

机械工业技师考评培训教材

铸造工

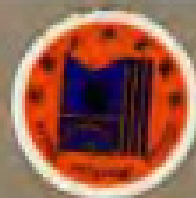
技师培训教材

机械工业技师考评培训教材编审委员会 编



- ★ 机械行业首套技师培训教材
- ★ 按照技师考评要求编写
- ★ 集教材与试题库于一体

机械工业出版社
China Machine Press



● ISBN 7-111-08807-7/ TG·1433

封面设计 / 电脑制作 : 方芬

机械工业技师考评培训教材

- 机械制图
- 机械基础
- 电工与电子基础
- 金属材料及加工工艺
- 车工技师培训教材
- 钳工技师培训教材
- 机修钳工技师培训教材
- 工具钳工技师培训教材
- 铣工技师培训教材
- 磨工技师培训教材
- 焊工技师培训教材
- 铸造工技师培训教材
- 锻造工技师培训教材
- 热处理工技师培训教材
- 电工技师培训教材
- 维修电工技师培训教材
- 冷作工技师培训教材
- 涂装工技师培训教材
- 汽车维修工技师培训教材
- 摩托车调试修理工技师培训教材
- 制冷设备维修工技师培训教材
- 电机修理工技师培训教材

ISBN 7-111-08807-7



9 787111 088073 >

定价: 25.00 元

机械工业技师考评培训教材

铸造工技师培训教材

机械工业技师考评培训教材编审委员会 编



机械工业出版社

本书根据 1999 年《机械工业技师考评培训教材》编写工作会议精神和教材编写大纲审定的要求编写。

主要内容包括：金属材料及热处理、铸造合金及其熔炼、造型材料、液态金属充型和浇注系统、铸件的凝固和收缩、冒口和补贴、造型和制芯技术、铸造工艺方案设计和规程的编制、铸造工艺装备、铸件缺陷分析等。并附有试题库。

本书在内容上，重视基础理论，联系生产实际，反映先进技术，注意提高分析和解决实际问题的能力，采用最新国家标准和法定计量单位。

本书也可供职业学校及工人培训使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

铸造工技师培训教材 / 《机械工业技师考评培训教材》编审委员会编. —北京：机械工业出版社，2001.6

机械工业技师考评培训教材

ISBN 7-111-08807-7

I. 铸… II. 机… III. 铸造—技术培训—教材
IV. TG24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 09946 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：余茂祚 版式设计：冉晓华 责任校对：唐海燕

封面设计：方 芬 责任印制：付方敏

北京市密云县印刷厂印刷 · 新华书店北京发行所发行

2002 年 8 月第 1 版·第 2 次印刷

890mm×1240mm A5·13.75 印张·405 千字

4 001—7 000 册

定价：25.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

封面无防伪标均为盗版

机械工业技师考评培训教材

编审委员会名单

主任：郝广发 苏泽民

副主任：施 斌 李超群

委员：(按姓氏笔画排序)马登云 边 萌 王兆山
王听讲 朱 华 朱为国 刘亚琴 江学卫
何月秋 张乐福 余茂祚 卓 炜 季连海
荆宏智 姜明龙 徐从顺

技术顾问：杨溥泉

本书主编：张忍安

参编：孙 浩 王 宁 潘龙江 石 峰 曹伟平
庄建民 许 平 肖建云 朱福祥

本书主审：陈玉平

参审：牟宏恩

前 言

技师是技术工人队伍中具有高级技能的人才，是生产第一线的一支重要力量，他们对提高产品质量、提高产品的市场竞争力起着非常重要的作用。积极稳妥地开展技师评聘工作，对于鼓励广大技术工人钻研业务、提高技能水平、推动企业生产技术进步以及稳定技术工人队伍有积极的促进作用。

为适应经济发展和技术进步的客观需要，进一步完善技师评聘制度，以加快高级技能人才的培养，拓宽技能人才成长通道，促进更多的高级技能人才脱颖而出，1999年，劳动和社会保障部发出了《关于开展技师考评社会化管理试点工作的通知》，《通知》中提出了如下指导意见：扩大技师考评的对象及职业范围，完善技师考评的依据及内容，改进技师考评方式方法，实行技师资格认定与聘任分开等，并在全国部分省市开始技师考评社会化管理试点。

为配合技师评聘工作的开展，满足机械行业对工人技师培训和考评的需要，加快技师培训教材建设，我们经过到上海、江苏、四川等地进行广泛的调研，并结合《通知》精神，确立了教材编写的总体思路：组织了一批由工程技术人员、教师、技师、高级技师组成的编写队伍，编写了这套《机械工业技师考评培训教材》。全套教材共22种，包括四种基础课教材和车工、钳工、机修钳工、工具钳工、铣工、磨工、焊工、铸造工、锻造工、热处理工、电工、维修电工、冷作工、涂装工、汽车维修工、摩托车调试修理工、制冷设备维修工、电机修理工等18个专业工种教材。

基础课教材以原机械工业部、劳动部联合颁发的机械工业《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》相关工种高级工“知识要求”中的“基本知识”和“相关知识”为主编写；专业工种教材则以本工种高级工“知识要求”中的“专业知识”为主编写，在此基础上，加强了工艺分析方面内容的比重，并增加了新知识、新工艺、新

技术、新方法等方面的内容，以适合新形势的需要。

每本书的内容包括两大部分：第一部分为培训教材，第二部分为试题库，试题库后还附有考核试卷样例。教材部分内容精炼、实用，有针对性和通用性，主要介绍应重点培训和复习的内容，不强求内容的系统性；试题部分出题准确、题意明确，有典型性、代表性、通用性和实用性，试题题型有是非题、选择题、计算题和简答题等，并附有答案。书末还附有技师论文写作与答辩要点。

全套教材汲取了有关教材的优点，略去了低起点的内容，同时采用了最新国家标准和法定计量单位。全套教材既适合考前短期培训用，又可作为考前复习和自测使用，也可供技师考评及职业技能鉴定部门在命题时参考。

本书系铸造工技师培训考核教学用书，也可供一般铸造工工作学习之用。

本书由常柴股份有限公司组织铸造分厂编写。具体编写分工如下：

第一章、第二章孙浩，第三章王宁，第四章潘龙江，第五章石峰，第六章曹伟平，第七章、第九章庄建民，第八章许平，第十章肖建云，第十一章张忍安，附录朱福祥。

本书由张忍安主编、统稿、改稿。无锡职业技术学院陈玉平主审，标准化校核牟宏恩。

本书在编写过程中受到各级领导的关心，尤其是常柴股份有限公司劳资处江学卫、戈敏志处长、工作人员嵇永伟及铸造分厂高维平、薛国俊厂长的大力支持在此表示衷心的感谢！

丁辉、杨静霞、杨宏伟、阎鹏飞、郭秋萍、朱瑾、耿文心、陈瑜、杨佶、赵爱民等同志在文字输入、编辑等方面做了大量工作，在此一并表示谢意！

由于我们是首次尝试编写技师培训教材，因此教材中难免存在不足和错误，诚恳地希望专家和广大读者批评指正。

机械工业技师考评培训教材编审委员会

目 录

前言

第一章	金属材料与热处理	1
第一节	金属材料的物理、力学和铸造性能	1
第二节	铁碳相图	6
第三节	铸件热处理	13
第二章	铸造合金及其熔炼	20
第一节	铸铁及其熔炼	20
第二节	铸钢及其熔炼	40
第三节	铸造非铁合金及其熔炼	44
第三章	造型材料	53
第一节	铸造用原砂、粘土及辅助材料	53
第二节	粘土型砂	62
第三节	合脂砂及其油类砂	69
第四节	树脂砂	74
第五节	水玻璃砂	84
第六节	涂料	90
第四章	液态金属充型和浇注系统	95
第一节	液态金属充型	95
第二节	浇注系统的结构、组成及其作用	99
第三节	铸铁件浇注系统尺寸	108
第四节	其它合金浇注系统	116
第五章	铸件的凝固和收缩	123
第一节	铸件的凝固	123
第二节	铸件的收缩	131
第三节	缩孔和缩松的形成及防止方法	137
第四节	铸造应力和铸件变形	144
第五节	铸件的裂纹	151

第六章	冒口和补贴	156
第一节	冒口的种类、形状和安放位置	156
第二节	冒口的有效补缩距离	159
第三节	冒口尺寸的确定方法	165
第四节	补贴的应用	179
第五节	提高冒口补缩效率的途径	183
第七章	造型技术	187
第一节	造型工艺知识	187
第二节	手工造型的基本方法	191
第三节	机器造型	205
第八章	制芯技术	214
第一节	制芯工艺知识	214
第二节	手工制芯	219
第三节	机器制芯	222
第四节	砂芯的烘干	236
第九章	铸造工艺方案设计和规程的编制	242
第一节	铸造工艺方案的确定	243
第二节	砂芯设计	252
第三节	铸造工艺参数	259
第四节	铸造工艺文件	266
第五节	铸造工艺实例分析	274
第六节	铸造工艺 CAD 简介	283
第十章	铸造工艺装备	286
第一节	模样	286
第二节	模板	291
第三节	芯盒	296
第四节	砂箱	304
第十一章	铸件缺陷分析	312
第一节	铸件缺陷分类	312
第二节	铸造缺陷分析	322
第三节	铸件缺陷实例分析	331
第四节	铸件质量检验	338
第五节	铸造缺陷修补	343

试题库	347
一、是非题	试题 (347) 答案 (402)
二、选择题	试题 (365) 答案 (404)
三、计算题	试题 (384) 答案 (405)
四、简答题	试题 (387) 答案 (410)
考核试卷样例	391
第一套试卷	391
第二套试卷	395
第三套试卷	398
附录 技师论文写作与答辩要点	426

第一章 金属材料与热处理

培训要点：本章应重点掌握金属材料的物理、力学、铸造性能的种类及概念；铁碳合金中几种基本组织；铁碳相图上各点、线的意义；铸造合金的分类；铸件热处理的基本知识及常用热处理工艺。

金属材料是现代机械制造业的基本材料，由于它具有良好的使用性能和工艺性能，因此广泛地应用于制造各种生产设备、工具、武器和生活用具。日常所用的金属材料以合金为主，很少使用纯金属。合金是以一种金属为基础，加入其它金属或非金属，经过熔炼而获得的具有金属特性的材料。与纯金属相比，合金具有更好的力学性能和工艺性能，而且成本较低。

第一节 金属材料的物理、力学和铸造性能

一、金属的物理性能

金属的物理性能是指金属固有的属性，包括密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性和磁性等。

1. 密度 某种金属单位体积的质量称为该金属的密度。密度的计算公式为

$$\rho = m/V \quad (1-1)$$

式中 ρ ——金属的密度 (kg/m^3)；

m ——金属的质量 (kg)；

V ——金属的体积 (m^3)。

不同的金属具有不同的密度。一般将密度小于 $5 \times 10^3 \text{kg}/\text{m}^3$ 的金属称为轻金属，如铝、镁、钛、铍及其合金；密度大于 $5 \times 10^3 \text{kg}/\text{m}^3$ 的金属材料称为重金属，如铁、铜、锡、铅及其合金。日常生产中，利用密度可以计算金属材料或零件的质量，测量金属的密度可以鉴别金属和确定金属铸件的致密程度。

2. 熔点 金属由固态熔化成液态时的温度称为该金属的熔点。

熔点是金属材料冶炼、铸造、焊接等热加工工艺的重要参数之一。通常按金属熔点的高低，将熔点低于 700°C 的金属称为易熔金属，如锡、铋、铅、铟及其合金；将熔点高于 700°C 的金属称为难熔金属，如铁、钨、钼、钒及其合金。

3. 导热性 金属传导热量的能力称导热性。导热性的大小用热导率 λ 表示，单位是 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

热导率越大，金属的导热性越好。一般纯金属的导热性比合金强，其中以银为最好，铜、铝次之。导热性是金属材料重要性能之一，在制订热加工工艺时，必须考虑材料的导热性。如热芯盒模具的设计和材料选定时，就要考虑金属的导热性能。

4. 导电性 金属传导电流的能力称导电性。常用电阻率 ρ 来表示，单位是 $\Omega\cdot\text{m}$ 。电阻率越小，金属的导电性越好。纯金属的导电性比合金好，其中以银为最好，铜、铝次之。

5. 热膨胀性 金属材料随温度变化而热胀冷缩的特性称为热膨胀性。热膨胀性的大小用线胀系数 α_l 和体胀系数 α_v 来表示。一般体胀系数近似为线胀系数的三倍。在制订铸造和热处理工艺时必须考虑材料的热膨胀影响，以减少工件的变形和开裂。例如在铸造模具设计和制造时应预留缩尺，以保证铸件尺寸准确。

6. 磁性 金属材料在磁场中受到磁化的性能称为磁性。衡量材料磁性的指标为磁导率 μ ，单位为 H/m ，它是磁性材料在磁场中磁感应强度与磁场强度的比值。在同一磁场中，材料磁导率越大，就越容易被磁化。

根据金属材料在磁场中受到磁化程度的不同，即磁导率的不同，可分为铁磁性材料、顺磁性材料和抗磁性材料三类。铁磁性材料在磁场中能强烈地被磁化，如铁、钴、镍等；顺磁性材料在磁场中只能微弱地被磁化，如锰、铬等，抗磁性材料在磁场中不能被磁化，如铜、锌等。

二、金属的力学性能

金属的力学性能是指金属在外力作用下所表现出的性能，包括强度、塑性、硬度、冲击性及疲劳强度等。力学性能是机械零件及工具设计、制造中选用金属材料时的主要依据。

1. 强度 金属抵抗永久变形或断裂的能力称为强度，强度的大小通常用应力来表示。其符号为 σ ，单位为 MPa。金属材料的强度指标常用屈服点和抗拉强度来表示。屈服点和抗拉强度是通过金属材料标准试样拉伸试验测定的。

拉伸试验是在拉力试验机上进行的：将标准试样（图 1-1）装夹在试验机上，然后开动试验机施以一缓慢增加的轴向拉力。试样在拉力作用下逐渐伸长，直至断裂为止。

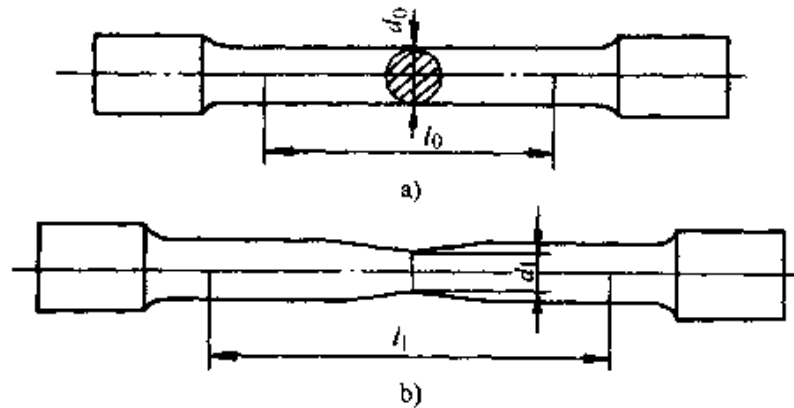


图 1-1 拉伸试样

a) 拉伸前 b) 拉伸后

(1) 屈服点 金属材料受外力作用会产生变形。外力缓慢增加，变形缓慢增加。当外力增大到一定值时，即使外力不再增加，材料也会继续发生变形，这种现象称为屈服。屈服点就是指试样在试验过程中力不增加（保持恒定）仍能继续伸长（变形）时的应力，用符号 σ_s 表示。 σ_s 越大，其抵抗能力越强，越不容易产生塑性变形。

(2) 抗拉强度 抗拉强度是试样拉断前能承受的最大标称拉应力，用符号 σ_b 表示，计算公式为

$$\sigma_b = F_b / A_0 \quad (1-2)$$

式中 σ_b —— 抗拉强度 (Pa)；

F_b —— 试样在断裂前的最大拉伸力 (N)；

A_0 —— 试样原始截面积 (m^2)。

抗拉强度是材料抵抗断裂的能力， σ_b 越大，材料抵抗断裂的能力越强，越不容易引起断裂。

屈服点 σ_s 和抗拉强度 σ_b 是设计机械和选择、评定金属材料的主

要依据和指标。金属材料不能在超过其 σ_s 的条件下工作，否则会引起零件的塑性变形；也不能在超过其 σ_b 的条件下工作，否则会导致零件的破坏。

2. 塑性 断裂前材料发生不可逆永久变形的能力称塑性。常用的塑性判据是伸长率和断面收缩率。

试样拉断后，标距的伸长量与原始标距的百分比称为伸长率，用符号 δ 表示；缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比称为断面收缩率，用符号 ψ 表示。

金属材料的伸长率 δ 数值越大，表示材料的塑性越好。塑性好的金属可以产生大量塑性变形而不破坏，便于通过塑性变形加工成复杂形状的零件。例如，工业纯铁的 δ 可达 50%，可以拉成钢丝，轧成薄板等。而灰铸铁的 δ 几乎为零，所以不能进行塑性变形加工。

3. 硬度 材料抵抗局部变形，特别是塑性变形、压痕或划痕的能力称为硬度。适当的硬度可以保证材料足够的耐磨性和使用寿命，因此，硬度也是金属材料重要的力学性能之一。常用的硬度指标为布氏硬度和洛氏硬度，可分别用布氏硬度机和洛氏硬度机测定。

(1) 布氏硬度 布氏硬度的试验原理是用一定直径的钢球或硬质合金球，以相应的试验压力 F 压入试样表面，经规定的保持时间后卸除试验力，测得压痕的直径。然后根据所用压力的大小和所得压痕面积，算出压痕表面所承受的平均应力值。这个应力值叫做布氏硬度，用符号 HBS (W) 表示，计算公式为

$$\text{HBS (W)} = F/A \quad (1-3)$$

式中 HBS(W)——布氏硬度 (Pa)；

F ——试验所加压力 (N)；

A ——所得压痕面积 (m^2)。

布氏硬度一般只标出其大小而不注明单位。图 1-2 为布氏硬度试验的原理图。常用的布氏硬度标尺有 HBS、HBW 二种。

布氏硬度适用于铸铁、有色金属及其合金、各种退火及调质的钢材，特别对于软金属，如铅、铝、锡等更适宜。

(2) 洛氏硬度 洛氏硬度的试验原理是在初始试验力及总试验力

先后作用下，将压头（金刚石圆锥或钢球）压入试样表面，经规定保持时间后卸除主试验力，用测得的残余压痕深度增量计算硬度（也可直接由硬度机的刻度盘上读取）。所用的压头和载荷和布氏硬度不同。用符号 HR 表示。

采用不同压头和载荷相配合，可组成不同的洛氏硬度标尺，每一种标尺用一个字母在洛氏硬度符号 HR 后面加以注明。常用的洛氏硬度标尺有 HRA、HRB、HRC 三种，其中 HRC 应用最广泛。

4. 冲击韧度 有些机械零件在工作中往往要受到突然施加的外力作用，如锤杆、曲轴、锻模和冲头等。这种冲击载荷所引起的变形和应力比静载荷时大得多，因此，在设计这类零件所用的金属材料时，其性能指标不能单纯用静载荷作用下的指标来衡量，而必须考虑材料抗冲击能力。冲击试样缺口底部单位横截面上的冲击吸收功称为冲击韧度，用符号 α_K 表示。

金属材料的冲击韧度，不仅受材料化学成分和组织的影响，还受到外界温度的影响。塑性材料往往会因温度降低而向脆性材料转变，使材料的冲击韧度降低，这一特征对在低温下工作的零件影响较大。所以，选择材料时，常常要考虑其低温下冲击韧度的大小。

5. 疲劳强度 许多机械零件在工作中是受到交变载荷作用的，如曲轴、齿轮、连杆、轴承、弹簧等。在交变载荷作用下，零件虽然承受的应力低于材料的屈服点，但经过较长时间的工作会产生裂纹或突然断裂，这种现象称为疲劳破坏。材料在多次重复交变载荷作用下而不引起断裂的最大交变应力称为疲劳强度，用符号 σ_{-1} 表示。

三、金属的铸造性能

熔炼金属、制造铸型，并将熔融金属浇入铸型，凝固后获得一定形状和性能铸件的成形方法，称为铸造。

金属的铸造性能是指金属铸造成形过程中获得外形正确、内部健全铸件的能力。铸造性能是铸造工艺的前提条件和基本要求。金属的

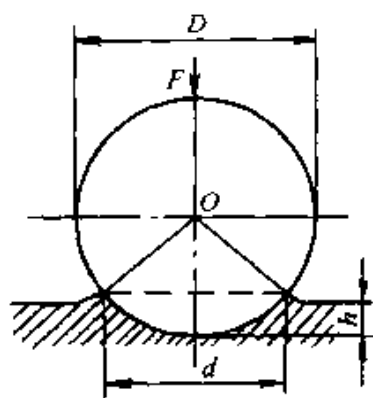


图 1-2 布氏硬度
试验原理图

铸造性能主要指流动性、收缩性和偏析等。

第二节 铁碳相图

一、铁碳相图

钢和铸铁是现代工业中应用最广泛的合金，是以铁和碳为基本组元的复杂合金。合金的组织要比纯金属复杂，为了掌握合金的组织与性能之间的关系，必须了解合金的结晶过程，了解合金中各种组织的形成及变化的规律。根据长期生产实践和科学实验总结出的相图就是研究这些问题的一种工具，它表示了合金系中合金的状态与温度、成分间的关系。铁碳相图是研究钢和铸铁的金相组织，力学性能，物理、化学性能，工艺性能和热处理工艺等的理论基础，也是制订各种钢和铸铁热加工工艺的依据。

由于铸铁中所含的碳能够以 Fe_3C 或以石墨这样两种独立相存在，因而铁碳合金存在着 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 和 $\text{Fe}-\text{C}$ (石墨) 双重相图，见图1-3。图上实线表示 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 亚稳定系相图；虚线表示 $\text{Fe}-\text{C}$ (石墨) 稳定系相图。为了叙述简便，在分析铁碳合金时，将图中实用意义不大的左上角部分（液相向 $\delta-\text{Fe}$ 及 $\delta-\text{Fe}$ 向 $\gamma-\text{Fe}$ 转变部分），以及左下角 GPQ 线左边部分予以省略。

铁碳相图反映了在平衡条件下，不同的铁碳合金成分、温度与金相组织的关系，并表示出合金中相的组成、相的相对数量和相变的温度等。在 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 和 $\text{Fe}-\text{C}$ (石墨) 双重相图上，亦反映了在不同条件下（主要是不同的过冷度条件下），铁碳合金会以亚稳定状态或以稳定状态进行转化，得到的金相组织亦不相同。

1. 铁碳相图中的点和线的含义 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 和 $\text{Fe}-\text{C}$ (石墨) 双重相图中的特性点和线的含义如表 1-1 和表 1-2。

2. 铁碳相图中的组成物 在 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 和 $\text{Fe}-\text{C}$ (石墨) 双重相图中的组成物包括液溶体、奥氏体、铁素体、渗碳体、石墨、莱氏体和珠光体。

(1) 液溶体 即液相，符号 L，为碳或其它元素在铁中的液溶体，存在于液相线以上。

(2) 奥氏体 碳溶于 $\gamma-\text{Fe}$ 中形成的间隙固溶体称为奥氏体，用

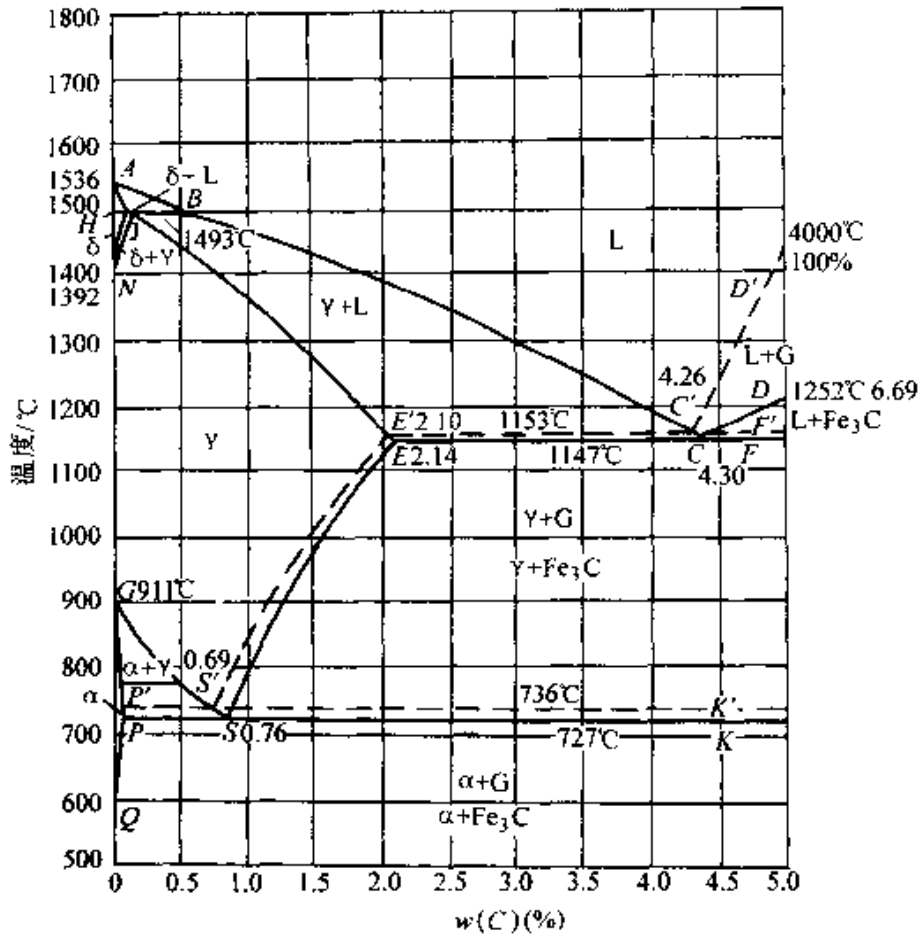


图 1-3 Fe-Fe₃C 和 Fe-C (石墨) 双重相图

表 1-1 Fe-Fe₃C 和 Fe-C (石墨) 双重相图中的特性点

点的符号	温度/°C	w(C) (%)	说明
A	1536	0	纯铁的熔点
C	1147	4.30	共晶点 $L_C \rightleftharpoons \gamma_E + Fe_3C$
C'	1153	4.26	共晶点 $L'_C \rightleftharpoons \gamma'_E + G$
D	1252	6.69	渗碳体的熔点
D'	4000	100	石墨的熔点
E	1147	2.14	碳在 γ -Fe 中的最大溶解度
E'	1153	2.10	碳在 γ -Fe 中的最大溶解度
G	911	0	γ -Fe \rightleftharpoons α -Fe 的转变温度
S	727	0.76	共析点 $\gamma_S \rightleftharpoons \alpha + Fe_3C$
S'	736	0.69	共析点 $\gamma'_S \rightleftharpoons \alpha + G$

表 1-2 Fe-Fe₃C 和 Fe-C (石墨) 双重相图中的特性线

特性线	含 义
ACD 和 AC'D'	液相线。铁碳合金的温度在液相线以上，都处于液体状态
AECF 和 AE'C'F'	固相线。铁碳合金的温度在固相线以下，都处于固体状态
GS	冷却时，从奥氏体中析出铁素体的开始线
ES 和 E'S'	碳在奥氏体中的固溶线。当合金中碳含量超过此线时，会从奥氏体中析出渗碳体。稳定状态下会析出石墨（二次）
ECF 和 E'C'F'	共晶线。当合金中碳含量超过 E 或 E' 时，都会发生如下共晶转变： $L_C \rightleftharpoons \gamma_F + Fe_3C \quad L'_C \rightleftharpoons \gamma'_E + G$
PSK 和 P'S'K'	共析线。当合金中碳含量超过 P 或 P' 时，都会发生如下共析转变： $\gamma_S \rightleftharpoons \alpha + Fe_3C \quad \gamma'_S \rightleftharpoons \alpha + G$

符号 γ 或 A 表示。由于 γ -Fe 为面心立方晶格，晶格间隙较大，因而溶碳能力较强。在 1147℃ 时溶碳的质量分数可达 2.14%。随温度下降，溶解度逐渐减少，在 727℃ 时溶碳的质量分数为 0.76%。

在铁碳合金中，奥氏体是一种在高温状态下才能稳定存在的组织（727℃ 以上）。高温奥氏体具有良好的塑性变形能力，是钢进行高温压力加工所希望的组织。

(3) 铁素体 碳溶于 α -Fe 中形成的间隙固溶体称为铁素体，用符号 α 或 F 表示。由于 α -Fe 是体心立方晶格，晶格间隙较小，因而溶碳能力很低，几乎接近纯铁，所以铁素体的性能与纯铁相似，具有良好的塑性和韧性，而强度和硬度较低。

(4) 渗碳体 碳在铁中溶解度有限，当碳含量超过其在铁中的溶解度时，多余的碳在亚稳定状态下就和铁化合形成 Fe₃C，称为渗碳体，在稳定状态下则直接析出石墨。

渗碳体碳的质量分数为 6.69%，具有复杂的斜方晶体结构。它的硬度很高，塑性很差，冲击韧度几乎为零，脆性很大。它作为铁碳合金的强化相，当其形状和分布合适时，可提高合金的强度和耐磨性。

铁碳合金按亚稳定系转化时，液相析出的为一次渗碳体，共晶转变时析出共晶渗碳体，奥氏体析出二次渗碳体，共析转变时析出共析渗碳体。

在一定温度下，由一定成分的液相同时结晶出成分一定的两个固相的转变称为共晶转变。相图上表示这一温度和成分的特性点 C (C') 称为共晶点。由一定成分的固溶体同时析出一定成分的两相的混合物的转变称为共析转变。

(5) 石墨 在铸铁组织中以游离状态存在的碳，呈石墨形态，用符号 G 表示。铁碳合金按稳定系转化时，液相析出的为一次石墨，共晶转变时析出共晶石墨，奥氏体析出二次石墨，共析转变时析出共析石墨。

石墨的形态主要有片状、蠕虫状、团絮状以及球状。

(6) 莱氏体 铁碳合金按亚稳定系转化时，在冷却到 1147°C 时发生共晶转变，形成奥氏体和渗碳体组成的机械混合物称为莱氏体，用符号 L_d 表示。由于奥氏体在 727°C 时转变为珠光体，所以室温时的莱氏体是由珠光体和渗碳体组成的。为了区别，将 727°C 以上的莱氏体，称为高温莱氏体 (L_d)，在 727°C 以下的莱氏体，称为低温莱氏体 ($L'd$)。

莱氏体的力学性能与渗碳体相似，硬度很高，塑性很差。

(7) 珠光体 珠光体是铁素体和渗碳体组成的机械混合物，常用符号 P 表示。珠光体是奥氏体在冷却过程中，在 727°C 恒温下进行共析转变的产物，只存在 727°C 以下。

珠光体是渗碳体和铁素体片层相间、交替排列而成的混合物。其力学性能介于渗碳体和铁素体之间，强度较高，硬度适中，有一定塑性。

3. 铸铁 铁碳合金按其铁碳相图上位置的不同，即 $w(C)$ 的不同而分为钢和铸铁。 $w(C) < 2.10\%$ 的铁碳合金为钢； $w(C) > 2.10\%$ 的铁碳合金为铸铁。研究钢的结晶过程、组织、性能及热处理工艺时，常用 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 亚稳定系相图；研究铸铁的结晶过程、组织、性能及铸造、热处理工艺时，常用 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 和 $\text{Fe}-\text{C}$ (石墨) 双重相图。

根据铸铁在铁碳相图上位置的不同，即 $w(C)$ 的不同又分为亚共晶铸铁、共晶铸铁和过共晶铸铁。如铸铁的 $w(C) < 4.26\%$ ，为亚共晶铸铁； $w(C) = 4.26\%$ ，为共晶铸铁； $w(C) > 4.26\%$ ，为过共晶

铸铁。

4. “碳当量”及“共晶度”的概念 铸铁中除碳以外，还有其它一些元素，如硅、锰、磷、硫等。这些元素的存在，会使铁碳相图上共晶点的位置发生偏移，而使共晶点实际碳量发生改变。因此，要知道某一具体成分的铸铁属于亚共晶还是过共晶，偏离共晶的程度有多大，就应将该铸铁的实际含碳量和根据成分“修正”后的共晶点实际碳量进行对比。共晶点实际碳量的计算公式为

$$w(C)_c \% = 4.26\% - 1/3 w(Si + P)\% - 0.4 w(S)\% + 0.03 w(Mn)\% \quad (1-4)$$

式中 $w(C)_c\%$ ——铸铁共晶点实际碳的质量分数(%) (稳定系)；
 $w(Si)\%$ 、 $w(P)\%$ 、 $w(S)\%$ 、 $w(Mn)\%$ ——铸铁中 Si、P、S、Mn 的质量分数(%)。

例如：某铸铁成分为： $w(C)3.8\%$ 、 $w(Si)2.1\%$ 、 $w(Mn)0.4\%$ 、 $w(P)0.05\%$ 、 $w(S)0.03\%$ 。其共晶点实际碳的质量分数为

$$\begin{aligned} w(C)_c \% &= 4.26\% - 1/3(2.1 + 0.05)\% - 0.4 \times 0.03\% + 0.03 \times 0.4\% \\ &= 3.54\% \end{aligned}$$

该铸铁 $w(C) = 3.8\%$ ，大于 $w(C)_c\%$ ，因此该铸铁为过共晶铸铁。

目前，常以各元素对共晶点实际碳量的影响，将这些元素的量折算成碳量的增减，这样算得的碳量称为“碳当量”，用 $w(CE)\%$ 表示，计算公式为(质量分数)

$$w(CE)\% = w(C)\% + 1/3 w(Si + P)\% + 0.4 w(S)\% - 0.03 w(Mn)\%$$

一般铸铁中硫很低，而锰的影响又较小，因此，可简化为

$$w(CE)\% = w(C)\% + 1/3 w(Si + P)\% \quad (1-5)$$

将 $w(CE)\%$ 和共晶点碳的质量分数(=4.26%) 相比，就可以判断某具体成分铸铁偏离共晶点的方向和程度。如 $w(CE)\% < 4.26\%$ 为亚共晶铸铁；如 $w(CE)\% = 4.26\%$ 为共晶铸铁；如 $w(CE)\% > 4.26\%$ 为过共晶铸铁。

如上例铸铁的碳当量为

$$w(CE)\% = 3.8\% + 1/3(2.1 + 0.05)\% = 4.52\%$$

因此是过共晶铸铁。

铸铁偏离共晶点的方向和程度还可以用铸铁含碳量与共晶点实际碳量的比值来表示，这个比值称为“共晶度”，以 S_c 表示。如 $S_c < 1$ 为亚共晶铸铁；如 $S_c = 1$ 为共晶铸铁；如 $S_c > 1$ 为过共晶铸铁。 S_c 的计算公式为

$$S_c = \frac{w(C)\%}{w(C)_c\%} = \frac{w(C)\%}{4.26\% - 1/3w(Si+P)\%} \quad (1-6)$$

式中 $w(C)\%$ —— 铸铁碳的质量分数 (%)；

$w(C)_c\%$ —— 铸铁共晶点实际碳的质量分数 (%) (稳定系)。

如上例铸铁的共晶度为

$$S_c = \frac{3.8\%}{4.26\% - 1/3(2.1 + 0.05)\%} = 1.07$$

所以是过共晶铸铁。

碳当量的高低和共晶度的大小，除衡量铸铁偏离共晶点的程度对凝固过程可作出判断外，还能间接地推断出铸造性能的好坏以及石墨化能力的大小，因此，是一个十分重要的参数。

二、铸造合金分类

铸件用的合金统称为铸造合金。铸造合金的种类很多，常用的有铸铁、铸钢和铸造非铁合金三大类。

1. 铸铁的分类 实际应用的铸铁碳的质量分数在 2.0% ~ 4.5% 范围内。根据碳在铸铁中存在形态的不同，铸铁一般可分为白口铸铁、灰铸铁、球墨铸铁、蠕墨铸铁和可锻铸铁。

(1) 白口铸铁 碳除极少量溶于铁素体外，其余绝大部分都以渗碳体的形式存在于铸铁中，断口呈银白色，故称白口铸铁。由于大量渗碳体的存在，所以白口铸铁性能硬而脆，很难进行机械加工。故很少直接用于制造各种零件，只是利用其硬而耐磨的特性，制造一些要求高耐磨性的零件，如轧辊、磨球及农用犁铧等。

(2) 灰铸铁 碳大部分或全部以片状石墨的形式存在于铸铁中，断口呈暗灰色，故称灰铸铁。灰铸铁是各类铸铁中应用最为广泛的一种。灰铸铁的铸造、切削、耐磨和减振等四方面的性能都优于其它铸铁，且生产方便、成品率高、成本低。

灰铸铁按其性能特点，可分为普通灰铸铁和高强度灰铸铁（又称

孕育铸铁)。灰铸铁牌号中 HT250~HT350, 均为孕育铸铁。

(3) 球墨铸铁 石墨大部分或全部呈球状存在于铸铁中, 故称球墨铸铁。它是铁液在浇注前经过球化处理和孕育处理获得的一种高强度铸铁。球墨铸铁的力学性能接近于碳钢, 大大超过灰铸铁, 其铸造性能比铸钢好。因此, 现已广泛利用球墨铸铁代替铸钢、锻钢、铸造非铁合金和可锻铸铁来制造各种强度、韧性和耐磨性要求较高的零件, 如曲轴、凸轮轴、连杆、齿轮等。

(4) 蠕墨铸铁 石墨在铸铁中大部分呈蠕虫状, 故称蠕墨铸铁。它是铁液经过蠕化处理得到的一种高强度铸铁。由于其石墨形状介于球墨铸铁和灰铸铁之间, 因而其性能也介于球墨铸铁和灰铸铁之间, 填补了铸铁材料在性能上的“空白”, 是一种新型的铸铁材料, 在国内外获得迅速发展。

(5) 可锻铸铁 铸铁中石墨呈紧密的团絮状。因其强度较高, 韧性好, 故称可锻铸铁, 又称马铁。可锻铸铁其实是不可锻造的。它是用白口铸铁经长时间石墨化退火而获得的。

2. 铸钢的分类 铸钢是碳的质量分数小于 2.10% 的铁碳合金。按照不同的化学成分, 铸钢可分为碳素铸钢和合金铸钢两大类。

(1) 碳素铸钢 常存元素以碳为主。含碳量直接影响铸钢的组织 and 力学性能。

根据含碳量的不同, 碳素铸钢分为三类:

低碳铸钢: $w(C) < 0.25\%$;

中碳铸钢: $w(C) = 0.25\% \sim 0.60\%$;

高碳铸钢: $w(C) > 0.60\%$ 。

其中以中碳铸钢的应用最为广泛。

(2) 合金铸钢 为了改善和提高铸钢的某些性能, 在铸钢中加入一种或几种合金元素进行合金化, 就成为合金铸钢。

按照加入合金元素含量的不同, 合金铸钢可分为三类:

低合金铸钢: 合金元素的质量分数小于 5%;

中合金铸钢: 合金元素的质量分数为 5%~10%;

高合金铸钢: 合金元素的质量分数大于 10%。

3. 铸造非铁合金的分类 工业上把黑色金属元素 (Fe、Cr、

Mn) 以外的金属元素称为非铁金属元素, 又称有色金属元素。常用的铸造非铁金属元素有: 铜、铝、镁、锡、铅、锌、铋、钛等。工业上一般都采用非铁金属合金制作零件, 因为纯金属的铸造性能和力学性能都比合金差。

铸造非铁合金分为铸造铜合金、铸造铝合金、铸造镁合金、铸造锌合金和铸造轴承合金五大类。一般工业上常用的为前两类。

(1) 铸造铜合金 铸造铜合金按照成分的不同可分为铸造青铜和铸造黄铜两大类。

1) 铸造青铜。铸造青铜又分为锡青铜和特殊(无锡)青铜两类。以铜和锡为主要成分的合金称为锡青铜, 它是最古老的铜合金。以铝、锰、硅等元素代替锡元素的铜合金称为特殊青铜。如应用较多的铝青铜等。

2) 铸造黄铜。以铜和锌为主要成分的合金称为黄铜。又分为普通黄铜和特殊黄铜两类。铜和锌的二元合金称为普通黄铜。除铜和锌外, 还含有铝、锰、硅等元素的铸铜合金称为特殊黄铜。

(2) 铸造铝合金 铸造铝合金是在纯铝的基础上加入其它金属或非金属元素, 不仅能保持纯铝的基本性能, 而且由于合金化及热处理的作用, 使铝合金具有良好的综合性能。

按其所含的主要元素不同, 铸造铝合金常分为铸造铝硅合金、铸造铝铜合金、铸造铝镁合金、铸造铝锌合金及铸造铝稀土合金等。其中铸造铝硅合金和铸造铝铜合金应用最广。

第三节 铸件热处理

铸件热处理是用加热、保温和冷却等方法, 改变金属材料的基体组织。是提高铸件强度、硬度、耐磨性, 获得良好的塑性和韧性等性能的有效工艺方法。

一、铸铁件的热处理

1. 灰铸铁件的热处理 灰铸铁件的热处理不能改变石墨的形状和消除片状石墨的有害作用, 只用于消除铸件的铸造应力, 稳定尺寸; 消除白口组织, 降低硬度以改善其加工性能, 增加表面硬度和耐磨性。

(1) 时效处理 形状复杂的铸件，由于各部位壁厚不均匀而在铸造过程中产生内应力，使铸件产生变形或开裂。时效处理的目的是消除这种铸造应力。时效处理分自然时效和人工时效两种。自然时效就是将铸件露天放置几个月，半年甚至更长时间，让铸件自然、缓慢地发生变形，从而逐渐消除铸造应力。但这种方法生产周期长，铸造应力消除不彻底，生产中已较少采用。

人工时效也就是低温退火，是将铸件以较缓慢的升温速度（ $60 \sim 100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ）加热到 $520 \sim 550^{\circ}\text{C}$ ，保温一段时间，然后随炉以缓慢的速度（ $20 \sim 30^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ）冷却至 $150 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 后，出炉空冷，见图 1-4。

此时，铸造应力基本上消除。若加热温度过高（超过 560°C ）或保温时间过长，反而会使珠光体分解，从而导致铸件强度和硬度降低。

(2) 石墨化退火 铸件冷却凝固时，在表面或某些较薄截面处，由于冷却速度较快，易出现白口组织，使铸件的硬度和脆性增加，不易切削加工。此时可采用石墨化退火的热处理工艺来消除白口组织。

其处理工艺为：将铸件加热到 $900 \sim 960^{\circ}\text{C}$ ，保温 $1 \sim 4\text{h}$ ，然后随炉冷却，见图 1-5。

应当指出，消除白口组织主要通过铸造工艺来解决。热处理只是一种辅助工艺，不是生产必须的工序。

2. 球墨铸铁件的热处理 通过热处理，可大幅度调整和改善球墨铸铁的性能，满足不同的使用要求。球墨铸铁件常用的热处理工艺有退火、正火和等温淬火等。

(1) 退火 球墨铸铁退火分为消除铸造应力退火、低温退火和高温退火。

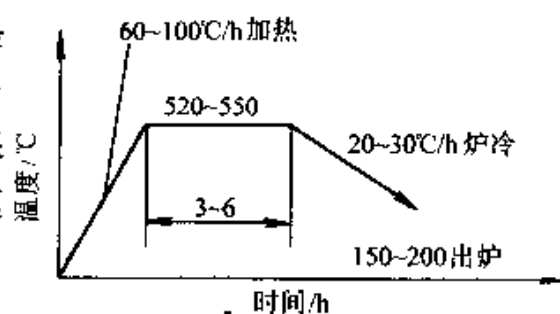


图 1-4 灰铸铁件的人工时效工艺

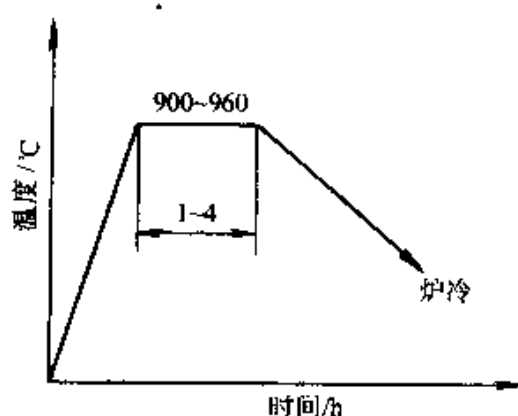


图 1-5 灰铸铁件的石墨化退火工艺

1) 消除铸造应力退火 球墨铸铁的铸造应力比灰铸铁大1~2倍,对于不再进行其它热处理的球墨铸铁件,往往要进行消除铸造应力退火。

2) 低温退火 低温退火的目的是使铸件基体中珠光体的 Fe_3C 发生石墨化分解,以获得铁素体基体的球墨铸铁,提高其塑性和韧性。低温退火的过程是将铸件加热到720~760℃,保温一段时间后随炉冷至600℃,出炉空冷,见图1-6。

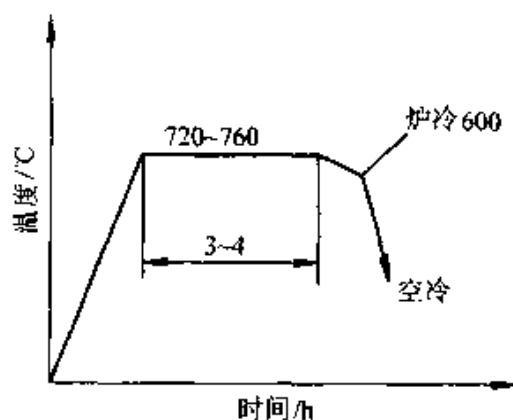


图1-6 球墨铸铁件的低温退火工艺

3) 高温退火 由于球墨铸铁白口倾向较大,因而在铸态组织内往往存在自由渗碳体。为了使自由渗碳体分解(消除白口),需进行高温退火,见图1-7。

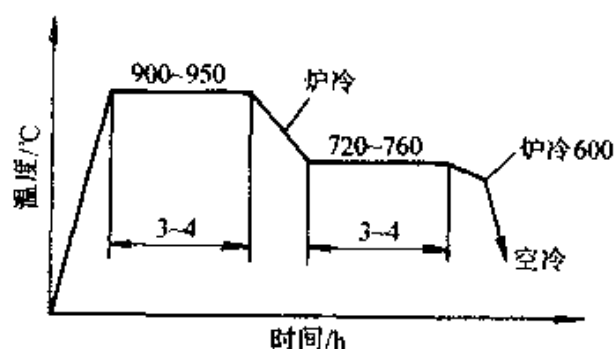


图1-7 球墨铸铁件的高温退火工艺

(2) 正火

1) 完全奥氏体化正火

目的是获得珠光体球墨铸铁,如QT700-2、QT600-3。

铸态组织无渗碳体时的工艺为:将铸件加热到870~940℃,保温1~3h,然后出炉空冷(风冷或雾冷)。由于球墨铸铁正火后有较大内应力,有些工厂正火后还采用高温回火,以获得回火索氏体基体组织,见图1-8。

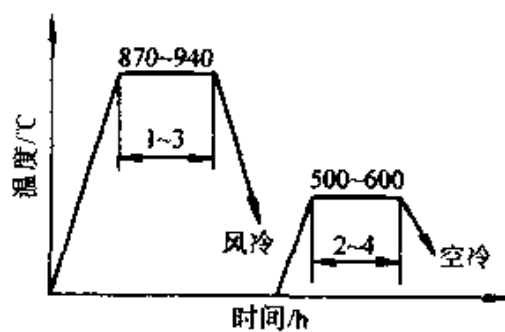


图1-8 球墨铸铁件的完全奥氏体化正火工艺

铸态组织渗碳体体积分数 $\geq 3\%$ 时的工艺为：将铸件加热到 $950\sim 980^{\circ}\text{C}$ ，保温 $2\sim 3\text{h}$ ，然后随炉冷至 $860\sim 880^{\circ}\text{C}$ ，保温 $1\sim 2\text{h}$ ，出炉空冷（风冷或雾冷）。

2) 部分奥氏体化正火 目的与普通正火相似，不同的是：由于采用较低的加热温度，内部组织仅发生部分奥氏体化，正火后组织中仍保留部分铁素体，从而可提高铸件的塑性和韧性，但强度比高温正火略低。

铸态组织无渗碳体时的工艺为：将铸件加热到 $880\sim 900^{\circ}\text{C}$ ，保温 $1\sim 4\text{h}$ ，出炉空冷（风冷或雾冷）。

铸态组织渗碳体体积分数大于等于 3% 时的工艺为：将铸件加热到 $920\sim 980^{\circ}\text{C}$ ，保温 $2\sim 3\text{h}$ ，然后随炉冷至 $820\sim 880^{\circ}\text{C}$ ，保温 $1\sim 2\text{h}$ ，出炉空冷（风冷或雾冷），见图1-9。

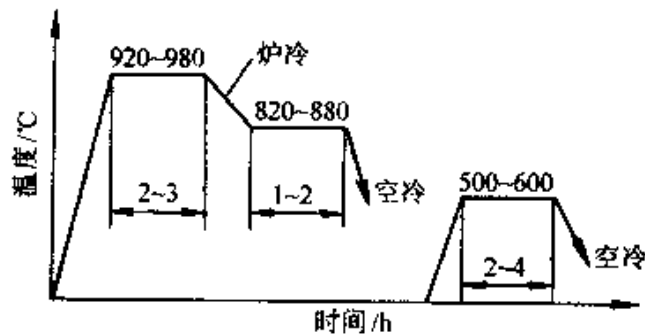


图1-9 有渗碳体的球墨铸铁件部分奥氏体化正火工艺

(3) 等温淬火 球墨铸铁经等温淬火处理后的组织是贝氏体和少量残余奥氏体，这种组织不仅具有较高的综合力学性能（较高的强度和韧性），而且具有很好的耐磨性。是目前发挥球墨铸铁最大潜力的热处理方法，应用和发展速度很快。

将铸件加热到 $860\sim 920^{\circ}\text{C}$ ，保温一段时间待完全奥氏体化后，立即放入温度为 $250\sim 350^{\circ}\text{C}$ 的盐浴炉中等温（ $0.5\sim 1.5\text{h}$ ），然后取出空冷，得到贝氏体组织，见图1-10。

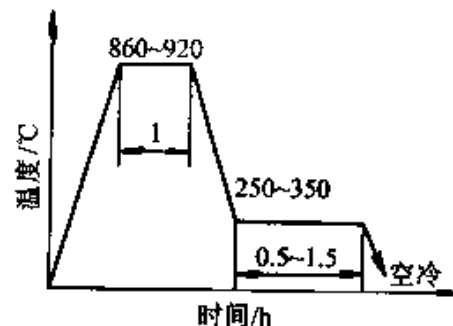


图1-10 球墨铸铁件的等温淬火工艺

二、铸钢件的热处理

铸钢件一般都要进行热处理。目的是：细化晶粒；消除魏氏组织和铸造应力。碳素铸钢件的热处理方法有：完全退火、正火、正火加回火。合金元素有提高淬透性的作用，因此，低合金铸钢件的主要热处理方式是淬火加回火或正火加回火。

1. 完全退火 将铸钢件加热到奥氏体区的温度（适宜的温度是上临界温度 A_{c3} 以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$ ），并保温一段时间（根据铸钢件的材质和壁厚来确定），在珠光体向奥氏体完全转变后，随炉冷却至 $200 \sim 300^\circ\text{C}$ 时出炉空冷，见图 1-11。

2. 正火加回火 为了提高铸钢的力学性能，可以采用正火加回火热处理工艺。

铸钢件的正火工艺，是将铸件加热到 A_{c3} 以上 $30 \sim 80^\circ\text{C}$ ，保温一段时间，使组织完全奥氏体化，然后出炉空冷，得到均匀细化的晶粒组织，使铸钢的力学性能提高。

正火后的铸件，由于经快速冷却，残留一部分内应力，所以必须进行回火。回火时，将铸件加热到 $500 \sim 600^\circ\text{C}$ ，并保温一段时间后随炉缓冷。铸钢件的正火加回火工艺曲线见图 1-12。

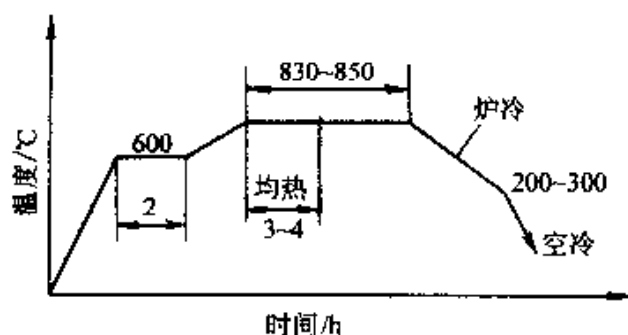


图 1-11 铸钢件的退火工艺

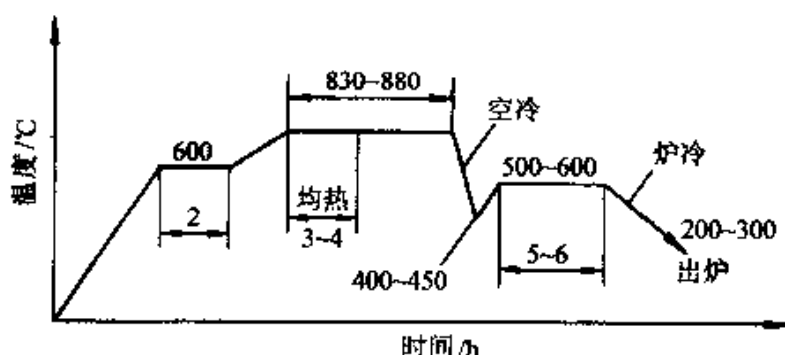


图 1-12 铸钢件的正火加回火工艺

对于形状复杂的铸钢件正火温度升到 600°C 以上时，应缓慢升温或在此温度下保温一段时间，以防铸件产生裂纹。

三、铸造非铁合金件的热处理

1. 铸造铝合金的热处理 铸造铝合金在铸态下的力学性能往往不能满足使用要求。所以，多数铝合金铸件都要热处理。通过热处理改变铸造铝合金的组织，可以提高铸件力学性能，增强耐腐蚀性能，改善加工性能，获得尺寸的稳定性。

(1) 热处理工艺分类及作用 铝合金铸件的热处理工艺可以分为以下四类：

1) 退火处理 将铸件加热到较高温度（300℃左右），保温一定时间后，随炉冷却的工艺称为退火。退火处理可以消除铸件的内应力，稳定铸件尺寸，减少变形，增大铸件的塑性。

2) 固溶处理 把铸件加热到尽可能高的温度（接近于共晶体的熔点），保温足够长的时间后快速冷却，使强化组元在铝中最大限度地溶解，这种高温状态被固定保存到室温的过程称为固溶处理，俗称淬火。固溶处理可以提高铸件的强度和塑性，改善合金的耐腐蚀性能。

3) 时效处理 将固溶处理后的铸件加热到某一温度，保温一定的时间后出炉空冷的工艺称为时效。采用较低的时效温度或较短的保温时间的时效处理称为不完全人工时效；采用较高的时效温度或较长的保温时间的时效处理称为完全人工时效。不完全人工时效可使铸件获得优良的综合力学性能，即较高的强度，良好的塑性和韧性，但抗蚀性能可能较低。完全人工时效，可使铸件获得最大的强度，即最高的抗拉强度，但伸长率较低。

4) 循环处理 多次将铸件冷却到零下温度，保温一定时间再加热到铸件的工作温度的过程，称为循环处理。循环处理可提高铸件尺寸的稳定性，适于精密零件的处理。

(2) 热处理状态代号及目的 铸造铝合金热处理状态的名称、代号及目的见表1-3。

2. 铸造铜合金的热处理 大多数铸造铜合金都不能热处理强化，而是在铸态下使用，但也有少数铸造铜合金可热处理，如铸造铍青铜、铸造铈青铜、铸造锆青铜等。

铸造铜合金的热处理按其应用，可分为以下三类：

表 1-3 铸造铝合金热处理代号及意义

热处理状态 代号	热处理状态 名称	目的
T1	未经固溶处理的人工时效	1. 提高硬度, 改善机械加工性能, 降低加工表面粗糙度值 2. 提高 ZL104、ZL105 等合金的强度
T2	退火	消除内应力, 消除机械加工硬化, 提高铸件尺寸稳定性, 增加合金塑性
T4	固溶处理	提高合金力学性能, 提高强度和硬度, 获得最高的塑性及良好的抗蚀性能
T5	固溶处理和不完全人工时效	获得足够高的强度, 保持高的塑性, 但抗蚀性能下降
T6	固溶处理和完全人工时效	获得最高的强度, 但塑性及抗蚀性能降低
T7	固溶处理和稳定化回火	提高铸件尺寸稳定性和抗蚀性能
T8	固溶处理和软化回火	提高铸件尺寸稳定性, 提高合金塑性, 但强度降低
T9	循环处理	稳定铸件尺寸

(1) 消除应力退火 目的在于消除铸造和补焊后产生内应力。如铸造铝青铜焊后热处理工艺为: 将铸件加热到 450~550℃, 保温 4~8h, 随炉缓冷至 200℃后打开炉门空冷。

(2) 强化热处理 包括固溶处理和时效处理, 目的在于提高合金的物理化学和力学性能。如铸造铬青铜强化热处理工艺为: 加热至 980~1000℃, 每 25mm 保温 1h, 水淬, 加热至 450~520℃, 2~4h 时效, 空冷。

(3) 消除铸造缺陷的热处理 铸造锡青铜加热至 400~650℃时, α 棱晶间的 δ 相扩散溶入 α 相中, 引起合金的体积膨胀从而堵塞锡青铜的显微缩孔, 改善其耐压性。如铸造锡青铜热处理工艺为: 加热至 650℃, 3h 保温, 随炉冷却。

第二章 铸造合金及其熔炼

培训要点：本章应重点掌握各种铸造合金的牌号及性能；化学成分对灰铸铁、球墨铸铁性能的影响；孕育铸铁、球墨铸铁的生产技术；冲天炉熔炼操作工艺、一般过程和基本原理；了解铸钢和铸造非铁合金的熔炼过程及主要设备。

第一节 铸铁及其熔炼

一、铸铁

铸铁是一种以铁、碳、硅为基础的多元合金，此外，还含有锰、磷、硫等元素。有时为了改善铸铁的性能，还可加入铜、铬、钼等合金元素。常用的铸铁有灰铸铁、球墨铸铁、蠕墨铸铁和可锻铸铁。

1. 灰铸铁

(1) 灰铸铁的牌号及性能 抗拉强度是灰铸铁最主要的力学性能，灰铸铁的牌号是按其大小来区分的，根据 GB/T9439—1988《灰铸铁件》的规定，按单铸 $\phi 30\text{mm}$ 试棒的抗拉强度值将灰铸铁分为六种牌号，见表 2-1。

表 2-1 按单铸试棒性能分类

牌号	抗拉强度 $\sigma_b/\text{MPa} \geq$	牌号	抗拉强度 $\sigma_b/\text{MPa} \geq$
HT100	100	HT250	250
HT150	150	HT300	300
HT200	200	HT350	350

灰铸铁的力学性能是由金属基体组织及石墨形态决定的。主要的基体组织有：珠光体、铁素体及珠光体加铁素体三种。

灰铸铁中存在的片状石墨，一方面减少了金属基体的承载面积，另一方面石墨片的尖角处造成了应力集中，所以，灰铸铁的抗拉强度较差、塑性较低。由此可见片状石墨的数量大小和分布状况是影响灰

铸铁性能的主要因素。

(2) 化学成分对灰铸铁性能的影响 灰铸铁的化学成分除了含有碳、硅、锰、磷、硫五种主要元素外，还含有一些其它元素，各种元素及其含量都对灰铸铁的性能产生不同影响。

1) 碳和硅 碳和硅都是强烈促进石墨化的元素，通过调整碳和硅的含量可以控制灰铸铁的组织 and 性能。灰铸铁碳的质量分数大多在 2.6% ~ 3.6%，硅的质量分数在 1.2% ~ 3.0%。

碳是构成石墨的元素，铁液中碳的质量分数越高，石墨的数量也就越多。硅是促进石墨化的元素。当硅的质量分数在 1.0% ~ 2.0% 范围内增加时，硅促进石墨化的作用特别强烈。一般以碳当量综合考虑碳和硅的影响。

碳当量过高，促使灰铸铁石墨片变粗、数量增多，基体中铁素体量增多，强度和硬度下降。碳当量过低，铸铁易出现麻口或白口组织，会导致灰铸铁铸造性能降低、铸件断面敏感性增大、内应力增加、强度下降、硬度上升、加工困难。因此，必须使灰铸铁碳当量控制在合适的范围内。

2) 锰和硫 锰和硫都是阻碍石墨化的元素，但两者共同存在时，会形成高熔点的 MnS ，不仅无阻碍石墨化的作用，而且可作为石墨化的非自发晶核。所以，锰能削弱硫的有害作用。此外，锰能促使珠光体形成并细化珠光体，从而提高灰铸铁的力学性能，灰铸铁中锰的质量分数一般为 0.6% ~ 1.2%。

硫在高含量时有阻碍石墨化的作用，使铸件形成白口组织，同时还使奥氏体枝晶粗化，降低铸铁性能。硫还能使铁液的流动性降低，收缩量增大，使铸铁有较大的热裂倾向。因此，硫作为有害元素应加以控制，一般质量分数控制在 0.15% 以下。但目前认为，为确保孕育效果，灰铸铁中含硫量亦非越低越好，一般质量分数不低于 0.05% ~ 0.06%。

3) 磷 磷使铸铁的共晶点左移，其作用程度和硅相似，故计算碳当量时，应计入磷的含量。

当磷的质量分数大于 0.3% 时，会生成硬而脆，且熔点低的磷共晶，常以网状分布在晶界上，使铸铁脆性增加。降低铸铁的力学性

能，尤其是降低韧性和致密性。磷量高往往是铸件产生冷裂的原因。但磷共晶能提高铸件的耐磨性，且磷能降低铸铁的熔点和共晶温度，提高铁液的流动性，改善铸造性能。一般灰铸铁，磷的质量分数不应超过 0.2%；高强度灰铸铁的磷的质量分数应控制在 0.12% 以下；有致密性要求的，磷的质量分数需低于 0.06%；有耐磨和高流动性要求的，磷的质量分数可达 0.3% ~ 1.5%。

4) 合金元素 灰铸铁的低合金化是提高其力学性能、使用性能及节省材料的重要途径。低合金灰铸铁可以含有一种或几种合金元素，其总的质量分数一般在 3% 以下。合金元素的作用主要有以下几方面：

- ①改善并显著提高铸铁的力学性能，增加硬度。
- ②提高铸件性能的均匀性，降低断面敏感性。
- ③改善铸件的塑性。
- ④改善铸铁的高温及低温性能。
- ⑤提高铸铁热处理的淬透性及改善耐磨性。

常用的合金元素有：铬、镍、钼、铜、钒、锡、钛、硼等。

(3) 孕育铸铁 向碳、硅含量较低的铁液中加入一定数量的孕育剂，造成人工晶核，改变铁液的结晶条件，从而细化共晶团，改善石墨的尺寸及分布，提高灰铸铁的力学性能。这种通过孕育处理后获得的亚共晶灰铸铁称为孕育铸铁。

孕育铸铁生产的关键是原铁液化学成分的选择、孕育剂、孕育处理方法及炉前控制。

1) 原铁液化学成分的选择 选择适宜的碳、硅含量（碳当量）的原铁液，是生产孕育铸铁的关键。碳、硅含量过高不经孕育处理就是灰口组织，孕育处理反而造成石墨粗大，使强度下降；碳、硅含量过低，则增加熔炼困难，降低铸造性能，增加孕育剂消耗。因此，一般选择位于灰铸铁组织图上麻口区或白口区域边缘（靠近麻口区）的成分，在孕育处理后，就可使铸铁转入珠光体区域，见图 2-1。一般原铁液的碳的质量分数为 2.8% ~ 3.3%，硅的质量分数为 1.0% ~ 1.6%。

锰在孕育铸铁中除中和硫外，还能增加珠光体含量。所以，孕育铸铁锰的质量分数一般较高，为 0.8% ~ 1.0%。

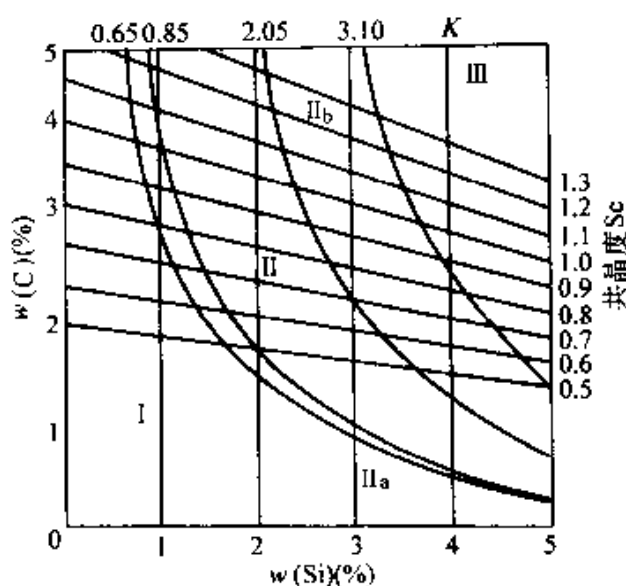


图 2-1 灰铸铁组织图

$$\text{石墨化因子 } K = \frac{4}{3} w(\text{Si}) \% \left(1 - \frac{5}{3w(\text{C}) \% + w(\text{Si}) \%} \right)$$

I—白口区 II_a—麻口区 II—珠光体灰铸铁区

II_b—珠光体-铁素体灰铸铁区 III—铁素体灰铸铁区

硫、磷作为有害元素，都会降低铸铁强度，应加以限制，一般硫的质量分数限制在 0.1% 以下，磷的质量分数限制在 0.15% 以下。

2) 孕育剂 孕育剂主要含有促进石墨化元素。孕育剂的种类很多，选用的原则是孕育效果好且价格低廉。

最常用的孕育剂是硅的质量分数为 75% 的硅铁合金。但有较多报告指出，对于片状石墨铸铁来说，纯硅或纯硅铁很少有，甚至没有孕育作用，真正起作用的是硅铁中一定含量的铝和钙，硅铁仅起到把铝和钙带入铁液的作用。除铝和钙外，能起孕育作用的元素还有锶、铈、钡、钛、锆等。因此，目前出现了许多按不同孕育需要加入不同元素的孕育剂，且许多都已商品化、系列化，如：钡硅铁、锶硅铁、稀土钙钡硅铁等。

3) 孕育处理方法 一般孕育处理的方法是将孕育剂均匀地加在出铁槽的铁液流上，使其随铁液冲入铁液包内。孕育剂的加入时间应占出铁时间的 60% 以上，并在出铁接近 1/3 时加入，保证孕育剂与铁液均匀混合。出铁完毕后可适当搅拌。这种孕育处理方法又称炉前

孕育或一次孕育。孕育处理后的铁液应在规定时间内浇完，以防孕育衰退。

为缩短从孕育到凝固的时间，防止孕育衰退，加强孕育效果，减少孕育剂用量，目前已发展了许多瞬时孕育方法，如浇包漏斗随流孕育、硅铁棒孕育、喂丝孕育、型内孕育等。

孕育剂的加入量与铁液成分、铸件壁厚、孕育剂种类和孕育方式有关。一般炉前孕育的加入量为铁液质量的0.2%~0.5%，瞬时孕育为0.08%~0.2%。

4) 炉前控制 在生产过程中，为及时检查铁液的化学成分，确定孕育剂的加入量并检查孕育效果，避免浇注后出现废品，必须在炉前采取简单、迅速、较正确的检查，并据此采取相应的措施。

炉前常用的检查方法是三角试块白口检测。三角试块的形状和尺寸见图2-2。试块一般采用干型立浇。浇注后待其冷却至暗红色后放入水中激冷，然后敲断，观察断口处的颜色、晶粒大小，并测量白口宽度。白口宽度与铸铁牌号的对应关系见表2-2。

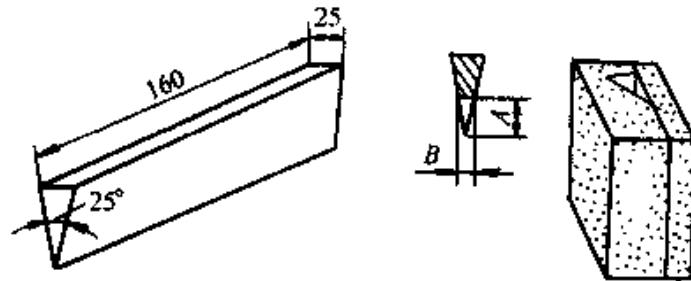


图2-2 三角试块的形状及尺寸

表2-2 孕育前后的试块白口宽度 (单位: mm)

牌号	孕育前的白口宽度 B	孕育后的白口宽度 B
HT350	12~24	5~10
HT300	8~18	4~8
HT250	6~12	3~7

此外，炉前采用的检查方法还有炉前快速化学分析法、直读光谱分析法、热分析法、炉前快速金相等。

2. 球墨铸铁

(1) 球墨铸铁的牌号及性能 根据 GB/T1348—1988《球墨铸铁件》的规定，球墨铸铁的牌号及性能见表 2-3。

表 2-3 球墨铸铁单铸试块的牌号及性能

牌号	抗拉强度 σ_b /MPa	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ /MPa	伸长率 δ (%)	布氏硬度 HBS	主要金相组织
	最小值				
QT400-18	400	250	18	130~180	铁素体
QT400-15	400	250	15	130~180	铁素体
QT450-10	450	310	10	160~210	铁素体
QT500-7	500	320	7	170~230	铁素体+珠光体
QT600-3	600	370	3	190~270	珠光体+铁素体
QT700-2	700	420	2	225~305	珠光体
QT800-2	800	480	2	245~335	珠光体或回火组织
QT900-2	900	600	2	280~360	贝氏体或回火马氏体

(2) 化学成分的选择及其影响 球墨铸铁的化学成分对其组织、力学性能和铸造性能等有很大的影响，因此，必须合理地选择。

1) 碳和碳当量 碳对球墨铸铁性能的影响不仅与含量有关，还和碳当量的高低有关。

碳能促进石墨化，减少白口倾向。碳能促进镁的吸收，改善球化。由于石墨呈球状，适当提高含碳量并不削弱力学性能。碳当量高能改善流动性，增加凝固时的体积膨胀，当铸型刚度大时能促使铸件减少缩松，刚度小时则增加缩松。但碳当量过高时会引起石墨漂浮。因此，碳当量应控制在合适的范围内，在不出现石墨漂浮的前提下，应尽量提高碳当量，一般碳当量的质量分数选择在共晶点附近(4.6%~4.7%)，碳的质量分数尽量高一些，一般为 3.5%~3.9%。

2) 硅 硅明显促进石墨化，以孕育剂方式添加的硅作用更显著。因此，球墨铸铁在选定碳当量后，原铁液应采用高碳低硅的原则，终硅量以孕育剂方式添加。增加含硅量可增加铁素体量，铁素体球墨铸铁的终硅量比珠光体球墨铸铁高一些。但硅使常温冲击韧度降低，脆性转变温度提高，因此，硅不宜过高，特别是在低温下工作的铸件，其含硅量应低一些为好。通常珠光体球墨铸铁的硅的质量分数为

1.7%~2.6%，铁素体球墨铸铁的硅的质量分数为2.5%~3.2%。

3) 锰 与灰铸铁不同的是，球墨铸铁中的含硫量很低，锰已较少起中和硫的作用。在球墨铸铁中，锰主要起合金化作用，即稳定及细化珠光体，但锰易产生边界偏析，使球墨铸铁的塑性及韧性降低。因此，即使是珠光体球墨铸铁，亦认为锰的质量分数以不超过0.4%~0.6%为宜，而推荐用铜或用热处理工艺保证珠光体组织。铁素体球墨铸铁的锰的质量分数要求控制在0.4%以下。

4) 磷 磷是球墨铸铁中的有害元素，极易偏析，在晶界上产生磷共晶，严重降低球墨铸铁的塑性和韧性，不仅使常温冲击韧度降低同时使脆性转变温度急剧提高，造成低温脆性。所以，球墨铸铁中的含磷量要求越低越好。一般质量分数应控制在0.1%以下。对于有高韧性要求的铁素体球墨铸铁或在野外低温环境下工作的球墨铸铁件，磷的含量越低越好。

5) 硫 球化剂中的镁、稀土等球化元素与硫有很强的亲和力，加入铁液后首先脱硫，然后才起球化作用。所以，硫高必然会消耗较多的球化剂，严重影响球化。而且，产生的硫化物是球墨铸铁形成夹杂缺陷的主要原因之一。硫还会引起铸件产生皮下气孔。因此，应尽力降低原铁液的含硫量。一般要求冲天炉熔炼时硫的质量分数小于0.06%~0.1%，电炉熔炼时硫的质量分数小于0.04%。原铁液硫量的高低对提高球墨铸铁质量十分关键，亦是我国与国外的主要差距之一。目前，许多工厂在生产高质量球墨铸铁时都进行脱硫处理。脱硫后原铁液硫的质量分数小于0.02%。

6) 残余镁量及稀土量 为了保证石墨球化，镁和稀土在中和了硫等反球化元素的作用后应有一定的残留量。采用纯镁作球化剂时，一般残余镁的质量分数约为0.03%~0.08%，但过高反而会降低球化率。在有稀土的情况下，残余镁量可以适当低一些。

稀土元素有脱硫、去气、净化铁液和球化等有利作用，但白口倾向增大，而且偏析严重，降低球墨铸铁的力学性能，特别是塑性和韧性。残余稀土的质量分数常控制在0.02%~0.04%左右。

7) 合金元素 球墨铸铁通过合金强化基体组织，可以更好地发挥基体的潜能，提高其综合力学性能。合金元素的作用体现在：一方

面，对于需要热处理的球墨铸铁，合金元素对热处理工艺起辅助作用，使球墨铸铁能更好地通过热处理得到所需的组织与性能；另一方面，合金元素可以使球墨铸铁直接在铸态下得到所需的组织与性能，不用热处理就可生产出铸态球墨铸铁件，降低生产成本。常用的合金元素有：镍、铜、铬、钼、钛、钒、钨、铈、锡、铋等。

(3) 球化处理技术

1) 熔炼要求 由于球化处理一般要降温 $50 \sim 100^{\circ}\text{C}$ ，因此为了保证浇注温度，铁液必须有较高的出炉温度。出炉温度至少在 $1400 \sim 1420^{\circ}\text{C}$ 以上，最好在 $1450 \sim 1500^{\circ}\text{C}$ 以上。

其次，必须满足球墨铸铁对化学成分的严格要求，即较高的碳量，低的硅、锰、磷和硫量。

2) 球化剂及球化处理 球化剂就是含有球化元素，能使石墨成球状的添加剂。

球化能力强的元素有镁、稀土（铈、镧、钇等）、钙等。球化处理的工艺取决于球化剂的类型。

镁是一种良好的球化剂。镁的密度为 $1.74\text{g}/\text{cm}^3$ ，熔点为 651°C ，沸点为 1107°C ，球化处理时，采用压力加镁的方法。但这种方法需专用设备，处理工艺复杂，操作不便，危险性较大，现已很少采用。

稀土不仅能起球化作用，而且能抵抗干扰元素的反球化作用。稀土的球化能力较镁差些，单独使用时石墨球不太圆整，且稀土元素的沸点大都高于铁液温度，单独采用稀土处理时，完全没有沸腾，无搅拌作用，球化元素不能均匀分布。一般稀土和镁同时使用，稀土镁硅铁合金是目前常用的球化剂，合金中镁的质量分数为 $7\% \sim 9\%$ ，稀土的质量分数为 $4\% \sim 6\%$ 。随着熔炼质量不断提高，原铁液含硫量不断降低，稀土镁硅铁合金逐渐向低镁低稀土方向发展。

用稀土镁硅铁合金作球化剂时，多采用冲入法球化处理工艺，见图 2-3。球化剂加入量视原铁液含硫量而定，一般原铁液硫的质量分数在 0.08% 左右时，加入量（质量分数）为 $1.4\% \sim 1.6\%$ 。处理时，先将球化剂放入浇包底部一侧专门设置的堤坝或凹坑内，并在球化剂上面覆盖铁屑、细硅铁粒等，并压紧，以延缓球化反应时间，防止球化剂上浮，提高其吸收率。出铁时，将铁液冲入浇包的另一侧，

并同时进行炉前孕育。反应完毕后搅拌、扒渣，经炉前检查合格后即可浇注。

钙的球化能力较弱，很少单独使用，但有很好的脱硫、脱氧作用。由于钙的沸点较高（ 1487°C ），作用平稳，加入稀土镁硅铁合金中起平稳反应的作用，但钙高易产生夹渣缺陷。

3) 孕育剂及孕育处理 对球化处理后的铁液进行孕育处理，以目前的认识来看，至少有以下几个目的：

①消除球化元素造成的白口倾向，获得铸态无自由渗碳体的铸件。

②细化球状石墨，增加石墨球数，提高石墨球的圆整度，改善球化率。

③减少晶间偏析程度，改善力学性能，提高伸长率和冲击韧性。

④增加铁素体数量，获得铸态铁素体基体。

常用的孕育剂是硅的质量分数为 75% 的硅铁合金。目前，球墨铸铁的孕育剂根据不同需要，也已商品化和系列化。

除炉前采用一次孕育处理外，质量要求较高的铸件，在浇注时还要采用瞬时孕育处理工艺。对于生产铸态铁素体球墨铸铁，还采用多次孕育。

4) 炉前检验 球化处理后的铁液经炉前检验，判断球化质量，发现问题可及时采取补救措施，避免造成铸件报废。常用的炉前检验方法有以下几种：

①三角试块法。三角试块球化判断方法见表 2-4。球化处理良好的铁液，浇出的三角试块断口见图 2-4。

②火苗检查法。球化后的铁液表面有火苗窜出，这是镁蒸气逸出燃烧的现象。火苗越多，越长，越有力，说明球化越好。

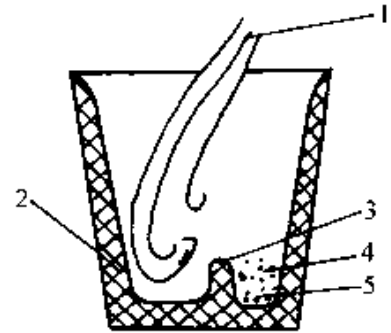


图 2-3 冲入法球化处理工艺

1—铁液 2—铁液包 3—堤坝
4—铁屑 5—球化剂

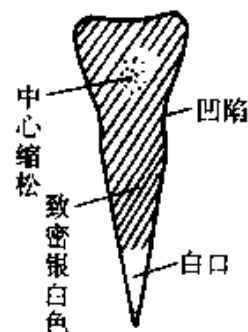


图 2-4 三角试块断口

表 2-4 三角试块球化判断法

项目	球化良好	球化不良
外形	试样边缘呈较大圆角	试样棱角清晰
表面凹陷	浇注位置上表面及侧面明显凹陷	无凹陷
断口形态	银白色细密断口	断面暗灰、晶粒粗大
缩松	断口中心有缩松	无缩松
白口	断口尖角白口清晰	完全无白口
敲击声	清脆金属声、音频较高	低哑
气味	遇水有类似 H ₂ S 气味	遇水无臭味

③炉前快速金相检验法。在炉前浇注 $\phi 20\text{mm} \times 20\text{mm}$ 的试块，凝固激冷后，在砂轮上磨去表面，经粗磨和抛光后，用显微镜直接观察球化情况。这种方法可在 2min 内完成，快速、科学、准确。但需要一套专用设备和操作人员。

此外，还有铁液表面膜观察法、热分析法、比电阻法等。

3. 蠕墨铸铁 蠕墨铸铁的石墨呈蠕虫状，介于片状和球状之间，因而它的力学性能也介于同基体的灰铸铁和球墨铸铁之间。根据 JB4403—1987《蠕墨铸铁件》的规定，蠕墨铸铁分五种牌号，见表 2-5。

表 2-5 蠕墨铸铁的牌号

牌号	抗拉 σ_b 强度 /MPa	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ /MPa	伸长率 δ (%)	布氏硬度 HBS	蠕化率 VG(%) \geq	主要金相组织
	最小值					
RuT420	420	335	0.75	200~280	50	珠光体
RuT380	380	300	0.75	193~274		珠光体
RuT340	340	270	1.0	170~249		珠光体 + 铁素体
RuT300	300	240	1.5	140~217		铁素体 + 珠光体
RuT260	260	195	3	121~197		铁素体

