03 |

4.5.3 脱碳退火

脱碳退火有固体脱碳法和气体脱碳法,见表 3-205,我国通常采用前者。

表 3-205 白心可锻铸铁的脱碳方法

| 脱碳方法 | 氧化介质、炉气、退火参数 |
|--------|--|
| 固体脱碳方法 | 固体氧化介质主要是铁矿石或氧化铁皮。粒度一般为 3-9mm,厚壁铸件可为 9-12mm。填料中配砂子 30%~50%,粒度 5-10mm 退火温度一般为 950~1050℃ |
| 气体脱碳法 | 炉内气氛的控制很重要,应由煤气发生炉供给煤气,并送入一定量的空气和蒸汽。炉气的组成一般如下:CO ₂ 7%~10%,CO/CO ₂ =2.5~3.5,H ₂ 20%~30%,H ₂ O 10%~20%,其余 N ₂ 退火温度一般为 1000~1050℃ |

图 3-30

白心可锻铸铁的脱碳退火实例见表 3-206。

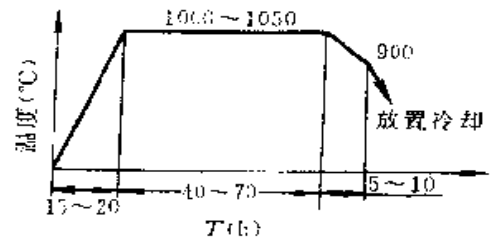


图 3-29 标准白心可锻铸铁的热处理工艺

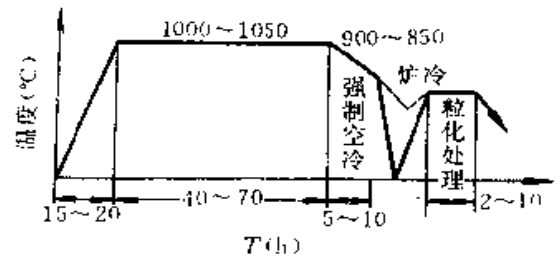


图 3-30 高强度白心可锻铸铁的热处理工艺

欧洲白心可锻铸铁的脱碳退火工艺曲线见图 3-29。

高强度(珠光体)白心可锻铸铁的脱碳退火工艺见

表 3-206 白心可锻铸铁的脱碳退火工艺实例

| 化学成分(%) | 填料 | 脱碳退火规范 | 力学性能 |
|--|------------------|--------|--|
| C 2.7~3.2 Si 0.4~1.0 Mn 0.4~0.8 P < 0.10 S < 0.20 Gr < 0.10 | 轧钢厂的氧化皮 | | σ_b 320MPa δ 7%, 硬度 163HB |
| C 2.8~3.2 Si 0.4~0.6 Mn 0.4~0.6 P < 0.2 S < 0.2 | 赤铁矿 60%, 建筑砂 40% | | σ_b > 350MPa δ > 3% |
| C 2.8~3.2 Si 0.6~0.8 Mn 0.6~0.8 P < 0.15 S < 0.15 | 赤铁矿 50%, 建筑砂 50% | | σ_b > 450MPa δ > 5% |

4.6 球墨可锻铸铁

铁液经球化处理,浇注成白口坯件,再经石墨化退

火,获得的石墨呈小球状的可锻铸铁,称为球墨可锻铸铁。

4.6.1 球墨可锻铸铁的力学性能

的球墨铸铁,见表 3-207。

球墨可锻铸铁的力学性能相当于甚至超过同基体

表 3-207 球墨可锻铸铁的常温力学性能

| 金相组织 ^① | 热处理规范 | 抗拉强度 σ_b (MPa) | 伸长率 δ (%) | 硬度 (HB) | 冲击韧度 a_K (无缺口) (J/cm ²) |
|---------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------|--------------|---|
| F+SG ^② | 930 ± 10℃ /4 ~ 5h + 730 ± 10℃ /6 ~ 8h | 392~471 | 10 ~ 22 | 134~170 | — |
| F+少量粒状 P+SG ^③ | 950℃ /2h + 730℃ /4h + 空冷 | 530 | 17.3 | 125 | 154 |
| 65% P+破碎 F+SG ^③ | 950℃ /2h + 900℃ /1h + 空冷 - 580℃ /2h | 740 | 8.1 | 216 | 94 |
| 90% P+少量牛眼 F+SG ^③ | 950℃ /2h + 900℃ /1h + 空冷 + 580℃ /4h | 870 | 2.8 | 256 | 36 |
| 上 B+30%~40%高碳 A+SG ^④ | 900 ± 10℃ /2h + 370 ± 5℃ /1.5h | ≥1000 | ≥5 | HRC 30 左右 | >50 |
| 下 B+残余 A+SG ^④ | 900 ± 10℃ /2h + 300℃ 以下等温淬火 | ≥1200 | ≥2 | HRC 45 左右 | >30 |

① F—铁素体, P—珠光体, B—贝氏体, A—奥氏体, SG—球状石墨。

② 化学成分(%): C 2.8~3.2, Si 1.6~2.2, Mn 0.3~0.5, P ≤ 0.09, S ≤ 0.10, RE_球 ≤ 0.025, Mg_球 ≤ 0.03③ 化学成分(%): C 3.20, Si 1.92, Mn 0.554, P 0.044, S 0.021, RE_球 0.044, Mg_球 0.041。

④ 化学成分(%): C 3 左右, Si 1.8 左右, Mn < 0.7, P < 0.1, S 可稍宽, Bi < 0.5。稀土(5.7)镁(8.2)钙(1.4)硅(43)铁球化处理。

4.6.2 化学成分

都可以采取低碳、中碳、高碳或超高碳成分,基体组织主要由热处理工艺保证。

球墨可锻铸铁化学成分的特点是碳、硅、锰、磷、硫含量范围较宽,见表 3-208。铁素体基体和珠光体基体

表 3-208 球墨可锻铸铁的化学成分

| 种类 | C (%) | Si (%) | Mn (%) | P (%) | S (%) | Mg, RE (%) | 应用 |
|------------------------|---------|---------|---|-----------------|--------------------------|------------------------------|-------------|
| 低碳球墨可锻铸铁 | 2.0~2.4 | 1.2~2.2 | 一般 0.1~0.6; 铁素体, Mn 宜低; 珠光体 Mn 宜高 | <0.1 宜 <0.08 | 可 <0.1 宜 <0.06 | Mg 0.03~0.05 RE 0.03~0.06 | 采用较少 |
| 中碳球墨可锻铸铁 | 2.4~2.8 | | | | | | 常用 |
| 高碳球墨可锻铸铁 | 2.8~3.2 | | | | | | 薄壁铸件 |
| 超高碳球墨可锻铸铁 | 3.2~3.6 | 1.8~2.2 | 0.3~0.6 | <0.1 宜 <0.08 | <0.08 | ① | 薄壁铸件 |
| 奥贝球墨可锻铸铁 下贝氏体球墨可锻铸铁 | 3 左右 | 1.8 左右 | 可放宽到 <0.7 | 可放宽到 <0.1 | S 可放宽; P 可放宽 到 0.5 | ② | 齿轮、受力零件、抗磨件 |

① 球化剂 REMgSiFe; RE 7%, Mg 8%, Si 40%。加入量 1.2%~1.4%。

② 球化剂 REMgSiFe; RE 5.7%, Mg 9.2%, Si 43%, Ca 1.4%, 加入量 1.5%。

4.6.3 球化及孕育

球化处理工艺类似于球墨铸铁,球化剂宜采用稀土镁硅铁合金,大量生产用球化剂见表 3-209,加入量 0.7%~1.0%。

表 3-209 大量生产球墨可锻铸铁用球化剂

| 编号 | RE (%) | Mg (%) | Si (%) | 备注 |
|----|--------|--------|--------|---------------------------------------|
| 1 | 15~20 | 1~2 | 35~45 | 出铁温度较高时,可选低镁球化剂,适当多加;出铁温度较低时,可选较高镁球化剂 |
| 2 | 8~10 | 7~9 | 40~45 | |
| 3 | 10~15 | 4~6 | 40~45 | |

铁液无需加 B、Bi、Al 等元素孕育。但必须保证铸态全白口,可有少量点球状石墨,不允许含片状石墨的麻口组织和灰口组织。

当铁水含 S>0.15% 时,即使加大量球化剂,残 S 也不易降到 0.03%,退火后石墨难成球状。

4.6.4 热处理

球墨可锻铸铁在铸态含有大量渗碳体,其热处理特点是:首先,象可锻铸铁那样,必须进行第一阶段石墨化,900~950℃,但保温时间大大缩短,从而消除渗碳体;然后,可根据铸件组织和性能的要求,进行第二阶段石墨化、退火、正火、等温淬火等,见表 3-210~表 3-212。也可以进行表面淬火。

表 3-210 球墨可锻铸铁的退火工艺

| 方法 | 热处理规范及说明 | 金相组织 | 性能特点 |
|--------|--|---|---|
| 铁素体化退火 | 小件、薄件 900~950℃/0.2~2.0h→720~750℃/ 2~4h(<5h) | 1. 消除渗碳体、珠光体 2. 终组织:铁素体+球状石墨 | 强度较低,塑性高,韧性高,耐热疲劳,抗氧化、生长 |
| | 成分(%):C 3.3~3.4, Si 1.6~1.8 Mn<0.6, P<0.07, S<0.09 退火:900℃/8h→730℃/5h | 终组织: 铁素体+球状石墨,无渗碳体 | σ_b 327~437MPa, δ 5%~12.5% |
| | 水轮机转轮(壁厚差悬殊)成分(%): C 3.4~3.8, Si 2.0~2.5, Mn 0.3~0.45, P 0.08~0.20, S<0.02 退火:920~940℃/2~4h, 炉冷(20~30℃/h), 740~760℃/4~6h, 600℃空冷 | 1. 铸态:莱氏体+渗碳体+少量珠光体+球状石墨 2. 退火后,铁素体+球墨石墨 | σ_b 394~549MPa δ 8.0%~19.7% α_K 31.4~58.8J/cm ² |
| 石墨化退火 | 900~950℃/3~8h→600℃→空冷 | 1. 消除渗碳体 2. 终组织:珠光体+牛眼铁素体+球状石墨 | 强度,塑性韧性等综合性能较好 |

表 3-211 球墨可锻铸铁的正火工艺

| 方法 | 热处理规范及说明 | 金相组织 | 性能特点 |
|----------------|---|---|--|
| 高温石墨化+正火 | 小型车床齿轮 原铁液(%):C 2.8~3.2, Si 1.6~2.2, Mn 0.3~0.5, P<0.09, S<0.1 930±10℃/4~5h, 850℃空冷, 580±10℃/3~4h | 1. 消除渗碳体 2. 终组织:珠光体+少量牛眼铁素体+球状石墨 | 强度高,塑性、韧性较好,耐磨 σ_b ≥600MPa δ ≥2% |
| 高温石墨化+部分奥氏体化正火 | 900~950℃/3~8h→800~820℃/0.5~1.5h→600~620℃/1~1.5h→空冷 | 1. 消除渗碳体、磷共晶 2. 终组织:珠光体+少量破碎铁素体+球状石墨 | 强度高,塑性、韧性较好,耐磨 |

表 3-212 球墨可锻铸铁的等温淬火

| 方 法 | 热处理规范及说明 | 金相组织 | 性能特点、应用 |
|------------------|---|---|---------------------------|
| 高温石墨化 + 上贝氏体等温淬火 | 一般 900 ~ 950℃ / 3 ~ 8h → 快冷至 350 ~ 380℃ / 1 ~ 3h → 空冷或水冷 | 1. 消除渗碳体 2. 终组织: 上贝氏体 + 残余奥氏体 + 球状石墨 | 高强度、硬度, 高塑性、韧性, 抗疲劳, 耐磨 |
| | 例 1 900 ± 10℃ / 2h → 等温淬火 370 ± 5℃ / 1.5h 例 2 白口毛坯完全石墨化退火, 获得铁素体基体, 切削加工后, 再等温淬火 | 1. 消除渗碳体 2. 终组织: 上贝氏体 + 富碳奥氏体 30% ~ 40% + 球状石墨 | 用于齿轮、重要受力零件、抗磨零件等 |
| 高温石墨化 + 下贝氏体等温淬火 | 一般: 900 ~ 950℃ / 3 ~ 8h → 快冷至 280 ~ 320℃ / 0.75 ~ 3h → 空冷或水冷 | 1. 消除渗碳体 2. 终组织: 下贝氏体 + 少量马氏体 + 残余奥氏体 + 球状石墨 | 更高强度、硬度, 一定塑性、韧性, 抗疲劳, 耐磨 |
| | 例: 900 ± 10℃ / 2h + 等温淬火 < 300℃ | | 齿轮、重要受力零件等 |

5 抗磨铸铁

具有良好的抗磨料磨损性能的各类铸铁, 统称为抗磨铸铁。分类如下:

- 1) 抗磨白口铸铁
 - 普通白口铸铁
 - 合金白口铸铁
- 2) 冷硬铸铁
- 3) 中锰抗磨球墨铸铁

5.1 抗磨白口铸铁

表 3-213 普通白口铸铁的成分、组织、性能及应用

| 化学成分 (%) | | | | | 金相组织 | 硬度 (HRC) | 热处理 | 应用 |
|-----------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------------|----------|----------------------------------|-------------|
| C | Si | Mn | P | S | | | | |
| 3.5 ~ 3.8 | < 0.6 | 0.15 ~ 0.20 | < 0.3 | 0.2 ~ 0.4 | 渗碳体 + 珠光体 | — | 铸态 | 粮食磨粉机、磨片、导板 |
| 4.0 ~ 4.4 | ≤ 0.6 | ≥ 0.6 | ≤ 0.35 | ≤ 0.15 | 变态莱氏体, 或变态莱氏体 + 渗碳体 | > 48 | 铸态 | 标准犁铧 |
| > 4.0 | < 0.4 | > 1.5 | < 0.4 | < 0.1 | | 55 ~ 57 | 铸态 | 肥西犁铧 |
| 4.0 ~ 4.5 | 0.04 ~ 0.12 | 0.06 ~ 0.10 | 0.14 ~ 0.40 | 0.008 ~ 0.05 | | 50 ~ 55 | 铸态 | 阳城犁铧 |
| 2.2 ~ 2.5 | > 1.0 | 0.5 ~ 1.0 | < 0.1 | < 0.1 | 贝氏体 + 少量托氏体 + 渗碳体 | 55 ~ 59 | 900℃ / 1h, + 盐浴 300℃ / 1.5h + 空冷 | 高韧犁铧 |

5.1.2 标准合金白口铸铁

GB 8263—87《抗磨白口铸铁技术条件》规定了抗磨白口铸铁的牌号、化学成分和硬度, 并推荐了使

用特性、金相组织及热处理规范, 见表 3-214 ~ 表 3-217。

5.1.1 普通白口铸铁

成分特点是高碳低硅, 共晶或过共晶。组织为珠光体 + 渗碳体。硬度高、抗磨, 但脆性大, 一般不能承受冲击载荷。典型成分、组织见表 3-213。

等温淬火可以改善韧性, 如表 3-213 中第 5 种, 抗弯强度达 970 ~ 1330MPa, 冲击韧性达 15 ~ 21J/cm²。

用特性、金相组织及热处理规范, 见表 3-214 ~ 表 3-217。

表 3-214 抗磨白口铸铁的化学成分 (GB 8263—87)

| 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | |
|-----------------|-------------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|
| | C | Si | Mn | Cr | Mo | Ni | Cu | W | S | P |
| KmTBMn5W-3 | 3.0~3.5 | 0.8~1.3 | 4.0~6.0 | — | — | — | — | 2.5~3.5 | ≤0.10 | ≤0.15 |
| KmTBW5Cr4 | 2.5~3.5 | 0.5~1.0 | 3.5~4.5 | — | — | — | 4.5~5.5 | ≤0.10 | ≤0.15 | — |
| KmTBNi4Cr2-DT | 2.7~3.2 | 0.3~0.8 | 0.3~0.8 | 2.0~3.0 | 0~1.0 | 3.0~5.0 | — | — | ≤0.10 | ≤0.15 |
| KmTBNi4Cr2-GT | 3.2~3.6 | 0.3~0.8 | 0.3~0.8 | 2.0~3.0 | 0~1.0 | 3.0~5.0 | — | — | ≤0.10 | ≤0.15 |
| KmTBCr9Ni5-Si2 | 2.5~3.6 | 1.5~2.2 | 0.3~0.8 | 8.0~10.0 | 0~1.0 | 4.5~6.5 | — | — | ≤0.10 | ≤0.15 |
| KmTBCr2Mo1Cu1 | 2.4~3.6 | ≤1.0 | 1.0~2.0 | 2.0~3.0 | 0.5~1.0 | — | 0.8~1.2 | — | ≤0.10 | ≤0.15 |
| KmTBCr15Mo2-DT | 2.0~2.8 | ≤1.0 | 0.5~1.0 | 13.0~18.0 | 0.5~2.5 | 0~1.0 | 0~1.2 | — | ≤0.06 | ≤0.10 |
| KmTBCr15Mo2-GT | 2.8~3.5 | ≤1.0 | 0.5~1.0 | 13.0~18.0 | 0.5~3.0 | 0~1.0 | 0~1.2 | — | ≤0.06 | ≤0.10 |
| KmTBCr20Mo2-Cu1 | 2.0~3.0 | ≤1.0 | 0.5~1.0 | 18.0~22.0 | 1.5~2.5 | 0~1.5 | 0.8~1.2 | — | ≤0.06 | ≤0.10 |
| KmTBCr26 | 2.3~3.0 | ≤1.0 | 0.5~1.0 | 23.0~28.0 | 0~1.0 | 0~1.5 | 0~2.0 | — | ≤0.06 | ≤0.1 |

注：牌号中，“DT”和“GT”分别是“低碳”和“高碳”的汉语拼音字的第一大写字母，表示该牌号铸铁含碳量的高低，后同。

5.1.3 其它合金白口铸铁

化学成分，组织，性能及应用见表 3-218。

表 3-215 抗磨白口铸铁的硬度 (GB 8263—87)

| 牌 号 | 洛氏硬度 (HRC) ^② | | |
|---------------|-------------------------|------------------|-------|
| | 铸态 | 淬火态 | 软化退火态 |
| KmTBMn5W3 | 50~60 | — | — |
| KmTBW5Cr4 | 50~65 | — | — |
| KmTBNi4Cr2-DT | — | ≥53 ^① | — |
| KmTBNi4Cr2-GT | — | ≥55 ^① | — |
| KmTBCr9Ni5Si2 | — | ≥55 | — |
| KmTBCr2Mo1Cu1 | 50~56 | ≥56 | ≤40 |

(续)

| 牌 号 | 洛氏硬度 (HRC) ^② | | |
|----------------|-------------------------|-----|-------|
| | 铸态 | 淬火态 | 软化退火态 |
| KmTBCr15Mo2-DT | 40~56 | ≥58 | ≤40 |
| KmTBCr15Mo2-GT | 50~58 | ≥58 | ≤40 |
| KmTBCr20Mo2Cu1 | 50~58 | ≥58 | ≤40 |
| KmTBCr26 | 50~58 | ≥55 | ≤40 |

① 淬火加回火态。

② 硬度应选取铸件本体的主要工作部位测试。若本体测试有困难，亦可以在试样上测试，试样须与铸件同炉浇注，冷却条件接近。测试部位应取得需方同意。

表 3-216 抗磨白口铸铁热处理参考规范 (GB 8263—87)

| 牌 号 | 软化退火工艺 | 淬火工艺 | 回火工艺 | 最大断面尺寸 (mm) |
|---------------|--------|------|---|-------------|
| KmTBMn5W3 | — | — | — | 70 |
| KmTBW5Cr4 | — | — | — | 70 |
| KmTBNi4Cr2-DT | — | — | 430~470℃保温 4~6h，出炉空冷，然后再在 250~300℃保温 4~16h，出炉空冷 | 200 |
| KmTBNi4Cr2-GT | — | — | | 200 |

(续)

| 牌 号 | 软化退火 工艺 | 淬火工艺 | 回火工艺 | 最大断面 尺寸 (mm) |
|----------------|--|-----------------------------|-----------------------------|------------------|
| KmTBCr9Ni5Si2 | — | 750 ~ 825℃ 保温 4 ~ 10h, 出炉空冷 | 250 ~ 300℃ 保温 4 ~ 16h, 出炉空冷 | 300 |
| KmTBCr2Mo1Cu1 | 940 ~ 960℃ 保温 1 ~ 6h, 缓冷至 760 ~ 780℃ 保温 4 ~ 6h, 缓冷至 600℃ 以下出炉空冷 | 960 ~ 1000℃ 保温 1 ~ 6h, 出炉空冷 | 200 ~ 300℃ 保温 4 ~ 6h, 出炉空冷 | 100 |
| KmTBCr15Mo2-DT | 920 ~ 960℃ 保温 1 ~ 8h, 缓冷至 700 ~ 750℃ 保温 4 ~ 8h, 缓冷至 600℃ 以下出炉空冷 | 920 ~ 1000℃ 保温 2 ~ 6h, 出炉空冷 | 200 ~ 300℃ 保温 2 ~ 8h, 出炉空冷 | 120 ^① |
| KmTBCr15Mo2-GT | | | | 75 |
| KmTBCr20Mo2Cu1 | 920 ~ 960℃ 保温 1 ~ 8h, 缓冷至 700 ~ 750℃ 保温 4 ~ 10h, 缓冷至 600℃ 以下出炉空冷 | 960 ~ 1020℃ 保温 2 ~ 6h, 出炉空冷 | 200 ~ 300℃ 保温 2 ~ 8h, 出炉空冷 | 300 |
| KmTBCr26 | | 960 ~ 1060℃ 保温 2 ~ 6h, 出炉空冷 | | 200 |

① 若铅、铜 (或镍)、碳含量配合得当, 该牌号铸铁的最大断面尺寸可达 200mm。

表 3-217 抗磨白口铸铁的金相组织和使用特性 (GB 8263—87)

| 牌 号 | 金相组织 | | 使用特性 |
|----------------|--|--|-------------------------------|
| | 铸 态 | 淬 火 态 | |
| KmTBMn5W3 | 共晶碳化物 (Fe, Mn, W) ₃ C + 马氏体 + 残余奥氏体 | — | 适用于较小冲击载荷的磨料磨损 |
| KmTBW5Cr4 | 共晶碳化物 (Fe, W, Cr) ₃ C + 马氏体 + 残余奥氏体 | — | 适用于较小冲击载荷的磨料磨损 |
| KmTBNi4Cr2-DT | 共晶碳化物 (Fe, Cr) ₃ C + 马氏体 + 贝氏体 + 残余奥氏体 ^① | — | 适用于中等冲击载荷的磨料磨损 |
| KmTBNi4Cr2-GT | | | |
| KmTBCr9Ni5Si2 | 共晶碳化物 [(Cr, Fe) ₇ C ₃ + (Fe, Cr) ₃ C] + 马氏体 + 残余奥氏体 | 共晶碳化物 [(Cr, Fe) ₇ C ₃ + (Fe, Cr) ₃ C] + 二次碳化物 + 马氏体 + 残余奥氏体 | 有很好淬透性, 适用于较大冲击载荷的磨料磨损 |
| KmTBCr2Mo1Cu1 | 共晶碳化物 (Fe, Cr) ₃ C + 索氏体 + 马氏体 | 共晶碳化物 (Fe, Cr) ₃ C + 二次碳化物 + 马氏体 + 残余奥氏体 | 适用于较小冲击载荷的磨料磨损 |
| KmTBCr15Mo2-DT | 共晶碳化物 (Cr, Fe) ₇ C ₃ + 奥氏体及其转变产物 | 共晶碳化物 (Cr, Fe) ₇ C ₃ + 二次碳化物 + 马氏体 + 残余奥氏体 | 适用于较小冲击载荷的磨料磨损 |
| KmTBCr15Mo2-GT | | | 适用于中等冲击载荷的磨料磨损 |
| KmTBCr20Mo2Cu1 | 共晶碳化物 (Cr, Fe) ₇ C ₃ + 奥氏体及其转变产物 | 共晶碳化物 (Cr, Fe) ₇ C ₃ + 二次碳化物 + 马氏体 + 残余奥氏体 | 有很好淬透性, 适用于较大冲击载荷的磨料磨损 |
| KmTBCr26 | 共晶碳化物 (Cr, Fe) ₇ C ₃ + 奥氏体 | 共晶碳化物 (Cr, Fe) ₇ C ₃ + 二次碳化物 + 马氏体 + 残余奥氏体 | 有良好抗蚀性和抗高温氧化性, 适用于较大冲击载荷的磨料磨损 |

① 该组织为回火态。

表 3-218 其它合金白口铸铁的化学成分、组织、性能及应用

| 种类及名称 | 化学成分 (%) | 状态 | 金相组织 ^① | 力学性能 ^② | 应用 | |
|---------------|---|--|--|------------------------------------|--|---------------------------------|
| 铬 类 | 低铬稀土白 口铸铁 | C 2.4~2.6, Si 0.8~1.2, Mn 0.8 ~1.2, Cr 2.5~3.0 | 980℃, 盐浴 260 ~300℃/3h, 空冷 | (Fe, Cr) ₃ C+B+Ar | HRC 53 ~ 58, a _K 4.0 ~ 6.0, σ _b 450~550 | 抛丸机叶片, 定 向套, 叶轮等 |
| | | C 2.4~2.7, Si < 1.0, Mn 0.4~0.6, Cr 3.8~4.2, RE < 0.1, P < 0.1, S < 0.05 | 180~200℃ 等温 淬火 | 断网状 (Fe, Cr) ₃ C+M | HRC64~68 | |
| | 中铬稀土白 口铸铁 | C 2.4~2.8, Si 1.0~1.3, Mn 0.4 ~0.6, Cr 5~8, V 0.3~0.4, Ti 0.04 ~0.05, RE 1.5, S <0.04, P < 0.04 | 860 ~ 880℃/ 20min 淬火 180 ~ 200℃/45 ~ 60s ^③ , 空冷, 180~200℃/ 2h (油) | 回火 M+共晶 C +少量淬火 M | HRC62~63.5 | Q3110 抛丸机叶 片寿命 203~274.1h |
| 高铬白口铸 铁 | C 2.8~3.0, Si 0.4~0.8, Mn 0.8 ~1.0, Cr 15~17, Cu 0.8~1.2, Mo 1.9~2.2, S < 0.08, P < 0.08 | 铸态先退火, 冷 加工, 再空气淬火 | M+孤立状合金 C | | EM70 磨煤机上、 下磨环 | |
| 铬、钼、铜白 口铸铁 | | C 2.4~3.6, Si <= 1.0, Mn 1.0~2.0, Cr 2.0~3.0, Mo 0.5~1.0, Cu 0.8 ~1.2, S <=0.10, P <=0.15 | 铸态 | (Fe, Cr) ₃ C+S+少 量 M | HRC 50 ~ 55, a _K 4.0 ~ 5.0, σ _b 500~530, f _{1.5} ~ 1.8 | 平盘磨煤机辊套, 水泥球磨机衬板 |
| | | | 980℃/4h, 空冷, 300℃/2h, 空冷 | (Fe, Cr) ₃ C+M+ Ar | HRC55~62, a _K 5.0 ~7.0, σ _b 610~640, f _{2.1} ~2.3 | |
| | | C 3.2~3.4, Si <= 1.0, Mn 1.5~2.0, Cr 3.0~4.0, Mo 0.5~0.6, Cu 1.5 ~2.0, S <=0.10, P <=0.15 | 铸态 | (Fe, Cr) ₃ C+S+少 量 M | HRC52~58, a _K 3.0 ~5.0, σ _b 700~720 | 中小型杂质泵易 磨损零件 |
| | | C 3.2~3.4, Si 0.4~0.9, Mn 0.8 ~1.2, Cr 1.5~ 1.7, Mo <=0.4, Cu 3.3~3.8, S <= 0.15, P <=0.18 | 铸态 | (Fe, Cr) ₃ C+S+少 量 M | HRC55~60 | 白云石搅拌机易 磨损件, 寿命比高 锰钢高 4 倍 |
| 钼铜白口铸铁 | C 2.2~2.5, Si 1.0~1.3, Mn 0.3 ~0.6, Mo 0.7~ 1.0, Cu 0.8~1.1 | 800℃/45min, 920 ± 10℃/45min, 油淬, 260~280℃/ 3~5h 空冷 | 回火 M+连网状合 金 C | HRC65~70 | 抛丸机叶片 > 60h, 叶轮、叶轮罩 >150h | |

(续)

| 种类及名称 | 化学成分 (%) | 状态 | 金相组织 ^① | 力学性能 ^② | 应用 |
|-------------|--------------|-------------------------------------|---|---|-------------------------------|
| 钒 钛 类 | 钼钒白口铸铁 | | 细 P + 合金 C | σ_b 490 ~ 549 MPa, HRC38 ~ 40 | 杂质泵叶轮翼 |
| | 低铬钒钛白口 铸铁 | 850℃ 油淬 | 隐针状细 M + 断 网状合金 C | HRC62.5 | 抛丸机叶片 |
| | 铬钒钛白口铸 铁 | 850℃ 油淬 | 隐针状细 M + 新 网状合金 C | HRC61.5 | 抛丸机叶片 |
| 锰 类 | 中锰白口铸铁 | 铸态 | (Fe, Mn, Cr) ₃ C + M + Ar | HRC57 ~ 62, a_K 4.0 ~ 10 ^⑥ | 泵体、磨球、衬板 |
| | 中锰钒钛白口 铸铁 | 铸态 | (Fe, Mn, Cr) ₃ C · M + Ar | HRC45 ~ 55, a_K 6.5 ~ 8.0, σ_{bb} 650 ~ 830, f 2.5 ~ 3.0 | 薄壁易磨损零件, 如搅拌机内、外刮 板, 衬板 |
| | 中锰稀土白口 铸铁 | 铸态空淬 + 回火 | (Fe, Mn, Cr) ₃ C + M + Ar | | 砂浆泵体, 分级 机衬铁, 球磨机衬 板等 |
| | 奥氏体 锰铸铁 | 铸态 | (Fe, Mn) ₃ C + A | HRC36 ~ 37, a_K 6.8 ~ 7.9 ^⑤ , σ_{bb} 650 ~ 720, f 3.2 ~ 3.6 | 磨辊、齿板 |
| | 980℃, 空冷 | (Fe, Mn) ₃ C + M + Ar | HRC33 ~ 35, a_K 17 ~ 18 ^⑤ , σ_{bb} 800 ~ 850, f 4.2 ~ 4.6 | | |

(续)

| 种类及名称 | | 化学成分 (%) | 状态 | 金相组织 ^① | 力学性能 ^② | 应用 |
|-------------|---------|--|----|---------------------------------|--|-----------|
| 锰 钼 类 | 低锰钼白口铸铁 | C 2.7 ~ 3.0, Si 1.2 ~ 1.6, Mn 1.0 ~ 1.2, Mo 0.7 ~ 1.2, P < 0.1 | | P+S+C | HRC45~50 | 加工的杂质泵零件 |
| | 中锰钼白口铸铁 | C 3.5 ~ 3.8, Si 1.3 ~ 1.5, Mn 4.5 ~ 5.0, Cu 0.6 ~ 0.8, Mo 1.5 ~ 2.0, P < 0.1 | | M+S+C+Ar | HRC55~62 | 不加工的杂质泵零件 |
| 锰 钨 类 | 低锰钨白口铸铁 | C 2.7 ~ 3.0, Si 1.2 ~ 1.5, Mn 1.3 ~ 1.6, W 1.6 ~ 1.8, P ≤ 0.1, S ≤ 0.15, V 0 ~ 0.3, Ti 0 ~ 0.3 | 铸态 | (Fe, W) ₃ C+S+P | HRC38~45, a _K 3.0~3.5, σ _b 520~600 | 加工的杂质泵零件 |
| | 中锰钨白口铸铁 | C 3.0 ~ 3.3, Si 0.8 ~ 1.2, Mn 4.0 ~ 6.0, W 2.5 ~ 3.5, P ≤ 0.1, S ≤ 0.15, V 0 ~ 0.3, Ti 0 ~ 0.3 | 铸态 | (Fe, Mn, W) ₃ C+M+Ar | HRC55~60, a _K 3.0~6.0, σ _b 420~570 | 不加工的杂质泵零件 |
| 硼 类 | 硼白口铸铁 | C 3.25, Si 1.76, Mn 0.94, P 0.127, S 0.039, B 0.054 | 铸态 | P+C 10%~15% | HB229 | 杂质泵叶轮 |
| | 硼铜白口铸铁 | C 3.27, Si 1.70, Mn 0.95, P 0.288, S 0.071, B 0.06, Cu 0.82 | 铸态 | P+C 10%~15% | σ _b 424, HB255 | 杂质泵叶轮 |

① 金相组织: M—马氏体, B—贝氏体, Ar—残余奥氏体, S—索氏体, P—珠光体, A—奥氏体, C—碳化物

② 力学性能: HRC—硬度, a_K—冲击初度 (J/cm²), σ_b—抗弯强度 (MPa), f—挠度 (mm)

③ 淬火介质: NaNO₃50% + KNO₃50%

④ 冲击试样 10mm×10mm×55mm, 无缺口。

⑤ φ15mm 试样, 艾氏冲击初度。

5.1.4 镍硬铸铁

1928年, 国际镍公司研制成功含 Ni 3%~5%、Cr 1.5%~3%的合金白口铸铁, 称为镍硬铸铁。

后来, 镍硬铸铁成为含 Ni 2.7%~7.0%、Cr 1.1%~4.0%或 7.0%~11.0%的合金白口铸铁的通称。

公认的镍硬铸铁有 4 种: 前三种含 Cr 2%左右, 第 4 种含 Cr 9%左右。各种标准规定的化学成分不尽相同。美国试验材料学会 (ASTM) 规定的化学成分见表 3-219, 力学性能和物理性能见表 3-220。

镍提高淬透性, 获得以马氏体为主的基体。锰、铜只能部分代替镍。少量硼可以提高硬度。

镍硬铸铁的铸态组织为 (Fe, Cr)₃C+马氏体+残余奥氏体。通过热处理, 可以获得贝氏体+回火马氏体。

镍硬铸铁的主要应用如下: 轧辊, 球磨机的衬板和磨球, 磨煤机的辊套和磨环, 碾磨机的衬板和刮板, 抛丸机的衬板和叶轮, 泥浆泵、杂质泵的泵体和叶轮, 输送管道等。第 4 种可用于壁厚 >200mm 的抗磨铸件。

表 3-219 镍硬铸铁的化学成分 (ASTM A532—87) (%)

| 分类 | 名称 | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo |
|-----|----------|---------|------|------|-------|-------|---------|----------|------|
| I-A | Ni-Cr-HC | 2.8~3.6 | ≤0.8 | ≤2.0 | ≤0.30 | ≤0.15 | 3.3~5.0 | 1.4~4.0 | ≤1.0 |
| I-B | Ni-Cr-LC | 2.4~3.0 | ≤0.8 | ≤2.0 | ≤0.30 | ≤0.15 | 3.3~5.0 | 1.4~4.0 | ≤1.0 |
| I-C | Ni-Cr-GB | 2.5~3.7 | ≤0.8 | ≤2.0 | ≤0.30 | ≤0.15 | ≤4.0 | 1.0~2.5 | ≤1.0 |
| I-D | Ni-Hi-Cr | 2.5~3.6 | ≤2.0 | ≤2.0 | ≤0.10 | ≤0.15 | 4.5~7.0 | 7.0~11.0 | ≤1.5 |

表 3-220 镍硬铸铁的力学性能和物理性能

| 类 型 | 1 型-常规型 (ASTM A 532 1-A) | | 2 型-高强度型 (ASTM A 532 1-B) | | 3 型 (ASTM A 532 1-C) | | 4 型 (ASTM A532 1-D) | |
|----------------------------------|-----------------------------|-----------|------------------------------|-----------|-------------------------|------|------------------------|-----------|
| | Ni-Cr-HC | | Ni-Cr-LC | | Ni-Cr-GB | | Ni-HiCr | |
| 牌号 ^① | Ni-Cr-HC | | Ni-Cr-LC | | Ni-Cr-GB | | Ni-HiCr | |
| 铸造方法 | 砂型 | 金属型 | 砂型 | 金属型 | 砂型 | 金属型 | 砂型 | 金属型 |
| 硬度 ^② (HB) | ≥550 | ≥600 | ≥550 | ≥600 | ≥550 | ≥600 | ≥500 | ≥550 |
| 抗弯力 ^③ (kN) | 17.8~22.2 | 20.0~30.2 | 20.0~24.5 | 24.5~31.1 | | | 22.2~26.7 | 24.5~31.1 |
| 挠度 ^③ (mm) | 2.0~2.8 | 2.0~3.0 | 2.5~3.0 | 2.5~3.0 | | | 2.0~2.8 | 2.5~3.8 |
| 抗拉强度 (MPa) | 276~345 | 345~414 | 310~379 | 414~517 | | | 517~586 | 552~759 |
| φ30.48 试棒的 弹性模量 (GPa) | 166~179 | 166~179 | 166~179 | 166~179 | | | 166~179 | 166~179 |
| 艾左 AB 冲击吸收 功 ^④ (J) | 27.1~40.7 | 33.9~54.2 | 33.9~47.5 | 47.5~74.6 | | | 47.5~61.0 | 47.5~61.0 |
| 密度 (g/cm ³) | 7.6~7.8 | 7.6~7.8 | 7.6~7.8 | 7.6~7.8 | | | 7.6~7.8 | 7.6~7.8 |
| 电阻率 (μΩ·cm) | 80 | 80 | 80 | 80 | | | 80~100 ^⑤ | |
| 热导率 [W/(m·K)] | | | | | | | | |
| 20℃ | 2.98 | | | | | | 12.14~13.40 | |
| 200℃ | 17.17 | | | | | | 15.49~17.58 | |
| 400℃ | 19.68 | | | | | | 18.84~20.52 | |
| 600℃ | 22.19 | | | | | | 21.35~23.03 | |
| 800℃ | 23.86 | | | | | | 23.45~24.70 | |
| 磁性 | 全磁性 | | 全磁性 | | 全磁性 | | 全磁性 | |

① 所有铸铁均经消除应力退火: 260℃, 保温 4h。

② 采用碳化物布氏压球, 试块 50×150×150mm, 硬度是规格要求, 其它指标供参考。

③ 试棒 φ30.48mm, 支距 300mm。

④ 无缺口试棒 φ30.48mm, 在支点以上 72.6mm 冲击。

⑤ 含碳增加到 3.6%, 电阻率增加。

5.1.5 高铬白口铸铁

美国工业用抗磨高铬白口铸铁见表 3-221。

表 3-221 工业用抗磨高铬白口铸铁 (美国 Climax 铝业公司)

| 牌 号 | | 15-3 ^① | | | 15-2-1 | 20-2-1 |
|-------------------------|----|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | HC (高碳) | MC (中碳) | LC (低碳) | | |
| 化 学 成 分 (%) | C | 3.20~3.60 | 2.80~3.20 | 2.40~2.80 | 2.80~3.50 | 2.60~2.90 |
| | Si | 0.30~0.80 | 0.30~0.80 | 0.30~0.80 | 0.40~0.80 | 0.40~0.90 |
| | Mn | 0.70~1.00 | 0.50~0.80 | 0.50~0.80 | 0.60~0.90 | 0.60~0.90 |
| | Cr | 14.00~16.00 | 14.00~16.00 | 14.00~16.00 | 14.00~16.00 | 18.00~21.00 |
| | Mo | 2.50~3.00 | 2.50~3.00 | 2.40~2.80 | 1.90~2.20 | 1.40~2.00 |

(续)

| 牌 号 | | 15-3 ^① | | | 15-2-1 | 20-2-1 |
|---------------------|-------|---|---------|---------|------------------------------|-------------------------------|
| | | HC (高碳) | MC (中碳) | LC (低碳) | | |
| 化学成分 (%) | Cu | — | — | — | 0.50~1.20 | 0.50~1.20 |
| | P | <0.10 | <0.10 | <0.10 | <0.06 | <0.06 |
| | S | <0.05 | <0.05 | <0.05 | <0.05 | <0.05 |
| 空冷时无珠光体的最大断面尺寸 (mm) | | 70 | 90 | 120 | 200 ^② | >200 |
| 硬度 (HRC) | 铸态 | 51~56 | 50~54 | 44~48 | 50~54 | 50~54 |
| | 淬火 | 62~67 | 60~65 | 58~63 | 60~67 | 60~67 |
| | 软化退火 | 40~44 | 37~42 | 35~40 | 40~44 | 38~43 |
| 热处理规范 | 淬火+回火 | 920~960℃ / 0.5~1h, 空淬, 200~260℃ | | | 920~960℃ / >4h, 空淬, 200~260℃ | 950~1000℃ / >6h, 空淬, 200~260℃ |
| | 软化退火 | 奥氏体化→炉冷至 820℃→以 <50℃/h 冷至 600℃→缓冷至室温 在 700~750℃ 保温较长时间, 亦可显著软化 | | | | |

① 该牌号还有超高碳型, 含 C 3.60%~4.30%, 其余成分与高碳型相同。

② 若含碳量为下限, 大断面中可能出现贝氏体。

我国于 60 年代发展了抗磨高铬白口铸铁, 见表 3-218。后来, 又发展了高铬稀土白口铸铁, 它具有优良的抗磨性和综合性能, 用于矿山、冶金、建材等行业, 如球磨机衬板、磨球、抛丸机衬板等, 见表 3-222。

表 3-222 高铬稀土白口铸铁 (磨球)

| 成分 (%) | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | V+Ti | RE |
|--------|---|---------|---------|-------|-------|-------|-----------|----------|-----------|
| | 1.8~2.2 | 0.5~0.8 | 0.5~1.2 | <0.08 | <0.05 | 12~14 | 0.20~0.30 | 0.07~0.1 | 0.03~0.06 |
| 性能 | 1. 铸态: HRC41.4, $a_K 9.39\text{J}/\text{cm}^2$ 2. 950℃ + 200℃ 回火: HRC62.5; 350℃ 回火: HRC58.1, $a_K 9.56\text{J}/\text{cm}^2$ 3. 1000℃ + 200℃ 回火: HRC64.0; 350℃ 回火: HRC60.1, $a_K 9.79\text{J}/\text{cm}^2$ | | | | | | | | |

5.1.6 抗磨白口铸铁的铸造性能

含碳量低, 流动性差。线收缩大, 一般为 1.3%~2.0%, 合金白口铸铁通常为 1.7%~2.2%, 受阻收缩约 $\geq 1.5\%$ 。体收缩大, 约 7.5%~9%, 易缩孔、缩松。铸造应力大, 易热裂、冷裂、碎裂。型砂(溃散性)和铸造工艺均应采取措施。

5.1.7 白口抗磨铸铁的热处理

普通白口铸铁, 多铸态使用, 或只作消除应力退火, 温度不宜高于 500℃, 以免共晶渗碳体分解。某些马氏体白口铸铁, 消除应力退火温度常限制在 400℃ 以下, 以免马氏体分解成索氏体或托氏体。

合金白口铸铁, 可以软化退火, 改善可加工性, 扩大应用, 见表 3-223, 可以淬火回火, 提高抗磨性。小铸件, 可以等温淬火, 提高韧度, 见表 3-224。

表 3-223 抗磨白口铸铁的软化退火

| 铸铁种类及组织 | 热处理规范 | 应用举例 |
|--------------------------------------|--|------|
| 高铬白口铸铁 15Cr3Mo 铸态马氏体全部转变成珠光体, 可以切削加工 | 950℃ / $\geq 1\text{h}$ → 炉冷 ($\geq 50^\circ\text{C}/\text{h}$) 至 600℃ → 快炉冷或静空冷加工后再淬火 | |
| 低合金马氏体白口铸铁组织同上 | 950℃ / 1h → 炉冷至 780~760℃ / 4h → 炉冷至 300℃ → 空冷 | |

表 3-224 抗磨白口铸铁的淬火与等温淬火

| 方法 | 白口铸铁种类成分 (%) 及组织 | 热处理规范 | 应用举例 |
|--|---|---|----------------------|
| 淬 | Mn-Mo、Mn-Ni、Mn-Cr、Cu-Mo、Ni-Cr-Mo 等自行 淬火白口铸铁铸态; 马氏体 + 渗碳体 + 残余奥氏体, 或贝氏体 + 渗碳体 + 残余奥氏体 回火后; 奥氏形成更多马氏体或分解成贝氏体 | 铸件 950~1000℃ 开型风冷或空冷, 再加热到 Ms 点以上 保温, 回火 | |
| 火 | 锰铝铸铁 C 2.2~2.6, Si 0.8~1.3, Mn 1.8~2.2, S≤0.1, P≤0.1, Mo 0.7~0.9 | 950℃ 开型风冷, 300℃/1h | 磨粉机磨头、抛丸机叶片、 分丸轮 |
| | 铜铝铸铁 C 2.4~2.8, Si<0.1, Mn 0.6~0.8, S< 0.1, P<0.1, Cu 0.5~1.0, Mo 0.5~0.7 | 950℃ 开型风冷, 300℃/1h | 抛丸机叶片、分丸轮、衬 板等 |
| 回 | 低铬钒钛铸铁 C 2.9~3.0, Si | | |
| | 1.0~1.2, Mn 0.7~0.8, S<0.02, P<0.025, Cr 1.5 ~2.0, V 0.29~0.30, Ti 0.09~0.11, Zr 0.03~0.045 | 850℃/30min→油淬 40~ 50s→空冷至室温, 180~ 200℃/1.5h | 抛丸机叶片等 |
| | 中铬钒钛铸铁 C 2.4~2.6, Si 1.4~1.6, Mn 0.4~ 0.6, S<0.02, P<0.025, Cr 4.4~5.2, V 0.25~ 0.30, Ti 0.09~0.10, Zr 0.03~0.045 | | 抛丸机叶片、护板; 混砂 机刮板等 |
| 火 | 高铬钼铸铁 Cr 12~18, Mo 2.0~4.0 | 950~1060℃→空冷或风 冷, 205~260℃回火 | 吸砂泵、压砖模衬等 |
| | 高铬钼铜铸铁 15Cr2Mo1Cu | 970℃/4h→空冷, 200, 260℃/2h→空冷 | |
| 等 温 淬 火 | 低碳硅白口铸铁 | | |
| | C 2.1~2.3, S≤1.0, Mn 0.4~0.6, S<0.1, P<0.1 | 900~950℃/45~6min→ 280~300℃/60~90min | 劲锤式饲料粉碎机锤片 |
| | C 2.4~2.6, S≤1.0, Mn 0.6~0.8, S<0.1, P<0.1 | | 各种机引犁铧 |
| C 2.6~2.8, S≤1.0, Mn 0.6~1.0, S<0.1, P<0.1 | 抛丸机叶片、分丸轮、衬 板等 | | |

5.2 冷硬铸铁

冷硬铸铁是采用激冷铸造工艺, 外层为硬而抗磨

的白口组织, 中间为麻口组织, 心部为具有一定强度和韧度灰口组织的铸铁。

(1) 冷硬铸铁件, 见表 3-225。

表 3-225 冷硬铸铁件的化学成分、性能及用途

| 铸铁种类 | 化学成分 (%) | | | | | | 白口层 硬度 (HRC) | 灰口部分性能 | | 用途举例 |
|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---|--|---------------------|-------------------------|--|
| | C | Si | Mn | P | S | 其它 | | σ_b (MPa) | σ_{10b} (MPa) | |
| 普通冷硬 铸铁 | 3.0~ 3.6 | 0.5~ 0.75 | >0.50 | ≤0.35 | ≤0.14 | | | | | 冷铸车轮 |
| | 3.5~ 3.6 | 2.0~ 2.2 | 0.7~ 1.0 | — | <0.12 | | H1450~ 500 | | | 冷铸犁铧 |
| | 3.5~ 3.7 | 1.8~ 2.0 | 0.7~ 1.0 | ≤0.2 | ≤0.12 | | ≥50 | 200~ 250 | 400~ 470 | 柴油机气门顶杆, 白口层 5~8mm |
| | 3.8~ 4.0 | 0.7~ 1.0 | 0.9~ 1.1 | ≤0.2 | ≤0.12 | | ≥50 | 200~ 250 | 400~ 470 | 拖拉机托带轮 |
| | 3.5~ 3.7 | 1.75~ 2.10 | 0.5~ 0.9 | ≤0.15 | ≤0.15 | B0.003~ 0.0077 | 48~50 | >150 | >330 | 拖拉机托链轮 |
| | 3.0~ 3.2 | 1.9~ 2.2 | 0.6~ 0.8 | 0.17~ 0.25 | 0.08~ 0.12 | | | | | 小型机器铸件 |
| | 3.4~ 3.7 | 0.55~ 0.7 | 0.5~ 0.6 | 0.2~ 0.3 | 0.08~ 0.12 | | | | | 货车车轮 |
| 镍铬冷硬铸铁 | 3.4~ 3.5 | 0.8~ 0.85 | 0.45~ 0.5 | 0.4 | 0.1 | Ni 0.45~0.5 Cr 0.45~0.5 | | | | 碎石颧板 |
| 镍铬钼冷硬铸 铁 | 3.2~ 3.4 | 1.9~ 2.1 | 0.65~ 0.85 | ≤0.12 | ≤0.10 | Ni 0.4~0.5 Cr 0.9~1.1 Mo 0.4~0.55 | 铸态 530 ~560; 600℃回 火后, 500~550 | 200~ 250 | 400~ 470 | 发动机气门顶 杆, 白口深度在 $\leq 4\sim 6$, >math>\geq 800\text{mm}</math>之 间, 细变态莱氏体 $\leq 95\%$ |

(续)

| 铸铁种类 | 化学成分 (%) | | | | | | 白口层 硬度 (HRC) | 灰口部分性能 | | 用途举例 |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---|--------------------|---------------------|-------------------------|--|
| | C | Si | Mn | P | S | 其它 | | σ_b (MPa) | $\sigma_{0.2}$ (MPa) | |
| 铬钼稀土冷硬铸铁 | 3.5~ 3.8 | 1.7~ 2.0 | 0.6~ 0.9 | ≤ 0.2 | ≤ 0.09 | Cr 0.5~0.8 Mo 0.5~0.7 稀土硅铁合金 0.5~0.7 | ≥ 53 | 250 | 470 | 柴油机气门顶杆, 白口层 3~5mm |
| 铬钼铜冷硬铸铁 | 3.4~ 3.6 | 1.6~ 2.0 | 0.5~ 0.7 | ≤ 0.08 | ≤ 0.1 | Cr 0.3~0.5 Mo 0.2~0.5 Cu 0.9~1.1 | 47~ 52 | ≥ 200 | ≥ 400 | 内燃机凸轮轴 |
| 硼冷硬铸铁 | 3.75 | 1.7 | 0.6 | 0.13 | ≤ 0.07 | B 0.02~0.04 | 50~51 | 150 | 330 | 纺织机中的桃子投梭鼻、打梭转子等干摩擦传动件 |
| 稀土冷硬铸铁 | 3.3~ 3.5 | 2.6~ 2.8 | 1.2~ 1.6 | ≤ 0.2 | ≤ 0.12 | 稀土硅铁合金 1.7~2.0 | 42 | 400~ 500 | 700~ 900 | 混砂机碾轮 $\phi 70 \times 230$, 内径 $\phi 60$, 挠度 $f=7mm$ |

(2) 冶金轧辊化学成分、白口深度和性能见表 3-226 和表 3-227。

表 3-226 冶金类轧辊的化学成分 (GB 1504—79)

| 轧辊分类 | 轧辊名称 | 化学成分 (%) | | | | | | | | | | |
|------|----------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|
| | | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo | W | Cu | Mg |
| 冷硬 | 普通冷硬铸铁轧辊 | 2.90~ 3.80 | 0.25~ 0.80 | 0.20~ 0.70 | ≤ 0.50 | ≤ 0.12 | — | — | — | — | — | — |
| | 钼合金冷硬铸铁轧辊 | 2.90~ 3.80 | 0.25~ 0.80 | 0.20~ 0.70 | ≤ 0.50 | ≤ 0.12 | — | — | 0.20~ 0.60 | — | — | — |
| | 低铬钼冷硬铸铁轧辊 | 2.90~ 3.80 | 0.25~ 0.80 | 0.20~ 0.70 | ≤ 0.50 | ≤ 0.12 | — | 0.20~ 0.60 | 0.20~ 0.60 | — | — | — |
| | 铬钼铜冷硬铸铁轧辊 | 2.90~ 3.80 | 0.25~ 0.80 | 0.20~ 0.70 | ≤ 0.50 | ≤ 0.12 | — | 0.30~ 0.80 | 0.30~ 0.80 | — | 0.80~ 1.60 | — |
| | 低镍铬冷硬铸铁轧辊 | 2.90~ 3.80 | 0.25~ 0.80 | 0.20~ 0.70 | ≤ 0.50 | ≤ 0.12 | 0.50~ 1.00 | 0.20~ 0.60 | — | — | — | — |
| | 低镍铬钼冷硬铸铁轧辊 | 2.90~ 3.80 | 0.25~ 0.80 | 0.20~ 0.70 | ≤ 0.50 | ≤ 0.12 | 0.50~ 1.00 | 0.20~ 0.60 | 0.20~ 0.60 | — | — | — |
| | 中镍铬冷硬铸铁轧辊 | 2.90~ 3.80 | 0.25~ 0.80 | 0.20~ 0.70 | ≤ 0.50 | ≤ 0.12 | 1.00~ 1.60 | 0.40~ 0.70 | — | — | — | — |
| 球墨 | 普通冷硬球墨复合铸铁轧辊 | 2.90~ 3.70 | 0.40~ 1.00 | 0.40~ 1.00 | ≤ 0.50 | ≤ 0.03 | — | — | — | — | — | ≥ 0.04 |
| | 钼合金冷硬球墨复合铸铁轧辊 | 2.90~ 3.70 | 0.40~ 1.00 | 0.40~ 1.00 | ≤ 0.50 | ≤ 0.03 | — | — | 0.20~ 0.60 | — | — | ≥ 0.04 |
| | 铬钼冷硬球墨复合铸铁轧辊 | 2.90~ 3.70 | 0.40~ 1.00 | 0.40~ 1.00 | ≤ 0.50 | ≤ 0.03 | — | 0.20~ 0.60 | 0.20~ 0.60 | — | — | ≥ 0.04 |
| | 铬钼铜冷硬球墨复合铸铁轧辊 | 2.90~ 3.70 | 0.40~ 1.00 | 0.4~ 1.00 | ≤ 0.50 | ≤ 0.03 | — | 0.30~ 0.80 | 0.30~ 0.80 | — | 0.81~ 1.60 | ≥ 0.04 |
| | 钨钼铬冷硬球墨复合铸铁轧辊 | 2.90~ 3.70 | 0.40~ 1.00 | 0.40~ 1.00 | ≤ 0.50 | ≤ 0.03 | — | 0.20~ 0.60 | 0.20~ 0.60 | 0.20~ 1.60 | — | ≥ 0.04 |
| | 高镍铬钼冷硬球墨复合铸铁轧辊 | 2.90~ 3.70 | 0.40~ 1.00 | 0.40~ 1.00 | ≤ 0.50 | ≤ 0.03 | 3.00~ 4.50 | 0.80~ 1.50 | 0.20~ 0.60 | — | — | ≥ 0.04 |

(续)

| 轧辊分类 | 轧辊名称 | 化学成分 (%) | | | | | | | | | | | |
|--------|----------------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|---|-----------|----|-------|
| | | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo | W | Cu | Mg | |
| 冷硬轧辊 | 球墨铸铁芯 | | | | | | | | | | | | |
| | 普通冷硬球墨铸铁芯轧辊 | 2.90~3.70 | 0.25~0.80 | 0.20~0.70 | ≤0.50 | ≤0.12 | — | — | — | — | — | — | — |
| | 铜合金冷硬球墨铸铁芯轧辊 | 2.90~3.70 | 0.25~0.80 | 0.20~0.70 | ≤0.50 | ≤0.12 | — | — | 0.20~0.60 | — | — | — | — |
| | 铬钼铜冷硬球墨铸铁芯轧辊 | 2.90~3.70 | 0.25~0.80 | 0.20~0.70 | ≤0.50 | ≤0.12 | — | 0.30~0.80 | 0.30~0.80 | — | 0.80~1.60 | — | — |
| | 高镍铬铜冷硬球墨铸铁芯轧辊 | 2.90~3.70 | 0.25~0.80 | 0.20~0.70 | ≤0.50 | ≤0.12 | 3.00~4.50 | 0.80~1.50 | 0.20~0.60 | — | — | — | — |
| 半冷硬轧辊 | 球墨铸铁 | | | | | | | | | | | | |
| | 普通半冷硬球墨铸铁轧辊 | 2.90~3.80 | 0.80~2.50 | 0.50~1.20 | ≤0.30 | ≤0.03 | — | — | — | — | — | — | ≥0.04 |
| | 低铬半冷硬球墨铸铁轧辊 | 2.90~3.80 | 0.80~2.50 | 0.50~1.20 | ≤0.30 | ≤0.03 | — | 0.20~0.60 | — | — | — | — | ≥0.04 |
| | 低铬钼半冷硬球墨铸铁轧辊 | 2.90~3.80 | 0.80~2.50 | 0.50~1.20 | ≤0.30 | ≤0.03 | — | 0.20~0.60 | 0.20~0.60 | — | — | — | ≥0.04 |
| | 镍铬钼半冷硬球墨铸铁轧辊 | 2.90~3.80 | 1.50~2.50 | 0.20~0.70 | ≤0.12 | ≤0.02 | 1.50~2.50 | 0.20~0.40 | 0.30~0.80 | — | — | — | ≥0.04 |
| 无限冷硬轧辊 | 非球墨铸铁 | | | | | | | | | | | | |
| | 铬钼无限冷硬铸铁轧辊 | 2.90~3.70 | 0.60~1.20 | 0.60~1.20 | ≤0.30 | ≤0.12 | — | 0.60~1.20 | 0.20~0.60 | — | — | — | — |
| | 中镍铬钼无限冷硬铸铁轧辊 | 2.90~3.70 | 0.60~1.20 | 0.60~1.20 | ≤0.30 | ≤0.12 | 1.00~3.00 | 0.70~1.30 | 0.20~0.60 | — | — | — | — |
| | 高镍铬钼无限冷硬铸铁轧辊 | 2.90~3.70 | 0.60~1.20 | 0.60~1.20 | ≤0.30 | ≤0.12 | 3.00~4.50 | 1.00~1.50 | 0.20~0.60 | — | — | — | — |
| | 球墨铸铁 | | | | | | | | | | | | |
| | 低铬球墨无限冷硬铸铁轧辊 | 2.90~3.80 | 0.80~2.50 | 0.50~1.20 | ≤0.30 | ≤0.03 | — | 0.20~0.60 | — | — | — | — | ≥0.04 |
| | 低铬钼球墨无限冷硬铸铁轧辊 | 2.90~3.80 | 0.80~2.50 | 0.50~1.20 | ≤0.30 | ≤0.03 | — | 0.20~0.60 | 0.20~0.60 | — | — | — | ≥0.04 |
| | 中镍铬钼球墨无限冷硬铸铁轧辊 | 2.90~3.80 | 0.80~2.50 | 0.50~1.20 | ≤0.30 | ≤0.03 | 1.00~3.00 | 0.30~1.20 | 0.20~0.80 | — | — | — | ≥0.04 |
| | 高镍铬钼球墨无限冷硬铸铁轧辊 | 2.90~3.80 | 0.80~2.50 | 0.50~1.20 | ≤0.30 | ≤0.03 | 3.00~4.50 | 0.60~1.50 | 0.20~0.80 | — | — | — | ≥0.04 |

表 3-227 冶金轧辊的白口深度和性能 (GB 1504—79)

| 轧辊分类 | 轧辊名称 | 白口深度 (mm) | | | | | | 辊身表面硬度 (HS) | | 辊颈表面硬度 (HS) | |
|----------------|--------|-----------------|---------------------|---------------------|--------------|-------|------|-----------------|--------------|-------------|-----------|
| | | 型 辊 | | | | 钢 板 | | $\phi \leq 400$ | $\phi > 400$ | | |
| | | $\leq \phi 200$ | $\phi 201 \sim 250$ | $\phi 251 \sim 300$ | $\phi > 300$ | 薄板 | 中厚板 | | | | |
| 冷硬轧辊 | 非球墨铸铁 | 普通冷硬铸铁轧辊 | 12~25 | 15~30 | 17~35 | 20~45 | — | 8~35 | ≥ 63 | ≥ 58 | ≤ 48 |
| | | 铝合金冷硬铸铁轧辊 | 12~25 | 15~30 | 17~35 | 20~45 | — | 8~35 | ≥ 63 | ≥ 58 | ≤ 48 |
| | | 低铬铝冷硬铸铁轧辊 | 12~25 | 15~30 | 17~35 | 20~45 | — | 8~35 | ≥ 63 | ≥ 58 | ≤ 48 |
| | | 铬铝铜冷硬铸铁轧辊 | 12~25 | 15~30 | 17~35 | 20~45 | — | 8~35 | ≥ 65 | ≥ 62 | ≤ 52 |
| | | 低镍铬冷硬铸铁轧辊 | 12~25 | 15~30 | 17~35 | 20~45 | — | 8~35 | ≥ 65 | ≥ 62 | ≤ 52 |
| | | 低镍铬铝冷硬铸铁轧辊 | 12~25 | 15~30 | 17~35 | 20~45 | — | 8~35 | ≥ 65 | ≥ 62 | ≤ 52 |
| | | 中镍铬冷硬铸铁轧辊 | 12~25 | 15~30 | 17~35 | 20~45 | — | 8~35 | ≥ 68 | ≥ 65 | ≤ 52 |
| | 球墨铸铁复合 | 普通冷硬球墨复合铸铁轧辊 | — | — | — | — | 8~28 | 8~35 | ≥ 60 | ≥ 58 | ≤ 48 |
| | | 铝合金冷硬球墨复合铸铁轧辊 | — | — | — | — | 8~28 | 8~35 | ≥ 60 | ≥ 58 | ≤ 48 |
| | | 铬铝冷硬球墨复合铸铁轧辊 | — | — | — | — | 8~28 | 8~35 | ≥ 60 | ≥ 58 | ≤ 48 |
| | | 铬铝铜冷硬球墨复合铸铁轧辊 | — | — | — | — | 8~28 | 8~35 | ≥ 62 | ≥ 60 | ≤ 52 |
| | | 铬铝铬冷硬球墨复合铸铁轧辊 | — | — | — | — | 8~28 | 8~35 | ≥ 60 | ≥ 58 | ≤ 48 |
| | | 高镍铬铝冷硬球墨复合铸铁轧辊 | — | — | — | — | 8~28 | 8~35 | ≥ 74 | ≥ 72 | ≤ 55 |
| | | 球墨铸铁芯部 | 普通冷硬球墨铸铁芯轧辊 | — | — | — | — | 8~28 | 8~35 | ≥ 60 | ≥ 58 |
| 铝合金冷硬球墨铸铁芯轧辊 | — | | — | — | — | 8~28 | 8~35 | ≥ 60 | ≥ 58 | ≤ 48 | |
| 铬铝铜冷硬球墨铸铁芯轧辊 | — | | — | — | — | 8~28 | 8~35 | ≥ 62 | ≥ 60 | ≤ 52 | |
| 高镍铬铝冷硬球墨铸铁芯轧辊 | — | | — | — | — | 8~28 | 8~35 | ≥ 74 | ≥ 72 | ≤ 55 | |
| 半冷硬轧辊 | 球墨铸铁 | 普通半冷硬球墨铸铁轧辊 | — | — | — | — | — | ≥ 40 | ≥ 38 | ≤ 45 | |
| | | 低铬半冷硬球墨铸铁轧辊 | — | — | — | — | — | ≥ 40 | ≥ 40 | ≤ 45 | |
| | | 低铬铝半冷硬球墨铸铁轧辊 | — | — | — | — | — | — | ≥ 40 | ≥ 40 | ≤ 45 |
| | | 镍铬铝半冷硬球墨铸铁轧辊 | — | — | — | — | — | — | ≥ 38 | — | — |
| 无限冷硬轧辊 | 非球墨铸铁 | 铬铝无限冷硬铸铁轧辊 | — | — | — | — | — | ≥ 60 | ≥ 58 | ≤ 55 | |
| | | 中镍铬铝无限冷硬铸铁轧辊 | — | — | — | — | — | — | ≥ 65 | ≥ 62 | ≤ 55 |
| | | 高镍铬铝无限冷硬铸铁轧辊 | — | — | — | — | — | — | ≥ 72 | ≥ 68 | ≤ 55 |
| | 球墨铸铁 | 低铬球墨无限冷硬铸铁轧辊 | — | — | — | — | — | — | ≥ 55 | ≥ 50 | ≤ 55 |
| | | 低铬铝球墨无限冷硬铸铁轧辊 | — | — | — | — | — | — | ≥ 55 | ≥ 50 | ≤ 55 |
| | | 中镍铬铝球墨无限冷硬铸铁轧辊 | — | — | — | — | — | — | — | ≥ 62 | ≤ 55 |
| 高镍铬铝球墨无限冷硬铸铁轧辊 | — | — | — | — | — | — | — | ≥ 65 | ≤ 55 | | |

注：薄板、中厚板轧辊的白口层深度，允许比表中的上限加深 10mm。

(3) 非冶金轧辊 非冶金轧辊用于橡胶、塑料、造纸、油脂、油墨、烟草、面粉、榨糖等设备。其化

学成分、性能、用途见表 3-228。

表 3-228 非冶金类铸铁轧辊化学成分和使用性能

| | 化学成分 (%) | | | | | | | | 白口深度 (mm) | 表面白口 硬度 (HS) | 辊颈 (HS) | 其他 | 用途 |
|----------------|-------------|---------------|--------------|---------------|-----------|-------------------|--------------|------------------|-------------------|--------------------|------------|------------------|---|
| | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo | | | | | |
| 普通 冷硬 铸铁 | 3.3~ 3.8 | 0.4~ 0.8 | 0.3~ 0.5 | 0.45~ 0.55 | ≤ 0.12 | | | | 5~ 40 | 63~ 72 | ≤ 48 | | 橡胶塑料轧 辊 |
| 铬钼 合金 铸铁 | 3.3~ 3.8 | 0.4~ 0.8 | 0.3~ 0.5 | ≤0.55 | ≤ 0.12 | | 0.2~ 0.3 | 0.2~ 0.4 | 6~ 25 | ≥68 | ≤48 | | 橡胶塑料、 油墨、烟草轧 辊 |
| 镍铬 合金 铸铁 | 3.3~ 3.8 | 0.4~ 0.8 | 0.3~ 0.5 | ≤0.55 | ≤ 0.12 | 0.4~ 0.8 | 0.2~ 0.3 | | 6~ 25 | ≥68 | ≤48 | | 橡胶塑料轧 辊 |
| 铬铜 铸铁 | 3.4~ 3.7 | 0.6~ 0.8 | 0.3~ 0.45 | 0.5~ 0.6 | ≤ 0.12 | Cu 0.8~ 1.0 | 0.3~ 0.5 | — | 10± $\frac{1}{2}$ | ≥70 | — | 硬度差 HS ≤3 | 造纸轧辊 φ201~300 |
| 铬铜 铸铁 | 3.3~ 3.6 | 0.55~ 0.75 | 0.3~ 0.45 | 0.5~ 0.6 | ≤ 0.12 | Cu 0.8~ 1.0 | 0.3~ 0.5 | — | 12± $\frac{1}{2}$ | ≥70 | — | 硬度差 HS ≤3 | 造纸轧辊 φ301~400 |
| 铬铜 铸铁 | 3.2~ 3.5 | 0.45~ 0.65 | 0.3~ 0.45 | 0.45~ 0.55 | ≤ 0.12 | Cu 0.8~ 1.0 | 0.3~ 0.5 | — | 15± $\frac{1}{2}$ | ≥70 | — | 硬度差 HS ≤3 | 造纸轧辊 φ401~700 |
| 铬铜 铸铁 | 3.1~ 3.4 | 0.4~ 0.5 | 0.3~ 0.45 | 0.45~ 0.55 | ≤ 0.12 | Cu 0.8~ 1.0 | 0.3~ 0.5 | — | 20± $\frac{2}{3}$ | ≥70 | — | 硬度差 HS ≤3 | 造纸轧辊 ≥φ701 |
| 镍铬 钼铸 铁 | 3.5~ 3.8 | 0.3~ 0.55 | 0.4~ 0.6 | 0.45~ 0.55 | ≤ 0.12 | 0.5~ 0.6 | 0.2~ 0.35 | 0.2~ 0.4 | 20~ 50 | 68~ 72 | — | 硬度差 HS 2~3 | 面粉、油 脂、造纸轧辊 φ160~600, 辊心可采用 HT150, 离心 铸造空心轧辊 |
| 镍铬 钼铸 铁 | 3.5~ 3.8 | 0.4~ 0.8 | 0.3~ 0.5 | 0.4~ 0.5 | ≤ 0.12 | 1.2~ 1.5 | 0.3~ 0.5 | 0.2~ 0.4 | | 72~ 74 | ≤55 | | 造纸轧辊 |
| 铬钒 铸铁 | 3.5~ 3.8 | 0.7~ 0.9 | 0.5~ 0.6 | 0.4~ 0.5 | ≤ 0.12 | — | 0.6~ 0.8 | V 0.1~ 0.2 | 1/10D (辊径) | 68~ 72 | — | 硬度差 HS 2~3 | 面粉轧辊, 辊心可采用 HT150, 离心 铸造空心轧辊 |

(4) 化学成分的影响 加入一定的合金元素, 可以改善组织, 增加白口层的深度和硬度, 提高抗磨性。各种元素影响的强弱见表 3-229。

表 3-229 各种元素对冷硬铸铁的影响

| 白口层与麻口层 | 影响规律 | |
|---------|---|---|
| 白口层深度 | C, Si, Ti, Ni, Cu, Co, P 强 → 弱 减少白口 | W, Mn, Mo, Cr, Sn, V, S, B, Te 弱 → 强 增加白口 |
| 白口层硬度 | S, Ti, Cu, Al, Si, V, Mo, Cr, Mn, P, Ni, C 弱 → 强 增加白口硬度 | |
| 麻口层深度 | Te, C, S, P 均减少麻口 | Mn, Cr, V, Al, Mo 均增加麻口 |

5.3 中锰球墨铸铁

含 Mn 5%~9%、Si 3%~5%，经球化、孕育处理，具有球状石墨的铸铁，称为中锰（抗磨）球墨铸铁。

铁。

5.3.1 牌号和性能

中锰球墨铸铁的牌号和性能见表 3-230。冲击试样见图 3-31；抗弯试样见图 3-32。

表 3-230 中锰球墨铸铁的牌号和力学性能 (GB 3180—82)

| 牌 号 | 锰含量 Mn (%) | 砂 型 φ30mm 试棒 | | 金属型 φ50mm 试棒 | | 冲击 韧度 (J/cm ²) | 硬度 (HRC) |
|--------|------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------|
| | | 抗弯强度 σ_w (MPa) | 挠度 f_{300} (mm) | 抗弯强度 σ_w (MPa) | 挠度 f_{500} (mm) | | |
| MQTMn6 | 5.5~6.5 | 510 | 3.0 | 392 | 2.5 | 7.85 | 44 |
| MQTMn7 | 6.5~7.5 | 471 | 3.5 | 441 | 3.0 | 8.83 | 41 |
| MQTMn8 | 7.5~9.0 | 432 | 4.0 | 491 | 3.5 | 9.81 | 38 |

注： f_{300} —支距 300mm； f_{500} —支距 500mm。

性能的主要影响因素是：金相组织，化学成分，冷却速度（铸件壁厚、铸型条件等）。

(续)

5.3.2 金相组织

5.3.2.1 典型组织 见表 3-231。

表 3-231 中锰球墨铸铁的金相组织

| 牌号 | 类型 | 典型金相组织 |
|--------|-------|--|
| MQTMn6 | 针状组织型 | (马氏体+贝氏体) ^① 约 70% + 奥氏体 + 块状、粒状碳化物约 5%~25% + 少量索氏体 + 球状石墨 磨球 (DL104-81) ^② ：(马氏体+贝氏体) > 50% + 奥氏体 (< 20%) + 索氏体 < 20% + 块状、粒状、片层状、断续网状碳化物 < 10% + 球状石墨（或以球状为主、少量团絮状与厚片状）。不允许初生条状、共晶状、连续网状碳化物 |
| MQTMn7 | 针状组织型 | (马氏体+贝氏体) 约 60% + 奥氏体 + 块状、粒状碳化物约 5%~25% + 少量索氏体 + 球状石墨 |

| 牌号 | 类型 | 典型金相组织 |
|--------|------|---|
| MQTMn8 | 奥氏体型 | 奥氏体约 70% + (马氏体+贝氏体) + 断续网状或块状、粒状碳化物约 5%~25% + 少量索氏体 + 球状石墨 |

① (马氏体+贝氏体) 为针状组织。

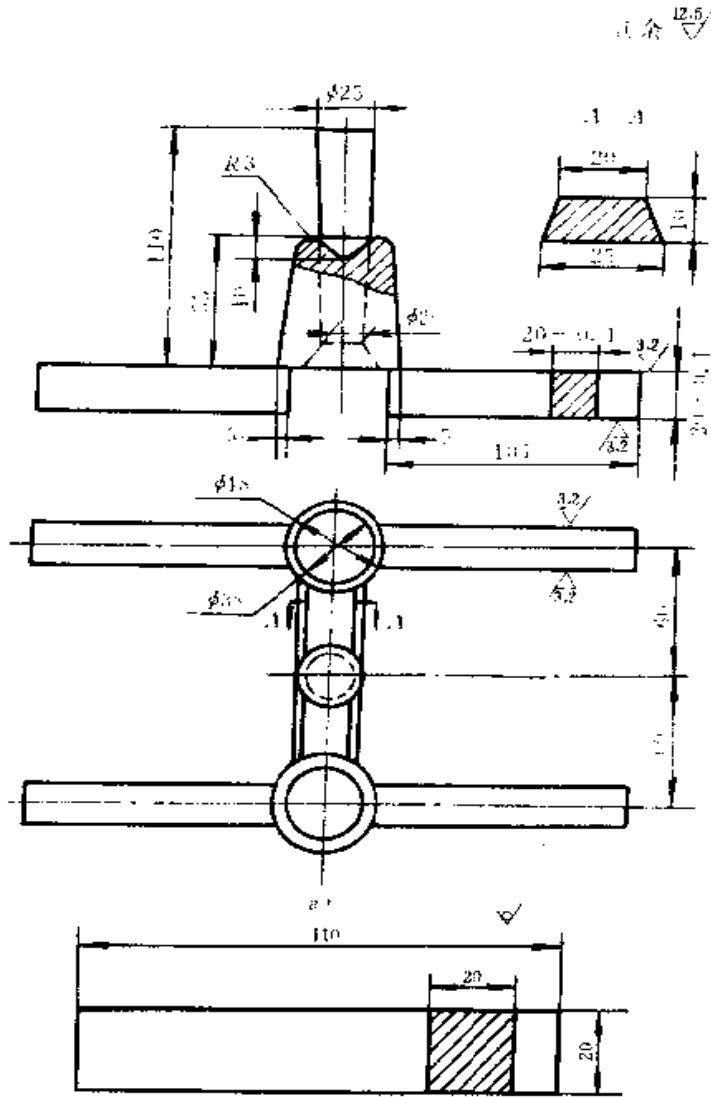
② 电站制粉球磨机用磨球，DL104-81《稀土镁中锰球墨铸铁磨球》。

5.3.2.2 组织对性能的影响

(1) 基体组织对冲击韧度的影响，见表 3-232。

表 3-232 中锰球墨铸铁基体组织与冲击韧度的关系

| 基体组织 | 索氏体 | 索氏体 + 针状组织 | 针状组织 + 少量奥氏体 | 奥氏体 |
|------------------------------------|-----|--|--|-----------|
| 冲击韧度 a_K (J/cm ²) | 1.5 | 6.9~9.8, 索氏体 > 15%, $a_K < 8$ | 7.8~14.7, 奥氏体 20%, $a_K \approx 10.5$ | 19.6~29.4 |



b)

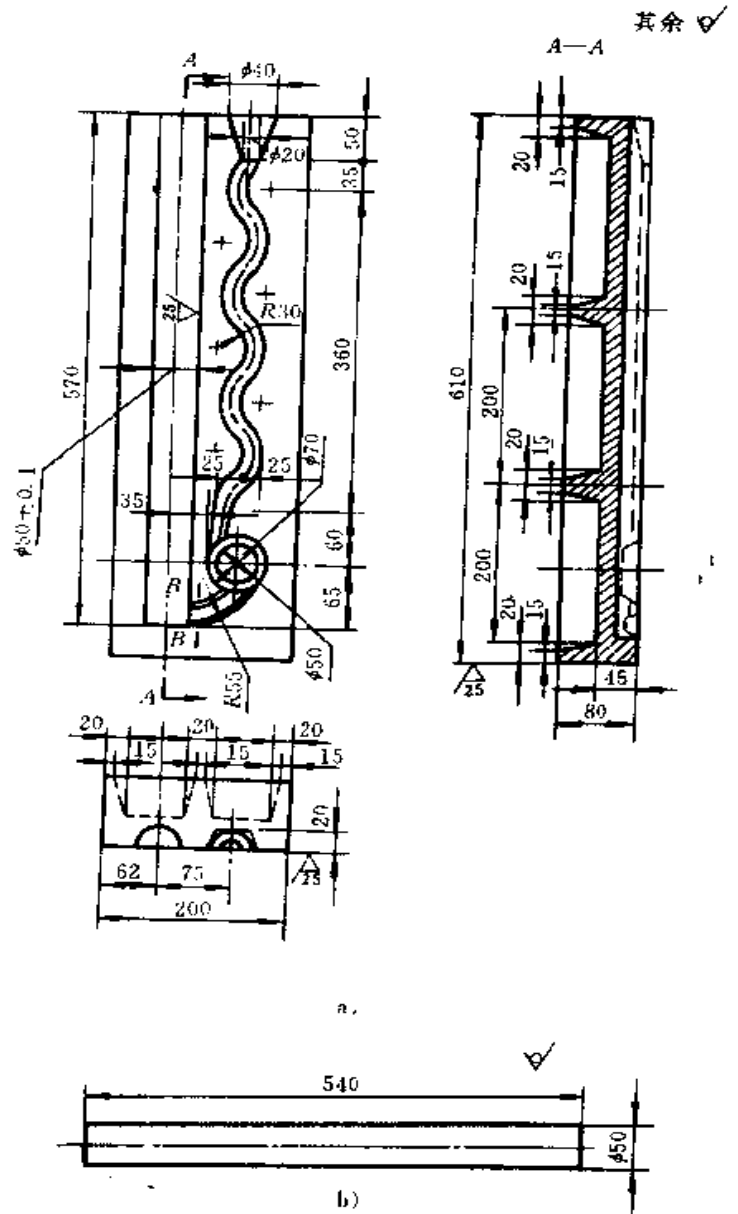
图 3-31 中锰球墨铸铁的冲击试样 (GB 3180—82)

a) 试样的模样 b) 试样铸造试块尺寸偏差 $\pm 1.0\text{mm}$

表 3-233 中锰球墨铸铁碳化物对抗磨性的影响

| 化学成分 (%) | | 基体组织 | 碳化物 (%) | 硬度 HRC | 磨损量 mm/天 |
|----------|---------|--------------------|---------|--------|----------|
| Mn | Si | | | | |
| 5~7.5 | 2.0~2.1 | 索氏体+少量奥氏体 | 30~35 | 53 | 0.086 |
| 5~7.5 | 3.2~3.8 | 针状体+奥氏体 | 15~25 | 49 | 0.172 |
| 5~7.5 | 3.2~3.8 | 针状体+奥氏体 10%~20% | 5~10 | 50 | 0.207 |

注: $\phi 1500\text{mm}$ 球磨机衬板、磨球, 粉磨水泥。



a)

b)

试样直径允许偏差为 $\pm 1.4\text{mm}$; 最短长度为 540mm ; 最大与最小直径允许偏差 1.5mm 。

图 3-32 中锰球墨铸铁的抗弯试样及其金属型

a) 金属型 (半型) b) 试样

(2) 碳化物对力学性能和抗磨性的影响 中锰球墨铸铁中碳化物愈多, 抗磨性愈好, 见表 3-233。

5.3.3 化学成分

(1) 牌号中锰球墨铸铁的化学成分, 见表 3-234。

表 3-234 牌号中锰球墨铸铁的化学成分

(%)

| 牌 号 | | C | Si | Mn | S | P | ∑RE | Mg |
|---------|-------------------------|---------|---------|----------|--------|-------|------------|------------|
| MQT Mn6 | 一般 | 3.2~3.7 | 3.6~4.2 | 5.5~6.5 | <0.01 | <0.02 | 0.03~0.05 | 0.03~0.05 |
| | 磨球 ^① | <4 | 3.2~4.0 | 5.5~6.5 | <0.045 | <0.03 | 0.02~0.05 | 0.02~0.035 |
| MQT Mn7 | 一般熔炼 实例 ^② | 3.2~3.7 | 3.7~4.3 | >6.5~7.5 | <0.01 | <0.02 | 0.03~0.05 | 0.03~0.05 |
| | | ~3.6 | 3.0~3.5 | 6.5~7.5 | <0.1 | <0.15 | 0.025~0.05 | 0.025~0.06 |
| | | ~3.6 | 3.8~4.6 | 6.5~7.5 | <0.02 | <0.15 | | |
| MQT Mn8 | 一般熔炼 实例 ^② | 3.2~3.7 | 3.8~4.4 | >7.5~9.0 | <0.01 | <0.02 | 0.03~0.05 | 0.03~0.05 |
| | | 3.2~3.9 | 3.2~3.6 | 8.0~9.0 | <0.1 | <0.15 | 0.025~0.05 | 0.03~0.06 |
| | | 3.2~3.9 | 4.0~4.8 | 8.0~9.0 | <0.02 | <0.15 | | |

① 电站制粉球磨机用磨球 (DL104—81《稀土镁中锰球墨铸铁磨球》)。

② 分子为原铁液成分, 分母为终成分。但含 P 量均宜降低。

(2) 化学成分对组织和性能的影响 见表 3-235。

表 3-235 中锰球墨铸铁化学成分的作用

| 元素 | 影响规律及说明 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|---|--------|---------|-------|---------|------|----------|-------|-------|------|---|---------|-------|-------|-------|-------|---------|------|-------|-------|-------|
| 碳 | C 宜 3.0%~3.7% 碳过低, 促成大量碳化物; 碳过高, 易石墨漂浮, 性能恶化 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 硅 | 低硅, 促成碳化物。如 Mn 5%~7.5%, Si<2.1%, 碳化物 30%~35%, 抗磨硅增加, 大幅度减少碳化物, 降低硬度和抗磨性; 同时促进奥氏体分解, 促成索氏体, 改善强度、韧度。孕育硅的作用更显著 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 锰 | 1. 锰每增加 1%, 奥氏体共析转变温度平均下降 25℃, S 曲线右移, 马氏体转变温度 Ms 下降 15~40℃; 针状组织减少, 奥氏体和碳化物增多, 如下所示: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Mn (%)</th> <th>6~7</th> <th>7~7.7</th> <th>7.7~8.5</th> <th>>8.5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>针状组织 (%)</td> <td>55~75</td> <td>40~60</td> <td>5~35</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>奥氏体 (%)</td> <td>10~35</td> <td>40 左右</td> <td>55 左右</td> <td>80~85</td> </tr> <tr> <td>碳化物 (%)</td> <td>5~10</td> <td>15 左右</td> <td>20 左右</td> <td>15~20</td> </tr> </tbody> </table> | Mn (%) | 6~7 | 7~7.7 | 7.7~8.5 | >8.5 | 针状组织 (%) | 55~75 | 40~60 | 5~35 | — | 奥氏体 (%) | 10~35 | 40 左右 | 55 左右 | 80~85 | 碳化物 (%) | 5~10 | 15 左右 | 20 左右 | 15~20 |
| Mn (%) | 6~7 | 7~7.7 | 7.7~8.5 | >8.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 针状组织 (%) | 55~75 | 40~60 | 5~35 | — | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 奥氏体 (%) | 10~35 | 40 左右 | 55 左右 | 80~85 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 碳化物 (%) | 5~10 | 15 左右 | 20 左右 | 15~20 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 注: 铸铁中含 Cr 0.60%~0.45%, Mo 0.187%~0.23%, Cu 0.875%~0.596, Ti 0.126%~0.164% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2. 锰增加, $\sigma_{0.2}$ 下降, f 变化不大, a_K 上升。Mn≈8%, a_K 达到峰值; Mn>8% 出现粗大网状碳化物, a_K 下降。Mr 量由 6% 增加到 8%, 硬度由 HRC44 降到 HRC38 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 硅锰比 | 硅和锰的作用相反且相互平衡。Mn 和 Si/Mr 是控制组织和性能的关键因素, 影响颇复杂。根据试验和生产经验, 选择范围如下: Mn 5%~7%, Si/Mr=0.6~0.68; Mn 7%~9%, Si/Mr=0.52~0.6% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 合金元素 | 少量 Cu、Cr、Mo 等合金元素可以改善组织和抗磨性 例 1. 成分 (%): Mn 5~7, Si 3~4.5, Cu 0.8~1.0, Cr 0.5, Mo 0.2~0.5。组织: (马氏体+贝氏体)+奥氏体+少量索氏体+孤立块状碳化物+球状石墨; 力学性能良好, HRC50 左右。用作 $\phi 3m$ 球磨机衬板 例 2. 成分 (%): Mn 8.0~9.0, C 3.0~3.5, Si 2.0~2.5, Mo 1.5~2.0, Cu 0.5~0.8。组织: (马氏体+贝氏体)+少量奥氏体+索氏体+碳化物约 30%+球状石墨; 力学性能: σ_w (砂型) 250MPa, a_K 4.0J/cm ² , HRC50~55 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 磷硫 | 磷促成磷共晶, 降低冲击韧度 硫的影响类似于球墨铸铁 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

5.3.4 冷却速度

响性能。见表 3-236。

冷却速度影响中锰球墨铸铁的金相组织, 进而影

表 3-236 中锰球墨铸铁冷却速度与化学成分、金相组织的关系

| 化学成分 (%) | | | | | | 冷却速度 (℃/min) | 金相组织 (%) | | | |
|-------------|---------|---------|-------|-------|-----------------|-----------------|----------|-----|-----|------------------|
| C | Si | Mn | P | S | RE | | 马氏体 | 奥氏体 | 索氏体 | 碳化物 ^① |
| 3.0~ 3.6 | 3.5~4.5 | 5.5~6.5 | <0.15 | <0.02 | 0.022~ 0.045 | 18~36 | 为主 | <15 | <10 | <10 |
| | | 10~30 | | | | 为主 | <30 | <10 | <10 | |
| | | 4~12 | | | | 为主 | 为主 | 15 | <10 | |

① 包括磷共晶。

(续)

| 耐热铸铁牌号 | 化学成分 (%) | | | | | | σ_b MPa (kgf/mm ²) | 硬度 (HB) | 高温短时抗拉强度 MPa (kgf/mm ²) | 使用条件 | 应用举例 | |
|-----------|-----------------|----------------------|-----|------|------|-------------------|---|---------------|---|--|--|---------------------------------|
| | 碳 | 硅 | 锰 | 磷 | 硫 | 铬 | | | | | | 铝 |
| RTCr2 | 3.0 ~ 3.8 | 2.0 ~ 3.0 | 1.0 | 0.20 | 0.12 | >1.0 ~ 2.00 | — | 150 (15.3) | 207 ~ 288 | 773K (500°C) 243 (24.8) 873K (600°C) 166 (16.9) | 在空气炉气中耐热到 600°C | 煤气炉的灰盆、矿山烧结车挡板 |
| RTCr16 | 1.6 ~ 2.4 | 1.5 ~ 2.2 | 1.0 | 0.10 | 0.05 | 15~18 | — | 340 (34.7) | 400 ~ 450 | 1073K (800°C) 144 (14.7) 1173K (900°C) 88 (9.0) | 在空气炉气中耐热到 900°C。在高温下有抗磨性。耐硝酸腐蚀。 | 退火罐、煤粉烧嘴、炉棚、水泥烧炉零件、化工机械零件。 |
| RTSi5 | 2.4 ~ 3.2 | 4.5 ~ 5.5 | 0.8 | 0.20 | 0.12 | 0.50~ 1.00 | — | 140 (14.3) | 160 ~ 270 | 973K (700°C) 41 (4.2) 1073K (800°C) 27 (2.8) | 在空气炉气中耐热温度到 700°C | 炉条、煤粉烧嘴、锅炉用梳形定位板、换热器针状板、二氧化硫反应瓶 |
| RQTSi4 | 2.4 ~ 3.2 | 3.5 ~ 4.5 | 0.7 | 0.10 | 0.03 | — | — | 480 (49.0) | 187 ~ 269 | 973K (700°C) 75 (7.6) 1073K (800°C) 35 (3.6) | 在空气炉气中耐热温度到 650°C，含硅到上限时耐热到 750°C。力学性能及抗裂性较 RQTSi5 好 | 玻璃烟道闸门、玻璃炉上机墙板、加热炉两端管架 |
| RQTSi4Mo | 2.7 ~ 3.5 | 3.5 ~ 4.5 | 0.5 | 0.10 | 0.03 | 铝 0.3 ~ 0.7 | — | 540 (55.1) | 197 ~ 280 | 973K (700°C) 101 (10.3) 1073K (800°C) 46 (4.7) | 在空气炉气中耐热温度到 680°C，含硅到上限时耐热到 780°C，高温力学性能较好 | 罩式退火炉导向器，烧结机中后热筛板，加热炉吊梁 |
| RQTSi5 | 2.4 ~ 3.2 | > 4.5 ~ 5.5 | 0.7 | 0.10 | 0.03 | — | — | 370 (37.8) | 228 ~ 302 | 973K (700°C) 67 (6.8) 1073K (800°C) 30 (3.1) | 在空气炉气中耐热温度到 800°C，硅上限时到 900°C | 煤粉喷嘴、炉条、辐射管、烟道闸门、加热炉吊梁 |
| RQTA14Si4 | 2.5 ~ 3.0 | 3.5 ~ 4.5 | 0.5 | 0.10 | 0.02 | — | 4.0 ~ 5.0 | 250 (25.5) | 285 ~ 341 | 1073K (800°C) 82 (8.4) 1173K (900°C) 32 (3.3) | 在空气炉气中耐热温度达 900°C | 烧结机蓖条、炉用件 |
| RQTA15Si5 | 2.3 ~ 2.8 | >4.5 ~ 5.2 | 0.5 | 0.10 | 0.02 | — | > 5.0 ~ 5.8 | 200 (20.4) | 302 ~ 363 | 1073K (800°C) 167 (17.0) 1173K (900°C) 75 (7.7) | 在空气炉气中耐热温度到 1050°C | 焙烧机蓖件、炉用件 |
| RQTA122 | 1.6 ~ 2.2 | 1.0 ~ 2.0 | 0.7 | 0.10 | 0.03 | — | 20.0 ~ 24.0 | 300 (30.6) | 241 ~ 364 | 1073K (800°C) 130 (13.3) 1173K (900°C) 77 (7.9) | 在空气炉气中耐热温度到 1100°C，抗高温硫蚀性好 | 锅炉用侧密封块、链式加热炉炉爪、黄铁矿焙烧炉零件 |

注：1. 牌号的符号中 RT 表示耐热铸铁，Q 表示球墨铸铁，其余字母为合金元素符号，数字表示合金元素的平均含量，取整数。

2. 室温抗拉强度是验收的依据。

3. 硬度和高温性能，只有当需方有要求，并经双方商定后，才作为验收项目。

6.2 铬系耐热铸铁

铬，高铬。金相组织和耐热温度见表 3-240。

6.2.1 分类、组织及特性

铬系耐热铸铁通常按铬含量分为三类：低铬，中

表 3-240 铬系耐热铸铁的分类、金相组织及耐热温度

| 分 类 | Cr (%) | 牌号举例 | 金相组织 | 耐热温度 (°C) |
|---------|--------------------|--------|---|-----------|
| 低铬耐热铸铁 | 0.5~2 | RTCr | 珠光体 + 渗碳体 + 石墨 + 磷共晶 | 550 |
| | | RTCr2 | | 600 |
| 中铬耐热铸铁 | 16~20 | RTCr16 | (珠光体或马氏体) + (Fe, Cr) ₇ C ₃ | 900 |
| 高铬耐热铸铁 | 24~30 | | 铁素体 + (Fe, Cr) ₇ C ₃ | 1000~1100 |
| | 30~34 | | | 1000~1200 |
| 高铬镍耐热铸铁 | Cr15~30 Ni10~15 | | 奥氏体 | |

高铬耐热铸铁亦按基体组织分为三类：1) 含 Cr12%~18% 的马氏体铸铁；2) 含 Cr30%~36% 的铁素体铸铁；3) 含 Cr15%~30%、Ni10%~15% 的

奥氏体铸铁。

稀土高铬铸铁已成功地用作球团焙烧机的炉条，化学成分和性能见表 3-241。

表 3-241 稀土高铬耐热铸铁 (炉条)

| 成分 | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Mo | Cu | RE |
|-----|--|------|------|--------|-------|-------|---------|---------|------|-----------|
| (%) | 2.4~2.8 | <2.0 | <2.0 | <0.045 | <0.04 | 22~28 | 0.5~1.2 | 0.8~1.2 | <0.6 | 0.04~0.06 |
| 性能 | σ_b 约 400~500MPa, $\sigma_{0.2}$ 约 1210~1280MPa, HRC56 左右工作温度 870~937°C, 寿命半年以上 | | | | | | | | | |

6.2.2 力学性能

铬系耐热铸铁的室温力学性能见表 3-239 和表 3-241。

铬系铸铁的高温短时抗拉强度 (σ_b) 与含铬量有关：低铬 (Cr 0.5%~2.0%)，600°C 时， σ_b 140~170MPa；中铬 (Cr 18%)，900°C 时， σ_b 约 90MPa；高铬 (Cr 34%)，铸态，900°C 时， σ_b 约 110MPa；奥氏体高铬镍 Cr 30.2% Ni 12.3%，铸态，900°C 时， σ_b 226MPa。

6.2.3 抗氧化和抗生长性

铬可以有效地阻止高温氧化和生长。铬系铸铁抗氧化良好抗生长良好的温度如下：低铬 Cr<1%，500~600°C；铬 Cr 1%~2%，>600°C；中铬 Cr 16%，近 1000°C；高铬 Cr 25%，>1000°C。

6.2.4 铸造性能及工艺要点

(1) 低铬铸铁 Cr<1%，铸造性能稍差于灰铸铁。

Cr \geq 2%；流动性约降低 $\frac{1}{4}$ 以上。线收缩约 1.3%~1.5%。体收缩较大，须设冒口补缩。热裂不

明显。有冷裂倾向。

低铬铸铁可以用冲天炉熔炼。熔炼和铸造工艺无异于灰铸铁。

(2) 中、高铬铸铁 流动性尚好。当 Cr20%~35% 时，线收缩率 1.6%~2.08%；体收缩大，易缩孔，缩松，冒口近似可锻铸铁。易热裂。易冷裂。

奥氏体铸铁的线收缩率为 1.56%。

中、高铬铸铁应用电炉熔炼。由于易形成氧化膜和冷隔，故浇注温度高于 1400°C，甚至 1550°C，薄铸件的浇口面积应比灰铸铁扩大 20%~30%。型、芯砂应溃散性良好。复杂铸件宜型内冷却，早松散型砂，晚开型。

6.3 中硅耐热铸铁

中硅耐热铸铁是含 Si 3.5%~6.5% (常用 Si 3.5%~5.5%) 的灰铸铁和球墨铸铁。

6.3.1 金相组织及力学性能

中硅耐热铸铁的基体是以铁素体为主的混合组织。硅增多，珠光体减少，强度降低。脆性大，零下温度脆性更大。组织和力学性能见表 3-242。

表 3-242 中硅耐热铸铁的金相组织和常温力学性能

| 牌 号 | 基体组织 ^① | 力 学 性 能 | | | |
|----------|-------------------|------------------|--------------|---------|-------------------------|
| | | σ_2 (MPa) | δ (%) | HB | a_k J/cm ² |
| RTSi5 | F 或 F+P<20% | 140~220 | — | 160~270 | 0.98~2.94 |
| RQTSi4 | F 或 F+P<15% | 480~670 | 6~18 | 187~269 | — |
| RQTSi5 | F 或 F+P<10% | 370~690 | 1~5 | 228~302 | — |
| RQTSi4Mo | F+P | 540~595 | 5~15 | 197~280 | 3.92~4.9 |

① F—铁素体, P—珠光体。

中硅耐热铸铁的高温短时抗拉强度见表 3-239。

6.3.2 抗氧化性和抗生长性

硅在铸铁氧化皮内生成致密的 SiO_2 , 且促成铁素体, 故可阻止高温氧化和生长。

中硅灰铸铁 (Si5%) 的抗氧化、抗生长性可保持到近 700℃。

中硅球墨铸铁 RQTSi4 的抗氧化性可保持到约 650℃, 而抗生长性可保持到 800℃。RQTSi4Mo 的抗氧化、抗生长性保持到 700℃。RQTSi5 保持到 800℃, 甚至 900℃。

6.3.3 铸造性能及工艺特点

(1) 中硅灰铸铁 在 1260~1320℃ 浇注, 充型良好, 可以浇注薄壁复杂铸件, 相当于或稍好于灰铸铁。线收缩约 1.0%~1.2%。体收缩稍大, 冒口须定向凝固。不易热裂。铸造应力大, 易开裂; S>6%, 更易开裂; Cr、Mn 促进裂纹。

铸件壁厚宜均匀。型、芯砂退让性良好。浇注后, 开型不宜过早。铸件应退火, 消除内应力。

(2) 中硅球墨铸铁在 1260~1320℃ 浇注, 仍充型良好可以浇注薄壁复杂铸件。线收缩率 1.0%~1.5%。体收缩比一般球墨铸铁大, 厚壁铸件的冒口质(重)量约为铸件的 20% 以上, 且定向凝固。不易热裂。铸造应力大, 易开裂; 含 Si>5.5%, 尤严重; Mn 亦促进裂纹。

一般采用冲天炉熔炼。型、芯砂应溃散性良好, 防止箱带和芯骨撑裂铸件, 尽量减少分型面披缝(以免其开裂延伸入铸件本体)。浇注系统应保证充型快而平稳。设冒口和外冷铁, 防止缩孔、缩松。铸件凝固后, 即热开型, 去浇冒口, 且松散型芯。或留在砂型中缓冷, 大件应 24~28h 以上; 或立刻进行人工时效: 50~300℃/6h→300~600℃/2h→600℃/3~5h→炉冷至 150℃ 出炉。

6.4 铝系耐热铸铁

6.4.1 分类、组织及特性

铝系耐热铸铁通常分为低铝、中铝、高铝、铝硅、铝铬等铸铁。金相组织及特性见表 3-243。

表 3-243 铝系耐热铸铁的分类、金相组织及特性

| 种 类 | Al (%) | Si (%) | 牌 号 | 金相组织 | 特 性 | 耐热温度 (℃) |
|--------|--------|--------|------------------------|-------------------------|----------|-----------|
| 低铝铸铁 | 2~3 | | | F+P+Fe ₃ C+G | 综合力学性能较好 | 650~700 |
| 中铝铸铁 | 7~9 | | 共析 (ε+F) + 少量 F+G | 脆性较大 | 750~900 | |
| 高铝铸铁 | 22~24 | | RQTA122 | F+G | 综合力学性能高好 | 1000~1100 |
| 铝硅球墨铸铁 | 4 5 | 4 5 | RQTA14Si4 RQTA15Si5 | F+G | 脆性较大 | 950~1100 |

注: 1.F—铁素体, P—珠光体, ε—Fe₃AlC_x (x≈0.65)。

2.G—石墨, 有两种形态片状或球状。

6.4.2 化学成分和力学性能

低铝灰铸铁的力学性能良好; 中铝和高铝灰铸铁的力学性能较差。

低铝和高铝球墨铸铁的常温综合力学性能良好。

高温短时力学性能较好, 但持久强度较低。中铝和铝硅球墨铸铁的脆性较大。

铝系铸铁的化学成分和室温力学性能见表 3-244。高温短时力学性能见表 3-245。

表 3-244 铝系耐热铸铁的化学成分和室温力学性能

| 种类 | 化学成分 (%) | | | | | | | 室温力学性能 | | |
|------------|--------------------------|---------|---------|------|-------|---------|-------|-----------------------|---------------------|------------------|
| | C | Si | Mn | P | S | Al | Mo | σ_b (MPa) | δ (%) | 硬度 (HB) |
| 低铝 灰铸铁 | 2.95 | 0.77 | 1.10 | — | — | 2.42 | — | 348 | — | 260 |
| 中铝 灰铸铁 | — | — | — | — | — | 7~10 | — | 120~180 | — | 200~350 |
| 高铝 灰铸铁 | 1.2~2.0 | 1.3~2.0 | 0.6~0.8 | <0.2 | <0.03 | 20~24 | — | 110~170 | — | 170~200 |
| 低铝 球墨铸铁 | 3.43 | 0.94 | — | — | — | 2.49 | — | 363 | 8.9 | 142 |
| 中铝 球墨铸铁 | — | — | — | — | — | 7~10 | — | 200~350 | — | 280~370 |
| 高铝 球墨铸铁 | 1.7~2.2 | 1.0~2.0 | 0.4~0.8 | <0.2 | <0.01 | 21~24 | — | 250~420 | — | — |
| 铝硅 球墨铸铁 | 2.8 | 4.3 | 0.1 | 0.02 | 0.01 | 4.3 | — | 454 | 12.2 | 178 |
| | | 4.46 | | | | 3.99 | — | 240 | | |
| | | 5.1 | | | | 5.52 | — | 324 | | |
| 铝硅 蠕墨铸铁 | 3.0~3.3 CE4.1~ 4.5 | 3.0~3.4 | <0.1 | <0.1 | <0.03 | 4.0~5.0 | — | σ_R 300~400 | 挠度 2.5~3.5 mm | 179~288 |
| 铝钼 球墨铸铁 | 2.92 | 4.25 | 0.33 | — | — | 0.55 | 1.94 | 679 | 2.5 | 258 |
| | 2.83 | 2.92 | 0.35 | — | — | 5.5 | 2.01 | 552 | — | 铸态 362 退火 353 |
| 铝铬铸铁 | 2.75 | 1.70 | 0.80 | — | — | 6.5 | Cr2.3 | 156 | — | 290 |

表 3-245 铝系耐热铸铁的高温短时力学性能

| 铸铁种类 | 主要化学成分 (%) | 抗拉强度 σ_b (MPa) 伸长率 δ (%) | | | |
|------------|------------------------------------|--|------------|----------|----------|
| | | ℃ | σ_b | δ | δ |
| 低铝 灰铸铁 | C 2.95、Si 0.77、 Mn 1.1、Al 2.42 | ℃ | 425 | 540 | |
| | | σ_b | 200 | 175 | |
| 中铝 灰铸铁 | C 2.53、Si 1.60、 Mn 0.45、Al 5.90 | ℃ | 649 | 760 | 871 |
| | | σ_b | 54 | 25 | 19 |
| | | δ | 2.5 | 5.4 | 3.5 |
| 高铝 灰铸铁 | C 2.08、Si 1.55、 Al 20.8 | ℃ | 700 | 800 | |
| | | σ_b | 93 | 53 | |
| | | δ | 1.6 | 1.8 | |
| 低铝 球墨铸铁 | C 3.32、Si 2.11、Mn 0.03、Al 3.80 | ℃ | 649 | 760 | 871 |
| | | σ_b | 112 | 43 | 19 |
| | | δ | 18.8 | 28.8 | 48.5 |

(续)

| 铸铁种类 | 主要化学成分 (%) | 抗拉强度 σ_b (MPa) 伸长率 δ (%) | | | | |
|------------|--|--|-----|-----|------|------|
| | | t | 20 | 500 | 700 | 800 |
| 高铝 球墨铸铁 | C 1.97、Si 1.53、 Al 19.9 | σ_b | 318 | 230 | 181 | 139 |
| | | δ | — | — | — | 2.4 |
| | | t | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| 铝硅 球墨铸铁 | Al+Si=8.45、 Al 3.99、Si 4.46 | σ_b | 204 | 95 | 36 | 13 |
| | | δ | 3.5 | 8.0 | 17.8 | 34.0 |
| | | t | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| | Al+Si=10.62、 Al 5.52、Si 5.10 | σ_b | 292 | 206 | 66 | 27 |
| | | δ | 1.0 | 6.0 | 11.5 | 31.5 |
| | | t | 546 | 657 | 760 | 870 |
| 铝铜 球墨铸铁 | C 3.43、Si 2.06、Mn 0.3、 Al 6.35、Mo 2.20 | σ_b | 433 | 228 | 122 | 77 |
| | | t | 500 | 700 | 800 | |
| 铝铬 铸铁 | C 2.75、Si 1.70、Mn 0.80、 Al 6.50、Cr 2.30 | σ_b | 294 | 157 | 29 | |
| | | t | | | | |

6.4.3 抗氧化性和抗生长性

铝系耐热铸铁的抗氧化性、抗生长性优良；Al2%~3%灰铸铁的抗氧化性保持到700℃以上。Al6%~7%，球墨铸铁的抗生长性保持到900℃。Al>10%，基体为铁素体，耐热性大幅度提高，灰铸铁和球墨铸铁在1000℃以下很少氧化、生长。Al>20%，灰铸铁在1000℃很少氧化生长，球墨铸铁在1100℃很少氧化、生长。Al+Si=10%左右，球墨铸铁在1050~1100℃很少氧化生长。

6.4.4 铸造性能及工艺要点

低铝灰铸铁和球墨铸铁充型良好，无异于灰铸铁。线收缩1.3%~1.8%。体收缩较小。不易热裂、冷裂。Al>5%~6%，冷裂倾向增大。

高铝铸铁的铁液粘稠，但流动性尚良好，内浇口宜多宜大。高铝灰铸铁的线收缩2.4%~2.6%；体收缩2.7%~6.25%；不易热裂；但铸造应力大，易碎裂，要求型、芯砂退让性好。高铝球墨铸铁的线收缩2.2%~2.5%；体收缩4.5%~8.0%，冒口质(重)量约为铸件的20%以上；热裂和碎裂不明显。

铝硅球墨铸铁的流动性良好，线收缩1.0%~1.3%。脆性大。

铝铸铁易生成氧化膜，引起铸件夹渣、冷隔、碎裂。在熔炼、铸造过程中必须采取措施。

铝铸铁可以用冲天炉、坩埚或感应电炉分别熔化铁液和铝液，然后冲混；高铝铸铁宜用感应电炉熔化铁液，然后缓慢加入铝锭；高铝球墨铸铁通常加稀土

硅铁1%~1.5%，防止石墨漂浮。

高铝铸铁的型砂须溃散性好，低水分。铸型须有出气口，大冒口。浇注系统面积比灰铸铁大10%~15%以上，宜底注。扁平内浇口，且集渣。浇注温度宜1380~1430℃，充型须平稳、连续而快速。凝固后，松开砂箱，使铸件自由收缩，但宜型内冷却。

铝硅球墨铸铁的熔炼、铸造工艺与铝铸铁相似。

6.5 耐热铸铁的应用

高铬铸铁、尤其高铬镍铸铁、高镍铸铁具有优良的耐热性，但成本高。中硅和铝系铸铁应用较多。中硅铸铁脆性大、高温力学性能低，不耐热冲击，只适于工作在900℃以下不受重大载荷的零件。高铝灰铸铁韧度稍好，但易开裂、夹渣，热冲击性亦不好，可以用到1000℃以上；高铝球墨铸铁力学性能和耐热性优良，值得广泛采用；中铝加硅、铬、铜、钼等球墨铸铁的性能接近高铝球墨铸铁，且可用冲天炉熔炼，值得发展。

7 耐蚀铸铁

常用耐蚀铸铁有：铝铸铁和铝硅铸铁、高硅铸铁、高铬铸铁、高镍铸铁等。

7.1 铝铸铁与铝硅铸铁

耐蚀铝铸铁含Al4%~6%。耐蚀铝硅铸铁含Al4%~6%，Si4%~6%。

7.1.1 化学成分及力学性能(表3-246)

表 3-246 常用耐蚀铝铸铁的化学成分和力学性能

| 耐蚀铸铁 | 化学成分 (%) | | | | | | 力学性能 | | |
|-------------------------|----------|---------|---------|-------------|-------------|------------------|---------------------|------------------------|---------|
| | C | Si | Mn | P | S | Al | σ_b (MPa) | σ_{bb} (MPa) | HB |
| 铝铸铁 | 2.7~3.4 | 1.4~2.0 | 0.6~0.8 | ≤ 0.1 | ≤ 0.1 | 4~6 | 177~206 | 353~431 | 200~230 |
| 铝铸铁 | 2.7~3.0 | 1.5~1.8 | 0.6~0.8 | ≤ 0.03 | ≤ 0.05 | 4~6 | 177~206 | 353~431 | 200~230 |
| 铝硅铸铁 | 2.0~2.5 | 4~6 | 0.6~0.8 | ≤ 0.1 | ≤ 0.1 | 4~6 C:0.6~1.0 | 78~137 | 196~294 | 250~300 |
| 铝硅 ^① 球墨铸铁 | 2.7~3.0 | 4~6 | 0.6~0.8 | ≤ 0.03 | ≤ 0.05 | 4~6 | 147~294 | 314~392 | 250~350 |

① 加球化剂 REMgSiFe1.2%。

7.1.2 特性及应用

磨。特性、应用见表 3-247。

铝铸铁耐蚀且耐热，铝硅铸铁耐蚀、耐热、抗

表 3-247 耐蚀铝铸铁的特性及应用

| 铸 铁 | 线收缩 (%) | 工作温度 (°C) | 耐蚀性 | 应用举例 |
|--------|---------|-----------|---------------------------------------|------------------------------|
| 铝铸铁 | 1.0~2.0 | 600~700 | 耐联碱氨母液、碳酸氢铵母液、氯化铵溶液 不耐流速大或含结晶颗粒的母液 | 中小化肥厂输送碱液的泵、阀等。如碱泵叶轮寿命 1 年左右 |
| 铝硅铸铁 | — | 600~700 | 耐蚀性优于铝铸铁，且抗磨 | 输送含结晶颗粒的碱泵 |
| 铝硅球墨铸铁 | 1.0~1.3 | 600~700 | 性能优于铝硅铸铁 | 同铝硅铸铁 |

注：铸铁成分与表 3-246 对应。

表 3-248 高硅耐蚀铸铁的化学成分
(GB 8491—87)

| 牌号 | 化学成分 (%) | | | | | | | | |
|----------------------|-------------|---------------------|--------------|-------------|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| | C \leq | Si | Mn \leq | P \leq | S \leq | Cr | Mo | Cu | RE 残留量 \leq |
| STSi11 C:2Cr R | 1.20 | 10.00 ~ 12.00 | | | | 0.60 ~ 0.80 | — | 1.80 ~ 2.20 | |
| STSi15 R | 1.00 | 14.25 ~ 15.75 | | | | — | — | — | |
| STSi15 Mo3R | 0.90 | 14.25 ~ 15.75 | 0.500 | 0.100 | 0.10 | — | 3.00 ~ 4.00 | — | 0.10 |
| STSi15 Cr4R | 1.40 | 14.25 ~ 15.75 | | | | 4.00 ~ 5.00 | — | — | |
| STSi17 R | 0.80 | 16.00 ~ 18.00 | | | | — | — | — | |

7.2 高硅耐蚀铸铁

高硅耐蚀铸铁含 Si 10%~18%。

7.2.1 牌号及化学成分

GB 8491—87《高硅耐蚀铸铁件》规定了高硅耐蚀铸铁的牌号和化学成分，见表 3-248。化学成分是验收依据。加入铬、钼、铜等合金元素，可以有效地改善综合性能。

7.2.2 力学性能

高硅铸铁硬而脆，力学性能差。若需方有要求，力学性能按表 3-249 验收。

7.2.3 特性及应用

高硅铸铁具有优良的耐酸性，见表 3-250。

表 3-249 高硅耐蚀铸铁的力学性能
(GB 8491—87)

| 牌 号 | 最小 σ_b | 最小 f (mm) | 最大硬度 (HRC) |
|--------------|-------------------------------|----------------|---------------|
| | MPa (kgf/mm ²) | | |
| STSi11Cu2CrR | 190 (19.40) | 0.80 | 42 |
| STSi15R | 140 (14.30) | 0.66 | 48 |
| STSi15Mo3R | 130 (13.30) | 0.66 | 48 |
| STSi15Cr4R | 130 (13.30) | 0.66 | 48 |
| STSi17R | 130 (13.30) | 0.66 | 48 |

表 3-250 高硅耐蚀铸铁件的性能适用条件
及应用举例 (GB 8491—87)

| 牌 号 | 性能和适用条件 | 应用举例 |
|--------------|--|--------------------------------------|
| STSi11Cu2CrR | 具有较好的力学性能, 可以用一般的机械加工方法进行生产。在浓度大于或等于 10% 的硫酸、浓度小于或等于 46% 的硝酸或由上述两种介质组成的混合酸、浓度大于或等于 70% 的硫酸加氯、苯、苯磺酸等介质中具有较稳定的耐蚀性能, 但不允许有急剧的交变载荷、冲击载荷和温度突变 | 卧式离心机、潜水泵、阀门、旋塞、塔罐、冷却排水管、弯头等化工设备和零件等 |

(续)

| 牌 号 | 性能和适用条件 | 应用举例 |
|---------------------|---|-----------------------------------|
| STSi15R、 STSi17R | 在氧化性酸 (例如: 各种温度和浓度的硝酸、硫酸、铬酸等) 各种有机酸和一系列盐溶液介质中都有良好的耐蚀性, 但在卤素的酸、盐溶液 (如氢氟酸和氟化物等) 和强碱溶液中不耐蚀, 不允许有急剧的交变载荷, 冲击载荷和温度突变 | 各种离心泵、阀类、旋塞、管道配件、塔罐、低压容器及各种非标准零部件 |
| STSi15Mo3R | 在各种浓度和温度的硫酸、硝酸、盐酸中, 在碱水溶液和盐水溶液中, 当同一铸件上各部位的温差不大于 30℃ 时, 在没有动载荷、交变载荷和脉冲载荷的情况下, 具有特别高的耐腐蚀性能 | |
| STSi15Cr4R | 具有优良的耐电化学腐蚀性能, 并改善抗氧化条件件的耐蚀性能。其中的铬可提高钝化性和点蚀击穿电位, 但不允许有急剧的交变载荷和温度突变 | 在外加电流的阴极保护系统中, 大量用作辅助阳极铸件 |

7.3 高铬耐蚀铸铁

高铬耐蚀铸铁是含 Cr 24%~36% 的白口铸铁。

7.3.1 化学成分及性能 (表 3-251)

表 3-251 高铬耐蚀铸铁的化学成分及性能

| 序号 | 化学成分 (%) | 力学性能 | | | | 物理性能 | | | |
|----|---|---------------------|------------------------|-------------------|---------|-----------|----------------------------|-------------|----|
| | | σ_b (MPa) | σ_{bb} (MPa) | f_{600} (mm) | HB | 熔点 (℃) | 密度 (g/cm ³) | 线收缩率 (%) | 磁性 |
| 1 | C 0.5~1.0, Si 0.5~1.3, Mn 0.5~0.8, P ≤ 0.10, S ≤ 0.08, Cr 26~30 | 373~402 | 559~637 | 6~8 | 220~270 | 1250~1300 | 7.4~7.5 | 1.6~1.9 | 有 |
| 2 | C 1.5~2.2, Si 1.3~1.7, Mn 0.5~0.8, P ≤ 0.10, S ≤ 0.10, Cr 32~36 | 294~422 | 490~530 | 5~6 | 250~320 | 1300~1350 | 7.4~7.5 | 1.6~2.0 | 有 |

7.3.2 特性及应用

低碳 (C < 1.2%) 高铬 (Cr 24%~35%) 铸铁的组织为铁素体 + (Fe, Cr)₇C₃, 冲击性能和可机加工性良好。含碳量稍高, 或含 Ni (10%~15%)、Cu (0~6.0%) 等元素, 则形成稳定的奥氏体组织, 退火状态的可加工性降低。C ≥ 3%, 则仅用作不加工零件。

高铬铸铁工作温度: Cr 26%~30%, 1000~1100℃; 含 Cr 32%~36%, 1100~1300℃。

高铬铸铁在氧化性介质中稳定。耐下列介质腐蚀: 冷热浓硝酸, 浓硫酸, 通气盐酸, 磷酸, 醋酸; 硝酸铵, 硫酸铵, 硫化铵; 海水, 矿水; 大气等, 而

且在含有固体颗粒的腐蚀介质中也具有优良的耐腐蚀和抗冲刷性。但不耐碱、稀硫酸。

7.4 高镍耐蚀铸铁

高镍铸铁含 Ni 13.5%~36%, 基体为奥氏体, 故又名镍奥氏体铸铁。按其石墨形态分为灰铸铁和球墨铸铁。

(1) 高镍灰铸铁

化学成分、力学性能见表 3-252。

(2) 高镍球墨铸铁

化学成分、力学性能见表 3-253。

(3) 特性及应用

高镍铸铁对下列介质具有优良的耐蚀性: 硫酸、

(续)

| 牌 号 | D-2 ^① | D-2B | D-2C | D-3 ^② | D-3A | D-4 | D-5 | D-5B | D-5S |
|---|------------------|------|------|------------------|------|-----|-----|------|------|
| 疲劳极限 σ_{-1} (10^6 次循环): | 207 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 光滑试棒 (MPa) | 138 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 缺口试棒 (MPa) | | | | | | | | | |

① 添加 Mn0.7%~1.0%，提高 425℃ 以上的力学性能。

② 不必有意添加。

③ 抗拉强度、屈服强度、伸长率和硬度为规格要求，其他性能指标仅供参考。

8 铸铁的熔炼

铸铁的熔炼方法主要有：冲天炉、反射炉、电炉、冲天炉-感应电炉双联熔炼等。

8.1 冲天炉熔炼

8.1.1 冲天炉的结构及主要参数

8.1.1.1 多排小风口冲天炉 多排风口冲天炉的风口排数为三排、四排或五排。风口比约为 2.5%~6%。一般适于熔化率在 7t/h 以下。多用于焦炭品质差、块度小、灰分高的情况。

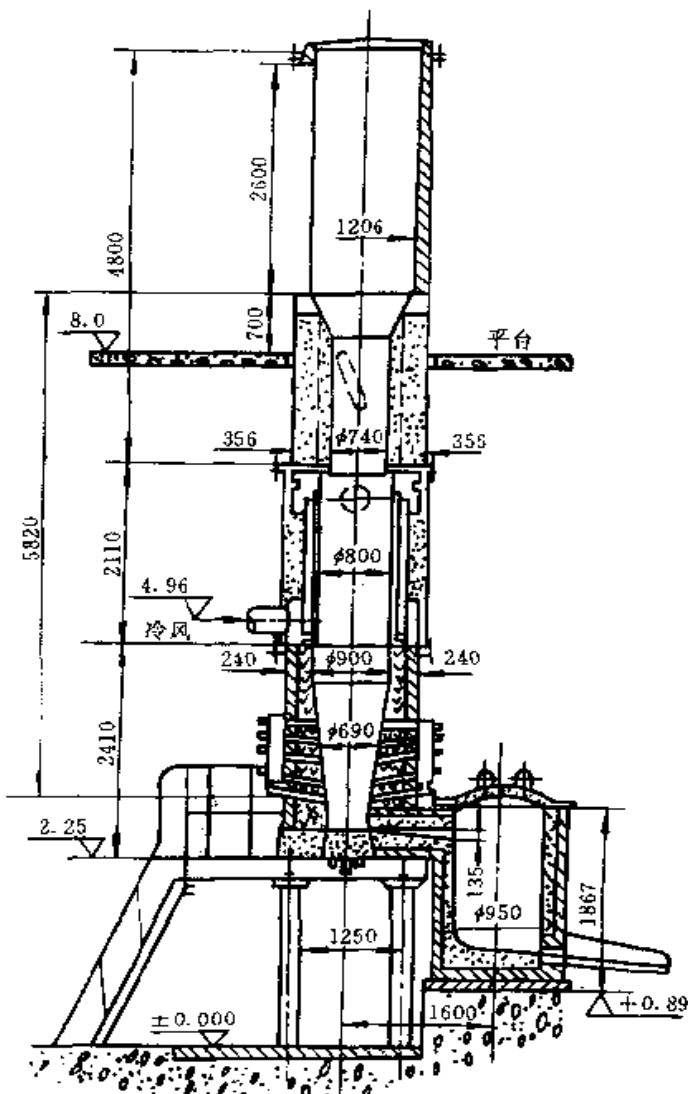


图 3-33 5t/h 多排小风口冲天炉

(1) 结构 以 5t/h 多排风口冲天炉为例说明其结构，见图 3-33。

(2) 系列参数见表 3-254 供参考。

8.1.1.2 两排大间距冲天炉 两排大间距冲天炉又称为双层送风冲天炉。其特点是有两排风口（或两组风口），排距较大（中、小型冲天炉的排距与炉内径之比为 0.8~1.1），两排风口的送风量相近。

(1) 结构 两排大间距冲天炉通常分为两类：双风带送风和单风带送风。4t/h 炉的结构分别见图 3-34、图 3-35。

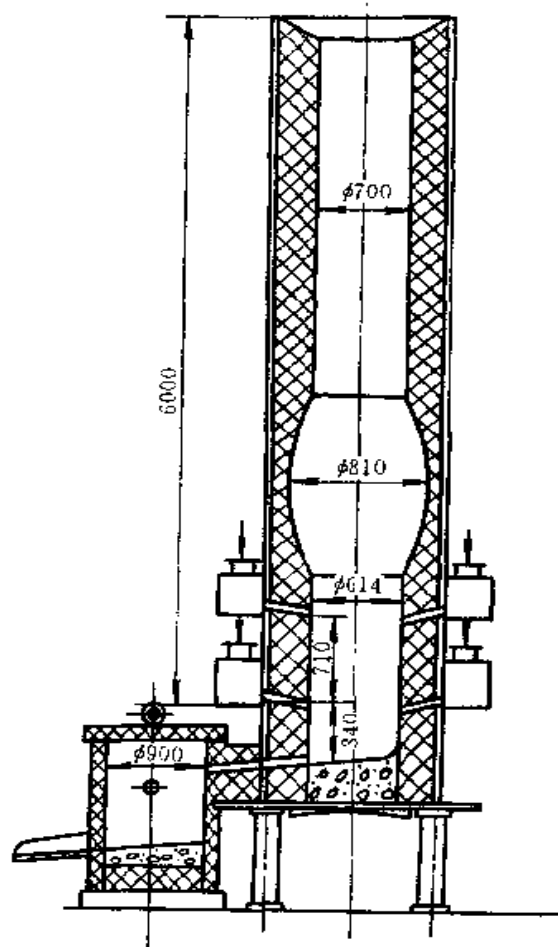


图 3-34 双风带送风冲天炉 (4t/h)

(2) 系列参数 见表 3-255。

8.1.1.3 卡腰冲天炉 卡腰冲天炉是曲线炉膛的一种形式，采用两排大斜度风口，炉膛直径在上排风口处（炉腰）缩小。

卡腰冲天炉的结构见图 3-36，主要参数见表 3-256。

8.1.1.4 中央送风冲天炉 其基本特点是空气由炉底中心送入，底焦强烈燃烧较集中在中央。送风方式有两种：中央送风；中央送风+侧吹送风。近年研究认为，低风速送风效果较好。

中央送风适于大型冲天炉。应用不广。

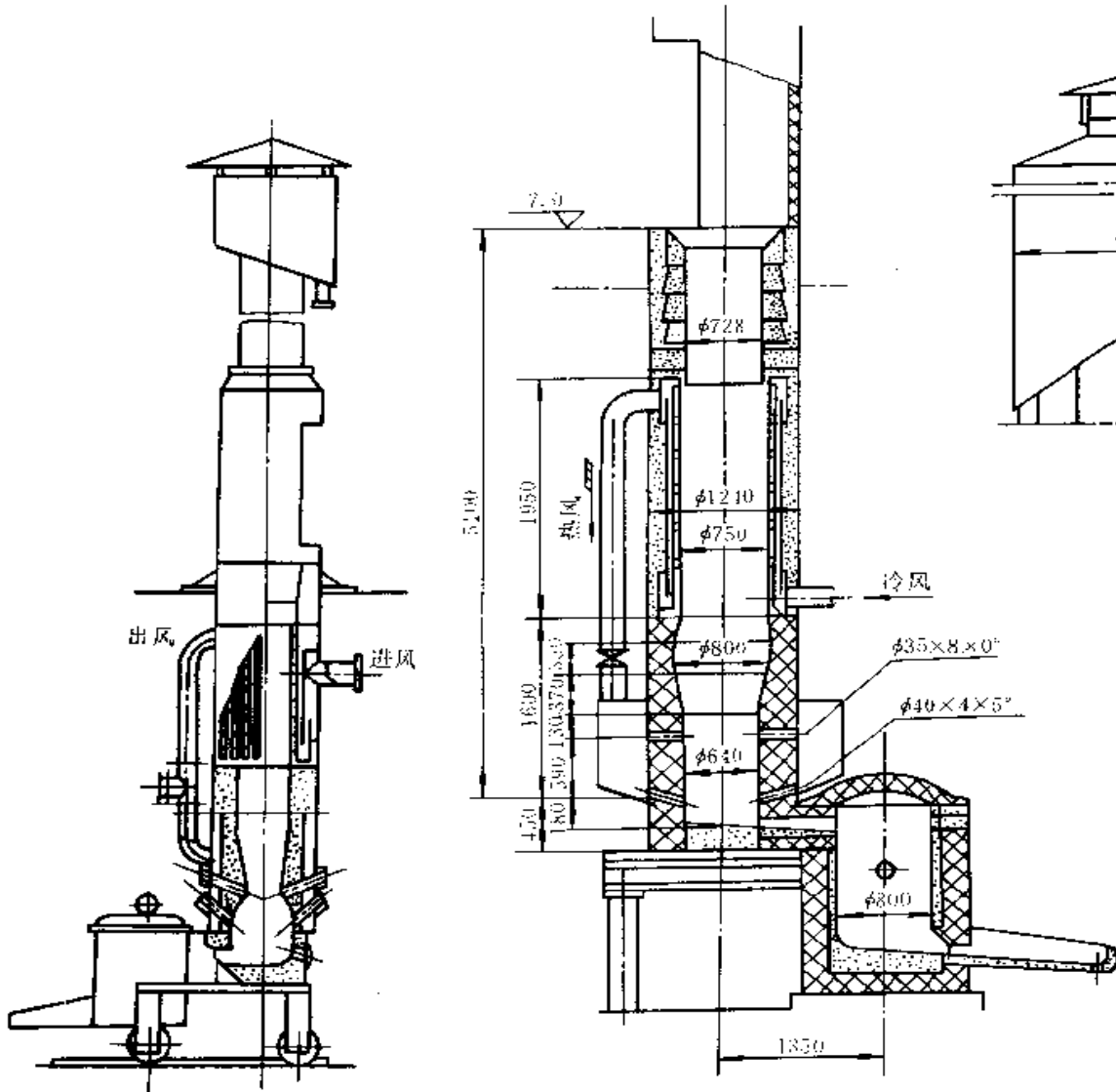


图 3-35 单风带双层送风冲天炉 (4t/h)

图 3-36 卡腰热风冲天炉

表 3-254 冲天炉的系列参数
(1975 年一机部冲天炉“三化”设计方案审查会通过)

| 系 列 ^① | 1t | 2t | 3t | 5t | 7t | 10t | 15t ^② |
|------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|------------------|
| 炉膛最大直径 (mm) | φ450 | φ600 | φ700 | φ900 | φ1000 | φ1200 | φ1450 |
| 主风口处炉膛直径 (mm) | φ310 | φ450 | φ540 | φ690 | φ820 | φ1200 | φ1450 |
| 平均直径 ^③ (mm) | φ380 | φ525 | φ620 | φ795 | φ910 | φ1180 | |
| 炉壳直径 (mm) | φ750 | φ950 | φ1200 | φ1380 | φ1550 | φ1870 | φ2200 |

(续)

| 系 列 ^① | | 1t | 2t | 3t | 5t | 7t | 10t | 15t ^② | |
|---|------------------|---------|------------------|------------------|---------------------------|------------------|------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 前炉与冲天炉中心距 (mm) | | 1000 | 1200 | 1420 | 1600 | 1800 | 2600 | 2850 | |
| 一排风口至炉胆下沿高度 (mm) | | 1300 | 1400 | 1600 | 1780 | 2250 | | | |
| 有效高度 (mm) | | 3500 | 4000 | 4900 | 5730 ^③ 5820 | 6100 | 6300 | 7600 | |
| 炉缸高度 (mm) | | 250 | 250 | 250 | 300 | 400 | 中央 170, 侧 300 | 中央 250, 侧 550 | |
| 风 口 参 数 | 风 口 × 只 数 × 角 度 | 第一排 | φ14 × 4 × 0° | φ16 × 4 × 10° | φ12 × 6 × 0° | φ14 × 8 × 5° | φ20 × 8 × 5° | 侧 φ25 × 12 × 5°, 中央 φ30 × 8 × 0° | 侧 φ30 × 16 × 5°, 中央 φ20 × 10 × 0° |
| | | 第二排 | φ20 × 4 × 5° | φ26 × 4 × 5° | φ16 × 6 × 0° | φ16 × 8 × 7° | φ40 × 8 × 10° | 侧 φ40 × 12 × 10°, 中央 φ30 × 8 × 0° | 侧 φ50 × 16 × 0°, 中央 φ20 × 10 × 0° |
| | | 第三排 | φ16 × 4 × 10° | φ18 × 4 × 5° | φ30 × 6 × 10° | φ32 × 8 × 10° | φ25 × 8 × 10° | 侧 φ25 × 12 × 15°, 中央 φ30 × 8 × 0° | 侧 φ30 × 16 × 15°, 中央 φ25 × 10 × 0° |
| | | 第四排 | φ12 × 4 × 0° | φ16 × 4 × 5° | φ12 × 6 × 10° | φ14 × 8 × 5° | φ20 × 8 × 10° | 中央 φ30 × 8 × 0° | 中央 φ25 × 10 × 0° |
| | | 第五排 | | | φ12 × 6 × 0° | φ12 × 8 × 0° | | 顶吹 φ30 × 7 × 0° 10° | 机吹 φ30 × 6 |
| | 排 距 | 一排-二排 | 150 | 160 | 160 | 200 | 250 | 侧 320, 中央 100 | 侧 350, 中央 100 |
| | | 二排-三排 | 150 | 160 | 160 | 200 | 250 | 侧 300, 中央 100 | 侧 350, 中央 100 |
| | | 三排-四排 | 210 | 180 | 180 | 200 | 200 | 中央 100 | 中央 100 |
| | | 四排-五排 | | | 100 | 220 | | | |
| | 风口比 ^④ | | 4.13 | 3.02 | 3.25 | 3.45 | 3.6 | 中央 2.13 侧 2.38 | 中央 1.45 侧 2.5 |
| 主风口占 (%) | | 40.4 | 44.8 | 58.7 | 57 | 53 | (侧吹部分) 58.2 | 50 | |
| 炉 胆 | 高度 (mm) | | 1500 | 1600 | 1800 | 2000 | 2200 | | |
| | 内 径 | 大端 (mm) | φ400 | φ500 | φ650 | φ800 | φ1000 | | |
| | | 小端 (mm) | φ350 | φ450 | φ550 | | | | |
| 前 炉 | 内径 × 高 (mm) | | φ560 × 680 | φ700 × 900 | φ800 × 1140 | φ950 × 1370 | φ1000 × 1660 | φ1380 × 1515 | φ1700 × 1900 |
| | 有效容量 (t) | | 0.75 | 1.5~2 | 2~3 | 3~5 | 5~7 | 8~12 | 12~15 |
| 加料平台高度 (mm) | | 4.5 | 5 | 6 | 7 | 8.5 | 9 | 11 | |
| 加料 口 尺 寸 (mm) | 单轨加料 (高 × 宽) | | | 2100 × 800 | 2500 × 1000 | 2600 × 1100 | 2800 × 1300 | 3000 × 1560 | |
| | 爬式加料 (高 × 宽) | | 900 × 580 | 900 × 580 | 2000 × 1000 | 2600 × 1100 | 2800 × 1300 | 3000 × 1560 | 3000 × 1600 |
| 烟囱内径 (mm) | | φ584 | φ700 | φ900 | φ1000 | φ1100 | φ1570 | φ1500 | |
| 理论空气量 ^⑤ (m ³ /min) | | 12 | 24 | 36 | 60 | 84 | 120 | 180 | |
| 实际使用风压 (kPa) | | 8~10 | 8~10 | 10~12 | 10~13 | 11~14 | 11~14 | 待测 | |
| 选用风机容量 ^⑥ (m ³ /min) | | 28 | 42 | 60 | 84 | 120 | 120 | 250 | |

(续)

| 参 数 | | 系 列 ^① | | | | | | |
|------|---|------------------|------|------|------|------|------|------------------|
| | | 1t | 2t | 3t | 5t | 7t | 10t | 15t ^⑧ |
| 设计指标 | 总铁焦比 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| | 供风强度 ^② (m ³ /m ² ·min) | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 | 112 | 117 |
| | 铁液温度 ^③ (°C) | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 |
| | 熔化强度 ^④ (t/(m ² ·h)) | 8.8 | 9.3 | 10 | 10 | 10.8 | 9.3 | 9.2 |

- ① 1、2、3、4、5、7t/h冲天炉采用多排小风口曲线炉膛，10、15t/h冲天炉采用中央与侧吹相结合的送风方式。
- ② 平均直径 = (炉膛最大直径 + 主风口处炉膛直径) / 2。
- ③ 风口比和供风强度均按主风口处炉膛直径计。
- ④ 理论空气量按 7.2m³/kg 焦炭计 (固定碳按 80%，燃烧系数 $\eta=1$ 计)。
- ⑤ 原设计方案推荐用罗茨风机。由于罗茨风机能耗太高，现以严格限制使用。推广节能风机，故本栏作了修改，保留原推荐的风机容量。
- ⑥ 熔化强度按平均直径计。
- ⑦ 5t/h冲天炉移动炉缸 5730；固定炉缸，5820。
- ⑧ 15t/h冲天炉待成熟后再纳入系列，参数仅供参考。

表 3-255 1~30t/h 大排距冲天炉推荐系列

| 数 据 | | 名义熔化率 (t/h) | | | | | | | | | | |
|-----|--------------------|-----------------|---|------------------------------|------------------------------|--|--|--|-------|------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | |
| 参 数 | 炉膛内径 | mm | 400 | 550 | 700 | 900 | 1000 | 1200 | 1500 | 1700 | 1900 | 2100 |
| | 炉壳外径 | mm | 740 | 962 | 1212 | 1464 | 1566 | 1868 | 2170 | 2374 | 2580 | 2780 |
| | 有效高度 | mm | 3200 | 4000 | 4900 | 5820 | 6100 | 7300 | 7600 | 7600 | 7600 | 7600 |
| | 炉缸深度 | mm | 250 | 250 | 250 | 300 | 400 | 400 | 450 | 450 | 500 | 500 |
| | 炉底厚度 | mm | 200 | 250 | 250 | 250 | 300 | 300 | 350 | 350 | 400 | 400 |
| 风 口 | 风口直径 ×个数× 角度 | 一排 (或 一组) | mm×个数×度 $\phi 25 \times 4 \times 5$ | $\phi 34 \times 4 \times 5$ | $\phi 35 \times 6 \times 5$ | $\phi 28 \times 8 \times 5$ $\phi 28 \times 8 \times 5$ | $\phi 31 \times 8 \times 5$ $\phi 31 \times 8 \times 5$ | $\phi 33 \times 10 \times 5$ $\phi 33 \times 10 \times 5$ | | | | |
| | | 二排 (或 二组) | mm×个数×度 $\phi 25 \times 4 \times 10$ | $\phi 34 \times 4 \times 10$ | $\phi 35 \times 6 \times 10$ | $\phi 28 \times 8 \times 10$ $\phi 28 \times 8 \times 10$ | $\phi 31 \times 8 \times 10$ $\phi 31 \times 8 \times 10$ | $\phi 33 \times 10 \times 10$ $\phi 33 \times 10 \times 10$ | | | | |
| | 风 口 比 | % | 3~4 | 3~4 | 3~4 | 3~4 | 3~4 | 3~4 | 3~4 | 3~4 | 3~4 | 3~4 |
| | 排 距 | mm | 500 | 550 | 600 | 100 550 100 | 150 550 150 | 150 600 150 | 800 | 850 | 900 | 900 |
| 前 炉 | 有效容量 | t | 0.75 | 2 | 2~3 | 3~5 | 5~7 | 8~12 | 10~15 | 15 | 20 | 20 |
| | 内 径 | mm | 560 | 700 | 800 | 950 | 1000 | 1380 | 1700 | | | |
| | 高 度 | mm | 680 | 900 | 1140 | 1370 | 1660 | 1815 | 1900 | | | |
| | 烟囱内径 | mm | 550 | 700 | 900 | 1000 | 1098 | 1370 | 1500 | 1500 | 1700 | 1700 |

(续)

| 数据 参数 | | 名义熔化率 (t/h) | | 1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
|----------|------|---------------------|--|------------------|------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | mm × mm | | | | | | | | | | | |
| 加料口高 × 宽 | 单轨加料 | | | | 2100 × 800 | 2500 × 1000 | 2600 × 1100 | 2800 × 1300 | 3000 × 1560 | | | | |
| | 爬式加料 | mm × mm | | 翻斗式 900 × 580 | 翻斗式 900 × 580 | 2000 × 1000 | 2600 × 1100 | 2800 × 1300 | 3000 × 1560 | 3000 × 1600 | 3300 × 1700 | 3500 × 1800 | 3500 × 1800 |
| 底焦高度 | | mm | | 1300 | 1400 | 1500 | 1600 | 1700 | 1750 | 1800 | 1850 | 1900 | 1900 |
| 理论风量 | | m ³ /min | | 10 | 20 | 30 | 50 | 70 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |
| 风 压 | | kPa | | 8~10 | 8~10 | 10~12 | 10~12 | 12~14 | 12~14 | 14~16 | — | — | — |
| 风 机 | | | | HTD20-11 | HTD35-11 | HTD 50-11 或 HTD 50-12 | HTD 80-11 或 HTD 85-21 | HTD 120-21 | — | D250-31 | D300-42 | D340-12 | — |

注: 15~30t/h 需安装插入式风口, 另行设计。

表 3-256 卡腰冲天炉的主要参数

| 熔化率 (t/h) | | 0.5 | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 5 |
|-------------------------|---------------------|-----------|----------------|-------|----------------|--------|----------------|--------------------|
| 铁液温度 (°C) | | 1420~1470 | | | 1420~1470 | | 1420~1470 | |
| 总铁焦比 | | 7~9 | | 7~9 | | 7~9 | | 7~9 |
| 炉膛最大直径 (mm) | | 450 | 550 | 570 | 650 | 720 | 800 | |
| 主风口处炉直径 (mm) | | 230 | 300 | 310 | 330 | 380 | 420 | |
| 炉膛平均直径 (mm) | | | 425 | | 522 | | 645 | 800 |
| 风 口 | 排数 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | 一排直径 (mm) × 个数 × 角度 | | φ18 × 6 × 45° | | φ20 × 6 × 45° | | φ24 × 8 × 45° | φ30 × 8 × 45° |
| | 一排直径 (mm) × 个数 × 角度 | | φ18 × 12 × 45° | | φ20 × 12 × 45° | | φ24 × 16 × 45° | φ30 × 16 × 45° |
| | 风口比 (%) | 4 | 3.8 | 3.7 | 3.5 | 3.4 | 3.4 | 2.5~3.5 |
| 有效高度 (m) | | 2.7 | 3.57 | 3.9 | 4.27 | 4.6 | 5.02 | 6.01 |
| 前炉容量 (t) | | 0.3 | 0.5 | 0.75 | 1 | 1.3 | 1.5 | 4.5~5.5 |
| 用风量 (m ³ /t) | | 8 | 14 | 20 | 27 | 33 | 40 | |
| 风带风压 (kPa) | | 4.5~6.5 | 7~8.5 | 7.5~9 | 8.5~10 | 8.5~11 | 9~12 | |
| 鼓 风 机 | HTD 型 | 20-11 | | 35-12 | | 50-11 | 50-12 | 80-12 或 85-21 (双级) |
| | 功率 (kW) | 7.5 | | 15 | | 18.5 | 22 | 45 |
| 总高度 (m) | | 7.9 | 10.7 | 11.5 | 11.9 | 12.5 | 14 | |
| 平台高度 (m) | | 3.65 | 4.3 | 4.5 | 5 | 5.5 | 5.7 | |

注: 各生产厂的参数不尽相同, 本表摘自武穴市冲天炉成套设备厂产品样本。

8.1.1.5 密筋炉胆冲天炉 炉胆式热风冲天炉是利用炉胆作为换热器的炉内热风冲天炉。见图 3-33, 图 3-35, 图 3-36。国内应用广泛。炉胆安装在底焦顶面以上 200~300mm 至加料口下, 它利用炉气的物理热预热空气, 风温 150~200℃。

密筋炉胆为双层圆锥形套筒, 上、下集风圈各一个, 上端有热膨胀补偿机构。采用顺流式。外筒及集风圈用碳钢板, 其余为锅炉钢板。结构见图 3-37, 尺寸见表 3-257。

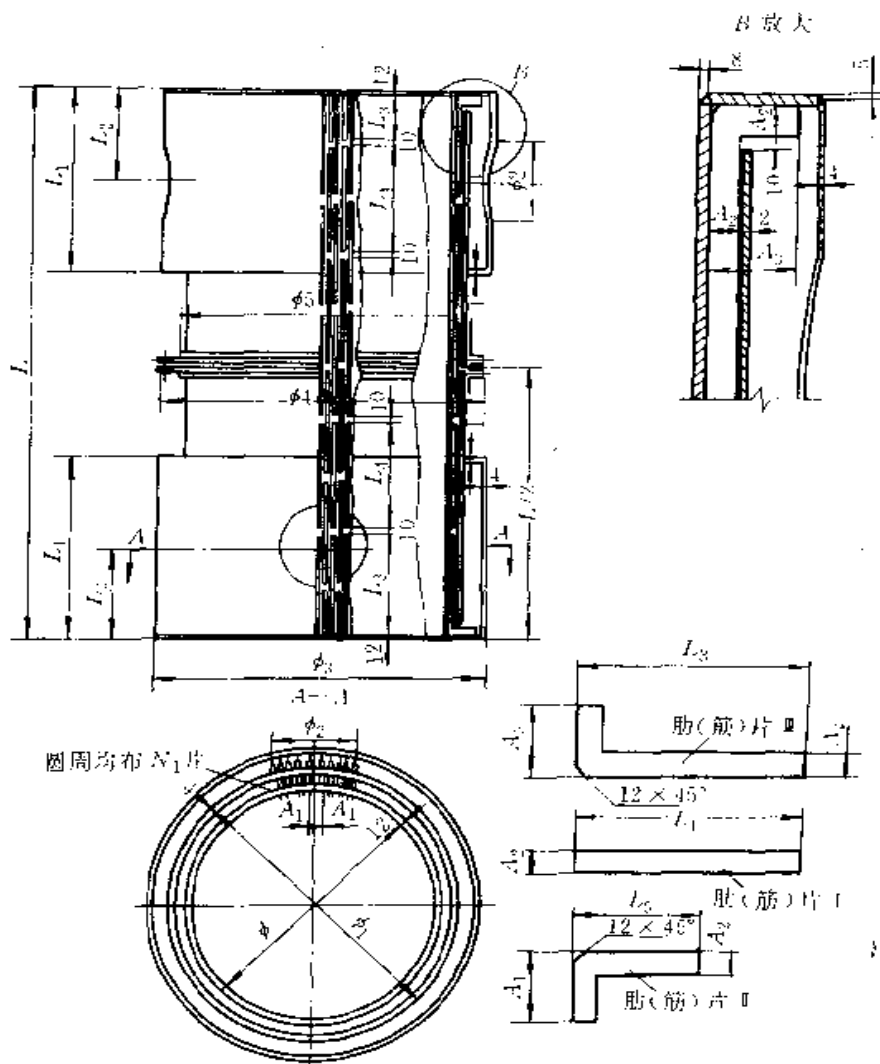


图 3-37 $\phi 500 \sim \phi 900$ 密筋炉胆的结构

表 3-257 $\phi 500 \sim 900$ 密筋炉胆尺寸 (图 3-37)

(mm)

| 炉胆直径 (mm) | ϕ | ϕ_1 | ϕ_2 | ϕ_3 | ϕ_4 | ϕ_5 | L | L_1 | L_2 | L_3 | L_4 | L_5 | A_1 | A_2 | A_3 | N_1 |
|--------------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 500 | 500 | 578 | 175 | 688 | 720 | 606 | 1700 | 368 | 185 | 330.5 | 325 | 163 | 9 | 25 | 75 | 182 |
| 600 | 600 | 688 | 210 | 823 | 840 | 716 | 1800 | 416 | 210 | 350.5 | 345 | 173 | 10 | 30 | 90 | 196 |
| 700 | 700 | 788 | 245 | 948 | 950 | 816 | 1900 | 466 | 235 | 370.5 | 365 | 183 | 11 | 30 | 100 | 206 |
| 800 | 800 | 898 | 280 | 1068 | 1060 | 926 | 2000 | 566 | 285 | 390.5 | 385 | 193 | 11 | 35 | 110 | 324 |
| 900 | 900 | 998 | 315 | 1168 | 1160 | 1026 | 2100 | 706 | 355 | 410.5 | 405 | 203 | 12 | 35 | 110 | 242 |

注: 上海市机械制造工艺研究所与机械部第二设计院定型设计。

8.1.1.6 热风水冷无炉衬冲天炉 热风水冷无炉衬冲天炉是当代最先进的冲天炉。其特点是“自动化, 大型化, 连续作业, 抽风除尘, 预热送风和水冷无炉

衬。”目前已创出连续作业 6 个月的记录。在日本, 对 4t/h~7t/h 小型冲天炉的研制颇有进展。

这种现代冲天炉由六部分组成: 熔化系统, 水冷

系统，热风系统，抽气燃烧除尘系统，加料系统，电控系统。

1. 水冷方式

(1) 水套式水冷 炉壳为内外两层，中间为水套，通循环水冷却炉壁。早期曾被广泛采用，但结构复杂，难维修，水套钢板烧蚀后漏水，国内外都曾发生爆炸事故。水套式已被淘汰。

(2) 喷淋式水冷 结构见图 3-38。炉壳为单层，自风口以上不用耐火材料炉衬，外围环绕多层水管，喷水冷却炉壁。铜质风口中空水冷，插入且稍突入炉内供风。风口以下的炉缸部分砌筑炉衬，以保持铁液温度。

小型冲天炉则部分无炉衬，即预热带砌筑炉衬，熔化带无炉衬。

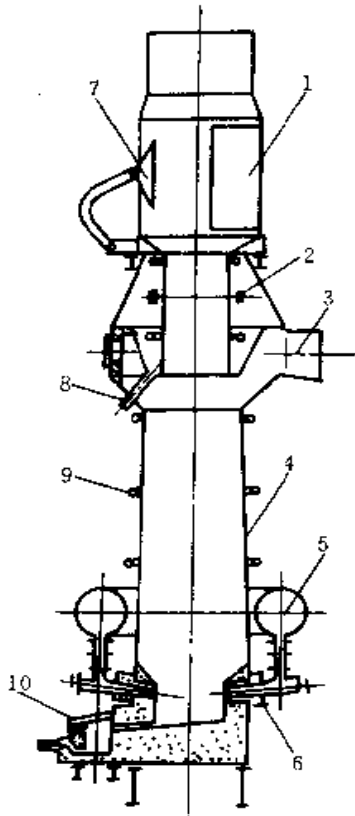


图 3-38 热风水冷无炉衬冲天炉

- 1—加料口 2—料位计 3—炉气引出口 4—炉壳
5—风带 6—水冷风口 7—炉盖 8—排水管
9—炉壁冷却水管 10—虹吸式分渣器

喷淋式水冷无炉衬原本是高炉的结构。1948年，德国 GHW 公司制造出喷淋式水冷无炉衬冲天炉。

喷淋式水冷结构简单，维修方便，寿命长。

2. 炉气燃烧净化系统 冷风冲天炉熔炼时，炉气中常含 CO 13%~20%。炉气带走的热量（包括显热和化学潜热）通常占总热量支出的 40%~55%，

其中化学潜热约为 80%~85%。

近年来，炉气燃烧净化系统发展迅速。它是将炉气抽出来，燃烧其中的 CO，预热待送入冲天炉的空气，并净化炉气。按流程分为两类：

(1) 先除尘后燃烧式：抽出炉气→湿法除尘→CO 燃烧→热交换→预热送风→排放废气。德国 CHW，美国 Whiting 等公司制造这类系统。在欧美国家应用广、运行良好。

(2) 先燃烧后除尘式：抽出炉气→CO 燃烧→热交换，预热送风→冷却废气→布袋除尘→排放。日本东棉、NANIWA 等公司制造这类系统，其换热器结构简单，在我国运行良好。

3. 高效换热器 换热器的类型颇多：如德国 KGT 公司的管式换热器，热风温度 400~500℃，出铁温度 1515℃ 左右；日本东棉、NANIWA 等公司的竖筒扁管式换热器，热风温度 450~500℃，出铁温度 1500~1520℃，焦耗 11%~12%，不易积灰；等等。

陶粒式换热器是最高效的新型换热器，换热介质为 $\phi 1\sim 2\text{mm}$ 左右的陶粒，含 Al_2O_3 85%~90%。由美国 Econo-Therm 公司研制，经德国 KGT 公司改进后推向市场。在生产中运行良好。

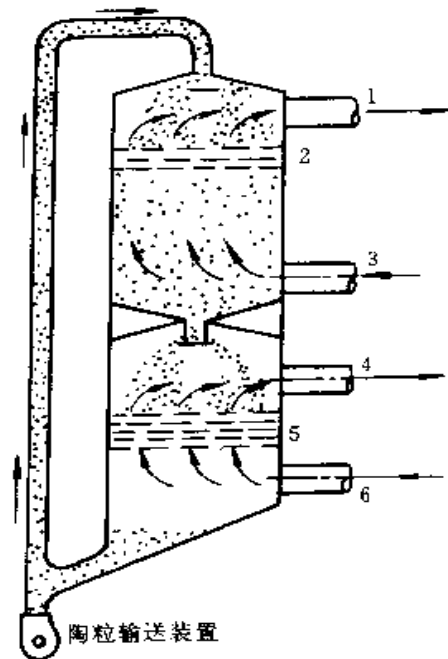


图 3-39 陶粒换热器

- 1—废气出口 2—分配盘 3—热废气入口
4—热风出口 5—分配盘 6—冷风入口

原理见图 3-39。换热器主体分上、下两部分：上部为蓄热室，陶粒与废热气逆向流动，1000℃ 左右的

废热气加热陶粒到 900℃ 左右。下部为送风预热室，热陶粒与冷风也逆向流动，冷风被预热到 800℃。在底部，陶粒与附灰分离，用压缩空气送回上部，陶粒循环使用，灰尘随废气排出。换热效率 85% 以上。

陶粒换热器解决了金属结构换热器的种种问题，维修方便，炉气可直接引入而不必预除尘。

8.1.2 熔炼过程

冲天炉熔炼有三个基本过程，焦炭燃烧，热量交换，冶金反应。

8.1.2.1 焦炭燃烧 在冲天炉内，底焦燃烧，由于各区带的条件不同，碳和氧的四种反应都可以发生，见表 3-258。

表 3-258 冲天炉内碳和氧的四种反应

| 反应名称 | 反应方程式 | 1kg 碳需空气量 (m ³) | 冲天炉内发生位置 | 促发条件 |
|--------------------|--|-----------------------------|--------------|-------------------------------|
| 完全燃烧 | $C + O_2 \rightarrow CO_2 + 34070 \text{kJ/kg (C)}$ | 8.9 | 氧化带 | 空气充足；焦炭致密，反应能力小 |
| 不完全燃烧 | $C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO + 10270 \text{kJ/kg (C)}$ | 4.47 | 氧化带 | 空气不足；焦炭不致密，反应能力大 |
| CO 再次燃烧 | $CO + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO_2 + 23800 \text{kJ/kg (C)}$ | 4.5 | 氧化带，还原带的二次送风 | 从辅助风口供给空气 |
| CO ₂ 还原 | $CO_2 + C \rightarrow 2CO - 12628 \text{kJ/kg (CO}_2)$ | | 还原带 | 缺氧、高温 (>1100℃)、焦炭反应能力大，还原反应强烈 |

焦炭燃烧和铁液温度的主要影响因素如下：

(1) 冲天炉结构 风口比，风口尺寸、角度、布置、排距；炉膛形状、直径等。

(2) 焦炭 固定碳、强度、发热量、反应性、气孔率，块度及均匀性等。

(3) 送风 风量及其分配、风压、风速、风温、风湿度、风中含氧量等。

(4) 操作与管理 铁料块度及纯净度、底焦高度、焦耗量、批焦量、批铁量、炉况控制等。

8.1.2.2 热交换 在冲天炉内，焦炭燃烧的热量，经过复杂的热交换，将金属炉料预热、熔化、过热成高温铁液。各区带的燃烧特性、温度、炉料变化见表

3-259。

8.1.2.3 冶金反应 冲天炉内，金属在预热、熔化的过程中，与炉气、焦炭、熔渣发生一系列冶金反应，从而决定了铸铁的化学成分。

(1) 炉气 冲天炉加料口处的炉气成分见表 3-260。

(2) 炉渣 冲天炉内炉渣的来源：熔剂，焦炭的灰分，炉料中的杂质，元素烧损形成的氧化物，炉衬的熔蚀等。

一般冲天炉，渣量 6%~8%；水冷无炉衬大型冲天炉，渣量 0.1%~0.3%。

表 3-259 冲天炉各区带的燃烧特性及炉料的变化

| 区带名称 | 焦炭燃烧特性 | | | 炉料变化 |
|------------|---|--|--------------------------------|--|
| | 燃烧反应 | 炉气成分 | 炉温 | |
| 预热区 | 焦炭被预热到高温，未燃烧；挥发分逸出，水分蒸发 | 当焦耗 7%~12%，含碳 80% 时，炉气成分约为：CO ₂ 18%~13%，CO 4%~13%，O ₂ < 0.5% | 加料口一般 200~300℃；底焦顶面 1200~1300℃ | 金属料预热到 1150~1200℃；石灰石分解、熔融，待造渣 |
| 熔化区 还原带 | 炽热焦炭在高温、无氧条件下，主要进行还原反应： $CO_2 + C \rightarrow 2CO + Q_1$ | CO ₂ : (18~13)%~(20~18)% CO: (4~13)%~(1~3)% O ₂ : < 0.5% | 底焦顶面同上；炉内最高温 1700~1800℃ | 金属料在 1150~1200℃ 熔化；随元素烧损，开始造渣；铁渣一起下流 |
| 过热区 氧化带 | 主要反应 $C + O_2 \rightarrow CO_2 + Q_2$ 其次 $C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO + Q_3$ $CO + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO_2 + Q_4$ | CO ₂ : 20%~18% CO: 1%~3% O ₂ < 0.5% | 从风口至最高温区之间，炉温急剧上升至 1700~1800℃ | 炽热焦炭、炉气把液滴过热至 1500~1650℃；造渣结束后，渣铁一起进入炉缸区 |

(续)

| 区带名称 | 焦炭燃烧特性 | | | 炉料变化 |
|------|--|----------------------------------|---------------------------------|---|
| | 燃烧反应 | 炉气成分 | 炉温 | |
| 炉缸区 | 正常情况下焦炭燃烧微弱 $C + O_2 \rightarrow CO_2$, $CO_2 + C \rightarrow CO$ | 几乎全部为 CO , 或有少量 CO_2 、 O_2 | 1200 ~ 1300℃ 左右; 铁液不断流过, 炉温有所提高 | 高温铁水流经炉缸、过桥至前炉, 均为降温过程, 一般降温 50 ~ 100℃ 左右 |

表 3-260 冲天炉加料口处炉气成分

| 炉气成分 | CO_2 | CO | N_2 | O_2 | H_2O | SO_2 |
|--------|---------|--------|---------|-------|--------|--------|
| 体积 (%) | 10 ~ 19 | 17 ~ 2 | 70 ~ 76 | < 1 | < 1.5 | < 1.5 |

注: SO_2 、 H_2O 的含量如下估算: 焦炭每含硫 1%, 产生 SO_2 0.1%; 每含水 1%, 产生水蒸气不到 0.2%。

炉渣的大致成分见表 3-261。其中 SiO_2 、 CaO 和 Al_2O_3 为主要成分, 三者之和约为 80% ~ 90%。

表 3-261 常见冲天炉炉渣的化学成分

(%)

| 名称 | SiO_2 | CaO | Al_2O_3 | MgO | FeO | MnO | P_2O_5 | FeS |
|-----|---------|---------|-----------|---------|--------|--------|-----------|-----------|
| 酸性渣 | 40 ~ 55 | 20 ~ 30 | 5 ~ 15 | 1 ~ 5 | 3 ~ 15 | 2 ~ 10 | 0.1 ~ 0.5 | 0.2 ~ 0.8 |
| 碱性渣 | 20 ~ 55 | 35 ~ 50 | 10 ~ 20 | 10 ~ 15 | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 0.1 | 1 ~ 5 |

炉渣中碱性氧化物浓度与酸性氧化物浓度的比值, 称为炉渣的碱度。计算公式如下

$$\text{炉渣碱度} = \frac{CaO\% + MgO\%}{SiO_2\%}$$

式中各组分的量均为各自在炉渣中的质量百分比。计算碱性渣时, 有时将 Al_2O_3 作为酸性组分计入上式的分母中。炉渣的性质与碱度的对应关系如下:

| | | | | |
|-------------|-----------|-------------|------------|-------|
| 炉渣性质: 酸性 | 中性 | 弱碱性 | 中等碱性 | 强碱性 |
| 炉渣碱度: < 0.8 | 0.8 ~ 1.2 | > 1.2 ~ 1.5 | 1.8 ~ 2.25 | ≥ 2.5 |

炉渣的碱度决定了它的一些物理化学特性, 如熔点, 粘度, 氧化能力, 脱硫能力等。

(3) 铁液成分的变化 在冲天炉熔炼中, 基本元素和合金元素的变化分别见表 3-262 ~ 表 3-264。

表 3-262 冲天炉中各种元素的变化

| 元素 | 变化规律 | | | | | | |
|----|--|-----------------------------|-----------|-------------------------------|------------|--------------------------------|-------------|
| 碳 | 1. 增碳 铁水流经焦炭层时, 碳溶入铁液并扩散 | | | | | | |
| | 2. 脱碳 碳被 O_2 、 CO_2 、 FeO 氧化而烧损 | | | | | | |
| | 在预热区, 脱碳微弱; 在过热区, 气相脱碳强烈, 但溶解增碳更甚 | | | | | | |
| | 3. 在增、脱的双重作用下, 碳或增或减如下所示: | | | | | | |
| | 条件 | 铁料中碳量 (%) | | | 灰铸铁 | | 可锻铸铁 |
| | | > 3.6 | 3.2 ~ 3.6 | < 3.2 | HT200 以下 | HT200 以上 | |
| | 增、减碳率 (%) | 一般 - (3 ~ 8) 极限 0 ~ - 10 | ~ 0 | 一般 + (10 ~ 30) 极限 0 ~ + 60 | + (5 ~ 10) | + (15 ~ 35) 大排距 + (40 ~ 50) | + (40 ~ 50) |
| | 4. 生产中常用下式估计铁水的含碳量 | | | | | | |
| | $C_{\text{铁液}} = K + (1 - \alpha) C_{\text{铁料}}$ | | | | | | |
| | 式中 K —底焦增碳系数, 1.6% ~ 1.8%, 依底焦高度、温度、焦炭灰分等确定 | | | | | | |
| | α —铁料脱碳系数, 0.4% ~ 0.6%, 一般 0.5% | | | | | | |

(续)

| 元素 | 变化规律 |
|------|---|
| 硅与锰 | 1. 硅与锰均易氧化烧损。由于 Fe 生成大量 FeO，故硅与锰烧损的主要途径是与 FeO 的氧化反应 2. 硅、锰烧损的主要部位是熔化区和过热区 3. 通常影响硅、锰变化趋向及大小的根本因素是：炉温，炉气氧化性，熔化区位置 4. 酸性炉中，烧损大致如下：Si 10%~20%，Mn 15%~25% 5. 在某些情况下，可发生增硅现象 |
| 磷 | 酸性炉中，磷无变化；碱性炉中，脱磷效果不佳。铸铁含磷量基本上应由炉料控制 |
| 硫 | 1. 铁料表面增硫 表面的 Fe、FeO、Fe ₃ O ₄ 均能与 SO ₂ 反应，生成 FeS 2. 炉气脱硫 铁液中部分硫被氧化，约烧去 25% 3. 炉渣脱硫 硫在炉渣和铁液中按一定的比例指数 L _S 分配： $L_S = \frac{S_{渣}}{S_{铁液}} = 1.22 \frac{CaS_{渣}}{FeS_{铁液}}$ 4. 溶解增硫 炉气中的 SO ₂ 和焦炭中的硫溶入铁是增硫的主要途径，焦炭增硫尤甚 5. 增硫率 25%~100%，通常 40%~80%。铁液含硫量估计公式（铁焦比为 K） $S_{铁液} = 0.75S_{铁料} + (0.25 \sim 0.35) \frac{S_{焦}}{K}$ |
| 合金元素 | 元素与氧的亲合力愈强，愈易被氧化烧损，递增顺序如下： Cu, Ni, W, Mo, Fe, Cr, Mn, V, Si, Ti, B, Al, Ce, Ca |

表 3-263 常见合金元素在冲天炉中的烧损量

| 元素 | 一般 (%) | 极限 (%) | 说明 |
|----|--------|--------|---------------|
| 钛 | 40~50 | | 以钒钛生铁加入 |
| 硅 | 10~15 | 0~40 | |
| 钒 | 30~40 | | 以钒钛生铁加入 |
| 锰 | 15~20 | 10~50 | |
| 铬 | 8~12 | 0~20 | 有些厂的数据为 2%~5% |
| 磷 | 不变 | | |
| 钼 | 3~4 | 0~10 | |
| 镍 | 1~2 | 0~3 | |
| 铜 | 1~2 | 0~3 | |

表 3-264 合金元素炉前加入的回收率

| 元素 | 添加材料 | 回收率 (%) | 元素 | 添加材料 | 回收率 (%) |
|----|------|---------|----|------|---------|
| 铝 | 铝 | 30~40 | 钨 | 钨铁 | >95 |
| 硼 | 硼铁 | 40~50 | 镍 | 镍 | 100 |
| 钛 | 钛铁 | 60~70 | 铜 | 紫铜 | 100 |
| 硅 | 硅铁 | 80~90 | 铋 | 铋 | 30~50 |
| 钒 | 钒铁 | 约 85 | 锑 | 锑 | 75 |
| 锰 | 锰铁 | 85~95 | 锡 | 锡 | 90 |
| 铬 | 铬铁 | >85 | | | |

8.1.3 冲天炉的主要操作参数

8.1.3.1 底焦高度 底焦高度是指冲天炉内第一排风口中心至底焦顶面的垂直距离。它是冲天炉的重要

操作参数。由于影响因素甚多，目前还没有通用的决定底焦高度的方法。生产中可参考表 3-265~表 3-267，根据风压、炉膛直径或送风方式初步选定；然后凭经验校核。

三排风口、双层送风冲天炉的底焦高度 ($h_{底焦}$) 还可以按下式计算

$$h_{底焦} = L_{排距} + (800 \sim 1200)$$

式中 $L_{排距}$ ——风口总排距 (mm)。

风口倒置，常数项取中上限，风口顺置，取中下限。

表 3-265 底焦高度与风压的关系

| 风压 (kPa) | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| 底焦高度 (mm) | 900 | 1000 | 1100 | 1200 | 1250 | 1300 | 1400 | 1500 |

表 3-266 底焦高度与炉膛直径的关系

| 炉膛直径 (mm) | 500 | 600 | 700 | 900 | 1100 | 1300 | 1500 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 底焦高度 (mm) | 1250 | 1300 | 1350 | 1400 | 1500 | 1600 | 1700 |

表 3-267 底焦高度与送风方式的关系

| 送风方式 | 三排风口 | 多排风口 | 双层送风 | 中央送风 | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | 矮风嘴 | 高风嘴 |
| 底焦高度 (mm) | 1250 | 1200 | 1500 | 1100 | 1350 |
| | ~1700 | ~1800 | ~2000 | ~1300 | ~1700 |

若开风后 5~8min 内在第一排风口能见到铁滴下

落, 则底焦高度适当; 若 $< 5\text{min}$, 则底焦偏低; 若 $> 10\text{min}$, 则底焦过高。

8.1.3.2 层焦量 层焦量是指每批层料中焦炭的质(重)量(kg)。层焦的主要作用是补充底焦, 保持底焦高度不变。

(1) 层焦厚度 可以查表 3-268; 亦可以如下选定: 层焦厚度一般为 $140 \sim 200\text{mm}$, 焦块大、焦比高, 冲天炉大, 则取上限; 反之, 取下限。层焦厚度不得小于 2~3 块焦炭直径。

(2) 层焦质(重)量 可以参考表 3-268, 亦可以计算。

1) 按层焦厚度计算, 公式如下

$$M_{\text{层焦}} = F_{\text{熔化带}} \cdot h_{\text{层焦}} \cdot \gamma_{\text{焦}}$$

式中 $M_{\text{层焦}}$ ——层焦质(重)量(kg);

$F_{\text{熔化带}}$ ——熔化带炉膛截面积(m^2);

$h_{\text{层焦}}$ ——层焦厚度(m);

$\gamma_{\text{焦}}$ ——焦炭容积密度, 一般为 $450 \sim 500\text{kg}/\text{m}^3$ 。

2) 按批铁质(重)量计算, 公式如下

$$M_{\text{层焦}} = M_{\text{批铁}} \cdot K$$

式中 $M_{\text{层焦}}$ ——层焦质(重)量(kg);

$M_{\text{批铁}}$ ——批铁质(重)量(kg);

K ——层焦铁比(%)。

经核算, 若层焦厚度太薄($< 150\text{mm}$), 则应调整批铁量。

8.1.3.3 批铁量 批铁量是指每批层料中金属炉料的重量(kg)。各种规格冲天炉的批铁量可参考表 3-268。批铁量亦可以按下述方法计算选定。

1) 按熔化率计算, 公式如下:

$$M_{\text{批铁}} = \left(\frac{1}{8} - \frac{1}{12} \right) \times \text{冲天炉小时熔比率}$$

表 3-268 各种规格冲天炉的层焦量和批铁量

| 冲天炉规格 | 名义熔化率(t/h) | 1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
|-----------------------|------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 实际熔化率(t/h) | 0.9~1.3 | 1.7~2.4 | 2.7~3.9 | 4.5~6.4 | 5.5~7.9 | 7.9~11.3 | 12.4~17.7 | 15.9~22.7 | 19.8~28.4 | 24.2~34.6 |
| 炉膛内径(mm) | 400 | 550 | 700 | 900 | 1000 | 1200 | 1500 | 1700 | 1900 | 2100 | |
| 炉膛截面积(m^2) | 0.216 | 0.238 | 0.385 | 0.636 | 0.785 | 1.131 | 1.767 | 2.27 | 2.835 | 3.464 | |
| 层焦厚度(mm) | 100~200 | 140~200 | 140~200 | 140~200 | 140~200 | 140~200 | 140~200 | 140~200 | 140~200 | 140~200 | 140~200 |
| 层焦质(重)量(kg) | 6~13 | 17~24 | 27~39 | 45~64 | 55~79 | 79~113 | 124~177 | 159~227 | 198~284 | 242~346 | |
| 不同焦耗下的批铁质(重)量(kg) | 16% | 40~80 | 110~150 | 170~240 | 280~400 | 340~490 | 490~710 | 780~1110 | 990~1420 | 1240~1780 | 1510~2160 |
| | 15% | 40~90 | 110~160 | 180~260 | 300~430 | 370~530 | 530~750 | 830~1180 | 1060~1510 | 1320~1890 | 1610~2310 |
| | 14% | 40~90 | 120~170 | 190~280 | 320~460 | 390~560 | 560~810 | 890~1260 | 1140~1620 | 1410~2030 | 1730~2470 |
| | 13% | 50~100 | 130~180 | 210~300 | 350~490 | 420~610 | 610~870 | 950~1360 | 1220~1750 | 1520~2180 | 1860~2660 |
| | 12% | 50~110 | 140~200 | 230~330 | 385~530 | 460~660 | 660~940 | 1030~1480 | 1330~1890 | 1650~2370 | 2020~2880 |
| | 11% | 50~120 | 150~220 | 250~350 | 410~580 | 500~720 | 720~1030 | 1130~1610 | 1450~2060 | 1800~2580 | 2200~3150 |
| | 10% | 60~130 | 170~240 | 270~390 | 450~640 | 550~790 | 790~1130 | 1240~1770 | 1590~2270 | 1980~2840 | 2420~3460 |
| | 9% | 70~140 | 190~270 | 300~430 | 500~710 | 610~880 | 880~1260 | 1380~1970 | 1770~2520 | 2200~3160 | 2690~3840 |
| 8% | 80~160 | 210~300 | 340~490 | 560~800 | 690~990 | 990~1410 | 1580~2210 | 1990~2840 | 2480~3550 | 3030~4330 | |

注: 1. 实际熔化率按熔化强度 $7 \sim 100\text{t}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 计算; 表内数值精确至小数点后一位数。

2. 层焦容重以 $500\text{kg}/\text{m}^3$ 计。

3. 层焦质(重)量精确至个位数; 批铁质(重)量精确至十位数。

2) 按层焦比计算, 公式如下:

$$M_{\text{批铁}} = G_{\text{层焦}} / K$$

式中 $M_{\text{批铁}}$ ——批铁质(重)量(kg);

$G_{\text{层焦}}$ ——层焦质(重)量(kg);

K ——层焦铁比(%)。

经核算若批铁量过小或过大, 则应调整批焦质(重)量。

8.1.3.4 熔剂量 焦炭灰分愈多, 金属炉料锈蚀愈严重, 粘附泥砂愈多, 则熔剂加入量愈大。

熔剂(石灰石)量 $M_{\text{石}}$: 一般 $M_{\text{石}}$ 为层焦量的 20%~40%, 通常为 30%; 使用灰多硫高的土焦时, $M_{\text{石}}$ 为层焦量的 40%~50%; 以钢屑、铁屑代废钢时, $M_{\text{石}}$ 为层焦量的 60%~80%。

8.1.3.5 送风强度 冲天炉送风强度是熔化带处每

m² 炉膛截面积每分钟的平均送风量 (按标准状态空气计算)。单位为 Nm³ / (m²·min)。

度, 称为最佳送风强度。它与焦耗, 焦炭品质 (质量)、块度, 炉型等因素有关。推荐数据见表 3-269、表 3-270。

对应于某一焦耗, 可获得最高铁液温度的送风强

度。

表 3-269 由铁焦比和固定碳量确定最佳送风强度

| | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|--|
| 公 式 | $W_{\text{佳}} = \left(71 + 334 \frac{C}{K} \right)$ | | | | | | | | | |
| | 式中 $W_{\text{佳}}$ ——最佳送风强度 (Nm ³ / (m ² ·min)); K ——铁焦比; C ——焦炭中固定碳含量 (%) | | | | | | | | | |
| C = 80% 时, $W_{\text{佳}}$ 与 K 的关系 | 铁焦比 K | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 13 | 14 | |
| | 最佳送风强度 (Nm ³ / (m ² ·min)) | 115 | 109 | 104 | 101 | 98 | 95 | 93 | 90 | |

表 3-270 由碳耗量确定最佳送风强度

| | | | | | | | | | | | |
|-----|--|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 公 式 | $W_{\text{最佳}} = 71 + \frac{10}{3} C$ | | | | | | | | | | |
| | 式中 $W_{\text{最佳}}$ ——最佳送风强度 (Nm ³ / (m ² ·min)); C ——层碳耗 (kg 碳 / 100kg 铁) | | | | | | | | | | |
| 数 据 | C (kg 碳 / 100kg 铁) | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| | $W_{\text{最佳}}$ (Nm ³ / (m ² ·min)) | 88 | 91 | 94 | 98 | 101 | 104 | 108 | 111 | 114 | 118 |

注: 层碳耗 = $\frac{\text{层焦耗} \times \text{焦炭中固定碳含量}(\%) }{100}$

8.1.3.6 风压 (表 3-271)

表 3-271 风带风压与冲天炉炉膛内径、风口比的关系

| | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| 炉膛直径 (mm) | | 500 | 600 | 700 | 900 | 1100 | 1300 | 1500 |
| 风带风压 kPa (mmH ₂ O) | 大风口冲天炉 (风口比 = 22.5%) | 4~5 (400~500) | 5~6.5 (500~650) | 5.5~7 (550~700) | 6~7.5 (600~750) | 6.5~8 (650~800) | 7~8.5 (700~850) | 7.5~9 (750~900) |
| | 小风口冲天炉 (风口比 = 3%~7%) | 8~12 (800~1200) | | | 10~16 (1000~1600) | | 14~20 (1400~2000) | |

8.1.3.7 焦炭块度 (表 3-272)

表 3-272 焦炭块度的选择

| | | | | |
|-----------|---------|---------|----------|-----------|
| 炉膛直径 (mm) | 500~600 | 700~800 | 900~1100 | 1300~1500 |
| 底焦块度 (mm) | 60~100 | 80~120 | 100~150 | 120~130 |
| 层焦块度 (mm) | 50~80 | 60~100 | 80~120 | 90~150 |

8.1.3.8 网状图 冲天炉的网状图是描绘熔化强度、铁液温度、焦炭耗量和送风强度四者关系的图线。它是决定冲天炉操作参数的重要依据之一。

某冲天炉的网状图见图 3-40。图上数据仅适用于

同类情况, 但它们反映的变化规律则有普遍意义。

网状图表明了下列关系:

- 1) 焦耗不变时, 存在最佳送风强度。
- 2) 送风强度不变时, 增加焦耗, 虽然可以提高铁水温度, 但显著降低了熔化强度。
- 3) 焦耗与最佳送风强度调配最佳时, 既可以提高铁液温度, 又不显著降低熔化强度。如图中不同焦耗时最佳送风强度的连结线。

8.1.3.9 最佳热工参数

- 1) 双层送风冲天炉的最佳热工参数见表 3-273。
- 2) 国内中、小型冲天炉多采用较低炭耗、曲线炉膛、小风口, 推荐优选参数见表 3-274。

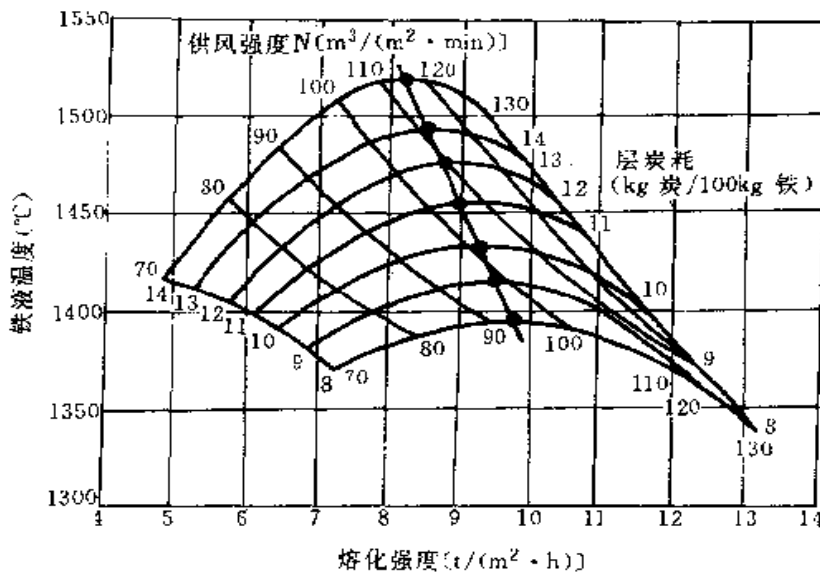


图 3-40 某冲天炉的网状图

表 3-273 大排距双层送风冲天炉的最佳热工参数

| 层炭耗 (kg 炭/100kg 铁) | | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 |
|-----------------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 层铁焦比 | 焦炭含固定碳 85% | 6.1 | 6.5 | 7.1 | 7.7 | 8.5 | 9.4 | 10.6 | 12.1 | 14.2 | 17.0 |
| | 焦炭含固定碳 80% | 5.7 | 6.2 | 6.7 | 7.3 | 8.0 | 8.9 | 10.0 | 11.4 | 13.3 | 16.0 |
| | 焦炭含固定碳 75% | 5.4 | 5.8 | 6.3 | 6.8 | 7.5 | 8.3 | 9.4 | 10.7 | 12.5 | 15.0 |
| 最高铁液温度 (°C) | | 1550 | 1545 | 1535 | 1520 | 1505 | 1490 | 1470 | 1450 | 1430 | 1410 |
| 最佳熔化强度 (t/(m²·h)) | | 7.8 | 8.0 | 8.2 | 8.5 | 8.8 | 9.1 | 9.5 | 9.9 | 10.3 | 10.7 |
| 最佳送风强度 (Nm³/(m²·min)) | | 113 | 109 | 105 | 102 | 99 | 95 | 91 | 87 | 82 | 76 |

注：该炉采用炉胆热风 (250°C)，主要熔炼 HT300 和 HT350，故铁液温度较高。表中最高温度是在浇包中用快速微型热电偶测定的。

表 3-274 小风口、曲线炉膛、中小冲天炉的优选参数范围

| 参数名称 | 数值 |
|---------------------------------|---------------------|
| 卡腰比 (熔化区面积 (或直径) / 风口区面积 (或直径)) | 2.25~1.44 (1.5~1.2) |
| 风口比 (风口总面积/主风口处炉膛面积) | 2.8~5.8 |
| 层炭耗量 (kg 炭/100kg 铁) | 5~8 |
| 熔化强度 (熔化区, t/(m²·h)) | 10~7 |
| 送风强度 (风口区, Nm³/(m²·min)) | 100~140 |

注：层炭耗量是指层焦中固定碳的消耗量。

8.1.4 冲天炉熔炼的强化

强化冲天炉熔炼的途径主要在于送风，如热风，加氧送风，脱湿送风等，其它方法还有风口喷焦粉，喷碎切屑，炉料配碳化钙等。

1. 热风 热风装置按其安装位置、热源等分类，见表 3-275。如前述，竖筒换热器和陶粒换热器具有代表性。

表 3-275 热风装置的分类

| 分类 | 热源 | 换热器种类 | 热风温度 (°C) |
|---------|----------------------|------------|--------------------------|
| 炉内热风 | 炉气物理热 | 密筋炉胆 | 150~250 |
| | | 管状或辐射换热器 | 300~400 |
| 炉外热风 | 抽出炉气燃烧式 炉气物理热+化学热 | 针状或管状换热器 | 炉气 750~800 热风 300~400 |
| | | 竖筒或高效换热器 | 500~700 |
| | | 陶粒换热器 | 900 |
| 炉气+外加燃料 | 炉气+天然气或煤气 | 辐射-对流综合换热器 | 400~600 |

2. 加氧送风 加氧送风的作用可以用网状图说明, 见图 3-41。虽然该图建立在某一特定冲天炉, 但它反映的规律是有普遍意义的。

1) 熔化强度和铁液温度相同时, 加氧可以减少

焦炭耗量和供风量, 如图中 0 点和 1 点所示。

2) 供风量和焦炭耗量相同时, 加氧可以提高铁液温度和熔化强度, 如图中 0 点和 2 点所示。

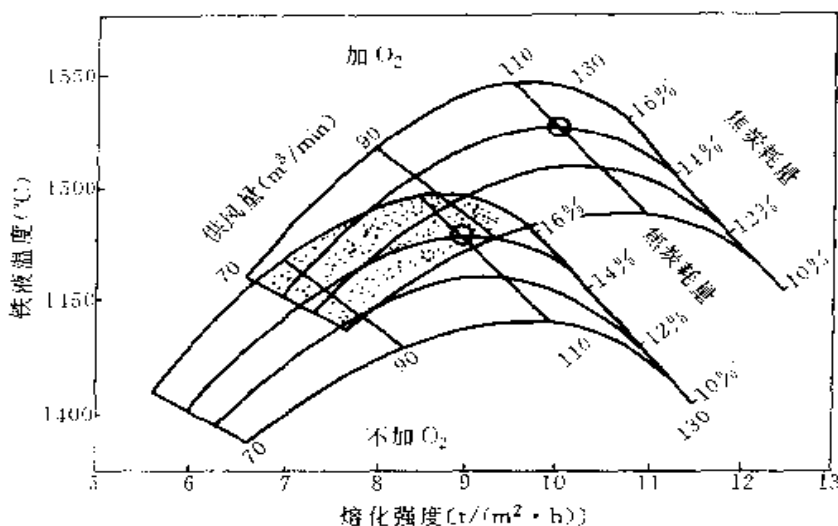


图 3-41 某冲天炉无氧和加氧送风的网状图

图中诸点的数据

| 参数 | ①点 (无氧) | ①点 (加氧) | ②点 (加氧) |
|------------------------|---------|---------|---------|
| 送风量 m^3/min | 110 | 88 | 110 |
| 焦炭耗量 % | 14 | 10.5 | 14 |
| 铁液温度 $^{\circ}C$ | 1475 | 1475 | 1525 |
| 熔化强度 $t/(m^2 \cdot h)$ | 9 | 9 | 10 |

注: 资料来源于 AGA Gas Division.

加氧方式主要有 3 种:

1) 风管富氧、氧气加入风管与空气混合后送入风带。

2) 风口吹氧 吹氧管插入风口, 直接向炉内吹氧。

3) 炉缸吹氧 吹氧管在风口下部插入炉缸, 直接向炉内吹氧。

小冲天炉, 可采用富氧送风; 冲天炉大于 $8t/h$, 宜采用吹氧。吹氧比富氧效果更好, 见表 3-276、表 3-277。加氧量见表 3-278。

表 3-276 冲天炉加氧熔炼的效果

| 加氧方法 | 风管富氧 | 风口吹氧 | 炉缸吹氧 | | |
|--------------------|------|------|-----------|-----------|-----------|
| | | | 风口下 230mm | 风口下 610mm | 风口下 915mm |
| 提高铁水温度 $^{\circ}C$ | 15 | 40 | 50 | 85 | 85 |

表 3-277 冲天炉加氧效果的综合对比

| 对比项目 | 冷风冲天炉 | | | 热风冲天炉 | | | |
|------------------|-----------------|------|------|------------------|------|------------------|------|
| | 炉径 $\phi 900mm$ | | | 炉径 $\phi 1100mm$ | | 炉径 $\phi 1100mm$ | |
| | 无氧 | 风管富氧 | 风口吹氧 | 无氧 | 风管富氧 | 无氧 | 风口吹氧 |
| 风量 (m^3/min) | 66 | 60 | — | 105 | 95 | 150 | 117 |
| 加氧量 $m^3/t_{铁液}$ | — | 14 | 8 | — | 13 | — | 10 |
| 占送风量的 % | — | 2.0 | 1.1 | — | 1.7 | — | 1.4 |
| 熔化率平均 t/h | 5 | — | — | 7.5 | — | 10 | — |
| 最大 t/h | 6 | 7 | — | 7.5 | 9 | 12 | 14 |

(续)

| 对比项目 | 冷风冲天炉 | | | 热风冲天炉 | | | |
|-----------------------------|------------------------|------|------|-------------------------|------|-------------------------|------|
| | 炉径 $\phi 900\text{mm}$ | | | 炉径 $\phi 1100\text{mm}$ | | 炉径 $\phi 1100\text{mm}$ | |
| | 无氧 | 风管富氧 | 风口吹氧 | 无氧 | 风管富氧 | 无氧 | 风口吹氧 |
| 出铁温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 1480 | — | 1490 | 1500 | — | 1500 | — |
| 焦炭耗量 (%) | 16 | 14 | 12 | 12 | 10 | 17 | 13 |

注: 资料来源于 AGA Gas Division.

表 3-278 冲天炉熔炼加氧量

| 加氧量范围 (%) ^① | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------------------------|---------|--|----|--|----|
| 送风中氧气浓度 (%) | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| 加氧目的 | 稳定炉况 | 提高铁液温度 $20\sim 25^{\circ}\text{C}$ 或增加熔化率 $20\% \sim 30\%$ | | 提高铁液温度 $30\sim 40^{\circ}\text{C}$ 或增加熔化率 40% | |
| 氧气压力 (kPa/atm) | 506.6/5 | 1013.3/10 | | 1013.3/10 | |
| 加氧量 (Nm^3/t 铁水) | 10~12 | 18~20 | | 28~30 | |

① 加氧量占送风量的百分数。

3. 送风去湿 一般冬季空气湿度为 $5\sim 10\text{g}/\text{m}^3$, 夏季空气湿度 $20\sim 30\text{g}/\text{m}^3$ 。送风湿度 $5\sim 7\text{g}/\text{m}^3$, 熔炼效果最佳。送风湿度愈大, 铁液温度愈低见表 3-279。

表 3-279 送风湿度对铁水温度的影响

| 送风湿度 (g/m^3) | 4.9 | 10.0 | 22.1 | 25.8 | 35.3 |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|
| 出铁温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 1550 | 1550 | 1500 | 1470 | 1420 |

冷风去湿后, 可提高铁液温度 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$, 提高熔化率 12% 左右, 减少硅、锰烧损 $5\% \sim 10\%$, 减少铁液含气(氧为主)量, 减少渣中 FeO $20\% \sim 25\%$, 降低废品率 5% 左右。

送风去湿方法主要有三: 吸附法, 吸收法, 冷凝法, 见表 3-280。

表 3-280 冲天炉送风去湿方法

| 去湿方法 | 原 理 | 特 点 |
|------|------------------------------|---|
| 吸附法 | 空气流过容器内的粒状硅胶、沸石等, 水气被吸附 | 硅胶等吸水饱和后, 用电热或蒸汽热脱水再生, 故去湿装置需两套, 交替使用 |
| 吸收法 | 空气流过氯化锂、氯化钙水溶液, 水气被吸收 | 吸收液需有一定的温度和浓度; 吸收液因吸湿被冲淡, 需加热脱水浓缩后再使用。吸收液腐蚀设备 |
| 冷凝法 | 用冷冻机将空气冷到露点以下, 水气冷凝成水, 被分离排除 | 成本低, 效率高, 设备易成套, 过程易自动控制, 应用广 |

4. 其它强化措施

(1) 风口喷焦粉、熔剂、铁合金、碎切屑 喷焦粉可以提高炉温, 增加还原气氛, 减少硅烧损, 增碳 $0.15\% \sim 0.20\%$, 减少渣中 FeO 含量。

Roxy 法是用压缩空气将碎切屑喷入熔化带上部, 切屑喷量约为装料量的 10% , 熔损 5% 。日本的脉冲喷吹法从风口间歇地喷入碎切屑约 $4\% \sim 8\%$ 。

(2) 配料加碳化钙 可提高铁液温度, 增碳、脱硫。批焦量 2% 的碳化钙可节焦 10% 。宜使用共晶成分的 $\text{CaC}-\text{CaO}$, 约含 CaC 73% , 熔点 1632°C 。

8.2 电炉熔炼

8.2.1 无芯感应电炉熔炼

8.2.1.1 原理 坩埚外环绕线圈(感应器)。当线圈

通过一定频率的交变电流时, 线圈内外产生频率相同的交变磁场; 在交变磁场的作用下, 坩埚内的金属炉料相当于副绕组, 产生频率相同、方向相反的感应电流, 此电流因金属炉料表面层的电阻而产生热量, 熔化铁料或保温铁液。

8.2.1.2 分类

(1) 按频率分类 无芯感应电炉按电源频率分如下四类:

- 1) 工频无芯感应电炉 频率 50Hz 或 60Hz 。
- 2) 中频无芯感应电炉 频率 $150 \sim 10000\text{Hz}$, 常用 $150 \sim 2500\text{Hz}$ 。
- 3) 高频无芯感应电炉 频率 $> 10000\text{Hz}$ 。
- 4) 变频感应电炉 频率也是中频, $100 \sim 500\text{Hz}$ 。

但频率随坩埚内铁料的状况而变化。

变频原理如下：自电力变压器来的三相工频交流电经三相桥式整流电路变成直流电；经滤波器滤波，再经逆变器变成中频交流电，供给感应圈（负载）。感应圈与补偿电容组成振荡回路，启动时，给振荡回路施加启动电压，使其起振，逆变触发控制回路测得这一频率并送至单稳态触发器，得到逆变桥的触发脉冲，从而使电源频率和振荡回路的固有频率一致；而且在炉子工作过程中，电源频率一直跟踪振荡电路的固有频率。因此，不论炉子在什么状况工作，负载始终工作在近谐振状态，获得较高的功率因数和效率。

(2)按感应器分类 无芯感应电炉按线圈形式分为三类，见图 3-42。

1)长线圈无芯感应电炉，见图 3-42a。用于熔化亦

用于保温。

2)短线圈无芯感应电炉，见图 3-42b。短线圈由长线圈演变而来。下线圈为通电线圈，高度仅为坩埚的 20%~35%；上线圈不通电，只是水冷线圈。用于铁液保温和过热，不用于熔化。

3)双线圈无芯感应电炉，见图 3-42。工作方式有如下三种：

① 下线圈为通电线圈，上线圈为水冷却线圈。用于保温；在开炉初期或夜班用于熔化冷装炉料。

② 上线圈为通电线圈，下线圈为冷却线圈，用于搅拌。

③ 上、下线圈都通电，用于熔化；或降低功率用于保温。

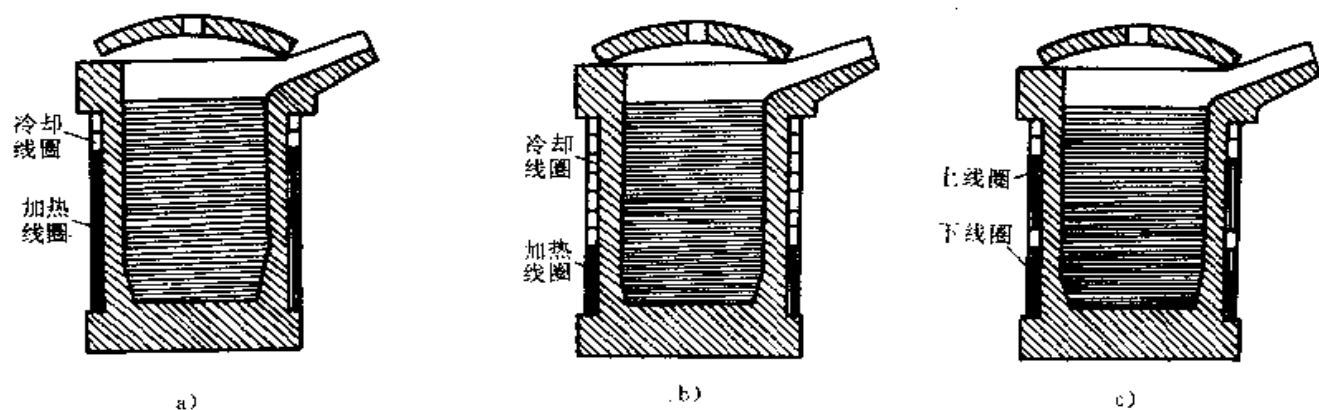


图 3-42 无芯感应电炉线圈的三种形式

a)长线圈熔化保温炉 b)短线圈保温炉 c)双线圈熔化保温炉

8.2.1.3 无芯感应电炉系列(表 3-281~表 3-283)

表 3-281 国产节能工频无芯感应熔化保温炉系列规格

| 额定容量 (t) | 额定功率 (kW) | 变压器 容量 (kVA) | 额定电压 (V) | 工作温度 (℃) | 1450℃ | | 升温 100℃ | | 冷却水 流量 (m ³ /h) |
|-------------|--------------|--------------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------------------------|
| | | | | | 熔化率 (t/h) | 电耗 (kWh/t) | 升温能力 (t/h) | 电耗 (kWh/t) | |
| 0.75 | 270 | 400 | 500 | 1450 | 0.394 | 685 | 5.33 | 51 | 6 |
| 1.0 | 360 | 500 | 500 | 1450 | 0.554 | 650 | 7.23 | 50 | 7.2 |
| 1.5 | 500 | 630 | 750 | 1450 | 0.823 | 607 | 11.14 | 45 | 9.5 |
| 3.0 | 800 | 1000 | 1000 | 1450 | 1.391 | 575 | 18.80 | 42.5 | 14.2 |
| | 480 | 630 | — | 1450 | — | — | 10.67 | 45 | — |
| 5.0 | 1300 | 1600 | 1000 | 1450 | 2.40 | 542 | 32.40 | 40.2 | 20.5 |
| | 520 | 630 | — | 1450 | — | — | 11.50 | 45.2 | — |
| 7.0 | 1580 | 2000 | 2000 | 1450 | 2.92 | 541 | 39.50 | 40 | 24.8 |
| | 780 | 1000 | — | 1450 | — | — | 18.10 | 43.2 | — |
| 10 | 2500 | 3150 | 2000 | 1450 | 4.775 | 524 | 64.61 | 38.70 | 24.8 |
| | 800 | 1000 | — | 1450 | — | — | 18.50 | 43.50 | — |

(续)

| 额定容量 (t) | 额定功率 (kW) | 变压器 容量 (kVA) | 额定电压 (V) | 工作温度 (℃) | 1450℃ | | 升温 100℃ | | 冷却水 流量 (m ³ /h) |
|-------------|--------------|--------------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------------------------|
| | | | | | 熔化率 (t/h) | 电耗 (kWh/t) | 升温能力 (t/h) | 电耗 (kWh/t) | |
| 15 | 3000 | 4000 | 2000 | 1450 | 5.835 | 514 | 78.91 | 38 | — |
| | 1100 | 1600 | — | 1450 | — | — | 26.32 | 42 | — |
| 20 | 3900 | 5000 | 3000 | 1450 | 7.695 | 507 | 104 | 37.5 | — |
| | 1670 | 2000 | — | 1450 | — | — | 33 | 41.2 | — |
| 25 | 4900 | 5000 | 3000 | 1450 | 9.758 | 502 | 132 | 37.2 | — |
| | 1670 | 2000 | — | 1450 | — | — | 40 | 41 | — |
| 30 | 6000 | 8000 | 3000 | 1450 | 12.0 | 497 | 163 | 36.8 | — |
| | 1670 | 2000 | — | 1450 | — | — | 40 | 41 | — |

注:摘自西安电力机械制造公司产品目录。

表 3-282 国产短线圈和双线圈工频无芯感应电炉系列规格

| 型号 | | 额定 容量 (t) | 额定 功率 (kW) | 变压器 容量 (kVA) | 额定 电压 (V) | 电 源 相 数 | 频 率 (Hz) | 升温能力 1350~1450℃ (t/h) | 电耗 (kWh/t) | 冷却水 耗量 (m ³ /h) | 炉体 重量 (t) |
|---------|-----|-----------------|------------------|--------------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------------------|---------------|----------------------------------|-----------------|
| GWB-1 | 双线圈 | 1 | 150 | 200 | 380 | 3 | 50 | 3 | 56 | ~3 | 4 |
| GWB-1.5 | 双线圈 | 1.5 | 240 | 300 | 380 | 3 | 50 | 4.5 | 53.3 | ~4 | 5.5 |
| GWB-2 | 双线圈 | 2 | 320 | 400 | 380 | 3 | 50 | 6 | 53.3 | ~5 | 7 |
| GWB-3 | 双线圈 | 3 | 450 | 630 | 380 | 3 | 50 | 9 | 50 | ~7 | 11 |
| | 短线圈 | 3 | 237 | 250 | 380 | 3 | 50 | 3 | | ~4 | 10 |
| GWB-5 | 双线圈 | 5 | 520 | 630 | 500/600 | 3 | 50 | 11.15 | 45.2 | ~13 | 15 |
| | 短线圈 | 5 | 330 | 400 | 380 | 3 | 50 | 5 | | ~7 | 14 |
| GWB-7 | 双线圈 | 7 | 780 | 1000 | 600 | 3 | 50 | 18.1 | 43.2 | ~15 | 18 |
| | 短线圈 | 7 | 500 | 800 | 600 | 3 | 50 | 7 | | ~8 | 16 |
| GWB-10 | 双线圈 | 10 | 1300 | 1600 | 750 | 3 | 50 | 31.4 | 41.4 | ~20 | 28 |
| | 短线圈 | 10 | 800 | 1000 | 750 | 3 | 50 | | | ~12 | 26 |

注:1. 冷却水压力 200~300kPa, 进水温度 15~25℃, 出水温度 > 50℃。

2. 摘自福建电炉厂产品目录。

表 3-283 国产中频无芯感应电炉系列规格

| 型号 | 额定容量 (t) | 额定功率 (kW) | 额定频率 (kHz) | 额定电压 (V) | 工作温度 (℃) | 熔化率 (t/h) | 电耗 (kWh/t) |
|--------------------|-------------|--------------|---------------|-------------|-------------|--------------|---------------|
| I. 变频机为中频电源 | | | | | | | |
| GW-0.05-50/2.5X | 0.05 | 50 | 2.5 | 750(1000) | 1600 | 0.10 | 1050 |
| GW-0.15-100/2.5X | 0.15 | 100 | 2.5 | 1000 | 1600 | 0.12 | 950 |
| GW-0.5-250/1(2.5)X | 0.50 | 250 | 1.0(2.5) | 2000(1000) | 1600 | 0.353 | 800 |
| GW-1.0-500/1X | 1.00 | 500 | 1.0 | 2000(1000) | 1600 | 0.75 | 750 |
| GW-2.5-1000/1X | 2.50 | 1000 | 1.0 | 2000 | 1600 | 1.50 | 735 |
| II. 可控硅变频装置为中频电源 | | | | | | | |
| GW-0.05-50/2.5J | 0.05 | 50 | 2.5 | 700 | 1600 | 0.11 | 930 |

(续)

| 型 号 | 额定容量 (t) | 额定功率 (kW) | 额定频率 (kHz) | 额定电压 (V) | 工作温度 (℃) | 熔化率 (t/h) | 电 耗 (kWh/t) |
|---------------------|-------------|--------------|---------------|-------------|-------------|--------------|----------------|
| II. 可控硅变频装置为中频电源 | | | | | | | |
| GW-0.15-100/1(2.5)J | 0.15 | 100 | 1.0(2.5) | 700 | 1600 | 0.13 | 830 |
| GW-0.5-250/1J | 0.50 | 250 | 1.0 | 1400 | 1600 | 0.38 | 700 |
| GW-1.0-500/1J | 1.00 | 500 | 1.0 | 2100(1900) | 1600 | 0.80 | 650 |
| GW-2.5-1000/1J | 2.50 | 1000 | 1.0 | 2100(1900) | 1600 | 1.65 | 650 |

注:1. 摘自西安电力机械制造公司产品目录。

2. 括号内数据为可供选择值。

8.2.1.4 结构 无芯感应电炉由炉体、炉盖、炉架、倾炉机构、水冷系统、电气系统等组成。

炉体结构见图 3-43。

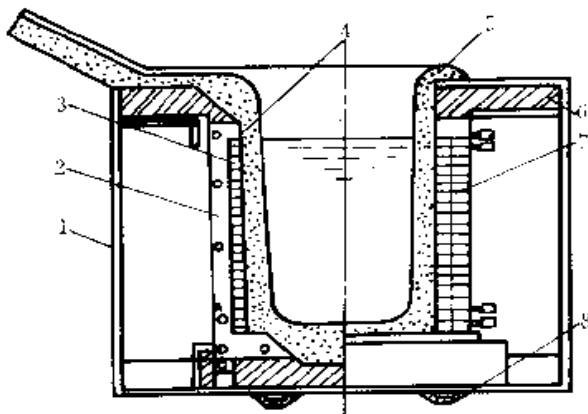


图 3-43 无芯感应电炉炉体示意图

1—炉架 2—轭铁 3—感应圈 4—绝缘材料 5—炉衬
6—耐火砖 7—冷却水管 8—槽钢底座

8.2.1.5 炉衬

(1) 坩埚的尺寸 见表 3-284。

(2) 炉衬的耐火材料 有三种:酸性,中性,碱性。

要求与粒度级配实例见表 3-285~表 3-287。

表 3-284 坩埚的尺寸

| 炉子容量(t) | 0.5 | 1.5 | 3.0 | 5.0 | 10.0 | 20 |
|----------------------|-----------|-------------|-------------|-----|-------------|-----|
| 坩埚平均内径 d_1 (mm) | 400 | 610 | 730 | 900 | 1130 | 141 |
| 坩埚壁厚 (mm) | 70~ 80 | 90~ 110 | 120 | 130 | 150 | 170 |
| 感应器高径比 (h/d) | 1.2 | 1.1~ 1.2 | 1.1~ 1.2 | — | 1.0~ 1.1 | — |

注:感应器内径 $d =$ 坩埚平均内径 $d_1 + 2 \times$ 坩埚壁厚。

表 3-285 坩埚常用耐火材料及其特性

| 分类 | 材 料 | 主要矿物(%) | 耐火度(℃) | 抗渣性 | 耐急冷急热性 | 应用 |
|----|---|--|-----------------------|----------------------|--|---------------------------|
| 酸性 | 硅砂 (SiO_2) | $\text{SiO}_2 > 98, \text{Al}_2\text{O}_3 < 0.3,$ $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0.5$ | 1750 | 抗酸性渣 强 | $< 600^\circ\text{C}$, 不良 $> 600^\circ\text{C}$, 良好 | 最便宜, 应用 多, 寿命短 |
| | | $\text{SiO}_2 > 99$ | | | | |
| 中性 | 莫来石 ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) | $\text{Al}_2\text{O}_3 > 71.8$ (宜更高) $\text{SiO}_2 < 28$ | ≥ 1790 | 抗碱性渣 强, 但不及 镁砂 | 优良 | 效果良好 |
| | 刚玉 (Al_2O_3) | $\text{Al}_2\text{O}_3 > 95$ | 耐火度 1950 工作最高 1700 | 抗酸性 渣, 抗碱性 渣极强 | 较敏感 | 如短线圈坩埚 保温球墨铸铁, 寿命一年 |
| | 锆石 ($\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$) | ZrO_2 约 70 | 耐火度 1800 工作最高 1600 | 抗碱性渣 差, 抗酸中 性渣 | 良好 | 昂贵应用少 |

(续)

| 分类 | 材 料 | 主要矿物(%) | 耐火度(℃) | 抗渣性 | 耐急冷急热性 | 应用 |
|----|---------------|--|----------------------|-----------|---------------------------|---------------|
| 碱性 | 镁砂 | MgO \geq 90(宜更高) | 熔点 2000 工作最高 1700 | 抗碱性渣 强 | 易热膨冷缩, 龟裂剥落 | 炉子容量一般 <5t |
| | 镁铝尖晶石 (合成) | MgO70, Al ₂ O ₃ 30 | 熔点 2135 工作最高 1800 | 抗碱性渣 强 | 良好 抑龟裂, 抗剥 落, 抗荷重软化 | 效果良好, 寿 命长 |
| | | MgO60~70, Al ₂ O ₃ 40~30 | 最低软化点 2035 | | | |
| | | MgO28.5, Al ₂ O ₃ 71.5 | 熔点 2135 耐火度 1900 | | | |

① 坩埚材料: 硅砂 氧化镁 氧化铝 氧化钙
价格比例: 1 3.16 4.6 36.9

表 3-286 石英砂坩埚材料颗粒粒度级配

| 国 家 | 颗粒度及组成(%) | | | | | | 粘结剂 | 备 注 |
|-------|-----------|----------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------|------------------------|--|
| | 4~7 mm | 2~4 mm | 1~2 mm | 0.2~1.0 mm | 0.06~0.2 mm | <0.06 mm | | |
| 德 国 | 粗砂 0~7mm | 4.8 | 10.8 | 12 | 40.8 | 11.8 | 19.8 | 粒度级配合理, 才 能保证坩埚致密, 烧 结性好, 强度高, 耐急 冷急热、寿命长 |
| | 中砂 0~4mm | — | 13.4 | 16.5 | 37.9 | 12.7 | 19.5 | |
| | 细砂 0~2mm | — | 1.2 | 22.2 | 39.7 | 14.7 | 22.2 | |
| 日 本 | — | 11 \pm 3 | 17 \pm 3 | 37 \pm 3 | 14 \pm 3 | 21 \pm 3 | | |
| 美 国 | — | 12.3 | 14.2 | 39.9 | 13 | 20.6 | | |
| 中国实例 | | 1.7~3.35 mm | 0.850~1.70 mm | 0.425~0.850 mm | 0.106~0.425 mm | <0.106 mm | 工业硼酸 (%) | |
| 炉底、炉壁 | | 30 | 40 | — | 10 | 20 | 1.5 | |
| 炉口 | | | | | | | 1.8 | |
| 炉底、炉壁 | | 38 | 12 | — | 35 | 15 | 1.8 | |
| 炉口 | | | | | | | 2~2.4 | |
| 炉底、炉壁 | | 15 | 8 | 15 | 24 | 38 | 3.0 | 水 1%~1.5% |
| 炉口 | | | | | | | 水玻璃 4%~5% 水 1%~1.5% | |

表 3-287 中性坩埚和镁砂坩埚的粒度级配实例

| 坩埚 | 配 比 (%) | 矿物成分(%)及粒度 |
|------|--|---|
| 中性坩埚 | 粒状蓝晶石硅线石 42, 粒状刚玉 42, 粉状蓝晶石硅线石 16 硼酸 1.5~2 | 炉衬成分: Al ₂ O ₃ 72.6, SiO ₂ 23.2, B ₂ O ₃ 1.2, TiO 1.8, Fe ₂ O ₃ 0.6, Ca 0.3, Mg 0.2, (Na ₂ O+K ₂ O)0.1 |

(续)

| 坩埚 | 配 比 (%) | 矿物成分(%)及粒度 | | | | | | |
|---|---|---|------|------|-----|------|-----|-----|
| 1.5t 工频 感应 电炉 镁砂 坩埚 ^① | 大石桥镁砂 100, 镁砂粉(<0.106mm)25 ~30 硼酸 0.5~0.8 | 镁砂成分: Mg90, CaO≤4, SiO ₂ 4左右, FeO1.5左右, Al ₂ O ₃ 1.5左右 | | | | | | |
| | | 筛号: | 6 | 12 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| | 残留量(%): | 10 | 14.9 | 19.8 | 16 | 12.7 | 4.8 | |
| | 筛号: | 70 | 100 | 140 | 200 | 270 | 盘 | |
| | | 残留量(%): | 7.2 | 2.8 | 41 | 3.4 | 1.6 | 2.7 |

① 熔炼高锰钢、耐热钢时,大修炉龄 1000 次,中修炉龄 60 次。

(3) 炉衬的烘烤与烧结 无芯感应电炉借助坩埚 1100℃, 铁模即将熔化时, 投入第一批炉料, 烧结。烘烤铁模, “空炉低功率慢升温” 烘炉; 缓慢加热到约 烘烤、烧结工艺见表 3-288~表 3-290。

表 3-288 石英砂炉衬烘烤与烧结时间(供参考)

| 感应炉容量(t) | 0.25 | 0.5 | 1.5 | 3 | 5 | 10 |
|----------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 烘烤时间(h) | 7~9 | 8~10 | 10~12 | 12~16 | 18~22 | 24~30 |
| 烧结时间(h) | 3~5 | 3~5 | 4~6 | 5~7 | 8~10 | 12~14 |

表 3-289 10t 和 40t 工频无芯感应电炉石英砂炉衬的烘烤、烧结规范

| 炉子 | 步骤 | 温度(℃) | 升温速度、时间、保温及要求 |
|----------|-----|-------------------|---|
| 10t 炉 | I | 室温~900 | 升温平均 1.3℃/min, 12h。 排出硅砂的水分, 并使其部分转变 |
| | II | 900 至 1100 | 时间 8h, 平均温升 0.4℃/min, 使坩埚壁温度上下均匀 |
| | III | 1100 至 1300 | 时间 10h, 平均温升 0.3℃/min, 坩埚初步烧结 |
| | IV | 1300 至 1480 | 时间 10h, 平均温升 0.18℃/min, 坩埚烧结到一定厚度, 强度能承受加料撞击和铁液搅拌 |
| 40t 炉 | I | 室温至 1000 | 升温 50℃/h; 保温, 1000℃, 4h |
| | II | 1000 至 1250 | 升温 50℃/h; 保温, 1250℃, 17h |
| | III | 1250 至(1550~1580) | 升温 60℃/h; 保温, 1550~1580℃, 3h |
| | IV | 降温 | 5h, 出铁 |

表 3-290 15t 中频变频无芯感应电炉炉衬的烘烤、烧结实例

| 阶段 | 电压(V) | 电流(A) | 功率(kW) | 频率(Hz) | 时间(h) | 冷却水温(℃) | 起熔块颜色 |
|--------|-------|-------|--------|--------|-------|---------|---------|
| 烘 烤 | 500 | 95 | 40 | 75 | 1 | 17 | 略红 |
| | 500 | 90 | 40 | 75 | 8 | 17~15 | |
| | 500 | 95 | 40 | 75 | 7 | 15~13.5 | |
| | 500 | 90 | 40 | 75 | 1 | 13 | |
| | 600 | 95 | 60 | 75 | 2 | 22~36 | |
| | 600 | 110 | 60 | 75 | 1 | 21 | |
| | 600 | 100 | 60 | 75 | 4 | 24~25 | |
| | 600 | 110 | 60 | 75 | 10 | 25~22.5 | 中部红~大部红 |
| | 600 | 115 | 60 | 75 | 1 | 22.5 | 中上部红 |
| | 600 | 110 | 60 | 75 | 4 | 22.5~22 | |
| 600 | 115 | 60 | 75 | 1 | 22 | | |
| 600 | 95 | 40 | 75 | 1 | 22 | | |
| 500 | 422 | 190 | 75 | 1 | 19 | | |
| 700 | 480 | 220 | 89 | 3 | 10~11 | | |

(续)

| 阶段 | 电压(V) | 电流(A) | 功率(kW) | 频率(Hz) | 时间(h) | 冷却水温(℃) | 起熔块颜色 |
|----|-------|-------|--------|--------|-------|---------|------------------------|
| 烧 | 500 | 410 | 120 | 75 | 3 | 20~35 | 加载每次增加功率 $\frac{1}{4}$ |
| | 500 | 400 | 160 | 80 | 1 | 25 | |
| | 500 | 410 | 160 | 90 | 1 | 20 | |
| | 550 | 420 | 160 | 90 | 1 | 15 | |
| 结 | 600 | 400 | 200 | 90 | 2 | 15 | |
| | 650 | 380 | 200 | 90 | 1 | 15 | |
| | 650 | 360 | 200 | 85 | 2 | 15 | |

注:摘自某柴油机厂的 ABB 中频(变频)感应电炉烘烤烧结纪录。

8.2.1.6 熔炼特点

1. 熔炼工艺要点

(1) 炉料预热 工频感应电炉,宜 400~650℃。细薄片料和屑料,可<300℃;捆料,可 350~500℃。

(2) 起熔方式 工频感应电炉可热起熔,起熔铁液为装料量的 15%~30%。亦可冷起熔,起熔块为坩埚容量的 25%~50%,直径比坩埚内径小 15%~30%,高度为坩埚深度的 $\frac{1}{3}$ 。

中频感应电炉冷起熔,可以用起熔块;亦可以直接加料块起熔。

(3) 熔化 冷起熔时,供电由低压逐步增高;起熔块开始熔化时,以最大功率供电;熔清后,降低功率。熔化期一般约 2~3h。

热起熔时,宜采用低温熔化制度,一般控制铁液温度 1250~1350℃。若采用高温熔化制度,即大功率供电,铁液过热到 1450℃,则比前者熔化时间长,电耗大。

(4) 精炼 铁液温度一般 1400~1500℃。最高温度:灰铸铁,1500~1530℃,高牌号采用较高温度;球墨铸铁 1500~1550℃。精炼期一般约 15~20min。

(5) 出铁 出铁温度:灰铸铁,1450~1530℃,高牌号采用较高温度;球墨铸铁,1500~1550℃。

无芯感应电炉宜连续熔炼,并留部分铁液 15%~50%(50%,效果最佳),若铸铁材质变化或熔炼结束,则宜倒空。

2. 元素的烧损和吸收 基本元素的变化见表 3-291;添加元素的吸收率见表 3-292。

表 3-291 无芯感应电炉熔炼过程中元素的变化

| 熔炼条件 | 元素变化及说明 | | | | | |
|----------------|---|----------|------|------|------|------|
| 酸性炉衬 | 一般: C 烧损 5%~12%, Si 烧损 5%~10% 或增加 5%, Mn 烧损 5%~15%, P、S 不变化 | | | | | |
| | 实例: 铁液成分(%): C 3.1~3.4, Si 1.8~2.2, Mn 0.25~0.8, P 0.04, S 0.05。升温到 1500℃, C 烧损 12%, Si 烧损 9%, Mn 烧损 7%, P、S 不变化 | | | | | |
| | (1) 铁液温度 < 1450℃, C 和 Si 变化不大; > 1500℃, 脱碳加剧并增硅 | | | | | |
| | (2) 低硅铁液中碳烧损率高, 硅增加率高, 高硅铁液中碳烧损率低, 硅增加率低。如含 C 3.1%~3.4% 铁液中脱碳增硅如下: | | | | | |
| | 保温温度(℃) | | 1450 | 1500 | 1550 | 1600 |
| | 含 Si 0.1%~0.2% | 脱碳(C%/h) | 0.45 | 0.50 | 0.55 | 0.66 |
| 增硅(Si%/h) | | 0.10 | 0.15 | 0.30 | 0.55 | |
| 含 Si 1.8%~2.2% | 脱碳(C%/h) | 0.07 | 0.18 | 0.30 | 0.40 | |
| | 增硅(Si%/h) | — | 0.07 | 0.11 | 0.19 | |
| 中性炉衬 | 实例: 铁液成分(%): C 3.1~3.4, Si 1.8~2.2, Mn 0.25~0.8, P 0.04, S 0.05。升温到 1500℃, C 烧损 10%, Si 烧损 22%, Mn 烧损 4%, P、S 不变化 | | | | | |
| 中频感应电炉 | C、Si 变化低于工频感应电炉熔炼 实例(2100Hz): C 烧损 11.3%, Si 增加 5.9%, Mn 烧损 14.9%, Cr 烧损 3.94% | | | | | |

注:表中酸性和中性炉衬均为工频感应电炉。

表 3-292 无芯感应电炉熔炼铸铁时元素的吸收率

| 元素 | C | Si | Mn | Cr | Ni | Cu | Mo | Ti | P |
|--------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|----|
| 添加材料 | 石墨 | 硅铁 | 锰铁 | 铬铁 | 镍 | 铜 | 钼铁 | 钛铁 | 磷铁 |
| 吸收率(%) | 70~95 | 80~100 | 70~95 | 75~83 | 95~100 | 95~100 | 80~100 | 80~85 | 70 |

3. 电能消耗 工频感应电炉熔炼铸铁时,小容量炉子的电耗高,很不经济;容量增大,电耗降低。见表

表 3-293 工频感应电炉的电能消耗

| 容量(t) | 0.5 | 3 | 8 | 10 | 20 | 30 | 40 | 60 |
|-------------|----------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|
| 电能消耗(kWh/t) | 800~1000 | 650~700 | 平均 641 | 600~650 | 平均 580 | 475~510 | 470~505 | 470~500 |

注:1. 过热温度 1450~1550℃。

2. 0.5t~20t 炉的电耗是生产数据,高于理论值。

中频感应电炉熔炼铸铁时,单位电耗也同样随炉子容量增大而降低。中频炉熔炼的单位电耗比工频炉低。例如,在两班制工作的条件下,8t 工频炉的日平均电耗 641kWh/t,而 3t 中频炉仅为 576kWh/t,相差 65kWh/t。当需要小容量炉子时,尤宜采用中频炉,其电耗比工频炉显著降低。

变频感应电炉更节省电能。

8.2.2 有芯感应电炉熔炼

1. 原理 感应器由闭合铁芯,感应线圈和熔沟组成。感应线圈绕在铁芯上,熔沟是环绕感应线圈的金属液通道。当交变电流过感应线圈时,磁力线通过闭

合铁芯,产生交变磁场,使熔沟内金属产生强大的感应电流而熔化和加热。

熔沟由金属模(兼作开炉起熔块)形成。由于有熔沟,故又名熔沟式感应电炉。

2. 分类 有芯感电炉采用工(业)频(率)电源。按炉子形式分为立式和卧式两种,系列规格见表 3-294。

3. 结构 有芯感应电炉由炉体、感应器、炉盖、炉架、倾炉机构、水冷系统、电气系统等组成。炉体和感应器的结构见图 3-44。

表 3-294 国产工频有芯感应电炉系列规格
(铸铁过热、保温)^③

| 型号 | 结构形式 | 有效容量(t) | 总容量(t) | 功率 额定/保温 (kW) | 电压 额定/保温 (V) | 工作 温度 (℃) | 升温 电耗 (kWh/t) | 热料升 温/生产率 ℃/(t/h) | 主变压器 容量 (kVA) | 烘炉 变压器 容量 (kVA) | 电抗器 容量 (kVA) | 冷却 水流量 (t/h) | 炉体质 量(t) |
|------------|------|---------|--------|----------------------|--------------------|-----------------|---------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|-------------|
| GY-3-250 | 立式 | 3.0 | 4.2 | 250/40 | 344/137 | 1450 | 50 | 150/5 | 300 | 30/20 | 200 | 5.5 | 21.8 |
| GY-15-600 | 立式 | 15.0 | 21.0 | 600/176 | 380/205 | 1500 | 57.6 | 150/10 | 1000 | 50 | 无 | 6.0 | 50.4 |
| GY-30-1100 | 卧式 | 30.0 | 40.0 | 1100/295 | 365/190 | 1500 | 70 | 200/15.2 | 2000 | 400 | 无 | 10.0 | 178.0 |
| GY-45-700 | 立式 | 45.0 | 64.0 | 700/280 | 740/470 | 1500 | 64 | 200/10.9 | 1000 | 100 | 500 | 6.0 | 72.0 |
| DL4310-1 | | 1.6 | | 150 | | | | 100/3 ^② | 200 | | | | |
| DL4310-2 | | 3.15 | | 300 | | | | 100/7 | 400 | | | | |
| DL4310-3 | | 5 | | 300 | | | | 100/6.5 | 400 | | | | |
| DL4310-4 | | 10 | | 500 | | | | 100/11 | 630 | | | | |
| DL4310-5 | | 20 | | 500/600 ^① | | | | 100/ (10/16) | 630/800 | | | | |
| DL4310-6 | | 30 | | 600 | | | | 100/16 | 800 | | | | |
| DL4310-7 | | 45 | | 600 | | | | 100/15 | 800 | | | | |

① 500/600 均指额定功率。

② DL 型炉升温 100℃指 1350~1450℃。

③ 摘自西安电力机械制造公司、西安变压器电炉研究所的产品目录。

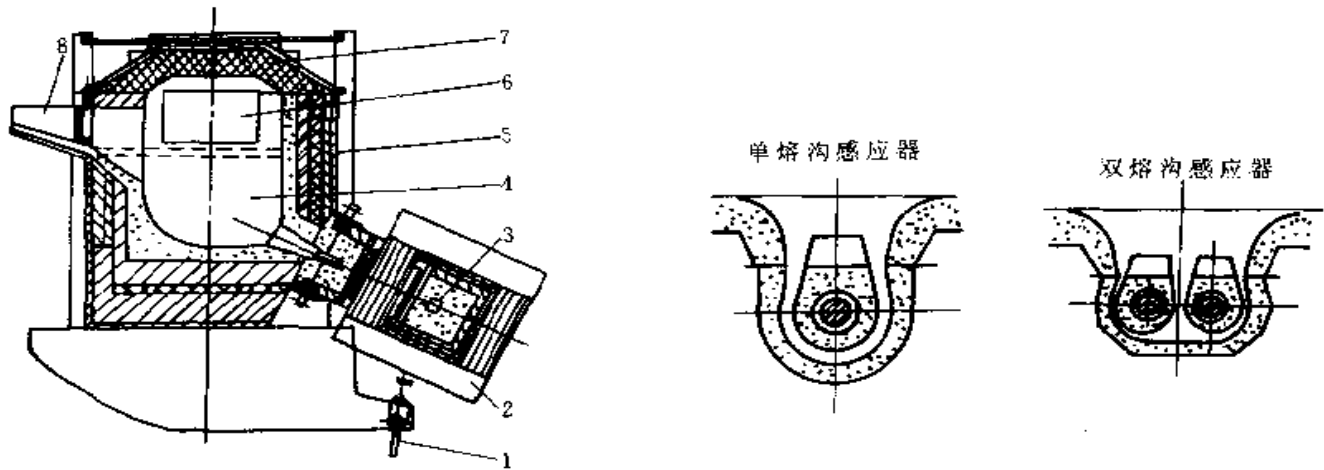


图 3-44 有芯感应电炉炉体及感应器示意图

1—倾炉机构 2—感应器 3—熔沟 4—炉膛 5—炉壳 6—工作门 7—炉盖 8—出铁槽

4. 炉衬及感应器接合料(表 3-295~表 3-298)

表 3-295 石英砂捣结炉衬配比实例

| 序号 | 石英砂 (%) | | | 工业用硼酸 (%) | 水 (%) | 用途 |
|----|-------------------------------|-----------------------------|---------------------|-----------|-------|---------|
| | (0.850mm~0.425mm) (20~40目) | 0.425mm~0.212mm (40~70目) | 0.106mm (140目)以上 | | | |
| 1 | 20 | 40 | 40 | 3~4 | 3~4 | 修筑熔池 |
| 2 | — | 40 | 60 | 3~4 | 3~4 | 修筑熔沟 |
| 3 | 30 | 30 | 40 | 2~2.5 | 2~3 | 修筑熔沟、熔池 |
| 4 | 40 | — | 60 | 1.8 | — | 修筑熔沟、熔池 |

表 3-296 高铝矾土熟料捣结炉衬的材料与配比实例

| 熟料级别 | 成分 (%) | | | | 耐火度 ℃ | 吸水率 (%) | | 备注 |
|--------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-----------|-----------------|--------|--|
| | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | 杂质 | | 一等品 | 二等品 | |
| 特级 | >80 | ≥2.5 | ≥0.6 | ≤4 | 1770 | ≥5 | ≥7 | 级外品 ≥10%; 10mm 筛的筛余量 ≥10% |
| 一级 | 80~90 | ≥3.0 | ≥0.6 | ≤4 | 1770 | ≥5 | ≥7 | |
| 二级 | 60~80 | ≥3.0 | ≥0.8 | ≤4 | 1770 | ≥5 | ≥7 | |
| 炉衬颗粒级配 | 一级或二级高铝矾土熟料 (%) | | | | | 磷酸(浓度 60%) % | | |
| | 10~13mm | 5~10mm | 1~5mm | 1~3mm | 1~0.088mm | | | |
| 1 | 40 | 20 | 10 | — | — | 30 | 9 | Al ₂ O ₃ :P ₂ O ₅ 克分子比 1:3.2 |
| 2 | — | — | — | 47.5 | 20 | 32.5 | 磷酸铝 11 | |
| 3 | — | — | 40 | — | 30 | 30 | 9 | |

注:使用特级或一级矾土熟料,炉衬寿命 6~10 个月。

表 3-297 高铝耐火混凝土浇灌炉衬的材料与配比实例

| 材料 | 成分 (%) | | | | | | | 1350℃烘后 抗压强度 (MPa) | 耐火度 (℃) |
|----------------|--------------------------------|------------|------------------|--------------------------------|-----------|------------------|--------------------------|--------------------------|------------|
| | Al ₂ O ₃ | CaO | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | MgO | TiO ₂ | 其它 | | |
| 电熔刚玉 | 95.27 | 4.04 | 0.16 | 0.19 | 0.12 | — | 0.29 | 46 | >1790 |
| 烧结合玉 | | | | | | | | 52 | >1790 |
| (瑞典) | 96.64 | 2.71 | 0.06 | 0.10 | 0.06 | 0.12 | 0.23 | 24 | >1970 |
| Victor (瑞典) | 96.0 | | 0.5 | 0.1 | | | | 39 | >1900 |
| 炉衬颗 粒级配 | 骨料 (%) | | | | 掺合料 (%) | | 胶结剂 纯铝酸盐 水泥 (%) | MF 减水剂 (%) | 水 (%) |
| | 材料 | 5~ 10mm | 1.6~ 5mm | 0.2~ 1.6mm | 材料 | < 0.088mm | | | |
| 1 | 电熔刚玉 | — | 40 | 24 | 铝氧粉 | 20 | 16 | 0.15 | 7.5 |
| 2 | 烧结合玉 | 15 | 30 | 25 | 一级 矾土粉 | 14 | 16 | 0.15 | 7.5 |

表 3-298 快换感应器与炉体炉衬之间的接合料

| 接合料 | 厚 度 | 材料配比 |
|-----|---|---|
| 面料 | 一般在感应器和炉体喷口烘烤后准备连接前涂抹,刮平。通常厚 5~8mm,高接合法兰面 1~2mm | 骨料电熔刚玉或烧结合玉(粒度<1.2mm)40% + 煅烧氧化铝粉(粒度<0.088mm)40% + 氧化铝水泥 20% + 水适量。调成糊状 |
| 隔离料 | 感应器安装前刷在面料上,厚约 0.5~1mm。过厚,铁液可能渗漏 | 煅烧氧化铝粉(粒度<0.088mm)95% + 耐火粘土粉 5% + 水适量。调成糊液状 |

5. 应用

(1)熔炼 有芯感应电炉作为熔炼炉,可以热起熔,即在热炉内加入或留铁液 25%~35%,开炉熔炼;亦可以冷起熔,即以熔沟铁模为起熔金属,烘炉与熔炼结合一起,视炉温分批加料。

宜连续熔炼,出铁时留铁液至熔池高度,约 200~400mm。

由于炉内铁水密闭,元素氧化烧损少。在石英砂炉衬中,烧损如下:C 5%,Si 1%~8%(有时增 Si 5%),Mn 12%~15%,P、S 不变化;在镁砂炉衬中,烧损如下:C 5%,Si 10%,Mn 10%,P、S 不变化。

添加元素的吸收率与无芯感应电炉熔炼相近。

(2)保温和储存 在双联熔炼中,有芯感应电炉多用作Ⅱ级炉,保温、储存、平衡铁液需要量。适于单一铁液,大批量生产。

8.3 回转炉熔炼

20世纪初,英国、德国、日本曾用回转式火焰炉熔炼铸铁。由于用空气助燃,能耗高,熔化率低,铁液温度低,炉衬损耗大,排烟中含 SO₂、NO_x 污染环境,故未能推广。

近年,以氧气代替空气助燃,且改造了炉体结构、炉衬材料、熔炼技术等,在欧洲中、小铸造厂应用日益增多,而引起注意。

8.3.1 结构

意大利 Sider Progetti 公司制造纯氧回转炉,容量 2~12t,结构见图 3-45。

1. 炉体 如图示,本体为圆筒形,两端均用法兰连接锥筒;左端锥筒有喷水口和出铁口;右端锥筒有加料口和废气出口。

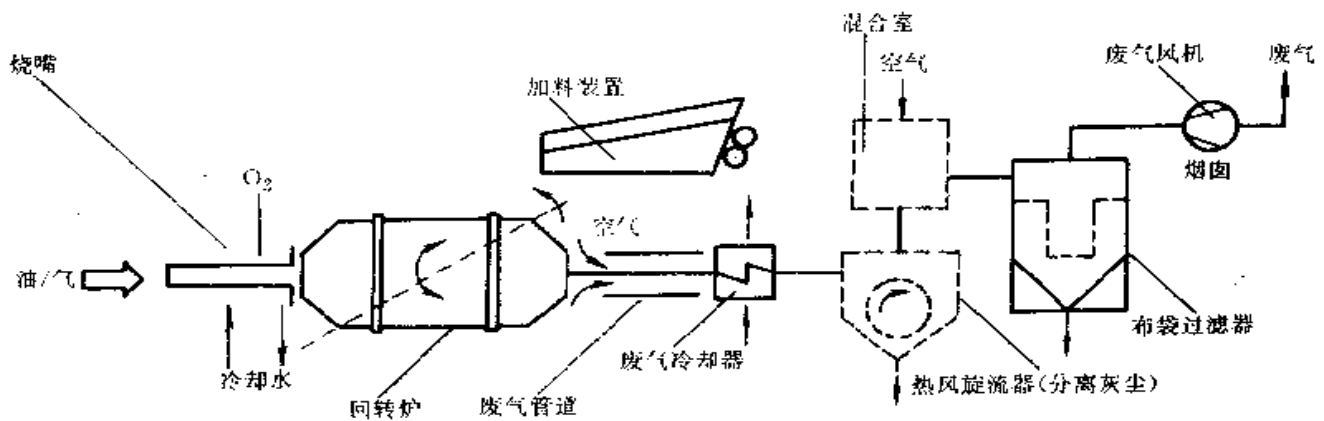


图 3-45 纯氧回转炉示意图

炉体下有 4 个托辊,支撑并驱动炉体回转;炉体倾斜时,托辊阻止其沿轴线下滑。

2. 烧嘴 为三层:中央通燃气或雾化油,夹层送氧气,外层通冷却水。

3. 炉衬 采用 $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ 系打结耐火材料, SiO_2 93% + Al_2O_3 5% + 粘结材料,烘干、烧结后使用。圆筒寿命 500 次,锥筒可连续 25~50 次。

8.3.2 熔炼过程及特点

炉体逆时针倾斜约 30° ,振动给料机装料。然后炉体回平。

烧嘴点火,从左端锥筒喷入火焰,炉体绕水平轴回转,强化炉料预热、熔化、过热、保温。

熔炼结束,打开左端锥筒上的出铁口,炉体倾斜,放渣出铁。

熔炼特点如下:

- 1) 铁液中元素烧损率(%): C 10~15, Si 15~17, Mn 30~40, Cr 10~15。
- 2) 由于使用纯氧,燃料耗量少,火焰温度可达 2850° 左右。
- 3) 废气中 SO_x 和 NO_x 极少。

8.4 双联熔炼

由一熔化炉和一过热、保温、储存炉组成的联合熔炼形式,称为双联熔炼。

8.4.1 双联形式

主要双联形式见表 3-299。冲天炉与感应炉双联时,若二者由出铁槽联接则称为直接双联,若铁液由中间包转运则称为间接双联。

表 3-299 双联熔炼的常见组合形式

| I 级 熔化 | II 级 储存、保温、过热精炼 | 双联形式 | 主要特点 | |
|-----------|--------------------|-------|----------------------------|---|
| | | | I 级 | II 级 |
| 冲天炉 | 无芯感应电炉 | 直接或间接 | 效率高,投资少,应用多 | 无芯感应电炉:能快速熔化合金属材料,准确调整铁液成分、温度;易更换牌号,适于过热、精炼 有芯感应电炉:容量大,可保温、储存、平衡熔化和造型工部部的生产,可连续或频繁出铁;但不易更换牌号,适于大批量生产单一铁液。 电弧炉:适于精炼,调节成分,但过热效率低,应用不多 |
| | 有芯感应电炉 | 直接或间接 | | |
| 无芯感应电炉 | 电弧炉 | 间接 | 灵活、优质,炉料不严 | |
| | 无芯感应电炉 | 间接 | | |
| | 有芯感应电炉 | 间接 | | |
| 电弧炉 | 无芯感应电炉 | 间接 | 高效 ^① ,灵活优质,炉料不严 | |
| | 有芯感应电炉 | 间接 | | |
| 高炉 | 无芯感应电炉 | 间接 | 高效,大容量 | |
| | 有芯感应电炉 | 间接 | | |

① 电弧炉熔化效率可达 85%。

8.4.2 双联熔炼炉的容量比

应根据产品、工艺、批量、造型方法、生产组织、工作制度等,确定双联熔炼的主要功能,进而确定双联炉的容量比,见表 3-300。

表 3-300 双联熔炼炉的容量比

| 双联功能 | 双联方式 | I 级炉和 II 级炉的容量或生产率之比 |
|-------|-------|-------------------------------|
| 熔化+储存 | 间接 | $Q_I/Q_{II} = 1/4 \sim 6$ |
| 熔化+保温 | 直接或间接 | $Q_I/Q_{II} = 1/1 \sim 3$ |
| 熔化+过热 | 直接或间接 | $Q_I/Q_{II} = 1/0.5 \sim 1.5$ |
| 熔化+精炼 | 间接 | $Q_I/Q_{II} = 1/0.5 \sim 1$ |

注: Q_I —I 级(熔化)炉的容量或生产率; Q_{II} —II 级炉的容量或生产率。

8.4.3 双炼熔炼的应用(表 3-301)

表 3-301 双炼熔炼应用实例

| 序号 | 双联形式及主要工艺特性 | 应用 |
|----|---|------------------------|
| 1 | 10~14 t/h 热风(约 800℃)水冷无炉衬冲天炉 + 30t 工频无芯感应电炉。间接双联。熔炼,过热,炉外脱硫,平衡若干造型区 | 柴油机缸体、缸盖、曲轴等 |
| 2 | 12t/h 冲天炉 + 15t 中频(变频)感应电炉。间接双联。熔炼,过热,炉外脱硫,平衡多条造型线 | 柴油机铸件:缸体、缸盖、曲轴、飞轮、飞轮壳等 |
| 3 | 15t/h 冲天炉 + 27t 变频感应电炉。间接双联。熔炼、过热、调节成分、平衡自型线 | 柴油机铸件:缸体、缸盖、飞轮、飞轮壳等 |
| 4 | 4t/h 热风(450℃)冲天炉 + 5t 工频无芯感应电炉。间接双联。熔炼、过热、调节成分,炉外球化,平衡造型线 | 汽车发动铸件:机缸体、曲轴等 |
| 5 | 20t/h 热风(400~450℃)冲天炉 + 45t 工频有芯感应电炉。直接双联。熔炼,过热、平衡多条造型线 | 汽车铸件:缸体、缸盖、曲轴等 |
| 6 | 45t/h 冲天炉 + 100t 有芯感应电炉(1100kW × 2) × 2 台 | 美国 Chryslers 铸造厂。灰铸铁件 |
| 7 | 40t/h 水冷无炉衬冲天炉 × 2 台 + 95t 有芯感应电炉 × 3 台(其中 1 台备用) | 意大利非亚特铸造厂 |

(续)

| 序号 | 双联形式及主要工艺特性 | 应用 |
|----|---|--|
| 8 | 40t 碱性电弧炉 × 2 台 + 20t 无芯感应电炉 × 2 台 | 灰铸铁件,球墨铸铁件。800t/日 |
| 9 | 10t/h 冲天炉 + 20t 有芯感应电炉 | 瑞典 VOLVO 铸造厂合金铸铁件 |
| 10 | 25t 工频无芯感应电炉 × 2 台 + 45t 有芯感应电炉。直接双联。熔炼,保温,调成分,孕育处理 | 低合金(Cr 0.12%, Ni 0.13%, Sn 0.045%)灰铸铁件 |
| 11 | 12t 无芯感应电炉 × 4 台 + 有芯感应电炉(30t × 2 台 + 28t × 1 台) | 瑞典 ARVIKA 铸造厂。球墨铸铁件 |
| 12 | 5t 电弧炉 + 5.5t 无芯感应电炉。炉料为废球墨铸铁件和废钢各 50%。熔炼,过热到 1500℃,保温 | 发动机球墨铸铁曲轴 |
| 13 | 高炉 + 30t 工频无芯感应电炉。间接双联。高炉铁液(%):C 4.2~4.5, Si 1.1~1.5, Mn 0.6~0.65, S < 0.4。在感应电炉内,加废钢 12%~20%和硅铁,调成分(%):C 3.6~3.8, Si 1.6~1.7, Mn 0.65~1.0%。用碳化钙脱硫。电耗 100~110kWh/t 若高炉停炉,则感应炉直接熔炼—昼夜 76t。电耗 602kWh/t | 球墨铸铁件 |

9 铁液品质(质量)控制及浇注

9.1 铁液脱硫

低硫铁液是保证球墨铸铁、蠕墨铸铁品质(质量)的必要条件。在生产中,除采用低硫焦炭、生铁和优质熔剂外,有时还必须进行炉内脱硫和炉外脱硫。

9.1.1 炉内脱硫

炉内脱硫的条件是:炉内高温;炉渣高碱度,低 FeO。冲天炉内各种脱硫的方法和效果见表 3-302。

表 3-302 冲天炉炉内脱硫

| 种类 | 特点及脱硫效果 |
|------------|---|
| 碱性冲天炉 | <p>1. 镁砖或煅烧镁砂炉衬 可造高碱度(2以上)炉渣,脱硫效果显著。炉渣碱度1.2~2.0时,铁液含S量可降到0.04%以下。但耐火材料昂贵</p> <p>2. 石灰石炉衬(石灰石砖由石灰石粉100%+盐粉7%+饱和盐水混合成形,在200~250℃(烧结)可造高碱度渣,S由0.06%~0.16%脱到0.025%~0.03%</p> <p>3. 白云石炉衬 脱硫效果亦很好(25%~30%)</p> |
| 水冷无炉衬热风冲天炉 | <p>炉壁不限制炉渣的碱度,容易造高碱度(1.5以上)渣,可脱硫到0.04%</p> |
| 酸性冲天炉 | <p>1. 当炉衬含S不高时,可适当加大石灰石量</p> <p>2. 也经常加下列脱硫剂,但炉衬浸蚀快而严重:</p> <p>1. 石灰要求CaO>85%,块度>100mm,加入托焦量的50%,脱硫效率20%~30%</p> <p>2. 电石兼有升温 and 脱硫双重功能。宜采用共晶电石(CaC₂72%,CaO28%,熔点约1640℃)。加入2%~4%,脱硫效率30%~40%</p> <p>3. 白云石效果良好。萤石提高渣流动性,有利于脱硫</p> |

9.1.2 炉外脱硫

炉外脱硫的条件是:铁液高温;脱硫剂与铁液充分混合;脱硫产物稳定,上浮,进入炉渣,容易与铁液分离。

1. 脱硫剂 常用脱硫剂及其特点,见表3-303。其脱硫效果由低到高依次如下:

CaO, CaC, Na₂CO₃, NaOH

表 3-303 炉外脱硫常用脱硫剂

| 脱硫剂 | 脱硫反应及特点 |
|-----------|---|
| 石灰(氧化钙) | $\text{CaO} + \text{S}_{\text{铁液}} + \text{C}_{\text{铁液}} = \text{CaS}_{\text{渣}} + \text{CO} \uparrow (\text{吸热})$ <p>1. 脱硫效率最低。欲达到较好效果,石灰加入量为电石的1.5~2倍多。铁液降温多</p> <p>2. 价格最便宜。铁液与残渣易分离。常用</p> |
| 电石(碳化钙) | $\text{CaC}_2 + \text{S}_{\text{铁液}} = \text{CaS}_{\text{渣}} + 2\text{C} (\text{放热})$ <p>1. 脱硫效率较高,加入量较少。反应放热,铁液降温少铁液需搅动。宜采用共晶电石(熔点低)。常用</p> <p>2. 电石较贵,易吸潮放出乙炔气,残渣污染环境</p> |
| 纯碱(碳酸钠) | $\text{Na}_2\text{CO}_3 \xrightarrow{1300^\circ\text{C}} \text{Na}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow (\text{吸热})$ $\text{Na}_2\text{O} + \text{S}_{\text{铁液}} + \text{C}_{\text{铁液}} = \text{Na}_2\text{S}_{\text{渣}} + \text{CO} \uparrow (\text{吸热})$ <p>1. 脱硫效率高,加入量少。操作简便,常用</p> <p>2. 纯碱必须烘烤或重熔,去除结晶水</p> <p>3. 脱硫渣遇SiO₂则发生回硫反应</p> $\text{Na}_2\text{S}_{\text{渣}} + \text{SiO}_{2\text{渣}} + \text{FeO}_{\text{渣}} = \text{Na}_2\text{SiO}_{3\text{渣}} + \text{FeS}_{\text{铁液}}$ |
| 苛性钠(氢氧化钠) | $2\text{NaOH} = \text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$ $\text{Na}_2\text{O} + \text{S}_{\text{铁液}} + \text{C}_{\text{铁液}} = \text{Na}_2\text{S}_{\text{渣}} + \text{CO} \uparrow (\text{吸热})$ <p>1. 脱硫效率最高。水蒸汽激烈搅动铁液,促进脱硫</p> <p>2. 铁液降温多,约100℃。苛性钠贵,腐蚀性很强。很少用</p> |
| 复合脱硫剂 | <p>若干种脱硫剂组合,效果良好。如电石+石灰,纯碱+电石,纯碱+石灰+(冰晶粉),石灰+氟石(CaF₂)等</p> |

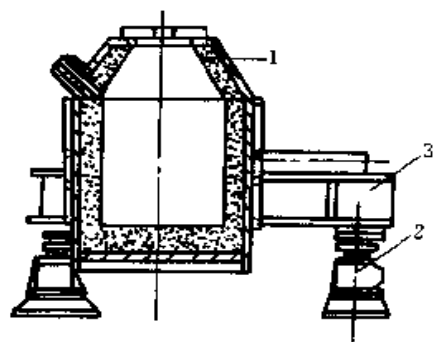
2. 炉外脱硫方法(表3-304)

表 3-304 炉外脱硫的主要方法

(续)

| 方法 | 要点及效果 |
|------|---|
| 包内脱硫 | <p>1. 纯碱脱硫 一般用冲入法,加入量 0.3% ~ 0.5%,脱硫 30% ~ 50%。但若 $S_{\text{铁液}} > 0.09\%$,则效果差。聚渣、扒渣用干石灰,不得用干砂(SiO_2),否则发生回硫</p> |
| | <p>2. 电石粉脱硫 一般撒入铁液,同时搅拌或摇动,粒度 0.127~0.391mm,加入量 0.3% ~ 1.5%。可使 $S_{\text{铁液}} < 0.01\%$。亦可用冲入法,加入量 1% ~ 2%,脱硫约 30%</p> |
| | <p>3. 苛性钠脱硫 原铁液含 S 0.06% ~ 0.30%,加入量 0.9% ~ 1.5%,脱硫 90% ~ 94%。铁液降温 100℃</p> |
| | <p>4. 复合脱硫剂脱硫 成分及用量如下: 纯碱 0.4% + 电石粉 0.2% 纯碱 0.4% + 电石粉 0.2% + 冰晶石粉 0.15% 电石粉 0.4% + 萤石粉 0.4% 石灰粉 0.4% + 冰晶石粉 0.3% 纯碱 0.3% + 锰铁 0.5%</p> |

如图示。脱硫包放在摇包架上,借助偏心摇动,使撒入的脱硫剂与铁液混和。电石加入量 1% ~ 1.5%,摇 4 ~ 5min,脱硫 80% ~ 90%,降温 70 ~ 100℃。要求原铁液温度 > 1450℃。或二次升温。处理量宜大



摇包

1—包体 2—偏心传动装置 3—摇架

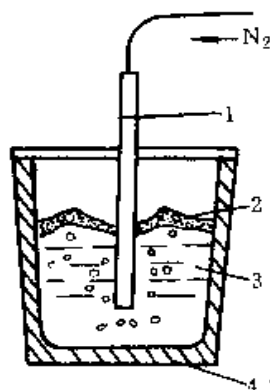
包内脱硫

| 方法 | 要点及效果 |
|--------|---|
| 多孔塞包脱硫 | <p>如图示。电石加入量 0.5% ~ 1%,脱硫率 70% ~ 90%,$S_{\text{铁液}} < 0.015\%$。要求铁液温度 > 1450℃ (国外要求 1500℃),处理量不宜太大</p> |
| | |

多孔塞包脱硫

1— CaC_2 2—铁液 3—多孔塞

如图示。石墨管插入铁液,吹氮气, CaC_2 粒度 0.3~1.0mm,加入量 1.5%,吹 5min,脱硫 80%,降温 50℃



吹气搅拌脱硫装置

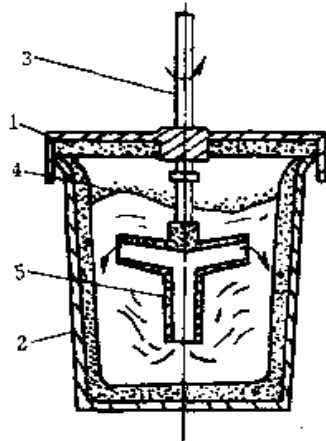
1—石墨管 2— CaC_2
3—铁液 4—处理包

吹气搅拌脱硫

(续)

方法 要点及效果

如图所示。“T”形氧化铝管插入铁液，旋转 68 r/min，铁液被不断吸入和甩出。电石粒度 1.5mm 加入量 0.75%，铁液含 S 0.08% ~ 0.10% 降至 0.01% 以下。适于大型浇包



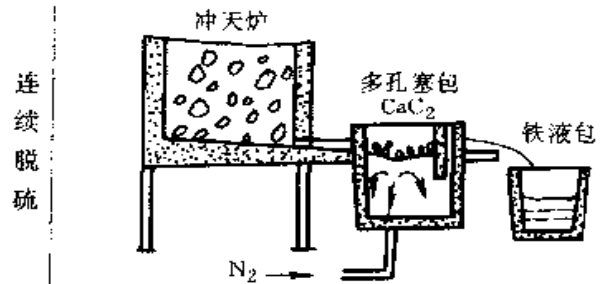
“T”形搅拌器脱硫装置
1—浇包盖 2—浇包 3—传动轴
4—电石 5—“T”形耐火管

机械搅拌脱硫

(续)

方法 要点及效果

如图所示。电石加入量 0.5%，铁液含 S 0.10% 降至 0.08% ~ 0.012%。铁液降温少



连续脱硫的原理

连续脱硫

9.2 铁液品质(质量)的炉前快速检测

主要控制内容为：化学成分、组织、性能和气体含量等。主要检测方法有：炉前试样判断、热分析、快速全相观察、直读光谱仪分析、气相色谱分析(测 O₂, H₂, N₂ 等)。

9.2.1 灰铸铁的炉前检测

最常用的炉前检测方法有三角试片法和激冷圆棒法。

1. 三角试片 三角试片及其尺寸见图 3-46 和表 3-305。

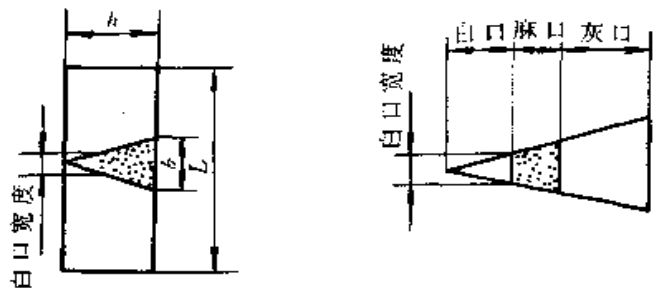


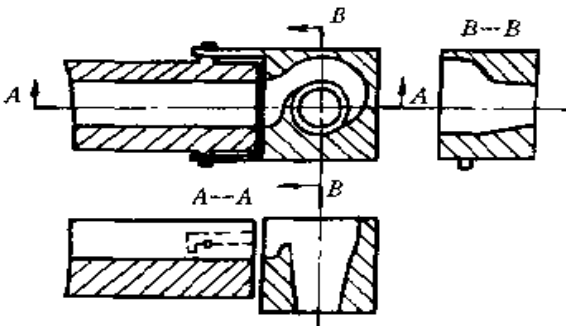
图 3-46 三角试片及其断面

表 3-305 三角试片的尺寸

| 编号 | 适用白口宽度(mm) | 试片尺寸 (mm) | | |
|----|------------|-----------|------|-----|
| | | h | b | L |
| 1 | 6 | 25 | 12.5 | 130 |
| 2 | 10 | 40 | 20 | 130 |
| 3 | 12 | 50 | 25 | 150 |
| 4 | 25 | 100 | 50 | 180 |

铸件平均壁厚 25 ~ 30mm 时，白口宽度与牌号的对应关系可参考表 3-306。

如图所示。旋流器位于出铁槽前端。CaC₂ 粒度 0.3~1.0mm。出铁时撒入 1%~2%，铁液旋流而下，脱硫约 54%。适于大型浇包



出铁槽旋流器

出铁槽旋流器脱硫

表 3-306 白口宽度与牌号的对应关系

| | | | | | | |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 灰铸铁牌号 | HT100 | HT150 | HT200 | HT250 | HT300 | HT350 |
| 白口宽度(mm) | 0~2 | 2~4 | 3~5 | 4~7 | 6~9 | 6~11 |

孕育铸铁在孕育前后三角试片的白口宽度可参考表 3-307。

表 3-307 孕育铸铁三角试片的白口宽度

| 牌 号 | 铸件壁厚 (mm) | 三角试片白 口宽度(mm) | | 75SiFe 加入量 (%) |
|-------|--------------|------------------|-------|-------------------|
| | | 原铁液 | 孕育后 | |
| HT250 | 8~15 | | 3~4 | 0.4~0.8 |
| | 35 | 6~12 | 5~7 | |
| | 60 | | 7~9 | |
| HT300 | 15 | | 4~6 | 0.55~0.90 |
| | 35 | 8~15 | 7~9 | |
| | 60 | | 9~11 | |
| HT350 | 20 | | 4~6 | 0.65~1.05 |
| | 35 | 9~20 | 9~11 | |
| | 60 | | 11~13 | |

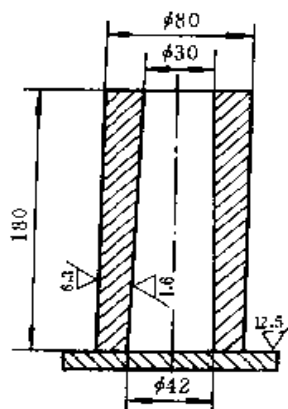


图 3-47 圆柱试样的金属型

内壁刷涂料,预热至 200℃。浇入铁液,上端保留 20mm 不浇满。冷至暗红色(约 600℃),取出,空冷或水冷至室温。在长度 $\frac{1}{2}$ 处击断。

由试样判断分牌号,见图 3-48、图 3-49。

2. 激冷圆试棒 试棒的金属型为低碳钢,底板可以用铸铁。见图 3-47。

| | | | | | | | | |
|-----------|----|------|------|------|------|------|------|------|
| 头部形状 | | | | | | | | |
| 成分 (%) | C | ≈3.3 | ≈3.3 | ≈3.2 | ≈3.2 | ≈3.1 | ≈3.1 | ≈3.0 |
| | Si | ≈2.5 | ≈2.4 | ≈2.3 | ≈2.2 | ≈2.2 | ≈2.0 | ≈2.0 |

图 3-48 试棒头部形状与碳、硅含量的关系




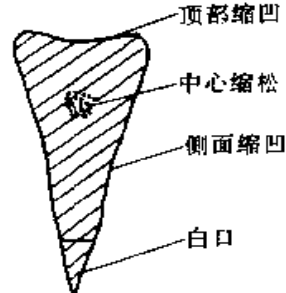
| | | | | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 试棒 头部 形状 | | | | | | | |
| 断面 | | | | | | | |
| 白口深度 (mm) | 1~1.5 | 2~3 | 4~5 | 6~8 | 9~12 | >13 | 全白口 |
| 铁液牌号 | HT100 | HT150 | HT200 | HT250 | HT300 | HT350 | HT400 |

图 3-49 试棒外形、断面与铸铁牌号的关系

9.2.2 球墨铸铁的炉前检测

球化品质(质量)的炉前检测见表 3-308。

表 3-308 球化质量的炉前检测

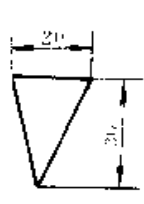
| 方法 | 球化品质(质量)鉴别 | | | | |
|-----------|---|--|--|---------------|---|
| 观察火苗 | 球化处理后,在补加铁、搅拌、倒包时,铁液表面窜出火苗是镁逸出燃烧的现象。火苗愈多愈长愈有力,球化愈好。判断如下: | | | | |
| | 火苗等级 | 大火苗 | 中火苗 | 小火苗 | 无火苗 |
| | 火苗特征 | 大火苗大于40mm,3个以上;小火苗多而有力 | 大火苗1~2个;夹有小火苗10个以上 | 小火苗小于15mm,少而无 | 看不见火苗 |
| | 球化情况 | 良好 | 良好 | 一般(衰退快) | 未球化 |
| 观察铁液表面膜 |  <p>球化</p> <p>铁液表面平静,覆盖一层氧化铁皮。温度下降,浮皮五颜六色</p> | |  <p>半球化</p> <p>表面介于左右二者之间</p> | |  <p>不球化</p> <p>表面翻腾严重,氧化皮极少,且集中在中央</p> |
| | 三角试片 | <p>常用试片截面宽25mm×高50mm,冷至暗红(600~700℃),取出淬水</p> <p>球化良好的特征如图示:断口银白,晶粒细,中心明显缩松,三边缩凹,悬击有钢音,浸水有电石味</p> | | |  <p>顶部缩凹 中心缩松 侧面缩凹 白口</p> |
| 圆柱试棒 | 直径一般为铸件最厚的0.8倍,长300mm。判断与三角试片相似:断口银白,晶粒细密,中心有缩松,则球化良好 | | | | |
| 快速金相 | 试样 $\phi 20\text{mm} \times 20\text{mm}$ 或 $\phi 30\text{mm} \times 30\text{mm}$,观察端缩小为 $\phi 10 \sim 15\text{mm}$ 。砂型采用合脂砂或树脂砂。磨半抛光后按标准评定 | | | | |
| 热分析、微分热分析 | 球化处理后,铁液浇入 $\phi 47\text{mm} \times 70\text{mm}$ 或其它形状尺寸的树脂砂杯中,根据冷却曲线或微分冷却曲线上的共晶过冷度及共晶过冷回升速率等特征判断球化率 | | | | |


9.2.3 蠕墨铸铁的炉前热分析

蠕化质量的炉前检测见表3-309。





表 3-309 蠕化品质(质量)的炉前检测

(续)

| 方法 | 蠕化品质(质量)鉴别 | 图例 |
|-------|--|---|
| 三角试片法 | <p>1. 三角试片断面如图示,湿型浇注</p> <p>2. 以试片断口特征判断蠕化率如下:</p> |  |
| | 蠕化效果 | 断口特征及处理措施 |

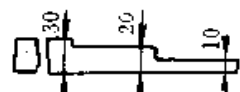
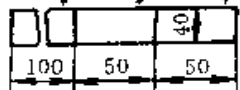
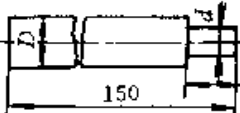
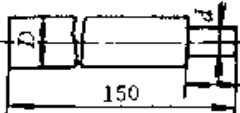
| 方法 | 蠕化品质(质量)鉴别 | 图例 |
|-------|---|---|
| 三角试片法 | <p>银灰色,三面缩凹,中心多有缩松,敲击有钢音</p> <p>白口宽度仅与孕育量有关;小件,宜3~4mm;大件,可适量大一些</p> |  |

(续)

| 方法 | 蠕化品质(质量)鉴别 | 图 例 |
|--------|---|---|
| 三角试片法 | 蠕化临界 银灰色,两侧无缩凹,中心无缩松,有钢声 应补加蠕化剂 0.2%~0.4% |  |
| | 蠕化过度(即球化过多) 银白色,三面缩凹深,中心明显缩松,晶粒很细,白口宽,敲击有钢音 可提高铁液级别,浇注大铸件;或加调整合金 FeSiTi(含 Ti 4.5%);或补加 75SiFe 0.1%~0.3% |  |
| | 蠕化不足孕育不足 银灰色,无缩凹,白口大 补加蠕化剂或调整合金 FeSiMg(含 Mg1%~2%),补加孕育剂 |  |
| | 未蠕化 灰色或黑灰色,无缩凹,中心无缩松,敲击音哑闷 补加蠕化剂 0.2%~0.6%, 75SiFe 0.1%~0.3% |  |
| 快速金相 | 试样制作同球墨铸铁,显微镜观察,决定是否浇注 | |
| 共晶膨胀率法 | 球墨铸铁、蠕墨铸铁、灰铸铁的共晶膨胀率不同,故测定共晶膨胀率可鉴别蠕化品质(质量) 球墨铸铁共晶膨胀率 0.6%~1.0% 蠕墨铸铁共晶膨胀率 0.25%~0.5% 灰铸铁共晶膨胀率 < 0.25% | |
| 超声波法 | φ30mm 试棒,蠕化良好,超声波速度 5200~5450m/s;特大铸件(钢锭模),4850~5100m/s | |
| 微分热分析 | 蠕化处理,铁液浇入样杯,根据微分冷却曲线的特征(共晶回升温度和回升速率判断蠕化品质(质量)) | |

9.2.4 可锻铸铁的炉前检测(表 3-310)

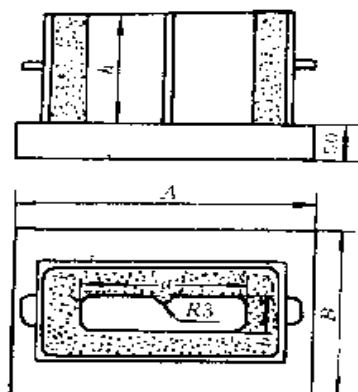
表 3-310 可锻铸铁炉前检测

| 方法 | 说 明 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|--|-----|-------|------------|------------|----|------|-----|------|----|----|-----|-------|----|----|-----|-------|-----|----|-----|-------|
| 三角试样 | 试样形状同灰铸铁,尺寸如下: <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>h</th> <th>b</th> <th>L</th> <th>适用铸件壁厚(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>25</td> <td>12.5</td> <td>130</td> <td>6~10</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>20</td> <td>130</td> <td>10~15</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>25</td> <td>130</td> <td>15~20</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>50</td> <td>130</td> <td>20~30</td> </tr> </tbody> </table> | h | b | L | 适用铸件壁厚(mm) | 25 | 12.5 | 130 | 6~10 | 40 | 20 | 130 | 10~15 | 50 | 25 | 130 | 15~20 | 100 | 50 | 130 | 20~30 |
| | h | b | L | 适用铸件壁厚(mm) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 12.5 | 130 | 6~10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 40 | 20 | 130 | 10~15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 | 25 | 130 | 15~20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100 | 50 | 130 | 20~30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 湿型,明浇,试样冷却至暗红色(<750℃)淬水,打断断面应全白或中心有少数灰点。若中心灰点较多,则铁水用于浇注薄铸件,或补 Bi0.001%~0.003%再孕育 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 圆柱试样 | 试样尺寸:直径为铸件最大壁厚的 1.5~2 倍,长度为 200~250mm,湿型浇注。试样冷至 750℃ 以下淬水,打断,观察断面 1) 断面全白口,中心有缩松,则碳、硅量适当,可浇注各种铸件 2) 断面有少量小灰点且不清晰,则硅量稍高,可以浇注薄壁和中厚壁铸件;若灰点清晰可辨,则硅较高,只能浇薄壁铸件 3) $\frac{1}{4}$ 断面有大量灰点密布,则铁液不合格,不得浇注 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 试样形状与尺寸如图示,适用范围如下: 试样断面(mm): 10 20 30 适用铸件壁厚(mm): ≤10 ≤20 ≤30 湿型浇注,冷却至 750℃ 以下淬水,打断各不同断面,观察断面  1) 与铸件壁厚相应的试样断面应全白口  2) 断面最佳组织为纯白口,无方向性分布,则 C>2.8%, Si<0.8% 3) 若断面的白口组织是由中心向边缘呈方向性分布,则 C>2.9%, Si<0.6%,变态莱氏体较多,退火时间长,甚至退火困难 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 梯形试样 | 试样尺寸如图示。其中: $d = \text{铸件最大壁厚}; D = 2d; h = 2.5 \sim 3d$ 湿型浇注,试样冷却至 750℃ 以下淬水,打断断面,观察断面。若 d  断面呈全白口, D 断面中心有少数小灰点,则碳、硅总量适当 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 圆柱阶梯试样 | 试样尺寸如图示。其中: $d = \text{铸件最大壁厚}; D = 2d; h = 2.5 \sim 3d$ 湿型浇注,试样冷却至 750℃ 以下淬水,打断断面,观察断面。若 d  断面呈全白口, D 断面中心有少数小灰点,则碳、硅总量适当 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

9.2.5 冷硬铸铁的炉前检测

熔炼冷硬铸铁时,炉前控制与检测较严格,主要内容有铁液温度,化学成分和白口深度等。

判断铁液品质(质量)常用白口试片。白口试片及其铸型见图 3-50 和图 3-51。白口深度的检测见表 3-311。



白口试片的铸型

图 3-50 白口试片的铸型



图 3-51 白口试片的断口

表 3-311 冷硬铸铁白口深度的检测

| 步骤 | 说 明 | | | | | |
|--------------------------|--|-------------|----------------|----------------------|----------|----------|
| 试片 制备 | 铸型:各边吃砂量为 20mm~30mm,底板为实心铸铁板。各部尺寸如下: | | | | | |
| | 熔炼方法 | a (mm) | b (mm) | h (mm) | A (mm) | B (mm) |
| | 冲天炉 | 196 | 35 | 145 | 305 | 203 |
| | 反射炉 | 100 | 45 | 120 | 300 | 200 |
| | 试片如下制备和处理,然后打断,观察断口: | | | | | |
| 熔炼方法 | 铸型制备 | 型内停留时间(min) | 开箱后吹压空气时间(min) | 多次浸入流水冷至 50~70℃(min) | | |
| 冲天炉 | 1. 刷涂料,且烘干 2. 砂型与底板分别预热至 80~100℃与 70~100℃ | 6~8 | 2 | 2~3 | | |
| 反射炉 | | 8 | 2 | 2~3 | | |
| 取样一次,调整成分一次。反射炉一般取样 5 次。 | | | | | | |
| 白口 深度 测量 | 断口的宽度方向上 8~10mm 内有三个麻点的那条线,作为白口和麻口的分界线,如图 3-51 所示。注意:判断或测量错误,会降低轧辊品质(质量) | | | | | |
| 试片 与轧 辊的 关系 | 试片的白口愈深,轧辊的白口亦愈深,二者的关系如下: | | | | | |
| | 熔炼方法 | 冲天炉 | | 反射炉 | | |
| | 试片白口深度/轧辊白口深度 | (1~6)/1 | | (2~2.4)/1 | | |

9.3 浇注温度

通常以铸铁液相线以上 200℃ 作为浇注温度。浇注温度应根据合金种类、铸造性能、铸件壁厚、

铸型材料等确定。各类铸铁件的出铁温度和浇注温度参考表 3-312。

表 3-312 各类铸铁件的出铁温度和浇注温度

| 铸铁名称 | 铸件主要壁厚 (mm) | 出铁温度 (°C) | 浇注温度 (°C) | 产品举例 |
|-------|-------------|-----------|-----------|------------------------------------|
| HT100 | 所有尺寸 | 1370~1390 | 1320~1390 | 砂箱、底座、高炉平衡锤、炼钢炉重锤 |
| HT150 | 4~8 | 1440 | 1370~1420 | 机床底座、刻度盘、手轮、汽车变速箱、进排气管、鼓风机底座等 |
| | 8~15 | 1440 | 1350~1420 | |
| | 15~30 | 1430 | 1330~1400 | |
| | 30~50 | 1420 | 1310~1380 | |
| | >50 | 1420 | 1250~1340 | |
| HT200 | 6~8 | 1460 | 1380~1440 | 气缸、齿轮、机体、飞轮、一般机床铸有导轨的床身、中等压力的液压筒等 |
| | 8~15 | 1450 | 1360~1440 | |
| | 15~30 | 1450 | 1340~1420 | |
| | 30~50 | 1430 | 1320~1400 | |
| | >50 | 1420 | 1260~1350 | |
| HT250 | 8~15 | 1470 | 1390~1450 | 油缸、气缸、联轴节、工作台、箱体、横梁、铣床、镗床等 |
| | 15~30 | 1460 | 1370~1440 | |
| | 30~50 | 1430 | 1350~1430 | |
| | >50 | 1420 | 1270~1360 | |
| HT300 | 15~30 | 1480 | 1400~1460 | 蜗轮、阀盖、主配阀壳体、汽轮机隔板等 |
| | 30~50 | 1470 | 1380~1450 | |
| | >50 | 1460 | 1280~1380 | |
| HT350 | 15~30 | 1500 | 1420~1480 | 车床卡盘、剪床和压力机的床身、机床铸有导轨的重负荷床身、导板、液压泵 |
| | 30~50 | 1490 | 1400~1460 | |
| | >50 | 1480 | 1300~1400 | |
| 球墨铸铁 | 4~15 | 1480 | 1360~1440 | 轧辊、曲轴、汽车后桥、齿轮、中低压阀门等 |
| | 15~30 | 1470 | 1350~1430 | |
| | 30~50 | | | |
| | >50 | 1460 | 1340~1420 | |
| 可锻铸铁 | <3 | 1460 | 1390~1450 | 拖拉机、汽车后桥、扳手、各种管接头、低压阀门等 |
| | 8~12 | 1450 | 1380~1440 | |
| | >15 | 1440 | 1370~1430 | |

其它工业发达国家,多采用热风水冷无炉衬大型冲天炉或电炉熔炼,铁液温度达 1500~1560°C。浇注温度亦较高,例如:缸体、缸盖、壳体铸件的浇注温度通常为 1400~1430°C;甚至 1430~1460°C;球墨铸铁及灰铸铁管接头的浇注温度 1460~1470°C。

9.4 自动浇注

自动浇注是将一定温度的铁液以适宜的流量和线速度定量地浇入铸型。通常用于自动造型线、离心铸管机等。

9.4.1 自动浇注的要点(表 3-313)

表 3-313 自动浇注的要点

| 要点 | 说 明 |
|----------------|--|
| 过热与保温 | 无芯感应加热(如短线圈加热),或有芯感应加热(感应器快换) |
| 对准及同步 | 1. 静态定点浇注。要求浇注机有自动“寻找”和定位装置,且可纵向、横向运动,使出铁口对准浇口 2. 动态浇注。要求往复同步或循环同步 |
| 定量控制 | 1. 容积定量 如扇形倾转浇包等 2. 质(重)量定量 用传感器和电子秤系统称量浇包或铸型 3. 时间定量 要求流量恒定;定时装置能精确微调,误差小于1%秒应用多 4. 冒口监视定量 用红外线,光电管,接触电极或接近开关监视冒口铁液,发出停浇信号。红外线,光电管易受环境干扰 |
| 流量(单位时间的浇注量)控制 | 1. 锥筒形倾转包难以自动地精确恒量浇注,常用手动液压换向阀控制流量 2. 扇形倾转包的倾转角速度不变,流量不变,易控制 3. 塞杆底注包在准确检测液面和灵活调节塞杆行程的条件下可控制流量 4. 气压浇包在准确检测液面和灵活调节包内气压的条件下,可控制流量 5. 电磁泵浇注机,改变供电参数即可敏捷地控制流量 |
| 待浇状态控制 | 停浇与开浇之间,铁液只回落到稍低于出铁口,等待下次浇注的位置,称为“待浇状态”。它与定量方式、流量控制往往采取同一控制手段 |
| 其它 | 开浇和停浇动作灵敏可靠,撇渣、挡渣干净,容易更换浇包或补充铁液 |

9.4.2 自动浇注机

常用浇注机主要有以下几种:倾转式、气压式、塞杆式、电磁式。

9.4.2.1 倾转式浇注机

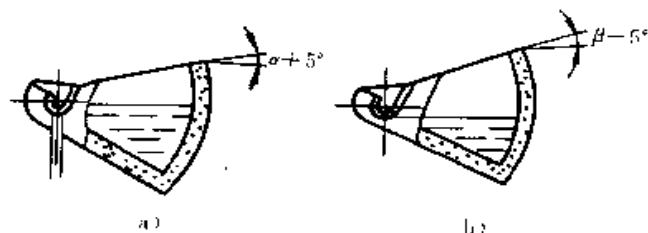


图 3-53 扇形浇包

a) 浇注 b) 待浇

(3) 倾转浇注机的定量方式、特点

定量方式:称(重)量定量,冒口监视定量。

特点:设备简单,维修量少;但浇注速度较低,定量精度低。

9.4.2.2 气压浇注炉

原理:在浇包内通入压缩空气,铁液被压至出铁口,流出;然后部分排气,铁液回落,停浇并待浇。

1. 有芯气压浇注炉

(1) 接触电极法气压控制方式 见图 3-54,由水冷接触电极 A、B 探测出铁槽液面高度,控制气路,调节包内气压。

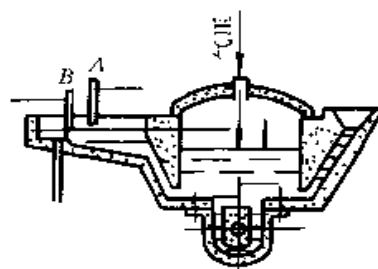


图 3-54 有芯气压浇注炉

(接触电极控制气压)

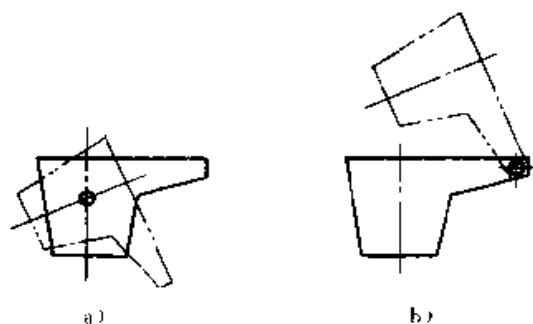


图 3-52 锥形倾转浇包

a) 转轴位于浇包质(重)心 b) 转轴位于出铁嘴

(1) 锥形浇包 原理见图 3-52,图 a,转轴位于浇包质(重)心,须不断调节浇包的水平和垂直位置才能对准浇口、保持压头(浇注速度),故操作困难。图 b,转轴位于出铁嘴,较好,但铁液流量和落点仍然不断变化。

(2) 扇形浇包 浇包呈 45° 扇形 ($\frac{1}{8}$ 圆)。原理见图 3-53。图 a,电机快速正转,浇包倾斜约 5° ,液面高于出铁口,浇注;电机慢转,保持流量。图 b,电机快速逆转,浇包反向转回约 5° ,铁液稍低于出铁口,停浇,并待浇。双速可逆转电机由时间继电器控制。

只要控制倾转角度和角速度,就可以有效地控制浇注、停浇、定量和恒流。

(2)称(重)量法气压控制方式 炉内铁液高度与炉内铁液质(重)量成线性关系,称量传感器安装在炉体底座下,它发出炉内铁液质量(即高度)变化的信号,控制气路。用于高速造型线,浇注 200~300 型/h。

2. 无芯气压浇注炉 见图 3-55。原理和控制见有芯气压浇注炉。

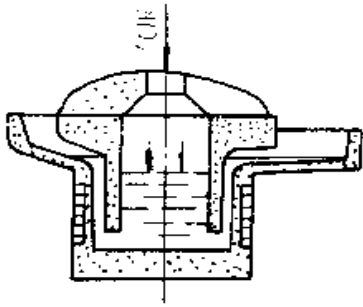


图 3-55 无芯气压浇注炉

3. 气压浇注炉的定量方式、特点

定量方式:称(重)量定量,时间定量,冒口监视定量。

特点:定量精度较高;无渣浇注;安全可靠,但设备须保持较高气密性;气压控制须精确、不波动;铁液对其操作指令的应答不敏捷,常滞后。

9.4.2.3 塞杆式浇注机 塞杆通常安装在有芯或无芯浇注炉的底部(亦可安装在出铁口),塞杆升降为液压、气压或电动。

定量方式:称(重)量定量,冒口监视定量。

特点:浇注速度快,如用于 Disa 造型线,浇注 360 型/h;无渣浇注。操作简单。但定量精度不高;铁液储存量不能太大;塞杆需采用高铝石墨材料,采取防粘措施,更换不简便。

9.4.2.4 电磁浇注机 铸铁用平面型三相交流感应电磁泵。电磁泵由铁芯、线圈、泵沟组成。平面泵的结构形式及原理见图 3-56。图 a,只有一感应器(铁芯+线圈)者称为单边平面泵;图 b,两个感应器夹着泵沟者称为双边平面泵;图 c,感应器和一铁芯夹着泵沟者称为双芯平面泵。电磁浇注机(单边平面泵)示意图见图 3-57。三相交流电通过时,感应器产生电磁力,推动泵沟中的铁液上行,从包底输送到出铁口,浇注铸型。容易控制流量、开浇、停浇、时间定量;感应器只前端断电,铁液可只退至出铁口下待浇。

定量方式:时间定量,冒口监视定量。

特点:定量精度高;铁液可敏捷地应答其操作指令,适于高速造型线;全部电信号易处理,浇注过程易自动控制;无渣浇注。但电磁泵功率大,需中频电源,控制系统较复杂;流槽厚薄有限制,耐火材料须有足够

的耐火度、强度、热稳定性和隔热保温性能。

9.4.2.5 复合控制与双级浇注机 复合控制浇注机是将两种浇注方式组合,可以更精确地控制流量,例如,气压式+塞杆式,电磁式+塞杆式(塞杆置于出铁口)等。双级浇注是将大小两种浇包组合,大包储存铁液,小包定量浇注,如保温炉+扇形包,气压浇包+扇形包等。

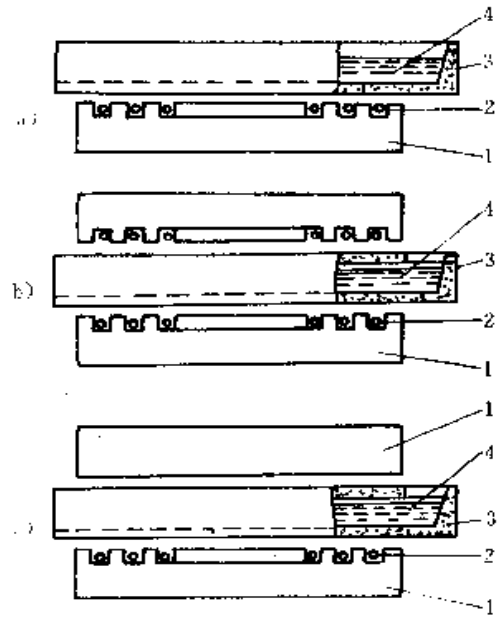


图 3-56 平面(感应电磁)泵的结构形式及原理
a)单边平面泵 b)双边平面泵 c)双芯单边平面泵
1—铁芯 2—线圈 3—泵沟 4—铁液

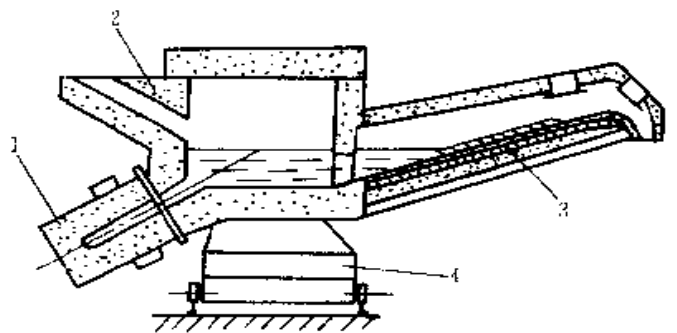


图 3-57 电磁浇注机(单边平面泵)示意图
1—加传感器 2—包体(炉体) 3—电磁泵感应器
4—行走机构

第四章 铸造有色金属和合金及其熔炼

本章涉及铸造纯铜和铜合金、铸造纯铝和铝合金、铸造镁合金、铸造锌合金、铸造纯钛和钛合金、铸造轴承合金、纯镍和镍合金，不涉及钴基合金。

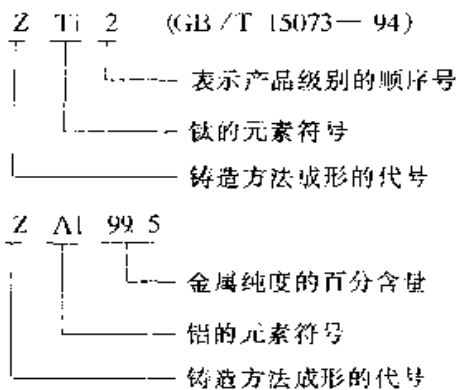
1 铸造有色金属和合金的牌号表示方法

GB/T8063—94 规定了铸造有色金属和合金的牌号表示方法，基本内容如下述。

1.1 铸造有色纯金属

铸造纯金属的牌号由大写字母“Z”开始，说明其是用铸造方法成形的，其后是纯金属的元素符号，最后加顺序号区别几种要求有所不同的铸造纯金属，也可不用顺序号而加注表明金属纯度的百分含量数字。

例如：



1.2 铸造有色合金

1) 铸造有色合金的牌号以大写字母“Z”开始，表明其是铸造合金。

2) 基体金属的元素符号排在字母“Z”之后，表明合金的类别，不标注表示其含量的数字。

3) 各主要合金化元素的符号及表示其名义百分含量的数字，原则上按名义含量递减的顺序排在基体金属元素符号之后。

两种或两种以上的合金化元素的名义含量相同时，按元素符号字母的顺序排列。

决定合金类别的元素（如锡青铜中的锡），不论其含量的多少，均将其元素符号和表示名义百分含量的数字紧置于基体金属元素符号之后，其后再排其他合金化元素。

4) 合金化元素的名义百分含量大于或等于 1 时，

表示含量的数值为平均含量经修约的整数，必要时也可用带一位小数的数字标注。

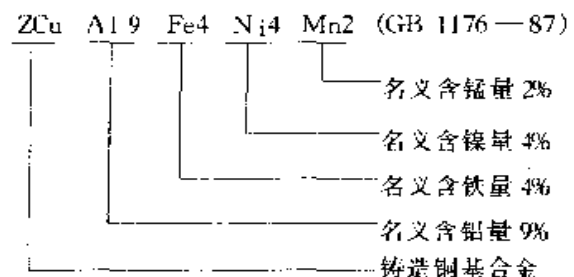
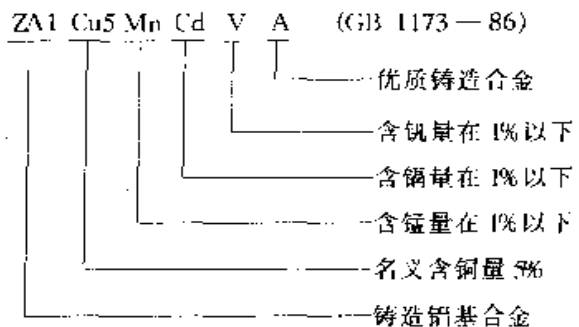
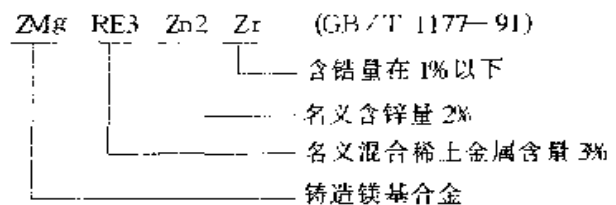
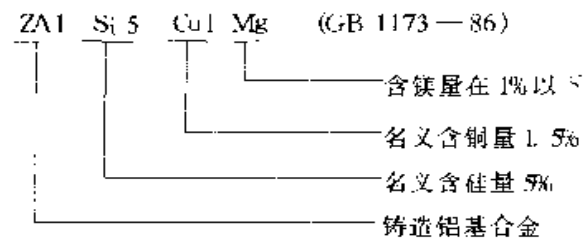
5) 合金化元素的含量小于 1% 时，一般只列元素符号，不标注数值。对合金性能有重大影响的元素，可用一位小数的数值标注其平均百分含量。

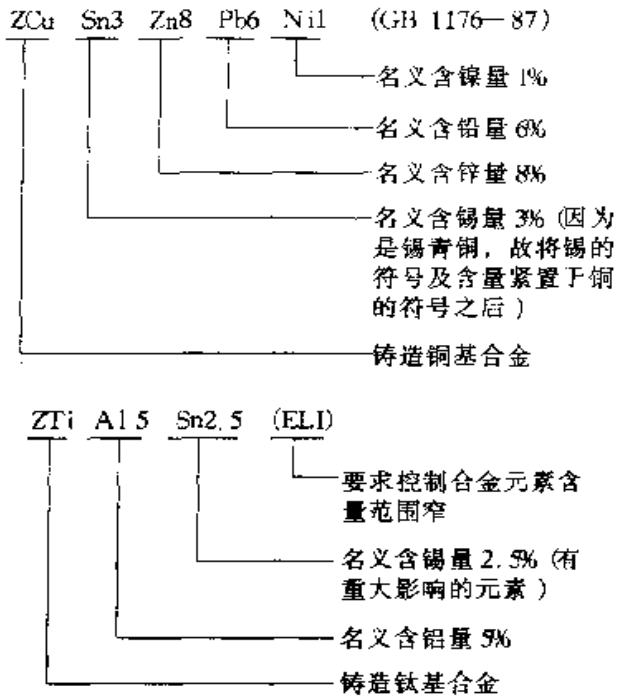
6) 混合稀土元素的符号用“RE”表示。

7) 对杂质含量限定严格、性能优良的优质合金，在牌号后面标注大写字母“A”。

8) 对于主要合金化元素及其名义含量均相同，但合金含量范围不同的合金，区别方法是：在要求控制范围窄的合金的牌号后用圆括弧标注 EL1 字样。

例如：





2 铸造纯铜和铜合金

2.1 铸造纯铜和低合金铜

铸造纯铜的导热性能和导电性能显著优于一般的铜合金, 一些对比数据见表 4-1。因此, 尽管这类合金的熔炼和铸造都比较困难, 仍常用于制造要求导电性能或导热性能很高的铸件, 如电阻焊机的电极、导电部件、高炉风口、结晶器等。

2.1.1 铸造纯铜和低合金铜的规格

到目前为止, 我国尚未制订有关的标准, 此处列出德国、日本和英国的有关标准的摘要, 供参考。

- 1) DIN17655—81 “纯铜及低合金铜铸件” 见表 4-3。
- 2) JIS H5100—90 “纯铜铸件”, 见表 4-2。

表 4-1 铸造纯铜和各种铜合金的导电性能和导热性能的比较

| 纯铜或铜合金 | 电导率 (% IACS) | | 电阻率 ($\mu\Omega \cdot m$) | | 热导率 ($W / (m \cdot K)$) | | |
|-----------------------|--------------|-------|-----------------------------|-----------|---------------------------|-------|---------|
| | 15°C | 200°C | 15°C | 200°C | 与标准纯铜热导率之比 (%) | 15°C | 200°C |
| 铸造纯铜 | 90 | 54 | 0.019 | 0.032 | 97 | 372 | 372 |
| 含 Cr0.5%~1.0% 的铸造低合金铜 | 80 | 51 | 0.022 | 0.034 | 82 | 312 | 317 |
| 铸造锡青铜 | 9~16 | 8~14 | 0.11~0.17 | 0.12~0.19 | 12 | 47~81 | 59~1100 |
| 铸造铅青铜 | 10~14 | 9~12 | 0.11~0.17 | 0.12~0.19 | 12~18 | 47~71 | 59~90 |
| 铸造铝青铜 | 3~13 | 2~11 | 0.13~0.58 | 0.16~0.65 | 4~16 | 17~61 | 21~78 |
| 铸造普通黄铜 (ZCuZn36) | 18 | 15 | 0.09 | 0.11 | 21 | 81 | 100 |
| 铸造铝黄铜 | 8~22 | 7~16 | 0.08~0.22 | 0.11~0.25 | 10~22 | 42~87 | 55~107 |
| 铸造铅黄铜 | 18~20 | 15~16 | 0.08~0.09 | 0.10~0.11 | 21~23 | 81~90 | 100~109 |

注: 电导率 (% IACS) 是材料在 20°C 下的电导率与国际退火软铜标样电导率之比。

表 4-2 日本纯铜铸件的规格 (JIS H5100—90)

| 材料牌号 | 化学成分 (%) | | | 力学性能 (最低值) | | | 电导率 (% IACS) |
|------|-----------|-----------|----------|------------|---------|---------------------|--------------|
| | Cu \geq | Sn \leq | P \leq | 抗拉强度 (MPa) | 伸长率 (%) | 布氏硬度 (HB) (10/1000) | |
| CuC1 | 99.5 | (0.4) | (0.07) | 175 | 35 | 35 | 50 |
| CuC2 | 99.7 | (0.2) | (0.07) | 155 | 35 | 33 | 60 |
| CuC3 | 99.9 | — | (0.04) | 135 | 40 | 30 | 80 |

注: 1. Sn 和 P 仅当用户有要求时进行分析, 并以圆括号内的数值为规定值。

2. 热导率可由材料的电导率推定, 标准不另规定热导率的数据。

表 4-3 德国纯铜及低合金铜铸件的规格(DIN 17655—81)

| 材 料 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | 密 度 (大约值) (kg/dm ³) | 铸 件 交 货 状 态 | 性 能 及 指 标 (最 低 值) | | | | |
|------------|---|---------------------------------------|-------------|---|----------------------|------------------|--------------|-----------------------|
| | | | | 电 导 率 [m/(Ω·mm ²)] (% IACS) | 0.2 屈 服 强 度 (MPa) | 抗 拉 强 度 (MPa) | 伸 长 率 (%) | 硬 度 (HBS)(10/1000) |
| G-CuL35 | Cu≥98 | 8.9 | 成形铸件不处理 | 35 (60) | 45 | 170 | 25 | 42 |
| GK-CuL35 | | | 金属型铸件不处理 | | | | | |
| G-CuL45 | Cu≥99.6 | 8.9 | 成形铸件不处理 | 45 (78) | 40 | 150 | 25 | 40 |
| GK-CuL45 | | | 金属型铸件不处理 | | | | | |
| G-CuL50 | Cu≥99.7 | 8.9 | 成形铸件不处理 | 50 (86) | 40 | 150 | 25 | 40 |
| GK-CuL50 | | | 金属型铸件不处理 | | | | | |
| G-CuCrF35 | Cr0.4~1.2 Cd≤0.50 Zn≤0.20 杂质总量≤0.10 其余为Cu | 8.9 | 成形铸件淬火 | 45 (78) | 250 | 350 | 10 | 110 |
| GK-CuCrF35 | | | 金属型铸件淬火 | | | | | |

3) BS 1400—85 “纯铜和含铬铜铸件”，见表 4-4。

表 4-4 英国纯铜和含铬铜铸件的规格 (BS 1400—85)

| 材 料 | | 除 Cu 外, 其他 元素的含量 | 热 处 理 | 电 阻 率 ($\mu\Omega\cdot m$) | 电 导 率 (% IACS) | 硬 度 (HBS) |
|-------|--------|---------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|--------------|
| 名 称 | 牌 号 | | | | | |
| 纯 铜 | HCCI | — | 不 处 理 | ≥ 0.019 | ≥ 90 | — |
| 含 铬 铜 | CCI-TF | Cr 0.15% ~ 1.25% | 固 溶 处 理 后 沉 淀 硬 化 | ≥ 0.022 | ≥ 80 | ≥ 100 |

2.1.2 一些元素对纯铜性能的影响

纯铜中的杂质及添加的元素, 一般都会使其电导率和热导率下降。杂质是不可避免的, 只能通过选用适当的原材料, 严格控制工艺过程, 使其含量减到最少, 特别是一些对纯铜电导率和热导率影响大的杂质。由于纯铜的强度很低, 在要求电(热)导率高、又希望有较高的强度时, 不得不添加某些合金元素。由于熔制纯铜时脱气、脱氧的需要, 有时不得不加入某些元素。下面简述一些元素对纯铜性能的影响。

(1) 铬 加入 1% 左右的铬, 能使铜的强度大幅度提高, 而且经适当的热处理后, 对铜的电(热)导率的影响不很大, 见表 4-2 和表 4-4。

含铬的低合金铜是两相组织, 基体是 α 固溶体, 第二相是不溶物(含铬的 β 相)。

含铬低合金铜铸件需经热处理。先将合金加热到能使铬溶于 α 相的高温 (982 ~ 1010 $^{\circ}\text{C}$), 淬火, 保持过饱和固溶。然后加以低温时效处理 (490 $^{\circ}\text{C}$), 使不溶相析出, 以提高强度和电(热)导率。

(2) 铍 纯铜中加入 0.25% ~ 0.50% 的铍, 对电(热)导率的影响不大, 但能提高强度。也常和铬配合加入。

铍在铜中以含铍的 γ 相存在, 加热到适当温度可溶于 α 基体中, 故也应以固溶处理和时效硬化。

(3) 镉 镉对铜的电导率的影响很小, 加入 0.9% 的镉, 电导率只下降约 10%, 而铜的强度则明显提高。

(4) 钛、磷、铁、硅和砷 这几种元素对铜的电(热)导率影响最大, 应尽量避免其混入金属。

但是, 以下两点值得提出。

1) 硅本身对铜的电导率影响很大, 但如有足够的铬与硅形成化合物, 并采用沉淀处理使化合物析出, 则其对电导率的影响大为减轻, 而铜的强度却明显提高。例如, 含硅 0.06% ~ 0.12%、铬 0.5% 以上(最好是硅的 10 倍)的铜, 抗拉强度为 360MPa, 电导率为 85%。

2) 磷和铁都是对铜的电导率影响极大的元素, 但是, 如磷和铁同时存在于铜中, 且 P:Fe = 4:1, 经

沉淀硬化处理后, 磷和铁的化合物析出, 对电导率的影响就大为减轻。

(5) 铋 铋不溶于铜, 与铜形成共晶体分布于晶界, 对铜的电导率影响不大, 但这种共晶体的熔点为 270 $^{\circ}\text{C}$, 使铜具有热脆性。故铋应限制在 0.005% 以下。

(6) 氧和硫 氧和硫几乎不溶于铜, 形成熔点高的 Cu_2O 和 Cu_2S , 对铜的电(热)导率影响不大。

(7) 镁和锂 镁和锂在铜中含量不高时, 对铜的电(热)导率影响不大, 常在熔制纯铜时用作终脱氧剂。

2.1.3 纯铜和低合金铜的熔炼要点

制造纯铜铸件, 主要的难点是易出气孔, 其次就是混入杂质, 导致导电(热)性能下降。

熔制纯铜或低合金铜, 应该用专用的坩埚, 不可使用曾熔制过其他合金的坩埚。如用感应电炉熔炼, 最好用新筑的坩埚。

炉料应清理干净。电解铜料宜预热后装炉。

熔化炉料时不加覆盖剂或熔剂。如用煤气或焦炭为燃料, 火焰应是弱氧化性的。熔化作业应尽量地快些。

炉料全部熔化, 铜液温度到 1220 $^{\circ}\text{C}$ 以上, 即可用木炭屑或碎石墨覆盖, 然后进行脱氧作业。

脱氧是熔制纯铜或低合金铜的重要环节。脱氧良好的铜液浇注的铸件不会有气孔, 金属的力学性能也好。

(1) 脱氧剂 一般铜合金都用磷铜脱氧。对于要求导电(热)性能的纯铜或低合金铜, 不能完全用磷铜脱氧, 但可用少量磷铜进行预脱氧。

锂是极强的脱氧剂, 而且脱氧后残留于铜的锂对导电(热)性能影响很小。其缺点是价格高, 而且残留锂易和大气或型砂中的水分反应而影响铸件的品质(质量)。

钙也是强脱氧剂, 残留钙对导电(热)性能影响也小, 通常以含钙 4% ~ 7% 的铜钙合金加入。其缺点是易在铸件表面形成杂质。

硼也是强脱氧元素, 常用含硼 3% 左右的铜硼合

金加入,也可以用硼化钙(CaB₆)加入。用CaB₆脱氧,铜中一般无残留钙,铸件上也不会产生夹杂。

镁是价格低廉的强脱氧剂,残留镁在0.01%以下,对铜的导电(热)性能的影响也很小。镁脱氧产生的MgO稳定,且易于清除,还兼有脱除硫和铋的

作用。

还可用覆盖剂或熔剂精炼脱氧。

各种脱氧剂的用量应根据铜中的含氧量确定,见表4-5。

表 4-5 各种脱氧剂的用量

| 脱 氧 剂 | 磷 | 含磷 15% 的磷铜 | 硼 | 含硼 2% 的铜硼合金 | 锂 | 镁 |
|---------------------------|-------------|---------------|-------------|----------------|-------|-------|
| 铜中的氧,每脱除 0.01%,需加入的脱氧剂(%) | 0.006~0.007 | 0.04~0.05 | 0.003~0.004 | 0.14~0.23 | 0.009 | 0.015 |

(2) 脱氧作业 纯铜熔炼,可采用多种脱氧方法,现简述几种,宜根据具体情况选用。

1) 钙—锂两阶段脱氧,效果好,但成本高。按加钙 0.05% 计算加入铜钙合金,出炉前再加入 0.005% 的锂。

2) 磷—锂两阶段脱氧,效果也很好。先加入含磷 15% 的磷铜预脱氧,其量为铜液的 0.08%~0.10%,最后加锂 0.005% 进行终脱氧。加磷铜脱氧前不加覆盖剂,加磷铜后充分搅拌并清除铜液表面上的渣子,再用木炭覆盖,以免加锂后回磷。

3) 镁—硼两阶段脱氧,是成本较低的作业。在有覆盖剂的情况下,先加镁 0.02%~0.03%,进行预脱氧,出炉加铜硼合金或 CaB₆ 终脱氧,按加硼 0.008% 计算。

4) 用硼脱氧。加入量按加硼 0.015%~0.020% 计算。

5) 用磷—钙两阶段脱氧。先用含磷 15% 的磷铜预脱氧,其量为铜液的 0.08%~0.10%,加磷后充分搅拌并清除含磷的渣子,再用木炭覆盖,最后用铜钙合金或 BaB₆ 进行终脱氧。

6) 用镁脱氧。加镁量 0.03%~0.05%,分两次加入。

7) 活性炭过滤。熔制好铜液后,在浇注前用活性炭过滤,经 1~2min 的过滤,可使铜液的含氧量自 2000×10^{-6} 降到 $1 \times 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-6}$ 。

8) 通过覆盖剂脱氧。石墨粉(经预热)是很有效的脱氧覆盖剂,也可用 CaF₂ 和 NaF 各 50% 的混合物或冰晶石(两种都应事先熔化后加入),有时还加入少量碳化钙。铜液面上的覆盖剂以厚 20~25mm 为合适,铜溶清后加入,并不断加以搅拌。

熔制含铬的低合金铜时,铜液熔清后加覆盖剂,石墨粉、氟盐熔剂或冰晶石均可。用含铬 5% 左右的铜铬合金加入铬,用碳棒将合金推到覆盖剂之下使其熔化。铬的烧损按 20% 计。浇注前再用硼或镁脱氧。

脱氧后,取样检查脱氧是否充分,参看本章铜合金熔炼节。

2.2 铸造铜合金

铜合金可分为青铜和黄铜两大类,青铜和黄铜中,又可再按其合金化元素的不同各区分为若干品种。

以锌为主要合金化元素的铜合金称为黄铜,所有不以锌为主要合金化元素的铜合金都称为青铜。青铜中,以锡为主要合金化元素的称锡青铜;以铝为主要合金化元素的称铝青铜;以铅为主要合金化元素的称铅青铜。黄铜中,则按除锌以外的次主要合金化元素区分。铸造铜合金的分类如下:



2.2.1 锡青铜

锡青铜是含锡 2%~20%,含锌量低于含锡量的铜合金。锡青铜的凝固温度范围很宽,具有典型的浆状凝固特性,凝固过程中产生大量枝状晶,容易造成枝晶偏析和枝晶间疏松,制造耐压铸件比较困难,特别是壁较厚而又要经机械加工的铸件。

由于枝晶的障碍,冒口的补缩作用很差,而且合金倾向于形成分散的疏松而不形成集中的缩孔。所以,锡青铜铸件不必设置大的冒口。

铸态锡青铜的组织为固溶体基体(典型的枝状晶)和 α - δ 共析体(通常为粒状,存在于 α 固溶体基体中)。在显微镜下观察,可见共析体中有发亮的或浅蓝色的硬粒。在高倍显微镜($\times 500$)下观察,可

见粒状或球状 α 粒子存在于 δ 基体中。

平衡条件下、温度到 578℃ 时，锡在铜中可固溶 16% 左右 (图 1-31)。随着温度的下降，溶解度降低，又由于凝固时产生枝晶偏析，含锡量为 7% 左右 (有时低到 5%)，就会产生 α - δ 共析体。在较软的固溶体基体上分布有硬质析出物，故适于作轴承。

在锡青铜中，铝、硅和镁都是极有害的杂质，它们的氧化物弥散分布于铜液中，降低合金的流动性，

而且在凝固后期阻塞枝晶间的通道，进一步降低铸件的致密性。因此，熔炼不同牌号铜合金的坩埚必须作标记分别存放，不可混用。

(1) 合金元素在锡青铜中的作用 锡的价格昂贵，常在锡青铜中加入锌、铅等元素以取代一部分锡。这样除降低成本外，还可改善合金的性能。一些合金元素在锡青铜中的作用见表 4-6。

表 4-6 合金元素在锡青铜中的作用

| 合金元素 | 加入量 (%) | 在锡青铜中的形态 | 对锡青铜性能的影响 |
|------|----------------------------------|-------------------------------------|---|
| P | 一般加入量 0.15 ~ 0.50, 高含量 0.5 ~ 1.0 | 在 α 固溶体中溶解度很低, 形成化合物 Cu_3P | 提高青铜的流动性 含 P 在 0.1% 以上, 青铜的抗拉强度和塑性都明显提高, 含 P 0.5% 时强度达最高值。含 P 1.0% 以上塑性很低 Cu_3P 硬而脆, 含 P 高时, 青铜的耐磨性改善 含 P 青铜易吸气, 铸件易产生气孔缺陷 |
| Zn | 5~12 | 溶于 α 固溶体 | 缩小青铜的凝固温度范围, 减少疏松 由于固溶强化作用, 改善青铜的力学性能 高锡青铜中, 加锌过多, 将导致脆化, 实际上锌主要用于低锡青铜 |
| Pb | 3~5 | 不溶于 α 固溶体, 以软质点的形态分布在组织中 | 显著改善青铜的耐磨性 熔点低, 填补枝晶的孔隙, 改善耐水压性能 改善切削加工性能 |
| Ni | 0.5~2.0 | 溶于 α 固溶体 | 细化晶粒, 改善力学性能和耐蚀性能 减轻厚截面铸件的疏松 |

(2) 锡青铜的规格 GB1176—87 “铸造铜合金技术条件” 中, 列有 5 种锡青铜, 化学成分要求见表

4-7, 杂质限量见表 4-8, 力学性能要求见表 4-9, 主要特性和应用举例见表 4-10。

表 4-7 铸造锡青铜的化学成分 (GB1176—87)

| 合金牌号 | 合金名称 | 化 学 成 分 (%) | | | | | |
|-----------------|-------------|-------------|----------|---------|---------|---------|----|
| | | 锡 | 锌 | 铅 | 磷 | 镍 | 铜 |
| ZCuSn3Zn8Pb6Ni1 | 3-8-6-1 锡青铜 | 2.0~4.0 | 6.0~9.0 | 4.0~7.0 | | 0.5~1.5 | 其余 |
| ZCuSn3Zn11Pb4 | 3-11-4 锡青铜 | 2.0~4.0 | 9.0~13.0 | 3.0~6.0 | | | 其余 |
| ZCuSn5Pb5Zn5 | 5-5-5 锡青铜 | 4.0~6.0 | 4.0~6.0 | 4.0~6.0 | | | 其余 |
| ZCuSn10P1 | 10-1 锡青铜 | 9.0~11.5 | | | 0.5~1.0 | | 其余 |
| ZCuSn10Pb5 | 10-5 锡青铜 | 9.0~11.0 | | 4.0~6.0 | | | 其余 |
| ZCuSn10Zn2 | 10-2 锡青铜 | 9.0~11.0 | 1.0~3.0 | | | | 其余 |

表 4-8 铸造锡青铜的杂质限量 (GB1176—87)

| 合金牌号 | 杂 质 限 量 不 大 于 (%) | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------------------|------|------|------|------|------|------------------|---|---|---|---|-----|
| | 铁 | 铝 | 镍 | 硅 | 磷 | 硫 | 镍 | 锡 | 锌 | 铅 | 锰 | 总和 |
| ZCuSn3Zn8Pb6Ni1 | 0.4 | 0.02 | 0.3 | 0.02 | 0.05 | | | | | | | 1.0 |
| ZCuSn3Zn11Pb4 | 0.5 | 0.02 | 0.3 | 0.02 | 0.05 | | | | | | | 1.0 |
| ZCuSn5Pb5Zn5 | 0.3 | 0.01 | 0.25 | 0.01 | 0.05 | 0.10 | 2.5 ^C | | | | | 1.0 |

(续)

| 合 金 牌 号 | 杂 质 限 量 不 大 于 (%) | | | | | | | | | | | |
|------------|-------------------|------|------|------|------|------|------------------|---|------------------|------------------|------|------|
| | 铁 | 铝 | 锡 | 硅 | 磷 | 硫 | 镍 | 锡 | 锌 | 铅 | 锰 | 总和 |
| ZCuSn10Pb1 | 0.1 | 0.01 | 0.05 | 0.02 | | 0.05 | 0.10 | | 0.05 | 0.25 | 0.05 | 0.75 |
| ZCuSn10Pb5 | 0.3 | 0.02 | 0.3 | | 0.05 | | | | 1.0 ^① | | | 1.0 |
| ZCuSn10Zn2 | 0.25 | 0.01 | 0.3 | 0.01 | 0.05 | 0.10 | 2.0 ^① | | | 1.5 ^① | 0.2 | 1.5 |

注：未列出的杂质元素的含量，计入杂质的总和。

① 杂质不计入杂质的总和。

表 4-9 铸造锡青铜的力学性能 (GB 1176—87)

| 合 金 牌 号 | 铸 造 方 法 | 力 学 性 能，不 低 于 | | | |
|-----------------|---------|--|--|-------------------|------------------|
| | | σ_b [MPa (kgf/mm ²)] | $\sigma_{0.2}$ [MPa (kgf/mm ²)] | δ_5 (%) | 硬 度 (HBW) |
| ZCuSn3Zn8Pb6Ni1 | S | 175 (17.8) | | 8 | 590 |
| | J | 215 (21.9) | | 10 | 685 |
| ZCuSn3Zn11Pb4 | S | 175 (17.8) | | 8 | 590 |
| | J | 215 (21.9) | | 10 | 590 |
| ZCuSn5Pb5Zn5 | S、J | 200 (20.4) | 90 (9.2) | 13 | 590 ^① |
| | Li、La | 250 (25.5) | 100 (10.2) ^① | 13 | 635 ^① |
| ZCuSn10Pb1 | S | 220 (22.4) | 130 (13.3) | 3 | 785 ^① |
| | J | 310 (31.6) | 170 (17.3) | 2 | 885 ^① |
| | Li | 330 (33.6) | 170 (17.3) | 4 | 885 ^① |
| | La | 360 (36.7) | 170 (17.3) | 6 | 885 ^① |
| ZCuSn10Pb5 | S | 195 (19.9) | | 10 | 685 |
| | J | 245 (25.0) | | 10 | 685 |
| ZCuSn10Zn2 | S | 240 (24.5) | 120 (12.2) | 12 | 685 ^① |
| | J | 245 (25.0) | 140 (14.3) ^① | 6 | 785 ^① |
| | Li、La | 270 (27.5) | 140 (14.3) ^① | 7 | 785 ^① |

注：铸造方法的代号：J—金属型铸造，S—砂型铸造，La—连续铸造，Li—离心铸造。

① 数值为参考值。

表 4-10 铸造锡青铜的主要特性和应用举例 (GB 1176—87)

| 合 金 牌 号 | 主 要 特 性 | 应 用 举 例 |
|-----------------|-------------------------------------|--|
| ZCuSn3Zn8Pb6Ni1 | 耐磨性较好，易加工，铸造性能好，气密性较好，耐腐蚀，可在流动海水下工作 | 在各种液体燃料以及海水、淡水和蒸汽 ($\leq 225^\circ\text{C}$) 中工作的零件，压力不大于 2.5MPa 的阀门和管配件 |
| ZCuSn3Zn11Pb4 | 铸造性能好，易加工，耐腐蚀 | 海水、淡水、蒸汽中，压力不大于 2.5MPa 的管配件 |
| ZCuSn5Pb5Zn5 | 耐磨性和耐蚀性好，易加工，铸造性能和气密性较好 | 在较高负荷，中等滑动速度下工作的耐磨耐腐蚀零件，如轴瓦、衬套、缸套、活塞离合器、泵件压盖以及蜗轮等 |

(续)

| 合金牌号 | 主要特性 | 应用举例 |
|------------|--|--|
| ZCuSn10Pb1 | 硬度高, 耐磨性极好, 不易产生咬死现象, 有较好的铸造性能和切削加工性能, 在大气和淡水中有良好的耐腐蚀性 | 可用于高负荷 (20MPa 以下) 和高滑动速度 (8m/s) 下工作的耐磨零件, 如连杆、衬套、轴瓦、齿轮、蜗轮等 |
| ZCuSn10Pb5 | 耐腐蚀, 特别对稀硫酸、盐酸和脂肪酸 | 结构材料, 耐蚀、耐酸的配件以及破碎机衬套、轴瓦 |
| ZCuSn10Zn2 | 耐蚀性、耐磨性和切削加工性能好, 铸造性能好, 铸件致密性较高, 气密性较好 | 在中等及较高负荷和小滑动速度下工作的重要管配件, 以及阀、旋塞、泵体、齿轮、叶轮和蜗轮等 |

(3) 锡青铜的物理性能和其他性能见表 4-11, 表 4-12 和表 4-13。

表 4-11 几种锡青铜的物理性能

| 合金牌号 | 密度 (g/cm ³) | 比热容 [J/(kg·K)] | 与纯铜热 导率之比 (%) | 在下列温度 下的热导率 [W/(m·K)] | | 在下列温度 下的电阻率 (μΩ·m) | | 在下列温度 下的电导率 (% IACS) | |
|-----------------|----------------------------|-------------------|---------------------|-----------------------------|------|--------------------------|------|----------------------------|------|
| | | | | 15℃ | 200℃ | 15℃ | 200℃ | 15℃ | 200℃ |
| ZCuSn3Zn8Pb6Ni1 | 8.80 | 365 | 21 | 81 | 100 | 0.11 | 0.12 | 16 | 14 |
| ZCuSn5Pb5Zn5 | 8.83 | 376 | 18 | 71 | 90 | 0.11 | 0.13 | 15 | 13 |
| ZCuSn10P1 | 8.76 | 396 | 12 | 47 | 59 | 0.17 | 0.19 | 9 | 8 |
| ZCuSn10Zn2 | 8.73 | 376 | 12 | 47 | 59 | 0.16 | 0.17 | 11 | 10 |

表 4-12 几种锡青铜对铸造工艺的适应性

| 合金牌号 | 是否适于用砂型制造耐压铸件 | | 对铸造工艺的适应性 | | | | |
|-----------------|---------------|------|-----------|-------|------|------|-------|
| | 薄壁铸件 | 厚壁铸件 | 砂型铸造 | 金属型铸造 | 连续铸造 | 离心铸造 | 激冷型铸造 |
| ZCuSn3Zn8Pb6Ni1 | 适宜 | 尚可 | 极好 | 可 | 尚好 | 尚好 | 尚好 |
| ZCuSn5Pb5Zn5 | 适宜 | 尚可 | 极好 | 可 | 极好 | 极好 | 尚好 |
| ZCuSn10P1 | 不适宜 | 不适宜 | 尚好 | 可 | 极好 | 极好 | 极好 |
| ZCuSn10Zn2 | 尚可 | 尚可 | 尚好 | 可 | 极好 | 尚好 | 可 |

表 4-13 几种锡青铜对熔焊、钎焊的适应性

| 合金牌号 | 电弧焊 | 薄壁气焊 | 氧-乙炔铜焊钎焊 | 银钎焊 | 软钎焊 |
|-----------------|---------|------|----------|-----|-----|
| ZCuSn3Zn8Pb6Ni1 | 用特殊工艺可行 | 不好 | 用特殊工艺可行 | 尚好 | 很好 |
| ZCuSn5Pb5Zn5 | 用特殊工艺可行 | 不好 | 用特殊工艺可行 | 尚好 | 很好 |
| ZCuSn10P1 | 用特殊工艺可行 | 不好 | 尚好 | 很好 | 很好 |
| ZCuSn10Zn2 | 用特殊工艺可行 | 不好 | 很好 | 很好 | 很好 |

2.2.2 铝青铜

含铝 5%~15%、含铁 10% 以下、含锰或不含锰、含硅 0.5% 以下的铜合金为铝青铜。

铝青铜是凝固温度范围很窄的合金, 具有典型的硬皮形成方式凝固的特性, 不易产生疏松而倾向于形成集中的缩孔。工艺上应在热节部位设补缩冒口。

铝青铜的力学性能优异，抗拉强度和伸长率均相当于铸钢。而且，在成分方面作不大的调整，就可显著改变其性能。

铝青铜在酸、碱介质中的耐蚀性优于锡青铜。

铝青铜铸件的致密度高，可作为在高压下工作的重要阀类。

铝青铜铸件的成本约比锡青铜低 20%~25%。

铝青铜一般可分为两类：①可以热处理的，②不经热处理。

第一类含铝量少于 9%，其组织是铝在铜中的 α 固溶体，这类合金热处理无作用，其力学性能不高，不是重要的铸造合金。加入少量的铁，或加入锰和镍，或只加入锰，或只加入镍，都可显著提高力学性能。

第二类含铝量在 9% 以上，通常还加入铁、锰或镍等元素。这类铸造合金的应用远比第一类多。

第二类铝青铜又可分为两种：

一种含铝 9%~11%，组织为 $\alpha + \beta$ ，两相所占的比决定于铝含量和冷却速率。铝含量在此范围内，抗拉强度和屈服强度均高，韧性也好。但是，在 566°C 以下缓冷，将使 β 转变为 $\alpha + \gamma_2$ 或共析组织，导致韧性下降。此外，如无足够量的 Ni，在某些腐蚀条件下易于脱铝。

第二种，含铝量大于 11%，组织中有大量的 β 或 $\beta + \gamma_2$ ，韧性较差，除某些特殊用途外，很少采用。

(1) 合金元素在铝青铜中的作用 铝青铜中常用的合金元素和它的作用见表 4-14。

表 4-14 合金元素在铝青铜中的作用

| 合金元素 | 加入量 (%) | 在铝青铜中的形态 | 对铝青铜性能的影响 |
|------|--------------------------------------|-----------------------------------|---|
| Fe | 1~4 | 形成化合物 CuFeAl | 细化晶粒，提高力学性能和耐磨性 减轻铝青铜的缓冷脆性 过量会使合金脆化，超过 5% 则耐蚀性能显著恶化 |
| Mn | 一般加入量 1.0~2.5 高含量 11.0~14.5 | 在 α 固溶体中的溶解度甚高 | 能最有效地抑制缓冷脆性 有固溶强化作用，抗拉强度随含 Mn 量的增加不断提高，同时塑性下降很少 |
| Ni | 1~6 | 能固溶于 α 相，超过固溶限后形成 Ni-Al 新相 | 抑制缓冷脆性 改善耐热性能和抗腐蚀能力 |
| Ti、B | 0.01~0.03 | | 细化晶粒，提高力学性能 |
| Pb | 0.5~2 | 不溶于 α 固溶体，以软质点的形态分布于组织中 | 改善耐磨性和切削加工性能 |

(2) 铝青铜的规格 GB 1176—87 “铸造铜合金 4-15，杂质限量见表 4-16，力学性能要求见表 4-17，技术条件”中，列有 5 种铝青铜，化学成分要求见表 4-15，主要特性和应用举例见表 4-18。

表 4-15 铸造铝青铜的化学成分 (GB1176—87)

| 合金牌号 | 合金名称 | 化学成分 (%) | | | | |
|------------------|--------------|----------|----------|---------|-----------|----|
| | | 镍 | 铝 | 铁 | 锰 | 铜 |
| ZCuAl8Mn13Fe3 | 8—13—3 铝青铜 | | 7.0~9.0 | 2.0~4.0 | 12.0~14.5 | 其余 |
| ZCuAl8Mn13Fe3Ni2 | 8—13—3—2 铝青铜 | 1.8~2.5 | 7.0~8.5 | 2.5~4.0 | 11.5~14.0 | 其余 |
| ZCuAl9Mn2 | 9—2 铝青铜 | | 8.0~10.0 | | 1.5~2.5 | 其余 |
| ZCuAl9Fe4Ni4Mn2 | 9—4—4—2 铝青铜 | 4.0~5.0 | 8.5~10.0 | 4.0~5.0 | 0.8~2.5 | 其余 |
| ZCuAl10Fe3 | 10—3 铝青铜 | | 8.5~11.0 | 2.0~4.0 | | 其余 |
| ZCuAl10Fe3Mn2 | 10—3—2 铝青铜 | | 9.0~11.0 | 2.0~4.0 | 1.0~2.0 | 其余 |

表 4-16 铸造铝青铜的杂质限量 (GB 1176—87)

| 合 金 牌 号 | 杂 质 限 量, 不 大 于 (%) | | | | | | | | | | |
|------------------|--------------------|------|------|------|------|------------------|-----|------------------|------|------------------|------|
| | 铈 | 硅 | 磷 | 砷 | 碳 | 镍 | 锡 | 锌 | 铅 | 锰 | 总和 |
| ZCuAl8Mn13Fe3 | | 0.15 | | | 0.10 | | | 0.3 ^① | 0.02 | | 1.0 |
| ZCuAl8Mn13Fe3Ni2 | | 0.15 | | | 0.10 | | | 0.3 ^① | 0.02 | | 1.0 |
| ZCuAl9Mn2 | 0.05 | 0.20 | 0.10 | 0.50 | | | 0.2 | 1.5 ^① | 0.1 | | 1.0 |
| ZCuAl9Fe4Ni4Mn2 | | 0.15 | | | 0.10 | | | | 0.20 | | 1.0 |
| ZCuAl10Fe3 | | 0.20 | | | | 3.0 ^① | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 1.0 ^① | 1.0 |
| ZCuAl10Fe3Mn2 | 0.05 | 0.10 | 0.01 | 0.01 | | | 0.1 | 0.5 ^① | 0.3 | | 0.75 |

注: 未列出的杂质元素的含量, 计入杂质总量。

① 杂质含量不计入杂质总量。

表 4-17 铸造铝青铜的力学性能 (GB 1176—87)

| 合 金 牌 号 | 铸 造 方 法 | 力 学 性 能, 不 低 于 | | | |
|------------------|---------|--|--|-------------------|-------------------|
| | | σ_b [MPa (kgf/mm ²)] | $\sigma_{0.2}$ [MPa (kgf/mm ²)] | δ_5 (%) | 硬 度 (HBS) |
| ZCuAl8Mn13Fe3 | S | 600 (61.2) | 270 (27.5) ^① | 15 | 1570 |
| | J | 650 (66.3) | 280 (28.6) ^① | 10 | 1665 |
| ZCuAl8Mn13Fe3Ni2 | S | 645 (65.8) | 280 (28.6) ^① | 20 | 1570 |
| | J | 670 (68.3) | 310 (31.6) ^① | 18 | 1665 |
| ZCuAl9Mn2 | S | 390 (39.8) | | 20 | 835 |
| | J | 440 (44.9) | | 20 | 930 |
| ZCuAl9Fe4Ni4Mn2 | S | 630 (64.3) | 250 (25.5) | 16 | 1570 |
| ZCuAl10Fe3 | S | 490 (50.0) | 180 (18.4) | 13 | 980 ^① |
| | J | 540 (55.1) | 200 (20.4) | 15 | 1080 ^① |
| | Li、La | 540 (55.1) | 200 (20.4) | 15 | 1080 ^① |
| ZCuAl10Fe3Mn2 | S | 490 (50.0) | | 15 | 1080 |
| | J | 540 (55.1) | | 20 | 1175 |

注: 铸造方法的代号: J—金属型铸造, S—砂型铸造, La—连续铸造, Li—离心铸造。

① 数值为参考值。

表 4-18 铸造铝青铜的主要特性和应用举例 (GB 1176—87)

| 合 金 牌 号 | 主 要 特 性 | 应 用 举 例 |
|---------------|--|---|
| ZCuAl8Mn13Fe3 | 具有很高的强度和硬度, 良好的耐磨性能和铸造性能, 合金致密性高, 耐蚀好, 作为耐磨件工作温度不大于 400℃, 可以焊接, 不易钎焊 | 适用于制造重型机械用轴套, 以及要求强度高、耐磨、耐压零件, 如法兰、阀体、泵体等 |

(续)

| 合金牌号 | 主要特性 | 应用举例 |
|------------------|--|--|
| ZCuAl8Mn13Fe3Ni2 | 有很高的化学性能,在大气、淡水和海水中均有良好的耐蚀性,腐蚀疲劳强度高,铸造性能好,合金组织致密,气密性好,可以焊接,不易钎焊 | 要求强度高耐腐蚀的重要铸件,如船舶螺旋桨、高压阀体、泵体,以及耐压、耐磨零件,如蜗轮、齿轮、法兰、衬套等 |
| ZCuAl9Mn2 | 有高的力学性能,在大气、淡水和海水中耐蚀性好,铸造性能好,组织致密,气密性高,耐磨性好,可以焊接,不易钎焊 | 耐蚀、耐磨零件、形状简单的大型铸件:如衬套、齿轮、蜗轮,以及在250℃以下工作的管配件和要求气密性高的铸件,如增压器内气封 |
| ZCuAl9Fe4Ni4Mn2 | 有很高的力学性能,在大气、淡水、海水中耐磨性好,铸造性能好,组织致密,气密性高,耐磨性好,不易钎焊,铸造性能尚好 | 要求强度高,耐蚀性好的重要铸件,是制造船舶螺旋桨的主要材料之一,也可用作耐磨和400℃以下工作的零件,如轴承、齿轮、蜗轮、螺帽、法兰、阀体、导向套管 |
| ZCuAl10Fe3 | 具有高的力学性能,耐磨性和耐蚀性能好,可以焊接,不易钎焊,大型铸件自700℃空冷可以防止变脆 | 要求强度高、耐磨、耐蚀的重型铸件,如轴套、螺母、蜗轮以及250℃以下工作的管配件 |
| ZCuAl10Fe3Mn2 | 具有高的力学性能和耐磨性,可热处理,高温下耐蚀性和抗氧化性能好,在大气、淡水和海水中耐蚀性好,可以焊接,不易钎焊,大型铸件自700℃空冷可以防止变脆 | 要求强度高、耐磨、耐蚀的零件,如齿轮、轴承、衬套、管嘴,以及耐热管配件等 |

(3) 铝青铜的物理性能和其他性能见表4-19~表4-21。

表4-19 两种铝青铜的物理性能

| 合金牌号 | 密度 (g/cm ³) | 比热容 [J/(kg·K)] | 与纯铜热 导率之比 (%) | 在下列温度 下的热导率 [W/(m·K)] | | 在下列温度 下的电阻率 (μΩ·m) | | 在下列温度 下的电导率 (%IACS) | |
|------------------|----------------------------|-------------------|---------------------|-----------------------------|------|--------------------------|------|---------------------------|------|
| | | | | 15℃ | 200℃ | 15℃ | 200℃ | 15℃ | 200℃ |
| ZCuAl8Mn13Fe3Ni2 | 7.50 | 439 | 4 | 17 | 21 | 0.58 | 0.65 | 3 | 2 |
| ZCuAl10Fe3 | 7.45 | 377 | 16 | 61 | 78 | 0.13 | 0.16 | 13 | 11 |

表4-20 两种铝青铜对铸造工艺的适应性

| 合金牌号 | 是否适用于砂型制造耐压铸件 | | 对铸造工艺的适应性 | | | | |
|------------------|---------------|------|-----------|-------|------|------|-------|
| | 薄壁铸件 | 厚壁铸件 | 砂型铸造 | 金属型铸造 | 连续铸造 | 离心铸造 | 激冷型铸造 |
| ZCuAl8Mn13Fe3Ni2 | 适宜 | 适宜 | 尚好 | 尚好 | 可 | 尚好 | 尚好 |
| ZCuAl10Fe3 | 适宜 | 适宜 | 尚好 | 极好 | 可 | 尚好 | — |

表4-21 两种铝青铜对熔焊、钎焊的适应性

| 合金牌号 | 电弧焊 | 薄壁气焊 | 铜焊 | | 银钎焊 | 软钎焊 |
|------------------|-----|------|---------|---------|---------|---------|
| | | | 氧-乙炔 | 钎焊 | | |
| ZCuAl8Mn13Fe3Ni2 | 很好 | 不好 | 用特殊工艺可行 | 用特殊工艺可行 | 用特殊工艺可行 | 用特殊工艺可行 |
| ZCuAl10Fe3 | 很好 | 不好 | 用特殊工艺可行 | 用特殊工艺可行 | 用特殊工艺可行 | 用特殊工艺可行 |

表 4-22 铅青铜的化学成分(GB 1176—87)

| 合金牌号 | 合金名称 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------------|---------------|---------|-----------|----|-----------|------|------|------|------|------|------|-------|------------------|------------------|---|---|-----|------|
| | | 基本元素 | | | | 杂质含量, 不大于 | | | | | | | | | | | | | |
| | | 锡 | 锌 | 铅 | 铜 | 铁 | 铝 | 铋 | 硅 | 磷 | 硫 | 砷 | 铋 | 镍 | 锡 | 锑 | 铜 | 总和 | |
| ZCuPb10Sn10 | 10-10 铅青铜 | 9.0~11.0 | — | 8.0~11.0 | — | 0.25 | 0.01 | 0.5 | 0.01 | 0.05 | 0.10 | — | — | 2.0 ^① | — | — | — | 0.2 | 1.0 |
| ZCuPb15Sn8 | 15-8 铅青铜 | 7.0~9.0 | — | 13.0~17.0 | — | 0.25 | 0.01 | 0.5 | 0.01 | 0.10 | 0.10 | — | — | 2.0 ^① | — | — | — | 0.2 | 1.0 |
| ZCuPb17Sn4Zn4 | 17-4-4 铅青铜 | 3.5~5.0 | 2.0~6.0 | 14.0~20.0 | 其余 | 0.40 | 0.05 | 0.3 | 0.02 | 0.05 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.75 |
| ZCuPb20Sn5 | 20-5 铅青铜 | 4.0~6.0 | — | 18.0~23.0 | — | 0.25 | 0.01 | 0.75 | 0.01 | 0.10 | 0.10 | — | — | 2.5 ^① | — | — | — | 0.2 | 1.0 |
| ZCuPb30 | 30 铅青铜 | — | — | 27.0~33.0 | — | 0.50 | 0.01 | 0.2 | 0.02 | 0.08 | — | 0.10 | 0.005 | — | 1.0 ^① | — | — | 0.3 | 1.0 |

注:表中未列的杂质的含量计入杂质总量。
 ① 杂质含量不计入杂质总量。

2.2.3 铅青铜

铅青铜，也称高铅锡青铜，含锡量在 15% 以下，含铅 6% 以上。

铅青铜广泛用于轴承和轴套，很少用于制造结构件，此处所列 GB1176—87 中有关铅青铜的几个牌号，除 ZCuPb17Sn4Zn4 外，均列在 GB/T1174—92 “铸造轴承合金” 中。

铅不能固溶于铜，而以夹杂物的形态分布于合金中，故能改善润滑性能。铅最好能细小而分散，均匀地分布于基体中。为获得理想的组织，浇注后铸件的冷却速率至关重要。冷却愈快，则铅粒愈细，分布也更均匀。浇注铅青铜双金属轴瓦时，无论是静型浇注或离心铸造，喷水激冷都是不可少的工序。

易产生密度（比重）偏析也是制造铅青铜铸件应该注意的问题，提高冷却速率也是减少偏析的重要措施。

(1) 合金元素在铅青铜中的作用 铅青铜中常用的合金元素和它们的作用见表 4-23。

表 4-23 合金元素在铅青铜中的作用

| 合金元素 | 加入量 (%) | 在铅青铜中的作用 |
|------|---------|-------------------|
| Sn | 4~6 | 减轻铅的偏析，明显提高力学性能 |
| | 7~11 | 力学性能进一步提高，可制铸造的轴承 |
| Mn | 1~7 | 减轻铅的偏析，提高力学性能 |
| Zn | 2~6 | 提高力学性能，减少气孔倾向 |
| Ag | 3~5 | 减轻偏析，用于重要的轴承 |

(2) 铅青铜的规格 GB1176—87 “铸造铜合金技术条件” 中列有 5 种铅青铜，化学成分要求见表 4-22，力学性能见表 4-24，主要特性和应用举例见表 4-25。

表 4-24 铸造铅青铜的力学性能 (GB 1176—87)

| 合 金 牌 号 | 铸造方法 | 力学性能，不低于 | | | |
|---------------|-------|--|--|-------------------|------------------|
| | | σ_b [MPa (kgf/mm ²)] | $\sigma_{0.2}$ [MPa (kgf/mm ²)] | δ_5 (%) | 硬 度 (HB) |
| ZCuPb10Sn10 | S | 180 (18.4) | 80 (8.2) | 7 | 635 ^① |
| | J | 220 (22.4) | 140 (14.3) | 5 | 685 ^① |
| | Li、La | 220 (22.4) | 110 (11.2) ^① | 6 | 685 ^① |
| ZCuPb15Sn8 | S | 170 (17.3) | 80 (8.2) | 5 | 590 ^① |
| | J | 220 (20.4) | 100 (10.2) | 6 | 635 ^① |
| | Li、La | 220 (22.4) | 100 (10.2) ^① | 8 | 635 ^① |
| ZCuPb17Sn4Zn4 | S | 150 (15.3) | | 5 | 540 |
| | J | 175 (17.8) | | 7 | 590 |
| ZCuPb20Sn5 | S | 150 (15.3) | 60 (6.1) | 5 | 440 ^① |
| | J | 150 (15.3) | 70 (7.1) ^① | 6 | 540 ^① |
| | La | 180 (18.4) | 80 (8.1) ^① | 7 | 540 ^① |
| ZCuPb30 | J | — | — | — | 245 |

注：铸造方法的代号：J—金属型铸造，S—砂型铸造，La—连续铸造，L—离心铸造。

① 数值为参考值。

表 4-25 铸造铅青铜的主要特性和应用举例 (GB 1176—87)

| 合 金 牌 号 | 主 要 特 性 | 应 用 举 例 |
|-------------|---------------------------------|---|
| ZCuPb10Sn10 | 润滑性能、耐磨性能和耐蚀性能好， 适合用作双金属铸造材料 | 表面压力高，又存在侧压力的滑动轴承，如轧辊、车辆用轴承、负荷峰值 60MPa 的受冲击的零件，以及最高峰值达 100MPa 的内燃机双金属轴瓦，以及活塞销套、摩擦片等 |

(续)

| 合金牌号 | 主要特性 | 应用举例 |
|---------------|---|--|
| ZCuPb15Sn8 | 在缺乏润滑剂和用水质润滑剂条件下, 滑动性和自润滑性能好, 易切削, 铸造性能差, 对稀硫酸耐蚀性能好 | 表面压力高, 又有侧压力的轴承, 可用来制造冷轧机的铜冷却管, 耐冲击负荷达 50MPa 的零件, 内燃机的双金属轴瓦, 主要用于最大负荷达 70MPa 的活塞销套, 耐酸配件 |
| ZCuPb17Sn4Zn4 | 耐磨性和自润滑性能好, 易切削, 铸造性能差 | 一般耐磨件, 高滑动速度的轴承等 |
| ZCuPb20Sn5 | 在较高的滑动性能, 在缺乏润滑介质和以水为介质时有特别好的自润滑性能, 适用于双金属铸造材料, 耐硫酸腐蚀, 易切削, 铸造性能差 | 高滑动速度的轴承, 及破碎机、水泵、冷轧机轴承, 负荷达 40MPa 的零件、抗腐蚀零件, 双金属轴承, 负荷达 70MPa 的活塞销套 |
| ZCuPb30 | 有良好的自润滑性, 易切削, 铸造性能差, 易产生比重偏析 | 要求高滑动速度的双金属轴瓦、减磨零件等 |

(3) 铅青铜的物理性能和其他性能见表 4-26 ~ 表 4-28。

表 4-26 3 种铅青铜的物理性能

| 合金牌号 | 密度 (g/cm ³) | 比热容 [J/(kg·K)] | 与纯铜热导率之比 (%) | 在下列温度下的热导率 [W/(m·K)] | | 在下列温度下的电阻率 (μΩ·m) | | 在下列温度下的电导率 (% IACS) | |
|-------------|-------------------------|----------------|--------------|----------------------|------|-------------------|------|---------------------|------|
| | | | | 15℃ | 200℃ | 15℃ | 200℃ | 15℃ | 200℃ |
| ZCuPb10Sn10 | 8.9 | | 12 | 47 | 59 | 0.17 | 0.19 | 10 | 9 |
| ZCuPb15Sn8 | 9.1 | | 12 | 47 | 59 | 0.16 | 0.17 | 11 | 10 |
| ZCuPb20Sn5 | 9.2 | | 18 | 71 | 90 | 0.11 | 0.12 | 14 | 12 |

表 4-27 3 种铅青铜对铸造工艺的适应性

| 合金牌号 | 是否适于用砂制造耐压铸件 | | 对铸造工艺的适应性 | | | | |
|-------------|--------------|------|-----------|-------|------|------|-------|
| | 薄壁铸件 | 厚壁铸件 | 砂型铸造 | 金属型铸造 | 连续铸造 | 离心铸造 | 激冷型铸造 |
| ZCuPb10Sn10 | 尚可 | 尚可 | 尚好 | 不适宜 | 极好 | 尚好 | 极好 |
| ZCuPb15Sn8 | 尚可 | 不适宜 | 可 | 不适宜 | 极好 | 尚好 | 尚好 |
| ZCuPb20Sn5 | 尚可 | 不适宜 | 可 | 不适宜 | 可 | 可 | 尚好 |

表 4-28 3 种铅青铜对熔焊、钎焊的适应性

| 合金牌号 | 电弧焊 | 薄壁气焊 | 氧-乙炔 铜焊 钎焊 | 银钎焊 | 软钎焊 |
|-------------|---------|------|------------------|---------|-----|
| ZCuPb10Sn10 | 不好 | 不好 | 不好 | 用特殊工艺可行 | 很好 |
| ZCuPb15Sn8 | 用特殊工艺可行 | 不好 | 尚好 | 很好 | 很好 |
| ZCuPb20Sn5 | 不好 | 不好 | 不好 | 用特殊工艺可行 | 尚好 |

2.2.4 铍青铜

铍青铜也称铜铍合金, 是低合金铜的一种, 但其

导电(热)性能比纯铜和含铬低合金铜差, 所以未列入 2.1 节。

表 4-29 砂型铸造铍青铜的化学成分(ASTM B770-93)

| 合金牌号 (UNS 编号) | 主要元素含量(其余为铜)(%) | | | | | | | 杂质限量,不大于(%) | | | | | | |
|------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|--|------|------|-------------|------|------|------|------|--|--|
| | 铍 | 钴 | 镍 | 硅 | 其他 | 铁 | 硅 | 锌 | 镉 | 铅 | 铝 | 锡 | | |
| C81400 | 0.02~0.10 | — | — | — | C:0.60~1.00 | — | — | — | — | — | — | — | | |
| C82000 | 0.45~0.80 | 2.40~2.70 | ≤0.20 | — | — | 0.10 | 0.15 | 0.10 | 0.10 | 0.02 | 0.10 | 0.10 | | |
| C82200 | 0.35~0.80 | ≤0.30 | 1.0~2.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | | |
| C82400 | 1.60~1.85 | 0.20~0.65 | ≤0.20 | — | — | 0.20 | — | 0.10 | 0.10 | 0.02 | 0.15 | 0.10 | | |
| C82500 | 1.90~2.25 | 0.35~0.70 | ≤0.20 | 0.20~0.35 | — | 0.25 | — | 0.10 | 0.10 | 0.02 | 0.15 | 0.10 | | |
| C82510 | 1.90~2.25 | 1.0~1.2 | ≤0.20 | 0.20~0.35 | — | 0.25 | — | 0.10 | 0.10 | 0.02 | 0.15 | 0.10 | | |
| C82600 | 2.25~2.55 | 0.35~0.65 | ≤0.20 | 0.20~0.35 | — | 0.25 | — | 0.10 | 0.10 | 0.02 | 0.15 | 0.10 | | |
| C82800 | 2.50~2.85 | 0.35~0.70 | ≤0.20 | 0.20~0.35 | — | 0.25 | — | 0.10 | 0.10 | 0.02 | 0.15 | 0.10 | | |
| C96700 | 1.10~1.40 | — | 29.0~33.0 | ≤0.15 | Fe0.40~1.0 Zr, Ti 各 0.15~0.35 Mn0.40~1.0 | — | — | — | — | 0.01 | — | — | | |

铍可以少量溶于铜，在 864℃ 可溶 2.7%，室温下只能溶 0.2%。所以，铍青铜为两相组织，第一相是固溶体 α 相，第二相是含铍的 γ 相。

铍青铜的热处理是固溶处理加沉淀硬化。先将合金加热到铍可溶于 α 相的高温，淬火，保持铍在铜中过饱和固溶，然后在低温下沉淀硬化，使不溶相析出，以提高其力学性能。

铍青铜的强度高、弹性好，有优良的耐蚀性，高温抗氧化性优于纯铜和一些青铜。铍青铜的流动性好，适于砂型铸造、金属型铸造、压铸和离心铸造。铍青铜撞击时不产生火花，故也用以制造防爆、防燃烧条件下使用的工具。