蠕墨铸铁的化学成分对其性能的影响也是不同的，碳和锰主要影响蠕墨铸铁的力学性能，硅和磷则主要影响其伸长率和冲击韧性，而硫的影响与球墨铸铁非常相似。对于蠕墨铸铁的化学成分要求，从目前的资料看来，和球墨铸铁的成分要求基本相似，即高碳、低硫、低

磷，一定的硅、锰含量。

二、铸铁熔炼

铸铁熔炼是铸铁件生产的首要环节，也是决定铸铁件质量的一项重要因素。它的基本任务是提供成分和温度符合要求，非金属夹杂物与气体含量少的优质铁液。

对铸铁熔炼的基本要求可概括为优质、高产、低耗、长寿与简便等五个方面，即铁液质量高、熔化速度快、熔炼耗费少，炉衬寿命长及操作条件好。

铸铁熔炼可以用冲天炉、非焦化铁炉、电炉、反射炉、坩锅或冲天炉与电炉双联等方法，其中以冲天炉熔炼的应用最为广泛。

1. 冲天炉的结构（图 2-5）冲天炉的类型很多，但基本结构大体相同。常用的冲天炉由四部分组成：炉底部分、炉身部分（包括送风系统）、前炉部分、炉顶部分（烟囱及除尘系统）。

2. 冲天炉操作工艺 冲天炉的操作工艺是决定冲天炉工作效果的基本因素。它包括燃料与原材料的选用、操作参数的选定、操作过程中各环节控制等方面的内容。

(1) 炉料的准备 冲天炉的炉料由金属料、燃料及熔剂等组成。

金属料有新生铁、回炉铁、废钢及铁合金等。所有金属料的质量必须符合规定要求，不同成分的金属料应分类管理，防止相互混杂。使用前应除污去锈并破碎。新生铁、回炉铁、废钢等金属料的料块最大尺寸不应超过炉径的 $1/3$ ，重量不应超过批料重的 $1/10 \sim 1/20$ ，废钢屑应压成团块后使用，以防氧化。铁合金的块度以 $40 \sim 80\text{mm}$ 为宜。块度过大，易造成成分不均；块度过小，易串料。

焦炭的质量和块度大小对熔炼质量有很大的影响，必须符合规定。用于底焦的块度应大些，以 $100 \sim 150\text{mm}$ 为宜，层焦可小些。

冲天炉造渣用的熔剂有石灰石（ CaCO_3 ）、氟石（ CaF_2 ）等。熔剂的块度一般为 $20 \sim 50\text{mm}$ 。

(2) 修炉与烘炉 一般冲天炉，每开一次炉，炉衬都要受到很大的侵蚀和损坏，在下一次开炉前必须进行修理。

修炉时，先铲除炉壁上的残渣挂铁，然后刷上耐火泥浆水，将事先混制好的耐火泥和硅砂混和料敷上，用木锤打实。修好的炉壁必须

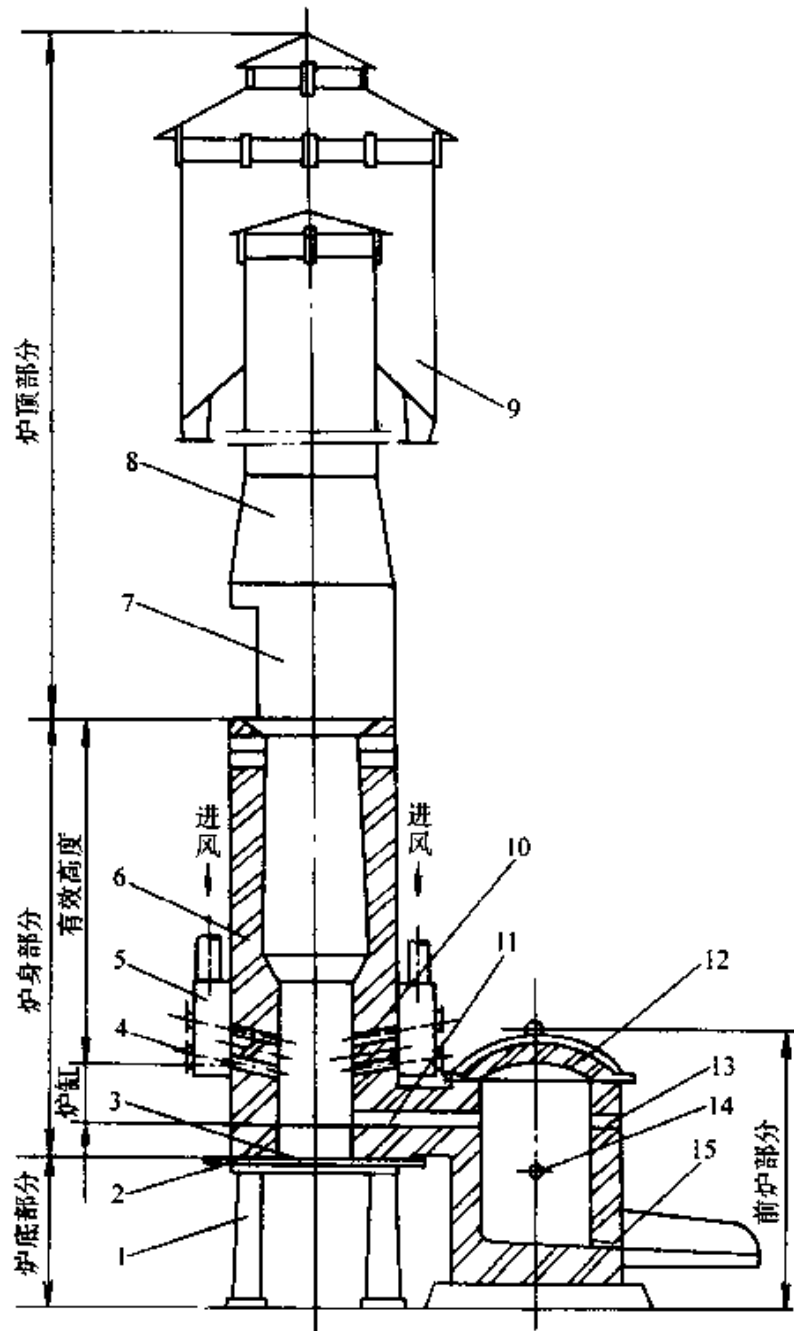


图 2-5 冲天炉结构简图

- 1—炉脚 2—炉底板 3—炉底门 4—风口窥视孔 5—风箱
 6—耐火砖 7—加料口 8—烟囱 9—除尘器 10—风口
 11—过桥 12—前炉盖 13—前炉窥视孔 14—出渣口及出渣槽
 15—出铁口及出铁槽

紧实，尺寸正确，表面光滑。风口的位置、尺寸和斜度必须完全符合图样要求。最后，合上炉底门，先放一层干砂，再放一层型砂，分别均匀捣实，其厚度为 200~350mm。

修炉完毕，用木柴或烘干机慢火充分烘干前、后炉。前炉必须烘透，以保证铁液温度。

(3) 点火与加底焦 烘炉后，加入木柴，引火点着，并打开主风口、出铁口、出渣口。待点火木柴全部燃着后，加入质量分数为 40% 的底焦，待全部燃着后，从风口将底焦捣实，再加入质量分数为 40% 的底焦，鼓风几分钟，并测量底焦高度，再加入剩余焦炭，调整底焦至规定高度。这里所谓的底焦，是指装入金属料以前加入炉内的全部焦炭量；而底焦高度则是从第一排风口中心线，至底焦顶面为止的那一段高度，炉缸内的底焦量不包括在底焦高度内。

(4) 装料与开风 加完底焦后，加入石灰石，其加入量为批料中石灰石量的两倍。然后加入一批金属料，以后的加料顺序为焦炭、熔剂、废钢、新生铁、铁合金、回炉铁。批料中石灰石的加入量约为层焦重量的 20%~50%。批料应一直加到加料口的下沿为止，并在熔化过程中，使料柱始终保持这一高度。

层焦的作用是补充底焦的消耗，以维持底焦高度不变。当层焦不能补充底焦的消耗时，每隔若干批料可多加一批层焦，这层焦炭称为补焦或接力焦。如果发现铁液温度超出正常温度而熔化速度降低，则可能是底焦高度过高。反之，则可能是底焦高度过低。

装料完毕后，自然通风 30min 左右，即可开风。开风时，仍应打开部分风口，待鼓风机运转正常后方可关闭，以免一氧化碳积聚引起爆炸。

(5) 熔化与出渣 在正常熔化过程中，应严格控制风量、风压，不得随意停风。按规定及时取样，测量铁液温度、风量、风压、风温等。经常观察风口、出渣口、出铁口、加料口，注意铁液、炉渣质量，风量、风压、三角试块白口变化。及时发现和排除故障，保证熔化正常。应按时打开出渣口出渣，一般每隔 30~45min 出一次渣。

从炉渣的颜色、状态可以判断冲天炉的熔化质量。观察酸性冲天炉炉渣时，一般用铁棒蘸些炉渣，抽拉成丝，在亮处观察。炉况正常

的炉渣为黄绿色玻璃状。炉渣呈深咖啡色，说明铁液含硫偏高；炉渣上带白道或白点，说明石灰石加入量过多；炉渣呈黑色玻璃状，致密、密度大，说明铁液已严重氧化。

(6) 停风与打炉 停风前应根据铁液需求量和存铁量估算好正常投炉批料数；正常加料完毕后应加二批打炉料。停料后，应适当降低风量、风压、保证最后几批料的熔化质量。前炉存铁量足够时即可停风，待后炉铁液出完后即可打炉。对于热风炉胆冲天炉，打炉时不能停风，以冷却炉胆。

打炉前，应在炉底铺上干砂不能有积水或潮湿。打开炉底门，用铁棒将底焦和未熔炉料捅下，用水浇灭。

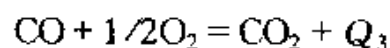
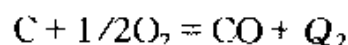
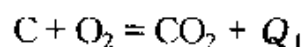
3. 冲天炉熔炼的一般过程 冲天炉熔炼的一般过程是：冲天炉开风后，由风口进入炉内的空气与底焦发生燃烧反应，产生热量。由此而生成的高温炉气穿过炉料向上流动，对炉料加热，并使底焦顶面上的第一批金属炉料熔化。熔化的铁滴，在穿过底焦层缝隙下落过程中，被高温炉气和炽热的焦炭进一步过热，然后经炉缸和过桥流入前炉。随着底焦的燃烧损耗和金属炉料的熔化，料层逐渐下降，由层焦补偿底焦，批料不断熔化，使熔炼过程连续进行。在炉气的热作用下，石灰石分解成二氧化碳和石灰。后者与焦炭中的灰分和侵蚀的炉衬结合成低熔点的炉渣。在炉气、焦炭和炉渣的作用下，金属的化学成分发生一系列变化，得到最终化学成分的铁液。

4. 冲天炉熔炼基本原理 由上述冲天炉熔炼的一般过程可知，冲天炉熔炼是由底焦燃烧、热量交换和冶金反应三个基本过程组成。

(1) 底焦燃烧

1) 氧化带和还原带 冲天炉内的燃烧过程是在底焦中进行的，根据焦炭燃烧的化学反应，可将底焦燃烧划分为氧化带、还原带两个反应区段，见图 2-6。

氧化带——从主排风口到自由氧基本耗尽，二氧化碳浓度达到最大值的区域。该区域发生下列反应：



以上均为氧化放热反应，根据上述反应及图 2-6 可见，在氧化带内：

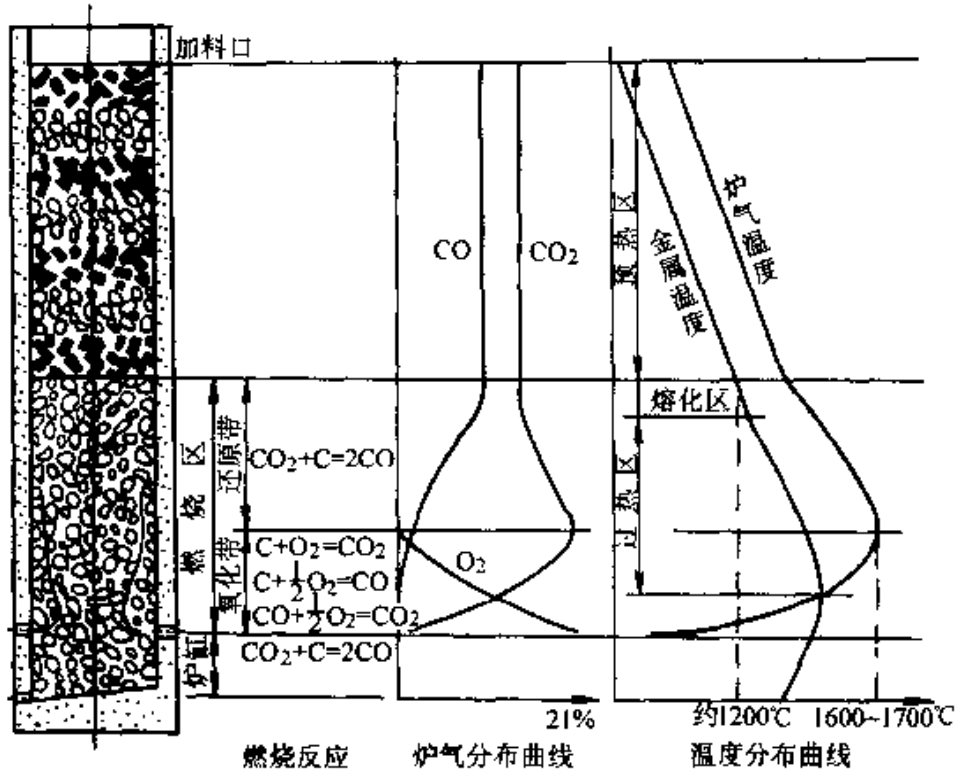


图 2-6 冲天炉熔炼过程原理图

①焦炭燃烧生成的炉气，既有二氧化碳，也有一氧化碳，但主要是二氧化碳。

②从主排风口开始，随着炉气的上升，反应不断进行，炉气中的氧逐渐减少，二氧化碳不断增加。当上升到氧化带顶面时，炉气的氧基本耗尽，氧化反应终止，二氧化碳达到最高值。

③由于上述反应放出大量的热量，因此上升的炉气温度也不断增高，并于氧化带顶面达到最高点。

还原带——从氧化带顶面至炉气中二氧化碳和一氧化碳含量基本不变的区域。该区域中，二氧化碳与高温的焦炭发生还原吸热反应：

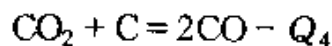


图 2-6 表明，在还原带内：

①随着还原反应的不断进行，炉气中的二氧化碳逐渐减少，一氧化碳不断增加，炉气温度随之下落。

②当炉气上升到底焦顶面时，与下降的金属铁料和层焦相遇，由

干熔化金属料、预热焦炭使炉气温度继续下降。此时，还原反应也基本停止，二氧化碳和一氧化碳的含量不再改变。

③还原带以上到加料口下沿，炉气在上升中成分不再变化，温度因预热炉料而不断下降。

2) 燃烧系数 在炉气中，二氧化碳的比例越大，焦炭的燃烧就越完全，焦炭的热能就越得到充分利用。同时表明炉气的氧化性也越高，炉气中二氧化碳和一氧化碳的比例关系通常用燃烧系数 η_v 表示：

$$\eta_v = \frac{\varphi(\text{CO}_2)}{\varphi(\text{CO}_2) + \varphi(\text{CO})} \times 100\% \quad (2-1)$$

式中 $\varphi(\text{CO}_2)$ 、 $\varphi(\text{CO})$ ——分别为炉气中 CO_2 和 CO 的体积分数 (%)。

η_v 越大，焦炭的燃烧越完全。但是，为了减少硅、锰等元素的氧化烧损，保证铁液冶金质量，炉气中要有一定数量的一氧化碳。所以，燃烧系数也不能太高。

3) 炉气分布 炉气在冲天炉内的分布是很不均匀的。炉气在上升过程中有自动趋于沿炉壁流动的倾向，这种现象称为炉壁效应。见图 2-7。

炉壁效应是由于炉内阻力不均匀造成的。由炉料与炉壁形成的通道，因炉壁平滑、行程短、曲折少，阻力也就小，因而炉壁附近的炉气流量大，流速高；而炉料之间的气流通道的，由于炉料互相楔合，曲折多、流程长，阻力也就大，因而在炉子中心部位炉气流量小，流速低。致使炉气自动趋于沿炉壁流动，见图 2-7a。

在冲天炉横截面上，见图 2-7b。在风口前缘，因空气流速高，流量大，形成了强烈的燃烧区，而在两个风口之间的区域空气量少，形成“死区”A。此外，因焦炭块的阻力，使空气难以深入炉子中

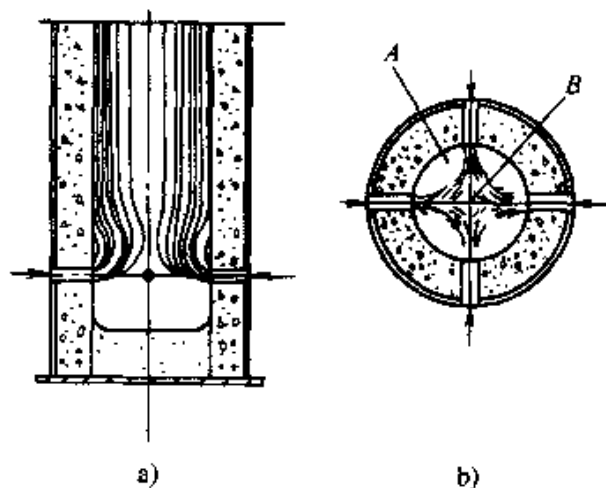


图 2-7 冲天炉内炉气分布示意图

a) 炉气沿炉膛纵截面分布

b) 炉气沿炉膛横截面分布

心，因而亦形成“死区”B。

这种炉气分布的不均匀，直接造成底焦燃烧不均匀，炉温分布不均匀，给熔炼带来不利影响。如：不易形成集中的高温区，不利于铁液过热；铁料熔化不均匀，料柱不能平稳下降，容易混料，影响铁液成分；增大炉壁的散热损失，降低炉子的热效率；加速炉衬侵蚀。因而，应设法防止或改善。可采用适当增大焦炭块度，改变送风方式（小风口送风、中央送风、插入式送风等），采用曲线炉膛等措施。

(2) 热量交换 冲天炉的热量交换是在高温炉气向上运动，固体炉料和液态铁液向下运动的过程中进行的。根据炉气温度和炉料、铁液的受热状态，可将冲天炉纵向划分为预热区、熔化区、过热区和炉缸区四个区域，见图 2-6。

1) 预热区 从加料口下沿料面到铁料开始熔化这段高度为预热区。预热区的炉料在下降过程中，与上升的炉气之间的热交换方式以对流为主，金属料逐渐被加热至熔化温度。

预热区高度受有效高度、底焦高度、炉内料面的实际位置、炉料块度、炉料下落速度、炉气分布、铁焦比等许多因素的影响，波动很大。其中金属料的块度特别重要。金属料的块度越大，预热所需的时间越长，预热区高度越大，严重时金属料块可能进入风口区，造成“落生”现象，妨碍冲天炉的正常操作。因此应限制金属料的块度。但金属料的块度也不能过小，以免造成严重氧化。

2) 熔化区 从铁料开始熔化到熔化完毕，这一区域叫熔化区，实际上也就是底焦顶面高度的波动范围。熔化区内炉气与铁料之间的热交换方式仍以对流为主。

受炉壁效应的影响，熔化区炉气与温度分布是不均匀的，靠近炉壁处温度比炉子中心高，所以，熔化区不是一个平面区带，而是呈中心下凹的曲面，见图 2-8。

由于预热区的高度变动大，使熔化区的开始位置也随之有较大的波动。熔化区本身的高度则受到炉气与温度分布、焦炭烧失速度、批

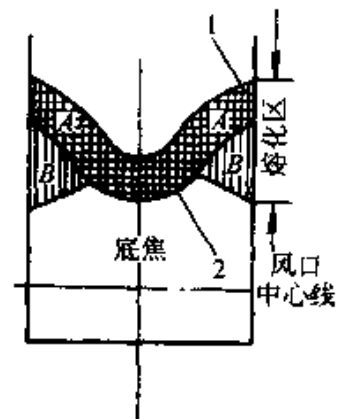


图 2-8 熔化区形状

1—熔化区上沿

2—熔化区下沿

料重量、炉料块度等因素的影响。这些因素的变动，使铁料的受热面积、受热时间和受热强度发生改变，从而造成熔化区高度的较大波动。

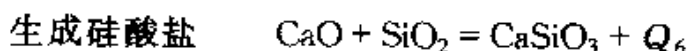
3) 过热区 铁料熔化后铁液滴在下落过程中，与炽热的焦炭和高温炉气相接触，温度进一步提高，称为过热。铁液经过的这一区域称为过热区。过热区内的热交换方式以接触传导传热为主。焦炭表面燃烧温度对热交换效果有着重要影响，所以，强化底焦的燃烧和提高底焦高度，是提高过热效果和铁液温度的关键措施。

4) 炉缸区 炉缸区是指过热区以下至炉底的部分。炉缸区内的热交换方式与过热区相似。在一般操作情况下，炉缸区内无空气供给，焦炭几乎不燃烧，所以，高温铁液流过炉缸区时温度是下降的。而且，炉缸越深，降温越大。在冲天炉熔炼过程中，适当的开渣口或前炉放气口操作，部分空气进入炉缸，使炉缸内的焦炭燃烧发热，有利于提高铁液的温度。但此方法控制不当，易增加合金元素的氧化和烧损。

(3) 冶金反应 金属炉料在熔炼过程中，与炉气、焦炭、炉渣相接触，发生一系列冶金反应，引起铁液化学成分的变化。

1) 造渣 熔炼过程中，焦炭的灰分、铁料表面的铁锈、粘附的泥砂、金属元素烧损形成的氧化物以及侵蚀的炉衬等会发生相互作用，结成炉渣，其主要成分是 SiO_2 、 CaO 和 Al_2O_3 。这种炉渣粘度很高，包覆在焦炭表面，不仅阻碍燃烧，而且不利于冶金反应的顺利进行。必须采用熔剂稀释炉渣，以便其顺利排出。

常用的熔剂主要是石灰石，造渣的化学反应为



冲天炉炉渣的化学成分如表 2-6 所示。

表 2-6 冲天炉炉渣成分 (质量分数) (%)

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	≤ 5	2~10	0.1~0.5	0.2~0.8
碱性渣	20~35	35~50	10~20	10~15	≤ 2	≤ 2	≤ 0.1	1~5

组成炉渣的氧化物，按其化学性质的不同可分为酸性（ SiO_2 、 P_2O_5 ），碱性（ CaO 、 MgO 、 MnO 、 FeO ）和中性（ Al_2O_3 ）三种。而炉渣的性质则取决于其所含各种氧化物的含量的对比关系。炉渣的性质通常用炉渣碱度来衡量，计算公式为

$$\text{炉渣碱度} = \frac{w(\text{CaO})\% + w(\text{MgO})\%}{w(\text{SiO}_2)\%} \quad (2-2)$$

式中 $w(\text{CaO})$ 、 $w(\text{MgO})$ 、 $w(\text{SiO}_2)$ ——分别为炉渣中 CaO 、 MgO 、 SiO_2 的质量分数。

表 2-7 为炉渣性质。

表 2-7 炉渣性质

炉渣性质	酸性	中性	碱性
炉渣碱度	<0.8	0.8~1.2	>1.2

冲天炉熔炼过程中的造渣，不仅能消除炉料中的杂质和焦炭表面的灰渣，加速燃烧反应，而且，炉渣也直接参加冶金反应，影响铁液的化学成分。如酸性炉渣可减少硅的烧损，碱性炉渣可减少锰的烧损和降低铁液的硫、磷含量。

除观察炉渣的颜色、状态外，对炉渣进行化学分析能更直接地判断冲天炉熔炼状况。如铁液氧化严重时，渣中的 FeO 量就会明显增多。

2) 熔炼过程中铁液化学成分的变化

①碳量的变化。冲天炉熔炼过程中铁液含碳量的变化，是炉内渗碳与脱碳两个过程的综合结果。渗碳过程主要是焦炭中的碳不断溶入铁液，并在铁液中扩散的过程，主要发生在金属炉料熔化以后，直至铁液排出炉缸为止的整个底焦层内。脱碳过程主要是金属炉料熔化及熔化以后，在炉气中 O_2 和 CO_2 作用下碳的氧化烧损过程，脱碳过程从预热区中部开始至炉缸底部区域，在过热区最为强烈，炉缸区内很弱。

铸铁在冲天炉熔炼过程中，渗碳和脱碳的结果是铁液的含碳量增加。影响铁液含碳量的主要因素有：炉料的化学成分、焦炭、供风条件、炉渣及炉子结构等。

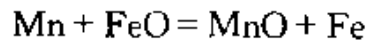
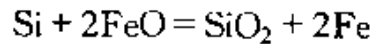
②金属元素含量的变化。在冲天炉熔炼过程中，由于炉气呈氧化性，硅、锰和铁等金属元素都会氧化烧损。它包括直接氧化烧损和间接氧化烧损。

直接氧化烧损是指硅、锰和铁等元素与炉气中的 O_2 、 CO_2 直接发生反应所造成的氧化烧损，其反应式如下



上述六个反应，除最后一个为吸热反应以外，其余都是放热反应。因此，提高炉温，有利于减少金属元素的氧化烧损。

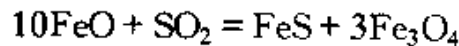
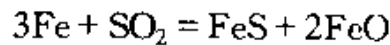
间接氧化烧损是指硅、锰等元素通过 FeO 氧化烧损，亦是主要的烧损方式。其反应式如下



冲天炉内的氧化烧损主要是在熔化区和过热区内进行的。

影响金属元素氧化烧损的主要因素有：温度、炉气与金属元素的氧化特性、金属炉料及炉渣等。

③硫量的变化。由于焦炭的增硫作用，铸铁经熔炼后的含硫量一般是增加的。焦炭的增硫过程有两种方式：一是焦炭中的一部分硫转化为 SO_2 进入炉气，被铁料和铁液吸收。



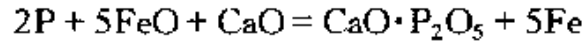
二是铁液与焦炭接触，焦炭中的硫直接溶入铁液，是铸铁增硫的主要方式。

影响铁液含硫量变化的主要因素有焦炭、炉渣、温度、炉料配比与铁液化学成分等。

④磷量的变化。在酸性冲天炉内，金属炉料的磷几乎没有氧化烧损，所以，在熔炼过程中，铁液磷的质量分数基本上保持不变。铸铁的磷的质量分数主要靠配料控制。

在碱性冲天炉内，通过造高碱度的氧化渣，使铁中的磷氧化成

P_2O_5 ，并与 CaO 结合进入渣中，可以降低磷的质量分数，其反应如下



第二节 铸钢及其熔炼

一、铸钢

铸钢的碳的质量分数小于 2.10%，硅、锰、磷、硫等元素含量一般比铸铁少。

铸钢在强度和韧性方面比一般铸铁要高得多，常用于承受重载荷和冲击作用工作条件下的零件。铸钢具有焊接性，不仅有利于缺陷的修补，而且能够采用铸焊结合的方法，将一些重型、复杂铸件分段铸造，然后焊成整体。铸钢与锻钢相比，用铸造方法能够生产出结构非常复杂的零件或毛坯。但铸钢熔点高，铸造性能差，生产工艺和熔炼设备复杂，对原材料要求高。虽然如此，铸钢仍是一种优良的结构材料，在工业上应用极广。

铸钢按化学成分可以分为铸造碳钢和铸造合金钢两大类。

1. 铸造碳钢 根据含碳量的不同，铸造碳钢可分为低碳钢、中碳钢、高碳钢三种。其中中碳钢应用最多。一般工程用铸造碳钢的化学成分见表 2-8、力学性能见表 2-9 (GB/T11352—1989)。

2. 铸造合金钢 为了改善和提高铸造碳钢的某些性能，在铸钢中加入一种或几种合金元素，即为铸造合金钢。常用于加入钢中的合

表 2-8 一般工程用铸造碳钢的化学成分的上限值 (质量分数)

(%)

铸钢牌号	C	Si	Mn	S	P	残余元素				
						Ni	Cr	Cu	Mo	V
ZG200—400	0.20	0.50	0.80	0.04	0.30	0.35	0.30	0.20	0.05	
ZG230—450	0.30									
ZG270—500	0.40									
ZG310—570	0.50	0.90								
ZG340—640	0.60		0.60							

表 2-9 一般工程用铸造碳钢的力学性能

铸钢牌号	最 小 值					
	屈服强度 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ / MPa	抗拉强度 σ_b / MPa	伸长率 δ (%)	断面收缩率 ψ (%)	根据合同选择其一	
					冲击性能	
					A_{kv} /J	a_k /(J/cm ²)
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

金元素主要有铬、铝、镍、钨、钴、铝、钒、钛、硼等，当锰的质量分数大于 0.8%、硅的质量分数大于 0.4% 也为铸造合金钢。按加入合金元素的含量多少，铸造合金钢可分为低合金钢、中合金钢、高合金钢三种。

一般工程与结构用低合金铸钢的化学成分及力学性能见表 2-10。

表 2-10 一般工程与结构用低合金铸钢的化学成分及力学性能
(GB/T14408—1993)

牌 号	化学成分 (质量分 数, %) (不大于)		力 学 性 能 (不小于)			
	S	P	屈服强度 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ / MPa	抗拉强度 σ_b / MPa	伸长率 δ (%)	断面收缩率 ψ (%)
ZGD270—480	0.040	0.040	270	480	18	35
ZGD290—510			290	510	16	35
ZGD345—570			345	570	14	35
ZGD410—620			410	620	13	35
ZGD535—720			535	720	12	30
ZGD650—830			650	830	10	25
ZGD730—910	0.035	0.035	730	910	8	22
ZGD840—1030			840	1030	6	20

常用的一些特殊铸造高合金钢有不锈耐酸钢 (如 ZG1Cr17、

ZG1Cr18Ni9Ti)、耐磨高锰钢(如 ZGMn13 - 1)、耐热钢(如 ZG35Cr26Ni12)等。

二、铸钢熔炼

1. 铸钢熔炼设备 铸钢车间所用的炼钢设备有电弧炉、钢包精炼炉、平炉、感应电炉及等离子电弧炉等。感应电炉及等离子电弧炉主要用于熔炼高级合金钢及高温合金,用来浇注要求较高而且比较复杂的铸件。电弧炉在铸钢车间使用最广,它熔炼速度快,钢液温度高,而且容易控制,有良好的脱磷、脱硫条件,可以熔炼出质量较高的碳钢和合金钢,适宜于浇注各种类型的铸件。

电弧炉熔炼是利用电极与金属料之间放电产生的电弧所发出的热量来熔化金属料和使钢液进行过热的。铸钢车间使用的多是三相电弧炉。我国目前使用的电弧炉最小容量为 0.5t,最大容量可达 100t。

三相电弧炉主要由炉体、炉盖、电极、电极升降与夹持机构、倾炉机构、电气装置和水冷装置等构成。见图 2-9。

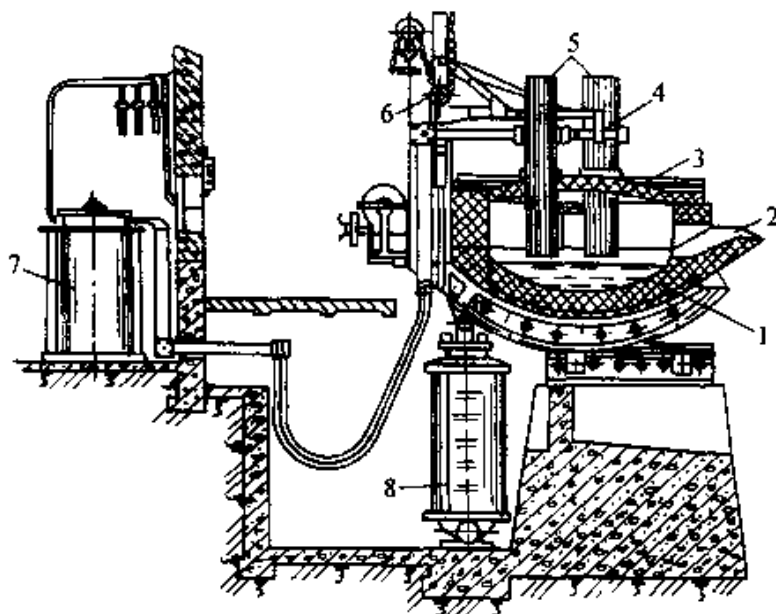


图 2-9 三相电弧炉结构

- 1—炉体 2—出钢槽 3—炉盖 4—电极夹持机构
5—电极 6—电极升降机构 7—变压器 8—倾炉机构

2. 铸钢的熔炼操作 按所采用炉渣和炉衬耐火材料的性质分为碱性电弧炉和酸性电弧炉。碱性电弧炉具有较强的脱磷和脱硫能力,

对炉料的适应能力强。铸钢多用碱性电弧炉炼钢。

(1) 炼钢材料 炼钢所用的材料主要分耐火材料、金属炉料和其它辅助材料。

1) 耐火材料 碱性电弧炉的耐火材料主要是镁砖和镁砂，用来砌筑、打结和修补电弧炉炉衬。

镁砂用的粘结剂是焦油沥青或卤水，一般打结炉衬时用焦油沥青，修补炉衬时用卤水。

2) 金属炉料 电弧炉炼钢的金属材料包括废钢、生铁、废铁、铁合金和脱氧剂等。

①生铁。为炼钢生铁，要求磷的质量分数小于0.1%，硫的质量分数小于0.05%。

②废钢。因一般废钢来源复杂，应分类保管，以便在配料时能合理地利用各种合金元素。

③铁合金。作为合金元素添加剂，用于调整钢液的化学成分。有硅铁、锰铁、铬铁、钼铁、钛铁、钨铁和钒铁等。

3) 其它辅料 有氧化剂、还原剂(脱氧剂)、增碳剂和造渣剂等。

电弧炉用的氧化剂有铁矿石和氧气；还原剂有锰铁、硅铁、铝、焦炭等；增碳剂有碎电极、焦炭及专用商品增碳剂；造渣剂有石灰石、石灰和氟石等。

所有炉料应分类妥善保管，严防混杂和潮湿。

(2) 碱性电弧炉炼钢工艺过程 在炼钢工艺上有两种基本方法，即氧化法和不氧化法。两种方法的区别在于是否有氧化期。此外，还有一种从氧化法演变出来的方法叫吹氧返回法。铸钢车间炼钢一般采用氧化法。

氧化法炼钢的工艺过程包括补炉、装料、熔化期、氧化期、还原期和出钢。

1) 补炉 一般每炼完一炉钢以后，在装料前，照例要进行补炉。目的是修补侵蚀和损坏的炉衬。补炉材料用卤水镁砂。补炉工具和方法一般为大铲贴补、铁锹投补或用机械化设备补炉。出钢后打开炉门，升起电极，立即扒净残钢、残渣，迅速进行补炉操作。补炉操作的要点是：炉温高、操作快、补层薄，以利于补炉材料的烧结。

2) 装料 补炉完毕, 即可装料。一般小容量电弧炉由人工进行装料, 3t 以上的电弧炉用料罐从炉顶装料。在往料罐中装料时, 需要合理地布置炉料。原则是尽量多装料并使炉料熔化快, 炉料要装得紧密, 以利于导电和传热。

3) 熔化期 熔化期的任务是将固体炉料熔化成钢液, 并进行脱磷。

装料完毕, 盖好炉盖, 检查无误即可通电熔化。炉料的熔化过程是电极下面的炉料先被熔化, 形成三个熔井, 随后电极不断向下移动, 炉料不断熔化, 经 15~25min 即达最低位置, 形成三个小井, 即所谓“穿井”。随着熔化的进行, 炉底钢液液面上升, 电极也应相应地向上回升。于是电极周围的炉料就会塌落下来, 即所谓“塌料”。这样, 炉料被逐渐熔化。为加快熔化过程, 可以人工用耙子将边缘离电极较远面不易被熔化的炉料推到电极下面, 这种操作称为“推料助熔”。在炉内有一定钢液后, 也可采取“吹氧助熔”的方法来加速炉料的熔化。吹氧压力一般控制在 0.5MPa 左右。吹氧管从炉门插入钢液内吹氧, 但不能深入到炉底或靠近炉壁以防损坏炉衬。

在熔化过程中, 应造好炉渣。目的是为了覆盖钢液, 避免钢液直接暴露在电弧下而吸气和氧化, 并在熔化期就能够脱去一部分磷, 同时可稳定电弧。

4) 氧化期 氧化期的主要任务是脱磷, 去除钢液中的气体和夹杂物, 并提高钢液的温度。

5) 还原期 还原期的任务是脱氧、脱硫和调整钢液温度及化学成分。

6) 出钢 出钢时要求钢液流柱要粗, 不能散流, 而且要使钢液与炉渣一起出到盛钢桶中(即所谓“大口出钢”、“钢渣混出”)。钢液全部倾出后, 在钢液表面盖上保温材料, 镇静 5min 后开始浇注。

第三节 铸造非铁合金及其熔炼

一、铸造铜合金

1. 铸造青铜

(1) 铸造锡青铜 铸造锡青铜具有良好的耐磨性、耐蚀性, 同时还具有足够的强度和一定塑性, 常用于制造耐磨和耐蚀零件, 如轴

套、轴瓦和要求耐蚀的管配件、阀门、泵体等。铸造锡青铜的锡的质量分数一般在4%~10%范围内。增加锡量,使塑性下降而强度增高。锡量较高,易产生“锡汗”。

铸造锡青铜不易形成集中缩孔,所以不用很大的补缩冒口。其线收缩率不大,铸件变形、缩裂的倾向较小。

为了进一步改善铸造锡青铜的性能,常加入一些锌、铅、磷、镍等元素。

铸造锡青铜的牌号、成分及性能见表2-11。

表2-11 铸造锡青铜

牌 号	化学成分 (质量分数,%)						铸造方法	力学性能 (不小于)			
	Sn	Zn	Pb	P	Ni	Cu		σ_b / MPa	$\sigma_{0.2}$ / MPa	δ_5 (%)	HBS
ZCuSn3Zn8Pb6Ni1	2.0~4.0	6.0~9.0	4.0~7.0	—	0.5~1.5	其余	S	175		8	590
							J	215		10	685
ZCuSn3Zn11Pb4	2.0~4.0	9.0~13.0	3.0~6.0	—	—	其余	S	175		8	590
							J	215		10	590
ZCuSn5Pb5Zn5	4.0~6.0	4.0~6.0	4.0~6.0	—	—	其余	S、J	200	90	13	590
							Li、La	250	100	13	635
ZCuSn10P1	9.0~11.5	—	—	0.5~1.0	—	其余	S	220	130	3	785
							J	310	170	2	885
							Li	330	170	4	885
							La	360	170	6	885
ZCuSn10Pb5	9.0~11.0	—	4.0~6.0	—	—	其余	S	195		10	685
							J	245		10	685
ZCuSn10Zn2	9.0~11.0	1.0~3.0	—	—	—	其余	S	240	120	12	685
							J	245	140	6	785
							Li、La	270	140	7	785

(2) 铸造铝青铜 铸造铝青铜是应用最多的一种无锡青铜。其铝的质量分数通常为6%~11%。随铝量的增加,合金的强度、硬度提高,而塑性下降。

铸造铝青铜比铸造锡青铜有更高的力学性能，更好的耐磨性和耐腐蚀性。常用于制造在高负荷、高速条件下工件的耐磨零件，如轴套、齿轮、蜗轮等。

二元铸造铝青铜在缓慢冷却的情况下，易产生“缓冷脆性”，在砂型铸造厚大铸件时，显得特别突出。加入锰、铁、镍可以防止缓冷脆性。

铸造铝青铜的结晶温度范围小，属于层状凝固，流动性好，体积收缩大，易形成集中缩孔，采用大冒口补缩能够获得组织致密的铸件。铸造铝青铜易氧化和吸气，铸件易产生夹渣和气孔。

铸造铝青铜的牌号、成分及性能见表 2-12。

表 2-12 铸造铝青铜

牌 号	化学成分 (质量分数, %)					铸造方法	力学性能 (不小于)			
	Al	Fe	Mn	Ni	Cu		σ_b / MPa	$\sigma_{0.2}$ / MPa	δ_5 (%)	HBS
ZCuAl8 Mn13Fe3	7.0~	2.0~	12.0~	—	其余	S	600	270	15	1570
	9.0	4.0	14.5	—		J	650	280	10	1665
ZCuAl8Mn 13Fe3Ni2	7.0~	2.5~	11.5~	1.8~	其余	S	645	280	20	1570
	8.5	4.0	14.0	2.5		J	670	310	18	1665
ZCuAl9Mn2	8.0~	—	1.5~	—	其余	S	390		20	835
	10.0		2.5			J	440		20	930
ZCuAl9Fe 4Ni4Mn2	8.5~	4.0~	0.8~	4.0~	其余	S	630	250	16	1570
	10.0	5.0	2.5	5.0						
ZCuAl10Fe3	8.5~ 11.0	2.0~ 4.0	—	—	其余	S	490	180	13	980
						J	540	200	15	1080
						Li、La	540	200	15	1080
ZCuAl10 Fe3Mn2	9.0~	2.0~	1.0~	—	其余	S	490		15	1080
	11.0	4.0	2.0			J	540		20	1175

2. 铸造黄铜 普通铸造黄铜的力学性能比纯铜高，不生锈，耐腐蚀，能很好地承受压力加工。通常锌的质量分数为 30%，铜的质量分数为 70%，即所谓三七黄铜。特殊铸造黄铜随加入的元素不同，其性能特点各异。加入质量分数为 0.5%~1.5% 的锡，能改善抗海

水的腐蚀能力，故铸造锡黄铜有著名的海军黄铜之称。

铸造黄铜的牌号、成分及性能见表 2-13。

表 2-13 铸造黄铜

牌号	化学成分 (质量分数, %)							铸造方法	力学性能 (不小于)			
	Cu	Pb	Al	Fe	Mn	Si	Zn		σ_b / MPa	$\sigma_{0.2}$ / MPa	δ_5 (%)	HBS
ZCuZn38	60.0~	—	—	—	—	—	余	S	295	—	30	590
	63.0	—	—	—	—	—		J	295	—	30	685
ZCuZn25Al6Fe3Mn3	60.0~	—	4.5~	2.0~	1.5~	—	余	S	725	380	10	1570
	66.0	—	7.0	4.0	4.0	—		J	740	400	7	1665
		—	—	—	—	—		—	Li, La	740	400	7
ZCuZn26Al4Fe3Mn3	60.0~	—	2.5~	1.5~	1.5~	—	余	S	600	300	18	1175
	66.0	—	5.0	4.0	4.0	—		J	600	300	18	1275
		—	—	—	—	—		—	Li, La	600	300	18
ZCuZn31Al2	66.0~	—	2.0~	—	—	—	余	S	295	—	12	785
	68.0	—	3.0	—	—	—		J	390	—	15	885
ZCuZn35Al2Mn2Fe1	57.0~	—	0.5~	0.5~	0.1~	—	余	S	450	170	20	980
	65.0	—	2.5	2.0	3.0	—		J	475	200	18	1080
		—	—	—	—	—		—	Li, La	475	200	18
ZCuZn38Mn2Pb2	57.0~	1.5~	—	—	1.5~	—	余	S	245	—	10	685
	60.0	2.5	—	—	2.5	—		J	345	—	18	785
ZCuZn40Mn2	57.0~	—	—	—	1.0~	—	余	S	345	—	20	785
	60.0	—	—	—	2.0	—		J	390	—	25	885
ZCuZn40Mn3Fe1	53.0~	—	—	0.5~	3.0~	—	余	S	440	—	18	980
	58.0	—	—	1.5	4.0	—		J	490	—	15	1080
ZCuZn33Pb2	63.0~	1.0~	—	—	—	—	余	S	180	70	12	490
	67.0	3.0	—	—	—	—		J	—	—	—	—
ZCuZn40Pb2	58.0~	0.5~	0.2~	—	—	—	余	S	220	—	15	785
	63.0	2.5	0.8	—	—	—		J	280	120	20	885
ZCuZn16Si4	79.0~	—	—	—	—	2.5~	余	S	345	—	15	885
	81.0	—	—	—	—	4.5		J	390	—	20	980

二、铸造铝合金

铸造铝合金密度小，塑性高，具有良好的导电、导热、耐蚀性能，力学性能好，铸造性能亦好。因此，在航空工业、机械制造、电气工业、铁路运输及日用工业中得到广泛应用。

铸造铝合金按主要加入元素的不同分为四类，即铸造铝硅合金、

铸造铝铜合金、铸造铝镁合金和铸造铝锌合金，其代号分别用 ZL1xx、ZL2xx、ZL3xx、ZL4xx 表示。部分铸造铝合金的代号、化学成分及力学性能见表 2-14 (GB/T1173—1995)。

表 2-14 铸造铝合金

类别	代号	化学成分 (质量分数, %)						杂质 ≤	力学性能 (不小于)		
		Si	Cu	Mg	Mn	其它	Al		σ_b / MPa	δ_5 (%)	HBS
铝硅合金	ZL101	6.5~7.5		0.25~0.45			其余	1.5	135~225	1~4	45~70
	ZL101A	6.5~7.5		0.25~0.45		Ti0.08~0.20	其余	0.7	195~295	2~5	60~80
	ZL102	10.0~13.0					其余	2.2	135~155	2~4	50
	ZL104	8.0~10.5		0.17~0.35	0.2~0.5		其余	1.4	145~235	1.5~2	50~70
	ZL105	4.5~5.5	1.0~1.5	0.4~0.6			其余	1.4	155~235	0.5~1	65~70
	ZL105A	4.5~5.5	1.0~1.5	0.4~0.55			其余	0.5	275~295	1~2	80
	ZL106	7.5~8.5	1.0~1.5	0.3~0.5	0.3~0.5	Ti0.10~0.25	其余	1.0	175~265	1~2	60~80
	ZL107	6.5~7.5	3.5~4.5				其余	1.2	165~275	2~2.5	65~100
	ZL108	11.0~13.0	1.0~2.0	0.4~1.0	0.3~0.9		其余	1.2	195~255	—	85~90
	ZL109	11.0~13.0	0.5~1.5	0.8~1.5		Ni0.8~1.5	其余	1.2	195~245	0.5	90~100
	ZL110	4.0~6.0	5.0~8.0	0.2~0.5			其余	2.7	125~165	—	80~90
ZL111	8.0~10.0	1.3~1.8	0.4~0.6	0.1~0.35	Ti0.10~0.35	其余	1.0	205~315	1.5~2	80~100	
铝铜合金	ZL201		4.5~5.3		0.6~1.0	Ti0.15~0.35	其余	1.0	295~335	2~8	70~90
	ZL201A		4.8~5.3		0.6~1.0	Ti0.15~0.35	其余	0.4	390	8	100
	ZL203		4.0~5.0				其余	2.1	195~225	3~6	60~70
铝镁合金	ZL301			9.5~11.0			其余	1.0	280	10	60
	ZL303	0.8~1.3		4.5~5.5	0.1~0.4		其余	0.7	145	1	55
铝锌合金	ZL401	6.0~8.0		0.1~0.3		Zn9.0~13.0	其余	2.0	195~245	1.5~2	80~90
	ZL402			0.5~0.65		Ti0.15~0.25 Zn5.0~6.5 Cr0.4~0.6	其余	1.65	215~235	4	65~70

1. 铸造铝硅合金 又称硅铝明，其常用的硅的质量分数为 4% ~ 13%。硅铝明是共晶合金，流动性好、收缩小、裂纹倾向小，易获得致密铸件。常用来制造活塞、气缸盖、电动机外壳、风叶片等。

在铸造铝硅合金的共晶组织中，硅呈粗大片状，所以合金的抗拉强度和伸长率都不高。对合金液进行变质处理，可以改善合金的力学性能。一般铸造铝硅合金都要进行变质处理。

普通铸造铝硅合金（Al-Si 二元合金）不能进行热处理强化，单纯靠变质处理仍不能满足所需的强度要求。在此基础上加入镁或铜，可以实现热处理强化，例如加镁的 ZL101、ZL104，加铜的 ZL107，同时加镁和铜的 ZL105、ZL110 等。

2. 铸造铝铜合金 其常用的铜的质量分数一般为 4% ~ 5%。铝铜合金有较好的高温力学性能，随着含铜量的增加，合金的高温强度也增加，但同时脆性增大。

铸造铝铜合金可进行热处理强化， $w(\text{Cu})$ 为 5% 的合金强化效果最佳。

铸造铝铜合金的切削性能较好，但耐蚀性和铸造性能比铸造铝硅合金差，易出现缩松、热裂等缺陷。

三、铸造非铁合金的熔炼设备

用于铸造非铁合金熔炼的熔化炉很多，常用的有坩埚炉、反射炉和感应电炉

1. 坩埚炉 坩埚炉结构简单、操作方便。回转式重油（煤气）坩埚炉见图 2-10。工作时，把金属炉料放在坩埚中，加热坩埚使其熔化、升温。由于坩埚内的炉料不与热源直接接触，金属不受燃料和炉气的污染，在成分控制、降低烧损和熔炼纯净合金方面，效果都较理想。但坩埚炉的热惯性较大，合金温度难于控制，适用于小批量生产。

坩埚炉常用的坩埚有石墨坩埚和铁

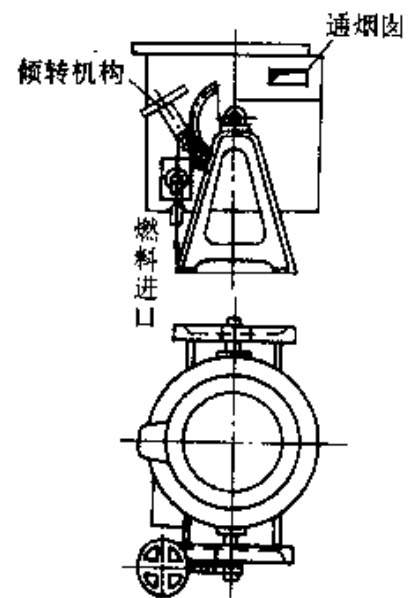


图 2-10 回转式重油（煤气）坩埚炉

质坩埚两种。石墨坩埚用石墨和耐火材料的混合料烧制而成，适用于熔化熔点较高的铜合金等。铁质坩埚是由铸铁、铸钢或钢板制成，常用于熔化低熔点的铝合金等。

坩埚的规格，是按充满坩埚 95% 的锡青铜液的重量分号表示的，如 120 号坩埚表示充满坩埚 95% 的锡青铜液的重量为 120kg。熔炼其它合金时，其容量可根据各种合金的密度按比例折算。

石墨坩埚使用前先在 120~150℃ 温度下烘干，然后再放入炉内加热，用后应放在干燥的地方。

2. 反射炉 反射炉的容量较大，适合大型非铁合金铸件生产的需要。图 2-11 为重油反射炉的结构示意图。反射炉熔炼时，高温火焰从燃烧室进入炉膛，通过炉顶、炉壁将热量反射到炉膛中的金属炉料上，使其熔化、升温。这种炉子的熔化效率高，但金属烧损严重，成分难以控制。

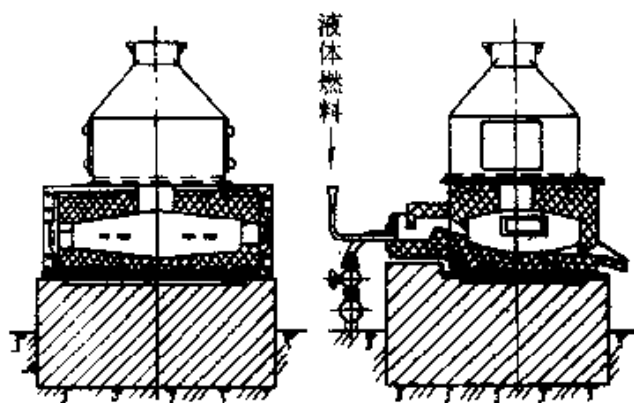


图 2-11 重油反射炉

3. 感应电炉 感应电炉具有熔炼质量好，金属损失少，功率控制方便、易于实现机械化、自动化和无排烟问题，劳动条件好等一系列优点，已得到日益广泛的应用。

从结构上来看，感应电炉分为有芯感应炉和无芯感应炉两类，无芯感应炉按电源频率不同，可分为高频炉、中频炉和工频炉三种。用于非铁合金熔炼的是工频有芯感应炉、工频无芯感应炉和中频无芯感应炉。

四、铸造铝合金的熔炼操作

1. 熔炼材料

(1) 金属炉料 金属炉料包括新金属料、回炉料及中间合金。

新金属料有纯金属锭及预制合金锭，按纯度和用途分。回炉料是指生产中的浇冒口和废旧料。中间合金是为了把一种或多种难熔或易烧损元素加入铸造合金中而特殊制备的合金。熔制铝合金常用的中间合金有铝硅合金、铝铜合金、铝镁合金及铝锰合金等。

(2) 辅助材料

1) 熔剂 熔剂的作用是熔解和吸附铝液中的氧化物等杂质，降低其熔点，并形成流动性好的熔渣，隔离铝液，减少合金的吸气和氧化。常用的熔剂如（质量分数）50% NaCl + 50% KCl 的混合物。

2) 精炼剂 用于精炼。精炼的目的是为了除去铝液中的非金属夹杂物、金属氧化物和气体。常用的精炼剂有：ZnCl₂、MnCl₂、C₂Cl₆（六氯乙烷）、氯气、氮气等。

3) 变质剂 用于变质处理。对铝合金进行变质处理，可以达到细化组织，提高性能的目的。铝合金用的变质剂是 NaF、NaCl、KCl 等盐类的混合物，常用的有（均质量分数）67% NaF + 33% NaCl 及 25% NaF + 62% NaCl + 13% KCl 等。

2. 熔炼工艺 铝合金的牌号很多，其具体熔炼工艺也各有不同，但其基本原则都是相同的。铝合金熔炼大致分以下几个环节：

熔化前的准备 → 装料 → 熔化 → 调整化学成分 → 精炼 → 变质处理 → 调整温度 → 浇注。

熔化前的准备包括对炉料、坩埚的清理及预热，对操作工具（撇渣勺、取样勺、钟罩、夹料钳等）进行烘烤等。对于铁质工具，需刷上涂料，以防铁熔入合金造成影响。

装料前按配料计算，将炉料称好。装料的一般顺序为：先加占炉料主要部分的炉料和难熔及不易氧化的炉料，待其全部熔化后，再加中间合金，同时轻轻搅动铝液以加速熔化，均匀成分，最后加入易烧损和低熔点的炉料。

熔炼一般采用快速熔化的工艺，即用最大的加热能力，将合金迅速熔化并升温到要求温度，这样可避免合金过分氧化。

金属熔化后，取样进行成分分析，以便及时补加炉料，调整化学成分。

合金成分合格后，就可以加入精炼剂进行精炼。精炼时应掌握好合金液的温度和精炼剂的加入量及精炼时间，采用气体精炼剂则应掌握好通气时间和压力。

精炼后，静置一定时间。扒去液面熔渣，按要求的温度和用量在合金液上撒上变质剂，进行变质处理。保持一定时间后，取样检查变质效果。如未完全变质，应重新进行变质处理。

变质处理完毕后，按工艺要求调整到浇注温度后，即可浇注，并要求尽快浇注完毕。

第三章 造型材料

培训要点：本章主要讨论砂型铸造中造型、制芯所用原材料的成分、性能及其应用。各种型砂、芯砂的组成配比、性能、制备工艺、硬化原理及性能改善的措施等。

第一节 铸造用原砂、粘土及辅助材料

型砂、芯砂通常是由砂子、粘结剂及辅助附加材料等组成。本节主要介绍铸造用原砂，作为粘土砂粘结剂的粘土及各种常用辅助材料的组成、性质、用途。

一、原砂

自然界中砂和土都是岩石的风化物，它们常常是混杂在一起的，其中还包含其它一些杂质。在铸造上将颗粒直径小于等于 $22\mu\text{m}$ 的称为泥分，大于 $22\mu\text{m}$ 的称为砂。在砂和土的混合物中，泥量的质量分数大于 50% 的称为泥，否则为砂。铸造用砂通常分为二类。

1. 硅砂 理论上是指矿相为石英的 SiO_2 颗粒，由粒径 $0.053 \sim 3.35\text{mm}$ 的石英颗粒组成。就其矿床在自然界的形成而言，铸造用硅砂可分三种。

(1) 沉积砂 沉积砂是天然颗粒状砂子，也称天然砂，主要由岩石变质风化而成。由于沉积的作用不同，又可分为风力沉积砂、冰川沉积砂、流水沉积砂和海洋沉积砂等多种矿源。由于风化过程运动的距离长、时间长（一般经过几亿年以上），砂粒所具有的尖角和棱边已被磨圆。因此，就颗粒形貌而言，天然砂品位较好。

(2) 砂岩砂 砂岩砂不是天然的颗粒，是由破碎的硅砂岩制得的砂。由于硅砂岩是由沉积的硅砂颗粒经压固、胶结而成的岩石。因此，经破碎而成的砂岩砂粒多为多角形。

(3) 人造硅砂 人造硅砂是将硅砂岩破碎、筛分而得到的砂，硅

砂岩坚硬，破碎相当困难，因而制得的砂有尖锐的角和棱边，颗粒形貌较差。

2. 非硅质砂 硅砂以外的一些砂统称非硅质砂，亦称特种砂，作为铸造用原砂的非硅质砂，主要有锆砂、铬铁矿砂、橄榄石砂、刚玉砂等。

(1) 锆砂 锆砂亦称锆英砂，主要由硅酸锆组成，作为造型材料的骨料锆英砂有许多优点，如：粒形好，热稳定性极好，热导率高等。

(2) 铬铁矿砂 属于铬尖晶石类，由铬铁矿破碎而得到，作为造型材料的骨料，具有与锆英砂相似的主要优点，且价格较锆英砂便宜。

对于其它特种砂由于资源较少价格较高，用途较为特殊。就不作具体介绍。

3. 铸造硅砂的理化性能 铸造硅砂矿物组成及化学成分将直接影响砂子的耐火度及回用性能，而耐火度又直接与铸件的表面粗糙度有关。但是砂的物理性能、颗粒形状有时比化学成分更为重要。砂的表面状态，颗粒形状，粒度及其分布等都是评定其是否适于生产优质铸件的基本性能。

(1) 铸件用硅砂的化学成分和矿物成分 自然界硅砂的矿物主要有石英、长石、云母及其它铁的氧化物，碳酸盐等组成。其中碱金属、碱土金属氧化物和铁的氧化物，影响型砂性能，称有害杂质，需加以限制。

硅砂的主要成分是二氧化硅 (SiO_2)。根据最近制定的硅砂国家标准，铸造用硅砂是根据二氧化硅含量分级的，见表 3-1。

(2) 砂的颗粒特性 砂的颗粒特性应包括形状、大小、均匀度和表面性状等，是铸造用砂的一个主要指标。对型砂的各种性能，如强度，透气性，耐火度等都有一定的影响。

1) 砂的粒度及粒度分布 目前，讨论砂的颗粒大小及粒度分布是依据标准筛的筛分来确定的。铸造用硅砂的粒度是用筛分法进行分析的，其筛号与筛孔的基本尺寸应符合表 3-2 的规定。同样 AFS 平均细度表示法是以原砂的比表面积来衡量砂的粒度的。对以合成树脂

表 3-1 铸造用硅砂根据二氧化硅含量分级

分级代号	最小二氧化硅含量 (质量分数, %)	最大含泥量 (质量分数, %)
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

为粘结剂的型芯砂更有实际意义。其它各种表示法这里不作一一介绍。

粒度分布则是筛分后分别称量各筛面上的砂子的质量，然后换算成百分含量。铸造用硅砂的主要粒度组成部分，三筛不小于 75%，四筛不小于 85%。

表 3-2 铸造用筛号及筛孔基本尺寸 (单位: mm)

筛号	6	12	20	30	40	50
筛孔尺寸	3.35	1.70	0.850	0.600	0.425	0.300
筛号	70	100	140	200	270	底盘
筛孔尺寸	0.212	0.150	0.106	0.075	0.053	—

2) 砂的颗粒形状 也是铸造用砂的重要特征之一，对于型砂的性能有不可忽视的影响。在铸造行业广泛采用各种化学粘结剂以后，颗粒形状的重要性逐渐为人们所认识。在用化学粘结剂特别是有机树脂作粘结剂的情况下，由于树脂价格昂贵，热解时又会产生大量气体，其加入量必须很少。所以讨论颗粒形状是十分重要的。

关于砂粒形状的评定方法通常有下面几种：

①照片图示法 用放大拍摄的照片或在放大镜下观察，参照标准图片加以评定。

a. 圆形砂 颗粒为圆形或接近圆形，没有突出棱角，以符号○表示。

b. 多角形砂 颗粒呈多角形，且多为钝角，以符号□表示。

c. 尖角型砂 颗粒呈尖角形，且多为锐角，以符号“△”表示。

某种形状的砂往往掺杂有其它形状的颗粒，但只要其它颗粒不超过三分之一，则仍用一种形状表示，否则就应该用两种形状表示，并将数量较多的形状符号排在前面，如□—△。

②角形系数法 角形系数或称粒形系数，是砂子的实际比表面积 S_w 与同体积假想圆球比表面积 S_i 的比值 S

$$S = \frac{S_w}{S_i}$$

按照国家修订的标准，根据原砂的角形系数，可将原砂分为 5 类，见表 3-3。

表 3-3 原砂根据角形系数分类

形 状	分级代号	角形系数
圆 形	○	≤1.15
椭圆形	○-□	≤1.30
钝角形	□	≤1.45
方角形	□-△	≤1.63
尖角形	△	>1.63

3) 砂子的表面特征 用目视或低倍放大镜观察原砂时，我们得到的印象是表面光滑，但是用扫描电镜在高倍放大镜下观察，可见表面布满裂纹、缝隙、叶脉纹理和小凹坑。

对于用有机粘结剂，特别是树脂作粘结剂的原砂，表面特征的好坏，决定了树脂加入量的多少。同理，树脂砂再生后复用，树脂加入量可以比全用新砂时少。也许与砂粒表面的凹坑已被树脂膜填补有关。

二、粘土

铸造用粘土是造型材料中的常用粘结剂，粘土是由颗粒极为细小的粘土矿物组成，被水润湿后，即有可塑性和粘结性，烘干硬结后具有干强度。只要承受的温度不高，则遇水后还有可能恢复原来的性

能，有较好的复用性。

粘土因在自然界分布很广，储存量丰富，成本低廉，货源充足，适应性广，粘结强度优异等特点。作为铸造粘结剂是历史最悠久的材料。

可称为粘土的矿物品种很多。不同品种的粘土性能相差很大，即使是同一矿相的粘土，因成矿条件不同或杂质多少不等，性能也不尽相同。对于铸造而言，常用的粘土有高岭石，蒙脱石和伊利石等。而使用较多是高岭石，蒙脱石。

粘土是所有各种矿物中最微细的矿物，主要成分为硅铝和水分。同时也有镁、铁和碱土金属。粘土矿物的晶格都包含着两种基本结构单位。第一种硅氧四面体，第二种是铝（或镁、铁）氧八面体。同时粘土颗粒表面带有微弱的负电荷。为了电荷达到平衡通常吸附一些阳离子如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 等。就膨润土而言，按照所含交换阳离子的种类，大体上可分钙膨润土与钠膨润土。

1. 粘土的分类和分级 粘土按矿物成分分成普通粘土和膨润土两类，两者的各种性能都有较大区别。普通粘土主要成分是高岭石或伊利石，膨胀润土主要成分是蒙脱石。

粘土的质量等级和牌号：

(1) 普通粘土（符号 N） 根据最新修订的标准（ZBJ31009—1990），粘土按耐火度，湿态强度和干态强度分级。

1) 普通粘土按耐火度分为两级（见表 3-4）。

2) 普通粘土按工艺试样湿压强度分为三级（见表 3-5）。

3) 普通粘土按工艺试样干压强度分为三级（见表 3-6）。

普通粘土的牌号包括耐火度、工艺试样湿压强度和工艺试样干压强度。如：NG—3—05，则表示耐火度高，湿压强度为 30~50kPa，干压强度为 500kPa 的耐火粘土。

表 3-4 普通粘土按耐火度分级

等级	符号	耐火度/℃
耐火度高的	G	>1580
耐火度低的	L	>1350~1580

表 3-5 普通粘土按工艺试样湿压强度分级

序号	等级代号	工艺试样湿压强度/kPa
1	5	>50
2	3	>30~50
3	2	>20~30

注：1. 工艺试样配比：标准砂 2000g、粘土 200g、水 100g。

2. 混砂工艺：干混 2min，湿混 8min。

3. 混出的砂应密封存放 10min 以后测定，但不得超过 1h。

表 3-6 普通粘土按工艺试样干压强度分级

序号	等级代号	工艺试样干压强度/kPa
1	50	>500
2	30	>300~500
3	20	≥200~300

将耐火度大于 1580℃ 的称为耐火粘土，耐火度 1350~1580℃ 的称为普通粘土。此外，还规定了粘土中水的质量分数应小于 10.0%，粒度应有 95% 以上的通过 0.106mm 的试验筛。

(2) 膨润土 (符号 P) 根据最新修订专业标准 (ZBJ31009—1990)，膨润土按工艺试样湿压强度、工艺试样热湿拉强度分级。

1) 膨润土按工艺试样湿压强度分级见表 3-7。

2) 膨润土按工艺试样热湿拉强度分级见表 3-8。

表 3-7 膨润土按工艺试样湿压强度分级

序号	等级代号	工艺试样湿压强度/kPa
1	10	>100
2	07	>70
3	05	>50~70
4	03	>30~50

注：1. 工艺试样配比：标准砂 2000g、膨润土 100g、水适量 (约 40mL)。

2. 混制工艺：干混 2min，湿混 8min。

3. 检查紧实率，需控制紧实率 45% ± 2%。

表 3-8 膨润土按工艺试样热湿拉强度分级

序号	等级代号	工艺试样热湿拉强度/kPa
1	25	>2.5
2	20	>2.0~2.5
3	15	>1.5~2.0
4	5	>0.5~1.5

3) 膨润土按其主要交换性阳离子量可分为四类见表 3-9。

表 3-9 膨润土按其主要交换性阳离子量分类

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

交换性阳离子占阳离子交换量大于等于 50% 时, 称为主要交换性阳离子, 若任一交换性阳离子占阳离子交换量的 50% 以下时, 以其中含量相对较多的两种交换性阳离子作为主要交换性阳离子。

例如: 钠离子为主要交换性阳离子的膨润土以 PNa 表示。称为钠膨润土。如钙离子与钠离子为主要交换性阳离子的膨润土以 PCaNa 表示。

2. 膨润土的其它主要技术指标 除质量等级外, 由于膨润土的应用随着各类造型技术的发展, 对造型用膨润土的性能和控制提出了更高的要求, 如吸蓝量、膨润值等一些间接反映膨润土性能的指标。

蒙脱石对亚甲蓝 ($[C_{16}H_{18}N_3S]^+Cl^- \cdot 3H_2O$) 有极强的吸附能力。亚甲蓝的有机阳离子可以通过交换, 占据原来蒙脱石上所有的交换阳离子的位置。所以, 膨润土吸附亚甲蓝的数量一般相当于阳离子交换量。根据研究膨润土的吸蓝量与蒙脱石含量 (质量分数) 之间存在着线性关系:

$$\text{蒙脱石含量} [\%] = \frac{\text{吸蓝量} [\%]}{0.442}$$

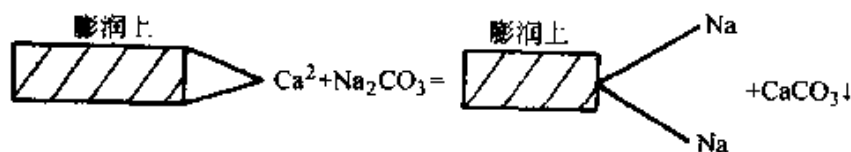
因此, 膨润土吸蓝量的多少, 可以作为鉴别粘土种类和膨润土品位的重要指标。

通常普通粘土吸蓝量低于 $10\text{g}/100\text{g}$ 土，而膨润土吸蓝量大于等于 $30\text{g}/100\text{g}$ 土。吸蓝量越高，膨润土品位越高。

近年来的研究还进一步表明：膨润土吸蓝量与相同最适宜润湿条件下的膨润土的湿态粘结力存在良好的线性关系。因此很有实用价值。

3. 膨润土的活性处理（活化处理） 我国目前开采的膨润土大都属于钙膨润土，在生产中往往满足不了需求，于是出现了活化处理技术，使之转化为钠膨润土。

活性处理建立在离子交换的基础上，可作为活化剂的有碳酸钠 (Na_2CO_3)、碳酸氢钠 (NaHCO_3)、氢氧化钠 (NaOH) 和醋酸钠 ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$) 等，其中以 Na_2CO_3 的活化效果最好。加入上述活化剂后，可使钙膨润土吸附的钙离子被钠离子所替代。这一过程的化学反应机理可用下式表示：



通过试验表明：活化处理时 Na_2CO_3 加入量的质量分数一般为钙膨润土质量分数的 4% 左右时，湿压强度，干压强度和热湿拉强度均达到最大值。

目前，膨润土生产厂家将钙基膨润土预先活性处理成钠膨润土，磨成粉后作为商品供应。

三、铸造用辅助材料

为了改善型芯砂的某些性能，常需要在砂子中加入一些辅助材料。常用的大致分以下几类。

1. 抗粘砂材料 高温金属液进入型腔后，常侵入砂粒的间隙与砂型（芯）中的某些物质发生作用，在铸件表面形成粘砂缺陷，为了防止这类缺陷的产生，加入抗粘砂材料能有效地防止粘砂缺陷的产生。

(1) 煤粉 煤粉是将烟煤磨碎制得的粉料，主要用于粘土湿型砂。具有很好的防粘砂作用，能显著改善铸件的表面质量。煤粉价格

低廉，货源充裕。

1) 煤粉的防粘砂作用 尽管煤粉长期以来都是广泛使用的辅料，但是，它的防粘砂作用机理，有以下几种说法。

①产生还原性气体 型砂中加煤粉，浇注后，由于煤粉中的挥发物挥发和煤粉燃烧不完全而产生 CO，在金属铸型界面上形成一层还原性气体保护膜，使 FeO 减少。而且，由于气膜有一定的压力，可阻止硅酸盐及金属向砂型中渗入。

②产生光亮碳 煤粉受热时分解的碳氢挥发物，在 400℃ 以上的高温下发生裂解，而在金属和铸型型而上析出一层带有光泽的碳，称为光亮碳。此碳膜可以保护砂粒表面，使其不与 FeO 作用，不产生易熔的硅酸盐，从而防止了金属的渗入。

2) 煤粉的副作用 煤粉这一传统的防粘砂材料，虽然仍在广泛使用，其副作用也日益为人们所重视，这里不作具体叙述。

(2) 其它防粘砂材料

1) 石墨粉 石墨粉有鳞片石墨和无定形石墨两种，常用作铸件干型或涂料，石墨具有良好的耐高温性能和良好的化学稳定性。因此，它是一种很能好的防粘砂材料。

2) 石英粉 常用于铸铁、铸钢及非铁金属铸件的敷料和涂料。

3) 重油 一般用于铸铁湿型砂的附加物，重油的光亮碳析出量的质量分数约为 20%，较煤粉高许多。湿型砂加入重油不但可以减少煤粉加入量，而且可以减少水的加入量，使型砂具有更好的造型性能。

4) 氧化铁粉 一般用于铸钢件型砂或型芯附加物以提高型砂热导性，降低型内气氛的还原性，减少型砂空隙，提高型芯砂高温性能。

2. 溃散附加物 溃散附加物主要改善型（芯）砂的溃散性，常用的有：

(1) 纤维素类附加物 主要有木屑粉、核桃粉、稻壳粉、燕麦皮，这类材料在热浇注或烘干后，被燃烧后而增加型砂的退化性和溃散性。

(2) 糖类和氢化淀粉水制液类 这一类主要用于水玻璃砂的溃散

剂。

3. 提高型（芯）砂强度的材料 加入糖浆、纸浆、谷物类、淀粉以提高型芯砂的强度，对于以树脂为粘结剂的型芯砂，加入偶联剂，也能增加树脂砂的强度。

第二节 粘土型砂

用粘土作粘结剂的型砂生产铸件，是历史悠久的工艺方法，粘土砂特别是粘土湿型砂，随着现代造型方式及砂处理设备的发展得到了很大的发展，这里主要介绍粘土湿型砂。

一、粘土砂的性能及影响因素

直接影响铸件质量的型砂性能有强度、透气性、发气性、耐火度、退让性和导热性等。还有一些工艺性能与铸造工序直接相关，主要影响生产率和劳动强度，同时也影响着铸件质量，如流动性、可塑性、不粘模性、保存性、抗吸湿性、溃散性和复用性等，随着对型砂理论和实验研究的深入，造型方式的先进，湿型砂应具有不同的优良性能，这里只能就其主要的予以概述。

1. 强度 在外力作用下型砂达到破坏时单位面积上所承受的力称为强度。型砂强度不足，则在造型、合型、转运过程中会引起塌箱，浇注时则在金属液的作用下使铸型表面破坏，导致铸件产生砂眼等缺陷。就粘土湿型而言，湿强度包括湿压、湿拉、湿剪、湿弯、湿劈强度。生产现场采用最广的是湿压强度。

影响湿压强度的因素有：

(1) 砂子 在粘土加入量足够的情况下，砂粒越细，越不均匀，则砂子质点间的接触面积越大，湿压强度越高，而尖角形砂比圆形砂具有更大的接触面，但在同样外力作用下不易春紧。一般而言，尖角砂比圆形砂组成的型砂湿压强度略低。

(2) 粘土 在粘土加入量相同时，膨润土砂的湿压强度比普通粘土高得多，在各种膨土中，钙膨润土的湿压强度比钠膨润土的高，但在两者都充分混和的情况下，则钠膨润土的湿压强度高。

(3) 水分 从粘土砂粘结机理知道，为使粘土砂得到最高的湿态强度，需具有适宜水分，当粘土量一定时，随水分的增加，型砂的湿

压强度先升高，达到一定峰值后，然后下降；而随粘土量增加，为了达到最高强度，需水量也随之升高。为了获得强度，不管加入多少粘土，其水分的需量与各种粘土加入量有一定的比例关系，一般土:水为3:1，有的比为2.5:1。

(4) 混制工艺 为了获得一定的强度，混砂时间一定要充分，混砂时间对粘土砂湿压强度的影响，是随时间的增加而升高，当达到一定的值后增加幅度明显减少，或不增加，因此在保证强度的同时，无需过长地延长混砂时间，以保证一定的混砂效率。

(5) 紧实度 随着紧实度的提高，型砂质点排列紧密，相互间接触面增大，粘土的粘结作用得到充分的发挥，因而提高了型砂的湿强度，但有一定限度，不可无限制增加紧实度。

2. 透气性 型砂能让气体透过而逸出的能力为透气性。

铸型在液体金属的热作用下产生大量气体，其来源有：①型砂内水分在高温作用下汽化产生大量蒸汽。②型砂内砂、膨润土及附加物中的有机物受热分解后产生的气体。③型砂和型腔中原有气体受热膨胀。因此，型砂必须具有足够的透气性，对湿型而言，透气性是最重要的性能之一。

影响透气性的因素大致有以下几个方面：

(1) 砂子 砂子对透气性的影响主要表现在砂子的颗粒大小和颗粒分布，由于粗砂砂粒比表面积比细砂比表面积小，气流通过时受到的阻力小，因而透气性比细砂粒高。砂粒不均匀，则在外力作用下大小颗粒相互镶嵌，减少了空隙，从而降低了透气性。

(2) 粘土 粘土在砂中占据一定的空隙，阻碍了气体的流动，随着粘土的增加，透气性下降。实验表明：同一原砂的情况下，膨润土的透气性一般比普通粘土透气性高。

(3) 水分 水分对透气性的影响与型砂内粘土含量有关。在一定的粘土含量下，当未加水或水分过少时，粘土质点的一部分聚集在砂粒的空隙中阻碍气体流动；当水分适宜时，由于粘土对水的吸附，在砂粒表面形成光滑的粘土膜，留出空隙，透气性好；当水分过多时，余留的自由水又占据了一定间隙，因而降低了透气性。

(4) 混制工艺 混砂工艺对透气性有重要影响。为了使粘土膜能

均匀地包覆在砂粒表面，混砂时间要足够，但也不宜过长。

(5) 紧实度 紧实度越高，则型砂质点排列越紧密，间隙越少，透气性相应降低。

3. 发气性 是指型砂被加热时析出气体的能力，一般用发气量来衡量，型砂的发气量应尽可能低。粘土的发气量是比较有限的，发气量主要取决于型砂中的水分以及煤粉等附加物的加入量。因此，在保证型砂主要性能的同时，尽可能降低水分及煤粉等附加物的加入量。此外，发气量还与浇注温度有关，浇注温度越高，发气量越大。

4. 流动性 型砂在外力或本身重力作用下质点间相互移动的能力称为流动性。型砂具有高的流动性，才能保证在造型制芯过程中得到紧实度均匀、精确和光滑的砂型或砂芯。对于高效率、高密度造型及先进的制芯方法尤为重要。

就粘土砂而言，砂粒大而均匀比砂粒小而分散的砂的流动性能好，圆形砂比尖角形砂流动性好。

对膨润土而言，当膨润土含量一定时，随水分的增加，流动性不断下降。

5. 韧性与可塑性 可塑性是指型砂在外力作用下变形，当外力去除后能完整地保持所赋予的形狀的能力。凡是能影响强度和应变的因素都影响韧性的提高。型砂中粉尘含量对韧性影响较大，型砂粉尘升高，韧性变差。

6. 紧实率 紧实率是指湿态型砂在一定的紧实力作用下其体积变化的百分比，用以判断型砂最适宜的干湿程度。它是表示砂中粘土与水的比例是否适宜于造型的一种综合指标。具体有如下作用：

(1) 紧实率数据能够判断水分含量是否合适。因为不论型砂成分如何变化，适合于造型，有一个固定的紧实率（如机器造型在 45% 左右）。紧实率的高低能反应出水分的多少。

(2) 如型砂保持紧实率不变，而水分发生变化，则反应出型砂的吸水物质（粘土与粉尘含量）已发生变化，应考虑调整型砂成分。

(3) 由紧实率、湿压强度和水分，可以根据实验推测出起粘结作用的粘土含量和有效粘土含量的百分比。

由于紧实率有上述一些作用，而紧实率的测定又简单迅速，所以

紧实率的测试已作为日常检测项目之一。

二、粘土砂的应用

粘土砂的具体应用与造型方法有密切的关系。以前普遍采用手工造型，随着铸造造型技术的机械化、自动化程度迅速提高，在粘土砂造型中出现了振实、压实、气动微震、射压抛砂等造型方法。近年来高压造型和气流冲击造型发展迅速，而其对于粘土砂有特殊的要求，这里仅对铸铁普通机器造型用粘土砂作简单介绍。

表 3-10 列举了一些工厂机器造型用湿型砂的配方，供参考。

表 3-10 机器造型用湿型砂的配方

编号	配比 (质量比)					性能			用途
	用回砂	新砂	膨润土	煤粉	水分	紧实率 (%)	湿压强度 /MPa	湿透气性	
1	80	20	2.4	5.5	6.5±3	50±5	≥0.15	>60	纺织机械 墙板
2	92	8	1	3	4~5		>0.07	>30	机械造型 单一砂
3	50	50	4.8	5	4~4.5	45±5	0.07~0.10	110~150	机体用面 砂
4	30	70	4.5	6.5	5~5.5		0.09~0.10	60~90	球墨铸铁 小件
5	10	90	5	4	5~5.5		0.1~0.11	60~90	球墨铸铁 流水线单一 砂
6	5	95	3	2	5~5.5	45±5	0.12~0.15	≥80	柴油机铸 件面砂
7	2	98	0.5	0.2	4.5~5	40±5	0.10~0.12	≥80	柴油机铸 件用背砂
8	10	90	2~3	1~2	4~4.5	40±5	0.12~0.15	≥100	柴油机用 单一砂

注：膨润土、煤粉和水分的配比是以砂子的总质量的百分率加入。

1. 湿型砂的性能要求

(1) 强度 一般指湿压强度，控制在 0.08~0.14MPa 左右。

(2) 水分 应根据实际生产的存放时间、气温和砂温的因素，水

分应比试验数据提高，一般水的质量分数控制在5%~6%左右。

(3) 透气性 对于生产50kg以下的小件，湿透气性大于80，一般能满足生产要求。

(4) 紧实率 对于机器造型，型砂紧实率一般控制在45%左右。

2. 湿型砂对原材料的要求

(1) 原砂 湿型砂一般采用筛号为50/100、70/140、100/200的颗粒度均匀的圆形或多角形天然硅砂，以保证得到表面光洁的铸件。采用粒度均匀分布在相邻的4个筛号上，每个筛余留量都超过10%，但不超过35%的细砂更好，因为这样的砂可以得到较好的表面强度，抗夹砂能力强。

(2) 膨润土 湿型砂大多用膨润土作粘结剂，而优先采用品位较高的膨润土，或对钙膨润土作活化处理。相比之下，在相同加入量的情况下，可提高型砂强度，或在保证强度的前提下少加膨润土，对保证型砂性能是有益处的。

(3) 煤粉 铸铁件湿型砂中加入煤粉，以防止粘砂、夹砂和得到表面光洁的铸件。煤粉也应优先考虑使用优质的煤粉。在保证铸件表面质量的前提下尽量少加。

(4) 其它附加物 为了改善型砂某些性能，有些工厂还加入如渣油、氧化铁粉、淀粉类附加物等。

三、高密度造型用湿粘土砂的特点和型砂配方

高密度造型主要指高压造型及气流冲击造型，其紧实后的型砂密度为 $1.7\sim 1.8\text{g}/\text{cm}^3$ ，砂型硬度可达90单位以上的造型方法，其砂型强度高，密度高而均匀。因而，铸件尺寸精度高，表面光洁。高密度造型用砂与中低压造型有所区别。

1. 高密度造型用砂的特点：粘土含量高，水分低、煤粉加入量低、强度高、流动性好。

(1) 有效粘土含量和含泥量 有效粘土含量和含泥量对型砂性能影响很大，有效粘土含量高，型砂强度也高，粘土含量高的型砂，随比压的升高，强度也升高。对高密度造型应强调有效粘土含量的控制。一般采用吸蓝量测定，将有效粘土质量分数控制在8%~10%左右；型砂中有效粘土含量和死粘土含量之和相当于含泥量，一般控制

(续)

方式	编号	配比 (质量比)						型砂性能						备注 (含量皆指质量分数, %)	数据来源											
		回用砂	新砂	膨润土	煤粉	糊精	水分	湿态强度/kPa			透气性	气破碎指数 (%)	流动性 (%)			紧实率 (%)										
								湿拉	湿剪	湿热湿拉																
	9	95~100		0.5~1.5	0.2~0.4	0.1~0.2	3.5~4.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	常州		
	10	100		①13.2	②1.7	—	4.3	—	—	—	2.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	德国	
气冲造型	11	100		②(14.5)	②(1.3)	—	4.4	—	—	—	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	荷兰	
	12	100		①(10.8)	②(1.5)	—	3.6	—	—	—	1.35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	德国

注: 其它辅料的配比是指砂子总质量的百分率, 后同

① 有效膨润土含量。

② 总挥发分。

在 12%~16%。

(2) 水分 合适的水分对于高密度造型非常重要，当比压一定时，随水分的减少，湿压强度、硬度和流动性都会提高。但水分也不能太低，水分太低，型砂不易混匀，粘土不能被充分润湿，而呈粉状，此时型砂湿拉强度低、脆性大、起模性能差，砂型棱边松散，透气性低。一般紧实率控制在 40% 左右。

(3) 煤粉及其它附加物 除原砂、粘土、水外，煤粉和附加物也是重要的材料。根据铸件壁厚情况，一般控制可燃物的质量分数在 3%~4% 左右。

有时为了减少砂型的回弹，改善型砂溃散性和韧性，可在型砂中加少量谷物如糊精、木屑、 α -淀粉等材料。

2. 高密度造型用砂配方 几种高压造型、射压造型、气冲造型用砂的配比及性能见表 3-11。

第三节 合脂砂及其油类砂

生产中有很多砂芯外形复杂、断面细薄，且与金属的接触面积大，用粘土砂制作，不能满足要求。油类粘结剂是传统的制造 I、II 级砂芯的芯砂材料。油类的品种主要有桐油、亚麻油、梓油、米糠油等。而合脂是油类粘结剂的代用品，主要代替植物油制作 II、III 级砂芯。

一、植物油芯砂

1. 植物油的硬化机理 植物油的硬化机理主要是氧化、聚合过程，反应大致可分以下三个阶段：

(1) 挥发 在加热过程中，首先是水分蒸发，其次是油类中较易挥发的碳氢化合物挥发。

(2) 氧化聚合 植物油中带有双键的不饱和碳氢化合物，由于双键不稳定，在加热时容易与空气中的氧化合，形成过氧化物。所生成的过氧化物与含有双键的其它分子聚合。聚合生成的物质还含有双键，在氧的作用下，又转变为过氧化物，再与其它具有双键的物质发生聚合反应，形成更为复杂的化合物。随着氧化、聚合反应的不断进行，使植物油分子逐渐增大，液态油膜变成溶胶。

(3) 胶凝硬化 随着分散介质的继续挥发, 溶胶变成凝胶, 最后变成坚固有弹性的固体薄膜, 使芯砂获得很高的干强度。

2. 植物油砂的性能 植物油属有机憎水类粘结剂, 与粘土砂等无机粘结剂有很大区别, 主要有湿强度、流动性、干强度、发气量等性能。

(1) 湿强度 油在硬化前表面张力很小, 因此油砂的湿强度很低, 一般需加入膨润土、糊精、糖浆来增加湿强度, 但是膨润土不宜多加。加入糊精、糖浆的质量分数在 1%~2% 时, 不仅可以提高湿强度, 而且还可提高干强度。

(2) 流动性 植物油砂的流动性较好, 但加入糊精、膨润土等附加物后流动性有所下降。

(3) 干强度 植物油砂由于烘干后在砂粒周围形成坚韧的固体薄膜, 干强度很高, 一般比强度达到 (0.8~1.0) MPa/1% (比强度是指质量分数为 1% 的粘结剂可获得砂芯的干拉强度)。油的加入量应当根据砂芯的强度要求和所用附加物来确定。在保证砂芯强度要求的情况下尽量少用。

(4) 发气量 由于植物油在高温下燃烧和分解, 再加上糊精等材料, 故发气量较大。发气量除了与植物油加入量及附加物加入量有关外, 还与烘干工艺有关。

(5) 退让性和溃散性 植物油类粘结剂在高于 300℃ 以上便开始分解和燃烧, 经浇注后油膜就失去强度, 因此退让性和溃散性均良好。

(6) 防粘砂性 由于植物油粘结剂在加热分解和燃烧过程中生成 CO 和 H₂ 等还原性气体, 并在裂解后沉积出光亮碳; 因而防粘砂性较好。

3. 植物油砂的配方 表 3-12 列出了国内一些工厂植物油砂的配方。

4. 植物油砂的混制 配制工艺因所用附加物和混砂机类型而异, 只要使油均匀分布在砂粒表面即可, 为了保证混砂容易而均匀, 一般还是采用先干混后湿混的原则, 举例如下:

$$\begin{array}{l} \text{原砂} + \text{粘土、糊精} \xrightarrow{\text{干混 } 2 \sim 3 \text{ min}} + \text{水或含水材料} \xrightarrow{\text{湿混 } 2 \sim 3 \text{ min}} + \\ \text{油} \xrightarrow{\text{混 } 2 \sim 3 \text{ min}} \rightarrow \text{出砂} \end{array}$$

表 3-12 植物油砂的配方

合金	编号	配比 (质量比)									性能			
		新砂			桐油	亚麻油	膨润土	糊精	红砂	纸浆	水分	湿透性	湿压强度/ kPa	干拉强度/ MPa
		品名	粒度 (筛号)	用量										
铸铁	1	江西	50/100	100	2~ 2.5		2	2			3.2~ 3.8	>100	14~ 18	1.3~ 1.7
	2	内蒙	50/100 40/70	50 50	2.8				6~8			>120		1.5~ 2.0
	3	围场	100/50	100	2~ 2.5		2	2			2.3~ 2.4	>100	18~ 20	>1.2
	4	大林	50/100	92~ 94		0.3~ 0.5					3	3~4		0.8~ 1.0
铸造非铁合金	5	阜宁	70/140	100	2.5			2.5			2~3			>1.0
	6	阜宁	70/140	100	1.2~ 1.5		2	2			3~4	>150		0.6~ 0.7
铸钢	7	硅砂	40/70	100	2.5~ 3.0			2.5~ 4.0			6.5~ 7.5	>100	21~ 28	
	8	硅砂	40/70	100	3.0			4.5			7~9	>180	15~ 20	

二、合脂砂

我国从 1961 年起开始对制皂过程中的副产品——合成脂肪酸残渣 (简称合脂) 进行了研究。由于合脂砂的烘干工艺和不少性能与植物油砂比较接近, 所以用来代替价格比较昂贵植物油砂是比较合适的。

1. 合脂粘结剂的硬化机理和技术规格

(1) 合脂粘结剂的硬化机理 除了合脂中的少量不饱和脂肪酸在加热过程中发生氧化聚合外, 合脂的硬化主要是羧基之间的羟基团和羧基团之间起作用, 并聚合成为相对分子质量较大的聚合物, 主要的反应有:

1) 合脂中含有较多的羟基酸, 在加热过程中容易脱水缩聚, 形成成长的聚酯。

2) 羟基酸本身的羟基也可和羧基脱水缩聚而生成内脂。

3) 羟基酸和合脂中的脂肪酸也可以发生缩聚反应。

随着上述反应的不进行, 合脂的相对分子质量逐步增大, 使油膜从液态变成溶胶, 再逐渐变成凝胶, 最后变成坚韧的具有弹性的薄膜紧粘砂粒, 使砂芯具有一定的干强度。

(2) 合脂粘结剂的技术规格 根据新近制定的国家标准 (GB/T12216—1990) 铸造粘结剂的技术要求是根据粘度和试样抗拉强度分级的, 见表 3-13 和表 3-14。

表 3-13 根据粘度分级

等级代号	粘度值/s 30℃
40	≥15~40
80	>40~80
120	>80~120

表 3-14 根据工艺试样抗拉强度分级

等级代号	工艺试样抗拉强度值/MPa
14	≥1.4
17	≥1.7

2. 合脂砂的性能

(1) 湿强度 合脂砂的湿强度较低, 不能满足制芯要求, 为了提高湿强度, 也要加入膨润土、糊精等附加物。加入膨润土虽可使湿强度提高, 但是烘干后干强度则大幅下降。加入糊精后在提高湿强度的同时也提高干强度。适当延长混砂时间, 能提高湿压强度。

(2) 流动性和蠕变 与植物油砂不同, 合脂砂湿强度低, 流动性也较差, 由于合脂砂的湿强度与流动性均较低, 因而在常温下往往会出现蠕变现象。制好的砂芯放在烘芯板上会逐渐下沉。尤其在烘干过程中合脂砂的热蠕变更大, 严重时甚至使砂芯开裂或坍塌。合脂砂的蠕变特征是由合脂的粘度特性决定的:

1) 常温下合脂粘度大、流动性差、制芯时不易紧实、型芯紧实

率较低，再加上湿强度较低，因此制好的砂芯容易变形。

2) 由于合脂常温下粘度较大，随着温度升高变化很大，从室温到 100℃ 左右，粘度急骤下降，因此在烘干初期，型芯未硬化以前，随温度升高，合脂粘度极低，砂粒间相对移动的阻力很小，所以型芯就更容易变形。

表 3-15 合脂砂配方

合金	编号	配比 (质量比)							性能			
		新砂			合脂	重油	膨润土	糊精	水分	湿透 气性	湿压 强度 /kPa	干拉强度 /MPa
		品名	粒度/号	用量								
铸铁	1	江西	50/100	100	3.2~ 3.4		1.5	1.5	3~3.4	>110	13~14	1.3~1.7
	2	江西	50/100	100	2.8~ 3.0		1.5	1.5	2.7~ 3.2	>110	12~14	1.2~1.6
	3	江西	50/100	100	2.5		1.7	1.7	2.9~ 3.4	>110	14~18	1.0~1.4
	4	江西	50/100	100	4		3.5	2		90~ 150	25~30	1.0~1.3
	5	内蒙	70/140	100	1.5	0.5	2	0.6	1.2~ 1.5	>110	3.5~ 5.5	1.1~1.4
铸钢	6	硅砂	50/100	100	4.0~ 4.5		1.5 ~2	1.2~ 1.4	2.0~ 3.0	≥150	12~16	>1.2
	7	湘潭	50/100	100	4		3	1~1.5	<4.5	>180	≤15	
	8	硅砂	40/70	100	5		4	木屑 1~2		>350	14	1.2~1.8
铸造 非铁 金属	9	江西	70/140	100	3	1		木屑 1~5				
	10	江西	70/140	100	4.5	1.5		木屑 1~5				

(3) 干强度 合脂砂的干强度比较高, 纯合脂的比强度可达 0.7MPa 左右, 合脂砂的干强度除受合脂的本身质量的影响外, 还与原砂、合脂的稀释比和加入量、附加物、以及烘干规范有较密切的关系。

(4) 发气量 合脂的发气量较大, 且随着合脂加入量增加而增加, 因此在满足强度的前提下尽量减少合脂加入量。发气量还与烘干规范有很大关系, 烘干温度越高或烘干时间越长, 则在浇注过程中发气量越低。

(5) 退让性和溃散性 合脂在 300℃ 以上就很快分解, 在 500℃ 以后即迅速燃烧而使芯砂溃散。因此合脂砂在浇注后有良好的退让性和溃散性。

(6) 不粘模性 合脂砂容易粘附芯盒, 合脂加入量越多, 粘模倾向越大, 水分越多及原砂越细越易粘模。为减轻粘模, 在操作过程中应经常用少量煤油或柴油作脱模剂。

3. 合脂砂的配制 合脂砂的配制工艺与植物油很相似。先加原砂和粉状附加物, 干混 2~3min, 再加水湿混 2~3min, 最后加合脂, 湿混 10min 左右卸砂。合脂砂混砂时间应比植物油砂稍长。

表 3-15 列出一些工厂的合脂砂的配方, 供参考。

第四节 树脂砂

铸造中用合成树脂作型砂的粘结剂从 20 世纪 60 年代起得到了飞速发展, 树脂的品种不断增多、质量不断改进, 树脂砂工艺不断发展、工艺过程控制越来越完善、树脂砂设备得到了极好的发展。目前, 树脂砂已成为大量生产优质铸件的基本条件之一, 甚至作为首选工艺方法。

合成树脂砂 (简称树脂砂) 根据其硬化方法概括如图 3-1 所示。

一、热壳法树脂砂 (树脂覆膜砂)

热壳法造型制芯是将树脂砂与加热到 250℃ 左右的金属模相接触, 从而形成与金属模外形轮廓一致的型腔或型芯, 厚度为 6~20mm 的坚硬薄壳的造型制芯方法。其所用的树脂砂像干砂一样松散, 称为覆膜砂。

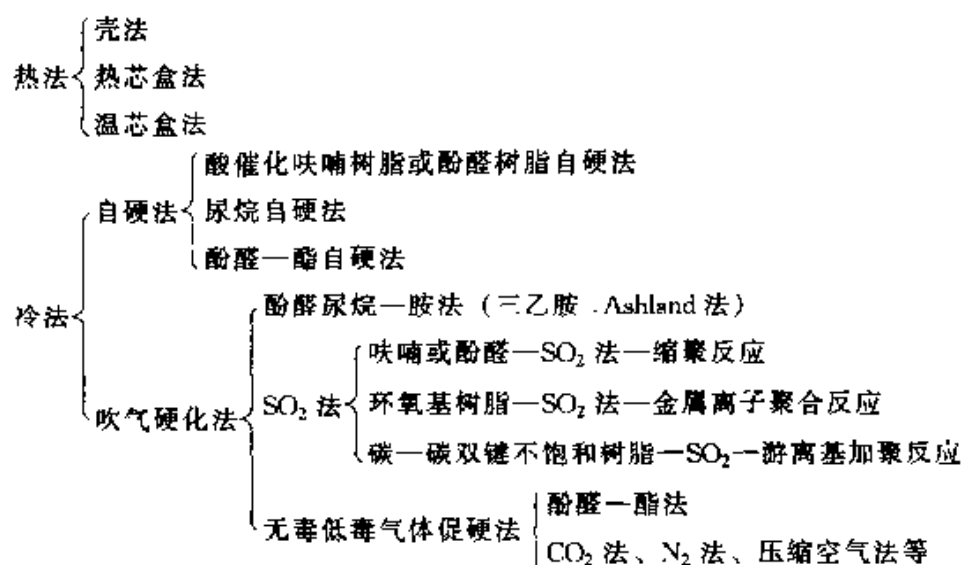


图 3-1 合成树脂砂硬化方法

1. 覆膜砂用原材料 覆膜砂用原材料由酚醛树脂（粘结剂）、原砂、乌洛托品（硬化剂）、硬脂酸钙（润滑剂）以及其它附加物（如偶联剂、增塑剂、氧化铁粉）等组成。

(1) 酚醛树脂 酚类和醛类缩合而成的一类树脂的总称。其中性能最好，应用较广的是苯酚与甲醛缩合而成的高聚物。在缩聚反应中，由于原材料配比和所用催化剂的酸碱性不同，可以得到热塑性的线型树脂，也可得到热固性的体型树脂。而覆膜砂用树脂粘结剂是热塑性的线型酚醛树脂，目前我国常用的覆膜砂专用树脂品种、牌号较多，应根据实际情况选用。

(2) 原砂 壳芯用覆膜砂对原砂的要求较高，具体要求如下：

1) 粒度 粒度较细，一般分布在相邻 4~5 个筛上，但 200 号以下的尽量少用，一般采用 100/50 或 70/140 号筛，以保证铸件表面光洁和具有较高的强度，适量的透气性和流动性。

2) 粒形 粒形较圆和表面光洁。圆形、表面光洁的砂，其表面积小，因此在获得同样强度所消耗的树脂量少。

3) 含泥量 微粉含量及含水量均要低。砂中的泥分、微粉量高，大大地增加了比表面积并吸附树脂，使强度降低。一般泥的质量分数小于 0.5%、微粉的质量分数小于 1%、水的质量分数小于 0.2%。

4) 碱性氧化物 碱性氧化物少，原砂中的碱性氧化物会增加覆

膜砂碱性、降低砂的熔点，且有可能使覆膜砂在存放过程中结块，使流动性变差。

5) 耐火度 耐火度较高，热胀系数小，以得到表面光洁、尺寸稳定的铸件。

(3) 硬化剂 常用的硬化剂是六亚甲基四胺（即乌洛托品），它受热分解为氨气和亚甲基气体，使受热后流动于砂粒间的热塑性酚醛树脂在弱碱性触媒氨的作用下，通过亚甲基进一步缩合而迅速硬化，把砂粒粘结成坚硬的硬壳。

(4) 其它附加物 为改善覆膜砂的性能，有时还加入以下一些附加物。

1) 硅砂粉、滑石粉 加入此类材料是为了降低铸件表面粗糙度，硅砂粉还有缓解树脂热分解的作用。

2) 水 作为硬化剂乌洛托品的溶剂，使它均匀分布，并控制混砂过程化学反应速度及降温作用。

3) 硬脂酸钙 加入硬脂酸钙可以增加覆膜砂的流动性和强度，降低壳型的表面粗糙度值。同时还能使覆膜砂在储存过程中不结块。

此外，还有很多附加物，如氧化铁粉和各种偶联剂等。

2. 覆膜砂的性能和技术规格

(1) 覆膜砂的性能

1) 强度 在满足壳型（芯）及铸件要求的情况下，应采用最小的壳厚，这样可节省覆膜砂，而最小壁厚的选择取决于。

①制芯时起芯的热强度。

②各工序之间输送及下芯时所需的常温强度，以保证在制壳、运输及型芯装配时不被损坏和产生裂纹。

③在浇注过程中能承受金属液的冲击及静压力，即高温强度。

在实际生产中需根据金属种类、铸件结构、型芯大小来选择不同强度的覆膜砂。

2) 覆膜砂熔点 覆膜砂熔点是指制壳时覆膜砂被加热，包覆砂粒表面的树脂开始熔融，将砂粒粘结在一起的温度。熔点过低、结壳太厚、制芯时易脱壳，导致壳厚不均匀。覆膜砂的熔点与树脂软化点有关，也与混制工艺有关。一般制壳用覆膜砂的熔点大于等于

100℃。

3) 酌烧减量与发气量 酌烧减量是指覆膜砂中可燃物和可挥发物总质量的百分数，而发气量是指覆膜砂在加热时析出气体的能力。因此，酌烧减量和发气量某种程度而言是线性关系，即树脂及可燃物、可挥发物加入量高，酌烧减量及发气量也高。反之亦然。因此，只要在保证强度的前提下，树脂量不需多加，以降低由于发气量大而引起的铸件气孔缺陷，同时也降低了覆膜砂的成本。

4) 覆膜砂的其它性能 热变形、溃散性、硬化速度等。

(2) 覆膜砂的技术要求 根据标准，铸造用覆膜砂的必测性能指标有常温抗弯强度、热态抗弯强度、酌烧减量和熔点。

1) 铸造用覆膜砂的常温抗弯强度，应符合表 3-16 的规定。

2) 铸造用覆膜砂的酌烧减量应符合表 3-17。

表 3-16 覆膜砂的常温抗弯强度

代号	常温抗弯强度/MPa
7	≥7
6	≥6
5	≥5
4	≥4
3	≥3

表 3-17 覆膜砂的酌烧减量

代号	酌烧减量质量分数 (%)
20	≤2.0
25	≤2.5
30	≤3.0
35	≤3.5
40	≤4.0
45	≤4.5

二、热芯盒法树脂砂

热芯盒法制芯是用液态热固性树脂粘结剂和催化剂与原砂配制成芯砂，射入加热到一定温度的芯盒内，使靠近芯盒表面的芯砂受热，

其粘结剂在很短时间内即缩聚而硬化，而只要砂芯表层有数毫米结成硬壳即可从芯盒中取出。中心部分的砂芯利用余热和硬化反应放出的热量自行硬化。

1. 热芯盒法用原材料

(1) 树脂粘结剂 这类树脂大多由脲醛、酚醛、呋喃（糠醇）树脂为基础改性而成的不同性能的树脂。按照各种基本类型，树脂用不同方法，不同比例改性而得到的各种新树脂种类较多，性能亦各有千秋，各种商品化的热芯盒树脂亦琳琅满目。现对常用的二种树脂作简要介绍：

1) 脲醛呋喃树脂 由于它的分子中含有羟甲基、活性氢原子，以及呋喃环上的不饱和双键等活性基团，因此通过加热和在某些酸性催化剂作用下，分子间可进一步发生失水缩聚和双键间聚合等交联反应，由相对分子质量不很高的粘稠液体变成相对分子质量巨大的体型结构而迅速硬化。此种树脂综合性能好、价格便宜、易于控制，其中的氮含量变动较大，以适应不同条件的铸件生产。传统的呋喃Ⅰ型就属于这种树脂。

2) 酚醛呋喃树脂 这种缩聚树脂由于酚基中还存在未反应的部分，因而在乌洛托品的亚甲基作用下进一步迅速缩合，变成不溶、不熔的体型树脂，我国的呋喃Ⅱ型热芯盒树脂就属于这类树脂中的一个品种。这种树脂，增加糠醇的含量，可提高砂芯强度，减少脆性，改善硬透性，此种树脂含氮较少，主要用于制造铸钢、球墨铸铁等铸件生产。

(2) 硅烷增强剂 树脂砂芯的破坏，主要由于混合断裂和附着断裂引起的，即由树脂膜与砂粒界面间的附着力所决定。一般情况下，树脂膜与砂粒界面的附着力小于树脂本身内部的内聚力。为了增强砂芯的强度，必须设法增加树脂膜和砂粒界面间的粘结力。

硅烷也称“偶联剂”。它具有改善硅砂和树脂膜界面间粘结力的性能，它是一些具有双重化学性质的化合物。一部分分子能与 SiO_2 表面结合，一部分分子能与树脂共聚，因而能把性质上相差很远的两种材料“偶联”起来，从而提高了树脂砂的强度。

必须指出，不同的硅烷具有不同的适用范围。如适用脲醛呋喃树

脂的某一型号硅烷，不一定适合于酚醛树脂，反之亦然。

(3) 催化剂 采用潜伏催化剂。在常温下呈中性弱酸性，加入树脂砂中一般不与树脂起反应或只发生轻度反应，保持树脂砂有合适的可使用时间，而受热达到一定温度时放出强酸，促使树脂迅速硬化。目前，国内对中氮和高氮脲醛呋喃树脂，常采用氯化铵和尿素的水溶液作催化剂。具体配比（质量比）为氯化铵：尿素：水 = 1:3:3。加入量为树脂量质量分数的 20% ~ 25%。而对酚醛呋喃树脂或酚醛树脂则用乌洛托品作催化剂。

2. 热芯盒法树脂砂的性能

(1) 湿强度和流动性 一般要求树脂砂的湿压强度为 2 ~ 4kPa。这样的湿态树脂砂具有一定的流动性，流动性控制在 3 ~ 5g（侧孔法）之间；使其在射芯机所推荐的空气压力范围内射芯，满足生产需要。热芯盒的湿强度与粘度有关，树脂粘度越大湿强度越高，而流动性与以下因素有关：树脂加入量及催化剂酸性增加，气温或砂温升高，混砂时间增加及原砂的粒形系数增加都使流动性变差。

(2) 保存期 树脂砂的保存期（可使用时间），取决于催化剂的种类、加入量以及砂温、气温和大气中的湿度。应根据实际情况调整催化剂的用量，以保证可使用时间，一般控制 4h 左右。

(3) 硬化速度 树脂砂的硬化速度直接影响到制芯生产，它主要取决于树脂的性质，催化剂的种类、加入量及芯盒温度等因素。但硬化温度不宜过高，以防烧焦砂芯。

(4) 脱芯强度和常温干强度 脱芯强度是指砂芯从芯盒顶出时的强度，它影响到生产率，砂芯质量和尺寸精度。常温干强度对砂芯质量，成本和铸件质量影响很大，影响强度的因素如下：

1) 原砂 当其它条件相同时，粒形圆整、表面光洁、含泥量及微粉含量低的原砂，其强度较粒形差，含泥量高的原砂强度高。

2) 硬化时间 硬化时间需适当，硬化时间过长过短都会降低常温强度。

3) 混砂质量 树脂、催化剂与原砂是否均匀。混砂时间长短对于砂芯强度都有一定影响，但混砂时间太长将会降低流动性。

4) 芯盒温度 芯盒温度越高，硬化加快，但温度过高，则砂芯

容易烧焦，表面酥脆，芯盒容易变形。当芯盒温度较低时，延长时间，确能得到较好的砂芯表面和较高的抗拉强度。

5) 射芯工艺 若射砂压力太低，芯盒排气不畅或射砂口选择不当，均导致砂芯紧实度差、砂芯表面呈海绵状、强度较低且铸件容易生产粘砂缺陷。

6) 抗吸湿性 影响型芯抗吸湿性的因素是树脂本身的性质和砂芯本身的紧实度，如果采用水溶性树脂则吸湿性大。砂芯孔隙大、吸湿性大，强度明显降低。

(5) 发气性 热芯盒树脂砂的发气量较大，发气速度较快。因此，砂芯需加强排气，随着树脂量的增加，发气量也增加。

(6) 退让性和溃散性 能满足一般铸铁的要求，但对薄壁复杂铸件，尚需进一步改善。

3. 热芯盒树脂砂的配方见表 3-18。

表 3-18 热芯盒树脂砂配方及性能

序号	配比 (质量比)					成分(占树脂的质量百分比)					性能		
	新砂		树脂			硅烷	催化剂 (水溶液)				抗弯(拉)强度/MPa	起芯	常温
	产地及品名	粒度/号	呋喃 I 型	F701 型	糠醇 CCR 158 型		氯化铵	苯磺酸水溶液	三氯化铁	CCR 1580			
1	大林水洗砂	50/100	2				20				2~2.5	5~6	
2	大林水洗砂	50/100	2.5				20				3~3.5	6~7	
3	都昌水洗砂	50/100		3		0.2		15			0.2~0.3	1.8~2.0	
4	内蒙水洗砂	50/100	2		1.5				10				
5	内蒙水洗砂	50/100			2.3~2.5					20		1.8~2.0	

三、自硬法树脂砂

自硬法树脂砂是指原砂或再生砂以有关合成树脂作粘结剂，在相应的催化剂作用下，于常温时在芯盒或砂箱内自行硬化成型的一种树脂砂。就目前情况，自硬法树脂砂可分为三种，即酸自硬树脂砂、尿

烷自硬树脂砂、酚醛—酯自硬树脂砂。现将目前国内常用的酸自硬呋喃树脂砂和酚醛尿烷树脂砂作简单介绍：

1. 酸自硬呋喃树脂砂 以呋喃树脂系作粘结剂，用酸作催化剂在常温下自行硬化的工艺。由于这种砂的硬化易于控制，对多种硬化剂的适应性都好，是铸造行业最先采用的，迄今为止仍是用量最大的树脂砂。

(1) 原材料

1) 树脂 即以糠醇为基的树脂类，常用的有脲醛—糠醇树脂，酚醛—糠醇树脂和酚尿醛树脂。一般用的酸自硬呋喃树脂，其糠醇含量（质量分数）大于50%，糠醇含量越高树脂的高温强度也越高，树脂中含氮量也越低。其技术指标详见 XQ/ZXS—9—86《铸造用呋喃树脂》的规定，用新砂时其加入量一般是新砂质量的1%~2%。而用再生砂时只需0.6%~0.8%。

2) 催化剂 酸自硬树脂用催化剂不像热芯盒那样采用潜伏催化剂，而是采用活性催化剂，其本身就是强酸或中强酸，与树脂接触后便可激发和加速树脂的缩聚反应，一般常用的是芳基磺酸如对甲苯磺酸、苯磺酸、二甲苯磺酸等，其加入量一般为树脂质量的25%~50%。

3) 增强剂（偶联剂） 如同热芯盒法一样，在自硬砂呋喃树脂砂中加入少量硅烷作偶联剂，可以明显地提高树脂砂的强度和热稳定性，而且可改善吸湿性。

(2) 硬化过程和影响因素

1) 可使用时间 混砂时树脂与催化剂一接触，就开始硬化反应。如不立即使用，停留一段时间后制成试样或砂型，则硬化强度将随树脂砂的停留时间延长而降低，甚至干散而不能使用，可使用时间没有统一的规定，只要能满足生产要求即可。

2) 起模时间 自硬砂型（芯）达到起模而不致损坏的时间称为起模时间，它与起模强度有关。起模强度一般视砂型（芯）的大小、高度和复杂程度而定，一般要求抗拉强度在0.5~0.35MPa之间即可。

3) 可使用时间和起模时间的比值 该比值可以衡量自硬砂的使

用性能，一般而言，比值越大，自硬砂性能越好（希望接近1），也就是说可使用时间长，起模时间短，自硬砂的使用性能就好。

影响可使用时间和起模时间的因素较多，主要有树脂和催化剂种类加入量，砂温、环境温度和湿度、自硬砂中的水分等。其中环境温度及催化剂加入量影响最大。催化剂酸度高，加入量增加，温度高则可使用时间缩短、起模时间加快，但却使强度降低。

(3) 自硬砂性能

1) 强度 自硬砂的强度主要取决于树脂的加入量，原砂粒度分布及粒形粒貌，以及催化剂的加入量，如同热壳法树脂砂及热芯盒树脂砂一样，自硬砂对原砂的要求是比较高的，其原因也一样，这里就不多赘述了。树脂加入量及催化剂加入量只要能满足现场需要，还是少加为好。

2) 发气量、发气速度、灼烧减量 自硬砂的发气量、灼烧减量随树脂加入量的增加而提高，两者存在一定的相关系数。因此，只要能满足现场生产要求，树脂加入量越少越好。自硬砂的发气速度较快，因此需要加强型芯或铸型的排气。

(4) 自硬砂的配比和用途 见表 3-19。

表 3-19 酸—自硬呋喃树脂砂配比及用途

序号	配比 (质量比)			用途
	原 砂	树 脂	催化剂 (占树脂量)	
1	都昌砂 100	F705-1 1.6~1.5	BSA \geq 15	铸铁砂芯
2	宜兴砂 100 湖州砂 100	F700 1.6~2.0	PTSA $>$ 15	铸钢砂芯
3	再生砂 90, 新砂 10	0.8~1.3	磷酸或 PTSA30~50	铸铁砂芯
4	回用砂 100	0.8~1.2	$>$ 15	一般砂芯
5	大林砂 100	1.5~2.0	15~20	一般砂型、芯

2. 酚醛尿烷树脂砂 酚醛脲烷树脂砂工艺于是 1970 年开始用于铸造，由美国 Ashland 公司开发，亦称 PEPSET 法。其粘结剂由三部分组成，即组分 I—苯基醚酚醛树脂，组分 II—聚异氰酸酯，组分 III—胺催化剂、三种成分均为液体。组分 I 和组分 II 之比（质量比）

常用 50:50 或为了减少含氮量而采用 60:40。这两种成分的总加入量为砂质量的 1.5%~2.0% (视原砂情况而定)。催化剂用于调整树脂砂的硬化速度,通常加入量为 I 组分质量的 1%~5%。

在使用时,先把 I 组分的酚醛树脂与催化剂混合,使催化剂均匀地分散在树脂中,混砂时把含有催化剂的酚醛树脂和聚异氰酸酯依次加到砂中,或者采用“二砂三混”即先分别将组分 I 和组分 II 分别加入砂中混匀,填砂前再分别将混好的含有组分 I 和组分 II 的砂按比例合在一起混匀后使用。

这种砂的特点是,不像酸自硬呋喃砂,在混砂时就开始缓慢的硬化反应。其在可使用时间内不发生可觉察的树脂粘度变化,因此流动性较好。一旦反应开始,砂硬化很快,可使用时间与起模时间之比可达到 0.8 左右。

四、吹气硬化法树脂砂

吹气硬化工艺,是在热芯盒制芯的基础上,为了克服其需要加热,必需使用金属芯盒的缺点而发展起来的新型制芯工艺。其特点是无需加热,硬化速度快,适应性强等优点。吹气硬化法根据所用粘结剂和所吹气体不同,有胺法、SO₂ 法及低毒、无毒气体促硬法等,现将应用最广的三乙胺法简介如下:

三乙胺法系美国 Ashland 油脂化学公司研制而成。国外常称 ISO-CURE 法,粘结剂由两种液体成分组成:(1)特制酚醛树脂(组分 I);(2)聚异氰酸酯(组分 II)。在催化剂三乙胺或二甲基乙胺等叔胺的催化作用下生成尿烷而固化,从而使砂粒粘结在一起形成一定的强度。

1. 原材料

(1) 粘结剂 由组分 I 和组分 II 组成。

(2) 催化剂 常用三乙胺及二甲基乙胺,在常温下都是液体。需加热使之气化,然后再将其与载体气体混和作为硬化气,导入芯盒。

(3) 载体 与气化后的胺气混和后导入芯盒,载体气体可以是干燥的空气、CO₂ 和 N₂ 气,目前应用较多的是 N₂ 气。

(4) 原砂 三乙胺法对硅砂、锆砂或石灰石砂均适应。但必须注意原砂的化学成分、含水量、砂温和微粉含量。砂中碱性杂质高,会

缩短芯砂可使用时间；水分含量高则会降低砂芯强度和缩短可使用时间，原砂最高水的质量分数为0.2%。理想的原砂温度为21~27℃。

2. 工艺 填砂后向芯盒内吹入催化剂，砂芯便能在数秒至数十秒内硬化，达到起模搬运的强度，甚至可用于浇注。

(1) 配比（质量比） 粘结剂组分Ⅰ：组分Ⅱ = (40~60)：(60~40)，常用推荐50：50。两种组分的总加入量为原砂质量的0.8%~2.0%，通常推荐使用1.8%。

(2) 填砂 通常使用射砂法，推荐射砂压力为0.24~0.28MPa

(3) 吹气固化 实际生产中三乙胺以气体质量的2%与气体混合。用0.2MPa的压力吹入芯盒，三乙胺用量是通常硬化每公斤砂约需0.7~1.2g。

(4) 固化速度 实际生产中吹气硬化时间应根据砂芯尺寸、大小、几何形状而定，一般硬化速度为1.4~3.2kg/s

3. 优缺点 其主要优点是：生产效率高、节能、铸件表面光滑、溃散性好。缺点是：铸件容易产生飞翅缺陷，树脂价格较高，易燃，有毒等。尽管如此，三乙胺法仍是目前应用比较广泛的冷芯盒法。

第五节 水玻璃砂

水玻璃砂具有如下优点：①硬化快、不需进炉烘干、缩短生产周期、减少工序、节约燃料、提高劳动生产率。②硬化强度高、可省去芯骨、简化操作工序。③所得型芯尺寸精确。④便于组织机械化、自动化生产。⑤水玻璃价格便宜、制造简便、来源广泛。⑥不污染环境。

水玻璃砂缺点：①溃散性差，落砂困难。②旧砂回用及再生困难。③吸湿性较大，水玻璃砂对环境相对湿度非常敏感，制造的型或芯容易吸湿而导致强度下降。

到目前为止，水玻璃砂的推广使用，还远未达到应有的程度，而水玻璃砂的“溃散和回用问题”已成为国内外的研究“热点”，有人预言在若干年内，水玻璃砂的比粘结强度、溃散性和旧砂回用等可达到或接近树脂砂的水平。

一、水玻璃

水玻璃有钠水玻璃、钾水玻璃、锂水玻璃等。铸造上用作粘结剂的主要是钠水玻璃的水溶液。

(1) 水玻璃的模数 水玻璃的主要参数是模数和密度。

水玻璃中的 SiO_2 和 Na_2O 的物质的量之比称为水玻璃的模数，用 M 表示

$$M = \frac{n(\text{SiO}_2)}{w(\text{Na}_2\text{O})} = \frac{n(\text{SiO}_2)}{w(\text{Na}_2\text{O})} \times 1.033$$

式中 $n(\text{SiO}_2)$ 、 $n(\text{Na}_2\text{O})$ —— SiO_2 和 Na_2O 的物质的量 (mol)；
 $w(\text{SiO}_2)$ 、 $w(\text{Na}_2\text{O})$ —— SiO_2 和 Na_2O 的质量分数 (%)。

必须指出：模数大小仅表示水玻璃中 Na_2O 和 SiO_2 的相对含量，而浓度能反映水玻璃中硅酸钠的绝对含量。

(2) 浓度和密度 水玻璃的浓度是指它的水溶液中有多少 $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$ ，一般用密度来表示，生产中常用波美密度计测出溶液的波美度 ($^{\circ}\text{Be}$)，换算成密度 (ρ)，通常波美度计上同时标有两种刻度，可以直接读出密度值。也可以用下列公式换算：

$$\rho = \frac{144.3}{114.3 + ^{\circ}\text{Be}}$$

(3) 水玻璃模数和密度的选用 目前大多采用模数 $M = 2.1 \sim 2.6$ 、 $\rho = 1.44 \sim 1.50\text{g/cm}^3$ 的水玻璃，夏季为延长可使用时间用 $M = 2.2 \sim 2.5$ ；冬季为缩短硬化时间用 $M = 2.6 \sim 2.9$ 的水玻璃，生产周期短的中小型芯，可用 $M = 2.6 \sim 2.9$ ， $\rho = 1.44 \sim 1.508\text{g/cm}^3$ 的水玻璃。

(4) 水玻璃的规格及技术要求 铸造用水玻璃的规格及技术条件应符合 ZBJ31003—1988《铸造用水玻璃》的规定，见表 3-20。

(5) 水玻璃模数的调整 如果购得水玻璃不符合生产要求，生产中可进行调整。在水玻璃中加入氢氧化钠 (NaOH)，中和水玻璃中的部分游离的 SiO_2 ，降低模数。在水玻璃中加入氯化铵 (NH_4Cl)、盐酸 (HCl) 等使之与水玻璃中的 Na_2O 作用，以减少与 SiO_2 结合的 Na_2O ，来提高模数。

二、水玻璃砂的硬化原理及方法

1. 水玻璃的硬化原理 在一定条件下逐渐变硬的过程称为水玻

璃砂的硬化，在铸造生产中主要有化学硬化和物理硬化二种途径。

表 3-20 铸造用水玻璃技术要求

项目	牌号及指标	
	Zs-2-90	Zs-2.50
密度 / (g/cm ³)	1.4~1.5	1.50~1.56
w (SiO ₂) (%) ≥	25.70	29.20
w (Na ₂ O) (%) ≥	10.20	12.80
模数 M	2.51~2.90	2.20~2.50
w (Fe) (%) ≤	0.04	0.05
w (水不溶物) (%) ≤	0.60	0.80

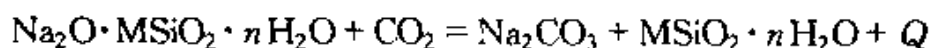
(1) 化学硬化 加入液体、固体或气体硬化剂，与水玻璃起化学反应，生成具有粘结剂性能的硅酸凝胶的硬化方法。

(2) 物理硬化 物理硬化是一种单纯的脱水硬化过程，在加热时，水玻璃随着水分降低的同时，硅酸浓度不断增加，硅酸分子间发生脱水聚合，形成多分子的硅酸胶粒。硅酸胶粒又聚合成网状立体结构的胶凝体，将砂粒粘结在一起，使型砂具有较高的强度。

2. 水玻璃砂的硬化方法

(1) CO₂ 硬化法 在各种水玻璃硬化中，CO₂ 气体应用最广泛，这是由于 CO₂ 硬化水玻璃具有操作简单硬化迅速，生产周期短，对环境无污染，生产成本低等优点。

1) CO₂ 硬化机理 CO₂ 气体吹入砂型或砂芯后，气体与水玻璃发生下列反应，生成硅酸溶胶：



同时 CO₂ 气体本身亦是干燥剂（露点 -30℃），吹 CO₂ 有脱水、硬化作用。

① 化学反应 CO₂ 气体吹入水玻璃薄膜与硅酸钠反应生成硅酸凝胶。

② 物理反应 水玻璃薄膜中的水分子蒸发，生成玻璃状薄膜。

因此，型砂中实际进行的硬化反应是两个反应的综合平衡结果。

2) CO₂ 硬化工艺

①吹气方法 有扎气孔吹气法、盖罩法和插管吹气法。

②吹气压力 吹气压力越大，硬化反应越快，硬化深度越大，生产中常取 CO_2 压力为 $0.15\sim 0.3\text{MPa}$ ，其硬化深度可达 $20\sim 30\text{mm}$ 以上。

③吹气流量和时间控制 CO_2 的流量和时间实际上是控制 CO_2 的使用量，现有些工厂已开始用控制流量的方法来控制硬化过程。理论吹 CO_2 量为水玻璃质量的 $1/9$ 。但实际使用量则为 $1/2$ 。吹气时间应该根据吹气方法、型（芯）大小，具体确定，参见表 3-21。

表 3-21 吹气流量和时间

砂型（芯）类别	吹 CO_2 时间/min（压力 $0.15\sim 0.2\text{MPa}$ ）
小芯；小型	0.5
中芯； $<0.5\text{mm}^2$ 砂型	1.2~2
大芯；大型 0.5mm^2	3
0.75mm^2	3.5
1.0mm^2	4.5
1.5mm^2	6

(2) 物理硬化方法

1) 加热硬化 加热硬化是脱水硬化过程，其优点是所得砂型和砂芯的强度高、水分少、不容易使铸件产生气孔、砂眼等缺；缺点是需要加热设备，硬化时间比吹 CO_2 的时间长。

一般加热硬化设备多采用烘窑或移动式烘炉。加热温度为 $200\sim 250^\circ\text{C}$ ，烘干时间为 $40\sim 150\text{min}$ 。

近年来，还将水玻璃砂用于热芯盒、壳芯、温盒进行了尝试，相信在不远的将来，该工艺会得到长足的发展。

2) 自然干燥硬化和联合硬化 水玻璃砂在空气中停放，也可获得一定的强度，由于硬化时间长，硬化层较浅，实际生产中很少应用，而是采用 CO_2 硬化和加热联合应用，或用抽真空吹 CO_2 联合应用。

3) 微波加热硬化 微波加热具有速度快、易于操作、水分去除充分、加热均匀等特点，是一种很有前途的工艺。

三、水玻璃砂的性能

1. 强度和透气性

(1) 强度 水玻璃的湿压强度较低，一般在 10kPa 以下。湿压强度随水玻璃粘度增加而增加。通常采用加入粘土等附加物来提高湿强度，而硬化强度（干强度）则主要取决于：

1) 水玻璃模数 水玻璃模数越高，硬化前的湿强度高，而充分硬化后的强度则低。

2) 水玻璃浓度 水玻璃浓度大，表明其硅酸钠固体多，因而硬化后的强度高。

3) 水玻璃加入量 水玻璃含量越高，硬化强度越高。且还会造成清砂困难，因此水玻璃加入量不宜太高。

4) NaOH 加入量 加入 NaOH 后相当于降低了水玻璃模数。因此，可提高水玻璃砂干强度。

5) 粘土含量 水玻璃砂中加入粘土的目的主要是提高湿强度，但却会使干强度降低，并影响高温退让性。因此应少加或不加粘土。若用硬化后起模操作，一般不加粘土。

6) 水分 水玻璃砂应有适当的含水量，水分过低水玻璃不能充分水解，因而强度较低；但水分过高，硬化后残留水分较高，硬化强度也不高。

(2) 透气性 在采用同样原砂时，水玻璃砂的透气性比普通粘土砂高，其透气性随着水玻璃及附加物的增加而降低。

2. 工艺性能

(1) 保存性 水玻璃砂的保存性较差，混好的砂放置不久，砂表面即硬化失效。故混砂与制芯，造型应很好的配合，做到及时供砂。

(2) 不粘模性 水玻璃砂容易粘模，水分越多越易粘模。因此，木模芯盒尽量光滑，并涂以快干漆或喷洒分型剂。

(3) 流动性 水玻璃砂的流动性与所用水玻璃的粘度和附加物加入量有关，加入柴油也有助于提高流动性。

3. 高温性能

(1) 热强度与退让性 加热开始阶段随温度升高而热强度增加，达到一定温度（350℃）后热强度出现峰值，随后随温度继续升高而

热强度下降。在多数温度情况下，水玻璃砂的热强度较低，因而具有较好的退让性，很少阻碍铸件的收缩。

(2) 发气性 水玻璃砂的发气性主要取决于其残留水分，残留水分越少，发气量越少。

四、水玻璃砂的配制

1. 水玻璃砂配比 常用水玻璃砂的配比（质量比）为：硅砂 100、水玻璃 5~9，膨润土 2~3、柴油 0.5~1.0。表 3-22 列出一些水玻璃砂的配方实例可供参考。

表 3-22 水玻璃砂的配方

合金	编号	配比（质量比）						性能			用途		
		原砂		水玻璃	NaOH 溶液	膨润土	糊精	水分	湿透性	湿压强度 /MPa		干拉强度 /MPa	
		品名	粒度/号										加入量
铸 钢	1	硅砂	40/70	100	5~6			3~3.5	>200		1.05	砂芯	
	2	硅砂	40/70	100	8~9		3.5~4	4.5~5.5	>150	0.021~0.028	1.05	外型	
	3	硅砂	40/70 50/100	50 50	7.5	0.5~1		柴油 0.5	4~4.5	>200	0.028~0.03	≥1.2	中小铸钢
	4	硅砂	50/100	100	6.5~7		1~1.5		4.4~4.5	280~300	0.017~0.023	≥1.2	外型
	5	硅砂	50/100	100	7.5				4.5~5	>200	0.02~0.028	≥1.2	外型及砂烘干
铸 铁	6	江西	50/100	100	6~7		1~1.2	3.8~4.6	>140	0.013~0.016		机体件	
	7	江西	40/70	100	6~7			4~5	200~250		1.0~1.6	工具、工装外型	
	8	硅砂	40/70	100	7~9		1.0~1.5	3.5~4.5	200~250		1.0~1.6	中小复杂芯	

2. 加料顺序及混制时间 先加干料，混匀后再加湿料混碾，一

一般为：砂 + 粘土等粉状物 $\xrightarrow{\text{干混 } 2 \sim 3\text{min}}$ + 水玻璃 + 水等液体材料湿混 $\xrightarrow{2 \sim 3\text{min}}$ 出砂。

第六节 涂 料

用涂料来涂敷铸型（或砂芯）表面，是提高铸件表面质量的重要手段。浇注时涂料层居于金属液与铸型之间，可以控制或改善金属液与砂型（芯）界面间的接触状态和高温下的反应，防止多种缺陷的产生，显著地改善了铸件的表面质量。涂料的重要作用概括如下：

1. 提高表面质量 涂料可防止机械粘砂、提高铸件尺寸精度、获得理想的表面粗糙度。在涂层良好的情况下，铸件表面粗糙度一般可由未使用涂料时的 $R_a = 25 \sim 50 \mu\text{m}$ 下降到 $R_a = 3.2 \sim 6.3 \mu\text{m}$ 。

2. 防止化学粘砂 当金属液浇注温度较高，铸件较厚较大时，若想使金属液与砂型（芯）不发生化学反应，可利用优良涂料的良好高温化学稳定性及其中的附加物，而不产生粘砂层，使铸件得到光洁的表面。

3. 加固砂型（芯） 防止铸型（芯）表面冲蚀。在铸型（芯）表面强度不够高的情况下，若在其表面使用涂料，可起到良好的加固作用。

4. 其它作用 根据不同的需要，可配制不同的涂料。在浇注时，利用涂料中的某些元素，可使铸件表面合金化，用以提高铸件的某些性能（如耐磨性、表面硬度）。还可以防止铸件厚大部位产生缩松缺陷等。

一、涂料的性能

1. 涂料的理化性能

(1) 密度 涂料的密度是指单位体积的质量。对于同一种涂料，因加水量不同，涂料稀稠程度不同，密度也不同，所以工厂常用密度来衡量涂料的粘稠程度。

(2) 悬浮性 涂料搅拌后放置一段时间，往往会出现分层和粉料沉淀现象。涂料的悬浮性太差会给涂敷工作带来困难，并会影响涂层质量。悬浮性的测定，多用常规的带磨口的具塞量筒沉淀法；水基涂

料的沉降时间按 24h 计，醇基涂料的沉降时间按 8h 计。

(3) 粘度 在外力作用下，涂料本身阻止内部分子间相对运动的特性称为“粘度”。粘度高，涂料流动性差，涂刷费力，涂层难以均匀平整，浸涂涂层过厚，容易形成局部堆积，涂料渗入砂基体的深度不够。反之，若涂料粘度过低，则悬浮性差，渗透性强，涂层过薄。工厂常用粘度杯法来测定涂料的粘度。

2. 涂料的工艺性能

(1) 浸润性与渗入性 为了使涂料与砂型（芯）基体牢固结合，需要涂料向基体渗入一定的深度。即涂料需要一定的渗入性。影响涂料渗入性的因素较多，其中最重要的是涂料与砂型（芯）是否浸润。若涂料与砂型（芯）互不浸润，则无论其它条件如何，涂料的渗入性都极差，甚至根本涂不上。因此，涂料需要与所涂挂的砂型（芯）互相浸润。为了提高涂料的浸润性和渗入性，往往需要在涂料中加入适量的表面活性剂。

(2) 涂刷性和流平性 涂刷性是指用毛刷饱蘸涂料刷砂型（芯）时手感滑爽而不干涩，刷过的涂层较长距离而保持不开裂分岔的性能。流平性是指用毛刷刷涂过的涂层上的刷痕能在短时间内自行消除的性能。

3. 涂料的工作性能

(1) 涂层的强度 有涂料的砂型（芯）在搬运、下芯、合型等过程中要经受摩擦和碰撞，在浇注过程中要承受高温金属液的冲刷，因此要求涂料层有良好的强度和附着力。

(2) 抗激热开裂性 涂层不仅在风干、烘干过程中不应产生收缩开裂，更为重要的是在受到金属液的激热作用下也不应开裂。

(3) 防粘砂性能 涂料最主要的作用是防铸件产生粘砂缺陷，因此涂料的防粘砂性能应该满足铸件生产的要求。

二、涂料的基本组成

铸造涂料一般由 5 种基本组分组成：耐火骨料、载体材料、悬浮剂、粘结剂及各种辅料。

1. 耐火骨料 耐火骨料是涂料的最重要成分，其作用在于填充型（芯）表面的孔隙和凹坑，隔开型（芯）与金属液，改进金属液与

型（芯）的界面作用，从而防止铸件产生粘砂。对于铸造涂料的骨料要求主要是：

（1）耐火度 具有高的耐火度和烧结温度，良好的化学稳定性，在浇注温度下不发生化学反应。

（2）粒度尺寸及分布 一般而言，骨料越细，则涂料悬浮稳定性越好，涂料层的烧结性能也越好，容易得到光滑、细腻、渗透性强的涂料。但骨料越细，则需粘结剂越多，涂料也易开裂。因此希望骨料颗粒排列致密，细颗粒镶嵌于粗颗粒之间，即要求颗粒粗细级配宽分布耐火骨料，一般推荐使用 200 号、270 号、320 号三种配合使用为好。

（3）常用铸造涂料的骨料有以下几种：

- 1) 氧化物 刚玉粉、硅砂粉、煅烧氧化镁。
- 2) 硅铝酸盐 锆英石粉、锆钒土粉、橄榄石粉、滑石粉等。
- 3) 铬铁粉 铬铁矿、镁铬铁矿等。
- 4) 碳质材料 石墨粉、碳粉等。

2. 载体材料 载体的作用在于使耐火骨料充分分散于其中形成涂敷的悬浮液体。载体的材料的选用主要取决于粘结剂的种类、生产条件、功能和价格。根据所用载体的不同，通常涂料分为水基及醇基二种。

3. 悬浮剂 悬浮剂的作用是稠化载体液，促使涂料中耐火骨料在载体中保持均匀悬浮，长时间不分层、不沉淀，并能有效地防止载体脱离骨料而单独渗入基体，促使骨料一起渗入基体。适用作涂料的悬浮剂按载体不同大致分为二类：水基涂料用悬浮剂和醇基涂料用悬浮剂。

（1）水基涂料用悬浮剂 膨润土、羧甲基纤维素钠（CMC）、海藻酸钠、聚乙烯醇（PVA）、聚醋酸乙烯。

（2）醇基涂料的悬浮剂 有机膨润土、锂膨润土、聚乙烯缩丁醛（PVB）。

4. 粘结剂 涂料中粘结剂的作用是使涂料中的骨料相互粘结并牢固地附着于型（芯）表面，即形成涂料的强度。粘结剂的种类繁多，常用的有如下几类：

(1) 合成高分子化合物 各类合成树脂如环氧树脂、丙烯酸树脂及传统的尿醛树脂、呋喃树脂等。

(2) 高分子乳液 醋酸乙烯及其共聚物，聚氨脂乳液，聚氯乙烯乳制品液等。

(3) 硅化合物 水玻璃，水解硅酸乙酯、硅溶胶、各种硅酸盐、铝酸盐、硼酸盐、磷酸盐等。

(4) 耐火粘土、膨润土等。

(5) 其它材料 天然树脂、干性油、沥青、淀粉类、糖浆等。

5. 添加剂 各种添加剂对涂料的工艺性能和工作性能起着重要作用。按其作用大致分类如下：

(1) 润湿剂 用于提高涂料对型（芯）的浸润能力。加入适量的表面活性剂，可明显改善涂料对于型（芯）润湿情况。

(2) 防渗剂 醇基料与水基涂料相反，它表现于载体渗入过深的问题，通常的办法，加入增稠效果较好的粘结剂来防止或延缓载体的渗入。

(3) 消泡剂 为消除涂料在配制或搅拌过程中产生的大量气泡，可加微量消泡剂。

(4) 防腐剂 防止涂料中有机物发酵引起的腐败变质，应在涂料中加防腐剂。

三、涂料的涂敷方法

涂料的涂敷方法主要有刷、浸、喷、浇（流）四种方法。分别简述如下：

(1) 刷涂法 是最简单、最灵活、最常用的涂敷方法。适用于单件或小批量生产。在施加剪切外力作用下，涂料粘度会变稀，在砂型（芯）上留下一层光滑而均匀的涂料层。

(2) 浸涂法 是将砂芯全部或局部浸湿在涂料里，使其粘附一层涂料。这是一种高效的涂敷方法，适用于大批量铸造生产。

(3) 喷涂法 可分为二种：有气喷涂和无气喷涂两种。是一种高效喷涂方法，适用于外形较简单的砂型（芯）。

1) 有气喷涂 是利用压缩空气及喷枪使涂料雾化的涂敷方法。

2) 无气喷涂 是将涂料置于压力容器中，用压缩空气将其加压

涂料通过喷嘴喷出。因为没有气体，消除了涂料雾，容易形成涂层厚度，有利凹坑的涂敷。

(4) 喷浇法亦称溢流涂挂法 采用一个泵输送系统和专门设计的喷嘴，涂料通过该喷嘴，喷浇至型（芯）表面，迅速聚积成涂层，多余的涂料回流到涂料槽中。此法节省涂料，易实现机械化、自动化。但凹坑处不易涂上涂料，局部又易堆积过厚。

四、涂料的分类及应用

1. 涂料的分类 根据 ZBJ31008《砂型铸造用涂料》按耐火骨料不同将涂料分为 9 类，见表 3-23。根据载体材料不同分为水基涂料（用代号 S 表示），有机溶剂类涂料（用代号 Y 表示）。

表 3-23 按耐火骨料分类

代号	SM	H	JS	GL	Z	GY	M	MG	Q
耐火粉料	石墨粉	滑石粉	精制硅石粉	高铝矾土粉	棕刚玉粉	锆英粉	镁砂粉	镁橄榄石粉	其它

2. 涂料应用 目前涂料已进入商品化研究和生产阶段，各铸造厂自行研制和生产日趋减少，且国外诸多著名涂料生产厂家也大举进入国内市场，因此给涂料的选用提供了更大的空间。然而各铸造厂必须依据自己的实际情况正确地选择和使用涂料。以获得更大的效益。

第四章 液态金属充型和浇注系统

培训要点：通过本章学习，了解液态金属充型能力和影响充型能力的主要因素，浇注系统的结构、组成及其作用，掌握铸铁件及非铁合金铸件浇注系统的一般计算方法。

第一节 液态金属充型

一、液态金属充型能力的基本概念

1. 液态金属充型能力 液态金属充满铸型型腔，获得形状完整、轮廓清晰的铸件的能力称为液态金属充填铸型能力，简称液态金属的充型能力。液态金属充填铸型一般是在纯液态下充满型腔的，也有边充型边结晶的情况，在充型过程中形成晶粒堵塞充型通道时流动则停止，如果停止流动出现在型腔被充满之前，则造成铸件“浇不到”。

实践证明，同一种金属用不同的铸造方法所能铸造的铸件最小壁厚不同。同样的铸造方法，由于金属不同，能得到的最小壁厚也不同，如表4-1所示。

表4-1 不同金属和不同铸造方法铸造的铸件最小壁厚（单位：mm）

铸造方法 金属种类	砂型	金属型	熔模	壳型	压铸
灰铸铁	3	>4	0.4~0.8	0.8~1.5	—
铸钢	4	8~10	0.5~1	2.5	—
铝合金	3	3~4	—	—	0.6~0.8

所以，液态金属的充型能力首先取决于金属本身的流动能力，同时又受外界条件如铸型性质、浇注条件、铸件结构等因素的影响，是各种因素的综合反映。

2. 液态金属的流动性 液态金属本身的流动能力，称为“流动

性”。是金属的铸造性能之一，与金属的成分、杂质含量及其物理性质有关。

金属的流动性对于气体、杂质的排出以及补缩，防止裂纹有很大影响。流动性好的合金充型能力强，流动性差的合金充型能力也就较差。液态金属的流动性是用浇注流动性试样的方法来衡量的。由于影响液态金属充型能力的因素很多，很难对各种合金在不同铸造条件下的充型能力进行比较，所以常常采用在相同条件下所测得的合金流动性表示合金的充型能力。

流动性试样的类型很多，如螺旋形、球形、U形、真空试样等等。在生产和科学研究中应用最多的是螺旋形试样。

二、影响液态金属充型能力的因素

液态合金的充型过程是一个复杂的热交换和流体运动的过程。归纳起来，液态金属的充型能力受金属性质、铸型性质、浇注条件和铸件结构等四个方面的因素影响。

1. 金属性质方面 这类因素是内因，决定了金属本身的流动能力——流动性。从金属性质方面来看影响合金流动的因素有合金成分、结晶潜热、金属的比热容、密度和热导率、液态金属的粘度、表面张力及合金熔炼过程和其它影响因素。图4-1所示为Fe-C合金流动性和成分关系。

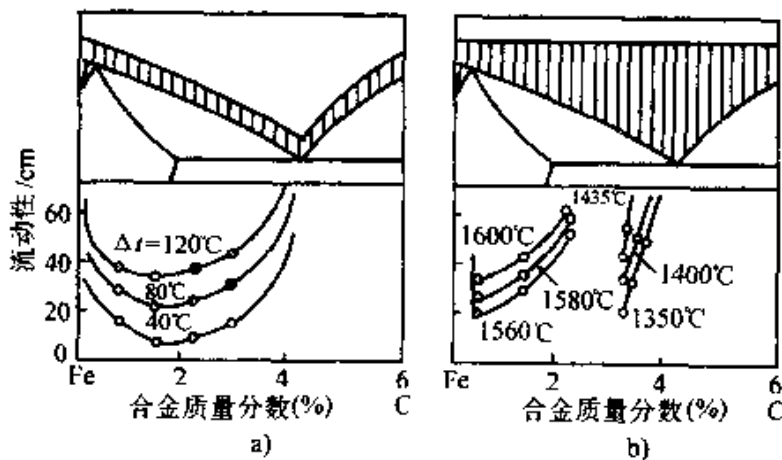


图4-1 Fe-C铁碳合金的流动性与状态图的关系
a) 相同过热温度的流动性 b) 相同浇注温度的流动性

铸铁的结晶温度范围一般都比铸钢宽，但铁液的流动性比钢液好。这是由于铸钢的熔点高，钢液的过热度一般比铸铁小，保持液态流动的时间短。另外由于钢液的温度高，在铸型中的散热速度快，很快就析出一定数量的枝晶，使钢液失去流动能力。高碳钢的结晶温度范围虽然比低碳钢宽，可是由于液相线温度低，容易过热，所以实际流动性并不比低碳钢差。

铸铁中的其它合金元素也影响铁液流动性。含磷量增加铁液的流动性增大。除艺术品铸件需要有很好的充型能力外，一般铸件通常不用增加含磷量的方法提高铁液的流动性。

铸铁中的硅的作用与碳相似，硅量增加，液相线下降。在同一过热温度下，铁液的流动性随硅量增加而提高。

锰本身对铁液的流动性没有影响，但是当含硫量高时，一方面产生较多的 MnS 杂质，增加铁液粘度，另一方面含硫量越高，越易生成氧化膜，致使铁液流动性降低。

Ni 和 Cu 降低铸铁液相线温度，稍许提高流动性。 Cr 提高液相线温度，使流动性下降。但是这些元素在一般含量（质量分数小于 1%）情况下，对流动性影响不明显。

在化学成分和浇注温度相同的情况下，稀土镁球墨铸铁的流动性比灰铸铁好。这是由于稀土镁有脱硫、去气和排除金属夹杂物，对铁液有净化作用。但原铁液经球化处理后，温度下降很多，如果含硫量较高，则流动性比普通铸铁差。

钢的所有合金元素中，铜最有利于提高其流动性。钢液中磷的质量分数超过 0.05% 时，其流动性提高，但铸件变脆。硫能形成难熔的 MnS 、 Al_2S_3 等夹杂物，使钢液流动性下降。铬的质量分数大于 1.5% 时，降低钢液的流动性。硅的质量分数小于 0.6% 时，提高硅量，钢液的流动性增加。锰的质量分数小于 2% 时，对钢液流动性影响不明显；锰的质量分数在 2% ~ 14% 之间时，增加锰量，流动性提高。

2. 铸型性质方面 铸型对金属液流动阻力、铸型与金属液热交换的强度对金属液的充型能力有重要影响。

(1) 铸型的蓄热系数 铸型的蓄热系数表示铸型从其中的金属吸

取并储存在本身中的热量的能力。蓄热系数愈大，铸型的激冷能力就愈强，金属液在铸型中保持液态的时间就愈短，充型能力下降。一般说来，砂型比金属型、干型比湿型、热型比冷型流动性要好，湿型的流动性比干型小 10%~20%。

(2) 铸型的温度 预热铸型能减小金属与铸型的温差，从而提高金属液的充型能力。如金属型在浇注前预热，熔模铸造浇注前型壳的高温熔烧等，都是为了提高液态合金的流动性。

3. 浇注条件方面

(1) 浇注温度 浇注温度对液态金属的充型能力有决定性的影响，浇注温度越高，充型能力越好。在一定温度范围内，充型能力随浇注温度的提高而直线上升，超过某界限后，由于吸气多、氧化严重，充型能力的提高幅度减小。

(2) 充型压头 液态金属在流动方向上所受的压头越大，充型能力越好。为此可以用提高直浇道高度，也可以用人工加压方法来提高充型压头。但是金属液的静压头过大或充型速度过快时，不仅要发生喷射和飞溅现象，使金属氧化和产生“铁豆”缺陷，而且型腔中气体来不及排出，反压力增加，造成“浇不足”或“冷隔”等缺陷。

(3) 浇注系统结构 浇注系统的结构越复杂，流动阻力越大，在静压头相同的情况下，充型能力越低。在设计浇注系统时，必须合理布置内浇道在铸件上位置，选择恰当的浇注系统结构和各组元（直浇道、横浇道和内浇道）的截面积，使金属液平稳地充满铸型。

4. 铸件结构方面

(1) 铸件结构影响充型能力，主要是铸件的大小、壁厚和复杂程度。除铸件尺寸大小外，较突出的是铸件折算厚度（或叫模数、当量厚度）的影响，铸件的折算厚度 M 为

$$M = \frac{V}{S} \quad (4-1)$$

式中 V ——铸件实际体积；

S ——铸件的全部表面积。

铸件的折算厚度 M 大，即铸件体积大，而铸件散热表面积小，这时合金冷却慢，金属液保持流动的时间长，充型能力强。反之 M

值越小，充型能力就越差。

铸件壁厚相同时，铸型中的垂直壁比水平壁更容易充满，因此对薄壁铸件应正确选择浇注位置。

(2) 铸件的复杂程度 铸件结构复杂，厚薄部分过渡面多，则型腔结构复杂，流动阻力大，铸型充填困难。

第二节 浇注系统的结构、组成及其作用

一、浇注系统及其组成

为填充型腔和冒口而开设于铸型中的一系列通道称为浇注系统。一般铸件的浇注系统由以下四部分（组元）组成：外浇道（浇口杯、浇口盆）、直浇道、横浇道、内浇道。其结构见图4-2。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。

2) 金属液在型腔中的流动应平稳、均匀。

3) 有利于铸件温度的合理分布。

4) 浇注系统应具有除渣功能。

5) 浇注系统应尽可能节省液态金属的消耗，便于造型和清理。

二、浇注系统各组元的作用及其结构

1. 外浇道 用浇口圈单独制成的浇口杯，放在合型后的铸型上，与直浇道的顶端对中相接。

(1) 外浇道的作用 承接浇包注入的液态金属并引入直浇道，增加静压头高度，提高金属液的充型能力，储存容纳部分金属液，防止液流飞溅，减缓液流的冲击，使熔渣上浮，避免熔渣、杂质和气体卷入型腔。

(2) 外浇道的种类及应用

1) 浇口杯 如图4-3所示。它形如漏斗，结构简单，可单独制

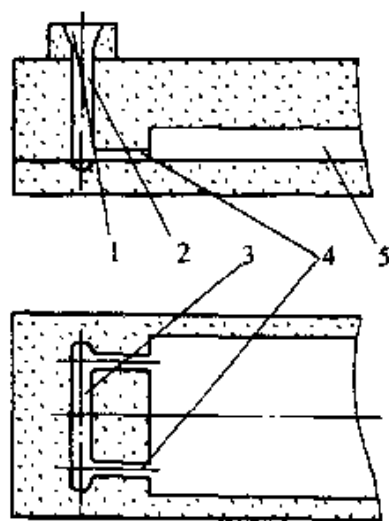


图4-2 浇注系统的基本部分
1—浇口杯 2—直浇道 3—横浇道
4—内浇道 5—铸件

作，也可在铸型直浇道顶部作出。浇注重要件时，宜采用带滤渣网的浇口杯，如图 4-4 所示。

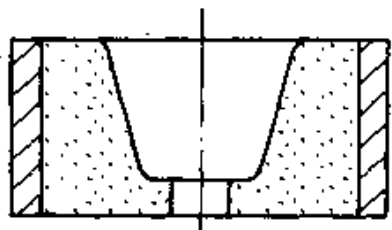


图 4-3 漏斗形浇口杯

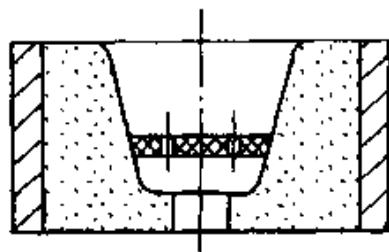


图 4-4 带滤渣网的浇口杯

2) 浇口盆 浇口盆是单独制成的承接金属液的容器。图 4-5 为普通式浇口盆，图 4-6 为闸门式浇口盆，图 4-7 为柱塞式浇口盆，图 4-8 为隔片式浇口盆。充满浇口盆的金属液可减缓液流冲击，消除水平涡流，熔渣杂质上浮，避免气体熔渣进入型腔。除普通式浇口盆外，后四种浇口盆都具有良好的挡渣作用。浇口盆容量如略大于浇注金属液的量，浇口盆还可起定量作用，如拔塞浇口盆对球墨铸铁件尤为适用。浇口盆容积大，消耗金属多，一般用于中、大型及重要铸件的浇注。

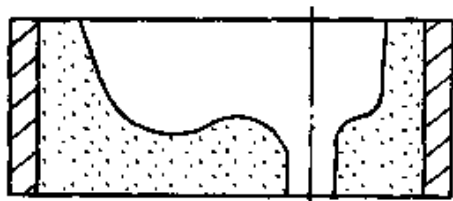


图 4-5 普通式浇口盆

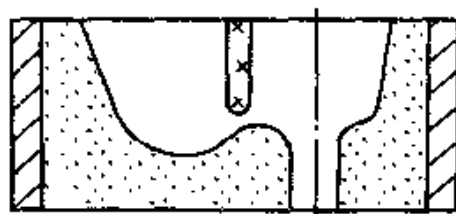


图 4-6 闸门式浇口盆

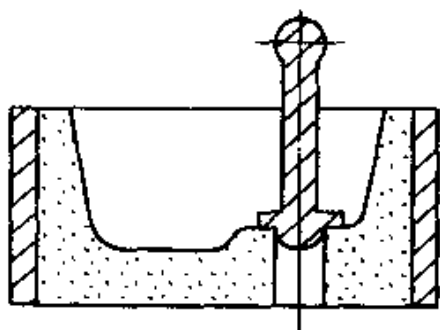


图 4-7 柱塞式浇口盆

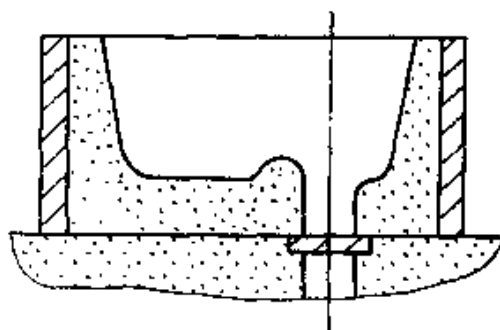


图 4-8 隔片式浇口盆

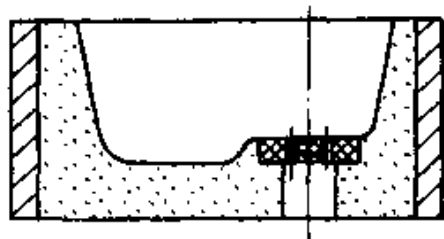


图 4-9 滤渣网式浇口盆

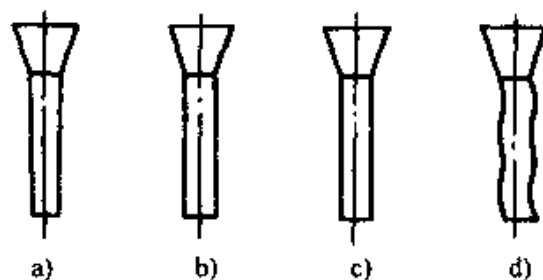


图 4-10 直浇道类型

2. 直浇道 浇注系统中的垂直通道为直浇道。直浇道最小直径不小于 $15\sim 18\text{mm}$ ，直浇道顶端应高出铸型内型腔顶点 $100\sim 200\text{mm}$ 。直浇道类型如图4-10所示。a型是斜度为 $1:50$ 的正圆台形直浇道，浇注时充型快，金属液在直浇道中呈正压状态流动，可防止气体和熔渣卷入铸型。b型与a型相反是倒圆台型直浇道，直浇道模样固定在模板上，一般用于机器造型中，这时要增加直浇道出口以后的阻力，如在横浇道中增加滤网和阻流片等，使直浇道内充满并呈正压状态流动。c型多用于铸钢件生产中，采用耐火材料烧结的管件作直浇道，以增加其强度、耐火性，防止冲砂。d型直浇道用于非铁合金铸件，主要是为了降低流速、充型平稳、避免氧化和吸气。为避免金属液从直浇道进入横浇道后，由于液流方向急剧改变造成金属液的强烈搅动和冲击，因此必须加以缓冲和引导。通常采用直浇道与横浇道呈圆弧连接，并且直浇道底部设置浇口窝。浇口窝直径为直浇道下端直径的 $1.4\sim 2$ 倍，高度为横浇道高度2倍，结构如图4-11所示。

3. 横浇道 浇注系统中连接直浇道和内浇道的水平通道，它是浇注系统中重要组成部分。横浇道作用：将金属液平稳地、均匀地分配给各个内浇道，其重要功用是捕集、滞留由浇包经直浇道流入的夹杂物，又称“捕渣器”或撇渣道。

(1) 横浇道中的液流分配 金属液从直浇道进入横浇道的初期，它以最大流速沿横浇道长度方向向前流动，在到达横浇道末端后，金属液的动能转变为位能，使横浇道内液面向横浇道方向逐渐上升，直至全部充满。如在等断面横浇道上有几个断面相等的内浇道，在横浇道未充满前，内浇道内将仍无金属液。横浇道充满后，进入不同位置

内浇道金属液的量取决于内浇道附近横浇道中金属液压力头的大小（即金属液柱的高低），横浇道长度及内浇道位置（距离直浇道远近）等因素。当金属液柱高而横浇道较短时，大部分金属液将越过离直浇道较近的内浇道而进入最远的内浇道中，如图4-12所示。为了均衡内浇道的流量，不同位置的内浇道应有不同的断面积。

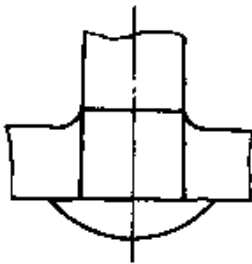


图 4-11 直浇道窝

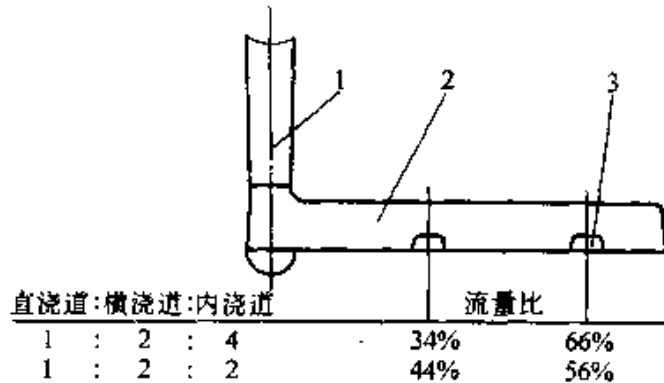


图 4-12 流量分配比例

1—直浇道 2—横浇道 3—内浇道

(2) 横浇道挡渣作用的条件 横浇道的重要作用是挡渣，阻止悬浮在金属液内的熔渣、砂粒等杂质进入型腔。正确设计横浇道，利用横浇道挡渣，防止铸件产生渣孔、砂孔等铸造缺陷，是生产优质铸件既经济又简便的方法。根据对液态金属在横浇道中流动的理论分析和生产实践，横浇道起挡渣作用的条件是：

1) 浇注过程中横浇道必须呈充满状态，使上浮于金属液面的杂质滞留于横浇道顶部，以利于挡渣。

2) 减小金属液在横浇道中的流速，使其平稳、缓慢流动，即横浇道中金属液的流动速度宜低于杂质的悬浮速度。

3) 横浇道中金属液流的紊流作用要尽量小。

4) 横浇道断面一般做成高梯形，内浇道一般做成扁梯形，使 $h_{横} = (5 \sim 6) h_{内}$ ，横浇道顶面高出内浇道吸动区一定距离，同时横浇道末端距内浇道应有一定距离，使杂质有足够时间和距离上浮到横浇道顶面。

5) 横浇道与内浇道应有正确的相对位置。

(3) 增强横浇道挡渣能力的措施 提高横浇道挡渣能力的主要

途径是改变横浇道的结构，增加流程中阻力，减慢金属液的流速，减少紊流搅拌作用，常见的方法有以下几种：

1) 稳流式浇注系统 将普通平直横浇道分割成数段，依次置于上下型中，组成曲折形横浇道，结构如图 4-13 所示。液态金属在其中流动时，不断变换流向，流动受阻、流速下降、杂质上浮，具有较好的挡渣作用。

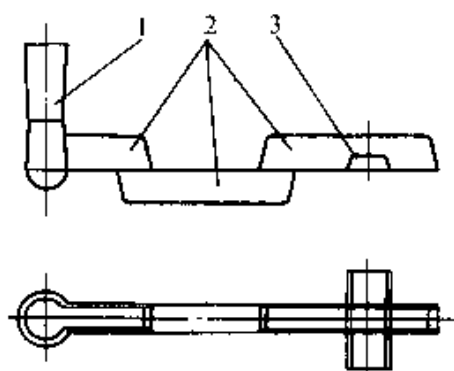


图 4-13 稳流式浇注系统

1—直浇道 2—横浇道 3—内浇道

2) 阻流式（节流式）浇注系统 浇注时控制金属液充型速度的最小断面称阻流断面。图 4-14 所示阻流横浇道是在直浇道出口部分设置截面缩小的阻流片，浇注时液态金属经阻流片进入横浇道，由于断面突然扩大和流向改变，流速急剧下降，杂质上浮，此种横浇道挡渣能力强，适用于大批量生产。

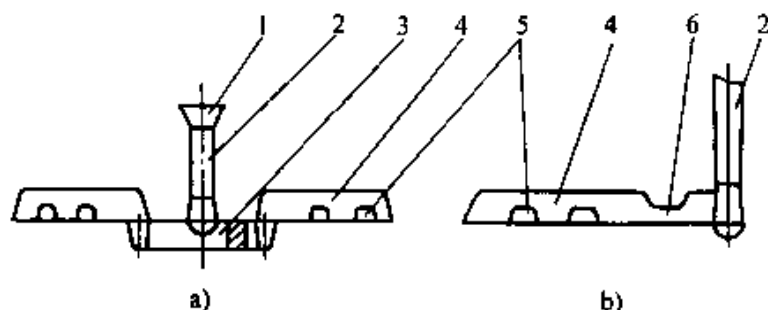


图 4-14 阻流式浇注系统

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—垂直阻流片 4—横浇道

5—内浇道 6—水平阻流片

3) 带滤渣网的浇注系统 在浇道中设置过滤装置的浇注系统如图 4-15 所示。过滤装置通常采用砂芯过滤片、陶瓷过滤片、纤维过滤网或钢板冲压过滤网等。过滤装置一般安放在浇口杯中、直浇道下方、横浇道搭接处。