铸造铍青铜不能广泛采用的原因有二：一是成本昂贵；二是铍的化合物对人有危害，生产中要注意防护。

(1) 合金元素在铍青铜中的作用 铸造铍青铜可分为两种：低铍青铜中含铍量在 0.8% 以下；高铍青铜中含铍 1.6%~2.9%。

低铍青铜中加入钴和镍，可以与铍形成化合物而使合金强化。加入少量的铬，可以形成含铬的 β 相而提高合金的强度。

高铍青铜中加入钴和镍，可增强合金的热处理效果，显著提高强度。

含钴铍青铜中加入少量的硅，可与钴形成化合物，稍稍提高合金的强度。

(2) 铍青铜的规格 目前我国还未制订铍青铜的标准，现列出美国 ASTM B770—93 中铍青铜的化学成分要求（表 4-29）和力学性能要求（表 4-30），供参考。

表 4-30 砂型铸造铍青铜的力学性能（最低值）

| 合金牌号 (UNS 编号) | 抗拉强度 (MPa) | | 0.2 屈服强度 (MPa) | | 伸长率 (%) | |
|------------------|----------------|-----|----------------|-----|----------------|-----|
| | 经固溶处理 和沉淀硬化 | 铸 态 | 经固溶处理 和沉淀硬化 | 铸 态 | 经固溶处理 和沉淀硬化 | 铸 态 |
| C81400 | 366 | 311 | 248 | 104 | 11 | 15 |
| C82000 | 621 | 311 | 483 | 104 | 3 | 15 |
| C82200 | 621 | 380 | 483 | 173 | 5 | 15 |
| C82400 | 1001 | 483 | 932 | 242 | 1 | 15 |
| C82500 | 1035 | 518 | 828 | 274 | 1 | 15 |
| C82510 | 1104 | 552 | 1035 | 311 | 1 | 10 |
| C82600 | 1139 | 552 | 1070 | 311 | 1 | 10 |
| C82800 | 1139 | — | 1070 | — | 0.5 | — |
| C96700 | 863 | — | 552 | — | 10 | — |

(3) 热处理 铍青铜铸件的热处理，见表 4-31。

表 4-31 铍青铜铸件的热处理

| 合金牌号 (UNS 编号) | 固 溶 处 理 | | 沉 淀 硬 化 处 理 | |
|--|----------|----------------------------|-------------|--------|
| | 温度 (℃) | 时间及冷却 | 温度 (℃) | 时间 (h) |
| C81400, C96700 | 982~1010 | 按截面厚度每 25mm 保温 1h, 然后水冷 | 482~510 | 2 |
| C82000, C82200 | 913~927 | | 454~482 | 3 |
| C82400, C82500, C82510, C82600, C82800 | 802~816 | | 330~343 | 3 |

2.2.5 硅青铜

铸造铜硅合金最早出现于第一次世界大战期间，但当时未被重视。

铜硅合金的价格低廉，力学性能优于锡青铜，在某些条件下可作为锡青铜的代用材料。

含硅 0.5% 以上、含锌 7% 以上的铜硅合金称为硅黄铜，含硅 0.5% 以上、含锌 7% 以下的合金称为硅青铜。

含硅 4% 以下的硅青铜，组织基本上是 α 固溶体，所以塑性很好，伸长率比锡青铜高很多。

硅青铜中配入较大的铝,可改善合金的流动性,使凝固温度范围窄一些、减少缩松,并提高力学性能。这种合金也称为铝硅青铜。

目前我国尚未制订硅青铜的标准,现将英国标准中铝硅青铜的规格、ASTM标准中硅青铜的规格列于表4-32和表4-33,供参考。

表 4-32 铸造硅青铜的化学成分

| 序号 | 主要元素含量 (%) | | | | | | 杂质限量,不大于 (%) | | | | | | | 来源 |
|----|------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------|------|------|------|------|------|------|------------------|
| | 铜 | 硅 | 锌 | 铝 | 铁 | 锰 | 铁 | 锡 | 镍 | 锰 | 锌 | 铅 | 镁 | |
| 1 | 其余 | 2.0~2.4 | — | 6.0~6.4 | 0.5~0.7 | — | — | 0.10 | 0.10 | 0.50 | 0.40 | 0.03 | 0.05 | 英, BS 1400—85 |
| 2 | ≥94.0 | 3.6~5.0 | — | — | — | 0.5~1.8 | 0.2 | 0.2 | — | — | — | — | — | 美, ASTM B584—93a |
| 3 | ≥88.0 | 3.5~5.5 | 4.0~7.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.50 | — | |
| 4 | ≥90.0 | 3.0~5.0 | 3.0~5.0 | — | — | — | 0.20 | — | — | 0.25 | — | 0.20 | — | |

表 4-33 砂型铸造硅青铜的力学性能 (最低值)

| 合金 (表 4-32 中的序号) | 抗拉强度 (MPa) | 0.5 屈服强度 (MPa) | 伸长率 (%) |
|---------------------|---------------|-------------------|------------|
| 1 | 460 | 180 ^① | 20 |
| 2 | 310 | 124 | 20 |
| 3 | 414 | 207 | 16 |
| 4 | 310 | 124 | 20 |

① 此处 180 为 0.2% 永久变形的屈服强度。

2.2.6 黄铜

黄铜是以锌为主要合金元素的铜基合金。锌在铜中的溶解度很高,在常温下,在平衡条件下 α 固溶体中可溶锌 37%,在铸件冷却的条件下也可溶 30% 左右。 α 固溶体的塑性很好,其强度则随含锌量增加而不断提高。含锌量超过 α 固溶体的溶解度后,黄铜的

组织中就会出现 β 相。含锌 37%~47% 的黄铜,组织为 $\alpha+\beta$ 。 β 相硬而脆,随着 β 相的增多,黄铜的强度提高,塑性下降。含锌量在 47%~57% 之间,黄铜的组织为单一的 β 相,强度达最高值,但塑性极低,实际上已不能作为结构铸件的材料。工业中采用的黄铜,含锌量一般都不超过 45%。

含锌量最高的黄铜,组织中还可能出出现比 β 相还脆的 γ 相,极为有害,应尽量避免这种情况。

黄铜是凝固温度范围很窄的合金,倾向于产生集中的缩孔,铸件冒口的设置应类同于铝青铜。

(1) 合金元素在黄铜中的作用 简单的铜锌二元合金也称普通黄铜,由于其力学性能不高,实际上采用不多。为改善黄铜的性能,通常都加合金元素,如铝、锰、铁、硅、锡、镍和铅等。这些元素在黄铜中的作用见表 4-34。

表 4-34 合金元素在黄铜中的作用

| 合金元素 | 加入量 (%) | 在黄铜中的形态 | 对黄铜性能的影响 |
|------|------------------------------|------------------------------------|--|
| Fe | 普通黄铜中 0.3~0.5 加有合金元素时 1~3 | 固溶度 0.1%~0.2% 超过此量后形成高熔点的富铁相化合物 | 细化晶粒,提高强度和硬度 含量过多时,晶界上出现脆性化合物太多,导致强度、塑性及耐蚀性能降低 |
| Mn | 2~4 | 能溶于 α 黄铜中,常温下可析出富 Mn 的脆性相 | 少量的 Mn 有固溶强化作用,提高合金的强度而塑性不明显下降 黄铜中 Zn 含量超过 35% 后,如 Mn 超过 4%,则出现脆性相,损害塑性和韧性 |
| Al | 2~7 | 稳定 β 相,防止出现脆性的 γ 相 | 少量的 Al 就可使 α 黄铜中出现 β 相, ($\alpha+\beta$) 黄铜中 β 相增多,是高强度黄铜中的重要合金元素 含量高时,合金的塑性、韧性下降,含 Zn 量高时,引起铸件的“冷脆” |
| Si | 2~4.5 | 形成脆性相 Cu_2Si | 少量的 Si 就能使合金的强度和硬度显著提高,塑性下降 缩小合金的凝固温度范围,改善铸造性能 |

(续)

| 合金元素 | 加入量 (%) | 在黄铜中的形态 | 对黄铜性能的影响 |
|------|---------|---------|---|
| Pb | 1~3 | 细小游离颗粒 | 改善切削加工性能, 提高耐磨性。超过3%后, 显著降低强度和塑性 |
| Sn | <1 | 溶于α固溶体 | 在铸件表面形成 SnO ₂ 保护膜, 显著提高黄铜的耐海水腐蚀性能。故加 Sn 的黄铜适用于造船业, 有“海员黄铜”之称 |
| Ni | 1左右 | 扩大α相区 | 提高强度的作用不显著 细化组织, 提高抗腐蚀性能 |

铝、锰、铁、锡、镍等5种合金元素含量的总和超过2%的黄铜, 通常称为高强度黄铜。

为了能利用 Cu-Zn 二元相图判断合金黄铜的组织, 用实验方法测定了黄铜中各种合金元素的锌当量系数, 见表4-35。由黄铜中合金元素的实际含量和其锌当量系数, 可按下列式算出黄铜的锌当量 x 。

$$x = \frac{A + \sum C \cdot \eta}{A + B + \sum C \cdot \eta} \times 100\%$$

- 式中 A——黄铜中的含锌量 (%);
 B——黄铜中的含铜量 (%);
 C——黄铜中各合金元素的含量 (%);
 η ——各元素的锌当量系数;

$\sum C \cdot \eta$ ——黄铜中各合金元素的含量与其锌当量系数的乘积的总和。

表 4-35 几种合金元素的锌当量系数

| 合金元素 | Si | Al | Sn | Pb | Fe | Mn | Ni |
|--------------|-----|----|----|----|------|------|------|
| 锌当量系数 η | +10 | +6 | +2 | +1 | +0.9 | +0.5 | -1.3 |

由计算所求得的锌当量, 参看 Cu-Zn 二元相图 (图 1-32), 可近似地估计黄铜的组织。

(2) 黄铜的规格 GB1176—87 “铸造铜合金技术条件”中, 列有 11 种黄铜, 化学成分要求见表 4-36, 杂质限量见表 4-37, 力学性能见表 4-38, 主要特性和应用举例见表 4-39。

表 4-36 铸造黄铜的化学成分 (GB1176—87)

| 合金牌号 | 合金名称 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | |
|------------------|--------------|-------------|----|-------------|---|---|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| | | 锡 | 锌 | 铅 | 磷 | 镍 | 铝 | 铁 | 锰 | 硅 | 铜 |
| ZCuZn38 | 38 黄铜 | | 其余 | | | | | | | | 60.0~ 63.0 |
| ZCuZn25Al6Fe3Mn3 | 25-6-3-3 铝黄铜 | | 其余 | | | | 4.5~ 7.0 | 2.0~ 4.0 | 1.5~ 4.0 | | 60.0~ 66.0 |
| ZCuZn26Al4Fe3Mn3 | 26-4-3-3 铝黄铜 | | 其余 | | | | 2.5~ 5.0 | 1.5~ 4.0 | 1.5~ 4.0 | | 60.0~ 66.0 |
| ZCuZn31Al2 | 31-2 铝黄铜 | | 其余 | | | | 2.0~ 3.0 | | | | 66.0~ 68.0 |
| ZCuZn35Al2Mn2Fe1 | 35-2-2-1 铝黄铜 | | 其余 | | | | 0.5~ 2.5 | 0.5~ 2.0 | 0.1~ 3.0 | | 57.0~ 65.0 |
| ZCuZn38Mn2Pb2 | 38-2-2 锰黄铜 | | 其余 | 1.5~ 2.5 | | | | | 1.5~ 2.5 | | 57.0~ 60.0 |
| ZCuZn40Mn2 | 40-2 锰黄铜 | | 其余 | | | | | | 1.0~ 2.0 | | 57.0~ 60.0 |
| ZCuZn40Mn3Fe1 | 40-3-1 锰黄铜 | | 其余 | | | | | 0.5~ 1.5 | 3.0~ 4.0 | | 53.0~ 58.0 |
| ZCuZn33Pb2 | 33-2 铅黄铜 | | 其余 | 1.0~ 3.0 | | | | | | | 63.0~ 67.0 |
| ZCuZn40Pb2 | 40-2 铅黄铜 | | 其余 | 0.5~ 2.5 | | | 0.2~ 0.8 | | | | 58.0~ 63.0 |
| ZCuZn16Si4 | 16-9 硅黄铜 | | 其余 | | | | | | | 2.5~ 4.5 | 79.0~ 81.0 |

表 4-37 铸造黄铜的杂质限量(GB1176—87)

| 合金牌号 | 杂质限量不大于 (%) | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-------------|------------------|-----|------|------|---|---|---|-------|------------------|------------------|---|------------------|-----|-----|
| | 铁 | 铝 | 铋 | 硅 | 磷 | 硫 | 砷 | 碳 | 铌 | 镍 | 锡 | 锌 | 铅 | 锰 | 总和 |
| ZCuZn38 | 0.8 | 0.5 | 0.1 | | 0.01 | | | | 0.002 | | 1.0 ^① | | | | 1.5 |
| ZCuZn25Al6Fe3Mn3 | | | | 0.10 | | | | | | 3.0 ^② | 0.2 | | 0.2 | | 2.0 |
| ZCuZn26Al4Fe3Mn3 | | | | 0.10 | | | | | | 3.0 ^② | 0.2 | | 0.2 | | 2.0 |
| ZCuZn31Al2 | 0.8 | | | | | | | | | | 1.0 ^① | | 1.0 ^① | 0.5 | 1.5 |
| ZCuZn35Al2Mn2Fe1 | | | | 0.10 | | | | | | 3.0 ^② | 1.0 ^① | | 0.5 | | 2.0 |
| ZCuZn38Mn2Pb2 | 0.8 | 1.0 ^② | 0.1 | | | | | | | | 2.0 ^① | | | | 2.0 |
| ZCuZn40Mn2 | 0.8 | 1.0 ^② | 0.1 | | | | | | | | 1.0 | | | | 2.0 |
| ZCuZn40Mn3Fe1 | | 1.0 ^② | 0.1 | | | | | | | | 0.5 | | 0.5 | | 1.5 |
| ZCuZn33Pb2 | 0.8 | 0.1 | | 0.05 | 0.05 | | | | | 1.0 ^③ | 1.5 ^① | | | 0.2 | 1.5 |
| ZCuZn40Pb2 | 0.8 | | | 0.05 | | | | | | 1.0 ^① | 1.0 ^① | | | 0.5 | 1.5 |
| ZCuZn16Al4 | 0.6 | 0.1 | 0.1 | | | | | | | | 0.3 | | 0.5 | 0.5 | 2.0 |

注:1. 未列出的杂质元素的含量,计入杂质总和。

2. ZCuZn35Al2Mn2Fe1 合金中 Sb+P+As 的总量应 ≤ 0.04

① 杂质含量不计入杂质的总和。

表 4-38 铸造黄铜的力学性能(GB 1176—87)

| 合金牌号 | 铸造方法 | 力学性能,不低于 | | | |
|------------------|--------|---|---|-------------------|-------------------|
| | | σ_b MPa(kgf/mm ²) | $\sigma_{0.2}$ MPa(kgf/mm ²) | δ_5 (%) | 硬度 (HB) |
| ZCuZn38 | S | 295(30.0) | | 30 | 590 |
| | J | 295(30.0) | | 30 | 685 |
| ZCuZn25Al6Fe3Mn3 | S | 725(73.9) | 380(38.7) | 10 | 1570 ^① |
| | J | 740(75.5) | 400(40.8) | 7 | 1665 ^① |
| | Li, La | 740(75.5) | 400(40.8) | 7 | 1665 ^① |
| ZCuZn26Al4Fe3Mn3 | S | 600(61.2) | 300(30.6) | 18 | 1175 ^② |
| | J | 600(61.2) | 300(30.6) | 18 | 1275 ^② |
| | Li, La | 600(61.2) | 300(30.6) | 18 | 1275 ^② |
| ZCuZn31Al2 | S | 295(30.0) | | 12 | 785 |
| | J | 390(39.8) | | 15 | 885 |
| ZCuZn35Al2Mn2Fe2 | S | 450(45.9) | 170(17.3) | 20 | 980 ^① |
| | J | 475(48.4) | 200(20.4) | 18 | 1080 ^① |
| | Li, La | 475(48.4) | 200(20.4) | 18 | 1080 ^① |
| ZCuZn38Mn2Pb2 | S | 245(25.0) | | 10 | 685 |
| | J | 345(35.2) | | 18 | 785 |
| ZCuZn40Mn2 | S | 345(35.2) | | 20 | 785 |
| | J | 390(39.8) | | 25 | 885 |
| ZCuZn40Mn3Fe1 | S | 440(44.9) | | 18 | 980 |
| | J | 490(50.0) | | 15 | 1080 |
| ZCuZn33Pb2 | S | 180(18.4) | 70(7.1) ^③ | 12 | 490 ^① |
| ZCuZn40Pb2 | S | 220(22.4) | | 15 | 785 ^② |
| | J | 280(28.6) | 120(12.2) | 20 | 885 ^② |
| ZCuZn16Si4 | S | 345(35.2) | | 15 | 885 |
| | J | 390(39.8) | | 20 | 980 |

注:铸造方法的代号:J—金属型铸造,S—砂型铸造,L₂—连续铸造,L₁—离心铸造。

① 数值为参考值。

表 4-39 铸造黄铜的主要特性和应用举例(GB1176—87)

| 合金牌号 | 主要特性 | 应用举例 |
|------------------|---|---|
| ZCuZn38 | 具有优良的铸造性能和较高的力学性能,切削加工性能好,可以焊接,耐蚀性较好,有应力腐蚀开裂倾向 | 一般结构件和耐蚀零件,如法兰、阀座、支架、手柄和螺母等 |
| ZCuZn25Al6Fe3Mn3 | 有很高的力学性能,铸造性能良好,耐蚀性较好,有应力腐蚀开裂倾向,可以焊接 | 适用高强、耐磨零件,如桥梁支承板、螺母、螺杆、耐磨板、滑块和蜗轮等 |
| ZCuZn26Al4Fe3Mn3 | 有很高的力学性能,铸造性能良好,在空气、淡水和海水中耐蚀性较好,可以焊接 | 要求强度高、耐蚀零件 |
| ZCuZn31Al2 | 铸造性能良好,在空气、淡水、海水中耐蚀性较好,易切削,可以焊接 | 适用于压力铸造,如电机、仪表等压铸件以及造船和机械制造业的耐蚀零件 |
| ZCuZn35Al2Mn2Fe1 | 具有高的力学性能和良好的铸造性能,在大气、淡水、海水中有良好的耐蚀性,切削性能好,可以焊接 | 管路配件和要求不高的耐磨件 |
| ZCuZn38Mn2Pb2 | 有较高的力学性能和耐蚀性,耐磨性较好,切削性能良好 | 一般用途的结构件、船舶、仪表等使用的外型简单铸件,如套筒、衬套、轴瓦、滑块等 |
| ZCuZn40Mn2 | 有较高的力学性能和耐蚀性,铸造性能好,受热时组织稳定 | 在空气、淡水、海水、蒸汽(小于 300℃)和各种液体燃料中工作的零件和阀体、阀杆、泵、管接头,以及需要浇注巴氏合金和镀锡零件等 |
| ZCuZn40Mn3Fe1 | 有高的力学性能,良好的铸造性能和切削加工性能,在空气、淡水、海水中耐蚀较好,有应力腐蚀开裂倾向 | 耐海水腐蚀的零件,以及 300℃ 以下工作的管配件,制造船舶螺旋桨等大型铸件 |
| ZCuZn33Pb2 | 结构材料,给水温度为 90℃ 时抗氧化性能好,电导率约为 10—14MS/m | 煤气和给水设备的壳体,机器制造业,电子技术,精密仪器和光学仪器的部分构件配件 |
| ZCuZn40Pb2 | 有好的铸造性能和耐磨性,切削加工性能好,耐蚀性能好,在海水中应力腐蚀倾向 | 一般用途的耐磨、耐蚀零件,如油套、齿轮等 |
| ZCuZn16S4 | 具有较好的力学性能和良好的耐蚀性,铸造性能好,流动性高,铸件组织致密,气密性好 | 接触海水工作的管配件以及水泵、叶轮、旋塞和在空气、淡水、油、燃料,以及工作压力在 4.5MPa 和 250℃ 以下蒸汽中工作的铸件 |

(3) 黄铜的物理性能和其他性能 见表 4-40~表 4-42。

表 4-40 几种黄铜的物理性能

| 合金牌号 | 密度 (g/cm ³) | 比热容 [J/(kg·K)] | 与纯铜热 导率之比 (%) | 在下列温度下的热导率 [W/(m·K)] | | 在下列温度下的电阻率 (μΩ·m) | | 在下列温度下的电导率 (% IACS) | |
|------------------|----------------------------|-------------------|---------------------|-------------------------|------|----------------------|------|------------------------|------|
| | | | | 15℃ | 200℃ | 15℃ | 200℃ | 15℃ | 200℃ |
| | | | | ZCuZn36 | 8.43 | 387 | 21 | 81 | 100 |
| ZCuZn26Al4Fe3Mn3 | 7.85 | 376 | 10 | 42 | 55 | 0.22 | 0.25 | 8 | 7 |
| ZCuZn35Al2Mn2Fe1 | 8.50 | 376 | 22 | 87 | 107 | 0.08 | 0.10 | 22 | 16 |
| ZCuZn33Pb2 | 8.55 | 377 | 23 | 90 | 109 | 0.08 | 0.11 | 20 | 16 |
| ZCuZn40Pb2 | 8.50 | 377 | 21 | 81 | 100 | 0.09 | 0.11 | 18 | 15 |

表 4-41 几种黄铜对铸造工艺的适应性

| 合 金 牌 号 | 是否适于用砂型 制造耐压铸件 | | 对铸造工艺的适应性 | | | | |
|------------------|-------------------|------|-----------|-------|------|------|-------|
| | 薄壁铸件 | 厚壁铸件 | 砂型铸造 | 金属型铸造 | 连续铸造 | 离心铸造 | 激冷型铸造 |
| ZCuZn36 | 适宜 | 适宜 | — | 极好 | — | 良好 | — |
| ZCuZn26Al4Fe3Mn3 | 适宜 | 适宜 | 尚好 | 不适宜 | — | 尚好 | — |
| ZCuZn35Al2Mn2Fe1 | 适宜 | 适宜 | 尚好 | 尚好 | — | 尚好 | — |
| ZCuZn33Pb2 | 适宜 | 适宜 | 极好 | — | 尚好 | 可 | — |
| ZCuZn40Pb2 | 适宜 | 适宜 | — | 极好 | 可 | 尚好 | — |

表 4-42 几种黄铜对熔焊、钎焊的适应性

| 合 金 牌 号 | 电弧焊 | 薄壁气焊 | 氧-乙炔 铜焊 钎焊 | 银钎焊 | 软钎焊 |
|------------------|---------|---------|------------------|---------|---------|
| ZCuZn36 | 用特殊工艺可行 | 用特殊工艺可行 | 用特殊工艺可行 | 很好 | 尚好 |
| ZCuZn26Al4Fe3Mn2 | 尚好 | 尚好 | 不好 | 用特殊工艺可行 | 用特殊工艺可行 |
| ZCuZn35Al2Mn2Fe1 | 很好 | 用特殊工艺可行 | 不好 | 很好 | 尚好 |
| ZCuZn33Pb2 | 用特殊工艺可行 | 用特殊工艺可行 | 用特殊工艺可行 | 很好 | 很好 |
| ZCuZn40Pb2 | 不好 | 不好 | 不好 | 很好 | 尚好 |

2.2.7 测定合金力学性能用的标准试块和试棒

为保证各铸造厂测得的力学性能的数据具有可比性,除供试验用的拉伸试样应按照标准制备外,制备试样所用的坯料也应采用标准的试块或试样。

GB1176—87 中除规定力学性能要求外,还以补

充件规定了铸造试棒、试块及其浇注系统,供单铸试块或试棒用。

(1) 砂型铸件用的试棒和试块 适用于锡青铜、铅青铜和硅黄铜的砂型成形试棒及浇注系统,见图 4-1。

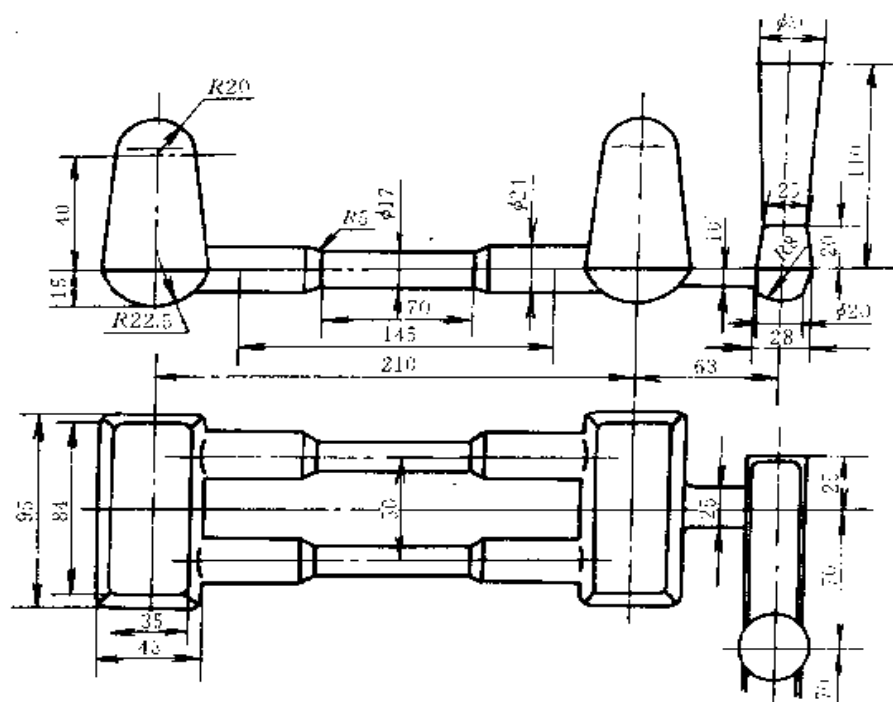


图 4-1 砂型成形试棒
(适用于锡青铜、铅青铜和硅黄铜)

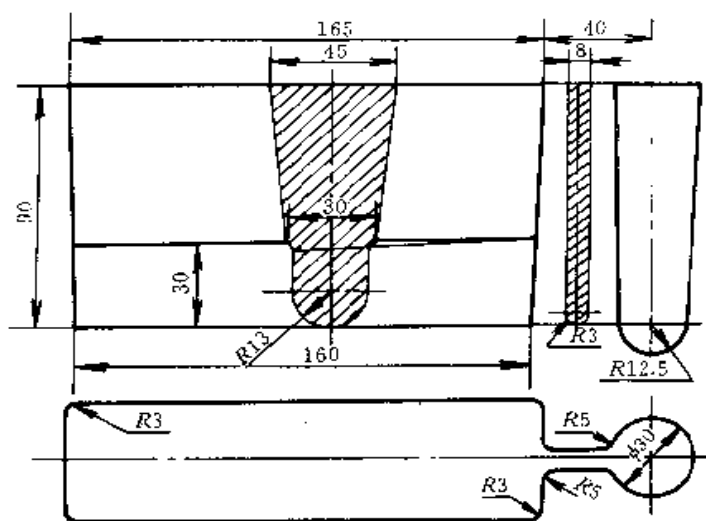


图 4-2 砂型试块
(适用于铝青铜和黄铜)

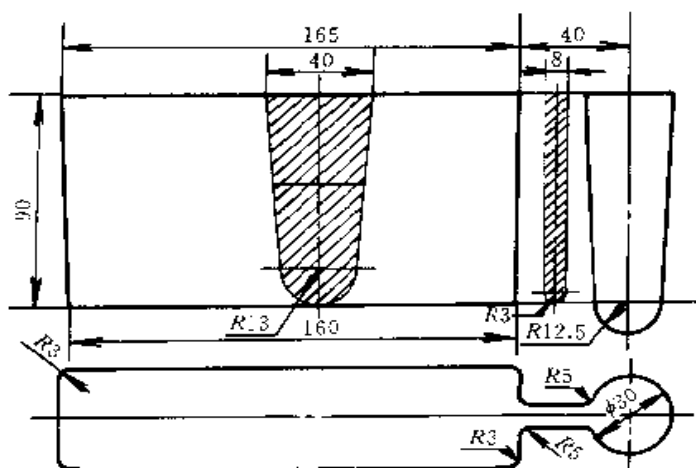


图 4-3 金属型试块
(适用于各种牌号的铜合金)

适用于铝青铜和黄铜的砂型试块，见图 4-2。

(2) 金属型铸件用的试块 适用于各种铜合金金属型铸件的单铸金属型试块，见图 4-3。(3) 取自铸件的本体试样 力学性能试样允许取自铸件本体，砂型铸件本体试样的抗拉强度不得低于表 4-9、表 4-17、表 4-24 和表 4-38 中相应数值的 80%，伸长率则不应低于上述各表中相应数值的 50%。

(4) 压铸有色合金的试样 按 GB/T 13822—92 的规定。

(5) 离心铸造用的试棒 采用离心铸造工艺时，除供需双方有商定者外，可用与铸件类同的铸型浇注截取试棒用的试件。即：用砂套离心铸造时，也用砂套浇注试件；用金属型浇注者，试件也用金属型。

(6) 连续铸造用的试棒 连续铸造时，试棒应取自连续铸造的产品，或由供需双方商定取样部位。

2.3 铜合金的熔炼

2.3.1 除气

氢在铜液中的溶解度很大，凝固过程中溶解度急剧下降，析出的氢在铸件上形成气孔。电解铜、电解镍中常含有较多的氢，金属炉料上的油污和水分也会在熔炼过程中产生氢而为金属液所吸收。

氧化是有效的除氢操作，一般都在弱还原性气氛下将铜熔化。含氢多的情况下，则在氧化性气氛下熔化铜和镍等炉料。特殊情况下，还可在装料时加入氧化熔剂。

采用上述作业方法，铜液中会有相当量的氧，以 Cu_2O 的形式溶于铜中，这也是铸件中产生微裂纹或气孔的重要原因，所以还要使铜液充分脱氧。一般铜合金，都用磷铜合金脱氧。脱氧后再加入所需的合金元素，调整化学成分到规格要求。

熔炼铜合金时采用的除气方法，见表 4-43。

表 4-43 熔炼铜合金时的除气方法

| 除气方法 | 操 作 要 点 |
|------|--|
| 氧化法 | 1. 在弱氧化性气氛下熔化 所有的铜合金，熔炼时都先将铜熔化，然后再加其他合金 熔铜时，一般都应保持炉气为弱氧化性气氛，以降低铜中的含氢量 弱氧化性气氛的特征是，火焰光亮而无烟，炉气中的含氧量约为 0.3~0.5% |
| | 2. 在氧化性气氛下熔化 熔电解铜或铜和镍时，宜用氧化性气氛，其特征是，火焰呈强烈白光，并有淡绿色透明焰冠 |

(续)

| 除气方法 | 操 作 要 点 | | | | | | | | |
|---------------|---|-----------|-----|-----------|----------|-----|-----------|---------|-----|
| 氧化法 | <p>3. 加入氧化熔剂</p> <p>金属炉料情况复杂, 在氧化性气氛下熔化不足以达到除气目的时采用将占炉料 1% 左右的 MnO_2 或 CuO 连同熔剂材料随炉料加入坩埚中, 在炉料熔化过程中使铜液中的含氧量提高</p> | | | | | | | | |
| | <p>4. 脱氧</p> <p>采用上述 3 种方法进行氧化除气时, 铜熔化后加热到 $1200^{\circ}C$ 左右, 随即用磷铜脱氧, 磷铜加入量 (以 $CuP10$ 计) 如下:</p> <table border="1"> <tr> <td>弱氧化气氛下熔化</td> <td>加磷铜</td> <td>0.4%~0.6%</td> </tr> <tr> <td>氧化性气氛下熔化</td> <td>加磷铜</td> <td>0.6%~1.0%</td> </tr> <tr> <td>用氧化熔剂氧化</td> <td>加磷铜</td> <td>1.5%~2.0%</td> </tr> </table> | 弱氧化气氛下熔化 | 加磷铜 | 0.4%~0.6% | 氧化性气氛下熔化 | 加磷铜 | 0.6%~1.0% | 用氧化熔剂氧化 | 加磷铜 |
| 弱氧化气氛下熔化 | 加磷铜 | 0.4%~0.6% | | | | | | | |
| 氧化性气氛下熔化 | 加磷铜 | 0.6%~1.0% | | | | | | | |
| 用氧化熔剂氧化 | 加磷铜 | 1.5%~2.0% | | | | | | | |
| 吹氮除气 | <p>适用于各种铜合金, 可在熔炼后期出炉前进行</p> <p>氮气应经脱湿处理, 用石墨管或耐热钢管导入, 用多孔吹头效果更好</p> <p>氮气压为 $20\sim 30kPa$, 流量 $20\sim 25L/min$, 每吨金属耗氮 $180\sim 200L$</p> <p>吹氮时, 保持金属液面微微波动, 不得有飞溅现象</p> | | | | | | | | |
| $ZnCl_2$ 除气精炼 | <p>本法适用于含铝的铜合金 (如铝青铜)</p> <p>氯化锌加入前须加热到熔点以上, 脱除结晶水, 冷凝后成玻璃状</p> <p>加入量为金属液的 $0.15\% \sim 0.25\%$</p> | | | | | | | | |
| 锌沸腾除气 | <p>熔炼黄铜时, 由于 Zn 的蒸发而使铜合金液沸腾, 有除气作用</p> <p>含 Zn 量 $\geq 30\%$ 的黄铜, 沸腾除气效果良好, 不必采取其他除气措施</p> <p>含 Zn 量 $< 30\%$ 的黄铜, 在通常熔炼温度下不会沸腾, 应在熔炼后期将金属液加热到 $1200\sim 1300^{\circ}C$, 使 Zn 沸腾, 然后再降温</p> | | | | | | | | |

2.3.2 合金的加入

常规的铜合金熔炼工艺, 是除锡、锌和铅以金属锭块的形式加入外, 其他合金元素均以中间合金加入。

采用中间合金的好处有: 合金元素的成分较易控制; 加入高熔点合金元素的操作较简便; 避免某些元素加入铜液后降低合金熔点而使合金过热。

铸造厂自行配制中间合金, 不仅增加熔炼设备的负荷, 增加生产成本, 而且在合金的分析和分批管理方面也诸多不便。建议按 GB 8736—88 “铜中间合金锭”、GB 6897—86 “铜铍中间合金” 和 GB 8735—88

“铝中间合金锭” 规定的规格 (见本书第一章) 购买相宜的中间合金锭作为炉料。

近年来, 采用一次熔炼法的铸造厂不断增多, 用感应电炉熔炼尤为适宜。其基本做法是: 除磷和铍必须用中间合金加入外, 其他合金元素都用纯金属 (含结晶硅) 直接加入。

2.3.3 熔炼作业

熔炼铜合金, 要特别强调两点: 一是应快速熔炼, 尽量缩短熔炼过程; 二是要严格控制温度, 避免合金过热。常用的一些铜合金的熔炼过程, 见表 4-44。

表 4-44 铜合金的基本熔炼过程

| 合金类别 | 基本熔炼过程 | 炉内气氛 | 覆盖剂 | 注 |
|-------|---|----------|-----|-----------|
| 锡青铜 | 先熔化铜 (含镍时一并加镍), 熔清后升温到 $1200^{\circ}C$ 左右, 加磷铜脱氧, 然后依次加入回炉料 \rightarrow 锌锭 \rightarrow 锡块 \rightarrow 铅 | 弱氧化性或氧化性 | — | 可采用氧化熔剂除气 |
| 含磷锡青铜 | 先熔化铜, 熔清后升温到 $1200^{\circ}C$ 左右, 加入 $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{3}$ 的磷铜, 然后依次加入回炉料 \rightarrow 锡块, 最后加入剩下的磷铜 | 氧化性 | — | 可采用氧化熔剂除气 |

(续)

| 合金类别 | 基本熔炼过程 | 炉内气氛 | 覆盖剂 | 注 |
|------|---|----------|-------------------|------------------------------|
| 铝青铜 | 先熔化铜，熔清后升温到 1200℃ 左右，加磷铜 0.2%~0.3% 脱氧，然后依次加入锰铜合金→铝铁合金→铝铜合金→回炉料，最后用 ZnCl ₂ 除气 | 弱氧化性 | 冰晶石 40% 食盐 60% | |
| | 坩埚中装铜、镍、铁、金属锰，熔清后加回炉料，然后加铝，最后用 ZnCl ₂ 精炼除气 | 中性或弱氧化性 | 冰晶石 40% 食盐 60% | |
| 铅青铜 | 先熔化铜，熔清后升温到 1200℃ 左右，加磷铜脱氧，然后依次加入回炉料→锌→锡→铅 | 弱氧化性或氧化性 | — | 可采用氧化熔剂除气 |
| 普通黄铜 | 先熔化铜，熔清后分批加入锌 | 中性或弱氧化性 | — | 沸腾除气 |
| 铝黄铜 | 先将铜、铁、金属锰熔化，然后加铝、回炉料，最后加锌 | 中性或弱氧化性 | 冰晶石 40% 食盐 60% | 可在加锌前，用 ZnCl ₂ 除气 |
| 锰黄铜 | 先将铜、金属锰和铁熔化，熔清后加回炉料，然后加锌，最后加入铝（含铅的锰黄铜） | 中性或弱氧化性 | 玻璃和硼砂 | 沸腾除气 |
| 铅黄铜 | 先熔化铜，然后依次加回炉料→锌→铅 | 中性或弱氧化性 | 玻璃和硼砂 | 沸腾除气 |
| 硅黄铜 | 先熔化铜，熔清后升温到 1200℃ 左右，加磷铜脱氧，然后依次加入铜硅合金→回炉料→锌→铅 | 弱氧化性 | 碳酸钠 50% 硼砂 50% | 可加热到 1300℃ 使铜合金液沸腾、除气、然后冷却 |

2.3.4 各种铜合金的熔炼温度和浇注温度见表 4-45。

表 4-45 铜合金的熔炼温度和浇注温度

| 合金牌号 | 熔炼温度 (℃) | 浇注温度 (℃) | 合金牌号 | 熔炼温度 (℃) | 浇注温度 (℃) |
|-----------------|-----------|-----------|-------------------|-----------|-----------|
| ZCuSn3Zn8Pb6Ni1 | 1220~1250 | 1100~1200 | ZCuAl18Mn13Fe3Ni2 | 1220~1270 | 1120~1170 |
| ZCuSn3Zn11Pb4 | 1200~1250 | 1100~1200 | ZCuAl9Mn2 | 1200~1250 | 1100~1200 |
| ZCuSn5Pb5Zn5 | 1200~1250 | 1100~1200 | ZCuAl9Fe4Ni4Mn2 | 1220~1270 | 1120~1170 |
| ZCuSn10P1 | 1150~1180 | 1050~1100 | ZCuAl10Fe3 | 1200~1250 | 1100~1200 |
| ZCuSn10Pb5 | 1150~1180 | 1050~1100 | ZCuAl10Fe3Mn2 | 1200~1250 | 1100~1200 |
| ZCuSn10Zn2 | 1200~1250 | 1100~1200 | ZCuZn38 | 1120~1150 | 1020~1050 |
| ZCuPb10Sn10 | 1120~1150 | 1020~1050 | ZCuZn25Al6Fe3Mn3 | 1080~1120 | 980~1020 |
| ZCuPb15Sn8 | 1100~1130 | 1000~1030 | ZCuZn26Al4Fe3Mn3 | 1080~1120 | 980~1020 |
| ZCuPb17Sn4Zn4 | 1100~1130 | 1000~1030 | ZCuZn31Al2 | 1080~1120 | 980~1020 |
| ZCuPb20Sn5 | 1180~1120 | 1080~1120 | ZCuZn35Al2Mn2Fe1 | 1080~1120 | 980~1020 |
| ZCuPb30 | 1150~1170 | 1050~1070 | ZCuZn38Mn2Pb2 | 1050~1100 | 980~1020 |
| ZCuAl8Mn13Fe3 | 1200~1250 | 1100~1200 | ZCuZn40Mn2 | 1050~1100 | 980~1020 |

(续)

| 合 金 牌 号 | 熔炼温度 (°C) | 浇注温度 (°C) | 合 金 牌 号 | 熔炼温度 (°C) | 浇注温度 (°C) |
|---------------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|
| ZCuZn40Mn3Fe1 | 1080~1120 | 980~1020 | ZCuZn40Pb2 | 1050~1100 | 980~1020 |
| ZCuZn33Pb2 | 1050~1100 | 980~1020 | ZCuZn18Si4 | 1100~1180 | 980~1060 |

2.3.5 炉前的品质 (质量) 控制

熔炼铜合金时,应在炉前进行含气量试验,弯曲试验和断口检查。如有问题,应采取适当的措施,或继续精炼,或补充脱氧。

(1) 含气量试验 常规的含气量试验,用预热过的取样勺,自坩埚或熔池的下部取样,浇注到图 4-4 所示的铸型,然后观察其表面收缩的情况。表面凹下即说明合金可进行浇注,收缩不明显或凸起都表示含气量太多,浇注的铸件会产生气孔。

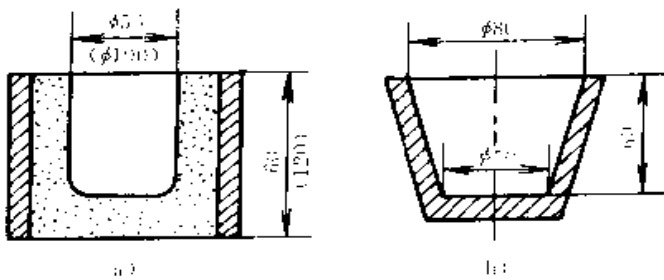


图 4-4 浇注含气量试样的铸型
a) 砂型 b) 金属型

制造重要的铸件,可使试样在负压下凝固以观察其收缩。浇注试样后,将其置于 4~5kPa 的负压室中凝固,表面凹下或稍稍凸起但不破裂者为合格。

(2) 弯曲试验 弯曲试验是熔炼铜合金常用的炉前检查方法,用取样勺自金属液溶池或坩埚的下部取样,用图 4-5b 所示的金属型,浇注 a 所示的试样。试样在金属型中冷却 2~3min 后(呈暗红色),即投入水中冷却。

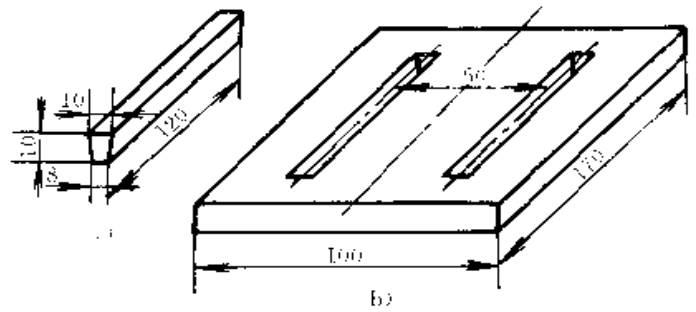


图 4-5 弯曲试样和浇注试样的金属型
a) 弯曲试样 b) 浇注试样的金属型

将冷却了的试样夹在台钳上,用手锤打击(图 4-6),直到试样折断。几种铜合金折断时的弯曲角见表 4-46,可供参考。

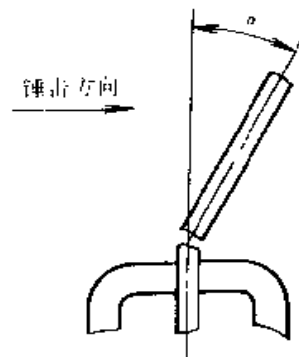


图 4-6 弯曲试验示意图

表 4-46 几种铜合金的折断弯曲角

| 合 金 牌 号 | 折断弯曲角 α (度) | 合 金 牌 号 | 折断弯曲角 α (度) |
|---------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| ZCuSn5Pb5Zn5 | 30~60 | ZCuAl10Fe3 | 70~80 |
| ZCuSn6Zn6Pb3 | | ZCuZn16Si4 | 60~90 |
| ZCuSn10P1 | | ZCuZn24Al5Fe2Mn2 | 30~70 |
| ZCuAl7Mn13Zn4Fe3Sn1 | >30 | ZCuZn25Al6Fe3Mn3 | 40~60 |
| ZCuAl8Mn13Fe3Ni2 | 50~80 | ZCuZn35Al2Mn2Fe1 | 120~170 |
| ZCuAl9Fe4Ni4Mn2 | 40~70 | ZCuZn40Mn2 | 90~180 |
| ZCuAl9Mn2 | 50~100 | ZCuZn40Mn3Fe1 | 50~80 |

(3) 断口观察 观察弯曲试验时试样断裂后的断口,可判断其组织是否致密、有无气孔、颜色是否均匀,结合折断弯曲角,即可对合金的品质(质量)作大致的评定。

3 铸造纯铝和铝合金

铝是工业上应用最广的有色金属,它的密度小、比强度高,耐蚀性能好,并有优良的导电(热)性能。铝的资源丰富,分布很广,无匮乏之虞。

近30年来,各种铸造合金中,铝合金铸件产量增长的速度一直是最高,这一趋势今后仍将继续。铝合金铸件的生产工艺也在不断发展。

3.1 工业纯铝铸件

表 4-47 纯铝铸件的化学成分要求 (%)

| 牌号 | Al | Cu | Mg | Si | Fe | Mn | Ni | Zn | Pb | Sn |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| LMO | ≥99.5 | ≤0.03 | ≤0.03 | ≤0.03 | ≤0.04 | ≤0.03 | ≤0.03 | ≤0.07 | ≤0.03 | ≤0.03 |

注:1. 依据英国标准 BS1490-88。

2. 含 Al 量用差减法确定,即 100% 减去表列各杂质元素的含量。

法国标准 NFA57-105-88 “烹调 and 食品容器用纯铝及铝合金铸件”,列有 3 种纯铝铸件的牌号,只限定杂质的含量,不以力学性能为验收依据,具体要求见表 4-48。

表 4-48 烹调 and 食品容器用纯铝铸件的允许杂质含量 (%)

| 牌号 | Fe+Si+Cu | Cu | Mn | Mg | Ni | Zn | Pb | Sn | Ti | 其它杂质 | |
|------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | | | | | | | | 每种 | 总和 |
| A4 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.05 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.15 |
| A5 | 0.5 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.10 | 0.05 | 0.15 |
| A5Y4 | 0.5 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.10 | 0.05 | 0.15 |

注:1. 依据法国标准 NFA57-105-88。

2. 牌号 A5Y4 的纯铝用于压铸件。

3.1.2 纯铝的物理性能和铸造工艺参数

工艺参数,见表 4-50。

纯铝的物理和力学性能,见表 4-49,纯铝铸造工

表 4-49 纯铝的物理、力学性能

| 物 理 性 能 | | | | | 力 学 性 能 | | | | |
|------------|------------|-------------------------|----------|-------------------------|----------------|---------------|-------|------------|--|
| 熔点 (°C) | 沸点 (°C) | 密度 (g/cm ³) | | 20°C 时的热导率 [W/(m·K)] | 电阻率 (μΩ·cm) | 抗拉强度 (MPa) | δ (%) | 硬度 (HB) | |
| | | 20°C 固态 | 700°C 液态 | | | | | | |
| 660.37 | 2467 | 2.699 | 2.371 | 210 | 2.65 | 90~125 | 11~25 | 24~32 | |

表 4-50 纯铝铸造工艺参数

| 浇注温度 (°C) | 凝固时的体积收缩率 (%) | 线收缩率 (%) |
|--------------|------------------|-------------|
| 700~750 | 6.6 | 1.7~1.8 |

大类,即铝硅系合金、铝铜系合金、铝镁系合金和铝锌系合金。

3.2.1 铝合金铸件的工艺方法代号和合金状态代号

铸造铝合金对各种铸造工艺的适应性都很好,可以用于砂型铸造、金属型铸造、熔模铸造、壳型铸造、低压铸造、压铸、连续铸造、触变铸造等。同一牌号的合金,用不同工艺铸造,其力学性能有所不

3.2 铸造铝合金

铸造铝合金,按其主要的合金化元素,可分为 4

同。所以，常常要在要求力学性能时要注明其工艺方法。为方便起见，通常都用代号表示几种广泛采用的工艺方法。

铝硅合金是应用最广的铝合金，经变质处理后，性能有很大的改善。所以，对于铝硅合金，应说明其是否经过变质处理。

铝合金铸造方法和变质处理的代号，见表 4-51。

表 4-51 铝合金铸造方法和变质处理的代号 (GB 1173—86)

| | | | | | |
|----|------|-------|------|------|-------|
| 代号 | S | L | R | K | B |
| 涵义 | 砂型铸造 | 金属型铸造 | 熔模铸造 | 壳型铸造 | 经变质处理 |

此外，铝合金铸件是否经过热处理及经何种热处理，通常也用代号表示，见表 4-52。

表 4-52 铝合金铸件合金状态的代号

| 代号 | 合金状态 | 简要说明 |
|----------------|------------------|--|
| T ₁ | 人工时效 | 铸件冷却时，组织中会留有一定程度的过饱和固溶体。人工时效可使其脱溶，从而使合金强度和硬度提高 |
| T ₂ | 退火 | 消除铸造应力或加工所致的应力，使铸件尺寸稳定。对 Al-Si 合金，退火还可使 Si 部分球化，从而可改善合金的塑性 |
| T ₄ | 固溶处理（淬火）加自然时效 | 得到过饱和固溶体 Al-Mg 合金，淬火后不必进行人工时效。需人工时效的合金，淬火只是预处理 |
| T ₃ | 固溶处理（淬火）加不完全人工时效 | 用于获得较高的强度和较高的塑性 |
| T ₆ | 固溶处理（淬火）加完全人工时效 | 使合金的抗拉强度最高而塑性稍低 |
| T ₇ | 固溶处理（淬火）加稳定化回火 | 用于在高温条件下工作的铸件，合金有足够高的抗拉强度，而且组织和尺寸稳定 |
| T ₈ | 固溶处理（淬火）加软化回火 | 合金中的固溶体完全脱溶，析出相球化、塑性高，但抗拉强度下降。用于要求塑性高的铸件软化回火温度为 230~330℃，保温 3~6h |
| F | 铸态 | 不经任何热处理 |

3.2.2 铝硅系合金

铝硅合金有良好的铸造性能，经变质处理和热处理后，有很好的力学性能和耐蚀性能，是应用最广的铝合金。

铝硅二元系的共晶成分含硅 11.6%，共晶温度 577℃。铸造铝硅合金的含硅量可自 4% 到 27%，一般将含硅 4%~10% 的合金视为亚共晶合金，含硅 10%~13% 的合金视为共晶合金，含硅 13% 以上的合金视为过共晶合金。铝硅合金是铸造铝合金中品种最多的一类合金。

构铸件。过共晶铝硅合金的组织中有大量块状初生硅，抗拉强度和伸长率都低，一般不用作结构铸件。但是，过共晶铝硅合金的线胀系数小、耐磨、耐蚀，且抗热裂性能好，广泛用于制造内燃机的活塞。

(1) 合金元素在铝硅系合金中的作用 铝硅系合金中通常都加入合金元素以改善其性能，采用较多的是镁和铜。小剂量细化晶粒的元素也有多种，而且也应用甚广。

一些常用的合金元素在铝硅系合金中的作用，见表 4-53。

亚共晶铝硅合金和共晶铝硅合金广泛用于各种结

表 4-53 合金元素在铝硅系合金中的作用

| 合金元素 | 加入量 (%) | 在 Al-Si 合金中形成的化合物 | 对合金性能的影响 |
|------|-------------------------|---|-------------------------------|
| Mg | 一般为 0.2~0.6 个别情况下可到 1.5 | Mg ₂ Si, Al ₃ Mg ₂ | 使合金可通过热处理强化 |
| Cu | 1.0~5.0 | CuAl ₂ | 强化合金 使合金不变质即有较高的强度，多用于压铸合金 |

(续)

| 合金元素 | 加入量 (%) | 在 Al-Si 合金中形成的化合物 | 对合金性能的影响 |
|------|----------------------|-------------------------------------|--------------------|
| Ti | 0.10~0.30 | Al ₃ Ti | 细化晶粒, 改善力学性能 |
| 稀土元素 | 1~1.5 | | 细化晶粒, 改善热强度 |
| Mn | 约为含铁量的 $\frac{1}{2}$ | Al ₁₀ Mn ₂ Si | 减轻 Fe 的有害作用 |
| Zr | 0.10~0.40 | Al ₃ Zr | 晶化晶粒 |
| Co | 0.5~1.0 | Al ₆ Co ₂ | 减轻 Fe 的有害作用, 改善耐热性 |
| V | | Al ₇ V | 细化晶粒 |
| B | 0.01~0.10 | | 细化晶粒 |
| Ni | 0.5~1.5 | | 改善高温性能 |
| Cd | 0.15~1.0 | | 增益时效强化的效果 |

(2) 铝硅系合金的规格 GB1173—86 “铸造铝 54, 允许杂质含量见表 4-55, 力学性能要求见表 4-合金技术条件” 中列有 14 种铝硅合金, 其中 3 种为 56。共晶合金, 11 种亚共晶合金, 化学成分要求见表 4-

表 4-54 铸造铝硅合金的化学成分(GB 1173—86)

| 合金牌号 | 合金代号 | 主要元素含量 (%) | | | | | | | |
|------------------|--------|------------|---------|-----------|---------|-----------|-----------|---------------------------|----|
| | | Si | Cu | Mg | Zn | Mn | Ti | 其它 | Al |
| ZAlSi7Mg | ZL101 | 6.5~7.5 | — | 0.25~0.45 | — | — | — | — | 余量 |
| ZAlSi7MgA | ZL101A | 6.5~7.5 | — | 0.25~0.45 | — | — | 0.08~0.20 | — | 余量 |
| ZAlSi12 | ZL102 | 10.0~13.0 | — | — | — | — | — | — | 余量 |
| ZAlSi9Mg | ZL104 | 8.0~10.5 | — | 0.17~0.3 | — | 0.2~0.5 | — | — | 余量 |
| ZAlSi5Cu1Mg | ZL105 | 4.5~5.5 | 1.0~1.5 | 0.4~0.6 | — | — | — | — | 余量 |
| ZAlSi5Cu1MgA | ZL105A | 4.5~5.5 | 1.0~1.5 | 0.4~0.55 | — | — | — | — | 余量 |
| ZAlSi8Cu1Mg | ZL106 | 7.5~8.5 | 1.0~1.5 | 0.3~0.5 | — | 0.3~0.5 | 0.10~0.25 | — | 余量 |
| ZAlSi7Cu4 | ZL107 | 6.5~7.5 | 3.5~4.5 | — | — | — | — | — | 余量 |
| ZAlSi12Cu2Mg1 | ZL108 | 11.0~13.0 | 1.0~2.0 | 0.4~1.0 | — | 0.3~0.9 | — | — | 余量 |
| ZAlSi12Cu1Mg1Ni1 | ZL109 | 11.0~13.0 | 0.5~1.5 | 0.8~1.3 | — | — | — | Ni 0.8~1.5 | 余量 |
| ZAlSi9Cu2Mg | ZL111 | 8.0~10.0 | 1.3~1.8 | 0.4~0.6 | — | 0.10~0.35 | 0.10~0.35 | — | 余量 |
| ZAlSi7Mg1A | ZL114A | 6.5~7.5 | — | 0.45~0.60 | 1.2~1.8 | — | 0.10~0.20 | Be 0.04~0.07 ^① | 余量 |
| ZAlSi5Zn1Mg | ZL115 | 4.8~6.2 | — | 0.4~0.65 | — | — | — | Sb 0.1~0.25 | 余量 |
| ZAlSi8MgBe | ZL116 | 6.5~8.5 | — | 0.35~0.55 | — | — | 0.10~0.30 | Be 0.15~0.40 | 余量 |

① 在保证合金力学性能前提下, 可以不加铍(Be)。

表 4-55 铸造铝硅合金的允许杂质含量(GB1173—86)

| 合金牌号 | 合金代号 | 杂质含量不大于 (%) | | | | | | | | | | | | | | 杂质总和 | | |
|-----------|--------|-------------|-----|-----|-----|------|----|----|----|------|-------|----|------|------|----|------|-----|---|
| | | Fe | | Si | Cu | Mg | Zn | Mn | Ti | Zr | Ti+Zr | Be | Ni | Sn | Pb | 其它 | S | J |
| | | S | J | | | | | | | | | | | | | | | |
| ZAlSi7Mg | ZL101 | 0.5 | 0.9 | 0.2 | 0.3 | 0.35 | | | | 0.15 | 0.1 | | 0.01 | 0.05 | | 1.0 | 1.4 | |
| ZAlSi7MgA | ZL101A | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.10 | | | | | | | 0.01 | 0.05 | | 0.6 | 0.6 | |

(续)

| 合金牌号 | 合金代号 | 杂质含量不大于 (%) | | | | | | | | | | | | | | 杂质总和 | | |
|------------------|--------|-------------|------|----|------|------|------|-----|------|----|-------|-----|-----|------|------|---------|------|------|
| | | Fe | | Si | Cu | Mg | Zn | Mn | Ti | Zr | Ti+Zr | Be | Ni | Sn | Pb | 其它 | S | J |
| | | S | J | | | | | | | | | | | | | | | |
| ZAlSi12 | ZL102 | 0.7 | 1.0 | | 0.30 | 0.10 | 0.1 | 0.5 | 0.20 | | | | | | | | 2.0 | 2.2 |
| ZAlSi9Mg | ZL104 | 0.6 | 0.9 | | 0.1 | | 0.25 | | | | 0.15 | | | 0.01 | 0.05 | | 1.1 | 1.4 |
| ZAlSi5Cu1Mg | ZL105 | 0.6 | 1.0 | | | | 0.3 | 0.5 | | | 0.15 | 0.1 | | 0.01 | 0.05 | | 1.1 | 1.4 |
| ZAlSi5Cu1MgA | ZL105A | 0.2 | 0.2 | | | | 0.1 | 0.1 | | | | | | 0.01 | 0.05 | | 0.5 | 0.5 |
| ZAlSi8Cu1Mg | ZL106 | 0.6 | 0.8 | | | | 0.2 | | | | | | | 0.01 | 0.05 | | 0.9 | 1.0 |
| ZAlSi7Cu4 | ZL107 | 0.5 | 0.6 | | | 0.1 | 0.3 | 0.5 | | | | | | 0.01 | 0.05 | | 1.0 | 1.2 |
| ZAlSi12Cu2Mg1 | ZL108 | | 0.7 | | | | 0.2 | | 0.20 | | | | 0.3 | 0.01 | 0.05 | | | 1.2 |
| ZAlSi12Cu1Mg1Ni1 | ZL109 | | 0.7 | | | | 0.2 | 0.2 | 0.20 | | | | | 0.01 | 0.05 | | | 1.2 |
| ZAlSi9Cu2Mg | ZL111 | 0.4 | 0.4 | | | | 0.1 | | | | | | | 0.01 | 0.05 | | 1.0 | 1.0 |
| ZAlSi7Mg1A | ZL114A | 0.2 | 0.2 | | 0.2 | | 0.1 | 0.1 | | | | | | | | 每种 0.05 | 0.75 | 0.75 |
| ZAlSi5Zn1Mg | ZL115 | 0.3 | 0.3 | | 0.1 | | | 0.1 | | | | | | 0.01 | 0.05 | 共 0.15 | | |
| ZAlSi8MgBc | ZL116 | 0.60 | 0.60 | | 0.3 | | 0.3 | 0.1 | 0.20 | | | | | 0.01 | 0.05 | B 0.10 | 1.0 | 1.0 |

表 4-56 铸造铝硅合金的力学性能(GB 1173—86)

| 合金牌号 | 合金代号 | 铸造方法 | 合金状态 | 力学性能不低于 | | |
|-----------|--------|-------------|------|---------------------|-------------------|--------------------------|
| | | | | σ_b (MPa) | δ_5 (%) | 硬度 (HB) (5/250/30) |
| ZAlSi7Mg | ZL101 | S,R,J,K | F | 153 | 2 | 50 |
| | | S,R,J,K | T2 | 133 | 2 | 45 |
| | | JB | T4 | 182 | 4 | 50 |
| | | S,R,K | T4 | 173 | 4 | 50 |
| | | J,JB | T5 | 202 | 2 | 60 |
| | | S,R,K | T5 | 192 | 2 | 60 |
| | | SB,RB,KB | T5 | 192 | 2 | 60 |
| | | SB,RB,KB | T6 | 222 | 1 | 70 |
| | | SB,RB,KB | T7 | 192 | 2 | 60 |
| | | SB,RB,KB | T8 | 153 | 3 | 55 |
| ZAlSi7MgA | ZL101A | S,R,K | T4 | 192 | 5 | 70 |
| | | J,JB | T4 | 222 | 5 | 70 |
| | | S,R,K | T5 | 231 | 4 | 80 |
| | | SB,RB,KB | T5 | 231 | 4 | 80 |
| | | JB,J | T5 | 261 | 4 | 80 |
| | | SB,RB,KB | T6 | 271 | 2 | 90 |
| | | JB,J | T6 | 290 | 3 | 90 |
| ZAlSi12 | ZL102 | SB,JB,RB,KB | F | 143 | 4 | 50 |
| | | J | F | 153 | 2 | 50 |
| | | SB,JB,RB,KB | T2 | 133 | 4 | 50 |
| | | J | T2 | 143 | 3 | 50 |

(续)

| 合 金 牌 号 | 合金代号 | 铸造方法 | 合金状态 | 力 学 性 能 不 低 于 | | |
|---------|------|------|------|---------------------|-------------------|---------------------------|
| | | | | σ_b (MPa) | δ_5 (%) | 硬 度 (HB) (5/250/30) |

GB1173—86 中未列过共晶铝硅合金,此处介绍 5 种国外应用的合金,化学成分见表 4-57,力学性能见表 4-58。

表 4-57 几种适于金属型铸造的过共晶铝硅合金的化学成分 (%)

| 合金序号 | Si | Cu | Mg | Ni | Ti | Cr | Fe | Mn | Pb | Zn | Sn | 数据来源 |
|------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|------|------|------|------|------|-------|
| 1 | 16.5~19.5 | 0.8~1.5 | 0.8~1.5 | 0.8~1.3 | 0.20 | — | 0.75 | 0.20 | 0.10 | 0.20 | 0.05 | 法国标准 |
| 2 | 18~20 | 0.5~1.5 | 0.5~1.5 | 0.5~1.5 | 0.20 | 0.10 | 0.80 | 0.50 | 0.10 | 0.20 | 0.10 | 日本标准 |
| 3 | 20~22 | 2.2~3.0 | 0.3~0.6 | 2.2~2.8 | 0.1~0.3 | 0.2~0.4 | 0.90 | 0.40 | 0.05 | 0.20 | 0.01 | 原苏联标准 |
| 4 | 22~24 | 0.5~1.5 | 0.5~1.5 | 0.5~1.5 | 0.20 | 0.10 | 0.80 | 0.50 | 0.10 | 0.20 | 0.10 | 日本标准 |
| 5 | 23.5~27.0 | 0.8~1.5 | 0.6~1.5 | 0.8~1.3 | 0.20 | — | 0.75 | 0.20 | 0.10 | 0.20 | 0.05 | 法国标准 |

注:未列出范围的值,都是最大值。

表 4-58 几种过共晶铝硅合金的力学性能

| 合金序号 ^① | 状 态 | σ_b (MPa) | 硬度 ^② (10/500/30) (HB) |
|-------------------|---------------|---------------------|--|
| 1 | 稳定化处理 | ≥ 170 | ≥ 85 |
| 2 | 250℃回火 | ≥ 175 | 85 |
| | 500℃淬火 200℃回火 | ≥ 275 | 120 |
| 3 | 500℃淬火 250℃回火 | ≥ 205 | 90 |
| | T2 | ≥ 160 | — |
| 4 | 250℃回火 | ≥ 155 | 90 |
| | 500℃淬火 200℃回火 | ≥ 195 | 125 |
| | 500℃淬火 250℃回火 | ≥ 175 | 95 |
| 5 | 稳定化处理 | ≥ 170 | ≥ 85 |

① 合金序号为表 4-58 的序号。

② 未注明 \geq 者,为参考值。

3.2.3 铝铜系合金

铝合金中含铜量超过 5.5% 后,合金淬火组织中会有脆性相 $CuAl_2$, 含铜量越高,组织中的 $CuAl_2$ 就越多,导致合金脆化。因此,一般铝铜系合金中含铜量不超过 5.5%,以便获得最佳的淬火效果。含铜量超过 7% 的铝合金,常以铸态使用,不淬火。

(1) 合金元素在铝铜系合金中的作用 加入合金元素,可使铝铜系合金的力学性能和高温性能大幅度地提高。尤其是加入稀土元素后,合金的高温强度高、热稳定性好,成为耐热的铝合金。

合金元素的作用,见表 4-59。

表 4-59 合金元素在铝铜系合金中的作用

| 合金元素 | 加入量 (%) | 在铝铜系合金中形成的化合物 | 对合金性能的影响 |
|--------|-----------|----------------------------------|---------------------|
| 锰 | 0.3~1.0 | $Cu_2Mn_3Al_{20}, Al_{10}Mn_2Si$ | 改善铸造性能,提高力学性能 |
| 钛 | 0.15~0.04 | Al_3Ti | 细化晶粒 |
| 混合稀土元素 | 1~5 | Al_4Ce, Al_9Cu_4Ce | 改善高温性能 |
| 镉 | 0.1~0.5 | 固溶或 Cd 相 | 提高抗拉强度和屈服强度,伸长率略有下降 |
| 锆 | 0.1~0.2 | $ZrAl_3$ | 细化晶粒,强化合金 |
| 钒 | 0.1~0.3 | VA_3 | 细化晶粒,强化合金 |
| 硼 | 0.1 以下 | 常和钛同时加入,形成 TiB_2 | 细化晶粒,强化合金 |
| 银 | 0.6 以下 | | 提高强度,改善抗应力腐蚀能力 |

(2) 铝铜系合金的规格 GB1173—86“铸造铝合金技术条件”中列有 7 种铝铜合金,其化学成分要求见表 4-60,允许杂质含量见表 6-61,力学性能要求见表 6-62。

表 4-60 铸造铝铜系合金的化学成分(GB1173—86)

| 合金牌号 | 合金代号 | 主要元素含量 (%) | | | | | | | |
|-------------|--------|------------|----------|----|----|---------|-----------|-------------|----|
| | | Si | Cu | Mg | Zn | Mn | Ti | 其它 | |
| ZAlCu5Mn | ZL201 | — | 4.5~5.3 | — | — | 0.6~1.0 | 0.15~0.35 | — | 余量 |
| ZAlCu5MnA | ZL201A | — | 4.8~5.3 | — | — | 0.6~1.0 | 0.15~0.35 | — | 余量 |
| ZAlCu10 | ZL202 | — | 9.0~11.0 | — | — | — | — | — | 余量 |
| ZAlCu4 | ZL203 | — | 4.0~5.0 | — | — | — | — | — | 余量 |
| ZAlCu5MnCdA | ZL204A | — | 4.6~5.3 | — | — | 0.6~0.9 | 0.15~0.35 | Cd0.15~0.25 | 余量 |

(续)

| 合金牌号 | 合金代号 | 主要元素含量 (%) | | | | | | | |
|--------------|--------|------------|---------|-----------|----|---------|-----------|---|----|
| | | Si | Cu | Mg | Zn | Mn | Ti | 其它 | Al |
| ZAlCu5MnCdVA | ZL205A | — | 4.6~5.3 | — | — | 0.3~0.5 | 0.15~0.35 | Cd0.15~0.25 V0.05~0.3 Zr0.05~0.2 B0.005~0.06 | 余量 |
| ZAlRE5Cu3Si2 | ZL207 | 1.6~2.0 | 3.0~3.4 | 0.15~0.25 | — | 0.9~1.2 | — | Ni0.2~0.3 Zr0.15~0.25 RE4.4~5.0 ^① | 余量 |

① 混合稀土中含各种稀土总量不小于98%，其中含铈(Ce)约45%。

表 4-61 铸造铝铜系合金的允许杂质含量(GB 1173—86)

| 合金牌号 | 合金代号 | 杂质含量不大于 (%) | | | | | | | | | | | | | | 杂质总和 | | |
|--------------|--------|-------------|------|------|------|------|-----|------|------|----|-------|------|------|------|---------|------|-----|---|
| | | Fe | | Si | Cu | Mg | Zn | Mn | Ti | Zr | Ti+Zr | Be | Ni | Sn | Pb | 其它 | S | J |
| | | S | J | | | | | | | | | | | | | | | |
| ZAlCu5Mn | ZL201 | 0.25 | 0.3 | 0.3 | 0.05 | 0.2 | | | 0.2 | | | 0.1 | | | | 1.0 | 1.0 | |
| ZAlCu5MnA | ZL201A | 0.15 | 0.1 | 0.05 | 0.1 | | | 0.15 | | | | 0.05 | | | | 0.4 | | |
| ZAlCu10 | ZL202 | 1.0 | 1.2 | 1.2 | 0.3 | 0.8 | 0.5 | | | | | 0.5 | | | | 2.8 | 3.0 | |
| ZAlCu4 | ZL203 | 0.8 | 0.8 | 1.2 | 0.05 | 0.25 | 0.1 | 0.20 | 0.1 | | | | 0.01 | 0.05 | | 2.1 | 2.1 | |
| ZAlCu5MnCdA | ZL204A | 0.12 | 0.12 | 0.06 | 0.05 | 0.1 | | | 0.15 | | | 0.05 | | | | 0.4 | | |
| ZAlCu5MnCdVA | ZL205A | 0.15 | 0.15 | 0.06 | 0.05 | | | | | | | | | | 每种 0.05 | 0.3 | 0.3 | |
| ZAlRE5Cu3Si2 | ZL207 | 0.6 | 0.6 | | | 0.2 | | | | | | | | | | 0.8 | 0.8 | |

表 4-62 铸造铝铜系合金的力学性能(GB 1173—86)

| 合金牌号 | 合金代号 | 铸造方法 | 合金状态 | 力学性能不低于 | | |
|-------------|--------|---------|------|---------------------|-------------------|--------------------------|
| | | | | σ_b (MPa) | δ_5 (%) | 硬度 (HB) (5/250/30) |
| ZAlCu5Mn | ZL201 | S、J、R、K | T4 | 290 | 8 | 70 |
| | | S、J、R、K | T5 | 330 | 4 | 90 |
| | | S | T7 | 310 | 2 | 80 |
| ZAlCu5MnA | ZL201A | S、J、R、K | T5 | 388 | 8 | 100 |
| ZAlCu10 | ZL202 | S、J | F | 104 | — | 50 |
| | | S、J | T6 | 163 | — | 100 |
| ZAlCu4 | ZL203 | S、R、K | T4 | 192 | 6 | 60 |
| | | J | T4 | 202 | 6 | 60 |
| | | S、R、K | T5 | 212 | 3 | 70 |
| | | J | T5 | 222 | 3 | 70 |
| ZAlCu5MnCdA | ZL204A | S | T5 | 437 | 4 | 100 |

(续)

| 合金牌号 | 合金代号 | 铸造方法 | 合金状态 | 力学性能不低于 | | |
|--------------|--------|------|------|---------------------|-------------------|--------------------------|
| | | | | σ_b (MPa) | δ_5 (%) | 硬度 (HB) (S/250/30) |
| ZAlCu5MnCdVA | ZL205A | S | T5 | 437 | 7 | 120 |
| | | S | T6 | 467 | 3 | 140 |
| | | S | T7 | 457 | 2 | 130 |
| ZAlRE5Cu3Si2 | ZL207 | S | T1 | 163 | — | 75 |
| | | J | T1 | 173 | — | 75 |

3.2.4 铝镁系合金

铝镁二元系的共晶成分含镁 35.5%，共晶温度 450℃。在共晶温度下，镁在铝中的溶解度可达 14.9%。常温下， α 固溶体中可溶镁 2% 左右。

铝镁二元合金中含镁量为 10% 左右时，合金的伸长率最高；含镁 12% 左右，抗拉强度最高。由于在生产条件下进行的热处理不可能使合金达到理想的固溶度，实用的铝镁合金中含镁量一般不超过 11%。

铝镁系合金，是耐腐蚀性能最好的合金。在固溶处理后，镁全部溶解，合金为单一的 α 固溶体，在腐蚀介质中不易发生电化学腐蚀。存在有 Mg_2Al_3 时，其电解电位较铝低，在腐蚀介质中，被腐蚀的是 Mg_2Al_3 ，与介质接触的表现上形成单一的固溶体 α ，腐蚀也就停止了。

(1) 合金元素在铝镁系合金中的作用 几种合金元素在铝镁系合金中的作用，见表 4-63。

表 4-63 几种合金元素在铝镁系合金中的作用

| 合金元素 | 加入量(%) | 在 Al-Mg 合金中形成的化合物 | 对合金性能的影响 |
|------|----------|--------------------------|--|
| Si | 0.6~1.3 | Mg_2Si | Mg_2Si 不溶于固溶体，不能使合金通过热处理强化，且会使力学性能降低 在铸造性能不佳的含 Mg4%~6% 的合金中，加入 0.6%~1.3% 的 Si，可改善铸造性能 |
| Zn | 1~1.5 | $[Mg_{32}(Al, Zn)_{49}]$ | 合金含 Zn 量低于 1% 时，抗拉强度随含 Zn 量增加而提高，同时塑性下降，含 Zn 量 >1.7%，塑性下降明显 Zn 可改善合金抗应力腐蚀能力 |
| Te | 0.1~0.3 | | 显著提高合金的综合力学性能 |
| Ti | 0.1~0.25 | Al_3Ti | 细化晶粒，提高力学性能 |
| Zr | 0.1~0.3 | Al_3Zr | 细化晶粒，提高力学性能 |

(2) 铝镁系合金的规格 GB1173—86“铸造铝合金技术条件”中列有 3 种铝镁合金，化学成分要求见表 4-64，允许的杂质含量见表 4-65，力学性能要求见表 4-66。

表 4-64 铸造铝镁系合金的化学成分(GB1173—86)

| 合金牌号 | 合金代号 | 主要元素含量 (%) | | | | | | | |
|-----------|-------|------------|----|----------|---------|---------|---------|------------|----|
| | | Si | Cu | Mg | Zn | Mn | Ti | 其它 | Al |
| ZAlMg10 | ZL301 | — | — | 9.5~11.0 | — | — | — | — | 余量 |
| ZAlMg5Si1 | ZL303 | 0.8~1.3 | — | 4.5~5.5 | — | 0.1~0.4 | — | — | 余量 |
| ZAlMg8Zn1 | ZL305 | — | — | 7.5~9.0 | 1.0~1.5 | — | 0.1~0.2 | Be0.03~0.1 | 余量 |

表 4-65 铸造铝镁系合金的允许杂质含量(GB1173—86)

| 合金牌号 | 合金代号 | 杂质含量不大于 (%) | | | | | | | | | | | | | | 杂质总和 | | |
|-----------|-------|-------------|-----|-----|------|----|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| | | Fe | | Si | Cu | Mg | Zn | Mn | Ti | Zr | Ti+Zr | Be | Ni | Sn | Pb | 其它 | S | J |
| | | S | J | | | | | | | | | | | | | | | |
| ZAlMg10 | ZL301 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.10 | — | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.20 | — | 0.07 | 0.05 | 0.01 | 0.05 | — | 1.0 | 1.0 |
| ZAlMg5Si1 | ZL303 | 0.5 | 0.5 | — | 0.1 | — | 0.2 | — | 0.2 | — | — | — | — | — | — | — | 0.7 | 0.7 |
| ZAlMg8Zn1 | ZL305 | 0.3 | — | 0.2 | 0.1 | — | — | 0.1 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.9 | — |

表 4-66 铸造铝镁系合金的力学性能(GB1173—86)

| 合金牌号 | 合金代号 | 铸造方法 | 合金状态 | 力学性能不低于 | | |
|-----------|-------|---------|------|---------------------|-------------------|--------------------------|
| | | | | σ_b (MPa) | δ_5 (%) | 硬度 (HB) (S/250/30) |
| ZAlMg10 | ZL301 | S,J,R | T4 | 280 | 9 | 60 |
| ZAlMg5Si1 | ZL303 | S,J,R,K | F | 143 | 1 | 55 |
| ZAlMg8Zn1 | ZL305 | S | T4 | 290 | 8 | 90 |

3.2.5 铝锌系合金

铝锌二元合金的共晶成分含锌 96%，共晶温度 382℃。共晶温度下，锌在铝中的溶解度可达 84%，常温下的溶解度为 1.7%。

含锌量超过 1.7% 的合金，由于富锌的相析出，力学性能不高，耐蚀性也不好。单纯的铝锌二元合金实际上很少应用。

铝锌合金中加入少量的镁就有明显的强化效果，所以铝锌合金中一般都加有镁。

在铸件冷却的条件下，锌可以过饱和固溶，此后能在室温条件下自然时效，析出弥散的含锌相质点，从而使强度提高。因此，铝锌系合金通常不必热处理，只要予以人工时效(约需 20 天)。

(1)合金元素在铝锌镁合金中的作用 镁在铝锌合金中的加入量一般不大，主要起固溶强化作用，有其它合金元素时也形成化合物。

加入其他合金元素的作用，见表 4-67。

表 4-67 几种合金元素在 Al-Zn-Mg 合金中的作用

| 合金元素 | 加入量 (%) | 在 Al-Zn-Mg 合金中形成的化合物 | 对合金性能的影响 |
|------|-----------|---|---|
| Fe | 1.0~1.7 | FeAl ₃ 合金中含 Si 时，形成 Al ₆ Fe ₂ Si ₂ | Fe 对大多数铝合金都是有害元素，但在 Zn+Mg 总量最高的 Al-Zn-Mg 合金中能使晶粒和晶界上的共晶体细化，改善合金的力学性能和铸造性能，对于冷却较快的金属型铸造和压铸，效果尤为明显 Fe 量超过 1.7%，则析出粗针状 FeAl ₃ ，恶化学性能 |
| Cu | 0.3~1.5 | CuAl ₂ , Al ₂ MgCu | 增加强化效果，提高抗蚀性能 |
| Si | 6.0~8.0 | 含 Si 相, Mg ₂ Si | 改善铸造性能，提高强度，提高抗应力腐蚀能力 |
| Cr | 0.1~0.5 | Al ₇ Cr | 改善高温性能，提高强度 |
| Ti | 0.10~0.30 | Al ₃ Ti | 细化晶粒 |
| Zr | 0.10~0.30 | Al ₃ Zr | 细化晶粒 |

(2)铝锌系合金的规格 GB1173—86“铸造铝合金技术条件”中列有 2 种铝锌合金，化学成分要求见表

4-68，允许杂质含量见表 4-69，力学性能要求见表 4-70。

表 4-68 铸造铝锌系合金的化学成分(GB 1173—86)

| 合金牌号 | 合金代号 | 主要元素含量 (%) | | | | | | | |
|------------|-------|------------|----|----------|----------|----|-----------|-----------|----|
| | | Si | Cu | Mg | Zn | Mn | Ti | 其它 | Al |
| ZAlZn11Si7 | ZL401 | 6.0~8.0 | — | 0.1~0.3 | 9.0~13.0 | — | — | — | 余量 |
| ZAlZn6Mg | ZL402 | — | — | 0.5~0.65 | 5.0~6.5 | — | 0.15~0.25 | Cr0.4~0.6 | 余量 |

表 4-69 铸造铝锌系合金的允许杂质含量(GB 1173—86)

| 合金牌号 | 合金代号 | 杂质含量不大于 (%) | | | | | | | | | | | | | | 杂质总和 | | |
|------------|-------|-------------|-----|-----|------|----|-----|----|----|----|-------|----|----|----|-------------------|------|------|---|
| | | Fe | | Si | Cu | Mg | Zn | Mn | Ti | Zr | Ti+Zr | Be | Ni | Sn | Pb | 其他 | S | J |
| | | S | J | | | | | | | | | | | | | | | |
| ZAlZn11Si7 | ZL401 | 0.7 | 1.2 | 0.6 | | | 0.5 | | | | | | | | | 1.8 | 2.0 | |
| ZAlZn6Mg | ZL402 | 0.5 | 0.8 | 0.3 | 0.25 | | 0.1 | | | | | | | | 每种 0.05 共 0.15 | 1.35 | 1.65 | |

表 4-70 铸造铝锌系合金的力学性能(GB 1173—86)

| 合金牌号 | 合金代号 | 铸造方法 | 合金状态 | 力学性能不低于 | | |
|------------|-------|------------|------|---------------------|-------------------|--------------------------|
| | | | | σ_b (MPa) | δ_5 (%) | 硬度 (HB) (5/250/30) |
| ZAlZn11Si7 | ZL401 | S,R,K J | T1 | 192 | 2 | 80 |
| | | | T1 | 241 | 1.5 | 90 |
| ZAlZn6Mg | ZL402 | J S | T1 | 231 | 4 | 70 |
| | | | T1 | 222 | 4 | 65 |

3.2.6 铝合金铸件的热处理

各种铸造铝合金件的热处理工艺,见表 4-71。

表 4-71 各种铝合金铸件的热处理工艺

| 合金牌号 | 合金代号 | 热处理 | 固溶处理 | | | 时效处理(保温后空冷) | |
|-----------|--------|---------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|
| | | | 加热温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 保温时间 (h) | 淬火水温 ($^{\circ}\text{C}$) | 加热温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 保温时间 (h) |
| ZAlSi7Mg | ZL101 | T2 | — | — | — | 300±10 | 2~4 |
| | | T4 | 535±5 | 2~6 | 20~100 | — | — |
| | | T5 | 535±5 | 2~6 | 20~100 | 150±5 | 2~4 |
| | | T6 | 535±5 | 2~6 | 20~100 | 200±5 | 2~5 |
| | | T7 | 535±5 | 2~6 | 80~100 | 225±5 | 3~5 |
| | | T8 | 535±5 | 2~6 | 80~100 | 250±10 | 3~5 |
| | | T5(二阶段) | 535±5 | 2~6 | 20~100 | 190±10 150±5 | 0.5 2 |
| ZAlSi7MgA | ZL101A | T1 | — | — | — | 190±5 | 3~4 |
| | | T2 | — | — | — | 300±10 | 2~4 |
| | | T4 | 535±5 | 10~16 | 20~100 | — | — |
| | | T5 | 535±5 | 10~16 | 20~100 | 175±5 | 6 |
| ZAlSi12 | ZL102 | T2 | — | — | — | 300±10 | 2~4 |
| ZAlSi9Mg | ZL104 | T1 | — | — | — | 175±5 | 5~17 |
| | | T6 | 535±5 | 2~6 | 20~100 | 175±5 | 10~15 |

(续)

| 合金牌号 | 合金代号 | 热处理 | 固 溶 处 理 | | | 时效处理(保温后空冷) | |
|------------------|--------|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | 加热温度 (℃) | 保温时间 (h) | 淬火水温 (℃) | 加热温度 (℃) | 保温时间 (h) |
| ZAlSi5Cu1Mg | ZL105 | T1 | — | — | — | 180±5 | 5~10 |
| | | T5 | 525±5 | 3~5 | 20~100 | 175±5 | 5~10 |
| | | T6 | 525±5 | 3~5 | 20~100 | 200±5 | 3~5 |
| | | T7 | 525±5 | 3~5 | 20~100 | 230±10 | 3~5 |
| ZAlSi5Cu1MgA | ZL105A | T1 | — | — | — | 180±5 | 5~10 |
| | | T5 | 525±5 | 3~5 | 20~100 | 175±5 | 5~10 |
| | | T6 | 525±5 | 3~5 | 20~100 | 200±5 | 3~5 |
| | | T7 | 525±5 | 3~5 | 20~100 | 230±10 | 3~5 |
| | | T8 | 525±5 | 3~5 | 20~100 | 250±10 | 3~5 |
| ZAlSi8Cu1Mg | ZL106 | T1 | — | — | — | 200±10 | 5~8 |
| | | T2 | — | — | — | 280±10 | 5~8 |
| | | T5 | 515±5 | 4~8 | 20~100 | 170±5 | 8~16 |
| | | T6 | 515±5 | 4~8 | 20~100 | 160±5 | 4~6 |
| | | T7 | 515±5 | 4~8 | 80~100 | 230±5 | 3~5 |
| ZAlSi7Cu4 | ZL107 | T6 | 490±5 | 5~7 | 20~100 | 170±10 | 5~7 |
| ZAlSi12Cu2Mg1 | ZL108 | T1 | — | — | — | 190±5 | 8~12 |
| | | T6 | 515±5 | 6~8 | 20~70 | 175±5 | 14~18 |
| | | T7 | 515±5 | 3~8 | 20~70 | 240±10 | 6~10 |
| ZAlSi12Cu1Mg1Ni1 | ZL109 | T1 | — | — | — | 205±5 | 8~12 |
| | | T6 | 515±5 | 6~8 | 20~70 | 170±5 | 14~18 |
| ZAlSi9Cu2Mg | ZL111 | T6 | 520±5 | 4~6 | 20~70 | 180±5 | 6~8 |
| ZAlSi7Mg1A | ZL114A | T5 | 535±5 | 2~7 | 20~100 | 150±5 | 1~3 |
| | | T6 | 540±5 | 8~12 | 65~100 | 160±5 | 3~5 |
| ZAlSi5Zn1Mg | ZL115 | T4 | 550±5 | 16 | 65~100 | — | — |
| | | T5 | 550±5 | 16 | 65~100 | 160±5 | 4 |
| ZAlSi8MgBe | ZL116 | T1 | — | — | — | 190±5 | 3~4 |
| | | T2 | — | — | — | 300±10 | 2~4 |
| | | T4 | 535±5 | 10~16 | 20~100 | — | — |
| | | T5 | 535±5 | 10~16 | 20~100 | 175±5 | 6 |
| | | T6 | 535±5 | 10~16 | 20~100 | 160±5 | 3~8 |
| ZAlCu5MnA | ZL201A | T4 | 545±5 | 10~12 | 20~100 | — | — |
| ZAlCu5Mn | ZL201 | T5 | 545±5 | 5~9 | 20~100 | 175±5 | 3~6 |
| | | T7 | 545±5 | 5~9 | 80~100 | 250±10 | 3~10 |
| ZAlCu10 | ZL202 | T2 | — | — | — | 290±5 | 3 |
| ZAlCu4 | ZL203 | T4 | 515±5 | 10~15 | 20~100 | — | — |
| | | T5 | 515±5 | 10~15 | 20~100 | 150±5 | 2~4 |
| ZAlCu5MnCdA | ZL204A | T6 | 535±5 | 7~9 | 40~100 | 175±5 | 3~5 |
| | | T7 | 535±5 | 7~9 | 40~100 | 190±5 | 3~5 |
| ZAlCu5MnCdVA | ZL205A | T5 | 535±5 | 10~15 | 20~60 | 155±5 | 8~10 |
| | | T6 | 535±5 | 10~15 | 20~60 | 175±5 | 3~5 |
| | | T7 | 535±5 | 10~15 | 20~60 | 190±5 | 3~5 |
| ZAlRE5Cu3Si2 | ZL207 | T1 | — | — | — | 200±5 | 5~10 |
| ZAlMg10 | ZL301 | T4 | 430±10 | 20 | 100(或油) | — | — |
| ZAlMg8Zn1 | ZL305 | T4 | 455±5 | 6~8 | 80~100 | — | — |
| ZAlZn11Si7 | ZL401 | T1 | — | — | — | 200±10 | 5~10 |

(续)

| 合金牌号 | 合金代号 | 热处理 | 固溶处理 | | | 时效处理(保温后空冷) | |
|------------|-------|-----|---------|---------|---------|-------------|---------|
| | | | 加热温度(℃) | 保温时间(h) | 淬火水温(℃) | 加热温度(℃) | 保温时间(h) |
| ZAlZn11Si7 | ZL401 | T2 | — | — | — | 300±10 | 2~4 |
| ZAlZn6Mg | ZL402 | T1 | — | — | — | 175±5 | 6~8 |
| | | T5 | — | — | — | 室温 | 20天 |
| | | T5 | — | — | — | 175±5 | 6~8 |

3.2.7 测定力学性能用的标准试样

GB1173—86“铸造铝合金技术条件”规定用铸造

成形不经机械加工的试样进行拉伸试验,并规定试样的尺寸和铸造试样的浇注系统,见图4-7和图4-8。

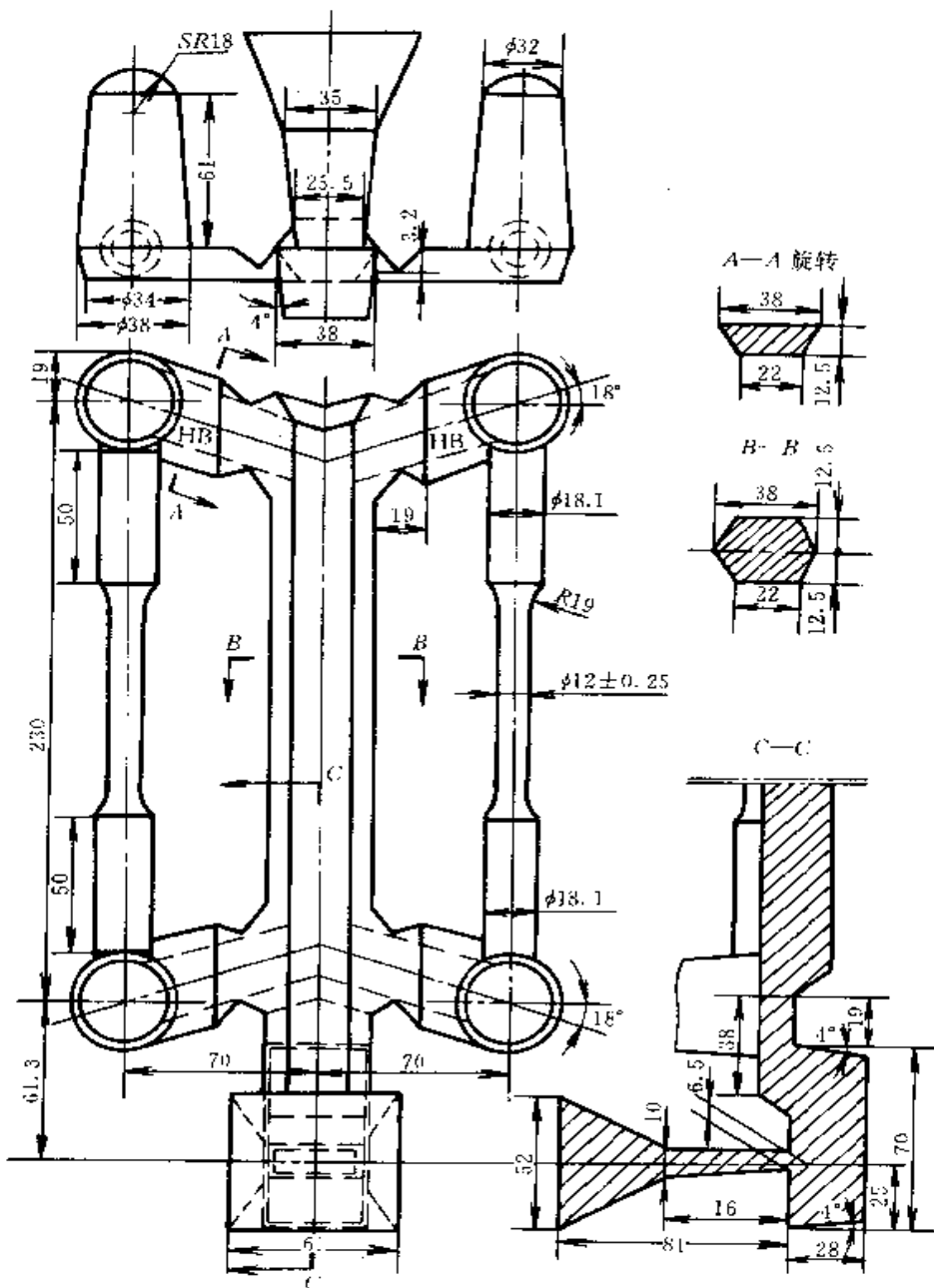


图4-7 铸造铝合金用砂型标准试样及浇注系统

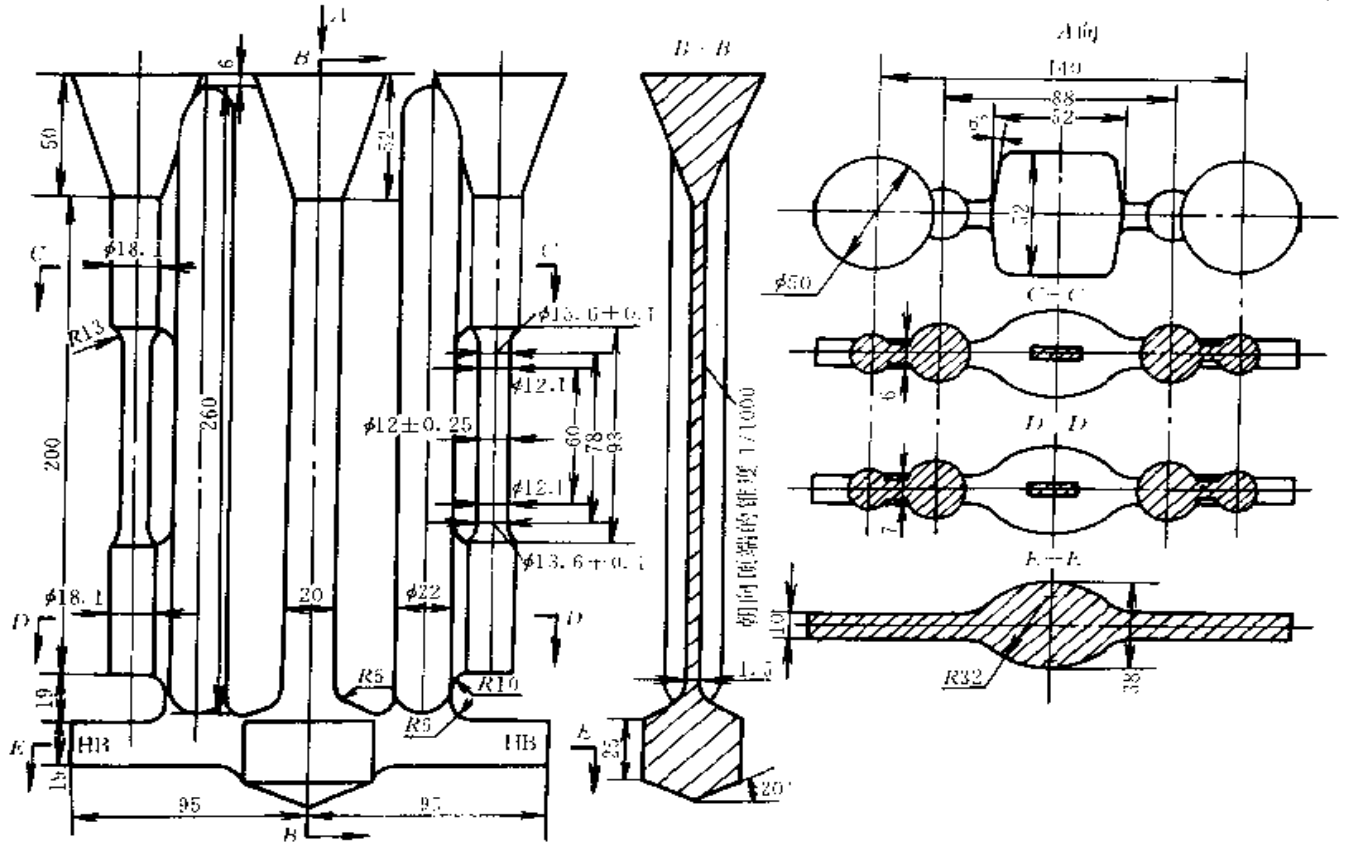


图 4-8 铸造铝合金用金属型标准试样及浇冒口系统

注：当试样中部在 $\phi 12 \pm 0.25$ 公差范围内变化时，要求 $\phi 12.1$ 同步变动

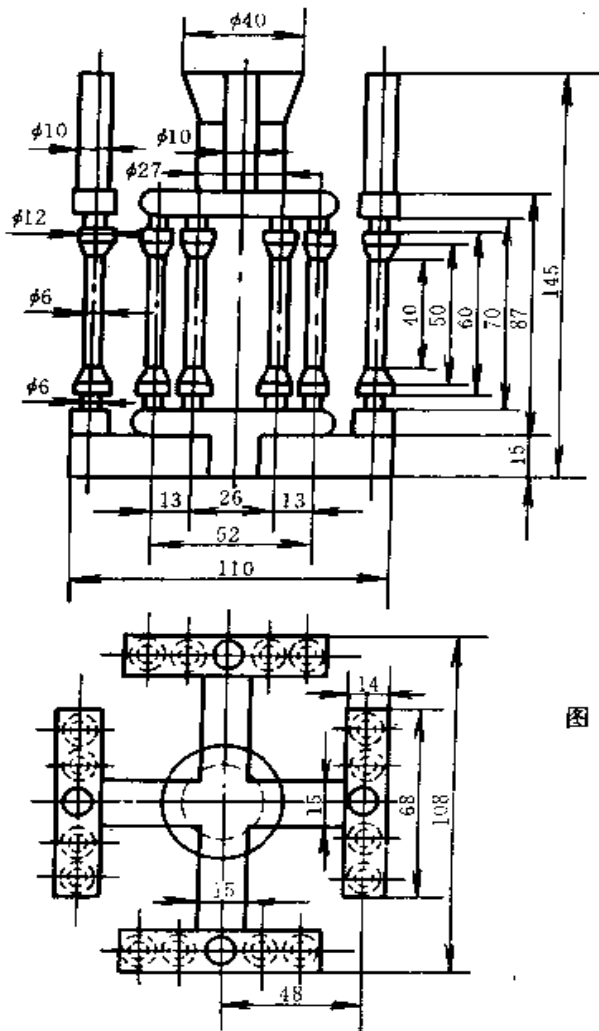


图 4-9 砂模铸造铝合金用单铸试样及试样的模组

表 4-72 几种铝中间合金配制方法(要点)

| 名称 | 合金含量 (%) | 熔炼要点 | 合金浇注温度 (°C) |
|-------|----------|--|-------------|
| 铝硅合金 | 22~26 | 1. 熔化铝锭,加热到 760~780°C 2. 分批加入经预热的结晶硅 3. 充分搅拌并进行除气处理 | 720~750 |
| 铝铜合金 | 45~55 | 1. 熔化铝锭,加热到 800~850°C 2. 分批加入经预热的电解铜或细小的铜锭块 3. 搅拌铜全熔后,进行除气处理 | 700~750 |
| 铝锰合金 | 9~11 | 1. 熔化铝锭,加热到 900~1000°C 2. 加入经预热的金属锰(分批) 3. 锰熔后,搅拌,进行除气处理 | 850~900 |
| 铝镍合金 | 9~11 | 1. 熔化铝锭,加热到 850~950°C 2. 加入经预热的镍板或镍粒 3. 镍熔后,搅拌,进行除气处理 | 750~800 |
| 铝铬合金 | 2~3 | 1. 将 3/4 的铝先熔,覆盖 BaCl ₂ ,过热到 1100°C 2. 将金属铬碎成小块,预热后分批加入 3. 铬熔后,加入剩余的 1/4 的铝 4. 全熔后充分搅拌 | 900~910 |
| 铝稀土合金 | 8~10 | 1. 熔化铝锭,加热到 700~720°C 2. 稀土混合金属碎成 10~20mm 小块,预热后分批加入。加入时放在涂有涂料的铁勺上置于金属液的中部,不暴露在液面,也不要沉底 3. 全熔后,加热到 800~880°C,保温 20~30min | 800~880 |
| 铝钛合金 | 3~5 | 1. 将 90% 左右的铝锭熔化,加热到 1050~1100°C 2. 覆盖干燥的冰晶石粉,分批加入预热到 300°C 左右的海绵钛,用石墨棒不断搅拌 3. 钛全熔后,加入剩余的铝降温 | 950~1000 |
| 铝锶合金 | 4~5 | 1. 熔化铝锭,升温到 725~735°C 2. 除气处理后分批用钟罩加入金属锶 3. 锶全熔后,搅拌,除渣 | 700~730 |

GB9438—88“铝合金铸件技术条件”规定了熔模铸造铝合金用单铸试样及试样的模组,见图 4-9。

3.3 铝合金的熔炼

3.3.1 铝合金熔炼的基本过程

铝合金的熔炼,可有三种作业方法。

3.3.1.1 常规熔炼作业 常规熔炼作业,除镁、铝、锌以金属锭作为炉料外,其它合金元素均以中间合金的形式加入。

最好按 GB 8733—88“铸造铝硅合金锭”和 GB

8735—88“铝中间合金锭”,购买相应牌号的合金锭。上述两标准规定的牌号及化学成分见本书第一章。

铸造厂不得自行配制中间合金时,几种常用的合金的配制方法可参看表 4-72。

常规熔炼作业的基本过程见表 4-73。

3.3.1.2 合金锭重熔法 按照 GB8733—88“铸造铝合金锭”,购买相应牌号的合金锭,铸造只须加以重熔和精炼,是简便而且经济的作业方法,世界各工业国采用者甚广。

表 4-73 铝合金熔炼作业的基本过程

| 合金类别 | 作业过程及要点 |
|-------|---|
| 铝硅系合金 | 1. 装料及熔化 1) 镁锭和锌锭不在装料时随其它炉料一并加入, 以避免熔化过程中烧损及氧化 2) 视炉料的状况, 于装料时一次或分批加入回炉料、铝锭、铝硅合金及其它中间合金 3) 上述炉料全部熔化后, 控制温度不超过 700℃, 先加入锌锭, 再加入镁锭或铝稀土合金锭 2. 精炼和除气 3. 变质处理 |
| 铝铜系合金 | 1. 装料及熔化 1) 视炉料情况, 于装料时一次或分批加入回炉料、铝锭、铝锰合金、铝钛合金等 2) 上述炉料全熔后, 加入铝铜合金, 熔后再加入铝硼合金、金属镉等 2. 精炼和除气 |
| 铝镁系合金 | 1. 装料及熔化 1) 先加入回炉料和铝锭, 装料时不加入镁和锌 2) 炉料熔化后, 加入占炉料重 3% 左右的覆盖剂 (光卤石 60%, 氯化钙 40%) 3) 加入锌和镁 2. 精炼和除气 |

3.3.1.3 一次熔炼法 大部分合金元素均以纯金属锭直接加入, 不先配中间合金。此种作业方法, 与常规熔炼方法相比, 可使熔炼合金的能耗大幅度下降, 同时可提高劳动生产率, 降低生产成本。近年来, 这种作业方法在国内外都受到关注, 国内有些工厂在实际生产中获得了很好的效果。

熔炼合金时, 先加入回炉料和铝锭。

炉料全熔后, 加入覆盖剂, 然后按要求加入经预

热的铜块、金属锰、锌锭、结晶硅、镁锭。

合金配好后, 进行精炼除气。

铝硅合金还是按常规作业方法进行变质处理。

3.3.2 精炼除气

精炼除气, 是熔炼铝合金的重要步骤, 也是保证生产优质铸件的关键。常用的精炼除气方法归纳于表 4-74。

表 4-74 铸造铝合金的精炼除气方法

| 精炼除气方法 | 要 点 | 处理时间 (min) | 处理后静置时间 (min) | 优 缺 点 |
|--------|--|------------|---------------|---|
| 吹氮精炼 | 氮经干燥器脱水, 降压到 15~20kPa 铝液加热到 700~740℃, 用石墨管 (或石英管) 插入到距坩埚底部 100~150mm 处, 出气孔 $\phi 2\sim 3\text{mm}$, 视熔化量吹 7~15min | 12~20 | 5~10 | 无毒, 除气效果好 缺点: 形成氯化铝, 影响铝液质量, 合金含镁时易产生氯化镁, Al-Mg 系合金宜慎用 |
| 氮气旋转喷吹 | 用可旋转的喷头吹氮, 在熔地深处, 快速旋转打碎气泡、搅拌合金 | 6~8 | 5~10 | 在吹头作用下气泡细小分布均匀, 强化了除气过程和除渣过程, 液面平稳, 合金烧损少但需专用设备 |
| 吹氧精炼 | 氧经干燥器脱水, 压力调到 15~20kPa 铝液加热到 675~690℃, 用石墨管 (或石英管) 插入到距坩埚底部 50~100mm 处, 吹气约 7~10min, 处理结束时铝液不应高于 720℃ | | 5~10 | 除气效果最好 缺点: 毒性强烈, 对工人有危害, 腐蚀设备和厂房 |
| 三气精炼 | $\text{Cl}_2:\text{CO}:\text{N}_2=1:1:8$, 处理温度 740~760℃ 其余要点参考以上三种方法 | 7~10 | 5~10 | 氮被稀释, 劳动条件有所改善, 仍有毒 |

(续)

| 精炼除气方法 | 要 点 | 处理时间 (min) | 处理后静置时间 (min) | 优 缺 点 |
|---------|---|------------|---------------|--------------------------------|
| 氯盐精炼 | 按炉料的 0.3%~0.7%，加六氯乙烷。含 Mg 量高时取上限（处理温度 740~750℃），不含 Mg 时取下限（处理温度 710~730℃） | 8~12 | 10~15 | 六氯乙烷不吸潮，易保存，除气效果好。有毒，反应激烈金属损耗多 |
| | （六氯乙烷 50% + 氯硅酸钠 50%），0.3%~0.5% 处理温度 730~760℃ | 8~12 | 10~12 | 作用比六氯乙烷缓和，易除渣，金属损耗较少。有毒 |
| | （2/3 六氯乙烷 + 1/3 二氧化钛）或（1/3 六氯乙烷 + 2/3 二氧化钛）0.5%~0.7% 处理温度 720~730℃ | 5~7 | 10~15 | 作用比六氯乙烷缓和，易除渣，金属损耗少，有毒 |
| | 氯化锰 0.2%~0.3%（720~730℃） | 3~5 | 8~12 | 除气效果尚可，但不如六氯乙烷，易吸潮，有毒 |
| | 氯化锌 0.15%~0.2%（690~730℃） | 3~5 | 5~10 | |
| | 氯化铅 0.10%~0.20%（720~740℃） | 3~5 | 10~15 | |
| 氟载氟里昂精炼 | 用氟里昂 12 占 5% 和氟 95% 的混合气吹炼，吹气量视坩埚容量而定，60kg 坩埚为 4~6L/min | 4~5 | 5~10 | 精炼效果良好，毒性比吹氯和氯盐精炼均低得多 |

精炼除气作业完成之后，用干型明浇图 4-10 所示的试样，冷却后剖开，检查针孔度以评定除气效果。

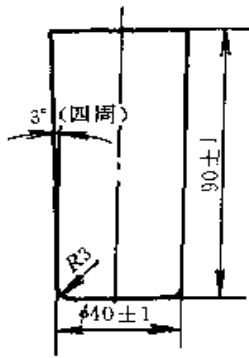


图 4-10 检查除气效果的试样

炉前检查可采用检查铜合金含气量的试样铸型（图 4-4），浇注合金后观察其表面收缩情况，以判断其含气量是否在允许值以下。重要的铸件，试样浇注后置于负压罩下凝固，观察其表面收缩情况，并于冷却后锯开，观察其断面。

近年来，有多种称为“无毒精炼剂”商品问世，曾一度颇受重视。这类精炼剂基本上都以硝酸盐和石墨粉为主体，据认为加入铝液中后，硝酸盐与石墨粉作用而产生 CO_2 和 N_2 ，由于这些气泡在铝液中上浮而起精炼除气作用。对“无毒精炼剂”的效果及其是

否确实无毒，目前尚不能简单地作结论。从众多的生产实践看来，有些确有一定的精炼作用。但也有造成铝液氧化、增加合金烧损的情况。此外，精炼时产生的气体的毒性虽较氯或氯盐精炼时低些，但尚不能证实其无毒。几种无毒精炼剂的配方，见表 4-75。

表 4-75 几种无毒精炼剂的配方（质量%）

| 序号 | 硝酸钠 | 硝酸钾 | 石墨粉 | 六氯乙烷 | 冰晶石粉 | 氟硅酸钠 | 食盐 | 耐火砖粉 | 用量（金属液的%） |
|----|-----|-----|-----|------|------|------|----|------|-----------|
| 1 | 34 | — | 6 | 4 | — | — | 24 | 32 | 0.3~0.5 |
| 2 | — | 40 | 6 | 4 | — | — | 24 | 26 | 0.3~0.5 |
| 3 | 34 | — | 6 | — | 20 | — | 10 | 30 | 0.3~0.5 |
| 4 | — | 40 | 6 | — | 20 | 20 | 10 | — | 0.3~0.5 |
| 5 | 36 | — | 6 | — | — | — | 28 | 30 | 0.5~0.5 |

3.3.3 晶粒细化

固溶体型铝合金，如铝铜系合金和铝镁系合金，可由加入钛、硼、锆等元素而使晶粒细化。可用中间合金的形式加入，也可用这些元素的盐类配成晶粒细化剂。晶粒细化处理，用于铝锌系合金和亚共晶铝硅系合金也有效果。常用的晶粒细化方法见表 4-76。

表 4-76 铝合金的晶粒细化处理

| 晶料细化剂 | 盐 类 | | | 中间合金 (GB 8735—88) | |
|--------------|---|---------------------------------|--|----------------------|---------|
| | KBF ₄ 25% K ₂ TiF ₆ 75% | K ₂ ZrF ₆ | K ₂ TiF ₆ 39% KBF ₄ 33% K ₂ ZrF ₆ 28% | AlTi5 | AlTi5Bi |
| 加入量 (占合金的%) | 1.0~1.5 | 0.5~1.0 | 1.5~2.0 | 0.4~0.6 | 0.4~0.6 |
| 细化剂预热 | 200±10℃, 2~4h | | | 同炉料 | |
| 处理时合金的温度 (℃) | 730~750 | | | 710~730 | |

3.3.4 铝硅系合金的变质处理

变质处理的目的是改变共晶硅或初生硅的形貌, 从而显著提高合金的力学性能。

3.3.4.1 亚共晶和共晶铝硅合金的变质处理 亚共晶铝硅合金和共晶铝硅合金, 不经变质处理者, 组织中共晶硅为长针状, 无规律分布, 还可能有 α 枝晶或少量块状初生硅。变质处理后, 共晶硅为点状或蠕虫状。现在, 熔炼亚共晶和共晶铝硅合金时, 变质处理是不可缺少的工序, 通常用钠变质, 也可用铯、碲或铋变质。

过变质也会导致组织不佳、性能恶化。

铝硅合金的显微组织特征见表 4-77。

亚共晶、共晶铝硅合金的变质处理要点及各种变质处理的比较, 见表 4-78。

表 4-77 亚共晶、共晶铝合金的钠变质处理和组织特征

| 合金状态 | 显微组织特征 |
|-------|---|
| 未变质 | 共晶硅为长针状, 无规律分布, 因含硅量不同, 可有 α 枝晶或少量块状初生硅 |
| 变质不足 | α 枝晶与共晶体均匀分布, 共晶硅部分为杆状、部分为针状 |
| 变质正常 | α 枝晶与共晶体均匀分布, 共晶硅为点状或蠕虫状 |
| 变质衰退 | α 枝晶与共晶体的分布不很均匀, 共晶硅变粗, 部分呈短杆状、部分为针状 |
| 轻度过变质 | α 枝晶与共晶体的分布基本上均匀, 一些共晶体中出现线性 α 带 |
| 严重过变质 | α 枝晶与共晶体的分布很不均匀, 出现粗的过变质带, 即细密共晶体中出现波浪状分布的 α 带, 带中有许多粗大的共晶硅 |

表 4-78 亚共晶和共晶铝硅合金的变质处理

| | | 钠变质 (三元变质剂) | 钠变质 (四元变质剂) | 铯变质 | 碲变质 | 铋变质 |
|---------------|-----------|--|---|--|-----------|----------------------------|
| 变质剂 | | NaF 45% NaCl 40% KCl 15% | NaF 30% NaCl 50% KCl 10% 冰晶石 10% | 含 Sr4%~5% 的 Al-Sr 合金 | 三级纯碲 | 含 Sb3%~5% 的 Al-Sb 合金 |
| 变质剂用量 (占合金的%) | | 1.5~2 | 2~3 | 0.02~0.06 (Sr 加入量) | 0.05~0.10 | 0.3~0.5 (Sb 加入量) |
| 变质剂 的预热 | 温度 (℃) | 200~400 | | 同 炉 料 | | |
| | 时间 (h) | >3 | | | | |
| 变质处理温度 (℃) | | 740~760 | | 700~740 | | |
| 变质操作要点 | | 1. 将经预热的变质剂撒在合金表面上, 覆盖 10~15min 2. 打碎覆盖层, 将其压入合金液 100~150mm 深处, 操作 3min 后除渣 | | 变质剂在精炼除气前加入, 以克服潜伏期长的缺点, 也可克服合金吸气倾向强的不足 不能用氯或氯盐除气 | | Al-Sb 合金可随炉料加入, 也可在精炼除气后加入 |

(续)

| | 钠变质 (三元变质剂) | 钠变质 (四元变质剂) | 锶变质 | 磷变质 | 铋变质 |
|-----|--|----------------|--|-----|---|
| 优缺点 | 优点： 变质效果稳定 缺点： 1. 变质效果保持时间短 2. 变质剂易吸湿 3. 腐蚀铁质坍塌 | | 优点： 变质效果可保持 8h 或更久，经处理的合金重熔 5~6 次，仍能保持变质效果 与钠变质互不干涉 缺点： 1. 变质后有 40min 的潜伏期 2. 有增加合金吸气倾向 | | 优点： 长效变质 缺点： 1. Sb 和 Na 会互相抵消变质作用 2. 变质作用需借助快冷实现，不适用于砂型 |

3.3.4.2 过共晶铝硅合金的变质处理 不经变质处理的过共晶铝硅合金，组织中有板状初生硅和粗针状共晶硅，力学性能很低。含硅 25% 的铝硅合金，抗拉强度约为 89MPa，伸长率仅 0.9%。因而，细化初生硅是制造过共晶铝硅合金铸件的关键。这种孕育处理的过程，通常也被称为变质处理。目前，实际上用于生产的变质剂是磷。

单独用赤磷变质的做法已非常少见，大都将赤磷与其它化合物配合使用，以改善工作条件。含铜的合金可用磷铜变质，宜采用含磷量较低的磷铜合金。

用磷和钠双重变质，处理后 10min 先出现磷细化初生硅的效果，随后也表现出钠变质的效果，变质剂可用钠的磷酸盐。

过共晶铝硅合金的变质处理，见表 4-79。

表 4-79 过共晶铝硅合金的变质处理

| 变质剂 | 赤磷 10% 六氯乙烷 90% | 赤磷 20% KCl 70% K ₂ TiF ₆ 10% | 赤磷 15% 六氯乙烷 40% KCl 38% K ₂ TiF ₆ 7% | CuP12 或 CuP8 (GB 8736—88) | NaPO ₃ 80% 氧化铝粉 10% V ₂ O ₅ 10% | P ₂ S ₅ 60% NaCl 40% |
|----------------|---|--|---|---------------------------------|--|---|
| 加入量 (占合金的%) | 0.3~0.5 | 0.5~0.8 | 0.5~0.8 | 0.6~1.2 | 1~2 | 0.8~1.0 |
| 变质温度 | 合金含 Si22% 以下，800℃；含 Si25%，830℃；含 Si30%，880℃ | | | | | |
| 说明 | 产生较多的氯，有毒，铝液沸腾强烈，易生成氧化渣 | 有良好的变质效果，反应也较缓和 变质时仍有烟气 | 变质剂易溶于铝液中 含有多量的铜，只能用于含铜的合金 | 覆盖于液面即可，处理简便 有 P 和 Na 双重变质效果 | 覆盖合金液面即可 处理潜伏期约 10min | |

4 铸造镁合金

在实际应用的工程合金中，镁合金是密度最小、比强度很高而切削加工性能良好的合金。在汽车及其它车辆的轻量化日益受到重视的今天，镁合金的重要性已不容置疑。

另一方面，含镁的各种矿物占地壳的 2.5%，就陆地的蕴藏而言，镁的储量占第 8 位。而且，海水中的含镁量也极为丰富，如每年从海水中提取 1 亿吨镁，连续提取 100 年，海水中的镁也只会减少 13% 左右。

镁是非常活泼的金属，在高温下易与空气中的氧

反应而激烈燃烧，不象铝那样便于处置。熔炼及铸造镁合金时，通常要用熔剂、六氟化硫气体或硫粉等，阻断其与空气的接触。

4.1 铸造镁合金的分类及其主要特点

铸造镁合金可分为镁铝系合金和镁锌系合金两大类

4.1.1 镁铝系合金

镁铝合金是最先得到广泛应用的镁合金。单纯的镁铝二元合金，晶粒粗大、组织不均匀，应通过加入合金元素并进行变质处理以改善组织。不加其它合金元素的铸造镁铝合金实际上很少采用。

几种合金元素在镁铝合金中的作用，见表 4-80。

表 4-80 合金元素在 Mg-Al 合金中的作用

| 元素 | 加入量 (%) | 主要作用 |
|----|---------------------|---|
| Zn | 含 Al 量高时 0.2~1.2 | 有强化作用, 提高合金的强度和塑性 |
| | 含 Al 量低时 2~5 | Zn 加入量和合金中 Al 含量是逆向的, Al 含量高时, Zn 含量应较低 |
| | 压铸合金 8~12 | 含 Zn 量高时, 流动性很好, 特别适于压铸 |
| Mn | 0.15~0.5 | 改善抗蚀性 |
| Be | 0.002~0.01 | 改善抗氧化能力 |

4.1.2 镁锌系合金

二元镁锌合金可通过时效而强化, 但不能用过热变质处理使晶粒细化, 所以, 通常都在合金中加锆, 使晶粒细化。合金中含锆量, 一般都在 0.4% 到 1.0% 之间。实际应用的是镁锌锆合金, 并可在此三元合金的基础上加入其它合金元素, 以进一步改善其性能。几种合金元素的作用, 见表 4-81。

4.2 铸造镁合金的规格

GB/T1177-91 “铸造镁合金” 列有 8 种镁合金,

牌号及化学成分要求见表 4-82, 力学性能要求见表 4-83。

拉伸试验用铸造成形的单铸标准试样进行, 其形状、尺寸及浇冒口系统见图 4-11。

表 4-81 合金元素在 Mg-Zn-Zr 合金中的作用

| 元素 | 加入量 (%) | 主要作用 |
|-----------|----------|---|
| 混合稀土 (RE) | 0.75~4.0 | 改善铸造性能, RE 含量愈高, 铸造性能愈好 对合金的常温力学性能无改善作用, 甚至降低塑性, 但改善耐热性能 |
| Ag | 0.6~2.5 | 显著提高力学性能, Mg-Zn-Ag-Zr 合金是广泛采用的高强度镁合金 |
| Y | 1.5~4.0 | 改善高温强度和抗蠕变性能 问题是钇很贵, 而且难以加进镁合金中 |
| Th | 1.5~4.0 | 改善高温强度和抗蠕变性能和 RE 一样, 可改善合金的铸造性能 |

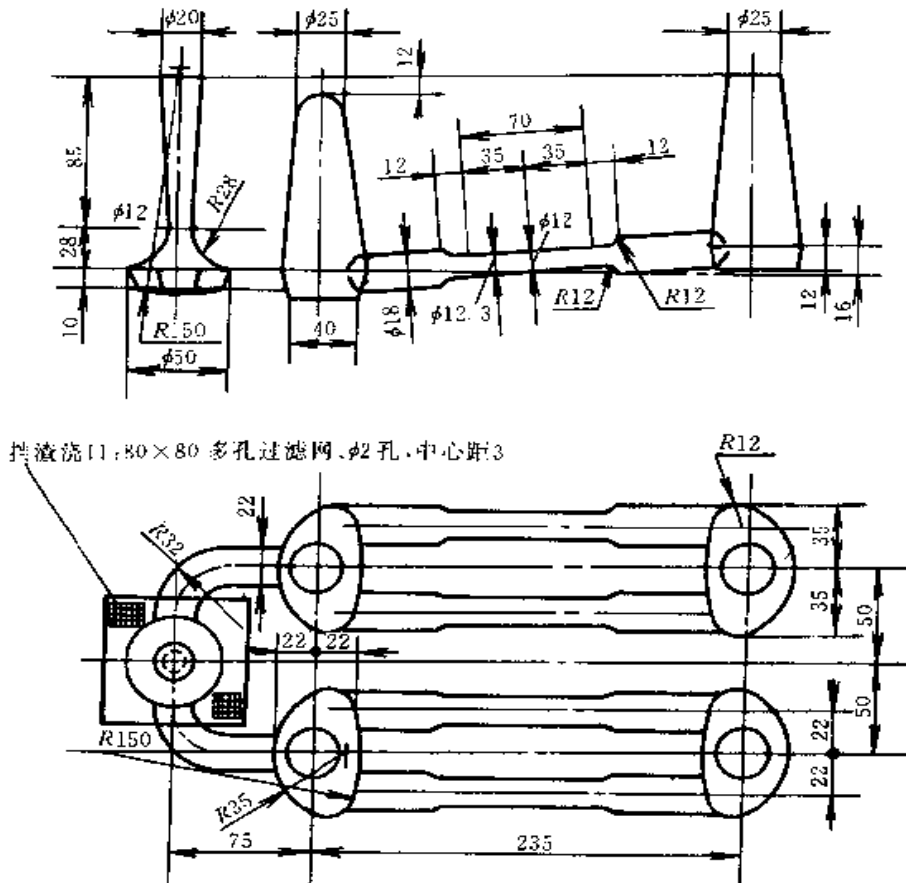


图 4-11 铸造镁合金用单铸试样及其浇冒口系统

表 4-82 铸造镁合金的化学成分 (GB/T1177—91)

(%)

| 合金牌号 | 合金代号 | 化学成分 ^① (未注范围者为最大值) | | | | | | | | | | |
|-------------|------|-------------------------------|----------|---------|-------------------------|----------|---------|------|------|------|------|------|
| | | Zn | Al | Zr | RE | Mn | Ag | Si | Cu | Fe | Ni | 杂质总量 |
| ZMgZn5Zr | ZM1 | 3.5~5.5 | — | 0.5~1.0 | — | — | — | — | 0.10 | — | 0.01 | 0.30 |
| ZMgZn4RE1Zr | ZM2 | 3.5~5.0 | — | 0.5~1.0 | 0.75 ^② ~1.75 | — | — | — | 0.10 | — | 0.01 | 0.30 |
| ZMgRE3ZnZr | ZM3 | 0.2~0.7 | — | 0.4~1.0 | 2.5 ^③ ~4.0 | — | — | — | 0.10 | — | 0.01 | 0.30 |
| ZMgRE3Zn2Zr | ZM4 | 2.0~3.0 | — | 0.5~1.0 | 2.5 ^③ ~4.0 | — | — | — | 0.10 | — | 0.01 | 0.30 |
| ZMgAl8Zn | ZM5 | 0.2~0.8 | 7.5~9.0 | — | — | 0.15~0.5 | — | 0.30 | 0.20 | 0.05 | 0.01 | 0.50 |
| ZMgRE2ZnZr | ZM6 | 0.2~0.7 | — | 0.4~1.0 | 2.0 ^③ ~2.8 | — | — | — | 0.10 | — | 0.01 | 0.30 |
| ZMgZn8AgZr | ZM7 | 7.5~9.0 | — | 0.5~1.0 | — | — | 0.6~1.2 | — | 0.10 | — | 0.01 | 0.30 |
| ZMgAl10Zn | ZM10 | 0.6~1.2 | 9.0~10.2 | — | — | 0.1~0.5 | — | 0.30 | 0.20 | 0.50 | 0.01 | 0.50 |

① 合金可加入铍, 其含量不大于 0.002%。

② 含铈量不小于 45% 的铈混合稀土金属, 其中稀土金属总量不小于 98%。

③ 含铈量不小于 85% 的铈混合稀土金属, 其中 Nd+Pr 不小于 95%。

表 4-83 铸造镁合金的力学性能 (GB/T1177—91)

| 合金牌号 | 合金代号 | 热处理状态 | δ_b | $\sigma_{0.2}$ | δ_5 |
|-------------|------|-------|------------|----------------|------------|
| | | | (MPa) | (MPa) | (%) |
| ZMgZn5Zr | ZM1 | T1 | 235 | 140 | 5 |
| ZMgZn4RE1Zr | ZM2 | T1 | 200 | 135 | 2 |
| ZMgRE3ZnZr | ZM3 | F | 120 | 85 | 1.5 |
| | | T2 | 120 | 85 | 1.5 |
| ZMgRE3Zn2Zr | ZM4 | T1 | 140 | 95 | 2 |
| | | F | 145 | 75 | 2 |
| ZMgAl8Zn | ZM5 | T4 | 230 | 75 | 6 |
| | | T6 | 230 | 100 | 2 |
| ZMgRE2ZnZr | ZM6 | T6 | 230 | 135 | 3 |
| ZMgZn8AgZr | ZM7 | T4 | 265 | — | 6 |
| | | T6 | 275 | — | 4 |
| ZMgAl10Zn | ZM10 | F | 145 | 85 | 1 |
| | | T4 | 230 | 85 | 4 |
| | | T6 | 230 | 130 | 1 |

注: 热处理状态的代号如下:

F—铸态, T₁—人工时效, T₂—退火, T₃—淬火,T₆—淬火后完全人工时效。

4.3 铸造镁合金的熔炼

镁易于氧化, 熔融镁液表面氧化的烈度随温度升高而剧增, 而且表面上形成的氧化膜不能阻碍镁的进一步氧化。高于 850℃, 暴露于空气的镁液表面会自燃。因此, 熔炼镁合金时, 必须覆盖适当的熔剂。

熔炼镁合金也要进行精炼除气作业。镁铝系合金还需变质处理。

4.3.1 熔剂材料

由于镁的活性很强, 构成熔剂的材料只能是碱金属和碱土金属的氯化物和氟化物, 以及少数不活泼的氧化物。熔炼镁合金时的熔剂, 有时要求其浮在镁合金液的表面, 起覆盖作用, 有时则要求其沉在镁合金液中下沉, 起精炼作用, 所以要注意每种材料的密度。

常用的几种熔剂材料, 见表 4-84。

表 4-84 熔炼镁合金所用的熔剂材料

| 名称 | 熔点 (℃) | 密度 (g/cm ³) | 在熔剂中的作用 |
|--------------------------|--------|-------------------------|--|
| 氯化镁 MgCl ₂ | 718 | 20℃固 2.18 722℃液 1.69 | 在镁合金熔点以上, MgCl ₂ 可与空气中的氧和水蒸汽反应, 生成 MgO, HCl 和 Cl ₂ , 阻碍合金与空气的强烈作用 能润湿合金中的氧化物, 氯化物和其它非金属夹杂物 是镁合金用熔剂中的主要成分 |
| 食盐 NaCl | 800 | 20℃固 2.17 814℃液 1.54 | MgCl 60% 和 NaCl 40% 组成的混合盐, 熔点为 420℃ 左右 供调整熔剂熔点和粘度用 |

(续)

| 名称 | 熔点 (°C) | 密度 (g/cm ³) | 在熔剂中的作用 |
|--------------------------|------------|------------------------------|---|
| 氯化钾 (KCl) | 772 | 20°C 固 1.99 833°C 液 1.48 | MgCl ₂ 中加入 KCl 后, 熔点、表面张力和粘度均显著降低, 减轻 MgCl ₂ 的蒸发 无水光卤石 (含 MgCl ₂ 44%~52%, KCl 32%~46%) 熔点仅为 400~480°C |
| 氯化钙 CaCl ₂ | 774 | 20°C 固 2.51 780°C 液 2.06 | 调整熔剂的密度 |
| 氯化钡 BaCl ₂ | 955 | 20°C 固 3.87 964°C 液 3.06 | 作为熔剂的增重剂, 使熔剂下沉进入合金而强化精炼作用 |
| 氟化钙 | 1378 | 20°C 固 3.18 1380°C 液 2.53 | 熔剂的增稠剂, 提高粘度, 便于除渣 可增强熔剂的精炼作用 |

4.3.2 熔剂

常用熔剂的配比及其用途, 见表 4-85。

表 4-85 熔炼镁合金用的熔剂

| 熔剂 编号 | 基本成分 (%) | | | | | | | 用途 |
|----------|-------------------|-------|-------------------|------------------|------|-------------------|------|----------------------|
| | MgCl ₂ | KCl | BaCl ₂ | CaF ₂ | NaCl | CaCl ₂ | MgO | |
| 1 | 61 | 39 | — | — | — | — | — | 洗涤熔炼浇注工具 |
| 2 | 38~46 | 32~40 | 5~8 | 3~5 | ≤8 | | — | 用于 Mg-Al 系合金作精炼剂或覆盖剂 |
| 2a | 38~46 | 32~40 | 5~8 | — | ≤8 | | — | |
| 3 | 34~40 | 25~36 | 5~8 | 15~20 | 6 | 6 | 7~10 | 用于 Mg-Al 系合金作精炼剂 |
| 3a | 34~40 | 25~36 | 5~8 | 15~20 | — | — | 7~10 | |
| 4 | 32~38 | 32~36 | — | 8~10 | ≤8 | | — | 用于 Mg-Zn-Zr 系合金 |
| 5 | 24~30 | 20~26 | 12~16 | 13~15 | ≤8 | | — | |
| 6 | 34 | 55 | 9 | 2 | — | — | — | 用于各种镁合金 (国外采用的配方) |
| 7 | 50 | 20 | — | 15 | — | — | 15 | |
| 8 | 40 | 17 | — | — | 40 | — | — | |
| 9 | 44 | 41 | — | 5 | 6.5 | — | 2.5 | |
| 10 | — | 55 | 15 | 2 | — | 28 | — | 用于含稀土及钍的镁合金 |

熔剂配好后, 先熔化脱水、再粉碎备用。熔炼镁合金时, 先将坩埚预热到暗红色, 加入熔剂, 加热到 200°C 左右, 留一部分在坩埚底, 取出一部分备用。

4.3.3 镁铝系合金的变质处理

镁铝系合金的组织粗大而不均匀, 必须进行变质处理使晶粒细化, 从而提高力学性能。变质处理的实质是促使合金在凝固过程中形成大量结晶核心。几种

变质作业的要点, 见表 4-86。

表 4-86 镁铝系合金的变质处理

| 变质作业 | 要点 |
|------|---|
| 过热变质 | 将合金液过热到 850~900°C, 立即提出坩埚, 使其快速冷却到浇注温度, 即可形成大量结晶核心, 使晶粒细化 |

(续)

| 变质作业 | 要 点 |
|--------|--|
| 碳酸盐变质 | 将占合金质(重)量 0.4%~0.5% 的碳酸钙或碳酸镁烘干,当合金液温度为 760~780℃ 时,用钟罩将变质剂碳酸钙压入合金液中 $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ 深处(用碳酸镁时,金属液的温度可略低),并水平移动,约 5min 碳酸盐热解产生的 CO ₂ 被 Mg 还原,得到的碳和铝作用,在合金液内产生大量细小的 Al ₄ C ₃ 难熔质点,成为结晶核心 |
| 六氯乙烷变质 | 将占合金液质(重)量 0.3%~0.5% 的六氯乙烷加入合金中,六氯乙烷分解为氯和碳,碳又和铝作用产生 Al ₄ C ₃ 作为结晶核心 除细化晶粒外,兼有精炼除气作用 |

4.3.4 镁合金的精炼除气

镁合金的精炼除气作业的要点,见表 4-87。

表 4-87 镁合金的精炼除气方法

| 精炼作业 | 要 点 |
|----------|--|
| 熔剂精炼 | 利用熔剂与合金液充分接触,熔剂润湿、吸附夹杂物而沉积于坩埚底部。精炼温度 710~730℃,精炼后静置 10~15min |
| 六氯乙烷精炼除气 | 加入合金液重 0.2%~0.3% 的六氯乙烷,保持于坩埚底部,分解成碳和氯。氯有精炼和除气两种作用 |
| 吹氯精炼、除气 | 在合金液温度为 725~750℃ 时,吹氯处理 5~15min,有精炼和除气作用 |
| 吹氩气除气 | 有一定除气效果,但除去非金属夹杂物的效果不明显,有时和六氯乙烷精炼联合使用 |

4.3.5 镁合金熔炼的基本过程(表 4-88)

表 4-88 镁合金熔炼的基本过程

| 工 序 | 作 业 要 点 |
|------|---|
| 熔 化 | 将坩埚预热到暗红色,加入本次熔炼用的熔剂,热到 200℃ 左右,取出备后期补充的部分,坩埚底留一部分 按合金规格,加入回炉料、镁锭和铝锭(如合金中含铝) 开始熔化 |
| 加入合金 | 上述炉料全部熔清后,升温到 720℃ 左右 按规格中限计算,加入锌锭和低熔点中间合金 如需加入高熔点中间合金(如镁铝合金,镁稀土合金等),则应升温到 800℃ 左右,然后分批加入合金,并加强搅拌 全部熔清后,捞底搅拌,使合金均匀 |
| 变质处理 | 熔炼镁铝系合金时,进行变质处理(表 4-86) 其它镁合金无此工序 |
| 精炼除气 | 见表 4-87 |
| 炉前检查 | 浇注试样、检查断口 确认温度是否符合出炉要求 |
| 出炉浇注 | 出炉后,降温到符合规定的浇注温度 |

4.4 镁合金铸件的热处理

镁合金铸件热处理的目的是提高力学性能,或降低铸造应力或淬火应力。提高力学性能的前提是:合金元素经淬火可以固溶,然后经时效可以析出。

合金元素在镁合金固溶体中扩散和析出的过程缓慢,固溶处理和时效都需较长的保温时间。淬火也无需快速冷却,一般都在空气中淬火。推荐的热处理规范见表 4-89。

表 4-89 镁合金铸件的热处理规范

| 合 金 牌 号 | 热处理代号 | 固 溶 处 理 | | | 人 工 时 效 | | | 退 火 (空 冷) | |
|-------------|-------|----------|----------|----|----------|----------|----|-----------|----------|
| | | 加热温度 (℃) | 保温时间 (h) | 冷却 | 加热温度 (℃) | 保温时间 (h) | 冷却 | 加热温度 (℃) | 保温时间 (h) |
| ZMgZn5Zr | T1 | — | — | — | 175±5 | 12 | 空冷 | — | — |
| | | | | | 218±5 | 8 | | | |
| ZMgZn4RE1Zr | T1 | — | — | — | 325±5 | 5~8 | 空冷 | — | — |
| ZMgRE3ZnZr | T2 | — | — | — | — | — | — | 325±5 | 3~5 |
| ZMgRE3Zn2Zr | T1 | — | — | — | 230±10 | 5~12 | 空冷 | — | — |

(续)

| 合金牌号 | 热处理代号 | 固溶处理 | | | 人工时效 | | | 退火(空冷) | |
|------------|-------|---------|---------|----|---------|---------|----|---------|---------|
| | | 加热温度(℃) | 保温时间(h) | 冷却 | 加热温度(℃) | 保温时间(h) | 冷却 | 加热温度(℃) | 保温时间(h) |
| ZMgAl8Zn | T4 | 415±5 | 6~12 | 空冷 | — | — | — | — | — |
| | T6 | 415±5 | 6~12 | 空冷 | 200±5 | 12~16 | 空冷 | — | — |
| ZMgRE2ZnZr | T6 | 530±5 | 12~16 | 空冷 | 200±5 | 12~16 | 空冷 | — | — |
| ZMgZn8AgZr | T4 | 480±5 | 6~12 | 空冷 | — | — | — | — | — |
| | T6 | 480±5 | 6~12 | 空冷 | 150±5 | 25~30 | 空冷 | — | — |
| ZMgAl10Zn | T4 | 420±5 | 16~24 | 空冷 | — | — | — | — | — |
| | T6 | 420±5 | 16~24 | 空冷 | 230±10 | 6 | 空冷 | — | — |

镁合金铸件热处理时,为防止铸件表面氧化,如加热温度超过 400℃(固溶处理的加热温度都在 400℃以上),即应采用保护性气氛,一般可用 CO₂ 气体。

5 铸造锌合金

含锌量不少于 60%,并含有铝、铜或镁等合金元素的铸造合金,称为铸造锌合金。

锌合金的熔点低,力学性能优良,且易于表面电镀,是传统的压铸合金,广泛用于汽车工业和仪表工业部门。

重力铸造的锌合金主要用于轴承,并可作冲压成形用的模具。

锌合金还有价格低廉、熔点低等优点。

锌合金的主要缺点是抗晶间腐蚀能力差。铸件在潮湿条件下、或在含酸的大气中使用,会发生体积膨胀,导致变形或开裂,通常称之为“老化”。

防止锌合金铸件“老化”的措施主要有:

1) 尽量减少 Sn、Pb、Cd 等加强晶间腐蚀的杂质元素。

2) 加入 Mg、Cu 等合金元素。

3) 予以稳定化处理。

5.1 合金及性能

5.1.1 合金元素在锌合金中的作用

铸造锌合金中加入的合金化元素主要是铝、铜和镁,有时还加入少量的钛,以使晶粒细化。合金元素的作用,见表 4-90。

5.1.2 铸造锌合金的规格

我国现行铸造锌合金的标准(GB1175—74)中,只有 5 个牌号,不太适应当前工业发展的需要。全国铸造标准化技术委员会目前已完成了对该标准的修订

工作,已审定并报国家技术监督局批准。新修订的标准,参考了美国和德国有关的标准,共列有 8 个牌号,化学成分要求见表 4-91,力学性能见表 4-92。

表 4-90 合金元素在锌合金中的作用

| 元素 | 加入量(%) | 主要作用 |
|----|-----------|--|
| Al | <2 | 能减轻 Zn 的氧化倾向,有细化晶粒的作用,但力学性能的提高不显著 |
| | 2~4.5 | 提高含 Al 量,合金的强度和韧性显著提高。含 Al 量为 4%~4.5% 时综合力学性能最好 |
| | 4.5~28 | 含 Al 量进一步增高,合金强度仍可提高,但塑性、韧性下降 |
| Cu | 1~5.5 | Zn-Al 合金易发生晶间腐蚀,加入 Cu 后,抗晶间腐蚀的能力明显增强。Cu 还有细化晶粒、提高合金强度的作用 含 Cu 量高的锌合金,会因时效而发生体积变化,故铸件尺寸会随时间而改变 |
| Mg | 0.02~0.1 | 含铜的锌合金中加入镁,可减少体积变化,改善铸件尺寸的稳定性 Mg 可提高合金抗晶间腐蚀的能力,并能细化晶粒 |
| Ti | 0.08~0.12 | 细化晶粒、提高强度,最重要是可使合金的高温强度和抗蠕变能力显著改善 |

表 4-91 铸造锌合金的化学成分 (GB/T1175—××)

| 序号 | 合金牌号 | 合金代号 | 合金元素 | | | | 杂质含量 (不大于) | | | | | 杂质总和 |
|----|--------------|--------|---------------|---------------|-----------------|----|------------|----------------|-------|-------|----------------------------|-------|
| | | | Al | Cu | Mg | Zn | Fe | Pb | Cd | Sn | 其它 | |
| 1 | ZZnAl4Cu1Mg | ZA4-1 | 3.5~ 4.5 | 0.75~ 1.25 | 0.03~ 0.08 | 其余 | 0.1 | 0.015 | 0.005 | 0.003 | | ≤0.2 |
| 2 | ZZnAl4Cu3Mg | ZA4-3 | 3.5~ 4.3 | 2.5~ 3.2 | 0.03~ 0.06 | 其余 | 0.075 | Pb+Cd 0.009 | | 0.002 | | — |
| 3 | ZZnAl6Cu1 | ZA6-1 | 5.6~ 6.0 | 1.2~ 1.6 | — | 其余 | 0.075 | Pb+Cd 0.009 | | 0.002 | Mg0.005 | — |
| 4 | ZZnAl8Cu1Mg | ZA8-1 | 8.0~ 8.8 | 0.8~ 1.3 | 0.015~ 0.030 | 其余 | 0.075 | 0.006 | 0.006 | 0.003 | Mn0.01 Cr0.01 Ni0.01 | — |
| 5 | ZZnAl9Cu2Mg | ZA9-2 | 8.0~ 10.0 | 1.0~ 2.0 | 0.03~ 0.06 | 其余 | 0.2 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | Si0.1 | ≤0.35 |
| 6 | ZZnAl11Cu1Mg | ZA11-1 | 10.5~ 11.5 | 0.5~ 1.2 | 0.015~ 0.030 | 其余 | 0.075 | 0.006 | 0.006 | 0.003 | Mn0.01 Cr0.01 Ni0.01 | — |
| 7 | ZZnAl11Cu5Mg | ZA11-5 | 10.0~ 12.0 | 4.0~ 5.5 | 0.03~ 0.06 | 其余 | 0.2 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | Si0.05 | ≤0.35 |
| 8 | ZZnAl27Cu2Mg | ZA27-2 | 25.0~ 28.0 | 2.0~ 2.5 | 0.010~ 0.020 | 其余 | 0.075 | 0.006 | 0.006 | 0.003 | Mn0.01 Cr0.01 Ni0.01 | — |

表 4-92 铸造锌合金的力学性能 (不低于)

| 序号 | 合金牌号 | 合金代号 | 铸造方法及状态 | 抗拉强度 σ_b (MPa) | 伸长率 δ_5 (%) | 布氏硬度 HBS |
|----|--------------|--------|---------|--------------------------|-----------------------|-------------|
| 1 | ZZnAl4Cu1Mg | ZA4-1 | JF | 175 | 0.5 | 80 |
| 2 | ZZnAl4Cu3Mg | ZA4-3 | SF | 220 | 0.5 | 90 |
| | | | JF | 240 | 1 | 100 |
| 3 | ZZnAl6Cu1 | ZA6-1 | SF | 180 | 1 | 80 |
| | | | JF | 220 | 1.5 | 80 |
| 4 | ZZnAl8Cu1Mg | ZA8-1 | SF | 250 | 1 | 80 |
| | | | JF | 225 | 1 | 85 |
| 5 | ZZnAl9Cu2Mg | ZA9-2 | SF | 275 | 0.7 | 90 |
| | | | JF | 315 | 1.5 | 105 |
| 6 | ZZnAl11Cu1Mg | ZA11-1 | SF | 280 | 1 | 90 |
| | | | JF | 310 | 1 | 90 |
| 7 | ZZnAl11Cu5Mg | ZA11-5 | SF | 275 | 0.5 | 80 |
| | | | JF | 295 | 1.0 | 100 |
| 8 | ZZnAl27Cu2Mg | ZA27-2 | SF | 400 | 3 | 110 |
| | | | ST3 | 310 | 8 | 90 |
| | | | JF | 420 | 1 | 110 |

注: T3 工艺为 320℃、3h、炉冷, S—砂型铸造, J—金属型铸造, F—铸态

表 4-91 和表 4-92 中, 序号为 2 和 3 的两种合金引自德国标准 DIN1743—78, 适于铸造冲压成形模具和美术装饰品; 序号 4、6 和 8 的三种合金引自美国标准 ASTM B791—91, 适于制造减摩、减震结构件

和压铸件。

5.1.3 几种锌合金的物理性质

ASTM B791—91 中三种锌合金的物理性质, 见表 4-93。

表 4-93 三种锌合金的物理性质

| 合金牌号 | 20℃时的密度 (g/cm ³) | 凝固收缩 (%) | 凝固温度 范围 (℃) | 比热容 (24~29℃) [J/(kg·K)] | 热膨胀 (20~100℃) [nm/(m·K)] | 电导率 (%IACS) | 电阻率 (20℃) (μΩ·cm) | 收缩放尺 (%) | |
|--------------|---------------------------------|-------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------|-------------|-----|
| | | | | | | | | 模样 | 压型 |
| ZZnAl8Cu1Mg | 6.30 | 1.1 | 375~404 | 435 | 23.2 | 27.7 | 6.2 | 10.4 | 7 |
| ZZnAl11Cu1Mg | 6.03 | 1.3 | 377~432 | 450 | 24.1 | 28.3 | 6.1 | 13.0 | 7.5 |
| ZZnAl27Cu2Mg | 5.00 | 1.3 | 375~487 | 525 | 26.0 | 29.7 | 5.8 | 13.0 | 8 |

5.2 锌合金的熔炼和热处理

5.2.1 锌合金的熔炼

实际生产中所用的各种熔炉均可用于熔炼锌合金, 但为避免铁对合金的污染, 不宜采用铁质坩埚。

(1) 常规熔炼法 采用 GB8735 中的 AlCu50 中间合金(第一章), 或自配含铜 30% 的铝铜合金, 备用。操作步骤见表 4-94。

表 4-94 锌合金的常规熔炼法

| 步骤 | 操作内容 |
|----|---|
| 1 | 预热坩埚到暗红色(约 500~600℃) |
| 2 | 装应加锌锭的 90% 和回炉料的 90%, 同时装入铝铜合金 |
| 3 | 熔化后加入镁锭和需补加的铝锭 |
| 4 | 加热到 650℃ 以上, 用占合金重 0.10%~0.15% 的 ZnCl ₂ 精炼 |
| 5 | 加入剩余的锌锭和回炉料使合金液降温, 搅拌、扒渣、出炉 |

(2) 合金锭重熔法 按 GB 8738—88 “铸造锌合金锭”(见第一章), 购买相应牌号的锌合金锭重熔, 熔化后加入占炉料重 0.10%~0.15% 的氯化锌精炼。

(3) 一次熔炼法 不预配中间合金, 合金元素以铜锭、铝锭和镁块直接加入, 操作步骤见表 4-95。

表 4-95 锌合金的一次熔炼法

| 步骤 | 操作内容 |
|----|--|
| 1 | 预热坩埚到暗红色(约 500~600℃) |
| 2 | 加入电解铜或铜锭, 熔化后用占铜重 0.6%~1.0% 的磷铜脱氧 |
| 3 | 加入铝锭 |
| 4 | 铝熔后, 加入应加锌锭的 90%, 回炉料的 90% |
| 5 | 加入镁 |
| 6 | 合金液温度在 650℃ 以上时, 加入占炉料重 0.10%~0.15% 的 ZnCl ₂ 精炼 |
| 7 | 加入剩余的锌锭和回炉料使合金液降温、搅拌、除渣、出炉 |

5.2.2 锌合金铸件的热处理

锌合金的热处理有两种, 即稳定化处理 and 均匀化处理。

(1) 稳定化处理 铸造锌合金中的固相脱溶分解和共析转变因冷却速率和铜、镁的作用而受到抑制, 铸态下得到的是不稳定的组织。所以, 铸件的尺寸和性能, 会因组织缓慢时效而变化。在低温下进行稳定化处理, 可加速这种组织转变, 使尺寸和性能稳定。处理的温度愈高, 则稳定化所需的时间愈短。100℃ 下保温, 需 3~6h; 85℃ 下, 需 5~10h; 70℃ 下, 则需 10~20h。

(2) 均匀化处理 均匀化处理可改善枝晶偏析并得到细片状共析组织, 结果强度降低而塑性提高。

锌合金铸件的均匀化, 在 320~400℃ 下进行, 需保持此温度 5~8h。

6 铸造纯钛和钛合金

钛在地壳中的储量, 在所有的元素中居第 9 位, 在常用的金属元素中仅少于铝、铁和镁, 居第 4 位。

钛的密度小、比强度高、韧性好、熔点高, 更重要的是有优异的耐热性能和抗腐蚀性能。目前已广泛用于航天、航空、军工、化工及医疗器械等多种工业部门。

钛非常活泼, 在熔融状态下, 几乎能夺取所有耐火材料中的氧。因此, 必须在真空中熔炼、浇注, 炉衬和铸型都不能用常规的氧化物耐火材料。这样, 钛合金铸造在工艺上难度很大, 铸件产量是很有限的。

近年来, 熔炼钛合金的设备不断更新, 钛合金材料及铸造工艺的研究不断发展, 钛及钛合金铸件生产的前景是乐观的。

6.1 钛和钛合金中的合金元素

钛在常温下的晶格结构是密排六角(α相), 882℃ 下, 转变为体心正立方(β相)。因此, 钛合金可具有 α、β 或 α+β 等不同的显微组织。

钛合金中的合金元素, 按其组织的影响可分为 3 类, 见表 4-96。

表 4-96 钛合金中合金元素的分类

| 类别 | 作用 | 元素 |
|------------------|-----------------------------------|---|
| 稳定 α 相的元素 | 在 α 相中大量溶解, 扩大 α 相区 | Al, O, N, C, Ga |
| 稳定 β 相的元素 | 在 β 相中大量溶解, 扩大 β 相区 | 扩大 β 相区者: Mo, V, Nb, Ta 降低相变温度, 形成共析反应者: Fe, Mn, Co, Ni, Cr, Cu, Si, H |
| 中性元素 | 在 α 和 β 相中均能大量溶解 | Sn, Zr |

钛合金中, 稳定 α 相的元素的含量应有限度, 一般控制铝当量不超过 9%。铝当量太高, 合金会因有序反应而脆化。

铝当量按下式计算。

$$\text{铝当量} = \text{Al 含量} + \frac{1}{3} \text{Sn 含量} + \frac{1}{6} \text{Zr 含量} + 10(\text{O 含量} + \text{C 含量} + 2\text{N 含量})(\%)$$

钛合金中, 稳定 β 相的元素的固溶强化能力和稳

表 4-98 钛合金的分类

| 类别 | 特点 | 合金牌号举例 |
|------------------------------------|--|--|
| 全 α 合金 | 高温性能好, 组织稳定、焊接性能好, 蠕变强度较高, 是耐热钛合金的主体 常温强度较低 | ZTi1, ZTi2, ZTi3 ZTiAl4, ZTiAl5Sn2.5 |
| 近 α 合金 (β 相少于 2%) | 常温强度比全 α 合金高, 蠕变强度最高 | ZTiAl5Sn2.5 的基础上加入 Zr1.5%, Cu3% |
| ($\alpha + \beta$) 合金 | 可热处理强化, 常温强度较高, 组织不够稳定, 焊接性能较差 | ZTiAl6V4 ZTiAl6Sn4.5Nb2Mo1.5 |
| β 合金 | 耐腐蚀性能极好 组织不稳定, 力学性能波动较大 | ZTiMo32 |

α 型和近 α 型钛合金常温强度较低, 但塑性极好, 主要用于制造在腐蚀条件下工作的非受力结构件, 如泵体和阀体等。

$\alpha + \beta$ 型钛合金, 高温强度和塑性较好, 可在 400~500℃ 范围内长期工作。由于有较多的 β 相, 可通过热处理强化。

表 4-99 铸造钛及钛合金的基本化学成分 (GB/T15073—94)

(%)

| 牌 号 | Ti | Al | Sn | Mo | V | Nb | 合金代号 |
|------|----|----|----|----|---|----|------|
| ZTi1 | 基 | — | — | — | — | — | ZTA1 |
| ZTi2 | 基 | — | — | — | — | — | ZTA2 |

定 β 相的能力, 见表 4-97。

表 4-97 稳定 β 相的元素的固溶强化能力和稳定 β 相的能力

| | V | Cu | Mo | Ni | Co | Mn | Cr | Fe |
|---------------------------------|------|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| 固溶强化能力 (MPa/ 1% 含量) | 19 | 14 | 27 | 35 | 48 | 34 | 21 | 46 |
| 淬火时保留 β 相的 最低含量 (%) | 14.9 | 13 | 10 | 9 | 7 | 6.4 | 6.3 | 3.5 |

6.2 钛合金的分类

通常按钛合金的退火组织, 将其分为 4 类。钛和氧、氮、氢等间隙元素可在低于合金的熔点的温度下反应, 所以, 工业纯钛实际上是钛和杂质组成的合金。

钛合金的分类, 见表 4-98。

β 型钛合金的焊接性能好, 可用各种方法焊接。耐腐蚀性能极好, 主要用于制造耐强酸的泵体之类铸件。

6.3 铸造纯钛和钛合金的规格

GB/T 15073—94“铸造钛及钛合金”中列有 8 个牌号, 化学成分要求见表 4-99 和表 4-100。

(续)

| 牌 号 | Ti | Al | Sn | Mo | V | Nb | 合金代号 |
|---------------------|----|---------|---------|-----------|---------|---------|-------|
| ZTi3 | 基 | — | — | — | — | — | ZTA3 |
| ZTiAl4 | 基 | 3.3~4.7 | — | — | — | — | ZTA5 |
| ZTiAl5Sn2.5 | 基 | 4.0~4.6 | 2.0~3.0 | — | — | — | ZTA7 |
| ZTiMo32 | 基 | — | — | 30.0~34.0 | — | — | ZTB32 |
| ZTiAl6V4 | 基 | 5.5~6.8 | — | — | 3.5~4.5 | — | ZTC4 |
| ZTiAl6Sn4.5Nb2Mo1.5 | 基 | 5.5~6.5 | 4.0~5.0 | 1.0~2.0 | — | 1.5~2.0 | ZTC21 |

表 4-100 铸造纯钛及钛合金允许的最大杂质含量 (GB/T 15073—94) (%)

| 牌 号 | Fe | Si | C | N | H | O | 其它元素 | |
|---------------------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| | | | | | | | 单— | 总和 |
| ZTi | 0.25 | 0.10 | 0.10 | 0.03 | 0.015 | 0.25 | 0.10 | 0.40 |
| ZTi | 0.30 | 0.15 | | 0.05 | | 0.35 | | |
| ZTi | 0.40 | 0.15 | | 0.05 | | 0.40 | | |
| ZTiAl4 | 0.30 | 0.15 | | 0.04 | | 0.20 | | |
| ZTiAl5Sn2.5 | 0.50 | 0.15 | | 0.05 | | 0.20 | | |
| ZTiMo32 | 0.30 | 0.15 | | 0.05 | | 0.15 | | |
| ZTiAl6V4 | 0.40 | 0.15 | | 0.05 | | 0.25 | | |
| ZTiAl6Sn4.5Nb2Mo1.5 | 0.30 | 0.15 | | 0.05 | | 0.20 | | |

GB6614—94“钛及钛合金铸件”中规定了上述状态的力学性能指标由供需双方商定。各牌合金铸件的铸态室温力学性能(表 4-101),其它

表 4-101 钛和钛合金铸件的力学性能 (GB6614—94)

| 合 金 牌 号 | 合金代号 | 抗拉强度 ≥ (MPa) | 0.2 残余变形 屈服强度, ≥ (MPa) | 伸长率 ≥ (%) | 硬度 ≤ (HB) |
|---------------------|-------|--------------------|------------------------------|-----------------|-----------------|
| ZTi1 | ZTA1 | 345 | 275 | 20 | 210 |
| ZTi2 | ZTA2 | 440 | 370 | 13 | 235 |
| ZTi3 | ZTA3 | 540 | 470 | 12 | 245 |
| ZTiAl4 | ZTA5 | 590 | 490 | 10 | 270 |
| ZTiAl5Sn2.5 | ZTA7 | 795 | 725 | 8 | 335 |
| ZTiAl6V4 | ZTC4 | 895 | 825 | 6 | 365 |
| ZTiMo32 | ZTB32 | 795 | — | 2 | 260 |
| ZTiAl6Sn4.5Nb2Mo1.5 | ZTC21 | 980 | 850 | 5 | 350 |

注: 本表规定的是铸态室温力学性能。

6.4 钛合金的熔炼和铸造

钛对氧和氮有很强的亲和力,只能在真空中或惰性气体保护下熔炼。又由于钛能和所有的常规耐火材料反应,只能用水冷铜结晶器作为熔炼的坩埚。

浇注铸件,也在熔炼的真空室内进行。铸型则采用石墨型、石墨捣实型或水冷金属型。

常用的熔铸设备是真空自耗电极电弧凝壳炉。在真空下将自耗电极熔化在坩埚内,但要先在坩埚壁上

凝固一薄层“凝壳”，起隔热作用并保护钛液不被坩埚材料污染。电极熔化在凝壳内形成熔池，在熔融钛液量足够时，倾转坩埚，将钛液浇入铸型。

此外，还可用电子束炉、真空非自耗电极电弧凝壳炉、真空感应电炉或等离子电弧炉制造钛合金铸件。采用这些设备时，不必制备自耗电电极，但仍需使用凝壳保护的水冷铜坩埚。

6.5 钛和钛合金铸件的热处理

钛和钛合金铸件，组织中晶粒粗大而且稳定，不可能由热处理予以细化。铸件的热处理，通常是消除应力退火、热等静压处理、退火和真空除氢退火。

GB6614—94 规定了各牌号钛及钛合金铸件的供货状态，见表 4-102。

表 4-102 钛及钛合金铸件的供货状态
(GB6614—94)

| 牌 号 | 供货状态 |
|--|--------------|
| ZTi1, ZTi2, ZTi3 | 铸态 (C) |
| ZTiAl4, ZTiAl5Sn2.5, ZTiAl6Sn4.5Nb2Mo1.5 | 消除应力退火状态 (M) |
| ZTiAl6V4, ZTiMo32 | 热等静压状态 (HP) |

6.5.1 消除应力退火

目的是消除铸造应力或焊接、加工等作业过程中产生的应力。GB6614—94 规定了常用钛及钛合金铸件消除应力退火的规范，见表 4-103。

表 4-103 钛及钛合金铸件消除应力退火处理制度

| 合 金 牌 号 | 温 度 (℃) | 保 温 时 间 (min) | 冷 却 方 式 |
|------------------|------------|---------------------|------------|
| ZTi1, ZTi2, ZTi3 | 500~600 | 30~60 | 炉冷 |
| ZTiAl4 | 550~650 | 30~90 | |
| ZTiAl5Sn2.5 | 550~650 | 30~120 | |
| ZTiAl6V4 | 550~650 | 30~240 | |

表 4-105 常用轴承合金的种类及性能比较

| 合金种类 | 摩擦相容性 | 顺应性与嵌入性 | 抗疲劳性 | 耐腐蚀性 | 导热性 | 合金硬度 (HB) | 轴颈最低硬度 (HB) | 最大容许压力 (MPa) | 最高容许温度 (℃) |
|--------|-------|---------|------|------|-----|-----------|-------------|--------------|------------|
| 锡基轴承合金 | 良 | 良 | 欠佳 | 优 | 差 | 22~30 | 150 | 6~10 | 150 |
| 铅基轴承合金 | 优 | 优 | 差 | 差 | 差 | 18~30 | 150 | 6~8 | 150 |
| 铅青铜 | 中 | 欠佳 | 中 | 欠佳 | 良 | 25~60 | 200 | 20~32 | 250~280 |
| 锡青铜 | 中 | 差 | 优 | 良 | 中 | 60~90 | 200 | 7~20 | 280 |
| 铝青铜 | 差 | 差 | 良 | 优 | 欠佳 | 100~110 | 280 | 15 | 300 |

6.5.2 热等静压处理

目的是消除铸件内部的疏松，以改善致密度、提高力学性能。

将铸件置于可在内部加热的高压容器中，充惰性气体保护并造成高压。加热温度一般比相变温度低 10~20℃，压力约为 100MPa，保温、保压 2h 左右。

ZTiAl6V4 牌号的铸件保温温度为 920℃，ZTiMo32 牌号的铸件保温温度为 900℃。

6.5.3 退火

目的是使合金组织稳定、性能均匀。退火工艺参考表 4-104。

表 4-104 钛及钛合金铸件的热处理工艺

| 牌 号 | 加 热 温 度 (℃) | 保 温 时 间 | 冷 却 |
|------------------|----------------|-----------------------|-----|
| ZTi1, ZTi2, ZTi3 | 600~700 | 铸件最大截面厚度, 每 1mm 10min | 空冷 |
| ZTiAl4 | 800~850 | | |
| ZTiAl5Sn2.5 | 800~850 | | |
| ZTiAl6V4 | 700~800 | | |

6.5.4 真空脱氢处理

钛和氢可在低于合金熔点的温度下反应，故钛合金铸件在与氢或其化合物接触的过程中易吸氢，使铸件在使用中发生氢脆而早期失效。吸氢的铸件可予以真空脱氢处理。

处理时保温温度为 700~750℃，真空度 6.65×10^{-2} Pa，保温时间按每毫米铸件厚度 10min 计算。

7 铸造轴承合金

轴承合金是制造滑动轴承或双金属轴瓦的减摩合金。常用轴承合金的种类及性能比较，见表 4-105。

(续)

| 合金种类 | 摩擦相容性 | 顺应性与嵌入性 | 抗疲劳性 | 耐蚀性 | 导热性 | 合金硬度 (HB) | 轴颈最低硬度 (HB) | 最大容许压力 (MPa) | 最高容许温度 (°C) |
|--------|-------|---------|------|-----|-----|-----------|-------------|--------------|-------------|
| 铝基轴承合金 | 中 | 中 | 良 | 优 | 优 | 22~32 | 200~280 | 20~28 | 150~170 |
| 锌基轴承合金 | 差 | 差 | 中 | 优 | 中 | 80~105 | 200 | 20 | 80~120 |

注：1. 摩擦相容性是摩擦时轴承材料不与轴咬粘的性能。

2. 嵌入性是轴承材料容许硬质颗粒嵌入而减轻刮伤或磨损的性能。

3. 顺应性是轴承材料能借弹性变形补偿滑动表面初始配合不良的性能。

7.1 轴承合金的分类

7.1.1 锡基轴承合金

锡基轴承合金中以锡和铜为主要合金元素，在平衡条件下，246°C时锡在锡中可固溶10.4%，常温下只能固溶2%左右。铸造轴承合金时，冷却很快，含锡超过4%，合金中就出现 β 相（化合物SbSn）。基体 α 相有良好的塑性，是软质的， β 相为硬质点，起支承和减摩作用。

β 相的密度小于 α 相，结晶过程中容易上浮而造成偏析。加入适量的铜，可消除偏析并提高合金的力学性能。含铜量如超过6%，合金会因脆性E相过多而变脆。

锡基轴承合金的强度很低，只能作有背衬的双金属轴承。

7.1.2 铅基轴承合金

铅基轴承合金价格比锡基轴承合金便宜，故应用较广。

铅基轴承合金中又可分为铅锡系合金和铅钙钠系合金两类。

(1) 铅锡系轴承合金 这类合金以锡和锡为主要合金元素，有时还加入少量的铜。

铅锡二元合金是共晶合金，强度、硬度都很低。加入锡后，组织中有硬度较高的SbSn化合物。加入铜后，组织中出现针状Cu₂Sb或Cu₆Sn₅，可防止偏析，并提高合金的耐磨性。还可加入少量的镉或镍，提高合金的耐磨性。

(2) 铅钙钠系轴承合金 这种合金也称碱性硬化轴承合金。铅固溶体是合金的软基体，硬质点是Pb₃Ca化合物。钠则固溶于基体，提高基体的强度和硬度。

这种轴承合金的熔炼工艺复杂，且易于氧化，目前还较少采用。

铅基轴承合金也只能作有背衬的双金属轴承。

7.1.3 铅青铜

铅青铜中，铅呈点状分布于铜基上。由于铅的密度比铜大得多，易产生密度（比重）偏析，铅聚集成粗大块状，导致合金的耐磨性和力学性能降低。

含铅量在10%以上的铅青铜，不宜铸造整体轴承，只能作有背衬的双金属轴承。浇注时，应喷水快冷，以防止偏析。

铅青铜中加入适量的锡，可溶于铜，能使铜以枝状晶析出，从而减轻铅的偏析并提高合金的强度。

镍在铅青铜中的作用类似于铜，可溶于铜并减轻铅的偏析。

铅青铜中加入适当的锌，可固溶于铜，提高合金的强度和硬度。锌还可以借蒸发而降低合金中的含气量，减少气孔缺陷。

7.1.4 铝基轴承合金

铝基轴承合金的耐磨性和耐蚀性优良，疲劳强度高，可用于高速、高载荷的轴承。

铝基轴承合金，因加入的主要合金元素不同可有很多种，采用较广的是铝锡轴承合金。

铝锡轴承合金都是亚共晶合金，铸态组织是铝基上分布着网状共晶体（可近似地认为是纯锡相）。因此，铝锡轴承合金是由硬基体铝和软质点锡所组成的。

铝基轴承合金，可用以制造整体轴承，也可作有背衬的双金属轴承。

7.1.5 锌基轴承合金

锌基轴承合金中，通常以铝和铜为主要合金元素，可参看本章第5节。

锌基轴承合金的耐磨性大致与铜合金相近，其主要缺点是易于与钢制的轴咬粘。

7.2 铸造轴承合金的规格

GB/T 1174—92“铸造轴承合金”中列有5种锡基合金、5种铅基合金、7种铜基合金和1种铝基合金，化学成分要求见表4-106，力学性能要求见表4-107。

表 4-106 铸造轴承合金的化学成分 (GB/T 1174-92)

(%)

| 合金牌号 | Sn | Pb | Cu | Zn | Al | Sb | Ni | Mn | Si | Fe | Bi | As | 其它元素总和 |
|------------------|------------------|-----------|------------------|------------------|----------|-----------|------------------|------------------|------|---------|-------|---------|--------|
| ZSnSb12Pb10Cu4 | | 9.0~11.0 | 2.5~5.0 | 0.01 | 0.01 | 11.0~13.0 | — | | | | 0.03 | 0.1 | 0.55 |
| ZSnSb12Cu6Cd1 | | 0.15 | 4.5~6.8 | 0.05 | 0.05 | 10.0~13.0 | 0.3~0.6 | | | 0.1 | — | 0.4~0.7 | — |
| | 其余 | | | | | | | | | | | | |
| ZSnSb11Cu6 | | 0.35 | 5.5~6.5 | 0.01 | 0.01 | 10.0~12.0 | | | | | 0.03 | 0.1 | 0.55 |
| ZSnSb8Cu4 | | 0.35 | 3.0~4.0 | 0.005 | 0.005 | 7.0~8.0 | — | | | | 0.03 | 0.1 | 0.55 |
| ZSnSb4Cu4 | | 0.35 | 4.0~5.0 | 0.01 | 0.01 | 4.0~5.0 | | | | — | 0.03 | 0.1 | 0.50 |
| ZPbSb16Sn16Cu2 | 15.0~17.0 | | 1.5~2.0 | 0.15 | | 15.0~17.0 | | | | | | 0.3 | 0.6 |
| ZPbSb15Sn5Cu3Cd2 | 5.0~6.0 | | 2.5~3.0 | 0.15 | | 14.0~16.0 | | | | | | 0.6~1.0 | 0.4 |
| ZPbSb15Sn10 | 9.0~11.0 | 其余 | 0.7 ^① | 0.005 | 0.005 | 14.0~16.0 | — | | | 0.1 | 0.1 | 0.6 | 0.45 |
| ZPbSb15Sn5 | 4.0~5.5 | | 0.5~1.0 | 0.15 | 0.01 | 14.0~15.5 | | | | | | 0.2 | 0.75 |
| ZPbSb10Sn6.5 | 5.0~7.0 | | 0.7 ^① | 0.005 | 0.005 | 9.0~11.0 | | | | | | 0.25 | 0.7 |
| ZCuSn5Pb5Zn5 | 4.0~6.0 | 4.0~6.0 | | 4.0~6.0 | | 0.25 | 2.5 ^① | — | 0.01 | 0.30 | — | — | 0.7 |
| ZCuSn10P1 | 9.0~11.5 | 0.25 | | 0.05 | | 0.05 | 0.10 | 0.05 | 0.02 | 0.10 | 0.005 | — | 0.7 |
| ZCuPb10Sn10 | 9.0~11.0 | 8.0~11.0 | | 2.0 ^① | 0.01 | 0.5 | 2.0 ^① | 0.2 | 0.01 | 0.25 | 0.005 | — | 1.0 |
| ZCuPb15Sn8 | 7.0~9.0 | 13.0~17.0 | 其余 | 2.0 ^① | 0.01 | 0.5 | 2.0 ^① | 0.2 | 0.01 | 0.25 | — | — | 1.0 |
| ZCuPb20Sn5 | 4.0~6.0 | 18.0~23.0 | | 2.0 ^① | | 0.75 | 2.5 ^① | 0.2 | 0.01 | 0.25 | — | — | 1.0 |
| ZCuPb30 | 1.0 ^① | 27.0~33.0 | | — | | 0.2 | — | 0.3 | 0.02 | 0.5 | 0.005 | 0.10 | 1.0 |
| ZCuAl10Fe3 | 0.3 | 0.2 | | 0.4 | 8.5~11.0 | — | 3.0 ^① | 1.0 ^① | 0.20 | 2.0~4.0 | — | — | 1.0 |
| ZAlSn6Cu1Ni1 | 5.5~7.0 | — | 0.7~1.3 | — | 其余 | — | 0.7~1.3 | 0.1 | 0.7 | 0.7 | — | — | 1.5 |

注：本表中未列范围的数值，系指允许的其他元素的最高含量。

① 该数值，不计入其它元素总和。

表 4-107 铸造轴承合金的力学性能
(GB/T1174—92)

| 合金牌号 | 铸造方法 | 力学性能 (不低于) | | | | |
|------------------|------|------------|--------------------|-----------------|----|-----------------|
| | | 抗拉强度 (MPa) | 伸长率 δ_5 (%) | 硬度 (HB) | | |
| ZSnSb12Pb10Cu4 | J | — | — | 29 | | |
| ZSnSb12Cu6Cd1 | J | | | 34 | | |
| ZSnSb11Cu6 | J | | | 27 | | |
| ZSnSb8Cu4 | J | | | 24 | | |
| ZSnSb4Cu4 | J | | | 20 | | |
| ZPbSb16Sn16Cu2 | J | | | 30 | | |
| ZPbSb15Sn5Cu3Cd2 | J | | | 32 | | |
| ZPbSb15Sn10 | J | | | 24 | | |
| ZPbSb15Sn5 | J | | | 20 | | |
| ZPbSb10Sn6 | J | | | 18 | | |
| ZCuSn5Pb5Zn5 | S, J | | | 200 | 13 | 60 ^① |
| | Li | | | 250 | 13 | 65 ^① |
| ZCuSn10P1 | S | | | 200 | 3 | 80 ^① |
| | J | 310 | 2 | 90 ^① | | |
| | Li | 330 | 4 | 90 ^① | | |

(续)

| 合金牌号 | 铸造方法 | 力学性能 (不低于) | | |
|-------------|-------|------------|--------------------|------------------|
| | | 抗拉强度 (MPa) | 伸长率 δ_5 (%) | 硬度 (HB) |
| ZCuPb10Sn10 | S | 180 | 7 | 65 ^① |
| | J | 220 | 5 | 70 ^① |
| | Li | 220 | 6 | 70 ^① |
| ZCuPb15Sn8 | S | 170 | 5 | 60 ^① |
| | J | 200 | 6 | 65 ^① |
| | Li | 220 | 8 | 65 ^① |
| ZCuPb20Sn5 | S | 150 | 5 | 45 ^① |
| | J | 150 | 6 | 55 ^① |
| ZCuPb30 | J | — | — | 25 ^① |
| ZCuAl10Fe3 | S | 490 | 13 | 100 ^① |
| | J, Li | 540 | 15 | 110 ^① |
| ZAlSn6Cu1Ni | S | 110 | 10 | 35 ^① |
| | J | 130 | 15 | 40 ^① |

注：铸造方法代号：S—砂型铸造，J—金属型铸造，Li—离心铸造。

○ 为参考值。

测定锡基、铅基轴承合金硬度的试样及所用的金属型见图 4-12。

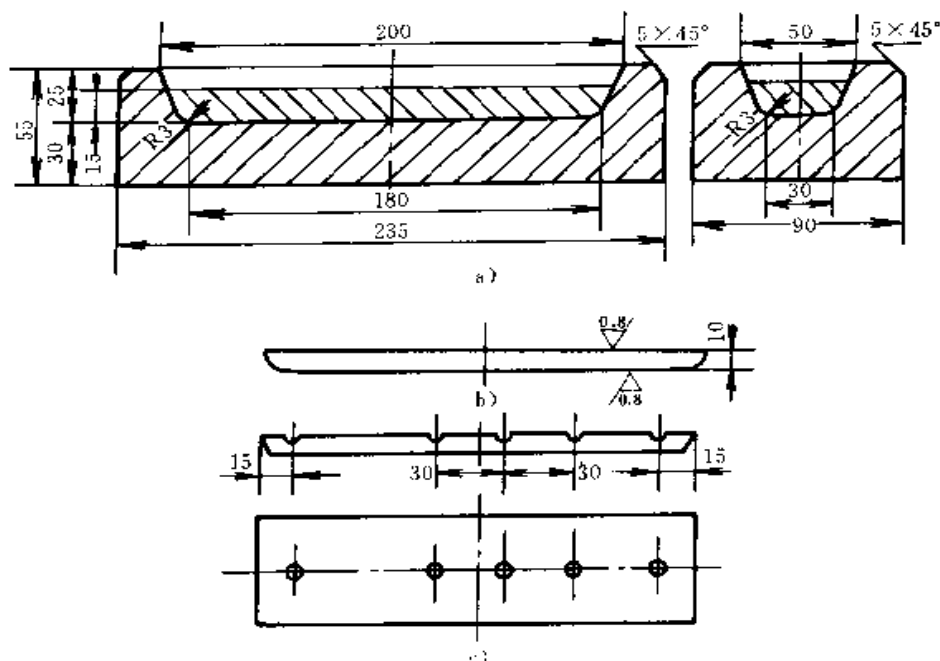


图 4-12 测定锡基、铅基轴承合金硬度的试样及所用的金属型

a) 金属型及浇注的试样 b) 试样加工要求 c) 测定硬度的位置 (HB10/250/60)

7.3 轴承合金的熔炼和浇注

7.3.1 合金的熔炼要点

铜合金、铝合金和锌合金的熔炼已见于以前各节。锡基、铅基轴承合金的熔炼要点见表 4-108。

表 4-108 锡基、铅基轴承合金的熔炼要点

| 合金 | 操作要点 |
|--------------|---|
| 锡基轴承合金 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 用铸铁坩埚，坩埚底加干燥的木炭，预热到 200℃ 2. 加入全部锡块的一半，中间合金 CuSb50 (表 2-41) (如不用中间合金，可在此时加切成小块的铜) 3. 铜 (或中间合金) 全部熔化后，加入经预热的锡 4. 最后加入剩余的一半锡，保温 1h 以使合金成分均匀 5. 用脱水 NH_4Cl (合金的 0.1%) 精炼如长时间浇注，每隔 1h 进行一次精炼 |
| 铅基轴承合金 (含铜) | <ol style="list-style-type: none"> 1. 准备坩埚，同上述 1 2. 加入全部的锡，中间合金 CuSb50 (或铜块) 3. 铜 (或中间合金) 全部熔化后，加入经预热的锡 4. 最后加全部的铅 5. 用脱水 NH_4Cl 精炼，同上述 5 |
| 铅基轴承合金 (不含铜) | <ol style="list-style-type: none"> 1. 准备坩埚，同上述 1 2. 加入一半的铅，熔化后升温到 700℃ 3. 加入锡块 4. 最后加剩余的铅和锡 5. 用脱水 NH_4Cl (合金的 0.05%) 精炼 |

7.3.2 双金属轴承的浇注

7.3.2.1 锡基、铅基合金轴承

轴承的钢质背衬应认真地清理，以保证合金和背衬材料紧密粘结。清理的过程如下：

去油 → 水洗 → 酸洗 → 水洗 → 沸水洗 → 涂保护层 → 涂熔剂 → 镀锡

(1) 去油 一般用苛性钠 (NaOH) 10% ~ 15% 浓度的水溶液。

(2) 酸洗 一般用浓度 10% ~ 15% 的盐酸。

(3) 涂保护层 在不挂合金的表面上涂涂料。通常用 2 份大白粉、1 份水玻璃、2 份水，搅拌均匀后涂刷并烘干。

(4) 涂熔剂 在背衬挂合金的表面上涂饱和氯化锌水溶液，作为熔剂。

(5) 镀锡 在待挂合金的表面上镀锡，在钢质背衬上形成 FeSn_2 和 FeSn 过渡层。一般用纯锡，铅基轴承合金的背衬可镀含铅的锡铅焊料。最好在热锡槽中浸镀，锡槽保持 270 ~ 300℃。特殊情况下，可用锡条涂镀。

表面镀锡品质 (质量) 良好，即可进行浇注。

7.3.3.2 铅青铜轴承

轴承钢质背衬的清理过程如下：

去油 → 水洗 → 酸洗 → 水洗 → 沸水洗 → 涂挂硼砂

去油和酸洗的作业同锡基、铅基合金轴承，涂挂硼砂的方法有二：

(1) 浸入法 将硼砂置坩埚中熔化，保持在 980 ~ 1000℃。将清洗过的钢衬预热到 750 ~ 800℃，浸入硼砂液中，约 20s 后取出。

(2) 刷涂法 将浓度为 3% ~ 4%、温度为 80 ~ 90℃ 的硼砂水溶液刷在经清洗的钢背衬上，然后置于还原性气氛的炉中加热到 1000℃。

无论是重力浇注还是离心铸造，钢背衬涂硼砂后应趁热组型，立即浇注。浇注后数秒钟即应喷水冷却，冷却速率宜控制在 30 ~ 60℃/s。

8 铸造纯镍和镍合金

在腐蚀条件下工作镍基合金铸件，主要用工业纯镍、镍铜合金、镍铜硅合金、镍钼合金和镍铬钼合金制造。

我国目前尚未制订有关的标准。

美国 ASTM A494M-92 “镍和镍合金铸件”中列有 15 个牌号，规格比较齐全，现摘要列出，供参考。化学成分要求见表 4-109。

表 4-109 镍和镍合金的化学成分 (未给范围者为最大值)

(%)

| 合金牌号 | C | Mn | Si | P | S | Cu | Mo | Fe | Ni | Cr | 其它 |
|--------|------|------|------|------|------|------|----|------|-------|----|----|
| CZ-100 | 1.00 | 1.50 | 2.00 | 0.03 | 0.03 | 1.25 | — | 3.00 | ≥95.0 | — | — |

(续)

| 合金牌号 | C | Mn | Si | P | S | Cu | Mo | Fe | Ni | Cr | 其它 |
|----------|------|------|---------|-------|-------|-----------|-----------|---------|-----------|--------------------------|--------------------------|
| M-35-1 | 0.35 | 1.50 | 1.25 | 0.03 | 0.03 | 26.0~33.0 | — | 3.50 | 其 余 | — | Nb0.5 |
| M-35-2 | 0.35 | 1.50 | 2.00 | 0.03 | 0.03 | 26.0~33.0 | — | 3.50 | | — | Nb0.5 |
| M-30H | 0.30 | 1.50 | 2.7~3.7 | 0.03 | 0.03 | 27.0~33.0 | — | 3.50 | | — | — |
| M-25S | 0.25 | 1.50 | 3.5~4.5 | 0.03 | 0.03 | 27.0~33.0 | — | 3.50 | | — | — |
| M-30C | 0.30 | 1.50 | 1.0~2.0 | 0.03 | 0.03 | 26.0~33.0 | — | 3.50 | | — | Nb1.0~3.5 |
| N-12MV | 0.12 | 1.00 | 1.00 | 0.04 | 0.03 | — | 26.0~30.0 | 4.0~6.0 | | 1.0 | V0.20~0.60 |
| N-7M | 0.07 | 1.00 | 1.00 | 0.04 | 0.03 | — | 30.0~33.0 | 3.00 | | 1.0 | — |
| CY-40 | 0.40 | 1.50 | 3.00 | 0.03 | 0.03 | — | — | 11.0 | | 14.0~17.0 | — |
| CW-12MW | 0.12 | 1.00 | 1.00 | 0.04 | 0.03 | — | 16.0~18.0 | 4.5~7.5 | | 15.5~17.5 | W3.75~5.25 V0.20~0.40 |
| CW-6M | 0.07 | 1.00 | 1.00 | 0.04 | 0.03 | — | 17.0~20.0 | 3.0 | | 17.0~20.0 | — |
| CW-2M | 0.02 | 1.00 | 0.80 | 0.03 | 0.03 | — | 15.0~17.5 | 2.0 | | 15.0~17.5 | W1.0 |
| CW-6MC | 0.06 | 1.00 | 1.00 | 0.015 | 0.015 | — | 8.0~10.0 | 5.0 | | 20.0~23.0 | Nb3.15~4.50 |
| CY5SnBiM | 0.05 | 1.50 | 0.50 | 0.03 | 0.03 | — | 2.0~3.5 | 2.0 | 11.0~14.0 | Bi 3.0~5.0 Sn 3.0~5.0 | |
| CX2MW | 0.02 | 1.00 | 0.80 | 0.025 | 0.025 | — | 12.5~14.5 | 2.0~6.0 | 20.0~22.5 | W2.5~3.5 V0.35 | |

为改善合金的耐蚀性能, 或为达到力学性能要求, 有些条件下铸件必须经热处理, 因此规定了各类各级铸件的交货状态, 见表 4-110。

表 4-110 镍和镍合金铸件交货时的状态

| 合金的牌号和等级 | 状 态 |
|--|--|
| CZ-100, M35-1, M35-2, CY40 等牌号的 1 级 M-30H, M-30C, CY5SnBiM M-25S 的 1 级 | 铸态 |
| M-25S 的 2 级 | 315℃ 以下装炉, 缓慢加热到 870℃, 保温 1h, (铸件壁厚超过 25mm 者, 每超过 13mm, 增 0.5h) 缓冷到 705℃, 保温 30min 室温下淬油 |
| M-25S 的 3 级 | 315℃ 以下装炉, 缓慢加热到 605℃, 保温, 然后炉冷或空冷 |
| N-12MV, N-7M | 加热到 1095℃ 以上, 保温, 淬水或以其它方式速冷 |
| CW-12MW, CW-6M, CW-6MC, CW-2M | 加热到 1175℃ 以上, 保温, 淬水或以其它方式速冷 |
| CY-40 的 2 级 | 加热到 1040℃ 以上, 保温, 淬水或以其它方式速冷 |
| CX2MW | 加热到 1205℃ 以上, 保温, 淬水或以其它方式速冷 |

各牌号合金的力学性能要求见表 4-111。

(续)

表 4-111 镍和镍合金单铸试块的力学性能 (最低值)

| 合金牌号 | 抗拉强度 (MPa) | 屈服强度 (MPa) | 50mm 长度上的伸长率 (%) |
|--------|------------|------------|------------------|
| CZ-100 | 345 | 125 | 10.0 |
| M-35-1 | 450 | 170 | 25.0 |
| M-35-2 | 450 | 205 | 25.0 |
| M-30H | 690 | 415 | 10.0 |
| M-30C | 450 | 225 | 25.0 |
| N-12MV | 525 | 275 | 6.0 |

| 合金牌号 | 抗拉强度 (MPa) | 屈服强度 (MPa) | 50mm 长度上的伸长率 (%) |
|---------|------------|------------|------------------|
| CY-40 | 485 | 195 | 30.0 |
| CW-12MW | 495 | 275 | 4.0 |
| CW-6M | 495 | 275 | 25.0 |
| CW-2M | 495 | 275 | 20.0 |
| CW-6MC | 485 | 275 | 25.0 |
| N-7M | 525 | 275 | 20.0 |
| CX2MW | 550 | 275 | 20.0 |

第五章 造型材料

广义而言,所有用于制造铸型的材料,如制造砂型所用的型砂、涂料和它们的组成材料,制造金属型所用的钢、铸铁或铜,制造其它特种铸型用的石墨、石膏、陶瓷浆料等,都是造型材料。

实际上,现代铸造生产中,用砂型制造的铸件仍占铸件总产量的90%左右,通常所说的“造型材料”,往往都是指制造砂型所用的材料。

即使只就砂型而言,“造型材料”一词,在不同的情况下也有不同的含义。

对于铸造行业的工程技术人员,其关心的重点是型砂(含芯砂)的配方、混砂方式、工艺性能及其对铸件品质(质量)的影响。当然也会重视所用各种原材料的品质(质量)和价格。

配制型砂所用的各种原-辅材料,也称作造型材料。这类材料的生产和经营,目前也已形成了一个行业;他们关心的重点则是这类材料的资源、开采及加工方式。

本书是供铸造行业的工程技术人员阅读和利用的,所以,这一章的重点是各种型砂(含芯砂)的特性及其控制。对于配制型砂的主要原、辅材料,也稍稍论及,并列出其规格,以便铸造行业的从业人员选用。

1 原砂

原砂是指铸造厂配制型砂所用的粒状砂,是型砂中的基本组成部分。

原砂的化学成分是最重要的特性,通常都要根据铸造合金的浇注温度和铸件的尺寸来确定对原砂化学成分的要求。

随着铸造技术的发展,对原砂的物理性状,如表面性状、颗粒形貌、粒度及粒度分布等,也逐步提出了严格的要求。

目前,硅砂仍是最广泛使用的原砂,全世界铸造行业耗用的原砂总量中,硅砂所占的比重不小于98%。在特定的条件下,也使用各种非硅质原砂,其品种规格也在不断发展。

1.1 硅砂

理论上,硅砂是指矿相石英的氧化硅颗粒,实际上其中不可避免地含有杂质。通常, SiO_2 含量在75%以上的砂均称为硅砂。

铸造用的硅砂大体上可分为3种。

1.1.1 沉积砂

沉积砂是天然的颗粒状砂,也称天然砂。它主要由石英岩、花岗岩等变质风化成为颗粒,此后在水力或风力作用下运动、迁徙,并与长石、云母等杂质分离,最终沉积为较稳定的矿床。在成矿过程中,迁徙距离长、相互摩擦激烈的砂粒,风化破碎时形成的尖角和棱边被磨圆,就是圆形砂。迁徙距离、相互摩擦较轻的砂粒,尖角和棱边基本磨圆,但角和棱边的轮廓仍然明显,就是多角形砂。

内蒙通辽、赤峰到河北围场一带蕴藏有大量沉积砂,是我国铸造原砂的重要产地。这一带的沉积砂是圆形砂,但品位较低, SiO_2 含量在90%左右。

福建东山和内蒙伊盟的沉积砂品位很高, SiO_2 含量在97%以上,但粒形较差,为多角形。

江西鄱阳湖沿岸也有大量沉积砂,其 SiO_2 含量也为90%左右,但粒形为接近圆形的多角形。

1.1.2 砂岩砂

砂岩砂不是天然的颗粒,是由破碎硅砂岩制得的。硅砂岩是一种沉积岩,是由沉积的硅砂经压固、胶结而成的,由于成岩的条件和胶结质的成分不同,砂粒之间的胶结可以是很弱的,也可以比较牢固。硅砂岩是比较容易破碎的,一般可用对辊机破碎。

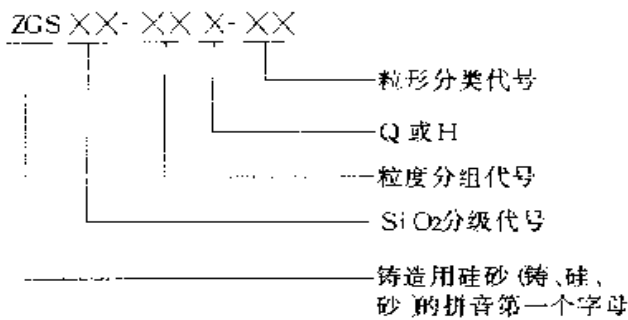
我国湖南、广东、河南等地都有砂岩砂,也是我国的重要砂源。到目前为止,我国供应的砂岩砂都是多角形砂, SiO_2 含量一般都在97%以上。

要特别提出的是,砂岩砂并不一定都是多角形砂,也可以是极好的圆形砂,只不过我国迄今尚未发现这种硅砂岩而已。美国伊利诺州 Ottawa 和 Wedron 一带出产的砂岩砂,是举世公认的优质原砂, SiO_2 含量在99%以上,砂粒为圆形。

1.1.3 人工硅砂

人工硅砂是将石英岩破碎、筛分而制成的砂粒,所以也叫石英砂。石英岩坚硬、无解理,难以破碎,制得的砂粒有尖锐的角和棱边,且有片状颗粒,其 SiO_2 含量因原矿岩的品质而异,一般都在98%以上。这种硅砂形状不理想,且价格高,现已很少采用。

国家标准 GB9442—88(铸造用硅砂)规定硅砂按 SiO_2 含量分级、按粒度分组、按颗粒形貌分类。同时规定铸造用硅砂的牌号表示如下:



硅砂主要粒度组成部分（集中的三筛）中，前筛残留量大于后筛残留量时用 Q 表示，反之用 H 表示。

铸造用硅砂按 SiO₂ 含量分级及对含泥量的规定见表 5-1。按粒度分组的规定见本章 1.3 节，按颗粒形貌分类的规定见 1.4 节，对含泥量的说明见 1.5 节。

表 5-1 铸造硅砂按 SiO₂ 分级

| 分级代号 | 最小 SiO ₂ 含量 (%) | 最大含泥量 (%) |
|------|----------------------------|-----------|
| 98 | 98 | 0.20 |
| 96 | 96 | 0.50 |
| | | 1.00 |
| 93 | 93 | 0.30 |
| | | 0.50 |
| 90 | 90 | 1.00 |
| | | 2.00 |
| 85 | 85 | 1.00 |
| 80 | 80 | 2.00 |
| 75 | 75 | 10.00 |

1.2 非硅质砂

非硅质砂是不以游离 SiO₂ 为主要组分各种原砂的总称，虽然与硅砂相比其用量是很小的，但在特殊情况下采用非硅砂会有很好的效果。

制造厚截面铸钢件或大型高合金钢铸件时，硅砂不足以耐受金属氧化物的作用，导致铸件表面品质（质量）低劣，在此情况下，常用的措施是局部用锆英砂或铬铁矿砂。制造厚大高锰钢铸件时，采用橄榄石砂可明显减少 MnO 对造型材料的侵蚀。对铸件品质（质量）要求特别严格时，为避免硅砂相变膨胀造成的缺陷，也宜考虑非硅质砂。在资源条件适宜的情况下，为避免硅尘对工人健康的危害，有的铸钢厂也采用非硅质原砂。

非硅质砂的种类甚多，且不断有新品种问世，这里只扼要介绍几种。

1.2.1 锆英砂

锆英砂的基本组分是 ZrSiO₄，纯 ZrSiO₄ 含 ZrO₂67.1%。商品锆英砂的 ZrO₂ 含量在 63%~66%

之间，密度 4.4~4.7g/cm³，莫氏硬度 7~8 级。

锆英砂的主要产地是澳大利亚，其产量约占世界总产量的 70%。南非自 1977 年起开采锆英砂，目前其产量占世界第二位，约为世界总产量的 15%。我国广东湛江地区、海南、山东荣城和福建诏安也有可供开采的资源。

锆英砂为天然颗粒状，多存在于沿海海砂中，其粒形为圆形或长圆形。

商品锆英砂的熔点因品位不同而在 2040~2250℃ 之间，在高温下化学稳定性好，不易受酸性氧化物侵蚀，且不被熔融金属润湿。

锆英砂的需酸量低，适于用酸硬化的树脂作粘结剂。

我国专业标准 ZBJ 31 005—88 规定了锆英砂的等级及化学成分要求如表 5-2，粒度组成则应符合表 5-3 的规定。

表 5-2 锆英砂的等级和化学成分 (ZBJ 31005—88)

| 分类等级 | 化 学 成 分 (%) | | | | | |
|------|------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| | (Zr·Hf) O ₂ | SiO ₂ | TiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | P ₂ O ₅ | Al ₂ O ₃ |
| | ≥ | ≤ | | | | |
| 1 | 66.00 | 33.00 | 0.30 | 0.15 | 0.20 | 0.30 |
| 2 | 65.00 | 33.00 | 1.00 | 0.25 | 0.20 | 0.80 |
| 3 | 63.00 | 33.50 | 2.50 | 0.50 | 0.25 | 1.00 |
| 4 | 60.00 | 34.00 | 3.50 | 0.80 | 0.35 | 1.20 |

注：锆英砂产品的总放射性比活度应不大于 7×10⁴Bq·kg⁻¹ (2×10⁻⁶Ci·kg⁻¹)。

表 5-3 锆英砂的粒度组成 (ZBJ 31005—88)

| 粒度规格 | 筛孔尺寸 (mm) | | | | | | 峰值含量 ^① (%) |
|------|-----------|--------|--------|--------|--------|-------|-----------------------|
| | 0.2120 | 0.1500 | 0.1060 | 0.0750 | 0.0530 | 0.020 | |
| | 各筛含量 (%) | | | | | | |
| 特细砂 | | | ≥75 | | ≤1.8 | | ≥30 |
| 细砂 | | | ≥75 | | ≤1.8 | | ≥35 |
| 中细砂 | | | ≥75 | | ≤2.0 | | ≥35 |

① 即筛分时残留最多的一筛的残留量占总量的百分数。

1.2.2 橄榄石砂

橄榄石砂是将橄榄石破碎而制得的砂粒，故颗粒形状为尖角形和多角形。

通常所说的橄榄石，是镁橄榄石 (Mg₂SiO₄) 和铁橄榄石 (Fe₂SiO₄) 类质同象系的中间物。镁橄榄石中含 MgO57.1%，SiO₂42.9%，熔点 1890℃。铁橄榄石中含 FeO70.6%，SiO₂29.4%，熔点 1205℃。

图 5-1 是这 2 种橄榄石的平衡图。可见，随着铁橄榄石的增加，中间物的熔点急剧下降。作为铸造用砂的橄榄石，应以镁橄榄石为主要组分。

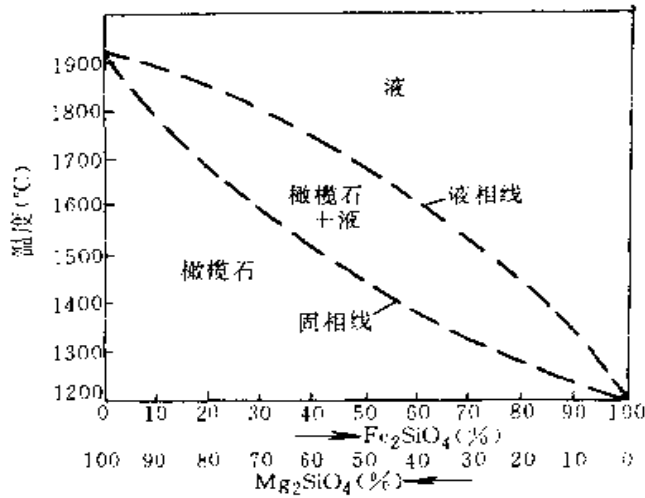


图 5-1 Mg₂SiO₄-Fe₂SiO₄ 平衡图

适于铸造用的橄榄石矿，主要产地有挪威、瑞典、奥地利、南罗德西亚及美国。我国陕西商南、河南西峡一带，湖北宜昌也有优质橄榄石矿。

20 世纪 20 年代到 30 年代，挪威率先用橄榄石砂生产铸钢件。从 50 年代起，美国、日本、瑞典等国也相继采用橄榄石砂。因其没有硅砂那样的相变膨胀，铸件上不会产生膨胀缺陷。由于其在高温下耐受 FeO 和 MnO 侵蚀的能力较强，用以生产高锰钢铸件的效果尤佳。

橄榄石矿有蛇纹石之类的矿物形成的脉石，如橄榄石砂中含有的蛇纹石太多，则其灼烧减量增大，可以导致铸件产生气孔或针孔。所以，橄榄石砂应注意控制灼烧减量。

我国机械行业标准 JB/T6985—93 规定了镁橄榄石的等级和要求，见表 5-4。粒度组成则应符合表 5-5 的规定。

表 5-4 镁橄榄石砂的等级和各项要求 (JB/T 6985—93)

| 等级代号 | MgO (%) | SiO ₂ (%) | Fe ₂ O ₃ (%) | 灼烧减量 (%) | 含水量 (%) | 含泥量 (%) | 耐火度 (°C) |
|------|---------|----------------------|------------------------------------|----------|---------|---------|----------|
| 一级 | ≥47 | ≤40 | ≤10 | ≤1.5 | ≤0.5 | ≤0.5 | ≥1690 |
| 二级 | ≥44 | ≤42 | ≤10 | ≤3 | ≤0.5 | ≤0.5 | ≥1690 |
| 三级 | ≥42 | ≤44 | ≤10 | ≤3 | ≤1.0 | ≤0.5 | ≥1600 |

注：灼烧减量是在 950~1000°C 灼烧至恒重后测得的。

表 5-5 镁橄榄石砂的粒度要求 (JB/T 6985—93)

| 筛孔尺寸 (mm) | 0.85 | 0.60 | 0.425 | 0.30 | 0.212 | 0.15 | 0.106 | 0.075 | 0.053 |
|-----------|------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|
| 42 | ≤15% | ≥75% | | | ≤10% | | | | |
| 30 | ≤15% | ≥75% | | | ≤10% | | | | |
| 21 | ≤15% | | ≥75% | | | ≤10% | | | |
| 15 | ≤15% | | | ≥75% | | | ≤10% | | |
| 10 | ≤15% | | | | ≥75% | | | | ≤10% |

1.2.3 铬铁矿砂

铬铁矿砂是将铬铁矿破碎而制得的砂粒，故颗粒形状为尖角形和多角形。

纯铬铁矿的分子式为 FeCr₂O₄，理论上含 Cr₂O₃ 67.9%。铬铁矿是尖晶石类矿物的一种，实际上含有多种尖晶石的复杂固溶体。尖晶石类矿物的化学通式可写成 RO·R₂O₃。式中 R 可以是 Mg²⁺、Fe²⁺、Mn²⁺ 或 Zn²⁺，四者可以以任意比例并存；R' 可以是 Cr³⁺、Fe³⁺ 或 Al³⁺，三者也可以以任意比例并存。铬铁矿是以 FeCr₂O₄ 为主要成分的尖晶石矿，用作铸造型砂者，Cr₂O₃ 应在 40% 以上。

铬铁矿矿石中还含有脉石。脉石主要是蛇纹石、橄榄石、绿泥石及碳酸盐类矿物。如这类杂质含量过高，用作型砂时会导致铸件产生气孔，故灼烧减量是铬铁矿砂的重要品质（质量）指标。测定铬铁矿砂的灼烧减量时，应注意将试样在还原性气氛中加热。在氧化性气氛中加热，铬铁矿中的 FeO 会进一步氧化成 Fe₂O₃，导致试样增重，测得的灼烧减量将低于实际值。通常，作造型材料的铬铁矿应经 900~950°C 煅烧，然后再加工破碎。

铬铁矿的主要产地为南非、南罗德西亚、阿尔巴尼亚、俄罗斯、土耳其和菲律宾。美国也有出产。我

国铬铁矿资源不多,目前铸造行业用的铬铁矿砂主要倚靠进口。国内铬铁矿产地有陕西商南、内蒙、西藏、新疆等,产量都不高,矿石的品位一般也较差。

表 5-6 铬铁矿砂的技术要求 (JB/T 6934—93)

| 等 级 | 化学成分 (%) | | | 950—1000℃ 灼烧减量 (%) | 含水量 (%) | 耐火度 (℃) |
|-----|--------------------------------|------------------|-----|--------------------------|------------|------------|
| | Cr ₂ O ₃ | SiO ₂ | CaO | | | |
| 一级 | ≥45 | ≤3 | ≤1 | ≤0.5 | ≤0.5 | >1800 |
| 二级 | ≥35 | ≤5 | ≤2 | ≤1 | ≤0.5 | >1700 |

表 5-7 铬铁矿砂的粒度分组 (JB/T 6934—93)

| 分组代号 | 主要粒度组成 (mm) |
|------|---------------------|
| 21 | 0.300, 0.212, 0.150 |
| 15 | 0.212, 0.150, 0.106 |
| 10 | 0.150, 0.106, 0.075 |

注:表中所列相邻三筛上残留量的和不少于 75%;中间筛残留量不少于 25%;底盘残留量少于 2%。

1.2.4 硅酸铝砂

硅酸铝砂包括蓝晶石、硅线石和红柱石等矿物形成的砂粒。三者的结晶构造不同,而化学成分相同,均为 Al₂OSiO₄,为同质多象变体。天然矿床中,常常三者同时存在,故通称之为硅酸铝砂。

从沉积矿床提取的硅酸铝砂为圆粒形,莫氏硬度 6~7,加热过程中体积膨胀很少,对树脂粘结剂的适应性优于橄榄石砂,耐受再生处理的能力也较好,是很有希望的非硅质原砂。

1.2.5 石灰石砂

通常所说的石灰石砂,实际上包括石灰石砂和白云石砂。

石灰石砂的基本组分是 CaCO₃, 约在 900℃ 以上开始热解,生成 CaO 和 CO₂。CaCO₃ 中含 CaO 56%, 含 CO₂ 44%。实际上石灰石中还含有杂质,如 MgCO₃、SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃ 等。用作造型材料的石灰石,一般含 CaCO₃ 90% 以上,相应地含 CaO 在 50.4% 以上。

纯白云石的结构式为 CaMg [CO₃]₂,按氧化物计算其理论组成为 CaO 30.4%, MgO 21.9%, CO₂ 47.7%。在 800℃ 以上开始热解。用作造型材料的白云石,通常含 CaO 35% 以上,含 MgO 9%~17%。

石灰石砂和白云石砂,热解的温度比钢铁铸件的浇注温度低得多,而且热解时释放大量的 CO₂ 气体,CO₂ 的质(重)量为原砂的 40% 以上。仅此两点,就足以说明其不适宜作造型材料,世界各工业国中,未见有用石灰石砂和白云石砂作铸造用原砂的报道。

我国,在特定的条件下,为改善用水玻璃粘结砂

根据各重型机器厂多年使用铬铁矿砂的经验,我国制订了机械行业标准 JB/T 6934—93,见表 5-6 和表 5-7。

制造铸钢件时的落砂问题,曾推广过“70 砂”,即以石灰石砂或白云石砂为原砂、以水玻璃为粘结剂的型砂。现在,采用这种砂的铸造愈来愈少,但有一些铸钢厂,特别制造大型高锰钢铸件的工厂,仍继续采用。

石灰石砂和白云石砂热解时,占其质(重)量 40% 以上的气体产物逸出,残留的固体部分产生大量的体积收缩。由这种材料配制的型砂,用以制造以“硬皮形成”方式凝固的铸钢件,虽存在不少问题,但由于铸件表面形成硬皮后其影响较小,故仍属可行。如用以制造以“浆状”方式凝固的灰铸铁件或球墨铸铁件,则铸件尺寸无法控制,缩孔和缩松十分严重,而且铸件表面上的粘砂也难以清除,实际上是不可行的。

表 5-8 中简略地列举了石灰石砂和白云石砂的主要作用及其负面影响。

表 5-8 石灰石砂和白云石砂的主要作用及负面影响

| 作用 | 负面影响 |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. 铸钢件表面形成硬皮后,石灰石砂因热解而发生体积收缩,在铸型和金属界面上产生气隙,减轻了铸型和金属之间的作用,型砂较易于与铸件分离 2. 高温下,CO₂ 是强氧化性气体,可使铸件表面氧化,形成 0.5~1mm 厚的氧化铁层。界面上的型砂中也含有大量氧化铁,形成烧结层。所以铸件表面较光洁,型砂也易于和铸件分离 3. 石灰石砂热解后,主体是 CaO 和 MgO,两者都是碱性的,不与 MnO 作用,所以用以制造高锰钢铸件,表面粘砂比用硅砂时轻得多 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 石灰石砂热解后体积收缩很大,和氧化铁形成烧结层的过程也伴有体积收缩,故铸件尺寸变化大,难以控制,且易产生缩沉、缩孔等缺陷 2. 因产生大量 CO₂,金属氧化严重,而且铸件上易产生气孔 3. CO₂ 在高温下被铁还原,生成大量 CO。有报道说,浇注过程中产生的气体中,CO 含量可高达 56%。也有报道说,生产现场曾发生过工人因 CO 中毒而致死的情况 |

1.2.6 其它非硅质砂

除上述以外,还有许多非硅质耐火材料,如碳粒、碳化硅、高铝熟料粒、煤矸石等,都可在工艺上有必要、材料有来源且价格适当的条件下用来配制型砂。适用于一些特殊条件的新品种非硅质砂也会不断开发出来。但是,这类材料的应用毕竟是很有限的,就不一一细说了。

最近,国外有报道用人工陶粒作树脂粘结砂的原砂。此种陶粒接近于球形,且非常坚固,表面也很少污染。用其配制树脂砂,可以明显地降低树脂的加入量,砂再生时陶粒破碎率很低。

1.3 原砂的粒度和粒度分布

原砂是许多不同形状、不同尺寸的颗粒集合体。严格地说,我们不可能在亿万颗砂粒中找出两颗完全相同的砂粒。描述原砂的粒度和粒度分布,是就集合体的共性而言的,是模糊的概念。尽管组成集合体的个体千变万化,而集合体的共性特征却可以保持不变。

原砂的粒度是集合体颗粒尺寸的概略平均值,用筛分的方法评定。粒度分布则是筛分时所见的砂粒分布于各筛上的情形。

1.3.1 铸造砂用的标准筛

既然筛分方法是评定粒度和粒度分布的基础,筛子当然是至关重要的,铸造工程师不能不对其有所了解。

筛分是最简单而且应用最广的评定颗粒尺寸的方法,为适应不同的条件,国际标准化组织和一些工业国都以标准的形式规定了一套涵容甚广的标准筛。就筛孔开口尺寸来讲,细的可到 $5\mu\text{m}$,粗的可到 125mm 。就制造方法来讲,有广泛采用的编丝筛(含金属丝和纤维丝),有适用于粗筛的金属板冲孔筛,

还有电成形的微孔筛。各国规定的铸造用试验筛,都是根据铸造用砂的特点和要求自标准筛系列中选取一些筛号组配而成的。实际上只适用于铸造砂的筛分,不适于其它用途。

1.3.1.1 我国的标准试验筛 建国以来,我国先后实施过4套标准试验筛,变动频繁,不少工厂来不及更换,在交流方面,不免有些不便。

1963年以前,直接采用原苏联标准ГОСТ 2189—52规定的标准试验筛。

1963年颁布实施机械工业标准JB 435—63“造型用砂”,其中规定了一套标准试验筛,这套试验筛的筛号与ГОСТ 2189—52规定的相同,网孔尺寸则稍有差别。

1978年颁布实施机械工业标准JB 2488—78“铸造用标准筛”,筛号和网孔尺寸都与JB 435—63有较大的差别。

1988年发布了中华人民共和国专业标准ZBJ 31 004—88“铸造用试验筛”。这套试验筛的筛网是从GB 6004—85“试验筛用金属丝编织方孔网”规定的系列中选取的。由于GB 6004参照采用了ISO 3310/1—1982中有关部分,可认为这套试验筛属于国际标准系列。应该说明的是:这套试验筛的各筛号,均不属于ISO标准的主要尺寸系列,全部都是取自ISO的补充尺寸系列。所以,这套试验筛虽属于国际标准系列,但又不同于ISO规定的铸造试验筛。但是,这套试验筛选取的筛号数量和各筛的网孔尺寸,均与美国铸造师学会(AFS)选用的标准筛完全相同(见表5-9和表5-10)。

现将上述4套标准试验筛的筛号和各筛的网孔尺寸一并列于表5-9,供对比参考。

表 5-9 我国曾用过的和现行的标准试验筛

| ГОСТ2189—52 | | JB435—63 | | JB2488—78 | | | ZB J31 004—88 | | |
|-------------|--------------|----------|--------------|-----------|--------------|----------------|---------------|--------------|----------------|
| 筛号 | 网孔尺寸 (mm) | 筛号 | 网孔尺寸 (mm) | 筛号 | 网孔尺寸 (mm) | 网丝公称直径 (mm) | 型号 | 网孔尺寸 (mm) | 网丝公称直径 (mm) |
| 6 | 3.3 | 6 | 3.36 | 6 | 3.20 | 0.800 | SBS01 | 3.350 | 1.250 |
| 12 | 1.7 | 12 | 1.68 | 12 | 1.60 | 0.450 | SRS02 | 1.700 | 0.800 |
| 20 | 0.85 | 20 | 0.84 | 24 | 0.80 | 0.300 | SBS03 | 0.850 | 0.500 |
| 30 | 0.6 | 30 | 0.59 | 28 | 0.63 | 0.250 | SBS04 | 0.600 | 0.400 |
| 40 | 0.42 | 40 | 0.42 | 45 | 0.40 | 0.150 | SBS05 | 0.425 | 0.280 |
| 50 | 0.30 | 50 | 0.297 | 55 | 0.315 | 0.140 | SRS06 | 0.300 | 0.200 |
| 70 | 0.21 | 70 | 0.21 | 75 | 0.200 | 0.130 | SIS07 | 0.212 | 0.140 |
| 100 | 0.15 | 100 | 0.149 | 100 | 0.154 | 0.100 | SBS08 | 0.150 | 0.100 |
| 140 | 0.105 | 140 | 0.105 | 150 | 0.100 | 0.072 | SRS09 | 0.106 | 0.071 |
| 200 | 0.075 | 200 | 0.075 | 200 | 0.071 | 0.055 | SIS10 | 0.075 | 0.050 |
| 270 | 0.053 | 270 | 0.05 | 260 | 0.056 | 0.040 | SBS11 | 0.053 | 0.036 |

注:ГОСТ2189—52、JB435—63和JB2488—78筛系中的筛号也就是通常所说的日数。

由对比可知以下几点:

1) JB 435—63 筛系和 GOCT 2189—52 筛系相比,除粗筛部分差别略大以外,其余各筛差别甚小。

2) 现行的 ZB J31 004—88 筛系和 GOCT 2189—52 筛系相比,除首筛差别略大外,其余各筛差别很小,实际上可认为两个筛系是相同的。

3) 考虑到铸造用砂筛分时,最粗的两筛几乎从不涉及。在执行现行标准 ZBJ 31004—88 的情况下,以前保存的 GOCT 2189—52 筛系和 JB 435—63 筛系仍属可用。

4) JB 2488—78 筛系应予废止,不可使用。

5) ZBJ 31004—88 筛系中,自 SBS03 号筛以下,相邻筛的网孔尺寸都是按 $1/\sqrt{2}$ 乘数递减的。间隔一筛的两筛,粗筛的网孔尺寸为细筛的二倍。SBS01 和 SBS02 两筛之间取消了一个 8 目的筛号, SBS02 和 SBS03 之间取消了一个 16 目的筛号,故 SBS02 筛的

网孔尺寸接近 SBS01 筛的 $1/2$, SBS03 筛的网孔尺寸为 SBS02 筛的 $1/2$ 。如这套筛系中加入 8 目和 16 目的两个筛号,则全部都是按 $1/\sqrt{2}$ 乘数递减的。

这一特性非常重要。

1.3.1.2 ISO 及一些工业国的铸造砂标准筛 当前国际交往日益频繁,为便于交流,在表 5-10 中列出 ISO (国际标准化组织) 及一些工业国的铸造砂标准筛。

ISO 标准筛和美国的筛,虽相关筛号的网孔尺寸不尽相同,但却有一共同的规律,即:筛系中各筛的网孔尺寸自粗到细以 $1/\sqrt{2}$ 的乘数递减。原苏联的标准筛,除不常用的三个粗筛外,也遵循这一规律。只有英国标准筛略有出入。德国标准筛比 ISO 标准筛少两个最粗筛号和一个最细筛号,而相关筛的网孔尺寸则与 ISO 标准筛完全相同。

表 5-10 ISO 和一些工业国的铸造砂标准筛

| ISO 铸造用标准筛 (ISO565 主系列 R20/3) | | 美国铸造师学会 选定的 ASTM 标准筛 | | 原苏联标准筛 | | 英国标准筛 | | 德国标准筛 | |
|----------------------------------|--------------|-------------------------|--------------|--------|--------------|-----------------|--------------|-------|--------------|
| 筛号 | 网孔尺寸 (mm) | 目数 ^② | 网孔尺寸 (mm) | 筛号 | 网孔尺寸 (mm) | 目数 ^② | 网孔尺寸 (mm) | 序号 | 网孔尺寸 (mm) |
| — | — | 6 | 3.35 | 2.5 | 2.50 | — | — | — | — |
| 2.00 | 2.00 | 8 ^① | 2.36 | — | — | — | — | — | — |
| 1.40 | 1.40 | 12 | 1.70 | 1.6 | 1.60 | 10 | 1.676 | 1 | 1.40 |
| 1.00 | 1.00 | 16 ^① | 1.18 | 1 | 1.00 | 16 | 1.003 | 2 | 1.00 |
| 0.710 | 0.710 | 20 | 0.850 | — | — | 22 | 0.699 | 3 | 0.710 |
| 0.500 | 0.500 | 30 | 0.600 | 063 | 0.630 | 30 | 0.500 | 4 | 0.500 |
| 0.355 | 0.355 | 40 | 0.425 | 04 | 0.400 | 44 | 0.353 | 5 | 0.355 |
| 0.250 | 0.250 | 50 | 0.300 | 0315 | 0.315 | 60 | 0.251 | 6 | 0.250 |
| 0.180 | 0.180 | 70 | 0.212 | 02 | 0.200 | 72 | 0.211 | 7 | 0.180 |
| 0.125 | 0.125 | 100 | 0.150 | 016 | 0.160 | 100 | 0.152 | 8 | 0.125 |
| 0.090 | 0.090 | 140 | 0.106 | 01 | 0.100 | 150 | 0.104 | 9 | 0.090 |
| 0.063 | 0.063 | 200 | 0.075 | 0063 | 0.063 | 200 | 0.076 | 10 | 0.063 |
| 0.045 | 0.045 | 270 | 0.053 | 005 | 0.050 | 300 | 0.053 | — | — |

① 此二筛号一般不用于铸造砂试验。

② 美国和英国,以筛网的目数为筛号。所谓目数,是平行于网丝的方向每 25.4mm 长度上量得的筛孔数量,这一参数在全世界有广泛的影响,计算砂粒细度时,是重要的数据。

1.3.2 粒度和粒度分布的表示方法

原砂经筛分后,可用不同的方法表示其粒度和粒度分布。

1.3.2.1 用目数表示 在 GB 9442—88 “铸造用硅砂”颁布实施以前,我国一直沿用原苏联早期用目数

表示粒度的方法。虽然现行标准规定用表明颗粒平均尺寸的分组代号表示粒度,但用目数表示的习惯仍一时难改,影响甚广。

经筛分后,以相邻三筛残留量之和为最大值的三筛为主要粒度组成部分,再以主要粒度组成部分的最

粗筛和最细筛的目数表示粒度。如：主要粒度组成部分为 50、70、100 三个筛号的砂，即以 50/100 表示其粒度。

1.3.2.2 用砂粒尺寸的概略平均值表示 GB 9442—88 对主要粒度组成仍采用三筛制，并规定硅砂的主要粒度组成部分不小于 75%，中间筛的残留量不小于 25%。

硅砂的粒度按主要组成部分分组，并以分组代号表示。将主要组成部分的中间筛的网孔尺寸（mm 值）乘以 100，然后取其整数部分（两位数字）作为分组代号。

GB 9442—88 规定的粒度分组见表 5-11，为便于对比，加附了相应的目数。

表 5-11 硅砂的粒度分组

| 分组代号 | 主要组成部分三筛的网孔尺寸 (mm) | 相应的目数 |
|------|---------------------|---------|
| 85 | 1.70, 0.850, 0.600 | 12/30 |
| 60 | 0.850, 0.600, 0.425 | 20/40 |
| 42 | 0.600, 0.425, 0.300 | 30/50 |
| 30 | 0.425, 0.300, 0.212 | 40/70 |
| 21 | 0.300, 0.212, 0.150 | 50/100 |
| 15 | 0.212, 0.150, 0.106 | 70/140 |
| 10 | 0.150, 0.106, 0.075 | 100/200 |
| 07 | 0.106, 0.075, 0.053 | 140/270 |
| 05 | 0.075, 0.053, (底盘) | — |

ISO、德国、原苏联（1956 年以后）和一些欧洲国家采用类似的方法，以砂粒尺寸的概略平均值表示粒度。

这种表示方法的缺点是粒度分布情况不得而知。

1.3.2.3 以砂子比表面积的相关值表示 美国铸造师学会（AFS）规定的 AFS 细度，世界各国采用者甚多，美国、英国和日本基本上都用 AFS 细度来表示砂的粒度。原苏联虽有自己的标准，在许多情况下也采用 AFS 细度。

AFS 细度的数值大致与砂子的比表面积（即单位质（重）量砂子的表面面积）成正比，但不能反映粒度分布情况。

1. AFS 细度的计算 称取砂样 50g 左右，用冲洗法除去泥分，烘干后进行筛分，筛分后称取残留在每一筛上的砂粒质（重）量。

将每一筛上残留砂的质（重）量，分别乘以与该筛相对应的乘数。最后，将上述乘积的总和除以各筛上残留砂粒量的和，即得到 AFS 细度。

例如，称取某种砂样 50g，除去泥分并筛分后，将结果列于表 5-12，并按表中分别就每一筛号规定的乘数，求出乘积。各筛上残留砂量的总和为 49.3g，乘积的总和为 3042。

$$\text{AFS 细度} = \frac{3042}{49.3} = 61.7$$

表 5-12 计算 AFS 细度的乘数及示例

| 美国标准筛 (目数) | 我国现行试验筛 相应的筛号 | 各筛上残留砂量的乘数 | 各筛上残留砂量 (g) | 乘 积 |
|------------|---------------|------------|-------------|------|
| 6 | SBS01 | 3 | — | — |
| 12 | SBS02 | 5 | — | — |
| 20 | SBS03 | 10 | — | — |
| 30 | SBS04 | 20 | — | — |
| 40 | SBS05 | 30 | 0.5 | 15 |
| 50 | SBS06 | 40 | 11.2 | 448 |
| 70 | SBS07 | 50 | 20.4 | 1020 |
| 100 | SBS08 | 70 | 11.7 | 819 |
| 140 | SBS09 | 100 | 3.5 | 350 |
| 200 | SBS10 | 140 | 1.0 | 140 |
| 270 | SBS11 | 200 | 0.5 | 100 |
| 底盘 | 底盘 | 300 | 0.5 | 150 |
| 总计 | | | 49.3 | 3042 |

2. 对 AFS 细度的分析 先推算残留在某一筛号上砂粒的比表面积, 见表 5-13。

表 5-13 某一筛号上砂粒的比表面积

| 假定条件 | 算 式 |
|---------------------------------------|--|
| 1. 砂粒是球体 | 1. 每一砂粒的体积 $V = \frac{\pi d^3}{6}$ |
| 2. 残留在某一筛号上的砂粒的平均直径为 d (cm) | 2. 每一砂粒的质(重)量 $\omega = 2.65V = \frac{2.65\pi d^3}{6}$ |
| 3. 残留在某一筛号上的砂粒的质(重)量为 W (g) | 3. 该筛号上残留砂的个数 $n = W/\omega = \frac{6W}{2.65\pi d^3}$ |
| 4. 硅砂的密度为 2.65 (g/cm ³) | 4. 每一砂粒的表面积 $A = \pi d^2$ |
| | 5. 该筛号上砂粒的总面积 $\sum A = nA$ |
| | 6. 该筛上砂粒比表面积 $\frac{\sum A}{W} = \frac{6}{2.65} \cdot \frac{1}{d}$ |

可见, 砂粒的比表面积与其平均直径成反比。

计算 AFS 细度所用的乘数, 除特别粗的筛号和底盘外, 都是前一筛的目数。目数是筛网每英寸长度上的筛孔数, 如不考虑网丝直径, 则其值与网孔尺寸成反比。前一筛的目数, 正好与砂粒最粗通过筛的网孔尺寸成反比。所以, 求 AFS 细度虽不是砂粒比表面积, 但大致上与比表面积成正比。

现在, 我们进一步考虑网丝直径的影响。按实际的网孔尺寸计算理想球体的比表面积, 再求出此值与 AFS 细度乘数之比。如此比值的波动不大, 则可认为乘数与比表面积有对应关系。计算结果见表 5-14。

从表 5-14 所列的比表面积与 AFS 细度乘数的比值, 得知其总标准偏差仅为 11.6%。我们所研究的对象是偏离均匀颗粒很远的砂粒, 这样的偏差可以不计。因此, 即使考虑网丝直径, 也可以认为 AFS 细度的乘数大致和砂粒的比表面积成正比。残留在每一筛上的砂粒质(重)量乘以乘数, 其乘积可以反映该筛号上残留砂的总表面积。

表 5-14 过筛的理论球体的比表面积与 AFS 细度乘数的关系

| 砂粒通过筛和停留筛的目数 | | 相关筛的网孔尺寸 (mm) | | 过筛的理论球体 | | 求 AFS 细度的乘数 | 理论比表面积与 AFS 细度乘数之比 |
|--------------|-----|--------------------|----------------------|-------------|---|-------------|--------------------|
| | | | | 直径 d (cm) | 比表面积 $\frac{6}{2.65d}$ (cm ²) | | |
| 通过筛 | 停留筛 | 通过筛 | 停留筛 | | | | |
| | 6 | (6.7) ^① | 3.35 | 0.502 | 4.51 | 3 | 1.5 |
| 6 | 12 | 3.35 | 1.70 | 0.253 | 8.94 | 6 | 1.78 |
| 12 | 20 | 1.70 | 0.850 | 0.128 | 17.6 | 10 | 1.76 |
| 20 | 30 | 0.850 | 0.600 | 0.073 | 31.0 | 20 | 1.55 |
| 30 | 40 | 0.600 | 0.425 | 0.051 | 44.3 | 30 | 1.47 |
| 40 | 50 | 0.425 | 0.300 | 0.036 | 62.8 | 40 | 1.57 |
| 50 | 70 | 0.300 | 0.212 | 0.026 | 87.1 | 50 | 1.74 |
| 70 | 100 | 0.212 | 0.150 | 0.018 | 126 | 70 | 1.80 |
| 100 | 140 | 0.150 | 0.106 | 0.013 | 174 | 100 | 1.74 |
| 140 | 200 | 0.106 | 0.075 | 0.009 | 251 | 140 | 1.79 |
| 200 | 270 | 0.075 | 0.053 | 0.0064 | 354 | 200 | 1.77 |
| 270 | | 0.053 | (0.037) ^② | 0.0045 | 503 | 300 | 1.67 |

① 由 3.35:1.70=2, 推出 6.7, 供计算平均直径用。

② 由 0.075:0.053= $\sqrt{2}$ 推出 0.053 $\div\sqrt{2}$ =0.037, 供计算平均直径用。

有人主张用理论球体的比表面积 $\frac{6}{2.65d}$ 作为乘数, 以为算出的是砂粒的实际表面积。由于此值繁琐, 使用不便, 而且砂粒与理想球体差别很大, 即使算出, 也与砂粒的实际表面积相距甚远。AFS 细度国际上采用者甚广, 其乘数为大家所熟悉, 容易记忆, 使用方便。

1.4 原砂的颗粒形状

颗粒形状也是铸造原砂的重要特性之一, 对型砂的性能有不可忽视的影响。

1.4.1 颗粒形状的影响

1) 采用圆形砂配制树脂砂, 如其它条件相同, 型砂的抗拉强度比用多角形砂者可能提高一倍或更多一些。但是, 两者的抗压强度却大致相同, 用多角形砂者可能还会稍高一些。

2) 用圆形砂配制的树脂砂, 流动性比用多角形砂者好得多。在相同的紧实作用下, 用前者制成的试样或铸型, 比用后者制成的尺寸相同的试样或铸型重 15%~17%, 也就是说, 铸型的密度将提高 15%~17%。

3) 造成上述抗拉强度差别的主要原因是用圆形砂者试样的密度高、粘结桥数量多, 而不是砂粒比表面积的改变。

4) 用多角形砂配制的树脂砂, 虽试样的密度低得多, 但抗压强度并不低, 其原因是多角形砂有镶嵌作用。

5) 一般说来, 圆形砂较适于配制树脂砂, 但也不能搞得太绝对, 在没有品位适当的圆形砂可供选用, 或价格不能接受的情况下, 多角形砂也是可用的。如工艺措施得当, 效果也会令人满意。

6) 无论对于树脂砂、水玻璃砂或粘土粘结砂, 用圆形砂作原砂时, 型砂的脱模性能比用多角形砂者好得多。对于有深砂台、脱模困难的铸型, 应采用圆形砂, 或在局部添加用圆形砂配制的型砂。

1.4.2 颗粒形状的表达方法

铸造行业中广泛采用各种化学粘结剂以来, 原砂颗粒形状的影响日益为人们所重视。因此, 如何评定砂粒的形状及其表示方法, 也就成了大家所关注的问题。

1. 描述法 JB 435—63 将铸造用硅砂区分为圆形砂、多角形砂和尖角形砂, 代表的符号分别为○、□和△, 并附有供评定用的参照照片。当原砂含有不同形状的颗粒时, 同时标注两种形状, 如圆形—多角形 (○—□)、多角形—圆形 (□—○)、多角形—尖角形 (□—△) 和尖角形—多角形 (△—□)。

美国铸造师学会规定的颗粒形状分级标准大致上与 JB 435—63 规定的相同, 用多角形、次多角形、圆形和复合形等术语描述颗粒的形状。

此种方法简便易行, 概括性较好。

2. 角形系数法 由于人们希望用具有数值概念的参数来描述并评定砂粒的形状, 于是出现了一些试图以测定或计算砂粒比表面积为基础的方法。其中, 角形系数法在我国有过较大的影响。

角形系数的定义是: 砂粒的实际比表面积与理论比表面积之比。

实际比表面积用透气性法测定, 所依据的是 P.C. Carman 于 1938 年提出的经验公式, 测得的数值误差很大, 最多只能是二位有效数字。

对于用筛分法分级的铸造用砂, 这种理论比表面积本身就引入了很大的误差, 以其作为计算角形系数的基准可导致 1/3 的误差。

因此, 角形系数法离实用阶段还有很大的距离。

3. GB 9442—88 中的有关规定 GB 9442—88 规定, 铸造用硅砂的颗粒形貌根据角形系数分类, 见表 5-15。

表 5-15 铸造用硅砂按角形系数分类

| 分类代号 | 角形系数 |
|------|-------|
| 15 | ≤1.15 |
| 30 | ≤1.30 |
| 45 | ≤1.45 |
| 63 | ≤1.63 |
| 90 | >1.63 |

GB 9442—88 规定颗粒形貌不作为验收依据, 并将角形系数测定方法以补充件的形式列于附录中。标准将颗粒形貌分为 5 类, 实际上已考虑到测定方法不可能使测定值有 3 位有效数字。标准还在附录中列出了这 5 类与 JB435—63 中有关规定的对应关系, 见表 5-16。

表 5-16 颗粒形貌分类代号与 JB 435 形状符号的对应关系

| GB 9442—88 的分类代号 | 15 | 30 | 45 | 63 | 90 |
|------------------|----|------------|----|------------|----|
| JB 435—63 的符号 | ○ | ○—□ □—○ | □ | □—△ △—□ | △ |

1.5 原砂的含泥量和砂粒的表面性状

1.5.1 含泥量

1. “泥”的定义 铸造用砂中, “泥”的定义是: 尺寸等于或小于 20μm 并能用常规搅拌或冲洗方法分

离的颗粒。

1) 颗粒尺寸等于或小于 $20\mu\text{m}$, 意味着只有颗粒尺寸的限制而无化学成分的限制。不管其为何种物质, 只要尺寸小于 $20\mu\text{m}$, 即认为属于泥分。

2) “能用常规搅拌或冲洗方法分离”也是重要的界定。因为原砂表面上有不少微观污染物, 虽然尺寸小于 $20\mu\text{m}$, 但用常规试验方法不能分离。而且规定的试验方法只能分离密度等于或小于 $2.65\text{g}/\text{cm}^3$ 时, 尺寸在 $20\mu\text{m}$ 以下的颗粒, 一些密度大于 $2.65\text{g}/\text{cm}^3$, 而尺寸接近 $20\mu\text{m}$ 的颗粒, 如磁铁矿、锆英砂、金红

石等, 也不能分离。如不能这样的界定, 则泥分应包括所有 $20\mu\text{m}$ 以下的颗粒, 而目前又不可能有能完全分离这种细粒的方法, 使得泥分实际上无法测定。

2. 含泥量的影响 对于不太讲究的粘土粘结砂, 原砂中含泥量的影响不特别明显, 所以, 过去这一因素常常未得到应有的重视。

树脂粘结砂所用的原砂, 含泥量是非常重要的品质(质量)指标。同一产地的原砂, 含泥量不同(经漂洗和未经漂洗的), 配成的树脂砂的抗拉强度可相差数倍之多, 见表 5-17。

表 5-17 原砂的含泥量对甲阶酚醛树脂自硬砂强度的影响

| 通辽木里图原砂 | | 甲阶酚醛树脂加入量 (质量分数)(%) | 树脂自硬砂的抗拉强度 (MPa) | |
|---------|-------------|------------------------|------------------|------|
| 状 态 | 含泥量质量分数 (%) | | 数 据 | 平均值 |
| 购买状态 | 1.5 | 1.5 | 0.20, 0.26, 0.24 | 0.24 |
| 经漂洗 | 0.2 | 1.5 | 1.84, 1.78, 1.50 | 1.70 |

现今, 由于对铸件品质(质量)的要求不断提高, 各种高速、高压造型设备的使用不断扩大, 对原砂的品质(质量)及其一致性也有更高的要求, 即使是粘土粘结砂, 也应严格控制原砂的含泥量。

1.5.2 原砂的表面特征和微观污染

对于粘结剂加入量很低的树脂砂, 砂粒表面的特征和微观污染也是十分重要的因素。

用目视方法或用低倍放大镜观察圆形砂时, 得到的印象是表面非常光滑。但是, 即使是很好的圆形砂, 用扫描电子显微镜在高放大倍率下观察时, 也可见表面上布满裂隙、脉纹和凹坑, 与平常见到的卵石极为相似, 根本不是光滑的。多角形砂和砂岩砂, 情况还更为严重。

天然硅砂, 在扫描电子显微镜下观察, 表面上都有附着很牢的污染膜, 在上述裂隙、脉纹和凹坑中, 污染物就更多了。污染物主要是粘土类矿物或铁的氧化物。

水洗只能除去少量较粗的污染物。擦洗效果好一些, 表面的污染膜也只能清除一部分, 凹陷中的污染物基本上不能脱除。因此, 就不难理解有人要加酸擦洗了。

将原砂置于树脂砂再生设备中处理, 使颗粒相互摩擦, 脱除污染的效果较好, 但表面污染膜也不能完全清除, 凹陷处残留的污染物就更多一些。

到目前为止, 不论用任何方法处理, 都不能完全清除砂粒表面上的微观污染, 它对型砂粘结性能的影响是值得重视的。

此种污染以两种方式影响型砂的粘结:

1) 削弱粘结剂对砂粒表面的附着, 从而降低型

砂的强度;

2) 与型砂中某些加入剂作用(如与树脂自硬砂的酸性硬化剂作用), 从而影响型砂的强度。

1.6 原砂的 pH 值和需酸量

原砂的化学性质, 对树脂砂的硬化有不可忽视的影响。含碱性物质的原砂, 将延缓酸硬化树脂砂的硬化, 甚至会使其不能硬化。对于胺硬化的树脂砂, 原砂中如含有碱性物质, 将会使其硬化进程加速。在这两种情况下, 都会影响型砂的品质(质量)。

对于以化学方式硬化的水玻璃砂, 原砂中含有的碱性物质理论上对其硬化也有影响, 但由于水玻璃的用量比树脂砂中的树脂多很多, 而且水玻璃又是强碱性物质, 其影响也就微不足道了。

1.6.1 原砂的 pH 值

原砂的 pH 值, 只能在加水搅拌以后才能测得数据, 所以是其中含有的能溶于水的碱性或酸性物质的表征, 并不能全面地反映原砂的碱性。

测定方法: 取待试原砂 25g, 置 250mL 的烧杯中, 加蒸馏水 100mL, 在磁力搅拌器上用包有聚四氟乙烯的搅棒, 同时用酸度计测定悬浮液的 pH 值, 每 30s 读取读数一次, 直到读数恒定, 此值即原砂的 pH 值。

1.6.2 原砂的需酸量

原砂中含有不溶于水的碱性物质和能与酸作用的碳酸盐时, 这些物质不能反映于 pH 值的数值, 但却能与树脂自硬砂的酸性硬化剂发生反应, 从而影响树脂砂的硬化性能和终强度。

需酸量是原砂中含有的与酸反应的物质的表征, 它表明用酸硬化剂时原砂本身所需的酸量, 与 pH 值

是完全不同的概念。很可能见到这样一种情况：原砂的 pH 值小于 7，呈酸性，但其需酸量却相当高。

测定方法：称取待试原砂 50g，置 250mL 的烧杯中，加蒸馏水 50mL，置磁力搅拌器上搅拌。再向烧杯中加入 0.1mol 的盐酸溶液 50mL，搅拌 5min，然后放入测 pH 值的电极，用 0.1mol 的 NaOH 溶液回滴定，在 pH 值为 3.0、4.0、5.0 或其它预定值时，读取回滴定所用的 NaOH 溶液的毫升数。原加盐酸的

毫升数 (50) 减去耗用 NaOH 溶液的毫升数，就是到预定 pH 值时原砂的需酸量。

报告需酸量时，应同时报告回滴定的目标 pH 值。对于树脂砂用的原砂，目标 pH 值通常取 3.0。

1.7 我国一些重要的天然硅砂产地

我国一些重要的天然硅砂的产地及产品的基本特点，见表 5-18。

表 5-18 一些重要的天然硅砂产地及产品的基本特点

| 产 地 | 生产企业 | SiO ₂ 大致含量 (%) ^① | 原砂基本颗粒形状 | 备 注 |
|---------|-----------|--|----------|--|
| 内蒙古哲里木盟 | 通辽市大林型砂厂 | 92 | ○ | 属内蒙科尔沁矿床 1. 同属内蒙古哲里木盟砂砂公司 2. 同属科尔沁矿床 |
| | 巴胡塔砂矿 | 92 | ○ | |
| | 伊胡塔砂矿 | 91 | ○ | |
| | 大罕砂矿 | 91 | ○ | |
| | 木里图砂矿 | 91 | ○ | |
| | 甘旗卡砂矿 | 91 | ○ | |
| | 门达砂矿 | 91 | ○ | |
| | 衙门营砂矿 | 91 | ○ | |
| | 白市砂矿 | 91 | ○ | |
| 内蒙伊克昭盟 | 达拉特旗砂厂 | 97 | □ | |
| 河北围场县 | 围场县硅砂开发公司 | 90 | ○ | 属科尔沁矿床的延伸 |
| 河北张家口市 | 下花园铸造材料厂 | 90 | ○ | |
| 江西都昌县 | 都昌铸造型砂厂 | 91 | □—○ | 同属鄱阳湖沿岸矿床 |
| 江西湖口县 | 湖口县硅砂厂 | 91 | □—○ | |
| 江西星子县 | 星子县型砂厂 | 91 | □—○ | |
| 福建东山县 | 榕龙硅砂矿 | 97 | □—○ | |
| 福建晋江 | 晋江县矿产建材公司 | 90—94 | □—○ | 海砂 |
| 福建平潭 | 平潭县砂厂 | 90—94 | □—○ | 海砂 |
| 福建长乐 | 文武砂型砂厂 | 92 | | |
| 湖南岳阳 | 兴旺硅砂矿 | 95 | □—△ | |
| 湖南长沙 | 长沙市硅砂矿 | 95 | □—△ | |
| 湖南永顺 | 永顺县型砂厂 | 96 | ○ | |
| 河南中牟县 | 郑庵砂厂 | 80 | □—○ | |
| 广东新会 | 新会天然硅砂厂 | 96 | □—△ | |
| 广东斗门县 | 斗门县砂厂 | 95 | □ | |
| 辽宁海城 | 海城硅砂矿 | 96 | □—△ | |
| 辽宁金县 | 四十里堡砂厂 | 82 | □ | |
| 甘肃皋兰县 | 皋兰县型砂厂 | 92 | | |
| 河南文昌县 | 文昌县硅砂矿 | 96 | | |

① 指质量分数，全书同。

2 常用的粘结材料和辅助材料

2.1 粘土

对“粘土”这个词，目前不能用简单而确切的语句来定义。美国陶瓷学会所给的定义是：“粘土是细粒的岩矿，它有如下特点：加水润湿，即成可塑状态；将此种可塑状态的含水物烘干，则成为硬的块状

物；将脱水的块状物在高温下烧结，则成为坚硬的岩石样块状物。

铸造生产中用的粘土，主要有三种。

2.1.1 膨润土

膨润土的主要矿物组成是蒙脱石，此外为伴生的杂质。蒙脱石是三层结构的片状晶体，结构简图见图 5-2。

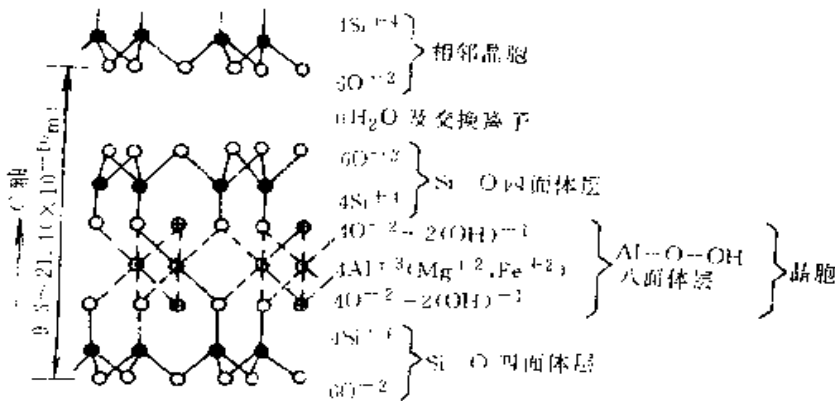


图 5-2 蒙脱石的晶体结构示意图

上层和下层都是 Si-O 四面体，中间层则是 Al-O-OH 八面体。相邻单元之间氧面与氧面相接，结合力相当弱，水分子不但能浸润晶体表面，而且容易进入各晶体单元之间。所以，膨润土吸水能力很强，吸水后体积膨胀也较多。

2.1.1.1 交换性阳离子(可交换基) 膨润土中，总有一部分三价的铝原子被二价的镁原子取代，即：两个 MgO 分子取代一个 Al₂O₃ 分子。这样一来，需要两个氧原子的两个镁原子取代了需要三个氧原子的两个铝原子。结果，多了一个氧原子，膨润土的粒子就带负电荷，要吸附阳离子。通常，被吸附的是钠离子或钙离子，吸附了钠离子的就是钠膨润土，吸附了钙离子就是钙膨润土，天然的膨润土主要是这两种。当然也可以吸附其它离子，如锂离子，铵离子或有机阳离子，这样的膨润土都是借助于人工离子交换制得的。

2.1.1.2 钠膨润土和钙膨润土 天然膨润土矿产以钙膨润土为多，钠膨润土较少。

由于钠膨润土有许多优良的性能，一般认为钠膨润土比钙膨润土好。实际上，任何一种物质都不可能绝对地优于另一种物质，要根据使用条件作具体分析。

从粘土湿型砂的观点看来，两种膨润土的比较见表 5-19。

表 5-19 钠膨润土和钙膨润土的比较

| 性能 | 钠膨润土 | 钙膨润土 |
|--------------|------|------|
| 吸水后的体积膨胀 | 较大 | 较少 |
| 配制型砂时所需的混砂时间 | 较长 | 较短 |

(续)

| 性能 | 钠膨润土 | 钙膨润土 |
|------------|------|------|
| 配成的型砂的湿压强度 | 较低 | 较高 |
| 配成的型砂的流动性 | 较差 | 好 |
| 配成的型砂干压强度 | 高 | 较低 |
| 型砂抗膨胀缺陷的能力 | 强 | 较差 |
| 受热后的稳定性 | 较好 | 较差 |
| 配成的型砂的落砂性能 | 较差 | 好 |

钠膨润土有不少优良的性能，主要的有：膨润值高，配成的型砂抗膨胀缺陷的能力强；热稳定性好，铸型浇注后型砂中的膨润土受热失效而成为死粘土的部分较少，即耐用性较好。这些都是钙膨润土所不及的。

但是，与钠膨润土相比，钙膨润土也有不少长处，如：配制型砂时所需的混砂时间较短，对于大批量生产的条件，这是重要的优点；配制的型砂湿压强度较好，对于无箱造型的条件，这是值得重视的；配制的型砂流动性较好，浇注后落砂性能也较好，对于高速、高压造型线的型砂，显然也是比较适宜的。

所以，不能笼统地说钠膨润土比钙膨润土好，应该有分析地选用。即使在钠膨润土资源丰富的美国，采用湿砂造型工艺的铸造厂，一般也不全用钠膨润土，通常多同时采用两种膨润土，适当地配合使用，以各取其所长。

在我国目前尚缺乏钠膨润土的条件下，建议选用品质(质量)良好、性能稳定的钙膨润土。对膨润土的品质(质量)要求见表 5-20。

表 5-20 对膨润土的质量要求

| 项 目 | 指 标 |
|----------------------------|--------------------|
| 蒙脱石含量 | ≥70% |
| 水分 | ≤12.0%, 冬季允许≤15.0% |
| 100g 膨润土吸附亚甲基蓝量 | ≥20g, 且应稳定 |
| 通过 10 号铸造用试验筛 (0.075mm) 的量 | 按质 (重) 量应 ≥95% |
| 膨润值 (或胶质价) | 数值稳定 |
| 工艺试样的湿压强度 | 数值稳定 |

ZBJ31009—90 “铸造用膨润土和粘土”将铸造用膨润土按其 主要交换性阳离子分为 4 类 (表 5-21), 按工艺试样的湿压强度分级 (表 5-22), 按工艺试样的热湿拉强度分级 (表 5-23)。

表 5-21 膨润土分类

| 代 号 | 类 别 |
|-------|-------|
| PNa | 钠膨润土 |
| PCa | 钙膨润土 |
| PNaCa | 钠钙膨润土 |
| PCaNa | 钙钠膨润土 |

注: 根据膨润土的 pH, 又可分为酸性和碱性两类, 分别用 “S” 和 “J” 表示。

表 5-22 膨润土按工艺试样的湿压强度分级

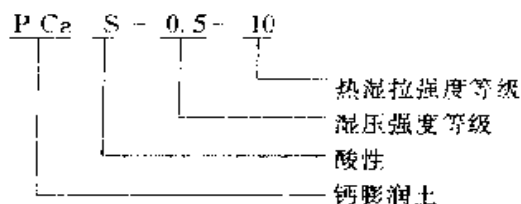
| 等 级 代 号 | 工艺试样的湿压强度 (kPa) |
|---------|-----------------|
| 10 | >100 |
| 7 | >70~100 |
| 5 | >50~70 |
| 3 | ≥30~50 |

表 5-23 膨润土按工艺试样的热湿拉强度分级

| 等 级 代 号 | 工艺试样的热湿拉强度 (kPa) |
|---------|------------------|
| 25 | >2.5 |
| 20 | >2.0~2.5 |
| 15 | >1.5~2.0 |
| 5 | 0.5~1.5 |

注: 工艺试样用混合料的配制: 将 2000g 标准砂与 100g 膨润土于 SHN 式混砂机内干混 2min, 加水 4mL, 再混 8min, 然后测可紧实性。当可紧实性小于 43% 时, 可加少量水, 再混 2min, 再测可紧实性。若可紧实性 >47%, 将混合料过筛 1~2 次, 再检查可紧实性。可紧实性在 43%~47% 之间即可。

膨润土的牌号表示法示例如下:



2.1.1.3 钙膨润土的“活化” 由于膨润土吸附的是交换性阳离子, 在钙膨润土中加入弱酸钠盐 (通常用碳酸钠) 的水溶液, 钙离子就会被钠离子置换, 如果置换反应产生的钙盐 (如碳酸钙) 不溶于水, 则置

换反应将一直进行到全部交换性钙离子都被置换、或全部加入的钠离子都用尽为止。结果, 钙膨润土就变成了人工钠膨润土。这种方法通常称之为“活化”。

“活化”可以在膨润土生产厂实施, 将钙膨润土加工成人工钠膨润土出售。也可以由铸造厂在混砂加入碳酸钠或其水溶液来完成, 通常碳酸钠加入量为膨润的 3% 左右, 准确的加入量应通过试验确定。

2.1.1.4 膨润土的受热失效 经水润湿的膨润土, 加热脱除自由水后, 再加水调制便可恢复其粘结能力。所以, 用膨润土配制的湿型砂有良好的复用性, 与其它粘结剂相比, 是膨润土一项重要的优点。

但是, 如果在较高的温度下加热, 则膨润土会失去其结构水。部分失去结构水的膨润土, 粘结能力减弱; 完全失去结构水的膨润土, 则完全丧失粘结能力, 称之为“死粘土”或“无效粘土”。

Hofmann 曾就两种典型的膨润土, 研究加热温度对其粘结能力的影响。一种是钠膨润土 (即著名的威欧明膨润土, 另一种是钙膨润土 (美国南部产的膨润土)。

试验方法是: 用硅砂加 5% 的膨润土配成型砂, 将型砂加热到不同的温度, 冷却后将型砂团块破碎, 再加水混碾, 然后测定其湿压强度。试验结果见图 5-3。

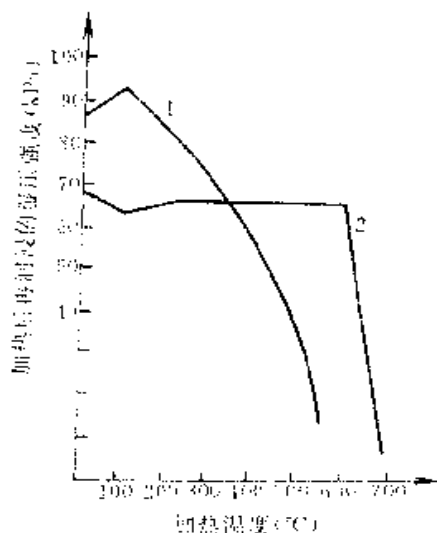


图 5-3 加热温度对膨润土粘结能力的影响
1—钙膨润土 2—钠膨润土

由图 5-3 可知:

- 1) 钠膨润土在 600°C 以下加热, 它的粘结能力基本上不受影响。加热到 700°C 以上, 即完全丧失粘结能力。
- 2) 钙膨润土, 在 100°C 以上, 就开始部分失去粘结能力。加热温度愈高, 粘结能力的丧失就愈明显。

所以,一般说来,钠膨润土的受热稳定性优于钙膨润土,但人工活化的钠膨润土不及天然钠膨润土。

2.1.2 耐火粘土

这里所说的耐火粘土即 ZBJ31009—90 中的粘土,因粘土是这类矿物的总称,所以用“耐火粘土”以区别于总称。

作为粘土湿型砂的粘结材料,耐火粘土已逐步让位于膨润土。目前主要用于粘土干型砂,而且使用的范围越来越小。

耐火粘土的主要矿物组成是高岭石。高岭石是二层结构的片状晶体,一层是 Al—O—OH 八面体,另一层是 Si—O 四面体。晶体单元之间,由氧面与氢氧面作氢键连接,连接坚固,其晶体结构示意图,见图 5-4。

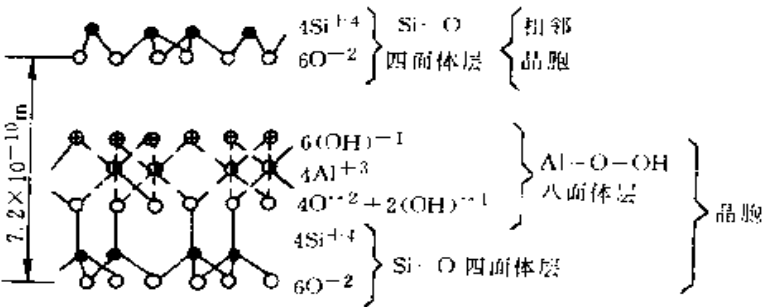


图 5-4 高岭石的晶体结构示意图

由于晶体单元之间的连接坚固,水分不易渗入,故吸水能力差,吸水而致的体积膨胀也不大,湿态粘结能力因而较差。

高岭石的 Al_2O_3/SiO_2 的比值较蒙脱石高,其软化点和熔点因而较高,所以称之为耐火粘土,且主要用于制造耐火材料。

ZBJ31009—90 将耐火粘土按耐火度分为两级(表 5-24),按工艺试样的湿压强度分级(表 5-25),按工艺试样的干压强度分级(表 5-26)。

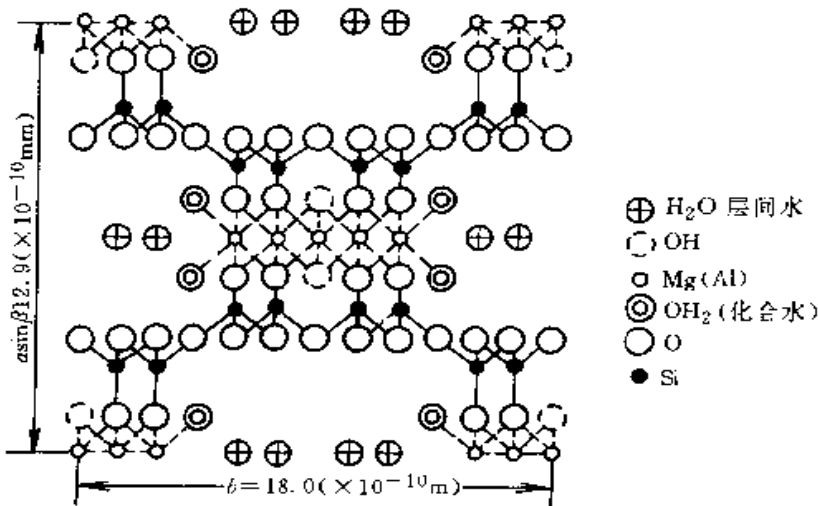


图 5-5 绿坡缕石的晶体结构示意图

表 5-24 耐火粘土按耐火度分级

| 等级 | 等级代号 | 耐火度(℃) |
|------|------|-----------|
| 高耐火度 | G | >1580 |
| 低耐火度 | D | 1350~1580 |

表 5-25 耐火粘土按工艺试样的湿压强度分级

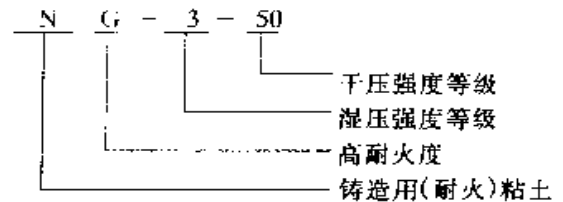
| 等级代号 | 工艺试样的湿压强度值(kPa) |
|------|-----------------|
| 5 | >50 |
| 3 | >30~50 |
| 2 | 20~30 |

表 5-26 耐火粘土按工艺试样的干压强度分级

| 等级代号 | 工艺试样的干压强度值(kPa) |
|------|-----------------|
| 50 | >500 |
| 30 | >300~500 |
| 20 | 200~300 |

注:工艺试样用混合料的配制:将 2000g 标准砂与 200g 耐火粘土加入 SHN 混砂机内,干混 2min,然后加水 100mL,再混碾 8min。

耐火粘土的牌号表示法示例如下:



2.1.3 硅镁铝土

硅镁铝土的主要矿物组成是绿坡缕石 (Attapulgite),是硅藻土类有吸附能力的粘土类物质中的主要品种,因最早发现于美国佐治亚洲的 Attapulugus 而命名,也有人按其发音译作凹凸棒石。

绿坡缕石的晶体结构有两个特点:一是具有三维链结构,不像膨润土那样有层状结构,故不能吸水膨胀;二是晶体结构中有特有的解理,是疏松而多孔的,有很强的吸附能力。

绿坡缕石的晶体结构如图 5-5 所示。其结晶化学式为 $Mg(Al)_5Si_3O_{20}(OH)_4 \cdot 4H_2O \cdot nH_2O$,其中 $4H_2O$ 为结构水, nH_2O 为层间水。

一种有代表性的硅镁铝土,即 Engelhard 公司的产品 Attagel50 的化学成分见表 5-27。

2.1.4 我国一些重要的膨润土和耐火粘土的产地和产品的特点

- 1) 我国一些主要的膨润土的情况,见表 5-28。
- 2) 我国一些主要的耐火粘土的情况,见表 5-29。

表 5-27 一种硅镁铝土的化学成分

| (%) | | | | | |
|--------------------------------|------|--------------------------------|-----|------------------|-----|
| SiO ₂ | 68.0 | Fe ₂ O ₃ | 5.0 | K ₂ O | 1.0 |
| Al ₂ O ₃ | 12.0 | CaO | 1.7 | TiO ₂ | 0.7 |
| MgO | 10.5 | P ₂ O ₅ | 1.0 | 其它 | 0.1 |

表 5-28 我国一些主要的膨润土产地及产品简况

| 产地 | 生产企业 | 产品基本规格 | 吸蓝量 (g/100g) | 膨胀倍数 (mL/1g) | 胶质价 (mL/15g) | pH 值 |
|--------|------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|
| 吉林九台市 | 九台市膨润土矿 | PCaS-5-5 | 36 | 12 | 80 | <7 |
| | | PNaJ-5-25 | 36 | 35 | 100 | >7 |
| | 九台县二道沟膨润土矿 | PCaS-5-5 | 36 | 11 | 80 | <7 |
| 辽宁黑山县 | 黑山县膨润土矿 | PCaS-5-5 | 30~40 | 7~12 | >50 | 6.5~7.2 |
| | | PCaS-3-5 | 30~40 | 7~12 | >50 | 6.5~7.2 |
| | 八道壕膨润土矿 | PCaJ-5-5 | 36 | 15 | 65 | 8.3 |
| 辽宁凌源县 | 凌源县膨润土矿 | PCaJ-7-5 | 32 | >8 | 80 | >8 |
| | | PNaJ-5-25 | 27~37 | >15 | 100 | 9.5 |
| 辽宁法库县 | 法库县膨润土矿 | PCaS-5-5 | 37 | 12 | 75 | <7 |
| 河北张家口市 | 张家口市膨润土矿 | PCaS-3-5 | 37 | 9 | 60 | <7 |
| | | PCaJ-3-5 | 30 | 9 | 100 | >7 |
| | 宣化县化工厂 | PCaJ-5-20 | 30 | 11 | 80 | 10.5 |
| 河南信阳市 | 信阳县膨润土矿 | PCaJ-3-5 | 42 | 12 | 78 | >7 |
| | 上天梯非金属矿 | PCaS-3-5 | 42 | 12 | 40~100 | <7 |
| 浙江临安县 | 临安县膨润土矿 | PCaJ-3-5 | 31 | 10 | 100 | >7 |
| | | PNaJ-3-15 | 23 | 18 | 100 | 9.25 |
| | 平山膨润土矿 | PNaJ-3-15 | 27 | 12 | 100 | 9.5 |
| 浙江余杭县 | 仇山磁土矿 | PCaJ-5-5 | 33 | 12.7 | 80 | >7 |
| | | PNaJ-5-25 | 38 | 53 | 100 | >9 |
| 湖北鄂州市 | 太和膨润土厂 | PCa-3-5 | 34~44 | 8~12 | 55~80 | 7 |
| | 太和非金属矿业公司 | PCaS-5-5 | 44 | 11 | 85 | 6.9 |
| | | PNaJ-5-25 | | 56 | 100 | 9.2 |
| 山东潍坊市 | 潍坊膨润土厂 | PCaJ-5-5 | 25 | 10 | 55 | 8.5 |
| 江苏句容 | 申山膨润土矿 | PCaS-5-5 | 40 | 10 | 57 | 6~7 |
| 安徽六安市 | 六安市膨润土矿 | PCaS-3-5 | 31 | 7.5 | 42 | 6 |
| 江西广丰县 | 广丰县膨润土矿 | PCaS-3-5 | 33 | 12 | 52 | 6.5 |
| 四川三台县 | 三台县膨润土厂 | PCaS-5-5 | 35 | 9 | 79 | 8.2 |
| 四川仁寿县 | 仁寿县膨润土厂 | PNaJ-3-20 | 36 | 13 | 97 | 9.3 |
| 新疆托克逊 | 托克逊县膨润土厂 | PNaJ-3-20 | 26 | 38 | 100 | >8 |
| 广西宁明 | 宁明膨润土开发公司 | PCaJ-5-15 | 27 | 25 | 80 | 9.6 |

表 5-29 我国一些主要的耐火粘土产地及产品概况

| 名称 | 产地 | 产品基本规格 | 吸蓝量 (g/100g) | 胶值价 (mL/15g) |
|-------|-----------|---------|--------------|--------------|
| 水曲柳粘土 | 吉林舒兰县水曲柳 | NG-2-20 | 15 | 46 |
| 赵家沟粘土 | 辽宁沈阳东陵赵家沟 | ND-3-50 | 11 | 40 |
| 永吉粘土 | 吉林省永吉县 | NG-3-30 | 12 | 60 |
| 小关粘土 | 河南巩县小关 | ND-5-50 | 8 | 51 |
| 龙田粘土 | 福建福清县龙田 | ND-2-30 | 8 | 40 |
| 八宝山粘土 | 北京八宝山 | ND-2-30 | 6 | 36 |
| 祖堂山粘土 | 江苏江宁县祖堂山 | NG-5-50 | 11 | 50 |
| 东莞粘土 | 广东东莞 | NG-5-50 | 5 | 50 |
| 王家厂粘土 | 湖南澧县王家厂 | NG-3-30 | 8 | 76 |
| 唐山粘土 | 河北唐山 | NG-3-50 | | |

2.2 水玻璃

水玻璃亦称硅酸盐粘结剂，俗称泡花碱。硅酸盐的品种浩繁，能溶于水的有钠系硅酸盐、钾系硅酸盐、锂系硅酸盐和季铵系硅酸盐。后两种价格昂贵，目前尚不可能作为型砂的粘结剂。钾系硅酸盐虽在一定的程度上有实用价值，但也比钠系硅酸盐贵得多。因此，铸造工业中用作粘结剂的水玻璃，如无特别说明，都是钠系硅酸盐，即钠水玻璃。

2.2.1 水玻璃的组成

钠水玻璃是由 Na_2O 和 SiO_2 为主要组成物的多种化合物的水溶液，是非常复杂的混合物。常用的水玻璃中，固体含量在 30% ~ 60% 之间，其余为水。固体物质中 SiO_2 与 Na_2O 的质（重）量比在 2.0 ~ 3.5 之间，并含有少量杂质。水玻璃呈碱性，pH 值在 10 ~ 14 之间。

水玻璃的组成是非常复杂的，尽管它是广泛应用的工业材料，且有一百多年的历史，但到目前为止，对其实际组成还没有十分清楚。

2.2.1.1 无水硅酸钠 为了了解水玻璃，先从不水 $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 相图（图 5-6）入手。

图 5-6 对于制备水玻璃和了解其在高温下的状况是有益的，对于判断水玻璃的组成则是不够的。据研究，无水硅酸钠有表 5-30 中所列的 6 种。

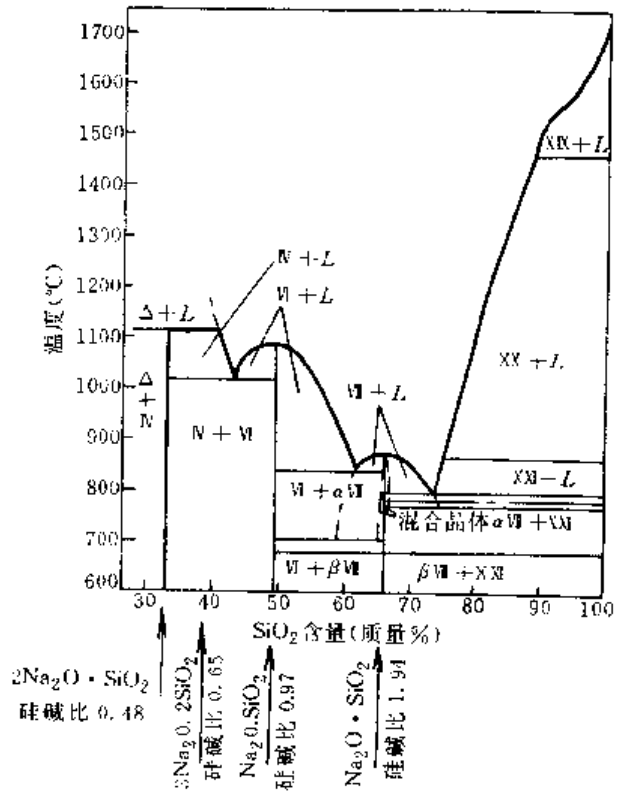


图 5-6 无水 $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 二元相图

Δ - Na_2O , IV- $2\text{Na}_2\text{O}\cdot 3\text{SiO}_2$, VI- $\text{Na}_2\text{O}\cdot \text{SiO}_2$
 VII- $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2\text{SiO}_2$, XIX-方石英, XX-鳞石英,
 XXI-石英, L-液相

表 5-30 几种无水硅酸钠

| 名称 | 分子式 | SiO ₂ /Na ₂ O | 熔点 (°C) |
|---------|---|-------------------------------------|---------|
| 正硅酸钠 | 2Na ₂ O·SiO ₂ 或 Na ₄ SiO ₄ | 0.48 | 1128 |
| 焦硅酸钠 | 3Na ₂ O·2SiO ₂ 或 Na ₆ Si ₂ O ₇ | 0.65 | 1122 |
| 偏硅酸钠 | Na ₂ O·SiO ₂ 或 Na ₂ SiO ₃ | 0.97 | 1089 |
| α-二偏硅酸钠 | | | 874 |
| β-二偏硅酸钠 | Na ₂ O·2SiO ₂ 或 Na ₂ Si ₂ O ₅ | 1.94 | 707 |
| γ-二偏硅酸钠 | | | 678 |

正硅酸钠和焦硅酸钠的熔点较高, 不易制取, 而且胶凝作用很弱, 工业上不用其作粘结剂。

偏硅酸钠脱水后是结晶状固体, 用化学方法处理后得到的硅胶不多。工业上主要用作洗涤剂, 不用作粘结剂。

二偏硅酸钠的熔点低, 水解以后, 在大气条件下脱水, 可得到有韧度和弹性的胶凝体。用 CO₂ 或酸处理, 得到的凝胶强度也很好。这是铸造用水玻璃中的主要成分。

2.2.1.2 硅酸钠的水溶液 无水硅酸钠溶于水后, 会发生水合和水解作用。水玻璃实际上是复杂的 Na₂O—SiO₂—H₂O 三元系, 其中已确认存在的硅酸钠水合物至少有 11 种之多, 此外还有硅酸离子 (H₂SiO₂⁻², H₃SiO₄⁻¹) 和钠离子。

在水溶液中, 硅酸有自聚合作用, 可由单硅酸逐步聚合为多硅酸。因此, 也有人把水玻璃称为硅酸钠树脂。由于同样的原因, 水玻璃的粘结强度也会因存放时间延长而降低, 这就是水玻璃的“老化”。水玻璃发生老化后, 可以通过使多硅酸分解为单硅酸而得到“恢复”。具体作法是用超声波处理或加入 NaOH 溶液。

2.2.2 模数和硅碱比

水玻璃中, SiO₂ 含量与 Na₂O 含量的比, 是影响水玻璃性能的最重要的特性。

到现在为止, 我们仍习惯于用“模数”来描述水玻璃的这一特性, 并以字母“*m*”来代表。模数是水玻璃中 SiO₂ 的摩尔数与 Na₂O 的摩尔数之比, 引入模数之后, 就有人将水玻璃用分子式表示为 Na₂O·*m*SiO₂。

上节已经谈到, 水玻璃是非常复杂的混合物, 而混合物是不能用分子式表示的。引入模数这一概念, 并用分子式表示水玻璃, 没有任何实际的好处, 只能起误导作用, 主要有两点:

1) 使人们误认为水玻璃是匀质化合物, 从而不能正确地掌握水玻璃的特点;

2) 使人们误认为: 不论 *m* 为何值, 都有那样的硅酸钠。有的书上就说有所谓“三硅酸二钠 (Na₂O·3SiO₂)”和“四硅酸二钠 (Na₂O·4SiO₂)”。由表 5-30 可知, 虽然 SiO₂ 和 Na₂O 可以构成多种硅酸钠, 但只能有摩尔比为某几个特定值的 4 种, 并不存在什么“三硅酸二钠”和“四硅酸二钠”。

目前, 许多工业国都不采用“模数”这一概念, 直接用水玻璃中 SiO₂ 质量分数和 Na₂O 质量分数的比来描述其特性, 我们暂称之为硅碱比。采用硅碱比, 不致引起上述误解, 而且不必求摩尔数, 比较方便。

在多年使用模数之后, 改用硅碱比 (SiO₂:Na₂O), 主要是概念上的转变。对于钾水玻璃, 硅碱比和模数在数值上差别相当大; 对于广泛采用的钠水玻璃, 两者正好非常接近。氧、硅和钠的相对原子质量分别为 16、28.1 和 23, SiO₂ 和 Na₂O 的相对分子质量分别为 60.1 和 62。

$$\begin{aligned} \text{模数 } m &= \frac{\text{SiO}_2 \text{ 的质量分数 } (\%)}{60.1} \div \frac{\text{Na}_2\text{O 的质量分数 } (\%)}{62} \\ &= \frac{\text{SiO}_2 \text{ 的质量分数}}{\text{Na}_2\text{O 的质量分数}} \times \frac{62}{60.1} \\ &= \text{硅碱比} \times 1.03 \end{aligned}$$

由于 1.03 和 1 很接近, 实际应用中可粗略地认为硅碱比在数值上与模数相同, 而两者所代表的概念则大不相同。

2.2.3 水分和密度

水分是水玻璃的另一要素, 对水玻璃的性能有很大的影响。

测定水玻璃中的水分是不太容易的。水玻璃中的水, 并不都是在 100°C 就能汽化的自由水, 其中一部分与硅酸钠形成水合物, 还有一部分则束缚在硅胶的网架之间。在 125°C 烘干, 大约还有 5%~11% 的水分不能脱除, 这部分水要加热到 650°C 左右才能脱除。

测定密度是简便易行的, 所以通常将密度作为水玻璃的验收指标之一。由密度也可以判定其水分。

从理论上讲, 水玻璃的密度与其硅碱比和水分有关。所以, 有的书上介绍一种相当复杂的线图, 反映水玻璃的模数、SiO₂ 含量、Na₂O 含量和水分等 4 参

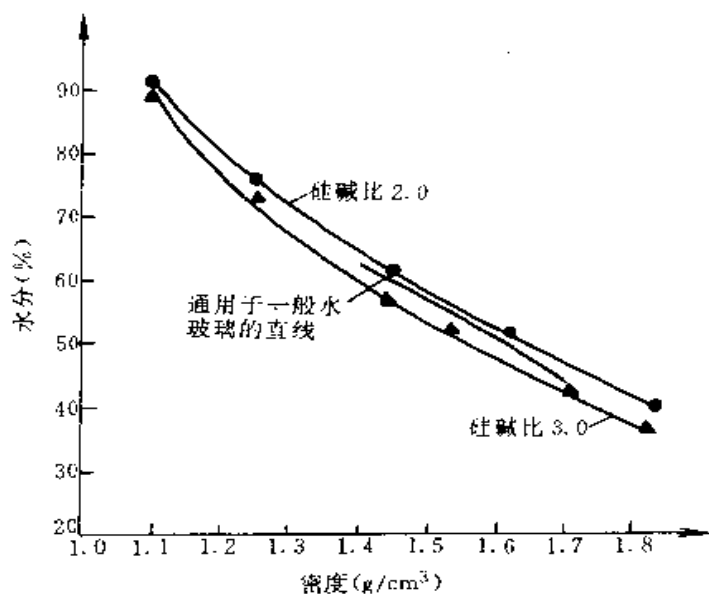


图 5-7 水玻璃水分与其密度的关系

数之间的关系。由模数和密度，可查得 SiO_2 和 Na_2O 的含量，进而可求得水分。但是，这种线图用起来不太方便。

为求得更简便的方法，在分析许多数据的基础上作出了图 5-7。由图可以看出，硅碱比为 2.0 和 3.0 的两条曲线实际上是很接近的，如不考虑熔模铸造用的水玻璃，几乎可以不计硅碱比的影响。这种简化所致的水分值的误差，一般不超过 2%（水分），对现场要求的条件是可允许的。

2.2.4 规格

我国专业标准 ZBJ31003—88“铸造用水玻璃”，对于加热硬化、吹 CO_2 硬化及自硬等工艺用的水玻璃，规定了两个牌号，具体要求见表 5-31。本标准规定模数范围太宽，铸造厂购买时，应根据具体情况，作进一步的限定。

表 5-31 铸造用水玻璃的技术要求

| 牌 号 | 密度 (g/cm^3) | SiO_2 含量 (%) | Na_2O 含量 (%) | 模数 M | Fe (%) | 水不溶物 (%) |
|--------|----------------------------------|--------------------------|---------------------------------|-----------|-------------|-------------|
| ZS-2.9 | 1.40~1.50 | ≥ 25.70 | ≥ 10.20 | 2.51~2.90 | ≤ 0.04 | ≤ 0.60 |
| ZS-2.5 | 1.50~1.56 | ≥ 29.20 | ≥ 12.80 | 2.20~2.50 | ≤ 0.05 | ≤ 0.80 |

2.3 树脂粘结剂

目前，用于不同的铸造合金，有不同的树脂。就同一种铸造合金而言，还可根据铸件的大小和铸造厂的具体条件选用不同的树脂。还可按采用的工艺方法选用树脂。所以，铸造用的树脂粘结剂品种繁多。最常用的树脂主要有三大类，即酚醛树脂、呋喃树脂和尿烷树脂。

但是，能用型砂粘结剂的决不只限于这三类，不饱和聚酯树脂、环氧树脂和其它高分子材料也已作为型砂粘结剂进入铸造行业。

现就最常用的三种树脂介绍如下。

2.3.1 酚醛树脂

酚醛树脂是最早开发的人工合成树脂，1872年，A. Baeyer 就发表了研制酚醛树脂的成果。

酚醛树脂可分为：甲阶酚醛树脂和壳型（芯）用酚醛树脂。

2.3.1.1 甲阶酚醛树脂 苯酚和甲醛的缩聚反应，可分为三个阶段。在甲阶段，得到的是线型、支链少的树脂，可熔并可溶，称为甲阶酚醛树脂。

酸硬化或酯硬化的甲阶酚醛树脂，应含有较多的活性羟甲基官能团（ $-\text{CH}_2\text{OH}$ ），硬化时活性羟甲基官能团反应，直至形成三维结构而硬化。制取这种树脂，需有两个条件。

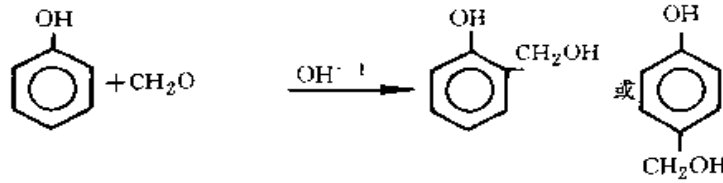
1) 甲醛过量，即甲醛对苯酚的摩尔比大于 1。在此条件下反应，生成多羟甲基酚，再经缩聚即得到甲阶酚醛树脂。

随着甲醛用量的增加，树脂的活性增强，硬化较快，树脂砂的抗拉强度也较高。但是，树脂的粘度增高，贮存寿命缩短。因此，要兼顾这两方面，既要使树脂有足够多的活性官能团，又要使其粘度不致太高。

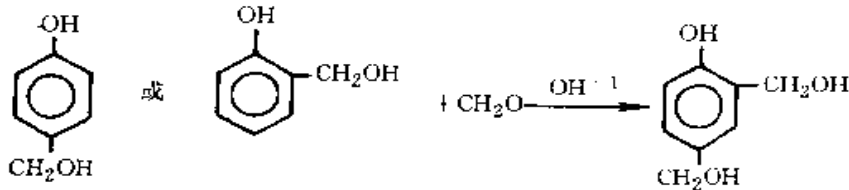
2) 在碱性催化剂的作用下反应。在碱性介质中，生成的活性羟甲基官能团比较稳定。所以，制取甲阶酚醛树脂，通常用碱金属或碱土金属的氧化物或氢氧化物作催化剂。

甲阶酚醛树脂的制取过程是：

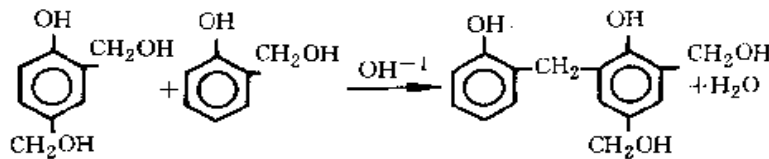
① 在碱性催化剂的作用下，苯酚和甲醛先发生加成反应，生成邻羟甲基酚和对羟甲基酚。



② 如甲醛过量，则进一步反应，生成多羟甲基酚。



③ 再经缩聚反应，即得到甲阶酚醛树脂。



缩聚反应完成以后，用酸中和原加入的碱性催化剂，以抑制其继续缩聚，即得酸硬化的甲阶酚醛树脂，pH值一般调到4.5~6.5。

碱硬化的甲阶酚醛树脂，即通常所说的碱性树脂，也要采取措施抑制继续反应，但pH值控制在11~13.5。

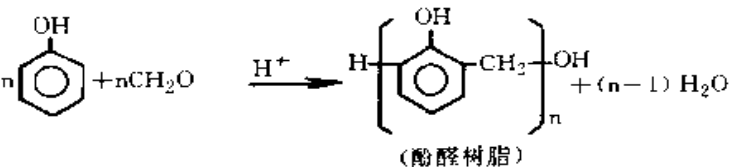
当前，一些工业国的热芯盒法，主要采用甲阶酚醛树脂，很少采用呋喃树脂。热芯盒用的甲阶酚醛树脂，甲醛对苯酚的摩尔比还要更高一些。

2.3.1.2 壳型(芯)用酚醛树脂 壳型(芯)用的是诺沃腊克型酚醛树脂，其制取的条件与甲阶酚醛树脂不同。

1) 甲醛对苯酚的摩尔比小于1。

2) 用酸性催化剂。

在上述条件下，苯酚和甲醛发生缩聚反应，得到诺沃腊克型酚醛树脂，其反应如下：



诺沃腊克型酚醛树脂是黄色固体，其结构中邻位不含羟甲基，本身不能自行缩聚，不会发生交联反

应。所以，这种树脂具有可熔、可溶性，长时间加热也不会硬化，是热塑性线型树脂。因为它用作壳型覆膜砂的粘结剂，不少人说它是热固性树脂，这是不正确的。

覆膜砂受热后硬化，是因为制覆膜砂时加入了潜硬化剂六亚甲基四胺，它受热后产生亚甲基，使线型树脂发生交联反应，成为不熔不溶的内阶段树脂。

2.3.2 呋喃树脂

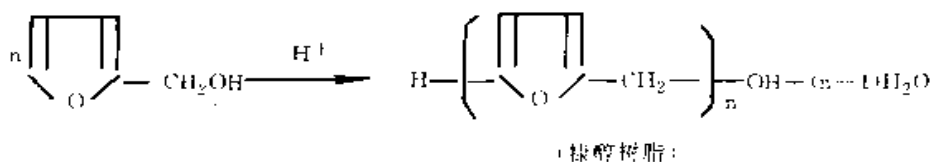
呋喃树脂是铸造行业应用最广的树脂，可用于自硬工艺，热芯盒工艺、温芯盒工艺和冷芯盒工艺。

呋喃树脂以糠醇为基础，并因其结构上特有的呋喃环而得名。

糠醇以农业副产品为主要原料。先由玉米芯、稻壳、棉子壳或甘蔗渣中提取糠醛，再在一定的温度和压力条件下加氢，即制得糠醇。我国制糠醇的原料丰富，据报道，日本生产的呋喃树脂，其原料40%以上自我国进口。

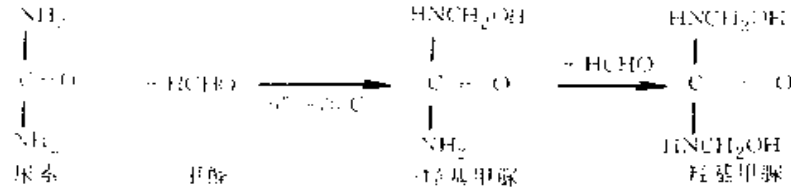
呋喃树脂，就其基本构成而言，主要有糠醇树脂、酚醛呋喃树脂、脲醛呋喃树脂和甲醛呋喃树脂等。实际上，由于综合考虑成本、性能等因素，通常多采用多组分的共聚树脂。

(1) 糠醇树脂 糠醇单体在酸的催化作用下，可缩聚而得到线型糠醇树脂，其反应如下：

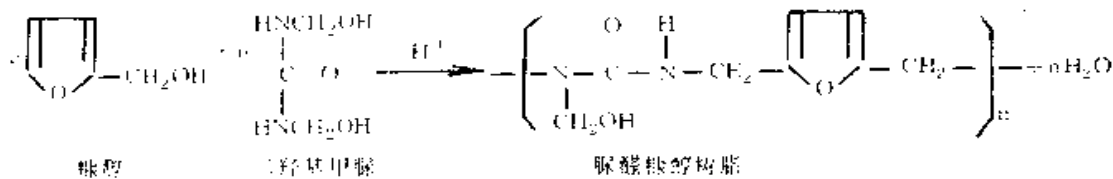


糠醇树脂的性能并不理想，且价格昂贵，实际上几乎不单独使用。

(2) 脲醛呋喃树脂 这种树脂也称为糠醇改性的脲醛树脂，由糠醇、尿素和甲醛合成，反应可分为两步。



第二步：二羟甲基脲和糠醇在弱酸性条件下发生

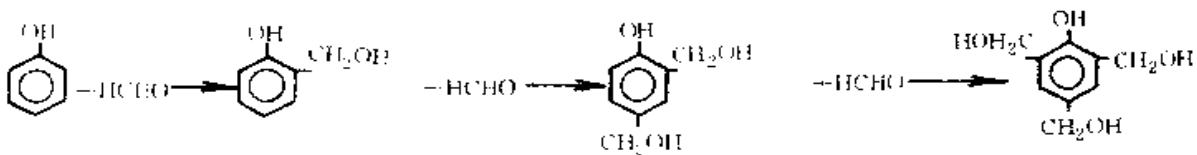


此种树脂的性能好，价格便宜，硬化也易于控制。其中，脲醛的含量可在很大的范围内变动，以适应不同的条件。要求含氮量低时，树脂中脲醛含量可低到10%左右，用于铝合金铸件，则可高达75%。

缩聚反应，得到脲醛呋喃树脂。

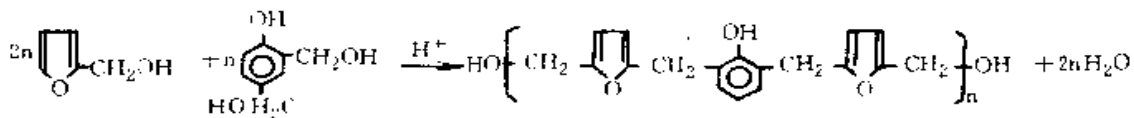
(3) 酚醛呋喃树脂 此种树脂由苯酚、甲醛和糠醇合成，其反应相当复杂，现作简单的说明。

苯酚邻位和对位上的氢容易与甲醛发生加成反应，生成多羟甲基苯酚。



在酸性催化剂作用下，多羟甲基苯酚和糠醇反

应，得到线型酚醛树脂。



酚醛呋喃树脂不含氮，不会因氮而使铸件产生气孔。其缺点是型砂轻脆，综合性能不够好。

(4) 甲醛呋喃树脂 糠醇与甲醛在酸性催化剂的作用下，先发生脱水反应，再通过与链状的亚甲基结合，变成由呋喃环连接起来的树脂。

这种树脂的糠醇含量通常在90%以上，贮存稳定性好。用其配制的型砂，常温及高温强度均好，适用于大型铸件及高合金钢铸件。由于糠醇含量高，价格较贵。

(5) 脲醛、酚醛共聚呋喃树脂 脲醛呋喃树脂有价格便宜和强度高的特点，酚醛呋喃树脂有不含氮和高温强度好的优点。为得到较好的综合性能，通常广泛采用由尿素、苯酚、甲醛和糠醇四组分缩聚而成的

呋喃树脂，简称为共聚树脂。其中，各组分所占的份量均可在相当大的范围内调整。具体选定时，应考虑表5-32中所列的各因素。

表 5-32 选定共聚呋喃树脂各组分时应综合考虑的因素

| 因素 | 糠醇 | 脲醛 | 酚醛 |
|-------------------------------|------|-----------|-----|
| 成本 | 最高 | 最低 | 适中 |
| 树脂的含氮量 | 不含氮 | 尿素含氮46.6% | 不含氮 |
| 树脂砂的硬透能力 | 中等 | 最佳 | 最弱 |
| 树脂砂的强度 | 高 | 高 | 低 |
| 树脂砂的脆性 | 脆性中等 | 脆性最低 | 脆 |
| 对使用条件(如环境温度 and 原砂质量)略有变化的适应性 | 最佳 | 甚好 | 较差 |

2.3.3 尿烷树脂

尿烷树脂由两个组分构成,混砂时分别加入,然后在硬化剂的作用下发生聚合反应。这与缩聚树脂(酚醛树脂和呋喃树脂)在加入型砂之前就已部分聚合的情况不同,所以有人称之为分段聚合树脂。

第一组分是含羟基的树脂。用于钢、铁铸件时,本组分为含羟基的酚醛树脂,因其有醚键,也称聚苯醚酚醛树脂。用于铝合金铸件时,为使型砂有较好的溃散性,本组分为多元醇。

第二组分是聚异氰酸酯。作铸造粘结剂时,常用4,4'-二苯基甲烷二异氰酸酯(MDI)或多苯基多胺基多异氰酸酯(PAPI)。

以上两组分,在胺的催化作用下发生尿烷反应而聚合,故称为尿烷树脂,也称为聚氨酯树脂。

尿烷树脂体系的硬化剂为胺。用于自硬砂时,通常用液态的叔胺,为方便现场应用,树脂制造厂预先将适用的胺加入第一组分中,铸造厂就不必另加硬化剂了。

用于吹气硬化工艺的树脂,第一组分中不加胺。铸造厂在制成铸型或芯子之后吹入胺蒸气使其硬化,所用的胺为三乙胺(TEA)或二甲基乙胺(DMEA)。

2.3.4 树脂的规格和主要生产厂

(1) 相关的标准和规格 JB 3828—84“铸造用糠醇尿醛1型树脂”规定了热芯盒用尿醛呋喃树脂的要求,见表5-33。

ZBG39005—89“铸造用壳型(芯)酚醛树脂”规定两种诺沃腊克树脂的技术指标,见表5-34。

表5-33 呋喃尿醛1型树脂(热芯盒用)的规格 (JB 3828—84)

| 20℃时的粘度 (cP) | 固体含量 (%) | 游离甲醛含量 (%) | pH值 | 氮含量 (%) | 工艺试样的常温抗拉强度,硬化时间20~40s (MPa) |
|--------------|----------|------------|---------|---------|------------------------------|
| ≤3000 | ≥75 | ≤5 | 6.5~7.0 | ≤13.5 | ≥2.8 |

表5-34 壳型(芯)酚醛树脂的牌号和规格 (ZBG39005—89)

| 项 目 | 牌 号 及 指 标 | |
|-----------------|-----------|---------|
| | PF-90 | PF-110 |
| 软化点(环球法) (℃) | 75~90 | >90~110 |
| 聚合速度(热板法) (s) | 35~60 | 100~140 |
| 游离酚(溴化法) (%) | <7.0 | <4.0 |
| 游动性(斜板法) (mm) | 45~85 | |
| 覆膜砂熔点 (℃) | 95~105 | 100~110 |
| 覆膜砂常温抗拉强度 (MPa) | ≥3.0 | |

JB/T 7526—94“铸造用自硬呋喃树脂”规定了5种自硬砂用呋喃树脂的要求,见表5-35。

表5-35 自硬砂用呋喃树脂的技术要求 (JB/T 7526—94)

| 序号 | 技术指标名称 | 技 术 指 标 | | | | |
|--------|------------------------------|--------------|-----------|---------------|---------------|--------------|
| 1 | 氮含量 (%) | 0 | 0.3~1.8 | 1.8~3.5 | 3.5~6.0 | 10~12 |
| 2 | 25℃时的粘度 (mPa·s) | ≤20 | ≤20 | ≤20 | ≤40 | 1000~1500 |
| 3 | 25℃时的密度 (g/cm ³) | 1.10~1.12 | 1.15~1.17 | 1.15~1.17 | 1.15~1.18 | 1.20~1.30 |
| 4 | pH值 | 7.5 | 7.0±0.5 | 7.0±0.5 | 7.0±0.5 | 7.5 |
| 5 | 游离甲醛含量 (%) | 1.00 | ≤0.30 | ≤0.50 | ≤1.00 | ≤1.00 |
| 6 | 铸造工艺试样24h后的常温抗拉强度 (MPa) | ≥1.8 | >1.8 | ≥1.8 | ≥1.5 | 1.0~1.2 |
| 7 | 贮存期 | 半年 | 半年 | 半年 | 半年 | 半年 |
| 推荐使用范围 | | 大型铸钢件,高合金钢铸件 | 铸钢件球墨铸铁件 | 球墨铸铁件,厚壁大型铸铁件 | 普通灰铸铁件,有色金属铸件 | 一般铸铁件、有色金属铸件 |

中国铸造协会根据铸造厂的需要并经与树脂制造厂商讨论,制订了“自硬砂用呋喃树脂”的规格[(CFACF) NO1—94],提出了6种牌号的呋喃树脂

的性能要求,见表5-36。各牌号树脂的推荐用途见表5-37。

表 5-36 呋喃树脂的牌号及主要性能要求 [CFA (F) N01—94]

| 牌 号 | ZXS-1 | ZXS-2 | ZXS-3 | ZXS-4 | ZXS-5 | ZXS-6 |
|------------------------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| 氮含量 (%) | — | ≤2.0 | ≤2.0 | ≤4.0 | ≤6.0 | ≤8.0 |
| 游离甲醛含量 (%) | ≤0.3 | ≤0.3 | ≤0.3 | ≤0.40 | ≤0.5 | ≤0.5 |
| 20℃时的密度 (g/cm ³) | 1.1~1.2 | 1.1~1.2 | 1.1~1.2 | 1.1~1.2 | 1.1~1.2 | 1.15~1.25 |
| 20℃时的粘度 (PaS) | ≤0.015 | ≤0.025 | ≤0.045 | ≤0.045 | ≤0.05 | ≤0.10 |
| 糠醇含量 (%) | ≥92 | ≥85 | ≥80 | ≥80 | ≥70 | ≥60 |
| 水分 (%) | ≤2.0 | ≤4.0 | ≤4.0 | ≤6.0 | ≤7.0 | ≤10 |
| pH值 | 7~8 | | | | | |
| 工艺试样的强度 (MPa) | 抗拉强度不低于 1.2 (24h 强度) | | | | | |
| 保值期 | 不少于 6 个月 | | | | | |

表 5-37 推荐采用的树脂 (供参考)

| 铸造合金的种类和铸件特点 | 推荐采用的树脂 |
|-----------------|---------------|
| 中、高合金钢铸件, 大型铸钢件 | ZXS-1 或 ZXS-2 |
| 低合金钢或碳钢中、小型铸件 | ZXS-2 或 ZXS-3 |
| 大型铸铁件 | ZXS-3 或 ZXS-4 |
| 一般铸铁件 | ZXS-4 或 ZXS-5 |
| 有色合金铸件 | ZXS-5 或 ZXS-6 |

(2) 我国的一些树脂生产厂

目前, 我国一些主要的树脂生产厂及其产品范围, 见表 5-38。

铸造厂可根据上述推荐性标准或规格订货, 也可按工厂的实际要求订货, 也可向生产厂索要其产品牌号和规格。

表 5-38 我国目前一些主要的树脂生产厂及产品范围

| 工 厂 | 酚 醛 树 脂 | | | 呋 喃 树 脂 | | | 尿 烷 树 脂 | |
|-------------|---------|------|-----|---------|-----|------|---------|------|
| | 甲阶、自硬 | 诺沃腊克 | 热芯盒 | 自硬 | 热芯盒 | 吹气硬化 | 自硬 | 吹气硬化 |
| 山东化工厂 (济南) | √ | √ | √ | | | | | |
| 吉林长春化工二厂 | | √ | √ | | √ | | | |
| 济南铸造材料实业公司 | | √ | √ | | | | | |
| 山西太原兴安化学材料厂 | | | | √ | √ | √ | | |
| 郑州油化糠醇厂 | | | | √ | √ | | | |
| 四川泸州化工厂 | | | | √ | √ | √ | | |
| 江苏南通农药厂 | | | | √ | √ | | | |
| 河北霸州胜芳粘合剂厂 | | | | √ | | | | |
| 山东章丘助剂厂 | | | | √ | | | | |
| 辽宁辽阳化工厂 | | | | √ | √ | | | |
| 北京日用化学二厂 | | | | √ | √ | | | |
| 吉林龙井化工厂 | | | | √ | | | | |
| 山东淄博市泮水化工厂 | | | | √ | | | | |
| 湖北潜江呋喃树脂厂 | | | | √ | | √ | | |
| 山东青岛合成纤维厂 | | | | √ | | | | |
| 北京泉诚铸造材料公司 | | | | √ | | | | |
| 常州有机化工厂 | | | | | | | √ | √ |

注: “√”表示该厂生产的产品。

2.4 油类粘结剂

用油类粘结剂的型砂流动性好、烘干后的强度高、铸件浇注后易于落砂，适于制造各种复杂程度不同的芯子。尽管目前在大量生产的条件下广泛采用壳芯、热芯盒和冷芯盒工艺，树脂取代油类粘结剂的趋势不可避免，但用油类作粘结剂的制芯工艺仍然有广泛的用途。

此处介绍一些常用的油类粘结剂。

2.4.1 植物油

植物油的硬化反应，是通过氧化聚合，使线性分子逐步转变为体型网状高分子结构。

按发生氧化聚合反应的容易程度，通常将植物油分为干性油、半干性油和不干性油三类。

油类粘结剂的主要品质（质量）指标有碘值、酸

值和皂化值。

碘值是每 100g 油所能吸收碘的克数。碘值越高，表示油的不饱和程度越高，越容易发生氧化聚合反应。一般认为：碘值 > 150 的油为干性油，碘值为 100~150 者为半干性油，碘值 < 100 者为不干性油。

酸值是中和 1g 植物油中的游离脂肪酸所需的 KOH 的毫克数。酸值越低，油中游离脂肪酸的含量越少，油的品质越好。酸值这一指标也可用于其它油类粘结剂。

皂化值是 1g 植物油水解后生成的脂肪酸总量所需的 KOH 的毫克数，表示油的纯度。

干性油最适于作铸造用粘结剂，最常用的有桐油和亚麻油，其性能参数见表 5-39。

表 5-39 桐油和亚麻油的性能参数

| 油 品 | 20℃ 密度 (g/cm ³) | 碘值 (g/100g 油) | 皂化值 (mg) | 粘 度 (38℃, Pa·s) | 比强度 (MPa/%) | 不皂化物 (%) | 酸值 (KOHmg/g) |
|-----|--------------------------------|------------------|-------------|--------------------|----------------|-------------|-----------------|
| 桐 油 | 0.934~0.944 | ≥150 | 190~196 | ~0.53 | >0.7 | <1 | <10 |
| 亚麻油 | 0.927~0.939 | ≥170 | 187~196 | 0.139~0.142 | >0.7 | 0.4~0.5 | <7 |

半干性油如豆油、菜籽油等也曾在铸造行业中用作粘结剂，因其性能较差，且大都为食用油，采用者很少。

不干性油并不能从字面理解为不能硬化，在较高的烘干温度下也可以硬化。我国南方一些地区，将由米糠榨取的糠油加以处理，制成改性米糠油。虽然按碘值属于不干性油，但也可用以制造相当复杂的芯子。改性米糠油的性能见表 5-40。

表 5-40 改性米糠油的性能

| 密度 (g/cm ³) | 碘值 (g/100g 油) | 酸值 (KOHmg/g) | 皂化值 (mg) | 粘度 (Pa·s) | 工艺试样的抗拉强度 (MPa) |
|----------------------------|------------------|-----------------|-------------|--------------|--------------------|
| 0.935~0.948 | ≥80 | <10 | 170~180 | 70~100 | >1.0 |

注：工艺试样为砂 2000g，改性米糠油 40g，混 8min，210~220℃，烘干 1h。

2.4.2 合脂

合脂是“合成脂肪酸残渣”的简称，是将石蜡氧化制取皂用脂肪酸时的副产品。合脂的组成很复杂，且与所用的原料石蜡有关，可以粗略地区分为三部分。

1. 不溶物 黑色粘稠物质，其中主要是羧基酸和分子量较大的缩聚物。不溶物加热时会硬化，是合脂中起粘结作用的主要成分。

2. 脂肪酸混合物 主要由高碳脂肪酸和一些酯类组成，硬化温度较不溶物高，所需的硬化时间也较长，对型砂强度所起的作用较小。

3. 不皂化物 主要由中性氧化物和未氧化的石蜡组成，很难硬化。

制取皂用脂肪酸所用的原料石蜡，对合脂的性能有很大的影响。用低熔点（30~44℃）石蜡，得到的合脂也叫软脂合脂；用高熔点（52℃以上）石蜡，得到的称硬脂合脂。两者的性能差别很大，见表 5-41。作为铸造用的粘结剂，以软脂合脂为好。

表 5-41 原料石蜡对合脂特性的影响

| 合脂种类 | 主要组成 质量分数 (%) | | | 工艺试样的抗拉强度 (MPa) |
|------|------------------|-------|-------|--------------------|
| | 羧基酸 | 脂肪酸 | 不皂化物 | |
| 软脂合脂 | 25.23 | 49.93 | 25.95 | 1.79 |
| 硬脂合脂 | 9.0 | 32.2 | 58.1 | 1.16 |

注：工艺试样为砂 2000g，用煤油稀释的合脂（两者各 50%）80g，混 8min，210℃烘干 1h。

合成脂肪酸时分馏得到的残渣很稠，不能直接使用，通常供应的合脂都是用煤油稀释过的，其中煤油约占 45%~50%。

GB 12216—90“铸造用合脂粘剂”规定：合脂按粘度值和工艺试样的抗拉强度值分级，见表 5-42 和表 5-43。

表 5-42 铸造用合脂按粘度值分级

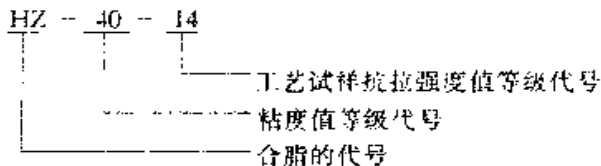
| 等级代号 | 粘度 ($\phi 6, 30^\circ\text{C}$) (s) |
|------|---------------------------------------|
| 40 | $\geq 15 \sim 40$ |
| 80 | $> 40 \sim 80$ |
| 120 | $> 80 \sim 120$ |

表 5-43 铸造合脂按抗拉强度值分级

| 等级代号 | 工艺试样的抗拉强度 (MPa) |
|------|-----------------|
| 14 | ≥ 1.4 |
| 17 | ≥ 1.7 |

注：工艺试样为标准砂 2000g，合脂 60g，混 8min， 220°C 烘干 1h。

GB 12216—90 还规定了合脂的牌号表示方法，示例如下：



由于 GB 12216—90 规定的范围太宽，生产现场一般仍用轻工部标准 QB 522—66，见表 5-44。

表 5-44 铸造用合脂粘剂 (QB 522—66)

| 牌号 | 溶剂含量 (质量分 数%) | 酸值 (KOH mg/g) | 粘度 ($\phi 6, 30^\circ\text{C}$) (s) | 工艺试样 干拉强度 (MPa) | |
|------|---------------------|---------------------|---|--------------------|---------|
| | | | | 用平漂砂 | 用大林砂 |
| HZ | 0 | < 70 | 15—16 | > 1.3 | > 1.5 |
| HR | 40—48 | < 42 | 15—35 | > 1.3 | > 1.5 |
| HM-1 | 44—50 | < 40 | 15—40 | > 1.3 | > 1.5 |
| HM-2 | 33—42 | < 49 | 41—80 | > 1.4 | > 1.5 |

注：工艺试样：砂 2000g，合脂 60g，混 8min， 216°C 烘干 1h。

2.4.3 渣油

渣油是原油炼制过程中碱压蒸馏塔底部所剩的残渣，其组成非常复杂，主要有 3 部分，各部分的含量

因原油品质和蒸馏工艺而有所不同。

1. 油质 石油分馏时未馏出的碳氢化合物，相对分子质量 300—500，是渣油中相对分子质量最低的部分。油质部分又可细分为油和腊。这一部分在渣油中约占 50%—60%，密度约为 $0.91 \sim 0.93\text{g}/\text{cm}^3$ 。

2. 胶质 含有芳香烃和环烷烃的高分子化合物，相对分子质量为 600—800，密度为 $1.00 \sim 1.07\text{g}/\text{cm}^3$ 。胶质在渣油中约占 35%，加热时不挥发，能溶于苯和汽油、柴油等油类中。

3. 沥青质 与胶质相似，但碳氢的比值比胶质更高，相对分子质量也更大，达 1000—6000 或更高，密度大于 1 ($1.10 \sim 1.15$) g/cm^3 。这一部分在渣油中约占 10%。

除上述 3 部分以外，渣油中还含有少量碳沥青质和半油胶质。

渣油在常温下呈膏状，不便于直接加入芯砂中，一般都在稀释后使用，所用的稀释剂多为裂化柴油。为保证使用性能，渣油与裂化柴油的比常为 2:1。上海供应的 S76 型渣油粘剂，除将渣油稀释外，还加有降低渣油粘度并改善其烘干特性的催干剂和少量矫味剂。

渣油砂的烘干温度较高，而且最佳的温度范围甚窄，仅 $20 \sim 30^\circ\text{C}$ ，适宜的烘干温度为 $250 \sim 260^\circ\text{C}$ 。为使型芯的烘干顺利，有时在渣油中加入催干剂。

2.4.4 塔油

塔油是碱性木材造纸过程中的副产品，亦称松油或纸浆油。

将浮于废液表面的浮皂酸化并清洗，即得到粗塔油。粗塔油再经粗蒸，除去气味和低分子酸，再加入甘油进行酯化，然后用 25% 左右的溶剂稀释，就成了铸造用的塔油粘剂。

塔油中的主要组分是脂肪酸、松香酸和不皂化物。塔油的粘性能介于桐油和合脂之间，可制造比较复杂的芯子。按福建省企业标准闽 Q/JB 424—81，塔油的主要性能见表 5-45。

表 5-45 塔油的主要性能

| 酸值 (KOHmg/g) | 粘度 ($\phi 6, 25^\circ\text{C}$) (s) | 工艺试样的干 拉强度 (MPa) |
|-----------------|--|---------------------|
| ≤ 40 | 80—150 | ≥ 2.0 |

2.5 其它粘剂

2.5.1 纸浆废液粘剂

采用亚硫酸-钙基法生产纸浆时，木材或芦苇等原料经亚硫酸钙盐处理，提取木质纤维素以后的废

液，经浓缩到密度大于 1.27g/cm^3 ，就是铸造用的纸浆废液，其中含有木质素磺酸钙、树脂和糖分。

将纸浆废液发酵，使其中的糖分变为酒精而予以提取，剩余残液为亚硫酸盐酒糟废液，简称酒糟废液。

纸浆废液和酒糟废液都可以作铸造用的粘结剂，两者的外观和一些性能指标相近，但工艺试样的干强度前者为后者的二倍（见表 5-46）。过去，在名称上未予区分，都称为纸浆废液，是不妥当的。

木浆废液和芦苇浆废液的外观和一些指标也相近，但工艺试样的干强度方面，前者也大致是后者的二倍（表 5-46），过去也未明确区分，采用时也应注意。

纸浆废液的粘结强度，是由脱水硬化而得到的。这一硬化过程是可逆的，吸湿后粘结强度下降。而且，纸浆废液中的主要成分木质素磺酸钙的吸湿能力强。在潮湿的条件下采用时，对此应有考虑。

表 5-46 几种常用纸浆废液的性能

| 项 目 | 吉林石岬造纸厂木浆纸浆废液 | 吉林石岬造纸厂木浆酒糟废液 | 辽宁营口造纸厂芦苇浆纸浆废液 | |
|------------------------------|---------------|---------------|----------------|------|
| | 外 观 | 深褐色浓液体 | | |
| 20℃ 下的密度 (g/cm^3) | 1.27 | | | |
| 干物质含量 ^① (%) | ≥ 51.55 | ≥ 48.35 | ≥ 49.85 | |
| 水不溶物 ^① (%) | 0 | | | |
| pH 值 | 5 | 7 | 5 | |
| 工艺试样的抗拉强度 (MPa) | 纯纸浆砂 | 0.2 | 0.1 | 0.1 |
| | 附加膨润土 | 0.14 | 0.09 | 0.09 |
| | 附加耐火粘土 | 0.33 | 0.25 | 0.27 |

① 指质量分数

纸浆废液常在泊砂中和粘土配用，以提高油砂的湿强度，并可减轻粘土对油砂干强度的影响。

JB 2755—80“铸造用亚硫酸盐木浆废液粘结剂”规定了木浆纸浆废液的技术要求，见表 5-47。

表 5-47 铸造用亚硫酸盐木浆废液的技术要求

| 外观 | 密度 (g/cm^3) | pH 值 | 水不溶物 (%) | 工艺试样的干拉强度 (MPa) |
|---------|------------------------|---------|------------|-----------------|
| 棕褐色粘稠液体 | 1.27—1.28 | 4.5—6.5 | ≤ 1.0 | ≥ 0.20 |

注：工艺试样为 3000g 砂，先加水 24g 混 2min，加废液 150g 混 6min。

2.5.2 淀粉类粘结剂

淀粉是传统的粘结材料，早就用于铸造行业。淀粉的品种很多，因制取的原料不同而有不同的性质。淀粉还可以加工处理，制成性能更好的产品。

2.5.2.1 普通淀粉 (β 淀粉) 根据其原料的品种，可分为玉米淀粉、小麦淀粉、马铃薯淀粉、甘薯淀粉、木薯淀粉、菱粉等许多种。

淀粉是天然的高分子化合物，按其结构可分为：

(1) 直链淀粉 可溶于水，相对分子质量在 20000~200000 之间。

(2) 支链淀粉 不溶于水，在热水中膨胀为浆糊，相对分子质量在 100000~600000 之间。

普通淀粉中，直链淀粉约占 10%~30%，支链淀粉约占 70%~90%。支链淀粉的含量越多，粘粉的粘性越强。

根据商业部标准 SB 131—83“食用小麦淀粉”、SB 132—83“食用玉米淀粉”和 SB133—83“食用马铃薯淀粉”，将各种淀粉的主要技术要求列于表 5-48。

表 5-48 几种淀粉的技术要求

| 项 目 | 小麦淀粉 | | | 玉米淀粉 | | | 马铃薯淀粉 | | |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-----|
| | 特级 | 一级 | 二级 | 特级 | 一级 | 二级 | 特级 | 一级 | 二级 |
| 含水量 \leq (%) | 13 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 20 | 20 | 20 |
| 灰分 \leq (%) | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.5 |
| 0.15mm 筛通过率 \geq (%) | 99.8 | 99.5 | 99.0 | 99.9 | 99.0 | 98.0 | 99.5 | 99.5 | 90 |
| 粘度(6%淀粉糊) \geq (MPa·s) | 45 | 45 | 40 | — | — | — | — | — | — |
| 粘度(1%淀粉糊) \geq (E25) | — | — | — | — | — | — | 10 | 10 | 10 |

根据福建省地方标准 FDB/LS 778—86 “甘薯淀粉”，将其技术要求列于表 5-49。

表 5-49 甘薯淀粉的技术要求

| 含干渣(干基计)(%) | | | | | 含水量 (%) | 灰分(干基计) (%) |
|-------------|------|------|------|------|------------|----------------|
| 一级 | 二级 | 三级 | 四级 | 五级 | | |
| ≤1.0 | ≤2.0 | ≤3.0 | ≤4.0 | ≤5.0 | ≤15.0 | ≤0.75 |

2.5.2.2 α淀粉 普通淀粉(β淀粉)大都为圆形或多角形有复粒的微晶结构。加水混合后，在一定的温度和压力下处理，使淀粉体积膨胀、分子断裂、微晶结构破坏，膨胀后的颗粒再相互缠绕，即成为α淀粉。

α淀粉颗粒较大，多呈片状，经烘干、粉碎后，即得到细粒α淀粉。

α淀粉的主要技术性能，见表 5-50。

表 5-50 α淀粉的技术性能

| 含水量 (%) | pH 值 | α化度 (%) | 粘度(5%淀粉糊) (MPa·s) |
|------------|-------|------------|----------------------|
| ≤6.0 | 5~6.5 | ≥85 | >500 |

2.5.2.3 糊精 将玉米淀粉或马铃薯淀粉与稀盐酸或稀硝酸混和，在加热的条件下产生水解反应，即可制得糊精。

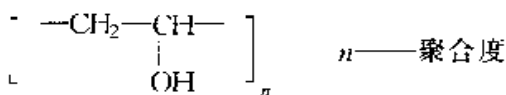
糊精因处理的温度和加热时间不同而有黄色和白色两种。黄糊精在水中的溶解度比白糊精大，强度也比较高。铸造生产中多用黄糊精，主要与油类粘结剂配合。两种糊精的主要技术要求，见表 5-51。

表 5-51 对糊精的技术要求

| 品种 | 外观 | 含水量 (%) | 20℃溶解度 (%) | 工艺试样的 干抗拉强度 (MPa) |
|------|------|------------|---------------|-------------------------|
| 黄色糊精 | 黄色细粉 | <2 | >90 | >0.35 |
| 白色糊精 | 白色细粉 | <2 | >60 | >0.3 |

2.5.3 聚乙烯醇(PVA)

聚乙烯醇为白色粉末，是一种非电解质的表面活性剂。其分子结构式为：



工业上常用聚醋酸乙烯加碱醇解来制备聚乙烯醇。

聚乙烯醇易溶于热水，水溶液的性能与淀粉水溶液有许多相似之处，如与碘起蓝色反应等。但是聚乙烯醇水溶液不会霉变，且成膜性能好，是很好的粘结剂。

聚乙烯醇水溶液的粘度因聚合度不同而有很大的差别，在水中的溶解度则因醇解度不同而有很大的差

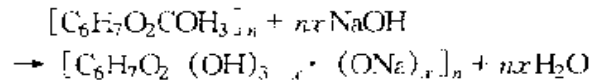
别。铸造生产中用作粘结剂的，一般选聚合度为 1700，醇解度为 88% 的一种。

2.5.4 羧甲基纤维素钠(CMC)

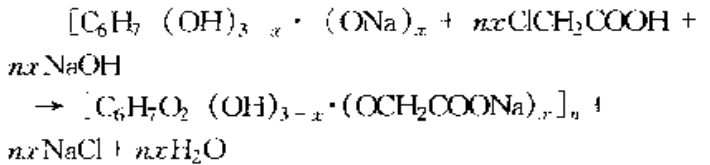
羧甲基纤维素钠，是白色(或淡黄色)粉末或细絮状物，无味、无臭，易溶于水。水溶性为粘稠液体，呈弱碱性。

制取的基本过程是：

先将纤维素置 NaOH 溶液中浸泡，得到碱纤维素，即



再将碱纤维素用氯醋酸醚化，并在醚化过程中加入 NaOH，即得到羧甲基纤维素钠，



羧甲基纤维素钠(CMC)

式中 n ——聚合度；

x ——取代度。

n 和 x 是两个重要的特性指标，对其在水中的溶解度和溶液的粘度有重大的影响。

聚合度 n 是分子的链节数。 n 越大，水溶液的粘度越高。通常按此特点，将 CMC 区分为低粘度、中粘度和高粘度三种。

取代度 x 是 CMC 链节中三个羟基(-OH)中的氢被钠羧甲基(-CH₂COONa)取代的程度。取代度越大，则 CMC 的水溶性越好。 $x < 0.3$ 的 CMC 不溶于水，小于 0.5 者难溶。一般的 CMC 产品， x 的值在 0.6~0.85 之间。

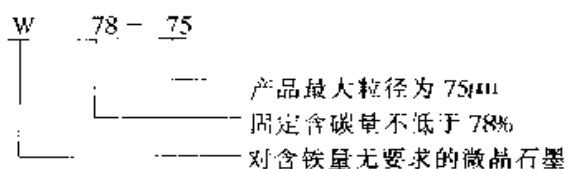
CMC 可能因发酵而失效，采用时应适当加入防腐剂。

2.6 常用的辅助材料

2.6.1 石墨粉

石墨粉是铸造生产中的重要辅助材料，有微晶石墨和鳞片石墨两种。

2.6.1.1 微晶石墨 以前称为无定形石墨或土状石墨，1995 年批准实施的标准 GB/T3519—95 “微晶石墨”中定名为微晶石墨。微晶石墨品牌的代号及其涵义示例如下：



如对石墨的含铁量有要求, 则用“WT”代替“W”。铸造生产中用的石墨均不要求限定含铁量, 表 5-52 是对无含铁量要求的微晶石墨的技术要求。

表 5-52 微晶石墨的技术要求
(只摘录供铸造材料用的部分)

| 代号 | 固定含碳量 (%) | 挥发分 不大于 (%) | 代号 | 固定含碳量 (%) | 挥发分 不大于 (%) |
|-----------------------------|--------------|-------------------|-----------------------------|--------------|-------------------|
| W90-45 W90-75 | 90 | 3.0 | W70-45 W70-75 W70-150 | 70 | 4.2 |
| W88-45 W88-75 | 88 | 3.2 | W65-45 W65-75 W65-150 | 65 | |
| W85-45 W85-75 | 85 | 3.4 | W60-45 W60-75 W60-150 | 60 | |
| W83-45 W83-75 | 83 | 3.6 | W55-45 W55-75 W55-150 | 55 | |
| W80-45 W80-75 W80-150 | 80 | | W50-45 W50-75 W50-150 | 50 | 4.5 |
| W78-45 W78-75 W78-150 | 78 | 4.0 | | | |
| W75-45 W75-75 W75-150 | 75 | | | | |

- 注: 1. 各牌号石墨允许含有的水分均不得多于 3%。
2. 各牌号石墨用开口尺寸为代号中所规定的筛筛分, 筛余量(即不通过者)均不得多于 10% (T 筛法)。

表 5-55 中碳鳞片石墨的技术指标 (只摘铸造行业适用部分)

| 牌 号 | 指 标 | 固定碳含量 不小于 (%) | 粒 度 ^① | | 水分不大于 (%) | 主要用途 |
|--------------|-----|---------------------|---------------------|---------------------|--------------|------|
| | | | 筛上物含量 不小于 (%) | 筛下物含量 不小于 (%) | | |
| LZ(-) 100-87 | | 87 | — | 75 或 90 | 0.5 | 铸造涂料 |
| LZ120-87 | | | 75 或 80 | — | | |
| LZ(-) 120-87 | | | — | 75 或 90 | | |
| LZ(-) 200-87 | | | — | 75 或 90 | | |
| LZ(-) 325-87 | | | — | 75 或 90 | | |
| LZ(-) 100-85 | | 85 | — | 75 或 90 | 0.5 | |
| LZ(-) 200-85 | | | — | 75 或 95 | | |
| LZ(-) 325-85 | | | — | 75 或 95 | | |
| LZ(-) 100-80 | | 80 | — | 75 或 90 | 0.5 | |
| LZ120-80 | | | 75 或 80 | — | | |
| LZ(-) 200-80 | | | — | 75 或 90 | | |
| LZ(-) 325-80 | | | — | 75 或 90 | | |

① 用牌号规定目数的筛子过筛, 以干筛法检验。

2.6.1.2 鳞片石墨 根据 GB 3518—83 “鳞片石墨”的规定, 鳞片石墨按其固定含碳量分为 4 种, 见表 5-53。

表 5-53 各种鳞片石墨的固定碳含量及代号

| 名 称 | 高纯石墨 | 高碳石墨 | 中碳石墨 | 低碳石墨 |
|----------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| 固定含碳量 范围(%) | 99.9~99.99 | 94.0~99.0 | 80.0~93.0 | 50.0~79.0 |
| 代 号 | LC | LG | LZ | LD |

鳞片石墨的牌号及其所代表的意义, 见表 5-54。由于高纯石墨和高碳石墨不用于铸造行业, 故只列举中碳石墨和低碳石墨的牌号。

表 5-54 鳞片石墨的牌号及其所代表的意义

| 牌号举例 | 意 义 |
|--------------|---|
| LZ80-87 | 中碳鳞片石墨, 粒度 0.30mm (50 目筛上), 固定碳含量 87% |
| LZ(-) 200-90 | 中碳鳞片石墨, 粒度 0.075mm (200 目筛下), 固定碳含量 90% |
| LD(-) 100-70 | 低碳鳞片石墨, 粒度 0.15mm (100 目筛下), 固定碳含量 70% |

表 5-55 中, 摘录 GB/T 3818—83 中适用于铸造行业的中碳鳞片石墨的牌号及其技术要求。

表 5-56 中,列出了 GB/T 3818—83 中低碳鳞片 石墨的牌号及其技术要求。

表 5-56 低碳鳞片石墨的技术指标

| 牌 号 | 指 标 | 固定碳含量 不小于 (%) | 粒 度 | | 水分不大于 (%) | 主要用途 |
|---------------|-----|---------------------|---------------------|---------------------|--------------|------|
| | | | 筛上物含量 不小于 (%) | 筛下物含量 不小于 (%) | | |
| LD (-) 100-75 | | 75 | - | 75 或 90 | 2.0 | 铸造涂料 |
| LD (-) 200-75 | | | — | 75 或 90 | | |
| LD (-) 100-70 | | 70 | — | 75 或 90 | | |
| LD (-) 200-70 | | | — | 75 或 90 | | |
| LD (-) 100-65 | | 65 | — | 75 或 90 | | |
| LD (-) 200-65 | | | — | 75 或 90 | | |
| LD (-) 100-60 | | 60 | — | 75 或 90 | | |
| LD (-) 200-60 | | | — | 75 或 90 | | |
| LD (-) 100-50 | | 50 | — | 75 或 90 | | |
| LD (-) 200-50 | | | — | 75 或 90 | | |

2.6.2 煤粉

煤粉是将烟煤磨碎而制得的粉料,广泛用于生产铸铁件的粘土湿型砂。它有很好的防粘砂作用,能显著改善铸件的表面品质(质量),更重要的是其价格低廉、货源充裕。

尽管采用煤粉有不少副作用,如:型砂的透气性降低、发气量增大;浇注时产生大量含碳质的烟尘、

污染环境;煤粉的焦化是吸热反应、会使铁液更快地冷却、不利于薄壁铸件的充型等,迄今为止,仍没有什么材料可以完全取代煤粉。

ZBJ 31002—88“湿型铸造用煤粉”,按煤粉的挥发物含量将其分为三个牌号,具体性能要求见表 5-57。

表 5-57 湿型铸造用煤粉的技术要求

| 牌 号 | 挥发物含量 (%) | 灰分含量 (%) | 硫含量 (%) | 水分 (%) | 粒 度 |
|--------|--------------|-------------|------------|-----------|------------------------|
| SMF-35 | >35 | ≤10 | ≤2 | ≤4 | 95%以上应通过 0.106mm 筛孔 |
| SMF-30 | >30~35 | | | | |
| SMF-25 | ≥25~30 | | | | |

如有必要,购买煤粉时还可向供方提出表 5-57 中未列出的要求,如光亮碳析出量、焦渣特征等。

寻求煤粉的代用材料,一直是多方面关心的课题,在现场使用过的材料甚多,如重油及其乳化液、沥青、渣油、无规聚丙烯和聚苯乙烯等。有的代用材料在某些具体条件下也有很好的效果,但还有待对各种因素作充分的分析,不宜依据一、二指标遽作结论。

聚苯乙烯细珠粒的挥发物含量是煤粉的三倍,光亮碳析出量则是煤粉的 8~10 倍。生产条件下,型砂中加入 1%~2% 就有很好的效果。此外,用聚苯乙烯细珠粒代替煤粉,型砂的脱模性能显著改善,在高

压造型的条件下,深砂台部分也很容易脱出。

煤粉和聚苯乙烯的比较见表 5-58。

表 5-58 煤粉和聚苯乙烯的比较

| 材 料 | 挥发物含量 (%) | 光亮碳析出量 (%) |
|------|--------------|---------------|
| 煤粉 | 30~35 | 8~10 |
| 聚苯乙烯 | 100 | 80~85 |

2.6.3 水玻璃自硬砂用的有机酯

酯是醇和酸作用并失水而得到的产物,也就是说,是由醇失去羟基、酸失去氢而生成的。醇和含氧无机酸作用,得到的是无机酸酯;醇和有机酸作用,得到的是有机酯。

作为水玻璃自硬砂的硬化剂，主要是多元醇和醋酸作用而得到的酯。多元醇的酯，其名称将醇的名称

放在前面，酸的名称放在后面，称为某醇某酸酯。常用的几种有机酯，见表 5-59。

表 5-59 几种水玻璃自硬砂用的有机酯

| 名称 | 分子式 | 密度 (g/cm ³) | 沸点 (°C) | 作用 |
|---------|---|-------------------------|----------|---------|
| 丙三醇醋酸酯 | C ₃ H ₅ (OH) ₂ OOCCH ₃ | 1.20 | 158 | 反应速度中等 |
| 丙三醇二醋酸酯 | C ₃ H ₅ (OH) - (OOCCH ₃) ₂ | 1.178 | 280 | 作用强，硬化快 |
| 丙三醇三醋酸酯 | C ₃ H ₅ (OOCCH ₃) ₃ | 1.160 | 258--260 | 反应慢，硬化慢 |
| 乙二醇二醋酸酯 | (CH ₂ COOCH ₂) ₂ | 1.109 | 190.5 | 反应速度中等 |
| 二甘醇二醋酸酯 | (CH ₃ COO-CH ₂ CH ₂) ₂ O | 1.140~1.145 | — | |

最好采用丙三醇二醋酸酯（硬化快）和丙三醇三醋酸酯两种，按不同的比例混合后使用，以适应不同的季节条件。国外一般都采取这一方式。我国目前生产有机酯的厂家，都不说明是何种酯，只提供硬化快、慢和中等三种牌号供选用，此处均不一一列出。

中国铸造协会根据铸造厂的实际需要，结合我国近年来应用树脂砂的经验，就适用于呋喃树脂自硬砂和甲阶酚醛树脂自硬砂的磺酸类硬化剂，制订了协会规格 CFA (F) N01—94。6 种磺酸硬化剂的技术要求，见表 5-60，各种硬化剂的推荐用途，见表 5-61。

2.6.4 树脂自硬砂用的磺酸硬化剂

表 5-60 树脂自硬砂用磺酸硬化剂的技术要求

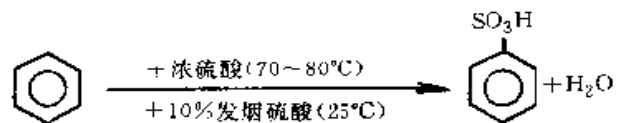
| 牌 号 | ZXY-1 | ZXY-2 | ZXY-3 | ZXY-6 | ZXY-7 |
|--|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| 总酸度(以 H ₂ SO ₄ 计)(%) | 24.0~26.5 | 18.0~20.0 | 9.5~11.0 | 29.0~31.0 | 25.0~27.0 |
| 游离硫酸(%) | 7.0~10.0 | ≤1.5 | ≤1.5 | 4.5~7.5 | 2.5~4.5 |
| 密度(g/cm ³) | 1.2~1.3 | 1.2~1.3 | 1.1~1.2 | 1.2~1.4 | 1.2~1.4 |
| 粘度(20°C)(MPa·s) | 10~30 | 10~30 | 10~20 | 170~200 | 150~180 |

表 5-61 各种硬化剂的溶剂类别和推荐用途

| 硬化剂 | 溶剂 | 推荐用途 |
|-------|----|------------------------------|
| ZXY-1 | 水 | 呋喃树脂自硬砂，冬季用 不宜用于甲阶酚醛树脂自硬砂 |
| ZXY-2 | 水 | 呋喃树脂自硬砂通用 |
| ZXY-3 | 水 | 呋喃树脂自硬砂，夏季特殊条件下用 |
| ZXY-4 | 醇 | 甲阶酚醛树脂自硬砂，冬季用 |
| ZXY-5 | 醇 | 甲阶酚醛树脂自硬砂，通用 呋喃树脂自硬砂，冬季用 |

树脂自硬砂用的硬化剂，主要是芳香族磺酸，如苯磺酸、甲苯磺酸和二甲苯磺酸等。

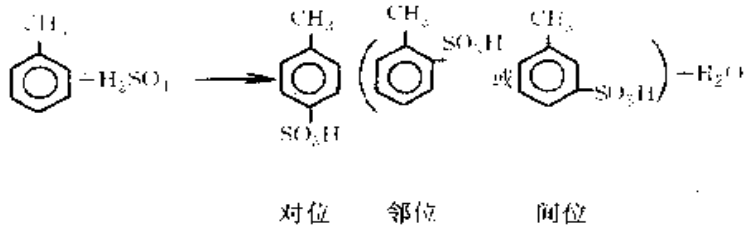
苯与发烟硫酸在常温下作用，与浓硫酸在 70~80°C 下作用，即能被磺化而得到苯磺酸。



苯磺酸继续在 200~245°C 下与发烟硫酸作用，可得到间位的苯二磺酸，这是作用很强的硬化剂，因其制备困难，很少采用。

甲苯比苯易于磺化，与浓硫酸作用，在常温下即

可发生磺化反应，产品主要是对位取代物和邻位取代物，称之为对甲苯磺酸并不确切，通常称之为甲苯磺酸。



甲苯磺酸较易于制取，故使用较广，其中对位取代物一般在 80% 以上。

二甲苯经磺化后，可得到酸度高的二甲苯磺酸 (XSA)，是常用的强硬化剂。

2.6.5 树脂自硬砂用的偶联剂

在采用硅砂的情况下，砂粒是无机的硅氧四面体，树脂发生交联反应后形成的粘结膜和粘结构是有机的，两者只是附着，其结合强度不高。硅烷之类的有机硅化合物，一部分分子能与 SiO₂ 组成键，一部分分子能与树脂共聚。因此，硅烷可在树脂和砂粒之间起偶联作用，改善两者之间的结合 (图 5-8)，从而提高树脂砂的强度。到目前为止，还不能证明加入硅烷能提高树脂的聚合强度，也不能认为其有增强表面活性的作用。

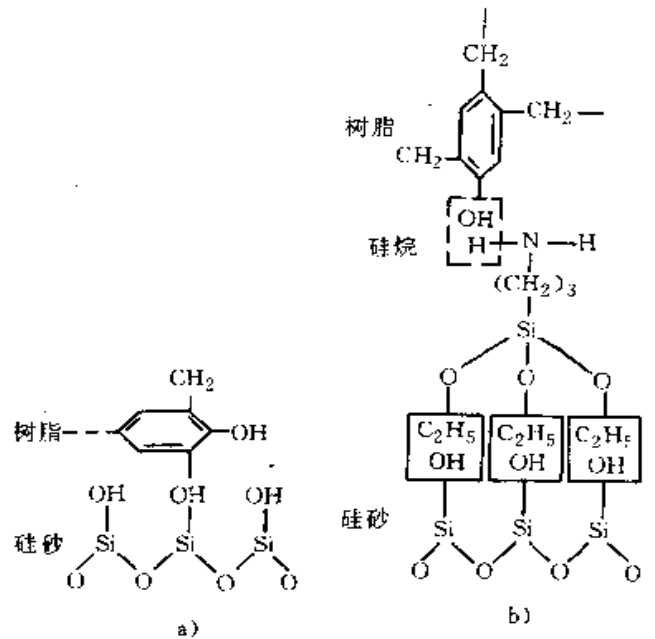


图 5-8 硅烷的偶联作用

a) 未加硅烷时 b) 加有硅烷时

硅烷的品种很多，应根据树脂的特点选用合适的硅烷。选用不当，则效果不明显，甚至完全无效。一般说来，对于含氮的呋喃树脂，氨基硅烷的效果较好；对于不含氮的呋喃树脂和甲阶酚醛树脂，苯氧基硅烷的效果较好。常用的硅烷偶联剂见表 5-62。

表 5-62 树脂砂用的偶联剂

| 牌 号 | 名 称 | 密度 (g/cm ³) | 沸点 (°C) | 用途 |
|-------|----------------|-------------------------|---------|--------|
| KH550 | γ-氨基丙基三乙氧基甲硅烷 | 0.9410~0.9415 | 103~108 | 用于呋喃树脂 |
| 南大-42 | 苯胺甲基三乙氧基甲硅烷 | 0.905~0.908 | 160.5 | 用于酚醛树脂 |
| KH560 | γ-缩水甘油丙基三甲氧基硅烷 | | | |
| AI51 | 乙烯基三乙氧基硅烷 | | | |

硅烷的用量，是树脂的 0.2% 左右。因为量很少，在混砂时加入是困难的，最好预先加到树脂中。但是，硅烷在有水的情况，会因水解而降低甚至失去作用。铸造用的呋喃树脂中一般含有 5% 左右的水，甲阶酚醛树脂中含水量在 10% 以上，这对于树脂中的硅烷的稳定性是不利的。对呋喃树脂而言，可存放期为 20~30 天；对于甲阶酚醛树脂，则只能存放 6~7 天。因此，在现阶段，不宜由树脂制造厂将硅烷加入树脂，应由铸造厂在使用前加入树脂中。

2.6.6 滑石粉

滑石粉常用于有色合金铸件或小型铸铁件；作铸

型或砂芯的涂料、敷料，也常用作脱模剂。按建材工业标准 JC 295—82，其技术条件见表 5-63。

表 5-63 滑石粉的技术条件

| 牌号 | 酸不溶物 (%) | 酸溶性铁 (%) | 灼减量 (%) | 水分 (%) | 0.075mm 筛通过率 (%) |
|------|----------|----------|---------|--------|------------------|
| DL-1 | ≤90 | ≤0.2 | ≤6.0 | ≤0.5 | ≥98 |
| DL-2 | ≤87 | ≤0.5 | ≤8.0 | ≤1.0 | ≥98 |
| DL-3 | ≤85 | ≤1.0 | ≤10.0 | ≤1.0 | — |

2.6.7 石松子粉

石松子粉是从野生植物石松取得的，是黄色的细粉，极轻，不易被水、油等液体润湿，是很好的脱模剂，尤适用于极易粘模的芯子。其性能指标见表 5-64。

表 5-64 石松子粉的性能指标

| 堆积密度 (g/cm ³) | 灰分 ^① (%) | 含水量 (%) | 水中沉淀物 ^② (%) | 0.075mm 筛过筛率 (%) |
|------------------------------|------------------------|------------|---------------------------|---------------------|
| <0.35 | <3 | <0.5 | <2 | ≥95 |

① 加热到 500℃ 测定的质量分数。

② 撒在水面上，24h 后的沉淀物。

3 粘土粘结砂

粘土粘结砂，简称粘土砂，是历史最悠久的造型材料，从青铜时代至今，已使用了几千年。今天，科学技术的发展已根本改变了人类的生产方式和生活条件，但是，在现代铸造工业中，粘土砂仍是使用最广的造型材料。

3.1 粘土砂的特点

3.1.1 粘土砂的优点和不足之处

3.1.1.1 优点

(1) 对造型方式的适应性强 从最原始的手工造型用粘土砂起，到现在的高压高速造型，粘土砂虽然不少改进，但没有本质的变化。

(2) 可适应各种原砂 目前用于铸造生产的各种原砂，如硅砂、锆英砂、铬铁矿砂、橄榄石砂、硅酸铝砂及碳质颗粒等均与粘土适应。

(3) 成本低 粘土是天然的产物，其贮量丰富，分布广，价格低廉，货源充足。而且，粘土砂的复用性极好，除贴近铸件的少部分型砂中的粘土烧成死粘土外，绝大部分型砂都可循环使用。

(4) 有特有的强度性能 粘土砂混好后，一经春实，铸型即具有相当高的强度。脱模时，能保持模样或芯盒所赋予的形状，在搬运及合型过程中不变形，并能耐受金属液的冲刷和静压头的作用。

3.1.1.2 不足之处

1) 混制粘土砂，所需的能量大，混砂时间也长。

2) 粘土砂的流动性不好，不易制成高紧实度的铸型。因此，造型设备不得不庞大而笨重，能耗也高。

3) 制得的铸件尺寸精度较低。

4) 铸件的表面品质（质量）较差。

3.1.2 砂—粘土—水系统的特点

用粘土作粘结剂时，水与粘土是同等重要的组成

部分。单用粘土，并不能使型砂具有强度，只有加水调制后的粘土才有粘结能力。即是粘土干型砂，也必须加水调制，造型以后再予以烘干。参看本章 2.1 节中粘土的定义。严格地讲，粘土砂中的粘结剂，是粘土—水系统，或者说，是粘土与水调制成的膏状物，而不是粘土本身。因此，粘土和水的关系是粘土砂的最重要的参数之一。

1. 粘土与水调制成的膏状物（简称粘土膏）

如果先不考虑型砂中的砂粒和其它附加物，就比较容易了解粘土—水系统。

用水调和粘土，与食堂和面的情况极为相似。在所加的水不足以充分润湿粘土以前，粘土是松散的、脆的。逐步加水，粘土不断趋于粘着。当所加的水正好能完全润湿粘土，而且经过充分的调制，就成为强韧的团块，不附着于容器或操作者的手上，这是其强度最高的状况。此后继续加水，粘土膏逐渐变软，易于变形，且倾向于附着容器，强度下降，但韧性较加水不足的好得多。

粘土膏强度最高、韧性最好时所需的水分因粘土的品种和其颗粒的细度而不同。对于膨润土（钠膨润土和钙膨润土的情况接近），此时粘土量与加水量之比大致是 3:1。对于耐火粘土，粘土与水大致为 5.3:1。

2. 粘土膏在型砂中的粘结作用 为了了解粘土膏的粘结作用，先从最简单的粘土湿型砂入手，即型砂中只含原砂、粘土和水，不含其他材料。型砂的湿抗压强度与型砂水分之间的关系见图 5-9。

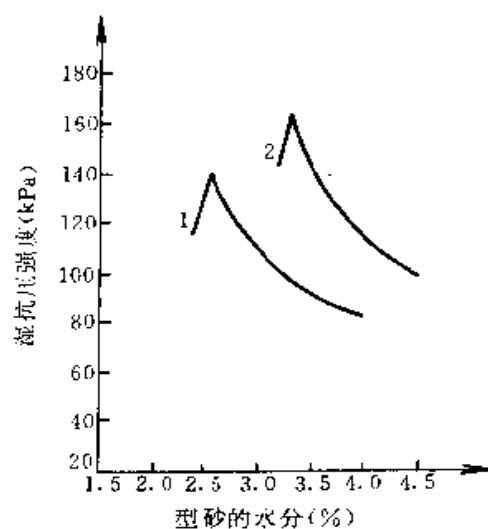


图 5-9 水分对粘土湿型砂强度的影响

1—加膨润土 7.45% 2—加膨润土 10%

单将原砂与膨润土混合，是没有强度的。随着水分的增加，型砂的湿强度不断提高。到水分达到某一数值时，型砂的湿强度达到峰值。此后，再增加水分，型砂的强度急剧下降。

砂粒是通过涂布于其表面的粘土膏相连接的，型砂的强度应该决定于粘土膏的强度。

由图 5-9 还可以看出，增加型砂中的粘土量，型砂的强度峰值提高，与峰值强度相对的水分也增加了。

根据上面对型砂粘结的分析，型砂的强度峰值应出现在粘土膏强度最高的时候。因此，在粘土加入量不同的条件下，强度峰值所对应的型砂水分虽然不同，但型砂中粘土膏的水分则应相同。

如果将图 5-9 重绘，将横坐标换算为粘土膏中的水分，得到的图形如图 5-10。

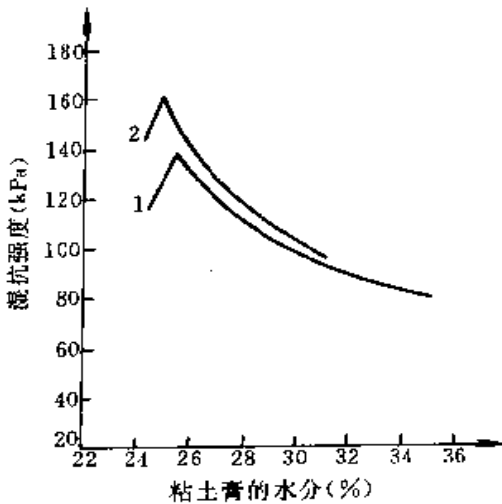


图 5-10 粘土膏中的水分对湿型砂强度的影响

1—加膨润土 7.45% 2—加膨润土 10%

由图 5-10 可见，在常用的加入量范围内，不管膨润土加入量如何，型砂湿抗拉强度的峰值所对应的粘土膏的水分都是相同的。用膨润土时，此时粘土膏的水分大致为 25%；用耐火粘土时约为 15%~17%。

3. 原砂粒度和颗粒形状的影响 有人认为：型砂中最合适的水分，除考虑粘土需要的水以外，还应考虑砂粒表面吸附的水。图 5-11 中所示的两组试验结果表明：粘土砂中的水分，基本上都与粘土形成粘土膏，原砂的粒度、粒形对出现峰值强度的水分没有明显的影响。

一组用形状近于圆形、粒度为 0.30~0.15mm (50/100) 的木里图砂；另一组用多角形的、粒度为 0.425~0.212mm (40/70) 的广东砂。膨润土加入量

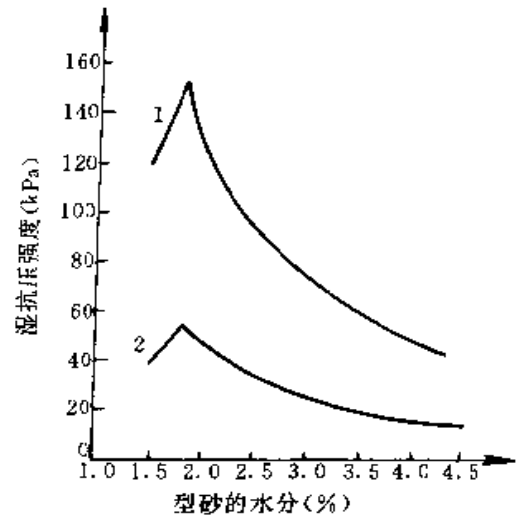


图 5-11 用不同原砂时，型砂的湿强度与型砂水分的关系

1—用木里图砂 2—用广东砂

为原砂的 5%，加入不同量的水，混好后测定强度。两组型砂，对应于峰值强度的水分相同。

4. 生产用型砂中的粘土膏 实际生产用的型砂，因受可塑性、成形能力等方面的制约，不能都使强度为可能达到的峰值。适用的型砂，水分通常都比强度峰值对应的水分略高一些。