4) 集渣式浇注系统 在横浇道中局部加高的结构称为集渣包。

集渣包形式分二类：一类是锯齿形集渣包，一类是离心式集渣包。(图 4-16、图 4-17)。当金属液流经此处因断面扩大而流速下降，使杂质易于上浮并停留在该处。锯齿形集渣包一般逆齿比顺齿效果好。离心式集渣包一般设在横浇道末端，直接同内浇道相连，金属液从切线方向进入集渣包，产生涡流，在离心力作用下杂质向中心集中并浮于液面。集渣包出口断面应比入口断面小，出口方向必须与液流方向相反。

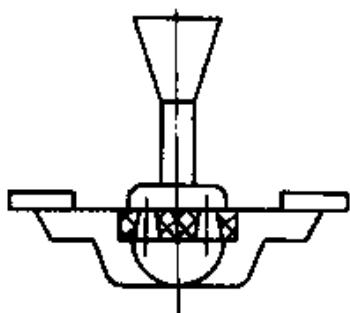


图 4-15 带滤渣网的横浇道

4. 内浇道 在浇注系统中内浇道是把金属液直接导入型腔的通道，即金属液的引入位置，它对铸件的质量有很大影响。下面从不同角度说明金属液引入位置的选择原则：

(1) 内浇道应避免直冲砂芯、型壁或型腔中其它薄弱部位（如凸台、吊砂等）防止造成冲砂。

(2) 有利于提高铸件外观质量。一般将内浇道开设在铸件要求不高的加工面上，尽量不开设在铸件非加工面上，以免影响铸件外观质量。

(3) 有利于铸件凝固和补缩。

1) 要求同时凝固的铸件，内浇道应开设在铸件薄壁处，且要数量多分散布置，使金属液快速均匀地充满铸型，避免内浇道附近的砂

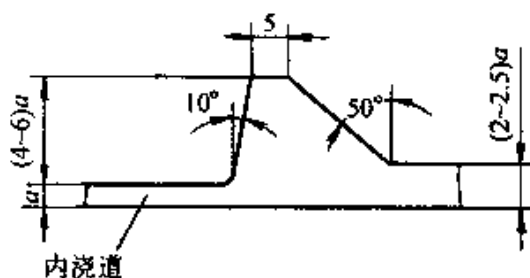


图 4-16 锯齿型集渣包

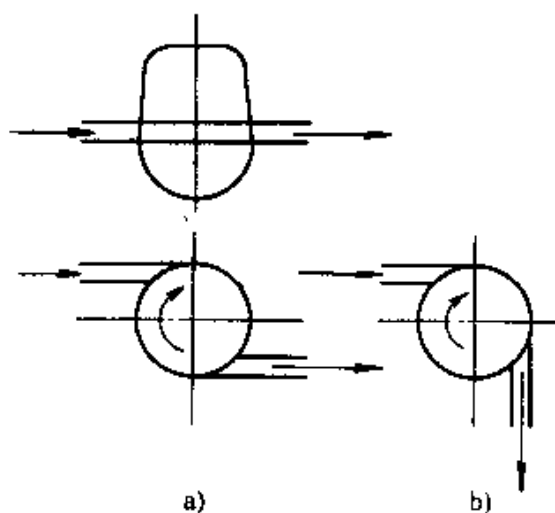


图 4-17 离心集渣包

a) 合理 b) 不合理

型局部过热。

2) 要求定向凝固的铸件, 内浇道应开设在铸件厚壁处。如设有冒口补缩, 最好使金属液从冒口经内浇道引入型腔, 以提高冒口补缩效率。

3) 对于结构复杂的铸件, 往往采用定向凝固与同时凝固相结合的所谓“较弱定向凝固”原则布置内浇道。即对每一个补缩区按定向凝固的要求设置内浇道, 按同时凝固的要求采用多个内浇道充型。这样设置既可使铸件各厚大部位得到充分补缩而不产生缩孔和缩松, 又可将应力和变形减到最小程度。

(4) 有利于改善铸件铸态组织

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。对有耐压要求的管类铸件, 内浇道通常开设在法兰处, 以防止管壁处产生缩松。

2) 内浇道不得开设在靠近冷铁或芯撑处, 以免降低冷铁的作用或造成芯撑过早熔化。

(5) 有利于减少铸件收缩应力和防止裂纹

1) 对收缩倾向较大的合金, 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开裂。

2) 内浇道应使金属液迅速而均匀地充满铸型, 尽量缩短充型流程, 减少热损失, 避免铸件各部分温差过大。

(6) 有利于铸件清理

1) 内浇道设置应便于清理、打磨, 不影响铸件使用和外观质量。

2) 内浇道与铸件接口处的横截面厚度一般应小于铸件壁厚的 $1/2$, 最多不超过 $2/3$ 。在与铸件接口处可做出断口槽, 防止清理时造成铸件缺肉, 如图4-18所示。

(7) 其它要求

1) 内浇道位置最好使其底面与横浇道底面处于同一底面上, 如图4-19所示。

2) 直浇道与第一个内浇道之间距离和最后一个内浇道与横浇道末端之间的距离可参考表4-2。

3) 在满足浇注要求和铸件选择质量前提下, 应尽量减少浇注系

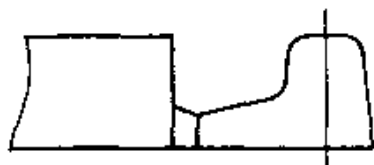


图 4-18 内浇道断口槽

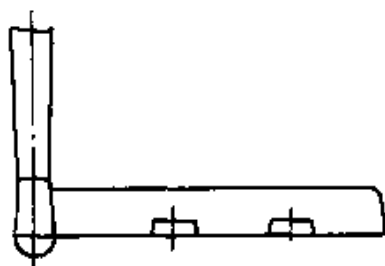


图 4-19 内浇道

统的金属消耗，提高铸件的工艺出品率。

表 4-2 内浇道合理位置的推荐尺寸

铸件重量/kg	直浇道与第一个内浇道间的最小距离/mm	最后一个内浇道与横浇道末端之间最小距离/mm
4.5	100	75
45	150	150
450	375	375

三、浇注系统的分类及特点

浇注系统常用的分类方法有两种：根据浇注系统各组元截面的比例关系可分为封闭式、半封闭及开放式浇注系统；按内浇道在铸件上位置可分为顶注式、中注式、底注式及分层注入式等，如图 4-20 所示。

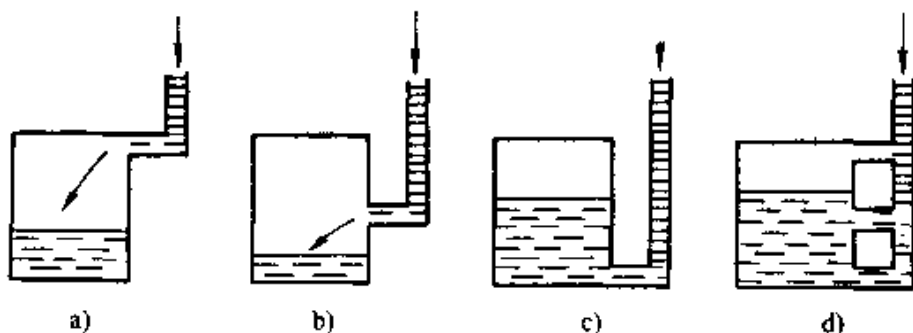


图 4-20 金属液注入型腔的高度

a) 顶注式 b) 中注式 c) 底注式 d) 阶梯注入式

1. 按浇注系统各组元截面比例分类

(1) 封闭式浇注系统 截面比例：

$$A_{\text{杯}} > A_{\text{直}} > \sum A_{\text{横}} > \sum A_{\text{内}}$$

封闭式浇注系统阻流截面在内浇道。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。这种浇注系统挡渣能力较强，但充型液流速度较快，冲刷力大，易产生喷溅。

(2) 开放式浇注系统 截面关系：

$$A_{\text{直上}} < A_{\text{直下}} < \sum A_{\text{横}} < \sum A_{\text{内}}$$

开放式浇注系统其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。这种浇注系统充型平稳，对型腔冲刷力小，但挡渣能力较差，金属液消耗多。常用于铸造非铁合金、球墨铸铁、铸钢等易氧化金属铸件，灰铸铁件很少应用。

(3) 半封闭式浇注系统 截面关系：

$$\sum A_{\text{横}} > A_{\text{直}} > \sum A_{\text{内}}$$

半封闭式浇注系统其阻流截面在内浇道，横浇道截面为最大。浇注时，浇注系统能充满，但较封闭式浇注系统晚。该浇注系统具有一定的挡渣能力。由于横浇道截面最大，金属液在横浇道中流速减小，故充型的平稳性及对型腔的冲刷力好于封闭式，常用于灰铁件和球墨铸铁件中。

(4) 封闭-开放式浇注系统 截面关系：

$$A_{\text{杯}} > A_{\text{直}} < \sum A_{\text{横}} < \sum A_{\text{内}}; A_{\text{直}} > A_{\text{阻}} < \sum A_{\text{横}} < \sum A_{\text{内}}; A_{\text{直}} > A_{\text{阻}} < \sum A_{\text{内}} < \sum A_{\text{横}}; A_{\text{杯}} > A_{\text{直}} > A_{\text{集渣包出口}} < \sum A_{\text{横}} < \sum A_{\text{内}}$$

封闭-开放式浇注系统其阻流截面设在直浇道下口，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中。浇注时，阻流截面之前封闭，其后开放，既有利于挡渣，又使充型平稳，并有封闭开放式优点。适用于铸铁件机器造型中，如果与各种过滤装置结合使用效果更好。

2. 按内浇道在铸件上注入位置分类

(1) 顶注式 金属液从铸型顶部注入。顶部注入方式可分为：基本形式、雨淋式、压边式、楔形式和搭边式。顶注式特点是充型性能好，可实现铸件自下而上的定向凝固，补缩效果好。压边浇口和雨淋

浇口是顶注浇注系统的两种特殊形式，具有减小金属流股的特点，有边浇边补缩的作用。

(2) 中注式 在铸型分型面上开设横浇道，内浇道从铸件中间某一高度上引注的浇注系统称中间注入式。在两箱造型，特别是机器造型中广泛采用中注式方法开设浇注系统。中注式浇注系统对铸件在分型面以下是顶注，分型面以上部分则是底注，兼有顶注式和底注式优缺点，适用于高度不大的铸件。

(3) 底注式 内浇道位于铸件底部，金属液从型腔下面注入的浇注系统。底注式又分基本式、底雨淋式、底牛角式。底注式充型平稳，不会产生飞溅、铁豆，气体易于排除，金属氧化少。底注式缺点是，高温金属液从底部进入型腔，造成逆向温差，对铸件补缩不利；上层金属液与空气接触表面易产生氧化皮（铝合金尤为明显），对铸件表面质量影响很大。

(4) 分层注入式 金属液由下而上逐层注入铸型的方法称为分层注入式。

1) 阶梯式 金属液进入型腔是逐层自下而上进行的，高温金属液最后进入型腔上部，有利于铸件定向凝固和补缩。浇注时，充型平稳，有利于排气，并有顶注和底注的优点。阶梯式浇注系统结构比较复杂、造型要求高、费工时、金属液消耗大、清理难度大，适用于要求高的复杂铸件。

2) 垂直缝隙式 是阶梯式浇注系统的特殊形式，中间直浇道截面较大且最后充满。它适用于小型，要求高的铸造非铁合金及铸钢件。

第三节 铸铁件浇注系统尺寸

当确定了浇注系统的类型和布置之后，需要计算浇注系统各组元的尺寸。一般先确定浇注系统的最小断面（阻流断面）尺寸，然后以最小断面为基数，按经验比例关系计算其它组元的截面。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。所以目前没有一种能精确地适用各种合金、各种铸造方法的浇注系统的计算公式。生产中常用的各种浇注系统尺寸的计算公式和图表，大多是以流体力

学原理为基础的，与实际铸造条件下的充型过程存在一定误差，所以在运用公式计算时要结合具体情况和实际生产经验加以修正。

确定阻流断面积（内浇道面积）时，把浇注系统视为充满流动金属液的通道，用水力学原理计算浇注系统最小阻流截面积，图 4-21 为以内浇道为阻流截面的浇注系统计算原理图。其计算公式为

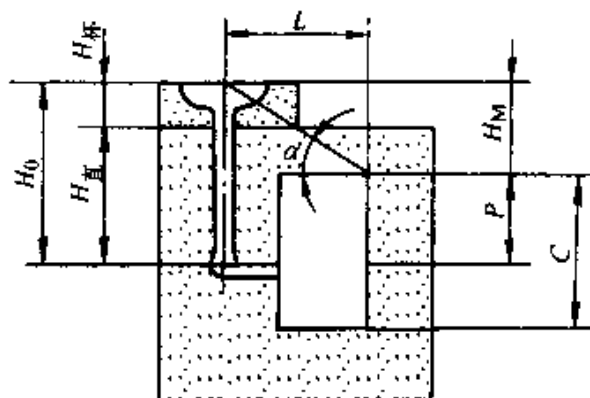


图 4-21 浇注系统计算原理图

$$\Sigma A_{\text{内}} = \frac{G}{0.3\mu t \sqrt{H_p}} \quad (4-2)$$

式中 $\Sigma A_{\text{内}}$ ——内浇道总截面积 (cm^2);
 G ——铸件浇注总重量 (kg);
 t ——浇注时间 (s);
 μ ——流量系数;
 H_p ——平均压力头高度 (cm)。

(1) G 值的确定 G 值是包括浇冒口在内的金属液重量。拿到产品图样后，铸件重量可通过计算等方法获得，由于浇冒口系统重量计算困难，可以通过工艺出品率来进行估算，其计算公式为

$$\text{工艺出品率} = \frac{\text{铸件重量}}{\text{铸件重量} + \text{浇冒口重量}} \times 100\% \quad (4-3)$$

生产中，根据表 4-3 所列数据估算工艺出品率。

(2) 浇注时间 t 的确定 浇注时间对铸件质量有重要影响。合理的浇注时间与铸件结构、材质、铸型工艺条件及浇注系统的类型有关。每种铸件在确定的铸造工艺条件下，都对应有适宜的浇注时间范围。如果浇注时间太长，容易产生冷隔、浇不到、夹砂、粘砂等缺陷；如果浇注时间太短，金属液对型腔的冲击大，易造成冲砂、砂眼、渣眼、抬型和气孔等缺陷。生产中常用下列几种经验公式确定浇

表 4-3 铸铁件工艺出品率 (%)

铸件重量/kg	大量流水生产	成批生产	单件小批生产
<100	75~80	70~80	65~75
100~1000	80~85	80~85	75~80
>1000		85~90	80~90

注：1. 表中所列数据为灰铸铁件工艺出品率。

2. 对球墨铸铁件可取 60%~80%。

3. 可锻铸铁件可取 50%。

注时间。

1) 对于重量小于 450kg、形状复杂的铸铁件，浇注时间 t 按式 (4-4) 计算

$$t = S \sqrt{G} \quad (4-4)$$

式中 t ——浇注时间 (s)；

G ——型内金属总重量 (kg)；

S ——系数，取决于铸件壁厚可由表 4-4 查得。

表 4-4 系数 S 和铸件壁厚的关系

铸件壁厚 δ /mm	2.5~3.5	3.5~8.0	8.0~15
系数 S	1.63	1.85	2.2

注：表中壁厚 δ 指铸件主要壁厚，对实体铸件取壁厚 $\delta = 2\delta_e$ (δ_e 为铸件的当量厚度)。

2) 对于重量在 10000kg 以下的中、大型铸铁件，浇注时间可按式 (4-5) 计算

$$t = S_1 \sqrt[3]{\delta G} \quad (4-5)$$

式中 t ——浇注时间；

G ——型内金属总重量 (kg)；

δ ——铸件平均壁厚 (mm)，对于宽度大于厚度 4 倍的铸件， δ 可取铸件壁厚；对于圆铸件， δ 可取直径或边长的一半；对于形状复杂的铸件， δ 取重要部分壁厚。

S_1 ——系数，一般情况下 $S_1 = 2$ 。当铁液含硫较高，碳的质量

分数小于 3.3%，流动性差，或浇注温度较低，或用底注而冒口在顶部或有内外冷铁等需要快浇时，取 $S_1 = 1.7 \sim 1.9$ ，当铸件壁较厚而质量要求较高，要求快速浇注时，可取 $S_1 = 1.2 \sim 1.7$ 。

3) 对于重型铸铁件，浇注时间可按式 (4-6) 计算

$$t = S_2 \sqrt{G} \quad (4-6)$$

式中 t ——浇注时间 (s)；

G ——型内金属总重量 (kg)；

S_2 ——系数，与铸件壁厚有关见表 (4-5)。

表 4-5 系数 S_2 和铸件壁厚关系

铸件壁厚/mm	<10	10~20	20~40	>40~80
系数 S_2	1.1	1.4	1.7	1.9

(3) 型内液面上升速度的计算 对于大型和结构复杂的铸件，在浇注时间确定之后需要验算型内液面上升速度，可参照表 4-6 中数值，如果差别较大则应修正浇注时间或更改工艺方案。平均液面上升速度为

$$v = \frac{h}{t} \quad (4-7)$$

式中 v ——型内液面上升速度 (mm/s)；

h ——铸件浇注位置时的高度 (mm)；

t ——浇注时间 (s)。

表 4-6 灰铸铁件允许的最小上升速度

铸件壁厚/mm	<4	4~10	10~40	>40	>40 上箱为大平面
v / (mm/s)	30~100	20~30	10~20	8~10	20~30

(4) 流量系数 μ 值的确定 μ 值与浇注系统结构、浇注方式、浇注温度、砂型情况及合金性质等因素有关。在金属液充型过程中该值是不稳定的，因此准确地确定流量系数是有困难的。 μ 值大小一般从表 4-7 中选取再按表 4-8 修正。

表 4-7 流量系数 μ 值

铸 型 种 类		铸 型 阻 力		
		大	中	小
湿 型	铸 铁	0.35	0.42	0.50
	铸 钢	0.25	0.32	0.42
干 型	铸 铁	0.41	0.48	0.60
	铸 钢	0.30	0.38	0.50

表 4-8 流量系数 μ 的修正值

影响 μ 值的因素	μ 值修正值
浇注温度升高使 μ 值增大, 从 1280℃ 起每提高浇注温度 50℃	< 0.05
有出气口和明冒口, 减小了型腔内气体压力, 使 μ 值增大。当 $\frac{\sum A_{\text{出气口}} + \sum A_{\text{明冒口}}}{\sum A_{\text{内}}} = 1 \sim 1.5$ 时	0.05 ~ 0.20
直浇道和横浇道的断面积比内浇道大得多时, 可减小阻力损失, 并缩短封闭前的时间, 使 μ 值增大。当 $\frac{A_{\text{直}}}{A_{\text{内}}} > 1.6$, $\frac{A_{\text{横}}}{A_{\text{内}}} > 1.3$ 时	0.05 ~ 0.20
浇注系统的狭小断面之后, 其断面有较大的扩大时, 阻力减小, μ 值增加	0.05 ~ 0.20
内浇道总断面积相同而数量增多时, 阻力增大, μ 值减小	
二个内浇道时	- 0.05
四个内浇道时	- 0.10
型砂透气性差, 且无出气口和明冒口时 μ 值减小	< - 0.05
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 减小	- 0.10 ~ 0.20

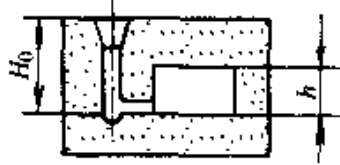
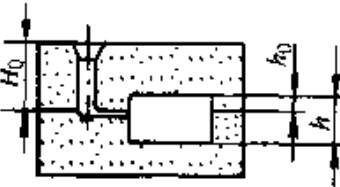
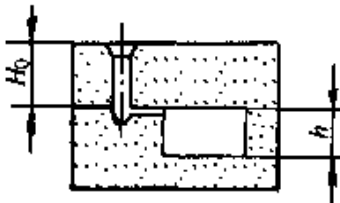
注: 封闭式浇注系统中 μ 值的最大值为 0.75, 如计算结果大于此值仍取 $\mu = 0.75$ 。

(5) 确定平均压力头 H_P 及最小剩余压力头 H_M 由图 4-21 可看出金属液充填铸型的过程中, 作用在内浇道的静压头高度随型腔充满程度而变化。因此计算浇注系统最小断面积时, 应采用静压力头的平均值。其数值大小与铸件尺寸和浇注系统的结构类型有关, 平均压力头可用下列公式计算

$$H_P = H_0 - \frac{h_0}{2h} \quad (4-8)$$

式中 H_P ——平均压力头 (cm);
 H_0 ——内浇道至外浇道液面的高度 (cm);
 h ——铸件高度 (cm);
 h_0 ——内浇道以上的铸件高度 (cm)。

表 4-9 不同浇注形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		$h_0 = h$ $H_P = H_0 - \frac{h}{2}$
中间注入		$h_0 = \frac{h}{2}$ $H_P = H_0 - \frac{h}{8}$
顶部注入		$h_0 = 0$ $H_P = H_0$

不同浇注形式的平均静压头高度计算公式列于表 4-9, 为了保证金属液能充满铸件上距直浇道最远最高的部位, 铸件最高点离浇口杯液面必须有一最小 H_M (称剩余压力头, $H_M = H_0 - h_0$)。当铸件尺寸较大, 壁厚较薄, 金属液流程较远的情况下, 需用压力角验算 H_M 是否满足要求, 其计算公式如式 (4-9) 所示。

$$H_M \geq L \tan \alpha \quad (4-9)$$

式中 L ——金属液的流程, 即铸件最高最远点至直浇道中心线的水平距离 (mm);

α ——压力角 ($^\circ$), 按表 4-10 选取。

表 4-10 压力角 α 的最小值

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 $\alpha/ (^{\circ})$							
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
3500		6~7	5~6	5~6	5~6	4~5	4~5	
3000		6~7	6~7	5~6	5~6	4~5	4~5	
2800		6~7	6~7	6~7	6~7	5~6	4~5	
2600		7~8	6~7	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	
2000		8~9	7~8	6~7	6~7	5~6	6~7	
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	用一个直浇道浇注	
1200	10~11	9~10	8~9	7~8	7~8	6~7		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	9~10	9~10	9~10	8~9	7~8	6~7	

例 1 一个圆环形铸件如图 4-22 所示, 要保证金属液充满铸型, 试求其最小 H_M 值。

解: 由图可知 $L = 600\text{mm}$, 铸件壁厚 $\delta = 15\text{mm}$, 查表 4-10 得最小压力角 $\alpha = 9^{\circ} \sim 10^{\circ}$, 取 $\alpha = 10^{\circ}$, 代入式 (4-9) 得 $H_M = 600 \tan 10^{\circ} \text{mm} = 106\text{mm}$ 。

下面例子说明计算浇注系统全过程, 作为设计浇注系统时参考。

例 2 某厂生产发动机机体铸件, 材质 HT250, 铸件毛重 43kg, 轮廓尺寸 $530\text{mm} \times 306\text{mm} \times 182\text{mm}$, 铸件平均壁厚 $6 \sim 12\text{mm}$, 有 7 个砂芯属形状复杂的薄壁铸件、湿型、机器造型、砂箱内档尺寸为 $800\text{mm} \times 630\text{mm} \times 250\text{mm}$, 试计算浇注系统。如图 4-23 所示。

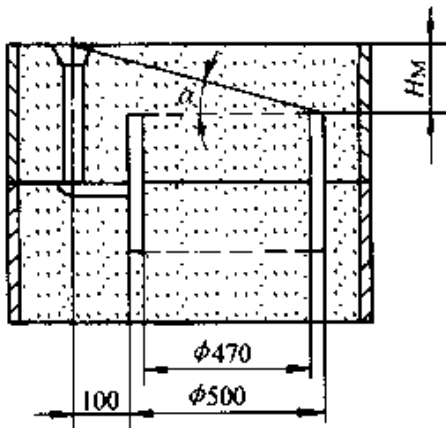


图 4-22 圆环铸件的浇注方案

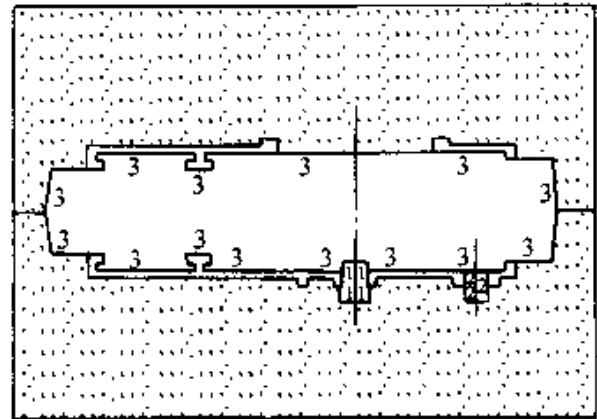


图 4-23 机体合箱图

解：因是机器造型，中间分型，故采用中注式，浇注位置与分型面一致。为了减轻铁液对砂型的冲刷力，减小直浇道的吸气和卷渣，采用半封闭式浇注系统，扁薄内浇道，高梯形横浇道，增强挡渣效果，此工艺方案基本满足铸件质量要求。半封闭式浇注系统，内浇道是阻流截面按式(4-2)计算内浇道总截面积。

$$\sum A_{\text{内}} = \frac{G}{0.31 \mu t \sqrt{H_P}}$$

式中 G 、 μ 、 t 、 H_P 值计算如下：

(1) 通过内浇道的金属液为 G 按表 4-3 查得铸件重量为 43kg，工艺出品率取 80%。

$$G = 43\text{kg} \div 0.8 = 54\text{kg}$$

(2) 浇注时间 t 因是薄壁复杂件，质量要求较高，按式(4-4)计算

$$t = S \sqrt{G} = 1.23 \times \sqrt{54} = 9\text{s}$$

(3) 流量系数 μ 按表 4-7 选得湿型，中等阻力 $\mu = 0.42$ ，再按表 4-8 修正。浇注温度提高约 100℃， μ 取 0.1，有出气口， μ 取 0.1，横浇道断面积比内浇道大， $A_{\text{横}}/A_{\text{内}} > 1.3$ ， μ 取 0.05，内浇道 4 个， μ 取 -0.10，计算得

$$\mu = 0.42 + 0.1 + 0.1 + 0.05 - 0.1 = 0.57$$

(4) 确定平均压力头 H_P 根据公式(4-8)，中注时， $H_0 = 25\text{cm}$ ， $h_0 = \frac{h}{2}$ ， $H_P = H_0 - \frac{h}{8} = 25\text{cm} - \frac{18.2}{8}\text{cm} = 22.73\text{cm}$ ，将各

值代入得

$$A_{\text{内}} = \frac{54}{0.31 \times 0.57 \times 9 \sqrt{22.73}} \text{cm}^2 = 7.1 \text{cm}^2$$

半封闭式浇注系统各组元的断面比可取为

$$A_{\text{内}} : A_{\text{横}} : A_{\text{直}} = 1 : 1.3 : 1.1 \text{ 得}$$

$$A_{\text{横}} = 7.1 \times 1.3 = 9.23 \text{cm}^2$$

$$A_{\text{直}} = 7.1 \times 1.1 = 7.81 \text{cm}^2$$

(5) 验算型内金属液上升速度 根据式 (4-7) 得 $v = \frac{h}{t} = \frac{182 \text{mm}}{9 \text{s}} = 20.2 \text{mm/s}$, 此值符合表 4-6 所列数值, 是合适的。

(6) 核算最小剩余压头 H_M 根据式 (4-8), $H_M = L \tan \alpha$, $H_M = 250 \text{mm} - 91 \text{mm} = 159 \text{mm}$, 直浇道中心到铸件最高最远点距离 $L = 670 \text{mm}$ 。

$$\alpha = \arctg \frac{159}{670} = 13^\circ$$

α 值大于表 4-10 的经验值, 故可得到清晰完整铸件。

第四节 其它合金浇注系统

一、球墨铸铁浇注系统

1. 球墨铸铁浇注系统特点 铁液经球化, 孕育处理后, 温度下降很多, 要求浇注迅速, 所以生产中球墨铸铁件的浇注系统断面积往往比灰铸铁的大 20%~100%。球墨铸铁易氧化, 为防止产生二次氧化渣, 铁液充填型腔要求平稳、通畅, 生产中多采用半封闭式或开放式浇注系统。球墨铸铁液态收缩大, 具有糊状凝固特性, 在铸件上形成缩孔和缩松的倾向大, 缩孔体积可比灰铸铁大 2 倍以上。所以生产上多按定向凝固的原则设计浇注系统, 并用冒口补给液态和凝固初期的收缩。当内浇道通过冒口浇入时, 可采用封闭式浇注系统。

2. 球墨铸铁浇注系统计算公式 球墨铸铁浇注系统可用水力学公式 (4-2) 计算

(1) 浇注时间 t 的确定, 可按灰铸铁浇注时间计算方法确定, 然

后减少 $1/3 \sim 1/2$ 。

(2) 流量系数 μ 值确定, 按表 4-8 选取, 湿型铸造中, 小型球墨铸铁件可取 $\mu = 0.35 \sim 0.5$ 。

(3) 球墨铸铁件浇注系统常用截面比如下

1) 一般球墨铸铁件采用封闭式浇注系统

$$\sum A_{内} : \sum A_{横} : A_{直} = 1 : (1.2 \sim 1.3) : (1.4 \sim 1.9)$$

2) 厚壁球墨铸铁件采用开放式浇注系统

$$\sum A_{内} : \sum A_{横} : A_{直} = (1.5 \sim 4) : (2 \sim 4) : 1 \text{ 或 } (1.2 \sim 2.0) : (1.2 \sim 2.0) : 1$$

3) 薄壁小型球墨铸铁件多采用半封闭式浇注系统

$$\sum A_{内} : \sum A_{横} : A_{直} = 0.8 : (1.2 \sim 1.5) : 1 \text{ 或 } 3 : 8 : 4$$

3. 无冒口工艺方案的浇注系统特点 球墨铸铁按无冒口工艺方案设计浇注系统时, 其首要条件是铸件模数 M 平均最小在 2.5cm 以上即: $M = V/S \geq 2.5\text{cm}$

按同时凝固原则设计无冒口浇注系统, 并使内浇道在铸件凝固初期就凝固。这样在球墨铸铁件的凝固阶段, 由于石墨的析出引起体积膨胀, 从而对金属液凝固时所产生的空隙具有“自补缩”的作用。如果铸型刚度足够, 铁液化学成分控制合适, 孕育充分就可实现球墨铸铁件的无冒口或冒口很小情况下的铸造。

4. 压边浇口 压边浇口常用于简单而厚实的铸铁件及球墨铸铁件(对可锻铸铁件也可采用压边浇口)。压边宽度取决于合金种类、浇注温度、铸件重量及截面宽度等。对于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)以利挡渣, 其压边宽度一般为 $3 \sim 7\text{mm}$; 对于收缩较大的高牌号铸件可采用开放式压边浇口, 其压边宽度为 $8 \sim 15\text{mm}$ 。对于球墨铸铁件多用于 300kg 以下的铸件, 小件压边宽度为 $3 \sim 6\text{mm}$, 中件压边宽度为 $5 \sim 10\text{mm}$ 。非铁合金铸件采用压边浇口常用于尺寸不大结构简单的小件, 一般可不设大尺寸的冒口。

选择压边浇口的关键, 在于选好控流截面—缝隙面积和缝隙宽度, 并保证其在浇注过程中不变。对于圆盘形铸件压边长度为周长的 $1/6$, 对于方形中小件压边长度为边长 $1/2$ 。压边部位一般位于铸件

顶部的非重要加工面上，缝隙周围的砂型应充分紧实，也可采用砂芯以保证棱角清晰。压边面积也可用经验公式（4-10）确定。

$$A_{\min} = m \sqrt{G} \quad (4-10)$$

式中 A_{\min} ——压边浇口面积（cm）；

G ——铸件重量（kg）；

m ——系数，一般 $m = 0.3 \sim 0.5$ ，对于湿型，平面尺寸较大或尺寸较长的铸件取中上限值。

二、铸钢件浇注系统

1. 铸钢件浇注系统的特点 铸钢的特性是熔点高、流动性差、收缩大、易氧化，要求金属液快速、平稳地充型。其浇注系统有以下特点：

(1) 铸钢的体收缩大，铸件易产生缩孔、缩松、裂纹和变形等缺陷。厚实和壁厚差别较大的铸件采用定向凝固的原则设置浇冒口系统，液态金属流经冒口进入型腔，强化冒口的补缩能力；对于易产生裂纹、变形的壳体类铸件，其内浇道应均布于铸件薄壁处，并尽量减少浇道对铸件收缩的机械阻碍。

(2) 铸钢的浇注温度高、易氧化通常采用漏包浇注。漏包浇注挡渣作用好，对浇注系统的挡渣要求不高，因此浇注系统截面积较大呈开放式，勿需高的挡渣功能，但应快速平稳地充满铸型。漏包浇注压力大，易冲坏浇道，因此浇注系统应力求结构简单、坚固、耐冲击。大中型铸件的直浇道及钢液流量超过 1t 的横浇道和内浇道，应由耐火砖管组成。小型铸钢件的浇注系统可采用水玻璃砂、树脂砂或全部采用面砂组成，并保证具有足够的强度。

2. 铸钢件浇注系统尺寸计算

(1) 用转包浇注时尺寸计算。大批量生产小型铸钢件时，常用转包浇注。一般采用封闭式或半封闭式浇注系统以加强撇渣能力。其浇注系统截面比为

$$\sum A_{\text{内}} : \sum A_{\text{横}} : A_{\text{直}} = 1 : (0.8 \sim 0.9) : (1.1 \sim 1.2)$$

(2) 用漏包浇注时尺寸计算

漏包浇注与转包浇注不同，漏包浇注时金属液流出量，基本上取

决于包底注孔的直径。而浇注系统则承受包中落下的钢液，浇注系统本身并无控制流速的作用。在实际生产中，确定铸钢件浇注系统是根据漏包底注孔直径的大小，首先由表 4-11 查出注孔直径和流量同时考虑注孔数量，并按式 (4-11) 计算浇注时间。

$$t = \frac{G}{Nnv_{\text{包}}} \quad (4-11)$$

式中 t —— 浇注时间 (s);
 G —— 型腔内钢液总重量 (kg);
 n —— 每个浇包的包孔数 (个);
 $v_{\text{包}}$ —— 钢液浇注重量速度 (kg/s);
 N —— 同时浇注的浇包数量 (个)。

表 4-11 不同包孔直径和钢液浇注重量速度平均值

包孔直径 d/mm	30	35	40	45	50	55	60	70	80	100
浇注重量速度 $v/(\text{kg/s})$	10	20	27	42	55	72	90	120	150	195

计算得出的浇注时间是否合适，可用钢液在型腔内的上升速度 v 验算，见式 (4-12)。

$$v = \frac{h}{t} \quad (4-12)$$

式中 v —— 型内液面上升速度 (mm/s);
 h —— 铸件在浇注位置高度 (mm) (计算倾斜浇注的铸件的钢液上升速度时，其高度 h 应取铸件高度加上倾斜高度值的 1/2);
 t —— 浇注时间 (s)。

表 4-12 是钢液在型腔内上升速度的推荐值。当计算的上升速度 v 小于表 4-12 值时，可选用大尺寸的包孔或增加包孔数量。条件允许时亦可倾斜浇注，其倾斜高度决定于砂箱的大小，但最大倾斜高度不得超过 300mm。

表 4-12 钢液在型腔中最小允许上升速度

铸件结构	铸件重量/t	<5	>5~15	>15~35	>35~65	>65~100
	上升速度 v_L / (mm/s)					
复杂		25	20	16	14	12
中等		20	15	12	10	8
简单		15	10	8	6	5

根据选用的包孔，计算包孔的总截面积，按比例确定各浇道的总截面积，其比例关系为：

$$A_{孔} : \sum A_{内} : \sum A_{横} : \sum A_{直} = 1 : (1.8 \sim 2.0) : (1.8 \sim 2.0) : (2.0 \sim 2.5)$$

计算出各浇道总截面积，根据铸件的形状、结构尺寸大小及生产条件确定各浇道截面几何形状和几何尺寸。

在用漏包浇注时，包孔浇注重量速度 $v_{包}$ 与浇包内钢液压头高度 H_p 密切相关。压头高则浇注重量速度快；压头低则浇注重量速度小。因此当一个浇包内的钢液需要连续浇注几个不同铸件时，应该先浇注对钢液上升速度要求较快的铸件。为了满足上升速度的要求，在计算包孔直径时，应按浇注最后一个铸件时，浇包中钢液的平均压头，计算包孔直径才能满足最后一个铸件对上升速度的要求。对于前面所浇注的铸件可以控制塞杆对包孔开启程度，来控制各个铸件钢液上升速度的要求。

三、铜合金铸件浇注系统

铸造铜合金按其化学成分不同分为铸造青铜和铸造黄铜两大类。铸造生产中常用的铸造铜合金有铸造锡青铜、铸造铝青铜和铸造黄铜。

铸造铜合金的共同特点是密度大、容易充型、导热性能好，氧化倾向因合金成分不同而异。其中铸造锡青铜的结晶温度范围宽，易产生疏松缺陷，氧化不强烈。因此小型实体铸件可采用压边浇口，大型套类铸件宜采用雨淋浇口顶注。

铸造铝青铜和铸造黄铜的铸造性能相似，结晶温度范围窄、收缩较大、易产生集中缩孔。因此浇注系统应符合定向凝固原则，利于冒口补缩；铸造铝青铜氧化倾向较铸造黄铜大，为使铜液态金属平稳充

型、避免氧化，浇注系统应为底注开放式，配以滤渣网和集渣包效果更好。

四、铝合金浇注系统

铸造铝合金的特点是收缩较大，易形成缩孔、缩松、变形，甚至裂纹。铝合金密度小、不易充型、化学性质活泼、极易氧化和吸气；金属氧化物的密度与铝液相近，混入液体中难以清除。因此铸造铝合金浇注系统应具有充型快，挡渣能力强，液流平稳无涡流、飞溅和冲击，符合定向凝固，便于冒口补缩。铝合金浇注系统一般应避免采用雨淋式和高压头封闭式浇注系统。除高度小于 100mm 不重要的小件采用顶注式外，通常都用底注开放式和垂直缝隙式浇注系统。垂直缝隙式浇注系统是阶梯式浇注系统的特殊形式，中间直浇道断面积较大，最后被充满，可使铝液充型平稳，铝液由缝口的下部逐渐上移，氧化膜不易被卷入，并能造成由下而上的定向凝固。垂直缝隙式浇注系统由于造型较复杂、消耗金属多、清理困难，一般用于重要铸件生产。蛇形直浇道可增加流动阻力，使液流平稳、减少吸气，铝合金中应用较多。铝合金铸件的浇注系统的尺寸可按铸铁件、铸钢件浇注系统的计算方法确定。在生产中，通常是根据经验建立的各种表格进行选用。例如表 4-13 为铝铸件浇注重量与直浇道截面积的关系。表 4-14 为铝铸件内浇道截面积的选择，直浇道或内浇道截面积确定之后，根据表 4-15 铝合金浇注系统各组元常用截面比来确定浇注系统各组元的截面积。由于影响铝铸件质量的因素较多，不论采用何种方法确定的浇注系统尺寸都应根据具体生产实际作相应修正。

表 4-13 铝铸件的浇注重量与直浇道总截面积关系

浇注重量 G/kg	≤ 5.0	5.0~ 10.0	10.0~ 15.0	15.0~ 30.0	30.0~ 50.0	50.0~ 100.0	100.0~ 250.0	250.0~ 500.0	≥ 500.0
直浇道总截 面积 A_R/cm^2	1.5~ 3.0	3.0~ 4.0	4.0~ 5.0	5.0~ 7.0	7.0~ 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~ 30)×2	(30~ 35)×2	(35~ 45)×2	>45×2

注：1. 浇注重量 G ，指带浇冒口的铸件重量。

2. 表列数据系有关生产统计资料，仅供参考。

表 4-14 铝铸件内浇道截面积选择

铸件重量/kg	铸件水平面积/cm ²											
	≤30		31~70		71~201		121~200		201~500		501~1000	
	内浇道总截面积/cm ² 及其数量/个											
	$\Sigma A_{内}$	数量	$\Sigma A_{内}$	数量	$\Sigma A_{内}$	数量	$\Sigma A_{内}$	数量	$\Sigma A_{内}$	数量	$\Sigma A_{内}$	数量
0.1	0.5~1.0	1	0.8~1.5	1								
0.1~0.2	0.7~1.5	1	1.0~2.0	1	1.2~2.3		1.8~3.0	1~2				
0.2~0.35			1.2~2.3	1~2	1.5~2.7	1~2	2.0~3.2	2				
0.35~0.50			1.5~2.5	1~2	1.8~3.0	1~2	2.3~3.6	2				
0.50~0.65					2.0~3.2	2	2.5~4.0	2	2.7~4.5	2~3		
0.65~0.80					2.5~3.8	2	3.0~4.5	2~3	3.5~5.0	2~3		
0.8~1.0							3.5~5.0	2~3	4.0~5.5	2~3	6.0~7.5	3~4
1.0~1.5							4.0~5.5	2~3	4.5~7.0	2~4	6.8~8.0	3~4
1.5~2.5									5.0~8.0	2~4	7.5~10	3~6
2.5~5.0									6.5~10	3~6	9.0~15	4~6

表 4-15 铝合金浇注系统各组元常用截面比 ($A_{直}:A_{横}:A_{内}$)

合金种类	大型铸件	中型铸件	小型铸件
铝合金	1:(2~5):(2~6)	1:(2~4):(2~4)	1:(2~3):(1.5~4)

第五章 铸件的凝固和收缩

培训要点：通过本章的学习，了解铸件凝固和收缩的基本概念和原理。掌握铸件在凝固和收缩过程中，铸造缺陷的形成机理、影响因素及防止方法。

第一节 铸件的凝固

液态金属浇入铸型后，由于铸型的冷却作用，液态金属的温度降至液相线与固相线温度范围时，液态金属向固态转变，这种状态的变化称为凝固。从液态转变为固态的过程称为凝固（结晶）过程。

许多常见的铸造缺陷，如缩孔、缩松、浇不到、气孔、热裂、夹杂、偏析等，都是在凝固过程中产生的。因此，了解铸件的凝固规律及影响铸件凝固的因素，认识铸件在凝固过程中铸造缺陷的形成机理，对于防止铸造缺陷的发生，提高铸件的性能，改善铸件内部组织，生产优质铸件有着重要的意义。

一、铸件的凝固方式

1. 凝固区域 铸件在凝固过程中，大多数铸造合金其截面一般存在三个区域：固相区、凝固区和液相区。在凝固过程中，对铸件质量有较大影响的主要是凝固区域的大小及其向铸件中心迁移情况，因此，凝固区域成为研究铸件凝固过程的重点。图 5-1 是铸件在凝固过程中的某一瞬间凝固区域。

图 5-1 左边是合金相图的一部分，成分为 M 的合金结晶温度范围为 $t_L - t_S$ 。图 5-1 右边是砂型中正在凝固的铸件截面。铸件壁厚为 d ，该瞬时的温度场为 T 。在此瞬时，铸件截面上的 b 和 b' 已达到固相线温度 t_S ，因此， $I - I$ 和 $I' - I'$ 等温面为固相等温面。 c 和 c' 点已达到液相线温度 t_L ，因此 $II - II$ 和 $II' - II'$ 等温面为液相等温面。在 I 和 II ， I' 和 II' 之间的合金处于液、固相并存状态。液相等温面和固相等温面之间的液、固相并存区域即为凝固区域。

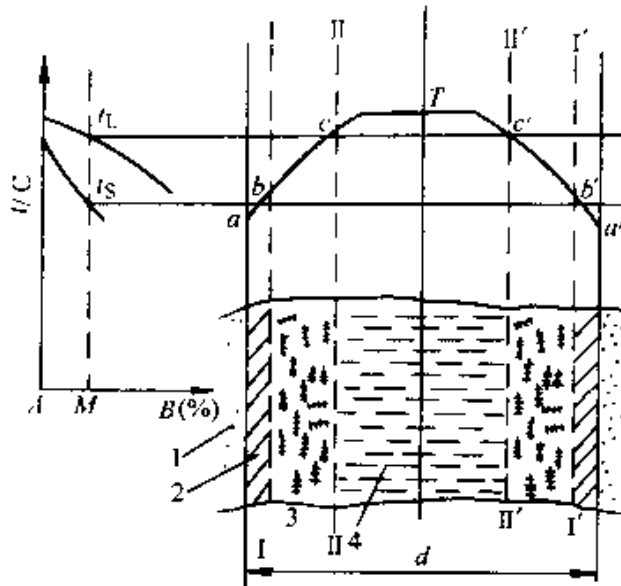


图 5-1 铸件某一瞬间凝固区域

d —铸件壁厚 T —铸件瞬时温度曲线 t_L —液相线 t_S —固相线
 1—铸型 2—固相区 3—凝固区 4—液相区

随着铸件的冷却，液相等温面和固相等温面向铸件中心推进，铸件全部凝固后，凝固区域消失。

2. 凝固方式 铸件的凝固方式是根据铸件截面上所呈现的凝固区域的大小来区分的。铸件的凝固方式一般分为逐层凝固、体积凝固和中间凝固三种方式。

图 5-2 为逐层凝固方式示意图。图 5-2a 为恒温下结晶的纯金属或共晶成分合金某瞬间的凝固情况， t_c 是结晶温度， T_1 和 T_2 是铸件截面上两个不同瞬间的温度场。

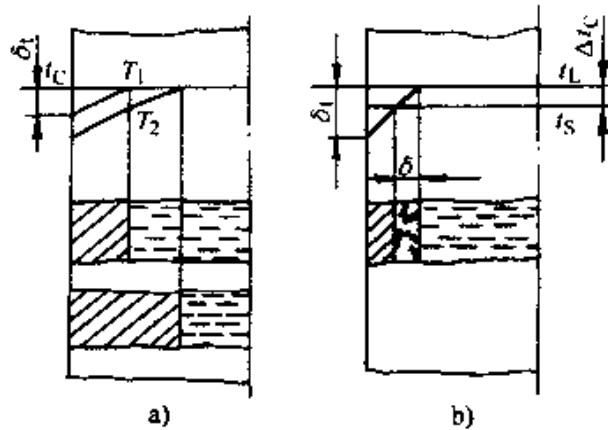


图 5-2 逐层凝固方式示意图

a) 纯金属或共晶成分合金
 b) 窄结晶温度范围合金

从图中可看出，恒温下结晶的金属，在凝固过程中其铸件截面上凝固区域宽度为零，截面上的固相和液相由一条界线（凝固前沿）分开，随着温度的下降，凝固前沿向铸

件中心推进，这种凝固方式称为逐层凝固方式。

如果合金的结晶温度范围很窄，或截面温度梯度很大时，铸件截面的凝固区域很小，也属于逐层凝固方式，见图 5-2b。

一般认为逐层凝固的合金，补缩能力好。热裂倾向小，无缩松，易获得组织致密的铸件。

如果合金的结晶温度范围很宽（图 5-3a），或铸件截面温度场较平坦（图 5-3b），铸件凝固的某一段时间内，其凝固区域在某时刻贯穿整个铸件截面，则在凝固区域内既有已结晶晶体，也有未凝固的液体，这种情况为体积凝固方式（糊状凝固方式）。

通常认为体积凝固方式的合金补缩能力较差，热裂倾向大，难以形成组织致密的铸件。

如果合金的结晶温度范围较窄（图 5-4a），或者铸件截面的温度梯度较大（图 5-4b），铸件截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。属于中间凝固方式的铸件其补缩能力，热裂倾向和流动性介于前二者凝固方式之间。

凝固区域的宽度可根据合金相图上液相线与固相线之间的纵向距离直接判断，距离大小是划分凝固方式的准则。铸件截面凝固区域的宽度是由合金的结晶温度范围和温度梯度决定的。

合金的结晶温度范围与其成分有关。当合金成分确定后，合金的

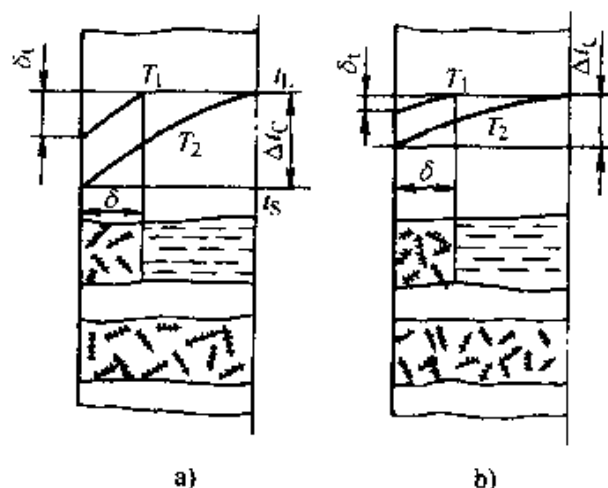


图 5-3 体积凝固方式示意图

a) 合金的结晶温度范围很宽

b) 铸件截面温度场较平坦

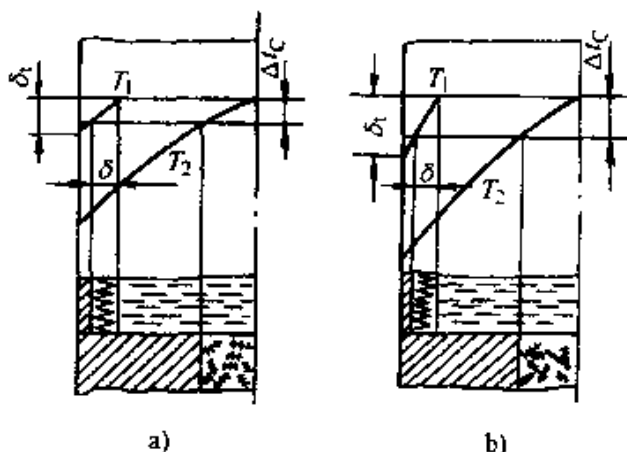


图 5-4 中间凝固方式示意图

a) 结晶温度范围合金较窄

b) 铸件截面温度梯度较大

结晶温度范围即确定，铸件截面的凝固区域宽度则决定于温度梯度。较大温度梯度，可以使结晶温度范围变窄，所以铸件的温度梯度是凝固方式的重要调节因素。

凝固区域的宽度即铸件的凝固方式，是由合金的结晶温度范围 Δt_c 与温度降 δ_t （可以近似地表示温度梯度）的比值确定。 $\Delta t_c / \delta_t \ll 1$ 时，铸件的凝固趋向于逐层凝固； $\Delta t_c / \delta_t > 1$ 时，铸件的凝固趋向于体积凝固方式。

二、铸件的凝固原则

根据铸造合金的凝固规律和收缩特点，制订正确的工艺原则，从工艺上创造条件，使铸件在凝固过程中各种不利因素向有利因素转化，以达到获得健全铸件的目的。控制铸件凝固的措施很多，但指导运用这些措施的基本原则有两个：即定向凝固原则和同时凝固原则。

1. 定向凝固原则 铸件的定向凝固原则是从工艺上采取各种措施，保证铸件结构上按照远离冒口的部分最先凝固，然后是靠近冒口部分，最后才是冒口本身凝固的顺序进行。见图 5-5 中 I ~ III。铸件定向凝固时，最先凝固的部分得到较慢凝固的部分补缩，而较慢凝固的部分得到冒口的补缩，使缩孔集中于冒口中，从而获得致密的优质铸件。

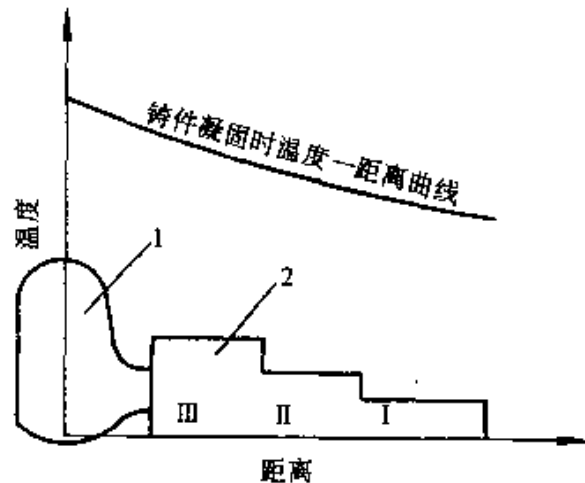


图 5-5 定向凝固示意图

1—冒口 2—铸件

定向凝固和逐层凝固是两个不同的概念。逐层凝固是指铸件某截面上，先在铸件表面凝固，然后向铸件中心推进，最后中心凝固。逐层凝固有利于定向凝固；而体积凝固由于结晶骨架迅速遍布整个截面，阻塞补缩通道难以实现定向凝固。因此，考虑采取定向凝固原则时，应考虑合金本身的性质。

定向凝固的优点是冒口补缩作用好，铸件内部致密。但铸件不同部位温差较大，故热应力较大，易使铸件变形或产生热裂。定向凝固

原则一般需加冒口和补贴，增加了金属的消耗量和切割冒口的工作量。

2. 同时凝固原则 同时凝固原则是从工艺上采取各种措施，保证铸件各部分近乎同时凝固，各部分之间温度差较小，见图5-6。同时凝固原则的优点是各部分冷却均匀，热应力小，铸件不容易变形和产生裂纹，一般不设置冒口或冒口很小，节省金属，提高工艺出品率。而且切割冒口的工作量较小。但对于液态收缩大的铸件往往在中心区域形成缩松，降低了铸件的强度和致密性。

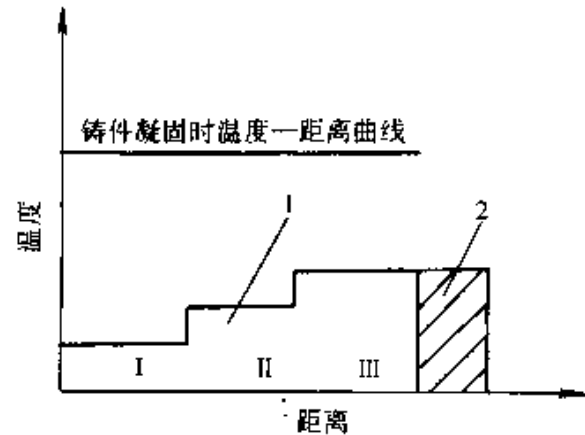


图 5-6 同时凝固示意图

1—铸件 2—冷铁

但对于液态收缩大的铸件往往在中心区域形成缩松，降低了铸件的强度和致密性。

三、铸件凝固原则的选择

铸件的定向凝固和同时凝固，两者存在着相互对应的优缺点。铸件采取何种凝固原则，主要取决于下列两个方面。

1. 合金的铸造性质 合金的铸造性质基本上决定铸件采取何种凝固原则。凝固收缩大，结晶温度范围小，不产生大量妨碍补缩的结晶骨架的合金，如铸钢、可锻铸铁、高牌号灰铸铁和黄铜通常采用定向凝固。但当热裂、变形成为某铸件的主要矛盾时，也可采用同时凝固。

碳硅含量高的灰铸铁，其体积收缩较小，甚至不收缩，合金本身不容易产生缩孔和缩松；球墨铸铁件利用石墨化膨胀力实现自身补缩；壁厚均匀的铸件，尤其是薄壁铸件，倾向于同时凝固；结晶温度范围宽，容易产生缩松的合金而致密性要求不高，采取冒口也难消除缩松。一般采取同时凝固原则。

2. 铸件的工作条件和结构特点 铸件的工作条件和结构特点是决定采取何种凝固原则的主要因素。承受高温、高压、不允许渗漏，或受力很大又要保证绝对安全使用的铸件或铸件某些部位；铸件致密性要求较高且进行机械加工，采用定向凝固原则。要求不高、铸件内

缩孔、缩松不影响使用，局部受力较大、要求不高，此处又不是热节点的铸件，一般采用同时凝固原则。

以上介绍了铸件的两种凝固原则及其适用范围。但对某一具体铸件而言，到底采取何种凝固原则，还应根据该铸件的合金特点，铸件结构及其技术要求，以及可能出现的缺陷等综合考虑，找出矛盾的主要方面，最后才能合理地确定凝固原则。

四、控制铸件凝固的方法

目前控制铸件凝固的方法，常用的工艺措施有以下几种：正确布置浇注系统的引入位置，选择合理的浇注工艺；合理设计铸件结构；采用具有不同蓄热系数的造型材料。

对以上工艺措施分述如下：

1. 浇注系统的引入位置及浇注工艺

(1) 正确布置内浇道 金属液引入位置是指内浇道安置在铸件的什么位置。内浇道位置确定后，金属液在型腔内流动的路线和温度分布基本确定了，而温度分布将影响铸件凝固。内浇道在铸型不同高度上有三种引入位置：顶注式、底注式、中间注入式。图 5-7 是铸型不同引入方式和铸件纵向温度分布关系。

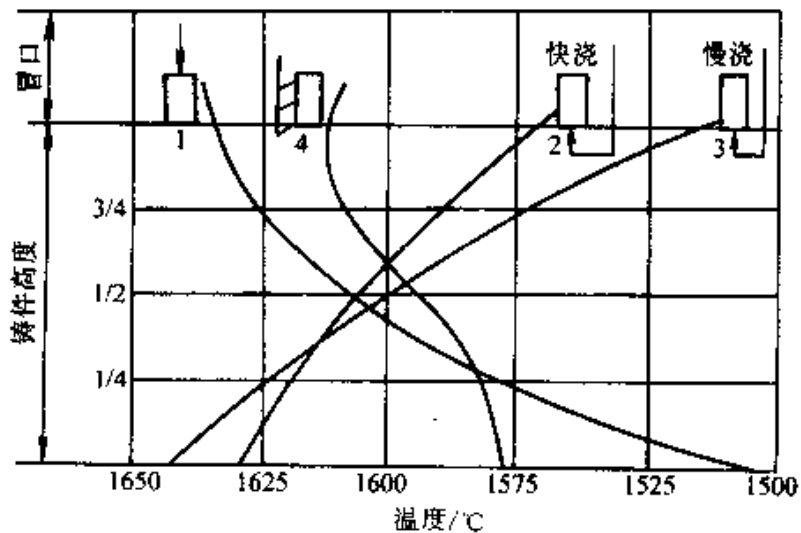


图 5-7 各种引入方式与铸件温度分布的关系

1—顶注式 2—底注式快浇 3—底注式慢浇 4—阶梯式

曲线 1 是顶注式，越接近冒口金属的温度越高，有利于实现定向

凝固。

曲线 2 是底注式快速浇注，铸件底部温度高，越接近冒口温度越低，形成反定向凝固，不利于冒口的补缩，容易在铸件底部产生缩孔或缩松。

曲线 3 是底注式慢浇注，由于金属液在底部流动时间延长，上升缓慢，铸型吸收的热量增加。因此上下温差比快速底注更大，因而，在铸件底部产生缩孔或缩松的倾向性更大。

曲线 4 是阶梯式浇注，金属液从底部进入，当液面上升到一定高度后，再从上一层内浇道注入高温金属液，这样在铸型不同高度上逐层注入高温金属液，比底注式所造成的反向温度分布改善。内浇道层次开的越多。铸型内纵向温度分布越接近于顶注式，因而可获得自下而上定向凝固温度分布。

(2) 选择合理的浇注工艺

1) 在浇注工艺中，控制浇注温度和浇注速度，可以加强定向凝固或同时凝固。

浇注速度越慢，则金属液流经铸型的时间越长，远离浇道处的金属液温度越低，而浇道附近铸型长时间加热使温度升高，结果浇道附近的金属液冷却缓慢，从而扩大了铸件各部分的温差，有利于定向凝固。浇注速度快则使铸件各部分温度趋向均匀，减少了温差，有利于同时凝固。

2) 采用回转铸型法的浇注工艺 在某些情况下（如铸件形状复杂，合金液易氧化等）必须采用底注式，但底注式又无法造成冒口补缩所需的定向凝固。生产上通常采用回转铸型法，见图 5-8。即浇注时采用底注式，保证金属液平稳地充型，浇注后将铸型回转一定角度，既可实现指向冒口的定向凝固，又可提高冒口的补缩效果。其缺点是须添置回转铸型装置，增加操作麻烦，占用较大生产面积，因而不能适应机械化生产的要求。

2. 合理设计铸件结构 铸件结构设计不当，在生产过程中就难以实现定向凝固或同时凝固的原则。在条件允许的情况下，可以改变铸件结构。如铸件壁的拐角处既是应力集中处，又是热节点，容易产生铸造缺陷，一般采用冷铁。最好将该处内外角改成圆角，形成均匀

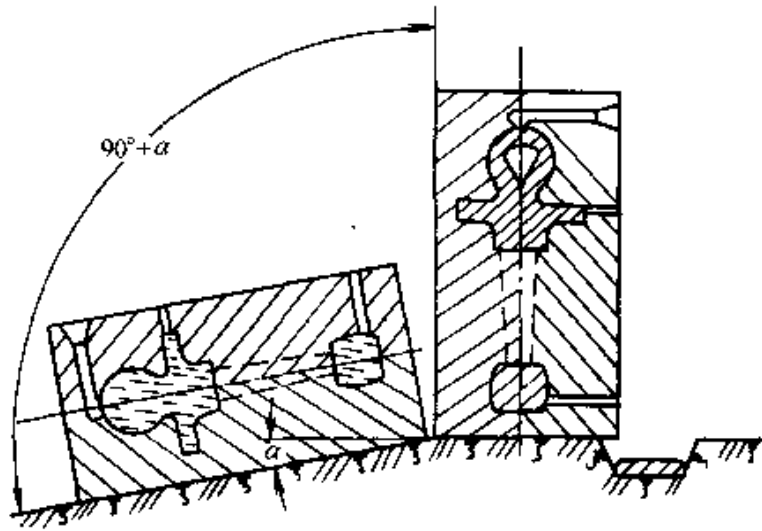


图 5-8 用回转铸型法实现定向凝固

壁厚，创造同时凝固条件，防止产生铸造缺陷。

采用补贴的方法可以实现定向凝固，即改变铸件壁厚，使它向着冒口逐渐增厚以实现定向凝固。这个增厚的部分称为补贴。补贴就是改变铸件结构形式。待铸件生产后，再将补贴切除。

补贴一般希望放在加工面上，以便在切削加工时切除。如果铸件使用条件允许，补贴也放在非加工面上，减少切削加工成本。

3. 改变铸型材料来控制铸件凝固

(1) 冷铁 外冷铁是铸型的一部分，安放外冷铁实质上是改变铸型某部分造型材料的蓄热系数，加快铸件热节点的冷却速度，达到控制铸件凝固的目的。

(2) 造型材料 利用改变铸型材料蓄热系数的方法来控制铸件凝固。生产中常常在散热条件较差的圆角处贴上一层铬矿砂或镁砂，以改善该处的凝固速度。或在普通砂中掺入铸铁屑来提高造型材料的蓄热系数，控制铸件凝固。

综上所述，控制铸件的凝固，应根据合金性质，铸件结构和对铸件所提出的技术要求，同时考虑冒口、冷铁和补贴等工艺措施来实现某一种凝固原则。

第二节 铸件的收缩

金属的体积和线尺寸是随温度和状态的不同而变化。其原因为：液态金属温度下降，空穴数量减少，原子间距离缩短，液态金属体积减小。温度继续下降时，液态金属凝固。发生由液态到固态的状态变化，原子间距离进一步缩短。金属完全凝固后，在固态下继续冷却时，原子间距离又要缩短，固态金属的体积和尺寸减小。液态金属浇入铸型后，其在液态，凝固态和固态冷却过程，体积和尺寸产生减小的现象，称为收缩。收缩是铸造合金本身的物理性质。

金属从液态到常温的体积改变量称为体收缩。金属在固态时从高温到常温线尺寸的改变量，称为线收缩。在设计和制造模样时，需要考虑线收缩。

铸造合金的收缩是产生缩松、缩孔、裂纹，应力和变形等缺陷的基本原因。因此，研究铸件收缩规律和收缩特点，对获得形状、尺寸准确，组织致密的优质铸件，合理设置冒口、冷铁和铸肋，防止上述铸造缺陷产生，有着重要的意义。

一、铸造合金的收缩

在实际生产中，通常以相对收缩量表示金属的收缩特性。相对收缩量又称为收缩率。单位体积的相对收缩量称为体收缩率；单位长度的相对收缩量称为线收缩率。

当温度由 t_0 下降到 t_1 时，金属的体收缩率和线收缩量分别为：

$$\epsilon_v = \frac{V_0 - V_1}{V_0} \times 100\% = \alpha_v(t_0 - t_1) \times 100\% \quad (5-1)$$

$$\epsilon_l = \frac{l_0 - l_1}{l_0} \times 100\% = \alpha_l(t_0 - t_1) \times 100\% \quad (5-2)$$

式中 l_0 、 l_1 ——金属在 t_0 和 t_1 时的长度 (cm)；

V_0 、 V_1 ——金属在 t_0 和 t_1 时的体积 (cm^3)；

α_v 、 α_l ——金属在 $(t_0 - t_1)$ 温度范围内的体收缩系数和线收缩系数 ($1/^\circ\text{C}$)。

$$\alpha_v \approx 3\alpha_l \text{ 或 } \alpha_l \approx \frac{1}{3}\alpha_v, \quad \epsilon_v \approx 3\epsilon_l$$

ϵ 是某一温度区间的相对收缩量，为 α 与温度差的乘积。因此， ϵ 既与金属的性质有关，又与温度区间大小有关。

二、铸造合金收缩特性

任何一种液态合金浇入铸型后，从浇注温度冷却到常温都要经历三个相互联系的收缩阶段（图 5-9）：Ⅰ—液态收缩阶段；Ⅱ—凝固收缩阶段；Ⅲ—固态收缩阶段。

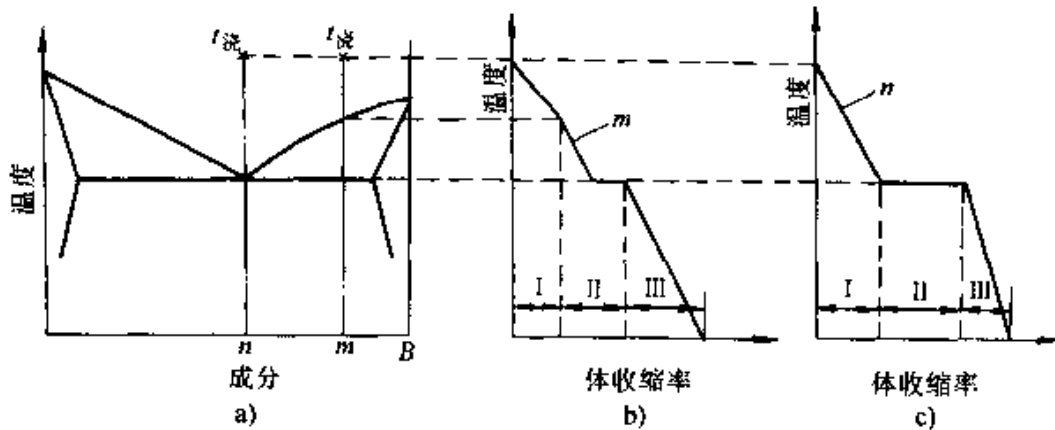


图 5-9 铸造合金的收缩过程示意图

- a) 合金状态图 b) 具有结晶温度范围合金 (m 成分) 的收缩过程
c) 共晶合金 (n 成分) 的收缩过程

铸造合金在不同阶段的收缩特征是不同的，而且对铸件质量影响也有所不同。

1. 液态收缩阶段 充满铸型瞬间，液态金属从浇注温度 $t_{\text{浇}}$ 冷却至开始凝固的液相线温度 $t_{\text{液}}$ 的体收缩称为液态收缩。因为此阶段中金属处于液态，体积的收缩仅表现型腔内液面的降低。液态收缩的大小，可用体收缩率表示：

$$\epsilon_{V\text{液}} = \alpha_{V\text{液}} (t_{\text{浇}} - t_{\text{液}}) \times 100\% \quad (5-3)$$

式中 $\epsilon_{V\text{液}}$ —— 液态体收缩率 (%)；
 $\alpha_{V\text{液}}$ —— 金属的液态体收缩系数 ($1/^\circ\text{C}$)；
 $t_{\text{浇}}$ —— 金属液的浇注温度 ($^\circ\text{C}$)；
 $t_{\text{液}}$ —— 液相线温度 ($^\circ\text{C}$)。

从式 (5-3) 中可以看出，液态体收缩率与液态金属的过热度 ($t_{\text{浇}} - t_{\text{液}}$) 和液态体收缩系数 $\alpha_{V\text{液}}$ 有关。

对于同一成分铸造合金，液相线温度 $t_{\text{液}}$ 是一个常数，因此浇注

温度 $t_{\text{液}}$ 越高, 液态体收缩率就越大。如果合金成分改变, 则液相线温度 $t_{\text{液}}$ 随之改变, 当其它条件不变时, $t_{\text{液}}$ 越低, 则液态体收缩率越大。液态体收缩率与其体收缩系数 $\alpha_{V\text{液}}$ 之间成正比。 $\alpha_{V\text{液}}$ 随着化学成分和温度不同而变, 计算时通常根据不同化学成分和温度范围取平均值。

2. 凝固收缩阶段 当合金从液相线温度 $t_{\text{液}}$ 冷却到固相线温度 $t_{\text{固}}$ 所发生的体收缩称为凝固收缩。具有结晶温度范围的合金的凝固收缩主要包括温度降低和状态改变两个部分。恒温下结晶的金属和合金凝固收缩率只与状态改变有关, 故一般具有一定的值。凝固收缩也用体收缩率表示为

$$\epsilon_{V\text{凝}} = \alpha_{V\text{凝}} (t_{\text{液}} - t_{\text{固}}) \times 100\% \quad (5-4)$$

式中 $\epsilon_{V\text{凝}}$ ——凝固收缩率 (%) ;
 $\alpha_{V\text{凝}}$ ——金属的凝固收缩系数 ($1/^\circ\text{C}$) ;
 $t_{\text{液}}$ ——金属液相线温度 ($^\circ\text{C}$) ;
 $t_{\text{固}}$ ——金属固相线温度 ($^\circ\text{C}$) 。

3. 固态收缩阶段 当合金从固相线温度 $t_{\text{固}}$ 冷却到室温 $t_{\text{室}}$ 时所产生的收缩, 称为固态收缩。

在固态收缩阶段, 铸件各个方向上表现为线尺寸的缩小。因此, 此阶段对铸件的形状和尺寸精度影响最大。这是铸件产生应力、变形和裂纹的基本原因。固态收缩一般采用线收缩率来表示:

$$\epsilon_l = \alpha_l (t_{\text{固}} - t_{\text{室}}) \times 100\% \quad (5-5)$$

式中 ϵ_l ——金属的线收缩率 (%) ;
 α_l ——金属的固态线收缩系数 ($1/^\circ\text{C}$) ;
 $t_{\text{固}}$ ——金属的固相线温度 ($^\circ\text{C}$) ;
 $t_{\text{室}}$ ——室温 ($^\circ\text{C}$) 。

由式 (5-5) 中可见, 合金的线收缩率与 α_l 、 $t_{\text{固}}$ 有直接关系。 α_l 与 $t_{\text{固}}$ 越大, ϵ_l 随之增大; 反之, ϵ_l 则随之减小。

综上所述是一般铸造合金收缩特性的基本概念。对于某些铸造合金, 在凝固期间相变特点并不完全相同, 而且在固态期间所发生的相变还可能存在差异, 故它们的实际收缩特性更为复杂。铸钢和铸铁是

工业上最常用的铸造合金，下面分述这两种合金收缩特性。

三、铸钢的收缩

和其它铸造合金一样，铸钢的收缩过程也分为液态收缩，凝固收缩和固态收缩三个阶段。

1. 液态收缩 铸钢的液态体收缩率由公式 (5-3) 表示：

$$\epsilon_{V液} = \alpha_{V液} (t_{浇} - t_{液}) \times 100\%$$

当铸钢的化学成分一定时， $t_{液}$ 和 $\alpha_{V液}$ 均为常数， $t_{浇}$ 越高，则 $\epsilon_{V液}$ 越大，根据实验，钢液温度每下降 100°C ， $\epsilon_{V液}$ 约下降为 $1.5\% \sim 1.75\%$ 。当 $t_{浇}$ 一定时，提高钢液含碳量， $t_{液}$ 下降， $(t_{浇} - t_{液})$ 增大，每增加 1% 质量分数的碳， $\alpha_{V液}$ 增大 20% ，所以 $\epsilon_{V液}$ 增加。 $\epsilon_{V液}$ 随含碳量和浇注温度增加而增加。

2. 凝固收缩 如前所述，具有结晶温度范围合金的凝固体收缩率 $\epsilon_{V凝}$ ，主要包括温度降低和状态改变两部分。温度降低，引起体收缩增大；含碳量增加，铸钢的结晶温度范围扩大。因而， $\epsilon_{V凝}$ 也随着含碳量增加而增大。

3. 固态收缩 铸钢的固态收缩区分为以下三个阶段：

(1) 珠光体转变前收缩 发生在从凝固終了到奥氏体 $\gamma \rightarrow$ 铁素体 α 相变前的温度范围内，以 $\epsilon_{V珠前}$ 表示。这是由于奥氏体冷却收缩而形成的。

(2) 共析转变期的膨胀 发生在奥氏体 $\gamma \rightarrow$ 铁素体 α 相变的温度范围内，以 $\epsilon_{V\gamma \rightarrow \alpha}$ 表示。这是由于体心立方晶格的 α 相的比容，比之面心立方晶格的 γ 相大所造成的。

(3) 珠光体转变后的收缩 发生在奥氏体 $\gamma \rightarrow \alpha$ 相变終了到室温的温度范围内，以 $\epsilon_{V珠后}$ 表示，这是由于珠光体冷却收缩而形成的。

因此，铸钢的固态体收缩率由如下三部分确定

$$\epsilon_{V固} = \epsilon_{V珠前} - \epsilon_{V\gamma \rightarrow \alpha} + \epsilon_{V珠后} \quad (5-6)$$

固态线收缩率则为

$$\epsilon_l = \epsilon_{珠前} - \epsilon_{\gamma \rightarrow \alpha} + \epsilon_{珠后} \quad (5-7)$$

从浇注温度冷却至常温，铸钢的总体积收缩率为

$$\epsilon_{V总} = \epsilon_{V液} + \epsilon_{V凝} + \epsilon_{V固} \quad (5-8)$$

四、铸铁的收缩

图 5-10 为温度降低时灰铸铁和白口铸铁体收缩率曲线的一般形式。从图示可知，铸铁和铸钢一样，在其收缩过程中同样经历液态收缩、凝固收缩、固态收缩三个阶段。白口铸铁的曲线形状与铸钢基本相似，但是灰铸铁与铸钢不同。因为灰铸铁在凝固过程中，碳以石墨的形态析出，因而灰铸铁的收缩特征比铸钢更为复杂。

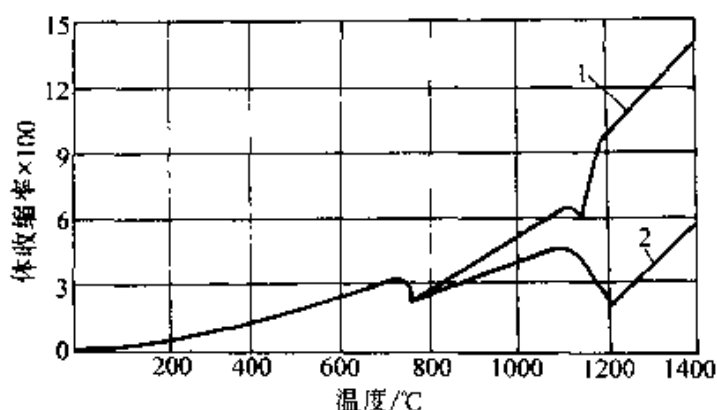


图 5-10 铸铁的收缩过程曲线

1—白口铸铁 2—灰铸铁

1. 液态收缩 铸铁的液态体收缩系数 $\alpha_{V液}$ 随铸铁中的碳质量分数提高而增大，对于亚共晶铸铁 $\alpha_{V液}$ 的平均值为

$$\alpha_{V液} = (90 + 30w(C)) \times 10^{-6} \quad (5-9)$$

式中 $w(C)$ ——铸铁中总的碳质量分数 (%)。

铸铁中碳的质量分数每增加 1%，其液相线温度下降 90℃，由此得：

$$\epsilon_{V液} = \alpha_{V液}(t_{浇} - 1540 + 90w(C)) \times 100\% \quad (5-10)$$

由以上公式可知，当浇注温度一定时， $\epsilon_{V液}$ 随含碳量增加而增大。

2. 凝固收缩 亚共晶白口铸铁凝固收缩和铸钢相似是状态改变和温度降低共同作用的结果。若取状态改变的体收缩率的平均值为 3.0%，凝固温度范围内的体收缩系数平均值为 $1.0 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 。

则凝固体收缩率 $\epsilon_{V凝}$ 为

$$\epsilon_{V凝} = 3.0\% + 1.0 \times 10^{-4}(t_{液} - t_{固}) \times 100\% \quad (5-11)$$

随着碳的质量分数的增加，白口铸铁和灰铸铁的凝固收缩率减小。

对于灰铸铁，当碳量足够高时，由于石墨化膨胀，在铸件内部产生很大的压力，使尚未凝固的液体能对因凝固收缩而形成的孔洞进行充填。所以灰铸铁有“自补缩”作用，这是灰铸铁作为铸造合金的一大优点。

3. 固态收缩 铸铁的固态收缩分为五个阶段：

(1) 最初收缩 $\epsilon_{\text{初缩}}$ 这种收缩很小。

(2) 收缩前膨胀 $\epsilon_{\text{缩前}}$ 其原因是共晶转变后期石墨化所造成的，其膨胀值大小，不仅与石墨化程度有关，且与铸铁的凝固特性有关。石墨化进行得越充分，则膨胀值就越大。

(3) 珠光体转变前收缩 $\epsilon_{\text{珠前}}$ 这一阶段收缩与奥氏体的温度降低及石墨化过程有关。

(4) 共析转变膨胀 $\epsilon_{\text{共膨}}$ 这个阶段膨胀是在共析转变时由于奥氏体分解为铁素体和石墨，或者珠光体造成的。石墨化进行的越充分，珠光体含量越少，则膨胀值越大。

(5) 珠光体转变后收缩 $\epsilon_{\text{珠后}}$ 在共析温度以下开始，因石墨化程度极其微弱， $\epsilon_{\text{珠后}}$ 主要取决于这个阶段的收缩系数。

收缩前膨胀和珠光体转变前收缩对铸件的热裂倾向性有主要影响。珠光体转变前收缩，珠光体转变后收缩和共析转变膨胀对铸铁产生应力、变形和冷裂有影响。

五、铸件的收缩

前面讨论的收缩特性，只考虑了金属本身的成分，温度和相变的影响。在实际生产中铸件的收缩受到外界阻力的影响。铸件忽略阻碍的收缩，称为自由收缩。铸件在铸型中的收缩还受到其它阻碍而不能自由收缩，称为受阻收缩。对于同一合金，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. 铸型表面摩擦力 铸件收缩时，其表面与铸型表面之间摩擦力大小与铸件重量，铸型表面粗糙度有关。

2. 热阻力 铸件各部分冷却速度不一般，收缩受到彼此制约产生阻力而不能自由收缩称为热阻力。热阻力的产生主要与铸件结构有关。

3. 机械阻力 铸件由于本身结构特点，在收缩时受到铸型和型芯的阻力称为机械阻力。(如铸件突出部位和内腔型芯)。阻力大小取决于造型材料的强度、退让性、铸型和型芯紧实度，箱带和芯骨的位置，以及铸件本身的厚度和长度。机械阻力使铸件收缩量减小。

第三节 缩孔和缩松的形成及防止方法

铸件在凝固过程中，由于合金的液态收缩和凝固收缩，往往在铸件最后凝固部位或热节处产生孔洞，称为缩孔。其特征：在铸件最后凝固的部位或热节处，孔内壁粗糙不平，形状不规则，晶粒粗大，有发达的枝状晶末梢，故可与气孔区别。体积大而集中的孔洞称为集中缩孔，简称缩孔。细小而分散的孔洞称为分散性缩孔，简称缩松。