气冲造型用砂和无箱挤压造型用砂，湿抗压强度和峰值最接近，其粘土膏中的水分通常在 25%~29%之间。

高压造型用砂，水分略高一些，粘土膏中的水分一般为 27%~31%。

震压造型和手工造型用砂，水分应更高一些，大致在 30%~35%之间。

即使是水分为 30%~35% 的粘土膏，仍然是很粘稠的，决非只要在粘土中加水立即就可调好。象泥塑所用的泥料那样，将土和水混匀后，还得通过搓揉使其熟化。所以，粘土砂的混砂设备必须有很大的功率，而且需要相当长的混砂过程。

3.1.3 型砂中其它成分对砂—粘土—水系统的影响

型砂中除粘土和水以外，通常都根据铸件的要求加入附加物，还有型砂受热后一些组分发生变化后的产物。这些物质对型砂中需加入的水量的影响，当然是要加以考虑的。

1. 煤粉 煤粉是致密而无孔隙的，尽管其很细，表面面积大，但对湿强度峰值所需的水分影响很小。每加入 1% 的煤粉，型砂只需补加 0.03% 的水。型砂中加有煤粉时，浇注后有一部分会因失去挥发分而焦化，成为多孔性物质，其吸水量将比煤粉多些。

2. 硅砂粉 原砂中的泥分和某些情况下加入的石英粉, 都是无孔隙的致密物质, 和煤粉一样, 每1%需补加水量为0.03%。

3. 死粘土(无效粘土) 膨润土受热后失效而成为死粘土。死粘土是多孔性物质, 吸水能力很强, 吸水量大约为其质(重)量的20%。也就是说, 型砂中每1%的死粘土, 需补加的水量为0.2%。

应该注意的是, 死粘土吸水能力比有效粘土强得多。如型砂中有死粘土和有效粘土, 加水时, 水将先被死粘土吸收, 死粘土吸够了水后, 有效膨润土才能吸水而起粘结作用。

4. 谷物粉和淀粉 铸钢件用的湿型砂中, 不能加入煤粉, 往往加入少量的谷物粉或淀粉。

谷物粉和淀粉是能吸附水的, 其每1%含量所需补加的水量约为0.5%~0.7%。

5. 木素粉 木素粉吸水能力很强, 与死粘土相似, 但所需水量比死粘土多, 每1%需补加水0.3%左右。

3.2 粘土湿型砂

3.2.1 粘土砂的混制

要使粘土湿型砂具有最佳的性能, 混砂这一环节是极为重要的。

前面已经说到, 在粘土砂中起粘结作用的是粘土与水调和成的粘土膏。粘土膏是极稠的膏体, 类似于和好的面团, 其状态是不能用粘度来描述的, 因为无法测定其粘度, 只能测定其针入度。为了和其它粘结剂的粘度比较, 一定要测定粘度值的话, 则其粘度大约是几千 Pa·s, 是水玻璃的几千倍, 是树脂的几万倍。

要使粘土膏均匀地涂布在砂粒表面上, 是很困难的。所以, 混制粘土砂的设备功率一般都相当大, 而且需要相当长的混砂时间。

仅从混砂的角度看, 旧砂经适当的处理后回收再用, 并相应补加新砂、粘土和附加物, 易于得到调制充分、品质(质量)优良的型砂。

如果增加型砂中的水分, 使粘土膏的水分增高、粘度下降, 当然可以减涂布粘土膏所需的能量, 在混砂设备相同的条件下, 可以减少混砂时间。但是, 这将导致型砂的强度下降, 而且水分也是要严格控制的, 这种办法实际上是不可取的。

为了减少混砂所需的能量, 采用合理的加料顺序是非常重要的。

有不少工厂, 混砂时先加干料(砂和粘土), 干混一段时间, 然后加水混匀。这种工艺方法是不可取的, 其主要缺点有二。

其一是需要较长的混砂时间。往混匀了的干料中加水, 即使水分散得很好, 也是一滴一滴地落在干料中。因粘土是亲水的, 加上水滴表面张力的作用, 水滴附近粘土就会聚集于水滴, 形成粘土球。将这些粘土球压碎并使其涂布于砂粒表面是比较困难的, 需要较大的能量。如果先加砂和水混匀, 后加粘土, 因水已分散, 没有较大的水滴, 不会形成大量粘土球, 混砂时间可以缩短3~4min, 见图5-12。

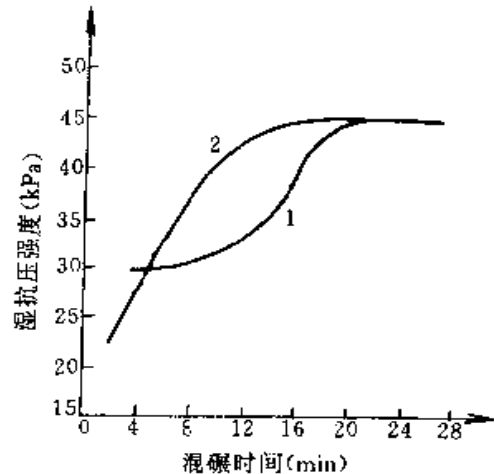


图 5-12 加料顺序对混砂效果的影响

1—先加干料 2—先将水和砂混匀

其二是混干料时粉尘飞扬, 污染环境, 有害于工人的健康。

3.2.2 对粘土湿型砂性能的要求

尽管技术的进步已经使铸造生产中的许多环节改变了面貌, 迄今为止, 在粘土湿型砂的控制方面, 我们还没有充分的自由。怎样控制型砂的性能才能保证工厂在铸件品质(质量)、生产效能和环境等方面有最好的综合效益? 还不可能提出必要而充分的检测项目, 更不用说具体的控制指标了。在现场工作的工程师, 只能通过经常分析型砂监控、造型工况、铸件品质(质量)等方面的统计数据, 才能找到最适合自己的具体条件的型砂控制目标。万应的验方是没有的, 如有人说能提供, 也是不足信的。

现就一般的情况, 介绍型砂性能控制的目标, 供参考。

(1) 手工造型和震压造型的型砂 手工造型工艺, 目前我国尚有不少工厂采用, 其砂处理条件一般较差, 尤应注意型砂管理以弥补设备的不足。

震压机械造型, 对型砂的要求与手工造型基本上相同。

建议各类铸件所用湿型砂的性能控制目标见表5-65和表5-66。

表 5-65 建议铸铁、铸钢件用的湿型砂的性能及控制目标

| 项 目 | 手 工 造 型 | | 震 压 造 型 机 造 型 | |
|-------------|----------|----------|---------------|----------|
| | 铸 铁 件 用 | 铸 钢 件 用 | 铸 铁 件 用 | 铸 钢 件 用 |
| 湿压强度 (kPa) | 60~75 | 65~80 | 45~55 | 50~70 |
| 可紧实性 (%) | 45~60 | 45~60 | 40~55 | 40~55 |
| 透气性 | >50 | >70 | >50 | >70 |
| 水分 (%) | 4.5~5.5 | 4.0~5.0 | 4.5~5.5 | 4.0~5.0 |
| 型砂含泥量 | 8.0~10.0 | 9.0~11.0 | 8.0~10.0 | 9.0~11.0 |
| 有效膨润土含量 (%) | >5 | >6 | >6 | >6 |

表 5-66 建议有色合金铸件用的湿型砂的性能及控制目标

| 项 目 | 铜合金用 | 铝合金用 |
|------------|---------------------------|----------------------------|
| 基砂粒度 | 0.212~0.106mm (70/140) | 0.150~0.075mm (100/200) |
| 湿压强度 (kPa) | 30~60 | 30~50 |
| 透气性 | ≥30 | ≥20 |
| 水分 (%) | 4.5~5.5 | 4.0~5.0 |
| 含泥量 (%) | 8~12 | 8~10 |

(2) 高速、高压造型的型砂 高速、高压造型包括高压造型、射压造型、气冲造型等工艺。在高速、高压

造型过程中,砂粒之间的相对运动速度很高,砂粒表面上的粘结膜和粘结桥所受的剪切应力很大。粘土膏是具有显著触变性的体系,在相对运动速度很高、剪切应力很大的条件下,其粘度会大幅度地下降(很可能只有表观粘土的几分之一)。因此,对高速、高压造型所用的型砂,性能要求与常规湿型砂就有很大的差别。例如,湿抗压强度一般都高得多,水分相应下降,要求的可紧实性也较低。目前,对这种湿型砂的研究还很不充分,随着实践的增多,在测试项目、性能指标等各方面都会有所发展。以当前的认识为基础,建议型砂性能的控制目标,见表 5-67。

表 5-67 对高速、高压造型用湿型砂的性能要求

| 型 砂 性 能 | 高 压 造 型 | | 射 压 造 型 (铸 铁 件) | | 气 冲 造 型 铸 铁 件 用 |
|--------------|------------------------------|---------|-----------------|-----------|--------------------|
| | 铸 铁 件 用 | 铸 钢 件 用 | 有 箱 造 型 用 | 无 箱 造 型 用 | |
| 湿压强度 (kPa) | 90~120 | 90~120 | 120~150 | 170~220 | 170~210 |
| 湿抗拉强度 (kPa) | >11.0 | >11.0 | >15.0 | >20.0 | >19.0 |
| 湿抗劈强度 (kPa) | >17.0 | >17.0 | >23.0 | >31.0 | >29.0 |
| 可紧实性 (%) | 35~45 | 35~45 | 35~45 | 35~45 | 35~43 |
| 水分 (%) | 不作具体限定,应在有效膨润土符合要求的条件下保证可紧实性 | | | | |
| 透气性 | >70 | >70 | >50 | >50 | >50 |
| 含泥量 (%) | 10~14 | 10~14 | 10~13 | 11~14 | 10~13 |
| 有效膨润土含量 (%) | >8 | >8 | >8 | >8 | >8 |
| 挥发分 (%) | 1.5~3.0 | 1.0~2.0 | 1.5~3.0 | 1.5~3.0 | 1.5~3.0 |
| 950℃灼烧减量 (%) | 3.5~7.5 | 3.5~6.5 | 3.5~7.5 | 3.5~7.5 | 3.5~7.5 |

同时,由于其生产特点所决定,在高速、高压造型条件下,对型砂性能的均一性要求很高,不允许有大的波动。对各种性能都应有适当的检测频次,以确保其均一性。建议的检测频次见表 5-68。

表 5-68 高速、高压造型湿型砂的检测项目和检测频次

| 项 目 | 检测频次 | 项 目 | 检测频次 |
|-------|------|-----|-------|
| 可紧实性 | 每小时 | 透气性 | 每一工作日 |
| 湿抗压强度 | 每小时 | 含泥量 | 每周 |

(续)

| 项 目 | 检测频次 | 项 目 | 检测频次 |
|------------|-------|---------------------|------|
| 水分 | 每小时 | 灼烧减量 | 每周 |
| 有效膨润土含量 | 每一工作日 | 挥发分 | 每周 |
| 湿抗拉强度或抗劈强度 | 每一工作日 | 基砂粒度(积累数 据,供分析用) | 每周 |

3.2.3 对一些检测项目的简要说明

3.2.3.1 湿抗压强度 型砂的湿抗压强度值,除决定于粘结的强弱外,还在颇大的程度上与原砂的颗粒形状有关。试样在压应力下破断时,除砂粒之间的粘结破坏外,还有砂粒间的滑动。用多角形原砂时,由于砂粒间的镶嵌作用,砂粒间的滑动要克服相当大的摩擦,在粘结条件相同的情况下,其抗压强度比用圆形砂时高。当然,在原砂粒形特征相同的情况下,抗压强度的值仍可相对地说明粘结的强弱。

从理论上说,抗压强度的值并不能准确地反映型砂的粘结状况,但是,由于其测定简便易行,试验机对正精度及操作者的技巧稍差,均不致造成太大的误差,故实际上采用最广,是传统的检测项目。

3.2.3.2 湿抗拉强度和湿抗劈强度 评定型砂的粘结状况,最直接的办法是测定其抗拉强度。抗拉强度原则上只决定于型砂的粘结,可以综合地反映紧实状况(粘结桥的数量)、粘结剂的分布和粘结剂对砂粒的附着等因素,不受原砂粒形的影响。

但是,粘土湿型砂的抗拉强度值很低,不及其抗压强度的1/10,测定时对操作者的要求甚高,稍一不慎,就会导致很大的误差。而且,一般的型砂强度试验机不能用来测定湿抗拉强度,需配备专用的装置。实际上,生产现场很少测定湿抗拉强度,多用于研究工作。

粘土湿型砂的抗劈强度与抗拉强度值有很好的相关性,且试验简便,因而,可以湿抗裂强度试验代替湿抗拉强度试验。

测定湿抗劈强度的情形见图 5-13。

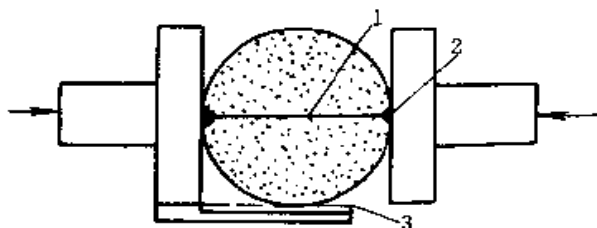


图 5-13 测定湿抗劈强度示意图

1—试样拉伸破断面 2—初压后形成的夹劈

3—支撑楔块

用 $\phi 50\text{mm} \times 50\text{mm}$ 标准圆柱体试样,横置于测定湿抗压强度的压头之间,在其直径方向加压。初始阶

段,试样与压头之间为线接触,接触面积很小,稍加初压就会使接触处的型砂受到很大的压应力,结果该条接触带上的型砂被压平,试样两侧各形成紧实度很高的三角形压实区。继续施压,这两个三角形砂条就起尖劈的作用,将试样沿直径方向劈开。试样是受拉应力而被劈开的。

试验时,应使试样的直径与两端压头的中心线对准,为此,可用一定位支承楔块托住试样,然后加一很小的初负荷,待试验机上压应力读数到了 kPa 时,即取下支承楔块,并继续施压,直到试样破断。如试验机的读数是抗压强度值,则将破断时的抗压强度值乘以 $\frac{\pi}{4}$ (0.7854) 即为型砂的湿抗劈强度值。如试验机的读数是试样破断时的压力,则将此值除以破断面的截面积 ($\phi 50\text{mm} \times 50\text{mm}$),即得到湿抗劈强度值。

1963 年, F. Hofmann 开始测定型砂的湿抗劈强度,随后 H. W. Dietert 和 A. L. Graham 等研究了粘土湿型砂抗劈强度与抗拉强度的相关性。D. Boenisch 由试验求得

$$\text{湿抗拉强度} = 0.65 \text{ 湿抗劈强度}$$

3.2.3.3 可紧实性 粘土湿型砂的可紧实性直接反映型砂的混制程度,其测定方法极为简便,可得到量化的数据以代替手感,目前已是广泛采用的控制型砂性能的重要指标之一。

测定方法见图 5-14。

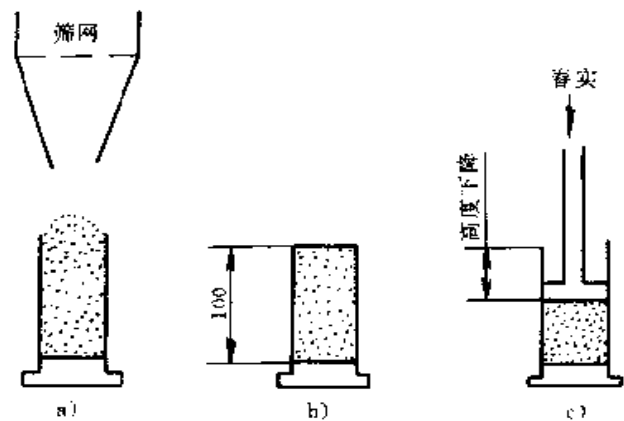


图 5-14 测定可紧实性的示意图

a) 填砂 b) 刮平 c) 春实并读数

使型砂通过 3mm 的筛网松散地填入 $\phi 50\text{mm}$ 高 100mm 的试样筒,再将试样筒上端的余砂用刮板刮去,然后用压头给型砂施以 1MPa 的压力或用标准重锤打击 3 次,测定试样筒内型砂经春实后高度下降的毫米数。由于试样筒高 100mm,这一读数也就是其高度下降的百分数,即可紧实性的数值。

在不同的造型条件下,对可紧实性的要求是不

同的。

用手工造型或震压机造型时,可以多次填砂,而且铸型的紧实度操作者能够控制,型砂的可紧实性高一些,是可以的。

用射压造型机造型时,射砂空间的容积是固定的。有些机型,压实时压头的行程也是固定的。如果型砂的可紧实性太高,则会出现压头加压行程已经到位而铸型仍未达到预期紧实度的情况。这就会导致铸件上产生冲砂或粘砂等缺陷。

有些设备,射砂后压实的行程并不固定,而是以一定的压强压实铸型。在此种情况下,型砂的可紧实性也不可太高。否则,除使铸型厚度减少外,仍会使铸型的紧实度降低,导致铸件产生缺陷,在砂台部位及射砂的盲区尤为明显。

所以,在高速、高压造型条件下,型砂的可紧实性应比较低,而且其数据的波动应尽可能地控制在很窄的范围内。一般说来,应该在 $40\% \pm 5\%$ 的范围内。

要特别指出的是,在型砂混制不太充分的情况下,型砂自混砂机放出后,在输送及存贮过程中,其可紧实性会有颇大的增高。经验表明,在铸造厂的生产条件下,型砂的混制实际上都不充分。通常,型砂自混砂机放出后,仅在用带输送机送到造型机的过程中,可紧实性的数值将因输送距离不同而增高 6~10 个百分点。如果造型机上方的贮砂斗较大,则进入造型机的型砂的可紧实性还会更高一些。

如果铸造厂在混砂机放出口取砂样检测型砂的可紧实性,并控制其值为 40% 左右,则进入造型机的型砂的可紧实性实际上可能比允许的上限值高得多。这样,从记录上看,型砂的可紧实性完全符合要求,实际上型砂却是不合格的。不少铸造厂对此种情况未予注意,这往往是铸件产生冲砂或粘砂的原因。

因此,铸造厂应规定在造型机上方取样测定型砂的可紧实性,并控制其值符合表 1 的规定。如果受条件的限制,只能在混砂机放出口取样,则其控制值应比表 5-67 的规定低些,具体数据应由多次试验求得,务使进入造型机的型砂的可紧实性符合表 5-67 的要求,且应经常校核。

3.2.3.4 有效膨润土含量 有效膨润土是相对于受热后失效的死粘土而言的。规定型砂中的有效膨润土含量,是为了保证型砂有必要的强度和抗夹砂能力。

如只从满足强度的要求来考虑,有效膨润土含量可不必太高。前节中建议的有效膨润土含量,是为保证型砂的抗夹砂能力而确定的。因此,不可以用“型砂的强度高”作为允许有效膨润土含量不足的借口。

在高速、高压造型的条件下,因铸型的紧实度高,

故有效膨润土含量应较高,必要时可采用部分钠膨润土或对钙膨润土加以“活化”。

3.2.3.5 水分 在控制了型砂的可紧性之后,水分随有效膨润土含量而不同。由有效膨润土含量,可大致确定所需的水分;由保证可紧实性所需的水分,也可大致推测有效膨润土含量。

手工造型和震压造型机造型用的湿型砂,水分是主要的性能指标之一,应严加控制。所需的水分大约是有有效膨润土含量的 43%~54%,此外还应按附加物和死粘土含量适当增加水分。

高速、高压造型的条件下,水分由保证可紧实性而定。其大致范围是:高压造型的型砂,水分为有效膨润土含量的 37%~45%;射压造型的型砂,水分为有效膨润土含量的 33%~41%。当然,也要考虑附加物和死粘土所需的水分。

3.2.4 粘土湿型砂的现场控制

目前,许多铸造厂都通过四个参数来控制湿型砂的品质(质量),它们是:有效膨润土含量,可紧实性,湿抗压强度和水分。

四参数之间有相依关系。有人在试验研究的基础上制成了几种型砂的性能网状图,可作为现场控制型砂品质(质量)的参照。如四参数的关系与网状图基本一致,则可认为型砂的调制是适当的。如果已确定其中的三项,就可由网状图求出另外一项。这些图都是按全用新砂配砂绘制的,旧砂循环使用时,也可参考,但应以系统砂中的有效膨润土含量作为膨润土加入量。现按用不同膨润土和是否加煤粉分别介绍如下。

1. 用钙膨润土时 图 5-15 是采用钙膨润土、不加煤粉时的网状图。膨润土的加入量自 5% 到 15%,可紧实性自 20% 到 60%。由选定的膨润土加入量和要求

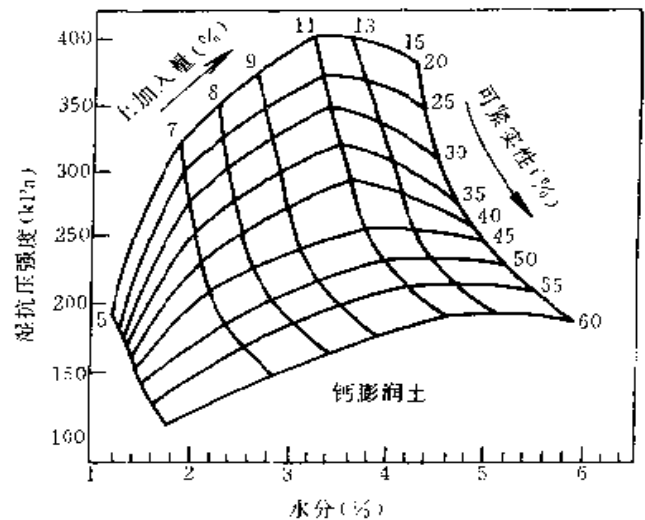


图 5-15 型砂性能网状图(钙膨润土)

的可紧实性,求得一交点,即可由下方和左边的坐标得知适宜的水分和湿抗压强度。

图 5-16 是采用钙膨润土并加入煤粉时的网状图,煤粉加入量是膨润土量的 1/3。

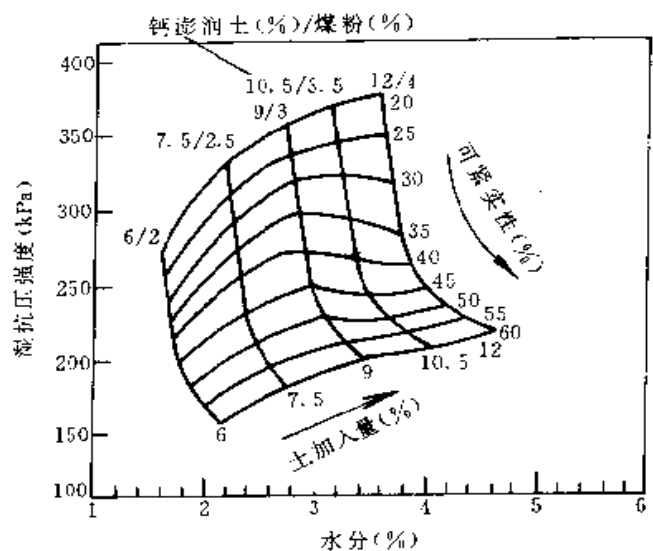


图 5-16 型砂性能网状图(钙膨润土加煤粉)

2. 用钠膨润土时 图 5-17 是采用钠膨润土,不加煤粉时的网状图。图 5-18 是用钠膨润土并加煤粉时的网状图。

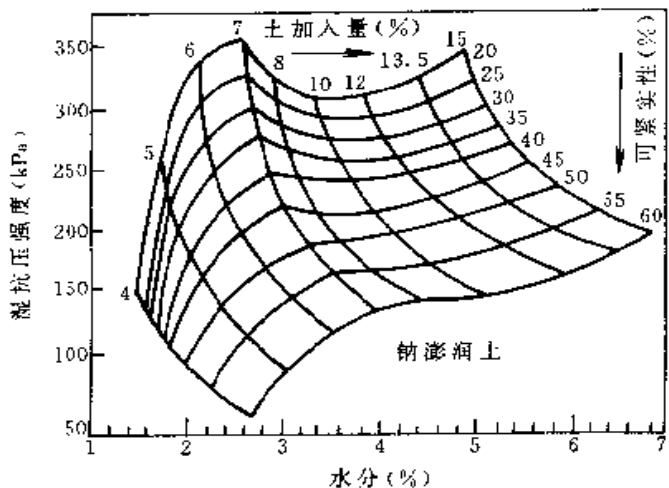


图 5-17 型砂性能网状图(钠膨润土)

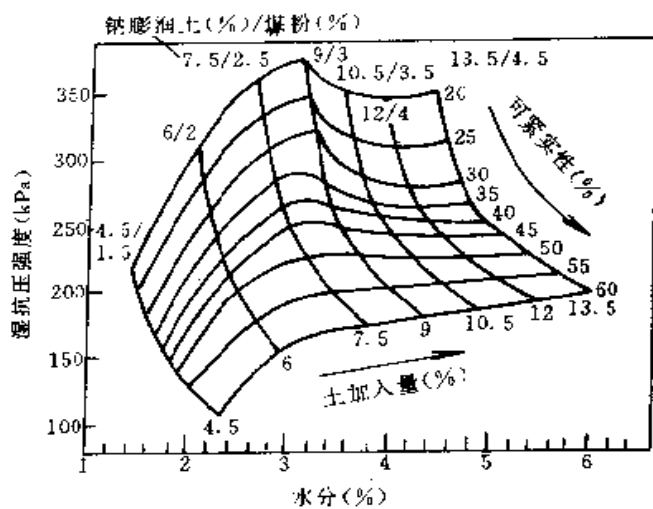


图 5-18 型砂性能网状图(钠膨润土加煤粉)

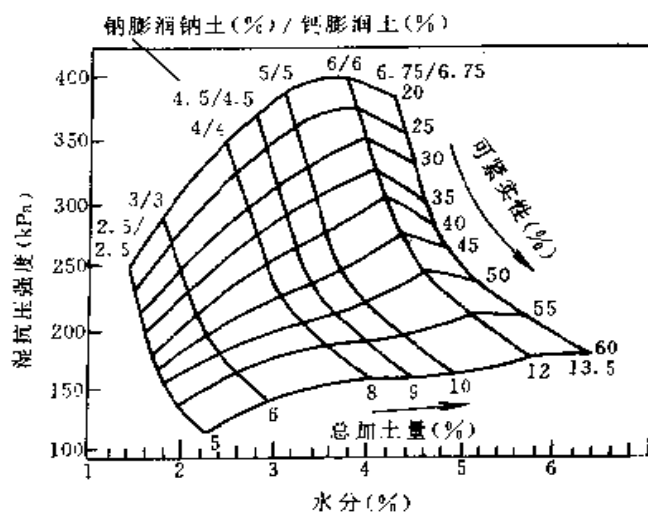


图 5-19 型砂性能网状图(钠膨润土和钙膨润土)

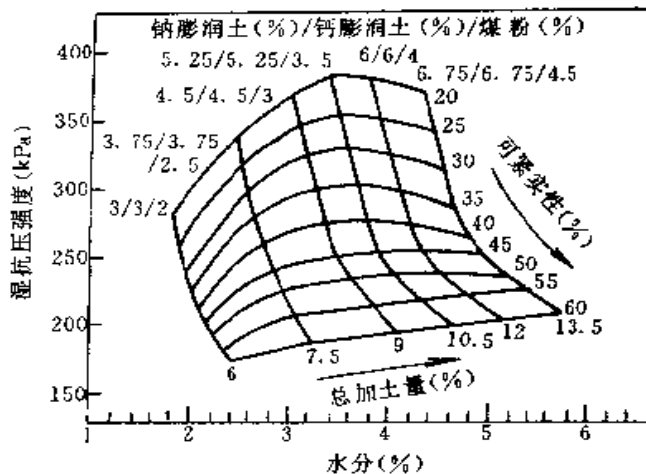


图 5-20 型砂性能网状图(钠膨润土和钙膨润土加煤粉)

3.3 粘土干型及表面干燥型用砂

粘土湿型工艺是采用粘土粘结砂的基本工艺,采用粘土干型是在湿型不能满足要求时的权宜措施,由于其生产周期长、需烘干设备而且燃料消耗多,在化学硬化砂迅速发展的今天,其使用范围愈来愈小,不久必将被淘汰。

考虑到目前还有一些铸造仍采用干型或表面干燥型,这里作一点简要的介绍。

3.3.1 粘土干型砂

粘土干型砂的性能,建议按表 5-69 中所列的目标控制,并请看参看几点有关的说明。

表 5-69 粘土干型砂的性能及控制目标

| 项 目 | 铸铁件用 | 铸钢件用 | 铜合金铸件用 | 铝合金铸件用 |
|-------------|---|---|--|--|
| 基砂粒度 | 0.600~0.300mm 或 0.425~0.212mm (30/50 或 40/70) | 0.600~0.300mm 或 0.425~0.212mm (30/50 或 40/70) | 0.212~0.106mm 或 0.150~0.075mm (70/140 或 100/200) | 0.212~0.106mm 或 0.150~0.075mm (70/140 或 100/200) |
| 含泥量 (%) | 12~16 | 12~15 | 10~14 | 8~12 |
| 水 分 (%) | 7.0~8.0 | 7.0~8.0 | 5.5~6.5 | 5.0~6.0 |
| 湿态透气性 | >100 | >150 | >30 | >20 |
| 湿抗压强度 (kPa) | 40~70 | 40~70 | 60~100 | 40~80 |
| 干抗拉强度 (kPa) | 80~120 | 100~150 | 80~120 | 70~120 |

1. 基砂 基砂是构成型砂的基本组成部分,即砂粒。用标准冲洗法将型砂的泥分脱除之后,剩下的就是型砂的基砂。

2. 水分 虽然型砂的水分愈高,烘干铸型所需的时间愈长,燃料消耗也愈多,但干型砂的水分却比湿型砂高得多,其主要原因是:在常用的水分范围内,干型砂的水分愈高,其烘干后的干强度愈高,见图 5-21。

管其加入量的多少,都可见到:型砂的水分愈高,则烘干后的试样强度愈高,与粘土湿型砂的情形大不相同。其原因,大体上可以说是:

1) 粘土膏的水分愈高,其粘度愈低,在春实型砂的过程中,砂粒容易作更紧密的排列,所以烘干后强度较高;

2) 水分高的粘土膏较易于熟化,烘干后粘土本身的强度较高。

当然,也不能因此而将水分不加控制地提高,其上限应由型砂粘模和其它造型性能恶化所制约。

3. 含泥量 这里所说的含泥量,主要是指加入的粘土而言,因现场可能使用大量旧砂,不便限定粘土加入量。当然,其中也包括其它小于 20 μ m 的细粒。

干型砂中加入的粘土,一般都用耐火粘土,也有工厂将膨润土和耐火粘土配合使用。采用钙膨润土时,铸型的烘干温度应较低,不宜超过 300 $^{\circ}$ C,以免膨润土受热失效。

4. 其它附加物 粘土干型砂中还可加入其它附加物以改善型砂的性能,如加纸浆废液或糖浆,以提高型砂的强度,加入木屑以防止膨胀缺陷或改善退让性,制造铸铁件时,有时还加入焦炭粒。

3.3.2 表面干燥型用砂

在 70 年代和 80 年代初期,我国有些铸造厂用表面干燥型制造不宜用湿型的铸铁件,现在采用者已很少。

表面干燥型用砂,一般都用膨润土而不用耐火粘土。用钙膨润土时,要加入膨润土量 4%~5% 的碳酸钠“活化”处理。水分比湿型砂高,大体上接近于干型砂。

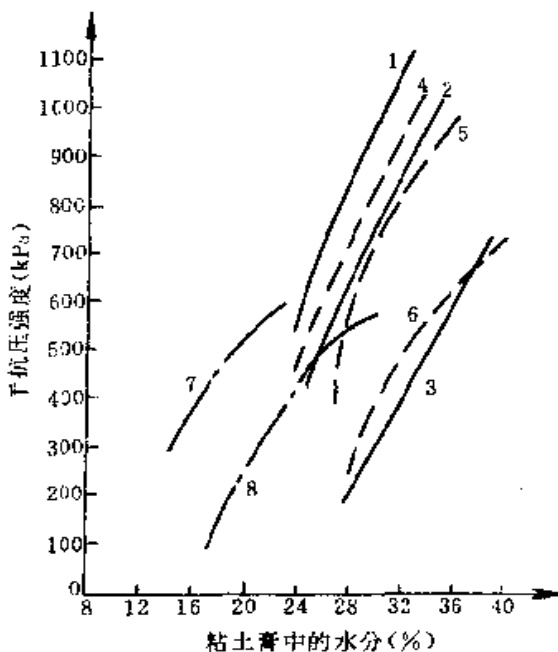


图 5-21 水分对粘土砂干强度的影响

- 1—含钠膨润土 10% 2—含钠膨润土 7.45%
- 3—含钠膨润土 4.75% 4—含钙膨润土 10%
- 5—含钙膨润土 7.45% 6—含钙膨润土 4.75%
- 7—含耐火粘土 15% 8—含耐火粘土 10%

无论是采用钠膨润土、钙膨润土或耐火粘土,不

造型后上水基涂料，晾干一段时间再用燃油烧嘴烘干表层，这一层的厚度约 3-5mm。

表面烘干型易于因水分凝聚层强度很低而造成冲砂，工艺操作应特别严格。

4 水玻璃粘结砂

水玻璃粘结砂，简称水玻璃砂，是铸造生产中广泛采用的化学粘结砂。虽然水玻璃砂也可用脱水的方式硬化，但这种工艺的采用范围甚小，而且在进行脱水硬化时，也会因大气或炉气中 CO_2 的作用而有部分化学硬化法的成分，所以可将其划入化学硬化砂。

水玻璃砂可以采用多种硬化工艺，但基本上可分为 3 类，即脱水硬化、吹气硬化和自硬。

4.1 水玻璃砂的特点

4.1.1 水玻璃砂的优点和问题

4.1.1.1 优点

1) 水玻璃价格便宜，水玻璃砂是成本最低的化学硬化砂。

2) 造型时，铸型基本上硬化后脱模，铸件的尺寸精度较用粘土砂者高。

3) 造型、制芯、浇注及落砂均无异味。一般情况下，对操作人员的皮肤没有太大的刺激作用。劳动环境较好。

4) 水玻璃砂在 800°C 以上即因硬化了的水玻璃粘结膜熔融而降低强度，用于生产铸钢件时，产生热裂的可能性很小。

5) 可以和粘土砂配合使用。用水玻璃砂作面砂时，可用粘土湿型砂作背砂。背砂的水分不明显影响水玻璃砂的硬化，两者可以结合得很好。

6) 不含氮，完全不必担心因氮而使铸件产生气孔的问题。

4.1.1.2 存在的问题

1. 落砂困难 铸型浇注以后，水玻璃受热脱水，型砂的强度大幅度提高，这是水玻璃砂落砂困难的主要原因。

解决落砂困难的有效途径是降低型砂中的水玻璃量，如水玻璃用量不超过 3.5%，落砂困难问题可基本缓解。

有一段时间，溃散剂成了大家关心的“热点”，多种溃散剂应运而生。实际上，溃散剂有一些作用，但远不如宣传的那样好。所谓溃散剂，无非是能溶于水玻璃的有机物质，指望其在铸型浇注后受热分解，造成水玻璃粘结膜碎裂，从而使型砂松散。对其作用，不妨作一点粗略的分析：铸型浇注后，外层型砂受热后温度低于溃散剂的热解温度，在这些部位，溃

散剂不起作用；靠近铸件、受热温度超过 800°C 的部位，溃散剂虽然热解了，并曾在热解时使水玻璃粘结膜破碎，但破碎了的粘结膜继续受热到超过 800°C 后又重熔了。冷却后又是致密的，和未经破碎的相同，在这些部位，溃散剂也不起作用；只有受热到溃散剂热解温度以上，且又不超过 800°C 的部位，溃散剂才有作用，而这一部分型砂并不多。所以，溃散剂的作用是有限的，不可能那么神奇。有些铸造厂，型砂中水玻璃加入量在 8% 以上，如不采取措施降低水玻璃量，不管用何种溃散剂，不管加入多少，都不会有什么效果。

2. 旧砂不易再生 水玻璃砂难以再生的主要原因有三条：

1) 水玻璃对硅砂的附着性极强，难以使其分离。

2) 水玻璃砂硬化后，粘结膜和粘结桥是由硅酸凝胶构成的。硅酸凝胶则是由硅酸胶粒聚合而成的网状立体结构，见图 5-22。此种网状结构中的水，受网状结构的约束，难以脱除，所以粘结膜有很高的韧性，砂再生时不易破碎。

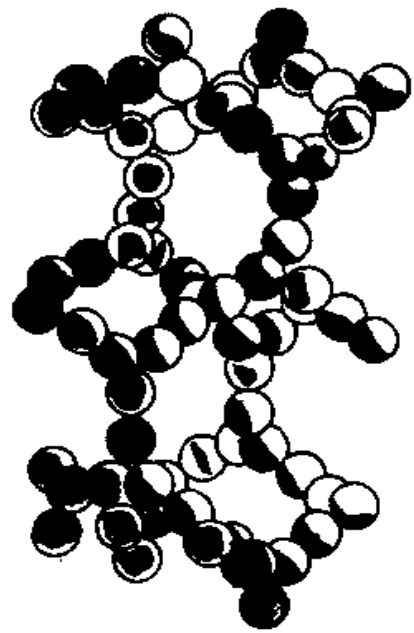


图 5-22 硅酸凝胶的结构示意图

3) 水玻璃砂再生时，砂粒表面的粘结膜必须脱除得很干净，因为残存的粘结膜对回收砂粘结的性能影响很大。图 5-23 表示了再生砂中残留碱量对型砂抗压强度的影响，可见，残留碱应控制在 0.5% 以下。

因此，即使采用真空置换硬化工艺 (VRH 法)，将型砂中水玻璃加入量降到 3%，也不能认为砂再生不成问题。

如果型砂中水玻璃加入量在 6% 以上，无论采用

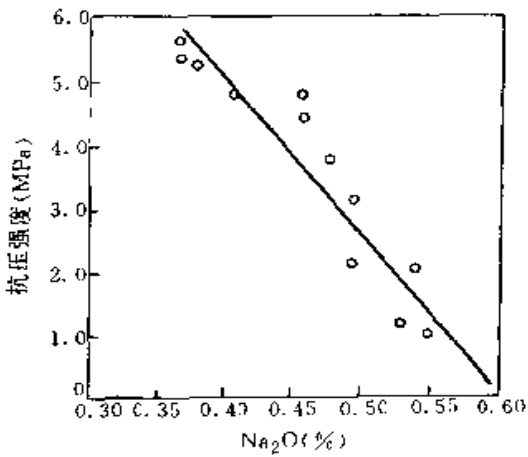


图 5-23 再生砂中残留碱量对型砂抗压强度的影响
何种设备,想达到将旧砂再生后大量回用的目的,都是极困难的。

3. 吸湿性强 水玻璃砂对环境的湿度相当敏感,制成的铸型或芯子易吸湿而致强度大幅度下降,这也是一个难以解决的问题。一般说来,铸型或芯子贮存环境的相对湿度超过 30%,即对其强度有明显的影响。

例如,在 200℃ 烘干的水玻璃砂试样,即时抗拉强度为 1.6MPa;在相对湿度为 65% 的环境中放置 24h 后,强度下降到 0.8~0.9MPa;在相对湿度为 85% 的环境中放置 4h 后,强度下降到 0.5MPa 左右,放置 24h 后,下降到 0.2MPa 左右。

如铸型或芯子是吹 CO_2 硬化的,则因吸湿而致强度下降的幅度比上述情况要小。

经验表明:采用水玻璃砂时,如环境的相对湿度为 75% 左右,则铸型或芯子的存放期不宜超过 8h,如相对湿度在 80% 以上,则不宜超过 2h。

4.1.2 水玻璃的胶凝

水玻璃之所以有粘结作用,是因为在一定的条件下,其中的硅酸胶粒会逐步聚合成网状的立体结构,即硅酸凝胶(图 5-22)。这种聚合过程称之为胶凝。聚合体发展得愈致密,强度就愈高。水玻璃砂的粘结膜的厚度大约是 0.002~0.01mm,而硅酸胶粒的直径不到 0.1 μm ,在型砂粘结膜的厚度方向,可以有几十层乃至上百层胶粒。硅酸凝胶形成后,即使仍有水分存在,也会约束在立体结构之间而不能流动。这样,砂粒就被硅酸凝胶联结起来,型砂也就具有强度。

水玻璃的胶凝过程非常复杂,到现在为止,许多细节还不清楚,仍有待进一步研究。

水玻璃中的硅酸胶粒虽然有自行聚合的作用,但这一过程是非常缓慢的,需经相当长的时间才能表现

出来。在通常条件下,可以认为水解反应和硅酸的聚合处于平衡状态。如条件不改变,胶粒的数量不会增多。同时,硅酸胶粒的尺寸很小,且都带负电荷,由于相同电荷的相斥作用,胶粒也不聚集而沉淀。

适当地改变条件,可以强化硅酸胶粒的聚合,并使其迅速形成硅酸凝胶。条件的改变可以有物理方式和化学方式两种。用不同方式得到的硅酸凝胶,其性能也有所不同。铸造生产中用的水玻璃砂,可以用物理方式、化学方式或兼用两种方式硬化。

(1) 物理方式 将水玻璃烘干,或在真空下脱水,或让其在大气条件下蒸发脱水,则在其水分降低的同时,硅酸胶粒的浓度不断增加。这时硅酸分子之间发生脱水聚合,形成多分子的硅酸胶粒。接着,硅酸胶粒又聚合成网状立体结构的硅酸凝胶。这样得到的硅酸凝胶,称为“脱水硅酸凝胶”。水玻璃的状态(粘度)与其中所含水分的关系见图 5-24。

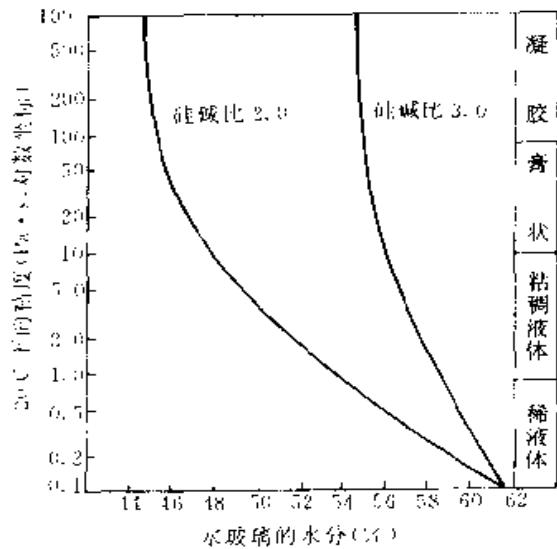


图 5-24 水玻璃的状态(粘度)与其水分的关系

称其为脱水硅酸凝胶,并不意味着完全没有水分,是指脱除了自由水,但仍保有牢固结合水和化合水。所以,这种凝胶是有弹性和韧性的胶状固体。

硅碱比为 2.0 的水玻璃,水分降到 45% 以下,即成为凝胶。硅碱比高的水玻璃,其中有较多的硅酸胶粒及氧化硅粒子,凝胶中所含的水分更多些。硅碱比为 3.0 的水玻璃,水分降到 55% 以下,即成为凝胶。

脱水硅酸凝胶,在胶凝过程中因脱水而有体积收缩,胶粒的聚集比较紧密,又没有自由水对凝胶结构的影响,所以强度比用其它方式得到的硅酸凝胶高得多。

(2) 化学方式 所有能使水玻璃中 OH^- 离子浓度降低的物质,如酸或有机酯类,均可促进硅酸钠的

水解，从而生成更多的硅酸胶粒。这类物质同时也与 Na^+ 结合而成为盐类，从而使水玻璃的硅碱比提高。在水分保持不变的条件下，提高硅碱比到一定的程度，硅酸胶粒也会加速聚合而成硅酸凝胶。

图 5-25 可说明水玻璃的状态（粘度）与其硅碱比的关系。图中每条曲线旁边标明的数字是该曲线所代表的水玻璃的水分（%）。

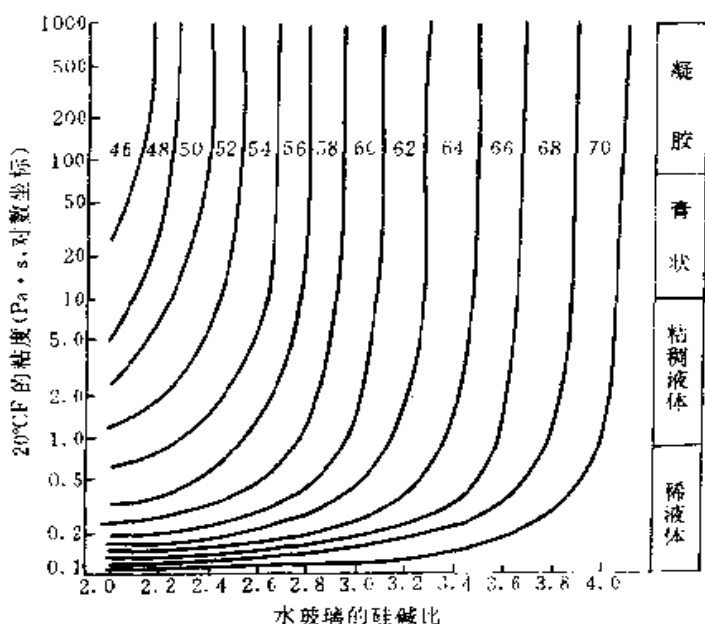


图 5-25 水玻璃的状态（粘度）与其硅碱比的关系

例如，硅碱比为 2.4、水分为 56% 的水玻璃，如使其硅碱比提高到 2.9 以上，即成为凝胶；硅碱比为 3.0、水分为 64% 的水玻璃，使其硅碱比提高到 3.5，即成为凝胶。

吹 CO_2 硬化，就是使水玻璃中的 Na_2O 转变为碳酸钠或碳酸氢钠，降低 Na_2O 含量，从而使硅碱比提高，导致水玻璃凝胶。

用这种方式得到的硅酸凝胶，立体结构之间仍保存有自由水。由于这种自由水对胶粒结构的浸润，凝胶的强度较低。此外，由于反应过程很短，胶粒的聚合不完整，也是此种凝胶强度较低的原因之一。尤其值得注意的是，这种凝胶在存在期间自由水将蒸发，并发生体积收缩。这种情况会导致结构有某种程度的损坏，使其强度进一步下降。同时，又会因脱水而提高强度。

4.2 吹 CO_2 硬化的水玻璃砂

吹 CO_2 硬化，是水玻璃砂中采用最广的工艺方法。但是，在生产现场中，对此种工艺误用或使用不当的情况非常常见，其原因方要在于对工艺过程的实质了解不全面。近十多年来，许多工艺改进，以至新工艺的推出，也都是基于对吹 CO_2 硬化机制的了解。

4.2.1 吹 CO_2 硬化的过程

说起吹 CO_2 ，一般都被理解为单纯的化学硬化方法。这种认识其实并不全面，实际上，吹 CO_2 的过程中，水玻璃既有化学硬化的成分，也有脱水硬化的成分。究竟何种作用占优势，要根据具体情况分析，不能一概而论。

(1) CO_2 气流与水玻璃的作用 CO_2 能与水玻璃中的氧化钠作用，生成碳酸钠或碳酸氢钠，导致水玻璃中 Na_2O 含量降低，从而提高其硅碱比，使水玻璃凝胶，这是化学方式。

另一方面， CO_2 气的露点很低，约为 -30°C 。所以， CO_2 气是非常干燥的，其中含有的水分很少，吹 CO_2 时，当然有使水玻璃脱水的作用。

图 5-26 为水玻璃砂中吹 CO_2 作用示意图。

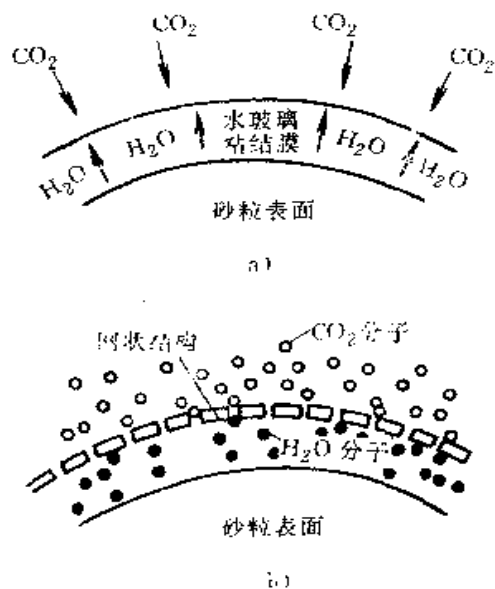


图 5-26 水玻璃砂中吹 CO_2 作用示意图
a) 开始作用 b) 网状结构形成后

往水玻璃砂中吹 CO_2 的初期， CO_2 通过砂粒间的空隙分布于型砂中，与砂粒表面粘结膜的外表面接触，见图 5-26a。此时，粘结膜易于和 CO_2 作用，其中的水分不易逸出。粘结膜的外表面因 CO_2 的作用而形成一层硅酸凝胶的网状结构，如图 5-26b。 CO_2 分子进入粘结膜和粘结膜中的水分子逸出的通道都大为减少。在此情况下，关键在于气流流经砂粒表面的流速。

当 CO_2 气流流速较低时，根据柏努利定律， CO_2 作用在硅酸凝胶网状结构上的压力较高，因而， CO_2 分子通过网的空隙进入粘结膜者较多，粘结膜中的水分较难逸出。所以，吹 CO_2 时，如 CO_2 的流率（即单位时间内吹入的 CO_2 量）较低，则硅酸凝胶的发展以化学方式为主，同时也有脱水作用，但所占的比

例较少。

当 CO_2 气流的流速较高时， CO_2 作用在网状结构上的压力较低，因而，粘结膜中的水分子通过网上空隙逸出的机会增多， CO_2 进入粘结膜反而较不容易。在这种情况下，尽管吹进了大量 CO_2 ，粘结膜的凝胶反而是以物理方式（脱水）为主，化学作用成了第二位的。

上述结论可能与一些现场工作人员根据常识所作的判断相反，但实际情况是如此。

(2) 吹 CO_2 时水玻璃发生的变化 如上所述，向水玻璃砂中吹 CO_2 时，水玻璃粘结膜既要与 CO_2 发生化学反应，又会有脱水过程，而且吹 CO_2 时的流率有重要的作用。这里，用一组试验结果，说明水玻璃吸收 CO_2 的量（与 CO_2 发生化学反应）、水分脱除量与 CO_2 的流率和吹气时间的关系。

用 $\phi 28.5\text{mm}$ 、高 50mm 的试样进行试验。试验用砂中加水玻璃 4% 。水玻璃的硅碱比为 2 ，密度 $1.56\text{g}/\text{cm}^3$ 。试样制成后，在试样筒中吹 CO_2 ，然后测定试样的 CO_2 吸收量和水分脱除量。吹 CO_2 时间为 100s 和 1000s 。

CO_2 吸收量和 CO_2 流率的关系见图5-27。

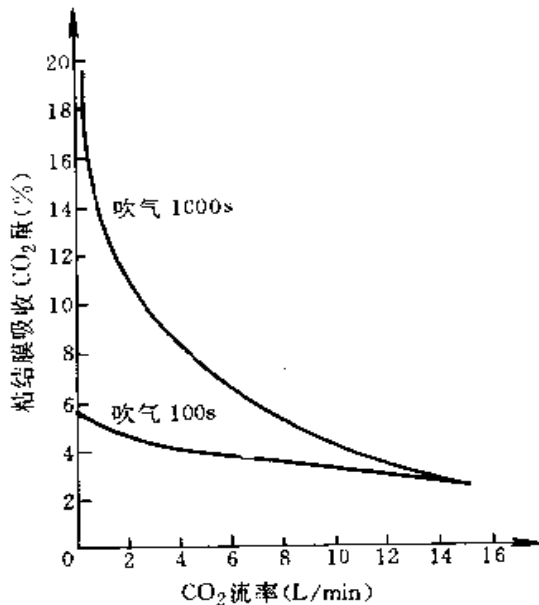


图 5-27 CO_2 吸收量与 CO_2 流率的关系

可见，如吹气时间不变，随着 CO_2 流率的增大， CO_2 吸收量不但不增加反而会减少。在 CO_2 流率很高的情况下（ $15\text{L}/\text{min}$ 以上），吹气 100s 和吹气 1000s ， CO_2 吸收量没有什么差别。低流率、长时间吹气， CO_2 吸收量最高。

型砂水分脱除量和 CO_2 流率的关系，见图5-28。

可见，不管吹气时间如何，随着吹 CO_2 流率的

增大，脱水量都明显增加。

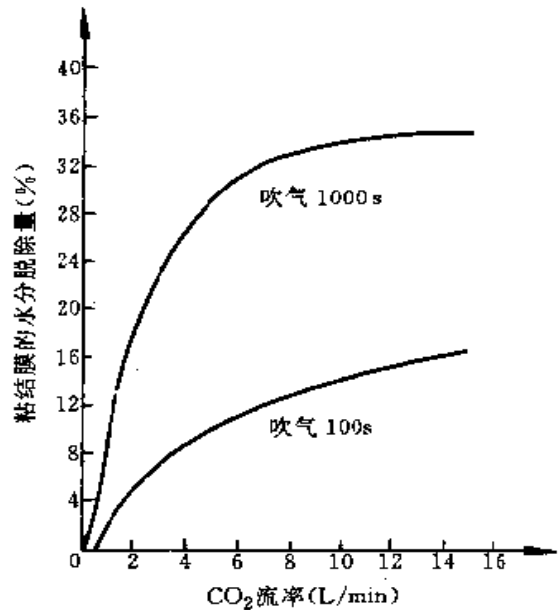


图 5-28 水分脱除量与 CO_2 流率的关系

4.2.2 吹 CO_2 硬化的水玻璃砂的强度

采用吹 CO_2 硬化的工艺时，影响型砂强度的因素很多，型砂强度的差别非常大，想根据现场的数据总结出普遍适用的规律，是非常困难的。此处用实验室数据来说明其间的规律。

用硅碱比为 2.0 、 2.5 和 3.2 的三种水玻璃分别进行试验，以代表铸造厂现场使用的条件。型砂中水玻璃加入量均为 4% ，不用附加物，用叶片式混砂机混砂。

测定强度的试样： $\phi 28.5\text{mm}$ ，高 50mm 。在试样筒中吹 CO_2 使其硬化，吹气时 CO_2 的流率固定为 $0.5\text{L}/\text{min}$ 。分别测定吹气时间、吹气后存放时间对型砂强度的影响。存放环境：温度 20°C ，相对湿度 55% 。

1) 用硅碱比为 2.0 、水分为 53.1% 的水玻璃时，由于低硅碱比水玻璃中的 Na_2O 含量高，使水玻璃硬化所需的 CO_2 较多，在吹气流率不同的情况下，吹气时间应较长，选用 30s 、 60s 、 150s 和 300s 4种吹气时间。试样吹气后放置不同的时间，然后测定其强度。结果见图5-29。

吹 CO_2 30s 的试样，吹气后即时强度较低，但在此后的存放过程中有大幅度的强度增长。这说明由化学方式形成的硅酸凝胶较少，存放过程中粘结膜失水而得到脱水硅酸凝胶。存放两天后和大气条件平衡，性能趋于稳定。

吹 CO_2 60s 的试样，由化学方式形成的硅酸凝胶多一些，表现为吹气后即时强度较高。在存放过程

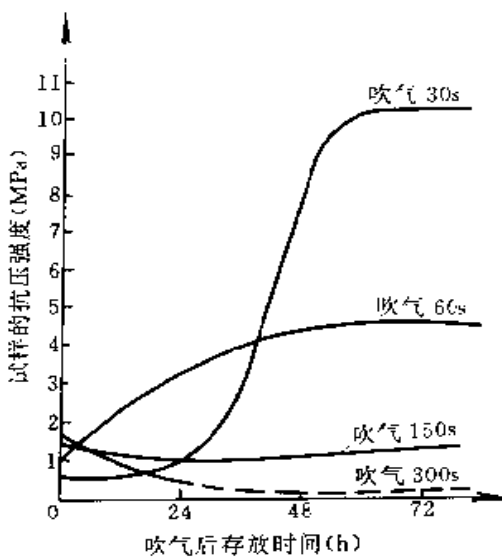


图 5-29 用低硅碱比水玻璃时,

吹气时间、存放时间对水玻璃砂强度的影响

中,这种凝胶会因失水而降低强度。同时,未起化学作用的水玻璃也脱水,得到强度高的硅酸凝胶。两者的作用相抵,总的强度仍不断有所提高。也在两天后趋于稳定。

吹气 150s 的试样,以化学方式形成的硅酸凝胶更多,存放过程中,其失水而造成的强度下降,大致上为形成脱水硅酸凝胶的增强作用所弥补,表现为强度基本不变。

吹气 300s 的试样,化学方式形成的硅酸凝胶占优势,因其失水而造成的强度下降,超过以脱水方式增加的强度。表现为:试样在存放过程中强度不断下降。24h 后,试样的表面松脆,这样的铸型或芯子是不能使用的。

2) 用硅碱比为 2.5、水分为 53.4% 的水玻璃时,这种水玻璃是生产现场最常用的,因其硅碱比比前者高,使型砂硬化所需的 CO_2 量相应地减少,故吹 CO_2 的时间选 17s、34s 和 150s 三种。试样强度变化的情形见图 5-30。

吹 CO_2 17s 和 34s 的试样,吹气后即时强度较低,但在存放过程中强度不断提高。

吹气 150s 的试样,即时强度较高,但在存放过程中强度不断下降。

3) 用硅碱比为 3.2、水分为 63.8% 的水玻璃时,由于所用水玻璃的硅碱比很高,只需吹少量 CO_2 即可硬化,故吹气时间选 7s、14s 和 21s 三种。试样强度变化的情形见图 5-31。

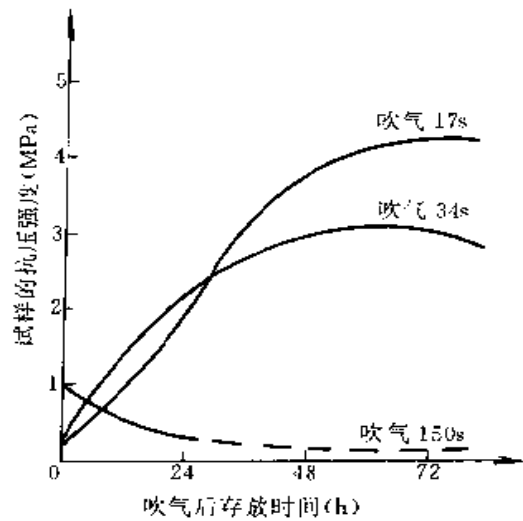


图 5-30 用中等硅碱比水玻璃时;
吹气时间、存放时间对水玻璃砂强度的影响

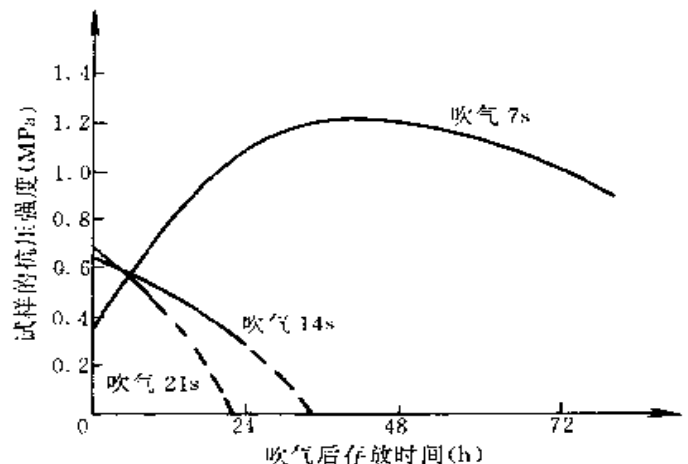


图 5-31 用高硅碱比水玻璃时,

吹气时间、存放时间对水玻璃砂强度的影响

吹 CO_2 7s 的试样,在存放过程中强度略有提高,但强度的值比用低硅碱比水玻璃时低得多,而且,存放时间较长,则强度趋于下降。

吹气 14s 的试样,即时强度较高,但在存放过程中强度不断下降,吹气后 24h,即降到铸型不能使用的程度。

吹 CO_2 21s 的试样,即时强度高,这反映了由化学方式得到的硅酸凝胶的强度。但是,在存放过程中强度急剧下降,很快降低到铸型不能使用的程度。

4.2.3 吹 CO_2 硬化的水玻璃砂的工艺要点

水玻璃的硅碱比和吹 CO_2 的各要素,是影响水

玻璃砂强度的最重要的两个因素。

在水玻璃加入量不变、吹 CO_2 各要素相同的情况下，正确选定水玻璃的硅碱比和硅碱比不当的水玻璃砂，强度可能相差几倍、甚至十几倍。在水玻璃的硅碱比及其加入量都不变的情况下，吹 CO_2 的制度适当与否，水玻璃砂的强度也可能相差几倍，甚至十几倍。

采用其它粘结剂体系时，型砂强度差异如此之大的情况是非常少见的。因此，水玻璃砂采用吹 CO_2 硬化工艺时，无论怎样强调严格控制工艺的重要性都不会过分。

4.2.3.1 水玻璃的硅碱比 分析图 5-29、5-30 和 5-31 可以得知以下几点：

1) 不管水玻璃的硅碱比如何，吹气后的即时强度都无大的差别，但此后在存放过程中强度的变化却大不相同。

2) 水玻璃的硅碱比愈高，型砂的硬化愈快，但型砂所能达到的最终强度愈低。

3) 高硅碱比水玻璃不宜采用吹 CO_2 硬化的工艺。一般情况下，建议用硅碱比为 2.2~2.3 的水玻璃。冬季建议用硅碱比为 2.5~2.6 的水玻璃。应尽量避免用硅碱比在 2.8 以上的水玻璃，如果由于某些原因不得不用，就要特别控制吹气，而且要尽量缩短铸型或芯子的存放时间。

4.2.3.2 吹 CO_2 的各要素 吹气制度不仅对型砂的强度有重大影响，而且，由于吹气量可能相差几倍、十几倍、甚至几十倍，从生产成本的角度看，也不能不特别重视。

目前，我国不少铸造厂对吹 CO_2 的控制极为粗放，几乎没有工厂对 CO_2 的流率和 CO_2 的用量予以测定和控制。这往往是导致工艺不稳定的重要原因。

1. CO_2 的用量 吹 CO_2 硬化，其化学方面的作用是和水玻璃中的硅酸钠反应，提高其硅碱比。吹 CO_2 同时也有脱水作用。所以，不能简单地根据水玻璃含有的 Na_2O 量计算型砂硬化所需的 CO_2 量。吹 CO_2 的量，通常是由得到适当的强度的实测值确定的。

一般的铸型，如型砂吹硬到抗压强度为 0.3~0.35MPa，即可满足合型和浇注的要求。在环境温度为 20℃ 左右时，使型砂得到上述强度，如吹 CO_2 作业控制较好，所需用的 CO_2 量大致应与表 5-70 中的数据相当。

在 2~3℃ 的环境下， CO_2 需用量的参考数据见表 5-71。

表 5-70 室温为 20~22℃ 时 CO_2 需用量
与水玻璃硅碱比的关系

| 水玻璃的 硅碱比 | CO_2 需用量与 型砂中水玻璃 的质(重)量比 | 硬化 100kg 水玻璃砂(含水玻璃 4%)所需的 CO_2 量 | |
|-------------|---|--|----------------------|
| | | 质(重)量(kg) | 体积(标准 m^3) |
| 2.2~2.3 | 0.19 | 0.76 | 0.38 |
| 2.5~2.6 | 0.13 | 0.52 | 0.26 |

表 5-71 室温为 2~3℃ 时 CO_2 需用量与
水玻璃硅碱比的关系

| 水玻璃的 硅碱比 | CO_2 需用量与 型砂中水玻璃 的质(重)量比 | 硬化 100kg 水玻璃砂(含水玻璃 4%)所需的 CO_2 量 | |
|-------------|---|--|----------------------|
| | | 质(重)量(kg) | 体积(标准 m^3) |
| 2.2~2.3 | 13.23 | 52.9 | 26.8 |
| 2.5~2.6 | 2.35 | 9.4 | 4.7 |

对比表 5-70 和 5-71 可见，冬季使用水玻璃砂时，如只靠吹 CO_2 硬化，是很难硬化的。

采用高硅碱比水玻璃，虽较易于吹硬，但型砂强度很低，实际上是不可取的。

最实用的方法是将原砂加热到 30~35℃。

2. CO_2 的压力、流率和吹气时间 吹 CO_2 硬化的一个重要原则是低压力和低流量，这样既可以使型砂有较高的强度，又可以节省 CO_2 。

一般说来，吹气压力应控制在 0.15MPa 以下。由 CO_2 气瓶经减压阀后直接送入铸型，气压不易保持稳定，生产条件下最好装设稳压器，由稳压器将 CO_2 引入铸型。

吹 CO_2 的流率和吹气时间的确定，以保证用低流率供给铸型所需的 CO_2 为原则。大的铸型用多个吹气管吹气，或在不同部位轮番吹气。经每一吹气管的流率，宜不超过 20L/min。

3. 吹 CO_2 的器具 采用吹气罩吹气， CO_2 的浪费很大，而且铸型的硬化很难均匀，一般不宜采用。只有在车间设有吹气站，对密封和尾气排放都有安排，且模板上装有适当的通气塞时，才能有较好的效果。

插吹气管，是使用最广泛的方法。一般用直通管(图 5-32a)，但最好还是用多孔管(图 5-32b)。

往铸型中插吹气管时，管的外表与砂型之间会有空隙， CO_2 容易由此处外逸，最好在管子上端装设挡板，插管时使其紧贴铸型，防止 CO_2 外逸。

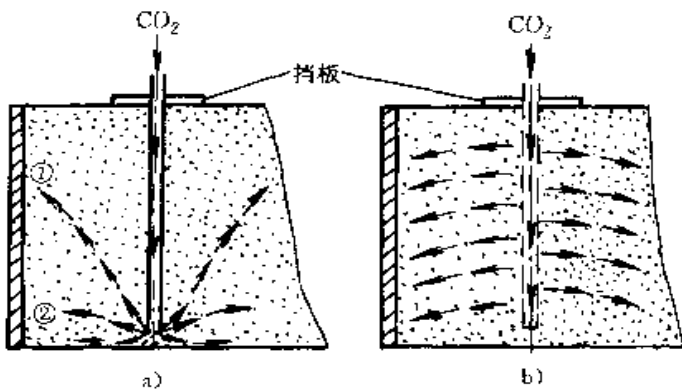


图 5-32 插管吹气示意图

a) 直通管 b) 多孔管

CO_2 比空气重，通常有向下运动的倾向。用直通管吹气时，如 CO_2 的流率低，则 CO_2 在铸型中流动的状况大致如图 5-32a 中的②，如 CO_2 的流率高则流向接近于①。直通管吹气的缺点有二：一是气流不易均匀分布；二是管内容易堵砂。

最好采用有封头的多孔管。将吹气管的下端焊封，在管身上钻均匀分布的多个小孔，并使小孔的总面积小于管子的截面积。采用多孔管吹气，气流的分布比较均匀，如装设得当， CO_2 的用量比用直通管时可节省 30%。

4.2.4 CO_2 硬化工艺的改进和发展

4.2.4.1 脉冲吹气工艺 用脉冲式吹气代替连续吹气，吹几秒钟后停吹，让 CO_2 在砂型中充分弥散。然后再吹，再停，重复多次。用这种方法，可提高 CO_2 的利用率，据国外报道，可节省 CO_2 30% ~ 40%。

4.2.4.2 通过模板向砂型吹气 根据铸件的结构特征和吹气要求，在模样的各部位钻若干 1mm 以下的小孔，所有的小孔均通到模板下方的空腔。空腔外接进气管，由此导入 CO_2 ，经各小孔进入型砂中，见图 5-33。

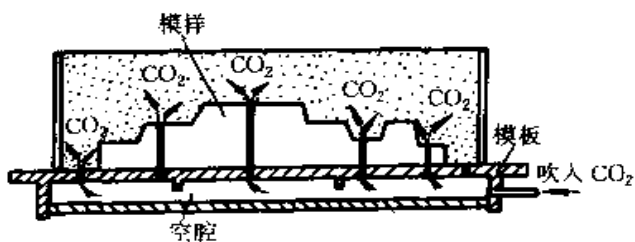


图 5-33 通过模板吹气示意图

4.2.4.3 真空置换硬化 (VRH) 法 砂型或芯子制成后，置真空室中，抽真空到适当的真空度，排去型

砂空隙之间的空气，并使水玻璃脱水。然后送入 CO_2 ，保持 30~150s，使型砂硬化。

采用 VRH 法，由于水玻璃在真空下脱水，得到较多的脱水硅酸凝胶，型砂的强度比用常规 CO_2 硬化者高得多。因此，型砂中的水玻璃加入量可以降低，一般为 2.5% ~ 3.0%，个别情况下可降到 2.0%。

吹 CO_2 是在砂型抽真空后进行的，砂粒间隙里的空气阻碍大为减少， CO_2 容易弥散。而且，水玻璃中的水分已经降低，形成了相当数量的脱水硅酸凝胶，只需少量的 CO_2 就可使型砂硬化。因此， CO_2 的需用量比常规的吹 CO_2 硬化工艺少得多，可以是后者的 1/10~1/3。

关于 VRH 法的说明如下。

1. 型砂温度的控制 型砂温度太低，硬化反应难以进行，脱水也不容易。型砂温度在 10°C 以下，吹 CO_2 后的即时强度很低，脱模困难，故不宜在此条件下作业。

型砂温度太高，例如 35°C 以上，水分蒸发很快，很难保持负压。而且压力降低后，水分急剧汽化，甚至可见到将砂型中的砂吹起来的情况。这种条件当然是不能允许的。

型砂温度应控制在 $20\sim 30^\circ\text{C}$ 之间。

2. 真空度 经验表明，在保持型砂温度为 $20\sim 30^\circ\text{C}$ 的情况下，真空度以 $2\sim 4\text{kPa}$ 为好。

3. 吸入 CO_2 后的压力 吸入 CO_2 后的压力宜为 $50\sim 75\text{kPa}$ 。

4. CO_2 保持时间 CO_2 保持时间可通过试验确定，一般在 30s 和 150s 之间。

4.2.4.4 “吹气脱模、脱水增强”工艺 要充分利用水玻璃的能力，降低型砂中的水玻璃用量，最有效的办法是使水玻璃的硬化以物理方式为主，形成尽可能多的脱水硅酸凝胶。上述真空置换硬化法就是以这样认识为基础的。在此基础上，还可以开发多种不同工艺方法以适宜不同的生产条件，其中，“吹气脱模、脱水增强”工艺效果也很好，且应用甚广。

型砂中不加粘土之类提高型砂湿强度的材料，只加水玻璃。造型或制芯后，吹少量 CO_2 ，使型砂硬化到具有脱模及搬运所要求的强度（大约是 $0.1\sim 0.15\text{MPa}$ ），然后脱模。铸型或芯子脱模后，送入 200°C 左右的烘炉中，烘 $20\sim 30\text{min}$ ，由脱水而使型砂的强度大幅度提高。如批量生产，可用一直通式烘干设备。

采用这种工艺，型砂中水玻璃加入量也可降到 3% 左右。

4.3 脱水硬化的水玻璃砂

由于脱水硅酸凝胶的强度比 CO_2 吹硬的凝胶高得多, 如采取脱水方式使型砂硬化, 其强度可以是吹气硬化型砂的若干倍。在保持型砂强度相同的情况, 可以减少水玻璃的加入量。

无论采取何种方式脱水, 如烘干、真空脱水、吹干燥的压缩空气或晾干, 型砂强度都大致相同。同一型砂, 用不同方式硬化, 其强度及硬化所需的时间, 见表 5-72。

表 5-72 水玻璃砂用不同方式硬化的比较

| 型砂的硬化方式 | 抗压强度 (MPa) | 达到最高强度所需的时间 (min) |
|--------------------|------------|-------------------|
| 吹 CO_2 硬化 | 1.6~1.8 | 1 |
| 200℃ 下烘干 | >10.0 | 10~15 |
| 吹干燥压缩空气 | 7~8 | 10~15 |
| 真空下脱水 | 7~8 | 90~120 |
| 自然晾干 | 7~8 | 3~4 天 |

从有效利用水玻璃的粘能能力来看, 脱水硬化是最好的方式。但是, 到目前为止, 生产上采用的脱水硬化工艺都未能充分利用其长处。主要的难点在于: 只加水玻璃的型砂不具备脱模作业所要求的强度, 而脱水处理又必须在脱模之后才能有效地进行。

如何使水玻璃砂在造型(芯)后能够脱模, 是采用此法的关键。

4.3.1 加入粘土以提高湿态强度

最简便的办法是加入膨润土。水玻璃砂中加膨润土后, 湿态强度明显提高, 脱模问题是解决了, 但脱水硬化后的强度却大为下降。为保持硬化后的强度, 就不得不增加水玻璃的加入量, 这就是一些工厂水玻璃用量高达 8%、9%、甚至 10% 以上的原因。用此办法解决脱模问题带来许多负面作用, 如型砂成本提高、需用轮式混砂机混砂、型砂造型性能恶化不易春实、落砂性能进一步恶化、旧砂的再生处理更为困难等, 以致脱水硬化的优点无从体现。

严格说来, 此种办法应尽早由其它工艺方法取代。

4.3.2 其它途径

上一节谈到的真空置换硬化法和“吹气脱模、脱水增强”的工艺, 实际上都以脱水硬化为主, 只不过用不同的方式解决了脱模问题。

实际上, 只要妥善地解决脱模问题, 无论用什么方式脱水, 都会有良好的效果。

如果水玻璃砂中水玻璃加入量不变, 水玻璃的硅碱比不变, 型砂的强度将决定于其中残留的自由水量, 基本上与脱水的方法无关, 见图 5-34。

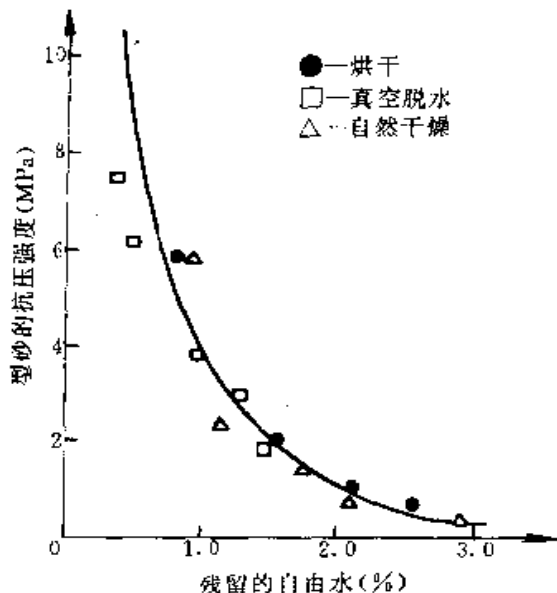


图 5-34 水玻璃砂的强度与其中的残留自由水量的关系

据文献报道, 以下三种方法正在研究开发之中, 现列出供参考。

1) 通过加入高分子聚合物, 适当提高水玻璃砂的湿态强度。如能使型砂湿态强度达到 15kPa 左右, 则制造简单的芯子是可以脱模的; 如湿态强度能达到 20kPa 或略高一点, 简单的铸型也是可用的。脱模后, 立即将铸型或芯子放入 200℃ 左右的烘炉中脱水。

2) 适当加入惰性粉状材料。加入粘土类有吸收水或水玻璃能力的粉料, 会使水玻璃砂硬化后的强度下降。但并非所有的粉料都有此作用。

如加入的粉状材料是惰性的, 而且其颗粒尺寸足够细, 可作为水玻璃的填料, 像混凝土中的石子那样, 将不会使水玻璃砂硬化后的强度下降太多。

水玻璃中混入了细的填料后, 其粘度将提高, 从而提高型砂的湿态强度, 可解决脱模问题。要说明的是: 这样配制的型砂, 湿态强度最多也不过是 20~25kPa, 决不可能像加膨润土那样高。

3) 微波加热脱水已在研究中。

4.4 自硬水玻璃砂

“白硬砂”的含义有两个方面:

1) 在混砂过程中, 除加入粘结剂以外, 同时还加有使粘结剂硬化的物料——硬化剂;

2) 用这种型砂造型(芯)后, 不故意给铸型或

芯子以任何能使其硬化的处理,铸型或芯子因硬化剂的作用,会在大气条件下逐步自行硬化。

水玻璃自硬砂自60年代问世以来经历了一个不断发展和优化的过程,到目前为止,用有机酯作硬化剂的工艺是最好的工艺方法。

4.4.1 硅铁粉自硬砂

60年代初,日本西山太喜夫开发了用硅铁粉作硬化剂的水玻璃自硬砂。这种工艺方法也有人称之为西山法。

硬化剂一般用75%的硅铁磨细制成。

4.4.1.1 原理 水玻璃砂中加入硅铁粉后,硅和水玻璃中的 Na_2O 以及周围的水共同反应,生成硅酸钠,释放氢气。同时,这一反应是放热反应。综合起来,有以下一些效果。

1) 硅铁粉和 Na_2O 反应,使水玻璃以化学方式硬化。

2) 上面所说的反应是要消耗水的,在反应过程中,水玻璃将不断地脱水。因此,水玻璃以化学方式硬化的同时,也发生脱水硬化。

3) 因反应是放热的,型砂在硬化过程中温度逐渐升高,从而加强了水玻璃的脱水硬化。

由以上的分析可见,硅铁粉自硬砂的硬化,既有化学方式的,也有物理方式的。从反应的脱水和放热看来,脱水硬化所占的比重必定相当大,自硬砂的强度比 CO_2 硬化者高。

4.4.1.2 工艺要点 硅铁粉与水玻璃的反应相当快,型砂混好后,应很快用完,以免失效。

铸型舂实以后,大约经20min左右就可以脱模。脱模后,硬化反应继续进行,约经3~4h后即可合型、浇注。

(1) 水玻璃加入量 自硬砂中的水玻璃加入量,可以比吹 CO_2 硬化的型砂低。一般加入量为4%~5%。

(2) 硅铁粉加入量 硅铁粉是参与硬化反应的硬化剂,其加入量不仅与水玻璃加入量有关,而且还取决于水玻璃的硅碱比和水分。水玻璃的硅碱比低时, Na_2O 的含量高,需要与其反应的硅铁粉也就比用高硅碱比水玻璃时多些。

按照计算:硅铁粉用量应是水玻璃的12%~21%,硅碱比低时用较高的值。如果考虑到硅铁粉是粒状的,反应往往只在其表面进行,很难达到内部,实际上需用的硅铁粉量宜为20%~30%。

4.4.1.3 本工艺的优缺点

(1) 优点 型砂硬化后的强度高,可以减少水玻璃的加入量;

生产周期短,管理方便;

硬化反应时铸型温度升高,残留的水分少,浇注时发气也较少,对于制造对气体敏感的特殊铸钢件非常合适。

(2) 缺点 型砂硬化过程中温度升高,水分蒸发,易造成木模样变形、脱胶;

释放的氢气有酿成爆炸的危险;

用固体颗粒作硬化剂,其颗粒的粗细,表面氧化或受潮、混砂时能否很好的分散,都影响型砂的性能,控制这种型砂的性能是困难的。

4.4.2 硅酸二钙自硬砂

硅铁粉自硬砂出现后不久,就有了用硅酸二钙作硬化剂的水玻璃自硬砂。

自铝矾土提取氧化铝后的副产品赤泥、碱性炼钢炉渣、炼铬铁的炉渣,都含有50%以上的硅酸二钙。与硅铁粉相比,这类材料的价格便宜得多,且又易于粉碎,所以,这种自硬砂曾一度得到广泛的应用,并在其基础上发展了水玻璃流态自硬砂。

硅酸二钙自硬砂硬化的过程很复杂,许多细节至今还不太清楚,有多种看法存在,这里不一一列举了。

1. 硅酸二钙自硬砂 由于硬化剂(赤泥、炉渣等)是粉状材料,且加入量很大,自硬砂中水玻璃加入量一般都在6%和7%之间。水玻璃的硅碱比宜为2.2~2.4,以使型砂具有较高的强度。

赤泥或炉渣粉的加入量,一般是水玻璃的60%~90%,在型砂中约占4%~6%。

加了这样多的粉状材料,而且这类材料都有较强的吸水能力,型砂必须保持较高的水分。除水玻璃带进的水分之外,往往还需补加一些水,使型砂中的总水分分为4.5%~6.0%。

这种硬化反应十分缓慢,造型、制芯后,通常要放置2~6h才可脱模。只适用于单件生产。

硬化了的铸型或芯子中仍有较高的水分,一些要求较高的铸型或芯子,脱模后还需经短时间的烘干。

2. 流态自硬砂 流态自硬砂以硅酸二钙自硬砂为基础,主要差别是加有发泡剂。此外,水玻璃和赤泥的加入量略高一些,型砂的水分也较高。

发泡剂降低水的表面张力,使型砂中的水形成大量细小的气泡,把砂粒分散并悬浮起来使型砂流态化。这样,型砂就可以像流体一样地易于流动,造型(芯)时,可以灌注填充,不必舂实。

流态自硬砂中,水玻璃加入量为6%~9%,视铸型所要求的强度而定。硬化剂(赤泥)加入量为4%~6%。型砂的水分要高些,总水分一般应保持在

6%~8%之间。

水玻璃是较强的碱性物质，会和阳离子表面活性剂反应。所以，液态自硬砂的发泡剂多用阴离子型表面活性剂，如烷基磺酸钠、仲烷基硫酸钠等。有的工厂采用非离子型表面活性剂。发泡剂的加入量一般为0.15%~0.20%。

液态自硬砂主要的缺点：

- 1) 砂粒之间的空隙较多，热导率降低，铸件凝固缓慢；
- 2) 由于表面活性剂的作用，型砂易于粘附在木模样上，造成脱模困难；
- 3) 易产生缩沉缺陷，如图 5-35 所示。

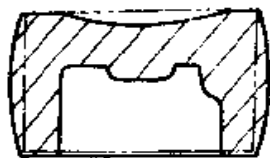
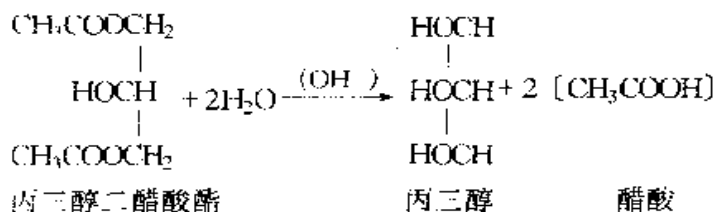


图 5-35 缩沉缺陷示意图
虚线—模样轮廓 实线—铸件轮廓



砂子与有机酯和水玻璃混匀以后，有机酯就不断地自水玻璃粘结膜吸水，分解出弱有机酸。有机酸又与水玻璃中的 Na_2O 反应，使水玻璃以化学方式胶凝。所以，用有机酯作硬化剂，既有吸水使水玻璃以物理方式硬化的作用，也有化学硬化的作用。

各种有机酯，水解产生酸的速率不同，其硬化作用的强弱也就不同。例如：丙三醇二醋酸酯反应快；乙二醇二醋酸酯反应速率中等；丙三醇三醋酸酯反应速率慢。

有机酯是参与水玻璃的硬化反应的，加入量不够则反应不完全；过量加入也无益处。所以，不能用调整硬化剂用量的办法改变型砂的硬化速率，只能由改变硬化剂的品种来调节型砂的硬化。冬季用反应快的酯，夏季用反应缓慢的酯，在其它条件下，可将丙三醇二醋酸酯和丙三醇三醋酸酯以不同的比例混合使用，以控制型砂的硬化。

4.4.3.2 工艺要点 有机酯自硬砂，硬化过程中有脱水作用，部分形成脱水硅酸凝胶，故型砂硬化后强度高，水玻璃加入量一般为3%~4%，硅碱比则以

产生缩沉，也与砂粒之间的空隙较多有关。在高温液态金属的作用下，型砂的粘结膜熔化，加之其间的空隙大，受金属压力作用的部位，型壁发生移动，使砂粒排得紧实一些。因此，一些厚大铸件的侧面和底面胀大。胀出的金属，只能由上方厚大部分补充，故上面产生凹陷或缩孔。这种下胀上缩的情形，通常称之为缩沉。

4.4.3 有机酯自硬砂

70年代初出现的有机酯自硬砂，是水玻璃砂的重大进展。

作为硬化剂的有机酯，是粘度很低的液体，很容易在型砂中分散，可采用类似于树脂自硬砂混砂机的高速混砂机。这样的自硬砂，不但没有用粉状硬化剂所特有的缺点，而且，由于铸型浇注以后有机酯受热分解，型砂的落砂性能比常规水玻璃砂好得多。

4.4.3.1 硬化的原理 醇和酸作用而成为酯的反应是可逆的，在碱性条件下，酯会吸收水而生成酸和醇。水玻璃是碱性的，又含有相当高的水分（45%以上），正好准备了有机酯分解的条件。现以丙三醇二醋酸酯为例，说明其水解反应。

2.4~2.6为宜。

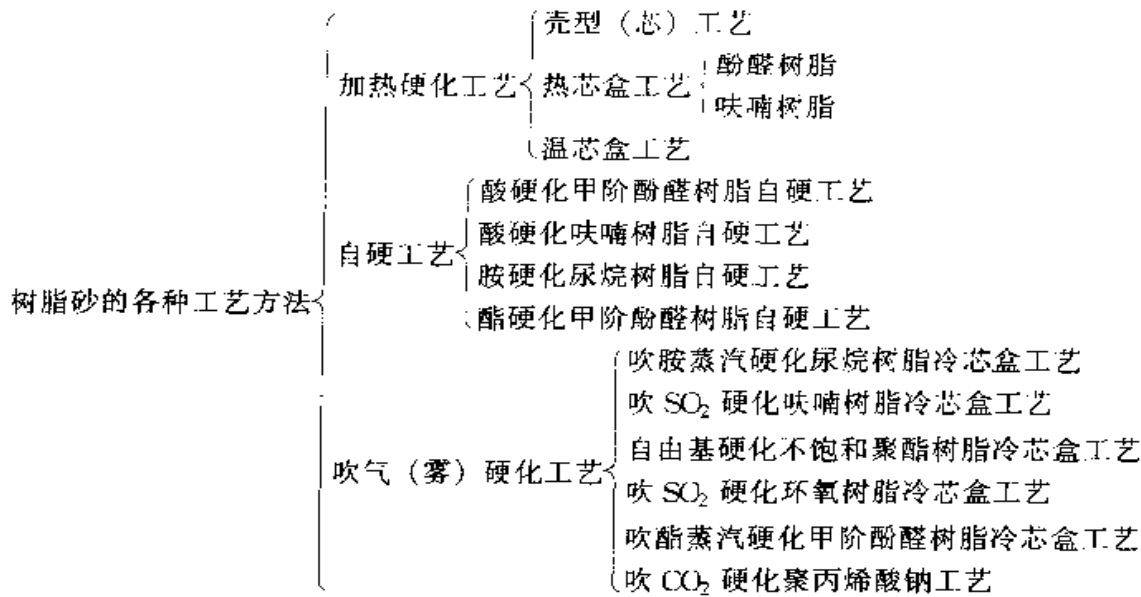
有机酯的加入量，应是水玻璃量的10%~12%。硅碱比偏低时用上限值，硅碱比高时用下限值。

有机酯自硬砂混砂时，加料顺序是十分重要的。应该先将砂和有机酯混匀，然后加水玻璃。如先加砂和水玻璃混匀，砂粒表面涂覆了粘稠的水玻璃后再加有机酯，有机酯就不易分布均匀，更不容易进入水玻璃膜中。这样，铸型的硬化就不均一，有些部位甚至难以硬化。

5 树脂粘结砂

树脂粘结砂，简称树脂砂。自从40年代中期人工合成树脂开始用于铸造生产以来，作为型砂粘结剂的树脂，品种不断增多，品质（质量）也不断改善。目前，使用树脂砂的工艺方法，经不断发展之后，也日渐臻于完善，树脂砂已完全可以满足各种铸造合金及不同生产条件的要求。

目前，用于铸造生产的各种树脂砂工艺的概括如下：



5.1 加热硬化工艺

各种加热硬化工艺的共同特点是：采用的硬化剂为潜硬化剂，在常温下不起作用或作用甚微；在工艺规定的温度下，则使树脂迅速发生交联反应而硬化。

5.1.1 壳型(芯)工艺

壳型(芯)工艺，自50年代各工业国相继采用以来，一直保持很好的发展势头，是采用最广的树脂砂工艺之一。据报道，美国采用壳型或壳芯的铸造厂，约占其全国铸造厂总数的60%以上。

5.1.1.1 树脂和硬化剂 所用的树脂为诺沃腊克型酚醛树脂，外观为淡黄色固体，是热塑性线型树脂。加热即可溶化，长时间保持熔融状态也不会发生交联反应而硬化。有人因其用于加热硬化工艺而认为它是“热固性树脂”，实在是一种误解。

硬化剂是六亚甲基四胺(乌洛托品)，常温下稳定，受热时产生亚甲基，和线型的诺沃腊克酚醛树脂反应，使树脂发生交联反应而硬化。在 117°C 以上，此种反应即十分显著。所以，制覆膜砂时，务必要在加入乌洛托品前，将覆有树脂的砂冷到 110°C 以下，否则将有相当多的树脂因发生交联反应而失效。乌洛托品的用量一般是树脂量的15%~16%。

5.1.1.2 润滑剂的应用 1955年前后，壳型工艺有一项重要的进展，那就是在热覆膜时加入硬脂酸盐(广泛采用的是硬脂酸钙)作润滑剂。润滑剂的作用不可低估，主要有两点：

1) 改善覆膜砂的流动性 在壳型工艺相同的情况下，可以提高壳型(芯)的致密度，从而提高其强度。图5-36是试样质(重)量与覆膜砂中硬脂酸钙加入量的关系，很能说明其流动性的改善。

2) 提高强度 图5-37是硬脂酸钙加入量对树脂砂硬化后抗拉强度的影响。

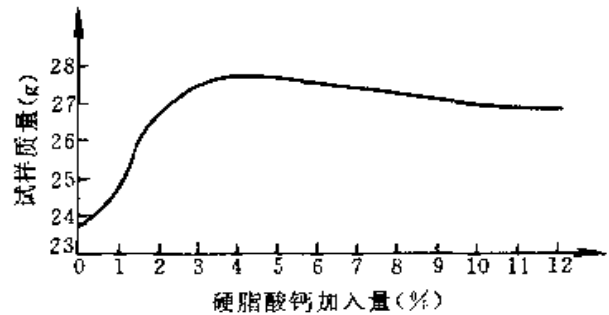


图 5-36 试样质(重)量与加入硬脂酸钙量的关系

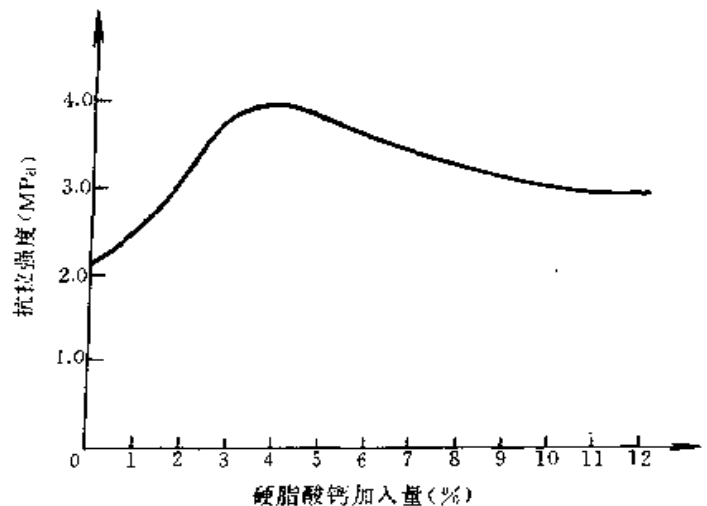


图 5-37 硬脂酸钙加入量对覆膜砂硬化后抗拉强度的影响

由上述两图的对比可知，两者的最佳值有良好的对应关系。硬脂酸钙的用量可为树脂量的3%~5%，多了无益。

5.1.1.3 壳型(芯)砂制备工艺的发展 最初，采用干混法，简单地将原砂和压碎成细粉状的树脂和乌

洛托品混匀后使用。这样制备的型砂，不可避免地会产生偏析，导致壳型（芯）的品质（质量）不佳，尤不宜吹射空心芯子。由于树脂不能有效地利用，故不得不增大加入量，有时高达8%。

这种方法早已淘汰，但我国仍有个别铸造厂采用。

第二阶段，用湿覆膜法。在干混法的基础上，于混砂时加入乙醇，使树脂溶解于乙醇而涂覆在砂粒表面，此后让乙醇在混砂过程中挥发，从而得到覆膜砂。有的树脂制造厂将树脂溶于醇以液态供应。

与干混法相比，湿覆膜法是一大进步，但混砂过程中产生的大量乙醇蒸气与空气混合后有爆炸的危险。

在湿覆法的基础上，逐步产生了现在广泛采用的干覆膜法，不仅可使乌洛托品的分布非常均匀，而且便于加入润滑剂。

5.1.1.4 热覆膜工艺的要点 目前，制造壳型和壳芯，主要采用热覆膜砂。我国现有多家专业生产热覆膜砂的厂商供应热覆膜砂，用量不太大的铸造厂，以采用商品覆膜砂为宜。

采取正确的覆膜工艺，是降低树脂用量、提高覆膜品质（重）量的关键。

1) 原砂的预处理 对于配制覆膜砂而言，仅用水洗法脱除原砂的泥分是不够的。采取强烈擦洗或其它措施减轻砂粒表面的微观污染，或进而加以表面活化处理，可明显提高覆膜砂的强度。或者，在保持强度为同一水平的条件下，可降低树脂加入量2%~3%。这样，不仅可以降低覆膜砂的成本，而且可以显著降低型砂的发气量，减少旧砂再作业的工作量。在用粘土湿型砂造型、采用壳芯的条件下，可以减轻芯砂对型砂性能的影响。

2) 加入树脂 先将原砂预热到145~165℃，倾入混砂机，随即加入树脂，并将二者充分混拌，务使树脂均匀地涂覆于砂粒表面。用高速叶片式混砂机时，约需60~90s。

除水套芯子用的覆膜砂外，树脂加入量一般在4%以下。用于铝合金铸件的壳型，可降到2%左右。

现在，树脂生产厂多将树脂制成1.2~1.7mm厚的碎片，制覆膜砂时不必再行破碎。

3) 加乌洛托品 加入乌洛托品前，务必先加水使砂温降到105~110℃，加水量大约是原砂的2%。如加乌洛托品时砂温在117℃以上，则会使部分树脂和乌洛托品作用而发生不可逆的反应，失去粘结能力。不少工厂将乌洛托品溶于水中一并加入，加入溶液后要立即鼓风，使水分蒸发以增强冷却效果。

4) 加润滑剂及出砂 加乌洛托品混匀并冷却后，加入润滑剂，搅拌均匀。在覆膜砂温度降到70~75℃时，将其从混砂机中放出，落在振动筛的筛网上。覆膜砂团块在筛网上运动、摩擦而破碎，即制得粒状的覆膜砂。

5) 其它附加物 对于某些特定的条件，制备覆膜砂时还可加入附加物，如：为避免壳型热裂、减少气孔缺陷，可加入氧化铁粉，其量为2%左右；用于制造镁合金铸件时，加入氟硼酸钾；用于制造铸钢件时，为防止“桔皮”缺陷，可加入高岭土1%~5%；为进一步改善脱模性能，可加入占树脂量1%~3%的粉状石蜡。

5.1.1.5 制造壳型或壳芯

制造壳型，一般用翻斗法，斗内的覆膜砂借重力落到已预热的模板上。制造壳芯则多采用吹射方式将砂料送入芯盒。模板或芯盒的预热温度可以是230~290℃，但最好是245~275℃。用铝质模具时，其预热温度不宜超过260℃。

覆膜砂与热模板或芯盒接触后，经一定的时间即可得到预期厚度的壳型或壳芯，壳厚与模具温度和结壳时间的关系见图5-38。

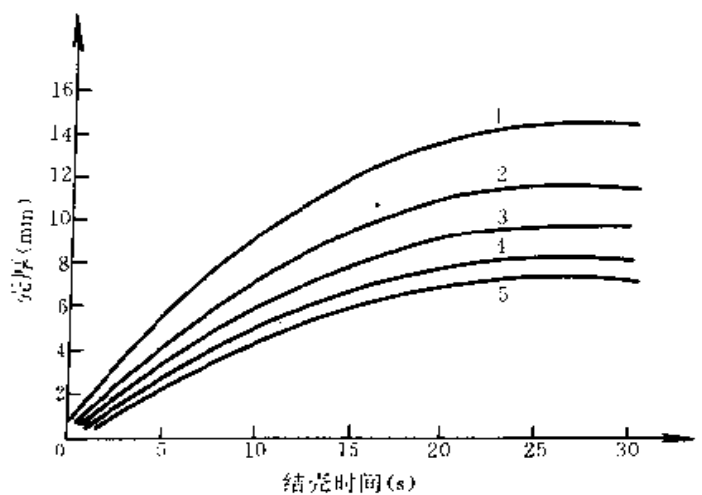


图 5-38 壳厚与模具温度和结壳时间的关系

1—模具 315℃ 2—模具 260℃ 3—模具 232℃

4—模具 204℃ 5—模具 177℃

然后，将未反应的覆膜砂倾出，供再次使用。制得的壳型（芯）仍应经一定时间的加热，进一步硬化，然后用模具上的顶杆脱模。此时，壳型（芯）表面以呈淡棕色为好，如成为深棕色，则说明加热时间太长，应予调整。

制造小芯子时，制壳的时间较短。在此情况下，模具的预热温度可提高至275~320℃，壳芯表面也

不致过烧。

5.1.1.6 覆膜砂的硬化过程 成壳的过程大致可分为三个阶段。

第一阶段，覆膜砂与模具接触后，树脂膜受热而软化，成为熔融状态。

第二阶段，在乌洛托品尚未热解之前，相邻砂粒表面上的熔融树脂相连而形成粘结桥。树脂保持熔融状态的时间愈长，则愈易形成强的粘结桥，但产生脱壳缺陷的倾向也愈大。如树脂刚成为熔融状态即硬化，无足够的时间形成完好的粘结桥，则壳型（芯）的强度不高。

第三阶段，乌洛托品热解，提供使树脂发生交联反应的亚甲基，树脂迅速硬化，制壳即告完成。

当然，由于壳型中有温度梯度，上述三个阶段是互相交错的，不能截然分开。

5.1.1.7 脱壳缺陷 “脱壳”是制造壳型（芯）时比较常见的缺陷，其特征是：结壳终了时，仍有部分壳子保持塑性状态，砂粒表面的粘结膜和粘结桥未完全硬化，与邻近的已硬化层脱离而落下。可能是局部脱壳，也可能分层脱壳。

采用硬化较快的树脂并用热覆膜法，脱壳的倾向可以很小。

为避免脱壳，严格控制模具的预热温度及其均匀程度是非常重要的。如果模具表面的温度差超过 30°C ，即使覆膜砂的品质（质量）特别好，也容易发生脱壳问题。因此，应经常用表面温度计测定模具上各点的温度。

如吹射壳芯的压缩空气中的水分高，则可能改变覆膜砂的导热性能，或在模具表面上形成蒸汽，都可能导致脱壳缺陷。

5.1.2 热芯盒工艺

热芯盒工艺是最先出现的大量生产芯子的工艺，其主要缺点是：能耗相当高，工作环境温度高且释放大量烟气，使操作者感到不适。目前，其它高速制芯工艺发展很快，此工艺已远不如过去那么重要，但也还在相当大的范围内继续使用。

1. 树脂 最初，热芯盒工艺全都采用呋喃树脂，这种情况一直持续到1972年前后。

按当前国际市场的树脂价格，甲阶酚醛树脂大约比呋喃树脂便宜30%~40%，而且甲阶酚醛树脂用于热芯盒工艺也很成功。因此，目前一些主要工业国家热芯盒工艺所用的树脂，90%以上均为甲阶酚醛树脂。

甲阶酚醛树脂的主要问题是保存期短，一般只能是三个月左右，夏季更短一些。国外有的工厂用有水

冷装置的容器贮存。一些树脂用量不大的小型铸造厂，购进的树脂不能在短期内用完，因而不得不用呋喃树脂。

用甲阶酚醛树脂为粘结剂的芯子，溃散性较用呋喃树脂者差些，在溃散性特别重要的情况下，也以采用呋喃树脂为宜。

2. 硬化剂 热芯盒工艺所用的潜硬化剂是强酸弱碱盐，最常用的是氯化铵，水解呈弱酸性，受热以后水解产物分解使酸性增强，从而导致树脂发生交联反应而硬化。夏季也可用硝酸铵，其作用较氯化铵弱一些。

氯化铵和树脂中的游离甲醛作用会生成强酸，这将会使树脂砂在射芯之前部分硬化。因此，通常在加入氯化铵的同时加入呈碱性的尿素，作为缓冲剂。尿素可防止树脂砂在室温下硬化，又不影响氯化铵受热后的作用，在 50°C 以上，酸性盐即可克服缓冲剂的作用而分解。

通常，将氯化铵、尿素和水按1:3:3配成溶液，作为热芯盒工艺的硬化剂。上述溶液的加入量最好是树脂的20%左右。少加硬化剂，不会使树脂砂的可使用时间延长，反而会因带人的水分少而使树脂砂的可使用时间缩短，同时还会导致芯子硬化不充分。

在原砂的需酸量改变、或环境条件有较大变化时，应酌情调整硬化剂的配比。

3. 附加物 热芯盒树脂砂中常加入氧化铁红1.5%~2.0%，以减少气孔并防止发生铁毛刺缺陷。

4. 制芯要点 芯盒的加热温度宜为 $220\sim 260^{\circ}\text{C}$ ，温度太低芯子不易充分硬化。芯子具有脱模强度后，即可将其脱出芯盒，一般都不应让芯子在芯盒内完全硬化。

脱开芯盒后，由于芯子的余热和树脂硬化放出少量的热，芯子仍有一继续硬化的过程。大约经2h后才可转到下芯工序。

5.1.3 温芯盒工艺

温芯盒工艺于1968年问世，其所以受到重视，是因为它克服了热芯盒工艺的一些缺点。

其主要优点有：生产效率高，散发的游离甲醛少得多，无游离酚，芯砂的可使用时间长（可达24h），芯子抗湿能力强，芯盒使用寿命长。

说到温芯盒法，很容易理解为其和热芯盒法的主要差别是芯盒的温度。实际上，两种工艺芯盒加热的温度差别并不太多，主要的不同还是在树脂和硬化剂方面。

温芯盒工艺所用的树脂和硬化剂的价格都很高，是其推广应用的主要障碍。

(1) 树脂 本工艺最初采用含双羟甲基咪喃共聚组分的树脂, 现已改用低氮、低水分、低游离醛、无游离酚的高糠醇咪喃树脂。树脂的价格大约是甲阶酚醛热芯盒树脂的 3~4 倍。

(2) 硬化剂 温芯盒工艺所用的潜硬化剂, 要求在常温下很稳定, 在 80℃ 以上即产生高活性强酸, 据报道, 是以氯化铜为主的铜盐的水溶液或醇溶液。也有资料说用铜的芳香磺酸盐溶液。硬化剂的加入量为树脂的 20%~30%, 其价格则是热芯盒工艺硬化剂的 4~8 倍。

(3) 制芯 芯盒的加热温度为 150~230℃。

由于所用的树脂粘度很低, 芯砂很容易混匀, 射芯所用的空气压力也可降低。

5.2 自硬砂工艺

采用自硬砂工艺时, 树脂和硬化剂都在混砂时加入, 造型、制芯后, 树脂在硬化剂的催化作用下逐渐发生交联反应而自行硬化, 铸型或芯子也就逐步得到所需的强度。

这种方式较适用于制造铸型和较大的芯子, 而且多用于小批量生产。

5.2.1 树脂自硬砂的几个共性工艺问题

5.2.1.1 树脂自硬砂混砂时的加料顺序 混制各种树脂自硬砂都应遵循一个基本原则, 即: 应先使硬化剂和砂混匀, 让硬化剂充分分散, 然后再加入树脂。如先加树脂, 则加入硬化剂时, 在其尚未分散以前, 局部浓度很高, 会使其附近的树脂发生强烈的交联反应而失效, 导致自硬砂的强度降低 10%~20%, 甚至更多。

5.2.1.2 砂温的控制 树脂自硬砂硬化反应的速率与砂温有密切的关系。大体上讲, 如其它因素相同, 砂温升高 10℃, 则反应速率将提高一倍, 砂温降低则反之。因此, 不管怎样强调控制砂温的重要性, 都不会过份。

最合适的砂温是 25~30℃, 在此条件下, 硬化剂的用量可减到最少, 树脂砂的流动性好, 易于制得紧实而强度高的铸型或芯子。在生产条件下, 砂温保持 20~35℃ 之间也是可以的, 但要通过调整硬化剂用量, 使脱模时间大致稳定。砂温超过 40℃, 则硬化太快, 导致铸型或芯子表面脆化, 对铸件品质(质量)影响很大。

砂温太低, 则硬化缓慢, 脱模时间显著延长, 且不易硬透。有的条件下, 可改用高酸度的硬化剂, 但控制砂温仍是最佳的选择。

5.2.1.3 尽量降低砂铁比 砂铁比是每一铸型中型砂和芯砂的总质(重)量与浇注金属总质(重)量的

比。采用树脂自硬砂工艺时, 能否通过适当的工艺设计使砂铁比保持尽可能低的水平, 是生产过程能否获得成功的关键。最好能使砂铁比的平均值保持在 3.0 以下, 无论如何也不宜超过 4.0。

降低砂铁比有如下的益处:

1. 降低生产成本 如能使砂铁比从 6.0 降到 3.0, 则每吨铸件耗用的树脂和硬化剂减少 50%, 铸件成本中造型材料项可减少 40%~45%。

2. 提高设备的生产能力 砂铁比从 6.0 降到 3.0, 意味着树脂自硬砂成套生产设备的能力提高一倍, 从而使设备利用率和劳动生产率大幅度提高。

3. 改善再生砂的品质(质量) 降低砂铁比, 型砂中树脂受热分解者所占的比例增大, 残留的树脂减少。这种情况, 不但可以大幅度减轻砂再生设备的负荷, 而且将使再生砂的灼烧减量和残留氮量减少, 使整个型砂系统进入优质低耗的良性循环。

5.2.2 咪喃树脂自硬砂

咪喃树脂自硬砂的硬化易于控制, 对多种硬化剂的适应性都相当好, 是铸造行业中最先采用的树脂自硬砂, 迄今为止, 仍是应用最广的树脂自硬砂。

5.2.2.1 适用的硬化剂 咪喃树脂是酸硬化的树脂。作为硬化剂的酸, 不参与树脂的硬化反应, 实际上是催化剂。咪喃树脂自硬砂, 对酸性硬化剂的用量相当敏感, 对酸的品种则可不甚苛求。

(1) 磷酸 磷酸是最先采用的硬化剂, 常用 70%~80% 的水溶液, 其优点之一是价格便宜。

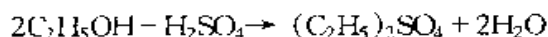
用高氮树脂时, 磷酸硬化的树脂砂强度较高。对于含氮量低的树脂, 用磷酸作硬化剂时, 自硬砂的常温强度较用有机磺酸者略低, 但高温强度高些。

用磷酸作硬化剂, 最大的缺点是再生砂中残留的磷酸较多, 将导致用再生砂配制的自硬砂的强度下降。目前, 装备有砂再生系统的铸造多采用有机磺酸而不用磷酸。

(2) 有机磺酸 树脂自硬砂用的有机磺酸, 主要是芳香族磺酸, 如苯磺酸、甲苯磺酸、二甲苯磺酸等。咪喃树脂自硬砂的硬化剂, 多为甲苯磺酸。冬季也可用酸度较高的二甲苯磺酸, 其价格略高于甲苯磺酸。

冬季也可用游离硫酸含量超过 10% 的甲苯磺酸, 或自配硫酸乙酯加入有机磺酸中混匀后使用。

(3) 硫酸乙酯 硫酸乙酯是浓硫酸和乙醇作用而制得的, 其反应为:



上述反应, 乙醇与硫酸的摩尔比为 2:1, 质(重)量比为 92:98。考虑到工业酒精中含有 5% 左右的水分,

制配硫酸乙酯时，硫酸和工业酒精可按 1:1 配入。将硫酸于常温下缓慢注入酒精中，即发生酯化反应，并发热。

硫酸乙酯的酸性很强，用其作硬化剂时，自硬砂的硬化过于强烈而难以控制，强度也较低，目前已不单独采用。

有些硬化剂制造厂，为砂温控制条件较差的铸造厂，提供冬季用的有机磺酸，其主要特点是游离硫酸含量高达 10% 以上。值得注意的是，直接往甲苯磺酸水溶液中加入浓硫酸，会因其吸水而使甲苯磺酸沉淀析出，是不可行的。可先配成硫酸乙酯，再按所需的比例加入。

5.2.2.2 呋喃树脂自硬砂的硬化特性

(1) 呋喃树脂自硬砂的强度与硬化剂用量的关系

低氮呋喃树脂、用甲苯磺酸水溶液作硬化剂时，自硬砂的强度与硬化剂加入量的关系大致如图 5-39 所示。

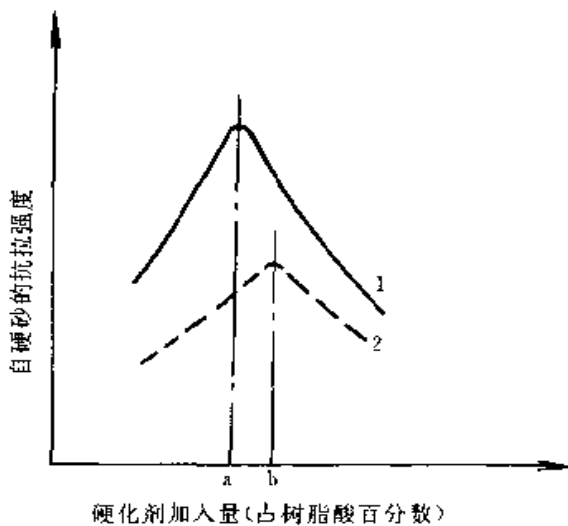


图 5-39 自硬砂的抗拉强度与硬化剂加入量的关系

1—树脂 1.5% 2—树脂 1.0%

硬化剂加入量不足时，其所造成的酸环境不足以使树脂发生完全的交联反应，而且树脂的交联反应要产生水，会使硬化剂稀释，从而限制反应的进行，故自硬砂的强度偏低。起初，自硬砂的强度随硬化剂量的增加而提高。在强度达到峰值以后，继续增加硬化剂量，则强度急剧下降，这是因为交联反应的速率太高，树脂硬化形成的结构不完整，导致粘结膜和粘结桥脆化。

由此可见，用呋喃树脂自硬砂时，必须严格控制硬化剂用量，为追求硬化快而增大硬化剂用量，将导致自硬砂的强度大幅度下降。

不少铸造厂都按自硬砂中树脂加入量的百分数来

计算硬化剂的加入量。由图 5-39 可见，以树脂的百分数来计量硬化剂时，最佳的硬化剂用量会因树脂加入量不同而有所不同；树脂加入量为 1.5% 时，峰值强度所对应的硬化剂加入量 a 约为 27%；树脂加入量为 1% 时， b 值约为 40%。因此，生产中调整树脂加入量时，必须相应地调整硬化剂加入量。

(2) 自硬砂的可使用时间与硬化剂加入量的关系

图 5-40 为自硬砂的可使用时间与硬化剂加入量的关系。

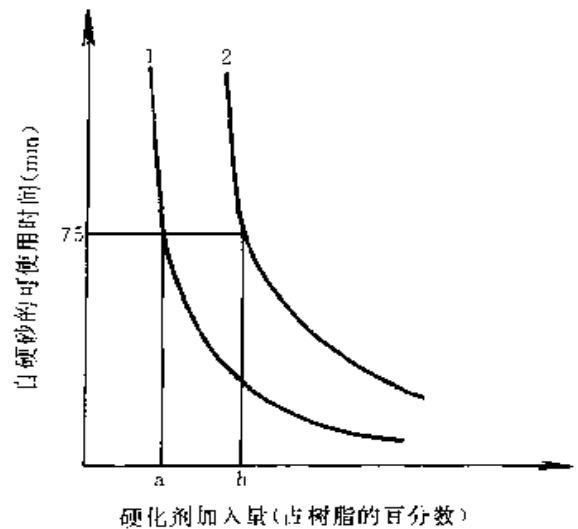


图 5-40 自硬砂的可使用时间与硬化剂加入量的关系（环境温度 20~25℃）
1—树脂 1.5% 2—树脂 1.0%

在 20~25℃ 的环境条件下，按得到强度峰值加入硬化剂（图 5-39），自硬砂的可使用时间长达 75min 左右，脱模时间要 6h 左右。对于实际生产条件，是不可能采取的。如果在低温（<20℃）条件，只借增加硬化剂用量使可使用时间为 10min 左右，脱模时间为 40~50min，自硬砂的实际强度大约只是其峰值强度的 30%~40%。

此种分析，进一步说明了控制砂温的重要性。如将砂温度控制在 25~35℃，硬化剂加入量比峰值强度对应的值多 20%~30%，则自硬砂的强度可以是峰值强度的 80% 左右。

由于树脂和硬化剂的品种繁多，以上只能看作是示性的说明，建议各铸造厂就其采用的树脂和硬化剂进行系列试验，并作出曲线，供现场控制用。

(3) 硬化剂加入量的计量基础 糠醇的缩聚和呋喃树脂的合成，都是在酸性催化剂的作用下进行的。因此，呋喃树脂对酸是很敏感的，只要环境的酸浓度达到一定的值，交联反应就会发生。

不少铸造厂都用树脂量的百分数来计量硬化剂，

这种方式说明硬化剂与树脂的关系，而不能直接反映自硬砂的环境酸浓度。对于呋喃树脂自硬砂，以硬化剂占自硬砂的百分数来计算，可能是比较合适的。

如果我们将图 5-39 和图 5-40 中硬化剂加入量由树脂的百分数换算为其在自硬砂中所占的百分数，则得到图 5-41 和图 5-42。

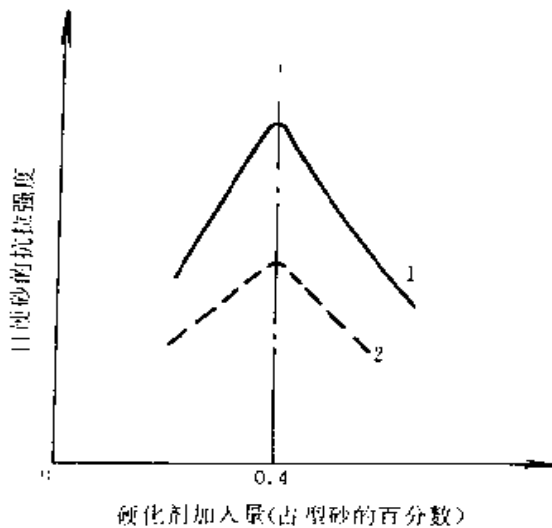


图 5-41 自硬砂的抗拉强度与硬化剂加入量的关系
1—树脂 1.5% 2—树脂 1.0%

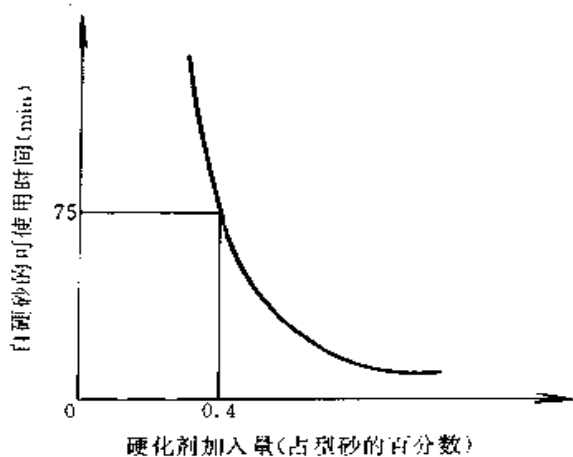


图 5-42 自硬砂的可使用时间与硬化剂加入量的关系 (环境温度 20~25℃)

由图 5-41 可见，不管树脂的加入量为何，与自硬砂峰值强度对应的硬化剂量，都占自硬砂的 0.4% 左右。实际生产中硬化剂加入量一般在此基础上增加 20%~30%，即以在自硬砂中占 0.48%~0.52% 为宜。

由图 5-40 可见，用树脂量的百分数计量硬化剂时，每一树脂加入量都有一条曲线。将硬化剂加入量

换算为占自硬砂的百分数后，只有一条曲线（图 5-42）。这就是说，在常用的树脂加入量范围内，自硬砂的可使用时间只决定于硬化剂用量，与树脂加入量无关。

5.2.3 酸硬化的甲阶酚醛树脂自硬砂

60 年代末，一些工业国家着手研究甲阶酚醛树脂在自硬砂方面的应用。当时，由于用于呋喃树脂自硬砂的磷酸不适应这种树脂，甲阶酚醛树脂自硬砂未能推广应用。后来，随着有机磺酸的应用，甲阶酚醛树脂自硬砂有了较大的发展。目前，在一些工业国家，此种自硬砂多用于生产铸钢件。

酸硬化甲阶酚醛树脂自硬砂的主要优点有：价格比呋喃树脂低 30%~40%，高温强度较好，不含氮等。其主要缺点是：树脂保存期短，浇注时烟气大，硬化剂用量较多等。

5.2.3.1 适用的硬化剂 酸硬化的甲阶酚醛树脂自硬砂，对酸性硬化剂的品种非常敏感，硬化剂选用不当，自硬砂的强度大幅度下降。

适用的硬化剂是游离硫酸含量低的有机磺酸。随着硬化剂中游离硫酸含量的增多，自硬砂的强度急剧下降。一些冬季用于呋喃树脂自硬砂的、游离硫酸含量高的甲苯磺酸，均不能用于甲阶酚醛树脂自硬砂。用磷酸或硫酸乙酯作硬化剂时，自硬砂的强度大约是有有机磺酸时的 1/10。

冬季可采用总酸度高、游离酸量较低的二甲苯磺酸醇溶液。

5.2.3.2 酸硬化甲阶酚醛树脂自硬砂的硬化特性

甲阶酚醛树脂在酸性硬化剂的催化作用下，羟甲基和少量亚甲醚（ $-\text{CH}_2\text{OCH}_2-$ ）与易反应的苯酚环作用，发生缩合反应而成为三维交联结构，并释放水分。

甲阶酚醛树脂自硬砂的硬化剂不参与树脂的硬化反应，只起催化作用，这是与呋喃树脂自硬砂相同之处。但是，这种树脂有两点与呋喃树脂大不相同之处：

1) 树脂是由苯酚和甲醛在碱性催化剂作用下缩合而成的，出厂前用酸将碱性催化剂中和并使其呈弱酸性。因此，树脂对酸性硬化剂不如呋喃树脂那样敏感，在酸浓度相当高时才发生交联反应。

2) 此种树脂的含水量很高，一般都在 15% 左右或更高一些。发生交联反应时，除树脂本身缩合产生水外，还要释放很多原与树脂互溶的水。这些水将使硬化剂稀释，自硬砂中树脂加入量越多，此种稀释作用就越强。

因此，这种自硬砂的硬化特性与呋喃树脂自硬砂

有显著的差别。

(1) 自硬砂的强度与硬化剂用量的关系 自硬砂中的树脂加入量增加, 自硬砂硬化时对硬化剂的稀释作用增加, 因而不得不增加硬化剂的加入量。所以, 对于甲阶酚醛树脂自硬砂, 硬化剂的加入量以其占树脂的百分数计算较为适宜。

自硬砂的强度与硬化剂加入量的关系见图 5-43。在硬化剂加入量为树脂的 60% 左右时, 自硬砂的强度达最高值。此后, 继续增加硬化剂量, 直到其为树脂量的 120%, 自硬砂的强度保持其最高值不变, 既不见增高, 也不下降。在春、夏、秋、冬不同环境条件下, 均有相同的特性。

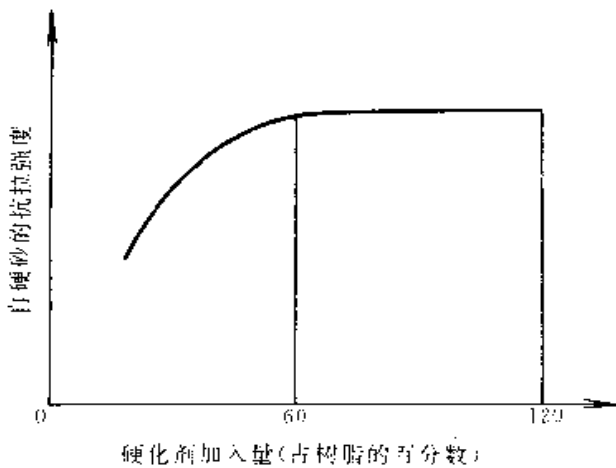


图 5-43 自硬砂的抗拉强度与硬化剂加入量的关系

实际生产中, 硬化剂的加入量以 55% ~ 60% 为宜。要求加速硬化时, 可增加硬化剂用量, 不必担心其影响强度。但要注意, 硬化剂过多, 将导致自硬砂的发气量增大, 浇注后有机磷酸热解而产生的含硫气体也增多。

(2) 自硬砂的可使用时间与硬化剂加入量的关系 在环境温度为 27~28℃、相对湿度为 50%~70% 的条件下, 自硬砂的可使用时间与硬化剂加入量的关系见图 5-44。

用甲苯磺酸 75% 水溶液作硬化剂, 不管树脂加入量如何, 只要硬化剂占树脂的百分数相同, 自硬砂的可使用时间都大致相同。也就是说, 就不同的树脂加入量, 分别求出可使用时间与硬化剂加入量的关系。如硬化剂加入量以其占树脂的百分数表示, 则所得的曲线重合, 即图 5-44 中的曲线。

环境温度为 20℃ 左右时, 可使用时间比图 5-44 所示者长些。环境温度低于 10℃, 树脂自硬砂的终强度变化不大, 但硬化极为缓慢, 即使硬化剂增到树

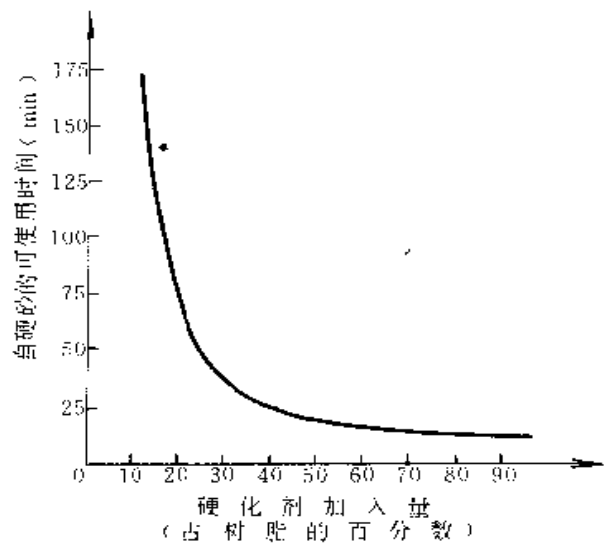


图 5-44 自硬砂的可使用时间与硬化剂加入量的关系
温度 27~28℃, 相对湿度 50%~70%

脂的 150%, 可使用时间仍在 140min 左右, 铸型经一星期仍不能硬透。

所以, 控制砂温是非常重要的工艺环节, 采用高酸度的二甲苯磺酸, 只能作为补充措施。

5.2.4 酯硬化的甲阶酚醛树脂自硬砂

这种自硬工艺是英国 Bordon 公司开发的, 也称为 α -set 工艺, 于 1981 年获得专利, 1984 年开始被广泛采用。

5.2.4.1 树脂的特点 所用的树脂是在酸硬化甲阶酚醛树脂的基础上研制的, 据报道此种树脂供应状态的 pH 值为 11~13.5, 故有人称之为碱性酚醛树脂。

树脂的闪点低、易燃, 由此可见其中水分很低, 这是其与酸硬化酚醛树脂的重要差别。

树脂的外观为暗红色粘稠液体。粘度: 150~160mPa·s, 闪点 65℃ 以上。

含氮量: 0, 游离甲醛含量: <0.5%,

游离酚: <5%,

密度: ~1.29g/cm³。

此种树脂的缺点是保存期短, 20℃ 以下可存放 6 个月, 30℃ 下为 2~3 个月。

5.2.4.2 硬化剂和硬化特性 此种树脂自硬砂的硬化剂为有机酯。多种低级有机酯均可作硬化剂, 可视对硬化速率的要求选用。

酯在树脂所致的碱性环境中, 与水作用生成醇和酸, 因而有两方面的硬化作用。

1) 从自硬砂系统中吸取水, 可脱除树脂中的水

分和树脂交联反应产生的水，促进交联反应的进行。

2) 酸起硬化作用，类似于酸硬化的树脂自硬砂。硬化剂用量大约是树脂的 15%~20%。

此种树脂在硬化剂的作用下只发生部分交联反应，自硬砂硬化后仍有一定的热塑性，浇注金属后，还有一个因受热而完成交联反应的过程。这也是其与酸硬化自硬砂的不同之处。

因此，用此工艺制得的铸型或芯子，硬化后的强度并不很高，浇注后还有提高强度的过程。制得的铸件尺寸精度高，表面品质（质量）好、不易产生脉状纹缺陷。

5.2.5 尿烷树脂自硬砂

适用于钢、铁铸件的酚醛尿烷树脂自硬砂于 1970 年开始使用，70 年代末又有了铝合金铸件用的多元醇尿烷树脂自硬砂。

5.2.5.1 树脂的特点 尿烷树脂由两个组分构成，两者在没有硬化剂作用的条件下，也会缓慢地反应，故只能分装供应，不可混合。

为便于生产中使用时，树脂生产厂通常都由加于溶剂，调配两组分中的有效成分，使两者的加入量相同，即 50:50。

第一组分含羟基（OH），不含氮。

第二组分为聚异氰酸酯，含异氰酸基（NCO）。第二组分中含氮 6.0%~7.6%。聚异氰酸酯容易与含羟基的物质反应，醇和水中都含有羟基，故不可用醇作溶剂，也不能与水接触。

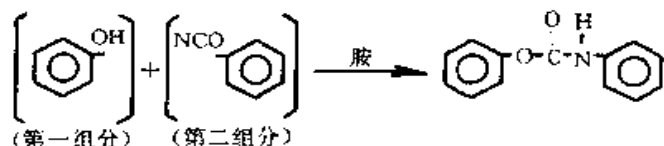
两组分一般都等量加入，故树脂体系中的含氮量为 3.0%~3.8%，用于铸钢及铸铁都不会有问题。如希望树脂体系中的含氮量再低一些，可略为增加第一组分的加入量，使第一组分与第二组分之比为 55:45 或 60:40，但不能差得太多。

树脂的总加入量（两组分之和），为砂量的 1%~2%。

5.2.5.2 硬化剂及硬化特性

尿烷树脂自硬砂的硬化剂为胺类。在胺的催化作用下，羟基和异氰酸基发生尿烷反应。反应完成后，

主链上有重复的 $-\text{NH}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-$ 基，也称为聚氨酯树脂或聚氨基甲酸酯树脂，聚合反应如下：



硬化剂不参与树脂的硬化反应，只起催化作用。

由于硬化剂加入量很少，直接加入砂中时不易准确定量，在混砂过程中也难以均匀弥散，而且，树脂本身有两组分，加上硬化剂，共 3 组分，现场添加诸多不便。因此，硬化剂通常均由树脂生产厂加在第一组分中。这样，第一组分中也就含有少量的氮。

呋喃树脂和甲阶酚醛树脂的硬化都是缩合反应，反应时产生水，如不能及时脱除水分，则影响反应的进行，故硬化性能都不理想。尿烷树脂硬化是聚合反应，反应过程中不产生水，因而，铸型或芯子的表面和内部几乎是同时硬化，基本上不受形状或厚薄的制约。

5.3 吹气（雾）硬化的工艺

吹气（雾）硬化的工艺，是在热芯盒工艺的基础上，为克服其需要加热芯盒的缺点而发展起来的。

将树脂砂吹射或吞实于芯盒后，导入硬化气或经雾化的液态硬化剂，即使使芯子硬化。由于不必将芯盒预热，故早期称之为冷芯盒工艺，并一直沿用至今。阿什兰公司开发的吹胺蒸汽硬化的尿烷树脂砂制芯工艺，首先采用了“冷芯盒”这一名称。现在凡说到“冷芯盒”工艺而无其它说明者，都是指吹胺硬化的工艺。实际上，这种工艺也可以用于制造铸型，现场也不乏用例，故我们称之为吹气（雾）硬化工艺。

用本工艺，树脂砂硬化很快。如果说用热芯盒工艺制芯的周期以分计，采用吹气（雾）硬化工艺则以秒计。

5.3.1 尿烷冷芯盒工艺

尿烷冷芯盒工艺于 1968 年由阿什兰公司在美国展出，是最早出现的吹气（雾）硬化工艺。

5.3.1.1 树脂 树脂共有两个组分。

第一组分含羟基，主要组成是聚苯醚酚醛树脂或多元醇。与尿烷树脂自硬工艺不同之处是其中不加入硬化剂。

第二组分为聚异氰酸酯，与自硬工艺所用者基本相同。

5.3.1.2 硬化剂 本工艺所用的硬化剂为易挥发的三乙胺或二甲基乙胺，两者在常温下都是液体，需用蒸发器使其成为蒸汽，然后再将其与载体气体混合，作为硬化气。

最早曾用空气为载体，因受混合气易爆的限制，胺的质量分数最高只能是 2%。这样的硬化气作用缓慢，现已很少采用。用二甲基乙胺时，尤不宜用空气为载体。

目前多用 CO_2 或氮作为载体，这样，硬化气中胺的质量分数可高达 10% 以上，从而可加速芯子的

硬化，缩短生产周期。

硬化气的输送管道应有热水伴随，以防止胶冷凝。

常用的制备硬化气的方法有两种：

(1) 吹泡法 直接向胶液中吹入载体气，使胶激烈搅拌而气化。此法设备简单，缺点是硬化气中胶浓度的控制比较困难。用 CO₂ 或氮作载体时，多采用吹泡法。

图 5-45 是吹泡法的一例。为控制胶的蒸发，装有加热器 1 和热交换器 2，以便保持气化罐 3 内的温度恒定，从而使硬化气中的胶浓度稳定。

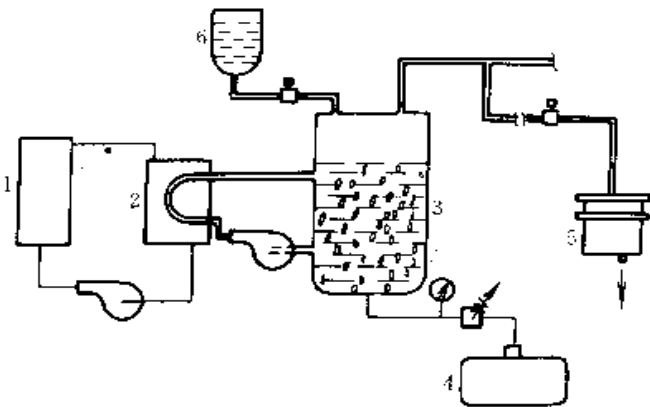


图 5-45 吹泡汽化系统示意图

- 1—加热器 2—热交换器
- 3—汽化罐 4—载体气贮罐
- 5—芯盒或铸型 6—胶贮罐

(2) 喷雾法 使胶在氮气的压力作用下喷出并雾化于经脱湿的压缩空气管道中，然后送到芯盒或铸型。胶的雾化和定量可有多种方案，图 5-46 是比较简单的一种。

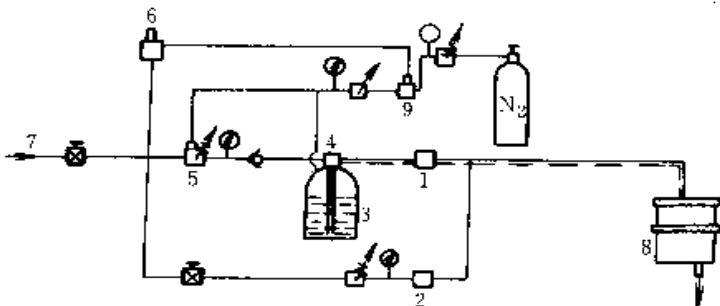


图 5-46 用喷雾法的硬化气系统

- 1, 2—电磁阀 3—胶贮罐
- 4—喷嘴 5—压力控制阀
- 6, 9—阀 7—压缩空气源
- 8—芯盒或铸型

芯盒或铸型填砂后，电磁阀 1 开启，胶贮罐 3 中的胶在氮的压力下，经喷嘴 4 雾化于压缩空气管道中。喷嘴 4 只在管道中有压缩空气时才能动作。吹气終了时，电磁阀 1 关闭，电磁阀 2 开启，将压缩空气导入芯盒或铸型，清扫剩余的硬化气。压缩空气管道中装有受氮源压力控制的阀 5，氮气压力不够时，即切断压缩空气的供应。压缩空气系统中的压力下降时，阀 6 动作，使阀 9 关闭切断氮源。

5.3.1.3 硬化气尾气的处理

胶是有毒的，含胶的尾气必须经处理后才能排放。胶是碱性的，而且是易燃的，故可用酸吸收法或燃烧法除去尾气中的胶。用酸吸收法时，采用图 5-47 所示的洗涤塔。自芯盒排出的尾气从下方进入洗涤塔，在向上方流动的途中，经 2~3 层由塑料块构成的阻尼层，使气流分散且路径曲折。从洗涤塔的上方喷淋 8%~10% 的稀硫酸液，也通过阻尼层。这样，尾气中的胶可充分地和酸作用，自塔顶排出的废气中胶浓度很低，可直接向大气中排放。

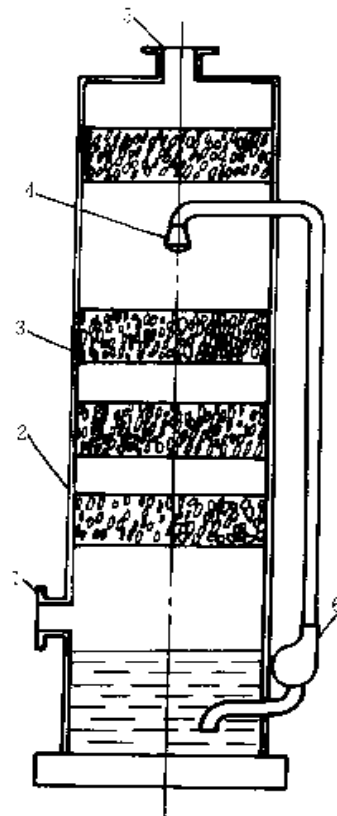


图 5-47 尾气洗涤塔原理图

- 1—尾气进口 2—塔体 3—阻尼层 4—喷头
- 5—排液口 6—泵（耐酸）

5.3.2 呋喃树脂吹 SO₂ 硬化的工艺

1. 树脂及其硬化 最初用于本工艺的树脂为高

糠醇呋喃树脂,其中糠醇均经聚合,糠醇单体含量很少,这种树脂的价格很贵。实际上,各种用于酸硬化自硬工艺的呋喃树脂都可以用于本工艺。

混砂时,除砂和树脂外,还需加入过氧化物。制成铸型或型芯后,吹 SO_2 。 SO_2 和过氧化物中的活性 $[\text{O}]$ 结合成 SO_3 , SO_3 与树脂中的水分作用生成硫酸。这样产生的硫酸弥散程度很高,使各处树脂迅速发生交联反应而硬化。

铸型或型芯的硬化也只需几秒钟。

2. 过氧化物 双氧水是最常用的过氧化物,其价格低廉,各地都有供应。但是,双氧水用于本工艺效果不佳,其原因有二:一是双氧水在型砂中很快就会分解、失效;二是工业双氧水一般含 H_2O_2 30%,用双氧水将向型砂带进很多水分,会使型砂强度显著降低。

用有机过氧化物,效果比用双氧水好得多。目前都认为过氧化甲乙酮 (MEKP) 比较好。MEKP 的制法是:先将甲乙酮溶于苯二甲酸二甲酯或苯二甲酸二丁酯,再加入双氧水将甲乙酮氧化,然后分离脱水,最后用苯二甲酸二甲酯或苯二甲酸二丁酯萃取,得到有效 $[\text{O}]$ 含量为 10% 左右的钝化液。MEKP 是易爆物,为安全起见,有效 $[\text{O}]$ 含量不能再高。即使如此,在存贮、运输时均应采用相应的安全措施。

用 MEKP 的树脂砂,可使用时间不低于 24h,这是本工艺的一项重要优点。

过氧化环己酮或其它有机过氧化物也可以使用,但试验证明,其效果均优于双氧水而不及 MEKP。

3. 硬化气 本工艺所用的硬化气是 SO_2 。 SO_2 在常温下为无色不可燃气体,具有强烈的刺激性气味,大气中含 SO_2 量为 1×10^{-5} ,即可感受到。

SO_2 在加压条件下易于液化,其蒸气压与温度的关系见图 5-48。一般都以液态供应,在 40°C 以下,容器内的相对压力不高于 0.55MPa,是比较安全的。

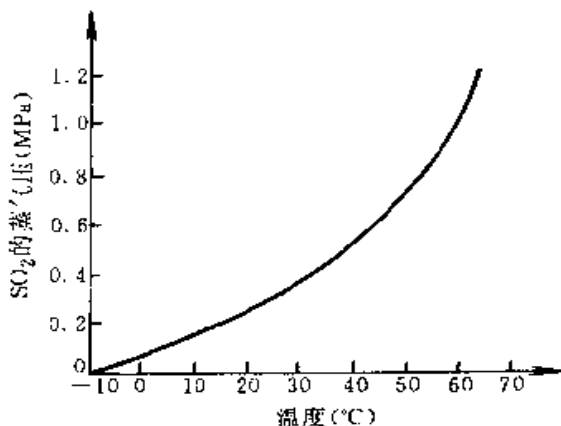


图 5-48 SO_2 的蒸气压与温度的关系

吹 SO_2 时,硬化气的压力应足以克服管路系统及型砂的阻力,一般可控制在 150~200kPa 之间。使用液态 SO_2 时,可采用图 5-49 所示的蒸发罐。其底部装有可控的电热元件,以保证有足够的蒸发量并建立所需的压力。

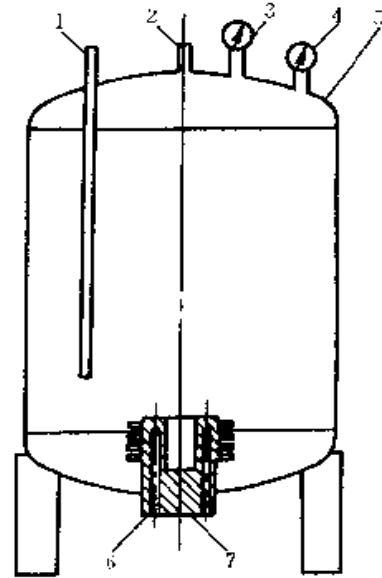


图 5-49 SO_2 蒸发罐示意图

- 1—接 SO_2 贮罐的接头 2— SO_2 气出口
3—压力表 4—温度显示及控制 5—罐体
6—电热元件插入口 7—散热器

吹向型砂的 SO_2 , 是与 MEKP 所带入的 $[\text{O}]$ 反应而起作用的。吹气不足,则树脂砂硬化不充分。 $[\text{O}]$ 耗净后,过量的 SO_2 也没有作用,只是浪费 SO_2 并增加净化的负担而已。

吹 SO_2 后,应吹压缩空气清扫管道中及砂粒间残留的 SO_2 。如将清扫空气稍稍加热,将有助于树脂砂的进一步硬化。

4. 尾气的处理 本工艺产生的尾气中含有 SO_2 , 需经洗涤塔处理后才能排放。 SO_2 是酸性的,所用的洗涤液浓度为 10% 左右的 NaOH 溶液。洗涤塔见图 5-49。 SO_2 和 NaOH 作用后有亚硫酸钠生成,故废洗涤液需用双氧水予以氧化,得到生化需氧量为零的硫酸钠后才可排放。

5.3.3 环氧树脂吹 SO_2 硬化的工艺

本工艺所用的树脂由两组分构成,第一组分是加有有机过酸类的改性环氧树脂,第二组分为含丙烯酸改性剂的环氧树脂。第一组分与第二组分之比为 6:4,树脂总加入量为砂的 0.8%~1.5%。

用 SO_2 为硬化气。尾气的处理与呋喃树脂吹 SO_2 硬化工艺相同。

5.3.4 酚醛树脂酯硬化工艺 (β -set)

本工艺是在酯硬化酚醛树脂自硬工艺的基础上形成的,用经气化的酯作硬化剂。其主要特点是吹气硬化时所排出的尾气不必处理,可通过烟囱向室外大气中排放。

所用的树脂与酯硬化甲阶酚醛树脂自硬工艺所用者基本相同。

硬化剂是易挥发的甲酸甲酯,其物理性质如下:

自燃点: 449℃;

标准气压下的沸点: 32℃;

在空气中的爆炸极限(体积比):

上限 23%, 下限 5.0%;

闪点: -18.9℃。

在蒸发器中将甲酸甲酯加热,使之气化,然后与载体气混合作为硬化气。载体气一般可用空气,但由于经气化的酯与空气混合后有爆炸的危险,应特别注意。用氮或 CO_2 作载体比较安全。

甲酸甲酯的用量,理论上为树脂的 15% 左右,实际用量当在 20% 以上。

为缩短吹硬时间,硬化气中酯的含量应较高。用空气作载体时,尤应超过爆炸极限的上限,以 50% (体积) 左右为合适。硬化气中气化酯含量高时,酯容易冷凝,硬化管道应有热水伴随。

甲酸甲酯在大气中的允许体积分数(浓度)为 100×10^{-6} , 尾气可不经处理。

5.3.5 自由基硬化的冷芯盒工艺

到目前为止,本工艺仍是各种吹气(雾)硬化工艺中硬化最快的一种。本工艺既非酸硬化也非碱硬化,而是自由基引发的交联反应,故原砂的 pH 值和需酸量并无明显的影响,可适用于碱性原砂。

(1) 树脂 所用的树脂为多种含碳—碳双键的乙烯基不饱和聚酯树脂的混合物,粘度很低,密度略高于水 ($1.06\text{g}/\text{cm}^3$)。

(2) 引发剂 引发剂为过酸类,在 SO_2 的作用下分解成自由基,使不饱和的树脂发生交联反应。

(3) 硬化气 硬化气为 SO_2 和氮的混合气,其中 SO_2 的体积分数(浓度)为 1%~5% 即可。 SO_2 的作用是使过酸类分解为自由基。

每吨树脂砂约耗用 SO_2 0.25~0.5kg。

5.3.6 聚丙烯酸钠吹 CO_2 硬化工艺

本工艺以聚丙烯酸钠为粘结剂,用消石灰 [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] 为促硬剂,制成铸型或型芯后吹 CO_2 硬化。这是英国铸铁研究学会 (BCIRA) 和英国工业砂公司 (BIS) 合作研制的新工艺,也称为 Polidox 工艺。其最大的优点是对环境无害,体系中无苯酚、

苯、甲醛、氰酸盐、硫、胺等物质,在有机粘结剂体系中是前所未有的。

目前对其硬化的机制还不太清楚,大体上可说:吹 CO_2 时,可溶性聚丙烯酸钠中的钠离子被二价的钙离子取代,使聚丙烯酸链发生交联,形成不溶的聚丙烯酸钙。

(1) 型砂的制备 型砂中聚丙烯酸钠加入量为 2.5%~3.5%,消石灰粉加入量为 1.2%~1.5%。

混砂时先将砂和聚丙烯酸钠混匀,然后加消石灰粉,混匀后立即出砂。混好的型砂应盖好,避免空气中的 CO_2 与型砂作用,可使用时间为数小时。

(2) 吹 CO_2 需吹入 CO_2 的量,大致是型砂的 1%,吹气要点与水玻璃砂相同,但无过吹问题。

吹 CO_2 后,型砂即有一定的强度。此后,在较干燥的条件下放置,未反应的聚丙烯酸钠和聚丙烯酸脱水使型砂强度提高。型砂吹 CO_2 后的强度,及其在放置过程中的变化,见表 5-73。

表 5-73 聚丙烯酸钠砂吹 CO_2 硬化后强度的变化

| 条 件 | 型砂的强度 (MPa) | |
|-------------------|-------------|---------|
| 吹 CO_2 后 | 抗压强度 | 0.8~1.0 |
| 放置 4h 后 | 抗压强度 | 约 2.4 |
| 放置 24h 后 | 抗拉强度 | 0.7~1.0 |
| | 抗压强度 | 4~7 |

6 其它型砂和芯砂

6.1 水泥粘结砂

水泥加水后即具有可塑性,经水化反应生成水化物而硬化。用水泥作粘结剂的型砂,也是自硬砂的一种,其硬化剂是水。

6.1.1 普通硅酸盐水泥粘结砂

采用普通硅酸盐水泥作型砂粘结剂时,应尽量选用高标号水泥,400 号以下的一般不用。型砂中水泥加入量为 8%~12%,可根据型砂的强度要求和水泥的标号确定。

型砂中需加入的水量,决定于水泥加入量,通常控制水灰比(水与水泥的质(重)量比)为 0.75~1.0。

硅酸盐水泥粘结砂中常加入糖浆,以改善型砂的性能。糖浆在水泥砂中有几种作用:促使水泥早凝早硬;改善造型性能;改善水泥颗粒的分散状况,从而

可使水灰比降到 0.5 左右。

硅酸盐水泥的耐火度较低, 而且在高温下体积收缩和强度下降较为明显, 故主要用于制造铸铁件和有色合金铸件。几种常用的硅酸盐水泥砂, 见表 5-74。

表 5-74 几种硅酸盐水泥砂

| 序号 | 型砂的组成 (%) | | | | | | |
|----|-----------|-----|-----|---|-----|------|-----|
| | 原砂 | 水泥 | 膨润土 | 水 | 糖浆 | 氧化铁粉 | 焦炭粉 |
| 1 | 85 | 7 | 1 | 7 | | | |
| 2 | 80 | 9.5 | 2 | 8 | 0.5 | | |
| 3 | 86.5 | 7 | | 3 | 3.5 | | |
| 4 | 74 | 9 | 2.5 | 9 | 0.5 | | 5 |
| 5 | 82 | 9 | | 7 | | 2 | |

注: 表列的配比供参考, 应根据具体情况适当调整。

6.1.2 矾土水泥砂

矾土水泥中 Al_2O_3 和 CaO 的含量高, 耐火度较硅酸盐水泥高, 高温下强度的下降较少, 可用于配制铸钢件用的型砂和型壳。

矾土水泥水化所需的水量较多, 水灰比一般宜为 0.9~1.2。为解决加水量多、型砂硬化后残留水分高影响铸件品质(质量)的问题, 可采用阴离子型减水剂, 使水灰比降到 0.75~0.5。加入糖浆, 也可相应减少加水量。

矾土水泥砂的硬化较慢, 脱模时间长, 有时需加入促凝剂。

几种矾土水泥砂的组成, 见表 5-75。

表 5-75 几种矾土水泥砂组成

| 序号 | 型砂的组成 ^① (%) | | | | |
|----|------------------------|------|-----|-----|------------------|
| | 原砂 | 矾土水泥 | 水 | 糖浆 | 亚甲基双萘磺酸钠 |
| 1 | 84 | 8.5 | 7.5 | | |
| 2 | 84 | 8.5 | 6 | 2.5 | 0.1 ^② |
| 3 | 86 | 7 | 7 | | |

① 表列的配比, 应根据具体情况调整。

② 型砂各组分之外, 加入量为型砂总量的 0.1%。

6.1.3 双快水泥砂

双快水泥是快凝快硬水泥的简称。普通硅酸盐水泥水化后需经 2~8h 才能凝结, 双快水泥则只需 2~30min; 普通水泥需经 28 天才能达到其最终强度, 双快水泥只需 8~24h。

双快水泥, 按其熟料的矿物组成, 可分为硅酸盐类、氟铝酸钙类和硫铝酸钙类三种。这一种双快水泥国内都能生产, 且都在铸造生产中用过, 作为型砂粘结剂, 应用最多的是硅酸盐双快水泥。

表 5-76 为几种双快水泥砂。

表 5-76 几种双快水泥砂

| 序号 | 型砂的组成 (%) | | | | |
|----|-----------|------|-----|------------------------|------------------------|
| | 原砂 | 双快水泥 | 水 | 缓凝剂硼酸 | 阴离子表面活性剂 ^① |
| 1 | 87 | 7 | 6 | 0.01~0.03 ^② | 0.1~0.2 ^② |
| 2 | 84 | 7.5 | 8.5 | | 0.01~0.02 ^② |
| 3 | 86 | 7 | 7 | | |
| 4 | 85 | 7 | 8 | 0.02~0.05 ^② | |

① 亚甲基双萘磺酸钠 (NNO), 即减水剂。

② 型砂总量的外加值。

6.1.4 聚乙烯醇—水泥砂

同时用聚乙烯醇的水溶液和硅酸盐水泥作型砂的粘剂, 可使型砂有较高的强度和较好的溃散性。

型砂配制后, 水泥即逐渐吸收聚乙烯醇水溶液中的水, 使其变稠, 从而使型砂具有强度。水泥水化后, 也逐渐硬化而进一步提高了强度。

聚乙烯醇因其聚合度和醇解度不同而有多种牌号, 其性能也不相同, 有的能溶于热水, 有的在水中只能溶胀。铸造粘剂用的聚乙烯醇, 以牌号为 PVA17-88 的为宜, 此种聚乙烯醇的聚合度为 1700, 醇解度为 88%, 可溶于热水。

配制型砂时, 先将聚乙烯醇在不断搅拌的情况下溶于 70℃ 左右的热水, 聚乙烯醇在溶液中占 15%, 冷却后待用。

型砂的配比如下:

原砂 100%;

外加聚乙烯醇水溶液 5.5%~6.5%;

硅酸盐水泥 3%~5%。

先将原砂和聚乙烯醇溶液混匀, 然后加入水泥再混至其充分分散为止。

6.1.5 水泥砂中的附加剂

水泥砂中常用的附加剂品种很多。冬季硬化缓慢时, 需加入促凝剂。夏季用双快水泥, 有时硬化太快, 就需加入缓凝剂以减缓其硬化过程。加入减水剂, 可降低水灰比, 减少型砂中的水分, 可减少水化反应所需的时间, 并提高型砂的强度。常用的附加

剂，见表 5-77。

表 5-77 水泥砂中常用的附加剂

| 附加剂种类 | 名称 | 加入量 (占水泥的百分数) |
|-------|----------------|------------------------------|
| 促凝剂 | 氯化钙 | 加入 0.4% 以上，即有促凝作用，加入量增多，作用增强 |
| | 铝酸钠 | 加入 1.4%~1.6% 时，水泥硬化最快 |
| | 以铝氧熟料为主的复合促凝剂 | 1%~1.5% |
| 缓凝剂 | 三乙醇胺 | 0.01%~0.05% |
| | 硼酸、磷酸钠 | 加入量在 0.006% 以下，过多会使水泥不硬化 |
| | 柠檬酸 | 0.0015% 以下 |
| | 氯化钙 | 0.4% 以下起缓凝作用 |
| 减水剂 | 亚甲基双萘磺酸钠 (NNO) | 0.025% 以下 |
| | 木素磺酸钙 | |

6.2 油砂

在树脂砂推广应用以前，油砂是主要的制芯材料。目前，尽管大量生产的铸造厂普遍采用热芯盒、冷芯盒工艺制芯，油砂仍是生产中采用甚广的芯砂。

油砂中主要有植物油砂、含脂砂和渣油砂等三种，其它品种用量很少。

油砂中一般都加有 2%~3% 的水分，其作用有

表 5-78 几种常用的植物油砂配方及强度

| 序号 | 油砂配比 (以原砂为 100%，其它另加) (%) | | | | | | | 湿抗压强度 ≥ (kPa) | 干抗拉强度 ≥ (MPa) |
|----|---------------------------|------------|----|------|-----|---------|----------------|------------------|------------------|
| | 原砂 (经水洗) | 亚麻油或 桐油 | 糊精 | 纸浆废液 | 膨润土 | 200 号汽油 | 水 ^① | | |
| 1 | 100 | 2.5 | 1 | | | | 2 | 10 | 1.5 |
| 2 | 100 | 2.5 | | 1.5 | 1 | | 2 | 15 | 1.5 |
| 3 | 100 | 2.5 | | | | 0.25 | | 3.5 | 3.0 |
| 4 | 100 | 1.6 | 1 | | 0.7 | | 1.5 | 21 | 1.1 |

① 混砂时加入的水量，不包括纸浆废液带人的水分。

6.2.2 合脂砂

合脂是经稀释的合成脂肪酸残渣，并经煤油稀释，其中有效的粘结成分约 50%，故其用量比植物油多。

由于合脂的粘度比植物油高，合脂砂的流动性较

差；一是和糊精、膨润土等配合使用，使油砂具有脱模所需的强度；二是在烘干过程中有保护芯子的作用，在烘炉温度不均匀的情况下，芯子不致产生局部过烧。

油砂混制时的加料顺序对烘干后的强度有颇大的影响，应予以注意。合理的顺序是：

原砂 + 油 $\xrightarrow{\text{混匀}}$ 加水 $\xrightarrow{\text{混匀}}$ 加糊精或粘土 $\xrightarrow{\text{混匀}}$ 出砂

不少资料介绍先加水、后加油的混砂顺序，实际是不合理的，且已为实验所证明。用先水后油的方式混砂，水处于油膜和砂粒之间，烘干时水分的蒸发将使油膜破坏，导致烘干后的强度下降。先加油混匀后再加水及其它附加物，水及其它附加物处于带油膜的砂粒之间，赋予油砂以湿强度，烘干时不损坏油膜，油砂烘干后的强度较高。

上述加料顺序，对含水分的各种油砂都是适用的。

6.2.1 植物油砂

用作粘结剂的植物油，以亚麻油和桐油为最好，两者都是含不饱和脂肪酸的油类，也称为干性油。

植物油加热硬化的反应，是氧化聚合反应。加热时，油中不饱和烃基中的碳原子间的双键被打开，空气中的氧进入双键部分与碳原子结合成过氧化物。此种过氧化物不稳定，易与含双键的其它分子聚合成为网状高分子化合物，成为坚韧的固体。所以烘干时，充分地通风，不断补充氧气，是十分重要的。

几种油砂的配方及其强度，见表 5-78。油砂的烘干温度以 200~220℃ 为宜。

差，制造复杂的芯子时应注意春实。

合脂砂有一值得注意的问题，即芯子在常温放置过程中和烘干的初期易产生蠕变。其原因有二：一是芯砂流动性较差，制芯时较难春实，芯子的紧实度较低，加上烘干前湿强度低，所以芯子在放置过程中会

因其自身重力作用而变形；二是烘干初期，在未达到硬化温度前，随着温度的升高，合脂的粘度急剧下降，砂粒间产生滑动而致芯子变形。所以，合脂砂中一般都加入膨润土和/或糊精，以改善湿强度。

合脂砂芯的烘干温度宜略高于植物油砂，以 200~240℃ 为宜。烘干时应注意排出的炉气，否则，稀释剂挥发后与空气混合，有发生爆炸的危险。

常用的几种合脂砂，见表 5-79。

表 5-79 几种常用的合脂砂

| 序号 | 合脂砂的配比 (以原砂为 100%，其它另加) (%) | | | | | | 湿抗压强度 ≥ (kPa) | 干抗拉强度 ≥ (MPa) |
|----|-----------------------------|-----|-----|------|-----|----------------|------------------|------------------|
| | 原砂 | 合脂 | 糊精 | 纸浆废液 | 膨润土 | 水 ^① | | |
| 1 | 100 | 3.4 | 1.5 | | 1.5 | 3.0 | 10 | 1.3 |
| 2 | 100 | 4.0 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 2.5 | 14 | 1.2 |
| 3 | 100 | 4.0 | 2.0 | | 3.0 | 3.5 | 25 | 1.0 |
| 4 | 100 | 4.0 | | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 25 | 0.8 |

① 混砂时加入的水量，不包括纸浆废液带人的水分。

6.2.3 渣油砂

渣油砂的流动性和植物油砂相近，且其湿态抗压强度较高，芯子的蠕变很少。

采用 S76 型渣油粘结剂的几种芯砂的配比和强度，见表 5-80。渣油砂的烘干温度为 210~260℃ 或 220~270℃。

表 5-80 几种常用的渣油砂

| 序号 | 渣油砂的配比 (以原砂为 100%，其它另加) (%) | | | | | 湿抗压强度 ≥ (kPa) | 干抗拉强度 ≥ (MPa) |
|----|-----------------------------|-----------|-----|-----|-----|------------------|------------------|
| | 原砂 | S76 渣油粘结剂 | 糊精 | 膨润土 | 水 | | |
| 1 | 100 | 6.5 | 2.5 | | 2.0 | 18 | 1.0 |
| 2 | 100 | 5.5 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 26 | 0.6 |
| 3 | 100 | 6.5 | 1.5 | 2.0 | 3.0 | 22 | 1.1 |
| 4 | 100 | 7.5 | 2.5 | | 2.5 | 20 | 1.9 |

也有些铸造厂用不经稀释的渣油制芯，其做法是：将原砂和渣油分别加热到 60℃ 左右，然后混砂、制芯，再经烘干。

6.2.4 油尿烷 (LINO-CURE) 粘结砂

油尿烷粘结砂的脱模性能极佳，作业非常方便，主要用于制芯，有时也用于造型，一些工业国家采用颇广。

油尿烷粘结剂由三个组分构成。

第一组分为混合醇酸，其中含有能形成氢键的羧基和羟基。由于醇酸是组成油脂的主要成分，所以称此种粘结剂为油尿烷。配砂时，第一组分的用量为 1%~2%，通常加 1.5%。

第二组分为不含铅的金属催化剂，其用量依所需的脱模时间而定，一般是第一组分的 5%。此种催化剂可促使第一组分中的羟基和聚异氰酸酯发生尿烷反应，但作用比胺弱。

为便于铸造厂的作业，粘结剂制造厂都将第二组

分预先加入第一组分中，并按加入量分为若干牌号，可按所需的脱模时间选用。

第三组分为聚异氰酯，其用量为第一组分的 18%~20%。

由于第二组分已预混于第一组分中，对铸造厂的作业而言，实际上是两个组分。

用油尿烷粘结砂制成的芯子或铸型，其硬化可分三个阶段。

第一阶段 醇酸中的羟基和聚异氰酸酯发生尿烷反应，此种交联反应可使芯子或铸型具有脱模所需的强度。

第二阶段 芯子或铸型脱模后与空气中的氧作用，醇酸中的不饱和双键发生交联反应，型砂的强度进一步提高。

第三阶段 将芯子或铸型置于 150℃ 左右的烘炉中，加热 1h 左右，可得到最高强度。

7 铸造涂料

铸造涂料是涂覆于铸型或芯子表面上的涂料，是改善铸件表面品质（质量）的重要手段之一。

从40年代中期开始，科学技术和工业生产迅速发展，铸造生产中新工艺、新材料不断推出，使用了几千年的、适合粘土砂干型的传统涂料已不能适应新的生产条件。

在50年代广泛研制各种专用涂料的基础上，逐渐形成了新的铸造涂料体系，其主要特点如下：

1) 将流变学和胶体化学等新学科的理论用于涂料的研究，对涂料的认识不断深化。

2) 涂料的组成中采用各种新材料，包括耐火材料、粘结剂、悬浮稳定剂、表面活性剂等方面。

3) 涂料的制备逐步由简单的搅拌转到采用化工产品生产的工艺，除提供直接使用的涂料外，还可根据用户的要求制成膏剂或粉剂。

由这些特点看来，铸造厂自行制备新型涂料是不可取的，当前的趋向是采用专业制造厂供给的商品涂料。专业制造厂可不断吸收各方面的新成果来改进涂料，可以为有特殊要求的铸造厂研制其适用的专用涂料，还可为铸造厂提供技术服务、协助其正确使用涂

料。

7.1 铸造涂料所用的原材料

铸造涂料中所用的原材料品种繁多，而且还会在材料工业发展的基础上不断增补，此处只扼要地介绍一些基本情况。

7.1.1 耐火骨料

骨料是涂料中的主要组成部分，其品质（质量）如何及选用是否得当对涂料的使用效果影响极大。同时，选用骨料时还应在工业卫生及经济性等方面作全面的分析。

几种常用作涂料骨料的材料见表5-81。

表5-81 常用作涂料骨料的几种材料

| 名称 | 基本成分的 化学式 | 密度 (g/cm ³) | 基本成分的 熔点(°C) |
|-------|---|----------------------------|-----------------|
| 焦炭粉 | C | 1.6~1.8 | |
| 石墨粉 | C | 2.1~2.3 | >3000 |
| 硅石粉 | SiO ₂ | 2.65 | 1710 |
| 锆英粉 | ZrSiO ₄ | 4.0~4.8 | 2430 |
| 刚玉粉 | Al ₂ O ₃ | 3.9 | 2050 |
| 煅烧镁砂粉 | MgO | 3.5~3.7 | 2800 |
| 高铝熟料粉 | | 约2.6 | >1770 |
| 滑石粉 | Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ | 2.7 | 1550 |

表5-82为可供选用骨料时参考。

表5-82 几种骨料的适用范围

| 涂料的骨料 | 锆英粉 | 刚玉粉 | 高铝熟料粉 | 氧化镁粉 | 石墨粉 | 滑石粉 |
|---------|-------------------------|----------------|--------------------|----------------|-------------------------|-----------------|
| 涂料的适用范围 | 厚大铸钢件 合金钢铸件 厚大铸铁件 | 大型铸钢件 合金钢铸件 | 中、小型铸钢件 小型合金钢铸件 | 高锰钢铸件 高铬钢铸件 | 各种铸钢件 铜合金铸件 铝合金铸件 | 铝合金铸件 薄壁小铸钢件 |

关于铸造涂料的骨料，作以下几点说明。

(1) 骨料的耐火性能 笼统地提到耐火性能时，通常包括两方面：其一是骨料的熔点或软化点，即其耐受高温的能力，也就是耐火度；其二是它的高温化学稳定性，即其在高温下耐受其它氧化物侵蚀的能力。

对于铸造用的涂料，骨料在高温下是否易于烧结有特别重要的意义。骨料的烧结性能与其耐火度、高温化学稳定性、颗粒的细度等因素有关。

既然是耐火骨料，很容易使人误认为耐火性能愈高愈好，不惜代价地追求用高级耐火材料的情况是十分多见的。应该说，这种观点是片面的。

实际上，铸钢的浇注温度一般不超过1600°C，铸铁的浇注温度一般不超过1400°C。如果考虑铸型对金属的冷却作用和界面上的温度落差，涂料层受热后所能达到的温度将比金属的浇注温度低得多。对于这样的温度条件，一般耐火材料都能满足要求，实无

过分苛求的必要。

至于骨料的高温化学稳定性，也决非愈稳定愈好。在常用作涂料骨料的材料中，硅石粉的高温化学稳定性是相当差的，它在FeO的作用下，会生成熔点为1200°C左右的铁橄榄石，甚至熔点更低的共熔体。但是，不少铸钢厂仍采用硅石粉涂料，效果也很好。

浇注液态金属以后，由于高温的作用，涂料层中在常温下起作用的粘结剂因热解而失效。这时，涂料层要保持一定的强度，主要靠骨料颗粒烧结。如骨料的高温稳定性太好，不能烧结，则涂料层可能剥落，使铸件上产生“夹灰”缺陷。如果界面上的涂料层易于烧结，浇注后很快就形成致密的烧结隔离层，则对改善铸件的表面品质（质量）和减少清理作业的劳动量都是非常有利的。

因此，在采用耐火度很高、高温化学稳定性很好的材料作骨料时，一般都同时加入粘土、氧化铁、甚

至熔剂,以改善其烧结性能。

(2) 骨料的颗粒尺寸 骨料颗粒的尺寸及其分布状况,对涂料的性能有相当大的影响。

一般说来,骨料愈细,则涂料的悬浮稳定性愈好,涂料层的烧结性能也较好。另一方面,骨料愈细,则所需的粘结剂愈多,涂料层也较易于开裂。

要使涂料层中骨料颗粒排列致密,最好能有较细的颗粒镶嵌于较粗颗粒之间。要做到这一点,粗颗粒的尺寸应为细颗粒的2.5倍以上。

气化模铸造用的涂料,因大量气体要通过涂料层逸出,涂料层的透气性特别重要。在这种情况下,骨料应较粗,且以粒度均匀为好。

7.1.2 载体

载体是涂料的重要组成部分,铸造涂料所用的载体主要有水、醇和氯代烃三类。以前曾将载体称为溶剂,这是不妥的,因为铸造涂料并非溶液,而是悬浮液或胶态分散体。载体的作用在于运载骨料及其粘结剂,将其涂覆于铸型或芯子表面。完成运载任务之后,一般要将其脱除,涂料实际上起作用时基本上不含载体。

以水作载体时,其脱除方式是烘干或晾干。以醇类作载体时,点火将其烧掉。以氯代烃作载体时,则让其自行挥发。

常用于涂料的载体,见表5-83。

表 5-83 铸造涂料常用的载体

| 名称 | 分子式 | 密度 (g/cm ³) | 沸点 (°C) | 闪点 (°C) | 工作环境中允许的最大浓度 (ppm) |
|------|--------------------------------------|----------------------------|------------|------------|-----------------------|
| 水 | H ₂ O | 1.0 | 100 | 不燃 | 不限 |
| 甲醇 | CH ₃ OH | 0.79 | 64.7 | 15.5 | 200 |
| 乙醇 | C ₂ H ₅ OH | 0.79 | 78.3 | 16.1 | 1000 |
| 异丙醇 | (CH ₃) ₂ CHOH | 0.78 | 82.3 | 21.1 | 400 |
| 二氯甲烷 | CH ₂ Cl ₂ | 1.33 | 40.1 | 不燃 | 500 |
| 三氯乙烯 | C ₂ HCl ₃ | 1.45 | 86.7 | 不燃 | 100 |
| 三氯甲烷 | CHCl ₃ | 1.48 | 61.2 | 不燃 | 50 |

用何种载体的涂料,主要应考虑其对铸造厂生产条件的适应性,并兼顾其功能和价格。

1. 水 水有许多优良性能,而且极为便宜。因此,选用载体时,首先应考虑水,只有在有不可克服的困难时,才作其它选择。

水是良好的溶剂并有极性,用以作涂料的载体时,易于控制涂料的流变性能。实际上,只有用水作载体,才能制成触变性涂料。

用水作载体也称水基涂料,其缺点是施涂以后难以脱除载体,一般都需烘干,晾干则需数小时到十几小时。对于流水生产而无烘干设施的生产条件,不宜用水作载体的涂料。

2. 醇 醇易燃,用其作载体的涂料(通常称醇基涂料)施涂后点火,即燃烧而脱除载体,在数分钟内即可完成施涂及干燥等过程,生产周期短。其缺点是价格较高,且应注意防火。

工业发达国家的醇基涂料,多用异丙醇作载体。我国目前异丙醇产量很少,价格很高,近期不可能广泛采用。工业酒精可作为醇基涂料的载体,其主要缺点是含水5%左右,涂料不易燃烧完全。甲醇中含水很少,价格也便宜,其缺点是有较强的毒性。目前可行的方案是采用混合醇作载体。

关于甲醇的毒性,应有正确的认识,既要给予充分的注意,但也不必望而生畏。我国和美国均允许环境大气中的甲醇含量小于200ppm,是可用的。美国和日本都有加甲醇的醇基涂料。

刷涂和蘸涂的涂料,可用含甲醇的混合醇作载体,以改善涂料的点燃性能。甲醇点燃后即无毒性。

喷涂时,涂料中载体挥发较多,涂料中不宜配用甲醇。

3. 氯代烃 氯代烃都是易挥发的,用其作载体的涂料,施涂后10min内即可自干。氯代烃的品种很多,但都有较强的毒性,其中以二氯甲烷的毒性最低。采用氯代烃基涂料时,应注意工作场所的通风。

7.1.3 水基涂料中的其它组分

水基涂料中,除骨料和载体外,还加有多种其它材料以使涂料具有良好的性能。

7.1.3.1 粘结剂和悬浮稳定剂 对涂料层的强度,应有较全面的看法,应考虑其经受从常温到高温的工况条件,只注意常温强度是不够的。

涂料层的常温强度,应能耐受搬运铸型或芯子时的振动和意外的碰撞、下芯合型时的摩擦、吹扫型腔时压缩空气流的冲击。过高的强度也是不要的。浇注时,涂料层从常温骤热到液态金属的温度,且要耐受金属的冲击和金属液的压头。因此,涂料层自常温到金属液的浇注温度就应有足够的强度。如在某一温度范围内不具备必要的强度,涂料层就可能损坏。

因此,简单地用一两种粘结剂是不能满足要求的。

对于水基涂料,悬浮稳定剂和粘结剂很难截然分开,能起粘结作用的材料一般都能起悬浮稳定剂的作用。

常用于水基涂料的有如下几种。

(1) 膨润土 膨润土是水基涂料中的重要成分,它具有多种功能,是难以用其它材料取代的。

膨润土是良好的常温粘结剂,同时也是良好的高温粘结剂。膨润土加热到 700℃ 以上,即开始出现玻璃体,在 1000℃ 以上明显软化,对促进骨料的烧结非常有利。

在水基涂料中,膨润土最重要的功能是利用其离子吸附作用使胶态分散体(涂料)中形成结构,从而使涂料具有触变性。

膨润土表面吸附有阳离子(Na^+ , Ca^{+2} 等),在水中形成泥浆后,因水是极性物质,吸附的离子有向水中解离、扩散的趋势。阳离子离开膨润土表面,表面上就带负电荷,又给阳离子以静电吸引。结果,阳离子以扩散的形式分布,在膨润土表面附近形成扩散双电层,如图 5-50 所示。

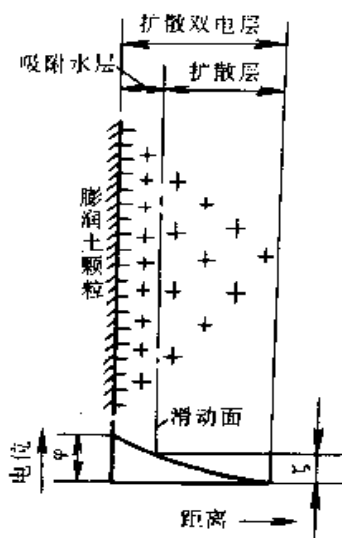


图 5-50 膨润土颗粒表面的扩散双电层

图 5-50 中,膨润土表面带有负电荷,其附近的液相中分布有等量的正电荷,以保持分散体的电中性。正电荷以扩散的形式分布,离表面愈远,则正电荷愈少。从颗粒表面到正电荷为零处,称为扩散双电层。颗粒表面附近紧密联系着一部分正电荷和一部分水分子,称为吸附水层。颗粒运动时,吸附水层随之一齐运动,滑动面在吸附水层的外缘。因此,在胶态分散体中,膨润土颗粒是带负电荷的,从滑动面到外层零电位处的电位差称为电动电位,或 ζ 电位。从颗粒表面到零电位处的电位差称为热力学电位 φ 。

膨润土颗粒表面附近形成扩散双电层及其颗粒在分散体中带着吸附水层运动,是使涂料具有触变性的基本条件。

(2) 羧甲基纤维素钠(CMC) CMC 分子结构

中的羟基($-\text{OH}$),可与膨润土颗粒晶格表面上的氧原子形成氢键连结,故 CMC 可吸附于膨润土颗粒表面上。

CMC 分子结构中的羧钠基($-\text{COONa}$)在水中电离和水化,可使膨润土颗粒有良好的水化膜,并提高其电动电位。

因此,CMC 和膨润土配合使用将显著改善水基涂料的性能。

CMC 的简介请参看本章 2.5.4 节。

CMC 在膨润土颗粒上吸附的活性,主要取决于其取代度。取代度在 0.6~0.9 之间时,吸附活性随取代度增大而增强。涂料中所用的 CMC,宜选用取代度为 0.8~0.85 的产品。

(3) 聚乙烯醇 参见本章 2.5.3 节。

(4) 聚丙烯酰胺 聚丙烯酰胺是无味、无臭的白色粉末,是线性非离子型高分子聚合物,相对分子质量可由数万到数千万。分子太高的不易溶,涂料中应选用较低的相对分子质量。

1% 的聚丙烯酰胺水溶液,在 50℃ 以下加 NaOH 进行水解,可得到水解聚丙烯酰胺和聚丙烯酸钠的共聚物,用于涂料尤为适宜。

(5) 海藻酸钠 [$(\text{NaC}_6\text{H}_7\text{O}_6)_n$] 黄色至棕色粉末,溶于水即成胶状液体。

在涂料中,可将海藻酸钠与膨润土配合使用,用法及效果与 CMC 相近。

(6) 水玻璃 水玻璃在 800℃ 以下有粘结作用。在 800℃ 以上,因出现液相而致粘结能力下降,但却有助于骨料颗粒的烧结。因此,水玻璃是良好的中温、高温粘结剂。

7.1.3.2 其它处理剂

(1) 电解质 为使水基涂料具有施涂工艺所要求的流变性能,控制其中颗粒的电解电位,适当加入电解质是十分必要的。

如胶态分散体中的颗粒电解电位太高,则带相同电荷的颗粒间的相斥作用强,分散体中的网架结构较弱,涂料的触变性就不太显著。此时,加入使 ζ 电位下降的电解质,可改善涂料的触变性。

如颗粒的 ζ 电位太低,颗粒间的静电斥力不足以阻止其聚结,则涂料的悬浮稳定性恶化。此时,应通过加电解质提高其 ζ 电位。

颗粒开始明显聚结的 ζ 电位,称为临界 ζ 电位,其值约为 20~30mV。

常用的电解质有:纯碱、四磷酸钠、焦磷酸钠、六偏磷酸钠、焦磷酸氢钠等。特殊情况下,用食盐或氯化钙。

(2) 活性剂 当涂料对铸型或芯子的附着能力不佳,即涂挂性不好时,可加入活性剂以改善附着能力。通常用烷基磺酸钠或洗衣粉。如加活性剂后起泡沫太多,可加正丁醇之类的消泡剂。

(3) 防腐剂 水基涂料的组分中,一般都有易于发酵的物质,所以应加入防腐剂,以免其在贮存过程中变质。

常用的防腐剂有苯酚、甲醛或苯甲酸钠等,加入量为0.2%~0.5%。

7.1.4 醇基和氯代烃基涂料中的其它组分

7.1.4.1 醇基涂料中的其它组分

(1) 悬浮稳定剂 醇基涂料中的悬浮稳定剂,以有机膨润土的效果最好。

有机膨润土以膨润土为原料,经提纯后,用季铵盐(如十六烷基三甲基溴化铵、十八烷基二甲基氯化铵等)进行离子交换,再经脱水、干燥、磨细,即得到有机膨润土。由于所用的季铵盐不同,可以得到适用于不同溶剂的有机膨润土。有机膨润土的价格大致是膨润土的50~70倍。

目前,还没有特别适用于醇类的有机膨润土,大多数有机膨润土都易于在芳香烃中成胶。用有机膨润土作醇基涂料的悬浮稳定剂时,应先用苯、甲苯或二甲苯将其溶胀后加入醇中。

本章2.1.3节所述的硅镁铝土,具有很大的比表面积,也可作为醇基涂料的悬浮稳定剂,国内、外都有用例。

锂膨润土在醇基涂料中的应用,曾一度引起过广泛的重视。

膨润土经提纯后,用碳酸锂进行离子交换,再经脱水、干燥、粉碎后,即制得锂膨润土。锂膨润土加水溶胀后加入醇基涂料中分散,有良好的悬浮稳定作用。锂膨润土比有机膨润土便宜得多,又无需用芳香烃处理,所以很受重视。但是,锂膨润土吸水而成的胶料,在醇基涂料中的稳定性不佳,用其制成的醇基涂料即时悬浮稳定性很好,在运输、贮存过程中胶料易脱水而失效,导致涂料中的骨料聚结下沉。目前,使用锂膨润土者已日见其少。

(2) 粘结剂 醇基涂料中的粘结剂可用诺沃腊克酚醛树脂、聚乙烯醇缩丁醛、硅酸乙酯、松香等。

7.1.4.2 氯代烃基涂料中的其它组分

(1) 悬浮稳定性 多种牌号的有机膨润土都能在氯代烃中溶胀,而且得到的胶液稳定,是氯代烃基涂料中最适宜的悬浮稳定剂。

(2) 粘结剂 可采用醋酸纤维素酯和乙基纤维素作粘结剂。

7.2 涂料的流变性能

研究涂料的流变性能,是为了解决生产中提出的问题。此处提到的,只是有关涂料性能的几点。

7.2.1 涂料的发展和问题提出

近几十年来,化学粘结砂及其它新造型工艺迅速发展,在造型材料及工艺方面发生了重大的变革。涂料是依附于铸型和芯子的辅助材料,在后者有了重大的变革之后,当然也应有相应的变革。

7.2.1.1 粘土砂干型的涂料

化学粘结砂推广应用以前,重要的铸件或大型铸件大都用粘土砂干型制造。传统的涂料就是适用于粘土砂干型的,其特点有二。

1) 与化学粘结砂相比,粘土砂干型的强度很低,所用的涂料也应是低强度的。如用强度太高的涂料,则在其干燥过程中发生体积变化时,其所依附的铸型不足以制约其变形,结果涂料层就会开裂、翘起,乃至剥落。

2) 由于粘土砂干型的强度很低,我们希望通过用涂料能使铸型表面有所增强。

由于以上的两点,粘土砂干型所用的涂料,应能渗入砂型的表层,最好涉及3~4个砂粒,如图5-51。

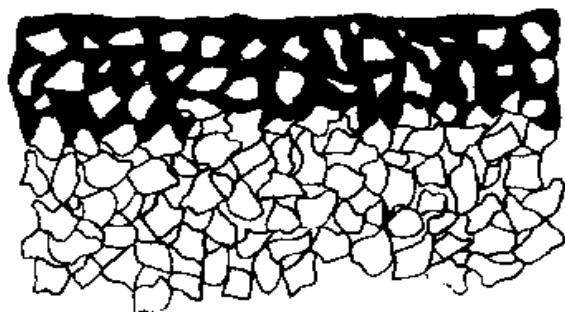


图5-51 粘土砂干型用传统涂料时渗入的情形

传统的干型涂料,经多年在实践中不断改进,非常适应上述要求。上涂料时,砂型表面层水分增多,而且涂料的载体渗入时必然会带进部分粘结剂和骨料。这两点都有使砂型表面增强的作用。同时,低强度涂料渗入较多能使其对砂型表面的附着增强,涂料层较不易剥落。

实际上,传统的涂料都是固体含量低、易渗入的,而且涂料层的强度也低。

此外,砂型本身须经相当长时间烘干,多渗入一些涂料,不会造成任何问题。

7.2.1.2 化学粘结砂型的涂料 化学粘结砂型的强度比粘土砂干型高得多,不需通过上涂料来增强。与此相反,如将传统水基涂料用于化学粘结砂型,由于

渗入的水分会破坏砂粒间的粘结桥，将会使砂型强度显著降低。

化学粘结砂型的另一特点是可以大大缩短烘干时间或完全不必烘干，而涂料的载体水却需要烘干，水渗入愈多，所需的烘干时间愈长。由这一点，也不允许涂料渗入过多。

因此，化学粘结砂型所用的水基涂料，应该与粘土砂干型的涂料大不相同，主要有三个方面：

1) 要求涂料的固体含量高，从而使带到砂型上的水很少。一般的涂料，固体含量应在 65% 以上，有时可高达 80%。

2) 涂料层的强度要高，应与砂型的强度匹配，使涂料层附着牢固。

3) 涂料渗入应少，以不超过一个砂粒为好，以求将水分对粘结桥的破坏作用减到最小，见图 5-52。

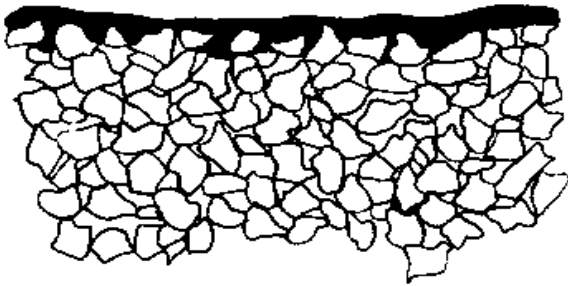


图 5-52 化学粘结砂型用的涂料

这样的涂料层只需很低的温度（150~200℃）、很短的时间（20min 左右）就能烘干。如有可能放置较长时间（如 10h），也能晾干。

如果不用水基涂料，改用醇基涂料，渗入多点是否可行？回答也是否定的。醇较贵，涂料的固体含量低是不合算的，而且醇渗入多对树脂砂也是不利的。

7.2.1.3 问题的提出 提高涂料的固体含量并使涂料的渗入减少，是不难做到的。但是，涂料的粘度必将随之显著增高，如何施涂就成了问题。

控制涂料的流变性能，为解决这一问题提供了途径。

在一定的条件下，可以使高固体含量的胶态分散体具有剪切稀释的特性，即：在剪切作用下，分散体的粘度可以大幅度下降。

这就是说：尽管涂料的初始粘度很高，但在搅拌作用下或施涂过程中（搅拌、刷、喷、抹、蘸等操作，都对涂料有剪切作用），粘度可下降很多，施涂以后，作用停止，粘度又可恢复。

7.2.2 与涂料流变性能有关的基本概念

(1) 牛顿流体的流变特性 牛顿流体，是服从内摩擦定律的流体，在受到剪切作用时，无论剪切速率如何，剪切应力和剪切速率之比都是常数 η 。其特性在应力—速率图上是过原点的直线，见图 5-53。

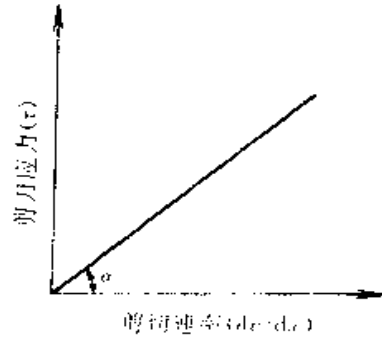


图 5-53 牛顿流体的流变特性

$$\eta = \frac{\text{剪切应力}}{\text{剪切速率}} = \tan \alpha$$

η 也就是流体的粘度。此外，牛顿流体的流变特性与剪切的时间无关，故其粘度也不随剪切时间长短而改变。

(2) 假塑性流体的流变特性 不服从内摩擦定律的流体都称为非牛顿流体。非牛顿流体的情况相当复杂，又可分为粘度与剪切持续时间无关（非时间相关）的流体和粘度因剪切时间而改变（时间相关）的流体。

非时间相关的非牛顿流体，流变特性可以用应力—速率二元坐标图来描述，但其特性不是直线而是曲线。我们所感兴趣的是有剪切稀释特性的一种，即假塑性流体，见图 5-54。

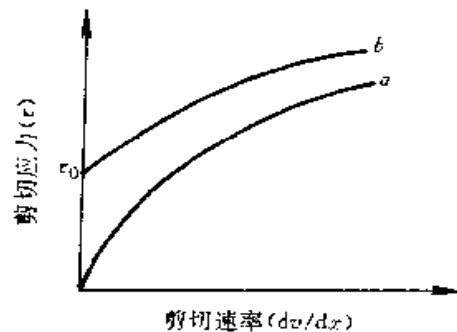


图 5-54 假塑性流体的流变特性

a—无屈服强度 b—有屈服强度

施以外力，流体即开始流动。流变曲线为向下弯曲的曲线。剪切速率增大，剪切应力 τ 也随之增大，但其增量小于牛顿流体的增量。也就是说：随着剪切

速度的增加，其粘度下降。这就是所谓的“剪切稀释”特性。

假塑性流体的特性是用应力—速率二元坐标描述的，每一剪切速率都对应一固定的剪切应力，两者的比值 (η) 也随之而定，与剪切的时间无关。就粘度的变化情形说来，假塑性流体有两个特点。

1) 一经搅拌，粘度就降低。在匀速搅拌时，粘度是定值，不因搅拌持续时间长短而变化。停止搅拌，粘度立即恢复。

2) 所受的搅拌愈强烈，则粘度下降愈多。

归纳起来，其粘度随剪切状况改变的情形可用图 5-55 表示。

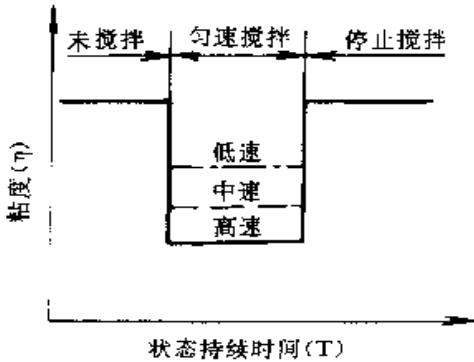


图 5-55 假塑性流体的粘度变化

(3) 触变性流体的流变特性 触变性流体也有剪切稀释特性，也是我们所关心的。但是，触变性流体与假塑性流体有重大的差别，那就是它具有时间相关性。

对触变性流体施以剪切时，在一定的剪切速率下，其粘度会随剪切时间的延长而降低，到某一最低值后才趋于不变。停止剪切以后，其粘度不象假塑性流体那样立即恢复，而要经一段时间逐步恢复。

触变性流体既然具有时间相关性，就不能用应力—速率两个坐标描述其特性，必须用应力—速率—时间三坐标来描述。

触变性流体在剪切作用下粘度变化的情形如图 5-56 所示。

可见，触变性流体和假塑性流体在概念上是完全不同的。有人以为一切有剪切稀释特征的流体都是触变性流体，从而将假塑性流体和触变性流体混为一谈，显然是不妥当的。

(4) 触变性流体中的结构 怎样解释触变性流体所具有的剪切稀释特性和时间相关性呢？目前为大家所接受的说法是其中有结构。

有结构的流体，在剪切的作用下，结构会逐渐破

坏，表现为粘度随剪切时间的延长而逐渐降低。结构完全破坏后，粘度降到最低值，此后持续剪切也不再继续下降。剪切停止后，结构的恢复需一定的时间，表现为粘度的恢复是逐步的。这种情形就是图 5-56 所描述的。

现以 YQ 系列中一种水基涂料为例，作具体的说明。

当膨润土和有机处理剂很好地涂覆于骨料颗粒表面时，由于膨润土表面附近形成扩散双电层，并带着吸附水层随之一齐运动，整个颗粒就具有胶体颗粒的特性；表面有吸附水层，并带有负电荷，见图 5-50。

骨料颗粒的形状是不规则的，表面的性质因而是 不均一的。夹角部分，涂覆的膨润土和处理剂很少，甚至有裸露的尖端，因而电荷密度较平面处小得多。由于颗粒的尖角部斥力小，就成了易于彼此相接的部位。平面部分则因带有密度较大的相同电荷而相斥。结果就形成了网架结构见图 5-57。

当颗粒数量够多时，结构会布满整个容积，相当一部分自由水被包裹在网架之间。因此，整个分散体系系统显得很稠。施以切应力时，结构被破坏，自由水释放出来，其粘度降低。

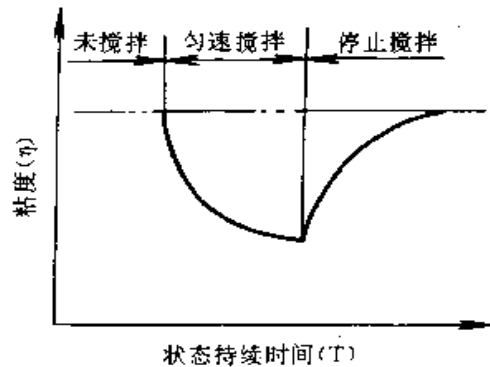


图 5-56 触变性流体的粘度变化

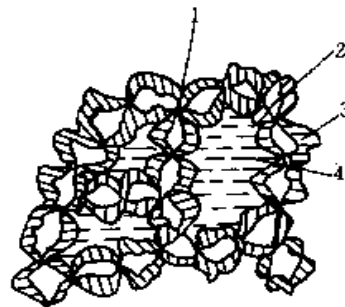


图 5-57 涂料中的结构示意图

1—活性中心 2—骨料颗粒 3—吸附水层 4—自由水

涂料中的颗粒带有负电荷，是其内部有结构的证据之一。

用一有刻度的 U 形管，向其中注入涂料使两侧的高度均距管端 50mm，角在两侧涂料上方注入蒸馏水各高 40mm。然后将两块铜质极板分别置于两侧蒸馏水中，并加以可变的直流电压，见图 5-58。

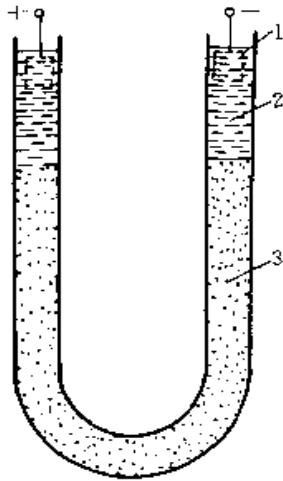


图 5-58 涂料的电泳试验

1—极板 2—蒸馏水 3—涂料

当电压为 60V 时，即可见颗粒在电场中向正极运动。

7.2.3 涂料的流变性能及其检测

高固体含量的涂料，在静置状态下粘度是很高的。为便于施涂，必须要求其有剪切稀释特性。

只有水基涂料，才能使其颗粒带电荷，才能具有触变性。

醇的极性很差，难以使其颗粒带电荷，因而不可能使其具有触变性。要使其有剪切稀释特性，只能使其有假塑性流体的特征。

7.2.3.1 涂料流变性能的检测 到目前为止，还不可能准确地测定非牛顿流体的流变特性，只能近似地检测其是否有剪切稀释特性和时间相关性。

(1) 时间相关性的检测 在剪切过程中测定流体的粘度变化是极困难的。但是，将涂料充分搅拌后，测定其粘度的恢复与停置时间的关系则是可行的。因此，我们可测定图 5-55 和图 5-56 后半部，停止搅拌后粘度恢复的情况。

取 100mL 涂料，用搅拌机高速搅拌 10min，停止搅拌后立即将其分装于 10 个 100mL 的小烧杯，每隔 2min 取一小烧杯测定其粘度。由粘度变化的情形，即可知涂料是否有时间相关性。用旋转粘度计（即布氏粘度计）测定粘度。

如放置不同时间的涂料粘度基本相同，即说明其非时间相关。如果随放置时间的增长粘度不断提高，

则说明其是时间相关的。

(2) 有否剪切稀释作用的判定 在进行上述试验时，每一小杯涂料均用同一转子、用不同的转速测定粘度。

如用不同转速测得的粘度相同，则说明其无剪切稀释特性。

如同一杯涂料用高转速测定时粘度值低，低速测定时粘度值高，则可判定涂料有剪切稀释特性。由不同转速测得的粘度值的差，判断剪切稀释作用的强弱。因为提高粘度计转子的转速，相当于增大了剪切速率。

因为测定粘度的过程就要对待测流体施予剪切，所以，对于有剪切稀释特性的涂料，其静置粘度实际上是无法测定的，用最低转速测得的粘度值，要比实际的静置粘度低得多。

(3) 流变特性的判断 如涂料有剪切稀释特性而且又时间相关，则认定其具有触变性。

如涂料有剪切稀释特性但非时间相关，则认定其具有假塑性特征。为什么不说是假塑性流体呢？因为目前还不可能做很多试验从各方面确定其为假塑性流体，但在这方面具有假塑性特征是肯定的。

7.2.3.2 检测水基涂料流变特性之一例 用大烧杯取 YQ 系列水基涂料 1000mL，置搅拌机下以高速搅拌 10min，然后分装于 10 个 100mL 的小烧杯，每隔 2min 取一杯用旋转粘度计测定粘度。测定粘度时用 3 号转子，分别以 6r/min，12r/min，30r/min 的转速测定粘度。结果见图 5-59。

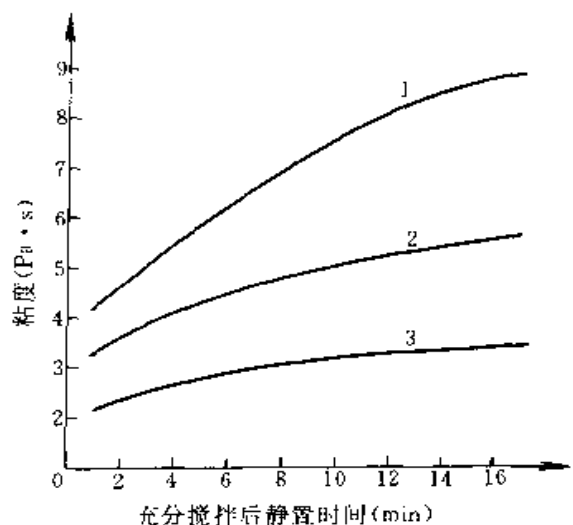


图 5-59 YQ 系列水基涂料的粘度特性

1—3 号转子，6r/min 2—3 号转子，12r/min

3—3 号转子，30r/min

由图 5-59 可见:

1) 涂料的粘度随放置时间延长而增长, 曲线与图 5-56 的后半部相似, 有时间相关。

2) 用 6r/min 的转速测得的粘度, 比转速为 12r/min 和 30r/min 时测得的值高得多。用 12r/min 的转速测得的粘度也明显高于 30r/min 时的读数。剪切稀释特性明显。

此外, 涂料颗粒在电场中向正极运动已于前面谈及。

所以, 这种水基涂料具有触变性。

7.2.3.3 检测醇基涂料流变特性之一例 取 YQ 系列醇基涂料一种进行测试, 测试手续同前, 但其粘度值较低, 测试时采用 2 号转子。测试结果见图 5-60。

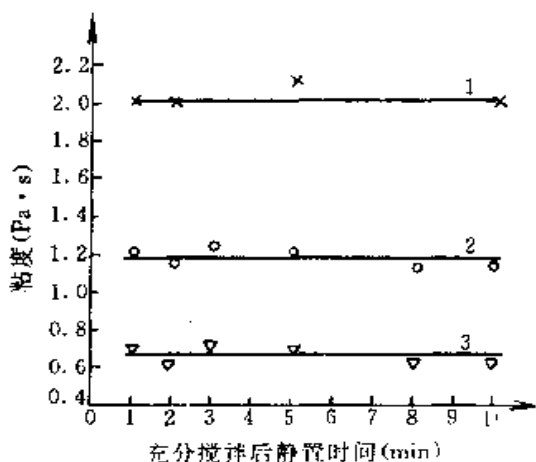


图 5-60 YQ 系列醇基涂料的粘度变化

1—2 号转子, 6r/min 2—2 号转子, 12r/min

3—2 号转子, 30r/min

由图 5-60 可见:

1) 涂料的流变特性非时间相关, 因为停止搅拌后粘度立即恢复, 此后在放置过程中基本上不改变。

2) 有明显的剪切稀释作用。

所以, 认为此种涂料具有假塑性特征。

7.3 涂料的使用

为了制得表面品质(质量)高的铸件, 当然首先应要求涂料的品质(质量)优良, 但对于采用适当的施涂方法和正确规定涂料层的厚度等也决不能忽视。

7.3.1 施涂方法

(1) 喷涂 喷涂是高效的施涂方法, 涂料层也比较均匀。近来在喷涂技术和设备方面都有不少改进, 因而愈来愈受到普遍的重视。

适用于铸造涂料的喷涂设备主要有两种:

一种是无气喷枪。将涂料置容器中, 由压缩空气

加压, 再经喷嘴喷出。

另一种是低压喷涂装置。运载涂料的气流由便携式涡轮压缩机供给, 压强为 35—75kPa。采用低压喷涂, 可完全消除雾滴、飞溅和回弹, 据国外报道, 可节省涂料 40%。此外, 低压喷枪的喷嘴直径较大, 在生产条件下不易堵塞。

涂料中的耐火骨料, 除石墨外, 大都是硬质颗粒, 喷嘴宜用硬质合金制造。

(2) 刷涂 刷涂是最简便易行的施涂方法, 适于单件生产或小批生产的铸造厂采用。

高固体含量的水基涂料, 应该用油漆刷施涂, 刷后留下的刷痕一般可自行流平消失。

醇基涂料的粘度较低, 宜采用柔软的掸笔施涂。高固体含量的醇基涂料, 一般都具有假塑性特征, 施涂后粘度立即提高, 刷痕很难避免, 向生产厂家提出“流平性”的要求也是不切实际的。

(3) 蘸涂 蘸涂是最快捷的施涂方法, 特别适用于大量生产的芯子, 还可借助于输送带或自动蘸涂机实现施涂作业的机械化。

涂料蘸槽应有搅拌装置, 使槽中涂料保持轻微的运动, 搅拌的主要作用是使涂料有剪切作用而降低粘度, 以便于蘸涂。只有在涂料的品质(质量)欠佳时, 才需用较强的搅拌, 以避免颗粒沉降。

蘸槽边应设人工辅助工位, 以确保蘸涂的品质(质量)。

醇基涂料蘸后粘度立即增高, 一般无流淌现象, 涂料层表面比刷涂者平。从这一点看, 醇基涂料最适于蘸涂。

水基涂料蘸后, 粘度的增高是逐步的, 流淌现象很难避免, 通常在辅助工位用空气喷嘴吹扫, 以减少流淌。在铸字的部位, 尤应吹去存积的涂料, 以使字迹清晰。

(4) 流涂 流涂多用于自硬砂铸型, 适用于批量生产的条件。铸型到达施涂工位后, 用机械手将其倾斜, 用管子将涂料浇到铸型上, 多余的涂料沿倾斜的铸型流回涂料槽。

流涂以用水基涂料为宜, 施涂后需用空气喷嘴清扫。

(5) 淋涂 淋涂是使涂料经多孔的喷头形成许多细流, 工作自下方通过即可完成施涂作业, 主要用于芯子。

(6) 抹涂 抹涂采用膏状涂料, 以棉丝蘸涂料抹在铸型或芯子表面上, 可以得到表面品质(质量)良好的涂料层, 但只能是人工作业, 只能用于少数有特殊要求的情况。

7.3.2 涂料的用量

(1) 涂料层的厚度 涂料层的厚度对涂料的使用效果有不可忽视的影响, 这一点往往未被注意。不少人重视涂料的品质(质量), 但却未能根据铸件的特点正确施涂, 以为涂上层就行, 结果不能得到良好的效果。

涂料层厚度的选取, 可参考以下的建议值:

薄壁铸件 0.15~0.30mm

中型铸件 0.30~0.75mm

厚壁铸件 0.75~1.0mm

特厚铸件 1.0~2.0mm

铸铁件选用较小的值, 铸钢件和铜合金铸件选用较大的值。原砂较粗及舂实密度低时, 选用较大的值。

涂料层的厚度一般都指施涂后的湿态厚度。脱除载体以后涂料层会有很大的体积收缩, 即使是高固体含量的涂料, 体积收缩也有 20%~40%。由于施涂面积并不改变, 全部体积收缩都将反映在涂料层厚度的减少方面, 干态厚度将比湿态厚度少 20%~40%。

特厚铸件, 多层施涂, 往往要求保证干态厚度。

每次施涂的厚度以 0.3mm 为宜。需较厚的涂料层时, 应分层多次施涂。在再次施涂时, 应在前一层的载体基本上脱除之后进行。

(2) 每千克涂料所能涂覆的面积 确定了涂料层的厚度后, 根据各种涂料使用状态的密度, 就可算出每千克涂料所能涂覆的面积, 这一数据是估算涂料用量的基础。表 5-84 中就几种常用涂料的参考数据。制表时, 已按高固体含量涂料的特点考虑了渗入铸型的情况。

表 5-84 每千克涂料能涂覆的面积 (m²)

| 涂料的特点 | 涂料使用状态的密度 (g/cm ³) | 涂料层厚度 (mm) 为下列值时 | | | | |
|-------------|--------------------------------|------------------|------|------|------|------|
| | | 0.15 | 0.30 | 0.75 | 1.0 | 2.0 |
| 水基, 锆英粉涂料 | 2.0 | 2.5 | 1.43 | 0.63 | 0.45 | 0.24 |
| 水基, 高铝熟料粉涂料 | 1.75 | 2.85 | 1.63 | 0.71 | 0.54 | 0.28 |
| 水基, 石墨粉涂料 | 1.45 | 3.45 | 1.97 | 0.86 | 0.66 | 0.33 |
| 水基, 滑石粉涂料 | 1.55 | 3.20 | 1.84 | 0.80 | 0.61 | 0.31 |
| 醇基, 锆英粉涂料 | 1.70 | 2.94 | 1.68 | 0.74 | 0.56 | 0.29 |
| 醇基, 高铝熟料粉涂料 | 1.50 | 3.30 | 1.90 | 0.83 | 0.63 | 0.32 |

(续)

| 涂料的特点 | 涂料使用状态的密度 (g/cm ³) | 涂料层厚度 (mm) 为下列值时 | | | | |
|------------|--------------------------------|------------------|------|------|------|------|
| | | 0.15 | 0.30 | 0.75 | 1.0 | 2.0 |
| 醇基, 石墨粉涂料 | 1.20 | 4.20 | 2.38 | 1.04 | 0.79 | 0.41 |
| 醇基, 氧化镁粉涂料 | 1.45 | 3.45 | 1.97 | 0.86 | 0.66 | 0.34 |

8 旧砂再生

旧砂再生的目的, 理论上是清除其中的杂质并脱除砂粒表面的粘结膜, 使砂粒基本上恢复到加粘结剂使用前的状况。清除其中的杂质是不难的, 完全脱除旧有的粘结膜则实际上是不可能的。因此, 再生处理只能将旧砂的粘结膜脱除到能再次加粘结剂使用。由于旧砂的状况不同、再生后所用的粘结剂不同, 可采用不同的再生工艺流程, 以达到“经济、实用”的目标。

由于环境保护方面的要求和经济效益的考虑, 旧砂再生早就是铸造行业必须面对的重大课题。90年代以来, 各工业国的铸造行业对旧砂再生给予了前所未有的关注。对废旧粘土砂加以再生处理的工厂不断增加, 采用再生效果较好的热法再生系统者也日益增多。

各种再生方法及其适用条件, 见表 5-85。

表 5-85 旧砂再生方法及其适用条件

| 再生方法 | 适用条件 |
|------------------|--|
| 机械再生 | 1. 旧粘土砂, 再生后仍用于配制粘土砂, 除去杂质, 抽掉粉尘, 仍保留相当数量的有效粘土 |
| | 2. 树脂自硬砂, 再生后仍用于树脂自硬砂 |
| 热法再生 (焙烧 + 机械再生) | 1. 旧粘土砂, 再生后替代新砂 (尤其是混入大量冷芯盒芯砂的情况) |
| | 2. 旧粘土砂, 再生后用于配制芯砂 |
| | 3. 壳型砂, 再生后仍配制覆膜法 |
| | 4. 树脂自硬砂 (尤其是酯硬化酚醛树脂自硬砂) |
| | 5. 水玻璃加入量低的水玻璃砂 (如 VRII 法用砂) |
| 湿法再生 | 水玻璃砂, 再生后仍用于配制水玻璃砂 |

8.1 机械再生设备

采用机械再生设备处理旧砂, 已有 40 多年的历史。这期间, 设备本身不断有所改善, 处理的工效也不断提高。

机械再生设备可分为三类。

8.1.1 气流再生设备

50年代,美国即采用气流再生设备处理旧粘土砂,以后逐步扩大到处理树脂砂,设备的一个单元见图5-61。

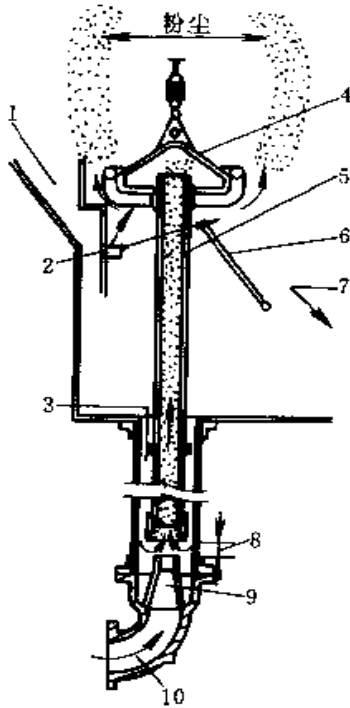


图 5-61 气流再生装置的原理图

- 1—旧砂流入口 2—砂下降 3—砂下流导管
- 4—挡板 5—砂、气上升管 6—可偏转导板
- 7—砂流入下一单元(或放出) 8—喉部间隙
- 9—喷嘴 10—鼓风

旧砂进入单元后,沿砂下流导管3流到喷嘴9附近。自底部鼓风,风压约20kPa,风量每单元约14m³/min。下流的砂粒进入气流后,随气流上升。上升过程中,管壁处砂粒的流速低于中心部分,且有涡流作用,砂粒间产生摩擦,再生作用主要在此阶段实施。然后,砂、气流撞击锥形挡板4,砂粒改变运动方向而落下,粉尘则自上方抽走。下落的砂粒,部分经导板6流到下一单元继续处理或放出备用,其余的则和进入的旧砂一道下降,再经一个循环。

调整导板6的角度,可改变出砂量和再生砂的干净程度。

由于上升气流的作用,挡板4的下方会贴附一层砂,上升的砂粒撞在砂层上加强再生作用,而挡板的磨损则不太严重。

每一单元的产量大致为225~900kg/h。可由多个单元组成再生设备。图5-62是有4单元再生设备的成套装置。

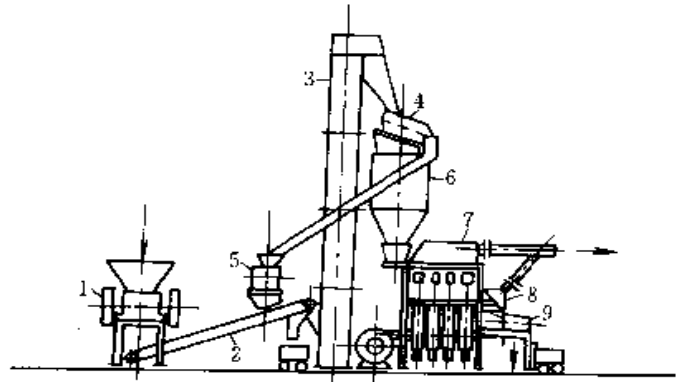


图 5-62 成套再生装置一例

- 1—一次破碎机 2—带机及磁力分离器
- 3—斗式提升机 4—振动筛 5—二次破碎机
- 6—贮砂斗 7—再生设备 8—分级器 9—成品筛

美国不少铸造厂用此种再生设备处理废旧粘土砂。据报道在除去杂质的同时,可保留相当多的有效粘土,供再次配粘土砂用经济效益很好。气流再生设备用于呋喃树脂自硬砂的再生,效果亦佳。

美国Osborn公司,B&P公司和日本新东公司都供应这种再生设备。

8.1.2 离心撞击式再生设备

日本采用此种设备者较多,图5-63是日本铸造

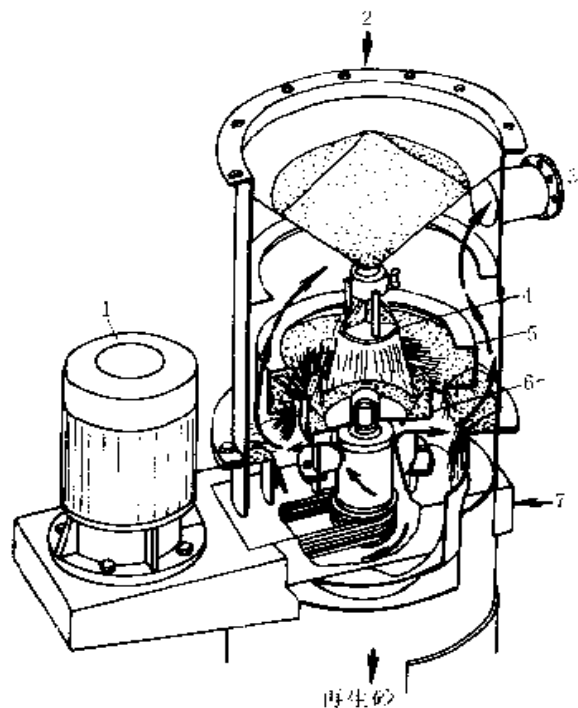


图 5-63 转筒式再生机的一个单元

- 1—电动机 2—旧砂 3—抽尘
- 4—砂分配器 5—固定环 6—转筒 7—空气进口

株式会社研制的转筒式再生机的一个单元，图 5-64 是其再生作用的示意图。

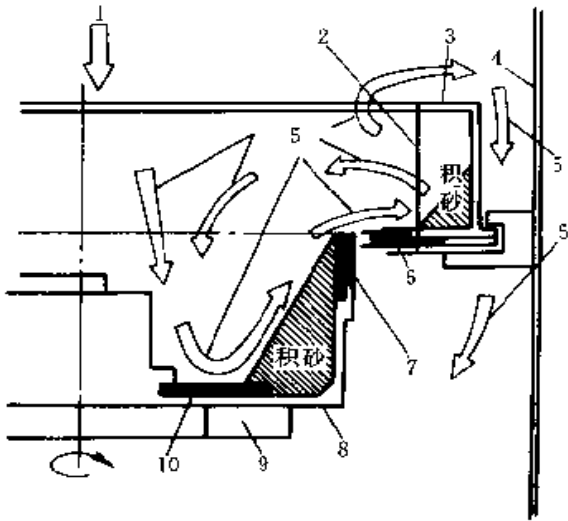


图 5-64 转筒式再生机再生作用示意图

- 1—旧砂 2—制止旧砂旋转的叶片 3—固定环
- 4—机壳 5—砂流 6—固定环衬 7—转筒边缘
- 8—转筒 9—鼓风除尘 10—耐磨衬

旧砂进入再生机后，最初因离心力的作用，在转筒内形成积砂，此积砂层随转筒旋转。此后进入的旧砂，因重力和离心力的作用，与积砂层间产生强烈的摩擦，使粘结剂剥落。砂粒然后再进入固定环，与其中的积砂摩擦，促进粘结剂与砂粒分离。

可见，再生作用完全是由砂粒之间的摩擦完成的。

再生机由若干单元串联组成，图 5-65 是由三个单元组成的再生机。

图 5-66 是太洋铸机株式会社的离心撞击式砂再生装置的示意图。

旧砂进入后，用高速旋转的叶轮（2000r/min）使其加速并被叶片抛向耐磨挡板，产生多次撞击。此期间，砂粒之间也有相互摩擦的作用。

这种装置，也可自上而下多级串联使用，以提高生产率并加强再生效果。

8.1.3 振动摩擦再生设备

振动摩擦再生，利用旧砂在振动输送过程中相互摩擦，以达到使砂块破碎并脱除砂粒表面粘结膜的目的。由于没有高速的冲撞，故有人称之为软再生。

这类设备，往往兼有破碎砂块、再生砂粒并将其输送一段距离等作用。有设备简单、能耗低、易损件少等优点。但其再生效果较差，只适用于呋喃树脂自硬砂，而且如无气流输送设备配合，再生砂反复使用

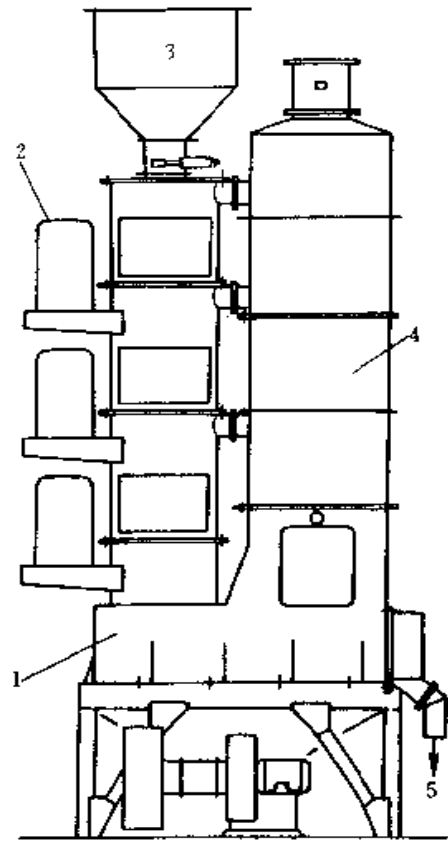


图 5-65 三单元转筒式再生机

- 1—流态床 2—电动机 3—旧砂斗
- 4—抽尘装置 5—再生砂

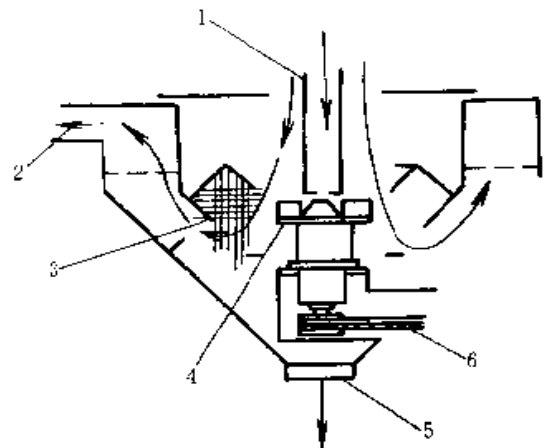


图 5-66 离心撞击式砂再生装置的示意图

- 1—旧砂入口 2—抽尘 3—耐磨挡板
- 4—带叶片的转子 5—再生砂出口 6—传动带

时，其灼烧碱往往会不断增高，最后不得不采取措施或增加新砂用量。

美国 Sholco/Richards 公司的振动摩擦再生设备，见图 5-67。

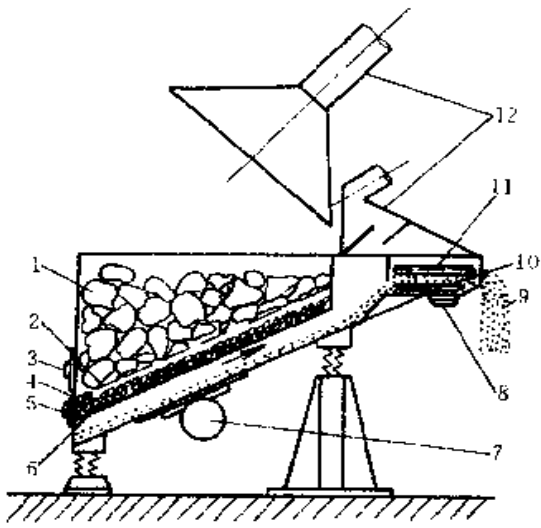


图 5-67 振动摩擦再生设备 (S/R 式)
 1—旧砂块 2—栅格板 3、5、8—清理门
 4—小砂块 6—细筛网 7—振动电动机
 9—再生砂 10—除尘用流态床 11—细网
 12—抽尘装置

设备基本上是一振动输送槽，其上装有栅格板 2，细筛网 6 和 11，出口端还设有分离粉尘用的小流态床。

由落砂机送来的旧砂块，不必经破碎机，可直接落在栅格板上。由于振动电动机的作用，砂块在栅格板上相互摩擦，成为小块或砂粒落下。小砂块继续在细筛网 6 上相互摩擦，成为砂粒经筛网落下。砂粒在底部向右上方出口端运动，同时也有相互摩擦的作用。出口端的小流态床，使通过的再生砂中的粉尘分离。

原理相同的另一种振动摩擦再生设备见图 5-68。

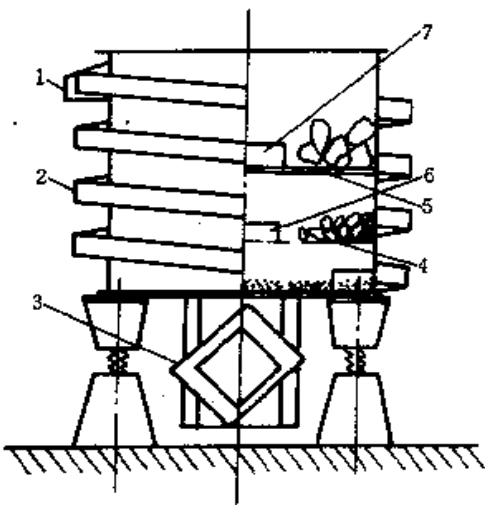


图 5-68 圆筒形振动摩擦再生设备
 1—再生砂放出口 2—砂粒上升螺旋槽 3—振动电机
 4—细筛网 5—栅格板 6、7—清理门

落砂机处送来的旧砂落到栅格板上。经栅格板和细筛网落到筒底的砂粒和细粉，在振动电动机的作用下，沿筒外的螺旋槽上升至顶部，由出口 1 放出，再经一流态床除去粉尘。

8.2 热法再生设备

热法再生设备是在机械再生的基础上增加焙烧工序，旧砂经破碎和分离杂质后进入焙烧炉，焙烧后经冷却再进入机械再生设备。

焙烧的目的有二：

- 1) 使有机物质完全热解；
- 2) 使无机粘结膜（如粘土或水玻璃）脆化，以便于在机械再生设备中将其分离。

8.2.1 焙烧温度

焙烧温度因旧砂的粘结剂系统而不同，见表 5-86。

表 5-86 热法再生时各种旧砂的焙烧温度

| 旧砂种类 | 适宜的焙烧温度 (°C) | 说 明 |
|------------|--------------|--|
| 壳型砂 | 700~800 | |
| 酯硬化酚醛树脂自硬砂 | 600~700 | |
| 废旧粘土砂 | 600~700 | 过高会使粘土烧结于砂粒表面，不利于此后的机械再生作业 |
| 水玻璃砂 | 300~400 | 水玻璃膜在此温度段有一强度最低点，有利于此后的机械再生。温度过高，水玻璃膜强度增高，甚至会烧结于砂粒表面 |

8.2.2 焙烧炉

在要求的焙烧温度较低时，可直接在专用的逆流式搅拌机中用烧嘴加热。焙烧温度在 400°C 以上时，可用回转炉或流态化焙烧炉中加热。流态化焙烧炉也称沸腾床焙烧炉，由于其加热均匀，燃料利用率高，且设备维修简单，是当前广泛采用的装置。

图 5-69 是日本钢管接头公司改进流态化焙烧炉的情况。

图 5-69a 是目前常用的流态化焙烧炉，其缺点有以下几点：

- 1) 炉内的砂粒温度不匀，难以保持最适宜的焙烧温度；
- 2) 经焙烧的砂的显热未能利用，且使此后的冷却作业负担重；
- 3) 热效率低，燃料耗量多。

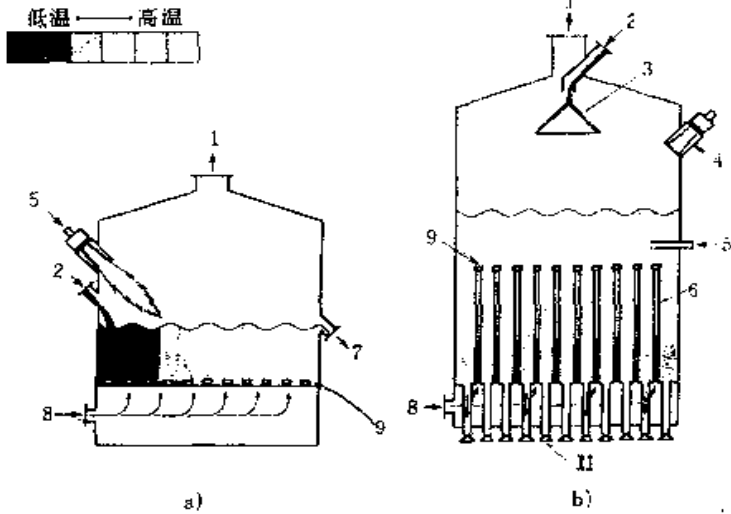


图 5-69 流态化焙烧炉的改进

a) 流态化焙烧炉 b) 改进后的流态化焙烧炉

- 1—排气 2—旧砂进口 3—砂分散器 4—预热烧嘴
- 5—烧嘴 6—对流热交换器 7、11—焙烧砂放出口
- 8—空气入口 9—空气喷嘴

图 5-69b 是改进后的流态化焙烧炉，改进主要有两点。

一是在底部装有对流热交换器，利用焙烧砂的显热加热鼓入的空气，由热空气使砂粒流态化，促进炉内温度的均匀，并节省燃料。

二是旧砂经分散器分布于炉内，与炉内原有的热砂很易混匀，升温快，焙烧效果好。

改进的焙烧炉，特别适合规模较小的铸造厂采用。

8.2.3 热法再生成套设备之一例

见图 5-70。

8.3 湿法再生设备

湿法再生主要是将旧砂加水后强烈搅拌，以脱除旧粘结核，因而只适于采用亲水粘结剂的型砂，具体说，即只适用于粘土砂和水玻璃砂。

粘土砂的再生，可用机械再生设备或热法再生设备，无需采用湿法。所以，实际上只有水玻璃砂才有必要采用湿法再生设备。

旧水玻璃砂用湿法再生时，其粘结核脱除的难易，与脱水程度密切相关。如水玻璃胶粒间含有的水分较多，湿法再生的效果就较好；如硅胶凝胶完全脱水了，则非常难溶。因此，水玻璃砂湿法再生前，不可焙烧。用脱水方式硬化的水玻璃砂，再生也较困难。

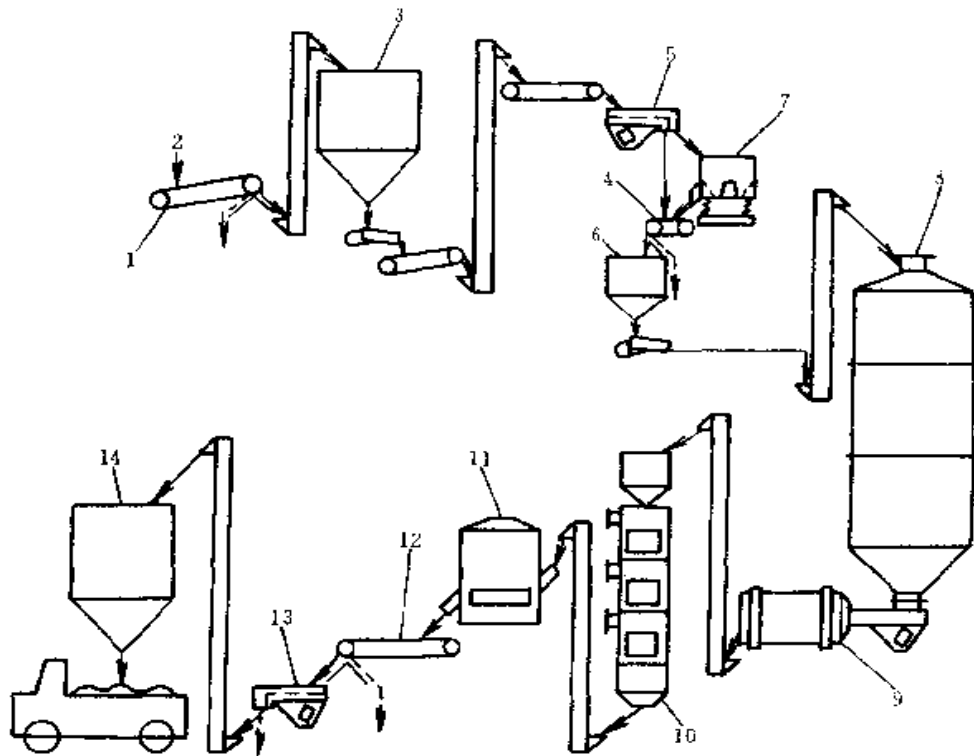


图 5-70 热法再生成套设备

- 1、4、12—磁选输送机 2—旧砂斗 3—旧砂斗 5—振动筛 (5 目) 6—砂斗 7—振动破碎机
- 8—流态床焙烧 9—冷却滚筒 10—摩擦式再生装置 11—微粉除去装置 13—振动筛 (20 目) 14—再生砂斗

湿法再生目前存在两个问题：

一是再生后的湿砂需烘干，这是能耗甚多的作业，因而费用很高。

二是废水不能直接排放，必须经处理，这也会使再生砂的成本增高。

图 5-71 是湿法再生系统的一例。

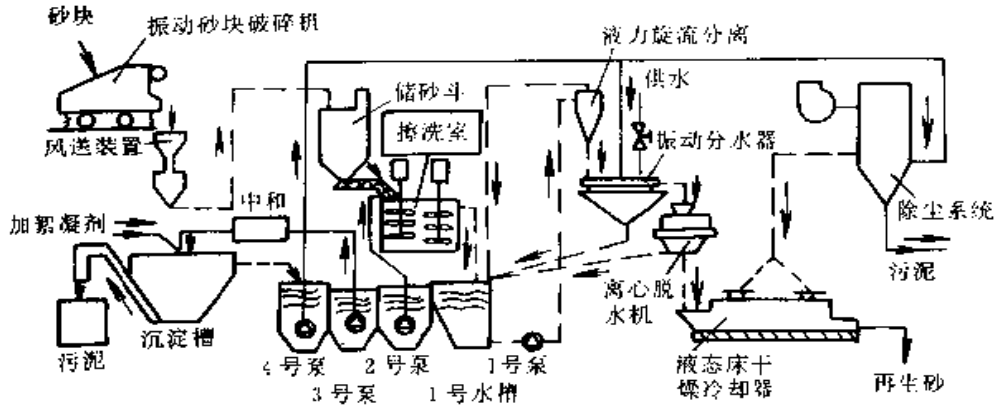


图 5-71 水玻璃砂湿法再生成套设备

旧砂破碎后风送到储砂斗，储砂斗中的砂由螺旋给料机送入擦洗室，同时由 2 号泵送来循环水，用叶片强力擦洗。擦洗后的砂浆流到 1 号水槽，沉降后用 1 号泵送往液力旋流分离器，分离后的砂进入振动分水器，水返回 1 号水槽。砂粒经分水器时由 4 号泵送来干净循环水和新鲜自来水（必要时）清洗。然后，干净砂浆进入离心脱水机，使水分降到 5%，再进入流态床干燥冷却器，干燥并冷却。自流态床抽取的粉

尘，用 4 号泵送来的循环水除尘。

循环水部分，由 1 号水槽溢流到 2 号水槽，由 2 号泵将水送入擦洗室。2 号水槽的水再溢流到 3 号水槽，由 3 号泵将此槽中的水送去进行中和处理。

水中残留的碱性物质由吹入 CO_2 中和，中和后加絮凝剂使固体沉淀。经中和处理的水流入 4 号水槽循环使用。

第六章 铸造工艺

1 概述

1.1 铸造工艺设计的概念

铸件的生产过程，从零件图开始到铸件合格入库为止，要经过很多道工序，涉及到模样的制造、型芯砂的配制、造型、制芯、合型的操作、合金的熔炼、浇注、铸件的落砂清理和热处理等许多方面。

对一个铸件，编制出铸造生产工艺过程的技术文件就是铸造工艺规程设计。铸造工艺规程是生产的指导性文件，也是生产准备、管理和铸件验收的依据。

1.2 设计依据

设计人员在动手设计之前，必须了解生产任务和要求，掌握工厂和车间的生产条件，这些是设计的原始条件，也是设计的依据。此外，设计人员还应掌握和了解国内外铸造工艺的现状和发展情况。

1.2.1 生产任务和要求

1) 铸造零件图必须清晰无误，有完整的尺寸和各种标记。经过仔细审查，零件结构应符合铸造工艺的要求。

2) 零件的技术要求，例如金属材质的牌号、金相组织、力学性能要求、铸件质（重）量及尺寸允许偏差、是否经水压试验、是否经探伤检查、允许缺陷存在的部位和程度、零件的工作条件等，以便在工艺设计中采取相应工艺措施，使其满足技术要求。

3) 产品生产数量：可分为以下三种类型

① 大量生产，年产量 5000 件以上的产品，工艺设计中尽量应用最先进的技术，使用专用的设备和装备。

② 成批生产，年产量 500~5000 件的产品、工艺设计中，主要使用通用设备和装备。

③ 单件小批生产，制造一件或几十件产品，工艺设计中应使用可靠的、易掌握的技术，尽量减少工艺装备的制造量。

1.2.2 车间条件

工艺设计人员应十分熟悉车间条件，这样所设计的工艺才有可能切合实际，指导生产。

1) 车间设备，如车间起重运输设备的能力〔最大起吊质（重）量和起吊高度〕、冲天炉、电炉或其它熔炼炉的吨位和台数、造型和造芯机的型号和机械化程度、烘干炉和热处理炉的大小（包括装炉量和最大装炉尺寸）、地坑大小、厂房高度和大门尺寸等。

2) 车间现有原材料的应用情况和供应情况。

3) 车间生产工人的技术水平和经验。

4) 模样等工艺装备制造车间的加工能力和生产经验。

1.3 铸件工艺设计的内容和编制程序

由于每个铸件的生产任务和要求不同，生产条件不同，因此铸造工艺设计的内容也不同。对于不太重要的单件小批量生产的铸件，铸造工艺相对简单一些，而对于要求较高的单件生产的重要铸件和成批大量生产的铸件，其工艺设计内容相应多一些。

一般情况下，铸造工艺设计包括以下几种主要技术文件：①铸造工艺图；②铸造工艺卡片；③铸型装配图；④铸件毛坯图；⑤模样图；⑥芯盒图；⑦砂箱图；⑧模板图。

表 6-1 为工艺设计的内容和程序。

表 6-1 铸造工艺设计的内容和程序

| 序号 | 项目 | 内 容 | 用途及应用范围 | 设计程序 |
|----|--------|--|--|---|
| 1 | 审核铸件结构 | 审查并改进铸件结构，在不影响使用的前提下，使铸件结构尽量符合铸造工艺性 | | 产品零件的技术条件和结构工艺性分析 |
| 2 | 铸造工艺图 | 在零件图上用规定的红、蓝色符号表示出：浇注位置和分型面，加工余量、收缩率、起模斜度，反变形量、分型负数、工艺补正量，浇冒口的位置、数量和尺寸，内外冷铁的位置和尺寸，砂芯形状、数量及芯头大小，铸筋，吊把、压铁等 | 是制造模样、模板芯盒等工装，进行生产准备和验收的依据 适用于各种批量铸件的生产 | 1. 选择铸造方法和造型方法 2. 确定浇注位置和分型面 3. 选择各种工艺参数 4. 设计浇冒口，冷铁等 5. 砂芯设计 |

(续)

| 序号 | 项目 | 内 容 | 用途及应用范围 | 设计 程 序 |
|----|--------|---|--|--------------------|
| 3 | 铸件图 | 把经过铸造工艺设计后,改变了零件形状、尺寸的地方及铸件的技术条件(硬度、尺寸偏差,允许存在或允许焊补的铸造缺陷及其它特殊要求)及检验方法都反映在铸件图上。 | 是检查验收铸件和机加工夹具设计的依据 适用于成批大量生产或重复的生产铸件 | 在完成铸造工艺图的基础上,画出铸件图 |
| 4 | 铸型装配图 | 表示出浇注位置,砂芯数目,固定和下芯顺序,浇冒口和冷铁布置,砂箱结构和尺寸大小等 | 是生产准备、合型、检验、工艺调整的依据 适用于成批,大量生产的重要件,单件的重要铸件 | 通常在完成砂箱设计后画出 |
| 5 | 铸造工艺卡片 | 说明造型、造芯、浇注、开箱清理,热处理、切割浇冒口、焊补等工序的工艺操作过程,操作规程及技术要求 | 是生产管理的重要依据 根据批量大小填写必要内容 | 综合整个设计的内容 |
| 6 | 工艺验证 | 检查铸件尺寸表面品质(质量),内部缺陷等品质(质量)情况是否合格。验证工艺要求、操作要点是否合理。反复修改工艺及装备直到铸件品质(质量)合格 | 对所设计的工艺方案、工艺装备、铸件品质(质量)进行验证 成批和大量生产及单件生产的重要铸件 | 根据生产情况进行工艺调整 |

以上内容,分别用图形、符号及技术条件来表达,但并非在每一张铸造工艺图上都要表示上述内容,应视铸件的生产批量、产品品质(质量)要求、铸件材质和结构尺寸等具体情况确定。

1.4 铸造工艺符号及表示方法

在铸造工艺设计时,为了表达设计意图与要求,需要在铸件图、铸造工艺图及有关工艺文件中标明代表铸造工艺要求的工艺符号。这些符号必须在工装设计、制造以及造型、造芯、清理等生产过程中被相关人员正确理解。JB2435—78对铸造工艺符号及表示方法作了统一规定。在铸造工艺设计时,建议采用JB2435-78的规定。

2 铸件的凝固和收缩

2.1 铸件的凝固

合金从液态转变为固态的状态变化,称为凝固。许多铸造缺陷如浇不到、缩孔、缩松、热裂、气孔、偏析、夹杂物等都是在凝固过程中产生的。

2.1.1 铸件的凝固方式

2.1.1.1 凝固动态曲线 图6-1所示是铸件的凝固动态曲线,它是根据温度-时间曲线绘制的。曲线I与铸件断面上各时刻的液相线等温线相对应,称为“液相边界”,曲线II与固相线等温线相对应,称为“固相边界”。这两条曲线表示了铸件断面上液相和固相等温线由表面向中心推移的动态曲线。“液相线”边界从铸件表面向中心移动,所到达之处凝固就开始;“固相线”边界离开铸件表面向中心移动,所到达之处凝固完毕。因此称液相边界为“凝固始点”,

固相边界为“凝固终点”。

铸件在凝固过程中除纯金属和共晶成分合金外,断面上一一般都存在着三个区域,即固相区、凝固区和液相区。

2.1.1.2 铸件的凝固方式及影响因素 一般将铸件的凝固方式分为三种类型:逐层凝固方式、糊状凝固方式和中间凝固方式。铸件的凝固方式取决于凝固区域的宽度。凝固区域的宽度可以根据凝固动态曲线上的“液相边界”与“固相边界”之间的纵向距离直接判断。

影响铸件断面凝固区域宽度的因素主要有以下三个方面:合金的结晶温度范围、铸件的凝固条件和冶金工艺的影响。

1. 逐层凝固方式 在凝固过程中其铸件断面上的凝固区域等于零,随着温度的下降,固体层不断加厚,逐步到达铸件中心。

如果合金的结晶温度范围很小,或断面温度梯度很大时,铸件断面的凝固区域则很窄,也属于逐层凝固方式。

2. 糊状凝固方式 如果合金的结晶温度范围很宽,或因铸件断面温度场较平坦,铸件凝固的某一段时间内,其凝固区域很宽,甚至贯穿于整个断面,则属于糊状凝固方式。见图6-3。

3. 中间凝固方式 如果合金的结晶温度范围较窄,或铸件断面的温度梯度较大,铸件断面上的凝固区域宽度介于前二者之间时,则属于中间凝固方式,见图6-4。

2.1.1.3 不同凝固方式的合金的铸造工艺特点

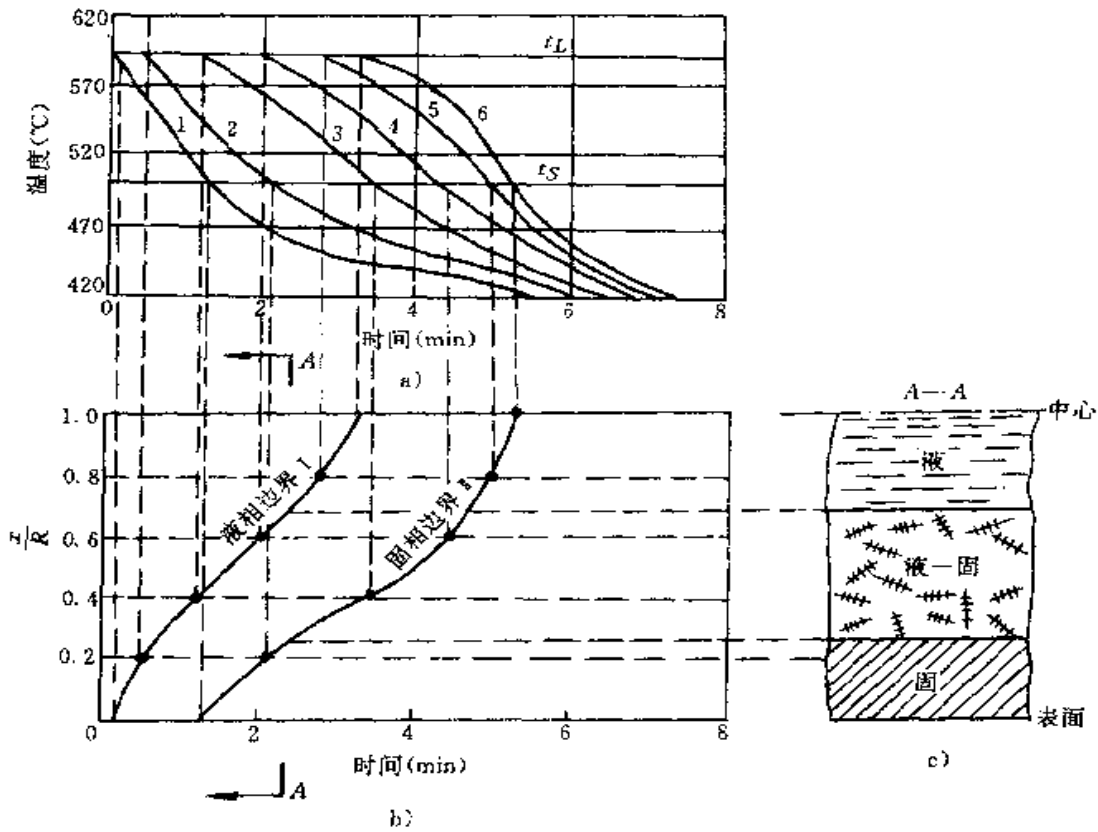


图 6-1 铸件凝固动态曲线的绘制

a) 铸件断面的温度-时间曲线 b) 凝固动态曲线 c) 某一时刻的凝固状况
 曲线 1、2、3、4、5、6 对应于 $x/R = 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$
 x —铸件表面向中心方向的距离, R —铸件壁厚之半或圆球体和球体半径

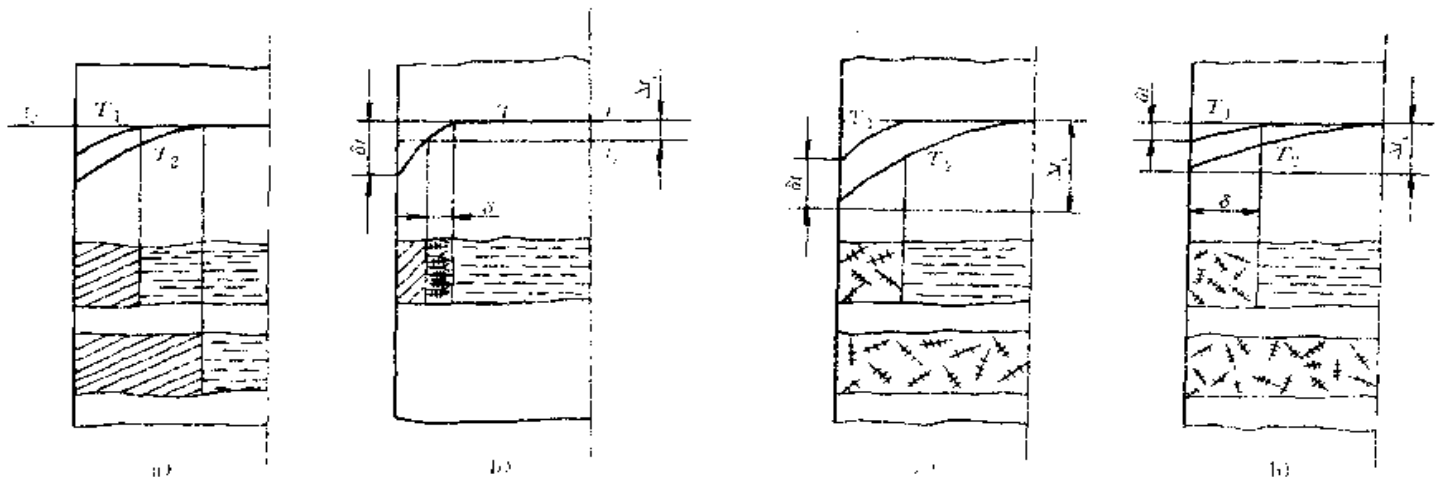


图 6-2 “逐层凝固方式”示意图

a) 恒温下结晶的纯金属或其成分合金
 b) 合金的结晶温度范围很窄或铸件断面温度梯度很大时
 t_c —结晶温度(下同) T_1 、 T_2 —铸件断面上两个不同时刻的温度场(下同) t —液相线温度 T —某瞬间温度场
 t_s —固相线温度 δ —铸型表面和液相线温差范围
 δ —凝固状态层的厚度 ΔT —结晶温度

图 6-3 “糊状凝固方式”示意图

a) 合金的结晶温度范围很宽
 b) 铸件断面的温度场平坦

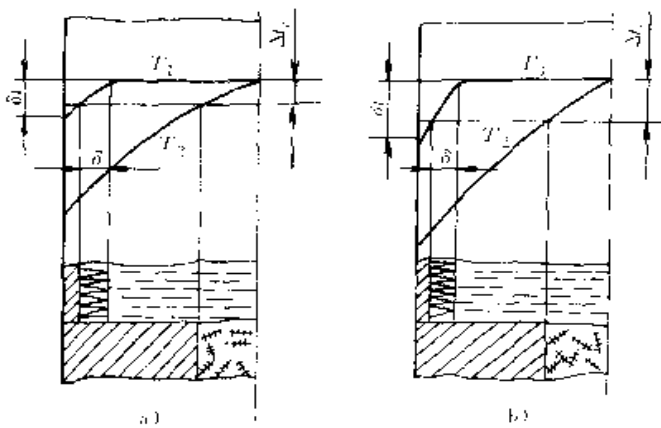


图 6-4 “中间凝固方式”示意图
a) 合金的结晶温度范围较窄
b) 铸件断面的温度梯度较大

的充填。

3. 中等结晶温度范围的合金 这类合金在工业上常用的有中碳钢、高锰钢、一部分特种黄铜和白口铸铁等。它们倾向于中间凝固方式、其补缩特性、热裂倾向性和充型能力介于逐层凝固和糊状凝固方式之间。这类铸件的凝固，可通过调整有关工艺参数，在铸件截面上建立有利的温度梯度，以获得健全的铸件。合金成分和铸件结构确定以后，可控因素主要是铸型的蓄热系数、合金的浇注温度和铸型的初始温度。增加温度梯度可缩小铸件截面上的凝固区域，使糊状凝固转变为逐层凝固方式。

2.2 铸件形成过程中金属的收缩

铸件在液态、凝固态和固态冷却的过程中所发生的体积减小现象，称为收缩。因此，收缩是铸造合金本身的物理性质。

收缩是铸件产生缩孔、缩松、热裂、应力、变形和冷裂的基本原因。

金属从液态到常温的体积改变量称为体收缩。金属在固态时由高温到常温的线尺寸改变量，称为线收缩。

1. 液态收缩 充满铸型瞬间、液态金属由所具有的温度冷却到开始凝固的液相线温度的体收缩称为液态收缩。

合金过热度、合金本身性质等对液态收缩有较大影响。

2. 凝固收缩 凝固收缩是指从液相线温度到固相线温度金属所发生的体收缩。对于在一定温度下结晶的纯金属和共晶成分的合金，凝固收缩只是由于合金的状态的改变，而与温度无关。具有结晶温度间隔的合金，凝固收缩不仅与状态改变有关，且随结晶温度间隔的增大而增大。

液态收缩和凝固收缩是铸件产生缩孔和缩松的基本原因。

3. 固态收缩 自固相线温度冷却到常温，铸件各个方向上都表现为线尺寸的缩小，对铸件的形状和尺寸精度影响最大。也是铸件产生应力、变形和开裂的基本原因。

2.3 补偿各种收缩的措施

2.3.1 缩孔和缩松的防止

1) 防止铸件产生缩孔和缩松的基本原则是针对该合金的收缩和凝固特点制定正确的铸造工艺，使铸件在凝固过程中建立良好的补缩条件，尽可能使缩松转化为缩孔，并使缩孔出现在铸件最后凝固的地方。这样，在铸件最后凝固的地方安置一定尺寸的冒口，使缩孔集中于冒口中，或者把浇口开在最后凝固的地

1. 窄结晶温度范围的合金 这类合金包括工业纯金属、共晶成分合金及其它窄结晶温度范围的合金，其中较重要的合金见表 6-2。这类合金在一般的铸造条件下，以逐层方式凝固。当液体凝固为固体而发生体积收缩时，可以不断地得到液体的补充，所以产生分散性缩松的倾向性小，而在铸件最后凝固的部位留下集中的缩孔。由于集中缩孔容易消除，因此一般认为这类合金的补缩性良好，由于收缩受阻而产生晶间裂纹时，也容易得到合金液的充填，使裂纹愈合，所以铸件的热裂倾向性小。在充型过程中发生凝固时，也具有较好的充型能力。

表 6-2 几种窄结晶温度范围的合金

| 纯金属 | 共晶类合金 | 窄结晶温度范围合金 |
|------|---------|-----------|
| 工业用铜 | 共晶成分合金 | 低碳钢 |
| 工业用铝 | 近共晶成分合金 | 铝青铜 |
| 工业用锌 | | 结晶温度范围小黄铜 |
| 工业用锡 | | |

2. 宽结晶温度范围的合金 表 6-3 为常用的宽结晶温度范围的合金。这类合金倾向于糊状凝固方式，

表 6-3 倾向于糊状凝固的合金

| 铝、镁合金 | 铜合金 | 铁碳合金 |
|-------|------------|------|
| 铝铜合金 | 锡青铜 | 高碳钢 |
| 铝镁合金 | 铅青铜 | 球墨铸铁 |
| 镁合金 | 结晶温度范围大的黄铜 | |

由于其在铸件中形成分散性的缩孔即缩松，因此采用普通冒口就很难消除，常需要采取其它措施以增加铸件的致密性，如增加冒口的补缩压力，加速铸件冷却等方法。这类合金在充填过程中发生凝固时，其充型性能也很差。当晶间出现裂纹时，也得不到液体金属

方直接补缩。

要使铸件在凝固过程中建立良好的补缩条件, 主要是通过控制铸件的凝固方向使之符合于“定向凝固原则”或“同时凝固原则”。

2) 浇注系统的引入位置对铸件的温度分布有重要影响。调整液态金属的浇注温度和浇注速度, 可以加强定向凝固或同时凝固。

3) 在铸件的厚壁上或热节部位设置冒口, 是防止缩孔和缩松最有效的工艺措施。

冒口、补贴和冷铁的综合运用, 是消除铸件中缩孔和缩松的有效措施。

4) 加压补缩, 将铸型置于压力罐中, 浇注后迅速关闭浇注孔, 使铸件在压力下凝固, 可以消除或减轻显微缩松。

2.3.2 铸件的收缩

铸件在铸型中的收缩仅受到金属表面与铸型表面之间的摩擦阻力时, 为自由收缩。如果铸件在铸型中的收缩还受到其它阻碍, 则称受阻收缩。对于同一种合金, 受阻收缩率小于自由收缩率。

铸件在铸型中收缩时受到的阻力有以下几种

1. 铸型表面的摩擦力 其大小与铸件质(重)量、铸型表面的平滑程度有关。

2. 热阻力 由于铸件结构特点或其它因素造成铸件各部分冷却速度不一致, 使各部分的收缩彼此制约产生阻力, 而不能自由收缩时, 称为热阻力。

3. 机械阻力 铸件收缩时, 受到铸型和芯子的阻力称为机械阻力。

由于以上三种阻力的影响, 在进行铸件工艺设计时, 模样尺寸就必须按实际收缩率计算:

$$\epsilon_{\text{铸}} = \frac{t_1 - t_2}{t_2} \times 100\%$$

式中 $\epsilon_{\text{铸}}$ ——铸造收缩率;

t_1 ——模样尺寸;

t_2 ——铸件尺寸。

铸件的收缩率可根据合金种类、成分、铸件结构尺寸等参数决定, 见表 6-4。

为获得尺寸精度较高的铸件, 必须选取符合实际的铸造收缩率或模样缩尺。

2.4 铸铁的收缩特点及其影响

铸铁和任何铸造合金一样, 其收缩过程也分为三个互相联系的阶段, 即液态收缩、凝固收缩和固态收缩。但是铸铁的碳、硅含量最高, 凝固过程中有石墨的析出而使铸铁的收缩情况比较复杂。

铸铁共晶转变时, 共晶石墨的析出使铸铁具有缩前膨胀的特性。铸铁的缩前膨胀不仅影响固态自由线

收缩率的大小, 并且对于铸铁缩孔、缩松的形成也有着重要影响。

当铸铁的膨胀受到外界阻碍, 不能自由膨胀时, 就产生与外界阻力相平衡的膨胀力。

增大铸铁的膨胀力, 对正处于共晶转变阶段的铸铁而言, 意味着共晶团之间的共晶成分的液相受到更大的挤压而使这种液相提高了流动能力, 也就提高了铸铁凝固时期的自补缩能力。

表 6-4 几种合金的铸造收缩率

| 合金种类 | 自由收缩 | 受阻收缩 |
|------------------|---------|---------|
| 灰铸铁 | | |
| 中小型铸件 | 1.0 | 0.9 |
| 中大型铸件 | 0.9 | 0.8 |
| 特大型铸件 | 0.8 | 0.7 |
| 筒形铸件 长度方向 | 0.9 | 0.8 |
| 直径方向 | 0.7 | 0.5 |
| 孕育铸铁 HT250 | 1.0 | 0.8 |
| HT300 | 1.0 | 0.8 |
| HT350 | 1.5 | 1.40 |
| 白口铁 | 1.75 | 1.5 |
| 黑心可锻铸铁 壁厚 > 25mm | 0.75 | 0.5 |
| 壁厚 < 25mm | 1.0 | 0.75 |
| 白心可锻铸铁 | 1.75 | 1.5 |
| 球墨铸铁 | 1.0 | 0.8 |
| 铸钢 碳钢和低合金钢 | 1.6~2.0 | 1.3~1.7 |
| 含铬高合金钢 | 1.3~1.7 | 1.0~1.4 |
| 铁素体—奥氏体钢 | 1.8~2.2 | 1.5~1.9 |
| 奥氏体钢 | 2.0~2.3 | 1.7~2.0 |
| 有色金属 锡青铜 | 1.4 | 1.2 |
| 无锡青铜 | 2.0~2.2 | 1.6~1.8 |
| 锌黄铜 | 1.8~2.0 | 1.5~1.7 |
| 硅黄铜 | 1.7~1.8 | 1.6~1.7 |
| 锰黄铜 | 2.0~2.3 | 1.8~2.0 |
| 铝硅合金 | 1.0~1.2 | 0.8~1.0 |
| 铝镁合金 | 1.3 | 1.0 |
| 镁合金 | 1.6 | 1.2 |

注: 1. 此表适合于砂型铸造。

2. 通常简单厚实件的收缩可视为自由收缩, 除此之外均视为受阻收缩。

3. 湿砂型、水玻璃砂型的铸造收缩率应比干砂型大些。油砂芯的收缩率介于湿型和干型之间。

铸铁件凝固时, 当析出一定量的固相而连成骨架后, 石墨析出的膨胀力作用在骨架上, 使铸件尺寸变大, 即缩前膨胀, 缩前膨胀与石墨化程度有关。缩前膨胀对铸件的热裂倾向性和形成缩松的倾向性有着很大影响。

3 铸件设计要点和铸件的工艺性

生产铸件, 不仅需要采用先进合理的铸造工艺和

设备,而且还要使零件结构本身符合铸造生产的要求。这种对于铸造工艺过程来说的铸件结构的合理性,称为铸件的“铸造工艺性”。

铸件的结构是否合理,和铸造合金的种类和性能,对铸件的质量要求和产量的多少、铸造工艺方法和生产条件等均有密切的关系。在一些情况下,改善结构工艺性所带来的技术经济效果可以和生产过程合理化、机械化、自动化的作用相提并论。

3.1 铸件品质(质量)对零件结构的要求

合理的零件结构可简便地消除许多铸造缺陷,保证铸件品质(质量)。

3.1.1 铸件的壁厚应合理

每一种铸造合金的铸件,都有其合适的壁厚范围,如果选择得当,既可保证铸件的力学性能要求,又可方便铸造生产,同时还可节约金属材料,减轻铸件质(重)量。

在一定铸造条件下,铸造合金能充满铸型的最小厚度称为该铸造合金的最小壁厚。为了避免铸件的浇不足和冷隔等缺陷,铸件的设计壁厚应不小于最小壁厚。最小壁厚的数值除与铸造合金的种类有关外,还与铸造方法、铸件形状、大小等因素有关。

砂型铸造铸件的最小壁厚参考表 6-5~表 6-9。

表 6-5 砂型铸造铸铁件的最小壁厚 (mm)

| 铸 铁 种 类 | 铸件最大轮廓尺寸 | | | | | |
|-----------|----------|---------|---------|----------|-----------|-------|
| | <200 | 200~400 | 400~800 | 800~1250 | 1250~2000 | >2000 |
| 灰铸铁 | 3~4 | 4~5 | 5~6 | 6~8 | 8~10 | 10~12 |
| 孕育铸铁 | 5~6 | 6~5 | 8~10 | 10~12 | 12~16 | 16~20 |
| 球墨铸铁 | 3~4 | 4~8 | 8~10 | 10~12 | — | — |
| 含 P 较高的铸铁 | 2 | | — | | | |
| 可 锻 铸 铁 | 铸件轮廓尺寸 | | | | | |
| | <50 | 50~100 | 100~200 | 200~350 | 350~500 | |
| | 2.5~3.5 | 3~4 | 3.5~4.5 | 4~5.5 | 5~7 | |

表 6-6 砂型铸造铸钢件的最小壁厚 (mm)

| 铸 钢 种 类 | 铸件最大轮廓尺寸 | | | | | |
|---------|----------|---------|---------|----------|-----------|-----------|
| | <200 | 200~400 | 400~800 | 800~1250 | 1250~2000 | 2000~3000 |
| 碳素钢 | 8 | 9 | 11 | 14 | 16~18 | 20 |
| 低合金结构钢 | 8~9 | 9~10 | 12 | 16 | 20 | 25 |
| 高锰钢 | 8~9 | 10 | 12 | 16 | 20 | 25 |
| 不锈钢 | 8~10 | 10~12 | 12~16 | 16~20 | 20~25 | — |
| 耐热钢 | 8~10 | 10~12 | 12~16 | 16~20 | 20~25 | — |

表 6-7 砂型铸造铝合金铸件的最小壁厚 (mm)

| 合金种类 | 铸件最大轮廓尺寸 | | | | |
|-------|----------|---------|---------|---------|----------|
| | <100 | 100~200 | 200~400 | 400~800 | 800~1250 |
| 铸造铝合金 | 3 | 4~5 | 5~6 | 6~8 | 8~12 |

表 6-8 砂型铸造镁合金、锌合金铸件的最小壁厚 (mm)

| 合金种类 | 铸件大小 | |
|-------|----------|----------------------------|
| | 小件 | 中件 ($\leq 400\text{mm}$) |
| 铸造镁合金 | 4 | 6 |
| 铸造锌合金 | ≥ 3 | — |

表 6-9 砂型铸造铜合金铸件的最小壁厚 (mm)

| 合 金 种 类 | 铸件最大轮廓尺寸 | | | |
|---------|----------|----------|----------|---------|
| | <50 | 50~100 | 100~250 | 250~600 |
| 锡青铜 | 3 | 5 | 6 | 8 |
| 无锡青铜 | ≥ 6 | | ≥ 8 | |
| 黄铜 | ≥ 6 | | ≥ 8 | |
| 特殊黄铜 | 硅黄铜 | ≥ 4 | | |
| 黄铜 | 其它 | ≥ 6 | | |

3.1.2 铸件的临界壁厚

在确定铸件壁厚时,为了充分发挥金属的强度潜力,必须考虑铸造合金的力学性能对铸件壁厚的敏感性。各种铸造合金都存在一个临界壁厚,当铸件的壁厚超过这个厚度以后,铸件的强度并不是按比例地随着铸件厚度的增加而增加。

在砂型铸造条件下,各种铸造合金铸件的临界壁厚可按其最小壁厚的三倍来考虑。也可按表 6-10 和表 6-11 确定。

由上可见,各种资料推荐的临界壁厚数值并不相同,可根据具体条件参照选用。临界壁厚的数值对设计薄壁轻型铸件具有直接的参考价值,对于一些重型铸件亦可参考这些数值,从选择合理的断面形状方面着手以尽量避免过分厚大的断面。

铸钢件的合理壁厚可参考表 6-12 确定。

3.1.3 铸件壁的过渡和连接

3.1.3.1 壁的连接形式 在铸件结构设计中经常碰到两个、三个甚至更多的壁相连接的情况。它们形成了以下一些典型的连接形式:

1) 过渡连接:处于同一平面内的两个不同厚度壁的连接;

2) L形连接:两壁呈直角相连接;

3) V形连接:两壁呈锐角相连接;

4) T形连接:两壁互相垂直连接;

5) Y形连接:三个壁呈 Y 形连接;

6) K形连接:三个壁呈 K 形连接;

7) X形连接:两个壁或数个壁交叉连接。

3.1.3.2 设计注意事项 正确地设计壁连接,对防止缩孔、缩松、裂纹、变形、粘砂等铸造缺陷,提高铸件质量等有着十分重要的意义。在连接形式的选用与设计应注意:

表 6-10 砂型铸造各种铸造合金的临界壁厚

(mm)

| 合金种类与牌号 | | 铸件大小 (kg) | | |
|---------|---------------------------------|-----------|--------|-------|
| | | 0.1~2.5 | 2.5~10 | >10 |
| 灰 铸 铁 | HT100, HT150 | 8~10 | 10~15 | 20~25 |
| | HT200, HT250 | 12~15 | 12~15 | 12~18 |
| | HT300 | 12~18 | 15~18 | 25 |
| | HT350 | 15~20 | 15~20 | 25 |
| 可锻铸铁 | KTH300-06 KTH330-08 | 6~10 | 10~12 | — |
| | KTH350-10 KTH370-12 | 6~10 | 10~12 | — |
| 球墨铸铁 | QT400-15 QT450-10 | 10 | 15~20 | 50 |
| | QT500-07 QT600-03 | 14~18 | 18~20 | 60 |
| 碳素铸钢 | ZG200-400 ZG230-450 | 18 | 25 | — |
| | ZG270-500, ZG310-570, ZG340-640 | 15 | 20 | — |
| | 铸造铝合金 | 6~10 | 6~12 | 10~14 |
| | 铸造镁合金 | 10~14 | 12~18 | — |
| | 铸造锡青铜 | — | 6~8 | — |

表 6-11 碳素钢铸件砂型铸造的临界壁厚

(mm)

| 含碳量 (%) | 0.10 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 |
|-----------|------|------|------|------|------|
| 临界壁厚 (mm) | 11 | 13.5 | 18.5 | 27 | 39 |

表 6-12 铸钢件的合理壁厚

(mm)

| 铸件最大轮廓尺寸 | 当铸件轮廓的第二大尺寸为下列值时 | | | | | | |
|-----------|------------------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| | ≤350 | 351~700 | 701~1500 | 1501~3500 | 3501~5500 | 5501~7000 | >7000 |
| ≤1500 | 15~20 | 20~25 | 25~30 | — | — | — | — |
| 1501~3500 | 20~25 | 25~30 | 30~35 | 35~40 | — | — | — |
| 3501~5500 | 25~30 | 30~35 | 35~40 | 40~45 | 45~50 | — | — |
| 5501~7000 | — | 35~40 | 40~45 | 45~50 | 50~55 | 55~60 | — |
| >7000 | — | — | >50 | >55 | >60 | >65 | >70 |

注:1. 铸件尺寸较小时取下限,铸件尺寸较大时取上限。

2. 形状简单的铸件,其合理壁厚可适当减少。

3. 形状复杂的铸件,易变形的铸件,流动性较差钢件的铸件,其合理壁厚可适当增加。

1) 应优先选用 L 形连接, 图 6-5 和图 6-6 分别为铸钢之 L 形和 T 形连接接头的圆角半径与应力集中系数之间的关系。

2) 尽量减少与分散热节点, 避免壁的交叉。图 6-7~图 6-11 是各种连接形式的合理与不合理的对比实例。

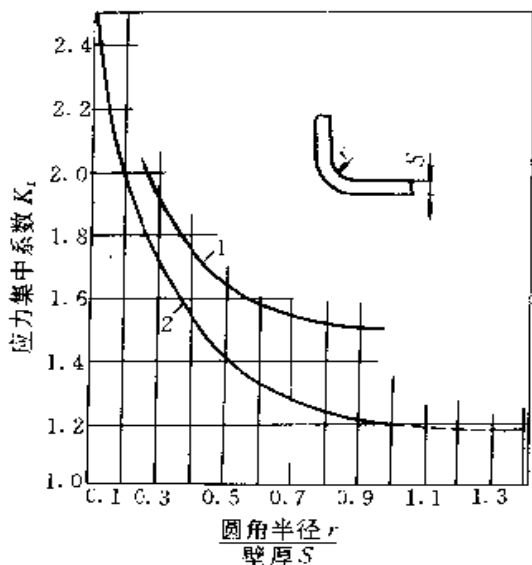


图 6-5 L 形连接圆角半径与应力集中系数的关系

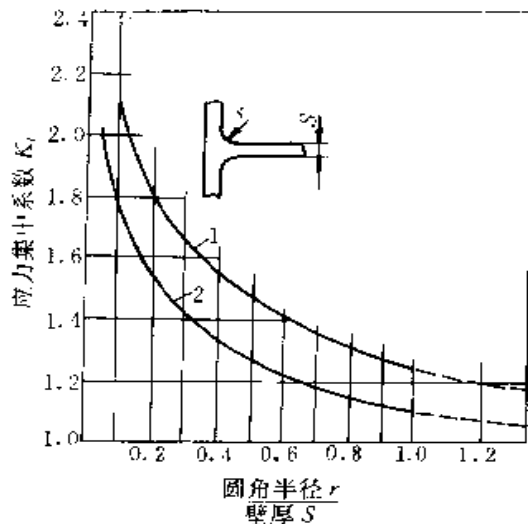


图 6-6 T 形连接圆角半径与应力集中系数的关系

1—扭转载荷下应力集中系数 2—拉伸载荷下应力集中系数 1—扭转载荷下应力集中系数 2—拉伸载荷下应力集中系数

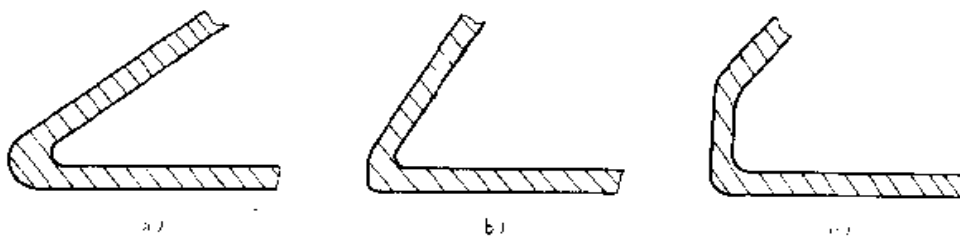


图 6-7 V 形连接形式
a) 不合理 b) 许可 c) 合理

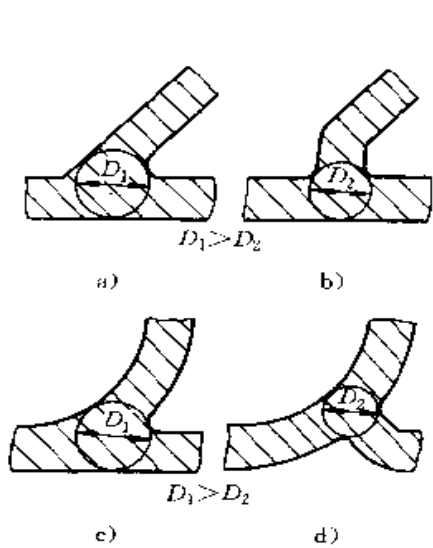


图 6-8 Y 形连接形式

a) 不合理 b) 合理 c) 不合理 d) 合理

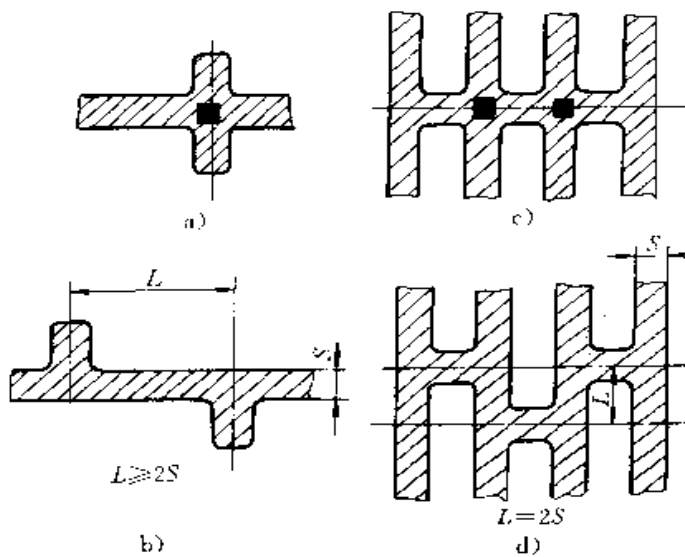


图 6-9 十字形连接形式

a) 不合理 b) 合理 c) 不合理 d) 合理

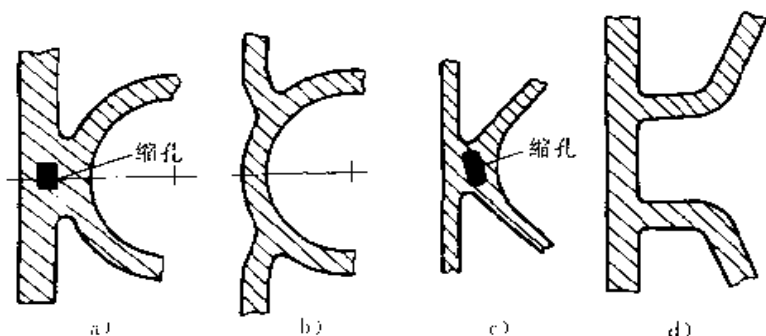


图 6-10 K形连接形式

a) 不合理 b) 合理 c) 不合理 d) 合理

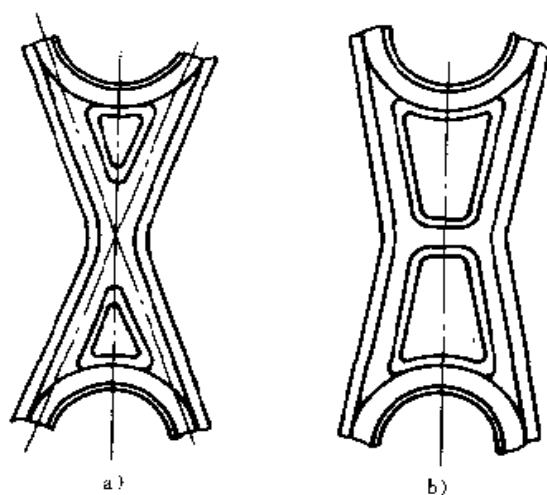


图 6-11 X形连接形式

a) 不合理 b) 合理

3) 对于互相连接的壁, 当壁厚不相等时, 应采取逐渐过渡的方式连接。壁厚的过渡形式和尺寸关系见表 6-13。

表 6-13 壁的过渡形式和尺寸关系

(mm)

| 壁厚比 | 过渡形式 | 合金种类 | 过渡尺寸 (圆角半径 R) | | | | | | | | | | |
|----------------------|------|-----------------------|--|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| $\frac{b}{a} \leq 2$ | | 铸铁件 | $R \geq \left(\frac{1}{6} - \frac{1}{3}\right) \left(\frac{a+b}{2}\right)$ | | | | | | | | | | |
| | | 铸钢件 可锻铸铁件 有色合金件 | $\frac{a+b}{2}$ | -12 | 12~16 | 16~20 | 20~27 | 27~35 | 35~45 | 45~60 | 60~80 | 80~110 | 110~150 |
| | | R | 6 | 8 | 10 | 12 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | |
| $\frac{b}{a} > 2$ | | 铸铁件 | $L \geq 4(b-a)$ | | | | | | | | | | |
| | | 铸钢件 | $L \geq 5(b-a)$ | | | | | | | | | | |

3.1.4 铸造斜度

为便于起模, 简化铸造工艺, 应在铸件非加工面上铸件壁的内、外两侧, 沿起模方向设计适当的斜度, 即铸造斜度。为从芯盒中取出型芯的方便, 铸件上相应部位亦应有一定的铸造斜度。铸造斜度的设计请参考本章 5.5 节“起模斜度”。

3.1.5 铸件加强肋(筋)

加强肋(筋)可以在不显著增加甚至减轻铸件质(重)量的情况下增加铸件的强度, 防止铸件产生裂纹、变形、缩孔等缺陷。

设计加强肋(筋)时, 应尽量减少与分散热节点, 除此还应注意:

1) 应用加强肋(筋)来提高铸件的载荷性能, 防止铸造缺陷。如图 6-12。

2) 加强肋(筋)的布置, 应尽量减少热节点, 如图 6-13。

3) 铸铁的抗压强度是抗拉强度的 3~4 倍, 因此, 铸铁件的加强肋(筋)不应使其处在拉应力状态下(图 6-13a), 而应使其在承受压应力状态下工作(6-13b), 镁合金铸件也有此特点。

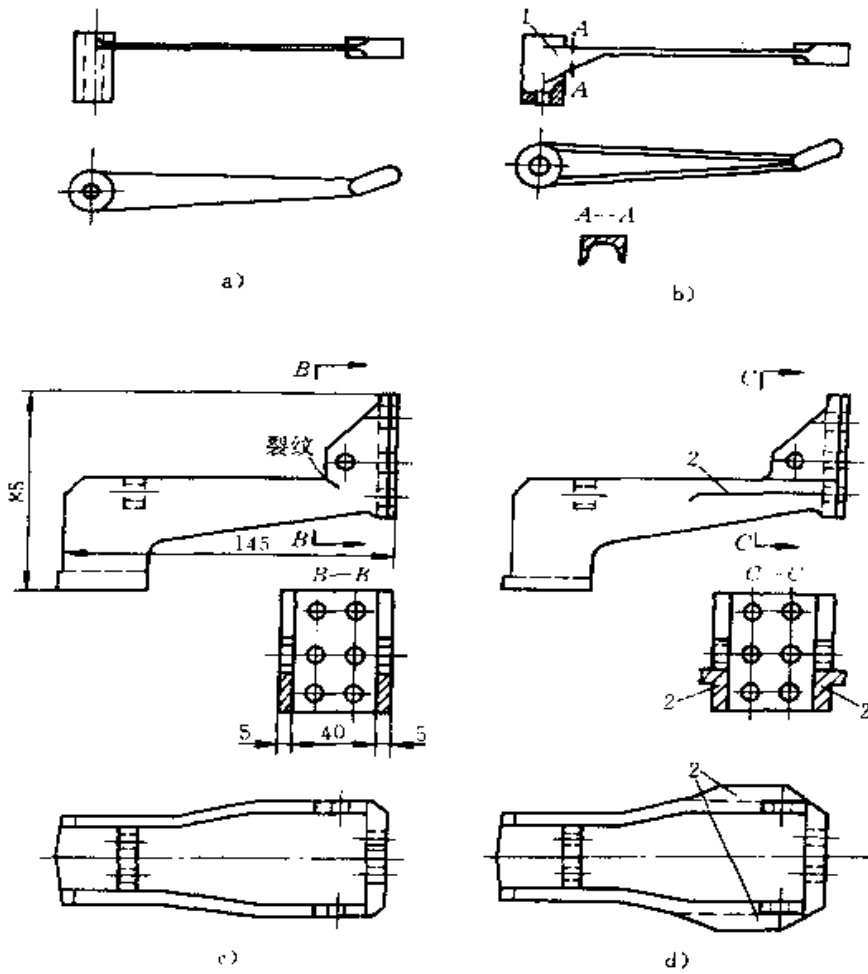


图 6-12 加强肋(筋)增加铸件的强度和刚度
a、c) 不加肋(筋)结构 b、d) 加肋(筋)结构 1、2—加强肋(筋)

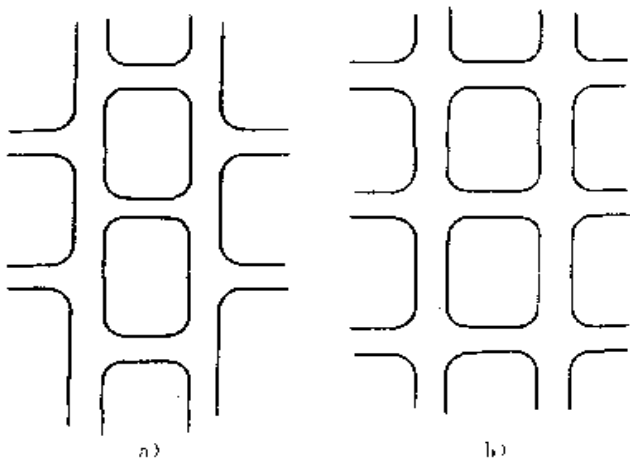


图 6-13 肋(筋)与肋(筋)的交叉布置
a) 合理 b) 不合理

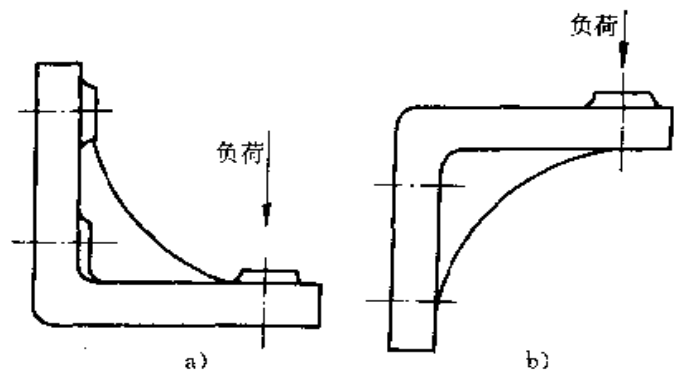


图 6-14 铸铁件(支架)加强肋(筋)的布置
a) 肋(筋)受拉应力, 不合理
b) 肋(筋)受压应力, 合理

4) 设置肋(筋)时应不妨碍起模,不妨碍清砂,且不应削弱型芯强度,如图6-15和图6-16。

5) 加强肋(筋)的尺寸:一般按下列关系式确定加强肋(筋)的尺寸:

$$t_1 = 0.8T$$

$$t_2 = (0.6 \sim 0.7)T$$

$$h \leq 5T$$

式中 t_1 ——铸件外表面上加强肋(筋)的厚度;

t_2 ——铸件内表面上加强肋(筋)的厚度;

T ——与肋(筋)连接的铸壁厚度;

H ——加强筋的高度。

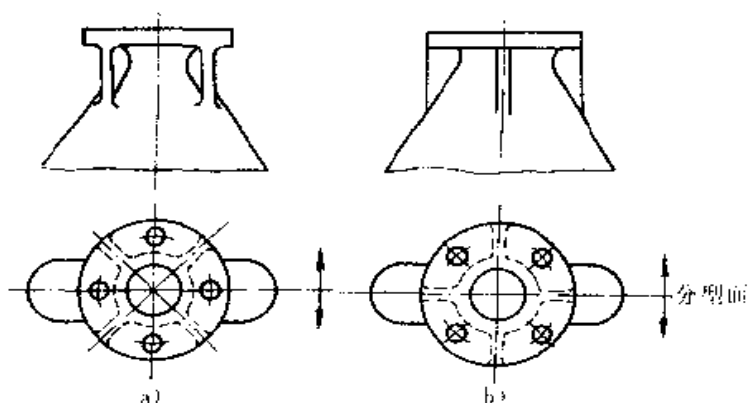


图6-15 肋(筋)的分布与造型工艺的关系

a) 不合理 b) 合理

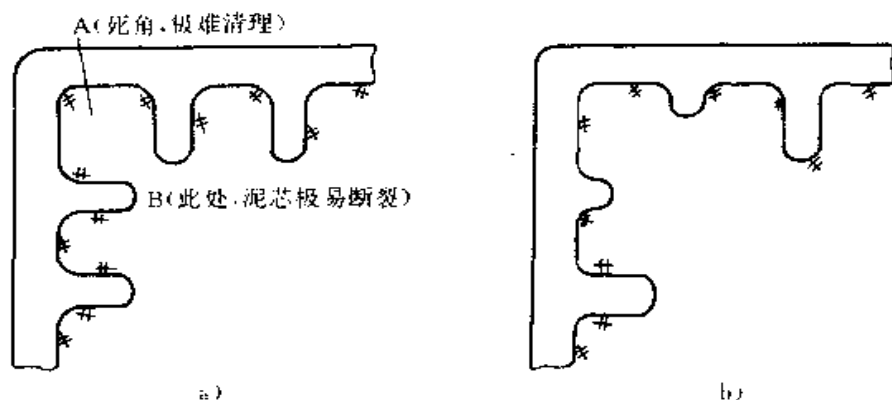


图6-16 肋(筋)对型芯强度与铸件清理的影响

a) 不合理 b) 合理

常用灰铸铁件肋(筋)的厚度可按表6-14选取。

表6-14 灰铸铁件合理的外壁、内壁和筋的厚度 (mm)

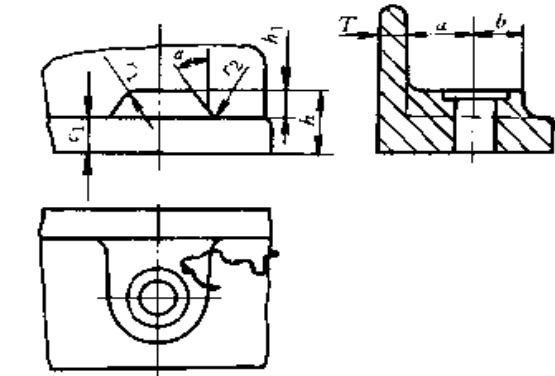
| 铸件质(重)量 | 铸件最大外形尺寸 | 外壁厚度 | 内壁厚度 | 筋的厚度 |
|----------|----------|------|------|------|
| ≤ 5 | 300 | 9 | 6 | 5 |
| 6~10 | 500 | 8 | 7 | 5 |
| 11~60 | 750 | 10 | 9 | 6 |
| 61~100 | 1250 | 12 | 10 | 8 |
| 101~500 | 1700 | 14 | 12 | 8 |
| 501~800 | 2500 | 16 | 14 | 10 |
| 800~1200 | 3000 | 18 | 16 | 12 |

3.1.6 凸台

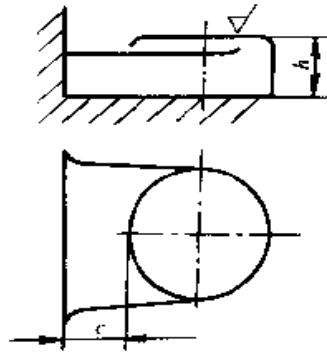
凸台设计要选择正确的形状和尺寸,否则在凸台内易形成缩孔、缩松等,有损铸件的质量。有关凸台的设计,见图6-17和图6-18。

3.2 铸造工艺对零件结构的要求

1. 简化模样和芯盒的制造 在单件小批生产的情况下,模型和芯盒的制造费用在铸件成本中占很大比重,在铸件结构设计中,从便于模型芯盒制造,节约模型材料和人工费用的角度出发,铸件应尽量采用规则的,易加工的平面、圆柱面、垂直连接等结构,螺钉孔周围尽量不用凸台结构并尽量减少铸件表面上的凹凸以减少活块,此外分模面数量应尽可能少,图6-19~图6-23为设计实例,其中a为不合理结构,b为合理结构。



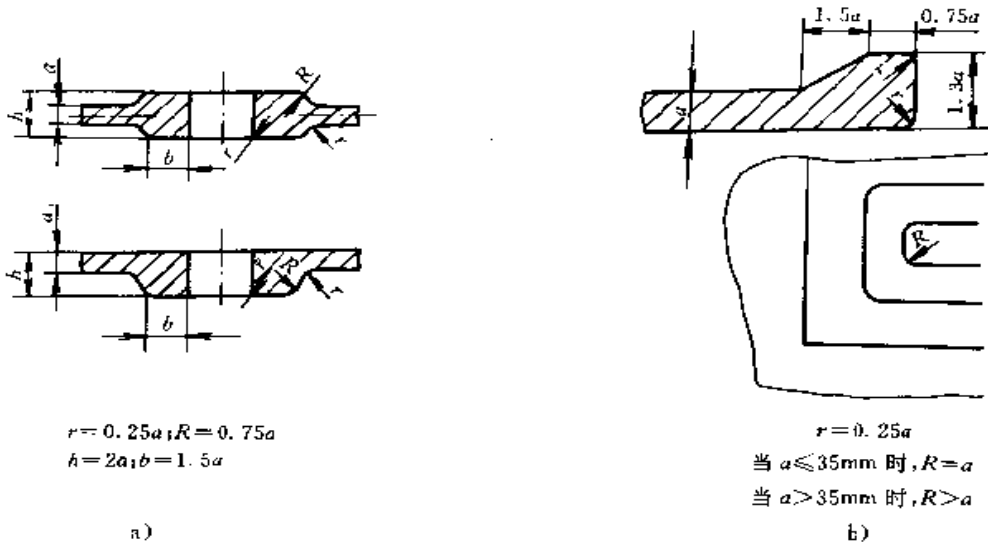
$c_1 = 1.5T; r_1 = 0.25T; r_2 = T$
 $\alpha = 30^\circ \sim 45^\circ; h_1 = (0.75 \sim 1.0)T$
 a, b 随螺孔大小而定



| (mm) | | | | | |
|------|-----------|-------|-------|-------|--------|
| h | ≤ 10 | 11~18 | 19~30 | 31~50 | > 50 |
| c | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 |

凸台与垂直壁距离小于 c 时,应与垂直壁连接

图 6-17 凸台的尺寸关系



$r = 0.25a; R = 0.75a$
 $h = 2a; b = 1.5a$

a)

$r = 0.25a$
 当 $a \leq 35\text{mm}$ 时, $R = a$
 当 $a > 35\text{mm}$ 时, $R > a$

b)

图 6-18 不在边缘的凸台的尺寸关系

a) 圆孔凸台 b) 方形孔凸台

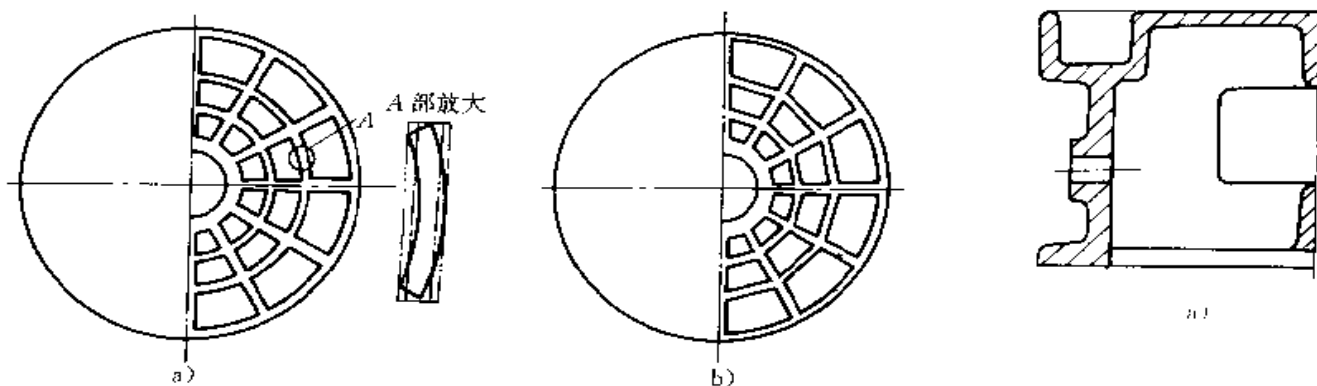


图 6-19 圆形铸铁平板的加强肋(筋)结构
a) 弧形肋(筋) b) 直线形肋(筋)

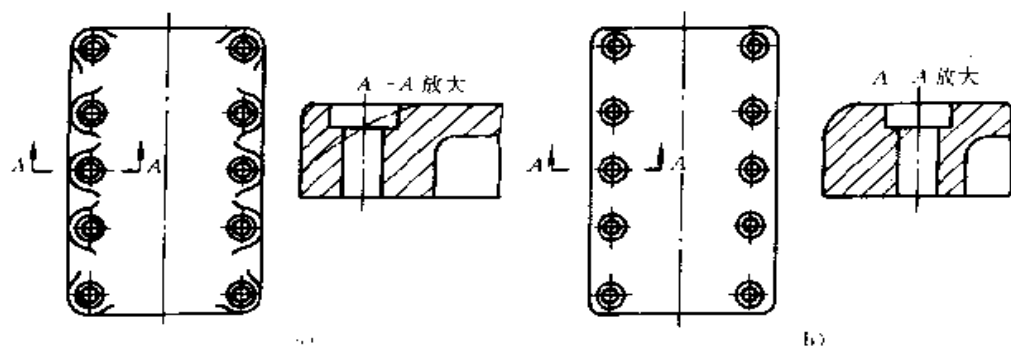


图 6-20 铸铁盖的结构
a) 具有凸台的螺钉孔 b) 平板螺钉孔

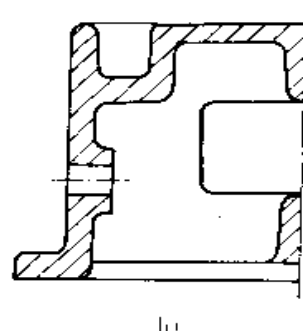


图 6-21 机座的结构
a) 不合理 b) 合理

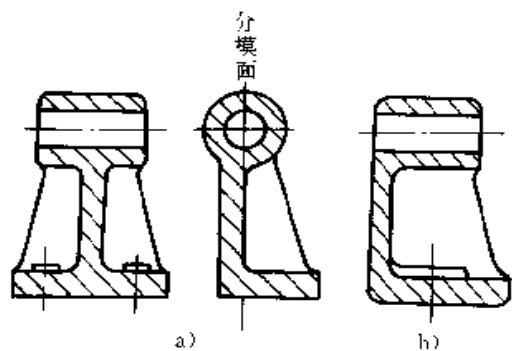


图 6-22 轴承座的结构
a) 要用分模造型的结构 b) 可用整体模造型的结构

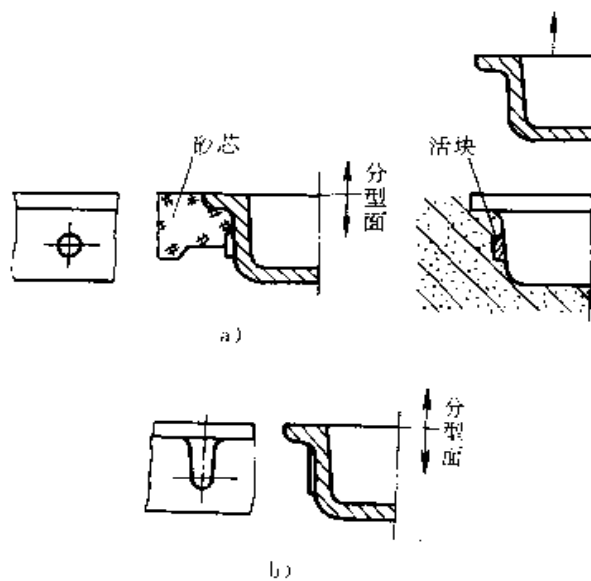


图 6-23 凸台形状与铸型工艺的关系
a) 用型芯或活块制造凸台 b) 改进结构, 简化工艺

2. 便于起模合理地设计凸台、肋(筋)、凹槽等, 以方便起模, 减少砂型的损坏, 保证铸件品质(质量)。

3. 简化分型面

1) 尽量使铸型的分型面是一个平面, 如图 6-24、图 6-25 所示。采用图 6-24a 和图 6-25a、b 结构要用曲面分型或用砂芯, 而采用图 6-24b 和图 6-25c 结构即可使分型面为一个平面。

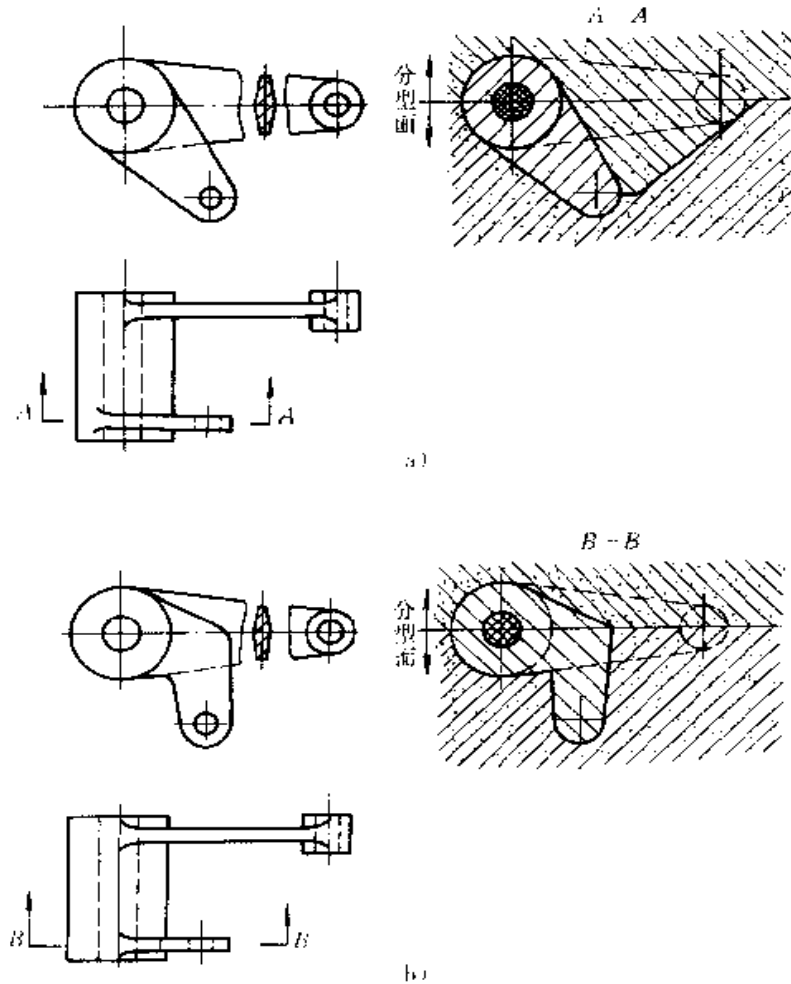


图 6-24 杠杆铸件的结构
a) 曲面分型 b) 使用型芯

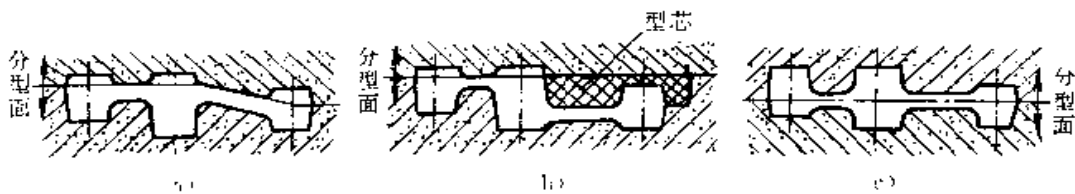


图 6-25 摇臂铸件的结构
a) 要用不平的分型面 b) 分型面为平面但需用砂芯 c) 平面分型

2) 尽量减少分型面的数量, 如图 6-26、图 6-27 所示。

4. 改进铸件内腔结构减少砂芯数量 (图 6-26)

5. 有利于砂芯固定和排气 铸件结构应有利于砂芯的固定和排气, 尽量避免使用悬臂砂芯、吊芯及芯撑。图 6-28、图 6-29 所示铸件, 改进设计后有利

于砂芯的固定和排气、保证了铸件尺寸精度。

6. 具有必要的铸造工艺孔 对于封闭或半封闭形状内腔的铸件, 要设计出铸造工艺孔, 以支撑砂芯, 方便排气。

7. 有利于清理铸件 铸件的结构设计应为铸件的最后清理提供方便, 图 6-30~6-31 为设计实例。

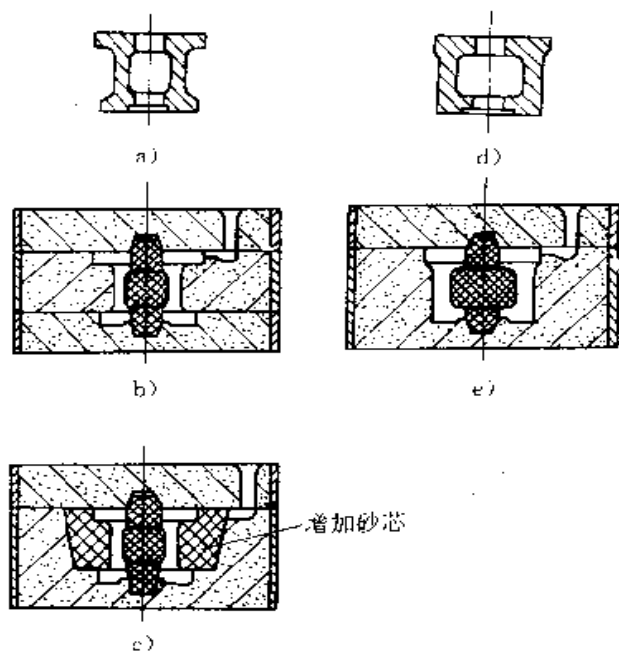


图 6-26 套筒铸件的结构

a, b, c) 原结构及铸造工艺 d, e 修改后结构及工艺

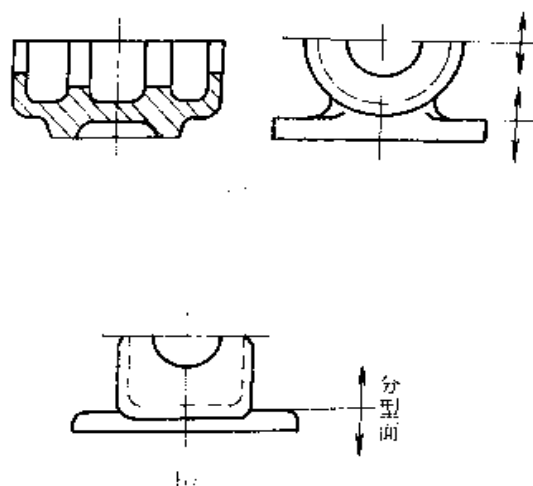


图 6-27 减少分型面的铸件结构

a) 两个分型面 b) 一个分型面

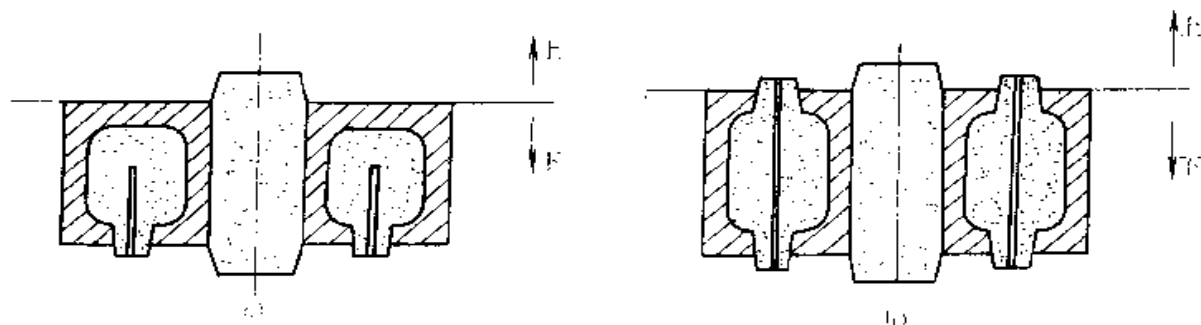


图 6-28 有利于砂芯固定和排气的铸件结构

a) 不合理 b) 合理

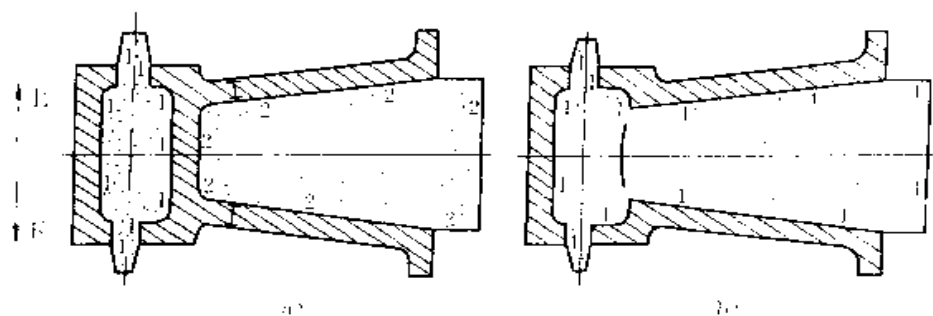


图 6-29 有利于提高铸件尺寸精度的铸件结构

a) 不合理 (需用芯撑) b) 合理

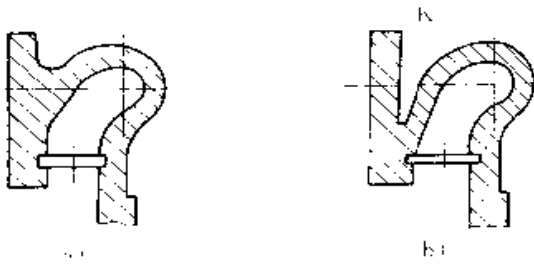


图 6-30 汽轮机缸体

a) 合理 b) 不合理 (K 部易粘砂, 不易清理)

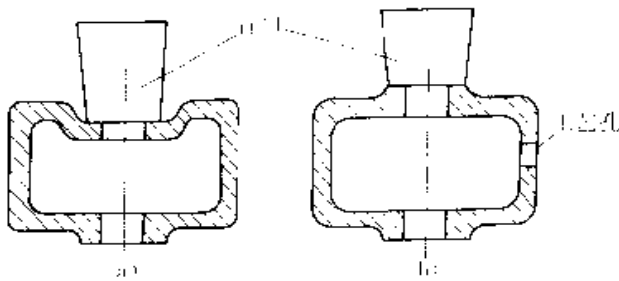


图 3-31 利于切割冒口和清除砂芯的结构

a) 不合理 b) 合理

8. 方便铸件加工 铸件结构应便于加工面的加工, 并能保证加工品质 (质量)。为便于转角部位的切削加工, 零件结构上应设计退刀槽。

9. 去除不必要的圆角 铸件转角处一般都希望用圆角联接, 部位规定必须做出圆角, 将使造型或制芯等工艺复杂, 这种情况下应将圆角取消, 见图 6-32 所示。

3.3 不同铸造合金对零件结构的要求

每种铸造合金都有其特有的铸造性能, 铸件结构应根据铸造合金收缩特性, 结合铸件结构形状特点进行设计。对于凝固收缩比较大, 容易产生集中缩孔的合金, 如铸钢、可锻铸铁、黄铜、铝青铜、铝硅共晶合金等, 宜采用定向凝固方式来设计铸件的壁厚; 对于容易产生缩松, 且采用冒口补缩效果不大的锡青铜、磷青铜等, 设计铸件壁厚时, 宜采用同时凝固方式以使缩松更分散一些; 对于收缩较小的合金, 如灰铸铁也倾向于采用同时凝固方式来设计铸件的壁厚。对于一些结构比较复杂的大型铸件, 可根据对其不同部位的质量要求, 分别按定向或同时凝固方式进行设计, 这样就容易保证铸件品质 (质量)。对于复杂的大型铸钢件, 为保证其品质 (质量), 可采用铸焊结构。

表 6-15 为常用铸造合金性能及其铸件结构的特点

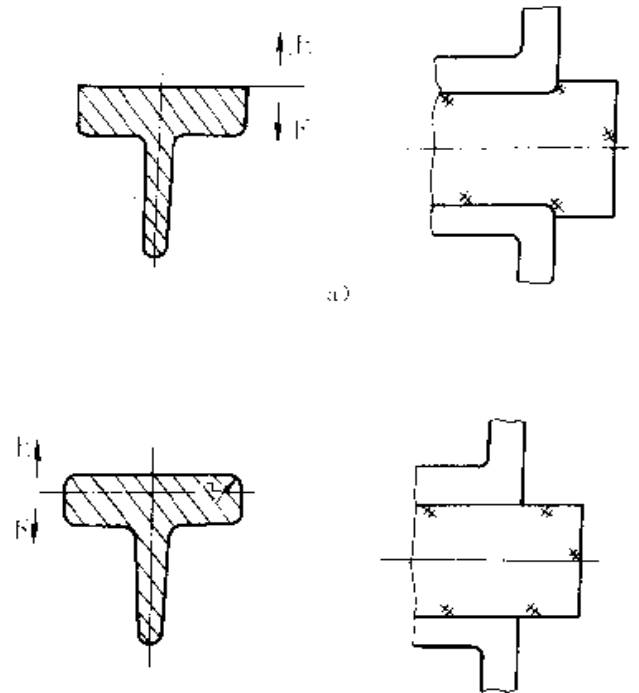


图 6-32 去除不必要的铸造圆角

a) 不合理 b) 合理

点, 在铸件结构设计时应采取合理的结构和工艺措施, 以保证铸件品质 (质量)。

表 6-15 常用铸造合金性能及其铸件结构的特点

| 铸件种类 | 合金性能特点 | 铸件结构特点 |
|-------|--|---|
| 灰铸铁件 | 流动性好, 体收缩和线收缩小。综合力学性能低, 并随截面增加显著下降, 弹性模数也较低, 但吸震性好 (比钢可高 10 倍), 对切口敏感性小, 抗压强度比抗拉强度约高 3~4 倍 | 可设计薄壁 (但不能过薄以防产生白口)、形状复杂的铸件。铸件中残留应力小, 吸震性好。不宜设计很厚大的铸件, 常采用非对称截面, 以充分利用其抗压强度 |
| 球墨铸铁件 | 流动性和线收缩与灰铸铁相近, 体收缩及形成内应力倾向较灰铸铁大, 易产生缩孔、缩松和裂纹。强度、塑性、弹性模数均比灰铸铁高, 吸震性比灰铸铁差 | 一般都设计成均匀壁厚, 尽量避免厚大截面。对某些厚大截面的球墨铸铁件可设计成中空结构或带肋 (筋) 的结构 |

(续)

| 铸件种类 | 合金性能特点 | 铸件结构特点 |
|-----------|--|---|
| 可锻铸铁 | 流动性比灰铸铁差, 体收缩大。退火前很脆, 毛坯易损坏。综合力学性能稍次于球墨铸铁, 冲击韧度比灰铸铁大 3~4 倍 | 由于铸态要求是白口铸铁, 因此一般只适宜设计薄壁的小铸件, 最适宜的壁厚为 5~16mm。壁厚应尽量均匀。为增加刚性, 截面形状多设计成 T 字形或工字形, 避免十字形截面。局部突出的部分应用筋加强 |
| 铸钢件 | 流动性差, 体收缩和线收缩都较大。综合力学性能较高, 抗拉和抗压强度相等。吸震性差, 对切口敏感性大。低碳钢焊接性能优良 | 铸件的最小壁厚比灰铸铁件要大, 不宜设计复杂形状的铸件。铸件的铸造应力大, 易变形。在结构上应尽量减少热节点, 相连壁的圆角和不同壁的过渡段要比铸铁大。有时可采用铸焊结构 |
| 铝合金铸件 | 铸造性能类似铸钢, 但相对强度随截面增加而显著下降 | 壁不能太厚, 其余结构特点类似铸钢件 |
| 锡青铜和磷青铜铸件 | 铸造性能类似灰铸铁, 但结晶间隔大, 易产生缩松。高温性能差, 发脆。强度随截面增加显著下降 | 壁不能过厚, 铸件上局部突出部分应用较薄的筋加强, 以免热裂。铸件形状不宜设计得太复杂。 |
| 无锡青铜和黄铜铸件 | 流动性好, 收缩较大, 结晶范围小, 易产生集中缩孔 | 与铸钢件类似 |

3.3.1 铸铁件结构特点

3.3.1.1 灰铸铁和球墨铸铁件

(1) 考虑强度特点 铸铁强度的显著特点之一是其抗压强度比抗拉强度要高很多。为充分利用材料特点, 应采用相应的截面形状, 力求使铸件上受压应力的作用, 如图 6-33 所示。

(2) 避免出现白口冷硬层 灰铸铁流动性好, 可根据需要设计壁较薄、形状复杂的铸件, 但壁也不能太薄, 尖角处尤应适当加厚, 以防出现白口组织使该处又硬又脆难于加工。如图 6-34, A 处尖角易产生白口组织。

(3) 考虑壁厚敏感性大的特点 在铸造合金中, 普通灰铸铁力学性能对壁厚的敏感性最显著, 因此不宜采用增加壁厚的方法提高铸件的承载能力, 可通过采用合理的截面形状达到既消除厚大截面又提高承载

能力的目的。各种牌号灰铸铁件的临界厚度参考表 6-10。

(4) 防止变形, 避免矫正 灰铸铁几乎没有塑性, 产生变形后不能象铸钢件那样进行矫正, 因此应尽量采用防变形结构。

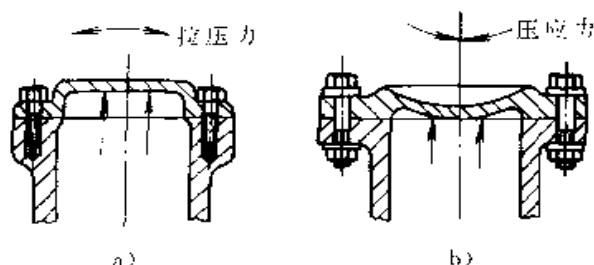


图 6-33 压力容器盖的受力状态

a) 不合理 b) 合理

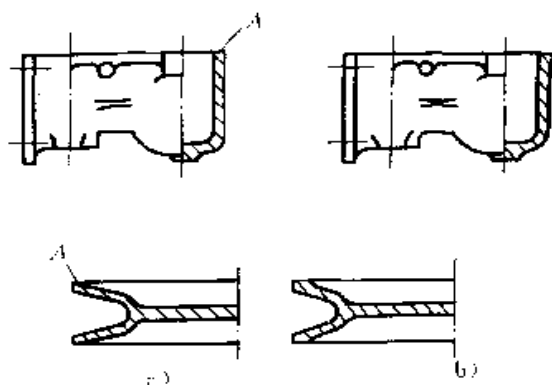


图 6-34 铸铁壳体和绳轮

a) 不合理 b) 合理

(5) 球墨铸铁件与灰铸铁件的结构差别 球墨铸铁为糊状凝固方式的合金, 其收缩比灰铸铁大 (接近于铸钢), 易产生缩孔、缩松, 而且球墨铸铁件的补缩性差, 加上相变应力, 使其韧度很差, 因此壁厚不均的球墨铸铁件易产生裂纹。如图 6-35 所示的缸体

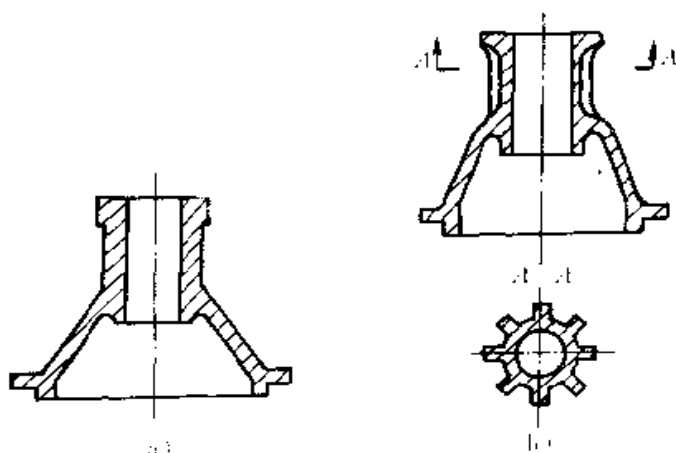


图 6-35 灰铸铁与球墨铸铁缸体结构的比较

a) 灰铸铁缸体 b) 球墨铸铁缸体

铸件。当材质为灰铸铁时，可采用图 6-35a 的结构，当采用球墨铸铁时，应采用图 b 结构。

3.3.1.2 可锻铸铁件

1) 可锻铸铁件，是由白口铸铁坯料经石墨化退火后制成的，其铸件壁不能太厚，否则易出现灰口或麻口组织，使铸件的力学性能下降。一般冲天炉熔化时，最大壁厚不应超过 25mm，电炉熔炼时，最大壁厚不应超过 35mm。

2) 可锻铸铁件用低碳、低硅铁液浇注，这种成分的铁液收缩大，在铸件的厚大处和热节处易产生缩孔、缩松和裂纹缺陷，因此常需设置冒口进行补缩，在设计铸件结构时，应尽量给设置冒口提供方便和提高其补缩效果，如图 6-36b 采用侧冒口补缩铸件上的热节时，比图 6-36a 的结构造型方便，补缩效果也好得多（冒口离热节处很近）。

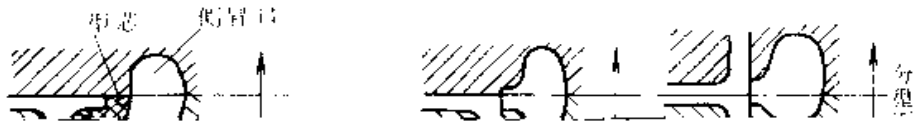


图 6-39 的结构, 可避免切削加工。对于需要加工螺纹孔的部分则可采用镶铸法, 见图 6-40。

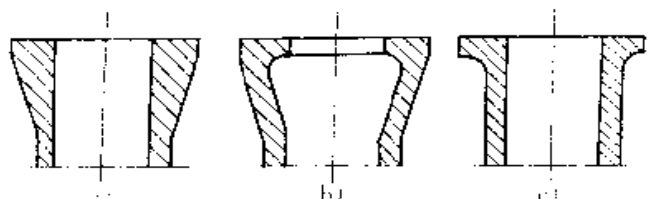


图 6-38 高硅铸铁筒体

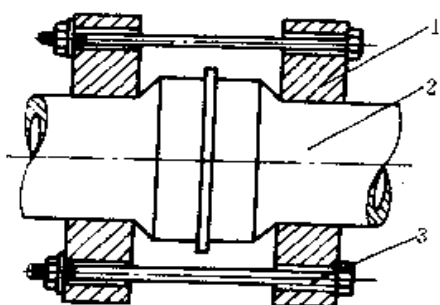


图 6-39 高硅铸铁管道的连接

1—钢环 2—高硅铸铁管道 3—钢螺栓

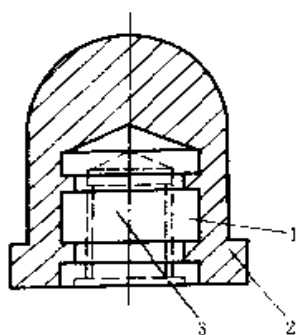


图 6-40 带有镶铸物的高硅铸铁件

1—嵌铸钢棒 2—高硅铸铁件 3—螺纹孔

3.3.1.4 高铬铸铁件 高铬耐蚀铸铁的铸造性能介于灰铸铁和铸钢之间, 具有以下特点:

- 1) 过热温度较高时其流动性才比较好。
- 2) 凝固收缩较大, 与白口铸铁相近。
- 3) 线收缩值较大 (1.5%~2%)。
- 4) 极易形成粗晶粒和穿晶 (特别是含碳量较低时)。
- 5) 热导率较小, 弹性模量比灰铸铁高。

因此高铬铸铁件很容易形成缩孔和裂纹。在结构设计时应尽量使壁厚均匀, 避免厚大截面和金属局部堆积。由于其热导率小、弹性模量高, 因此应采用能自由收缩的结构, 以减小铸造应力, 防止产生裂纹。

3.3.2 铸钢件的结构特点

铸钢的铸造性能与铸铁相比有很大的差别, 它的熔点高、流动性低、线收缩和体积收缩大, 极易产生缩孔、缩松、浇不到、裂纹和变形等铸造缺陷。现将各种铸钢件的结构特点归结如下:

3.3.2.1 碳钢铸件与低合金钢铸件 碳素钢与低合金钢的铸造性能差别不大, 因此低合金铸钢件的结构可按碳素钢铸件的结构设计。

1) 低碳钢 ($C < 0.2\%$) 的熔点较高, 流动性较低, 结晶温度范围窄, 产生热裂的倾向性小; 高碳钢 (含 $C < 0.5\%$) 比低碳钢的流动性好, 结晶温度范围宽, 易产生缩松。

2) 由于碳钢的流动性比铸铁低得多, 其最小壁厚应比铸铁件大, 铸造圆角和壁的过渡尺寸也应较大。

3) 为防止由于铸钢熔点高引起的粘砂, 铸件上应避免过窄的凹槽与内尖角。

4) 对于承受高温、高压、高疲劳或高冲击应力的重要碳钢铸件, 应按定向凝固原则设计铸件的结构, 以利于补缩, 使铸件组织致密, 无缩孔、缩松等缺陷。

对于一些尺寸不大, 壁较薄又均匀的碳钢铸件按同时凝固原则考虑结构, 但应注意到在铸件壁的中心往往会存在轴线缩松。承受弯曲应力的铸件或压应力的铸件一般允许存在一定的缩松。

有时可采用改变结构的方法, 使铸钢件的热节点转移到不重要的或无需消除缩孔、缩松的位置。

5) 铸钢的塑性比较好, 其变形可采用火焰矫正或机械加压矫正。

6) 铸焊结构件应采用焊接结构, 用碳素铸钢制造。

图 6-41~6-45 是铸钢件结构合理化的举例。

3.3.2.2 高锰钢铸件 设计高锰钢铸件应考虑它的以下特点:

1) 为防止裂纹和析出碳化物, 应尽量按同时凝固原则设计高锰钢铸件的结构。如拖拉机的履带板、球磨机的衬板、破碎机的内板等高锰钢铸件, 其壁厚都比较均匀。在此情况下, 铸造时一般可不放冒口, 水韧处理时由于冷却均匀, 也不易产生裂纹、不易析出碳化物。

2) 高锰钢的线收缩大 (2.2%~3.0%), 导热性差, 铸件结构尽量不妨碍收缩。

3) 由于高锰钢难于加工, 设计时应尽量采用不需加工的结构, 必须设固定用螺钉孔时, 可镶铸软钢, 使其不致在铸件水韧处理时淬硬。

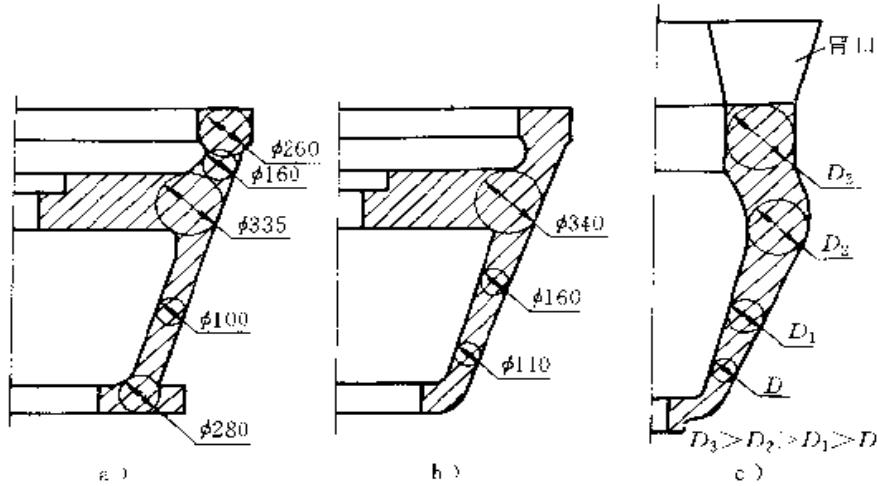


图 6-41 用内接圆判断铸件的凝固顺序

a) 原结构内接圆 b) 虽有改进但仍需补贴引出热节圆 c) 可实现定向凝固的结构

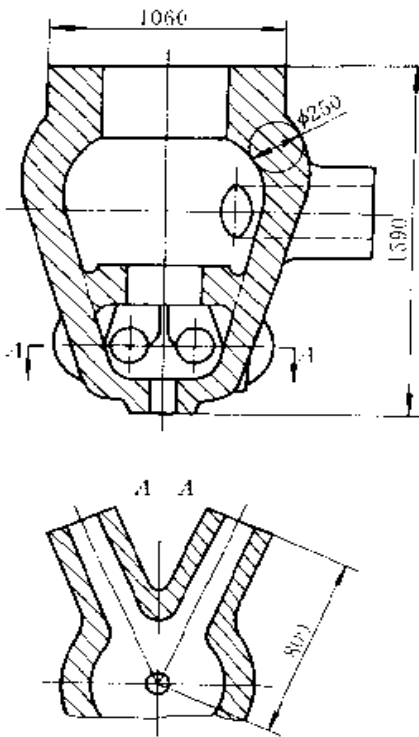


图 6-42 按定向凝固原则设计的铸钢阀体

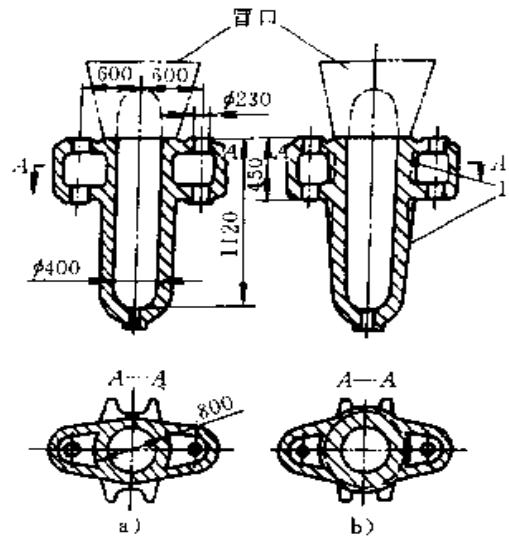


图 6-43 水压机缸体

a) 壁厚均匀不合理 b) 非加工铸壁由下而上逐渐增厚, 利于冒口补缩, 合理

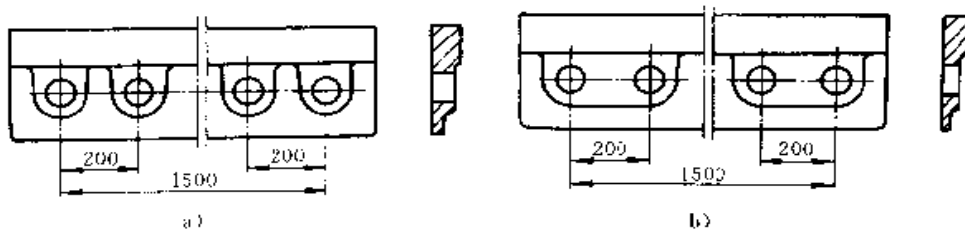


图 6-44 铸钢压板

a) 热节分散 b) 合理

3.3.3 有色金属铸件的结构特点

3.3.3.1 铝合金、镁合金铸件

1) 铝、镁合金的熔点低, 可以采用砂型铸造、金

属型铸造、低压铸造、压铸、壳型铸造等多种铸造方法生产。设计铝、镁合金铸件结构时, 应首先考虑该铸件采用哪种方法铸造, 以便按工艺特点考虑相应的结构。

2) 尽量采用薄壁结构, 力求壁厚均匀, 这对防止缩孔缩松, 提高铸件金属的强度均有利, 图 6-46

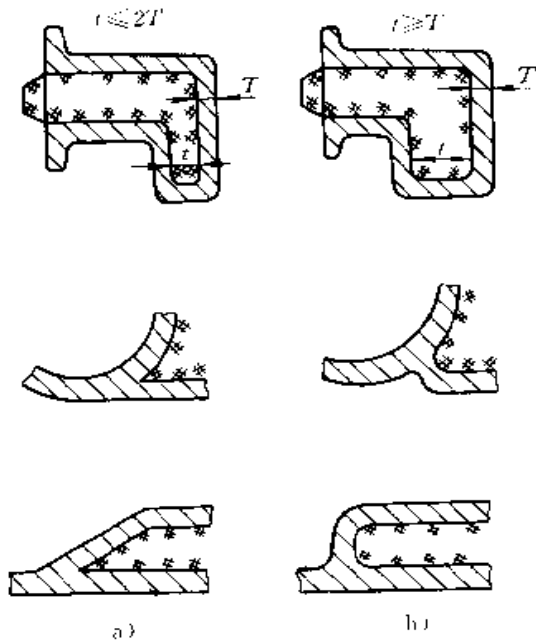


图 6-45 铸钢件防止粘砂的结构
a) 不合理 b) 合理

为铝镁合金的结构单元实例。图 6-47 为铝合金铸件的

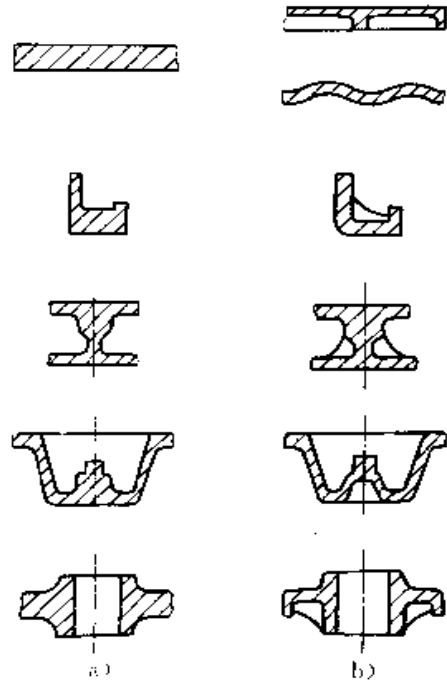


图 6-46 铝镁合金铸件结构单元实例
a) 不合理 b) 合理

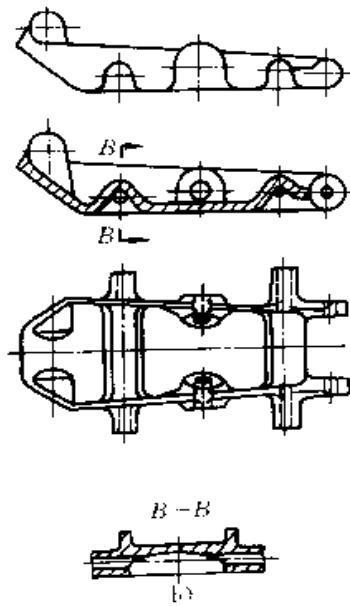
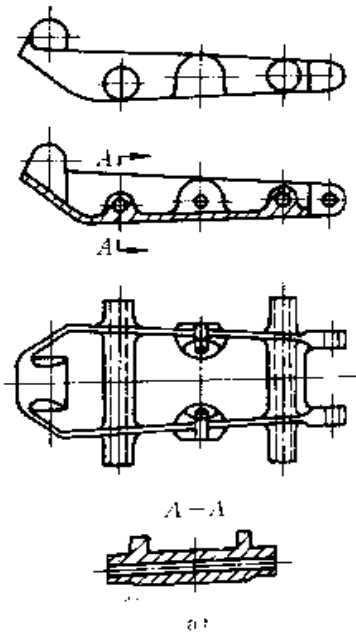


图 6-47 铝镁合金铸件的不合理结构与合理结构图例
a) 不合理 b) 合理

3) 对壁厚不均需设置冒口补缩的铝镁合金铸件, 可采用加厚某些部位, 实现定向凝固以利于补缩, 保证铸件品质 (质量)。见图 6-48。

4) 铝镁合金线收缩较大, 弹性模量较低, 对局部应力集中较敏感, 结构设计时应注意这些问题。图 6-49 ~ 图 6-53 为铝、镁合金结构设计实例。

3.3.3.2 铜合金铸件 各种成分的青铜和黄铜的力

学性能和铸造性能有相当大的差别, 因此它们的结构特点也不一样, 必须区别对待, 千万不可误认为铜合金都是一样的。

(1) 锡青铜铸件 锡青铜的结晶范围宽, 铸件易产生分散的缩松, 不可能通过设置冒口得到致密的铸件, 应尽量采用薄壁结构; 对气密性要求较高的锡青铜铸件应避免机械加工, 尽量保留组织致密的激冷层

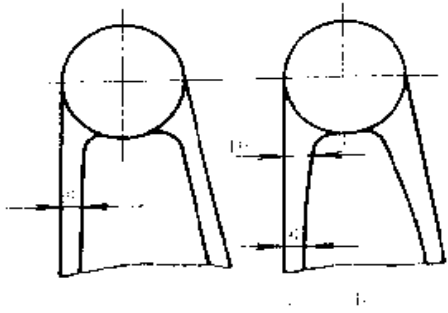


图 6-48 铝合金支座
a) 不合理 b) 合理

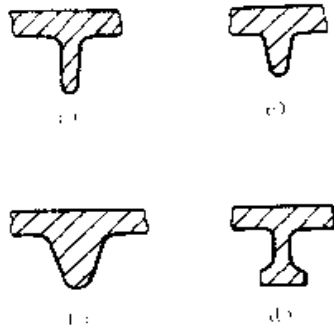


图 6-49 铝镁合金铸件上加强肋(筋)的形状
e) 肋(筋)的边缘易产生应力集中
b) 肋(筋)太厚 c、d) 合理

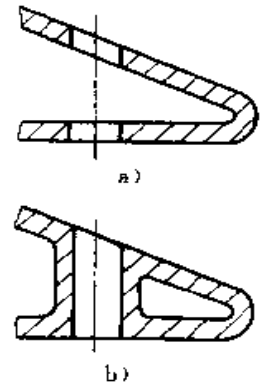


图 6-50 铝镁合金铸件上孔的加强
a) 原设计 b) 经改进

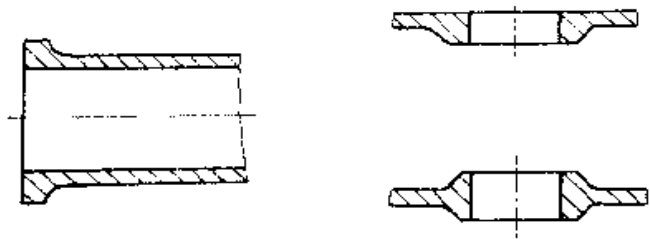


图 6-51 用凸边加强铝镁合金铸件的孔

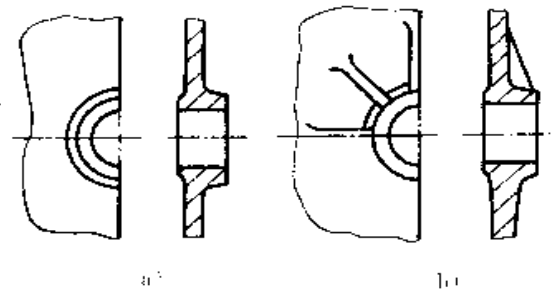


图 6-52 铝镁合金轮形铸件的加强肋(筋)
a) 没有加强肋(筋)

b) 轮毂和辐板用加强肋(筋)联接(铸造黑皮)。铸件结构应避免凸出部分,使其自由收缩,防止产生裂纹。锡青铜流动性好,设计中应避免小直径的深孔和深槽。

(2) 特种青铜和黄铜铸件 这类铜合金的特点是:体收缩和线收缩都较大;易氧化;气孔、缩松倾向大。因此一般都按铸钢件设计原则进行设计。不同壁厚的过渡要平缓,壁厚差不应太大,两者之比不应大于 2.6 (共止 2.2);当铸件上必须有厚大部分时,应按定向凝固原则进行设计,适当加厚铸件的主壁;有时可在铸件上设肋(筋)作为补缩通道,肋(筋)的厚度应等于 2~3 倍壁厚。加厚铸件壁还可使氧化膜容易上浮排至冒口中。图 6-54 为三通阀阀体黄铜铸件。

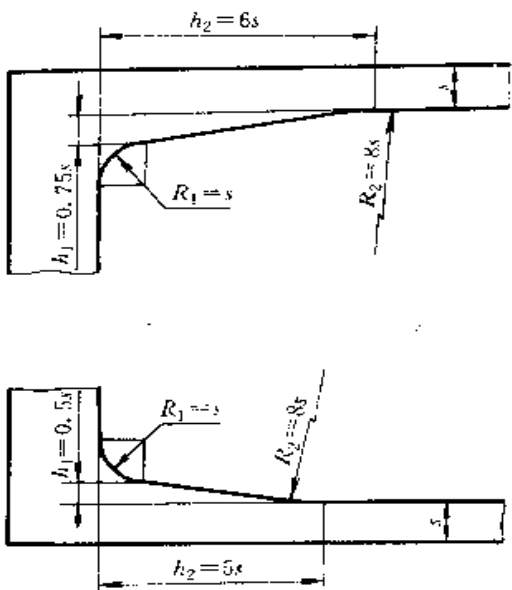


图 6-53 法兰与铸壁之间采用带斜度的加厚壁连接

4 砂型铸造的工艺方案

砂型铸造一般不受零件形状、大小及复杂程度的限制,而且造型材料来源广、成本低,目前砂型铸造

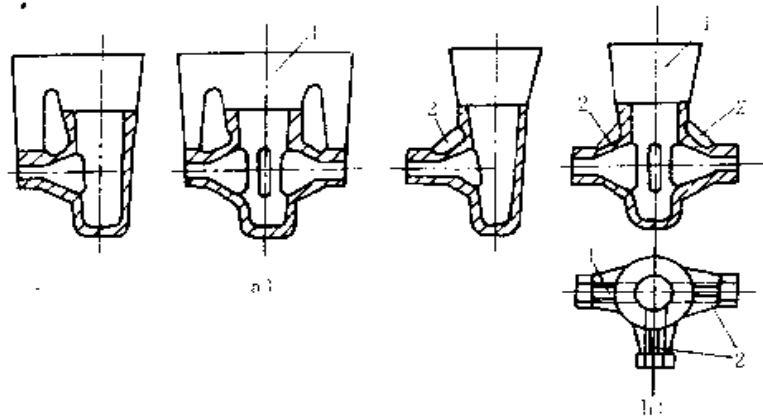


图 6-54 黄铜三通阀体铸件

a) 无增肉的结构与工艺 b) 有增肉的结构与工艺
1—冒口 2—增肉

所生产的铸件占铸件总产量的 80% 以上。

4.1 造型和造芯方法

铸造生产按砂型的紧实成型方式可分为手工造型和机器造型两大类。

4.1.1 手工造型、造芯

手工造型和造芯使用工装简单、灵活，适应性强，适于单件小批生产，特别是制造大型铸件和复杂铸件。但其生产效率低、劳动强度大，质量不易稳定。表 6-16 为手工造型的各种方法，表 6-17 为手工造芯的各种方法。

表 6-16 手工造型分类表

| 造型方法 | 主要特点 | 应用情况 |
|------|--------------------------------|---------------------|
| 砂箱造型 | 在砂箱内造型，操作方便，劳动量较小 | 大、中、小铸件、大量成批和单件生产均可 |
| 脱箱造型 | 造型后取走砂箱，在无箱加套箱后浇注 | 用于大量、成批或单件生产的小件 |
| 刮板造型 | 用刮板刮制，可节省制造模样的材料和工时，操作麻烦，生产率较低 | 用于单件外形简单的铸件 |
| 组芯造型 | 铸型由多块砂芯组成，可在砂箱、地坑中或用夹具组装 | 用于单件或成批生产结构复杂的铸件 |
| 地坑造型 | 在地坑中造型，不用砂箱或只用一个盖箱，操作麻烦生产周期 | 用于单件生产的大中型铸件 |

表 6-17 手工造芯的各种方法

| 造芯方法 | 主要特点 | 应用情况 |
|------|---------------------------------|---------------------|
| 芯盒造芯 | 用芯盒内表面形成砂芯的形状，砂芯尺寸准确，可制造小而复杂的砂芯 | 各种形状、尺寸和批量的砂芯均可采用 |
| 刮板造芯 | 与刮板造型相似 | 用于单件小批生产，形状简单或回转体砂芯 |

4.1.2 手工造型操作方法简介

4.1.1.1 砂箱造型

(1) 两箱造型 两箱造型按模样结构又可分为整体模样、分开模样和刮板模样造型。

整体模样造型时，先用模样将下型舂好，然后翻箱，舂上型，然后开型，取出模样。分开模样的造型见图 6-55。整体模样造型和分体模样造型操作简单，应用甚广。

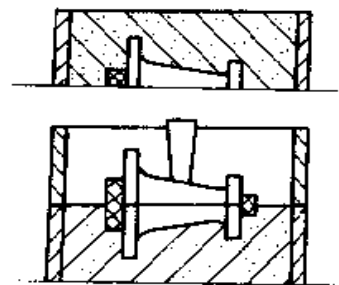


图 6-55 两箱分型造型

有的铸件模样不适宜作分开结构，必须作成整体的造型时，如有局部被型砂埋住，造好型后起不出来，这时就必须沿模样最大截面处挖去该部分型砂，形成不规则的分型面，见图 6-56，这种造型方法称之为挖砂造型，适用于单件或小批量生产。若生产的数量较多，可采用挖砂方法制作一个不带直浇道的上

箱，并尽量舂紧实，然后用这个上箱作为底板造下型，这种造型方法称为假箱造型。见图 6-57。当生产批量很大时，则应将模型按零件形状制成模底板代替假箱，以提高生产效率。

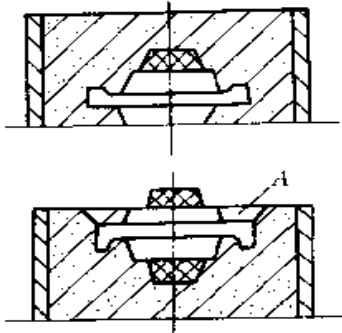


图 6-56 挖砂造型
A—挖去部分

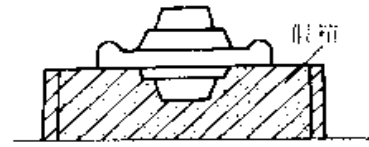


图 6-57 假箱造型

活砂造型适用于小型铸件的单件生产，如滑轮类铸件，其造型过程见图 6-58。

(2) 三箱和多箱造型 对于单靠一个分型面不能起出全部模样的铸件，可采用三箱或多箱造型。造型时，有的先舂下砂型，也有的先舂中砂型，具体可根据模样结构情况区别对待。这种造型方法适用于多分型面的铸件，也适用于高大而结构复杂的铸件。

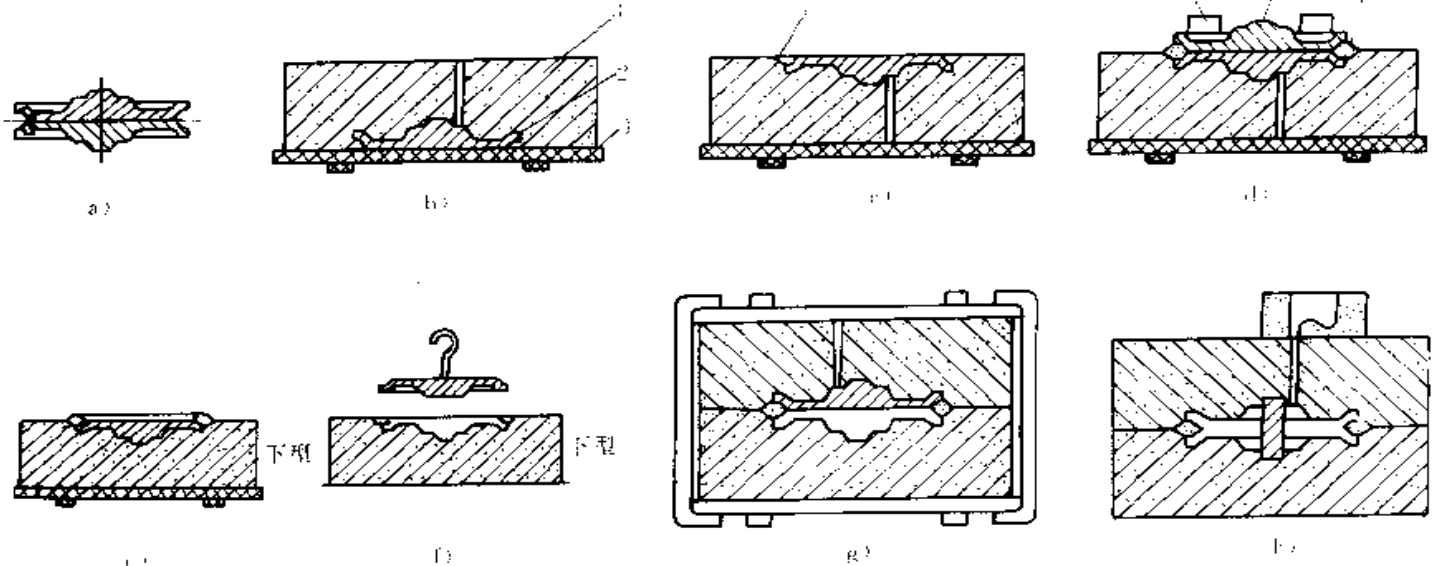


图 6-58 活砂造型

a) 铸件模样 b--h) 造型过程

1—造型底板 2, 5—铸件模样 3—砂型 4—挖砂 6—压铁 7—活砂

(3) 劈箱造型 劈箱造型是一种特殊的砂箱造型方法，适用于成批生产的大型铸件和结构复杂的铸件，如机床的床身，发动机的缸体等。劈箱造型的方法是：将模样和砂箱分成几个部分，分别进行造型，然后再组合起来，形成完整的铸型。根据铸件的大小、结构特点、复杂程度及各厂生产条件，按劈模面的数量分为单劈、双劈、多劈，有盖箱、无盖箱、有底箱、无底箱等劈模造型法。这种方法可使造型、烘干、吊运、下芯、砂型装配、开箱、落砂都比较方便。

劈箱造型对工艺装备要求很高，以确保铸型装配的准确性和可靠性。因此它只适用于生产批量大、技术要求高的铸件。

(4) 叠箱造型 对于生产批量大但薄而小的铸

件，可采用叠箱造型法，见图 6-59，它仅适用于凝固快的小型铸件。

4.1.1.2 脱箱造型 脱箱造型法采用组合式砂箱进行造型，造好型后将砂箱取走，形成一个无砂箱的砂型。浇注时，为防止砂型损坏造成跑火或型漏，可加套箱后进行浇注。这种造型方法生产效率高，既可用于手工造型也可用于机器造型，但只能制造小型铸件。造型方法见图 6-60。

4.1.1.3 刮板造型 对于单件、小批量生产的中、大型旋转体铸件或形状简单的等截面铸件，可采用刮板造型，其优点是省工、省时、省模样材料。刮板造型方法是：用刮板模样绕垂直轴或水平轴旋转，或沿骨架模样移动刮板，逐步填放型砂，刮制成所需形状

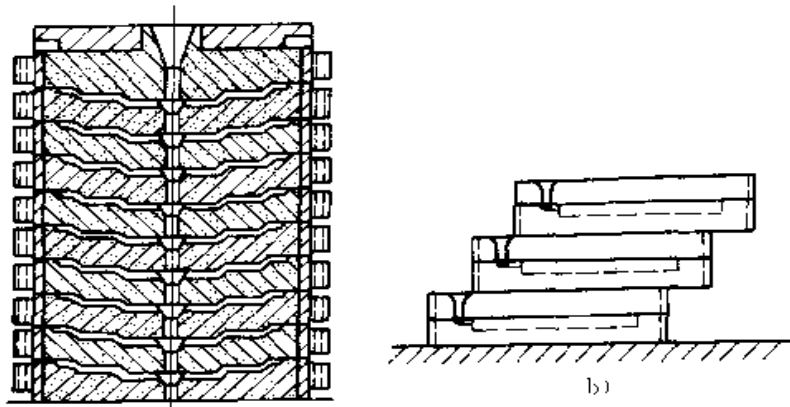


图 6-59 多层式、阶梯式叠箱造型

a) 多层式叠箱造型 b) 阶梯式叠箱造型

和尺寸的砂型。刮板造型既可在砂箱内造型，也可在地坑内造型，既可用于湿型铸造，也可用于干型铸造。

采用组芯造型时，要注意铸型的紧固，使铸型能承受浇注时的金属液压力。小型铸件的组芯铸型可直造。

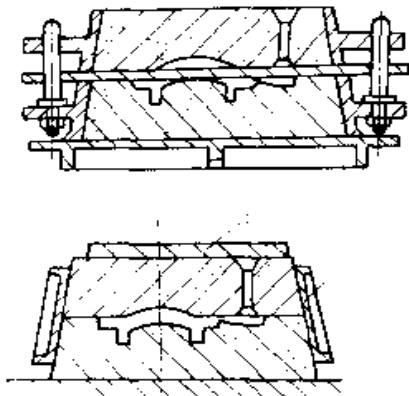


图 6-60 脱箱造型

1—压铁 2—套箱

刮板造型可分为定心刮板造型、轴杠刮板造型和双轴杠刮板造型。当旋转体零件直径较小，且不高时，可采用定心刮板造型，见图 6-61 所示。当旋转体零件直径较大，且较高时，为保证刮板模样的刚度和方便操作，采用轴杠刮板造型，见图 6-62。对于较大的由不同心的弧线构成的旋转体，则通过在轴杠上加偏心块，分别刮制的方法进行造型，即双轴杠刮板造型。

在刮板造型中，为减少刮板模样工作面在刮制砂型时的磨损，通常在刮板工作面的背面镶上一层钢板，防止模样磨损，保证铸件尺寸精度。

4.1.1.4 组芯造型 对于结构复杂和大批量生产的铸件，可采用组芯方法形成铸型，见图 6-63。这种方法是将很多砂芯在砂箱或地坑中组合装配，以形成铸件的外形和内腔，其关键是砂芯的分割与制造。

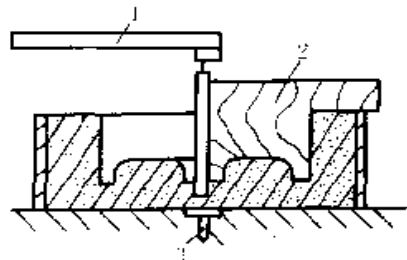


图 6-61 定心刮板造型示意图

1—压板 2—模样 3—定心钉

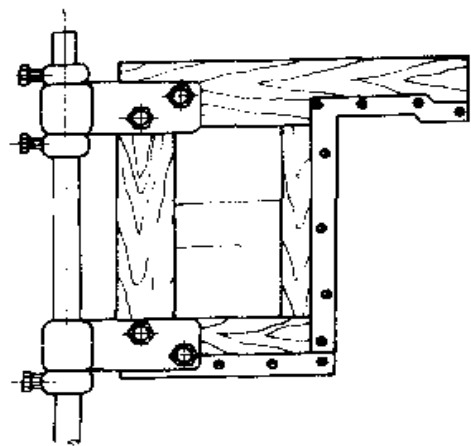


图 6-62 轴杠刮板

接用卡具紧固，较大铸件的组芯铸型可放在特殊的金属框架内浇注，对于复杂的大型铸件，可在地坑内组芯造型，但其周围要用背砂舂紧后方可进行浇注。

4.1.1.5 地坑造型 地坑造型主要用于单件生产的大中型铸件，生产过程是：

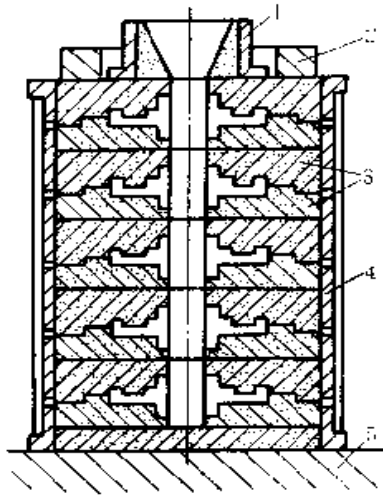


图 6-63 组芯造型

1—浇口杯 2—压铁 3—砂芯 4—套箱 5—底板

挖地坑→制作砂床 { 软砂床
硬砂床 } →造型 { 实样造型
刮板造型 }
加固硬砂床 { 组芯造型

地坑准备时应注意以下几点：①地坑与地下水及地下设备设施（如水管、电缆、厂房柱脚等）距离不得小于 1.5m，特大件不得小于 2m，不准有水渗入地坑内，防止钢液钻入地层损坏这些设备设施引起重大事故；②两地坑之间边缘距离不得小于较小地坑的深度，最小距离不得小于 1.5m；③模样侧面下缘与地坑壁的距离应大于 0.6m，有浇注系统的侧面应大于 0.8m，模样底面与坑底的距离根据砂床类型为 0.4~0.8m；④较大铸件应采用水泥地坑造型，特大铸件做加固硬砂床时坑底要夯实。

砂床分为软砂床、硬砂床和加固硬砂床。软砂床结构见图 6-64。制作方法是：先将水泥地坑的坑底和坑壁润湿，放入填充砂春紧实，厚度 100~200mm，找平后放 100~150mm 厚、粒度 50~100mm 的焦炭或炉渣等，在坑内放 2~4 根 $\phi 120\sim 150\text{mm}$ 的排气管，一端埋入排气材料层中，一端高出分型面 200~400mm，排气管下端的排气材料应厚一些，以利浇注时排气。然后在排气材料层上盖一层草席或草袋，草袋上再放填砂层，其总厚度为 200~250mm。春砂时沿纵横两个方向压两层圆钢杆，圆钢杆间距 100~200mm。春实填砂层后，在填砂层上扎出气孔到排气层、出气孔间距 300~400mm，最后再春面砂层。

硬砂床结构见图 6-65。硬砂床的底部用砖垛加固，承载能力高于软砂床，一般用于生产 1m 以上高度的铸件。硬砂床与软砂床制作的不同点是：在坑底填充砂春实找平后，侧立砖垛，每 3~5 块为一组，

砖垛间距 250mm 左右，铺砖垛时每边要超出模样 300mm 左右，砖垛之间填排气材料。其余工序同软砂床，但背砂层厚度为 250~300mm。

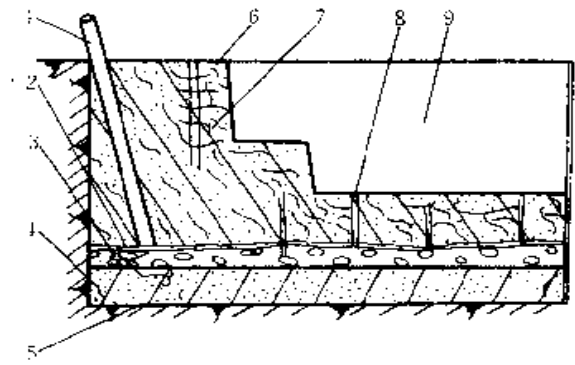


图 6-64 软砂床结构

1—排气管 2—草袋 3—排气材料 4—填充砂
5—坑底 6—面砂层 7—砂钩 8—出气孔 9—型腔

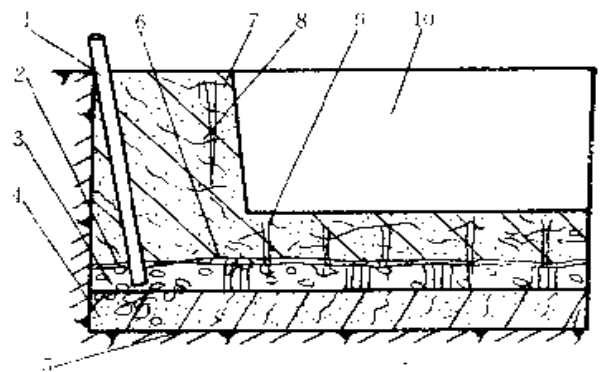


图 6-65 硬砂床结构

1—排气管 2—草袋 3—排气材料 4—填充砂
5—坑底 6—砖垛 7—面砂层 8—砂钩 9—出气孔
10—型腔

加固硬砂床结构见图 6-66 所示，加固硬砂床用于制作特大铸件。其与硬砂床制作的不同点是：用铺钢轨代替侧立砖垛。在坑底的填充砂春实找平后，沿纵横方向铺两层钢轨，钢轨应固定牢固，防止错位移动，钢轨间距为 200~300mm，每边应超出铸件 500mm 左右，其余工序与硬砂床相同，但背砂的总厚度为 300~400mm，每春两层背砂要压一层圆钢杆或砂钩。对于底面积较小但金属液压头较大的铸件，制作加固硬砂床时，可用反放砂箱代替铺放钢轨。

连续生产时，砂床如未遭破坏，可以重复使用，但温度不得大于 50℃，面砂必须重放。如果两个铸件合用一个砂床，排气层不得互相串通，防止浇注时互相串气。

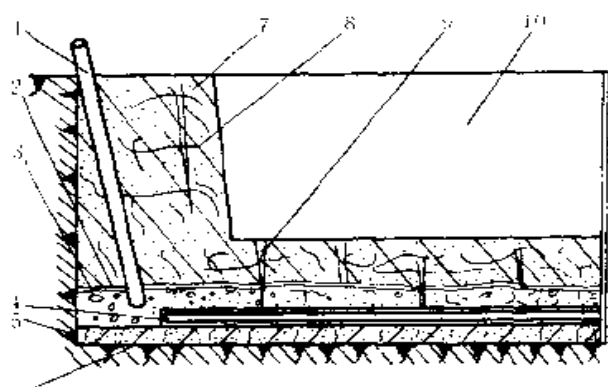


图 6-66 加固硬砂床结构

1—排气管 2—草袋 3—排气材料 4—钢轨 5—填充
6—底坑 7—面砂层 8—砂钩 9—出气孔 10—型腔

地坑造型分为实样造型和刮板造型。地坑实样造型时，首先要在下面作一水平砂面，然后将模型放上，用压铁压好，并用水平仪找平模样。在模型侧面分层放入型砂，面砂要春实，每次填松散面砂厚度 200mm 左右，春实后砂层厚度不大于 100mm；特大铸件每次填松散砂 150mm 左右，春实后砂层厚度不大于 70mm，为加固侧面砂型，可在撞砂时埋入砂钩、钢棍或特制的芯骨、砂钩间距 200mm 左右，上下两层要交错排列。面砂层厚度 80~120mm，大件取上限。型腔较深的砂型应在距模型周边 100~150mm 扎出气眼，气眼直径 20~30mm，气眼间距 200~400mm。四周边按上箱尺寸埋入四块压铁做上箱垫铁用，为防止侧面外涨可多埋些压铁。凡阻碍铸件与冒口收缩的部位均放置退让材料层（如泡沫塑料、锯末、焦炭等），以增强退让性。

料、锯末、焦炭等），以增强退让性。

耐火砖管横浇道距铸件应大于 250mm，内浇道离型腔面 10~20mm。

起模前应在分型面划出装砂芯的相关线并作好标记，起模后将砂型表面修实、修光，按砂型类别和铸件材质刷上相应类别的涂料。对粘土砂型，修型时可插钉加固，钉距 80~100mm。

生产大型回转体类铸件时常采用地坑刮板造型，其操作要点是：①将轴杠固定好并用水平仪检查，轴杠必须垂直，刮板必须水平。当刮板较高时，轴杠上端要用压架固定。使用双轴杠刮板时，刮板应在一个平面上；②大型铸件的刮板造型，应分层春实刮制，每层上砂厚度 200~300mm。砂型侧面凸出的砂胎要用砂钩加固；③对较深的刮板可用砌砖法，即按刮板外径留出 70~100mm 空隙，周围砌一圈单层砖，砖外边用填砂撞紧，砌几层砖春一层填砂直到离分型面有一定吃砂量为止。砖要交错摆放，不平处垫填砂，砖缝中间塞木柴片，木柴片离刮板 20~30mm，然后将砖和木柴片刷上泥浆或水玻璃，边措砂、边打实、边刮制砂型，直至刮成；④砂型全部刮好后定出基准线，画出合箱十字线和相关线。

地坑组芯造型时，首先要春制好地坑的基准面，划好配芯的相关线。春制上箱时，则应注意模型活块和浇冒口的定位，防止错偏箱。

4.1.3 机器造型和造芯

机器造型按其紧实型砂的方式进行分类，见表 6-18 和表 6-19。

表 6-18 机器造型按成形机理分类

| 紧实方法 | 成形机理及铸型特征 | 适用范围 | |
|------|------------------------------------|---|---|
| 震击 | 借机械震击使型砂具有动能和惯性，从而紧实成型，铸型上松下紧，常需补压 | 用于精度要求不高的中小铸件成批、大量生产 | |
| 压实 | 单纯压实 | 型砂借助于压头或模样所传递的压力紧实成型，按比压大小可分为低压 (0.15~0.4MPa) 中压 (0.4~0.7MPa) 高压 (>0.7MPa) 三种 | 中低压用于精度要求不高的简单铸件中、小批生产。高压用于精度要求高、较复杂铸件的大量生产 |
| | 单向压实 | 直接受压面铸型紧实度较高，但不均匀，若比压不足则紧实度低 | 用于精度要求不高、扁平铸件的中小批量生产 |
| | 差动压实 (双向) | 首先用压头预压 (上压)，其次由模样面补压 (下压)，然后压头终压，其紧实度及均匀性均优于单向压实 | 用于精度要求较高、较复杂铸件的大量生产 |
| 震压 | 普通震压型 | 震击加压实，其砂型密度的波动范围小，可获得紧实度较高的砂型 | 用于精度要求较高、较复杂铸件的大量、成批生产 |
| | 微震压实 | 震击频率 400~300Hz、振幅小，可同时微震压实，也可先微震后压实，比单纯压实可获得较高的砂型紧实度，均匀性也较高 | 可用于精度要求较复杂铸件的成批大量生产 |

(续)

| 紧实方法 | 成形机理及铸型特征 | 适用范围 |
|------|---|---|
| 射压 | 借助压缩空气气流赋予型砂动能, 预紧之后再压头补压成型, 紧实度及均匀性较高, 有顶射, 底射和侧射之分, 顶射结构简单 | 用于精度要求不高, 一般中小件的成批大量生产 |
| 抛砂 | 借高速旋转的叶片把砂团抛出, 打在砂箱内的砂层上, 使型砂逐层紧实, 砂团的速度越高, 砂型紧实度越高, 若供砂情况和抛头移动速度稳定, 则各部分紧实度较均匀 | 用来紧实砂型或砂芯, 既适用于中大件砂箱造型也可用于地坑造型, 单件、小批、成批均可使用, 但铸件精度较低 |
| 气流紧实 | 静压 其过程包括: (1) 在砂箱内填砂 (模板上有通气塞)。 (2) 对型砂施以压缩空气进行气流加压 (一般 0.3s), 通入的压缩空气穿过型砂经通气塞排出, 此时愈靠近模板处型砂密度越高。 (3) 用压实板在型砂上部压实, 使其上下紧实度均匀。此法砂箱吃砂量较小, 起模斜度较小 | 可用于精度要求高的各种复杂铸件的大量生产 |
| | 气流冲击 具有一定压力的气体瞬时膨胀释放出来的冲击波作用在型砂上使其紧实, 且由于型砂受到急速的冲击产生触变 (瞬时流态化), 克服了粘土膜引起的阻力, 提高了型砂的流动性。在冲击力和触变作用下迅速成型, 其砂型特点是紧实度均匀且分布合理, 靠模样处的紧实度高于铸型背面。 空气冲击: 采用压缩空气作为动力, 通过调节空气压力调节砂型紧实度用于砂箱面积 $\leq 1.2 \sim 1.5 \text{m}^2$ 燃气冲击: 用天然气、丙烷、甲烷或乙烷, 按一定比例与空气混合后, 点火引爆砂箱面积 $\geq 1.5 \text{m}^2$ 爆炸气流冲击: 用高压放电, 点燃液态或固态爆炸物质, 产生高压气体压实型砂尚未投入使用 | 可用于精度要求高的各种复杂铸件的大量生产, 比静压造型具有更大的适应性 |

表 6-19 机器造芯的各种方法

| 造芯方法 | 主要特点 | 应用范围 |
|------------|--|---------------------------|
| 按造芯机紧实砂芯方式 | 震实式 靠震击紧实芯砂。目前, 这种机器应用得较普遍。但噪声大, 生产率低, 对厂房基础要求高 | 适用于制造不填焦炭块的中、大砂芯的成批、大量生产 |
| | 微震压实式 在微震的同时加压紧实芯砂。生产率较高, 但机器结构复杂, 仍有噪声 | 可用粘土芯砂, 合脂砂, 桐油砂的砂芯 |
| | 螺旋挤压式 利用机械传动, 将芯砂从成形管连续压出而制造砂芯。螺旋挤压式是根据模孔大小, 调节螺旋推砂器的速度来控制砂芯的紧实度, 其生产率一般为 150~300m/h | 用于大量生产的截面形状尺寸不变的小砂芯 |
| 热芯盒射芯式 | 将芯盒加热, 砂芯在芯盒内硬化。把以酚醛或呋喃树脂为粘结剂, 氯化铵为催化剂的芯砂射入经预热的芯盒内, 硬化后取出, 得到表面光洁、尺寸精确、强度高的砂芯 操作方便, 生产率高, 易于清理, 不需另设烘烤设备, 易于机械化, 但有刺鼻气味 | 用于成批、大量生产中、小型、简单和较复杂的砂芯 |
| 壳芯式 | 将以诺沃腊克粉醚树脂为粘结剂, 乌洛托品为硬化剂的覆膜砂, 吹入加热的芯盒中保持一定的结壳时间, 待形成薄壳后 (5~20mm) 经摇摆把多余的芯砂倾倒入储砂斗中而形成中空薄壳的砂芯 操作简单、生产率高、节省芯砂、劳动条件好。比热芯盒式突出的优点是树脂耗量低, 砂芯通气性好 | 用于成批、大量生产中小型的, 且形状比较复杂的砂芯 |
| 冷芯盒射芯式 | 芯盒不加热, 在室温下通过化学或物理作用, 做砂芯快速在芯盒内固化。具有热芯盒的全部优点, 省掉了加热设备 | 适用于批量生产的中、小型砂芯 |

4.1.4 造型、造芯方法的选择

造型方法的选择应根据多方面因素综合考虑, 如: 铸件的结构特点, 合金种类, 铸件的生产批量和

数量, 铸件的形状、大小和质(重)量, 铸件的尺寸精度和表面粗糙度要求, 铸造车间的厂房条件、熔炼、配砂等配套设备, 工艺水平, 以及运输条件, 工

艺流程, 铸造车间的工装条件等。应优先考虑采用先进工艺, 以便提高产品品质 (质量), 节省材料, 改善劳动条件, 提高生产效率, 降低生产成本。

砂芯的制造方法是根据砂芯尺寸、形状、生产批量及具体的生产条件进行选择, 只有当批量生产时, 才考虑用机器造芯。机器造芯生产率高, 紧实度均匀, 砂芯品质 (质量) 好。

4.2 确定浇注位置的原则

铸件的浇注位置是指浇注时铸件在铸型中所处的位置。

铸件的浇注位置应根据零件的结构特点, 技术要求、铸型合金的特性、零件的尺寸、重量及铸造方法、车间条件等因素综合考虑。它关系到铸件的质量能否保证, 也涉及到铸件的尺寸精度及造型工艺过程。因此应制定几种方案, 仔细分析对比, 择优确定。

确定浇注位置的一般原则如下:

1) 尽可能将铸件的主要工作表面、重要的加工表面放在铸型下部或侧面。这样上述表面产生气孔、夹砂等缺陷的可能性较少。

2) 尽可能将铸件的薄壁部分置于铸型的下部, 厚大部分置于铸型上部。这样, 薄壁部分易于充满, 而且也容易做到定向凝固。

3) 尽可能使砂芯数量最少。

4) 力求使砂芯定位准确、支撑可靠。

5) 避免太高的吊砂台。

6) 应尽量避免在铸件的加工面上留下分型披

缝。

4.3 确定分型面的原则

分型面是指两半铸型相互接触的表面, 一般在确定浇注位置后再选择分型面, 但分析各种分型面方案的优劣之后, 可能要重新调整浇注位置。实际上, 浇注位置和分型面有时是同时确定的, 分型面的选择在很大程度上影响铸件的尺寸精度、生产成本和生产率。确定分型面的一般原则如下:

1) 尽可能将铸件的全部或主要部分置于同一半型中, 以避免因错型而造成尺寸偏差。

2) 单件或小量生产时, 模样上可采用活块结构, 以减少砂芯数量。机器造型、批量生产时, 模样上不得用活块结构, 必要时, 用砂芯代替活块。

3) 有可能的话, 尽量使分型面为平面。

4) 尽量减少砂芯数量。

5) 确定分型面时, 应充分考虑内浇口和横浇道的设置。

4.4 一型中铸件数量的确定及其安排

4.4.1 一般原则

一型中铸件数量, 应是在保证铸件质量的前提下越多越好。工艺设计中应根据铸件尺寸大小, 考虑浇注系统的布置和必要的吃砂量, 生产批量及相关设备等各种条件综合考虑。

4.4.2 吃砂量

模样与砂箱壁, 箱顶 (底) 和箱带之间的距离称为吃砂量。表 6-20~表 6-22 为吃砂量推荐值。无箱造型时, 吃砂量应较砂箱造型者大, 见表 6-23。

表 6-20 按铸件质 (重) 量确定的吃砂量

(mm)

| 铸件重量 (kg) | a | b | c | d | e | f | 简 图 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <5 | 40 | 40 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| 5~10 | 50 | 50 | 40 | 40 | 40 | 30 | |
| 10~20 | 60 | 60 | 40 | 50 | 50 | 30 | |
| 20~50 | 70 | 70 | 50 | 50 | 60 | 40 | |
| 50~100 | 90 | 90 | 50 | 60 | 70 | 50 | |
| 100~250 | 100 | 100 | 60 | 70 | 100 | 60 | |
| 250~500 | 120 | 120 | 70 | 80 | — | 70 | |
| 500~1000 | 150 | 150 | 90 | 90 | — | 120 | |
| 1000~2000 | 200 | 200 | 100 | 100 | — | 150 | |
| 2000~3000 | 250 | 250 | 125 | 125 | — | 200 | |
| 3000~4000 | 275 | 275 | 150 | 150 | — | 225 | |
| 4000~5000 | 300 | 300 | 175 | 175 | — | 250 | |
| 5000~10000 | 350 | 350 | 200 | 200 | — | 250 | |
| >10000 | 400 | 400 | 250 | 250 | — | 250 | |

表 6-21 手工造型吃砂量 (mm)

| 砂型分类 | 砂箱内腔平均尺寸 (长+宽)/2 | 模样至砂箱内壁尺寸 | 浇冒口至砂箱内壁尺寸 | 模样顶部至砂箱 箱带底部尺寸 |
|------|---------------------|-----------|------------|-------------------|
| 干 型 | < 500 | ≥40~60 | ≥30 | 15~20 |
| | >500~1000 | ≥60~100 | ≥60 | >20~25 |
| | >1000~2000 | ≥100~150 | ≥100 | >25~30 |
| | >2000~3000 | ≥150~200 | ≥120 | >30~40 |
| | >3000 | ≥250 | ≥50 | >40 |
| 湿 型 | ≤300 | >30 | ≥40 | ≥30 |
| | >300~800 | ≥60 | ≥100 | ≥50 |
| | >800 | ≥100 | ≥100 | ≥70 |

表 6-22 高压造型模样的吃砂量 (mm)

| 模样高度 | 模样间距 | 模样与砂箱壁距离 | 备 注 |
|-------|-------|----------|-----------------|
| <25 | 25~30 | 40~50 | 薄壁件取下限值, 厚件取上限值 |
| 25~50 | 30~50 | 45~60 | |
| >50 | 50~70 | 50~70 | |

表 6-23 粘土湿砂无箱造型时铸型的吃砂量 (mm)

| 模样的 总高度 (mm) | 对不同壁厚的铸件建议选用的吃砂量 | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|------------------|----|----|-------------|-----|----|-------------|-----|-----|-------------|-----|-----|-----------|-----|-----|
| | 铸件壁厚<10mm | | | 铸件壁厚10~15mm | | | 铸件壁厚15~20mm | | | 铸件壁厚20~25mm | | | 铸件壁厚>25mm | | |
| | 上边 | 侧边 | 底边 | 上边 | 侧边 | 底边 | 上边 | 侧边 | 底边 | 上边 | 侧边 | 底边 | 上边 | 侧边 | 底边 |
| <50 | 70 | 30 | 30 | 70 | 50 | 40 | 70 | 60 | 50 | 70 | 70 | 60 | 70 | 80 | 70 |
| 50~100 | 70 | 40 | 40 | 70 | 60 | 50 | 70 | 70 | 60 | 70 | 80 | 70 | 70 | 90 | 80 |
| 100~150 | 70 | 50 | 50 | 70 | 70 | 60 | 70 | 80 | 70 | 70 | 90 | 80 | 70 | 100 | 90 |
| 150~200 | 70 | 60 | 60 | 70 | 80 | 70 | 70 | 90 | 80 | 70 | 100 | 90 | 70 | 110 | 100 |
| 200~250 | 70 | 70 | 70 | 70 | 90 | 80 | 70 | 100 | 90 | 70 | 110 | 100 | 70 | 120 | 110 |
| 250~300 | 70 | 80 | 80 | 70 | 100 | 90 | 70 | 110 | 100 | 70 | 120 | 110 | 70 | 130 | 120 |

L_2 ——铸件尺寸。

铸造收缩率不仅与铸造合金的种类及成分有关, 而且还与铸件结构的复杂程度和尺寸大小、铸型种类、浇冒口系统结构、砂型和砂芯的退让性、砂箱的结构及箱带位置等因素有关。

对于大量生产的铸件, 应通过试生产测量铸件的尺寸, 求出铸件各部位、各方向的实际收缩率, 修正模样。单件、小批生产的铸件, 一般根据生产中长期积累的经验来选取铸造收缩率, 形状复杂的铸件, 可考虑采用工艺补正量, 适当加大机械加工余量等措施, 保证铸件的尺寸合格。

5 工艺参数的选择

5.1 铸造收缩率

铸件在凝固和冷却过程中, 体积一般要发生收缩, 即体收缩。固态下的收缩量常以长度表示, 称为线收缩, 以模样与铸件的长度差除以模样长度的百分数表示, 即:

$$K = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100 (\%)$$

式中 K ——铸造收缩率;

L_1 ——模样尺寸;

表 6-24, 图 6-67 和图 6-68 为常用铸造合金的铸造收缩率数据, 供设计铸造工艺和制造模样时参考。

表 6-24 常用铸造合金的铸造收缩率

| 合金种类 | | 铸造收缩率 (%) | | 合金种类 | | 铸造收缩率 (%) | | |
|--------|-----------|-----------|------|-----------------|----------|-----------|---------|---------|
| | | 自由收缩 | 受阻收缩 | | | 自由收缩 | 受阻收缩 | |
| 灰铸铁 | 中小型铸件 | 1.0 | 0.9 | 铸钢 | 碳钢和低合金钢 | 1.6~2.0 | 1.3~1.7 | |
| | 中大型铸件 | 0.9 | 0.8 | | 含铬高合金钢 | 1.3~1.7 | 1.0~1.1 | |
| | 特大型铸件 | 0.8 | 0.7 | | 铁素体-奥氏体钢 | 1.8~2.2 | 1.5~1.9 | |
| | 筒形铸件 | 长度方向 | 0.9 | | 0.8 | 奥氏体钢 | 2.0~2.3 | 1.7~2.0 |
| | | 直径方向 | 0.7 | | 0.5 | 有色合金 | 锡青铜 | 1.1 |
| 孕育铸铁 | HT250 | 1.0 | 0.8 | 无锡青铜 | 2.0~2.2 | 1.6~1.8 | | |
| | HT300 | 1.0 | 0.8 | 锌黄铜 | 1.8~2.0 | 1.5~1.7 | | |
| | HT350 | 1.5 | 1.10 | 硅黄铜 | 1.7~1.8 | 1.6~1.7 | | |
| 白口铁 | | 1.75 | 1.5 | 锰黄铜 | 2.0~2.3 | 1.8~2.0 | | |
| 黑心可锻铸铁 | 壁厚 > 25mm | 0.75 | 0.5 | 铝硅合金 | 1.0~1.2 | 0.8~1.0 | | |
| | 壁厚 < 25mm | 1.0 | 0.75 | 铝铜合金 (Cu7%~12%) | 1.6 | 1.1 | | |
| 白心可锻铸铁 | | 1.75 | 1.5 | 铝镁合金 | 1.3 | 1.0 | | |
| 球墨铸铁 | | 1.0 | 0.8 | 镁合金 | 1.6 | 1.2 | | |

注: 1. 此表适用于砂型铸造。

2. 通常简单厚实件的收缩可视为自由收缩, 除此之外均视为受阻收缩, 并依受阻程度选用适宜的收缩率。

3. 同一铸件由于结构原因, 其局部与整体, 纵向与径向或长、宽、高三个方向的收缩率可能不一致, 对于重要铸件应分别给以不同的铸造收缩率。

4. 铸型和类和紧实度对球墨铸铁的收缩率有很大影响, 有的工厂在湿型生产球铁小件时, 有时不留缩尺。

5. 湿砂型、水玻璃砂型的铸造收缩率应比干砂型大些。油砂芯的收缩率介于湿型和干型之间。液态自硬砂生产碳素钢铸件的铸造收缩率, 根据某厂生产铸钢铸件经验, 砂型和砂芯在长度方向采用 2.0%, 砂芯的径向采用 3.0%~3.5%。

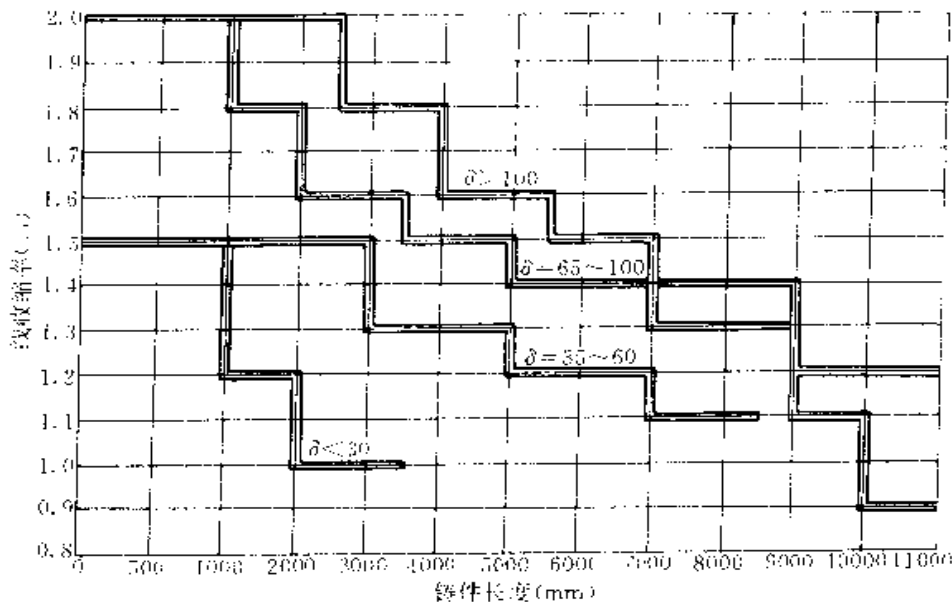


图 6-67 铸钢件的收缩率
(适用于粘土砂干型)

δ—铸件壁厚

5.2 铸件尺寸公差

实际生产中, 铸件的尺寸与铸件的基本尺寸 (即公称尺寸) 总有一些偏差。铸件基本尺寸是铸件图上表示铸件大小的尺寸, 它包括零件尺寸, 机械加工余量和工艺要求的工艺余量等。铸件尺寸公差是指铸件基本尺寸的两个允许极限尺寸之差, 见图 6-69

和图 6-70。在这两个允许极限尺寸之内, 铸件尺寸合格。

根据 GB6414—86《铸件尺寸公差》的规定, 铸件尺寸公差的代号为 CT, 公差等级分为 16 级, 见表 6-25。对于基本尺寸小于 10mm 的压铸件和熔模铸件, 其尺寸公差数值见表 6-26。

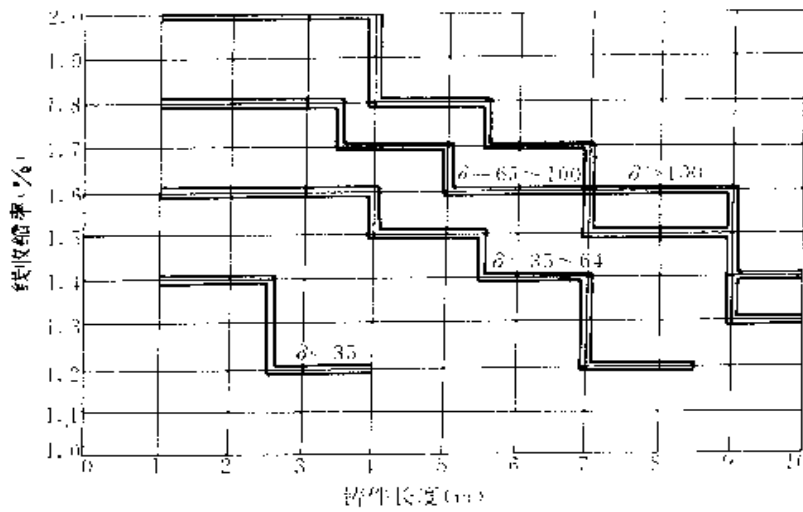


图 6-68 铸钢件收缩率
(适用于水玻璃砂型和树脂自硬砂型)
 δ —铸件壁厚

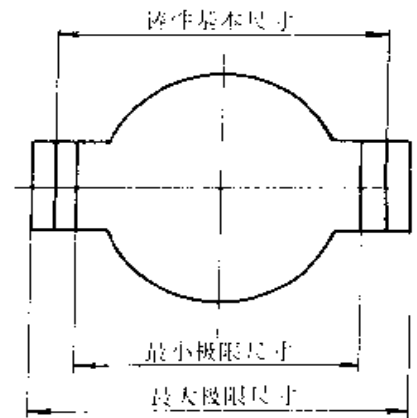


图 6-69 铸件的基本尺寸和极限尺寸

表 6-25 铸件尺寸公差数值

(mm)

| 铸件基本尺寸 | | 公差等级 CT | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------|---------|---|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|
| 大于 | 至 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| — | 10 | — | — | 0.18 | 0.26 | 0.36 | 0.52 | 0.74 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.8 | 4.2 | — | — | — | — |
| 10 | 16 | — | — | 0.20 | 0.28 | 0.38 | 0.54 | 0.78 | 1.1 | 1.6 | 2.2 | 3.0 | 4.4 | — | — | — | — |
| 16 | 25 | — | — | 0.22 | 0.30 | 0.42 | 0.58 | 0.82 | 1.2 | 1.7 | 2.4 | 3.2 | 4.6 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| 25 | 40 | — | — | 0.24 | 0.32 | 0.46 | 0.64 | 0.90 | 1.3 | 1.8 | 2.6 | 3.6 | 5.0 | 7 | 9 | 11 | 14 |
| 40 | 63 | — | — | 0.26 | 0.36 | 0.50 | 0.70 | 1.0 | 1.4 | 2.0 | 2.8 | 4.0 | 5.6 | 8 | 10 | 12 | 16 |
| 63 | 110 | — | — | 0.28 | 0.40 | 0.56 | 0.78 | 1.1 | 1.6 | 2.2 | 3.2 | 4.4 | 6 | 9 | 11 | 14 | 18 |
| 100 | 160 | — | — | 0.30 | 0.44 | 0.62 | 0.88 | 1.2 | 1.8 | 2.5 | 3.6 | 5.0 | 7 | 10 | 12 | 16 | 20 |
| 160 | 250 | — | — | 0.34 | 0.50 | 0.70 | 1.0 | 1.4 | 2.0 | 2.8 | 4.0 | 5.6 | 8 | 11 | 14 | 18 | 22 |
| 250 | 400 | — | — | 0.40 | 0.56 | 0.78 | 1.1 | 1.6 | 2.2 | 3.2 | 4.4 | 6.2 | 9 | 12 | 16 | 20 | 25 |
| 400 | 630 | — | — | — | 0.64 | 0.90 | 1.2 | 1.8 | 2.6 | 3.6 | 5 | 7 | 10 | 14 | 18 | 22 | 26 |
| 630 | 1000 | — | — | — | — | 1.0 | 1.4 | 2.0 | 2.8 | 4.0 | 6 | 8 | 11 | 16 | 20 | 25 | 32 |
| 1000 | 1600 | — | — | — | — | — | 1.6 | 2.2 | 3.2 | 4.6 | 7 | 9 | 13 | 18 | 23 | 29 | 37 |
| 1600 | 2500 | — | — | — | — | — | — | 2.6 | 3.8 | 5.4 | 8 | 10 | 15 | 21 | 26 | 33 | 43 |
| 2500 | 4000 | — | — | — | — | — | — | — | 4.4 | 6.2 | 9 | 12 | 17 | 24 | 30 | 38 | 49 |
| 4000 | 6300 | — | — | — | — | — | — | — | — | 7.0 | 10 | 14 | 20 | 28 | 35 | 44 | 56 |
| 6300 | 10000 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 11 | 16 | 23 | 32 | 40 | 50 | 64 |

注：1. CT1 和 CT2 没有规定公差值，是为将来可能要求更精密的公差保留的。

2. CT13 至 CT16 小于或等于 16mm 的铸件基本尺寸，其公差值需单独标注，可提高 2~3 级。

表 6-26 铸件尺寸公差数值 (mm)

| 铸件基本尺寸 | | 公差等级 CT | | | | | | |
|--------|----|---------|------|------|------|------|------|-----|
| 大于 | 至 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| — | 3 | 0.14 | 0.20 | 0.28 | 0.40 | 0.56 | 0.80 | 1.2 |
| 6 | 10 | 0.18 | 0.26 | 0.36 | 0.52 | 0.74 | 1.00 | 1.5 |

不同生产规模和生产方式生产的铸件所能达到的铸件尺寸等级是不同的，见表 6-27 和表 6-28。等于或小于 25mm 的铸件基本尺寸，通常应采用较精的公差等级，见表 6-29。

表 6-27 成批和大量生产铸件的尺寸公差等级
(适用于大于 25mm 的基本尺寸)

| 铸造工艺方法 | 公差等级 CT | | | | | | | | |
|-----------|---------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|------|------|
| | 铸钢 | 灰铸铁 | 球墨铸铁 | 可锻铸铁 | 铜合金 | 锌合金 | 轻金属合金 | 镍基合金 | 钴基合金 |
| 砂型手工造型 | 11~13 | 11~13 | 11~13 | 11~13 | 10~12 | | 9~11 | | |
| 砂型机器造型及壳型 | 8~10 | 8~10 | 8~10 | 8~10 | 8~10 | | 7~9 | | |
| 金属型 | | 7~9 | 7~9 | 7~9 | 7~9 | 7~9 | 6~8 | | |
| 低压铸造 | | 7~9 | 7~9 | 7~9 | 7~9 | 7~9 | 6~8 | | |
| 压力铸造 | | | | | 6~8 | 4~6 | 5~7 | | |
| 容模铸造 | 5~7 | 5~7 | 5~7 | | 4~6 | | 4~6 | 5~7 | 5~7 |

表 6-28 小批和单件生产铸件的尺寸公差等级
(适用于大于 25mm 的基本尺寸)

| 造型材料 | 公差等级 CT | | | | | |
|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 铸钢 | 灰铸铁 | 球墨铸铁 | 可锻铸铁 | 铜合金 | 轻金属合金 |
| 干、湿型砂 | 13~15 | 13~15 | 13~15 | 13~15 | 13~15 | 11~13 |
| 自硬砂 | 12~14 | 11~13 | 11~13 | 11~13 | 10~12 | 10~12 |

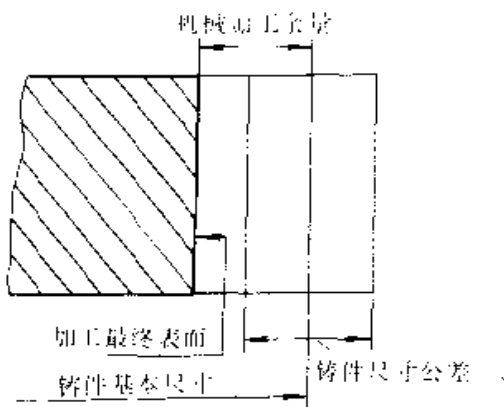


图 6-70 铸件尺寸公差与机械加工余量的关系

表 6-29 铸件基本尺寸 $\leq 25\text{mm}$ 时应提高的公差等级

| 铸件基本尺寸 (mm) | ≤ 10 | $>10\sim 16$ | $>16\sim 25$ |
|-------------|-----------|--------------|--------------|
| 公差等级 CT | 提高 1~3 级 | 提高 1~2 级 | 提高 1 级 |

铸件尺寸公差等级的选定，应综合考虑铸件的生产批量和生产方式、铸件的设计要求、机械加工要

求、铸造金属和合金的种类、采用的铸造设备、工艺装备和工艺方法等因素，选择合适的铸件尺寸公差等级，达到既保证铸件质量又不过多增加生产成本。特别注意的是，对于小批和单件生产的铸件，不适当地采用过高的工艺要求来提高铸件尺寸公差等级，是不经济的。

铸件的壁厚公差可比一般尺寸公差降一个等级。铸件的错型值（图 6-71）必须在表 6-25 和表 6-26 规定范围之内，当需进一步限制错型量时，应在图样上注明，其错型值可从表 6-30 中选取，且不得与表 6-24 或表 6-25 规定的公差值相加。

表 6-30 错型值

| 公差等级 CT | 错型值 (mm) | 公差等级 CT | 错型值 (mm) |
|---------|---------------------|---------|----------|
| 3~4 | 表 6-25、表 6-26 的公差以内 | 9~10 | 1.0 |
| 5 | 0.3 | 11~13 | 1.5 |
| 6 | 0.5 | 14~16 | 2.5 |
| 7~8 | 0.7 | | |

铸件的公差带一般应对称于铸件基本尺寸设置。铸件上有倾斜特征的部位，其公差带应沿倾斜面对称设置。如图 6-72。有特殊要求时，公差带也可非对称设置，但应在铸件基本尺寸后面注明。

衬板、蓖板、齿板等耐磨材料铸件或护板类耐热钢铸件，多为毛坯安装，且对安装间隙要求较高，其尺寸公差应单独注明。表 6-31 和表 6-32 为单件、小批、手工造型生产，此类铸件的允许极限偏差的经验数据，供参考。

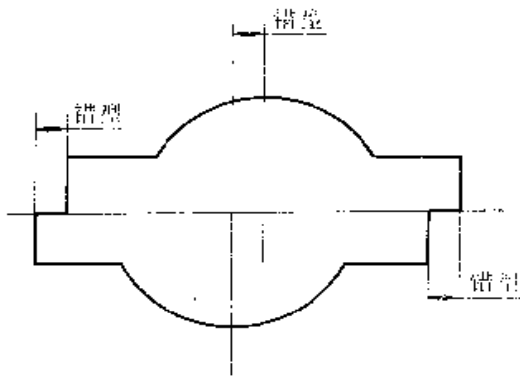


图 6-71 错型

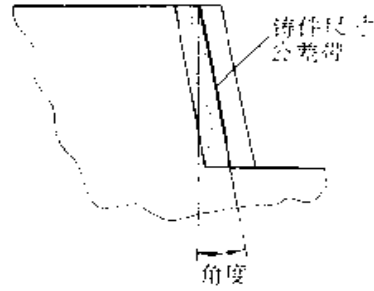


图 6-72 倾斜部位的尺寸公差带

表 6-31 衬板、蓖板、齿板类铸件尺寸及允许极限偏差

(mm)

| 铸件最大基本尺寸 | 铸件工作位置 | 基本尺寸 | | | | | |
|----------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | ≤50 | 51~120 | 121~260 | 261~500 | 501~800 | 801~1250 |
| ≤500 | 外侧作装配面 | +1.0 -3.0 | +2.0 -3.0 | +2.0 -3.5 | +2.0 -4.0 | | |
| | 内侧作装配面 | -1.0 +3.0 | -2.0 +3.0 | -2.0 +3.5 | -2.0 +4.0 | | |
| | 非装配面 | ±2.5 | ±3.0 | ±3.5 | ±4 | | |
| 501~1250 | 外侧作装配面 | +2.0 -3.0 | +2.0 -3.0 | +2.5 -3.5 | +3.0 -4.0 | +3.0 -5.0 | +3.0 -6.0 |
| | 内侧作装配面 | +3.0 -2.0 | +3.0 -2.0 | +3.5 -2.5 | +4.0 -3.0 | +5.0 -3.0 | +6.0 -3.0 |
| | 非装配面 | ±3.0 | ±3.0 | ±3.5 | ±4 | ±4.5 | ±5.0 |
| | | | | | | | |

表 6-32 衬板、蓖板、齿板类铸件孔的尺寸及允许极限偏差

(mm)

| 直径或孔边长 | ≤30 | 31~60 | 61~100 |
|--------|----------|----------|----------|
| 允许偏差值 | +2 -1 | +3 -1 | ±4 -1 |

铸件重量公差是以占铸件公称质(重)量百分率表示的铸件质(重)量变动的允许范围。铸件公称质(重)量包括机加工余量和其它工艺余量,是衡量被检验铸件轻重的基准质(重)量。国家标准 GB/T11351-89《铸件质(重)量公差》规定,铸件质(重)量公差代号为 MT,等级分为 16 级,公差数值见表 6-33。

5.3 铸件质(重)量公差

表 6-33 铸件质(重)量公差值

(%)

| 铸件的公称质(重)量(kg) | | 质(重)量公差等级 MT 为下列值时 | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-------|--------------------|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 大于 | 至 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| — | 0.4 | — | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 24 | — | — | — | — | — |
| 0.4 | 1 | — | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 24 | — | — | — | — |
| 1 | 4 | — | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 24 | — | — | — |
| 4 | 10 | — | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 24 | — | — |
| 10 | 40 | — | — | 2 | 3 | 5 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 24 | — |
| 40 | 100 | — | — | — | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 24 |
| 100 | 400 | — | — | — | — | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
| 400 | 1000 | — | — | — | — | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 |
| 1000 | 4000 | — | — | — | — | — | — | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 |
| 4000 | 10000 | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 |
| 10000 | 40000 | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 |

注:表中质(重)量公差数值为其上偏差和下偏差之和,一般情况下,质(重)量偏差的上偏差与下偏差相同。

铸件质(重)量公差等级应根据铸件的生产方式、铸造合金种类和铸造工艺方法进行选取,见表6-

表 6-34 成批和大量生产的铸件质(重)量公差等级

| 工艺方法 | 质(重)量公差等级 MT | | | | | | | | |
|-----------|--------------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|------|------|
| | 铸钢 | 灰铸铁 | 球墨铸铁 | 可锻铸铁 | 铜合金 | 锌合金 | 轻金属合金 | 镍基合金 | 钴基合金 |
| 砂型手工造型 | 11~13 | 11~13 | 11~13 | 11~13 | 10~12 | | 9~11 | | |
| 砂型机器造型及壳型 | 8~10 | 8~10 | 8~10 | 8~10 | 8~10 | | 7~9 | | |
| 金属型 | | 7~9 | 7~9 | 7~9 | 7~9 | 7~9 | 6~8 | | |
| 低压铸造 | | 7~9 | 7~9 | 7~9 | 7~9 | 7~9 | 6~8 | | |
| 压力铸造 | | | | | 6~8 | 4~6 | 5~7 | | |
| 熔模铸造 | 5~7 | 5~7 | 5~7 | | 4~6 | | 4~6 | 5~7 | 5~7 |

表 6-35 小批和单件生产的铸件质(重)量公差等级

| 造型材料 | 重量公差等级 MT | | | | | |
|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 铸钢 | 灰铸铁 | 球墨铸铁 | 可锻铸铁 | 铜合金 | 轻金属合金 |
| 干、湿型砂 | 13~15 | 13~15 | 13~15 | 13~15 | 13~15 | 11~13 |
| 自硬砂 | 12~14 | 11~13 | 11~13 | 11~13 | 10~12 | 10~12 |

铸件重量公差等级应与铸件尺寸公差等级对应选取,例如铸件尺寸公差等级选取 CT12 时,重量公差等级应选取 MT12。

5.4 机械加工余量

机械加工余量是为保证铸件机械加工面尺寸和零件加工精度,在设计铸件和铸造工艺时,预先增加并

在机械加工时应予切除的金属层厚度。“GB/T11350-89”铸件机械加工余量与 GB6416“铸件尺寸公差”配套使用,规定加工余量的代号用字母 MA 表示,并由精到粗分为 A、B、C、D、E、F、G、H、J 共九个等级。铸件机械加工余量等级按表 6-36 和表 6-37 选取。

表 6-36 用于成批和大量生产与铸件尺寸公差配套使用的铸件机械加工余量等级

| 工艺方法 | 加工余量等级 | | | | | | | | |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|
| | 铸钢 | 灰铸铁 | 球墨铸铁 | 可锻铸铁 | 铜合金 | 锌合金 | 轻金属合金 | 镍基合金 | 钴基合金 |
| 砂型手工造型 | $\frac{11-13}{J}$ | $\frac{11-13}{H}$ | $\frac{11-13}{H}$ | $\frac{10-12}{H}$ | $\frac{10-12}{H}$ | | $\frac{9-11}{H}$ | | |
| 砂型机器造型及壳型 | $\frac{8-10}{H}$ | $\frac{8-10}{G}$ | $\frac{8-10}{G}$ | $\frac{8-10}{G}$ | $\frac{8-10}{G}$ | | $\frac{7-9}{G}$ | | |
| 金属型 | | $\frac{7-9}{F}$ | $\frac{7-9}{F}$ | $\frac{7-9}{F}$ | $\frac{7-9}{F}$ | $\frac{7-9}{F}$ | $\frac{6-8}{F}$ | | |
| 低压铸造 | | $\frac{7-9}{F}$ | $\frac{7-9}{F}$ | $\frac{7-9}{F}$ | $\frac{7-9}{F}$ | $\frac{7-9}{F}$ | $\frac{6-8}{F}$ | | |
| 压力铸造 | | | | | $\frac{6-8}{D}$ | $\frac{4-9}{D}$ | $\frac{5-7}{D}$ | | |
| 熔模铸造 | $\frac{5-7}{D}$ | $\frac{5-7}{D}$ | $\frac{5-7}{D}$ | | $\frac{4-6}{E}$ | | $\frac{4-6}{E}$ | $\frac{5-7}{E}$ | $\frac{5-7}{E}$ |

注:表中数字表示尺寸公差等级,字母表示加工余量等级。

(续)

| 尺寸公差等级 CT | | 7 | | | 8 | | | | |
|-----------|-------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 加工余量等级 MA | | D | E | F | D | F | F | G | H |
| 基本尺寸 | | 加工余量数值 | | | | | | | |
| 大于 | 至 | | | | | | | | |
| — | 100 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 1.5 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 |
| | | 0.7 | 0.9 | 1.5 | 0.8 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 |
| 100 | 160 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 4.0 |
| | | 0.9 | 1.5 | 2.0 | 1.5 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.5 |
| 160 | 250 | 1.5 | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 4.0 | 5.0 |
| | | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.5 | 4.5 |
| 250 | 400 | 2.0 | 2.5 | 3.5 | 2.5 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.5 |
| | | 1.5 | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 2.5 | 3.5 | 4.5 | 6.0 |
| 400 | 630 | 2.5 | 3.0 | 4.0 | 2.5 | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 7.5 |
| | | 2.0 | 2.5 | 3.5 | 2.0 | 2.5 | 4.0 | 5.0 | 7.0 |
| 630 | 1000 | 2.5 | 3.5 | 4.5 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.5 | 8.5 |
| | | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 2.5 | 3.0 | 4.5 | 6.0 | 8.0 |
| 1000 | 1600 | 3.0 | 4.0 | 5.5 | 3.5 | 4.5 | 6.0 | 7.5 | 10 |
| | | 2.5 | 3.5 | 5.0 | 2.5 | 3.5 | 5.0 | 6.5 | 9.0 |
| 1600 | 2500 | 3.5 | 4.5 | 6.0 | 4.0 | 5.0 | 6.5 | 8.5 | 11 |
| | | 2.5 | 3.5 | 5.5 | 3.0 | 4.0 | 5.5 | 7.5 | 10 |
| 2500 | 4000 | — | — | — | 4.5 | 5.5 | 7.5 | 10 | 13 |
| | | — | — | — | 3.5 | 4.5 | 6.5 | 8.5 | 12 |
| 4000 | 6300 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 6300 | 10000 | — | — | — | — | — | — | — | |

| 尺寸公差等级 CT | | 9 | | | | | 10 | | | |
|-----------|-------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 加工余量等级 MA | | D | E | F | G | H | E | F | G | H |
| 基本尺寸 | | 加工余量数值 | | | | | | | | |
| 大于 | 至 | | | | | | | | | |
| — | 100 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
| | | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 |
| 100 | 160 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 5.0 |
| | | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 4.0 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 4.0 |
| 160 | 250 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 3.5 | 4.0 | 5.0 | 6.0 |
| | | 1.5 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 2.5 | 3.0 | 4.0 | 5.0 |
| 250 | 400 | 3.0 | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 7.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.5 |
| | | 2.0 | 2.5 | 3.5 | 4.5 | 6.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.5 |
| 400 | 630 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.5 | 4.5 | 5.5 | 6.5 | 8.5 |
| | | 2.5 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 7.0 | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 7.5 |
| 630 | 1000 | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 7.0 | 9.0 | 5.5 | 6.5 | 8.0 | 10 |
| | | 2.5 | 3.5 | 4.5 | 6.0 | 8.0 | 4.0 | 5.0 | 6.5 | 8.5 |
| 1000 | 1600 | 4.0 | 5.0 | 6.5 | 8.0 | 11 | 6.0 | 7.5 | 9.0 | 12 |
| | | 3.0 | 4.0 | 5.5 | 6.5 | 9.5 | 4.5 | 6.0 | 7.5 | 10 |
| 1600 | 2500 | 4.5 | 5.5 | 7.5 | 9.5 | 12 | 7.0 | 8.5 | 11 | 13 |
| | | 3.5 | 4.5 | 6.0 | 8.0 | 11 | 5.0 | 6.5 | 8.5 | 11 |
| 2500 | 4000 | 5.5 | 6.5 | 8.5 | 11 | 14 | 8.0 | 9.5 | 12 | 15 |
| | | 4.0 | 5.0 | 7.0 | 9.0 | 12 | 5.5 | 7.5 | 9.5 | 13 |
| 4000 | 6300 | 6.0 | 7.0 | 9.0 | 12 | 15 | 8.5 | 11 | 13 | 16 |
| | | 4.5 | 5.5 | 7.5 | 10 | 13 | 6.0 | 8.0 | 11 | 14 |
| 6300 | 10000 | — | — | — | — | — | 9.5 | 12 | 14 | 18 |
| | | — | — | — | — | — | 7.0 | 9.0 | 12 | 15 |

(续)

| 尺寸公差等级 CT | | 11 | | | | 12 | | | |
|-----------|-------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 加工余量等级 MA | | E | F | G | H | F | G | H | J |
| 基本尺寸 | | 加工余量数值 | | | | | | | |
| 大于 | 至 | | | | | | | | |
| — | 100 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 6.0 |
| | | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.5 |
| 100 | 160 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.5 | 5.0 | 5.5 | 6.5 | 7.5 |
| | | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.5 | 3.5 | 4.0 | 5.0 | 6.0 |
| 160 | 250 | 4.5 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 | 9.5 |
| | | 3.0 | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.5 |
| 250 | 400 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.5 | 7.0 | 8.0 | 9.5 | 11 |
| | | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 7.0 | 5.0 | 6.0 | 7.5 | 9.0 |
| 400 | 630 | 5.5 | 6.5 | 7.5 | 9.5 | 8.0 | 9.0 | 11 | 14 |
| | | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 8.0 | 5.5 | 6.5 | 8.5 | 11 |
| 630 | 1000 | 6.5 | 7.5 | 9.0 | 11 | 9.0 | 11 | 13 | 16 |
| | | 4.5 | 5.5 | 7.0 | 9.0 | 6.5 | 8.0 | 10 | 13 |
| 1000 | 1600 | 7.0 | 8.5 | 10 | 13 | 11 | 12 | 16 | 18 |
| | | 5.0 | 6.5 | 8.0 | 10 | 7.5 | 9.0 | 12 | 15 |
| 1600 | 2500 | 8.0 | 9.5 | 12 | 14 | 12 | 14 | 17 | 20 |
| | | 5.5 | 7.0 | 9.0 | 12 | 8.5 | 11 | 13 | 16 |
| 2500 | 4000 | 9.5 | 11 | 13 | 16 | 14 | 16 | 19 | 23 |
| | | 6.5 | 8.0 | 10 | 13 | 9.5 | 12 | 15 | 19 |
| 4000 | 6300 | 11 | 13 | 15 | 18 | 16 | 18 | 21 | 26 |
| | | 7.0 | 9.0 | 12 | 15 | 11 | 13 | 16 | 21 |
| 6300 | 10000 | 12 | 14 | 17 | 20 | 18 | 20 | 24 | 30 |
| | | 8.0 | 10 | 13 | 16 | 12 | 15 | 18 | 24 |

| 尺寸公差等级 CT | | 13 | | | | 14 | | 15 | | 16 | |
|-----------|-------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 加工余量等级 MA | | F | G | H | J | H | J | H | J | H | J |
| 基本尺寸 | | 加工余量数值 | | | | | | | | | |
| 大于 | 至 | | | | | | | | | | |
| — | 100 | 5.5 | 6.0 | 6.5 | 7.5 | 7.5 | 8.5 | 9.0 | 10 | 11 | 12 |
| | | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.5 | 5.0 | 6.0 | 5.5 | 6.5 | 6.5 | 7.5 |
| 100 | 160 | 6.5 | 7.0 | 8.0 | 9.0 | 9.0 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| | | 4.0 | 4.5 | 5.5 | 6.5 | 6.0 | 7.0 | 7.0 | 8.0 | 8.0 | 9.0 |
| 160 | 250 | 7.5 | 8.5 | 9.5 | 11 | 11 | 13 | 13 | 15 | 15 | 17 |
| | | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.5 | 7.5 | 9.0 | 8.5 | 10 | 9.5 | 11 |
| 250 | 400 | 8.5 | 9.5 | 11 | 13 | 13 | 15 | 15 | 17 | 18 | 20 |
| | | 5.5 | 6.5 | 8.0 | 10 | 9.0 | 11 | 10 | 12 | 12 | 14 |
| 400 | 630 | 10 | 11 | 13 | 16 | 15 | 18 | 17 | 20 | 20 | 23 |
| | | 6.5 | 7.5 | 9.5 | 12 | 11 | 13 | 12 | 14 | 13 | 16 |
| 630 | 1000 | 12 | 13 | 15 | 18 | 17 | 20 | 20 | 23 | 23 | 26 |
| | | 7.5 | 9 | 11 | 14 | 12 | 15 | 14 | 17 | 15 | 18 |
| 1000 | 1600 | 13 | 15 | 17 | 20 | 20 | 23 | 23 | 26 | 27 | 30 |
| | | 8.5 | 10 | 13 | 16 | 14 | 17 | 16 | 19 | 18 | 21 |
| 1600 | 2500 | 15 | 17 | 20 | 23 | 22 | 25 | 26 | 29 | 30 | 33 |
| | | 10 | 12 | 15 | 18 | 16 | 19 | 18 | 21 | 20 | 23 |
| 2500 | 4000 | 17 | 19 | 22 | 26 | 25 | 29 | 29 | 33 | 35 | 39 |
| | | 11 | 13 | 16 | 20 | 18 | 22 | 20 | 25 | 23 | 27 |
| 4000 | 6300 | 20 | 22 | 25 | 30 | 29 | 34 | 33 | 38 | 39 | 44 |
| | | 13 | 15 | 18 | 23 | 20 | 25 | 22 | 27 | 25 | 30 |
| 6300 | 10000 | 22 | 25 | 28 | 34 | 32 | 38 | 37 | 43 | 44 | 50 |
| | | 14 | 17 | 20 | 26 | 22 | 28 | 25 | 31 | 28 | 34 |

1) 表中每栏有两个加工余量数值, 上面的是单侧加工时的加工余量, 下面的是双侧加工时每侧的加工余量。

图 6-73 为单侧加工示意图, 图 6-74 为双侧加工示意图。

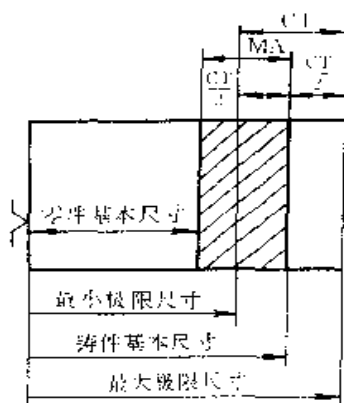


图 6-73 单侧加工示意图

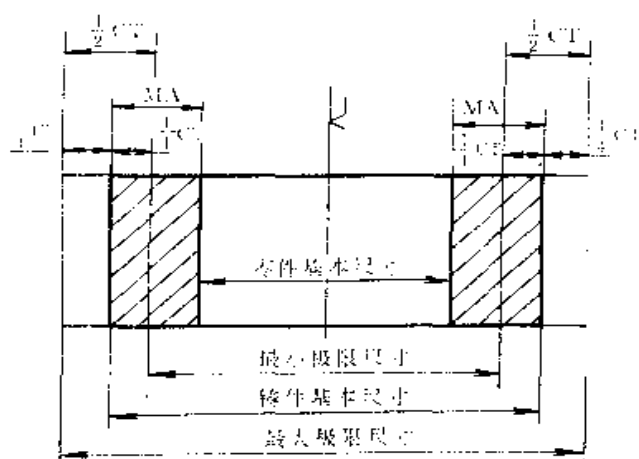


图 6-74 双侧加工示意图

2) 小批和单件生产, 铸件的不同加工表面, 允许采用相同的加工余量数值。

3) 砂型铸造的铸件, 其顶面 (相对于浇注位置) 的加工余量等级应比底、侧面加工余量等级降一级选用; 当底、侧面的加工余量等级为表 6-38 中某一选定尺寸公差等级对应的全部加工余量等级中的最粗一级时, 其顶面的加工余量等级应选用尺寸公差等级降一级后所对应的与底、侧面相同的加工余量等级。例如, 其底、侧面加工余量为 CT10 级, MA—H 级, 其顶面加工余量则为 CT11 级, MA—H 级。

4) 砂型铸造中孔的加工余量等级, 可采用与顶面相同的等级。

5) 对旋转体零件, 铸件基本尺寸取其直径或高

度 (长度) 中较大的尺寸。

6) 除 2、3 条规定外, 一般情况下, 一种铸件只能选取一个尺寸公差等级。当有特殊要求时, 可由供需双方商定, 采用非标准的加工余量。

按 GB/T11350—89 确定加工余量时, 其加工余量在铸件图或技术文件中的标注为:

加工余量按 GB/T11350—89CT10MA—H/G 级 (斜线前为顶面加工余量等级, 斜线后为底、侧面加工余量等级)。

采用非标准的加工余量时, 应在铸件图上所加工部位位置直接标出, 如图 6-75 所示, 图中数字表示加工余量数值。

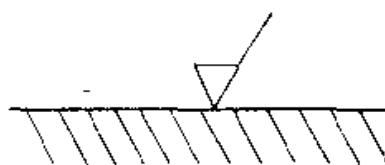


图 6-75 非标准加工余量标注方法

5.5 起模斜度

为了在造型和制芯时便于起模而不致损坏砂型和砂芯, 应该在模样或芯盒的起模方向上带有一定的斜度, 即起模斜度, 若铸件本身没有足够的结构斜度, 就要在铸造工艺设计时给出铸件的起模斜度。

JB/T5105—91 “铸件模样起模斜度” 规定了砂型铸造所用的起模斜度。起模斜度可采取增加铸件壁厚、增减铸件壁厚或减少铸件壁厚三种方式形成, 如图 6-76 所示。

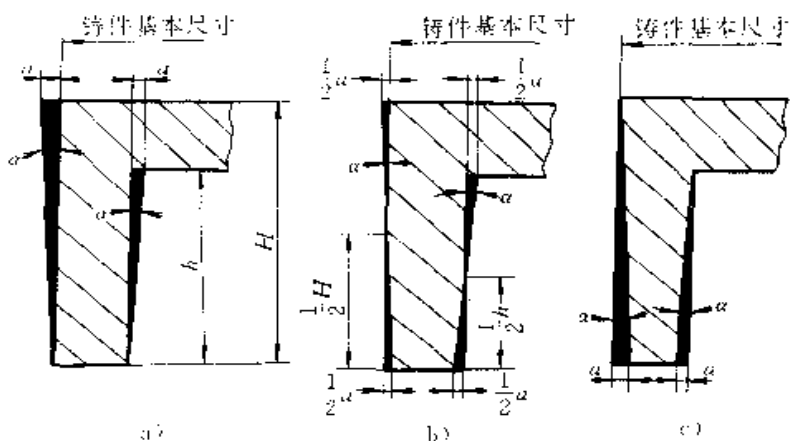


图 6-76 起模斜度的形式

a) 增加铸件厚度 b) 增减铸件厚度 c) 减少铸件厚度

起模斜度的大小应根据模样的高度、模样的尺寸和表面粗糙度以及造型方法来确定, 可参照表 6-39~

表 6-41 选取。

表 6-39 粘土砂造型时模样外表面的起模斜度

| 测量面高度 (mm) | 起模斜度 \leq | | | |
|---------------|-------------|----------|----------|----------|
| | 金属模样、塑料模样 | | 木模样 | |
| | α | a (mm) | α | a (mm) |
| ≤ 10 | 2°20' | 0.4 | 2°55' | 0.6 |
| >10~40 | 1°10' | 0.8 | 1°25' | 1.0 |
| >40~100 | 0°30' | 1.0 | 0°40' | 1.2 |
| >100~160 | 0°25' | 1.2 | 0°30' | 1.4 |
| >160~250 | 0°20' | 1.6 | 0°25' | 1.8 |
| >250~400 | 0°20' | 2.4 | 0°25' | 3.0 |
| >400~630 | 0°20' | 3.8 | 0°20' | 3.8 |
| >630~1000 | 0°15' | 4.4 | 0°20' | 5.8 |
| >1000~1600 | — | — | 0°20' | 8.0 |
| >1600~2500 | — | — | 0°15' | 11.0 |
| >2500 | — | — | 0°15' | — |

表 6-40 粘土砂造型时模样凹处内表面的起模斜度

| 测量高度 (mm) | 起模斜度 \leq | | | |
|--------------|-------------|----------|----------|----------|
| | 金属模样、塑料模样 | | 木模样 | |
| | α | a (mm) | α | a (mm) |
| ≤ 10 | 4°35' | 0.8 | 5°45' | 1.0 |
| >10~40 | 2°20' | 1.6 | 2°50' | 2.0 |
| >40~100 | 1°05' | 2.0 | 1°45' | 2.2 |
| >100~160 | 0°45' | 2.2 | 0°55' | 2.6 |
| >160~250 | 0°40' | 3.0 | 0°45' | 3.4 |
| >250~400 | 0°40' | 4.6 | 0°45' | 5.2 |
| >400~630 | 0°35' | 6.4 | 0°40' | 7.4 |
| >630~1000 | 0°30' | 8.8 | 0°35' | 10.2 |
| >1000 | — | — | 0°35' | — |

表 6-41 自硬砂造型时模样外表面的起模斜度

| 测量面高度 (mm) | 起模斜度 \leq | | | |
|---------------|-------------|----------|----------|----------|
| | 金属模样、塑料模样 | | 木模样 | |
| | α | a (mm) | α | a (mm) |
| ≤ 10 | 3°00' | 0.6 | 4°00' | 0.8 |
| >10~40 | 1°50' | 1.4 | 2°05' | 1.6 |
| >40~100 | 0°50' | 1.6 | 0°55' | 1.6 |
| >100~160 | 0°35' | 1.6 | 0°40' | 2.0 |
| >160~250 | 0°30' | 2.2 | 0°35' | 2.6 |
| >250~400 | 0°30' | 3.6 | 0°35' | 4.2 |
| >400~630 | 0°25' | 4.6 | 0°30' | 5.6 |
| >630~1000 | 0°20' | 5.8 | 0°25' | 7.4 |
| >1000~1600 | — | — | 0°25' | 11.6 |
| >1600~2500 | — | — | 0°25' | 18.2 |
| >2500 | — | — | 0°25' | — |

起模斜度在工艺图上用角度 α° 或宽度 a 表示。当用机械加工方法加工模具时，采用角度标注 (α°) 比较方便。而用手工加工模具时，则采用宽度标注 (a) 较为方便。

按 JB/T5105—91 选用起模斜度时，有以下几点说明：

1) 起模斜度不包括在 GB6416—86 规定的尺寸公差值范围之内。

2) 当模样凹处过深时，宜用活块或砂芯形成。

3) 采用自硬砂造型时，凹处内表面的起模斜度值，允许按表 6-41 增加 50%。

4) 对于起模困难的模样，允许采用较大的起模斜度，但不得超过表 6-39~表 6-41 所列数值的一倍。

5) 芯盒的起模斜度，可参照表 6-39~6-41 选用。

6) 造型机工作比压在 700kPa 以上时，允许增加起模斜度值，但不得超过表 6-39 和表 6-40 所列数值的 50%。

7) 铸件结构本身在起模方向有足够的斜度时，不另增加起模斜度。

由白带砂芯形成的铸孔的起模斜度可参考表 6-42 选取。

表 6-42 铸孔的起模斜度

| 起模斜度 α | 铸 孔 高 度 (mm) | | | | | | | | |
|------------------|--------------|-----------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|
| | 铸 孔 直 径 (mm) | ≤ 20 | 20~40 | 40~60 | 60~90 | 90~120 | 120~150 | 150~200 | 200~250 |
| ≤ 30 | | 10 | 8 | — | — | — | — | — | — |
| 31~50 | | 10 | 8 | — | — | — | — | — | — |
| 51~70 | | 8 | 8 | 7 | — | — | — | — | — |
| 71~100 | | 7 | 7 | 6 | 6 | — | — | — | — |
| 101~130 | | 6 | 6 | 5 | 5 | 5 | — | — | — |
| 131~160 | | 6 | 6 | 5 | 4.5 | 4.5 | 4 | — | — |
| 161~200 | | 5 | 5 | 4.5 | 4.5 | 4 | 4 | 3.5 | — |
| 201~250 | | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 3.5 | 3.5 | 3.5 |
| 251~350 | | 5 | 4 | 4 | 4 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3 |
| >350 | | 4 | 4 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3 | 3 | 3 |

注：本表适用于机器造型，手工造型可适当减少。

5.6 非加工壁厚的负余量

在手工造型和造芯时，为了保证铸件尺寸准确，对形成铸件非加工壁厚的木质模样、筋板，为防止因震动或吸潮引起膨胀，其尺寸应予以减小，所减小的

尺寸称为非加工壁厚的负余量。有时在确定铸件收缩率时已考虑了负余量的因素可不另作考虑。表 6-43 为手工造型、造芯时，铸件非加工壁厚负余量的推荐值。

表 6-43 铸件非加工壁厚的负余量

(mm)

| 铸件质(重) 量(kg) | 铸 件 壁 厚 (mm) | | | | | | | | |
|-----------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 8~10 | 11~15 | 16~20 | 21~30 | 31~40 | 41~50 | 51~60 | 61~80 | 81~100 |
| ≤ 50 | 0.5 | -0.5 | -1.0 | -1.5 | — | — | — | — | — |
| 51~100 | -1.0 | -1.0 | -1.0 | -1.5 | -2.0 | — | — | — | — |
| ~250 | -1.0 | -1.5 | -1.5 | -2.0 | -2.0 | -3.0 | — | — | — |
| ~500 | — | -1.5 | -1.5 | -2.0 | -2.5 | -2.5 | -3.0 | — | — |
| ~1000 | — | — | -2.0 | -2.5 | -2.5 | -3.0 | -3.5 | -4.0 | -4.5 |
| ~3000 | — | — | -2.0 | -2.5 | -3.0 | -3.5 | -4.0 | -4.5 | -4.5 |
| ~5000 | — | — | — | -3.0 | -3.0 | -3.5 | -4.0 | -4.5 | -5.0 |
| ~10000 | — | — | — | -3.0 | -3.5 | -4.0 | -4.5 | -5.0 | -5.5 |
| >10000 | — | — | — | — | -4.0 | 4.5 | -5.0 | -5.5 | -6.0 |

5.7 最小铸出孔和槽

机械零件上常常有许多孔、槽和台阶等，一般应尽可能在铸造时铸出，这样既可节约金属、减少机械加工的工作量、降低成本，又可使铸件的壁厚比较均匀、减少形成缩孔、缩松等铸造缺陷的倾向。有些有特殊要求的孔，如弯曲孔和异形孔，无法实行机械加工，则一定要铸出。但是，在许多情况下，孔和槽又不宜铸出，如孔、槽尺寸太小，而铸件又较厚或金属

压头较高时，铸出孔、槽会使此处产生粘砂，造成清铲和机械加工困难；有的孔槽必须采用复杂而且难度较大的铸造工艺措施才能铸出；有时由于孔的中心距要求很精确，铸出的孔如有偏心，再用钻扩孔无法纠正中心位置。在确定零件上的孔和槽是否铸出时，必须既考虑铸出这些孔或槽的可能性，又要考虑铸出这些孔或槽的必要性和经济性。

最小铸出孔或槽的尺寸与铸件的生产产量、合金

种类、铸件大小、孔或槽处铸件的壁厚、孔的长度及直径等有关。

5.7.1 铸铁件的最小铸出孔和槽

1) 加工孔 (按表 6-44)

表 6-44 铸铁件的最小铸出孔 (mm)

| 铸件厚度 | | <50 | 50~100 | 100~200 | >200 |
|----------|------|-----|--------|---------|------|
| 应铸出的最小孔径 | 灰铸铁 | 30 | 35 | 40 | 另定 |
| | 球墨铸铁 | 35 | 40 | 45 | |

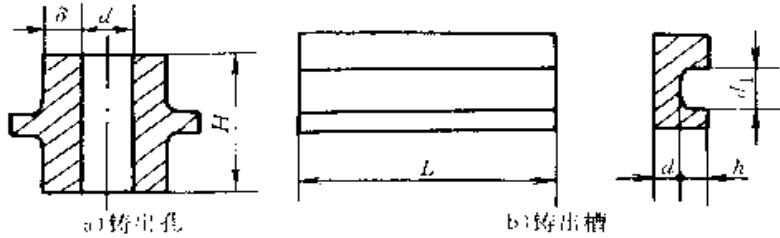
2) 不加工孔一般应尽量铸造出来。如果在单件、小批量生产条件下孔径 < 30mm, 成批大量生产条件下孔径 < 15mm, 或孔的长度 L 和孔的直径 D 之比 (L/D) 大于 4 时, 则不便铸出, 可考虑用机械加工方法制出, 或用特殊的砂芯制出。

3) 特殊形状孔, 例如正方形孔、矩形孔、蒸汽汽路或压缩空气气路等弯曲小孔, 不能加工做出的原则上必须铸出。

5.7.2 铸钢件的最小铸出孔和槽

加工孔或槽可参照表 6-45 确定。

表 6-45 普通碳素钢和低合金钢铸件的最小铸出孔 (槽) 尺寸 (mm)



| 孔深 H (mm) | 孔 壁 厚 度 δ | | | | | | | |
|-----------------|------------------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|------|
| | ≤ 25 | 26~50 | 51~75 | 76~100 | 101~150 | 151~200 | 201~300 | >300 |
| 最 小 铸 孔 直 径 d | | | | | | | | |
| ≤ 100 | 60 | 60 | 70 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 |
| 101~200 | 60 | 70 | 80 | 90 | 120 | 140 | 160 | 190 |
| 201~400 | 80 | 90 | 100 | 110 | 140 | 170 | 190 | 230 |
| 401~600 | 100 | 110 | 120 | 140 | 170 | 200 | 230 | 270 |
| 601~1000 | 120 | 130 | 150 | 170 | 200 | 230 | 270 | 300 |
| >1000 | 140 | 160 | 170 | 200 | 230 | 260 | 300 | 330 |

注: 1. 不穿透的圆孔直径大于表中数值 20%。

2. 矩形或方形的穿透孔大于表中数值 20%, 不穿透孔则大于 40%。

3. 铸件上穿透与不穿透的槽, 表中图 b 铸出的条件是: $h \leq d_1$, $d_1 = (1 + 20\%)d$, $L \leq 3d_1$

5.7.3 高锰钢铸件的孔和槽

由于高锰钢铸件的切削加工十分困难, 所以对于不加工的孔和槽应全部铸出。但孔的尺寸、形状不符合铸造工艺时, 应与设计人员联系修改孔, 一般采用圆孔或椭圆孔并采用最大偏差。加工的孔和槽可用低碳钢进行镶铸, 再在低碳钢上加工孔和槽。

5.7.4 有色金属铸件的孔和槽

有色金属铸件的孔和槽, 原则上应尽量铸出, 以

节约昂贵的有色金属材料。

5.8 反变形量

铸件壁厚不均匀, 或由于结构原因各部位收缩受阻的情形差别很大, 铸件可能产生挠曲变形。制造模样时, 可按铸件可能产生变形的相反方向作出反变形量, 或在各部位采用不同的缩尺, 使铸件在冷却后变形的结果正好将反变形抵消, 得到尺寸符合要求的铸件。这种在制造模样时预先做出的变形量称为反变形量。

长形铸件冷却缓慢的一侧必定受拉应力而产生内凹变形；冷却较快的一侧必定受压应力而产生外凸变形，两种不同截面尺寸的 T 字形梁铸件，成形过程变形的情形，见图 6-77。

制造模样时，可根据具体分析作出相应的反变形量予以补偿。

机床床身的导轨面较厚，侧面较薄，在冷却过程中两部分的冷却条件不同，通常都导致导轨面下凹，薄壁的两侧面下凸，某工厂为机床床身导轨，作出上凸的反变形量见表 6-46。

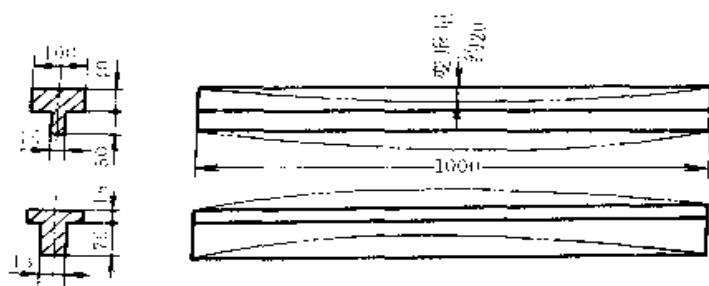


图 6-77 T 字形梁铸件产生变形的情形

表 6-46 灰铸铁机床床身的反变形量

(mm)

| 名称 | 铸件尺寸 | 一般壁厚 | 导轨厚度 | 反变形量 |
|----------------|-------------------|------|------|------|
| L-3-6 床身 | 长 2000 | 16 | 33 | 2.5 |
| L-3-8 床身 | 长 2614 | 16 | 33 | 3.5 |
| F-1 床身 | 长 3162 | 19 | 32 | 5 |
| C6150-g 床身 | 长 2350 | 14 | 34 | 5 |
| C6150-1.5g 床身 | 长 2800 | 14 | 34 | 7 |
| C6150-2g 床身 | 长 3300 | 14 | 34 | 9 |
| B2025 龙门刨横梁 | 5100 × 900 × 750 | — | — | 6~8 |
| B2025 龙门刨床身前段 | 5940 × 1776 × 605 | — | — | 6~8 |
| B2025 龙门刨床身中段 | 7000 × 2600 × 805 | — | — | 7~10 |
| B2025 龙门刨工作台前段 | 4500 × 2250 × 468 | — | — | 7~9 |
| M1380 磨床床身 | 7700 × 950 × 560 | 30 | 52 | 10 |
| M1380 磨床工作台 | 6650 × 753 × 280 | 20 | 45 | 12 |

注：1. 一般床身，长度 > 5m，留反变形量 1~2mm/m。

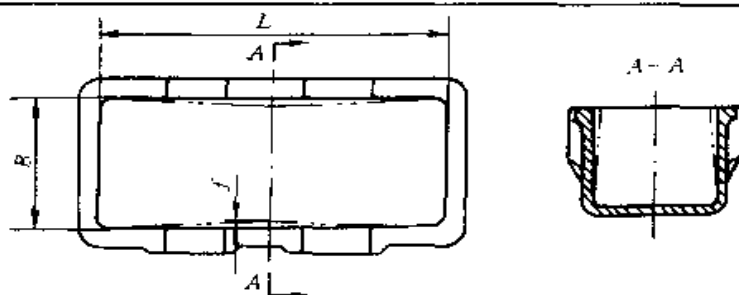
长度 < 5m，留反变形量 1.5~2.5mm/m。

2. 地坑造型，反变形量 2~2.5mm/m。

箱形铸件，因内壁收缩受阻，通常都导致内腔尺寸较大，可参照表 6-47 作出反变形量。

表 6-47 箱形铸件的反变形量

(mm)



| 壁厚 | 长 × 宽 (L × B) | 反变形量 f | 壁厚 | 长 × 宽 (L × B) | 反变形量 f |
|-------|--------------------|--------|-------|---------------------|--------|
| 10~20 | 500~700 × 150~300 | 1.5 | 10~20 | 1100~1500 × 150~300 | 2.5 |
| | 500~700 × 300~400 | 2 | | 1100~1500 × 300~400 | 3 |
| | 700~900 × 150~300 | 2 | | 1500~2000 × 150~300 | 3 |
| | 700~900 × 300~400 | 2.5 | | 1500~2000 × 300~400 | 3.5 |
| | 900~1100 × 150~300 | 2.5 | | 2000~2500 × 150~300 | 3.5 |
| | 900~1100 × 300~400 | 3 | | 2000~2500 × 300~400 | 4.5 |

注：壁厚大于 20mm 可按具体情况增加。

5.9 工艺肋（筋）

工艺肋（筋）又称为铸肋（筋），分为两种：一种是防止铸件产生热裂纹的称为收缩肋（筋），另一种是防止铸件产生变形的称为拉肋（筋）。收缩肋（筋）在铸件清理时割除，拉肋（筋）在铸件热处理后割去。

5.9.1 收缩肋（筋）

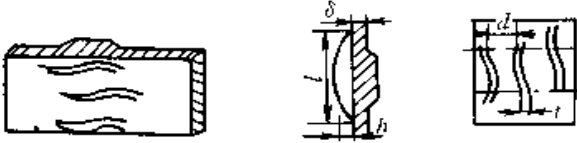



铸件在凝固收缩时，由于受砂型和砂芯的阻碍，在受拉应力的壁上（一般为主壁）或在接头处易产生热裂纹。加了收缩肋（筋）以后，由于它比铸件先凝固，强度建立较早，可承受较大的拉应力，可防止主壁及接头处产生裂纹。

几种常用收缩肋（筋）的形式和尺寸参看表 6-48、表 6-49。

表 6-48 收缩肋的形式和尺寸关系

| 简 图 | t | l | d | h |
|-----|------------|---------|----------|-----|
| | | | | |
| | | (8~12)t | | |
| | (1/3~1/4)δ | | (15~20)t | — |
| | | | | |
| | | (5~7)t | | |
| | | | | |

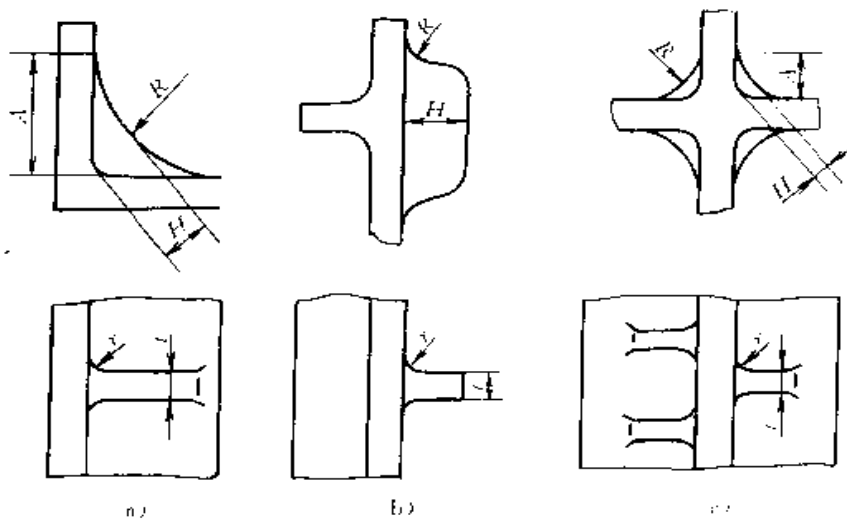
(续)

| 简 图 | t | l | d | h |
|---|-----|------------|------------|----------|
|  | | $(2-3)t$ | $(10-15)t$ | |
|  | | $(10-14)t$ | | $(5-7)t$ |
|  | | $(2-3)t$ | $(15-20)t$ | |
|  | | $(8-12)t$ | $(15-20)t$ | — |

注：1. δ 为交接壁中最小壁厚。

2. 收缩肋（筋）厚度 t 以最厚为 15mm 最薄为 4mm 为原则。

表 6-49 铸钢件壁连接处常用的收缩肋（筋）



| 主壁厚度 (mm) | 肋(筋)的平均 厚度 t (mm) | 肋(筋)的高度 H (mm) | 肋(筋)间距离 (mm) | R (mm) | A (mm) | r (mm) |
|--------------|------------------------|---------------------|-----------------|----------|-------------|-------------|
| 6~10 | <3.8 | 20 | 40 | 30 | 45 | 2 |
| 11~15 | 5 | 30 | 60 | 50 | 65 | 3 |

(续)

| 主壁厚度 (mm) | 肋(筋)的平均厚度 t (mm) | 肋(筋)的高度 H (mm) | 肋(筋)间距离 (mm) | R (mm) | A (mm) | r (mm) |
|-----------|--------------------|------------------|--------------|----------|----------|----------|
| 16~25 | 6~7 | 35 | 80 | 70 | 75 | 4 |
| 26~40 | 8~10 | 45 | 140 | 90 | 100 | 5 |
| 41~60 | 12~14 | 55 | 160 | 120 | 125 | 5 |
| 61~100 | 16~18 | 65 | 180 | 160 | 140 | 6 |
| 101~200 | 20~24 | 75~80 | 200 | 160 | 170 | 8 |
| 201~300 | 25~30 | 85~100 | 200 | 160 | 210 | 10 |

5.9.2 拉肋(筋)

铸件呈半球环或U形时,冷却后常产生变形。拉肋(筋),拉筋应在热处理后去除。拉肋(筋)的为防止变形的产生,常在影响变形最关键的部位设置形式和尺寸可参考表6-50。

表 6-50 铸钢件的拉肋(筋)类型和尺寸 (mm)

| I 型 | II 型 | a | I 型 | | II 型 | |
|-----|------|-------|--------|-------|----------|--------------|
| | | | ϕ | S | δ | W |
| | | 10~15 | 5~7 | 20~30 | 4~6 | 3~4 δ |
| | | 15~20 | 7~10 | 30~40 | 4~6 | 3~4 δ |
| | | 20~25 | 10~13 | 40~50 | 6~8 | 3~4 δ |
| | | 25~30 | 13~15 | 50~60 | 6~8 | 3~4 δ |

| 中大型铸钢件 | 拉肋的厚度为设拉肋处铸件厚度的 40%~60%, 宽度为拉肋厚度的 1.5~2 倍 | |
|-----------|---|---------|
| | 半环形外径 D | 补正量 C |
| | <2000 | 10~15 |
| 2000~3200 | 15~18 | |
| >3200 | 18~22 | |

5.10 分型负数

砂型铸造时,由于起模后的修型和烘干过程中砂型的变形,引起分型面凹凸不平,合型时,上下两个砂型之间不能紧密接触,为了防止浇注时分型面跑铁液,合型时往往要在下箱分型面上垫石棉绳或耐火泥

条,这样就使垂直于分型面方向的铸件尺寸增高了。为了使铸件尺寸符合图纸要求,必须在模样制作时减去相应增加的高度,这个被减去的尺寸数值就称为分型负数,粘土湿砂型通常不考虑分型负数,粘土干型和表干型的分型负数见表6-51选取。

表 6-51 粘土砂干型和表干型的分型负数

| 砂箱长度 (mm) | | ≤1000 | 1001~2000 | 2001~3500 | 3501~5000 | >5000 |
|--------------|-----|-------|-----------|-----------|-----------|-------|
| 分型负数 (mm) | 干型 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 |
| | 表干型 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 |

注意: 1. 若模样分为两半, 一半在上箱一半在下箱。这种情况一般是将分型负数留在上箱; 若上下两半模样是对称的, 为了保持模样的对称性, 则将分型负数在上下两半模样上各取一半; 若模样是一个整的, 又全部位于一个砂箱中, 则分型负数留在与砂箱箱面平行的平面上。

2. 多箱造型时, 每个分型面都要留分型负数。

6 砂芯设计

6.1 砂芯的分级

砂芯通常按其复杂程度分为 5 级, 见表 6-52。

6.2 砂芯的设置

铸件所用砂芯的数量及其结构 主要取决于铸件的结构, 但在铸造工艺设计时, 如考虑得当, 仍然有可能使砂芯较易于制造, 且使下芯作业方便。

设置砂芯注意以下几点:

1) 一般尽量减少砂芯数量, 以减少制造工时和提高铸件尺寸精度。但对于复杂砂芯或尺寸比较大的砂芯可分块制造, 以方便制造。图 6-78~图 6-83 为具体设计实例。

2) 选择合适的砂芯形状, 使砂芯的舂砂面宽, 便于造芯时填砂舂砂, 安放芯骨和采取排气措施, 并避免在填砂面上设置活块。

表 6-52 砂芯按复杂程度分级

| 砂芯级别 | 特 点 | 应 用 |
|---------|---|---|
| I 级砂芯 | 形状复杂, 断面细薄, 大部分被液体金属包围, 在铸件里构成各种小通道而且排气困难, 构成不加工内腔。它要求砂芯于强度很高 (并有一定的韧性), 流动性好, 发气量少, 溃散性好; 而对湿强度要求可低些。其粘结剂主要是用油脂, 树脂类 | 构成重要的不加工内腔, 例如飞机、汽车和拖拉机的内燃机缸盖、缸体中的水套砂芯; 各种阀类的油道砂芯; 以及其它同类砂芯 |
| II 级砂芯 | 形状较复杂, 主体部分断面稍厚, 但有非常细的凸缘, 棱角或肋片, 大部分表面被金属包围, 但芯头稍大, 构成重要的不加工或部分不加工表面。它要求砂芯的干强度较高, 流动性和溃散性好, 而对湿强度要求可低些。其粘结剂中可适当用一些粘土 | 构成重要的不加工或部分不加工表面, 例如, 气冷发动机汽缸盖砂芯, 内燃机的进排气管砂芯, 汽车汽缸体的侧面气门室砂芯, 变速箱壳体砂芯等 |
| III 级砂芯 | 一般复杂程度, 没有特殊细薄面, 用来形成重要的不加工表面的各种中心砂芯。要求芯砂的干强度、流动性和溃散性比 I、II 级砂芯低些, 而对湿强度则比它们高, 以保证在烘干前不因砂芯自重而发生变形。其粘结剂中可适当用一些粘土 | 构成重要的不加工面, 例如, 水冷和空冷内燃机机体砂芯, 变速箱砂芯, 汽车汽缸体曲轴箱砂芯, 车床溜板箱砂芯等 |
| IV 级砂芯 | 一般复杂程度和不复杂的外廓砂芯, 同时构成机械加工的内腔, 但并不要求很细的表面粗糙度的砂芯 对砂芯要求湿强度高, 退让性好, 具有一定的干强度和透气性 | 构成需要加工的内腔, 或虽构成不加工但对内表面无特殊要求的内腔。例如车床牛头刨床床身的中心砂芯; 汽车前后轮毂砂芯, 后桥砂芯 |
| V 级砂芯 | 大型砂芯, 构成大型铸件的很大的内腔, 对砂芯要求同 IV 级 | 例如: 大型机床和底座砂芯 |

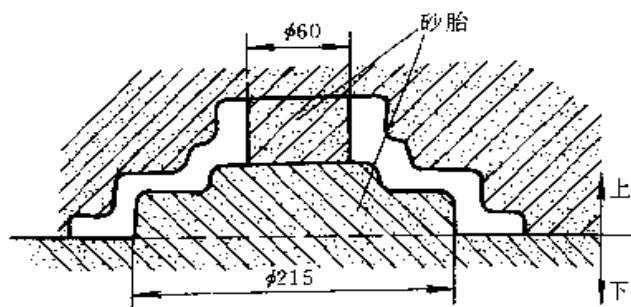


图 6-78 造型时做出砂台代替砂芯

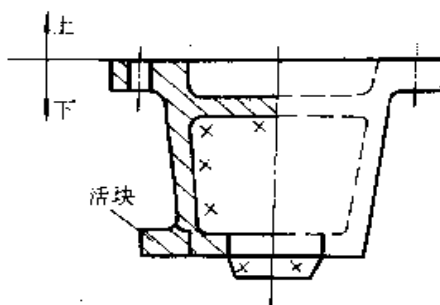


图 6-79 采用活块减少砂芯数量

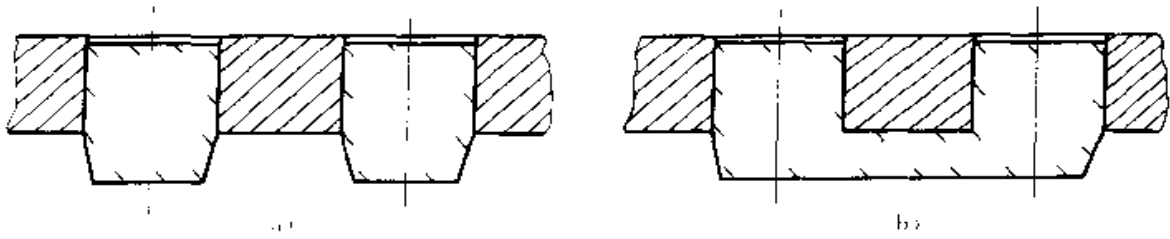


图 6-80 合并砂芯减少砂芯数量
a) 合并前 b) 合并后

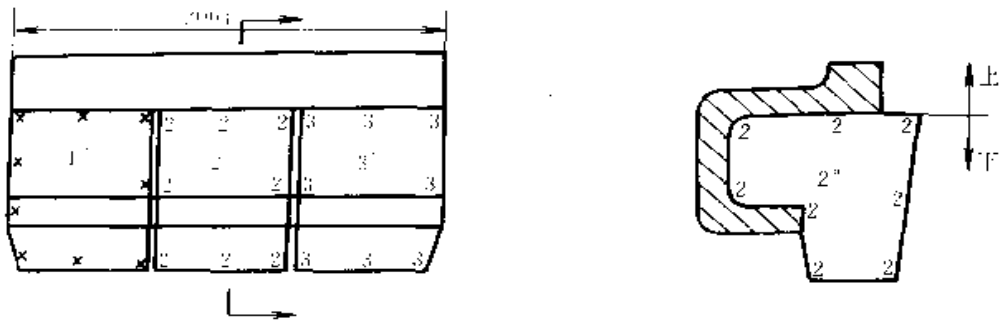


图 6-81 将加热炉砂封槽砂芯分为三块
(以便于制造、搬运和下芯)

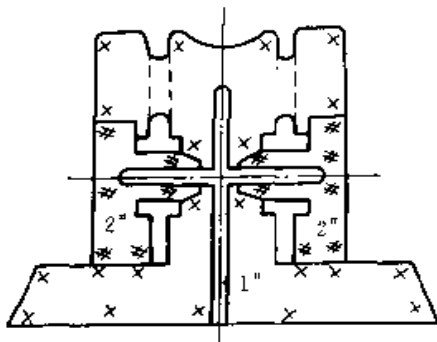


图 6-82 为操作方便将砂芯分块制造

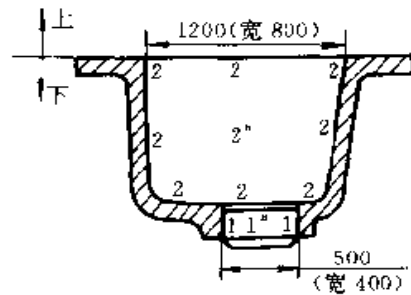


图 6-83 为下芯合型方便将砂芯分块制造

- 3) 砂芯烘干的支承面最好是平面。
- 4) 砂芯芯盒的分盒面应尽量与砂型的分型面一致，以保证砂芯和砂型之间形成的壁厚均匀，同时也利于砂芯排气。

- 5) 便于制芯下芯及合型，保证铸件精度。见图 6-84。
- 6) 分段的砂芯每段均要有良好的固定条件，以保证铸件形状准确。见图 6-85。

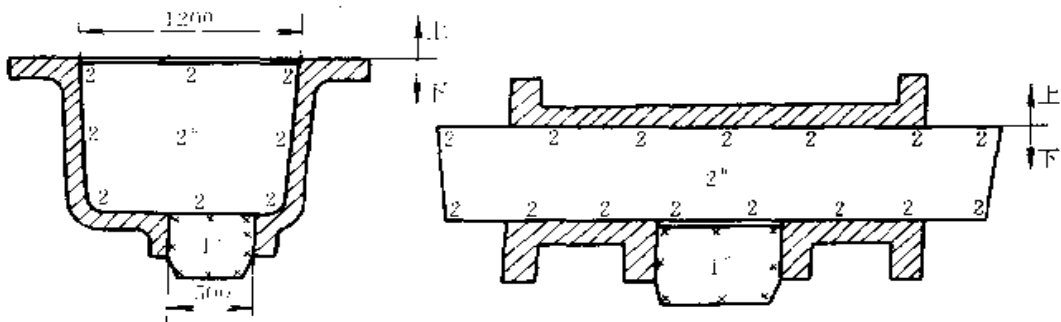


图 6-84 分块砂芯方便下芯、合型

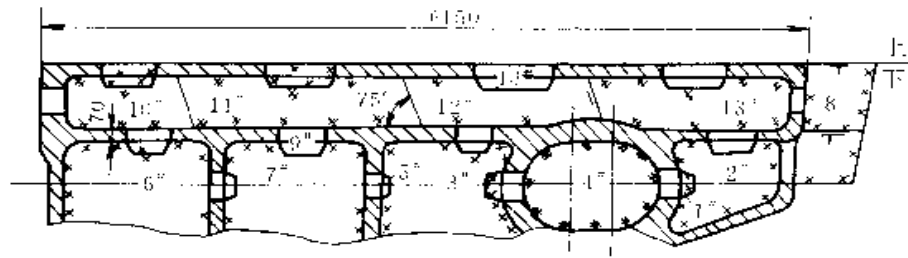


图 6-85 砂芯的支承

6.3 砂芯的固定

砂芯在砂型中的位置一般用芯头固定，也用芯撑或铁丝固定。悬臂砂芯可用加大芯头尺寸或采用“挑担砂芯”的方法固定，细高的直立式砂芯，常将下芯头尺寸加大。

根据芯头在砂型中的位置，可分为垂直芯头和水平芯头两种形式。

6.3.1 垂直芯头

表 6-53 为垂直芯头固定的三种形式的特点及应用范围。

表 6-53 垂直芯头的三种形式

| | |
|--|--|
| <p>上下都作芯头 特点：定位准确， 支承可靠 应用：高度大于直 径的砂芯</p> | |
| <p>只作下芯头 特点：有利于合型 应用：适宜于横截 面较大而高 度不大的砂 芯</p> | |
| <p>上下都不作芯头 特点：合型方便， 可调整砂芯 位置 应用：比较稳的大 砂芯</p> | |

对截面小而高度较大的砂芯，可加大下芯头使砂芯在砂型中比较稳固，见图 6-86，当 $L/D \geq 5$ 时，可取 $D_2 = (1.5 \sim 2) D$ 。

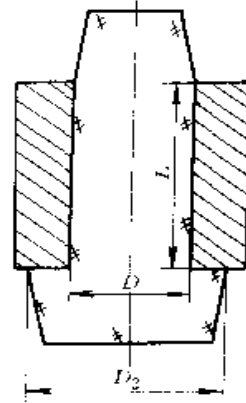


图 6-86 加大的下芯头

对只可以做上芯头而又没有其它芯头的砂芯，为使砂芯固定可靠，可采取以下措施：

1) 加长上芯头，并在芯头与芯座之间不留间隙或湿砂造型时可使砂芯稍大于芯座，砂芯下在上砂型中并挤紧。

2) 预埋芯头，见图 6-87。造上型时预埋于砂型中，这种方法适用于重量不大的小砂芯。

3) 吊芯，见图 6-88。这种方法适用于单件小批生产。

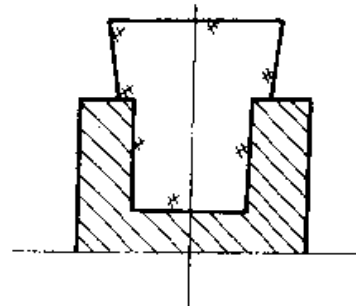


图 6-87 预埋砂芯

4) 盖板砂芯，见图 6-89。这种方法有利于保证铸件精度且操作方便。

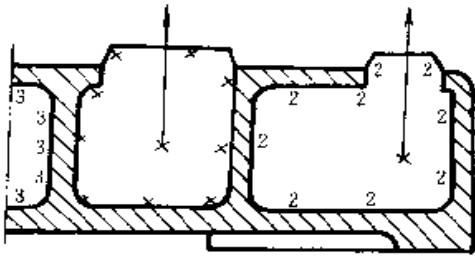


图 6-88 吊芯

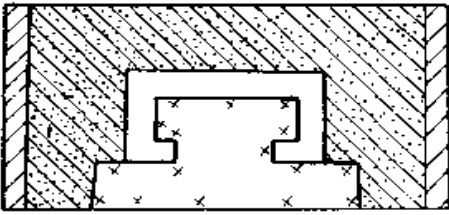


图 6-89 盖板砂芯

5) 使用芯撑, 如图 6-90 所示, 用于难以固定的大砂芯。

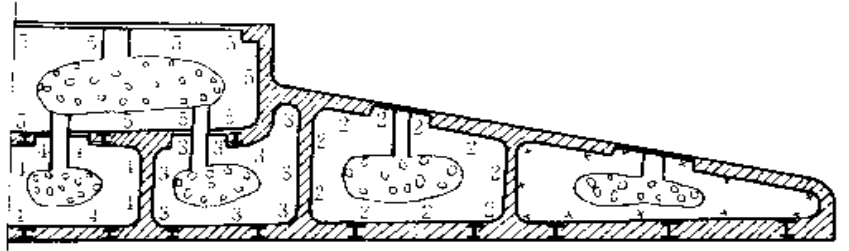


图 6-90 用芯撑支撑砂芯

6.3.2 水平芯头

具有两个以上水平芯头的砂芯, 在砂型中是稳固的。对不稳固的或易发生倾斜、转动的砂芯, 要采取措施使之稳固。常用的措施有:

1) 加大或加长芯头, 将砂芯的重心移入芯头的支承面内, 见图 6-91 所示, 此时芯头尺寸可按下述比例决定:

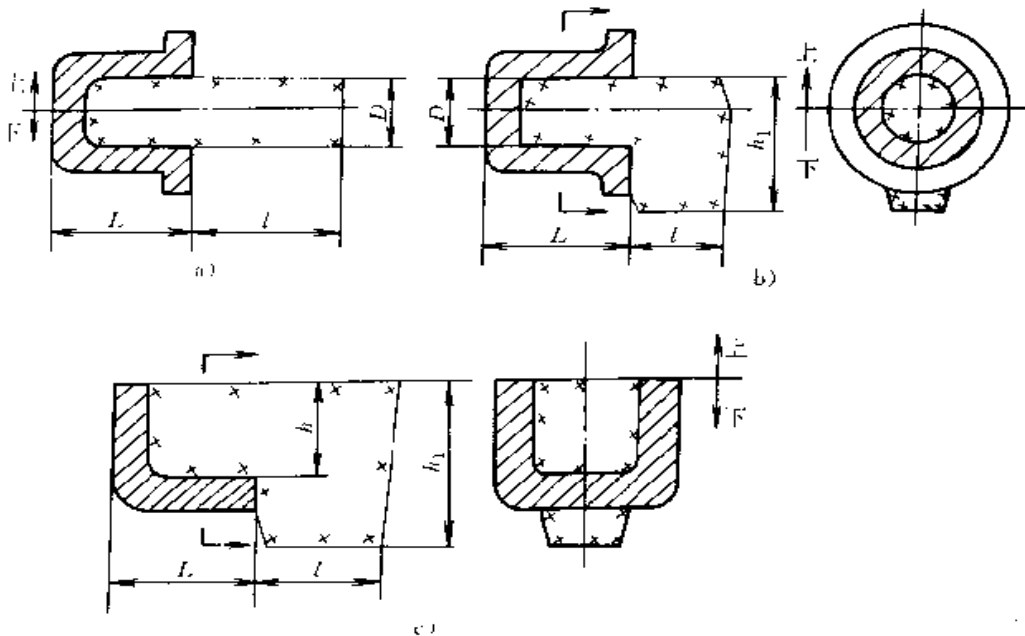


图 6-91 悬臂芯头加大或加长芯头

a) 加长芯头 b、c) 加大芯头

当 D 或 $h \leq 150\text{mm}$ 时, 取 $h_1 = D$ 或 h , $l = 1.25L$

当 D 或 $h \geq 150\text{mm}$ 时, 取 $h_1 = (1.5 \sim 1.8) D$ 或 h

$l \geq L$

2) 使用芯撑, 增加砂芯的支撑点和承压面积, 使砂芯稳固, 如图 6-92 所示。

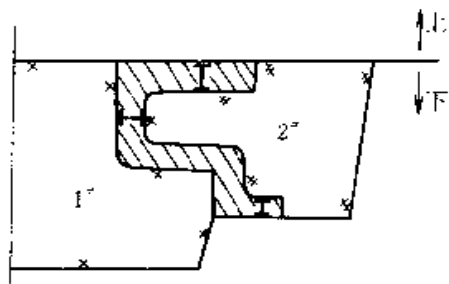


图 6-92 安放芯撑

3) 增加工艺孔, 使砂芯稳固, 且便于砂芯排气和清理, 见图 6-93。

6.4 砂芯的定位

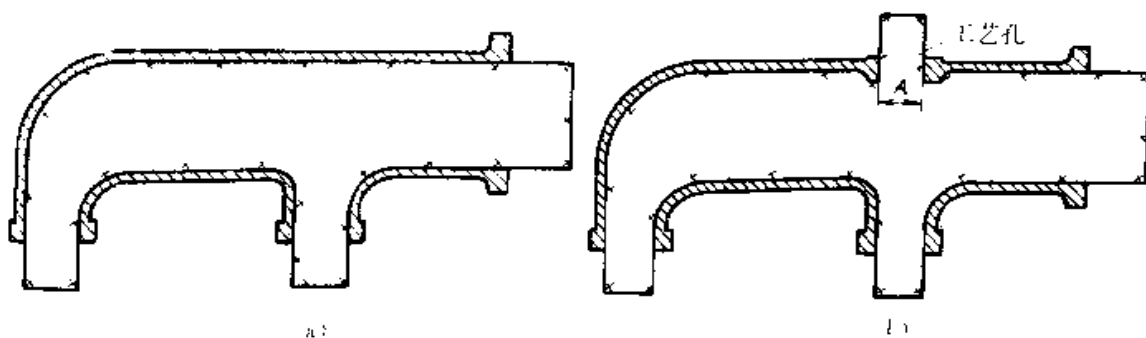


图 6-93 排气管铸件

很多砂芯都要求定位准确, 不允许沿芯头方向移动或绕芯头的轴线转动。形状不对称的砂芯或同一砂型中有数种砂芯, 其芯头形状和尺寸相同时, 为了定位准确和不致于搞错方位, 均可采用定位芯头。根据砂芯在砂型中放置的位置, 定位芯头通常分为垂直定位芯头、水平定位芯头和特殊定位芯头, 分别见图 6-94~图 6-96。

表 6-54 和表 6-55 分别为水平式芯头定位和垂直式芯头定位的参考形式, 对特殊定位芯头, 其结构自行设计。

6.5 芯头的尺寸和间隙

芯头横截面的尺寸一般决定于铸件相应部位孔、槽的尺寸。为了下芯和合箱方便, 芯头应留有一定的斜度, 芯头与芯座之间应留有间隙如图 6-97 所示。

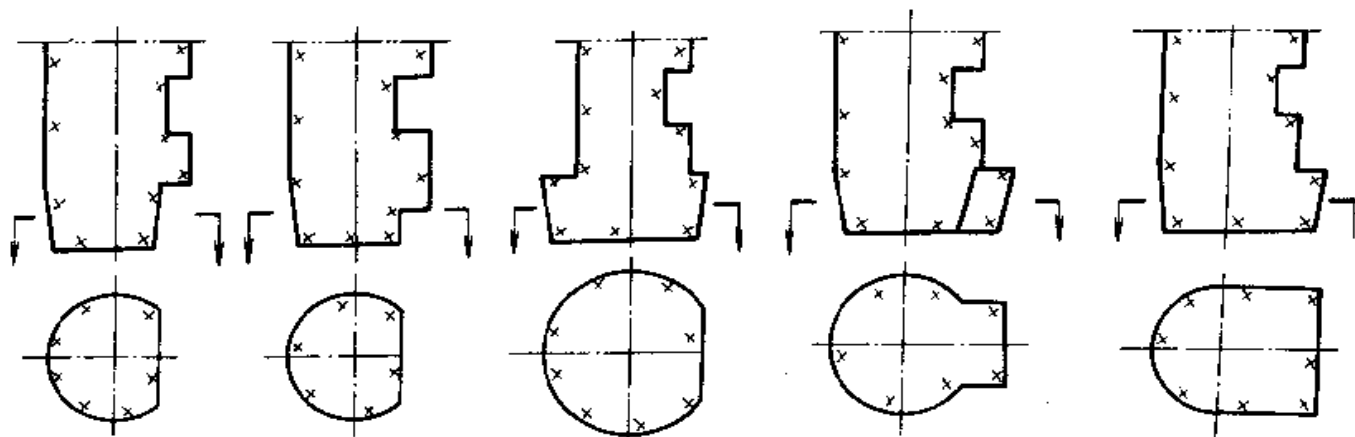


图 6-94 垂直定位芯头

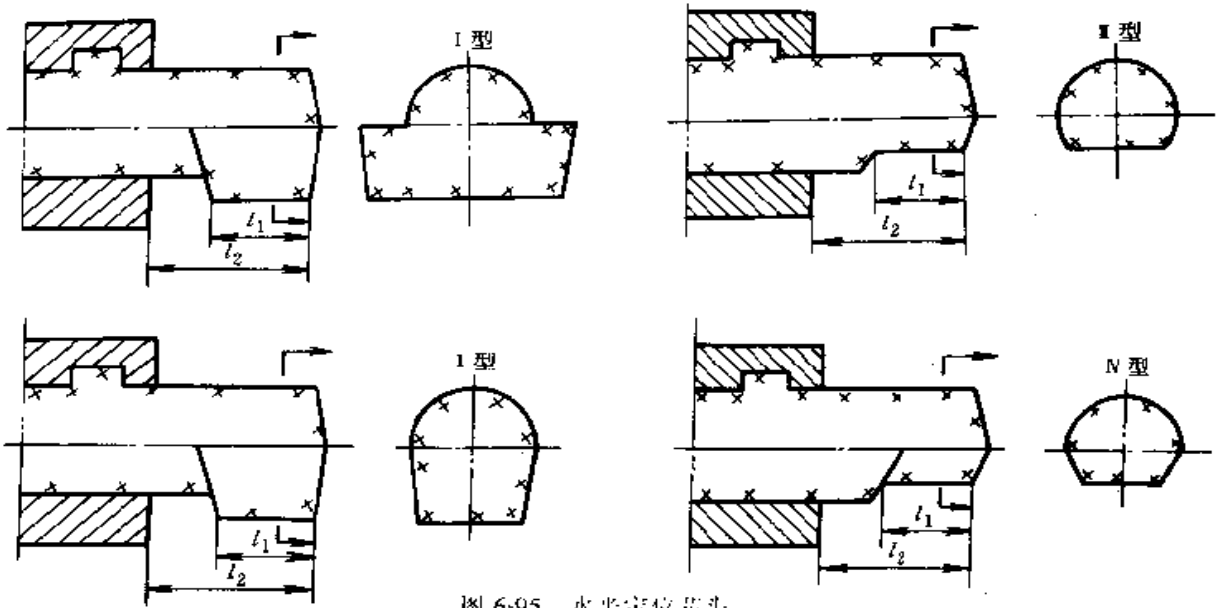


图 6-95 水平定位芯头
 l_1 —定位芯头长度 l_2 —芯头长度

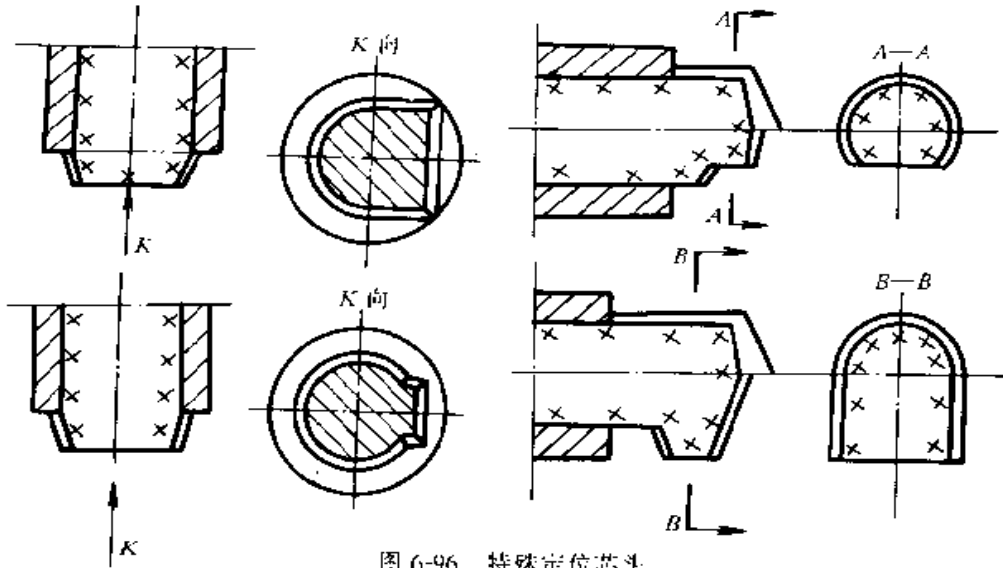


图 6-96 特殊定位芯头

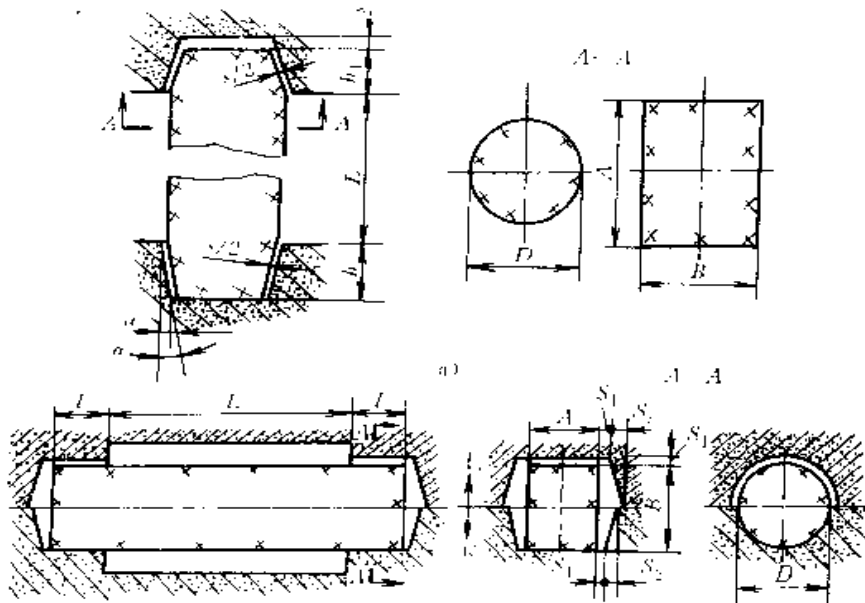
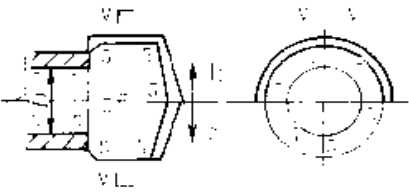



图 6-97 芯头尺寸及芯头与芯座之间的回隙
 a) 垂直芯头 b) 水平芯头

表 6-54 水平式芯头定位的参考形式

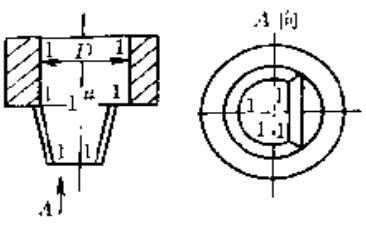
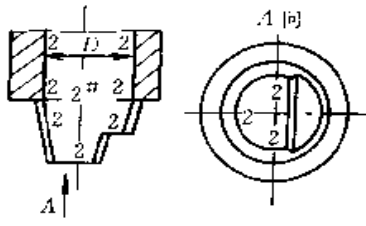
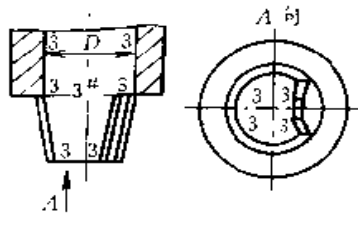
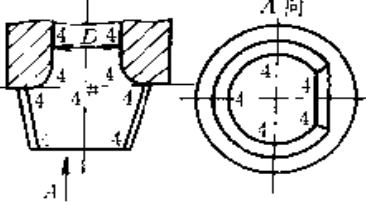
| 序号 | 定位形式 | 用途 | 适用范围 |
|----|------|------------------|-----------------------------|
| 1a | | 防止绕水平轴旋转 | $D = 100 \sim 250\text{mm}$ |
| 1b | | | |
| 2a | | 防止绕水平轴旋转 | $D > 300\text{mm}$ |
| 2b | | | |
| 3 | | 防止绕水平轴旋转 | $D > 150\text{mm}$ |
| 4a | | 防止绕水平轴旋转及沿水平方向移动 | $D = 10 \sim 100\text{mm}$ |
| 4b | | | $D > 70\text{mm}$ |
| 4c | | | $D > 10\text{mm}$ |

(续)

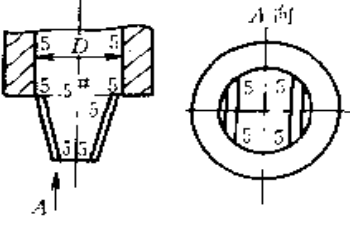
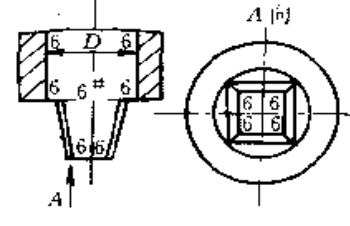
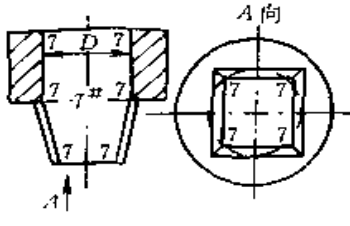
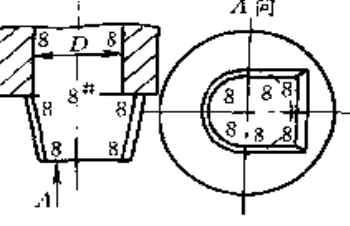
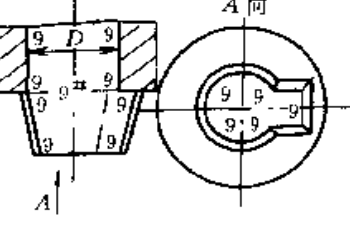
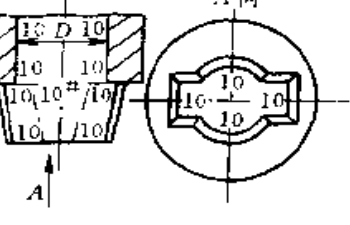
| 序号 | 定位形式 | 用途 | 适用范围 |
|----|---|------------------|-------------------|
| 5a |  | 防止沿水平方向移动 | $D > 10\text{mm}$ |
| 5b |  | 防止绕水平轴旋转及沿水平方向移动 | |

注：1. 凡有两个芯头的砂芯，只在一个芯头上考虑定位。
 2. l_2 约为 $(0.8 - 0.4)l_1$ 。
 3. $l_1 \neq l_2 = l$

表 6-55 垂直芯头的定位参考形式

| 序号 | 定位形式 | 用途 | 适用范围 |
|----|---|------------------|----------------------------|
| 1 |  | 防止绕垂直轴旋转 | 芯头高度小 $D > 70\text{mm}$ |
| 2 |  | 防止绕垂直轴旋转 | 高芯头 $D > 70\text{mm}$ |
| 3 |  | 防止绕垂直轴旋转 | $D > 300\text{mm}$ |
| 4 |  | 防止绕垂直轴旋转及沿垂直方向移动 | $D < 150\text{mm}$ |

(续)

| 序号 | 定位形式 | 用途 | 适用范围 |
|----|---|------------------|--------------------|
| 5 |  | 防止绕垂直轴旋转 | $D > 120\text{mm}$ |
| 6 |  | 防止绕垂直轴旋转 | $D > 250\text{mm}$ |
| 7 |  | 防止绕垂直轴旋转及沿垂直方向移动 | $D < 250\text{mm}$ |
| 8 |  | 防止绕垂直轴旋转及沿垂直方向移动 | $D > 40\text{mm}$ |
| 9 |  | 防止绕垂直轴旋转及沿垂直方向移动 | $D > 200\text{mm}$ |
| 10 |  | 防止绕垂直轴旋转及沿垂直方向移动 | $D > 200\text{mm}$ |

垂直芯头的高度见表 6-56, 芯头斜度见表 6-57, 芯头与芯座间的间隙见表 6-58。

水平芯头的长度见表 6-59, 斜度和芯头与芯座间

的间隙见表 6-60。

用粘土湿型砂批量生产时, 芯头处常设置压环、防压环和集砂槽其尺寸参考表 6-61。

表 6-56 垂直芯头的高度 (图 6-97)

(mm)

| L | 当 D 或 (A+B)/2 为下列数值时的高度 h | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|---------|
| | ≤30 | 31~60 | 61~100 | 101~150 | 151~300 | 301~500 | 501~700 | 701~1000 | 1001~2000 | >2000 |
| ≤30 | 15 | 15~20 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 31~50 | 20~25 | 20~25 | 20~25 | — | — | — | — | — | — | — |
| 51~100 | 25~30 | 25~30 | 25~30 | 20~25 | 20~25 | 30~40 | 40~60 | — | — | — |
| 101~150 | 30~35 | 30~35 | 30~35 | 25~30 | 25~30 | 40~60 | 40~60 | 50~70 | 50~70 | — |
| 151~300 | 35~45 | 35~45 | 35~45 | 30~40 | 30~40 | 40~60 | 50~70 | 50~70 | 60~80 | 60~80 |
| 301~500 | — | 40~60 | 40~60 | 35~55 | 35~55 | 40~60 | 50~70 | 50~70 | 80~100 | 80~100 |
| 501~700 | — | 60~80 | 60~80 | 45~65 | 45~65 | 50~70 | 60~80 | 60~80 | 80~100 | 80~100 |
| 701~1000 | — | — | — | 70~90 | 70~92 | 60~80 | 60~80 | 80~100 | 80~100 | 100~150 |
| 1001~2000 | — | — | — | — | 100~120 | 100~120 | 80~100 | 80~100 | 80~120 | 100~150 |
| >2000 | — | — | — | — | — | — | — | 80~120 | 80~120 | 100~150 |

由 h 查 h₁

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| 下芯头高度 h | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 80 | 90 | 100 | 120 | 150 |
| 上芯头高度 h ₁ | 15 | 15 | 15 | 20 | 20 | 25 | 25 | 30 | 30 | 35 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 65 | 80 |

注: 1. 大量生产中, 等截面的柱状砂芯, 上下芯头可取同样的高度。

2. 如有必要采取不同高度的上下芯头, 可先查出 h 值, 然后根据 h 值查出 h₁ 值。

3. 对于大而矮的垂直砂芯, 常不用上芯头。

4. 当砂芯长度 L 与直径 D 之比 L/D ≥ 2.5 时, 为提高砂芯稳定性, 可采用加大芯头的形式, 见图 6-86。

表 6-57 垂直芯头的斜度 α (图 6-97)

(mm)

| 芯头高 h | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 120 | 150 | a/h | α |
|-------|----|-----|----|-----|----|-----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|------|-----|
| 上芯头 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 11 | 12 | 14 | 16 | 19 | 22 | 28 | 1/5 | 10° |
| 下芯头 | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 13 | 1/10 | 5° |

表 6-58 垂直芯头与芯座之间的间隙 S (图 6-97)

(mm)

| 铸型种类 | D 或 (A+B)/2 | | | | | | | | | | | | |
|------|-------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|-------|--|
| | ≤50 | 51~100 | 101~150 | 151~200 | 201~300 | 301~400 | 401~500 | 501~700 | 701~1000 | 1001~1500 | 1501~2000 | >2000 | |
| 湿型 | 0.5 | 0.5 | 1.0 | 1.0 | 1.5 | 1.5 | 2.0 | 2.0 | 2.5 | 2.5 | 3.0 | 3.0 | |
| 干型 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | |

注: 影响芯头与座之间间隙的因素很多, 如模样与芯盒的尺寸偏差, 砂芯和砂型在制造、运输、烘干过程中的变形等。因此表中数据仅供参考。

表 6-59 水平心头的长度 l (图 6-97)

(mm)

| L | D 或 $(A+B)/2$ | | | | | | | | | | | | |
|------------|-----------------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|---------|
| | ≤ 25 | 26~50 | 51~100 | 101~150 | 151~200 | 201~300 | 301~400 | 401~500 | 501~700 | 701~1000 | 1001~1500 | 1501~2000 | >2000 |
| ≤ 100 | 20 | 25~35 | 30~40 | 35~45 | 40~50 | 50~70 | 60~80 | — | — | — | — | — | — |
| 101~200 | 25~35 | 30~40 | 35~45 | 45~55 | 50~70 | 60~80 | 70~90 | 80~100 | — | — | — | — | — |
| 201~400 | — | 35~45 | 40~60 | 50~70 | 60~80 | 70~90 | 80~100 | 90~100 | — | — | — | — | — |
| 401~600 | — | 40~60 | 50~70 | 60~80 | 70~90 | 80~100 | 90~110 | 100~120 | 120~140 | 130~150 | — | — | — |
| 601~800 | — | — | 60~80 | 70~90 | 80~100 | 90~110 | 100~120 | 110~130 | 130~150 | 140~160 | 150~170 | — | — |
| 801~1000 | — | — | — | 80~100 | 90~110 | 100~120 | 110~130 | 120~140 | 130~150 | 150~170 | 160~180 | 180~200 | — |
| 1001~1500 | — | — | — | 90~110 | 100~120 | 110~130 | 120~140 | 130~150 | 140~160 | 160~180 | 180~200 | 200~220 | 220~260 |
| 1501~2000 | — | — | — | — | 110~130 | 120~140 | 140~160 | 150~170 | 160~180 | 180~200 | 200~220 | 220~240 | 260~300 |
| 2001~2500 | — | — | — | — | 130~150 | 150~170 | 160~180 | 180~200 | 200~220 | 220~240 | 240~260 | 260~300 | 300~360 |
| >2500 | — | — | — | — | — | 180~200 | 200~220 | 220~240 | 240~260 | 260~280 | 280~320 | 320~360 | 360~420 |

注：1. 直径 $D > 600\text{mm}$ 的环状砂芯在制造时，若沿圆周方向分片制造，每片砂芯的 L 应以外圆弧长为基准，即 L 等于弧长。

2. 具有浇注系统的芯头长度可适当加大。

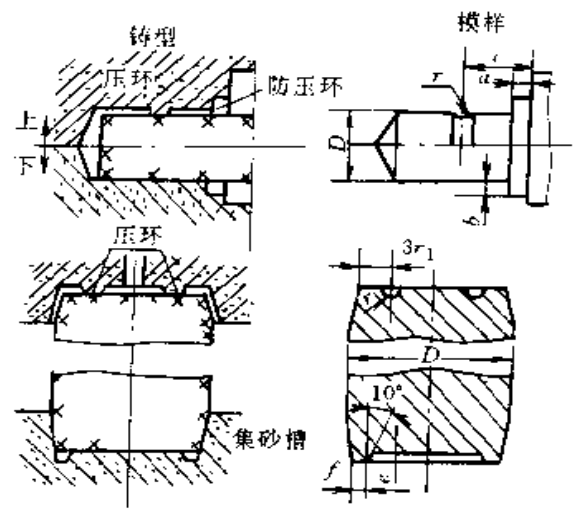
表 6-60 水平芯头的斜度及间隙 (图 6-97)

(mm)

| D 或 $(A+B)/2$ | | ≤ 50 | 51~100 | 101~150 | 151~200 | 201~300 | 301~400 | 401~500 | 501~700 | 701~1000 | 1001~1500 | 1501~2000 | >2000 |
|-----------------|-------|-----------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|---------|
| 湿型 | S_1 | 0.5 | 0.5 | 1.0 | 1.0 | 1.5 | 1.5 | 2.0 | 2.0 | 2.5 | 2.5 | 3.0 | 3.0 |
| | S_2 | 1.0 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 4.0 | 4.0 | 4.5 | 4.5 |
| | S_3 | 1.5 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 4.0 | 4.0 | 5.0 | 5.0 | 6.0 | 6.0 |
| 干型 | S_1 | 1.0 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 2.0 | 2.0 | 2.5 | 2.5 | 3.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 |
| | S_2 | 1.5 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 4.0 | 4.0 | 5.0 | 5.0 | 6.0 | 8.0 | 10.0 |
| | S_3 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 4.0 | 4.0 | 6.0 | 6.0 | 8.0 | 8.0 | 9.0 | 10.0 | 12.0 |

表 6-61 压环、防压环和集砂槽尺寸

(mm)

| 芯头直径 <i>D</i> | 水平芯头 | | | | 垂直芯头 | | |  |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------------|--|
| | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | <i>r</i> | <i>e</i> | <i>f</i> | <i>r₁</i> | |
| 30~50 | 5 | 0.5 | 15 | 1.5 | 1.5 | 3 | 1.5 | |
| 50~100 | 5 | 1 | 15 | 2 | 2 | 3 | 2 | |
| 100~200 | 8 | 1.5 | 20 | 3 | 3 | 4 | 3 | |
| 200~400 | 10 | 1.5 | 25 | 5 | 4 | 5 | 5 | |
| >400 | 12 | 2 | 40 | 5 | 5 | 6 | 6 | |

6.6 芯撑

砂芯在铸型中主要靠芯头固定，但有时砂芯无法设置芯头或只靠芯头固定还难以保证砂芯稳固。因此，在生产中常采用芯撑来加固砂芯，以起到辅助支承的作用。

为了使芯撑良好地同铸件焊合及不引起气孔缺陷，使用芯撑时应注意：

1) 芯撑材料的熔点应比铸件材质的熔点高，至少相同。对铸铁件使用低碳钢或铸铁芯撑，有色金属铸件使用与铸件相同的合金材料做芯撑。

2) 金属液体未凝固前，芯撑应具有足够的强度，不得过早熔化而丧失支撑作用；同时在铸件凝固过程中，芯撑必须与铸件很好地焊合。因此，芯撑的尺寸应合适，不能过大也不能过小。

3) 芯撑表面最好要镀锡，保证其使用时无锈、无油、无水汽、干净平整。同时芯撑在放入铸型后要尽快浇注，防止引起气孔及焊合不良。

4) 芯撑应尽量放置在铸件的非加工面上或不重要的表面上。

5) 芯撑要有足够的面积。芯撑的数量根据实际经验确定，也可按下式计算：

$$n = \frac{F}{A\sigma_n}$$

式中 n ——芯撑数量，取整数（个）；

F ——芯撑所支持的负荷（kg）；

A ——单个芯撑板的面积；

σ_n ——铸型或砂芯的允许抗压强度（kg/cm²）。

6) 为了防止芯撑陷入砂型、砂芯中而造成壁厚不均，可在芯撑端面垫以面积适当的芯撑垫片，或者在铸型中放置芯撑的位置处预先放置耐火砖片。

7) 尽量避免在需作水压、气压试验的铸件上使用芯撑。尤其限制对壁厚在 8mm 以下的薄壁试压件上使用芯撑，以免引起渗漏。必要时，可采用图 6-98 所示的防渗漏措施。

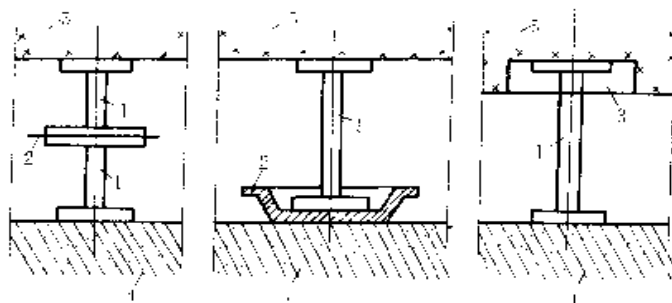


图 6-98 使用芯撑时的防渗漏措施

1—芯撑 2—薄铁皮 3—凸台 4—砂型 5—砂芯

6.7 芯骨

为了保证砂芯在制造、运输、合型和浇注过程中不变形、不断裂，砂芯必须具有足够的刚度和强度。因此，除了选用合适的芯砂之外，制芯时可在砂芯中放置芯骨，以提高砂芯的强度和刚度。特别是大砂芯和形状复杂、断面细薄的砂芯，必须放置芯骨。

对芯骨的要求是：

- 1) 要能够保证砂芯具有足够的强度和刚度。
- 2) 芯骨不应阻碍铸件的收缩。因此，芯骨至砂芯的工作表面必须有适当的距离，即有一定的吃砂量。吃砂量的大小参考表 6-62 选取。

表 6-62 芯骨吃砂量 (mm)

| 芯骨材料 | 砂芯尺寸 | 芯骨吃砂量 |
|------|-----------------------------|---------|
| 铁丝 | < 300 × 300 | 10 ~ 20 |
| | > 300 × 300 | 15 ~ 25 |
| 铸铁 | > 300 × 300 ~ 500 × 500 | 20 ~ 30 |
| | > 500 × 500 ~ 1000 × 1000 | 25 ~ 40 |
| | > 1000 × 1000 ~ 1500 × 1500 | 30 ~ 50 |
| | > 1500 × 1500 ~ 2000 × 2000 | 40 ~ 60 |
| | > 2500 × 2500 ~ 2500 × 2500 | 50 ~ 70 |
| | > 2500 × 2500 | > 70 |

3) 芯骨不应妨碍在铸件中安放冷铁、冒口和做必要的出气道。

4) 大砂芯的芯骨必须便于砂芯的吊运、组合及固定，因此应做出吊环等结构。

5) 对组合砂芯，芯骨应考虑组合砂芯的连结和紧固方法。

6) 清砂时，芯骨最好能完整地取出，以便重复用，降低成本。

7) 在满足使用要求的前提下，芯骨必须简单，便于制造。

根据以上要求，小砂芯或砂芯的细薄部分，通常采用易弯曲成形、无回弹性的退火铁丝作芯骨，防止砂芯在烘干过程中变形、开裂；当用水玻璃砂和树脂砂作中、小砂芯时，通常采用圆钢作芯骨；对于中、大型砂芯，一般采用铸铁芯骨或用型钢焊制芯骨。

铸铁芯骨是由基础骨架和插齿构成，见图 6-99，芯骨的框架截面尺寸、芯骨插齿直径和吊环直径分别见表 6-63、表 6-64 和表 6-65。

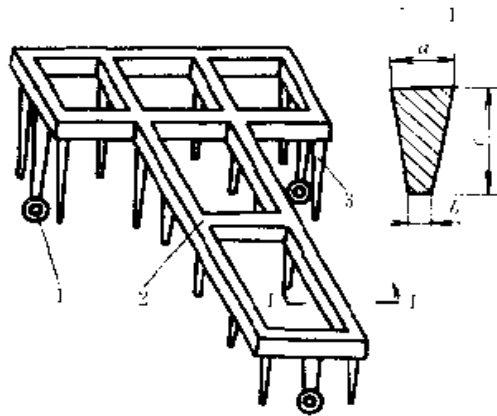


图 6-99 芯骨

1—吊环 2—基础骨架(框架) 3—插齿

表 6-63 芯骨框架截面尺寸 ($c \times \frac{a+b}{2}$)

(mm)

| 砂芯长和宽 (mm) | 砂芯高度为下列各值时 (mm) | | | | |
|-----------------------------|-----------------|-------------|-------------|--------------|---------|
| | ≤ 100 | > 100 ~ 200 | > 200 ~ 500 | > 500 ~ 1500 | > 1500 |
| < 500 × 500 | 25 × 20 | 25 × 20 | 30 × 25 | 45 × 35 | 55 × 40 |
| > 500 × 500 ~ 1000 × 1000 | 30 × 25 | 30 × 25 | 30 × 25 | 45 × 35 | 55 × 40 |
| > 1000 × 1000 ~ 1500 × 1500 | 30 × 25 | 45 × 35 | 45 × 35 | 45 × 35 | 55 × 40 |
| > 1500 × 1500 ~ 2500 × 2500 | 45 × 30 | 45 × 35 | 45 × 35 | 55 × 40 | 70 × 50 |
| > 2500 × 2500 | 45 × 30 | 45 × 35 | 55 × 40 | 55 × 40 | 70 × 50 |

表 6-64 芯骨插齿直径 (mm)

| 砂芯高度 | < 300 | 300 ~ 500 | 500 ~ 800 | 800 ~ 1200 |
|------|---------|-----------|-----------|------------|
| 插齿直径 | 10 ~ 15 | 15 ~ 20 | 20 ~ 25 | 25 ~ 30 |

6.8 砂芯的排气

浇注时，砂芯在高温金属液体作用下，由于有机物的挥发、分解和燃烧，以及水分蒸发，浇注后短时间内会产生大量的气体。在设计制造砂芯以及在下芯、合型操作的整个过程中，都要采取必要的措施，使浇注时在砂芯中产生的气体，能够及时、顺利地通过芯头排出。

表 6-65 芯骨吊环直径

(mm)

| 砂芯长和宽 | 芯骨高度 | | | | |
|----------------------|------|----------|----------|-----------|-------|
| | <100 | >100~200 | >200~500 | >500~1500 | >1500 |
| ~500×500 | 3 | 5 | 8 | 8 | 12 |
| >500×500~1000×1000 | 8 | 8 | 10 | 12 | 12 |
| >1000×1000~1500×1500 | 8 | 8 | 12 | 12 | 15 |
| >1500×1500~2500×2500 | 8 | 12 | 12 | 15 | 15 |
| >2500×2500 | 12 | 12 | 15 | 15 | 15 |

为了保证砂芯的排气，除了砂芯的芯头尺寸要足够大、采用透气性好的芯砂制作砂芯外，制芯时在砂芯中开设适当的通气道，是一个很重要的措施，同时，砂型与芯头出气孔相对应的位置也应留有通气道

连通。注意：排气道必须通到芯头端面，不得与砂芯工作表面连通。

图 6-100~图 6-104 为大型砂芯出气常用方法。表 6-66 列出了砂芯排气道的几种开设方法，供参考。

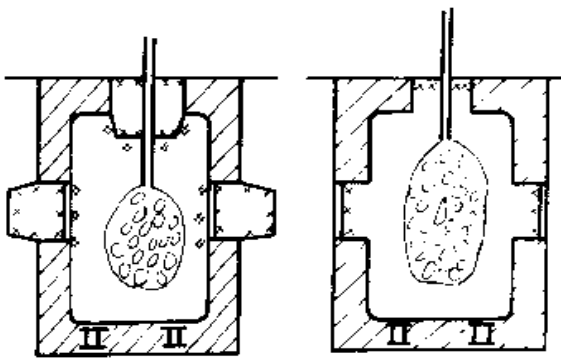


图 6-100 从上部排气的砂芯

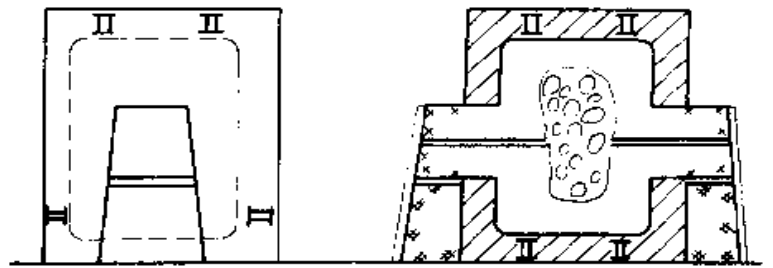


图 6-101 从侧面排气的砂芯

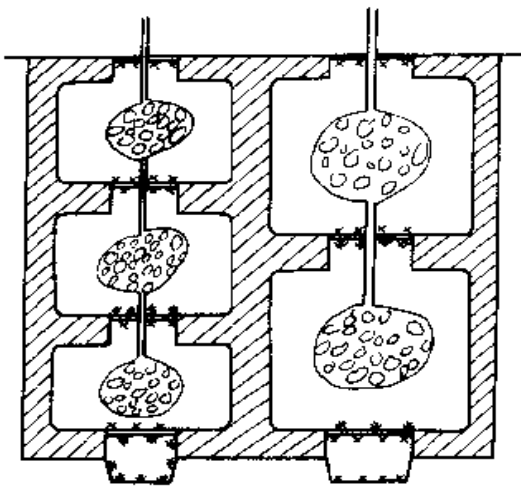


图 6-102 多层砂芯的排气

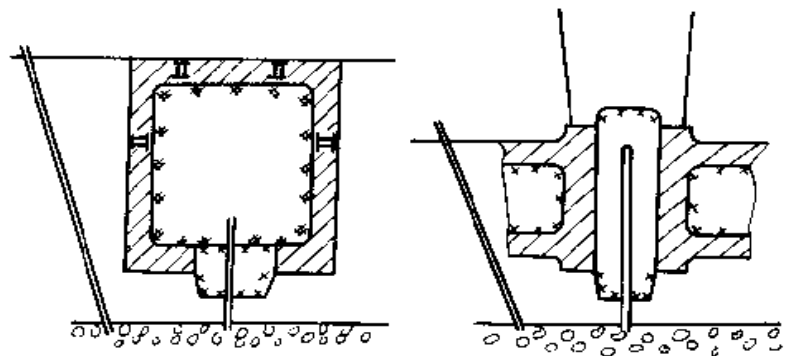


图 6-103 从下面排气的砂芯

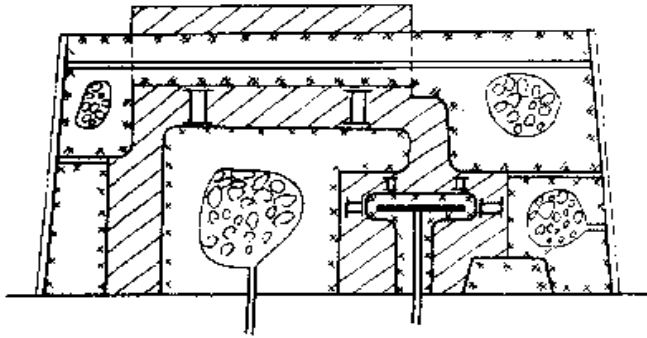


图 6-104 其它排气方法

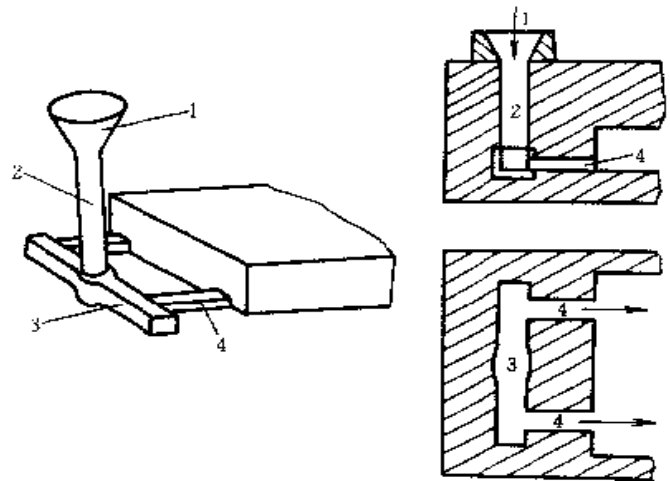


图 6-105 浇注系统的基本组成部分

1—浇口杯 2—直浇道 3—横浇道 4—内浇道

表 6-66 砂芯排气道的几种开设法

| 方法 | 简 图 | 应 用 情 况 |
|------------|-----|--|
| 用通气针、排气道模板 | | <p>用于直的排气道</p> <p>a. 形状简单的砂芯、用通气针扎出排气道；</p> <p>b. 用带有定位孔的成型排气道模板压印出浅的通气道，再用通气针扎出深的排气道</p> <p>c. 砂芯刮砂后取出通气针 2，随芯盒一同取出通气针 1，得到交叉的排气道</p> <p>b、c 两种生产率高，排气道的位置和深度准确一致</p> |
| 用造型工具 | | <p>用于分两半做的砂芯，在粘合面上挖出主排气道，从主排气道再扎出较深的支排气道，其间距 30—50mm，距砂芯表面 6—15mm</p> |
| 用蜡线 | | <p>用于弯曲砂芯和形状复杂的薄砂芯，砂芯须烘干透，蜡线熔出后得到弯曲的排气道</p> <p>批量生产中用尼龙通气网管</p> |

(续)

| 方法 | 简 图 | 应 用 情 况 | | | | | | | | |
|-------------------------|---------|--|------|------|-------------|-------|-----------------------|--------|-------------------------|---------|
| 用焦炭块、炉渣块、钢管 | | 用于中型、大型砂芯 a. 砂芯中放焦炭或炉渣块 1 (大小 10~40mm), 同时用钢管或挖出较粗的排气管 2 直至芯头端面 b. 用钻有许多孔的钢管 1 作芯骨兼排气, 管外绕数层草绳 2, 退让性好, 3 为砂芯 砂芯外表面至焦炭块的砂层距离 (mm) | | | | | | | | |
| | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>砂芯尺寸</th> <th>砂层厚度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>< 500 × 500</td> <td>60~80</td> </tr> <tr> <td>500 × 500~1000 × 1000</td> <td>80~100</td> </tr> <tr> <td>1000 × 1000~1500 × 1500</td> <td>100~120</td> </tr> <tr> <td>1500 × 1500~2000 × 2000</td> <td>120~150</td> </tr> </tbody> </table> | 砂芯尺寸 | 砂层厚度 | < 500 × 500 | 60~80 | 500 × 500~1000 × 1000 | 80~100 | 1000 × 1000~1500 × 1500 | 100~120 |
| 砂芯尺寸 | 砂层厚度 | | | | | | | | | |
| < 500 × 500 | 60~80 | | | | | | | | | |
| 500 × 500~1000 × 1000 | 80~100 | | | | | | | | | |
| 1000 × 1000~1500 × 1500 | 100~120 | | | | | | | | | |
| 1500 × 1500~2000 × 2000 | 120~150 | | | | | | | | | |

6.9 砂芯的组合及预装配

将多个砂芯合并成一个较大的或较复杂的砂芯时, 砂芯间的连接一定要牢固, 相互位置应符合铸件工艺图要求。

组合小砂芯, 可用糊精或砂芯粘合剂粘合; 大砂芯需采用螺栓连接或用铁丝绑扎在一起。尺寸精度要求较高的中小砂芯, 可用浇注易熔合金的方法连接。用螺栓或浇注方法连接的砂芯, 在制芯时应预制出连接孔。两个砂芯非接触面之间的距离, 可用塞规控制。

为了加速下芯工作, 适应机械化造型线合箱速度的要求, 对尺寸精度要求高而砂芯多的铸件, 可先将砂芯装配起来 (即砂芯预装配), 下芯时一齐下到砂型中。砂芯预装配时, 需严格控制砂芯间的相互位置及配合情况。

7 浇注系统

浇注系统是铸型中引导液态金属流入型腔的通道, 生产中常常因为浇注系统设计安排不当而造成铸造缺陷。此外, 浇注系统的好坏还影响造型和清理工作的繁简, 砂型的体积大小, 和工艺出品率的高低。因此, 正确设计浇注系统对提高生产效率、降低铸件成本和保证铸件品质 (质量) 是极其重要的。

一般铸件的浇注系统由四部分 (组元) 组成: 浇口杯 (外浇口)、直浇道、横浇道和内浇道。其结构见图 6-105。

浇注系统应满足以下要求:

1) 控制金属液流动的速度和方向, 使液态合金平稳地充满铸型。

2) 调节铸件上各部分的温度分布。

3) 浇注系统应具有除渣功能, 阻挡夹杂物进入铸型型腔。

4) 有一定的补缩作用, 一般是在内浇道凝固前补给部分液态收缩。

5) 保证液态金属以最短的距离, 最合宜的时间充满铸型, 并保证金属液面在型腔内有合适的上升速度, 以得到轮廓完整清晰的铸件。

6) 在保证铸件品质 (质量) 的前提下, 浇注系统要有利于减小冒口体积。结构应简单紧凑, 以利提高铸型面积的利用率。同时要方便工人操作和铸件的清理。

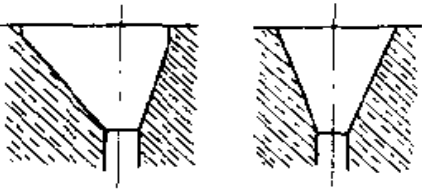
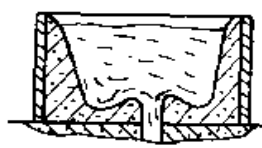

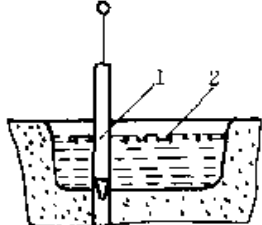
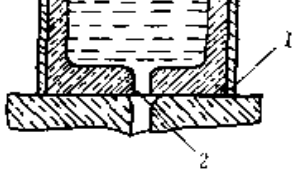

7.1 浇注系统各组元

7.1.1 浇口杯

浇口杯主要分为漏斗型和池形两大类, 它的作用是接纳来自浇包的金属液流, 尤其是采用漏包浇注时, 液态合金压头大、冲力大、流量不易控制且浇包孔不易对准直浇道, 使用浇口杯可方便浇注工作, 避免金属的飞溅。池形浇口杯容积比较大, 当储存有足够的金属液量时, 还可以减少或消除在直浇道顶面产生水平旋涡, 防止熔渣、夹杂和气体卷入直浇道。此外还有“过桥”浇口, 其作用是将金属液分配给两个以上的直浇道和离浇包比较远的直浇道。

表 6-67 中列举了常用浇口杯的类型、特点及应用。

表 6-67 常用浇口杯的类型、特点及应用

| 类型 | 图 例 | 特点和应用 |
|----------|---|---|
| 普通漏斗形浇口杯 |  | <p>结构简单，制作方便，体积小，消耗的金属液量少，能缓冲浇注的流股，但撇渣作用很小</p> <p>主要用于浇注小型铸件及铸钢件，在机器造型中被广泛采用</p> |
| 普通池形浇口杯 |  | <p>侧壁倾斜，底部（直浇道附近）制成突起，以减小液流落下时的冲击及有利熔渣、夹杂上浮，故有一定的撇渣能力，但耗费金属液较多，主要用于浇注铸铁件</p> |
| 闸门浇口杯 |  <p>1—熔渣 2—闸门隔板</p> | <p>制作较费事，隔板可挡渣，撇渣效果较好，用于要求较高的中、大型铸件</p> |
| 拔塞浇口杯 |  <p>1—拔塞 2—熔渣</p> | <p>浇注前用拔塞将直浇道堵住，浇口杯充满后将拔塞拔起，并一直维持浇口杯中液面高度，有的浇口杯本身就是定量器</p> <p>这种浇口杯撇渣效果好，可避免浇注初期液流带入杂质，及防止卷入气体。但使用较麻烦，操作不当还会损坏塞孔附近砂型，造成砂眼缺陷，如用平底拔塞或塞孔改用油砂芯座，可以得到改善</p> <p>用于浇注品质（质量）要求高的中、大型铸件如汽缸体等</p> |
| 熔化铁隔片浇口杯 |  <p>1—砂型 2—铁隔片</p> | <p>特点与拔塞浇口杯相同。通常浇口杯的容量略大于浇注的金属液总量，浇注完毕后，隔片自行熔破。浇注铸铁时，隔片主要采用镀锡薄铁片，也可用同牌号的铸铁片</p> <p>多用于浇注汽缸体等重要铸件</p> |
| 滤网浇口杯 |  | <p>可以有效地防止卷入夹杂物及气体，还可细化流股，减小冲击。缺点是要制作滤网，特别是使用油砂滤网（生产中用得最多）时，金属液的量不宜过大，故主要用于浇注中、小型铸件</p> |

7.1.2 直浇道

直浇道多采用圆形断面，图 6-106 为常用的形式。手工造型和一般机器造型中，直浇道取斜度为

2%~4% 上大下小的锥形圆棒（图中 a），以方便起模，金属液能较快充满，可减少吸气和卷渣。但对于阶梯式浇注系统，由于浇道中不充满，不宜选用 a 型

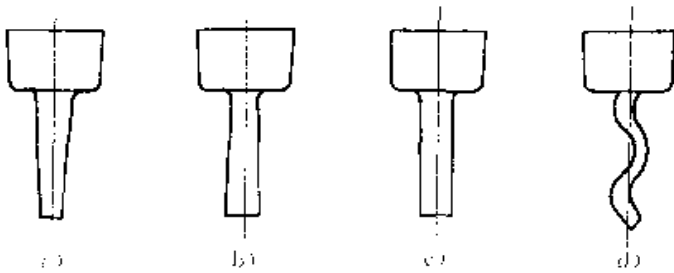


图 6-106 常用直浇道类型

直浇道，而宜采用 b 或 c 型直浇道。铸钢件尤其是中、大型铸钢件，多使用耐火材料砖管形成浇注系统，直浇道为图 c 所示没有斜度的圆管。图 d 为蛇形直浇道，用于有色金属铸件，它阻力大，可降低金属液流速，平稳充型，减少卷气。

7.1.3 横浇道

水平的横浇道用以连接直浇道和内浇道，并将金属液平稳地分配给各个内浇道；其主要作用是捕集、保留由浇包经直浇道流入的夹杂物，故又称“捕渣器”或撇渣道，它是浇注系统中最后一道挡渣关口。

横浇道能起撇渣作用的条件是：

1) 渣粒能在横浇道中浮起。液态合金在横浇道中流动时，紊流作用越小越有利于渣粒的上浮，因此横浇道要平直，断面积应较大，使液态合金平稳、缓慢、近乎层流地在横浇道中流动。

2) 横浇道必须是充满状态，才能够滞留渣粒，这是撇渣的必要条件。

3) 为使夹杂物有足够的时间上浮至顶面，不被吸入内浇道，横浇道的高度最好是内浇道的 4~6 倍，故生产中横浇道多为长梯形、内浇道则扁而宽。

4) 延长横浇道的长度，以便储存浇注之初进入

横浇道的夹杂物。

5) 内浇道和横浇道应有正确的相对位置。生产中往往难以全面满足上述各项要求，为了保证横浇道能良好挡渣又不浪费金属，就需要在横浇道结构上采取措施，为此，常采用阻流式、缓流式、滤渣网式或带集渣包式的横浇道。

常用横浇道的断面形状见图 6-107，有梯形（图

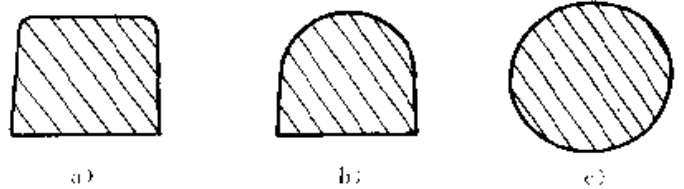


图 6-107 横浇道的断面形状

中 a)、圆顶梯形（图中 b）及圆形（图中 c）三种。圆形横浇道散热少但挡渣效果差，主要用于铸钢件。梯形和圆顶梯形横浇道有利于减小金属液的紊流作用，更好地发挥横浇道的挡渣作用，常用于灰铸铁件和有色金属铸件。

7.1.4 内浇道

内浇道的作用是引导液态合金平稳地流入铸型型腔，控制充型速度和方向，调节砂型和铸件各部分的温差和凝固顺序。合理的结构尺寸及与横浇道的连接方式有助于横浇道挡渣，对铸件品质（质量）影响很大。

内浇道的断面形状见图 6-108，其中扁平内浇道造成的扰动区域小，有助于横浇道发挥撇渣作用，应用最广；长梯形内浇道用于沿垂直壁充型；月牙形和三角形内浇道易去除，但冷却较快；圆形内浇道常用于铸钢件和导热快的铸型。

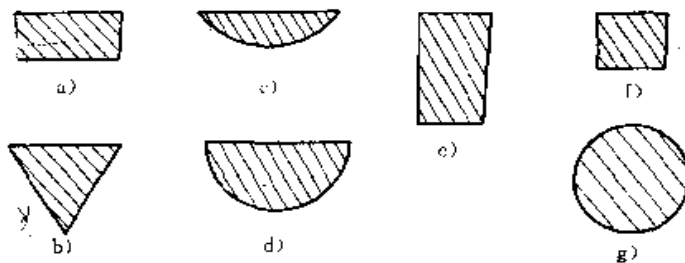


图 6-108 内浇道断面形状

a) 扁平梯形 b) 三角形 c、d) 月牙形 e、f) 高梯形 g) 圆形

设计内浇道应遵从下述原则：

(1) 要有利于铸件的凝固补缩

1) 要求同时凝固的铸件，其内浇道应开设在铸件薄壁处，且数量要多，布置要分散，使金属液快速、均匀地充满型腔，避免内浇道附近的砂型局部过

热。

2) 要求定向序凝固的铸件，其内浇道应开设在铸件厚壁处。如设置有冒口补缩，最好使金属液经冒口引入型腔，以提高冒口的补缩效果。有时为避免铸件因温差过大产生较大的收缩应力，内浇道也可开设

在铸件次厚壁处。

3) 对结构复杂的铸件, 可采用同时凝固与定向凝固相结合的所谓“较弱定向凝固”原则安排内浇道。即对每一个补缩区按定向凝固的要求设置内浇道, 而对整个铸件则按同时凝固的要求采用多个内浇道分散充型。这样既可使铸件各厚大部位得到充分补缩而不产生缩孔及缩松, 又可将应力和变形减到最小程度。

4) 当铸件壁厚相差悬殊又必须从薄壁处引入金属液时, 则可使用冷铁加速厚壁处的凝固及加大冒口、浇注时采取点冒口等工艺措施, 保证厚壁处的补缩。

(2) 要有利于改善铸件的铸态组织

1) 内浇道不得开在铸件质量要求高的部位, 以防止内浇道附近组织粗大。对有耐压要求的铸件, 内浇道常开在法兰处, 以防止管壁处组织缩松。

2) 内浇道不可开设在靠近冷铁或芯撑处, 以免降低冷铁的作用及过早使芯撑熔化。

(3) 要有利于金属液平稳地充满铸型

1) 内浇道应避免直冲砂芯、型壁或型腔中其它薄弱地位(如凸台、吊砂等), 防止造成冲砂; 必要时可采用切向引入并要求方向一致, 以利于将铸型内品质(质量)集中排到冒口中或相应的工艺凸台中。

2) 内浇道应使金属液沿型壁注入, 不要使金属液长时间降落在型壁表面上或使铸型局部过热。

3) 内浇道的开设应有利于金属液充型平稳, 排气和除渣。从各个内浇道流入型腔中的液体流向应力求一致, 避免因流向混乱造成金属液的冲撞溅射, 不利于渣、气的排除。

(4) 要有利于减少铸件收缩应力和防止产生裂纹

1) 对收缩倾向大的铸件, 内浇道的设置应不阻碍铸件收缩, 避免铸件产生较大应力或因收缩受阻而产生裂纹。

2) 内浇道应使金属液快速、均匀、平稳地充满型腔, 避免铸件各部分温差过大。

3) 对尺寸大、壁厚均匀的铸件, 应采用较多的内浇道分散, 均匀地充满型腔。

(5) 要有利于铸件清理, 提高铸件外观品质(质量)

1) 内浇道应便于清理、打磨和去除浇注系统, 不影响铸件的使用和外观品质(质量)。

2) 内浇道应尽量开设在铸件要求不高的加工面上, 而不开在铸件要求高的加工面上或铸件的非加工面上, 以免影响铸件外观品质(质量)。

(6) 其它要求

1) 内浇道应尽量开设在分型面上, 以方便造型操作。

2) 在满足浇注要求的前提下, 要尽量减少浇注系统的金属消耗, 并使砂箱尺寸尽可能小, 以减少型砂和金属液的消耗。

3) 内浇道与铸件接口处的截面厚度应小于铸件壁厚的 $1/2$, 最多不超过 $2/3$ 。内浇道接口处可做出断口槽, 以防止清理时造成铸件缺肉。

4) 铸铁件宜采用薄内浇道, 好处是: 降低内浇道的扰动区, 有利于横浇道挡渣; 减少进入初期渣的可能性, 减轻清理工作量; 去除内浇道时不易损害铸件; 对球墨铸铁件, 薄的内浇道能充分利用铸件本身的石墨化膨胀获得坚实的铸件。

上述内浇道设置的基本原则在实际中常存在矛盾之处, 在具体设计浇注系统中, 应根据具体情况作出具体决定。

7.2 浇注系统的类型和选择

7.2.1 浇注系统类型

浇注系统根据各组元断面的比例关系, 分为封闭式、半封闭式和开放式浇注系统。按内浇道在铸件上的注入位置, 分为顶注式、中间注入式、底注式和分层注入式(阶梯式)浇注系统。

1) 按浇注系统各组元断面的比例关系分类, 见表6-68。

表 6-68 浇注系统按各组元截面比例分类

| 类型 | 截面比例关系 | 特点及应用 |
|-----|---------------------------------|--|
| 封闭式 | $F_{环} > F_{直} > F_{横} > F_{内}$ | 阻流截面在内浇道。浇注开始后, 金属液容易充满浇注系统, 又称“充满式”浇注系统, 呈有压流动状态 挡渣能力较强, 但充型液流的速度较快, 冲刷力大, 易产生喷溅 一般地说, 金属液消耗少且清理方便, 适用于铸铁的湿型小件及干型中、大件 |

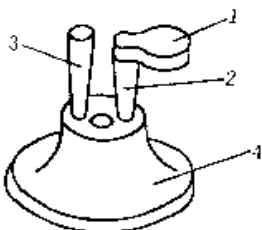
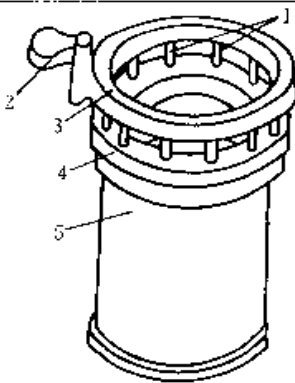
(续)

| 类型 | 截面比例关系 | 特点及应用 |
|------------|--|--|
| 开放式 | $F_{直上} < F_{直下} < F_{横} < F_{内}$ | <p>阻流截面在直浇道上口(或浇口杯底孔)。当各组元开放比例较大时,金属液不易充满浇注系统,呈无压流动状态</p> <p>充型平稳,对型腔冲刷力小,但挡渣能力较差</p> <p>一般地说,金属液消耗多,不利下清理,常用于有色金属,球墨铸铁及铸钢等易氧化金属铸件,灰铸铁件上很少应用</p> |
| 半封闭式 | $F_{横} > F_{直} > F_{内}$ | <p>阻流截面在内浇道,横浇道截面为最大。浇注中,浇注系统能充满,但较封闭式晚</p> <p>具有一定的挡渣能力。由于横浇道截面大,金属液在横浇道中流速减小,故又称“缓流封闭式”。故充型的平稳性及对型腔的冲刷力都好于封闭式</p> <p>适用于各类灰铸铁件及球铁件</p> |
| 封闭式 开放式 | $F_{杯} > F_{直} < F_{横} < F_{内}$ $F_{杯} > F_{直} > F_{集渣包出口}$ $F_{横后} < F_{内}$ $F_{直} > F_{阻} < F_{横后} < F_{内}$ $F_{支} > F_{阻} < F_{内} < F_{横后}$ | <p>阻流截面设在直浇道下端,或在横浇道中,或在集渣包出口处,或在内浇道之前设置的阻流挡渣装置处</p> <p>阻流截面之前封闭,其后开放,故既有利于挡渣,又使充型平稳,兼有封闭式与开放式的优点</p> <p>适用于各类铸铁件,在中小件上应用较多,特别是在一箱多件时应用广泛。目前铸造过滤器的使用,使这种浇注系统应用更为广泛</p> |

注:表中 $F_{杯}$ 、 $F_{直}$ 、 $F_{横}$ 、 $F_{阻}$ 、 $F_{内}$ 等分别指浇口杯、直浇道、横浇道、阻流片、内浇道等各组元最小处的总截面积。

2) 按内浇道在铸件上的注入位置分类,见表 6-69。

表 6-69 浇注系统按内浇道在铸件上的注入位置分类

| 类型形式 | 图 例 | 特点及应用 |
|-------------|--|--|
| 基本形式 |  <p>1—浇口杯 2—直浇道 3—出气孔 4—铸件</p> | <p>内浇道设在铸件的顶部,金属液由顶面流入型腔,易于充满,有利于铸件形成自下而上的凝固顺序,补缩效果好</p> <p>浇注系统简单,造型及清理方便,金属液消耗少</p> <p>对砂型的冲击力较大,金属液易产生喷溅、氧化,会造成砂眼、气孔、铁豆、氧化夹杂等</p> <p>适用于结构简单的小件及要求补缩的厚壁铸件</p> |
| 顶部注入 雨淋式 |  <p>1—内浇道 2—浇口杯 3—横浇道 4—冒口 5—铸件</p> | <p>横浇道(又称雨淋环)是截面最大组元,金属液由铸件顶部许多小孔(内浇道)流入型腔</p> <p>金属液分成多股细流连续地注入型腔,对型腔冲击力小,液面活跃,排气方便,挡渣效果好,又能防止型腔内夹杂物因上浮而粘附在型、芯壁上</p> <p>能形成自下而上的定向凝固和良好的补缩能力有利于获得组织致密的铸件</p> <p>适用于均匀壁厚的圆筒类铸件,如缸套。在板状、箱体、床身等类铸件方面也有广泛应用</p> |

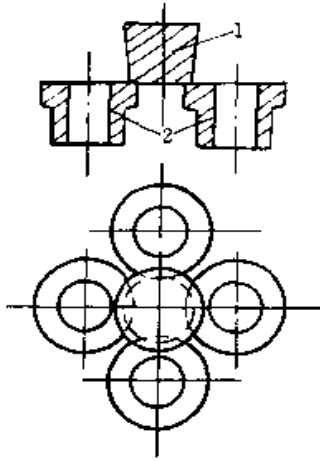
(续)

类型形式

图 例

特 点 及 应 用

压边式



1—压边浇口 2—铸件

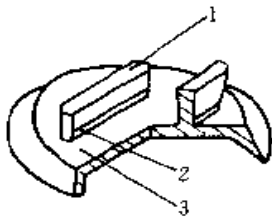
无横、内浇道，关键在压边尺寸。结构简单，操作方便，易于清理

金属液经压边窄缝流入型腔，充型慢而平稳，对型腔冲击力小，边浇注、边补缩，有利于定向凝固，补缩效果好

一般采用封闭式，对于高牌号铸铁件，可采用封闭—开放式
适用于中、小型厚壁铸铁件及非铁合金铸件

顶部注入

楔形式



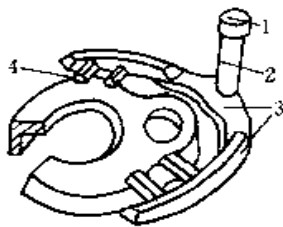
1—楔形口 2—缝隙内浇道 3—铸件

内浇道呈缝隙状，根部窄而长，金属液流程短，能迅速充满型腔

结构简单，造型、清理方便，但内浇道与铸件连接处的型砂应较紧实

适应于薄壁容器类铸件

搭边式

1—浇口杯 2—直浇道 3—横浇道
4—内浇道

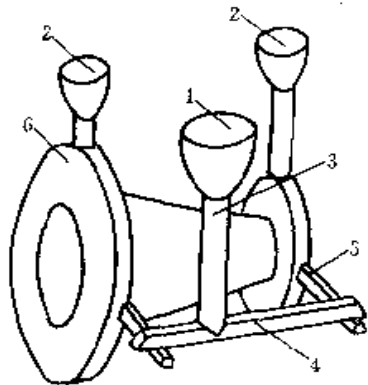
金属液沿型壁注入，充型快而平稳，可减少冲砂

内浇道残余清理较困难

适用于薄壁中空铸件

中间注入

基本形式

1—浇口杯 2—出气口 3—直浇道
4—横浇道 5—内浇道 6—铸件

内浇道开设在铸件中部某一高度上，一般从分型面注入造型比较方便

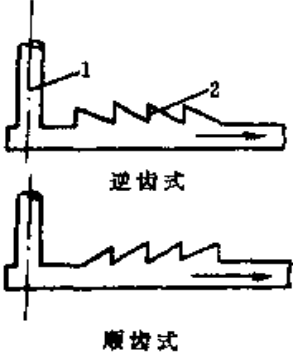
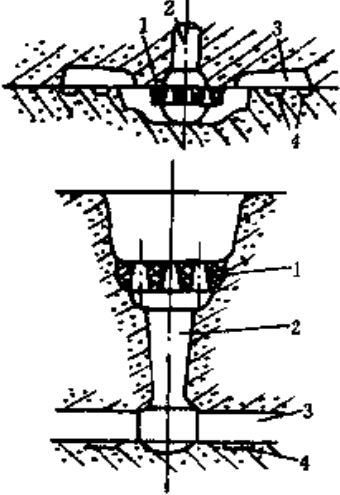
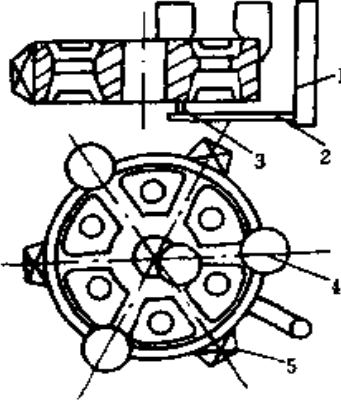
兼有顶注式和底注式的优缺点

生产中应用广泛，适用于壁厚较均匀，高度不太大的各类中、小型铸件

(续)

| 类型形式 | 图 例 | 特 点 及 应 用 |
|------|--|---|
| 阻流式 | <p>垂直阻流式</p> <p>水平阻流式</p> <p>1—直浇道 2—横浇道 3—阻流片</p> | <p>分水平阻流式和垂直阻流式两类。由于阻流片很窄 (4~7mm), 从浇口杯到阻流片这一段封闭性强, 有利于挡渣。从阻流片流出的金属液进入宽大的横浇道, 流速减慢, 有利于渣子上浮。所以, 挡渣性能好</p> <p>水平阻流式结构简单, 制做方便, 适于小批手工造型, 但挡渣效果差些</p> <p>垂直阻流式结构复杂, 制做困难, 适于挡渣要求高的中、小铸件机器造型</p> |
| | 中间注入 | <p>1—直浇道 2—内浇道</p> |
| 集渣包式 | | <p>1—集渣包</p> |

(续)

| 类型形式 | 图 例 | 特 点 及 应 用 |
|--------------|--|--|
| 锯齿式 |  <p>1—直浇道 2—锯齿形横浇道</p> | <p>有一定的挡渣作用，分顺齿和逆齿两种。在挡渣效果上，逆齿式更好些</p> <p>适用于成批生产的中、小型铸件</p> |
| 中间注入 过滤网式 |  <p>1—滤渣网 2—直浇道 3—横浇道 4—内浇道</p> | <p>过滤网由油砂、树脂砂、玻璃纤维或多孔陶瓷等材料制成。一般设置在直浇道上端或下端，也可设在横浇道中，使熔液留存在浇口杯或粘附在过滤网的上面</p> <p>过滤网前应满足“封闭”要求，当过滤网在直浇道顶部时，要求 $F_{网} = (1.2 \sim 1.3)F_{直}$</p> <p>使用油砂制做的过滤网时，金属液压力头高度不宜过高，以免冲垮过滤网</p> <p>适用于成批生产的中、小型铸件</p> |
| 底部注入 基本形式 |  <p>1—直浇道 2—横浇道 3—内浇道 4—冒口 5—冷铁</p> | <p>内浇道位于铸件底部，金属液进入型腔平稳，对型、芯冲击力小，金属氧化小，有利于型腔内气体排出</p> <p>由于铸件下部温度高，不利于补缩，且金属液消耗多</p> <p>如果充型时间过长，金属液在型腔上升中长时间与空气接触，表面易生氧化皮</p> <p>有利于由浇注系统及金属液带来的气体的排除</p> <p>适用于非铁合金及铸钢铁，也应用于较高或形状复杂的铸件</p> |

(续)

| 类型形式 | 图 例 | 特 点 及 应 用 |
|------|---|--|
| 底雨淋式 | | <p>充型均匀平稳, 可减少金属液氧化 造型较费事, 不利于补缩 金属液在型腔中不旋转, 可避免熔渣粘附在型、芯壁上 适用于要求高的缸套、外形及内腔复杂的套筒及大型机床床身等铸件</p> |
| 底部注入 | <p>正牛角</p> <p>反牛角</p> <p>1—浇口杯 2—直浇道 3—横浇道 4—牛角浇道</p> | <p>随着浇注的进行, 充型很快趋于平稳, 对砂芯冲击力小, 浇注系统内常设置过滤网 反牛角式可避免出现“喷泉”现象, 能减少冲击和氧化 适用于各种带内牙轮及各种有砂芯的圆柱形铸件, 在有色金属铸件上应用广泛</p> |
| 分层注入 | | <p>金属液进入型腔是分层自下而上进行的。直浇道不能封闭, 内浇道分散分层注入。金属液冲击力小, 充型平稳 高温金属液在型腔上部, 有利于补缩、排气, 兼有顶注和底注的优点 砂型不易局部过热, 但造型复杂, 金属消耗大, 清理难度大 适用于要求高的难度大的铸件, 如汽缸体、机床床身、平台及各种底座类大型铸件</p> |

(续)

| 类型形式 | 图 例 | 特 点 及 应 用 |
|---------------|---|--|
| 垂直缝隙式 分层注入 | <p>1—浇口杯 2—直浇道 3—横浇道 4—中间直浇道 5—缝隙口 6—铸件</p> | <p>这是阶梯式浇注系统的特殊形式。中间直浇道截面较大，最后充满</p> <p>充型平稳，有利于定向凝固，有利于获得组织致密的铸件</p> <p>造型较复杂，金属消耗多，清理难度大</p> <p>适用于小型的、要求较高的有色金属及铸钢件，也适用于一些高度较大的铸铁实体件和垂直分型铸件</p> |

7.2.2 浇注系统各组元截面比例

确定了浇注系统的类型、形式及布置以后，需要计算浇注系统各组元的尺寸。一般是先确定浇注系统的最小截面（即阻流截面）的尺寸（对于封闭式浇注系统，最小截面在内浇道，对于半封闭式或开放式浇注系统，最小截面则是内浇道前的某个截面），然后以最小截面为基数，根据经验比例关系确定其它组元

的截面尺寸。

浇注系统尺寸随着铸件材质、结构及具体生产条件的不同而变化，目前还没有一种能精确地适应各种合金各种铸造方法的浇注系统的计算公式，而是根据经验确定。表 6-70 所列比例关系，只能作为选用时的参考。

表 6-70 浇注系统各组元截面比例及其应用

| 类 型 | 截 面 比 例 | | | 应 用 范 围 |
|------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| | $\Sigma F_{内}$ | $\Sigma F_{横}$ | $\Sigma F_{直}$ | |
| 封闭式 | 1 | 1.5 | 2 | 大型灰铸铁件砂型铸造 |
| | 1 | 1.2 | 1.4 | 中、大型铸铁件砂型铸造 |
| | 1 | 1.1 | 1.15 | 中、小型铸铁件砂型铸造 |
| | 1 | 1.06 | 1.11 | 薄壁铸铁件砂型铸造 |
| | 1 | 1.1 | 1.5 | 可锻铸铁件 |
| | 1 | 1.1~1.3 | 1.2~1.6 | 铸钢件（转包浇注） |
| 半封闭式 或 开放式 | 1 | 1.3~1.5 | 1.1~1.2 | 表面干燥型中小型铸铁件 |
| | 1 | 1.4 | 1.2 | 表面干燥型重型机械铸铁件 |
| | 1 | 1.1~1.5 | 1.2~1.25 | 干型中小型铸铁件 |
| | 1 | 1.1 | 1.2 | 干型中型铸铁件 |
| | 1 | 0.8~1 | 1.5 | 薄壁球墨铸铁件底注式 |
| | 1 | 1.5 | 1.1 | 铸铁件表面干燥型 |
| | 1.5~4 | 2~4 | 1 | 球墨铸铁件 |
| | 1~2 | 1~2 | 1 | 铸钢件（漏包浇注） |
| | 3 | 8 | 4 | 美国应用 |
| | 1 | 1.2~2 | 1.2~3 | 青铜合金铸件 |
| 4 | 2 | 1 | 铝合金、镁合金铸件 | |

封闭式浇注系统的内浇道应在横浇道底部，内浇道和横浇道的底面最好在同一平面上，见图 6-109b、c，否则浇注之初内浇道不能很好地保持空位而过早地起作用。

开放式浇注系统内浇道开在横浇道顶部，如图 6-110b 那样，内浇道的顶面不能和横浇道顶面在同一平面上，以防止在浇注期间横浇道还未被充满时，杂质就进入内浇道而不能留在横浇道的顶部。

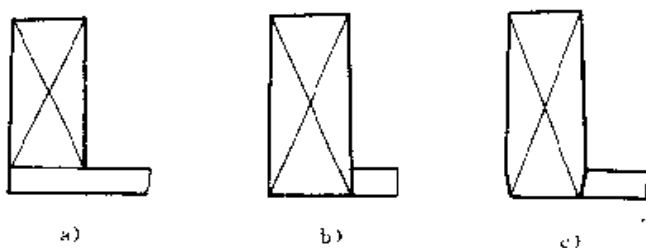


图 6-109 内浇道在横浇道底部的连接
a) 不合理 b)、c) 合理

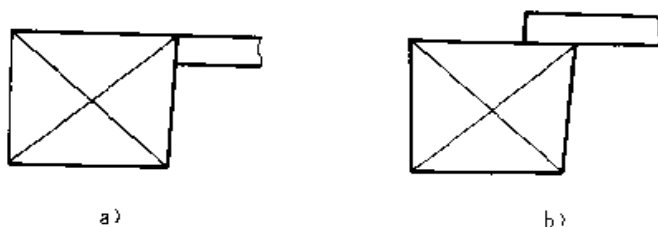


图 6-110 内浇道在横浇道顶部的连接
a) 不合理 b) 合理

7.3 铸铁件的浇注系统

7.3.1 灰铸铁件的浇注系统

7.3.1.1 用流体力学公式计算浇注系统的尺寸 计算浇注系统，主要是确定最小断面（阻流断面），然后按经验比例确定其它组元的断面。以伯努利方程为基础推导换算成铸铁浇注系统的如下近似计算公式：

$$F_{\text{阻}} = \frac{G}{0.3\mu \cdot t \sqrt{H_p}} \quad (\text{cm}^2)$$

式中 $F_{\text{阻}}$ ——浇注系统中的最小断面总面积 (cm^2)；
 G ——流经 $F_{\text{阻}}$ 断面的金属液总重量 (N)；
 μ ——总流量损耗系数；
 t ——浇注时间 (s)；
 H_p ——平均静压力头 (cm^2)。

G 值可通过估算、计算、称量的方法得到， μ 、 t 、 H_p 为未知数。

(1) 流量损耗系数 μ 值的确定 对铸铁件， μ 值可按表 6-71 选取，再考虑到各种影响因素，用表 6-72 中的修正值修正。

表 6-71 铸铁件的 μ 值

| 铸型种类 | 铸型阻力 | | |
|------|------|------|------|
| | 大 | 中 | 小 |
| 湿型 | 0.35 | 0.42 | 0.50 |
| 干型 | 0.41 | 0.48 | 0.60 |

表 6-72 μ 的修正值

| 影响 μ 值的因素 | μ 的修正值 |
|---|----------------|
| 每提高浇注温度 50°C (在大于 1280°C 的情况下) | +0.05 以下 |
| 有出气口和明冒口，可减少型腔内气体压力，能使 μ 值增大。当 $\frac{\sum F_{\text{出气口}} + \sum F_{\text{明冒口}}}{\sum F_{\text{阻}}} = 1 \sim 1.5$ 时 | +0.05 ~ 0.20 |
| 直浇道和横浇道的截面积比内浇道大得多时，可减少阻力损失，并缩短封闭前的时间，使 μ 值增大。当 $\frac{F_{\text{直}}}{F_{\text{内}}} > 1.6$, $\frac{F_{\text{横}}}{F_{\text{内}}} > 1.3$ 时 | +0.05 ~ 0.20 |
| 浇注系统中在狭小截面之后截面有较大的扩大，阻力减小， μ 值增加 | + 0.05 ~ 0.20 |
| 内浇道总截面积相同而数量增多时，阻力增大， μ 值减小 二个内浇道时 四个内浇道时 | -0.05 -0.10 |
| 型砂透气性差且无出气口和明冒口时， μ 值减小 | -0.05 以下 |
| 顶注式 (相对于中间注入式) 能使 μ 值增大 | +0.10 ~ 0.20 |
| 底注式 (相对于中间注入式) 能使 μ 值减小 | -0.10 ~ 0.20 |

注：封闭式浇注系统中 μ 的最大值为 0.75，如计算结果大于此值，仍取 $\mu = 0.75$ 。

(2) 浇注时间 t 值的确定 合适的浇注时间与铸件的质(重)量和结构、铸型工艺条件、合金种类及选用的浇注系统等有关。近年来,普遍认识到快浇对铸件的益处,特别是对灰铸铁件和球墨铸铁件更是如此。

浇注时间对铸件品质(质量)有比较重要的影响,确定浇注时间一般依据各种经验公式与图表,通常根据铸件质(重)量来确定。

对于重量小于 450kg,壁厚 2.5~15mm 形状复杂的铸件浇注时间 t 可用下式计算:

$$t = S_1 \sqrt{G} \quad (s)$$

式中 G ——型内金属液的总质(重量)(kg);

S_1 ——系数,取决于铸件壁厚,可由表 6-73 查出。

表 6-73 系数 S_1 和壁厚的关系

| 铸件壁厚 (mm) | 2.5~3.5 | 3.5~8.0 | 8.0~15 |
|-----------|---------|---------|--------|
| 系数 S_1 | 1.63 | 1.85 | 2.2 |

对于 10t 以下的中、大型铸铁件,浇注时间 t 按下式计算:

$$t = S_2 \sqrt[3]{\delta \cdot G}$$

式中 S_2 ——系数,一般情况下 $S_2 = 2$ 。当铁液含硫

量高、含碳量低于 3.3%,流动性较差,或浇注温度较低或采用底注而冒口在顶部,或有内、外冷铁等需快浇时, $S_2 = 1.7 \sim 1.9$;

δ ——铸件的平均壁厚。

浇注时间确定以后,对具有大平面或结构复杂的薄壳铸件,还应验算金属液面的上升速度。平均液面上升速度 V_L 为

$$V_L = \frac{C}{t} \quad (cm/s)$$

式中 C ——铸件在浇注位置时的高度 (cm);

t ——浇注时间 (s)。

V_L 值应大于表 6-74 中所列数值,如太小则应调整 t , 甚止修改工艺方案。

表 6-74 最小液面上升速度与铸件壁厚的关系

| 铸件壁厚 (mm) | <4 | 4~10 | 10~14 | >40 |
|---------------|------|---------|---------|---------|
| 最小上升速度 (cm/s) | 3~10 | 2.0~3.0 | 1.0~2.0 | 0.8~1.0 |

(3) 平均静压头 H_p 的确定 铁液在充满型腔的过程中,其压力头是一变值。采取不同浇注方式时 H_p 的计算公式见表 6-75。平均静压头高度 H_p 的数值分别列于表 6-76、表 6-77 和表 6-78。

表 6-75 不同浇注方式的平均静压头高度计算公式

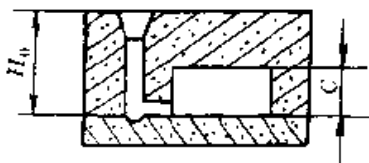
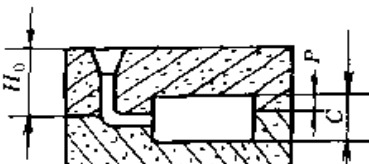
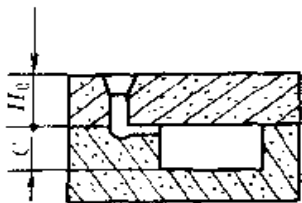
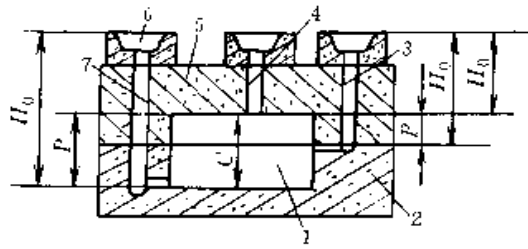
| 浇注形式 | 图 例 | 公 式 |
|------|---|---|
| 底部注入 |  | $P = C$ $H_p = H_0 - \frac{C}{2}$ |
| 中间注入 |  | $P = \frac{C}{2}$ $H_p = H_0 - \frac{C}{8}$ |
| 顶部注入 |  | $P = 0$ $H_p = H_0$ |

表 6-76 铸件位于上、下型之间的平均静压头高度 H_p 的数值

1—铸件 2—下砂型 3—中间注入浇道 4—顶部注入浇道 5—上砂型 6—浇口杯 7—底部注入浇道

| 铸件高度 C (mm) | 上砂型高度 (mm) | 浇口杯高度 (mm) | 平均静压头高度 H_p (cm) | | |
|----------------|---------------|---------------|--------------------|------|------|
| | | | 顶部注入 | 中间注入 | 底部注入 |
| 50 | 100 | 150 | 23 | 24 | 25 |
| | 150 | 150 | 28 | 29 | 30 |
| 100 | 100 | 150 | 20 | 24 | 25 |
| | 150 | 150 | 25 | 29 | 30 |
| | 200 | 150 | 30 | 34 | 35 |
| 150 | 150 | 150 | 23 | 28 | 30 |
| | 200 | 150 | 28 | 33 | 35 |
| | 250 | 150 | 33 | 38 | 40 |
| 200 | 200 | 150 | 25 | 33 | 35 |
| | 250 | 150 | 30 | 38 | 40 |
| | 300 | 150 | 35 | 43 | 45 |
| 250 | 250 | 150 | 28 | 37 | 40 |
| | 300 | 150 | 33 | 42 | 45 |
| | 350 | 150 | 38 | 47 | 50 |
| 300 | 300 | 150 | 30 | 41 | 45 |
| | 350 | 150 | 35 | 46 | 50 |
| | 400 | 150 | 40 | 51 | 55 |
| 350 | 300 | 220 | 35 | 48 | 52 |
| | 350 | 220 | 40 | 53 | 57 |
| | 400 | 220 | 45 | 58 | 62 |
| 400 | 350 | 220 | 37 | 52 | 57 |
| | 400 | 220 | 42 | 57 | 62 |
| | 450 | 220 | 47 | 62 | 67 |
| 450 | 350 | 220 | 35 | 51 | 57 |
| | 400 | 220 | 40 | 56 | 62 |
| | 450 | 220 | 45 | 61 | 67 |
| 500 | 350 | 250 | 35 | 54 | 60 |
| | 400 | 250 | 40 | 59 | 65 |
| | 450 | 250 | 45 | 64 | 70 |
| 550 | 400 | 250 | 38 | 58 | 65 |
| | 450 | 250 | 43 | 63 | 70 |
| | 500 | 250 | 48 | 68 | 75 |

(续)

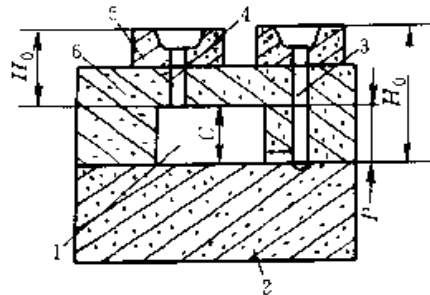
| 铸件高度 C (mm) | 上砂型高度 (mm) | 浇口杯高度 (mm) | 平均静压头高度 H_p (cm) | | |
|----------------|---------------|---------------|--------------------|------|------|
| | | | 顶部注入 | 中间注入 | 底部注入 |
| 600 | 400 | 250 | 35 | 58 | 65 |
| | 450 | 250 | 40 | 63 | 70 |
| | 500 | 250 | 45 | 68 | 75 |
| 650 | 450 | 250 | 38 | 62 | 70 |
| | 500 | 250 | 43 | 67 | 75 |
| | 550 | 250 | 48 | 72 | 80 |
| 700 | 450 | 250 | 35 | 61 | 70 |
| | 500 | 250 | 40 | 66 | 75 |
| | 550 | 250 | 45 | 71 | 80 |
| 750 | 500 | 250 | 38 | 66 | 75 |
| | 550 | 250 | 43 | 71 | 80 |
| | 600 | 250 | 48 | 76 | 85 |
| 800 | 550 | 250 | 40 | 70 | 80 |
| | 600 | 250 | 45 | 75 | 85 |
| | 650 | 250 | 50 | 80 | 90 |
| 850 | 550 | 250 | 38 | 69 | 80 |
| | 600 | 250 | 43 | 74 | 85 |
| | 650 | 250 | 48 | 79 | 90 |
| 900 | 600 | 250 | 40 | 74 | 85 |
| | 650 | 250 | 45 | 79 | 90 |
| 950 | 600 | 250 | 38 | 73 | 85 |
| | 650 | 250 | 43 | 78 | 90 |
| | 700 | 250 | 48 | 83 | 95 |

注：1. 各种符号见表 6-75。

2. 分型面在铸件 $1/2$ 处的稍上或稍下，则接近于 $1/2$ 来处理。

3. 三个 H_0 表示顶部注入、中间注入、底部注入三种浇注形式时的 H_0 (下同)。

表 6-77 铸件全部位于上型时的平均静压头高度 H_p 的数值



1—铸件 2—下砂型 3—底部注入浇道 4—顶部注入浇道 5—浇口杯 6—上砂型

| 铸件高度 C (mm) | 上砂型高度 (mm) | 浇口杯高度 (mm) | 平均静压头高度 H_p (cm) | |
|----------------|---------------|---------------|--------------------|------|
| | | | 顶部注入 | 底部注入 |
| 50 | 100 | 150 | 20 | 23 |
| | 150 | 150 | 25 | 28 |
| | 200 | 150 | 30 | 33 |

(续)

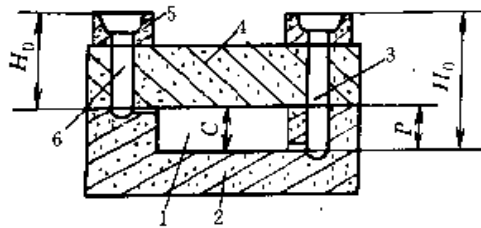
| 铸件高度 C (mm) | 上砂型高度 (mm) | 浇口杯高度 (mm) | 平均静压头高度 H_p (cm) | |
|----------------|---------------|---------------|--------------------|------|
| | | | 顶部注入 | 底部注入 |
| 100 | 150 | 150 | 20 | 25 |
| | 200 | 150 | 25 | 30 |
| | 250 | 150 | 30 | 35 |
| 150 | 200 | 150 | 20 | 28 |
| | 250 | 150 | 25 | 33 |
| | 300 | 150 | 30 | 38 |
| 200 | 300 | 150 | 25 | 35 |
| | 350 | 150 | 30 | 40 |
| | 400 | 150 | 35 | 45 |
| 250 | 400 | 150 | 30 | 43 |
| | 450 | 150 | 35 | 48 |
| | 500 | 150 | 40 | 53 |
| 300 | 450 | 150 | 30 | 45 |
| | 500 | 150 | 35 | 50 |
| | 550 | 150 | 40 | 55 |
| 350 | 500 | 220 | 37 | 55 |
| | 550 | 220 | 42 | 60 |
| | 600 | 220 | 47 | 65 |
| 400 | 550 | 220 | 37 | 57 |
| | 600 | 220 | 42 | 62 |
| 450 | 600 | 220 | 37 | 60 |
| | 650 | 220 | 42 | 65 |
| | 700 | 220 | 47 | 70 |
| 500 | 700 | 220 | 42 | 67 |
| | 750 | 220 | 47 | 72 |
| | 800 | 220 | 52 | 77 |
| 550 | 750 | 220 | 42 | 70 |
| | 800 | 220 | 47 | 75 |
| | 850 | 220 | 52 | 80 |
| 600 | 750 | 250 | 40 | 70 |
| | 800 | 250 | 45 | 75 |
| | 850 | 250 | 50 | 80 |
| 650 | 800 | 250 | 40 | 73 |
| | 850 | 250 | 45 | 78 |
| | 900 | 250 | 50 | 83 |
| 700 | 850 | 250 | 40 | 75 |
| | 900 | 250 | 45 | 80 |
| | 950 | 250 | 50 | 85 |

(续)

| 铸件高度 C (mm) | 上砂型高度 (mm) | 浇口杯高度 (mm) | 平均静压头高度 H_p (cm) | |
|----------------|---------------|---------------|--------------------|------|
| | | | 顶部注入 | 底部注入 |
| 750 | 900 | 250 | 40 | 78 |
| | 950 | 250 | 45 | 83 |
| | 1000 | 250 | 50 | 88 |
| 800 | 950 | 250 | 40 | 80 |
| | 1000 | 250 | 45 | 85 |
| | 1050 | 250 | 50 | 90 |
| 850 | 1000 | 250 | 40 | 83 |
| | 1050 | 250 | 45 | 88 |
| | 1100 | 250 | 50 | 93 |

注：分型面在铸件 1/2 处的下部，距底面很近时，可按铸件全部在上箱来处理。

表 6-78 铸件全部位于下型时的平均静压头高度 H_p 的数值



1—铸件 2—下砂型 3—底部注入浇道 4—上砂型 5—浇口杯 6—顶部注入浇道

| 铸件高度 C (mm) | 上砂型高度 (mm) | 浇口杯高度 (mm) | 平均静压头高度 H_p (cm) | |
|----------------|---------------|---------------|--------------------|------|
| | | | 顶部注入 | 底部注入 |
| 50 | 100 | 150 | 10 | 13 |
| | 100 | | 25 | 28 |
| | 150 | 150 | 15 | 18 |
| | 150 | | 30 | 33 |
| 100 | 100 | 150 | 10 | 15 |
| | 100 | | 25 | 30 |
| | 150 | 150 | 30 | 35 |
| | 200 | | 35 | 40 |
| 150 | 150 | 150 | 30 | 38 |
| | 200 | 150 | 35 | 43 |
| | 250 | 150 | 40 | 48 |
| 200 | 150 | 150 | 30 | 40 |
| | 200 | 150 | 35 | 45 |
| | 250 | 150 | 40 | 50 |

(续)

| 铸件高度 C (mm) | 上砂型高度 (mm) | 浇口杯高度 (mm) | 平均静压头高度 H_p (cm) | |
|----------------|---------------|---------------|--------------------|------|
| | | | 顶部注入 | 底部注入 |
| 250 | 150 | 150 | 30 | 43 |
| | 200 | 150 | 35 | 48 |
| | 250 | 150 | 40 | 53 |
| 300 | 200 | 150 | 35 | 50 |
| | 250 | 150 | 40 | 55 |
| 350 | 200 | 220 | 42 | 60 |
| | 250 | 220 | 47 | 65 |
| 400 | 200 | 220 | 42 | 62 |
| | 250 | 220 | 47 | 67 |
| | 300 | 220 | 52 | 72 |
| 450 | 250 | 220 | 47 | 70 |
| | 300 | 220 | 52 | 75 |
| | 350 | 220 | 57 | 80 |
| 500 | 250 | 220 | 47 | 72 |
| | 300 | 220 | 52 | 77 |
| | 350 | 220 | 57 | 82 |
| 550 | 250 | 250 | 50 | 78 |
| | 300 | 250 | 55 | 83 |
| | 350 | 250 | 60 | 88 |
| 600 | 300 | 250 | 55 | 85 |
| | 350 | 250 | 60 | 90 |
| | 400 | 250 | 65 | 95 |
| 650 | 300 | 250 | 55 | 88 |
| | 350 | 250 | 60 | 93 |
| | 400 | 250 | 65 | 98 |

注：分型面在铸件 1/2 处的上部，距顶面很近时，可按铸件全部在下型来处理。

(4) 最小剩余压头 H_m 的确定 (直浇道高度的确定) 为保证金属液充满全部铸型, 获得结构完整的铸件, 铸件最高点到浇口杯液面高度必须有一个最小剩余压头 H_m , 其计算公式如下:

$$H_m = L \cdot t \cdot g \cdot \alpha$$

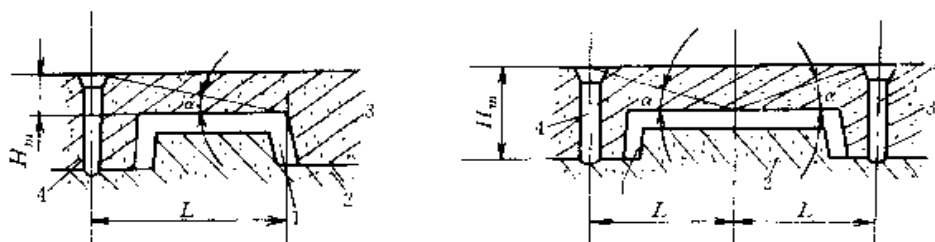
式中 L ——液体金属的流程, 即直浇道中心至铸件最远最高点的水平距离 (mm);

t ——浇注时间 (s);

g ——重力加速度;

α ——压力角 (度), 由表 6-79 选取。

表 6-79 计算最小剩余压头高度用的压力角



1—铸件 2—下砂型 3—上砂型 4—直浇道

(续)

| L (mm) | 铸件壁厚 (mm) | | | | | | | 使用范围 |
|-----------|---------------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| | 3~5 | 5~8 | 8~15 | 15~20 | 20~25 | 25~35 | 35~45 | |
| | 压力角 α ($^\circ$) | | | | | | | |
| 4000 | 根据具体情况确定 | 6~7 | 5~6 | 5~6 | 5~6 | 4~5 | 4~5 | 用两个或更多的直浇道浇注铁液 |
| 3500 | | 6~7 | 5~6 | 5~6 | 5~6 | 4~5 | 4~5 | |
| 3000 | | 6~7 | 5~7 | 5~6 | 5~6 | 4~5 | 4~5 | |
| 2800 | | 6~7 | 6~7 | 6~7 | 6~7 | 5~6 | 4~5 | |
| 2600 | | 7~8 | 5~7 | 6~7 | 6~7 | 5~6 | 4~5 | |
| 2400 | | 7~8 | 6~7 | 6~7 | 6~7 | 5~6 | 5~6 | |
| 2200 | | 8~9 | 7~8 | 6~7 | 6~7 | 5~6 | 5~6 | 用一个直浇道浇注铁液 |
| 2000 | | 8~9 | 7~8 | 6~7 | 6~7 | 5~6 | 5~6 | |
| 1800 | | 8~9 | 7~8 | 7~8 | 7~8 | 6~7 | 6~7 | |
| 1600 | | 8~9 | 7~8 | 7~8 | 7~8 | 6~7 | 6~7 | |
| 1400 | | 8~9 | 8~9 | 7~8 | 7~8 | 6~7 | 6~7 | |
| 1200 | | 10~11 | 9~10 | 8~9 | 7~8 | 7~8 | 6~7 | |
| 1000 | 11~12 | 9~10 | 9~10 | 7~8 | 7~8 | 6~7 | 6~7 | |
| 800 | 12~13 | 9~10 | 9~10 | 8~9 | 7~8 | 7~8 | 6~7 | |
| 600 | 13~14 | 10~11 | 9~10 | 9~10 | 8~9 | 7~8 | 6~7 | |

注：左图表示从一个直浇道浇注，右图表示从两个直浇道浇注。

以上数值确定后，即可计算出浇注系统中的最小断面面积 $F_{\text{阻}}$ ，然后根据所选浇注系统的类型，查表 6-70 确定浇注系统各组元的截面比例，从而确定其它组元的截面面积。经过计算所求得的浇注系统各组元的尺寸，还必须经过生产验证。生产中最小内浇道的断面面积为 0.4cm^2 （特殊情况可为 0.3cm^2 ），直浇道最小直径一般不小于 15mm 。

7.3.1.2 用浇注比速计算浇注系统的尺寸 此法可用于各种合金，各类铸件的浇注系统计算，主要用在大型和重型铸件上。对于封闭浇注系统浇注比速即单位时间内通过阻流截面单位面积的金属液，其阻流面积 $F_{\text{阻}}$ 的计算公式为

$$F_{\text{阻}} = \frac{G}{t \cdot K \cdot L} \quad (\text{cm}^2)$$

式中 G ——流经 F 阻流截面的液体金属重量 (kg)；

t ——浇注时间 (s)；

K ——浇注比速 ($\text{kg}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)；

L ——金属液流动系数，对于铸铁，可取其等于 1.0。

浇注比速 K 主要取决于铸件的相对密度 K_V ，而

$$K_V = \frac{G}{V} \quad (\text{kg}/\text{dm}^3)$$

式中 V ——铸件轮廓体积 (dm^3)。

显然， K_V 值越大，说明铸件结构越简单、壁越薄， K_V 值越小，则铸件结构越复杂。浇注比速 K 与 G 和 K_V 的关系如图 6-111。

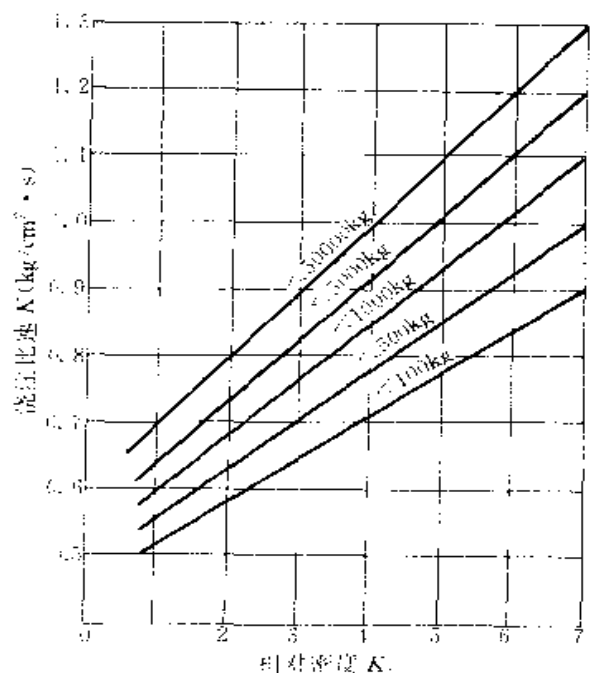


图 6-111 确定浇注比速 K 的图表

当浇注壁厚 δ 小于 35mm 的简单平板铸件时, K 与 δ 的关系见表 6-80。

浇注时间 t 用下述经验公式确定:

$$t = 1.11S\sqrt{G}$$

式中 S ——系数, 取决于铸件壁厚, 见表 6-81。

表 6-80 浇注比速 K 与壁厚 δ 关系

| 平板厚度 δ (mm) | <10 | 10~15 | 15~25 | 25~30 |
|--------------------|-----|-------|-------|-------|
| 浇注比速 K | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |

表 6-81 系数 S 与铸件壁厚 δ 关系

| 铸件壁厚 | ≤ 10 | 10~20 | 20~40 | >40 |
|------|-----------|-------|-------|-----|
| S | 1.0 | 1.3 | 1.5 | 1.7 |

7.3.1.3 图表法确定浇注系统尺寸 浇注系统阻流断面尺寸的计算比较复杂, 并含有许多经验数据存在一定的局限性, 生产中往往采用图表法, 使用方便、直观。下面推荐几种生产中常用的图表, 供参考。

1) 索伯列夫图表, 见图 6-112。图表中铸件质(重)量 G 、铸件壁厚 δ 、平均静压头 H_p 按表 6-75 或表 6-76~表 6-78 确定。该表适用于一般大、中型铸铁件的湿型铸造, 用于干型时, 可将查到的阻流断面面积减少 15%~20%。

2) 确定浇注系统阻流截面面积的经验数据: 适用于一般灰铸铁件的经验数据, 见表 6-82。机床类铸铁件的经验数据, 见表 6-83。

内燃机尖铸铁件的经验数据, 见表 6-84。

纺织机械类铸件的经验数据, 见表 6-85。

大型及通用机械类铸铁件的经验数据, 见表 6-

表 6-82 一般灰铸铁件内浇道的

总断面积 (cm²)

| 铸件质(重)量 (kg) | 铸件壁厚 (mm) | | | | |
|--------------|-----------|-----|------|-------|-------|
| | <5 | 5~8 | 8~15 | 15~25 | 25~40 |
| <1 | 0.6 | 0.6 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| 1~3 | 0.8 | 0.8 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| 3~5 | 1.6 | 1.6 | 1.2 | 1.2 | 1.0 |
| 5~10 | 2.0 | 1.8 | 1.6 | 1.6 | 1.2 |
| 10~15 | 2.6 | 2.4 | 2.0 | 2.0 | 1.8 |
| 15~20 | 4.0 | 3.6 | 3.2 | 3.0 | 2.8 |
| 20~30 | 4.4 | 4.0 | 3.4 | 3.2 | 3.0 |
| 30~40 | 5.0 | 4.8 | 4.4 | 4.0 | 3.6 |

(续)

| 铸件质(重)量 (kg) | 铸件壁厚 (mm) | | | | |
|--------------|-----------|------|------|-------|-------|
| | <5 | 5~8 | 8~15 | 15~25 | 25~40 |
| 40~60 | 7.2 | 6.8 | 6.4 | 6.0 | 5.8 |
| 60~100 | | 8.8 | 8.4 | 8.0 | 7.8 |
| 100~150 | — | 11.0 | 10.0 | 9.4 | 9.0 |
| 150~200 | — | 14.4 | 13.4 | 12.6 | 12.0 |
| 200~250 | — | — | 14.0 | 13.4 | 13.0 |
| 250~300 | — | — | 16.0 | 15.0 | 14.0 |
| 300~400 | — | — | 18.0 | 17.0 | 16.0 |
| 400~500 | — | — | 22.0 | 20.0 | 18.0 |
| 500~600 | — | — | 25.0 | 23.0 | 20.0 |
| 600~700 | — | — | 28.0 | 25.0 | 22.0 |
| 700~800 | — | — | 32.0 | 28.0 | 23.0 |
| 800~900 | — | — | 34.0 | 30.0 | 24.0 |
| 900~1000 | — | — | 36.0 | 32.0 | 25.0 |
| 1000~1200 | — | — | — | 36.0 | 28.0 |
| 1200~1400 | — | — | — | 40.0 | 32.0 |
| 1400~1600 | — | — | — | 44.0 | 36.0 |

表 6-83 机床类铸铁件 $F_{内}$ 截面参考数据

| 铸件质(重)量 (kg) | 铸件壁厚 (mm) | | | | |
|--------------|---------------------------|------|-------|-------|-------|
| | <5 | 5~10 | 10~15 | 15~25 | 25~40 |
| | 内浇道截面积 (cm ²) | | | | |
| <2 | 0.8 | 0.8 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| 2~5 | 1.6 | 1.6 | 1.2 | 1.0 | 0.8 |
| 5~10 | 1.8 | 1.8 | 1.6 | 1.4 | 1.2 |
| 10~20 | 3.2 | 3.0 | 2.6 | 2.2 | 2.0 |
| 20~40 | 5.0 | 4.6 | 4.0 | 3.4 | 3.0 |
| 40~60 | 6.0 | 5.4 | 4.6 | 4.0 | 3.6 |
| 60~100 | | 7.5 | 6.5 | 5.5 | 5.0 |
| 100~150 | | 8.0 | 7.0 | 6.4 | 6.0 |
| 150~200 | | 10.0 | 9.0 | 8.0 | 7.0 |
| 200~300 | | | 13.0 | 11.0 | 9.0 |
| 300~400 | | | 14.0 | 12.0 | 10.0 |
| 400~500 | | | 16.0 | 14.0 | 12.0 |
| 500~600 | | | 18.0 | 16.0 | 14.0 |
| 600~700 | | | 19.0 | 17.0 | 15.0 |
| 700~800 | | | 21.0 | 18.0 | 16.0 |
| 800~1000 | | | 23.0 | 19.0 | 17.0 |
| 1000~1500 | | | | 24.0 | 22.0 |
| 1500~2000 | | | | 27.0 | 25.0 |
| 2000~4000 | | | | 37.0 | 34.0 |
| 4000~7000 | | | | 45.0 | 40.0 |
| 7000~10000 | | | | 60.0 | 50.0 |

注: 常用浇口比例为: $F_{直}:F_{横}:F_{内}=1.2:1.5:1$ 。

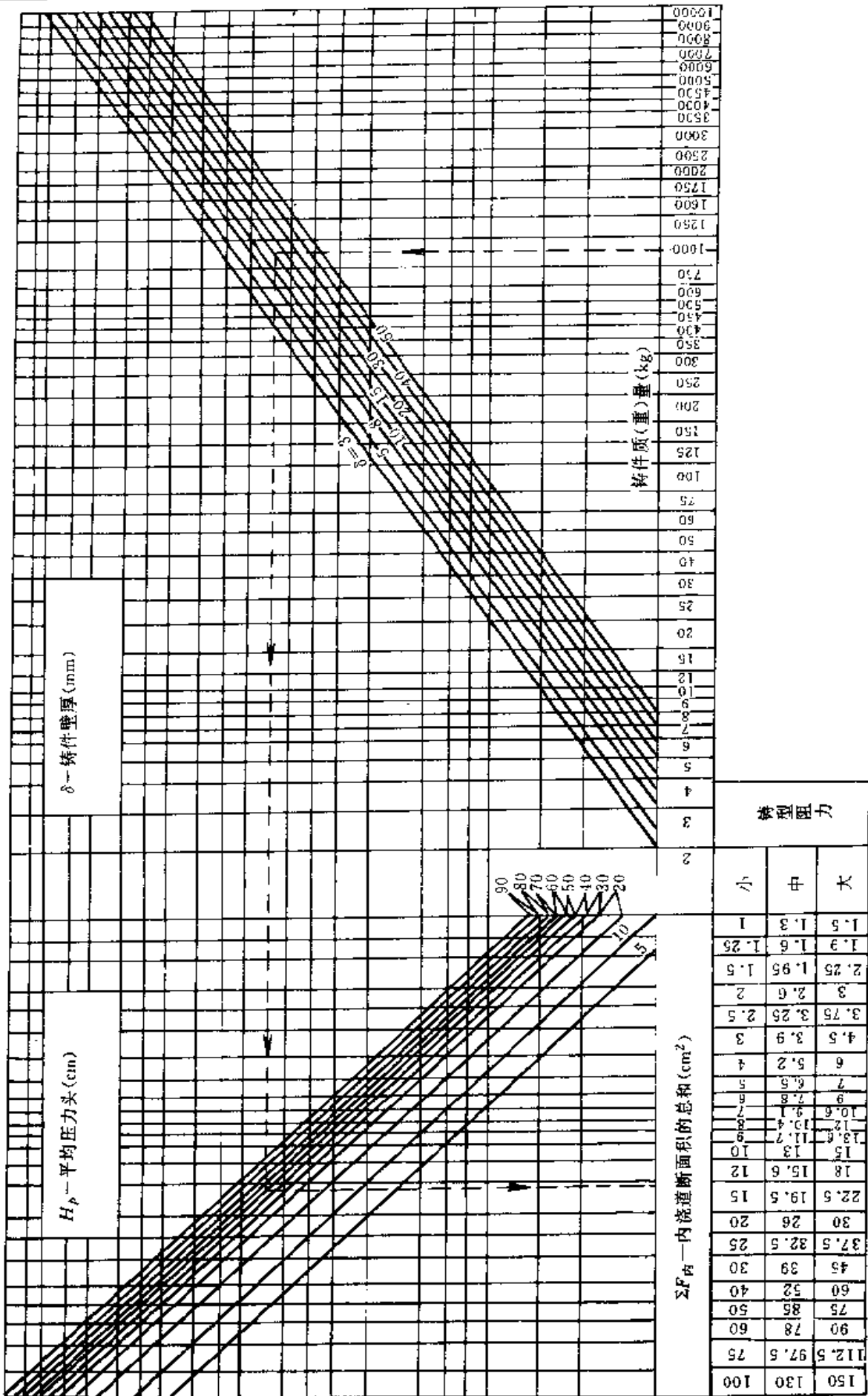


图 6-112 索伯列夫内浇道计算图表

H_p —平均静压力头高度 (cm) δ —铸件平均壁厚或主要壁厚 (mm)

| 铸型阻力 | | |
|-------|------|------|
| 小 | 中 | 大 |
| 1.5 | 1.3 | 1 |
| 1.9 | 1.6 | 1.25 |
| 2.35 | 1.95 | 1.5 |
| 3 | 2.6 | 2 |
| 3.75 | 3.25 | 2.5 |
| 4.5 | 3.9 | 3 |
| 6 | 5.2 | 4 |
| 7 | 6.5 | 5 |
| 9 | 7.8 | 6 |
| 10.5 | 9.1 | 7 |
| 12 | 10.4 | 8 |
| 13.5 | 11.7 | 9 |
| 15 | 13 | 10 |
| 18 | 15.6 | 12 |
| 22.5 | 19.5 | 15 |
| 30 | 26 | 20 |
| 37.5 | 32.5 | 25 |
| 45 | 39 | 30 |
| 60 | 52 | 40 |
| 75 | 65 | 50 |
| 90 | 78 | 60 |
| 112.5 | 97.5 | 75 |
| 150 | 130 | 100 |

表 6-84 内燃机类铸铁件 $F_{内}$ 截面参考数据

| 铸件质(重)量 (kg) | 铸件壁厚 (mm) | | | | | |
|-----------------|---------------------------|------|-------|-------|-------|-----|
| | <5 | 5~10 | 10~15 | 15~25 | 25~40 | >40 |
| | 内浇道截面积 (cm ²) | | | | | |
| <5 | 2 | 1.5 | 1.2 | 1 | 0.8 | 0.5 |
| 5~10 | 3 | 2.5 | 2 | 1.5 | 1 | 0.8 |
| 10~20 | 4 | 3.5 | 3 | 2.5 | 2 | 1.5 |
| 20~40 | 5 | 4.5 | 4 | 3.5 | 3 | 2.5 |
| 40~60 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3.5 |
| 60~100 | | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 |
| 100~150 | | 12 | 10 | 8 | 6 | 5 |
| 150~200 | | 15 | 12 | 10 | 8 | 6 |
| 200~300 | | 20 | 15 | 12 | 10 | 3 |

(续)

| 铸件质(重)量 (kg) | 铸件壁厚 (mm) | | | | | |
|-----------------|---------------------------|------|-------|-------|-------|-----|
| | <5 | 5~10 | 10~15 | 15~25 | 25~40 | >40 |
| | 内浇道截面积 (cm ²) | | | | | |
| 300~500 | | 25 | 20 | 15 | 12 | 10 |
| 500~700 | | 30 | 25 | 20 | 15 | 12 |
| 700~1000 | | 40 | 30 | 25 | 20 | 15 |
| 1000~1500 | | | 40 | 30 | 25 | 20 |
| 1500~2000 | | | 50 | 40 | 30 | 25 |
| 2000~3000 | | | 60 | 50 | 40 | 30 |

注: 1. 对于 100kg 以下的铸件, 常采用如下比例:

$$F_{直}:F_{横}:F_{内}=1:1.5:(0.5\sim0.8).$$

2. 对于 1000kg 以上铸件, 可采用如下比例: $F_{直}:$

$$F_{横}:F_{内}=1:2:(1\sim3).$$

表 6-85 纺织机械类铸铁件 $F_{内}$ 截面积参考数据

| 铸件质(重)量 (kg) | 铸件壁厚 (mm) | | | | | | | |
|-----------------|---------------------------|---------|---------|-----------------|---------|---------|---------|---------|
| | 3 | 3~5 | 5~8 | 8~12 | 12~16 | 16~20 | 20~35 | 35~50 |
| | 内浇道截面积 (cm ²) | | | | | | | |
| <0.2 | 0.4 | 0.3~0.4 | 0.3~0.4 | 0.3~0.4 | | | | |
| 0.2~0.5 | 0.4~0.7 | 0.4~0.7 | 0.4~0.7 | 0.4~0.7 | 0.4~0.6 | | | |
| 0.5~1 | 0.7~1 | 0.7~1 | 0.6~0.9 | 0.5~0.8 | 0.4~0.7 | 0.4~0.7 | | |
| 1~1.5 | 1~2 | 1~1.5 | 0.8~1.2 | 0.7~1 | 0.7~1 | 0.7~1 | | |
| 1.5~2 | 2~3 | 1.5~2 | 1~1.8 | 0.8~1.8 | 0.8~1.5 | 0.8~1.2 | 0.6~1.2 | |
| 2~3 | 3~4 | 2~3 | 1.5~2.5 | 1.5~2 | 1~1.5 | 1~1.5 | 0.8~1.5 | 0.6~1 |
| 3~4 | | 3~4 | 2.5~3.5 | 2~3 | 1.5~2.5 | 1.5~2.5 | 1~2 | 0.8~1.5 |
| 4~5 | | 4~5 | 3~4 | 3~4 | 2~3.5 | 2~3.5 | 1~2 | 1~2 |
| 5~7 | | | 3~4 | 3~4 | 2.5~4 | 2~3.5 | 1~2 | 1~2 |
| 7~10 | | | 3.5~4.5 | 3.5~4.5 | 3~4.5 | 2~3.5 | 1.2~2 | 1.2~2 |
| 10~15 | | | 3.5~4.5 | 3.5~4.5 | 4~5 | 2~3.5 | 1.2~2 | |
| 15~20 | | | | 4~6 | 4~5 | 2~3.5 | 1.2~2 | |
| 20~30 | | | | 7~10 (10~12) | 4.5~6 | 2~3.5 | 1.5~2.5 | |
| 30~45 | | | | 8~12 (12~14) | 5.5~7 | 2.5~4 | 2~3 | |
| 45~60 | | | | 10~14 | 6.5~8 | 4.5~8 | 4~8 | |
| 60~80 | | | | 10~14 | 9~10 | 7~10 | 7~10 | |
| 80~100 | | | | 12~15 | 12~15 | 10~14 | 10~14 | |
| 100~150 | | | | 12~15 | 12~15 | 10~14 | 10~14 | |
| 150~200 | | | | (25~35) | | | | |

注: 1. 括号内之数据为特殊复杂件的参考数据。

2. 常用比例为: $F_{直}:F_{横}:F_{内}=1.3:1.15:1$ 。

表 6-86 大型及通用机械类铸铁件
 $F_{内}$ 截面参考数据

| 铸件质(重) 量(kg) | 铸件壁厚(mm) | | | | | |
|-----------------|------------------|-------|-------|-------|-------|----|
| | 5~10 | 10~15 | 15~25 | 25~40 | 40~60 | |
| | 内浇道截面积(cm^2) | | | | | |
| <5 | 2.5 | 2.2 | 2 | 1.8 | | |
| 5~10 | 3 | 2.7 | 2.4 | 2.2 | | |
| 10~20 | 3.7 | 3.4 | 3.2 | 2.7 | | |
| 20~50 | 5.5 | 5 | 4.5 | 4 | | |
| 50~100 | 7.5 | 7 | 6.5 | 6 | | |
| 100~150 | 9 | 8.5 | 8 | 7.5 | 6 | |
| 150~200 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7.5 | |
| 200~300 | 13 | 12 | 11 | 10 | 8 | |
| 300~400 | 14 | 13 | 12 | 10 | 9 | |
| 400~500 | 16 | 14 | 13 | 11 | 10 | |
| 500~600 | | 18 | 16 | 14 | 12 | 10 |
| 600~700 | | 20 | 18 | 16 | 14 | 11 |
| 700~800 | | 22 | 20 | 18 | 16 | 13 |
| 800~900 | | 24 | 22 | 19 | 17 | 15 |
| 900~1000 | | 26 | 24 | 21 | 19 | 17 |
| 1000~1500 | | 28 | 26 | 23 | 20 | 18 |
| 1500~2000 | | 31 | 28 | 26 | 24 | 21 |
| 2000~3000 | | | 34 | 30 | 26 | 24 |
| 3000~4000 | | | 37 | 32 | 30 | 27 |
| 4000~5000 | | | 38 | 33 | 32 | 29 |
| 5000~6000 | | | 42 | 36 | 34 | 32 |
| 6000~8000 | | | 46 | 42 | 40 | 36 |
| 8000~10000 | | | 50 | 47 | 44 | 40 |
| 10000~15000 | | | 57 | 54 | 51 | 49 |
| 15000~20000 | | | 67 | 63 | 59 | 56 |
| 20000~30000 | | | 83 | 79 | 74 | 70 |
| 30000~40000 | | | | 93 | 87 | 81 |

注：常用比例为： $F_{直}:F_{横}:F_{内}=1.2:1.4:1$

7.3.2 可锻铸铁件的浇注系统

可锻铸铁件多是薄壁的中、小型铸件，其碳、硅含量低，熔点较高而流动性差，收缩量大，易产生缩孔、缩松、裂纹等缺陷。可锻铸铁件一般采用封闭式浇注系统，要求按定向凝固原则设计，常使用铁液通过冒口从厚壁处注入铸件，见图6-113。内浇道的截

面积应小于冒口颈的截面积，冒口颈要短，一般为5~10mm，这样可保证暗冒口只对铸件补缩。远离内浇道的热节，可使用冷铁或另加侧冒口补缩。

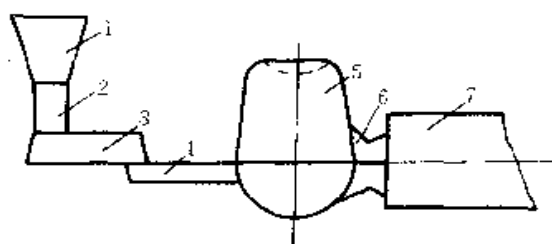


图 6-113 可锻铸铁件浇注系统的一般形式

1—浇口杯 2—直浇道 3—横浇道 4—内浇道
5—暗冒口 6—冒口颈 7—铸件

可锻铸铁件内浇道的截面积可参考表 6-87。浇注系统的参考形式，见图 6-114。

表 6-87 可锻铸铁件内浇道的截面积

| 铸件主要壁厚(mm) 铸件质(重)量 | 3~8 | 5~8 | 8~20 |
|-----------------------|-------------------|-----|------|
| | 内浇道总截面积(cm^2) | | |
| 0.3~0.5 | 1.5 | 1 | 1 |
| 0.5~0.7 | 2 | 1.5 | 1.5 |
| 0.7~1 | — | 1.5 | 1.5 |
| 1~1.5 | — | 2 | 1.5 |
| 1.5~2 | — | 2 | 2 |
| 2~3 | — | 2.5 | 2 |
| 3~5 | — | 3 | 2.5 |
| 5~10 | — | 3 | 3 |
| 10~30 | — | 4 | 4 |
| 30~50 | — | — | 5 |

注：浇注系统各组元截面比例一般为： $F_{内}:F_{横}:F_{直}=1:(1.5\sim2):(2\sim2.5)$

7.3.3 球墨铸铁件的浇注系统

铁液经球化、孕育处理后，温度下降很多，实际流动性比灰铸铁低，要求浇注迅速，所以球墨铸铁件的浇注系统断面积往往比灰铸铁的大 30%~100%。球墨铸铁易氧化，容易产生夹渣（包括二次氧化夹渣）和皮下气孔等缺陷，所以浇注系统应保证铁液充型平稳通畅又具有撇渣能力，为此，可采用开放式（用拔塞浇口杯、闸门浇口杯、滤网、集渣包等措施撇渣）或半封闭式浇注系统。球墨铸铁液态收缩大，且具有糊状凝固的特性，在铸件上形成缩孔的倾向性大，故多按定向凝固的原则设计浇注系统。当内浇道通过冒口浇入时，可用封闭式浇注系统，既有利挡渣充型较快也平稳。

球墨铸铁件浇注系统各单元截面的比，可参考表 6-88 选用。

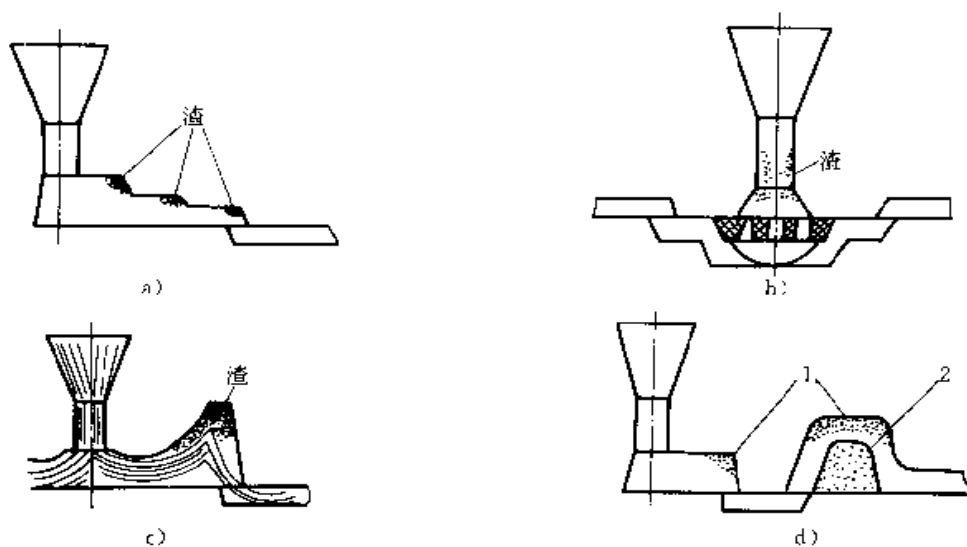


图 6-114 可锻铸铁件浇注系统的参考形式

- a) 阶梯式阻渣浇道 b) 过滤网式浇道
c) 半角式阻渣浇道 d) 闸门式阻渣浇道
1—渣 2—堆砂

表 6-88 球墨铸铁件浇注系统各组元的截面积比

| 类型 | 截面积比 | 应用范围 |
|------|---------------------|---------|
| | $F_{内}:F_{横}:F_{直}$ | |
| 封闭式 | 1:1.2~1.3:1.4~1.9 | 一般球墨铸铁件 |
| 开放式 | 1.5~4:2~4:1 | 厚壁球墨铸铁件 |
| 半封闭式 | 0.8:1.2~1.5:1 | 薄壁小型铸铁件 |
| | 3:8:4 | |

较简便的方法是根据铸件质(重)量,由经验数据确定球墨铸铁浇注系统各组元的尺寸;根据铸件质(重)量按表 6-89 查出浇注系统各组元的截面积、编号及个数,再按编号由表 6-90 查出各浇道尺寸。

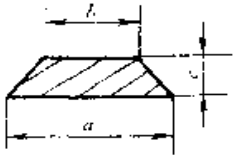
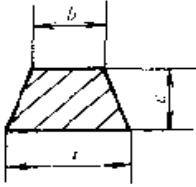
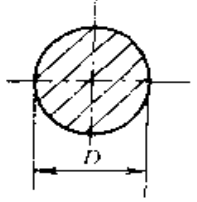
表 6-89 常用球墨铸铁浇注系统尺寸

| 序号 | 铸件质(重)量(kg) | 内 浇 道 | | | | 横 浇 道 | | 直 浇 道 | | |
|----|-------------|-------|----|-----------------|----------------|-------|---------------|-------|--------|---------------|
| | | 编号 | 数目 | 单个截面积(cm^2) | 总截面积(cm^2) | 编号 | 截面积(cm^2) | 编号 | 直径(mm) | 截面积(cm^2) |
| 1 | <2 | 1 | 1 | 1.0 | 1.0 | 1 | 3.0 | 1 | 20 | 3.1 |
| 2 | 2~5 | 1 | 2 | 1.0 | 2.0 | 1 | 3.0 | 1 | 20 | 3.1 |
| | | 3 | 1 | 1.92 | 1.92 | | | | | |
| 3 | 5~10 | 1 | 3 | 1.0 | 3.0 | 2 | 3.6 | 2 | 23 | 4.2 |
| | | 2 | 2 | 1.5 | 3.0 | | | | | |
| | | 3 | 1 | 2.90 | 2.9 | | | | | |
| 4 | 10~20 | 1 | 4 | 1.0 | 4.0 | 3 | 4.8 | 3 | 27 | 5.7 |
| | | 2 | 3 | 1.5 | 4.5 | | | | | |
| | | 3 | 2 | 1.92 | 3.84 | | | | | |
| | | 6 | 1 | 3.8 | 3.8 | | | | | |

(续)

| 序号 | 铸件质(重)量 (kg) | 内 浇 道 | | | | 横 浇 道 | | 直 浇 道 | | |
|----|-----------------|-------|----|-----------------------------|----------------------------|-------|---------------------------|-------|------------|---------------------------|
| | | 编号 | 数目 | 单个截面积 (cm ²) | 总截面积 (cm ²) | 编号 | 截面积 (cm ²) | 编号 | 直径 (mm) | 截面积 (cm ²) |
| 5 | 20~50 | 1 | 5 | 1.0 | 5.0 | 4 | 5.4 | 4 | 29 | 6.3 |
| | | 4 | 2 | 2.4 | 4.8 | | | | | |
| | | 7 | 1 | 4.8 | 4.8 | | | | | |
| 6 | 50~100 | 2 | 5 | 1.5 | 7.5 | 5 | 8.4 | 5 | 35 | 9.8 |
| | | 3 | 4 | 1.92 | 7.6 | | | | | |
| | | 4 | 3 | 2.4 | 7.2 | | | | | |
| 7 | 100~200 | 2 | 6 | 1.5 | 9.0 | 6 | 11.4 | 6 | 41 | 13.3 |
| | | 4 | 4 | 2.4 | 9.6 | | | | | |
| | | 7 | 2 | 4.8 | 9.6 | | | | | |
| 8 | 200~300 | 2 | 9 | 1.5 | 13.5 | 7 | 16.2 | 7 | 50 | 19.0 |
| | | 4 | 6 | 2.4 | 14.4 | | | | | |
| | | 5 | 5 | 2.9 | 14.5 | | | | | |
| | | 7 | 3 | 4.8 | 14.4 | | | | | |
| 9 | 300~600 | 4 | 8 | 2.4 | 19.2 | 8 | 22.0 | 8 | 57 | 25.5 |
| | | 5 | 6 | 2.9 | 17.4 | | | | | |
| | | 6 | 5 | 3.8 | 19.0 | | | | | |
| | | 7 | 4 | 4.8 | 19.2 | | | | | |
| 10 | 600~1000 | 5 | 9 | 2.9 | 26.1 | 9 | 32.5 | 7 | 50 | 38 |
| | | 7 | 6 | 4.8 | 28.8 | | | | | |
| | | 8 | 5 | 5.6 | 28.0 | | | 2个 | | |
| | | 9 | 4 | 6.7 | 26.8 | | | 2个 | | |
| 11 | 1000~2000 | 6 | 10 | 3.8 | 38.0 | 10 | 43 | 8 | 57 | 51 |
| | | 7 | 8 | 4.8 | 38.4 | | | | | |
| | | 10 | 5 | 7.5 | 37.5 | 10 | 43 | 2个 | | |
| 12 | 2000~4000 | 7 | 10 | 4.8 | 48.0 | 11 | 56.5 | 9 | 64 | 64.4 |
| | | 8 | 8 | 5.6 | 44.8 | | | | | |
| | | 10 | 6 | 7.5 | 45.0 | | | 2个 | | |
| 13 | 4000~7000 | 8 | 13 | 5.6 | 73.0 | 10 | 86 | 10 | 77 | 93 |
| | | 9 | 11 | 6.7 | 74.0 | | | | | |
| | | 10 | 10 | 7.5 | 75.0 | 2个 | | 2个 | | |
| 14 | 7000~10000 | 9 | 14 | 6.7 | 93.8 | 11 | 113 | 9 | 64 | 128.8 |
| | | 10 | 12 | 7.5 | 90.0 | | | | | |
| | | 11 | 9 | 10.8 | 97.2 | 2个 | | 4个 | | |

表 6-90 常用球墨铸铁浇注系统各组元截面尺寸

| 内 浇 道 | | | | | 横 浇 道 | | | | | 直 浇 道 | | |
|-------|---|----|----|-----------------------|-------|--|----|----|-----------------------|-------|---|-----------------------|
| 编号 |  | | | | 编号 |  | | | | 编号 |  | |
| | a | b | c | $F_{内}$ (cm^2) | | a | b | c | $F_{横}$ (cm^2) | | D | $F_{直}$ (cm^2) |
| 1 | 18 | 16 | 6 | 1.0 | 1 | 18 | 12 | 20 | 3.0 | 1 | 20 | 3.1 |
| 2 | 23 | 21 | 7 | 1.5 | 2 | 19 | 14 | 22 | 3.6 | 2 | 23 | 4.2 |
| 3 | 25 | 23 | 8 | 1.92 | 3 | 23 | 15 | 25 | 4.8 | 3 | 27 | 5.7 |
| 4 | 28 | 26 | 9 | 2.40 | 4 | 24 | 18 | 26 | 5.4 | 4 | 29 | 6.3 |
| 5 | 30 | 28 | 10 | 2.90 | 5 | 30 | 22 | 32 | 8.4 | 5 | 35 | 9.8 |
| 6 | 38 | 35 | 11 | 3.80 | 6 | 34 | 23 | 40 | 11.4 | 6 | 41 | 13.3 |
| 7 | 42 | 38 | 12 | 4.80 | 7 | 40 | 30 | 46 | 16.2 | 7 | 50 | 19.0 |
| 8 | 46 | 40 | 13 | 5.60 | 8 | 50 | 38 | 50 | 22.0 | 8 | 57 | 25.5 |
| 9 | 50 | 45 | 14 | 6.70 | 9 | 56 | 45 | 64 | 32.5 | 9 | 64 | 32.2 |
| 10 | 52 | 48 | 15 | 7.50 | 10 | 64 | 50 | 75 | 43.0 | 10 | 77 | 46.5 |
| 11 | 63 | 58 | 18 | 10.8 | 11 | 80 | 60 | 80 | 56.5 | | | |

7.4 铸钢件的浇注系统

7.4.1 铸钢件浇注系统的特点和设计原则

7.4.1.1 铸钢件浇注系统的特点

1) 铸钢的熔点高, 浇注温度高, 钢液对砂型的热作用大, 且冷却快, 流动性差, 所以要求用较短的时间以较低的流率浇注。

2) 钢液容易氧化, 应避免流股分散、激溅和涡流, 保证钢液平稳地充满砂型。

3) 铸钢件体收缩大, 易产生缩孔, 需按定向凝固的原则设计浇注系统, 并用冒口补缩(壁厚均匀的薄壁件除外)。

4) 铸钢件线收缩约为铸铁的 2 倍, 收缩时内应力大, 产生热裂, 变形的倾向也大, 故浇冒口的设置应尽量减小对铸件收缩的阻碍。

7.4.1.2 设计铸钢件浇注系统的原则

1) 保证钢液平稳地注入铸型, 避免钢液流互相撞击或乱流。

2) 内浇道的位置应尽量缩短钢液在型内流动的路程, 以避免铸件产生冷隔等缺陷。

3) 形状复杂的薄壁铸件的内浇口的设置, 应避

免钢液直接冲击型壁或砂芯。如果必须对正型壁或砂芯开设内浇道, 则应使钢液沿切线方向进入型内或使内浇道向铸件方向扩大以减小钢液进入型腔时的冲击作用。

4) 内浇道应避免开在芯头边界及靠近内冷铁、外冷铁、芯撑的地方。

5) 圆筒形铸件的内浇道应沿切线方向开设, 使钢液在型内旋转, 以利于将钢液内的夹杂浮进冒口。

6) 需要补缩的铸件, 内浇道应促使其定向凝固。薄壁均匀、不设冒口的铸件, 内浇道应促使其同时凝固。选择内浇道位置时应尽量避免使铸件因产生内应力而导致变形或开裂。

7) 对高度超过 600mm 的铸件, 需采用多层内浇道以防止浇不到, 冷隔、裂纹和粘砂等缺陷, 多层内浇道的设置应保证钢液自下而上地进入型腔。下层内浇道距铸件底面一般为 200~300mm, 如型腔下部放有内冷铁, 距离还可增大。相邻两层内浇道距离一般在 400~600mm 之间。

8) 为了防止钢液过早地从上层内浇道进入型腔, 可使上层内浇道向上倾斜, 见图 6-115。

9) 浇注大的铸件, 要使钢液平稳地进入铸型, 必须减少浇注时的动压力和静压力, 一般采用缓冲式直浇道。见图 6-116。缓冲式直浇道也能防止上层内浇道过早的进入钢液。

7.4.2 铸钢件浇注系统的形式

除大批量生产线上及浇注小铸件使用转包和茶壶式浇包外, 大多采用漏包浇注。漏包保温性能好, 流出的钢液夹杂物少, 无需采用结构复杂的浇注系统撇渣。用漏包浇注时钢液压力高, 对浇注系统的冲刷作用大, 故中、大型铸件的直浇道往往使用耐火材料砖管, 当流经每个内浇道的钢液量超过 1t 时, 内浇道、横浇道也用耐火砖管。耐火砖管的尺寸应系列化。为使漏包浇注能适应各类铸件 (不同铸件的浇注质(重)量流率不同), 生产中常按非调节性的浇注操作, 即全部打开孔塞, 实际上包孔为最小阻流截面。这样, 浇注系统必须是开放式的。

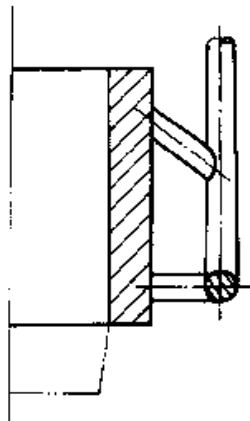


图 6-115 倾斜内浇道

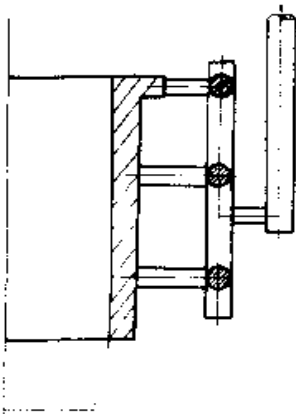


图 6-116 缓冲浇口

7.4.3 漏包浇注时浇注系统

采用漏包浇注铸钢件, 首先 (也是关键) 是选定

漏包包孔直径, 然后按经验比例确定浇注系统各组元的尺寸, 最后检验浇注重量速度和型内液面上升速度是否符合铸件浇注的要求。

7.4.3.1 包孔直径的选择 钢包的容量是根据炉子的容量确定的, 而包孔需与钢包的容量相应, 表 6-91 为常用钢包容量与塞座砖孔直径 (即包孔直径) 的有关数值。

表 6-91 钢包容量与塞座砖孔的直径

| 钢包容量 (t) | 3 | 5 | 8 | 10 | 12 | 30 | 40 | 60 | 90 |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 塞座砖孔直径 (mm) | φ30 | φ35 | φ35 | φ35 | φ55 | φ40 | φ40 | φ40 | φ40 |
| | φ50 | φ40 | φ40 | φ40 | | φ45 | φ45 | φ45 | φ45 |
| | | φ45 | φ45 | φ45 | φ60 | φ50 | φ50 | φ50 | φ50 |
| | | | φ50 | φ50 | | φ55 | φ55 | φ55 | φ55 |
| | | | | φ55 | | φ60 | φ60 | φ60 | φ60 |
| | | | | | | | φ70 | φ70 | φ70 |
| | | | | | | | | φ80 | φ80 |
| | | | | | | | | | φ90 |
| | | | | | | | | | φ100 |

包孔直径和包内液面高度决定了钢液的质 (重) 量流率, 如将包内液面高度的影响简化, 则包孔直径与其对应的钢液质 (重) 量流率的关系如表 6-92。

表 6-92 包孔直径与钢液流率的关系

| 包孔直径 φ (mm) | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 70 | 80 | 100 |
|--------------------|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| 钢液质 (重) 量流率 (kg/s) | 10 | 20 | 27 | 42 | 55 | 72 | 90 | 120 | 150 | 190 |

注: 表中质 (重) 量流率为包孔全开时的平均数值。

7.4.3.2 浇注时间 t 和液面上升速度 v 中、大型铸钢件, 如果浇注时间长、浇注缓慢, 铸型长时间处于钢液辐射热的作用下, 表面易开裂、脱落、局部过热或造成冲砂形成夹砂、裂纹、包砂等缺陷。浇注速度过低还容易在钢液表面形成凝固金属和氧化物的薄膜, 卷入钢液内形成气孔和冷隔皱纹等缺陷。但是, 过快的浇注会产生涡流, 卷入气体也容易使铸件产生气孔。因此, 每一个铸件都有一个适宜的浇注时间范围和合适的液面上升速度。

浇注时间 t 可由下式计算:

$$t = \frac{G}{N \cdot n \cdot v_G}$$

式中 G ——铸件质 (重) 量 (kg);

N ——同时浇注的浇包个数, 一般 $N=1$;

n ——每个浇包所用的塞座砖数，一般 $n=1$ ；

v_G ——钢液的质（重）量流率，见表 6-93。

表 6-93 为文献介绍的适宜浇注时间，供参考。

表 6-93 铸钢件质（重）量与浇注时间的关系

| | | | | | |
|---------------|---------------|----------------|-----------------|----------------------------|----------|
| 质（重） 量（kg） | 500 - 1000 | 1000 - 3000 | 3000 - 5000 | 5000 - 10000 | >10000 |
| 浇注时间 (s) | 12 - 20 | 20 - 50 | 50 - 80 (40) | 40 - 150 (40) - (80) | 80 - 150 |

注：包孔直径 $\phi 40 \sim \phi 65$ ，（ ）内为双包浇注时间。

上述所求得的浇注时间是否合适，可用浇注时钢液在型腔内的上升速度 v 验算： $v=H/t$ ，式中 H 为铸件高度（mm）， t 为浇注时间（s）。液面上升速度 v 是否合适是获得优质铸件的重要因素之一。验算结果若数值太小，就要调整浇注时间，改变浇注质（重）量流率和包孔直径，或者采取其它工艺措施。表 6-94 为钢液在型腔中允许最小的上升速度。但是，大型铸件钢液在型腔中的上升速度也不应大于 30mm/s。

表 6-94 中的数值适用于一般铸件。浇注位置较高的铸件上升速度应适当增加；浇注位置较低的铸件，上升速度可适当减小。

表 6-94 钢液在型腔中允许最小的上升速度

| | | | | | | |
|----------------|----------|--------------|---------------|---------------|----------------|--------|
| 铸件质（重） 量（t） | ≤ 5 | $>5 \sim 15$ | $>15 \sim 35$ | $>35 \sim 65$ | $>65 \sim 100$ | >100 |
| | 铸件结构 | | | | | |
| 简单 | 15 | 10 | 8 | 6 | 5 | 4 |
| 中等 | 20 | 15 | 12 | 10 | 8 | 7 |
| 复杂 | 25 | 20 | 16 | 14 | 12 | 10 |

立浇砧座的钢液上升速度可按表中复杂件选取。

齿轮类铸件的钢液上升速度可按表中简单件选取。

平板、平台类铸件的钢液上升速度可按表中简单件数值降低 20%~30%。

大型合金钢铸件和汽轮机汽缸体铸件（含其它泵铸件）的钢液上升速度可按表中复杂件的数值增加 30%~50%。

高度很低而长度和宽度较大的铸件，虽经调整上升速度值但仍难达到要求时，可按图 6-117 采用倾斜浇注方法，其倾斜的高度 h 取决于砂箱长度 $L_{箱}$ 。当 $L_{箱} < 3000\text{mm}$ 时，按 1:10 的倾斜度垫高，当 $L_{箱} > 3000\text{mm}$ 时倾斜高度 h 在 300~400mm 之间，但 h 不大于 400mm。倾斜浇注计算上升速度时，其高度为铸件高度 H 加上 $1/2h$ 。

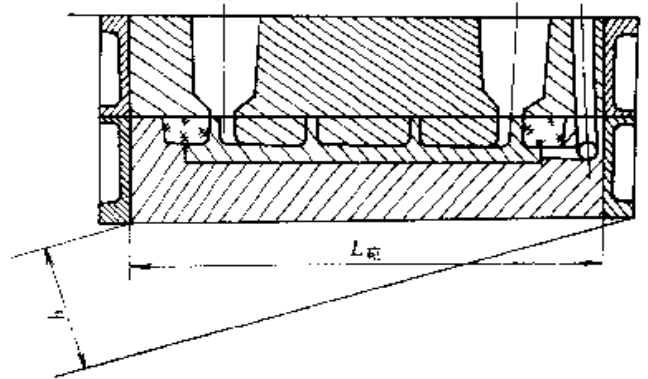


图 6-117 倾斜浇注铸件的垫高 h 与浇注系统

7.4.3.3 浇注系统各组元截面积的计算 用塞杆包浇注铸钢件时，均采用开放式浇注系统，各组元截面积的比例，大体可采用下面比例：

$$F_{包} : F_{直} : F_{横} : F_{内} = 1 : (1.8 \sim 2.0) : (1.8 \sim 2.0) : (2.0 \sim 2.5)$$

式中 $F_{包}$ ——包孔的总截面积（ cm^2 ）；

$F_{直}$ ——直浇道总截面积（ cm^2 ）；

$F_{横}$ ——横浇道总截面积（ cm^2 ）；

$F_{内}$ ——内浇道总截面积（ cm^2 ）。

为了应用方便，可根据包孔直径从表 6-95~表 6-97 中查出浇注系统各组元截面的尺寸。

表 6-95 浇注系统各阻元的截面积

| 包孔直径 (mm) | 一个包孔 的截面积 (cm^2) | 浇注系统各组元截面积（ cm^2 ） | | | 内浇道的 截面积 \geq (cm^2) |
|--------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|---|
| | | 直浇道 | 横浇道 | | |
| | | | 对 称 | 单 向 | |
| 35 | 9.6 | 17.3~19.2 | 8.7~9.6 | 17.3~19.2 | 19.2 |
| 40 | 12.6 | 22.6~25.2 | 11.3~12.6 | 22.6~25.2 | 25.2 |

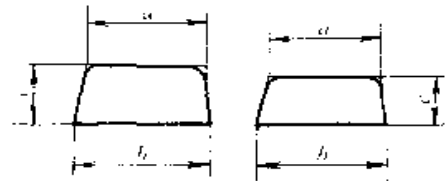
(续)

| 包孔直径 (mm) | 一个包孔 的截面积 (cm ²) | 浇注系统各组元截面积 (cm ²) | | | 内浇道的 截面积 ≥ (cm ²) |
|--------------|------------------------------------|-------------------------------|-----------|------------|-------------------------------------|
| | | 直浇道 | 横浇道 | | |
| | | | 对 称 | 单 向 | |
| 45 | 15.9 | 28.6~31.8 | 14.3~15.9 | 28.6~31.8 | 31.8 |
| 50 | 19.6 | 35.3~39.2 | 17.7~19.6 | 35.3~39.2 | 39.2 |
| 55 | 23.8 | 42.7~47.6 | 21.4~23.8 | 42.7~47.6 | 47.6 |
| 60 | 28.3 | 50~56.6 | 25~28.3 | 50~56.6 | 56.6 |
| 70 | 38.5 | 69.3~77 | 34.7~38.5 | 69.3~77 | 77 |
| 80 | 50.3 | 90.5~101.6 | 45.3~50.8 | 90.5~101.6 | 101.6 |
| 100 | 78.5 | 142~157 | 71~78.5 | 142~157 | 157 |

表 6-96 浇注系统各组元耐火砖管的直径和数量 (mm)

| 包孔直径 <i>d</i> | 直浇道 直径 <i>d₁</i> ≥ | 横浇道直径 <i>d₂</i> | | 内浇道直径 <i>d₃</i> ≥ | | | |
|------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---------|---------------------------------|----|----|-----|
| | | 单向 ≥ | 对称 ≥ | 40 | 60 | 80 | 100 |
| | | | | 每层内浇口数量 (个) | | | |
| 35 | 60 | 60 | 40 | 2 | 1 | — | — |
| 40 | 60 | 60 | 40 | 2 | 1 | — | — |
| 45 | 60 | 60 | 40 | 3 | 1 | — | — |
| 50 | 80 | 80 | 60 | 3 | 2 | 1 | — |
| 55 | 80 | 80 | 60 | 4 | 2 | 1 | — |
| 60 | 100 | 100 | 60 | 5 | 2 | 1 | — |
| 70 | 100 | 100 | 80 | 6 | 3 | 2 | 1 |
| 80 | 120 | 120 | 80 | 8 | 4 | 2 | 1 |
| 100 | 140 | 140 | 100 | 13 | 6 | 3 | 2 |

表 6-97 浇注系统各组元的尺寸和数量 (mm)



| 包孔直径 <i>d</i> | 直浇道 直径 <i>d₁</i> | 数量 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----|----|----|
| | | 单向 | | | 对称 | | | 个 | | 2个 | | 3个 | | 4个 | | | | | | |
| | | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>a</i> | <i>b</i> | | | |
| 35 | 60 | 35 | 45 | 54 | 52 | 53 | 53 | 30 | 45 | 55 | 40 | 30 | 40 | 30 | 25 | 35 | 25 | 20 | 30 | 20 |
| 40 | 60 | 45 | 55 | 50 | 30 | 40 | 35 | 55 | 65 | 45 | 35 | 45 | 35 | 30 | 40 | 25 | 35 | 25 | 35 | 25 |
| 45 | 60 | 50 | 60 | 55 | 35 | 45 | 40 | 60 | 70 | 50 | 35 | 45 | 40 | 30 | 40 | 30 | 25 | 35 | 30 | 30 |
| 50 | 80 | 55 | 65 | 55 | 35 | 45 | 45 | 75 | 85 | 50 | 40 | 50 | 45 | 35 | 45 | 35 | 30 | 40 | 40 | 30 |
| 55 | 80 | 65 | 75 | 65 | 40 | 50 | 50 | 90 | 100 | 50 | 45 | 55 | 50 | 40 | 50 | 40 | 30 | 40 | 30 | 35 |

注：采用包孔直径大于 φ55mm 者，一般应采用耐火砖管浇注系统。

的挡渣能力，因此采用半封闭式的浇注系统-阻流浇口。

内浇道的总断面积 $F_{\text{内}}$ 可按式计算：

$$\sum F_{\text{内}} = \frac{Q}{K \cdot t \cdot L} \quad (\text{cm}^2)$$

- 式中 Q ——浇入铸型内钢液的总质(重)量 (kg)；
- K ——浇注比速 ($\text{kg}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$)，见表 6-98；
- L ——流动性修正系数，碳钢为 1.0、高锰钢为 0.8；
- t ——浇注时间 (s)， $t = C \cdot \sqrt{Q}$ ；
- C ——系数，见表 6-98。

系数 C 、 K 均由铸件相对密度 $K_V = Q/V$ 决定， V 是铸件的轮廓体积，是铸件三个方向最大尺寸的乘积。

7.4.3.4 补浇冒口的专用浇道 大型铸钢件经常在冒口上设置补浇冒口用的专用浇道，以增加冒口补缩效率，减少冒口体积。专用浇道设置的高度要高于补浇前冒口内钢液的液面。如果一个铸件要求多次补浇，专用浇道要相应地沿冒口高度设置。如果一个铸件有多个冒口为保证补浇时型腔内钢液不晃动，应将专用浇道连通，以便通过一个补浇专用直浇道同时向几个冒口内补浇钢液。

专用浇道的断面积为包孔断面积的 1.8~2.0 倍，专用浇道的设置，见图 6-118。

7.4.4 转包浇注时的浇注系统

大量批量生产小型铸钢件时，常采用机器造型，并用转包浇注。这些特点决定了浇注系统必须有较好

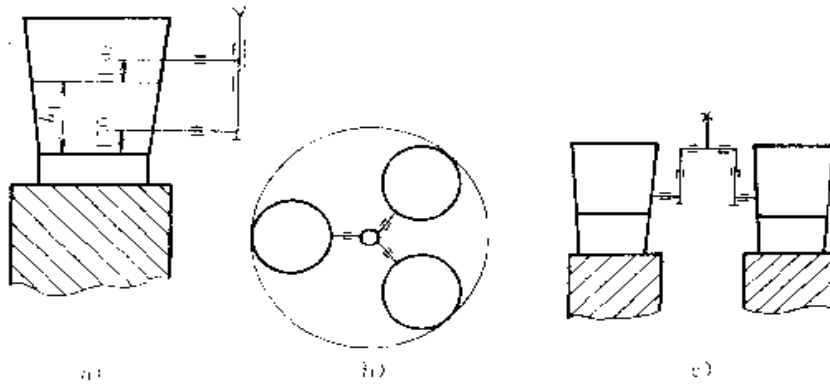


图 6-118 补浇冒口用的专用浇道
 a) 两次补浇的专用浇道 (h_1 —第一次补浇高度)
 b) 三个冒口的专用补浇道
 c) 通过浇道同时补浇两个冒口

表 6-98 系数 C、K 的值

| | | | | | | | |
|-------|-----|---------|---------|---------|---------|---------|------|
| K_V | 0~1 | 1.1~2.0 | 2.1~3.0 | 3.1~4.0 | 4.1~5.0 | 5.1~6.0 | >6.0 |
| C | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 |
| K | 0.6 | 0.65 | 0.7 | 0.75 | 0.8 | 0.9 | 0.95 |

浇注系统各段元截面比例关系如下:

$$F_{内}:F_{横}:F_{直}=1:(0.8\sim0.9):(1.1\sim1.2)$$

表 6-99 是根据上式计算浇注系统所得的数据, 根据浇注钢液质(重)量 Q 和铸件相对密度 K_V , 即可从表 6-99 查得内浇道的总截面积, 并由表 6-100 中查得浇道尺寸。

表 6-99 铸钢件内浇道总截面积

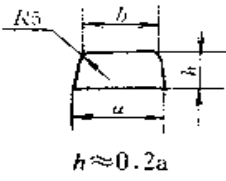
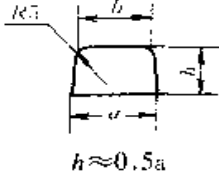
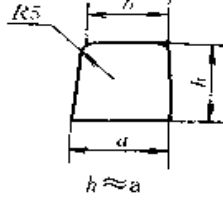
| 浇入钢液 总重 Q (kg) | 铸件相对密度 K_V | | | | | | |
|------------------------|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|------|
| | ≤ 1.0 | 1.1~2.0 | 2.1~3.0 | 3.1~4.0 | 4.1~5.0 | 5.1~6.0 | >6.0 |
| | $\Sigma F_{内} (cm^2)$ | | | | | | |
| 1 | 2.2 | 2.0 | 1.8 | 1.6 | 1.4 | 1.2 | 1.0 |
| 2 | 2.4 | 2.2 | 2.0 | 1.8 | 1.6 | 1.4 | 1.2 |
| 4 | 2.7 | 2.4 | 2.2 | 2.0 | 1.8 | 1.6 | 1.4 |
| 6 | 3.0 | 2.8 | 2.6 | 2.4 | 2.2 | 2.0 | 1.8 |
| 8 | 3.4 | 3.2 | 3.0 | 2.8 | 2.6 | 2.4 | 2.2 |
| 10 | 4.0 | 3.7 | 3.4 | 3.1 | 2.9 | 2.7 | 2.5 |
| 13 | 5.2 | 4.8 | 4.4 | 4.0 | 3.5 | 3.0 | 2.7 |

(续)

| 浇入钢液 总重 Q (kg) | 铸件相对密度 K_V | | | | | | |
|------------------------|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|------|
| | ≤ 1.0 | 1.1~2.0 | 2.1~3.0 | 3.1~4.0 | 4.1~5.0 | 5.1~6.0 | >6.0 |
| | $\Sigma F_{内} (cm^2)$ | | | | | | |
| 16 | 6.3 | 5.9 | 5.2 | 4.6 | 3.9 | 3.4 | 3.0 |
| 20 | 7.5 | 7.7 | 6.2 | 5.4 | 4.5 | 4.0 | 3.4 |
| 25 | 9.1 | 8.7 | 7.0 | 6.1 | 5.1 | 4.5 | 3.8 |
| 30 | 10.2 | 9.3 | 7.5 | 6.7 | 5.6 | 5.0 | 4.2 |
| 35 | 11.7 | 9.8 | 8.3 | 7.2 | 6.1 | 5.3 | 4.5 |
| 40 | 12.5 | 10.6 | 8.8 | 7.7 | 6.4 | 5.6 | 4.8 |
| 45 | 13.4 | 11.2 | 9.4 | 8.9 | 6.9 | 5.9 | 5.1 |
| 50 | 14.2 | 12.0 | 9.8 | 9.0 | 7.2 | 6.2 | 5.3 |
| 60 | 14.8 | 12.8 | 10.9 | 9.4 | 7.9 | 6.9 | 5.9 |
| 70 | 15.6 | 13.9 | 11.5 | 10.2 | 8.6 | 7.2 | 6.4 |
| 80 | 17.6 | 14.9 | 12.3 | 10.9 | 9.1 | 7.8 | 6.9 |
| 90 | 19.4 | 16.3 | 13.1 | 11.5 | 9.7 | 8.3 | 7.3 |
| 100 | 21.2 | 17.8 | 13.9 | 12.1 | 10.2 | 8.8 | 7.7 |
| 120 | 22.6 | 18.5 | 15.4 | 12.4 | 10.8 | 9.4 | 8.2 |
| 140 | 24.4 | 20.0 | 16.6 | 13.2 | 11.4 | 10.0 | 8.8 |
| 160 | 25.5 | 21 | 17.7 | 13.9 | 12.1 | 10.5 | 9.2 |
| 180 | 26.9 | 22 | 18.4 | 14.6 | 12.6 | 11.0 | 9.7 |
| 200 | 29.8 | 24 | 20.3 | 16.3 | 14.0 | 12.2 | 11.4 |

表 6-100 内浇道、横浇道截面尺寸

(mm)

| 截面积 (cm ²) |  | | |  | | |  | | |
|---------------------------|---|----|------|---|----|-----|---|------|------|
| | a | b | h | a | b | h | a | b | h |
| 0.6 | 18 | 16 | 3.5 | 11 | 9 | 6 | 8.5 | 6.5 | 8.0 |
| 0.8 | 20 | 18 | 4.0 | 13 | 11 | 7 | 9.5 | 7.5 | 9.5 |
| 1.0 | 23 | 21 | 4.5 | 15 | 12 | 7.5 | 11 | 8.5 | 10.5 |
| 1.2 | 25 | 23 | 5.0 | 16 | 13 | 8.5 | 12 | 9 | 11.5 |
| 1.4 | 27 | 25 | 5.5 | 18 | 14 | 9 | 13 | 9.5 | 12.5 |
| 1.6 | 29 | 27 | 6.0 | 19 | 15 | 10 | 13.5 | 10.5 | 13.5 |
| 1.8 | 31 | 28 | 6.0 | 20 | 16 | 10 | 14.5 | 10.5 | 14.5 |
| 2.0 | 33 | 30 | 6.5 | 22 | 18 | 10 | 15.5 | 11 | 15 |
| 2.3 | 35 | 33 | 7 | 23 | 19 | 12 | 16.5 | 12.5 | 16.5 |
| 2.6 | 37 | 34 | 7.5 | 24 | 20 | 12 | 17.5 | 13 | 17.5 |
| 3.0 | 40 | 36 | 8 | 26 | 21 | 13 | 19 | 14 | 19 |
| 3.4 | 42 | 39 | 8.5 | 28 | 23 | 14 | 20 | 15 | 20 |
| 3.8 | 44 | 42 | 9.0 | 29 | 24 | 15 | 21.5 | 15.5 | 21 |
| 4.2 | 47 | 43 | 9.5 | 31 | 26 | 15 | 22 | 16.5 | 22 |
| 4.6 | 49 | 45 | 10 | 32 | 27 | 16 | 23 | 17.5 | 23 |
| 5.0 | 51 | 47 | 10 | 33 | 28 | 17 | 24 | 18 | 24 |
| 5.5 | 53 | 49 | 10.5 | 35 | 30 | 17 | 25 | 18.5 | 25 |
| 6.0 | 56 | 52 | 11 | 36 | 31 | 18 | 26 | 20 | 26 |
| 6.5 | 58 | 54 | 11.5 | 37 | 32 | 19 | 27 | 21 | 27 |
| 7.0 | 60 | 56 | 12 | 38 | 32 | 20 | 27.5 | 22 | 27.5 |
| 7.5 | 62 | 58 | 12.5 | 40 | 33 | 20 | 29 | 23 | 29 |
| 8.0 | 64 | 60 | 13 | 42 | 35 | 21 | 30 | 24 | 30 |
| 9.0 | 68 | 62 | 14 | 44 | 38 | 22 | 32 | 25 | 32 |
| 10 | 73 | 65 | 14.5 | 46 | 40 | 23 | 32 | 26 | 34 |

7.5 有色金属铸件的浇注系统

7.5.1 轻合金铸件的浇注系统

轻合金是铝、镁合金的统称，其特点是：密度

小、熔点低、容积热容量小而导热率高，致使在流动过程中温度迅速降低；化学性质活泼、极易氧化和吸收气体，且氧化物的比重与铝液、镁液相近，使混入铝液、镁液中的氧化物难以浮起，凝固体积收缩大。

常见的缺陷有：非金属夹杂物（由泡沫、熔渣和氧化物组成）、浇不到和冷隔、气孔、缩孔、缩松以及裂纹、变形等。

7.5.1.1 铝镁合金铸件浇注系统形式 根据上述特点，轻合金铸件对浇注系统的要求是：保证充型过程平稳，不发生涡流、飞溅和冲击现象，以近乎层流的方式充型；尽可能缩短充型时间，撇渣能力要强，并有利于补缩。因此，轻合金铸件通常采用开放式浇注

系统，且多为底注式或垂直缝隙式，对某些大型复杂件采用联合式，对低于100mm的矮铸件或不重要的小件才可用顶注式。为了良好地撇渣，采用缓流或带滤网缓流式浇注系统；为了减少冲击，防止吸气，直浇道有时做成 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 的倾斜式或蛇形。图6-119为常见的几种浇注系统形式。表6-101为浇注系统形式特点及适用范围，供参考。

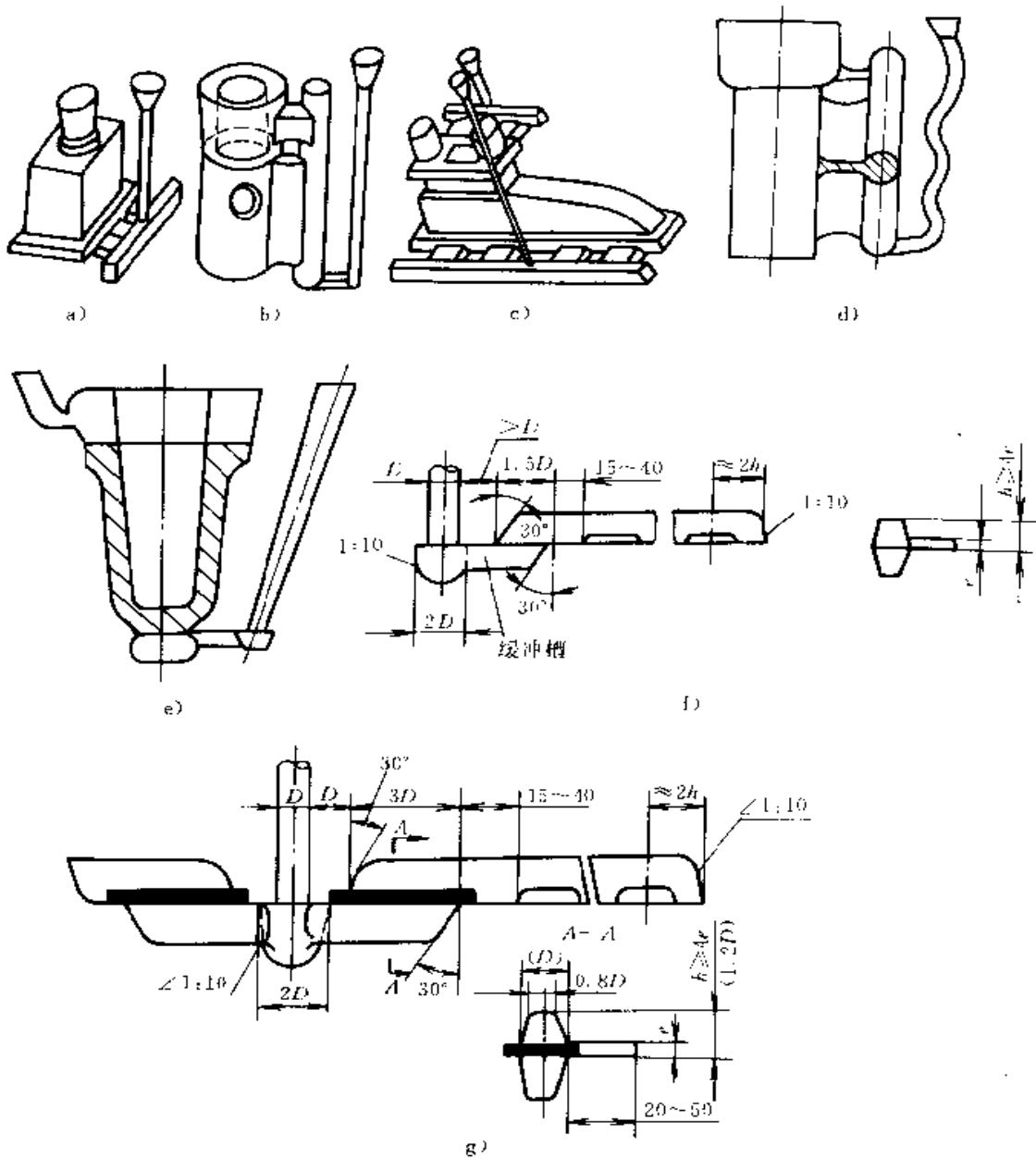


图 6-119 用于铝、镁合金铸件的各种浇注系统

- a) 底注式 b) 缝隙式 c) 联合式
- d) 蛇形直浇道 e) 倾斜式直浇道
- f) 单向缓流式 g) 双向带滤网缓流式

表 6-101 铝、镁合金铸件浇注系统形式及用途

| 形式 | 简 图 | 特 点 及 用 途 |
|---------|-----|---|
| 顶注式 | | <p>有利于铸件自下而上地定向凝固,但充型不平稳,易引起冲击和飞溅,使铸件产生气孔和氧化夹杂等缺陷,适用于外形简单,尺寸较小,高度在 100mm 以下的铝、镁铸件</p> |
| 中注式 | | <p>由于合金液从铸件高度的中间分型面处引入,因而降低液流下落高度,改善了上注式浇注系统充型不平稳的缺点 适用于高度不大的,容易在中间分型(分型后液落高度小于 100mm)的大、中型铝、镁铸件</p> |
| 底注式 | | <p>合金液自下而上地平稳地充填铸型,充型效果好,但不利于自下而上地定向凝固,当铸件较高时,可在冒口部分设置补充浇道或直接在冒口补浇,以提高冒口补缩作用 广泛地应用于较高的大、中型铝、镁铸件</p> |
| 简单缝隙式 | | <p>合金液流动平稳,热分布合理,但去除浇道比较麻烦,金属液消耗多,缝隙厚度设计不良时容易在缝隙附近或对面产生缩松和裂纹。此法为把扁平内浇道竖放而成 多应用于支架类铸件</p> |
| 带立筒的缝隙式 | | <p>具有顶注式和底注式的浇注系统的优点,但结构复杂,浇道去除困难。金属液消耗多,缝隙厚度和立筒设计不良时,容易在缝隙附近或对面引起缩松和裂纹 大多应用于镁合金筒形铸件和金属液下落高度较大的铸件</p> |

(续)

| 形式 | 简 图 | 特 点 及 用 途 |
|-------|-----|--|
| 复 合 式 | | <p>根据铸件结构复杂程度，为了保证铸件冶金品质（质量），此种形式综合了上述形式的特点</p> <p>一般适用特殊复杂的大型铸件</p> |

7.5.1.2 铝、镁合金浇注系统各组元的截面积 轻合金铸件一般采用开放式浇注系统，各组元常用的截面积比，见表 6-102。

表 6-102 铝、镁合金铸件浇注系统各组元的截面积比

| 合金种类 | $\Sigma F_{直} : \Sigma F_{横} : \Sigma F_{内}$ | | |
|------|--|----------|-----------|
| | 大型铸件 | 中型铸件 | 小型铸件 |
| 镁合金 | 1: (3~5) | 1: (2~4) | 1: (2~3) |
| | : (3~8) | : (3~6) | : (1.5~4) |
| 铝合金 | 1: (2~5) | 1: (2~4) | 1: (2~3) |
| | : (2~6) | : (2~4) | : (1.5~4) |

直浇道的截面积最小，以先确定直浇道的截面积为宜。铝合金铸件，可根据浇注质（重）量按表 6-103 选定直浇道的截面积，镁合金也可参照采用。

采用滤渣网的浇注系统，滤渣网网眼总面积可按如下比例求得：

$$F_{直} : F_{网} = 1 : (0.6 \sim 0.8)$$

滤渣网可用薄铁片制成其厚度为 0.3~0.8mm，网孔直径 $\phi 1.5 \sim 2.5\text{mm}$ ，孔洞率 $\geq 30\%$ 。滤渣网也可用镀锌铁丝制成，对铝镁合金，网孔 0.8~1mm，其它铝合金 1~2mm。滤网要干净，上喷涂料，使用前经 200℃ 预热 15~20min。滤渣网安放在横浇道的搭接处（图 6-120）或横浇道内，并与金属液流成一定角度。

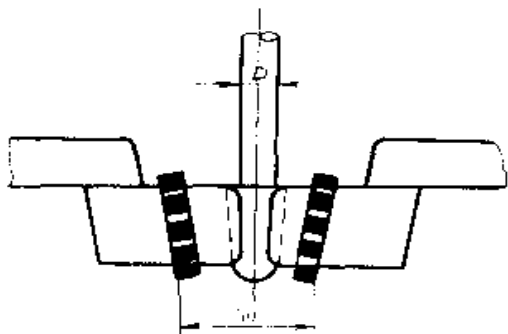


图 6-120 滤渣网的安放

(2) 横浇道和内浇道 直浇道截面积选定后，可根据铸件特点和工装条件参考表 6-102 确定横浇道和内浇道的截面积。

7.5.1.3 浇注系统各组元的结构及尺寸 轻合金铸件浇注系统中，浇口杯的形式有漏斗式、箱式和杯式，其形状、特点和尺寸见表 6-104 和表 6-105。直浇道形式有圆锥形、片状和蛇形，其形状、特点和尺寸见表 6-106 和表 6-107。截面积在 3.2cm^2 以下时可采用圆形或片状，圆形直浇道的直径最好不超过 20mm 以防产生涡流、吸气。截面积在 3.2cm^2 以上时，宜采用片状，当直浇道总截面积较大时可用 2 个或 2 个以上直浇道。

各组元的截面积虽可计算，但通常采用经验数据。

(1) 直浇道 铝、镁合金铸件的浇注系统中，

表 6-103 铝合金铸件浇注质（重）量与直浇道截面积的关系

| 液体金属浇注质（重）量 (kg) | ≤ 5 | 5~10 | 10~15 | 15~30 | 30~50 | 50~100 | 100~250 | 250~500 | >500 |
|--------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------------------------|---|---|---------------------------------|
| 直浇道截面积 (cm^2) | 1.5~3 | 3~4 | 4~5 | 5~7 | 7~10 | 10~15 | 15~20 | 20~30 | >30 |
| 直浇道直径 (mm) | 14~20 | 20~22 | 22~25 | 25~30 | 30~35 | $(25 \sim 30) \times 2$ | $(30 \sim 35) \times 2$ 或 $(22 \sim 25) \times 4$ | $(35 \sim 45) \times 2$ 或 $(25 \sim 30) \times 4$ | $>45 \times 2$ 或 $>30 \times 4$ |

表 6-104 浇口杯的形式

| 形 式 | 图 例 | 特 点 与 应 用 |
|-------------|-----|--|
| 漏斗式 | | 可在砂型中直接挖出或用简单的金属浇口圈做出，操作方便。一般用于小型铸件 |
| 箱式 钢板焊接式 | | 用钢板焊接成或用铸铁制成。使用时需预热内壁、喷刷涂料。因温度高，操作不方便，仅适用于大、中型铸件 |
| 杯 砂芯式 | | 由芯盒制出后经烘烤而成，使用方便，但强度较差。适用于中型铸件 |
| 式 砂箱式 | | 配合模样，在小砂箱内用手工舂砂做出，劳动强度较大。用于大、中型铸件 |

表 6-105 砂芯式浇口杯的容量与尺寸

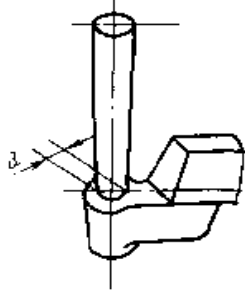
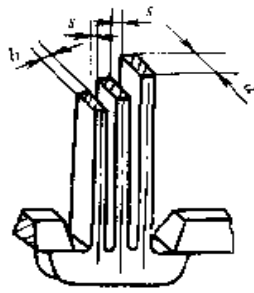
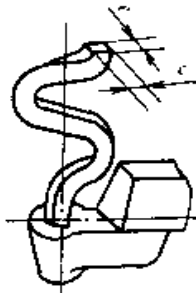
| 浇口杯序号 | 适宜浇注铝液重量 (kg) | 浇口杯可容铝液重量 (kg) | 浇 口 杯 尺 寸 (mm) | | | | | | |
|-------|---------------|----------------|----------------|-----|-------|-----|-----|-----|-------|
| | | | L | B | B_1 | h | e | r | r_1 |
| 1 | 25 | 5 | 175 | 130 | 125 | 100 | 70 | 25 | 12 |
| 2 | 40 | 12 | 230 | 170 | 160 | 130 | 90 | 30 | 15 |
| 3 | 50 | 18 | 270 | 200 | 190 | 150 | 110 | 35 | 18 |
| 4 | 70 | 26 | 310 | 230 | 220 | 180 | 125 | 40 | 20 |

(续)

| 浇口杯序号 | 适宜浇注铝液重量 (kg) | 浇口杯可容铝液重量 (kg) | 浇口杯尺寸 (mm) | | | | | | |
|-------|---------------|----------------|------------|-----|----------------|-----|-----|----|----------------|
| | | | L | B | B ₁ | h | e | r | r ₁ |
| 5 | 100 | 42 | 350 | 260 | 250 | 200 | 140 | 45 | 22 |
| 6 | 120 | 50 | 385 | 290 | 270 | 220 | 150 | 50 | 25 |
| 7 | 160 | 75 | 430 | 325 | 295 | 245 | 170 | 58 | 28 |
| 8 | 220 | 110 | 485 | 365 | 340 | 275 | 195 | 65 | 32 |
| 9 | 300 | 150 | 545 | 405 | 380 | 305 | 215 | 70 | 36 |
| 10 | 400 | 205 | 605 | 450 | 425 | 340 | 240 | 80 | 40 |

- 注：1. 此种浇口杯一般由型砂或芯砂做成，其出口孔处应做成良好的圆角，出口孔的直径与数量应与直浇道(上端)一致。
 2. 为加强撇渣、稳流等作用，常采用浇口塞或堵片。当采用浇口塞时，应使其形状与浇口杯出口孔很好吻合，故多采用圆头塞，并在浇注前，塞紧浇杯出口孔，待浇入的金属液之液面升过浇杯高度的 2/3 时再缓缓打开；当采用浇口堵片时，应使其与铸件之合金牌号相同，并经吹砂、预热后，将其堵于浇杯出口孔处，待浇入的金属液之液面升过浇杯高度的 2/3 时，自行熔化掉，故堵片厚度依金属液充满浇杯的时间确定（一般取 3~8mm）。
 3. 本表所列浇口杯规格，仅供参考。

表 6-106 直浇道的形式

| 形式 | 图 例 | 特点与应用 |
|-----|---|---|
| 圆锥形 |  | 浇道模制造容易，造型方便，浇道太粗时，容易产生涡流，从而使铸件易形成氧化夹渣和气孔。适用于中、小型铸件。浇道直径最好不超过 25mm，若必须采用较大的直浇道截面时，应改用 2 个或数个较小的圆截面直浇道或采用其它形式（如片状排列式）直浇道 |
| 片状 |  | 能使合金液流动平稳，不易引起涡流，有利于防止铸件形成氧化夹渣和气孔。常用于大、中型铸件。片状浇道冷却快，故选取断面时，应比圆断面略大些 |
| 蛇形 |  | 浇道阻力由浇道曲折数控制，使液流平稳无冲击力和涡流产生，须做专用的浇道芯盒。多用于大、中型铸件 |

横浇道的断面形状多数为梯形，其截面尺寸见表 6-108；内浇道的断面形状有高梯形和扁平梯形，其

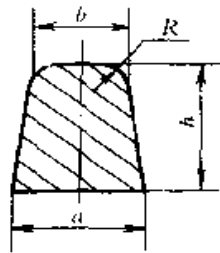
截面尺寸见表 6-109 和表 6-110。

表 6-107 直浇道尺寸

| 截面积 (cm ²) | 圆锥形 <i>d</i> | 片 状 | | | | 蛇 形 | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----|-----|-----|-----|--|
| | | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>n</i> | <i>s</i> | <i>c</i> | <i>e</i> | 曲折数 (铝/镁) | | | | | |
| | | | | | | | | 直 浇 道 高 度 | | | | | |
| | | | | | | | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | | |
| 0.8 | 10 | | | | | 13 | 6 | 2/3 | 3/4 | 4/6 | 5/7 | 6/8 | |
| 1.0 | 12 | | | | | 14 | 7 | 2/3 | 3/4 | 4/6 | 5/7 | 6/8 | |
| 1.5 | 14 | 16 | 5 | 2 | 18 | 19 | 8 | 2/3 | 3/4 | 4/6 | 5/7 | 6/8 | |
| 2.0 | 16 | 20 | 5 | 2 | 18 | 22 | 9 | 2/3 | 3/4 | 4/6 | 5/7 | 6/8 | |
| 2.5 | 18 | 22 | 6 | 2 | 20 | 25 | 10 | 2/3 | 3/4 | 3/5 | 5/7 | 6/8 | |
| 3.0 | 20 | 20 | 5 | 3 | 18 | 27 | 11 | 2/3 | 3/4 | 3/5 | 5/7 | 6/8 | |
| 3.5 | 21 | 20 | 6 | 3 | 20 | 29 | 12 | 1/2 | 2/4 | 3/5 | 4/6 | 5/8 | |
| 4.0 | 23 | 22 | 6 | 3 | 20 | 31 | 13 | 1/2 | 2/4 | 3/5 | 4/6 | 5/8 | |
| 5.0 | 25 | 22 | 6 | 4 | 20 | 36 | 14 | 1/2 | 2/4 | 3/5 | 4/6 | 5/7 | |
| 6 | | 25 | 8 | 3 | 25 | 38 | 16 | 1/2 | 2/3 | 3/4 | 4/6 | 5/7 | |
| 7 | | 30 | 8 | 3 | 25 | 41 | 17 | 1/2 | 2/3 | 3/4 | 4/6 | 4/6 | |
| 8 | | 25 | 8 | 4 | 25 | 45 | 18 | 1/2 | 2/3 | 3/4 | 4/5 | 4/6 | |
| 10 | | 30 | 8 | 4 | 25 | 50 | 20 | 1/2 | 2/3 | 3/4 | 3/5 | 4/6 | |
| 12 | | 25 | 8 | 6 | 25 | | | | | | | | |
| 14 | | 30 | 8 | 6 | 25 | | | | | | | | |
| 16 | | 25 | 8 | 8 | 25 | | | | | | | | |
| 20 | | 30 | 8 | 8 | 25 | | | | | | | | |
| 22 | | 25 | 8 | 12 | 25 | | | | | | | | |
| 25 | | 25 | 8 | 12 | 25 | | | | | | | | |
| 28 | | 30 | 8 | 12 | 25 | | | | | | | | |

注：表中 n 为片状浇道的数量，其它代号见表 6-106 中插图。

表 6-108 梯形截面横浇道的截面尺寸



$$b = 0.8a$$

$$h = a, 1.2a, 1.5a \text{ 且 } h \geq 4e$$

$$R = 3 \sim 5 \text{ mm}$$

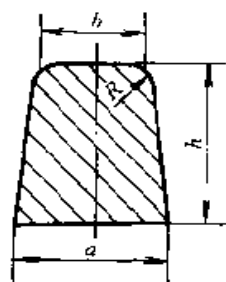
e 为内浇道厚度

| $h = a$ | | | $h = 1.2a$ | | | | $h = 1.5a$ | | | |
|----------|----------|---------------------------|------------|----------|----------|---------------------------|------------|----------|----------|---------------------------|
| <i>a</i> | <i>b</i> | 截面积 (cm ²) | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>h</i> | 截面积 (cm ²) | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>h</i> | 截面积 (cm ²) |
| (mm) | | | (mm) | | | | (mm) | | | |
| 15 | 12 | 2.0 | 16 | 13 | 19 | 2.8 | 16 | 13 | 24 | 3.5 |
| 18 | 14.5 | 2.9 | 17 | 13.5 | 20.5 | 3.2 | 17 | 13.5 | 25.5 | 3.9 |
| 19 | 15 | 3.2 | 18 | 14.5 | 21.5 | 3.5 | 18 | 14.5 | 27 | 4.4 |
| 20 | 16 | 3.6 | 19 | 15 | 23 | 3.9 | 19 | 15 | 28.5 | 5 |
| 21 | 17 | 4.0 | 20 | 16 | 24 | 4.2 | 20 | 16 | 30 | 5.4 |
| 22 | 17.5 | 4.4 | 21 | 17 | 25 | 4.8 | 21 | 17 | 31.5 | 6 |

(续)

| $h = a$ | | | $h = 1.2a$ | | | | $h = 1.5a$ | | | |
|---------|------|--------------------------|------------|------|------|--------------------------|------------|------|------|--------------------------|
| a | b | 截面积 (cm^2) | a | b | h | 截面积 (cm^2) | a | b | h | 截面积 (cm^2) |
| (mm) | | | (mm) | | | | (mm) | | | |
| 23 | 18.5 | 4.8 | 22 | 17.5 | 26.5 | 5.2 | 22 | 17.5 | 33 | 6.5 |
| 24 | 19 | 5.2 | 23 | 18.5 | 27.5 | 5.7 | 23 | 18.5 | 34.5 | 7.2 |
| 25 | 20 | 5.6 | 24 | 19 | 29 | 6.2 | 24 | 19 | 36 | 7.8 |
| 26 | 21 | 6.1 | 25 | 20 | 30 | 6.8 | 25 | 20 | 37.5 | 8.5 |
| 27 | 21.5 | 6.5 | 26 | 21 | 31 | 7.3 | 26 | 21 | 39 | 9.2 |
| 28 | 22.5 | 7.1 | 27 | 21.5 | 32.5 | 7.9 | 27 | 21.5 | 40.5 | 9.8 |
| 29 | 23 | 7.5 | 28 | 22.5 | 33.5 | 8.5 | 28 | 22.5 | 42 | 10.6 |
| 30 | 24 | 8.1 | 29 | 23 | 35 | 9.1 | 29 | 23 | 43.5 | 11.3 |
| 32 | 25.5 | 9.2 | 30 | 24 | 36 | 9.7 | 30 | 24 | 45 | 12.2 |
| 34 | 27 | 10.4 | 32 | 25.5 | 38.5 | 11.1 | 32 | 25.5 | 48 | 13.8 |
| 36 | 29 | 11.5 | 34 | 27 | 41 | 12.5 | 34 | 27 | 51 | 15.5 |
| 38 | 30.5 | 13 | 36 | 29 | 43 | 14 | 35 | 28 | 52.5 | 16.5 |
| 40 | 32 | 14.4 | 38 | 30.5 | 45.5 | 15.5 | 36 | 29 | 54 | 17.3 |
| 44 | 35 | 17.4 | 40 | 32 | 48 | 17.3 | 38 | 30.5 | 57 | 19.5 |
| 48 | 38.5 | 20.8 | 45 | 36 | 54 | 21.8 | 40 | 32 | 60 | 21.6 |

表 6-109 高梯形截面内浇道的截面尺寸



$h = a, 1.2a, 1.5a$
 $R = 2 \sim 3$

| $h = a$ | | | $h = 1.2a$ | | | | $h = 1.5a$ | | | |
|---------|-----|--------------------------|------------|-----|-----|--------------------------|------------|-----|-----|--------------------------|
| a | b | 截面积 (cm^2) | a | b | h | 截面积 (cm^2) | a | b | h | 截面积 (cm^2) |
| (mm) | | | (mm) | | | | (mm) | | | |
| 10 | 8 | 0.9 | 10 | 8 | 12 | 1.1 | 10 | 8 | 15 | 1.4 |
| 12 | 10 | 1.3 | 12 | 10 | 14 | 1.5 | 12 | 10 | 18 | 2.0 |
| 15 | 12 | 2.0 | 15 | 12 | 18 | 2.4 | 15 | 12 | 23 | 3.1 |
| 18 | 15 | 3.0 | 18 | 15 | 22 | 3.6 | 18 | 15 | 27 | 4.5 |
| 20 | 16 | 3.6 | 20 | 16 | 24 | 4.3 | 20 | 16 | 30 | 5.4 |
| 22 | 18 | 4.4 | 22 | 18 | 26 | 5.2 | 22 | 18 | 33 | 6.6 |
| 25 | 20 | 5.7 | 25 | 20 | 30 | 6.8 | 25 | 20 | 38 | 8.6 |

注：梯形截面内浇道主要用于金属液从铸件最后凝处（厚壁部位）引入，并需内浇道有补缩作用的情况，此时常于内浇道前部设补缩暗冒口。

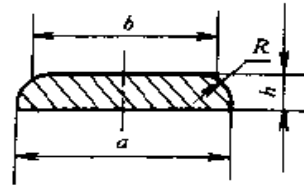
内浇道一般开在壁厚的部位（凝固较慢），以便造成定向凝固，此时内浇道形状为高梯形，并在内浇道前设补缩暗冒口；对壁厚均匀的铸件，内浇道一般开在壁较薄的部位（凝固较快）并力求均匀分布，以便造成同时凝固，此时内浇道形状为扁平状。内浇道厚度一般为引入处铸件壁厚的 50%~100%，对于薄

壁件可取比铸件壁厚小 2mm。内浇道与铸件的接合处，适当扩大成喇叭状并带圆角，以避免产生冲击，使充型平稳。

采用垂直缝隙式浇道的形式时，缝隙浇道的形式见图 6-121，其尺寸可由表 6-111 中选取。

表 6-110 扁平内浇道的截面尺寸

(mm)



常取 $R=2\sim3$

| 截面积 (cm^2) | $h \approx \frac{a}{5}$ | | | $h=4$ | | $h=5$ | | $h=6$ | | $h=7$ | | $h=8$ | | $h=9$ | | $h=10$ | | $h=12$ | |
|--------------------------|-------------------------|----|------|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|------|-------|----|--------|----|--------|----|
| | a | b | h | a | b | a | b | a | b | a | b | a | b | a | b | a | b | a | b |
| 0.6 | 18 | 16 | 3.5 | 18 | 16 | 13 | 11 | | | | | | | | | | | | |
| 0.7 | 19 | 17 | 4 | 19 | 17 | 15 | 13 | | | | | | | | | | | | |
| 0.8 | 21 | 19 | 4 | 21 | 19 | 17 | 15 | | | | | | | | | | | | |
| 0.9 | 22 | 20 | 4.5 | 24 | 22 | 19 | 17 | 16 | 14 | | | | | | | | | | |
| 1.0 | 23 | 21 | 4.5 | 26 | 24 | 21 | 19 | 18 | 16 | | | | | | | | | | |
| 1.2 | 25 | 23 | 5 | 31 | 29 | 25 | 23 | 21 | 19 | 18 | 16 | | | | | | | | |
| 1.4 | 27 | 25 | 5.5 | 36 | 34 | 29 | 27 | 25 | 22 | 21 | 19 | | | | | | | | |
| 1.6 | 29 | 27 | 6 | | | 33 | 31 | 29 | 27 | 24 | 22 | 21 | 19 | | | | | | |
| 1.8 | 31 | 28 | 6 | | | 37 | 35 | 31 | 28 | 27 | 24 | 24 | 22 | | | | | | |
| 2.0 | 33 | 30 | 6.5 | | | 41 | 39 | 35 | 32 | 30 | 27 | 26 | 24 | | | | | | |
| 2.2 | 34 | 32 | 7 | | | | | 39 | 35 | 34 | 32 | 29 | 26 | 25 | 24 | | | | |
| 2.5 | 36 | 34 | 7.5 | | | | | 44 | 40 | 38 | 34 | 33 | 30 | 29 | 27 | | | | |
| 2.8 | 38 | 36 | 7.5 | | | | | | | 42 | 38 | 37 | 33 | 32 | 30 | 29 | 27 | | |
| 3.0 | 39 | 37 | 8 | | | | | | | 45 | 41 | 39 | 37 | 35 | 33 | 31 | 29 | | |
| 3.3 | 41 | 38 | 8 | | | | | | | 50 | 47 | 41 | 38 | 38 | 36 | 34 | 32 | | |
| 3.6 | 43 | 40 | 8.5 | | | | | | | | | 47 | 43 | 41 | 39 | 37 | 35 | | |
| 3.8 | 44 | 41 | 9 | | | | | | | | | 50 | 47.5 | 44 | 41 | 39 | 37 | | |
| 4.2 | 47 | 43 | 9.5 | | | | | | | | | 55 | 52.5 | 48 | 45 | 43 | 41 | 36 | 34 |
| 4.8 | 50 | 46 | 10 | | | | | | | | | | | 55 | 52 | 50 | 46 | 41 | 39 |
| 5.4 | 53 | 49 | 10.5 | | | | | | | | | | | 62 | 58 | 56 | 52 | 47 | 43 |
| 6.0 | 56 | 53 | 11 | | | | | | | | | | | | | 63 | 57 | 52 | 48 |
| 6.7 | 59 | 57 | 11.5 | | | | | | | | | | | | | 69 | 65 | 58 | 54 |
| 8.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 70 | 66 |

注：1. 扁平内浇道能有效防止金属液吸渣入型，并常以分散、均布及增加其数目等途径来调节温差和凝固顺序。根据需要，常取其厚度为 4~10mm（约为流入处铸件壁厚的 50%~100%，对于薄壁处可取比其壁厚小 2mm），常用壁厚比 4~6，即表中折线框内所示数据。表内除“ $h \approx \frac{a}{5}$ ”一栏外，各栏自上而下所列断面尺寸之宽厚比依次增大。

2. 内浇道入口处应倒圆，并最好采取向型腔方向逐渐加宽的扩张式引入方法。

3. 内浇道长度应视具体情况而定，常取 20~50mm。

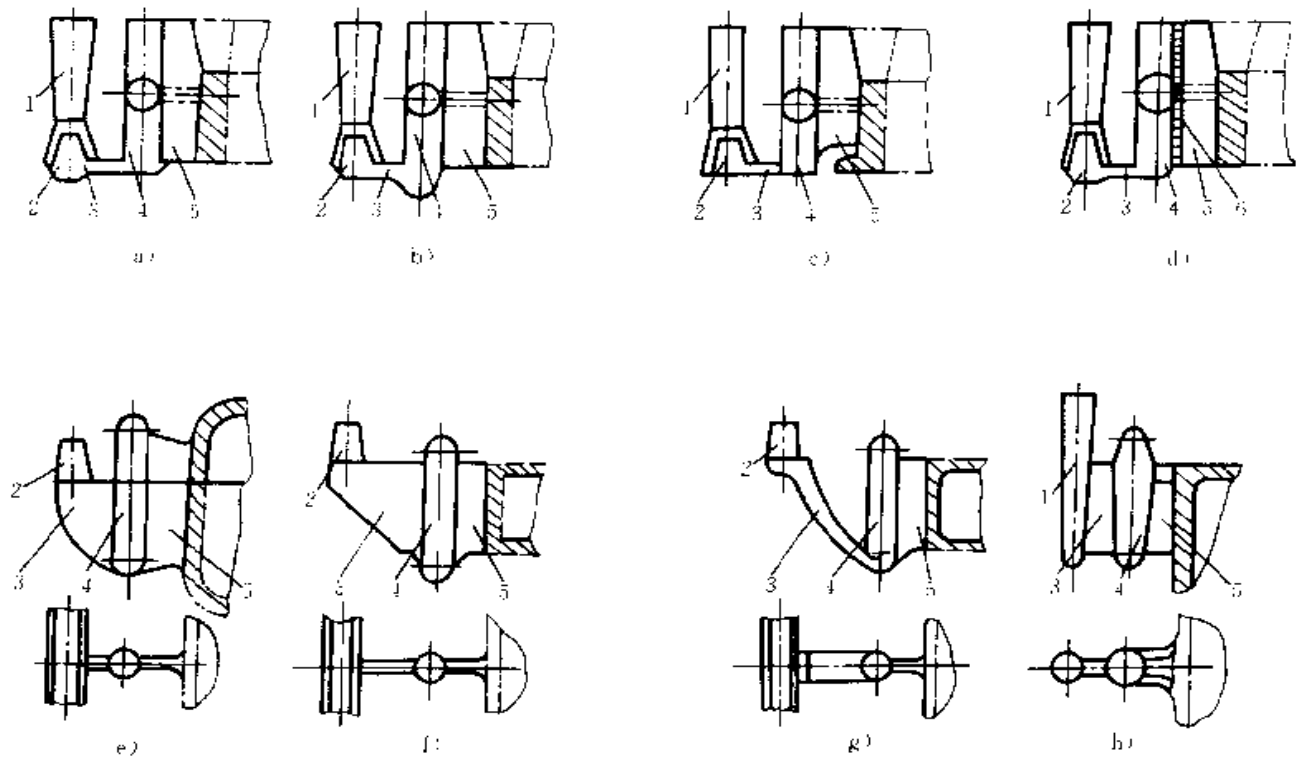


图 6-121 缝隙浇道的形式

1—直浇道 2—横浇道 3—过渡浇道 4—集渣包 5—缝隙 6—过渡网

7.5.2 铜合金铸件的浇注系统

表 6-111 缝隙浇道的尺寸

| 部位名称 | 尺寸关系 | 示图 |
|------------------------|---|--|
| 缝隙厚度 a | 设：缝隙浇道处铸件壁厚为 δ 则 $\delta \geq 10\text{mm}$ ，取 $a = 0.8 \sim 1\delta$ $\delta < 10\text{mm}$ ，取 $a = 1 \sim 1.5\delta$ 有时，为将热节引向集渣筒与冒口，可取 $a > 1.5\delta$ ， 并可考虑在缝隙对面放适宜的冷铁激冷 | <p>1—外浇口 2—直浇道 3—集渣筒 4—缝隙浇道 5—铸件 6—顶冒口</p> |
| 缝隙长度 b | 视具体情况而定，常取 $15 \sim 35\text{mm}$ | |
| 集渣筒直径 D | $D = 4 \sim 6a$ | |
| 缝隙数目 n | $n = \frac{0.024P}{a}$ 式中 P —铸件外围周长 (mm) | |
| 过渡浇道截面积 $F_{\text{过}}$ | $F_{\text{过}} = (2 \sim 5) F_{\text{直}}$ $F_{\text{直}}$ —直浇道截面积 | |

- 注：1. 缝隙浇道应尽量设在铸件外形较为平直的垂直面，避免在高度方向上中断。
 2. 缝隙可做成上厚下薄，但除冒口部位外，不宜突变，通常取上下厚薄一致或以 $1^\circ \sim 2^\circ$ 向上渐扩。
 3. 缝隙的最低点应高于直浇道进入集渣筒的高度，以利浮渣。
 4. 当铸件较高或考虑补缩的需要，可将缝隙与冒口连通，加厚冒口处缝隙厚度。

实际生产中铜合金铸件的浇注系统,一般可由查表法确定。根据铸件质(重)量,由图 6-122 可查得直浇道直径,再由表 6-112 确定浇注系统各组元的尺寸。

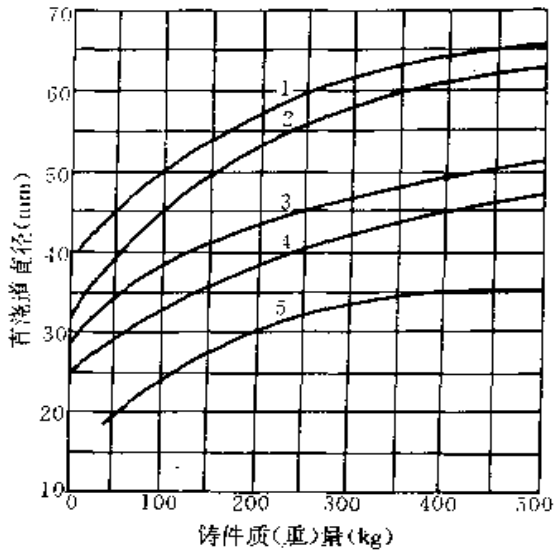


图 6-122 直浇道直径和铸件质(重)量的关系

- 1—适用于锡青铜类壁厚为 3~7mm 的铸件
- 2—适用于锡青铜类壁厚为 8~30mm 的铸件
- 3—适用于锡青铜类壁厚为 >30mm 的铸件
- 4—适用于无锡青铜和黄铜铸件
- 5—适用于特殊黄铜铸件。

表 6-112 铜合金铸件浇注系统各组元截面积比及适用范围

| 合金种类 | 各组元截面积比 | | | | | 适用范围 |
|--------|---------|---------|---------|---------|----------|----------------------------|
| | $F_{直}$ | $F_{网}$ | $F_{横}$ | $F_{内}$ | $F_{直出}$ | |
| 锡青铜 | 1 | | 1.2~2 | 1.2~3 | | 复杂的大、中型铸件,采用底部注入式且内浇道处不设冒口 |
| | 1 | 0.9 | 1.2~2 | 1.2~3 | | |
| | 1.2 | 0 | 1.5~2 | 1 | | 阀体类铸件,采用雨淋式浇道且内浇道处设暗冒口补缩 |
| | 1.2 | 1 | 1.5 | 2~3 | | 阀体类铸件,采用带滤渣网的浇注系统 |
| 铝青铜及黄铜 | 1 | 0.9 | 1.2 | 3~10 | | 复杂的大型铸件 |
| | 1 | 0.9 | 1.2 | 1.5~2 | | 中、小型铸件 |
| 特殊黄铜 | 1 | 1 | 2~2.5 | 10~30 | 0.8 | 螺旋桨铸件 |

表 6-113 水平阻流式浇注系统的要素

| 铸件重量(kg) | 铸件壁厚(mm) | 直浇道直径(mm) | 直浇道截面积(cm^2) | 横浇道截面积(cm^2) | 内浇道截面积(cm^2) | 水平阻流片截面积(cm^2) |
|----------|----------|-----------|------------------|------------------|------------------|--------------------|
| <10 | 5~8 | 20 | 3.1 | 6.2~7.8 | 5.0~5.6 | 1.9 |
| 10~30 | 5~10 | 25 | 4.9 | 9.8~12.2 | 7.8~8.8 | 2.9 |

7.6 特殊形式浇注系统

分析液态合金在浇道中流动状况可知,当金属液的流动速度有变化,如浇道断面积突然改变(扩大或缩小)、流动方向变化或金属液流受到冲击时,将有惯性力产生,因此合理地改变浇道结构,既能利用惯性力加强浇道的撇渣效果,又可以减小金属液对砂型砂芯的冲刷作用。在浇注系统中加设滤渣网和离心集渣包,采用阻流、缓流、压力、雨淋等特殊形式的浇注系统,是生产中经常使用的方法。

7.6.1 阻流式浇注系统

阻流式(节流式)浇注系统,其结构的特点是在直浇道下部(或横浇道中)有一个垂直的缝隙(称阻流片,图 6-123a 中的 5),或于横浇道前端(靠近直浇道处)设置一段水平的狭窄通道(图 6-123b 中的 6)。阻流式浇注系统各组元中,阻流片的断面积最小,靠它来控制液流流量及增加流动阻力。由于阻流片的阻流作用,直浇道能很快充满,有利于渣粒留在浇口杯中。金属液流通过狭窄的阻流缝隙,向上减速进入断面积宽大的横浇道中,也有利于渣粒上浮和撇渣。

7.6.1.1 水平阻流式 水平式阻流片结构简单,适用于手工造型,水平阻流式浇注系统要素见表 6-113。

(续)

| 铸件重量 (kg) | 铸件壁厚 (mm) | 直浇道直径 (mm) | 直浇道截 面积(cm^2) | 横浇道截面积 (cm^2) | 内浇道截面积 (cm^2) | 水平阻流片截面积 (cm^2) |
|--------------|--------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 30~50 | 6~10 | 30 | 7.1 | 14.2~17.7 | 11.3~12.8 | 4.3 |
| 50~100 | 6~12 | 35 | 9.6 | 19.2~24 | 15.3~17.3 | 5.8 |
| 100~300 | 7~14 | 40 | 12.6 | 25.2~31.5 | 20.2~22.7 | 7.6 |
| 300~500 | 7~16 | 45 | 15.9 | 31.8~39.8 | 25.4~28.5 | 9.5 |
| 500~1000 | 8~18 | 50 | 19.6 | 39.2~49 | 31.4~35.6 | 11.8 |
| 1000~1500 | 8~20 | 55 | 23.8 | 48~60 | 38~43 | 14.3 |
| 1500~2000 | 9~22 | 60 | 28.3 | 57~71 | 45~51 | 17 |
| 2000~2500 | 9~24 | 65 | 33.2 | 66~83 | 53~60 | 19.9 |
| 2500~3000 | 10~26 | 70 | 38.5 | 77~96 | 62~69 | 23.1 |
| 3000~4000 | 10~28 | 75 | 44.2 | 88~101 | 71~80 | 26.5 |
| 4000~5000 | 11~30 | 80 | 50.3 | 101~126 | 80~91 | 30.2 |
| 5000~6000 | 11~32 | 85 | 56.7 | 113~142 | 91~102 | 34 |
| 6000~7000 | 12~34 | 90 | 63.6 | 127~159 | 102~114 | 38.2 |
| 7000~8000 | 12~36 | 95 | 70.9 | 142~177 | 113~128 | 42.5 |
| 8000~10000 | 14~40 | 100 | 78.5 | 157~196 | 126~141 | 47.1 |

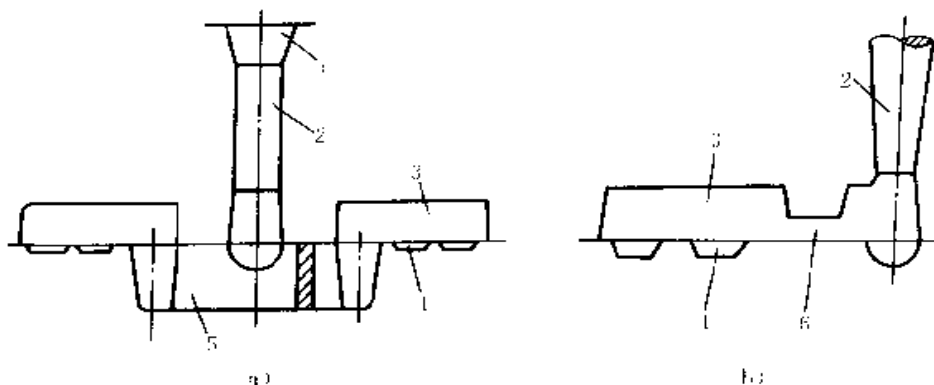


图 6-123 阻流式浇注系统

a) 垂直阻流式浇注系统 b) 水平阻流式浇注系统

1—浇口杯 2—直浇道 3—横浇道 4—内浇道 5—垂直阻流片 6—水平阻流片

7.6.1.2 垂直阻流式 垂直式阻流片结构复杂,常用于大量中、小型铸铁件的机器造型,对消除和减少渣孔、砂眼、气孔等缺陷,效果比较好,常用垂直阻流片的结构及尺寸见表 6-114。

表 6-114 垂直阻流片结构和尺寸

| 类型 | 图 例 | 尺 寸 (mm) | | | | |
|----------------|-----|----------------------|-----|------|-----|-----|
| (A) 单片单向阻流片 | | 编号 | 1 | 2 | | |
| | | $\Sigma F_{阻}(cm^2)$ | 2 | 2.5 | | |
| | | a | 5 | 8 | | |
| | | b | 6.2 | 9 | | |
| | | H | 35 | 29.4 | | |
| (B) 单片单向丁型阻流片 | | 编号 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | | $\Sigma F_{阻}(cm^2)$ | 2.2 | 3 | 3.8 | 4.6 |
| | | a | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 6.6 |
| | | b | 5.5 | 6.5 | 7.5 | 8.5 |
| | | c | 4 | 5 | 6 | 7 |
| | | H | 30 | 34 | 38 | 40 |
| (C) 单片单向丁型阻流片 | | 编号 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | | $\Sigma F_{阻}(cm^2)$ | 3.6 | 4.3 | 5 | 5.6 |
| | | a | 6 | 6 | 7 | 8 |
| | | b | 8 | 8 | 9 | 10 |
| | | c | 6 | 6 | 7 | 8 |
| | | A | 24 | 28 | 30 | 30 |
| | | H | 40 | 45 | 45 | 45 |
| | | E | 22 | 22 | 22 | 24 |
| | | r ₁ | 6 | 6 | 7 | 7 |
| r ₂ | 5 | 5 | 6 | 6 | | |
| (D) 双片单向丁型阻流片 | | 编号 | 1 | 2 | | |
| | | $\Sigma F_{阻}(cm^2)$ | 7 | 8.5 | | |
| | | a | 6 | 6 | | |
| | | b | 8 | 8 | | |
| | | c | 4 | 6 | | |
| | | H | 40 | 50 | | |

(续)

| 类型 | 图 例 | 尺 寸 (mm) | | | | | | |
|----------------|-----|----------------------|------|-----|-----|-----|-------|-----|
| | | 编号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| (E) 单片双向阻流片 | | 编号 | 1 | 2 | 3 | | | |
| | | $\Sigma F_{阻}(cm^2)$ | 2 | 3 | 4 | | | |
| | | a | 3.5 | 4.5 | 6 | | | |
| | | b | 4.4 | 5.5 | 7 | | | |
| | | A | 15 | 15 | 18 | | | |
| | | H | 25.5 | 30 | 30 | | | |
| (F) 单片双向T型阻流片 | | 编号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | | $\Sigma F_{阻}(cm^2)$ | 4.5 | 5.2 | 5.7 | 6.4 | 7.4 | 8 |
| | | a | 4 | 4 | 4 | 5 | 6 | 6 |
| | | b | 6 | 6 | 6 | 7 | 8 | 8 |
| | | c | 4 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 |
| | | h | 10 | 10 | 10 | 10 | 12 | 12 |
| | | H | 30 | 35 | 40 | 40 | 40 | 45 |
| | | r ₁ | 4 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 |
| r ₂ | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 | | |
| (G) 单片双向2T型阻流片 | | 编号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | | $\Sigma F_{阻}(cm^2)$ | 4.4 | 5.2 | 5.7 | 6.4 | 7.4 | 8.0 |
| | | A | 15 | 16 | 16 | 17 | 18.5 | 20 |
| | | B | 17 | 18 | 18 | 19 | 20.5 | 22 |
| | | H | 30 | 35 | 40 | 40 | 40 | 45 |
| | | a | 4 | 4 | 4 | 5 | 6 | 6 |
| | | b | 6 | 6 | 6 | 7 | 8 | 8 |
| | | c | 4 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 |
| | | r ₁ | 4 | 5 | 5 | 5 | 6 | 6 |
| | | r ₂ | 8.5 | 9 | 9 | 9.5 | 10.25 | 11 |

计算阻流式浇注系统首先要确定阻流片的断面积 $F_{阻}$ ，再按经验比例确定其它各组元的尺寸。其计算步骤如下：

1) 确定质(重)量流率 v_G

$$v_G = \mu \sqrt{G} \quad (\text{kg/s})$$

式中 G ——浇注金属液总质(重)量 (kg)。

μ ——质(重)量流率损耗系数，见表 6-115。

表 6-115 质(重)量流率损耗系数

| 铸型中铁液质(重)量 G (kg) | μ 的 分 级 | | | | | | | |
|---------------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 1 级 | | 2 级 | | 3 级 | | 4 级 | |
| | μ_1 | μ_2 | μ_3 | μ_4 | μ_5 | μ_6 | μ_7 | μ_8 |
| 1~5 | 0.240 | 0.280 | 0.320 | 0.360 | 0.400 | 0.440 | 0.480 | 0.520 |
| 5~10 | 0.245 | 0.285 | 0.325 | 0.365 | 0.405 | 0.445 | 0.485 | 0.525 |
| 10~15 | 0.250 | 0.290 | 0.330 | 0.370 | 0.410 | 0.450 | 0.490 | 0.530 |

(续)

| 铸型中液质(重)量 G (kg) | μ 的 分 级 | | | | | | | |
|------------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 1 级 | | 2 级 | | 3 级 | | 4 级 | |
| | μ_1 | μ_2 | μ_3 | μ_4 | μ_5 | μ_6 | μ_7 | μ_8 |
| 15~20 | 0.255 | 0.295 | 0.335 | 0.375 | 0.415 | 0.455 | 0.495 | 0.535 |
| 20~25 | 0.260 | 0.300 | 0.340 | 0.380 | 0.420 | 0.460 | 0.500 | 0.540 |
| 25~30 | 0.265 | 0.305 | 0.345 | 0.385 | 0.425 | 0.465 | 0.505 | 0.545 |
| 30~35 | 0.270 | 0.310 | 0.350 | 0.390 | 0.430 | 0.470 | 0.510 | 0.550 |
| 35~40 | 0.275 | 0.315 | 0.355 | 0.395 | 0.435 | 0.475 | 0.515 | 0.555 |
| 40~45 | 0.280 | 0.320 | 0.360 | 0.400 | 0.440 | 0.480 | 0.520 | 0.560 |
| 45~50 | 0.285 | 0.325 | 0.365 | 0.405 | 0.445 | 0.485 | 0.525 | 0.565 |
| 50~55 | 0.290 | 0.330 | 0.370 | 0.410 | 0.450 | 0.490 | 0.530 | 0.570 |
| 55~60 | 0.295 | 0.335 | 0.375 | 0.415 | 0.455 | 0.495 | 0.535 | 0.575 |
| 60~65 | 0.300 | 0.340 | 0.380 | 0.420 | 0.460 | 0.500 | 0.540 | 0.580 |
| 65~70 | 0.305 | 0.345 | 0.385 | 0.425 | 0.465 | 0.505 | 0.545 | 0.585 |
| 70~75 | 0.310 | 0.350 | 0.390 | 0.430 | 0.470 | 0.510 | 0.550 | 0.590 |
| 75~80 | 0.315 | 0.355 | 0.395 | 0.435 | 0.475 | 0.515 | 0.555 | 0.595 |
| 80~85 | 0.320 | 0.360 | 0.400 | 0.440 | 0.480 | 0.520 | 0.560 | 0.600 |
| 85~90 | 0.325 | 0.365 | 0.405 | 0.445 | 0.485 | 0.525 | 0.565 | 0.605 |
| 90~95 | 0.330 | 0.370 | 0.410 | 0.450 | 0.490 | 0.530 | 0.570 | 0.610 |
| 95~100 | 0.335 | 0.375 | 0.415 | 0.455 | 0.495 | 0.535 | 0.575 | 0.615 |
| 100~105 | 0.340 | 0.380 | 0.420 | 0.460 | 0.500 | 0.540 | 0.580 | 0.620 |
| 105~110 | 0.345 | 0.385 | 0.425 | 0.465 | 0.505 | 0.545 | 0.585 | 0.625 |
| 110~115 | 0.350 | 0.390 | 0.430 | 0.470 | 0.510 | 0.550 | 0.590 | 0.630 |
| 115~120 | 0.355 | 0.395 | 0.435 | 0.475 | 0.515 | 0.555 | 0.595 | 0.635 |
| 120~125 | 0.360 | 0.400 | 0.440 | 0.480 | 0.520 | 0.560 | 0.600 | 0.640 |
| 125~130 | 0.365 | 0.405 | 0.445 | 0.485 | 0.525 | 0.565 | 0.605 | 0.645 |
| 130~135 | 0.370 | 0.410 | 0.450 | 0.490 | 0.530 | 0.570 | 0.610 | 0.650 |
| 135~140 | 0.375 | 0.415 | 0.455 | 0.495 | 0.535 | 0.575 | 0.615 | 0.655 |
| 140~145 | 0.380 | 0.420 | 0.460 | 0.500 | 0.540 | 0.580 | 0.620 | 0.660 |
| 145~150 | 0.385 | 0.425 | 0.465 | 0.505 | 0.545 | 0.585 | 0.625 | 0.665 |
| 150~155 | 0.390 | 0.430 | 0.470 | 0.510 | 0.550 | 0.590 | 0.630 | 0.670 |
| 155~160 | 0.395 | 0.435 | 0.475 | 0.515 | 0.555 | 0.595 | 0.635 | 0.675 |
| 160~165 | 0.400 | 0.440 | 0.480 | 0.520 | 0.560 | 0.600 | 0.640 | 0.680 |
| 165~170 | 0.405 | 0.445 | 0.485 | 0.525 | 0.565 | 0.605 | 0.645 | 0.685 |
| 170~175 | 0.410 | 0.450 | 0.490 | 0.530 | 0.570 | 0.610 | 0.650 | 0.690 |
| 175~180 | 0.415 | 0.455 | 0.495 | 0.535 | 0.575 | 0.615 | 0.655 | 0.695 |
| 180~185 | 0.420 | 0.460 | 0.500 | 0.540 | 0.580 | 0.620 | 0.660 | 0.700 |
| 185~190 | 0.425 | 0.465 | 0.505 | 0.545 | 0.585 | 0.625 | 0.665 | 0.705 |

(续)

| 铸型中铁液质(重)量 G (kg) | μ 的 分 级 | | | | | | | |
|-------------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 1 级 | | 2 级 | | 3 级 | | 4 级 | |
| | μ_1 | μ_2 | μ_3 | μ_4 | μ_5 | μ_6 | μ_7 | μ_8 |
| 190~195 | 0.430 | 0.470 | 0.510 | 0.550 | 0.590 | 0.630 | 0.670 | 0.710 |
| 195~200 | 0.435 | 0.475 | 0.515 | 0.555 | 0.595 | 0.635 | 0.675 | 0.715 |
| 200~205 | 0.440 | 0.480 | 0.520 | 0.560 | 0.600 | 0.640 | 0.680 | 0.720 |
| 205~210 | 0.445 | 0.485 | 0.525 | 0.565 | 0.605 | 0.645 | 0.685 | 0.725 |
| 210~215 | 0.450 | 0.490 | 0.530 | 0.570 | 0.610 | 0.650 | 0.690 | 0.730 |
| 215~220 | 0.455 | 0.495 | 0.535 | 0.575 | 0.615 | 0.655 | 0.695 | 0.735 |
| 220~225 | 0.460 | 0.500 | 0.540 | 0.580 | 0.620 | 0.660 | 0.700 | 0.740 |
| 225~230 | 0.465 | 0.505 | 0.545 | 0.585 | 0.625 | 0.665 | 0.705 | 0.745 |
| 230~235 | 0.470 | 0.510 | 0.550 | 0.590 | 0.630 | 0.670 | 0.710 | 0.750 |
| 235~240 | 0.475 | 0.515 | 0.555 | 0.595 | 0.635 | 0.675 | 0.715 | 0.755 |
| 240~245 | 0.480 | 0.520 | 0.560 | 0.600 | 0.640 | 0.680 | 0.720 | 0.760 |
| 245~250 | 0.485 | 0.525 | 0.565 | 0.605 | 0.645 | 0.685 | 0.725 | 0.765 |
| 250~255 | 0.490 | 0.530 | 0.570 | 0.610 | 0.650 | 0.690 | 0.730 | 0.770 |
| 255~260 | 0.495 | 0.535 | 0.575 | 0.615 | 0.655 | 0.695 | 0.735 | 0.775 |
| 260~265 | 0.500 | 0.540 | 0.580 | 0.620 | 0.660 | 0.700 | 0.740 | 0.780 |
| 265~270 | 0.505 | 0.545 | 0.585 | 0.625 | 0.665 | 0.705 | 0.745 | 0.785 |
| 270~275 | 0.510 | 0.550 | 0.590 | 0.630 | 0.670 | 0.710 | 0.750 | 0.790 |
| 275~280 | 0.515 | 0.555 | 0.595 | 0.635 | 0.675 | 0.715 | 0.755 | 0.795 |
| 280~285 | 0.520 | 0.560 | 0.600 | 0.640 | 0.680 | 0.720 | 0.760 | 0.800 |
| 285~290 | 0.525 | 0.565 | 0.605 | 0.645 | 0.685 | 0.725 | 0.765 | 0.805 |
| 290~295 | 0.530 | 0.570 | 0.610 | 0.650 | 0.690 | 0.730 | 0.770 | 0.810 |
| 295~300 | 0.535 | 0.575 | 0.615 | 0.655 | 0.695 | 0.735 | 0.775 | 0.815 |
| 300~305 | 0.540 | 0.580 | 0.620 | 0.660 | 0.700 | 0.740 | 0.780 | 0.820 |
| 305~310 | 0.545 | 0.585 | 0.625 | 0.665 | 0.705 | 0.745 | 0.785 | 0.825 |
| 310~315 | 0.550 | 0.590 | 0.630 | 0.670 | 0.710 | 0.750 | 0.790 | 0.830 |
| 315~320 | 0.555 | 0.595 | 0.635 | 0.675 | 0.715 | 0.755 | 0.795 | 0.835 |
| 320~325 | 0.560 | 0.600 | 0.640 | 0.680 | 0.720 | 0.760 | 0.800 | 0.840 |
| 325~330 | 0.565 | 0.605 | 0.645 | 0.685 | 0.725 | 0.765 | 0.805 | 0.845 |
| 330~335 | 0.570 | 0.610 | 0.650 | 0.690 | 0.730 | 0.770 | 0.810 | 0.850 |
| 335~340 | 0.575 | 0.615 | 0.655 | 0.695 | 0.735 | 0.775 | 0.815 | 0.855 |
| 340~345 | 0.580 | 0.620 | 0.660 | 0.700 | 0.740 | 0.780 | 0.820 | 0.860 |
| 345~350 | 0.585 | 0.625 | 0.665 | 0.705 | 0.745 | 0.785 | 0.825 | 0.865 |
| 350~355 | 0.590 | 0.630 | 0.670 | 0.710 | 0.750 | 0.790 | 0.830 | 0.870 |

(续)

| 铸型中铁液质(重)量 G (kg) | μ 的 分 级 | | | | | | | |
|-------------------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 1 级 | | 2 级 | | 3 级 | | 4 级 | |
| | μ_1 | μ_2 | μ_3 | μ_4 | μ_5 | μ_6 | μ_7 | μ_8 |
| 355~360 | 0.595 | 0.635 | 0.675 | 0.715 | 0.755 | 0.795 | 0.835 | 0.875 |
| 360~365 | 0.600 | 0.640 | 0.680 | 0.720 | 0.760 | 0.800 | 0.840 | 0.880 |
| 365~370 | 0.605 | 0.645 | 0.685 | 0.725 | 0.765 | 0.805 | 0.845 | 0.885 |
| 370~375 | 0.610 | 0.650 | 0.690 | 0.730 | 0.770 | 0.810 | 0.850 | 0.890 |
| 375~380 | 0.615 | 0.655 | 0.695 | 0.735 | 0.775 | 0.815 | 0.855 | 0.895 |
| 380~385 | 0.620 | 0.660 | 0.700 | 0.740 | 0.780 | 0.820 | 0.860 | 0.900 |
| 385~390 | 0.625 | 0.665 | 0.705 | 0.745 | 0.785 | 0.825 | 0.865 | 0.905 |
| 390~395 | 0.630 | 0.670 | 0.710 | 0.750 | 0.790 | 0.830 | 0.870 | 0.910 |
| 395~400 | 0.635 | 0.675 | 0.715 | 0.755 | 0.795 | 0.835 | 0.875 | 0.915 |

注：1级——指慢浇。多用于小件（ $G=5\sim 30\text{kg}$ ）以及有砂垛或易冲砂的铸件。

2级——指正常浇注。多用于中件（ $G=30\sim 120\text{kg}$ ），较复杂的铸件可选用 μ_4 。

3级——指快浇。多用于中大件（ $G=120\sim 250\text{kg}$ ）或复杂的中件。

4级——指特快浇注。多用于大件（ $G=250\sim 400\text{kg}$ ）以及形状很复杂的铸件。

2) 计算阻流片截面积 $F_{\text{阻}}$

$$F_{\text{阻}} = \frac{v_c}{K} \quad (\text{cm}^2)$$

式中 K ——浇注比速（ $\text{kg}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ ），一般地 $K = 0.022H_p$ ；

H_p ——平均静压力头（mm），参照铸铁部分计算。

3) 确定浇注系统各组元截面积

浇注系统各组元的截面积，按以下比例范围确定：

$$F_{\text{直}} : F_{\text{阻}} : F_{\text{横}} : F_{\text{内}} = (0.7 \sim 1.4) : (0.35 \sim 0.75) : (0.9 \sim 1.4) : 1$$

最常用的比值是： $F_{\text{直}} : F_{\text{阻}} : F_{\text{横}} : F_{\text{内}} = 1.2 : 0.65 : 1.2 : 1$

4) 确定浇注时间 t

$$t = \frac{G}{KF_{\text{阻}}} \pm 2 = \frac{G}{0.022 \cdot H_p \cdot F_{\text{阻}}} \pm 2 \quad (\text{s})$$

5) 选择阻流片类型，见表 6-116。

表 6-116 阻流片类型选择

| 单个铸件质(重)量 $G_{\text{单}}$ (kg) | 铸型中铁液总质(重)量 G (kg) | 阻流片形式 |
|----------------------------------|----------------------|--------------|
| 0.5~5 | 5~30 | 单片单向或单片双向阻流片 |
| 5~100 | 30~120 | 单片双向 T 型阻流片 |
| 100~300 | 120~400 | 单片双向 2T 型阻流片 |

7.6.2 缓流式浇注系统

对于压头很大的浇注系统，使用滤网容易形成冲砂缺陷，这时可考虑应用缓流式浇注系统，其特点是利用横浇道中设置拐弯来改变液流的方向，增加局部阻力，降低流速，使铁水平稳地充型并撇渣。主要用于较复杂的中、小型铸件。其拐弯结构由分布在上、下砂型中的横浇道搭接而成，见图 6-124。这种结构的浇注系统应严格控制浇道截面尺寸，特别是搭接面积。

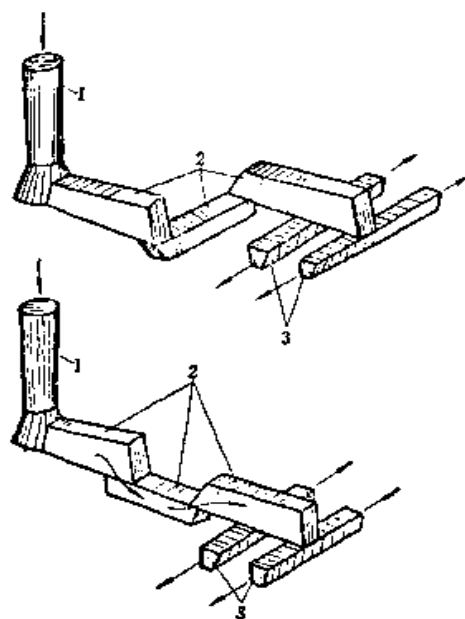


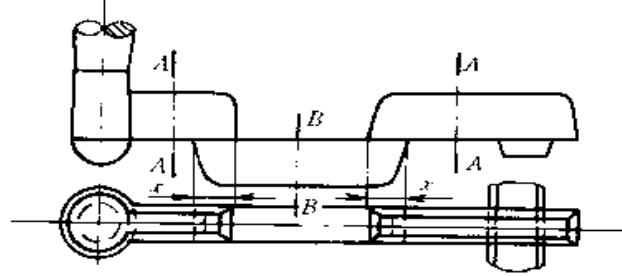
图 6-124 缓流式浇注系统

1—直浇道 2—横浇道 3—内浇道

缓流式浇注系统分单向缓流式和双向缓流式两种结构，分别用于体积较小的铸件和体积较大的铸件。

其浇注系统尺寸和截面尺寸分别见表 6-117~表 6-120。

表 6-117 铸铁件单向（单面）缓流式浇注系统



| 型内金属液 总重 (kg) | 内 浇 道 | | | | 横 浇 道 | | | | | 直 浇 道 | | |
|---------------------|-------|------|-----------------------------|----------------------------|-------|---------------------------|-------|---------------------------|-------------------|-------|------------|---------------------------|
| | 编号 | 内浇道数 | 每个截面 积(cm ²) | 总截面积 (cm ²) | A-A 处 | | B-B 处 | | 搭接尺寸 x (mm) | 编号 | 直径 (mm) | 截面积 (cm ²) |
| | | | | | 编号 | 截面积 (cm ²) | 编号 | 截面积 (cm ²) | | | | |
| <5 | 2 | 1 | 0.8 | 0.8 | 1 | 1.48 | 1 | 1.35 | 11 | 1 | 13.5 | 1.43 |
| | 1 | 2 | 0.5 | 1.0 | | | | | | | | |
| 5~10 | 4 | 1 | 1.5 | 1.5 | 2 | 1.92 | 2 | 1.76 | 12.6 | 2 | 15.5 | 1.85 |
| | 2 | 2 | 0.8 | 1.6 | | | | | | | | |
| | 1 | 3 | 0.5 | 0.5 | | | | | | | | |
| 10~20 | 5 | 1 | 2.25 | 2.25 | 3 | 2.96 | 3 | 2.68 | 15 | 3 | 19 | 2.83 |
| | 3 | 2 | 1.15 | 2.3 | | | | | | | | |
| | 2 | 3 | 0.8 | 2.4 | | | | | | | | |
| | 1 | 4 | 0.5 | 2.0 | | | | | | | | |
| 20~50 | 6 | 1 | 3.1 | 3.1 | 4 | 3.74 | 4 | 3.3 | 17 | 4 | 21 | 3.46 |
| | 4 | 2 | 1.5 | 3.0 | | | | | | | | |
| | 2 | 4 | 0.8 | 3.2 | | | | | | | | |
| 50~100 | 5 | 2 | 2.25 | 4.5 | 5 | 5.6 | 5 | 5.09 | 22 | 5 | 26 | 5.3 |
| | 3 | 4 | 1.15 | 4.6 | | | | | | | | |
| | 2 | 6 | 0.8 | 4.8 | | | | | | | | |
| 100~200 | 6 | 2 | 3.1 | 6.2 | 6 | 7.56 | 6 | 6.86 | 25 | 6 | 30.5 | 7.31 |
| | 4 | 4 | 1.5 | 6.0 | | | | | | | | |
| | 3 | 6 | 1.15 | 6.9 | | | | | | | | |
| 200~300 | 7 | 2 | 4.45 | 9.1 | 7 | 11.11 | 7 | 10.15 | 31 | 7 | 37 | 10.75 |
| | 5 | 4 | 2.25 | 9.0 | | | | | | | | |
| | 4 | 6 | 1.5 | 9.0 | | | | | | | | |
| | 3 | 8 | 1.15 | 9.2 | | | | | | | | |
| 300~600 | 8 | 2 | 6.0 | 12.0 | 8 | 15.6 | 8 | 14.4 | 38 | 8 | 43 | 14.5 |
| | 6 | 4 | 3.1 | 12.4 | | | | | | | | |
| | 5 | 6 | 2.25 | 13.5 | | | | | | | | |
| | 4 | 8 | 1.5 | 12.0 | | | | | | | | |
| 600~1000 | 9 | 2 | 9.2 | 18.4 | 9 | 23.1 | 9 | 20.6 | 46 | 9 | 53 | 22.0 |
| | 7 | 4 | 4.55 | 18.2 | | | | | | | | |
| | 6 | 6 | 3.1 | 18.6 | | | | | | | | |
| | 5 | 8 | 2.25 | 18.0 | | | | | | | | |
| 1000~2000 | 8 | 4 | 6.0 | 24.0 | 10 | 31.3 | 10 | 28 | 50 | 10 | 62 | 30.2 |
| | 7 | 6 | 4.55 | 27.3 | | | | | | | | |
| | 6 | 8 | 3.1 | 24.8 | | | | | | | | |