铸件中存在任何形态的缩孔，都会减小铸件有效承载面积，承载时在缩孔处应力集中，使铸件的力学性能显著降低，对承受液压或气压的铸件，因达不到耐压指标而报废。

缩孔和缩松是铸件常见缺陷之一。为了有效地防止这些缺陷的发生，获得健全优质铸件，必须了解缩孔和缩松的形成机理。

一、缩孔

从前面所讨论的一般合金、灰铸铁、球墨铸铁凝固特性可以知道，它们的凝固方式和收缩特点各不相同，因此，它们缩孔形成机理也各有特点。现分别讨论：

1. 一般合金的缩孔形成 缩孔体积较大，多集中在铸件上部和最后凝固部位。

铸件中形成的缩孔的体积和合金总的体收缩（即液态体收缩、凝固体收缩和固态体收缩之和）并不相同，然而三个阶段的收缩对缩孔均有影响。

下面以圆柱体铸件为例讨论缩孔的形成过程，假定所浇注的合金结晶温度范围很窄（或金属在恒温下凝固），铸件由表及里逐层凝固，其过程见图 5-11。

图 5-11a 表示液态合金充满铸型，并通过型腔向外散热，使铸件形成由中心向外表递减的温度梯度，发生液态体收缩，此时可从浇注系统得到补缩。因此，型腔在此期间充满金属液。

当铸件外表降至凝固温度时，铸件表面凝固成一层硬壳，所形成的硬壳像一个封闭的容器，紧紧包围着内部金属液。如图 5-11b。

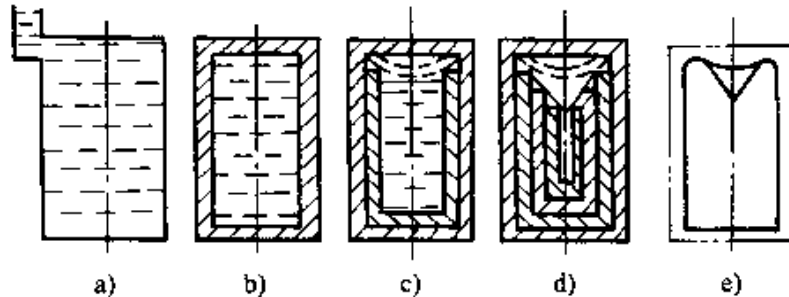


图 5-11 铸件中缩孔形成过程示意图

当进一步冷却时，由于壳内金属的液态收缩，凝固收缩大大超过硬壳的固态收缩，因而在重力作用下，液面与外壳的顶面脱离，如图 5-11c。

随着凝固的继续进行，硬壳不断加厚，液面不断下降，金属液全部凝固后，在铸件上部形成一个倒锥形缩孔。如图 5-11d。如果硬壳内金属液含气量低，那么当液面和硬壳顶面脱离时，缩孔内形成真空，上表面的薄壳在大气压力作用下可能向缩孔方向凹陷下去，如图 5-11c 和 d 中虚线所示。因此缩孔包括外面的缩凹和内部的缩孔两部分。

从铸件外壳开始凝固，到中心凝固完毕，缩孔的总体积可用下式表示：

$$V_{\text{缩孔}} = V_{\text{缩液}} + V_{\text{缩凝}} - V_{\text{缩壳}} \quad (5-12)$$

式中 $V_{\text{缩孔}}$ ——缩孔的总体积；

$V_{\text{缩液}}$ ——液态体收缩所产生的缩孔体积；

$V_{\text{缩凝}}$ ——凝固时因状态变化和温度降低引起的凝固体收缩所造成的缩孔体积；

$V_{\text{缩壳}}$ ——凝固期间表层固态硬壳因温度降低发生固态收缩所造成的缩孔体积减小。

铸件凝固完毕后，其体积在固态下将随着温度降至室温而不断缩小，结果缩孔的绝对体积略有减小，但在此阶段中，缩孔体积和铸件体积的相对比值是不变的。

虽然缩孔体积的理论计算公式与实际生产可能有很大距离，但它说明了凝固过程各个阶段与缩孔形成的关系和影响缩孔大小的规律，对实际生产有一定的指导作用。

2. 影响缩孔体积的主要因素

(1) 合金的液态收缩越大，则缩孔体积越大。

(2) 合金的凝固收缩越大，则缩孔体积越大。

(3) 合金的固态收缩越大，则缩孔体积越小。

(4) 浇注速度越慢，缩孔体积就越小。

(5) 铸型的激冷能力越大，缩孔的体积就越小。

(6) 铸件越厚，当铸件表面形成硬壳以后，内部的金属液温度就越高，液态收缩就越大，则缩孔体积不仅绝对值增加，其相对值也增加。

3. 缩孔位置的确定 集中缩孔产生在铸件最后凝固的区域，因此，确定缩孔的位置就是确定铸件最后凝固的区域。正确地确定铸件中缩孔的位置是合理地设置冒口或冷铁的必要根据之一。在生产实践中常用画“等固相线法”和“内切圆法”近似的确定缩孔的位置。

(1) 等固相线法 等固相线是指恒温下结晶或结晶温度范围很窄的合金，可将凝固前沿视为固液相的分界线，也是一条等温线。等固相线法是在铸件截面上从冷却表面开始逐层向内绘制等固相线，直到最窄截面上等固相线接触为止。此时，等固相线不连接的地方，就是铸件最后凝固区域，也就是缩孔的位置，如图 5-12 所示。

(2) 内切圆法 如果铸件是由两个以上相交壁组成，可以用画内切圆法确定缩孔位置（图 5-13）。从图中可以看出，相交壁处内切

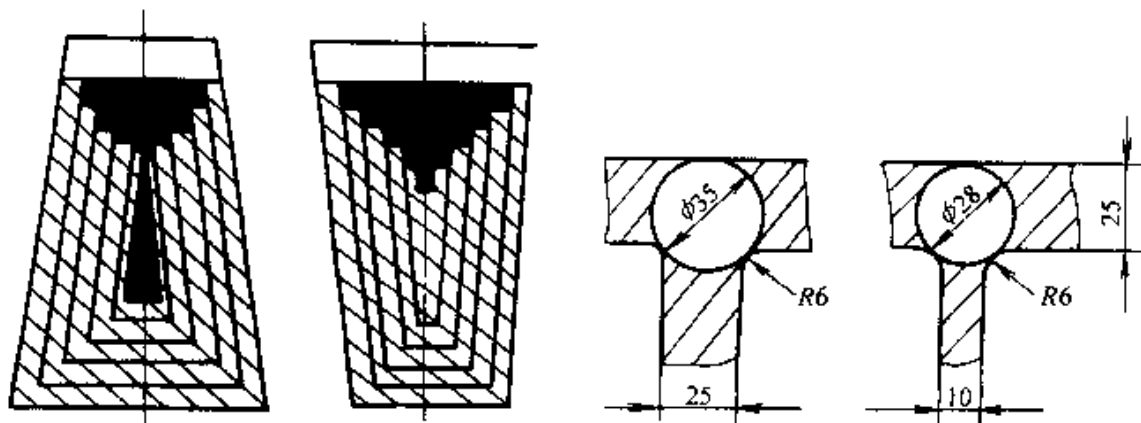


图 5-12 等固相线法确定铸件缩孔的位置 图 5-13 内切圆法确定铸件缩孔的位置

圆直径大于铸件壁厚，故此处凝固较晚，也是产生缩孔的部位，称为热节。此外，铸件中厚壁处和内浇道附近，也是凝固缓慢的热节。

二、缩松

缩松按其分布形态可分为宏观缩松和显微缩松两类：

1. 缩松的形成机理及影响因素

(1) 宏观缩松 宏观缩松一般在铸件最后凝固部位或在铸件缩孔的下方的轴线区域、内浇道附近。截面切开后，可直接观察到密集的孔洞，它与气孔不同，表面粗糙不平。

图 5-14 是棒状铸件形成轴线缩松的示意图。金属液浇入型腔后，由于铸型的吸热，紧靠型壁处首先凝固一层薄壳，随着温度降低薄壳厚度增加；同时由于铸型温度升高使冷却速度减小，铸件截面上的温度场平坦，凝固过程转向有利于树枝晶的生长；当凝固不断进行时，铸件中与冒口相通的液相区也不断缩小，使补缩的通道逐渐变窄，合金液受到的流动阻力增大，使补缩发生困难。结果如图 5-14 所示，在铸件中段树枝晶之间的合金液发生凝固收缩时，因冒口中的合金液无法对它进行补缩，终于在铸件的中心出现轴线缩松。

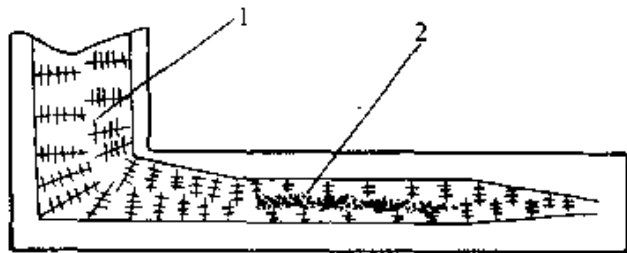


图 5-14 棒状铸件轴线缩松示意图

1—冒口，2—轴线缩松

当凝固不断进行时，铸件中与冒口相通的液相区也不断缩小，使补缩的通道逐渐变窄，合金液受到的流动阻力增大，使补缩发生困难。结果如图 5-14 所示，在铸件中段树枝晶之间的合金液发生凝固收缩时，因冒口中的合金液无法对它进行补缩，终于在铸件的中心出现轴线缩松。

宏观缩松的形成主要与合金成分，结晶凝固特点以及铸件凝固顺序有关。合金的结晶温度范围越大，铸件产生缩松的倾向性越大；当铸件各部分是同时凝固时，则容易形成宏观缩松，反之，若铸件是定向凝固时，则有利于消除宏观缩松，使宏观缩松的体积转入集中缩孔。

(2) 微观缩松 微观缩松是用肉眼或放大镜观察不出的晶粒间的微孔洞。产生在枝晶分叉之间。

铸件中微观缩松的形成，主要与合金的结晶温度范围及补缩压力等因素有关。合金的结晶温度范围越大，其凝固区域就越宽，树枝晶往往越发达，产生微观缩松的倾向增加；补缩压力越大，微观缩松的

倾向就减小；合金的热导率越大，铸件截面上温度场越平坦，凝固区域比较宽，微观缩松的倾向也会增大。提高铸型的冷却能力，铸件截面上的凝固区域变窄，微观缩松的倾向将会减小。

微观缩松在铸件中或多或少都存在着，因此对一般铸件往往不作为缺陷来看待。只有当铸件要求高气密性和高力学性能，才考虑减轻铸件的微观缩松，本节所讨论消除缩松问题主要是消除宏观缩松（以下简称缩松）。

2. 缩孔和缩松的转化规律 前面提到，逐层凝固的合金倾向于产生缩孔而不易形成缩松；体积凝固的合金倾向于产生缩松而难于形成缩孔。对一定成分的合金而言，其缩孔总体积基本上是一定的。缩孔和缩松数量可以相互转化，此关系可用下式表示：

$$V_{\text{总缩}} = V_{\text{缩孔}} + V_{\text{缩松}} + V_{\text{缩凹}} \quad (5-13)$$

对于纯金属和共晶成分的合金，由于在等温下结晶，铸件倾向于逐层凝固而形成缩孔。结晶温度范围宽的合金，倾向于体积凝固面形成缩松。

提高浇注温度，合金的液态收缩增大，缩孔体积和缩孔总体积增加，但对缩松体积影响不大。

当采用湿型浇注时，合金的冷却速度比干型快。铸件断面上温度场变陡，凝固区域变窄，因而使缩松减小，缩孔体积增大。

在凝固过程中增大外界压力，可使缩松减小而缩孔相应增大。

浇注速度慢，使浇注时间接近于铸件的全部凝固时间，或者在明冒口中不断地补浇高温合金液，则可以消除铸件中缩孔以缩松形式出现，铸件收缩总体积显著减小。

了解缩孔和缩松的转化规律，可以帮助我们根据铸件的使用要求，正确选择合金的化学成分，或者采取相应的工艺措施预防和消除上述缺陷。

三、灰铸铁和球墨铸铁铸件的缩孔和缩松

灰铸铁和球墨铸铁在凝固过程中因析出石墨而发生膨胀，使它们的缩孔和缩松的形成比一般合金复杂。

1. 灰铸铁与球墨铸铁缩孔、缩松的形成 亚共晶灰铸铁和球墨铸铁凝固的共同点是初生奥氏体迅速布满整个截面，使铸件长期处于

凝固状态，而且奥氏体枝晶具有很大的连成骨架的能力，使补缩难以进行。两种铸铁都有产生缩松的可能性。但它们的共晶凝固方式和石墨长大机理不同，产生缩孔和缩松的倾向性也不同。

图 5-15a 所示，灰铸铁共晶团中片状石墨，其尖端在共晶液中优先长大，所产生的体积膨胀，绝大部分直接作用在初生奥氏体枝晶间或共晶团的液体上，迫使液体通过枝晶间的通道去补缩由于液态和固态收缩而在奥氏体枝晶间或共晶团所形成的孔洞，使液体的补缩通道可以长时间保持畅通。且灰铸铁共晶凝固倾向于逐层凝固，凝固中期已有完全固化的外壳，铸件外形不膨胀，推动残余的液体去充填早期形成的空洞。这种灰铸铁“自补缩能力”使缩松的倾向性大大减小。因此，一般灰铸铁件不需用设置冒口补缩。

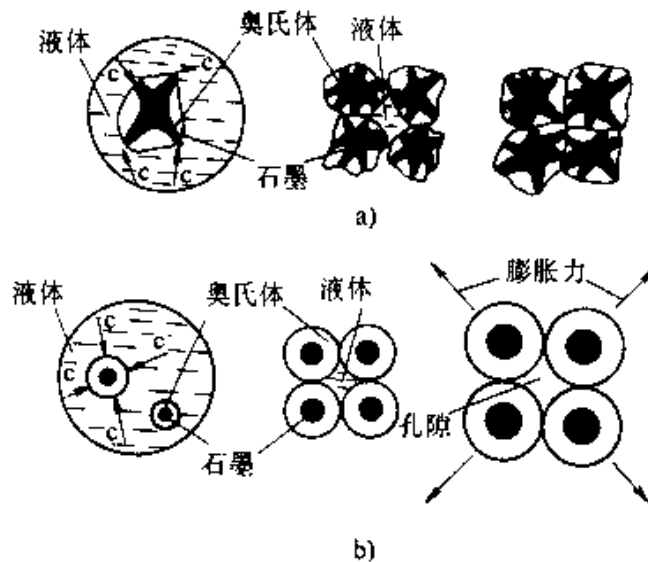


图 5-15 灰铸铁和球铁石墨长大特点
a) 片状石墨长大 b) 球状石墨长大

图 5-15b 所示，球墨铸铁在凝固中后期，石墨球在液体中长大到一定程度后，四周即形成环状奥氏体外壳，碳原子是通过奥氏体外壳扩散到共晶团的中心而继续引起石墨球长大，当共晶团长大到相互接触后，石墨化膨胀所产生的膨胀力，只有一小部分作用于晶间液体上，而大部分作用在相邻的共晶团或奥氏体枝晶上，趋向于把它们挤开。且球墨铸铁共晶凝固倾向于体积凝固，凝固后期铸件表面仍有液

体，没有完全固化的外壳，在较大的缩前膨胀作用下，铸件外形向外扩大，使枝晶间小孔洞的体积增大或数目增加。结果共晶团之间的间隙使铸件内形成缩松。这就是球墨铸铁件产生缩松的倾向性较大的原因。因此，提高铸型刚度，增强球墨铸铁的自补缩能力是实现球墨铸铁无冒口铸造的基础，亦是覆砂金属型铸造的基础。覆砂金属型铸造是铸造界 20 世纪 80 年代重大成果之一。

2. 灰铸铁和球墨铸铁缩孔和缩松的影响因素

(1) 铸铁成分 对于亚共晶灰铸铁，碳当量增加，共晶石墨的析出量增加，有利于消除缩孔和缩松。

对于碳当量的质量分数超过 4.3% 的过共晶铸铁，可能由于 C、Si 含量过高，铁液中出现石墨漂浮，反而石墨析出量减小，影响缩孔体积。

对于球墨铸铁，碳当量的质量分数大于等于 3.9%，充分孕育，增加铸型刚度，创造同时凝固条件，既可实现无冒口铸造，又可获得健全而致密的铸件。

对缩孔和缩松体积影响较大的是残留镁量，镁阻碍石墨化，因此，在保证球化的前提下，应尽可能降低残留镁量。

(2) 铸型刚度 铸型刚度大，铸铁在共晶转变发生石墨化膨胀时，型壁不会迁移，缩前膨胀小，缩孔体积相应减小。

四、缩孔和缩松的防止方法

防止铸件产生缩孔和缩松的基本出发点是根据该合金凝固特点和铸件结构，制订合理的铸造工艺来有效地控制凝固过程，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，并使缩孔移向铸件最后凝固的地方。这样，在铸件最后凝固的地方设置冒口，使缩孔集中于冒口中，或者把浇道开在最后凝固的地方直接补缩，即可获得健全的铸件。

防止缩孔和缩松产生的方法主要从合金性质、铸型条件、铸造工艺和铸件结构四个方面考虑。

1. 合金性质 在使用条件允许的情况，尽量选取结晶温度范围窄的合金。对于亚共晶灰铸铁和球墨铸铁，碳量增加，石墨化膨胀增大，有利于减小或消除缩孔和缩松。

2. 铸型条件 铸型刚度的大小将影响灰铸铁、球墨铸铁和蠕墨铸铁凝固过程中型壁迁移的大小。铸型的刚度因造型紧实度及铸型种类不同而异，应根据铸铁件的要求及实际生产情况合理地选择铸型，在可能的情况下，增加铸型的刚度，改善铸型散热条件。

3. 铸造工艺 合理的铸造工艺可以有效地防止缩孔和缩松。

(1) 合理地采取浇注系统的引入位置及浇注工艺；综合运用冒口、冷铁和补贴以及在浇口杯和冒口上加发热剂、保温剂。

(2) 采取合理熔炼工艺，减少金属液中气体及氧化物，提高其流动性和补缩能力。

(3) 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，可以消除显微缩松。

4. 铸件结构 合理改进铸件结构，力求壁厚均匀，减小热节。或使铸件壁厚变化有利于定向凝固。

第四节 铸造应力和铸件变形

铸件从凝固末期（当结晶骨架已形成并开始线收缩时）至常温的冷却过程中，当其线收缩受到阻碍时，就可能产生铸造应力和铸件变形等缺陷。

铸造应力和铸件变形对铸件质量的影响很大，铸造应力是铸件在生产、存放、加工及使用过程中产生变形和裂纹的主要原因。当铸件内产生的总应力值超过合金的屈服极限时，铸件将产生塑性变形，使铸件尺寸发生改变；当总应力值超过合金的强度极限时，铸件将产生裂纹；若总应力值低于合金的弹性极限时，则以残余应力存在于铸件内。当机件工作应力的方向与残余应力的方向相同时，应力叠加可能超出合金的强度极限发生断裂。有残余应力的铸件放置日久或经机械加工后会变形，使机件失去精度；产生变形的铸件可能因加工余量不足而报废；大批量生产时，变形的铸件在机械加工时因放不进夹具而报废。因此，在生产中尽量减小铸件在冷却过程中产生残余应力，并设法消除残余应力，对提高铸件的使用性能，防止铸件变形至关重要。

一、铸造应力及其种类

铸件在凝固和冷却的过程中，发生线收缩。有些合金还发生固态相变，也会引起体积的膨胀或收缩。这种变化往往受到外界的约束或铸件各部分相互制约，而不能自由地进行，就会在铸件内产生应力，称为铸造应力。

铸造应力按其产生原因分为三种：热应力，相变应力和机械阻碍应力。

热应力：铸件在凝固和以后的冷却过程中，由于铸件各部分冷却速度不同，造成同一时刻各部分收缩量不同。因而铸件内相互制约产生的应力，称为热应力。

相变应力：固态相变的合金，铸件各部分散热和冷却条件不同，彼此到达相变温度的时间不同，相变的程度也不同，而产生的应力称为相变应力。

机械阻碍应力：铸件在铸型中冷却时，其固态线收缩受到外部因素（铸型、砂芯、浇注系统等）的机械阻碍而产生的应力称为机械阻碍应力。

铸造应力按其作用时间可分为两种：临时应力和残余应力。

临时应力：产生铸造应力的原因消除后，铸造应力也随之消失的应力称为临时应力，它短时间存在铸件中。

残余应力：即产生铸造应力的原因消除，但铸造应力仍然存在，这种应力称为残余应力。

如果不采取措施或不再加工，残余应力可以永存于铸件中，不会自行消失，从而影响铸件质量。

二、铸造应力的形成过程和机理

1. 热应力 以应力框铸件为例，如图5-16。应力框由杆Ⅰ和杆Ⅱ组成。开始冷却时，杆Ⅰ和杆Ⅱ具有相同温度，由于杆Ⅰ较厚，冷却前期杆Ⅱ的冷却速度大于杆Ⅰ，而后期必然是杆Ⅰ的冷却速度比杆Ⅱ快。热应力形成过程可分三个阶段加以说明：

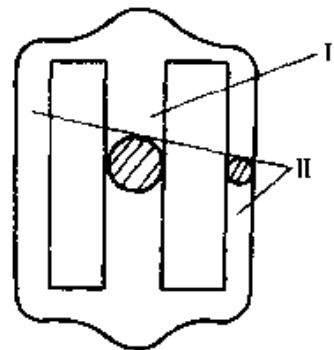


图 5-16 应力框铸件

第一阶段（高温阶段）：应力框凝固后，细杆Ⅱ比粗杆Ⅰ冷却快，收缩量大。但两杆具有相同长度，因此，粗杆Ⅰ因细杆Ⅱ收缩而被压缩，细杆Ⅱ因粗杆Ⅰ而拉伸。因两杆都处于高温塑性状态，各自都产生塑性变形，铸件内部不产生应力。

第二阶段（中温阶段）：细杆Ⅱ的温度下降较快，而进入低温弹性状态，而粗杆Ⅰ仍处于塑性状态，粗杆Ⅰ因细杆Ⅱ的收缩而产生压缩塑性变形，但铸件内部仍不产生应力。

第三阶段（低温阶段）：粗杆Ⅰ和细杆Ⅱ都进入低温弹性状态，细杆Ⅱ已冷却更低温度，甚至已达到常温，不再收缩，而粗杆Ⅰ还要继续收缩，因此粗杆Ⅰ的收缩受到细杆Ⅱ的阻碍。故粗杆Ⅰ被拉伸，细杆Ⅱ被压缩。粗杆Ⅰ内产生拉应力，细杆Ⅱ内产生压应力。

从上述讨论，可得以下结论：

(1) 铸件各部分厚薄不同就会产生热应力，厚部（粗）为拉应力，薄部（细）为压应力。

(2) 铸件中各部分厚薄相差越大，热应力就越大，从铸件结构来看。壁厚均匀的铸件，热应力较小。

(3) 厚大断面的铸件冷却后，外层（冷却快）存在压应力，内部（冷却慢）存在拉应力。

(4) 铸件材质的弹性系数和固态线收缩系数越大，则铸件的热应力也越大。

钢的弹性系数比灰铸铁大，因此，铸钢件热应力比灰铸铁件大。但是，由于钢的强度极限大，塑性较好，即使有较大的热应力也不一定就产生冷裂。而灰铸铁由于强度极限小，塑性差，产生冷裂的倾向反而较大。

灰铸铁的弹性系数与其牌号有关，高牌号灰铸铁比低牌号的大。故高牌号灰铸铁的热应力比低牌号灰铸铁高，产生冷裂的可能性也就大。

2. 相变应力 铸件在冷却过程中往往产生固态相变，相变时晶体体积会发生变化。从而影响铸造应力的方向和数值。如果铸件各部分温度不一致，相变不同时发生，则会产生相变应力，如果铸件各部分温度均匀一致，相变同时发生，则可能不产生宏观应力而只有微观

应力。

相变应力形成原因分为二种（以灰铸铁件为例）：

(1) 外层激冷进行固态转变，发生相变膨胀。内层尚未相变的为塑性，即使正在处于开始相变，也有相变塑性。由于表层相变膨胀，内层承受很大的拉应力，从而发生该时刻温度下的超屈服点 σ_s 的塑性拉伸变形，为永久变形，使内层尺寸增大。

(2) 内层进行固相转变而膨胀，本身受压应力也可能发生塑性压缩变形，但不足以抵销原有的塑性拉伸变形。同时内层对再内层产生拉应力，重复第一种情况导致内部尺寸增大。整个截面相变过程结束，由于内部尺寸增大，使外层产生残余相变拉应力，中心部分产生相变残余压应力。

综上所述，相变应力分布特点：横断面的外层即冷却快的部分（相当于铸件上的细薄部分）为拉应力，横断面的中心部分即冷却慢的部分（相当于铸件厚实部分）为压应力，这种分布特点恰好同热应力相反。

产生相变应力的根本原因：就是由于临时相变应力使内部发生单一的塑性拉伸变形，导致内部尺寸增大。从而使外层被迫伸长而产生拉应力，与之相平衡的中心部分产生压应力。

3. 机械阻碍应力 铸件中的机械阻碍应力，是由于铸件在冷却过程中收缩受到机械阻碍而产生，其主要来源有以下几个方面：

- (1) 铸型和型芯有较高的强度和较低的退让性。
- (2) 砂箱的箱带和型芯内的芯骨阻碍。
- (3) 浇冒口系统以及铸件上的突出部分阻碍。
- (4) 设置在铸件内的拉肋，防裂肋，分型面上的飞边阻碍。

机械阻碍应力表现为拉应力或剪切应力，与铸件部位无关。

由于机械阻碍应力是在弹性状态下产生的，形成应力的原因消除后，应力也随之消失。所以机械阻碍应力是一种临时应力。铸件厚实处的机械阻碍应力与残余热应力方向相同。铸件细薄处机械阻碍应力与残留热应力相反。铸造应力是热应力，相变应力和机械阻碍应力三者代数。根据不同情况，三种应力有时互相抵消，有时互相叠加，有时形成临时应力，有时形成残余应力。根据铸件不同部位，三种应

力归纳如表 5-1。

表 5-1 三种应力的分布特点

铸件部位	热应力	相变应力		机械阻碍应力	
		由于共析转变	由于石墨化	落砂前	落砂后
细薄处或截面外层	压应力	拉应力	拉应力	拉应力	0
厚实处或截面内层	拉应力	压应力	压应力	拉应力	0

三、减小和消除铸造应力的途径

1. 减小铸造应力的措施和途径 通过以上分析, 铸造应力的产生主要是由于铸件各部分的冷却速度不一致以及铸型和型芯等阻碍收缩的结果。因此, 要减小铸造应力主要是应设法减小铸件在冷却过程中各部分的温度差以及改善铸型和型砂的退让性。现分述如下:

(1) 合金方面 在满足铸件工作条件和成本的前提下, 选择弹性模量和收缩系数小的合金材料。

(2) 铸型和型砂方面 在铸件厚实处放置冷铁使铸件在冷却过程中温度分布均匀, 提高铸型预热温度, 提高铸型和型芯的退让性, 减小铸型表面摩擦阻力, 采用细的面砂和涂料。铸件凝固后及早卸去压箱铁, 松开砂箱紧固装置等。正确确定铸件在砂型中的停留时间, 然后打箱将铸件从砂型中清理出来。

(3) 浇注条件方面 合理开设内浇道和放置冒口, 同时考虑温度分布均匀和阻力最小的要求。

(4) 铸件结构方面 铸件壁厚尽可能均匀, 厚薄壁连接处合理过渡。热节要小而分散。

2. 消除铸件中残余应力的方法

(1) 热处理法 (人工时效) 一般规律是将铸件加热到塑性状态, 在此温度下保温一定时间, 使应力消失。再缓慢冷却至室温。

(2) 自然时效 将具有残余应力的铸件置于外界数月甚至半年以上, 使残余应力松弛或部分消除。此方法费用低, 但时间太长效率低, 残余应力消除不彻底, 生产中很少采用。

(3) 共振时效 其原理是调整振动频率, 使铸件在具有共振频率的激振力作用下获得相当大的振动能量。在共振过程中交变应力与残余应力叠加, 铸件局部屈服, 产生塑性变形, 使铸件中的残余应力逐

步消失。

四、铸件变形及其种类

铸件在冷却过程中，由于各部分冷却速度不同引起收缩量不一致，但各部分彼此相连相互制约。使其几何形状与图样不符称为铸件变形。

铸件变形可分为技术铸态变形和操作铸态变形。

由于铸件结构设计不合理，铸造工艺不恰当，铸造过程失控而产生的变形为技术铸态变形。

由于人为因素，例如模样制作有误，变形、砂芯下错，造型时模样活块遗漏或装错而造成的变形为操作铸态变形。

1. 扩口变形 半圆形、开口框架类铸件最容易产生扩口变形。柔性结构的铸件的开口自由结构部分口径扩大的变形称为扩口变形。

图 5-17a 是半齿轮铸钢件，图样要求其开口直径为 D_0 ，但铸件开口直径改变为 D_1 并且半圆边端翘起，产生扩口变形。图 5-17b 是船用后立稳铸件。铸件其开口自由结构 A、B、C 三点开口尺寸有规定要求，但由于扩口变形，不能达到要求，可设置拉肋，铸件经热处理后去除拉肋。

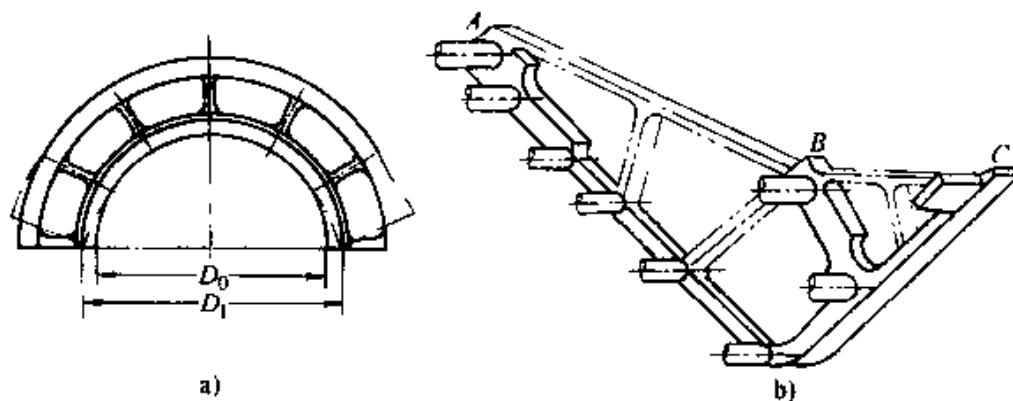


图 5-17 铸件变形—扩口变形

a) 半圆形铸钢件的扩口变形 b) 用拉肋防止其扩口变形 (图中假想线表示)

对于半圆齿轮铸件，可以设置拉肋，也可以做成整圆铸件（留出切缝量）。热处理后，再切成两个半圆铸件，可有效地防止扩口变形。

2. 翘曲变形 柔性结构铸件，打箱落砂后，铸件两边端或一边端甚至外围边端都翘起，使中部凹下导致铸件不平直的变形，称为翘曲变形。如图 5-18 所示。

铸件产生翘曲变形后，往往只能减小应力，而不能完全消除应力。机械加工以后，由于失去平衡的残余应力存在于零件内部，经过一段时间后又会产生二次翘曲变形，致使机器的零件失去应有的精度。

产生翘曲变形的铸件，如果合金的塑性较好，可以校正。对于脆性材料（如灰铸件）则不易校正，并因加工余量不够而报废，造成不必要的浪费。因此，防止铸件变形有着重要的意义。

五、防止铸件变形的途径

铸件变形的原因是冷却过程中铸件各部分冷却速度不一致。因此，防止铸件产生铸造应力的方法一般都可以防止铸件变形。

此外，从工艺上防止铸件变形的途径是：

1. 设置拉肋 对易产生扩口变形的铸件设置拉肋，防止变形。待铸件热处理后，将拉肋去除。如图 5-17b 所示。

2. 采取合理的铸造工艺措施 让铸件实现同时凝固，有利于防止翘曲变形。

3. 采取反变形措施 在模样上做出与铸件残余变形量相等、方向相反的预变形量（假曲率、反变形量）按该模样生产铸件，经冷却变形后，尺寸和形状刚好符合要求。如图 5-19 所示。

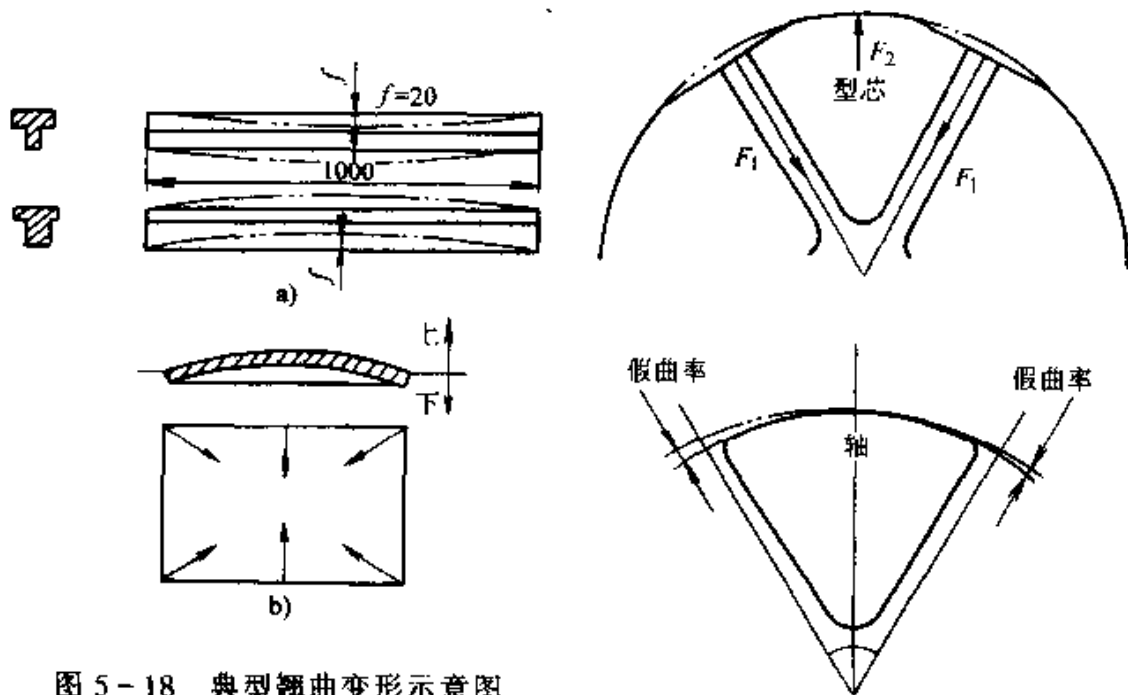


图 5-18 典型翘曲变形示意图

a) 机床床身翘曲变形

b) 板形铸件上拱翘曲变形

图 5-19 带轮的假曲率

4. 改变铸件的结构 采用变形轮辐代替直轮辐，减小阻力，防止变形。

5. 提高铸型刚度 加大压铁重量，可以减小铸件的翘曲变形量。

6. 控制铸件打箱时间 适当延长打箱时间，可避免或减小变形。对易变形的重要铸件，可采用早打箱，并立即放入炉内保温缓冷工艺。

第五节 铸件的裂纹

铸件表面或内部存在不规则的、曲线状的断裂，这种缺陷叫做裂纹，裂纹按产生的温度范围可分为热裂、冷裂、温裂三种。

一、铸件的热裂

铸件在凝固过程中和随后在固相线附近收缩产生的裂纹，因这种裂纹是在高温下形成的，故称为热裂。热裂是铸钢件，可锻铸铁坯件和铝合金铸件最常见的铸造缺陷之一。

1. 热裂的特征 热裂是铸件处于塑性变形状态下形成的，因其产生于高温状态，热裂表面严重氧化而呈氧化色，没有金属光泽。铸钢件裂纹表面近似黑色，铝合金则呈暗灰色。裂口内有时可看到树枝状结晶。裂纹沿晶界产生和发展的，故热裂外形曲折而不规则。

热裂可分为外裂和内裂两种类型。在铸件表面可以看见的热裂称为外裂，外裂纹从铸件表面开始逐渐向内部延伸，表面宽而内部窄，有时贯穿整个断面。外裂常发生在铸件拐角处，截面厚度有突变或局部冷凝慢，且在凝固时承受拉应力的地方。内裂常发生在铸件内部最后凝固的部位，常在缩孔的附近或尾部，裂纹表面很不光滑，常有很多分叉。

在铸件中存在任何形式的热裂都严重损害其力学性能，使用时因裂纹扩展使铸件断裂，发生事故。因此，任何铸件都不允许有热裂。外裂容易发现并作及时处理，内裂隐藏在铸件内部不易发现，故危害性更大。因此，了解和分析热裂的形成机理及其影响因素，以便采取必要的措施防止热裂产生，有着重要的意义。

2. 热裂形成的温度范围 热裂形成温度范围说法很多，主要有以下两种：①热裂是在凝固温度范围内，但邻近于固相线温度时形成

的，或者说是在有效结晶温度区间形成的，此时合金处于固-液态。

②热裂是在凝固以后，即稍低于固相线温度下形成的，此时合金处于固态。

3. 热裂的形成机理 关于热裂形成的机理主要有液膜理论和强度理论。

(1) 液膜理论 研究表明，合金的热裂倾向与合金结晶末期晶体周围的液体性质及其分布有关。铸件冷却到固相线附近时，晶体周围还有少量未凝固的液体，构成一层液膜。温度越接近固相线，液体数量越少，铸件全部凝固时液膜即消失。如果铸件收缩受阻，变形主要集中在液膜上，晶体周围的液膜被拉长，当应力足够大时，液膜开裂，形成晶间裂纹。

因此，液膜理论认为，热裂的形成是由于铸件在凝固末期晶间存在液膜和铸件在凝固过程中受拉应力共同作用的结果。液膜是产生热裂的根本原因，而铸件收缩受阻是产生热裂的必要条件。

(2) 强度理论 铸件在凝固末期，固相骨架已形成并开始收缩，由于收缩受阻，铸件中产生应力和塑性变形。当应力或塑性变形超过合金在该温度下的强度极限或变形能力时，铸件便产生热裂，对合金高温力学性能的研究表明，在固相线附近，合金的强度和断裂应变都很低，合金呈脆性断裂。

因此，强度理论认为，合金存在热脆区和在热脆区内合金的断裂应变低是产生热裂的重要原因，而铸件的集中变形是产生热裂的必要条件。

4. 热裂形成的影响因素及防止方法 凡能影响合金在热裂形成的温度范围内的线收缩、收缩阻碍和合金力学性能的因素，都将对热裂倾向产生影响，其中主要与合金性质、铸型阻力、浇冒口系统的分布、浇注工艺和铸件结构等方面有关。

(1) 合金性质 铸造合金的化学成分和结晶特点，对热裂有明显的影响。

有效结晶温度范围越小，热裂倾向越小，对共晶合金（即主要是共晶体的合金），成分越靠近共晶点，热裂倾向性越小。

合金的热脆区越大，热裂倾向性越大。硫、磷等元素具有增大热

脆区的作用。因此为了防止热裂纹，最基本的措施是严格控制磷和硫的含量。

合金的收缩量越大，则越容易产生热裂，灰铸铁和球墨铸铁在凝固过程中发生石墨化膨胀，不易发生热裂。而白口铸铁和铸钢热裂倾向较大。

晶粒越粗大，柱状晶方向越明显，产生热裂倾向越大。这是因为晶粒粗大晶间结合力低，且柱状晶的晶间强度又低于等轴晶。

分布于铸钢晶界的氧化夹杂物（如氧化铁、氧化锰、氧化硅等），大大削弱了晶间联系，从而促进形成热裂。

(2) 铸型阻力 铸件凝固后期进行线收缩时受到铸型阻力越大，则铸件内产生的收缩应力越大，铸件容易开裂。改善铸型和型芯退让性，能有效地防止铸件产生热裂。

砂箱的箱带和芯骨离铸件太近时，会加大铸件收缩阻力，铸件容易产生热裂。

(3) 浇冒口系统的分布 浇冒口的布置方案，可能影响铸件中热裂的形成。

靠近浇冒口部位温度高，冷却速度慢，易产生集中变形，故易形成热裂。因此，为防止铸件发生缩孔而采用的浇冒口布置方案，有增加热裂倾向性。

浇冒口位置和铸件的披缝阻碍铸件收缩，导致铸件热裂。

(4) 浇注工艺 浇注工艺（浇注温度和浇注速度）对热裂形成的影响是复杂的。

一般来说，提高浇注温度有利于减小薄壁铸件的热裂倾向。因为凝固速度减慢，减低铸件收缩速度；增大高温对铸型的热作用时间，使之失去强度，增加铸型退让性。

浇注速度是通过改变铸件的温度分布影响热裂的。对于薄壁件加快填充速度，可防止局部过热；对于厚壁铸件，则要求尽可能减小浇注速度。

(5) 铸件结构 铸件结构设计是否合理对热裂形成影响较大。

铸件结构设计不合理，使局部造成过厚的热节或引起应力集中的地方，易形成热裂。

铸件厚薄不均，各处冷却速度不同，薄的部位先凝固，具有较高的强度，阻碍厚实部分的凝固收缩，所以厚的部位易出现热裂。

总之，促使铸件热裂的因素很多，而且又是相互联系的。在分析铸件热裂形成原因时，综合考虑以上影响因素，采取相应的防止措施。

二、铸件的冷裂

冷裂是铸件处于弹性状态时，铸造应力超过合金的强度极限而产生的。冷裂一般出现在铸件受拉部位，特别是有应力集中的地方。凡是促使铸造应力增大的因素，都能使铸件冷裂倾向加大。

1. 冷裂的特征 冷裂的特征与热裂不同，外形呈圆滑曲线状或连续直线状，而且往往是穿过晶粒而不是沿着晶界断裂。冷裂断口表面干净，具有金属光泽或呈轻微的氧化色。这说明冷裂是在较低的温度下形成的。冷裂一般发生在内尖角处和缩孔，非金属夹杂物等附近。形状复杂的大型铸件容易形成冷裂，有些裂纹在打箱清理后即发现，有些是因铸件内部已有很大的残留应力，在清理及搬运时受到振击或出砂后受到激冷才开裂的。

2. 冷裂的形成原因 以带轮和飞轮的冷裂为例，如图 5-20 所示。

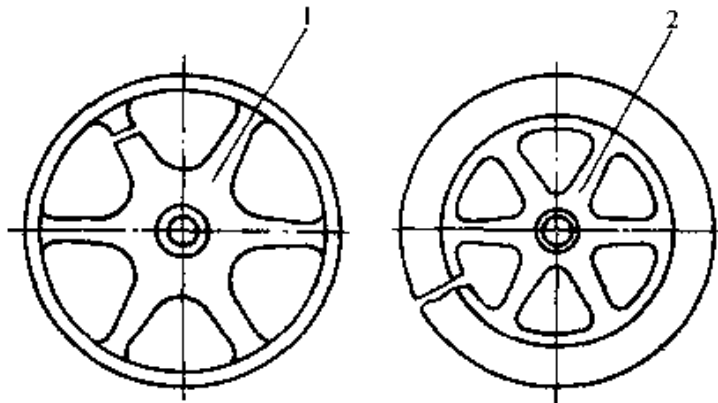


图 5-20 轮子的冷裂示意图

1—带轮 2—飞轮

带轮的轮缘和轮辐比轮毂薄，因此冷却较快，比轮毂先收缩，对轮毂施加压力，处于临界温度以上的轮毂被压缩而产生塑性变形，应

力随之消失。但当温度降至临界温度以下，进行收缩时，却要受到先已冷却的轮缘和轮辐的阻碍，轮辐就会产生拉应力。如果拉应力大于轮辐强度，就会发生断裂。飞轮的轮缘较厚，而轮辐和轮毂较薄，轮缘由于最后冷却而受到拉应力；而轮辐则受到压应力，应力太大的结果不是把轮辐压坏，就可能把轮缘拉断。

从以上分析可知，铸件的冷裂倾向与铸造应力及合金的力学性能（强度、塑性和韧性等）有密切关系。铸件产生冷裂的倾向和影响因素与铸造应力的因素基本一致，将铸造应力减至最低程度是防止铸件产生冷裂的根本方法。这在上一节已经讨论。

三、铸件的温裂

温裂是铸件在热处理或气割和焊补的过程中产生的。由于裂纹产生后所处的温度和周围介质的不同，温裂的表面有时存在氧化薄膜，有时呈金属光泽。

第六章 冒口和补贴

培训要点：本章主要讲述冒口和补贴的作用与意义，及其在实际生产中的应用，以及提高冒口补缩效率的途径。

第一节 冒口的种类、形状和安放位置

一、冒口的作用和种类

1. 冒口的作用 冒口在铸型内用于贮存金属液，当铸件收缩时，能补充熔融金属的金属体。它起防止铸件产生缩孔和缩松的作用，有时兼有排气和集渣作用。

2. 冒口的种类 冒口的种类很多，结构差异，分法不一，一般冒口分类如图 6-1 所示。常用的冒口如图 6-2 所示。

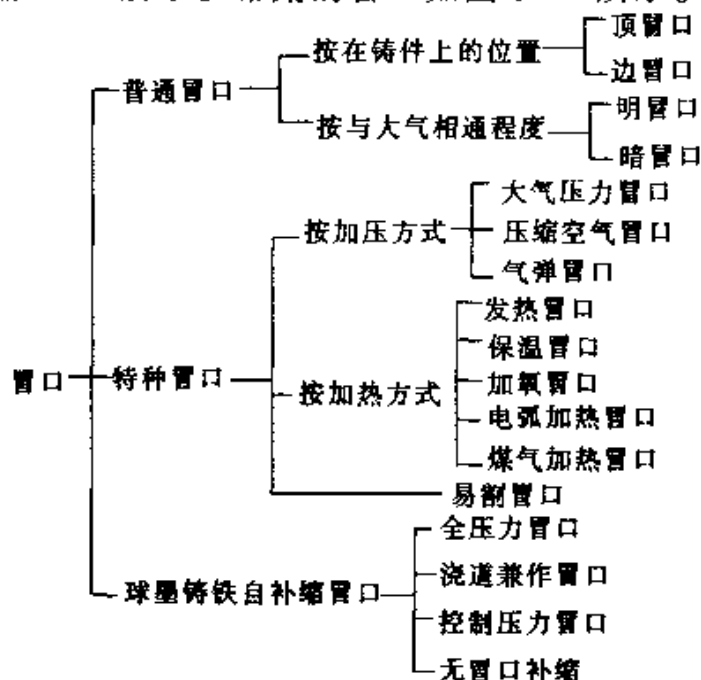


图 6-1 冒口分类

二、冒口的形状

冒口的形状直接影响其补缩效果。在冒口设计时，应从体积相同的形体中，选用散热表面积最小的。这样，冒口散热就慢，凝固时间

就长，其补缩的效果就更好。冒口体积和表面积对凝固时间的影响，可以用模数来衡量。

球形冒口表面积最小，散热最慢，凝固时间最长。因此，球形冒口是最理想的冒口形状。但因球形冒口造型起模困难，应用受到限制。实际生产中应用最多的是圆柱形、球顶圆柱形、腰圆柱形等冒口，如图 6-3 所示。

圆柱形冒口制造方便，散热虽比球形的快，但比方形、长方形的慢，仍有较好的补缩效果，所以圆柱形冒口在实际生产中应用较多。

但选择冒口形状时，要根据铸件热节的形状而定。例如轮类铸件，在轮缘处热节形状为长条形，通常采用压边的腰圆形冒口较好。

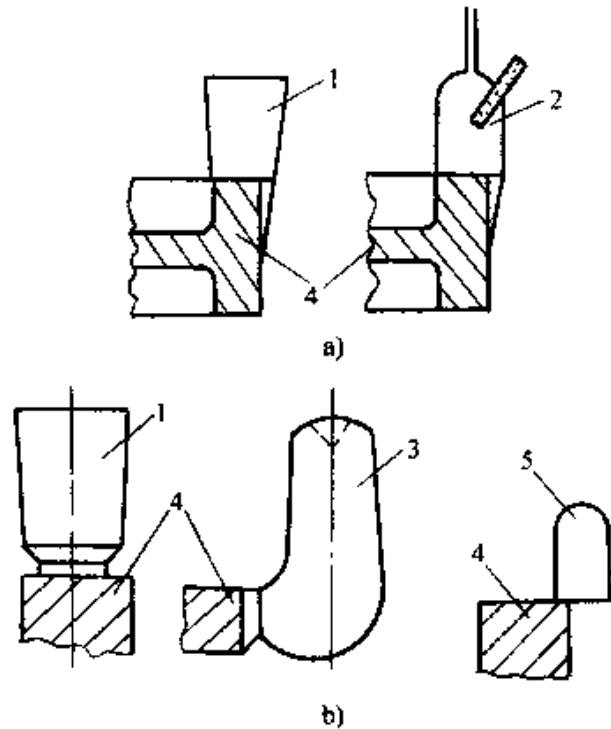


图 6-2 常用冒口种类

a) 铸钢件冒口 b) 铸铁件冒口
1—明顶冒口 2—大气压力顶冒口
3—边冒口 4—铸件 5—压边冒口

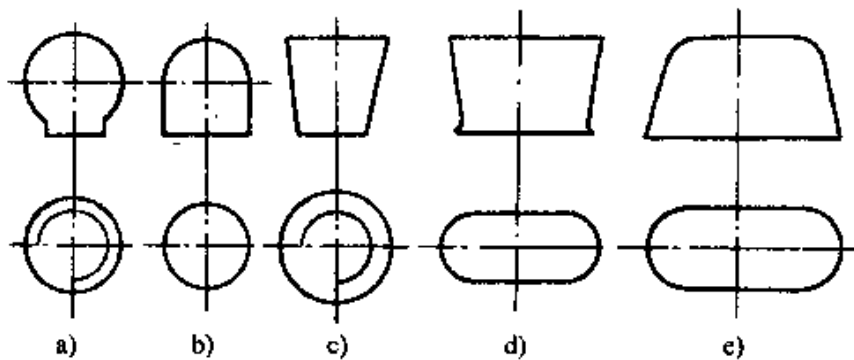


图 6-3 常用的冒口形状

a) 球形 b) 球顶圆柱形 c) 圆柱形 d) 腰圆柱形 (明) e) 腰圆柱形 (暗)

三、冒口的位置

冒口的位置是否合理，直接影响冒口的补缩效率和铸件质量。确

定冒口位置时，应遵循的基本原则有：

(1) 符合定向凝固的原则，冒口应尽量放在铸件补缩部位的上方或最后凝固的热节上。

(2) 放在铸件的最高最厚处，以利用冒口内金属液柱重力进行补缩。

(3) 铸件不同的高度上的热节需补缩时，可以分别设置冒口，同时采用冷铁将各冒口的补缩区域分开，如图 6-4a 所示，以防高位冒口补缩铸件的同时对低位冒口进行补缩，引起高位铸件产生缩孔或缩松。

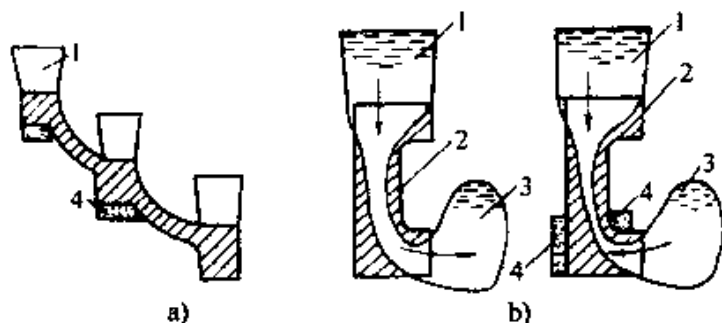


图 6-4 不等高冒口隔离

a) 阶梯热节 b) 上、下有热节

1—明顶冒口 2—铸件 3—一边暗冒口 4—冷铁

(4) 避开应力集中点，不应放在铸件易拉裂或应力集中部位，否则加剧应力集中倾向，铸件更易产生裂纹。

(5) 尽量用一个冒口同时补缩铸件上几个热节，以提高其补缩效率和模板面积的有效利用率，如图 6-5 所示。

(6) 最好放在内浇道附近或通过内浇道，可以增强铸件定向凝固，提高冒口补缩效率。如图 6-6 所示。

(7) 冒口将尽可能放置到铸件加工表面，减少精整工时。

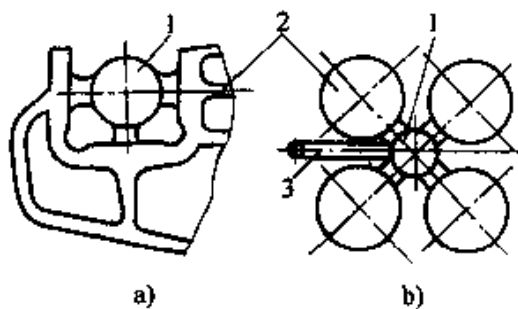


图 6-5 一个冒口补缩几个热节

a) 补缩同一铸件的三个热节

b) 补缩不同铸件上的热节

1—冒口 2—铸件 3—浇道

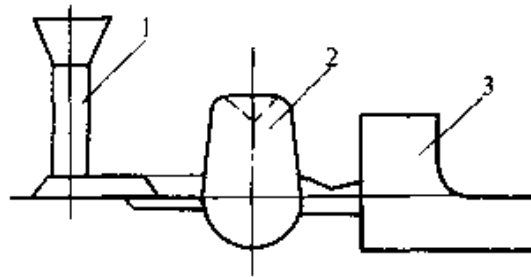


图 6-6 强化定向凝固

1—直浇道 2—暗冒口 3—铸件

第二节 冒口的有效补缩距离

一、冒口有效补缩距离概念

1. 冒口具备补缩能力的基本条件

(1) 冒口的大小和形状应保证冒口中的金属液最后凝固，并形成由铸件到冒口的定向凝固。

(2) 冒口的体积必须容纳足够的液态金属，补充铸件的液态收缩和凝固收缩。

(3) 铸件凝固期间，冒口与被补缩部位之间的补缩通道应畅通，扩张角向着冒口。在满足上述条件下，应尽量减少冒口体积，节约金属、提高工艺出品率。

2. 冒口的有效补缩距离的概念 为了防止缩孔或缩松，冒口必须符合补缩能力的基本条件。事实上，补缩效果不仅决定于冒口大小和形状，还决定于铸件凝固时补缩通道是否通畅。如图 6-7 所示，轮缘上部加厚造成一定的温度梯度，使凝固区域由下向上逐渐移动，因凝固是从壁的两侧同时进行，液相线等温面 5 之间形成夹角（称补缩通道扩张角）。在夹角范围内的金属都处于液态，且始终和冒口及凝固区域相通，形成补缩通道。补缩通道的长度与铸件的结构、冷却条件、合金成分及凝固特征有关。

以平板铸件为例作如下分析，见图 6-8。假定其厚度为 T ，有一个冒口。铸件凝固时，冒口右侧部分铸件形成三个区域。

(1) 末端区 L_3 远离冒口的铸件末端区，较其它部分多一个冷却端面。末端附近金属的热量不仅可通过铸件的侧表面，而且可以通

过端面散失，使这个区域的金属冷凝加快，并且越接近末端，热量散失越多，温度也就降得越快，凝固得越早。其凝固前沿呈楔形，补缩通道扩张角 φ 向着冒口，末端区凝固后是致密区。

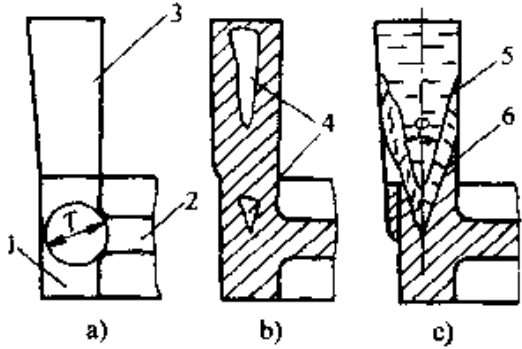


图 6-7 铸钢齿轮轮缘处形成缩孔示意图

- a) 冒口位置 b) 有缩孔 c) 无缩孔
 1—轮缘 2—辐板 3—冒口 4—缩孔
 5—液相线等温面 6—固相线等温面

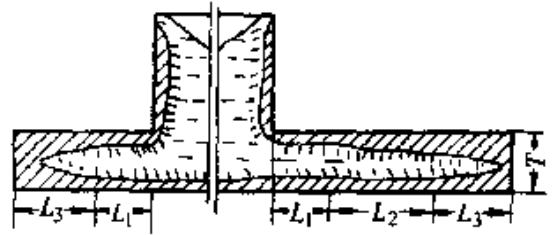


图 6-8 平板铸件的缩松区

(2) 冒口区 L_1 靠近冒口的一段受冒口中金属液热量的影响，温度降得慢，而且越靠近冒口温度降得越慢，形成强烈的定向凝固，凝固前沿也呈楔形，补缩由冒口供给，因此，冒口区凝固后也是致密区。

(3) 轴线缩松区 L_2 它是介于末端区 L_3 与冒口区 L_1 之间的中间区域。这里既受不到冒口的强烈热作用的影响，也受不到铸件末端的激冷作用的影响，液相线等温面互相平行。凝固后期，由于树枝晶的生长隔断了补缩通道，而产生轴线缩松。

从以上三个区域情况可以看出，只有末端区和冒口区衔接时，才能获得致密的铸件，如图 6-8 左侧部分所示。否则在末端区和冒口区之间的中间区域将产生轴线缩松，如图 6-7b 所示。因此，一个冒口只能在铸件的某一长度（或高度）范围内有补缩效果。这个长度 $L = \text{冒口区长度} + \text{末端区长度}$ ，称为冒口的有效补缩距离，简称冒口补缩距离。如铸件被补缩部分的长度小于这个距离，铸件是致密的，反之则铸件产生缩孔或缩松。

二、冒口有效补缩距离的应用

冒口补缩距离是确定冒口数目的依据，它不仅与铸件结构形状有

关，而且与合金成分、凝固特性、冷却条件、铸件质量要求高低等因素有关。

1. 碳钢 ($w(C) = 0.20\% \sim 0.30\%$) 铸件的水平方向的有效补缩距离 为了便于说明，将铸件的被补缩部分简化成板状体（截面宽:厚 $\geq 5:1$ ）和杆状体（截面宽:厚 $< 5:1$ ）。试验结果表明，板状与杆状铸钢件，冒口水平方向的有效补缩距离，分以下四种情况来计算。

(1) 板状铸钢件不设外冷铁时，如图 6-9a 所示。冒口区长度 $2T$ ，末端区长度为 $2.5T$ ，两个冒口之间的有效补缩距离为 $4T$ ，冒口到铸件末端的有效补缩距离为 $4.5T$ 。

(2) 杆状铸钢件不设冷铁时，如图 6-9b。冒口区长度 $10\sqrt{T}$ ，末端区长度为 $20\sqrt{T}$ ，两个冒口之间的有效补缩距离为 $20\sqrt{T}$ ，冒口到铸件末端的有效补缩距离为 $30\sqrt{T}$ 。

(3) 设置冷铁时，如图 6-10a 所示。板状铸钢件两个冒口之间设置厚度为 $2T$ 冷铁，这时在冒口单面有效补缩距离增加到 $4.5T + 50\text{mm}$ ，两个冒口之间的有效补缩距离

$9T + 100\text{mm}$ 。铸件末端放 T 厚的冷铁，使末端区长度距离增加 50mm ，因此，冒口到安置了冷铁的末端有效补缩距离为 $4.5T + 50\text{mm}$ 。由此可见，冷铁的激冷作用，增加了冒口的有效补缩距离。

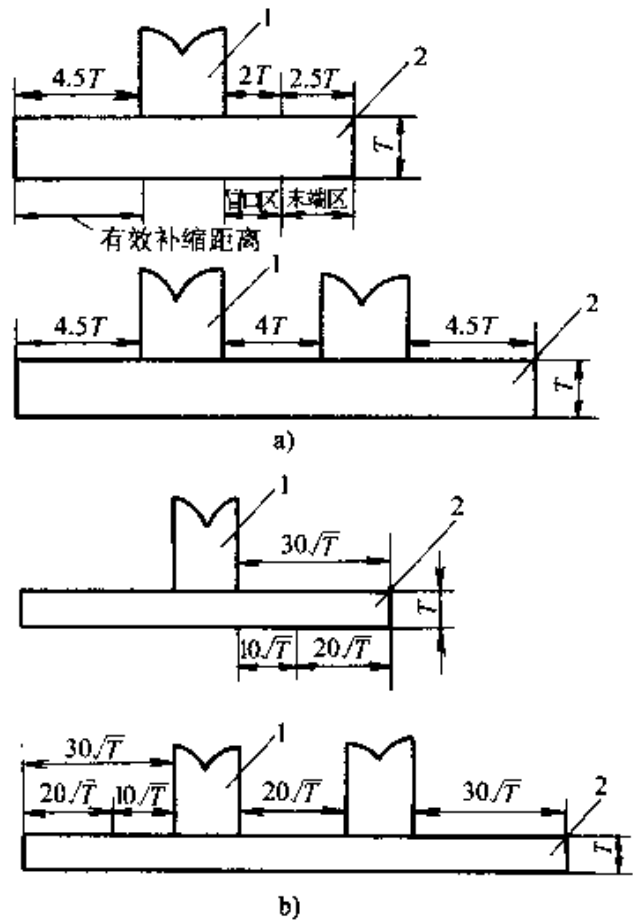


图 6-9 板状铸钢件冒口有效补缩距离

a) 板状 b) 杆状

1—冒口 2—铸件

图 6-11 是根据不同尺寸的板状和杆状铸钢件的试验结果作出的关于冒口区长度、末端区长度和铸件壁厚之间的关系图表。

(4) 设置冷铁时, 如图 6-10b 所示, 杆状铸钢件两冒口之间设置厚度为 $2T$ 的冷铁, 冒口单面有效补缩距离为 $30\sqrt{T} + T$, 两个冒口之间的有效补缩距离为 $60\sqrt{T} + 2T$ 。铸件末端设置厚度为 T 的冷铁, 对补缩距离也有一定的影响, 冒口到铸件末端的有效补缩距离, 可取 $30\sqrt{T} + T$ 。

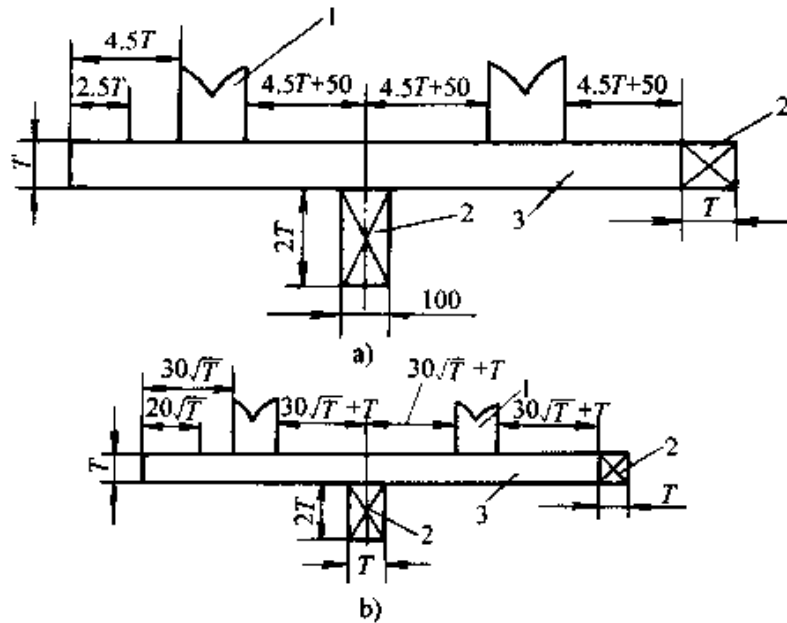


图 6-10 冷铁对冒口有效补缩距离的影响

a) 板形状 b) 杆形状

1—冒口 2—冷铁 3—铸件

2. 碳钢 ($w(C)$ 0.20% ~ 0.30%) 铸件的垂直方向有效补缩距离 冒口在铸件垂直方向的有效补缩距离, 也有一定的限制。当铸件的高度小于或等于冒口垂直方向有效补缩距离时, 如图 6-12a 所示, 铸件不会出现轴线缩松。当铸件高度超过冒口的有效补缩距离时, 在铸件的中间一段仍会产生轴线缩松, 如图 6-12b 所示。冒口在垂直方向的补缩距离, 与铸件被补缩部分的壁厚和冷却条件有关, 铸件被补缩部分越厚, 冷却条件越好, 冒口的补缩距离越大。对于致密要求高的铸件常设置补贴, 造成向冒口方向的定向凝固, 以增大冒口在垂直方向的有效补缩距离, 来解决铸件的轴线缩松, 如图 6-12c 所示。

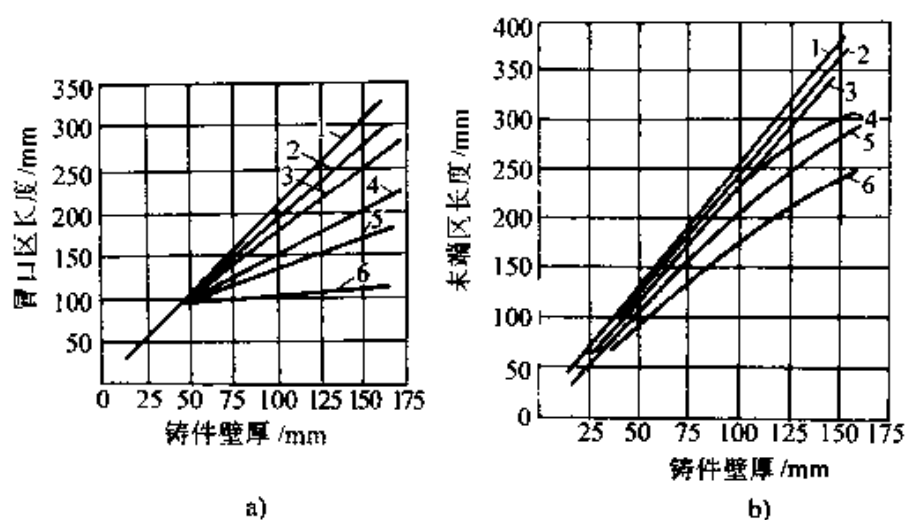


图 6-11 冒口的有效补缩距离与铸件壁厚之间的关系

a) 冒口区长度与壁厚的关系 b) 末端区长度与壁厚的关系

- 1—铸件壁截面宽厚比为 5:1 2—铸件壁截面宽厚比为 4:1 3—铸件壁截面宽厚比为 3:1
4—铸件壁截面宽厚比为 2:1 5—铸件壁截面宽厚比为 1.5:1
6—铸件壁截面宽厚比为 1:1

3. 灰铸铁件冒口的有效补缩距离 灰铸铁的碳硅含量不同，其凝固方式也不同，因而冒口的有效补缩距离也就不一样。碳当量低的灰铸铁，冒口的有效补缩距离较碳当量高的灰铸铁小。灰铸铁凝固时，由于石墨化膨胀可以抵消部分凝固时的体收缩。因此，冒口主要用来补充液态收缩所减少的体积。

一般干型浇注时，只要铸型刚度大，灰铸铁件冒口的有效补缩距离 L 可达

$$L = (6 \sim 10) D_{\text{冒}} \quad (6-1)$$

式中 $D_{\text{冒}}$ ——冒口直径 (mm)。

湿型浇注时，灰铸铁件冒口的有效补缩距离一般为

$$L = 8T \quad (6-2)$$

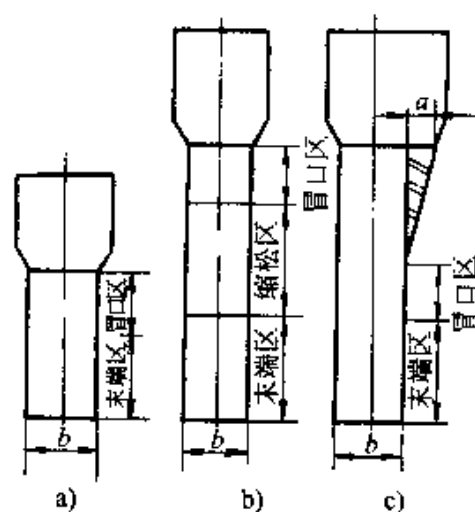


图 6-12 垂直壁的补贴

- a) 有效补缩距离大于铸件高度
b) 有效补缩距离小于铸件高度
c) 加补贴后铸件在垂直方向向冒口的有效补缩距离

式中 T ——铸件壁厚 (mm)。

对于承受高压的灰铸铁件,除了注意控制铁液的化学成分和提高铸型刚度外,还应该注意冒口的有效补缩距离相应的要小。而对质量要求一般的灰铸铁件,冒口的有效补缩距离可以较大。

4. 球墨铸铁件冒口的有效补缩距离 球墨铸铁一般呈“糊状凝固”,冒口补缩通道会较早地受到共晶团的阻碍,这不利于铸件的补缩,容易出现缩松。因而,球墨铸铁件冒口的有效补缩距离一般比灰铸铁小。

根据对球墨铸铁的板状件和杆状件的试验结果表明,球墨铸铁件冒口的水平方向有效补缩距离如下:

(1) 板状球墨铸铁件 当铸件厚度为 T 时,不设冷铁,如图 6-13a 所示,冒口作用区为 $3.5T$,末端区为 $2.5T$ 。两个冒口之间的有效补缩距离为 $7T$,冒口到末端的有效补缩距离为 $6T$ 。

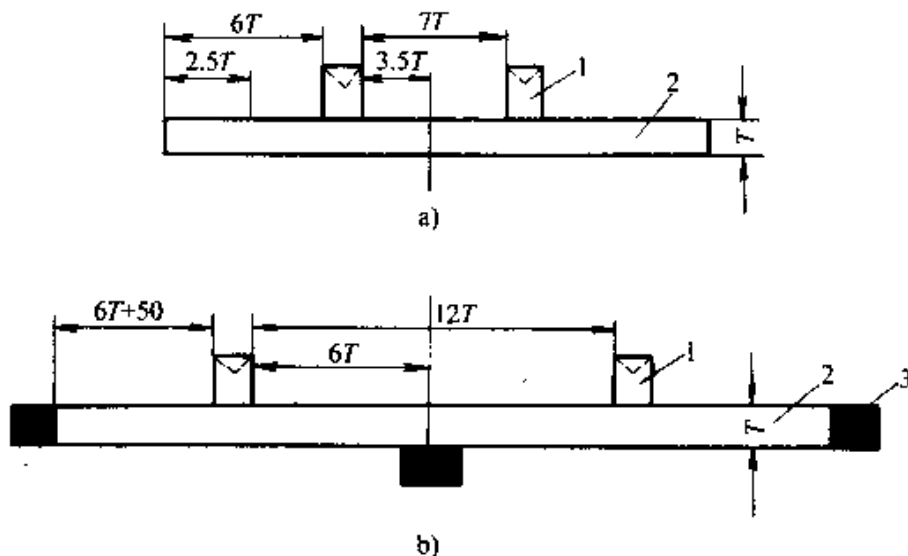


图 6-13 板状球铁件的水平有效补缩距离

a) 无冷铁 b) 有冷铁

1—冒口 2—铸件 3—冷铁

如果设置冷铁,如图 6-13b 所示,冷铁厚度比铸件厚。当冷铁加在两冒口中间时,冒口单面补缩距离增加到 $6T$,两个冒口之间的补缩距离为 $12T$ 。如果冷铁加在末端,则冒口补缩距离仅增加 50mm 。

(2) 杆状球墨铸铁件 杆状球铁件冒口的有效补缩距离小。不设冷铁时，冒口到端面的有效补缩距离为 $L \leq \sqrt{6}T$ ，两个冒口之间的有效补缩距离为 $(1-4)T$ 。

第三节 冒口尺寸的确定方法

冒口尺寸主要指它的根部直径（或宽度）和高度。冒口尺寸过大，虽能满足铸件补缩要求，但增加铸件成本；尺寸过小，铸件会产生缩孔和缩松。因此，正确地确定冒口尺寸，对于铸件质量和降低成本具有重要意义。

冒口设计与计算的一般步骤是：

- 1) 确定冒口的安放位置。
- 2) 初步决定冒口的数目。
- 3) 划分每个冒口的补缩区域，选择冒口类型。
- 4) 计算冒口的具体尺寸。

下面介绍生产中应用较广泛的几种铸钢件和铸铁件冒口的计算方法。

一、铸钢件冒口的计算

1. 模数法

(1) 模数的概念 铸件的凝固时间取决于它的体积和传热表面积的比值，其比值称为凝固模数，简称模数。用下式表示

$$M = V/A \quad (6-3)$$

式中 M ——模数 (cm)；

V ——体积 (cm³)；

A ——传热表面积 (cm²)。

模数理论认为：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。

(2) 模数法计算冒口的原理 为了实现补缩，除了必须保证补缩通道在补缩过程中始终保持畅通之外，还必须满足二个基本条件：一是冒口的凝固时间必须大于或等于铸件凝固时间。二是冒口必须有足够的金属液补充铸件的体积收缩。因为模数是凝固时间长短的标志，也就是说，冒口的模数应当大于铸件的模数，并且有一个合适的比例关系，以保证冒口晚于铸件凝固。所以，当铸件的模数求得之后，只

要确定出合理的模数比，就可以计算出冒口的模数，最后根据冒口的模数，在相应的表格中查取冒口的尺寸。

根据实验结果，对于铸钢件，只要满足下列比例关系，就可以实现冒口对铸件的补缩，从而获得致密的铸件。

1) 明冒口

$$M_{\text{件}} : M_{\text{冒}} = 1 : (1.1 \sim 1.2) \quad (6-4)$$

2) 暗边冒口

$$M_{\text{件}} : M_{\text{颈}} : M_{\text{冒}} = 1 : 1.1 : 1.2 \quad (6-5)$$

3) 若钢液通过冒口浇注时

$$M_{\text{件}} : M_{\text{颈}} : M_{\text{冒}} = 1 : (1 \sim 1.03) : 1.2 \quad (6-6)$$

各式中 $M_{\text{件}}$ ——铸件被补缩部位的模数；

$M_{\text{颈}}$ ——冒口颈的模数；

$M_{\text{冒}}$ ——冒口的模数。

在凝固过程中，合理的模数比例，只能保证冒口晚于铸件凝固，但铸件和冒口都要产生凝固收缩。如欲使铸件和冒口的缩孔总体积都转移到冒口中去，获得致密铸件，冒口需有足够的金属液去补偿铸件的体收缩，即还必须满足下述条件

$$\epsilon (V_{\text{冒}} + V_{\text{件}}) \leq V_{\text{冒}} \eta \quad (6-7)$$

式中 $V_{\text{冒}}$ ——冒口的金属体积；

$V_{\text{件}}$ ——铸件被补缩部分的体积；

η ——冒口的补缩效率，如表 6-1 所示；

ϵ ——金属在液态和凝固期间总的体收缩率 (%)。

表 6-1 冒口补缩效率 η

冒口种类或工艺措施	η (%)	冒口种类或工艺措施	η (%)
圆柱形或腰圆柱形冒口	12~15	发热保温冒口	25~30
球形冒口	15~20	大气压力冒口	15~20
补浇冒口时	15~20	压缩空气冒口	35~40
浇道通冒口时	30~35	气弹冒口	30~35

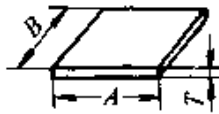
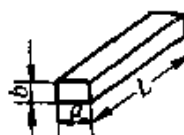


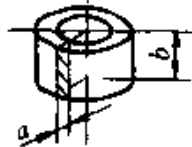
采用模数法计算冒口用公式确定冒口的尺寸后，必须进行冒口的

补缩能力验算，即检查冒口是否有足够的金属液补偿铸件的收缩。

(3) 铸件模数的计算 任何复杂的铸件，均可看成是由许多简单的几何体（板杆、圆柱体等）组合而成。只要掌握一些简单几何体、组合体的模数计算公式，就不必用繁琐的公式去计算铸件的体积和表面积。简单几何体模数计算是较容易的，见表 6-2、表 6-3。

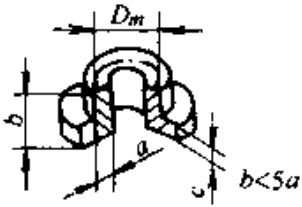
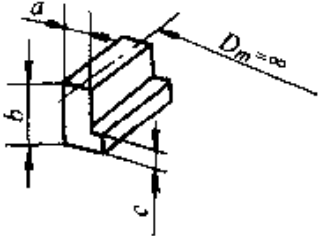
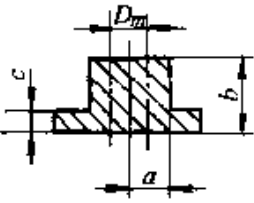
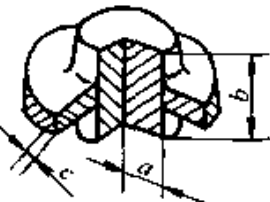
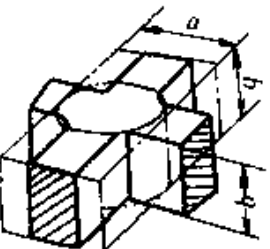
(4) 模数法计算冒口的步骤

表 6-2 简单几何形状模数的计算

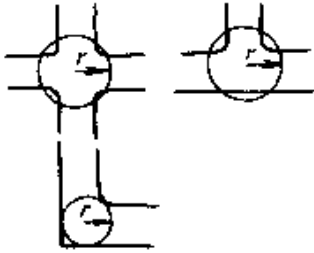
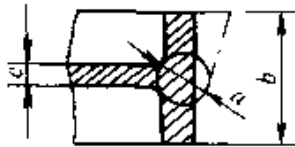
名 称	图 形	计 算 公 式
板状体	 <p style="text-align: center;">A 和 B 均 大于 5T</p>	$M = \frac{T}{2}$
杆状体	 <p style="text-align: center;">$L > a$ $L > b$</p>	$M = \frac{ab}{2(a+b)}$
圆柱体	 <p style="text-align: center;">$h > 2.5D$ $h \leq 2.5D$</p>	$M = \frac{D}{4}$ $M = \frac{rh}{2(r+h)}$
球 立方体 正圆柱体		$M = \frac{a}{6}$
环形体和空心 圆柱体	 <p style="text-align: center;">$b < 5a$ $b \geq 5a$</p>	$M = \frac{ab}{2(a+b)}$ $M = \frac{a}{2}$

1) 计算铸件的模数 $M_{\text{件}}$ ，如果铸件上有多个形状、尺寸不同的热节点，一般应在每个热节上安放冒口。这时应分别求出不同的热节部位的模数，以便安放不同大小及形状的冒口。

表 6-3 简单几何形状组合体的模数计算

名称	组合体形状	计算公式
法兰体		$M = \frac{ab}{2(a+b)-c}$
厂字体		$M = \frac{ab}{2(a+b)-c}$
圆柱体与板的相交体		$M = \frac{ab}{2(a+b)-c}$
实心法兰体		$M = \frac{ab}{2(a+b)-c}$
杆的相交体		$M = \frac{ab}{2(a+b)}$

(续)

名称	组合体形状	计算公式
板的相交体		$M = r$
杆与板的相交体		$M = \frac{ab}{2(a+b) - c}$ a 为辐板与肋相交处的热节圆直径

2) 根据铸件的模数, 应用公式 (6-4) 或式 (6-5)、式 (6-6), 算出对应部位冒口的模数 $M_{\text{冒}}$ 。

3) 确定铸件金属的体收缩率 (缩孔率)。钢的体收缩率与它的化学成分和浇注温度有关, 可从表 6-4 求出, 算出对应部位冒口的模数 $M_{\text{冒}}$ 。

例 1 已知 ZG230—450 的碳的质量分数为 0.32% ~ 0.4% 时, 若浇注温度 $t_{\text{浇}} = 1500^{\circ}\text{C}$, 则从表 6-4 中可查得 $\epsilon_c \approx 4\%$ 。