注：表中“编号”指浇道尺寸标准化的序号，具体数值见表 6-117，表 6-118 和表 6-119。

表 6-118 铸铁件单向（单面）缓流式浇注系统截面尺寸

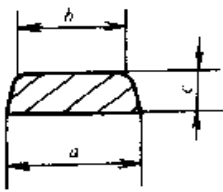
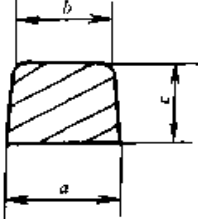
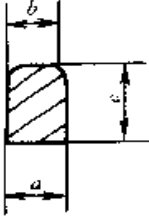
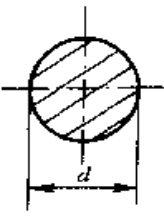
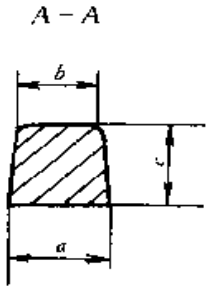
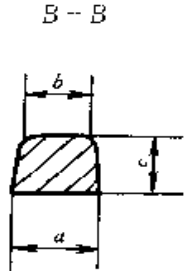
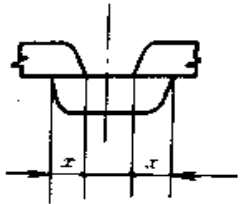
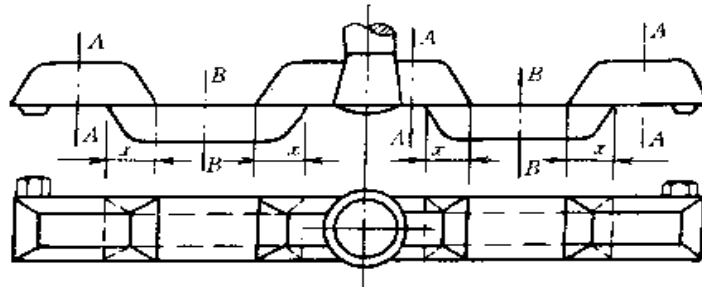
| 内 浇 道 | | | | | | | | | | | | 直 浇 道 | | | |
|---|--------|--------|--------|---|--------|--|--------|--|--------|-----------------------|--------|---|----|--------|------------------------|
|  | | | |  | | | |  | | | |  | | | |
| 编号 | a (mm) | b (mm) | c (mm) | 截面积 (cm ²) | a (mm) | b (mm) | c (mm) | 截面积 (cm ²) | a (mm) | b (mm) | c (mm) | 截面积 (cm ²) | 编号 | d (mm) | 截面积 (cm ²) |
| 1 | 11 | 9 | 5 | 0.5 | 8 | 6 | 7 | 0.5 | 6 | 4 | 10 | 0.5 | 1 | 13.5 | 1.43 |
| 2 | 14 | 12 | 6 | 0.8 | 10 | 8 | 9 | 0.8 | 8 | 5 | 12 | 0.8 | 2 | 15.5 | 1.85 |
| 3 | 18 | 15 | 7 | 1.15 | 11 | 8 | 12 | 1.14 | 10 | 6 | 15 | 1.2 | 3 | 19 | 2.83 |
| 4 | 20 | 18 | 8 | 1.5 | 14 | 11 | 12 | 1.5 | 11 | 7 | 17 | 1.5 | 4 | 21 | 3.46 |
| 5 | 24 | 21 | 10 | 2.25 | 17 | 13 | 15 | 2.25 | 13 | 9 | 21 | 2.25 | 5 | 26 | 5.3 |
| 6 | 30 | 26 | 11 | 3.1 | 18 | 14 | 19 | 3.1 | 14 | 10 | 26 | 3.1 | 6 | 30.5 | 7.31 |
| 7 | 40 | 36 | 12 | 4.55 | 22 | 16 | 24 | 4.55 | 17 | 11 | 33 | 4.55 | 7 | 37 | 10.75 |
| 8 | 45 | 41 | 14 | 6 | 25 | 21 | 26 | 6 | 20 | 12 | 37 | 6 | 8 | 43 | 14.5 |
| 9 | 56 | 52 | 17 | 9.2 | 30 | 24 | 36 | 9.2 | 24 | 16 | 46 | 9.2 | 9 | 53 | 22 |
| 10 | | | | | | | | | | | | | 10 | 62 | 30.2 |
| 横 浇 道 | | | | | | | | | | | | 搭 接 尺 寸 | | | |
|  | | | | | |  | | | | | |  | | | |
| 编号 | a (mm) | b (mm) | c (mm) | 截面积 (cm ²) | a (mm) | b (mm) | c (mm) | 截面积 (cm ²) | x (mm) | 面积 (cm ²) | | | | | |
| 1 | 12 | 8.5 | 14.5 | 1.48 | 12 | 8.5 | 13 | 1.35 | 10 | 1.2 | | | | | |
| 2 | 14 | 10.5 | 16.5 | 1.92 | 14 | 9.5 | 15 | 1.76 | 12 | 1.68 | | | | | |
| 3 | 17 | 12 | 20.5 | 2.96 | 17 | 12 | 18.5 | 2.68 | 15 | 2.55 | | | | | |
| 4 | 19 | 13.5 | 23 | 3.74 | 19 | 14 | 20 | 3.3 | 17 | 3.23 | | | | | |
| 5 | 23.5 | 16.5 | 28 | 5.6 | 23.5 | 18 | 24.5 | 5.09 | 22 | 5.17 | | | | | |
| 6 | 27 | 20 | 32 | 7.56 | 27 | 22 | 28 | 6.86 | 25 | 6.75 | | | | | |
| 7 | 33 | 24 | 39 | 11.11 | 33 | 29.5 | 32.5 | 10.15 | 31 | 10.23 | | | | | |
| 8 | 38 | 30 | 46 | 15.6 | 38 | 32 | 41 | 14.4 | 38 | 14.44 | | | | | |
| 9 | 44 | 33 | 60 | 23.1 | 44 | 34 | 53 | 20.6 | 46 | 20.24 | | | | | |
| 10 | 56 | 45 | 62 | 31.3 | 56 | 48 | 54 | 28 | 50 | 28 | | | | | |

表 6-119 铸铁件双面(双向)缓流式浇注系统



| 型内金属液 总重 (kg) | 内 浇 道 | | | | 横 浇 道 | | | | | 直 浇 道 | | |
|---------------------|-------|------|-----------------------------|----------------------------|-------|---------------------------|-----|---------------------------|-------------------|-------|------------|---------------------------|
| | 编号 | 内浇道数 | 每个截面 积(cm ²) | 总截面积 (cm ²) | A-A | | B-B | | 搭接尺寸 x (mm) | 编号 | 直径 (mm) | 截面积 (cm ²) |
| | | | | | 编号 | 截面积 (cm ²) | 编号 | 截面积 (cm ²) | | | | |
| 10~20 | 3 | 2 | 1.15 | 2.3 | 1 | 1.39 | 1 | 1.2 | 10 | 1 | 18 | 2.54 |
| | 1 | 4 | 0.5 | 2.0 | | | | | | | | |
| 20~50 | 4 | 2 | 1.5 | 3.0 | 2 | 1.84 | 2 | 1.65 | 12 | 2 | 21 | 3.45 |
| | 2 | 4 | 0.8 | 3.2 | | | | | | | | |
| 50~100 | 5 | 2 | 2.25 | 4.5 | 3 | 2.82 | 3 | 2.52 | 15 | 3 | 26 | 5.3 |
| | 3 | 4 | 1.15 | 4.6 | | | | | | | | |
| | 2 | 6 | 0.8 | 4.8 | | | | | | | | |
| 100~200 | 6 | 2 | 3.1 | 6.2 | 4 | 3.94 | 4 | 3.5 | 20 | 4 | 30.5 | 7.3 |
| | 4 | 4 | 1.5 | 6.0 | | | | | | | | |
| | 3 | 6 | 1.15 | 6.9 | | | | | | | | |
| 200~300 | 7 | 2 | 4.55 | 9.1 | 5 | 5.4 | 5 | 4.95 | 22 | 5 | 37 | 10.75 |
| | 5 | 4 | 2.25 | 9.0 | | | | | | | | |
| | 4 | 6 | 1.5 | 9.0 | | | | | | | | |
| | 3 | 8 | 1.15 | 9.2 | | | | | | | | |
| 300~600 | 8 | 2 | 6.0 | 12.0 | 6 | 7.52 | 6 | 6.86 | 25 | 6 | 43 | 14.5 |
| | 6 | 4 | 3.1 | 12.4 | | | | | | | | |
| | 5 | 6 | 2.25 | 13.5 | | | | | | | | |
| | 4 | 8 | 1.5 | 12.0 | | | | | | | | |
| 600~1000 | 9 | 2 | 9.2 | 18.4 | 7 | 11.11 | 7 | 10.15 | 30 | 7 | 53 | 22.05 |
| | 7 | 4 | 4.55 | 18.2 | | | | | | | | |
| | 6 | 6 | 3.1 | 18.6 | | | | | | | | |
| | 5 | 8 | 2.25 | 18.0 | | | | | | | | |
| 1000~2000 | 8 | 4 | 6.0 | 24.0 | 8 | 15.08 | 8 | 13.8 | 36 | 8 | 60 | 28.26 |
| | 7 | 6 | 4.55 | 27.3 | | | | | | | | |
| | 6 | 8 | 3.1 | 24.8 | | | | | | | | |
| 2000~4000 | 9 | 4 | 9.2 | 36.8 | 9 | 22.22 | 9 | 20.30 | 30 | 9 | 75 | 44.16 |
| | 8 | 6 | 6.0 | 36.0 | | | | | | | | |
| | 7 | 8 | 4.55 | 36.4 | | | | | | | | |

表 6-120 铸铁件双向（双面）缓流式浇注系统截面尺寸

| 内 浇 道 | | | | | | | | | | | | 直 浇 道 | | | |
|-------|--------|--------|--------|------------------------|--------|--------|--------|------------------------|--------|-----------------------|--------|------------------------|----|--------|------------------------|
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| 编号 | a (mm) | b (mm) | c (mm) | 截面积 (cm ²) | a (mm) | b (mm) | c (mm) | 截面积 (cm ²) | a (mm) | b (mm) | c (mm) | 截面积 (cm ²) | 编号 | b (mm) | 截面积 (cm ²) |
| 1 | 11 | 9 | 5 | 0.5 | 8 | 6 | 7 | 0.5 | 6 | 4 | 10 | 0.5 | 1 | 18 | 2.54 |
| 2 | 14 | 12 | 6 | 0.8 | 10 | 8 | 9 | 0.8 | 8 | 5 | 12 | 0.8 | 2 | 21 | 3.46 |
| 3 | 18 | 15 | 7 | 1.15 | 11 | 8 | 12 | 1.15 | 10 | 6 | 15 | 1.2 | 3 | 26 | 5.3 |
| 4 | 20 | 18 | 8 | 1.5 | 14 | 11 | 12 | 1.5 | 11 | 7 | 17 | 1.5 | 4 | 30.5 | 7.3 |
| 5 | 24 | 21 | 10 | 2.25 | 17 | 13 | 15 | 2.25 | 13 | 9 | 21 | 2.25 | 5 | 37 | 10.75 |
| 6 | 30 | 26 | 11 | 3.1 | 18 | 14 | 19 | 3.1 | 14 | 10 | 26 | 3.1 | 6 | 43 | 14.5 |
| 7 | 40 | 36 | 12 | 4.55 | 22 | 16 | 24 | 4.55 | 17 | 11 | 33 | 4.55 | 7 | 53 | 22.05 |
| 8 | 45 | 41 | 14 | 6.0 | 25 | 21 | 26 | 6.0 | 20 | 12 | 37 | 6.0 | 8 | 60 | 28.26 |
| 9 | 56 | 52 | 17 | 6.2 | 30 | 24 | 34 | 9.2 | 24 | 16 | 46 | 9.2 | 9 | 75 | 44.16 |
| 横 浇 道 | | | | | | | | | | | | 搭 接 尺 寸 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| 编号 | a (mm) | b (mm) | c (mm) | 截面积 (cm ²) | a (mm) | b (mm) | c (mm) | 截面积 (cm ²) | x (mm) | 面积 (cm ²) | | | | | |
| 1 | 11.5 | 8.5 | 13.5 | 1.39 | 11.5 | 8.5 | 12 | 1.2 | 10 | 1.15 | | | | | |
| 2 | 13.5 | 9.5 | 16 | 1.84 | 13.5 | 9 | 14.5 | 1.65 | 12 | 1.62 | | | | | |
| 3 | 17 | 12 | 19.5 | 2.82 | 17 | 11 | 18 | 2.52 | 15 | 2.55 | | | | | |
| 4 | 19.5 | 14 | 23.5 | 3.94 | 19.5 | 14.5 | 20.5 | 3.5 | 20 | 3.9 | | | | | |
| 5 | 23 | 16 | 28 | 5.4 | 23 | 18 | 24 | 4.95 | 22 | 5.0 | | | | | |
| 6 | 27 | 20 | 32 | 7.52 | 27 | 22 | 28 | 6.86 | 25 | 6.75 | | | | | |
| 7 | 33 | 24 | 39 | 11.11 | 33 | 29.5 | 32.5 | 10.15 | 30 | 9.9 | | | | | |
| 8 | 37 | 30 | 45 | 15.08 | 37 | 32 | 40 | 13.8 | 36 | 13.3 | | | | | |

注：1. 缓流横浇道可以彼此对置于砂型的上下箱内。

2. B-B 截面宜小于 A-A 截面 10%。

3. 为了更好防止夹渣，搭接面积宜小于 B-B 截面 10%~15%。

7.6.3 压边浇口

压边浇口常用于简单厚实的铸铁件及有色合金铸件，其特点是：

1) 压边浇口可以直接与铸件相连，见图 6-125。也可另加直浇道与横浇道（表 6-120 和表 6-121 中图例），一个压边浇口可以只浇一个铸件，也可以同时浇几个铸件，有暗压边与明压边两种形式。

2) 压边浇口的位置一般都在铸件浇注位置的顶上，最适宜于位于下箱的铸件。

3) 压边浇口以一条狭长的缝隙与铸件相连，其

宽度取决于合金种类，浇注温度铸件的重量及截面厚度等。对一般牌号的铸铁件，多采用封闭式压边浇口（压边处为最小截面）以利于挡渣，其压边宽度一般为 3~7mm。收缩较大的高牌号铸铁件，可采用开放式压边浇口（横浇道为最小截面），其压边宽度为 8~15mm。球墨铸铁件，多用于 300kg 以下的铸件，小件压边宽度为 3~6mm，中件压边宽度为 5~10mm，可锻铸铁件也可采用压边浇口。

4) 压边缝隙可细化流股并使液流顺壁而下，对砂型底部冲击不大，液面也较平稳，这对砂芯数

量多的复杂铸件较为有利且具有类似滤网的撇渣作用，但缝隙附近型砂温度高、散热条件差，压边缝隙不宜设在铸件重要的加工面上。

5) 压边浇口具有“热冒口”的优点，顶注慢浇还可使铸件有自下而上的凝固顺序及“随浇随补缩”的作用。整个浇冒口系统在砂型中占据的面积小，质(重)量轻，可使铸件的工艺出品率达 80%~90%。而且压边浇口便于清除，容易打磨，铸件外观亦好。

压边浇口的压边面积可用经验公式确定：

$$F_{\text{min}} = m \sqrt{G} \text{ (cm}^2\text{)}$$

式中 G ——铸件质(重)量(kg)；

m ——系数，一般 $m = 0.3 \sim 0.5$ ，对湿型、平面较大或尺寸较长的铸件取中、上限值。

压边浇口的经验数据见表 6-121 和表 6-122。

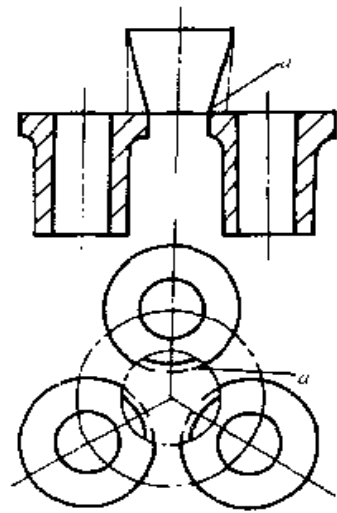
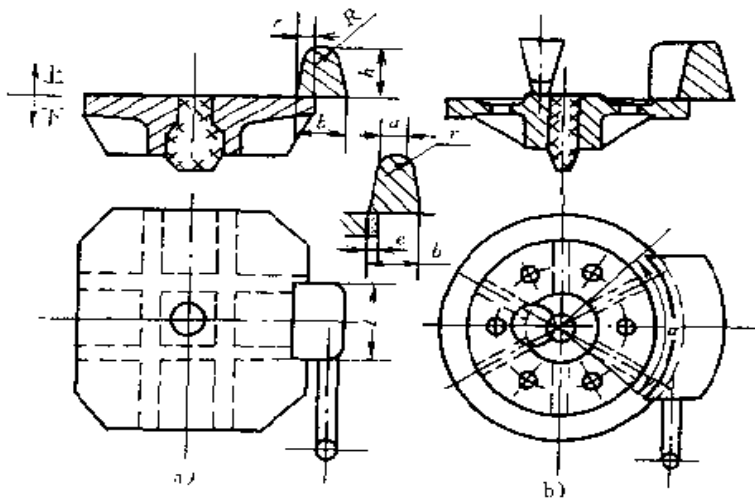


图 6-125 压边浇口
a—压边宽度

表 6-121 压边浇口的应用 (一)

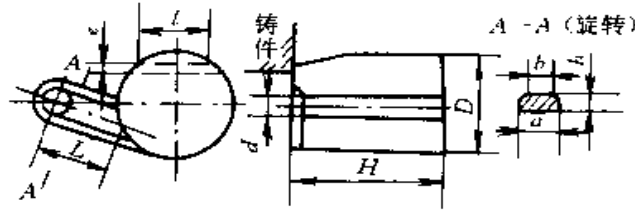


| 铸件质(重)量(kg) | 压边面积 $F_{\text{压}}$ (cm ²) | 压边浇口尺寸(mm) | | | | | | | | 压边浇口质(重)量(kg) |
|-------------|--|------------|-----|-----|------|-----|-----|--------------------|---------|---------------|
| | | e | b | a | R | r | h | 圆形类 α° | 矩形类 l | |
| <5 | 2.2 | 1~3 | 50 | 40 | 20 | 5 | 50 | 60~70 | 75~100 | 1.5 |
| 5~10 | 2.7 | 2~3 | 50 | 40 | 20 | 5 | 50 | 60~70 | 90~135 | 1.5~3 |
| 10~20 | 3.4 | 2~3 | 55 | 45 | 22.5 | 5 | 60 | 45~60 | 110~170 | 3~5 |
| 20~30 | 4.3 | 2~3 | 55 | 45 | 22.5 | 5 | 60 | 45~60 | 140~210 | 3~5 |
| 30~50 | 5.6 | 3~4 | 60 | 50 | 25 | 5 | 70 | 45~60 | 140~180 | 4~5 |
| 50~70 | 7.1 | 3~4 | 65 | 55 | 27.5 | 5 | 75 | 45~60 | 170~230 | 5.5~7.5 |
| 70~110 | 9.0 | 3~4 | 70 | 60 | 30 | 5 | 80 | 45~60 | 220~300 | 8~11 |

注：表中的 α° 及 l 值视铸件情况，可以减小，如用一个压边浇口浇注多个铸件时，就应当缩小。

选用 $F_{\text{直}}:F_{\text{锥}}:F_{\text{压}} = (1.2 \sim 1.4) : (1.2 \sim 1.4) : 1$ 。

表 6-122 压边浇口应用



| 铸件质(重)量 (kg) | 压边浇口直径 D (mm) | 压边长度 l (mm) | 压边宽度 e (mm) | 横浇道尺寸(mm) | | | | 直浇道下部 直径 d (mm) | H=100mm 时,压边浇 口质(重)量 (kg) |
|-----------------|---------------------|-------------------|-------------------|-----------|----|----|----|-----------------------|------------------------------------|
| | | | | a | b | h | L | | |
| 5~10 | 50 | 30 | 3 | 16 | 10 | 16 | 80 | 15 | 1.7 |
| | 50 | 35 | 3 | | | | | | |
| | 50 | 40 | 3 | | | | | | |
| 10~15 | 60 | 35 | 4 | 16 | 10 | 16 | 80 | 20 | 2.4 |
| | 60 | 40 | 4 | | | | | | |
| | 60 | 45 | 4 | | | | | | |
| 15~25 | 70 | 40 | 4 | 19 | 13 | 19 | 80 | 20 | 3.1 |
| | 70 | 45 | 4 | | | | | | |
| | 70 | 50 | 4 | | | | | | |
| 25~35 | 80 | 45 | 5 | 19 | 13 | 19 | 80 | 20 | 4.0 |
| | 80 | 50 | 5 | | | | | | |
| | 80 | 55 | 5 | | | | | | |
| 35~50 | 90 | 55 | 5 | 22 | 15 | 22 | 90 | 25 | 4.9 |
| | 90 | 65 | 5 | | | | | | |
| | 90 | 75 | 5 | | | | | | |
| 50~80 | 100 | 60 | 5 | 22 | 15 | 22 | 90 | 25 | 6.2 |
| | 100 | 70 | 5 | | | | | | |
| | 100 | 80 | 5 | | | | | | |
| 80~120 | 110 | 70 | 6 | 26 | 20 | 26 | 90 | 30 | 7.5 |
| | 110 | 80 | 6 | | | | | | |
| | 110 | 90 | 6 | | | | | | |
| 120~150 | 120 | 75 | 6 | 26 | 20 | 26 | 90 | 30 | 9.0 |
| | 120 | 85 | 6 | | | | | | |
| | 120 | 95 | 6 | | | | | | |

7.6.4 雨淋浇口

雨淋浇口常用于一些重要的、壁厚均匀的薄型筒类铸件，如汽缸套、滚筒、钢锭模等，最近又逐渐在其它类型的铸件如平板类、箱体类及床身类铸件上应用。雨淋浇口是将液态合金分成多股细流连续地落入型腔，减轻了金属液流对砂型的冲击，减小了夹杂物上浮的阻碍，并有利于造成铸件自下而上的凝固顺

序。但流股愈细，其表面积愈大，金属液的氧化也愈强，故雨淋浇口不适用于易氧化的合金（如铸钢和轻合金）。高大铸件使用雨淋浇口容易冲坏型底及产生铁豆缺陷。

小型圆筒类铸件合用雨淋浇口，内浇道总截面积可用图 6-126 确定，其它类型的灰铁铸件，雨淋浇口内浇道总截面积可用图 6-127 确定。

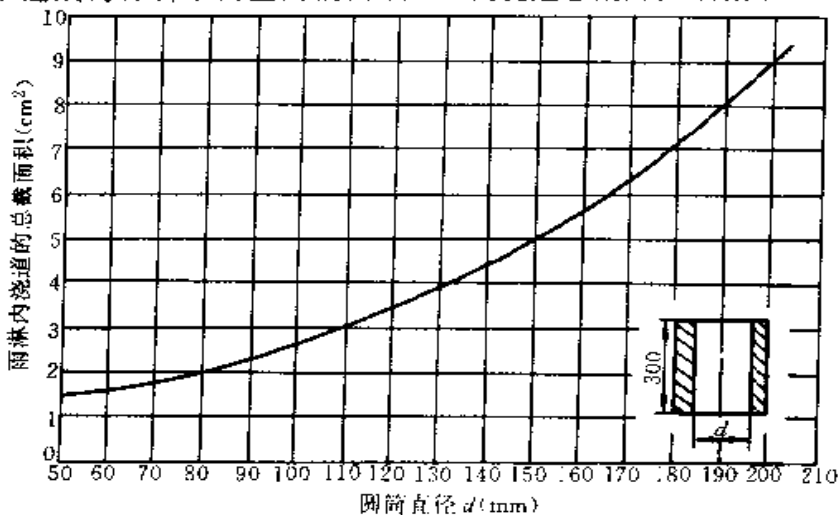


图 6-126 圆筒类铸件内浇道截面积与筒内径的关系

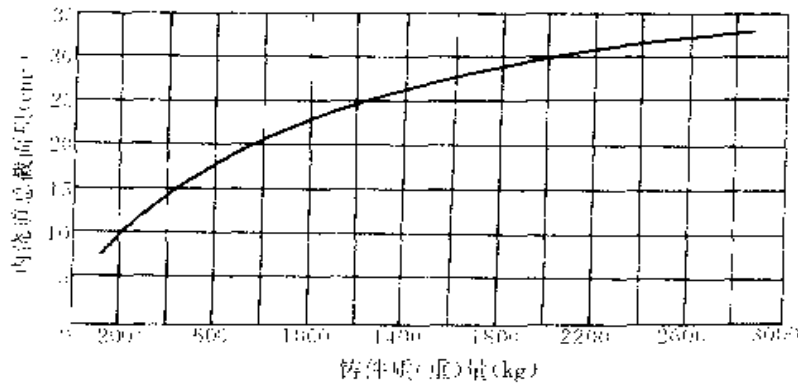


图 6-127 其它类型铸件内浇道截面积和铸件质（重）量的关系

雨淋浇口内浇道截面尺寸，见表 6-123 选取。

采用雨淋式浇注系统的铸件，应验算铁液在型腔内的上升速度 v_L 。

$$v_L = \frac{2.43 \sum F_{内} \cdot C \sqrt{H_p}}{G} \quad (\text{mm/s})$$

式中 $F_{内}$ ——雨淋孔总截面积 (cm^2)；

C ——铸件在浇注位置的高度 (cm)；

H_p ——铁液平均静压力头高度 (cm)；

G ——铸件质（重）量 (kg)。

对于铸件壁厚最大部分， $v_L \geq 5 \sim 8 \text{mm/s}$ ，对于壁厚均匀的圆筒形铸件， $v_L \geq 15 \sim 30 \text{mm/s}$ 。

7.6.5 带滤网的浇注系统

浇注系统中设置有金属过滤装置，滤网的作用是挡渣。滤网种类依材料分大体为：滤网芯、纤维过滤网、多孔陶瓷过滤网和钢片过滤网。

1) 滤网芯有两种，一种是以油砂、合脂砂或粘土砂等制芯材料制成，烘干后使用；另一种是用耐火材料烧结而成的陶瓷滤网芯片。一般为圆形或方形，厚度为 10~20mm，其上均布 $\phi 3 \sim \phi 8$ 的圆孔，圆孔呈倒锥形，见图 6-128，其安放位置见图 6-129。

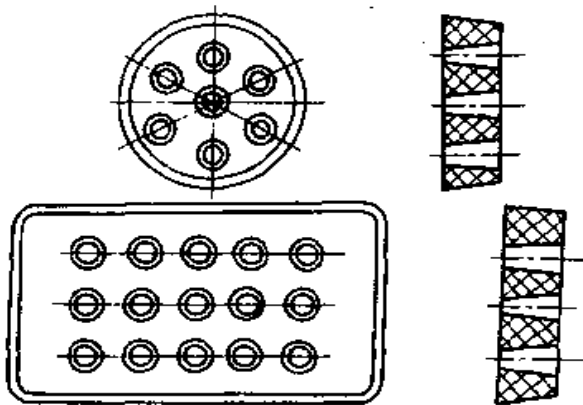
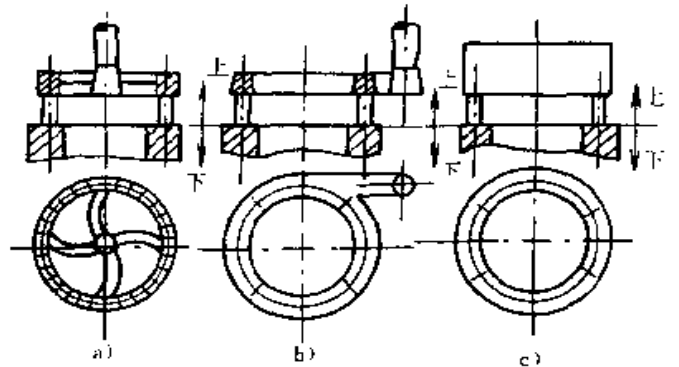


图 6-128 滤网芯

油砂芯滤网承受不了高的液体压力及高温液态合金长时间的冲刷，故主要用于 100kg 以下的小铸铁

件，粘土砂滤网可用在数百公斤的铸件上，耐火材料滤网则可浇注更大的铸件。过滤网浇道的尺寸，见表 6-124。

表 6-123 雨淋式浇注系统



| 铸件质(重)量 (kg) | 铸件壁厚(mm) | | | | 内浇道数 (个) |
|-----------------|----------|-------|-------|-------|-------------|
| | 15 以下 | 15~30 | 30~60 | >60 | |
| <100 | 4.1 | 4.7 | 5.5 | 6.5 | 4~8 |
| 100~500 | 9.13 | 10.5 | 12.3 | 14.5 | 6~12 |
| 500~1000 | | 14.8 | 17.4 | 20.5 | 6~16 |
| 1000~2000 | | 21 | 24.6 | 29 | 8~24 |
| 2000~3000 | | 25.6 | 30.2 | 35.5 | 8~24 |
| 3000~5000 | | | 38.8 | 45.8 | 8~24 |
| 5000~7000 | | | 46 | 54.3 | 8~24 |
| 7000~10000 | | | 55 | 65 | 8~24 |
| 10000~15000 | | | 67.5 | 79.5 | 12~36 |
| 15000~20000 | | | | 91.5 | 12~36 |
| 20000~25000 | | | | 102.5 | 12~36 |
| 25000~30000 | | | | 112 | 12~36 |

注：1. 浇注系统比例为 $F_{外} : F_{横} : F_{内} = 1.2 : (1.2 \sim 1.4) : 1$ 。

2. 铁液在型内上升速度 $v_L > 30 \text{mm/s}$ 。

3. 内浇道流速按公式 $v_L = \mu \sqrt{2gH_p}$ 计算，取 $\mu = 0.75$ 。

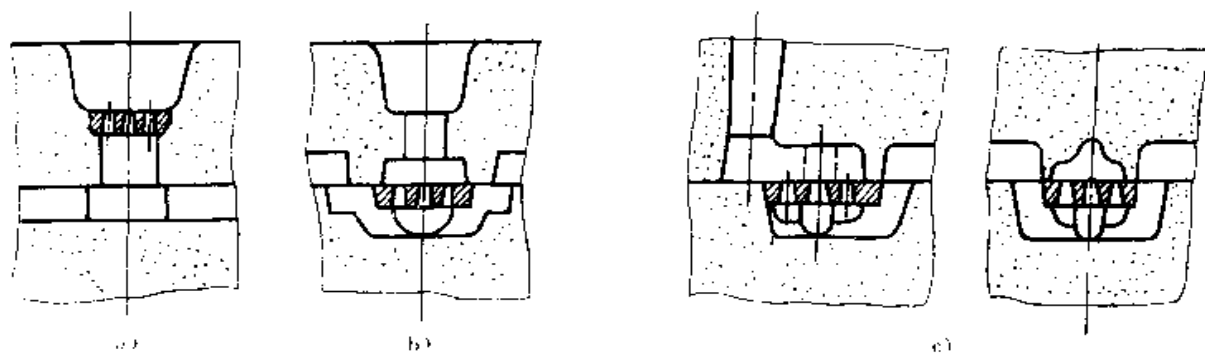


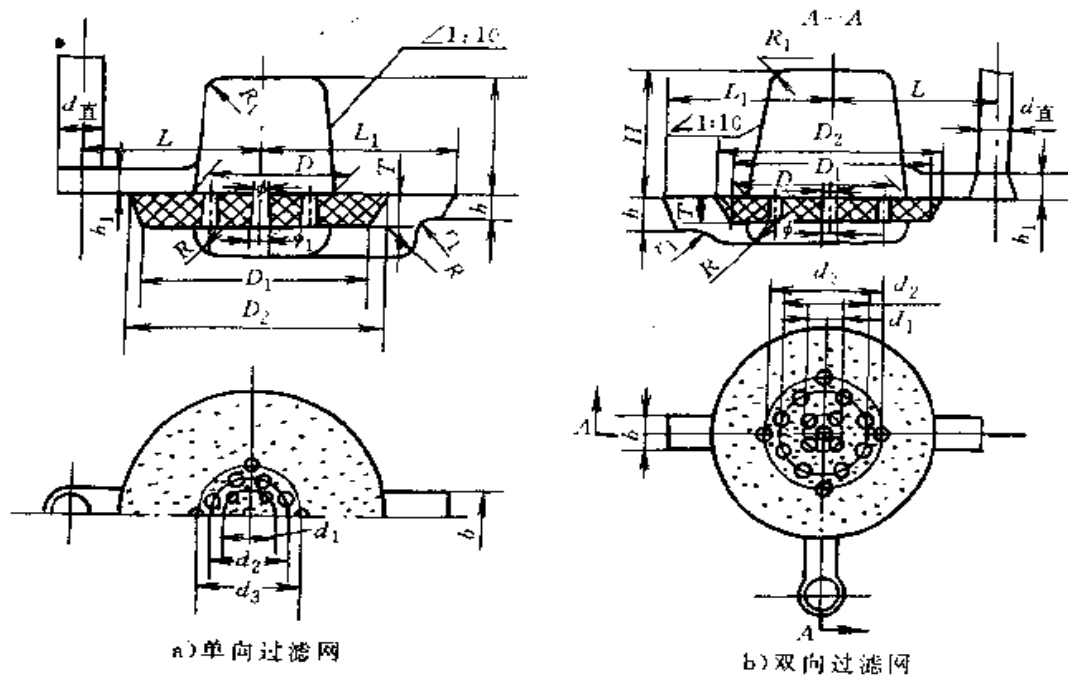
图 6-129 滤网芯的安放

a) 滤网放在直浇道上端 b) 滤网放在直浇道下端 c) 滤网放于横浇道中

2) 纤维过滤网是在玻璃纤维布上涂覆酚醛树脂或陶瓷材料(如氧化铝粉)涂料而制成, 常用网孔尺寸为: $0.6\text{mm} \times 0.6\text{mm}$, $1.0\text{mm} \times 1.0\text{mm}$, $1.3\text{mm} \times$

1.3mm , $1.65\text{mm} \times 1.65\text{mm}$, 厚度为 0.5mm 左右, 其安放见图 6-130, 适用于轻合金铸件。

表 6-124 铸铁件砂芯过滤网浇道尺寸



a) 单向过滤网

b) 双向过滤网

| 铸件质(重)量 (kg) | 网孔总 面积 (cm^2) | 轮廓尺寸(mm) | | | | 过滤网尺寸(mm) | | | | | | | 浇注系统尺寸(mm) | | | | | | | |
|-----------------|--------------------------------|----------|-----|----|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|----|--------|------------|---------|----|----------|----|----------|-------|-------|
| | | D 或 H | L | R | R_1 | D_2 | D_1 | d_3 | d_2 | d_1 | T | ϕ | 筛孔 数 n | $d_{直}$ | 单向 | | 双向 | | r_1 | L_1 |
| | | | | | | | | | | | | | | | b | h, h_1 | b | h, h_1 | | |
| 5~10 | 1.65 | 62 | 71 | 14 | 10 | 84 | 82 | — | 48 | 25 | 15 | 5 | 8 | 17 | 17 | 14 | 14 | 12 | 5 | 70 |
| 10~20 | 2.60 | 70 | 79 | 17 | 10 | 100 | 98 | 56 | 32 | 5 | 15 | 5 | 13 | 20 | 21 | 17 | 15 | 12 | 5 | 85 |
| 20~50 | 3.41 | 72 | 86 | 19 | 12 | 110 | 106 | — | 60 | 25 | 15 | 6 | 12 | 23 | 24 | 20 | 17 | 14 | 6 | 100 |
| 50~100 | 5.12 | 96 | 106 | 24 | 12 | 136 | 132 | 80 | 44 | 7 | 20 | 7 | 13 | 27 | 30 | 24 | 20 | 18 | 7 | 110 |
| 100~200 | 7.00 | 96 | 113 | 27 | 14 | 144 | 140 | 80 | 54 | 24 | 20 | 7 | 20 | 32 | 35 | 28 | 24 | 20 | 8 | 120 |
| 200~300 | 10.00 | 114 | 126 | 33 | 14 | 158 | 154 | 94 | 64 | 30 | 20 | 8 | 20 | 38 | 40 | 34 | 29 | 24 | 9 | 140 |
| 300~600 | 13.60 | 122 | 140 | 38 | 16 | 166 | 162 | 100 | 70 | 32 | 25 | 9 | 20 | 45 | 48 | 40 | 35 | 28 | 10 | 150 |
| 600~1000 | 20.10 | 132 | 155 | 44 | 16 | 176 | 172 | 108 | 75 | 34 | 25 | 11 | 20 | 53 | 62 | 45 | 41 | 34 | 11 | 180 |
| 1000~2000 | 27.70 | 140 | 180 | 56 | 16 | 188 | 184 | 118 | 82 | 36 | 30 | 13 | 20 | 65 | 65 | 57 | 50 | 38 | 12 | 190 |

注: 1. $\phi_1 = \phi + 1$ (mm)。

2. 适用于要求水压试验(压力 $> 5\text{MPa}$ 以上)品质(质量)要求高的铸件。

3. 可参考以下比例值确定其它组元面积: $F_{内}:F_{网孔}:F_{板}:F_{直} = 1:1.1:1.5:1.2$ 。

3) 多孔陶瓷过滤网有两种, 一种是以刚玉材料采用模具挤压而制成网格经烧结而制得, 孔隙率一般小于 50%; 另一种是以有机海绵或有机泡沫材料涂附陶瓷涂料后, 烘干、焙烧而得多孔泡沫陶瓷块, 孔隙率为 85%~90%。这种过滤器能有效地滤除各种

尺寸的杂质, 而且能使紊流的金属液流变得平稳。多孔陶瓷过滤网安放位置见图 6-131。

4) 钢片过滤网用薄钢板冲制而成, 常用于铝镁合金铸件的浇注系统。使用前应进行除锈和除油处理。具体尺寸见表 6-125。

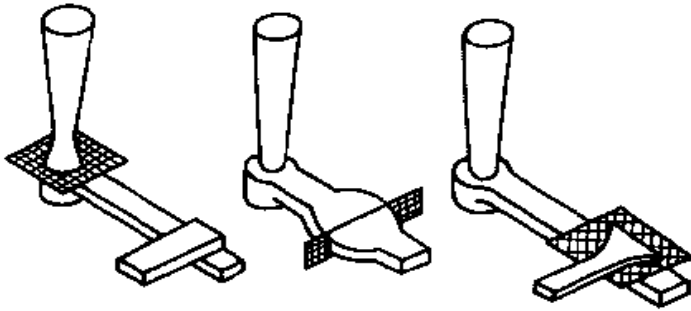


图 6-130 纤维过滤网的安放方式

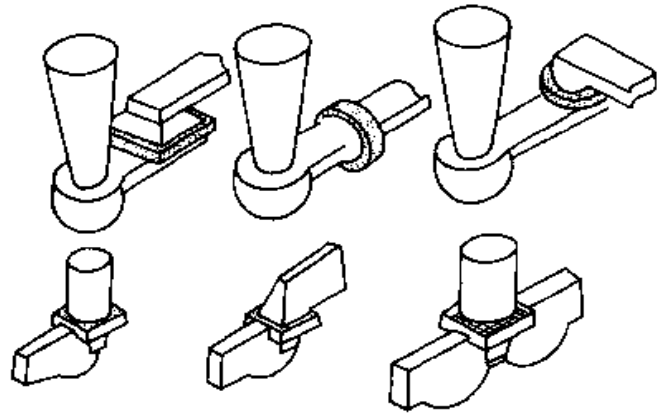


图 6-131 多孔陶瓷过滤网的安放位置

表 6-125 钢片过滤网的规格

| | |
|------|---|
| 示意图 | |
| 材料 | 薄钢板或铁片 |
| 厚度 | 0.3~0.8mm |
| 网眼尺寸 | $\phi 1.5 \sim 2.5\text{mm}$ (最大不得超过 3mm) |
| 网孔率 | >30% |

7.6.6 带集渣包的浇注系统

当铸件要求较高, 铸件浇注的质(重)量流率较高又不能采用截面很大的横浇道进行挡渣的情况下, 可采用带集渣包的浇注系统。这种浇注系统主要用于重要的大中型铸件上, 特别是可锻铸铁件和球墨铸铁件上应用比较多。

集渣包形式分为两类, 即锯齿形集渣包和离心式集渣包, 锯齿形集渣包大都设在横浇道上, 又分为顺齿和逆齿两种, 逆齿的挡渣效果比顺齿的好, 见图 6-132。

离心式集渣包一般设在横浇道末端, 直接同内浇道相连, 其出口方向必须与金属液流的旋转方向相反, 见图 6-133, 离心式集渣包尺寸, 见表 6-126。

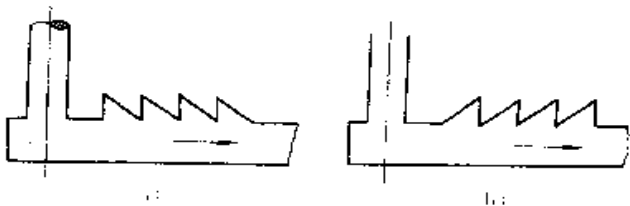


图 6-132 锯齿形集渣包
a) 逆齿 b) 顺齿

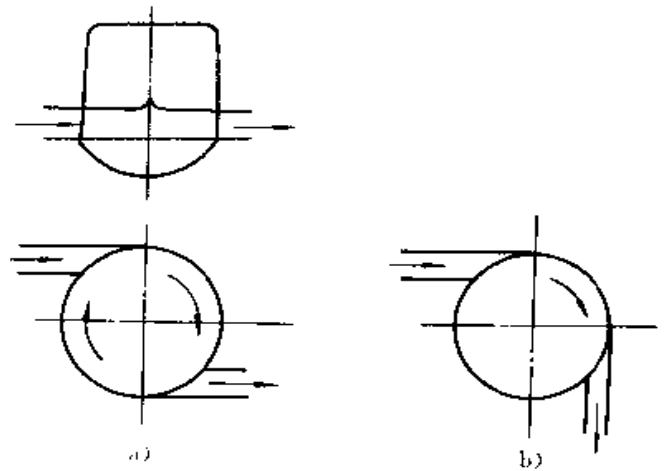
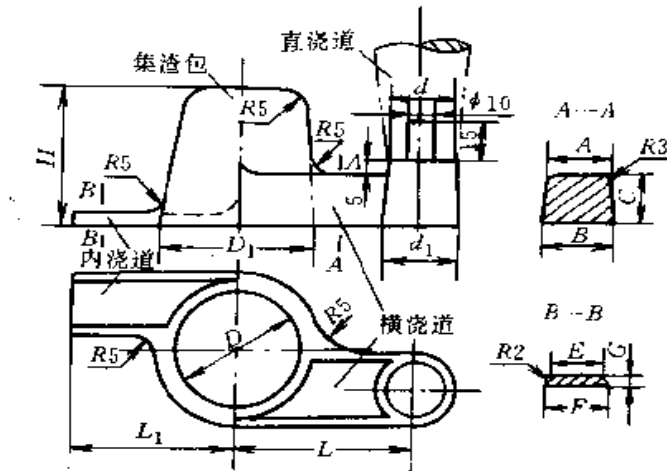


图 6-133 离心集渣包
a) 合理 b) 不合理

表 6-126 离心集渣包的浇注系统尺寸



| 铸件质 (重) 量 (kg) | 直浇道面积 (cm^2) | 横浇道面积 (cm^2) | 内浇道面积 (cm^2) | 直浇道直径 (mm) | d_1 (mm) | d (mm) | 横 浇 道 | | |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------|---------------|-------------|-----------|---------------|-----------|
| | | | | | | | A (mm) | B (mm) | C (mm) |
| ≤ 10 | 3.1 | 2.7 | 0.85 | 20 | 25 | 22 | 14 | 16 | 18 |
| 10-20 | 4.9 | 3.4 | 2.0 | 25 | 30 | 26 | 16 | 18 | 20 |
| 21-30 | 7.1 | 4.0 | 2.6 | 30 | 37 | 32 | 16 | 20 | 22 |
| 31-40 | 9.6 | 6.2 | 3.8 | 35 | 43 | 37 | 20 | 24 | 28 |
| 铸件质 (重) 量 (kg) | 内 浇 道 | | | D (mm) | D_1 (mm) | H (mm) | L (mm) | L_1 (mm) | |
| | E (mm) | F (mm) | G (mm) | | | | | | |
| ≤ 10 | 20 | 22 | 4 | 40 | 50 | 50 | 60 | 50 | |
| 10-20 | 24 | 26 | 8 | 45 | 55 | 55 | 70 | 60 | |
| 21-30 | 24 | 28 | 10 | 50 | 60 | 60 | 80 | 65 | |
| 31-40 | 27 | 35 | 12 | 55 | 65 | 65 | 90 | 70 | |

7.6.7 阶梯式浇注系统

在铸件不同高度上开设多层内浇道的称为阶梯式浇注系统，见图 6-134。

结构正确的阶梯式浇注系统具有以下优点：①金属液自下而上顺序流经各层内浇道，因而充型平稳，并有利于型腔内气体顺利排出；②充型后铸件上部温度高于下部，有利于实现自下而上、最后到冒口的顺序凝固和冒口的补缩，铸件组织致密；③内浇道分散，减轻了局部过热现象，因而阶梯式浇注系统可减少铸件上的砂眼、气孔、缩松、缩孔、冷隔、浇不到、氧化等缺陷。其缺点是结构复杂，造型和清理工作也复杂，而且要求正确的计算和结构设计，否则容易出现金属液从各层内浇道同时进入型腔的“乱浇”

现象或从底层进入的金属液过多形成下部温度高的不理想的温度分布。

阶梯式浇注系统适用于高度大的中、大型铸件。

阶梯式浇注系统设置有如下三种形式：

1) 多浇口杯、多直浇道的阶梯式，见图 6-135。这种方式效果最好，但结构过于复杂，实际上很少采用。

2) 单浇口杯、多直浇道的阶梯式。浇口杯中设两个或多个直浇道，浇注开始时，除最先注入者外，其余用塞子堵住，浇注时按由下而上的顺序逐个拔出各直浇道的塞子，实现分层浇注。

3) 分配直浇道的阶梯式，见图 6-136。使用一个浇口杯、一个主直浇道和若干个分配直浇道（分配金

属液流给各内浇道), 其结构简单, 生产中应用广泛。方式有以下三种: ①通过控制浇注速度实现分层注入。这种方式对浇注操作技术要求高, 控制难度大; ②控制浇注系统各组元的断面比例, 整个金属液在分配直浇道中呈不充满状态, 这种方法应用最多; ③控制浇注系统的形状和结构, 改变金属液的流动方向和造成不同的阻力实现逐层引注, 见图 6-137。图 6-137d、e 两种形式又称为缓冲式阶梯浇注系统, 应用较广。

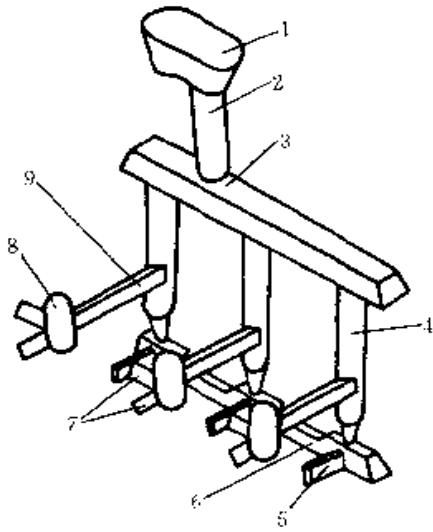


图 6-134 阶梯式浇注系统

- 1—浇口杯 2—直浇道 3—上排横浇道
- 4—分直浇道 5—底层内浇道 6—底排横浇道
- 7—上层内浇道 8—集渣包 9—上排分横浇道

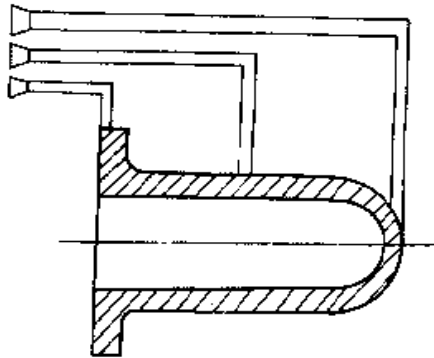


图 6-135 多浇口杯、多直浇道的阶梯式浇注系统

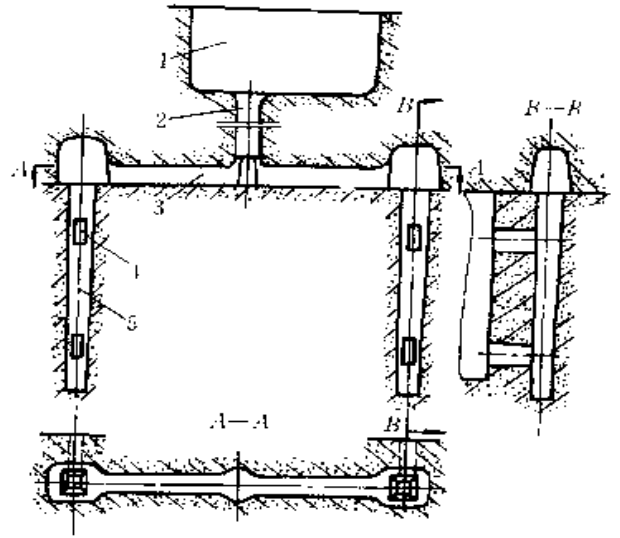


图 6-136 带分配直浇道的阶梯式浇注系统

- 1—浇口杯 2—垂直浇道 3—横浇道
- 4—内浇道 5—分配直浇道

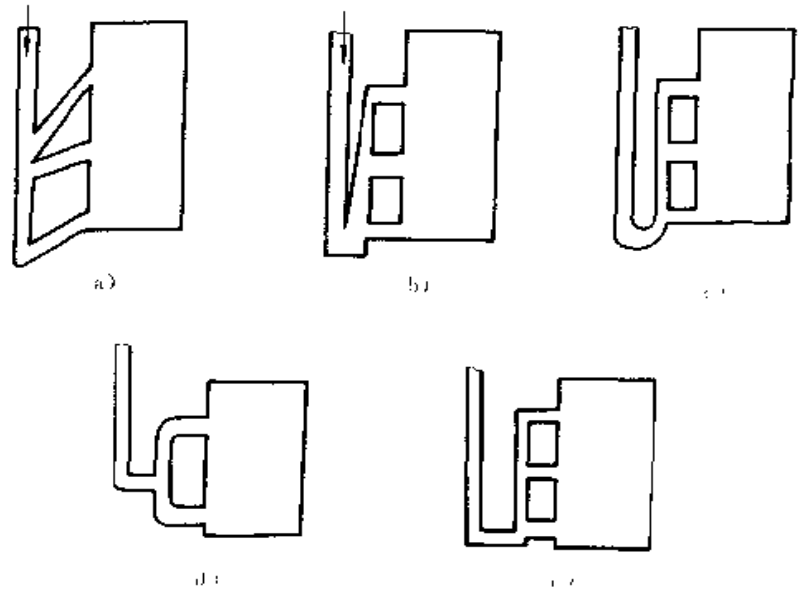


图 6-137 实现逐层引入金属液的阶梯式浇注系统示意图

- a) 内浇道向上倾斜 b、c、d) 带有中间直浇道
- e) 中间直浇道大于垂直浇道

正确的阶梯式浇注系统应满足两个条件, 一是连接各层内浇道的直浇道(即分配直浇道)在浇注过程中呈不充满状态, 二是分配直浇道中金属液的有效静压力头应小于相邻两层内浇道的距离。

底层内浇道从浇注开始到浇注终了一直都在起作用, 为了造成铸件上部温度高于下部温度的有利温度分布, 获得定向凝固的条件, 上层内浇道的总断面积应为底层的 1~2 倍。

7.6.8 垂直分型无箱造型浇注系统

主要介绍丹麦迪莎公司挤压造型垂直分型浇注系统。与水平分型相比,在垂直分型浇注系统中,金属液的充型静压头在铸型顶部和底部可相差好几倍,如果在很短时间内要求各层内浇道逐层接替地充满所有的型腔(即象阶梯式浇注系统那样),势必造成每个型腔的冲型速度太快,以及上下部位受热条件不一样,从而生产机械粘砂(底部铸件)冲砂、气孔、浇不足(顶部铸件)等铸造缺陷。因此,对于一型多件的垂直分型浇注系统,要求在浇注过程中各内浇道处保持压头不变,流经各内浇道的金属液的流率相同,所有型腔都能同时充满,以获得质量基本一致的合格铸件。这就是迪莎公司设计的恒压等流率浇注系统。

采用等流率浇注系统需注意以下几点:①只有在浇注过程中始终保持充满状态,浇注系统内各处的金属的静压头才能稳定不变。所以应采用封闭式浇注系统而不能采用半封闭式或开放式浇注系统。②不同高度的内浇道应有不同的断面积,以控制相同的质(重)量流率,并严格控制浇注时间。③为保证浇注系统压力恒定,液流不紊乱,应使浇口杯容纳足够的金属液量,并在整个浇注过程中保持液面高度不变。

7.6.8.1 简略的分析 在铸型中处于不同高度的内浇道,由于金属的压头不同,流入金属液的流速是不同的,大体上可应用下式:

$$v = \sqrt{2gh}$$

式中 v ——内浇道处金属液的流速;

h ——内浇道处的压头;

g ——重力加速度。

要使流经不同高度的内浇道金属液的流率相同,

$$v_1 F_1 = v_2 F_2 = v_3 F_3$$

$$\sqrt{2gh_1} F_1 = \sqrt{2gh_2} F_2 = \sqrt{2gh_3} F_3$$

得到:

$$\frac{F_1}{F_2} = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}, \quad \frac{F_1}{F_3} = \sqrt{\frac{h_3}{h_1}}$$

由此可知:欲使各型腔同时充满,就应使各不同高度处内浇道的截面积与该处金属压头的平均值成反比。

7.6.8.2 用列线图确定各内浇道的截面积 下面以一个重 2kg 的圆形灰口铸铁件为例,说明恒压等流量浇注系统的设计方法和程序。

1) 画模板布置图,见图 6-138,每型可生产 12 铸件并初步确定: $h_1 = 100\text{mm}$, $h_2 = 250\text{mm}$, $h_3 = 350\text{mm}$ 。

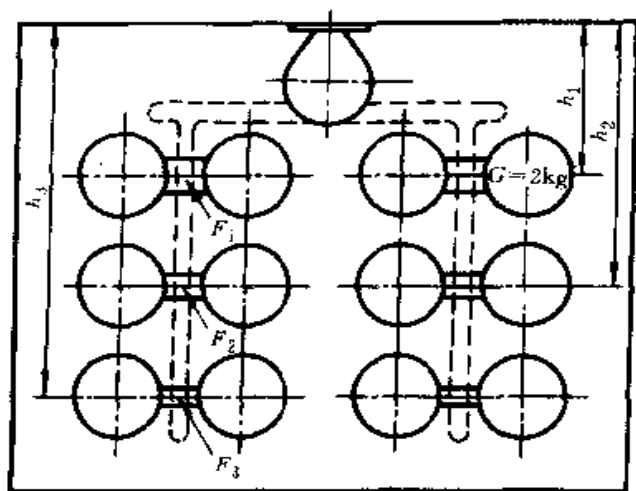


图 6-138 垂直分型无箱造型模板布置图

2) 计算铸件质(重)量:已知单个铸件质量为 2kg,铸型中铸件总质量为 $G_{\text{件}} = 2 \times 12 = 24\text{kg}$ 。

3) 确定充型时间 t :浇注时间应和造型节拍相配合,本例中造型线生产率为 360 型/h,每造一个铸型的生产周期为 10s,其浇注时间为 8s(铸型输送及复位占用 2s),扣除充填浇注系统的时间 2s,则充填每个型腔所用时间为 6s。

4) 由于金属液与铸型间的摩擦而致的流率损失,简称摩擦损失系数 m ,一般取值为 0.5。

5) 由图 6-139 查定内浇道的截面积:

条件:每一铸件质量 G : 2kg;

充型时间 t : 6s;

摩擦损失系数 m : 0.5;

$h_1 = 100\text{mm}$, $h_2 = 250\text{mm}$, $h_3 = 350\text{mm}$ 。

首先,在右边的坐标上找到 $G = 2\text{kg}$ 的一点。

从这一点起,顺斜线向右下方移动,到与 $T = 6\text{s}$ 的垂直线交于一点。

由此交点水平向右,到与 $m = 0.5$ 的垂直线交于一点。

由此交点顺斜线向右下方移动,到与 $h_1 = 100$, $h_2 = 250$ 和 $h_3 = 350$ 等垂直线相交,由这些交点分别水平向右移动,求得:

$$F_1 = 70\text{mm}^2, \quad F_2 = 45\text{mm}^2, \quad F_3 = 38\text{mm}^2。$$

实际上浇注时,由于有引流作用,如按上述理论值定内浇道截面积,则下层型腔的充填会稍快,而上层则稍慢。为补偿这一点, F 层型腔的内浇道常选取小一点的值,而上层则选大一点的值。图 6-138 所示的铸型实际上宜选取 $F_1 = 80\text{mm}^2$, $F_2 = 45\text{mm}^2$, $F_3 = 30\text{mm}^2$ 。

6) 内浇道的尺寸和形状:内浇道应在铸件发生

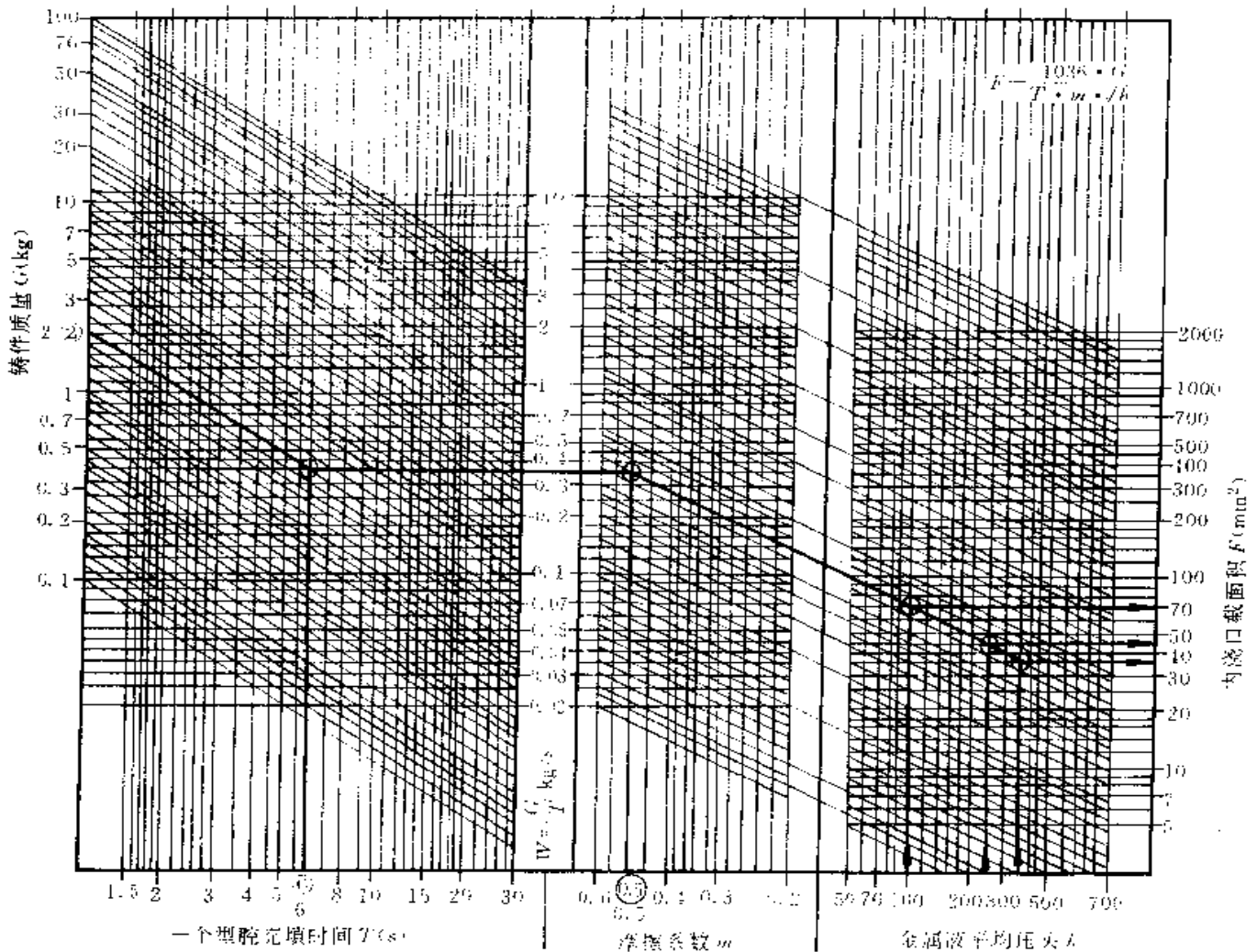


图 6-139 查定内浇道截面积的列线图

石墨化膨胀前凝固，以使铸件致密。因此，应采用薄内浇道，其厚度视铸件壁厚而定，见表 6-127。

表 6-127 按铸件壁厚定内浇道厚度

| 铸件壁厚(mm) | 内浇道厚度(mm) |
|----------|-----------|
| 3~10 | 1.5 |
| 10~15 | 2.0 |
| 15~20 | 2.5 |
| 20~25 | 3.9 |

采用薄内浇道，也利于铸件与浇注系统分离，并可减轻清理铸件的工作量。

对于灰铸铁件，应力求不用冒口，以提高工艺出品率，并减少打磨铸件的工作量。为此，内浇道应尽可能位于铸件上方，如不可能，也以位于侧面为好。

内浇道的结构及其与铸件的连接见图 6-140。

7.6.8.3 直浇道 每一直浇道的截面积应比其所供给的内浇道的总面积增大 20%。

如图 6-138 所示的例子，一型浇注 12 个铸件，共用 2 个直浇道，每一直浇道供给 6 个内浇道。

每一直浇道所属的 6 个内浇道的总面积：

$$\sum F_{\text{内}} = 2 \times 80 + 2 \times 45 + 2 \times 30 = 310 \text{mm}^2$$

共用两个直浇道。

7.6.8.4 横浇道 通常，横浇道的截面积应比直浇道的总截面积增大 30%。如横浇道距铸型顶面的距离小于 75mm，则其截面积应比直浇道的总截面积大 100%。

7.6.8.5 浇注系统各组元的标准配置 浇注系统的结构的一例，见图 6-141。各标准组件可根据已求得的截面积，选用最接近的。

(1) 浇口杯 有自动浇注用和人工浇注用两种，见图 6-142 和图 6-143。

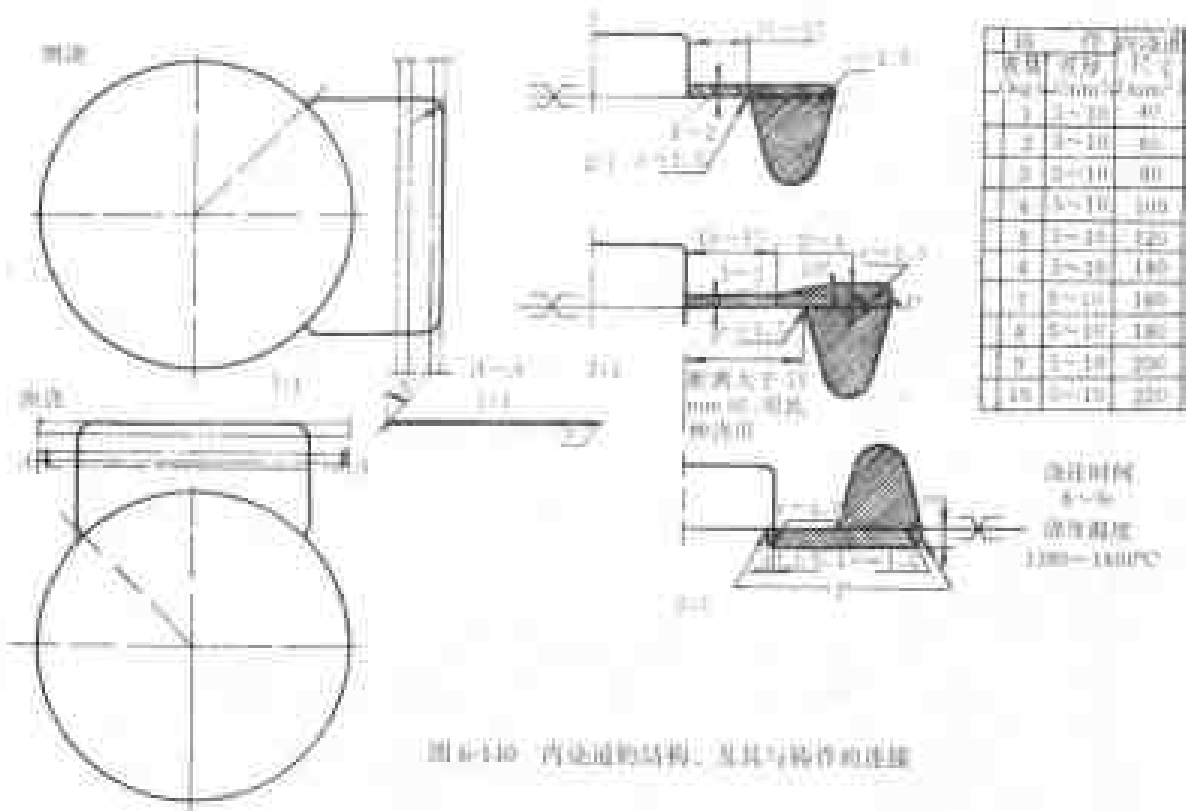


图 6-140 内浇道的结构及其与铸件的连接

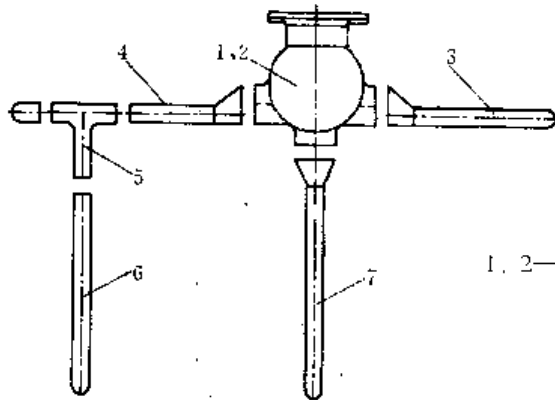


图 6-141 浇注系统的结构示例

1, 2—两种可供选用的浇口杯 3—横浇道 4—横浇道
5—T形接头 6—直浇道 7—直浇道

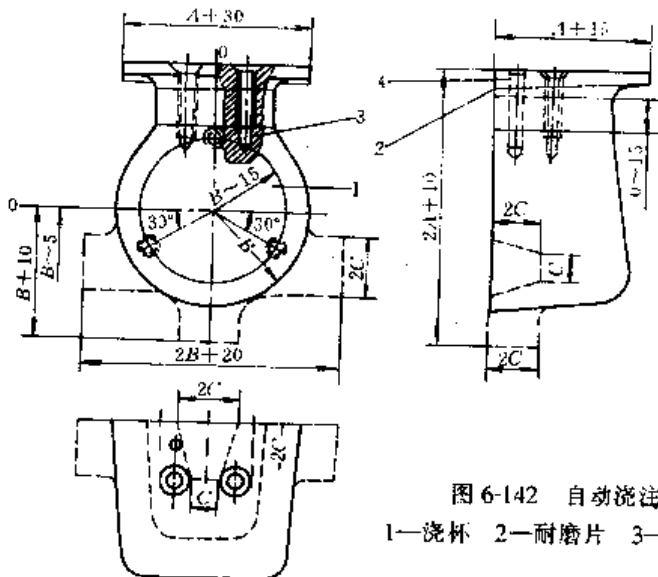
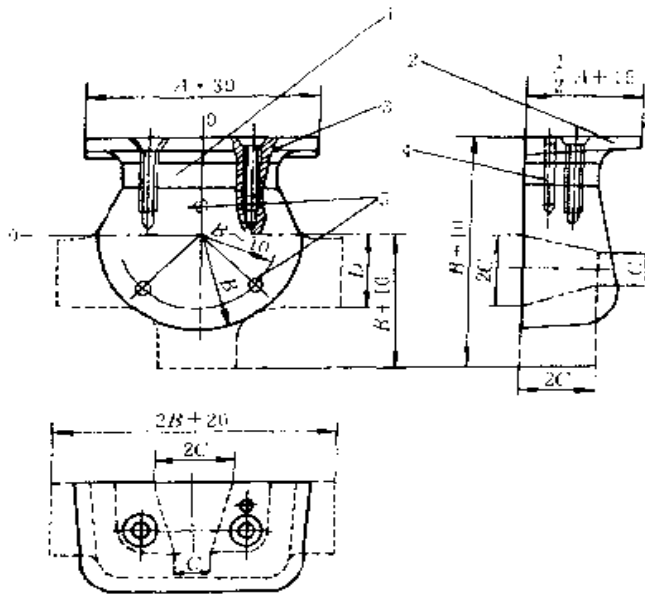


图 6-142 自动浇注用浇口杯 (本图表示一半)

1—浇杯 2—耐磨片 3—M6×30 螺钉 4—定位销 5×30

| 序号 | 浇注速率 (kg/s) | 浇口杯质量 (kg) | 尺寸 (mm) | | |
|----|-------------|------------|---------|----|----|
| | | | d | B | c |
| 1 | ≤3 | 3 | 40 | 30 | 15 |
| 2 | 3~5 | 4 | 45 | 35 | 15 |
| 3 | 5~7 | 6 | 50 | 40 | 22 |
| 4 | 7~11 | 9 | 60 | 45 | 22 |



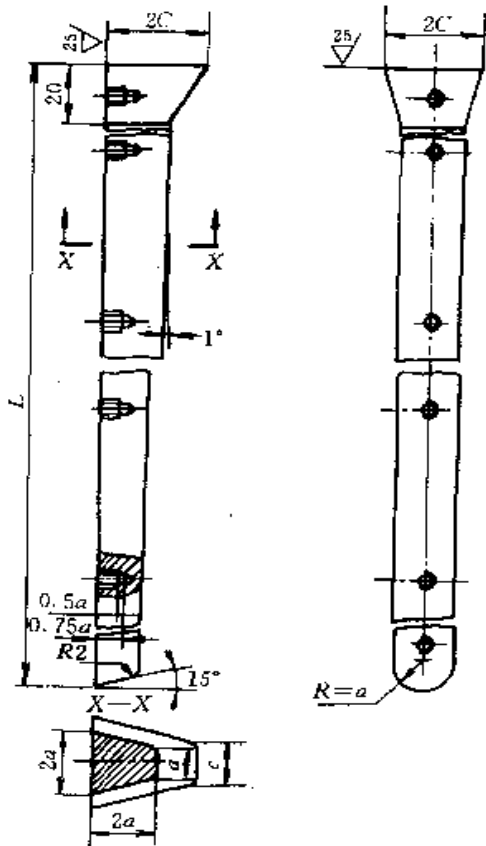
| 序号 | 浇注流率 (kg/s) | 浇口杯容量 (kg) | 尺寸(mm) | | | |
|----|----------------|---------------|--------|----|----|----|
| | | | A | B | C | D |
| 1 | ≤2 | 2.5 | 50 | 30 | 15 | 30 |
| 2 | 2~2.8 | 3.0 | 60 | 40 | 15 | 30 |
| 3 | 2.8~3.8 | 4.0 | 70 | 50 | 22 | 40 |
| 4 | 3.8~5 | 5.5 | 80 | 55 | 22 | 45 |

图 6-143 人工浇注用浇口杯 (本图表示一半)

1—浇杯 2—耐磨片 3—M6×18 螺钉 4—定位销 5×20 5—M6×30 螺钉

(2) 直浇道 直浇道因其连接件不同而有两种, 一种与浇口杯直接连接, 一种与 T 形接头连接, 见

图 6-144 和图 6-145。



| 序号 | a (mm) | 面积 (mm ²) | c (mm) |
|----|-----------|--------------------------|-----------|
| 1 | 5 | 75 | 15 |
| 2 | 6 | 108 | 15 |
| 3 | 7 | 147 | 15 |
| 4 | 8 | 192 | 15 |
| 5 | 9 | 243 | 15 |
| 6 | 10 | 300 | 22 |
| 7 | 11 | 363 | 22 |
| 8 | 12 | 432 | 22 |
| 9 | 13 | 507 | 22 |
| 10 | 14 | 588 | 22 |
| 11 | 15 | 675 | 22 |
| 12 | 16 | 768 | 22 |
| 13 | 17 | 867 | 22 |
| 14 | 18 | 972 | 22 |
| 15 | 19 | 1083 | 22 |
| 16 | 20 | 1200 | 22 |

图 6-144 与浇口杯连接的直浇道

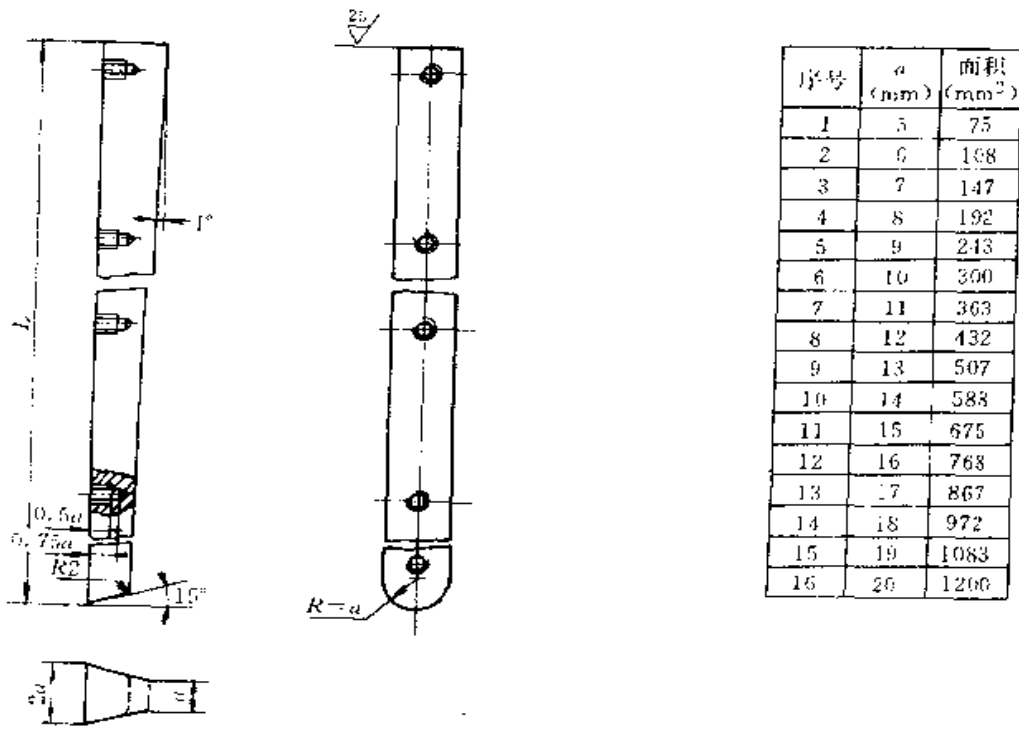


图 6-145 与 T 形接头连接的直浇道

(3) 横浇道 见图 6-146c

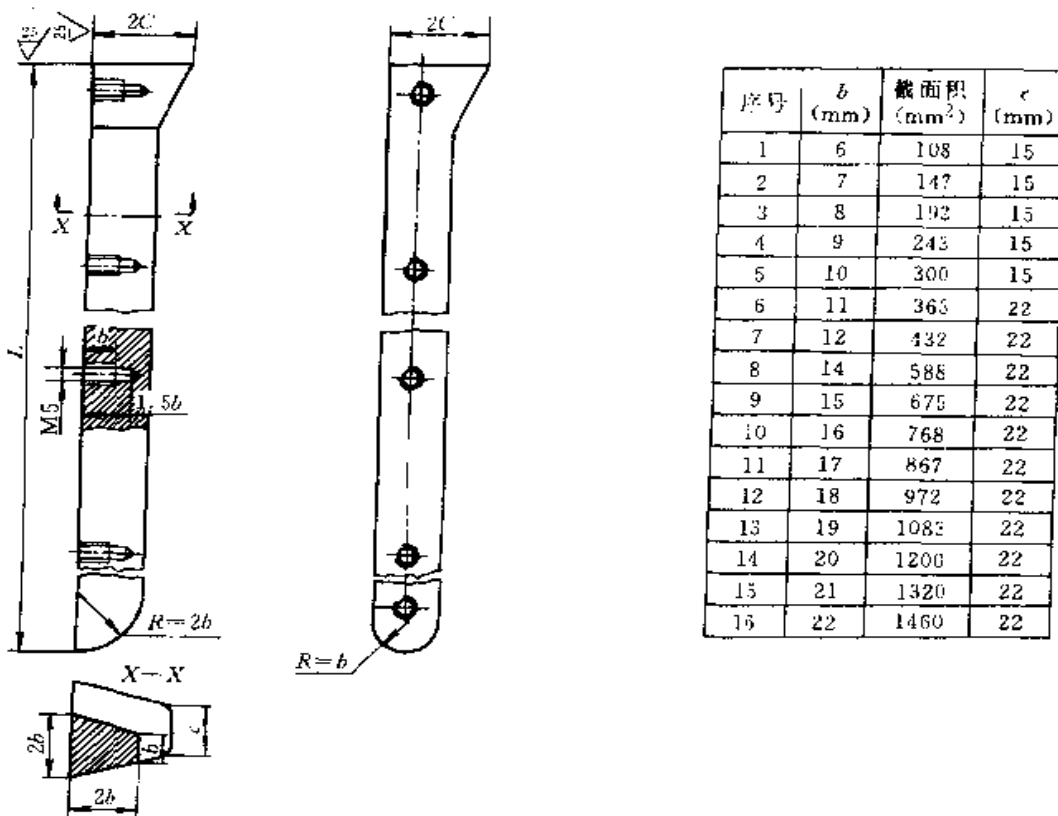
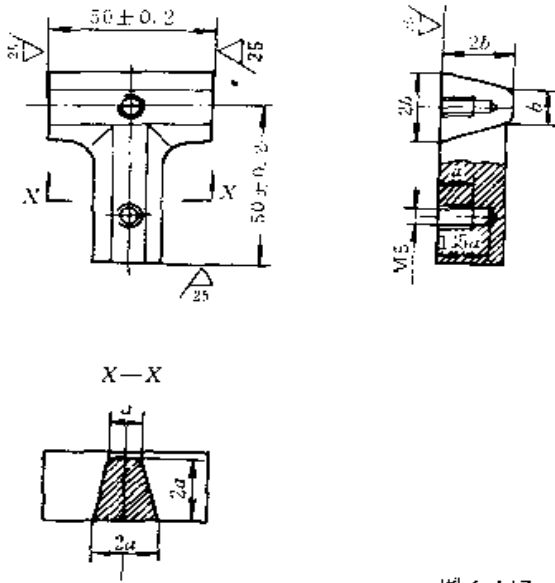


图 6-146 横浇道

(4) T形接头 见图 6-147。



| 序号 | a (mm) | 面积 (mm ²) | b (mm) | 面积 (mm ²) |
|----|--------|-----------------------|--------|-----------------------|
| 1 | 5 | 75 | 6 | 108 |
| 2 | 6 | 138 | 7 | 147 |
| 3 | 7 | 147 | 8 | 192 |
| 4 | 8 | 192 | 9 | 243 |
| 5 | 9 | 243 | 10 | 300 |
| 6 | 10 | 300 | 11 | 365 |
| 7 | 11 | 363 | 12 | 432 |
| 8 | 12 | 432 | 14 | 588 |
| 9 | 13 | 507 | 15 | 675 |
| 10 | 14 | 588 | 16 | 768 |
| 11 | 15 | 675 | 17 | 867 |
| 12 | 16 | 768 | 18 | 972 |
| 13 | 17 | 867 | 19 | 1083 |
| 14 | 18 | 972 | 20 | 1200 |
| 15 | 19 | 1083 | 21 | 1320 |
| 16 | 20 | 1200 | 22 | 1460 |

图 6-147 T形接头

8 冒口

8.1 冒口的种类

冒口是铸型内用以储存金属液的空腔，其功能是多方面的。功能不同的冒口，其形式、大小和开设位置均不相同。所以冒口的设计要充分考虑铸造合金的性质和铸件的特点。

1) 对于凝固温度范围宽，不产生集中缩孔的合金（如锡青铜），冒口的作用主要是排气和收集液流前沿混有夹杂物或氧化膜的金属液。这种冒口多置于内浇道的对面，其尺寸也不必太大。

2) 对于要求控制显微组织的铸件，冒口可以收集液流前沿的过冷金属液，避免铸件上出现过冷组织。

典型的例子是单位铸造活塞环时所用的冒口。有些铸铁件易出现白口组织的部位，也可开设这样的冒口。

3) 对于凝固期间体积收缩量大，且趋向于形成集中缩孔的合金（如铸钢、锰黄铜和铝青铜等），冒口的主要作用是补偿铸件的液态收缩和凝固收缩，以得到致密的铸件。

由于具有前两种功能的冒口，须根据铸件的特点经具体分析后适当地设置，难以归纳成通用的图例和数据。本书这一章介绍的主要是起补缩作用的冒口。

8.2 铸钢件的冒口

8.2.1 常用冒口的形状

(1) 圆形明冒口 见图 6-148。

(2) 矩形和腰形的明冒口 见图 6-149。

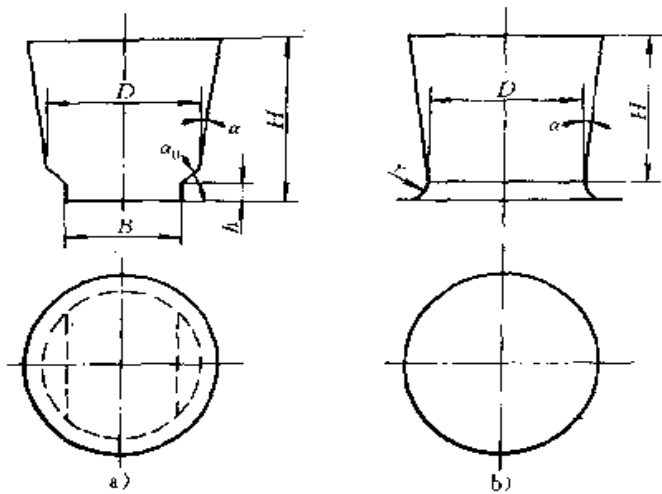


图 6-148 圆形明冒口

a) 有颈型 b) 无颈型

B—冒口颈 D—冒口直径 H—冒口高度 α —斜度
 $D \leq \phi 200$ $\alpha = 5^\circ$ $D > \phi 200$ $\alpha = 3^\circ$ a_0 —在 50° 左右

$h \rightarrow 8 \sim 30\text{mm}$ $r \rightarrow \geq 25\text{mm}$

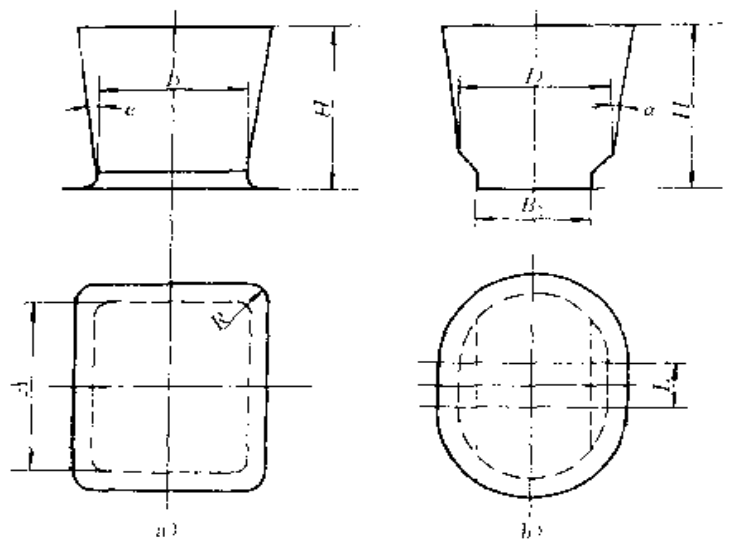


图 6-149 矩形和腰形的明冒口

a) 无颈型 b) 有颈型

(图中各部尺寸的代号和数值见图 6-148)

(3) 暗冒口

- 1) 长圆形暗冒口, 见图 6-150。
- 2) 圆形暗冒口, 见图 6-151。

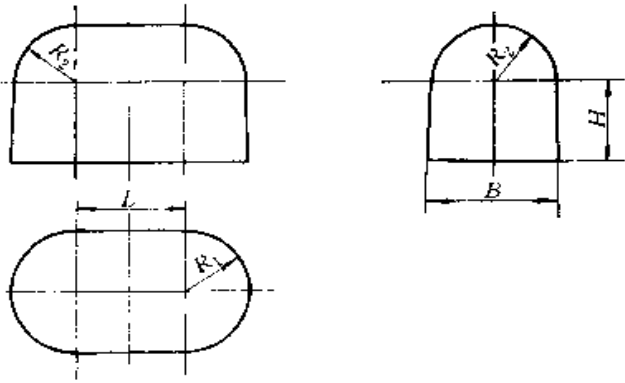


图 6-150 腰形暗冒口

$$H = (1 \sim 0.8)B \quad R_1 = (1/2)B$$

$$R_2 = 1/2(B - 5) \quad L \text{—按补缩距离而定}$$

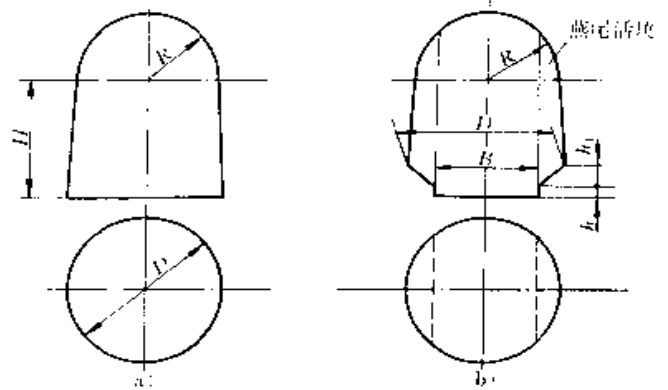


图 6-151 圆形暗冒口

a) 无颈型 b) 有颈型

无颈型: $H = (0.9 \sim 1.2)D \quad R = (1/2)D - (3 \sim 6)$

有颈型: $H = (0.9 \sim 1.2)D \quad R = (1/2)D - (3 \sim 6)$

$$h_1 > 1/2(D - B)$$

(4) 边冒口

- 1) 明边冒口: 见图 6-152。
- 2) 暗边冒口: 见图 6-153

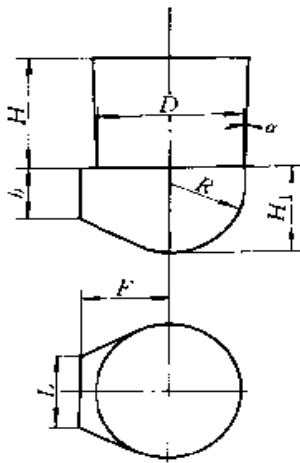


图 6-152 明边冒口

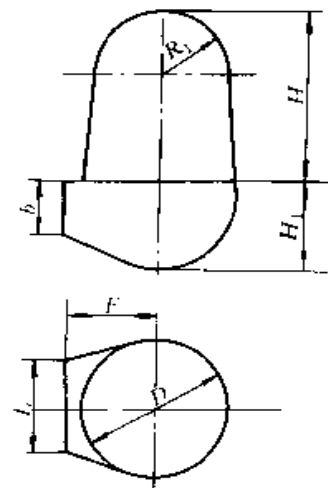


图 6-153 暗边冒口

8.2.2 铸钢件冒口设计

冒口的设计包括两个内容:一是确定冒口的位置和数量,二是确定冒口的尺寸。

8.2.2.1 冒口的位置 冒口的位置直接影响冒口的补缩效率和铸件的质量,应按铸件结构的特点划分为几个需要补缩的地方,然后确定每个冒口的类型和位置。

冒口应设在铸件最高和最后凝固的部位,同时必须采取措施形成向冒口方向的定向凝固。

冒口应避免放在铸件上应力集中的部位,以免由于加大热差造成铸件变形或开裂。

冒口应尽量放在加工面上,减少铸件不必要的加工或修整。

图 6-152 和图 6-153 中:

$$b = (1.3 \sim 1.5)T \text{ (热节直径)} \quad D = (1.5 \sim 2)b$$

$$H_1 = b + (20 \sim 40) \quad R = (1/2)D - D$$

$$R_1 = (1/2)D - (3 \sim 6)$$

$$H = (1.5 \sim 2)D \quad L = (1 \sim 1.3)b \quad F = (1/2)D$$

$$+ (20 \sim 50) \quad \alpha: D \leq \phi 200 \quad \alpha = 5^\circ \quad D > \phi 200 \quad \alpha = 3^\circ$$

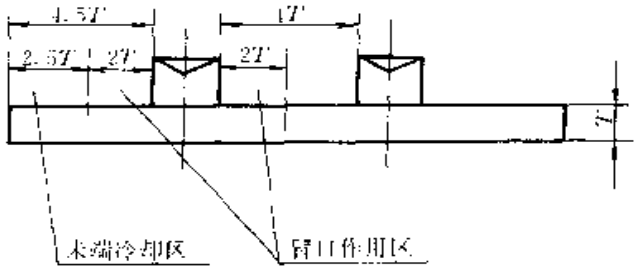
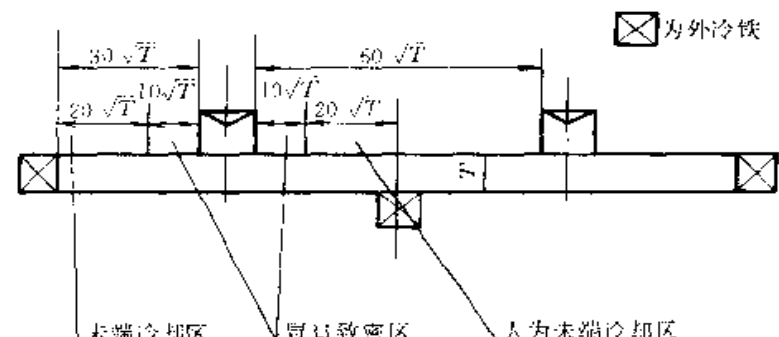
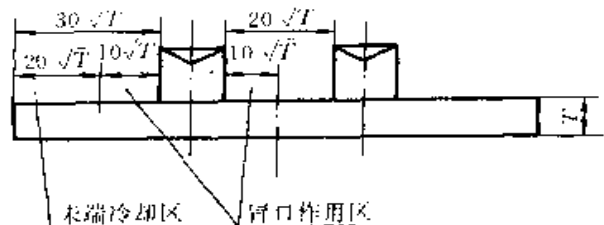
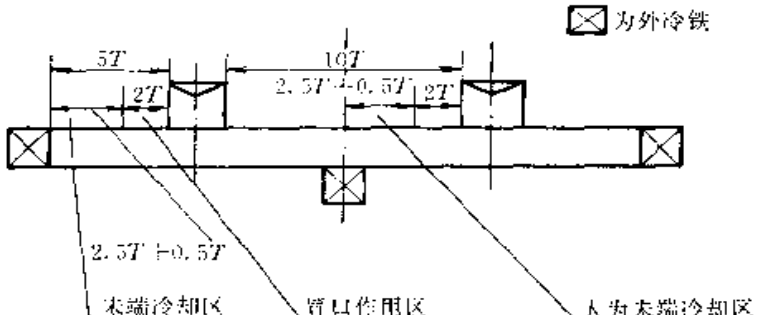
$$R_1 = (1/2)D - (3 \sim 6)$$

8.2.2.2 冒口的有效补缩距离 冒口补缩铸件,只能在一定距离之内有效。

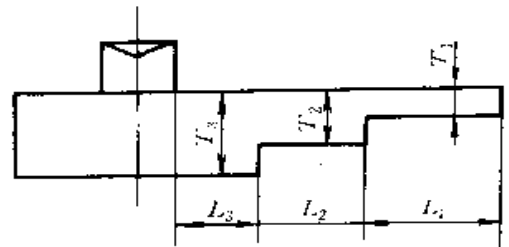
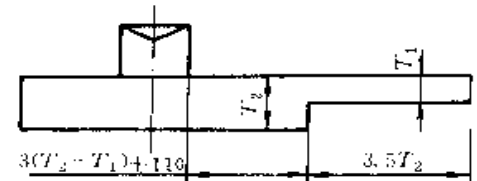
1) 冒口的水平方向补缩距离,见表 6-128,图 6-154

冒口作用区和末端区之和称为冒口的有效补缩距离和图 6-155。

表 6-128 铸钢件冒口的有效补缩距离

| 铸件形状 | 简 图 |
|--|--|
| 板状件(铸件截面宽度与厚度之比 $\geq 5:1$) 适用于铸件厚度范围 $T = 12.5 \sim 100\text{mm}$ |  |
| |  |
| 杆状件(铸件截面宽度与厚度之比为 1:1)适用于铸件厚度范围 $T = 25 \sim 200\text{mm}$ |  |
| |  |

(续)

| 铸件形状 | 简 图 |
|-------------|---|
| 不同厚度组合的板状铸件 |  <p style="text-align: center;">$T_2:T_1 \approx 1.4$</p> |
| |  <p style="text-align: center;">$L_1 = 3.5T_2 \quad L_2 = 3.5(T_3 - T_1) \quad L_3 = 3(T_3 - T_2) + 110$</p> |

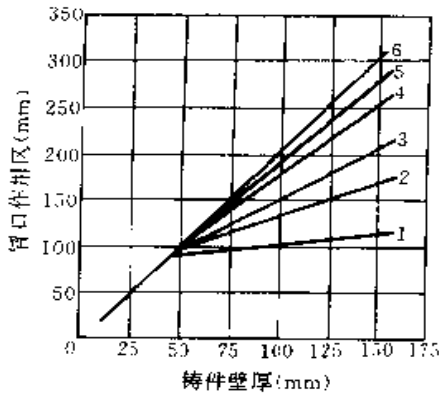


图 6-154 补缩范围与铸件壁厚的关系

- 1—宽:厚=1:1的杆
- 2—宽:厚=1.5:1的杆
- 3—宽:厚=2:1的杆
- 4—宽:厚=3:1的杆
- 5—宽:厚=4:1的杆
- 6—宽:厚=5:1的板

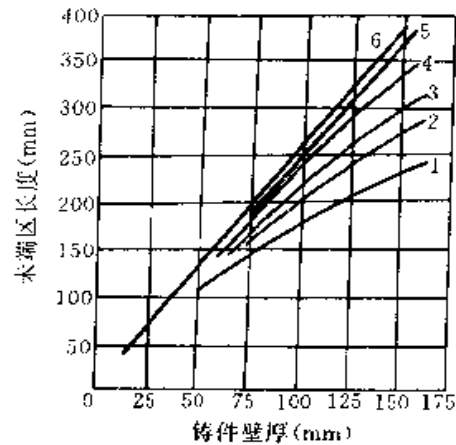


图 6-155 末端区长度与铸件壁厚的关系

- 1—宽:厚=1:1的杆
- 2—宽:厚=1.5:1的杆
- 3—宽:厚=2:1的杆
- 4—宽:厚=3:1的杆
- 5—宽:厚=4:1的杆
- 6—宽:厚=5:1的板

件小,需要有较大的补贴厚度造成有利的补缩通道,以获得致密的铸件。由图 6-156 求得板状件的上端补贴厚度,再根据杆截面的宽厚比从表 6-130 查得补偿系数,两者的乘积即为杆状铸件补贴的上端厚度。

表 6-129 铸件材质和浇注方式的补偿系数

| 材质及浇注方式 | 碳素钢及低合金钢 | | 高合金钢 | |
|---------|----------|------|------|------|
| | 上注 | 底注 | 上注 | 底注 |
| 补偿系数 | 1 | 1.25 | 1.25 | 1.56 |

2)冒口垂直方向的有效补缩范围:冒口在垂直方向的补缩范围与铸件被补缩部分的高度、壁厚和冷却条件有关。铸件被补缩部分越厚、高度越低则补缩范围越大,下端放置冷铁也能增大补缩范围。

对于致密度高的铸件,经常设置补贴造成向冒口方向的凝固顺序以增大冒口垂直方向的补缩范围。图 6-156 为碳素钢板状铸件顶注实验得出的补贴厚度。对于底注式铸板及高合金钢铸板,因铸板的自然热差恶化,需借增加补贴厚度来补偿以促成定向凝固的进行,其补偿系数,见表 6-129。

杆状类铸件,冒口在垂直方向的补缩距离比板状

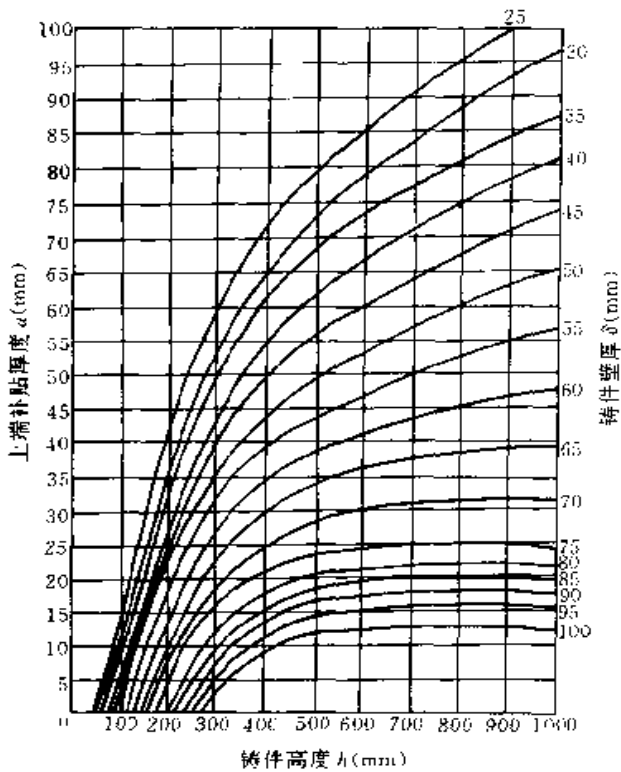


图 6-156 碳素钢板状铸件的补贴厚度

表 6-130 杆状件补贴值的补偿系数

| 横截面的宽厚比 | 补偿系数 | 横截面的宽厚比 | 补偿系数 |
|---------|------|---------|------|
| 4:1 | 1.0 | 1.5:1 | 1.7 |
| 3:1 | 1.25 | 1:1 | 2.0 |
| 2:1 | 1.5 | — | — |

确定了铸件上端补贴厚度后,还需补贴向下的斜率,铸件品质(质量)要求越高补贴的斜率就应越大,见表 6-131。

表 6-131 补贴斜率的选择

| 铸件要求的射线探伤品质(质量)等级 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------|-------|------|-----|-----|-----|
| 补贴斜率(%) | 10~11 | 9~10 | 8~9 | 6~8 | 5~7 |

8.2.2.3 冒口的计算 铸钢件的冒口计算方法很多。常用的有模数法、比例法和补缩液量法。

(1)用模数法确定铸钢件的冒口 根据模数理论,铸件的凝固时间取决于它的体积和传热面积的比值,其比值为凝固模数,简称模数。用下式表示:

$$M = V/A(\text{cm})$$

式中 M ——模数(cm);

V ——体积(cm^3);

A ——传热表面积(cm^2)。

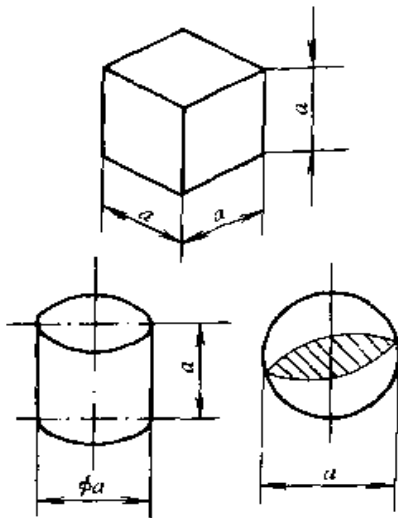
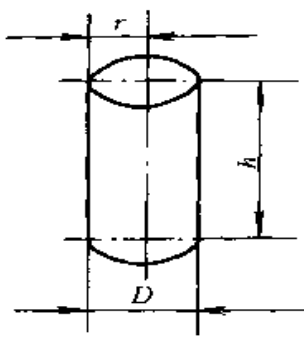
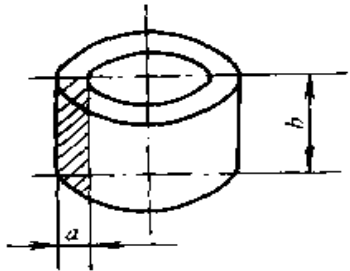
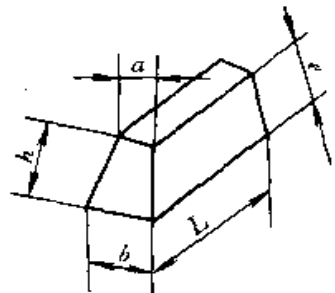
模数小的铸件,凝固时间短;模数大的铸件,凝固时间长;模数相同的铸件,凝固时间相等或相近。

先将铸件或被补缩部位的形状加以简化,再参考表 6-132 和表 6-133 算出模数。

表 6-132 几种简单几何体的模数

| 几何体名称 | 简 图 | 模数计算公式 |
|---------|-----|--|
| 平板或圆板 | | $a \geq 5T$ 的平板或圆板 板中截出边长为 1cm 的小方块, $V = 1\text{cm}^2 \times T, S = 2\text{cm}^2$ $M = V/S = T/2(\text{cm})$ 因为板是由任意多个小方块组成,故其模数 $M = T/2$ |
| 矩形杆或方形杆 | | 矩形杆或方截面杆 杆中截取长度为 1cm 的小方块 $V = a \times b \times 1\text{cm}^3$ $S = (a + b) \times 1\text{cm}^2 \times 2$ $M = V/S = (a \times b) / 2(a + b)$, 长杆为任意多个小块组成,故其模数 $M = ab / (2(a + b))$ 因方杆是 $a = b$ 故其 $M = a^2 / (4a) = a/4$ |

(续)

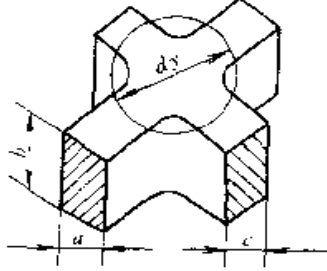
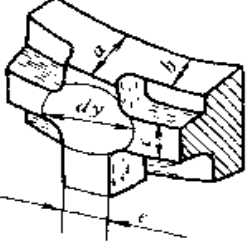
| 几何体名称 | 简 图 | 模数计算公式 | | | |
|---------------|---|---|---------------|-------------------------------|-------------|
| 立方体, 正圆柱体, 球体 |  | 正立方体及其内切圆柱体或内切球体; 三者模数相同 | | | |
| | | | 立方体 | 圆柱体 | 球体 |
| | | V | a^3 | $\pi a^3/4$ | $\pi a^3/6$ |
| | | S | $6a^2$ | $\frac{\pi a^2}{2} + \pi a^2$ | πa^2 |
| M | $\frac{a}{6}$ | $\frac{a}{6}$ | $\frac{a}{6}$ | | |
| 实心圆柱体 |  | 实心圆柱体; $h \leq 2.5D$ 时 $V = \pi r^2 h$ $S = 2\pi r^2 + \pi r h$ $M = \pi r^2 h / (2\pi r^2 + 2\pi r h) = rh / (2(r + h))$ $h > 2.5D$ 的长圆柱体, 其两端面可略去不计; $M = \pi r^2 h / (2\pi r h) = r/2 = D/4$ | | | |
| 环形体或空心圆柱体 |  | $b < 5a$ 的空心环 $M = ab / (2(a + b))$ $b > 5a$ 的空心圆柱体或空心管子 $M = a/2$ | | | |
| 梯形截面体 |  | $M = \frac{(a + b)h}{2(a + b + 2e)}$ | | | |

注: V—体积, S—冷却表面积, M—模数。

表 6-133 几种简单几何组合体的模数

| 序号 | 组合体名称 | 简图 | 模数公式 |
|----|------------|----|--|
| 1 | 带法兰的环形体 | | <p>设</p> $V = D_M \pi n b = n a^2 \pi b$ $S = 2 a^2 \pi n + a \pi (n + 1) (b - c) + a \pi (n - 1) b$ $M = V/S = \frac{ab}{2(a+b) - c} \approx \frac{(n+1)}{n}$ |
| 2 | 角形杆状组合体 | | <p>当 $D_M \rightarrow \infty$ 时, 展开即成角形杆组合体</p> $(n+1)/n = (\infty+1)/\infty \rightarrow 1$ $M = \frac{ab}{2(a+b) - c}$ |
| 3 | 圆柱体与圆盘组合 | | <p>当 $D_M = n \times a - a$ 即 $n = 1$, $(n+1)/n = 2$</p> $M = \frac{ab}{2(a+b) - c} = \frac{ab}{2(a+b-c)}$ |
| 4 | 圆柱体与板相交的轮毂 | | <p>为上式的特殊情况, 模数为</p> $M = \frac{ab}{2(a+b-c)}$ |
| 5 | 两个矩形杆组成的轮体 | | <p>此类件可近似地展开成 $a \times b$ 的方形断面杆, 模数</p> $M = \frac{ab}{2(a+b) - c}$ |
| 6 | 板件相交 | | <p>当板宽 $b > a$, $b \gg dy/2$ 时, “+”、“T”、“L”形相交板的热节处模数为:</p> $M = dy/2$ |

(续)

| 序号 | 组合体名称 | 简 图 | 模 数 公 式 |
|----|----------|---|--|
| 7 | 杆件相交 |  | 杆件与杆件相交处热节的模数为 $M = (dyb) / (2(dy + b))$ $dy = \sqrt{a^2 + b^2} + \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{4}\right)(a + b)$ |
| 8 | 相交杆与板件组合 |  | 相交杆与板相接处的热节模数为： $M = \frac{ady}{2(a + dy - b)}$ b—假想板的非冷却面 $dy = \sqrt{c^2 + e^2} + \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{4}\right)(b + e)$ |

取冒口的模数 $M_R = fM_c$ 。

对于明冒口取 $f = 1.2$ ；对于顶暗冒口，取 $f = 1.1$ 。

对于边冒口，冒口颈的模数 M_N 应比铸件设置冒口部位铸件的模数 M 大，冒口模数又应比冒口颈模数大，一般取：

$$M : M_N : M_R = 1 : 1.1 : 1.2$$

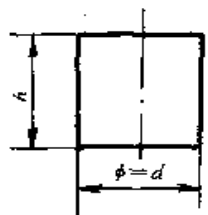
当金属液流经边冒口再充填型腔时，可取：

$$M : M_N : M_R = 1 : (1 \sim 1.03) : 1.2$$

为了保证有足够的补缩金属液，必须依据冒口补缩区域的铸件体积决定冒口的最小体积（表 6-135～表 6-146）。

根据铸件对冒口模数和冒口体积的要求，从表 6-134～表 6-135 选择一个合适的标准冒口，使它能满足计算得出的冒口模数和所能补缩的最大铸件体积（或质量）。

表 6-134 标准圆柱形明冒口(之一)

| 类型 I | | 类型 II | |
|---|--|--|--|
|  | $h = d$ $M_R = 0.1774d$ $V_R = 0.935d^3$ |  | $h = d$ $M_R = 0.1667d$ $V_R = 0.785d^3$ |

| 冒 口 | | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,最大能补缩的铸件体积 V_c (质量 G_c) | | | | | | | |
|-----|---------------|-----------------|--------------|---------------|--|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| 类型 | M_R (cm) | $d = h$ (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) |
| I | 1.77 | 100 | 0.95 | 6.5 | 2.01 | 15.7 | 1.71 | 13.4 | 1.26 | 9.9 | 0.95 | 7.4 |
| II | 1.66 | | 0.785 | 5.4 | 1.66 | 12.9 | 1.41 | 11 | 1.04 | 8.1 | 0.78 | 6.1 |
| I | 1.95 | 110 | 1.27 | 8.6 | 2.67 | 20.8 | 2.28 | 17.8 | 1.68 | 13.1 | 1.27 | 9.9 |
| II | 1.83 | | 1.05 | 7.1 | 2.2 | 17.2 | 1.88 | 14.7 | 1.39 | 10.8 | 1.04 | 8.1 |
| I | 2.12 | 120 | 1.65 | 11.2 | 3.47 | 27.1 | 2.96 | 23.1 | 2.19 | 17 | 1.65 | 12.8 |
| II | 2.00 | | 1.36 | 9.2 | 2.86 | 22.3 | 2.44 | 19 | 1.8 | 14 | 1.36 | 10.6 |

(续)

| 冒 口 | | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,最大能补缩的铸件体积 V_C (质量 G_C) | | | | | | | |
|-----|---------------|---------------|--------------|---------------|--|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| 类型 | M_R (cm) | $d=h$ (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) |
| I | 2.30 | 130 | 2.1 | 14.3 | 4.42 | 34.5 | 3.77 | 39.4 | 2.78 | 21.7 | 2.1 | 16.3 |
| II | 2.17 | | 1.72 | 11.7 | 3.64 | 28.4 | 3.10 | 24.3 | 2.29 | 17.9 | 1.72 | 13.5 |
| I | 2.48 | 140 | 2.61 | 17.8 | 5.51 | 43 | 4.7 | 36.7 | 3.43 | 27.1 | 2.61 | 20.4 |
| II | 2.33 | | 2.15 | 14.6 | 4.54 | 35.4 | 3.88 | 30.2 | 2.86 | 22.3 | 2.15 | 16.8 |
| I | 2.66 | 150 | 3.22 | 21.9 | 6.79 | 53 | 5.8 | 45.1 | 4.28 | 33.4 | 3.22 | 25.1 |
| II | 2.50 | | 2.65 | 18 | 5.59 | 43.6 | 4.77 | 37.5 | 3.52 | 27.5 | 2.65 | 20.7 |
| I | 2.84 | 160 | 3.9 | 26.5 | 8.24 | 64.3 | 7 | 54.8 | 5.2 | 40.5 | 3.9 | 30.4 |
| II | 2.67 | | 3.2 | 22 | 6.78 | 53 | 5.79 | 45 | 4.27 | 33.4 | 3.2 | 25 |
| I | 3.01 | 170 | 4.68 | 32 | 9.88 | 77 | 8.4 | 65.7 | 6.23 | 48.6 | 4.68 | 36.5 |
| II | 2.83 | | 3.80 | 26.2 | 8.14 | 63.5 | 6.94 | 54 | 5.13 | 40 | 3.86 | 30 |
| I | 3.19 | 180 | 5.56 | 37.8 | 11.73 | 91.5 | 10 | 78 | 7.4 | 57.7 | 5.56 | 43.4 |
| II | 3.00 | | 4.58 | 31 | 9.66 | 75.3 | 8.24 | 64.3 | 6.9 | 47.5 | 4.58 | 35.7 |
| I | 3.37 | 190 | 6.54 | 44.5 | 13.8 | 108 | 11.8 | 92 | 8.7 | 68 | 6.54 | 51 |
| II | 3.16 | | 5.4 | 37 | 11.4 | 88.6 | 9.7 | 75.6 | 7.16 | 55.8 | 5.38 | 42 |
| I | 3.55 | 200 | 7.63 | 52 | 16 | 125 | 13.7 | 107 | 10.2 | 79 | 7.63 | 59.5 |
| II | 3.33 | | 6.3 | 43 | 13.2 | 103 | 11.3 | 88 | 8.35 | 65 | 6.3 | 49 |
| I | 3.73 | 210 | 8.83 | 60 | 18.6 | 145 | 15.9 | 124 | 11.7 | 91.6 | 8.83 | 69 |
| II | 3.50 | | 7.27 | 49.5 | 15.4 | 120 | 13 | 102 | 9.67 | 75.4 | 7.27 | 56.7 |
| I | 3.90 | 220 | 10.15 | 69 | 21.4 | 167 | 18.3 | 142.5 | 13.5 | 105 | 10.15 | 79.2 |
| II | 3.66 | | 8.36 | 57 | 17.6 | 137 | 15 | 117 | 11.1 | 87 | 8.36 | 65 |
| I | 4.10 | 230 | 11.6 | 79 | 24.5 | 190 | 20.8 | 163 | 15.4 | 120 | 11.6 | 90.5 |
| II | 3.83 | | 9.55 | 65 | 20.1 | 157 | 17.2 | 134 | 12.7 | 99 | 9.55 | 74.5 |
| I | 4.26 | 240 | 13.2 | 89.6 | 27.8 | 217 | 23.7 | 185 | 17.5 | 137 | 13.2 | 103 |
| II | 4.00 | | 10.8 | 74 | 22.9 | 178 | 19.5 | 152 | 14.4 | 113 | 10.8 | 84 |
| I | 4.44 | 250 | 14.9 | 101 | 31.4 | 245 | 26.8 | 209 | 19.8 | 154 | 14.9 | 116 |
| II | 4.16 | | 12.3 | 84 | 25.9 | 202 | 22 | 172 | 16.3 | 127 | 12.3 | 96 |
| I | 4.61 | 260 | 16.7 | 114 | 35.3 | 276 | 30.2 | 235 | 22.3 | 174 | 16.7 | 131 |
| II | 4.33 | | 13.8 | 94 | 29 | 227 | 24.8 | 194 | 18.3 | 143 | 13.8 | 107 |
| I | 4.79 | 270 | 18.8 | 128 | 39.6 | 309 | 33.8 | 263 | 24.9 | 195 | 18.8 | 146 |
| II | 4.50 | | 15.4 | 105 | 32.6 | 254 | 27.8 | 217 | 20.5 | 160 | 15.4 | 120 |
| I | 4.97 | 280 | 20.9 | 142 | 44.1 | 344 | 37.7 | 294 | 27.8 | 217 | 20.9 | 163 |
| II | 4.66 | | 17.2 | 117 | 36.4 | 284 | 31 | 242 | 22.9 | 179 | 17.2 | 134 |
| I | 5.15 | 290 | 23.2 | 158 | 49 | 383 | 41.8 | 326 | 30.9 | 241 | 23.2 | 181 |
| II | 4.83 | | 19.1 | 130 | 40.4 | 315 | 34.5 | 269 | 25.5 | 199 | 19.1 | 149 |
| I | 5.32 | 300 | 25.7 | 175 | 54.3 | 423 | 46.3 | 361 | 34.2 | 267 | 25.7 | 200 |
| II | 5.00 | | 21.2 | 144 | 44.7 | 349 | 38.2 | 297 | 28.2 | 300 | 21.2 | 165 |
| I | 5.50 | 310 | 28.4 | 193 | 60 | 467 | 51.1 | 399 | 37.8 | 295 | 28.4 | 221 |
| II | 5.16 | | 23.4 | 159 | 49.3 | 385 | 42 | 328 | 31.1 | 240 | 23.4 | 182 |
| I | 5.68 | 320 | 31.2 | 212 | 65.9 | 514 | 56.2 | 438 | 41.5 | 324 | 31.2 | 244 |
| II | 5.33 | | 25.7 | 175 | 54.3 | 423 | 46.3 | 361 | 34.2 | 269 | 25.7 | 200 |
| I | 5.85 | 330 | 34.2 | 233 | 72.3 | 564 | 61.6 | 480 | 45.5 | 355 | 34.2 | 267 |
| II | 5.50 | | 28.2 | 192 | 59.5 | 464 | 50.8 | 396 | 37.5 | 293 | 28.2 | 220 |
| I | 6.03 | 340 | 37.5 | 255 | 79 | 616 | 67.4 | 526 | 49.8 | 389 | 37.5 | 292 |
| II | 5.66 | | 30.8 | 210 | 65.1 | 508 | 55.5 | 43.3 | 41 | 320 | 30.8 | 240 |

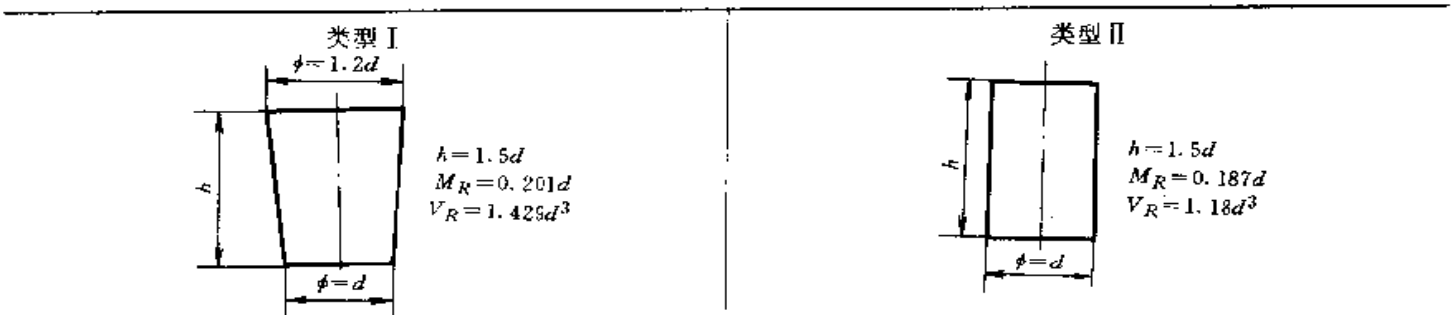
(续)

| 冒 口 | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,最大能补缩的铸件体积 V_c (质量 G_c) | | | | | | | | |
|-----|---------------|-----------------|--------------|--|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| 类型 | M_R (cm) | $d = h$ (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) |
| I | 6.20 | 350 | 40.9 | 278 | 86.2 | 672 | 73.5 | 574 | 54.3 | 424 | 40.9 | 319 |
| II | 5.83 | | 33.6 | 229 | 71 | 554 | 60.6 | 472 | 44.7 | 349 | 33.6 | 262 |
| I | 6.39 | 360 | 44.5 | 302 | 93.8 | 732 | 80 | 624 | 59.1 | 461 | 44.5 | 347 |
| II | 6.00 | | 36.6 | 249 | 77.3 | 603 | 65.9 | 514 | 48.7 | 380 | 36.6 | 286 |
| I | 6.56 | 370 | 48.3 | 328 | 101.8 | 794 | 86.9 | 678 | 64.2 | 500 | 48.3 | 376 |
| II | 6.16 | | 39.7 | 270 | 83.9 | 654 | 71.5 | 558 | 52.9 | 412 | 39.7 | 310 |
| I | 6.74 | 380 | 52.3 | 356 | 110 | 660 | 94 | 734 | 69.5 | 542 | 52.3 | 408 |
| II | 6.33 | | 43 | 293 | 90.9 | 709 | 77.5 | 605 | 57.3 | 447 | 43 | 336 |
| I | 6.92 | 390 | 56.5 | 384 | 119 | 930 | 101.7 | 794 | 75.2 | 586 | 56.5 | 441 |
| II | 6.50 | | 46.5 | 317 | 98.2 | 766 | 83.8 | 654 | 61.9 | 483 | 46.5 | 363 |
| I | 7.10 | 400 | 61 | 415 | 128.7 | 1000 | 109.8 | 856 | 81.1 | 633 | 61 | 476 |
| II | 6.66 | | 50.2 | 341 | 106 | 827 | 90.4 | 705 | 66.8 | 521 | 50.2 | 392 |
| I | 7.45 | 420 | 70.6 | 480 | 149 | 1160 | 127 | 991 | 93.9 | 732 | 70.6 | 550 |
| II | 7.00 | | 53.1 | 395 | 122.7 | 957 | 104.6 | 817 | 77.3 | 603 | 53.1 | 453 |
| I | 7.80 | 440 | 81.2 | 552 | 171 | 1333 | 146 | 1140 | 108 | 842 | 81.2 | 633 |
| II | 7.33 | | 66.9 | 455 | 141 | 1100 | 120 | 939 | 88.9 | 694 | 66.9 | 521 |
| I | 8.16 | 460 | 92.8 | 630 | 195.7 | 1520 | 167 | 1300 | 123 | 962 | 92.8 | 724 |
| II | 7.67 | | 76.4 | 520 | 161 | 1250 | 137.5 | 1070 | 101.6 | 793 | 76.4 | 596 |
| I | 8.52 | 480 | 105.4 | 717 | 222 | 1730 | 189.7 | 1480 | 140 | 1090 | 105.4 | 822 |
| II | 8.00 | | 86.8 | 590 | 183 | 1420 | 156 | 1220 | 115.4 | 900 | 86.8 | 677 |
| I | 8.87 | 500 | 119 | 870 | 251 | 1960 | 214.4 | 1670 | 158.4 | 1230 | 119 | 929 |
| II | 8.33 | | 98.1 | 667 | 207 | 1610 | 176.6 | 1370 | 130.5 | 1010 | 98.1 | 765 |
| I | 9.22 | 520 | 134 | 911 | 282.7 | 2200 | 241 | 1880 | 178 | 1390 | 134 | 1040 |
| II | 8.66 | | 110 | 750 | 233 | 1810 | 198 | 1550 | 147 | 1140 | 110 | 861 |
| I | 9.58 | 540 | 150 | 1.02 | 316.6 | 2470 | 270 | 2100 | 199.5 | 1550 | 150 | 1170 |
| II | 9.00 | | 123.6 | 840 | 260 | 2030 | 222 | 1730 | 164 | 1280 | 123.6 | 964 |
| I | 9.93 | 560 | 167 | 1140 | 353 | 2750 | 301 | 2350 | 222.6 | 1730 | 167 | 1300 |
| II | 9.33 | | 137.8 | 937 | 291 | 2270 | 248 | 1930 | 183 | 1430 | 137.8 | 1070 |
| I | 10.30 | 580 | 186 | 1260 | 392 | 3060 | 334.7 | 2610 | 247.3 | 1930 | 186 | 1450 |
| II | 9.67 | | 153 | 1040 | 323 | 2520 | 276 | 2150 | 204 | 1580 | 153 | 1190 |
| I | 10.64 | 600 | 205.8 | 1400 | 434 | 3380 | 370.5 | 2890 | 273.8 | 2130 | 205.8 | 1600 |
| II | 10.00 | | 169.6 | 1150 | 357 | 2790 | 305 | 2380 | 225 | 1760 | 169.6 | 1320 |
| I | 10.99 | 620 | 227 | 1540 | 479 | 3730 | 408.8 | 3190 | 302 | 2350 | 227 | 1770 |
| II | 10.33 | | 187 | 1270 | 395 | 3080 | 336 | 2620 | 248 | 1940 | 187 | 1460 |
| I | 11.35 | 640 | 250 | 1700 | 527 | 4110 | 449.6 | 3510 | 332 | 2590 | 250 | 1950 |
| II | 10.66 | | 206 | 1400 | 434 | 3380 | 370 | 2890 | 273 | 2130 | 206 | 160 |
| I | 11.71 | 660 | 274 | 1860 | 578 | 4510 | 493 | 3840 | 364 | 2840 | 274 | 2130 |
| II | 11.00 | | 225.7 | 1530 | 476 | 3710 | 406 | 3170 | 300 | 2340 | 225.7 | 1760 |
| I | 12.06 | 680 | 299.6 | 2040 | 632 | 4930 | 539.4 | 4200 | 398 | 3100 | 299.6 | 2330 |
| II | 11.33 | | 246.8 | 1680 | 521 | 4060 | 444 | 3460 | 328 | 2560 | 246.8 | 1920 |
| I | 12.42 | 700 | 327 | 2220 | 689.7 | 5380 | 588.4 | 4590 | 434.7 | 3390 | 327 | 2550 |
| II | 11.67 | | 269 | 1830 | 568 | 4430 | 484 | 3780 | 358 | 2790 | 269 | 2100 |
| I | 12.77 | 720 | 355.7 | 2420 | 750 | 5850 | 640 | 4990 | 473 | 3690 | 355.7 | 2770 |
| II | 12.00 | | 293 | 1990 | 618 | 4820 | 527 | 4110 | 389 | 3040 | 293 | 2280 |

(续)

| 冒 口 | | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,最大能补缩的铸件体积 V_C (质量 G_C) | | | | | | | |
|-----|---------------|-----------------|--------------|---------------|--|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| 类型 | M_R (cm) | $d = h$ (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) |
| I | 13.13 | 740 | 386 | 2630 | 814.8 | 6350 | 695 | 5420 | 513.6 | 4000 | 386 | 3010 |
| II | 12.33 | | 318 | 2160 | 671 | 5230 | 573 | 4460 | 423 | 3100 | 318 | 2480 |
| I | 13.49 | 760 | 418 | 2840 | 882.7 | 6880 | 753 | 5870 | 556.4 | 4340 | 418 | 3260 |
| II | 12.67 | | 344.6 | 2340 | 727 | 5670 | 620 | 4830 | 458 | 3570 | 344.6 | 2680 |
| I | 13.84 | 780 | 452 | 3070 | 954 | 7440 | 814 | 6350 | 601.5 | 4690 | 452 | 3520 |
| II | 13.00 | | 372.5 | 2530 | 786 | 6130 | 670 | 5230 | 495 | 3860 | 372.5 | 2900 |
| I | 14.20 | 800 | 488 | 3320 | 1029 | 8030 | 878 | 6850 | 649 | 5060 | 488 | 3800 |
| II | 13.33 | | 402 | 2730 | 848 | 6610 | 723 | 5640 | 534 | 4170 | 402 | 3130 |
| I | 15.10 | 850 | 585 | 3980 | 1235 | 9630 | 1053 | 8210 | 778 | 6070 | 585 | 4560 |
| II | 14.17 | | 482 | 3280 | 1017 | 7930 | 867 | 6760 | 641 | 5000 | 482 | 3760 |
| I | 15.97 | 900 | 694.7 | 4740 | 1465 | 11430 | 1250 | 9750 | 924 | 7200 | 694.7 | 5420 |
| II | 15.00 | | 572 | 3890 | 1207 | 9410 | 1030 | 8030 | 761 | 5930 | 572 | 4460 |
| I | 16.85 | 950 | 817 | 5560 | 1724 | 13440 | 1470 | 11470 | 1089 | 8470 | 817 | 6370 |
| II | 15.84 | | 673 | 4580 | 1420 | 11070 | 1211 | 9450 | 895 | 6980 | 673 | 5250 |
| I | 17.74 | 1000 | 956 | 6500 | 2010 | 15680 | 1715 | 13380 | 1267 | 9880 | 956 | 7430 |
| II | 16.67 | | 785 | 5340 | 1656 | 12920 | 1413 | 11020 | 1044 | 8140 | 785 | 6120 |

表 6-135 标准圆柱形明冒口(之二)



| 冒 口 | | | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,最大能补缩的铸件体积 V_C (质量 G_C) | | | | | | | |
|-----|---------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| 类型 | M_R (cm) | d (mm) | h (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) |
| I | 2.01 | 100 | 150 | 1.42 | 10 | 3 | 23.5 | 2.6 | 20 | 1.9 | 15 | 1.4 | 11 |
| II | 1.87 | | | 1.18 | 8 | 2.49 | 19.4 | 2.21 | 16.6 | 1.57 | 12 | 1.2 | 9.2 |
| I | 2.21 | 110 | 165 | 1.9 | 13 | 4 | 31 | 3.4 | 26.7 | 2.5 | 19.7 | 1.9 | 15 |
| II | 2.05 | | | 1.57 | 11 | 3.3 | 25.8 | 2.8 | 22 | 2.1 | 16 | 1.57 | 12 |
| I | 2.41 | 120 | 180 | 2.4 | 17 | 5.2 | 40 | 4.4 | 34.6 | 3.3 | 25.6 | 2.4 | 19 |
| II | 2.24 | | | 2.04 | 14 | 4.3 | 33.6 | 3.67 | 28.6 | 2.7 | 21 | 2.04 | 16 |
| I | 2.61 | 130 | 195 | 3.1 | 22 | 6.6 | 51.6 | 5.6 | 44 | 4.2 | 32.5 | 3.1 | 24.5 |
| II | 2.43 | | | 2.6 | 18 | 5.5 | 43 | 4.67 | 36.5 | 3.45 | 27 | 2.6 | 20 |
| I | 2.81 | 140 | 210 | 3.9 | 27 | 8.3 | 64.5 | 7 | 55 | 5.2 | 40 | 3.9 | 30 |
| II | 2.62 | | | 3.24 | 22 | 6.8 | 53 | 5.8 | 45.5 | 4.3 | 33.6 | 3.24 | 25 |
| I | 3.01 | 150 | 225 | 4.8 | 33 | 10.2 | 79 | 8.7 | 67.7 | 6.4 | 50 | 4.8 | 37.6 |
| II | 2.80 | | | 3.98 | 27 | 8.4 | 65.5 | 7.1 | 56 | 5.3 | 41.3 | 3.98 | 31 |

(续)

冒 口

当收缩率 ϵ 为下列值时,最大能补缩的铸件体积 V_c (质量 G_c)

| 类型 | M_R (cm) | d (mm) | h (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
|----|---------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| | | | | | | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) |
| I | 3.21 | 160 | 240 | 5.85 | 40 | 12.4 | 96 | 10.5 | 82 | 7.8 | 61 | 5.85 | 45.6 |
| II | 2.99 | | | 4.83 | 33 | 10.2 | 79.5 | 8.7 | 68 | 6.4 | 50 | 4.83 | 37.7 |
| I | 3.41 | 170 | 255 | 7 | 48 | 14.8 | 115 | 12.6 | 98.5 | 9.3 | 73 | 7 | 55 |
| II | 3.18 | | | 5.79 | 39 | 12.2 | 95 | 10.4 | 81 | 7.7 | 60 | 5.8 | 45 |
| I | 3.61 | 180 | 270 | 8.3 | 57 | 17.6 | 137 | 15 | 117 | 11 | 86 | 8.3 | 65 |
| II | 3.36 | | | 6.88 | 47 | 14.5 | 113 | 12.4 | 96 | 9.15 | 71 | 6.88 | 53 |
| I | 3.81 | 190 | 285 | 9.8 | 67 | 20.7 | 161 | 17.6 | 137 | 13 | 101 | 9.8 | 76 |
| II | 3.55 | | | 8 | 55 | 17 | 133 | 14.6 | 113 | 10.7 | 84 | 8 | 63 |
| I | 4.02 | 200 | 300 | 11.4 | 78 | 24 | 188 | 20.6 | 160 | 15.2 | 118 | 11.4 | 89 |
| II | 3.74 | | | 9.44 | 64 | 18 | 155 | 17 | 132 | 12.6 | 98 | 9.44 | 74 |
| I | 4.22 | 210 | 315 | 13.2 | 90 | 28 | 218 | 23.8 | 186 | 17.6 | 137 | 13.2 | 103 |
| II | 3.93 | | | 10.9 | 74 | 23 | 180 | 19.7 | 153 | 14.5 | 113 | 10.9 | 85 |
| I | 4.42 | 220 | 330 | 15.2 | 104 | 32 | 250 | 27.4 | 213 | 20.2 | 158 | 15.2 | 118 |
| II | 4.11 | | | 12.6 | 85 | 26.5 | 207 | 22.6 | 176 | 16.7 | 130 | 12.6 | 98 |
| I | 4.62 | 230 | 345 | 17.4 | 119 | 36.7 | 286 | 31.3 | 244 | 23 | 180 | 17.4 | 135 |
| II | 4.30 | | | 14.4 | 98 | 30 | 230 | 25.8 | 201 | 19 | 149 | 14.4 | 112 |
| I | 4.82 | 240 | 360 | 19.7 | 135 | 41.7 | 325 | 35.5 | 277 | 26.3 | 205 | 19.7 | 154 |
| II | 4.49 | | | 16.3 | 111 | 34.4 | 268 | 29.4 | 229 | 21.7 | 169 | 16.3 | 127 |
| I | 5.02 | 250 | 375 | 22.3 | 152 | 47 | 367 | 40 | 313 | 29.7 | 231 | 22.3 | 174 |
| II | 4.67 | | | 18.4 | 125 | 39 | 303 | 33 | 259 | 24.5 | 191 | 18.4 | 144 |
| I | 5.22 | 260 | 390 | 25 | 171 | 53 | 413 | 45.2 | 352 | 33.4 | 260 | 25 | 196 |
| II | 4.86 | | | 20.7 | 141 | 44 | 341 | 37 | 291 | 27.6 | 215 | 20.7 | 162 |
| I | 5.42 | 270 | 405 | 28 | 192 | 59.3 | 463 | 50.6 | 395 | 37.4 | 292 | 28 | 219 |
| II | 5.05 | | | 23 | 158 | 49 | 382 | 42 | 326 | 31 | 241 | 23 | 181 |
| I | 5.62 | 280 | 420 | 31.4 | 214 | 66 | 516 | 56.5 | 440 | 41.7 | 325 | 31.4 | 244 |
| II | 5.23 | | | 25.9 | 176 | 54.7 | 426 | 46.6 | 364 | 34.5 | 269 | 25.9 | 202 |
| I | 5.82 | 290 | 435 | 34.9 | 237 | 73.5 | 573 | 62.7 | 489 | 46.8 | 361 | 34.8 | 272 |
| II | 5.42 | | | 28.8 | 196 | 61 | 474 | 52 | 404 | 38 | 298 | 28.8 | 224 |
| I | 6.03 | 300 | 450 | 38.6 | 263 | 81.4 | 635 | 69.4 | 542 | 51.8 | 400 | 38.6 | 300 |
| II | 5.61 | | | 31.6 | 217 | 67 | 524 | 57 | 447 | 42.4 | 330 | 32 | 248 |
| I | 6.23 | 310 | 465 | 42.6 | 290 | 89.8 | 700 | 76.6 | 598 | 56.6 | 442 | 42.6 | 332 |
| II | 5.79 | | | 35 | 239 | 74 | 578 | 63 | 493 | 46 | 365 | 35 | 274 |
| I | 6.43 | 320 | 480 | 46.8 | 319 | 98.8 | 770 | 84.3 | 657 | 62.3 | 485 | 46.8 | 365 |
| II | 5.98 | | | 38.7 | 263 | 81 | 636 | 69.6 | 543 | 51.4 | 401 | 38.7 | 301 |
| I | 6.63 | 330 | 495 | 51.4 | 350 | 108 | 845 | 92.4 | 721 | 68.3 | 533 | 51.4 | 400 |
| II | 6.17 | | | 42.4 | 288 | 89.5 | 698 | 76 | 595 | 56 | 440 | 42 | 330 |
| I | 6.83 | 340 | 510 | 56 | 382 | 118.5 | 924 | 101 | 788 | 74.7 | 583 | 56 | 438 |
| II | 6.35 | | | 46.4 | 315 | 98 | 763 | 83.5 | 651 | 62 | 481 | 46.4 | 362 |
| I | 7.03 | 350 | 525 | 61.3 | 417 | 129 | 1000 | 110 | 860 | 81.5 | 635 | 61.3 | 478 |
| II | 6.54 | | | 50.6 | 344 | 107 | 833 | 91 | 710 | 67 | 525 | 50.6 | 395 |
| I | 7.23 | 360 | 540 | 66.7 | 454 | 141 | 1090 | 120 | 936 | 88.7 | 691 | 66.7 | 520 |
| II | 6.73 | | | 55 | 374 | 116 | 906 | 99 | 773 | 73 | 571 | 55 | 429 |
| I | 7.43 | 370 | 555 | 72.4 | 492 | 153 | 1190 | 130 | 1010 | 96.3 | 750 | 72.4 | 564 |
| II | 6.92 | | | 59.8 | 406 | 126 | 984 | 107 | 839 | 79.5 | 620 | 59.8 | 466 |

(续)

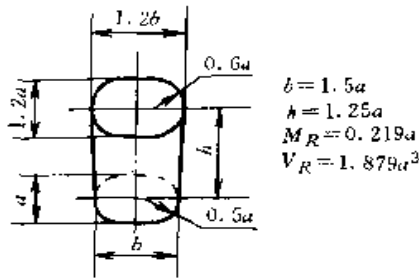
| 冒 口 | | | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,最大能补缩的铸件体积 V_c (质量 G_c) | | | | | | | |
|-----|---------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| 类型 | M_R (cm) | d (mm) | h (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) |
| I | 7.63 | 380 | 570 | 78.4 | 533 | 165.4 | 1290 | 141 | 1100 | 104 | 813 | 78.4 | 611 |
| II | 7.10 | | | 64.7 | 440 | 136.6 | 1060 | 116.5 | 909 | 86 | 672 | 64.7 | 505 |
| I | 7.83 | 390 | 585 | 84.8 | 577 | 179 | 1390 | 152.6 | 1190 | 113 | 879 | 84.8 | 661 |
| II | 7.29 | | | 70 | 476 | 148 | 1150 | 126 | 983 | 93 | 726 | 70 | 546 |
| I | 8.04 | 400 | 600 | 91.4 | 622 | 193 | 1500 | 164 | 1280 | 122 | 949 | 91.4 | 713 |
| II | 7.48 | | | 75.5 | 514 | 159 | 1240 | 136 | 1060 | 100 | 783 | 75.5 | 589 |
| I | 8.44 | 420 | 630 | 106 | 720 | 223 | 1740 | 191 | 1480 | 141 | 1090 | 106 | 825 |
| II | 7.85 | | | 87.4 | 594 | 184 | 1430 | 157 | 1220 | 116 | 907 | 87.4 | 682 |
| I | 8.84 | 440 | 660 | 121.7 | 828 | 257 | 2000 | 219 | 1710 | 162 | 1260 | 121.7 | 949 |
| II | 8.22 | | | 100 | 683 | 212 | 1650 | 181 | 1410 | 133 | 1040 | 100 | 784 |
| I | 9.24 | 460 | 690 | 139 | 946 | 293 | 2280 | 250 | 1950 | 185 | 1440 | 139 | 1080 |
| II | 8.60 | | | 114.8 | 781 | 242 | 1890 | 206 | 1610 | 152 | 1190 | 114.8 | 896 |
| I | 9.64 | 480 | 720 | 158 | 1.08 | 333 | 2600 | 284 | 2210 | 210 | 1640 | 158 | 1230 |
| II | 8.97 | | | 130.5 | 887 | 275 | 2140 | 235 | 1830 | 173 | 1350 | 130.5 | 1010 |
| I | 10.05 | 500 | 750 | 178.6 | 1220 | 377 | 2940 | 321 | 2510 | 237 | 1850 | 178.6 | 1390 |
| II | 9.35 | | | 147.5 | 1000 | 311 | 2420 | 265 | 2070 | 196 | 1530 | 147 | 1150 |
| I | 10.45 | 520 | 780 | 201 | 1370 | 424 | 3300 | 362 | 2820 | 267 | 2080 | 201 | 1560 |
| II | 9.72 | | | 166 | 1130 | 350 | 2730 | 298 | 2320 | 220 | 1720 | 166 | 1290 |
| I | 10.85 | 540 | 810 | 225 | 1530 | 475 | 3700 | 405 | 3160 | 299 | 2330 | 225 | 1750 |
| II | 10.10 | | | 185.8 | 1270 | 392 | 3050 | 334 | 2610 | 247 | 1920 | 185.8 | 1450 |
| I | 11.25 | 560 | 840 | 251 | 1710 | 530 | 4130 | 452 | 3520 | 333 | 2600 | 251 | 1950 |
| II | 10.47 | | | 207 | 1410 | 437 | 3410 | 373 | 2910 | 275 | 2150 | 207 | 1610 |
| I | 11.65 | 580 | 870 | 279 | 1900 | 588 | 4580 | 502 | 3910 | 371 | 2890 | 279 | 2170 |
| II | 10.84 | | | 230 | 1570 | 486 | 3790 | 414 | 3230 | 306 | 2380 | 230 | 1790 |
| I | 12.06 | 600 | 900 | 308.6 | 2100 | 651 | 5080 | 555 | 4330 | 410 | 3200 | 308.6 | 2400 |
| II | 11.22 | | | 255 | 1730 | 537 | 4190 | 458 | 3570 | 339 | 2640 | 255 | 1980 |
| I | 12.46 | 620 | 930 | 340.6 | 2320 | 718 | 5600 | 613 | 4780 | 453 | 3530 | 340.6 | 2650 |
| II | 11.59 | | | 281 | 1910 | 593 | 4620 | 506 | 3940 | 374 | 2910 | 281 | 2190 |
| I | 12.86 | 640 | 960 | 374.6 | 2550 | 790 | 6160 | 674 | 5260 | 498 | 3880 | 374.6 | 2920 |
| II | 11.96 | | | 309 | 2100 | 653 | 5090 | 556 | 4340 | 411 | 3210 | 309 | 2410 |
| I | 13.26 | 660 | 990 | 411 | 2800 | 866 | 6760 | 739 | 5760 | 546 | 4260 | 411 | 3200 |
| II | 12.34 | | | 339 | 2310 | 716 | 5580 | 610 | 4760 | 451 | 3520 | 339 | 2640 |
| I | 13.66 | 680 | 1020 | 449 | 3060 | 948 | 7390 | 808 | 6300 | 597 | 4660 | 449 | 3500 |
| II | 12.71 | | | 371 | 2520 | 783 | 6100 | 667 | 5200 | 493 | 3840 | 371 | 2890 |
| I | 14.07 | 700 | 1050 | 490 | 3330 | 1034 | 8060 | 882 | 6880 | 652 | 5080 | 490 | 3820 |
| II | 13.09 | | | 404.7 | 2750 | 854 | 6660 | 728 | 5680 | 538 | 4190 | 404 | 3150 |
| I | 14.47 | 720 | 1080 | 533 | 3630 | 1125 | 8770 | 960 | 7480 | 709 | 5530 | 533 | 4160 |
| II | 13.46 | | | 440 | 3000 | 929 | 7240 | 792 | 6180 | 585 | 4570 | 440 | 3430 |
| I | 14.87 | 740 | 1110 | 579 | 3940 | 1222 | 9530 | 1042 | 8130 | 770 | 6000 | 579 | 4510 |
| II | 13.83 | | | 478 | 3520 | 1008 | 7870 | 861 | 6710 | 636 | 4960 | 478 | 3730 |
| I | 15.27 | 760 | 1140 | 627 | 4270 | 1323 | 10320 | 1129 | 8800 | 834 | 6500 | 627 | 4890 |
| II | 14.21 | | | 518 | 3520 | 1093 | 8520 | 932 | 7270 | 689 | 5370 | 518 | 4040 |
| I | 15.67 | 780 | 1170 | 678 | 4610 | 1431 | 11160 | 1220 | 9520 | 902 | 7030 | 678 | 5280 |
| II | 14.58 | | | 559.9 | 3810 | 1181 | 9210 | 1008 | 7860 | 745 | 5810 | 559.9 | 4360 |

(续)

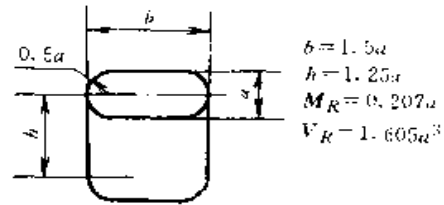
| 冒 口 | | | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,最大能补缩的铸件体积 V_C (质量 G_C) | | | | | | | |
|-----|---------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| 类型 | M_R (cm) | d (mm) | h (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) |
| I | 16.08 | 800 | 1200 | 731.6 | 4980 | 1543 | 12040 | 1317 | 10270 | 973 | 7590 | 731.6 | 5700 |
| II | 14.96 | | | 604 | 4110 | 1274 | 9940 | 1087 | 8480 | 803 | 6260 | 604 | 4710 |
| I | 17.08 | 850 | 1275 | 877.6 | 5970 | 1852 | 14440 | 1579 | 12320 | 1167 | 9100 | 877.6 | 5840 |
| II | 15.89 | | | 724.7 | 4930 | 1529 | 11920 | 1304 | 10170 | 963 | 7510 | 724.7 | 5650 |
| I | 18.09 | 900 | 1350 | 1042 | 7090 | 2198 | 17140 | 1875 | 14620 | 1385 | 10800 | 1042 | 8120 |
| II | 16.83 | | | 860 | 5850 | 1815 | 14150 | 1548 | 12070 | 1144 | 8920 | 860 | 6710 |
| I | 19.09 | 950 | 1425 | 1225 | 8330 | 2585 | 20160 | 2205 | 17200 | 1629 | 12710 | 1225 | 9550 |
| II | 17.76 | | | 1911 | 6880 | 2134 | 16650 | 1821 | 14200 | 1345 | 10490 | 1011 | 7890 |
| I | 20.10 | 1000 | 1500 | 1429 | 9720 | 3015 | 23510 | 2672 | 20060 | 1900 | 14820 | 1429 | 11140 |
| II | 18.70 | | | 1180 | 8020 | 2489 | 19420 | 2124 | 16560 | 1569 | 12240 | 1180 | 9200 |

表 6-136 标准腰形明冒口(之一)

类型 I



类型 II



| 冒 口 | | | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,最大能补缩的铸件体积 V_C (质量 G_C) | | | | | | | | |
|-----|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| 类型 | M_R (cm) | a (mm) | b (mm) | h (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | | | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) |
| I | 2.19 | 100 | 150 | 125 | 1.8 | 13 | 3.9 | 30 | 3.3 | 26 | 2.5 | 19 | 1.8 | 14 |
| II | 2.07 | | | | 1.6 | 11 | 3.3 | 26 | 2.9 | 22 | 2.1 | 16 | 1.6 | 12 |
| I | 2.40 | 110 | 165 | 138 | 2.5 | 17 | 5.2 | 41 | 4.5 | 35 | 3.3 | 26 | 2.5 | 19 |
| II | 2.27 | | | | 2.1 | 15 | 4.5 | 35 | 3.8 | 29 | 2.8 | 22 | 2.1 | 16 |
| I | 2.62 | 120 | 180 | 150 | 3.2 | 22 | 6.8 | 53 | 5.8 | 45 | 4.3 | 33 | 3.2 | 25 |
| II | 2.48 | | | | 2.8 | 19 | 5.8 | 45 | 5.0 | 39 | 3.6 | 28 | 2.8 | 21 |
| I | 2.84 | 130 | 195 | 163 | 4.1 | 28 | 8.7 | 68 | 7.4 | 58 | 5.5 | 43 | 4.1 | 32 |
| II | 2.69 | | | | 3.5 | 24 | 7.4 | 58 | 6.3 | 49 | 4.7 | 36 | 3.5 | 27 |
| I | 3.06 | 140 | 210 | 175 | 5.1 | 35 | 10.8 | 84 | 9.2 | 72 | 6.8 | 53 | 5.1 | 40 |
| II | 2.89 | | | | 4.4 | 30 | 9.3 | 72 | 7.9 | 62 | 5.8 | 45 | 4.4 | 34 |
| I | 3.28 | 150 | 225 | 188 | 6.3 | 43 | 13.3 | 104 | 11.4 | 89 | 8.4 | 65 | 6.3 | 49 |
| II | 3.10 | | | | 5.4 | 37 | 11.4 | 89 | 9.7 | 76 | 7.2 | 56 | 5.4 | 42 |
| I | 3.50 | 160 | 240 | 200 | 7.7 | 53 | 16 | 126 | 13.8 | 108 | 10 | 79 | 7.7 | 60 |
| II | 3.31 | | | | 6.6 | 45 | 13.8 | 108 | 11.8 | 92 | 8.7 | 68 | 6.6 | 51 |
| I | 3.72 | 170 | 255 | 212 | 9.2 | 63 | 19 | 151 | 16.6 | 129 | 12 | 95 | 9.2 | 72 |
| II | 3.51 | | | | 7.9 | 54 | 17 | 129 | 14 | 110 | 10.4 | 82 | 7.9 | 61 |

(续)

| 冒 口 | | | | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,最大能补缩的铸件体积 V_c (质量 G_c) | | | | | | | |
|-----|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| 类型 | M_R (cm) | a (mm) | b (mm) | h (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | | | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) |
| I | 3.94 | 180 | 270 | 225 | 10.9 | 75 | 23 | 180 | 19.7 | 153 | 14 | 113 | 10.9 | 85 |
| II | 3.72 | | | | 9.3 | 64 | 19.7 | 154 | 16.8 | 131 | 12.4 | 97 | 9.3 | 73 |
| I | 4.16 | 190 | 285 | 237 | 12.8 | 88 | 27 | 212 | 23 | 181 | 17 | 133 | 12.8 | 100 |
| II | 3.93 | | | | 11 | 75 | 23 | 181 | 19.8 | 154 | 14.6 | 114 | 11 | 86 |
| I | 4.38 | 200 | 300 | 250 | 15 | 102 | 31 | 247 | 27 | 211 | 20 | 156 | 15 | 117 |
| II | 4.14 | | | | 12.8 | 88 | 27 | 211 | 23 | 180 | 17 | 133 | 12.8 | 100 |
| I | 4.69 | 210 | 315 | 262 | 17.4 | 118 | 36 | 286 | 31 | 244 | 23 | 180 | 17 | 135 |
| II | 4.34 | | | | 14.8 | 101 | 31 | 244 | 26 | 208 | 20 | 154 | 15 | 116 |
| I | 4.81 | 220 | 330 | 275 | 20 | 136 | 42 | 329 | 36 | 280 | 26 | 207 | 20 | 156 |
| II | 4.55 | | | | 17 | 116 | 36 | 281 | 31 | 240 | 22.7 | 177 | 17 | 133 |
| I | 5.03 | 230 | 345 | 287 | 22.8 | 156 | 48 | 376 | 41 | 320 | 30 | 237 | 22.8 | 178 |
| II | 4.76 | | | | 19.5 | 133 | 41 | 321 | 35 | 274 | 26 | 202 | 19.5 | 152 |
| I | 5.25 | 240 | 360 | 300 | 25.9 | 177 | 54 | 427 | 46 | 364 | 34 | 269 | 25.9 | 202 |
| II | 4.96 | | | | 22 | 151 | 46.8 | 365 | 40 | 311 | 29.5 | 230 | 22 | 173 |
| I | 5.47 | 250 | 375 | 312 | 29.3 | 200 | 62 | 483 | 52 | 412 | 39 | 304 | 29 | 229 |
| II | 5.17 | | | | 25 | 170 | 53 | 412 | 45 | 352 | 33 | 260 | 25 | 195 |
| I | 5.69 | 260 | 390 | 325 | 33 | 225 | 69 | 543 | 59 | 463 | 44 | 342 | 33 | 257 |
| II | 5.38 | | | | 28 | 192 | 59.5 | 464 | 51 | 396 | 37.5 | 292 | 28 | 220 |
| I | 5.91 | 270 | 405 | 337 | 37 | 252 | 78 | 668 | 66 | 519 | 49 | 383 | 37 | 288 |
| II | 5.58 | | | | 31.6 | 215 | 66.6 | 520 | 56.8 | 443 | 42 | 327 | 31.6 | 246 |
| I | 6.13 | 230 | 420 | 350 | 41 | 280 | 87 | 678 | 74 | 579 | 54 | 427 | 41 | 321 |
| II | 5.79 | | | | 35 | 240 | 74 | 579 | 63 | 494 | 46.8 | 365 | 35 | 274 |
| I | 6.35 | 299 | 435 | 363 | 45.8 | 312 | 96 | 754 | 82 | 643 | 61 | 475 | 45.8 | 357 |
| II | 6.00 | | | | 39 | 266 | 82 | 644 | 70 | 549 | 52 | 406 | 39 | 305 |
| I | 6.57 | 300 | 450 | 375 | 50.7 | 345 | 107 | 834 | 91 | 712 | 67 | 526 | 50.7 | 395 |
| II | 6.21 | | | | 43 | 295 | 91 | 713 | 78 | 608 | 57.6 | 449 | 43 | 338 |
| I | 6.78 | 310 | 465 | 388 | 55.9 | 381 | 118 | 921 | 100 | 785 | 74 | 580 | 56 | 436 |
| II | 6.41 | | | | 47.8 | 325 | 100 | 787 | 86 | 671 | 63.6 | 496 | 47.8 | 373 |
| I | 7.00 | 320 | 480 | 400 | 61.5 | 419 | 129 | 1010 | 110 | 864 | 82 | 638 | 61 | 480 |
| II | 6.62 | | | | 52.6 | 358 | 111 | 865 | 94.6 | 738 | 70 | 545 | 52.6 | 410 |
| I | 7.72 | 330 | 495 | 413 | 67.5 | 459 | 142 | 1110 | 121 | 948 | 90 | 700 | 67 | 526 |
| II | 6.83 | | | | 57.6 | 392 | 121 | 949 | 103 | 809 | 76.7 | 598 | 57.6 | 449 |
| I | 7.44 | 340 | 510 | 425 | 73.8 | 502 | 155 | 1210 | 133 | 1030 | 98 | 766 | 73 | 576 |
| II | 7.03 | | | | 63 | 429 | 133 | 1030 | 113 | 885 | 84 | 654 | 63 | 492 |
| I | 7.66 | 350 | 525 | 438 | 80.5 | 548 | 169 | 1320 | 145 | 1130 | 107 | 835 | 80 | 628 |
| II | 7.24 | | | | 68.8 | 468 | 145 | 1130 | 124 | 966 | 91.5 | 713 | 68.8 | 536 |
| I | 7.88 | 360 | 540 | 450 | 87.6 | 596 | 185 | 1440 | 157 | 1230 | 116 | 909 | 87.6 | 683 |
| II | 7.45 | | | | 75 | 588 | 158 | 1230 | 134 | 1050 | 99.6 | 776 | 75 | 584 |
| I | 8.10 | 370 | 555 | 463 | 95 | 647 | 200 | 1560 | 171 | 1330 | 126 | 987 | 95 | 742 |
| II | 7.65 | | | | 81 | 553 | 171 | 1330 | 146 | 1140 | 108 | 843 | 81 | 634 |
| I | 8.32 | 380 | 570 | 475 | 163 | 701 | 217 | 1690 | 185 | 1440 | 137 | 1070 | 103 | 804 |
| II | 7.86 | | | | 88 | 599 | 186 | 1440 | 158 | 1230 | 117 | 913 | 88 | 687 |
| I | 8.54 | 390 | 585 | 488 | 111 | 758 | 235 | 1830 | 200 | 1560 | 148 | 1150 | 111 | 869 |
| II | 8.07 | | | | 95 | 647 | 200 | 1560 | 171 | 1330 | 126 | 987 | 95 | 742 |

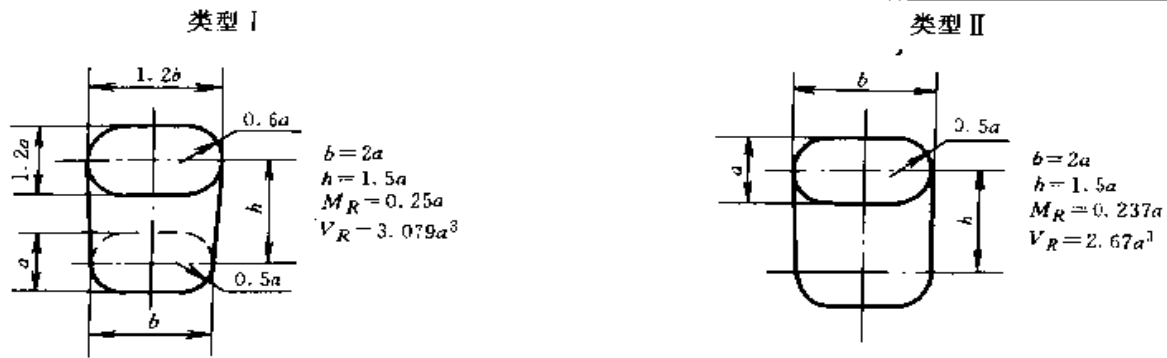
(续)

| 冒 口 | | | | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,最大能补缩的铸件体积 V_C (质量 G_C) | | | | | | | |
|-----|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| 类型 | M_R (cm) | a (mm) | b (mm) | h (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | | | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) |
| I | 8.76 | 400 | 600 | 500 | 120 | 818 | 253 | 1350 | 216 | 1680 | 159 | 1270 | 120 | 937 |
| II | 8.28 | | | | 103 | 699 | 216 | 1690 | 184 | 1440 | 136 | 1060 | 103 | 801 |
| I | 9.19 | 420 | 630 | 525 | 139 | 947 | 293 | 2290 | 250 | 1950 | 185 | 1440 | 139 | 1080 |
| II | 8.69 | | | | 119 | 809 | 251 | 1950 | 214 | 1660 | 158 | 1230 | 119 | 927 |
| I | 9.63 | 440 | 660 | 550 | 160 | 1090 | 337 | 2630 | 288 | 2240 | 212 | 1660 | 160 | 1240 |
| II | 9.10 | | | | 136 | 930 | 288 | 2250 | 243 | 1910 | 182 | 1410 | 136 | 1060 |
| I | 10.07 | 460 | 690 | 575 | 183 | 1250 | 385 | 3010 | 329 | 2560 | 243 | 1890 | 183 | 1420 |
| II | 9.52 | | | | 156 | 1060 | 329 | 2570 | 281 | 2190 | 208 | 1620 | 156 | 1210 |
| I | 10.51 | 480 | 720 | 600 | 207.8 | 1410 | 438 | 3420 | 374 | 2910 | 276 | 2150 | 208 | 1620 |
| II | 9.93 | | | | 177 | 1210 | 374 | 2920 | 319 | 2490 | 236 | 1840 | 177 | 1380 |
| I | 10.95 | 500 | 750 | 625 | 235 | 1600 | 495 | 3860 | 422 | 3290 | 312 | 2430 | 235 | 1830 |
| II | 10.35 | | | | 200 | 1360 | 423 | 3300 | 361 | 2810 | 266 | 2080 | 200 | 1560 |
| I | 11.38 | 520 | 780 | 650 | 264 | 1800 | 557 | 4340 | 475 | 3700 | 351 | 2740 | 264 | 2060 |
| II | 10.76 | | | | 225 | 1540 | 476 | 3710 | 406 | 3160 | 300 | 2340 | 225 | 1760 |
| I | 11.82 | 540 | 810 | 675 | 296 | 2010 | 624 | 4860 | 532 | 4150 | 393 | 3060 | 296 | 2300 |
| II | 11.17 | | | | 253 | 1720 | 533 | 4160 | 455 | 3540 | 336 | 2620 | 253 | 1970 |
| I | 12.26 | 560 | 840 | 700 | 329 | 2240 | 696 | 5430 | 593 | 4630 | 438 | 3420 | 329 | 2570 |
| II | 11.59 | | | | 282 | 1920 | 594 | 4630 | 507 | 3950 | 374 | 2920 | 282 | 2190 |
| I | 12.70 | 580 | 870 | 725 | 366 | 2490 | 773 | 6030 | 659 | 5140 | 487 | 3800 | 366 | 2850 |
| II | 12.00 | | | | 313 | 2130 | 660 | 5150 | 563 | 4390 | 416 | 3240 | 313 | 2440 |
| I | 13.14 | 600 | 900 | 750 | 405 | 2760 | 856 | 6670 | 730 | 5690 | 539 | 4210 | 405 | 3160 |
| II | 12.42 | | | | 346 | 2360 | 731 | 5700 | 624 | 4860 | 461 | 3590 | 346 | 2700 |
| I | 13.57 | 620 | 930 | 775 | 447 | 3050 | 944 | 7370 | 806 | 6280 | 595 | 4640 | 447 | 3490 |
| II | 12.83 | | | | 382 | 2600 | 807 | 6290 | 688 | 5370 | 508 | 3960 | 382 | 2980 |
| I | 14.01 | 640 | 960 | 800 | 492 | 3350 | 1039 | 8100 | 886 | 6910 | 655 | 5100 | 492 | 3840 |
| II | 13.24 | | | | 421 | 2860 | 887 | 6920 | 757 | 5900 | 559 | 4360 | 420 | 3280 |
| I | 14.45 | 660 | 990 | 825 | 540 | 3670 | 1139 | 8890 | 972 | 7580 | 718 | 5600 | 540 | 4210 |
| II | 13.66 | | | | 461 | 3140 | 973 | 7590 | 830 | 6470 | 613 | 4780 | 461 | 3590 |
| I | 14.89 | 680 | 1020 | 850 | 591 | 4020 | 1246 | 9720 | 1063 | 8290 | 785 | 6120 | 591 | 4600 |
| II | 14.07 | | | | 504 | 3430 | 1064 | 8300 | 908 | 7080 | 671 | 5230 | 504 | 3930 |
| I | 15.33 | 700 | 1050 | 875 | 644 | 4380 | 1359 | 10600 | 1160 | 9040 | 857 | 6680 | 644 | 5020 |
| II | 14.49 | | | | 550 | 3740 | 1161 | 9060 | 991 | 7720 | 732 | 5710 | 550 | 4290 |
| I | 15.76 | 720 | 1080 | 900 | 701 | 4770 | 1479 | 11500 | 1262 | 9840 | 932 | 7270 | 701 | 5470 |
| II | 14.90 | | | | 599 | 4070 | 1264 | 9850 | 1078 | 8410 | 796 | 6210 | 599 | 4670 |
| I | 16.20 | 740 | 1110 | 925 | 761 | 5160 | 1606 | 12500 | 1370 | 10610 | 1012 | 7890 | 761 | 5930 |
| II | 15.31 | | | | 650 | 4420 | 1372 | 10700 | 1170 | 9130 | 865 | 6740 | 650 | 5070 |
| I | 16.64 | 760 | 1140 | 950 | 824 | 5610 | 1740 | 13500 | 1484 | 11500 | 1097 | 8550 | 824 | 6430 |
| II | 15.73 | | | | 704 | 4790 | 1486 | 11500 | 1268 | 9890 | 937 | 7300 | 704 | 5490 |
| I | 17.08 | 780 | 1170 | 975 | 891 | 6060 | 1881 | 14600 | 1605 | 12500 | 1185 | 9250 | 891 | 6950 |
| II | 16.14 | | | | 761 | 5180 | 1607 | 12500 | 1370 | 10600 | 1013 | 7900 | 761 | 5940 |
| I | 17.52 | 800 | 1200 | 1000 | 962 | 6540 | 2029 | 15800 | 1731 | 13500 | 1279 | 9980 | 962 | 7500 |
| II | 16.56 | | | | 822 | 5590 | 1733 | 13500 | 1479 | 11500 | 1092 | 8520 | 821 | 6410 |
| I | 18.61 | 850 | 1275 | 1063 | 1153 | 7850 | 2434 | 18900 | 2077 | 16200 | 1534 | 11900 | 1153 | 9000 |
| II | 17.59 | | | | 985 | 6710 | 2079 | 16200 | 1774 | 13800 | 1310 | 10200 | 985 | 7680 |

(续)

| 冒 口 | | | | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,最大能补缩的铸件体积 V_C (质量 G_C) | | | | | | | |
|-----|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| 类型 | M_R (cm) | a (mm) | b (mm) | h (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | | | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) |
| I | 19.71 | 900 | 1350 | 1125 | 1369 | 9310 | 2890 | 22500 | 2465 | 19200 | 1812 | 14200 | 1369 | 10600 |
| II | 18.63 | | | | 1170 | 7950 | 2468 | 19200 | 2106 | 16400 | 1856 | 12100 | 1170 | 9120 |
| I | 20.80 | 950 | 1425 | 1188 | 1611 | 11000 | 3399 | 26500 | 2899 | 22600 | 2142 | 16700 | 1611 | 12500 |
| II | 19.66 | | | | 1376 | 9350 | 2903 | 22600 | 2476 | 19300 | 1830 | 14200 | 1376 | 10700 |
| I | 21.90 | 1000 | 1500 | 1250 | 1879 | 12800 | 3964 | 30900 | 3382 | 26300 | 2499 | 19400 | 1879 | 14600 |
| II | 20.70 | | | | 1605 | 11000 | 3386 | 26400 | 2889 | 22500 | 2134 | 16600 | 1605 | 12500 |

表 6-137 标准腰形明冒口(之二)



| 冒 口 | | | | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,最大能补缩的铸件体积 V_C (质量 G_C) | | | | | | | |
|-----|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| 类型 | M_R (cm) | a (mm) | b (mm) | h (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | | | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) |
| I | 2.50 | 100 | 200 | 150 | 3.08 | 21 | 6.5 | 51 | 5.54 | 43 | 4.1 | 32 | 3.08 | 24 |
| II | 2.37 | | | | 2.67 | 18 | 5.6 | 44 | 4.8 | 37.5 | 3.5 | 27.7 | 2.67 | 21 |
| I | 2.75 | 110 | 220 | 165 | 4.1 | 28 | 8.6 | 67 | 7.37 | 57.5 | 5.45 | 42.5 | 4.1 | 32 |
| II | 2.60 | | | | 3.55 | 24 | 7.5 | 58 | 6.4 | 50 | 4.7 | 37 | 3.55 | 28 |
| I | 3.00 | 120 | 240 | 180 | 5.32 | 36 | 11.2 | 87.6 | 9.57 | 74.7 | 7.07 | 55 | 5.32 | 41.5 |
| II | 2.84 | | | | 4.60 | 32 | 9.7 | 76 | 8.3 | 65 | 6.1 | 48 | 4.6 | 36 |
| I | 3.25 | 130 | 260 | 195 | 6.76 | 46 | 14.3 | 111 | 12.2 | 95 | 9 | 70 | 6.76 | 53 |
| II | 3.08 | | | | 5.86 | 40 | 12.4 | 96 | 10.5 | 82 | 7.8 | 61 | 5.86 | 46 |
| I | 3.50 | 140 | 280 | 210 | 8.45 | 57 | 17.8 | 139 | 15.2 | 118 | 11.2 | 87.6 | 8.45 | 66 |
| II | 3.31 | | | | 7.33 | 50 | 15.5 | 120 | 13.2 | 103 | 9.7 | 76 | 7.3 | 57 |
| I | 3.75 | 150 | 300 | 225 | 10.4 | 71 | 21.9 | 171 | 18.7 | 146 | 13.8 | 108 | 10.4 | 81 |
| II | 3.55 | | | | 9 | 62 | 19 | 148 | 16 | 126 | 12 | 93 | 9 | 70 |
| I | 4.00 | 160 | 320 | 240 | 12.6 | 86 | 26.6 | 207 | 22.7 | 177 | 16.8 | 131 | 12.6 | 98 |
| II | 3.79 | | | | 10.9 | 75 | 23 | 180 | 19 | 153 | 14.5 | 113 | 10.9 | 85 |
| I | 4.25 | 170 | 340 | 255 | 15.1 | 103 | 31.9 | 249 | 27 | 212 | 20 | 157 | 15 | 118 |
| II | 4.03 | | | | 13.1 | 89 | 27 | 216 | 23 | 184 | 17.4 | 136 | 13 | 102 |
| I | 4.50 | 180 | 360 | 270 | 17.9 | 122 | 38 | 295 | 32 | 252 | 24 | 186 | 17.9 | 140 |
| II | 2.26 | | | | 15.6 | 106 | 32 | 256 | 28 | 218 | 20.7 | 161 | 15.6 | 121 |
| I | 4.75 | 190 | 380 | 285 | 21 | 144 | 44.6 | 347 | 38 | 296 | 28 | 219 | 21 | 165 |
| II | 4.50 | | | | 18.3 | 124 | 38 | 301 | 33 | 257 | 24 | 190 | 18.3 | 143 |

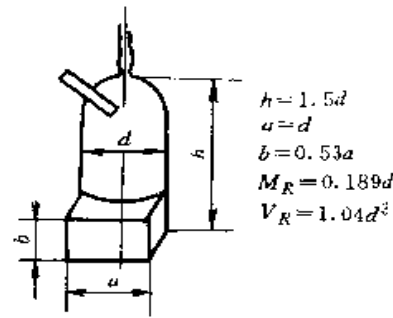
(续)

| 冒 口 | | | | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,最大能补缩的铸件体积 V_c (质量 G_c) | | | | | | | |
|-----|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| 类型 | M_R (cm) | a (mm) | b (mm) | h (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | | | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) |
| I | 5.00 | 200 | 400 | 300 | 24.6 | 168 | 52 | 405 | 44 | 346 | 32 | 255 | 24 | 192 |
| II | 4.74 | | | | 21.4 | 145 | 45 | 351 | 38 | 300 | 28 | 221 | 21.4 | 167 |
| I | 5.25 | 210 | 420 | 315 | 28.5 | 194 | 60 | 459 | 51 | 400 | 38 | 296 | 28 | 222 |
| II | 4.97 | | | | 24.7 | 168 | 52 | 407 | 44 | 347 | 33 | 256 | 24.7 | 193 |
| I | 5.50 | 220 | 440 | 330 | 32.8 | 223 | 69 | 539 | 59 | 460 | 43.6 | 340 | 33 | 256 |
| II | 5.21 | | | | 28.4 | 193 | 60 | 468 | 51 | 399 | 37 | 295 | 28.4 | 222 |
| I | 5.75 | 230 | 460 | 345 | 37.5 | 255 | 79 | 616 | 67 | 526 | 49 | 289 | 37.5 | 292 |
| II | 5.45 | | | | 32.5 | 221 | 68 | 534 | 58 | 456 | 43 | 337 | 32.5 | 253 |
| I | 6.00 | 240 | 480 | 360 | 42.6 | 289 | 89 | 700 | 76 | 597 | 56 | 441 | 42 | 332 |
| II | 5.68 | | | | 36.9 | 251 | 78 | 607 | 66 | 518 | 49 | 383 | 36.9 | 288 |
| I | 6.25 | 250 | 500 | 375 | 48 | 327 | 101 | 792 | 86 | 675 | 64 | 499 | 48 | 375 |
| II | 5.92 | | | | 41.7 | 284 | 88 | 687 | 75 | 586 | 55 | 433 | 41.7 | 325 |
| I | 6.50 | 260 | 520 | 390 | 54 | 368 | 114 | 890 | 97 | 759 | 72 | 561 | 54 | 422 |
| II | 6.16 | | | | 46.9 | 319 | 99 | 772 | 84 | 65 | 62 | 487 | 46.9 | 366 |
| I | 6.75 | 270 | 540 | 405 | 60.6 | 412 | 128 | 997 | 109 | 850 | 80 | 629 | 60 | 473 |
| II | 6.39 | | | | 52.5 | 357 | 111 | 865 | 94 | 738 | 70 | 545 | 52.5 | 410 |
| I | 7.00 | 280 | 560 | 420 | 67.6 | 460 | 142 | 1110 | 121 | 949 | 90 | 701 | 67 | 527 |
| II | 6.63 | | | | 58.6 | 398 | 123 | 964 | 105 | 823 | 78 | 608 | 58.6 | 457 |
| I | 7.25 | 290 | 580 | 435 | 75 | 510 | 158 | 1230 | 135 | 1050 | 99 | 779 | 75 | 586 |
| II | 6.87 | | | | 65 | 443 | 137 | 1070 | 117 | 914 | 86 | 675 | 65 | 508 |
| I | 7.50 | 300 | 600 | 450 | 83 | 565 | 175 | 1360 | 149 | 1160 | 110 | 862 | 83 | 648 |
| II | 7.11 | | | | 72 | 490 | 152 | 1180 | 129 | 1010 | 96 | 748 | 72 | 562 |
| I | 7.75 | 310 | 620 | 465 | 91.7 | 624 | 193 | 1510 | 165 | 1280 | 122 | 951 | 91 | 715 |
| II | 7.34 | | | | 79.5 | 541 | 167 | 1300 | 143 | 1110 | 105 | 825 | 79.5 | 620 |
| I | 8.00 | 320 | 640 | 480 | 100.9 | 686 | 213 | 1660 | 131 | 1410 | 134 | 1040 | 101 | 787 |
| II | 7.58 | | | | 87.5 | 595 | 184 | 1440 | 157 | 1220 | 116 | 907 | 87.5 | 682 |
| I | 8.25 | 330 | 660 | 495 | 110.6 | 752 | 233 | 1820 | 199 | 1550 | 147 | 1140 | 110 | 863 |
| II | 7.82 | | | | 95.9 | 653 | 202 | 1570 | 172 | 1340 | 127 | 995 | 95.9 | 748 |
| I | 8.50 | 340 | 680 | 510 | 121 | 823 | 255 | 1990 | 217 | 1690 | 161 | 1250 | 121 | 944 |
| II | 8.05 | | | | 105 | 714 | 221 | 1720 | 189 | 1470 | 139 | 1080 | 105 | 818 |
| I | 8.75 | 350 | 700 | 525 | 132 | 898 | 278 | 2170 | 237 | 1850 | 175 | 1370 | 132 | 1020 |
| II | 8.29 | | | | 114.5 | 778 | 241 | 1880 | 206 | 1600 | 152 | 1180 | 114.5 | 893 |
| I | 9.00 | 360 | 720 | 540 | 143.6 | 977 | 303 | 2360 | 258 | 2010 | 191 | 1490 | 143 | 1120 |
| II | 8.53 | | | | 124.6 | 847 | 263 | 2050 | 224 | 1740 | 165 | 1290 | 124.6 | 1050 |
| I | 9.25 | 370 | 740 | 555 | 156 | 1060 | 329 | 2560 | 281 | 2180 | 207 | 1610 | 156 | 1210 |
| II | 8.76 | | | | 135 | 919 | 285 | 2220 | 243 | 1890 | 179 | 1400 | 135 | 1050 |
| I | 9.50 | 380 | 760 | 570 | 169 | 1150 | 356 | 2780 | 304 | 2370 | 224 | 1700 | 169 | 1310 |
| II | 9.00 | | | | 146.5 | 996 | 309 | 2410 | 264 | 2050 | 195 | 1520 | 146.5 | 1140 |
| I | 9.75 | 390 | 780 | 585 | 182.6 | 1240 | 385 | 3000 | 328 | 2560 | 243 | 1890 | 182 | 1420 |
| II | 9.24 | | | | 158.4 | 1080 | 334 | 2600 | 285 | 2220 | 210 | 1640 | 158 | 1230 |
| I | 10.00 | 400 | 800 | 600 | 197 | 1340 | 415 | 3240 | 354 | 2760 | 262 | 2040 | 197 | 1530 |
| II | 9.47 | | | | 171 | 1160 | 360 | 2810 | 307 | 2400 | 227 | 1770 | 171 | 1330 |
| I | 10.50 | 420 | 840 | 630 | 228 | 1550 | 481 | 3750 | 411 | 3200 | 303 | 2360 | 228 | 1770 |
| II | 9.95 | | | | 197.8 | 1340 | 417 | 3250 | 356 | 2700 | 263 | 2050 | 198 | 1540 |

(续)

| 目 口 | | | | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,最大能补缩的铸件体积 V_c (质量 G_c) | | | | | | | |
|-----|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| 类型 | M_R (cm) | a (mm) | b (mm) | h (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | | | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) |
| I | 11.00 | 440 | 880 | 660 | 262 | 1780 | 553 | 4310 | 472 | 3680 | 349 | 2720 | 262 | 2040 |
| II | 10.42 | | | | 227.4 | 1550 | 480 | 3740 | 409 | 3190 | 302 | 2350 | 227 | 1770 |
| I | 11.52 | 460 | 920 | 690 | 299.7 | 2040 | 632 | 4930 | 539 | 4200 | 398 | 3110 | 299 | 2330 |
| II | 10.90 | | | | 260 | 1770 | 548 | 4270 | 468 | 3650 | 345 | 2690 | 260 | 2020 |
| I | 12.00 | 480 | 960 | 720 | 340.5 | 2310 | 718 | 5600 | 613 | 4780 | 453 | 3530 | 340 | 2650 |
| II | 11.37 | | | | 295 | 2010 | 623 | 4860 | 531 | 4140 | 393 | 3060 | 295 | 2300 |
| I | 12.50 | 500 | 1000 | 750 | 384.9 | 2620 | 812 | 6330 | 692 | 5400 | 512 | 3990 | 385 | 3000 |
| II | 11.85 | | | | 333.8 | 2270 | 704 | 5490 | 600 | 4680 | 444 | 3460 | 333 | 2600 |
| I | 13.00 | 520 | 1040 | 780 | 433 | 2950 | 913 | 7120 | 779 | 6070 | 575 | 4490 | 433 | 3370 |
| II | 12.32 | | | | 375.4 | 2550 | 792 | 6170 | 676 | 5270 | 499 | 3890 | 375 | 2920 |
| I | 13.50 | 540 | 1080 | 810 | 484.8 | 3300 | 1023 | 7970 | 878 | 6800 | 644 | 5020 | 484 | 3780 |
| II | 12.79 | | | | 420 | 2860 | 887 | 6910 | 757 | 5900 | 559 | 4360 | 420 | 3270 |
| I | 14.00 | 560 | 1120 | 840 | 541 | 3680 | 1140 | 8890 | 973 | 7590 | 719 | 5610 | 541 | 4210 |
| II | 13.27 | | | | 469 | 3190 | 989 | 7710 | 844 | 6580 | 624 | 4860 | 469 | 3650 |
| I | 14.50 | 580 | 1160 | 870 | 601 | 4090 | 1267 | 9880 | 1081 | 8430 | 799 | 6230 | 601 | 4680 |
| II | 13.74 | | | | 521 | 3540 | 1099 | 8570 | 938 | 7310 | 693 | 5400 | 521 | 4060 |
| I | 15.00 | 600 | 1200 | 900 | 665 | 4520 | 1403 | 10940 | 1197 | 9330 | 884 | 6890 | 665 | 5180 |
| II | 14.22 | | | | 576.7 | 3920 | 1217 | 9490 | 1038 | 8090 | 767 | 5980 | 576 | 4490 |
| I | 15.50 | 620 | 1240 | 930 | 733.8 | 4990 | 1548 | 12070 | 1321 | 10300 | 976 | 7610 | 733 | 5720 |
| II | 14.69 | | | | 636.3 | 4330 | 1342 | 10470 | 1145 | 8930 | 846 | 6600 | 636 | 4960 |
| I | 16.00 | 640 | 1280 | 960 | 807 | 5490 | 1703 | 13280 | 1453 | 11330 | 1073 | 8370 | 807 | 6290 |
| II | 15.16 | | | | 700 | 4760 | 1477 | 11510 | 1260 | 9820 | 931 | 7260 | 700 | 5450 |
| I | 16.50 | 660 | 1320 | 990 | 885 | 6020 | 1867 | 14560 | 1593 | 12420 | 1177 | 9180 | 885 | 6900 |
| II | 15.64 | | | | 767.6 | 5220 | 1620 | 12630 | 1381 | 10770 | 1021 | 7960 | 767 | 5980 |
| I | 17.00 | 680 | 1360 | 1020 | 968 | 6580 | 2042 | 15930 | 1742 | 13590 | 1287 | 10040 | 968 | 7550 |
| II | 16.11 | | | | 839.5 | 5700 | 1771 | 13810 | 1511 | 11780 | 1116 | 8700 | 839 | 6540 |
| I | 17.50 | 700 | 1400 | 1050 | 1056 | 7180 | 2228 | 17380 | 1900 | 14820 | 1404 | 10950 | 1056 | 8230 |
| II | 16.59 | | | | 915.8 | 6230 | 1932 | 15070 | 1648 | 12850 | 1218 | 9500 | 915 | 7140 |
| I | 18.00 | 720 | 1440 | 1080 | 1149 | 7810 | 2425 | 18910 | 2068 | 16130 | 1528 | 11920 | 1149 | 8960 |
| II | 17.60 | | | | 996.6 | 6780 | 2103 | 16400 | 1794 | 13990 | 1325 | 10330 | 996 | 7770 |
| I | 18.50 | 740 | 1480 | 1110 | 1247 | 8490 | 2632 | 20530 | 2246 | 17510 | 1659 | 12940 | 1247 | 9730 |
| II | 17.53 | | | | 1082 | 7360 | 2283 | 17800 | 1947 | 15190 | 1439 | 11220 | 1082 | 8430 |
| I | 19.00 | 760 | 1520 | 1140 | 1352 | 9190 | 2852 | 22240 | 2433 | 18970 | 1798 | 14020 | 1352 | 10540 |
| II | 18.01 | | | | 1172 | 7970 | 2473 | 19280 | 2109 | 16450 | 1559 | 12150 | 1172 | 9140 |
| I | 19.50 | 780 | 1560 | 1170 | 1461 | 9930 | 3083 | 24040 | 2630 | 20510 | 1943 | 15150 | 1461 | 11390 |
| II | 18.48 | | | | 1267 | 8620 | 2673 | 20850 | 2280 | 17780 | 1685 | 13140 | 1267 | 9880 |
| I | 20.00 | 800 | 1600 | 1200 | 1576 | 10720 | 3326 | 25940 | 2838 | 22130 | 2097 | 16350 | 1576 | 12260 |
| II | 18.96 | | | | 1367 | 9320 | 2884 | 22490 | 2461 | 19190 | 1818 | 14180 | 1367 | 10660 |
| I | 21.25 | 850 | 1700 | 1275 | 1891 | 12860 | 3989 | 31120 | 3403 | 26540 | 2515 | 19610 | 1891 | 14740 |
| II | 20.14 | | | | 1639.7 | 11150 | 3459 | 26980 | 2951 | 23020 | 2181 | 17010 | 1639 | 12780 |
| I | 22.50 | 900 | 1800 | 1350 | 2244 | 15260 | 4736 | 36940 | 4040 | 31510 | 2985 | 23280 | 2244 | 17500 |
| II | 21.33 | | | | 1946.4 | 13240 | 4107 | 32030 | 3503 | 27320 | 2589 | 20190 | 1946 | 15180 |
| I | 23.75 | 950 | 1900 | 1425 | 2639 | 17590 | 5570 | 43440 | 4752 | 37060 | 3511 | 27380 | 2639 | 20590 |
| II | 23.75 | | | | 2289 | 15570 | 4830 | 37670 | 4120 | 32140 | 3044 | 23740 | 2289 | 17850 |
| I | 25.00 | 1000 | 2000 | 1500 | 3079 | 20940 | 6496 | 50670 | 5542 | 43230 | 4095 | 31940 | 3079 | 24010 |
| II | 23.70 | | | | 2670 | 18160 | 5633 | 43940 | 4806 | 37480 | 3551 | 27690 | 2670 | 20820 |

表 6-138 标准边冒口(之一)

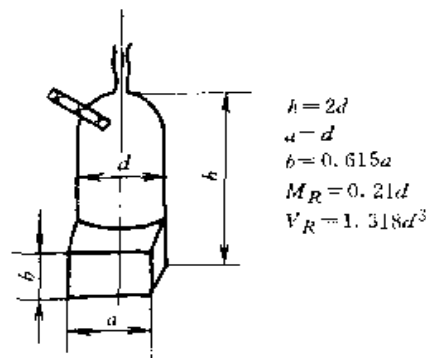


| 冒 口 | | | | | 当收缩率 ε 为下列值时,最大能补缩的铸件体积 V_C (质量 G_C) | | | | | | | | |
|---------------|-----------------|-------------|-------------|--------------|---|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| M_R (cm) | $d = a$ (mm) | b (mm) | h (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) |
| 1.89 | 100 | 53 | 150 | 1.04 | 7 | 2.2 | 17 | 1.8 | 14.6 | 1.4 | 11 | 1.04 | 8 |
| 2.08 | 110 | 59 | 165 | 1.38 | 9.4 | 2.9 | 22.7 | 2.5 | 19.4 | 1.84 | 14 | 1.38 | 11 |
| 2.26 | 120 | 64 | 180 | 1.79 | 12 | 3.8 | 29.5 | 3.2 | 25 | 2.4 | 18.6 | 1.79 | 14 |
| 2.45 | 130 | 69 | 195 | 2.28 | 15.5 | 4.8 | 37.6 | 4.1 | 32 | 3 | 23.7 | 2.3 | 18 |
| 2.64 | 140 | 75 | 210 | 2.85 | 19.4 | 6 | 47 | 5.1 | 40 | 3.8 | 29.6 | 2.85 | 22 |
| 2.83 | 150 | 80 | 225 | 3.5 | 24 | 7.4 | 57.7 | 6.3 | 49 | 6.6 | 36 | 3.5 | 27 |
| 3.02 | 160 | 85 | 240 | 4.26 | 29 | 9 | 70 | 7.6 | 60 | 5.6 | 44 | 4.26 | 33 |
| 3.21 | 170 | 91 | 255 | 5.1 | 35 | 10.8 | 84 | 9.2 | 71.7 | 6.8 | 53 | 5.1 | 40 |
| 3.40 | 180 | 96 | 270 | 6 | 41 | 12.8 | 100 | 11 | 85 | 8 | 63 | 6 | 47 |
| 3.59 | 190 | 101 | 285 | 7.1 | 48.5 | 15 | 117 | 12.8 | 100 | 9.5 | 74 | 7.1 | 55.6 |
| 3.76 | 200 | 106 | 300 | 8.3 | 57 | 17.5 | 137 | 15 | 117 | 11 | 86 | 8.3 | 65 |
| 3.96 | 210 | 112 | 315 | 9.6 | 66 | 20 | 158 | 17 | 135 | 12.8 | 100 | 9.6 | 75 |
| 4.15 | 220 | 117 | 330 | 11 | 75 | 23 | 182 | 20 | 155 | 14.7 | 115 | 11 | 86 |
| 4.34 | 230 | 122 | 345 | 12.6 | 86 | 26.7 | 208 | 22.8 | 177 | 16.8 | 131 | 12.6 | 98 |
| 4.53 | 240 | 128 | 360 | 14.4 | 98 | 30 | 236 | 26 | 202 | 19 | 149 | 14.4 | 112 |
| 4.72 | 250 | 133 | 375 | 16.2 | 110 | 34 | 267 | 29 | 228 | 21.6 | 168 | 16 | 120 |
| 4.91 | 260 | 138 | 390 | 18.3 | 124 | 38.6 | 300 | 33 | 256 | 24 | 189 | 18 | 142 |
| 5.10 | 270 | 144 | 405 | 20.5 | 139 | 43 | 337 | 36.8 | 287 | 27 | 212 | 20.5 | 160 |
| 5.29 | 280 | 149 | 420 | 22.8 | 155 | 48 | 376 | 41 | 320 | 30 | 237 | 22.8 | 178 |
| 5.48 | 290 | 154 | 435 | 25.4 | 173 | 53.5 | 417 | 45.6 | 356 | 33.7 | 263 | 25.4 | 198 |
| 5.67 | 300 | 159 | 450 | 28 | 191 | 59 | 462 | 50.5 | 394 | 37 | 291 | 28 | 219 |
| 5.85 | 310 | 165 | 465 | 31 | 210 | 65 | 510 | 55.8 | 435 | 41 | 321 | 31 | 241 |
| 6.04 | 320 | 170 | 480 | 34 | 232 | 72 | 561 | 61 | 478 | 45 | 353 | 34 | 266 |
| 6.23 | 330 | 175 | 495 | 37.4 | 254 | 78.8 | 615 | 67 | 525 | 49.7 | 388 | 37 | 291 |
| 6.42 | 340 | 181 | 510 | 40.9 | 278 | 86 | 673 | 73.6 | 574 | 54 | 424 | 41 | 319 |
| 6.61 | 350 | 186 | 525 | 44.6 | 303 | 94 | 734 | 80 | 626 | 59 | 462 | 44.6 | 348 |
| 6.80 | 360 | 191 | 540 | 48.5 | 330 | 102 | 798 | 87 | 681 | 64.5 | 503 | 48.5 | 378 |
| 6.99 | 370 | 197 | 555 | 52.7 | 358 | 111 | 866 | 94.8 | 739 | 70 | 546 | 52.7 | 411 |
| 7.18 | 380 | 202 | 570 | 57 | 388 | 120 | 939 | 102 | 801 | 76 | 592 | 57 | 445 |
| 7.37 | 390 | 207 | 585 | 61.7 | 420 | 130 | 1010 | 111 | 866 | 82 | 640 | 61.7 | 481 |
| 7.56 | 400 | 212 | 600 | 66.6 | 453 | 140 | 1090 | 119.8 | 934 | 88.5 | 690 | 66.6 | 519 |
| 7.93 | 420 | 223 | 630 | 77 | 524 | 162 | 1260 | 138 | 1080 | 102 | 799 | 77 | 601 |
| 8.31 | 440 | 234 | 660 | 88.6 | 602 | 187 | 1450 | 159 | 1240 | 118 | 919 | 88.6 | 691 |
| 8.69 | 460 | 244 | 690 | 101 | 688 | 213 | 1660 | 182 | 1420 | 134 | 1050 | 101 | 789 |

(续)

| 冒 口 | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,最大能补缩的铸件体积 V_c (质量 G_c) | | | | | | | | | |
|---------------|-----------------|-------------|-------------|--|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| M_R (cm) | $d = a$ (mm) | b (mm) | h (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) |
| 9.07 | 480 | 254 | 720 | 115 | 782 | 242 | 1890 | 207 | 1610 | 153 | 1190 | 115 | 897 |
| 9.45 | 500 | 265 | 750 | 130 | 884 | 274 | 2130 | 234 | 1820 | 173 | 1340 | 130 | 1010 |
| 9.82 | 520 | 276 | 780 | 146 | 994 | 308 | 2400 | 263 | 2050 | 194 | 1510 | 146 | 1140 |
| 10.20 | 540 | 287 | 810 | 164 | 1110 | 345 | 2690 | 294 | 2290 | 217 | 1690 | 164 | 1270 |
| 10.58 | 560 | 297 | 840 | 182.6 | 1240 | 385 | 3000 | 328 | 2560 | 243 | 1890 | 182 | 1420 |
| 10.96 | 580 | 308 | 870 | 203 | 1380 | 428 | 3330 | 365 | 2840 | 270 | 2100 | 203 | 1580 |
| 11.34 | 600 | 318 | 900 | 224.6 | 1530 | 474 | 3690 | 404 | 3150 | 299 | 2330 | 224 | 1750 |
| 11.71 | 620 | 329 | 930 | 247.9 | 1690 | 523 | 4070 | 446 | 3480 | 329 | 2570 | 248 | 1930 |
| 12.09 | 640 | 340 | 960 | 272.6 | 1860 | 575 | 4480 | 491 | 3830 | 362 | 2820 | 272 | 2120 |
| 12.47 | 660 | 350 | 990 | 299 | 2030 | 631 | 4920 | 538 | 4190 | 397 | 3100 | 299 | 2330 |
| 12.88 | 680 | 361 | 1020 | 327 | 2230 | 690 | 5380 | 588 | 4590 | 435 | 3390 | 327 | 2550 |
| 13.23 | 700 | 372 | 1050 | 356.7 | 2430 | 753 | 5870 | 642 | 5000 | 474 | 3700 | 356 | 2780 |
| 13.60 | 720 | 382 | 1080 | 388 | 2640 | 819 | 6380 | 698 | 5450 | 516 | 4020 | 388 | 3020 |
| 13.98 | 740 | 393 | 1110 | 421.4 | 2870 | 889 | 6930 | 758 | 5910 | 560 | 4370 | 421 | 3280 |
| 14.36 | 760 | 403 | 1140 | 456.5 | 3110 | 963 | 7510 | 821 | 6410 | 607 | 4730 | 456 | 3560 |
| 14.74 | 780 | 414 | 1170 | 493.5 | 3360 | 1041 | 8120 | 888 | 6920 | 656 | 5120 | 493 | 3840 |
| 15.12 | 800 | 424 | 1200 | 532.5 | 3620 | 1123 | 8760 | 958 | 7470 | 708 | 5520 | 532 | 4150 |
| 16.06 | 850 | 451 | 1275 | 638.7 | 4350 | 1347 | 10510 | 1149 | 8960 | 849 | 6620 | 638 | 4980 |
| 17.01 | 900 | 478 | 1350 | 758 | 5160 | 1599 | 12470 | 1364 | 10640 | 1008 | 7860 | 758 | 5910 |
| 17.95 | 950 | 504 | 1425 | 891.7 | 6070 | 1881 | 14670 | 1605 | 12510 | 1185 | 9250 | 891 | 6950 |
| 18.90 | 1000 | 530 | 1500 | 1040 | 7070 | 2194 | 17110 | 1872 | 14600 | 1383 | 10780 | 1040 | 8110 |

表 6-139 标准边冒口(之二)



| 冒 口 | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,最大能补缩的铸件体积 V_c (质量 G_c) | | | | | | | | | |
|---------------|-----------------|-------------|-------------|--|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| M_R (cm) | $d = a$ (mm) | b (mm) | h (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) |
| 2.10 | 100 | 62 | 200 | 1.32 | 10 | 2.8 | 21.7 | 2.37 | 18.5 | 1.75 | 13.7 | 1.32 | 10 |
| 2.31 | 110 | 68 | 220 | 1.75 | 12 | 3.7 | 28.8 | 3.16 | 24.6 | 2.33 | 18 | 1.75 | 13.7 |
| 2.52 | 120 | 75 | 240 | 2.28 | 16 | 4.8 | 37.5 | 4.1 | 32 | 3.0 | 23.6 | 2.28 | 17.7 |
| 2.73 | 130 | 80 | 260 | 2.89 | 20 | 6.1 | 47.6 | 5.2 | 40 | 3.85 | 30 | 2.9 | 22.5 |
| 2.94 | 140 | 87 | 280 | 3.6 | 25 | 7.6 | 59.5 | 6.5 | 51 | 4.8 | 37.5 | 3.6 | 28 |
| 3.15 | 150 | 93 | 300 | 4.45 | 31 | 9.4 | 73 | 8 | 62 | 5.9 | 46 | 4.45 | 34 |
| 3.36 | 160 | 99 | 320 | 5.4 | 37 | 11.4 | 89 | 9.7 | 76 | 7.2 | 56 | 5.4 | 42 |

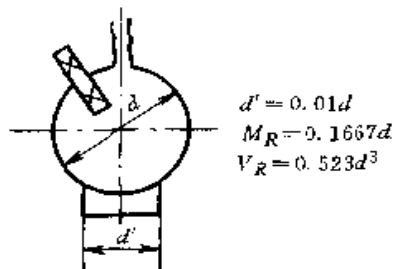
(续)

冒 口

当收缩率 ϵ 为下列值时,最大能补缩的铸件体积 V_c (质量 G_c)

| M_R (cm) | $d-a$ (mm) | b (mm) | h (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
|---------------|---------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| | | | | | | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) |
| 3.57 | 170 | 105 | 340 | 6.47 | 44 | 13.7 | 106 | 11.6 | 91 | 8.6 | 67 | 6.47 | 50 |
| 3.78 | 180 | 111 | 360 | 7.68 | 52 | 16.2 | 126 | 13.8 | 108 | 10 | 79 | 7.68 | 60 |
| 3.99 | 190 | 117 | 380 | 9 | 62 | 19 | 148 | 16 | 126 | 12 | 94 | 9 | 70 |
| 4.20 | 200 | 124 | 400 | 10.5 | 72 | 22 | 173 | 19 | 148 | 14 | 109 | 10.5 | 82 |
| 4.41 | 210 | 130 | 420 | 12.2 | 83 | 25.7 | 200 | 22 | 171 | 16 | 126 | 12 | 95 |
| 4.62 | 220 | 136 | 440 | 14 | 96 | 29.6 | 231 | 25 | 197 | 18.7 | 145 | 14 | 109 |
| 4.83 | 230 | 142 | 460 | 16 | 109 | 33.8 | 264 | 28.8 | 225 | 21 | 166 | 16 | 125 |
| 5.04 | 240 | 148 | 480 | 18.2 | 124 | 38 | 299 | 32.8 | 256 | 24 | 189 | 18 | 142 |
| 5.25 | 250 | 154 | 500 | 20.6 | 141 | 43 | 338 | 37 | 289 | 27 | 214 | 20.6 | 160 |
| 5.46 | 260 | 160 | 520 | 23.2 | 158 | 49 | 381 | 41.7 | 325 | 30.8 | 240 | 23 | 180 |
| 5.67 | 270 | 166 | 540 | 25.9 | 177 | 54.7 | 427 | 46.7 | 364 | 34.5 | 269 | 26 | 202 |
| 5.88 | 280 | 173 | 560 | 28.9 | 197 | 61 | 476 | 52 | 406 | 38.5 | 300 | 29 | 226 |
| 6.09 | 290 | 179 | 580 | 32.1 | 219 | 67.8 | 529 | 58 | 451 | 42.7 | 333 | 32 | 251 |
| 6.29 | 300 | 185 | 600 | 35.6 | 242 | 75 | 585 | 64 | 499 | 47 | 369 | 35.6 | 277 |
| 6.51 | 310 | 192 | 620 | 39.3 | 267 | 82.8 | 646 | 70.6 | 551 | 52 | 407 | 39 | 306 |
| 6.72 | 320 | 197 | 640 | 43.2 | 294 | 91 | 710 | 77.7 | 606 | 57 | 448 | 43 | 337 |
| 6.92 | 330 | 202 | 660 | 47.4 | 322 | 99.9 | 779 | 85 | 665 | 63 | 491 | 47 | 369 |
| 7.14 | 340 | 209 | 680 | 51.8 | 353 | 109 | 852 | 93 | 727 | 69 | 537 | 51.8 | 404 |
| 7.35 | 350 | 216 | 700 | 56.5 | 334 | 119 | 930 | 102 | 793 | 75 | 586 | 56.5 | 441 |
| 7.56 | 360 | 222 | 720 | 61.5 | 418 | 129 | 1010 | 111 | 863 | 81.8 | 638 | 61.5 | 479 |
| 7.77 | 370 | 228 | 740 | 66.8 | 454 | 141 | 1090 | 120 | 937 | 88.8 | 692 | 66.8 | 521 |
| 7.98 | 380 | 234 | 760 | 72.3 | 492 | 152 | 1190 | 130 | 1010 | 96 | 750 | 72 | 564 |
| 8.19 | 390 | 240 | 780 | 78.2 | 532 | 165 | 1280 | 141 | 1090 | 104 | 811 | 78 | 610 |
| 8.40 | 400 | 246 | 800 | 84.3 | 574 | 178 | 1380 | 152 | 1180 | 112 | 875 | 84 | 658 |
| 8.82 | 420 | 259 | 840 | 97.6 | 664 | 206 | 1600 | 175 | 1370 | 130 | 1010 | 97 | 761 |
| 9.24 | 440 | 271 | 880 | 112.3 | 764 | 237 | 1840 | 202 | 1570 | 149 | 1160 | 112 | 876 |
| 9.66 | 460 | 283 | 920 | 128.3 | 873 | 271 | 2110 | 231 | 1800 | 171 | 1330 | 128 | 1000 |
| 10.08 | 480 | 295 | 960 | 145.8 | 991 | 307 | 2390 | 262 | 2040 | 194 | 1510 | 145 | 1130 |
| 10.50 | 500 | 307 | 1000 | 164.8 | 1120 | 347 | 2710 | 296 | 2310 | 219 | 1700 | 164 | 1280 |
| 10.92 | 520 | 320 | 1040 | 185.3 | 1260 | 391 | 3050 | 333 | 2600 | 246 | 1920 | 185 | 1440 |
| 11.34 | 540 | 332 | 1080 | 207.5 | 1410 | 438 | 3410 | 373 | 2910 | 276 | 2150 | 207 | 1610 |
| 11.76 | 560 | 345 | 1120 | 231.5 | 1570 | 488 | 3800 | 416 | 3250 | 308 | 2400 | 231 | 1800 |
| 12.18 | 580 | 357 | 1160 | 257 | 1750 | 542 | 4230 | 463 | 3610 | 342 | 2660 | 257 | 2000 |
| 12.60 | 600 | 369 | 1200 | 284.7 | 1940 | 601 | 4680 | 512 | 3990 | 378 | 2950 | 284 | 2220 |
| 13.02 | 620 | 381 | 1240 | 314 | 2140 | 665 | 5170 | 565 | 4410 | 418 | 3250 | 314 | 2450 |
| 13.44 | 640 | 394 | 1280 | 345.5 | 2350 | 729 | 5680 | 622 | 4850 | 459 | 3580 | 345 | 2690 |
| 13.86 | 660 | 406 | 1320 | 379 | 2580 | 799 | 6230 | 682 | 5320 | 504 | 3930 | 379 | 2950 |
| 14.28 | 680 | 418 | 1360 | 414.4 | 2880 | 874 | 6820 | 746 | 5810 | 551 | 4290 | 414 | 3230 |
| 14.70 | 700 | 431 | 1400 | 452 | 3080 | 954 | 7440 | 814 | 6340 | 601 | 4690 | 452 | 3520 |
| 15.12 | 720 | 443 | 1440 | 492 | 3350 | 1038 | 8090 | 885 | 6900 | 654 | 5100 | 492 | 3830 |
| 15.54 | 740 | 455 | 1480 | 534 | 3630 | 1127 | 8790 | 961 | 7490 | 710 | 5540 | 534 | 4160 |
| 15.96 | 760 | 468 | 1520 | 578.6 | 3940 | 1220 | 9520 | 1041 | 8120 | 769 | 6000 | 578 | 4510 |
| 16.38 | 780 | 480 | 1560 | 625.5 | 4260 | 1319 | 10290 | 1126 | 8780 | 832 | 6480 | 625 | 4870 |
| 16.80 | 800 | 492 | 1600 | 674.8 | 4590 | 1424 | 11100 | 1214 | 9470 | 897 | 7000 | 674 | 5260 |
| 17.85 | 850 | 523 | 1700 | 809.4 | 5510 | 1708 | 13320 | 1457 | 11360 | 1076 | 8390 | 809 | 6310 |
| 18.90 | 900 | 554 | 1800 | 960.8 | 6540 | 2027 | 15810 | 1729 | 13480 | 1278 | 9960 | 960 | 7490 |
| 19.95 | 950 | 584 | 1900 | 1130 | 7690 | 2384 | 18590 | 2034 | 15860 | 1503 | 11720 | 1130 | 8810 |
| 21.00 | 1000 | 615 | 2000 | 1318 | 8960 | 2781 | 21690 | 2372 | 18500 | 1753 | 13670 | 1318 | 10280 |

表 6-140 标准球形冒口



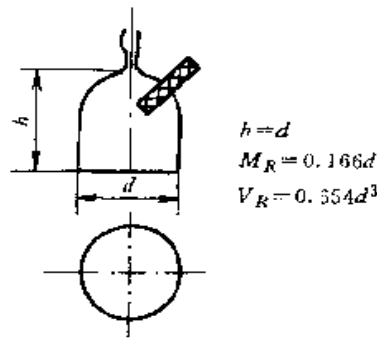
| 冒 口 | | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,最大能补缩的铸件体积 V_C (质量 G_C) | | | | | | | |
|---------------|-------------|--------------|--------------|---------------|--|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| M_R (cm) | d (mm) | d' (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) |
| 1.66 | 100 | 61 | 0.523 | 3.6 | 1.8 | 14 | 1.6 | 12 | 1.2 | 9 | 0.97 | 7 |
| 1.83 | 110 | 67 | 0.69 | 4.7 | 2.3 | 18 | 2.1 | 16 | 1.6 | 12 | 1.3 | 10 |
| 2.00 | 120 | 73 | 0.9 | 6.1 | 3.1 | 24 | 2.7 | 21 | 2.1 | 16 | 1.67 | 12 |
| 2.16 | 130 | 80 | 1.14 | 7.8 | 3.9 | 30 | 3.4 | 26 | 2.6 | 18 | 2.12 | 16 |
| 2.33 | 140 | 86 | 1.43 | 9.8 | 4.9 | 39 | 4.3 | 33 | 3.3 | 25 | 2.66 | 20 |
| 2.50 | 150 | 92 | 1.77 | 12 | 6.1 | 47 | 5.3 | 41 | 4.1 | 32 | 3.3 | 25 |
| 2.66 | 160 | 98 | 2.14 | 15 | 7.3 | 57 | 6.4 | 50 | 5.1 | 40 | 4 | 31 |
| 2.83 | 170 | 104 | 2.57 | 18 | 8.8 | 69 | 7.7 | 60 | 6 | 46 | 4.8 | 37 |
| 3.00 | 180 | 110 | 3.05 | 21 | 10.4 | 81 | 9.1 | 71 | 7.1 | 55 | 5.7 | 44 |
| 3.10 | 190 | 116 | 3.59 | 25 | 12.3 | 96 | 10.8 | 84 | 8.4 | 65 | 6.6 | 51 |
| 3.33 | 200 | 122 | 4.18 | 29 | 14.2 | 111 | 12.5 | 97 | 9.7 | 76 | 7.8 | 60 |
| 3.50 | 210 | 128 | 4.84 | 34 | 16.4 | 126 | 14.5 | 113 | 11.3 | 88 | 9 | 69 |
| 3.66 | 220 | 134 | 5.57 | 39 | 19 | 148 | 16.7 | 130 | 13 | 101 | 10.3 | 80 |
| 3.83 | 230 | 140 | 6.36 | 44 | 21.8 | 170 | 19 | 148 | 14.8 | 116 | 11.8 | 92 |
| 4.00 | 240 | 146 | 7.2 | 50 | 24.5 | 191 | 21.6 | 168 | 16.8 | 132 | 13.4 | 105 |
| 4.16 | 250 | 153 | 8.16 | 57 | 27.8 | 217 | 24.5 | 191 | 19 | 148 | 15 | 117 |
| 4.33 | 260 | 159 | 9.2 | 64 | 31.3 | 244 | 27.6 | 215 | 21.4 | 167 | 17 | 133 |
| 4.50 | 270 | 165 | 10.3 | 71 | 35.4 | 276 | 31 | 242 | 24 | 187 | 19 | 148 |
| 4.66 | 280 | 171 | 11.5 | 80 | 38.5 | 300 | 34.5 | 270 | 26.8 | 209 | 21 | 164 |
| 4.83 | 290 | 177 | 12.8 | 88 | 44 | 344 | 38.5 | 300 | 30 | 234 | 24 | 187 |
| 5.00 | 300 | 183 | 14.1 | 96 | 48.5 | 379 | 42 | 328 | 33 | 257 | 26 | 203 |
| 5.16 | 310 | 189 | 15.6 | 107 | 53.5 | 417 | 47 | 366 | 36 | 281 | 29 | 226 |
| 5.33 | 320 | 195 | 17.1 | 118 | 59 | 460 | 51 | 398 | 40 | 312 | 32 | 249 |
| 5.50 | 330 | 201 | 18.8 | 128 | 64.5 | 504 | 56 | 438 | 44 | 342 | 35 | 273 |
| 5.66 | 340 | 208 | 20.6 | 140 | 71 | 554 | 62 | 484 | 48 | 374 | 38 | 296 |
| 5.83 | 350 | 214 | 22.4 | 153 | 78 | 610 | 67 | 524 | 52 | 406 | 42 | 328 |
| 6.00 | 360 | 219 | 24.6 | 168 | 84.5 | 659 | 74 | 576 | 57 | 445 | 45 | 351 |
| 6.16 | 370 | 226 | 26.5 | 182 | 91 | 710 | 80 | 624 | 62 | 484 | 49 | 390 |
| 6.33 | 380 | 232 | 28.7 | 195 | 98 | 764 | 86 | 670 | 67 | 523 | 53 | 414 |
| 6.50 | 390 | 238 | 31 | 211 | 106 | 828 | 93 | 725 | 72 | 563 | 58 | 452 |
| 6.66 | 400 | 244 | 33.5 | 228 | 114 | 890 | 100 | 780 | 78 | 608 | 62 | 485 |
| 7.00 | 420 | 256 | 38.8 | 264 | 132 | 1030 | 116 | 905 | 91 | 710 | 72 | 563 |
| 7.33 | 440 | 268 | 44.6 | 303 | 152 | 1180 | 134 | 1050 | 104 | 812 | 83 | 647 |
| 7.66 | 460 | 281 | 50.9 | 346 | 173 | 1350 | 153 | 1190 | 118 | 920 | 94 | 741 |
| 8.00 | 480 | 293 | 57.8 | 393 | 196 | 1530 | 173 | 1350 | 134 | 1050 | 107 | 835 |
| 8.33 | 500 | 305 | 65.4 | 445 | 222 | 1730 | 196 | 1530 | 152 | 1180 | 121 | 945 |

(续)

| 冒 口 | | | | | 当收缩率 ε 为下列值时,最大能补缩的铸件体积 V_C (质量 G_C) | | | | | | | |
|---------------|-------------|--------------|--------------|---------------|---|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| M_R (cm) | d (mm) | d' (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) |
| 9.00 | 540 | 329 | 82.4 | 561 | 280 | 2180 | 247 | 1920 | 192 | 1500 | 153 | 1190 |
| 9.33 | 560 | 342 | 91.8 | 625 | 312 | 2430 | 275 | 2140 | 214 | 1670 | 171 | 1330 |
| 9.66 | 580 | 354 | 102 | 694 | 350 | 2730 | 306 | 2390 | 239 | 1860 | 190 | 1480 |
| 10.00 | 600 | 366 | 113 | 769 | 388 | 3030 | 339 | 2640 | 264 | 2060 | 210 | 1640 |
| 10.33 | 620 | 378 | 125 | 850 | 430 | 3360 | 375 | 2920 | 292 | 2270 | 232 | 1810 |
| 10.66 | 640 | 391 | 137 | 936 | 472 | 3680 | 411 | 3210 | 320 | 2500 | 254 | 1980 |
| 11.00 | 660 | 403 | 151 | 1030 | 520 | 4060 | 453 | 3540 | 350 | 2700 | 280 | 2180 |
| 11.33 | 680 | 415 | 165 | 1120 | 576 | 3480 | 495 | 3860 | 384 | 3000 | 307 | 2400 |
| 11.66 | 700 | 427 | 180 | 1220 | 620 | 4830 | 540 | 4210 | 420 | 3280 | 334 | 2600 |
| 12.00 | 720 | 439 | 196 | 1330 | 674 | 5250 | 588 | 4590 | 459 | 3570 | 364 | 2800 |
| 12.33 | 740 | 451 | 212 | 1440 | 730 | 570 | 636 | 4970 | 495 | 3850 | 394 | 3100 |
| 12.66 | 760 | 464 | 230 | 1560 | 790 | 6160 | 690 | 5390 | 536 | 4180 | 428 | 3300 |
| 13.00 | 780 | 476 | 248 | 1690 | 853 | 6640 | 744 | 5800 | 578 | 4400 | 460 | 3600 |
| 13.33 | 800 | 488 | 268 | 1820 | 920 | 7180 | 804 | 6260 | 625 | 4880 | 500 | 3900 |
| 14.16 | 850 | 519 | 321 | 2180 | 1100 | 8600 | 963 | 7500 | 750 | 5850 | 596 | 4650 |
| 15.00 | 900 | 549 | 382 | 2600 | 1300 | 10100 | 1146 | 890 | 890 | 6950 | 710 | 5540 |
| 15.83 | 950 | 580 | 449 | 3050 | 1530 | 11900 | 1347 | 1050 | 1050 | 8200 | 835 | 6500 |
| 16.60 | 1000 | 610 | 523 | 3570 | 1780 | 13900 | 1569 | 1220 | 1220 | 9500 | 970 | 7550 |

注:在特殊情况下,只要冒口的模数稍大于冒口颈的模数便可。

表 6-14 标准圆柱形暗冒口(之一)

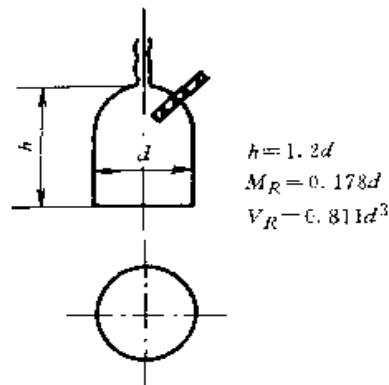


| 冒 口 | | | | | 当收缩率 ε 为下列值时,能补缩的最大铸件体积 V_C (质量 G_C) | | | | | | | |
|---------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| M_R (cm) | d (mm) | h (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) |
| 0.83 | 50 | 50 | 0.816 | 0.6 | 0.19 | 1.5 | 0.16 | 1.2 | 0.12 | 0.9 | 0.09 | 0.7 |
| 0.99 | 60 | 60 | 0.141 | 1.0 | 0.33 | 2.5 | 0.28 | 2.2 | 0.21 | 1.8 | 0.16 | 1.2 |
| 1.16 | 70 | 70 | 0.224 | 1.5 | 0.52 | 4 | 0.44 | 3.5 | 0.33 | 2.5 | 0.25 | 2 |
| 1.32 | 80 | 80 | 0.335 | 2.3 | 0.78 | 6 | 0.67 | 5.2 | 0.5 | 3.9 | 0.38 | 3 |
| 1.41 | 85 | 85 | 0.4 | 2.7 | 0.92 | 7 | 0.8 | 6.2 | 0.6 | 4.7 | 0.45 | 3.5 |
| 1.49 | 90 | 90 | 0.476 | 3.2 | 1.1 | 8.5 | 0.95 | 7.4 | 0.71 | 5.5 | 0.54 | 4.2 |
| 1.57 | 95 | 95 | 0.56 | 3.8 | 1.3 | 10 | 1.1 | 8.5 | 0.84 | 6.5 | 0.64 | 5 |
| 1.66 | 100 | 100 | 0.654 | 4.5 | 1.5 | 11.7 | 1.3 | 10 | 0.98 | 7.6 | 0.74 | 5.8 |
| 1.74 | 105 | 105 | 0.755 | 5.2 | 1.76 | 13.7 | 1.5 | 11.7 | 1.13 | 8.8 | 0.86 | 6.7 |
| 1.82 | 110 | 110 | 0.87 | 6 | 2 | 15.7 | 1.7 | 13 | 1.3 | 10 | 0.99 | 7.7 |

(续)

| 冒 口 | | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,能补缩的最大铸件体积 V_C (质量 G_C) | | | | | | | |
|---------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| M_R (cm) | d (mm) | h (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) |
| 1.91 | 115 | 115 | 0.994 | 6.8 | 2.3 | 18 | 2 | 15 | 1.5 | 11 | 1.1 | 8.6 |
| 1.99 | 120 | 120 | 1.13 | 7.7 | 2.64 | 20.5 | 2.2 | 17 | 1.7 | 13 | 1.3 | 10 |
| 2.07 | 125 | 125 | 1.27 | 8.6 | 2.96 | 23 | 2.5 | 19 | 1.9 | 15 | 1.5 | 11 |
| 2.15 | 130 | 130 | 1.43 | 9.7 | 3.34 | 26 | 2.8 | 22 | 2.1 | 16 | 1.6 | 12 |
| 2.24 | 135 | 135 | 1.6 | 11 | 3.73 | 29 | 3.2 | 25 | 2.4 | 18 | 1.8 | 14 |
| 2.32 | 140 | 140 | 1.79 | 12 | 4.18 | 32 | 3.5 | 27 | 2.7 | 21 | 2.0 | 15 |
| 2.40 | 145 | 145 | 1.99 | 14 | 4.64 | 36 | 3.9 | 30 | 3 | 23 | 2.2 | 17 |
| 2.49 | 150 | 150 | 2.2 | 15 | 5.13 | 40 | 4.4 | 34 | 3.3 | 26 | 2.5 | 19 |
| 2.57 | 155 | 155 | 2.43 | 17 | 5.76 | 45 | 4.8 | 37 | 3.6 | 28 | 2.76 | 21 |
| 2.65 | 160 | 160 | 2.68 | 18 | 6.25 | 49 | 5.3 | 41 | 4 | 31 | 3.06 | 24 |
| 2.74 | 165 | 165 | 2.94 | 20 | 6.85 | 53 | 5.8 | 45 | 4.4 | 34 | 3.35 | 26 |
| 2.82 | 170 | 170 | 3.21 | 22 | 7.5 | 58 | 6.4 | 50 | 4.8 | 37 | 3.67 | 28 |
| 2.90 | 175 | 175 | 3.5 | 24 | 8.16 | 63 | 7 | 54 | 5.3 | 41 | 4 | 31 |
| 2.98 | 180 | 180 | 3.81 | 26 | 8.9 | 69 | 7.6 | 59 | 5.7 | 44 | 4.3 | 33 |
| 3.07 | 185 | 185 | 4.14 | 28 | 9.65 | 75 | 8.2 | 64 | 6.2 | 48 | 4.7 | 36 |
| 3.15 | 190 | 190 | 4.47 | 30 | 10.4 | 81 | 8.9 | 69 | 6.7 | 52 | 5.1 | 40 |
| 3.23 | 195 | 195 | 4.85 | 33 | 11.3 | 88 | 9.7 | 75 | 7.3 | 57 | 5.5 | 43 |
| 3.32 | 200 | 200 | 5.24 | 36 | 12.2 | 95 | 10.4 | 81 | 7.8 | 61 | 5.9 | 46 |
| 3.40 | 205 | 205 | 5.63 | 38 | 13.1 | 102 | 11.2 | 86 | 8.4 | 65 | 6.4 | 50 |
| 3.48 | 210 | 210 | 6.06 | 41 | 14.1 | 110 | 12 | 94 | 9.1 | 71 | 7 | 54 |
| 3.57 | 215 | 215 | 6.5 | 44 | 15.1 | 118 | 13 | 100 | 9.7 | 75 | 7.4 | 57 |
| 3.65 | 220 | 220 | 6.95 | 47 | 16.2 | 126 | 14 | 108 | 10.4 | 81 | 7.9 | 61 |
| 3.73 | 225 | 225 | 7.45 | 51 | 17.3 | 134 | 15 | 116 | 11 | 86 | 8.5 | 66 |
| 3.81 | 230 | 230 | 7.9 | 54 | 18.4 | 143 | 16 | 123 | 12 | 92 | 9 | 70 |
| 3.90 | 235 | 235 | 8.5 | 58 | 19.8 | 154 | 17 | 132 | 12.7 | 99 | 9.7 | 75 |
| 3.98 | 240 | 240 | 9 | 61 | 21 | 164 | 18 | 140 | 13.5 | 105 | 10.2 | 79 |
| 4.06 | 245 | 245 | 9.6 | 65 | 22 | 174 | 19 | 150 | 14.4 | 112 | 11 | 86 |
| 4.15 | 250 | 250 | 10.2 | 70 | 24 | 185 | 20.4 | 160 | 15.3 | 119 | 11.6 | 90 |
| 4.23 | 255 | 255 | 10.8 | 74 | 25 | 196 | 21.6 | 168 | 16.2 | 126 | 12.3 | 96 |
| 4.31 | 260 | 260 | 11.4 | 78 | 26.5 | 205 | 22.8 | 178 | 17 | 132 | 13 | 101 |
| 4.39 | 265 | 265 | 12.1 | 82 | 28 | 220 | 24 | 187 | 18 | 140 | 13.8 | 107 |
| 4.48 | 270 | 270 | 12.8 | 87 | 29.8 | 232 | 25.6 | 200 | 19 | 148 | 14.6 | 114 |
| 4.56 | 275 | 275 | 13.6 | 93 | 31.7 | 247 | 27 | 210 | 20.4 | 159 | 15.5 | 121 |
| 4.64 | 280 | 280 | 14.3 | 97 | 33.4 | 260 | 28.6 | 223 | 21.4 | 167 | 16.3 | 127 |
| 4.73 | 285 | 285 | 15.1 | 103 | 35 | 274 | 30 | 234 | 22.6 | 176 | 17.2 | 134 |
| 4.81 | 290 | 290 | 15.9 | 108 | 37 | 290 | 31.8 | 248 | 23.8 | 186 | 18 | 140 |
| 4.89 | 295 | 295 | 16.8 | 114 | 39 | 305 | 33.6 | 262 | 25 | 195 | 19 | 148 |
| 4.98 | 300 | 300 | 17.6 | 120 | 41 | 320 | 35 | 273 | 26.5 | 206 | 20 | 156 |
| 5.06 | 305 | 305 | 18.5 | 126 | 43 | 335 | 37 | 288 | 27.8 | 216 | 21 | 164 |
| 5.14 | 310 | 310 | 19.5 | 132 | 45 | 352 | 39 | 302 | 28.5 | 222 | 21.7 | 169 |
| 5.23 | 315 | 315 | 20.4 | 140 | 47.8 | 370 | 41 | 318 | 31 | 242 | 23 | 180 |
| 5.31 | 320 | 320 | 21.4 | 146 | 50 | 390 | 43 | 334 | 32 | 250 | 24.4 | 190 |
| 5.39 | 325 | 325 | 22.4 | 152 | 52 | 408 | 45 | 350 | 33.5 | 262 | 25.5 | 199 |
| 5.47 | 330 | 330 | 23.4 | 159 | 54.5 | 425 | 47 | 365 | 35 | 273 | 27 | 210 |
| 5.56 | 335 | 335 | 24.5 | 166 | 57 | 444 | 49 | 392 | 36.8 | 286 | 28 | 218 |
| 5.64 | 340 | 340 | 25.7 | 175 | 60 | 468 | 51.4 | 400 | 38.5 | 300 | 29 | 226 |
| 5.72 | 345 | 345 | 26.8 | 182 | 62.5 | 487 | 54 | 417 | 40 | 312 | 30.6 | 238 |
| 5.81 | 350 | 350 | 28 | 190 | 65 | 510 | 56 | 437 | 42 | 327 | 32 | 250 |

表 6-142 标准圆柱形暗冒口(之二)

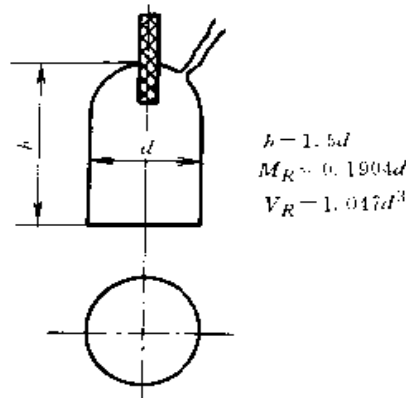


| 冒 口 | | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,能补缩的最大铸件体积 V_c (质量 G_c) | | | | | | | |
|---------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| M_R (cm) | d (mm) | h (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) |
| 0.89 | 50 | 60 | 0.1 | 0.7 | 0.23 | 1.8 | 0.2 | 1.5 | 0.15 | 1 | 0.11 | 0.8 |
| 1.06 | 60 | 72 | 0.17 | 1.2 | 0.41 | 3 | 0.35 | 2.7 | 0.26 | 2 | 0.19 | 1.5 |
| 1.34 | 70 | 84 | 0.28 | 2 | 0.67 | 5.2 | 0.56 | 4.3 | 0.43 | 3.3 | 0.32 | 2.5 |
| 1.42 | 80 | 96 | 0.33 | 2.3 | 0.78 | 6 | 0.66 | 5 | 0.5 | 3.9 | 0.38 | 3 |
| 1.51 | 85 | 102 | 0.5 | 3.4 | 1.1 | 8.6 | 0.99 | 7.7 | 0.74 | 5.7 | 0.57 | 4.4 |
| 1.60 | 90 | 108 | 0.59 | 4 | 1.3 | 10 | 1.18 | 9 | 0.88 | 6.8 | 0.68 | 5.3 |
| 1.69 | 95 | 114 | 0.69 | 5 | 1.6 | 12.5 | 1.38 | 11 | 1.04 | 8 | 0.8 | 6 |
| 1.78 | 100 | 120 | 0.81 | 5.6 | 1.9 | 15 | 1.62 | 12 | 1.2 | 9 | 0.92 | 7 |
| 1.86 | 105 | 126 | 0.93 | 6.4 | 2.1 | 16 | 1.8 | 14 | 1.4 | 11 | 1.1 | 8 |
| 1.95 | 110 | 132 | 1.1 | 7.4 | 2.5 | 19 | 2.1 | 17 | 1.6 | 12 | 1.2 | 9 |
| 2.04 | 115 | 138 | 1.23 | 8.5 | 2.8 | 22 | 2.4 | 19 | 1.9 | 15 | 1.4 | 11 |
| 2.13 | 120 | 144 | 1.4 | 9.5 | 3.2 | 25 | 2.8 | 22 | 2.1 | 16 | 1.6 | 12 |
| 2.22 | 125 | 150 | 1.6 | 11 | 3.7 | 29 | 3.1 | 24 | 2.3 | 18 | 1.8 | 14 |
| 2.31 | 130 | 156 | 1.8 | 12 | 4.1 | 32 | 3.5 | 28 | 2.6 | 20 | 2 | 15 |
| 2.39 | 135 | 162 | 2 | 14 | 4.6 | 36 | 3.9 | 31 | 2.9 | 23 | 2.2 | 17 |
| 2.49 | 140 | 168 | 2.2 | 15 | 5.2 | 40 | 4.4 | 34 | 3.3 | 26 | 2.5 | 19 |
| 2.58 | 145 | 174 | 2.5 | 17 | 5.7 | 45 | 4.9 | 39 | 3.7 | 29 | 2.8 | 22 |
| 2.67 | 150 | 180 | 2.7 | 19 | 6.3 | 49 | 5.4 | 42 | 4 | 32 | 3 | 24 |
| 2.77 | 155 | 186 | 3 | 21 | 7 | 54 | 6 | 47 | 4.5 | 35 | 3.4 | 26 |
| 2.84 | 160 | 192 | 3.3 | 23 | 7.7 | 60 | 6.6 | 52 | 5 | 39 | 3.8 | 29 |
| 2.93 | 165 | 198 | 3.6 | 25 | 8.5 | 66 | 7.3 | 57 | 5.5 | 43 | 4 | 32 |
| 3.02 | 170 | 204 | 3.9 | 27 | 9.3 | 72 | 7.9 | 62 | 6 | 47 | 4.5 | 35 |
| 3.11 | 175 | 210 | 4.3 | 30 | 10 | 78 | 8.7 | 68 | 6.5 | 51 | 5 | 39 |
| 3.20 | 180 | 216 | 4.7 | 32 | 11 | 86 | 9.4 | 73 | 7 | 55 | 5.4 | 42 |
| 3.29 | 185 | 222 | 5.1 | 35 | 12 | 93 | 10 | 78 | 7.7 | 60 | 5.8 | 45 |
| 3.38 | 190 | 228 | 5.5 | 38 | 13 | 101 | 11 | 86 | 8.3 | 65 | 6.3 | 49 |
| 3.47 | 195 | 234 | 6 | 41 | 14 | 109 | 12 | 93 | 9 | 70 | 6.8 | 53 |
| 3.56 | 200 | 240 | 6.5 | 44 | 15 | 117 | 13 | 100 | 9.7 | 75 | 7.4 | 58 |
| 3.65 | 205 | 246 | 7 | 48 | 16 | 127 | 14 | 109 | 10 | 82 | 7.9 | 61 |
| 3.73 | 210 | 252 | 7.5 | 51 | 17.5 | 136 | 15 | 117 | 11 | 87 | 8.5 | 66 |
| 3.82 | 215 | 258 | 8 | 55 | 18.7 | 146 | 16 | 125 | 12 | 93 | 9.1 | 71 |
| 3.91 | 220 | 264 | 8.7 | 59 | 20 | 156 | 17 | 134 | 13 | 101 | 9.8 | 76 |
| 4.00 | 225 | 270 | 9.2 | 63 | 21.5 | 167 | 18.5 | 144 | 13.8 | 107 | 10.5 | 82 |
| 4.09 | 230 | 276 | 9.9 | 67 | 23 | 179 | 19.8 | 154 | 14.8 | 115 | 11.3 | 87 |
| 4.18 | 235 | 282 | 10.6 | 72 | 24.5 | 191 | 21 | 164 | 15.8 | 123 | 12 | 93 |
| 4.27 | 240 | 288 | 11.2 | 76 | 26 | 203 | 22.4 | 174 | 16.7 | 130 | 12.8 | 100 |
| 4.36 | 245 | 294 | 11.9 | 81 | 27.7 | 216 | 23.8 | 185 | 17.8 | 139 | 13.6 | 106 |

(续)

| 冒 口 | | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,能补缩的最大铸件体积 V_C (质量 G_C) | | | | | | | |
|---------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| M_R (cm) | d (mm) | h (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) |
| 4.45 | 250 | 300 | 12.6 | 86 | 29.4 | 229 | 25.2 | 196 | 18.9 | 147 | 14.4 | 112 |
| 4.54 | 255 | 306 | 13.4 | 92 | 31.2 | 243 | 27 | 210 | 20 | 156 | 15.4 | 120 |
| 4.62 | 260 | 312 | 14.2 | 97 | 33 | 258 | 28.4 | 221 | 21.3 | 166 | 16.2 | 126 |
| 4.71 | 265 | 318 | 15 | 103 | 35 | 273 | 30.2 | 235 | 22.6 | 176 | 17.2 | 134 |
| 4.80 | 270 | 324 | 16 | 108 | 37 | 289 | 31.8 | 248 | 23.8 | 185 | 18 | 140 |
| 4.89 | 275 | 330 | 16.8 | 115 | 39.3 | 306 | 33.7 | 263 | 25 | 195 | 19.2 | 150 |
| 4.98 | 280 | 336 | 17.7 | 121 | 41.2 | 322 | 34.8 | 271 | 26.2 | 205 | 19.9 | 155 |
| 5.07 | 285 | 342 | 18.8 | 128 | 43.8 | 342 | 37.5 | 293 | 28.2 | 220 | 21.4 | 167 |
| 5.16 | 290 | 348 | 19.8 | 135 | 46 | 358 | 39.5 | 308 | 29.7 | 231 | 22.6 | 170 |
| 5.25 | 295 | 354 | 21 | 141 | 48.4 | 378 | 41.6 | 324 | 31.2 | 243 | 23.7 | 185 |
| 5.34 | 300 | 360 | 21.8 | 148 | 51 | 398 | 43.6 | 340 | 32.7 | 255 | 24.9 | 199 |
| 5.43 | 305 | 366 | 23 | 156 | 53.5 | 415 | 46 | 358 | 34.5 | 269 | 26.3 | 205 |
| 5.52 | 310 | 372 | 24 | 164 | 56 | 437 | 48.2 | 376 | 36 | 281 | 27.5 | 214 |
| 5.60 | 315 | 378 | 25 | 171 | 58.8 | 458 | 50.4 | 392 | 37.8 | 295 | 28.7 | 224 |
| 5.69 | 320 | 384 | 26.5 | 180 | 61.8 | 480 | 53 | 414 | 39.7 | 310 | 30.2 | 235 |
| 5.78 | 325 | 390 | 27.8 | 189 | 64.7 | 505 | 55.5 | 433 | 41.8 | 326 | 31.7 | 247 |
| 5.87 | 330 | 396 | 29 | 198 | 67.8 | 528 | 58.2 | 454 | 43.6 | 340 | 33.2 | 259 |
| 5.96 | 335 | 402 | 30.5 | 208 | 71 | 554 | 61 | 475 | 45.7 | 356 | 34.8 | 271 |
| 6.05 | 340 | 408 | 32 | 216 | 74 | 577 | 63.5 | 495 | 47.7 | 372 | 36.3 | 283 |
| 6.14 | 345 | 414 | 33.3 | 226 | 77.5 | 605 | 66.6 | 520 | 48.9 | 382 | 38 | 296 |
| 6.23 | 350 | 420 | 34.7 | 236 | 80 | 624 | 69.4 | 540 | 52 | 406 | 39.6 | 308 |

表 6-143 标准圆柱形暗冒口(之三)



| 冒 口 | | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,能补缩的最大铸件体积 V_C (质量 G_C) | | | | | | | |
|---------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| M_R (cm) | d (mm) | h (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) |
| 0.95 | 50 | 75 | 0.13 | 0.9 | 0.3 | 2.5 | 0.26 | 2 | 0.19 | 1.5 | 0.15 | 1.1 |
| 1.14 | 60 | 90 | 0.23 | 1.6 | 0.5 | 4 | 0.45 | 3.5 | 0.33 | 2.5 | 0.25 | 2 |
| 1.33 | 70 | 105 | 0.36 | 2.5 | 0.8 | 6.5 | 0.72 | 5.6 | 0.54 | 4 | 0.4 | 3 |
| 1.52 | 80 | 120 | 0.53 | 3.7 | 1.2 | 8.6 | 1.1 | 8 | 0.8 | 6 | 0.6 | 4.7 |
| 1.61 | 85 | 128 | 0.64 | 4.4 | 1.5 | 11.7 | 1.3 | 10 | 0.96 | 7.5 | 0.7 | 5.7 |
| 1.71 | 90 | 135 | 0.76 | 5.2 | 1.7 | 13 | 1.5 | 12 | 1.1 | 8.6 | 0.87 | 6.8 |
| 1.80 | 95 | 143 | 0.8 | 6.1 | 1.9 | 15 | 1.7 | 13 | 1.3 | 10 | 0.97 | 7.5 |
| 1.90 | 100 | 150 | 1.05 | 7.1 | 2.4 | 19 | 2.1 | 16 | 1.5 | 11 | 1.2 | 9.3 |

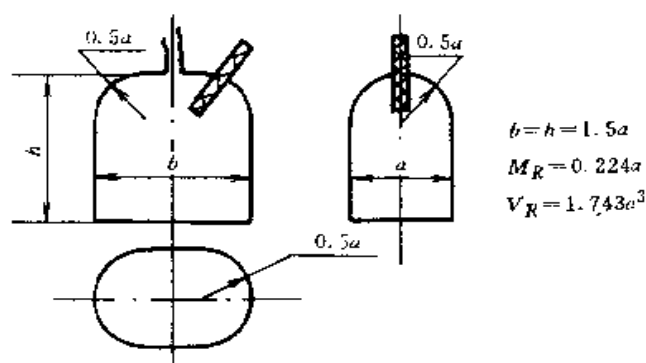
(续)

| 冒 口 | | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,能补缩的最大铸件体积 V_C (质量 G_C) | | | | | | | |
|---------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| M_R (cm) | d (mm) | h (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) |
| 1.99 | 105 | 158 | 1.2 | 8.3 | 2.8 | 22 | 2.4 | 19 | 1.8 | 14 | 1.4 | 11 |
| 2.09 | 110 | 165 | 1.4 | 9.5 | 3.2 | 25 | 2.8 | 22 | 2.1 | 16 | 1.6 | 12 |
| 2.19 | 115 | 173 | 1.6 | 11 | 3.7 | 29 | 3.1 | 24 | 2.4 | 18 | 1.8 | 14 |
| 2.28 | 120 | 180 | 1.8 | 13 | 4.2 | 33 | 3.6 | 28 | 2.7 | 21 | 2.1 | 16 |
| 2.38 | 125 | 188 | 2 | 14 | 4.7 | 37 | 4.1 | 32 | 3 | 23 | 2.3 | 18 |
| 2.47 | 130 | 195 | 2.3 | 16 | 5.3 | 41 | 4.6 | 36 | 3.4 | 26 | 2.6 | 20 |
| 2.57 | 135 | 203 | 2.6 | 18 | 6 | 47 | 5.1 | 40 | 3.8 | 29 | 2.9 | 23 |
| 2.66 | 140 | 210 | 2.8 | 20 | 6.7 | 52 | 5.7 | 44 | 4.3 | 33 | 3.3 | 26 |
| 2.76 | 145 | 218 | 3.2 | 22 | 7.4 | 58 | 6.3 | 49 | 4.8 | 37 | 3.6 | 28 |
| 2.85 | 150 | 225 | 3.5 | 24 | 8.1 | 63 | 7 | 54 | 5.3 | 41 | 4 | 31 |
| 2.95 | 155 | 233 | 3.9 | 27 | 9.1 | 71 | 7.8 | 61 | 5.8 | 45 | 4.4 | 34 |
| 3.04 | 160 | 240 | 4.3 | 29 | 9.9 | 77 | 8.5 | 66 | 6.4 | 50 | 4.9 | 39 |
| 3.14 | 156 | 248 | 4.7 | 32 | 11 | 85 | 9.4 | 73 | 7 | 55 | 5.3 | 41 |
| 3.23 | 170 | 255 | 5.1 | 35 | 12 | 93 | 10 | 79 | 7.7 | 60 | 5.8 | 45 |
| 3.33 | 175 | 263 | 5.6 | 38 | 12.8 | 100 | 11 | 87 | 8.4 | 65 | 6.4 | 50 |
| 3.42 | 180 | 270 | 6.1 | 42 | 14.2 | 111 | 12.2 | 94 | 9 | 70 | 6.9 | 54 |
| 3.52 | 185 | 278 | 6.6 | 45 | 15.5 | 121 | 13.2 | 103 | 10 | 77 | 7.6 | 59 |
| 3.61 | 190 | 285 | 7.2 | 49 | 16.7 | 130 | 14 | 111 | 10.7 | 83 | 8 | 63 |
| 3.71 | 195 | 293 | 7.8 | 53 | 18 | 140 | 15.5 | 121 | 11.6 | 90 | 8.8 | 68 |
| 3.81 | 200 | 300 | 8.4 | 57 | 19.5 | 152 | 16.8 | 131 | 12.5 | 97 | 9.6 | 75 |
| 3.90 | 205 | 308 | 9 | 61 | 21 | 164 | 18 | 140 | 13.5 | 105 | 10.3 | 80 |
| 3.99 | 210 | 315 | 9.7 | 66 | 22.6 | 176 | 19 | 149 | 14.5 | 113 | 11 | 86 |
| 4.09 | 215 | 323 | 10.4 | 71 | 24 | 188 | 21 | 162 | 15.6 | 122 | 11.8 | 92 |
| 4.18 | 220 | 330 | 11.1 | 76 | 26 | 203 | 22 | 172 | 16.7 | 130 | 12.7 | 98 |
| 4.28 | 225 | 338 | 11.9 | 81 | 27.7 | 216 | 23.7 | 185 | 17.8 | 138 | 13.5 | 105 |
| 4.38 | 230 | 345 | 13 | 87 | 29.7 | 231 | 25.5 | 199 | 19 | 148 | 14.5 | 113 |
| 4.47 | 235 | 353 | 13.6 | 93 | 31.7 | 247 | 27 | 212 | 20.3 | 158 | 15.5 | 121 |
| 4.57 | 240 | 360 | 14.4 | 98 | 33.5 | 261 | 28.7 | 224 | 21.5 | 167 | 16.5 | 129 |
| 4.66 | 245 | 368 | 15.3 | 104 | 35.5 | 277 | 30.5 | 248 | 23 | 179 | 17.4 | 136 |
| 4.70 | 250 | 375 | 16.3 | 111 | 38 | 297 | 32.6 | 254 | 24.4 | 190 | 18.6 | 145 |
| 4.85 | 255 | 383 | 17.3 | 118 | 40 | 312 | 34.6 | 270 | 26 | 203 | 19.7 | 154 |
| 4.95 | 260 | 390 | 18.3 | 124 | 42.5 | 331 | 36.5 | 285 | 27.4 | 214 | 21 | 164 |
| 5.04 | 265 | 398 | 18.8 | 128 | 43.7 | 340 | 37.5 | 292 | 28 | 220 | 21.5 | 168 |
| 5.14 | 270 | 405 | 20.3 | 138 | 47 | 368 | 40.7 | 317 | 30.3 | 236 | 23 | 179 |
| 5.23 | 275 | 413 | 21.7 | 147 | 50.5 | 394 | 43.4 | 339 | 32.4 | 253 | 24.7 | 192 |
| 5.33 | 280 | 420 | 22.9 | 156 | 55.5 | 432 | 45.7 | 356 | 34.3 | 267 | 26 | 203 |
| 5.42 | 285 | 428 | 24.2 | 165 | 56.3 | 438 | 48 | 375 | 36 | 281 | 27.5 | 214 |
| 5.52 | 290 | 435 | 25.5 | 174 | 59.3 | 462 | 51 | 398 | 38.7 | 298 | 29 | 226 |
| 5.61 | 295 | 443 | 26.8 | 182 | 62.4 | 485 | 53.5 | 418 | 40 | 312 | 30.6 | 238 |
| 5.71 | 300 | 450 | 28.2 | 192 | 65.6 | 513 | 56.5 | 440 | 42.7 | 333 | 32 | 251 |
| 5.80 | 305 | 458 | 29.6 | 202 | 69 | 537 | 59 | 460 | 44.3 | 346 | 33.8 | 263 |
| 5.90 | 310 | 465 | 31 | 212 | 72.6 | 566 | 62 | 482 | 46.6 | 363 | 35.5 | 277 |
| 5.99 | 315 | 473 | 32.7 | 222 | 76 | 593 | 65.3 | 510 | 49 | 382 | 37.3 | 291 |
| 6.09 | 320 | 480 | 34.2 | 232 | 79.5 | 620 | 68.4 | 533 | 51.3 | 400 | 39 | 304 |

(续)

| 冒 口 | | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,能补缩的最大铸件体积 V_C (质量 G_C) | | | | | | | |
|---------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| M_R (cm) | d (mm) | h (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) |
| 6.18 | 325 | 488 | 35.8 | 243 | 83.4 | 650 | 71.6 | 560 | 53.6 | 418 | 41 | 320 |
| 6.28 | 330 | 495 | 37.6 | 256 | 87.5 | 682 | 75 | 585 | 56.3 | 440 | 43 | 335 |
| 6.37 | 335 | 503 | 39.3 | 267 | 91 | 710 | 78.5 | 612 | 59 | 458 | 45 | 351 |
| 6.47 | 340 | 510 | 41 | 280 | 95.6 | 746 | 82 | 640 | 61.6 | 480 | 47 | 367 |
| 6.56 | 345 | 518 | 43 | 292 | 100 | 780 | 85.7 | 660 | 64.2 | 500 | 49 | 382 |
| 6.66 | 350 | 525 | 44.8 | 305 | 104 | 811 | 89.5 | 697 | 67 | 522 | 51 | 398 |

表 6-144 标准腰形暗冒口(之一)

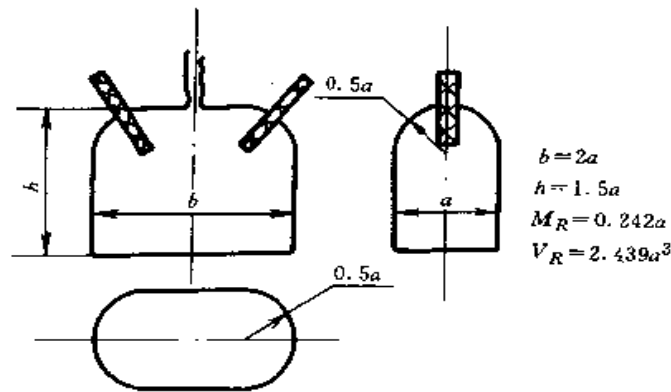


| 冒 口 | | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,能补缩的最大铸件体积 V_C (质量 G_C) | | | | | | | |
|---------------|-------------|-----------------|--------------|---------------|--|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| M_R (cm) | a (mm) | $b = h$ (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) |
| 1.12 | 50 | 75 | 0.21 | 1.5 | 0.5 | 4 | 0.4 | 3 | 0.3 | 2.3 | 0.24 | 1.8 |
| 1.34 | 60 | 90 | 0.37 | 2.6 | 0.87 | 6.8 | 0.74 | 5.8 | 0.56 | 4.3 | 0.43 | 3.3 |
| 1.56 | 70 | 105 | 0.58 | 4 | 1.3 | 10 | 1.16 | 8.5 | 0.87 | 6.8 | 0.66 | 5 |
| 1.80 | 80 | 120 | 0.89 | 6 | 2.1 | 16 | 1.8 | 14 | 1.3 | 10 | 1 | 7.8 |
| 1.90 | 85 | 128 | 1.1 | 7 | 2.4 | 19 | 2.1 | 16 | 1.6 | 12 | 1.2 | 9.3 |
| 2.01 | 90 | 135 | 1.27 | 9 | 2.9 | 22 | 2.5 | 19 | 1.9 | 15 | 1.4 | 11 |
| 2.12 | 95 | 143 | 1.5 | 10 | 3.5 | 27 | 2.9 | 22 | 2.2 | 17 | 1.7 | 13 |
| 2.24 | 100 | 150 | 1.7 | 12 | 4 | 31 | 3.4 | 26 | 2.6 | 20 | 2 | 15 |
| 2.35 | 105 | 158 | 2 | 14 | 4.7 | 37 | 4 | 31 | 3 | 23 | 2.3 | 18 |
| 2.46 | 110 | 165 | 2.3 | 16 | 5.4 | 42 | 4.6 | 36 | 3.5 | 27 | 2.6 | 20 |
| 2.57 | 115 | 173 | 2.6 | 18 | 6.1 | 47 | 5.2 | 40 | 3.8 | 30 | 3 | 23 |
| 2.68 | 120 | 180 | 3 | 21 | 6.9 | 54 | 6 | 47 | 4.5 | 35 | 3.4 | 26 |
| 2.80 | 125 | 188 | 3.4 | 23 | 7.9 | 61 | 6.8 | 53 | 5 | 40 | 3.9 | 30 |
| 2.91 | 130 | 195 | 3.8 | 26 | 8.9 | 69 | 7.9 | 61 | 5.7 | 44 | 4.3 | 33 |
| 3.02 | 135 | 203 | 4.3 | 29 | 10 | 78 | 8.6 | 67 | 6.4 | 50 | 4.8 | 37 |
| 3.13 | 140 | 210 | 4.8 | 33 | 11 | 86 | 9.5 | 74 | 7.1 | 55 | 5.4 | 42 |
| 3.24 | 145 | 218 | 5.3 | 36 | 12.4 | 97 | 10.6 | 82 | 8 | 62 | 6 | 47 |

(续)

| 冒 口 | | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,能补缩的最大铸件体积 V_c (质量 G_c) | | | | | | | |
|---------------|-------------|---------------|--------------|---------------|--|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| M_R (cm) | a (mm) | $b=h$ (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) | V_c (L) | G_c (kg) |
| 3.36 | 150 | 225 | 5.9 | 40 | 13.6 | 106 | 11.7 | 91 | 8.8 | 69 | 6.7 | 52 |
| 3.47 | 155 | 233 | 6.5 | 44 | 15 | 117 | 12.9 | 100 | 9.7 | 75 | 7.4 | 57 |
| 3.58 | 160 | 240 | 7.1 | 49 | 16.6 | 129 | 14.2 | 111 | 11 | 85 | 8 | 63 |
| 3.69 | 165 | 248 | 7.8 | 53 | 18 | 142 | 15.6 | 121 | 12 | 93 | 8.9 | 69 |
| 3.80 | 170 | 255 | 8.5 | 58 | 19.9 | 148 | 17 | 132 | 13 | 101 | 9.7 | 76 |
| 3.92 | 175 | 263 | 9.3 | 64 | 21.7 | 169 | 18.6 | 145 | 14.3 | 111 | 10.6 | 82 |
| 4.03 | 180 | 270 | 10 | 69 | 23.5 | 184 | 20 | 156 | 15 | 118 | 11.5 | 90 |
| 4.14 | 185 | 278 | 11 | 75 | 25.6 | 200 | 22 | 172 | 16.5 | 124 | 12.5 | 97 |
| 4.25 | 190 | 285 | 12 | 81 | 27.7 | 216 | 23.8 | 185 | 17.8 | 139 | 13.5 | 105 |
| 4.36 | 195 | 293 | 12.9 | 88 | 29.8 | 232 | 25.8 | 201 | 19.3 | 150 | 14.7 | 115 |
| 4.48 | 200 | 300 | 14 | 95 | 32.4 | 252 | 27.8 | 217 | 20.8 | 162 | 15.8 | 123 |
| 4.59 | 205 | 308 | 15 | 102 | 35 | 273 | 30 | 234 | 22.5 | 175 | 17 | 133 |
| 4.70 | 210 | 315 | 16 | 110 | 37.6 | 293 | 32 | 250 | 24 | 187 | 18.4 | 144 |
| 4.81 | 215 | 323 | 17.3 | 118 | 40.4 | 315 | 34.6 | 270 | 26 | 203 | 19.7 | 153 |
| 4.92 | 220 | 330 | 18.6 | 127 | 43.4 | 339 | 37 | 299 | 28 | 218 | 21 | 165 |
| 5.04 | 225 | 333 | 19.8 | 135 | 46 | 359 | 39.6 | 309 | 30 | 234 | 22.6 | 176 |
| 5.12 | 230 | 345 | 21 | 144 | 49.4 | 396 | 42.4 | 331 | 31.8 | 248 | 24 | 189 |
| 5.26 | 235 | 353 | 22.6 | 154 | 52.5 | 410 | 45 | 351 | 34 | 265 | 25.8 | 200 |
| 5.37 | 240 | 360 | 24 | 164 | 56 | 437 | 48 | 375 | 36 | 281 | 27.5 | 215 |
| 5.48 | 245 | 368 | 25.6 | 174 | 59.6 | 465 | 51 | 398 | 37.4 | 292 | 29 | 228 |
| 5.60 | 250 | 375 | 27 | 185 | 63.4 | 494 | 54 | 421 | 40.8 | 318 | 31 | 242 |
| 5.71 | 255 | 383 | 29 | 197 | 67.4 | 525 | 58 | 452 | 43.4 | 340 | 34 | 265 |
| 5.82 | 260 | 390 | 30.6 | 208 | 71 | 554 | 61 | 476 | 46 | 359 | 35 | 273 |
| 5.93 | 265 | 398 | 32.4 | 220 | 77.5 | 605 | 65 | 507 | 48.6 | 380 | 37 | 288 |
| 6.04 | 270 | 405 | 34 | 232 | 79.5 | 620 | 68 | 530 | 51 | 398 | 39 | 304 |
| 6.16 | 275 | 413 | 36 | 246 | 84.4 | 658 | 72 | 562 | 54 | 421 | 41 | 320 |
| 6.27 | 280 | 420 | 38 | 260 | 90 | 700 | 76 | 592 | 57 | 444 | 43.6 | 340 |
| 6.38 | 285 | 428 | 40.4 | 275 | 94 | 734 | 81 | 632 | 60.6 | 473 | 46 | 359 |
| 6.49 | 290 | 435 | 42.5 | 289 | 99 | 774 | 85 | 663 | 63.7 | 498 | 48.5 | 379 |
| 6.60 | 295 | 443 | 44.7 | 304 | 104 | 810 | 89 | 694 | 67 | 524 | 51 | 399 |
| 6.72 | 300 | 450 | 47 | 320 | 110 | 850 | 94 | 734 | 70.5 | 550 | 53.6 | 418 |
| 6.83 | 305 | 458 | 49.4 | 336 | 115 | 896 | 99 | 794 | 74 | 578 | 56.4 | 440 |
| 6.94 | 310 | 465 | 51.8 | 352 | 121 | 942 | 103 | 804 | 77.7 | 608 | 59 | 460 |
| 7.05 | 315 | 473 | 54.5 | 371 | 127 | 990 | 109 | 850 | 81.6 | 636 | 62 | 484 |
| 7.16 | 320 | 480 | 57 | 388 | 133 | 1040 | 114 | 890 | 85.5 | 666 | 65 | 507 |
| 7.28 | 325 | 488 | 59.7 | 406 | 139 | 1080 | 119 | 927 | 89.5 | 698 | 69 | 538 |
| 7.39 | 330 | 495 | 62.6 | 426 | 145 | 1130 | 125 | 974 | 94 | 734 | 71.5 | 557 |
| 7.50 | 335 | 503 | 65.5 | 446 | 153 | 1190 | 131 | 1020 | 98 | 768 | 75 | 585 |
| 7.61 | 340 | 510 | 68.5 | 466 | 160 | 1250 | 137 | 1070 | 105 | 818 | 78 | 608 |
| 7.72 | 345 | 518 | 71.4 | 486 | 166 | 1290 | 143 | 1110 | 109 | 850 | 81 | 632 |
| 7.84 | 350 | 525 | 74.6 | 507 | 174 | 1350 | 149 | 1160 | 114 | 888 | 85 | 664 |

表 6-145 标准腰形暗冒口(之二)



冒口

当收缩率 ϵ 为下列值时,能补缩的最大铸件体积 V_C (质量 G_C)

| M_R (cm) | a (mm) | b (mm) | h (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 当收缩率 ϵ 为下列值时,能补缩的最大铸件体积 V_C (质量 G_C) | | | | | | | |
|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| | | | | | | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) |
| 1.21 | 50 | 100 | 75 | 0.3 | 2.1 | 0.7 | 5.5 | 0.6 | 4.7 | 0.45 | 3 | 0.34 | 2.7 |
| 1.45 | 60 | 120 | 90 | 0.5 | 3.6 | 1.2 | 9 | 1 | 8 | 0.7 | 5.5 | 0.6 | 4.7 |
| 1.69 | 70 | 140 | 105 | 0.8 | 5.7 | 1.9 | 15 | 1.6 | 12.5 | 1.2 | 9 | 0.95 | 7.4 |
| 1.93 | 80 | 160 | 120 | 1.2 | 8.5 | 2.9 | 22 | 2.4 | 18.7 | 1.8 | 14 | 1.4 | 10 |
| 2.05 | 85 | 170 | 128 | 1.5 | 11 | 3.4 | 26 | 2.9 | 23 | 2.2 | 17 | 1.7 | 13 |
| 2.17 | 90 | 180 | 135 | 1.7 | 12 | 4.1 | 32 | 3.5 | 27 | 2.6 | 20 | 2 | 15 |
| 2.30 | 95 | 190 | 143 | 2.1 | 14 | 4.8 | 37 | 4.1 | 32 | 3.1 | 24 | 2.3 | 18 |
| 2.42 | 100 | 200 | 150 | 2.4 | 17 | 5.6 | 44 | 4.8 | 37 | 3.6 | 28 | 2.7 | 21 |
| 2.54 | 105 | 210 | 158 | 2.8 | 19 | 6.5 | 51 | 5.6 | 43 | 4.1 | 32 | 3.2 | 25 |
| 2.66 | 110 | 220 | 165 | 3.2 | 22 | 7.5 | 58 | 6.5 | 50 | 4.8 | 37 | 3.7 | 29 |
| 2.78 | 115 | 230 | 173 | 3.7 | 25 | 8.6 | 67 | 7.4 | 58 | 5.5 | 43 | 4.2 | 33 |
| 2.90 | 120 | 240 | 180 | 4.2 | 29 | 9.8 | 76 | 8.4 | 65 | 6.3 | 49 | 4.8 | 37 |
| 3.02 | 125 | 250 | 188 | 4.7 | 33 | 11 | 86 | 9.5 | 74 | 7.1 | 55 | 5.4 | 42 |
| 3.14 | 130 | 260 | 195 | 5.3 | 36 | 12 | 96 | 11 | 85 | 7.9 | 61 | 6 | 47 |
| 3.26 | 135 | 270 | 203 | 5.9 | 41 | 13.9 | 108 | 11.9 | 92 | 8.9 | 69 | 6.7 | 52 |
| 3.38 | 140 | 280 | 210 | 6.6 | 45 | 15.4 | 120 | 13 | 101 | 9.9 | 77 | 7.6 | 59 |
| 3.51 | 145 | 290 | 218 | 7.4 | 51 | 17 | 134 | 14.8 | 115 | 11 | 85 | 8.4 | 65 |
| 3.63 | 150 | 300 | 225 | 8.2 | 57 | 19 | 149 | 16 | 125 | 12 | 93 | 9.3 | 72 |
| 3.75 | 155 | 310 | 233 | 9.1 | 62 | 21.2 | 165 | 18 | 140 | 13.5 | 105 | 10.4 | 81 |
| 3.87 | 160 | 320 | 240 | 10 | 68 | 23 | 179 | 20 | 155 | 15 | 117 | 11.3 | 88 |
| 3.99 | 165 | 330 | 248 | 11 | 74 | 25.4 | 198 | 21.8 | 170 | 16.3 | 127 | 12.5 | 97 |
| 4.11 | 170 | 340 | 255 | 11.9 | 81 | 27.7 | 214 | 23.8 | 185 | 17.8 | 139 | 14 | 109 |
| 4.23 | 175 | 350 | 263 | 13 | 89 | 30 | 234 | 26 | 203 | 19.5 | 152 | 15.4 | 120 |
| 4.35 | 180 | 360 | 270 | 14 | 96 | 32.8 | 256 | 28 | 219 | 21 | 163 | 16.7 | 130 |
| 4.47 | 185 | 370 | 278 | 15.3 | 104 | 35.6 | 278 | 30.6 | 238 | 23 | 180 | 18 | 140 |
| 4.59 | 190 | 380 | 285 | 16.6 | 113 | 38.6 | 300 | 33 | 259 | 24.8 | 193 | 19.7 | 153 |
| 4.72 | 195 | 390 | 293 | 18 | 122 | 42.8 | 334 | 36 | 281 | 27 | 211 | 20.5 | 160 |
| 4.84 | 200 | 400 | 300 | 19.4 | 132 | 45 | 352 | 38.8 | 303 | 29 | 226 | 22 | 172 |
| 4.96 | 205 | 410 | 308 | 21 | 142 | 48.8 | 380 | 41.8 | 326 | 31.4 | 245 | 23.8 | 185 |
| 5.08 | 210 | 420 | 315 | 22.5 | 153 | 52.4 | 408 | 45 | 351 | 33.7 | 265 | 24 | 188 |
| 5.20 | 215 | 430 | 323 | 24 | 163 | 56 | 437 | 48 | 375 | 36 | 281 | 27.5 | 215 |
| 5.32 | 220 | 440 | 330 | 26 | 176 | 60 | 468 | 51.8 | 405 | 38.8 | 290 | 29.5 | 230 |
| 5.44 | 225 | 450 | 338 | 27.8 | 189 | 64 | 500 | 55.6 | 434 | 41.6 | 324 | 31.7 | 247 |
| 5.56 | 230 | 460 | 345 | 29.6 | 201 | 69 | 538 | 59 | 462 | 44 | 346 | 33.8 | 263 |
| 5.68 | 235 | 470 | 353 | 31.6 | 214 | 73.5 | 574 | 63 | 492 | 47 | 369 | 36 | 281 |
| 5.80 | 240 | 480 | 360 | 33.6 | 228 | 78.4 | 610 | 67 | 525 | 50 | 392 | 38 | 299 |
| 5.93 | 245 | 490 | 368 | 35.7 | 243 | 83 | 646 | 71.4 | 556 | 53.5 | 417 | 40.7 | 307 |

(续)

| 冒 口 | | | | | | 当收缩率 ϵ 为下列值时,能补缩的最大铸件体积 V_C (质量 G_C) | | | | | | | |
|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| M_R (cm) | a (mm) | b (mm) | h (mm) | V_R (L) | G_R (kg) | 4.5% | | 5% | | 6% | | 7% | |
| | | | | | | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) | V_C (L) | G_C (kg) |
| 6.05 | 250 | 500 | 375 | 38 | 258 | 88.4 | 690 | 75.8 | 591 | 56.8 | 444 | 43.3 | 337 |
| 6.17 | 255 | 510 | 383 | 40 | 274 | 94 | 734 | 80.6 | 629 | 60.4 | 470 | 46 | 359 |
| 6.29 | 260 | 520 | 390 | 42.5 | 289 | 99 | 774 | 85 | 663 | 63.7 | 498 | 48 | 374 |
| 6.41 | 265 | 530 | 398 | 45 | 307 | 105 | 820 | 90.4 | 705 | 67.7 | 528 | 52 | 406 |
| 6.53 | 270 | 540 | 405 | 48.7 | 332 | 113 | 880 | 97.4 | 760 | 73 | 570 | 55.6 | 434 |
| 6.65 | 275 | 550 | 413 | 50.6 | 344 | 118 | 920 | 101 | 787 | 75.8 | 592 | 58 | 452 |
| 6.77 | 280 | 560 | 420 | 53 | 362 | 124 | 967 | 106 | 830 | 79.8 | 625 | 60.8 | 474 |
| 6.89 | 285 | 570 | 428 | 56.4 | 384 | 129 | 1000 | 112 | 872 | 84.5 | 658 | 64.4 | 500 |
| 7.01 | 290 | 580 | 435 | 59 | 402 | 138 | 1070 | 118 | 920 | 88.8 | 692 | 67.6 | 528 |
| 7.14 | 295 | 590 | 443 | 62 | 423 | 145 | 1130 | 124 | 970 | 93 | 725 | 71 | 554 |
| 7.26 | 300 | 600 | 450 | 65.6 | 446 | 153 | 1200 | 131 | 1020 | 98 | 767 | 75 | 585 |
| 7.38 | 305 | 610 | 458 | 69.5 | 473 | 162 | 1260 | 139 | 1090 | 104 | 810 | 79.4 | 618 |
| 7.50 | 310 | 620 | 465 | 73 | 496 | 170 | 1320 | 146 | 1130 | 109 | 850 | 83.4 | 650 |
| 7.62 | 315 | 630 | 473 | 76.7 | 521 | 178 | 1390 | 154 | 1200 | 115 | 895 | 87.6 | 685 |
| 7.74 | 320 | 640 | 480 | 80.2 | 545 | 187 | 1460 | 160 | 1250 | 120 | 935 | 92 | 718 |
| 7.86 | 325 | 650 | 488 | 83.4 | 577 | 194 | 1500 | 166 | 1290 | 125 | 972 | 95 | 740 |
| 7.98 | 330 | 660 | 495 | 87.3 | 584 | 203 | 1560 | 174 | 1360 | 131 | 1020 | 100 | 780 |
| 8.10 | 335 | 670 | 503 | 92 | 625 | 214 | 1670 | 184 | 1430 | 137 | 1070 | 105 | 820 |
| 8.22 | 340 | 680 | 510 | 96.4 | 655 | 224 | 1740 | 192 | 1500 | 144 | 1120 | 110 | 850 |
| 8.35 | 345 | 690 | 518 | 100 | 680 | 233 | 1820 | 200 | 1560 | 149 | 1160 | 114 | 890 |
| 8.47 | 350 | 700 | 525 | 105 | 715 | 244 | 1900 | 210 | 1640 | 158 | 1230 | 120 | 935 |

(2)用补缩液量法计算冒口 补缩液量法是假定铸件的凝固速度和冒口的凝固速度相等,当铸件完全凝固时,其凝固层厚度为铸件厚度的一半,冒口凝固层厚度亦为铸件厚度的一半,见图 6-157。

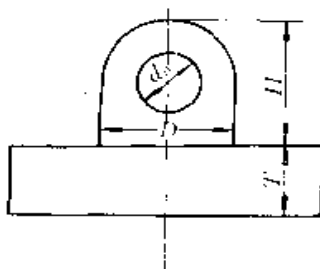


图 6-157 补缩液量示意图

设冒口内用于补缩的金属液为球体,其直径为 d_0 ,当冒口高度 H 和直径 D 相等时,则:

$$d_0 = D - T \quad \text{或} \quad D = d_0 + T$$

式中 D ——冒口直径;
 T ——被补缩部分铸件热节圆直径;

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{6}{\pi} \cdot \epsilon_v \cdot V}$$

式中 V ——铸件被补缩部位的体积;
 ϵ_v ——钢液凝固时的体积收缩率(表 6-146 也可按图 6-157 来确定碳钢凝固时体积收缩率 ϵ_v)。

为了冒口补缩可靠,实际上取冒口高度 $H = (1.15 \sim 1.8)D$ 。

(3) Василевский 的经验方法 原苏联 Василевский 确定冒口尺寸的经验方法,我国过去广泛采用,至今仍是现场实用的方法,现简介如下:

1)第一类铸件(水平方向补缩),见图 6-159,冒口尺寸按表 6-148 确定。

表 6-146 钢液凝固时的体积收缩率

(%)

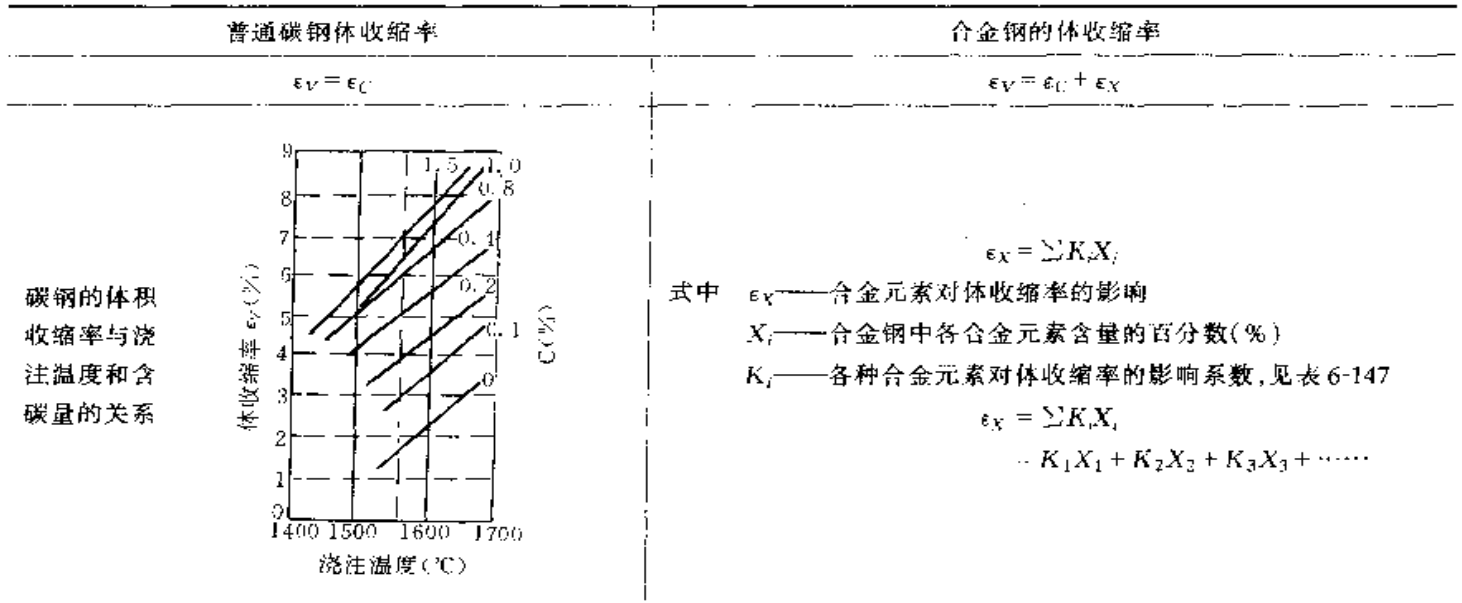


表 6-147 各合金元素对体收缩率的影响系数

| 合金元素 | W | Ni | Mn | Cr | Si | Al |
|------------|------|---------|---------|-------|-------|-------|
| 影响系数 K_i | 0.53 | -0.0354 | +0.0585 | +0.12 | +1.03 | +1.70 |

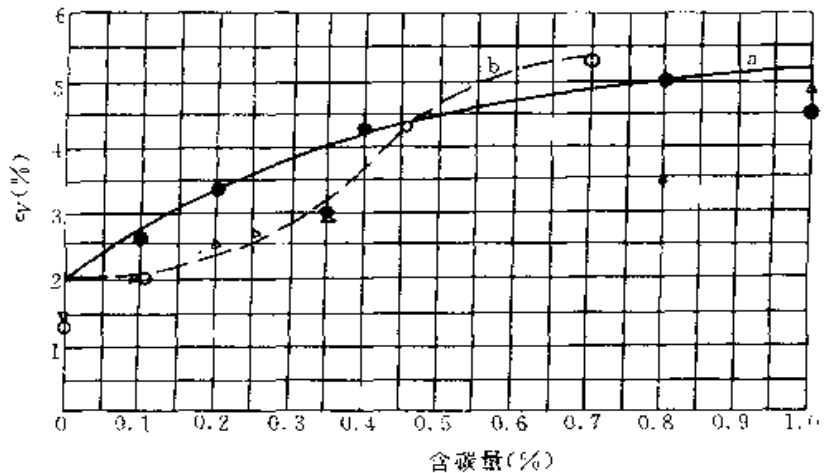


图 6-158 含碳量对碳钢体收缩率的影响

(a、b 两条曲线是在不同条件下求得的,实际上可取两者之间的值)

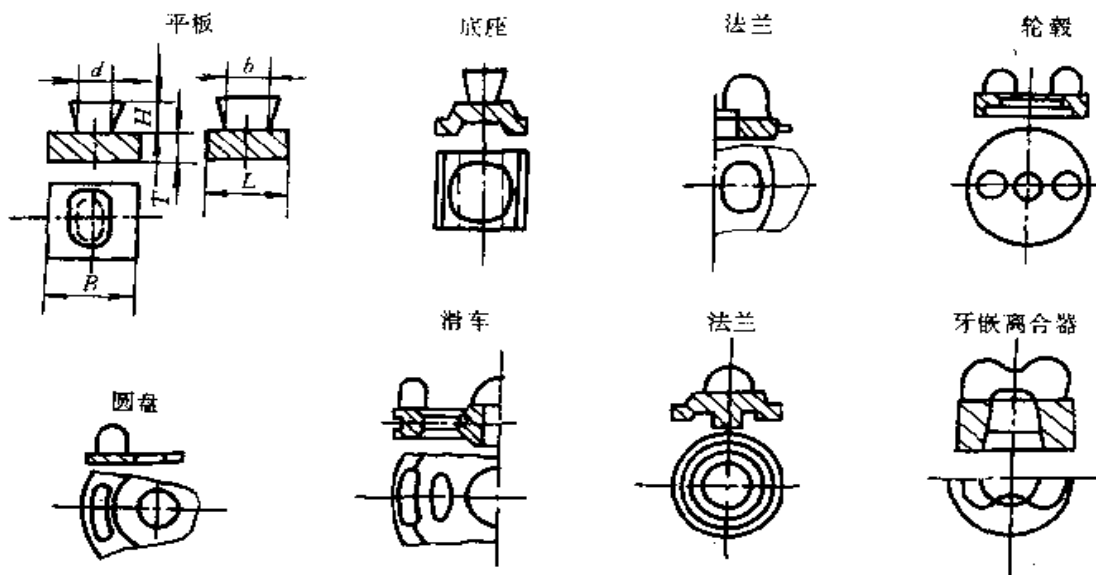


图 6-159 第一类铸件(水平方向补缩)

T—铸件厚度 B—铸件宽度 L—铸件长度 d—冒口宽度 b—冒口长度 H—冒口高度

表 6-148 第一类铸件冒口的尺寸

| T (mm) | $\frac{d}{T}$ | $\frac{H}{d}$ | 冒口的相对长度 (%) | | | |
|-----------|---------------|---------------|-------------|------|-------|------|
| | | | L=B时 | 圆形件 | L=2B时 | B=d时 |
| 50 | 1.8~2.5 | 1.8~1.2 | 40.0 | 31.0 | 22.0 | 20.0 |
| 100 | 1.6~2.5 | 1.6~1.2 | 40.0 | 31.0 | 22.0 | 20.0 |
| 150 | 1.5~2.0 | 1.5~1.2 | 42.5 | 33.0 | 23.5 | 22.5 |
| 200 | 1.3~1.6 | 1.5~1.1 | 44.0 | 35.0 | 24.5 | 24.0 |
| 250 | 1.3~1.5 | 1.4~1.1 | 50.0 | 39.0 | 25.0 | 25.0 |
| 300 | 1.25~1.5 | 1.25~1.0 | 57.5 | 45.0 | — | 25.0 |
| 500 | 1.2~1.5 | 1.1~0.95 | 62.0 | 48.0 | — | 38.0 |
| 750 | 1.2~1.3 | 0.9~0.8 | 73.5 | 58.0 | — | 54.0 |
| 1000 | 1.1~1.25 | 0.85~0.7 | 81.5 | 64.0 | — | 65.0 |
| 1250 | 1.1~1.2 | 0.8~0.7 | 85.0 | 67.0 | — | 66.0 |

注：1. 冒口相对长度是冒口底部尺寸和铸件同方向尺寸的比。

2. 表中数据适用于碳钢和低合金钢铸件。

3. 内浇道与冒口相连时， $\frac{d}{T}$ 和 $\frac{H}{d}$ 取下限值。

2) 第二类铸件（垂直方向补缩），见图 6-160， 冒口尺寸按表 6-149 确定。

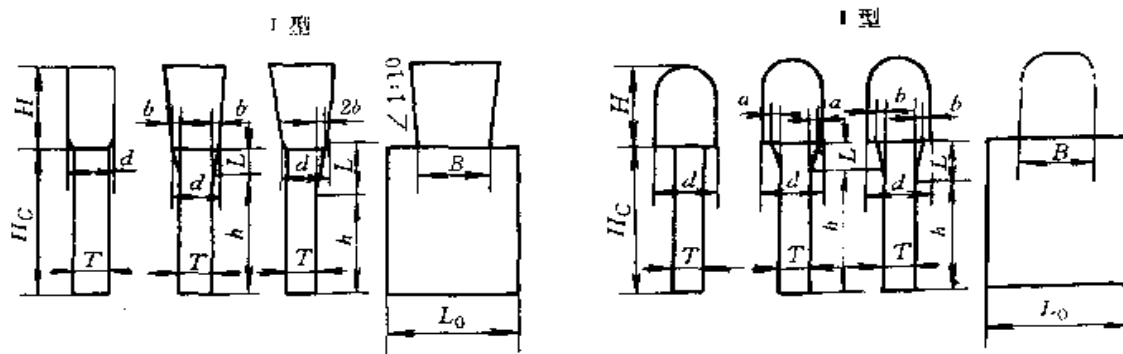


图 6-160 第二类铸件（垂直方向补缩）

T—铸件厚度 H_c —铸件高度 L_0 —铸件长度 L —补贴高度
 d —冒口厚度 a, b —补贴厚度 B —冒口长度 H —冒口高度

表 6-149 第二类铸件冒口的尺寸

| T (mm) | $\frac{H_c}{T}$ | $\frac{d}{T}$ | $\frac{H}{T}$ | H/H_c | | $\frac{L}{H_c}$ | 冒口的相 对长度 (%) |
|-----------|-----------------|---------------|---------------|---------|------|-----------------|-----------------|
| | | | | 冒口形状 | | | |
| | | | | 向上扩张 | 向上缩减 | | |
| 50 | 3 | 1.4~2.3 | 1.5~1.9 | — | 1.2 | 0 | 40~100 |
| 50 | 5 | 1.5~2.4 | 1.6~2.0 | — | 0.80 | 0.35 | 40~100 |
| 50 | 10 | 1.6~2.4 | 1.8~2.2 | 0.60 | 0.60 | 0.75 | 40~100 |
| 50 | 20 | 1.75~2.0 | 3.0~4.0 | 0.35 | — | 0.30 | 45~100 |
| 50 | 30 | 2.3~2.7 | 3.2~4.0 | 0.30 | — | 0.35 | 50~100 |
| 100 | 3 | 1.4~1.7 | 1.8~2.3 | 1.1 | 0.10 | 0.30 | 40~100 |
| 100 | 5 | 1.5~1.8 | 2.0~2.5 | 0.65 | 0.70 | 0.35 | 40~100 |

(续)

| T (mm) | $\frac{H_c}{T}$ | $\frac{d}{T}$ | $\frac{H}{T}$ | H/H_c | | $\frac{L}{H_c}$ | 冒口的相对长度 (%) |
|-----------|-----------------|---------------|---------------|---------|------|-----------------|-------------|
| | | | | 冒口形状 | | | |
| | | | | 向上扩张 | 向上缩减 | | |
| 100 | 10 | 1.6~2.0 | 2.2~3.5 | 0.50 | 0.50 | 0.30 | 45~100 |
| 100 | 20 | 1.7~1.9 | 3.5~4.5 | 0.40 | — | 0.25 | 50~100 |
| 100 | 30 | 1.9~2.2 | 4.2~5.0 | 0.30 | — | 0.25 | 55~100 |
| 200 | 3 | 1.4~1.7 | 1.4~1.6 | 0.80 | 0.70 | 0 | 45~100 |
| 200 | 5 | 1.5~1.75 | 1.5~1.8 | 0.55 | 0.60 | 0.35 | 45~100 |
| 200 | 10 | 1.6~1.9 | 1.8~2.6 | 0.40 | — | 0.25 | 50~100 |
| 200 | 15 | 1.5~1.8 | 3.2~4.2 | 0.35 | — | 0.25 | 55~100 |
| 300 | 15 | 1.4~1.7 | 1.5~1.7 | 0.50 | — | 0.30 | 50~100 |
| 300 | 10 | 1.5~1.8 | 1.8~2.7 | 0.35 | — | 0.25 | 50~100 |

注：1. 表中数据适用于碳钢和低合金钢铸件。

2. $\frac{L_H}{T} < 4$ 时，冒口的相对长度取下限值， $\frac{L_H}{T} > 4$ 时，取上限值。

3. 补贴 L 仅在冒口下方（尺寸 B）作出。

8.2.2.4 工艺出品率 工艺出品率 = 铸件毛重 / (铸件毛重 + 浇冒口总重) × 100%

表 6-150 为碳钢、低合金钢及合金钢铸件的工艺出品率参考值。

表 6-150 工艺出品率参考表

| 序号 | 铸件类型 | 铸件毛重 (kg) | 明冒口时的工艺出品率 (%) | 备注 |
|----|-----------|-----------|----------------|------|
| 1 | 齿轮 半齿轮 | <120 | <45 | |
| | | ~500 | 45~50 | |
| | | ~2000 | 48~54 | |
| | | ~4000 | 50~56 | |
| | | ~8000 | 50~58 | |
| | ~12000 | 50~60 | | |
| 2 | 齿圈 轮带 | <4000 | 50~56 | |
| | | ~8000 | 50~58 | |
| | | ~24000 | 50~60 | |
| 3 | 托轮、飞轮 | | 50~60 | 下内冷铁 |
| 4 | 汽缸、活塞 | | 54~64 | |
| 5 | 内外圆加工的筒体件 | | 45~58 | |
| 6 | 箱座、箱盖、箱形体 | ~6000 | 61~68 | |
| | | ~12000 | 63~72 | |

(续)

| 序号 | 铸件类型 | 铸件毛重 (kg) | 明冒口时的工艺出品率 (%) | 备注 |
|----|------------------|------------------|----------------|-------------------------|
| 7 | 轧机机架 | ~6000 | 62~66 | 下内冷铁 补浇冒口 |
| | | ~20000 | 64~70 | |
| | | ~60000 | 68~74 | |
| 8 | 砧座 | ~6000 | 62~68 | 下内冷铁 补浇冒口 |
| | | ~12000 ~40000 | 64~70 68~74 | |
| 9 | V形砧块 (合金钢) | 3000 ~10000 | 56~62 | 下内冷铁 |
| 10 | 高锰钢 | | >80 | 下内冷铁 |
| 11 | 轧机盖板 | | >80 | |
| 12 | 其它结构件 (加工量大的) | ~100 | 50~56 | 此类件因无一定规则，变化较大，表内值作一般参考 |
| | | ~500 | 52~58 | |
| | | ~5000 | 55~65 | |
| | | >15000 | 58~68 | |
| 13 | 其它结构件 (加工量小的) | ~100 | 56~62 | |
| | | ~500 | 58~64 | |
| | | ~5000 ~15000 | 60~70 65~75 | |

8.2.2.5 易割冒口 易割冒口与铸件的连接形式见图 6-161，隔片的尺寸，见表 6-151。隔片多采用耐火材料烧制而成。

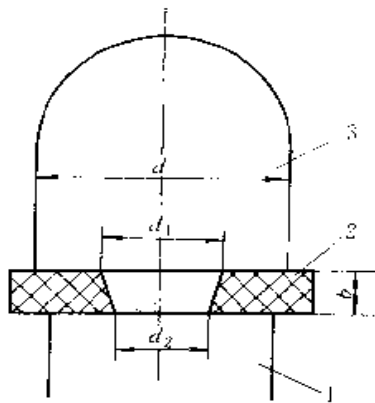


图 6-161 易割冒口
1—铸件 2—隔片 3—冒口

表 6-151 隔片主要尺寸

| d | b | d_1 | d_2 | d | b | d_1 | d_2 |
|-----|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-------|
| 80 | 6 | 30 | 25 | 150 | 8 | 40 | 34 |
| 100 | 7 | 34 | 30 | 180 | 10~12 | 46 | 40 |
| 120 | 7 | 40 | 34 | | | | |

8.3 灰铸铁件的冒口

普通灰铸铁件在凝固过程中,因析出石墨并伴随相变膨胀,有很强的自补能力,因而缩孔、缩松的倾向性小,对于模数 $M \leq 1\text{cm}$ 的铸件,可利用浇注系统当冒口铸出健全的铸件。灰铸铁件冒口尺寸主要靠经验方法来确定,表 6-152~表 6-158 可供设计冒口时参考。

表 6-152 灰铸铁常用冒口的形状和参数

| 明顶冒口 | 明边冒口 | 暗边冒口 |
|---|--|---|
| | | |
| $D = (1.2 \sim 2.5) T$ $H = (1.2 \sim 2.5) D$ $d = (0.8 \sim 0.9) T$ $h = (0.3 \sim 0.35) D$ | $D = (1.2 \sim 2.5) T$ $H = (1.2 \sim 2.5) D$ $a = (0.8 \sim 0.9) T$ $b = (0.6 \sim 0.8) T$ | $D = (1.2 \sim 2.0) T$ $H = (1.2 \sim 1.5) D$ $h = 0.3H$ 浇口通过冒口时: $d = (0.33 \sim 0.5) T$ 浇口不通过冒口时: $d = (0.5 \sim 0.66) T$ |

- 注: 1. T 为铸件的厚度或热节圆直径。
 2. 明冒口高度 H 可根据砂箱高度适当调整。
 3. 随明顶冒口直径 D 增大, 冒口颈处的角度取小值。

表 6-153 柴油机类灰铸铁明顶冒口尺寸

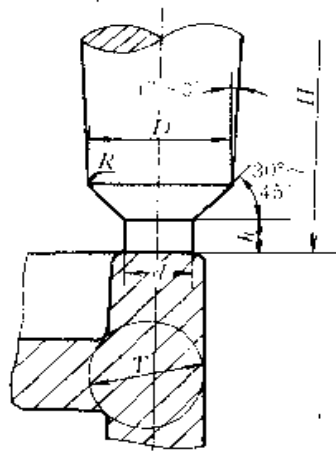
| 手工造型 | 机器造型 |
|------|------|
| | |

(续)

| 尺寸 (mm) | | | | | | 冒口质量 (kg) | 尺寸 (mm) | | | | | | 冒口质量 (kg) |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|
| T | D | H | h | R | d | | T | D | H | h | R | d | |
| 35 | 60 | 120 | 25 | 15 | 30 | 2.5 | 35 | 60 | 120 | 20 | 15 | 30 | 2.5 |
| 45 | 70 | 140 | 30 | 20 | 35 | 4.0 | 45 | 70 | 140 | 25 | 20 | 35 | 4.0 |
| 55 | 90 | 180 | 32 | 20 | 45 | 9.0 | 55 | 90 | 180 | 25 | 20 | 45 | 9.0 |
| 70 | 110 | 220 | 40 | 25 | 55 | 16 | 70 | 110 | 220 | 33 | 25 | 55 | 16 |
| 85 | 120 | 240 | 40 | 25 | 60 | 19 | 85 | 120 | 240 | 33 | 25 | 60 | 19 |
| 90 | 140 | 280 | 42 | 25 | 70 | 32 | 90 | 140 | 280 | 36 | 25 | 70 | 32 |
| 100 | 160 | 320 | 42 | 25 | 80 | 44 | 100 | 160 | 320 | 36 | 25 | 80 | 44 |
| 120 | 180 | 360 | 50 | 30 | 90 | 78 | 120 | 180 | 360 | 42 | 30 | 90 | 78 |
| 150 | 200 | 400 | 55 | 30 | 100 | 93 | 150 | 200 | 400 | 42 | 30 | 100 | 93 |

表 6-154 机床及通用机械类铸铁件明顶冒口尺寸

(mm)

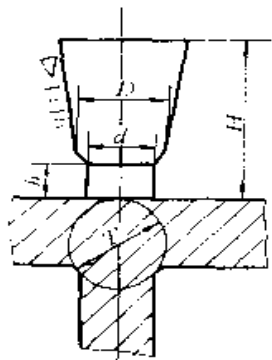


| 编号 | T | D | H | d | h | R |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 30 | 60 | 180 | 27 | 10 | 10 |
| 2 | 40 | 80 | 240 | 35 | 12 | 12 |
| 3 | 50 | 100 | 300 | 45 | 15 | 15 |
| 4 | 60 | 100 | 300 | 55 | 15 | 15 |
| 5 | 70 | 110 | 320 | 60 | 15 | 15 |
| 6 | 80 | 130 | 360 | 70 | 20 | 20 |
| 7 | 90 | 150 | 400 | 80 | 20 | 20 |
| 8 | 100 | 170 | 440 | 90 | 20 | 20 |
| 9 | 110 | 180 | 460 | 100 | 20 | 20 |
| 10 | 120 | 200 | 500 | 110 | 25 | 25 |
| 11 | 130 | 220 | 530 | 120 | 25 | 25 |
| 12 | 140 | 240 | 550 | 130 | 25 | 25 |
| 13 | 160 | 260 | 580 | 140 | 30 | 30 |
| 14 | 170 | 270 | 600 | 150 | 30 | 30 |
| 15 | 190 | 290 | 620 | 160 | 30 | 30 |
| 16 | 200 | 310 | 650 | 170 | 35 | 35 |
| 17 | 220 | 330 | 680 | 180 | 35 | 35 |
| 18 | 230 | 350 | 700 | 190 | 35 | 35 |
| 19 | 240 | 360 | 720 | 200 | 35 | 35 |

注: 1. 冒口直径 D 增大, 则冒口颈角度取小值。2. 一般取 $D = (1.5 \sim 2) T$, $H = (2 \sim 3) D$ 。

表 6-155 按牌号及热节圆直径确定冒口尺寸

(mm)

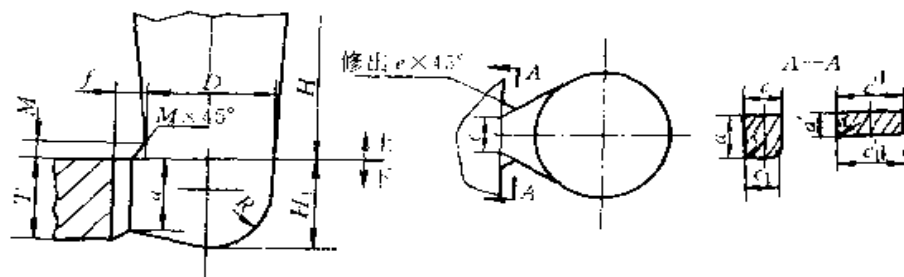


| 牌 号 | 冒 口 尺 寸 | | | |
|-------|---------|------|------------|--------|
| | d | D | H | h |
| HT150 | $0.6T$ | $2d$ | $3\sim 4d$ | $0.2d$ |
| HT200 | $0.6T$ | $2d$ | $3\sim 4d$ | $0.2d$ |
| HT250 | $0.75T$ | $2d$ | $3\sim 4d$ | $0.2d$ |
| HT300 | $0.8T$ | $2d$ | $3\sim 4d$ | $0.2d$ |
| HT350 | $0.85T$ | $2d$ | $3\sim 4d$ | $0.2d$ |

注: T 为设置冒口处的热节圆直径。

表 6-156 通用机械类灰铸铁件明边冒口尺寸

(mm)



$D \geq 1.5T$

$H \geq 2.5D$

$a = (0.8 \sim 0.9) T$

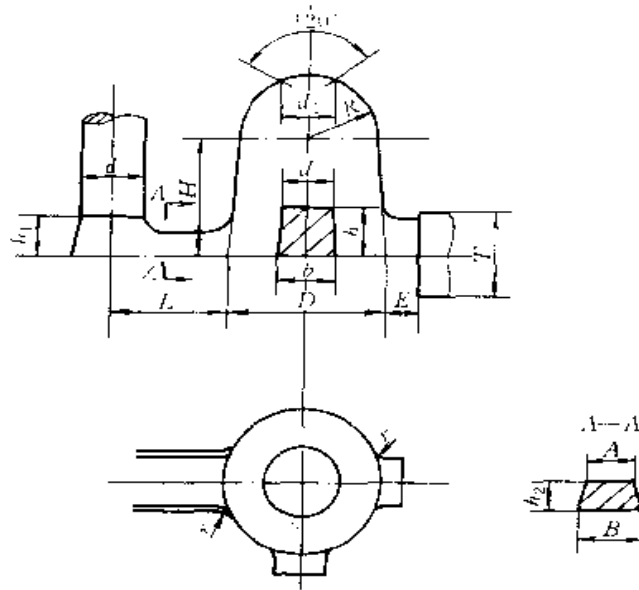
$f = (1/3 \sim 1/4) D$

| T | D | H | R | H_1 | f | M | e | a | c | c_1 | a' | c' | c'_1 | r | 质量 (kg) |
|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|------|--------|-----|---------|
| 40 | 60 | 200 | 28 | 45 | 20 | 10 | 3 | 35 | 22 | 18 | 25 | 40 | 30 | 3 | 7 |
| 50 | 80 | 200 | 38 | 60 | 25 | 15 | 3 | 45 | 26 | 22 | 30 | 50 | 40 | 3 | 13 |
| 70 | 100 | 250 | 48 | 75 | 30 | 20 | 3 | 60 | 36 | 32 | 35 | 60 | 50 | 3 | 24 |
| 80 | 120 | 300 | 57 | 90 | 35 | 25 | 4 | 70 | 48 | 38 | 45 | 70 | 60 | 4 | 42 |
| 90 | 140 | 300 | 67 | 105 | 40 | 30 | 4 | 80 | 52 | 48 | 55 | 80 | 70 | 4 | 59 |
| 100 | 160 | 350 | 77 | 120 | 45 | 35 | 4 | 90 | 61 | 57 | 65 | 90 | 80 | 4 | 80 |
| 120 | 180 | 400 | 86 | 135 | 50 | 40 | 5 | 110 | 70 | 64 | 75 | 100 | 90 | 5 | 126 |
| 130 | 200 | 450 | 96 | 155 | 55 | 45 | 5 | 120 | 80 | 70 | 85 | 110 | 100 | 5 | 172 |
| 140 | 220 | 500 | 106 | 180 | 60 | 50 | 5 | 130 | 85 | 75 | 95 | 130 | 120 | 5 | 243 |
| 160 | 240 | 550 | 115 | 200 | 65 | 55 | 6 | 150 | 90 | 80 | 110 | 140 | 130 | 6 | 300 |
| 180 | 260 | 600 | 125 | 220 | 70 | 60 | 6 | 170 | 95 | 85 | 120 | 150 | 140 | 6 | 405 |
| 190 | 280 | 650 | 135 | 240 | 75 | 65 | 6 | 180 | 100 | 90 | 130 | 160 | 150 | 8 | 515 |
| 200 | 300 | 700 | 145 | 260 | 80 | 70 | 6 | 190 | 110 | 100 | 140 | 170 | 160 | 8 | 620 |

注: 1. T 为铸件厚度或热节圆直径。2. H 可根据砂箱高度调整。

表 6-157 与浇口连接的灰铸铁件暗边冒口尺寸

(mm)



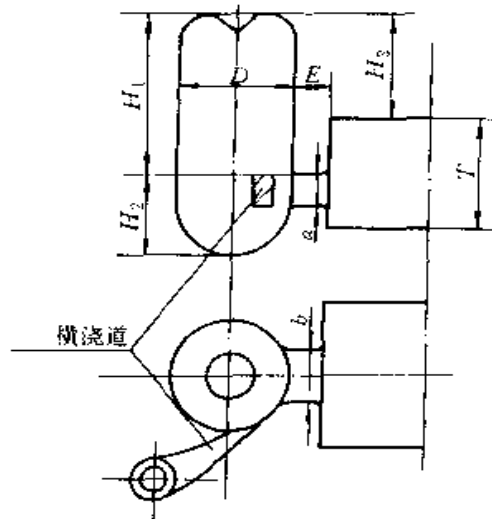
| T | D | H | L | d ₁ | a | b | h | h ₁ | d | R | r | E | A | B | h ₂ | 补缩质量 (kg) |
|-------|-----|-----|-----|----------------|----|----|-------|----------------|----|------|----|----|----|----|----------------|-----------|
| 20~30 | 50 | 60 | 50 | 22.5 | 6 | 10 | 10~15 | 10~15 | 20 | 22.5 | 10 | 10 | 20 | 24 | 5 | 10 |
| 30~40 | 60 | 72 | 60 | 27 | 8 | 12 | 15~20 | 15~20 | 20 | 27 | 12 | 12 | 20 | 24 | 6 | 15 |
| 40~50 | 70 | 84 | 70 | 31.5 | 10 | 14 | 20~25 | 20~25 | 25 | 31.5 | 14 | 14 | 25 | 29 | 7 | 20 |
| 50~60 | 80 | 96 | 80 | 36 | 12 | 15 | 25~30 | 25~30 | 25 | 36 | 16 | 16 | 25 | 29 | 8 | 25 |
| 60 | 90 | 108 | 90 | 40.5 | 14 | 18 | 30 | 30 | 30 | 40.5 | 18 | 18 | 30 | 34 | 9 | 30 |
| 70 | 100 | 120 | 100 | 45 | 16 | 20 | 50 | 30 | 30 | 45 | 20 | 20 | 30 | 34 | 10 | 35 |

注：1. 对于小于 10kg 的铸件，可用一个冒口同时补缩几个铸件，必要时加大冒口尺寸。

2. 对于高强度灰铸铁件，可取 $h=0.6T$ ， h_2 加大 30%， L 减小 30%。

表 6-158 高强度灰铸铁件暗边冒口（与浇口连接）尺寸

(mm)



(续)

| T | D | H_2 | H_3 | 冒口颈 ($a \times b$) | F | 横浇道 (上宽 \times 高 \times 下宽) |
|-------|-------|-------|-------|-------------------------|------|------------------------------------|
| 25.4 | 35 | 35 | 101.6 | 12.7 \times 12.7 | 12.7 | 9.6 \times 25.4 \times 6.4 |
| 38.1 | 50.8 | 50.8 | 114.3 | 16 \times 16 | 12.7 | 9.6 \times 25.4 \times 6.4 |
| 50.8 | 63.5 | 63.5 | 114.3 | 19.2 \times 19.2 | 16 | 9.6 \times 25.4 \times 6.4 |
| 63.5 | 76.2 | 63.5 | 127 | 19.2 \times 19.2 | 16 | 12.7 \times 25.4 \times 9.6 |
| 76.2 | 88.9 | 63.5 | 139.7 | 22.2 \times 22.2 | 19.2 | 12.7 \times 25.4 \times 9.6 |
| 88.9 | 101.6 | 70 | 152.4 | 22.2 \times 22.2 | 19.2 | 12.7 \times 25.4 \times 9.6 |
| 101.6 | 101.6 | 70 | 177.8 | 25.4 \times 25.4 | 22.2 | 16 \times 25.4 \times 12.7 |
| 114.3 | 114.3 | 70 | 190.5 | 25.4 \times 25.4 | 22.2 | 16 \times 25.4 \times 12.7 |
| 127 | 127 | 70 | 203.2 | 31.8 \times 31.8 | 25.4 | 19.2 \times 31.8 \times 16 |
| 152.4 | 152.4 | 76.2 | 215.9 | 38.1 \times 38.1 | 31.8 | 22.2 \times 31.8 \times 19.2 |

注：1. 当冒口补缩的为 X、Y、L 和 T 形截面时，冒口直径 D 等于该截面的内切圆直径。

2. 为了提高冒口的补缩能力， H_3 最好能大于 100mm。

8.4 球墨铸铁件的冒口

球墨铸铁件的缩孔体积，在普通砂型条件下，要比灰铸铁件大，故一般都设置冒口。但利用球墨铸铁在凝固过程中，由于石墨化产生的较大的收缩前膨胀，采用提高铸型刚度，保证铸件同时凝固，合理选择合金成分等措施后，有可能实现小冒口或无冒口铸造。

球墨铸铁生产中以暗冒口应用最广，而且一般设计成浇道通过冒口进入铸件的浇冒口系统，以利补缩。

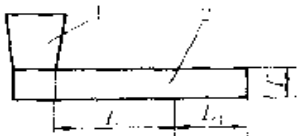
8.4.1 冒口补缩距离

冒口补缩距离，见表 6-159。

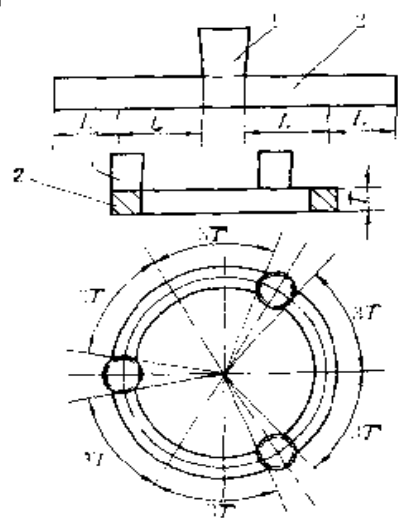
8.4.2 冒口计算

(1) 热节圆法 根据热节处的热节圆直径 T 确定冒口各部分的尺寸，表 6-160。

表 6-159 球墨铸铁冒口的有效补缩距离

| 补缩条件 | 简 图 | 补缩距离 L |
|------|---|---|
| 单面补缩 |  | 有效补缩距离 $L = 4.5T$ 末端冷却区 $L_1 = 2.5T$ |

(续)

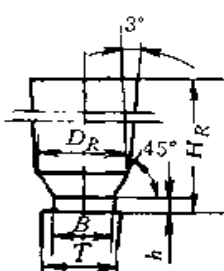
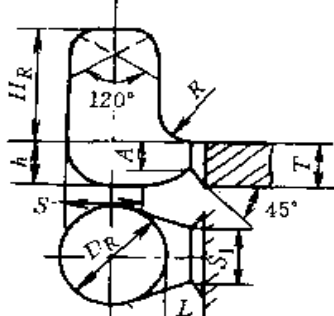
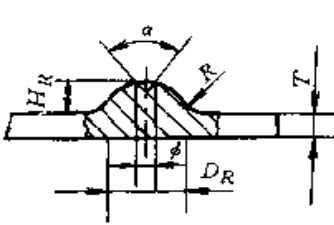
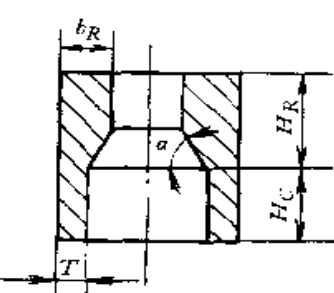
| 补缩条件 | 简 图 | 补缩距离 L |
|------|--|---------------------------------------|
| 双面补缩 |  | 有效补缩距离 $L = 3T$ 末端冷却区 $L_1 = 2.5T$ |

注：1. 一般适用于铸件壁厚在 10~150mm 的条件，当铸件壁厚 $> 50\text{mm}$ 时，有效补缩距离 L 可适当增加。

2. 表图中：1—冒口；2—铸件； L_1 —末端作用距离，一般可取 $2.5T$ 。

表 6-160 球墨铸铁件冒口尺寸

(mm)

| 明冒口: | 边冒口: | 半球状冒口: | 环形冒口: |
|---|--|---|--|
|  |  |  |  |
| $D_R = (1.2 \sim 3.5) T$ $H_R = (1.2 \sim 2.5) D_R$ $B = (0.4 \sim 0.7) D_R$ $h = (0.3 \sim 0.35) D_R$ | $D_R = (1.2 \sim 3.5) T$ $H_R = (1.2 \sim 1.5) D_R$ $A = (0.8 \sim 0.9) T$ $S_1 = (0.8 \sim 1.2) T$ $L = (0.3 \sim 0.35) D_R$ $h = (0.4 \sim 0.5) D_R$ $R = (0.5 \sim 0.7) D_R$ $S = (3/4) D_R$ | $H_R = (1.5 \sim 4) T$ $D_R = 2H_R$ $\alpha = 30^\circ \sim 40^\circ$ $\phi = 25 \sim 35$ $R = (0.25 \sim 0.4) H_R$ | $H_R = (0.5 \sim 1) H_C$ $b_R = (1.5 \sim 2.5) T$ α 取值如下: $H_R = 0.5 H_C, \alpha = 30^\circ$ $H_R = 0.8 H_C, \alpha = 45^\circ$ $H_R = H_C, \alpha = 60^\circ$ |

注: 1. 一般壁厚的铸件取 $D_R = T + 50\text{mm}$ 。
 2. 圆柱体, 立方体等取 $D_R = (1.2 \sim 1.5) T$ 。

(2) 模数法 冒口直径的计算公式

$$D_m = 4.6M_j + B$$

式中 D_m ——冒口直径 (cm);

M_j ——铸件模数 (cm);

B ——经验常数, 当采用边冒口且铁液经过冒口浇入型腔时取 2.5~3.5, 上限仅适用于快浇, 下限适用于慢浇。

冒口颈模数为铸件模数的 0.7~0.8 倍, 过大或过小都可能使铸件在冒口颈处产生缩松。

冒口颈的截面最好是梯形, 也可以用圆形或正方形。冒口颈的长度为冒口直径的 0.25~0.3 倍。

冒口工艺出品率按 70% 左右核算, 不得大于 80%。

冒口其余尺寸, 见图 6-162。

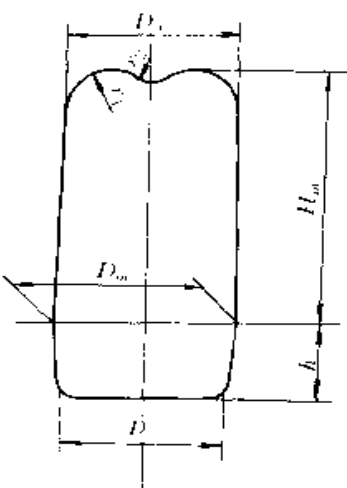


图 6-162 球墨铸铁暗冒口的尺寸

$$H_m = (1 \sim 1.4) D_m$$

h_1 一般比铸件壁厚小 3~5mm;
 $r_1 = (1/4) D_1$;
 $r_2 = 3 \sim 8$ (mm)
 (不大于 10mm)

为了现场采用方便, 可根据铸件模数 M_j 从表 6-161 中直接查出直径 D_m 和冒口颈截面尺寸。

表 6-161 球墨铸铁冒口尺寸 (mm)

| 铸件模数 M_j | 冒口直径 D_m | | 冒口颈截面尺寸 | |
|------------|------------|-----|---------|------------------|
| | 慢浇时 | 快浇时 | 正方形或圆形 | $2a \times a$ 矩形 |
| 0.50 | 4.8 | 5.8 | 1.4~1.6 | 1.1~1.2 |
| 0.55 | 5.0 | 6.0 | 1.5~1.8 | 1.2~1.3 |
| 0.60 | 5.3 | 6.3 | 1.7~1.9 | 1.3~1.4 |
| 0.65 | 5.5 | 6.5 | 1.8~2.1 | 1.4~1.6 |
| 0.70 | 5.7 | 6.7 | 2.0~2.2 | 1.5~1.7 |
| 0.75 | 6.0 | 7.0 | 2.1~2.4 | 1.6~1.8 |
| 0.80 | 6.2 | 7.2 | 2.2~2.5 | 1.7~1.9 |
| 0.85 | 6.4 | 7.4 | 2.4~2.7 | 1.8~2.1 |
| 0.90 | 6.6 | 7.6 | 2.5~2.9 | 1.9~2.2 |
| 0.95 | 6.9 | 7.9 | 2.7~3.0 | 2.0~2.3 |
| 1.00 | 7.1 | 8.1 | 2.8~3.2 | 2.1~2.4 |
| 1.05 | 7.3 | 8.3 | 2.9~3.4 | 2.2~2.5 |
| 1.10 | 7.6 | 8.6 | 3.1~3.5 | 2.3~2.6 |
| 1.15 | 7.8 | 8.8 | 3.2~3.7 | 2.4~2.8 |
| 1.20 | 8.0 | 9.0 | 3.4~3.8 | 2.5~2.9 |
| 1.25 | 8.3 | 9.3 | 3.5~4.0 | 2.6~3.0 |
| 1.30 | 8.5 | 9.5 | 3.6~4.2 | 2.7~3.1 |

(续)

| 铸件模数 M_j | 冒口直径 D_m | | 冒口颈截面尺寸 | |
|---------------|------------|------|---------|------------------|
| | 慢浇时 | 快浇时 | 正方形或圆形 | $2a \times a$ 矩形 |
| 1.35 | 8.7 | 9.7 | 3.8~4.3 | 2.8~3.2 |
| 1.40 | 8.9 | 9.9 | 3.9~4.5 | 2.9~3.4 |
| 1.45 | 9.2 | 10.2 | 4.1~4.6 | 3.0~3.5 |
| 1.50 | 9.4 | 10.4 | 4.2~4.8 | 3.2~3.6 |
| 1.55 | 9.6 | 10.6 | 4.3~5.0 | 3.3~3.7 |
| 1.60 | 9.9 | 10.9 | 4.5~5.1 | 3.4~3.8 |
| 1.65 | 10.2 | 11.2 | 4.6~5.3 | 3.5~4.0 |
| 1.70 | 10.3 | 11.3 | 4.8~5.4 | 3.6~4.1 |
| 1.75 | 10.6 | 11.6 | 4.9~5.6 | 3.7~4.2 |
| 1.80 | 10.8 | 11.8 | 5.0~5.8 | 3.8~4.3 |
| 1.85 | 11.0 | 12.0 | 5.2~5.9 | 3.9~4.4 |
| 1.90 | 11.2 | 12.2 | 5.3~6.1 | 4.0~4.6 |
| 1.95 | 11.5 | 12.5 | 5.5~6.2 | 4.1~4.7 |
| 2.00 | 11.7 | 12.7 | 5.6~6.4 | 4.2~4.8 |
| 2.05 | 11.9 | 12.9 | 5.7~6.6 | 4.3~4.9 |
| 2.10 | 12.2 | 13.2 | 5.9~6.7 | 4.4~5.0 |
| 2.15 | 12.4 | 13.4 | 6.0~6.9 | 4.5~5.2 |

(续)

| 铸件模数 M_j | 冒口直径 D_m | | 冒口颈截面尺寸 | |
|---------------|------------|------|---------|------------------|
| | 慢浇时 | 快浇时 | 正方形或圆形 | $2a \times a$ 矩形 |
| 2.20 | 12.6 | 13.6 | 6.1~7.0 | 4.6~5.3 |
| 2.25 | 12.8 | 13.8 | 6.3~7.2 | 4.7~5.4 |
| 2.30 | 13.1 | 14.1 | 6.4~7.4 | 4.8~5.5 |
| 2.35 | 13.3 | 14.3 | 6.6~7.5 | 4.9~5.6 |
| 2.40 | 13.5 | 14.5 | 6.7~7.7 | 5.0~5.8 |
| 2.45 | 13.8 | 14.8 | 6.8~7.8 | 5.1~5.9 |

8.5 可锻铸铁件的冒口

8.5.1 冒口补缩距离

可锻铸铁冒口的补缩距离为铸件厚度的 4~4.5 倍，厚壁铸件取下限。

8.5.2 冒口计算

可锻铸铁的冒口通常采用侧暗冒口，而且广泛地应用铁液自浇口通过冒口进入铸件的方法来加强冒口的补缩作用。

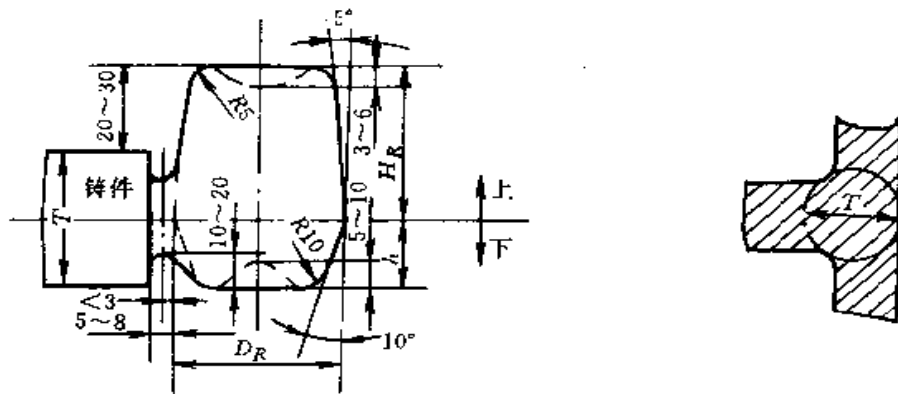
对于薄壁铸件，且质（重）量较大或较高的铸件，取冒口直径 $D = (3 \sim 5) T$ 。

对于一般铸件，取冒口直径 $D = (2.2 \sim 3.0) T$ 。T 为铸件的厚度或热节圆直径。

冒口尺寸见表 6-162~表 6-164。

表 6-162 可锻铸铁件边冒口尺寸的确定

(mm)



| 冒口直径 D_R | 冒 口 高 度 | | | 冒口颈截面积与补缩节点热节圆面积之比 |
|--------------------------|---------|-----------------|---------------|--------------------|
| | 上 | $H_R = 1.5 D_R$ | $H_R : D_R$ | |
| $D_R = (2.2 \sim 2.8) T$ | 下 | $h = 0.25 D_R$ | $h : 0.5 D_R$ | (1~1.5) : 1 |

注：1. 冒口下部高度可接冒口颈的厚度加 10~12mm 来确定。

2. 若一个冒口补缩两个及两个以上热节区时，冒口直径要相应增大 1.1~1.3 倍。

3. 若被补缩铸件相当于热节圆形成的球体时，冒口颈的截面积应略小于热节圆的截面积。

4. 冒口颈的截面一般为圆形或腰圆形或月牙形。

表 6-163 可锻铸铁件边冒口尺寸

(mm)

图 a 尺寸关系

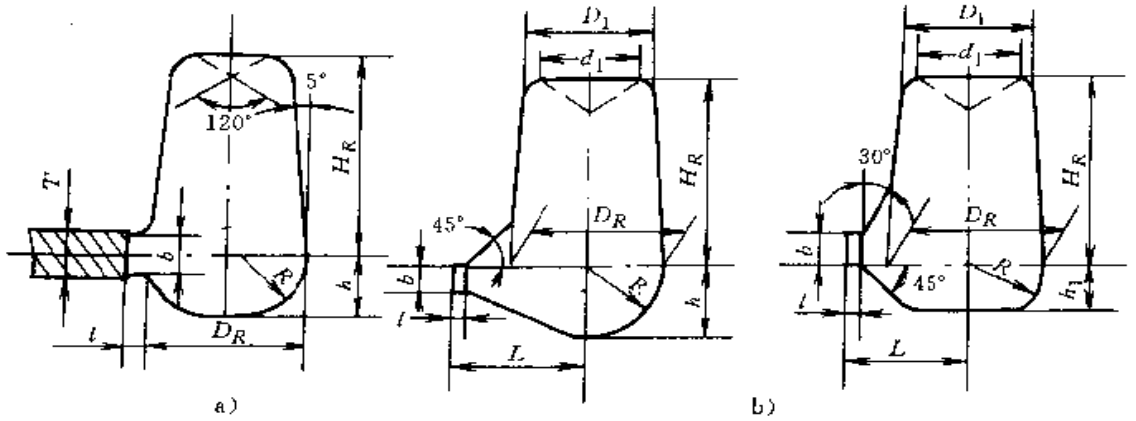
$$D_R = (3 \sim 5) T$$

$$H_R = (1.25 \sim 1.5) D_R$$

$$h = (0.25 \sim 0.3) H_R$$

$$b = (0.7 \sim 0.8) T$$

$$l = 3 \sim 6 \text{mm}$$

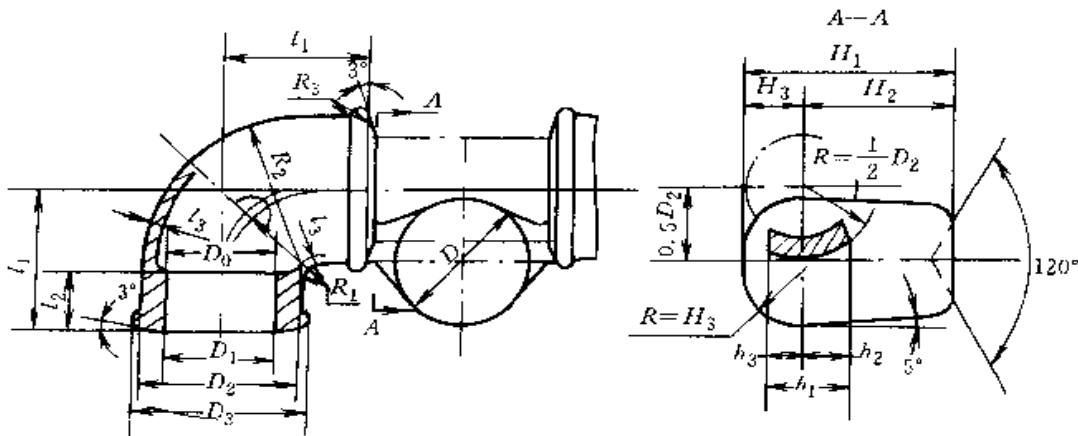


a) 中、小件冒口 b) 大件冒口

| D_R | D_1 | d_1 | H_R | h | h_1 | l | L | R |
|-------|-------|-------|-------|------|-------|-----|-----|------|
| 60 | 50 | 40 | 75 | 30 | 18 | 4 | 50 | 30 |
| 75 | 65 | 40 | 100 | 37.5 | 20 | 4 | 60 | 37.5 |
| 90 | 75 | 50 | 120 | 45 | 28 | 5 | 80 | 45 |

表 6-164 管接头边冒口尺寸

(mm)



| 铸 件 | | | | | | | | | | 冒 口 | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| D_0 | D_1 | D_2 | D_3 | R_1 | R_2 | R_3 | l_1 | l_2 | l_3 | D | H_1 | H_2 | H_3 | h_1 | h_2 | h_3 |
| — | 10 | 17.1 | 20.1 | 4 | 17.1 | 1.5 | 20.1 | 8.5 | 2.2 | 12~16 | 19 | 15 | 4 | 8 | 4 | 4 |
| — | 13.5 | 20.6 | 23.6 | 4 | 20.6 | 1.5 | 23.1 | 9.5 | 2.2 | 12~16 | 24 | 19 | 5 | 10 | 5 | 5 |
| — | 16.3 | 25.7 | 28.7 | 5 | 25.7 | 1.5 | 26.15 | 11 | 2.5 | 12~16 | 26 | 20 | 6 | 12 | 6 | 6 |
| 21.6 | 22.4 | 31.2 | 34.7 | 5 | 31.2 | 1.7 | 31.2 | 12.5 | 2.5 | 30 | 46 | 34 | 12 | 16 | 9 | 7 |
| 27.2 | 28 | 38.3 | 41.8 | 6 | 38.3 | 1.7 | 35.2 | 14 | 2.7 | 32 | 50 | 36 | 14 | 20 | 12 | 8 |
| 35.7 | 36.7 | 47.3 | 51.3 | 6 | 41.3 | 2 | 42.3 | 16 | 3 | 34 | 56 | 40 | 16 | 25 | 15 | 10 |
| 41.5 | 42.6 | 54.3 | 58.4 | 7 | 54.3 | 2 | 48.5 | 18 | 3.5 | 36 | 63 | 45 | 18 | 28 | 16 | 12 |
| 52.8 | 54 | 66.4 | 71.4 | 7 | 66.4 | 2.5 | 55.3 | 19 | 3.8 | 40 | 70 | 50 | 20 | 34 | 20 | 14 |
| 68.3 | 69.7 | 82.5 | 81.5 | 8 | 82.5 | 2.5 | 65.4 | 22 | 4 | 44 | 85 | 60 | 25 | 38 | 22 | 16 |
| 81 | 82.5 | 96.1 | 101.6 | 8 | 96.1 | 2.7 | 74.4 | 24 | 4.5 | 48 | 93 | 65 | 28 | 42 | 24 | 18 |
| 101.2 | 105.4 | 120.1 | 127.3 | 9 | 120.7 | 3.2 | 90.5 | 28 | 4.5 | 54 | 110 | 80 | 30 | 50 | 28 | 22 |
| 130.4 | 132.3 | 141.4 | 154.4 | 10 | 147.4 | 3.5 | 110.7 | 30 | 5 | 62 | 130 | 95 | 35 | 58 | 34 | 24 |
| 155.3 | 157.3 | 174.2 | 181.8 | 10 | 174.2 | 3.7 | 125.8 | 32 | 5.5 | 70 | 150 | 110 | 40 | 68 | 40 | 28 |

8.6 铜合金铸件的冒口

8.6.1 冒口补缩距离

锡青铜、磷青铜、铝青铜和部分黄铜结晶温度范围宽，呈糊状凝固方式，易出现分散性缩孔，冒口补缩距离小；无锡青铜和部分黄铜结晶温度范围一般较

窄，近中间凝固方式，易形成集中缩孔，冒口补缩距离较大。冒口补缩距离见表 6-165、表 6-166。

8.6.2 冒口计算

铜合金铸件的冒口计算见表 6-167~表 6-170。

8.6.3 加强冒口作用的工艺措施

加强冒口作用的工艺措施，见表 6-171。

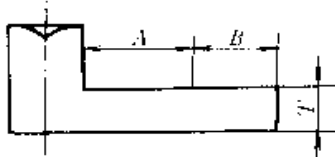
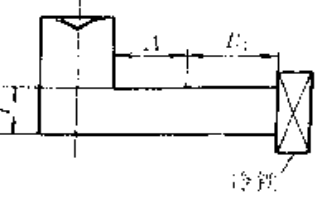
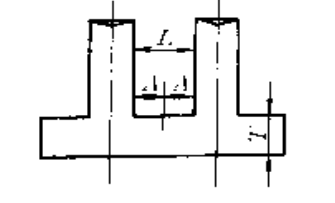
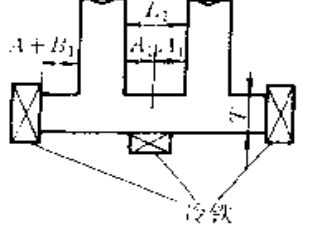
表 6-165 铜合金铸件冒口补缩距离

| 合金铸类 | 铸件形状 | 末端区长度 | 冒口作用区长度 | 补缩距离 |
|--------------------------------|------|--------------|---------|--------------|
| 锡青铜 (Sn 8%, Zn 4%) | 板状 | 4T | | 4T |
| | 杆状 | $10\sqrt{T}$ | 0 | $10\sqrt{T}$ |
| 锰铁黄铜 (Cu 55%, Mn 3%, Fe 1%) | 板状 | $5T_1$ | 2.5T | 7.5T |
| 铝铁青铜 (Al 9%, Fe 4%) | 板状 | 5.5T | 3T | 8.5T |

注：1. 在干型、水平浇注条件下测出。

2. T—板厚或杆的边长。

表 6-166 铜合金铸件冒口补缩距离

| 示 图 | 黄铜、铝青铜铸件 | | 锡青铜铸件 | |
|--|--------------------------------|----------------------------------|--|--|
| | 普通冒口 | 发热冒口 | 普通冒口 | 发热冒口 |
|  | $A + B - 4.5T$ | $A + B = 5T$ | $A + B = 3.5T$ | $A + B = 4.5T$ |
|  | $A + B_1 = 4.5T$ $+ 0.5T$ | $A + B_1 = 5T$ $+ 0.5T$ | $A + B_1 = 3.5T$ $+ 50\text{mm}$ | $A + B_1 = 4.5T$ $+ 50\text{mm}$ |
|  | $2A = 4T$ | $2A = 5T$ | $2A = 3T$ | $2A = 4T$ |
|  | $2A_1 = 10T$ $A + B_1 = 5T$ | $2A_1 = 11T$ $A + B_1 = 5.5T$ | $2A_1 = 4T$ $A + B_1 = 3.5T$ $+ 50\text{mm}$ | $2A_1 = 5T$ $A + B_1 = 4.5T$ $+ 50\text{mm}$ |

(续)

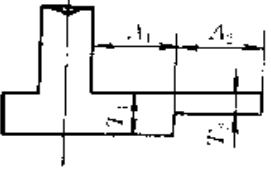
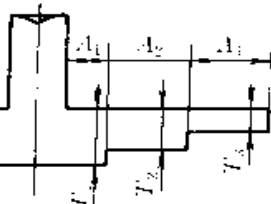
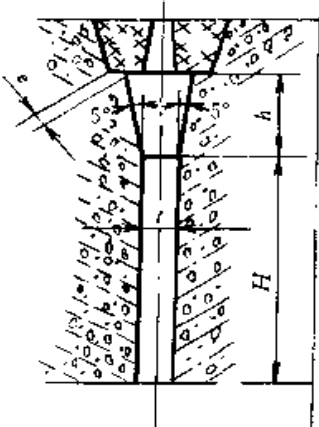
| 示 图 | 黄铜、铝青铜铸件 | | 锡青铜铸件 | |
|---|--|--|--|--|
| | 普通冒口 | 发热冒口 | 普通冒口 | 发热冒口 |
|  | $A_1 = 3.5(T_1 - T_2)$ $A_2 = 3.5T_2$ | $A_1 = 3(T_2 - T_1) + T_2$ $A_2 = 3.5T_2$ | $A_1 = 3.5(T_1 - T_2)$ $A_2 = 3T_2$ | $A_1 = 3(T_1 - T_2) + T_1$ $A_2 = 3.5T_2$ |
|  | $A_1 = 3.5(T_1 - T_2)$ $A_2 = 3.5(T_2 - T_3)$ $A_3 = 3.5T_3$ | $A_1 = 3(T_1 - T_2) + T_1$ $A_2 = 3.5(T_2 - T_3)$ $A_3 = 3.5T_3$ | $A_1 = 3(T_1 - T_2)$ $A_2 = 3.5(T_2 - T_3)$ $A_3 = 3T_3$ | $A_1 = 2.5(T_1 - T_2) + T_1$ $A_2 = 3(T_2 - T_3)$ $A_3 = 3T_3$ |

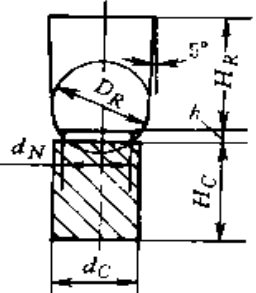
表 6-167 锡青铜套类铸件冒口尺寸

(mm)

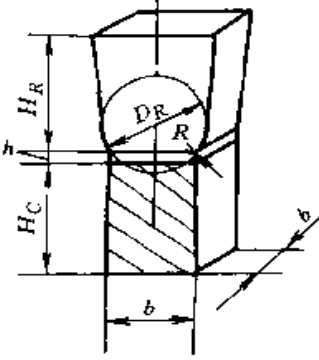
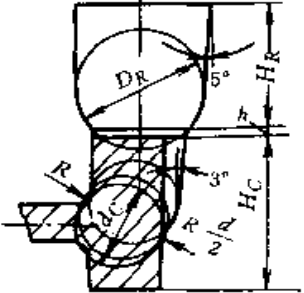
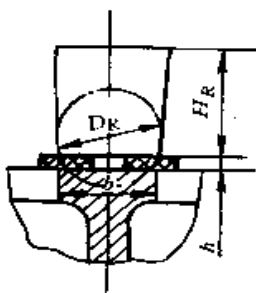
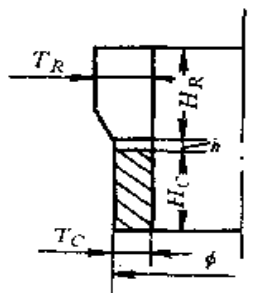
| 序 号 | 铸件高度 H | 冒口高度 h | | 浇口芯子外边 e | 示 图 |
|-----|-----------|----------|----------|---------------|---|
| | | $t < 30$ | $t > 30$ | | |
| 1 | 150~250 | 60 | 80 | 30~35 |  |
| 2 | 251~340 | 70 | 90 | 40~45 | |
| 3 | 341~500 | 80 | 100 | 45~50 | |
| 4 | 501~800 | 100 | 120 | 50~60 | |
| 5 | 801~1000 | — | 170 | 60~80 | |
| 6 | 1001~1500 | — | 250 | 80~100 | |
| 7 | 1501~2000 | — | 300 | ~100 | |

注： t —铸件厚度。

表 6-168 热节圆法计算冒口尺寸

| 铸 件 类 别 | 冒 口 尺 寸 | | | | | | | | | |
|---|--|---|-------|-------|---------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|
| | 锡青铜和磷青铜 | 铝青铜和黄铜 | | | | | | | | |
| 圆柱形铸件  | $D_R = 1.2d_C$ $H_R = (1.5 \sim 2.0)d_C$ $h = 5 \sim 8\text{mm}$ $D_N = d_C - 2h$ | $D_R = (1.3 \sim 1.5)d_C$ $H_R \geq 2d_C$ H_R 也可按 D_R 计算 | | | | | | | | |
| | | <table border="1"> <tr> <th>D_R</th> <th>H_R</th> </tr> <tr> <td>< 100mm</td> <td>1.5D_R</td> </tr> <tr> <td>100~200mm</td> <td>1.3D_R</td> </tr> <tr> <td>> 200mm</td> <td>1D_R</td> </tr> </table> | D_R | H_R | < 100mm | 1.5 D_R | 100~200mm | 1.3 D_R | > 200mm | 1 D_R |
| | D_R | H_R | | | | | | | | |
| | < 100mm | 1.5 D_R | | | | | | | | |
| | 100~200mm | 1.3 D_R | | | | | | | | |
| > 200mm | 1 D_R | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

(续)

| 铸件类别 | 冒 口 尺 寸 | |
|---|--|---|
| | 锡青铜和磷青铜 | 铝青铜和黄铜 |
| <p>矩形铸件</p>  | $D_R = 1.2b$ $H_R = (1.5 \sim 2.0) b$ $h = 5 \sim 8\text{mm}$ <p>冒口长度取 l</p> | <p>计算方法同上, 以 b 取代 d_C 即可, 冒口长度取 l</p> |
| <p>T形截面铸件</p>  | $D_R = 1.2d_C$ $H_R = (1.5 \sim 2.0) d_C$ $h = 5 \sim 8\text{mm}$ <p>补贴方法: 将热节往上滚, 引其切线。亦可由热节圆的切点往上外斜 3° 画直线至铸件顶部</p> <p>计算冒口尺寸的 d_C, 则取补贴后的热节内切圆直径</p> | $D_R = (1.3 \sim 1.5) d_C$ $H_R = 1.5D_R \text{ (当 } D_R < 100\text{mm)}$ $H_R = 1.3D_R \text{ (当 } D_R = 100 \sim 200\text{mm)}$ $H_R = D_R \text{ (当 } D_R > 200\text{mm)}$ |
| <p>易割冒口</p>  | $D_R = 1.2d$ $H_R = (1.5 \sim 2.0) b$ $h = 8 \sim 10\text{mm}$ <p>缩颈面积为冒口横断面积的 40% 左右, 缩颈处做成斜度, 按图示方向放置, h 为隔片厚度</p> | $D_R = (1.3 \sim 1.5) b$ <p>H_R 的计算方法同上</p> |
| <p>轮和套类</p>  | <p>1. 轮类 ($\phi > H_C$)</p> <p>当 $\phi > 500\text{mm}$, $H_C > 150\text{mm}$ 时</p> $T_R = 1.5T_C$ $H_R = (1.5 \sim 2.0) T_R$ <p>H_R 最大不超过 150mm</p> $h = 5 \sim 8\text{mm}$ <p>2. 套类 ($H_C > \phi$)</p> <p>当 $\phi > 200\text{mm}$, $H_C > 500\text{mm}$ 时,</p> $T_R = 1.5T_C$ $H_R = (1.5 \sim 2.0) T_R$ <p>H_R 最小 70mm, 最大 150mm</p> $h = 5 \sim 8\text{mm}$ | |

注: h 为切割冒号用的留量。

表 6-169 黄铜、铝青铜阀门件明冒口尺寸

(mm)

| 铸 件 尺 寸 | | 冒 口 尺 寸 | | 示 图 |
|---------|-------|---------|-----|-----|
| ϕ | b | D | K | |
| 105~125 | 13~14 | 40 | 35 | |
| 135~150 | 14~16 | 46 | 38 | |
| 175~190 | 27~30 | 54 | 42 | |
| 205~220 | 19~26 | 60 | 45 | |
| 225~246 | 22~36 | 66 | 50 | |
| 250~270 | 22~39 | 72 | 55 | |
| 295~305 | 25~45 | 78 | 60 | |
| 332~345 | 27~40 | 90 | 65 | |
| 375 | 52~55 | 100 | 70 | |
| 414~435 | 38~59 | 110 | 75 | |
| 480~515 | 45~63 | 140 | 80 | |

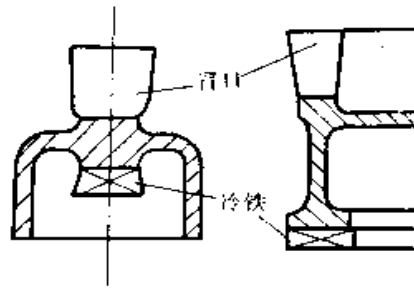
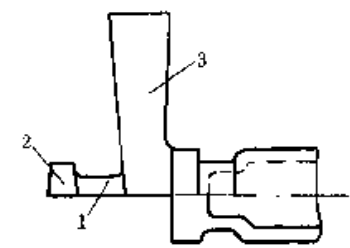
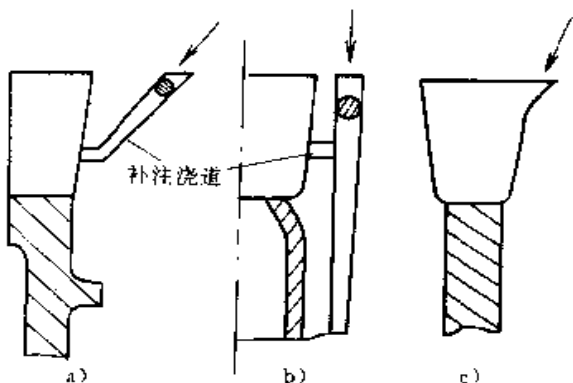
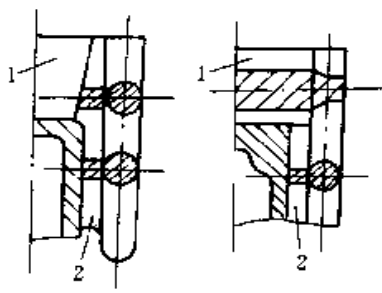
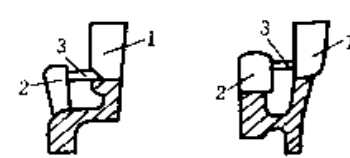
注： $\phi \geq 480\text{mm}$ 的数据亦可用于锡青铜铸件。

表 6-170 锡青铜阀门铸件暗冒口尺寸

(mm)

| 铸 件 尺 寸 | | 冒 口 尺 寸 | | | | 示 图 |
|---------|-------|---------|-----|-----|-----|-----|
| ϕ | b | D | H | K | h | |
| 95~105 | 12~13 | 36 | 60 | 25 | 15 | |
| 115~135 | 13~14 | 42 | 80 | 30 | 20 | |
| 155~170 | 14 | 48 | 90 | 35 | 25 | |
| 170~190 | 14~19 | 54 | 100 | 40 | 30 | |
| 205~225 | 14~19 | 60 | 120 | 45 | 35 | |
| 240~255 | 14~21 | 66 | 140 | 50 | 40 | |
| 270~300 | 15~22 | 72 | 160 | 50 | 45 | |
| 300~310 | 17~25 | 78 | 180 | 55 | 45 | |
| 325~340 | 16~27 | 86 | 190 | 55 | 50 | |
| 350~365 | 16~28 | 92 | 200 | 60 | 55 | |
| 380 | 21~25 | 98 | 210 | 60 | 55 | |
| 430~450 | 19~32 | 104 | 230 | 65 | 60 | |

表 6-171 加强冒口作用的工艺措施

| 序 号 | 工 艺 措 施 | 示 图 |
|-----|---|--|
| 1 | 尽量使冒口与冷铁配合使用，以加大温度梯度，建立定向凝固条件 |  <p>冒口 冷铁</p> |
| 2 | 选择有助于加强冒口作用的浇注系统。如内浇道从冒口底部引入，并设在铸件较厚部位；矮小实心铸件采取从冒口顶注工艺方案 |  <p>1—内浇道 2—横浇道 3—边冒口</p> |
| 3 | 采用底注浇注系统时，在顶冒口处设置补浇浇道（如图 a、b），或直接采用补浇冒口的工艺措施（如图 c），以提高冒口内合金液温度，但补浇工作一定要在金属液上升至冒口高度的 1/3 后才能进行，并沿冒口腔壁注入，以防搅动金属液，冲渣入型 |  <p>补浇浇道</p> <p>a) b) c)</p> <p>图中箭头表示合金流向</p> |
| 4 | 采用缝隙式浇注系统时，尽量使冒口与缝隙相通，相通处的缝隙厚度应大于下部，甚至与冒口厚度相同。必要时，还可在浇道对面内壁上放冷铁或冷却肋，使激冷和补缩作用更好 |  <p>1—冒口 2—缝隙</p> |
| 5 | 同时运用几个冒口时，将暗冒口与明冒口相通，以利保温和补缩 |  <p>1—冒口 2—暗冒口 3—通道</p> |

(续)

| 序号 | 工艺措施 | 示意图 |
|----|--------------------------|-------------------------|
| 6 | 必要时, 采取工艺补贴的方法, 保证定向凝固条件 | <p>1—铸件 2—工艺补贴 3—冒口</p> |
| 7 | 采用保温冒口, 延长冒口凝固时间, 提高补缩效率 | |

注: 生产经验指出, 要严防冒口中出现飞翅及冒口内金属液的溢出。因为飞翅及溢出的金属液迅速凝固成薄片, 对冒口起了激冷的作用, 并对冒口中金属液的凝固下沉起了阻碍作用。

8.7 铝合金铸件的冒口

8.7.1 冒口补缩距离

用砂型铸造时, 铝合金铸件的冒口补缩距离见表 6-172。

表 6-172 铝合金铸件冒口的补缩距离

| 简图 | 铝合金类型 | 冒口补缩距离 |
|----|-------|------------|
| | 共晶型 | $L = 4.5T$ |
| | 非共晶型 | $L = 2T$ |