对普通碳钢而言, 不含合金元素, 则 $\epsilon_x = 0$, $\epsilon = \epsilon_c = 4\%$

4) 确定冒口的具体形状和尺寸。冒口模数和金属液的体收缩率确定后, 可根据所选择的冒口类型、形状在有关标准冒口表格中查出所需冒口的具体尺寸。

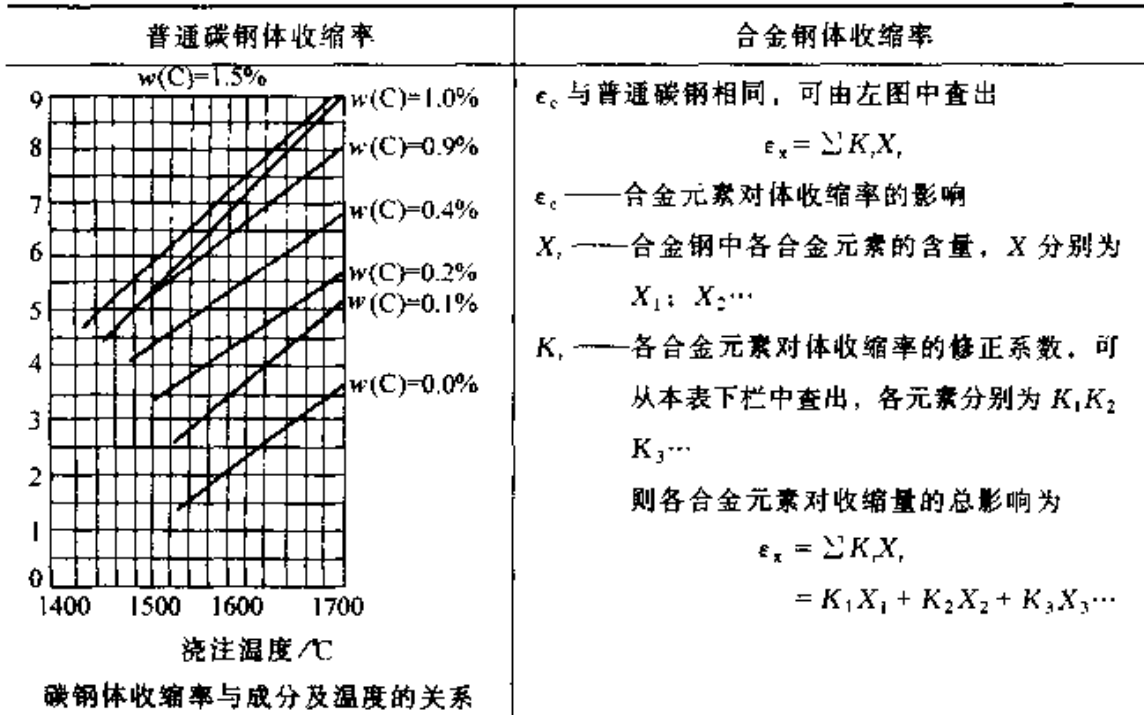
5) 根据冒口的有效补缩距离校核冒口的数目。

6) 根据式 (6-8) 校核冒口最大补缩能力。

$$\epsilon (V_{\text{冒}} + V_{\text{件}}) = V_{\text{冒}} \eta \quad (6-8)$$

表 6-4 确定钢的体收缩率 ϵ

普通碳钢体收缩率	合金钢体收缩率
$\epsilon = \epsilon_c$	$\epsilon = \epsilon_c + \epsilon_x$



合金元素	W	Ni	Mn	Cr	Si	Al
修正系数 K_i	-0.53	-0.0354	0.0585	0.12	1.03	1.70

对于圆柱形和腰圆形冒口, 由表 6-1 查得 η 为 12% ~ 15%, 取 $\eta = 14\%$, 则

$$V_{\text{件}} = V_{\text{冒}} \frac{14 - \epsilon}{\epsilon} \quad (6-9)$$

对于球形冒口, 取 $\eta = 20\%$, 则

$$V_{\text{件}} = V_{\text{冒}} \frac{20 - \epsilon}{\epsilon} \quad (6-10)$$

把前面求得的冒口体积代入式 (6-9) 或式 (6-10) 式, 即可校核冒口所能补缩铸件的最大体积。如果算出的数值大于被补缩铸件 (或冒口担负的补缩的那部分) 的实际体积, 说明冒口补缩能力有余;

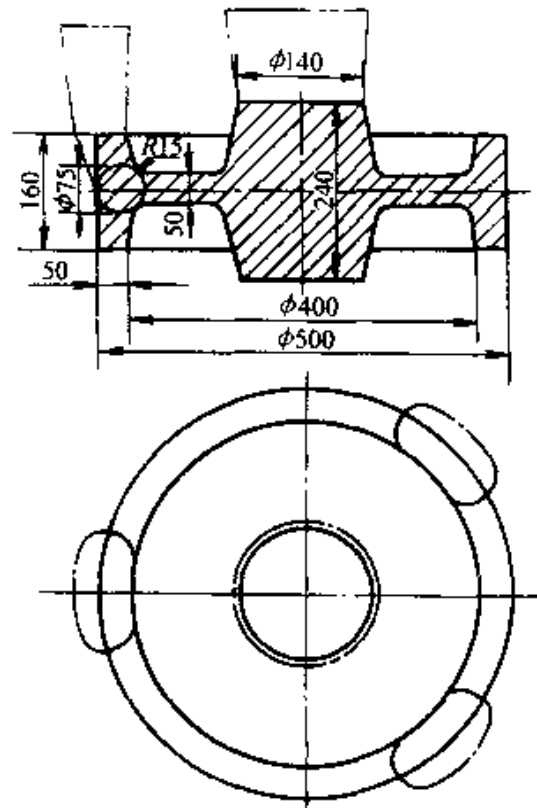


图 6-14 滚轮

反之，冒口补缩能力不足，需要增大冒口尺寸，直到能满足对铸件的补缩为止。有时也可以直接查有关手册查得冒口最大补缩重量与被补缩铸件重量关系来校对冒口的补缩能力。

为了进一步说明模数法计算冒口的方法和步骤，下面举例说明：

例 2 铸钢滚轮如图 6-14 所示。材质 ZG230—450，铸件重量 210kg，浇注温度 1500℃，计算铸件冒口尺寸。

解 1) 计算铸件轮毂、轮缘部分的模数。

① 轮毂部分的模数，视为实心法兰体。

$$M_{\text{件I}} = \frac{ab}{2(a+b-c)} = \frac{7.0\text{cm} \times 24.0\text{cm}}{2 \times (7.0\text{cm} + 24.0\text{cm} - 5\text{cm})} = 3.23\text{cm}$$

② 轮缘部分的模数，视为杆与板的相交体。考虑砂尖热节的影响，取热节圆直径 $\phi 75\text{mm}$ 。

$$M_{\text{件II}} = \frac{ab}{2(a+b)-c} = \frac{7.5\text{cm} \times 16.0\text{cm}}{2 \times (7.5\text{cm} + 16.0\text{cm}) - 5\text{cm}} = 2.86\text{cm}$$

2) 计算冒口模数 $M_{\text{冒I}}$ 和 $M_{\text{冒II}}$ 。根据式 (6-4)

$$\text{① } M_{\text{冒I}} = 1.1 \times M_{\text{件I}} = 1.1 \times 3.23\text{cm} = 3.55\text{cm}。$$

冒口模数较大，工艺出品率低，采用冷铁与冒口配合使用工艺措施，根据经验，取 $M_{\text{冒I}} = 2.62\text{cm}$ 。

$$\text{② } M_{\text{冒II}} = 1.1 \times M_{\text{件II}} = 1.1 \times 2.86\text{cm} = 3.15\text{cm}。$$

3) 确定铸件金属的体收缩 ϵ 。根据 ZG230—450 的化学成分和浇注温度 1500℃，查表 6-4， $\epsilon = 4.5\%$ 。

4) 确定冒口的形状和尺寸。轮毂部分采用圆柱形明顶冒口，轮缘部分采用腰圆柱形明顶冒口。根据有关模数法计算冒口表格查得冒口尺寸为：

圆柱形明顶冒口， $M_{\text{冒I}} = 2.62\text{cm}$ ， $D = 140\text{mm}$ ， $H = 210\text{mm}$ ，单个冒口的体积为 3.24dm^3 ，其重量为 22kg。

腰圆柱形明顶冒口， $M_{\text{冒II}} = 3.15\text{cm}$ ， $a = 133\text{mm}$ ， $b = 266\text{mm}$ ， $H = 200\text{mm}$ ，单个冒口的体积为 6.3dm^3 ，其重量为 45.7kg。

5) 计算轮缘部分冒口个数。近似地用圆周长 $\pi = 3.14 \times 450\text{mm} = 1413\text{mm}$ 代替轮缘热节中心的圆周长。将轮缘看作宽度比为 2:1 的

杆状件从图 6-11 查得冒口区长度为 125mm, 一个冒口的有效补缩距离为 $266\text{mm} + 2 \times 125 = 516\text{mm}$ 。

轮缘需要设计冒口个数 $n = 1413 \div 516 = 2.74$ 个, 取 $n = 3$ 。

6) 核算冒口的补缩能力。根据公式 (6-9)

① 圆柱形明顶冒口, $V_{\text{件}} \leq V_{\text{冒}} \times \frac{14 - \epsilon}{\epsilon}$ 。计算得知轮毂部分的体积。

$$V_{\text{件}} = 4.66\text{dm}^3, 3.24\text{dm}^3 \times \frac{14 - 4.5}{4.5} = 6.84\text{dm}^3, \text{即 } 4.66 < 6.84$$

② 腰圆柱形明顶冒口, $V_{\text{件}} \leq V_{\text{冒}} \times \frac{14 - \epsilon}{\epsilon}$ 。计算得知轮缘部分的体积。

$$V_{\text{件}} = 13.3\text{dm}^3, 3 \times 6.3\text{dm}^3 \times \frac{14 - 4.5}{4.5} = 39.9\text{dm}^3,$$

即 $13.3 < 39.9$

冒口有足够的金属液供给铸件补缩。

2. 补缩液量法 补缩液量法计算冒口的基本原理是假定铸件的凝固速度和冒口的凝固速度相等, 也就是说, 不考虑铸件形状对凝固速度的影响, 这样当铸件完全凝固时凝固层厚度为壁厚之半, 冒口的凝固层厚度亦为铸件厚度之半, 如图 6-15 所示。若冒口内供补缩的金属液是直径为 d_0 的球, 当铸件凝固完毕时, d_0 为冒口直径和铸件厚度之差。

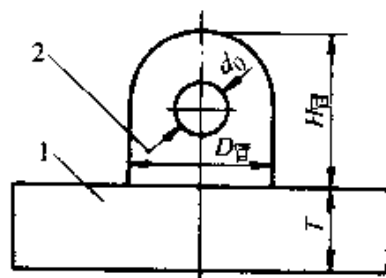


图 6-15 补缩液量法示意图

1—铸件 2—冒口

$$d_0 = D_{\text{冒}} - T$$

$$\text{即 } D_{\text{冒}} = d_0 + T \quad (6-11)$$

式中 d_0 ——冒口内供补缩的金属球直径 (mm);

$D_{\text{冒}}$ ——冒口直径 (mm);

T ——铸件厚度 (mm)。

从公式 (6-11) 可知冒口消耗于补缩铸件的金属液体积是 $1/6\pi d_0^3$, 这个体积应该与铸件被补缩部分总的体积收缩值相等。即

$$\frac{1}{6}\pi d_0^3 = \epsilon V_{\text{件}}$$

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{6\epsilon V_{\text{件}}}{\pi}} \quad (6-12)$$

ϵ 可由表 6-4 获得。只要算出铸件被补缩部分的体积 $V_{\text{件}}$ ，则可通过公式 (6-12) 得到补缩球的直径 d_0 ，然后应用式 (6-11) 可求出冒口的直径 $D_{\text{冒}}$ 。

3. 比例法 比例法是在分析、统计大量工艺资料的基础上，总结出来的确定冒口尺寸的经验方法，它适用于各种不同结构的铸钢件。通常根据零件图尺寸，加上加工余量和铸造收缩率作图（最好 1:1），直接量出或计算出热节圆的直径 d_y 。然后利用经验公式确定冒口补贴及冒口尺寸。比例法简单可靠，广为生产部门所采用。

总之，模数法、补缩液量法和比例法三种确定铸钢件冒口尺寸的方法在国内各工厂都有应用。比例法使用最简便，但比例系数范围较宽，需要较丰富的实践经验，方能准确选择系数。模数法比较科学，但复杂铸件的模数计算较繁琐。在衡量凝固时间方面，补缩液量法、比例法均不及模数法更符合科学道理，同时用模数法计算的冒口尺寸也比补缩液量法、比例法更精确。

二、铸铁件冒口计算

1. 灰铸铁件冒口 灰铸铁在凝固过程中析出石墨，发生体积膨胀，抵消部分液态收缩和凝固收缩，因而体收缩较小。一般小型截面均匀的铸件可以不设补缩冒口。对于某些收缩较大的高强度铸铁、合金铸铁以及壁厚较大的铸铁件，仍需要冒口补缩。

由于灰铸铁的流动性好、冒口补缩距离大，即使设置补缩冒口，其数量也较少，且一般不设冒口补贴。

(1) 冒口形式 灰铸铁的明顶冒口常呈倒瓶式，结构如图 6-16 所示。冒口多为圆锥体，其根部设有缩颈，直径为 d ，高度为 h_2 ，以减少冒口与铸件的接触

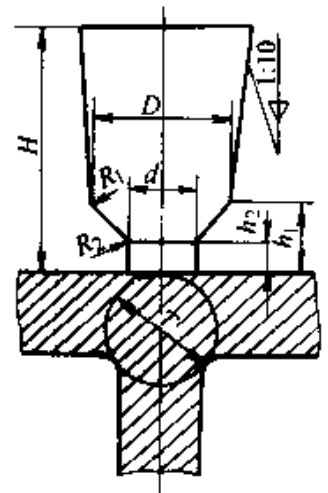


图 6-16 瓶式冒口

面积，利于冒口清除。但冒口的缩颈直径不能太小，否则过早冻结，影响补缩。

(2) 冒口尺寸的确定 计算冒口尺寸的方法很多，主要有根据“后补量”理论，通过模数法计算铸铁冒口。其中比例法简单易行，广为采用。

比例法也叫热节圆法。它是在分析、统计大量工艺资料的基础上，总结出的冒口尺寸经验确定的。应用此法计算铸件的冒口尺寸时，首先是确定铸件被补缩处的热节圆直径 T ，然后根据铸件材质、牌号，从表 6-5 中的关系式，分别算出其它尺寸。确定铸件上热节圆直径 T 的方法有下列三种。

表 6-5 瓶式冒口的尺寸

铸铁牌号	缩颈直径 d 热节圆直径 T	冒口其它尺寸
HT150	0.6	$D = 2d$
HT200		$H = (3 \sim 4) d$
HT250	0.75	$h_1 = 1.2d$
HT300	0.80	$h_2 = 0.2d$
HT350	0.85	$R_2 = 0.5d$

1) 作图法 按比例（比例最好是 1:1）包括加工余量和起模斜度在内，画出铸件热节处截面，在截面内画一内切圆，此圆即为热节圆，其直径为 T ，如图 6-17a 所示。

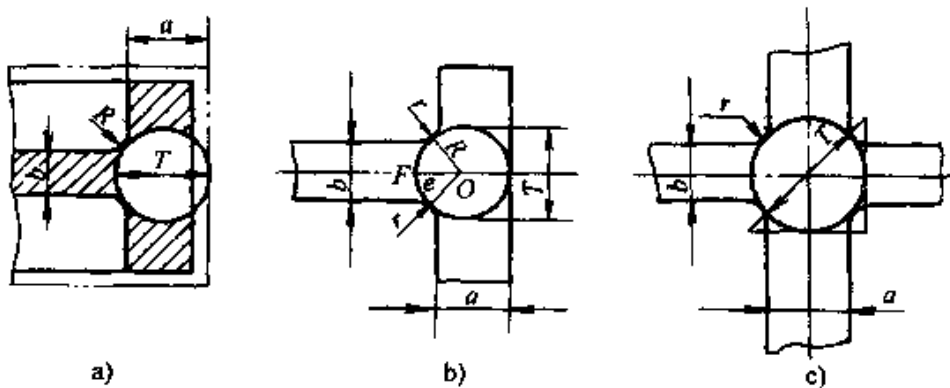


图 6-17 热节圆

a) 热节圆 b) “T”形热节 c) “+”形热节

2) 计算法 两壁相交的热节圆直径, 也可用公式进行计算。如图 6-17b 所示两壁相交呈“T”形热节。

由于 $R + Oe = a$ $eF = r$

$$\text{则} \quad (Oe + r)^2 + \left(r + \frac{b}{2}\right)^2 = (R + r)^2$$

$$(a - R + r)^2 + \left(r + \frac{b}{2}\right)^2 = (R + r)^2$$

$$\text{整理得} \quad T = \frac{(2r + b)^2}{4(2r + a)} + a \quad (6-13)$$

当 $a = b$ 时, 则式 (6-13) 成 $T = 1.25a + 0.5r$

图 6-17c 所示两壁呈“+”字形热节。

$$\text{由于} \quad (T + 2r)^2 = (a + 2r)^2 + (b + 2r)^2$$

$$\text{整理得} \quad T = \sqrt{(a + 2r)^2 + (b + 2r)^2} - 2r$$

$$T = \sqrt{a^2 + b^2 + 4(a + b)r + 8r^2} - 2r \quad (6-14)$$

当 $a = b$ 时则式 (6-14) 成 $T = 1.414a + 0.828r$

3) 查表法 采用作图法或计算法虽能较准确地求得热节圆直径, 但都较麻烦。根据公式经计算整理, 排列汇编成的表 6-6、表 6-7 可按照铸件结构直接查阅, 十分方便。使用时注意下述几点:

“T”形连接, 可按“T”形连接查表;

壁厚 a 、 b 应为图样尺寸加加工余量和工艺补贴尺寸;

当内孔尺寸在 20mm 以内时, 可忽略不计, 按实心铸件查表。

(3) 冒口数目的确定 冒口数目可根据冒口有效补缩距离和需要补缩区域的大小确定。

表 6-6 “T”形连接热节圆直径 (单位: mm)

a	b	热节圆直径 T										b	a
		r=4	r=5	r=6	r=8	r=10	r=12	r=15	r=20	r=25	r=30		
15	10	18.5	19.0			100.3	101.2	102.7	105.2			70	80
	12	19.3	19.8			102.6	103.6	105.1	107.6			75	
	15	20.8	21.3			105.0	106.0	107.5	110.0			80	

(续)

a	b	热 节 圆 直 径 T											b	a
		r=4	r=5	r=6	r=8	r=10	r=12	r=15	r=20	r=25	r=30	r=35		
20	12	23.6	24.0	24.5		106.5	107.5	109.0	111.5				75	85
	15	24.7	25.2	25.7		108.8	109.8	111.3	113.8				80	
	20	27.0	27.5	28.0		111.3	112.3	113.8	116.2				85	
25	15	29.0	29.5	29.9			113.7	115.2	117.7				80	90
	20	30.9	31.4	31.9			116.1	117.6	120.0				85	
	25	33.3	33.8	34.3			118.5	120.2	122.5				90	
30	20		35.6	36.7	37.0		120.0	121.5	123.9				85	95
	25		37.7	38.1	39.1		122.3	123.8	126.3				90	
	30		40.0	40.5	41.5		124.8	126.3	128.8				95	
35	25		41.8	42.3	43.2		126.2	127.7	130.2				90	100
	30		43.9	44.4	45.4		128.6	130.0	132.5				95	
	35		46.3	46.8	47.8		131.0	132.5	135.0				100	
40	30		48.0	48.5	49.4	50.4		140.2	142.7	145.2			100	110
	35		50.1	50.6	51.6	52.6		142.5	145.0	147.5			105	
	40		52.5	53.0	54.0	55.0		145.0	147.5	150.0			110	
45	35		54.2	54.7	55.7	56.6		152.7	155.2	157.6			110	120
	40		56.4	56.9	57.9	58.8		155.0	157.5	160.0			115	
	45		58.8	59.3	60.3	61.3		157.5	160.0	162.5			120	
50	40			60.9	61.9	62.9	63.8	165.2	167.6	170.1			120	130
	45			63.1	64.1	65.1	66.1	167.5	170.0	172.5			125	
	50			65.5	66.5	67.5	68.5	170.0	172.5	175.0			130	
55	45			67.1	68.1	69.1	70.1	71.5	180.1	182.6	185.1		130	140
	50			69.3	70.3	71.3	72.3	73.8	182.5	185.0	187.5		135	
	55			71.8	72.8	73.8	74.8	76.3	185.0	187.5	190.0		140	

表 6-7 “+”形连接热节圆 (单位: mm)

a	b	热节圆直径 T											b	a
		r=4	r=5	r=6	r=8	r=10	r=12	r=15	r=20	r=25	r=30	r=35		
15	10	21.2	22.0			114.5	116.2	118.7	122.8				76	80
	12	22.5	23.3			117.9	119.6	122.1	126.2				75	
	15	24.5	25.4			121.4	123.1	125.4	129.7				80	
20	12	26.4	27.2	28.0		121.6	123.2	125.7	133.3				75	85
	15	28.2	29.1	29.9		125.0	126.7	129.1	136.8				80	
	20	31.6	32.4	33.3		128.5	130.1	132.6	136.9				85	
25	15		33.0	33.8	35.4		130.3	132.8	136.9				80	90
	20		36.1	36.9	38.6		133.7	136.2	140.3				85	
	25		39.5	40.3	42.0		137.2	137.7	143.8				90	
30	20		40.0	40.8	42.4		137.4	139.9	144.0				85	95
	25		43.2	44.4	45.6		140.8	143.3	147.4				90	
	30		46.6	47.4	49.1		144.3	146.8	150.9				95	
35	25		47.0	47.8	49.4		144.4	146.9	151.0				90	100
	30		50.2	51.0	52.7		147.9	150.3	154.5				95	
	35		53.6	54.5	56.1		151.4	153.8	158.0				100	
40	30		54.0	54.8	56.5	58.1		161.0	165.2	169.3			100	110
	35		57.3	58.1	59.7	61.4		164.5	168.6	172.8			105	
	40		60.7	61.5	63.2	64.9		168.0	172.1	176.3			110	
45	35		61.1	61.9	63.5	65.2		175.2	179.3	183.5			110	120
	40		64.3	65.2	66.8	68.5		178.6	182.8	186.9			115	
	45		67.8	68.6	70.3	71.9		182.1	186.3	190.4			120	
50	40			68.9	70.6	72.2	73.8	189.3	193.5	197.6			120	130
	45			72.2	73.9	75.5	77.2	192.8	196.9	201.0			125	
	50			75.7	77.3	79.0	80.7	196.3	200.4	204.6			130	

(续)

a	b	热节圆直径 T										b	a	
		r=4	r=5	r=6	r=8	r=10	r=12	r=15	r=20	r=25	r=30			r=35
55	45			76.0	77.6	79.2	80.9		207.6	211.7	215.9		130	
	50			79.3	80.9	82.6	84.2		211.0	215.2	219.3		135	140
	55			82.8	84.4	86.1	87.7		214.6	218.7	222.8		140	

例3 图6-16中两壁呈“T”字相交，水平壁厚40mm，垂直壁厚30mm，两壁相交处圆角半径为10mm，铸件材质HT200，试计算瓶式冒口部分结构尺寸。

解 1) 计算铸件的热节圆直径 T，根据式(6-13)

$$T = \frac{(2r+b)^2}{4(2r+a)} + a = \frac{(2 \times 10 + 30)^2}{4 \times (2 \times 10 + 40)} + 40 = 10.4\text{mm} + 40\text{mm} = 50.4\text{mm}$$

查表6-6亦得热节圆 $T = 50.4\text{mm}$

2) 计算冒口各部分结构尺寸查表6-5，得知 $d/T = 0.6$ 即 $d = 0.6T = 0.6 \times 50.4\text{mm} \approx 30\text{mm}$ ，又冒口直径 $D = 2d$ ，则冒口各部分结构尺寸为

- ① $D = 2d = 2 \times 30\text{mm} = 60\text{mm}$
- ② 冒口高度 $H = 3.5d = 3.5 \times 30\text{mm} = 105\text{mm}$
- ③ $h_1 = 1.2d = 1.2 \times 30\text{mm} = 36\text{mm}$
- ④ $h_2 = 0.2d = 0.2 \times 30\text{mm} = 6\text{mm}$
- ⑤ $R_1 = 0.75d = 0.75 \times 30\text{mm} = 22.5\text{mm}$ ，取 $R_1 = 22\text{mm}$
- ⑥ $R_2 = 0.5d = 0.5 \times 30\text{mm} = 15\text{mm}$

2. 球墨铸铁件冒口 球墨铸铁有“糊状凝固”且缩前膨胀值大，在刚性较低的砂型中铸造时，易形成缩松缺陷。因此，湿型铸造厚壁铸件时，宜设置图6-18所示的通用冒口补缩。

(1) 冒口尺寸的确定 利用比例法确定一般球墨铸铁冒口尺寸时，也是首先确定铸件的热节圆直径，然后根据下述关系式，计算冒口各部分尺寸。

$$\text{明冒口} \quad D = (1.2 \sim 3.5) T$$

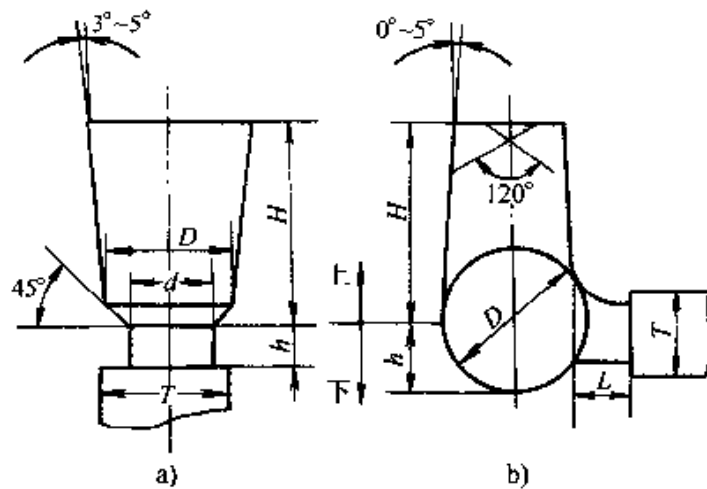


图 6-18 球墨铸铁冒口各部分尺寸

a) 明冒口 b) 暗冒口

$$H = (1.2 \sim 2.5) D$$

$$d = (0.8 \sim 1) T$$

$$h = (0.3 \sim 0.35) D$$

侧暗冒口 $D = (1.2 \sim 3.5) T$

$$H = (1.2 \sim 2) D$$

$$L = (0.3 \sim 0.35) D$$

$$h = (0.4 \sim 0.5) D$$

选用冒口种类应考虑铸件结构和生产批量，通常湿型铸造中、小件时宜采用暗冒口补缩；单件或小批量生产中、大件时，多采用明冒口。

选用冒口参数，应视铸件结构和生产条件而定。当热节圆直径 T 大时，取下限， T 小时，取上限；内浇道通过冒口时，取下限，底注的明顶冒口，取上限；当用一个冒口补缩两个以上的热节时，冒口直径要放大 1.2~1.5 倍，冒口高度也应适当加大。

(2) 冒口数量的确定 根据球墨铸铁件冒口补缩距离和补缩区域大小确定。

第四节 补贴的应用

实现冒口补缩铸件的基本条件之一是铸件凝固时始终保持向着冒口的补缩通道扩张角，且角度大些为好。然而，对于板状和壁厚均匀

的薄壁件往往难于达到这个要求。这样，单纯增加冒口直径和高度，对于形成或增大冒口的补缩通道扩张角并不显著。如果在靠近冒口区的一端向着冒口逐渐增加铸件壁的厚度，从铸件结构上造成向着冒口的补缩通道扩张角，却能显著增加冒口的有效补缩距离。这种人为的、在靠近冒口的铸件壁上逐渐增加的厚度，称为“冒口补贴”，简称补贴（衬补、增肉），见图 6-12c 所示。

一、均匀壁上的垂直补贴

由前述所知，水平方向均匀壁厚的薄壁铸钢件，冒口的有效补缩距离较小，事实上垂直方向也是一样。当铸件的高度 H 大于冒口的有效补缩距离时，在铸件的中间一段会产生轴线缩松，具体情况如图 6-12b 所示。如图 6-12c 那样，在铸件上增加冒口补贴厚度 a ，由于设置冒口，使铸件壁向着冒口方向逐渐增厚的范围变成了补缩通道，将扩大冒口的有效补缩距离，从而使铸件从下向上实现定向凝固，消除了像图 6-12b 所示的铸件缩松。

补贴厚度与铸件壁厚和高度的关系是，对于板状铸钢件进行立浇，得出补贴厚度与铸件壁厚和高度的关系曲线，如图 6-19 所示。由图中可以看出：当铸件壁厚 T 一定时，补贴厚度 a 随着铸件高度 H 的增加而增加。当铸件高度 H 一定时，壁厚越小，所需补贴厚度越大。

冒口在垂直方向的补缩距离，可以从图 6-19 中查得。假设补贴厚度 a 为零（即不加补贴），从横坐标上就可直接读出冒口的垂直补缩距离；

当壁厚 T 为 25mm 时，对应壁的高度为 60mm。 T 为 100mm 时，壁的高度为 270mm。在这个高度范围内，铸件不需要加补贴，只要有

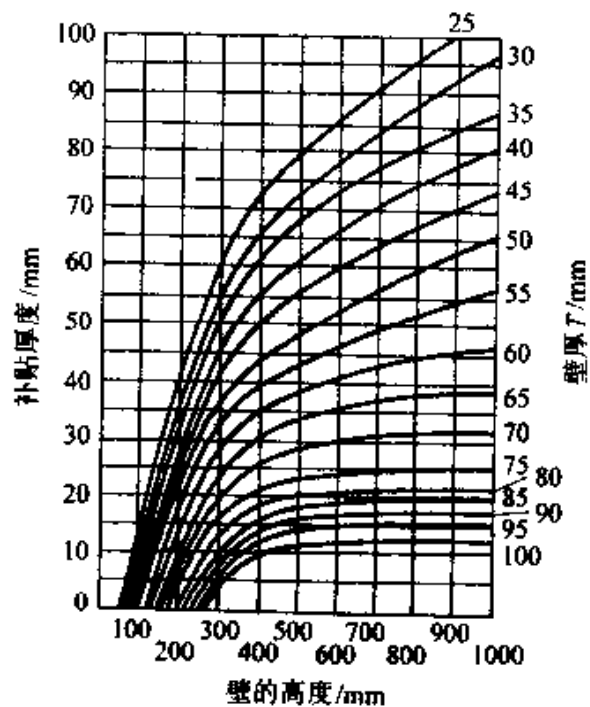


图 6-19 补贴厚度与铸件壁厚和高度的关系

足够大的冒口便可获得致密的、无轴线缩松的铸件。

补贴的高度与铸件被补缩部分的厚度有关，铸件的下部可以看做致密的冒口区 and 末端区，壁越厚则致密区的范围就越大，如图 6-12c 补贴高度可按式确定：

$$\text{补贴高度} = \text{壁高} - \text{末端区}$$

杆形铸件的补缩距离比板形铸件小，因此需要较大的补贴值才能保证铸件的组织致密。求杆形铸件的补贴值时，首先按它的厚度从图 6-19 查得补贴厚度 a ，再根据杆的宽厚比，从表 6-8 查得补偿系数，两者的乘积即为杆形铸件补贴的总厚度。例如：杆形铸件的横断面宽厚比为 3:1，厚度为 30mm，高度为 300mm，由图 6-19 查得补贴厚度为 55mm，再从表 6-8 查得补偿系数为 1.25，则此杆件补贴的总厚度为 $55\text{mm} \times 1.25 = 69\text{mm}$ 。

表 6-8 杆件补贴尺寸的补偿系数

杆的断面宽厚比	补偿系数
4:1	1.0
3:1	1.25
2:1	1.5
1.5:1	1.7
1.1:1	2.0

二、凸肩补贴

是指在冒口周围的铸件平面上，按照一定斜度增加的凸台性补贴，也叫水平补贴。它可以增大补缩通道的扩张角，有利于铸件的定向凝固，同时也扩大了冒口的有效补缩距离，从而也可以减少冒口的数量，具体方法如图 6-20 所示。

凸肩补贴的尺寸大小与铸件模数和冒口的模数（或铸件厚度和冒口的大小）有关，它的模数应在铸件模数和冒口模数之间。凸肩的长度约取板厚的 2.8 倍，或板的模数的 5.6 倍，或冒口的模数的

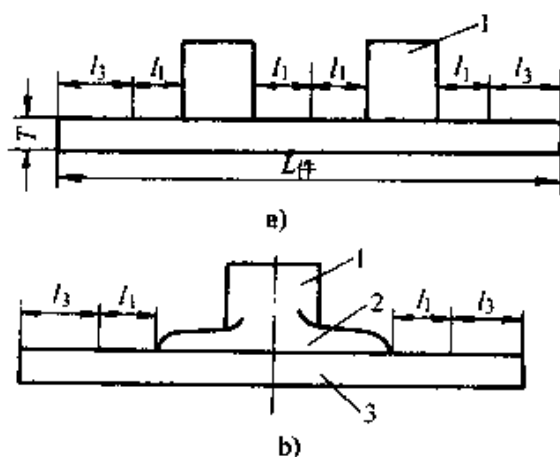


图 6-20 凸肩补贴示意图

a) 无补贴 b) 有补贴

1—冒口 2—凸肩补贴 3—铸件

4.7 (≈5) 倍。如图 6-21 所示。对于每个一定模数的冒口，都有一个最大的凸肩补贴长度，超过这一长度，则认为是不合理的。凸肩补贴的设计和应⽤，必须符合模数曲线。另外，凸肩补贴的末端不应成尖角，如图 6-22 所示。

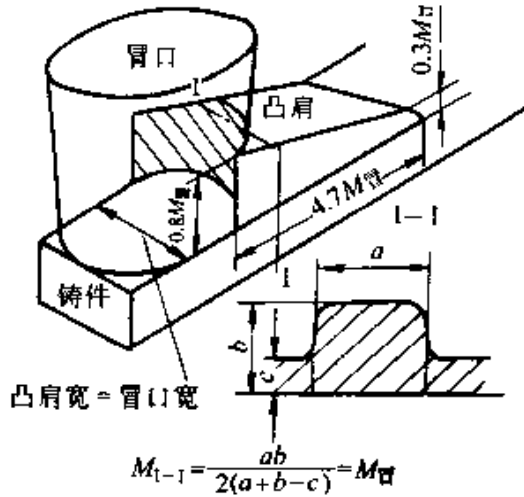


图 6-21 凸肩补贴的形式和尺寸用冒口模数 $M_{冒}$ 表示

M_{1-1} —凸肩模数 $M_{冒}$ —冒口颈模数

三、铸件局部热节点采用的补贴

图 6-23 所示，齿轮铸件的轮缘和轮辐交接处为热节点，为了避免补缩通道过早堵塞，轮缘断面厚度应像图 6-23 所示用滚圆法增加补贴，使其厚度向着冒口方向递增。滚圆法的具体滚法如下：

(1) 按 1:1 画出铸件（包括补正量和加工余量）。

(2) 画出热节点内切圆直径 d_y ，考虑到砂尖角热效应，通常把内切圆直径 d_y 加大 10~30mm。

(3) 如图 6-23b 所示。沿轮缘内壁，以热节点起自下而上地画圆，并按照 $d_1 = 1.05d_y$ ， $d_2 = 1.05d_1$ 的递增规律，自下而上地增大各圆直径，各圆的圆心分别在前一个圆的圆周上，并与轮缘内壁相

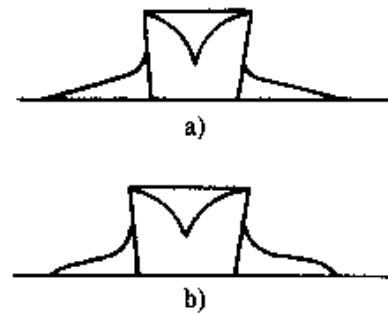


图 6-22 凸肩补贴末端的形式
a) 错误 b) 正确

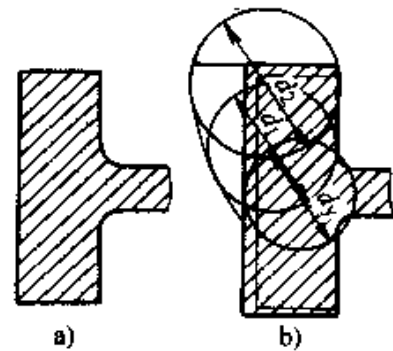


图 6-23 齿轮缘的补贴
a) 铸件 b) 滚圆法

切，即 d_1 和 d_2 的圆心分在 d_3 和 d_1 的圆周上。

(4) 连接各圆切点形成的曲线，就是轮缘补贴的外形曲线。

滚圆法是确定齿轮和断面形状复杂铸件的冒口补贴的可靠办法，所以，在内部质量要求高的铸件，一直采用这种方法确定冒口的补贴。

第五节 提高冒口补缩效率的途径

提高冒口的补缩效率，意味着在保证铸件无缩孔、缩松，满足使用要求的情况下，采用各种有效的工艺措施，减少冒口的尺寸和数量从而可以提高铸件的工艺出品率。

提高冒口补缩效率的途径有：

(1) 提高冒口内金属液的补缩压力，如采用大气压力冒口、发气压力冒口、压缩空气冒口，以及用木棒上下捣明冒口的操作。

(2) 延续冒口的凝固时间，如明冒口上撒保温剂、发热剂、点冒口，采用发热冒口、保温冒口、加氧冒口、电弧加热冒口等。

(3) 控制铸件凝固的各种工艺措施，如合理使用补贴、冷铁，能使冒口的补缩距离增长，从而可使冒口的数量减少。金属液通过冒口进入型腔，能使冒口造型材料被大量流过的金属液预热，使冒口内金属液的温度较高，从而降低冒口的凝固速度，使冒口的补缩效率得到提高。

提高冒口补缩效率的途径很多，本节仅以压力冒口、发热保温冒口为例说明。

1. 压力冒口 能提高补缩压力，增强补缩效果，冒口内气压大于大气压的暗冒口为压力冒口。根据压力源不同，分为大气压力冒口、压气冒口和气弹冒口等。

(1) 大气压力冒口 通过砂芯或尖角砂型保持冒口与大气连通的暗冒口为大气压力冒口，结构如图 6-24 所示。浇注后，冒口表面结壳，外界大气压力通过砂芯的孔隙作用在冒口内部液面上，形成由大气压力和冒口液柱重力共同作用的补缩压力，增强了补缩效果。

为了便于造型，中小型铸铁件造型时，多用带倒锥形砂锥的冒口，大件，特别是铸钢件，多采用带砂芯的大气压力冒口。大气压力冒口顶部的砂芯和出气孔尺寸见表 6-9。

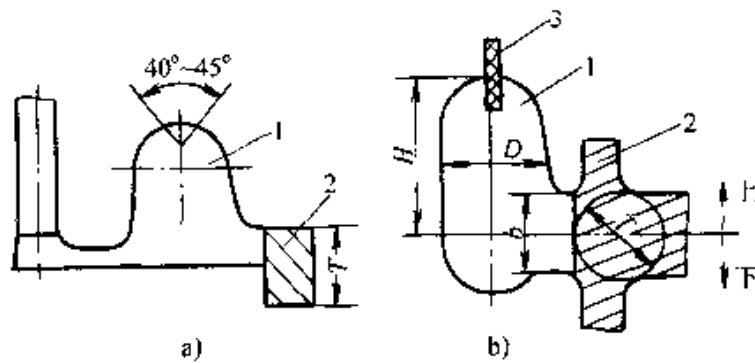


图 6-24 大气压力冒口
a) 带锥尖砂的冒口 b) 带砂芯的冒口
1—冒口 2—铸件 3—砂芯

表 6-9 大气压力冒口的型芯和出气孔尺寸

大气压力冒口	D 或 B	d		h	d ₂	d ₁
		圆形冒口	腰圆形冒口			
	< 100	φ12	φ15	90 (120)	φ3	φ20
	100~130	φ15	φ15×2 只	120	φ3	φ20
	140~190	φ20	φ20×2 只	140	φ4	φ20×2 只
	200~250	φ25	φ25×2 只	190	φ4.5	φ25×2 只
	260~300	φ30	φ30×2 只	220	φ4.5	φ30×2 只
	> 300	φ40	φ40×2 只	250	φ5	φ30×2 只

注：1. 铸件上全是暗冒口，且数量较少者，出气孔直径和数量可大于上表值。

2. 型芯伸入冒口的长度 h_1 ，约为冒口高度 H 的 $1/3$ 。

铸件上较大的明顶冒口，在铸型浇满后，用钢棒上下捣动其中的金属液，避免冒口顶面过早凝固结壳，使大气压力长时间作用在冒口的金属液面上，也具有大气压力冒口的补缩效果。

(2) 压气冒口和气弹冒口 压气冒口将压缩空气通入暗冒口，对冒口施加压力，提高补缩效果。使用这种冒口时，给气时间要准确控制在冒口上部结壳之后。它适用于大型厚壁铸件的大直径暗冒口，并可取得显著的补缩效果。

在冒口内插入气弹，浇注后气弹受热，弹药分解产生气体压力，作用于冒口内金属液表面上，增加补缩压力的为气弹冒口，多用于成

批和大量生产的铸件。

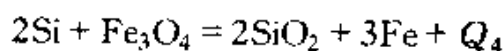
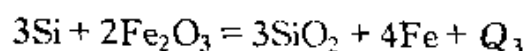
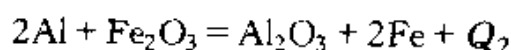
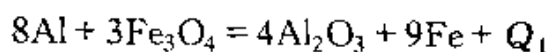
上述两种冒口，因气体调节困难，发气时间难于控制，工艺复杂，使用不多。

2. 发热冒口 普通冒口凝固较快，冒口中凝固较早的金属不具补缩作用。为改善冒口的补缩条件和提高其补缩效率，可采用发热冒口。冒口上覆盖发热剂，或铸型上安装用发热及保温材料做成的，其内壁与冒口柱部分外形相同的套的冒口为发热冒口。由于发热材料的放热反应，延缓了冒口的凝固速度，从而使冒口内金属利用率显著提高。其应用情况如图 6-25 所示。

发热暗冒口的发热套根部留有 10~40mm 的普通砂圈，以防发热套直接与金属液接触产生粘砂及增碳等缺陷。采用发热明冒口时，铸型浇满后应在冒口顶面散发热保温剂，防止冒口散热过快，但明冒口的补缩效率总不及暗冒口。

发热冒口套由发热剂、保温剂和粘结剂等组成。

(1) 发热剂 在某种温度条件下，发生化学反应时能放出热量的混合料。发热冒口套用的发热剂一般由铝粉、硅铁粉、氧化铁粉等材料组成。铝粉和氧化铁粉的混合物叫铝热剂。在金属液的热作用下，发热剂的温度 1250℃ 时，铝和硅被激烈地氧化而放出大量的热量。其化学反应如下：



化学反应生成物的温度可达 3000℃ 以上，冒口中的金属液被剧烈加

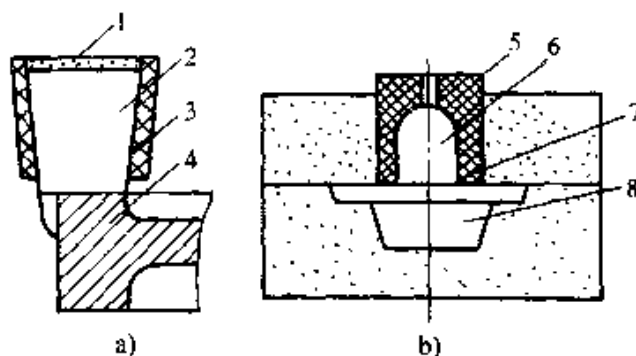


图 6-25 发热保温冒口

a) 明冒口 b) 暗冒口

1—保温剂 2—明冒口 3、5—发热套
4、8—铸件 6—暗冒口 7—砂圈

热、升温，然后缓慢冷却，延长了冒口金属液的凝固时间，大大提高补缩效率。铝热剂发热量大，反应迅速，作用时间短；硅铁粉发热少，作用缓慢，有利于延长作用时间。

发热剂需要加热到 1250℃ 以上才起反应，对铸钢件大型冒口来说容易达到。但对浇注温度较低的铸铁件及铜合金铸件尚有困难。因此，在这类合金使用的发热套中，还需加入强氧化剂硝酸钠、硝酸钾和点火剂镁等。

(2) 保温剂 常用的保温材料有膨胀珍珠岩、蛭石、大孔陶粒、电厂灰、陶瓷等，此外，木炭粒，锯木屑等也可作为保温材料。其作用是延长发热剂的燃烧时间和保温。

(3) 粘结剂 常用水玻璃、膨润土、矾土水泥和酚醛树脂等。

发热冒口的补缩效率比普通冒口高，铸造工艺出品率可达 75%~80%。操作简单、易于控制、安全可靠，可普遍用于铸钢件的生产中。

其它加热冒口有加氧冒口和电热补缩冒口等。加氧冒口是金属液浇满铸型一定时间后，在明冒口顶部吹入氧气，使补加的发热剂（硅铁和锰铁）氧化而发热，提高冒口中钢液温度。浮在顶面的熔渣形成多孔性保温层，延长冒口顶部结壳时间，并使钢液长时间处于大气压力作用之下，提高了冒口的补缩效率。

电热补缩冒口是将一个钢电极设置在冒口底部，另一个可调高度的电极穿过耐火材料保护盖，吊在冒口顶部，在冒口内金属液而与石墨电极间引弧加热，使冒口保持熔融状态，保证冒口对铸件的充分补缩。此法多用于铸钢件生产中。

第七章 造型技术

培训要点：通过本章的学习，基本了解常用造型方法的成型机理、相应特点及适用范围，重点是掌握各种手工造型的操作方法、作业要点和机器造型的种类及特点。

随着科学技术的进步，造型技术也发生了巨大的变化。特种铸造方面，如熔模铸造、压力铸造、低压铸造、离心铸造、真空铸造等精密铸造技术已在生产中广泛应用；砂型铸造方面，由于新型造型材料的开发，水玻璃砂、双快水泥砂、石灰石砂、流态自硬砂和树脂砂等也获得了广泛应用；新型造型技术如高压造型、消失模铸造、真空密封造型、磁型铸造、壳型铸造等技术正在实践中不断发展，从而使传统的砂型铸造工艺又有了新的活力。但从整体来看，由于粘土砂造型具有较大的灵活性、适应性和经济性，到目前为止，仍是铸造业产量最高及应用最广泛的一种造型技术。

第一节 造型工艺知识

一、铸型种类分类（表 7-1）

表 7-1 砂型造型铸型种类分类

铸型种类	主要特点	应用范围
湿型	砂型不需烘干，成本低、劳动条件好、生产效率高、生产周期短、砂型不易变形、尺寸精度高，但强度较低，水分含量较高	适于各种批量的中、小型铸件生产，广泛用于机械化造型

(续)

铸型种类	主要特点	应用范围
干型	含水少、强度高、透气性好、易于保证质量，但砂型尺寸精度较低，生产成本较高，且生产周期长，劳动条件差，不易实现机械化生产	结构复杂，质量要求高，单件或小批量生产的大、中型铸件
表干型（表面烘干型）	只将砂型表层约 10 - 30mm 的砂层烘干。兼有湿型和干型的优点	结构较复杂，质量要求较高的单件或小批量生产的大、中型铸件
自硬砂型	利用化学反应硬化砂型。强度高，含水少，砂型尺寸精度高，生产效率高，劳动条件好，可实现机械化生产，但生产成本较高	结构复杂，质量要求高，单件或成批生产的大、中型铸件
覆砂金属型	在随形金属模（砂箱）表面覆以 5~20mm 的型砂，形成高刚度铸型。铸件尺寸精度高、型砂消耗少，生产效率高，可实现球墨铸铁无冒口铸造。但随形金属模（砂箱）制作成本较高	质量要求高，大量生产的中、小型球墨铸铁件，如曲轴、凸轮轴和连杆等

二、造型方法分类

砂型铸造的造型方法按成型方式总体可分为手工造型和机器造型两大类，如何选用可视具体情况而定，各类造型方法的主要特点和适用范围见手工造型方法分类（表 7-2）和机器造型方法分类（表 7-3）。

表 7-2 手工造型方法分类

造型方法	主要特点	应用范围
砂箱造型	利用砂箱造型, 操作方便, 劳动量较小	不同大小和不同批量的铸件生产
劈箱造型 (劈模造型)	将模样和砂箱分成相应的几块, 经分别造型后组装成型。此法便于造型、烘干、搬运、合型和检验, 但制模、制砂箱和铸型组合工作量大	成批生产的高大型复杂铸件, 如机床床身等
脱箱造型	造型后取走砂箱, 无箱或加套箱后浇注。可节省砂箱	用于大量、成批生产的小型铸件
叠箱造型	将两个以上的铸型层叠浇注, 可提高金属液利用率和生产场地利用率	用于成批生产的中、小型铸件
组芯造型	铸型由多块砂芯组成, 可在砂箱、地坑中或胎具中组装	铸件结构复杂, 单件或成批生产
刮板造型	用专制的刮(车)板刮制砂型。可节省制模费用和时间, 但操作麻烦, 生产效率低	外形较简单的回转体和等截面铸件, 单件或小批生产
地坑造型	在地坑中造型, 不用圈、底箱, 只用盖箱, 操作较麻烦, 劳动量大, 生产周期长	大、中型铸件, 单件或小批量生产

表 7-3 机器造型方法分类

造型方法	成型机理及主要特点	适用范围
震击式	利用低频率、高振幅机械震击紧实砂型。砂型下紧上松, 紧实度不均匀。机器结构简单, 成本低, 噪声大, 劳动强度大, 生产效率低, 对厂房基础要求高	精度不高的中、小型铸件, 成批、大量生产

(续)

造型方法	成型机理及主要特点	适用范围
压实式	型砂借助于压头或模板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 (大于 0.7MPa) 三种。噪声小, 劳动条件好, 生产效率高, 中低压造型机结构较简单, 制造成本较低, 高压造型机结构复杂, 对砂箱要求高, 制造和维修保养成本高	中、低压造型用于精度要求不高, 高度较小的简单铸件批量生产; 高压造型用于精度要求高, 较复杂铸件的大量生产
震压式	震击后加压实。砂型紧实度较高, 且较均匀。成本低, 生产效率较高, 噪声大	精度要求较高, 较复杂的小型铸件, 成批、大量生产 (常用于脱箱造型)
微震压实式	利用高频率、低振幅, 微震紧实砂型, 并辅以压实, 可同时微震压实, 也可以先微震后压实。生产效率高, 机器结构较复杂, 噪声较大	精度要求较高, 较复杂的中、小型铸件, 成批、大量生产
抛砂造型	用高速旋转的叶片产生的离心力把砂团抛出, 使型砂在砂箱内逐层充填紧实, 砂型紧实度高而均匀。此法适应性广, 能耗小, 噪声小, 但配件易磨损	精度较低的大、中型铸件, 单件、小批或成批生产
射压造型	先用压缩空气射砂预紧实后, 再用高比压压头压实砂型。紧实度及均匀性较高。分为垂直分型与水平分型两种形式。生产效率高, 易于自动化, 机器结构较复杂, 成本较高	精度较高的中、小型铸件大量生产
静压造型	其造型过程为: (1) 在砂箱框内填砂; (2) 对松散型砂用迅速膨胀的压缩空气进行加压预紧实 (气压上升时间约 0.3s); (3) 用高比压压头压实填砂面, 使铸型上、下紧实度高而均匀。铸型尺寸精度高, 生产效率高, 噪声小, 散落砂少, 但机器结构复杂, 成本高	精度要求高的中小型复杂铸件的大量生产

(续)

造型方法	成型机理及主要特点	适用范围
气冲造型	利用一定压力的气体(空气或燃气)瞬时膨胀释放出来的冲击波作用在型砂上(气压上升时间小于0.02s)使型砂产生触变,克服了砂粒间粘土膜引起的阻力,提高了型砂的流动性,在冲击力和触变作用下迅速成型。砂型紧实度高而均匀,且分布合理。铸型尺寸精度及生产效率高,但机器结构较复杂,成本高	精度要求高的中小型复杂铸件的大量生产

第二节 手工造型的基本方法

一、砂箱造型

1. 起模条件

(1) 分型 为了能在砂型中起出模样,其砂型分型面必须位于模样的凸点线处。求模样凸点的方法为:假想用一条平行于起模方向的直线,贴着模样轮廓的外沿平动一周,其直线与模样的接触点均为凸点,如图7-1a、b图中的T点,由模样上连续凸点构成的环模封闭曲线即为凸点线。当然,有时模样在分型面之外还会出现一些局部的凸点,如凸台、肋板等,此时为了方便造型,可将局部凸点处理成活块或下芯的方式来解决。

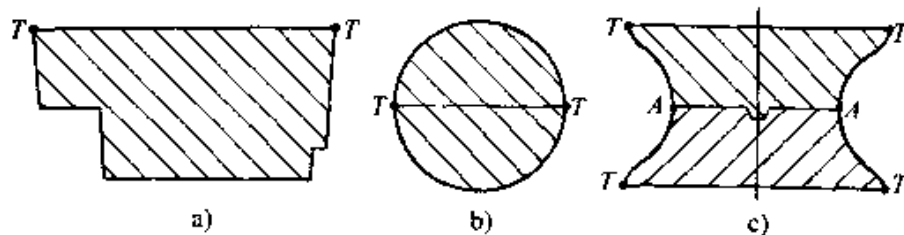


图7-1 模样上的凹凸点

a) 整体模 b) 分体模 I c) 分体模 II

(2) 分模 由图7-1c可以看出,为了能从砂型中起出模样,必须在A点即凹点线处分模。求模样凹点的方法为:假想用一条平行于起模方向的直线,贴着模样轮廓的内沿平动一周,其模样与直线的贴合点即为凹点,同样,由模样上连续凹点构成的环模封闭曲线,称

为凹点线。为了能起出模样，模样必须在凹点线处分模。

2. 造型操作

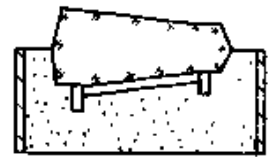
(1) 整模造型 造型时不采用其它措施即能起出整体模样。

适用范围：凸点线位于模样一端的模样，如平板类铸件。可用于各种批量生产的铸件。

(2) 分模造型 造型的分型面和分模面均在模样凸点线处的同一平面上，分成两片的模样分置于上、下型（或左、右型），如图 7-2 所示。



适用范围：凸点线不在模样一端的分体模样，如管类、筒类、柴油机机体类铸件。广泛用于各种批量生产的铸件。



(3) 挖砂造型 若模样按起模要求需分模造型，但有时为了便于制模或顾及模样强度，将模样做成整体，此时可采用挖砂造型。即先把模样四周妨碍起模的型砂挖除，直到挖至模样凸点线处，见图 7-3。挖砂所形成的根部分型面要平整，边侧的坡度不能太陡，以便于起箱，坡根外缘离型腔的宽度应大于 20mm，以使砂型保持一定强度，在造上型时，对较高的吊砂应考虑加固措施。

适用范围：凸点线不在模样一端的整体模样，单件生产。

(4) 假箱造型 造型前先做一个特制的假箱来代替造型底板，使模样上的凸点线处于分型面上，见图 7-4。假箱只用于造型，不用于组成铸型。制作假箱可用强度较高的型砂，也可用木材或其它材料制成成型模底板。

适用范围：凸点线不在模样一端的整体模样，成批生产。

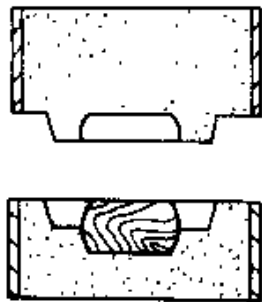


图 7-3 挖砂造型

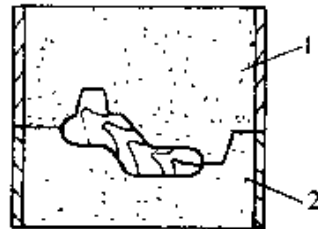


图 7-4 假箱造型
1—砂型 2—假箱

(5) 活砂（抽砂）造型 为了在造型时省却圈箱或制芯盒的工作，将妨碍起模的砂型部分制成可以移动的活砂，以便从砂型中起出模样，此法为活砂或抽砂造型，见图 7-5、图 7-6。其造型步骤为：

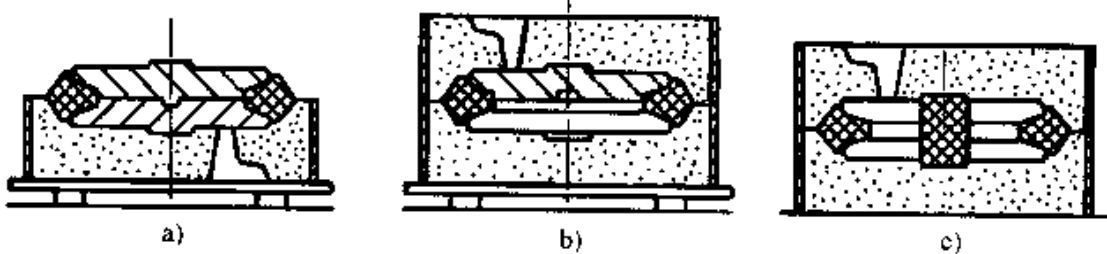


图 7-5 活砂造型

a) 舂制活砂 b) 上下型合型后一起翻身 c) 完成的砂型

1) 一般先舂制上型。

2) 舂制下型前要先制活砂，活砂高度应为上、下型模样凸点线之间的高度，活砂需由侧面起出时要在活砂下预置抽砂板。

3) 起模时，先起出下型的模样，再将下型合放到上型上，夹紧砂箱并翻身，此时活砂已落于下型中，再翻转上型并取出上型模样，修完型后，再合型浇注。

适用范围：单件生产。此法较费工费时，产量大时，可用砂芯代替活砂。

(6) 吊砂造型 吊砂造型是手工造型中常用的方法，当吊砂的高度和重量较大时须考虑加固措施（图 7-7）。

1) 木片加固 较小的湿型吊砂用木片加固，木片应扁薄，以增加与型砂间的接触面。木片长度以上部不超出砂箱顶面、下部距型腔面 10mm 左右为宜。吊砂大时，可将木片置于贴紧箱带处，再另用木片将其抵紧在箱带上。

2) 铁钩加固 干型吊砂可用铁钩加固，铁钩的一头挂住箱带，另一头伸入吊砂中。弹性强的铁丝不宜用作铁钩。

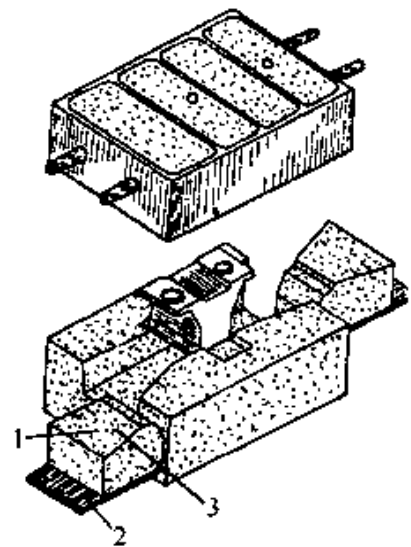


图 7-6 抽砂造型

1—活砂 2—抽砂板 3—定位线

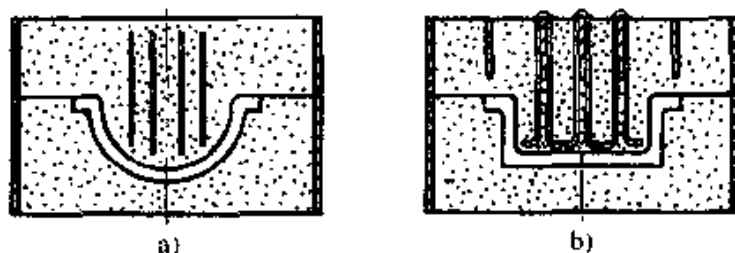


图 7-7 吊砂造型

a) 用木片加强吊砂 b) 用铁钩加强吊砂

3) 其它加固 大而深的吊砂可用铁制骨架加固，骨架用弯头螺栓固定在箱带上；生产数量较多时可在专用砂箱上制出成型箱带加固吊砂。

(7) 三箱（多箱）造型 有些复杂铸件造型时，因起模成工艺要求，需要有多个分型面，可用三箱（多箱）造型。其造型顺序视模样的具体结构而定。

(8) 组芯造型 铸件的内外形状全部由砂芯形成的称为组芯造型。这种方法的技术关键是砂芯的分割、砂芯的组合精度及强度。砂芯的组合及装配可用夹具或用特制金属框架，大型铸件可在地坑中组合和紧固。

适用范围：结构复杂的铸件，国内外许多质量要求高的发动机缸体铸件常用此法成批大量生产。

(9) 劈箱造型和劈模造型 劈箱造型是多箱造型的扩展。有些形状复杂的大型铸件，如机床床身，采用普通的三箱造型已无法满足造型的工艺或质量要求，可采用劈箱造型。即把三箱造型的圈箱和模样相应部分沿垂直方向劈成几个部分，分别造型后，再将各部分砂型组装起来，形成完整铸型，见图 7-8。

此外，在制造大、中型铸件或采用自硬砂造型时，模样高度越大，起模力也越大，往往造成松模和起模的困难，甚至会损坏模样，此时可将模样制成劈模（抽心模）形式，把模样分割成若干部分，分模面做有较大起模斜度，见图 7-9。起模时，先抽出中间心模，四周模样稍加松动后即可取出。

适用范围：结构复杂的大、中型铸件，成批生产。

(10) 脱箱造型 利用可开合或脱卸的砂箱（图 7-10）进行造

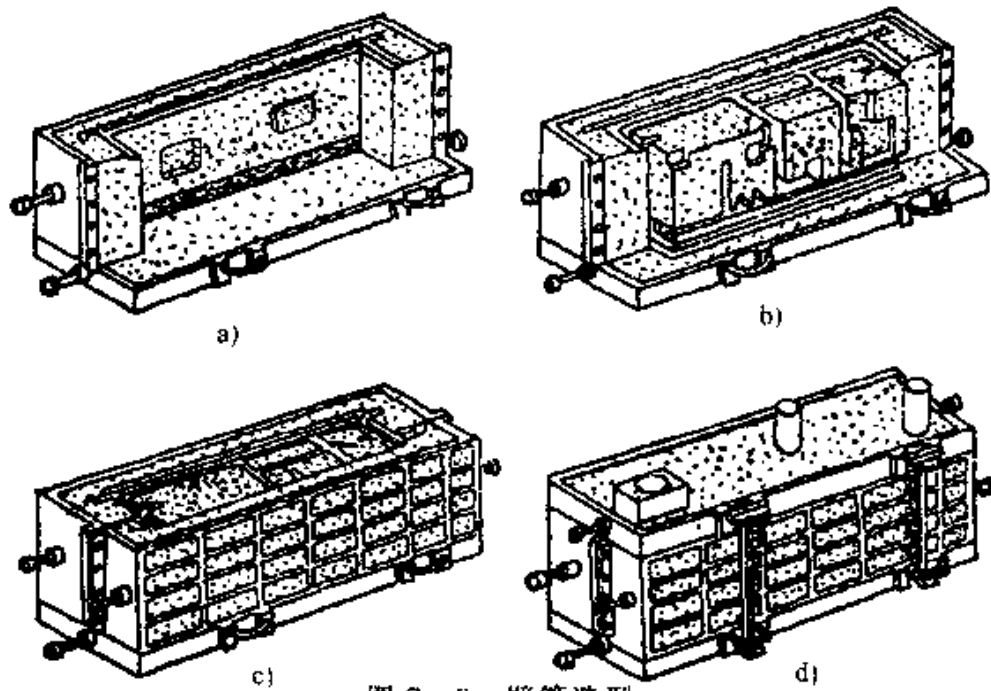


图 7-8 劈箱造型

a) 合上左侧型 b) 下芯 c) 合上右侧型 d) 合型待浇注

型，造好型后脱下砂箱，形成一个无箱的砂型，此砂型在浇注前必须加套箱或在砂型间用回砂填实，此法可省去大量砂箱。

适用范围：小型铸件的湿型铸造，成批大量生产，机器和手工造型。

(11) 叠箱造型 为了提高车间造型面积和金属液的利用率，对一些生产批量大，外形高度较低的薄小铸件可采用叠箱造型，见图 7-11。叠箱造型根据浇注要求可分为重叠式和阶梯式。

二、地坑造型（地面造型）

对生产数量较少的大型铸件，宜采用地坑造型。地坑造型可节省砂箱，还可降低浇注位置，使浇注既安全又方便。本节仅介绍硬砂床地坑造型法。因硬砂床床面型砂在造型过程应经过舂实，硬度较高，故称为硬砂床。

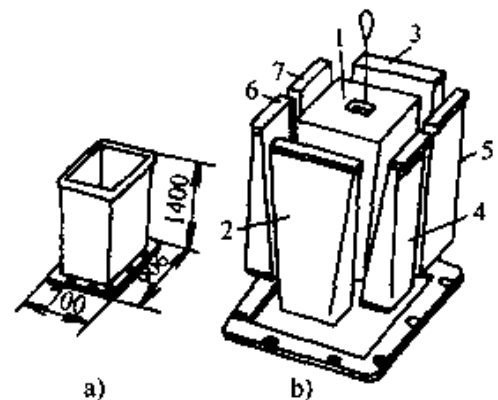


图 7-9 劈模

a) 铸件 b) 劈模
1-7一起模顺序

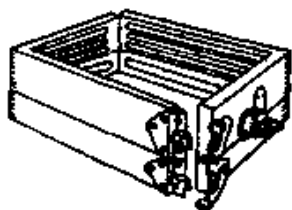


图 7-10 可脱卸砂箱

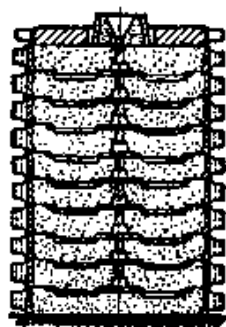


图 7-11 叠箱造型

1. 硬砂床的制备

(1) 挖坑 地坑与地下管线和厂房柱脚的间距不应小于 2m，以防金属液渗入地层，损坏这些设施，引发事故。地坑尺寸视模样大小，模样侧面与坑壁距离约 0.2~0.6m；模样底面与坑底约 0.3~0.8m。生产特大铸件做加固硬砂床时，地坑底部需要夯实。

(2) 设置排气道 为了使浇注后砂型底部的大量气体能顺利排出，应修筑排气道。在紧实的坑底舂实 1~2 层填充砂，铲平后放一层 100~150mm 厚，粒度为 $\phi 30 \sim \phi 100\text{mm}$ 的焦炭或炉渣作排气层，上覆草袋以防型砂堵塞空隙，并用一根或几根内径大于 80mm 的排气管从焦炭层引上地面。

(3) 填砂 在草袋上分层填实背砂层，其总厚度为 200~250mm，最后一层型砂应舂成与模样相应的形状。必要时可在填实背砂过程中在纵横方向填入两层圆钢筋，间距 200~250mm，以加强砂型。舂完背砂后，砂层上扎出气孔直通排气层，出气孔间距 200~400mm，然后在其上填入一层面砂，盖住通气孔，以免浇注时金属液钻入。硬砂床结构如图 7-12 所示。

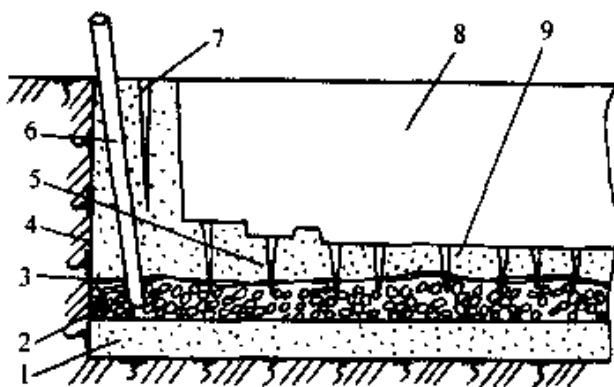


图 7-12 硬砂床结构

- 1—填实砂 2—排气层 3—草袋
4—地坑 5—背砂 6—排气管
7—出气孔 8—型腔 9—面砂

(4) 加固硬砂床的制作

制造特大铸件要求砂床承载力大，故需对砂床进行加固。加固措施为：在坑底填充砂春实铲平后，纵横各铺放一层钢轨，轨间中心距约300mm，轨长超出铸件边缘约500mm，也可以用砂箱或砌砖垛代替钢轨，侧立砖每3~5块为一垛，砖垛间距为200~250mm，铺设砖垛的面积每边超出铸件边

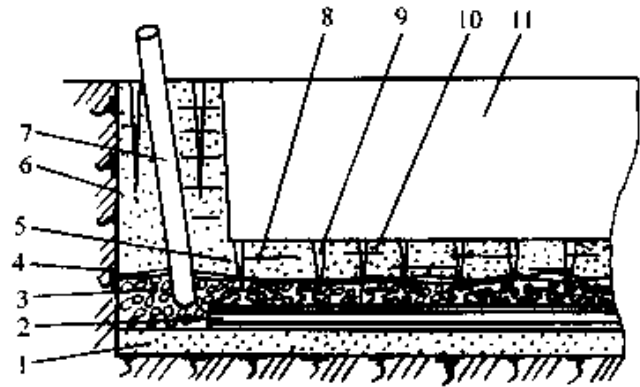


图 7-13 加固硬砂床结构

- 1—填实砂 2—钢轨 3—排气层
4—草袋 5—背砂 6—地坑
7—排气管 8—圆钢筋 9—出气孔
10—面砂 11—型腔

缘约300mm，其余工序同硬砂床，但背砂层总厚度为300~400mm，每春两层背砂压一层圆钢筋或砂钩，以增强砂型。其结构如图7-13所示。

2. 地坑实样造型（硬砂床造型）

(1) 底面造型

1) 平面法 适用于底面是大平面的模样。先在硬砂床春实一层面砂，并在面砂中预埋两根校直的圆钢管，用水平仪校平，作为刮砂基准面，将砂型底面刮平后放入模样。

2) 拓印法 将模样压入砂床后再起出，根据其留下的印迹，挖去被模样压紧处的型砂，在疏松或缺处填入型砂。经反复调整，直到模样底部砂型的硬度均匀适宜、印迹清晰为止。当模样尺寸大时，常开有春砂孔，以便于春紧底部型砂。

3) 翻转法 适用于底面有较深大凹腔的模样。先将模样翻转放在地坑旁边，在模样的凹腔内填以型砂并逐层春紧，表面刮平后扎通气孔，然后以模样的一边为翻身支点，将模样翻转倒扣在地坑内已预先铺平的砂床上。

(2) 侧、顶面造型

1) 造型 底面造型完毕，将模样就位并校水平后，要在模样上压上重物，以防模样在春砂过程中抬起。春实高大模样侧壁型砂时，

每春 2~3 层型砂要埋入一层铁钩或圆钢筋，间距约 200mm，相邻两层铁钩要交错排列。下型春好后，沿分型面刮平，平面尺寸要大于盖箱尺寸。上型的造型基本同砂箱造型，放砂箱时要垫高些。起模前应在型面上划出下芯位置线并作出清晰的标志。

2) 排气 为使较高大的铸型便于烘干和排气顺畅，造型时要在模样四周距模壁 100~150mm 处立入 $\phi 20 \sim \phi 25\text{mm}$ 的出气棒，其间距为 300~600mm，出气棒在修型时取出，留下的出气孔用干砂填满。

3) 定位 有盖的地坑造型常采用导桩定位，有时也用定位线定位，即在起模前将模样的相关位置线引出，作为合型的定位线。采用导桩定位时要注意导桩不可打得太斜和太低，基础要牢固，以免影响定位精度。

3. 砂型的烘干

(1) 烘干方式 地坑造型的砂型无法搬运，需进行原地烘干，可采用移动式烘干炉。移动式烘干炉种类较多，根据其送风方式可分为鼓风机送风和压缩空气送风，其所用燃料又可分为固体（焦炭、煤）、液体（柴油、煤油）、气体（煤气、天然气）。图 7-14 所示为采用固体燃料，鼓风机送风的移动式烘干炉。

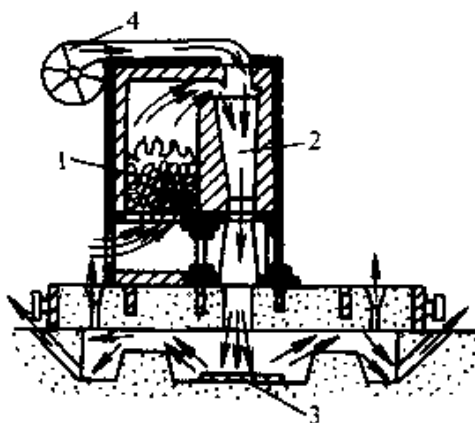


图 7-14 移动式烘干炉

1—燃烧室 2—热风管
3—粘土板 4—鼓风机

烘干操作时，先在地坑砂型上放置专门的罩壳或将上箱盖在上面。移动式烘炉燃烧生成的高温炉气通过罩壳的窗口或上箱的浇冒口吹入型腔进行烘干，废气和水气通过缝隙和特设的孔道排出。开始烘干时宜小风慢火，并逐渐加大火力，使型腔保持一定温度。在对应炉气喷口处的型面上放置粘土板或薄钢板，以防局部过热。烘干面积较大的砂型，可同时放置几个烘炉，其数量可按每个炉子烘干 3~4m² 米定。型腔较深的砂型应经常调整喷口高度，以求烘干均匀。另外，对高深型腔立面上的凸出部位要撑固好，以防烘干时变形或开裂。

(2) 烘干深度及检测 采用移动式烘干炉烘干的砂型属表面烘干，其砂型烘干深度取决于铸件的工艺要求，常规的烘干深度参见表

7-4. 不易烘干的部位烘干深度不得小于 50mm。

表 7-4 地坑的烘干深度

铸件壁厚/mm	烘干深度/mm
< 60	> 60
60 - 100	> 80
> 100	> 100

检测地坑砂型烘干程度的方法，一般采用直接检验法，即采用仪表直接测定砂型的烘干程度。图 7-15 所示装置是通过电导率大小来测定砂型的干燥程度。因为砂型的湿度越小，电导率越小，当电流为零时，表示被测部位已烘干。根据仪表指示和铜针插入砂型的深度即可测定烘干深度。还有一种直接检验法是根据砂型内层温度来测定烘干程度（在砂型烘热状态下），当测得温度低于 100℃ 时，则表示未烘干，还有水分未蒸发掉。将温度计按一定深度插入待测砂型即可测定烘干程度。经检验烘干已合格的砂型要在规定时限内进行浇注，以防砂型返潮。

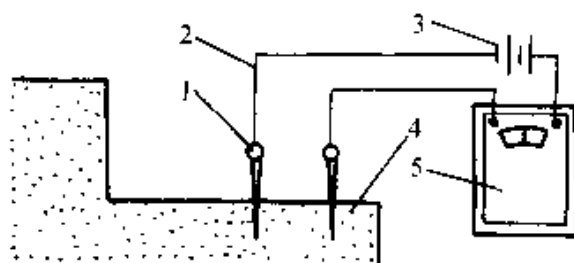


图 7-15 烘干深度检测

1—铜针 2—导线 3—电池 4—砂型 5—电流表

三、刮板造型

在制造旋转体或等截面形状的铸件时，可以用与铸件截面相适应的刮板来造型，此法常用于铸件尺寸较大且生产数量较少时。刮板可分为旋转刮板、导向刮板和骨架模造型等，其中，旋转刮板一般称为车板。

1. 车板造型

(1) 车板结构

1) 车板 一般为木制，为防止工作时磨损，可在刮砂面上钉一

层薄钢板。为减少刮砂阻力和降低刮砂面粗糙度，车板的工作边需制成刃口状。车板工作边伸出的铁钉用于在砂型分型面上车出分肋用的圆线。车板上的长条孔槽用于车板的调节和固定。

2) 车板架 一般分为大型（铁心）车板架和小型（木心）车板架等。见图 7-16 和图 7-17。此外，小型车板还可以用砂箱架设，其方法有悬臂式和过桥式。

(2) 车板的安装和校调操作要点

1) 车板的支承轴杆要垂直且牢固安置，不能有松动，当车板较高时，轴杆上端需用压梁固定，以防晃动。

2) 按铸造工艺图规定的尺寸调整车板位置并固定好。

3) 校调车板时要使分型面略高于砂箱边沿，并注意检查轴杆垂直度。

(3) 造型操作 下面以六根轮辐的带轮（三箱造型）为例，说明车板造型过程和合型方法。

1) 车制上型 ①先铲平砂地，撒上分型砂并放上砂箱；②铲入型砂并舂实，用刮板刮平，在砂箱对角线的交点敲入木桩；③安装并

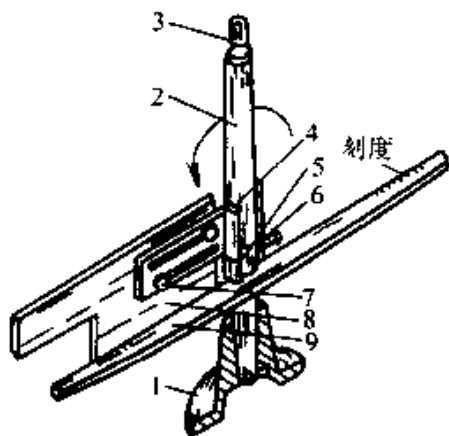


图 7-16 大型车板架

- 1—底座 2—直轴 3—吊环 4—转动臂
5—颈圈 6—紧固螺钉 7—螺栓
8—车板 9—木尺

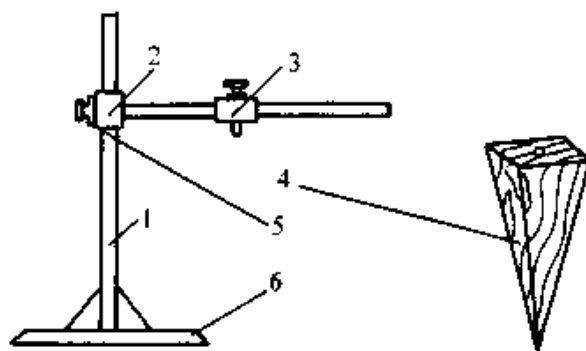


图 7-17 小型车板架

- 1—支柱 2—悬臂 3—滑套
4—木桩 5—定位螺钉 6—底座

校正车板，注意使分型面高出四周箱边，并按吊砂高度敲入一定数量的木片或铁片加固（轮辐处避开）；④砂型车好后在吊砂上扎出气孔并在表面筛敷一薄层细面砂再车一次，同时在吊砂平面上车出一条圆

线；⑤拆去车板，喷水、修型；⑥将圆线六等分，划出轮辐等分中心线，用轮辐模样控制轮辐，如图 7-18 所示。

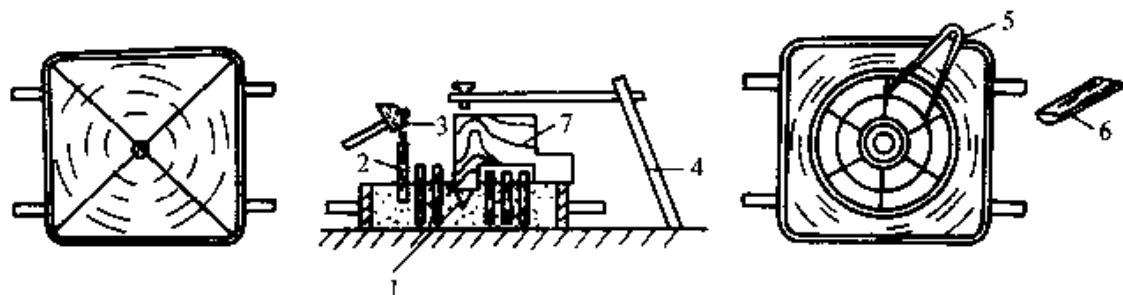


图 7-18 车制上型

1—木桩 2—加固片 3—手锤 4—车板架 5—分规 6—轮辐木模 7—车板

2) 车制中型 中型可在平板或平砂地上车制，为使其两个分型面均略高于砂箱平面，故在放砂箱时要在砂箱底部四角处用铁片垫高（所选砂箱高度应略小于中型高度），为防止中型在吊运时塌箱，可在砂箱内壁刷一层白泥浆水或预先安装骨架或砂钩来加固砂型，箱角处型砂要舂紧一些。