8.7.2 冒口计算

铝合金铸件一般用明顶冒口, 且多与冷铁配合使用, 冒口的计算见表 6-173。

表 6-173 典型热节处明冒口尺寸

| 序号 | 冒口名称 | 示意图 | 确定冒口尺寸的原则 |
|----|-----------|-----|---|
| 1 | 圆柱形铸件的顶冒口 | | <p>1. $D_R = 1.2d_C$ 式中 D_R——冒口根部直径 d_C——铸件热节圆直径</p> <p>2. $H_R = 1.2 \sim 1.5D_R$ 或 $H_R = 1.4 \sim 1.8d_C$ 式中 H_R——冒口高度</p> <p>冒口向上有 5° 倾斜, 也可按 1:10 斜度设计</p> <p>3. h 为冒口根的切割余量, 一般取 $h = 5 \sim 8\text{mm}$</p> <p>4. 为了便于切割冒口, 可将冒口根的切割余量处做成缩颈, 并取: $d_N = 0.9d_C$ 式中 d_N——冒口根的缩颈直径</p> |

(续)

| 序 号 | 冒口名称 | 示 图 | 确定冒口尺寸的原则 |
|-----|------------|-----|--|
| 2 | 圆柱形铸件的顶冒口 | | <ol style="list-style-type: none"> 1. 在与铸件连接处直接向上外斜5°而做出冒口 2. 冒口的其余尺寸的确定原则同序号 1 |
| 3 | 矩形截面铸件的顶冒口 | | <ol style="list-style-type: none"> 1. 确定冒口尺寸的原则同序号 1, 其 d_C 以 b 代之 2. 若设细长的冒口时, 可参照序号 2 3. 冒口的棱角应倒圆 |
| 4 | T形热节处的明冒口 | | <ol style="list-style-type: none"> 1. 用画热节圆法给热节以上铸壁补贴 2. 确定冒口尺寸的方法同序号 1 3. 若设细长的冒口时, 可参照序号 2 |
| 5 | +形热节处的明冒口 | | <ol style="list-style-type: none"> 1. 用画热节圆法给热节以上铸壁补贴 2. 确定冒口尺寸的原则同序号 1 3. 若设细长的冒口时, 可参照序号 2 |

(续)

| 序号 | 冒口名称 | 示意图 | 确定冒口尺寸的原则 |
|----|-----------|-----|---|
| 6 | L形热节处的明冒口 | | <p>确定冒口尺寸的原则同序号 2。但对有补贴者，应以补贴后的热节内切圆直径为计算冒口尺寸的基础</p> |
| 7 | 套缘处的明冒口 | | <ol style="list-style-type: none"> 1. 确定冒口尺寸的原则同序号 2 2. 示图系环形顶冒口，大直径的套缘应按冒口补缘距离采用 2 个或几个单独明冒口，以节省金属 |
| 8 | 法兰处的明冒口 | | <p>冒口的其余尺寸的确定原则同序号 2</p> |

第七章 特种铸造

1 特种铸造工艺概述

在铸型材料、制型方法、金属液充型形式和金属在型中凝固条件等方面与砂型铸造有显著差别的铸造方法，统称为特种铸造。

1.1 特种铸造方法及其工艺过程特点

可归入特种铸造的铸造方法有以下几种。

(1) 熔模铸造 其主要工艺过程为制熔模→用喷涂涂料、撒砂法在熔模组件表面上制造型壳→加热，将包在型壳中的熔模溶解、流走→对空心型壳进行高温焙烧→往型壳中浇注金属液→将铸件外面的型壳除去后，对铸件进行后处理。

此法的工艺特点为：

1) 制型时用粉状耐火颗粒与耐高温粘结剂配成的涂料形成型腔表面，故铸件表面光洁，线条清晰。

2) 制型时熔去模样，形成型腔，故型腔尺寸精确；

3) 口热型浇注，故金属能较好复制型腔形状。

(2) 陶瓷型铸造 用与熔模铸造相似的涂料造型，而造型方法又与砂型铸造相似，铸型须进行高温焙烧，形成陶瓷质铸型供浇注用。

(3) 石膏型铸造 用以石膏成分为主的浆料替代陶瓷型所用涂料造型，造型过程与陶瓷型铸造相似。有时用熔模造石膏型，此种方法称石膏型熔模铸造。

(4) 消失模铸造 用聚苯乙烯泡沫塑料制成模样，模样外面涂覆耐火涂料层，将涂覆好的模样埋入砂中后，往模样上浇注金属液；模样受热气化逸走，留下空间由金属液充填，最后凝固成形。如把涂覆好的模样埋入铁（钢）丸中，并用磁场固定铁（钢）丸，进行浇注，则称磁型铸造。也可将泡沫塑料模埋入砂型中造型浇注，又称实型铸造。故又可把凡用泡沫塑料模造型，不起模直接浇注的方法统称消失模铸造。

(5) 金属型铸造 用金属作为铸型材料，在单重力作用下进行浇注和铸件静态凝固的铸造方法。国外又称重力金属型铸造。

(6) 金属型覆砂铸造 在金属型型腔表面覆盖薄层热硬树脂砂的金属型铸造。

(7) 低压铸造 在低的压力驱赶下，金属液从型

腔下部顺序向上充填铸型，并在下部压力和周围大气条件下进行铸件凝固的铸造方法。

(8) 反压铸造 将铸型放在压力罐中，利用低压铸造的原理进行金属液的充型，并使铸件在下部压力和周围压缩气体的压力下进行凝固的铸造方法。此法又称压差铸造。

近来有文献把低压铸造法和反压铸造法统称为调压铸造。

(9) 压力铸造 在高的压力作用下金属液高速充填金属型腔，并在高压作用进行凝固的铸造方法。

(10) 离心铸造 往旋转的铸型中浇入金属液，并在旋转的情况下进行铸件凝固的铸造方法。

(11) 连续铸造 在水冷薄壁金属型（结晶器）的一端连续地注入金属液，在结晶器的另一端连续地拉出铸件的铸造方法。

(12) 半连续铸造 连续铸造获得一定长度的铸件后，停止铸造，取下铸件后再重新开始的连续铸造方法。

(13) 石墨型铸造 用石墨作为铸型材料，在单重力作用下进行浇注和铸件静态凝固的铸造方法。

(14) 真空吸铸 在结晶器或铸型内建立真空，把金属液由下而上地吸入型腔进行凝固的铸造方法。

(15) 挤压铸造 把液态（或液-固态）金属注入开启的铸型中，当两个半型相合时，对型内金属液施加较高的压力充填型腔，使铸件凝固成形的铸造方法。

(16) 电渣熔铸 采用电渣熔炼的方法，使从自耗电极上熔化的金属液进入用水冷却的金属型中凝固成形的铸造方法。

(17) 流变铸造 半固态的金属经搅拌破碎枝晶后用压力铸造成形的铸造方法。

(18) 触变铸造 半固态的金属经搅拌破碎枝晶后浇成小的铸锭，然后将铸锭加热至固、液相线间温度，进行压力铸造的方法。

采用上述特种铸造方法成形的铸件与砂型铸造比较，普遍具有较高的尺寸精度和较低的表面粗糙度。铸造界常把熔模铸造称为精密铸造，近年来不少文献又把压力铸造、陶瓷型铸造、金属型铸造、石膏型铸造也归入精密铸造法。

在本章中要介绍的特种铸造法有：

表 7-1 各种特种铸造法的适用范围

| 铸造方法 | 铸造过程的复杂程度 | 生产准备程度(不含生产准备) | 铸件生产消耗(不含生产准备) | 适用于生产的铸件特点 | | | | | | 工艺出品率(%) | | |
|-------|----------------|----------------|----------------|---|---------------------------|---|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------|---|--------|
| | | | | 合金种类 | 重量 | 最小壁厚、铸孔直径(mm) | 表面粗糙度(μm) | 最高尺寸精度 | 力学性能 | | 生产批量 | 适用铸件举例 |
| 熔模铸造 | 非常复杂,生产机械化、自动化 | 复杂 | 昂贵 | 适合所有铸造合金,如不锈钢、钛合金、铝合金、镁合金、铜合金、镍合金(金、银、铂)、铸铁等。特别适用特殊合金,如高温合金、耐热合金等 | 几克至100kg,最适用0.05~10kg | 最小壁厚:0.5 最小孔径:0.5 | R_a 0.63 R_{max} 2~20 | CT4,一般为CT4~7;或±0.5% | 无方向性,晶粒粗大,可通过工艺予以改善。特别适用于定向铸晶 | 小批、中批、大批、大量 | 形状可非常复杂,可铸出螺纹、百孔。特别适于生产难以锻造、焊接或机械加工零件,如涡轮发动机叶片、叶轮、喷嘴、压气机机匣、刀具、泵壳,带有众多细柱、薄片、孔洞的壳体、陀螺仪架、工艺饰物、金、银、铜、钛合金等 | 30~60 |
| 陶瓷型铸造 | 相当复杂(生产率低) | 较复杂 | 稍昂贵 | 所有铸造合金,常生产的为耐热合金,模具钢、合金钢、碳素钢、铜合金 | 大者可达10t,适用范围0.5~300kg | 最小壁厚:1 | R_a 3.2 R_{max} 5~30 | CT5或CT6 \pm (0.5~2.0)% | 较熔模铸件好,铸件冷却快 | 单件、小批 | 形状可相当复杂,较多用于各种模具的生产(如金属型、压铸模、玻璃模、塑料模、锻模等),还用于生产喷嘴、压缩机转子、涡轮、内衬箱、钻探用钻头、开凿隧道用刀具等 | 40~60 |
| 石膏型铸造 | 相当复杂(生产率低) | 相当复杂 | 稍昂贵 | 铜合金和熔点低于铜合金的合金,如铝合金、锡合金、金、银 | 较大的为30~40kg,最适用的为几kg至20kg | 最小壁厚:1 | R_a 0.8 R_{max} 3~20 | CT5或CT6 \pm (0.5~2.0)% | 比金属铸件差,因晶粒粗大 | 单件、小批 | 形状可相当复杂,如铝合金叶轮、增压壳体、渡导线、仪器框架。材料为铝合金或铜合金的模具,如轮胎模具、泡沫塑料件模具、砂型模板、壳型模板、铸合金工艺品、金、银、首饰等 | 40~60 |
| 消失模铸造 | 一般,较复杂 | 一般、复杂 | 一般 | 钢、铁、铜合金、铝合金 | 几克至几十kg | 最小壁厚:2 | 涂埋砂型铸件为 R_a 1.6,砂型铸件较一般砂型铸件高 | 涂埋砂型铸件比一般砂型铸件高 | 较易浇注,浪费少,铸件致密 | 单件、小批、大量 | 形状可相当复杂,如模具、气缸头、管件、曲轴、叶轮、壳体、艺术品、床身、机匣等 | 30~70 |
| 金属型铸造 | 简单(生产率高) | 较复杂 | 便宜 | 铝合金、镁合金、铜合金、锌合金、铁、钢 | 数十g至数百kg,以小于20kg为最适宜 | 最小壁厚:2 最小孔径:8 最小铸孔:8 最小铸孔:12 最小铸孔:6 最小铸孔:10 最小铸孔:12 | R_a 3.2,一般 R_a 6.3~12.5 | CT6,一般 CT6~9 | 较好,因晶粒细化,但铸铁较硬 | 大批、大量 | 形状可中等复杂,如铝合金气缸头,变速箱、化油器管、犁铧、滑轨、活塞、轧辊、转子壳体、液压机、阀体、气阀体、叶片、差速器壳、管、接头等 | 60~75 |

(续)

| 适用于生产的铸件特点 | | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------------|--|---|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------|---|--------|
| 铸造方法 | 铸造过程的复杂程度 | 生产准备程度(不含生产设备准备) | 铸件生产消耗(不含生产准备折旧) | 合金种类 | 铸件重量 | 最小壁厚、铸孔直径(mm) | 表面粗糙度(μm) | 最高尺寸精度 | 力学性能 | 生产批量 | 适用铸件举例 | 出品率(%) |
| 低压铸造 反压铸造 | 由采用种类决定,但压铸时,成型过程简单,机械化、自动化程度高 | 与采用种类有关,压铸时,成型过程复杂 | 较大的可达数百公斤,甚至达1t,但以kg至数十kg为最合适 | 钢、铁、铜合金、铝合金、镁合金、钛合金、轻合金的铸造 | 铸合金 0.3kg~90kg (合适质重) 几kg至几十kg 铝铸合金 0.2g~30kg 镁铸合金 5g~10kg 铜铸合金 10g~12kg 锡铸合金 <10kg 铝铸合金 | 由铸型种类决定铸件最小壁厚,但可比同类型铸型重力量浇注成形的铸件壁厚,最小铸孔直径与同类型重力量浇注成形的铸型相同 | 由铸型种类决定 | 与铸型有关,但同类型铸件的浇铸精度高 | 比同类型铸件的力学性能更优,压铸件的力学性能更优,压铸件的力学性能更优 | 批量、大量 | 形状复杂程度与铸型有关,特别适于生产大型薄壁件,如火箭外壳、汽缸盖、气缸体、叶轮、活塞、消声器、螺旋桨、轴套、壳体、曲轴、缸套等 | 80~95 |
| 压力铸造 | 简单(生产率很高) | 复杂、压铸型昂贵 | 便宜 | 铸合金、铝合金、镁合金、黄铜、锡合金、铜合金 | 铸合金 0.8~10kg 铸合金 3~8 铸合金 0.8 铸合金 1 铸合金 2 铸合金 4 铸合金 1.5~5 铸合金 2.5 | 由铸型种类决定铸件最小壁厚,但可比同类型铸型重力量浇注成形的铸件壁厚,最小铸孔直径与同类型重力量浇注成形的铸型相同 | 由铸型种类决定 | CT4~8 | 铸件的力学性能良好,但铸件的力学性能良好,铸件的力学性能良好 | 大批、大量 | 形状可非常复杂,表面花纹可很精细,可铸其他材料的零件,如气缸体、照相机壳、齿轮、手表、电动机壳、仪器仪表架、管件、家用电器和计算机上的零件 | 20~60 |
| 离心铸造 | 与采用种类有关,离心铸造时,成型过程简单,机械化、自动化程度高 | 与采用种类有关,离心铸造时,成型过程复杂 | 几g至数十kg | 所有铸造合金,铸合金、铜合金、锡合金、银、铅 | 铸合金 几g至数十kg 铸合金 几十kg 铸合金 几十kg | 由铸型种类决定,异形铸件的壁厚可比同类型铸型重力量浇注成形的铸型薄 | 由铸型种类决定,异形铸件的壁厚可比同类型铸型重力量浇注成形的铸型薄 | 由铸型种类决定,异形铸件的壁厚可比同类型铸型重力量浇注成形的铸型薄 | 铸件内部组织致密,力学性能良好 | 批量、大量 | 广泛地应用于生产管、套、筒、环状铸件,如铁管、铜管、气缸套、轧辊、细管等。也可用来生产异形铸件,如叶轮、饰物、金牙。还可铸了薄层 | 80~100 |
| 挤压铸造 | 一般、简单 | 一般、复杂 | 便宜 | 铸合金、铜合金 | 铸合金 几十g至几十kg 铸合金 几十kg | 由铸型种类决定,异形铸件的壁厚可比同类型铸型重力量浇注成形的铸型薄 | 由铸型种类决定 | CT6~9 | 铸件组织致密,晶粒细小,力学性能良好 | 中批、大批 | 外形简单的铸件的铸型,如法兰盘、轮毂、壳体、活塞、象鼻、蜗轮、套筒、铁锅、锅盖等 | 98~100 |
| 连续铸造 | 简单、一般 | 一般、复杂 | 便宜 | 铸合金、铝合金、镁合金 | 铸合金 几十g至几十kg 铸合金 几十kg | 由铸型种类决定,异形铸件的壁厚可比同类型铸型重力量浇注成形的铸型薄 | 由铸型种类决定 | 铸件的力学性能良好 | 铸件组织致密,晶粒细小,力学性能良好 | 大批、大量 | 断面形状不变的长形铸件,铸坯,如钢坯、铜坯、铝坯、镁坯、铁坯、铸管、铸管坯、铝管坯、铸管坯、铸管坯等 | 99~100 |
| 真空吸铸 | 简单 | 一般 | 便宜 | 铸合金、铝合金、铜合金、镁合金、锡合金 | 铸合金 几十g至几十kg 铸合金 几十kg | 由铸型种类决定,异形铸件的壁厚可比同类型铸型重力量浇注成形的铸型薄 | 由铸型种类决定 | 铸件的力学性能良好 | 铸件组织致密,晶粒细小,力学性能良好 | 大批、大量 | 广泛用于生产轴瓦、轴套等件和一些管形铸件,可有效生产复杂异形铸件 | 80~95 |

熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、低压铸造、反压铸造、挤压铸造、离心铸造、消失模铸造、石膏型铸造、陶瓷型铸造、连续铸造、真空吸铸。

1.2 各种特种铸造法的应用范围 (见表 7-1)。

2 熔模铸造

2.1 概述

2.1.1 熔模铸造工艺特点

熔模铸造是用易熔(溶)性一次模和耐火的一次型(芯),使铸件成形的办法。其工艺特点如下:

1) 铸件尺寸精度可达 CT4~7 级,表面粗糙度可达 $R_a 1.6 \sim 12.5 \mu m$ 。

2) 铸件最小壁厚为 0.5mm,最小质(重)量至几 g。可铸造外形和内腔复杂的,带有弯孔、细槽、精细花纹和雕饰的铸件。

3) 可以铸造组合的、整体的铸件,以取代部分焊(钎)接和装配工序,提高金属利用率,减轻零件质(重)量,改善结构刚性,可使毛坯与零件之间有极高的相似程度,能最大限度地满足近净形化(Near Net Shape Process)的要求。

4) 可以铸造钢、铸铁、铝、镁、铜、钛合金以及高温合金铸件和贵金属艺术铸件。

2.1.2 熔模铸造的应用范围

熔模铸造最适宜于铸造质(重)量在几 g 到十几 kg 的各种合金的小型铸件,特别适宜于铸造带曲面、结构复杂的薄壁铸件以及艺术品、装饰品、定向凝固单晶及柱晶的航空发动机涡轮叶片等类铸件。一般适宜于成批及大量生产。为适应产品零件快速改型换代的市场需求,缩短制造周期,可采用近年来发展起来的快速制模(Rapid Prototyping Technology,缩写 RPT)或快速铸造技术。

2.1.3 我国熔模铸造的技术分类

根据近年来我国熔模铸造的发展,可按技术类别分为表 7-2 的三种类型。

表 7-2 我国熔模铸造技术分类

| 类型 | 技术特点 | 铸件外观品质(质量) | 应用范围 |
|-----|---|--------------------------------------|---|
| I | 1. 设备先进,工艺参数和工作环境的温度、湿度控制较严格 2. 制模用树脂基模料,收缩率 0.5%~0.8%,高中压(2~15MPa)压蜡 3. 制壳 面层为硅溶胶+锆英粉(或刚玉粉),加固层用硅酸乙酯+粘土质耐火熟料 | CT4~6 级 $R_a 0.8 \sim 6.3 \mu m$ | 航空、航天工业以及汽轮机叶片等高品质以高温合金、不锈钢、钛、铝及铜合金为主 |
| II | 1. 设备先进,工艺参数和工作环境的温度、湿度控制严格 2. 制模用树脂基模料,收缩率 0.4%~0.5%,高中压(2~15MPa)压蜡 3. 制壳 面层用硅溶胶+锆英粉,加固层用硅溶胶+粘土质耐火熟料 | CT4~6 级 $R_a 0.8 \sim 6.3 \mu m$ | 批量生产水暖器材、高尔夫球头、小五金器件等。材质以不锈钢为主 |
| III | 1. 设备及技术条件较差 2. 制模用石蜡硬脂酸模料,收缩率 0.8%~1.0%,低压(<1MPa)压蜡 3. 制壳 面层用水玻璃+硅砂粉或硅溶胶+锆英粉(或刚玉粉),加固层用水玻璃+铝矾土或粘土质熟料 | CT7~8 级 $R_a 6.3 \sim 12.5 \mu m$ | 批量生产一般机械及兵器铸件,材质以碳钢和低合金钢为主。多用于生产机床、汽车、拖拉机及一般泵阀类通用机械铸件 |

2.2 模料和制模工艺

2.2.1 对模料的基本要求

- 1) 熔点 50~80℃;
- 2) 热稳定性 $\geq 35^\circ C$;
- 3) 线收缩率 $\leq 1.0\%$;
- 4) 抗弯强度 $\geq 2.0 MPa$;
- 5) 灰分 $\leq 0.1\%$ 。

除上述基本要求外,模料还应有一定的表面硬度,良好的流动性,易焊接,不易老化失效,易再生回用等。

2.2.2 模料原材料

常用模料原材料的性能,见表 7-3。

表 7-3 常用模料原材料性能

| 名称 | 产地 | 标准 | 熔点(℃) | 软化点(℃) | 自由收缩率(%) | 抗拉强度(MPa) | 灰分(%) | 密度(g/cm ³) |
|-----------------|-------|--|---------|--------|-----------|-----------|-------------|------------------------|
| 石蜡 ^① | 大连 | GB254-87 (白石蜡) GB446-87 (精白蜡) | 56~70 | >30 | 0.5~1.0 | 0.22~0.30 | ≤ 0.11 | 0.88~0.91 |
| 硬脂酸 | 大连、上海 | GB9103-88 | 54~57 | 35 | 0.4~0.5 | 0.18~0.2 | ≤ 0.03 | 0.69~0.86 |
| 提纯地蜡 | 上海、南充 | SYB1605-81 | 滴点 80 | 40 | 0.6~1.0 | 1.5~2.0 | ≤ 0.03 | 0.85~0.95 |
| 褐煤蜡 | 舒兰 | — | 82~85 | 48 | 1.63 | 0.45 | ≤ 0.2 | 0.88~0.93 |
| 松香 | 广东、福建 | GB8145-87 | 滴点 81.5 | 74 | 0.07~0.09 | 5.0 | ≤ 0.03 | 0.9~1.10 |

(续)

| 名称 | 产地 | 标准 | 熔点(℃) | 软化点(℃) | 自由收缩率(%) | 抗拉强度(MPa) | 灰分(%) | 密度(g/cm ³) |
|------------------|-------|------------|---------|--------|-----------|-----------|-------|------------------------|
| 川蜡(虫白蜡) | 四川、贵州 | GH011—80 | 80~84 | — | 0.8~1.2 | 1.2~1.3 | ≤0.06 | 0.92~0.95 |
| 聚乙烯 | 兰州、上海 | GB1845—88 | 104~115 | 80 | 2.0~2.5 | 8.0~16.0 | ≤0.06 | 0.92~0.93 |
| EVA ^② | 上海、北京 | EVA28/250 | 62~75 | — | — | 3.0~6.0 | — | 0.94~0.95 |
| 聚苯乙烯 | 兰州、上海 | HG2-298—80 | 160~170 | 70~80 | 0.65~0.75 | 30~50 | ≤0.03 | 1.05~1.07 |
| 尿素 | — | GB2440—81 | 130~134 | — | 0.1 | 1.7~1.8 | ≤0.3 | 1.34 |

① 石蜡熔点每隔2℃为一个牌号,如56、58、60、62等等。

② EVA为乙烯和醋酸乙烯的共聚物。

2.2.3 模料混合料

1) 几种石蜡基模料混合料成分和性能,见表7-4和表7-5。

表7-4 几种蜡基模料混合料成分 (%)

| 序号 | 石蜡 | 硬脂酸 | 褐煤蜡 | 低分子量聚乙烯 | 松香 |
|----|------------|-----|-----|---------|----|
| 1 | 50 | 50 | — | — | — |
| 2 | 50 | 20 | 30 | — | — |
| 3 | 95 (64°) | — | — | 5 | — |
| 4 | 80 | — | 15 | 5 | — |
| 5 | 85 | — | 5 | 5 | 5 |
| 6 | 95 | — | 2 | 3 | — |
| 7 | 92.5 (56°) | — | 3 | 0.5 | 4 |

表7-5 蜡基模料性能

| 性能 序号 | 抗弯强度(MPa) | 热稳定性(℃) | 表面硬度 ^① (1/10mm) | 熔(滴)点(℃) | 线收缩率(%) |
|----------|-----------|---------|----------------------------|-----------|---------|
| 1 56°石蜡 | 2.46 | 29 | 25.4 | 46.5 | 1.60 |
| 64°石蜡 | 3.08 | 38 | 18.8 | 55.2 | 1.30 |
| 2 | 4.66 (抗拉) | 40 | 22 | — | 1.06 |
| 3 | 3.30 | 34 | 18.0 | 66 | 1.04 |
| 4 | 4.41 (抗拉) | 40 | 18.0 | — | 1.20 |
| 5 | 6.20 | 40 | — | 69 | 1.20 |
| 6 | 4.7 | 36 | 21.2 | 60.8 (滴点) | 1.30 |
| 7 | 2.0 (抗拉) | 36 | — | 56.8 | 0.66 |

① 针入度计测定值。

2) 几种松香基模料混合料的成分和性能见表7-6和表7-7。

表7-6 松香基模料混合料成分 (%)

| 序号 | 原材料 | | 石蜡 | 川蜡(虫白蜡) | 褐煤蜡 | 聚乙烯 | EVA 28/250 | 改性松香(210) |
|----|-----|------|----|---------|-----|-----|------------|-----------|
| | 松香 | 地蜡 | | | | | | |
| 1 | 81 | 14.3 | — | — | — | 3.1 | — | 1.6 |
| 2 | 20 | 10 | 30 | — | — | — | 3 | 37 |
| 3 | 75 | 5 | — | 15 | — | 5 | — | — |
| 4 | 30 | 5 | — | 35 | — | 3 | — | 27 |
| 5 | 22 | — | 54 | — | 24 | — | — | — |

表7-7 松香基模料混合料性能

| 性能 序号 | 抗拉强度(MPa) | 热稳定性(℃) | 熔(滴)点(℃) | 线收缩率(%) |
|----------|-----------|---------|----------|---------|
| 1 | 3.6 (抗弯) | — | 滴点95 | 0.58 |
| 2 | 4.2 | — | 滴点77 | 0.98 |
| 3 | 9.8 | >40 | 94 | 0.95 |
| 4 | 5.9 | >40 | — | 0.78 |
| 5 | 5.08 | 40 | 75 | 0.98 |

3) 为满足各种产品对象和工艺的需要,近年来还出现了各种系列模料。表7-8是一种国产的系列模料性能。

表 7-8 系列模料性能和适用范围

| 性能 序号 | 熔点 ($^{\circ}\text{C}$) | 压注温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 抗拉强度 (MPa) | 线收缩率 (%) | 灰分 (%) | 使用 状态 | 适用范围 | 颜 色 |
|----------|------------------------------|--------------------------------|---------------|-------------|-----------|----------|--------------|-----|
| WMII-1 | 95 | 70~75 | 2.5~3.0 | 0.3~0.5 | <0.05 | 液态 | 叶片 | 深红 |
| WMII-2 | 90 | 50~70 | 3.0~4.0 | 0.5~0.6 | <0.05 | 糊状 | 一般精铸件 | 浅红 |
| WMII-3 | 80~90 | 55~70 | 2.5~3.0 | 0.4~0.6 | <0.05 | 糊状 | 大件 | 浅绿 |
| WMII-4 | 70~80 | 60~70 | 4.5~5.0 | 0.4~0.6 | <0.05 | 液态 | 薄壁件、 钛合金件 | 桔红 |
| WMII-5 | 55~70 | 55~65 | 3.0~3.05 | 0.6~0.8 | <0.05 | 糊状 | 代替石蜡 硬脂酸 | 深绿 |
| WMII-6 | 65~75 | 55~65 | 3.5~4.5 | 0.3~0.5 | <0.05 | 糊状 | 填料模料 | 大红 |
| WMII-7 | 45~60 | — | 2.0~3.5 | — | <0.05 | 液态 | 修补模料 | 深红 |
| WMII-8 | 55~65 | — | 2.0~3.0 | — | <0.05 | 液态 | 焊接模料 | 黄 |
| WMII-9 | 45~60 | — | 3.4~4.5 | 0.6~0.7 | <0.05 | 液态 | 工艺美术品 | 红 |
| WMII-10 | — | 60 | 1.0~1.5 | 0.1~0.2 | <0.05 | 糊状 | 水溶芯模料 | 草绿 |

表 7-9 模料性能测定方法

| 性 能 | 测试方法要点 | 适用范围 | 标 准 |
|------|--|--------------------|----------------|
| 熔点 | 以冷却曲线第一次出现停滞期的温度表示模料的熔点 ($^{\circ}\text{C}$) | 晶质模料 | GB/T14235.1—93 |
| 滴点 | 在滴点仪中受热熔化成液体,从脂环管口自重落下第一滴熔液的温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 微晶模料 | GB270—80 |
| 热稳定性 | 用单支点法测定试样 (100mm \times 6mm \times 2mm) 伸出端下垂 2mm 时的最高温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 各种模料混合料 | GB/T14235.9—93 |
| 抗弯强度 | 在恒定加载速率下,静态弯曲脆断时的载荷经计算的强度 (MPa),试样尺寸为 40mm \times 20mm \times 6mm,支点间距 30mm | 各种模料混合料的 常温抗弯强度 | GB/T14235.2—93 |
| 灰分 | 用无灰滤纸引燃 5g (精确到 0.0001g) 模料试样,将固体残渣烧至恒量 (重),经计算而得灰分 (%) | 各种模料及混合料 | GB/T14235.3—93 |
| 线收缩率 | 压注 $\phi 100\text{mm}\times 6\text{mm}$ 圆饼试样,放置 24h 后测量压型与试样的尺寸差,经计算而得线收缩率 | 各种模料混合料 | GB/T14235.4—93 |
| 表面硬度 | 用针入度计测试标准针 20 $^{\circ}\text{C}$ 时垂直插入模料试样表面的深度,以 10 $^{-4}$ mm 计 | 各种模料混合料 | GB/T14235.5—93 |
| 酸值 | 用中性乙醇溶解试样,再用 KOH 乙醇标准溶液滴定至终点,以消耗的 mgKOH/g 表示酸值 | 各种模料及混合料 | GB/T14235.6—93 |
| 流动性 | 测定模料在一定温度和压力下,流经 $\phi 1\text{mm}$ 毛细管的剪应力和剪切速率的关系 | 各种模料混合料 | GB/T14235.7—93 |
| 粘度 | 用双圆筒旋转粘度计,测定在一定剪切速率下的动力粘度 (10 $^{-3}$ Pa \cdot s)。由于模料在压注温度下均为非牛顿流体,故粘度值应指出相应的剪切速率 (s^{-1}) | 各种模料混合料 | GB/T14235.8—93 |

2.2.4 模料性能测定方法

模料及其混合料的物理化学性能测定方法见表 7

-9。

2.2.5 模料的熔制和制模工艺

1. 模料的熔制

例 1 石蜡-硬脂酸 (各 50%) 模料的熔制

- 1) 等量称取石蜡和硬脂酸;
- 2) 在水浴不锈钢或铝坩埚中 $<90^{\circ}$ 下熔化;
- 3) 熔清后搅拌均匀;
- 4) 用 11 号筛 (270 目) 过滤蜡液;

表 7-10 制模主要工艺参数

| 模 料 | 制模室温度 (℃) | 压注温度 (℃) | 压型温度 (℃) | 压注压力 (MPa) | 保压时间 (min) |
|---------|--------------|-------------|-------------|---------------|---------------|
| 蜡基模料 | 15~25 | 42~48 | 20~25 | 0.1~0.4 | 0.3~3.0 |
| 松香基糊状模料 | 18~30 | 70~85 | 25~30 | 0.3~0.5 | 0.5~3.0 |
| 松香基液态模料 | 18~30 | 70~80 | 30~35 | 2~15 | ≤1 |

注：蜡模冷却水温 18~28℃。

5) 加入蜡屑搅拌成糊状，42~48℃下保温待用。

例 2 表 7-6 之 4，松香基模料的熔制

1) 按比例称取松香及改性松香、地蜡、川蜡和聚乙烯；

2) 将川蜡、地蜡各半电热溶化；

3) 熔清后加入聚乙烯，搅拌均匀后加入松香搅至全熔，最后加入其余一半川蜡和地蜡，搅匀。熔化温度 < 200℃；

4) 180℃时，用 11 号筛 (270 目) 过滤；

5) 注锭或搅成糊状待用。

2. 制模工艺参数 表 7-10 为各种模料制模主要工艺参数。

2.2.6 蜡模的表面品质 (质量) 和尺寸控制

(1) 蜡模的表面粗糙度 蜡模的表面粗糙度与压型型腔的粗糙度、模料种类、压注状态以及压注工艺等因素有关。表 7-11 是压型与模料的压注状态和蜡模表面粗糙度的关系。

表 7-11 压注状态和蜡模表面粗糙度

| 模 料 | 压注状态 | 压型表面粗糙度 R_a (μm) | 蜡模表面粗糙度 R_a (μm) |
|--------|------|---------------------------------|---------------------------------|
| 石蜡-硬脂酸 | 糊状 | 0.8 | 1.6~3.2 |
| | 糊状 | 0.008 | 1.6 |
| | 液态 | 0.008 | 0.008 |
| 松香基模料 | 流态 | 0.2 | 0.2 |
| | 流态 | 0.025 | 0.05 |
| | 流态 | 0.012 | 0.025 |
| | 液态 | 0.008 | 0.008 |

注：液态压注指模料温度高于熔点，流态压注指模料温度为 $0.8T_m$ 左右。

(2) 蜡模的表面缺陷 常见的蜡模表面缺陷，见表 7-12。

(3) 蜡模尺寸控制 压型和模料一定时，蜡模尺寸精度与压注工艺参数，取模后蜡模的存放条件有关。这些因素都会影响蜡模的收缩率，从而影响其尺寸精度。图 7-1~图 7-3 是压注工艺参数、蜡模壁厚以及取模后停放时间对其线收缩率的影响。

表 7-12 常见的蜡模表面缺陷

| 缺陷种类 | 形成原因 |
|---------|---|
| 表面粗糙 | <ol style="list-style-type: none"> 糊状模料中固体蜡屑粒子过大，搅拌不均匀 模料回收处理过滤不良，残留皂化物多 铝压型表面腐蚀，压型未清理干净，残留水分和蜡屑 分型剂涂抹太多 模料压注温度过低，压力过小 |
| 表面花纹 | <ol style="list-style-type: none"> 压型温度低 模料温度低 压射速度慢或断流 分型剂过浓、过多，未涂匀 |
| 表面缩陷 | <ol style="list-style-type: none"> 模料配比不当 压注口设计不正确 蜡模壁厚相差悬殊，可在厚处设冷蜡块 压注压力低，保压时间短 模料温度或压型温度过高 |
| 表面气泡或鼓胀 | <ol style="list-style-type: none"> 模料熔制时搅拌速度太快，卷入气体过多 压注压力过大，蜡模在压型中冷却时间短 压注速度过快，型腔中气体未排出 取模后未及时将蜡模投入水中冷却 室温过高 |

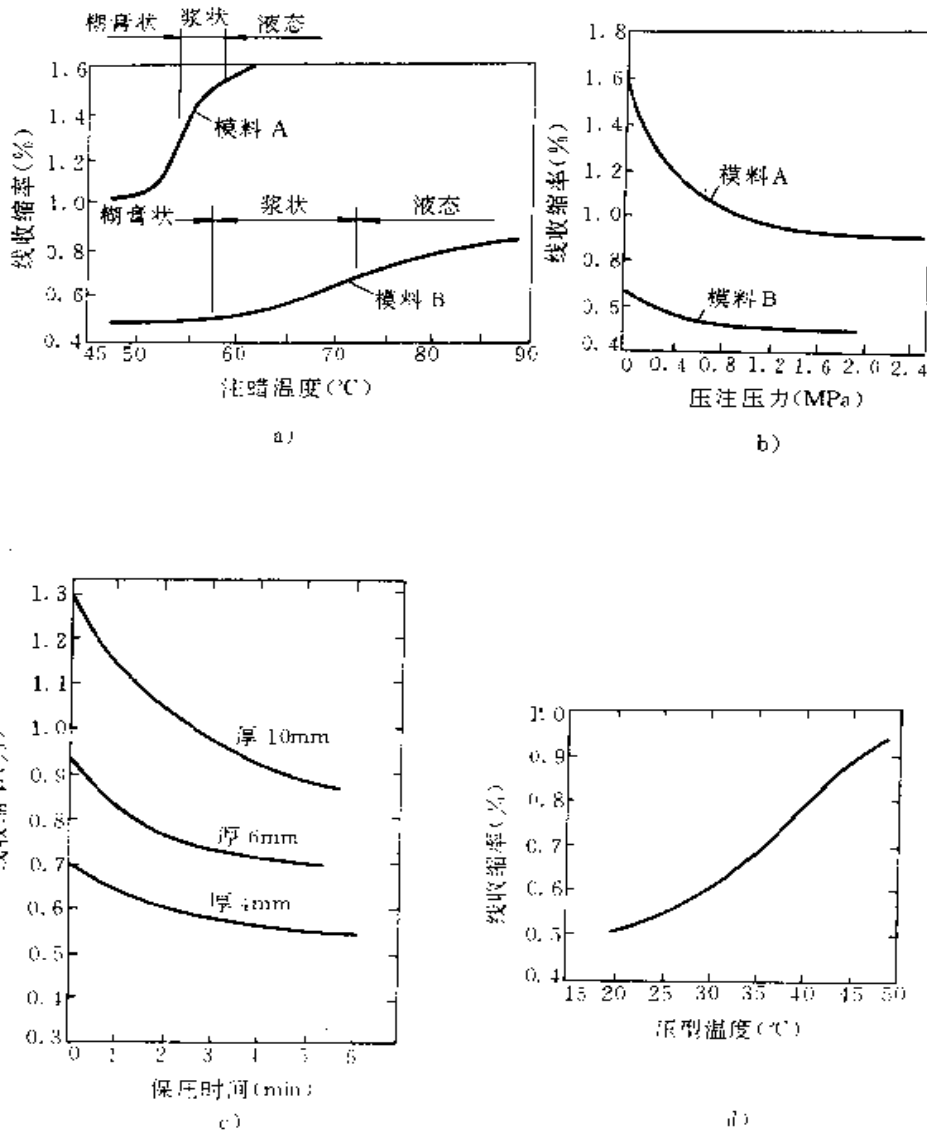


图 7-1 压注工艺参数对蜡模线收率的影响

a) 注蜡温度的影响 b) 注蜡压力的影响 c) 保压时间的影响 d) 压型温度的影响

图 7-1a 注蜡温度愈高，线收缩率愈大，而且模料 A 的糊状温度范围收缩大，故不宜于液态压注，模料 B 则适宜于液态压注。图 7-1b 压注压力大时线收缩小，>0.4MPa 后线收缩率变化不大。图 7-1c 保压时间长，线收缩率小，特别壁厚小时。图 7-1d 压型温度愈高，线收缩愈大，故一般控制在 <35°C。

图 7-2 是蜡模厚度对线收缩率的影响。由图可知，蜡模愈厚，线收缩率愈大，采用冷蜡块可大大减少厚壁部分的线收缩。

图 7-3 是取模后停放时间对蜡模线收缩率的影响。为提高生产率，蜡模在压型内停留时间不长，通常为 2~3min，故线收缩很小。但取模后会继续收缩，24h 才趋稳定。存放期间为防止收缩引起变形，要注意摆放位置，必要时可在胎具中存放。

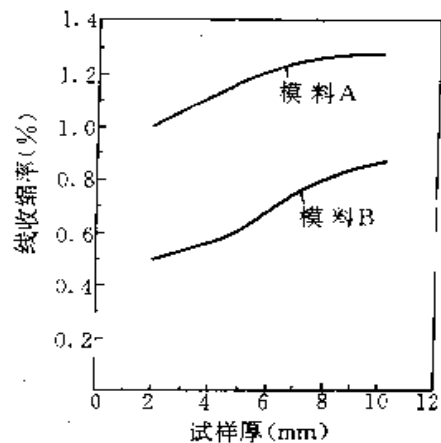


图 7-2 蜡模厚度对线收缩率的影响

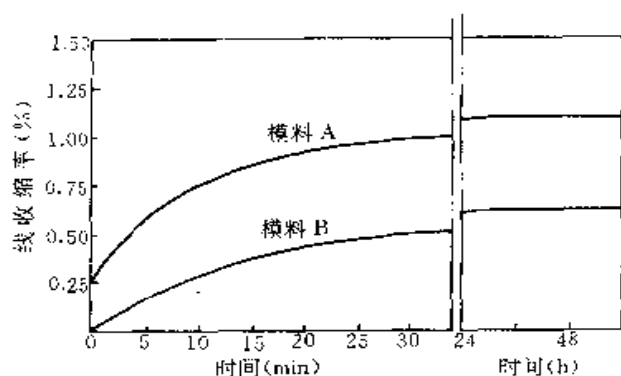


图 7-3 取模后停放时间对线收缩率的影响

2.2.7 模料的再生处理

(1) 模料的再生方法 见表 7-13。

表 7-13 模料再生方法

| 处理方法 | 再生方法 | 处理要点 |
|-------------|-------|--|
| 种类 | | |
| 石蜡硬脂酸 模料 | 酸法 | 蜡液中加 1/3 水, 通水蒸气加热熔清后, 加浓硫酸 2%~3% 或工业盐酸 3%~5%, 煮沸 20~30min, 静置 2h, 提取清液。此法主要去除 K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ 等离子形成的皂化物 |
| | 电解法 | 电解槽以石墨电极为阳极, 铅板为阴极, 盐酸为电解液。电压 15~20V, 电流 150~200A, 温度 80~90℃, 1.5~2.5h。此法主要去除铁离子 |
| 中温模料 | 脱水净化法 | 在 120℃ 下蒸发水分, 自然沉淀, 经加压过滤, 离心过滤或滤网过滤去除杂质, $\leq 80^\circ\text{C}$ 保温, 性能检测合格后, 注锭或直接与新蜡配制混合模料 |

(2) 再生蜡及其配料性能比较 表 7-14 是各种再生方法所获模料的性能比较, 表 7-15 是用再生蜡配制的模料性能比较。二表中的模料均为树脂基中温模料。

表 7-14 再生蜡性能

| 性能 | | 水分 (%) | 灰分 (%) | 软化点 (°C) | 针入度 (10 ⁻¹ mm) | 抗弯强度 (MPa) | 粘度 (Pa·s) | |
|------|-------|----------------|--------|----------|---------------------------|------------|-----------|----|
| 再生条件 | 脱蜡后 | 55 | 0.22 | 69 | 4 | 5.4 | 90 | |
| | 加压过滤后 | — | 0.03 | 69 | 4 | 5.3 | 91 | |
| 再生蜡 | 自然沉降法 | 120℃ 4h | — | 0.11 | 69 | 4 | 5.5 | 88 |
| | | 8h | — | 0.10 | 69 | 4 | 5.0 | 90 |
| | | 16h | — | 0.09 | 70 | 4 | 4.8 | 88 |
| | | 24h | — | 0.08 | 69 | 4 | 4.5 | 84 |
| 再生蜡 | 筛滤法 | 9号筛 (140目) | — | 0.20 | 70 | 4 | 5.6 | 87 |
| | | 10号筛 (200目) | — | 0.19 | 70 | 4 | 5.6 | 87 |

表 7-15 再生蜡配制的模料性能

| 性能 | 软化点 (°C) | 针入度 (10 ⁻¹ mm) | 粘度 (Pa·s) | 抗弯强度 (MPa) | 灰分 (%) | 线收缩率 (%) |
|--------------------|----------|---------------------------|-----------|------------|--------|----------|
| 配方 | | | | | | |
| 新蜡 | 66 | 3 | 100 | 62 | 0.02 | 0.83 |
| 再生蜡 | 66 | 4 | 82 | 55 | 0.02 | 0.86 |
| 60:40 ^① | 67 | 3 | 98 | 56 | 0.02 | 0.86 |
| 50:50 | 67 | 3 | 96 | 54 | 0.02 | 0.85 |
| 40:60 | 67 | 4 | 92 | 53 | 0.02 | 0.85 |
| 30:70 | 67 | 4 | 84 | 51 | 0.02 | 0.87 |

① 指新蜡:再生蜡。

2.3 制壳材料和工艺

2.3.1 制壳耐火材料

2.3.1.1 几种常用的制壳耐火材料物理化学性质见表 7-16。

表 7-16 几种常用制壳耐火材料的物理化学性质

| 名称、化学式 | 化学性质 | 熔点 (°C) | 耐火度 (°C) | 莫氏硬度 | 密度 (g/cm ³) | 热膨胀系数 ^① ×10 ⁻⁶ (1/°C) | 热导率 (W/m·K) | | 分解温度 (°C) | 多晶转变 |
|-------------------------------------|------|---------|----------|------|-------------------------|---|-------------|-------|-----------|------|
| | | | | | | | 400℃ | 1200℃ | | |
| 硅石 SiO ₂ | 酸性 | 1713 | 1680 | 7 | 2.65 | 12.3 | | | | 有 |
| 熔融石英 SiO ₂ | 酸性 | 1713 | | 7 | 2.20 | 0.5 | 1.591 | | | |
| 电熔刚玉 Al ₂ O ₃ | 中性 | 2050 | 2000 | 9 | 4.0 | 8.6 | 12.56 | 5.28 | | |

(续)

| 名称、化学式 | 化学性质 | 熔点 (°C) | 耐火度 (°C) | 莫氏硬度 | 密度 (g/cm ³) | 热膨胀系数 ^D ×10 ⁻⁶ (1/°C) | 热导率 (W/m·K) | | 分解温度 (°C) | 多晶转变 |
|--|------|---------|-----------|------|-------------------------|---|-------------|--------|-----------|------|
| | | | | | | | 400°C | 1200°C | | |
| 莫来石 3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ | 中性 | 1810 | >1700 | 6~7 | 3.16 | 4.5 | 1.214 | 1.549 | | |
| 硅线石 Al ₂ O ₃ ·SiO ₂ | 弱酸 | 1540 | | 6~7 | 3.25 | 5.0 | | | 1500 | |
| 耐火粘土 Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ ·2H ₂ O | 弱酸 | | 1670~1710 | 1~2 | 2.60 | | | | 450 (水) | 有 |
| 高岑石熟料 Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ | | | 1700~1790 | 5 | 2.62 | 5.0 | | | 930~960 | 有 |
| 铝矾土熟料 | | | 1700~1790 | 5 | 3.1~3.5 | 5~8 | | | | |
| 锆石 ZrO ₂ ·SiO ₂ | 弱酸 | 2350 | >2000 | 7~8 | 4.0~4.9 | 4.6 | | 2.094 | 1540 | |
| 氧化锆 ZrO ₂ (稳定化) | 中 | 2680 | >2000 | 7~8 | 6.7 | 6.0 | | | | |
| 金红石 TiO ₂ | 中 | 1800 | | 6 | 4.3 | 7.0 | | | | 有 |
| 方镁石 MgO | 碱 | 2800 | | 6 | 3.6 | 14.0 | 5.44 | 2.93 | | |
| 镁橄榄石 2MgO·SiO ₂ | 碱 | 1840 | 1690 | 6~7 | 3.2~3.6 | 12.0 | | | | |

D 0~1200°C的平均值。

2.3.1.2 制壳耐火材料的特点和应用范围见表 7-17。

表 7-17 制壳耐火材料特点和应用范围

| 类别 | 名称 (举例) | 化学成分和晶相 ^① | 使用状态 | 性能特点 | 应用范围 |
|-----|-----------------|--|--------------------|--|---|
| 硅系 | 硅砂 | SiO ₂ β石英 | 粉砂 | 有一定耐火度和热化学稳定性, 来源广、价廉。易脱壳清理。热膨胀率高, 有可逆晶型转变, 型壳尺寸稳定性差, 高温强度低 | 碳钢、低合金钢铸件, 面层及加固层水玻璃涂料和撒砂 |
| 铝硅系 | 铝矾土熟料 | 以 αAl ₂ O ₃ 为主 | 粉砂 | 有较高的耐火度和热化学稳定性, 来源广、价廉。热膨胀率较小, 无晶型转变。型壳湿态和高温强度较高, 尺寸稳定性好。脱壳性差, 难清砂 | 碳钢, 低合金钢铸件, 水玻璃涂料及加固层撒砂。多用于较大件 |
| | 耐火粘土 (沈阳粘土) | 以高岑石 (Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ ·2H ₂ O) 为主 | 生熟混合粉 (熟料 20%~30%) | 有一定耐火度, 来源广, 价廉。热膨胀率低, 型壳尺寸稳定性好。高温强度高, 脱壳性好, 易清砂。涂料粘度变化大, 屈服强度高, 触变性强 | 各种合金的水玻璃型壳加固层涂料。可与铝矾土或煤矸石混合配料 |
| | 粘土质熟料 (煤矸石、上店土) | 以莫来石 (3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂) 为主 | 粉砂 | 有较高耐火度, 来源广、价廉。热膨胀率小, 型壳尺寸稳定性好, 高温强度高, 热变形小, 无晶型转变。较难脱壳 (含有方石英时, 较易脱壳) | 硅溶胶或硅酸乙酯加固层涂料及撒砂。杂质含量低的优质熟料也可用于面层材料浇不锈钢 |
| 刚玉系 | 刚玉 (白刚玉、棕刚玉) | 2Al ₂ O ₃ | 粉砂 | 耐火度高, 热化学稳定性好, 白刚玉价昂。高温无晶型转变, 热膨胀率较小, 高温强度高, 热变形小, 难清砂 | 各种粘结剂的面层涂料及撒砂。浇注高温合金、合金钢和不锈钢等 |

(续)

| 类别 | 名称 (举例) | 化学成分和 主晶相 ^① | 使用状态 | 性能特点 | 应用范围 |
|------|------------|------------------------------------|------|--|--------------------------------|
| 锆石系 | 锆石 | ZrO ₂ ·SiO ₂ | 粉砂 | 耐火度高, 热化学稳定性好, 热膨胀率低, 蓄热能力强。价昂。无晶型转变, 型壳尺寸稳定性高, 较难清砂 | 各种粘结剂面层涂料及撒砂, 浇注高合金钢、高温合金、不锈钢等 |
| 橄榄石系 | 镁橄榄石 | 2MgO·SiO ₂ | 粉砂 | 耐火度高, 热化学稳定性较好, 热膨胀系数较低, 高温无多晶转变。不与 Fe、Mn 等氧化物反应, 型壳高温强度较高, 较易脱壳 | 水玻璃面层及加固层涂料及撒砂, 浇注高锰钢及不锈钢铸件 |

① 含量≥40%的物相。

2.3.1.3 硅砂

1. 硅砂的晶型转变 硅砂是熔模铸造最常用的耐火材料, 其性能特点见表 7-17。硅砂在高温下有同素异晶转变并形成多种变体, 导致型壳尺寸稳定性低, 高温力学性能差。表 7-18 所示是 SiO₂ 各种变体的特性, 表 7-19 是 SiO₂ 多晶转变时的体积变化。

表 7-18 SiO₂ 各种变体的特性

| 晶型 | 晶系 | 稳定温度 范围 (°C) | 密度 (g/cm ³) | 线膨胀系数 0~1000°C ×10 ⁻⁶ (1/°C) |
|------|----|-----------------|----------------------------|--|
| β石英 | 三方 | <573 | 2.65 | 12.3 |
| α石英 | 六方 | 573~870 | 2.52 | |
| γ鳞石英 | 斜方 | 常温~117 | 2.31 | 21.0 |
| β鳞石英 | 六方 | 117~163 | 2.29 | |
| α鳞石英 | 六方 | 870~1470 | 2.23 | |
| β方石英 | 斜方 | 180~270 | 2.34 | 10.3 |
| α方石英 | 立方 | 1470~1713 | 2.22 | |
| 石英玻璃 | 非晶 | <1713 为 过冷态 | 2.20 | 0.5 |

表 7-19 SiO₂ 多晶转变时体积变化

| 转变 | 体积变化 (%) | 转变 | 体积变化 (%) |
|-----------|-------------|-----------|-------------|
| β石英→α石英 | +0.82 | α石英→α鳞石英 | +12.7 |
| γ鳞石英→β鳞石英 | +0.20 | α石英→α方石英 | +17.4 |
| β鳞石英→α鳞石英 | +0.20 | α石英→石英玻璃 | +15.5 |
| β方石英→α方石英 | +2.80 | 石英玻璃→α方石英 | -0.9 |

2. 硅砂(粉)规格 根据 GB12214—90, 硅砂

的成分等级和粒度见表 7-20, 表 7-21 和表 7-22。

表 7-20 硅砂粉成分等级

| 分级代号 | SiO ₂ ≥ | 有害杂质 (%) (不大于) | | |
|------|-----------------------|--|-------------|--------------------------------|
| | | K ₂ O+ Na ₂ O | CaO+ MgO | Fe ₂ O ₃ |
| 98 | 98 | 1.0 | 1.0 | 0.1 |
| 97 | 97 | 1.5 | 1.5 | 0.2 |
| 96 | 96 | 2.0 | 2.0 | 0.3 |

表 7-21 硅砂粒度分组

| 分组代号 | 主要粒度组成部分 (mm) | | | 对应目数 |
|------|---------------|-------|-------|--------|
| | 前筛 | 主筛 | 后筛 | |
| 85 | 1.700 | 0.850 | 0.600 | 10~20 |
| 60 | 0.850 | 0.600 | 0.425 | 20~40 |
| 30 | 0.425 | 0.300 | 0.212 | 40~70 |
| 21 | 0.300 | 0.212 | 0.150 | 50~100 |

硅砂粒度用筛分法分级, 主要粒度组成三筛砂质(重)量依次是 50±5%, 30±5%, 10±5%。三筛砂总质(重)量≥95%。粉尘(粒径<0.15mm的粒子)含量<0.2%, 水分<0.3%。

表 7-22 硅砂粉分组及特性参数

| 分组代号 | 特性参数 | | | 对应目数 |
|------|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|------|
| | 质(重)量 平均粒径 D _{NL} (μm) | 百克粉总 表面积 S (m ²) | 质(重)量 均方差 Q _{NL} | |
| 28 | 25~30 | 15~25 | >17 | 320 |
| 33 | 30~35 | 15~25 | >17 | 260 |

表 7-22 中的三项特性参数用下式表示:

$$D_{NL} = \sum_{i=1}^n (d_i W_i \%)$$

$$Q_{NL} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (d_i - D_{NL})^2 W_i \%}$$

$$S = 226^2 \times \sum_{i=1}^n \frac{W_i}{d_i}$$

式中 d_i ——粉料的 Stockes 当量直径 (μm);

W_i —— d_i 粉的质 (重) 量百分数 (%)。

D_{NL} 反映粉的粗细程度; Q_{NL} 反映粉料粒度的分散程度; S 反映粉料中细粉含量。级配良好的粉料, 主要参数量是: $D_{NL} 25 \sim 35\mu\text{m}$, $Q_{NL} > 17.0$, $S 12 \sim 15\text{m}^2$, 松装密度 $> 1.5\text{g}/\text{cm}^3$ 。

2.3.1.4 铝硅系耐火材料

1. 铝硅系耐火材料的物相组成 见表 7-23。

表 7-23 铝硅系耐火材料的物相组成

| | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Al_2O_3 (%) | 30~48 | 48~75 | 60~72 | 90~98 |
| 类别 | 粘土质 | 高铝质 | 莫来石质 | 刚玉质 |
| 物相 组成 | 莫来石 | 莫来石 | 莫来石 | 刚玉 |
| | 方石英 | 刚玉 | | 莫来石 |
| | 玻璃相 | 玻璃相 | 玻璃相 | 玻璃相 |

2. 铝矾土的分类及特征 见表 7-24。

表 7-24 铝矾土的分类及特征

| 等级 | Al_2O_3 (%) | $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ | 主要矿物组成 | | 外观特征 | 烧后 Al_2O_3 (%) | 烧后主要 物相 |
|-----|--------------------------------|--------------------------------------|------------|------------|---------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | 水铝石 (%) | 高岑石 (%) | | | |
| 特等 | >76 | >20 | >85 | <9 | 灰色、质量大(重)而密, 组织均匀致密 | >90 | 刚玉 |
| 一等 | 68~76 | 5.5~20 | 67~85 | 9~28 | 浅灰色, 质量大(重)而硬, 组织均匀致密 | 80~90 | 刚玉-莫来石 |
| 二等甲 | 60~68 | 2.8~5.5 | 49~67 | 28~46 | 灰白色, 较致密鳞片状体不多 | 70~80 | 莫来石-刚玉 |
| 二等乙 | 52~60 | 1.8~2.8 | 31~49 | 46~65 | 灰色, 组织疏松, 多鳞片状体结构 | 60~70 | 莫来石 |
| 三等 | 42~52 | 1.0~1.8 | 8~31 | 65~88 | 灰色、软而轻, 易碎, 断面滑腻, 组织较致密均匀 | 48~60 | 低莫来石 |

3. 铝矾土砂(粉)规格 (GB12215-90) 见表 7-25。

表 7-25 铝矾土砂(粉)规格

| 分级 代号 | Al_2O_3 (%) | 有害杂质含量(不大于)(%) | | | | |
|----------|--------------------------------|-------------------------|----------------|---------------------------|--|-----|
| | | Fe_2O_3 | TiO_2 | $\text{CaO} + \text{MgO}$ | $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ | 灼减 |
| 85 | 85 | 1.0 | 4.0 | 0.8 | 0.5 | 0.5 |
| 80 | 80 | 1.5 | 5.0 | 0.8 | 0.7 | 0.5 |
| 70 | 70 | 2.0 | 5.0 | 1.0 | 0.7 | 0.5 |

铝矾土粉的粒度特性参数见表 7-26。铝矾土砂的

粒度组成与硅砂要求相同, 砂中粉尘含量 $< 0.3\%$, 砂粉中水分含量 $< 0.3\%$ 。

4. 耐火粘土 常用耐火粘土为沈阳粘土, 其成分与物相见表 7-27。

表 7-26 铝矾土粉粒度特性参数

| 分组代号 | 特性参数 | | |
|------|----------------------------|----------------------|----------|
| | D_{NL} (μm) | S (m^2) | Q_{NL} |
| 28 | 25~30 | 12~15 | >18 |
| 33 | 30~35 | 12~15 | >18 |

5. 粘土质熟料 粘土质熟料的化学成分和物相组成见表 7-28 和表 7-29。

表 7-27 沈阳粘土化学成分和物相

(%)

| Al_2O_3 | SiO_2 | Fe_2O_3 | CaO | MgO | TiO_2 | K_2O | Na_2O | 灼减 | 物相 |
|-------------------------|----------------|-------------------------|--------------|--------------|----------------|----------------------|-----------------------|-----------|----------|
| 30 | 52 | 1.49 | 0.53 | 0.84 | 1.15 | 2.31 | 0.85 | ≤ 10 | 高岑石+偏高岑石 |

○ 铝矾土为 175。

表 7-28 粘土质熟料的化学成分

(%)

| 成分 | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | TiO ₂ | 灼减 |
|--------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------|------|------------------|-------------------|------------------|------|
| 南票煤矸石 | 42~46 | 50 | ≤1.3 | 0.8 | 0.8 | ≤0.6 | ≤0.6 | ≤1.0 | ≤0.5 |
| 陕西上店土 ^① | 40~46 | 50 | ≤1.2 | 0.7 | 0.7 | ≤0.3 | ≤0.3 | ≤1.5 | ≤0.5 |
| 四川峨边土 | 45~46 | 51~52 | ≤1.0 | 0.42 | 0.42 | ≤0.3 | ≤0.3 | ≤1.5 | 1.5 |
| 山东焦宝石 | 44~45 | 44 | 0.67 | 0.6 | 0.16 | — | — | — | — |
| 美国 Molochite | 42~43 | 54~55 | 0.75 | 0.1 | 0.1 | 1.5~2.0 | 0.1 | 0.08 | — |
| 美国 Remasil | 60.5 | 35.8 | 1.31 | 0.04 | 0.05 | 0.03 | 0.02 | 2.25 | — |

① HB5348—84。

表 7-29 粘土质熟料的物相组成

| 性能 | 物相组成 (%) | | 耐火度 (℃) | 密度 (g/cm ³) |
|--------------|----------|--------|---------|-------------------------|
| | 莫来石 | 方石英 | | |
| 南票煤矸石 | ≥55 | ≤17 | ≥1770 | >2.5 |
| 陕西上店土 | ≥45 | ≤15~18 | 1775 | 2.4 |
| 四川峨边土 | 51 | 4 | — | — |
| 英国 Molochite | 51 | 0 | 1710 | 2.5 |

注：其余物相为非晶质。含有少量方石英有助于脱壳。

2.3.1.5 刚玉 表 7-30 和表 7-31 给出电熔刚玉化学成分和刚玉粉的粒度组成。

表 7-30 电熔刚玉化学成分 (%)

| 成分 | Al ₂ O ₃ | Na ₂ O | Fe ₂ O ₃ | SiO ₂ | TiO ₂ | 灼减 | 备注 |
|-----|--------------------------------|-------------------|--------------------------------|------------------|------------------|------|-----------|
| 白刚玉 | ≥98.5 | ≤0.6 | ≤0.1 | ≤0.2 | — | ≤0.3 | HB5347—86 |
| 棕刚玉 | ≥93 | ≤0.6 | — | ≤0.8 | ≤3.0 | — | 贵州第七砂轮厂 |

注：粉料经酸洗后清水冲洗至中性。

表 7-31 电熔刚玉粉的粒度要求

| 粒度 (μm) | <5 | 5~20 | 20~40 | >40~80 | >80 |
|---------|----|------|-------|--------|-----|
| 含量 (%) | <8 | ≥26 | ≥47 | <18 | <1 |

为适应生产需要，需调配粉料粒度时，可选用磨料白刚玉粉进行级配。撒砂用的白刚玉砂也按磨料标准选月。磨料白刚玉化学成分见表 7-32。

表 7-32 磨料白刚玉化学成分 (GB2479—83)

| 粒度范围 | 化学成分 (%) | |
|-----------|--------------------------------|-------------------|
| | Al ₂ O ₃ | Na ₂ O |
| 24号—80号 | ≥98.5 | ≤0.50 |
| 100号—240号 | ≥98.5 | ≤0.70 |
| W63—W14 | ≥98.5 | ≤0.80 |
| W10—W5 | ≥97.0 | ≤0.80 |

磨料白刚玉粒度按 GB2477—83 规定分为四组：

磨粒：12、14、16、20、24、30、36、46、60、

70、80号；

磨粉：100、120、150、180、240、280号；

微粉：W63、W50、W40、W28、W20、W14、W10、W7、W5；

精微粉：W3.5、W2.5、W1.5、W1.0、W0.5。

各尺寸范围见表 7-33 和表 7-34。

表 7-33 磨粒与磨粉基本粒群的尺寸范围

| 粒度 | 尺寸范围 (μm) | 粒度 | 尺寸范围 (μm) |
|-----|-----------|------|-----------|
| 8号 | 3150~2500 | 60号 | 315~250 |
| 10号 | 2500~2000 | 70号 | 250~200 |
| 12号 | 2000~1600 | 80号 | 200~160 |
| 14号 | 1600~1250 | 100号 | 160~125 |
| 16号 | 1250~1000 | 120号 | 125~100 |
| 20号 | 1000~800 | 150号 | 100~80 |
| 24号 | 800~630 | 180号 | 80~63 |
| 30号 | 630~500 | 240号 | 63~50 |
| 36号 | 500~400 | 280号 | 50~40 |
| 46号 | 400~315 | | |

表 7-34 微粉与精微粉粒群的尺寸范围

| 粒度 | 尺寸范围 (μm) | 粒度 | 尺寸范围 (μm) |
|-----|-----------|------|-----------|
| W63 | 63~50 | W7 | 7~5 |
| W50 | 50~40 | W5 | 5~3.5 |
| W40 | 40~28 | W3.5 | 3.5~2.5 |
| W28 | 28~20 | W2.5 | 2.5~1.5 |
| W20 | 20~14 | W1.5 | 1.5~1.0 |
| W14 | 14~10 | W1.0 | 1.0~1.5 |
| W10 | 10~7 | W0.5 | ≤0.5 |

2.3.1.6 锆砂 锆砂粉的化学成分见表 7-35 粒度要求见表 7-36。锆砂粉放射性比活度应不大于 $7 \times 10^4 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($2 \times 10^{-6} \text{Ci} \cdot \text{kg}^{-1}$) (ZBJ31005—88)。

表 7-35 锆砂的化学成分 (ZBJ31005—88)

| 分类等级 | (ZrHf) | 其他组成成分, ≤ (%) | | | | |
|------|----------------------------|------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------|--------------------------------|
| | O ₂ 含量 ≥ (%) | TiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | P ₂ O ₅ | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ |
| 一级 | 66 | 0.30 | 0.15 | 0.20 | 33.0 | 0.30 |
| 二级 | 65 | 1.00 | 0.25 | 0.20 | 33.0 | 0.80 |
| 三级 | 63 | 2.50 | 0.50 | 0.25 | 33.5 | 1.00 |
| 四级 | 60 | 3.50 | 0.80 | 0.35 | 34.0 | 1.20 |

表 7-36 锆英粉的粒度

| 目数 | 筛孔尺寸 (μm) | | |
|-----|-----------|----|----|
| | 上筛 | 主筛 | 下筛 |
| 260 | 75 | 50 | 45 |
| 320 | 50 | 45 | 底盘 |

注: 上筛残留量 ≤ 5%, 主筛残留量 > 70%

2.3.1.7 镁橄榄石 根据 JB/T6985—93, 镁橄榄石砂粉的成分和性能见表 7-37。表中 Fe₂O₃ 含量限定值是为了控制铁橄榄石 (2FeO·SiO₂) 含量, 保证耐火度。灼减量限定是为了控制有害的蛇纹石 (3MgO·2SiO₂·2H₂O, 1550℃ 分解) 含量。

表 7-37 镁橄榄石砂粉的成分和性能

| 等级代号 | MgO (%) | SiO ₂ (%) | Fe ₂ O ₃ (%) | 灼减 (%) | 含水量 (%) | 含泥量 (%) | 耐火度 (℃) |
|------|---------|----------------------|------------------------------------|--------|---------|---------|---------|
| 一级 | ≥47 | ≤40 | ≤10 | ≤1.5 | ≤0.5 | <0.5 | ≥1690 |
| 二级 | ≥44 | ≤42 | ≤10 | ≤3 | ≤0.5 | <0.5 | ≥1690 |
| 三级 | ≥42 | ≤44 | ≤10 | ≤3 | ≤1.0 | <0.5 | ≥1690 |

2.3.2 制壳粘结剂和制壳工艺

2.3.2.1 水玻璃粘结剂及制壳工艺

1. 水玻璃 熔模铸造用水玻璃的技术指标见表 7-38。

表 7-38 熔模铸造用水玻璃技术指标 (GB4209—84)

| 类别 | 1 | 2 | 3 |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|
| 指标 | | | |
| 波美度* (20℃) (°Be') | 35~37 | 39~41 | 44~46 |
| Na ₂ O (%) ≥ | 7.0 | 8.2 | 10.2 |
| SiO ₂ (%) ≥ | 24.6 | 26 | 25.7 |
| 模数 M | 3.5~3.7 | 3.1~3.4 | 2.6~2.9 |
| 铁 (%) ≤ | 0.02~0.05 | 0.02~0.05 | 0.02~0.05 |
| 水不溶物 (%) ≤ | 0.2~0.4 | 0.2~0.4 | 0.2~0.6 |

* 波美度与 g/cm³ 的换算见第一章。

M 和 d 是水玻璃两个主要性能参数。M 一般选为 2.7~3.2。市售水玻璃已能满足此要求, 故勿需进行降低或提高模数的处理。水玻璃密度在生产中多用波美度 (°Be') 表示, 它与密度 d 可按下式换算:

$$d = \frac{144.3}{144.3 - 'Be'}$$

配制涂料前水玻璃需加水稀释, 加水量可按下式计算:

$$C = \frac{A(d-d')}{d(d'-1)}$$

式中 C——加水量 (g);

d——原水玻璃密度 (g/cm³);

d'——稀释后要求的水玻璃密度 (g/cm³);

A——稀释的水玻璃质 (重) 量 (g)。

通常, 面层涂料的水玻璃密度调整到 1.26~1.29g/cm³, 加固层为 1.30~1.34 (g/cm³)。

水玻璃的模数和密度表达了它的化学组成和含水量。M、d、SiO₂ 含量和 Na₂O 含量四个数值中, d 和 Na₂O 含量较易测定, 所以 M 和 SiO₂ 含量可用图 7-4 求得。方法是在图 7-4 中纵坐标轴上找出已知的

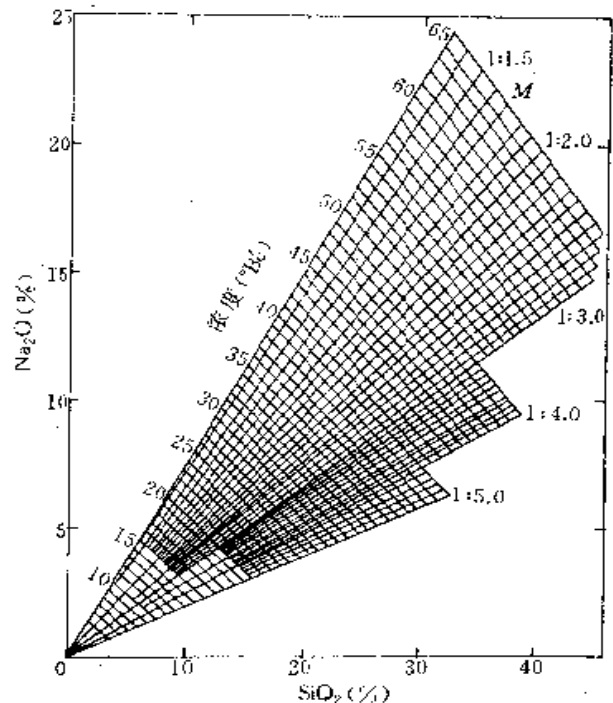


图 7-4 20℃ 时水玻璃中 SiO₂ 含量、Na₂O 含量、M 和 d 的关系 (图中数字表示 M 和 'Be' 值)

Na₂O (%) 点, 向右做水平线与已知的 'Be' 线相交, 交点处的 M 线即为所求的 M 值。再从交点处做垂直线与 SiO₂ (%) 坐标相交, 即得所求的 SiO₂ (%)。此图求得的数值是近似值, 精确值尚须进行化学分析。

水玻璃粘度对涂料性能有很大影响，而影响水玻璃粘度的因素主要是其模数、密度和温度，如图 7-5 和图 7-6 所示。

特性正确选择和确定制壳材料和工艺。表 7-39 以面层涂料为例，给出水玻璃涂料和型壳的基本特性及工艺控制要点。

水玻璃涂料因不同耐火粉料而性能及配比差异很大，表 7-40 是几种典型的水玻璃涂料配比和性能举例，以资参考。

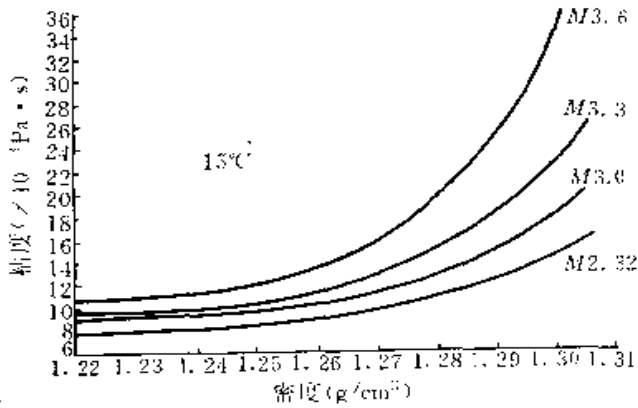


图 7-5 水玻璃模数和密度对其粘度的影响

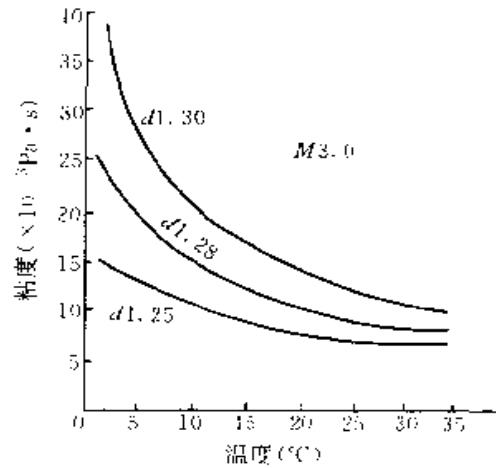


图 7-6 水玻璃温度对粘度的影响

2. 水玻璃涂料 水玻璃涂料配比和性能与水玻璃性能 (M, d 和粘度)、粉料种类和性能、气温以及配制工艺等诸多因素有关。为保证型壳和铸件品质(质量)，应首先掌握水玻璃涂料的基本特性，并依据

表 7-39 水玻璃面层涂料和型壳表面状态

| 项 目 | 面 层 涂 料 | | | 型壳表面状态 |
|------|--|---|--|--|
| | 稳定性 | 粘度与密度 | 涂覆性 | |
| 性能特点 | 涂料为碱性 (pH11~13)，聚结稳定性和动力稳定性高，与各种耐火材料有良好的相溶性，涂料寿命长，不易失效 | 水玻璃粘度大，涂料粉液比低，涂料粘度随气温变化大，粘度与液体密度计相关性不好 | 涂料屈服强度高，涂片质(重)量大。蜡模与涂料润湿不良 | 涂料层经化学硬化法制壳。型壳表面致密度和连续度低，表面易产生缺陷，铸件表面品质(质量)差 |
| 控制要点 | 不必控制 | 控制涂料温度，保证面层涂料粉液比 $\geq 1.1 \sim 1.3$ 。控制流杯粘度，不宜控制密度 | 涂片重在 $70 \sim 125 \text{mg/cm}^2$ 范围内并与流杯粘度配合使用。加适量表面活性剂及消泡剂 | 采用低密度水玻璃高粉液比涂料。面层硬化前充分干燥，涂料保温，减少与硬化液的温差，降低胶凝收缩 |

表 7-40 几种常见的水玻璃涂料配比和性能

| 涂料种类 | 水 玻 璃 | | 粉 料 | | 性 能 | |
|-----------------|---------|------------|----------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| | 模数 | 密度 (g/cm³) | 种类 | 粉液比 ^② w/w | 粘度 ^③ (s) | 涂片重 ^④ (g) |
| 面层 ^① | 2.9~3.1 | 1.26~1.29 | 级配石英粉 | 1.15~1.30 | 25~30 | 1.0~2.0 |
| 加固层 | 2.9~3.1 | 1.32~1.34 | 沈阳粘土/石英粉 (1/2) | 1.05~1.10 | 20~25 | 2.2~3.5 |
| 加固层 | 2.9~3.1 | 1.32~1.34 | 煤矸石粉 | 1.10~1.25 | 20~25 | 1.5~2.5 |
| 加固层 | 2.9~3.1 | 1.32~1.34 | 铝矾土粉 | 1.40~1.80 | 18~25 | 2.0~3.0 |

① 面层涂料中加入表面活性剂 JFC0.05%，适量硅油类消泡剂。

② w/w 为质(重)量粉液比。

③ 100mL、 $\phi 6\text{mm}$ 流杯粘度计。

④ 40mm \times 40mm \times 2mm 不锈钢涂片。

涂料配制要准确定量，充分搅拌 (>1h)，有足够的回性时间 (≥4h)。现场着重控制好涂料粘度、涂片质(重)量和温度。为防止大平面类铸件表面起夹，面层涂料中可加入适量(5%~15%)铅矾土粉。

3. 制壳工艺 制壳工艺包括涂挂撒砂和硬化干燥等工序。

撒砂有两种方法，即雨淋式和沸腾式，其优缺点比较见表 7-41。

表 7-41 两种撒砂方法比较

| 雨淋式 | 沸腾式 |
|-------------------------------|-------------------------------|
| 1. 撒砂粘附均匀，不易穿透涂料层，型壳表面品质(质量)好 | 1. 撒砂粘附不均匀，易吹皱涂料层，蜡模棱角处不易附着砂粒 |
| 2. 砂子易分级处理，涂料豆易清除 | 2. 砂粒间摩擦升温，噪声大，料豆难以清除 |
| 3. 生产率低，手工操作劳动强度大 | 3. 生产率较高，手工操作劳动强度低 |
| 4. 适用于面层撒砂 | 4. 适用于加固层撒砂 |

水玻璃型壳的撒砂工艺，见表 7-42。

表 7-42 型壳撒砂工艺

| 层别 | 砂种 | 方法 | 砂粒度 分组代号 |
|-----|-----------------|-------------|-------------|
| 面层 | 硅砂 | 雨淋式或 沸腾式 | 30,21 |
| 过渡层 | 硅砂、铝硅系 砂或混合砂 | 沸腾式 | 60 |
| 加固层 | 硅砂、铝硅系砂 | 沸腾式 | 85,170 |

注：制壳基流水线只有两种涂料，无过渡层，撒砂粒度不宜过粗。

水玻璃型壳硬化剂有多种，常用的是氯化铵、结晶氯化铝、聚合氯化铝和结晶氯化镁。它们的性能见表 7-43~7-47。

表 7-43 氯化铵硬化剂的性能

| 溶解度 (NH ₄ Cl g/100g 溶液) (20~30℃) | 常用浓度 (%) | 密度 (g/cm ³) | 动力粘度 (×10 ⁻³ Pa·s) | 表面张力 (×10 ⁻⁵ N/cm) |
|---|-------------|----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 27.1~29.4 | 18~26 | 1.05~1.07 | 0.4~0.5 | 76~77 |

表 7-44 氯化铝硬化剂的性能

| 种类 | Al ₂ O ₃ 浓度 (%) | 密度 (g/cm ³) | 碱化度 (%) | pH | 粘度 (×10 ⁻³ Pa·s) | 表面张力 (×10 ⁻⁵ N/cm) |
|-------|--|----------------------------|------------|---------|--------------------------------|----------------------------------|
| 结晶氯化铝 | 6~7 ^① | 1.16~1.17 | ≤10 | 1.4~1.7 | 1.0~3.0 | 60~70 |
| 聚合氯化铝 | 8~10 | 1.18~1.20 | ≤50 | 2~3 | 4.0~5.0 | 70~80 |

① 配制方法是每 kg 水中加入结晶氯化铝 0.15kg。

表 7-45 结晶氯化铝水溶液的浓度和密度

| 浓度 (%) | | | 密度 (g/cm ³) |
|--|---|-------------------------------------|----------------------------|
| AlCl ₃ ·6H ₂ O (g/100g 水) | AlCl ₃ ·6H ₂ O (g/100g 溶液) | AlCl ₃ (g/100g 溶液) | |
| 20 | 15.7 | 9.18 | 1.082 |
| 30 | 23.1 | 12.71 | 1.116 |
| 40 | 28.6 | 15.73 | 1.140 |
| 45 | 31.03 | 17.07 | 1.160 |
| 50 | 33.30 | 18.32 | 1.170 |
| 60 | 37.50 | 20.63 | 1.198 |
| 128 ^① | 56.10 | 31.32 | 1.318 |

① 19℃ 时的溶解度。

表 7-46 氯化镁硬化剂的特性及硬化参数

| 浓度 (MgCl ₂ / 100g 水) | 密度 (g/cm ³) | pH | 硬化参数 | | |
|---------------------------------------|----------------------------|-----|-----------|---------------|----------------------|
| | | | 温度 (℃) | 硬化时间 (min) | 硬化后干 燥时间 (min) |
| 28~33 ^① | 1.25~ 1.28 | 5~6 | 25~35 | ≤3 | 30~40 |

① 配制方法是每 kg 水加 MgCl₂·6H₂O 1.0~1.4kg，用于硬化加固层涂料。

表 7-47 氯化镁硬化剂浓度和密度的关系

| 浓度 (MgCl ₂ g/100g 水) | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 密度 (g/cm ³) | 1.189 | 1.208 | 1.228 | 1.248 | 1.268 | 1.280 | 1.300 |

水玻璃型壳的硬化工艺参数与涂料层别、硬化剂种类等因素有关。表 7-48 为常用水玻璃型壳的硬化工艺参数。氯化镁硬化工艺参数见表 7-46。

各种硬化剂硬化特性比较见表 7-49。

4. 水玻璃型壳的缺陷分析 水玻璃型壳常见缺陷分析见表 7-50。

表 7-48 水玻璃型壳制壳硬化工艺

| 层 别 | 硬化前干燥时间 (h) | 硬 化 工 艺 参 数 | | | | 硬化后干燥时间 (min) | 说 明 |
|-----|-------------|--------------------------------------|--------|---------|--------|---------------|----------------------|
| | | 硬化剂 | 浓度 (%) | 温度 (°C) | 硬化时间 | | |
| 面 层 | ≥24 | NH ₄ Cl | 20~25 | 20~30 | ≤10s | 20~30 | 硬化前充分干燥,胶凝收缩小,硬化快而均匀 |
| | ≥2 | NH ₄ Cl | 20~25 | 20~30 | 2~3min | 20~30 | 硬化前干燥,胶凝收缩较小,硬化较快 |
| 加固层 | 不干燥 | AlCl ₃ ·6H ₂ O | 30~33 | 25~30 | 3~5min | 30~40 | 硬化后干燥,涂料层继续渗透硬化 |

表 7-49 各种硬化剂硬化特性比较

| 项 目 硬化剂 | 硬化速度 | | 硬化剂控制参数 | 硬化剂稳定性 | 型 壳 特 点 | | | 脱蜡前存放时间 (h) | |
|------------|------|------|-----------------------|---|---------|----|----|-------------|--------|
| | 界面硬化 | 渗透硬化 | | | 表面质量 | 强度 | | | |
| | | | | | | 湿态 | 高温 | | 残留 |
| 氯化铵 | 快 | 快 | NH ₄ Cl 浓度 | NH ₄ Cl 消耗快,每班化验补充 | 好 | 高 | 低 | 低 | ≥4 |
| 结晶氯化铝 | 快 | 慢 | 密度 pH | AlCl ₃ 消耗慢,可长时间使用,稳定性好 | 较好 | 较高 | 高 | 高 | ≥24~48 |
| 聚合氯化铝 | 快 | 慢 | 密度 pH 碱化度 | AlCl ₃ 消耗慢,可长时间使用,稳定性好 | 差 | 较高 | 高 | 高 | ≥36~48 |
| 氯化镁 | 较快 | 慢 | 密度 pH | MgCl ₂ 消耗快,须用 HCl 中和 Mg(OH) ₂ | 差 | 高 | 较高 | 较低 | 28~12 |

表 7-50 常见水玻璃型壳缺陷分析

| 缺陷名称 | 缺陷特征 | 产生原因 | 防止方法 |
|-------|----------------------------|---|---|
| 表面蚁孔 | 型壳内表面形成口大内小,分散的孔洞,铸件表面形成毛刺 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 涂料与蜡模润湿不良 2. 涂料粉液比低 3. 涂料粘度小,涂层薄 4. 涂料温度低 5. 面层撒砂粗 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 减少脱模剂用量 2. 涂料中加入表面活性剂或用表面活性剂浸渍模组 3. 选用级配粉料,降低水玻璃粘度,提高粉液比 4. 冬季涂料升温 5. 撒砂宜细化 |
| 表面蠕虫孔 | 型壳内表面形成不规则形状的小裂隙 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 用结晶氯化铝,聚合氯化铝或氯化镁硬化时,硬化剂浓度过高或温度过高时 2. 水玻璃模数高,密度大,涂料粉液比低,涂料胶凝收缩大 3. 涂料配制时搅拌和回性不良 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 适当降低硬化剂浓度 2. 面层涂料用 $M < 3.2$; $d < 1.30$ 的水玻璃,采用级配粉以提高粉液比 3. 硬化前面层干燥 2h 以上; 4. 涂料要充分搅拌与回性 |

(续)

| 缺陷名称 | 缺陷特征 | 产生原因 | 防止方法 |
|------------|------------------------------------|---|---|
| 表面凹坑 | 型壳内表面凹陷, 露出砂粒, 呈桔皮状 | 1. 用氯化铝或氯化镁硬化时, 内孔、内角及凹槽处涂料堆聚 2. 硬化剂浓度和温度过高 3. 涂料屈服值高, 胶凝收缩大 4. 撒砂不均匀 | 1. 提高涂料粉液比 2. 冬季涂料升温, 降低涂料和硬化剂的温差 3. 适当降低硬化剂温度和浓度 4. 撒砂均匀, 周到 |
| 表面析出物 | 型壳表面析出茸毛或铅胶 | 1. 用氯化铵硬化时, 硬化剂浓度过高, 硬化时间过长 2. 型壳在干燥空气下, 存放时间过长 3. 脱蜡水中氯化铵浓度太高 4. 用聚合氯化铝硬化时, 硬化剂碱化度过高, 脱蜡后存放时间短, 脱蜡水 pH 过高 | 1. 适当减少硬化剂浓度和硬化时间 2. 减少型壳存放时间 3. 降低面层水玻璃密度, 涂挂要均匀, 避免堆聚 4. 聚合氯化铝碱化度 $\leq 50\%$, 延长脱蜡前存放时间 5. 脱蜡水中加 HCl |
| 硅酸盐瘤 | 型壳内表面有黄色或绿色玻璃体瘤状物 | 1. 水玻璃模数过高, 密度过大, 涂料屈服强度高 2. 涂料涂覆性差, 局部堆聚处多, 硬化不透 | 1. 用中模数和低密度水玻璃配料 2. 涂料涂覆力求均匀, 硬化前面层充分干燥 3. 脱蜡水维持酸性 |
| 型壳分层鼓胀 | 型壳表面层与加固层分层, 面层涂料翘起或脱落。铸件表面形成夹砂或鼠尾 | 1. 面层撒砂过细, 砂中粉尘多, 湿度大, 形成浮砂分层 2. 过渡层涂料粘度过大 3. 层间干燥不良, 残留硬化剂过多 4. 型壳焙烧时, 入炉温度过高 | 1. 控制砂中粉尘及水分 $\leq 0.3\%$ 2. 适当加大撒砂粒度; 撒砂要均匀 3. 面层涂料加适量铝硅系粉料 4. 用氯化铝或氯化镁硬化时, 面层与加固层间淋水冲击残留硬化剂 5. 降低型壳入炉温度 |
| 型壳裂纹 | 型壳上有穿透或未穿透裂纹 | 1. 涂料硬化时胶凝收缩过大 2. 浇口杯或蜡模边角处未撒上砂子 3. 型壳硬化不透, 湿强度低, 脱蜡水温低, 脱蜡时间过长 4. 硅砂型壳焙烧时入炉温度过高, 升温过快 | 1. 用低密度水玻璃及高粉液比涂料, 降低胶凝收缩 2. 撒砂均匀周到 3. 充分硬化, 提高型壳湿强度 4. 提高脱蜡水温, 缩短脱蜡时间 5. 正确掌握焙烧工艺 |
| 高温强度低、变形量大 | 浇注时型壳变形或跑火 | 1. 型壳高温强度低 2. 型壳抗热变形能力低 | 1. 加固层涂料密度在 1.32~1.34 间 2. 提高加固层涂料铝硅系粉料含量 3. 焙烧温度和保温时间要足够 |

2.3.2.2 硅溶胶粘结剂及制壳工艺

1. 硅溶胶 硅溶胶是无定型 SiO_2 微粒在水中的分散体系, 是典型的胶体溶液。HB5346—86 规定的

硅溶胶的化学成分和性能见表 7-51。国内外几种常用的硅溶胶成分和性能, 见表 7-52。

表 7-51 硅溶胶的化学成分和性能 (HB5346—86)

| 牌号 | 化学成分 (%) | | 物理性能 | | | | 其它 | |
|--------|----------------|-----------------------|-------------------------------|-------|---|---------|---------------|------------|
| | SiO_2 | Na_2O | 密度 (g/cm^3) | pH | 运动粘度 ($\times 10^{-4} \text{m}^2/\text{s}$) | 粒径 (nm) | 外观 | 稳定期 |
| GRJ—26 | 24~28 | ≤ 0.3 | 1.15~1.19 | 9~9.5 | ≤ 6 | 7~15 | 乳白或淡黄色, 无外来杂质 | ≥ 1 年 |
| GRJ—30 | 29~31 | ≤ 0.5 | 1.20~1.22 | 9~10 | ≤ 8 | 9~20 | | |

表 7-52 国内外几种常用硅溶胶的成分和性能

| 产地 | 牌号 | 生产方式 | SiO ₂ (%) | Na ₂ O (%) | pH | 动力粘度 (×10 ⁻³ Pa·s) | 平均粒径 (nm) | 密度 (g/cm ³) |
|-------------|-------------|---------|----------------------|-----------------------|----------|-------------------------------|-----------|-------------------------|
| 湖北 | S-30 | 离子树脂交换法 | 30 | ≤0.3 | 9.5~10.5 | <8.0 | 14.0 | 1.20 |
| 浙江 | SS-30 | 单质硅溶解法 | 30 | ≤0.5 | 9.7 | 5.0 | 14.8 | 1.20 |
| 上海 | 28 | 离子树脂交换法 | 28 | ≤0.5 | 9.0 | 5.8 | — | 1.18 |
| 广州 | 仿日 1430 | 离子树脂交换法 | 30 | ≤0.35 | 10.4 | ≤6.0 | 14.0 | 1.20 |
| 日本 | Snowtex 830 | — | 30 | ≤0.5 | 9.4 | 3.95 | 8.0 | 1.20 |
| 美国 Monsanto | SytonX30 | — | 30 | ≤0.34 | 9.6~10.2 | 5.5 | 13~15 | 1.20 |
| 美国 Monsanto | SytonD30 | — | 30 | ≤0.44 | 9.5~10.0 | 7.0 | 7~8.5 | 1.20 |

硅溶胶可直接用于配制涂料，勿需处理，操作简便。若需降低 SiO₂ 含量，可加去离子水或蒸馏水稀释，加水量可按式计算：

$$B = A \left(\frac{a}{b} - 1 \right)$$

式中 B——加水量 (g)；

A——硅溶胶量 (g)；

a——原硅溶胶中 SiO₂ 含量 (%)；

b——稀释后硅溶胶中 SiO₂ 含量 (%)。

2. 硅溶胶涂料和制壳工艺 硅溶胶涂料制壳工艺要适应硅溶胶涂料的基本特性，方能有效地控制型壳和铸件品质 (质量)。硅溶胶面层涂料和型壳基本特征以及工艺控制要点见表 7-53。

表 7-54 和表 7-55 是国内外几种硅溶胶涂料配比举例。

表 7-53 硅溶胶面层涂料和型壳基本特征

| 项目 | 面层涂料 | | | 型壳表面状态 |
|------|--|--|---|--------------------------------------|
| | 稳定性 | 粘度与密度 | 涂覆性 | |
| 性能特点 | 碱性涂料 (pH 9.5~10.5)，聚结稳定性高，动力稳定性低，易沉淀，沉淀物不易搅起 | 硅溶胶粘度小，涂料粉液比高。涂料中气体多时粘度高，密度小，脱气后粘度降低，密度增大且稳定 | 涂料屈服强度低，涂片重小 (20~30mg/cm ²)，易流失。涂料与蜡模润湿不良 | 自然干燥硬化，型壳表面致密度高，连续度好，表面缺陷少。面层干燥不当易开裂 |
| 控制要点 | 用 L 型搅拌器低速 (25~30r/min) 连续搅拌。防止涂料升温不断加水 | 真空脱气 (1.5~6.0kPa)，使粘度与密度稳定。粘度与密度相关性好，可同时控制 | 加适量表面活性剂和消泡剂。用微粉调整屈服强度，改善覆盖能力 | 严格控制面层干燥温度和湿度 (20~25℃，≤60%)，面层不宜吹干 |

表 7-54 国内常用几种硅溶胶涂料

| 硅溶胶 | 涂料成分 | | 涂料密度 (g/cm ³) | 涂料粘度 ^② (s) | 用途 |
|--------|---------------|------------------------|---------------------------|-----------------------|------------|
| | 粉料 (kg) | 表面活性剂 ^① (%) | | | |
| 10kg | 钻石粉 32~40 | JFC 0.3 | 2.7~2.8 | 28~35 | 面层涂料 |
| 10kg | 电熔刚玉粉 26.5~30 | JFC 0.3 | 2.3~2.5 | 28~35 | 面层涂料 |
| 10kg | 煤矸石 17 | — | 1.85 | 25 | 加固层涂料 |
| 1000rL | 熔融石英 1.7~1.8 | 0.3 | 1.7~1.8 | — | 面层涂料 |
| 1000mL | 铝酸钴 2.9~3.1 | 0.1~0.3 | ≥2.4 | — | 铸件表面晶粒细化涂料 |

① 加入消泡剂~0.1%。

② 100mL、φ6mm 流杯粘度计读数。

表 7-55 国外几种硅溶胶涂料配比

| 硅溶胶 (kg) | 水 (kg) | 粉料 (kg) | 活性剂 (mL) | 消泡剂 (mL) | 密度 (g/cm ³) | 用途 |
|----------|--------|----------------------------------|----------|----------|-------------------------|-----------|
| 9.48 | 3.785 | 锆石粉 45.36 | 10 | 微量 | 2.7~2.75 | 一般面层 |
| 11.35 | — | 锆石粉 45.36 | 10 | 微量 | 2.9~2.95 | 高强度面层、加固层 |
| 9.48 | 3.785 | 锆石粉 40.7 熔融石英 4.54 | 10 | 微量 | 2.65~2.70 | 带小孔铸件 |
| 4.8 | — | 电熔刚玉粉 11.5 锆石粉 5.8 氧化钴 0.9 | 3.3 | 0.53 | — | 表面层细化晶粒涂料 |

硅溶胶型壳的干燥是影响型壳和铸件品质（质量）的关键工序。影响干燥的因素主要是场地温度、湿度和风速。图 7-7 至图 7-9 是这三项因素与干燥时间的关系曲线。

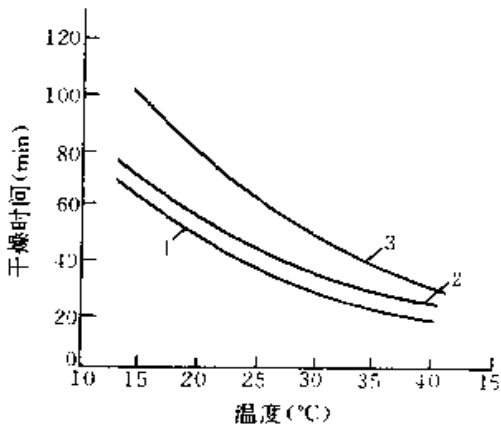


图 7-7 温度对型壳干燥时间的影响

1—铝矾土型壳 2—刚玉型壳 3—锆石型壳

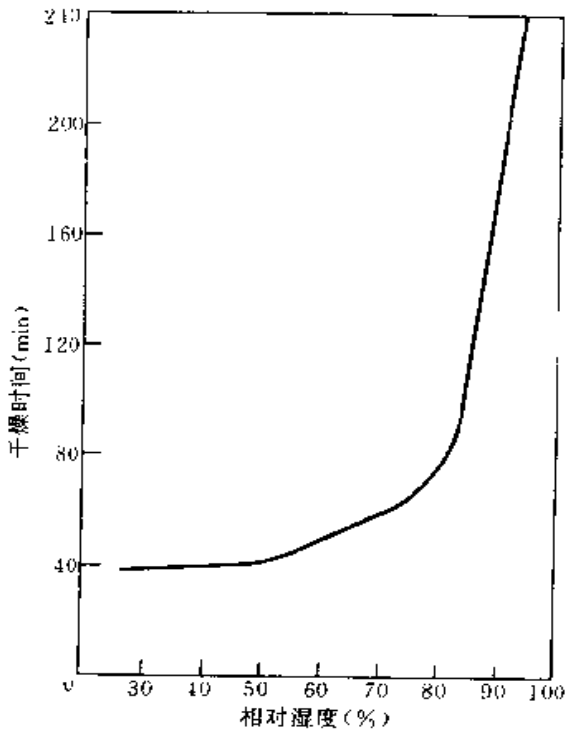


图 7-8 湿度对型壳干燥时间的影响

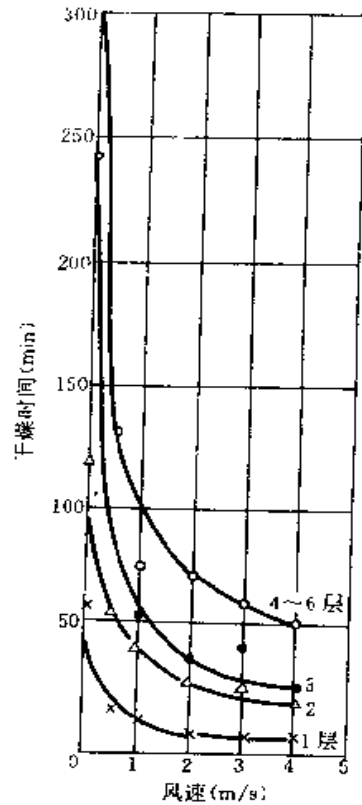


图 7-9 风速对型壳干燥时间的影响

通常，1~2层干燥温度为 20~25℃，相对湿度 ≤60% 且不宜吹风。温度过高或湿度过低时，因急剧的胶凝收缩导致型壳面层开裂。加固层温度可至 30℃，湿度可至 30%~40%，风速以 ≤3m/s 为宜。

全硅溶胶型壳（1~7层）干燥工艺实例，如下所示：

- 环境湿度 45%~55%、温度 22~25℃ 时，
- 面层型壳干燥 >3h
- 第 2 层型壳干燥 >3h
- 第 3 层型壳干燥 >4h
- 第 4~5 层型壳干燥 >6h
- 第 6~7 层型壳干燥 >8h
- 半层涂料（不撒砂） >8h

环境湿度为 60%~70% 时, 每层干燥时间选为 24h。相对湿度为 20%~30% 时, 每层干燥时间为 8~16h, 湿度过高的场地应用除湿机去湿。

3. 硅溶胶型壳的表面缺陷 常见的硅溶胶型壳的表面缺陷见表 7-56。

表 7-56 常见的硅溶胶型壳表面缺陷

| 缺陷种类 | 产生原因 | 部位 | 防止方法 |
|---------|---|---------------------|---|
| 表面孔洞不致密 | 面层涂料粉液比低, 粘度小, 撒砂粗, 涂料中气泡多 | 蜡模内孔、内角及凹槽处, 局部大平面处 | 面层涂料调高粘度 (4 号 Zahn 杯 20~27s)。铸件壁厚 < 12mm 涂一层, > 12mm 时涂两层面层。撒砂要细, 涂料充分搅拌、真空脱气 |
| 表面蚯蚓状龟裂 | 面层涂料干燥室室温过高 (> 30℃), 湿度过小 (< 50%), 吹风导致干燥过快 | 回转体零件 | 面层干燥室温度 < 30℃, 湿度 > 50%, 不宜吹风强制干燥。干燥时间以控制在 3h 内失水 40%~50% 为宜。涂料及时补充水分 |
| 表面局部脱落 | 涂料不均匀, 局部堆聚, 导致干燥不均匀; 湿强度低, 脱蜡时脱落 | 细的沟槽、内角、盲孔、较深的花纹等处 | 控制面层涂料粘度, 必要时配专用面层涂料; 延长干燥时间; 加底层涂料粘度 4 号 Zahn 杯 11~15s |

2.3.2.3 硅酸乙酯粘结剂及制壳工艺

1. 硅酸乙酯及其水解 硅酸乙酯是有机硅化合物, 经水解后可用为粘结剂。水解液是一种线性大分

子溶液, 可聚合成体型大分子聚合物而具有粘结能力。表 7-57 是熔模铸造用硅酸乙酯的技术要求 (HB5345-86)。

表 7-57 硅酸乙酯的技术要求

| 性能 | 指标 | | |
|--------------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------|
| | 硅酸乙酯 32 | 硅酸乙酯 40 | 硅酸乙酯 50 ^① |
| 外观 | 无色或淡黄色微浊液 | 无色或淡黄色微浊液 | 无沉淀透明液体 |
| SiO ₂ (%) | 32~34 | 40~42 | 51~54 |
| HCl (%) | ≤0.04 | ≤0.05 | ≤0.1 |
| <110℃ 馏分 (%) | ≤2 | ≤3 | ≤2 |
| 密度 (g/cm ³) | 0.97~1.00 | 1.04~1.07 | 1.18~1.25 |
| 运动粘度 (m ² /s) | ≤1.6×10 ⁻⁶ | (3~5)×10 ⁻⁶ | (50~250)×10 ⁻⁶ |

① 预水解硅酸乙酯。

水解是硅酸乙酯作为粘结剂的重要工序。硅酸乙酯水解要掌握好两个主要环节, 一是加水量控制; 二是水解工艺。

硅酸乙酯水解实质上就是其中的乙氧基同水的反应, 故加水量用 H₂O/-OC₂H₅ 的摩尔比 M_水 来度量。通常在水解后, 水解液应满足以下要求:

SiO₂ 含量: 18%~20%;

HCl 含量: <0.3%;

pH: 1.5~2;

运动粘度: (3~8)×10⁻⁶m²/s

表 7-58 为水解液配方选择。

表 7-58 水解液配方选择

| 项目 | 数量 | 水解液特点 | 用途 | 使用条件 |
|--|-----------|--------------------|------------------|-------------------------|
| 加水量 M _水 (H ₂ O/-C ₂ H ₅ O) 摩尔比 | <0.4 | 粘度小, 性能稳定, 粘结力强 | 较长期使用, 要求强度高场合 | 温度 > 25℃, 相对湿度 > 70% |
| | 0.4~0.6 | 粘度中等, 性能不太稳定, 粘结力好 | 配制一般涂料 | 温度 18~25℃, 相对湿度 40%~70% |
| | >0.6 | 粘度较大, 性能变化快, 粘结力弱 | 即时使用, 不要求高的粘结强度时 | 气温和相对湿度较低场合 |
| SiO ₂ 含量 (加酒精稀释) | 20%~25% | 粘结强度高 | 配制强化液 | 要求型壳强度高时用之, 制壳后浸渗、滴净、硬化 |
| | 18%~20% | 粘结强度中等 | 配制一般涂料 | 同中等加水量的水解液 |
| HCl 含量 | 0.1%~0.3% | 水解液稳定性好 | 配制一般涂料 | 控制 pH 1.5~2 |
| | 0.3%~0.6% | 容易胶凝 | 配制陶瓷型浆料 | 配后立即灌浆 |

水解硅酸乙酯的加水量 $M_{\text{水}}$ 要控制在 0.25 ~ 0.75 范围内。水解 1kg 硅酸乙酯的加水量 A 可用下式计算：

$$A = \frac{1000a \times 18M_{\text{水}}}{45} = 400M_{\text{水}}a \text{ (g)}$$

式中 a ——硅酸乙酯中 $-\text{OC}_2\text{H}_5$ 的含量 (%)；

$M_{\text{水}}$ ——置换 1mol $-\text{OC}_2\text{H}_5$ 所需水的 mol 数；

18, 45 分别是 H_2O 和 $-\text{OC}_2\text{H}_5$ 的分子量。

A 为水解所需的总加水量，包括酒精和盐酸带人的水。

原硅酸乙酯中的 $-\text{OC}_2\text{H}_5$ 含量 a 可由化学分析法测定 SiO_2 后再由下式计算

$$a = 1.252 - 1.32 (\text{SiO}_2 \%)$$

也可由已知的 SiO_2 查表 7-59 求得。

表 7-59 原硅酸乙酯中 $-\text{OC}_2\text{H}_5$ %
与 SiO_2 % 的关系

| SiO_2 % | $-\text{OC}_2\text{H}_5$ % | SiO_2 % | $-\text{OC}_2\text{H}_5$ % |
|------------------|----------------------------|------------------|----------------------------|
| 28.8 | 86.5 | 37.0 | 77.6 |
| 30.0 | 85.1 | 38.0 | 75.4 |
| 31.0 | 84.0 | 39.0 | 74.2 |
| 32.0 | 82.6 | 40.0 | 72.9 |
| 33.0 | 81.5 | 41.0 | 71.8 |
| 34.0 | 80.2 | 42.0 | 70.6 |
| 35.0 | 79.0 | 43.0 | 69.3 |
| 36.0 | 77.9 | | |

硅酸乙酯与水不互溶，为加速水解进程，用工业酒精为溶剂。工业酒精的浓度与其密度有关，见表 7-60。

表 7-60 工业酒精浓度与密度关系

| 20℃ | | |
|----------------------------|-------------------------------------|--------|
| 密度 (g/cm ³) | $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (%) | |
| | 质(重)量 (%) | 体积 (%) |
| 0.820 | 89.2 | 92.7 |
| 0.815 | 91.1 | 94.1 |
| 0.810 | 93.0 | 95.4 |
| 0.805 | 94.4 | 96.6 |
| 0.700 | 96.5 | 97.7 |
| 0.795 | 98.2 | 98.9 |
| 15℃ | | |
| 密度 (g/cm ³) | $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (%) | |
| | 质(重)量 (%) | 体积 (%) |
| 0.8196 | 91.0 | 94 |
| 0.8158 | 92.4 | 95 |
| 0.8117 | 93.9 | 96 |
| 0.8077 | 95.3 | 97 |
| 0.8033 | 96.8 | 98 |
| 0.7986 | 98.4 | 99 |

为加速水解，需加少量盐酸作为催化剂。盐酸中 HCl 含量与其密度的关系见表 7-61。

表 7-61 盐酸密度与 HCl 含量的关系

| 密度 (g/cm ³) | HCl 含量 (%) | 密度 (g/cm ³) | HCl 含量 (%) | 密度 (g/cm ³) | HCl 含量 (%) |
|----------------------------|---------------|----------------------------|---------------|----------------------------|---------------|
| 1.155 | 30.55 | 1.173 | 33.94 | 1.188 | 36.79 |
| 1.160 | 31.52 | 1.175 | 34.42 | 1.190 | 37.27 |
| 1.163 | 32.01 | 1.178 | 34.90 | 1.193 | 37.72 |
| 1.165 | 32.49 | 1.180 | 35.38 | 1.195 | 38.17 |
| 1.168 | 32.97 | 1.183 | 35.84 | 1.198 | 38.64 |
| 1.170 | 33.46 | 1.185 | 36.31 | 1.200 | 39.11 |

考虑到水解前后 SiO_2 总质(重)量不变，故酒精加入量按以下方法计算。由于：

$$Sb = S'b'$$

式中 S ——原硅酸乙酯质(重)量，设为 1000g；

S' ——水解液总质(重)量 (g)；

b ——原乙醇中 SiO_2 含量 (%)；

b' ——水解液中 SiO_2 含量 (%)；

已知 $S' = S + A$ (加水量) + B (加乙醇量) + C (加盐酸量)，考虑到盐酸加入量很少， C 可略去不计，故有

$$S' = S + A + B$$

与上式合并并整理得

$$B = \frac{1}{d_z} \left[1000 \left(\frac{b}{b'} - 1 \right) - A \right] \text{ (mL)}$$

式中 d_z ——酒精密度 (g/cm³)。

盐酸加入量按下式计算

$$C = S'C' - SC'' \text{ (g)}$$

式中 C' ——水解液中 HCl 含量 (%)；

C'' ——原硅酸乙酯中 HCl 含量 (%)。

硅酸乙酯水解有一次法、二次法和混合法等几种。现推荐一次水解法，其操作顺序如下：将酸、水与酒精混合搅拌 1~2min，以细流注入硅酸乙酯中强烈搅拌，控制温升 < 45℃，全部料加完后，继续搅拌 0.5~1h，密封保存，翌日使用。为防止温升过高，可通水冷却、放慢注入酸化液速度或降低搅拌速度。冬季室温及原材料温度过低时，可向水解器水套中通入温水。图 7-10 至图 7-14 是加水量、HCl 含量、 SiO_2 含量、水解液最高温度以及不同温度下保存时间等因素对水解液粘度的影响。

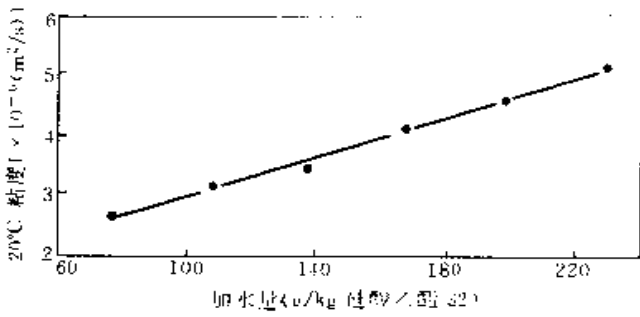


图 7-10 加水量与水解液粘度的关系

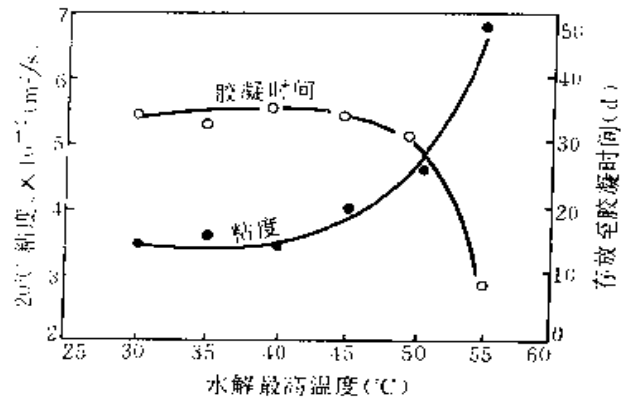


图 7-13 水解最高温度与水解液粘度及存放时间的关系

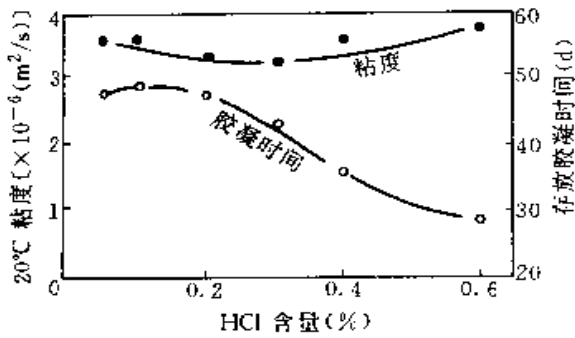


图 7-11 HCl 含量对水解液粘度和胶凝时间的影响

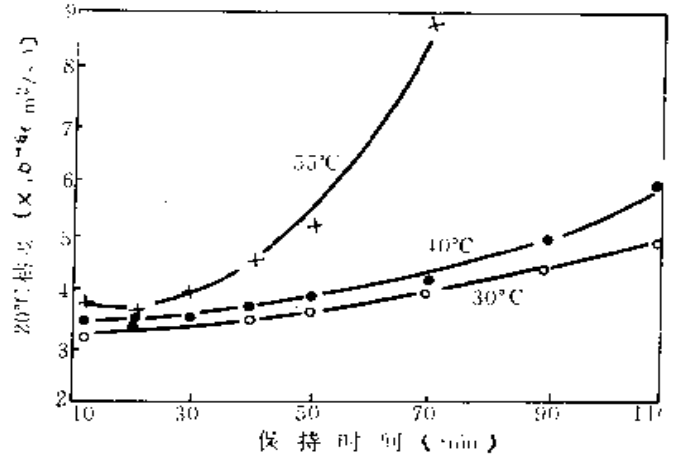


图 7-14 不同温度下保存时间对水解液粘度的影响

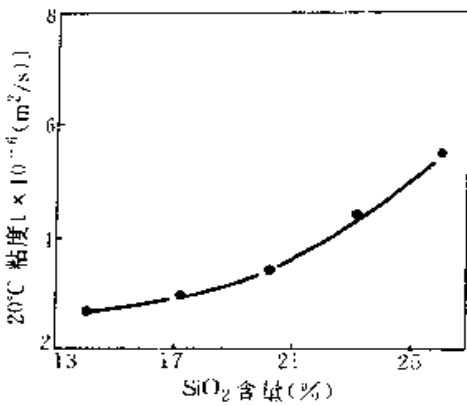


图 7-12 SiO₂ 含量与水解液粘度的关系

2. 硅酸乙酯涂料及制壳工艺 硅酸乙酯涂料和型壳特性见表 7-62。表 7-63 是硅酸乙酯涂料配比和性能，表 7-64 为常用制壳干燥和硬化工艺。

表 7-62 硅酸乙酯涂料和型壳特性

| 项目 | 涂 料 | | | 型 壳 |
|------|--|---------------------------------------|--------------------------------------|--|
| | 稳定性 | 粘度和密度 | 涂覆性 | |
| 性能特点 | 酸性涂料，聚结稳定性和动力稳定性低 | 水解液粘度低。涂料粉液比高，易与蜡模润湿，气泡易逸出。粘度与密度能很好对应 | 涂挂性好，涂料屈服强度低，涂片质（重）量很小 | 型壳表面致密度和连续度较好，湿态强度高 |
| 控制要点 | 严格控制水解工艺及粉料中碱性氧化物含量；室温不宜过高；涂料宜连续搅拌；补加 H ₂ SO ₄ 调整 pH | 面层粘度 25 ± 5 (s)，密度随粉料而定；粘度与密度可同时控制 | 溶剂蒸发快，涂料操作要迅速；不测定涂片质（重）量，可用微粉调整屈服强度值 | 温度 15 ~ 30℃，湿度 60% ~ 80%；风速 1 ~ 3m/s；空气-氮气干燥硬化 |

表 7-63 硅酸乙酯涂料配比和性能

| 层别 | 性能 | 耐火粉料 | | | | |
|-----|-------------------------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| | | 锆石粉 | 刚玉粉 | 硅砂粉 | 铝矾土粉 | 粘土质熟料粉 |
| 面层 | 粉液比 ^① | 3.5~4.0 | 2.4 | 1.8~2.0 | 2.2~2.4 | |
| | 密度 (g/cm ³) | 2.5~2.8 | 2.0~2.2 | 1.7~1.8 | 1.8~2.0 | |
| | 粘度 ^② (s) | 25±5 | 25±5 | 25±5 | 25±5 | |
| 加固层 | 粉液比 ^① | — | 2.0~2.2 | 1.5~1.7 | 2.0~2.2 | 1.6~1.7 |
| | 密度 (g/cm ³) | — | 1.7~2.0 | 1.5~1.6 | 1.7~2.0 | 1.62~1.65 |
| | 粘度 ^② (s) | — | 10±2 | 10±2 | 10±2 | 10±2 |

① 单位为 g/cm³ 或 kg/L。

② 100mL、φ6mm 流杯粘度计读数。

表 7-64 常用制壳干燥和硬化工艺

| 工艺类别 | 自然干燥 (min) | 氨气干燥 (min) | NH ₃ (%) | 消味 (min) | 温度 (℃) | 相对湿度 (%) |
|------------|---------------|---------------|---------------------|-------------|-----------|-------------|
| 空气-氨气干燥硬化法 | 30~120 | 5~10 | 3~5 | 10 | 18~30 | 60~70 |
| 快速氨气干燥硬化法 | 0~15 | 10 | 3~5 | 10 | 18~30 | >70 |

表 7-65 是硅酸乙酯制壳的几种特殊干燥硬化工艺。

表 7-65 几种特殊干燥硬化工艺

| 工艺类别 | 工艺条件 | 工艺要点 | 应用 |
|--------|---|--|-----------|
| 空气硬化法 | 涂料 pH<2, 采用多孔质撒砂材料 (如铝矾土); 温度 10~30℃, 湿度>70%, 通风干燥 | 逐层干燥 1~2h, 型壳强度高, 不污染环境, 制壳周期长 | 大批量生产一般零件 |
| 湿法快速制壳 | 水解时加水量 M _水 =0.3~0.6, HCl 0.3%; 涂料 pH>2.8, 温度>20℃, 湿度>80%, 用多孔性撒砂材料 | 制壳不必氨气干燥, 涂挂后风干 30min 即可涂下一层; 制壳后 24h 脱蜡。制壳周期短, 工艺控制要严格, 湿强度建立慢, 易掉料 | 大批量生产一般铸件 |
| 交替硬化法 | 与碱性涂料 (如硅溶胶) 交替涂挂 | 涂挂后风干 15~30min 后涂另一种涂料, 涂完后 24h 脱蜡。制壳周期短, 工艺控制较复杂, 对涂料兼互有污染 | 一般铸件 |

3. 硅酸乙酯型壳缺陷分析 见表 7-66。

表 7-66 硅酸乙酯型壳缺陷分析

| 缺陷名称 | 产生原因 | 防止方法 |
|-----------|---|--|
| 型壳分层和面层剥落 | 面层撒砂过细, 砂中粉尘或水分超标; 二层涂料粘度过大, 与面层结合不牢; 二层干燥时间短, 氨干不足; 温度<15℃, 湿度<40%, 型壳表面开裂 | 减少面层撒砂粉尘及含水量, 减少浮砂; 加粗面层撒砂粒度; 降低第二层涂料粘度或面层干燥后用水解液浸润, 适当延长干燥或氨干时间, 室温>15℃, 湿度>50% |
| 白霜 | 型壳内表面形成白霜, 因室温或湿度过低; 水解液加水量少; 强化剂浸渍过度 | 保持适宜的室温和空气湿度; 强化氨干; 缩短中间层浸渍强化剂的时间 |
| 裂纹 | 因干燥硬化时产生大的胶凝收缩或急剧受热膨胀形成的应力超过型壳强度极限。干燥硬化过快或干燥硬化不良, 湿强度低 | 保持适宜的室温和空气湿度; 正确选择干燥硬化工艺; 改善型壳湿强度; 改进脱蜡工艺 |

2.3.3 粘结剂、涂料和型壳的检测

表 7-67 为熔模铸造用粘结剂、涂料和型壳的检测方法及有关标准。

2.4.1 熔失熔模

常用的熔失熔模（蜡模）的方法有热水法和蒸汽法两种，它们的工艺特点见表 7-68。

2.4 熔失熔模、型壳焙烧和浇注

表 7-67 粘结剂、涂料和型壳的检测方法

| 检查项目 | | 检测方法要点及适用范围 | 标准 |
|------|---|--|------------------------|
| 粘结剂 | 水玻璃模数 | 用化学分析法测定 Na_2O 及 SiO_2 (%)，经计算而得 | — |
| | 硅溶胶中 SiO_2 (%) | 用中和法测定 Na_2O 含量，余液用水浴蒸干，800℃ 灼烧至恒量（重）后称量（重） | — |
| | 硅酸乙酯中 SiO_2 (%) | 1000℃ 灼烧试样，去除有机挥发物，冷却后称量（重） | — |
| 涂料 | 粘度 | 100mL，孔径 $\phi 6\text{mm}$ 流杯粘度计，适用于各种涂料的现场检测 | JB4007—85 |
| | | Zahn 杯粘度计，常用 4 号（孔径 $\phi 4.27\text{mm}$ ）、5 号（孔径 $\phi 5.28$ ），容量 45mL。用于硅溶胶或硅酸乙酯涂料的现场检测 | 美国 ICI ^① 标准 |
| | 涂覆性 | 测定在 40mm×40mm×2mm 不锈钢片上粘附的涂料重量（g），用于水玻璃涂料的现场检测 | JB4007—85 |
| | | 测定 60mm×60mm×2mm 不锈钢片上粘附的涂料质（重）量（g），用于硅溶胶或硅酸乙酯涂料的现场检测 | 美国 ICI 标准 |
| 密度 | 用量程 1.5~2.5 液体密度计 (g/cm^3)，或用三角瓶定容称量（重）法。适用于屈服强度小的硅溶胶和硅酸乙酯涂料密度的测定 | | |
| 型壳 | 高温变形 | $\phi 50\text{mm} \times 50$ （高） $\text{mm} \times 6$ （厚） mm 的圆筒形试样，测定恒载下的径向变形量同温度的关系。适用于各种型壳。温度范围 20~1300℃，载荷 250~600g（水玻璃型壳用 250~300g），变形量 $\pm 3\text{mm}$ | JB2980—81 |
| | 高温抗弯强度 | 型壳试样 40mm×20mm×6mm，支点间距 30mm。测定不同温度下静态加载的断裂载荷，经计算而得。适用于各种型壳 20~1200℃ 静载抗弯强度的测试 | JB2981—81 |
| | 高温透气性 | 用乒乓球模型制成型壳试样，在一定压力（9.8~29.4kPa）和 20~1300℃ 温度下，测试通过试样的气体流量，需计算而得。适用于各种型壳的高温透气性 | JB4153—85 |

① 美国熔模铸造协会。

表 7-68 两种脱蜡方法比较

| 方法 | 工艺要点 | 优缺点 | 用途 |
|-----|---|--|---|
| 热水法 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 脱蜡前要仔细清理浇口杯涂料及浮砂 2. 用 90~95℃ 热水，水中加入 1%~3% 盐酸或氯化铵 3. 型壳入水后要快速升温，防止因降温而胀裂型壳 4. 脱蜡时间宜在 20~30min 内 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 可溶解部分钠盐，面层涂料 Na_2O 可降至 0.01% 以下 2. 模料回收率较高（80%~95%） 3. 设备简单、投资少 4. 型壳湿强度低 5. 脱蜡槽内砂粒污物易进入型壳 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 低熔点模料 2. 水玻璃、硅溶胶或硅酸乙酯各种型壳 |
| 蒸汽法 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 脱蜡前要仔细清理浇口杯涂料和浮砂 2. 型壳装入后，要尽快升压到 0.1~0.5MPa 3. 保压时间 5~15min | <ol style="list-style-type: none"> 1. 脱蜡速度快 2. 型壳受到热等静压，一般不会胀裂 3. 浮砂、污物不易进入型壳 | 适用于高熔点模料的各种型壳，水玻璃型壳要用低的蒸汽压力（0.1~0.15MPa） |

蒸汽压力与温度的关系, 见表 7-69。

表 7-69 水蒸气压力与温度的关系

| | | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 蒸汽压力 (MPa) | 0.103 | 0.202 | 0.369 | 0.485 | 0.630 |
| 温度 (°C) | 100 | 120 | 140 | 150 | 160 |

2.4.2 型壳的焙烧

型壳焙烧的目的是: 去除水分、残余模料、钠盐及皂化物等挥发物, 以降低型壳的发气性和提高其透气性; 改善型壳物相组成以提高其高温性能, 便于热壳浇注, 以改善金属液的充填能力等。一般生产中多用不装箱单壳焙烧, 以改善焙烧品质(质量), 缩短加热与保温时间, 节能和提高生产率等。表 7-70 为各种型壳的焙烧工艺。

表 7-70 型壳的焙烧工艺

| 型壳种类 | 焙烧温度 (°C) | 保温时间 (h) | 工艺要点 |
|------------|-------------------------|-------------|--|
| 水玻璃型壳 | 800~900 | 1~2 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 炉内气氛以氧化性为宜, 有利于改善型壳高温性能。焙烧炉最好是煤气炉或油炉 2. 焙烧温度不宜高于 900°C, 以防蠕变变形 3. 可热炉装壳, 全硅石型壳宜 < 600°C 入炉 |
| 硅溶胶及硅酸乙酯型壳 | 900~950 个别可达 1050 | 1~2 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 型壳尺寸稳定, 可高温入炉 2. 宜用煤气炉或油炉 3. 宜于高壳温浇注 |

注: 复合型壳的焙烧温度由加固层涂料粘结剂而定。

2.4.3 型壳的浇注

2.4.3.1 浇注方法 熔模铸造型壳的浇注有多种方法, 见表 7-71。

表 7-71 熔模铸造型壳的浇注方法

| 浇注方法 | 特点 | 应用范围 |
|------|---|------------------|
| 自由浇注 | 靠液态金属重力充型, 方法简单, 适应性强; 充型能力及对金属的保护作用有限 | 应用范围最广, 浇注一般熔模铸件 |
| 低压铸造 | 在 10~30kPa 的压力下浇注, 充型能力强且有补缩压力; 充填平稳, 金属氧化少, 夹杂物少; 需低压铸造机 | 薄壁复杂铸件 |

(续)

| 浇注方法 | 特点 | 应用范围 |
|-----------------|--|------------------------------|
| 真空吸铸 (CLA 法) | 充型能力很强, 浇注温度可降低 10~20°C; 直浇道不凝固回流坍塌中, 金属利用率高、铸件品质(质量)好 | 大量生产小型薄壁铸件 |
| 真空浇注 | 充填能力较强, 可防止金属液氧化和吸气, 浇注品质(质量)好 | 不锈钢、耐热钢和高温合金等品质(质量)要求高的铸件 |
| 真空加压浇注 | 充型能力强, 对铸型透气率要求低, 浇注后加压凝固 | 石膏型熔模铸造薄壁铝合金铸件及艺术品铸件 |
| 离心浇注 | 金属液在离心力作用下充填和凝固; 采用立式离心浇注机; 充填及补缩良好 | 适用于形状复杂、薄壁的, 环形或盘形铸件或某些艺术品铸件 |
| 单向凝固铸造 | 在真空下浇注, 按规定方向和速度凝固; 浇注前铸型加热到合金液相线温度以上 | 高温合金柱晶或单晶叶片 |

2.4.3.2 型壳温度和浇注温度 型壳的温度和合金的浇注温度可按表 7-72~表 7-74 推荐的数据来选择。

表 7-72 熔模铸造型壳温度

| 合金 | 零件特点 | 型壳温度 (°C) |
|------|------------|--------------|
| 铸钢 | 薄小铸件 | 850~950 |
| | 5mm 厚小件 | >700 |
| | 5~10mm 厚中件 | 600~700 |
| | >10mm 厚大件 | <500 |
| 球铁 | 铁素体 | 400~600 |
| | 珠光体 | 100~300 |
| 铸铝 | 一般 | 200~400 |
| | 特薄件 | 400~600 |
| 铸铜 | 一般 | 400~600 |
| | 厚件 | 300~400 |
| 高温合金 | 一般叶片 | 800~1050 |
| 高温合金 | 定向凝固叶片 | 1500~1600 |

表 7-73 常用铸钢的出钢和浇注温度

| 合金 | 液相线温度 (°C) | 出钢温度 (°C) | 浇注温度 (°C) |
|--------------|------------|-----------|-----------|
| ZG200—400 | 1530 | 1610~1630 | 1580~1610 |
| ZG230—450 | 1515 | 1590~1610 | 1550~1580 |
| ZG270—500 | 1500 | 1580~1600 | 1540~1580 |
| ZG310—570 | 1490 | 1570~1590 | 1530~1570 |
| ZG340—640 | 1480 | 1570~1590 | 1530~1570 |
| ZG16CrMnTi | — | 1610~1630 | 1560~1610 |
| ZG27CrMnSiNi | — | 1600~1620 | 1550~1590 |
| ZG35CrMnSi | — | 1580~1600 | 1530~1580 |
| ZG1Cr18Ni9Ti | 1510 | 1620~1640 | 1570~1630 |

表 7-74 其它合金的浇注温度

| 合金 | 浇注温度 (°C) | 合金 | 浇注温度 (°C) |
|----------|-----------|----------|-----------|
| 球 铁 | 1300~1350 | Al-Cu 合金 | 720~750 |
| 黄 铜 | 950~1050 | Al-Mg 合金 | 680~720 |
| 青 铜 | 1100~1150 | 锌合金 | 410~430 |
| 纯 铜 | 1100~1150 | 镁合金 | 700~720 |
| Al-Si 合金 | 700~730 | | |

型壳焙烧出炉后温度要下降，钢液出炉后温度也要下降。图 7-15 和图 7-16 给出二者降温的一般规律，以供参考。

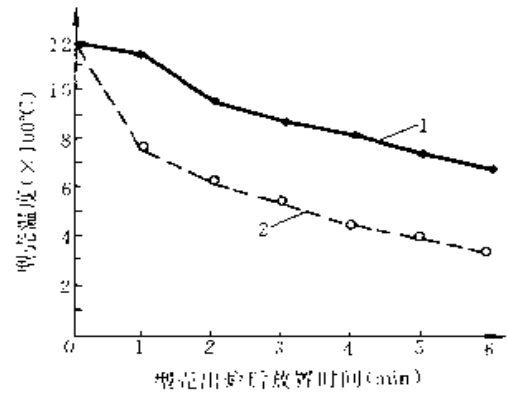


图 7-15 型壳出炉后的降温 (硅溶胶型壳)
1—型壳内表面 2—型壳外表面

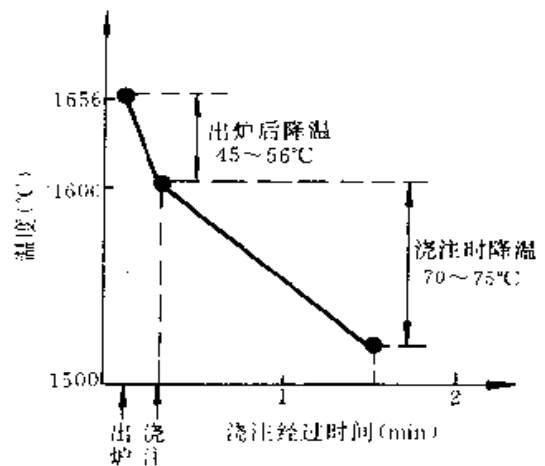


图 7-16 不锈钢 SCS13 出炉后及浇注时的降温
(坩埚容量 100kg)

2.4.3.3 铸件的冷却 为满足不同合金铸件及其表面品质(质量)的要求，熔模铸件的冷却有多种方式，见表 7-75。

表 7-75 铸件的冷却方式

| 名称 | 工艺要点 | 作用 |
|---------|------------------------------------|---------------------------------|
| 自然冷却 | 浇注后自由堆放冷却 | 一般生产多用，方法简便 |
| 快速冷却 | 浇注后吹风冷却，浇注后向型壳喷水 | 提高局部致密度，防止缩松 加速冷却、减少表面脱碳，易清壳 |
| 保护气氛下冷却 | 浇注后，滴入煤油，迅速加罩密封，维持 2h | 防止铸件表面脱碳和麻坑缺陷 |
| | 浇注后，放入碎蜡块(每壳 50g)加罩密封，维持 2h | 防止铸件表面脱碳及铬钢表面麻坑缺陷 |
| 真空下冷却 | 浇注后真空下冷至 < 600°C | 防止铸件表面氧化 |
| 加压凝固冷却 | 真空下浇注，随后充以 0.3~0.5MPa 压缩空气或惰性气体下凝固 | 防止析出气孔及缩松 |

2.5 脱壳和铸件清理

2.5.1 脱壳

熔模铸件各种脱壳方法的比较, 见表 7-76。

表 7-76 各种脱壳方法的比较

| 脱壳方法 | | 工作要点 | 主要参数 | 特点 |
|------|--------|--|---|--|
| 机械法 | 卧式震动脱壳 | 用卧式震动脱壳机, 水平方向震动脱壳, 可用于较大铸件 | 工作长度 350~800mm 振击频率 600~700 次/min 空气压力 0.5~0.6MPa 脱壳效率 20~30 组/h | 脱壳效率较高, 劳动条件差, 粉尘及噪声大, 应设除尘及消音装置; 带窄槽、小孔及复杂内腔铸件难清除干净, 须辅之以其它清理方法 |
| | 立式震动脱壳 | 用立式震动脱壳机, 垂直方向震动脱壳, 适用性广, 生产效率较高 | 空气压力 0.5MPa 震击频率 2100 次/min 脱壳效率 80~100 组/h | |
| 电液压法 | | 在水中使电极与铸件(或电极)间产生高压放电, 形成的冲击波和冲击压力反复作用在型壳上以清除之型壳 | 脉冲电压 60~70kV 脉冲次数 200~250 次/min 时间 10~15min | 耗能少, 效率高, 成本低, 无粉尘污染, 但有 CO、臭氧、噪声及电磁辐射等公害, 须隔离防护; 设备投资大 |
| 高压水法 | | 利用大功率液压系统, 形成 70MPa 以上的高速射流以清除型壳 | 压力 $\geq 70\text{MPa}$ 流量 $\geq 20\text{m}^3/\text{h}$ | 操作安全, 无污染, 生产率高; 可光饰铸件表面 |

2.5.2 铸件的切割

生产中常用的切割方法、工作要点和应用范围, 见表

切割是指从铸件上分离浇冒口或其它附属部分。 7-77。

表 7-77 精铸生产常用的切割方法

| 切割方法 | 工作要点 | 特点及应用范围 |
|------|--|---|
| 气割 | 用氧-乙炔火焰切割, 手工操作 | 工具简单, 切割效率较高, 切口不够平整, 适用性广泛, 适用于碳钢, 合金钢, 铜合金铸件的切割。浇冒口残留量大; 因热影响区的作用, 铸件局部组织异变 |
| 砂轮切割 | 用垂直升降的高速旋转砂轮片(800~1500r/min)切割铸件, 需专用砂轮切割机 | 切割效率高, 切口平整, 劳动强度较低。但噪声大, 用于切割钢、高温合金及铜合金铸件; 设备上要设置除尘、隔音等安全装置 |
| 锯切 | 用带锯, 圆盘锯或弓锯床 | 切口平整, 劳动条件好; 生产效率低; 适用于非铁合金切割浇冒口之用 |
| 电弧气割 | 又称碳弧空气切割法。利用碳电极与铸件间产生 6000~7000℃ 的高温电弧熔化金属并借助于压缩空气吹除熔融金属及熔渣 | 切割速度快, 生产率高。操作灵活, 劳动条件好。切割表面平整。适用于切割各种合金的铸件。切割处易开裂, 增碳或硬度增高 |
| 液压切割 | 用专用的液压切割机切割, 靠环形刃片的剪切作用切除浇口 | 生产率高, 切割品质(质量)好; 可提高金属利用率。适用于大批量生产、品种单一、浇口结构简单以及易割浇口的小铸件 |
| 阳极切割 | 铸件做为低压直流电源的阳极, 有一定机械压力和转速的圆盘切割器为阴极。连续在其间供给电解液(密度为 1.28~1.30g/cm ³ 的水玻璃溶液)。二极间产生电弧以切割浇冒口 | 设备简单, 操作安全, 切割品质(质量)好, 劳动条件也好。切割效率比砂轮机和气割法高 |

2.5.3 铸件的清理方法

熔模铸件表面清理是指去除铸件表面砂壳、氧化物及其它夹杂物。清理是精铸生产中重要的后处理工

序,是决定铸件外观品质(质量)的最后环节。熔模铸件的清理方法很多,常用的几种方法见表7-78~表7-82。

表 7-78 熔模铸件的几种清理方法

| 清理方法 | 工 作 要 点 | 优缺点和应用范围 |
|--------------|---|--|
| 喷砂法 | 利用压缩空气(干法)或水力(湿法)将砂粒或铁丸随高速气(水)流,喷向铸件表面,以清除附着物。工艺参数见表7-79。 | 铸件清砂后表面品质(质量)好,但粉尘及噪声大,须有防护设施;喷枪及喷嘴易磨损,生产率较低 适用范围见表7-79 |
| 抛丸法 | 利用高速旋转的叶轮产生的离心力,将金属丸以高速射向铸件表面,去除表面附着物;可用履带式或转盘式抛丸机 | 机械化生产、抛丸效率高,铸件清理干净,但会恶化铸件外观品质(质量),使表面粗糙度增加。用曲线叶片式抛丸机提高弹丸速度达70m/s,以0.5mm弹丸可细化铸件表面 |
| 化学清理 —碱煮法 | 将脱壳后的铸件放入浓度20%~30%的苛性钠或苛性钾溶液中,加热煮沸4~8h,生成的硅酸钠(钾)从铸件表面脱落。为提高工效可用碱洗滚筒。洗后用清水洗净铸件。表7-80为碱洗滚筒技术参数,表7-81为清洗剂及技术参数 | 适用于碳钢、合金钢及某些铜合金铸件,不适于铝合金铸件,不易清除铝硅系耐火残留物 |
| 化学清理 —碱爆法 | 用高浓度苛性碱溶液(90%~95%,500~520℃),将铸件放入其中20~60min(小件取下限);取出后立即置入冷水中,因产生高压水蒸气而水爆,将残壳清除,最后在70~90℃热水中冲洗 | 可去除铸件内腔深孔槽中的残壳,清理品质(质量)高,但苛性钠消耗量大(40kg/t铸件)成本较高 |
| 电化学 清理法 | 用低压(3~6V)、大电流(>1000A)电化学反应和电解还原法去除残壳,工艺参数见表7-82 | 去除复杂内腔的型芯 |

表 7-79 喷砂主要工艺参数及应用范围

| 方法 | 材 料 | 粒度 mm (目) | 喷射压力 (MPa) | 应用范围 |
|-----------------------|-------------|--------------------------|---------------|------------------------|
| 压缩 空气 喷砂 (丸) | 硅砂或棕 刚玉砂 | 0.850~0.425 (20~40目) | 0.3~0.6 | 铸钢、低合 金钢、高温 合金铸件 |
| | 铁丸 | 0.5~2mm | 0.5~0.6 | |
| | 硅 砂 | 0.425~0.212 (40~70目) | 0.1~0.15 | 有色合金铸 件 |
| | 铁 丸 | 0.5~1.5mm | 0.3~0.4 | |
| 水压 喷砂 | 整形砂或 玻璃丸 | 0.212~0.150 (70~100目) | 0.2~0.3 | 铸钢、耐热 合金铸件 |
| | 碳化硅丸 | 0.15~0.106 (100~140目) | 0.1~0.15 | 有色合金及 有特殊要求 的铸件 |

表 7-80 碱洗滚筒技术参数

| 项 目 | 技术参数 |
|------------------|---------|
| 生产率 (kg/h) | 25~50 |
| 水槽容积 (L) | 400 |
| 装件质(重)量 (kg) | 100 |
| 滚筒转速 (r/min) | 9.5~10 |
| 加热水槽水蒸气消耗 (kg/h) | 56 |
| 水蒸气压力 (kPa) | 294~392 |

表 7-81 清洗剂及工艺参数

| 用途 | 溶 液 | | | | 时间 (h) | 中 和 处 理 | | | | | |
|-------------------------|---------|--------|-----------------|----------------------------|---------|-----------|-----------|------|-----------|------------|-------------|
| | 材料 | 浓度 (%) | 温度 (°C) | 每公斤型壳碱液消耗 (kg) | | 氧化铬 | 硫酸 | 氯化钠 | 水 | 处理时间 (min) | 清洗 |
| 清除铸钢件表面粘砂 | 工业 NaOH | 20~30 | 沸腾 | 0.8~1 | 4~8 | — | — | — | — | | 热水清洗 |
| | 工业 KOH | 40~50 | 沸腾 | 1.3~1.4 | 4~8 | — | — | — | — | | |
| 清除合金钢件表面粘砂 ^① | 工业 NaOH | 15~25 | 沸腾 | 0.8~1 | 4~8 | 90g | 30g | 1.2g | 1kg | 2~3 | 流动水洗 |
| 清除铸钢件表面粘砂 | 苛性苏打 | 50 | 110 ~ 120 | — | 2~4 | — | — | — | — | — | 清水冲洗 |
| 清除石英玻璃陶瓷型芯 | NaOH / | 35 / | 400 ~ | 0.5~0.7 铸件预热 至 200°C | 24~48 | 磷酸 25% | 盐酸 25% | — | 余量 | 240 | 沸水煮 冷水冲洗 |
| | KOH | 65 | 500 | | | | | | | | |
| 清除石英玻璃管型芯 | HF 酸 | ≥40 | 室温 | — | 1.0~2.5 | — | — | — | 水冲 至中性 | — | 热水 |

① 中和处理水溶液温度为 18~28°C。

表 7-82 电化学清理工艺参数

| 碱 液 | | | | 电 极 | | 电 流 (A) | 电 压 (V) | 清 洗 | |
|----------|----------|---------|---|---------|----|---------|---------------------------|------|-----------|
| NaOH (%) | NaCl (%) | NaF (%) | Na ₂ B ₄ O ₇ (%) | 温度 (°C) | 阳极 | | | | 阴极 |
| 85~90 | 10~15 | — | — | 400~500 | 坩埚 | 铸件筐 | 800~1200 | 6~12 | 水洗 6~8min |
| 75~95 | — | 1~15 | 1~5 | 450~500 | 坩埚 | 铸件筐 | 电流密度 4~6A/cm ² | 2~6 | 冷水或热水 |

2.6 熔模铸件常见缺陷分析

(续)

熔模铸件常见缺陷分析, 见表 7-83。

表 7-83 熔模铸件常见缺陷分析

| 1. 铸件表面粗糙有单个或密集的尖头铁刺 | |
|---|---------------------------------------|
| 形成原因 | 防止方法 |
| (1) 压型表面加工粗糙度高, 脱模剂不均匀, 压型表面不洁 | (1) 提高压型加工品质 (质量), 均匀涂沫脱模剂, 清洁压型表面 |
| (2) 模料混合不均匀, 再生处理不当, 皂化物多, 过滤不良 | (2) 改进模料处理工艺 |
| (3) 模料压注温度低, 压型温度低, 压注压力小, 液态模料中固相含量大 | (3) 适当提高模料压注温度, 减少液态模料中的固相含量 |
| (4) 面层水玻璃涂料模数过高 (> 3.2), 密度过大 (> 1.30), 涂料粉液比低, 胶凝收缩大 | (4) 用中模数、低密度水玻璃配料, 提高涂料粉液比, 减少胶凝收缩 |
| (5) 涂料与蜡模润湿不好, 屈服强度低, 涂覆性差 | (5) 适量加入表面活性剂, 用微粉调节硅溶胶涂料的屈服强度, 改善涂覆性 |
| (6) 面层涂料撒砂太粗 | (6) 面层撒砂要细 |

1. 铸件表面粗糙有单个或密集的尖头铁刺

| 形成原因 | 防止方法 |
|---------------------------------|---------------------------|
| (7) 型壳硬化前干燥不足 | (7) 型壳硬化前充分干燥 |
| (8) 型壳焙烧温度低, 时间短 | (8) 型壳要充分焙烧, 有足够的保温时间 |
| (9) 铸件清理时抛丸过粗大, 抛丸压力高, 铸件表面打出凹坑 | (9) 避免用粗丸抛丸清砂, 丸径 ≤ 0.5mm |

2. 表面铁豆 铸件表面有单个或密集的球形铁豆

| 形成原因 | 防止方法 |
|---|-----------------------------------|
| (1) 配料时由粉料带入气体, 涂料搅拌不充分, 回性时间短 | (1) 面层涂料要充分搅拌, 充分回性, 以使粘结剂与粉粒充分润湿 |
| (2) 涂料加入表面活性剂多, 搅拌时发泡多 | (2) 正确选择表面活性剂, 加入量勿过多, 加适量消泡剂消泡 |
| (3) 蜡模内角齿形、窄槽等处存留气泡未被涂料充填, 脱蜡后型壳表面有小球状或其它形状孔洞, 在铸件上形成铁豆 | (3) 仔细操作, 必要时局部用毛笔涂刷或吹气, 以去除该处气泡 |

(续)

3. 表面粘砂 铸件中表面或厚大处形成难以清除的粘砂层

| 形成原因 | 防止方法 |
|---|---|
| (1)金属液渗入型壳表面密集的孔隙中,孔隙受熔蚀而扩大进一步形成密集铁刺,其间夹有难清除的砂壳,形成以机械渗入为主的机械粘砂 | (1)根据本表对缺陷1采取的对策,尽量提高型壳表面致密度和连续度,克服型壳表面孔隙和胶凝收缩引起的表面缺陷 |
| (2)面层耐火材料选择不当,耐火度或热化学稳定性低,金属液与型壳表面发生热化学反应而进一步渗入孔隙,形成难以清除的界面反应产物,即化学粘砂 | (2)根据合金种类及其氧化物性质,正确选择耐火材料,减少界面反应产物。高锰钢等高合金钢采用碱性耐火材料为面层涂料及撒砂材料 |
| (3)金属液氧化严重,浇注温度过高,浇注系统设计不良,造成型壳局部过热或静压头过高 | (3)快速熔炼,充分脱氧,在保证充填良好的前提下,适当降低浇注温度,改进浇注系统设计,降低壳温 |

4. 表面夹砂 铸件大平面或厚大处形成沟槽、鼠尾、夹砂或穿透壁厚孔洞,伴有砂眼

| 形成原因 | 防止方法 |
|---|--|
| (1)面层涂料在焙烧或浇注时发生鼓胀、开裂或翘起而形成沟槽、鼠尾或夹砂 | (1)改变铸件结构设计,减少或分割大平面 |
| (2)面层与加固层材料热膨胀率相差过大,导致层间热应力而分层、开裂或翘起 | (2)面层硅石粉涂料中加入适量铝硅系低膨胀性粉料,以减缓表面层的膨胀量 |
| (3)面层撒砂过细、砂中粉尘及水分高,形成浮砂分层 | (3)适当加大面层撒砂粒度,减少砂中粉尘和水分,加固层涂料中加入适量表面活性剂 |
| (4)第二层涂料粘度过大,未能渗入面层砂粒间隙中;层间残留硬化剂过多等原因导致层间结合不牢 | (4)用氯化铝硬化时,淋水冲洗净1~2层涂料上的残留硬化剂 |
| (5)面层涂挂后撒砂不及时,涂料结皮而未粘牢砂子 | (5)撒砂要及时周到。 |
| (6)焙烧时入炉温度过高或升温过快 | 降低第2层涂料粘度,使之与面层充分渗透加强其间的结合力 (6)正确选择型壳焙烧温度,硅砂型壳适当降低入炉温度和升温速度 |

5. 表面麻点 铸件表面上形成分散性或密集性细小的圆点状凹坑,有时形同表面气孔或渣孔。多产生于含Cr高的不锈钢铸件。碳钢和水玻璃型壳浇注的铜合金铸件也有发现

| 形成原因 | 防止方法 |
|--|---|
| (1)水玻璃型壳因涂料层过厚或局部堆集,硬化时间过长,型壳中残留较多钠盐,浇注时发气量大 | (1)水玻璃型壳要均匀涂挂,硬化要快而均匀 |
| (2)金属与型壳相互作用,含Cr高的410、303、17-4pH等钢形成表面下深20~100 μm 的浅穴,穴中多有尖晶石类氧化物如 Fe_3O_4 、 FeO 、 Cr_2O_3 等 | (2)浇注不锈钢铸件要力求提高型壳表面致密度和连续度,防止因透气性过高而过度氧化 (3)还原气氛下浇注和冷却 (4)脱氧要严格控制纯铝加入量。高合金钢和耐热合金最好用 CaSiMn 脱氧剂(加0.08%~0.15%) |

(续)

6. 铸件表面鼓胀 铸件厚实处胀大,局部变形,多产生于水玻璃型壳浇注的铸件

| 形成原因 | 防止方法 |
|--|--|
| (1)型壳高温抗热变形能力低,浇注后在高温液态金属静压力作用下,软化变形而使铸件壁厚局部鼓胀 | (1)加固层涂料选用铝硅系粘土质熟料,保证涂料粉液比。强化型壳的焙烧工艺,改善其高温力学性能 |
| (2)厚大铸件型壳层数不够,以致浇注后外表面温度超过900 $^{\circ}\text{C}$ 而发生鼓胀 | (2)厚大铸件适当增加型壳层数,浇注后瞬间型壳外表面温度低于800 $^{\circ}\text{C}$ |
| (3)浇注温度或型壳温度过高 | (3)在保证充填良好的条件下,适当降低浇注温度或型壳温度 |
| (4)浇口设计不当,致使型壳局部严重过热;直浇道过高压头过大 | (4)浇口设计要防止局部严重过热 (5)直浇道勿过高,通常以<400mm为宜 |

7. 表面结疤 铸件表面形成高出表面的小块结疤,其表面粗糙,俗称蛤蟆皮,多产生于水玻璃型壳

| 形成原因 | 防止方法 |
|--|--|
| (1)涂料层过厚或局部堆集,硬化不透,脱蜡时若水温低,时间长,硬化不足处因强度高而脱皮(脱蜡后即可发现) | (1)提高型壳湿强度,面层要充分硬化,提高脱蜡水温,快速脱蜡 |
| (2)面层涂料因模数或密度过高导致水玻璃粘度大,涂料粉液比低,水玻璃成分多而硬化不透,以致残留在型壳表面钠盐局部集聚,浇注后与液态金属作用而形成结疤 | (2)脱蜡水呈酸性。缺陷严重时可在脱蜡后用稀盐酸或 NH_4Cl 水溶液洗壳 (3)面层涂料用水玻璃模数和密度勿过高,提高涂料粉液比,面层要充分自干和充分硬化,减少型壳面层钠盐含量($\leq 0.01\%$) |

8. 表面皱皮(桔皮状缺陷) 铸件表面、内角或凹槽处有皱纹或凹凸不平的表面缺陷

| 形成原因 | 防止方法 |
|---|--|
| (1)水玻璃面层涂料化学硬化时急剧的胶凝收缩使涂料硬化层脱离蜡模表面,未硬化部仍留在蜡模表面,脱蜡后即在型壳表面形成桔皮状缺陷,浇注后在铸件上相应部位形成皱皮缺陷 | (1)涂料涂挂均匀,硬化前面层充分自然干燥 |
| (2)冬季硬化剂温度较高但涂料层温度过低,二者的温差导致较大的胶凝收缩而形成桔皮缺陷 | (2)面层用低密度水玻璃高粉液比涂料 (3)面层涂料充分搅拌和回性 (4)冬季涂料升温、室温勿过低,减少涂料层与硬化剂的温差 (5)硬化剂浓度要符合规定要求,不可过高 |

(续)

9. 气孔 由外来气体侵入铸件而形成,较集中,呈圆球或类圆球形,内表面光滑

| 形成原因 | 防止方法 |
|---|---|
| (1)水玻璃型壳焙烧不良,型壳发气量大 (2)涂料粘度过大,层数过多,导致型壳透气性降低 (3)浇注系统设计不正确,形成吸气或卷入气体,浇注速度太快形成紊流或涡流 | (1)保证型壳的焙烧温度和保壳发气量 (2)在保证型壳高温强度的条件下,尽量减少层次,提高透气性 (3)防止涂料堆集和硬化剂集聚,减少发气量 (4)正确设计浇口、平稳浇注,防止卷入气体 |

10. 分散性气孔 又称析出气孔,呈分散状态分布在铸件各处,厚大断面尤多

| 形成原因 | 防止方法 |
|--|---|
| (1)合金液中溶解气体过多,铸件冷凝时溶解度下降而形成析出气孔 (2)熔炼时炉料锈蚀严重,熔炼时间过长,渣渣保护不良,有时与缩松并存 (3)低碳钢吸气性大,极易产生多孔性气孔 (4)铝合金熔炼时除气精炼不良 | (1)净化炉料,减少锈蚀和吸气 (2)快速熔炼,减少熔液氧化 (3)选用珍珠岩类优质除渣剂,出钢前多次充分除渣 (4)采用复合脱氧剂,充分脱氧,铝合金熔炼要严格掌握精炼工艺 (5)采用真空熔炼与浇注 (6)浇口安置泡沫陶瓷过滤器 |

11. 渣孔 铸件中有充塞熔渣的孔洞

| 形成原因 | 防止方法 |
|---|--|
| (1)熔炼时炉料不洁,熔炼时间过长,金属元素氧化严重 (2)炉壁侵蚀严重,除渣措施不力 (3)浇注系统设计不当,浇注时挡渣不良,钢液二次氧化形成二次夹渣混入铸件中 | (1)净化炉料、坩埚及用具,缩短熔炼时间 (2)浇注前充分脱氧,除渣 (3)正确设计浇注系统,减少紊流和涡流,防止合金二次氧化 (4)浇注系统中安置泡沫陶瓷过滤器 |

12. 砂眼 铸件中有充塞砂粒或型壳碎片的孔眼

| 形成原因 | 防止方法 |
|--|--|
| (1)蜡模与浇口焊接处有缝隙,面层涂料渗入其中而形成涂料飞边,浇注时将飞边冲入型腔中 (2)型壳分层,脱蜡时内表面局部脱落 (3)脱蜡前浇口杯未清理干净,浮砂落入型腔 (4)热水脱蜡时,脱蜡槽中砂子活物翻腾进入型腔 (5)型壳存放、搬运过程中落入砂子 (6)型壳焙烧及浇注时,因分层膨胀开裂和夹砂,部分砂壳脱落 | (1)追踪与分析砂壳夹杂物的可能来源,进行现场查询和实物解剖观察 (2)防止蜡模与浇口焊接处产生虚焊 (3)加强型壳层间结合力,提高湿强度 (4)采用翻边内浇口,脱蜡前清理干净 (5)定期清理脱蜡槽,脱蜡水勿沸 (6)加强型壳品质(质量)管理,健全责任制,防止杂物落入型壳 (7)防止型壳形成夹砂 (8)采用泡沫陶瓷过滤器 |

(续)

13. 缩孔、缩松 铸件内部产生集中缩孔、分散缩松或表面缩陷,前二者内表面粗糙,后者表面较光滑

| 形成原因 | 防止方法 |
|---|---|
| (1)浇冒口设计不合理,铸件浇注位置选择不当,导致厚大部分补缩困难 (2)浇注温度或壳温过高 (3)蜡模在浇口棒上组焊位置不当或数量过多,造成型壳局部散热困难 | (1)改进铸件工艺设计,正确选择浇冒口位置,控制铸件模组的温度场分布,以利顺序凝固和补缩 (2)适当降低浇注温度和壳温 (3)合理布置蜡模组焊位置和数量,避免局部热量过于集中 |

14. 裂纹 铸件在高温下形成的表面或穿透的开裂,并显现氧化色为热裂;冷态下开裂称为冷裂,断口新鲜无氧化痕迹

| 形成原因 | 防止方法 |
|--|---|
| (1)铸件结构设计不合理,壁厚交接处圆弧太小,壁厚相差悬殊 (2)合金热裂倾向性大,型壳高温强度太高,退让性差,阻碍收缩应力大 (3)浇冒口位置设计不当,型壳温度分布不合理,铸件中形成较大热应力及残余应力 (4)壳温过低,浇温过高 | (1)改善铸件结构设计 (2)正确选择合金或适当调正合金成分,降低其热裂倾向 (3)正确设计浇冒口位置,均衡铸件及型壳温度场分布 (4)铸件上必要部位增设防裂工艺筋 |

15. 铸件脆断 铸件在脱壳或加工过程中发生脆断,断口粗大呈冰糖状

| 形成原因 | 防止方法 |
|--|---|
| (1)脱氧剂铝加入量过多,形成氯化铝呈冰糖断口,脆性大 (2)钢液过热造成断口晶粒粗大 | (1)严格控制脱氧剂铝的加入量;防止混料,净化炉料,充分脱氧,最好用复合脱氧剂 (2)防止钢液过热,脱壳温度不宜过高 |

16. 铸件表面铸态脱碳 中碳钢铸件表面铸态下形成半脱碳层(珠光体含量低)和全脱碳层(全铁素体)

| 形成原因 | 防止方法 |
|---|---|
| 铸件浇注后在氧化性气氛中冷却,在型壳透气性好的情况下,表面铁氧化的同时形成碳的氧化而产生脱碳层,厚约0.1~0.5mm,严重时达1mm以上,且随铸件中含碳量增加而加厚 | (1)制壳材料和工艺实行综合优化,提高型壳致密度和连续度 (2)浇注后用蜡屑或煤油燃烧脱碳层,厚约0.1~0.5mm,形成还原性气氛,铸件在还原性气氛下凝固和冷却 (3)尽可能降低壳温,加快冷却速度 (4)面层涂料中加入适量供氧材料,提高表面供氧强度,使脱碳层与氧化皮一道脱落 |

(续)

17. 浇不到和冷隔 型腔未完全充满或有未融合的缝隙,交接处边缘光滑

| 形成原因 | 防止方法 |
|-------------------------------|--|
| (1)浇注温度或壳温过低 | (1)适当提高浇注温度和壳温 |
| (2)脱氧不良,合金液含气量大,流动性差 | (2)净化炉料,快速熔炼,充分除渣和脱氧,提高合金流动性 |
| (3)浇注系统设计不合理,直浇道高度低,压头小 | (3)浇道设计力求减少流程阻力,适当提高直浇道静压头,直浇道剩余压头 $\geq 100\text{mm}$ |
| (4)型壳焙烧不透,发气性高,透气性低,浇注时气体反压力大 | (5)充分焙烧型壳,减少发气性,提高透气性 |
| (5)浇速慢或浇注断流 | (6)连续快速浇注,不断流 |
| (6)铸件壁太薄或有精细凸起,齿形等处缺肉 | (7)对某些带精细表面的铸件,可采用低压、离心、负压、真空吸铸等方法浇注 |

18. 铸件变形和跑火 铸件冷却后几何形状发生变化;浇注时漏钢液;窄槽或内孔型壳裂漏

| 形成原因 | 防止方法 |
|---|---|
| (1)加固层涂料耐火材料热震稳定性差,粉液比低,导致型壳高温抗变形能力差,高温强度低 | (1)选择热稳定性高的耐火材料为加固层,保证足够的粉液比 |
| (2)型壳焙烧温度低,未形成有利于高温性能的物相组成;或焙烧温度过高,型壳因自重而发生蠕变变形 | (2)保证合理的焙烧温度和保温时间,避免过低或过高 |
| (3)浇注温度过高或浇注时壳温过高 | (3)适当降低浇注温度和壳温 |
| (4)型壳脱蜡时已出现裂纹,经焙烧和浇注,裂纹扩张而跑火 | (4)严格控制脱蜡工艺参数,仔细检查脱蜡后型壳裂纹情况 |
| (5)型芯或窄槽跑火多因气体堵塞未能充分涂挂而出现空隙,浇注时为钢液冲穿造成内孔跑火 | (5)对于带小孔或沟槽的铸件,第1~2层涂料粘度宜小,要涂挂均匀并保证撒砂周到,使孔隙中完全为涂料充满不留空隙,必要时可在涂挂第1~2层后用于砂封堵剩余空间,防止出现空隙 |

3 金属型铸造

金属型铸造是在重力下,将熔融金属或合金,浇入金属材料制成的铸型内获得铸件的工艺方法。故又称为硬模铸造、永久型铸造、重力模铸等。金属型铸造既可以用金属芯,也可以用砂芯取代难以抽拔的金属芯,所以它既适用于复杂的铝合金、镁合金等有色合金铸件,也适合于黑色金属铸件。

3.1 金属型铸造的特点

3.1.1 金属型铸造的优缺点

3.1.1.1 金属型铸造的优点

- 1) 由于金属型导热性高,散热快,可以得到细小、致密的结晶组织,提高铸件的力学性能。
- 2) 能获得较高尺寸精度和较低表面粗糙度的铸件。

3) 与砂型铸造相比,金属型使用寿命长,一般可以使用几千次至数十万次。可以不用或很少用型砂,节省型砂运输和型砂处理所需费用和大量劳力,减少灰尘和有害气体的污染,改善劳动条件,提高安全生产程度,并可避免砂型铸造的一些铸件缺陷。

4) 与压力铸造比较,不需要复杂的铸造机械;不需要特种的模具材料及热处理;铸件可焊接、热处理,并能耐较高的温度和压力。

5) 与熔模铸造相比,有色合金金属型铸件的尺寸精度和表面品质(质量)不低,且生产周期短,内部品质(质量)高,成本低。

6) 操作容易掌握,能较快培养工人;工序简单,生产效率较高;易于实现机械化。

3.1.1.2 金属型铸造的缺点

1) 金属型本身没有退让性,铸件形成裂纹的倾向性较大,应避免浇注结晶间隔大、收缩大、裂纹倾向性大的合金。

2) 铸件尺寸精度和表面品质(质量)比压铸低,铸件壁厚不能太薄,一般不小于2mm。

3) 用机械加工制造的金属型,制造周期较长、成本较高。因此只有在成批生产或大量生产时,才能显出好的经济效果。用陶瓷型铸造金属型成本低、周期短,已普遍推广使用;以铅型铸造铝铸件也早有应用。

3.1.2 金属型铸件的工艺要求

见表7-84~表7-88。

表 7-84 金属型铸件质量(重量)、精度、表面粗糙度

| 项 目 | | 数 据 | |
|---------------|--------------------|--------------------------|-----------------|
| 铸 件 重 量 | 铸铁件 | 一 般 | 数 kg 至 100kg 左右 |
| | | 质量最大 | 曾铸过达 3t 的铸件 |
| | 铸钢件 | 一 般 | 数 kg 至 100kg 左右 |
| | | 质量最大 | 曾铸过达 5t 的铸件 |
| | 轻合金 | 一 般 | 数十 g 至几十 kg |
| | | 质量最大 | 超过 200kg 的铸件较少见 |
| 铜合金铸件 | | 数百 g 至几十 kg | |
| 铸件精度 | 按国标 (GB6414—86) | 一般为 CT7~9 级、轻合金为 CT6~8 级 | |
| 铸件表面 粗 糙 度 | 一 般 | $R_a 6.3 \sim 12.5$ | |
| | 最 高 | $R_a 3.2$ | |

注:铸件质(重)量一栏中不包括使用金属型铸造的轧辊及钢锭。

表 7-85 金属型铸件最小壁厚 (mm)

| 铸件外形尺寸 | 铸钢件 | 灰铸铁件 | 可锻铸铁件 | 铝合金铸件 | 镁合金铸件 | 铜合金铸件 |
|---------------------|-----|----------|---------|-------|-------|-------|
| | | (含球墨铸铁件) | | | | |
| < 70 × 70 | 5 | 4 | 2.5-3.5 | 2-3 | — | 3 |
| 70 × 70 ~ 150 × 150 | — | 5 | — | 4 | 2.5 | 4-5 |
| > 150 × 150 | 10 | 6 | — | 5 | — | 6-8 |

表 7-86 金属型铸件内孔的最小尺寸 (mm)

| 铸造合金 | 孔的最小直径 | 孔 深 | |
|------|--------|-------|-------|
| | | 不穿透孔 | 穿透孔 |
| 铸 铁 | > 12 | > 15 | > 20 |
| 铸 钢 | > 12 | > 15 | > 20 |
| 锌合金 | 6-8 | 9-12 | 12-20 |
| 镁合金 | 6-8 | 9-12 | 12-20 |
| 铝合金 | 8-10 | 12-15 | 15-25 |
| 铜合金 | 10-12 | 10-15 | 15-20 |

表 7-87 推荐的起模斜度 (壁高的 %)

| 铸造合金 | 铸件的 外表面 | 铸件的內表面 (金属芯) | |
|------|------------|--------------|--------------|
| | | 高度 > 50 (mm) | 高度 ≤ 50 (mm) |
| 铸 铁 | 1.5 | 3-4 | 8 |
| 铸 钢 | 1.5 | 3-4 | 8 |
| 锌合金 | 0.5 | 1.0 | 2 |
| 镁合金 | 1 | 2-3 | 3 |
| 铝合金 | 1 | 2-2.5 | 5 |
| 铜合金 | 1.5 | 3-3.5 | 7 |

表 7-88 铸造圆角与加强肋 (筋) (mm)

| 铸造合金 | 铸造圆角 (R) | 铸件加强肋 (筋) |
|------|---|--|
| 一般合金 | $R = \frac{1}{4-6} (A + B)$ 式中 A、B——铸件相邻壁的厚度 | 加强肋 (筋) 不应厚于主壁部分的 0.6-0.7 倍, 两加强肋 (筋) 间的最小距离不得小于 4 |
| 铸 铁 | $R = \frac{2n}{\sqrt{\delta}}$ 式中 n——金属型壁厚 δ——铸件壁厚 | |

3.2 金属型铸造机的选用

3.2.1 金属型铸造机分类 (表 7-89)

表 7-89 金属型铸造机分类

| 类 别 | 特 点 | 开型力 (kg) | 应 用 范 围 | |
|---------|----------|--|----------|----------------------------|
| 按用途分类 | 专用金属型铸造机 | 专用铸造机, 一般是为一种产品服务, 它与金属型是一个整体, 容易调整, 使用方便, 但设计制造周期长, 成本高 | 不限 | 适合于大型复杂, 需要多种操作程序和大量生产的金属型 |
| | 通用金属型铸造机 | 用于若干同一类型不同尺寸的金属型, 简化了金属型结构, 设计制造周期短, 成本低 | 不限 | 多品种成批生产的金属型, 航空工厂比较适用 |
| 按动力来源分类 | 手动金属型铸造机 | 手工操作, 结构简单, 制造方便 缺点: 劳动强度大, 开型力小 | 100-500 | 适用于简单的中小型和小批生产的金属型 |
| | 气动金属型铸造机 | 利用压缩空气传动, 操作维护方便, 劳动强度低 缺点: 受压缩空气限制, 力量小, 运动不平稳 | 500-2000 | 适用于简单的中小型和成批生产的金属型 |
| | 电动金属型铸造机 | 利用电动机带动传动机构开合金属型, 操作方便, 运动周期准确 缺点: 结构复杂, 成本高 | > 1000 | 适用于复杂的和成批或大量生产的金属型 |
| | 液压金属型铸造机 | 利用油压传动, 体积紧凑惯性小, 运动平稳, 操作方便 缺点: 有噪声, 成本高 | > 1000 | 适用于各种复杂的和成批或大量生产的金属型 |

3.2.2 金属型的开型力和抽芯力

影响金属型开型力和抽芯力的因素较多。例如：铸造合金的性能、金属型和型芯的结构、铸造斜度的大小、预热、浇注温度、涂料成分、涂料厚度以及铸件在金属型中停留的时间等。这些因素一般难以准确的知道，有的变化相当大，用计算的方法所求得开型力和抽芯力比实际要大得多，而且这些计算很繁琐，生产实践中很少采用。下面介绍有关工厂在生产中，通过实际测量总结出来的开型力和抽芯力的经验数据，供参考。

3.2.2.1 金属型的开型力 (图 7-17) 实例：某油泵壳体的金属型，铸件材料为铝合金，铸件带浇冒口质(重)量 5.1kg，属于复杂型腔，在生产正常的情况下，测量的开型力为 1800~2000kg，该金属型

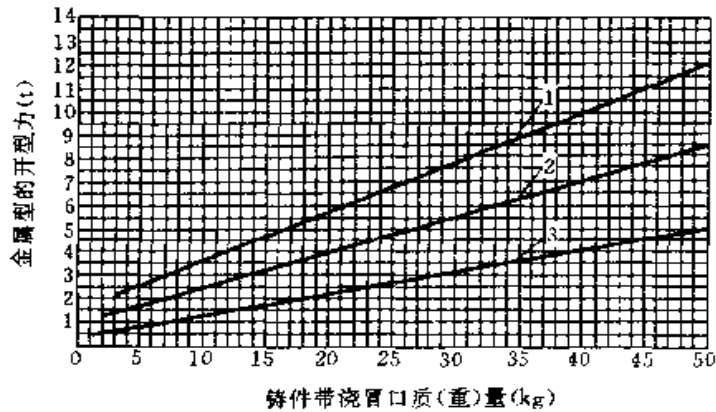


图 7-17 铝合金铸件金属型的开型力

- 1—复杂型腔：型腔阻碍铸件收缩能力很大
- 2—中等型腔：型腔阻碍铸件收缩能力较大
- 3—简单型腔：型腔阻碍铸件收缩的能力较小，铸件的形状一般为简单的旋转体结构的金属型

安装在开型力为 2200kg 的液压铸造机上生产，开型取出铸件很方便。

3.2.2.2 金属型芯的抽芯力 (图 7-18) 举例：圆型芯直径为 140mm，成形长度为 100mm，铝合金铸件，起模斜度为 3°。从图 7-18 中根据型芯直径为 140mm 查得 10mm 时的抽芯力为 400kg，所以长为 100mm 的抽芯力为

$$400 \times \frac{100}{10} = 4000\text{kg}$$

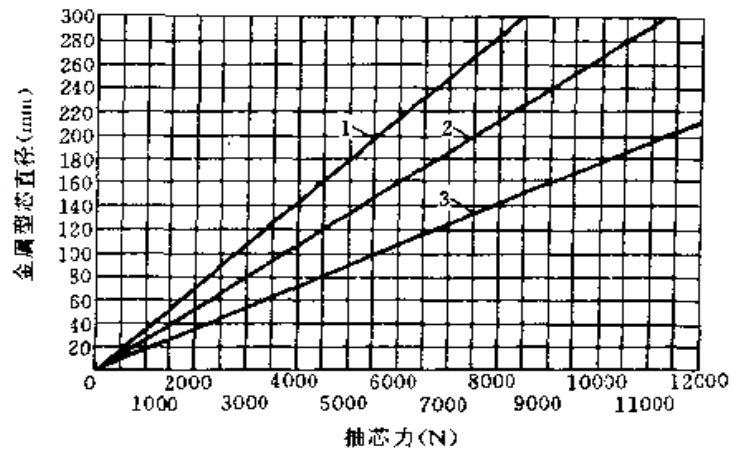


图 7-18 型芯长 10mm 的铝合金铸件的抽芯力

- 1—金属型芯起模斜度为 3°
- 2—金属型芯起模斜度为 2°
- 3—金属型芯起模斜度为 1°

3.3 铸造工艺设计

3.3.1 铸件分型面的选择

分型面的选择首先要考虑铸件在金属型中的位置，铸件在金属型中位置选择原则见表 7-90，分型面选择原则见表 7-91。

表 7-90 铸件在金属型中位置选择原则

| 原 则 | 图 | 例 |
|----------------------|-------|-----|
| | 不 合 理 | 合 理 |
| 便于安放浇注系统，保证合金液平稳充满铸型 | | |

(续)

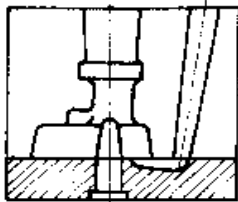
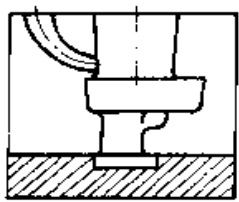
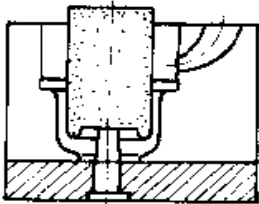
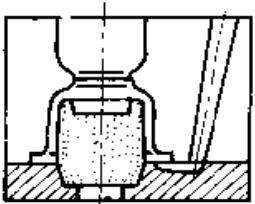
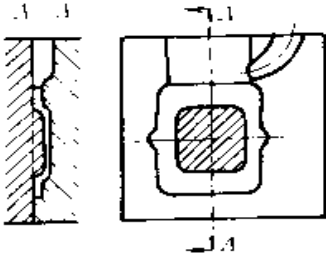
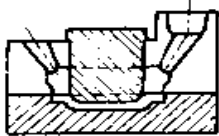
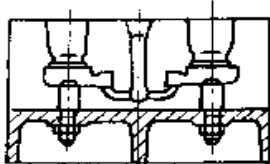
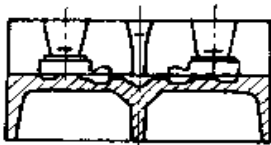
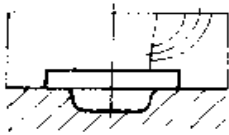
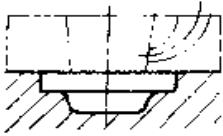
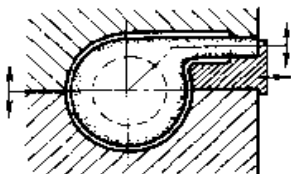
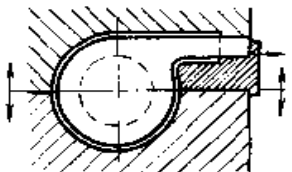
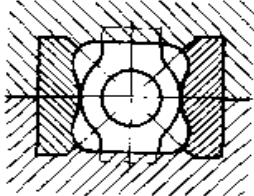
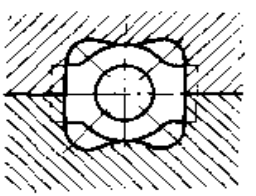
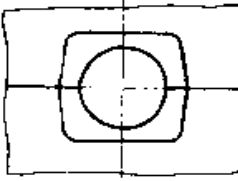
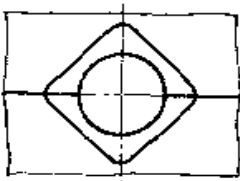
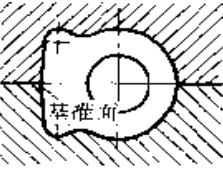
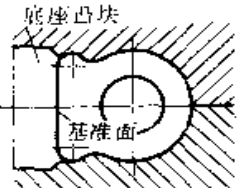
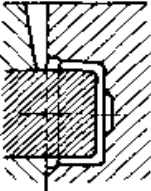
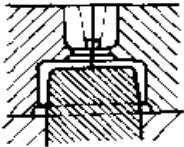
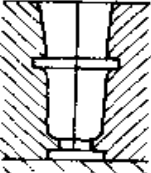
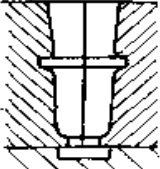
| 原 则 | 图 例 | |
|----------------------------|---|---|
| | 不 合 理 | 合 理 |
| 便于合金液顺序凝固保证补缩 |  |  |
| 型芯（或活块）数量最少、安装方便、稳固，取出容易 |  |  |
| 力求铸件内部质量均匀一致，盖子类及碗状铸件可水平安放 |  |  |
| 便于铸件取出，不致拉裂变形 |  |  |

表 7-91 分型面选择原则

| 原 则 | 图 例 | |
|--------------------|---|---|
| | 不 合 理 | 合 理 |
| 简单铸件，分型面最好不要通过零件本体 |  |  |
| 分型面尽可能在一个平面上 |  |  |

(续)

| 原 则 | 图 例 | |
|---------------------|---|---|
| | 不 合 理 | 合 理 |
| 尽量减少活块的数量 |  |  |
| 减少起模斜度、保持尺寸精度 |  |  |
| 不破坏铸件基准面, 保证基准面尺寸准确 |  |  |
| 便于安放浇冒口, 便于气体从铸型中排出 |  |  |
| 便于铸件取出 |  |  |

3.3.2 浇冒口设计

3.3.2.1 金属型浇注系统的设计原则

- 1) 因为金属型冷却速度快, 故浇道尺寸稍大于砂型铸造的浇道尺寸;
- 2) 应使合金液平稳地流入铸型, 不直接冲击型壁及型芯, 避免产生涡流、飞溅;
- 3) 金属型本身不透气, 必须使合金液顺序地充

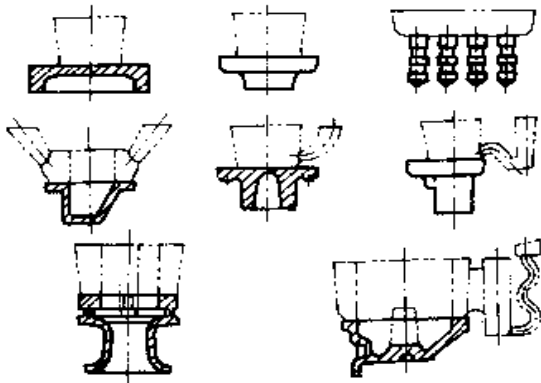
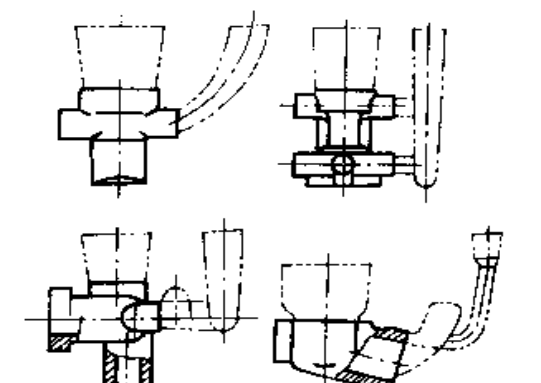
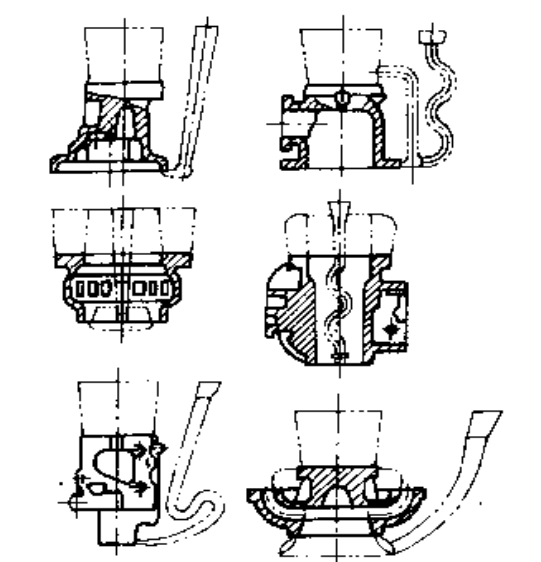
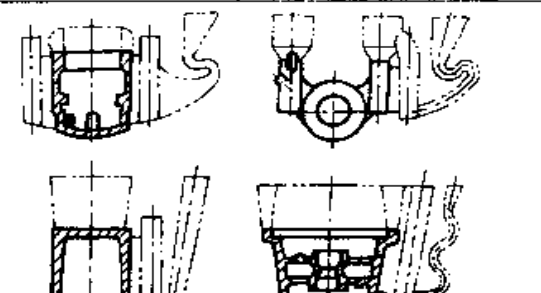
满铸型, 以利排气;

4) 由于冷却速度快, 铸型的热分布应合理, 便于合金液在铸型中定向凝固, 使金属消耗量少;

5) 浇注系统的设置, 应使铸型操作简单, 开型、取件方便。

3.3.2.2 浇注系统的形式 (表 7-92)

表 7-92 金属型浇注系统的形式

| 形式 | 图 例 | 特 点 与 应 用 |
|-----|---|--|
| 顶注式 |  | <p>优点： (1) 铸型热分布合理，对合金定向凝固有利 (2) 能以大流量充填铸型，缩短了充型时间 (3) 浇道金属消耗量少 (4) 铸型设计、制造方便 (5) 切割浇冒口简单</p> <p>缺点： 不利于排气、排渣，铸件易产生氧化、夹渣</p> <p>应用： 适于矮而简单的零件，一般： 镁合金铸件高度不大于 80mm 铝合金铸件高度不大于 100mm。当高度为 100~200mm 时，宜用倾斜浇注，倾斜角 30°~50°，减轻合金液的冲击</p> |
| 中注式 |  | <p>特点： (1) 合金液的流动比顶注平稳，但不能完全避免冲击和涡流 (2) 能获得比底注较合理的热分布 (3) 浇冒口切割方便</p> <p>应用： 高度在 100mm 左右，外形特殊，如：两端与四周均有厚大安装边，难以采用其它浇道的零件，或不便于采用底注的零件</p> |
| 底注式 |  | <p>优点： (1) 合金液由下而上平稳充满铸型，有利于气体排除 (2) 设计不同形状的浇道，便于撇渣 (3) 内浇道的位置可以均布在铸件底部四周，合金液能大流量充填铸型 (4) 浇道设在铸件内部时，可以缩小铸型尺寸 (5) 浇冒口切割方便</p> <p>缺点： 热分布不利于合金液定向凝固</p> <p>应用： 广泛用于各种尺寸的铸件生产。对于工艺性不好的铸件，可采取下列措施： (1) 正确设计铸件的浇注位置，调整工艺余量，力争铸件成为上厚下薄 (2) 较大的铸件，当合金液进入冒口 1/3 时，从冒口内补注合金液 (3) 控制铸型涂料厚度，使其下薄上厚，铸件壁厚处涂薄，壁薄处涂厚，防止铸件缩松</p> |
| 缝隙式 |  | <p>优点： (1) 合金液由下而上逐渐进入铸型，流动平稳，挡渣、排气较好，能防止铸件氧化夹渣 (2) 铸型热分布合理，有利于补缩</p> <p>缺点： 切割清理浇冒口困难</p> <p>应用： 适于品质（质量）要求高的，或高度较大的筒状与板状零件，如：活塞、汽缸套、轮毂、薄板堵片等</p> |

注：大型铸件铸造，有时综合以上几种形式，汇集其优点，在一套浇注系统中同时选用两种或两种以上的形式。

3.3.2.3 浇注系统的组成部分

1. 浇口杯 小型铸件的金属型，一般不设计浇口杯。有时为了浇注方便，将直浇道上部加大，见图 7-19。

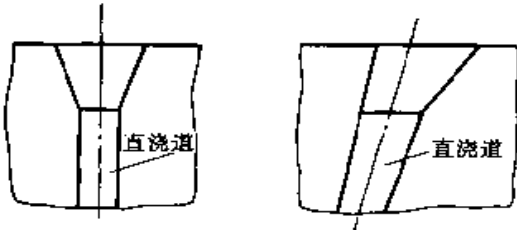


图 7-19 直浇道上部加大

为了增加浇注的压力头，浇口杯有时设计在凸出铸型外 50~80mm。采用焊接或螺钉连接的结构，可节省制型材料，见图 7-20。

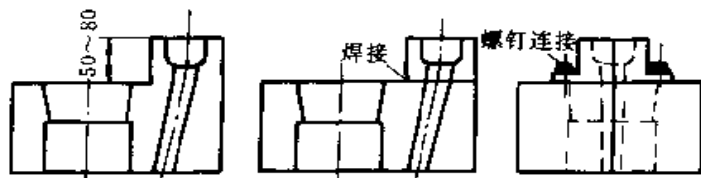


图 7-20 凸出在铸型外的浇口杯

采用活动式的浇口杯，可以通用，见图 7-21。

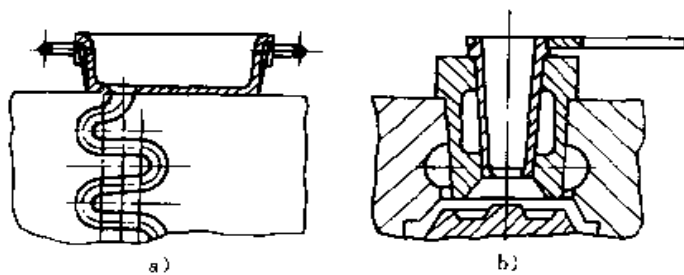


图 7-21 活动浇口杯

a) 用于要求较高的铸件 b) 用于要求不高的铸件

2. 直浇道 直浇道形状见图 7-22。垂直浇道浇入合金液时，对底部的冲击较大，所以垂直浇道高度一般不应超过 150mm。斜浇道高度不超过 250mm。斜浇道的斜角，见表 7-93。

表 7-93 斜浇道的斜角

| 浇道高度 | 斜度 |
|----------|---------|
| ~120 | 15°~20° |
| >120~260 | 8°~15° |

直浇道的断面见图 7-23，最好是圆形，因为在同等断面积时，圆形周长最短，散热面小。方形或棱形除散热面大外，棱角处还会使合金液因不均匀的运动

产生涡流，带入气体。但圆形浇道的直径最好不大于 25mm，因为太粗时容易在直浇道内产生涡流，浇注过程发生空心现象，见图 7-24。因此大型铝合金铸件浇注，直浇道可由 2~3 个组成。对于大型镁合金铸件金属型铸造可像砂型铸造那样设计成片状浇道，这种浇道多数由砂芯形成，然后再安装到金属型上，见图 7-25。

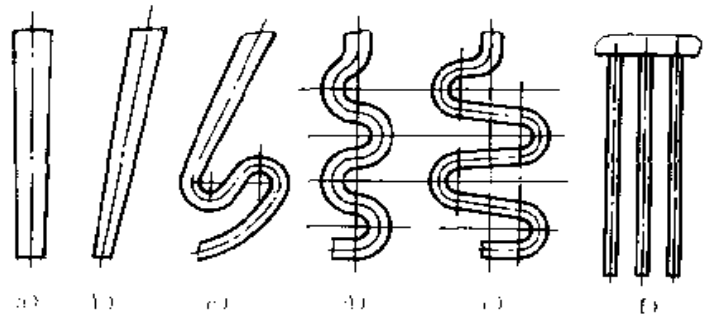


图 7-22 直浇道的形状

a) 垂直浇道 b) 斜浇道 c) 倾斜弯转浇道
d, e) 蛇形浇道 f) 垂直多浇道

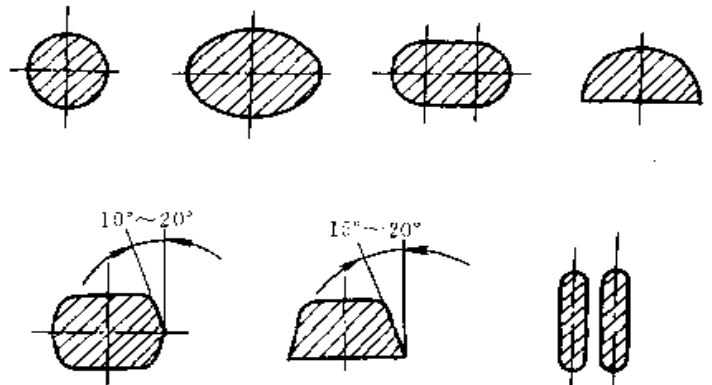


图 7-23 直浇道断面

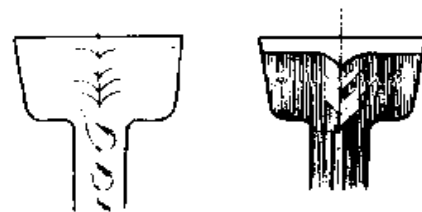


图 7-24 过粗的直浇道

3. 横浇道 横浇道起缓冲、稳流和挡渣等作用，并将直浇的金属液分配给内道。但金属型往往受分型面限制，除水平分型外，有的浇注系统不设横浇道，而设不同形状的直浇道或在直浇道下面设置集渣包，代替横浇道的作用，见图 7-26、7-27、7-28。

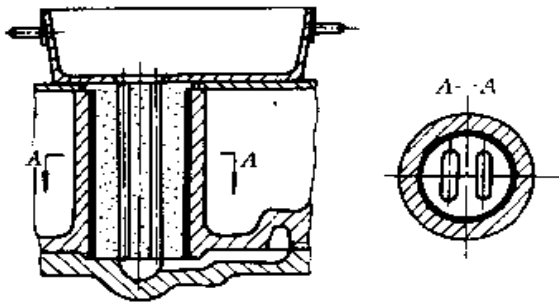


图 7-25 由砂芯形成的片状浇道

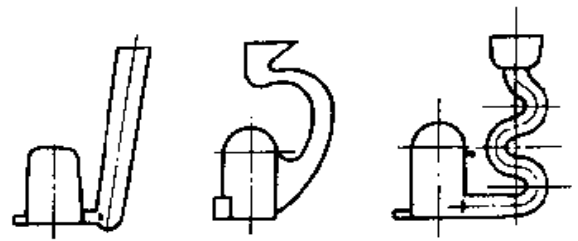


图 7-28 带集渣包的浇注系统

合金液由直浇道流入时，可能带有少量的气体和渣滓，可在直浇道底部或横浇道内置以过滤网挡渣，或破碎渣滓。见图 7-29。

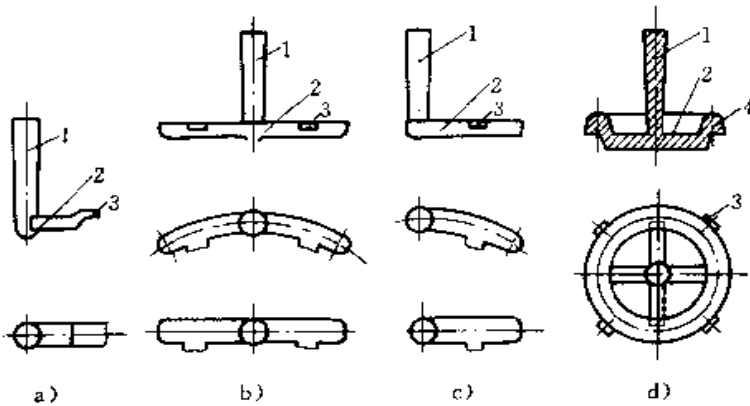


图 7-26 横浇道的形状

a、b、c) 适用于垂直分型 d) 适用于水平分型
1—直浇道 2—横浇道 3—内浇道 4—集渣包

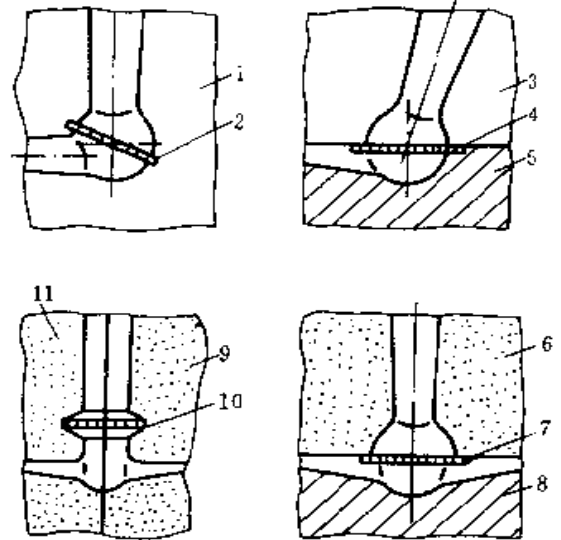


图 7-29 金属型中过滤网的安置

1、3—半型 2、4、7、10—过滤网 5、8—底型
6—砂芯或壳芯 9—右半砂芯 11—左半砂芯

金属型用的过滤网常用冲压的方法制成，其形状及尺寸推荐如图 7-30、表 7-94。

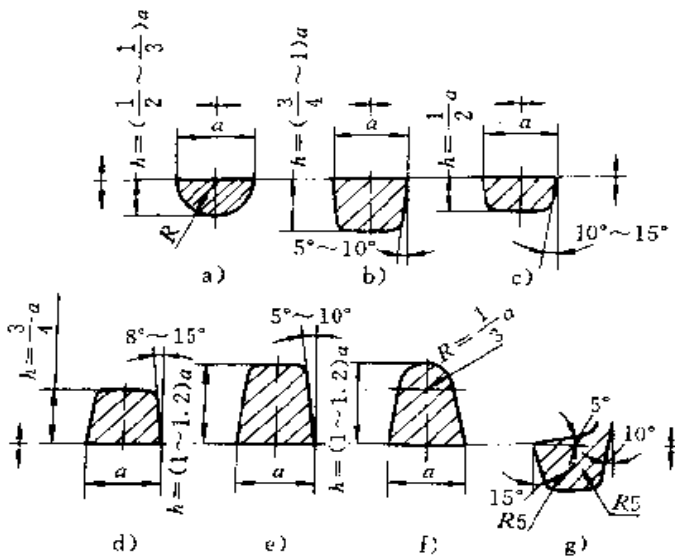


图 7-27 横浇道断面

a、b、c) 适用于垂直分型 d、e、f) 适用于水平分型
g) 适用于环形横浇道

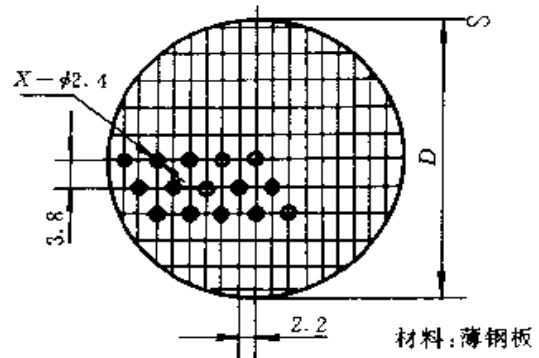


图 7-30 过滤网

表 7-94 过滤网尺寸

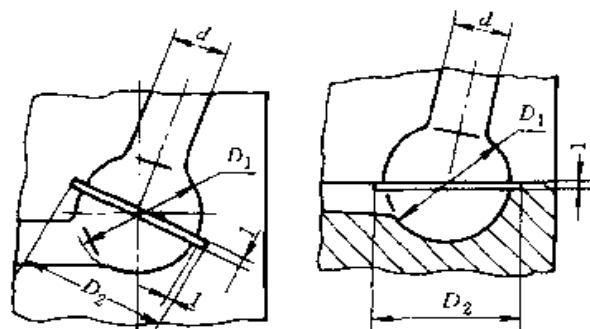
| D (mm) | 厚度 (mm) | 有效面积 (mm ²) |
|--------|---------|-------------------------|
| 30 | 0.3 | 1.91 |
| 35 | | 2.60 |
| 40 | | 3.40 |
| 50 | 0.5 | 5.32 |
| 60 | | 7.65 |
| 80 | | 13.60 |
| 90 | | 17.22 |
| 100 | | 21.25 |

选择过滤网直径大小的原则是，过滤网的有效面积应稍大于浇道的原断面积。采用推荐的过滤网（图 7-31）时，金属型上的安装孔尺寸见表 7-95。

若不选用推荐的过滤网，建议过滤网孔径不大于 3mm。

4. 内浇道 内浇道的位置、形状、大小直接影响着铸件品质（质量）。内浇道的位置应考虑铸型热量的分配、合金液在型腔中流动平稳、操作方便。内浇道的形状及断面见图 7-31、7-32。

表 7-95 过滤网安装孔尺寸 (mm)



| d | D ₁ | D ₂ | 过滤网的直径 D |
|----|----------------|----------------|----------|
| 10 | 20 | 32 | 30 |
| 12 | 26 | 32 | 30 |
| 14 | 30 | 37 | 35 |
| 16 | 33 | 37 | 35 |
| 18 | 36 | 42 | 40 |
| 20 | 42 | 47 | 45 |
| 22 | 46 | 52 | 50 |
| 24 | 50 | 62 | 60 |

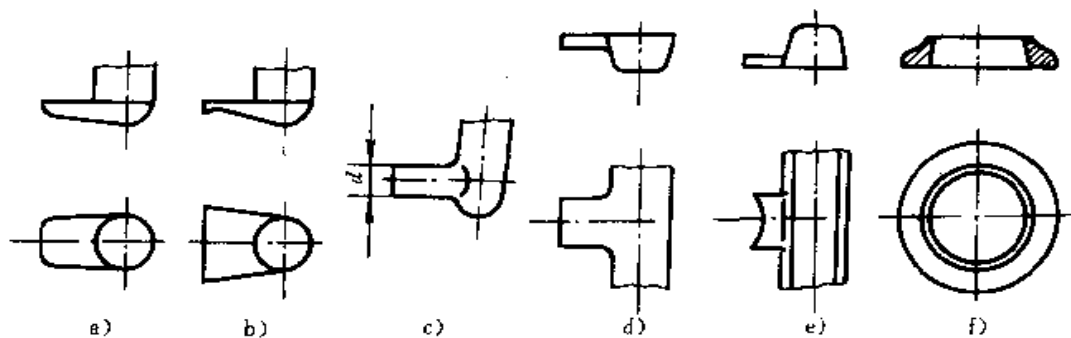


图 7-31 内浇道的形状

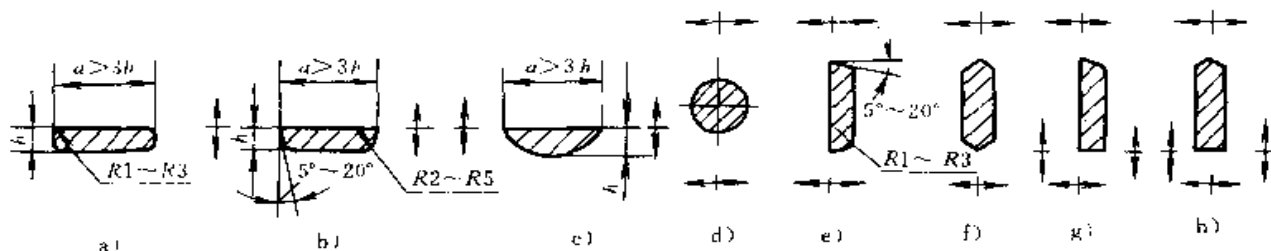


图 7-32 内浇道断面

a) 由砂芯形成 b、c、d、e、f、g、h) 由金属型形成

从热分布分析，开在铸件先凝固处的浇道，可从多处进入，浇道宽度与厚度比应大于 3:1，比例越大热分布越均匀。

从操作方便分析，内浇道尽量开在分型面上，见

图 7-33。

一般铸件底注时，内浇道厚度为铸件厚度的 50%~80%。

内浇道的长度应根据实际需要选择，过短会使内

浇道附近铸件因过热而产生缩松。内浇道一般较薄，因此过长会降低合金液的温度，影响充型，并使铸型外廓尺寸加大。一般小型铸件内浇道长 10~20mm，

中型铸件内浇道长 20~40mm，大型铸件内浇道长 30~60mm。

5. 缝隙浇道 见表 7-96。

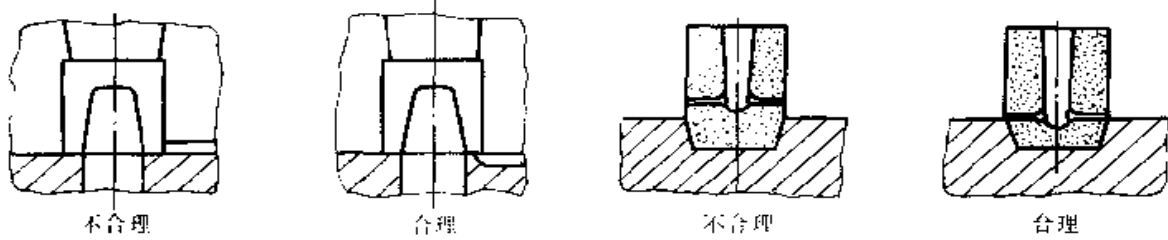


图 7-33 内浇道的位置

表 7-96 缝隙浇道主要尺寸数据

(mm)

| 铸件壁厚 | t | | b | D | |
|-------|-------|-----------|--------------|-------|-------|
| | 板状零件 | 筒状零件 | | | |
| | | 集渣包仅起集渣作用 | 集渣包起集渣及侧冒口作用 | | |
| 4 | 3 | 3 | 4~6 | 8~12 | 20~30 |
| 5 | 4 | 4 | 5~7 | 8~16 | 20~30 |
| 6 | 5 | 5 | 6~9 | 10~18 | 20~30 |
| 7 | 5~6 | 5~6 | 7~10 | 10~20 | 30~40 |
| 8 | 6~7 | 5~6 | 8~12 | 12~24 | 30~40 |
| 9 | 6~8 | 5~6 | 9~12 | 14~26 | 35~45 |
| 10 | 6~8 | 6~8 | 10~13 | 16~30 | 40~50 |
| 12 | 8~10 | 6~10 | 12~14 | 16~35 | 40~60 |
| 15 | 10~12 | 8~12 | 12~15 | 20~40 | 40~70 |
| 20~30 | 12~15 | 10~15 | 12~15 | 25~50 | 50~80 |

注：供参考，可根据生产实际情况进行调整。

3.3.2.4 浇注系统的计算。见表 7-79。

表 7-79 金属型铸造浇注系统尺寸计算

| | |
|----------|--|
| 浇注系统计算方法 | <p>浇注系统各断面尺寸的确定是十分复杂的问题，它与许多因素有关（如铸造合金的性质、铸件结构、铸造工艺、浇注温度等）。浇注系统的有关计算公式、图表虽然很多，但计算结果往往并不能符合实际。因此，实际应用上金属型铸件浇注系统的计算只是概略的</p> <p>1. 用普通砂型铸造浇注系统断面计算公式，求得初步数值，然后再根据下面的经验数据，确定各截面的尺寸。由于金属型对液体金属的冷却速度快，在运用砂型铸造浇注系统计算公式时，一般将浇注时间减少 20%~40%</p> <p>2. 根据金属液流入金属型型腔时平均上升速度计算法： 根据各厂实际经验，金属液在金属型中平均上升速度 ($v_{\text{平均}}$) 可由下式决定</p> $v_{\text{平均}} = \frac{3}{b} \sim \frac{4.2}{b} \text{ (cm/s)}$ <p>式中 b——铸件平均壁厚 (mm) 则浇注时间 t 由下式决定</p> $t = \frac{H}{v_{\text{平均}}} \text{ (s)}$ <p>式中 H——金属型型腔的高度 (cm)</p> |
|----------|--|

(续)

| | | |
|----------------|--|---|
| 浇注系统计算方法 | 金属液在浇道内的流速，取决于铸件的质(重)量，金属液的密度，浇注时间和浇道最小截面积 | |
| | $v_{浇道} = \frac{Q}{\gamma t F_{最小}}$ | |
| 常用金属型浇注系统截面积比例 | 铸造合金 | $F_{直}:F_{横}:F_{内}$ |
| | 铸 铁 | 1.25:1.15:1 |
| | 铸 钢 | 1.15:1.05:1 |
| | 轻合金 | 1: (2~4) : (3~6) |
| | | 1: (2~3) : (3~6) |
| | | 1: (1.5~3) : (1.5~3) |
| | | 1:3~4:1.5 |
| | 1: (0.5~0.9) | 此处是指 $F_{直}:F_{内}$ 。此种封闭式浇注系统适于要求较高，结构中等复杂的壳形零件，高度在150mm以下，质(重)量在3kg以下(铝合金) |
| | 铜合金 | 1:1.2:1.5 |

$v_{浇道}$ 一般也可根据经验选取。

$$F_{最小} = \frac{Q}{v_{浇道} \gamma t} = \frac{(3 \sim 4.2) Q}{v_{浇道} \gamma b H}$$

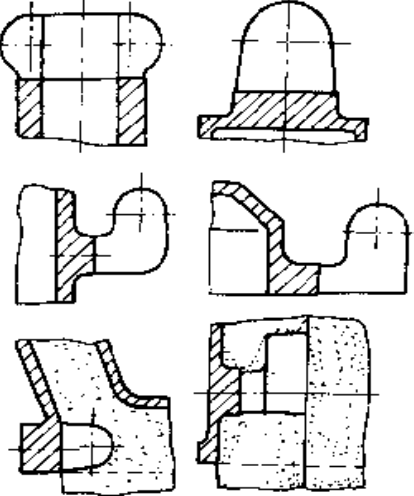
3.3.2.5 冒口

(1) 冒口形式 见表 7-98。

表 7-98 冒 口 形 式

| 形 式 | 图 例 | 特 点 与 应 用 |
|-------|-----|---|
| 明 冒 口 | | <p>(1) 顶冒口应用最广，形状一般为圆形，因为在同等断面积时圆形周长最短，保温良好。也有的与铸件需补缩处形状相仿，便于补缩</p> <p>(2) 为了使冒口的上端最后凝固，冒口的尺寸多设计成下小上大，由下至上成 $5^\circ \sim 8^\circ$ 斜度。在水平分型时，为了便于开型取件，才设计成上小下大，用涂料控制冷却</p> <p>(3) 冒口根部尺寸，略小于铸件尺寸，与铸件圆角相连，并留有明显的切割线</p> |
| 侧 冒 口 | | <p>(1) 铸件厚大部位处于铸型中、下部，或铸件顶部不便于设置顶冒口的情况下才设置侧冒口，因为侧冒口金属液消耗量比顶冒口大</p> <p>(2) 根部形状一般与铸件形状相仿，但尽可能为圆形或椭圆形</p> <p>(3) 薄壁、板形镁合金铸件垂直浇注时，为了消除铸件中部缩松的缺陷也常设置侧冒口</p> |

(续)

| 形式 | 图 例 | 特点 与 应用 |
|-------------|---|---------------------------------------|
| 暗 冒 口 |  | 铸件热节部位不便于设置明冒口, 而在该处又必须补缩的情况下, 才设置暗冒口 |

(2) 冒口尺寸确定 冒口尺寸大小可按热节圆直径 (图 7-34) 来确定, 一般情况下参考下列公式

明冒口 $D = (1.2 \sim 1.5) d$

暗冒口 $D = (1.2 \sim 2) d$

式中 D ——冒口根部直径 (mm);
 d ——铸件热节圆直径 (mm)。

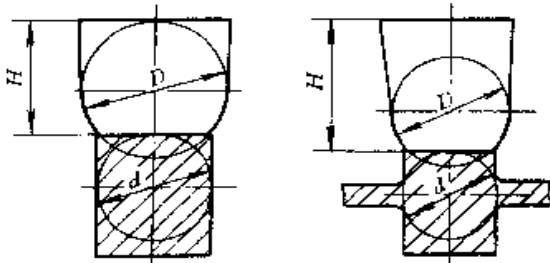


图 7-34 铸件的冒口

热节圆直径大, 补缩条件好的情况下, 冒口尺寸取下限, 热节圆直径小或补缩条件差的情况下, 冒口尺寸取上限。

当铸件热节所在处的高度不大, 而水平尺寸较大, 要求冒口有横向补缩作用时 (图 7-35), 计算公式为

$$D = (2 \sim 4) d$$

冒口高度计算参考公式

顶冒口 $H = (0.8 \sim 1.5) D$

侧冒口 $H = (2 \sim 3) D$

暗冒口 $H = (1.2 \sim 2) D$

式中 H ——冒口高度 (mm);
 D ——冒口根部直径 (mm)。

冒口高度太低补缩效果不好, 太高金属消耗多, 并可能引起内浇道过热。直径较大的冒口, 在补缩条件好的情况下, 高度可取下限。

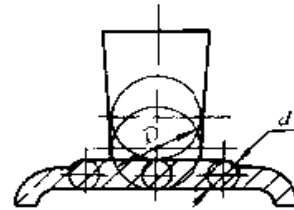


图 7-35 热节处水平尺寸较大的铸件的冒口

冒口直径不宜过小, 也不宜过大, 太大的冒口会使铸件靠冒口处产生缩松。铝合金铸件, 特别是铝硅合金铸件, 冒口直径最好不超过 100mm。必须放置大冒口时, 应采取相应措施, 见图 7-36。

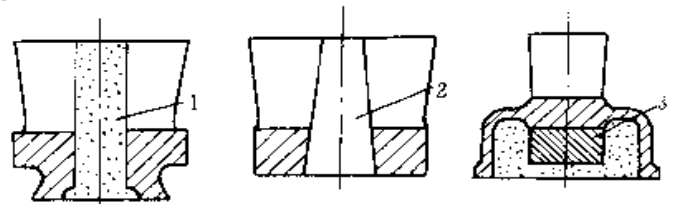


图 7-36 减小冒口直径的措施

1—安置砂芯或壳芯 2—安置金属芯 3—安置激冷块

当冒口的位置与铸件分不清时, 应设计冒口切割线, 见图 7-37。

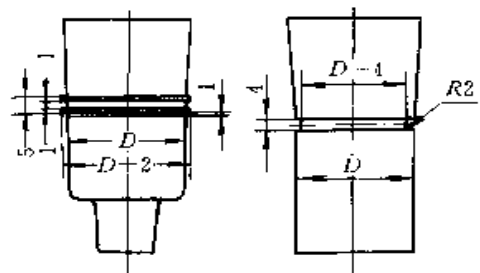


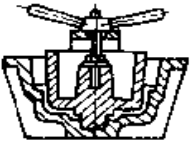
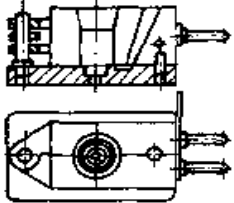
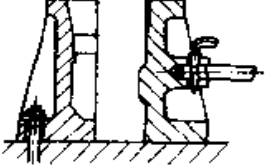
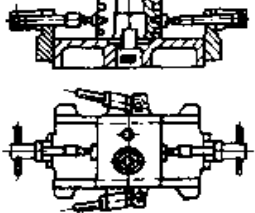
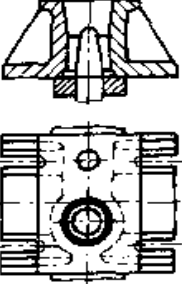
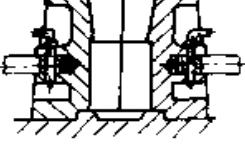
图 7-37 冒口切割线

3.4 金属型设计

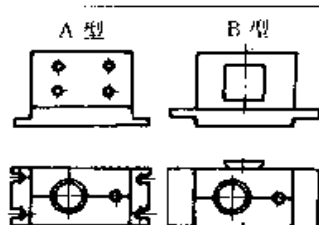
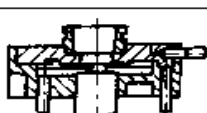
3.4.1 金属型结构形式

金属型结构形式, 见表 7-99。

表 7-99 金属型主要结构形式

| 形式 | 图例 | 特点与应用 |
|--------|---|--|
| 整体金属型 |  | 浇注出来的铸件没有分型面, 保证了铸件尺寸的精度 适于从铸型中方便取出的简单铸件, 所以应用受到一定的限制 |
| 铰链式金属型 |  | 不用铸造机, 操作较方便 要求铸件外形不阻碍两个半型围绕轴心作弧形运动, 适于圆形或类似圆形的中小型零件 |
| 半开式金属型 |  | 金属型一半固定在通用或专用的平台上, 另一半型作开型动作, 铸件往往留在固定的半型内, 用手工取出或设计顶杆顶出。当铸件留在动型内时, 可在动型中设计顶出机构。金属型一般为两半型组成, 由于取铸件较难, 应用较少 |
| 对开式金属型 |  | 无通用铸造机, 仅安装在铸造平台上浇注 适于中等复杂的小铸件, 这种铸型, 外廓尺寸一般不大于 220mm × 150mm × 80mm, 型壁做出减轻孔, 为了制型方便, 常采用铸铁结构 |
| |  | 用于在齿条传动式铸造机上铸造小型、简单、多品种成批生产的铸件 铸型结构较简单, 常采用铸造毛坯 |
| |  | 用于电动、气动、液压铸造机上铸造大型、复杂铸件 铸型结构的复杂程度取决于铸件的复杂程度, 常采用铸造毛坯 |

(续)

| 形式 | 图 例 | 特 点 与 应 用 |
|----------|---|--|
| 对开式金属型 |  | 铸型形状简单, 便于加工, 安装在通用金属型铸造机上, 适于多品种或批生产的中、小型复杂及简单铸件 铸型常采用锻造毛坯 |
| 水平分型的金属型 |  | 适于表面积较大的圆盘形或扁圆环形铸件, 铸型一般是以底部为基础, 装合是上下移动, 常需专用铸造机顶开上型及顶出铸件 复杂铸型用铸造毛坯, 简单铸型用锻造毛坯 |

3.4.2 型体、底座设计

3.4.2.1 型腔尺寸计算 型腔尺寸的计算, 除了铸件公称尺寸及偏差外, 还应考虑合金从固相线冷却到室温的收缩, 涂料厚度和金属型材料从室温升至预热浇注温度的膨胀率。

计算公式

$$A_x = [A_p + A_p K \pm \delta] \pm \Delta A_x$$

- 式中 A_x ——型腔尺寸 (mm);
- A_p ——铸件的平均尺寸 (mm);
- K ——综合线收缩率 (%);
- δ ——涂料厚度 (mm);
- ΔA_x ——型腔尺寸制造公差 (mm)。

综合线收缩率 K 包括铸件的收缩及金属型的膨胀。铝、镁合金铸造, 一般情况下 K 值可参考表 7-100 不必进行繁琐计算。

表 7-100 不同情况的 K 值

| 受 阻 情 况 | K (%) |
|-----------|---------|
| 无型芯、无阻碍 | 0.8~1.2 |
| 有型芯、有阻碍 | 0.7~0.9 |
| 邻近的二凸台中心距 | 0.5~0.7 |

小型铸件金属型设计时, 为了计算方便, K 值常取 1%。

涂料厚度 δ , 每边为 0.1~0.3mm, 铸型凹处取正值, 凸处取负值, 中心距的计算 δ 等于零, 见图 7-38。

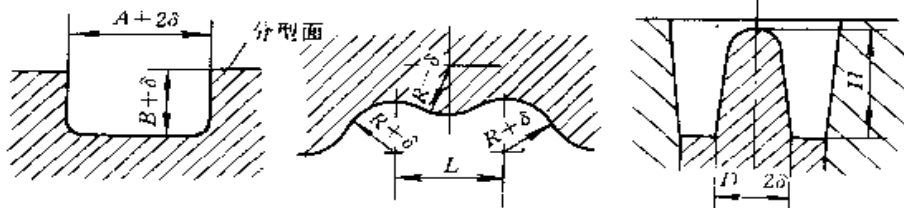


图 7-38 型腔涂料厚度的确定

金属型型腔尺寸制造公差 ΔA_x 按表 7-105~表 7-109 选取。在图样上除有特殊要求的个别尺寸外, 不必每个尺寸标注, 可在金属型制造技术条件中, 或在图样“附注”中统一说明。

3.4.2.2 金属型壁厚 金属型壁厚主要影响铸型的质(重)量、强度及铸件的冷却速度。型壁太厚, 增加了铸型的质(重)量, 铸件冷却速度也增快。型壁过薄, 由于温度不均匀而产生应力, 使其变形, 减短寿命。

金属型壁厚与铸件壁厚、材料、铸型外廓尺寸及毛坯加工方法有关。

当金属型材料为铸铁时, 其壁厚见图 7-39。

铝合金铸件的金属型壁厚一般不小于 12mm, 铜合金及黑色金属铸件的金属型壁厚不小于 15mm。镁

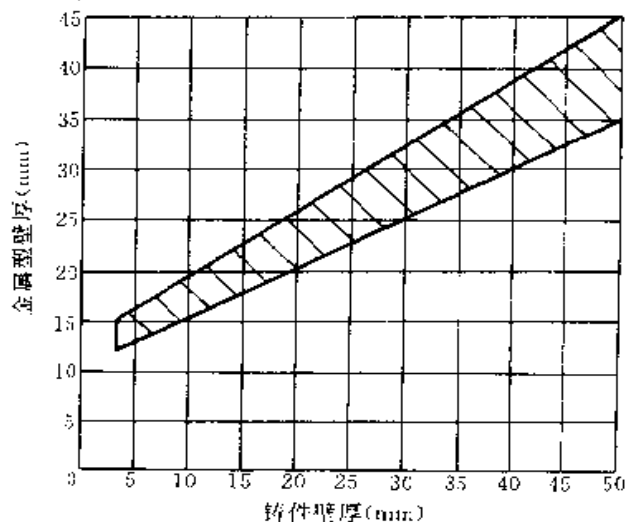


图 7-39 金属型壁厚

合金铸件因热容量小，铸型壁可偏薄。

用锻造毛坯的钢质金属型，为了加工方便，一般不控制均匀壁厚，而是参照图 7-39 保持最小壁厚。为了减轻质（重）量，可以局部加工。

3.4.2.3 其他尺寸的确定

1) 型腔表面至金属型边缘距离不小于 20mm。

2) 一型多件的铸型，铸件与铸件间的距离，小铸件不小于 10mm，一般铸件不小于 30mm。

3) 定位销孔表面至铸型边缘距离不小于 10mm。

4) 为了开型容易，在金属型的分型面上，可以做出用小杠杆撬开金属型的凹槽。常用的凹槽结构和尺寸见图 7-40。

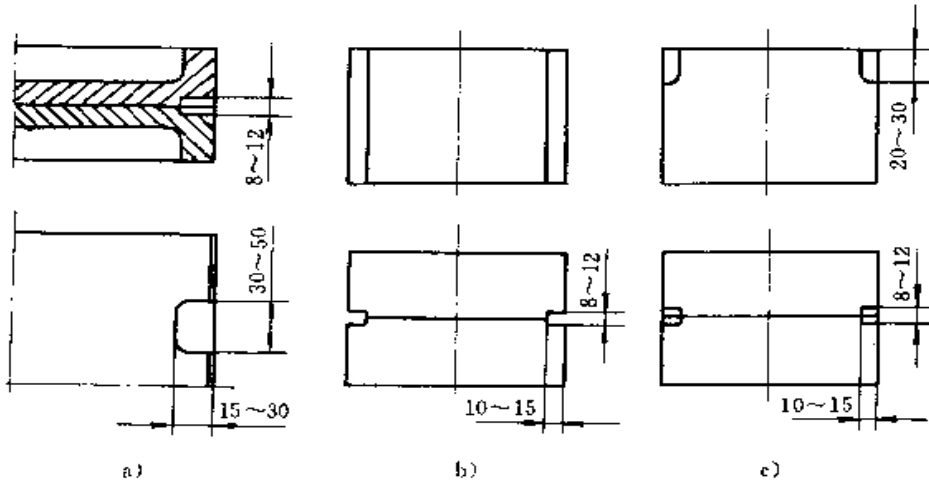


图 7-40 撬开金属型的凹槽尺寸

3.4.3 型芯及活块设计

3.4.3.1 金属芯设计

1. 金属芯的特点

- 1) 采用金属芯时铸件的冷却速度比安置砂芯、壳芯块，铸件结晶组织细致、均匀；
- 2) 尺寸稳定、表面光洁度较好；
- 3) 减少了制造砂芯或壳芯的工艺装备和工序，

生产周期短、效率高；

4) 内腔复杂的铸件可与砂芯或壳芯同时采用，否则会增加金属芯的复杂性，给制造和浇注带来困难，甚至无法取出型芯。

2. 金属芯的定位、导向 圆形型芯可以不考虑定向，异形型芯定位、导向见图 7-41。

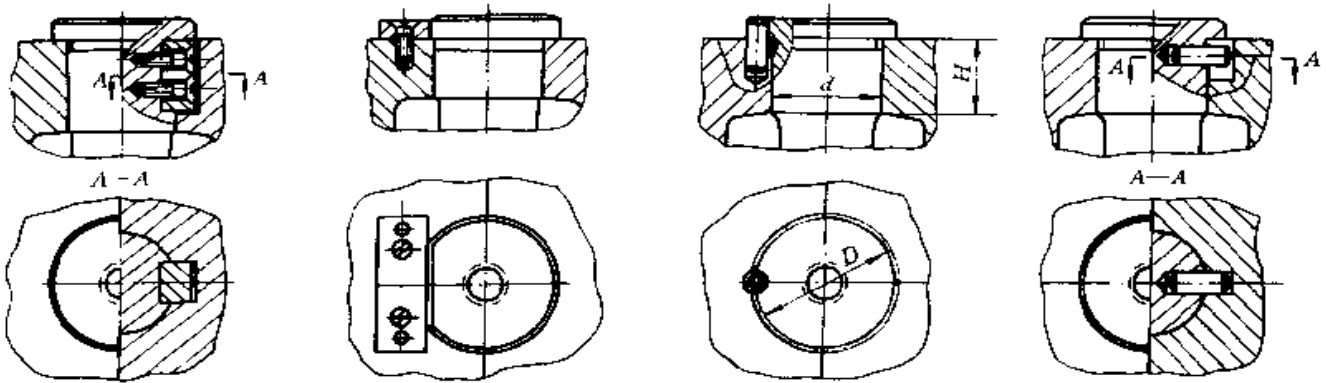


图 7-41 金属芯的定位、导向

上下型芯定位长度 $H = (0.3 \sim 0.8) d$

侧部型芯定位长度 $H = (0.5 \sim 1) d$

小型芯取上限，大型芯取下限

$$D = d + 0.2d$$

3. 金属芯壁厚 直径在 50 毫米以上的金属芯，应制成空心的，壁厚常为 12~20mm，大金属芯壁厚

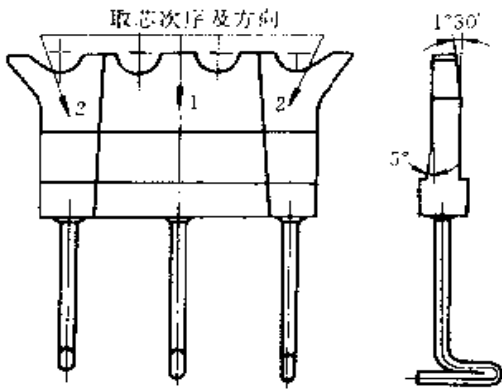


图 7-42 组合金属芯

可参考铸型壁厚。

4. 组合金属芯 当铸件内形局部阻碍型芯取出时，金属芯可设计成组合结构，见图 7-42。

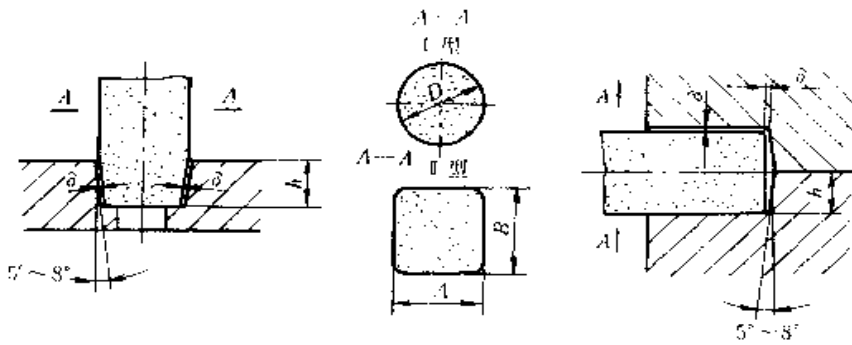
当采用组合金属芯结构复杂、操作困难，甚至还取不出型芯，或薄壁铸件因金属芯冷却快影响铸件品质（质量）时，金属型内应采用砂芯或壳芯。

3.4.3.2 砂芯及壳芯的应用 应用砂芯或壳芯时，型芯在铸型中的位置基本相似。

砂芯头与金属型芯座的配合间隙见表 7-101。

2.4.3.3 活块结构 见表 7-102。

表 7-101 砂芯头与金属型芯座的配合间隙



| D 或 $\frac{A+B}{2}$ | h | | | |
|-----------------------|------|-------|--------|------|
| | ~25 | 25~50 | 50~100 | >100 |
| ~50 | 0.15 | 0.25 | 0.5 | 1.0 |
| 50~150 | 0.15 | 0.25 | 0.5 | 1.0 |
| 150~300 | 0.25 | 0.5 | 1.0 | 1.0 |
| 300~500 | — | 1.0 | 1.0 | 1.5 |
| >500 | — | 1.5 | 1.5 | 2.0 |

表 7-102 活块结构

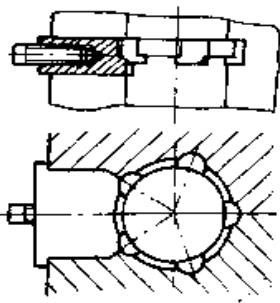
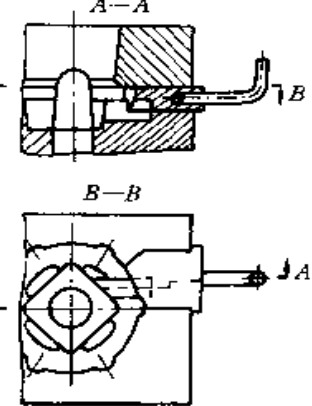
(续)

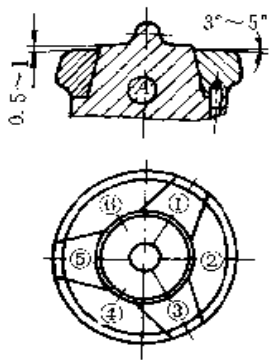
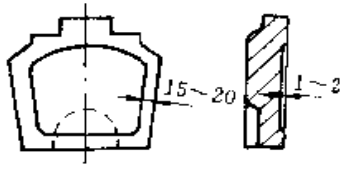
| 图 例 | 说 明 |
|-----|---|
| | <p>在两半型内的活块，为了开型方便，制出 3°~5° 斜度，用燕尾槽定位</p> |

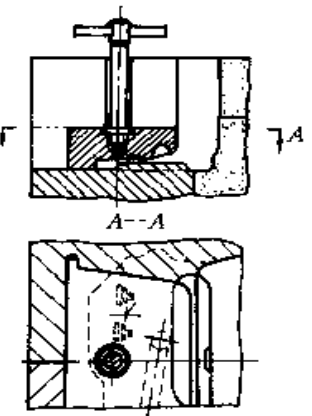
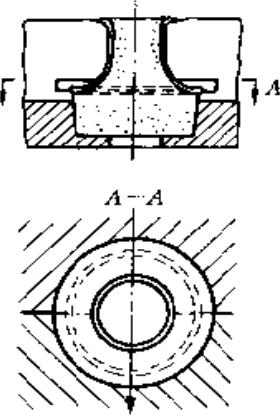
| 图 例 | 说 明 |
|-----|---|
| | <p>两半型内较大的活块，为了操作方便，不致在取活块时将铸件拉坏，可以分成两个半块制成</p> |

(续)

(续)

| 图 例 | 说 明 |
|---|--|
|  | <p>从外部抽出的活块，用台阶定位</p> |
|  | <p>铸件全部置于底座内，油管妨碍铸件取出，活块也应设在铸型底座上，当两半型分开后，即可方便取出</p> |

| 图 例 | 说 明 |
|---|--|
|  | <p>复杂活块，一次抽不出来，可由几块组成，先抽型芯 A，再抽活块 1、3、5，最后抽活块 2、4、6，活块用定位销定位，此结构同样适用于复杂型芯的抽出</p> |
|  | <p>有的内活块，为了减小摩擦，可在活块上留 1~2mm 深的凹槽</p> |

| | |
|--|---|
|  | <p>由于斜的油管及标牌妨碍开型，可设计活块，开型后往上部取出。为了铸型制造方便，允许半型由 A-A 处分开制造然后组合成整体</p> |
|  | <p>半圆形的活块，合型后就自动定位，不需另外设计定位装置</p> |

3.4.4 型腔的排气

金属型本身不透气，型腔的排气问题，必须重视，否则会造成浇不足及气孔等缺陷。

虽然铸件在铸型中位置的选择，浇冒口系统的设置，考虑了合金液应平稳地充满铸型，使空气顺序地从冒口或分型面上排出。但在很多情况下，气体聚集在型腔的深处、角落里，来不及或没法从冒口及分型面排除。所以，在金属型中的这些地方，往往要设有特种的排气设施。

(1) 排气孔 一般是在金属型最后充满处开直径为 1~5mm 的圆形排气孔，见图 7-43。

(2) 排气槽 在分型面或活块的接合面上开宽深 0.4~0.6mm (特殊情况也可 0.2~0.3mm)，宽 8~15mm 的扁缝或深 0.8~1mm 的三角形排气槽，见图 7-44。

(3) 排气塞 在铸型的凸处设置排气塞，防止产生气窝；在铸型的凹处放置排气塞，排除聚集的气体；在铸件的厚大部分设置排气塞，防止铸件缩松；在铸件的薄壁处设置排气塞，利于成形。

排气塞的安装见图 7-45。

(4) 利用镶块排气 左右半型上，有的部位为了不破坏表面光洁程度，可设计镶块，利用镶块与铸型的结合面排气，见图 7-46。

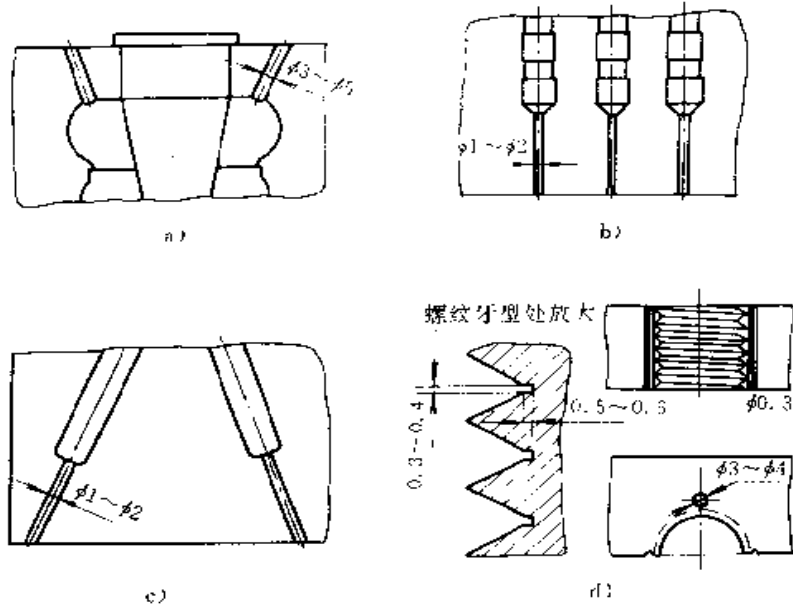


图 7-43 排气孔

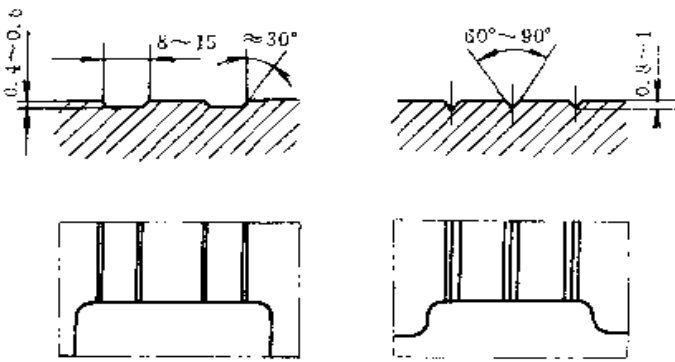


图 7-44 排气槽

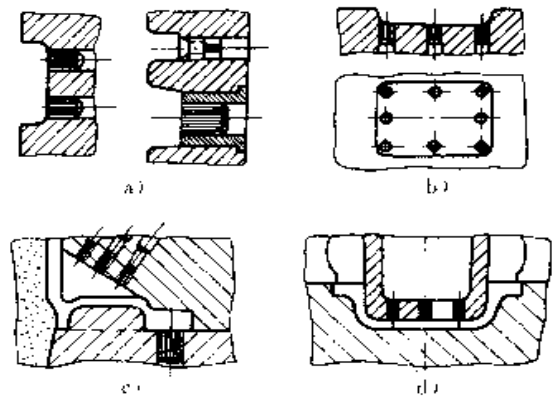


图 7-45 排气塞的安装

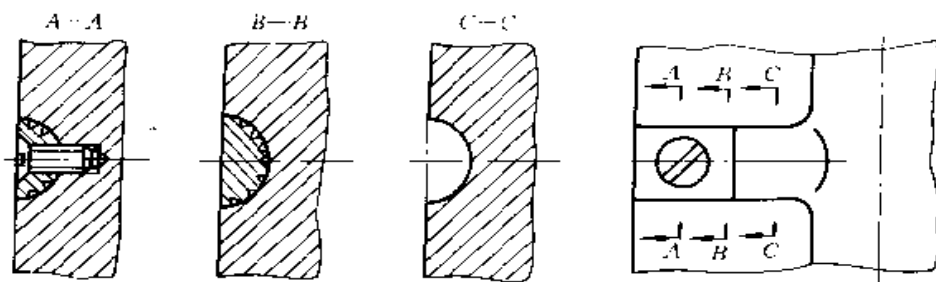


图 7-46 利用镶块排气

(5) 利用组合铸型排气 当铸件凸起部分尺寸很小, 如带散热片的铸件, 不可能用以上方法排气, 可用组合铸型, 而在组合块的接触面上开气槽。

(6) 型芯排气 设计有金属芯的铸型, 除可利用型芯与铸型的配合间隙排气外, 还可在型芯表面上开置类似排气塞上的槽子进行排气, 见图 7-47。

(7) 型芯座排气 凡是有砂芯及壳芯的铸件, 均可利用铸型的型芯座排气, 见图 7-48。

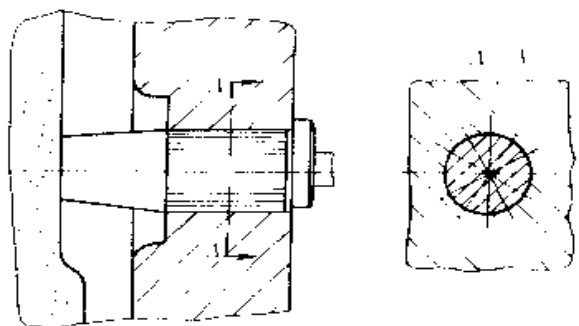


图 7-47 型芯排气

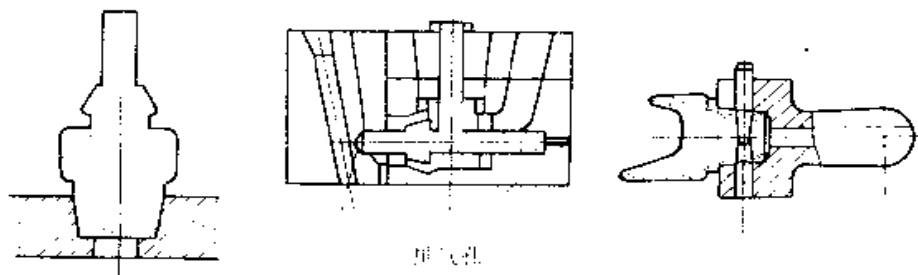


图 7-48 利用型芯座排气

3.4.5 铸型的导向、定位

(1) 导向装置 动型运动的导向装置，主要形式见图 7-49。

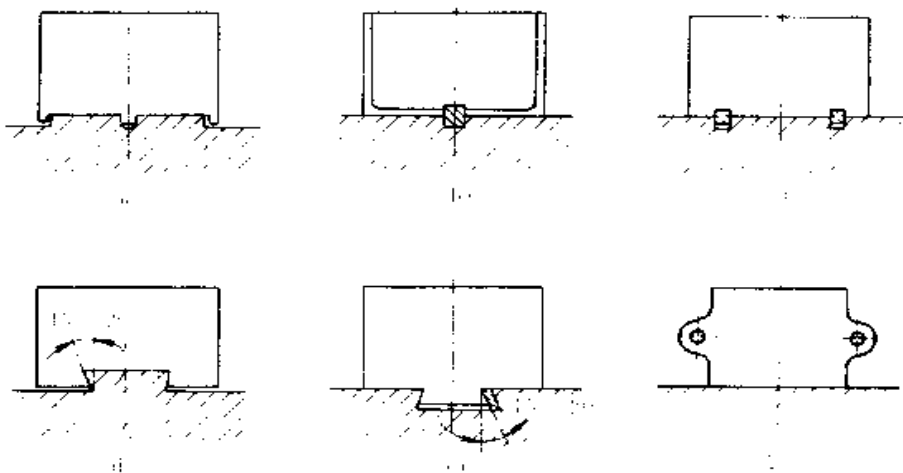


图 7-49 动型的导向形式

(2) 金属型的定位 两半型定位销一般设在铸型分型面轮廓之内，个别设在铸型两侧的凸耳上，见图 7-50。为了定位的准确性，两定位销的位置最好错开，见图 7-51。

为了防止两半型装反，可将定位销设计成一大一小

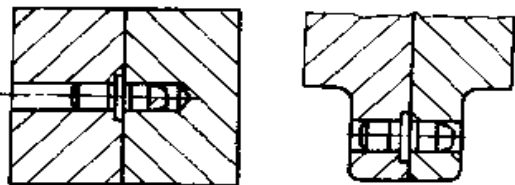


图 7-50 定位销的设置

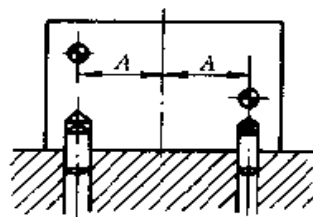


图 7-52 不同大小的定位销

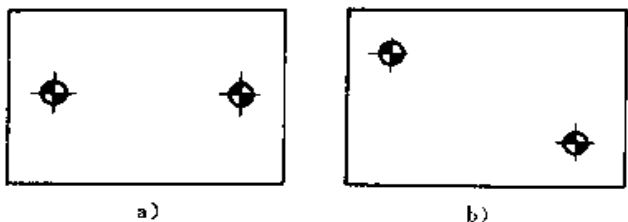


图 7-51 定位销的位置
a) 不合理 b) 合理

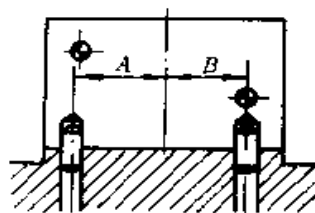
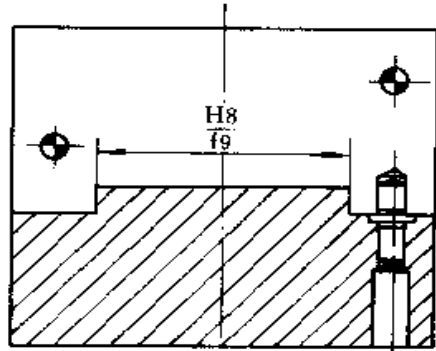
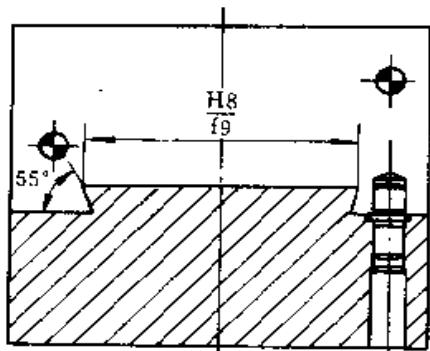


图 7-53 不同孔距的定位销

小(图 7-52)或不同的孔距(图 7-53)。也可设计成底座与定位销同起定位作用,见图 7-54,其中形式 b 还可以防止半型上抬。



a)



b)

图 7-54 用底座及定位销定位

3.4.6 金属型的锁紧机构

金属型的锁紧机构有插销锁、斜销锁、偏心销、摩擦锁、套钳锁等,见图 7-55~7-60。其中,插销锁是铰链式金属型的固定支点,偏心锁是生产中用得较多的形式,斜销锁摩擦锁用于中小型金属型,套钳锁用于大、中型金属型。

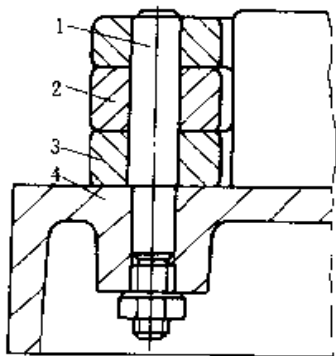


图 7-55 插销锁

- 1—插销 2—左半型 3—右半型 4—底座

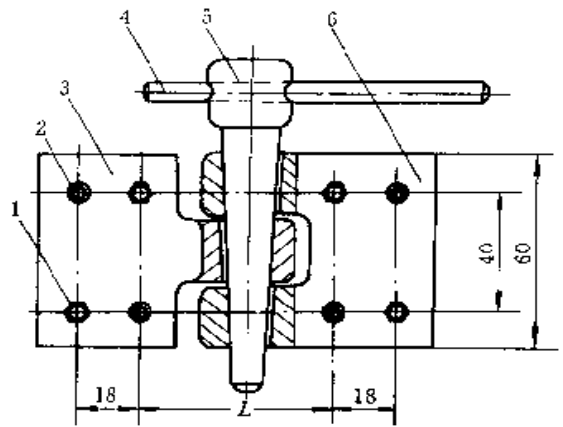


图 7-56 斜销锁

- 1—螺栓 2—圆柱销 3—左锁扣 4—圆柱销
5—斜销 6—右锁扣 L—按需要定

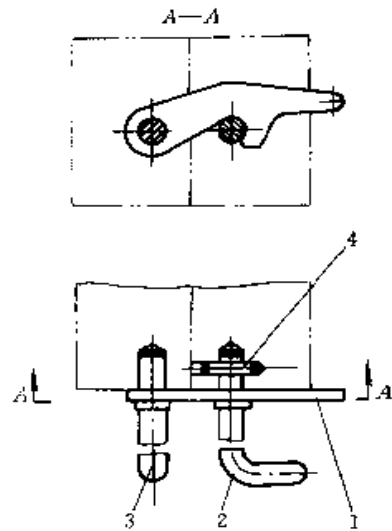


图 7-57 偏心锁(之一)

- 1—锁扣 2—偏心手把 3—手把 4—圆柱销

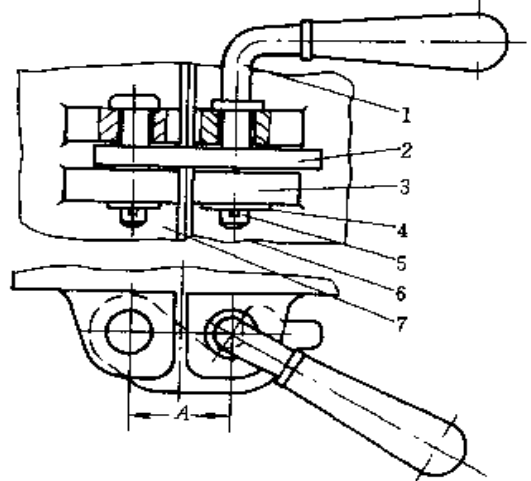


图 7-58 偏心锁(之二)

- 1—手把 2—锁扣 3—型耳
4—垫圈 5—开口销 6—垫圈 7—轴销

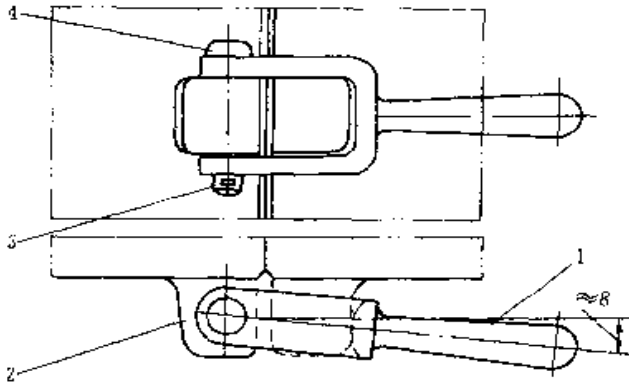


图 7-59 摩擦锁
1—摩擦锁紧手把 2—型耳
3—开口销 4—轴销

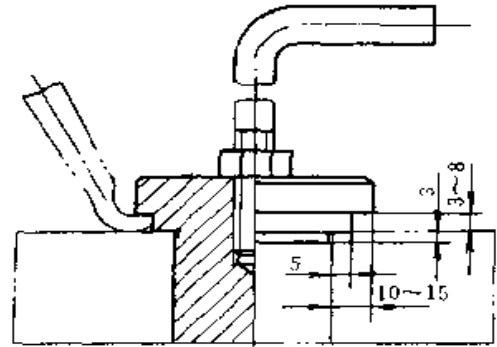


图 7-61 撬杆抽芯

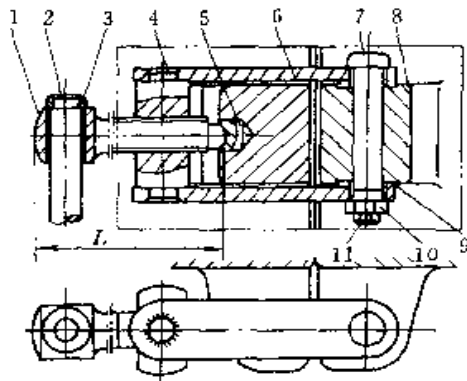


图 7-60 套钳锁
1—螺钉 2—手柄 3—环 4—专用螺母
5—挡块 6—板 7—轴销 8—型耳
9—垫圈 10—螺母 11—开口销

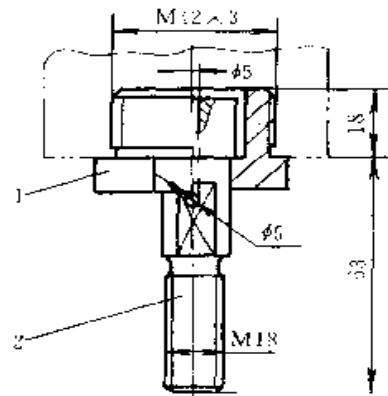


图 7-62 拉杆轴芯
1—螺母 2—拉杆

3.4.7 抽芯机构

(1) 撬杆抽芯 撬杆抽芯结构简单，型芯设计除了有定位肩外，还需设计辅助肩，以便放置撬杆，将型芯撬出，见图 7-61。适用于起模斜度大、型芯长度短的简单型芯。

(2) 拉杆抽芯 主要用于抽拔安装在齿轮齿条铸造机上浇注的金属型的下部型芯，见图 7-62。

(3) 螺杆抽芯 图 7-63 是用得比较多的螺杆抽芯机构，它简单、省力、操作方便。

(4) 偏心轴抽芯 用偏心轴抽芯的金属型，见图 7-64 一般不需用铸造机，即可取出下部型芯，由于它结构简单，使用方便，应用较广。其偏心手把形状见图 7-65。

(5) 偏心轮抽芯 偏心轮抽芯机构（图 7-66）主要用于抽金属型上部或侧部的型芯。

(6) 齿轮-齿条抽芯 齿轮-齿条抽芯机构，抽芯比较平稳，只是结构稍复杂一些。

用吊车抽芯的偏心轮机构（图 7-67），它往往是 3~4 个同时安装在一副金属型上，见图 7-68。用于抽拔合金收缩包紧力较大的型芯。

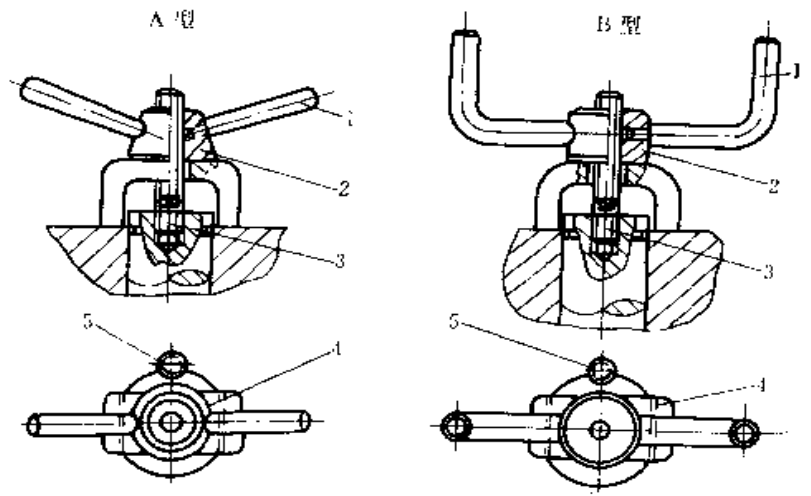


图 7-63 螺杆抽芯

1—手把 2—螺母 3—螺杆 4—支架 5—圆柱销

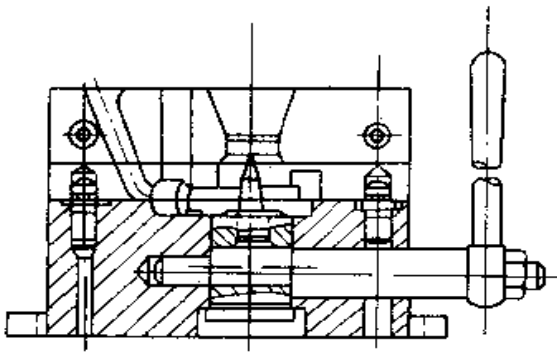


图 7-64 偏心轴抽芯机构

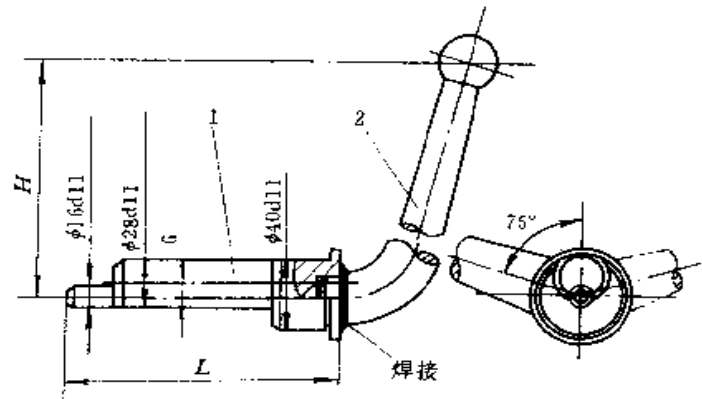


图 7-65 偏心手把

1—偏心轴 2—手把

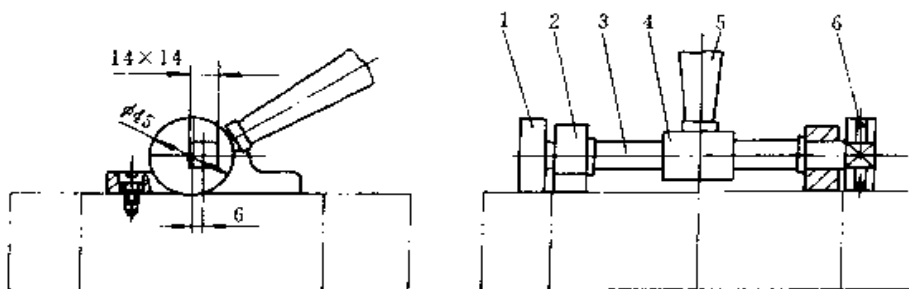


图 7-66 偏心轮抽芯机构

1—偏心轮 2—支架 3—轴 4—联接管 5—手柄 6—圆柱销

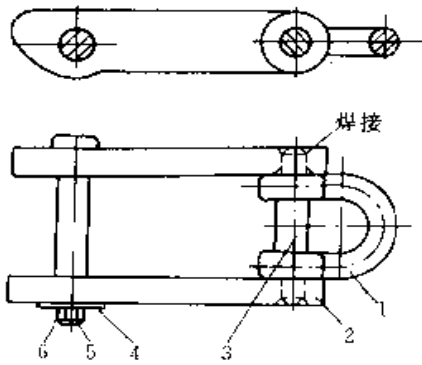


图 7-67 用吊车抽芯的偏心轮抽芯机构

- 1—吊环 2—偏心板 3—轴 4—垫圈 5—轴销
6—开口销

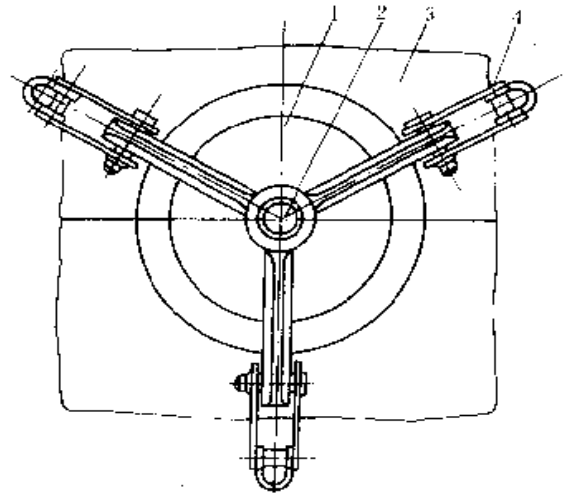


图 7-68 偏心轮抽芯机构的安装

- 1、2—型芯 3—金属型 4—抽芯机构

图 7-69 是抽中、小型芯的抽芯机构。

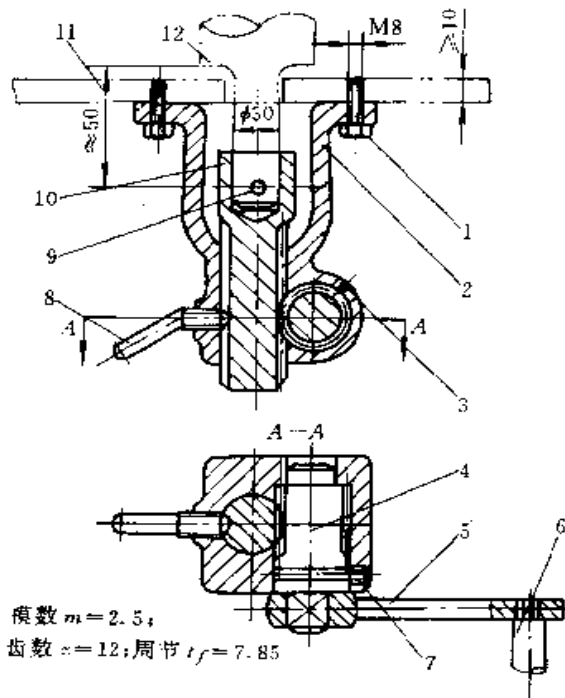


图 7-69 齿轮-齿条抽芯机构

- 1—螺栓 2—壳体 3—油杯 4—齿轴 5—摇臂 6—手柄 7—止动螺钉 8—压紧螺钉
9—插销 10—齿条 11—底座 12—型芯

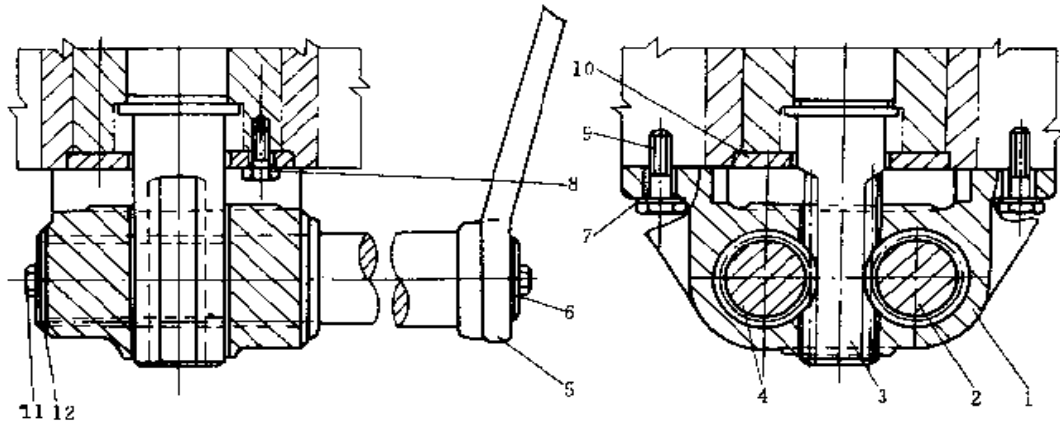


图 7-70 齿轮-齿条抽芯机构

1—支架 2—齿轴 3—齿条 4—齿轴 5—手柄 6—垫圈 7—弹簧垫圈 8—螺栓
9—螺栓 10—圆环 11—螺栓 12—垫圈

图 7-70 是抽中等大小型芯的齿轮-齿条抽芯机构，用于专用的金属型或铸造机上。

(7) 蜗轮-蜗杆抽芯 蜗轮-蜗杆抽芯，结构复杂，适于专用金属型或铸造机上抽较大的型芯。

(8) 气动及液压抽芯 气动及液压抽芯是利用相当于开合型所用的气缸及油缸抽芯，其中，液压抽芯

平稳。

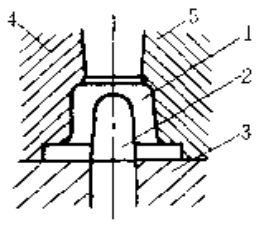
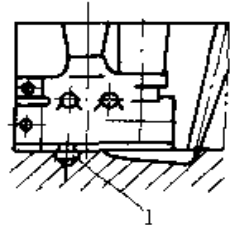
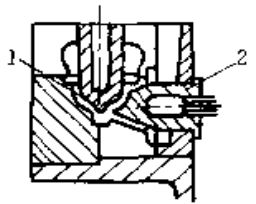
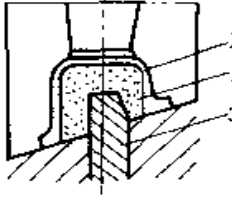
3.4.8 铸件的取出

金属型设计中，尽可能设法将铸件停留在底座上，不需要其它的机构就能方便地把铸件取出，见表 7-103。

表 7-103 使铸件停留在金属型的指定位置的方法

| 图 例 | 说 明 | 图 例 | 说 明 |
|----------------------------------|--|---------------------------------------|-------------|
| <p>1—铸件 2—底座 3—左半型 4—右半型</p> | 设法将铸件的一部分设计在金属型底座内，开型后铸件停留于底座 | <p>1—铸件 2—镶块 3—底座 4—左半型 5—右半型</p> | 利用镶块固定铸件 |
| <p>1—铸件 2—底座</p> | 若金属型底座有凸入铸件内的成形部分，开型后铸件停留于底座。适合内型矮、简单、斜度大的铸件 | <p>1—铸件 2—型芯 3—底座 4—左半型 5—右半型</p> | 利用砂芯或壳芯固定铸件 |

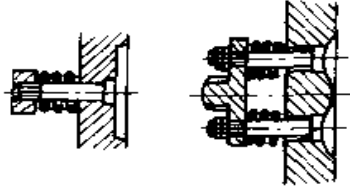
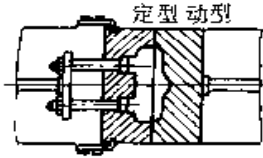
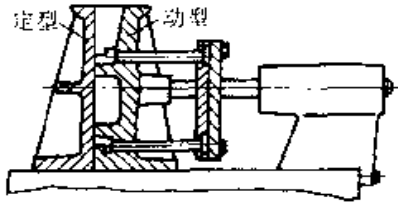
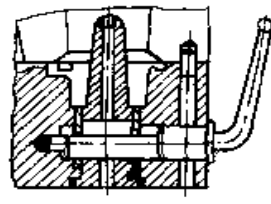
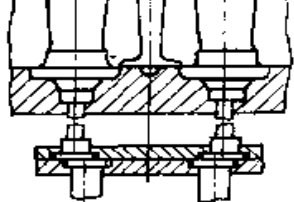
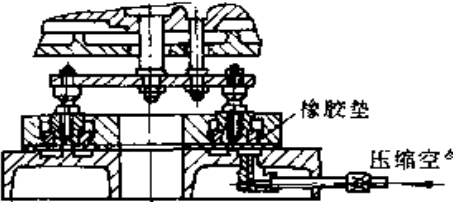
(续)

| 图 例 | 说 明 | 图 例 | 说 明 |
|--|---------------------------------|---|----------------------|
|  <p>1—铸件 2—金属芯 3—底座 4—左半型 5—右半型</p> | <p>用底部金属芯固定铸件于底座。适用于有金属芯的铸件</p> |  <p>1—工艺凸块</p> | <p>利用工艺凸块和浇道固定铸件</p> |
|  <p>1—铸件 2—金属芯</p> | <p>利用侧面的金属芯固定铸件于侧面</p> |  <p>1—铸件 2—砂芯 3—镶块</p> | <p>将砂芯安装在镶块上固定铸件</p> |

有些铸件的结构不便于留在底座内，或留在底座内还很难取出时，也可根据铸件的形状设计顶出机

构。顶出机构的顶杆一般为圆形或管状，其形式见表 7-104。

表 7-104 铸件顶出

| 图 例 | 说 明 | 图 例 | 说 明 |
|---|------------------------------------|--|---|
|  | <p>敲击顶杆将铸件顶出，利用弹簧将顶杆复位，适用于简单铸件</p> |  <p>定型 动型</p> | <p>顶杆板和动型同时安装到铸造机的开合型机构上，靠铸造机的开合型机构顶出铸件</p> |
|  <p>定型 动型</p> | <p>动型运动，使顶杆板顶到铸造机支座上，通过顶杆将铸件顶出</p> |  | <p>利用偏心轴机构顶出铸件</p> |
|  | <p>顶杆安装在铸造机的顶杆板上顶出铸件</p> |  <p>橡胶垫 压缩空气</p> | <p>用气动装置顶出铸件</p> |

3.4.9 金属型零件的尺寸精度

1) 型腔尺寸制造公差, 可按表 7-105~表 7-107 查取。

表 7-105 长度尺寸偏差 (mm)

| 公称尺寸 | 长度偏差 (±) |
|----------|----------|
| ~50 | 0.1 |
| >50~260 | 0.15 |
| >260~630 | 0.25 |
| >630 | 0.4 |

表 7-106 转接圆弧尺寸偏差 (mm)

| 公称尺寸 | 偏差 (±) |
|--------|--------|
| ~6 | 0.3 |
| >6~10 | 0.4 |
| >10~18 | 0.5 |
| >18~30 | 0.6 |
| >30~50 | 0.8 |

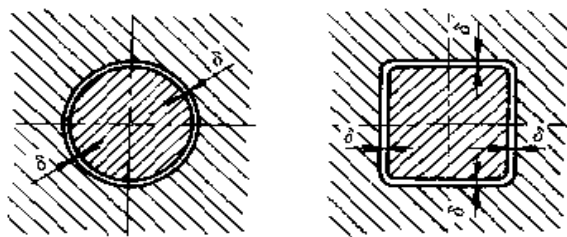
表 7-107 角度尺寸偏差

| 短邻边长度 l | ~10 | >10~18 | >18~30 | >30~50 | >50~80 | >80~120 | >120~260 | >260~360 | >360 |
|---------------------|-----|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|------|
| 角度偏差 $\Delta\alpha$ | 45' | 30' | 25' | 20' | 10' | 6' | 5' | 4' | 3' |

2) 活动部件与金属型之间的间隙, 按表 7-108。

表 7-108 活动部件与金属型之间的间隙

(mm)



公称尺寸

配合间隙 2δ

~50

0.2~0.3

>50~100

0.3~0.4

>100~250

0.4~0.5

>250

0.5~0.8

3) 一般尺寸公差, 按表 7-109。

表 7-109 一般尺寸公差

(mm)

| 公称尺寸 | 孔 (H12) | 轴 (h12) | 长度偏差 | 钻 孔 深 度 | | 螺纹长度偏差 |
|-------|---------|---------|-------|---------|-------|--------|
| | 偏 差 | 偏 差 | | 上 偏 差 | 下 偏 差 | |
| 1~3 | +0.10 | 0 | ±0.20 | +0.50 | -0.25 | — |
| | 0 | -0.10 | | | | |
| >3~6 | +0.12 | 0 | | | | |
| | 0 | -0.12 | | | | |
| >6~10 | +0.15 | 0 | | | | |
| | 0 | -0.15 | | | | |

(续)

| 公称尺寸 | 孔 (H12) | 轴 (h12) | 长度偏差 | 钻 孔 深 度 | | 螺纹长度偏差 | |
|------------|---------|---------|-------|---------|-------|----------------|-------|
| | 偏 差 | 偏 差 | | 上 偏 差 | 下 偏 差 | | |
| >10~18 | +0.18 | 0 | ±0.40 | +1.00 | -0.50 | +1.00 -0.50 | |
| | 0 | -0.18 | | | | | |
| >18~30 | +0.21 | 0 | | | | | |
| | 0 | -0.21 | | | | | |
| >30~50 | +0.25 | 0 | | | | | |
| | 0 | -0.25 | | | | | |
| >50~80 | +0.30 | 0 | | | | | |
| | 0 | -0.30 | | | | | |
| >80~120 | +0.35 | 0 | | | | | ±0.60 |
| | 0 | -0.35 | | | | | |
| >120~180 | +0.40 | 0 | ±0.80 | | | | |
| | 0 | -0.40 | | | | | |
| >180~250 | +0.46 | 0 | | | | | |
| | 0 | -0.46 | | | | | |
| >250~315 | +0.52 | 0 | | | | | |
| | 0 | -0.52 | | | | | |
| >315~400 | +0.57 | 0 | | | | | |
| | 0 | -0.57 | | | | | |
| >400~500 | +0.63 | 0 | | ±1.00 | | | |
| | 0 | +0.63 | | | | | |
| >500~630 | +0.70 | 0 | ±1.20 | | | | |
| | 0 | -0.70 | | | | | |
| >630~800 | +0.80 | 0 | | | | | |
| | 0 | -0.80 | | | | | |
| >800~1000 | +0.90 | 0 | | ±1.80 | | | |
| | 0 | -0.90 | | | | | |
| >1000~1250 | +1.05 | 0 | | | | | |
| | 0 | -1.05 | | | | | |
| >1250~1600 | +1.25 | 0 | | | | | |
| | 0 | -1.25 | | | | | |
| >1600~2000 | +1.5 | 0 | | | | | |
| | 0 | -1.5 | | | | | |
| >2000~2500 | +1.75 | 0 | | | | | |
| | 0 | -1.75 | | | | | |

4) 金属型各部分表面粗糙度要求, 见表 7-110。

表 7-110 金属型各部分表面粗糙度要求

| 被 加 工 部 位 | 表面粗糙度要求 (μm) |
|----------------------|---------------------------|
| 型腔: 1. 相应于铸件的有加工余量部分 | $R_a 6.3 \sim 3.2$ |
| 2. 一般要求 | $R_a 3.2 \sim 1.6$ |
| 3. 个别部分特殊要求 | $R_a 0.8$ |
| 分型面、安装面、定位销孔 | $R_a 6.3 \sim 1.6$ |
| 浇注系统 | $R_a 6.3 \sim 3.2$ |
| 型芯及有加工余量部分 | $R_a 6.3 \sim 3.2$ |
| 相互滑动或接触部分 | $R_a 3.2 \sim 1.6$ |
| 通气槽 | $R_a 0.3$ |
| 冒口部分 | $R_a 12.5 \sim 6.3$ |
| 非加工面的减轻部分 | $R_a 12.5$ |

3.4.10 金属型材料及热处理

金属型常用材料及热处理要求, 见表 7-111。

表 7-111 金属型材料及热处理要求

| 材料类别 | 常用牌号 | 零件特点 | 用途 | 热处理要求 |
|-------|--|--------------|--|---|
| 铸铁 | 灰铸铁 (常选用 HT150、HT200) 蠕墨铸铁 球墨铸铁 | 接触液体金属零件及一般件 | 型体、底座、浇口、冒口、支架、金属型铸造机上的铸造零件等 | 退火 |
| 普通碳素钢 | | | 螺钉、螺母、垫圈、手柄等 | |
| 优质碳素钢 | 20 25 | 要求渗碳 | 轴、主轴、偏心轴、样板等 | 渗碳深度: 0.8 ~ 1.2mm; 淬火: 40 ~ 45HRC |
| | 30 | 常用标准件 | 螺丝、螺母、螺栓、手柄、底座等 | |
| | 45 | 接触液体金属零件及一般件 | 型体、型芯、底座、活动块, 排气塞等 | 调质 |
| | | 要求耐磨零件 | 齿轮、齿条、手把、锁扣、定位销、轴、偏心轴、连杆、反推杆、板杆、拉杆等 | 淬火: 33 ~ 38HRC |
| 弹簧结构钢 | 65Mn 50CrVA | | 弹簧垫圈 螺旋弹簧 | |
| 碳素工具钢 | T7A T8A T10A | 承受冲击负荷零件 | 顶杆、拉杆、承压零件 | 淬火: 45 ~ 50HRC |
| 合金结构钢 | 40Cr 35CrMnSiA 3Cr2W8V 4Cr5MoV1Si | 特殊要求时应用 | 镶件、形状复杂同时截面变化急剧的组合型芯、薄片状或细小而长的型芯、重负荷面形状复杂的顶杆 | 淬火, 回火 |
| 铜 | | 高导热性零件 | 排气塞、激冷块 | |
| 铝合金 | ZL105 | | 铸件批量不大且需迅速投产时, 可用铝合金制造金属型型体 | 阳极处理使得得到 Al_2O_3 氧化层深度达 0.3mm, 熔点在 2000℃ 以上 |

注: 1. 普通灰铸铁中加入 $Mo0.8\%$, $Sn0.06\%$ 可提高出现初始裂纹前的加热次数。

2. 金属型本体铸造成型后, 一定要进行退火处理, 消除内应力。

3.5 金属型铸造工艺

3.5.1 金属型的预热和上涂料

金属型需先预热以后再喷刷涂料, 这样可使涂料中水分迅速蒸发, 易喷刷得均匀 (涂料不向下流淌),

获得一层紧密粘牢的涂料层。一般预热温度为 250 ~ 350℃ 为宜。

(1) 预热方法 金属型预热, 一般是放在电阻炉内加热。对于较大的金属型, 可以采用图 7-71 ~ 图 7-75 办法。

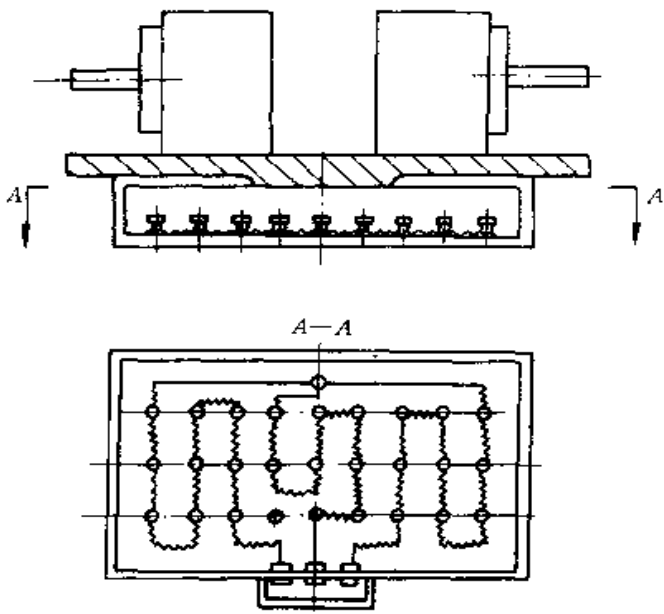


图 7-71 电阻丝加热

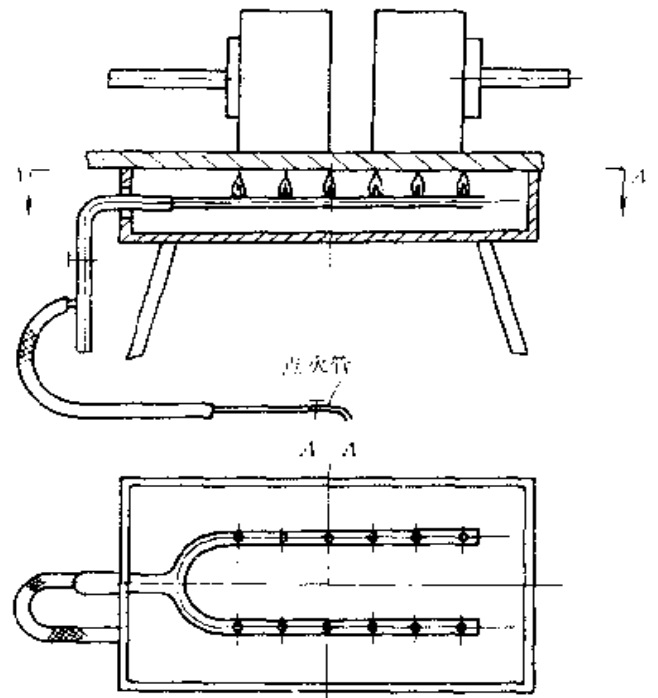


图 7-74 煤气喷嘴底部加热装置

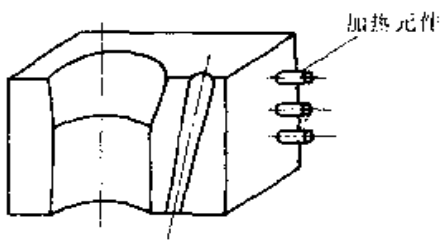


图 7-72 装置管状加热元件的金属型举例

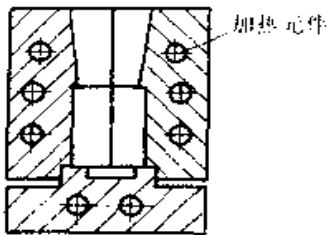


图 7-73 装置管状加热元件的金属型剖面举例

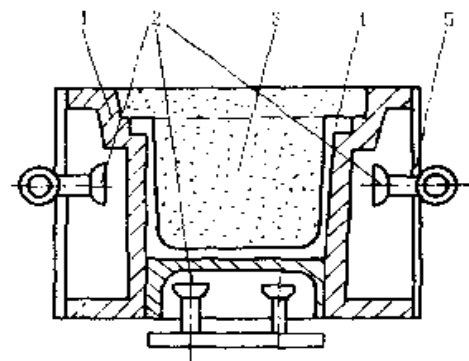


图 7-75 专用煤气喷嘴加热金属型

1—金属型 2—煤气喷嘴 3—型芯
4—型腔 5—护板

(2) 涂料配制 见表 7-112~7-116。

表 7-112 铝合金铸件金属型铸造时涂料配比 (w%)

| 编 号 | 成 分 | 配 比 | 用 途 |
|-----|---------------------------------|------------------------|---------------------|
| 1 | 氧化锌 水玻璃 热水 | 9-11 4-6 其余 | 中、小型及表面要求光洁的铸件型腔工作面 |
| 2 | 氧化锌 白垩粉 二氧化钛 水玻璃 热水 | 6 4 3 6 其余 | 表面要求光洁的铸件型腔工作面 |

(续)

| 编 号 | 成 分 | 配 比 | 用 途 |
|-----|--|----------------------------|----------------------|
| 3 | 氧化锌或白垩粉 石墨粉 二氧化钛 水玻璃 热水 | 4 9 9 7 其余 | 大型及厚壁铸件及表面容易拉铝的型腔工作面 |
| 4 | 石墨粉 水玻璃 热水 | 10~15 6 其余 | 用于斜度小的型芯及厚壁铸件型腔工作面 |
| 5 | 氧化锌 二氧化钛 石棉粉 水玻璃 热水(以氯化钠 5%~6% 溶液加入) | 6 12 12 10 其余 | 薄壁铸件的型腔工作面 |
| 6 | 石棉粉 白垩粉 水玻璃 水 | 12~14 8~10 7~9 其余 | 浇冒口系统涂料 |

表 7-113 镁合金铸件金属型铸造时涂料配比 (w%)

| 编号 | 成 分 | 配 比 | 用 途 | 编号 | 成 分 | 配 比 | 用 途 |
|----|-------------------------|----------------------|--------------------|----|-------------------------------|-----------------------------|-------|
| 1 | 石墨粉 白垩粉 硼酸 热水 | 7 25 7 其余 | 型腔工作面 浇口杯 锭模 | 4 | 滑石粉 石棉粉 水玻璃 硼酸 热水 | 10 8 3.5 3.5 其余 | 浇冒口系统 |
| 2 | 滑石粉 白垩粉 水玻璃 热水 | 10 5 2.7 其余 | 型腔工作面 | 5 | 石棉粉 水玻璃 热水 | 30 30 其余 | 浇冒口系统 |
| 3 | 氧化锌 滑石粉 水玻璃 热水 | 10 5 3 其余 | 表面要求光洁的型腔工作面 | 6 | 白垩粉 石棉粉 水玻璃 热水 | 3 10 2 其余 | 浇冒口系统 |

表 7-114 铜合金铸件金属型铸造用涂料配比 (w%)

| 编号 | 成 分 | 配 比 | 备 注 |
|----|----------------------|----------------|---|
| 1 | 机油 石墨粉 | 96 4 | 1. 锡青铜要求涂料严格, 左列成分对锡青铜、磷青铜都比较好。每浇注 1~2 个件或 2~3 个件应刷一次 2. 铝青铜、黄铜铸件一般可以不刷涂料, 或在每班金属型使用前刷一次, 中间如无特殊情况(如粘型、出气孔等)可不刷涂料 3. 机油、石墨粉涂料使铸件表面不太光洁, 不及用酒精松香涂料, 但前者成本较低 4. 机油的配料也可有桐油代替 |
| 2 | 机油 石蜡 | 50 50 | |
| 3 | 酒精 松香 | 20 80 | |
| 4 | 松香 烟黑(或石墨粉) 汽油 | 28 14 58 | |
| 5 | 机油 | 100 | |

表 7-115 铸钢件金属型铸造用涂料配比 (w%)

| 编号 | 成分 | 配 比 | 备 注 |
|----|-------------------------------|-----------------------------|---|
| 1 | 硅石粉 耐火粘土 肥皂液 糖浆 水 | 87 8 1~2 1~3 其余 | 用水调至密度为 $1.4 \sim 1.5\text{g}/\text{cm}^3$ ，在预热金属型之前用毛笔涂刷 |
| 2 | 机油 | 100 | 金属型预热后用棉布擦涂（限用于小型铸钢件） |
| 3 | 硅石粉 白泥 糖浆 重油 | 100 4 2 0.2~0.3 | 大型铸钢件用（注：配比中后三项是另加的，混碾 $> 12\text{h}$ ，含水量 $28\% \sim 33\%$ ） |
| 4 | 沥青 汽油 | 一份（体积） 三份（体积） | |
| 5 | 脱水焦油 | 100 | |

表 7-116 铸铁件用金属型涂料配比 (w%)

| 编号 | 成分 | 配 比 | 用 途 | 备 注 |
|----|--|--|---------------|--|
| 1 | 石墨粉 红煤粉 石棉粉 滑石粉 耐火粘土 桃胶 水 | 50 2 25 10 10 3 适量 | 灰铸铁 | 桃胶先用水熬成糊状，其它材料先混和均匀，然后加入桃胶和水调至密度为 $1.15 \sim 1.25\text{g}/\text{cm}^3$ 。用喷雾器喷涂 |
| 2 | 石墨粉 烟黑 耐火粘土 白泥 Na_2CO_3 糖浆 水 | 28 23 10 22 0.45~1 15 其余 | 可锻铸铁 | |
| 3 | 糖稀 水 | 20 80 | 要求具有一定深度白口层铸件 | |
| 4 | 硅石粉 耐火砖粉 耐火粘土 水玻璃 水 | | 浇冒口系统 | |

(3) 涂料喷刷工艺 喷刷涂料之前，应仔细清理金属型工作面及通气塞，去除旧的涂料层、锈蚀物以及粘附的金属毛刺等。新投入运用的金属型，一般

涂料不易粘附，为此可用稀硫酸洗涤，或经轻度吹砂处理，以改善型面对涂料的粘附力。

清理好的金属型一般都需进行预热。

喷刷涂料时应注意金属型不同部位要求的涂料层厚度。例如对有色合金铸件, 通常涂料层厚度如下:
 浇冒口部: 0.5~1mm (个别情况时可达4mm)。
 相应于铸件厚大部分的金属型型腔: 0.25~0.2mm。

相应于铸件薄壁部分的金属型型腔: 0.2~0.3mm。

铸件上的凸台、肋板和壁的交界处, 为了更快地冷却, 可将喷好的涂料刮去。

3.5.2 浇注前金属型的预热

浇注前金属型预热的目的是:

1) 避免液体金属冷却速度太快, 造成气孔、冷隔、浇不到、缩孔、裂纹等铸造缺陷;

- 2) 防止铸铁件表面产生白口;
- 3) 保护金属型, 避免急冷、急热而引起收缩和膨胀, 延长使用寿命;
- 4) 减轻铸件包紧力, 利于脱型;
- 5) 确保操作者的安全。

但是, 预热温度也不应太高, 否则会导致铸件力学性能下降, 延长冷却时间, 降低劳动生产率, 缩短金属型寿命。

浇注前预热温度一般就是金属型的工作温度 (接近浇注时金属型温度)。但是, 对某些合金, 往往实际操作时预热温度要适当高些, 然后待金属型温度稍降后, 再进行浇注。几种合金浇注前金属型预热温度见表 7-117。

表 7-117 浇注前金属型预热温度 (°C)

| 铸造合金 | 铸件特点 | 预热温度 | 工作温度 |
|------|-------|---------|-------------------|
| 灰铸铁 | | 250~350 | ≥200 |
| 可锻铸铁 | | 150~250 | 120~160 |
| 铸 钢 | | 150~300 | >80 |
| 铝合金 | 一般件 | 200~300 | 200~300 |
| | 薄壁复杂件 | 300~350 | 300~350 |
| | 金属芯 | 200~300 | 200~300 |
| 镁合金 | 一般件 | 200~350 | 200~350 |
| | 薄壁复杂件 | 300~400 | 300~400 |
| | 金属芯 | 300~400 | 300~400 |
| 铜合金 | 锡青铜 | 150~250 | 60~100 |
| | 铝青铜 | 120~200 | 取 60~80 (≤120 都可) |
| | 铅青铜 | 80~125 | 50~75 |
| | 一般黄铜 | 100~150 | ≤100 |
| | 铅黄铜 | 350~400 | 250~300 |

3.5.3 浇注铸件

金属型铸造时浇注温度应选择合适。浇注温度太高则铸件冷却缓慢, 结晶粗大, 力学性能降低, 易形成气孔、针孔等缺陷; 浇注温度太低则易导致浇不到、冷隔等缺陷。因此, 浇注温度应根据铸件结构及铸造工艺特点进行具体分析后选择, 在选择时至少应考虑下列诸因素:

1) 形状复杂的薄壁铸件, 浇注温度应偏高些; 形状简单, 壁厚较大, 质 (重) 量大的铸件, 浇注温度可适当降低。

2) 应根据金属型预热温度的波动, 适当调节浇注温度。预热温度高时, 适当降低浇注温度。

3) 由于铸件结构特点的要求, 浇注速度是不同的。浇注速度快时, 宜适当降低浇注温度; 需缓慢浇注的铸件, 浇注温度应适当提高。

4) 运用顶注式浇注系统时, 可用较低的浇注温度; 运用底注浇注系统时, 要求较高的浇注温度。

5) 型芯材料用砂芯时, 浇注温度可稍低。

几种合金的浇注温度可参考表 7-118。

表 7-118 几种合金的浇注温度 (°C)

| 黑色金属 | | | 有色金属 | | |
|-------|-----------|-------------|------|------|-------------|
| 铸造合金 | 铸件特点 | 浇注温度 | 铸造合金 | 铸件特点 | 浇注温度 |
| 普通灰铸铁 | 壁厚 > 20mm | 1300 ~ 1350 | 铝合金 | 铝硅合金 | 680 ~ 740 |
| | < 20mm | 1360 ~ 1400 | | 铝铜合金 | 700 ~ 750 |
| 球墨铸铁 | | 1360 ~ 1400 | | 铝镁合金 | 690 ~ 730 |
| 可锻铸铁 | | 1320 ~ 1350 | | 铝锌合金 | 700 ~ 760 |
| 普通碳素钢 | 大件 | 1420 ~ 1440 | 锡青铜 | | 1050 ~ 1150 |
| | 中、小件 | 1420 ~ 1450 | 铝青铜 | | 1130 ~ 1200 |
| 高锰钢 | | 1320 ~ 1350 | 磷青铜 | | 980 ~ 1060 |
| 镁合金 | | 720 ~ 750 | 锰铁黄铜 | | 1000 ~ 1040 |

注：1. 本资料所列浇注温度仅供参考。

2. 关于锡青铜的浇注温度，有的工厂认为应高于 1150°C 浇注效果好。

3. 磷青铜浇注温度过高时，冒口处上涨现象较严重，应注意控制温度。

4. 镁合金的浇注温度，个别情况下可低于 720°C。

3.5.4 金属型的冷却

连续生产时，金属型的温度可能会超过工艺上所规定的温度。浇注前金属型温度过高，会导致铸件质量下降（如金属晶粒粗大等）、降低劳动生产率、加

速金属型的损坏、恶化劳动条件。铸件结构有时也要求对不同部位有不同的冷却速度。故金属型的冷却方法及其设计，是金属型设计的重要内容之一。金属型的冷却方法见表 7-119，图 7-76 ~ 图 7-80。

表 7-119 金属型冷却方法

| 冷却原理 | 冷却方法 | 设计要点 | 特点及应用 | 图例 |
|-----------------|----------------------|--|---|-----------------|
| 增加金属型的散热面积 | 在金属型的背面设计散热片或散热刺 | 散热片的厚度，可根据金属型的大小，选 4 ~ 12mm，片与片之间距，可为散热片厚度的 1 ~ 1.5 倍。散热刺平均直径 10mm 左右，间距 30 ~ 40mm，它们的高度都以不超过金属型外廓尺寸为宜 | 虽散热效率较低，但一般金属型都可采用 | 图 7-76 |
| 加速空气流动，增加金属型的散热 | 对金属型抽气，强制通风 | 金属型背面设计成能通过气体的外壳，装进出气管，用抽气机经出气管抽气，此法还可和上种方法结合运用 | 散热效率高，散热较均匀，不致引起金属型中太大的内应力，可提高金属型寿命，并可和车间通风结合设计 | 图 7-77 |
| 用水加速金属型散热 | 水冷金属型 | 1. 金属型本体直接通水 2. 金属型背面装入水管，水管上钻小孔，对金属型喷水 | 制造使用不太方便、冷却作用太强，会使金属型产生很大的内应力，降低金属型使用寿命 | 图 7-78 |
| | 喷雾冷却 | 利用压缩空气使水雾化后喷到金属型上 | 缺点同水冷，但冷却作用较均匀 | |
| 利用水温缩小金属芯的温差 | 沾水或沾水剂涂料 | 水剂石墨涂料效果显著 | 适用于金属芯及活动块冷却。直接在水池中沾水冷却或沾水剂涂料冷却 | |
| 利用具有更大导热性的金属来散热 | 金属型上安装紫铜激冷块，或用铜质的排气塞 | 激冷块厚度一般取相应部分铸件厚度的 1.5 ~ 2 倍，大小取决于铸件要求激冷部位的大小 | | 图 7-79 ~ 图 7-80 |
| 调节温差 | 控制涂料层厚度 | 铸件厚壁处涂料层宜薄 | 铸件壁厚悬殊时常被采用以确保品质（质量） | |

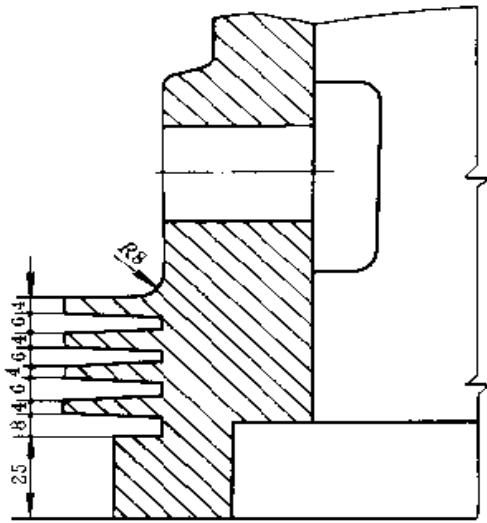


图 7-76 活塞金属型
(销孔座下带有散热片)

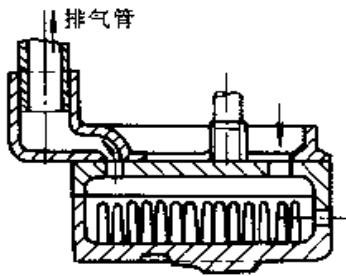


图 7-77 带排气管的金属型

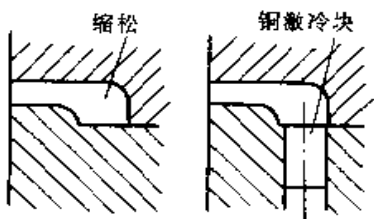


图 7-78 在铸件壁厚处设激冷块

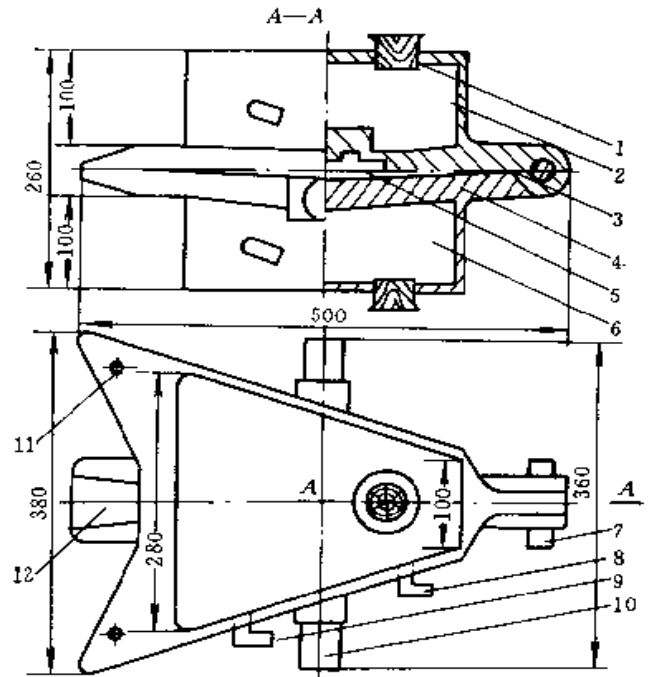


图 7-79 型铸金属型 (直接通水冷却)
1—木塞 2—上型水箱 3—上金属型
4—下金属型 5—型腔 6—下型水箱
7—开合型轴 8—出热水管 9—进冷水管
10—倾转轴 11—定位销孔 12—浇道

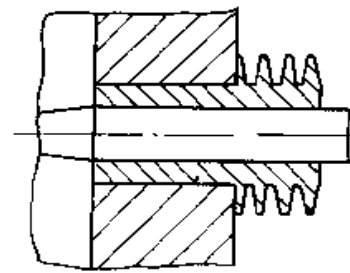


图 7-80 带散热片的激冷块

金属型采用强制冷却后，不仅为了提高铸件质量，而且可以提高劳动生产率和延长模具寿命。表 7-120 为自然冷却与水（强制）冷却的比较。

表 7-120 自然冷却与水冷金属型铸造型铸的比较

| 型 别 | 金属型套数 | 日产量 | 一套金属型的日产量 | 金属型寿命 |
|-------|-------|-------------|-----------|---------|
| 自然冷却型 | 50 套 | 800~900 条 | 16~18 条 | 5000 次 |
| 水冷型 | 8 套 | 1300~1600 条 | 150~200 条 | 10000 次 |

3.6 铸件常见缺陷及防止方法

金属型铸件常见缺陷及产生原因和防止方法，参见表 7-121。

表 7-121 金属型铸件常见缺陷及产生原因和防止方法

| 缺陷名称 | 缺陷特征 | 形成原因 | 常见于何种金属 | 防止方法 |
|---------------|--|---|--|--|
| 尺寸不合格 | 铸件尺寸超大或减小,壁厚增厚或减薄甚至缺肉 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 工艺装备图样设计有错误 2. 工艺装备制造不符合图样要求 3. 砂芯制造、搬运时的变形 4. 金属型准备不良涂料堆积或剥落 5. 金属型装配不正确 6. 型芯安装不正确 7. 浇注过程中型芯、活块、排气塞松动 8. 取件、切割浇冒口及清理造成的缺肉 9. 尺寸检验本身的错误或误差 | 各种合金 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 检查工装图是否符合铸件图 2. 检查工装制造是否符合工装图 3. 检查砂芯是否变形 4. 检查金属型涂料、安装等是否准确;型芯、活块是否到位;排气塞有否松动 5. 复查尺寸划线及测量是否准确 |
| 气孔、(气泡、呛孔、气窝) | <p>气孔是存在于铸件表面或内部的孔洞,呈圆形、椭圆形或不规则形,有时多个气孔组成一气孔团。皮下气孔一般呈梨形。呛孔形状不规则,且表面粗糙。气窝是铸件表面凹进一块,表面较平滑。明孔外观检查就能发现。皮下气孔经机械加工后才能发现。轻合金铸件有较浅的皮下气孔时,相应铸件表面经吹砂后呈暗灰色,有时梨形气孔尖端露出铸件表面,外观检查可见。重要铸件用 X 光检查气孔,气孔在 X 光底片上呈黑色。断口低倍检查也能发现气孔。</p> <p>由于合金与形成气孔的气体作用,气孔表面具有不同的颜色。</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. 金属型预热温度太低,液体金属经过浇注系统时冷却太快 2. 金属型排气设计不良,气体不能通畅排出 3. 涂料不好、本身排气性不佳,甚至本身挥发或分解出气体 4. 金属型外冷铁表面有缩孔、凹坑。液体金属注入后,缩孔、凹坑处气体迅速膨胀压液体金属,形成呛孔 5. 金属型表面锈蚀,且未清理干净 6. 原材料存放不当,使用前未经预热 7. 脱氧剂不佳,或用量不够,或操作不当等 | 各种合金铸件都常见,有色合金铸件(特别是锡青铜等)应特别注意 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 金属型和金属芯喷涂料或补涂料后要彻底烘烤;涂料粉粒组成不可太细,应注意涂料本身透气性;涂料喷刷后绝对不应抹光;在涂料脱落后应立即补喷;涂料面上产生呛孔时,将该处涂料刮掉后重喷。 2. 运用倾斜浇注法浇注 3. 原材料应存放在通风干燥处,使用时要预热 4. 选择脱氧效果好的脱氧剂 5. 熔炼温度不宜过高,有色合金尤为如此 |
| 缩孔及缩松 | <p>缩孔是铸件表面或内部存在的一种表面粗糙的孔。轻微缩孔是许多分散的小缩孔,即缩松。缩孔或缩松处晶粒粗大,热处理后断口表面呈不同颜色。</p> <p>轻合金铸件缩松在 X 光底片上呈云雾状,严重的呈丝状。表面疏松在荧光内呈密集的小点状。缩孔、缩松常发生在铸件内浇道附近、冒口根部、厚大部位、壁的厚薄转接处及具有大平面的厚壁处。</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. 金属型工作温度控制未达到定向凝固要求 2. 涂料选择不当,不同部位涂料层厚度控制不好 3. 铸件在金属型中的位置设计不当 4. 浇冒口设置未能达到起充分补缩的作用 5. 浇注温度过低或过高 | 各种合金都能产生缩孔或缩松。黑色金属中铸钢产生缩松的倾向大于铸铁。铸铁中,可锻铸铁和球墨铸铁缩松倾向大于普通灰铸件。有色合金缩孔缩松倾向大于黑色金属,而其中镁合金大于铝合金。锡青铜、黄铜等易产生缩孔。 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 提高金属型工作温度 2. 调整涂料层厚度;涂料喷刷要均匀;涂料脱落而补涂料时,不可形成局部涂料堆积现象 3. 对金属型进行局部加热或用绝热材料局部保温 4. 热节处镶铜块,对局部进行激冷 5. 金属型上设计散热片,或通水等加速局部地区冷却速度;或在型外喷水、喷雾 6. 用可拆卸激冷块,轮流安放在型腔内,避免连续生产时激冷块本身冷却不充分 7. 金属型冒口上设计加压装置 8. 浇注系统设计要准确,选择适宜的浇注温度 |

(续)

| 缺陷名称 | 缺陷特征 | 形成原因 | 常见于何种金属 | 防止方法 |
|------------------|---|---|--|--|
| 渣孔(熔剂夹渣或金属氧化物夹渣) | 渣孔是铸件上的明孔或暗孔,孔中全部或局部被熔渣所堵塞,外形不规则。小点状熔剂夹渣不易发现。内部熔剂夹渣在X光底片上一般呈白色圆形或雪花片状,小点状,在断口上呈暗灰色;将夹渣去除后,呈现光滑的孔。一般分布在浇注位置下部,内浇道附近或铸件死角处。氧化物夹渣多以网状分布在内浇道附近的铸件表面,有时呈薄片状,或带有波纹的不规则云形状,或形成片状夹层,或以团絮状存在铸件内部。打断口时,往往从夹层处断裂,氧化铁皮夹在其中,是铸件形成裂纹的根源之一。断口具有不同的颜色。在X光底片上,氧化物夹渣呈黑色块状,或不规则团絮状 | 渣孔主要是由于合金熔炼工艺及浇注工艺造成的(包括浇注系统的设计不正确),金属型本身来说,它不会引起渣孔,而且金属型铸造是避免渣孔的有效方法之一 | 各种合金铸件都可能出现渣孔,但是有色合金出现更多。其中铝合金不易出现熔剂夹渣,而氧化物夹渣倾向较大;铝青铜、锡青铜等易产生氧化物夹渣 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 浇注系统设置正确,或使用铸造纤维过滤网 2. 采用倾斜浇注 3. 选择熔剂,严格品质(质量)控制 |
| 针孔 | 针孔是小于或等于1mm的小孔,不规则地分布于铸件各部分,特别是铸件的厚大截面,或冷却速度缓慢的部分。针孔低倍放大后呈互不连接的小孔眼,在X光底片上呈小黑点,在断口上多呈互不连续的乳白色小凹点 | 氢气在铝合金中的溶解度随温度的升高而增加,随温度的降低而减小。铸件在冷却过程中,若析出的氢气未能排出则在铸件内形成针孔 | 铝合金最多 | <p>金属型铸造可有效地防止针孔,在此基础上还应采取以下措施:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 运用铜质激冷块 2. 将砂芯改为金属芯,减少加工余量 3. 遵守熔炼工艺规程 4. 注意原材料的存放 |
| 裂纹(热裂和冷裂纹) | <p>裂纹的外观是直线或不规则的曲线。热裂断口表面被强烈氧化呈暗灰色或黑色,无金属光泽;冷裂断口表面清洁,有金属光泽</p> <p>一般铸件的外裂直接可以看见,而内裂则需经X光检查</p> <p>裂纹常与缩孔疏松、夹渣等缺陷有联系,多发生在铸件尖角处内侧,厚薄断面交接处,浇冒口与铸件连接的热节区</p> | 金属型铸造容易产生裂纹缺陷。因为金属型本身没有退让性,冷却速度快,容易造成铸件内应力增大,开型过早或过晚,铸造斜度过小或有反斜度,涂料太薄等都易造成铸件开裂。金属型本身有裂纹或其他缺陷时,也容易导致铸件裂纹 | 各种合金都易产生这种缺陷,但铸造铜合金(除锡青铜外)一般不易产生裂纹 | <p>首先应注意铸件结构工艺性,使铸件壁厚不均匀的部位均匀过渡,采用合适的圆角尺寸。其次是调整涂料厚度,尽可能使铸件各部分达到所要求的冷却速度,避免形成太大的内应力。此外还应注意金属型的工作温度,增加金属芯的铸造斜度,以及适时抽芯开型,取出铸件缓冷</p> |
| 冷隔 | 冷隔是一种透缝或有圆边缘的表面夹缝,中间被氧化皮隔开,不完全融为一体。冷隔严重时就成了“欠铸”。冷隔常出现在铸件顶部壁上,薄的水平面或垂直面,厚薄壁连接处,或在薄的肋板上 | 金属型排气设计不好,工作温度太低,涂料品质(质量)不好,浇道开设位置不当,浇注速度太慢等 | 各种合金 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 正确设计浇注和排气系统 2. 大面积薄壁铸件,涂料不要太薄,适当加厚涂料层有利于成型 3. 适当提高金属型工作温度 4. 运用倾斜浇注法 5. 采用机械振动金属型进行浇注 |
| 白口 | 铸件断面发亮,硬而不易机械加工 | 金属型预热温度太低,未使用涂料,开型时间太晚,金属型壁厚太厚等 | 灰铸铁件 | 灰铸铁件防止白口出现是专门问题,参考第三章1.4~1.6。 |

注:本表中未列入与普通砂型铸造类似的缺陷及有关分析。

4 压力铸造

4.1 压铸工艺原理及参数

4.1.1 冲头移动速度与压射压力的变化

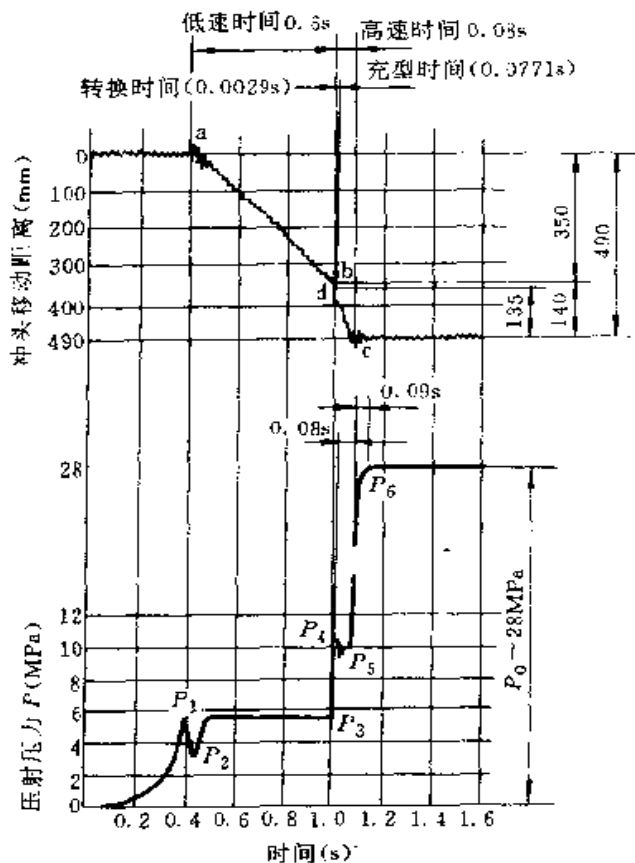


图 7-81 冲头移动速度与压射压力的变化

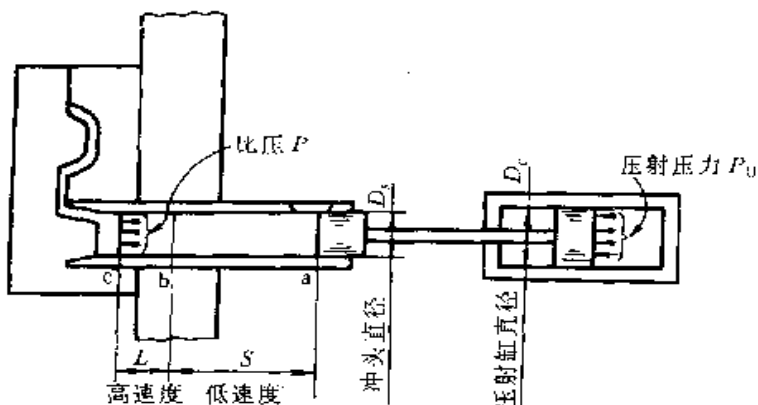


图 7-82 压射压力与冲头移动状态

压射压力 P_0 是通过压铸机压射缸内的工作液传递产生的，比压 P 是压射压力与压室截面积之比，常用的比压，见表 7-123。

冲头速度有二级或三级等压射速度，由压铸机的压射机构所决定。冲头速度越高，压射机构输出的功率越大，现代压铸机的冲头速度高达 $5\sim 9\text{m/s}$ 。

充型速度是合金液在压力作用下，通过内浇道导入型腔时的线速度。不同情况下的充型速度，见表 7-124。

表 7-122 冲头移动速度与压射压力的变化

| 序号 | 压铸阶段 | 冲头移动状态 (图 7-82) | 冲头移动速度与压射压力的变化 (图 7-81) |
|----|------------|------------------------------------|--|
| 1 | 低速阶段 | 冲头由 a 移至 b，位移为 S，合金液充满压室至内浇道处的空间 | 1. 冲头位移由 a 至 b，冲头速度较低； 2. 相应地压力的变化为 P_1 、 P_2 、 P_3 ，低速阶段的压力也不高 |
| 2 | 低速到高速的转换阶段 | 冲头由 b 移至 c，位移为 L，合金液通过内浇道开始充型，直至充满 | 1. 冲头由 b 移至 c，即由低速向高速转换，转换的基准点是 d 2. 由于内浇道的阻力，压力 P_3 急剧上升至 P_4 |
| | 充型阶段 | | 1. 冲头由 d 移至 c，d 点时开始充型，c 点结束，为充型阶段，冲头高速运动 2. 压力为 P_4 时开始充型，减至 P_5 时充型结束 |
| 3 | 增压阶段 | 冲头仅有微小的位移 | 1. 充型刚一结束，压力 P_5 急速上升，在很短的时间内，达到最高压力 P_6 。 2. 冲头微小的位移对正在凝固的铸件进行“压”“实” |

注：一般的压铸件由低速到高速的转换时间最好从内浇道开始充填为基准，薄壁复杂件可比这个基准稍稍提前，厚壁简单件可迟后。

表 7-123 压铸合金常用比压 (MPa)

| 压铸合金 | 铸件壁厚 < 3mm | | 铸件壁厚 3~6mm | |
|------|------------|-----------|------------|-----------|
| | 结构较简单 | 结构较复杂 | 结构较简单 | 结构较复杂 |
| 锌合金 | 20.0~30.0 | 30.0~40.0 | 40.0~50.0 | 50.0~60.0 |
| 铝合金 | 25.0~35.0 | 35.0~45.0 | 45.0~60.0 | 60.0~70.0 |
| 镁合金 | 30.0~40.0 | 40.0~50.0 | 50.0~60.0 | 60.0~80.0 |
| 铜合金 | 40.0~50.0 | 50.0~60.0 | 60.0~70.0 | 70.0~80.0 |

表 7-124 充型速度

| 铝合金 | | 浇口速度 (m/s) | | |
|-------------|------------|------------|-------|-------|
| 铸件质(重)量 (g) | 浇口速度 (m/s) | 锌合金 | 镁合金 | 铜合金 |
| < 500 | 30 | | | |
| 500~1000 | 40 | 20~40 | 40~75 | 30~40 |
| 1000~2500 | 50 | | | |
| > 2500 | 60 | | | |

表 7-125 充型时间

| 合金种类 | 铸件壁厚 | |
|--------------|-------|-------|
| | 均匀 | 不均匀 |
| 充型时间 T (s) | | |
| 铅合金、锡合金 | 0.072 | 0.108 |
| 锌合金 | 0.060 | 0.090 |
| 铝合金 | 0.054 | 0.081 |
| 镁合金、铜合金 | 0.048 | 0.054 |

4.1.2 充型时间

不同情况下的充型时间, 见表 7-125。

4.1.3 合金液充型过程中压力的变化

对截面不变的沟槽类铸件, 测得离内浇道距离依次增加的 A、B、C、D 各点的时间与压力变化曲线分别为 P_A 、 P_B 、 P_C 和 P_D 见图 7-83。

由图看出:

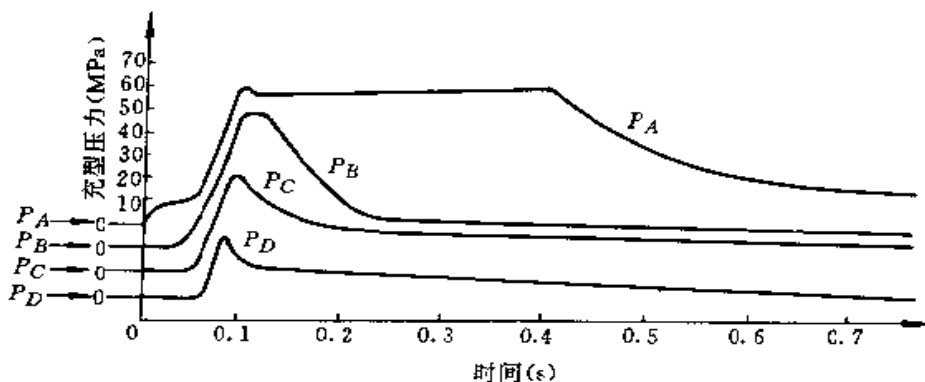


图 7-83 充型压力随时间的变化

1) 离内浇道最近的 A 点压力 P_A 最先开始上升, 压力峰值也最高, 达到压力峰值后保持高压的时间最长, 然后依次是 P_B 、 P_C 、 P_D 。

2) 型腔末端 (离内浇道距离最远) 的 D 点压力 P_D 最先到达峰值, 压力从开始上升到达到峰值的时

间最短, 然后依次是 P_C 、 P_B 、 P_A 。

4.1.4 压室内产生的破碎激冷层

浇入压室内的合金液受到压室壁面的激冷作用形成了很薄的凝固层, 压射时被压射冲头剥离、破碎, 卷入合金液之中, 见图 7-84, 在压铸件中形成了不同

于正常组织的破碎激冷层。破碎激冷层与正常组织之间存在界面缝隙，见图 7-85，致使压铸件的强度下降，耐压不良。

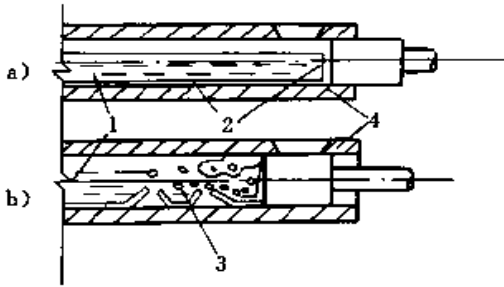


图 7-84 凝固层与破碎激冷层

a) 合金液浇入压室后 b) 开始压射

1—合金液 2—凝固层 3—破碎激冷层 4—压室

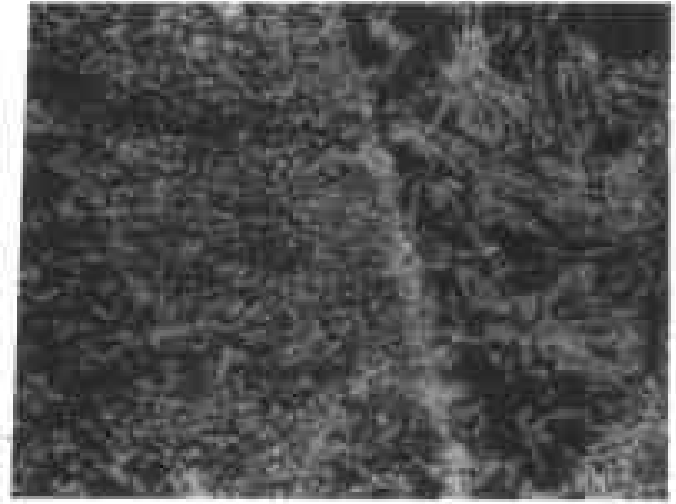


图 7-85 破碎激冷层、正常组织与界面缝隙

HF0.5% 腐蚀 600×

a) 破碎激冷层 b) 正常组织 c) 界面缝隙

4.1.5 压铸型预热温度和连续工作温度

各种合金的压铸型预热温度和连续工作温度，见表 7-126。

表 7-126 各种合金的压铸型预热温度和连续工作温度

(°C)

| 合 金 | 温 度 种 类 | 壁厚至 3mm | | 壁厚大于 3mm | |
|------|----------|---------|---------|----------|---------|
| | | 结构简单 | 结构复杂 | 结构简单 | 结构复杂 |
| 锡铅合金 | 连续工作保持温度 | 85~95 | 90~100 | 80~90 | 85~100 |
| 锌合金 | 预热温度 | 130~180 | 150~200 | 110~140 | 120~150 |
| | 连续工作保持温度 | 130~200 | 190~220 | 140~170 | 150~200 |
| 铝合金 | 预热温度 | 150~180 | 200~230 | 120~150 | 150~180 |
| | 连续工作保持温度 | 180~240 | 250~280 | 150~180 | 180~200 |
| 铝镁合金 | 预热温度 | 170~190 | 220~240 | 150~170 | 170~190 |
| | 连续工作保持温度 | 200~220 | 260~280 | 180~200 | 200~240 |
| 镁合金 | 预热温度 | 150~180 | 200~230 | 120~150 | 150~180 |
| | 连续工作保持温度 | 180~240 | 250~280 | 150~180 | 180~220 |
| 铜合金 | 预热温度 | 200~230 | 230~250 | 170~200 | 200~230 |
| | 连续工作保持温度 | 300~330 | 330~350 | 250~300 | 300~350 |

4.1.6 浇注温度

各种合金的浇注温度,见表 7-127。

表 7-127 各种合金浇注温度 (°C)

| 合 金 | | 铸件壁厚至 3mm | | 铸件壁厚 > 3mm | |
|-----|------|-----------|---------|------------|---------|
| | | 结构简单 | 结构复杂 | 结构简单 | 结构复杂 |
| 锌合金 | 含铝的 | 420~440 | 430~450 | 410~430 | 420~440 |
| | 含铜的 | 520~540 | 530~550 | 510~530 | 520~540 |
| 铝合金 | 含硅的 | 610~630 | 640~680 | 590~630 | 610~630 |
| | 含铜的 | 620~650 | 640~700 | 600~640 | 620~650 |
| | 含镁的 | 640~660 | 660~700 | 620~660 | 640~670 |
| 镁合金 | | 640~680 | 660~700 | 620~660 | 640~680 |
| 铜合金 | 普通黄铜 | 850~900 | 870~920 | 820~860 | 850~900 |
| | 硅黄铜 | 870~910 | 880~920 | 850~900 | 870~910 |

注: 1. 浇注温度一般以保温炉金属液温度表示。

2. 锌合金温度不宜超过 450°C, 否则结晶粗大。

4.1.7 压铸用涂料

压铸涂料的种类、成分、特点及应用见表 7-128。

表 7-128 压铸涂料的种类、成分、特点及应用

| 序号 | 种 类 | 主要成分 | 主要特点 | 应 用 |
|----|------------|--|--|-------|
| 1 | 油 基 涂 料 | 动、植物油, 矿物油, 合成油, 油性改善剂, 固体添加剂 | 1. 烟雾大、污染环境 2. 润滑性好 | 多用于冲头 |
| 2 | 水 基 涂 料 | 润滑剂、高温粘附剂、高温成膜剂、乳化剂、极压添加剂、防腐杀菌剂、分散剂、润湿剂、抗氧化剂 | 1. 改善环境污染 2. 除润滑、脱模作用外, 可冷却压铸型, 提高生产率 3. 用喷枪喷涂 4. 便于自动化生产 | 型腔和冲头 |

4.2 压铸合金

1) 压铸锌合金的化学成分和力学性能, 见表 7-129。

表 7-129 压铸锌合金的化学成分和力学性能 (GB/T13818—92)

| 序号 | 合金牌号 | 合金代号 | 化学成分(%) | | | | | | | | | | 力学性能(不低于) | | | |
|----|------------|-------|-----------------|-------------------|-------------------|----|-----------|-------|-------|-------|------|--|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|--------------|
| | | | 主要成分 | | | | 杂质含量(不大于) | | | | | | 抗拉强度 σ_b (MPa) | 伸长率 δ (%) ($L_0=50$) | 布氏硬度 (HB) (5/250/30) | 冲击吸收功 (J) |
| | | | 铝 | 铜 | 镁 | 锌 | 铁 | 铅 | 锡 | 镉 | 铜 | | | | | |
| 1 | ZZnAl4Y | YXO40 | 3.5 ~ 4.3 | | 0.02 ~ 0.06 | 其余 | 0.1 | 0.005 | 0.003 | 0.004 | 0.25 | | 250 | 1 | 80 | 35 |
| 2 | ZZnAl4Cu1Y | YXO41 | 3.5 ~ 4.3 | 0.75 ~ 1.25 | 0.03 ~ 0.08 | 其余 | 0.1 | 0.005 | 0.003 | 0.004 | | | 270 | 2 | 90 | 39 |
| 3 | ZZnAl4Cu3Y | YXO43 | 3.5 ~ 4.3 | 2.5 ~ 3.0 | 0.02 ~ 0.06 | 其余 | 0.1 | 0.005 | 0.003 | 0.004 | | | 320 | 2 | 95 | 42 |

压铸铝合金的化学成分和力学性能, 见表 7-130。

表 7-130 压铸铝合金化学成分和力学性能 (GB/T15115—94)

| 序号 | 合金牌号 | 合金代号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | | | | | 力学性能(不低于) | | | |
|----|---------------|-------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|---|----|-----------|-----|------|-----|-----|------|------|------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|----|
| | | | 主要成分 | | | | | | 杂质含量(不大于) | | | | | | | | 抗拉强度 σ_b (MPa) | 伸长率 δ (%) ($L_0=50$) | 布氏硬度 (HB)(5/ 250/30) | |
| | | | 硅 | 铜 | 镁 | 锰 | 锌 | 铝 | 铁 | 铜 | 镁 | 锰 | 锌 | 镍 | 钛 | 锡 | | | | 铅 |
| 1 | YZAlSi12 | YL102 | 10.0 ~ 13.0 | | | | | 其余 | 1.2 | 0.6 | 0.05 | 0.6 | 0.3 | | | | | 220 | 2 | 60 |
| 2 | YZAlSi10Mg | YL104 | 8.0 ~ 10.5 | | 0.17 ~ 0.3 | 0.2 ~ 0.5 | | 其余 | 1.0 | 0.3 | | | 0.3 | | 0.01 | 0.05 | | 220 | 2 | 70 |
| 3 | YZAlSi12Cu2 | YL108 | 11.0 ~ 13.0 | 1.0 ~ 2.0 | 0.4 ~ 1.0 | 0.3 ~ 0.9 | | 其余 | 1.0 | | | | 1.0 | 0.05 | 0.01 | 0.05 | | 240 | 1 | 90 |
| 4 | YZAlSi9Cu4 | YL112 | 7.5 ~ 9.5 | 3.0 ~ 4.0 | | | | 其余 | 1.0 | | 0.3 | 0.5 | 1.2 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | | 240 | 1 | 85 |
| 5 | YZAlSi11Cu3 | YL113 | 9.6 ~ 12.0 | 1.5 ~ 3.5 | | | | 其余 | 1.2 | | 0.3 | 0.5 | 1.0 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | | 230 | 1 | 80 |
| 6 | YZAlSi17Cu5Mg | YL117 | 16.0 ~ 18.0 | 4.0 ~ 5.0 | 0.45 ~ 0.65 | | | 其余 | 1.2 | | | 0.5 | 1.2 | 0.1 | 0.1 | | | 220 | <1 | |
| 7 | YZAlMg5Si1 | YL302 | 0.8 ~ 1.3 | | 4.5 ~ 5.5 | 0.1 ~ 0.4 | | 其余 | 1.2 | 0.1 | | | | 0.2 | | 0.2 | | 220 | 2 | 70 |

2) 压铸镁合金的化学成分和力学性能见表 7-131。

表 7-131 压铸镁合金的化学成分和力学性能 (JB3070—82)

| 合金牌号 | 合金代号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | 力学性能 (不低于) | | |
|-----------|------|-----------------|-----------------|------------------|----|------------|-----|------|------|-----|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| | | 主要成分 | | | | 杂质含量 (不大于) | | | | | 抗拉强度 σ_b (MPa) | 伸长率 δ (%) ($L_0=50$) | 布氏硬度 (HB) (5/250/30) |
| | | 铝 | 锌 | 锰 | 镁 | 铁 | 铜 | 硅 | 镍 | 总和 | | | |
| YZMgAl9Zn | YM5 | 7.5 ~ 9.0 | 0.2 ~ 0.8 | 0.15 ~ 0.5 | 其余 | 0.08 | 0.1 | 0.25 | 0.01 | 0.5 | 200 | 1 | 65 |

3) 压铸铜合金的化学成分和力学性能见表 7-132。

4) 日本压铸合金标准见表 7-133~表 7-135。

表 7-133 压铸锌合金的化学成分 (%) JIS H5301—1990

| 种类 | 合金代号 | Al | Cu | Mg | Fe | Zn | 杂 质 | | |
|----|------|---------|-----------|-----------|-------|----|--------|--------|--------|
| | | | | | | | Pb | Cd | Sn |
| 1 | ZDC1 | 3.5~4.3 | 0.75~1.25 | 0.02~0.06 | <0.10 | 其余 | <0.005 | <0.004 | <0.003 |
| 2 | ZDC2 | 3.5~4.3 | <0.25 | 0.02~0.06 | <0.10 | 其余 | <0.005 | <0.004 | <0.003 |

表 7-134 压铸铝合金的化学成分 JIS H5302—1990

| 种类 | 合金代号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | |
|-----|--------|-------------|-----------|-----------|------|------|---------|------|------|----|
| | | Cu | Si | Mg | Zn | Fe | Mn | Ni | Sn | Al |
| 1 | ADC1 | <1.0 | 11.0~13.0 | <0.3 | <0.5 | <1.3 | <0.3 | <0.5 | <0.1 | 其余 |
| 3 | ADC3 | <0.6 | 9.0~10.0 | 0.4~0.6 | <0.5 | <1.3 | <0.3 | <0.5 | <0.1 | 其余 |
| 5 | ADC5 | <0.2 | <0.3 | 4.0~8.5 | <0.1 | <1.8 | <0.3 | <0.1 | <0.1 | 其余 |
| 6 | ADC6 | <0.1 | <1.0 | 2.5~4.0 | <0.4 | <0.8 | 0.4~0.6 | <0.1 | <0.1 | 其余 |
| 10 | ADC10 | 2.0~4.0 | 7.5~9.5 | <0.3 | <1.0 | <1.3 | <0.5 | <0.5 | <0.3 | 其余 |
| 10Z | ADC10Z | 2.0~4.0 | 7.5~9.5 | <0.3 | <3.0 | <1.3 | <0.5 | <0.5 | <0.3 | 其余 |
| 12 | ADC12 | 1.5~3.5 | 9.6~12.0 | <0.3 | <1.0 | <1.3 | <0.5 | <0.5 | <0.3 | 其余 |
| 12Z | ADC12Z | 1.5~3.5 | 9.6~12.0 | <0.3 | <3.0 | <1.3 | <0.5 | <0.5 | <0.3 | 其余 |
| 14 | ADC14 | 4.0~5.0 | 16.0~18.0 | 0.45~0.65 | <1.5 | <1.3 | <0.5 | <0.3 | <0.3 | 其余 |

表 7-132 压铸铜合金的化学成分和力学性能(GB/T15116-94)

| 序号 | 合金牌号 | 合金代号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | | | | | 力 学 性 能 | | | | | | | | | | |
|----|------------------|------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----|-----------------|----|----|----|-------------|------------|---------------|------------|---------------------------|----|----|----|-------------------|------------------|-----|----|-----|
| | | | 主 要 成 分 | | | | | 杂 质 含 量 (不 大 于) | | | | | | 抗拉强度 (MPa) | 伸长率 (%) | 布氏硬度 ^② (HB) | | | | | | | | |
| | | | Cu | Pb | Al | Si | Mn | Fe | Zn | Fe | Sn | Ni | Sn | | | | Mn | Al | Pb | Sb | 总和 | | | |
| 1 | YZCuZn40Pb | YT40-1 | 58.0 ~ 63.0 | 0.5 ~ 1.5 | 0.2 ~ 0.5 | | | | | | 余 | 0.8 0.05 | | 0.5 | | | | | | 1.0 | 1.5 | 300 | 6 | 85 |
| 2 | YZCuZn16Si4 | YT16-4 | 79.0 ~ 81.0 | | | 2.5 ~ 4.5 | | | | | 余 | 0.6 | | 0.3 0.5 | 0.1 0.5 | | | | | 0.1 | 2.0 | 345 | 25 | 85 |
| 3 | YZCuZn30Al3 | YT30-3 | 66.0 ~ 68.0 | | 2.0 ~ 3.0 | | | | | | 余 | 0.8 | | 1.0 0.5 | | | | | | 1.0 | 3.0 | 400 | 15 | 110 |
| 4 | YZCuZn35Al2Mn2Fe | YT35-2-2-1 | 57.0 ~ 65.0 | 0.5 ~ 2.5 | 0.1 ~ 3.0 | 0.5 ~ 2.0 | | | | | 余 | | 0.1 3.0 | 1.0 | | | | | | 0.5 +As 0.4 | 2.0 ^① | 475 | 3 | 130 |

① Ni 不计入杂质总量。

② 布氏硬度参数 5/250/30。

表 7-135 镁合金的化学成分 JIS H5303—1991

| 种类 | 合金代号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | | |
|----|-------|-------------|----------|-----------------|----------|--------|--------|--------|----|
| | | Al | Zn | Mn ^① | Si | Cu | Ni | Fe | Mg |
| 1A | MD1A | 8.3~9.7 | 0.35~1.0 | >0.15 | ≤0.50 | ≤0.10 | ≤0.03 | — | 其余 |
| 1B | MD1B | 8.3~9.7 | 0.35~1.0 | >0.15 | ≤0.50 | ≤0.35 | ≤0.03 | — | 其余 |
| 1D | MD1D | 8.3~9.7 | 0.35~1.0 | >0.15 | ≤0.10 | ≤0.30 | ≤0.002 | <0.005 | 其余 |
| 2A | MD12A | 5.5~6.5 | <0.22 | >0.13 | ≤0.50 | ≤0.35 | ≤0.03 | — | 其余 |
| 2B | MD12B | 5.5~6.5 | <0.22 | >0.25 | ≤0.10 | ≤0.010 | ≤0.002 | <0.005 | 其余 |
| 3A | MD13A | 3.5~5.0 | <0.12 | 0.20~0.50 | 0.50~1.5 | ≤0.06 | ≤0.03 | — | 其余 |

① 日本标准原文将 5 种合金的 Mn 含量标明为最低值，恐有误，似应为最大值。

4.3 压铸机

4.3.1 压铸机的主要技术规格

1) 热室压铸机的主要技术规格，见表 7-136。

表 7-136 JZ213A 型热室压铸机主要技术规格

| 名 称 | 数 据 | 名 称 | 数 据 |
|--------------------|---------|-----------------------------|--------|
| 合型力 (kN) | 250 | 顶出力 (kN) | 26.9 |
| 动型板行程 (mm) | 200 | 顶出行程 (mm) | 50 |
| 拉缸内间距 (水平×垂直) (mm) | 240×240 | 铸件最大投影面积 (cm ²) | 130 |
| 型板尺寸 (水平×垂直) (mm) | 400×400 | 一次金属浇入量 (锌合金) (kg) | 0.6 |
| 拉缸直径 (mm) | 46 | 机器空循环周期 (s) | 3 |
| 压型厚度 (最小/最大) (mm) | 120/320 | 电机功率 (kW) | 7.5 |
| 压射力 (kN) | 30 | 电炉功率 (kW) | 15 |
| 压射全行程 (mm) | 110 | 坩埚有效容量 (锌合金) (kg) | 120 |
| 标准压室直径 (mm) | 45 | 油泵工作压力 (MPa) | 7 |
| 压射位置 (mm) | 0; 40 | 生产厂 | 上海压铸机厂 |

2) 立式冷室压铸机的主要技术规格，见表 7-137。

表 7-137 立式冷室压铸机主要技术规格

| 名 称 | | 数 值 | | | |
|--------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | J1513 | J1516 | J1525 | 1500kN |
| 合型力 (kN) | | 1250 | 1600 | 2500 | 1500 |
| 压射力 (kN) | | 135~340 | 150~280 | 180~400 | 143~366 |
| 压型厚度 | 最小 (mm) | 250 | 200 | 250 | 250 |
| | 最大 (mm) | 500 | 550 | 650 | 500 |
| 动型板行程 (mm) | | 350 | 350 | 400 | 330 |
| 拉杆内间距 (水平×垂直) (mm) | | 420×420 | 420×420 | 520×520 | 440×460 |
| 顶出力 (kN) | | 100 | 100 | 120 | 85 |
| 顶出行程 (mm) | | 80 | 80 | 100 | 80 |
| 压射位置 (mm) | | 0 | 0 | 0; 80 | 0 |
| 压射回程力 (kN) | | 83 | 80 | — | 93 |
| 切料力 (kN) | | 135 | 135 | — | 113 |
| 一次金属浇入量 (铝合金) (kg) | | 1.3 | 2 | 3.6 | 1.48 |
| 压室直径 (mm) | | 65; 80 | 70; 80; 90 | 90; 100; 110 | 70; 80; 90 |
| 比 压 | 最大 (MPa) | 100 | 72.8 | 62.9 | 89.0 |
| | 最小 (MPa) | 27 | 23.6 | 19 | 54 |
| 铸件投影面积 | 最大 (cm ²) | 460 | 678 | 1315 | 278 |
| | 最小 (cm ²) | 125 | 220 | 397 | 168 |
| 压射行程 (mm) | | 260 | 280 | 350 | 260 |
| 空循环周期 (s) | | — | 9 | 10 | 9 |
| 空循环次数 (次/h) | | ≈200 | 200 | ≥120 | — |
| 管路工作压力 (MPa) | | 12 | 12 | 12 | 10 |
| 功率 (kW) | | 11 | 15 | 15 | 17 |
| 外形尺寸 (mm) | | 3500×1300 ×2500 | 3720×1571 ×2903 | 4670×1950 ×3312 | 3850×1800 ×2800 |
| 质 (重) 量 (t) | | 5 | 6.36 | 11.1 | 8 |
| 压射速度 (m/s) | | — | 3.8 | 2.7 | 2.4 |
| 增压建压时间 (ms) | | — | 20 | 20 | 19 |
| 生产厂 | | 上海压铸机厂 灌南压铸机厂 | 北京锻压机床厂 | 阜新压铸机厂 | 阜新压铸机厂 |

3) 卧式冷室压铸机的主要技术规格见表 7-138。

表 7-138 卧式冷室压

| 序号 | 名 称 | | 数 | | | | |
|----|-------------------------|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | | J113A | J116B | J116C | J1110A | J1113A |
| 1 | 合型力 (kN) | | 250 | 630 | 630 | 1000 | 1250 |
| 2 | 压射力 (kN) | | 35 | 85 | 85 | 70~150 | 137.2 |
| 3 | 压型厚度最大/最小 (mm) | | 320/120 | 350/150 | 350/150 | 450/150 | 800/350 |
| 4 | 动型板行程 (mm) | | 200 | 250 | 250 | 300 | 450 |
| 5 | 拉杆内间距 (mm) | | 240×240 | 280×280 | 280×280 | 350×350 | 650 (水平) |
| 6 | 顶出力 (kN) | | — | — | 48 | 80 | 122.5 (开型力) |
| 7 | 顶出行程 (mm) | | — | — | 50 | 60 | — |
| 8 | 压射位置 (mm) | | 0~30 | 0~60 | 0~60 | 0~100 | 0~120 |
| 9 | 压射回程力 (kN) | | — | — | — | — | — |
| 10 | 一次金属浇入量 (Al) (kg) | | 0.3 | 0.7 | 0.6 | 1 | 2 |
| 11 | 压室直径 (mm) | | 25; 30 | 35; 40; 45 | 30; 40; 45 | 40; 50 | 40; 50; 60; 70 |
| 12 | 压射比压 (MPa) | 最大 | 71.3 | 88.4 | 120.2 | 119.5 | 109 |
| | | 最小 | 49.5 | 53.5 | 53.4 | 76.5 | 35.8 |
| 13 | 投影面积 (cm ²) | 最大 | 50 | 118 | 118 | 117 | 290 |
| | | 最小 | 35 | 71 | 52 | 75 | 95 |
| 14 | 压射行程 (mm) | | — | 260 | 270 | 300 | 320 |
| 15 | 空循环周期 (s) | | 4 | — | 5 | — | — |
| 16 | 空循环次数 (次/h) | | — | — | — | — | 180 |
| 17 | 管路工作压力 (MPa) | | 6 | 11 | 12 | 10.5 | 9.5 |
| 18 | 功率 (kW) | | 7.5 | 11 | 11 | 11 | 15 |
| 19 | 外形尺寸 (mm) | | 3340×1100 ×1480 | 3780×1130 ×1810 | 4100×1350 ×1993 | 4000×1000 ×1700 | 4010×1815 ×2580 |
| 20 | 质 (重) 量 (t) | | 2.2 | 3.5 | 4 | 5 | 6 |
| 21 | 压射速度 (m/s) | | — | — | — | — | — |
| 22 | 建压时间 (ms) | | — | — | — | — | — |
| 24 | 生产厂 | | 上海压铸机厂 阜新压铸机厂 | 灌南压铸机厂 | 阜新压铸机厂 | 灌南压铸机厂 | 灌南压铸机厂 |

铸机的主要技术规格

| 值 | | | | | | | | |
|--------------------|--------------------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| J1113C | J1116 | J1116B | J1125B | J1125C | J1125D | J1140A | J1163A | J11160 |
| 1250 | 1600 | 1600 | 2500 | 2500 | 2500 | 4000 | 6300 | 16000 |
| 137.2 | 85~200 | 200 | 125~280 | 125~280 | 125~280 | 180~400 | 250~600 | 500~1250 |
| 800/350 | 550/200 | 550/200 | 650/250 | 650/250 | 650/250 | 750/300 | 850/350 | 950 |
| 450 | 350 | 350 | 400 | 400 | 400 | 450 | 600 | 600 |
| 650 (水平) | 420×420 | 420×420 | 520×520 | 520×520 | 520×520 | 620×620 | 750×750 | 1250×1250 |
| 122.5(开型力) | 100 | 100 | 120 | 120 | 120 | 180 | 250 | 550 |
| — | 80 | 80 | 100 | 100 | 100 | 120 | 150 | 250 |
| 0~120 | 0; 70; 140 | 0; 140 | 0; 80; 160 | 0; 80; 160 | 0~160 | 0; 100; 200 | 0; 125; 250 | 0; 175; 350 |
| — | — | — | 67 | — | — | 108 | — | — |
| 2 | 1.8 | 1.8 | 3.2 | 2.5 | 3.2 | 4.5 | 9 | 32 |
| 40;50;60;70 | 40;50;60 | 40;50;60 | 50;60;70 | 50;60;70 | 50;60;75 | 60;70;80 | 70;80;90;100 | 110;130;150 |
| 109 | 159 | — | 142 | 142 | 142 | 142 | 156 | 131.6 |
| 35.8 | 30 | — | 28.2 | 28.2 | 28.2 | 35 | 31.8 | 28.3 |
| 290 | 533 | — | 886 | 886 | 886 | 1143 | 1981 | 4800 |
| 95 | 100 | — | 176 | 176 | 176 | 283 | 528 | 1033 |
| 320 | — | — | 395 | — | — | 480 | 610 | — |
| — | 7 | — | 8 | 8 | 8 | 10 | 12 | 22 |
| 240 | — | — | — | — | ≥180 | ≥180 | 150 | — |
| 9.8 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 13 |
| 15 | 11 | — | 15 | 15 | 15 | 22 | 37 | 87.7 |
| 4220×1460 ×1960 | 4580×1400 ×1800 | — | 5925×1540 ×2050 | 6120×1490 ×1910 | 6450×1795 ×2335 | 7325×1850 ×2400 | 8345×2200 ×2685 | 12780×3530 ×4240 |
| 5.5 | 5 | — | 9 | 10 | 11 | 17 | 29 | 95 |
| — | 5.13 | — | 6.2 | 6.3 | 4.8 | 5.91 | 6 | 4.5 |
| — | 20 | — | 20 | 16 | 15 | 12 | 15 | ≤40 |
| 淮南压铸机厂 上海压铸机厂 | 上海压铸机厂 阜新压铸机厂 | 淮南压铸机厂 | 上海压铸机厂 | 北京锻压机 床厂 | 阜新压铸机厂 隆华机器厂 | 上海、阜新厂 隆华机器厂 | 上海锻压机 床厂 | 阜新压铸机厂 |

4) 电机转子压铸机的主要技术规格见表 7-139。

表 7-139 电机转子压铸机主要技术规格

| 名 称 | 数 值 | | |
|-------------------------|-------------------------|---------------|-----------------|
| | ZJ024 | 245kN | ZJ034 |
| 合型力 (kN) | 1600 | 245 | 1000 |
| 合型行程 (mm) | 350 | 300 | 350 |
| 压型高度 (mm) | 最大 | 420 | — |
| | 最小 | 250 | 200 |
| 拉杆内间距 (mm) | 660×560 | 400×400 | 420×420 |
| 压射力 (kN) | 90~190 | 32 | 140~350 |
| 压射行程 (mm) | 450 | 110 | 240 |
| 压室直径 (mm) | 55 65 75 | 35, 40, 45 | 55, 70, 85, 100 |
| 压射比压 (MPa) | 38~80 27~57 20~43 | 26 | 14.73~44.6 |
| 一次注铝量 (kg) | 1.9 2.7 3.58 | 0.25 | 3.5 |
| 投影面积 (cm ²) | 359~170 502~237 667~316 | 95 | 190 |
| 转子直径 (mm) | 98~180 | — | — |
| 叠片高度 (mm) | 105~195 | — | — |
| 压射位置 (mm) | 0; 130; 150; 170 | 0~90 | — |
| 空循环次数 (次/h) | 100~120 | — | 120 |
| 管路工作压力 (MPa) | 12 | 10 | 12 |
| 电机功率 (kW) | 15 | 7.5 | 15 |
| 浇口切断力 (kN) | 159 | — | — |
| 芯轴顶出力 (kN) | 11~38 | — | — |
| 外形尺寸 (长×宽×高) (mm) | 6857×3445×1977 | 1000×850×2390 | 3350×1500×2750 |
| 质 (重) 量 (kg) | 11000 | 主机 1700 | 5000 |
| 生产厂 | 上海压铸机厂 | 灌南压铸机厂 | |

4.3.2 压铸机的合型与压射机构

1) 合型机构的分类、特点及应用, 见表 7-140。

表 7-140 合型机构的分类、特点及应用

| 分 类 | 特 点 | 应用的压铸机 |
|---------|---|------------------|
| 全液压合型机构 | 1. 安装不同厚度的压铸型时, 不需调整开档 2. 生产过程中压铸型的热膨胀可以自动补偿而不影响合型力的大小 3. 合型的刚性和可靠性较差 4. 生产率低 5. 仅用于小型压铸机 | J1113A J1113C |

(续)

| 分 类 | 特 点 | 应用的压铸机 |
|-----------|---|---|
| 液压驱动机械扩力式 | 液压-曲肘合型机构 1. 更换不同厚度的压铸型时, 需调整开档 2. 生产过程中压铸型的热膨胀不能自动补偿 3. 通过曲肘连杆系统将锁型力放大, 合型缸直径可大大减小 4. 合型的刚性大, 而且可靠 5. 曲肘连杆机构运动特性优良, 开、合型速度变化合理 6. 开、合型速度快, 生产率高 7. 应用广泛, 特别是中、大型压铸机 | J116B J116C J1110A J1113B J1116 J1116B J1125B J1125C J1125D J1135 J1140A J1163A J1170 J11100 J11160 J11200 |
| | 液压-斜楔合型机构 1. 合型可靠、刚性大 2. 压铸型的热变形对合型力不发生影响 3. 合型机构复杂, 生产率低 4. 楔的抽出比较困难 5. 多用于大型压铸机 | FKM-600 |
| | 液压-闸板合型机构 1. 合型机构复杂, 合型比较可靠 2. 闸板插入与抽出比较容易 3. 生产率低于全液压、曲肘和斜楔式合型机构 4. 只用于大型压铸机 | Castmatic—3000 |

2) 压射机构的分类、特点及应用, 见表 7-141。

表 7-141 压射机构的分类、特点及应用

| 分 类 | 主 要 特 点 | 应用的压铸机 |
|----------|---|---|
| 无增压的压射机构 | 1. 压射终了时液压冲击峰值大 2. 为提高压射力, 必须加大压射油缸直径 3. 只适用于小型压铸机 | J113A J116C |
| 有增压的压射机构 | 单回路有背压增压器 压射和增压共用一个蓄压器, 增压活塞背压腔压力用顺序阀控制, 灵敏度差, 增压建压时间长 | J116B J1110A J1113A J1113C J1125C |
| | 双回路无背压增压器 1. 压射和增压各用独立的蓄压器, 增压活塞的背压为零, 增压建压时间短 2. 压射参数具有较大的调节范围, 而且互不干扰, 调节方便 | J1116 J1125B J1140A J1163A J1125D |

4.3.3 压铸机为压铸型设计提供的依据

径与铸件的最大质(重)量, 见图 7-86。

以 J11160 型压铸机为例:

4.3.4 压射冲头材料

1) 压铸机的主要技术规格, 见表 7-138。

冲头材料, 见表 7-142。

2) 压射力、比压与压铸件的投影面积、压室直

表 7-142 冲头材料及特点

| 冲 头 材 料 | 特 点 |
|----------------------------|--|
| 3Cr2W8V 4Cr5MoSiV (H13) | 1. 和压室硬度相近, 易产生擦伤, 使压室寿命降低 2. 要求附加润滑 |
| QT600-3 | 1. 耐磨性好, 韧度和疲劳强度较低, 使用寿命较短 2. 价格较低 |
| 表面改性的 QT600-3 | 1. 使用寿命比 QT600-3 长 2. 价格较 QT600-3 稍高 |
| BeCu20 | 1. 强度和硬度高, 耐磨性和冲击韧度好 2. 使用寿命比其它材料显著地延长 3. 价格昂贵 |

注: 1. 表面改性的 QT600-3 冲头, 由沈阳工业学院压铸技术研究中心研究并生产。

2. BeCu 合金冲头, 国内尚无生产厂家。

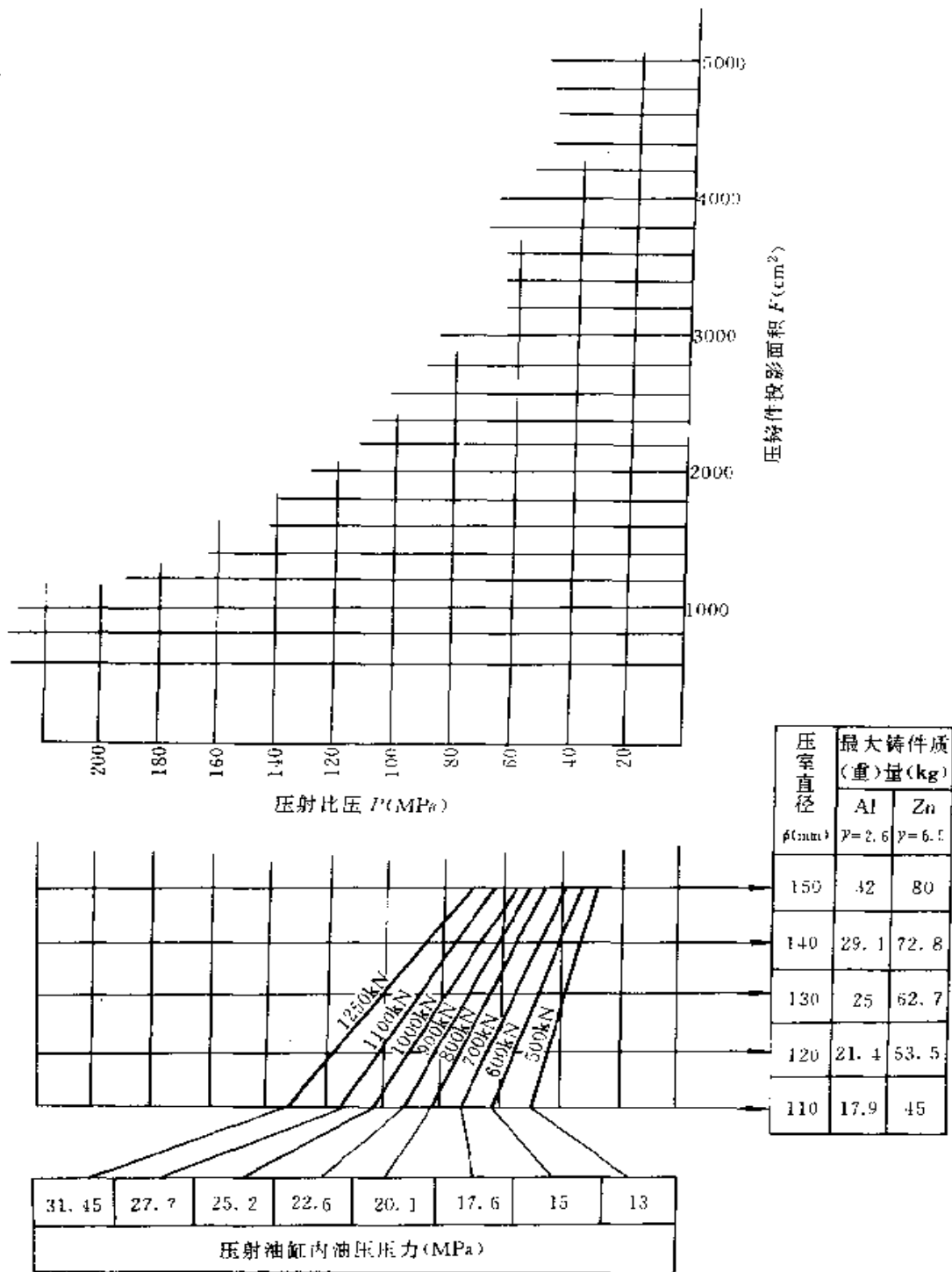


图 7-86 压射力、比压与铸件的投影面积

4.4 压铸件的设计

4.4.1 压铸件的结构要求

1) 壁厚 一般情况下, 压铸件的强度随壁厚

的增加而降低, 见图 7-87。压铸件的最小壁厚和正常壁厚见表 7-143。

表 7-143 压铸件的最小壁厚和正常壁厚

| 壁厚处的面积 (cm ²) | 锌合金 | | 铝合金 | | 镁合金 | | 铜合金 | |
|------------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 壁 厚 (mm) | | | | | | | |
| | 最小 | 正常 | 最小 | 正常 | 最小 | 正常 | 最小 | 正常 |
| ≤25 | 0.5 | 1.5 | 0.8 | 2.0 | 0.8 | 2 | 0.8 | 1.5 |
| >25~100 | 1.0 | 1.8 | 1.2 | 2.5 | 1.2 | 2.5 | 1.5 | 2.0 |
| >100~500 | 1.5 | 2.2 | 1.8 | 3.0 | 1.8 | 3 | 2.0 | 2.5 |
| >500 | 2.0 | 2.5 | 2.5 | 3.5 | 2.5 | 3.5 | 2.5 | 3.0 |

2) 圆角和肋(筋) 压铸件壁与壁的连接处, 应设计成圆角, 见表 7-144。

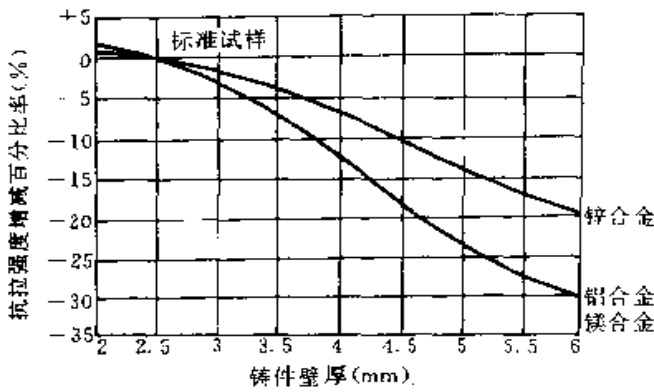
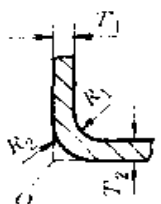

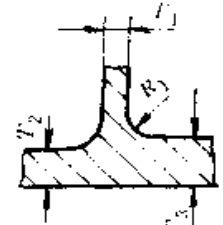
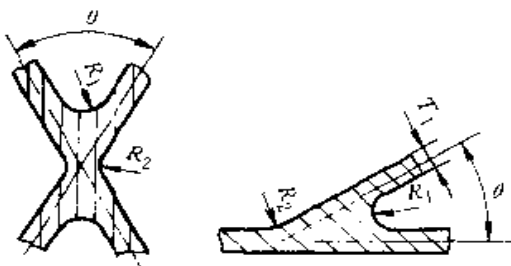


图 7-77 压铸件壁厚对抗拉强度的影响

表 7-144 各种类型的壁面连接的圆角

| $T_1 = T_2$ 时 | $T_1 < T_2$ 时 | $T_1 < T_2$ $T_1 < T_3$ 时 |
|--|---|--|
|  <p>内、外有圆角时 $R_1 = T_1$ $R_2 = R_1 + T_1$ 不允许有外圆角 ($R_2 = 0$) 时 $R_1 = T_1 - 1.25T_1$</p> |  <p>内、外有圆角时 $R_1 = \frac{2}{3} (T_1 + T_2)$ $R_2 < R_1 + T_2$ 不允许有外圆角 ($R_2 = 0$) 时 $R_1 = \frac{2}{3} (T_1 + T_2)$</p> |  <p>$R_1 = T_1 \sim 1.25T_1$</p> |



$\theta = 90^\circ$ 时, $R_1 = T_1, R_2 = T_1$
 $\theta = 45^\circ$ 时, $R_1 = 0.7T_1, R_2 = 1.5T_1$
 $\theta = 30^\circ$ 时, $R_1 = 0.5T_1, R_2 = 2.5T_1$

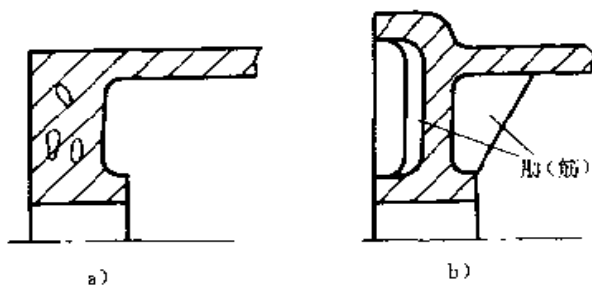
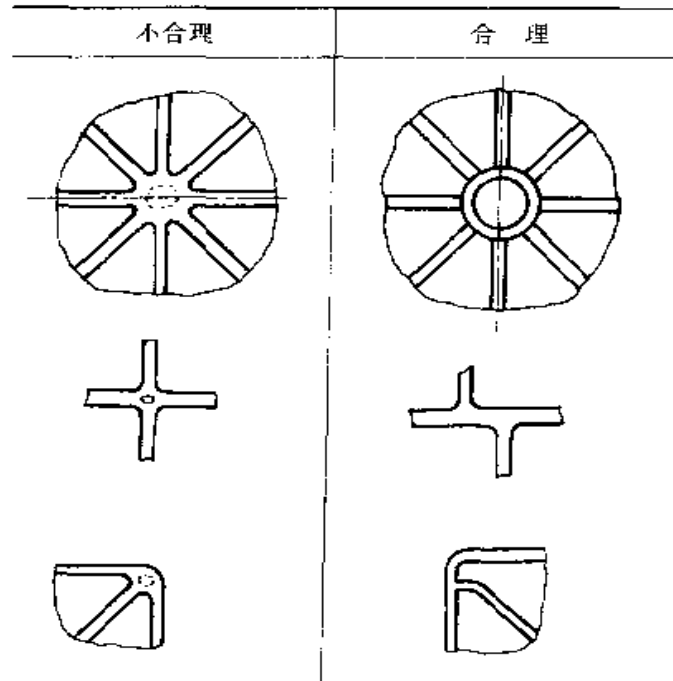


图 7-88 消除厚壁为加强肋(筋)

a) 厚壁处产生气孔和缩孔 b) 采用带肋(筋)结构消除厚壁
 为提高压铸件的强度和刚性,消除厚壁部位,压铸件上常用加强肋(筋),见图 7-88。多肋(筋)杆交要避免交接处产生金属积聚,见表 7-145。

表 7-145 多肋(筋)交接处



3) 起模斜度 压铸件允许的最小起模斜度见表 7-146。一般由起模斜度引起的尺寸偏差不计入压铸件尺寸偏差之内。设置起模斜度时,不加工表面:孔(内表面)以小端为基准,轴(外表面)以大端为基准;待加工表面:孔以大端为基准,轴以小端为基准。

表 7-146 最小起模斜度

| 合金 | 配合面 | | 非配合面 | |
|----------|-------|-------|-------|-------|
| | 外表面 | 内表面 | 外表面 | 内表面 |
| 锌合金 | 0°10' | 0°15' | 0°15' | 0°45' |
| 铝 镁合金 | 0°15' | 0°30' | 0°30' | 1° |
| 铜合金 | 0°30' | 0°45' | 1° | 1°30' |

注:表中数值仅适用于型腔深度或型芯高度 $\leq 50\text{mm}$,表面粗糙度 $R_a 0.1\mu\text{m}$ 。但大端与小端尺寸的单面差的最小值为 0.03mm 。当深度或高度 $> 50\text{mm}$ 或表面粗糙度低于 $R_a 0.1\mu\text{m}$ 时,则起模斜度可适当缩小。

4) 压铸孔 见表 7-147。

5) 压铸螺纹 锌、铝、镁合金铸件上,GB2516—81 中的 8 级普通外螺纹一般可以直接压铸。可压铸的外螺纹,见表 7-148。螺纹牙形应成平头或圆头,见图 7-89。

内螺纹虽可直接压铸,但旋出螺纹型芯十分困难,一般情况下不直接压铸,常常先压铸出螺纹底孔,再攻制螺纹。

表 7-147 压铸孔径与最大深度

(mm)

| 合金种类 | 在孔径为下列值时,可铸出孔的深度 (mm) | | | | | | | | | |
|----------|-----------------------|------|------|------|------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | 孔 的 直 径 (mm) | | | | | | | | | |
| | ~3 | >3~4 | >4~5 | >5~6 | >6~8 | >8~10 | >10~12 | >12~16 | >16~20 | >20~25 |
| 锌合金 | 9 | 14 | 18 | 20 | 32 | 40 | 50 | 80 | 110 | 150 |
| 铝 镁合金 | 8 | 13 | 16 | 18 | 25 | 38 | 50 | 80 | 110 | 150 |
| 铜合金 | | | | | 14 | 25 | 30 | 70 | | |

表 7-148 可压铸的外螺纹

(mm)

| | | | | | | |
|--------|--------------------------------|-----|-----|-----|------------------------------|-----|
| 单型腔的形式 | | | | | | |
| 合金种类 | 锌合金 | 铝合金 | 锌合金 | 铝合金 | 锌合金 | 铝合金 |
| 最小螺距 | 0.8 | 1.0 | 0.8 | 1.0 | 1.25 | 1.5 |
| 最小直径 | 5 | 6 | 5 | 6 | 6 | 12 |
| 特点 | 1. 螺纹上的毛刺要去除 2. 螺纹精度要求不高时采用 | | | | 1. 螺纹型环制造困难 2. 螺纹精度要求高时采用 | |

表 7-149 压铸件的机械加工余量 (mm)

| 加工面最大尺寸 ^① | 单面加工余量 |
|----------------------|---------|
| ~50 | 0.3~0.5 |
| >50~120 | 0.4~0.7 |
| >120~260 | 0.6~1.0 |
| >260~400 | 0.8~1.4 |
| >400~630 | 1.2~1.8 |

① 圆平面为直径；方形、矩形为对角线。

8) 气密性 压铸件的气密性要求一般是 30~100kPa，若超过 700~1000kPa 时，则要求采取一定措施或特殊压铸工艺，并对压铸件进行浸渍处理。

9) 文字、标志和图案 压铸件上的文字、标志和图案一般应采用凸纹，有关尺寸见表 7-150。文字大小一般不小于 GB4457.3—84 规定的 5 号字。

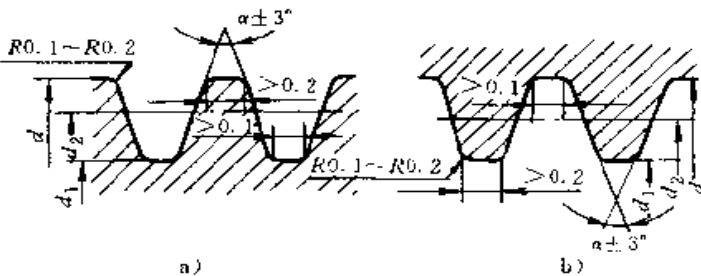


图 7-89 压铸平头螺纹牙形

a) 外螺纹 b) 内螺纹

6) 压铸件的机械加工余量 见表 7-149。

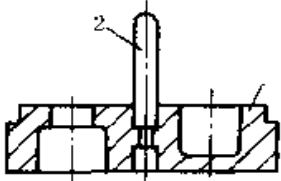
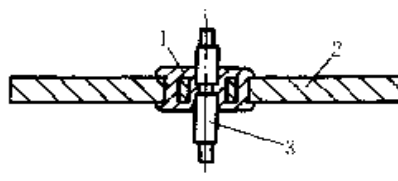
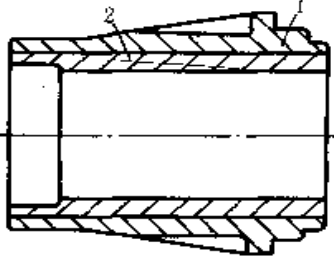
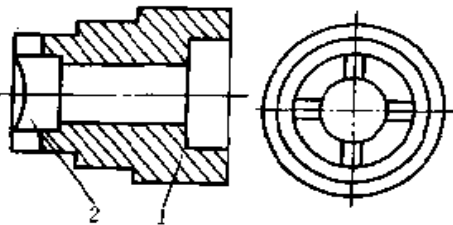
7) 推杆痕迹 压铸件采用推杆推出时，应考虑推杆推出的位置和数量。推杆痕迹的凸出或凹进根据使用要求确定，一般不超过 0.5mm。

表 7-150 压铸的图案、文字和符号线条的有关尺寸

| 线条形状示例 | 凸体 | 凹体 | 说明 |
|--------|--|---|---|
| | | | b——线条宽度 mm h——线条高度 mm S——线条间距 mm θ——线条侧边斜度 (°) |
| | $b > 0.25$ $h < b$ $\theta > 10^\circ$ $S_{\text{最小}} \leq h$ | $b > 0.35$ $h < b$ $\theta > 15^\circ$ $S_{\text{最小}} < h$ | |

10) 镶铸件 镶铸件的应用见表 7-151。

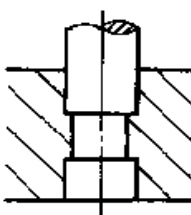
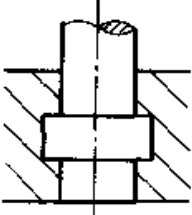
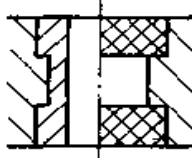
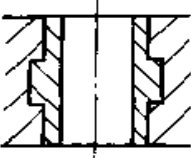
表 7-151 镶铸件的应用

| 图 例 | 说 明 | 图 例 | 说 明 |
|---|----------------------------|--|-------------------------|
|  | 深腔部位成形和脱型困难, 采用镶铸件可改善压铸工艺性 |  | 将两个镶铸件用压铸件组合成一体, 代替装配工序 |
|  | 镶铸件为钢管, 以提高压铸件的强度 |  | 镶铸件为宝石, 提高压铸件局部耐磨性 |

1—压铸件 2—镶铸件 3—镶铸件

镶铸件在压铸件中的固定形式见表 7-152。

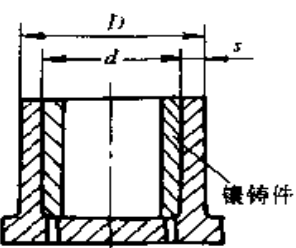
表 7-152 镶铸件在压铸件中的固定形式

| 分类 | 轴 类 | | 套 类 | |
|----|---|---|--|---|
| 图例 |  |  |  |  |

镶铸件直径及其周围合金层最小厚度, 见表 7-153。

表 7-153 镶铸件直径及其周围合金层最小厚度

(mm)

|  | 镶件直径 d | 周围合金层最小厚度 s | 周围合金层外径 D |
|--|----------|---------------|-------------|
| | 1.0 | 1.0 | 3 |
| 3 | 1.5 | 6 | |
| 5 | 2 | 9 | |
| 8 | 2.5 | 13 | |
| 11 | 2.5 | 16 | |
| 13 | 3 | 19 | |
| 16 | 3 | 22 | |
| 18 | 3.5 | 25 | |

镶铸件在压铸型中应定位准确、牢固，见图 7-90。

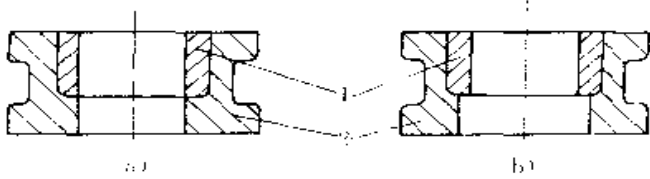


图 7-90 镶铸件的定位形式

a) 无法定位 b) 定位牢固

1—镶铸件 2—铸件

11) 消耗性型芯 消耗性型芯的种类及要求见表 7-154。

表 7-154 消耗性型芯的种类及要求

| 种类 | 对型芯的要求 |
|----------|-----------------|
| 1. 易溃散砂芯 | 1. 良好的溃散，可熔或可溶性 |
| 2. 可熔金属芯 | 2. 良好的抗冲刷性 |
| 3. 可溶盐芯 | 3. 良好的抗表面渗透性 |

采用消耗性型芯，可使压铸型难以抽芯的沟槽、倾斜或曲折的腔道直接压铸成形，增加压铸的灵活性，扩大压铸件的应用范围，简化压铸型的结构。

4.4.2 压铸件工艺性的分析

压铸件工艺性的分析，见表 7-155。

表 7-155 压铸件工艺性的分析

| 不合理结构 | 改进示例 |
|--|---|
| <p>矩形侧孔需侧向抽芯机构</p> | <p>改变侧壁斜度，使矩形侧孔的型芯均在出型方向，不需抽芯机构</p> |
| <p>铸件处于动、定型的部分包紧力十分接近，有可能留在定型内，合金液流动不畅</p> | <p>增大处于定型部分铸件的内壁斜度，除保证铸件可留在动型内外，并改善充填条件</p> |

(续)

| 不合理结构 | 改进示例 |
|---------------------------|---------------------------|
| <p>尖角</p> <p>尖角处易产生裂纹</p> | <p>圆角</p> <p>尖角改为圆角</p> |
| <p>壁厚不均，铸件变形，产生气孔、缩孔</p> | <p>加设两个工艺孔，消除厚壁</p> |
| <p>A、C孔要设抽芯机构</p> | <p>A、C孔在出型方向</p> |
| <p>两个凸台的深腔处，充填和排气条件不良</p> | <p>凸台边缘增设加强筋改善充填和排气条件</p> |

4.4.3 压铸件的精度

4.4.3.1 尺寸精度

1) 压铸件的尺寸公差，见表 7-156、表 7-157。

表 7-156 重要部分的尺寸公差 (mm)

| 长度尺寸 | | 锌合金 | 铝合金、 镁合金 | 铜合金 |
|-------------------|---------|--------|-------------|-------|
| <25mm 的基准公差 | | ±0.08 | ±0.10 | ±0.18 |
| 长度尺寸每超过 25mm 公差增加 | >25~300 | ±0.025 | ±0.04 | ±0.05 |
| | >300 | ±0.025 | ±0.025 | — |

表 7-157 不重要部位的尺寸公差 (mm)

| 长度尺寸 | | 锌合金 | 铝合金、 镁合金 | 铜合金 |
|-------------------|---------|--------|-------------|-------|
| <25mm 的基准公差 | | ±0.25 | ±0.25 | ±0.36 |
| 长度尺寸每超过 25mm 公差增加 | >25~300 | ±0.04 | ±0.05 | ±0.08 |
| | >300 | ±0.025 | ±0.025 | — |

例：长度尺寸 100mm 的铝合金压铸件，不受分型面和活动部分影响时，不重要部位的公差为 ±0.45，重要部位的公差为 ±0.26。

2) 与分型面垂直尺寸的追加公差，见表 7-158。

表 7-158 与分型面垂直尺寸的追加公差

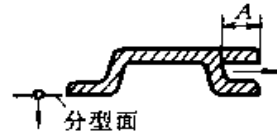


| 压铸件在分型面上的投影面积 (cm ²) | 尺寸 A 追加的公差 (mm) | | |
|----------------------------------|-----------------|-------------|-------|
| | 锌合金 | 铝合金、 镁合金 | 铜合金 |
| ~150 | ±0.08 | ±0.10 | ±0.10 |
| >150~300 | ±0.10 | ±0.15 | ±0.15 |
| >300~600 | ±0.15 | ±0.20 | ±0.20 |
| >600~1200 | ±0.20 | ±0.30 | — |
| >1200~2000 | ±0.30 | ±0.40 | — |

3) 压铸型活动部位尺寸的追加公差，见表 7-159。

4) 自由角度公差，见表 7-160，并用图 7-91a、b 说明锥体母线与夹角短边的关系。

表 7-159 压铸型活动部位尺寸的追加公差



| 压铸型活动部位的投影面积 (cm ²) | 尺寸 A 追加的公差 (mm) | | |
|---------------------------------|-----------------|-------------|-------|
| | 锌合金 | 铝合金、 镁合金 | 铜合金 |
| ~50 | ±0.10 | ±0.15 | ±0.25 |
| >50~100 | ±0.15 | ±0.20 | ±0.35 |
| >100~300 | ±0.20 | ±0.30 | — |
| >300~600 | ±0.30 | ±0.40 | — |

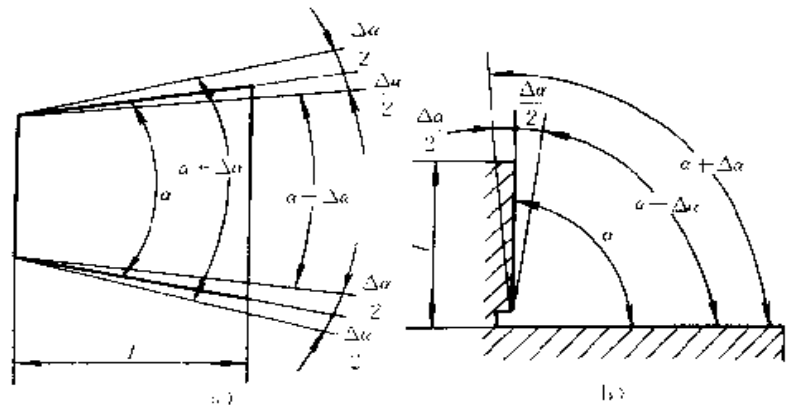


图 7-91 角度公差示意图

表 7-160 自由角度及锥度公差

| 精度等级 | 锥体母线长度或夹角短边长度 <i>l</i> (mm) | | | | | | | | | | | | |
|------|-----------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|------|
| | 1~3 | >3~6 | >6~10 | >10~18 | >18~30 | >30~50 | >50~80 | >80~120 | >120~180 | >180~260 | >260~360 | >360~500 | >500 |
| | 偏差 (±) | | | | | | | | | | | | |
| I | 1°30' | 1°15' | 1° | 50' | 40' | 30' | 25' | 20' | 15' | 12' | 10' | 8' | 6' |
| II | 2°30' | 2° | 1°30' | 1°15' | 1° | 50' | 40' | 30' | 25' | 20' | 15' | 12' | 10' |

4.4.3.2 表面粗糙度 压铸件的表面粗糙度一般比压铸型型腔粗两级左右， R_a 约 3.2~1.6 μ m，并随压

铸次数的增加而增加，见表 7-161。

表 7-161 压铸件的表面粗糙度随压铸次数而变化

| 压铸次数 (次) | 表面粗糙度 (GB1031-83 R_a) (μm) | | |
|-------------|--|-----------|------------|
| | 锌合金 | 铝合金、镁合金 | 铜合金 |
| 200 | 0.80~0.40 | 0.80~0.40 | 1.60~0.80 |
| 500 | | | 3.20~1.60 |
| 1000 | | 1.60~0.80 | 6.30~3.20 |
| 2000 | | | 12.50~6.30 |
| 5000 | | 3.20~1.60 | — |
| 10000 | 1.60~0.80 | | |
| 20000 | 3.20~1.60 | | |
| 50000 | 6.30~3.20 | | |
| 100000 | 12.50~6.30 | | |

4.5 压铸件

4.5.1 选用压铸机

1. 必要的锁型力 锁型力必须大于胀型力, 才能锁紧压铸型, 为了安全, 则

$$Q \geq kPF$$

式中 Q ——必要的锁型力 (kN);

P ——比压 (kPa);

F ——压铸件 (包括浇注系统和排溢系统) 在分型面上的投影面积 (m^2)

k ——安全系数, 一般 $k=1.1\sim1.3$, 薄壁复杂件时, k 取上限; 反之, 取下限。

设计压铸型时, 要注意使胀型力的中心尽量靠近锁型力作用的中心, 避免因偏置型腔而选用锁型力过大的压铸机。

2. 压室充满度与压室容量

$$\phi = \frac{W}{G_0} \times 100\%$$

式中 ϕ ——压室充满度 (%);

G_0 ——压室容量 (kg);

W ——每次浇注合金液 (包括铸件、浇注系统和排溢系统) 的总量 (kg) $G_0 > W$ 。

卧式冷室压铸机的压室充满度应在 50% 以上, 而以 70%~80% 为宜。对于在受力、气孔和气密性方面有要求的压铸件, 注意选择较高的压室充满度。

3. 开、合型距离与压铸型厚度

$$1) H \geq L_{\text{min}} + K$$

式中 H ——合型后压铸型的总厚度 (mm)。

$$H = H_1 + H_2 \text{ (mm)}$$

H_1 ——定型厚度 (mm);

H_2 ——动型厚度 (mm);

L_{min} ——压铸机的最小合型距离 (mm);

K ——安全系数 (一般取 20mm)。

$$2) L_{\text{max}} - H_1 - H_2 \geq H_0 \text{ (图 7-92)}$$

式中 L_{max} ——压铸机的最大开型距离 (mm);

H_0 ——开型后取出铸件的最小距离 (mm),

$$H_0 > a + b + 2s \text{ (一般取 5mm)}。$$

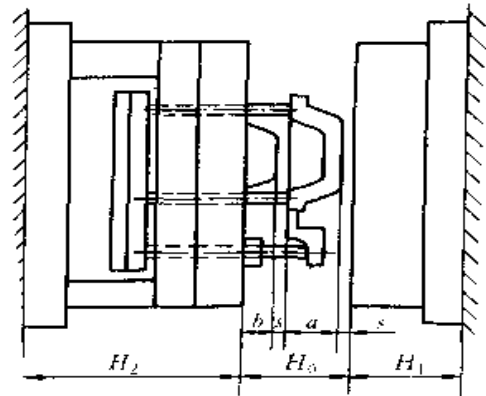


图 7-92 最大开距与取出铸件的最小距离

a ——铸件厚度,

s ——取件时, 铸件与定型、动型间的最小间隙

b ——成形零件的最大凸出高度

H_1 ——定型厚度 H_2 ——动型厚度

4. 压铸型设计与压铸机的其它关系

1) 压铸型要符合压铸机型板、压室和推出机构的安装尺寸。

2) 压铸型有液压或斜销抽芯机构时, 不能和压铸机的大杠有干扰见图 7-93。

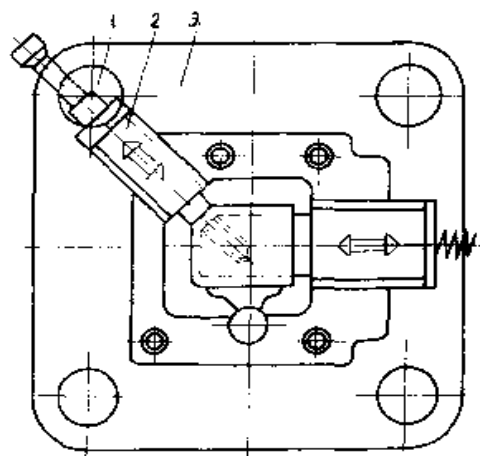


图 7-93 液压抽芯与大杠干扰

1——大杠 2——液压抽芯机构

3——压铸机的型板

4.5.2 分型面

1. 分型面的种类 见表 7-162。

表 7-162 分型面的种类

| 序号 | 种类 | 简图 | 说明 |
|----|-------|----|---|
| 1 | 平直分型面 | | 压铸型制造方便 应用广泛 |
| 2 | 阶梯分型面 | | 浇注系统并在一个阶梯面上，排溢系统并在另一个阶梯面上，有利于合金液的充填和排气 |

(续)

| 序号 | 种类 | 简图 | 说明 |
|----|-------|----|-----------------|
| 3 | 倾斜分型面 | | 根据铸件特点而开设的，应用很少 |
| 4 | 曲面分型面 | | |

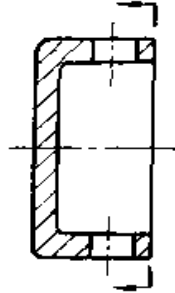
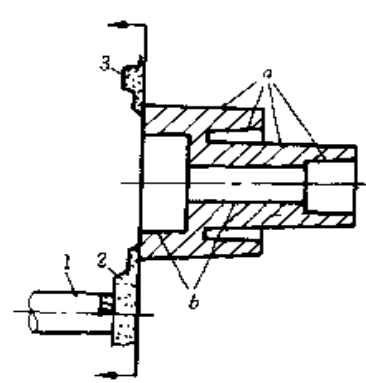
2. 选择分型面的要点

1) 开型时，铸件留在动型上，见表 7-163。

表 7-163 开型时铸件留在动型上

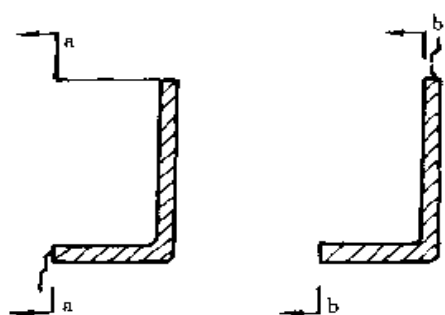
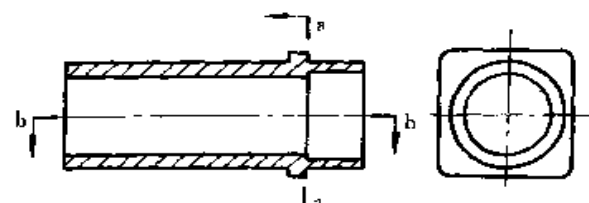
| 要点 | 图例 | 说明 |
|--------------------------|----|---|
| 铸件对动型上型芯的包紧力大于对定型上型芯的包紧力 | | a-a 分型面：铸件对动型上型芯的包紧力小于对定型上型芯的包紧力，开型后铸件留在定型上，不合理 b-b 分型面：合理 |
| 增加动型方向的成型部分，减少定型方向的成型部分 | | b-b 分型面：将铸件的外形放在动型中形成，增加了铸件对动型方向的包紧力，所以 b-b 分型面比 a-a 分型面更合理 |

(续)

| 要 点 | 图 例 | 说 明 |
|--|--|---|
| <p>利用动型上的侧向延时抽芯机构强制铸件开型时脱离定型</p> |  | <p>铸件的两侧孔采用延时抽芯</p> |
| <p>1. 增大定型方向型芯的出型斜度, 减少动型方向的出型斜度 2. 在动型上设置大容量的横浇道 2 和溢流槽 3 3. 利用倒钩推杆 1</p> |  | <p>1. 增大 a 面的斜度 减少 b 面的斜度 2. 要点中的 3 条在铸件对动、定型上型芯的包紧力相差不大的情况 F, 均可帮助铸件脱离定型</p> |

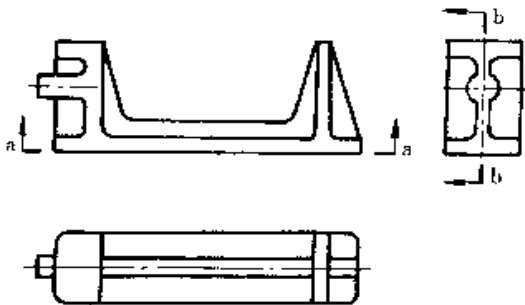
2) 有利于浇注系统和排溢系统的布置, 见表 7-164。

表 7-164 有利于浇注系统和排溢系统的布置

| 要 点 | 图 例 | 说 明 |
|-------------------------|--|---|
| <p>分型面设置在金属流动方向的最末端</p> |  | <p>b-b 比 a-a 分型面有利于溢流槽和排气道的布置</p> |
| <p>分型面应适应合理的浇注系统的布置</p> |  | <p>铸件适合于环形浇口, a-a 分型面适合开设侧浇口, b-b 分型面适合开设环形浇口, 所以 b-b 更合理</p> |

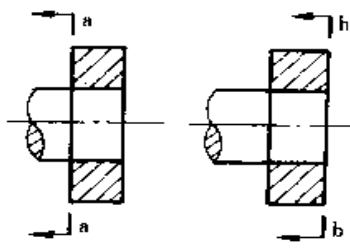
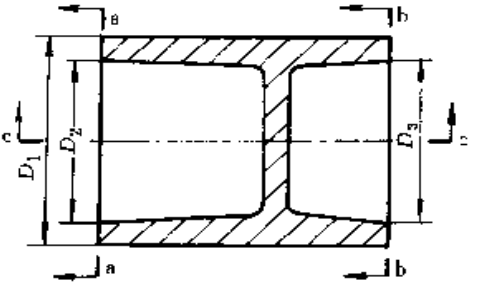
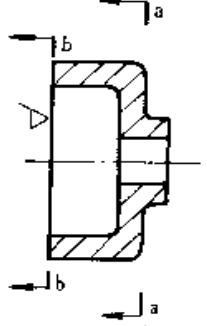
3) 简化压铸型的结构, 见表 7-165。

表 7-165 简化压铸型结构

| 要 点 | 图 例 | 说 明 |
|--------------|--|---|
| 尽量避免采用侧向抽芯机构 |  | a-a 分型面需采用侧向抽芯机构 b-b 分型面不需要采用侧向抽芯机构，压铸型的结构简单 |

4) 不影响铸件的尺寸精度和外观品质 (质量), 见表 7-166。

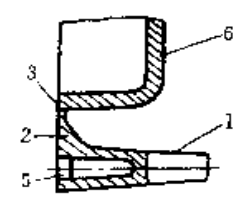
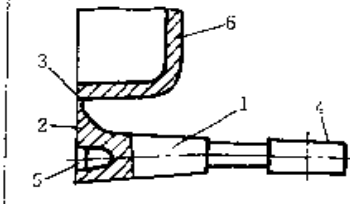
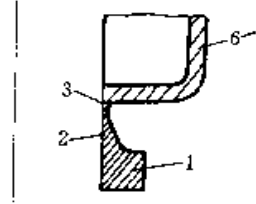
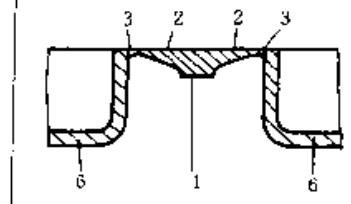
表 7-166 不影响铸件的尺寸精度和外观品质 (质量)

| 要 点 | 图 例 | 说 明 |
|-----------------------|---|---|
| 铸件尺寸精度要求高的部位应设置在同一半型中 |  | 铸件的外圆和内孔有同轴度要求 b-b 分型面将外圆和内孔均设置在动型, 能保证共同轴度, 而 a-a 分型面难以保证 |
| 考虑铸件的外观和尺寸精度 |  | c-c 分型面影响铸件美观 如 ϕD_1 和 ϕD_2 有同轴度要求, 应选 b-b 分型面 如 ϕD_1 和 ϕD_3 有同轴度要求, 应选 a-a 分型面 |
| 尽量选用铸件的机械加工面作为分型面 |  | a-a 分型面处产生飞翅, 去除困难, 又影响铸件的美观 b-b 分型面是铸件的机械加工面, 不必另行去除飞翅, b-b 是合理的 |

4.5.3 浇注系统

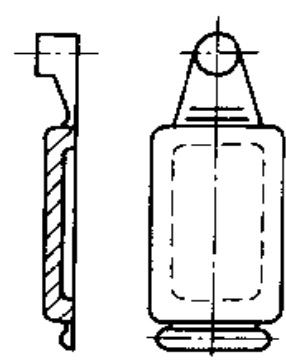
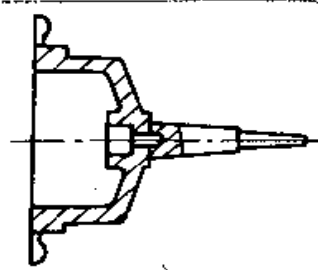
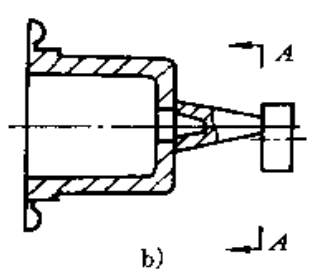
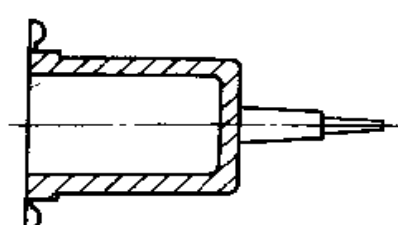
4.5.3.1 浇注系统的组成 见表 7-167。

表 7-167 各类压铸机浇注系统的组成

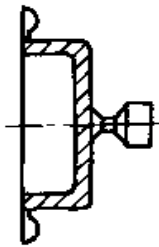
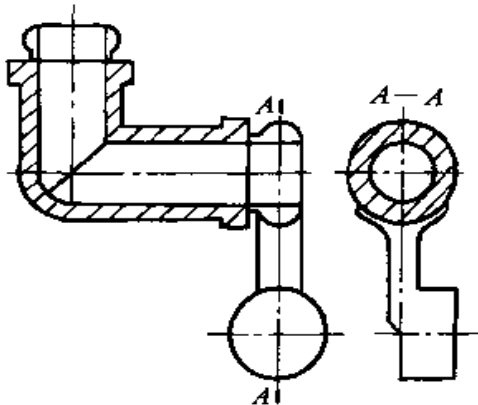
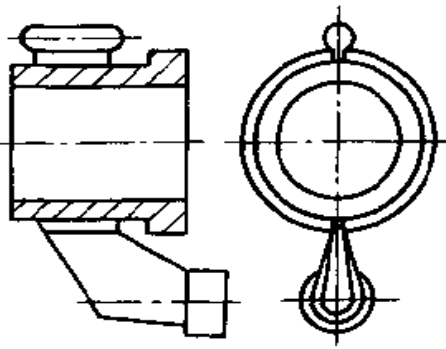
| 压铸机类型 | 热压室 | 立式冷压室 | 卧式冷压室 | 全立式 |
|-----------------------------------|---|---|--|---|
| 浇注系统 |  |  |  |  |
| 1—直浇道 2—横浇道 3—内浇道 4—料饼 5—分流锥 6—铸件 | | | | |

4.5.3.2 浇注系统的分类及主要特点见表 7-168。

表 7-168 浇注系统的分类及主要特点

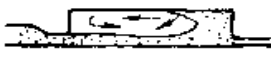

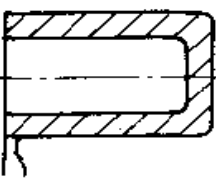
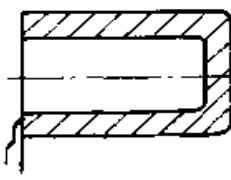
| 分类 | 图例 | 主要特点 |
|---------|--|--|
| 1. 侧浇口 |  | <ol style="list-style-type: none"> 1. 合金液流入部位灵活、适应性强 2. 适用于一型多腔，提高生产率 3. 是一种最常用的浇口形式 4. 内浇道在宽度方向与分型面平行 |
| 2. 中心浇口 |  a)  b) | <ol style="list-style-type: none"> 1. 有利于合金液的充填和排气 2. 常用于单型腔的、中心有孔的箱形、壳形铸件 3. 卧式压铸机采用中心浇口时，压铸型要增设一个附加分型面 A-A，取出料饼 <p>图 a 立式冷室压铸机中心浇口 图 b 卧式冷室压铸机的中心浇口</p> |
| 3. 顶浇口 |  | <ol style="list-style-type: none"> 1. 内浇道面积大，与铸件的连接处，容易产生缩孔 2. 合金液对浇口对面的型芯冲击大 3. 常用于单型腔中心无孔的箱形、壳形等铸件 |

(续)

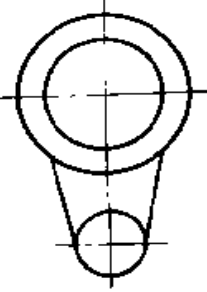
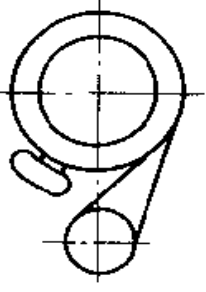
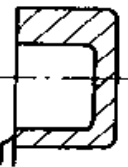
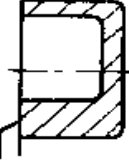
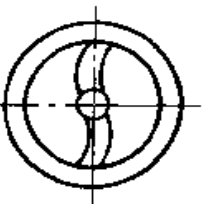
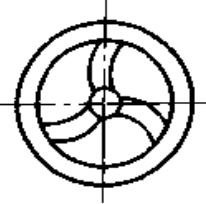
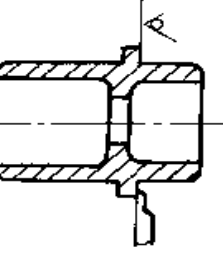
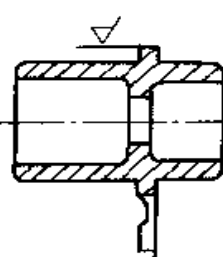
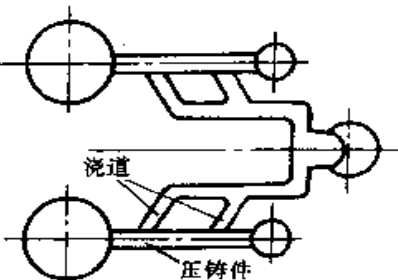
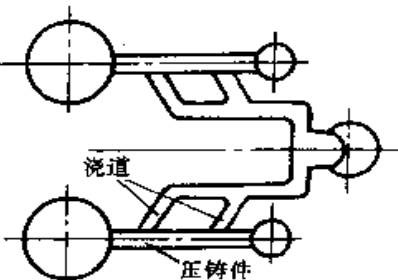
| 分类 | 图例 | 主要特点 |
|---------|---|--|
| 4. 点浇口 |  | <ol style="list-style-type: none"> 1. 点浇口面积小、合金液流速高，对浇口对面型壁的局部冲击大 2. 常用于外形对称、壁厚均匀的板形、壳形等铸件 |
| 5. 环形浇口 |  | <ol style="list-style-type: none"> 1. 有利于合金液的充填和排气 2. 浇注系统的合金耗量大 3. 常用于管形、弯管形等铸件 |
| 6. 缝隙浇口 |  | <ol style="list-style-type: none"> 1. 内浇道在宽度方向与分型面垂直 2. 有利于深腔的充填和排气 3. 合金液对浇口对面的型芯冲击大 4. 常用于高度较大、带凸缘的壳形等铸件 |

4.5.3.3 浇注系统设计的要点见表 7-169。

表 7-169 浇注系统设计的要点

| 不合理 | 合理 | 设计要点 |
|---|---|-----------------------------|
|  |  | <p>内浇口的位置应有利于排除型腔中的气体</p> |
|  |  | <p>避免合金液进入型腔时，正面冲击型芯或型壁</p> |

(续)

| 不 合 理 | 合 理 | 设 计 要 点 |
|---|---|---|
|  |  | <p>避免合金液产生汇合，形成涡流、卷气</p> |
|  |  | <p>为传递最终压力和补缩，内浇道应设置在铸件的厚壁部位</p> |
|  |  | <p>防止铸件产生收缩变形和弯曲</p> |
|  |  | <p>内浇道尽量设置在加工面上，可经济地去除浇口残痕</p> |
|  |  | <p>为使压铸型具有良好的热平衡，浇注系统设置在铸件的薄壁部位，以提高该部位的温度</p> |

4.5.3.4 浇注系统的设计

计，见表 7-170~表 7-172。

1. 直浇道的设计 立式冷室压铸机直浇道的设

表 7-170 立式冷室压铸机直浇道的结构尺寸

| 直浇道的结构 | 设计 要 求 |
|--|---|
| <p style="text-align: center;">D—压室直径 d—浇口套进口端直径 1—分流锥 2—浇口套 3—喷嘴 4—压室</p> | $d_2 \geq \sqrt{d_3^2 - (1.1 \sim 1.3) d_1^2} \text{ (mm)}$ $\frac{d_3 - d_2}{2} \geq 3 \text{ (mm)}$ <p>d_1——喷嘴导入入口直径 (mm) d_2——直浇道底部分流锥直径 (mm) d_3——直浇道底部环形截面处的外径 (mm)</p> |

表 7-171 压铸件质(重)量和喷嘴导入入口直径 (mm)

| 喷嘴导入入口直径 d_1 | 7~8 | 9~10 | 11~12 | 13~16 | 17~19 | 21~22 | 23~25 | 27~28 | 29~30 | 31~32 |
|----------------|------|---------|---------|---------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 锌合金 | <100 | 100~250 | 200~350 | 350~700 | 700~1200 | 1000~2000 | - | - | - | - |
| 铝合金 | <50 | 50~120 | 100~200 | 180~350 | 320~700 | 600~1000 | 800~1500 | 1200~1600 | 1600~2000 | 2000~2500 |
| 铜合金 | <100 | 100~250 | 200~350 | 300~350 | 650~1000 | 800~1500 | - | - | - | - |

注：铸件质(重)量包括浇注系统不包括余料及溢流槽质(重)量。

表 7-172 立式冷室压铸机常用分流锥和浇口套的形式

| 简 图 | 说 明 | 简 图 | 说 明 |
|-----|--|-----|--|
| | <ol style="list-style-type: none"> 分流锥呈偏心圆锥形, 适用于单一型腔侧向分流 浇口套形成整个直浇道 | | <ol style="list-style-type: none"> 圆锥形分流锥结构简单、使用寿命长, 应用较广 浇口套形成整个直浇道 |
| | <ol style="list-style-type: none"> 尾部为螺孔式分流锥 直浇道由浇口套和定型镶块形成 | | <ol style="list-style-type: none"> 中心设有推杆的分流锥 直浇道由浇口套和定型镶块形成 |

注：浇口套和分流锥可分别选用。

卧式冷室压铸机直浇道的设计见表 7-173~表 7-175。

表 7-173 卧式冷室压铸机直浇道的结构尺寸

| 直浇道的结构 | 设计要点 |
|----------------------------------|---|
| | <ol style="list-style-type: none"> 1. 根据压铸件所需比压选择压室直径 D_1 2. 在可能的条件下, 保持较高的压室充满度 3. D_1 与 D_2 应保持较高的同轴度, 可减少冲头磨损, 并防止冲头卡住 4. 与直浇道连接的横浇道或型腔一般要设置在直浇道的上方, 以防止自流 5. 浇口套与分流锥的形式见表 7-174 6. D_1、D_2 与压射冲头直径 d 的配合尺寸见表 7-175 7. 分流锥 1 可提高压室充满度, 一型多腔时, 又可防止自流 8. 为使直浇道脱离分流锥, 设置推杆 2 9. 注意在分流锥 1 和浇口套 3 处设置冷却水道 |
| <p>1—分流锥 2—推杆 3—浇口套 4—压室</p> | |

表 7-174 卧式冷室压铸机常用分流锥和浇口套的形式

| 简图 | 说明 | 简图 | 说明 |
|----|--|----|--|
| | <ol style="list-style-type: none"> 1. 设有推杆的分流锥可提高压室充满度 2. 浇口套与压室的同轴度偏差小 | | <p>卧式冷室压铸机采用中心浇口时的浇口套</p> |
| | <ol style="list-style-type: none"> 1. 分流锥可帮助直浇道带到动型 2. 浇口套与压室的同轴度偏差大 | | <ol style="list-style-type: none"> 1. 分流锥有导向作用 2. 倒钩推杆可帮助直浇道带到动型 3. 浇口套与压室的同轴度偏差大 |
| | <ol style="list-style-type: none"> 1. 分流锥有防止自流的作用 2. 浇口套与压室的同轴度偏差小 3. 浇口套与分流锥密封部分制造困难 | | |

注: 分流锥和浇口套可分别选用。

表 7-175 压室、浇口套与压射冲头的配合尺寸

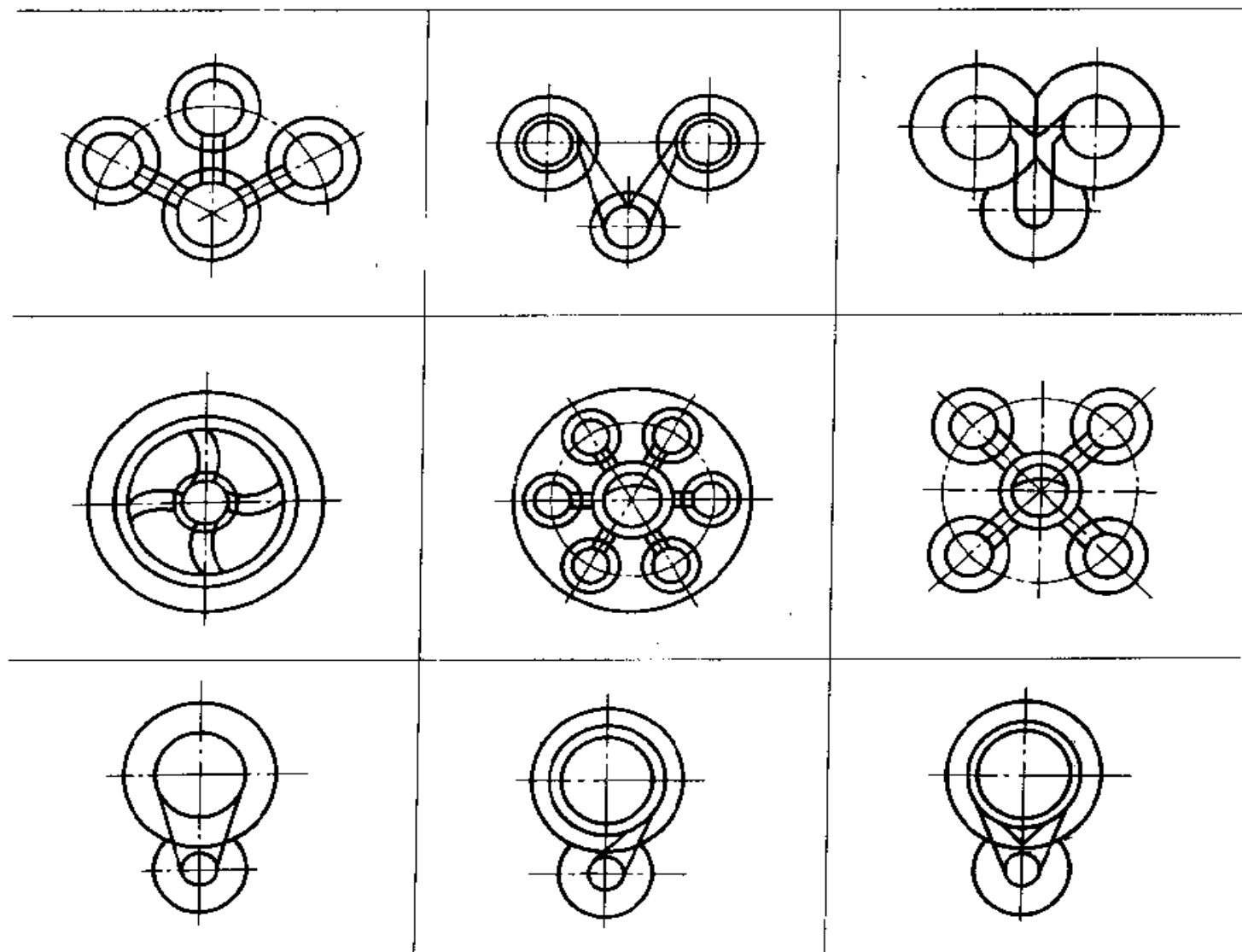
(mm)

| 压室公称尺寸 D_1 | 尺寸偏差 | | |
|-----------------|---------------|------------------|------------------|
| | 压室 D_1 (H7) | 压射冲头 d (e8) | 浇口套 D_2 (f8) |
| >18~30 | +0.021 | -0.040 -0.073 | +0.050 +0.020 |
| >30~50 | +0.025 | -0.050 -0.089 | +0.060 +0.025 |
| >50~80 | +0.030 | -0.060 -0.106 | +0.070 +0.030 |
| >80~120 | +0.035 | -0.072 -0.126 | +0.090 +0.040 |
| >120~180 | +0.040 | -0.085 -0.148 | +0.105 +0.050 |

2. 横浇道 横浇道及镶块的结构形式见表 7-176。

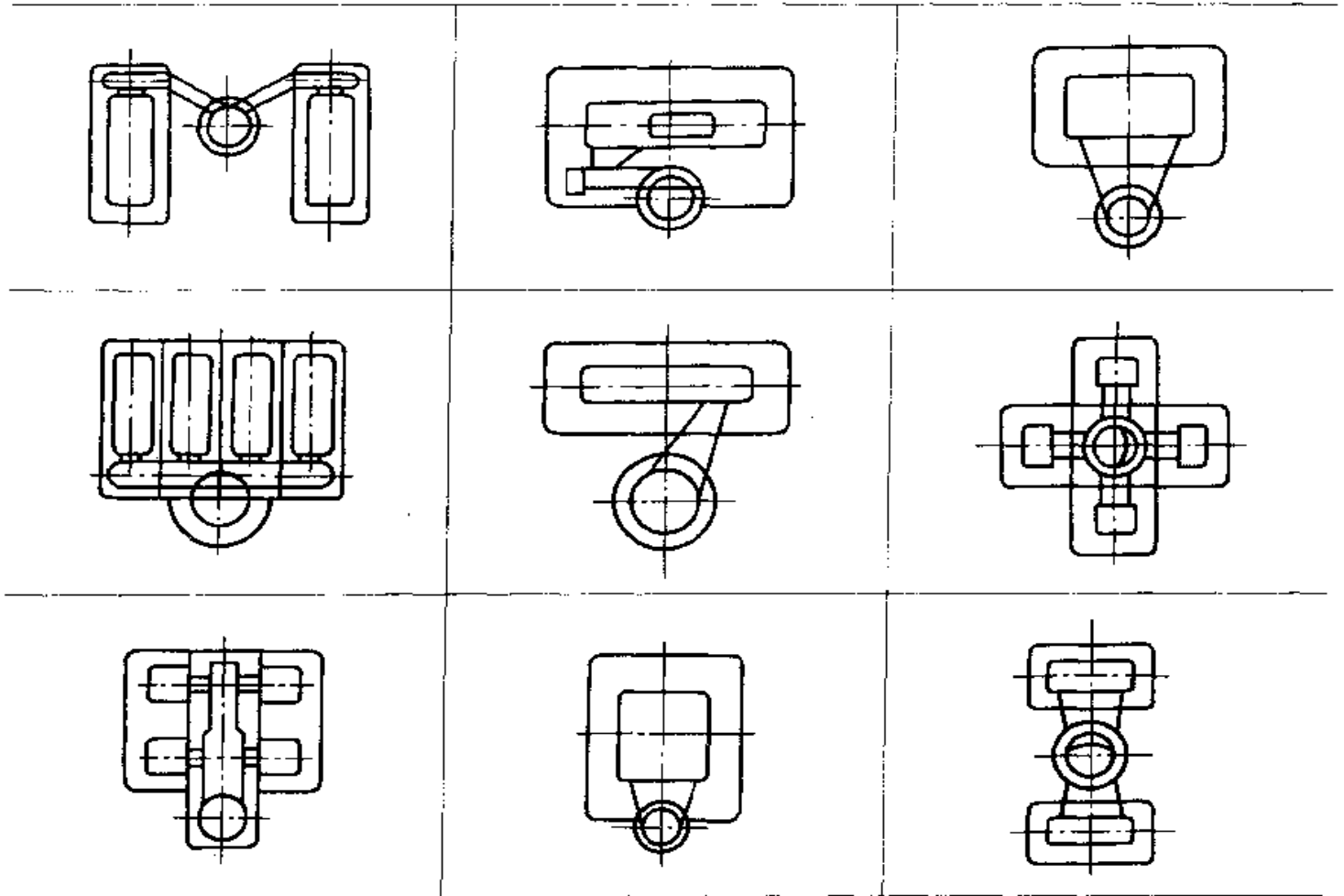
表 7-176 横浇道及镶块的结构形式举例

简 图



(续)

简 图



横浇道截面形状，见表 7-177。

表 7-177 横浇道截面形状

(续)

| 类型 | 截面形状 | 特 点 |
|-----|------|---------------------------|
| 梯形 | | 合金液热量损失少，加工方便，应用最广 |
| 长梯形 | | 适用于浇道部位狭窄，铸件流程长以及多型腔上分支浇道 |
| 双梯形 | | 合金液热量损失更少，适用流程特别长的浇道 |

| 类型 | 截面形状 | 特 点 |
|-----|------|------------|
| 半圆形 | | 加工不方便，不宜采用 |

$h \geq (1.5 \sim 2) \times H_{\text{平}}$
 $\alpha = 15^\circ$
 $r = 2 \sim 3$
 $H_{\text{平}}$ —铸件平均壁厚 (mm)
 α —起模斜度 (度)
 r —圆角半径 (mm)

3. 内浇道 内浇道与横浇道及铸件的连接方式，见表 7-178。

表 7-178 横浇道与内浇道和铸件之间的连接方式

(续)

| 简 图 | 说 明 |
|-----|--------------------------------|
| | 铸件横浇道和内浇道均设置在同一型面上 |
| | 铸件、横浇道和内浇道分别设置在定型和动型上 |
| | 铸件、横浇道和内浇道分别设置在定型和动型上, 适用于薄壁零件 |
| | 铸件和横浇道分别设置在定型和动型上, 内浇道在接合处 |

| 简 图 | 说 明 |
|-----|-------------------------------|
| | 合金液从铸件底部端面导入, 适用于深腔零件 |
| | 横浇道与内浇道将合金液从切线方向导入型腔, 适用于管状零件 |

注: 1. 表内图中符号:

- L_1 ——内浇道长度 (mm);
- L_2 ——内浇道延伸段长度 (mm);
- h_1 ——内浇道厚度 (mm);
- h_2 ——横浇道厚度 (mm);
- h_3 ——横浇道过渡段厚度 (mm);
- r_1 ——横浇道倾斜段圆角半径 (mm);
- r_2 ——横浇道出口段与内浇道相连接处的圆角半径 (mm);
- H ——铸件壁厚 (mm)

2. 各数据之间的相互关系式如下:

$$L_2 = 3L_1 \quad h_2 > 2h_1 \quad h_3 = 2L_1 \quad r_1 = h_1$$

$$r_2 = \frac{1}{2} h_2$$

$$L_1 + L_2 = 8 \sim 10 \text{mm} \quad (L_1 \text{ 一般取 } 2 \sim 3 \text{mm})$$

内浇道厚度、宽度和长度的经验数据, 见表 7-179、表 7-180。

表 7-179 内浇道厚度经验数据

| 铸件壁厚 (mm) | 0.6~1.5 | | >1.5~3 | | >3~6 | | >6 |
|-----------|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| | 复杂件 | 简单件 | 复杂件 | 简单件 | 复杂件 | 简单件 | |
| 合金种类 | 内 浇 道 厚 度 (mm) | | | | | | |
| 铅、锡 | 0.4~0.8 | 0.4~1.0 | 0.6~1.2 | 0.8~1.5 | 1.0~2.0 | 1.5~2.0 | 20~40 |
| 锌 | 0.4~0.8 | 0.4~1.0 | 0.6~1.2 | 0.8~1.5 | 1.0~2.0 | 1.5~2.0 | 20~40 |
| 铝、镁 | 0.6~1.0 | 0.6~1.2 | 0.8~1.5 | 1.0~1.8 | 1.5~2.5 | 1.8~3.0 | 40~60 |
| 铜 | — | 0.8~1.2 | 1.0~1.8 | 1.0~2.0 | 1.8~3.0 | 2.0~4.0 | 40~60 |

表 7-180 内浇道的宽度和长度的经验数据

(mm)

| 铸件形状 | 内浇道宽度 | 内浇道长度 | 说明 |
|-----------|---------------------|-------|-----------------------------------|
| 矩形板状铸件 | 铸件边长的 0.6~0.8 倍 | 2~3 | 指从铸件中轴线处侧向注入, 如离轴线一侧的端浇口或点浇口则不受此限 |
| 圆形板状铸件 | 铸件外径的 0.6~0.7 倍 | | 内浇道以割线注入 |
| 圆环形、圆筒形铸件 | 铸件外径和内径的 0.25~0.3 倍 | | 内浇道以切线注入 |
| 方框形铸件 | 铸件边长的 0.6~0.8 倍 | | 内浇道从侧壁注入 |

内浇道截面积的计算公式为

$$F_n = \frac{Q}{v \cdot t} \quad (\text{m}^2)$$

式中 Q ——压铸件 (包括浇注系统、排溢系统) 的体积 (m^3);

v ——充型速度 (m/s);

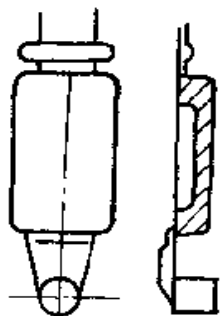
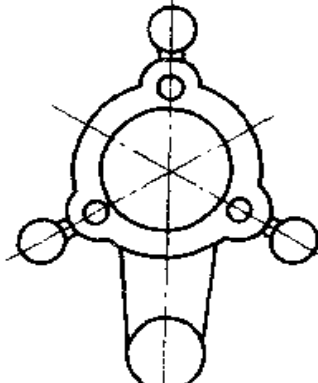
t ——充型时间 (s)。

设计内浇道时要注意留有修整的余地, 试压后根据压铸件的品质 (质量) 情况修正。

4.5.4 排溢系统

(1) 溢流槽 溢流槽的位置及断面形状和尺寸见表 7-181 和表 7-182。

表 7-181 溢流槽的常见位置

| 位置 | 简图 | 说明 |
|-------------------|---|-------------------------------------|
| 合金液最后充填或排气不良的部位 |  | 合金液最后充填的部位, 合金和压铸型温度较低, 气体和夹渣较集中 |
| 合金液汇合的地方或受冲击的型芯背面 |  | 合金液的汇合处或受合金液冲击的型芯背面, 容易产生涡流、卷气或氧化夹渣 |

(续)

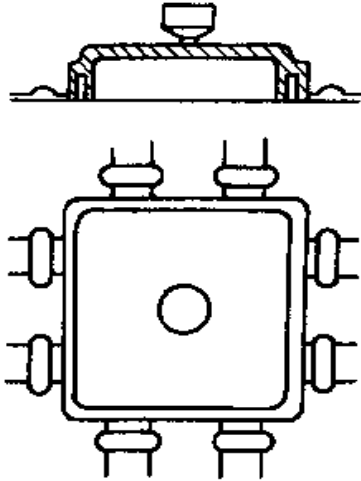
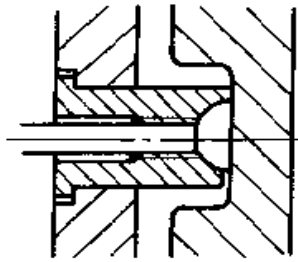
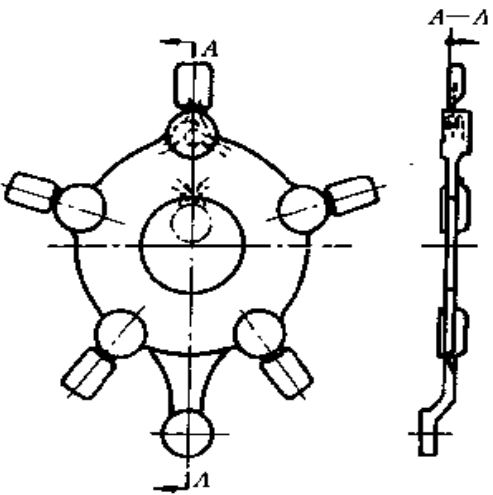
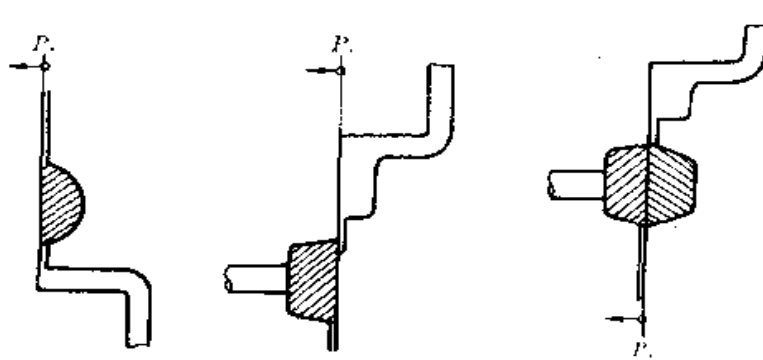
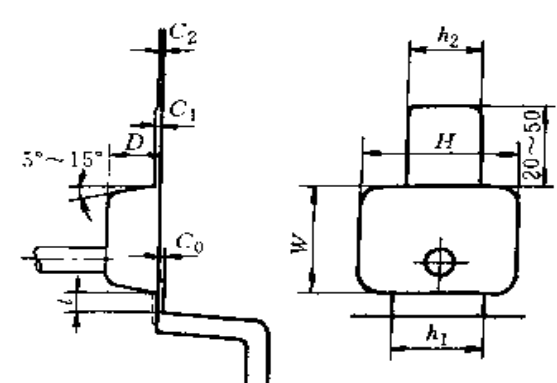
| 位 置 | 简 图 | 说 明 |
|------------------------------|---|--|
| <p>远离浇口的、壁厚过薄的、难以充填成形的部位</p> |  | <p>在薄壁部位设置溢流槽可提高该部位型腔的温度，便于合金液充填成形</p> |
| <p>大型芯的顶端设置溢流槽</p> |  | <p>型芯顶端的溢流槽可利用推杆间隙排气，排除型腔凸台或底部的气体、排除已冷却并夹有杂质的合金，改善充填条件</p> |
| <p>铸件局部厚壁处</p> |  | <p>铸件局部厚壁处易产生气孔、缩松等缺陷</p> |

表 7-182 溢流槽的断面和尺寸

| 断面形状 | 尺寸 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|----|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---|----------|----|----|---|-----|------|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------|----|----|----|-----|------|------|----|----|---|----|---|---|-----|-----|------|---|---|-----|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|----|----|----|-----|------|-----|----|----|---|
|  |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. 布置在分型面上的溢流槽，其断面形状一般为半圆形或梯形 2. 半圆形溢流槽底部通常不设置推杆，但要便于脱型 3. 设置在动型上的梯形溢流槽底部通常设置推杆 4. 要求容量大时，可设置双扁梯形溢流槽 | <p style="text-align: right;">(mm)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>H</th> <th>W</th> <th>D</th> <th>C₀</th> <th>C₁</th> <th>C₂</th> <th>h₁</th> <th>h₂</th> <th>l</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Al 合金</td> <td>12</td> <td>10</td> <td>6</td> <td>0.5</td> <td>0.25</td> <td>0.1</td> <td>8</td> <td>8</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>~</td> <td>~</td> <td>~</td> <td>~</td> <td>~</td> <td>~</td> <td>~</td> <td>~</td> <td>~</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Zn 合金</td> <td>50</td> <td>35</td> <td>12</td> <td>1.5</td> <td>0.35</td> <td>0.15</td> <td>35</td> <td>25</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>8</td> <td>5</td> <td>0.4</td> <td>0.1</td> <td>0.05</td> <td>7</td> <td>7</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>~</td> <td>~</td> <td>~</td> <td>~</td> <td>~</td> <td>~</td> <td>~</td> <td>~</td> <td>~</td> </tr> <tr> <td></td> <td>30</td> <td>30</td> <td>10</td> <td>0.8</td> <td>0.15</td> <td>0.1</td> <td>22</td> <td>20</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> | | H | W | D | C ₀ | C ₁ | C ₂ | h ₁ | h ₂ | l | Al 合金 | 12 | 10 | 6 | 0.5 | 0.25 | 0.1 | 8 | 8 | 2 | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | Zn 合金 | 50 | 35 | 12 | 1.5 | 0.35 | 0.15 | 35 | 25 | 3 | 10 | 8 | 5 | 0.4 | 0.1 | 0.05 | 7 | 7 | 1.5 | | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | | 30 | 30 | 10 | 0.8 | 0.15 | 0.1 | 22 | 20 | 2 |
| | H | W | D | C ₀ | C ₁ | C ₂ | h ₁ | h ₂ | l | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Al 合金 | 12 | 10 | 6 | 0.5 | 0.25 | 0.1 | 8 | 8 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zn 合金 | 50 | 35 | 12 | 1.5 | 0.35 | 0.15 | 35 | 25 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | 8 | 5 | 0.4 | 0.1 | 0.05 | 7 | 7 | 1.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | ~ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 30 | 30 | 10 | 0.8 | 0.15 | 0.1 | 22 | 20 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

(2) 排气槽 排气槽的位置及尺寸，见表 7-183、表 7-184。

表 7-183 排气槽的位置


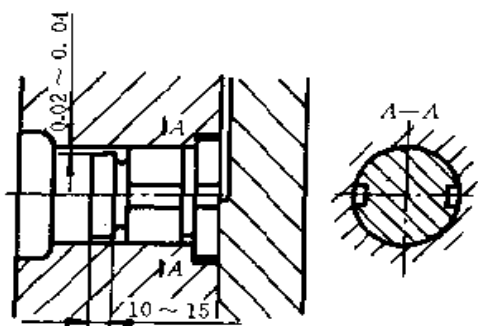
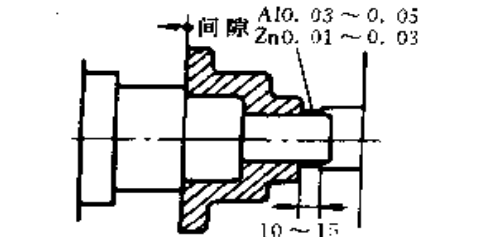
| 类别 | 简图 | 说明 |
|---------------|---|---|
| 分型面上的排气槽 |  | 常在分型面上溢流槽的后端布置排气槽 |
| 利用型芯配合部分的间隙排气 |  | 利用型芯配合部分的间隙排气，易被涂料和合金粉末堵塞，排气效果较差 |
| 利用芯头间隙排气 |  | 型芯头伸入对面镶块，利用其配合间隙排气 排气效果差，但对长型芯有加固作用 |

表 7-184 排气槽的尺寸

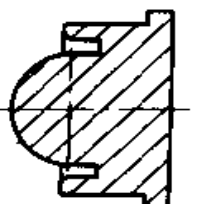
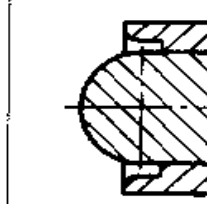
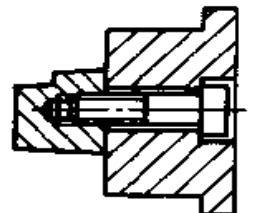
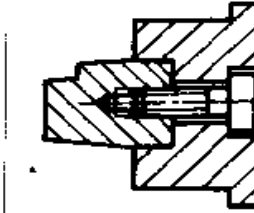
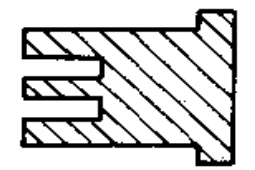
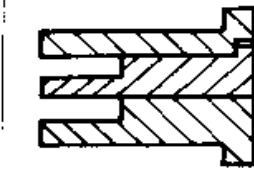
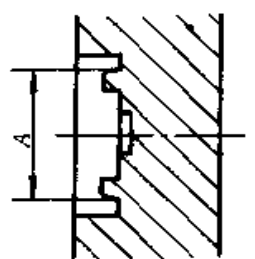
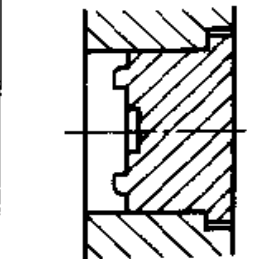
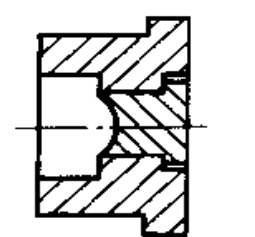
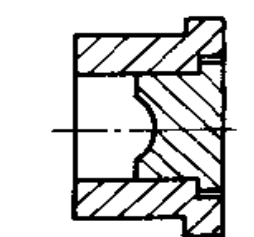
(mm)

| 合金种类 | 排气槽深度 | 排气槽宽度 | 说 明 |
|------|-----------|-------|--|
| 铝合金 | 0.05~0.10 | 8~30 | 1. 排气槽在离开型腔 20~30mm 距离后, 可将其深度增大至 0.3~0.4mm, 以提高其排气效果 2. 排气槽的总截面积一般不小于内浇道截面积的 50%, 但不得超过内浇道截面积 3. 在需要增大排气槽截面积时, 以增大排气槽的宽度和槽数为宜, 不宜过分增加其厚度, 以防金属液溅出 |
| 锌合金 | 0.05~0.12 | | |
| 铝合金 | 0.10~0.15 | | |
| 镁合金 | 0.10~0.15 | | |
| 铜合金 | 0.15~0.20 | | |
| 黑色金属 | 0.20~0.30 | | |

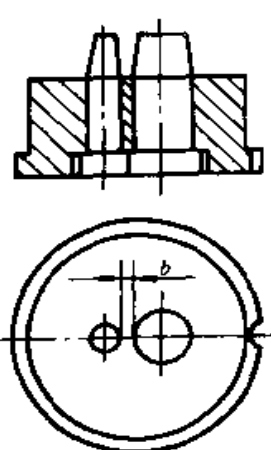
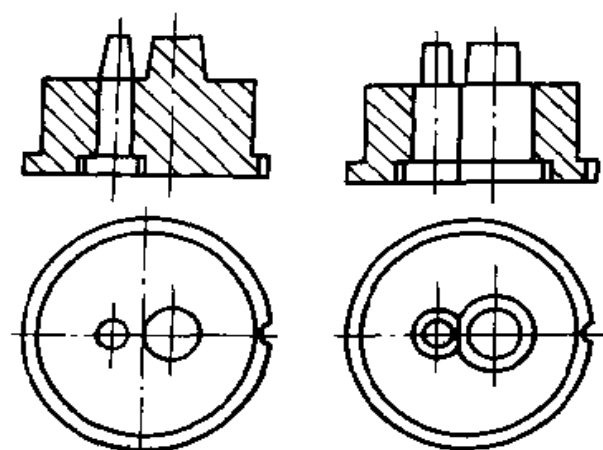
4.5.5 成形零件

4.5.5.1 成形零件镶拼结构的设计要点见表 7-185。

表 7-185 成形零件镶拼结构的设计要点

| 要 点 | 图 例 | | 说 明 |
|------------------|---|---|---|
| | 不 合 理 | 合 理 | |
| 便于机械加工, 以达到较高的精度 |  |  | 尽可能采用圆形、矩形 图 a: 环形型芯内的球体难以机械加工 图 b: 环形套与球体型芯成组合镶块, 便于机械加工 |
| 镶块和型芯应定位准确、牢固 |  |  | 图 a: 只有水平方向定位, 没有垂直方向定位 图 b: 既有水平、又有垂直方向的定位、固定可靠 |
| 减少热处理时的变形或开裂 |  |  | 图 a: 厚薄悬殊 图 b: 由三个镶块拼合而成, 壁厚差缩小 |
| 便于维修与更换 |  |  | 图 a: 整体型芯的局部尺寸 A 精度要求严格, 超差后要更换整体型芯 图 b: 超差后只需更换局部镶块 |
| 保持铸件表面平整, 便于清除毛刺 |  |  | 图 a: 镶块拼接处的毛刺去除困难, 影响铸件外观 图 b: 毛刺留在边缘上, 去除方便, 不影响铸件外观 |

(续)

| 要 点 | 图 例 | | 说 明 |
|--------|---|--|---|
| | 不 合 理 | 合 理 | |
| 避免产生薄壁 |  |  | <p>图 a: 一个镶块上镶拼两个型芯, 两个型芯间距离很近, 则镶块上两型芯孔间产生薄壁 b, 热处理后易产生变形或开裂</p> <p>图 b: 是两种消除薄壁的办法</p> |

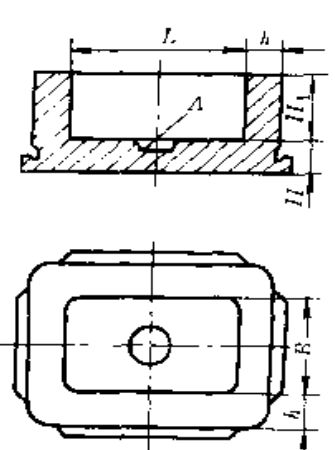
4.5.5.2 镶块的结构形式 见表 7-176

4.5.5.3 镶块和型芯的结构尺寸

1) 镶块的壁厚尺寸 见表 7-186。

表 7-186 镶块壁厚尺寸推荐值

(mm)

| | 型腔长边尺寸 L | 型腔深度 H_1 | 镶块壁厚 h | 镶块底厚 H |
|--|------------|------------|----------|-----------|
|  | ≤ 80 | 5~50 | 15~30 | ≥ 15 |
| | > 80~120 | 10~60 | 20~35 | ≥ 20 |
| | > 120~160 | 15~80 | 25~40 | ≥ 25 |
| | > 160~220 | 20~100 | 30~45 | ≥ 30 |
| | > 220~300 | 30~120 | 35~50 | ≥ 35 |
| | > 300~400 | 40~140 | 40~60 | ≥ 40 |
| | > 400~500 | 50~160 | 45~80 | ≥ 45 |

注: 1. 型腔长边尺寸 L 及深度尺寸 H_1 是指整个型腔侧面的大部分面积, 对局部较小的凹坑 A , 在查表时不应计算在型腔尺寸范围内。

2. 镶块壁厚尺寸 h 与型腔的侧面积 ($L \times H_1$) 成正比, 凡深度 H_1 较大, 几何形状复杂易变形者 h 应取较大值。

3. 镶块底部壁厚尺寸 H 与型腔底部投影面积和深度 H_1 成正比, 当型腔短边尺寸 B 小于 $\frac{1}{3}L$ 时, 表中 H 值应适当减小。

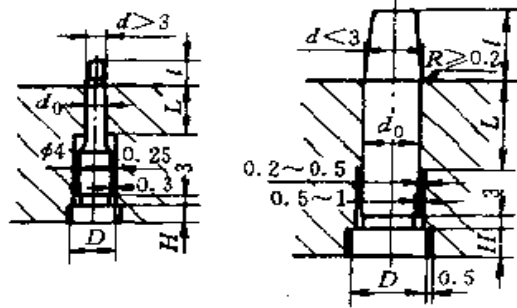
4. 当套板中的镶块安装孔为通孔结构时, 深度 H_1 较小的型腔应保持镶块高度与套板厚度一致, H 值可相应增加, 不受限制。

5. 在镶块内设有水冷或电加热装置时, 其壁厚根据实际需要, 适当增加。

2) 圆型芯的尺寸, 见表 7-187。

表 7-187 圆型芯尺寸推荐值

(mm)



| 成型段直径 d | 配合段直径 d_0 | 台阶直径 D | 台阶厚度 H | 配合段长度 L 不小于 |
|------------------|--------------------|------------|----------|---------------|
| ≤ 3 | 4 | 8 | 5 | 6~10 |
| $> 3 \sim 10$ | $d + (0.4 \sim 1)$ | $d_0 + 4$ | 8 | 10~20 |
| $> 10 \sim 18$ | | | | 15~25 |
| $> 18 \sim 30$ | | $d_0 + 5$ | 10 | 20~30 |
| $> 30 \sim 50$ | | | | 25~40 |
| $> 50 \sim 80$ | | $d_0 + 6$ | 12 | 30~50 |
| $> 80 \sim 120$ | | | | 40~60 |
| $> 120 \sim 180$ | | $d_0 + 8$ | 15 | 50~80 |
| $> 180 \sim 260$ | | | | 70~100 |
| $> 260 \sim 360$ | | $d_0 + 10$ | 20 | 90~120 |

注: 1. 为了便于应用标准工具加工孔径 d_0 , 公称尺寸应取整数或取标准铰刀的尺寸规格。

2. 为了防止卸料板机构中的型芯表面与相应配合件的孔之间的擦伤, d_0 部位应大于 d 。

3. d 和 d_0 两段不同直径的交界处采用圆角或 45° 倒角过渡。

4. 配合段长度 L 的具体数值, 可按成形部分长度 l 选定, 如 l 段较长 ($l \geq 32 \sim 3d$) 的型芯, L 值应取较大值。

4.5.5.4 成形尺寸的计算 计算的基本公式 (图 7-94 式中 D' 、 d' 、 L' ——计算后的型腔、型芯、中心距尺寸 (mm);

D_{\max} ——铸件该部位的最大极限尺寸 (mm);

d_{\min} ——铸件该部位的最小极限尺寸 (mm);

k ——综合线收缩率 (%) (见表 7-188);

n ——修整系数;

修整系数 n 表示型腔和型芯在使用过程中的修整量, 一般 n 值取 $0.5 \sim 0.8$, 正常情况下取 0.7 , 当铸件的尺寸精度要求严格、压铸工艺不易稳定控制或该部位尺寸的收缩规律难以掌握时, n 值可取 0.5 。

Δ ——压铸件的尺寸公差 (mm);

δ ——压铸型成形部分的制造公差 (mm) 一般

δ 值取压铸件公差的 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{5}$ 。

L_p ——铸件该部分的平均尺寸 (mm)。

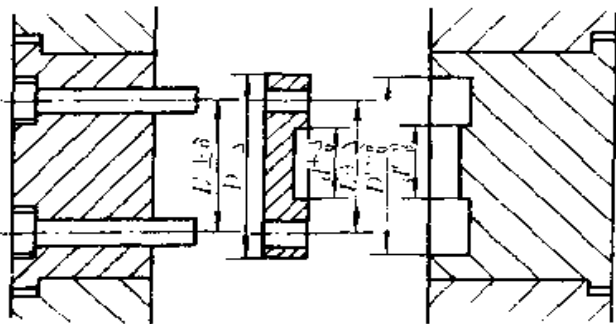


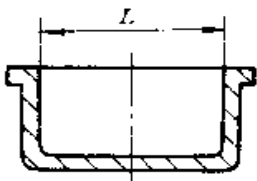
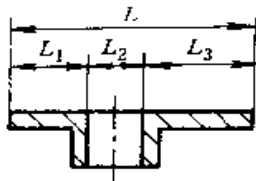
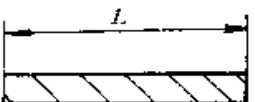
图 7-94 成形尺寸计算的高图

$$D' + \delta = (D_{\max} + D_{\max}k - n\Delta) + \delta$$

$$d' - \delta = (d_{\min} + d_{\min}k + n\Delta) - \delta$$

$$L' \pm \delta = (L_p + L_p k) \pm \delta$$

表 7-188 各种合金压铸件线收缩率推荐值

| 合金种类 | 收缩条件 | | |
|----------|---|--|---|
| | 阻碍收缩 | 混合收缩 | 自由收缩 |
| |  |  |  |
| 线收缩率 (%) | | | |
| 铅锡合金 | 0.2~0.3 | 0.3~0.4 | 0.4~0.5 |
| 锌合金 | 0.3~0.4 | 0.4~0.6 | 0.6~0.8 |
| 铝硅合金 | 0.3~0.5 | 0.5~0.7 | 0.7~0.9 |
| 铝硅铜合金 | | | |
| 铝镁合金 | 0.4~0.6 | 0.6~0.8 | 0.8~1.0 |
| 镁合金 | | | |
| 黄铜 | 0.5~0.7 | 0.7~0.9 | 0.9~1.1 |
| 铝青铜 | 0.6~0.8 | 0.8~1.0 | 1.0~1.2 |

注: 1. L_1 、 L_3 —自由收缩; L_2 —阻碍收缩。

2. 表中数据系指压铸型温度、浇注温度等工艺参数为正常时的线收缩率。

3. 在收缩条件特殊的情况下, 可按表中推荐值适当增减。

计算成形尺寸时要注意:

1) 型腔磨损后, 尺寸增大, 因此, 计算成形尺寸时, 应保持铸件外形尺寸接近于最小极限尺寸。

2) 型芯磨损后, 尺寸变小, 因此, 计算成形尺寸时, 应保持铸件内形尺寸接近于最大极限尺寸。

3) 两个型芯或型腔之间的中心距离或位置尺寸, 与磨损量无关, 应保持铸件尺寸接近于最大和最小两个极限尺寸的平均值。

4.5.6 抽芯机构

4.5.6.1 抽芯机构的分类及特点 见表 7-189。

表 7-189 抽芯机构的分类及特点

| 分类 | 主要特点 | |
|---------|--|---|
| 机械抽芯机构 | 斜销抽芯机构 | 1. 结构简单、制造方便, 是一种最常用的抽芯机构 2. 用于抽出接近分型面、抽拔力和抽拔距离不大的型芯 |
| | 弯销抽芯机构 | 1. 延时抽芯距离长 2. 常用于离分型面垂直距离较远的型芯 |
| | 斜滑块抽芯机构 | 1. 抽芯与推出动作同时完成 2. 适用于抽出面积较大、深度较浅的凸凹表面 |
| | 齿轮齿条抽芯机构 | 1. 结构复杂、制造困难 2. 可抽出与分型面成任何角度、抽芯力不大、抽芯距离长的型芯。常在无法采用斜销抽芯机构时用 |
| 液压抽芯机构 | 1. 液压抽芯器是通用的标准件, 可简化压铸型的结构 2. 适用于抽拔力大、抽芯距离长、与分型面成任何角度的型芯 3. 适用于中、大型压铸型 | |
| 活镶块抽芯机构 | 1. 型外抽芯操作麻烦, 劳动强度大 2. 常用于生产带螺纹的或内部有侧凹及复杂形状的铸件, 可简化压铸型的结构 3. 常用于小批量生产或无法采用其它抽芯机构的场合 | |

4.5.6.2 斜销抽芯机构

1. 斜销抽芯机构的组成 见图 7-95。

2. 斜销受力情况及主要工作尺寸 当抽芯方向与分型面平行时, 见表 7-190。

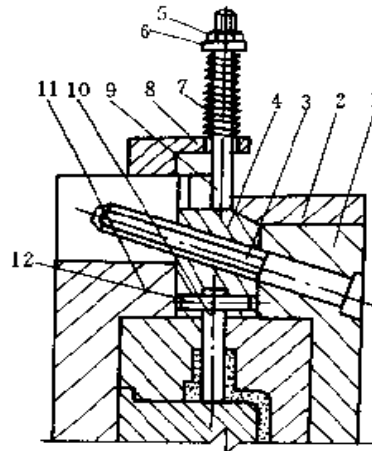


图 7-95 斜销抽芯机构的组成

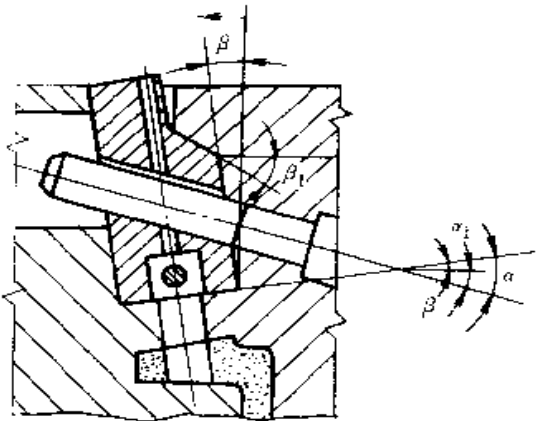
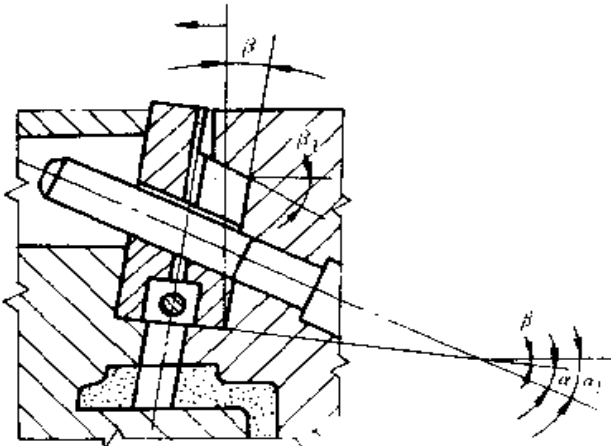
1—定型套板 2—楔紧块 3—斜销 4—滑块 5—螺母 6—垫圈
7—压缩弹簧 8—限位块 9—螺栓 10—活动型芯 11—动型套板 12—销

表 7-190 斜销受力情况及主要工作尺寸

| | |
|-----------------------------------|---|
| <p>简图</p> | <p> α—斜销的斜角($^{\circ}$) S—抽芯距离(mm) P—抽芯力(N) W—斜销抽芯时受的弯曲力(N) Q—开型阻力(N) L—斜销的有效长度(mm) S_1—斜销完成抽芯动作的开型行程(mm) h—斜销受力中心到支点的水平距离(cm) H—斜销受力中心到支点的距离(mm) β—楔紧块的楔紧角($^{\circ}$) d—斜销直径(cm) </p> |
| <p>受力情况</p> | $L = \frac{S}{\sin \alpha} = \frac{S_1}{\cos \alpha}$ $Q = P \tan \alpha$ $W = \frac{P}{\cos \alpha}$ |
| <p>斜角 α 的选择</p> | <p>一般取 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 常用的是 $15^{\circ}、20^{\circ}$ 不要超过 25°</p> |
| <p>斜销直径 d 的估算公式</p> | $d \geq \sqrt[3]{\frac{Ph}{300 \cos^2 \alpha}}$ |
| <p>楔紧块的楔紧角 β</p> | $\beta = \alpha + (3^{\circ} \sim 5^{\circ})$ |

当抽芯方向与分型面成一个小夹角 β 时, 斜角 α 值的确定见表 7-191。

表 7-191 斜销斜角与抽芯方向夹角的关系

| 方向 | 图例 | 关系 |
|------|--|---|
| 斜向定型 |  <p data-bbox="539 784 890 920"> α_1—斜角与分型面垂线的斜角 β—抽芯方向与分型面的夹角 β_1—楔紧角 α—有效抽芯角 </p> | $\alpha = \alpha_1 + \beta$ $\alpha_1 = \alpha - \beta$ $\beta_1 = \alpha_1 + (1^\circ \sim 2^\circ)$ $\alpha_1 \leq 25^\circ$ $\alpha - \beta \leq 25^\circ$ |
| 斜向动型 |  | $\alpha = \alpha_1 - \beta$ $\alpha_1 = \alpha + \beta$ $\beta_1 = \alpha_1 + (1^\circ \sim 2^\circ)$ $\alpha_1 \leq 25^\circ$ $\alpha + \beta \leq 25^\circ$ |

3. 斜销的长度与斜销孔的位置 (图 7-96) 斜销长度

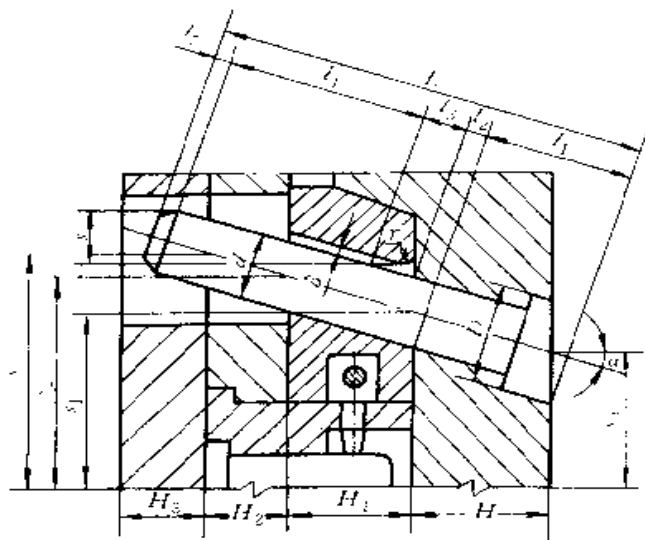


图 7-96 斜销长度及斜销孔的位置

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5$$

$$L = \frac{S}{\sin \alpha} + \frac{H}{\cos \alpha} + (D - d) \tan \alpha + \frac{\gamma \left(1 + \tan \frac{\alpha}{2}\right)}{\cos \alpha} + \frac{2\delta}{\sin 2\alpha} + (5 \sim 10)$$

- 式中 L ——斜销长度 (mm);
 H ——斜销固定段型板的厚度 (mm);
 D ——斜销固定段直径 (mm);
 d ——斜销工作段直径 (mm);
 S ——抽芯距离 (mm);
 δ ——斜销和滑块斜孔的间隙 (mm);
 γ ——滑块斜孔倒圆半径 (mm)。

斜销孔在各块型板上的位置尺寸

$$S_1 = S_0 + H \tan \alpha$$

$$S_2 = S_1 + H_1 \tan \alpha$$

$$S_3 = S_2 + H_2 \tan \alpha$$

式中 S_0 ——斜销固定部分的位置尺寸 (mm);
 H_1 、 H_2 、 H_3 ——各块型板的厚度 (mm);
 S_1 、 S_2 、 S_3 ——斜销孔在各块型板上的位置尺寸 (mm)。

4. 抽芯距离

$$S = S_1 + K$$

式中 S ——抽芯距离

S_1 ——滑块型芯完全脱出成形处的移动距离 (mm)

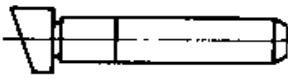

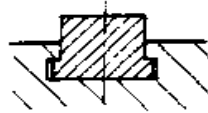
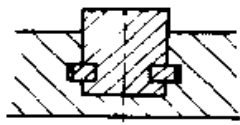

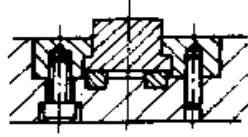


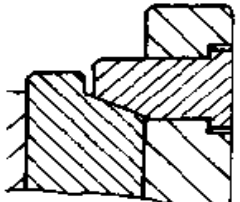
K ——安全系数 (mm), 见表 7-192。

表 7-192 常用 K 值 (mm)

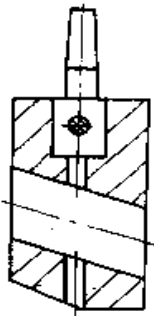
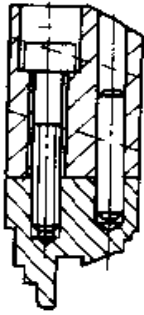
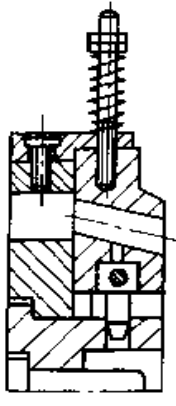
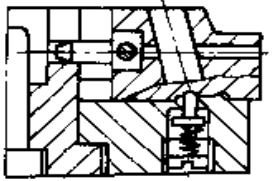
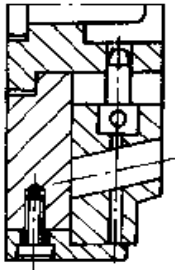
| S_1 | K 值 |
|----------|-------|
| <10 | 3~5 |
| >10~30 | 5~8 |
| >30~180 | 8~12 |
| >180~360 | |

5. 斜销抽芯机构常用元件 见表 7-193。

表 7-193 斜销抽芯机构常用元件

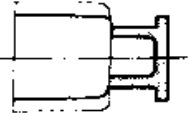
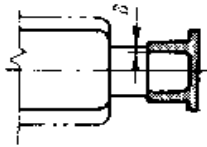
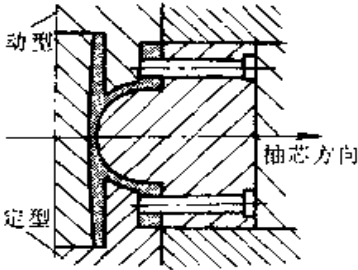
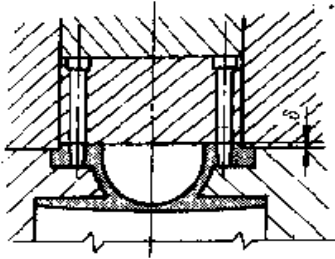
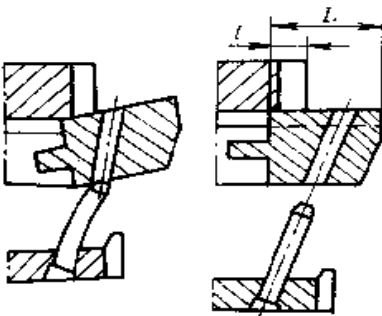
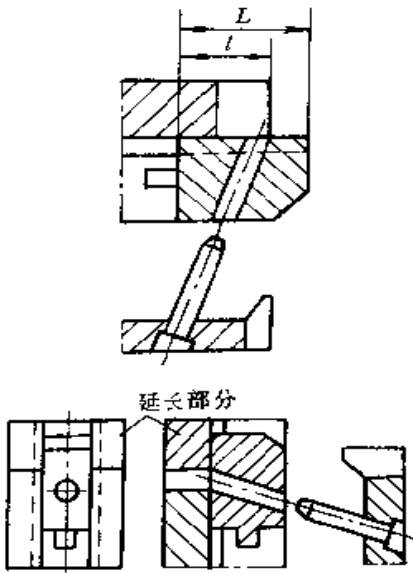
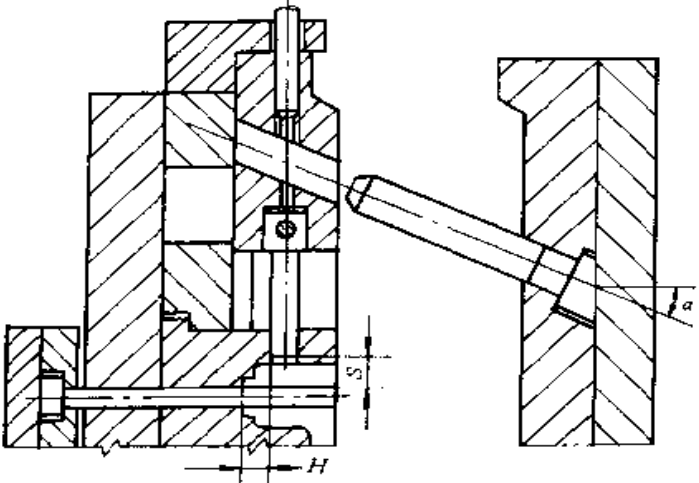
| 名称 | 图例 | 说明 |
|---------|---|------------------------------------|
| 斜销 |  | 圆斜销加工方便, 应用较广 |
| |  | 扁圆斜销可减少斜销与滑块的摩擦, 应用广泛 |
| 滑块及导滑机构 |  | 加工简单, 使用方便, 强度高稳定性好, 磨损后修整困难, 应用广泛 |
| |  | 滑块与导滑件分开制造, 导滑件磨损后可修正, 用于中型滑块 |
| |  | 用于套板上不能设置导滑槽的场合 |
| |  | 适用于滑块较大、较厚的情况, 可减少导滑面的摩擦 |
| 楔紧块 |  | 楔紧块和套板成一体, 楔紧强度大, 难以调整楔紧力, 用于大型滑块 |
| |  | 结构简单, 制造方便, 易修理, 楔紧刚性较差, 使用日久螺钉易松动 |
| |  | 楔紧块装固于套板内, 以提高强度和刚性, 用于楔紧压力较大的滑块 |

(续)

| 名称 | 图例 | 说明 |
|------------|--|------------------------------------|
| 活动型芯与滑块的连接 |  | 型芯与滑块用圆柱销固定 |
| |  | 大型芯或镶块可采用螺钉紧固,加销定位,装配方便 |
| 滑块的限位方法 | <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: 5px; top: 50%; transform: translateY(-50%);">滑块向上运动</p>  | 滑块完成抽芯在上方时,靠弹簧的张力,使其紧贴限位块,不至因自重而下落 |
| | <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: 5px; top: 50%; transform: translateY(-50%);">滑块水平运动</p>  | 滑块底面沿导滑方向加工两个锥坑,通过相对位置上的弹簧销限位 |
| | <p style="writing-mode: vertical-rl; position: absolute; left: 5px; top: 50%; transform: translateY(-50%);">滑块向下运动</p>  | 滑块完成抽芯在下方时,靠自重座在限位块上 |

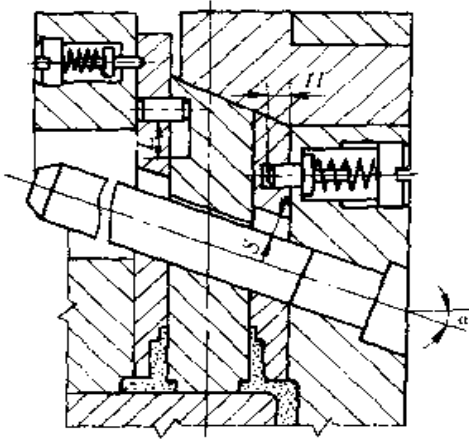
6. 斜销抽芯机构设计的注意事项 见表 7-194。

表 7-194 斜销抽芯机构设计的注意事项

| 图 例 | 说 明 | |
|---|---|---|
| <p style="text-align: center;">不 合 理</p>  | <p style="text-align: center;">合 理</p>  | <p>图 a: 铸件无支承面, 抽芯时易产生变形, 且合金液易窜入滑块配合面 图 b: 增设支承面, 沿型芯后端每边放大 δ 为 0.2~0.5mm</p> |
|  |  | <p>图 a: 铸件无支承面, 抽芯时易产生变形 图 b: 支承面高出型芯端面 δ 约 0.5~1mm, 使铸件法兰圈平整</p> |
|  <p style="text-align: center;">$l \leq 2/3L$ (不合理)</p> |  <p style="text-align: center;">$l \geq 2/3L$ (合理)</p> | <p>滑块抽出后, 留在导滑槽内的配合长度 l 一般不短于滑块长度 L 的 $\frac{2}{3}$, 以免合型插芯时滑块倾倒</p> |
|  | <p>当活动型芯在分型面的投影范围内设有推杆或推管时, 应注意合型时推杆和活动型芯产生“干扰”, 见图 采用液压推出使推出机构在合型前复位, 可避免产生“干扰”</p> | |

(续)

图 例



说 明

当铸件端面壁薄呈管状,采用一次同时抽芯,铸件将产生断裂

采用斜销两次联动抽芯,先抽动中间型芯,卸除包紧力后,内外型芯同步抽出

$$S \geq H \sin \alpha \quad L \geq \frac{S}{\cos \alpha}$$

式中: S—外滑块与斜销外侧间隙

α—斜销的斜角

H—挡钉插入外滑块的高度

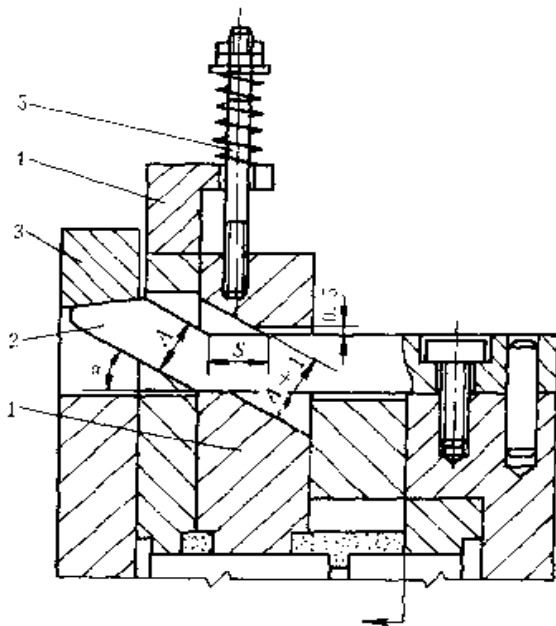
L—内滑块抽芯距离

4.5.6.3 弯销抽芯机构 见表 7-195。

表 7-195 弯销抽芯机构

图 例

说 明



1. 弯销厚度为 A, 滑块斜孔相应尺寸为 A + 1mm
2. 滑块反压力不大、弯销较长时, 采用弯销头部楔紧, 楔紧块 3 呈座架形。滑块的反压力大时, 应另加楔块
3. 弯销的斜角 α 常用 10°、15°、18°、20°、22°、25° 和 30°, 一般不大于 30°
4. 楔紧块角度小于 α, 常取 5°~15°

弯销抽芯机构

1—滑块 2—弯销 3—楔紧块

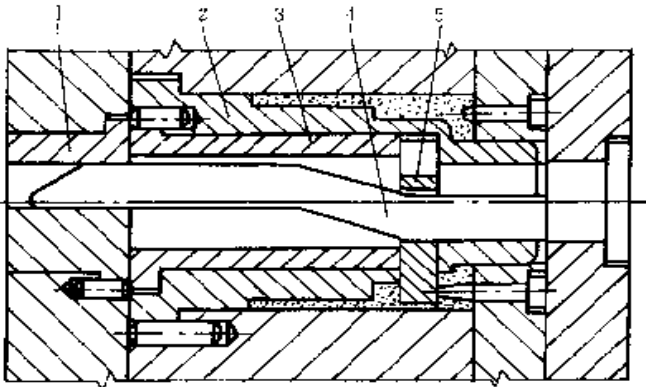
4—限位块 5—螺杆

A—弯销厚度, S—弯销延时抽芯行程

(续)

图 例

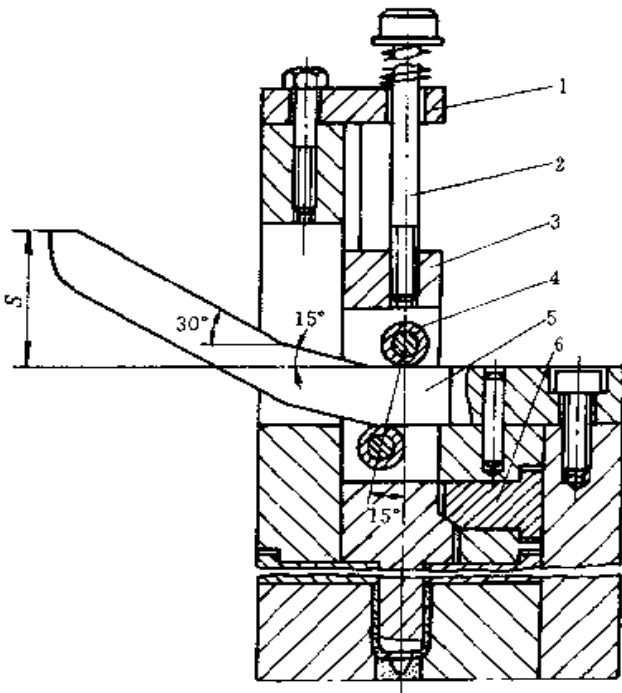
说 明



弯销内侧抽芯机构

1—衬套 2—型芯 3—滑块座
4—弯销 5—滑块

1. 在铸件内腔型芯 2 中装有滑块 5 和滑块座 3,并由贯穿其内并固定在定型上的弯销 4 抽芯及楔紧,滑块 5 形成铸件的内侧凹
2. 有深腔的筒形铸件,开设缝隙式浇口和溢流槽



变角弯销抽芯机构

1—限位块 2—螺栓 3—滑块
4—滚轮 5—变角弯销
6—楔紧块

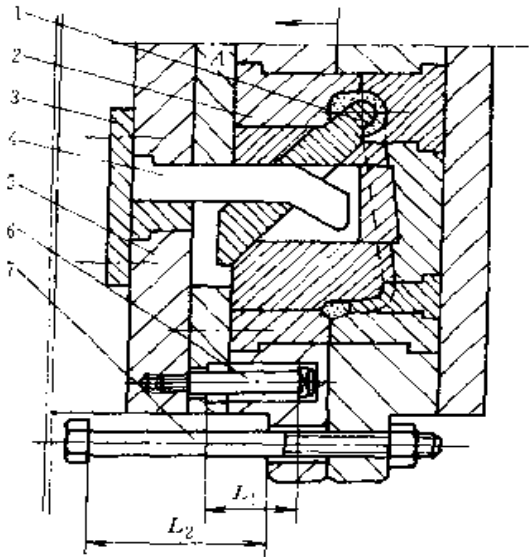
起始抽芯时抽拔力最大,采用 $\alpha = 15^\circ$ 的抽芯角,抽出一定距离后,弯销仅带动滑块运动,采用 $\alpha = 30^\circ$ 的抽芯角,以满足较长的抽芯距离

适用于起始抽拔力大,且抽拔距离较长的型芯

(续)

图 例

说 明



弯销抽出铸件内侧凹的型芯

- 1—斜向型芯 2—动型 3—弯销支承板
4—弯销 5—动型附加板 6,7—限位螺钉

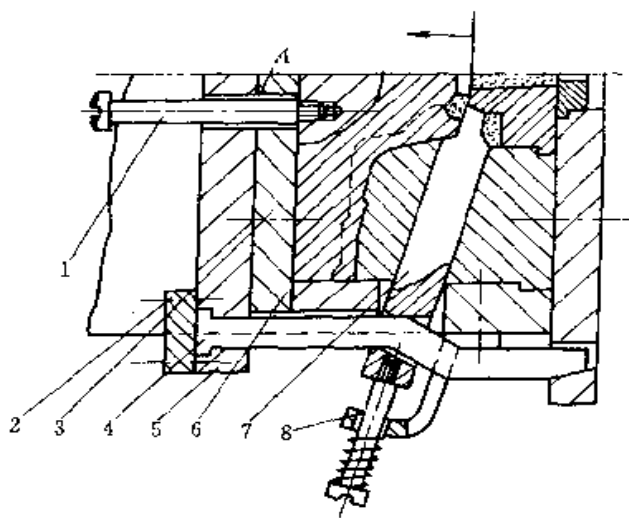
开型后,先敞开分型面达到 L_2 距离后,限位螺钉 7 拉住动型 2,附加分型面 A 打开,行程 L_1 ,弯销抽出斜向型芯

如附加分型面 A 先敞开,则先抽芯,开型距离由限位螺钉 6 控制

限位距离应满足:

$L_1 >$ 抽芯的弯销所需的工作行程

L_2 应有足够取出铸件的距离及按压铸机的最大开型距离和压型总厚度确定



弯销斜向定型抽芯

- 1—限位螺钉 2—弯销支承板 3—动型支承板
4—弯销 5—动型附加板 6—动型
7—斜向滑块 8—限位块

开型时,先敞开动型附加分型面 A,抽出定型型芯。在完成抽芯的同时,脱开分型面间的锁紧机构,继续开型推出铸件

4.5.6.4 斜滑块抽芯机构 斜滑块抽芯机构的组成及动作过程见图 7-97。

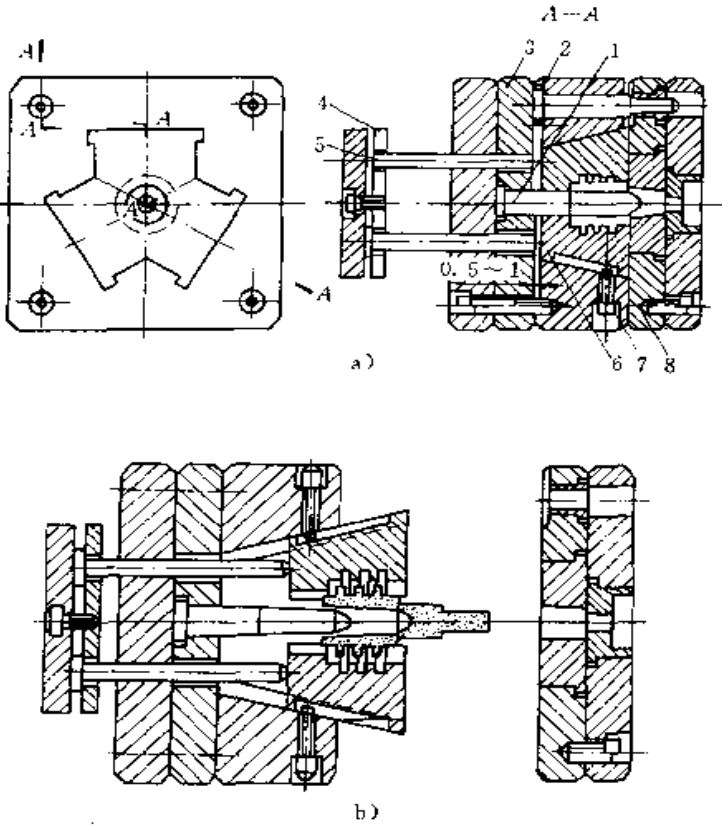


图 7-97 斜滑块抽芯机构

a) 组成 b) 动作过程

- 1—型芯 2—动型套板 3—型芯固定板
- 4—推杆固定板 5—推杆 6—斜滑块
- 7—限位螺钉 8—定型套板

4.5.6.5 液压抽芯机构 见图 7-98。

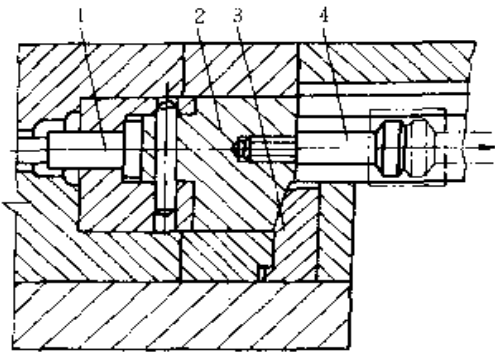


图 7-98 液压抽芯机构

- 1—型芯 2—滑块 3—楔紧块 4—拉柱

4.5.6.6 齿轮齿条抽芯机构 见图 7-99。

4.5.6.7 活镶块型外抽芯机构 见图 7-100。

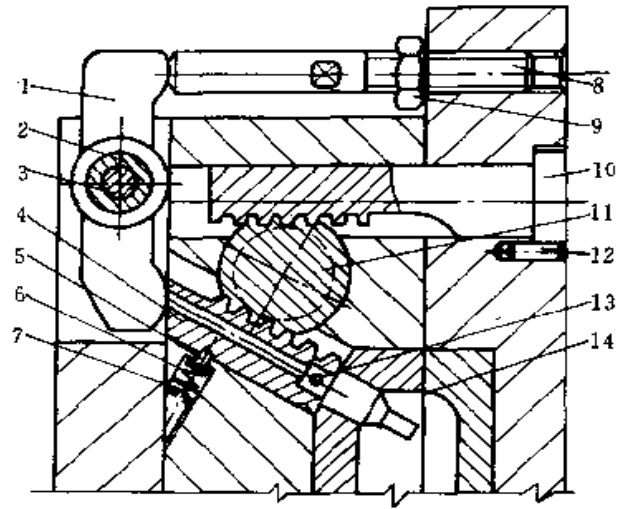


图 7-99 齿轮齿条抽芯机构

- 1—锁块 2—衬套 3—轴 4—成型内条
- 5—限位钉 6—弹簧 7—螺堵 8—压杆
- 9—螺母 10—主动齿条 11—齿轮
- 12—销 13—销 14—型芯

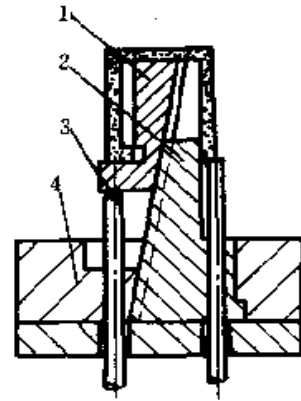


图 7-100 活镶块抽芯机构

- 1—活动镶块 2—动型型芯 3—推杆 4—动型

4.5.7 推出机构

4.5.7.1 推出机构的分类及特点 见表 7-196 和表 7-197。

表 7-196 推出机构的分类

| 压铸机 (动力来源) | 压铸型 (基本推出) |
|---------------|---------------|
| 机械推出 | 推杆推出 推管推出 |
| 液压推出 | 推板推出 |

表 7-197 推出机构的特点

| 分类 | 主要特点 |
|-----|---|
| 压铸机 | 机械推出 1. 以压铸机的开型力为动力,由压铸机上的推杆传到压铸型的推出机构上,在开型过程中自行完成推出 2. 省去推出的操作程序 |
| | 液压推出 1. 以压铸机的液压推出为动力,推动压铸型的推出机构 2. 有推出和复位的程序 3. 可以使推出机构在合型前复位 |
| 压铸型 | 推杆推出 1. 推出元件形状简单、制造维修方便 2. 在铸件上留有推杆痕迹 3. 应用广泛 |
| | 推管推出 1. 推管推出后,型芯喷刷涂料比较困难,使推出机构先复位可以解决 2. 常用于薄壁的管状铸件 |
| | 推板推出 1. 作用在铸件上的推出力分布均匀,铸件变形小 2. 推板推出后,型芯喷刷涂料比较困难,使推出机构先复位可以解决 3. 常用于一型多腔,薄壁具有较大内孔的铸件,对复杂型芯不宜采用推板推出 |

4.5.7.2 推杆推出机构

1. 推杆推出的压铸型一般结构 见图 7-101。

2. 推出机构的组成 见图 7-101。

推出元件: 推杆 8

限位元件: 动型座板 4

导向元件: 推板导柱 7、导套 3

复位元件: 复位杆 1

结构元件: 推杆固定板 6、推板 5、螺钉 2。

3. 推杆位置的设计 见表 7-198 和表 7-199。

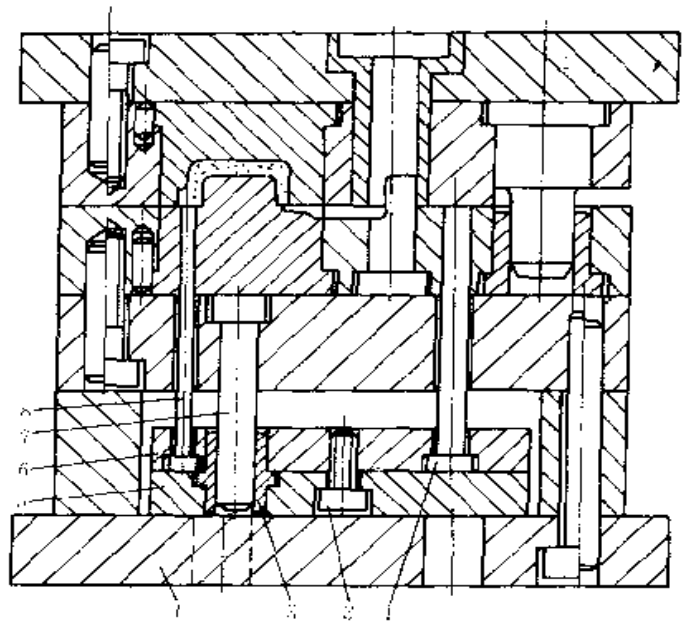


图 7-101 推杆推出的压铸型

1—复位杆 2—螺钉 3—导套 4—动型座板 5—推板
6—推杆固定板 7—推板导柱 8—推杆

表 7-198 推杆位置的设计要点

| 推杆位置的设计 | 图 例 | 说 明 |
|------------------------|-----|---|
| 受铸件收缩包裹的型芯周围 | | 在中间型芯周围的三个凸台上设置三个推杆 |
| 受铸件收缩包裹力大又不易使铸件产生变形的部位 | | 在铸件的凸台、加强筋或侧壁上设置推杆 推杆直径 d 应比成形尺寸 d_0 小 0.4~0.6mm |

(续)

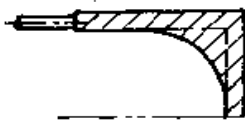
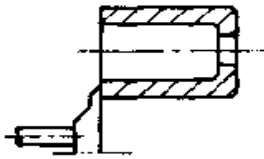

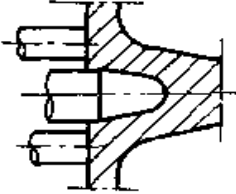
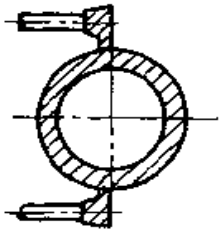
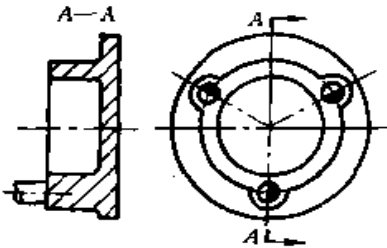
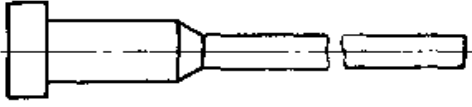
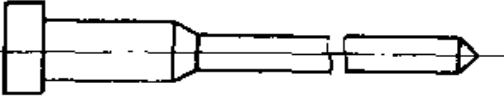
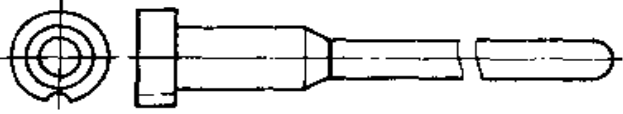
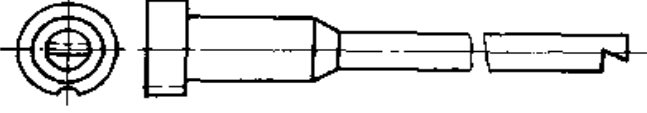
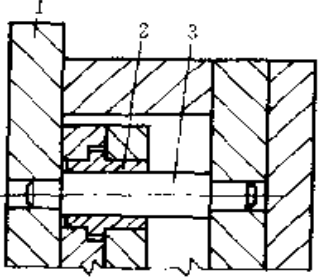
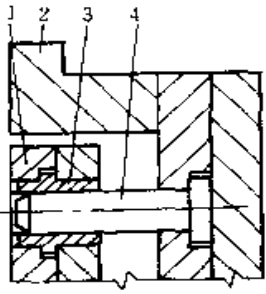
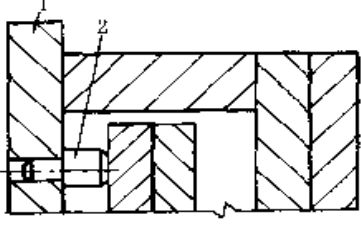
| 推杆位置的设计 | 图 例 | 说 明 |
|--------------------|---|--|
| 铸件出型斜度小的深腔部位 |  | 有利于深腔部位的出型、排气 |
| 动型的横浇道上 |  | 便于横浇道和铸件一起出型 |
| 圆形推杆的一部分推在较薄侧壁的边缘上 |  | 侧壁较薄容纳不下圆形推杆的情况下采用 |
| 受浇注系统收缩包紧的分流锥周围 |  | 使分流锥脱离被包紧的浇注系统 |
| 在溢流槽上设置推杆 |  | 圆筒形铸件表面不允许有推杆痕迹时采用 |
| 推杆的位置应避免与活动型芯产生干扰 |  | <p>M、N 位置的推杆会与活动型芯产生干扰</p> <p>a、b、c、d 四个位置上设置推杆，不会产生干扰</p> |

表 7-199 推杆的形式

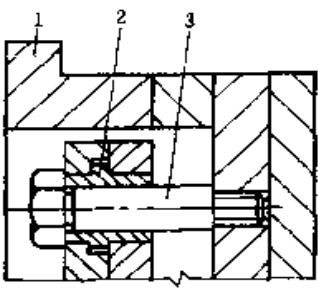
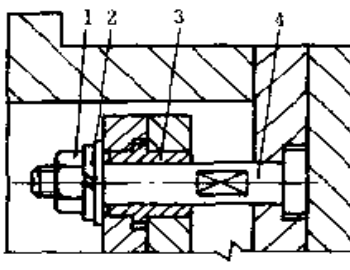
| 形式 | 图 例 | 说 明 |
|------|---|-------------------------------|
| 圆形推杆 |  | 圆形推杆加工方便,应用广泛 |
| 羊眼推杆 |  | 为铸件钻孔部位提供定位锥坑 |
| 成形推杆 |  | 根据铸件推出部位的特殊形状而设计 |
| 倒钩推杆 |  | 帮助铸件或浇道脱离定型,两个以上倒钩时,应保持倒钩方向一致 |

4. 限位、导向的形式 见表 7-200。

表 7-200 限位、导向元件的形式

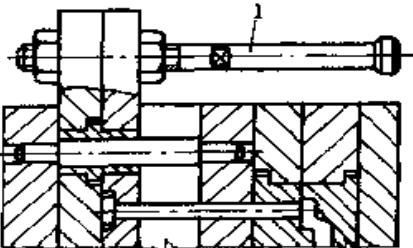
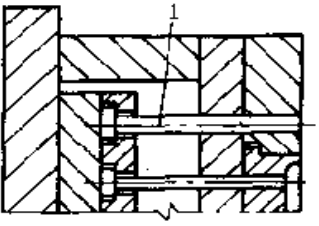
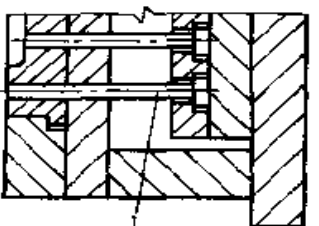
| 限位、导向元件 | 图 例 | 说 明 |
|---|---|--|
| 限位元件:动型座板 1 导向元件:导柱 3、导套 2 |  | 限位方法简单、可靠 双支承导柱承载能力大,适用于大型压铸型 |
| 限位元件:推板 1 和支脚 2 底平面齐平,安装后靠压铸机的型板限位 导向元件:导柱 4 和导套 3 |  | 限位方法简单,省去动型座板,但要注意防止推出机构从压铸型中滑落 悬臂式导柱承载能力小,适用于小型压铸型 |
| 限位元件:限位块 2、动型座板 1 |  | 限位方法可靠,推杆长短易调节 |

(续)

| 限位、导向元件 | 图 例 | 说 明 |
|---|---|----------------------------------|
| 限位元件: 导钉 3 导向元件: 导钉 3、导套 2 |  | 限位精度不高 导向性差 |
| 限位元件: 限位钉 4、垫圈 2、螺母 1 导向元件: 限位钉 4、导套 3 |  | 限位精度不高 导向性较好, 承载能力小, 适用于小型压铸型 |

5. 复位的形式 见表 7-201。

表 7-201 复位的形式

| 复位杆 | 图 例 | 特 点 |
|---------------------|---|--|
| 型外复位 (复位杆 1) |  | <ol style="list-style-type: none"> 1. 压铸型安装时需作调整 2. 对较大而复杂的压铸型可减少动、定型套板外形尺寸 3. 复位杆在型外有碍操作 |
| 型内复位 (复位杆 1) | 在镶块外  | <ol style="list-style-type: none"> 1. 复位作用面积较大, 受力平稳 2. 复位杆位置选择的灵活性大 3. 应用广泛 |
| (复位杆 1) | 在镶块内  | <ol style="list-style-type: none"> 1. 复位作用面积小, 推杆固定板外形尺寸较小 2. 更换镶块时, 增加制造工作量 |

4.5.7.3 推管推出机构

1. 推管推出机构的压铸型 推管是推杆的一种特殊形式, 推出元件呈管状, 设置在型芯外围, 以推

出铸件, 其余压铸型的结构与推杆推出相同, 见图 7-102。

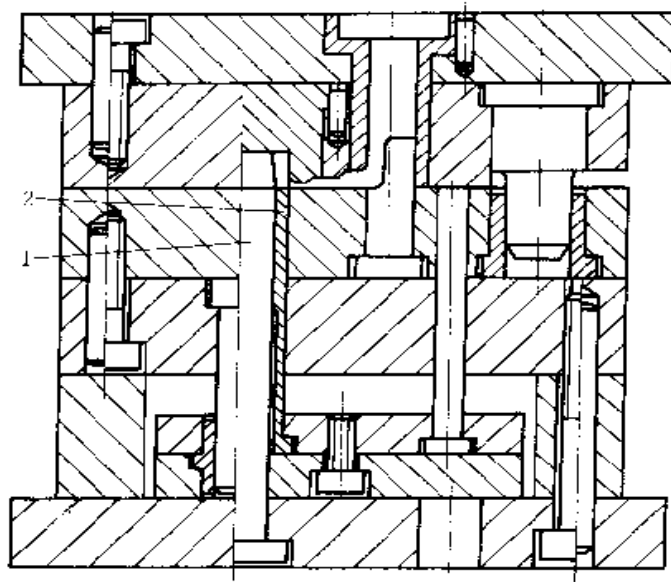
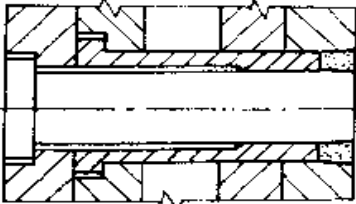
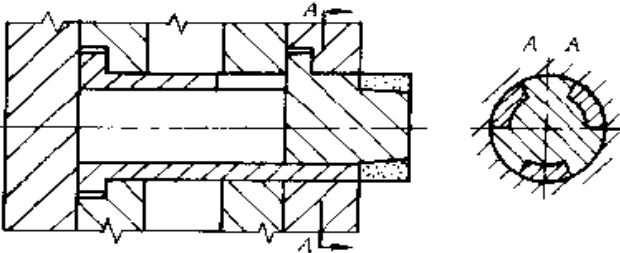


图 7-102 推管推出的压铸型
1—型芯 2—推管

2. 推管的分类及特点 见表 7-202。

表 7-202 推管的分类及特点

| 分类 | 图 例 | 特 点 |
|----------|---|---|
| 环形 推管 |  | 1. 推管加工方便, 强度高, 使用可靠 2. 推出作用面积大, 减少铸件变形 3. 型芯较长 |
| 扇形 推管 |  | 1. 扇形推管加工困难, 强度低 2. 在铸件上留有扇形推管痕迹 |

4.5.7.4 推板推出机构 常用推板推出机构有整体推板式和动型镶块推板式两种

1. 整体推板式的压铸型 (图 7-103)

- 1) 推料板 1 借助导套 4 在导柱 3 上移动。
- 2) 推出力由推板 6 通过限位推杆 5 推动推料板

1 传给铸件。

3) 用限位推杆 5 限制推出距离。

2. 动型镶块推板式压铸型 (图 7-104)

- 1) 常用于推板和推杆联合推出的情况下
- 2) 动型镶块 2 与动型套板 3 配合段除距分型面

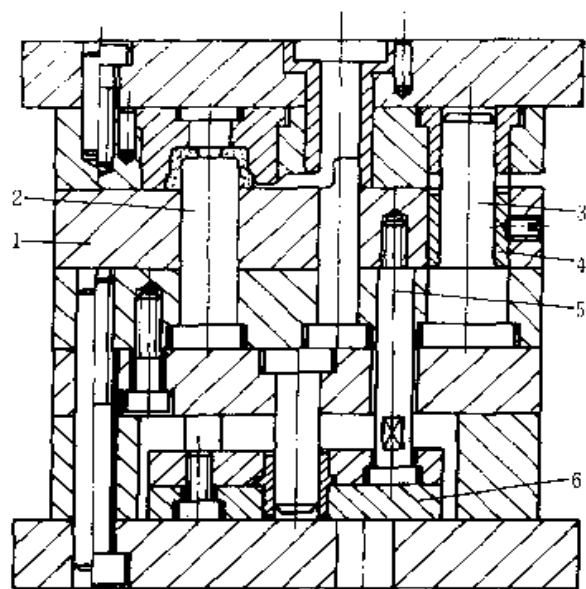


图 7-103 整体推板式压铸型
1—推料板 2—型芯 3—导柱
4—导套 5—限位推杆 6—推板

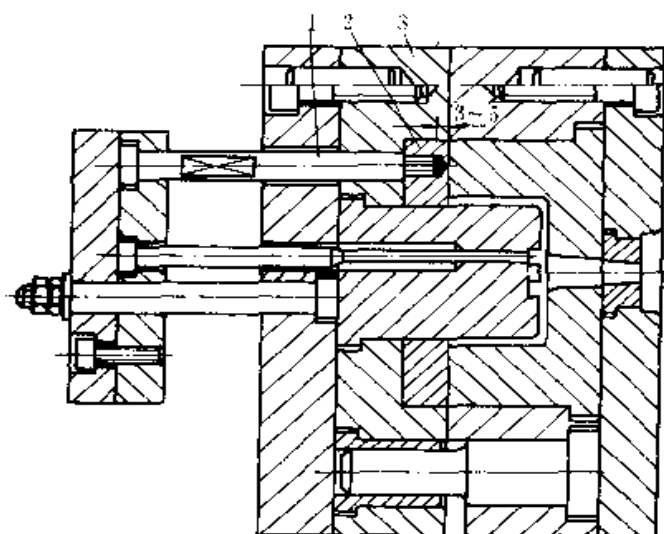


图 7-104 动型镶块推板式压铸型
1—限位推杆 2—动型镶块 3—动型套板

有一段 3~5mm 平直面外，其余有 3°~5°斜度，以减少推出时的摩擦，复位时能顺利导向。

3) 动型镶块 2 兼起推料板作用，由内孔与型芯作推出时的导向。

4.5.8 压铸型的冷却

压铸型的型腔或型芯、浇口套及分流锥均应设置油冷或水冷等冷却系统见图 7-105 和图 7-106。

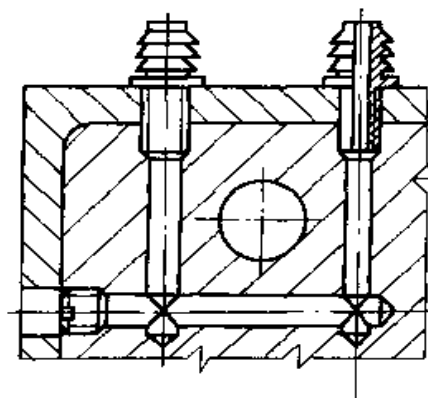


图 7-105 型腔冷却

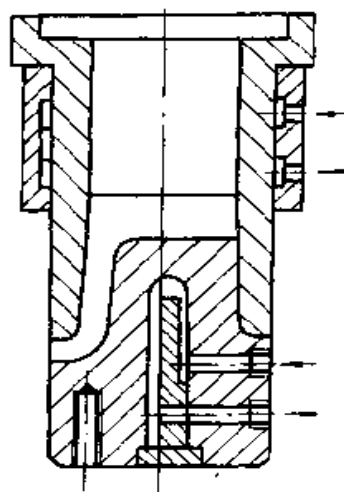


图 7-106 浇口套与分流锥的冷却

4.5.9 压铸型零件常用材料 见表 7-203。

表 7-203 压铸型零件常用材料

| 零件名称 | 压铸合金 | | | 热处理要求 | | |
|--------------|--|--|-----------------------------------|----------|------------|-------------|
| | 锌合金 | 铝合金 镁合金 | 铜合金 黑色金属 | 锌合金 | 铝合金 镁合金 | 铜合金 黑色金属 |
| 型腔镶块、型芯等成形零件 | 3Cr ₂ W ₈ V 4Cr ₅ MoSiV (H13) | 3Cr ₂ W ₈ V 4Cr ₅ MoSiV (H13) 18Ni250 新 H13 | 3Cr ₂ W ₈ V | 46~50HRC | 48~52HRC | 40~44HRC |

(续)

| 零件名称 | 压铸合金 | | | 热处理要求 | | |
|---|------|--|-------------|-------|-----------------|-------------|
| | 锌合金 | 铝合金 镁合金 | 铜合金 黑色金属 | 锌合金 | 铝合金 镁合金 | 铜合金 黑色金属 |
| 浇口套、分流锥等 浇注系统零件 | | 3Cr ₂ W ₈ V 4Cr ₅ MoSiV(H13) 5CrNiMo 5CrMnMo | | | 44~48HRC | |
| 导柱、导套、滑块 楔紧块、斜销、弯销、 推杆、复位杆等受力 零件 | | T8A T10A 9Mn2V | | | 50~55HRC | |
| 动型套板、定型套板、 支承板等结构零件 | | 45 Q275 | | | 回火或调质 220~250HB | |
| 型座、型脚、垫块、 动、定型座板等零件 | | 30~45 Q235~Q275 | | | 回火 | |

注：成形零件热处理，也可先调质 30~35HRC，试压后，软氮化 HV≥600。

4.5.10 国内外压铸型实例

(1) 同一滑块抽拔两个不同角度型芯的压铸型
本体铸件侧面有两个角度相交的孔见图 7-107，整个内腔 a 有 20° 的抽芯角，b 为水平抽芯孔。抽拔这两个相交孔的滑块见图 7-108。

动作过程：

开型时由于圆斜销的作用，滑块 4 带动 b 孔小型芯 2 作水平抽芯动作，滑块继续运动时则开始抽拔大型芯 1，直到型芯全部抽出为止。

合型时在圆斜销的作用下，滑块 4 带动 b 孔小型芯 2 在前进 H 距离后，碰到 a 腔大型芯 1，然后一并推进，直至插芯终止。

(2) 子母抽芯机构 子母抽芯机构适用于图 7-109 类压铸铸件三角区成形并脱型的特殊机构，见图 7-110。

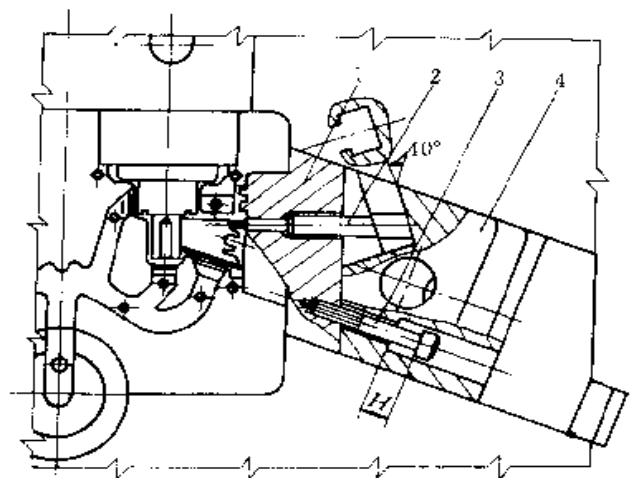


图 7-108 抽拔两个相交孔的滑块
1—大型芯 2—小型芯 3—限位螺钉 4—滑块

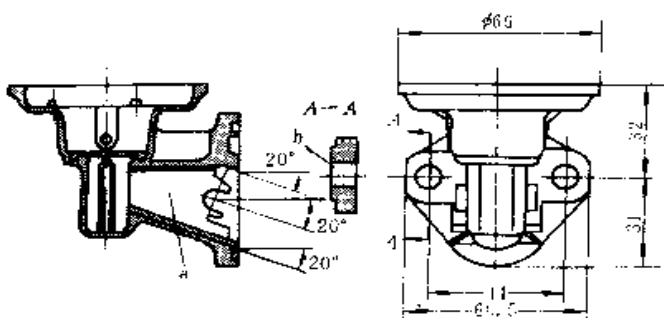


图 7-107 三角体铸件

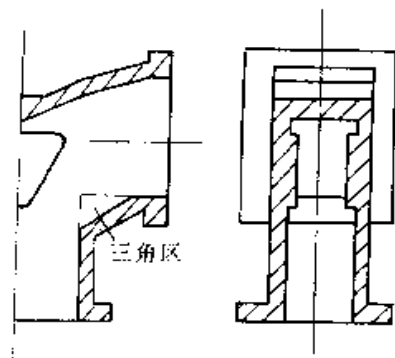


图 7-109 压铸件

动作过程：开型前先让液压抽芯器动作，将子型芯3脱离母体型芯4，然后开型，斜销抽芯机构动作，将母体型芯4抽出。合型时，液压抽芯机构先不动作，通过合型，斜销抽芯机构动作，将母体型芯4复位，再由液压抽芯机构动作，将子型芯3插入母体型芯4后，合型结束。

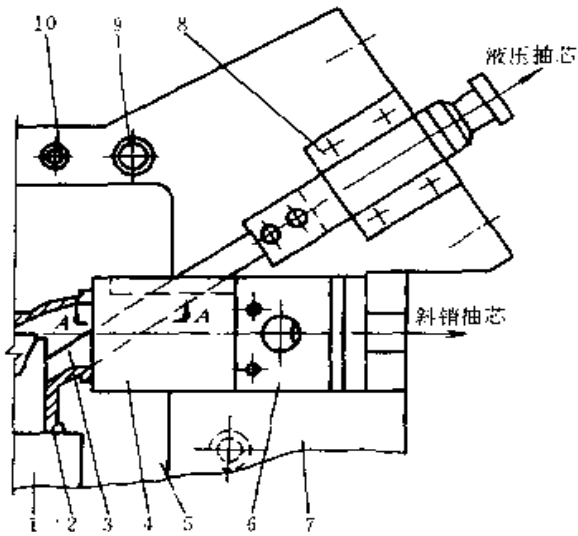
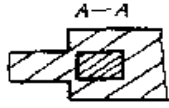


图 7-110 子母抽芯机构

- 1—型芯 2—压铸件 3—子型芯
- 4—母体型芯 5—动型 6—滑块 7—动型框
- 8—导向固定板 9—螺钉 10—销

子型芯3从母体型芯4中抽出S距离时的位置，见图7-111。

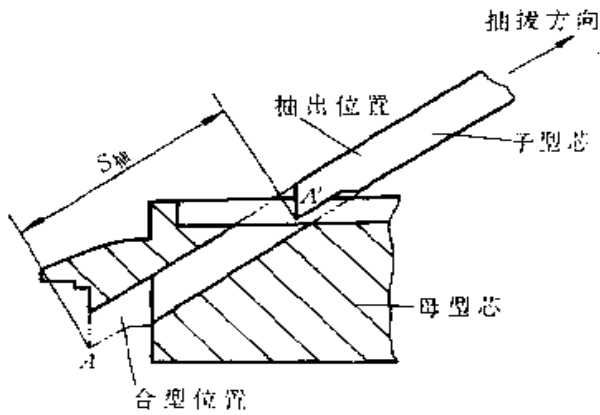


图 7-111 子型芯抽出时的位置

(3) 快速换型装置 快速换型装置见图7-112。靠液压缸3液压驱动活塞4，将压铸型上的型脚2楔紧。

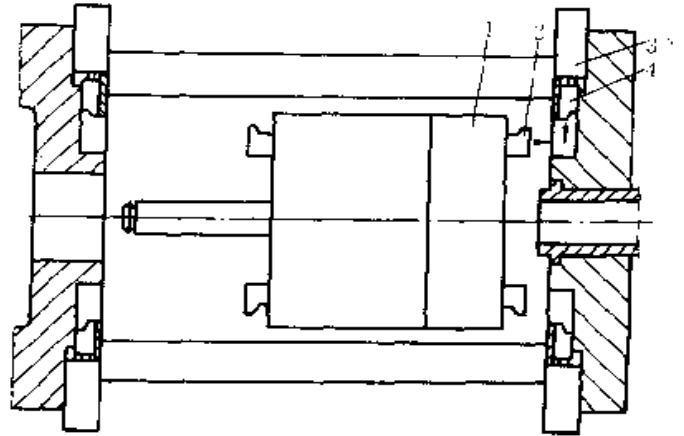


图 7-112 快速换型装置

- 1—压铸型 2—型脚 3—液压缸 4—活塞

(4) 自行去掉浇口的压铸型 在压铸过程中自行去掉浇口和溢流槽的压铸型见图7-113， δ 为间隙。

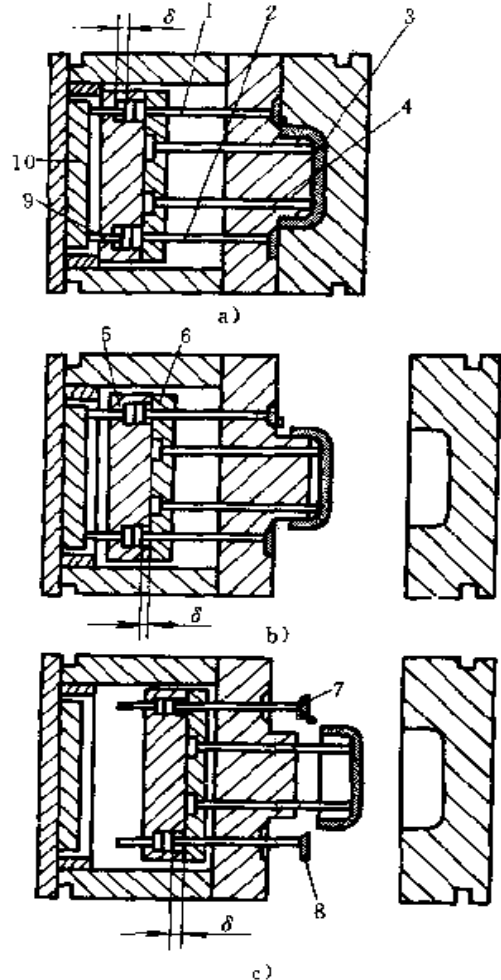


图 7-113 自行去掉浇口的压铸型

- a) 合型 b) 一次推动铸件同时和浇口、溢流槽断开
- c) 二次推出铸件、浇口、溢流槽

- 1—溢流槽推杆 2—浇口推杆 3—铸件
- 4—铸件推杆 5—推板 6—推杆固定板
- 7—溢流槽 8—浇口 9—反推杆 10—垫板

(5) 自行断开浇口的压铸型 压铸过程中自行断开浇口的压铸型的组成及动作过程(行程为 l)，见图 7-114。

(6) 重力浇注的压铸型 重力浇注压铸型的组成及动作过程，见图 7-115。

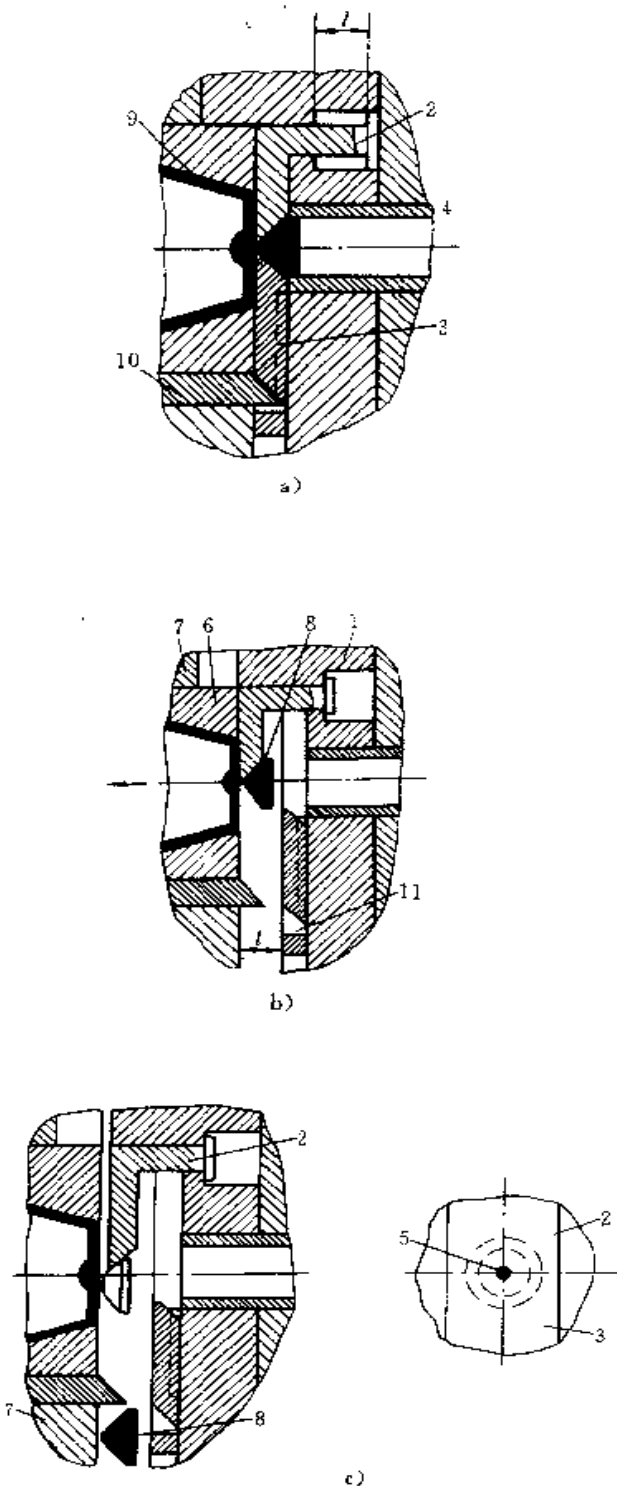


图 7-114 自行断开浇口的压铸型

- a) 合型 b) 开型 (打开时的附加分型面) c) 断浇口
 1—定型套板 2—断板 3—滑块 4—压室
 5—浇口 6—型腔 7—定型活动板
 8—料饼 9—铸件 10—斜销
 11—斜销导槽

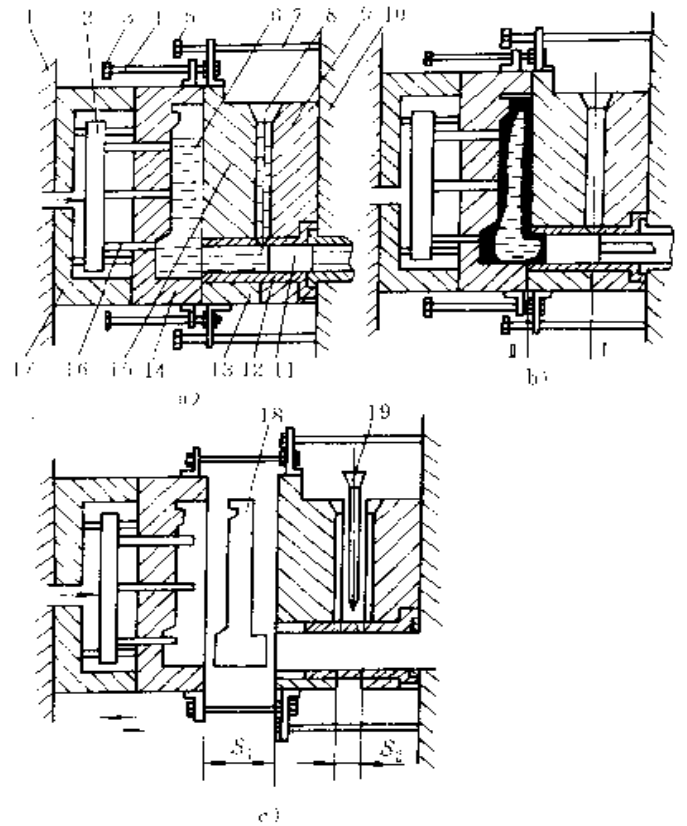


图 7-115 重力浇注的压铸型

- a) 合型浇注 b) 压射
 c) 一次开型距 S_2 取浇口，二次开型距 S_1 取件
 1—压铸机动型板 2—推板 3—限位钉 4—限位杆
 5—限位钉 6—合金液 7—限位杆 8—浇口
 9—定型板 10—压铸机定型板 11—冲头 12—浇口套
 13—定型活动板 14—动型 15、19—浇口镶块
 16—推杆 17—动型座 18—铸件

(7) 二次局部加压的压铸型 采用加压柱塞对充填到浇口或型腔局部的液态或半液态合金强制加压，一直到完全凝固，有效地提高压铸件的局部品质(质量)和性能。其二次加压的压铸型结构见图 7-116。

(8) 卧式压铸机中心浇口不切断的压铸型 采用中心浇口不切断的压铸件与压铸型见图 7-117。

1) 压铸件在定型型腔上形成一个方孔，足以使料头通过

2) 利用斜销抽芯机构抽出料头和中心浇口间的阻碍出型的部分

3) 压铸型采用两次开型的结构，一次开型，抽出阻碍料头出型的部分，二次开型取出铸件及其上的浇口和料头。

(9) 利用型芯包紧力两级推出的压铸型 压铸件

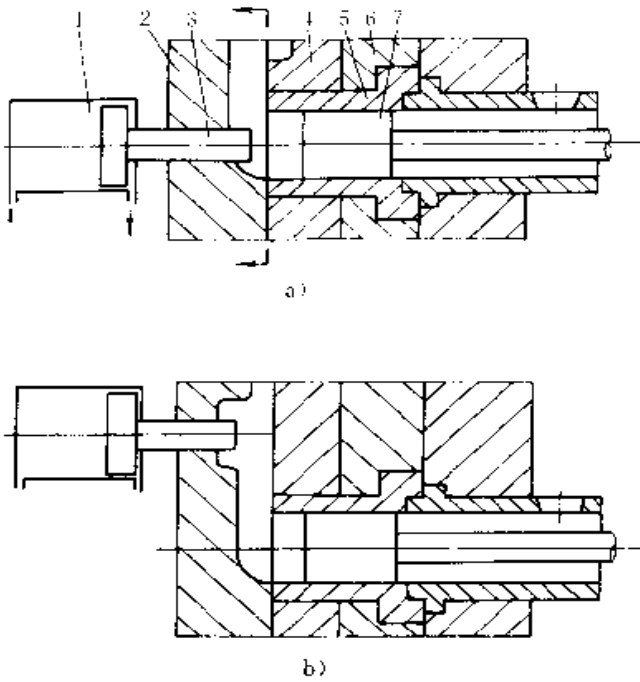


图 7-116 二次加压的压铸型

a) 浇口二次加压 b) 型腔二次加压

1—液压缸 2—动型 3—液压柱塞 4—定型套板 5—浇口套 6—定型座板 7—冲头

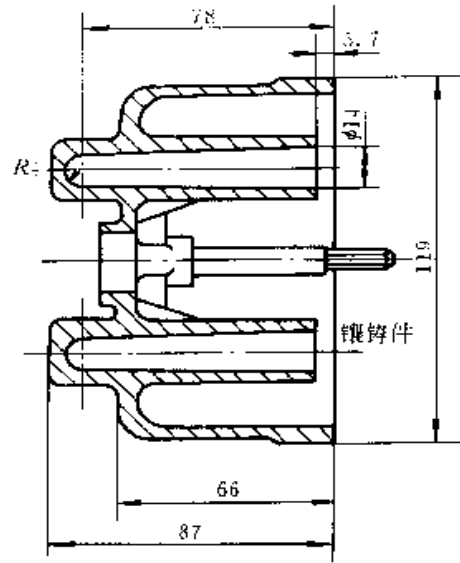


图 7-118 压铸件

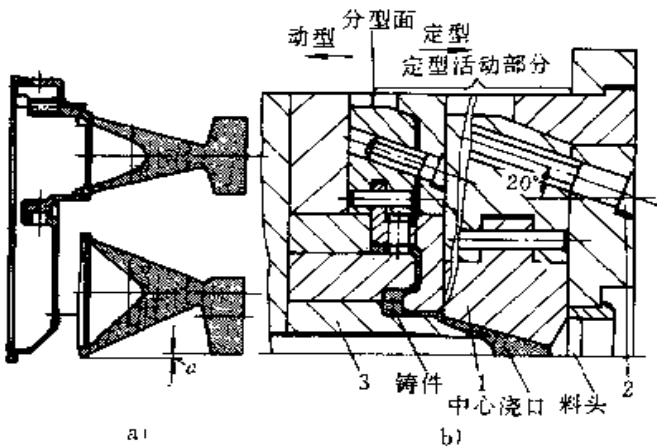


图 7-117 卧式中心浇口不切断的压铸件与压铸型

a) 压铸件 b) 压铸型

1—滑块 2—斜销 3—分流锥

见图 7-118, 两级推出的压铸型见图 7-119, 其动作过程要点:

1) 液压缸推出动作开始后, 由于铸件对内腔的包紧力大于对 $2-\phi 14$ 深孔型芯的包紧力, 在两者差值的条件下, 打开 III 分型面, $\phi 14$ 深孔型芯开始抽拔动作, 而铸件内腔仍包紧在内腔的动型型芯上。

2) 当动型活动板及其上的动型型芯移动 20mm 时, 由于型架上锁钩的阻挡, 动型型芯停止运动, 此时推板带动推杆的推出动作继续进行, 从而将铸件推出动型型芯。

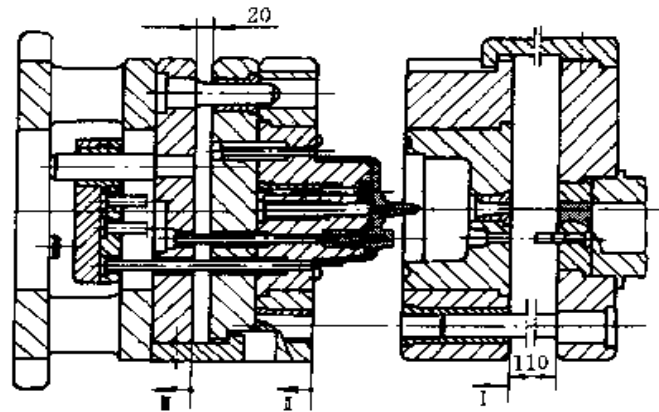


图 7-119 两级推出的压铸型

5 低压铸造及反压铸造

5.1 低压铸造

5.1.1 低压铸造工艺过程及特点

(1) 低压铸造基本原理 低压铸造基本原理如图 7-120 所示, 在装有金属液的密封容器 (如坩埚) 1 中, 通入干燥的压缩空气, 作用在保持一定温度的金属液面上, 使金属液沿着升液管 2 自下而上地经过浇道 6 进入型腔 7, 待金属液充满型腔后, 增大气压, 型腔里的金属液在一定的压力作用下凝固成形, 然后解除液面上的气体压力, 使升液管中未凝固的金属液回落到坩埚中, 再开型取件。

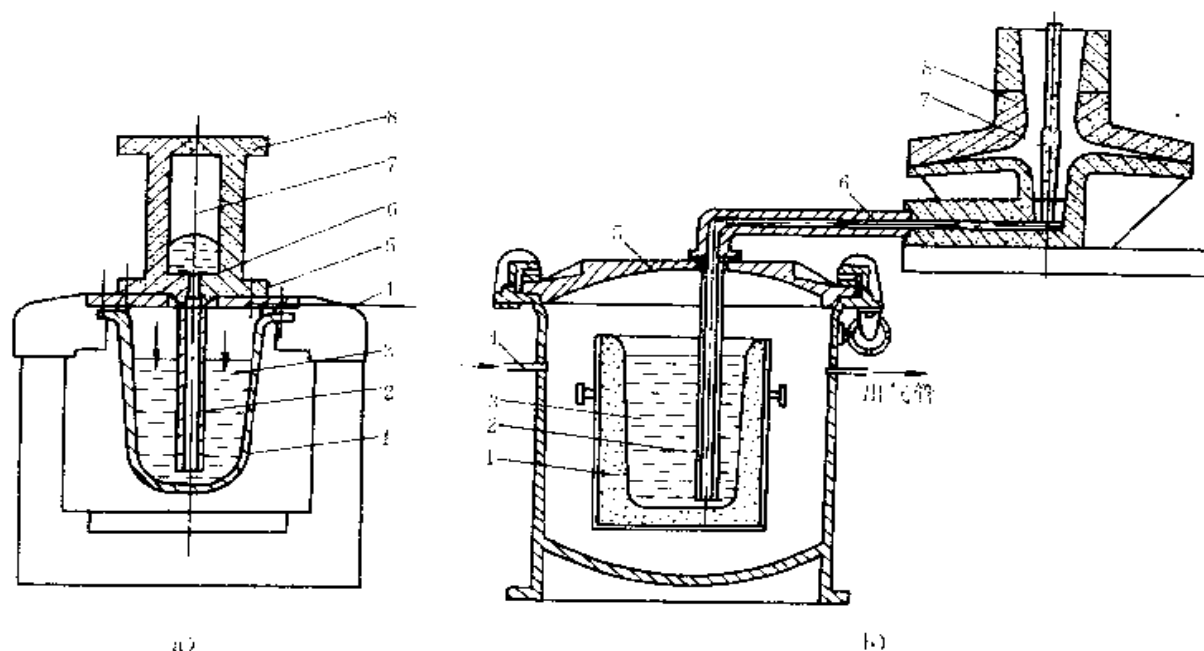


图 7-120 低压铸造基本原理

a) 带保温炉 b) 不带保温炉

1—坩埚 2—升液管 3—金属液 4—进气管 5—密封盖 6—浇道 7—型腔 8—铸型

(2) 低压铸造的特点

1) 金属液充型平稳, 充型速度可根据铸件的不同结构和铸型的不同材料等因素进行控制。

2) 金属液在压力作用下充型, 充型能力提高, 有利于获得轮廓清晰的铸件。

3) 铸件在压力作用下凝固, 补缩充分, 故铸件组织致密, 力学性能高。抗拉强度与硬度, 一般要比重力铸造提高 10% 左右。对要求耐压、防漏的铸件其效果更好。

4) 铸件的工艺出品率高。由于利用压力充型和补缩, 大大简化了浇冒系统结构, 甚至可省去冒口, 工艺出品率一般可达 90%。

5) 适用范围广。不仅适于铸造有色合金, 而且适于铸铁、铸钢。

6) 劳动条件好, 设备简单, 易于实现机械化和自动化。

用可参考以下原则:

1) 铸件质量、精度要求高, 形状一般, 生产批量较大的有色合金铸件, 可用金属型或石墨型。

2) 如铸件内腔结构复杂, 不能用金属型芯时, 可采用砂芯。

3) 铸件精度要求较高, 生产批量不大时, 可用熔模壳型、石膏型或陶瓷型。

4) 大型铸件, 精度要求不高, 单件或小批生产, 可采用砂型。

2. 凝固方式的选择 凝固方式的选择是铸型工艺参数确定的先导, 因为只有铸件的凝固方式确定之后, 诸如浇注系统、分型面、机械加工余量等才能随之确定下来。铸件的同时凝固及定向凝固的实现原则见表 7-204。

低压铸造的特点之一, 就是浇注系统与铸型下方的升液管直接相连, 液态金属自下而上地充填铸型。凝固过程中, 升液管中炽热的金属液经由浇注系统向铸件提供补缩, 而且由于气体压力作用, 补缩作用较强。因而, 通常情况下都采用自上而下的定向凝固原则。实现和强化定向凝固的具体措施见表 7-205。

表 7-204 铸件同时凝固及定向凝固的实现原则

| 参数名称 | 符号 | 单位量纲 | 同时凝固 | 定向凝固 |
|----------|-------------|----------------------|-----------------|----------|
| 液态金属的热导率 | λ | $W/m \cdot ^\circ C$ | $0 \sim \infty$ | 满足 (·) 式 |
| 铸型的热导率 | λ_w | $W/m \cdot ^\circ C$ | $0 \sim \infty$ | 满足 (·) 式 |

(续)

| 参数名称 | 符号 | 单位量纲 | 同时凝固 | 定向凝固 |
|-----------|--------------|---------------------|----------|-------------------------|
| 铸型的厚度 | h | m | ↑ (增大) | ↓ (减小) |
| 液态金属的最远流程 | x_0 | m | ↑ | ↓ |
| 铸型的温度 | t_0 | ℃ | ↑ | ↓ |
| 内浇道面积 | F | m ² | ↑ | ↓ |
| 内浇道分散程度 | | | ↑ | ↓ |
| 浇注温度 | t_f | ℃ | ↑ | ↓ |
| 液态金属的流速 | W_{∞} | m/s | ↑ | ↓ |
| 开始凝固的时间间隔 | τ_0 | s | ↑ | ↓ |
| 毕渥准则 | B_i | | 0 ~ ∞ | $2.3 \leq B_i \leq 2.5$ |
| 放热系数 | α_c | W/m ² ·℃ | 远离 (一) 式 | 满足 (一) 式 |
| 溶化潜热 | H | J/kg | ↑ | ↓ |

注：表中 $B_i = \frac{\alpha_c h}{\lambda_w} \approx 2.495806993$ 称为 (一) 式。

表 7-205 控制定向凝固的工艺措施

| 控制措施 | 措施说明 | 举 例 |
|-------------------------|---|--------------------------|
| 选择正确的浇注位置 | 尽量将铸件厚大部分朝向铸型底部接近浇口的位置，而薄壁部位远离浇口位置 | 图 7-121 所示 |
| 采用不同的加工余量或工艺补贴 | 对于壁厚较均匀的铸件，铸件的上部和下部可给不同的加工余量或工艺补贴量，使铸件适应自上而下的凝固要求 | 图 7-122 所示 |
| 正确确定内浇道的数量及位置 | 对于面积较大的厚壁铸件，采用多内浇道，以补缩铸件；对于壁厚较均匀的薄壁铸件（如箱体零件），采用多内浇道，既利于充型，又使铸件水平方向上的温度场均匀易于实现同时或定向凝固 | 图 7-123 所示 |
| 采用冷铁或不同的型壁厚度 | 在砂型铸造中，对于壁厚较均匀的铸件可用安放上、下不同厚度冷铁的方法，促成自上而下的定向凝固。在金属型铸造中，则可通过使金属型的侧模壁厚由上而下逐渐减小的方法达到同样目的，也可采用使在金属型侧壁工作面上的涂料层厚度由上而下递增的方法，此时为保证铸件壁厚尺寸，模具内腔尺寸必要时应做相应调整 | 图 7-124 所示 |
| 采用强制冷却方法 | 如对具有局部厚大部分的铸件，可对该部位进行局部冷却，以消除可能产生的缩孔。又如铝活塞金属型采用分段喷水冷却的方法，当充型完毕后，立即通水冷却活塞销孔和裙部的金属型约 3~5min，接着通水冷却燃烧室处的金属型，约 7~9min，这样可保证铸件自上而下的定向凝固 | 图 7-125 所示 图 7-126 所示 |
| 采用具有不同热物理性质的材料制作金属型各个部位 | 如 12 马力发动机曲轴箱后型模总体用铸铁制成，为加强局部冷却，在模具的相应部位镶嵌热导率大的紫铜块 | 图 7-127 所示 |

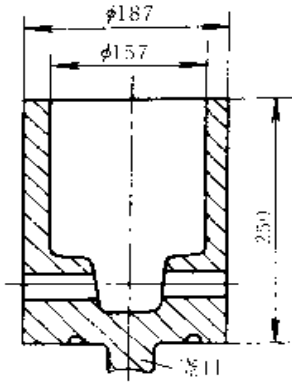


图 7-121 铝活塞浇注位置

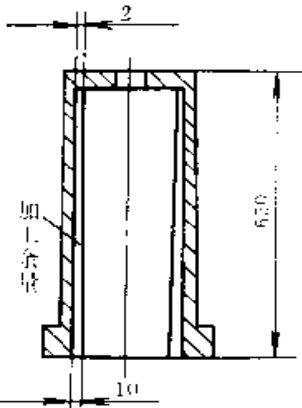


图 7-122 给予不同的加工余量

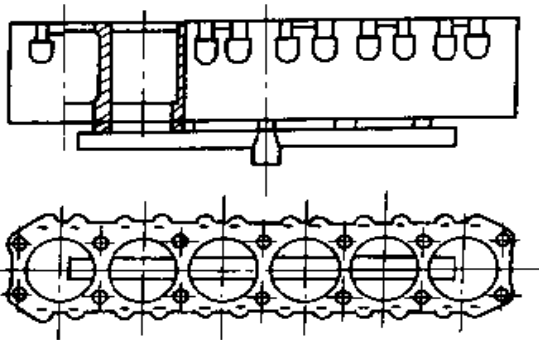


图 7-123 水套铸件浇注系统示意图

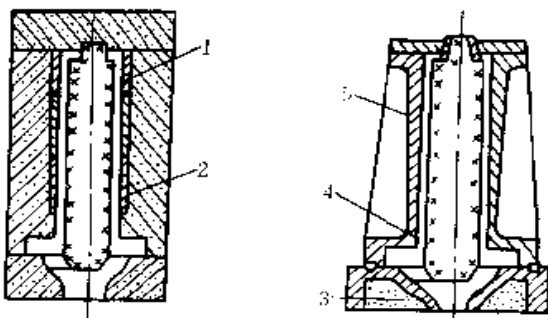


图 7-124 用不同厚度的冷铁和型壁促成定向凝固
1—冷铁 2—砂型 3—浇道 4—金属型 5—型壁

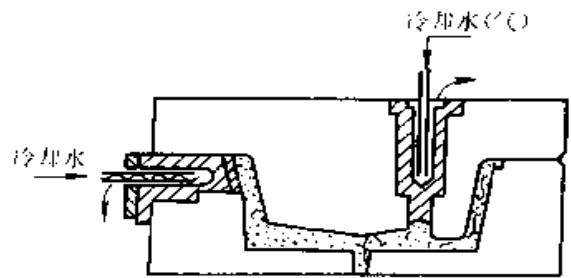


图 7-125 对铸件局部厚大部位进行冷却示意图

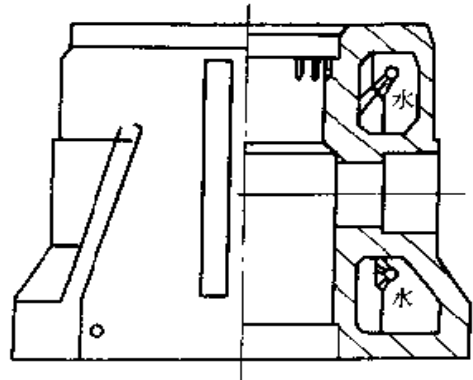


图 7-126 铝活塞金属型分段水冷示意图

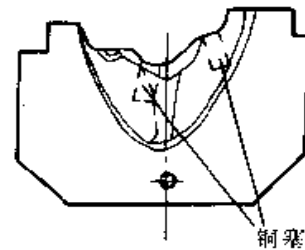


图 7-127 后型模上的激冷铜塞

以上措施，在生产实际中常常结合起来运用，这样可以达到更理想的效果。例如低压铸造铝合金汽车发动机缸盖时，为强化定向凝固，获得致密的无缩孔类缺陷的铸件，将金属型的各个部分用热导率不同的材料制作，并采用强制冷却，如图 7-128。

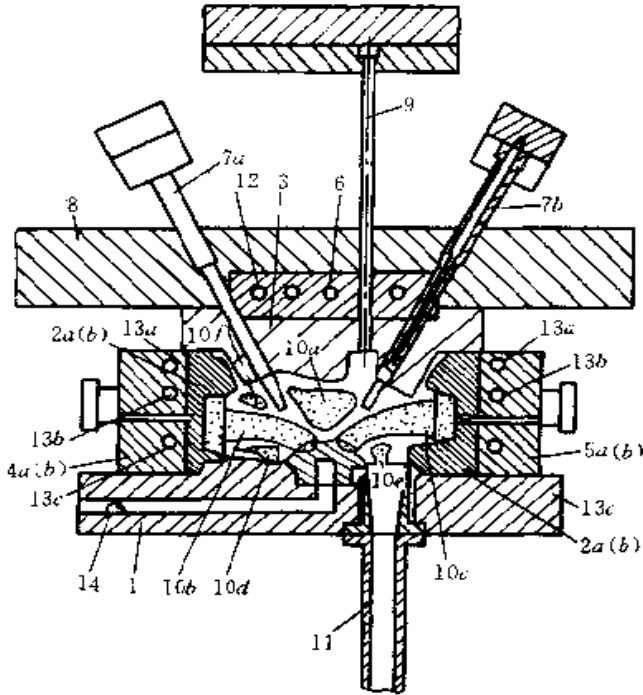


图 7-128 新型低压铸造金属型

1—下型 2—可动侧型 3—上型 4、5、6、7—冷却装置 8—安装板 9—顶杆 10—砂芯 11—升液管 12、13、14—强制冷却水通道

铸型各部分的材质及热导率，见表 7-206。

表 7-206 铸型各部分的材质及热导率

| 部位名称 | 材质 | 热导率 (W/m·℃) |
|------|-----------|-------------|
| 下型 | JIS SKD61 | 33.49 |
| 可动侧型 | 铍-铜合金 | 188.41 |
| 上型 | 铬-铜合金 | 322.38 |
| 冷却装置 | 铜合金 | 376.81 |

为强化温度梯度，充型结束后，将冷却介质通入冷却装置的孔道（图 7-128 中的 12, 13a, 13b, 13c, 14），各部位的冷却开始时间，冷却介质种类及流速，见表 7-207。

表 7-207 各部位冷却开始时间及冷却介质种类

| 部 位 | | (充型结束后) 冷却开始时间 | 冷却介质 | 备 注 |
|--------------|--------|----------------|------|------------------|
| 上型冷却装置 孔道 12 | | 10s | 水 | |
| 可动侧型冷却装置 | 孔道 13a | 30s | 水 | 流速低 (因为该处铸件壁厚较小) |
| | 孔道 13b | 30s | 水 | 流速高 |
| | 13c | | | |
| 下型 孔道 14 | | 40s | 空气 | |

两种手段的适当配合，有效地强化了定向凝固，所生产的缸盖，组织致密，并可使生产周期缩短至原来的 1/3 或更短。

3. 浇冒系统的选择 应遵循表 7-203 所列原则设计浇注系统，同时注意以下几点：

1) 为充分发挥浇注系统的补缩作用，应保证 $F_{升液管} > F_{横} > F_{内}$ 。先采用内切圆法确定内浇道的断面尺寸，再选择横浇道和升液管的出口面积，其具体数值可为 $F_{升液管} : F_{横} : F_{内} = (2 \sim 2.3) : (1.5 \sim 1.7) : 1$ 。

2) 应尽量避免液态金属直接冲击型壁和型芯，防止局部过热。

3) 在生产较大的等壁厚铸件时，在金属型设计合理，并保证良好的充填性前提下，应将内浇道开设

在铸件的短边处，以便造成单向的温度梯度及有较大的填充高度，从而有利于补缩及排气。

4) 当有多个内浇道与横浇道相连时，为使各内浇道流量均匀，应根据具体情况使各内浇道的截面积不等，一般说来近横浇道盲端及近升液管的内浇道面积偏小。

5) 连接升液管与铸型的输液通道的型壁应尽可能薄些，以减少液态金属在该处的热量损失，利于补缩。

6) 应尽量少用设置在充型末端，由冷金属液聚集而成的冒口，这样的冒口补缩效率低。

7) 对于某些结构复杂的铸件，单用浇道不能满足补缩要求时，要专门设置冒口。如采用明冒口，则浇注过程中无增压阶段，这种工艺称为敞开式低压浇

注：适用于砂型低压铸造中、大型铸件。同时还可采用暗冒口的封闭式低压铸造。

8) 低压铸造中也可使用压边冒口作浇口。

4. 铸型的排气 因低压铸造时铸型上部常是密闭的，不易排气。对砂型而言，除采用透气性好的砂型外，还可在砂型顶部，距型腔 10~20mm 扎一定数量的不透小孔排气。在金属型低压铸造中，一般的措施是在分型面上开设三角形或片状缝隙排气槽，见图 7-129。在金属型上部或易憋气的地方安装排气塞。目前，金属型的排气槽、排气塞的尺寸还是根据经验确定的。如片状缝隙式排气槽，对于铝、镁合金，厚度 h 一般为 0.5mm，对于铸铁和青铜，厚度 h 一般为 0.25mm，宽度 a 一般为 10~15mm。三角形排气槽的尺寸：深度 h' 一般为 0.3~1.0mm，两边夹角 $60^\circ \sim 90^\circ$ ，间距 a' 一般取 10mm。

5.1.2.2 浇注工艺参数的选择 低压铸造的浇注过程一般包括升液、充型、结壳、增压、保压结晶，卸压等几个阶段。加在密封坩埚内金属液面上的气体压力的变化过程如图 7-130 所示。气体压力的大小与金属液的密度、铸件结构、铸型种类有关，是低压铸造过程中最基本的工艺参数，对浇注过程本身及铸件的最终品质（质量）有很大影响。

关于各浇注工艺参数的确定，做如下几点说明：

1) 各阶段压力变化的情况，见表 7-208。

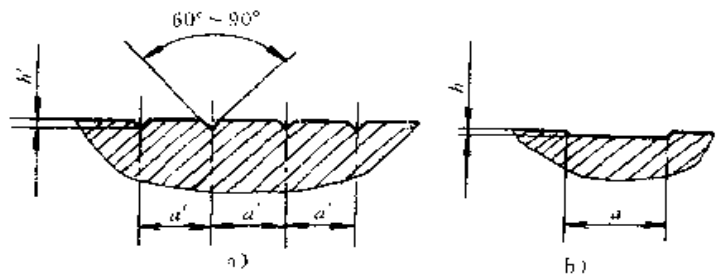


图 7-129 排气槽的结构形式
a) 三角形排气槽 b) 片状缝隙排气槽

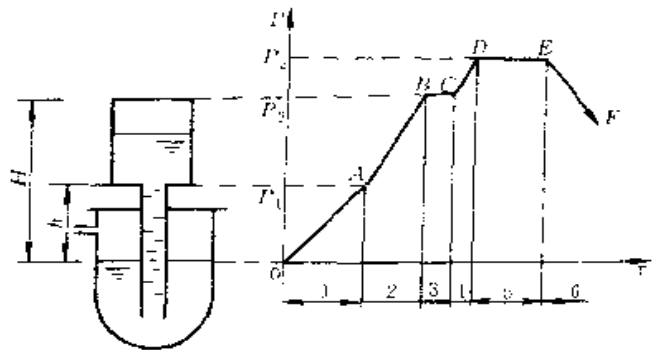


图 7-130 低压铸造的浇注过程

1—升液阶段 2—充型阶段 3—结壳阶段 4—增压阶段
5—保压阶段 6—卸压阶段 P_1 —升液压力 P_2 —充型压力
 P_3 —增压压力 H —充型高度 h —升液高度

表 7-208 各阶段压力变化的情形

| 阶段 | 增压速度 (MPa/s) | 说明 |
|------|---|----------------------------|
| 升液阶段 | 金属型和砂型均取 0.0002~0.0003 | 力求升液平稳，避免喷射 |
| 充型阶段 | 金属型铸造时： 薄壁铸件，可取 0.001~0.004 厚壁铸件，可取 0.002~0.005 砂型铸造或用干砂芯时，取 0.0005~0.0020 | |
| 结壳阶段 | | 金属型铸造无需结壳阶段，用砂型或砂芯时，应有结壳时间 |
| 增压阶段 | 金属型铸造时，0.0005~0.0010 砂型铸造或用砂芯时 < 0.0005 | 湿砂型铸造时，不增压 |
| 卸压阶段 | | 浇道凝固后卸压 |

2) 结壳时间的确定：对于壁较厚的铸件，采用砂型或金属型干砂芯进行低压铸造时，结壳时间一般

为 15~30s。一般地说，采用金属型时结壳时间较短，而采用砂型时结壳时间则较长；铸件壁厚大，结壳时

间长，反之则短；浇注温度高，结壳时间较长，反之则较短。在生产中，用无砂芯的金属型浇注薄壁件时，有时可以取消结壳时间。

3) 增压压力的确定。增压压力可依下面的经验公式计算：

$$P_{\text{增压}} = k_1 \cdot P_{\text{充}}$$

式中 $P_{\text{充}}$ ——充型压力；

k_1 ——增压系数。

对于金属型及金属芯的铸型， $k_1 = 1.5 \sim 2.0$ ；金属型砂芯及干砂型， $k_1 = 1.3 \sim 1.5$ ；湿型一般不增压或稍增压（在 $P_{\text{充}}$ 基础上，增压 0.026MPa ）；薄壁干砂型或金属型干砂芯， $P_{\text{增压}} = 0.0025 \sim 0.075 \text{MPa}$ ，金属型芯， $P_{\text{增压}} = 0.05 \sim 0.1 \text{MPa}$ ，对于特殊要求的铸件，压力可增至 $0.2 \sim 0.3 \text{MPa}$ 。

4) 保压时间的确定：根据图 7-131 曲线选取参考值。

5) 浇注温度及铸型温度的确定，见表 7-209。

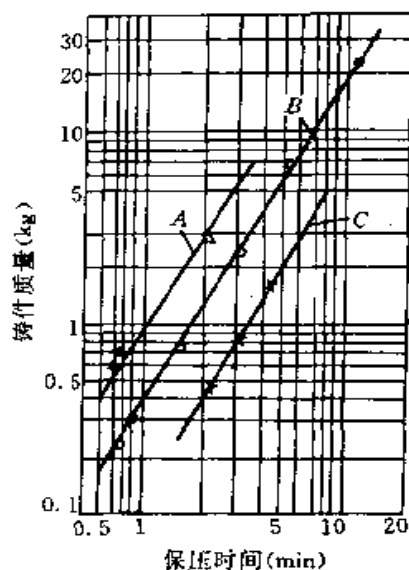


图 7-131 保压时间参考值

A—浇口位于铸件薄壁处 B—介于 A、C 之间的情况

C—浇口位于铸件厚壁处

表 7-209 低压铸造时铸型的温度和浇注温度

($^{\circ}\text{C}$)

| 铸型类别 | 温度类别 | 铸型温度 ($^{\circ}\text{C}$) | | | 浇注温度 |
|------|------|-----------------------------|---------|--------------|---|
| | | 一般铸件 | 薄壁复杂件 | 金属型芯 | |
| 金属型 | | 200~300 | 250~320 | 250~350 | 低压铸造的浇注温度比相同条件的重力铸造浇注温度低 10~20 $^{\circ}\text{C}$ |
| 干砂型 | | 60~80 | 80~120 | 150~250 (冷铁) | |

5.1.3 低压铸造设备及液面加压控制系统

(1) 低压铸造设备 低压铸造机主要由主机 系统及电炉控制柜等组成。其结构类型见表 7-210。(机架、保温炉、开合型机构、液压系统)、电气控制

表 7-210 常用低压铸造机结构类型

| 序号 | 设备名称 | 结构特点 | 应用范围 |
|----|------------|--|-------------|
| 1 | 悬臂式低压铸造机 | 开合型机构及工作台是由升降油缸推动立柱带动升降，可绕立柱在 180° 范围内手动旋转，保温炉固定在机架底座上。使用时便于清理坩埚和添加合金，更换升液管、坩埚和修理保温炉也很方便。 | 适于锌、铝、铜合金小件 |
| 2 | 吊装式低压铸造机 | 整个开合型机构、金属型等均安装在基准底座上，底座上留有与升液管出口配合的浇注机。浇注前，用起重设备将整个机架吊到保温炉上，并固定好。 | 中、小批量生产中、小件 |
| 3 | 摇臂式低压铸造机 | 机架组装在可绕固定轴转动的悬臂上，浇注时转到保温炉上，开合型机构简便 | 适于形状简单铸件 |
| 4 | 机架移动式低压铸造机 | 整个机架可移动，具有多方位开型抽芯功能，用千斤顶实现机架和保温炉的密封，采用蜗轮、蜗杆自锁装置防止炉体下沉 | 适于大型复杂铝合金铸件 |

(续)

| 序号 | 设备名称 | 结构特点 | 应用范围 |
|----|--------------------|--|----------------|
| 5 | 炉体移动式 低压铸造机 | 机架固定不动,金属型装配在机架可动的模板上,保温炉安装在可移动台车上,台车下部轨道可将台车与保温炉举起,使升液管出口与固定在机架上的铸型浇口吻合 | 适于中、小非铁合金铸件 |
| 6 | 电磁泵驱动 式低压铸造机 | 将电磁泵浮放在熔池中的金属液面上,浇注时通过泵把金属液打入铸型中。该机自动化程度高,可进行程序控制 | 适于铝合金铸件 |
| 7 | 生产涡轮增压器 专用低压铸造机 | 三升液管同时工作,在氩气保护下充型。采用悬浮式加压系统,取消了升液过程,生产周期短。卡紧铸型的压力取自坩埚,不致损坏铸型 | 适于大批量生产高精度薄壁小件 |

(2) 液面加压控制系统 在低压铸造中,正确控制液面加压工艺规范是获得良好铸件的关键,这个控制过程完全由液面加压控制系统来完成。根据不同铸件,液面加压控制系统可以进行手动和自动调节,工作要稳定可靠,抗干扰能力强(泄漏,气流压力波动)。

5.1.4 常见铸造缺陷及设备故障分析

5.1.4.1 常见铸造缺陷 低压铸造常见铸造缺陷及防止方法,见表 7-211。

5.1.4.2 设备故障分析

1. 跑火

(1) 原因:金属铸型合不严或砂型分型面缝隙过大,液态金属温度较高,结壳时间过短以及保压时压力跃升过快过大等。

(2) 预防方法

1) 修理金属型,使其合严,砂型则应在分型面上抹密封粘土膏。

2) 适当降低浇注温度。

3) 适当延长结壳时间,以使表面形成一层薄壳后再增压补缩。

4) 适当降低保压时压力跃升速度或跃升值。

(3) 现场事故处理办法:出现小跑火事故时,应将液面加压控制系统的手动排气阀稍打开一点,以减小向外流淌的金属液流速。同时,用长铁杆阻压一下液流,液流小时出口会很快凝固,停止跑火,而后关闭排气阀,生产即可照常进行。当出现大量跑火时,多半是由于液压系统控制失灵,应立即排气、开型,取出型内残留金属液,而后排除故障。

2. 升液管漏气

(1) 判断方法 升液管漏气很难发现,因而危害很大,判断方法如下:

1) 当零件热节,尤其是上部热节处出现较大的内部光滑的气泡;

2) 升液管漏气严重,铸型顶部出现体积较小的金属液滴飞溅;

3) 对于薄壁件,即使型温正常,升液管漏气也会使上半铸型充不满,内浇道的断口中心有小气泡存在;

4) 直浇道的倾出液窝处有严重的氧化夹杂存在,这是由于高温状态的空气与金属液长时间混流而留下的痕迹;

5) 升液管漏气时浇注的铸件比正常铸件要轻得多。

(2) 预防方法

1) 每次开炉前对升液管进行检查,若漏气则应更换;

2) 发现漏气时,不必多试,应立即停产,换上经检验合格的升液管后。

3. 升液管冻死

(1) 形成原因 保压时间过长,下型温度太低或金属液温度太低。一般易在首件生产中发生,且铸件越小越易出现此类事故。

(2) 预防方法

1) 首件的保压时间应尽量短些;

2) 下型口径应力求与升液管上口相近;

3) 升液管在放入坩埚前,应将其烤至暗红色;

4) 生产前坩埚盖应敞开一段时间,以烘烤一下工作台面,使其温度升高到 100~200℃左右;

5) 升液管上沿用水玻璃粘硅酸铝纤维毡进行保温,粘贴高度在约 100~200mm。也可用石棉板泡制成的浆糊加入适量水玻璃为涂料刷到升液管上部及浇道处,厚度在 3~5mm;

6) 生产小件时切勿中断、时间太长,以防升液管降温造成升液管冻死事故。

(3) 现场事故处理

1) 可用气焊枪或喷灯将冻死部分熔化开;

表 7-211 低压铸造常见铸造缺陷及防止方法

| 铸造缺陷 | | 产生原因 | | | | | | | | | | 防止方法 | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|---------------|------|------|------|------|------|------|--------|--------|--------|-----------|---------|------|------|------|------|------|---------|---------|--|---|--|--|--|
| 缺陷分类 | 缺陷特征 | 熔炼质量 | 铸型操作 | 铸型工艺 | 浇铸工艺 | 其它 | | | | | 主要防止措施 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 合金成分 | 熔炼温度 | 精炼质量 | 合金质量 | 造型质量 | 涂料脱落 | 冷铁处理 | 型芯烘干程度 | 定向凝固条件 | | 排气位置形状与温度 | 浇口位置与温度 | 模具温度 | 浇注速度 | 充型压力 | 增压时间 | 保压时间 | 升液管涂料脱落 | 遗传性(炉料) | | | | | |
| 序号 | 特征 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 孔洞与渣孔 | 气孔 | 1 铸件上部的气孔 | | | | | | | ○ | ● | ○ | | | | | | | | | | | 1. 选择合适的充型速度，力求充型平稳 2. 改善铸型（型芯）的排气条件 3. 严格执行熔炼操作规程，避免合金液吸气 4. 选择质量好的涂料，铸型、型芯要烘干 5. 冷铁、金属型表面应平整洁净，并经覆砂烘干处理 6. 减少废件回炉料用量，以降低气孔遗传性的影响 | | | |
| | | 2 铸件表面的气憋 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 3 鱼吹泡状气孔 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 4 大体积上的微气孔 | ● | ● | ● | ● | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 5 针孔 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 孔洞与渣孔 | 缩孔与缩松 | 6 内缩孔 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1. 合理设计铸造工艺，建立定向凝固条件，排除缩孔和缩松 2. 采取局部激冷或在压力下结晶、凝固 3. 选择正确的浇口位置控制顺序凝固 4. 对于大、中型铸件，壁厚相差悬殊，设置冒口并采取冒口加压措施增强补缩 5. 适当降低浇注温度和浇注速度 6. 减少回炉料用量以降低缩孔遗传性的影响 | | |
| | | 7 外缩孔 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 8 浇道前缩孔 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 9 缩陷 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 10 厚截面缩松 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 11 壁厚差大处缩松 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 12 浇道与铸件接触处缩松 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 孔洞与渣孔 | 夹渣 | 13 大平面上夹渣 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1. 严格控制充型速度 2. 彻底清除合金液中的氧化渣 3. 检查涂料层有否脱落，型腔中的灰、砂杂物要清理干净 | | |
| | | 14 氧化夹杂 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 裂纹 | 裂纹 | 15 热裂 | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1. 提高铸型、特别是型芯的退让性 2. 合理设计浇冒系统，避免局部过热 3. 在易产生裂纹处开设冷却加强筋 | | |
| | | 16 冷裂 | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 17 缩裂 | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 表面缺陷 | 表面缺陷 | 18 铸件胀砂 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1. 提高型砂的强度和耐火度 2. 适当控制铸型和型芯的温度 3. 注意检查涂料品质（质量）和喷刷涂料 4. 认真清除合金液中的熔渣，控制充型速度 | | |
| | | 19 粘砂 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 20 冷隔 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 21 表面结疤 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 22 表面麻点 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

注：表中●表示产生缺陷的主要原因，○表示产生缺陷的次要原因。

2) 停机取出冻死的升液管, 并放入盛金属液的坩埚中熔化;

3) 严禁在炉上敲砸冻死的升液管, 以防损坏高温运行的电炉和模具。

4. 工作台与升液管上沿之间漏金属液 只要金属液将缝隙冻住, 就不会再漏, 因此不必处理。这类事故对产品品质(质量)无影响。

5.2 反压铸造

5.2.1 反压铸造基本原理及特点

反压铸造又称差压铸造, 是在低压铸造法基础上发展起来的, 其实质是低压铸造和压力下结晶两种工艺的结合, 即充型过程为低压铸造过程, 而铸件凝固是在压力下结晶的过程。

差压铸造法装置如图 7-132 所示。该装置有两个密封室 A 和 B, 由密封盖 4 分开, 并用夹紧装置 5 紧固。下密封室 A 就是一个低压铸造装置, 而上密封室 B 内安放铸型 2, 使铸件在高压下结晶。铸型与坩埚 7 通过升液管 3 接通, 液体金属在坩埚中保温。

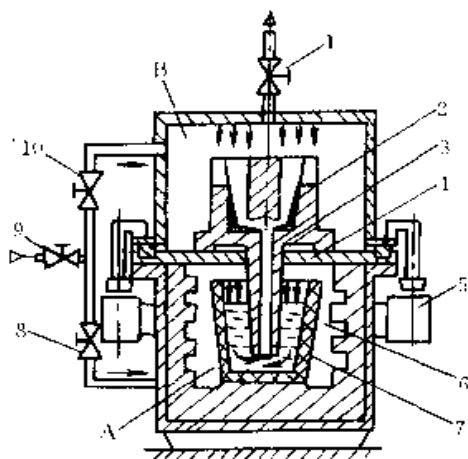


图 7-132 差压法铸造装置简图

A—下密封室 B—上密封室 1, 8, 9, 10—阀
2—铸型 3—升液管 4—密封盖 5—夹紧装置
6—金属液 7—坩埚

差压法铸造充型过程有三种方式: 减压法、增压法和真空法。

(1) 减压法 开始时, 通过阀 8~10 将干燥的压缩空气(或惰性气体)引入上、下密封室, 当达到给定压力时, 将阀 8 及 10 同时关闭, 然后逐渐打开阀 1 使 B 室中压力不断下降, 上、下密封室中压力差逐渐增大, 液态金属即沿升液管上升充填型腔。充满后关闭阀 1, 铸件在压力下凝固。

(2) 增压法 当引入上、下密封室的气体压力达到给定的凝固压力时, 将阀 10 关闭。由于经过阀 8 继续通入压缩空气, 使上、下室产生压力差, 金属液

在压力差作用下充型, 充满后在压力作用下凝固。

(3) 真空差压铸造 其装置见图 7-133 所示。该装置有上、下两个密封室, 上室安放铸型, 下室安放坩埚。工作时, 先将铸型 1 和坩埚 4 分别置于上、下密封室中, 并将密封盖 2、5 紧闭, 然后将管道 7、8 接通真空系统, 分别对上、下密封室抽气, 达一定真空度时, 通过液压缸 6 将坩埚提升, 使升液管浸入金属液中, 随后关闭管道 7, 铸型密封室中压力继续下降, 使上、下室建立负压压差(一般压差不超过 25kPa), 于是液体金属充型。充满后, 再将管道 8 转接压缩空气, 使铸件在高的压力作用下凝固。

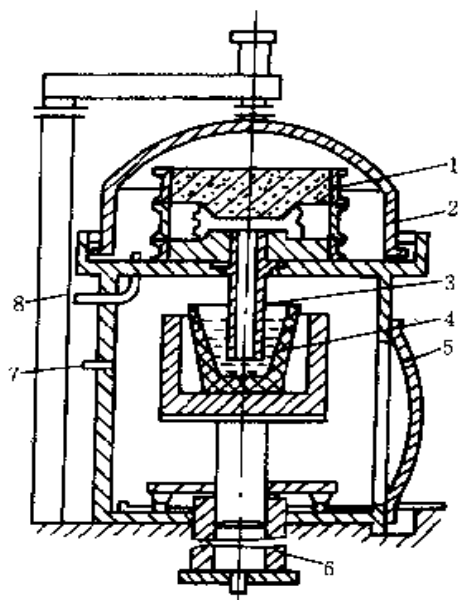


图 7-133 真空差压铸造装置

1—铸型 2—密封盖 3—升液管 4—坩埚
5—密封盖 6—液压缸 7、8—管道

从上述原理可见, 反压铸造时, 压力场贯穿整个升液、充型和保压凝固过程。金属液自升液、充型开始就受到压力作用, 因而可根据不同的铸件结构调节压差, 以获得最佳充型速度, 充型平稳。另一方面压力作用可阻止金属液中所溶解的气体析出, 可消除铝合金针孔, 由于压力作用, 结晶组织致密。正因为这些特点, 使反压铸造对铸件壁厚不敏感, 铸件不同壁厚处组织均匀, 其力学性能明显提高, 与低压铸造相比, 抗拉强度可提高 10%~50%, 伸长率可提高 25%~50%。而采用真空法反压铸造, 由于液体金属在真空下充型, 在高的压力下结晶, 故铸件无气孔、缩孔(松)、组织致密, 并可用于制造形状复杂的铸件。

5.2.2 工艺参数及选择

(1) 浇注系统的形式 一般采用底注。为保证升

液管的补缩作用,要使 $F_{升} > F_{直} > F_{铸} > F_{内}$ 。可参考低压铸造法确定。

(2) 浇注工艺参数 充型时的压差计算:

$$\Delta P = k \cdot H \rho g \times 10^{-2} \text{ (Pa)}$$

式中 H ——充型结束时坩埚液面至型腔顶端距离 (mm);

ρ ——浇注温度时的金属液密度 (g/cm^3);

k ——充气管道阻力系数,一般取 1.0~1.5;

g —— $980\text{cm}/\text{s}^2$ 。

其它工艺参数原则上与低压铸造相同。

(3) 工作压力 原则上工作压力越高,则铸件的组织越致密,性能越好,但有资料介绍,当工作压力超过 1MPa 时,力学性能提高已不明显。生产中工作压力一般为 0.55~0.6MPa。

5.2.3 差压铸造液面加压控制系统

CLP—1 型差压铸造液面加压控制系统见图 7-134 所示。该系统所用元件少,结构简单,调试方便,可靠性高,成本低。系统采用闭环控制,抗干扰能力强,在各种较为严重泄漏及铸件断面尺寸突变时仍能完成预定的工艺规程,且加压速率连续可调。

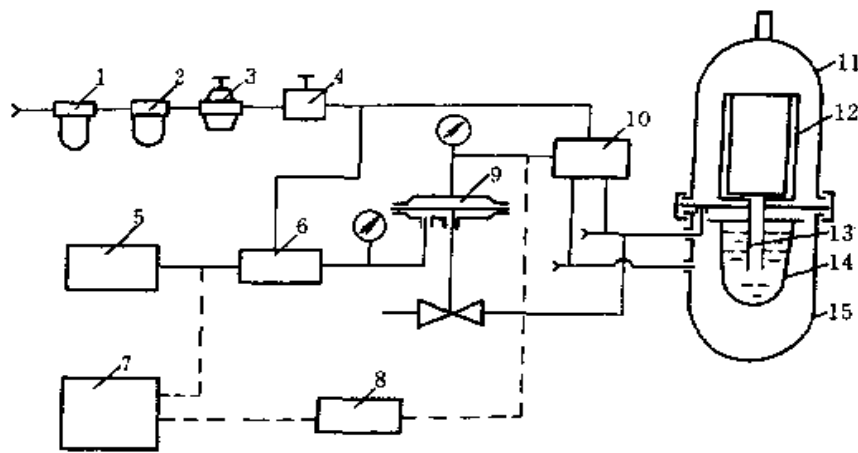


图 7-134 控制系统原理图

- 1、2—分水滤气器 3—减压阀 4—定值器 5—线性信号发生器 6—电气转换器 7—记录仪 8—气-电转换器
9—气动薄膜调节阀 10—差压变送器 11—上压力罐 12—铸型 13—升液管 14—坩埚 15—下压力罐

5.2.4 差压铸造事故曲线图谱

根据 CLP—1 型差压铸造液面加压控制系统记录

的压力跟踪曲线,可判定差压铸造事故种类。差压铸造事故曲线图谱见表 7-212。

表 7-212 差压铸造事故曲线图谱

| 种类 | 说明 | 事故曲线 | 解决措施 |
|----|---|------|--|
| 冷冻 | 液态金属尚未充满型腔时就凝固的现象 | | <ol style="list-style-type: none"> 1. 提高浇注温度 2. 提高充型速度 3. 降低充型阻力,如提高型腔表面温度,喷涂料使型腔表面光滑,增加铸型通气等 |
| 燃烧 | 镁合金发生镁的燃烧及石棉橡胶圈的不规则的闪烁燃烧,使压力跟踪曲线产生不规则波动 | | <ol style="list-style-type: none"> 1. 降低浇注温度 2. 减少加压气体的含水量及铸型含水量 3. 减少型腔的局部过热 4. 喷洒灭火粉 |

(续)

| 种类 | 说明 | 事故曲线 | 解决措施 |
|------|--|------|---|
| 回流 | 1. 料不足产生回流 当充型时发生型腔尚未充满, 而进入升液管中的金属液已用完会产生回流 | | 多加炉料, 保证型腔充满后尚有一定的余量 |
| | 2. 保压压力波动大产生回流 当保压压力波动太大时, 型腔中及缝隙浇道内的金属液会倒流回坩埚中 | | <ol style="list-style-type: none"> 1. 铸型充满后, P 再增加一定值后开始保压 2. 减小池漏, 使保压压力波动变小 3. 减小型砂受热的发气量, 使上下罐压差稳定 4. 避免互泄, 减小压差 |
| 跑火 | 1. 顶箱跑火 | | <ol style="list-style-type: none"> 1. 上箱与底箱合型吊放时, 应该密封好 2. 对于顶箱跑火, 可在加压曲线上增加结壳时间 3. 吊放铸型时应使底箱与中间隔板上的升液管口密封良好 |
| | 2. 底箱跑火 | | |
| 互通泄漏 | | | <ol style="list-style-type: none"> 1. 认真安放好升液管与中隔板之间的密封垫 2. 易产生互通泄漏之处——互通阀应保持干净, 即无锈、无水污、无杂物 |

注: 表中规则曲线为给定加压曲线, 不规则曲线为事故压力跟踪曲线。

6 挤压铸造

6.1 挤压铸造工艺概述

6.1.1 挤压铸造原理

挤压铸造, 亦称“液态模锻”, 是对进入铸型型腔内的液态 (或液—固态) 金属施加较高的机械压

力, 使其成形和凝固, 从而获得铸件的一种工艺方法。

6.1.2 挤压铸造工艺过程

挤压铸造的典型工艺过程可分为铸型准备、浇注、合型加压和开型取件四个步骤 (图 7-135)。挤压铸造一般在液压机或专用挤压铸造机上进行。

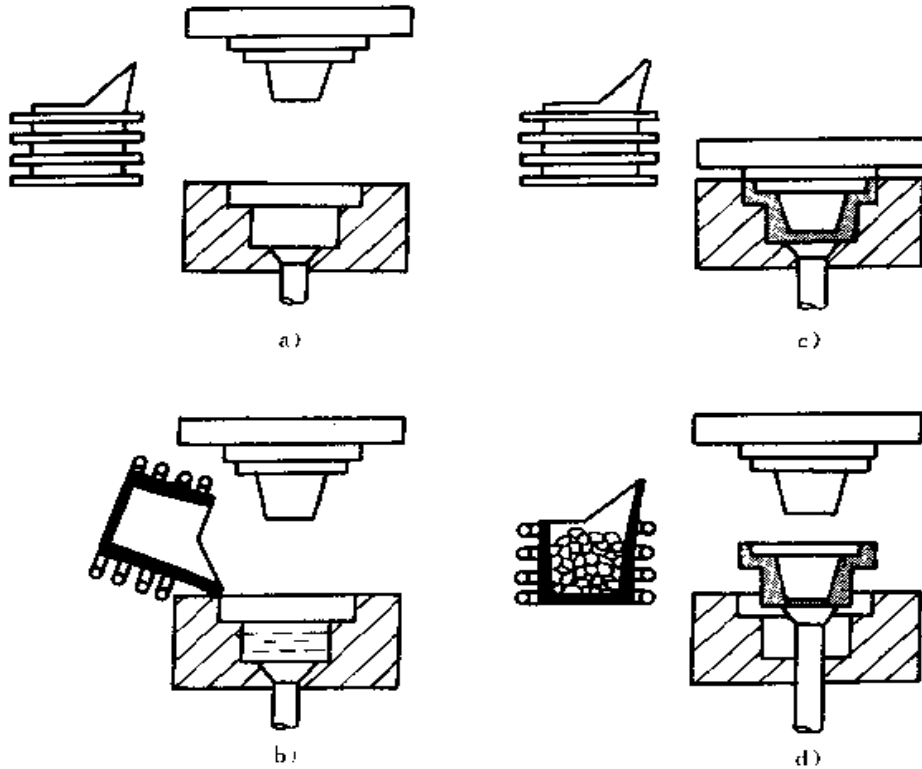


图 7-135 挤压铸造工艺程序示意图

a) 铸型准备 b) 浇注 c) 合型加压 d) 开型, 取出铸件

6.1.3 挤压铸造工艺特点

1) 铸件组织致密, 可防止气孔、缩松、裂纹产生、晶粒细化, 可进行淬火热处理。力学性能高于其它普通铸件, 可接近同种合金锻件水平。

2) 铸件有较高的尺寸精度 (可达 GB6414—86 的 CT5), 有较细的表面粗糙度 (可达 $R_a 6.3 \mu\text{m}$)。

3) 工艺适用性较强, 多种合金均可挤压铸造。

4) 毛坯可精化, 工艺出品率高。

5) 便于实现机械化、自动化生产。

6) 结构很复杂的铸件生产有困难。

6.1.4 挤压铸造应用范围

适于生产各种力学性能要求高、气密性要求好的厚壁铸件。如汽车、摩托车铝轮毂, 发动机的铝活塞、铝缸体、铝缸头、铝传动箱体、减震器、制动器铝件; 空调压缩机、压气机、各种泵体铝件; 自行车架铝接头、铝曲柄; 铝合金光学镜架、仪表及计算机壳体铝件; 铝合金压力锅、炊具零件; 铜合金轴套及

铝基复合材料零件等。

6.2 挤压铸造机

挤压铸造生产需要在压力机上进行。当前, 我国大都使用通用液压机, 使生产受到较多限制。为适应多产品、高质量、高效益生产的需要, 国内外生产了多种形式的挤压铸造专用液压机, 即挤压铸造机。

6.2.1 通用液压机

用于挤压铸造的液压机, 最好选用有足够的挤压力、回程力, 其滑块空载下行速度较高, 顶出油缸要有足够的顶出力和有较高的顶出速度。推荐选用的设备型号, 见表 7-213。

6.2.2 普通型挤压铸造机

此种挤压铸造机是在通用液压机基础上增加侧缸或增加辅助油缸或两者都增加, 及调整某些性能参数而成的。其结构见图 7-136, 几种典型普通挤压铸造机参数, 见表 7-214。

表 7-213 推荐选用的国产液压机型号

| 设备名称 | 型号 | 公称挤压力 (kN) | 顶出油缸 顶出力 (kN) | 活动横梁空 载下行速度 (mm/s) | 活动横梁 与工作台 最大距离 (mm) | 顶出油缸 活塞顶出 速度 (mm/s) | 工作台有 效尺寸 (左右宽×前后长) (mm) |
|------------|-----------|---------------|---------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| 100t 四柱液压机 | YT32—100A | 1000 | 250 | 150 | 900 | 60 | 630×630 |

(续)

| 设备名称 | 型号 | 公称挤压力 (kN) | 顶出油缸 顶出力 (kN) | 活动横梁空 载下行速度 (mm/s) | 活动横梁 与工作台 最大距离 (mm) | 顶出油缸 活塞顶出 速度 (mm/s) | 工作台有 效尺寸 (左右宽×前后长) (mm) |
|-------------|------------|---------------|---------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------------|
| 200t 四柱液压机 | YT32—200B | 2000 | 400 | 160 | 1120 | 90 | 900×900 |
| | YB32—200 | 2000 | 400 | 120 | 1120 | | 900×900 |
| 315t 四柱液压机 | YT32—315B | 3150 | 630 | 150 | 1250 | 60 | 1120×1120 |
| | TA32—315F | 3150 | 630 | 120 | 1250 | 55 | 1260×1160 |
| 400t 四柱液压机 | YF32—400 | 4000 | 630 | 150 | 1250 | | 1340×1250 |
| 500t 四柱液压机 | YT32—500 | 5000 | 1000 | 100 | 1500 | 80 | 1400×1400 |
| | YF32—500 | 5000 | 1250 | ≥150 | 1500 | | 1400×1400 |
| 630t 四柱液压机 | YT32—630 | 6300 | 1000 | 100 | 1800 | 80 | 1600×1600 |
| | YF32—630 | 6300 | 1250 | 150 | 1600 | | 1880×1600 |
| 800t 四柱液压机 | YF32—800 | 8000 | 1250 | 150 | 1800 | | 2200×1600 |
| 1500t 四柱液压机 | THP16—1500 | 15000 | | 150 | 1500 | 20—100 | 1600×1600 |

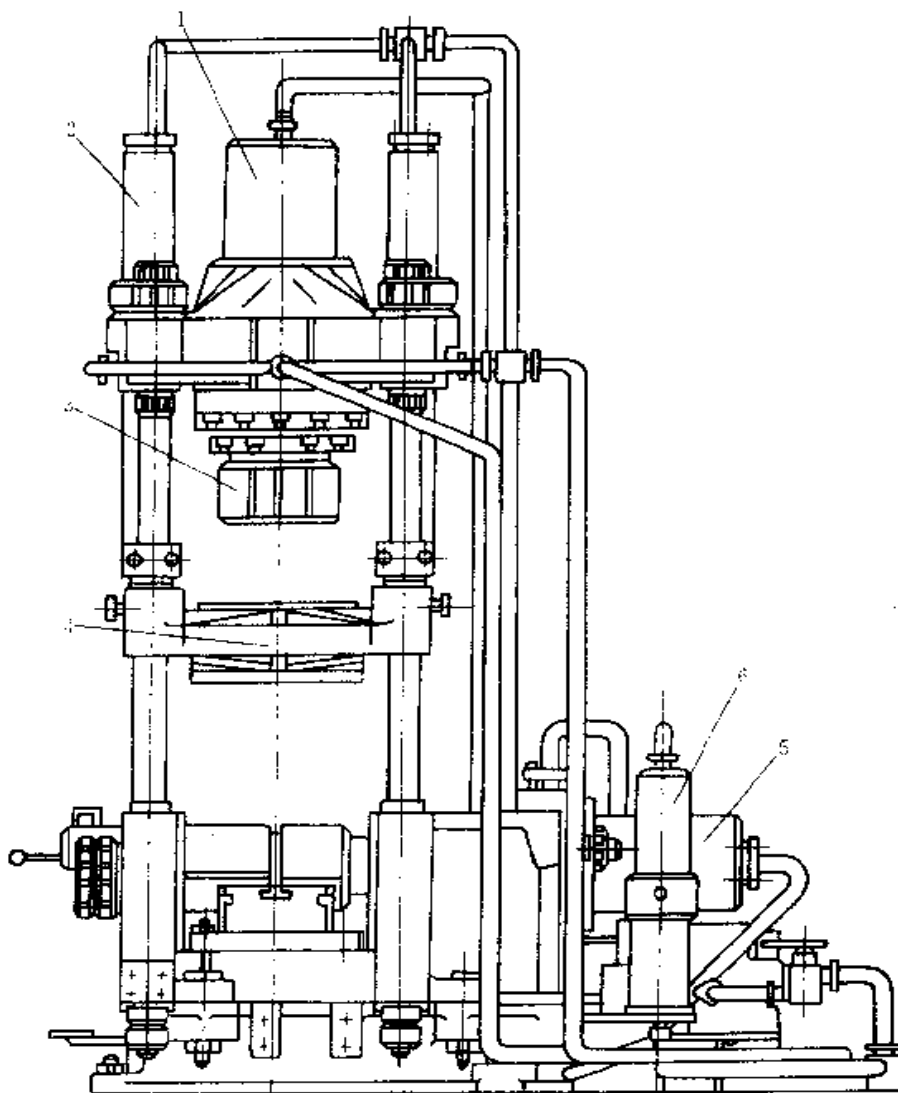


图 7-136 挤压铸造机结构

1—主油缸 2—辅助油缸 3—主缸活塞 4—辅助活动横梁 5—侧缸 6—增压器

表 7-214 几种普通挤压铸造机参数

| 部件名称 | 参数项目 | 型号 (国别、厂别) | | | |
|--------|---------------|-----------------|---------------|-----------------------|------------------------|
| | | VJIM-2 (俄罗斯) | 100 机 (日本) | THP16-200 (天津锻压机厂) | J6532 (徐州二轻 机械厂) |
| 主缸活塞 | 挤压力 (kN) | 800 | 1000 | 2000 | 3150 |
| | 回程力 (kN) | 140 | 100 | 480 | 600 |
| | 空程下行速度 (mm/s) | 220 | 300 | 100 | 300 |
| | 工作速度 (mm/s) | | | 6~18 | |
| | 工作行程 (mm) | 450 | | 710 | |
| 侧向油缸 | 合型力 (kN) | 800 (1缸) | 无 | 500 (2缸) | 750 (4缸) |
| | 回程力 (kN) | 30 | | | |
| | 工作行程 (mm) | 350 | | 350 | |
| 辅助活动横梁 | 合型力 (kN) | 370 | 1000 | | |
| | 最大下行速度 (mm/s) | | 300 | | |
| | 回程力 (kN) | 30 | | 无 | 无 |
| | 工作行程 (mm) | 355 | | | |
| 顶出器油缸 | 顶出力 (kN) | | | 630 | 750 |
| | 行程 (mm) | 无 | 无 | 250 | |
| | 顶出速度 (mm/s) | | | 55 | 200 |
| 工作台 | 左右宽×前后长 (mm) | 500×500 | 800×800 | 1150×900 | 1120×1120 |

6.2.3 全自动挤压铸造机

此种设备是用计算机控制, 将浇注、挤压、取件、喷洗及装嵌镶件等部件联成一体, 按可调的程序

自动化地进行工作。日本宇部公司开发了 HVSC 卧式和 VSC 全立式挤压铸造机, 其性能参数见表 7-215 ~7-217

表 7-215 宇部公司卧式挤压铸造机性能参数

| 主机型号 | | HVSC250 | HVSC350 | HVSC500 | HVSC630 | HVSC800 |
|--------|-------------------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|
| 主机系统 | 合模力 (t) | 250 | 350 | 500 | 630 | 800 |
| | 工作台尺寸 (mm) | 860×860 | 940×940 | 1070×1070 | 1190×1190 | 1350×1350 |
| | 最大合模距离 (mm) | 360 | 420 | 560 | 630 | 760 |
| | 模具高度 (mm) | 400~600 | 400~700 | 500~850 | 500~900 | 550~950 |
| | 模具高度调整速度 (mm/min) | 76 | 76 | 81 | 81 | 78 |
| | 反推力 (t) | 12.5 | 19 | 24 | 31 | 35 |
| | 反推距离 (mm) | 80 | 90 | 110 | 125 | 125 |
| | 抽芯阀数量 (个) | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 |
| | 液压系统电机功率 (kW) | 30 | 30 | 45 | 55 | 55 |
| 压射系统型号 | | HS35 | HS45 | HS63 | HS80 | HS100 |
| 压射系统 | 压射力 (t) | 35.5 | 43 | 66 | 83 | 105 |
| | 压射距离 (mm) | 450 | 500 | 600 | 670 | 750 |
| | 压射速度 (mm/s) | 30~1500 | 30~1500 | 30~1500 | 30~1500 | 30~1500 |
| | 标准浇口套直径 (mm) | 70 | 80 | 95 | 105 | 120 |
| | 浇口套直径范围 (mm) | 60~90 | 70~100 | 85~120 | 95~130 | 105~150 |
| | 标准浇口套时铸件最大重量 (kg) | 2.0 | 3.0 | 5.0 | 7.1 | 10.0 |

表 7-216 宇部公司全立式挤压铸造机性能参数

| 设备型号 | VSC315 | VSC500 | VSC630 | VSC800 |
|------------------|---------------|-----------|-----------|------------|
| 合模力 (t) | 315 | 500 | 630 | 800 |
| 工作台尺寸 (mm) | 1060×950 | 1320×1180 | 1500×1320 | 1700×1500 |
| 最大合模距离 (mm) | 500 | 630 | 710 | 800 |
| 滑块距工作台最大距离 (mm) | 1000 | 1190 | 1310 | 1430 |
| 反推力 (t) | 13 | 13 | 16 | 16 |
| 反推距离 (mm) | 40 | 40 | 40 | 40 |
| 浇注位置距机器中心距离 (mm) | 63 | 80 | 90 | 100 |
| 电动机功率 (kW) | 37 | 37 | 45 | 45 |
| 设备占地面积 (mm) | 4000×4500 | 5000×6300 | 5600×7500 | 6300×9000 |
| 机器距地面高度 (mm) | 4250 | 4750 | 5000 | 5300 |
| 机器重量 (t) | 20 | 40 | 50 | 67 |
| 可配置的压射系统 | S40, S50, S63 | S63, S80 | S80, S100 | S100, S125 |

表 7-217 与全立式挤压铸造机相配置的压射系统参数

| 型号 | S40 | S50 | S63 | S80 | S100 | S125 |
|------------------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|
| 压射力 (t) | 40 | 50 | 63 | 78 | 98 | 124 |
| 压射距离 (mm) | 500 | 560 | 630 | 710 | 800 | 900 |
| 压射速度 (最大) (mm/s) | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 |
| 顶浇套直径 (mm) | 60~85 | 67~95 | 75~106 | 85~118 | 95~132 | 106~150 |
| 铸件最大重量 (kg) | 1.6 | 2.4 | 3.6 | 5.1 | 7.3 | 10 |

6.3 挤压铸造铸型

挤压铸造铸型在功能上有别于其它铸型的最大特点是要实现“低速充型、高机械压力补缩”，在设计铸型时，要充分考虑这一问题。

6.3.1 各种挤压方式的特征

挤压铸造主要分成柱塞挤压、直接冲头挤压、间接冲头挤压、型板旋转挤压等几种类型。其工艺特征及适应范围见表 7-218 及图 7-137~7-140。

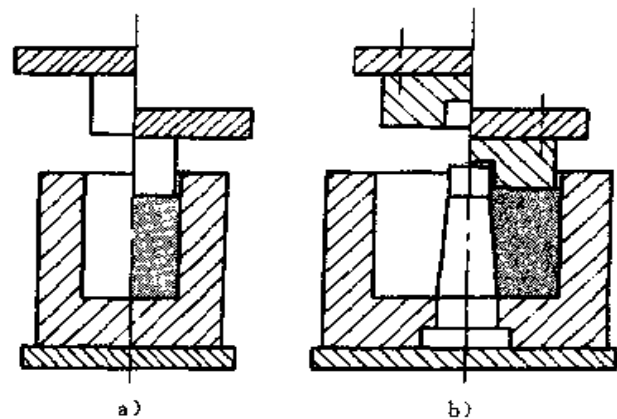


图 7-137 柱塞挤压铸造
a) 实心铸件 b) 通孔铸件

表 7-218 各种挤压方式的特征

| 类别 | 工艺特征 | 工艺适应范围 | 图例 |
|--------|------------------------------------|---|---------|
| 柱塞挤压 | 合型加压时，液态金属不发生充型运动 | 适于生产实心或厚壁 (>5mm)、形状不太复杂的中、小铸件。高向尺寸公差取决于定量浇注的精度。铸件力学性能较高，各种铸造或变形合金均可使用 | 图 7-137 |
| 直接冲头挤压 | 合型加压时，液态金属充填冲头与凹型组成的型腔中。冲头直接挤压在铸件上 | 适于生产形状不太复杂的中、小型空心或通孔铸件。壁厚可薄至 2~3mm。高度方向尺寸公差取决于定量浇注精度、铸件力学性能高，各种铸造合金及部分变形合金可使用 | 图 7-138 |

(续)

| 类别 | 工艺特征 | 工艺适应范围 | 图例 |
|--------|--------------------------------------|---|---------|
| 间接冲头挤压 | 合型加压时，液态金属充填已闭合的型腔中，冲头通过内浇道将压力传递到铸件上 | 适于生产形状较复杂，壁厚较薄（2~3mm以上）的中、小型铸件。可一模多件，铸件尺寸精度高，力学性能略低，一般只适于铸造合金 | 图 7-139 |
| 型板旋转挤压 | 靠两片扇形张开的型板旋转合拢时的压力，实现液态金属的充型和低压下的凝固 | 适于生产大型壁板且形不很复杂的铸件。尺寸公差取决于铸型尺寸精度，力学性能略低，只适用于铸造合金 | 图 7-140 |

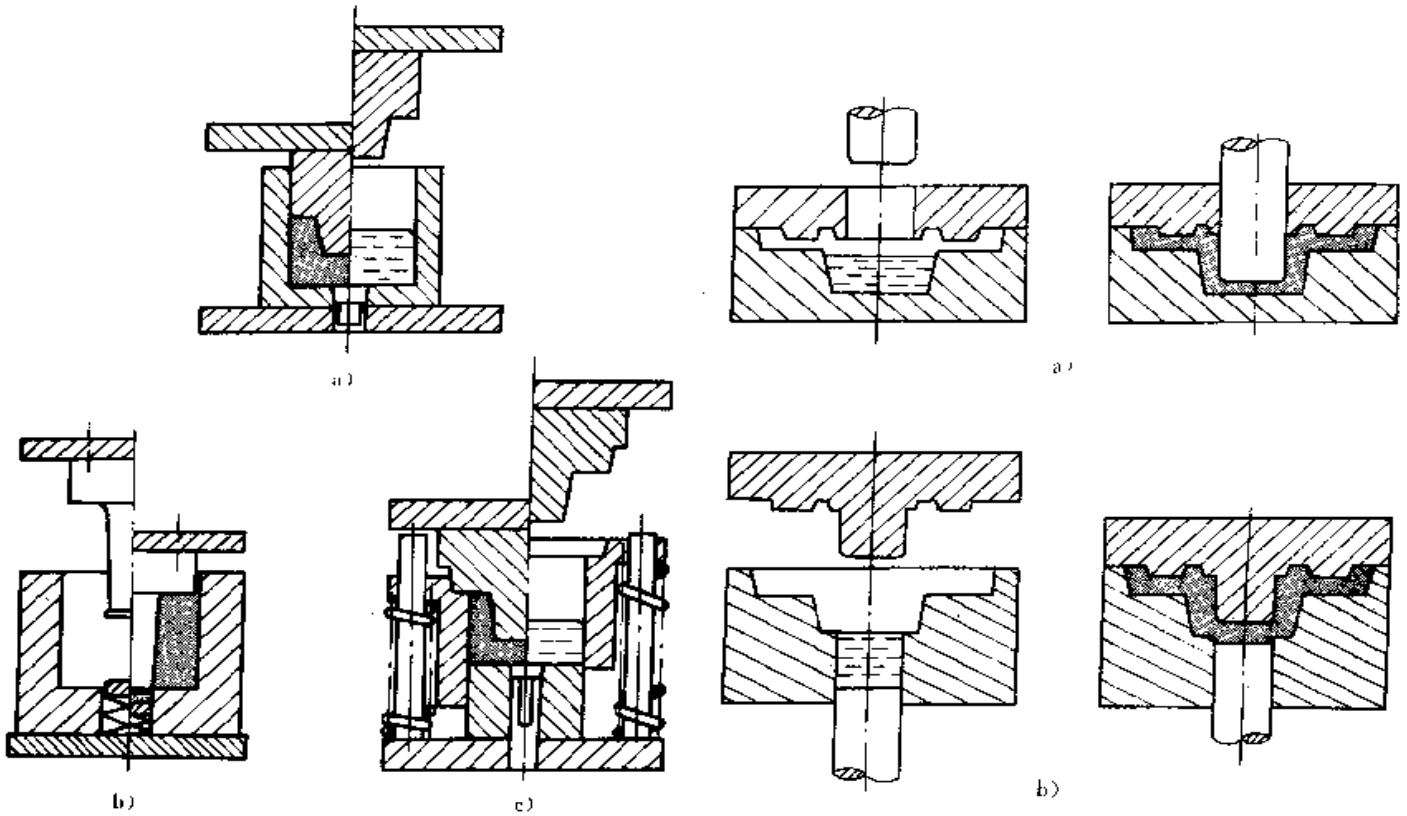


图 7-138 直接冲头挤压铸造

- a) 杯形铸件（固定凹型）
- b) 通孔筒形铸件（可动底板）
- c) 杯形铸件（动凹型或称底板反压式）

图 7-139 间接冲头挤压铸造

- a) 上压式
- b) 下顶式

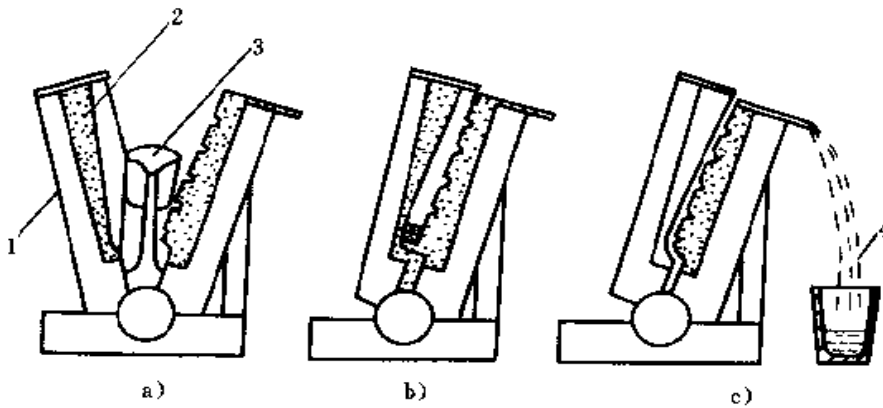


图 7-140 型板旋转挤压铸造

- a) 浇入合金液
 - b) 进行挤压
 - c) 挤压后排出余料
- 1—型体 2—砂芯 3—浇包 4—排除余料

6.3.2 挤压方式的选择

应根据铸件形状、材质、性能要求等来选择挤压铸造方式和凹型的分型方式,表 7-219~表 7-220 和

图 7-141~图 7-142 分别为按铸件形状选择的一般原则。

表 7-219 选择挤压方式的一般原则

| 序号 | 铸件特征 | 图例 | 可选择的挤压方式 |
|----|---------------------------------|--------|------------------|
| 1 | 上端为平面的实心铸件或直径为 300~600mm 的铸锭等 | 7-141a | 柱塞挤压 |
| 2 | 上端为平面的空心铸件或通孔铸件 | 7-141b | 柱塞挤压, 直接冲头挤压 |
| 3 | 上端为平面且内腔较深大的空心铸件或通孔铸件 | 7-141c | 直接冲头挤压 |
| 4 | 上端有凸起和上部有空腔的铸件 | 7-141d | 直接冲头挤压 间接冲头挤压 |
| 5 | 上、下端面有凸起的铸件 | 7-141e | 柱塞挤压、间接冲头挤压 |
| 6 | 形状不太复杂的小型铸件(一次可挤压多个零件者)或外形复杂的铸件 | | 间接冲头挤压 |
| 7 | 薄壁型板铸件 | | 型板旋转挤压 |

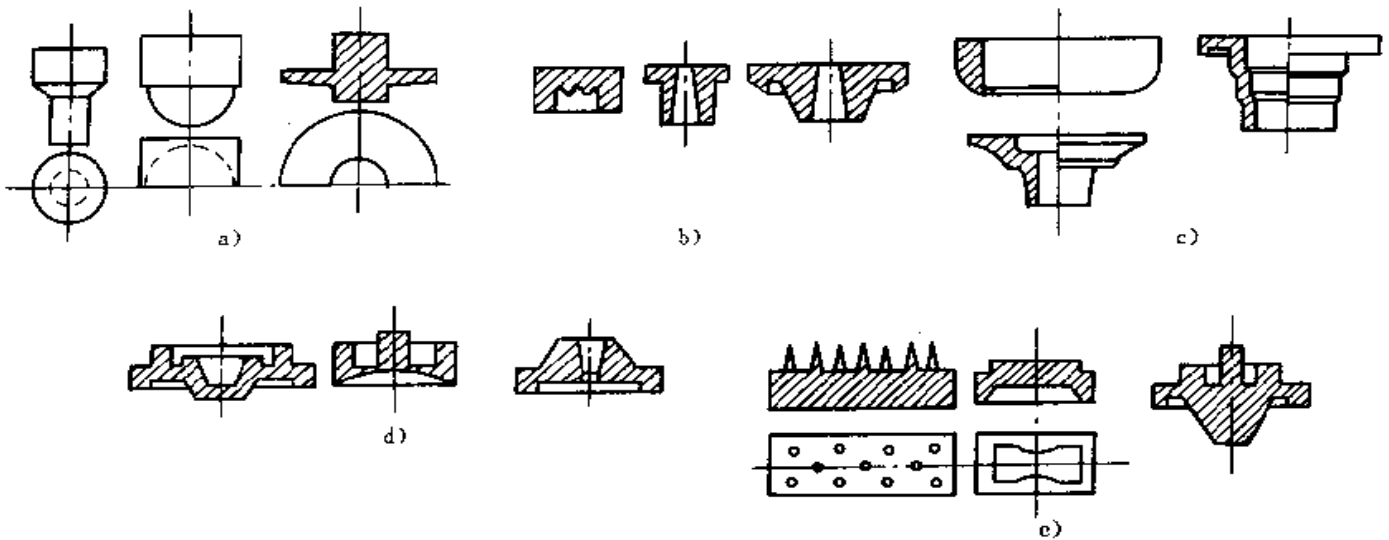


图 7-141 各类挤压铸件图例

表 7-220 不同铸件所用的凹型结构形式

(续)

| 铸件形状特征 | 凹型结构形式 | 图例 | 铸件形状特征 | 凹型结构形式 | 图例 |
|---|--------|----------|---|--------|----------|
| 外廓呈单方向递增(递减)的柱体或锥形零件 | 整体凹型 | 图 7-142a | 1. 需确保高度公差的铸件 2. 一型铸多件或用小压力挤大铸件的间接冲头挤压 | 水平分型凹型 | 图 7-142c |
| 1. 外周有水平方向的凹槽、表面花纹、凸台、或不允许有起模斜度的柱形铸件 2. 一型铸多件的间接冲头挤压 | 垂直分型凹型 | 图 7-142b | 3. 外廓有垂直方向的凹槽、凸台、表面花纹的铸件 | 复合分型凹型 | 图 7-142d |
| | | | 外形复杂的铸件 | 带抽芯的凹型 | 图 7-142e |
| | | | 局部有空腔的铸件 | | |

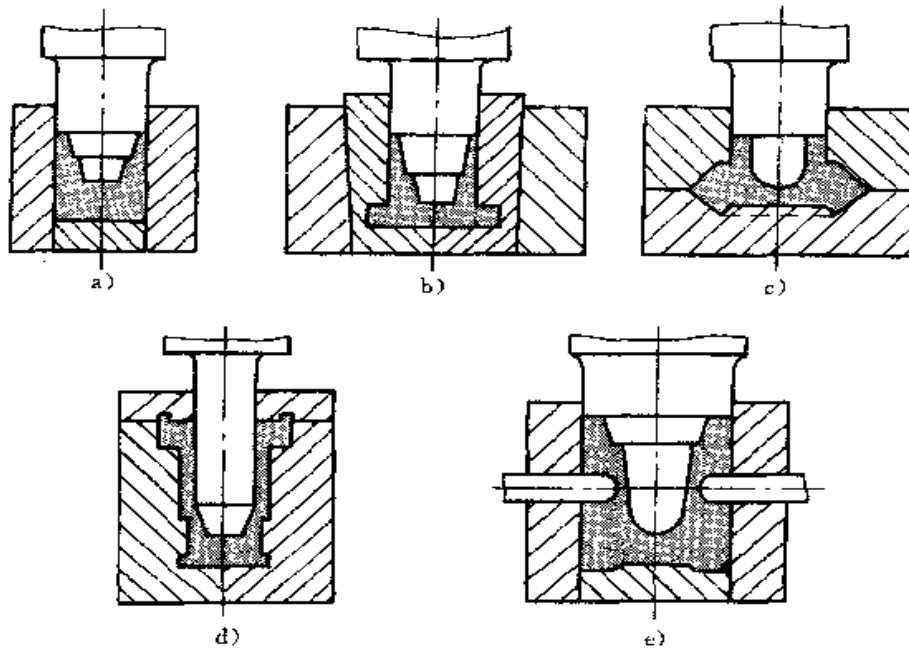


图 7-142 凹型的结构形式

a) 整体凹型 b) 垂直分型凹型 c) 水平分型凹型 d) 复合分型凹型 e) 带抽芯的凹型

6.3.3 铸型设计要点与参数

(续)

(1) 加压位置的选择 应尽量将加压冲头靠近铸件重要受力部位或易产生缩松部位；对壁厚比较均匀的铸件，可适当调整铸件壁厚，按“同时凝固”原则进行设计；对壁厚相差较大的铸件，可按“定向凝固”原则进行设计，将最后凝固部位靠近挤压冲头；间接冲头挤压的内浇道，在确保充满型的前提下，尽量设计大一点，以确保压力补缩效果。

(2) 金属充型运动的设计 要采取措施，尽量确保液态金属平稳充型，确保铸型排气良好，充型速度一般不要超过 0.8m/s；由于从浇注到挤压存在时间差，已浇入的液态金属与型腔壁接触处会生成“结晶硬壳。”需采取措施，尽量避免或减少此“结晶硬壳”在后面的挤压过程中被皱折、破碎和卷入铸件中；将不可避免的“直接冲头挤压冷隔”应设计在铸件非受力部位或加工余量中。

(3) 铸型设计常用参数 见表 7-221。

6.3.4 铸型常用材料 (表 7-222)

表 7-221 挤压铸型设计常用参数

| 项目 | 参 数 |
|-------|----------------------|
| 铸造收缩率 | 可按同种合金金属型铸造线收缩率的一半估算 |
| 加工余量 | 一般可选 0.5~2mm |

| 项目 | 参 数 |
|---------|---|
| 铸造斜度 | 一般为 $1^{\circ}\sim 3^{\circ}$ |
| 铸造圆角 | 铸件转接处的圆角半径为 2~10mm |
| 型腔表面粗糙度 | 一般为 $R_a 6.3\sim 0.8\mu m$ |
| 配合间隙 | 冲头芯棒与凹型、套孔间配合间隙常取 H12/h12~H11/b11；配合长度一般为 20~50mm |
| 分型负数 | 一般垂直分型面应留分型负数，一般取 0.1~0.5mm |
| 排气槽 | 常在配合面处设排气槽，尺寸可取深 0.05~0.10mm，宽 5~20mm |
| 集渣包 | 间接冲头挤压常设集渣包，厚度可取 3~5mm，大小、形状视铸件定 |

表 7-222 挤压铸型用材料

| 铸型构件名称 | 挤压各种合金用铸型材料 | | | |
|--------|-------------|------------|------------|------------|
| | 锌合金 | 铝合金、镁合金 | 铜合金 | 黑色合金 |
| 凹型镶块 | 5CrNiMo | 4Cr5MoSiV | 3Cr2W8V | 3Cr2W8V |
| | 5CrMnMo | 3Cr2W8V | 4Cr5WSi2V | 4Cr2W8Co5V |
| | 4Cr5MoSiV1 | 4Cr5MoSiV | 4Cr5MoSiV1 | 4Cr5MoSiV1 |
| | 4Cr5MoSiV | 4Cr5WSi2V | — | — |
| 压头芯子 | 4Cr5MoSiV1 | 3Cr2W8V | 3Cr2W8V | Ni-Cr 合金 |
| | 5CrNiMo | 4Cr5MoSiV1 | 3Cr2W8Co5V | 3Cr2W8V |
| | — | — | — | 3Cr2W8Co5V |
| 压杆套筒 | 5CrMnMo | 5CrNiMo | 3Cr2W8V | 3Cr2W8V |
| | 40Cr | 4Cr5MoSiV1 | 4Cr5W2SiV | 4Cr5MoSiV1 |
| | T8-T10 | 3Cr2W8V | 4Cr5MoSiV1 | — |

6.4 挤压铸造工艺参数

6.4.1 压力

压力大小是挤压铸造最重要的工艺参数。它是指对铸型中液态金属的单位投影面积上所施加的平均挤

压力。过低则不能保证铸件品质(质量);过高影响模具寿命,浪费能源。为保证铸件品质(质量)所需最低压力值(临界压力)与工艺条件有关。直接冲头挤压所需临界压力参见表 7-223。实际生产时冲头压力一般要选在 50MPa 以上。

表 7-223 直接冲头挤压所需临界压力

(MPa)

| 合金状态 | 铸 件 | 大空腔铸件 | 小空腔铸件 | 实心铸件 |
|------|-----|-------|-------|---------|
| 液 态 | 薄壁件 | 40 | 50 | 60 |
| | 厚壁件 | 30 | 40 | 50 |
| 液-固态 | 薄壁件 | 100 | 90 | 110~120 |
| | 厚壁件 | 80 | 70 | 80~100 |

6.4.2 开始加压时间

合金液浇入铸型至开始加压的时间间隔,称为开始加压时间。除特殊情况外,此值应尽量短些为好。生产中一般掌握在 15s 之内。

6.4.3 保压时间

挤压时压力保持时间,一般应控制到铸件本体完全凝固时为止。表 7-224 列出了根据铸件最大壁厚所推算的保压时间。

表 7-224 保压时间的推算

| 铸件最大壁厚 (mm) | 平均每 mm 所需保压时间 (s/mm) | | |
|-------------|----------------------|-----|------|
| | 铝合金 | 铜合金 | 钢和铸铁 |
| 50 以下 | 0.5 | 1.5 | 0.5 |
| 100 以下 | 1.0~1.5 | 1.5 | 0.5 |

6.4.4 加压速度

推动液态金属充型时,挤压冲头的运动速度为加压速度。在铸型已确定的情况下,冲头的加压速度决定了液态金属的充型运动速度(即流速)。在生产中,液态金属流速应控制在 0.8m/s 以下。过快,易使液态金属产生涡流而卷入气体,使铸件在热处理时起泡;太低,液态金属又不能充满铸型。因此,厚壁铸件的加压速度可慢些,控制在 0.1m/s 左右;薄壁或小铸件的加压速度可高些,0.2~0.4m/s。

6.4.5 浇注温度

挤压铸造时的浇注温度,应比同种合金的砂型、金属型铸造时要略低些。一般控制在合金液相线温度以上 50~100℃。具体浇注温度见表 7-225。

表 7-225 各种合金的浇注温度

| 合金牌号 | 浇注温度 (°C) | 合金牌号 | 浇注温度 (°C) |
|-----------------------------|-----------|---------------------|-----------|
| ZAlSi12 | 640~690 | ZCuSn3Zn8Pb6Ni1 | 1100~1160 |
| ZAlSi9Mg、ZAlSi7Mg、ZAlSi5Cu2 | 640~720 | ZCuSn6Zn6Pb3 | 1050~1100 |
| ZAlCu4 | 690~720 | ZCuAl9Mn2ZCuAl10Fe3 | 1100~1150 |
| ZAlMg10 | 640~720 | ZCuAl10Fe3Mn2 | 1120~1170 |
| ZAlMg5 | 680~730 | QA110-4-4 | 1150~1180 |
| LC4 | 680~720 | ZCuZn16Si4 | 980~1030 |
| LY12 | 680~720 | ZCuZn13Si4Pb3 | 950~1000 |
| LD11、LD2、LD8 | 680~720 | ZCuZn40Pb2 | 960~1000 |
| ZCuSn10Zn2 | 1100~1180 | ZCuZn40Mn2 | 900~970 |
| ZCuSn10P1 | 1050~1150 | HMn57-3-1 | 920~1000 |
| ZCuSn5Pb5Zn5 | 1100~1170 | ZCuZn38Mn2Pb2 | 920~1000 |

6.4.6 铸型工作温度 (表 7-226)

表 7-226 铸型工作温度

| 合金种类 | 预热温度 (°C) | 工作温度 (°C) |
|-------|-----------|-----------|
| 铝合金 | 150~200 | 200~300 |
| 铜合金凹型 | 170~200 | 250~300 |
| 铜合金凸型 | 200~250 | |
| 铸铁和铸钢 | 150~200 | 200~400 |

6.4.7 铸型涂料

市场上出售的铸型涂料品种很多,但主要有水剂胶体石墨、油剂胶体石墨和硅涂料三种,其应用范围参见表 7-227。

表 7-227 几种涂料的应用范围

| 涂料品种 | 应用范围 |
|-----------|-----------------------------|
| 水剂胶体石墨 | 挤压铸造铝、镁和锌基合金用铸型型腔 |
| 油剂胶体石墨 | 挤压铸造铜合金用铸型型腔和挤压铸造铝合金用冲头、储液槽 |
| 硅涂料 (白涂料) | 挤压铸造铝、镁和锌基合金用铸型型腔 |

6.5 挤压铸造工艺应用举例

6.5.1 汽车铝轮毂的挤压铸造

轮毂毛坯见图 7-143。该轮直径 330.2mm、轮缘宽度 152.4mm、2AlSi7Mg 合金、质量 5.2kg。采用间接冲头挤压法生产,其铸型结构见图 7-144。工艺参数参见表 7-228,几种铸造方法生产的 2AlSi7Mg 合金汽车铝轮毂力学性能比较见表 7-229。可见挤压铸造轮毂性能较好。

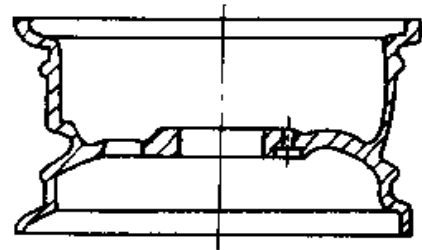


图 7-143 汽车铝轮毂毛坯图

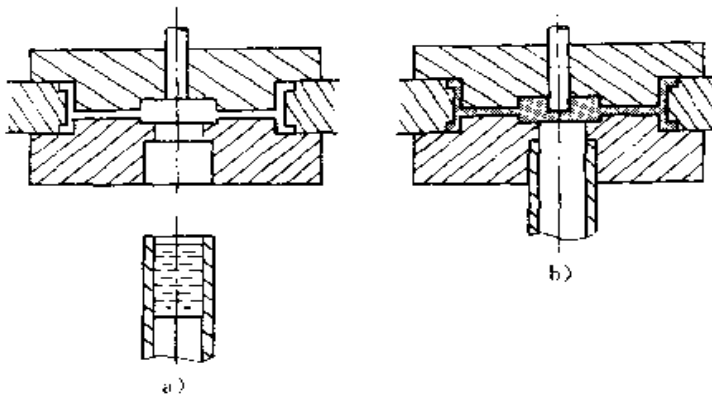


图 7-144 铸型结构示意图
a) 挤压前 b) 挤压时

表 7-228 铝轮毂挤压铸造工艺参数

| 铸型温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 浇注温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 浇注时间 (s) | 压力 (MPa) | 保压时间 (min) | 涂料 |
|--------------------------------|--------------------------------|-------------|-------------|---------------|------------|
| 250~350 | 720~750 | 15~20 | 70~100 | 2~3 | 水剂胶 体石墨 |

表 7-229 几种铸造工艺生产的铝轮毂的力学性能 (ZAlSi7Mg 合金)

| 铸造方法 | 铸件尺寸 (mm) | 铸件质(重)量 (kg) | 热 处 理 | 抗拉强度 σ_b (MPa) | 伸长率 δ (%) |
|-------|---------------------------|-----------------|-------|-----------------------------|------------------------|
| 挤压铸造 | $\phi 330.2 \times 152.4$ | 5.2 | 淬火及时效 | 317 | 10.1 |
| 低压铸造 | — | 5.0 | 淬火及时效 | 278 | 10.8 |
| 金属型铸造 | $\phi 330.2 \times 139.7$ | 5.8 | 淬火及时效 | 203 | 2.6 |

6.5.2 几种典型零件挤压铸造工艺举例 (表 7-230)

表 7-230 挤压铸造工艺举例

| 序号 | 铸 件 | | | 工 艺 | | | | | 力学性能 | | | 其 它 | |
|----|----------|--|---------------|------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------|-------------|------------|---------------------|-----------------|-----|------------------------|
| | 名称 | 结 构 | 材 料 | 挤压方式 | 铸型温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 浇注温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 压力 (MPa) | 保压时间 (s) | 涂料 | σ_b (MPa) | δ (%) | | HB |
| 1 | 汽车 活塞 | $\phi 105\text{mm}$, $\phi 110\text{mm}$ | ZAlSi12Cu2Mg1 | 直接冲 头挤压 | 160~ 180 | 690~ 720 | 125 | 20~ 25 | 水剂胶 体石墨 | 249 | 1.25 | 127 | 加压速度 5mm/s |
| 2 | 泵体 | — | ZAlSi9Mg | 直接冲 头挤压 | 150~ 250 | 680~ 700 | 80~ 100 | 45~ 60 | 水剂胶 体石墨 | 270~ 290 | 3.3~ 4.6 | 106 | 开始加压 时间 30~45s |
| 3 | 蜗轮 | 质(重)量 7.5kg | ZCuSn10P1 | 柱塞 挤压 | 220~ 280 | 1000~ 1150 | 47 | 45 | 水剂胶 体石墨 | 400 | 22.5 | 128 | 升压时间 12~14s |
| 4 | 轴套 | 外径 $\phi 55\sim 200$ mm 壁厚 7~ 35mm | ZCuAl10Fe3 | 柱塞 挤压 | 200~ 250 | 液相 线上 50~ 100 | 100~ 120 | 23 | 油剂胶 体石墨 | 547 | 25.6 | — | 加压速度 30~ 120mm/s |
| 5 | 吹氧 喷头 | $\phi 200\text{mm} \times 100$ mm | 紫铜 | 直接冲 头挤压 | 200~ 400 | 1150~ 1300 | 30~ 50 | 5~ 25 | 耐火材 料涂层 | 223~ 230 | 33~ 33.8 | — | — |

(续)

| 序号 | 铸 件 | | | 工 艺 | | | | | 力学性能 | | | 其它 | |
|----|--------|---|-----------|----------------|----------|-----------|---------|---------|------------|------------------|--------------|----|---------------------|
| | 名称 | 结 构 | 材 料 | 挤压方式 | 铸型温度(°C) | 浇注温度(°C) | 压力(MPa) | 保压时间(s) | 涂料 | σ_b (MPa) | δ (%) | | HB |
| 6 | 肥片 | $\phi 660\text{mm}$ | 球墨铸铁 | 直接冲头挤压 | 250~350 | 1280~1380 | 0.47 | 13~18 | 烟黑+水剂胶体石墨 | 1100~1460 | — | — | 挤压速度4~6mm/s |
| 7 | 气动仪表零件 | 70mm × 70mm × 34mm 等多种件 | LY1 硬铝合金 | 柱塞挤压 直接冲头挤压 | 200~250 | 660~700 | 120~160 | 20 | 二硫化钼、黄蜡、机油 | 305 | 4.5 | — | |
| 8 | 锻模垫板 | 质(重)量6~12kg | 5CrNiTi 钢 | 柱塞挤压 | <690 | 1600 | 60~80 | 3 | 石墨、石蜡涂料 | 820~870 | 8.6~12 | — | 铸型预热温度 200~350°C |
| 9 | 大型壁板 | 长×宽 1970mm × 760mm 壁厚 2~3mm 带筋条, 质(重)量 12kg | ZAlSi9Mg | 型板旋转挤压 | 200~250 | 780~800 | 0.2~0.3 | 180~300 | 细石棉粉、水玻璃 | >180 | >1.5 | — | 芯砂 85% 为硅砂 15% 耐火粘土 |

7 离心铸造

7.1 概述

7.1.1 离心铸造分类

离心铸造是一种将金属液浇进旋转铸型，金属液

在离心力作用下充填铸型并凝固成形的铸造方法。

按照铸型旋转轴线在空间的位置，离心铸造法可分为下列几种。

1. 卧式离心铸造 铸型旋转轴线呈水平状态或与水平线交角很小，见图 7-145。

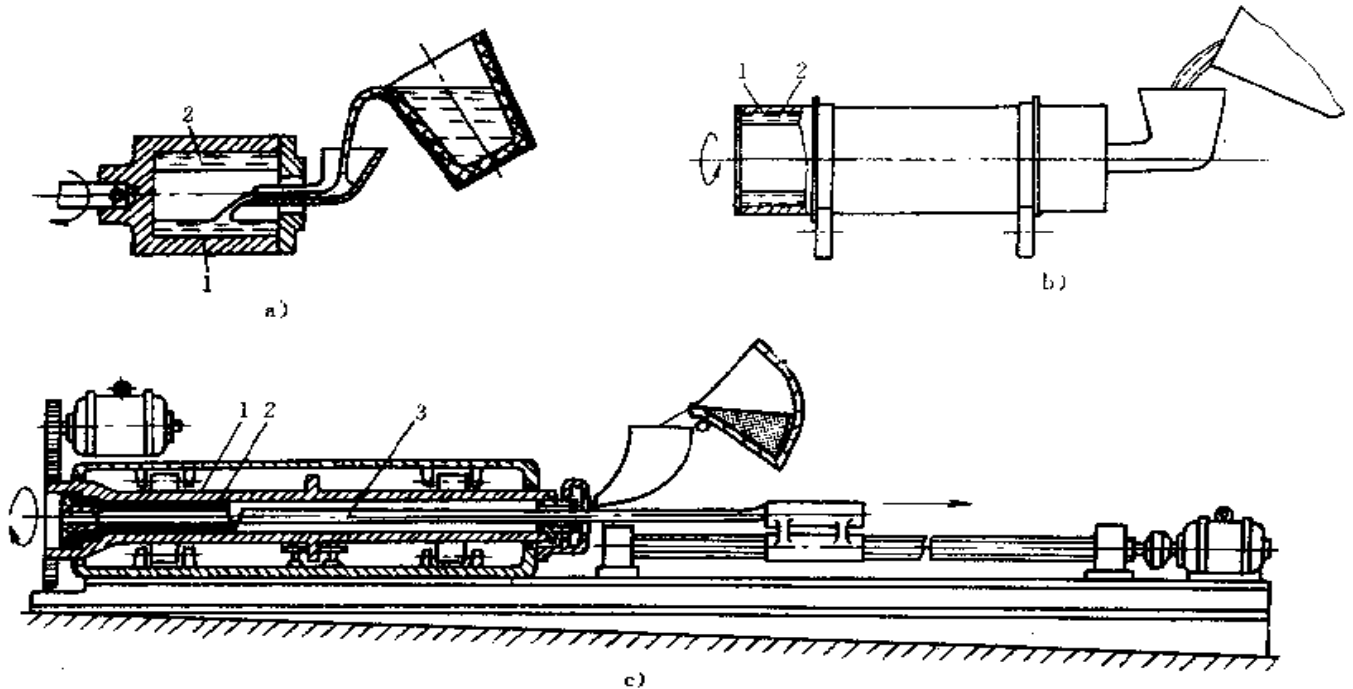


图 7-145 卧式离心铸造示例

a) 卧式悬臂离心铸造 b) 滚筒式离心铸造 c) 水冷金属型离心铸管
1—铸型 2—铸件 3—移动浇注槽

2. 立式离心铸造 铸型旋转轴线垂直于地面。见图 7-146。

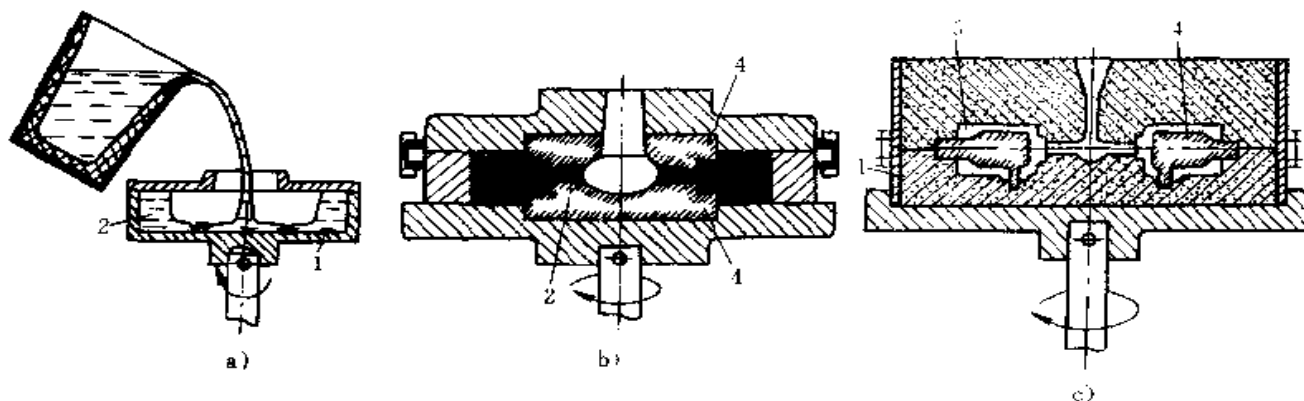


图 7-146 立式离心铸造示例

a) 真离心铸造 b) 半离心铸造 (齿轮圈铸造) c) 加压离心铸造

1—铸型 2—铸件 3—型腔 4—型芯

西方文献常按铸件成形特点,对离心铸造法分类:

(1) 真离心铸造 回转形铸件轴线与铸型旋转轴线重合,铸件内表面借离心力形成。

(2) 半离心铸造 回转形铸件轴线与铸型旋转轴线重合,铸件各表面全由铸型壁形成。

(3) 加压离心铸造 铸件形状不规则,成形时绕铸型轴线旋转,铸件轮廓全由铸型壁形成。

7.1.2 离心铸造的优缺点

与其它铸造法比较,离心铸造的优缺点为:

1) 可不用型芯高效、方便地制造中空回转体铸件,且可把壁厚减薄很多,铸件的长度对直径的比值可很大,如各种盘状、环状、筒状、管状铸件。

2) 便于制造筒、套、管、辊类双金属或多层金属铸件。

3) 金属液的充型能力可显著提高,易于获得散热面积较大、壁厚较薄、型腔弯曲不易充填、表面有细致凹凸花纹的铸件;易于浇注流动性较差的合金,如钛合金、耐热合金。

4) 可显著提高金属液的补缩能力,金属中夹渣、气泡易向铸件内表面集中,故铸件致密度高、力学性能好,如铸钢件的力学性能可赶上锻钢件,铜合金件、铸铁件的强度极限可比一般砂型铸件提高 10%~40%,伸长率也有所改善。

5) 可消除或明显减少消耗于浇注、补缩系统的金属液,工艺出品率可达 95%~97%。

6) 对组成易分离或凝固过程析出密度与基体相差较大的合金而言,铸件易形成密度偏析。如铸钢件中 C、P、S 易向内壁聚集,它们在内表面上的含量可比外表面处高 10%~70%;铅青铜外层中易得铅

聚集的团块。但可利用此特点制造梯度性能的铸件,如要求内表面耐磨的金属基复合材料铸件。

7) 真离心铸造时对浇注金属的定量准确性要求高;铸件内孔尺寸不易准确控制,有时内孔表面较粗糙,聚有熔渣。

8) 铸件形状有一定局限性。

7.1.3 离心铸造方法的选择 (表 7-231)

表 7-231 不同离心铸造法的应用

| 离心铸造法 | 铸件形状特征 | 具体铸件举例 | |
|--------|---------|--------------|---|
| 卧式离心铸造 | 悬臂离心铸造 | 盘状、较短的筒、套、辊状 | 小型汽缸套、涨圈毛坯、轴套、双金属轴套、铜套、滚动轴承圈、泥浆泵双金属套筒、法兰盘、小型表面复合轧辊、管箍、挡圈毛坯 |
| | 滚筒式离心铸造 | 管状、较长的筒、套状 | 铁管、大型汽缸套、辊套、双金属轧辊、造纸机滚筒、大型铜套、蜗轮机护圈、合金钢管坯、不锈钢管坯、加热炉管道、辐射管、裂解管、反应罐体、双金属碾辊 |
| 立式离心铸造 | 真离心铸造 | 环状、筒状、辊状 | 实心双金属轧辊、厚壁筒形毛坯、蜗轮毛坯 |
| | 半离心铸造 | 轮状 | 各种叶轮、蜗轮、小型螺旋桨、齿轮毛坯、滑轮、汽轮机壳、泵轮 |
| | 加压离心铸造 | 各种小件 | 阀体、管件、金属假牙饰物、工艺纪念品、小型电动机转子充铝、钛合金、耐热合金铸件 |

7.2 离心铸造原理

7.2.1 离心力

质量为 m (kg) 的金属液质点, 以一定的角速度 ω (rad/s) 作距离旋转中心为 r (m) 的圆周运动时, 此液滴产生的离心力 F 为

$$F = m\omega^2 r = 0.01mn^2 r \text{ (N)} \quad (7-7.1)$$

式中 n ——旋转转速 (r/min)。

7.2.2 有效重度和重力系数

由作圆周运动的单位体积金属产生的离心力称有效重度 γ' [⊖], 即

$$\gamma' = \rho\omega^2 r = 0.01\rho n^2 r = \gamma \frac{\omega^2 r}{g} = 0.112\gamma \frac{n^2}{100} r \text{ (N/m}^3\text{)} \quad (7-7.2)$$

式中 ρ 、 γ ——金属的密度 (kg/m³)、重度 (N/m³);

g ——重力加速度, $g = 9.81\text{m/s}^2$ 。

有效重度大于重度的倍数称重力系数 G 。

$$G = \frac{\omega^2 r}{g} = 0.112 \frac{n^2}{100} r \quad (7-7.3)$$

离心铸造的 G 值为几十至一百多。

7.2.3 离心铸造时金属液的自由表面形状

铸型中与空气接触的金属液表面称自由表面。真离心铸造时, 自由表面的形状由离心力与重力的综合影响而定。

1) 立式离心铸造时金属液自由表面呈回转抛物面的形状。如在铸型径向切一断面, 可得如图 7-147 所示自由表面显示在断面上的抛物线, 该抛物线形状可用下式表示:

$$y = \frac{\omega^2}{2g} x^2 \quad (7-7.4)$$

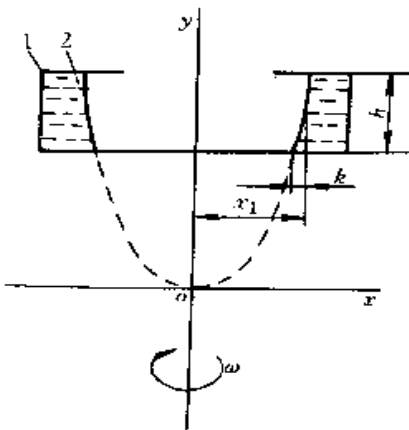


图 7-147 立式离心铸造时金属液自由表面与径向断面的交线
1—铸型 2—金属液

凝固后立式离心铸件的上端壁厚与下端壁厚间的差值 k 可用下式估算:

$$k = x_1 - \sqrt{x_1^2 - \frac{2gh}{\omega^2}} = x_1 - \sqrt{x_1^2 - \frac{0.18h}{(n/100)^2}} \quad (7-7.5)$$

式中 x_1 、 h 的意义见图 7-147。

实际生产中由于铸造工艺和金属凝固、收缩顺序的影响, 铸件内表面的回转抛物面形状和 k 值会有一些的歪曲。

2) 卧式离心铸造时金属液自由表面形状近似于圆柱面, 但该圆柱面的轴线偏离铸型旋转轴线, 垂直向下移动极小的距离 (图 7-148), 在铸件凝固过程中此种偏心逐渐消失, 最后圆柱形的铸件内表面轴线与铸型旋转轴线重合。

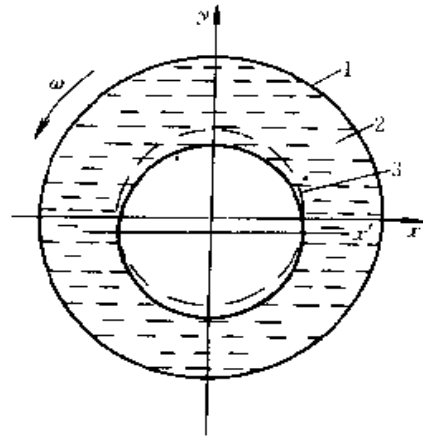


图 7-148 卧式离心铸造时的自由表面偏心现象

1—铸型 2—金属液 3—凝固后铸件内表面

7.2.4 离心压力

以角速度 ω 旋转的金属液产生的离心力在金属液中每一点上或在铸型壁上引起的压力称离心压力, 其值 P 可由下式计算:

$$P = \frac{\rho\omega^2}{2} (r^2 - r_0^2) = \frac{\gamma\omega^2}{2g} (\gamma^2 - \gamma_0^2) \text{ (Pa)} \quad (7-7.6)$$

式中 γ 、 γ_0 ——观察点的旋转半径和自由表面半径 (m)

7.2.5 旋转金属液中异相质点的内浮外沉

旋转铸型内金属液中常夹有密度与金属液基体不同的异相质点, 如气泡、夹渣、析出的晶粒、与金属

⊖ 由于物理学已建议不用重度的概念, 在一些文献中提出了有效密度 ρ' 的概念:

$$\rho' = \rho \frac{\omega^2 r}{g}$$

液基体不能较好组合的组元等，在离心力作用下，密度较小的质点向旋转中心移动（内浮）；密度较大质点向型壁移动（外沉）。它们的浮、沉速度比一般重力铸造时可大约 G 倍，故离心铸造时密度较小的气泡、渣粒能很快移向自由表面或处于铸型中部的浇注补缩系统中，但铸件易产生密度偏析。

7.2.6 离心铸件的凝固特点

离心铸件凝固特点有以下 4 点。

1) 具有较强的由铸件外壁向中心定向凝固的特性，因为①旋转铸型外壁上的散热较强，而铸件内表面大多与对流较弱的空气接触，且不易辐射散热；②旋转金属液中析出的密度较大的晶粒和温度较低的融液有较大趋势向型壁方向沉积；而密度较小的温度较高的融液向自由表面移动，形成了较强的对流（图 7-149），促使铸型外壁上凝固层成长较快。但如金属液中先析出的晶粒的密度比金属液小，如过共晶铅硅合金中先析出的初晶硅、铸铁中的石墨，则它们有较大趋势向自由表面移动，促使铸件内表面过早出现凝固，形成双向凝固现象，使铸件内表面上出现皱裂或在内表面附近出现皮下孔洞。

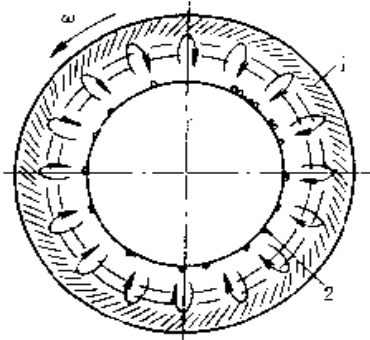


图 7-149 旋转凝固金属液中的对流

1—凝固层 2—内浮渣粒

2) 离心铸件凝固时能获得较强的补缩，因为：①上述的定向凝固；②结晶前缘附近的固液共存区减薄，创造了较好的金属液穿过固液共存区对凝固层补缩的条件；③旋转金属液的离心力比重力大 G 倍，它具有较大的克服晶粒间补缩通道对晶粒间疏松进行补缩的能力，尤其离心铸件由外向里的凝固顺序更创造了晶粒成长方向对着离心力方向的条件，使补缩时金属液上的离心力能充分发挥作用。

3) 进入离心铸型的金属液不能即刻具有与铸型同样的转速，铸件凝固层的结晶前缘上有固液相混合的金属相对滑动，常可使铸件横断面上得到倾斜状的柱状晶（图 7-150），其倾斜方向与铸型旋转方向相同。如果相对滑动较强烈，就可能在结晶前缘上产生

较剧烈的冲刷作用，产生紊流，使成长的晶粒折断，使铸件断面上最终形成细小等轴晶粒的组织。

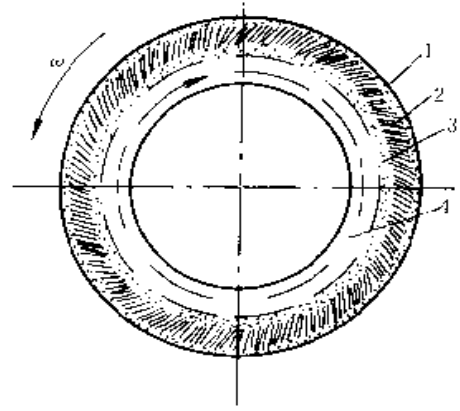


图 7-150 倾斜状的柱状晶成长示意图

1—激冷细晶粒层 2—倾斜状柱状晶
3—相对滑动固液混合层 4—液层

4) 由于进入铸型圆柱表面上的金属液是逐层覆盖在轴向上充填铸型（图 7-151），当各层金属不能相互很好融合，各层金属对应于各自的条件凝固时，在铸件横断面上便会形成层状偏析组织（图 7-152），各同心圆层中的金相组织不相同。

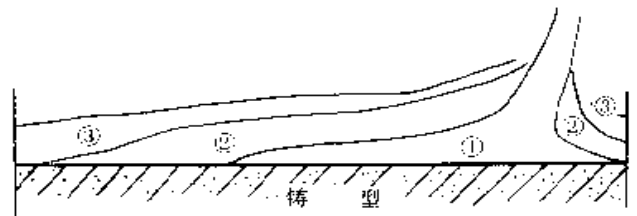


图 7-151 离心铸型纵断面上金属液

以层状运动方式充填铸型
(数字表示金属液的层次)

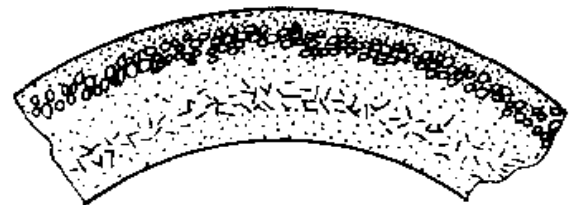


图 7-152 离心铸件断面上的层状偏析示意图

7.3 离心铸造工艺

7.3.1 铸型转速

离心铸造时铸型转速应满足：

1) 在立式离心铸造时，要保证金属液的成形、防止铸型转速过低时金属液积聚在铸型底部，不能即

刻均匀分布于铸型表面；或在卧式离心铸造时，应防止随铸型转动的金属液转至高处时沿型壁下滑或掉落的现象。

立式离心铸造时铸型转速应保证铸件上、下端部的壁厚差不大于所要求的值 k ，此时供参考的铸型转速公式为

$$n = 42.3 \sqrt{\frac{h}{k(2x_1 - k)}} = 42.3 \sqrt{\frac{h}{(x_1^2 - x_2^2)}} \quad (7-7.7)$$

也可根据式 (7-7.5) 得下述计算立式真离心铸造时的铸型转速公式

$$\omega = K \sqrt{h} \quad (\text{rad/s}) \quad (7-7.8)$$

式中 K ——与铸件内径和壁厚差 k 有关的系数，具体值，见表 7-232。

2) 在半离心铸造和加压离心铸造时使金属液具有足够的充型能力。

表 7-232 K 值表

| 铸件内径 (mm) | 可允许的上、下端壁厚差 (mm) | | |
|-----------|------------------|------|------|
| | 2 | 5 | 10 |
| 10 | 140.0 | 98.0 | 84.6 |
| 20 | 97.0 | 63.5 | 48.6 |
| 30 | 78.5 | 51.0 | 38.1 |
| 40 | 67.5 | 43.5 | 32.0 |
| 50 | 60.5 | 38.7 | 28.0 |
| 100 | 42.5 | 28.0 | 19.5 |
| 200 | 29.9 | 18.9 | 13.7 |
| 300 | 24.5 | 15.4 | 11.0 |
| 400 | 24.2 | 13.3 | 10.3 |
| 500 | 18.9 | 12.0 | 9.0 |

3) 创造较好的铸件凝固和补缩条件，太大的铸型转速会使铸件热裂，偏析加剧，砂型铸件外表面胀箱，型壳在浇注时压裂，水冷金属型离心铸管时产生超前流，使管壁表面分层，机器工作不稳。

7.3.1.1 离心铸型转速公式 目前传布较广的离心铸型转速公式都是以离心力公式 (式 7-7.1) 为基础，给以不同假设前提推导而来，仅有参考价值，需经具体生产条件修正。

(1) 康氏公式 该公式在我国和独联体国家流行。

$$n = \beta \frac{55200}{\sqrt{\gamma r_0}} \quad (\text{r/min}) \quad (7-7.9)$$

式中 β ——对康氏公式的修正系数， $\beta = 0.8 \sim 1.5$ ，

具体取值可参考表 7-233。

表 7-233 康氏公式修正系数值

| 离心铸造类型 | 铜合金 卧式离铸 | 铜合金立 式离铸 | 铸铁 离铸 | 铸钢 离铸 | 铝合金 离铸 |
|---------|-------------|-------------|----------|----------|-----------|
| β | 1.2~1.4 | 1.0~1.5 | 1.2~1.5 | 1.0~1.3 | 0.9~1.1 |

(2) 凯门公式

$$n = \frac{C}{\sqrt{r_0}} \quad (\text{r/min}) \quad (7-7.10)$$

式中 C ——由铸件金属种类、铸型、铸件等特点决定的系数，具体数值参见表 7-234；

r_0 ——铸件内表面半径 (mm)。

表 7-234 C 值选取表

| 铸件合金 | 铸件举例 | C |
|------|----------|-------------|
| 铸铁 | 铁管、漆圈、缸套 | 9000~13650 |
| 铸钢 | | 10000~11000 |
| 黄铜 | 圆环 | 13500 |
| 铅青铜 | 轴承 | 8500~9500 |
| 巴氏合金 | 轴瓦 | 7000~9000 |
| 铝合金 | | 13000~17500 |
| 青铜 | (立式离心铸造) | 17000 |

(3) 重力系数公式

$$n = 29.9 \sqrt{\frac{G}{r_0}} \quad (\text{r/min}) \quad (7-7.11)$$

G 值见表 7-235。

表 7-235 G 值选取表

| 铸件合金 | G |
|-------|--------|
| 铜合金 | 40~110 |
| 铸铁 | 45~110 |
| 铸钢 | 40~75 |
| ZL102 | 50~90 |
| ZL109 | 80~120 |

} 预热型浇注

7.3.1.2 铸型转速的选择 由于离心铸件的多样化，常需根据具体情况对铸型转速的选择作多种变化，下述意见供参考。

1) 浇注厚壁铸件时，在浇注和浇注后铸件初始凝固时，可采用较小铸型转速，而后提高铸型转速，在保证铸件内表面质量的同时，防止铸件外壁产生裂缝。

2) 当从铸型一端浇注较长的薄壁管形铸件时，在浇注时可采用小的铸型转速，使金属液经较短路程

(因金属液系沿型壁螺旋线状向前流动的) 较快地到达铸型另一端, 而后迅速提高铸型转速, 使铸型整个长度上金属液分布均匀, 并在所需的离心力作用下凝固。

3) 当采用相对轴向移动浇注槽在水冷金属型内浇注铁管时, 铸型每转一圈, 浇注槽的相对移动距离(节距) 不能大于 30~40mm, 使铸型工作表面螺旋状分布的金属液带能相互很好融合。欲减小节距, 只需提高铸型转速。太高的铸型转速会使型壁上的金属液出现较大的向插口端轴向流动的速度, 使金属液超越浇注槽的出铁口, 会使铁管表面出现薄的冷隔层。

4) 浇注时, 如铸型壁运动的线速度相对掉落在型壁上金属液的线速度超过某一数值, 则会引起较大的金属液飞溅, 故在浇注大直径铸件时, 可适当降低铸型转速。

5) 在浇注结晶范围宽的合金、要求铸件内部高度纯净或有较细薄的型腔缝隙需充填金属液时, 可采用较高铸型转速, 以利补缩、驱除金属液中夹杂或增强金属液充型能力。较高的铸型转速还可加大铸型外表面上的散热速度, 促使铸件实现由外向内的定向凝固。

6) 采用砂型、型壳离心铸造时, 为防止砂型涨箱、型壳压裂, 需对浇注金属产生的最大压力值 p_{max} 进行控制, 由 p_{max} 决定铸型的最大转速 n_{max} , 卧式离心铸造时

$$n_{max} = 42.3 \sqrt{\frac{p_{max}}{\gamma (R^2 - r_0^2)}} \quad (\text{r/min}) \quad (7-7.12)$$

而在立式离心铸造时, 除了离心压力外, 尚需考虑由重力引起的压力, 故

$$n_{max} = 42.3 \sqrt{\frac{p_{max} - \gamma h}{\gamma (R^2 - r_0^2)}} \quad (\text{r/min}) \quad (7-7.13)$$

上两式中 r_0 、 R 、 h 、——铸件的内、外半径和高度 (m);

γ ——金属液重度 (N/m^3)

p_{max} 值的选取, 见表 7-236。

表 7-236 p_{max} 值的选取

| 铸型种类 | p_{max} (MPa) |
|-------|-----------------|
| 砂型 | 0.03~0.04 |
| 砂芯组合型 | 0.04~00.6 |
| 熔模壳型 | 0.07 |
| 陶瓷型 | 0.06~0.08 |

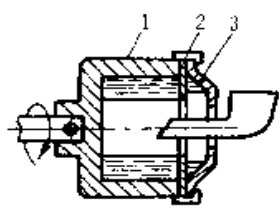
7.3.2 离心浇注

(1) 浇注定量 真离心铸造时铸件的內孔尺寸由

浇入型内的金属数量决定, 常用浇注定量法的比较, 见表 7-237 中。

表 7-237 离心浇注定量法比较

| 定量原则 | 实施措施 | 适用条件 | 优缺点 |
|---------------------------|--|--|--------------------------|
| 质量定量 (控制浇入铸型金属液的质(重)量) | 1. 用台秤称浇包中一个铸件质(重)量的金属液 2. 用电子吊车秤指示浇入型中的金属液质(重)量 3. 用浇注小车上的压力传感器指示浇入型中金属液质(重)量 | 1. 小铸件生产 2. 大铸件生产 3. 同时浇注多台离心铸造机 | 定量准确, 但操作麻烦, 需专门秤量装置 |
| 体积定量 (控制浇入铸型金属液的体积) | 1. 用一定形状的浇注包接受一定体积的金属液一次性地浇入铸型 2. 在铸型内做出控制浇入金属液的结构 3. 用金属保温炉中的电磁泵定时浇注 | 1. 小铸件生产 2. 单件、小批小铸件生产 3. 大量生产 | 操作简单, 定量精度差, 三项措施需专用浇注装置 |



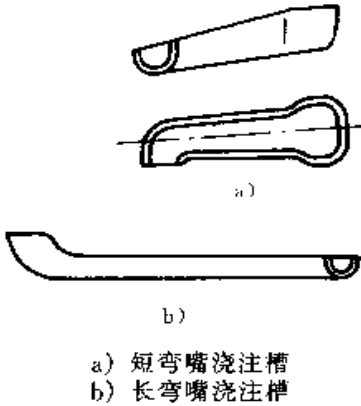
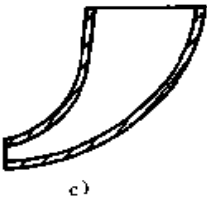
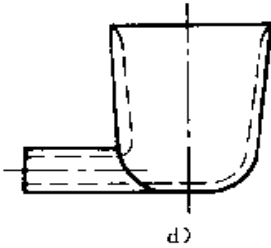
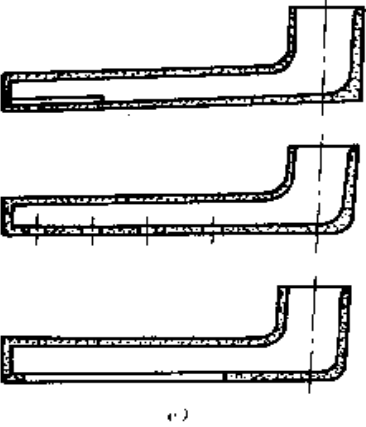
1—铸型 2—隔板
3—多余金属

(2) 离心浇注装置 (表 7-238)

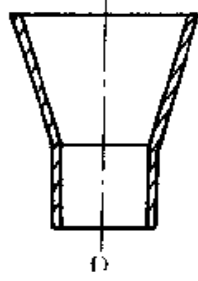
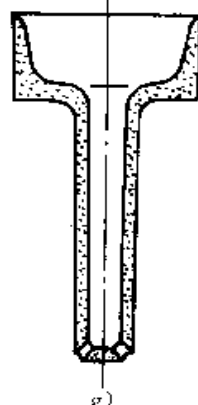
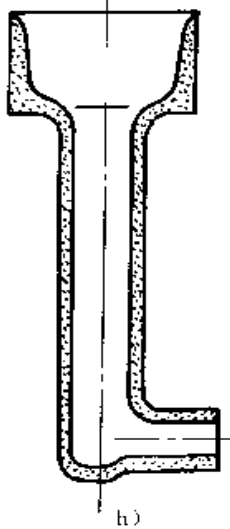
表 7-238 离心浇注装置

| 离心铸造类型 | 装置名称 | 结构图 | 应用特点 |
|--------|-------|-----|----------------|
| 卧式离心铸造 | 普通浇注槽 | | 结构简单, 小件生产应用广泛 |

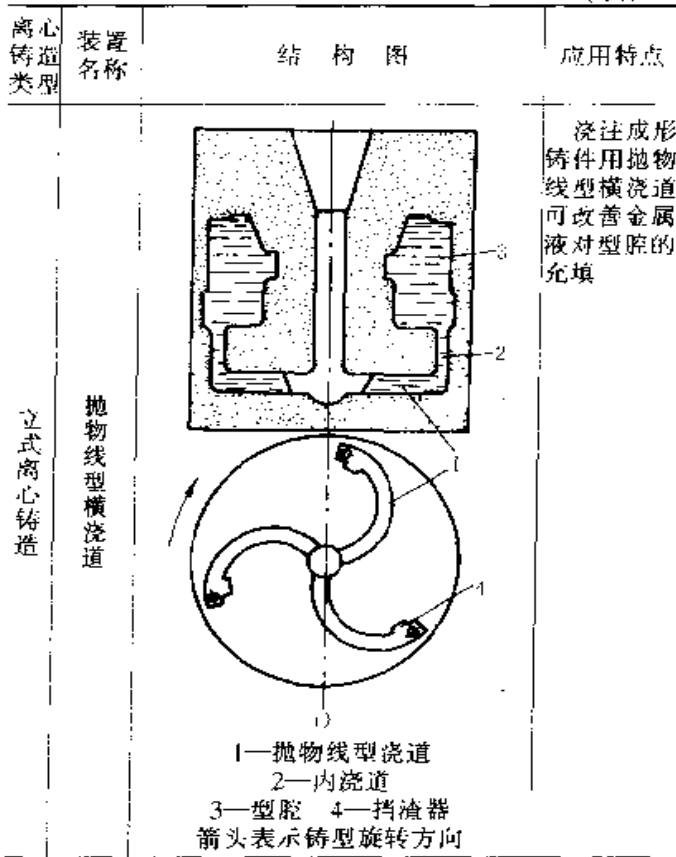
(续)

| 离心铸造类 | 装置名称 | 结构图 | 应用特点 |
|--------|----------|--|---|
| 卧式离心铸造 | 弯嘴浇注槽 |  <p>a) 短弯嘴浇注槽 b) 长弯嘴浇注槽</p> | 短弯嘴浇注槽用于浇注盘形铸件或易氧化金属 长弯嘴浇注槽主要在水冷金属型离心铸管时用 |
| | 牛角式浇注槽 |  <p>c)</p> | 可在浇注槽中创建一定压头, 增大金属进入型腔时的轴向初速度, 适用于在铸型一端浇注较长的铸件, 也可用于浇注小口径铸件 |
| | 带浇杯短浇注槽 |  <p>d)</p> | 适用于浇注厚度较大, 较长的铸件, 也可在浇注之初用塞堵住浇杯内出口, 至杯内金属液面升至一定高度后, 打开出口 |
| | 带浇杯的长浇注槽 |  <p>e)</p> | 侧向开口, 减少金属飞溅, 适用于浇注内径较大, 有一定长度的铸件 槽底有孔或4~6mm的缝隙, 适用于浇注内径较大, 管壁稍薄, 有一定长度的铸件 |

(续)

| 离心铸造类 | 装置名称 | 结构图 | 应用特点 |
|--------|-------|---|---------------------------------|
| 立式离心铸造 | 漏斗式浇杯 |  <p>f)</p> | 适用于中、小直径铸件的浇注 |
| | 斜流式浇杯 |  <p>g)</p> | 底部有三个斜开浇口, 减少浇注时的飞溅, 适用于中、小直径铸件 |
| | 侧流式浇杯 |  <p>h)</p> | 浇注大口径铸件用, 减少飞溅 |

(续)



(续)

| 浇注金属 | 组成〔质(重)量%〕 |
|----------------|---|
| 合金铸铁复合轧辊(防氧化液) | $SiO_2 40 \sim 60$ $Al_2O_3 + Fe_2O_3 5 \sim 15$ $B_2O_3 5 \sim 15$ $R_2O 20 \sim 40$ $RO 2 \sim 15$ $CaF_2 + Na_2SiF_6 1 \sim 6$ (熔点 $< 1200^\circ C$) |
| 铜合金 | 1. $B_2O_3 85$ $NaF 15$ (熔点 $722^\circ C$, 密度 $1.8 \sim 1.85 g/cm^3$) 2. $Na_3AlF_6 60$ $CaF_2 35$ $Na_2O 5$ (熔点 $700^\circ C$, 密度 $1.7 \sim 1.75 g/cm^3$) |

7.3.3 离心镶铸

图 7-153 所示为刹车鼓的离心镶铸示意图, 在铸铁的轮状件端面镶铸了用钢板冲压成的盘状端面 3, 为使钢盘能牢固地联结在铸件上, 钢盘边缘上做出分义。

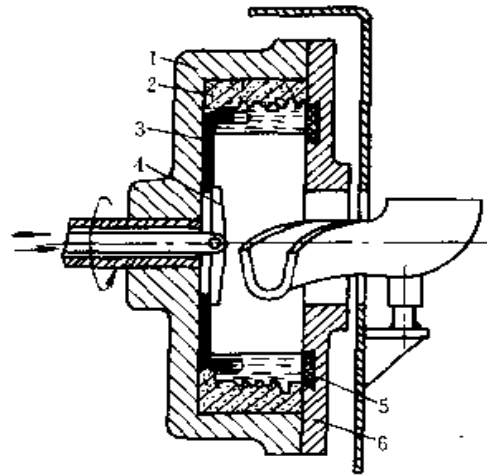


图 7-153 刹车鼓离心镶铸示意图

- 1—铸型 2—砂衬 3—镶铸钢盘
- 4—气动压板 5—耐火衬 6—型盖

(3) 带渣离心浇注 这是一种把熔渣和金属液一起或在浇注时通过向浇注槽中撒粉状造渣剂的方法进行浇注的工艺, 由于离心力的作用, 可使密度较小的液态渣很快均匀覆盖中空铸件的内表面, 阻止铸件内表面散热, 创造由外向里的定向凝固, 防止厚壁离心铸件内表面上易出现的皱裂和内表面下易出现的孔洞缺陷, 提高铸件的致密度。

往浇注槽中撒粉状造渣剂进行离心浇注, 还可对金属液起精炼作用, 减少铸件中的夹渣和气体。

采用连续浇注法制取双金属离心铸件时, 常对第一层金属进行带渣浇注, 防止第一层的内表面氧化。浇第二层(重力浇注)金属时, 渣被驱赶至第二层金属的内表面或进入浇注补缩系统, 使两层金属能结合牢固。

造渣剂的组成, 见表 7-239。

表 7-239 造渣剂组成

| 浇注金属 | 组成〔质(重)量%〕 |
|---------|--|
| 铸铁(一般渣) | $SiO_2 28.1$ $CaO 4.3$ $MnO 1.1$ |
| | $Al_2O_3 16.3$ $Na_2O 19.1$ $FeO 2.1$ |
| | $CaF_2 28.3$ (熔点 $1000^\circ C$) |
| 铸铁(发热渣) | 铝粉 12 硅钙 3 铁粉 20 硝酸钠 14 硅石粉 20 氟石 26 (着火点 $450^\circ C$) |

7.3.4 离心渗铸

图 7-154 为磨轮的立式离心渗铸示意图, 在旋转的铸型 4 的内壁撒上一层耐磨颗粒, 加热到一定的温度, 向型内浇入液态粘结剂 2, 使其渗入颗粒间孔

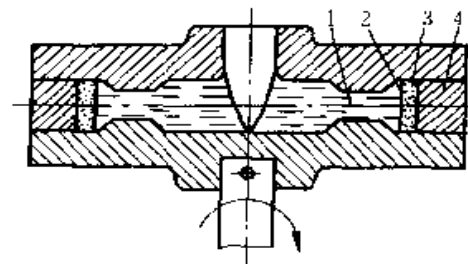


图 7-154 磨轮离心渗铸示意图

- 1—金属三体 2—粘结剂 3—磨料 4—铸型

隙,然后再往铸型中浇入金属液1以形成磨轮主体。用此方法还可制备金属基复合纤维零件。制备时,可先将复合纤维预制块置于型壁上,然后浇注金属进行离心渗铸。

7.3.5 离心铸造特殊工艺措施

为了满足特殊铸件的要求,离心铸造时尚可采用一些特殊工艺。

(1) 电磁搅拌 把旋转铸型放在电磁场中,促使进入型内金属液产生强烈的滞后于铸型的相对运动,使铸件获得细等轴晶粒组织。

(2) 在真空或惰性气氛中离心浇注,防止金属氧化,如钛合金离心浇注常在真空室中进行。

(3) 端面活塞加压 有些合金的管状铸件在轴向收缩受阻时,常易产生横裂,可在铸型一端用气动或液压活塞作端盖,当型内铸件凝固收缩时,使活塞向前,协助铸件克服型壁阻力,进行收缩。

7.4 离心铸造机

本节只叙述应用范围较广的几种离心铸造机。

7.4.1 卧式悬臂离心铸造机

图7-155所示为适应性较强的卧式悬臂离心铸造机结构。铸型7悬臂式地固定在主轴10的一端,紧贴主轴另一端有气缸13,通过顶杆16可将铸型内已凝固的铸件与内型8一起顶出型外。浇注槽4固定在可回转的支架3上,铸型用防护罩挡住,内有雨淋式冷却水管,它可防止在浇注时由铸型内飞出金属和冷却铸型时甩出的热水伤人。驱动电动机2放在机座1的下面,通过塔式三角皮带轮带动主轴旋转。也可用可变转速电动机带动带轮达到使铸型改变转速的目的,电机如能放到机座旁边,则可降低机器高度,便于浇注等操作。采用制动轮可消除切断电动机电流后铸型惯性转动的的时间,提高机器生产率。

国产J51系列卧式悬臂离心铸造机的工作参数,见表7-240。

表7-240 J51系列卧式悬臂离心铸造机工作参数

| 型号 | 铸件最大直径 (mm) | 铸件最大长度 (mm) | 铸型转速 (r/min) | 电动机功率 (kW) |
|------|-------------|-------------|-----------------|------------|
| J513 | 300 | 360 | 628、913 1562 | 3 |
| J514 | 400 | 500 | 168~1920 | 12.5 |
| J516 | 630 | 600 | 100~980 | 22.5 |
| J518 | 800 | 800 | 150~625 | 26 |

7.4.2 滚筒式离心铸造机

图7-156为一种用途较广的滚筒式离心铸管机,铸型可为涂料金属型、树脂砂型。如把电动机放到机器旁边,用带轮带动支承轮的主动轴旋转,则可方便地在铸型端部操作。

7.4.3 立式离心铸造机

图7-157为小型立式离心铸造机,为操作方便,除铸型部分,机器其余部分处于地坑之中。

7.5 离心铸型

7.5.1 工艺参数

设计离心铸型时常需考虑的工艺参数为:铸件的合金种类、收缩率、铸件形状特征及对尺寸精度、表面粗糙度的要求、铸件加工面上的余量、金属型铸造时的铸造斜度或砂型铸造时的起模斜度等。铸型材料和离心铸造形式由铸件金属、铸件形状、铸件精度、生产的批量和工厂具体生产条件决定。不同材料离心铸型见表7-241。

表7-241 不同材料离心铸型的应用

| 离心铸型材料 | 应 用 |
|---|--|
| 砂型砂芯组合型 | 卧式离心铸造:铁管、大型气缸套、碗形轴瓦、小型气缸套 立式离心铸造:螺旋桨、阀体、齿轮毛坯、金属塑料模、冲模、叶轮 |
| 树脂砂型 | 卧式离心铸造:铁管、钢管毛坯、反应罐体 |
| 金属型 (材料可为灰铁、25Cr2NiMo、34CrMo、25CrMo) | 卧式离心铸造:铁管、铜套、气缸套、轴瓦、轴套、管道法兰、辘道、反应罐体、裂解管、双金属轧辊、造纸机滚筒、轴承环 立式离心铸造:双金属轧辊、蜗轮毛坯、圆环、阀体 |
| 熔模型壳 | 立式离心铸造:各种精密铸件如叶片、叶轮、螺旋桨、钛合金铸件、金牙 |
| 石膏型 | 立式离心铸造:金属饰物、螺旋桨 |
| 石墨型 | 立式或卧式离心铸造:钛合金铸件,如叶轮 |
| 硅橡胶型 | 立式离心铸造:低熔点合金(如锌合金)铸件 |

除了在图7-155~图7-157中可见到的金属型示例外,在图7-158~7-161中示出了离心砂芯型、离心型壳和离心石墨型。

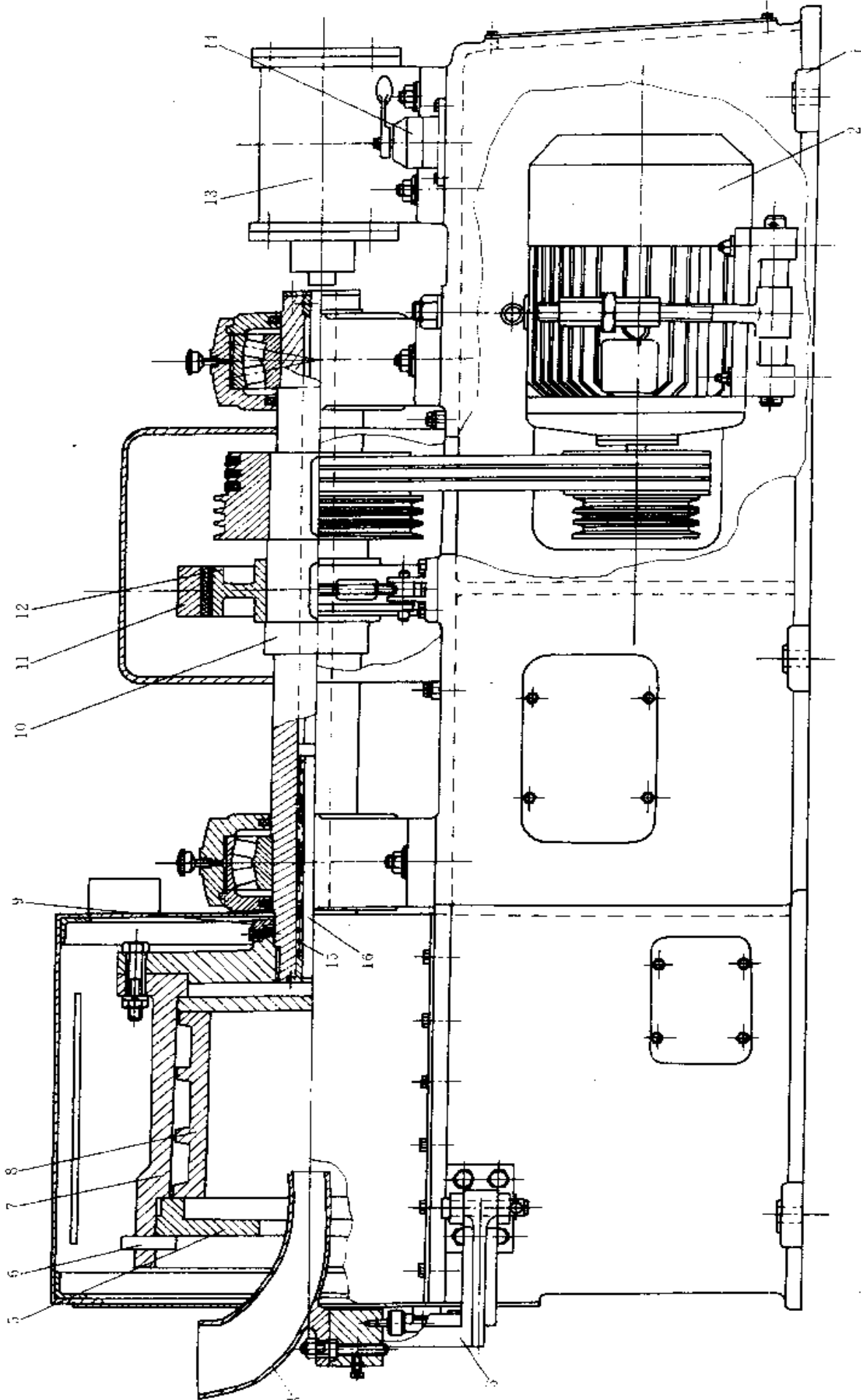


图 7-155 卧式悬臂离心铸造机

- 1—机座 2—电动机 3—浇槽支架 4—浇槽 5—端盖 6—轴头 7—外型 8—内型 9—挡板 10—主轴
- 11—闸板 12—制动轮 13—气缸 14—气阀 15—弹簧 16—顶杆

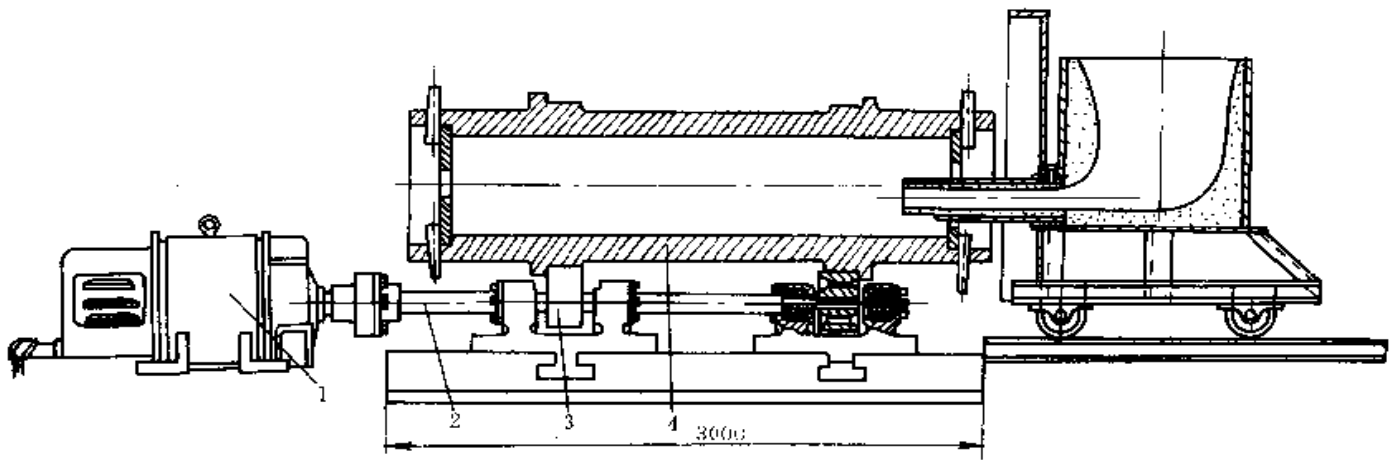


图 7-156 滚筒式离心铸造机
1—电动机 2—主动轴 3—支承轮 4—铸型

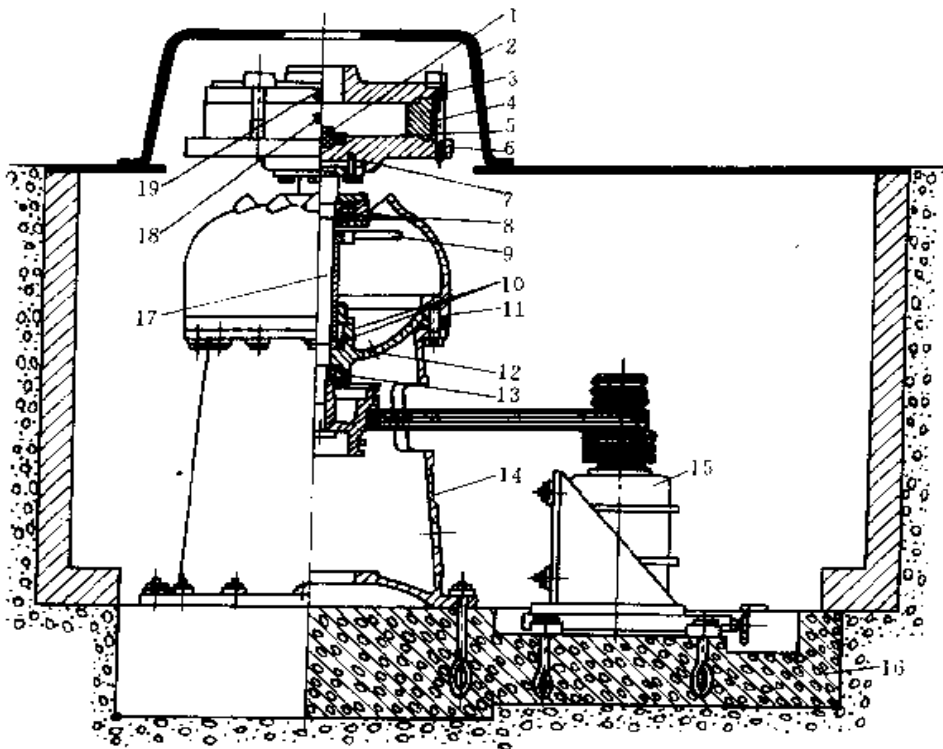


图 7-157 小型立式离心铸造机
1—型芯 2—防护罩 3—型盖 4—压杆 5—型体 6—型底 7—螺栓 8—轴承 9—风扇 10—支承环
11—上座壳 12—下座壳 13—轴承 14—机座 15—电动机 16—地基 17—主轴 18—手把 19—手把

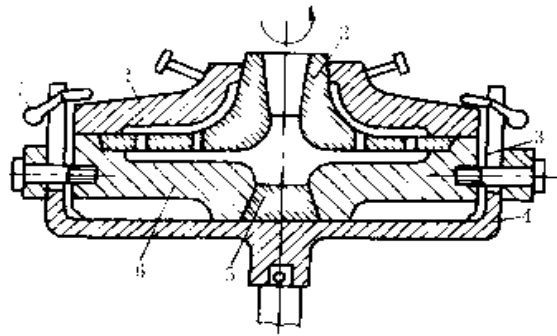


图 7-158 带有砂芯的离心金属型

1—型盖 2—砂芯 3—空槽 4—离心铸造机转台 5—砂芯 6—上半型 7—离心锤

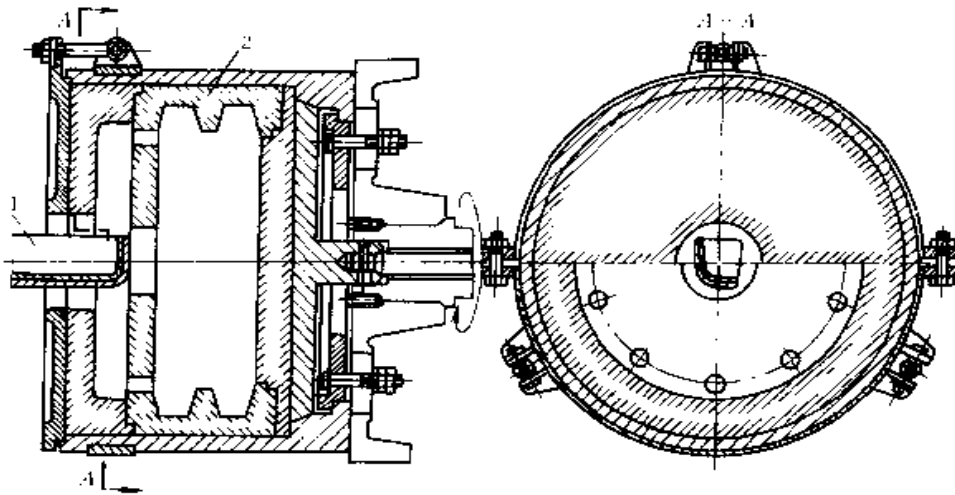


图 7-159 离心组合砂型

1—浇注槽 2—砂芯

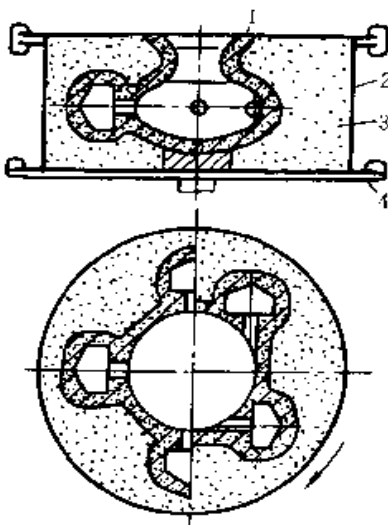


图 7-160 离心型壳型

1—熔模型壳 2—型箱 3—充填砂 4—离心铸造机转台

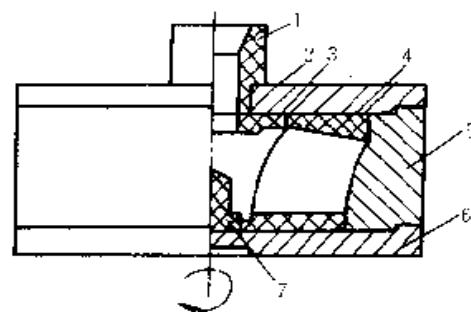


图 7-161 钛合金导轮的离心石墨铸型

1—浇杯 2—上盖 3、4、7—石墨芯 5—型体 6—下底

由离心铸型型壁形成的铸件表面加工余量主要由铸型材料决定，具体数值可参考本书有关章节。真离心铸造时，不同合金铸件内表面（自由表面）和端面上的加工余量，见表 7-242。

表 7-242 真离心铸件内表面、端面加工余量 (mm)

| 铸件外径 | 青铜 | | 黄铜、铝青铜 | | 铸铁 | |
|----------|------|------|--------|-------|------|-------|
| | 内表面 | 端面 | 内表面 | 端面 | 内表面 | 端面 |
| ≤100 | 3~5 | 3~5 | 4~6 | 4~5 | 3~5 | 3~5 |
| 101~200 | 3~6 | 4~6 | 5~7 | 5~8 | 4~6 | 4~6 |
| 201~400 | 4~7 | 4~8 | 5~8 | 6~10 | 5~7 | 5~7 |
| 401~700 | 5~8 | 6~9 | 6~10 | 7~12 | 6~9 | 6~9 |
| 701~1000 | 6~10 | 6~12 | 7~15 | 8~16 | 7~12 | 7~12 |
| >1000 | 7~12 | 8~20 | >12 | 15~25 | 8~15 | 10~20 |

真离心铸造时铸件内表面加工余量与浇注定量准确度、金属液纯净度密切相关，在实践中应注意调整。

采用金属型形成圆柱形铸件外表面时，利用铸件凝固时本身出现的收缩，有时可考虑不设为取出铸件的铸造斜度。

离心铸件的收缩规律与重力铸造时相似。

7.5.2 离心铸型结构特点

1) 卧式悬臂离心铸型的型体有两种形式：

封闭式 铸型圆柱壁与底部做成一体，它在离心铸造机上的固定方式主要有两种（图 7-162）。封闭式铸型结构简单，但不能采用顶出铸件机构，故离心铸造机上可无相应的顶出铸件装置。批量不大，不要求高效率生产铸件时常用封闭式。

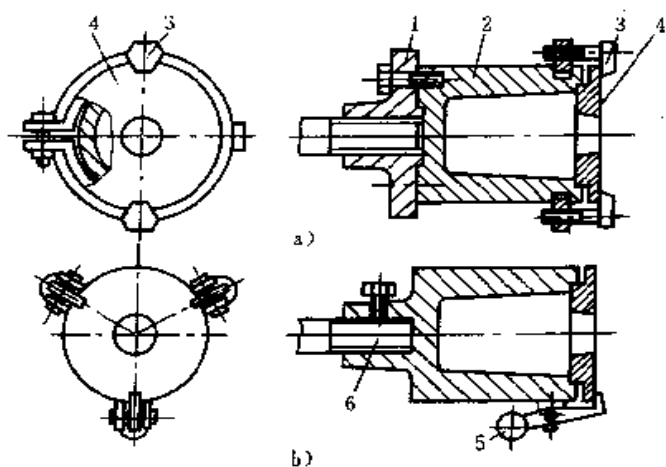


图 7-162 两种固定形式的封闭式悬臂离心铸型
a) 铸型固定在转盘上 b) 铸型直接固定在主轴上
1—转盘 2—型体 3—偏心压盖栓
4—型盖 5—离心锤 6—离心铸造机主轴

开放式 型体底部为一圆孔，用另外的活动底板挡住。此种型可利用铸件作顶出机构，但铸型结构稍复杂，拆装麻烦。大多采用在型体底端做出法兰边用螺栓把铸型固定在离心铸造机转盘的结构（见图 7-155），也可在铸型内部做出法兰圈，用压环把铸型压在离心铸造机的转盘上（见图 7-159）

悬臂离心铸型的型体常做成双层的，以使一个型体可满足生产多种规格铸件的需要，提高型体的工作寿命，具体举例见图 7-155。不同形式的内型，见表 7-243。

表 7-243 满足不同要求的内型结构

| 内型结构 | a) | | b) | |
|------|--|-----------------------|---|--|
| | | | | |
| 说明 | 用大外型生产小直径铸件时，应注意内型外壁上加肋，防止变形 内型内加活动底板，可改变铸件长度 | 用长外型生产短铸件时，可用短内形加底的结构 | 生产两端带法兰的铸件时，为取铸件，内型可做成两半。同时把法兰的一边做成斜面，使铸件轴向收缩可利用其径向收缩时出现的空间 | |

单层铸型型体或双层铸型内型的壁厚一般为铸件厚度的 0.8~5 倍，最小壁厚应 ≥15mm。双层铸型外型的壁厚，见表 7-244。

表 7-244 双层铸型外型的壁厚 (mm)

| 外型内径 | 100~200 | 200~300 | 300~400 | 400~500 | 500~600 | 600~700 | 700~800 |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 外型壁厚 | 20~25 | 20~30 | 25~35 | 30~40 | 35~45 | 40~50 | 45~55 |

双层铸型内、外型之间应有大于 1mm 的间隙。

2) 立式离心铸型也可以有双层结构(图 7-163), 它与离心铸造机的固定可参用悬臂铸型的方式, 也可用压杆(见图 7-157)、螺栓(见图 7-158)将铸型固定在机器的转台上。

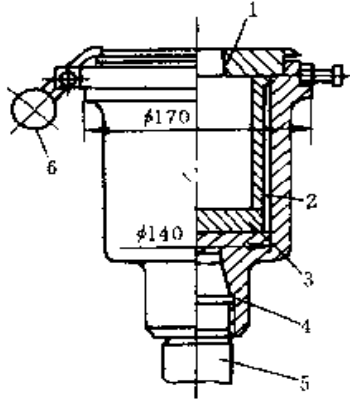


图 7-163 立式离心金属型

1—端盖 2—内型 3—垫块 4—外型
5—立式离心铸造机主轴 6—离心锤

3) 滚筒式离心铸型一般不需固定在机器上, 但它转动时必须平稳, 为此, 铸型与支承轮之间的位置关系应满足如图 7-164 的要求。

防止铸型轴向窜动的措施, 见表 7-245。

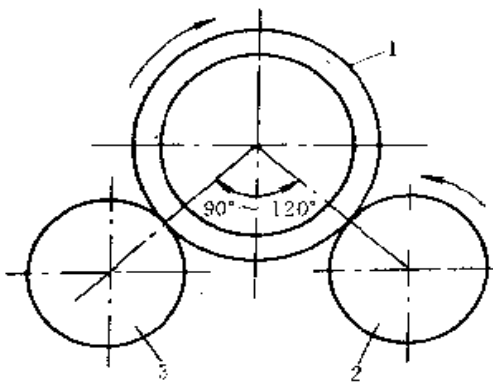


图 7-164 滚筒式铸型与支承轮的相对位置

1—铸型 2—主动支承轮 3—被动支承轮

表 7-245 防止滚筒式离心铸型轴向窜动的措施

| 序号 | 示意图 | 说明 |
|----|-----|--|
| 1 | | 利用支承轮上凸缘挡住铸型上凸起的滚道, 防止铸型轴向窜动。加工较简单, 但需用较粗的铸型毛坯 |

(续)

| 序号 | 示意图 | 说明 |
|----|-----|--|
| 2 | | 利用支承轮进入铸型外表面上凹进的滚道, 防止铸型轴向窜动。滚道宽度应稍大于支承轮宽度, 使铸型工作时具有热膨胀的余地。适用于不太长的铸型, 可用较细毛坯加工铸型 |
| 3 | | 利用支承轮挡住铸型滚道上的凸缘, 防止铸型轴向窜动。铸型加工稍复杂, 需用较粗毛坯, 铸型有充分的热膨胀余地 |
| 4 | | 利用一对支承轮中间的凸缘嵌入铸型上一个滚道中间的凹槽, 防止铸型轴向窜动。铸型加工复杂, 需用较粗的毛坯, 但铸型工作时的轴向窜动量最小, 有充分的热膨胀余地。铸型上凹槽底部转角处易于开裂 |
| 5 | | 利用固定在机座上的一对止推轮挡住装在铸型上的圆环, 防止铸型轴向窜动, 结构复杂, 适用于长的铸型 |
| 6 | | 用滚珠轴承把铸型支承在机架上, 轴承同时起防止铸型轴向窜动的作用。常用水冷金属型离心铸管机上(图略) |

4) 离心铸型端盖在固定时, 常用圆锥销(见图 7-155), 型上的销孔可为圆柱形。使用时应注意使销的细端朝外。圆锥销使用方便、工作可靠, 加工简

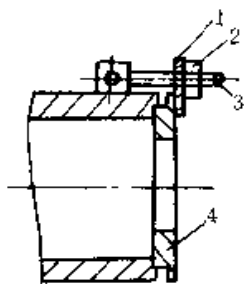


图 7-165 用压板固定端盖

1—压板 2—螺母 3—螺栓 4—端盖
单。但易损坏、丢失；也可用偏头螺栓（图 7-162a）
或离心锤（图 7-162b）。铸型旋转时，离心锤产生的

离心力，通过杠杆，作用力传至端盖上将盖压住；用压板（图 7-165）固定端盖时使用也很方便可靠。但后三种方法都会使铸型的制造复杂化。

7.6 离心铸铁管

铸铁管是城镇、工厂、工程中应用数量很大的铸件，主要用于给、排水，输送燃气、各种液体，除了排水管在工作时内部没有压力外，大多数铁管都需承受一定的压力。承受压力的铁管可为铁素体基体球墨铸铁管，一般铸态球铁管，或一般灰铁管。铁管的离心铸造法主要有三种，其工艺特点和优缺点比较，见表 7-246。

表 7-246 三种离心铸铁管的工艺特点和优缺点比较

| 方法名称 | 离心铸造工艺特点 | 优缺点 | 应用范围 |
|----------------|---|--|---|
| 水冷金属型离心铸管 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 采用内表面无内衬、外表面用水冷却的金属型 2. 采用可轴向相对移动的长浇注槽伸入型内浇注金属液 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 铸造工艺过程简单 2. 离心铸管机结构复杂，价格高。铸型价格高，寿命低，但机器生产效率高，自动化程度高 3. 铸态铁管上有白口，需经石墨化热处理后方能使用，故生产中需装备耗资大、占地多的热处理炉，使铁管成本提高 4. 车间污染较轻 | <p>主要用于生产铁素体基体球墨铸铁管，也有少数单位用此法生产铸态、排水铁管</p> <p>世界上名义直径 $\geq 300\text{mm}$ 的球墨铸铁管主要用此方法生产；用此法生产的铁管最大直径达 1600mm，长度达 8m。我国已能生产直径达 1000mm 的球墨铸铁管</p> |
| 树脂砂型离心铸管 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 在预热的金属型内表面上均匀铺一层 $3\sim 4\text{mm}$ 厚的热固性树脂砂 2. 在铸型一端或用轴向移动长浇注槽伸入型内浇注金属液 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 铸造过程复杂 2. 离心铸管机结构简单，铸型寿命高，但机器生产效率低 3. 铸态铁管为灰口组织，可不经热处理使用，但铁管材料的伸长率不能达到国际标准要求，需经热处理才能提高伸长率，球墨铸铁管内壁皱纹缺陷较多 4. 需同时使用较多铸型，积压资金较多 5. 浇注后，树脂砂析出大量有害气体，污染车间环境 | <p>可用来生产铸态球墨铸铁管、灰铁管和经热处理的铁素体球墨铸铁管</p> <p>在日本中、大口径球墨铸铁管都用此法生产，最大铁管直径达 2600mm，在我国已有工厂能用此法生产直径为 1m 左右的球墨铸铁管</p> |
| 涂料金属型离心铸管（热模法） | <ol style="list-style-type: none"> 1. 在预热的金属型内表面上均匀喷涂绝热性好的耐火涂料（薄层） 2. 在铸型一端或用轴向移动长浇注槽伸入型内浇注金属液 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 铸造过程稍复杂 2. 离心铸管机结构可根据自动化要求决定 3. 铸态铁管为灰口组织，可不经热处理使用，但铁管材料的伸长率不能达到国际标准要求，需经热处理才能提高伸长率 4. 不需同时使用较多铸型，铸型寿命长 5. 车间有灰尘污染 | <p>可用来生产铸态球墨铸铁管、灰铁管和经热处理的铁素体球墨铸铁管</p> <p>目前世界上大多数排水管用此法生产，我国也有数种排水管离心铸管机</p> <p>我国用此法生产的铸态球墨铸铁管直径最大为 600mm</p> |

7.6.1 水冷金属型离心铸管

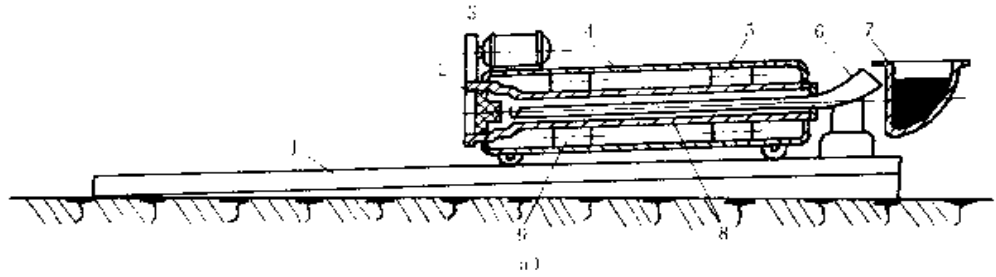
水冷金属型离心铸管的浇注过程，见表 7-247。

表 7-247 水冷金属型离心铸管浇注过程

I 序 说明

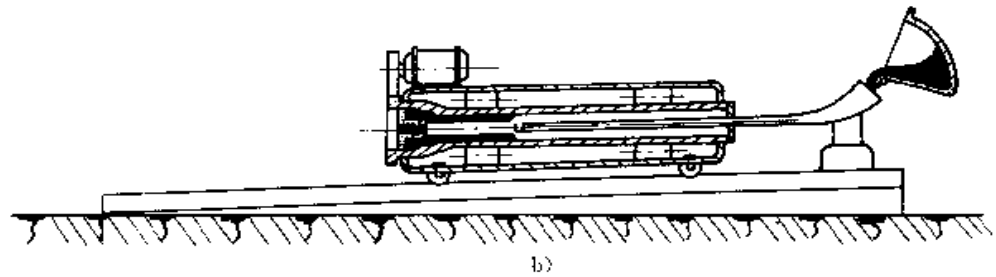
示 意 图

1. 扇形浇包中装满一根铁管所需的金属液，浇注槽伸入浸泡于水中的金属型内，其铁液流出口处于承口砂芯前面，电动机带动铸型转动，准备浇注

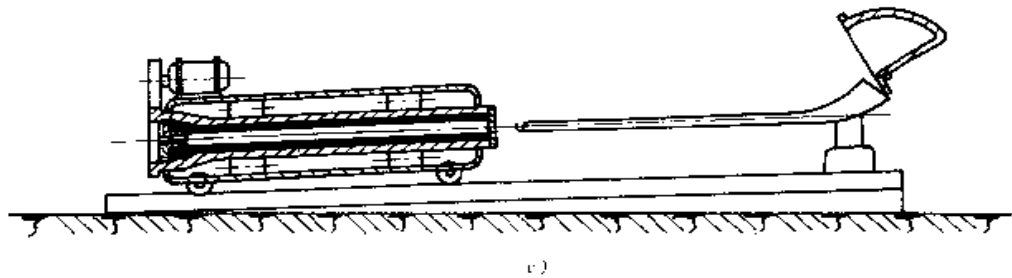


1—机座导轨 2—承口砂芯 3—电动机
4—机壳 5—压紧轮 6—浇注槽
7—扇形浇包 8—铸型 9—支承轮

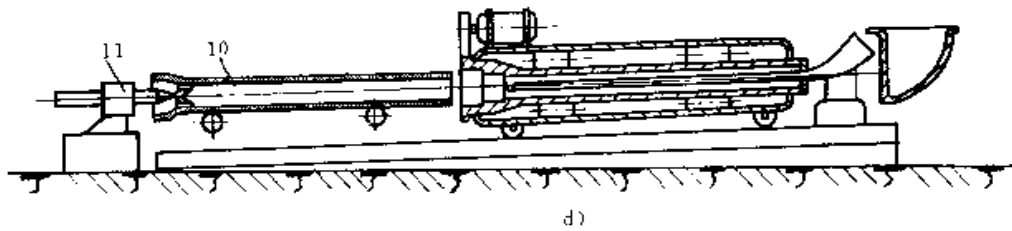
2. 扇形浇包翻转铁液沿浇注槽流入承口型腔空间，待承口型腔充满后，盛有循环冷却水和铸型的机壳向导轨下端等速移动，在浇注槽流出口处均匀流出的铁液以螺旋带的形式均匀地铺在铸型内表面上



3. 机壳移至最下端，铁液浇注完毕，浇注槽移出铸型，铁液全部凝固后，铸型停止转动

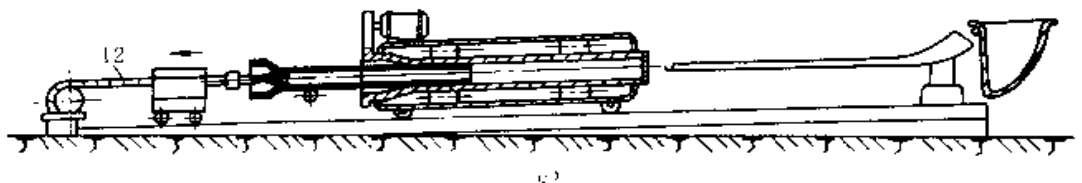


4. 拔管机伸入凝固的铁管内，张开钳爪，撑住铁管内壁，机壳向机座上端移动，铁管从型内拉出，由接管辊接住。已清理好的浇注槽又伸入型内，准备下一次的浇注



10—铁管 11—拔管机

5. 拔管机钳爪伸入凝固的铁管内，张开钳爪，把铁管从型内拔出。此后机壳向上移动，回至准备浇注位置



12—拔管机

水冷金属型离心铸造球墨铸铁管浇注时，采取往浇注槽铁液中撒孕育剂和在铸型壁上撒孕育剂的瞬时

孕育措施。球墨铸铁管的浇注温度为 1330~1350℃。

图 7-166 是水冷金属型离心铸管机。

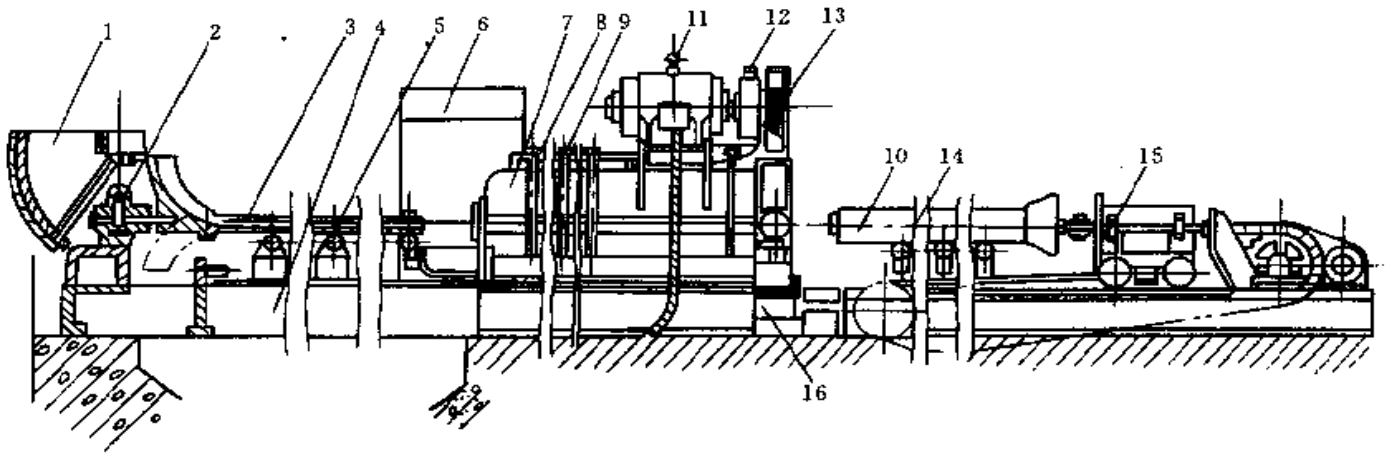


图 7-166 具有表 7-247, 5 工序拔管机的水冷金属型离心铸管机

- 1—扇形浇包 2—翻包机构 3—浇注槽 4—机座 5—活动浇槽支撑轮 6—防铁液飞溅挡板
- 7—机壳 8—冷却水进水管 9—排水管 10—铁管 11—电动机 12—变速器
- 13—皮带传动装置 14—接管臂 15—拔管机 16—移动机壳的液压缸

金属型的材料为含铬、钼的低合金钢（如 25Cr2Mo、20CrMoV、21CrMo10、30CrMo、34CrMo4 等），钢中重要元素的波动范围为 C0.08%~0.37%、Si0.15%~0.50%、Mn0.4%~0.8%、Cr0.9%~2.6%、Mo0.3%~0.55%、V0%~0.3%、P≤0.01%~0.006%、S≤0.01%~0.005%。

铸造球墨铸铁管用金属型内表面在衍磨后用气冲小钢球打圆形小坑，以提高铸型寿命，一般中小口径铁管的金属型正常工作浇注寿命为 1000~2000 次。金属型失效的主要原因是内表面上出现网状裂纹，这种裂纹不能去除、无法修补、妨碍拔出铁管，并促使铁管外表面产生针孔。

为预防细长金属型在工作时的变形，生产名义直径不大于 150mm 铁管的铸型，常采用双层结构（图 7-167）。

承口砂芯可用热芯盒树脂砂、冷芯盒树脂砂、油砂、合脂砂等用吹砂法或手工制作。

水冷金属型离心铸造的球墨铸铁管需在隧道贯通式连续作业的炉中进行石墨化、铁素体化退火，其退火曲线见图 7-168。

退火后的球墨铸铁管还需经外表面喷锌或涂沥青，内表面刷涂料或铺水泥层等后处理工序才能入库。

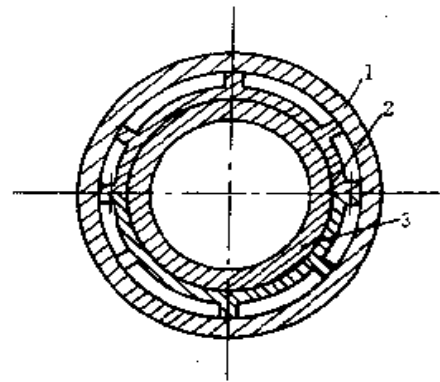


图 7-167 水冷金属型离心铸管用双层铸型
1—外型 2—支撑半环 3—内型

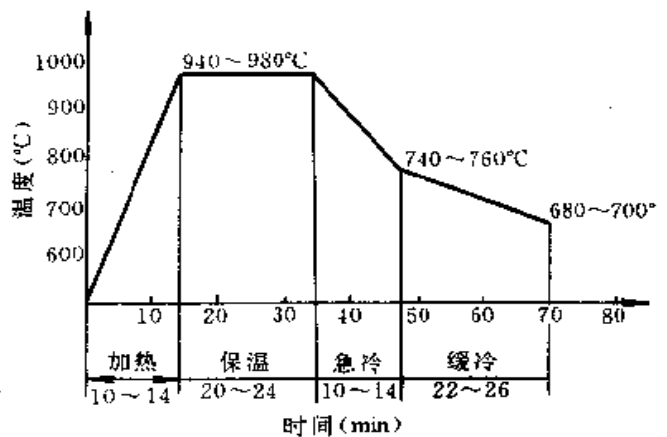


图 7-168 水冷金属型离心铸管的退火曲线

7.6.2 树脂砂离心铸管

树脂砂离心铸管的工序见图 7-169。

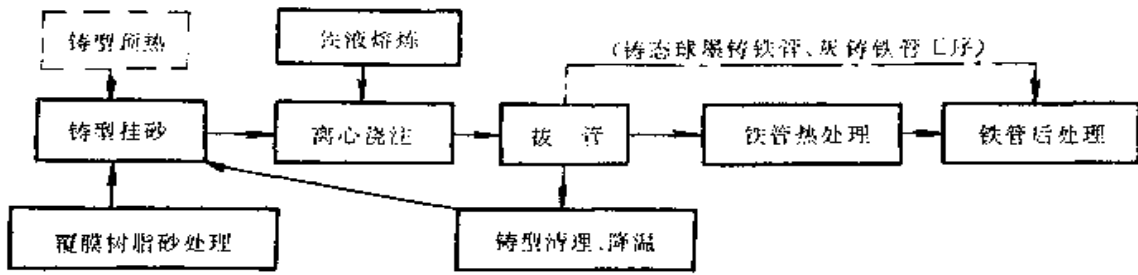


图 7-169 树脂砂离心铸管工序

树脂砂型离心铸管机示意图见图 7-170。

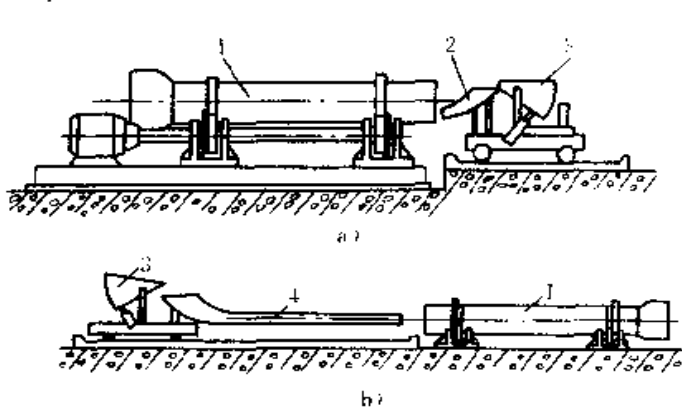


图 7-170 树脂砂型离心铸管机示意

- a) 短浇注槽树脂砂型离心铸管机 (当铁管直径 $> 300\text{mm}$)
- b) 长浇注槽树脂砂型离心铸管机 (当铁管直径 $> 300\text{mm}$)
- 1—铸型 2—短浇注槽 3—翻转浇包 4—长浇注槽

铸型可用低铬钼合金钢、碳钢或灰铸铁制成，型壁上均布直径为 $2 \sim 3\text{mm}$ 的贯穿排气孔。在长 U 形槽内均匀放好覆膜砂，在温度为 $200 \sim 240^\circ\text{C}$ 的旋转铸型中翻转 U 形槽把砂均匀地铺在铸型表面、硬化。图 7-171 为铸型挂砂过程。

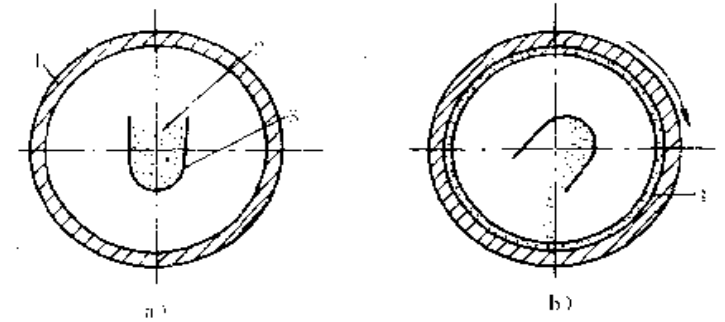


图 7-171 树脂砂型挂砂过程

- a) 砂槽处于旋转铸型中 b) 砂槽翻转铺砂
- 1—铸型 2—覆膜砂 3—U 形槽 4—铺在型上的砂层

一般分两次铺砂，第一次铺的砂粒较粗（粒度分组代号为 15），第二次铺的砂粒较细（粒度分组代号为 10）。

浇注时的铸型转速可按重力系数 $G = 29$ 估算，凝固后的铁管先用液压缸自插口端顶，使铁管在型内松动，再用卷扬机把铁管从型内拖出。树脂砂型离心铁管的后处理与水冷金属型离心铁管同。