3) 车制下型 基本方法类似于上型。不同之处为：因下型不用翻转，所以凸台处不必用木片等物来加强，轮辐形状等初合型后挖出。

4) 合型 ①将中型平放在上型上，调整至轮缘四周壁厚相等，在两箱外壁交接处做上定位线；②将下型和中型进行合型，调整轮缘四周使壁厚相等。在下型的轮毂内放些黑石墨粉，再把上型按定位线合上（初合型），通过轮毂上冒口处吹入压缩空气，造成黑灰飞扬从而在下型上留下轮辐印痕；③取走上型，按印痕作出下型的轮辐，然后分别按定位线进行终合型。

(4) 合型方法 两箱造型时，因不能利用中箱进行配箱，所以一般采用下列几种合型法：

1) 出气孔或冒口合型法 在上型轮缘外径处，作四个均布の出气孔或冒口，其根部必须与轮缘外径呈内切状态，通过上型透孔观察下型分型面位置即可进行合型，见图 7-19。

2) 十字线合型法 通过砂型圆心，分别在上下型分型面对应位置作十字线并将直线引至箱边作上定位线进行合型，见图 7-20 所示。

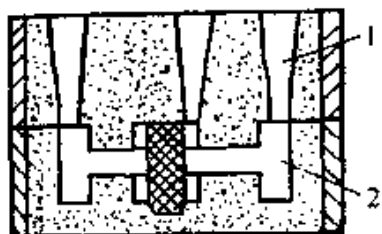


图 7-19 出气孔合型法

1—出气孔 2—型腔

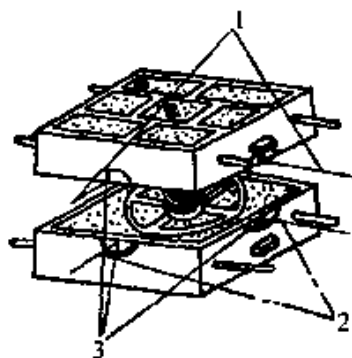


图 7-20 十字线合型法

1—上型十字线 2—下型十字线

3—定位线

3) 圆线合型法 其方法可分为内圆线法和外圆线法, 两者都根据上、下型的等值同心圆线进行合型, 见图 7-21 所示。

(5) 分肋计算 车板造型在进行分肋划线时, 需求知等分圆的弦长, 由图 7-22 可知, 等分圆弦长可由下式求出。

$$S = 2R \sin \alpha / 2 \quad (7-1)$$

式中 S ——等分圆弦长 (mm);
 R ——等分圆半径 (mm);
 α ——弦长对应的圆心角 ($^{\circ}$),

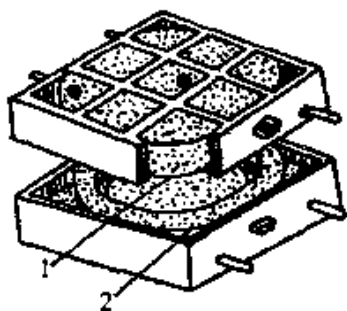


图 7-21 内圆线合型法

1—上型圆线 2—下型圆线

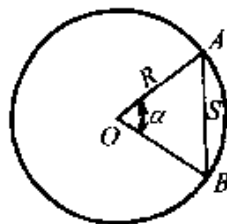


图 7-22 弦长和圆心角的关系

实际操作时, 由于等分用的圆线与圆心经常不是在同一平面上, 为便于操作, 当分肋数为奇数时, 等分数可取其倍数。例如: 轮辐数为 5, 等分数要取 10。为此, 只要连接圆线上两个对称的等分点, 即

可划出轮辐中心线，但在划线时要间隔一个等分点划一根轮辐中心线。

分肋数 n 和等分圆弦长 S 的关系为：

$$\begin{aligned} n=3 \quad S=1.732R; \quad n=4 \quad S=1.414R; \quad n=5 \quad S=1.176R; \\ n=6 \quad S=R; \quad n=7 \quad S=0.866R; \quad n=8 \quad S=0.765R; \quad n=9 \\ S=0.648R; \quad n=10 \quad S=0.618R. \end{aligned}$$

2. 导向刮板造型 对截面固定、外形细长的铸件如直管、弯管等，可采用导向刮板造型。导向刮板不是绕轴旋转，而是沿着特制的导板移动，其导板置于砂型的分型面上，芯头、法兰等凸缘部分仍可放置实模成型，但要配成活块。当型砂舂实后，用刮板沿着导板刮出型腔，见图 7-23。其造型过程一般是先做一个假箱，将导板完全埋入假箱分型面，再放上砂箱，安放浇冒口模样，填砂舂实。为了减少填、舂砂和刮制砂型的工作量，可在填、舂型砂前，在需要将砂刮去的部分放置木块等充填物，舂完砂型后，翻转砂箱，拿出充填物后再用刮板刮制砂型。

因导向刮板的上、下型是分别刮制的，所以其合型方法较特殊，常用的有两种：一种是直观法，即在未下芯前利用芯头排气缺口直接观察初合型情况，使上、下型的型腔壁对齐后，在砂箱外壁作出定位线，再吊起上型，下芯并合型。另一种是划线法，即在上、下型把型腔的相关轮廓线划出，分别引出到箱边外作出定位线，再按线合型，如要避免错箱，还需进行初合型，经印迹复查调整后再合型浇注。

导向刮板造型实例 对一些尺寸较大而生产数量较少的管类铸件，因受车间设备限制（如起重能力），常采用硬砂床有盖地坑造型。图 7-24 为一直管铸件，其导向刮板造型过程如下：

1) 制备硬砂床 根据铸件尺寸大小，先制备一个硬砂床，上平面刮平。

2) 安装导板 将导板平面置于硬砂床上平面（分型面）上并固定好。

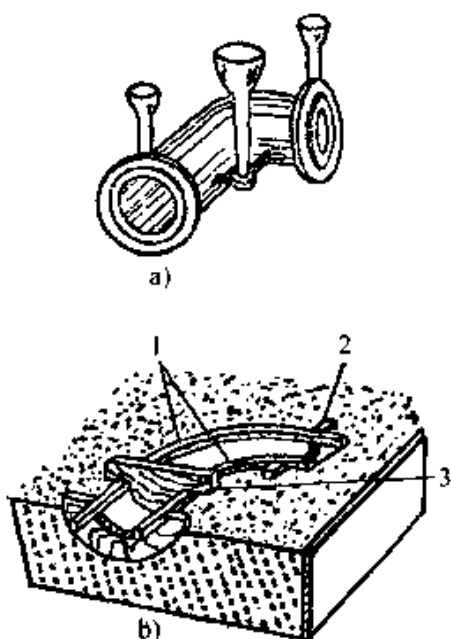


图 7-23 导向刮板造型

a) 铸件 b) 刮制砂型

1—导板框 2—凸缘 3—刮板

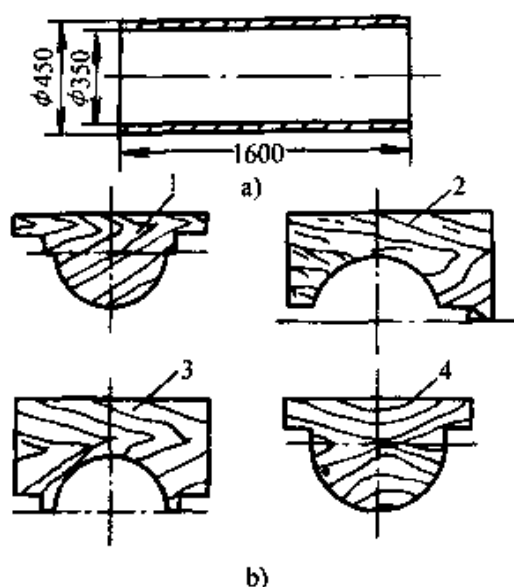


图 7-24 导向刮板造型示例

a) 铸件图 b) 刮板

1—砂型芯盒用刮板 2—砂型模样刮板

3—砂芯刮板 4—砂型刮板

3) 刮制砂型芯盒 挖去导板中间部分型砂，用刮板 1 沿导板刮出半个砂芯芯盒，见图 7-25a。

4) 刮制外模样 将砂型芯盒型面修整后垫上一层纸，填入部分芯砂春实，放入浸过泥浆水的芯骨，根据砂芯尺寸，填入草绳或焦炭作排气道，将填砂春实，并用刮板 2 沿导板刮出上箱外模轮廓，见图 7-25b。

5) 刮制外模芯头 在导板上芯头的标记处，用刮板 3 刮出外模两端的芯头，去掉导板，修整型面，上箱外模样即完成。

6) 上箱造型 在上箱外模样上撒上分型砂，放置上砂箱及浇冒

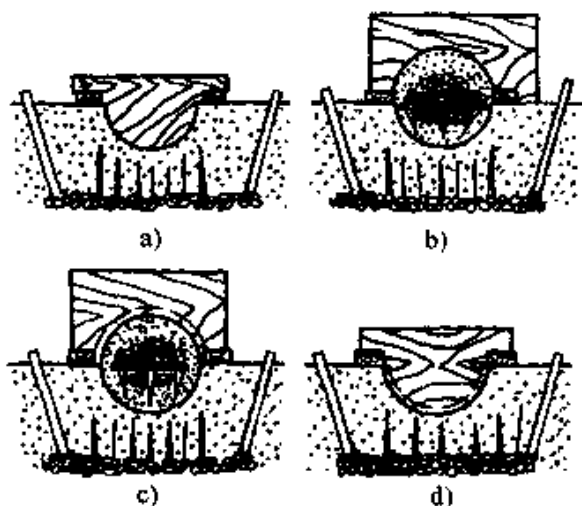


图 7-25 导向刮板造型过程

a) 刮制砂型芯盒 b) 刮制砂型模样

c) 刮制砂芯 d) 刮制砂型

口模样，填砂春实，打好定位桩，开箱，修型，开挖浇道及上涂料。

7) 刮制砂芯 在原来位置安放导板，用刮板 3 刮去多余的芯砂，见图 7-25c，并将砂芯吊出砂型，修型、上涂料及烘干。

8) 刮制下砂型 用刮板 4 刮去导板中段管子长度标记内的多余型砂，见图 7-25d，修型、上涂料及烘干后再下芯及合型浇注。

3. 骨架模造型 有些变截面的曲面铸件，如不能用车板或导向刮板造型，可采用骨架模造型。

骨架模可由一些厚度与铸件壁厚相等的肋条架组成，其轮廓形状与铸件相似，见图 7-26。骨架模的造型方式见图 7-27。

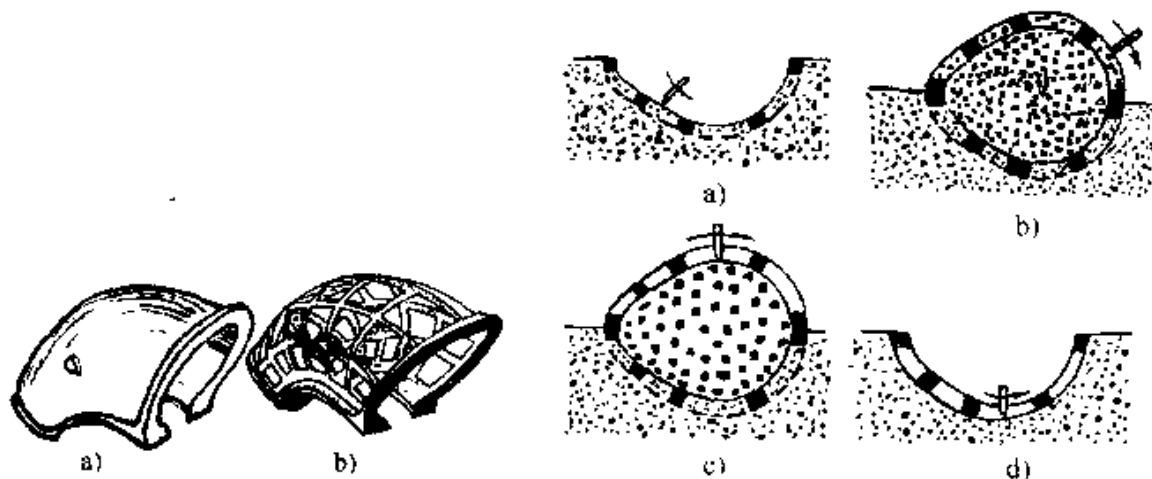


图 7-26 骨架模
a) 铸件 b) 骨架模

图 7-27 骨架模造型方式
a) 刮制芯盒 b) 刮制砂型模样
c) 刮制砂芯 d) 刮制砂型

第三节 机器造型

我国铸造工业使用的造型机械种类繁多，下面主要介绍常用的粘土砂造型机械的概况及特点。

一、砂型的紧实度和表面硬度

型砂的紧实度表示砂粒间排列堆集的密集程度，其堆积越紧密，紧实度越大。型砂紧实度可以用单位体积内型砂的质量表示

$$\delta = m / V \quad (7-2)$$

式中 δ ——型砂紧实度 (g/cm^3);

m ——型砂质量 (g);

V ——型砂体积 (cm^3)。

几种常见的型砂紧实度为：十分松散的型砂 $0.6 \sim 1.0 \text{g/cm}^3$ ；一般紧实的型砂 $1.55 \sim 1.7 \text{g/cm}^3$ ；高压紧实的型砂 $1.6 \sim 1.8 \text{g/cm}^3$ 。

紧实度是砂型造型的一个极为重要的工艺参数，它需要保证砂型在起模、翻箱和搬运过程中不掉落，在浇注和凝固过程中能经受高温金属液的冲刷以及能承受液态金属的静压力和铸件凝固过程中因体积变化产生的膨胀力作用。紧实度低的砂型，易使铸件产生冲砂、掉砂和因型壁移动而产生胀砂及缩孔、缩松等铸造缺陷，且铸件尺寸精度低，表面粗糙度值大。但是，紧实度过高的砂型，透气性差，易引起气孔、夹砂等缺陷。所以，对于砂型紧实的工艺要求，要根据具体的生产情况而定。

在实际生产中，因测量紧实度的操作十分麻烦，所以往往通过测量砂型的表面硬度来判断型砂的紧实程度。湿型砂型的表面硬度可用砂型硬度计直接测出，且不破坏砂型。常用砂型硬度计为弹簧式。根据其压头形状和尺寸以及不同的测力弹簧最大负荷值分为 A、B、C 三种类型，其中，A 型和 B 型用于检测手工和一般机器造型湿砂型的硬度，C 型用于高压造型砂型的检测。通常，对于手工造型和一般的机器造型，砂型表面硬度单位要求在 70 左右；高压造型的砂型硬度单位要求在 80~90 之间。

二、造型机的种类及特点

造型机一般按其紧实砂型的方式进行分类，常用的有下列形式：

1. 震击式 成型方式：使工作台将砂箱与型砂举升至一定高度（约 20~80mm），然后突然下落与机座产生震击，使型砂因受冲击力面得到紧实，见图 7-28。其震击频率为 150~200 次/min。一般需经过几十次震击，砂型方能达到所需的紧实度。在震击过程中，砂箱下层的型砂受到上部型砂的作用力较大，紧实度高；上层型砂受力小，紧实度低。从图 7-29 震击紧实砂型紧实度分布曲线可知，砂型顶部的紧实度很低。为防止铸件胀砂和翻箱时掉砂，一般在震击紧实后，尚需采用手工和砂舂或其它方法对砂型表面补充紧实。

特点：震击造型适用于模样较高的砂型。与其它造型机相比，其结构简单，使用成本低，但生产效率低，噪声、震动和能耗大，使用

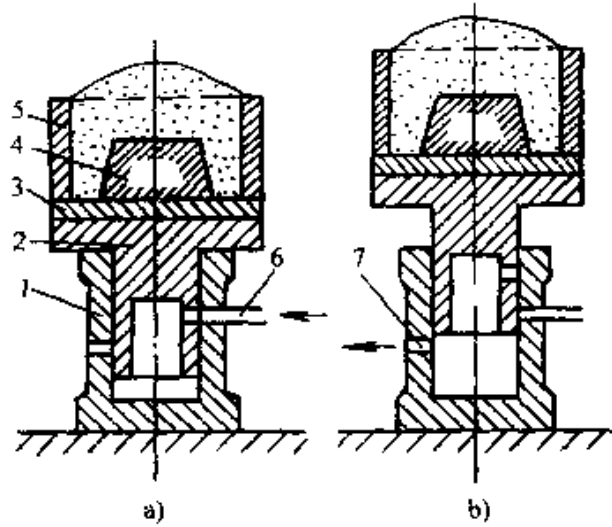


图 7-28 震击机构

a) 震击前的位置 b) 震击中的位置

1—汽缸 2—活塞 3、4—模板

5—砂箱 6—进气孔 7—排气孔

逐渐减少。

2. 压实式 成型方式：通过气压或液压作用到压板或组合压头（多触头）上，将型砂紧实成型。经压实紧实的砂型，其平均紧实度与所施的压实力成正比，压实力常用单位面积上的压力表示，称作压实比压。根据造型机压实比压的大小可分为低压造型、中压造型和高压造型。

(1) 低、中压造型 一般压实比压低压为 $0.15 \sim 0.4\text{MPa}$ ，中压为 $0.4 \sim 0.7\text{MPa}$ 之间。由于型砂在压实过程中产生移动时，受到箱壁及砂粒之间的阻力，其压力传递自上面下逐渐减小，导致砂型紧实度呈下小上大的状态，如图 7-30 所示。为了适当改善这种情况，可以采用成型压头（见图 7-31）。通常，低压造型的砂型平均紧实度仅 $1.2 \sim 1.3\text{g/cm}^3$ ，砂型上、下端面的表面硬度也只有 $70 \sim 80$ 硬度单位，而砂型的垂直面或凹面硬度仅 $50 \sim$

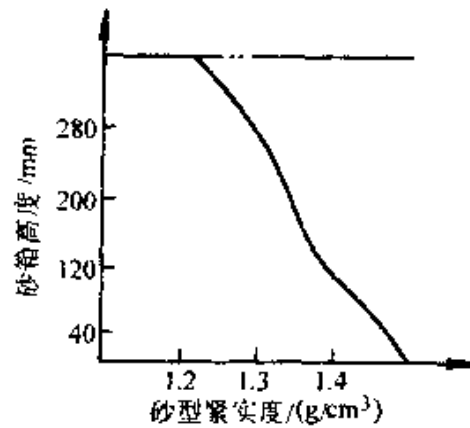


图 7-29 震击紧实砂型紧实度分布

60 硬度单位，在浇注时由于受金属液静压力作用，易导致型腔因型壁移动而扩大，造成铸件增厚或缩松、缩孔和胀砂等缺陷。采用中压造型时这种情况有所改善。

特点：其造型机结构简单，使用成本低、生产效率高、噪声和能耗小，通常只适用于砂箱高度小于 150mm 的小件造型。

(2) 高压造型 当压实比压提高到 0.7MPa 以上时称作高压造型。采用高压造型使砂型的紧实度和硬度大幅度提高（紧实度达 $1.6 \sim 1.8 \text{g/cm}^3$ ；硬度达 90 硬度单位），从而进一步提高了铸件精度、致密度和表面质量，其铸件表面粗糙度值可达 $R_a = 12.5 \mu\text{m}$ ，尺寸精度达 CT5~7 级。高压造型的砂型紧实度分布曲线见图 7-30。

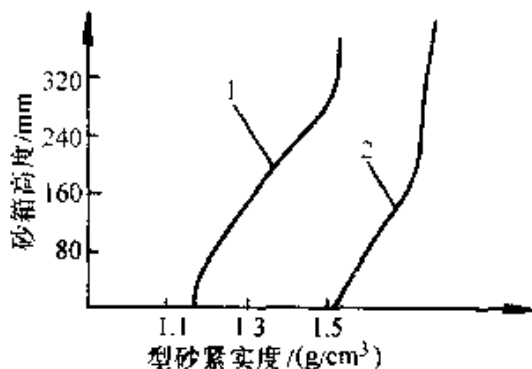


图 7-30 压实紧实砂型紧实度分布
1—压实比压 0.3MPa
2—压实比压 0.75MPa

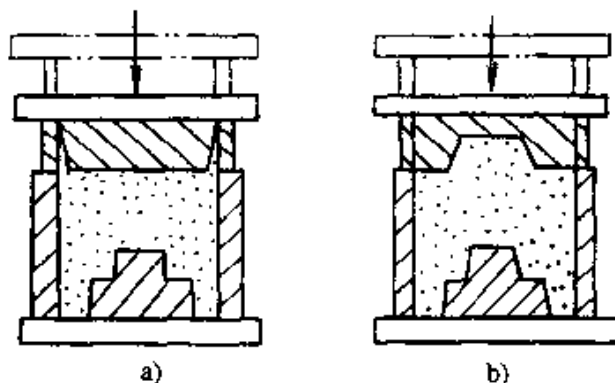


图 7-31 压实压头

a) 平压头 b) 成型压头

高压造型的比压一般不宜超过 1.5MPa，过高的比压对砂型的紧实度和硬度增加很少，副作用却很大，会导致砂型的透气性较多地下降，起模阻力大大增加，易使砂型拉断，同时，过高的比压会造成砂粒间因粘土膜变薄而产生弹性变形，在起模后砂型型壁会出现回弹现象，使砂型发生变形甚至开裂。因此，高压造型的比压应合理选择。

高压造型一般采用液压传动，为使紧实度均匀化，通常都配备多触头压头。多触头压头由多个浮动小压头组成，每个压头尾部是一个

小液压缸，由于所有小液压缸的油路是相互连通的，故在压实砂型时，每个小压头上的压力传递均相同，可以随模样高度变化自行调整各压头压实高度，自动形成了一个高精度的“成型压头”，见图7-32。

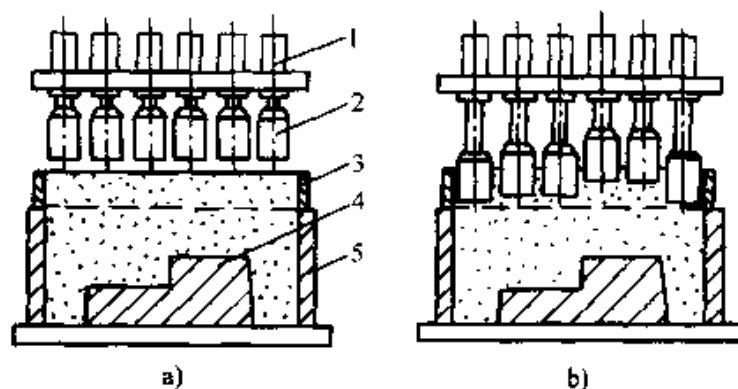


图7-32 多触头压头的压实过程

a) 加压前 b) 加压后

1—小液压缸 2—多触头 3—辅助框 4—模样 5—砂箱

特点：生产率高、噪声小、粉尘少、劳动条件好，但机构复杂、对工装要求高、设备维修保养难度大、使用成本高。适用于精度要求高，较复杂的中小型铸件的大量生产。

3. 震压式 成型方式：对型砂先进行震击紧实，然后再加以压实。震压式造型机一般都装有一个复合气缸，内缸为震实气缸，外缸为压实气缸。震压造型在一定程度上克服了单纯震实和单纯压实的不足，砂型上、下紧实度相对较均匀。

特点：机构较简单、使用成本低、生产率较高，但噪声大、造型局限性较大。只适用于小型铸件的大量生产，将逐渐为微震压实取代。

4. 微震压实式（低压气动） 成型方式：利用高频率、低振幅震击紧实砂型，并辅以压实，可同时微震压实（压震式）也可先震后压（预震式）。通常在负载情况下，微震的频率为500~1000次/min，预震振幅为5~30mm。微震能降低型砂流动的摩擦阻力，提高了型砂的流动性，从而使整个砂型尤其是模样周角处紧实度更加均匀，其紧实效果比较见图7-33。通常，用微震压实的方法制造砂箱高度小于300mm的各种砂型，可以得到较好的工艺效果。

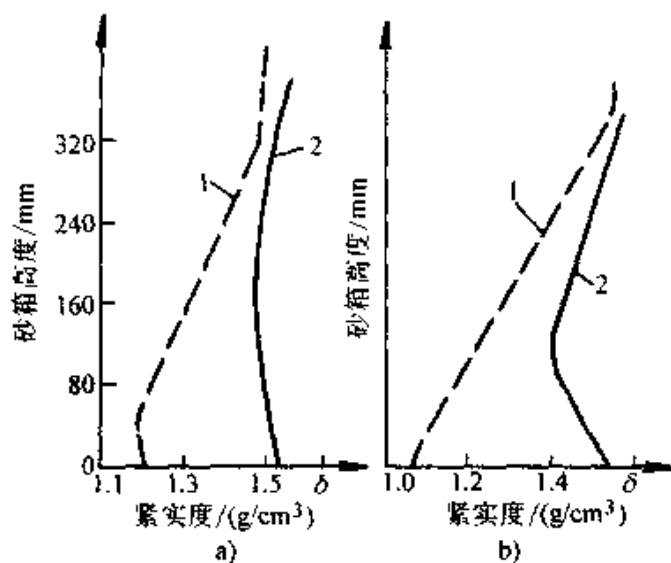


图 7-33 两种压实方式紧实度曲线的比较

a) 砂型中部 b) 砂型边角处

1—单纯压实 2—微震压实

气动微震机构是微震压实造型机的主结构之一，目前常用的有弹簧式气动微震机构和气垫式气动微震机构。

特点：机构较复杂、使用成本较低、生产率高，但噪声仍较大。适用于精度要求较高，较复杂的中、小型铸件，成批大量生产。

5. 射压式 成型方式：利用压缩空气骤然膨胀产生的动能和压差将型砂高速射入造型腔预紧实，随后施以压实，使砂型紧实度进一步提高。射压造型的种类按分型方式可分为水平分型和垂直分型两种；按砂型状态分，有箱和无箱两种。目前使用较多的是垂直分型无箱射压造型，其造型工艺过程见图 7-34。

特点：由于采用射砂和高压压实，砂型紧实度高而均匀，生产过程可自动化，生产率高、劳动强度低、噪声小；设备结构紧凑、占地面积小；无箱造型还可节省大量砂箱和输送设备。缺点是造型机多为液压传动，结构较复杂，维修保养要求较高，垂直分型造型时下芯较困难。适用于精度等级和表面质量要求高，形状较简单的中小型铸件的成批大量生产。

6. 气冲式 成型方式：利用压缩空气（或燃气）瞬时（气体压力上升时间小于 0.02s）膨胀释放出的冲击波直接作用于已填满型砂的砂箱上，使砂型在瞬间便得以紧实。一般认为气冲造型的紧实原理

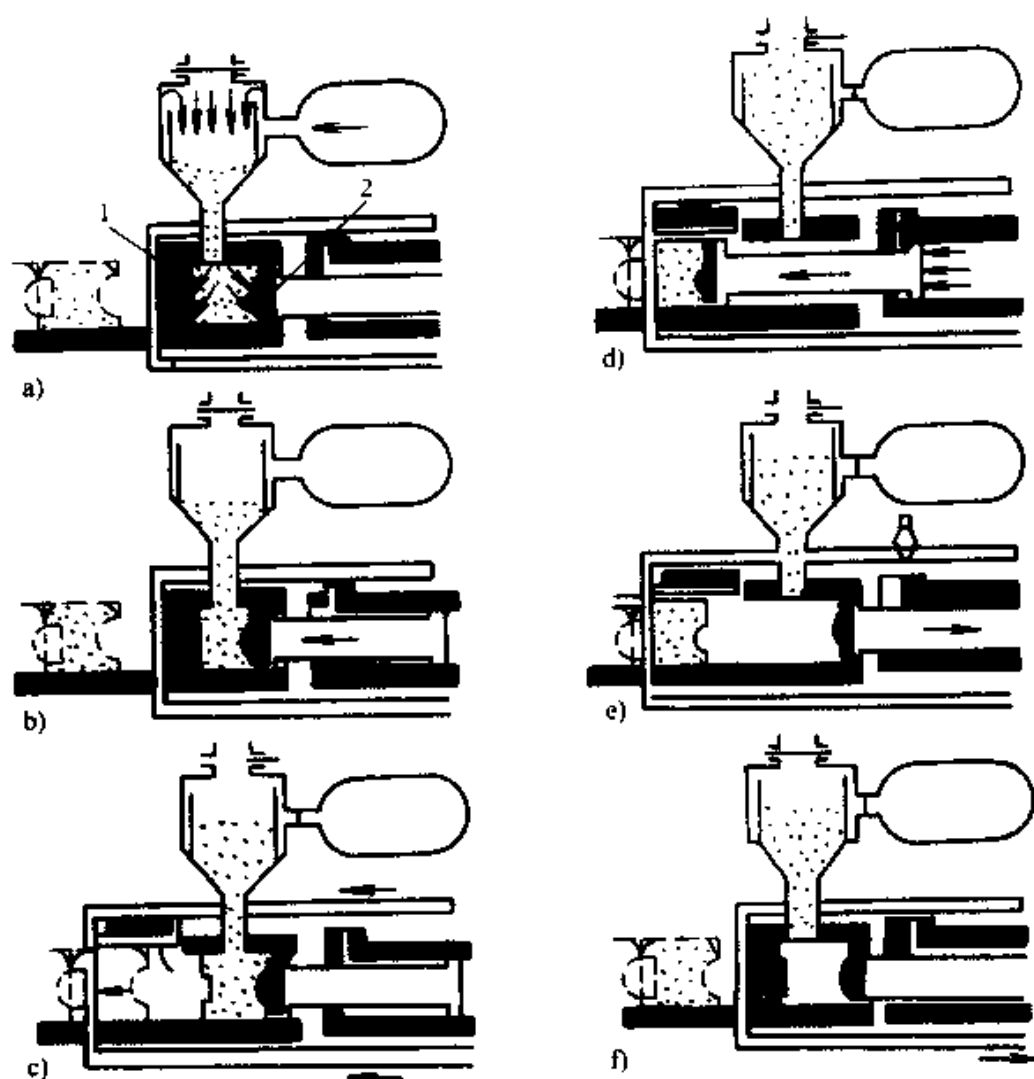


图 7-34 垂直分型无箱射压造型过程

a) 射砂 d) 压实 c) 起模 I d) 推出、合型 e) 起模 II f) 闭合造型室
1—反压模板 2—正压模板

在于瞬时的压差对砂型产生了强大的气流冲击力作用和型砂中产生的胶体“触变现象”的作用。触变现象指砂粒表面的湿粘土在气流爆炸力的瞬时冲击下，暂时缓解了粘结作用，降低了砂粒间粘土膜引起的阻力，提高了型砂的流动性，从而使砂型紧实度高而均匀，砂型表面硬度可达 88~95 硬度单位。而砂型填砂面的紧实度稍低，对砂型排气极为有利。几种紧实方式的效果见图 7-35。气冲造型技术自 20 世纪 70 年代问世后获得迅速发展，它是目前湿型造型中最先进、最完善的造型方法之一，具有广阔的发展前景。

特点：砂型紧实度高而均匀、分布合理、无砂型回弹现象。铸件

尺寸精度可达CT6~8级, 表面粗糙度值可达 $R_a = 12.5\mu\text{m}$ 。铸件重量比震压造型轻10%, 比高压造型轻3%~5%, 且生产效率高, 但机构复杂, 维修保养难度大, 对工装要求高, 使用成本高。适用于精度和表面质量要求高, 外形复杂的中小型铸件的大量生产。

7. 静压造型 成型方式: 利用压缩空气(0.3~0.6MPa)快速膨胀释放出的冲击波直接作用于已填满型砂的砂箱上, 进行预紧实, 然后再用平压板或多触头压头进行补压, 完成最终成型。该工艺与气冲造型相比有两点不同, 其一是多一道补压工序, 其二是通气压实时气压上升时间约为0.3s, 比气冲法慢一个数量级。静压造型的砂型尺寸公差可达CT5级, 表面硬度在80硬度单位以上, 尤其是模样与砂箱侧壁吃砂量很小时, 表面硬度仍可达80左右; 砂型的起模性很好, 起模斜度可减至 0.5° 。静压造型对型砂及模样要求不高, 易于配套, 造型时散落砂少, 噪声小, 是一种很有前途的造型方式。

特点: 砂型紧实度高而均匀、铸型精度高、生产效率高、噪声小, 但机构复杂, 对工装和维修保养要求高, 使用成本高。适用于精度要求高的中小型复杂铸件的大量生产。

三、造型机的起模方式

造型机一般均配备机械化起模机构, 其起模方式分顶箱式和翻转式二种。顶箱式起模的过程是模板自砂型下方脱离; 翻箱式的起模过程是模板自砂型上方脱离。

1. 顶箱式 顶箱起模的方式如图7-36所示, 砂型造好后, 造型机模板下的四根顶杆顶住砂箱四角同步上升, 使砂型与模板分离, 实现起模, 这称作顶箱去程起模; 还有一种方式是工作台带着砂箱缓慢下降中, 先将砂箱置于边辊道上固定, 而工作台带着模板继续下降, 完成起模, 这称作顶箱回程起模, 此法广泛用于各种高效造型机。

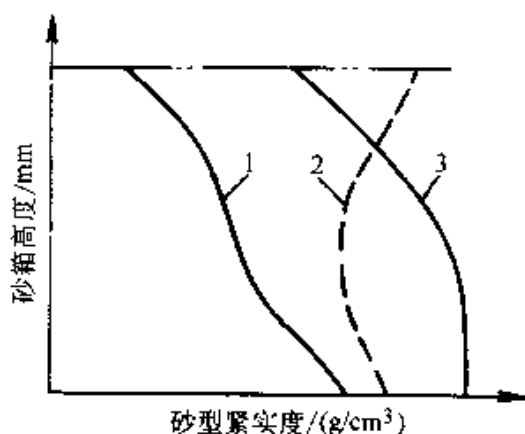


图 7-35 砂型紧实度曲线比较
1—震击 2—高压 3—气冲

对一些高度较大，形状复杂或起模斜度小的模样，为避免起模时拉坏砂型，可在模板上增设一块漏模板，采用顶箱漏模造型方式，见图 7-37 所示。

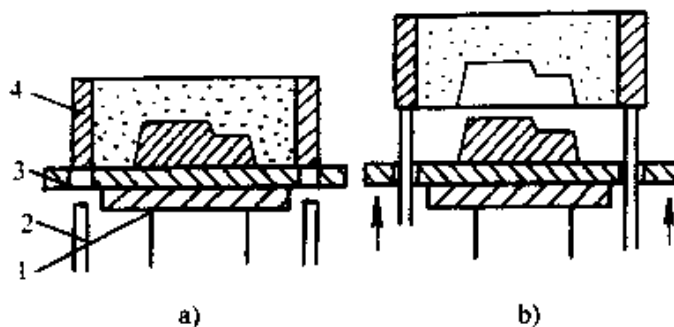


图 7-36 顶箱起模

a) 起模前 b) 起模后

1—工作台 2—顶杆 3—模板 4—砂箱

2. 翻箱式 机器造型的翻转起模常用两种方式：即翻台式和转台式，这两种方式的实质是一样的，均需将模板和砂箱翻转 180° 后再起模，其起模工艺性好，但由于结构复杂，所以这种方法一般只用于大、中型铸件或有大凸块的下砂型起模。其起模过程见图 7-38，先将砂箱和模板一起夹紧，工作台绕支轴翻转 180° 后模板固定不动，接箱台上升托住砂箱后松开夹紧装置再缓缓下降，完成起模动作。

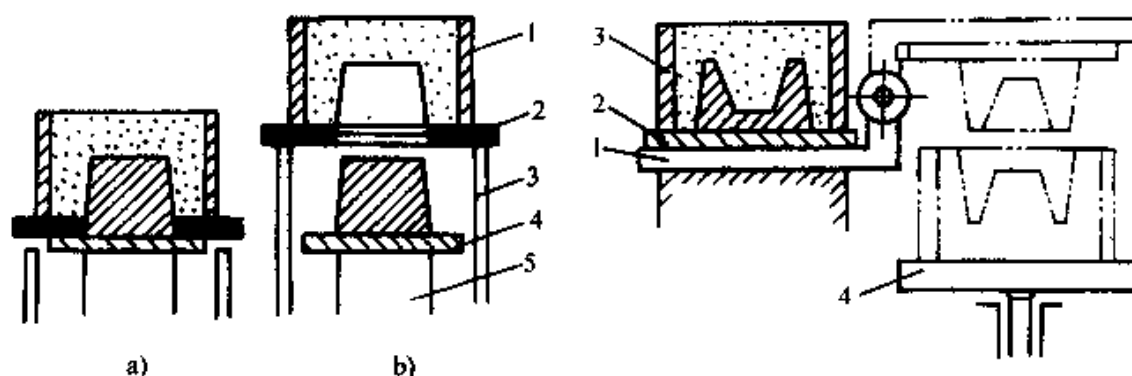


图 7-37 顶箱漏模起模

a) 起模前 b) 起模后

1—砂箱 2—漏模板 3—顶杆

4—模板 5—工作台

图 7-38 翻台起模

1—翻台 2—模板 3—砂箱 4—接箱台

第八章 制芯技术

培训要点：铸造用砂芯的作用；砂芯的制造方法及其工艺特点；制芯设备、制芯操作注意事项；制芯安全及环境保护；砂芯的烘干工艺及烘芯质量控制。

第一节 制芯工艺知识

一、砂芯的分类

砂芯的分类方法很多，通常有下述几种分类方法：按尺寸大小分类、按干湿程度分类、按粘结剂分类、按制芯工艺分类、按砂芯复杂程度分类。

二、砂芯的作用

1. 形成铸件的内腔、内孔 砂芯的几何形状与要形成的内腔及内孔相一致，见图8-1。

2. 形成铸件的外形 对于外部形状复杂的局部凹凸面，工艺上可用砂芯来形成。

3. 加强铸型强度 某些特定铸件的重要部分或铸型浇注条件恶劣处，可用砂芯形成。

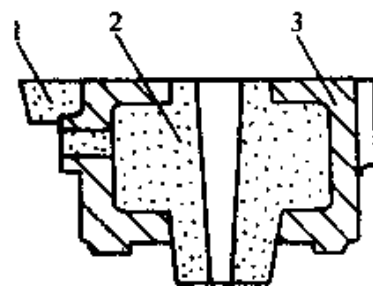


图8-1 砂芯形成内腔、内孔、外形示意图
1、2—砂芯 3—铸件

三、砂芯的等级

砂芯的等级可按其复杂程度划分，一般分为五级。

1. 一级砂芯 几何形状复杂、断面细薄或厚薄相差悬殊，与金属液接触面积大，且芯头尺寸小。如发动机机体水套芯、发动机缸盖水道芯、液压阀体件砂芯。

2. 二级砂芯 几何形状较为复杂，与金属液接触面积大，在重要铸件中所形成的内腔完全或部分不加工的砂芯。如发动机机体主体芯。

3. 三级砂芯 砂芯复杂程度一般，没有细薄的断面，用来形成铸件内腔加工的砂芯。

4. 四级砂芯 外形不复杂，用来形成铸件内外表面加工或不加工的砂芯。如一般机床床身的砂芯。

5. 五级砂芯 用来形成大型铸件的內腔，要求有良好的干强度，常在砂芯中心部位安放焦炭块来改善其退让性和透气性。

四、砂芯制造方法的分类及选择

1. 砂芯制造方法的分类，见图 8-2。

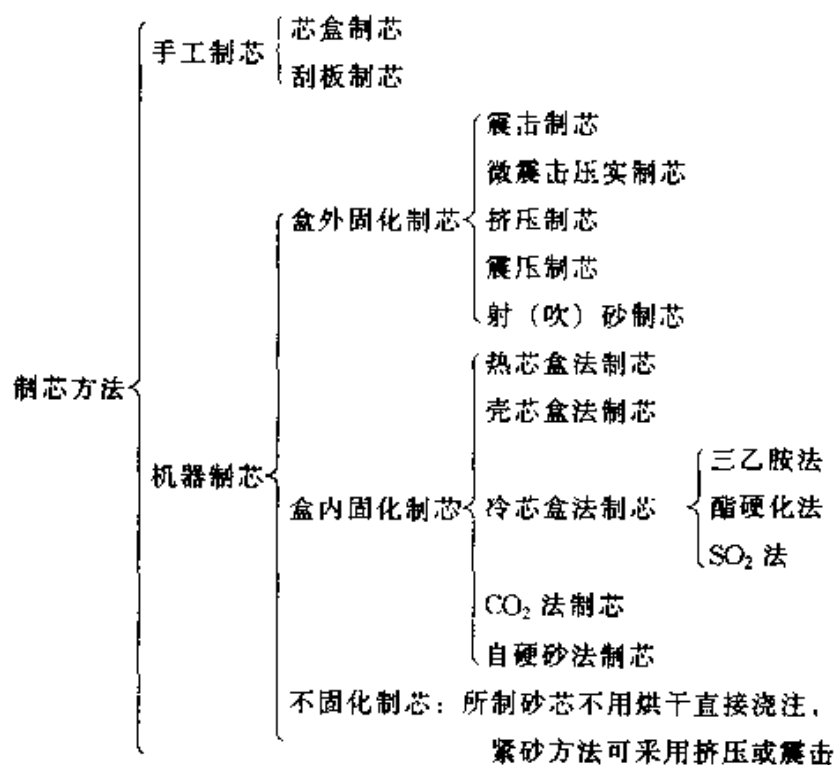


图 8-2 砂芯制造方法分类

2. 砂芯制造方法的选择原则 砂芯的制造方法应根据砂芯的尺寸、形状、生产的批量、铸件尺寸精度及其生产条件来选择。

形状简单，需安放芯骨，取出活块或需开设通气孔等工序及单件小批量生产的砂芯，则采用手工制芯。

只有当批量生产时，才考虑用机器制芯。机器制芯生产率高，紧实度均匀，砂芯质量好，便于机械化、自动化。尤其是热芯盒、壳芯盒、冷芯盒等用树脂作粘结剂的制芯方法。必须指出此类制芯方法所用设备复杂，投资费用较高，对工艺装备精度要求较高，且制造周期

长。但随着科技的进步，如采用 CAD/CAM 技术，工艺装备的设计及制作周期将大大缩短。

五、砂芯的工艺要求

由于砂芯是用来形成铸件内腔或重要部分的，因此，砂芯除芯头外，一般都被高温金属液所包围，所以砂芯在铸件浇注时的工作条件比铸型更为恶劣，故对砂芯的要求比铸型更高。

1. 足够的工艺强度 砂芯在制造、运输、下芯和浇注过程中，应不破损、不变形，并能经受金属液的冲击力、浮力等多种力的作用，所以应具有足够的强度和刚度。除了要选择最适宜的芯砂混合料，在某些生产条件及砂芯结构状况下，还要采取设置芯骨的工艺手段来加强砂芯的强度和刚度。

2. 低的发气性 砂芯由芯砂混合料制成，混合料中的粘结剂和附加物，在高温金属液作用下会产生气体，气体达到一定的压力就侵入到金属液中，使铸件产生气孔等缺陷。因此，要求砂芯的发气量越低越好。

3. 良好的透气性 砂芯在高温作用下产生的气体能顺利排出型外。这是砂芯应具备的重要工艺条件。

4. 足够的耐高温性能 砂芯被金属液所包围，要根据铸造合金种类选择适宜的芯砂混合料来满足工艺要求。还可以采取上涂料的办法来获得最佳耐高温性能。

5. 好的退让性 砂芯应不阻碍金属液的凝固和收缩，以免铸件产生裂纹。

6. 良好的溃散性 砂芯在铸件凝固冷却后，应有好的溃散性，这样可以减少清理工作量并提高铸件内腔质量。

7. 低的吸湿性 对于一些水溶性粘结剂制造的砂芯，在空气中存放会逐渐吸收水分，而导致强度下降，发气量增加。因此在选择粘结剂时要考虑良好的抗吸湿性能。

六、提高砂芯性能的工艺方法

1. 提高砂芯的强度和刚度 制芯时，通常在砂芯中安放芯骨来提高其强度和刚度。芯骨的材料主要有铁丝、圆钢、钢管、铸铁芯骨等。图 8-3 是在软砂床上制造的铸铁芯骨。

2. 通气 为提高砂芯的透气性，除选择优质原砂之外，还应采

取必要的工艺措施，使砂芯有良好的通气条件，如图 8-4 所示。

(1) 用通气针在砂芯内扎通气道，图 8-4a。主要用于形状不复杂的砂芯。

(2) 用芯棒形成通气道。在热芯盒制芯中都用这种方法，如图 8-4b 所示。

(3) 用蜡线做通气道。用于薄而复杂或弯曲的砂芯，如图 8-4c 所示。在砂芯加热烘干时，蜡线被熔化流出，在砂芯中形成通气道。现在也有用成品塑料网状通气管来代替蜡线，效果相同且方便。

(4) 用空心钢管做芯骨。制作长圆柱体铸件砂芯时，在钢管上钻很多小孔来透气。

(5) 在砂芯内放焦炭炉渣，如图 8-3d 所示。对于大型铸件的砂芯，在中心部位或厚大部位填放焦炭或炉渣，并做出通气道至芯头，这样，既增加了砂芯透气性，还提高砂芯的退让性，减少芯砂用量和便于清理。

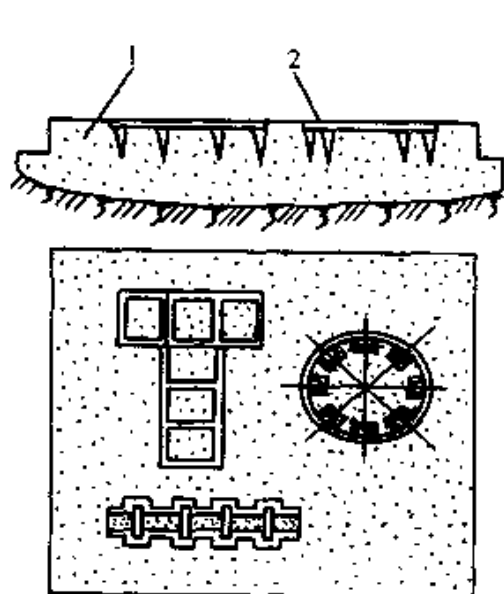


图 8-3 铸铁芯骨制造示意图

1—砂床 2—芯骨

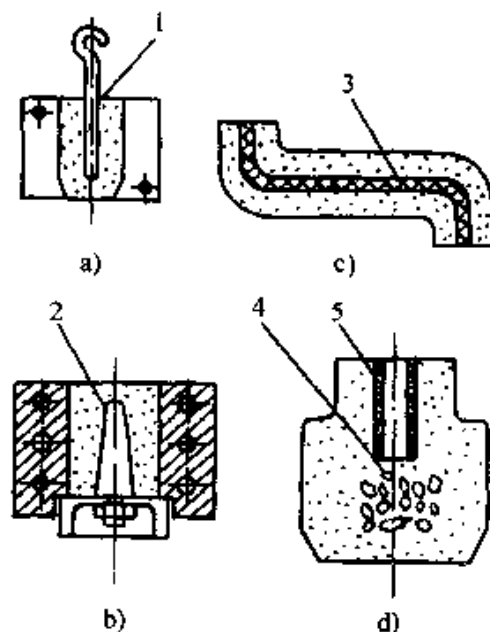


图 8-4 砂芯通气

a) 气针通气 b) 芯棒通气
c) 蜡线通气 d) 焦炭及钢管通气
1—通气针 2—芯棒 3—蜡线
4—焦炭 5—钢管

3. 涂料 当采用的砂芯粘结剂和制芯紧实度难以承受高温金属液或金属液压力的作用,使铸件产生粘砂时,应在砂芯表面涂上涂料。这是提高砂芯表面耐火度、表面强度和降低表面粗糙度的有效工艺措施,从而防止粘砂、夹砂等缺陷,并便于清砂。

七、砂芯的整修及拼合

1. 砂芯的整修 砂芯的整修是在砂芯硬化后进行的一道工序,主要包括修毛刺飞边,修补缺损,扎通气道等。其操作要点:

(1) 在修锉砂芯时,可用旧木锉刀将飞边和毛刺擦去,应注意不损坏砂芯原有的表面。

(2) 在修补砂芯缺损部位时,用配制好的修补料进行修补。

(3) 重要的芯头部位不要修补,以免丧失原有的形状尺寸。

(4) 砂芯上设置的通气道要扎通。

(5) 整修好的砂芯应装入工位器具或整齐地按放在指定地点。

2. 砂芯的拼合 因工艺需要分开制作的多个砂芯,往往要组装和拼合成一个大的或较复杂的砂芯。拼合的方法主要有:胶合料粘结、金属熔接、螺栓联接法等。

(1) 用胶合料粘结 这是最广泛使用的一种方法。可用糊精、淀粉、树脂、水玻璃等为粘结剂配制的胶合料。也可用市场上配制好的胶合料粘结。

(2) 用易熔金属料联接 对于某些特殊砂芯,可以用易熔金属料浇灌。在制芯时做出预留孔,联接时浇灌易熔金属料,如图 8-5 所示。易熔金属可用锌或铝的废料。

(3) 螺栓联接 较大较重的砂芯,可用螺栓联接,如图 8-6 所示。

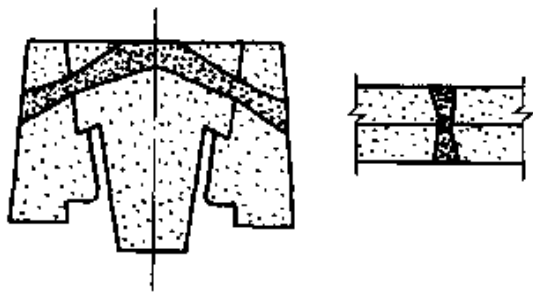


图 8-5 砂芯利用易熔金属联接示意图

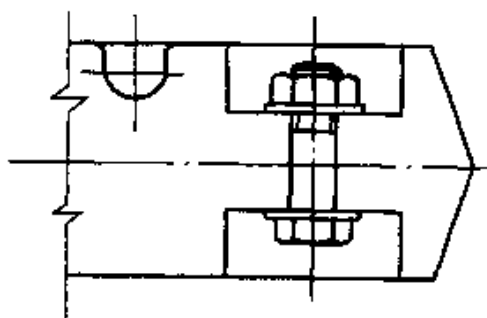


图 8-6 螺栓联接

(4) “KEY—CORE” 工艺 (锁芯工艺): 将多个砂芯组合定位于芯盒中, 经二次或多次射芯, 将一次射芯制作的砂芯组合联接成一体。此法, 砂芯与砂芯间的定位联接尺寸精度最高, 一般用于汽车、内燃机行业的砂芯。

第二节 手工制芯

手工制芯是传统的制芯方法。一般依靠人工填砂紧实, 也可借助于木锤或小型捣固机进行紧实。制好后的砂芯进入烘炉内烘干硬化。

一、制芯方法

手工制芯可分为芯盒制芯及刮板制芯两种。

1. 手工芯盒制芯 手工芯盒制芯是最基本的制芯方法。根据砂芯的形状、大小及工艺特点分为以下几种:

(1) 敞口整体式芯盒制芯 用来制作尺寸不很大, 形状较简单的砂芯。若砂芯有局部凸台或凹坑, 在芯盒上应做成活块, 如图 8-7 所示。

敞口整体式芯盒其紧砂面大, 砂芯紧实度好, 尺寸精度高。

(2) 对开式芯盒 用于对开分型的芯盒制芯, 如图 8-8 所示。图 8-8a 是垂直分型芯盒制芯, 图 8-8b 是水平分型塑料芯盒制芯。

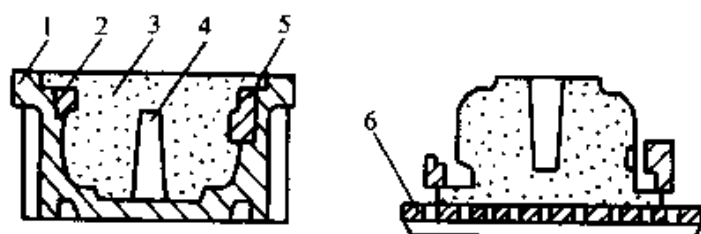


图 8-7 整体式芯盒制芯

1—芯盒 2、5—活块 3—砂芯 4—通气棒 6—烘芯板

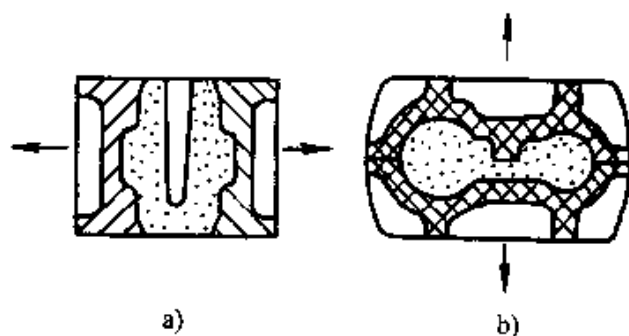


图 8-8 对开芯盒制芯

a) 垂直分型芯盒 b) 水平分型芯盒

(3) 套框脱落式芯盒制芯 适用于形状复杂尺寸精度要求较高的砂芯。芯盒体由组块形成，外加套框以定位和固定芯盒组块，砂芯紧实后，翻转芯盒，先将套框脱去，再拆芯盒组块，如图 8-9 所示。

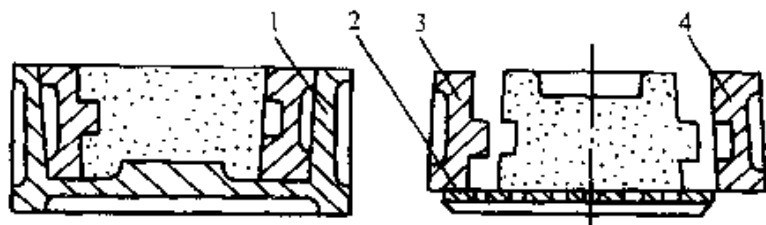


图 8-9 套框脱落式芯盒制芯

1—套框 2—烘芯板 3、4—芯盒组块

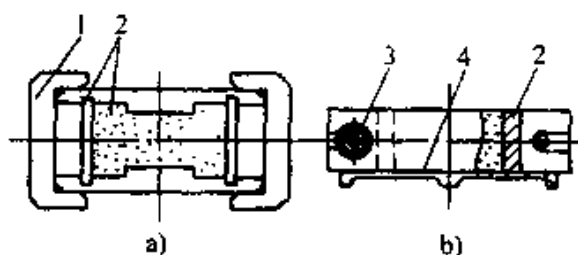


图 8-10 拆卸式芯盒制芯

a) 用卡板紧固 b) 用螺栓紧固

1—卡板 2—芯盒组块 3—螺栓 4—底板

(4) 拆卸式芯盒制芯 用于中大件砂芯的制芯。芯盒组块用螺栓或卡板来紧固，其中卡板紧固方便，螺栓紧固较烦，如图 8-10 所示。

2. 刮板制芯 刮板制芯用于特定结构的砂芯。如圆柱体砂芯的制芯工艺，它不需要芯盒，可以减少制芯工装的工作量。刮板制芯一般有旋转刮板和导向刮板两种。

(1) 旋转刮板制芯 旋转刮板也称车板。可以制作铸管砂芯。其方法是：在选定的钢管上预先打好出气孔，在管中按放好转轴；放在旋转架上；在钢管上绕上几层草绳。操作时草绳一定要层层绕紧勒实，最后外层刮出砂芯层，如图 8-11 所示。显然这种制芯法的砂芯强度和刚度高、砂芯的透气性及退让性好、芯砂用量小、芯骨可以回用，经济效益高等很多优点。

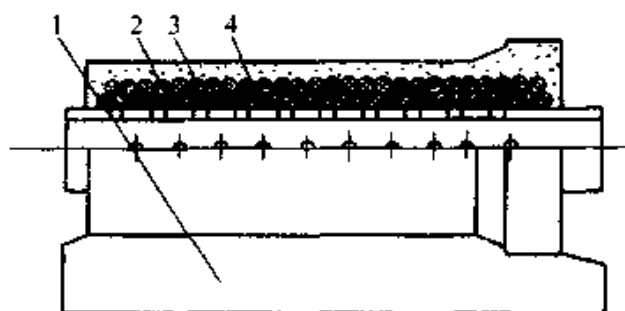


图 8-11 旋转刮板造型

1—刮板 2—粘土砂芯 3—草绳 4—钢管

(2) 导向刮板制芯 用于制作在长度方向断面无变化或变化较少、或直的圆弧的砂芯。如图 8-12 所示的砂芯，是用三块刮板刮出的有分枝断面且断面不同的砂芯。操作时，先用刮板 1、2 沿基准平板 4 移动刮出相应形状，后用刮板 3 刮出过渡部分，而三个断面连接过渡处部分用手工修理。

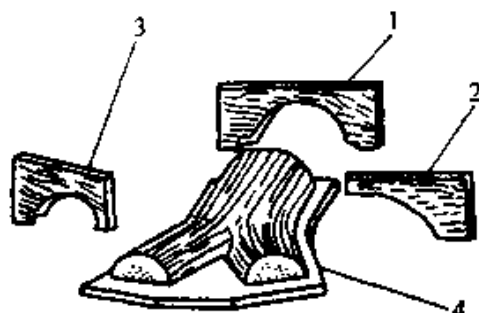


图 8-12 导向刮板制芯

1—1[#]刮板 2—2[#]刮板 3—3[#]刮板 4—基准平板

二、手工制芯及操作要点

(1) 保持芯盒内腔干净，这是砂芯达到良好表面质量的关键。因此，必须经常用柴油等清洗剂喷刷芯盒型腔，喷刷后还要吹干净。

(2) 活块座与活块之间的配合要良好，保持其清洁，制芯时不得有残余砂，并注意防止磨损。

(3) 在填砂紧实时，各处紧实度要均匀，特别注意局部薄弱部位和深凹处的紧实度。

(4) 正确使用紧实工具。如用木锤、捣固机紧实时，不得舂在芯盒体上，以防损坏芯盒。

(5) 在设置气道操作时，所设置的通气道与芯头出气孔相通，通

气道不得开设在型腔上。

(6) 安放芯骨时，一要注意芯骨周围用砂塞紧，二要注意外层吃砂量不得过小。

第三节 机器制芯

随着工业发展，科技进步，机器制芯已得到越来越广泛的应用，使铸造生产能力、产品质量及经济效益都得到全面的提高。

一、机器制芯特点

- (1) 生产率高，适用于成批大量生产。
- (2) 砂芯尺寸精度高，用射砂制芯能生产出高质量砂芯。
- (3) 砂芯紧实度高，表面质量好。
- (4) 便于机械化、自动化制芯。

二、机器制芯分类

挤压紧实制芯、震击紧实制芯、射砂紧实制芯、吹砂紧实制芯。

三、普通机器制芯

普通机器制芯指用一般震击、挤压等紧实的制芯方法。

1. 挤压紧实制芯 用于圆形、椭圆形或多边形等横截面不变的砂芯制芯。一般用活塞挤压，或用螺旋进给挤压等，砂芯通过成形管时获得紧实的一种连续性制芯方法。砂芯长度根据需要切割成段，烘干后修出芯头即可。

2. 震击紧实制芯

(1) 制芯方法 砂芯靠机械或气动震击达到紧实，这种制芯方法的紧实程度好。

(2) 取芯 紧实后的砂芯，通过机械连杆机构将芯盒翻转 180° 到起芯工位取芯，如图 8-13 所示。

(3) 制芯机 Z23 系列震击制芯机，其主要规格见表 8-1。

表 8-1 震击制芯机主要规格

名 称	Z236A	Z238A	Z2310	Z2316A
芯盒尺寸	600×500×	800×600×	1000×800×	1600×1000×
长/mm×宽/mm×高/mm	300	350	600	500
生产率/(盒/h)	40		30	25

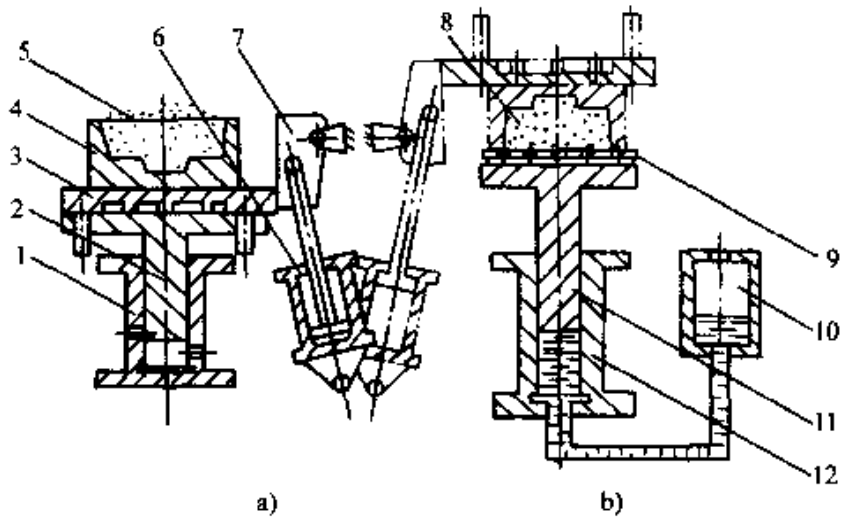


图 8-13 震击翻台制芯示意图

a) 加砂震击紧实 b) 接箱取芯

1—震击缸 2—震击活塞 3—翻台工作台 4—芯盒

5—芯砂 6—翻台缸 7—连杆 8—砂芯

9—烘芯板 10—油箱 11—接箱活塞 12—取芯缸

四、射芯机制芯

射芯制芯是一种高效率的机械化制芯方式。它以压缩空气为动力，将芯砂以高速射入芯盒并获得紧实。其中热芯盒射芯机以电能或燃气为热能将芯盒加热使砂芯硬化，冷芯盒射芯机是以压缩空气为辅助动力将硬化剂吹入芯盒使砂芯硬化。

1. 射芯机 射芯机种类很多，有普通射芯机，热芯盒射芯机、特殊用途射芯机、壳芯机和冷芯盒射芯机等。

(1) 普通射芯机 只完成对芯砂的射砂紧实。常用于植物油粘结剂及合脂粘结剂芯砂的制芯，取芯后由烘芯炉烘干硬化。也可用于水玻璃芯砂的射砂紧实，配上 CO_2 吹气罩硬化。这类射芯机主要型号有 Z8512、Z8525 等。

(2) 热芯盒射芯机 是射芯制芯的主要设备。射芯机的形式很多，按工位分，有单工位、双工位及多工位射芯机。按分型方式分，有垂直分型、水平分型及垂直—水平组合分型射芯机。按操作性能分，有手动操作和自动操作的射芯机。图 8-14 是一种应用最广、单工位垂直分型的射芯机。

(3) 壳芯机 用于生产中空高质量砂芯的制芯机。砂芯紧实是靠吹砂紧实，是射砂紧实的另一种形式。按照吹砂形式，可分为底吹式和顶吹式两种制芯机。顶吹式用的较多，旧机型主要有 K85、K87 等系列。新机型为 KW95 系列。

(4) 冷芯盒射芯机 冷芯盒射芯机可分两种。一种是用冷芯盒树脂砂制芯的射芯机。该类射芯机结构复杂，有射芯机、硬化气体发生器、废气净化装置及电液压控制系统构成。图 8-15 是国产 Z84 系列冷射芯机组组成图。另一种是水玻璃砂 CO₂ 吹气自动化射芯机。

2. 射砂紧实原理 将具有一定压力和容量的压缩空气，瞬时打开闸门，使压缩空气骤然冲入砂腔（储砂筒或储砂头），形成砂气混合流高速射入芯盒。靠芯砂所获得的动能 ($E_K = mv^2/2$) 和芯盒内砂层之间所形成的压力差 ($p_1 - p_2$) 的作用，使芯砂在芯盒内得到紧实，如图 8-16 所示。

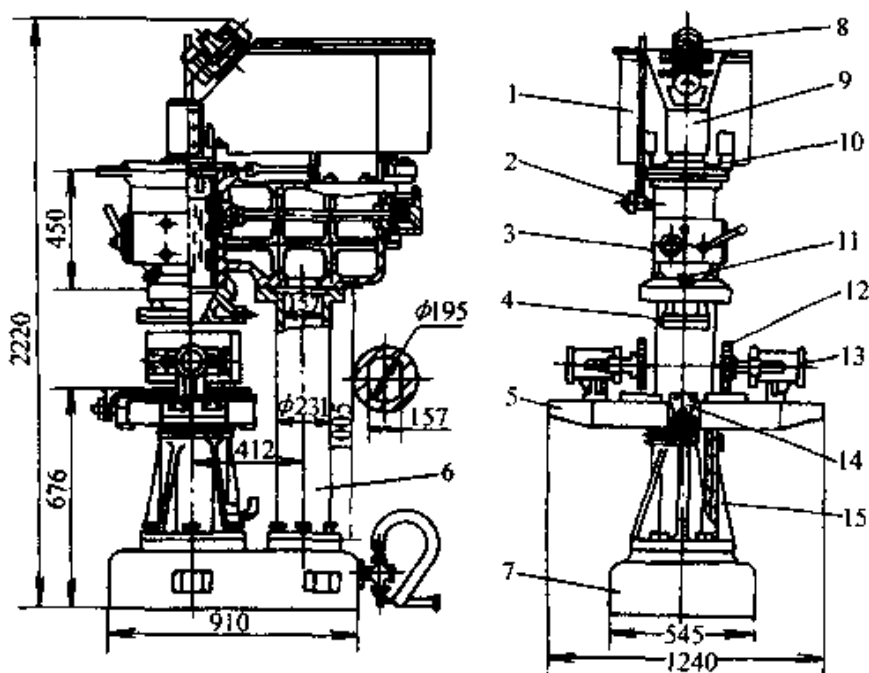


图 8-14 Z8612B 型射芯机总图

1—砂斗 2—排气阀 3—射砂机构 4—水冷射头 5—工作台

6—立柱 7—底座 8—振动电机 9—有机玻璃罩 10—橡胶减振柱

11—射头装卸螺钉 12—加热板 13—夹紧缸 14—气动拖板 15—升降

(1) 影响动能大小的主要因素

1) 射砂压力 动能与速度 v 平方成正比。压力高、速度快、动能大。在一定范围内，压力越大，砂流速度也越快，一般射砂压力为

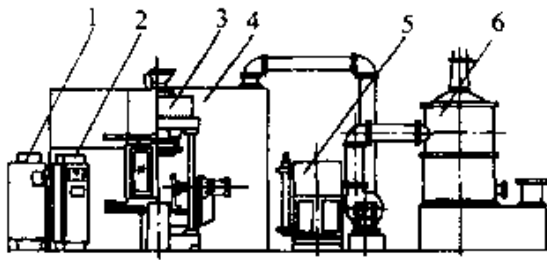


图 8-15 Z84 系列冷芯盒射芯机

1—气体发生器 2—控制系统 3—射芯机
4—防护罩 5—泵站 6—净化器

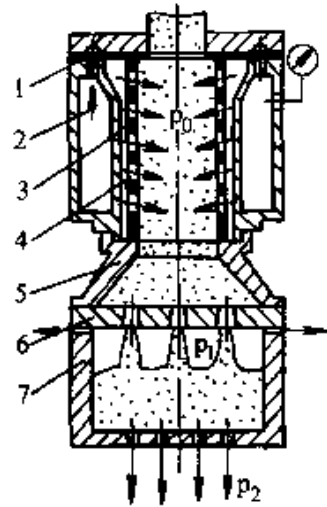


图 8-16 射砂紧实原理图

1—射砂阀 2—气包 3—射砂腔
4—射砂筒 5—射砂头
6—射砂板 7—芯盒

0.6~0.65MPa。

2) 射砂孔截面积 射砂孔截面积太小, 砂流通过时阻力大, 影响砂流速度。截面太大, 砂流速度降低。因此, 要获得最佳动能, 必须选择最适宜的射砂孔截面积。

(2) 影响压力差的主要因素

压力差 $p_1 - p_2$ 指砂层自由表面层压力 p_1 与排气口处压力 p_2 之间的压差。这种压力差的大小与芯盒内形成的料层(瞬时)厚度成正比, 它和气流方向相一致的作用在射入芯盒的砂粒上, 起了紧实砂芯的作用。

1) 芯盒型腔深度 芯盒型腔越深, 气流阻力越大, 压力差越大。

2) 排气方式 芯盒下部排气, 建立了 $p_1 - p_2$ 压差。上部紧砂面排气, 气流从上部排掉, 压力差损失掉。

3) 排气截面积 排气截面积与芯砂粘结剂种类有很大关系。对流动性很差的芯砂, 排气截面积就要大。

在射砂紧实中, 砂流动能和压力差是射砂紧实的两个主要因素, 何种因素起主要作用, 决定于芯盒的结构及排气系统的布置情况。当芯盒型腔深时, 若完全采用上部排气, 这时砂流动能是使砂芯紧实的

主要作用，压力差的作用很小。当芯盒型腔浅时，不论排气如何布置，两种因素在紧实过程中的作用几乎相等。

3. 普通射芯制芯 普通射芯制芯是指利用射芯紧实，而砂芯在盒外烘干硬化的一种制芯方法。主要用于油类粘结剂芯砂。

普通射芯制芯工艺特点：

1) 要求芯砂有良好的流动性，其湿压强度应小于 15kPa，因此要控制原砂中的含泥量，混合料工艺配方中要少用粘土附加物，对合脂粘结剂要进行良好的稀释处理及严格原料质量控制。

2) 保持较高及较稳定的射砂压力，这是保证射砂质量的首要条件。工作压力应当稳定在 0.6~0.65MPa 范围内。

3) 选择好射砂孔截面积，其大小对射砂质量很重要。应根据芯砂的流动性、芯盒结构、型腔几何形状、砂芯重量等加以综合考虑。

4) 射砂孔布置及数量。应根据射砂单位面积的进砂量及单个射砂孔的射砂范围来确定。对于油类粘结剂的芯砂，进砂量为 0.2~0.3kg/cm² 时，单个射砂孔的射砂范围为 80~100mm 之间，最大不超过 150mm。

5) 芯盒的排气结构，这在普通射芯制芯中尤为重要，如图 8-17 所示。图 8-17a 是紧砂面上排气结构，通过设置在通气射砂板上的排气塞，将砂流中的气体排掉。

6) 芯盒用排气塞，普通射芯的排气方式主要用排气塞，图 8-17c 为槽型排气塞，制作方便，使用最广。图 8-17d 是网状排气塞，排气效果好，但不适用于流动性良好的芯砂，且制作较困难。

7) 射砂头，普通射芯在射砂头内应安装导砂块。这是由于普通射芯所用的芯砂流动性差，有了导向块使芯砂能在射砂头内向射砂孔引导，并使引导的芯砂在分流中松散，起到提高射砂质量的作用，如图 8-18 所示。

8) 设置通气道、安放芯骨与手工制芯一样。普通射芯也应做出通气道，并对需要安放芯骨的砂芯安放芯骨，如图 8-19 所示。射芯前，先将通气针及芯骨放好，在其周围用人工先填好芯砂并塞紧，然后射砂紧实，拔出通气针。

4. 热芯盒制芯 热芯盒制芯是将芯砂射入到加热至一定温度的

芯盒内，砂芯靠芯盒的热量进行硬化的一种制芯方法。

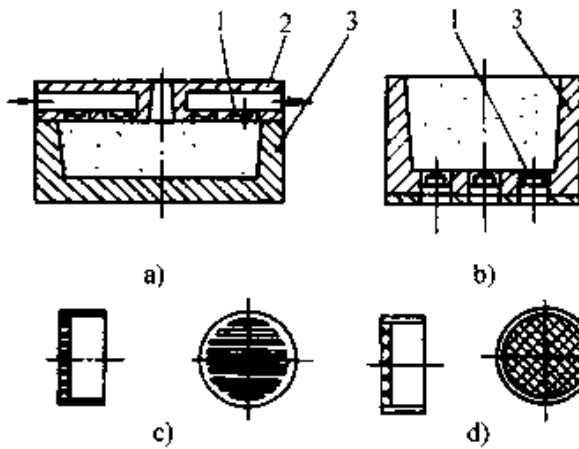


图 8-17 普通芯盒排气

a) 紧砂面排气 b) 芯盒底面排气

c) 槽型排气塞 d) 网状排气塞

1—排气塞 2—通气射砂板 3—芯盒

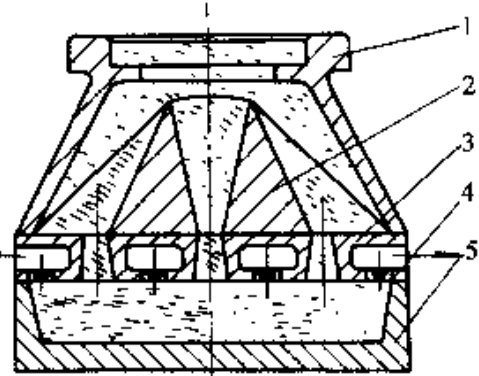


图 8-18 普通射芯制芯的射砂头

1—射砂头 2—导砂块 3—射砂板

4—排气塞 5—芯盒

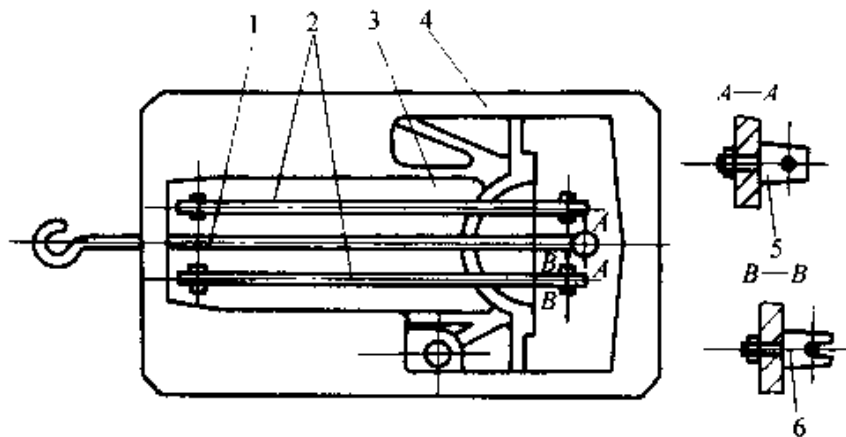


图 8-19 普通射芯的通气针和芯骨安放示意图

1—通气针 2—圆钢芯骨 3—芯盒型腔

4—芯盒 5—通气针座脚 6—芯骨座脚

(1) 热芯盒制芯优点 硬化快、生产率高；砂芯强度高；尺寸准确、表面光洁；溃散性好；工艺简单、便于自动化，适合批量生产。

热芯盒制芯用热固性树脂作粘结剂。随着对铸件质量及品位的提高，热固性树脂砂在很多方面已满足不了工艺要求，越来越多的采用热塑性固态树脂为粘结剂的覆膜砂射芯制芯。在射砂质量、砂芯强度、表面质量、尺寸精度、抗吸湿能力等方面均比热固性树脂砂芯好。

(2) 热芯盒制芯工艺特点

1) 芯盒分盒方式 热芯盒基本上分为垂直分型和水平分型或水平-垂直组合分型方式。

① 垂直分型, 图 8-20 是垂直分型的基本结构。芯盒本体分为左、右两部分。

② 水平分型, 图 8-21 是水平分型典型结构。芯盒本体分上芯盒、下芯盒及抽模块。

2) 顶芯装置 顶芯装置都是由顶芯杆、回位杆、固定板、盖板组成, 靠机械动作完成。在垂直分型结构中, 当芯盒打开到一定位置时, 顶芯板碰到固定位置的顶出杆, 带动顶芯板上的顶芯杆将砂芯顶出, 如图 8-20 所示。

水平分型芯盒的顶芯装置都是由气缸动作来完成的。如图 8-21 I 型为上顶式, II 型为下顶式。可根据砂芯的具体结构来选择顶芯方式并选用相应的射芯机类型。

图 8-22 是顶芯杆的安装形式。顶芯杆不能用螺钉固定在安装板上, 特别是在顶芯杆很多的情况时更应注意。顶芯杆应处于自由游动状态。

3) 抽芯块 砂芯厚大部分要用抽芯块或凸块, 特别是用干态芯砂的热芯盒, 其厚大部分不易硬化。为了节省能源, 提高砂芯硬化质量, 同时减少用砂量, 应设置如图 8-21 中所示的抽芯块或凸块。

4) 芯盒排气结构 热芯盒排气主要用间隙排气和底面局部深凸处用排气塞排气。如图 8-23a 为分型面排气槽排气。其深度一般为 0.2~0.3mm, 其中热芯盒湿态砂用 0.3mm, 热芯盒干态砂用 0.2mm。要注意的是在多个型腔的芯盒中, 各个型腔的排气槽要单独开设, 不能连在一起, 以防相互干扰。图 8-23b 为顶芯杆与孔之间的配合间隙来排气。为了扩大排气面, 把顶杆做成多边形。图 8-23c 为凸块与凸块座之间的间隙排气。

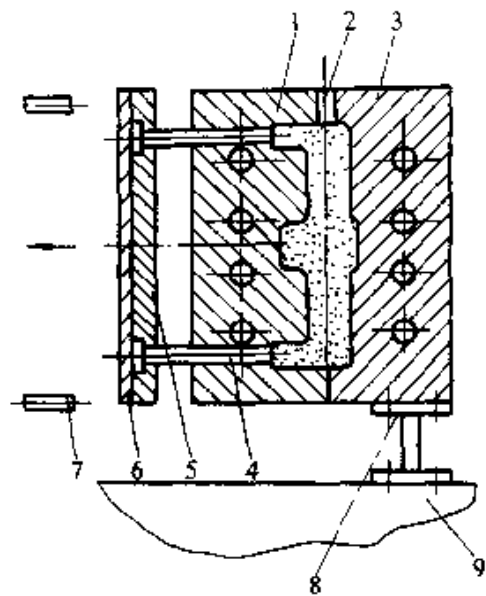


图 8-20 垂直分型热芯盒
1、3—芯盒 2—砂芯 4—顶芯杆
5—顶芯杆安装板 6—顶芯板
7—顶出杆 8—座脚 9—工作台

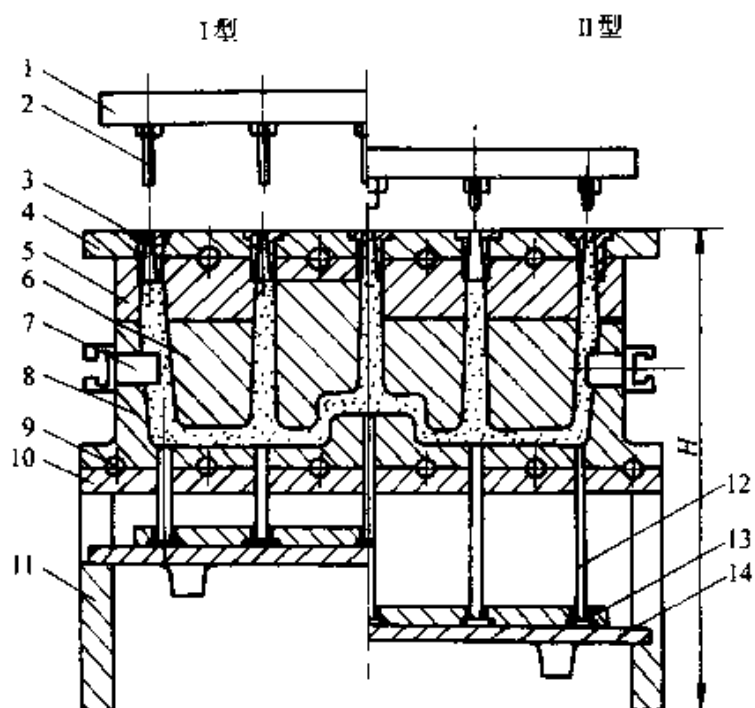


图 8-21 水平分型热芯盒

I 型—上顶芯取芯 II 型—下顶芯取芯

1—上顶芯板 2—顶芯杆 3—射砂套 4—上芯盒加热板

5—上芯盒 6—抽芯块 7—抽模块 8—下芯盒

9—加热管 10—下芯盒加热板 11 助框

12—下顶芯杆 13—顶杆安装板 14—下顶芯板

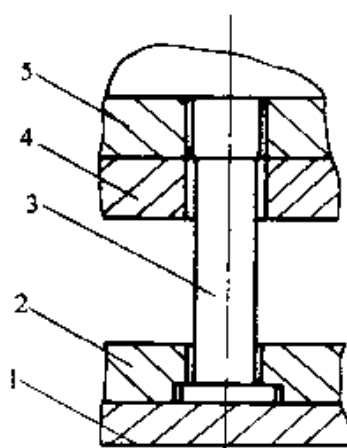


图 8-22 顶芯杆安装形式示意图

1—顶杆护板 2—顶杆安装板

3—顶芯杆 4—加热板 5—芯盒

5) 射砂板 一般热芯盒都要做成水冷射砂板。在悬臂单工位射芯机中如果射头是旋转后起芯的, 就可用一般射砂板。如图 8-24a 是用于热芯盒湿态砂射板, 图 8-24b 是热芯盒干态砂用射板。由于