7.6.3 金属型涂料离心铸管（热模法）

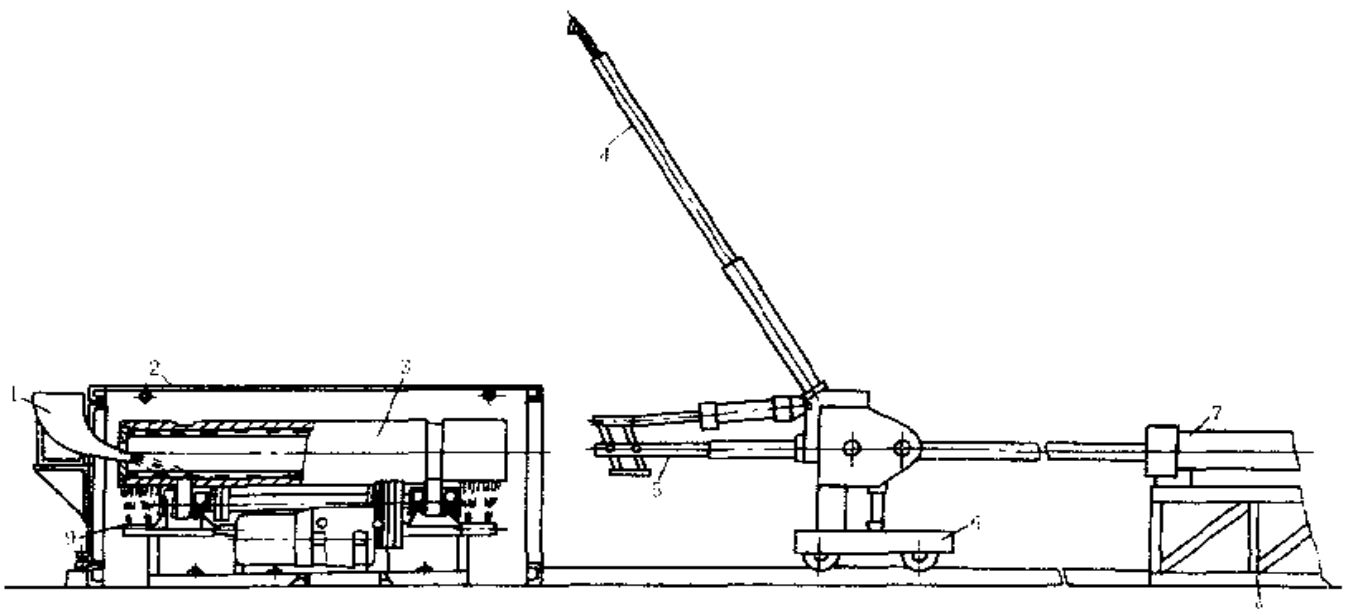


图 7-172 涂料金属型离心铸管机

- 1—牛角浇嘴 2—安全罩 3—铸型 4—喷涂料管 5—拔管钳 6—喷拔小车 7—油缸 8—油缸架

图 7-172 为涂料金属型离心铸管机。在喷拔小车 6 上的喷涂料管 4 可绕轴旋转成水平位置向铸型内喷涂料。

涂料的组成和喷涂料的工艺，见表 7-248。

7.7 离心铸铁轧辊

铸铁轧辊广泛应用于轧钢、食品加工、橡胶加工、造纸工业中，是一种承受较大载荷又需表面耐磨的制品。为满足此种工作性能的要求，常采用离心铸造法制造辊身外层为白口铸铁、合金白口铸铁或激冷铸铁组织，内层和辊颈为能承受冲击、弯曲载荷的高强度铸铁的双金属复合轧辊。

图 7-173 是三种铸铁轧辊的离心铸造机，表 7-249 是浇注工艺特点和优缺点比较。

表 7-248 离心铸管用涂料组成和喷涂料工艺

| 铁管种类 | 涂料组成 | 喷涂工艺 |
|---------------------------|--|--|
| 铸态球铁管 $\phi 300 \sim 600$ | 硅藻土 ^① : 60 份, 膨润土浆 (浓度约 10%): 36 ~ 40 份, 水: 200 份 | 铸型转速 300 ~ 200r/min, 喷涂小车移动速度: 0.6m/s, 喷涂遍数: 来回 8 ~ 13 次, 涂料层厚度 1.2 ~ 1.5 次 mm |
| 排水灰铸铁管 | 1) 硅藻土 ^② 5 ~ 10 份, 膨润土 0.3 ~ 1 份, 水 30 份 2) 硅石粉 3 份; 硅藻土 5 份, 膨润土 1 份, 水玻璃 0.1 ~ 0.3 份, 水 30 份 | 喷涂一个来回、涂料厚度 0.3 ~ 1.5mm |

①硅藻土中 SiO_2 含量大于 91%，粒度小于 $50\mu m$ ，灼减小于 0.25%。

②硅藻土中 SiO_2 可稍少，粒度可稍粗。

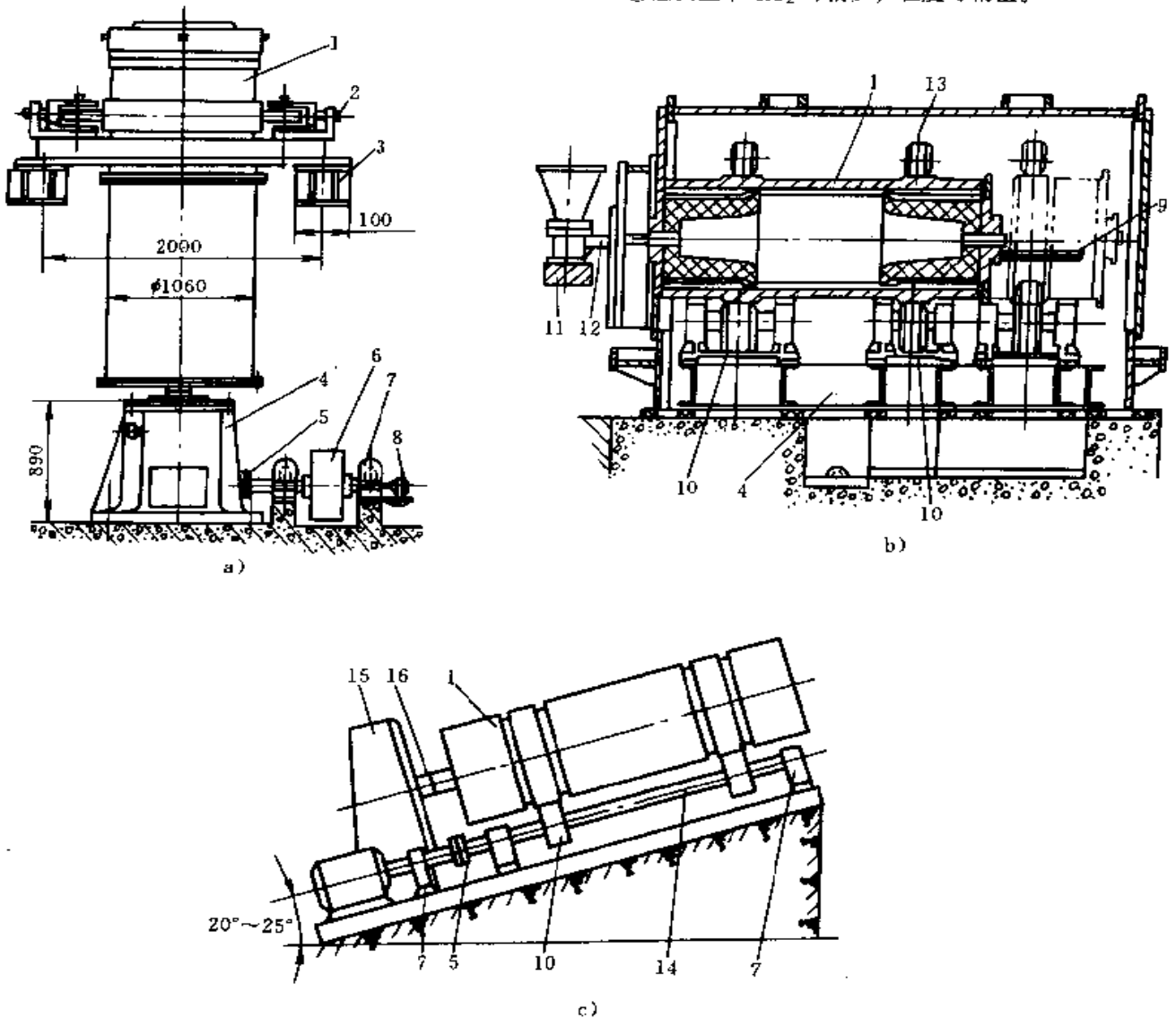


图 7-173 三种铸铁轧辊离心铸造机

a) 铸铁轧辊立式离心铸造机 b) 铸铁轧辊卧式离心铸造机 c) 铸铁轧辊倾斜式离心铸造机

1—铸型 2—支承轮架 3—横梁 4—机座 5—联轴节 6—带轮 7—轴承座 8—转速传感器 9—冷却水管
10—支承轮 11—浇嘴支架 12—浇嘴 13—压轮 14—传动轴 15—止推轴承座 16—弹性隔片

表 7-249 三种离心铸造铸铁轧辊方法的比较

| 铸造方法 | 立式离心铸造 | 卧式离心铸造 | 倾斜式离心铸造 |
|--------|--|---|--|
| 浇注工艺特点 | 铸型高速时浇注辊身外层金属, 后在铸型低速时浇注轧辊中部和辊颈的金属, 得到实心的轧辊铸坯 | 1. 把辊身铸型放在离心铸造机上浇注辊身外层金属, 然后从机器上取下铸型与辊颈砂型组装在一起直立而立, 再浇注辊身中部和辊颈的金属, 得到实心轧辊铸坯 2. 把组装好的铸型装在离心铸造机上(图 7-173b), 铸型低速旋转浇注辊身外层金属, 后提高铸型转速浇注辊身中部和辊颈的金属, 得到中空或实心的轧辊毛坯 3. 把辊身铸型装在离心铸造机上, 浇注辊套, 辊套加工后与辊颈组装在一起 | 与立式离心铸造相似, 但在浇注中部金属时, 铸型应竖立起来 |
| 优缺点比较 | 1. 铸造过程简单, 制造实心轧辊方便 2. 辊身外金属层厚度不均匀 3. 安装铸型较难, 不宜生产长度较大的轧辊 4. 机器结构复杂 | 1. 生产实心轧辊时, 铸造过程复杂 2. 辊身外金属层厚度均匀 3. 能生产中空轧辊和辊套 4. 可生产长度较大的轧辊 5. 机器结构简单 | 1. 铸造过程较复杂, 制造实心轧辊 2. 辊身外金属层的厚度不均匀程度减轻 3. 安装铸型较难, 不宜生产长度较大的轧辊 4. 机器结构复杂 |

形成辊身的铸型常为金属型, 可用磷酸铝作粘结剂的水基高铝粉涂料或其它成分的高强耐火涂料在铸型(预热温度节约为 240℃)转动情况下进行涂挂或喷涂, 涂料层厚度为 1.5~4mm。挂完涂料后的铸型在浇注前需在 200~400℃保温数小时。

铸型转速可按 $G = 70 \sim 110$ 或 $\beta = 1.2$ (式 7-7.9) 选取。

为防止外层金属自由表面在型内时出现氧化, 阻碍内、外层金属的相互结合, 可在浇注外层金属的同时, 往浇注的铁液中撒抗氧化剂(表 7-239 抗氧化渣剂), 其用量为每平方米自由表面撒 2.7~3.3kg。浇注辊身中部金属时, 外层自由表面的温度应为约 1100℃。

为消除应力, 铸得的轧辊毛坯需经 3~6 月自然时效处理或在 400~600℃中保温 5~35h 的人工时效处理。也常根据要求进行其它热处理。

7.8 离心铸造气缸套

中、小型气缸套主要在悬臂式离心铸造机上生产, 也可采用一次浇注得两个铸件长度毛坯的方法, 在滚筒式离心铸造机上生产; 大型柴油机用气缸套则主要用滚筒式离心铸造机生产。所用的悬臂式离心铸造机见图 7-155。

一般采用金属型离心铸造、砂型(或芯砂型)离心铸造法生产气缸套, 铸型结构见图 7-174, 两种不同铸造工艺方法的比较见表 7-250。

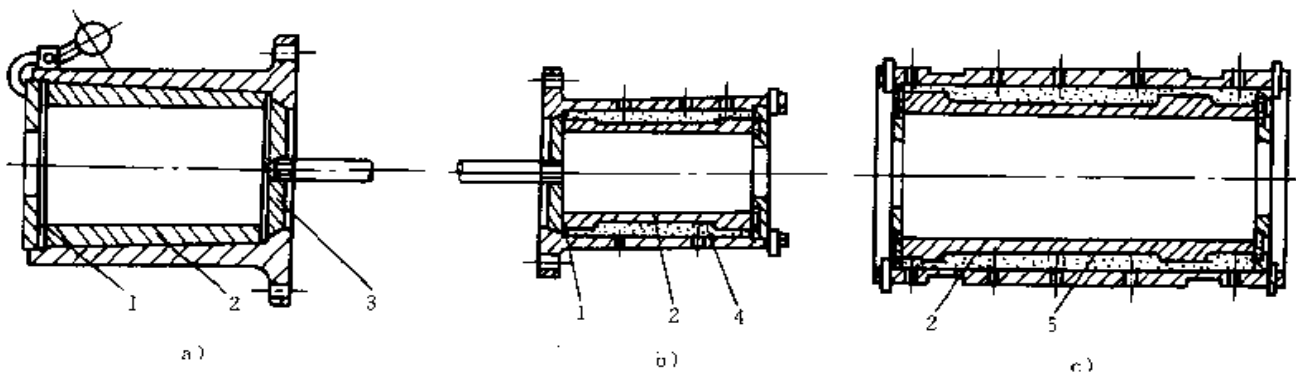


图 7-174 气缸套离心铸型

a) 悬臂离心金属型 b) 悬臂离心芯砂型 c) 滚筒离心砂型

1—石棉垫 2—铸件 3—推板 4—砂芯 5—砂衬

表 7-250 不同铸型离心铸造气缸套比较

| 金属型离心铸造 | 砂型(芯)离心铸造 |
|---|---|
| 1. 工艺简单, 生产效率高 2. 铸件外表面上有铸造斜度, 不能铸得成形外表面, 铸件加工量大, 消耗金属多 3. 铸件金相组织不易控制 | 1. 工艺复杂, 生产效率低, 铸型消耗费用增大 2. 铸件外表面上可有一定形状, 可直接铸出冷却水凹槽, 减少铸件加工量, 节省金属 3. 较易控制铸件金相组织 |

金属型离心铸造气缸套用涂料见表 7-251。砂芯可用树脂砂制成, 在工作表面刷快干石墨粉涂料; 砂型可用水玻璃砂等春实, 然后用加热或化学法硬化, 砂型表面刷石墨粉涂料。

铸型转速按 $G = 40 \sim 90$ 选择。

表 7-251 金属型离心铸造缸套用涂料配方

| 序号 | 成分 [质(重)量份] | | | | | | | | | | | | |
|----|-------------|-----|-----|-------|-----|------|----|------|-------------|----------|-----|---------|----|
| | 硅石粉 | 硅砂 | 铝矾土 | 滑石粉 | 长石粉 | 膨润土 | 粘土 | 水玻璃 | 糠醇 | 硬化剂 | 石墨粉 | 洗衣粉 | 水 |
| 1 | 100 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | 100 | | | | | | | 3 | 0.45~0.6 | | | |
| 3 | 71~78 | | | | 10 | | | 2 | | | | | 适量 |
| 4 | | | 100 | | | | | 8~15 | PVA 0.5~1 | | | | 适量 |
| 5 | | | 100 | 4 | | 5~15 | | | PVA 0.2~1.2 | | | | 适量 |
| 6 | 77~78 | | | 15~17 | | 7~8 | | | | | | 0.3~0.4 | 适量 |
| 7 | 69.7 | | | 20 | | 10 | | | | | | 0.4 | 适量 |
| 8 | 68 | | | | | 12 | | | | | 20 | 0.7~1.0 | 适量 |

7.9 离心铸造钢管

离心铸造钢管主要用来生产加热炉辊道、辐射管, 轧制合金钢管的毛坯, 炼镁用反应罐、石油化学工业用裂解管、反应管等, 他们的材料主要为含铬和镍的耐热、耐腐蚀、耐酸合金钢, 如 3.5Cr24Ni14Nb、4Cr25Ni20Mo、3Cr24Ni17、3Cr24Ni24Nb、4.2Cr25Ni35、2Cr14Ni、1.3Cr17Ni9Mo2 等。

上述铸件主要在滚筒式离心铸造机用三种铸型生产, 其工艺过程和相互比较, 见表 7-252。

表 7-252 三种离心铸造钢管工艺比较

| 名称 | 铺干砂型离心铸造 | 涂料金属型离心铸造 | 树脂砂型离心铸造 |
|------|--|---|--|
| 工艺特点 | 在旋转的铸型中伸长装有干砂的 U 形槽, 翻转 U 形槽, 在铸型表面均匀地铺一层 1.5~3mm 厚的干砂层。然后在铸型中用短浇注槽离心浇注在钢液掉落处可能产生冲砂, 可在钢液落点处专门装一个向铸型另一端扩大的筒形干型芯 所用于砂可为纯净的硅砂 | 在预热至 250℃ 左右的旋转铸型内表面用涂挂法或喷涂法铺上一层耐火度高、强度大、又易自铸型中和铸件一起带出、在铸件冷却过程中又能自行脱落的涂料层。涂料层厚度为 1.5~3mm。带有涂料的铸型在 400℃ 下保温烘干数小时, 而后进行热型短浇注槽离心浇注 | 在预热至 250℃ 左右的铸型中, 放入装有覆膜树脂砂的 U 形槽, 在铸型旋转情况下翻转 U 形槽, 在铸型内表面上均匀地铺一层厚度为 2~3mm 的硬化树脂砂层。用短浇注槽离心浇注钢液 |
| 优缺点 | 工艺过程简单 适于浇注厚壁钢管 外表面上有一层在铸件热处理过程可脱落的粘砂层, 故外表面尺寸精度稍差。此法现已淘汰 | 工艺过程复杂 铸件外表面质量较好, 适于浇注薄壁钢管 有时铸件外表面上会出现椭圆浅凹陷或凹陷处有一块粘附不太牢固蘑菇状金属的缺陷 | 工艺过程简单 在浇注中、小型铸件时, 外表面品质(质量)好 在铺砂时对铸型预热温度的控制要求较严 |

离心铸造钢管时铸型的涂料主要由耐火骨料(焙烧过的锆英粉、刚玉粉、莫来石粉、硅石粉、硅砂或铝矾土 100 份)、粘结剂(可为硅溶胶、水玻璃、磷酸铝、硅酸乙酯水解液 4~10 份)和适量的水组成。为改善涂料的悬浮性, 可在涂料中加入 1~5 份的膨润土和 1 份 CMC。为使铸件凝固后, 涂料能粘附在铸件上, 与铸件一起从型中取出来, 同时铸件于空气中冷却过程中涂料从铸件上剥落下来, 可在涂料中加入 1~5 份使涂料层在高温时烧结的矿化剂。矿化剂由碱性氧化物(如 Fe_2O_3 、 Na_2CO_3 等)和熔剂(如萤石等)组成。

7.10 离心铸造钢背轴套

钢背轴套外层为碳钢、内层为轴承合金(如巴氏合金、锡青铜、铅青铜等)的圆套形铸件, 可加工为轴套或轴瓦。常用在钢套内壁离心浇注轴承合金的铸造工艺。

钢套及其附件在使用前需用浓盐酸除锈、苛性钠碱液除油的处理。可在用清水洗干净后, 干燥场合短期存放。

离心浇注内层金属的方法主要有两种：

1) 开放式离心浇注 当内层金属为巴氏合金时，干净的钢套涂一层氯化锌（另加 10% 氯化铝）的水溶液，干燥后，在钢套外表面上涂一层含有少量水玻璃的泥浆；干燥后，把钢套浸入熔融锡液中，使钢套内表面粘上一层锡。然后迅速把钢套放到卧式离心铸

造机卡盘上，向转动的钢套中浇入定量巴氏合金液，待几秒钟，用水雾冷却钢套外表面，温度降至 60~70℃ 时取下铸件。

如内层金属为青铜，钢套内表面覆盖硼砂，进行离心浇注。离心浇注的两种工艺方法，见图 7-175。

2) 封闭式离心浇注 主要用于浇注青铜内层。

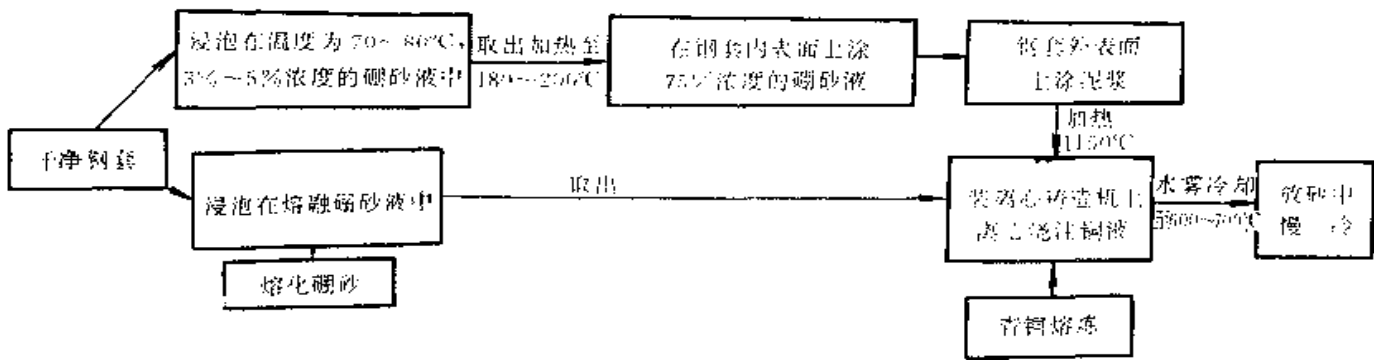


图 7-175 钢背轴套开放式离心浇注青铜的两种工艺

将洗净涂好硼砂溶液的钢套和底板（厚度 4~10mm），用辊压或焊接法联结在一起封住钢套的一端。在钢套内放入定量经碱洗除油又清洗干燥的青铜屑（或颗粒），其中混入约 0.5% 经煅烧后的硼砂，再加少量磷铜、碳块。在钢套上端焊或滚压上中心开有直径为 2~4mm 小孔的盖板。然后在加热炉加热到 1100~1150℃，待钢套内铜屑充分熔化后，取出迅速

装在离心铸造机上转动，并用水雾冷却至约 600℃，而后在砂中缓慢冷却。

也可将涂好硼砂的钢套用中心带有小孔的石棉垫做底，装好铜屑、硼砂等，盖上石棉垫，装入专门的离心铸造机（图 7-176），用感应圈加热熔化套内铜屑，而后快速转动钢套，使内层铜液离心成形，用水雾冷却至约 600℃，取下放砂中缓冷。

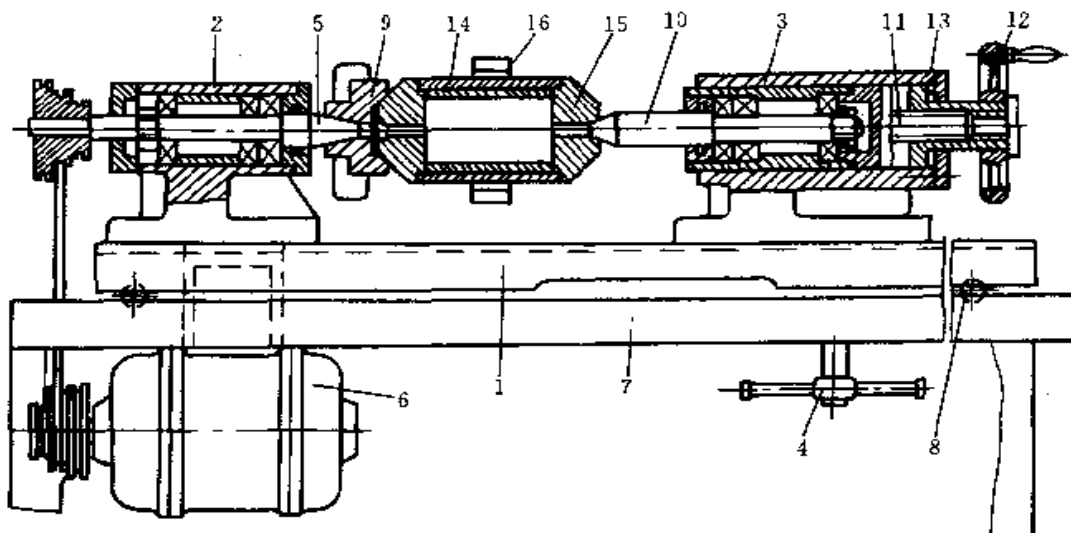


图 7-176 感应加热钢背铜套离心铸造机

- 1—可动工作台 2—前顶座 3—后顶座
- 4—固定手把 5—主轴 6—电动机 7—床身 8—轮
- 9—转盘 10—顶轴 11—螺杆 12—手轮 13—橡皮垫 14—钢套
- 15—端盖 16—感应圈

钢背轴套离心浇注青铜或巴氏合金时的铸型转速，可按 $G = 30 \sim 60$ 代入式 (7-7.11) 估算。

8 消失模铸造

8.1 概述

8.1.1 铸造原理

消失模铸造曾经有很多一般和专用名称，1990年美国铸造学会消失模铸造委员会正式采用消失模铸造（Expendable Pattern Casting 或缩写 EPC）作为这一工艺的通用标准名。

消失模铸造是用泡沫塑料模代替铸模进行造型，模样不取出，直接浇注金属液，金属液烧失模样而得到理想铸件的一种铸造方法。

8.1.2 工艺过程

大批量负压干砂消失模铸造生产的工艺过程如图 7-177 所示。

8.1.3 分类

根据铸型材料的特点，消失模铸造主要分为两类，见表 7-253。

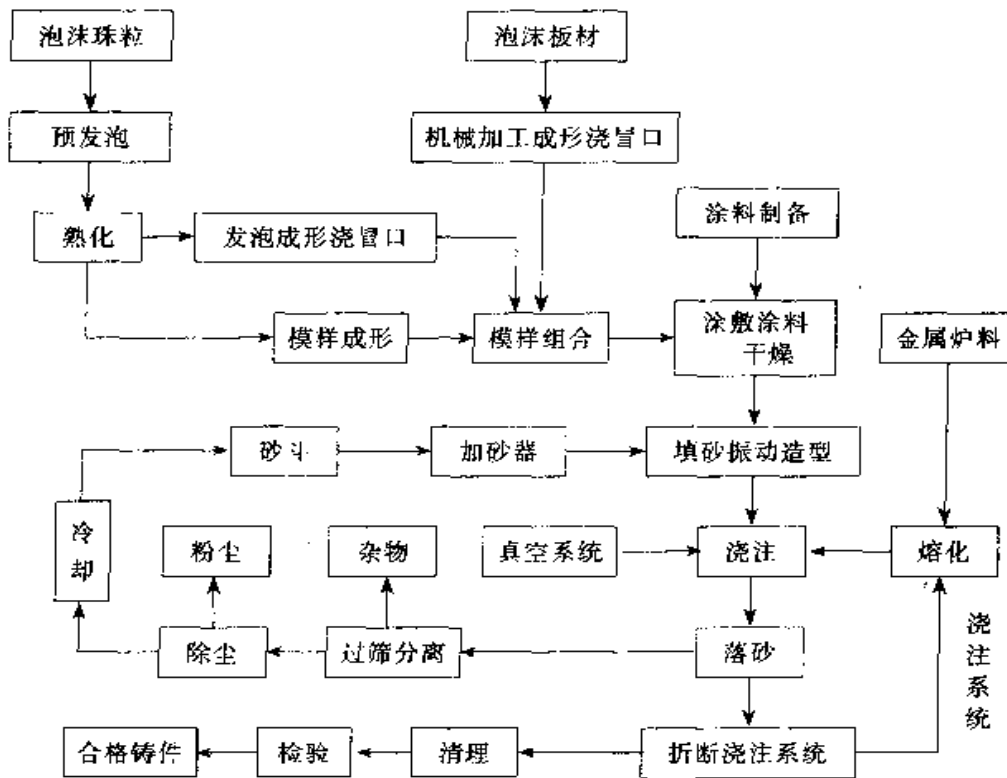


图 7-177 干砂负压消失模铸造工艺过程图

表 7-253 消失模铸造分类

| 种类 | 工艺特点 | 主要应用范围 | 典型铸件举例 |
|----------|----------------------|------------|-----------------|
| 自硬砂消失模铸造 | 模样由板材加工而成；自硬砂造型 | 单件小批生产中、大件 | 汽车覆盖件、冲压模具、机床床身 |
| 干砂消失模铸造 | 模样由预发珠粒在模具中发泡成形；干砂造型 | 成批大量生产中、小件 | 进排气管 |

8.1.4 铸造特点

(1) 优点

1) 铸件的尺寸、形状准确，重复性好，具备精密铸造铸件的特点，可减少机械加工余量；

2) 不用型芯、不用合型、不取模，使造型工艺大大简化，并消除了由制芯、取模、合型引起的铸造

缺陷及废品；

3) 由于采用无粘结剂、无水分、无任何附加物的干砂，根除了由水、附加物和粘结剂引起的各种铸造缺陷；并使砂处理系统大大简化，取消了混砂工序，落砂极易实现，落砂工作量及劳动强度大大降低；

4) 铸件表面品质(质量)主要取决于模样的表面品质(质量),而在原料选用合适、工艺参数合理、模具表面粗糙度细的情况下,可得表面品质(质量)很好的模样和铸件;

5) 由于不分型,铸件无飞翅毛刺,使清理打磨工作量减少50%以上;

6) 大大改善了工人的工作条件,对工人的技术熟练程度要求大大降低;

7) 投资少,见效快。

(2) 缺点

1) 铸造生产厂家对泡沫塑料模制作工艺、热解及充型特性不熟悉,必须重新学习;

2) 制作泡沫塑料模的模具设计及生产周期长,成本较高,因而要求产品有相当的批量才合算。

3) 尺寸大的模样较易变形,须采取适当的措施。

8.2 成形基础理论

8.2.1 铸型的充填

由于型腔中泡沫塑料的存在,与传统的空腔铸造相比,消失模铸造不仅充填速度要慢,而且充填形态也有明显的不同。

在消失模铸造中,由于泡沫塑料的绝热作用,充型过程中只有流动前沿附近的泡沫塑料发生熔化、气化,流动前沿的流形总是从内浇道开始以放射弧状依次向前推进,如图7-178。在负压存在的前提下,厚壁铸件还存在所谓的附壁效应,即金属液会沿着铸型壁先行,如图7-179a所示。负压力度越高,附壁效应越严重。

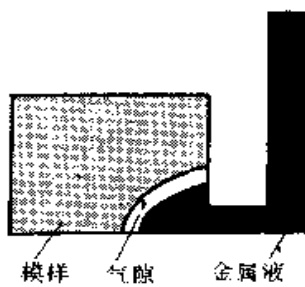


图 7-178 充型示意图

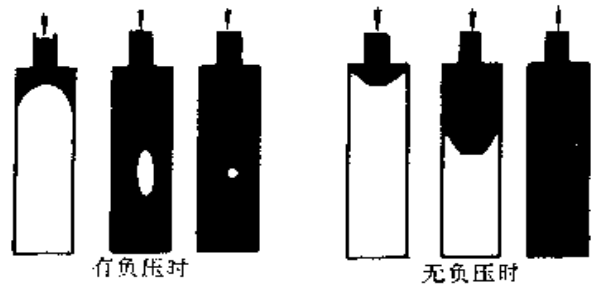


图 7-179 附壁效应示意图

消失模铸造充填速度主要受模样的分解、分解产物的逸出、分解产物的背压的控制。降低模样密度,提高涂料和型砂的透气性,提高浇注温度和真空度都有助于提高充型速度。在一定范围内提高金属压头和加大浇口面积也能提高充填速度。

8.2.2 聚苯乙烯的热解特性及其与铸件品质(质量)的关系

聚苯乙烯(以下简称EPS)在75℃开始软化收缩,164℃开始熔融成液体,316℃开始气化,高分子解聚为低分子聚合物,576℃开始裂解燃烧。图7-180为模样在金属液作用下的状态示意图。表7-254给出了EPS泡沫塑料在不同温度下的热解产物的组成。

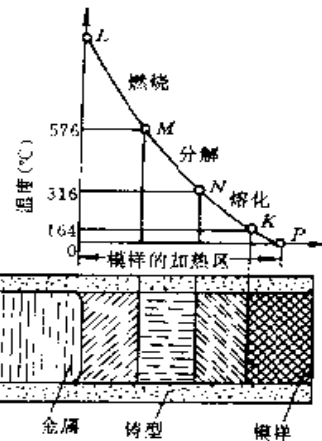


图 7-180 模样在金属液作用下的状态示意图

表 7-254 各种温度下 EPS 热解产物的组成 W_B (%)

| 物 质 | 温 度 (°C) | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|----------|-----|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 | 1500 |
| 氢 H_2 | — | — | T | 0.01 | 0.5 | 1.5 | 3.0 | 4.5 | 6.0 | 8.0 | 9.0 | 10.0 | 10.5 | 11.0 | 11.5 |
| 一氧化碳 CO | — | 0.2 | 0.5 | 2.0 | 6.0 | 7.5 | 8.5 | 10.5 | 11.5 | 11.5 | 12.5 | 10.5 | 9.0 | 7.5 | 5.0 |
| 甲烷 CH_4 | — | T | 0.15 | 1.0 | 4.0 | 8.5 | 9.0 | 11.5 | 16.0 | 19.5 | 15.0 | 13.0 | 10.5 | 9.0 | 8.0 |

(续)

| 物质 | 温度 (°C) | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|---------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 | 1500 |
| 二氧化碳 CO ₂ | — | 0.1 | 2.0 | 4.0 | 12.5 | 17.5 | 20.0 | 16.5 | 8.5 | 6.0 | 4.0 | 2.5 | 1.0 | 0.5 | T |
| 乙炔 C ₂ H ₂ | — | — | 0.1 | 0.5 | 1.0 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 10.0 | 12.5 | 11.0 | 9.5 | 8.0 |
| 乙烯 C ₂ H ₄ | — | T | 0.5 | 1.0 | 4.0 | 5.5 | 6.0 | 7.5 | 6.0 | 4.0 | 3.5 | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 1.2 |
| 乙烷 C ₂ H ₆ | — | T | 0.1 | 0.5 | 1.0 | 3.0 | 5.0 | 7.0 | 4.0 | 2.5 | 1.5 | 1.0 | 0.5 | 0.2 | 0.05 |
| 丙烯 C ₃ H ₆ | — | T | 0.15 | 0.5 | 1.5 | 3.0 | 4.5 | 2.5 | 1.0 | 0.5 | 0.1 | T | — | — | — |
| 戊烷 C ₅ H ₁₂ | 0.01 | 0.15 | 0.25 | 0.5 | 1.5 | 0.5 | 0.08 | 0.01 | T | — | — | — | — | — | — |
| 苯 C ₆ H ₆ | — | 0.05 | 0.5 | 3.0 | 6.0 | 14.0 | 16.0 | 10.5 | 7.0 | 4.0 | 3.0 | 2.0 | 1.0 | 0.5 | 0.02 |
| 甲苯 C ₇ H ₈ | — | 0.05 | 0.5 | 3.5 | 6.5 | 8.0 | 4.0 | 2.0 | 1.5 | 1.0 | 0.5 | 0.3 | 0.1 | 0.01 | T |
| 苯乙烯 C ₈ H ₈ | T | 0.05 | 23.5 | 62.0 | 45.0 | 20.0 | 10.0 | 5.0 | 3.5 | 2.0 | 1.5 | 1.0 | 0.6 | 0.3 | 0.06 |
| 苯乙烷 C ₈ H ₁₀ | — | — | T | 0.1 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 0.8 | 0.5 | 0.1 | 0.05 | 1 | — | — | — |
| 炭黑 | — | — | — | — | — | 6.0 | 10.0 | 17.0 | 21.0 | 25.0 | 30.0 | 35.0 | 43.0 | 50.0 | 57.0 |
| 残余物 | 99.5 | 96.5 | 70.0 | 20.0 | 8.0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 混合气体量 (cm ₃ /g) | 10.0 | 25.0 | 50.0 | 100.0 | 150.0 | 200.0 | 350.0 | 500.0 | 650.0 | 800.0 | 900.0 | 950.0 | 1000.0 | 1050.0 | 1100.0 |
| 总计 | 99.5 | 98.0 | 98.2 | 98.6 | 98.0 | 98.0 | 100.0 | 98.3 | 90.5 | 91.1 | 90.6 | 90.3 | 89.2 | 90.0 | 90.8 |

注: T=微量。

对于高熔点的黑色金属, 会形成大量的气体和碳, 促使气孔和碳质缺陷形成。对于铸钢件, 特别是低、中碳钢件, 会产生增碳现象, 最大增碳可达 0.6%, 而且增碳分布很不均匀。对于低熔点的铸铝件, 金属与模样界面间的分解产物主要为液体, 对成分无影响, 主要是带来冷隔和浇不到等缺陷, 使铸铝件表面失去银白色光泽。

8.3 模样材料及制模技术

8.3.1 制模原材料

对铸造专用的 EPS 珠粒的要求:

- 1) 相对分子质量偏高 (20~50 万); 一般包装用珠粒相对分子质量仅为 5~10 万;
- 2) 有足够的发泡剂含量 (戊烷含量大于 5.5%);
- 3) 较高的发泡倍率 (约 40 倍左右)。

铸件最薄断面上必须有三颗以上的珠粒, 以保证表面光洁。铝合金铸件实型模样用的粒子可偏小些, 而铸铁或铸钢件实型模样用的粒子则应偏大一些, 因为铝合金允许实型模样密度可以偏大 (0.022~0.026g/cm³), 而钢铁铸件则要求实型模样密度偏小 (0.016~0.022g/cm³)。EPS 珠粒直径可按表 7-255 提供的参数选择。

表 7-255 铸件壁厚与 EPS 珠粒直径关系参数值

| 铸件壁厚 (mm) | EPS 原珠粒直径 (mm) | 预发泡后直径 (mm) |
|-----------|----------------|-------------|
| 3~4 | 0.3~0.4 | 0.9~1.2 |
| 4~5 | 0.4~0.5 | 1.2~1.5 |
| >5 | 0.5~0.76 | 1.5~2.5 |

目前国内尚无专用于负压消失模铸造用的珠粒出售, 多采用进口珠粒或选用包装行业用的珠粒。在国内产珠粒中, 经分析比较, W301 和 W302 珠粒子基本能满足简单的和中等复杂、壁较厚铸件的生产要求。

为了解决采用 EPS 钢铁铸件特别是低碳钢易产生碳质缺陷, 国内外先后有几种代用产品, 其中应用最广泛的是 PMMA (聚甲基丙烯酸甲酯) 和 PMMA 和 EPS 的共聚物。

珠粒中含有约 4%~8% 的发泡剂 (一般为戊烷), 容易挥发, 最好低温密封保存。

8.3.2 模具结构

制造泡沫塑料模样的发泡模具受周期性加热和冷却, 在水和水蒸气的反复作用下工作, 要求材料导热性能好、低热容量、耐腐蚀性好、强度高、价格便宜。常见的发泡模具材料有铝合金、不锈钢、碳素钢。其中铝合金质 (重) 量轻, 导热性好, 强度和耐

蚀性能好，还可以加工出相当光洁的模具表面，在生产上应用最普遍。

设计模具时，应考虑以下原则：

1) 准确的形状和尺寸，每个型腔背面必须进行仿形加工，以保证均匀壁厚，达到均匀加热和冷却的目的；

2) 铝合金模具壁厚一般为8~15mm，钢模具一般为3~5mm；

3) 加料装置必须保证良好的珠粒充填效果；排气塞面积约为模具型腔总面积的2%，其中心距一般为25mm，其设置应与对面工作面上排气塞错开；

4) 模样的收缩率可选择0.3%~0.6%。

发泡模具可分为：蒸缸发泡模具和压机气室发泡模具两类。蒸缸发泡模具采用手工操作，生产周期长、效率低、劳动强度大，仅适于制造批量不大的模样。大量生产的模样多是采用机械化或自动化生产的压机气室发泡模具。

蒸缸发泡模具结构主要由定型、动型、锁紧装置和加料机构组成。压机气室发泡模具与蒸缸发泡模具相比，还有气室（通水或水蒸气）等。

8.3.3 预发泡和成形发泡

(1) 预发泡 主要有两种方法：真空预发泡和水蒸气预发泡。图7-181中为一典型的真空预发泡装置。此法为间歇生产，珠粒发泡倍率高，可获得密度很低的模样，珠粒是干燥的、不需除水。国外普遍采用这种方法。

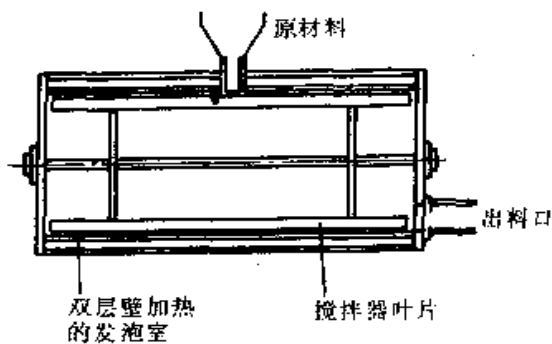


图 7-181 真空预发泡机示意图

水蒸气预发泡机示意图见图7-182。此法设备简单，便于机械化生产，但含水量较高；因无真空辅助作用，较难获得密度很低的泡沫珠粒，预发珠粒也不均匀。目前国内多采用水蒸气预发泡，为使珠粒均匀，专门研制了间歇式预发泡机。为获得较低密度的模样还可以进行二次预发泡。其预发泡品质（质量）控制因素见表7-256。

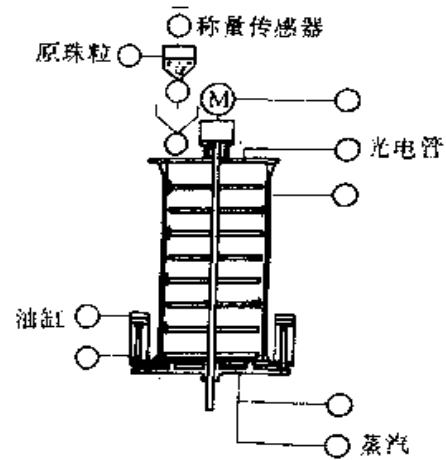


图 7-182 水蒸气预发泡机示意图

表 7-256 预发泡的品质（质量）控制因素

| 原材料 | 原材料储存 | 预发泡 | 烘干 | 调匀 |
|-------|--------|-------|------|-------|
| 生产批号 | 存放时间 | 工艺参数 | 湿度 | 时间 |
| 生产日期 | 温度 | 发泡剂含量 | 空气流动 | 温度 |
| 尺寸/编号 | 开封后的时间 | 水蒸气品质 | 温度 | 发泡剂含量 |
| 等级 | 发泡剂含量 | 密度 | | 密度 |

经过预发泡后的珠粒必须经过一段时间的熟化过程，才能进行成形发泡。

(2) 成形发泡 将熟化后的珠粒充填到金属模具的型腔内，蒸汽加热使珠粒再次膨胀，填满珠粒间的空隙，并使珠粒相互融合，形成模样。

成形发泡的工艺过程为：

预热 → 填料 → 通水蒸气 → 冷却 → 出模

模具必须预热到100℃。冷却有两种方法：一般可在模具背面喷水，使模具较快冷却到40~50℃，国内广泛使用此法；另一种方法是在模具背面喷少量水，接着抽真空。该法使泡沫模块保留的水分和戊烷减少，尺寸稳定性较好，同时在泡沫冷却时，模具温度约80℃，并不很低，从而节约工时和能耗。出模方法有：压缩空气吹出模样、真空负压吸出模样、机械顶出模样等。由于模样强度低，必须选择正确的出模方法，精心操作，以免使模样变形或损坏。

水蒸气温度一般在120℃左右，压力为0.15MPa。成型发泡过程品质（质量）控制因素，见表7-257。

表 7-257 成形发泡品质(质量)控制因素

| 用 料 | 水蒸气 | 压缩空气 | 水 | 工艺参数 | 模 具 |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|------------------|------------------|
| 珠粒龄期 发泡剂 密度 | 品质(质量) 压力 | 品质(质量) 压力 | 品质(质量) 压力 | 工序时间 压力 温度 | 对位 洁净 机械动作 |

8.3.4 模样的粘合

对复杂的模样往往不能整体发泡成形,而分块制造,最后需要将各块粘合成整体。另外,模样与浇冒口系统组成模样组,也需要粘合工序。

粘合工序一般是采用粘结剂来完成的。目前国内使用的消失模铸造用的粘结剂可分为热熔胶型、水溶型和有机溶剂型粘接,见表 7-258。

表 7-258 泡沫塑料粘接剂分类与性能

| 类 别 | 主要成分 | 粘结过程 | 使用方法 | 性 能 | | | 成 本 |
|-------|---------|--------------|------------------|------|------|-----|-----|
| | | | | 高粘强度 | 粘接强度 | 存放性 | |
| 热熔胶 | 石蜡等 | 加热熔融 冷却固化 | 加热至 90 到 105℃ | 好 | 较好 | 好 | 低 |
| 水溶型 | 酚醛树脂 | 化学反应 | 加固剂 | 好 | 好 | 差 | 中 |
| | 尿醛树脂 | 化学反应 | 加固剂 | 好 | 好 | 差 | 中 |
| | 聚酯酸乙烯 | 水分挥发 | 直接用 | 差 | 好 | 好 | 低 |
| 溶剂挥发型 | 聚乙烯醇缩丁醛 | 溶剂挥发 | 直接用 | 差 | 较好 | 好 | 中 |
| | 橡胶乳液 | 溶剂挥发 | 直接用 | 较差 | 好 | 较好 | 高 |

粘结剂不仅要有低的发气性、足够高的强度,还必须要有相对快干的性能以满足大批量生成要求。国内外大量生产中普遍使用的都是热熔胶。

8.4 涂料技术

8.4.1 涂料的作用和要求

(1) 涂料的作用

- 1) 防止液体金属侵入铸型,特别在负压浇注时,防止出现粘砂和毛刺,促使获得表面光洁的铸件;
- 2) 提高模样束的强度和刚度,防止填砂振动造型及负压定型时模样的变形,保证了铸件的尺寸精度;
- 3) 提高了模样表面抗型砂冲刷能力,防止加砂过程模样表面破损;
- 4) 防止冲砂、掉砂,特别在模样拐角处。

(2) 对涂料的要求

- 1) 要有一定强度、刚度及耐磨性;
- 2) 要有好的透气性,有助于热解气体或液体产物的逸出;
- 3) 能很好地涂挂在泡沫模样表面,形成均匀的涂层,涂层内表面无气孔、微孔;
- 4) 涂层有一定的耐火度;
- 5) 涂层容易从铸件上剥落;
- 6) 对特殊铸件如薄壁铝铸件要有一定的绝热性。

8.4.2 涂料的主要性能、组成和配方

1. 涂料的主要性能

(1) 透气性 透气性是消失模铸造涂料的一个关键指标。涂料透气性的好坏直接影响分解产物的排出,因而影响铸件品质(质量)。在不影响涂料操作使用性能的前提下,应尽可能提高涂料的透气性。

(2) 强度 涂料的强度对模样表面抗型砂冲刷能力、防止填砂振动造型及负压定型时模样的变形等有重要作用。强度越高,抗型砂冲刷能力越强。

(3) 粘度 涂料粘度的大小,可以影响涂料的操作性能和厚度,因而影响涂料的强度和透气性。对于浸涂法的涂料,粘度在 120~150s 比较好。

此外涂料悬浮性和涂附性也是影响涂料使用的重要性能。

2. 涂料的组成 涂料常由以下几部分组成:耐火材料、粘结剂、载体、悬浮剂、附加物等。

(1) 耐火材料 耐火材料是形成涂料的骨料。国内外消失模铸造涂料所用耐火材料有刚玉、锆英石、石英、铝矾土、高岭土类熟料、镁砂、硅藻土等。表 7-259 是几种耐火材料的物理化学性质。

涂料的耐火材料应具备耐火度高、颗粒细、与液体金属不发生反应等特点,应根据合金种类、铸件大小、厚薄等因素选择。

表 7-259 几种耐火材料的物理化学性质

| 粉料名称 | 化学性质 | 熔化温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 密度 (g/cm^3) | 线膨胀系数 ($1/^{\circ}\text{C}$) | 热导率 ($\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$) |
|-------|------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---|
| 刚玉 | 两性 | 2000~2050 | 3.8~4.0 | 8.6×10^{-6} | 5.2~12.5 |
| 锆英石 | 弱酸性 | >1948 | 3.9~4.9 | 4.6×10^{-6} | 2.1 |
| 石英 | 酸性 | 1713 | 2.65 | 12.5×10^{-6} | 1.6 |
| 铝钒土熟料 | — | 1800 | 3.1~3.5 | $5\sim 8\times 10^{-6}$ | — |
| 高岭土熟料 | — | 1700~1790 | 2.62~2.65 | 5×10^{-6} | 0.6~0.8 |
| 滑石粉 | — | 800~1350 | 2.7 | $7\sim 10\times 10^{-6}$ | — |
| 石墨 | 中性 | >3000 | 2.25 | 2×10^{-6} | 13.7 |
| 镁砂 | 碱性 | >1840 | 3.6 | 14.0×10^{-6} | 2.9~5.6 |
| 硅藻土 | — | — | 1.9~2.3 | — | 0.14 |

耐火材料的粒度对涂料性能影响较大,特别是对透气性影响更大。一般生产上选择 0.2~0.05mm 的硅砂粉,对于耐火度要求高的可选用锆英粉。

(2) 溶剂载体 溶剂载体是用来溶解粘结剂,并携带粉料在模型表面形成涂料层。

涂料有两种,一种是以水为载体的水基涂料,一种是以酒精为载体的醇基涂料(快干涂料)。消失模铸造一般采用水基涂料。

(3) 粘结剂 粘结剂的作用是将骨料颗粒相互粘结起来,干燥后使涂层形成一定强度,它与泡沫模样不应发生化学反应。常用的粘结剂有活化膨润土、羟甲基纤维素(CMC)水溶液、聚醋酸乙烯乳液(白胶)等,另外酚醛树脂、硫酸纸浆废液和聚乙烯醇缩丁醛等也有人应用。

(4) 悬浮剂 悬浮剂的作用是促使耐火材料在稀

释中呈悬浮状态,防止沉淀。常见的悬浮剂有活化膨润土、CMC、轻质耐火砖粉和聚乙烯醇缩丁醛等。

膨润土作悬浮剂,涂料在烘干及浇注时容易开裂、脱落。CMC 按其粘度分为高、中和低三种。实验证明中粘度的 CMC 配成 2% 水溶液时,粘度在 30 及 60Pa·s 范围内使用方便,成本较低。CMC 和膨润土配合作用效果比单独使用要好,尤其是和钠基膨润土配合使用效果最为理想。

(5) 其它附加物 主要用于改善涂料某方面的性能。如表面活性剂、发泡剂、消泡剂、防腐剂等,应根据需要,选择加入。

3. 涂料的配方 涂料的配方对其性能影响极大,但近年国内各单位对研制的涂料配方比较保密,公布出来的也仅供参考。表 7-260 介绍的几种涂料配方。

表 7-260 几种水基消失模涂料配方(质量比)

| 成分 | 涂 料 编 号 | | | |
|----------------|---------|------|------|----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 硅砂粉 | 100 | 100 | | |
| 锆英粉 | | | 100 | 100 |
| 膨润土 | 1~2 | 2.5 | 3~4 | 3~4 |
| CMC(加水 50 倍稀释) | 5~10 | | | 4 |
| 轻质耐火砖粉 | | 5 | | 4~8 |
| 聚醋酸乙烯乳液 | 3~5 | | | 2~3 |
| 糖浆 | | | 5 | |
| 亚硫酸纸浆废液 | | 8 | | |
| 其它附加物 | 静电剂少量 | 适量苏打 | 适量苏打 | 硅溶胶(6%) 活性剂 |

(续)

| 成分 | 涂料编号 | | | |
|----|------|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 水 | 适量 | 适量 | 适量 | 适量 |
| 用途 | 铸铁 | 铸铁 | 铸钢 | 铸钢 |

8.4.3 涂料的烘干工艺

涂料烘干受泡沫塑料软化温度的限制,所以一般在55℃以下的气氛中烘干2~10h。烘干时注意空气的流动,以降低湿度,提高烘干效率。

烘干设备有鼓风机干燥箱、干燥室及连续式烘干窑等,热源有电热、热气或暖气等。

烘干过程中还必须注意模样的合理放置或支撑,防止变形。

8.5 铸造工艺

8.5.1 消失模铸造工艺方案和工艺参数

(1) 浇注位置 浇注位置选择的原则除参考砂型铸造的经验之外,还需要考虑到:

1) 有利于下砂填充、紧实,模样盲孔尽可能开口朝上;

2) 模样安放有利于金属液与模样置换过程进行、不间断,有利于铸件成形;

3) 尽可能立浇、斜浇,避免平浇,以保证金属液有一定的上升速度,并且有利于凝固补缩。

(2) 铸造收缩率 铸造收缩率与铸件的结构、合金种类、铸型等有关,一般难以准确测定。在设计时可参考表7-261中的数据,然后在制造过程中加以修正。

表 7-261 消失模铸造收缩率

| 合金种类 | 收缩率(%) | 合金种类 | 收缩率(%) | |
|------|---------|----------|------------------------|------------------|
| 铝硅合金 | 1.0~1.2 | 灰铸铁 | 中、小件 1.0 | |
| 铝镁合金 | 1.3 | | 中、大件 0.9 | |
| 铝铜合金 | 1.6 | | 孕育铸铁 1.0~1.5 | |
| 有色合金 | 镁合金 | 1.6 | 黑心可锻铸铁 壁厚>25mm 0.75 | |
| | 锌黄铜 | 1.8~2.0 | 壁厚<25mm 1.0 | |
| | 硅黄铜 | 1.7~1.8 | 白心可锻铸件 1.75 | |
| | 锰黄铜 | 2.0~2.3 | 铸钢 | |
| | 锡青铜 | 1.4 | | 碳钢、合金钢 1.6~2.0 |
| | 无锡青铜 | 2.0~2.2 | | 含铬的合金钢 1.3~1.7 |
| | 白口铸铁 | 1.5~1.75 | | 奥氏体钢 2.0~2.3 |
| | 球墨铸铁 | 1.0~1.2 | | 铁素体-奥氏体钢 1.8~2.2 |

(3) 机械加工余量 消失模铸造生产的铸件尺寸精度高,表面光洁,一般可取粘土砂型铸造加工余量的50%~60%,也可以参照熔模铸造的加工余量来选择确定。在设计时可参照表7-262。

表 7-262 机械加工余量

| 铸件最大外轮廓尺寸 (mm) | | 铸铝件 | 铸铁件 | 铸钢件 |
|-------------------|------|-----|--------------------|------------|
| | | <50 | 顶面 1.5 侧、底面 1.0 | 2.5 2.0 |
| 50~100 | 顶面 | 1.5 | 3.0 | 3.5 |
| | 侧、底面 | 1.0 | 2.5 | 3.0 |
| 100~200 | 顶面 | 2.0 | 3.5 | 4.0 |
| | 侧、底面 | 1.5 | 3.0 | 3.0 |
| 200~300 | 顶面 | 2.5 | 4.0 | 4.5 |
| | 侧、底面 | 2.0 | 3.5 | 3.5 |
| 300~500 | 顶面 | 3.5 | 5.0 | 5.0 |
| | 侧、底面 | 3.0 | 4.0 | 4.0 |
| >500 | 顶面 | 4.5 | 6.0 | 6.0 |
| | 侧、底面 | 4.0 | 5.0 | 5.0 |

(4) 起模斜度 消失模铸造突出的优点是造型简单,不需要起模、修型、合型等工序,为此从填砂造型角度考虑不需要设计起模斜度,但在制造泡沫模样过程中,为便于起模,需设置起模斜度。

(5) 铸件最小铸出孔与槽 采用消失模铸造工艺生产铸件时,铸件的孔和槽不由芯子制出,零件模样而是由干砂充填形成。最小铸出孔与槽的大小取决于铸造合金和铸件结构,也与型砂的充填紧实有关。铸孔直径小于2.5~3mm,通孔 h/d 大于5,盲孔 h/d 大于2.5~3时均不铸。孔及槽的类型、尺寸具体数值,可参照表7-263、7-264选取。

表 7-263 铸孔直径与孔深关系 (mm)

| 铸孔直径 d | 最大孔深 h | |
|-------------|----------|-------|
| | 通孔 | 盲孔 |
| 3~5 | 5~10 | ~5 |
| 5~10 | 10~30 | 5~15 |
| 10~20 | 30~60 | 15~25 |
| 20~40 | 60~120 | 25~50 |
| 40~60 | 120~200 | 50~80 |

(续)

| 铸孔直径 d | 最大孔深 h | |
|-------------|----------|---------|
| | 通孔 | 盲孔 |
| 60~100 | 200~300 | 80~100 |
| >100 | 300~500 | 100~120 |

表 7-264 黑色金属铸件铸槽尺寸 (mm)

| 槽宽 B | >2.5 | 4 | 6 | 8 | 10 | 16 | 20 | 24 |
|----------|------|---|----|----|----|----|-----|-----|
| 最大深度 H | <5 | 8 | 20 | 32 | 46 | 80 | 120 | 150 |

(6) 铸件最小壁厚 消失模铸件的最小壁厚不仅受到铸件结构、尺寸、材质、铸型条件、浇注速度、浇注温度、负压力、涂料等的影响,还受模样最小壁厚的制约。因为泡沫模样的最小截面上应容纳三颗以预发泡珠粒,才能保证铸件的精度和表面低的粗糙度。小珠粒虽然可达到最佳的充填效果和表面形貌,但难以达到低密度的要求。不同铸造合金的最小壁厚,见表 7-265。

表 7-265 铸造合金适宜的最小壁厚

| 合金种类 | 铸钢 | 灰口铸铁 | 球墨铸铁 | 铝合金 | 铜合金 |
|----------|-----|------|------|-----|-----|
| 最小壁厚(mm) | 5~6 | 3~5 | 4~5 | 2~3 | 2~3 |

8.5.2 浇冒口系统的设计

(1) 浇注系统的设计 消失模铸造浇注系统的设计要求为:

- 1) 内浇道位置尽量选择在非重要加工面上,连接面要小,以便于去除;
- 2) 浇注过程应便于热解产物的逸出;
- 3) 在浇注系统上组合模型方便,件数应尽量多;
- 4) 便于搬运和较好支承模样束;
- 5) 直浇道尽量采用中空的 EPS 模样或特制的陶瓷管。

消失模铸造浇注系统结构比较简单,一般采用直筒形直浇道,形状可为圆形或方形。浇口杯足够大,可以防止浇注时断流,稳定金属压头,使充型平稳。消失模铸造时,金属液的流动速度比空腔铸造要慢得多,因此其浇口截面应比普通铸造法大。通常,铸钢件约大 10%~20%,铸铁件约大 20%~50%。

按金属液进入型腔的位置,浇注系统可分为顶注、底注和侧注。浇注系统的位置对金属液流动场和温度场均有重大影响,因而也影响模样的分解及分解产物的流向。

顶注式浇注系统充型速度快,有利于防止浇不到、冷隔缺陷,有利于定向凝固和补缩,但分解产物

与金属液流向相反,容易出现夹杂,适于高度不大的铸件。

底注式浇注系统充型平稳,可以实现层流,使模样有序气化。但金属液流动前沿与分解产物接触时间较长,温度下降比较多,充填速度最慢,容易在铸件顶面出现皱皮缺陷。当然可在顶部设置集渣冒口收集分解产物,保证铸件无皱皮缺陷。底注式浇注系统适合于厚高大铸件。

侧注式浇注系统是从铸件侧面,分两层或多层注入金属液,兼有顶注和底注的功能。采用中空直浇道时,底层内浇道进入的金属液多,然后上层内浇道也很快起作用。若采用实心的直浇道模样,则大部分金属液从最上层内浇道进入,滞后一定时间后,下层内浇道才开始起作用。为使金属液均匀通过上下内浇道上层的内浇道必须要向上倾斜。

(2) 冒口的设计 消失模铸造中冒口有补缩和排渣的作用。一般采用球形暗冒口,也可采用明暗冒口,其设计可沿用传统的砂型铸造冒口设计原则和方法。

8.5.3 造型工艺

消失模铸造使用的一般是硅砂,要求其二氧化硅量在 85%~90%以上。从透气性和耐火度方面考虑,铸钢、铸铁件一般选用粒径 0.850~0.300mm 的硅砂,而铸铝件可选用粒径 0.300~0.150mm 硅砂。

造型工艺主要包括干砂充填和振动紧实。一般是分层多次加砂,可边加砂边紧实,也可加砂后再振动紧实。常见的干砂填充方法有:①柔性管加砂法;②雨淋式加砂法。柔性管加砂法比较灵活,雨淋式加砂法特别适合单一品种铸件大量流水线上使用。

振动一般是采用三维振动台,可以使型砂更好地充填到模样束的各个内部通道中(特别是一些向上的盲孔等),并达到一定的紧实度。对不同的模样应采用不同的振动工艺,以达到最佳的紧实度和填充效果。生产中振动时间一般控制在 15~60s 即可满足要求,振动时间过长也是无益的。

8.5.4 浇注工艺

浇注过程中,铸型内存在着动量、能量、质量传输等复杂的物理化学变化,对铸件的质量有决定性的作用。因此必须选择合适的浇注工艺,才能获得品质(质量)良好的铸件。

(1) 浇注温度 由于泡沫模样的存在,浇注过程中会消耗大量的热量,因此消失模铸造的浇注温度一般比普通砂型要高 30~80℃。表 7-266 推荐了各种合金的比较合适的浇注温度。

表 7-266 消失模铸造时各种合金合适的浇注温度 (°C)

| 合金种类 | 铸钢 | 球墨铸铁 | 灰口铸铁 | 铝合金 | 铜合金 |
|------|-----------|-----------|-----------|---------|-----------|
| 浇注温度 | 1450~1700 | 1380~1450 | 1360~1420 | 700~750 | 1200~1500 |

(2) 真空度 一定范围内真空度的提高,可提高金属液的流动性,增强充型能力,有利于模样分解产物的排出。但真空度太高,也易带来一些诸如渗透粘砂等缺陷。浇注时真空度,见表 7-267。

表 7-267 适用各种铸造合金的真空度 (MPa)

| 合金种类 | 铸钢 | 铸铁 | 铸铝 |
|------|-----------|-----------|--------|
| 真空度 | 0.03~0.05 | 0.02~0.04 | 0~0.02 |

(3) 浇注速度 消失模铸造浇注过程一般采用慢—快—慢的浇注方式。刚开始应慢浇,以防止模样气化过快而反喷。金属液充满直浇道后加快浇注速度,可以保证金属液尽快充填,以避免发生型壁塌陷,也有利于防止钢铁件的碳质缺陷的产生。浇注后期应慢浇,以防止金属液的外溢,造成金属液的浪费和砂处理的麻烦。

8.6 铸造缺陷

8.6.1 铸型溃散

消失模铸造采用无粘结剂干砂,浇注过程容易发生铸型局部溃散,使铸件不能成形。产生溃散的原因主要有:金属液体浮力;铸型内气压过大;金属液体跟不上模样的消蚀;金属液体激烈冲击等。

防止措施有:

- 1) 尽量降低模样的密度,减少总的发气量;
- 2) 合适的负压度及密封措施,负压系统有足够大的排气能力;
- 3) 涂料和型砂的透气性好;
- 4) 合理的浇注系统和浇注工艺(合适的浇注速度及浇注过程中不断流);
- 5) 足够的吃砂量及放置压箱铁等。

8.6.2 浇不到

消失模铸造生产铝合金铸件时,常出现浇不足现象。通常发生在铸件的薄壁处,尤其是液态金属从内浇道流经较长距离才能到达的部位。

造成浇不到的主要原因是,浇注温度低、金属凝固区域宽、液态金属中含有较高的氧化物富集、模样密度过大、模样热解而降低流动前沿的温度、涂层及干砂透气性较差以及液态金属充型出现紊流等。

防止浇不到的措施有:

- 1) 提高合金的浇注温度;
- 2) 在浇注过程中,施以一定负压,降低空气阻力,增加合金充型能力;

3) 采用合理的浇注方案和浇注系统,如采用顶注比其他注入方式更有利于克服浇不到缺陷。采用空心直浇道,尽量减少浇注系统的转弯和总长度,缩短金属流动距离,使充型过程流畅等。

8.6.3 粘砂

消失模铸造时,如果涂层脱落或开裂,液体金属会渗入砂粒之间,形成不同程度的粘砂缺陷。

产生粘砂缺陷的主要原因有:局部干砂紧实度过低、涂料透气性过大、承受高温的部位涂层太薄、负压度过大、金属压头过大以及金属浇注温度过高等。

防止措施:

- 1) 提高涂层的厚度和耐火度;
- 2) 合理控制真空度和浇注温度。在保证浇注顺利进行的情况下,要尽可能降低真空度和浇注温度,以抑制高温金属液的穿透力;
- 3) 选用较细的干砂,改善干砂的填充与紧实;
- 4) 合适的压头。

8.6.4 碳质缺陷(皱皮和增碳)

碳质缺陷主要指浇注铸铁时产生的铸件表面光亮碳、表面皱皮和铸钢件表面的增碳。

碳质缺陷的主要原因是,在高温下,聚苯乙烯泡沫热解形成大量的碳而来不及排出型腔外造成的。

改进措施:

- 1) 选用合适的浇注方案和设置排渣冒口;
- 2) 降低聚苯乙烯模样密度,或选用新型的 EP-MMA 和 EPMMA-EPS 共聚材料;
- 3) 提高浇注温度;
- 4) 适当提高负压度;
- 5) 提高涂料和型砂的透气性。

8.6.5 气孔

消失模铸造中,也容易出现气孔缺陷。根据其来源,可分为浇注时卷入空气形成的气孔;模样和粘结剂分解的气体不易排出而形成的气孔;模样和涂层干燥不够而引起的气孔。

防止措施有:

- 1) 浇注过程中保证直浇道处于充满状态;
- 2) 模样粘合时,尽量减少用胶量;
- 3) 降低模样密度,减少发气量;
- 4) 涂层及模样要彻底烘干,而且提高涂层和干砂的透气性;
- 5) 选择合理的浇注系统和合适的负压度,使金

属液在不产生紊流的情况下，快速平稳地置换模样；

6) 适当提高浇注温度，浇注快结束时适当放慢浇注速度，使气体有充分时间排出。

9 石膏型铸造

9.1 石膏型铸造的工艺特点

石膏型铸造采用易熔模料、硅橡胶、金属或木材等材质制成光洁精细的模样、灌以石膏浆料制成铸型，经烘干焙烧后浇注合金液最终获得光洁精密铸件。因石膏浆料成形性及复制性很好，可浇出复杂薄壁精细的锌、铝、铜、金、银等有色金属铸件，铸件的最小壁厚可小于 1mm，表面粗糙度一般为 R_a 3.2 μm 左右，尺寸精度可达 $\pm 0.05 \sim 0.10\text{mm}/25\text{mm}$ ；石膏型浇注后溃散性好便于清理；石膏对人体无害，不污染环境，价格较低，资源丰富。石膏型铸造的缺点

是石膏的热导率很小，铸型的透气性极低，易使铸件晶粒粗大和形成针孔，故主要用来生产整体大型复杂薄壁精密铸件和用其它方法难以铸造及有特殊要求的铸件。

9.2 石膏型铸造方法的分类、工艺过程及应用

9.2.1 石膏型铸造方法的分类

按脱模方法不同可分为熔模石膏型铸造及模石膏型铸造两类，前者是加热熔模使其从石膏型中流出，后者是通过人力或机械方法将模样从型中拔出。模石膏型铸造又可分为普通石膏型和发泡石膏型。

9.2.2 石膏型铸造的工艺过程

三种石膏型铸造的工艺过程，见图 7-183 ~ 7-185。

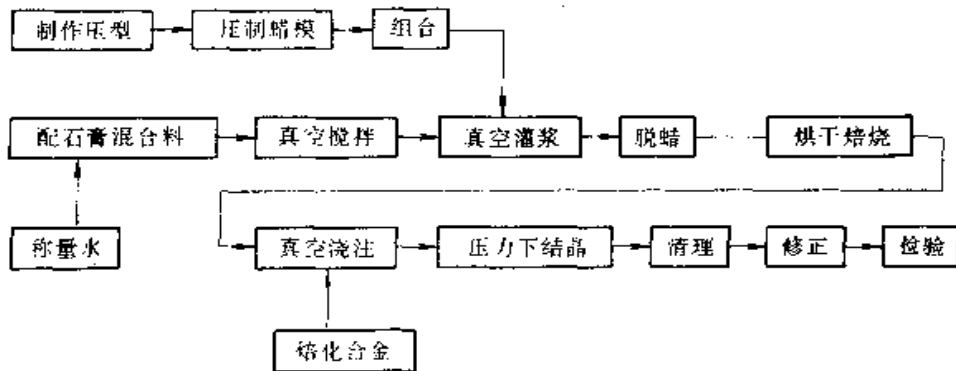


图 7-183 熔模石膏型铸造工艺过程

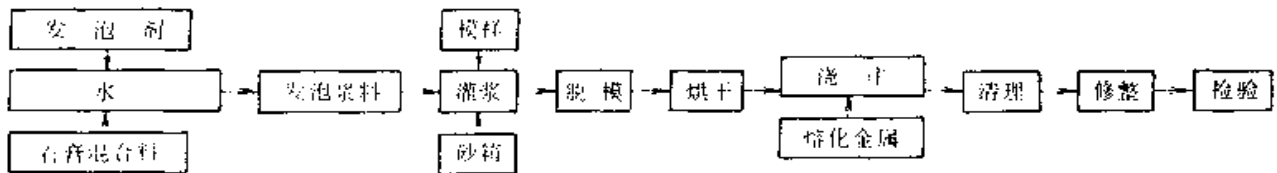


图 7-184 发泡石膏型铸造工艺过程

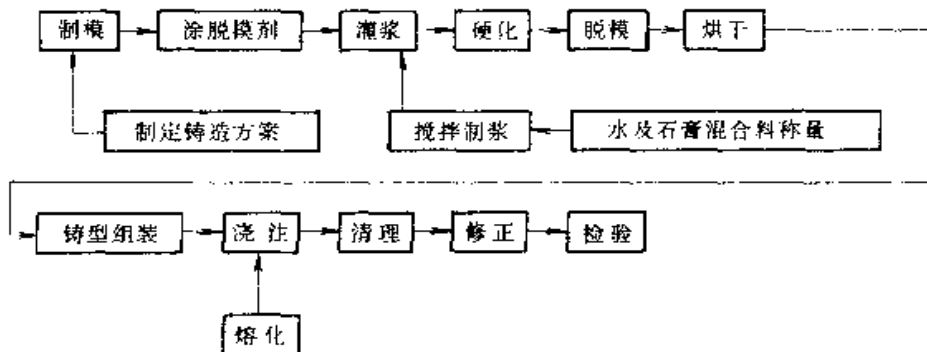


图 7-185 普通石膏型铸造工艺过程

9.2.3 石膏型铸造的应用

(1) 熔模石膏型铸造 主要用于整体复杂薄壁精密铸件,如大型电子仪器设备的框架、壳体、底座、飞机、导弹、雷达、宇航等行业用的泵体、附件壳体、机匣、叶轮、微波元件等,亦可用来铸造金银首饰,复制雕塑文物等艺术品。

(2) 普通石膏型铸造 主要用来生产各种模具如塑料、橡胶成形用模具,铸造模具,金属冲模等。

(3) 发泡石膏型铸造 用来生产叶轮类、框架类铸件和精密模具等。

9.3 石膏及石膏型的理论基础

9.3.1 石膏的名称、类型以及各种变体

(1) 石膏 一般指二水石膏,化学式为 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 。石膏亦是天然二水石膏的简称(也称原生二水石膏或软石膏),它是制备熟石膏(即半水石膏)的原料,故天然二水石膏亦称作生石膏。

二水石膏的密度约为 $2300\text{kg}/\text{m}^3$,莫氏硬度为 1.5,热导率在 $16\sim 46^\circ\text{C}$ 时为 $0.300\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ 。纯二水石膏的 pH 值为 8.82。

二水石膏的化学组成为 $\text{CaO}32.56\%$, $\text{SO}_3 46.51\%$, $\text{H}_2\text{O}20.93\%$ 。二水石膏的结晶结构见图 7-186。

图 7-186。

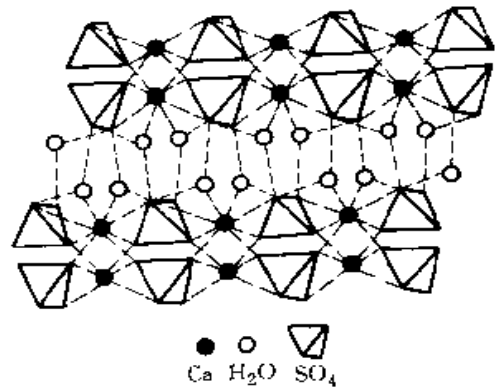


图 7-186 二水石膏的结晶结构

石膏难溶于水,在水中溶解度以 CaSO_4 计, 18°C 时为 0.2%。

(2) 熟石膏 即通常用的石膏粉亦称半水石膏。半水石膏的化学式为 $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$,它是二水石膏脱水后的产品。半水石膏有 α 型和 β 型两种变体,前者是二水石膏在加压水蒸气条件下,或在酸和盐的溶液中加热形成,后者是二水石膏在干燥环境中加热形成,两种半水石膏的物理性质,见表 7-268。

表 7-268 两种半水石膏的物理性质

| 性 质 种 类 | 标准混水量 (%) | 凝结时间 (min) | 凝结时线胀率 (%) | 20℃ 水中溶解度 (%) | 水化时放出之热量 (kJ/mol) | 强 度 (MPa) | | | |
|----------------|-----------|------------|------------|---------------|--------------------|-----------|---------|---------|---------|
| | | | | | | 1h 抗压强度 | 1h 抗拉强度 | 干燥 抗压强度 | 干燥 抗拉强度 |
| α 型半水石膏 | 35 | 15~20 | 0.28 | 0.68 | 17.166 ± 0.084 | 28 | 3.5 | 56 | 5 |
| β 型半水石膏 | 60 | 10~15 | 0.16 | 0.88 | 19.259 ± 0.084 | 8 | 0.9 | 16 | 1.4 |

生产上使用的石膏粉其组成绝大部分是半水石膏,但由于矿源及生产工艺等因素的影响,尚有少量二水石膏、硬石膏Ⅲ以及其他杂质。

9.3.1.3 硬石膏 亦称无水石膏,自然界中有天然无水石膏,二水石膏脱水后亦转变成无水石膏,因脱

水温度不同,可形成硬石膏Ⅰ、硬石膏Ⅱ、硬石膏Ⅲ等不同类型的。硬石膏的莫氏硬度为 2.5~3.5,其密度为 $2900\sim 3000\text{kg}/\text{m}^3$ 。

图 7-187 为生产条件下二水石膏的脱水相变。

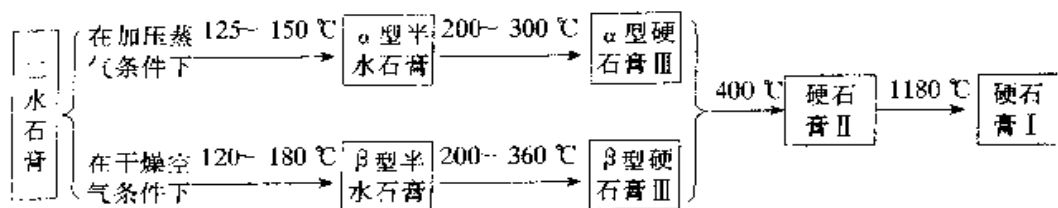
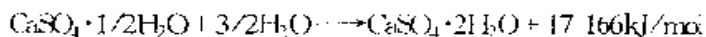


图 7-187 生产条件下二水石膏相变

9.3.2 半水石膏的水化反应

(1) 水化反应式 半水石膏是一种气硬性胶凝材料，它与水拌合后的浆体产生水化反应而胶凝硬化。其水化反应式如下：



反应所需的理论混水量为 18.6%，为使石膏浆料具有良好流动性，实际的混水量要大于理论值，多出部分以游离水形式存在。上述反应为发热反应，反应产物二水石膏的温度上升。

(2) 胶凝硬化

石膏浆体丧失流动性——初凝

石膏浆体失去可塑性——终凝

石膏浆体建立起强度——硬化

初凝时间应满足浆料搅拌加灌注铸型所需时间，一般为 7~10min，而初凝至终凝时间应尽量短，以防止水的泌出和填料分层。

石膏的胶凝硬化时间不是一个定值，它既取决于石膏粉的制备条件、储存情况，也取决于所加水及各种添加物的性质、数量、拌合条件等多种因素。生产中要求胶凝时间稳定，除选用性能稳定的石膏粉，严格生产工艺外，尚可选用促凝剂或缓凝剂来调整胶凝时间。

(3) 石膏的膨胀 半水石膏与水反应在生成二水石膏硬化体的过程中，伴随着硬化体体积的增大，新生成的二水石膏晶体的增长，促使多孔体骨架的膨胀。由于石膏混合料配方、拌合条件等因素的不同，

其膨胀值大小也不同。随着硬化时间的增长，线膨胀率亦增大，直至 200℃ 以下烘干时仍有体积膨胀。

石膏硬化体在硬化及干燥过程中体积轻微膨胀（线膨胀率约 0.2%~1.5%），对生产有下列两种主要影响：

1) 它赋予石膏型有优良的覆模性，能获得轮廓分明、纹理清晰的复制品，这对制作艺术品和铸造复杂精密铸件是极其可贵的；

2) 给母模的起模造成困难，故常采用熔模（或气化模）、易拔出的橡胶模作母模。否则在起模斜度、起模时间以及选用脱模剂上要特别注意。

由于石膏硬化体的膨胀，所以石膏型的型腔尺寸，在室温及低温烘干阶段均大于母模尺寸。

9.3.3 石膏的脱水干燥

1) 石膏型中含有较多水分，必须干燥脱水后才能浇注。对起模石膏型干燥温度需在 200℃ 左右；对熔模石膏型因需烧除型中的残蜡，干燥焙烧温度应在 700℃ 左右。又因石膏型热导率很小热量传递慢，干燥及焙烧时升温应缓慢。

2) 石膏在 300℃ 以上干燥及焙烧时产生较大收缩，故必需加入耐火填料以减小石膏型的收缩，同时亦能提高石膏型的耐火度。

9.3.4 适于石膏型铸造的合金

纯石膏在 1300~1380℃ 时发生热分解，产生 O_2 及 SO_2 等气体，石膏型中含有填料、添加剂以及各种杂质，热分解温度要低于纯石膏。纯石膏的热分解温度与所接触的金属液有明显影响，见表 7-269。

表 7-269 石膏与不同金属液接触时热分解温度

| 接触石膏的合金 | 金属熔点 (℃) | 石膏热分解温度 (℃) | 铸造可能性 | 备注 |
|-------------|----------|-------------|-------|-------------------------------|
| Sn | 232 | 1060 | ✓ | 1060℃ 产生 SO_2 发热反应 |
| Pb | 327 | 1160 | ✓ | |
| Zn | 420 | (700) | ✓ | 不产生 SO_2 ，700℃ 有发热反应 |
| Mg | 650 | (640) | — | 不产生 SO_2 ，640℃ 有发热反应 |
| ZMgAl9Zn | 620 | (620) | — | 不产生 SO_2 ，620℃ 有发热反应 |
| Al | 660 | 1080~1360 | ✓ | |
| ZAlSi12 | 约 585 | 1020~1320 | ✓ | |
| ZAlMg10 | 约 600 | 1060 | ✓ | |
| ZAlBe5 | 约 700 | 1320 | ✓ | |
| ZAlMg10TiZn | 约 640 | 1200 | ✓ | |

(续)

| 接触石膏的合金 | 金属熔点(°C) | 石膏热分解温度(°C) | 铸造可能性 | 备 注 |
|--------------|----------|-------------|-------|-----|
| Cu | 1083 | 1220~1240 | △ | |
| ZCuSn5Pb5Zn5 | 约 1010 | 1160 | △ | |
| ZCuZn33Pb2 | 约 900 | 1160 | ✓ | |
| ZCuZn38 | 约 920 | 1120 | ✓ | |
| ZCuAl9Fe4Ni2 | 约 1050 | 1300 | ✓ | |
| ZCuZn10Si4 | 约 1050 | 1190 | △ | |
| ZCuBe2Co | 约 970 | 1310 | ✓ | |
| Ag | 960 | 1340 | ✓ | |
| Au | 1063 | 1320 | ✓ | |
| Fe | 1536 | 900 | × | |
| Fe-C | 约 1250 | 1020~1030 | × | |

注：✓—温差>200°C；△—温差<200°C；×—熔点以下。

当金属熔点与石膏接触时热分解温度大于200°C的这些金属及合金可以铸造，如铅锡锌铝金银等，部分铜合金亦可铸造，黑色金属一般不能铸造，镁合金在熔点附近与石膏剧烈反应，必需添加抑制反应的附加物方可铸造。

9.4 制备石膏型用的各种原材料

9.4.1 石膏

制作石膏型常用α型半水石膏，也可用β型半水石膏，前者混水量少，硬化体强度高，后者则相反。

1) 对铸造用石膏的性能要求 加水量较少而浆料流动性较好；初凝时间较长(8~10min)而初凝至终凝时间较短；有足够的湿强度、干强度、焙烧后强度、高温强度以满足石膏型在铸造全过程中各种操作(脱模、焙烧、浇注等)的要求，保证石膏型不变形破损。

表 7-271 可供铸造用的一些石膏粉性能

| 石膏名称 | 标准石膏(质量)比 | 凝结时间(min) | 细 度 | 干燥强度(MPa) | | 焙烧后抗压强度(MPa) | 700°C抗压强度(MPa) |
|-------------------------------|---------------|-----------|--------------------|-----------|--------|--------------|----------------|
| | | | | 抗弯 | 抗压 | | |
| 上海方城牌铸型用高强石膏 | 34±1 | 8~13 | | ≥5.88 | ≥19.61 | ≥5.88 | ≥14.71 |
| 醴陵石花牌特级α石膏 | 50 | 7 | 0.15mm筛(100目)筛余≤1% | 8.5 | | | |
| 醴陵石花牌特级β石膏 | | 5 | 0.15mm筛(100目)筛余≤1% | >4 | | | |
| 英国 Herculite2号石膏 ^① | 按石膏/水=100/42配 | 7~10 | — | 13 | 13.79 | | |

① 由 Gypsum 公司生产，流动性 75~85mm，凝结时膨胀率 0.5%，裂纹倾向轻微。

对铸造用石膏粉性能要求，见表 7-270。

表 7-270 铸造用石膏粉的主要性能要求

| 石膏类型 | 抗压强度(MPa) | 凝结时间(min) | | 标准稠度混水量(%) | 粒度 0.075mm (200目筛余 1%) |
|------|-----------|-----------|-------|------------|------------------------|
| | | 初凝 | 终凝 | | |
| α | 15 | 8~10 | 12~18 | 40 | 5 |
| β | 8 | 5~7 | 7~12 | 50 | 5 |

(2) 石膏粉性能 可供铸造用的一些石膏粉的性能，见表 7-271。

国内有不少单位生产石膏粉其主要对象是建筑业和陶瓷业，因此，石膏粉的性能难以满足铸造的要求。我国石膏矿蕴藏量大，有的品位亦高，只要在制备工艺上狠下工夫是可以生产出优质铸造用石膏粉的。

9.4.2 填料

填料是石膏型混合料中的主要组成，一般为耐火材料。

(1) 填料的作用 主要是减小石膏型的线收缩和裂纹倾向，亦有加入热导率大的材料来提高石膏型的热导率。

(2) 填料的种类及对石膏型性能的影响 填料种类较多，其对石膏型性能影响亦不同，其中以 $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 系材料因性能良好，价格较低，应用最广泛。 $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 材料对石膏型混合料性能影响，见表 7-272。

表 7-272 填料种类对石膏混合料抗弯强度的影响(MPa)

| 填 料 | 硅石粉 | 硅线石 | 莫来石 | 高岭土 | 高铝矾土 | 工业氧化铝 |
|-----------|------|------|------|------|------|-------|
| 灌浆后 2h | 0.25 | 0.40 | 0.75 | 0.80 | 1.00 | 0.80 |
| 灌浆后 7d | 0.50 | 1.5 | 2.30 | 2.40 | 2.60 | 2.00 |
| 烘干 90℃/4h | 1.30 | 2.80 | 3.40 | 3.80 | 4.60 | 3.50 |
| 700℃ 焙烧后 | 0.20 | 0.65 | 0.80 | 0.86 | 0.85 | 0.65 |

注：用西安产 α 半水石膏，石膏与填料质量比为 40:60。

表 7-273 填料种类对石膏混合料裂纹倾向影响

| 填 料 | α 半水石膏 100% | 硅石粉 | 硅线石 | 高岭土 | 莫来石 | 高铝矾土 | 工业氧化铝 | 锆英粉 | 石英玻璃 |
|-----------|--------------------|------|-----|---------|------|------|-------|-----|------|
| 300℃ → 空冷 | 微裂 | 极轻微裂 | 不裂 | 不裂 | 不裂 | 不裂 | 不裂 | 不裂 | 不裂 |
| 700℃ → 空冷 | 碎裂 | 微裂 | 不裂 | 极轻微裂或不裂 | 极轻微裂 | 极轻微裂 | 轻微裂 | 轻微裂 | 不裂 |

注：所用石膏及与填料的配比见表 7-272。

表 7-274 填料种类对石膏混合料浆体胶凝时间影响(min)

| 填 料 | 硅石粉 | 硅线石 | 高岭土 | 莫来石 | 高铝矾土 | 工业氧化铝 | 锆英粉 | α 半水石膏 100% |
|------|------|------|------|------|------|-------|------|--------------------|
| 初凝时间 | 7.0 | 8.5 | 8.0 | 10.0 | 12.0 | 9.0 | 10.0 | 8 |
| 终凝时间 | 10.0 | 10.5 | 10.0 | 12.0 | 13.5 | 11.0 | 12.0 | 10 |

注：1. 所用石膏及与填料的配比见表 7-272。

2. 不同填料浆体的加水量以达到各自的标准稠度为准。

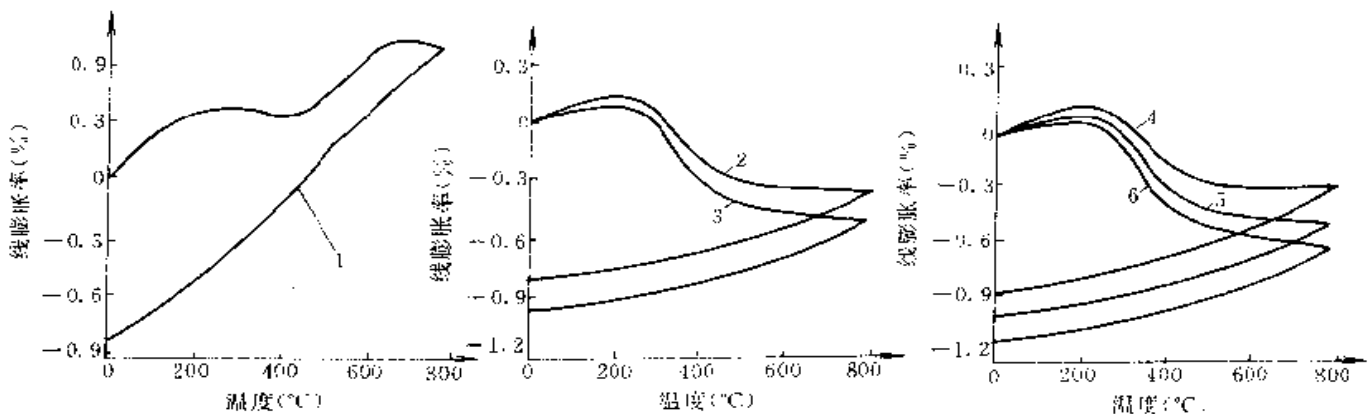


图 7-188 填料种类对石膏混合料线膨胀率影响(加入量 60%)

1—石英 2—高铝矾土 3—高岭土 4—氧化铝 5—硅线石 6—莫来石

9.4.3 添加剂及其他

9.4.3.1 调凝剂 调整石膏浆体的凝结时间。

1. 促凝剂 有盐酸、硝酸、硫酸及它们的盐类,常见促凝剂有 NaSiF_6 、 NaCl 、 NaF 、 MgCl_2 、 MgSO_4 、 NaNO_3 、 KNO_3 ,此外尚有粉状二水石膏等。

三酸所生成的盐其促凝效果按下列顺序递减:

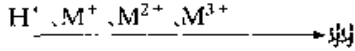


表 7-275 琥珀酸钠对石膏型浆料强度及胶凝时间影响

| 序号 | 浆料配比(%) | | | | | 初凝时间 (min) | 烘干抗弯强度 (MPa) | 流动性 (圆饼直径 mm) |
|----|---------|----|-----|----|------|---------------|-----------------|------------------|
| | 石膏 | 填料 | 硫酸盐 | 水 | 琥珀酸钠 | | | |
| 1 | 40 | 50 | 10 | 35 | 0 | 4 | 5.01 | 60 |
| 2 | 40 | 50 | 10 | 35 | 0.5 | 8 | 4.09 | 100 |

3) 蛋白胶、皮胶、硅溶胶、纸浆废液等。调凝剂的品种不同,加入量不同,作用效果亦不同,必需选用合适品种及加入量,有些无机盐调凝剂加入量在某一范围内起促凝作用,而另一范围则起缓凝作用。

表 7-276 两种增强剂增强作用的比较

| 序号 | 成分配比(%) | | | | 烘干抗弯强度 (MPa) | 800℃ 焙烧后残留抗弯 强度(MPa) |
|----|---------|----|-----|-----|-----------------|-------------------------|
| | 石膏 | 填料 | 硫酸镁 | 硫酸镍 | | |
| 1 | 40 | 50 | 10 | — | 5.64 | 1.15 |
| 2 | 40 | 50 | — | 10 | 4.31 | 0.94 |
| 3 | 40 | 50 | — | — | 2.31 | 0.74 |

2. 硅溶液 硅溶胶可提高石膏型的干燥强度,亦能提高焙烧后强度。见表 7-277。

表 7-277 硅溶胶对石膏型强度的影响

| 序号 | 成分配比(%) | | | | 烘干抗弯强度 (MPa) | 焙烧后抗弯 强度(MPa) |
|----|---------|----|----|-----|-----------------|------------------|
| | 石膏 | 填料 | 水 | 硅溶胶 | | |
| 1 | 40 | 60 | 35 | 0 | 1.34 | 0.94 |
| 2 | 40 | 60 | 27 | 9 | 6.60 | 1.50 |

9.4.3.3 减小收缩及裂纹倾向的添加剂,某些有机化合物如尿素、琥珀酸钠、柠檬酸钠等;一些无机盐如 MgSO_4 、 BaCl_2 、 NaCl 、 $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$ 等。

9.4.4 模样材料

9.4.4.1 起模材料 可制作石膏型模样材料有金属、硬质木材、橡胶(硅橡胶、硫化橡胶、聚氨酯橡胶等)、塑

2. 缓凝剂 主要有下列三类:

1) 磷酸盐、碱金属硼酸盐、硼砂、硼酸等;

2) 有机酸及可溶性盐,如柠檬酸及其盐、琥珀酸钠、乙酸钠、甲基酸钠、草酸等。其中琥珀酸钠的缓凝作用很强,在石膏及其混合料中只需加入千分之几,就有明显效果,见表 7-275。

9.4.3.2 增强剂 用来增加石膏型的湿强度、干强度、焙烧后强度以及高温强度的添加剂。

1. 某些硫酸盐 如 Na_2SO_4 、 K_2SO_4 、 NiSO_4 、 MgSO_4 等,以 MgSO_4 效果较好,见表 7-276。

料等,可根据铸件的形状、精度、生产量等选定。一般除橡胶模外,用其它材质制成的模样为使起模顺利,均需涂脱模剂,常用的有变压器油、凡士林、肥皂液、经煤油稀释的石蜡硬脂酸等。

9.4.4.2 熔模材料 熔模铸造用的熔模材料一般均能用于石膏型铸造,但在生产大型复杂薄壁精密铝铸件时,对熔模有较高要求,应满足:

- 1) 强度韧度好,在灌浆时熔模不变形;
- 2) 线量变化小,以保证铸件的尺寸精度;
- 3) 流动性好,滴点在 70℃ 左右,便于制模及脱蜡;
- 4) 可粘结,将若干个简单熔模组合成整体复杂熔模。

48 号及 48T 号模料专为石膏型熔模铸造研制,其性能见表 7-278。

表 7-278 48 号及 48T 号模料的某些性能

| 模料 | 滴点 (°C) | 软化点 (°C) | 线收缩率 (%) | 抗弯强度 (MPa) | 热稳定性 40°C/2h (mm) | 90°C 粘度 (MPa·s) | 灰分 700°C (%) | 表面粗糙度 R_a (μm) | 压注温度与 模料状态 | 脱蜡温度 (°C) |
|-----|------------|-------------|-------------|---------------|-------------------------|--------------------|-----------------|-------------------------------------|----------------|--------------|
| 48 | 68~70 | 67~68 | 0.30~0.35 | 7.5 | 1.5 | 32.5 | 0.026 | 0.32~0.63 | 51~55°C 稠液态 | 85~100 |
| 48T | 67.6 | 61.6 | 0.40~0.45 | 6.5~7.0 | 1 | 43.5 (87°C) | 0.034 | 0.63~1.25 | 53~57°C 稠液态 | 85~90 |

9.4.4.3 水溶性石膏芯 复杂薄壁空腔型熔模在灌浆时易变形损坏,浇注后清理铸件内腔亦较困难。采用水溶性石膏芯可解决上述问题,因熔模有石膏芯支撑灌浆时不会变形,清理时石膏芯遇水较易溃散,脱除较方便。

水溶性石膏芯除石膏、填料外,加入一些水溶性盐类,以 MgSO_4 效果最佳(见表 7-279)。

9.5 石膏混合料浆体的制备及灌注

9.5.1 石膏混合料浆体的配比

石膏混合料浆体的配制应根据铸件的要求、石膏混合料的原材料性能等多种因素而定,因此,各个单位所用的配比亦各不相同。表 7-280 列出较常用的配比。

表 7-279 一些盐类对石膏混合料溶解性影响

| 盐类 | 加入量(%) | | | | |
|------------------------------|-------------|-----|----|----|----|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| | 所需溶解时间(min) | | | | |
| Na_2SO_4 | >300 | 120 | 60 | 40 | 30 |
| K_2SO_4 | >300 | 120 | 60 | 40 | 30 |
| $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ | 40 | 20 | 10 | 3 | — |
| MgSO_4 | 15 | 5 | 2 | 1 | — |
| Na_2CO_3 | 60 | 40 | 15 | 5 | — |
| Na_2PO_4 | 60 | 40 | 20 | 7 | — |
| NaCl | 200 | 100 | 50 | 30 | 20 |

表 7-280 石膏混合料浆体的配比(%)

| 类别 | 序号 | 石膏 | 石英 | 方石英 | 高岭土 | 高铝矾土 | 石英玻璃 | 玻璃纤维 (外加) | 混水量 (外加) |
|---------|----|-----------------------|-------|--------------|------------|--------------------|------|--------------|-------------|
| 熔模石膏型 | 1 | 30 | — | — | 70 | — | — | ≤ 0.2 | 40 |
| | 2 | 30(β 型) | 35 | — | — | 35 | — | ≤ 0.3 | 60 |
| | 3 | 30 | 35 | 35 | — | — | — | ≤ 0.2 | 40 |
| | 4 | 30 | 70 | — | — | — | — | ≤ 0.3 | 40 |
| | 5 | 30 | 35 | — | — | — | 35 | — | 45 |
| | 6 | 30 | — | — | 35 | — | 35 | — | 50 |
| 普通按模石膏型 | 7 | 60(β 型) | 40 | — | — | — | — | — | 70 |
| | 8 | 40 | — | — | 60 | — | — | — | 40 |
| | 9 | 58(β 型) | 38 | 钙英粉 2 | — | — | — | — | 60 |
| | 10 | 55 | 45 | — | — | — | — | ≤ 0.2 | 50 |
| 发泡石膏型 | 11 | 60~70 (β 型) | 15~20 | 滑石粉 10~15 | 石棉粉 0.5 | 发泡剂 0.15~0.25 | — | — | 70~75 |
| | 12 | 80 | 5 | 滑石粉 5 | 10 | 阴离子表面 活性剂 0.023 | — | — | 70~80 |

注:1. 石膏未标 β 者,均为 α 型半水石膏。

2. 发泡剂和阴离子表面活性剂加入量,系指占混水量的 %

3. 玻璃纤维用中低碱无捻纤维, $\phi 5 \sim 10 \mu\text{m}$, 剪切或 10mm 左右。

9.5.2 石膏混合料浆体的搅拌、灌注

石膏混合料吸附大量气体,在浆体搅拌时又会卷入气体,致使浆体中有大量气泡,影响石膏型腔的表面品质(质量)。除发泡石膏型希望有大量孔洞可在大气下高速搅拌及灌注外,对熔模石膏型其浆体应在真空

下搅拌,使浆料中所含气体能顺利外排。常用的工艺参数为,真空度 0.05~0.06MPa, 搅拌时间 2~3min; 搅拌速度(250~350)r/min。

为使浆体能顺利充填大型复杂薄壁模样,亦常用真空灌浆,真空度大小视模样复杂程度而定一般为

0.06MPa左右。一般真空搅拌与灌浆为一整体设备，见图 7-189。灌浆时搅拌室的真空度应等于或略低于灌浆室(如搅拌室为 0.05MPa，灌浆室为 0.06MPa)，以加强浆体的充填能力，但真空度差不宜大以防止浆体喷射。

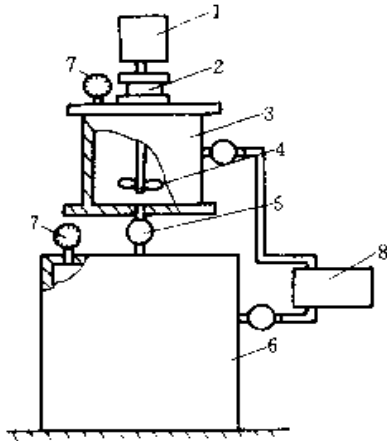


图 7-189 真空搅拌灌浆设备示意图

1—电动机 2—动密封装置 3—搅拌室 4—搅拌浆叶
5—三通阀(三个) 6—灌浆室 7—真空表 8—真空泵

9.5.3 石膏型的干燥、焙烧以及浇注

1. 石膏型的干燥、焙烧 起模石膏型与熔模石膏型需经一定时间自然干燥后才能入炉加热干燥和焙烧。石膏型宜在炉气可循环的炉中干燥焙烧，亦可在箱式电炉中进行。对一般石膏型其工艺如下：

(1)起模石膏型 80~100℃×8h→150℃×4h→250℃×2h→350℃×2h

(2)熔模石膏型 80~100℃×8h→150℃×4h 250℃×2h→350℃×2h→450℃×1h→550℃×1h→680~700×2h。

石膏型需随炉冷却，当炉温降至 300℃以下才能出炉，对复杂石膏型出炉温度应更低些，否则型易开裂。

2. 石膏型的浇注 起模石膏型可用重力浇注，但多数采用加压浇注。浇注时型温不高于 200℃，合金浇注温度在保证充填的前提下，尽可能低。对铝合金控制在 650℃左右，加压压力为 0.07MPa 左右。

对型腔复杂，透气性又极差的熔模石膏型，可用真空浇注(如调压铸造、差压铸造、真空吸注等)，工艺参数见表 7-281。

表 7-281 熔模石膏型浇注方法及工艺参数

| 工艺参数 | 真空下浇注 | 真空加压浇注 | 调压铸造 | 真空吸注 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 型温(℃) | 200~300 | 200~300 | 150~200 | 200~30 |
| 铝合金浇温(℃) | 680~720 | 680~720 | 680~700 | 680~720 |
| 真空度(MPa) | 0.03~0.06 | 0.03~0.06 | 0.03~0.06 | 0.02~0.05 |
| 充型压力(MPa) | — | — | 0.01~0.03 | 0.02~0.05 |
| 凝固压力(MPa) | 0.1 | 0.4~0.5 | 0.03~0.10 | — |

真空浇注及真空加压浇注是将石膏型放入密封室内，先抽真空，达到要求真空度时利用重力进行充型。充型完毕后，后者可立即加压使铸件组织较致密。调压铸造是密闭室内先抽真空以减少型腔内气体，然后按铸件形状及要求等合理调整型腔内压力，使合金液在压差作用下有控制地进入型腔，并在石膏型受力状态不变的条件下及时提高铸件凝固时的环境压力，以获得致密铸件。

调压铸造的充型压力和真空吸铸的充型压力需根据铸件的大小、壁厚、复杂程度以及合金种类等各种因素合理确定。

10 陶瓷型精密铸造

10.1 概述

10.1.1 工艺特点

陶瓷型铸造的工艺特点是以硅酸乙酯为粘结剂，与耐火粉料、催化剂和一些附加物混合成浆料，经过充分的搅拌，将它灌入预制的铸型中，在催化剂的作用下，液态的浆料逐渐发生凝胶、固化，经焙烧后，形成陶瓷型铸型(芯)。工艺过程和工艺过程示意图分别见图 7-190 和图 7-191。

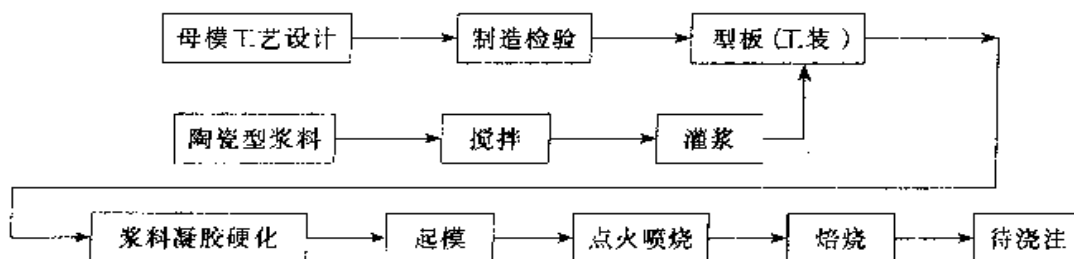


图 7-190 陶瓷型铸造工艺过程

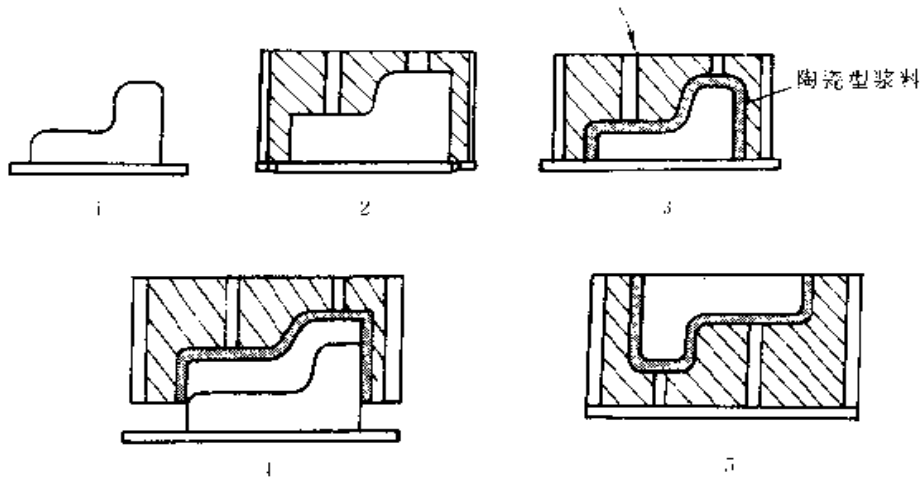


图 7-191 陶瓷型工艺过程示意图

1—模样 2—预制砂型 3—陶瓷型灌浆 4—起模 5—陶瓷型

陶瓷型铸造的优点:

1) 尺寸精度高,一般可达 CT5~7,尺寸变化有一定的规律性。美国金属学会规定铸钢件尺寸精度见表 7-282。

表 7-282 陶瓷型铸件尺寸误差 (mm)

| 尺寸范围 | <25 | 25~75 | 75~200 | 200~375 | >375 |
|------|-------|-------|--------|---------|-------|
| 尺寸误差 | ±0.08 | ±0.13 | ±0.38 | ±0.76 | ±1.14 |

2) 表面粗糙度较细,由于所用的耐火材料粒度细,且有较好的化学稳定性和高的耐火度,铸件表面粗糙度一般可达 $R_a 6 \sim 3 \mu\text{m}$ (与浇注合金材料及母模粗糙度有关)。

3) 可浇注各种不同的合金材料,如合金钢、碳钢、铸铁和有色合金等。

10.1.2 适用范围

陶瓷型工艺适用于制造批量不大、尺寸精度要求高和表面粗糙度要求低,采用熔模精铸容易产生变形的重大件,尤其适用形状复杂、加工困难或有特殊性能要求的重要零件和模具。

陶瓷型工艺已被广泛应用于浇注各类型腔模具。陶瓷型精铸模具的型腔只经抛光打磨即可达到图样的技术要求,不需仿型铣加工,从而缩短模具加工周期 40%~60%,降低成本 50%以上。对于型腔复杂的模具,其经济效益尤为显著。苏联汽车工业 70%的模具采用陶瓷型精铸工艺。在西方国家,虽然拥有大量数控机床等先进模具加工设备,但对于小型复杂的型腔

模,应用陶瓷型工艺仍有优势,如采用陶瓷型工艺精铸铍青铜塑料模具已得到广泛的应用。武汉机械工艺所研制的各类锻模、汽车前梁辊锻模、压铸模、后桥挤压模和铜基塑料模等已在生产中应用。此外,热芯盒模、造型型板模、金属型、玻璃模等也适合于用陶瓷型铸造。

10.2 陶瓷型工艺

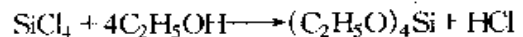
10.2.1 耐火材料

陶瓷型铸造常用的耐火材料有锆英粉、白刚玉(棕刚玉)、铝矾土、硅线石、硅石粉等,对一些特殊材料可用氧化铬、氧化镁等。

耐火材料的选用需根据浇注合金的种类、铸件大小和尺寸精度要求来决定。也可以根据耐火材料互补性来选用混合料。

10.2.2 粘结剂

陶瓷型铸造的粘结剂为硅酸乙酯。它由四氯化硅和乙醇相互作用而制成:



$(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_4\text{Si}$ 称正硅酸乙酯或称单乙酯, SiO_2 理论含量为 28.8%。在工业生产中由于乙醇的纯度不同和反应温度不一致,一般有两种规格。一种由正硅酸乙酯及其聚合物组成的混合物,通常称为硅酸乙酯-32 (30%~34% SiO_2)。另一种为聚硅酸乙酯,通常为硅酸乙酯-40 (SiO_2 38%~42%)。主要物理性能见表 7-283。

表 7-283 硅酸乙酯成分及性能

| 种类 | SiO_2 (%) | 密度 (g/cm^3) | 粘度 (20°C , $10^{-1}\text{Pa}\cdot\text{s}$) | HCl 含量 (%) | 110°C 以下馏分 (%) | 颜色 |
|---------|--------------------|-------------------------------|---|------------|----------------|-----|
| 硅酸乙酯-32 | 30~34 | 0.94~0.97 | 1.6 | ≤0.15 | ≤3 | 无色 |
| 硅酸乙酯-40 | 38~42 | 1.03~1.08 | 3.0 | <0.1 | ≤3 | 淡黄色 |

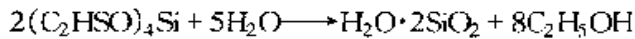
试验表明,在采用相同的 SiO_2 含量条件下,硅酸乙酯-40 比硅酸乙酯-32 的强度高。而且比价格也较低。

10.2.3 硅酸乙酯水解

硅酸乙酯是一种稳定的液体,需通过水解成为硅酸胶体,才可作为粘结剂使用。

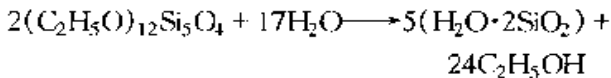
硅酸乙酯与水互不溶解,水解时一般需加入乙醇作溶剂,使水解反应在整个溶液中进行。水解反应进行很慢,还需加入催化剂才能快速完成水解过程。催化剂可用酸或碱,若用碱作催化剂,水解液很不稳定,很快凝胶。所以,一般催化剂选用盐酸。

硅酸乙酯水解原理是硅酸乙酯中的乙氧基($\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$)被水中的羟基(OH)所取代,同时发生聚缩反应。水解过程同时伴随着复杂的物理化学反应过程。加水量对硅酸乙酯水解是否完全,水解产生的 SiO_2 形状以及陶瓷型性能都有较大影响。加水量与硅酸乙酯中 SiO_2 含量和水解后水解液中 $\text{H}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ 的摩尔比有关。一般选 $\text{H}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ 克分子比值为 0.50。此时,单乙酯水解反应式为:



据计算,100g 硅酸乙酯理论加水量 $Q_{32} = 21.6\text{g}$

硅酸乙酯-40 的水解反应式为:



即 100g 硅酸乙酯-40 理论加水量为 $Q_{40} = 20.56\text{g}$ 。

实际上,加水量应根据气温等因素进行适当的调整,见表 7-284。

此外,水解时尚需加入一些附加物,如硫酸、醋酸、甘油等,以提高陶瓷型的强度,增加韧度或中和耐火材

表 7-286 陶瓷型浆料配比

| | 耐火粉料(g) | | | 水解液 (mL) | $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (对水解液%) |
|-----|------------------|------------------|---------------|-------------|-------------------------------------|
| | 粒度 0.212~0.150mm | 粒度 0.150~0.075mm | 粒度 0.053mm 以下 | | |
| 刚玉粉 | 10 | 30 | 60 | 38~42 | 0.2~0.4 |
| | 20 | | 80 | 40 | 0.2~0.4 |
| | 10 | 20 | 70 | 40 | 0.2~0.4 |
| 铝矾土 | 20 | 20 | 60 | 42 | 0.2~0.4 |
| | 30 | | 70 | 45 | 0.2~0.4 |
| | 10 | 30 | 60 | 42 | 0.2~0.4 |

浆液可用真空搅拌机进行搅拌,利用粘度或 pH 值传感器进行对浆料的粘度和 pH 跟踪,以准确测定凝胶时间,实现机械化操作。

10.2.6 无醇陶瓷型工艺

按常规,硅酸乙酯水解需加入乙醇,水解液存放 12h 以后,才能进行制浆。无醇陶瓷型工艺,是指在硅

料中的有害杂质。

表 7-284 加水量与气温的关系

| 种类 | 加水量(每 100g 硅酸乙酯计) | |
|---------|-------------------|------------------|
| | 气温高时 | 气温低时 |
| 硅酸乙酯-32 | $(1-0.1)Q_{32}$ | $(1+0.1)Q_{32}$ |
| 硅酸乙酯-40 | $(1-0.15)Q_{40}$ | $(1+0.15)Q_{40}$ |

注:表中 Q_{32} 、 Q_{40} 为硅酸乙酯理论加水量。

为便于操作,水解配比可换算成体积比。按体积的水解配比见表 7-285。

表 7-285 按体积计算的硅酸乙酯-32 水解液配方

| 名称 | 硅酸乙酯-32 | 水 | 乙醇 | HCl | 醋酸 |
|-------------|---------|---------|---------|------|-----|
| 加入量 (mL) | 550~570 | 105~125 | 315~335 | 5~12 | 4~5 |

10.2.4 陶瓷浆料促凝剂(催化剂)

水解硅酸乙酯即硅酸胶体,在固化剂(催化剂)的作用下,失去稳定性,溶胶变成冻胶,最后变成凝胶,与骨架耐火材料粘结在一起而起到粘结作用,且具有较好的高温强度。

催化剂的种类很多,国外常用有机胺类,国内常用 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 或 MgO 等。

10.2.5 陶瓷型灌浆

灌浆前模型必须涂分模剂,常用的有凡士林、油、石蜡、汽车光蜡和硅油等。

陶瓷型灌浆的关键是控制固液比和凝胶时间,合理的固液比可获得强度高、无裂纹的陶瓷型(芯)。固化剂的加入可控制凝胶时间,同时也是影响陶瓷型品质(质量)的重要因素。

工艺过程:把催化剂与耐火材料混合均匀,然后倒入水解液进行充分的搅拌,根据手感或浆料的阻力情况及时灌浆。陶瓷型灌浆配比,见表 7-286。

酸乙酯水解过程不需加入乙醇,直接将耐火材料与硅酸乙酯、水、盐酸和促凝剂混合在一起,经充分的搅拌。在搅拌过程中硅酸乙酯与耐火材料产生机械摩擦作用而相互接触,并且在较多盐酸的催化作用下,进行缓慢的水解过程。部分水解的硅酸胶体在促凝剂的作用下,将进行逐步的凝胶过程,即经过一段时间的搅拌,

把机械式水解与陶瓷型灌浆结合为一体,完成水解—灌浆工艺。工艺配比见表 7-287。它的优点是陶瓷铸型强度较高,简化了水解工艺,避免了水解液的配制误差而造成的浪费,适合单件生产。但它的缺点是搅拌时间较长,由于盐酸较多(5%~7%)而且有较强的气味,劳动条件较差,对复杂的铸件成形性较差,透气性差。

表 7-287 无醇陶瓷型浆料配比(质量分数)(%)

| 耐火材料 | 硅酸乙酯 | 水 | 盐酸 | 促凝剂 |
|------|-------|-------|-----|---------|
| 100 | 26~28 | 11~12 | 5~7 | 0.4~0.8 |

10.3 影响尺寸精度的因素

10.3.1 陶瓷型工艺对尺寸精度的影响

选用热膨胀系数不同的耐火材料,在相同母模条件下,铸件尺寸不尽相同。陶瓷型工艺中的固液比,除与裂纹缺陷有关外,还影响尺寸精度。表 7-288 说明

在固液比不同时,陶瓷铸型收缩率的变化。

表 7-288 固液比对陶瓷型起模后尺寸的影响

| 编号 | 固液比 | 母模尺寸 (mm) | 陶瓷型起模 后尺寸 (mm) | 收缩率 (%) | 备注 |
|-----|--------|--------------|----------------------|------------|------|
| 102 | 1:0.40 | 140.25 | 140.10 | 0.107 | 受阻收缩 |
| 103 | 1:0.45 | 140.25 | 139.90 | 0.25 | |
| 104 | 1:0.50 | 140.25 | 139.80 | 0.32 | |
| 201 | 1:0.40 | 7~6 | 75.75 | 0.296 | 自由收缩 |
| 202 | 1:0.40 | 7~6 | 75.80 | | |
| 203 | 1:0.45 | 7~6 | 75.50 | 0.625 | |
| 204 | 1:0.45 | 7~6 | 75.55 | | |
| 205 | 1:0.50 | 7~6 | 75.40 | 0.82 | |
| 206 | 1:0.50 | 7~6 | 75.35 | | |

陶瓷型铸型(芯)凝胶经脱模后,由于进一步脱水,继续产生收缩。在点火烧喷以及在焙烧后,型壳膨胀,尺寸扩大。

图 7-192 表示不同耐火材料在自由收缩状态,起模至焙烧阶段的尺寸变化。

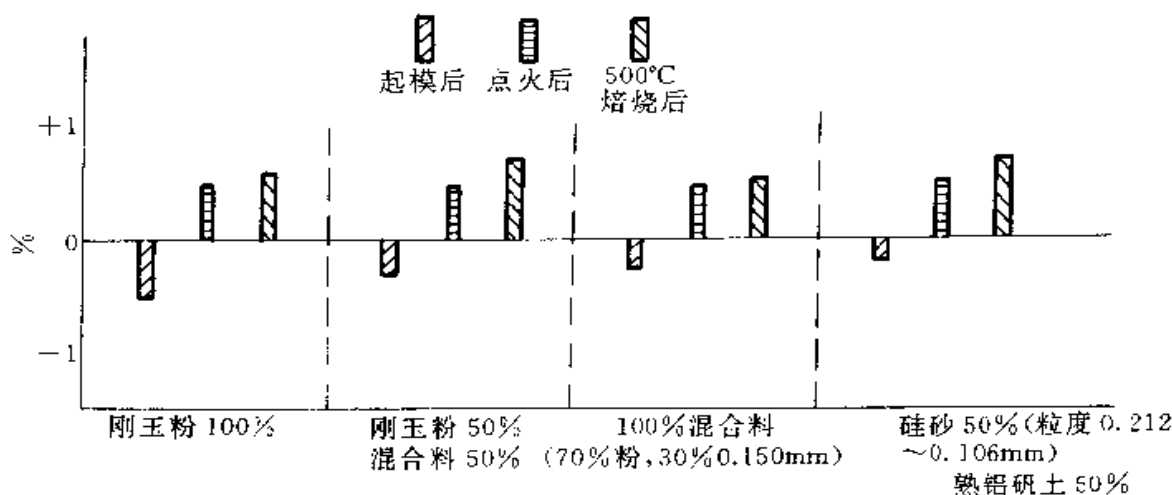


图 7-192 不同耐火材料的陶瓷型在自由收缩状态下的尺寸变化

10.3.2 工艺设计

工艺设计主要包括铸件收缩率和加工裕量(抛磨量)的确定,母模制造工艺等。

铸件收缩率是很重要而又复杂的问题,除考虑上述陶瓷型工艺过程尺寸变化影响外,还与铸件合金种类、铸型温度、铸件几何形状等有密切的关系。铸件收缩率需综合考虑上述因素才能确定。当然实践经验是很重要的因素,要注意积累和探索,往往需要经过多次调整才能达到满意的结果。表 7-289 是经验数值,供参考。

表 7-289 陶瓷型铸件的收缩率

| 合金种类 | 铸 钢 | | 铸 铝 | 铸 铁 |
|--------|---------|---------|---------|---------|
| | >100mm | <100mm | | |
| 收缩率(%) | 1.5~2.0 | 1.8~2.4 | 1.1~1.4 | 0.8~1.2 |

铸件收缩率的确定,一般对外型尺寸取上限,型腔

尺寸取下限,以保证型腔有足够的修整余量。型腔尺寸需根据加工余量(抛磨量)及收缩率,综合考虑。表 7-290 系铸件单面加工余量的经验数据。

此外,浇注位置对尺寸精度也有影响,母模制造工艺(如分型面的确定、母模的材料及制造精度)的影响也不能忽视。

表 7-290 陶瓷型铸件的加工余量

| 铸件加工 最大尺寸 (mm) | 加工余量(mm) | | | |
|----------------------|----------|-----------|--------|-------|
| | 加工方法 | | 有浇冒口平面 | 分型面 |
| | 磨削 | 抛光 | | |
| ≤50 | 0.2~0.3 | 0.15 | 1.5 | 1 |
| 50~100 | 0.3~0.4 | 0.15~0.20 | 2.0 | 1 |
| 100~250 | 0.4~0.5 | 0.20~0.30 | 3.0 | 1~1.5 |
| 250~500 | 0.5~0.7 | 0.3~0.4 | 3.5~4 | 2~2.5 |
| >500 | 0.8~1.0 | 0.5~0.7 | 4~5 | 3~3.5 |

10.4 影响表面粗糙度的因素

10.4.1 陶瓷型工艺对表面粗糙度的影响

合理的陶瓷型灌浆工艺,应保证陶瓷型不产生粗大的裂纹,这是获得较低表面粗糙度的前提。

要严格控制硅酸乙酯水解液的品质(质量)和灌浆后的凝固时间,以增加陶瓷型的强度,也为降低陶瓷型表面粗糙度打下基础。如果凝胶时间过长,浆料中的硅胶上浮,粗的耐火材料颗粒下沉,甚至产生陶瓷层分层现象,既降低强度,又增加了表面粗糙度。如果凝胶时间过短,则粉料搅拌不均匀,亦降低强度。表 7-291 表示凝胶时间与强度的关系。

表 7-291 陶瓷铸型强度与凝胶时间的关系

| 固化剂 | 耐火材料 ^① | 凝胶时间 (min) | 强度(平均) (MPa) |
|---------------------|-----------------------------------|---------------|-----------------|
| Ca(OH) ₂ | 刚玉粉 50%(240号) 人工混合料 50%(280号) | 10 | 0.508 |
| Ca(OH) ₂ | 刚玉粉 50%(240号) 人工混合料 50%(280号) | 2 | 0.43 |
| MgO | 刚玉粉 50%(240号) 人工混合料 50%(280号) | 20 | 0.53 |
| MgO | 刚玉粉 50%(240号) 人工混合料 50%(280号) | 14 | 0.64 |
| MgO | 刚玉粉 50%(240号) 人工混合料 50%(280号) | 10 | 0.68 |
| Ca(OH) ₂ | 熟铝矾土 50%(240号) 硅砂 50%(70~140目) | 2 | 0.32 |
| MgO | 熟铝矾土 50%(240号) 硅砂 50%(70~140目) | 11 | 0.44 |
| Ca(OH) ₂ | 刚玉粉 30%(240号) 人工混合料 70%(280号) | 1 | 0.31 |
| MgO | 刚玉粉 30%(240号) 人工混合料 70%(280号) | 15 | 0.62 |
| MgO | 刚玉粉 100% | 5~15 | 0.26 |

① 按磨料行业粒度标准

10.4.2 耐火材料对比对表面粗糙度的影响

表 7-292~表 7-293 为两种耐火材料不同粒度配比下得到的陶瓷型表面粗糙度。

表 7-292 不同粒度刚玉粉配合得到的 H_{cp} ^②值

| 编号 | 配 比 (%) | | | | H_{cp} (μm) | 备注 |
|----|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------------------|-----|
| | 100* ^① | 180* ^① | 320* ^① | W3.5* ^① | | |
| 01 | | 60 | 35 | 5 | 16.5 | 有裂纹 |
| 02 | | 50 | 45 | 5 | 11.0 | 有裂纹 |
| 13 | | 60 | 40 | | 10.0 | 无裂纹 |
| 14 | | 50 | 50 | | 9 | 无裂纹 |
| 15 | 20 | 50 | 30 | | 11.60 | 无裂纹 |
| 16 | 20 | 50 | 30 | | 15.60 | 无裂纹 |
| 17 | 20 | 40 | 40 | | 15.00 | 无裂纹 |

① 按磨料行业粒度标准。

② H_{cp} 为微观不平度的平均高度。

表 7-293 两种耐火材料配合得到的 R_a 值

| 编号 | 刚玉粉 | | 混合料 | H_{cp} (μm) |
|----|------------------|------------------|-----|-------------------------------|
| | 180 ^① | 320 ^① | | |
| 21 | | 50 | 50 | 8.4 |
| 22 | 40 | | 60 | 9.1 |

① 按磨料行业粒度标准。

11 连续铸造

11.1 概述

在结晶器(水冷金属型)的一端连续进入金属液,金属在结晶器型腔内连续地向另一端移动和凝固成形,在结晶器的另一端连续拔出铸件的铸造方法称连续铸造。

当拔出铸件达一定长度后,停止铸造过程,取走铸件,再重新开始的连续铸造法又称半连续铸造。

连续铸造的特点为:

1) 铸件整个长度上的各处都在相同条件下凝固成形,故可获得长度方向上性能一致的铸件;

2) 结晶器中凝固的铸件断面上有很大的温度梯度,并有很好的定向凝固和补缩条件,故铸件有较高致密度;

3) 铸件断面中部是在结晶器外自然冷却或用水强制冷却情况下完成凝固的,故可有效提高劳动生产率;

4) 铸造过程无浇冒口系统,并可用较小铸型多次重复生产长大的铸件,故生产消耗少;

5) 与砂型铸造比较节约了大量造型材料,并由此大大减少了灰尘和气体对环境的污染;

6) 较易实现生产过程自动化;

7) 本法只适用于大量生产断面形状简单,并在长度上形状不变的条、杆、板、柱、线、管状铸件,如各种合金(钢、铸铁、铜合金、铝合金等)的铸坯、线坯;不同断面形状(圆、正方、长方、六角、多齿等)的实心或中空坯料,供后续机械加工制成各种零件,如螺母、齿轮、锁体、液压及气压元件、金属切削机床导轨、柴油机缸套等。此外还有铁管。

11.2 连续铸造钢坯

用连续铸造法生产的钢坯为小方坯(断面 70mm × 70mm ~ 200mm × 200mm)、大方坯(断面 150mm × 100mm ~ 500mm × 400mm)、板坯(断面 150mm × 600mm ~ 300mm × 2640mm)、圆坯(断面 ϕ 80 ~ 450mm)、异形坯(断面为工字形、八角形、空心圆等)、薄板坯(厚 30 ~ 70mm)、和带坯(厚度 \leq 10mm)。

钢坯连续铸造法示意图 7-193,它们的优缺点比较见表 7-294。

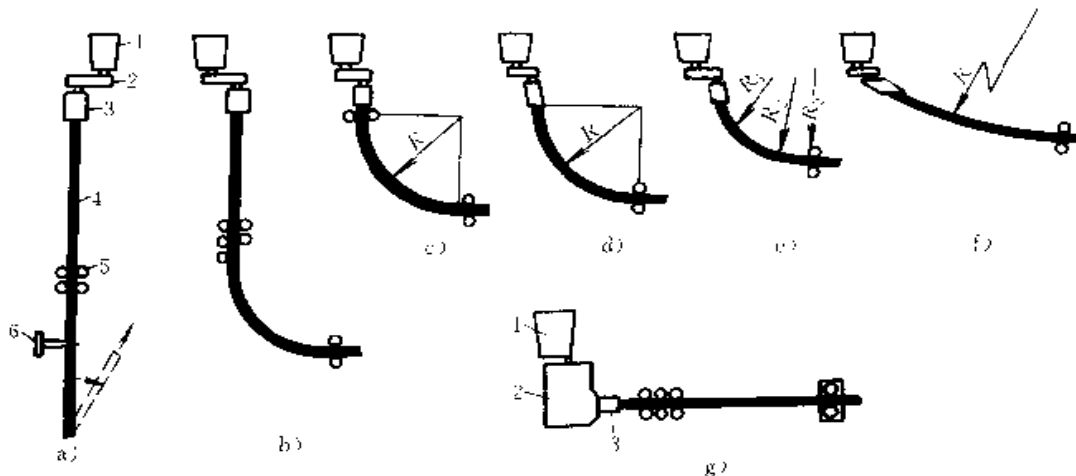


图 7-193 各种钢坯连续铸造法示意图

a) 立式 b) 立弯式 c) 直结晶器弧形 d) 弧形 e) 椭圆形 f) 准水平式 g) 水平式
1—钢包 2—中间包 3—结晶器 4—铸坯 5—辊 6—切割炬

表 7-294 连续铸造钢坯法及其优缺点比较

| 方法 | 立式 | 立弯式 | 弧形 | 椭圆形 | 准水平式 | 水平式 |
|-----|--|---|--|--|--|---|
| 特点 | 结晶器垂直布置, 铸坯流动轨迹为垂直线 | 结晶器垂直布置, 铸坯先是垂直流动, 凝固完成后被弯曲成水平流动 | 结晶器为直形或弧形, 铸坯按以 R 为半径的 $1/4$ 圆弧和该圆弧的水平切线流动 | 结晶器为椭圆弧形, 铸坯按椭圆弧的 $1/4$ 及其水平切线流动 | 结晶器倾斜布置, 铸坯按圆弧并很快转成水平流动 | 结晶器水平布置, 铸坯水平流动 |
| 优缺点 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 铸坯凝固和热交换的几何对称性好, 故结晶组织对称性好 2. 夹渣易上浮 3. 凝固过程铸坯不受弯曲, 可减少内、外裂纹 4. 设备结构简单, 占地少, 但较高, 基建投资大 5. 钢液对坯壳静压力大, 铸坯易鼓肚, 导致偏析和内裂 6. 拉坯速度低, 生产率低 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 铸坯凝固成形条件与立式相似 2. 可使铸机高度降低, 并使铸坯定尺长度的限制变小 3. 铸机结构较立式复杂 4. 只适用于生产断面小于 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的铸坯, 否则其优点就不明显, 故目前很少采用 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 铸机高度可明显降低, 设备质(重)量减轻, 基建投资较低, 铸机维护方便 2. 铸坯不易鼓肚、偏析、内裂减少 3. 可提高拉坯速度, 铸机生产率 4. 夹渣有向内弧聚集倾向, 铸坯内外弧上的冷却不均, 易成中心偏析 5. 设备占地面积大, 操作较难 6. 广泛应用 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 铸机高度比弧形低, 可进一步减少基建投资, 易维护, 但安装、调整较复杂, 占地面积大 2. 铸坯更不易鼓肚, 有利于防止内裂和中心偏析 3. 夹渣不易浮出, 易向内弧聚集, 故要求有净化钢液和氧化浇注操作, 对浇包、中间包耐火材料要求高 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 设备简单, 基建投资少, 易维护检修 2. 使铸机高度大为降低, 特适于浇注特大断面铸坯 3. 钢液静压力小, 铸机生产率高 4. 夹渣不易浮出而聚集在铸坯上部, 故对钢液净化、防氧化浇注要求更高 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 设备结构简单, 基建投资少, 易维护安装, 高度低 2. 铸坯不弯曲、不易生成裂纹 3. 夹渣不易进入结晶器, 无氧化浇注, 铸坯纯净度高 4. 对结晶器润滑困难, 不易生产大断面铸坯 5. 对中间包、水口通道耐火材料要求高 6. 生产率较低 |

11.2.1 连续钢坯用中间包及其操作

钢包、中间包和结晶器之间的位置见图 7-194。中间包可减小钢液静压力, 稳定流入结晶器的钢流, 减小钢流对结晶器的冲刷, 使钢液中渣子上浮, 把钢液分配至结晶器的各处, 并在更换钢包时起贮存钢液的作用, 其容量应满足大于 5min 和小于 10min 浇注的要求, 中间包内钢液深度为 600~1000mm, 最低液面高度大于 300mm, 钢液掉落点距水口应大于 500mm。

中间包底部的水口可开、闭, 图 7-195 示出了滑动式浇口。

在中间包底部可设多孔砖, 通过它往钢液中吹入惰性气体去除钢中杂质, 也可在中间包中安置挡渣墙或各种过滤器, 防止杂质进入结晶器。

11.2.2 连铸钢坯用结晶器及其操作

连续铸造钢坯用垂直或倾斜结晶器: 结晶器的工作壁主要用磷脱氧铜、紫铜制成, 也用含 $\text{Cr}0.5\% \sim 0.9\%$ 的铜铬合金、含 $\text{Ag}0.003\% \sim 0.1\%$ 的铜银合金或含 $\text{Be}1.8\% \sim 2.0\%$ 的铜铍合金。工作面上镀 $0.06 \sim 0.08\text{mm}$ 厚的铬。结晶器有整体式(图 7-196)、管式(图 7-197)和组合式三种, 它们的结构特点和适用范围, 见表 7-295。

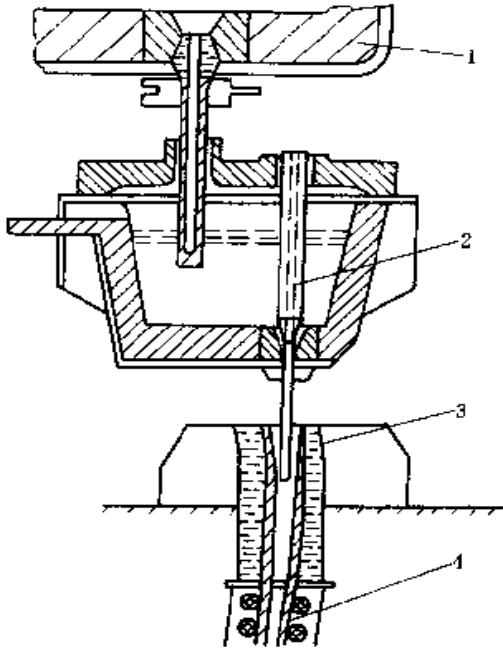


图 7-194 钢包、中间包和结晶器的位置

1—钢包 2—中间包 3—结晶器 4—二次冷却区

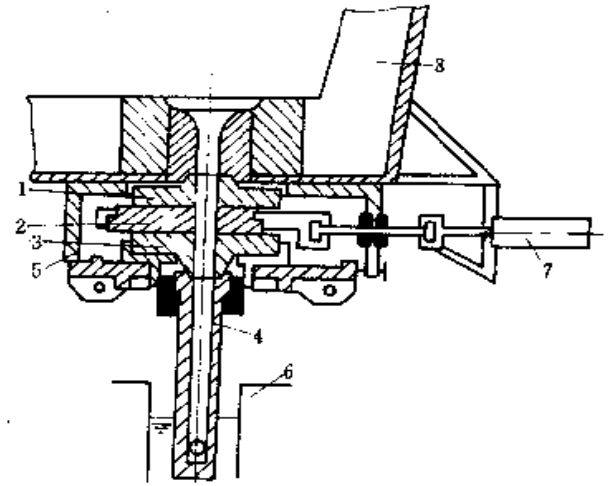


图 7-195 滑动式水口

1—上滑板 2—活动滑板 3—下滑板 4—伸入水口
5—滑动水口架 6—结晶器 7—液压缸 8—中间包

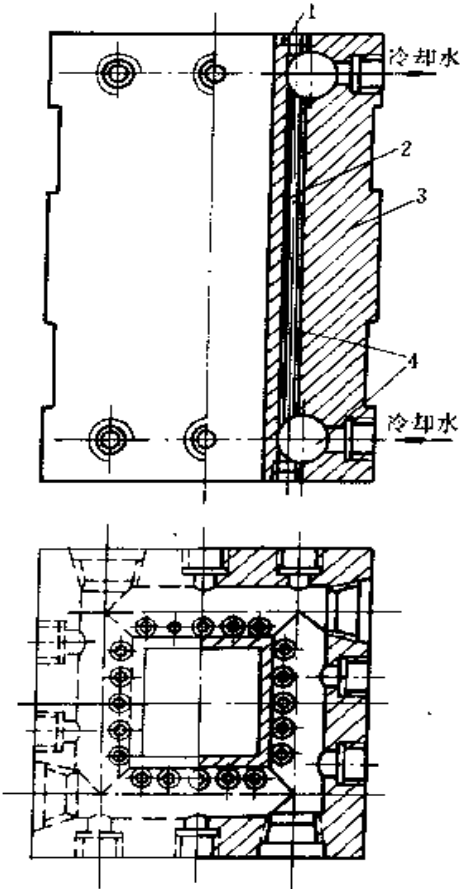


图 7-196 整体式结晶器

1—堵头 2—管 3—本体 4—冷却水通路

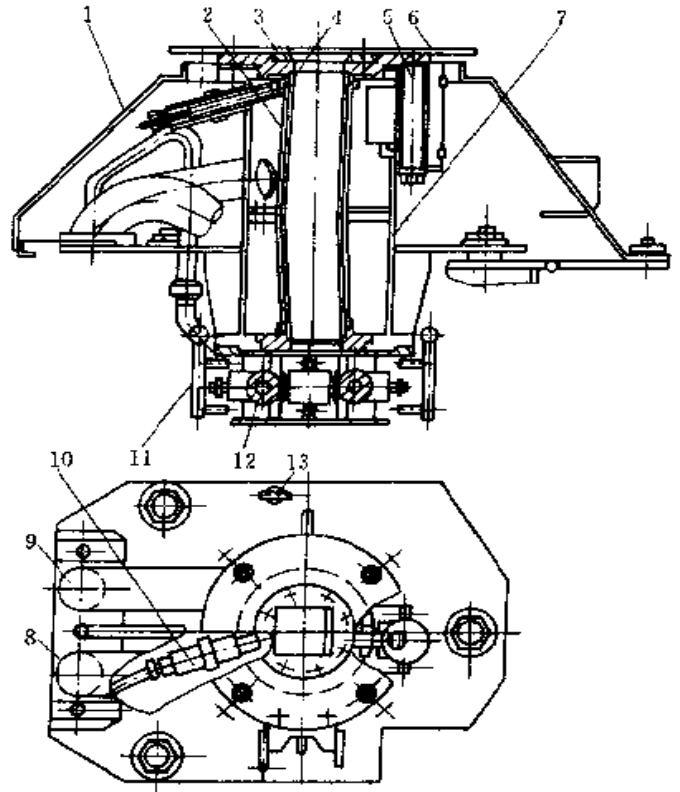


图 7-197 小方坯管式结晶器

1—外罩 2—内水套 3—润滑油盖 4—结晶器内壁
5—放射物容器 6—盖板 7—外水套 8—进水管 9—排水管
10—接收放射线装置 11—二次冷却水环 12—足辊 13—定位销

表 7-295 三种结晶器结构特点和应用范围

| 形式 | 整体式 | 管式 | 组合式 |
|------|--|---|--|
| 结构特点 | 用整块铜坯制成, 靠型腔表面有冷却水通道 | 由不同形状铜管形成结晶器工作壁, 管壁厚为 10~15mm, 其圆角半径为 8~15mm, 高度为 700~1200mm, 可装设的液面指示器 | 结晶器型腔宽度有可调和不可调两种, 工作壁由四块壁板组成, 由框架组成一个整体 |
| 应用范围 | 使用中不易变形, 但成本高, 内腔磨损不易修复, 适用于中小断面钢坯连铸, 近来较少应用 | 主要用于连铸小方坯, 铜管寿命可达 150~590 炉 | 主要用于连铸大方坯、矩形坯和板坯, 使用一段时间后, 可对铜壁进行修整, 工作寿命长 |

结晶器工作壁有倒锥度, 其值为 0.4%~1.0%。结晶器中冷却水流动速度以 6~8m/s 为宜, 其单位周边耗水量为 100~160m³/h·m。结晶器引起的拉坯阻力 F 的经验计算公式为:

$$F = (10000 \sim 15000)L \quad (\text{N})$$

式中 L ——结晶器周边长 (m)

为防止连铸钢坯时坯壳粘结晶器, 减小拉坯时坯壳与结晶器工作壁间摩擦力, 可通过结晶器供油系统在浇注时向结晶器壁注入润滑剂 (各种植物油、矿物油或石蜡、地蜡)。同时还应使结晶器上下振动, 表 7-296 示出了三种振动方式的比较。常用偏心轮机构使结晶器振动。

表 7-296 结晶器振动方式比较

| 振动方式名称 | 云岗式振动 | 负滑动振动 | 正弦振动 |
|--------|--|---|---|
| 振动特点 | 结晶器下降速度为拉坯速度, 其上升速度为拉坯速度的三倍, 是最早采用过的振动方式 | 结晶器下降速度比拉坯速度大 10%~40%, 其上升速度为下降速度的 2.8~3.2 倍。 | 结晶器振动的速度曲线按正弦规律变化, 目前广泛采用 |
| 优缺点 | 1. 能实现同步运动 2. 振动机构复杂, 受冲击力较大 | 1. 是同步振动的改进, 有利于愈合被拉裂的坯壳 2. 可适当提高拉坯速度 | 1. 振动过程无冲击 2. 能有效实现负滑动 3. 易于调整振动频率和振幅, 改善铸坯品质 (质量) 4. 振动结构简单 |

为减少钢坯中的非金属夹杂, 改善钢坯表面品质 (质量), 可采用电磁搅拌结晶器。

为减少浇注中钢液二次氧化引起的钢坯夹渣缺陷和改善钢坯表面品质 (质量), 可在结晶器中的钢液表面上撒保护渣, 其基料可为高炉渣、电厂灰、钾土、水坭熟料、白渣、硅灰石、蛭石或硅石砂等; 助熔剂为固体水玻璃、冰晶石、硼砂、苏打、萤石等; 此外在渣中尚需加入炭粉或石墨。保护渣的主要成分范围为 $\text{SiO}_2 + \text{CaO} 50\% \sim 70\%$ ($\frac{\text{CaO} + \text{BaO}}{\text{SiO}_2} = 0.5 \sim 1.0$)、 $\text{Al}_2\text{O}_3 < 8\%$ 、 $\text{MgO} < 4\%$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 5\%$ 、 $\text{Na}_2\text{O} 5\% \sim 10\%$ 、 $\text{F}_2 5\% \sim 8\%$ 、 $\text{C} 3\% \sim 7\%$ 、 K_2O 、 S 、 TiO_2 、 P_2O_5 、 Cl 等 $< 1\%$, 其熔点为 880~1200℃。

11.2.3 连铸钢坯的二次冷却

从结晶器出来的钢坯仅外壳为固态, 中心仍为液态, 故需对钢坯用喷嘴二次喷水冷却, 在二次冷却区内还有一系列支撑辊或滑板防止钢坯鼓肚、漏钢。较多采用喷水雾法, 因结构简单、易维护。喷水—气雾法的冷却效率虽较高、耗水量少, 易于调节, 但结构复杂, 工作时水汽太强, 仅在板坯连铸时获成功应用。也有在支撑辊内通水, 利用辊套进行二次冷却的方法, 但冷却效率低, 适于裂纹敏感钢种或直接热送轧制钢坯的连铸。

11.2.4 二次冷却后钢坯的处理

二次冷却后钢坯经矫直后, 再进入钢坯切割区用火焰切割机或机械剪切的方法在钢坯行进过程中切成一定长度的钢坯。

11.2.5 连铸钢坯工艺参数举例 (表 7-297)

表 7-297 连续铸钢坯工艺参数举例

| 钢坯截面 尺寸 (mm) | 结晶器 | | | 结晶器冷却水 | | 浇注 | | 结晶器振动 | | 二次冷却 | | | | 拉铸速度 (m/min) |
|--------------------|--------------|------------|-------------------|-------------|---------------------------|------------------|------------------|------------|---------------|------|-------------------|-------------|-----|-----------------|
| | 内廓尺寸 (mm) | 高度 (mm) | 工作壁 壁厚 (mm) | 水压 (MPa) | 流量 (m ³ /h) | 中间罐 容量 (t) | 浇注速度 (kg/min) | 振幅 (mm) | 频率 (次/min) | 段数 | 冷却强度 (kg水/kg钢) | 水压 (MPa) | 喷嘴数 | |
| 100×150 | 100×150 | 700 | 18 | 0.4 | 50 | 1.2~6 | 160~300 | 15 | 118 | — | — | — | — | 1.8 |
| 150×150 | 154×154 | 750 | 20 | 0.5~0.6 | 80 | — | — | 15 | 110 | 3 | 1.2~1.5 | 0.3~0.6 | 60 | 1.3 |

11.3 (半) 连续铸造铁管

(半) 连续铸造法生产用于输送水、煤气的铁管公称直径为 75~1500mm，长度为 3~6m，管壁厚为 5~30mm；材质为灰铸铁、稀土铸铁或球墨铸铁，所得铸铁管都不再进行热处理。表 7-298 为灰铸铁管和球墨铸铁管的性能特点。

表 7-298 铁管性能特点

| 铁管 | 试水压力 (MPa) | 抗拉强度 (MPa) | 管环抗 弯强度 (MPa) | 压扁率 (%) | 硬度 (HBS) |
|-----------|---------------|---------------|---------------------|------------|-------------|
| 灰铸 铁管 | 1.45~2.95 | ≥140 | ≥275 | — | ≤210 |
| 球墨 铸铁管 | 3.0~4.0 | ≥350 | — | ≥5 | ≤230 |

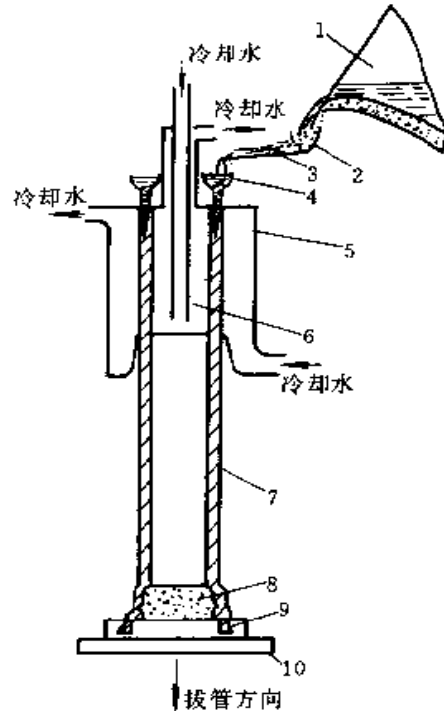


图 7-198 半连续铸铁管工艺原理示意
1—浇包 2—流槽 3—铁液 4—旋转浇杯
5—外结晶器 6—内结晶器 7—铁管
8—承口砂芯 9—引管铸块 10—引管盘

图 7-198 所示为半连续铸铁管工艺原理，铁液经旋转浇杯底部的小孔连续地进入内、外结晶器之间的间隙，边凝固边往下移动，在结晶器下面出口处有一定厚度凝固外壳的铁管连续地被引管盘上的引管铸块拔出，铸管达一定长度后，停止浇注，把铁管放成水平位置。结晶器在拉管时上、下振动，也有用间歇拉管替代结晶器振动的工艺。表 7-299 示出了灰铸铁管半连续铸造的工艺参数。

表 7-299 灰铸铁管半连续铸造工艺参数

| 铁管公称 直径 (mm) | 铁管壁厚 (mm) | 浇注温度 (°C) | 脱型时间 (s) | 出管温度 (°C) | 拉管速度 (m/min) | 结晶器振动 | | 旋转浇杯 转速 (r/min) | 冷却水 | |
|-----------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-----------------|---------------|------------|-----------------------|-----------|--|
| | | | | | | 频率 (次/min) | 振幅 (mm) | | 水压 (MPa) | 流量 (m ³ /min) |
| 75~150 | 9~9.5 | 1360~1300 | 23~30 | 1000~1080 | 2.20~1.70 | 140 | 4~10 | 32~25 | 0.15~0.25 | { 0.095~0.155 (外器) 0.125~0.204 (内器) |
| 200~350 | 10~12 | 1360~1240 | 29~40 | 1000~1050 | 2.05~1.38 | 140 | 4~10 | 22~18 | 0.15~0.75 | { 0.171~0.317 (外器) 0.316~0.36 (内器) |
| 400~600 | 12.8~15.4 | 1300~1240 | 40~50 | 1000~1050 | 1.5~1.07 | 180 | 4~10 | 14~9 | 0.15~0.25 | { 0.342~0.634 (外器) 0.50~0.825 (内器) |
| 700~1200 | 16.5~25 | 1280~1240 | 60~100 | 1000~1050 | 1.13~0.64 | 180 | 4~10 | 8~5 | 0.15~0.25 | { 1.32~2.06 (外器) 1.28~2.12 (内器) |

在结晶器中快速冷却的铁管不会是白口组织，因在空气中，铁管壁中部的高温铁会加热铁管表层组

织，起回火的作用。

图 7-199 示出了用钢丝绳和重砣带动引管盘的连

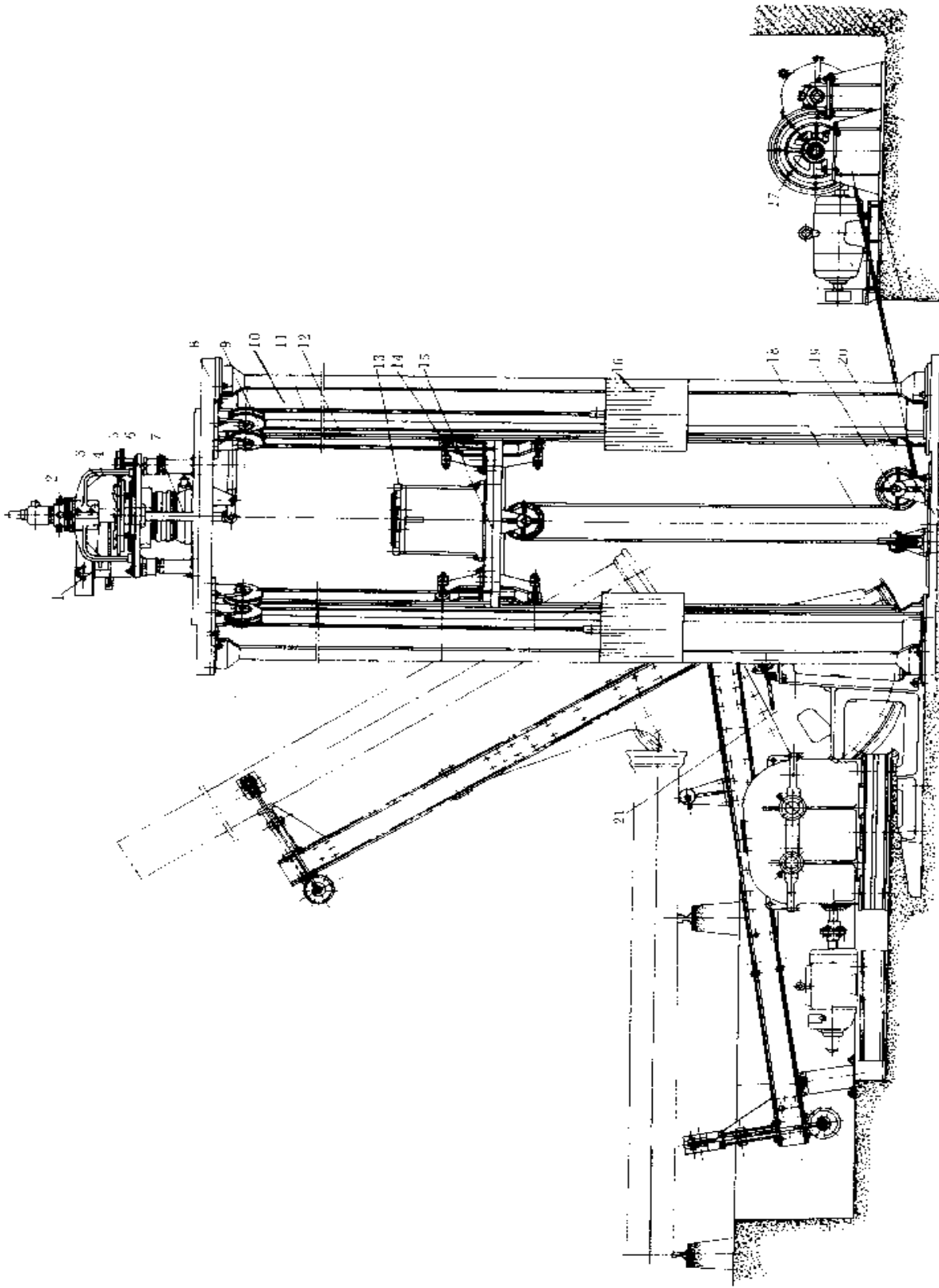


图7-199 连续铸管机总图

- 1—铁液流槽 2—内结晶器 3—内结晶器支架 4 旋转浇杯 5—浇杯旋转装置(齿轮机构) 6—外结晶器 7—结晶器振动装置的立杆 8—上平板 9—上、下平板
- 10—立柱 11—钢丝绳 12—导轨 13—引管盘座 14—滚轮 15—升降盘 16—重砣 17—卷扬机 18—钢丝绳 19—滑轮 20—下平板 21—倒管机

续铸管机总图。结晶器和浇注装置全处于上平板 8 的上部。引管盘由卷扬机 17 通过钢丝绳往下拉，而使引管盘上升的动力为重砣 16。铸好的铁管由倒管机 21 放成水平。滚轮 14 沿导轨 12 滚动，用它保持引管盘升降时的水平位置。结晶器的振动靠立杆 7 的上下移动实现。

也可用卷扬钢丝绳替代重砣使升降盘上升，但只适用于小直径铁管铸造。用液压柱塞杆带动升降盘具

有操作简便、拉管平稳的优点，但结构复杂，土建工程大。升降盘的上下应实现无级调速，其调速范围为 0~5m/min。

对于生产公称直径为 300mm 以下铁管的铸管机，可同时铸两根铁管，称双拉铸管机，其旋转浇杯结晶器和引管盘结构见图 7-200。单拉铁管用结晶器结构见图 7-201。

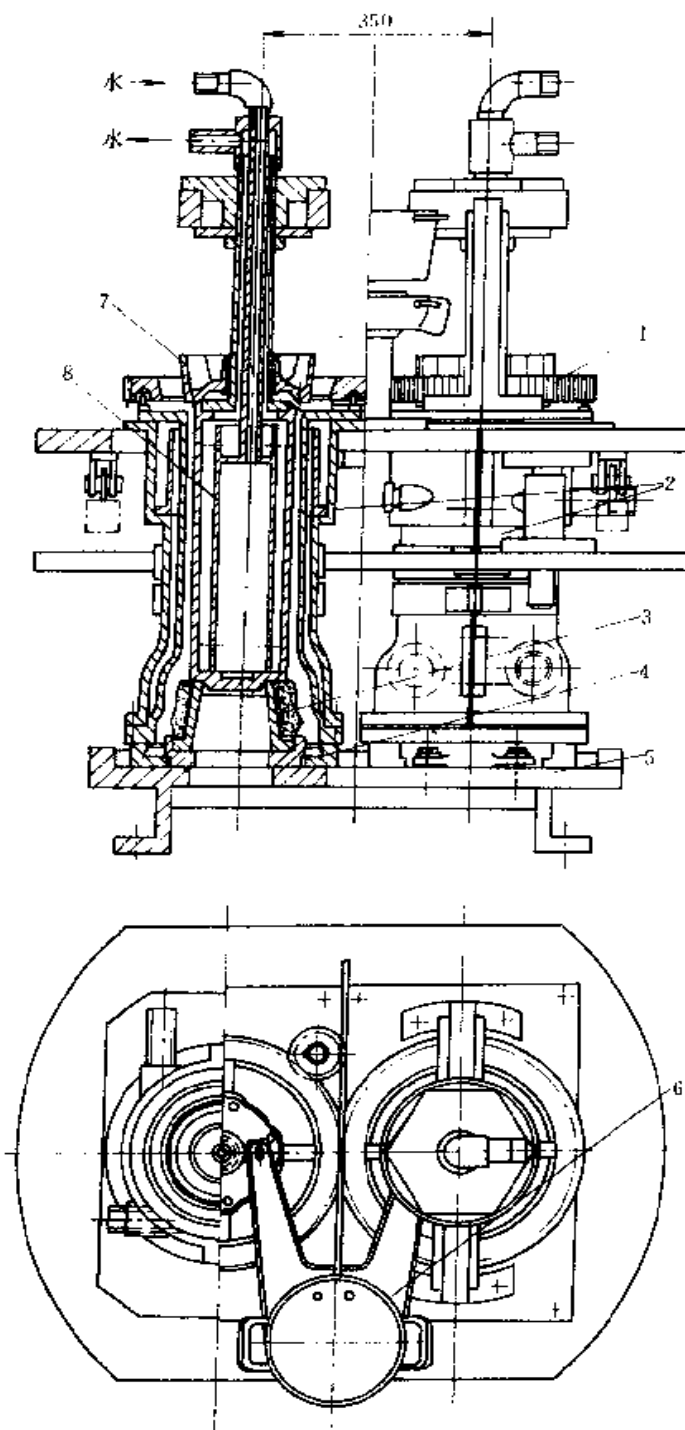
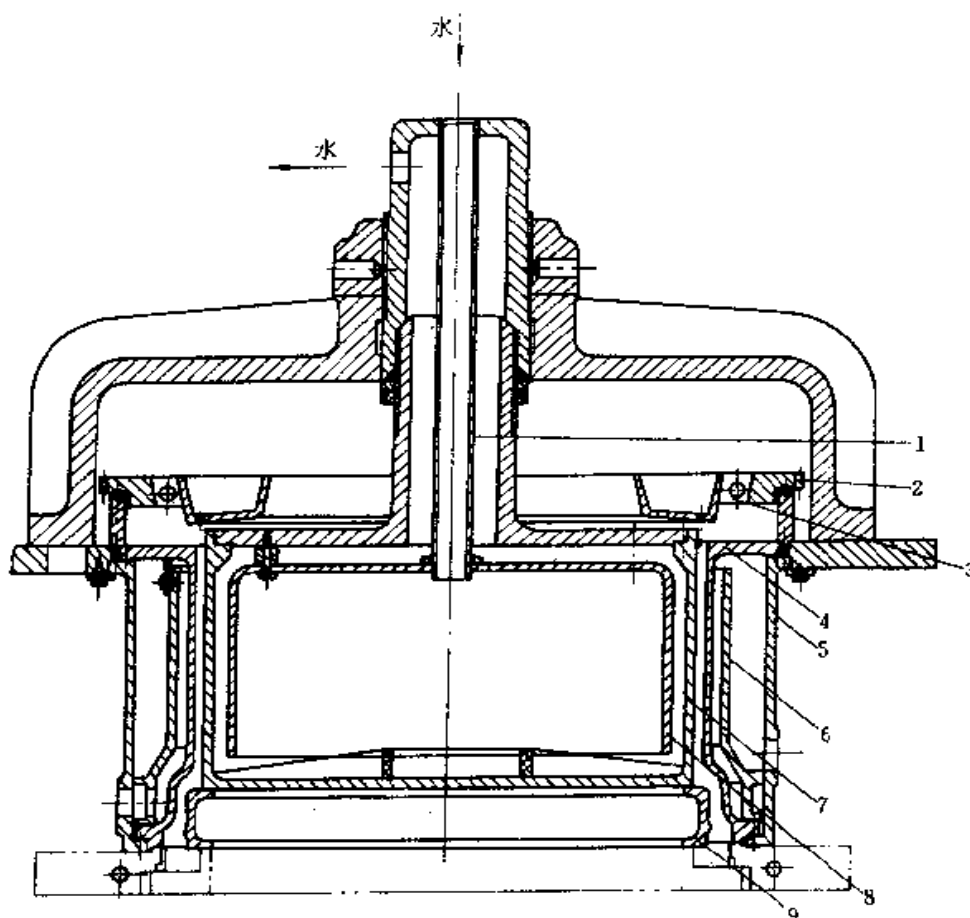


图 7-200 双拉铁管 ($\phi 150\text{mm}$) 用旋转浇杯、结晶器和引管盘组装图

1—转浇杯对转齿轮 2—外结晶器 3—承口芯 4—引管铁模 5—双拉底盘 6—双流浇口 7—旋转浇杯 8—内结晶器

图 7-201 单拉铁管 ($\phi 1200$) 内、外结晶器组装图

1—内结晶器进水管 2—牙圈 3—转浇杯 4—外结晶器工作套 5—外壳
6—引水圈 7—内结晶器工作套 8—内胆 9—承口铁芯

内结晶器工作壁应比外结晶器高出 10~15mm, 外结晶器工作壁 (不含承口高) 总高度为 300~500mm (对铜工作壁言) 或稍高 (对铸铁工作壁言), 其下部有高度为 100~150mm 的倒锥度, 其值为 $1/150 \sim 1/16$, 铁管直径越小, 锥度也越小, 铜质工作壁的锥度比铁质的大。内结晶器下部也有同样的倒锥度, 其高度比外结晶器上的大 20~60mm, 锥度比外结晶器上的稍大。生产球墨铸铁管时, 考虑到球墨铸铁凝固时较大的缩前膨胀特点, 外结晶器工作壁上可不做出倒锥度, 内结晶器工作壁中部制出稍许内凹的双曲线形或在下部制出向下扩大直径的小锥度, 以消除球墨铸铁管内壁上的内沟缺陷。不同材质结晶器工作壁的特点见表 7-300。

图 7-199 中所示倒管机 21 系用电动机通过变速箱转动连接抱管机架的扇形齿轮使抱管机架起立或躺下, 也可用液压缸完成此动作, 动作将更平稳。

图 7-202 为 $\phi 500 \sim 800$ mm 铁管半连续铸造用旋转浇杯的传动装置。

表 7-300 不同材质结晶器工作壁特点

| 材 质 | 特 点 |
|---------------------|--|
| 低锡青铜 (Sn \leq 2%) | <ol style="list-style-type: none"> 1. 热导性和延伸性好, 能承受激冷激热作用, 不易开裂, 使用寿命长 (小口径铁管为 1000~5000 次; 中口径铁管为 400~1000 次, 大口径铁管为 100~500 次) 2. 允许提高拉管速度, 可提高生产率 3. 铁管表面品质 (质量) 好 4. 价格高 |
| 碳钢或耐热钢 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 力学性能好, 热导性稍差, 使用寿命较长 (小口径铁管为 300~700 次, 中、大口径铁管为 100~500 次) 2. 拉管速度较快, 铁管表面品质 (质量) 较好 3. 常用于制内结晶器 |
| 铸铁 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 热导性差, 表面易生热应力疲劳龟裂, 使用寿命短 2. 拉管速度小, 铁管表面品质 (质量) 差 3. 易于组织制造 |

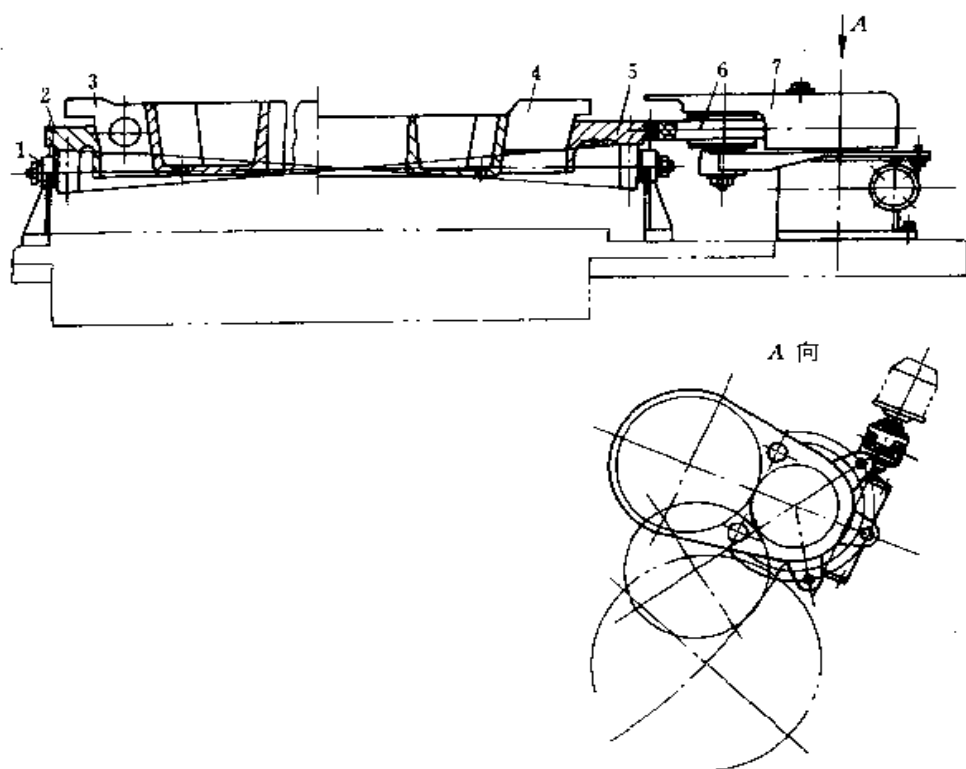
图 7-202 $\phi 500\sim 800\text{mm}$ 铁管半连续铸造用旋转浇杯传动装置1—托辊 2— $\phi 700\sim 800\text{mm}$ 铁管铸造时用齿圈 3— $\phi 700\sim 800\text{mm}$ 铁管铸造用转浇杯4— $\phi 500\sim 600\text{mm}$ 铁管铸造用旋转浇杯 5— $\phi 500\sim 600\text{mm}$ 铁管铸造用齿圈 6—齿轮 7—变速箱

表 7-301 为三种引管装置的工作原理和工作特点。

表 7-301 三种引管装置的工作原理和特点比较

| 引管装置 | 工作原理 | 工作特点 |
|-------------------------------|--|--|
| 承口外形引管 (图 7-203a) | 利用承口端上外形上小下大的凸缘引管, 模具作用在承口端凸缘上将管子下拉 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 引管力大, 可靠 2. 不另外消耗铁液, 不增加清理工作量 3. 与引管模接触处的承口外表面易得白口层, 两半引管模间缝隙中会进入铁液, 产生飞翅 |
| 承口端部铸出燕尾槽引管 (图 7-203b) | 在承口下端铸出两块凸出的燕尾槽, 装在引管盘上的模具作用在燕尾槽上, 下拉铁管 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 结构简单 2. 消耗一些铁液, 最后需打去燕尾槽 3. 用得较多 |
| 使用铸铁承口芯, 利用承口芯凸缘引管 (图 7-203c) | 铸铁承口芯做成几块, 工作时拼成圆形固定在引管盘上, 利用承口芯上的凸缘下拉铁管 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 引管力大, 可靠 2. 不消耗铁液, 不增加工作量 3. 适用于承口内壁上有凹槽的铁管生产 |

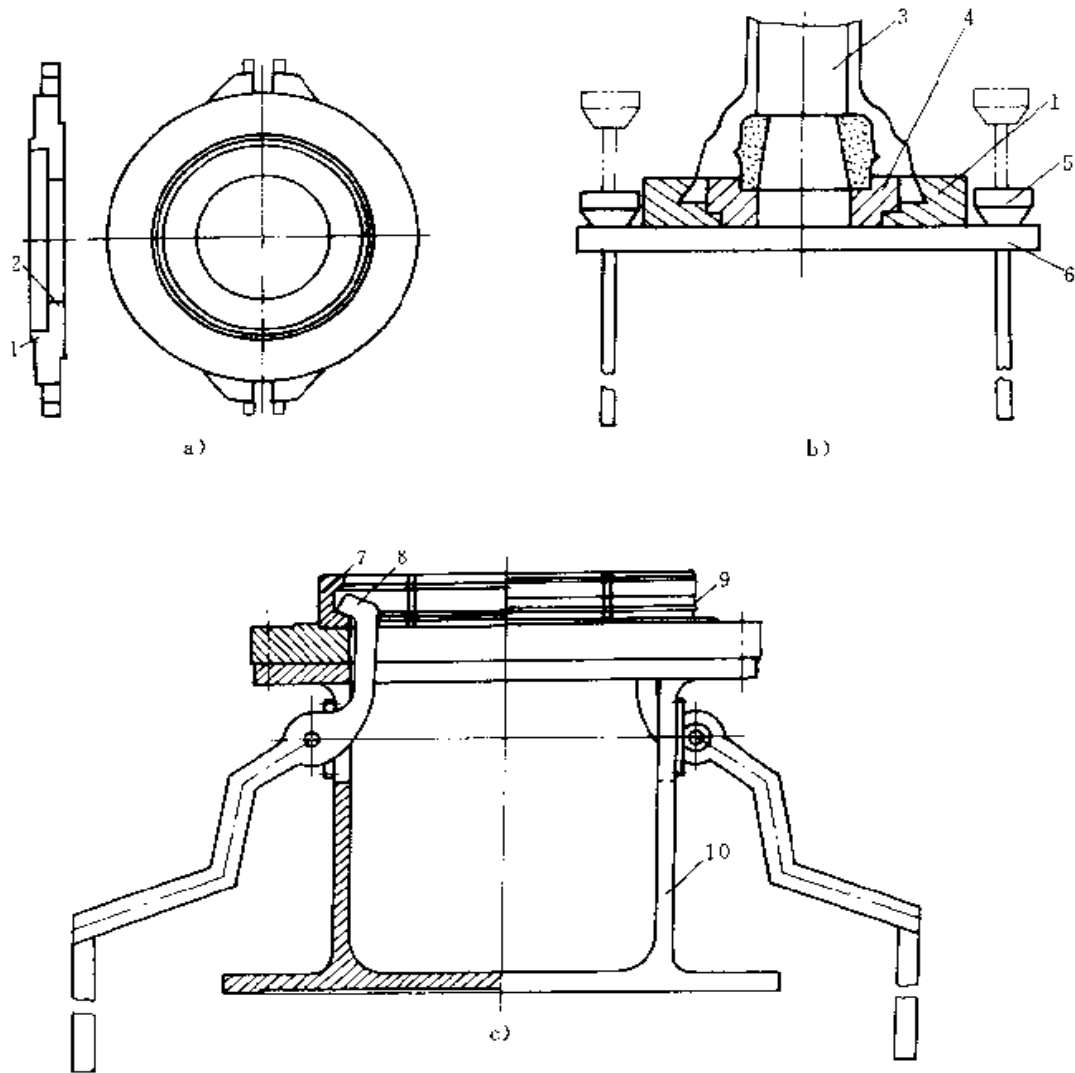


图 7-203 三种引管装置用模具

a) 承口外形引管 b) 燕尾槽引管 c) 铸铁承口芯凸缘引管

1—引管盘 2—承口芯座孔 3—铁管 4—承口芯座 5—顶杆 6—升降盘 7—承口铁芯 8—自动卡 9—铁芯凸缘 10—引管座

铸得铁管经切齐插口端，水压检验（有时加气压检验）、外表面涂防腐沥青后入库。有时输水铁管内表面需铺水泥层。

可为 50mm×50mm~200mm×200mm。水平连续铸造铁坯生产线见图 7-204。所用铁液化学成分范围见表 7-302。生产高牌号铸铁时，可在铁液中添加 Cu、Mo 等合金元素，有时铁坯需经热处理。

11.4 连续铸造铁坯

常用水平连续铸造法生产圆断面、方断面的球墨铸铁与灰口铸铁的坯料，供进一步加工成齿轮、活塞、轮轴、导轨、配重块、导轨、油缸盖、集成块等零件。圆棒坯的直径为 30~250mm 方坯的断面尺寸

连铸铁坯时采用间歇拉坯的工艺，当铁坯拉成一定长度后，先用同步随动砂轮片在铁坯上切出缺口，而后进入压断机被压断（见图 7-204）。表 7-303 为连铸铁坯的工艺参数范围。

表 7-302 连铸铁液化学成分范围

| 铁液 | 牌 号 | 化 学 成 分 (%) | | | | | | |
|------|---|-------------|---------|---------|-------|-------|-----------|-----------|
| | | C | Si | Mn | P | S | Mg 残 | RE 残 |
| 灰铸铁 | HT150、HT200、HT250、HT300 | 2.9~3.6 | 2.1~2.6 | 0.4~0.6 | ≤0.20 | ≤0.1 | — | — |
| 球墨铸铁 | QT400-15、QT450-10、QT500-7、QT600-3、QT700-2 | 3.5~3.9 | 2.7~3.4 | ≤0.40 | ≤0.07 | ≤0.02 | 0.03~0.06 | 0.01~0.03 |

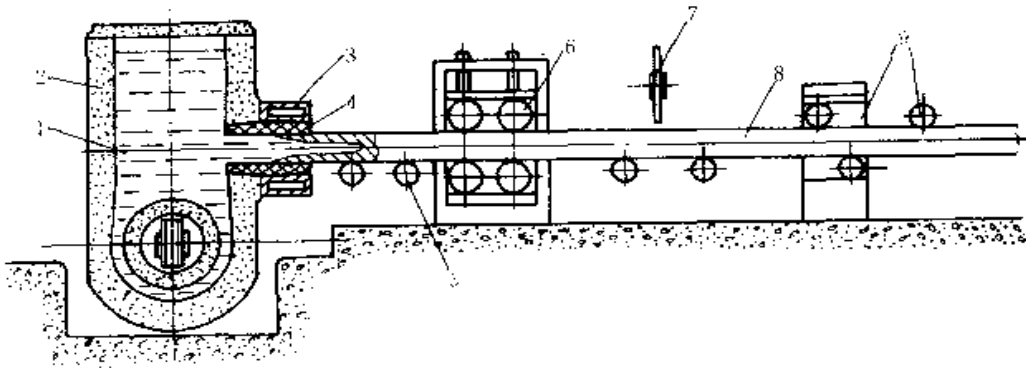


图 7-204 水平连铸铁坯示意图

1—铁液 2—感应保温炉 3—水冷铜结晶器 4—结晶器石墨内套 5—支承辊
6—拉坯机 7—砂轮片 8—铁坯 9—压断机

表 7-303 连铸铁坯工艺参数范围

| 铁液保温 温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 结晶器出口 处铁坯温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 一次拉坯 时间 (s) | 一次拉坯 行程 (mm) | 停拉间歇 时间 (s) | 拉坯速度 (m/min) | 冷却水 | | 工艺收得率 (%) |
|--------------------------------------|--|-------------------|--------------------|-------------------|-----------------|---|------------------------------|--------------|
| | | | | | | 进入结晶器 时的温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 温升 ($^{\circ}\text{C}$) | |
| 1180~1250 | 850~1050 | 1~10 | 2~100 | 2~20 | 0.2~2 | 20~30 | 10~15 | 90~97 |

11.5 有色合金的连续铸造

用连续铸造法生产的有色合金坯有铝合金坯、镁合金坯、铜合金坯、镍合金坯和锌合金坯等。大多坯材的断面为圆形、环形、方形，但还可以为多种特异形状（见图 7-205）。一般圆坯最小直径可为 10mm，而最大直径可达 500mm（铜合金坯）、800mm（镁合金坯）或 1200mm（铝合金坯），板坯的最大厚度可达 300mm（铜合金坯、镁合金坯）或 500mm（铝合金坯），最小厚度为 6mm，最大宽度可为 1200mm（铜合金坯）或 2000mm（铝合金坯）。铝管坯的最大外径可达 850mm，壁厚可为 15~125mm。

用得较广泛的有色合金连续铸造法为立式半连续铸造法、水平连续铸造法，此外尚有轮式连铸机专门生产梯形断面的铝杆坯、上引式连铸铸机生产铜合金杆坯。

11.5.1 立式半连续铸造有色合金坯

断面尺寸较大的合金坯大多采用立式半连续铸造法，铝合金坯的长度为 1~6.5m，铜合金坯的长度为 4~6m。图 7-206 为四种合金坯生产时所使用的四种

立式半连续铸造机的铸坯拉拔传动方式，拉坯速度为 1.7~28.5cm/min。其中圆辊拉坯方式只适用于直径不大于 300mm 的圆坯铸造。

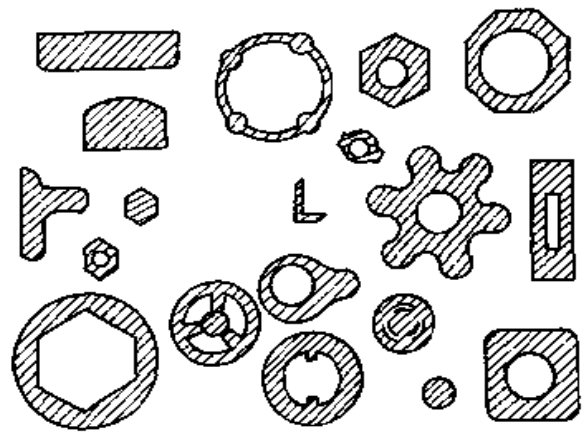


图 7-205 有色合金连铸坯材的异形断面

图 7-207 为数种用于合金坯立式半连续铸造用的结晶器结构。不同合金立式半连续铸用结晶器特点说明，见表 7-304。

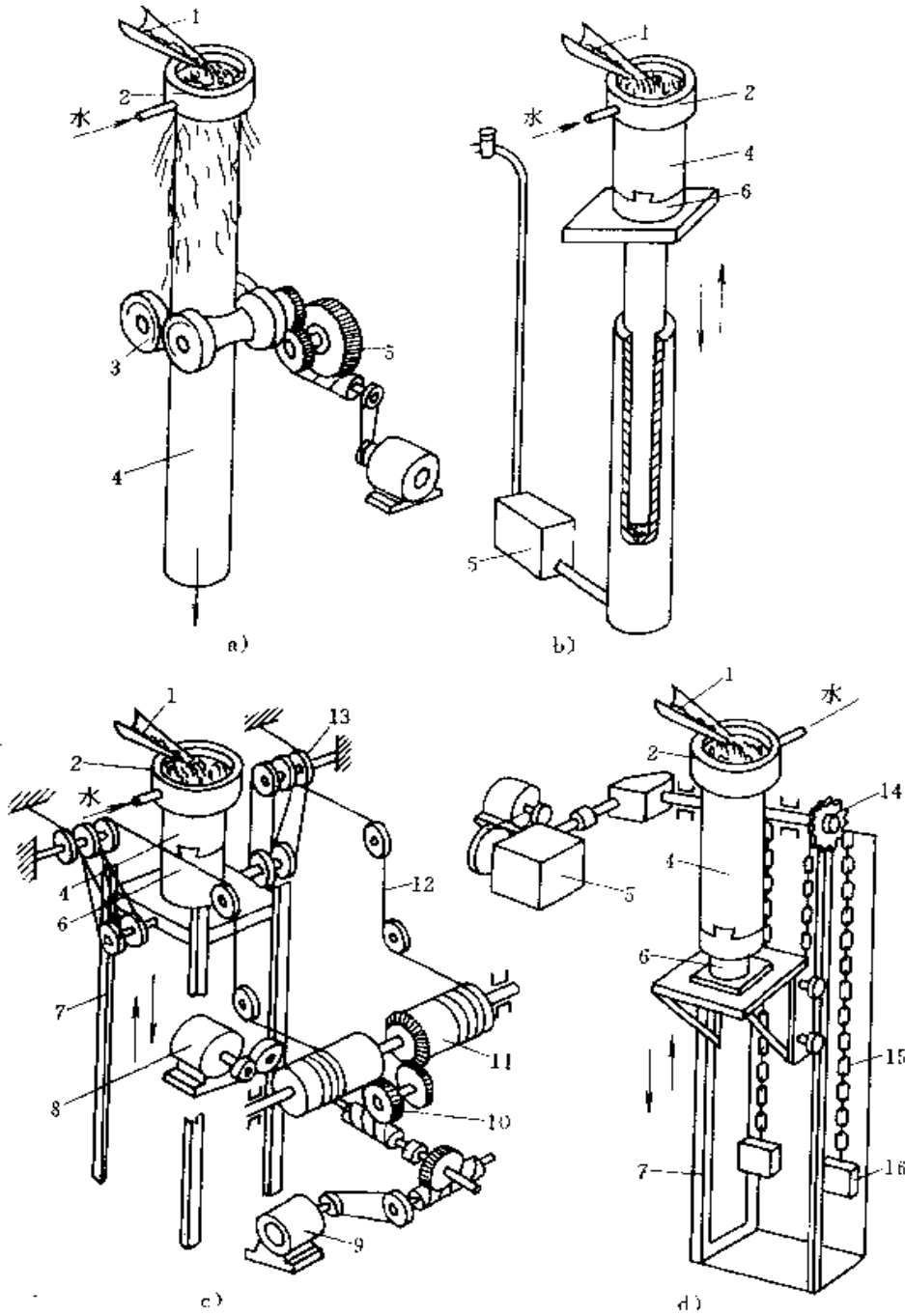


图 7-206 不同传动方式的有色合金半连续铸造机

a) 辊轮拉坯 b) 液压传动拉坯 c) 钢丝绳传动拉坯 d) 链传动拉坯

1—金属液 2—结晶器 3—辊轮 4—铸坯 5—齿轮传动系统 6—引坯盘 7—引坯盘导轨
8、9—电动机 10—减速器 11—鼓轮 12—钢绳 13—滑轮组 14—星轮 15—链 16—对重

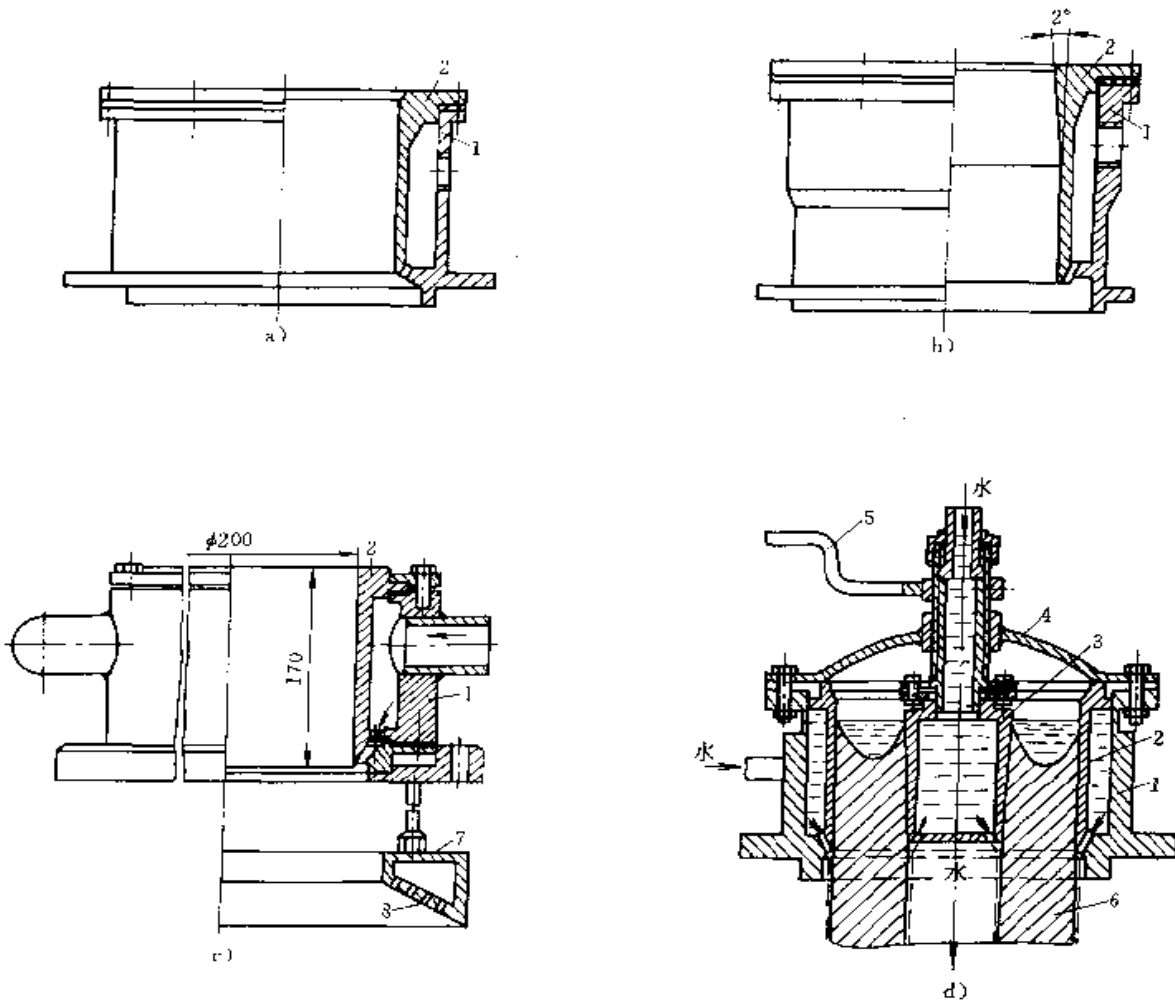


图 7-207 有色金属立式半连续铸造用结晶器构造特点

a) 一般有色金属连铸用结晶器 b) 易生裂纹、外表面上易有冷隔的合金、直径较大的铸坯连铸用结晶器
c) 热容量较大需重复二次冷却铸坯连铸用结晶器 d) 半连续铸管坯用结晶器

1—结晶器外壳 2—内套 3—内结晶器 4—支架 5—提升、下降内结晶器用手把
6—铸坯 7—重复二次冷却喷水器 8—出水孔

表 7-304 不同合金立式半连续铸用结晶器特点

| 合金 | 铝合金 | 镁合金 | 钢合金、镍合金 |
|-------|---|--|---|
| 结晶器特点 | 1. 外壳用铝合金或铜制成，为套用紫铜、低合金铜或硬铝合金制造 2. 结晶器高度较低，当铸坯直径为 110~650mm 时，其高度为 120~180mm，当中空坯壁厚为 50~120mm 时，其高度为 150~180mm 3. 铸中空坯时，内结晶器表面的锥度为 1:15 | 1. 结晶器用材料同铝合金连铸 2. 结晶器高度约为铸坯直径的 1/2。内套上部的倒锥高度约为结晶器高度的 1/3 3. 工作套壁厚为 15mm 4. 有 2~4 个进水口，出水孔的总面积比进水口面积小 20%，出水孔直径为 2~3mm，间距 10~15mm | 1. 结晶器内套用紫铜或低合金铜制造，有时内套中可加石墨衬套（图 7-208），以减小拉坯时的摩擦阻力，降低铸坯表面粗糙度 2. 常用重复二次冷却（图 7-207d） 3. 结晶器高度为 100~500mm，连铸无氧铜坯时，结晶器高为 170~200mm 4. 结晶器工作时上下振动，频率为 70~80 次/min，振幅 2~4mm |

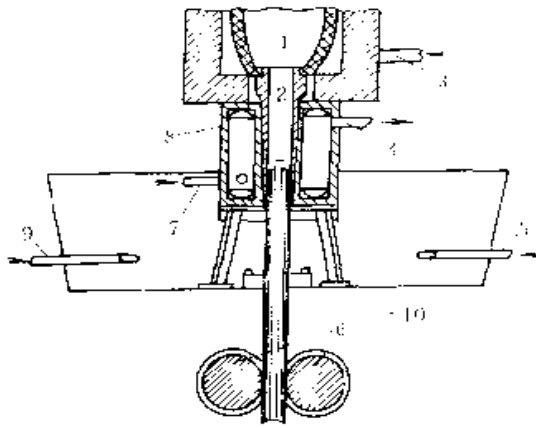


图 7-208 结晶器内有石墨衬套的半连续铸造机

- 1—石墨衬套 2—石墨衬套 3—燃气喷嘴
- 4—出水口 5、9—冷却水嘴 6—拉坯辊轮
- 7—进水口 8—钢结晶器 10—引坯器

(图 7-210).

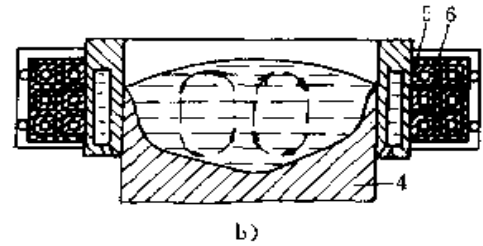
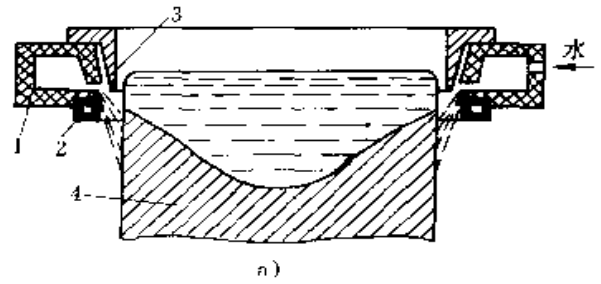


图 7-209 电磁结晶器

a) 起支撑金属液作用的电磁结晶器 (500~2500Hz, 5~100V)

b) 起搅拌金属液细化晶粒作用的电磁结晶器

- 1—壳体 2—感应圈 3—金属挡圈
- 4—铸坯 5—导磁体 6—绝缘体

近年来电磁结晶器在立式半连续铸造中获得应用, 图 7-209 为两种电磁结晶器。

为防止浇注时合金的二次氧化, 除了一般的用浇注槽把合金液引入结晶器外, 还用虹吸管、埋入浇注漏斗等金属液导引装置 (图 7-210), 还可在这类装置中放过滤网、颗粒过滤器或陶瓷过滤器净化金属液。

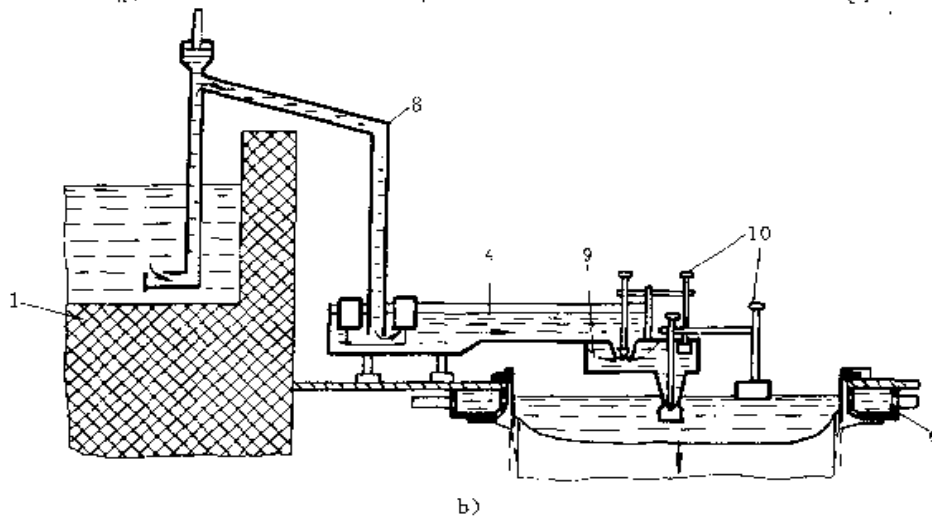
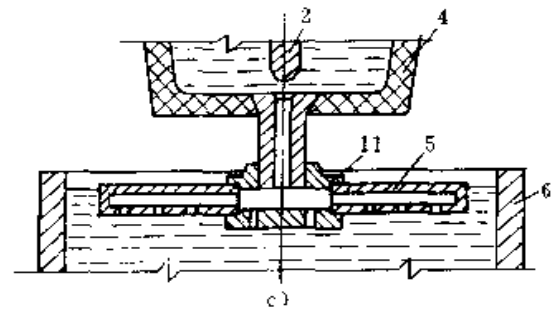
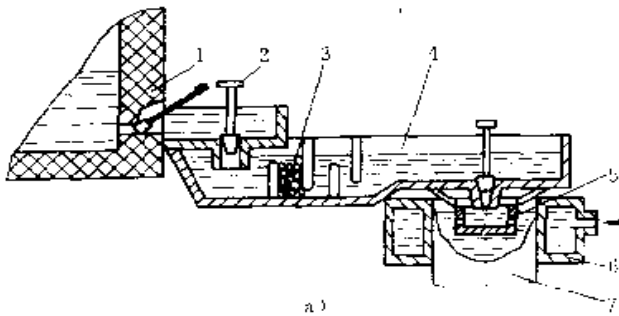


图 7-210 有色金属立式半连续铸时金属液导引装置和过滤装置

a) 颗粒过滤塞杆控制浇注装置 b) 虹吸导引、过滤网净化、杠杆控制浇注装置 c) 塞杆控制浇注装置

- 1—保温炉 2—塞杆 3—颗粒过滤 4—中间分配包 5—浇注漏斗 6—结晶器
- 7—铸坯 8—虹吸导引装置 9—过滤网 10—液面控制装置 11—石墨三通

立式半连铸铝合金时的浇注温度为 $680 \sim 720^{\circ}\text{C}$ ，拉坯速度为 $2 \sim 13\text{m/h}$ ，结晶器水压为 $0.05 \sim 0.13\text{MPa}$ 。用电磁结晶器连铸铝坯时电压为 $25 \sim 30\text{V}$ （铝坯直径为 190mm ）和 $38 \sim 45\text{V}$ （铝坯直径为 480mm ）；拉坯速度为 $80 \sim 140\text{mm/min}$ （铝坯直径为 190mm ）和 $20 \sim 60\text{mm/min}$ （铝坯直径为 480mm ）。

立式半连铸镁合金时，结晶器内金属液面用燃烧的硫磺气体防氧化，进入结晶器的镁液温度为 $680 \sim 720^{\circ}\text{C}$ ，拉坯速度为 $3 \sim 6\text{mm/min}$ ，进入结晶器的水压为 $0.04 \sim 0.20\text{MPa}$ 。

立式半连铸铜合金时，纯铜的浇注温度为 $1180 \sim 1220^{\circ}\text{C}$ ，铝青铜、锡青铜的浇注温度为 $1160 \sim 1200^{\circ}\text{C}$ ，黄铜的浇注温度为 $1100 \sim 1190^{\circ}\text{C}$ ，拉坯速度为 $2 \sim 14\text{m/h}$ ，结晶器水压 $0.01 \sim 0.02\text{MPa}$ （连铸青铜时）或 $0.18 \sim 0.23\text{MPa}$ （连铸纯铜时）。结晶器可用锭子油、

变压器油、石墨、煤烟、矿物油、植物油润滑。

11.5.2 水平连续铸造有色合金坯

尺寸较小的有色合金坯常采用水平连续铸造法，其工作情况与铁坯水平连续铸造（图 7-204）相同，唯金属液的保温装置既可采用感应电炉，也可用电反射炉或不同能源的坩埚炉。在靠近底部的炉膛壁上开孔，与结晶器的石墨衬套相连通；此外在生产线上改用随动锯切断铸坯或用缠坯机把铸坯卷成圆捆。为减轻拉坯阻力，常采用间歇拉坯的工艺。近年来为提高铸坯力学性能，在拉坯一停歇之后又加上反推-停歇的拉坯工艺。也可用结晶器往返振动（频率 $60 \sim 140$ 次/min、振幅 $3 \sim 10\text{mm}$ ）工艺进行拉坯，但连铸机结构复杂，保温炉内金属液也不平稳。

图 7-211 为几种有色合金水平连铸时结晶器的构造示意。图 7-212 为线坯水平连铸机。

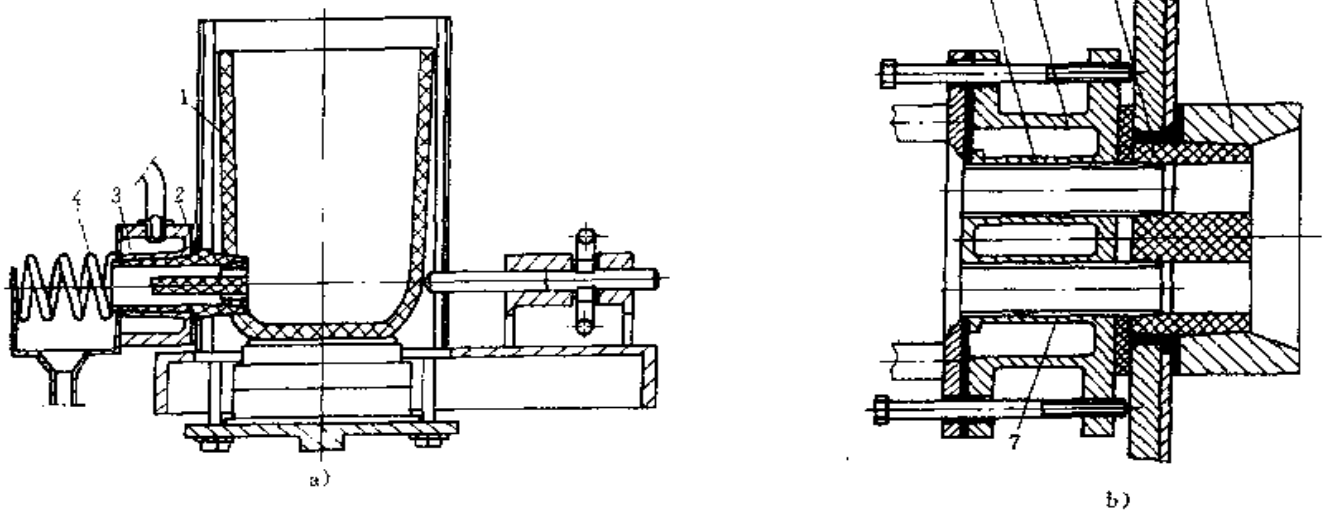


图 7-211 几种非铁合金水平连铸用结晶器

a) 中空管坯结晶器 b) 双坯连铸结晶器

1—石墨坩埚 2—带芯的石墨内套 3—水冷铜套 4—二次冷却装置 5—带孔成形耐火砖 6—过渡石墨套 7—石墨内套

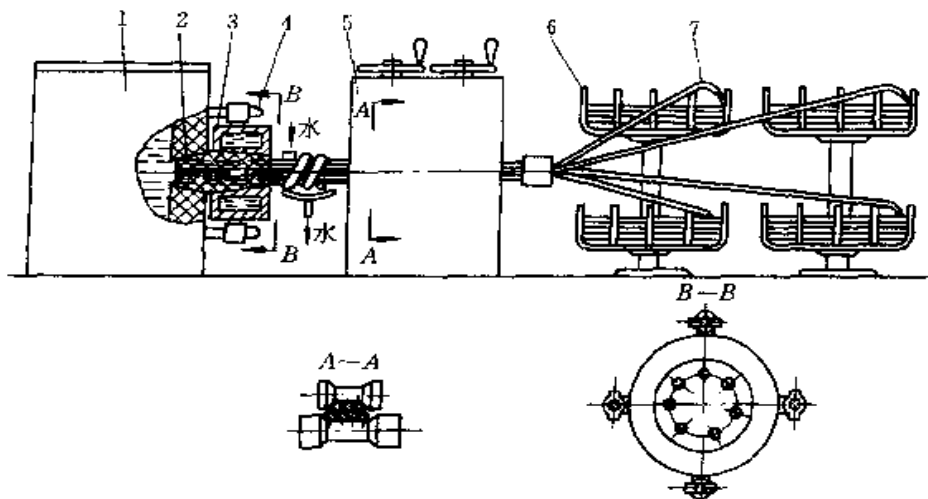


图 7-212 土坯水平连铸机

1—感应保温炉 2—多腔石墨内套 3—水冷铜套 4—固定结晶器用销子 5—拉坯机 6—缠坯机 7—导管

一般水平连铸青铜坯时合适的浇注温度为 1070~1220℃，从结晶器的出坯温度 500±10℃；水平连铸纯铜坯时，合适浇注温度为 1100~1225℃ 而出坯温度为约 400℃；水平连铸铝合金时浇注温度应比凝固温度高 100~150℃，出坯温度为 300~380℃。焊锡水平连铸的浇注温度为 200~250℃。

为防止金属液在保温炉内氧化和吸气，在铜合金液表面可覆盖木炭、石墨碎块、煤烟或由盐类和氧化物组成的液态渣；在铝合金液表面复盖精炼或孕育用液态渣。

表 7-305 为一些有色合金坯的水平连铸工艺参数。

表 7-305 一些有色合金坯水平连铸工艺参数

| 合金牌号 | 铸坯断面尺寸 (mm) | 浇注温度 (℃) | 拉坯速度 (m/h) | 拉坯时间 (s) | 停拉时间 (s) | 拉坯节距 (mm) |
|-----------|----------------------------------|-----------|------------|----------|----------------------|-----------|
| QSn5-5-5 | φ30~φ120 | 1090~1070 | 18~5.0 | 5~8 | 10~12 | 75~25 |
| QSn5-5-5 | φ40~φ110 | 1090~1170 | 19~6.0 | 3~8 | 7~20 | 110~40 |
| QSn3-12-5 | | | | | | |
| QSn3-7-51 | | | | | | |
| QSn12 | φ60~φ145 | 1090~1050 | 9.0~2.0 | 3~8 | 7~17 | 25~10 |
| HSi59-1 | φ60~φ90 | 970~940 | 13.5~5.0 | 1~5 | 2~10 | 12~15 |
| QSn5-5-5 | φ _外 50~90 壁厚 15~25 | 1100~1080 | 16~9.6 | 5 | 10 | 70~40 |
| HSi59-1 | φ _外 90, 壁厚 9~225 | 1030~970 | 14~7 | 1.3~4 | 2.7~8.0 | 18~12 |
| 各种焊锡 | φ130 | 200~250 | 6~40 | 2.5~5 | 25~27.5 ^① | 40~120 |
| L3、L4 | φ _外 150, 壁厚 20 | 730~760 | 24~26 | — | 10~12.5 ^② | — |

① 用石墨结晶器

② 用铜结晶器

11.5.3 上引式连续铸造铜合金坯

近年来上引式连续铸造小断面铜坯获得了发展。结晶器置于合金保温炉的熔池上方，垂直插入金属液中，铸坯从结晶器上端拉出。此法可简化更换结晶器石墨内套，加大拉坯速度。图 7-213 为上引式连铸用结晶器结构。

槽，槽的宽度为 30~40mm，其断面积为 200~800mm²，在槽的开口处用钢带覆盖，钢带与结晶轮一起运动。往被钢带包住的轮缘凹槽中浇入金属液，在另一端可连续获得已凝固的铸坯，直接送往轧机，制成电缆行业使用的线材 (φ8~12mm) 或缠成圆盘供进一步轧制用。在结晶轮的金属液凝固区用水双向冷却。其铸坯速度可达 800~3000m/h。

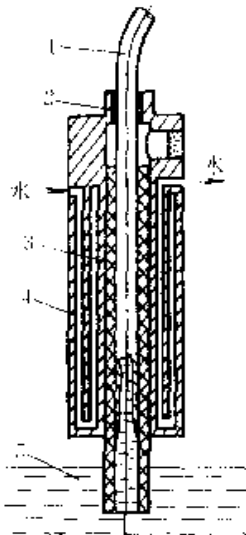


图 7-213 上引式连续铸造用结晶器结构

1—铸坯 2—密封圈 3—石墨套 4—铜套 5—金属液

11.5.4 结晶轮连续铸造有色合金杆

图 7-214 为结晶轮连铸纯铝杆、纯铜杆的装备简图。在紫铜结晶轮的轮缘上有作为型腔的梯形断面凹

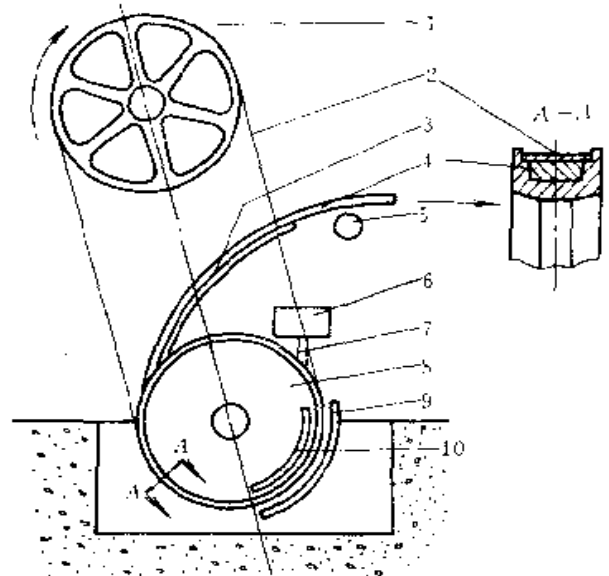


图 7-214 结晶轮连续铸坯装置简图

1—张紧轮 2—钢带 3—起坯刀 4—铸坯 5—托辊
6—浇包 7—浇槽 8—结晶轮 9、10—水冷装置

12 真空吸铸

12.1 概述

12.1.1 真空吸铸分类与应用范围

真空吸铸是一种在型腔内造成真空，把金属由下而上地吸入型腔，进行凝固成形的铸造方法。

根据铸件形状特点，有两种真空吸铸法：

(1) 柱状铸件真空吸铸 专用于生产圆柱、方柱状中空和实心件的真空吸铸法。生产的铸件可用来加工成螺母、螺杆、轴套、轴瓦等，大多为铜合金铸件，也可生产铝合金件、铸铁件、铸钢件。铸件最大外径可达 120mm。其工作原理见图 7-215。结晶器（即水冷金属型）1 的内壁周围用水冷却，结晶器下口埋入金属液 2 中，其上口接真空系统，金属液在大气作用下升入结晶器内腔达一定高度，结晶器内金属液由外向中心凝固，待凝固达到所要求的厚度时，将结晶器上口接通大气，结晶器中心未凝固的金属液下落回流至坩锅中，得中空柱状铸件。

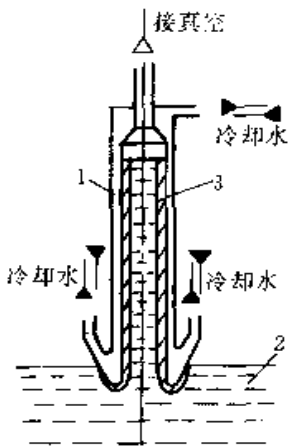


图 7-215 柱状铸件真空吸铸工作原理

1—结晶器 2—金属液 3—凝固层

(2) 成形铸件真空吸铸 用于生产各种形状铸件的真空吸铸法，其工作原理见图 7-216。将铸型置于真空室 1 中，型腔顶部有通气孔，型中浇注系统连接下面的升液管 8，升液管下端浸入金属液 9 中。打开电磁阀 3，真空室与真空罐 5 接通，在型腔内建立一定的真空度，坩锅中的金属液在大气作用下上升进入型内，凝固成形。节流阀 4 用来控制型腔内负压的建立速度，以调节金属液充填型腔的速度。由时间继电器控制真空室内负压的保持时间，当型内内浇道凝固后，即可将真空室接通大气，升液管内金属液回流至坩锅中。也可在金属液充型时采用真空吸铸法，充完型后，增大金属液面上的压力，实现低压作用下的铸件凝固，进一步改善铸件凝固时的补缩条件。用此

法可高效地生产铝合金、镁合金薄壁铸件。

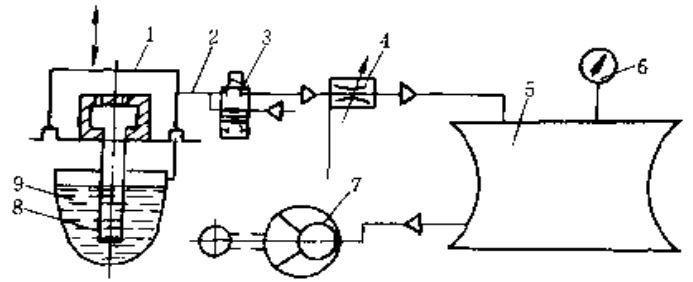


图 7-216 成形铸件真空吸铸工作原理

1—真空室 2—管道 3—电磁阀 4—节流阀 5—真空罐
6—电接触真空计 7—真空泵 8—升液管 9—金属液

12.1.2 真空吸铸的优缺点

1) 铸型自金属液中吸取金属，故浮在金属液表面的渣子，不易进入型内。

2) 金属液自下而上地平稳进入空气稀薄真空条件下的型腔，不能产生卷气现象，氧化可能性也较小，又在真空条件下实现金属液的凝固。凝固过程中析出的气体也易上浮外逸，故铸件中不易形成气孔。

3) 型内金属与型壁接触较紧密，金属凝固较快。柱状铸件真空吸铸时，更采用水冷薄壁金属型，铸件的凝固速度更大，故铸件晶粒细小，不易产生重度偏析。

4) 可创造较好的自下而上，自型壁向壁厚中心的定向凝固条件，铸件不易形成缩松。

上述四点都可使铸件获得致密的组织，使铸件力学性能提高。如柱状铜合金铸件，与砂型铸造时比较，其强度极限可提高 6%~25%，伸长率提高 5%~20%；而铝合金铸件，与金属型铸造时比较，其强度极限可增大 5%~10%，伸长率增大 30%。

5) 充型时，金属液在型腔内遇到的气体阻力很小，可提高金属液的充填性，生产形状复杂的薄壁铸件，如铝合金、镁合金件的最小壁厚可为 1.5mm。

6) 浇注系统或结晶器口粘附的金属液损失较少，故可提高工艺出品率。

7) 生产过程易于机械化、自动化，生产效率高。

8) 柱状铸件中空内壁不平度较大，内孔尺寸不易正确控制，故需留较大加工余量。

12.2 真空吸铸工艺

12.2.1 铸型型腔真空度

1) 柱状铸件真空吸铸时的型腔真空度 p_v 按所需提升金属液的高度（即铸件长度） L (mm) 计算

$$p_v = 9.8L\rho \quad (\text{Pa})$$

式中 ρ —合金液密度 (g/cm^3)。

一般铜合金铸件的长度小于 1m。

2) 成形铸件真空吸铸时型腔内真空度 p_v 根据金属液保温炉 (或坩锅中) 允许的最低金属液面高度与铸型顶部高度间的差值 h (mm) 计算

$$p_v = 9.8hp \cdot A \quad (\text{Pa})$$

式中 A ——系数 ≈ 1.2 。

真空吸铸铝硅合金时, h 应小于 4m; 真空吸铸铝铜合金时, h 小于 3.4m。

型腔内真空度的建立速度由真空管路中的节流阀开启程度和铸型顶部的通气道形状、尺寸决定。实际生产中主要根据试浇铸件品质 (质量), 用节流阀调节真空度建立速度。通气道的形状和尺寸应在合理的真空度建立速度情况下, 保证型内气体能顺利逸出, 但金属液如进入通气道后应很快凝固不能溢出型外。如采用金属型时的通气隙厚度应小于 0.15mm。

12.2.2 柱状铸件真空吸铸时结晶器口浸入金属液的深度

结晶器下口浸入金属液的深度应保证在吸铸完后, 结晶器下口边缘还能处于金属液表面的深度不小于 10mm, 防止真空吸铸时金属液表面的大气随金属一起吸入型腔, 同时还可减少在结晶器下口旁粘附的金属数量。当真空吸铸圆柱形铸件时, 结晶器下口浸入金属液深度 H (mm) 的计算式为

$$H \geq L \frac{r^2}{R^2} + 10 \quad (\text{mm})$$

式中 L ——铸件长度 (mm);

r 、 R ——型腔、坩埚熔池的内半径 (mm), 设金属保温坩埚的内腔为圆筒形。

12.2.3 真空保持时间

柱状铸件真空吸铸时, 应在铸件的凝固层厚度达到所要求的数值前, 保持型腔内的真空度值; 成形铸件真空吸铸时, 当铸型底部内浇口断面全部凝固后, 即可撤去真空。真空保持时间可采用传热学中的平方根原理推导而得的公式进行近似计算

$$\tau = \frac{R_0^2}{K^2} \quad (\text{s})$$

式中 R ——铸件凝固层厚度或铸型内浇道断面换算厚度 (mm);

K ——凝固系数 ($\text{mm/s}^{1/2}$), 其值与铸型材料、结构、吸铸合金及其温度、铸型工作状态等有关, 一般柱状铜合金件真空吸铸时, $K = 2 \sim 3 \text{mm/s}^{1/2}$, 在铝合金成形铸件金属型吸铸时, $K = 3 \sim 5 \text{mm/s}^{1/2}$ 。

最后由生产实践对 τ 值修正。

12.2.4 吸铸温度

柱状铸件真空吸铸时, 金属液的温度可比一般重力铸造时稍低。因型腔断面大, 金属液充型时流动距离短。但温度不能太低, 避免结晶器头部粘附金属太厚。表 7-306 为一些铜合金柱状铸件的吸铸温度。

表 7-306 一些铜合金柱状铸件的吸铸温度

| 合 金 牌 号 | 吸铸温度 ($^{\circ}\text{C}$) |
|---------------------------------------|-----------------------------|
| ZCuZn13Si4Pb3 | 950~1000 |
| ZCuSn10Zn2 ZCuSn6Zn6Pb3 ZCuZn48 | 1050~1080 |
| ZCuSn5Pt5Zn5 ZCuZn40Pb2 | 1020~1070 |
| ZCuAl9Fe4 ZCuAl10Fe3Mn2 | 1120~1150 |
| ZCuSn10Pb1 | 1100~1150 |

成形铸件的吸铸温度随铸型材质而异, 其具体取值与重力铸造相同。

12.2.5 铸型涂料

柱状铸件真空吸铸时, 结晶器型腔工作表面上的涂料主要起润滑工作, 使铸件易自结晶器中取出。一般采用在 400~450 $^{\circ}\text{C}$ 烘烤约 1h 后的石墨或滑石粉, 用涂刷法使涂料附着于结晶器型腔工作表面上。结晶器头部处的涂料应有好的绝热作用, 以减薄该处在工作时可能粘附的金属, 可用 ZnO93% + 水玻璃 7% 和适量水配制的涂料涂于结晶器的头部外表面上, 涂料层的厚度约为 0.5mm, 并经烘烤干透牢固后使用。结晶器内工作表面上出现的浅凹坑可用石墨加机油共混的膏状物涂抹平, 经烘干后使用。

成形铸件真空吸铸时, 铸型型腔工作表面上的涂料随铸型材料及吸铸的金属而异, 一般与重力铸造时间。

12.2.6 柱状铸件真空吸铸时结晶器的冷却

进入结晶器内的冷却水温度应高于室温, 防止铸前在结晶器型壁上凝有水滴, 一般为 35~60 $^{\circ}\text{C}$ 。进入结晶器的冷却水应具有 0.2~0.25MPa 的压头。吸铸空心铸件时, 冷却水由结晶器下部进入, 使在高

度结晶器的高度方向上铸件凝固的厚度均衡化；而吸铸实心铸件时，冷却水宜在结晶器上部引入，创造铸件上部凝固较快，下部较慢的条件，使坩锅中的金属液能顺利地由下向上补缩。

12.3 真空吸铸机

12.3.1 柱状铸件真空吸铸机

图 7-217 为常用柱状铸件真空吸铸机。机架 1 可绕机器主轴带动全部机器附件旋转，通过升降杠杆 3

的下压或上抬可带动钢绳 10 沿滑轮 11 来回移动，达到上抬或下降结晶器 4 的目的。在此机上采用负压喷嘴 13 在结晶器内腔建立真空。压力为 0.6MPa 的压缩空气通过阀门 2 进入负压喷嘴（见图 7-218）的肘管 7，经喷嘴 3 喷出，同时吸出抽气管 2 内的空气，抽气管通过管接头 1 与结晶器型腔接通，从而使结晶器型腔建立起真空。真空度的大小可通过机器上的真空调节阀（图 7-217 中的 17）调节，调节阀结构，见图 7-219。

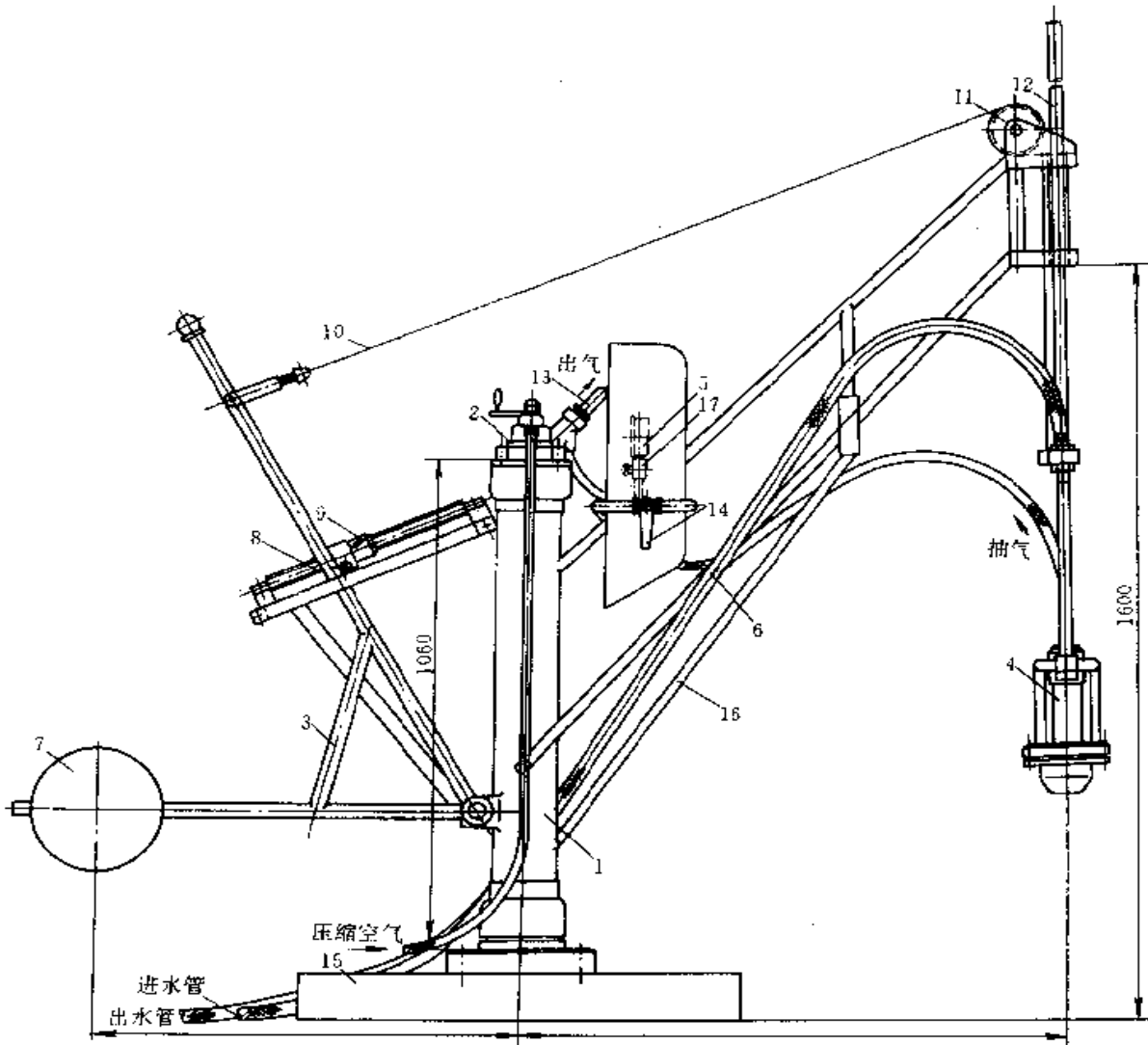


图 7-217 常用真空吸铸机的主机

- 1—机架 2—气阀 3—升降杠杆 4—结晶器 5—真空表 6—冷却水管 7—平衡锤 8—限位丝杠
9—挡块 10—钢绳 11—滑轮 12—导向杆 13—喷嘴 14—手柄 15—基座 16—斜架 17—真空调节阀

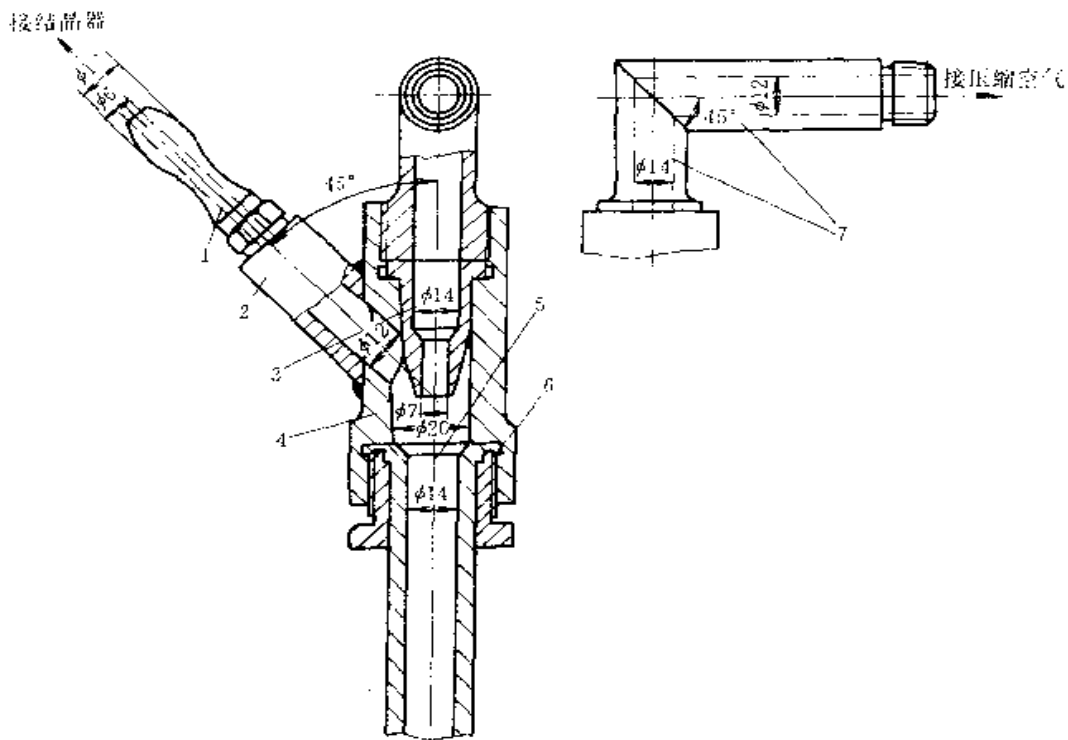


图 7-218 负压喷嘴结构

1—管接头 2—抽气管 3—喷嘴 4—外壳 5—导气管 6—螺母 7—肘管

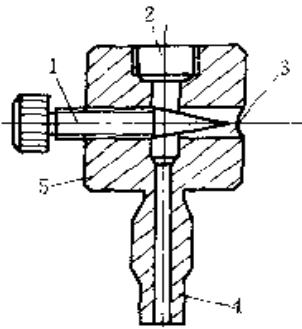


图 7-219 真空调节阀结构

1—调节螺钉 2—真空表座 3—通大气孔
4—接真空系统 5—阀体

结晶器的真空也可用真空泵建立，其抽气率可为 $0.6\text{m}^3/\text{h}$ ，配置的真空罐尺寸可为 $\phi 800\text{mm} \times 1000\text{mm}$ 。

自动化的柱状铸件真空吸铸机，见图 7-220。整个机器装在小车上，在水平支架的导轨上装有可水平直线运动，并由气缸 7 驱动的结晶器架。结晶器架上有带动结晶器 1 升降的气缸 8。真空系统直接放在小车平板上，真空泵 6 由电动机驱动。吸铸后凝固的铸件在随结晶器移至接受槽上时直接掉落在接受槽上。

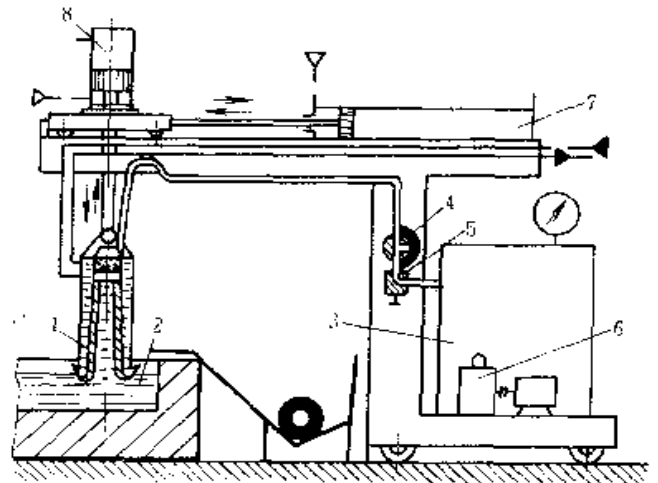


图 7-220 自动化柱状铸件真空吸铸机

1—结晶器 2—金属液 3—真空罐 4—阀
5—调节器 6—真空泵 7、8—气缸

目前市场上供应液压电气控制半自动式的柱状铸件真空吸铸机，结晶器支架结构似图 7-217 所示，但结晶器的升降和支架的转动则由液压缸完成。一台机器 2~3 人操作，班产 1~2t， $\phi 25 \sim 100$ 、长度为 400mm 的棒、套类铜合金铸件。

12.3.2 柱状铸件结晶器

图 7-221 为柱状铸件真空吸铸用结晶器的结构。壁厚为 4~6mm 的工作套 2 直接与金属液接触，为取出铸件方便，其内壁做成 $0.2^\circ \sim 1.0^\circ$ 的锥度。工作套

与外套 1 间的通冷却水缝隙为 3~6mm。结晶器下端头部直接与坩埚熔池中金属液接触，其圆弧半径为 9~10mm，端头部的圆锥面交角为 60° 。

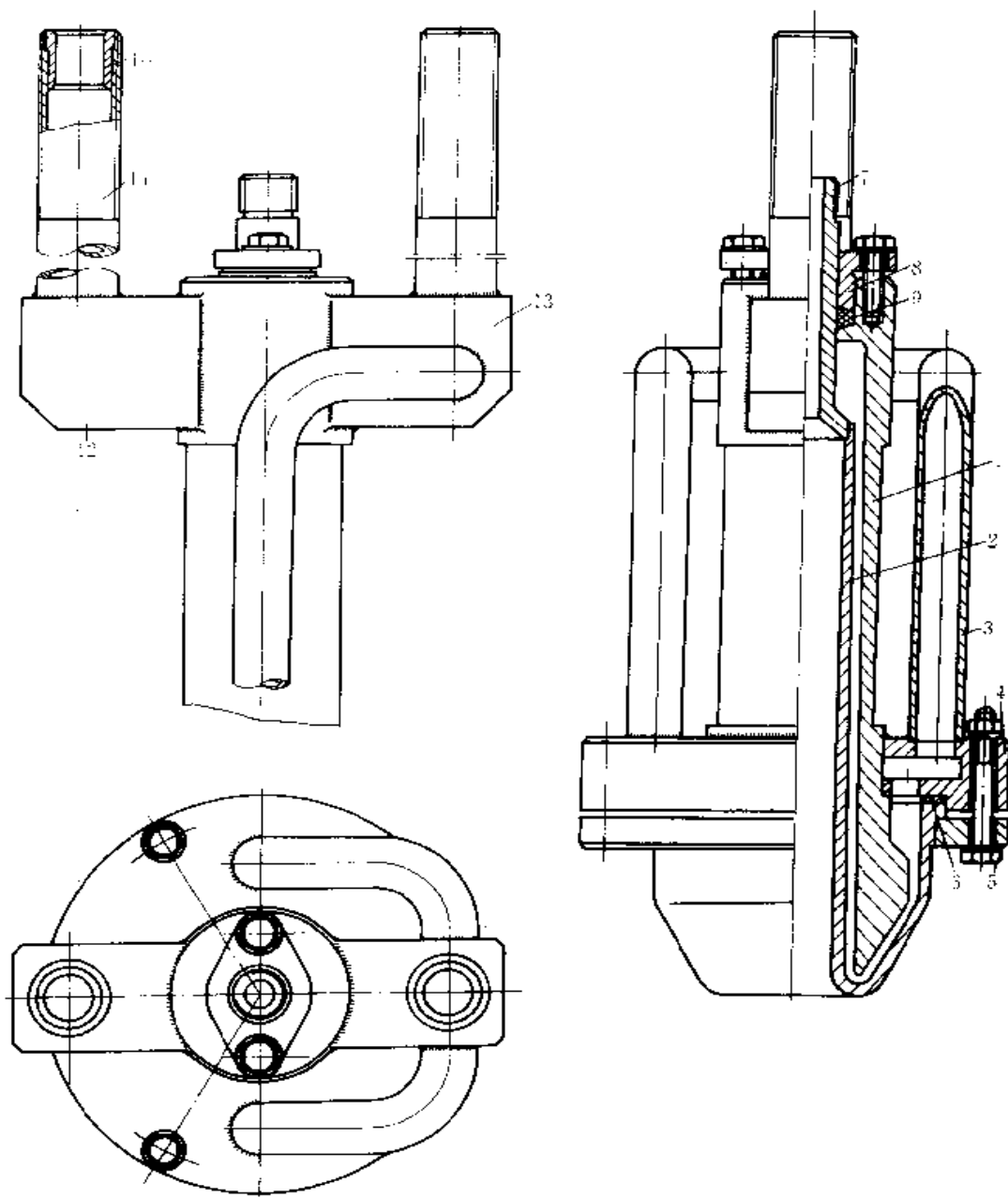


图 7-221 柱状铸件真空吸铸结晶器结构

1—外套 2—工作套 3—弯水管 4—环水室套 5—圆环 6—胶圈
7—接真空管 8—压盖 9—填圈 10—套管 11—冷却水管 12、13—弯管

12.3.3 成形铸件真空吸铸机

图 7-222 为一种金属型铸件真空吸铸机，金属液 1 处于保温炉内，炉膛与大气相通，保温炉用盖 2 密封，盖上置金属型 4，金属型用罩 7 罩住，罩与真空罐接通，并用油缸 6 压住。

图 7-223 为真空吸铸铝合金件压缩机轮的真空吸铸机示意图。该机的生产效率为每小时 30 个铸件，真空度调节范围为 $0.04 \sim 0.08 \text{ MPa}$ ，真空室直径为 300mm，保温炉功率 18kW。

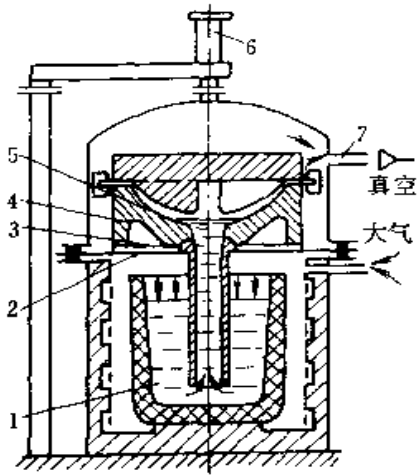


图 222 金属型真空吸铸机

1—金属液 2—盖 3—升液管 4—金属型
5—直浇道 6—液压缸 7—罩

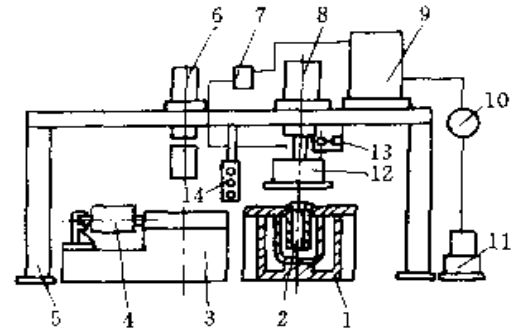


图 7-223 压缩机轮真空吸铸机

1—保温炉 2—升液管 3—工作台 4—气缸
5—柱子 6—压紧铸型用气缸 7—气阀
8—压紧真空室用气缸 9—真空罐
10—电接触真空计 11—真空泵
12—真空室 13—行程开关 14—操纵块

第八章 铸件品质(质量)

铸件品质(质量)是指铸件本身能满足用户要求的程度。它包括铸件的外观品质(质量),内在品质(质量)和使用品质(质量)。

铸件的外观品质(质量)是指与用户要求有关的铸件外部状况。它包括铸件的表面粗糙度,尺寸精度,质(重)量偏差,形状偏差,表面缺陷等。

铸体的内在品质(质量)是指与用户要求有关的铸件内部状况。它包括铸件的物理性能、力学性能,金相组织,化学成分,偏析,铸造应力,致密度,内部缺陷等。

铸件的使用品质(质量)是指与使用条件及要求有关的,反映铸件效用与寿命的种种性能。

1 铸件的尺寸精度

1.1 尺寸公差

铸件的基本尺寸亦称为公称尺寸或名义尺寸。铸件尺寸公差是指其基本尺寸所允许的最大偏差。见图8-1。

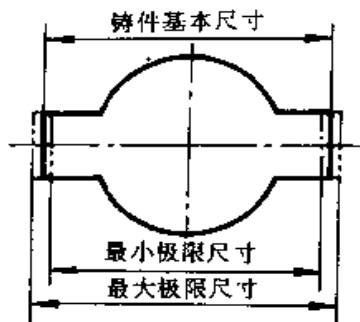


图 8-1 铸件的基本尺寸和极限尺寸

铸件基本尺寸包括零件尺寸,机械加工余量和工艺余量,见图8-2。

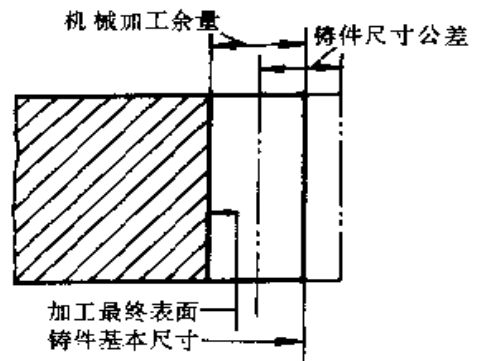


图 8-2 铸件尺寸公差与机械加工余量的关系

零件尺寸是用户或产品设计部门确定的,铸造厂有义务对零件设计提出合理建议,但无权修改。

铸造厂的品质(质量)责任在于下述二方面:

1) 选择合理的机械加工余量、工艺补正量等铸造工艺参数。选择时,应根据用户要求或有关规定,并得到用户认可。

2) 严格控制铸件尺寸偏差。铸件的尺寸精度决定于很多因素。因此,在设计定型或签订合同前,铸造厂与用户一般应商定下列内容:①铸件设计要求的精度;②机加工要求;③铸件数量和批量;④铸造合金的种类;⑤铸造设备及工装;⑥铸造工艺方法;⑦其它特殊要求。

根据 GB 6411—86《铸件尺寸公差》,铸件尺寸公差的代号为 CT (Casting tolerance),公差等级分 16 级,即 CT1~CT16,见表 8-1。

表 8-1 铸件尺寸公差数值 (GB 6414—86)

(μm)

| 铸件基本尺寸 | | 尺寸公差等级 CT | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|----|-----------|---|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|
| > | ≤ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| — | 10 | | | 0.18 | 0.26 | 0.36 | 0.52 | 0.74 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.8 | 4.2 | — | — | — | — |
| 10 | 16 | | | 0.20 | 0.28 | 0.38 | 0.54 | 0.78 | 1.1 | 1.6 | 2.2 | 3.0 | 4.4 | — | — | — | — |
| 16 | 25 | | | 0.22 | 0.30 | 0.42 | 0.58 | 0.82 | 1.2 | 1.7 | 2.4 | 3.2 | 4.6 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| 25 | 40 | | | 0.24 | 0.32 | 0.46 | 0.64 | 0.90 | 1.3 | 1.8 | 2.6 | 3.6 | 5.0 | 7 | 9 | 11 | 14 |

(续)

| 铸件基本尺寸 | | 尺 寸 公 差 等 级 CT | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------|----------------|---|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|
| > | ≤ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 40 | 63 | | | 0.26 | 0.36 | 0.50 | 0.70 | 1.0 | 1.4 | 2.0 | 2.8 | 4.0 | 5.6 | 8 | 10 | 12 | 16 |
| 63 | 100 | | | 0.28 | 0.40 | 0.56 | 0.78 | 1.1 | 1.6 | 2.2 | 3.2 | 4.4 | 6 | 9 | 11 | 14 | 18 |
| 100 | 160 | | | 0.30 | 0.44 | 0.62 | 0.88 | 1.2 | 1.8 | 2.5 | 3.6 | 5.0 | 7 | 10 | 12 | 16 | 20 |
| 160 | 250 | | | 0.34 | 0.50 | 0.70 | 1.0 | 1.4 | 2.0 | 2.8 | 4.0 | 5.6 | 8 | 11 | 14 | 18 | 22 |
| 250 | 400 | | | 0.40 | 0.56 | 0.78 | 1.1 | 1.6 | 2.2 | 3.2 | 4.4 | 6.2 | 9 | 12 | 16 | 20 | 25 |
| 400 | 630 | | | | 0.64 | 0.90 | 1.2 | 1.8 | 2.6 | 3.6 | 5 | 7 | 10 | 14 | 18 | 22 | 28 |
| 630 | 1000 | | | | | 1.0 | 1.4 | 2.0 | 2.8 | 4.0 | 6 | 8 | 11 | 16 | 20 | 25 | 32 |
| 1000 | 1600 | | | | | | 1.6 | 2.2 | 3.2 | 4.6 | 7 | 9 | 13 | 18 | 23 | 29 | 37 |
| 1600 | 2500 | | | | | | | 2.6 | 3.8 | 5.4 | 8 | 10 | 15 | 21 | 26 | 33 | 42 |
| 2500 | 4000 | | | | | | | | 4.4 | 6.2 | 9 | 12 | 17 | 24 | 30 | 38 | 49 |
| 4000 | 6300 | | | | | | | | | 7.0 | 10 | 14 | 20 | 28 | 35 | 44 | 56 |
| 6300 | 10000 | | | | | | | | | | 11 | 16 | 23 | 32 | 40 | 50 | 64 |

注：1. CT1 和 CT2 级尚未规定公差值，是为将来更精密的公差保留的。

2. 铸件基本尺寸小于 16mm 的 CT13—CT16 级公差值需单独标注，可提高 2—3 级。

对于基本尺寸小于 10mm 的压铸件和熔模铸件，其公差数值见表 8-2，8-2 中选取最小值，且该值不得与表 8-1、表 8-2 所列值相加。

表 8-2 铸件尺寸公差数值 (GB 6414—86)
(mm)

| 铸件基本尺寸 | | 公差等级 CT | | | | | | |
|--------|----|---------|------|------|------|------|------|-----|
| > | ≤ | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | 3 | 0.14 | 0.20 | 0.28 | 0.40 | 0.56 | 0.80 | 1.2 |
| 3 | 6 | 0.16 | 0.24 | 0.32 | 0.48 | 0.64 | 0.90 | 1.3 |
| 6 | 10 | 0.18 | 0.26 | 0.36 | 0.52 | 0.74 | 1.0 | 1.5 |

表 8-1 和表 8-2 的公差值包括因分型面及型芯影响而需要的公差增量。

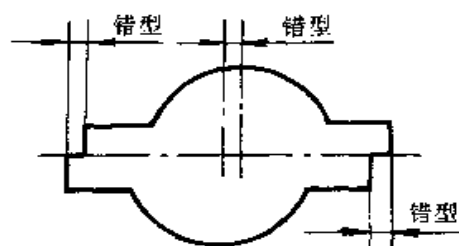


图 8-3 错型

表 8-3 错型量 (GB 6414—86)

| 公差等级 CT | 3-4 | 5 | 6 | 7-8 | 9-10 | 11-13 | 14-16 |
|----------|---------------------|-----|-----|-----|------|-------|-------|
| 错型量 (mm) | 在表 8-1 和表 8-2 的公差以内 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 1.0 | 1.5 | 2.5 |

注：必要时错型量可由供需双方商定。

1.2 壁厚公差

壁厚公差可比其它尺寸的一般公差低一级选用。

例如，若图样上一般公差为 CT10 级，则壁厚公差可选用 CT11 级。但有规定时例外。

1.3 错型量

错型如图 8-3 示，错型量见表 8-3。错型量必须位于表 8-1 和表 8-2 规定的公差值之内；若需进一步限制错型量时，应在图样上注明，其值从表 8-1 和表

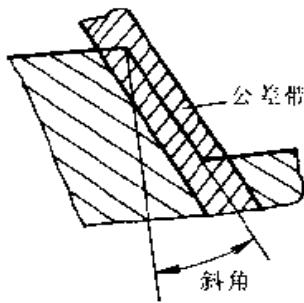


图 8-4 倾斜部位的尺寸

1.4 公差带设置

公差带应对称于基本尺寸设置；有特殊要求时，亦可以非对称设置，但应在图样上注明。

斜面的尺寸公差应沿斜面对称设置，见图 8-4；公差值按铸件基本尺寸从表 8-1 和表 8-2 中选取。

1.5 公差在图样上的标注

铸件尺寸公差在图样上如下标注：

1) 标注公差等级代号，例如：GB 6414—86 CT10。

2) 当需要进一步限制错型量时，应标出最大错型量，例如：GB6414—86CT10 最大错型量 1.0mm。

3) 有特殊要求时，应直接在铸件基本尺寸后标注公差，例如： 95 ± 1.1 或 $95 \begin{matrix} +1.4 \\ -0.8 \end{matrix} \text{mm}$ 。

1.6 铸件尺寸公差等级的选择

(1) 成批大量生产 在正常生产条件下，成批大量生产的铸件能达到的公差等级，见表 8-4。改进、调整、维修设备和工装，严格控制型芯质量和位置，可以获得比表 8-4 更高的等级。

表 8-4 成批大量生产铸件的尺寸公差等级 (GB6414—86)

| 铸造工艺方法 | 公差等级 CT | | | | | | | | |
|------------|---------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|------|------|
| | 铸钢 | 灰铸铁 | 球墨铸铁 | 可锻铸铁 | 铜合金 | 锌合金 | 轻金属合金 | 镍基合金 | 钴基合金 |
| 砂型手工造型 | 11~13 | 11~13 | 11~13 | 11~13 | 10~12 | | 9~11 | | |
| 砂型、机器造型、壳型 | 8~10 | 8~10 | 8~10 | 8~10 | 8~10 | | 7~9 | | |
| 金属型 | | 7~9 | 7~9 | 7~9 | 7~9 | 7~9 | 6~8 | | |
| 低压铸造 | | 7~9 | 7~9 | 7~9 | 7~9 | 7~9 | 6~8 | | |
| 压力铸造 | | | | | 6~8 | 4~6 | 5~7 | | |
| 熔模铸造 | 5~7 | 5~7 | 5~7 | | 4~6 | | 4~6 | 5~7 | 5~7 |

(2) 小批和单件生产 在正常生产情况下，单体小批生产的铸件所能达到的公差等级，见表 8-5。不适当地采用过高的工艺要求以提高铸件公差等级，是不实际且不经济的。

表 8-5 小批单件生产铸件 (基本尺寸 > 25mm) 的尺寸公差等级 (GB 6414—86)

| 造型材料 | 公差等级 CT | | | | | |
|--------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 铸钢 | 灰铸铁 | 球墨铸铁 | 可锻铸铁 | 铜合金 | 轻金属合金 |
| 干、湿、型砂 | 13~15 | 13~15 | 13~15 | 13~15 | 13~15 | 11~13 |
| 自硬砂 | 12~14 | 11~13 | 11~13 | 11~13 | 10~12 | 10~12 |

- 注：1. 铸件基本尺寸 $\leq 10\text{mm}$ 时，其公差等级提高 3 级。
 2. 铸件基本尺寸 $> 10 \sim 16\text{mm}$ 时，其公差等级提高 2 级。
 3. 铸件基本尺寸 $> 16 \sim 25\text{mm}$ 时，其公差等级提高 1 级。

1.7 铸件尺寸精度的行业规定

(1) 机床灰铸铁件的尺寸精度(表 8-6 和表 8-7)。

表 8-6 机床灰铸铁件主要尺寸的精度等级 (JBn 3997—85)

| 生产方式 | 机器造型或自硬砂造型 | | 粘土砂手工造型 | |
|---------|------------|------|---------|------|
| | 金属模 | 木模 | 金属模 | 木模 |
| 长时间轮番生产 | CT9 | CT10 | CT10 | CT11 |
| 单件小批生产 | — | CT11 | — | CT12 |

表 8-7 机床灰铸铁件的尺寸精度 (JBn3997—85)

| 检测项目 | 尺寸精度等级及说明 |
|-------------|--|
| 主要尺寸 | 不低于表 8-6 的规定。但其中的加工基准面尺寸、配合尺寸等的公差不受表 8-6 限制，而由设计、工艺部门确定并在工艺文件上注明 |
| 非主要尺寸 | 一般比表 8-6 规定的等级低一级 |
| 非加工壁厚、肋(筋)厚 | 允许比表 8-6 规定的等级低二级 |
| 凸缘 | 凸缘与其内孔间的壁厚应均匀对称，且壁厚偏差 \geq 实际最大壁厚的 25% |

(续)

| 检测项目 | 尺寸精度等级及说明 | |
|----------|---------------|-----------------|
| | 应符合下列规定: | |
| 非加工表面错偏量 | 铸件最大长度 (mm) | 非加工表面错型量 < (mm) |
| | ≤250 | 1.0 |
| | >250 ~ ≤630 | 1.5 |
| | >630 ~ ≤1600 | 2.0 |
| | >1600 ~ ≤4000 | 3.0 |
| | >4000 ~ ≤6300 | 4.0 |
| | >6300 | 5.0 |

表 8-8 气缸盖、气缸体铸铁件的尺寸精度 (NJ 308—84)

| 检测项目 | 尺寸精度等级及说明 |
|------|--|
| 基本尺寸 | 达到 GB 6414—84 CT9~CT11 级 |
| 壁厚 | 比基本尺寸公差低一级 |
| 错型量 | 可根据确定的公差等级选定, 一般 ≥ 1.5mm; 手工造型或砂箱尺寸 > 1500mm 时, 错型量 ≥ 2mm 错型量不可与表 8-1 所列的尺寸公差值相加 |

注: 本表适用于缸径 $D \leq 160\text{mm}$, 非合金或低合金灰铸铁。

(2) 内燃机灰铸铁件的尺寸精度 (表 8-8)

2 铸件的质（重）量公差

公称质（重）量包括机械加工余量和其它工艺余量, 是衡量被检验铸件轻重的基准质（重）量。

铸件公称质（重）量的确定方法有下列三种:

1) 成批大量生产时, 从供需双方认定的首批合格铸件中随机抽取 10 件, 以实际质（重）量的平均值作为公称质（重）量。

2) 小批、单件生产时, 以计算质（重）量或供需双方共同认定的任何一个合格铸件的实际质（重）量作为公称质（重）量。

3) 以标准样品的实际质（重）量作为公称质（重）量

2.1 质（重）量公差等级

根据 GB/T 11351—89《铸件质（重）量公差》的规定, 质（重）量公差的代号用“MT”表示。质（重）量公差等级分为 16 级, 见表 8-9。

表 8-9 铸件质（重）量公差数值 (GB/T 11351—89)

| 公称质（重）量 (kg) | 质（重）量公差等级 MT | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------------|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| | 质（重）量公差数值 (%) | | | | | | | | | | | | | | | |
| >0.4 | — | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 24 | — | — | — | — | — |
| >0.4~1 | — | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 24 | — | — | — | — |
| >1~4 | — | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 24 | — | — | — |
| >4~10 | — | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 24 | — | — |
| >10~40 | — | — | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 24 | — |
| >40~100 | — | — | — | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 24 |
| >100~400 | — | — | — | — | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
| >400~1000 | — | — | — | — | — | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 |
| >1000~4000 | — | — | — | — | — | — | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 |
| >4000~10000 | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 |
| >10000~40000 | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 |

注: 表中质（重）量公差数值为上、下偏差之和, 即一半为上偏差, 一半为下偏差。

表 8-10 成批、大量生产的铸件质(重)量公差等级(GB/T 11351—89)

| 工艺方法 | 质(重)量公差等级 MT | | | | | | | | |
|---------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|------|------|
| | 铸钢 | 灰铸铁 | 球墨铸铁 | 可锻铸铁 | 铜合金 | 锌合金 | 轻金属合金 | 镍基合金 | 钴基合金 |
| 砂型手工造型 | 11~13 | 11~13 | 11~13 | 11~13 | 11~12 | | 9~11 | | |
| 砂型机器造型 及壳型 | 8~10 | 8~10 | 8~10 | 8~10 | 8~10 | | 7~9 | | |
| 金属型 | | 7~9 | 7~9 | 7~9 | 7~9 | 7~9 | 6~8 | | |
| 低压铸造 | | 7~9 | 7~9 | 7~9 | 7~9 | 7~9 | 6~8 | | |
| 压力铸造 | | | | | 6~8 | 4~6 | 5~7 | | |
| 熔模铸造 | 5~7 | 5~7 | 5~7 | | 4~6 | | 4~6 | 5~7 | 5~7 |

2.2 质(重)量公差等级的选择

成批、大量生产的铸件,质(重)量公差等级按表 8-10 选取;小批、单件生产的铸件,质(重)量公差等级按表 8-11 选取。质(重)量公差等级应与尺寸公差等级对应选取。例如,尺寸公差选 CT10 级,质(重)量公差也应选 MT10 级。

表 8-11 小批、单件生产的铸件质(重)量公差等级(GB/T 11351—89)

| 造型材料 | 质(重)量公差等级 MT | | | | | |
|------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 铸钢 | 灰铸铁 | 球墨铸铁 | 可锻铸铁 | 铜合金 | 轻合金 |
| 干湿型砂 | 13~15 | 13~15 | 13~15 | 13~15 | 13~15 | 11~13 |
| 自硬砂 | 12~14 | 11~13 | 11~13 | 11~13 | 10~12 | 10~12 |

一般质(重)量公差的上、下偏差相同;也可以选用下偏差比上偏差提高 2 级,例如质(重)量上偏差为 MT10 级,下偏差为 MT8 级。

2.3 铸件质(重)量偏差的影响因素

(1) 质(重)量偏差与铸造工艺参数的关系 工艺余量是铸件公称质(重)量的组成部分,所以,铸造工艺参数是否合理,会直接影响铸件质(重)量,其中起模斜度、工艺补正量等选取不当是铸件质(重)量超差的重要原因。

(2) 质(重)量偏差与尺寸精度的关系 一般地讲,铸件质(重)量变化是与铸件尺寸变化分不开的。引起铸件增大或减小的因素(受阻收缩例外)也往往引起铸件质(重)量增加或减小,提高铸件尺寸精度的措施一般也适用于控制质(重)量偏差。例如,高压造型可使铸件减轻 3%~7%,气冲造型可使铸件减轻 5%~12%,静压造型可使铸件减轻 10%,水玻璃流态砂型引起的“缩沉”现象可使铸件增加质量 5%。

3 铸造表面粗糙度

铸件表面上具有的较小间距和峰谷所组成的微观几何形状特性,称为铸件的表面粗糙度。

3.1 表面粗糙度参数

表面粗糙度参数很多,适用于铸造表面的有下列三个:

1) 轮廓算术平均偏差 R_a —在取样长度 l 内轮廓偏距 (y_1, y_2, \dots, y_n) 绝对值的算术平均值,单位为 μm 。

2) 微观不平度 10 点高度 R_z —在取样长度内 5 个最大轮廓峰高的平均值与 5 个最大轮廓谷深的平均值之和,单位为 μm 。

3) 轮廓最大高度 R_y —在取样长度内轮廓峰顶线和轮廓谷底线(平行于基准线且分别通过轮廓最高点和最低点的线)之间的距离,单位为 μm 。

R_a 与 R_z 之间无任何换算关系。

我国铸件的表面粗糙度标准只选用轮廓算术平均偏差 R_a 和微观不平度 10 点高差 R_z 两个参数。由于铸件表面形成的特点,不宜用轮廓最大高度 R_y 评定。

3.2 铸件表面粗糙度的选定

机械工业部基础产品行业标准 JB/JQ 82001—90 “铸件品质(质量)分等通则”,对不同等级的各类铸件的表面粗糙度作了具体的规定,见表 8-31,表 8-32 和表 8-33。这些表中的数据,是根据我国铸造生产的实际情况,征求了很多生产单位的意见汇集而成的,可供确定铸件铸造表面粗糙度时参照。

3.3 铸造表面粗糙度比较样块

铸造金属表面粗糙度比较样块是表征特定合金材质和铸造方法的已知表面轮廓算术平均偏差 R_a 或微观不平度 10 点高度 R_z 值的样块。

它们是用来与同它们表征的合金材质和铸造方法相同的，并经过适当方法（例如喷丸、喷砂、滚筒清理等方法）清理的铸件表面进行比较，通过视觉和触觉评定铸造表面粗糙度的工具。它们还作为制定铸造

工艺及铸造表面粗糙度选用的参考依据。

(1) 样块的分类及粗糙度参数 GB 6060.1—85《表面粗糙度比较样块 铸造表面》规定了样块的分类及参数值，见表 8-12。

表 8-12 样块分类及粗糙度参数值 (GB 6060.1—85)

| 铸型分类 | | 砂型类 | | | | | | | 金属型类 | | | | | | | |
|---------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|
| 合金种类 | | 钢 | | 铁 | | 铜 | 铝 | 镁 | 锌 | 铜 | | 铝 | | 镁 | 锌 | |
| 粗糙度参数公称值 (μm) | 铸造方法 | 砂型铸造 | 壳型铸造 | 熔模铸造 | 砂型铸造 | 壳型铸造 | 砂型铸造 | 砂型铸造 | 砂型铸造 | 砂型铸造 | 金属型铸造 | 压力铸造 | 金属型铸造 | 压力铸造 | 压力铸造 | 压力铸造 |
| | | R_a | 0.2 | | | | | | | | | | | | | |
| | 0.4 | | | | | | | | | | | | | | × | × |
| | 0.8 | | | × | | | | | | | | | × | × | ※ | ※ |
| | 1.6 | | × | × | | × | | | | | | × | × | ※ | ※ | ※ |
| | 3.2 | | × | ※ | × | × | × | × | × | × | × | × | ※ | ※ | ※ | ※ |
| | 6.3 | | ※ | ※ | × | ※ | × | × | × | × | × | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ |
| | 12.5 | × | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ |
| | 25 | × | ※ | | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ |
| | 50 | ※ | ※ | | ※ | | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | | | |
| | 100 | ※ | | | ※ | | ※ | ※ | ※ | ※ | ※ | | | | | |
| R_z | 800 | ※ | | | ※ | | ※ | ※ | ※ | | | | | | | |
| | 1600 | ※ | | | | | | | | | | | | | | |

注：××为采取特殊措施方能达到的粗糙度。

※※表示可以达到的粗糙度。

(2) 样块的表面特征 样块表面只呈现它所表征的特定合金和铸造方法产生的铸造表面粗糙度特征。

样块表面的色泽应是它所表征的特定合金铸件表面出现的色泽。

3.4 铸造表面粗糙度评定方法 (GB/T15056—94)

(1) 用比较样块的对比方法

1) 用符合 GB6060.1—85 规定的表面粗糙度比较样块，凭视觉或触觉对比被检的铸造表面。

2) 样块应与铸件的合金和工艺方法相同。

3) 被检铸件表面必须清理干净(例如喷丸、喷砂、滚筒清理等), 样块表面和被检表面都不得有油污、锈蚀。

4) 在光线充足的条件下, 用眼睛观察对比, 亦可以用放大镜观察对比。

5) 用手指触摸被检表面和样块表面对比。

(2) 铸造表面粗糙度等级的评定

1) 将被检表面均分成若干检测单元。单元面积不得小于样块面积; 单元数如下: 当被检表面积为 $200 \sim 1000 \text{cm}^2$, $> 1000 \sim 10000 \text{cm}^2$, 或 $> 10000 \text{cm}^2$ 时, 单元数分别为 > 5 , > 10 或 > 20 个。

2) 以 80% 的较细单元达到的等级作为该表表面的粗糙度等级, 但其余 20% 的较粗单元的粗糙度等级不得大出 1 级以上。

3) 若 20% 单元的等级比 80% 单元的等级大二个或二个以上等级时, 则以比 20% 单元最大等级小一级确定该被检表面的粗糙度等级。

4) 若被检表面小于 200cm^2 , 则以其最大的表面粗糙度等级评定。

5) 若铸造表面粗糙度粗于规定, 可精整后再检

测定。

6) 若供需双方有争议, 则用粗糙度轮廓仪检测仲裁, 有特殊要求时, 供需双方应事先商定。

4 铸件缺陷的检验

铸件表面缺陷一般靠目视检验; 需方要求时, 用无损检测, 如渗透检测, 磁粉检测等检验, 有时, 不得不作破坏检验, 如表面加工, 断口检验等。

铸件内部缺陷主要靠无损检测, 如水(气)压试验、超声波检测、射线检测、还有涡流探伤、液晶探伤、发声检测等, 有时, 也进行破坏检验, 如表面加工, 切割铸件, 断口检验等。

4.1 目视检验与无损检测

(1) 目视检验 检验人员应根据各种铸件的技术条件或标准, 以目视法或借助放大镜 (< 10 倍) 检验外观品质(质)量, 包括尺寸精度、形状偏差、表面粗糙度、表面缺陷和清理品质(质)量等。

(2) 无损检测 在不破坏受检工件的情况下发现其可能存在缺陷的方法, 称为无损检测。

无损检测法较多, 各有特点和使用范围, 见表 8-

13。

表 8-13 常用无损探伤法的特点和使用范围

| 探伤方法 | | 渗透探伤 | 磁粉探伤 | 超声波探伤 | 射线探伤 |
|----------|------|-------------------------------|---------------|--------------------|---|
| 探伤原理 | | 渗透及吸附作用 | 磁性吸引作用 | 超声波脉冲反射 | 射线穿透感光 |
| 探伤部位 | | 表面 | 表面及近表面 | 表面及内部 | 表面及内部 |
| 使用限制 | | 适于开口缺陷 | 适于铁磁性材料 | 组织粗大者困难 | 限定探伤厚度 |
| 缺陷显示形式 | | 在缺陷处显示色彩或荧光 | 磁粉在缺陷处堆积 | 示波管屏幕显示波形 | 底片黑度反差或荧光屏幕显示 |
| 灵敏度 | | 可发现几 μm (开口宽度) 的缺陷 | 可发现几个 mm 长的缺陷 | 可发现 1mm 的缺陷 (极限尺寸) | X 射线: 1% ~ 2% ^① γ 射线: 3% ~ 3% |
| 易发现缺陷的形状 | | 宽深比较小且内壁较粗糙的缺陷 | 与磁力线垂直的裂纹形缺陷 | 与超声波束方向垂直的扩展缺陷 | 在射线方向厚度较大的缺陷 |
| 发现缺陷的能力 | 裂纹 | 优 | 良 | 良 | 可 |
| | 缩孔 | 劣 | 劣 | 良 | 优 |
| | 缩松 | 可 | 良 | 良 | 良 |
| | 气孔 | 可 | 可 | 可 | 优 |
| | 渣眼 | 可 | 可 | 可 | 优 |
| | 砂眼 | 可 | 可 | 可 | 优 |
| 确定缺陷能力 | 缺陷定性 | 良 | 良 | 可 | 优 |
| | 缺陷定位 | 优 | 良 | 优 | 可 |
| | 缺陷定量 | 可 | 可 | 可 | 良 |

(续)

| 探伤方法 | 渗透探伤 | 磁粉探伤 | 超声波探伤 | 射线探伤 |
|------|--------|------|-------|------|
| 探伤速度 | 较慢 | 快 | 快 | 慢 |
| 探伤成本 | 较低 | 低 | 最低 | 高 |
| 安全性 | 易燃, 低毒 | 安全 | 安全 | 辐射损伤 |

① 灵敏度等于缺陷厚度与工件厚度的百分比。

4.2 渗透检测

利用渗透剂渗入铸件表面显示缺陷图象痕迹的方法, 称为渗透检测。

1. 原理、应用及分类 原理是施液体渗透剂并

使其渗入铸件表面的缺陷中, 再用水或清洗剂洗去表面多余渗透剂, 然后施一层亲合力强的显象剂, 吸附出残留在缺陷中的渗透剂, 利用色彩或荧光与背景的反差作用, 显示缺陷的形状和位置, 见图 8-5。

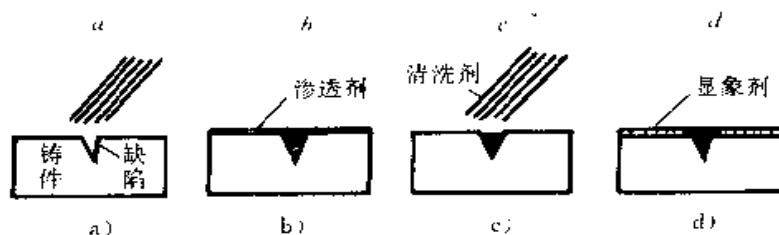
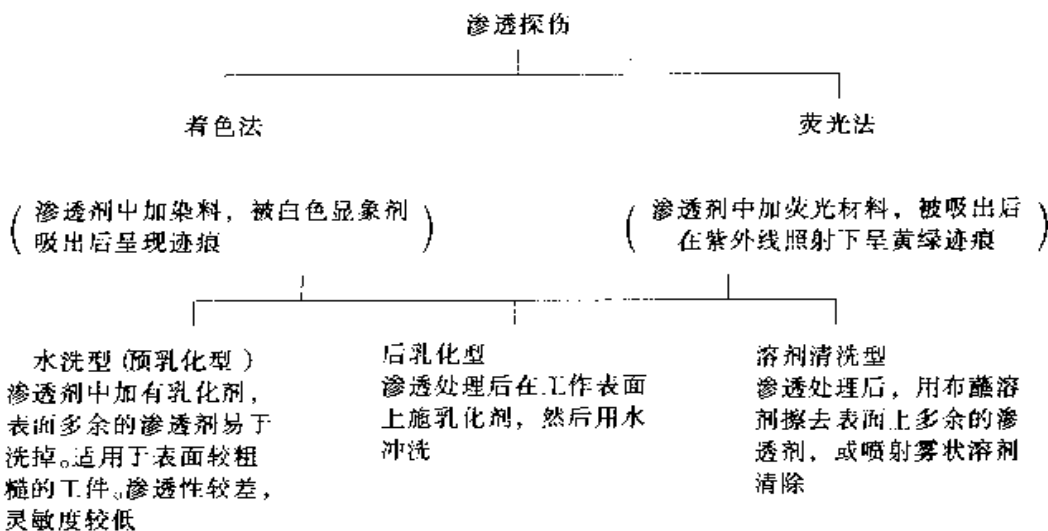


图 8-5 渗透探伤示意图

a) 预清洗 b) 施渗透剂 c) 清洗 d) 施显象剂

渗透探伤通常按缺陷的显示方法和清洗方式分类 如下:



2. 操作程序见表 8-14。

表 8-14 渗透探伤的操作程序

| 步骤 | 操作要点 | 说明 |
|-----|---|-----------------|
| 预处理 | 清理铸件表面的油污、氧化皮、锈蚀和油漆, 不得残留型砂、夹砂、粘砂、结疤等, 最后烘干, 预热到 40~60℃ | 机械法能堵塞缺陷开口, 须慎重 |

(续)

| 步骤 | 操作要点 | 说明 |
|------|-------------------------------------|----------------|
| 渗透处理 | 在探伤表面施渗透剂, 力求均布。然后保持渗透时间一般 10~30min | 视需要采用液浸法、喷涂法等 |
| 乳化处理 | 施乳化剂, 使多余渗透剂乳化或具有水洗性能。乳化时间一般 2~3min | 预乳化型与溶剂清洗型无此步骤 |

(续)

| 步骤 | 操作要点 | 说明 |
|----|--|---|
| 洗涤 | 1. 水洗型: 温水淋洗最佳, 水温 30~50℃, 水压 (10~20) × 10 ⁴ Pa 2. 溶剂清洗型: 喷洒清洗剂, 擦干。二法均自然干燥约 2~5min | 若用干式显象法, 自然干燥可适当强化 |
| 显象 | 施显象剂, 其膜宜薄而匀。膜中的白粉吸出缺陷中的残留渗透剂, 显示色彩或荧光 1. 干式: 撒布干白粉 2. 湿式: 浸入白粉的胶体水溶液, 迅速取出, 干燥 3. 速干式: 喷涂白粉与火棉胶混合液 | 显影时间: 1. 干式, 3~5min 2. 湿式, 5~10min 3. 速干式, 5~15min |

(续)

| 步骤 | 操作要点 | 说明 |
|------|---|---------------------|
| 缺陷判定 | 1. 着色法: 在可见光下目视或用 5~10 倍放大镜检查, 正常时背景为白色, 缺陷处呈红色 2. 荧光法: 在暗室中用紫外线照射, 正常时背景黑暗, 缺陷处显示荧光 | 在一定时间内观察三次以上, 记录或拍照 |

3. 渗透剂、清洗剂及显象剂

(1) 渗透剂 常用着色渗透剂的配比, 见表 8-15; 常用荧光渗透剂的配比, 见表 8-16。

(2) 清洗剂 根据渗透剂的种类, 清洗剂分为三类: 水、乳化剂+水, 溶剂清洗剂。常用乳化剂的配比, 见表 8-17。

表 8-15 几种着色渗透剂的配比

| 分类 | 配制顺序 | 成分 | 配比 (质量分数) | 清洗剂 | 特点及应用 |
|--------------|------|------------------|------------|-------------|---|
| 预乳 化 型 | 1 | 乳化剂 (乳百灵) | 15% | 水 | 清洗去色性好, 挥发慢, 溶液稳定, 毒性小, 成本低。但颜色较浅 适用于成批生产检验 |
| | 2 | 乳化剂 (OII-3) | 5% | | |
| | 3 | 二甲苯 | 35% | | |
| | 4 | 煤油 | 45% | | |
| | 5 | 冰醋酸 (调节溶液 pH5~6) | 1mL/100mL | | |
| | 6 | 烛红 | 20g/L | | |
| 后乳 化 型 | 1 | 乙酸乙酯 | 50% | 乳 化 剂 | 渗透性强, 色鲜艳, 灵敏度高, 显现缺陷, 轮廓清晰; 易清洗, 毒性小。但挥发快, 成本高, 适用于铸件局部检查 |
| | 2 | 二甲苯 | 30 | | |
| | 3 | α-甲基萘 | 20% | | |
| | 4 | 烛红 | 1.1g/100mL | | |
| 后乳 化 型 | 1 | 水杨酸甲酯 (冬青油) | 50% | 乳 化 剂 | 渗透快, 色鲜艳, 灵敏度高, 可发现宽 0.4μm, 深 2μm 的裂纹。易清洗, 挥发少, 毒性小。但成本高 适用于成批生产检验 |
| | 2 | 煤油 | 30% | | |
| | 3 | 二甲苯 | 20% | | |
| | 4 | 萘 | 1g/100mL | | |
| | 5 | 128 烛红 | 1.2g/100mL | | |
| 溶剂清 洗型 | 1 | 苏丹 IV (染料) | 1g/100mL | 丙 酮 | |
| | 2 | 苯 (溶剂) | 20% | | |
| | 3 | 煤油 (渗透剂) | 80% | | |

表 8-16 几种荧光渗透剂的配比

| 类别 | 配制顺序 | 成分及其作用 | 成分配比 | 清洗剂种类 |
|-------|------|------------------|-------------|-------------|
| 自乳型 | 1 | YJP—43 (荧光质) | 0.2g/100mL | 水 |
| | 2 | 10号变压器油 (渗透剂) | 66% | |
| | 3 | (邻)苯二甲酸二丁酯 (溶剂) | 17% | |
| | 4 | MOA—3 (乳化剂) | 9% | |
| | 5 | 6502 (乳化剂) | 6% | |
| | 6 | 三乙醇胺油酸皂乳化剂 | 2% | |
| 化型 | 1 | 灯煤油或 5#机械油 (渗透剂) | 31% | 水 |
| | 2 | 邻苯二甲酸二丁酯 (溶剂) | 19% | |
| | 3 | 乙二醇单丁醚 (偶合剂) | 12.5% | |
| | 4 | MOA—3 (乳化剂) | 12.5% | |
| | 5 | TX—10 (乳化剂) | 25% | |
| | 6 | YJP—15 (荧光质) | 0.4g/100mL | |
| 后乳型 | 7 | 荧光增白剂 PEB (荧光质) | 1.1g/100mL | 乳 化 剂 |
| | 1 | 灯煤油或 5#机械油 (渗透剂) | 25% | |
| | 2 | 邻苯二甲酸二丁酯 (溶剂) | 65% | |
| | 3 | LPE—305 (表面活性剂) | 10% | |
| | 4 | YJP—15 (荧光质) | 0.45g/100mL | |
| 后乳型 | 5 | 荧光增白剂 PEB (荧光质) | 2g/100mL | 乳 化 剂 |
| | 1 | 灯煤油或 5#机械油 (渗透剂) | 10% | |
| | 2 | 邻苯二甲酸二丁酯 (溶剂) | 80% | |
| | 3 | LPE—305 (表面活性剂) | 10% | |
| | 4 | YJP—15 (荧光质) | 0.85g/100mL | |
| 溶剂清洗型 | 5 | 荧光增白剂 PEB (荧光质) | 4.25g/100mL | 乳 化 剂 |
| | 1 | 煤油 | 50%~40% | |
| | 2 | 苯甲酸苄酯 | 50%~60% | |
| | 3 | 荧光黄 | 0.5%~0.6% | |
| 溶剂清洗型 | 4 | 荧光增白剂 PEB | 0.05%~0.06% | 内 酮 |
| | 1 | YJP—1 (荧光质) | 0.25g/100mL | |
| | 2 | 煤油 (溶剂、渗透剂) | 85% | |
| 溶剂清洗型 | 3 | 航空滑油 (增光剂) | 15% | 内 酮 |

表 8-17 几种常用乳化剂

| 成分及其配比 | 备注 |
|--|----------------|
| 乳化剂 (OP-10) 50%, 工业乙醇 40%, 工业丙酮 10% | 可用于干洗 |
| 乳化剂 (平平加) 60%, 油酸 5%, 工业丙酮 35% | 须用 50~60℃ 热水冲洗 |
| 乳化剂 (平平加) 120g/100mL, 工业乙醇 100% | 水溶加热互溶成膏状 |
| 煤油 44%、油酸 35%、三乙醇胺 21% | 须用 30~40℃ 热水冲洗 |
| 乳化剂 (MOA) 30%, 乳化剂 (乳白灵) 30%, 工业丙酮 40% | 搅拌均匀 |

(3) 显色剂和显象剂 见表 8-18、表 8-19。

表 8-18 常用显色剂 (着色渗透探伤)

| 序号 | 成分、配比及配制 | 应用 |
|----|--|------------------------------|
| 1 | 工业丙酮 100mL, 氧化镁粉 15g/100mL, 乳化剂乙醇溶液 (工业乙醇 100mL + 乳化剂 (0~20 平平加) 25g, 温水中加热溶解) 25mL 配制顺序如上, 搅拌均匀, 静 24h 后使用 | 适于涂刷, 浸涂 |
| 2 | 氧化镁 8g/100mL, 乳化剂 (平平加) 1.5g/100mL, 工业丙酮 20%, 聚苯乙烯树脂溶液 (二甲苯和乙醚按 3:7 比例混合, 加聚苯乙烯树脂 2.5~3g/100mL) 80% 配制: 先将氧化镁加入聚苯乙烯树脂溶液; 后将平平加在温水浴中加热溶解, 倒入丙酮中。二者混合 | 适于涂刷, 浸涂 |
| 3 | 氧化锌 5g/100mL, 二甲苯 20%, 工业丙酮 45%, 火棉胶液 (含胶棉 5%) 35% 配制顺序如上, 搅拌均匀 | 适于沉浸, 涂刷; 加 40mL 工业丙酮稀释后用于喷涂 |
| 4 | 氧化锌 10g/100mL, 工业丙酮 65%, PDB 稀释剂 20%, 火棉胶液 (含胶棉 5%) 15% 配制顺序如上, 搅拌均匀 | 适于喷涂 |

表 8-19 常用显象剂 (荧光渗透探伤)

| 序号 | 成分与配比 | 应用 |
|----|---|----|
| 1 | 氧化镁干粉 (分析纯) 铸件渗透、清洗、干燥后, 埋入氧化镁干粉中 10~20min, 取出, 吹净, 5~100min 后观察 | 干法 |
| 2 | 工业乙醇 60%~50%, 水 40%~50%, 氧化镁粉 6~7g/100mL 或按体积比 25%~35%。混合, 搅拌均匀 | 湿法 |

4. 探伤能力及缺陷判别 渗透探伤可以判别表面开口的气孔、渣眼、砂眼、缩松、裂纹、冷隔等缺陷。通常能确定缺陷的位置、大小和形状, 但难以确定缺陷深度。

探伤时, 缺陷以清晰而醒目的色彩或荧光痕迹显示出来。但痕迹是缺陷开口形状的放大象, 未必是缺陷的真实形状。常见缺陷及其判别, 见表 8-20。

表 8-20 渗透探伤若干缺陷痕迹的判别

| 缺陷 | 痕迹特征 |
|------------------------------|---------------------------------|
| 表面开口的气孔, 砂眼, 夹眼 | 痕迹多为点状 |
| 外露缩松 | 点状密集分布, 严重时成片 |
| 裂纹, 冷隔 | 多为条状, 两端尖细 |
| 伪缺陷 (因渗透剂未洗净, 或因毛面粗糙或加工面而产生) | 真伪缺陷的重要区别在于: 真者在洗去显象剂及痕迹后多数肉眼可见 |

4.3 磁粉探伤

利用磁场和铁粉探测铸件或零件表层缺陷的方法, 称为磁粉探伤。适用于铁磁性材料。

(1) 原理 铁磁材料在磁场中被磁化后, 在其中形成了一定取向的磁场。表面或近表面的某些缺陷会破坏材质的均匀和连续, 则磁导率发生变化, 使该处的磁力线畸变; 严重缺陷会穿过工件表面暴露于空气中, 形成局部漏磁场, 吸引并聚集磁粉, 因而可显示缺陷的位置和大小, 见图 8-6。

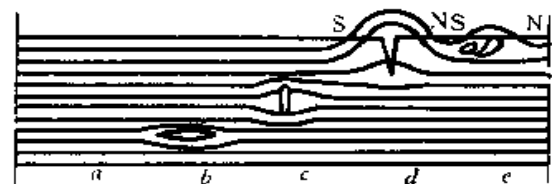
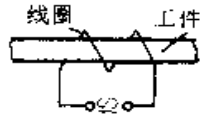
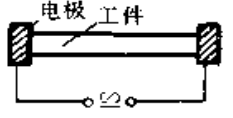
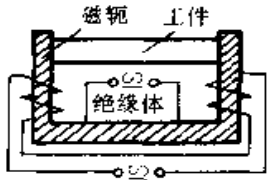


图 8-6 磁粉探伤的原理

a—无缺陷 b、c—内部缺陷 d—表面缺陷 e—近表面缺陷

(2) 磁化方法 磁化方法通常按外加磁场的磁化方向分为如下几种: 纵向磁化法, 周向磁化法, 联合磁化法, 见表 8-21。

表 8-21 磁化方法

| 类别 | 磁化方向 | 磁化方法 | 特点 | 示意图 |
|------|--------------|---|-------------------|---|
| 纵向磁化 | 与工件轴向一致 | 用通电线圈、磁轭或电磁铁在工件上产生纵向磁场 | 对垂直轴向的缺陷敏感 |  |
| 周向磁化 | 与工件周向一致 | 对轴、杆件直接通电, 对管形件用心棒通电, 使工件产生周向磁场 | 对平行轴向的缺陷敏感 |  |
| 联合磁化 | 与工件周向、轴向均可一致 | 交替或同时采用上述二法。若同时采用, 一磁场需用交流电供电磁化; 能形成以大角度往复摆动的磁场 | 适应各种方向的缺陷, 减少探伤装卸 |  |

(3) 磁粉和磁悬液 磁粉探伤分为两种: 干法和湿法。干法是用气流载粉缓慢地喷布在经磁化的工件表面上; 湿法是往经磁化的工件上浇淋含磁粉的磁悬液。

1) 磁粉 磁粉的磁导率高, 矫顽力低; 粒度小于 $50\mu\text{m}$, 平均粒度 $5\sim 10\mu\text{m}$; 黑色磁粉含 $\text{Fe}_3\text{O}_4 > 95\%$ 。

磁粉分为荧光磁粉和非荧光磁粉。前者在紫外线下观察, 对比度强, 适于探测细微缺陷。

光亮铸件用黑色磁粉; 暗色铸件用红色磁粉 (Fe_2O_3) 或荧光磁粉等。

2) 磁悬液 磁悬液是由磁粉和液体介质配制而成的, 液体介质可以是变压器油, 或煤油与润滑油的混合液或水。成分及配比见表 8-22。

表 8-22 油磁悬液和水磁悬液的配比

| 名称 | 成分及配比 |
|----------------------------------|---|
| 油磁悬液 (JB 2842—80) 每 1000mL | 1. 煤油 400~700mL, 变压器油 600~300mL, 磁粉 10~20g 2. 煤油 500~700mL, 锭子油 500~300mL, 磁粉 10~20g |
| 水磁悬液 | 1. 水 1000mL, 乳化剂 10g, 三乙醇胺 5g, 亚硝酸钠 5g, 荧光磁粉 1~2g, 消泡剂 1g 2. 水 1000mL, 100# 浓乳 (pH8~9, 含水 0.5%) 10g, 亚硝酸钠 5g, 三乙醇胺 5g, 磁粉 15~30g |

(4) 磁粉探伤常见缺陷的判别 磁粉痕迹的方向、形状和部位等特征是判断缺陷存在与性质的基本依据, 见表 8-23。为了判断正确, 常结合工艺过程考

虑, 或并用金相法等综合检验。

表 8-23 磁粉探伤常见缺陷及其特征

| 缺陷名称 | 磁粉痕迹特征 |
|------|--|
| 夹渣 | 一般呈细小孑子形聚集磁痕, 大小不等; 抹去磁痕后, 肉眼不可见 |
| 砂眼 | 磁痕呈星点状; 抹去磁痕后, 常见大小不等的针孔 |
| 缩松 | 呈斑点状聚集磁痕; 抹去磁痕后, 常能见大小不等的孔穴群 |
| 冷隔 | 呈铁蛋、铁豆形磁痕 |
| 白点 | 单个或成群分布, 呈无一定方向的弯曲短线状, 磁痕清晰、浓密 |
| 裂纹 | 一般呈两头尖锐的线条状, 或曲折或有一定曲率, 磁痕清晰、浓密 |
| 淬火裂纹 | 一般产生在内尖角、应力集中区, 形状不规则, 呈直线或弧线, 较粗大、深而光洁, 方向一般垂直于温度变化方向 |
| 碰撞裂纹 | 裂纹刚硬, 从撞击中心发射向四周, 撞击中心裂纹最深 |
| 磨裂 | 呈网状或细线状, 有时弯曲, 短而明显, 垂直于磨削方向, 或呈一定角度, 端面上是沿径向呈弧线状 |

4.4 超声波探伤

用频率 20kHz~20MHz 的超声波探测铸件内部缺陷的方法, 称为超声波探伤。

超声波探伤有脉冲反射法, 穿透法和谐振法。应用最多的是脉冲反射法, 故下述内容仅重点介绍此法

的原理、应用等。

(1) 原理 脉冲反射超声波探伤的原理, 见图 8-7。当探头向工件发射超声波时, 荧光屏上出现始脉冲 (T 波)。若无缺陷, 则底部反射一次成为底脉冲 (B 波)。若有缺陷, 则除 T、B 波外, 又出现从缺陷界面反射回来的缺陷脉冲 (F 波); 严重时, 只有 T、F 波, B 波消失。根据波形, 可以确定缺陷的位置和大小。

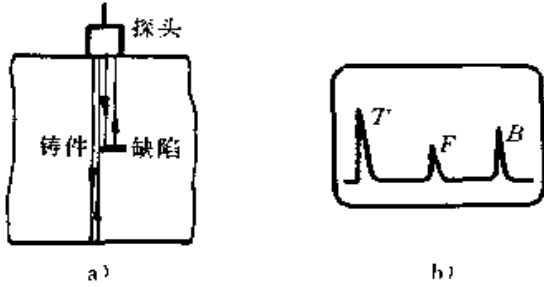
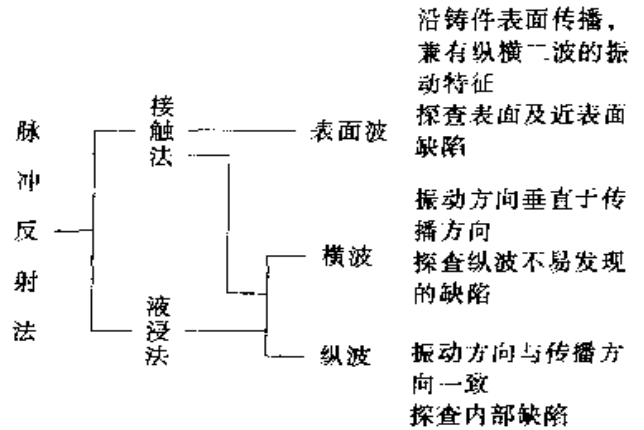


图 8-7 脉冲反射式超声波探伤的原理

- a) 超声波在工件内的传播
- b) 与超声波传播对应的荧光屏显示

(2) 探伤方法及应用 在脉冲式超声波探伤中, 常用方法分类如下:

超声波探伤不适用于粗晶材料 (如奥氏体铸钢) 和形状复杂或表面粗糙的工件。



灰铸铁件不宜使用横波, 薄壁铸件不宜使用纵波, 其余均可单独或联合使用。

(3) 探头及工作频率

1) 探头 波型与探头的种类有关: 直探头发射纵波, 斜探头发射横波或表面波。

探头的探测方式有二: 单探测——一个探头发射兼接收, 超声波发射后原路返回, 适用于反射法。双探法——一个探头发射, 另一个射头接收; 多用于穿透法, 超声波从工件一边发射, 到对边被接收; 也用于反射法, 超声波由一探头发射后, 折射到另一探头被接收。

2) 工作频率 不同频率的超声波在不同铸造合金中的穿透能力见表 8-24。

表 8-24 超声波穿透铸造合金的厚度 (m)

| 铸 铁 种 类 | | 频 率 (MHz) | | | | 备 注 |
|---------|---------|-----------|----------|---------------------|---------|--------------|
| | | 0.5 | 1 | 2.5 | 5 | |
| 铸 铁 | 灰铸铁 | 0.3~0.6 | 0.2~0.4 | 0.05~0.2 | — | 铸态 |
| | 球墨铸铁 | 2~4 | 1.5~3 | 1~1.5 | 0.2~0.4 | 球化良好 |
| | 可锻铸铁 | 2~3 | 1.5~2 | 1~1.5 | 0.1~0.3 | |
| | 奥氏体铸铁 | 0.05~0.1 | 0~0.05 | 0~0.05 | — | 铸态 |
| | 奥氏体球墨铸铁 | 0.1~0.3 | 0.05~0.1 | 0.05~0.1 | 0~0.05 | 球化良好 |
| 铸 钢 | 低碳钢 | 5~6 | 5~6 | (以下 2.25MHz) 3~5 | 2~3 | 透过性好 |
| | 中碳钢 | 5~6 | 4~5.5 | 2~4 | 1.5~2.5 | |
| | 高碳钢 | 4~5 | 4~5 | 2~3 | 1~2 | |
| | 低合金钢 | 5~5 | 5~6 | 4~5 | 2~3 | |
| | 高合金钢 | 5~6 | 5~6 | 4~5 | 2~3 | |
| 铸 铝 | | 1.5~3 | 0.3~1.5 | 0~0.3 | 0~0.3 | 粗晶或多孔材料的透过性差 |

超声波探伤能发现的最小缺陷通常为 $\lambda/2$ (即 $\frac{1}{2}$ 波长) 左右。提高超声波频率, 可以显著提高探伤的灵敏度; 频率过高, 穿透厚度减少, 且在粗晶铸件中出现紊乱的假信号, 常见铸件的超声波探伤频率, 见表 8-25。

表 8-25 常见铸件的超声波探伤频率和方式

| 探伤对象 | 超声波频率 (MHz) | 探测方式 |
|---------|-------------|----------|
| 大型铸钢件 | 0.4~3 | 反射法, 穿透法 |
| 小型铸钢件 | 2~5 | 反射法 |
| 铸铁件 | 0.4~1 | 反射法, 穿透法 |
| 铜合金 | 1~3 | 反射法, 穿透法 |
| 轻合金 | 3~10 | 反射法 |
| 测定钢件晶粒度 | 1.5~7 | 反射法 |

(4) 接触条件 探头与铸件表面接触愈好, 探伤灵敏度愈高。为此, 要求铸件表面加工到 $R_a 3.2\mu\text{m}$ 左右; 若机加工困难, 则至少应消除表面的粘砂、氧化皮、毛刺、疤痕、锈蚀, 并用砂轮、砂布或砂纸打磨到 $R_a 12.5\mu\text{m}$ 左右。操作时, 还应在铸件待探表面涂一层液态耦合剂。超声波探伤要求的接触条件见表 8-26。

表 8-26 超声波探伤要求的接触条件 (供参考)

| 探伤对象 | 待探工件的表面粗糙度 | 耦合剂 |
|---------|--------------------|------------------|
| 大型铸钢件 | $R_a 1.6 \sim 6.4$ | 全损耗系统用油或水玻璃, 乳状液 |
| 小型铸钢件 | $R_a 1.6$ | 全损耗系统用油乳状液 (水机油) |
| 铸钢件 | $R_a 6.4$ | 乳状液 |
| 铸铁件 | $R_a 12.5$ | 干油, 粘油 |
| 精密深伤 | $R_a 0.8$ | 全损耗系统用油 |
| 焊接件 | 不加工 | 全损耗系统用油, 水玻璃 |
| 热轧钢材或钢板 | 不加工 | 稀油, 全损耗系统用油, 水 |
| 镀钢材 | $R_a 12.5$ | 全损耗系统用油, 水玻璃 |

4.5 射线探伤

利用射线的直线透射及衰减的特性探测工件内部缺陷的方法, 称为射线探伤。

(1) 射线 铸件探伤所用的射线通常是 X 射线, 高能 X 射线或 γ 射线。对铸件内在品质要求很高时, 也采用加速器探伤。常用射线的能量和适用的铸件壁厚, 见表 8-27。

表 8-27 射线的能量及适用条件

| 射线种类 | 射线的量子能量 | | 射线源 | 适用工件壁厚 (mm) | | 灵敏度最佳时的工件壁厚 (mm) |
|----------------------|------------|------------|--------|-------------|-----|------------------|
| | 最高管电压 (kV) | 最高能量 (MeV) | | 最小 | 最大 | |
| X 射线 | 110 | | | 2.2 | 21 | 8.3 |
| | 120 | | | 2.4 | 31 | 11.1 |
| | 140 | | | 2.6 | 43 | 14.5 |
| | 160 | | | 3.0 | 60 | 18.6 |
| | 180 | | | 3.8 | 70 | 22.7 |
| | 200 | | | 5.3 | 78 | 27.0 |
| | 250 | | | 8.7 | 95 | 36.2 |
| | 300 | | | 11.0 | 110 | 43.1 |
| | 350 | | | 13.2 | 124 | 49.5 |
| | 400 | | | 14.6 | 136 | 54.3 |
| 高能 X 射线 ^① | | 1 | | 23.0 | 220 | 88.0 |
| | | 4 | | 36.0 | 470 | 169 |
| | | 5 | | 38.0 | 525 | 185 |
| | | 12 | | 41.2 | 620 | 213 |
| γ 射线 | | | Ir-192 | 18.0 | 170 | 61 |
| | | | Cs-137 | 25.5 | 221 | 86 |
| | | | Co-60 | 37.0 | 252 | 116 |

① 普通 X 射线装置管电压不超过 400kV 高能 X 射线装置用加速器将电子加速, 其能量单位为 MeV。

(2) 分类及原理

射线探伤可分为透射照相法，荧光屏观察法和工业电视法。

1) 透射照相法 原理见图 8-8。射线透照工件后，使其下面的底片感光。当工件厚度相同且无缺陷时，底片感受的射线强度大致相同（即底片黑度相同）。当工件有缺陷时，则通过缺陷的射线强度增加，底片黑度变化，留下缺陷的影象。所以底片经显影、定影后，能显示出缺陷的透照象。

2) 荧光屏观察法 射线透照工件后，不同强度的 X 射线投射在涂有荧光物质的荧光屏上，激发出不同强度的荧光，直接形成缺陷的透视荧光象。

工件可以旋转，从各方面观察，且可连续检查。但灵敏度较低，检查较粗略。适于检查结构简单，厚度小于 50mm 的轻合金，如铝镁合金铸件。

3) 工业电视法 在荧光屏之后加上摄像机和电视接收机，就组成了工业电视系统。探伤原理见图 8-9。射线透照工件后，由图象增强器形成高亮度的缺陷荧光图象，经摄像机摄像，传输到电视机，接收并显象。

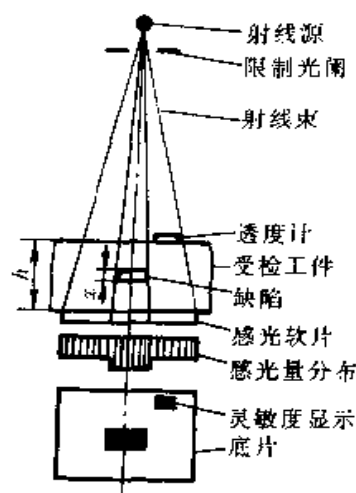


图 8-8 射线照相法的原理

工业电视法适用于大量流水线生产连续检测。

(3) 应用 目前，X 射线照相法应用广泛，荧光屏观察和工业电视法应用尚少。

射线探伤能发现铸件中的缩孔、缩松、夹渣、气孔、裂纹等缺陷。一般能确定缺陷的种类、位置 and 大小。

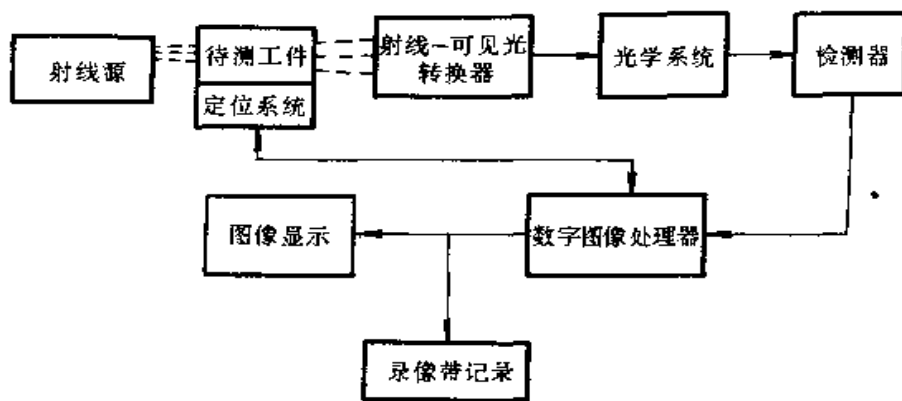


图 8-9 工业电视的检测、显示原理示意图^[16]

5 铸件缺陷修复

铸件上的某些缺陷，如气孔、夹渣、夹砂、裂纹、冷隔、渗漏等，如果超过有关标准、验收文件或订货协议中所允许的范围，可以按其规定进行修复。经修复、检验，确认合格的铸件，不应列入废品。

焊补法应用最广，最可靠；渗补法经济而有效；其它修复方法还有熔补、环氧树脂粘补、塞补、腻子补、金属喷镀等。

5.1 铸钢件的焊补

焊补是铸钢件的基本生产工序之一。铸钢件上的

铸造缺陷几乎都可以用焊补法修复。电弧焊被广泛采用。

(1) 铸钢的焊接性 铸钢的含碳量对焊接性影响极大，合金元素的影响亦相当复杂。碳钢或低合金钢的焊接性通常用碳当量 CE 估计，近似计算公式颇多，大同小异，常用公式如下：

$$CE (\%) = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} (\%)$$

碳当量 $CE < 0.4\%$ ，焊接性良好；碳当量愈高，焊接性愈差。

常见合金元素对钢焊接性的影响, 其见表 8-28。
表 8-28 若干元素对钢焊接性的影响

| 元素 | 影响规律及说明 |
|--------|---|
| C | C < 0.25%, 焊接性良好, C 增加, 焊接性显著下降 |
| Mn | C < 0.20%, Mn < 0.8% - 1.0%, 影响不大; Mn 增加, 焊接性变坏 |
| Cu | Cu < 0.5%, 影响可不计; Cu 0.5% ~ 0.6% 影响亦不大 |
| Al | 加入大量 Al, 焊接性变坏 |
| Ti, Nb | 改善焊接性 |

(续)

| 元素 | 影响规律及说明 |
|----|-------------------------------|
| P | P < 0.05%, 影响可不计; P 增加, 降低焊接性 |
| S | 降低焊接性 |

碳钢和低合金钢的焊接性, 见表 8-29。

(2) 焊补要点 为了保证焊补品质(质量), 应认真清理缺陷处的粘砂、氧化皮、夹杂物等; 开出坡口; 并根据钢的焊接性做好焊前预热和焊后热处理。

表 8-29 一些常用铸钢的焊接性

| 钢种 | 主要化学成分 (%) | 焊接性 | 焊前预热温度 (°C) | 焊后于 560~650°C 退火 |
|----|-------------------------|-----|------------------------|------------------|
| 碳钢 | C < 0.3 | 良 | 不需 | 不需 |
| | C 0.3~0.4 | 可 | 100~150 ^① | 最好退火 |
| | C 0.4~0.5 | 尚可 | 150~300 | 应进行 |
| 锰钢 | Mn 1.2~1.6, C 0.2~0.3 | 可 | 100~150 ^① | 最好退火 |
| | Mn 1.2~1.6, C 0.3~0.4 | 尚可 | 150~300 | 应进行 |
| 铬钢 | Cr < 1.0, C < 0.2 | 良 | 不需 | 不需 |
| | Cr 1.5~1.6, C < 0.3 | 可 | 150~200°C ^① | 最好退火 |
| 镍钢 | Ni < 2.0, C < 0.2 | 良 | 不需 | 不需 |
| | Ni 2.0~3.0, C 0.15~0.30 | 可 | 100~150 ^① | 最好退火 |
| | Ni > 3.0, C 0.3~0.4 | 尚可 | 150~300 | 应进行 |
| 钼钢 | Mo 0.4~0.6, C < 0.25 | 可 | 100 ^① | 最好退火 |
| | Mo 0.4~0.6, C 0.25~0.35 | 可 | 100~150 ^① | 最好退火 |
| 铜钢 | Cu < 2.0, C < 0.2 | 良 | 不需 | 不需 |

注: V 和 Ti 在其正常含量范围内对焊接性的影响可不考虑, Si 含量在 1.0% 以下无明显影响。

① 形状简单的中小件可不预热。

5.2 铸铁件的焊补

铸铁件上的气孔、砂眼、夹渣、裂纹、渗漏等缺陷, 若不超过焊补的允许范围, 可以进焊补修复。但是, 铸铁的焊接性能差, 焊后常有气孔、变形, 易断裂, 难加工, 因此焊补铸铁时, 应非常慎重。

(1) 焊补方法 铸铁的焊补方法通常按工件的预热温度分类: 焊前不预热或仅预热到 250°C 以下, 称为冷焊; 焊前预热到 250~450°C, 称为半热焊; 焊前预热到 500~700°C, 称为热焊。

铸铁常用焊补方法的特点及适用范围见表 8-30。

表 8-30 铸铁的焊补方法及其适用范围

| 焊补方法 | 铸件预热 | 焊补特点 | 适用范围 |
|--------|--------------|---|-------------------------------|
| 焊条电弧焊 | 不预热冷焊 | 通常采用非铸铁焊条。若用镍基焊条,焊后可加工;若用其它种类焊条,焊后加工性差,且焊缝强度和颜色各不相同,有的与母材接近 采用大直径铸铁芯焊条和大电流时,若能严格执行冷焊工艺要点,则焊后可加工,硬度、强度、颜色与母材基本相同。但若缺陷四周刚度大时,焊后易开裂 | 冷焊、半热焊主要用于非加工面上焊补,有时也用于加工面上焊补 |
| | 400℃左右半热焊 | 一般采用钢芯石墨化型铸铁焊条,焊后加工性不稳定,强度与母材相近 | |
| | 500~700℃左右热焊 | 一般采用铸铁芯焊条。焊后需保温缓冷。可加工,硬度、强度、颜色与母材基本相同,即使缺陷四周刚度大,焊后亦不易开裂 | |
| 氧-乙炔气焊 | 不预热 | 焊后可加工,硬度、强度、颜色与母材基本相同。但焊后常易开裂 | 主要用于非加工面 |
| | 600℃左右热焊 | 预热后快速焊。焊后在 650~700℃左右保温缓冷。可加工,硬度、强度、颜色与母材基本相同 | 多用于加工面 |
| 钎焊 | 钎料与铸件一同加热 | 钎料熔化,流布铸件的缝隙或空洞中。焊后,铸件变形小,易加工,但不宜高温工作 | 主要用于修补孔洞,裂缝等缺陷 |

(2) 焊条的选用 焊补铸铁缺陷应根据母材选用适当焊条,见表 8-31。

表 8-31 根据铸铁材质选用焊条 (日本焊接协会)

| 母材 | 焊条种类 焊接种类 | 镍焊条 | 镍铁焊条 | 镍铜焊条 | 铜焊条 | 铁焊条 | |
|------|--------------|--------|----------|-----------|--------|--------|---|
| | | DFC Ni | DFC NiFe | DFC Ni Cu | DFC Cu | DFC Fe | |
| 灰铸铁 | 补洞 | 优 | 优 | 优 | 优 | 优 | |
| | 焊接 | 优 | 优 | 一般 | 差 | 差 | |
| | 焊补裂缝 | 优 | 优 | 稍差 | 差 | 差 | |
| 球墨铸铁 | 补洞 | 良 | 优 | 一般 | 稍差 | 稍差 | |
| | 焊接 | 一般 | 优 | 差 | 差 | 差 | |
| | 焊补裂缝 | 一般 | 优 | 差 | 差 | 差 | |
| 可锻铸铁 | 黑心及白心 | 补洞 | 优 | 优 | 良 | 稍差 | |
| | | 焊接 | 良 | 优 | 稍差 | 差 | |
| | | 焊补裂缝 | 一般 | 优 | 差 | 差 | |
| | 珠光体 | 补洞 | 优 | 优 | 一般 | 稍差 | 良 |
| | | 焊接 | 优 | 优 | 稍差 | 差 | 差 |
| | | 焊补裂缝 | 优 | 优 | 差 | 差 | 差 |

注:日本 JISZ3252 铸铁焊条(下列成分是焊缝金属成分%):

| 焊条名称 | C | Mn | Si | P | S | Ni | Fe | Cu |
|----------|---------|-----|---------|------|------|-------|-----|---------|
| DFC Ni | 1.8 | 1.0 | 2.5 | 0.04 | 0.04 | >92 | — | — |
| DFC NiFe | 2.0 | 2.5 | 2.5 | 0.04 | 0.04 | 40~60 | 余量 | — |
| DFC NiCu | 1.7 | 2.5 | 1.0 | 0.04 | 0.04 | >60 | 2.5 | 2.5~3.5 |
| DFC Cu | 1.0~5.0 | 1.0 | 2.5~9.5 | 0.04 | 0.04 | — | — | 余量 |
| DFC Fe | 0.15 | 0.8 | 1.0 | 0.03 | 0.04 | — | 余量 | — |

5.3 铸铝件的焊补

常用焊补方法及其应用见表 8-32。

表 8-32 铸铝件常用焊补方法及应用

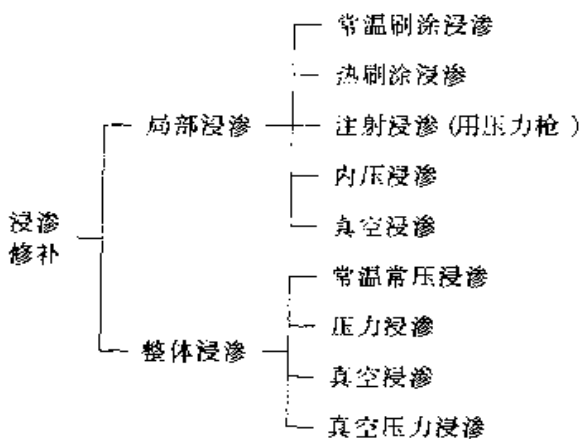
| 方法 | 焊补要点 | 应用 |
|--------|---|----------------------------|
| 气焊 | 1. 焊条与被焊铸件相同 2. 熔剂 ^① (焊药): 氯化钾 30%~50%, 氯化锂 0%~23%, 氯化钠 0%~45%, 氯化钡 0%~40%, 氟化钠 0%~9%, 氯化钾 0%~15%, 冰晶石 0%~20% 3. 铸件预热到 300~400℃, 保温 2~3h | 广泛采用 |
| 金属极电弧焊 | 1. 焊条常用铝硅合金焊条 (Si4%~6%) 也可用纯铝焊条 (Al≥99.5%) 2. 工件预热温度: 壁厚<6mm, 100~150℃; 壁厚 6~8mm, 200℃左右; 壁厚 8~12mm, 350~400℃ 3. 焊后 300~350℃回火 | 适于大铸件, 重要铸件, 如缸体, 缸盖等。应用较广 |
| 氩弧焊 | 1. 焊条位于钨极下方, 端头伸入熔池, 在氩气保护中, 钨极熔化金属 2. 铸件预热 150~200℃; 焊后缓冷 | 适于重要铸件, 如缸体、缸盖等。质量好, 成本高 |

① 指质量分数。

5.4 浸渗修补

将液态材料 (浸渗剂) 渗透进疏松等缺陷里, 硬化、堵塞孔洞, 修复铸件的方法, 称为浸渗修补。浸渗是铸件防渗漏的有效途径, 广泛用于各种耐气压或液压的铸件, 如发动机缸体、缸盖、进气管, 压缩机铸件, 阀类铸件, 泵类铸件等。

(1) 浸渗方法 浸渗分为局部浸渗和整体浸渗两大类, 每类又根据浸渗条件分为若干浸渗方法。分类如下:

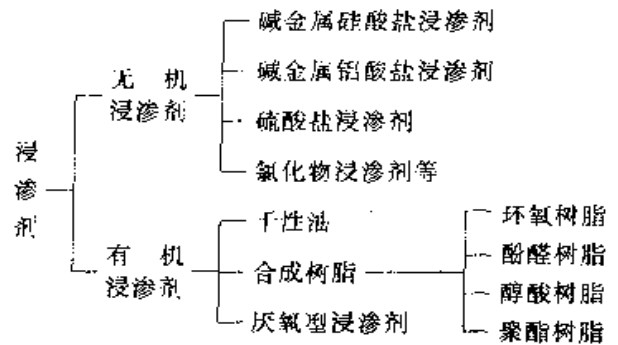


内压浸渗是待补铸件只留一个开口, 其余开口均封闭, 然后在铸件内腔装满浸渗剂, 从开口处加压, 浸补。

真空浸渗是将铸件装入耐压罐内, 密封, 抽真空, 在真空条件下注入浸渗剂浸渗; 压力浸渗是使浸渗剂在压力条件下浸渗铸件; 真空压力浸渗是铸件装入耐压罐内先真空浸渗, 再进一步压力浸渗。

真空浸渗是国内外公认的最有成效的浸渗方法, 应用最多。

(2) 浸渗剂 浸渗剂是在浸渗处理中用以密封铸件微孔缺陷的液态化学物质。浸渗剂分为无机浸渗剂和有机浸渗剂两大类, 种类繁多, 分类如下:



其中效果最佳者是硅酸盐、聚酯类、厌氧型三种浸渗剂。

1) 硅酸盐浸渗剂 以水玻璃 (硅酸钠溶液 $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$) 为主要成分, 以多种金属氧化物超细粉为固化剂等, 调制而成。水玻璃模数一般 2.7~3.0, 密度稀释到 $1.29 \sim 1.35\text{g}/\text{cm}^3$; 氧化物一般超细到 270~400 目。典型配比如下: 水玻璃溶液 73.7%~96.7%, 超细无机金属盐 2%~10% 多种超细金属氧化物 (如 ZnO , MgO , CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 等) 0.1%~3%, 稳定剂 0.5%~5%, 有机增韧剂 0.5%~5%, 表面活性剂 0.1%~1%, 高分子分散剂 0.1%~0.3% 等。技术参数, 见表 8-33。

硅酸盐浸渗剂耐高温 (500~800℃), 成本低,

但质脆,收缩大,易龟裂。可渗补0.4mm以下的微孔;若孔较大,需重复浸渗。

表 8-33 硅酸盐浸渗剂的技术参数

| 性 能 | 技术参数 |
|-----------------------------|-----------|
| pH值(25℃) | 11~12 |
| 粘度(25℃) m·Pa·s | 14~18 |
| 相对密度(25℃) g/cm ³ | 1.2~1.35 |
| 表面张力(25℃) N/m | 0.04~0.06 |
| 渗补铸件壁厚 mm | >2 |
| 浸渗最大孔径 mm | ≤0.2 |
| 浸渗效率 % | 90~95 |

2) 聚酯类浸渗剂 通常是以苯乙烯为稀释剂的聚酯溶液。表面张力小,浸渗效率高,收缩率低,耐介质作用,渗补件承压大。但固化需加热到100~

135℃,作业场地需通风,价格贵。可渗补0.2mm以下的微孔,一次渗补成功率高。

3) 厌氧浸渗剂 以丙烯酸酯类为主要成分,添加引发剂、促进剂、表面活性剂、阻聚剂等,配制而成。

厌氧浸渗剂对氧化极敏感,在空气中,由于氧的阻聚作用而能长期保持液态且低粘度;一旦隔绝空气,就发生聚合反应,变为固态。特点:粘度小,浸渗效率高(>99%),固化不收缩亦不膨胀,耐腐蚀,承压大;但不耐热(<150℃),价格昂贵。通常渗补0.2mm以下的微孔,最大孔径0.4~0.5mm。适用于各种铸造合金。

(3) 浸渗工艺及设备 浸渗工艺与浸渗方法和浸渗剂有关,通常分为三阶段:前处理浸渗,后处理在各种浸渗工艺中,硅酸盐真空浸渗最常用。

1) 硅酸盐真空浸渗工艺(表 8-34)

表 8-34 硅酸盐真空浸渗工艺

| 阶段 | 工 艺 过 程 及 要 点 |
|------|--|
| 前处理 | 1. 脱脂:在有加热装置的脱脂容器中,一般用60~80℃的碱液或三氯乙烯蒸汽,去除铸件表面油污。脱脂是关键工序 2. 清洗:通常用清水冲洗 3. 干燥:风干,或烘干 |
| 浸渗处理 | 铸件放入浸渗罐 1. 抽真空:真空压力一般选-0.093~-0.098MPa,持续10~15min 2. 注液,真空浸渗:浸渗液渗进铸件的微孔缺陷中 3. 压力浸渗:向浸渗罐施压,一般选0.5~0.8MPa,渗进铸体微孔的浸渗剂,在压力下进一步向纵深渗入真空压力浸渗延续时间一般选10~15min 4. 降压到0.2MPa,排液 |
| 后处理 | 1. 取出铸件,滴干,清洗(漂洗或冲洗)干净 2. 固化:铸件在有加热装置的容器或烘箱中,恒温80~100℃,固化2~3h 3. 风干:取出铸件,风干20~24h |

2) 硅酸盐真空浸渗设备:成套设备主要有:脱脂罐,清洗罐,浸渗罐(及其贮液罐、真空泵),钝化罐,固化罐等。

6 铸件的品质(质量)等级

JB/JQ82001—90《铸件分等通则》规定了铸钢件、铸铁件、铸铝件、铸铜件的品质(质量)分等原则,品质(质量)等级、品质(质量)检测方法和评定方法。它是铸件品质(质量)考核、分等定级的依据,亦是评定企业等级的重要依据。

6.1 品质(质量)评定内容及等级

(1) 品质(质量)评定内容 品质铸件(质量)按如下三方面评定:成品品质(质量),生产过程的技术管理,用户服务与反馈。

成品品质(质量)包括铸件的外观品质(质量)和内在品质(质量)。

外观品质(质量):尺寸公差,表面粗糙度(重量)公差,焊补品质(质量),浇冒口残留量,表面缺陷等。

内在品质(质量):力学性能,化学成分,金相组织,内部缺陷等。

生产过程的技术管理包括采用标准情况,工艺文件,检测手段等项目。

用户服务与反馈为单一检测项目,它是指用户对铸件品质(质量)的客观评价。

(2) 品质(质量)等级 铸件按其达到的质量指标,分为三等:合格品,一等品,优等品。分别要求如下:

合格品—铸件的外观品质(质量)、内在品质(质量)符合现行国家标准、行业标准(部标准);铸件生产过程品质(质量)稳定;用户评价铸件能满足使用性能。

一等品—铸件的外观品质(质量)、内在品质(质量)符合现行国家标准、行业标准(部标准),达到工业发达国家70年代末、80年代初的水平;铸件生产过程品质(质量)稳定,用户评价铸件品质(质量)能达到国内先进水平。

优等品—铸件的外观品质(质量)、内在品质

(质量)符合现行国家标准、行业标准(部标准),达到国际同类铸件的当代先进水平;铸件生产过程品质(质量)很稳定;用户评价铸件达到当代国际水平,并在国际市场上有竞争能力。

6.2 品质(质量)分等

(1) 外观品质(质量)

1) 尺寸公差:铸件尺寸公差按GB 6414—86规定。

铸件尺寸公差分等规定,见表8-35。

表 8-35 铸件尺寸公差分等 (JB/JQ 82001—92)

| 铸件类别 | 质量分等 | 成批和大量生产 | | | | | | 单件和小批生产 | | |
|--------|------|-------------|---------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| | | 砂型手工造型 ≤ | 砂型机器造型壳型 ≤ | 金属型 ≤ | 低压铸造 ≤ | 压力铸造 ≤ | 熔模铸造 ≤ | 干湿砂型 ≤ | 自硬砂型 ≤ | |
| 铸钢件 | 优等品 | CT10 | CT8 | — | — | — | CT4 | CT12 | CT12 | |
| | 一等品 | CT11 | CT9 | — | — | — | CT6 | CT13 | CT13 | |
| | 合格品 | CT13 | CT10 | — | — | — | CT7 | CT15 | CT14 | |
| 铸 铁 件 | 灰铸钉 | 优等品 | CT10 | CT8 | CT7 | CT7 | — | CT5 | CT12 | CT11 |
| | | 一等品 | CT11 | CT9 | CT8 | CT8 | — | CT6 | CT13 | CT12 |
| | | 合格品 | CT13 | CT10 | CT9 | CT9 | — | CT7 | CT15 | CT13 |
| | 球墨铸铁 | 优等品 | CT10 | CT8 | CT7 | CT7 | — | CT5 | CT12 | CT11 |
| | | 一等品 | CT11 | CT9 | CT8 | CT8 | — | CT6 | CT13 | CT12 |
| | | 合格品 | CT13 | CT10 | CT9 | CT9 | — | CT7 | CT15 | CT13 |
| | 可锻铸件 | 优等品 | CT10 | CT8 | CT7 | CT7 | — | — | CT12 | CT11 |
| | | 一等品 | CT11 | CT9 | CT8 | CT8 | — | — | CT13 | CT12 |
| | | 合格品 | CT13 | CT10 | CT9 | CT9 | — | — | CT15 | CT13 |
| 有色金属铸件 | 铜合金 | 优等品 | CT9 | CT8 | CT7 | CT7 | CT6 | CT4 | CT12 | CT10 |
| | | 一等品 | CT10 | CT9 | CT8 | CT8 | CT7 | CT5 | CT13 | CT11 |
| | | 合格品 | CT12 | CT10 | CT9 | CT9 | CT8 | CT6 | CT15 | CT12 |
| | 铝合金 | 优等品 | CT8 | CT6 | CT6 | CT6 | CT4 | CT4 | CT11 | CT10 |
| | | 一等品 | CT9 | CT7 | CT7 | CT7 | CT5 | CT5 | CT12 | CT11 |
| | | 合格品 | CT11 | CT9 | CT8 | CT8 | CT7 | CT6 | CT13 | CT12 |

2) 表面粗糙度:铸件表面粗糙度按GB 6060.1—85规定。

铸造表面粗糙度分等分别如下:铸钢件、铸铁件

砂型铸造,应符合表8-36,有色金属铸件砂型铸造、金属型铸造应符合表8-37;有色金属压铸件应符合表

8-38。

表 8-36 铸钢件、铸铁件砂型铸造表面按表面粗糙度 ($R_a, \mu m$) 分等 (JB/JQ 82001—90)

| 铸 件 | 等 级 | 铸件质(重)量分类 | | | |
|-----|-----|------------|----------------|------------------|--------------|
| | | ≤50kg ≤ | >50~100kg ≤ | >100~1000kg ≤ | >1000kg ≤ |
| 铸 钢 | 优等品 | 25 | 25 | 25 | 50 |
| | 一等品 | 25 | 25 | 50 | 100 |
| | 合格品 | 50 | 50 | 100 | 800 |
| 铸 铁 | 优等品 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 25 |
| | 一等品 | 12.5 | 12.5 | 25 | 50 |
| | 合格品 | 25 | 25 | 50 | 100 |

表 8-37 有色金属砂型金属型铸造表面按表面粗糙度 ($R_a, \mu\text{m}$) 分等 (JB/JQ 82001—90)

| 工艺方法 | 合金 | 等 级 | 铸件质 (重) 量分类 | | | |
|-------------|-------------|-----|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| | | | $\leq 20\text{kg}$ \leq | $>20 \sim 50\text{kg}$ \leq | $>50 \sim 100\text{kg}$ \leq | $>100\text{kg}$ \leq |
| 砂 型 | 铜 合 金 | 优等品 | 6.3 | 6.3 | 12.5 | 25 |
| | | 一等品 | 12.5 | 12.5 | 25 | 50 |
| | | 合格品 | 25 | 25 | 50 | 100 |
| | 铝 合 金 | 优等品 | 6.3 | 6.3 | 12.5 | |
| | | 一等品 | 6.3 | 6.3 | 12.5 | |
| | | 合格品 | 12.5 | 12.5 | 25 | |
| 金 属 型 | 铜 合 金 | 优等品 | 3.2 | 6.3 | 12.5 | 12.5 |
| | | 一等品 | 6.3 | 12.5 | 25 | 25 |
| | | 合格品 | 12.5 | 25 | 50 | 50 |
| | 铝 合 金 | 优等品 | 1.6 | 3.2 | 6.3 | |
| | | 一等品 | 1.6 | 3.2 | 6.3 | |
| | | 合格品 | 3.2 | 6.3 | 12.5 | |

注: $>200\text{kg}$ 的铸件, 表面粗糙度允许降一级验收。

表 8-38 有色金属压铸件按表面粗糙度 ($R_a, \mu\text{m}$) 分等 (JB/JQ 82001—90)

| 合金 | 等 级 | 铸件质 (重) 量分类 | | 合金 | 等 级 | 铸件质 (重) 量分类 | |
|-----|-----|-----------------------------|-------------------------|-----|-----|-----------------------------|-------------------------|
| | | $\leq 1\text{kg}$ \leq | $>1\text{kg}$ \leq | | | $\leq 1\text{kg}$ \leq | $>1\text{kg}$ \leq |
| 铜合金 | 优等品 | 1.6 | 3.2 | 铝合金 | 优等品 | 0.8 | 0.8 |
| | 一等品 | 3.2 | 6.3 | | 一等品 | 0.8 | 1.6 |
| | 合格品 | 6.3 | 12.5 | | 合格品 | 1.6 | 3.2 |

3) 质 (重) 量公差: 铸件重量公差按 GB/T11351—89 规定。铸件质 (重) 量公差分等应符合表 8-39。

表 8-39 铸件质 (重) 量公差分等 (JB/JQ 82001—90)

| 铸件类别 | 品质 质量 分等 | 成批和大量生产 | | | | | | 单件和小批生产 | | |
|----------------------------|------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| | | 砂 型 手工造型 \leq | 砂型机器 造型及壳型 \leq | 金属型 \leq | 低压铸造 \leq | 压力铸造 \leq | 熔模铸造 \leq | 干湿砂型 \leq | 自硬砂型 \leq | |
| 铸 钢 件 | 优等品 | MT10 | MT8 | — | — | — | MT4 | MT13 | MT12 | |
| | 一等品 | MT11 | MT9 | — | — | — | MT6 | MT14 | MT13 | |
| | 合格品 | MT13 | MT10 | — | — | — | MT7 | MT15 | MT14 | |
| 铸 铁 件 | 灰 铸 铁 | 优等品 | MT10 | MT8 | MT7 | MT7 | — | MT5 | MT13 | MT11 |
| | | 一等品 | MT11 | MT9 | MT8 | MT8 | — | MT6 | MT14 | MT12 |
| | | 合格品 | MT13 | MT10 | MT9 | MT9 | — | MT7 | MT15 | MT13 |
| | 球 墨 铸 铁 | 优等品 | MT10 | MT8 | MT7 | MT7 | — | MT5 | MT13 | MT11 |
| | | 一等品 | MT11 | MT9 | MT8 | MT8 | — | MT6 | MT14 | MT12 |
| | | 合格品 | MT13 | MT10 | MT9 | MT9 | — | MT7 | MT15 | MT13 |
| 可 锻 铸 铁 | 优等品 | MT10 | MT8 | MT7 | MT7 | — | — | MT13 | MT11 | |
| | 一等品 | MT11 | MT9 | MT8 | MT8 | — | — | MT14 | MT12 | |
| | 合格品 | MT13 | MT10 | MT9 | MT9 | — | — | MT15 | MT13 | |
| 有 色 金 属 铸 件 | 铜 合 金 | 优等品 | MT9 | MT8 | MT7 | MT7 | MT6 | MT4 | MT13 | MT10 |
| | | 一等品 | MT10 | MT9 | MT8 | MT8 | MT7 | MT5 | MT14 | MT11 |
| | | 合格品 | MT12 | MT10 | MT9 | MT9 | MT8 | MT6 | MT15 | MT12 |
| | 铝 合 金 | 优等品 | MT8 | MT6 | MT6 | MT6 | MT5 | MT4 | MT11 | MT10 |
| | | 一等品 | MT9 | MT8 | MT7 | MT7 | MT6 | MT5 | MT12 | MT11 |
| | | 合格品 | MT11 | MT9 | MT8 | MT8 | MT7 | MT6 | MT13 | MT12 |

4) 铸件焊补:除技术文件规定不允许焊补的铸件外,一般情况,允许按有关规定焊补。

5) 铸钢件浇冒口切割残余量:按表 8-40 分等。

6) 铸件表面缺陷:按有关技术文件规定处理。

表 8-40 铸钢件浇冒口切割残余量分等 (JB/QB 82001—90) (mm)

| 铸钢件浇冒口直径或宽度 | | ≤100 | >100—200 | >200—500 | >500—750 | >750 |
|-------------|------|------|----------|----------|----------|------|
| 优等品 | 残余高度 | +3 | +4 | +6 | +9 | +13 |
| | 凹入量 | -2 | -3 | -3 | -5 | -5 |
| 一等品 | 残余高度 | +3 | +5 | +7 | +10 | +15 |
| | 凹入量 | -2 | -3 | -3 | -6 | -6 |
| 合格品 | 残余高度 | +3 | +6 | +10 | +13 | +19 |
| | 凹入量 | -2 | -3 | -3 | -6 | -6 |

(2) 内在品质(质量)

2) 化学成分:各种铸造合金铸件的化学成分

1) 力学性能:各种铸造合金铸件的力学性能应

分别符合各自标准的规定,见表 8-41。

分别符合各自标准的规定,见表 8-41。

表 8-41 各种铸件力学性能、化学成分、金相组织的评定标准

| 铸件类别 | 力学性能、化学成分标准 | 金相组织标准 |
|------------|---------------------|------------|
| 碳钢铸件 | GB 11352—89 (磷、硫除外) | GB 8493—87 |
| 灰铸铁件 | GB 9439—88 | GB 7216—87 |
| 球墨铸铁件 | GB 1348—88 (磷、硫除外) | GB 9441—88 |
| 蠕墨铸铁件 | JB 4403—87 | |
| 可锻铸铁件 | GB 9440—88 | |
| 柔性机械接口灰铸铁管 | GB 6483—86 | |
| 铝合金铸件 | GB 1173—86 | |
| 铜合金铸件 | GB 1176—87 | |
| 其它铸件 | 按有关标准执行 | 按有关标准评定 |

3) 金相组织:各种铸造合金铸件的金属组织应按各自的标准规定评定,见表 8-41。

4) 硫、磷含量:铸钢件、球墨铸铁件的硫、磷含量分等规定,见表 8-42。

表 8-42 碳钢铸件、球墨铸铁件硫、磷含量分等 (JB/QB 82001—90) (%)

| 质量等级 | 铸 钢 件 | | 球 墨 铸 铁 件 | |
|------|--------|--------|-----------|-----------------|
| | S | P | S | P |
| 优等品 | ≤0.030 | ≤0.030 | ≤0.010 | ≤0.070 或 ≤0.060 |
| 一等品 | ≤0.035 | ≤0.035 | ≤0.020 | ≤0.070 或 ≤0.060 |
| 合格品 | ≤0.04 | ≤0.04 | ≤0.030 | ≤0.07 |

注:1. 球墨铸铁件的硫含量系指球化处理后的含量。

2. 优等品、一等品:铁素体基体球墨铸铁件, $P \leq 0.07\%$, 珠光体基体球墨铸铁件, $P \leq 0.07\%$; 合格品:铁素体和珠光体或混合基体球墨铸铁件, $P \leq 0.07\%$ 。

5) 铝合金铸件针孔:按 GB 10851—89 评定;针孔分等见表 8-43。

表 8-43 铝合金铸件针孔分等 (JB/QB 82001—90)

| 质量等级 | I 类 铸 件 | II 类 铸 件 |
|------|----------------------------------|----------------------------------|
| 优等品 | 符合一级针孔级别,且允许有不超过受检面积 25% 的二级针孔级别 | 符合二级针孔级别,且允许有不超过受检面积 25% 的三级针孔级别 |
| 一等品 | 符合二级针孔级别 | 符合三级针孔级别 |
| 合格品 | 符合二级针孔级别,且允许有不超过受检面积 25% 的三级针孔级别 | 符合三级针孔级别,且允许有不超过受检面积 25% 的四级针孔级别 |

注: I 类铸件,承受重载荷,工作条件复杂,用于关键部位,铸件损坏将危及整机安全运行的重要铸件。

II 类铸件,承受中等载荷,用于重要部位,铸件损坏将影响部件的正常工作,造成事故。

6) 内部缺陷:不得超出供需双方协议及有关标

(3) 技术管理

准所允许的范围。

1) 工艺文件 铸件生产过程的工艺文件齐全。

能满足生产需要。

2) 采用标准情况 铸件生产过程中全面贯彻执行国家标准、行业标准(部标准)。

3) 检测手段 铸体品质(质量)的检测手段齐全;或虽不齐全,但有铸件检验报告。

(4) 用户服务与反馈

1) 企业应有主要用户对铸件品质(质量)的评价意见及处理情况的存档资料。

2) 企业处理用户意见时,对严重品质(质量)问题应有分析处理报告。

(5) 说明

在上述品质(质量)分等中所规定的内容,并非每种铸件分等标准都必须全部包括。可根据 JB/JQ8001—90 和具体产品的特点,确定包括哪些内容,亦可以补充其它内容。

6.3 评定方法

由全国性的铸件品质(质量)检测机构或其委派

机构评定铸件品质(质量)。

铸件品质(质量)评定等级采用“多指标加权综合评价法”。

只有铸件品质(质量)的所有项目都达到相关标准的合格品,才能用该法评定铸件品质(质量)等级。

(1) 多指标加权综合评价法的步骤

- 1) 确定铸件品质(质量)分等各级指标 Z。
- 2) 确定每项指标(包括子指标)的加权值 W。
- 3) 制定指标满足度标准。
- 4) 实测铸件。评定各级指标满足度 E。
- 5) 计算铸件品质(质量)分等指数 C。
- 6) 评定铸件品质(质量)等级。

(2) 铸体品质(质量)评价体系 铸件品质(质量)评价体系,见图 8-10。

1) 一级指标及其加权值 铸件品质(质量)分等评价一级指标有三项:铸件成品品质(质量),技术管理,用户服务。其加权值,见图 8-10。

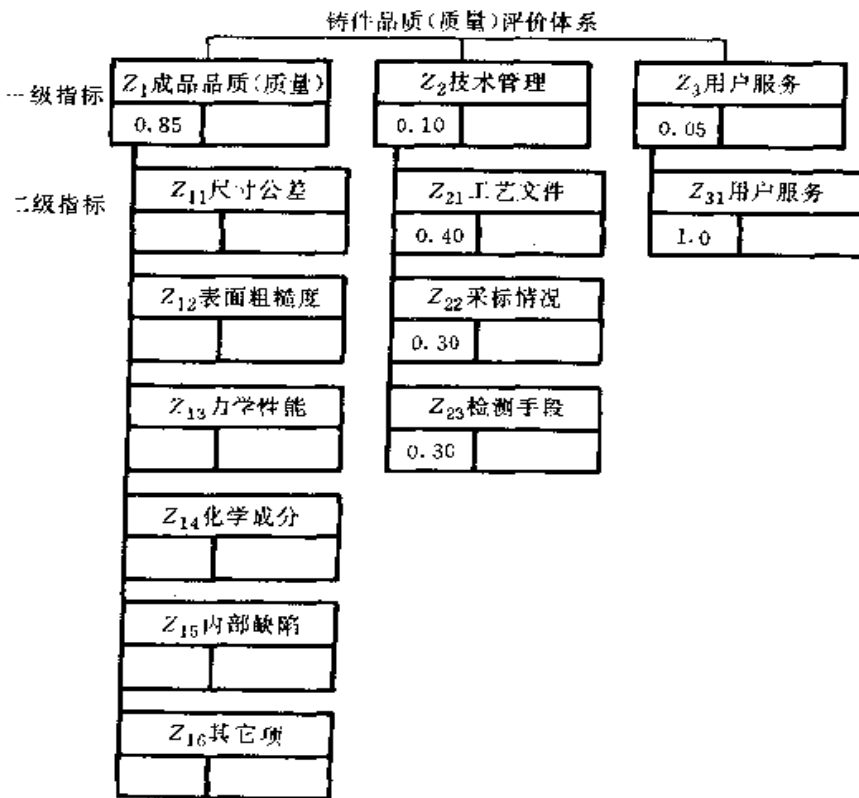


图 8-10 铸件品质(质量)评价体系

2) 二级指标及其加权值 二级指标根据铸件的材质、品种不同而增减。“成品品质(质量)”项的二级指标加权值,在制定各种铸件品质(质量)分等标准时再行确定。二级指标加权值之和等于 1。

① 有分等指标的品质(质量)项目—尺寸公差,表面粗糙度质(重)量公差,硫磷含量,铝合金

针孔,浇冒口残余量,指标满足度,见表 8-44。

② 没有分等的质量项目—力学性能,化学成分,金相组织,表面缺陷,内部缺陷等,按表 8-41 中的标准评定,合格即可。指标满足度,见表 8-45。

③ 无标准可循的考核项目,指标满足度,见表 8-46。

表 8-44 有分等指标的品质(质量)项目的指标满足度(JB/JQ82001—90)

| 指标名称 | 合格品 | 一等品 | 优等品 |
|----------|-----|-----|-----|
| 尺寸公差 | 60 | 80 | 100 |
| 表面粗糙度 | 60 | 80 | 100 |
| 质(重)量公差 | 60 | 80 | 100 |
| 硫磷含量 | 60 | 80 | 100 |
| 铝合金针孔度 | 60 | 80 | 100 |
| 浇冒口切割残留量 | 60 | 80 | 100 |

表 8-45 无分等的品质(质量)项目的指标满足度(JB/JQ82001—90)

| 指标名称 | 不合格 | 合格 |
|------|-----|-----|
| 力学性能 | 0 | 100 |
| 化学成分 | 0 | 100 |
| 金 相 | 0 | 100 |
| 内部缺陷 | 0 | 100 |

表 8-46 无标准品质(质量)项目的指标满足度(JB/JQ 82001—90)

| 指标名称 | 合 格 | 一 等 | 优 等 |
|------|-----------------|-------------|---------------------|
| 工艺文件 | 有工艺文件且能执行 | 工艺文件齐全,严格执行 | 工艺文件齐全,先进,严格执行 |
| | 60 | 80 | 100 |
| 采标情况 | 基本按标准组织生产 | 全面贯彻有关标准 | 标准先进,指标超过现行标准 |
| | 60 | 80 | 100 |
| 检测手段 | 检测手段虽不齐全,但能定期测试 | 检测手段齐全 | 检测手段先进,齐全 |
| | 60 | 80 | 100 |
| 用户服务 | 用户服务,有记录 | 用户服务,有信息反馈 | 用户服务与信息反馈、分析处理,记录存档 |
| | 60 | 80 | 100 |

(3) 铸件品质(质量)分等指数 C

1) 铸件品质(质量)分等指数 C 的计算公式

$$C = \sum C_{ij} \quad (1)$$

式中 C_{ij} ——二级指标贡献值。

2) 二级指标贡献值 C_{ij} 的计算公式

$$C_{ij} = E_{ij} \cdot W_i \cdot W_{ij} \quad (2)$$

式中 E_{ij} ——二级指标满足度;

W_i, W_{ij} ——分别为一、二级指标加权值。

3) 二级指标满足度 E_{ij} 的计算公式

根据检验数量和检查项目加权,平均计算二级指

标成品品质(质量)满足度 E_{ij} , 公式如下:

$$E_{ij} = \frac{(\text{合格项次} \times K_1) + (\text{一等项次} \times K_2) + (\text{优等项次} \times K_3)}{\text{总被检项次}} \quad (3)$$

式中 $K_1 = 60$ ——合格品满足度;

$K_2 = 80$ ——一等品满足度;

$K_3 = 100$ ——优等品满足度。

(4) 铸件品质(质量)等级的评定 在所有品质(质量)项合格的基础上,铸件品质(质量)等级按铸件品质(质量)分等指数 C 评定如下:

C 为 80 分以上,铸件品质(质量)为一等品;

C 为 95 分以上,铸件品质(质量)为优等品。

参 考 文 献

- 1 北京机械工程学会铸造专业学会编. 铸造技术数据手册. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 2 中国机械工程学会铸造专业委员会编. 铸造手册第1卷. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 3 中国机械工程学会铸造专业委员会编. 铸造手册第2卷. 北京: 机械工业出版社, 1991
- 4 中国机械工程学会铸造专业委员会编. 铸造手册第3卷. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 5 中国机械工程学会铸造专业委员会编. 铸造手册第4卷. 北京: 机械工业出版社, 1992
- 6 中国机械工程学会铸造专业委员会编. 铸造手册第5卷. 北京: 机械工业出版社, 1994
- 7 中国机械工程学会铸造专业委员会编. 铸造手册第6卷. 北京: 机械工业出版社, 1994
- 8 Sims C E. Electric Furnace Steelmaking. New York Interscience Publishers, 1963
- 9 陈家祥主编. 钢铁冶金学(炼钢部分). 北京: 冶金工业出版社, 1990
- 10 Vigneron A. et al. Start-up of the world's Largest D. C. Arc Furnace. Electric Furnace Conference Proceedings, 1986, 44
- 11 Fruehman R J. Ladic Metallurgy Principles and Practice Bookcrafters, Inc. Chelsea, MI
- 12 陆文华编. 铸铁及其熔炼. 北京: 机械工业出版社, 1983. 11
- 13 杨国杰, 陈国楨, 庞凤荣编. 铸铁件质量手册. 北京: 机械工业出版社, 1989, 9
- 14 东北工学院编. 铸铁及其熔炼. 北京: 冶金工业出版社, 1978. 11
- 15 马敬冲等编. 铸铁与冲天炉实用手册. 北京: 中国农业机械出版社, 1982. 8
- 16 全国铸造标准技术委员会编. 最新铸造标准应用手册. 北京: 机械工业出版社, 1994. 12
- 17 黄惠松, 盛达, 曾大本等编. 蠕墨铸铁. 北京: 清华大学出版社, 1982
- 18 何祚芝编. 蠕墨铸铁理论与实践. 北京: 机械工业出版社, 1985. 11
- 19 王春琪编. 铸铁孕育理论与实践. 天津: 天津大学出版社, 1991. 3
- 20 李传斌, 朱九民编. 中外有色金属及合金铸件标准. 北京: 机械工业出版社, 1995
- 21 李传斌编著. 造型材料新论. 北京: 机械工业出版社, 1992
- 22 昆明工学院主编. 造型材料. 昆明: 云南人民出版社, 1978
- 23 李庆春主编. 铸件形成理论基础. 北京: 机械工业出版社, 1982
- 24 王金华编. 铸件结构设计. 北京: 机械工业出版社, 1983
- 25 铸造工艺基础联合编写组. 铸造工艺基础. 北京: 北京出版社, 1979
- 26 砂型铸造工艺及工装设计联合编写组编. 砂型铸造工艺及工装设计. 北京: 机械工业出版社, 1983
- 27 施延藻主编. 铸造实用手册. 沈阳: 东北工学院出版社, 1988
- 28 李魁盛主编. 铸造工艺及原理. 北京: 机械工业出版社, 1989
- 29 佟天夫等编著. 熔模铸造工艺. 北京: 机械工业出版社, 1991
- 30 熔模精密铸造编写组编. 熔模精密铸造(上册). 北京: 国防工业出版社, 1981
- 31 蒋增荣等. 熔模铸造工艺材料及性能测定方法标准汇编. 北京: 北京航空学院出版社, 1987
- 32 朱华栋主编. 最新铸造标准实用手册. 北京: 兵器工业出版社, 1992
- 33 耿鑫明著. 金属型设计与制造. 北京: 国防工业出版社, 1964
- 34 罗庚生, 张志忠, 吕有钢等编. 低压铸造. 北京: 国防工业出版社, 1989
- 35 曾昭昭编. 特种铸造. 杭州: 浙江大学出版社, 1990
- 36 齐丕骧编. 挤压铸造. 北京: 国防工业出版社, 1984
- 37 陈炳光编. 液态金属模锻模具设计. 武汉: 华中理工大学出版社, 1986
- 38 梁光泽编. 实型铸造. 上海: 上海科学技术出版社, 1990
- 39 高以熹等编. 石膏型熔模精铸工艺及理论. 西安: 西北工业大学出版社, 1992
- 40 袁润章主编. 胶凝材料学. 武汉: 武汉工业大学出版社, 1989
- 41 [法]石膏工业协会著. 石膏物理—化学, 生产—应用. 杨得山译. 上海: 同济大学出版社, 1987
- 42 Галдин Н. М. и др. Цветное Литье Машиностроение. Москва. 1989
- 43 (前苏联)哈哈林著. 铸铁管生产. 林柏年等译. 鞍山: 中国金属学会铸铁管委员会, 1988
- 44 蔡开科编. 连续铸造. 北京: 科学出版社, 1990

- 45 陈永祥等编. 连续铸钢手册. 北京: 冶金工业出版社, 1991
- 46 余笃武, 梁希超, 姜本居. 铸造测试仪器的原理及应用. 北京: 机械工业出版社, 1991
- 47 云庆华等编. 无损探伤. 北京: 劳动出版社, 1986. 9
- 48 上海沪东造船厂中心试验室编. 磁粉和渗透探伤技术. 北京: 国防工业出版社, 1982. 8
- 49 北京电力设备总厂等编. 无损探伤试验规程及质量标准选编. 1987. 11
- 50 沈阳铸造研究所等编. 铸钢手册. 北京: 机械工业出版社, 1979. 10
- 51 陈捷等编. 铸造表面粗糙度. 北京: 机械工业出版社, 1993. 7
- 52 李魁盛编. 砂型铸造工艺及工装设计. 北京: 北京出版社, 1980. 8
- 53 尖兵(译). 高压造型. 北京: 国防工业出版社, 1974. 4
- 54 北京钢铁学院等编. 铸造工艺学. 北京: 中国工业出版社, 1961. 11
- 55 温永都等编. 铸造检验技术. 北京: 机械工业出版社, 1989. 6
- 56 关云隆. 无损探伤. 北京: 国防工业出版社, 1973
- 57 上海交通大学编. 现代铸造测试技术. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1984. 8
- 58 铸造手册编写组编. 铸钢手册. 北京: 机械工业出版社, 1977. 6
- 59 副岛一雄等编著. 铸钢铸铁焊接要点. 张锐译. 哈尔滨: 黑龙江人民出版社, 1980. 4
- 60 铸造手册编写组编. 铸造有色金属手册. 北京: 机械工业出版社, 1978. 4
- 61 正文贤等. 密封铸件微孔缺陷的浸渍法. 铸造技术. 1993 (4)
- 62 顾卫星. 铸件浸渗技术综述. 铸造技术. 1985 (4)
- 63 吴廷禄等. TA型金属铸件浸渗剂及其应用. 铸造技术. 1985 (4)
- 64 石可平. 铸件浸渗技术. 铸造技术. 1989 (5)
- 65 杨玉奎, 葛正泽编. 气缸体和气缸盖的焊修. 北京: 人民交通出版社, 1980. 11