干态芯砂会从射孔中漏出来，必须有挡砂装置，如图 8-24c 是挡砂块。射砂板的射口处用耐高温橡胶密封圈密封，以保证砂流的射芯效果，提高砂芯的质量。

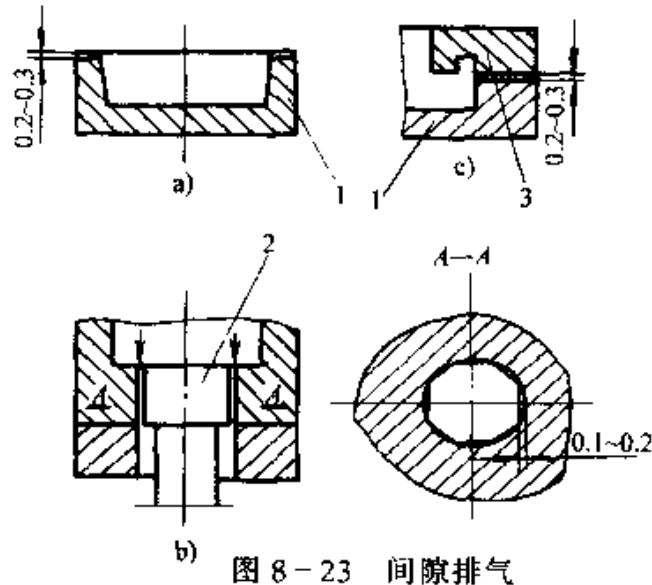


图 8-23 间隙排气
 a) 分型面排气槽排气 b) 顶杆与孔配合间隙排气
 c) 凸块与凸块座间隙排气
 1—芯盒 2—顶芯杆 3—凸块

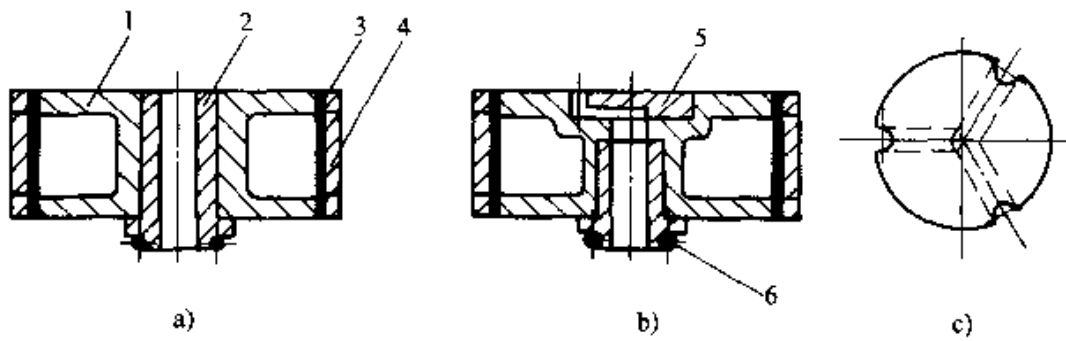


图 8-24 射砂板示意图
 a) 热芯盒湿态砂射砂板 b) 热芯盒干态砂射砂板 c) 挡砂块
 1—射砂板 2—射砂套 3—橡胶密封片 4—压板 5—挡砂板 6—密封圈

6) 射砂头 热芯盒湿态砂用一般射砂头。热芯盒干态砂就要用排气射砂头，如图 8-25 所示。这是将射芯机射腔排气改为射砂头排气。

7) 垂直分型热芯盒安装及支撑

芯盒与射芯机左右由夹紧缸连接，芯盒开合动作不一定很平稳，影响砂芯脱模质量，因此最好将不设顶芯杆的一半固定在工作台上作基准，设顶芯杆的一半芯盒与夹紧缸连接进行开合动作，如图 8-20 所示。对于芯盒的支撑，轻型小芯盒可以用平底螺杆在导轨上滑动，重量较重的芯盒用滚轮装置较好，如图 8-26 所示。

8) 热芯盒加热功率 以糠醇改性

脲醛树脂的热芯盒砂为例，每硬化 1kg 砂芯所需热量为 251.2kJ。而每小时硬化（生产）砂芯所需电功率 P (kW) 为

$$P = \frac{QG}{3600} \quad (8-1)$$

式中 Q ——硬化 1kg 芯砂所需要的热量，按 $Q = 251.2\text{kJ/kg}$ 计算；

G ——每小时加热的芯砂总量 (kg/h)。

以上仅是满足硬化砂芯所需热量，芯盒实际热功率还应考虑芯盒对外散热损失及保持芯盒蓄热量所需热量。

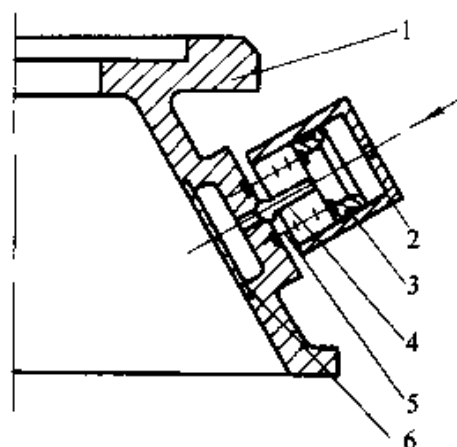


图 8-25 排气射砂头

1—射砂头 2—气缸 3—密封圈
4—活塞 5—弹簧 6—滤砂片

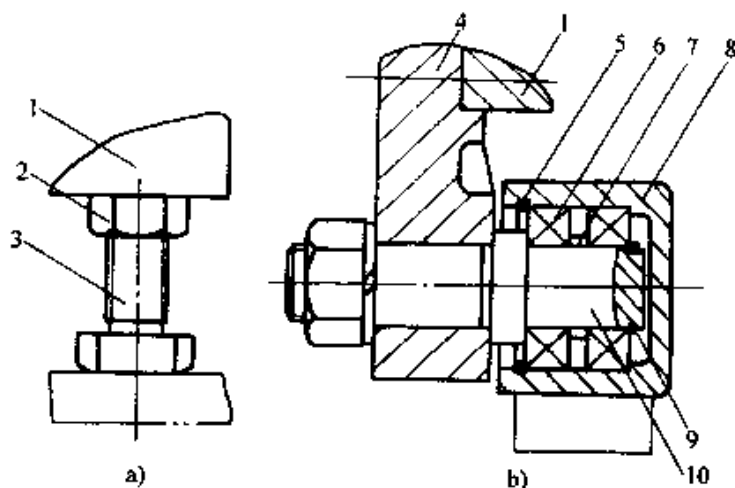


图 8-26 垂直分型支撑示意图

a) 螺杆支撑 b) 滚轮支撑

1—芯盒 2—螺母 3—螺杆 4—撑脚 5—孔用挡圈
6—轴承 7—隔圈 8—滚轮 9—轴用挡圈 10—轴

9) 热芯盒制芯主要工艺参数 见表 8-2。

表 8-2 热芯盒制芯主要工艺参数

芯砂名称		工艺参数		
		射砂孔截面积/mm ²	射砂压力/MPa	硬化温度/°C
湿态砂	糠醇改性脲醛树脂	12~16	0.55~0.60	210±10
	糠醇改性酚醛树脂砂			260~280
热芯盒干态砂		8~12	0.3~0.4	

(3) 热芯盒制芯操作要点

1) 保持芯盒内腔清洁。这是保证砂芯尺寸精度和射芯质量的重要操作要点。应经常用热芯盒清洗剂或酒精等擦洗。

2) 用热芯盒湿态砂制芯时,应在每班工作结束后拆卸射头,并将储砂筒、射砂头用柴油清洗干净。

3) 操作者应按设备润滑及安全操作规程进行保养和操作。

5. 壳芯制芯 壳芯制芯是热芯盒制芯的另一种形式。砂芯都是靠芯盒加热硬化,不同的是壳芯制出的砂芯是中空薄壳的。

(1) 壳芯法的主要优点 强度高于一一般热芯;壳层厚度一般 5~12mm,节约用砂,利于透气;尺寸精确,表面光洁;不吸湿,利于存放;流动性好,可制复杂砂芯。

(2) 壳芯中空薄壳的形成 如图 8-27 所示,芯砂靠压缩空气吹入后,靠近芯盒型腔的芯砂受到高温后软化而结壳,而内层温度低达不到软化结壳的程度,当结壳层达到工艺要求的厚度时,将未结壳的芯砂倒出,已结壳的砂芯在进一步的加热中得到硬化。

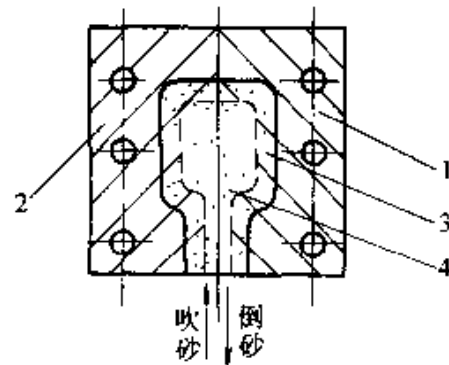


图 8-27 壳芯原理示意图

1、2—壳芯盒 3—结壳层 4—未结壳层

(3) 壳芯制芯方式 壳芯制芯一般有底吹式和顶吹式两种。底吹式只能用于小砂芯,如发动机缸盖中的气道砂芯用底吹式生产较理想。对于中大砂芯用顶吹式生产,如发动机机体主体芯。图 8-28 为 KW95 系列顶吹式壳芯机制芯工艺图。图 8-28a 为接砂工位,图 8-

28b 为吹砂工位，图 8-28c 为吹砂原工位上进行结壳、翻转倒砂、硬化及取芯。

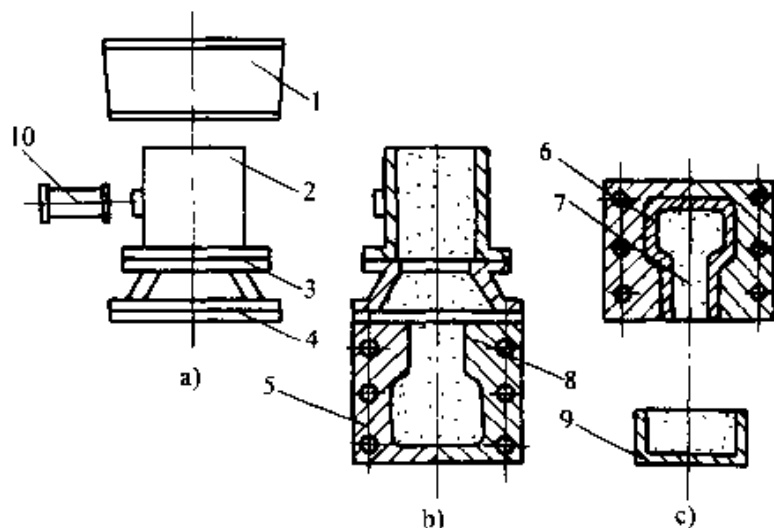


图 8-28 KW95 系列壳芯机制芯程序

1—漏砂斗 2—吹砂斗 3—射砂头 4—射砂板 5、8—芯盒
6—砂芯 7—未固化芯砂 9—倒砂斗 10—移动气缸

6. 冷芯盒制芯 冷芯盒制芯，就是在常温下，砂芯在芯盒内硬化的一种制芯方法。其优点是：无需加热，节约能源；无需使用金属芯盒；降低工装制造费用；固化速度快，生产效率高。

(1) 冷芯盒制芯种类 有气体硬化冷芯盒制芯和自硬冷芯盒两类。

1) 气体硬化冷芯盒制芯 其制芯工艺流程见图 8-29 所示，常用的一般有以下三种：

①三乙胺气雾法 是采用液态酚醛树脂和聚异氰酸酯为粘结剂，以三乙胺气雾为硬化剂的制芯方法，使用最广。

②SO₂ 气体硬化法 是采用呋喃树脂为粘结剂，通入 SO₂ 气体与砂中的过氧化物发生化学反应，使芯砂迅速硬化的方法。这种方法在国内开发较早，也有一定应用。

以上两种气体硬化剂都有毒性，应注意密封系统和净化系统的完好，加强环境保护。

③CO₂ 冷芯盒法 是以水玻璃为粘结剂，通入 CO₂ 气体使之硬化的方法。是传统制芯工艺，过去都为手工紧实成型或用普通射芯机

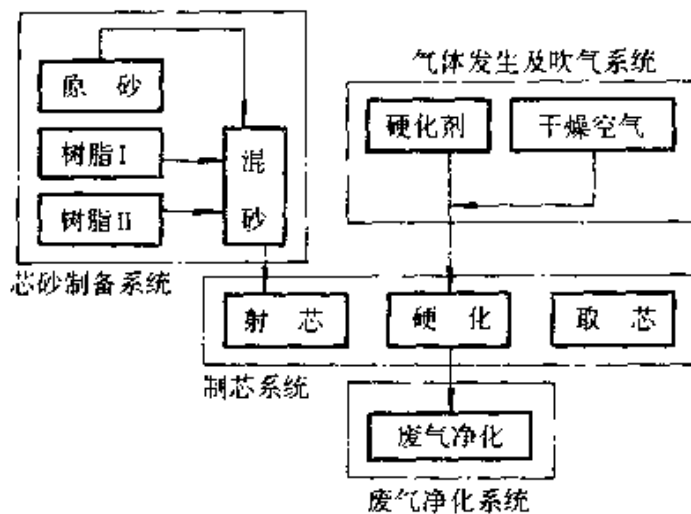


图 8-29 气体硬化冷芯盒制芯工艺流程示意图

紧实成型，现在国内已有这方面的专用射砂机来完成自动化生产。

2) 自硬冷芯盒制芯 是指在室温下，无需加热和吹入硬化气体，砂芯在芯盒内迅速自行硬化的方法。自硬树脂砂制芯已得到广泛使用，在有条件的工厂已在很大程度上替代了油类粘结剂制芯，有的工厂将工艺设备组成流水线生产大型优质铸件，代替落后的粘土干型砂及水玻璃砂造型、制芯，其应用范围很广。

由于自硬树脂砂在室温下硬化，故不宜用射芯机制芯，而条件较好的工厂采用连续混砂机及简单震击或捣固紧实。

(2) 气体硬化冷芯盒制芯工艺特点：

1) 芯盒分型方式 有水平分型、垂直分型和水平-垂直组合分型方式，图 8-30 是水平分型典型结构图。

2) 吹砂紧实及吹砂孔 砂芯靠压缩空气的压力紧实。由于三乙胺冷芯盒树脂芯砂流动性好，制芯吹砂压力及砂流速度均不要求很高。吹砂孔的直径要求在 16~25mm 之间选择。

3) 吹气硬化和废气排除

①吹气孔的位置 通常吹气孔就是吹砂孔。因此，在设计吹砂孔位置时，同时应考虑吹气位置，两者的要求是一致的。即布置吹砂孔考虑的是要使砂芯各处吹满、吹好，布置吹气孔时要使砂芯各处都有硬化气体通过而达到良好的硬化。

②废气排除 硬化气体吹气和废气排除组成了气体流动系统。

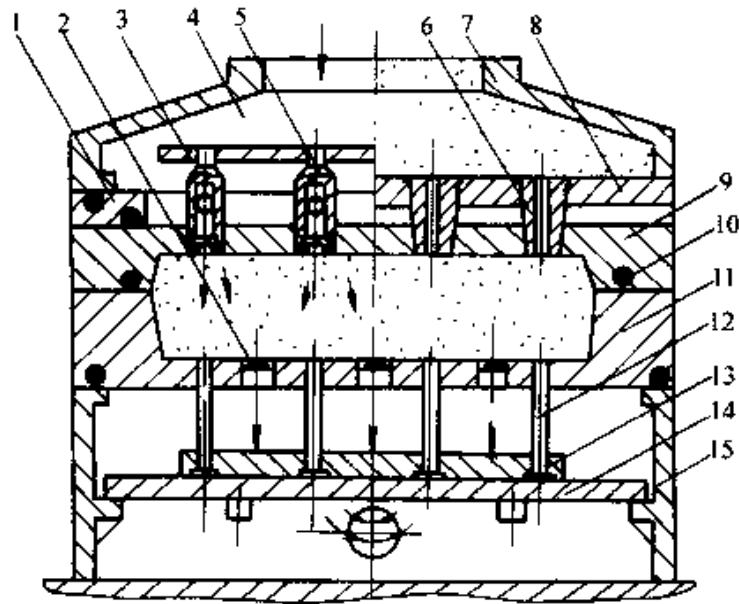


图 8-30 气雾硬化水平分型冷芯盒示意图

- 1—吹气罩板 2—排气塞 3—上顶芯杆安装板
 4—吹气罩 5—吹气杆 6—射砂嘴
 7—射砂头 8—射砂板 9—上芯盒
 10—密封条 11—下芯盒 12—下顶芯杆
 13—下顶杆安装板 14—下顶芯板 15—废气室

冷芯盒的排气装置有二方面的作用：其一在吹砂紧实时，造成压力差；其二在吹气硬化时也形成压差。使硬化气体有动力和引导气体通过砂层来硬化砂芯，并将废气排除。

4) 吹砂紧实度与水分 水分影响砂芯强度和硬度。因为水分能与树脂中的第二组份起反应而影响砂粒间的粘合强度，又降低砂的流动性。水分来源：未经冷冻干燥处理的压缩空气；硬化气体；原砂中的水分。水的质量分数要求控制在 0.20% 以下。

5) 芯盒密封 气雾法冷芯盒必须有良好的密封，这样可以缩短硬化时间，减少硬化剂用量，提高硬化质量，保持环境清洁。

密封位置有吹气罩与吹气板之间的密封；吹气板与芯盒的密封；芯盒分型面的密封；下芯盒与废气室之间的密封。

(3) 工艺问题

1) 硬化时间长 正常情况下，砂芯硬化时间应小于一个周期的 25%。造成过长的一般原因：芯盒不密封，吹气有漏气，吹气与排气

位置、截面积设计不当，吹气压力及胺量不足。

2) 局部不硬化 主要由于吹气位置或排气位置设计不当，造成气体局部短路。

3) 芯盒粘砂 一般原因是芯盒未清理干净，有残留树脂堆积；吹砂孔位置不当，造成局部疏松；树脂用量太多，造成残留树脂堆积。

4) 硬化气体消耗多 主要原因是气体发生器及芯盒密封不良，有漏气发生；排气口负压太大，排气位置不当；局部气体短路。

5) 砂芯损坏多 如表面局部疏松和断裂。其主要原因是工装设计不良、原砂水分高、混砂质量不好、原砂温度高、树脂用量及组元配比不当、混砂不均匀及混合料配制后存放时间长、芯盒安装未调整好、取芯时顶杆损坏。

6) 工装设备保养 必须保持芯盒清洁，每天工作后应清理砂筒、排气阀网、储砂筒及射砂头，并检查硬化剂泵及其管路是否完好。

第四节 砂芯的烘干

砂型和砂芯的烘干是铸造的重要工序，对提高产品质量有很大的作用。砂型（芯）烘干包括二种类型，一种是粘土砂型（芯）干型铸造。烘干后，水分蒸发，粘上薄膜烧结，有机物挥发或燃烧，其整体强度，表面硬度和透气性得以提高，发气量显著下降；一种是以油类和其它粘结材料为粘结剂的型和芯，在烘干过程中借助热能去除水分，发生不同的物理化学变化，改变粘结剂的性质和状态，产生粘结力和粘结作用，得到良好的工艺性能。不同粘结剂砂芯的烘干工艺规范虽不一样，但脱除水分，对炉气温度和成分的要求是共同的。

一、砂芯烘干原理及过程

根据砂芯烘干原理，其烘干过程由三个阶段组成，如图 8-31 所示。

1. 升温均热阶段 砂芯进入烘炉后，随着炉温的不断升高而吸收热量。由于湿态下的导热性好，砂芯表面温度能很快的辐射和传导到砂芯内部。要稳火慢烧，逐步升温，减少砂芯内外温差，达到砂芯内外温度均匀一致。要保持炉内饱和炉气湿度，降低砂芯表面蒸发。工艺上常常关闭烟道闸门，限制炉气流通。但应注意的是，在炉室内砂芯装入量多，挥发量大的涂料砂芯烘干时，要防炉气压力过大，导

致炸开炉门的危险。

2. 高温烘干阶段 在砂芯内外温度达到一致后, 应迅速升温, 达到规定的烘干温度后, 进行保温。促使水分迅速从表面蒸发, 并不断地从砂芯内部迁移到表面。应打开烟道闸门, 加快炉气循环, 将不断蒸发出来的水气带走。但要注意的是, 闸门开启的程度以不使炉温降低为原则, 要根据烘芯炉的具体结构, 烟道的畅通及气候条件等情况加以调节。

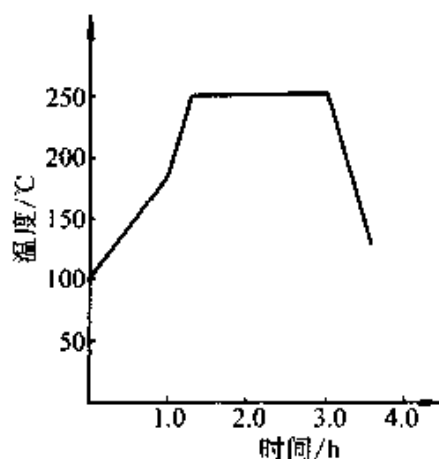


图 8-31 砂芯烘干工艺曲线

3. 随炉冷却阶段 是砂芯经过保温阶段, 达到基本烘干后停止加热, 并随炉冷却到出炉温度。这个过程中, 一是停止加热, 二是通过烟道闸门来控制炉子冷却速度, 砂芯在随炉冷却过程中, 依靠其本身蓄热能继续排除残余水分, 从而得到进一步的烘干。

二、有利于砂芯烘干的工艺方法

1. 增大砂芯表面积 砂芯表面积越大, 受热面积就大, 有利于烘干过程的进行, 故工艺设计中应尽可能考虑砂芯的表面积。如对厚大砂芯, 将其挖空; 在烘芯板上多开透气孔等。

2. 扩大炉内水气排出能力 要使蒸发出来的水气及时排出炉外, 减少炉内湿度, 促使不断蒸发, 在实际操作中要及时打开烟道闸门, 经常保持烟道畅通。

3. 加强炉内气体对流 在实际生产中, 砂芯与砂芯之间, 砂芯与炉壁之间, 要留有足够间隙, 以保证炉气的良好循环。

4. 保持炉内温度 这是砂芯烘干的首要条件。

三、烘干工艺规范

砂芯烘干工艺规范的制订, 目的在于获得良好的烘芯质量, 提高烘芯炉的利用率及提高经济效益。

砂芯烘干不足, 水分超过工艺规定, 浇注后铸件易产生气孔类缺陷; 并产生固化不充分, 砂芯强度差, 易产生冲砂, 断芯缺陷。烘干过度, 表面烧枯炭化, 强度下降, 造成砂芯报废或铸件表面粗糙。

通常确定烘干工艺规范有二个因素。一是烘干温度，二是烘干时间。

1. 烘干温度 砂芯最适宜的烘干温度主要决定于砂芯中粘结剂的性质。过高的烘干温度将引起粘结剂结构的破坏。各类粘结剂砂芯的烘干温度见表 8-3。

表 8-3 砂芯烘干温度 (℃)

砂芯类别	最适宜烘干温度	最高烘干温度
植物油类砂芯	200~220	240
矿物油类砂芯	210~240	250
粘土砂芯	250~300	350
糖浆	150~175	175

2. 烘干时间 砂芯的烘干时间决定于砂芯中水分和粘结剂的含量、截面厚度及大小、炉内装载量、烘干温度及炉子的结构等因素。一般工艺规范见表 8-4。

表 8-4 砂芯烘干时间

砂芯体积/dm ³	烘干时间 /h	
	有机粘结剂砂芯	粘土粘结剂砂芯
≤1.0	1~2	2~3
1.0~1.5	2~3	4~5
1.5~2.5	3~4	6~7
2.5~5.0	4~5	8~9
5.0~10.0	5~6	10~11
10.0~15.0 以上	6~7	12~14

应当注意的是：在制订砂芯烘干工艺规范时，应根据现场生产的实际情况，通过多次的工艺试验才能制订出符合现场实际的工艺规范。

四、砂芯烘干质量控制及烘干质量评判

烘干过程的质量控制实际上就是实施烘干工艺规范。由于烘干过程中因素很多，如操作者的技能、装载量的变化，气候条件的改变。有时尽管遵循了烘干工艺，而烘干质量仍达不到要求。因此要对烘干出炉砂芯进行烘干程度检验。

1. 烘干过程控制

(1) 炉气湿度 控制炉气湿度很重要，但定量控制较难。只能根据烘干原理，调节各个阶段的烟道闸门达到炉气湿度的控制。

(2) 炉温和时间 炉温可以得到良好的控制，用热电偶与高温计测定。还可以配温度—时间自动记录仪，随时了解烘干过程。

2. 烘干程度的检验 一般可用下列方法：

(1) 表面划痕法 这是对油类粘结剂砂芯表面烘干程度最简便的一种检验方法。即用指甲在砂芯表面上划痕。烘干的砂芯划痕为一条细白线，烘干不足的划痕无白色线条且有砂粘在手指上，烘干过度划痕时表面酥松。

(2) 烘干砂芯表面色泽评定法 合脂砂芯表面呈棕褐色且有光泽，桐油砂芯表面呈棕黄色或棕色有光泽的为烘干良好；合脂砂芯表面呈黄色或棕黄色，桐油砂芯呈淡黄色或黄色为烘干不足；合脂砂表面呈暗棕黑色，桐油砂是呈棕褐色为烘干过度。

(3) 烘干砂芯残余水分检验 对烘干冷却到室温的砂芯，可在砂芯内部取样以测定残余水分含量。若残余水质量分数在 0.4% 以下的，为烘干合格砂芯。

五、烘芯炉

砂芯烘干炉有以电能为能源的电热元件烘干炉；以燃煤为能源的燃煤烘干炉和以燃油为能源的燃油烘干炉。

1. 电热元件烘干炉

(1) 烘干炉类型 有以电阻丝为元件的普通电阻炉；以加热器为元件的电阻炉；以上述两种电热元件与远红外辐射器组成的远红外烘干炉。

(2) 电阻炉烘干优点 各类电阻炉结构简单，热量损失少，炉温均匀且能自动控制，清洁卫生和操作方便。

(3) 远红外烘干炉的烘干特点 远红外烘干炉烘芯，不是直接靠炉气温度，而是靠远红外辐射器在加热时发出的辐射波。其波长为 $0.77 \sim 1000 \mu\text{m}$ ，它具有很强的辐射能力和很强穿透能力，在被烘物体吸收后，重新转变为热能，使物体内部温度升高。由于它是靠辐射波直接穿透砂芯内部的烘干方法，使砂芯温度更均匀，烘干时间短，烘干质量好，且节省能源，是一种最佳的烘芯设备，如图 8-32 所示。为了进一步节约能源，提高辐射能力，通常对炉子结构进行优化

设计，即炉壁由三层结构组成，外层为炉体，中间为隔热保温层，内层为铝质反射板。

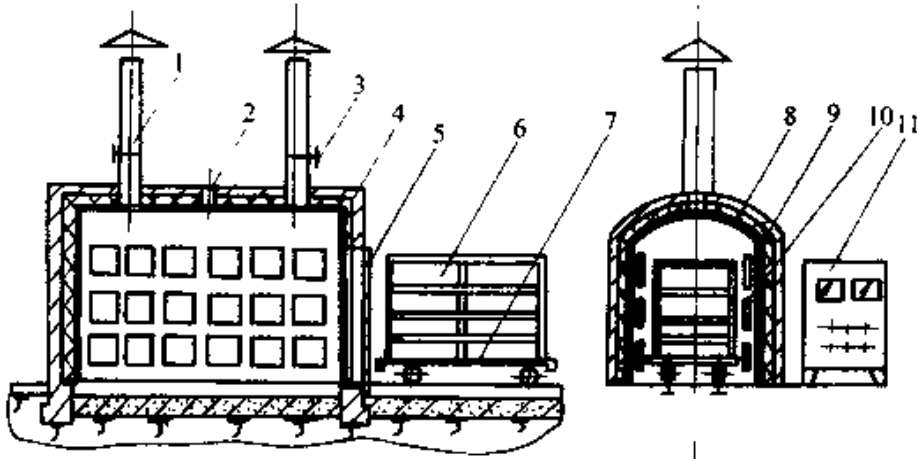


图 8-32 远红外烘干炉示意图

- 1—直通式烟道 2—测温孔 3—烟道闸门 4—炉体
5—炉门 6—烘芯器具 7—小车 8—反射板
9—隔热保温材料 10—远红外辐射器 11—电控柜

2. 燃煤炉 燃煤炉以烟煤或工厂碎焦炭为燃料，燃烧产生的高温炉气进入炉室，加热砂芯，废气从烟道排出炉外的一种烘干炉。通常用于中大砂芯的烘干。图 8-33 是一般燃煤炉的示意图，可用热电偶插入测温孔测出炉气温度，并可配备自动记录仪，可监测到整炉砂芯烘干情况。这种烘干炉要靠司炉工良好的工作经验来控制各个阶段的炉温。

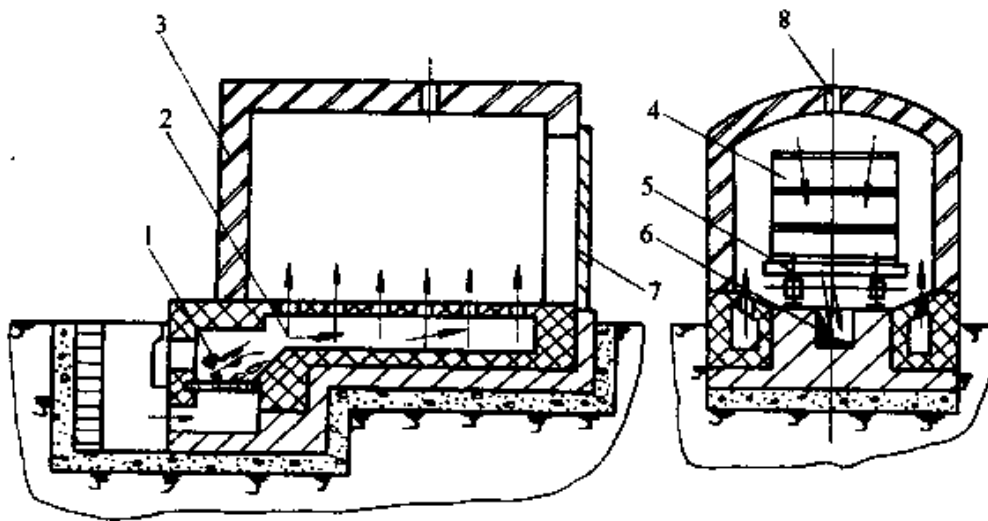


图 8-33 燃煤烘芯炉示意图

- 1—燃烧室 2—火道 3—炉体 4—烘芯架
5—台车 6—烟道 7—炉门 8—测温孔

3. 立式烘干炉 以燃油为能源的立式烘干炉是连续作业烘干炉。其生产率高，适用于成批大量生产的中小件油类粘结剂砂芯的烘干，其特点是占地面积小，热能利用率高。立式烘干炉是垂直式的，故车间要有足够的高度。

第九章 铸造工艺方案设计和规程的编制

培训要点：通过本章的学习，了解铸造工艺设计的基本方法和工艺规程的主要内容，重点是结合实例的分析，掌握各类铸件的铸造工艺方案的拟定方法。

铸造工艺规程是用于指导生产的技术文件，它既是工厂生产技术准备和科学管理的依据，也是铸造工艺技术水平的体现和技术经验的结晶。铸造工艺规程编制水平的高低，对铸件质量、生产成本和效率起着关键性的作用。

铸造工艺规程编制的主要内容为：拟定铸造工艺方案、设计和绘制铸造工艺图、铸件图、模样和模板图（大量生产的重要铸件还应设计下芯夹具和各种卡板）、芯盒图、砂箱图、铸型装配图、编制和填写工艺卡片等。通常，铸造工艺规程编制的繁简程度，可根据工厂条件和任务性质来确定。大批生产或重要铸件的工艺规程要详细编制；单件、小批生产的普通铸件的工艺规程可以适当简化。铸造工艺设计内容和常规程序见表9-1。

此外，对于铸件生产流程中有共性的通用生产环节，如砂处理、造型、制芯、熔炼、浇注、清理等可以制订通用性的工艺规程即工艺守则来指导生产。

表9-1 铸造工艺设计的内容和常规程序

项目	内容	用途及应用范围	设计程序
铸造工艺图	在零件图上用规定的红蓝各色工艺符号表示出：分型（模）面、浇注位置、加工余量、收缩率、起模斜度、浇冒口系统、内外冷铁、砂芯形状和数量、芯头大小和配合间隙、铸肋、反变形量、分型负数、工艺补偿量等	是制造模样、芯盒等工装，进行生产准备和铸件验收的依据 此图在铸件生产过程中必备	1. 产品零件图样的铸造工艺性分析 2. 选择铸造方法 3. 确定浇注位置和分型（模）面 4. 选择工艺参数 5. 设计浇冒口系统、冷铁、铸肋和附铸试块 6. 砂芯设计

(续)

项目	内容	用途及应用范围	设计程序
铸件图	主要反映铸件实际形状、尺寸和技术要求。其内容有：切削余量、工艺余量、铸件尺寸公差、加工基准、热处理规范和验收技术条件等	是铸造生产用图，也是铸件检验的基准图和铸件验收及设计机加工工艺的依据。适用于成批、大量生产或重要零件	7. 将铸造工艺图作依据，画出铸件图
模样及模板图	模样及模板的结构、尺寸、形状和材料等。模样和浇冒口系统在模板上的安装位置、方法及定位结构等。重要铸件还应设计下芯夹具和各种卡板	模样、模板制造和装配的依据	8. 根据铸造工艺图设计模样、模板图
芯盒图	芯盒的结构、尺寸、形状、材料以及紧固和定位方式等	制造芯盒的依据	9. 设计芯盒图
砂箱图	砂箱的结构、尺寸、材料、紧固和定位方式等	制造砂箱的依据	10. 根据铸造工艺图所确定的相关参数及要求设计砂箱图
铸(合型装配图)	表示铸件浇注位置、砂芯数量、下芯顺序和固定方式，浇冒口和冷铁布置、砂箱结构和大小。排气通道和排气方向等	作为生产准备、合型、检验和工艺调整的依据。用于成批大量生产、重要或重型铸件	11. 根据铸造工艺图的相关内容画出合型图
铸造工艺卡片	说明造型、制芯、浇注、开箱、清理等工艺操作过程中的具体要求和注意事项等	作为生产和管理的重要依据。可根据批量大小填写必要的内容	12. 概括整个工艺设计的主要内容

第一节 铸造工艺方案的确定

一、零件结构的铸造工艺性分析

所谓零件结构的铸造工艺性，通常是指零件本身的结构应符合铸造生产要求和铸造特点。零件结构的铸造工艺性好，易于保证铸件质量，简化铸造工艺过程和降低生产成本。

在对零件图进行工艺分析时要注意两点：第一，审查零件结构是否符合铸造生产的工艺要求，如发现有不合理的结构，应与有关设计

部门进行研究协商，在保证使用性能的前提下予以改进，以便于简化铸造工艺过程、保证铸造质量和降低生产成本。第二，在既定的零件结构条件下，估计到铸造过程中可能出现的主要缺陷，在工艺设计中预先采用相应措施予以防止。

对零件的铸造工艺性分析，一般从下述两方面进行。

1. 保证铸件质量 零件的某些铸造缺陷，常常和零件结构不合理有关。因此，为了保证铸件质量，铸件的结构设计应采用如下措施：

(1) 铸件应有合理的壁厚 铸件的最小允许壁厚和铸造合金的流动性密切相关。铸造合金种类不同，其所能浇注的最小壁厚也不同。铸件壁厚太小，易产生浇不到、冷隔、超硬等缺陷。

在一般生产条件下，几种常用的铸造合金在砂型铸造时，铸件允许的最小壁厚见表 9-2。

表 9-2 砂型铸造铸件的最小允许壁厚 (单位: mm)

铸件尺寸	铸钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铝合金	铜合金	镁合金
< 200 × 200	6~8	3~5	4~6	2.5~4	3	3~5	—
(200 × 200) ~ (500 × 500)	10~12	5~10	6~12	5~8	4	6~8	3
> 500 × 500	15~25	10~20	—	—	5~7	—	—

注：1. 如有特殊需要，在改善铸造条件的情况下，铸件最小壁厚可适当减小。

2. 结构复杂或有耐压要求的铸件，最小壁厚应取上限。

由合金的凝固理论可知，壁过厚的铸件其截面中心易产生缩孔、缩松、晶粒粗大、偏析（球墨铸铁易产生球化衰退现象）等缺陷，导致铸件的力学性能下降。由此可知，各种铸造合金均具有临界壁厚，铸件壁厚超过该临界值以后，铸件的力学性能并不按比例随着铸件壁厚的递增而增加，而是显著地下降。因此，铸件设计时不应单纯以增加铸件壁厚来提高铸件强度，而应根据零件受力大小和载荷性质，选择合理的截面形状，如选用“T”字形、“工”字形、槽形和箱形截面，或增设加强肋来增强铸件。在实际生产中，砂型铸造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。

(2) 铸件壁的过渡和连接要合理 厚薄不均的铸件在其壁的过渡和连接处因凝固和冷却速度不一致,会产生较大的内应力,热节处易产生缩孔、缩松,连接或过渡处易产生裂纹。因此,在设计允许的情况下,铸件壁厚应力求均匀。如结构不能变更则在不同壁厚的连接部分应逐渐过渡,防止突变,避免尖角,避免形成大热节点。相交壁的连接宜采用圆弧过渡或逐渐过渡的形式,见图9-1。

(3) 铸件内壁厚度应小于外壁 铸件内壁散热条件差,为使内外壁均匀冷却,减少热应力,防止裂纹等铸造缺陷,通常铸件内壁较外壁应薄10%~20%。

(4) 铸件结构应有利于铸造合金凝固过程中的补缩 不同的铸造合金有不同的凝固收缩特征。对于凝固收缩大,易产生集中缩孔的合金,如铸钢、可锻铸铁、高牌号灰铸铁、黄铜、无锡青铜等倾向于采用定向凝固方式来设计铸件壁厚。对于易产生缩松的合金,如锡青铜、磷青铜,在设计铸件壁厚时常采用同时凝固方式以使缩松区控制在特定的部位。对于收缩较小的合金,如普通灰铸铁则更倾向于采用同时凝固方式设计铸件的壁厚。对于结构复杂的大型铸件,可根据其结构特征和质量要求,分别按定向或同时凝固方式设计铸件壁厚。

(5) 铸件结构应有利于防止变形 某些细长件和面积较大的平板件易产生挠曲变形。其原因是铸件结构刚性差和铸件各部分冷却速度不同导致收缩速度不一,最终导致铸件变形,故应尽量按同时凝固的原则和采用对称结构进行壁厚设计,见图9-2。

(6) 铸件结构应防止产生裂纹和减少内应力 由于铸件在凝固过程中要产生线收缩,如果在收缩过程中受到较大的阻力,则易使铸件产生较大的内应力甚至产生裂纹。为减少铸造应力,避免产生裂纹,一些水平壁宜改为斜壁,直轮辐宜改为“S”形轮辐,整体壁宜改为带窗口的壁,见图9-3。

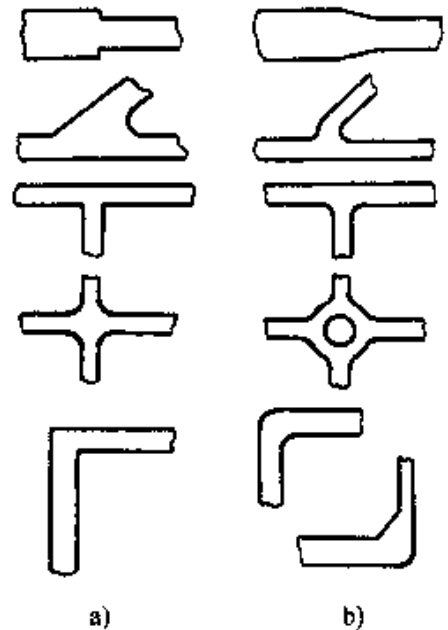


图9-1 壁厚的过渡形式

a) 不合理 b) 合理

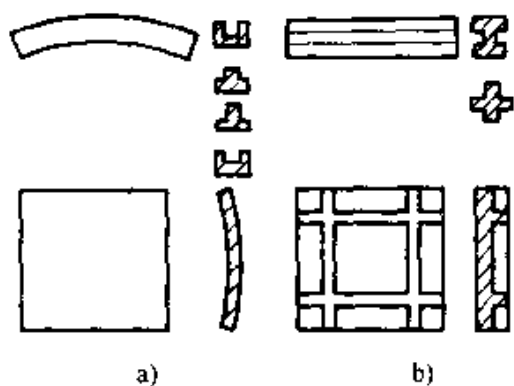


图 9-2 防止变形的铸件结构
a) 不合理 b) 合理

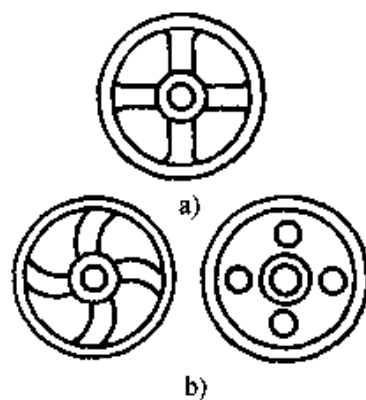


图 9-3 防止产生裂纹的铸件结构
a) 不合理 b) 合理

(7) 避免水平位置有较大的平面 在浇注过程中，铸型内的金属液上升至水平位置的大平面时，由于截面扩大，液面上升速度减小，平面上部砂型受高温金属液长时间烘烤，极易产生夹砂、浇不到、渣(砂)眼和气孔等缺陷。因此，在设计铸件壁结构时，应尽量采用斜壁、曲面壁，见图 9-4。

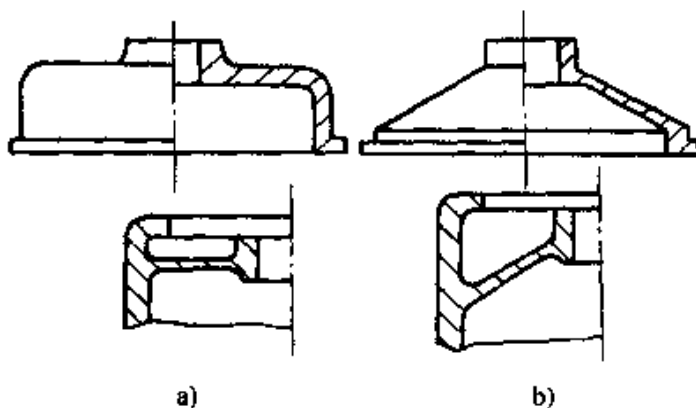


图 9-4 避免大平面的铸件结构
a) 不合理 b) 合理

2. 简化工艺过程 铸件结构不仅应保证铸件质量，而且应考虑制模、造型(芯)、下芯、清理等工艺过程操作方便、可靠，在保证质量和性能的基础上，尽量简化工艺过程，以提高生产率，降低成本。一般按下述几方面进行分析：

(1) 便于造型起模 应尽量避免铸件侧壁有凹入部分，或与起模方向相反的结构斜度，以免妨碍起模或增加造型难度。对铸件侧壁上妨碍起模的凸台、凸缘等要改进其结构，以便于起模，见图 9-5。

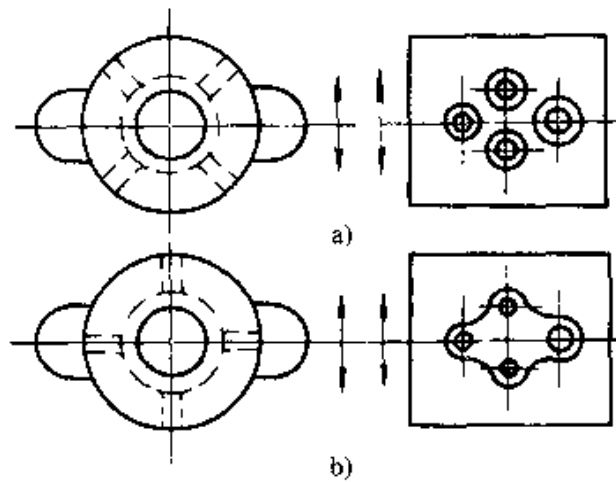


图 9-5 便于起模的结构

a) 不合理 b) 合理

(2) 简化制芯操作和减少砂芯数量 铸件内腔结构越复杂，使用的砂芯也越多，也就提高了铸造工艺的复杂程度和制造成本，见图 9-6。其铸件结构经改进设计后，铸造工艺得以简化，减少了砂芯数量，降低了生产成本。

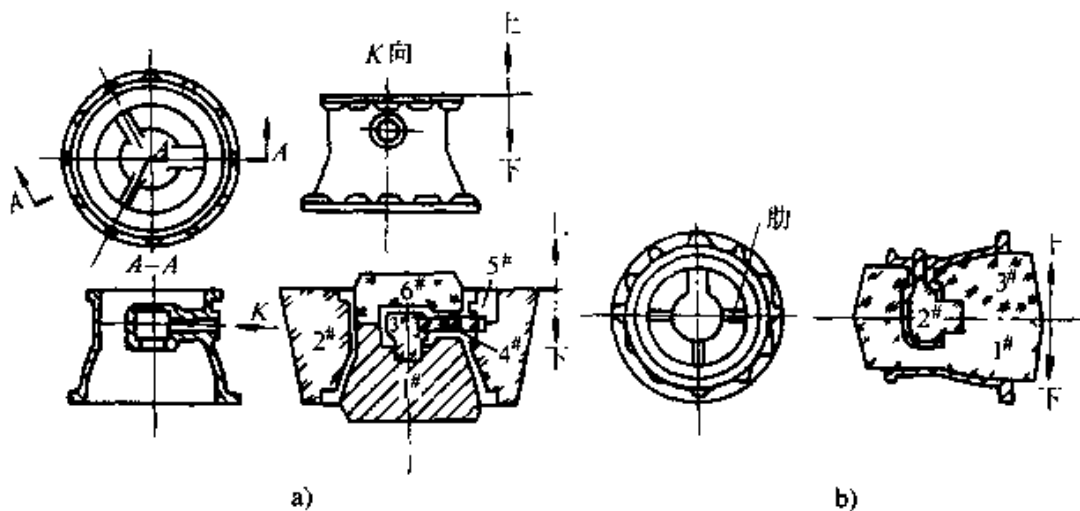


图 9-6 减少砂芯数量的铸件结构

a) 改进前的结构 b) 改进后的结构

(3) 简化和减少分型面 简化和减少造型分型面，不但可以减少砂箱用量、简化造型操作，而且大大提高了铸件的尺寸精度，见图 9-7。

(4) 有利于砂芯的安置、固定、排气和清理 为了保证铸件的尺寸精度，防止芯偏和气孔等缺陷，且便于清理，铸件的结构设计应尽量避免使用悬臂砂芯、吊芯和使用芯撑，见图 9-8。

(5) 有利于简化铸造方式 对有些大而复杂的铸件,在保证使用性能的前提下,可采用分体单独铸造后再用螺栓或焊接连成整体的方法,以简化工艺,方便生产。有些小型铸件,如轴类或套类零件,可以采用连体铸造法,以提高生产效率。

二、选择造型(芯)方法和砂型(芯)种类

1. 造型和制芯方法的选择 在砂型

铸造中,造型和制芯都是最基本的工艺,其方法的合理选择至关重要。通常,造型和制芯的方法可分为手工和机器两大类。

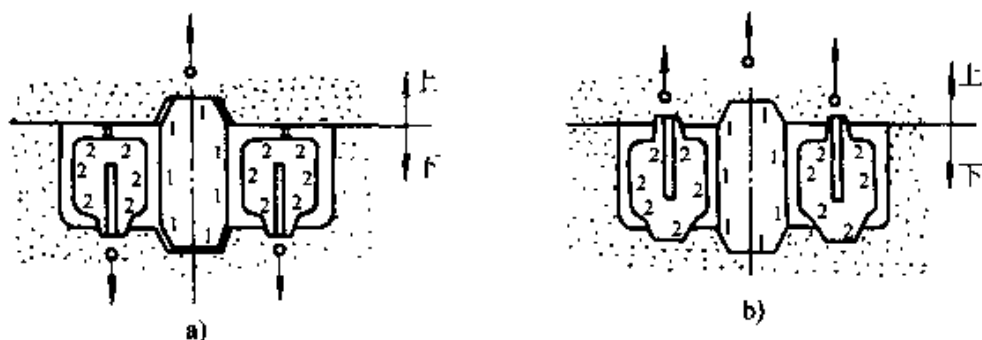


图 9-8 有利于砂芯安置、固定、排气和清理的铸件结构

a) 不合理 b) 合理

(1) 手工造型和制芯法 手工造型和制芯是铸造业中最基本的生产方法。由于其工艺装备简单,灵活多样,适应性强,所以在单件或小批生产及新产品试制过程中,尤其在重型和复杂铸件生产中应用广泛。

(2) 机器造型和制芯法 采用机器造型和制芯生产率高,尺寸精度高,质量稳定,且劳动强度低,但其设备投资大,工艺装备复杂,模具要求高。通常,机器造型和制芯主要用于成批大量生产。

2. 砂型和砂芯种类的选择 砂型造型的种类主要有湿型、干型、表干型、自硬砂型和覆砂金属型等。砂芯种类按其粘结剂不同可分为粘土砂芯、水玻璃砂芯、水泥砂芯、树脂砂芯等。按其制芯工艺不同又可分为普通砂芯、自硬砂芯、热芯盒砂芯、冷芯盒砂芯、壳芯砂芯等。

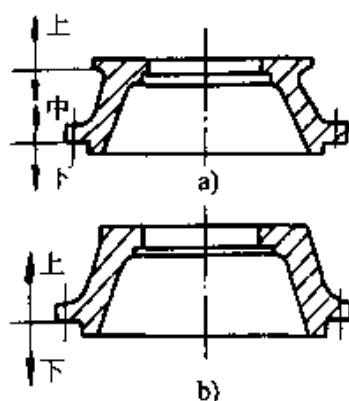


图 9-7 简化和减少分型面的铸件结构

a) 改进前的结构
b) 改进后的结构

三、选择铸件的浇注位置

铸件的浇注位置是指浇注时铸件在铸型中所处的位置。浇注位置对铸件的内在质量和造型方式有直接影响。因此，在工艺设计时，先要根据铸件结构和技术要求，找出铸件质量要求高的部分（如重要加工面、受力部位等）和容易产生缺陷的部分（如厚大截面、大平面、薄壁处），选择浇注位置时，要将这些部分置于有利位置，以保证铸造质量。一般应注意下列原则：

(1) 铸件的重要加工面、主要受力面应朝下，若不能朝下，可将其侧立或斜置。当铸件有多个加工面时，应将较大的面朝下，例如，机床床身的导轨面是关键部位，要求组织致密，无任何缺陷，因此，正确的浇注位置应导轨面朝下，见图 9-9。对于筒类铸件，由于其筒身表面质量要求高，故多采用立浇方式，见图 9-10。

(2) 铸件的宽大平面应尽可能朝下，以避免产生夹砂、夹渣、气孔等缺陷，见图 9-11。对于面积较大的平板类铸件，必要时还可采用倾斜浇注，以防止夹砂缺陷。

(3) 对于厚薄不均的铸件（如图 9-12 所示的卷筒），应将其厚大部分朝上，以利于冒口补缩，实现定向凝固，这对于合金收缩率大的铸件特别重要。

(4) 对于薄壁铸件（如图 9-13 的盖），应将薄而大的平面朝下。有条件的话，应侧立或倾斜，以避免冷隔、浇不到等缺陷，此对流动性差的合金尤为重要。

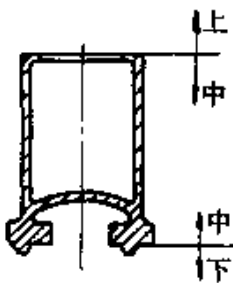


图 9-9 床身浇注位置

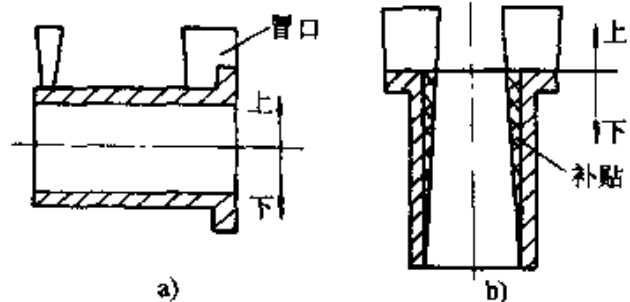


图 9-10 套筒的浇注位置

a) 不合理 b) 合理

(5) 应尽量减少砂芯数量，少用吊砂、吊芯、悬臂芯或芯撑，以便保证造型质量，使砂芯在铸型中安放牢固，排气顺利，合型和检验

方便，见图 9-8。

(6) 合型和浇注及铸件冷却位置以一致为宜。以避免铸型在翻转过程中发生损坏或错位。但有时为了便于造型，又要保证铸件内在质量，如大型曲轴和卷筒类铸件也常采用平做立浇立冷工艺。

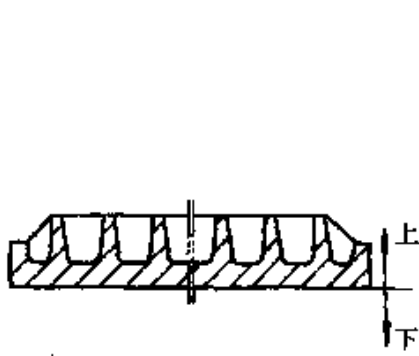


图 9-11 平板的浇注位置

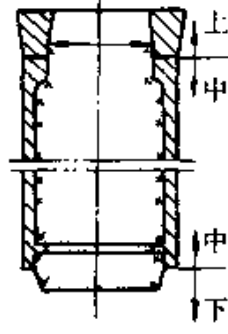


图 9-12 卷筒
的浇注位置

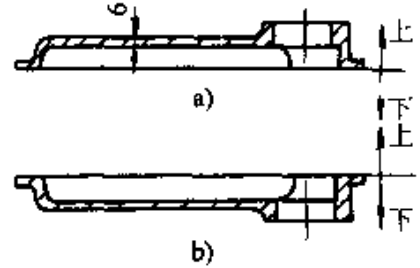


图 9-13 盖的浇注位置
a) 不合理 b) 合理

四、选择铸型分型面

分型面即铸型组元间的接触配合面。相对于浇注位置而言，分型面的选择侧重于经济考虑。即在保证铸件质量（主要是尺寸精度）的前提下，尽量简化工艺，以提高效率，降低成本。

选择分型面应注意以下原则：

(1) 为了保证铸件的尺寸精度，应尽量使铸件全部或大部置于同一砂箱，如条件不允许，也应尽量使加工基准面和大部分加工面置于同一砂箱。图 9-14 是汽车后轮毂的工艺方案，铸件全部设在下箱。 $\phi 350\text{mm}$ 圆周处是加工内孔的基准，若以 $\phi 350\text{mm}$ 圆周顶面为分型面，虽可节省砂芯材料，但由于轮毂的台阶孔内

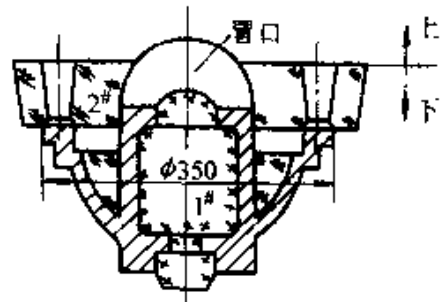


图 9-14 后轮毂的工艺方案

腔由设于上箱的吊芯形成，因偏芯和合型偏差面导致内外圆同心度偏差，使内孔加工后壁厚不均，影响质量，甚至报废。

(2) 尽量减少分型面的数量，以简化造型操作，提高铸型精度。尤其是机器造型，通常只有一个分型面，最好不用活块，而用砂芯来取代，见图 9-15。

(3) 分型面的选择应有利于减少砂芯数量，采用自来芯取代下芯，见图 9-16 所示曲轴定位套的工艺方案。下芯位置最好设在下箱，以便于操作和检验。

(4) 为方便起模，分型面一般取在铸件的最大截面上，且应充分利用上、下箱的高度，不使模样在一只砂箱内过高。对于较高的铸件尤其要注意。

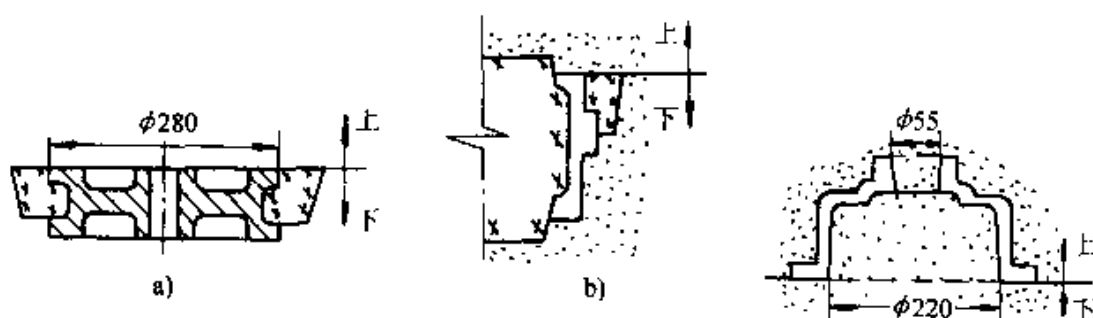


图 9-15 减少分型面的数量

a) 采用下芯减少分型面 b) 用砂芯取代活块

图 9-16 曲轴定位套的工艺方案

(5) 选择分型面不仅要考虑简化造型和制芯工艺，还要考虑铸件外观和减少落砂清理及机械加工的工作量。图 9-17a 的铸件产生较长的披缝，且清理工作量大。图 9-17b 的披缝短，且易清除。

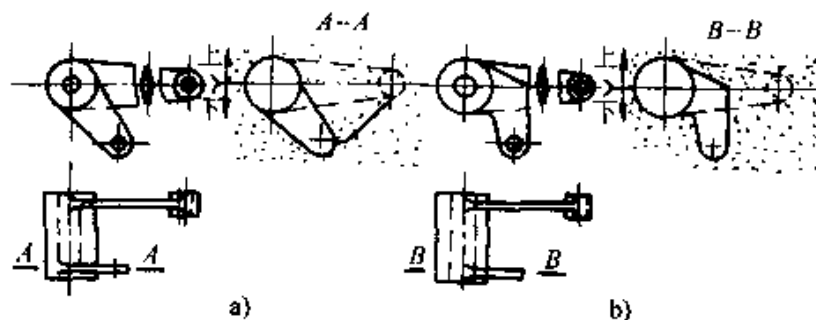


图 9-17 摇臂的分型面选择

a) 不合理 b) 合理

上述原则在具体的工艺设计中往往存在着相互矛盾和制约的关系，比如尽量减少分型面是选择原则之一，但对于如机床床身和 V 形发动机缸体类的大而复杂的铸件采用多个分型面的劈箱造型或组芯造型法反而更有利于保证铸件质量和简化工艺操作。因此，在进行铸件浇注位置和分型面的具体选择时，应结合生产实际条件和任务性

质，进行多种方案的对比和论证，从优选择。

表 9-3 吃砂量数值

(单位: mm)

模样平均轮廓尺寸	a	b 和 c	d
滑脱砂箱	≥ 20	30~50	≥ 15
≤ 400	30~50	40~70	一箱中模样高度的 0.5~1.5 倍
400~700	50~70	70~90	
700~1000	70~100	90~120	
1000~2000	100~150	120~150	
2000~3000	100~150	150~200	
3000~4000	100~150	200~250	
>4000	150~200	>250	



注：手工造型时，边沿需考虑春头尺寸。

五、砂箱中铸件排列数量的确定

砂箱中铸件排列数量的确定主要应考虑的因素为：铸件尺寸、生产批量、吃砂量、设备情况等。如采用造型线生产，尚需考虑生产作业的平衡问题。其中，吃砂量须根据具体的工艺要求合理选择。吃砂量太小，砂型紧实困难，强度较低，易产生涨砂、冲砂、跑火（射箱）等缺陷。吃砂量太大，又造成浪费。影响吃砂量的因素较多，在设计时要全面考虑和选择，表 9-3 为吃砂量参考数值。

第二节 砂芯设计

砂芯是铸型的重要组成部分，故砂芯设计是铸造工艺设计的主要内容之一。其设计内容主要包括确定砂芯的形状和分块、芯头结构、制芯材料、砂芯排气及加固方式等。下面重点叙述砂芯分块与芯头结构两个方面的问题。

一、砂芯分块

砂芯分块的主要依据是铸件结构、质量要求和生产条件。通常要求简化芯盒、便于制芯和下芯，并能保证铸件质量。其一般原则如下：

(1) 为了提高砂芯的装配精度，在砂芯制造工艺不很复杂的前提下，应尽量减少砂芯的分块数量。图 9-18 为 4 缸柴油机缸盖排气道砂芯。4 个排气道砂芯连成一体，大大提高了排气道的位置精度。

(2) 对于内腔复杂的高精度铸件，可将多个砂芯经分块制芯并在高精度的胎具中预装后再通过二次射芯将其连成整体，从而保证了砂

芯尺寸的高度精确和稳定，见图 9-19。这种“先零后整”的砂芯分块法可使铸件达到很高的精度。

(3) 对于形状复杂，重量大或长度大的砂芯，为了避免制芯和烘干时产生变形，可将砂芯分成数块。图 9-20 为封槽长砂芯分块。有时，为了保证铸件尺寸精度，便于下芯和检验，也可将砂芯分块制作，见图 9-21 所示。将砂芯分块制作后，1# 芯的位置就不再受 2# 砂芯位置错动的影响，且便于下芯操作。

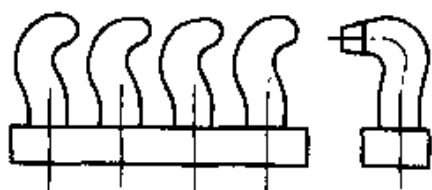


图 9-18 缸盖排气道砂芯

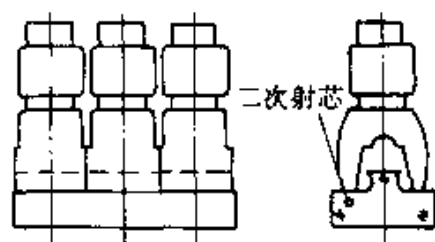


图 9-19 缸体砂芯二次射芯

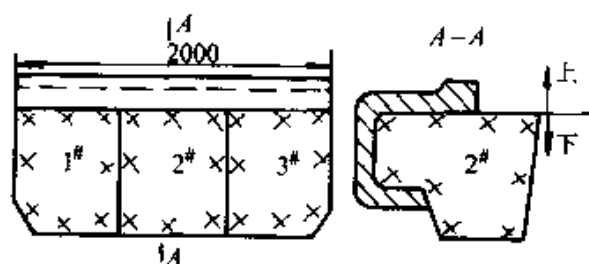


图 9-20 封槽长砂芯分块

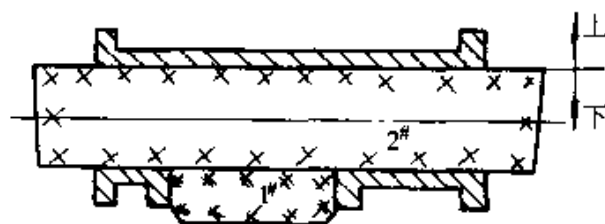


图 9-21 为保证铸件精度而分块

(4) 砂芯应有大而简单的填砂面，烘干支承面宜平直，以便于制芯操作及烘干处理。

(5) 大型砂芯应尽量使烘干位置与下芯位置保持一致，以避免砂芯在翻动时造成损坏。

二、芯头结构

芯头是指支承和固定砂芯而不形成铸件轮廓的砂芯外伸部分。芯

头的结构形式、形状和尺寸、配合精度等对砂芯在铸型中的位置精度、支承强度和排气性能有重大影响。根据芯头在铸型中的安放位置，可分为垂直芯头和水平芯头两大类。

1. 芯头的结构要素 芯头的结构要素包括芯头的长度（高度）、斜度、间隙、压环、防压环、集砂槽和特殊定位结构等，见图 9-22。

(1) 垂直芯头

1) 芯头高度 垂直芯头的高度是芯头的主要尺寸。通常，在满足芯头基本要求的前提下，芯头尺寸不宜过大。否则，会不利于造型操作，且造成浪费。垂直芯头高度的选择，取决于砂芯的总高度和砂芯结构，一般为 15~150mm。在具体选择芯头高度时要注意几点：

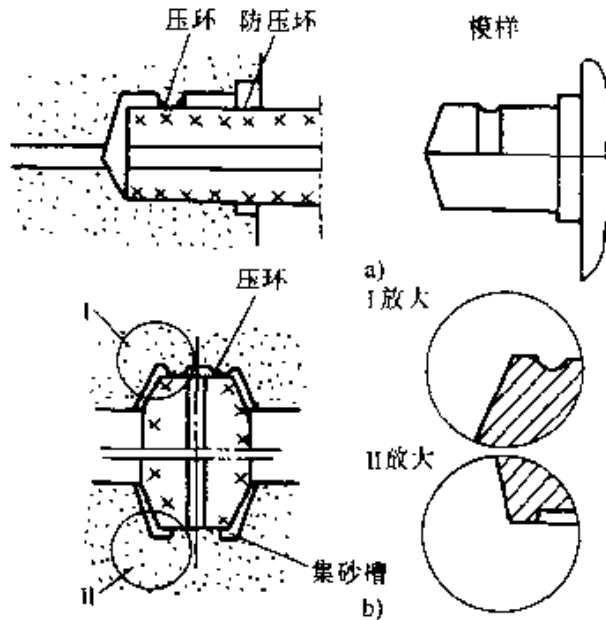


图 9-22 芯头的结构组成

a) 水平芯头 b) 垂直芯头

①细而高的砂芯，上、下都要有芯头。通常，下芯头可比上芯头取高一些。对于高度与直径之比大于 5 的细高砂芯，下芯头尺寸要适当加大，以增加砂芯的垂直稳定性。

②为便于操作，对于等截面或上下结构对称的砂芯，上下芯头可采用相同的结构尺寸。在机械化大批生产时尤应如此。

③对于大而矮的砂芯，芯头可矮一些，也可以不要上芯头，以方便操作。

2) 芯头斜度 为便于下芯和合型操作，在芯头和砂型的芯座上

都应做出斜度。斜度一般为 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$ ，上芯头斜度应大些。

3) 芯头间隙 在芯头和芯座间留有间隙是为了方便下芯、合型操作及避免挤坏砂芯(型)。间隙过小,会使下芯和合型困难,操作可靠性差;间隙过大,会严重影响铸件质量(芯偏、披缝厚、气孔等)。芯头间隙的合理选择应考虑砂芯大小、砂型(芯)种类、模具精度、造型制芯方式和合型定位精度等。机器造型(芯)时,一般取间隙为 $0.5 \sim 1\text{mm}$;手工造型(芯)时,间隙取 $0.5 \sim 4\text{mm}$ 。当同一砂芯上有两个以上的芯头时,可将其中定位作用不大的芯头侧面间隙加大,以便于下芯。

(2) 水平芯头

1) 芯头长度 水平砂芯的体积越大,浇注时所受浮力也越大,为保证芯头与芯座间的支承强度,需适当加长芯头,以增加其承压面积。在实际生产中,芯头长度可根据实践经验或查找手册确定。通常,对于直径小于 150mm 和长度小于 1000mm 的中小型水平砂芯,芯头长度可取 $20 \sim 100\text{mm}$;特大型砂芯芯头长度根据需要可取至 400mm 以上。

2) 芯头斜度 为便于下芯和合型,水平砂芯的芯座端面上应做出斜度,一般为 $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$,上箱芯座斜度可稍大些($\beta > \alpha$)。对于定位精度要求较低的手工造型(芯),只要制芯时砂芯能顺利起模,其芯头端面可以不留斜度;对于定位精度要求高的机器造型(芯),其芯头端面也应做出与芯座相应的斜度,见图 9-23。

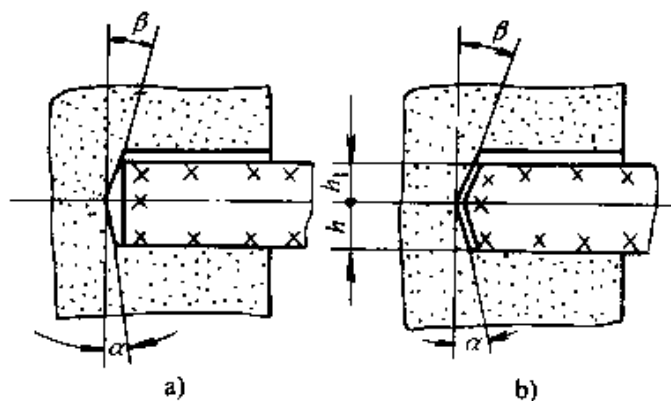


图 9-23 水平芯头的斜度

a) 芯头不留斜度 b) 芯头留斜度

3) 芯头间隙可参考垂直芯头间隙的取值。

(3) 压环、防压环和集砂槽 在采用湿型的机器造型大批量生产过程中,为了加速下芯、合型速度和保证铸件质量,常在芯头的模样

上做出压环、防压环和集砂槽，见图 9-22。

1) 压环 在上模样芯座上做出 $r = 1.5 \sim 6\text{mm}$ 的半圆槽，造型后砂型芯座上即形成凸出砂环，合型后，砂环压紧砂芯芯头，避免液态金属钻入芯头，堵塞排气道。

2) 防压环 在水平芯座靠模样根部处做出高 $0.5 \sim 2\text{mm}$ ，宽 $5 \sim 12\text{mm}$ 的凸肩。下芯和合型后，在芯头与砂型间留出一道环形缝隙，可防止砂型被压崩。

3) 集砂槽 在砂型芯座边缘上形成的深约 $2 \sim 5\text{mm}$ 的环椎凹槽，用以聚集下芯时散落的碎砂，保证芯头芯座的配合精度。

(4) 特殊定位芯头 对于要求在铸型中严格定位或有方位要求的砂芯，需设计特殊定位芯头。图 9-24 所示为部分定位芯头结构。其中 a、b、c 为防止砂芯转动的结构；d 结构既防砂芯转动，又防砂芯轴向窜动。

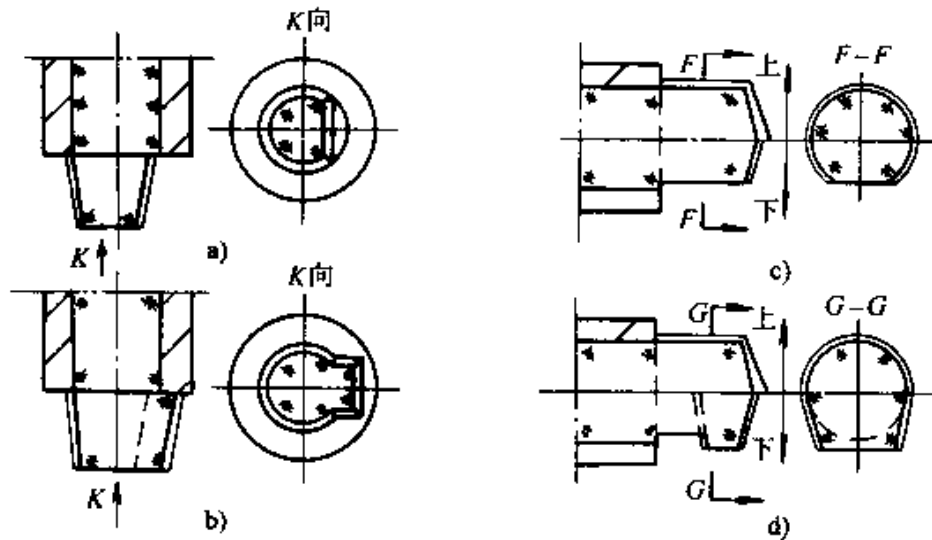


图 9-24 特殊定位芯头

a)、b) 垂直芯头 c)、d) 水平芯头

2. 芯头尺寸的验算 通常，对于芯头较大、重量较小和浇注时受金属液体浮力作用不大的中小型砂芯可由经验数据确定芯头尺寸，不必验算其承压面积。反之，则应在初步确定芯头尺寸后，要对其承压面积进行验算。步骤如下：

(1) 计算砂芯所受的最大浮力 砂芯所受浮力与砂芯的形状、大小、在铸型中所处位置和所浇注的金属液体密度等因素有关。以图 9

-25 所示砂芯为例, 当金属液上升到 A-A 截面时其所受浮力达最大值为

$$F_{\text{浮}} = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) H \rho g \quad (9-1)$$

式中 $F_{\text{浮}}$ ——砂芯所受浮力 (N);
 D_1 ——砂芯直径 (m);
 D_2 ——下芯头直径 (m);
 H ——砂芯受浮力作用部分的高度 (m);
 ρ ——金属液密度 (kg/m^3);
 g ——重力加速度 (m/s^2)。

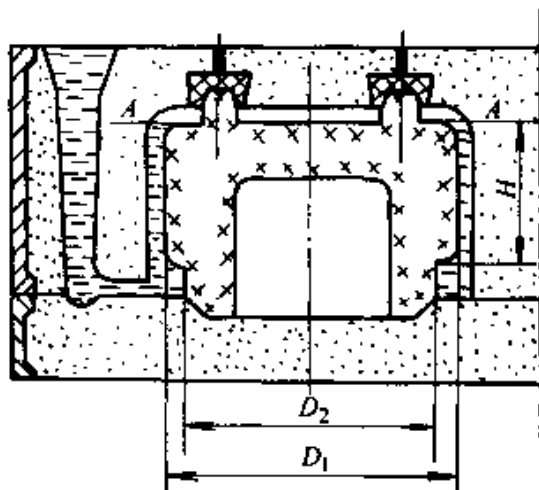


图 9-25 砂芯受金属液体浮力示意图

(2) 计算上芯座所受压力

$$F_{\text{芯}} = F_{\text{浮}} - G_{\text{芯}} \quad (9-2)$$

式中 $F_{\text{芯}}$ ——作用于上芯座上的压力 (N);
 $G_{\text{芯}}$ ——砂芯的重力 (N)。

(3) 验算芯头承压面积

$$A \geq \frac{KF_{\text{芯}}}{[\sigma_{\text{压}}]} \quad (9-3)$$

式中 A ——上芯座与芯头的接触面积 (cm^2);
 K ——安全因数, 一般取 1.3~1.5;
 $F_{\text{芯}}$ ——作用于上芯座上的压力 (N);
 $[\sigma_{\text{压}}]$ ——芯座的许用抗压强度 (N/cm^2)。一般湿型 $[\sigma_{\text{压}}]$ 取

4~6N/cm²，活化砂型取6~10N/cm²，干型取60~80N/cm²。

经验算，如初定芯头尺寸的承压面积小于计算值，则应加大芯头尺寸或提高芯头芯座的抗压强度。其措施有垫塞耐火砖、铁片或增加芯撑、增设工艺孔等。

3. 砂芯负数（砂芯减量） 砂芯在制作过程中，因湿态时蠕变、烘干后膨胀以及上涂料后往往会造成砂芯在某个方向上的尺寸扩大，导致铸件在该处壁厚减薄，影响铸件质量，所以在设计芯盒时，应在相应方向将砂芯尺寸适当缩小，这个缩小量称为砂芯负数（砂芯减量）。砂芯负数的选取与砂芯尺寸、芯砂种类、芯盒结构和制芯方式等因素有关。表9-4所列为砂芯负数参考数值。图9-26为不同砂芯负数选择的示意图。

表 9-4 砂芯负数

砂芯尺寸/mm		各面负数/mm	
平均轮廓尺寸	高度	沿长度	沿宽度
250~500	≤300	0	1
	300~500	1	2
	>500	2	3
500~1000	≤300	1	2
	300~500	2	3
	>500	3	4
1000~1500	≤300	2	3
	300~500	3	3
	>500	4	4
1500~2000	≤300	2	3
	300~500	3	3
	>500	4	4
>2000	≤300	3	3
	300~500	4	4
	>500	5	5

注：1. 表中所列为参考数值，选择时可根据具体工艺条件酌情增减。

2. 平均轮廓尺寸 = (轮廓长度 + 轮廓宽度) / 2。

3. 表中所列各面负数值，是该方向负数值的总和。

4. 表中所指长、宽、高的区分，以下芯位置为准。

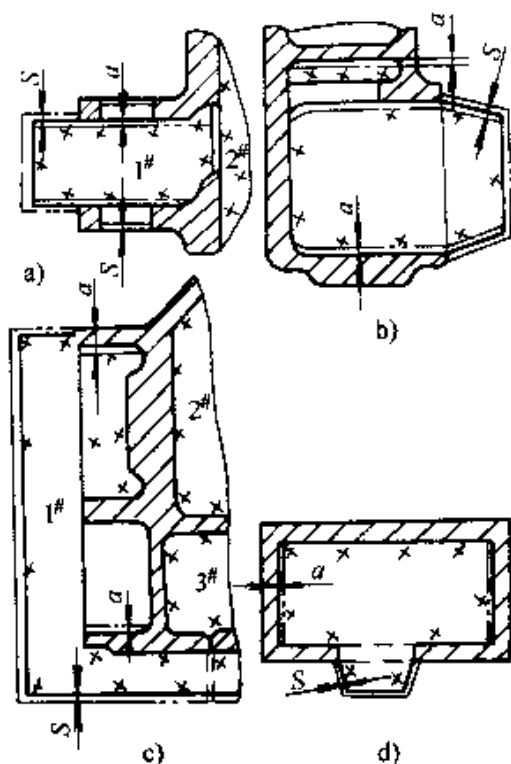


图 9-26 不同砂芯负数选择示意

S—间隙 a—砂芯负数

第三节 铸造工艺参数

为了使铸件能达到预期的技术指标，在铸造工艺设计过程中需确定一些设计数据，即铸造工艺参数。它包括铸件线收缩率、机械加工余量、起模斜度、工艺补正量、分型负数、反变形量等。

一、铸造线收缩率

铸件在凝固和冷却过程中，一般要产生线收缩而造成铸件实际尺寸比模样尺寸减小。因此在制造模样或芯盒时需加上相应的线收缩量。铸造线收缩率可用下式表示

$$\epsilon = \frac{L - L_1}{L_1} \times 100\% \quad (9-4)$$

式中 ϵ ——铸件线收缩率 (%)；

L ——模样尺寸；

L_1 ——铸件尺寸。

铸造线收缩率的大小主要取决于合金成分、铸件结构和大小、砂

型砂芯的退让性、浇冒口系统结构等因素。同一个铸件，铸件在长、宽、高三个方向的线收缩率也不一致。在单件小批生产时，铸造线收缩率可参考经验数据选取，见表9-5。大批生产时，应先通过试生产测知铸件各向的实际收缩尺寸后，再选定精确的各向线收缩率，用以制作模样和芯盒以获得尺寸精度较高的铸件。

表9-5 砂型铸造普通合金的铸造线收缩率

合金种类	线收缩率(%)		合金种类	线收缩率(%)		合金种类	线收缩率(%)	
	自由收缩	受阻收缩		自由收缩	受阻收缩		自由收缩	受阻收缩
灰铸铁：中小件	1.0	0.9	黑心可锻铸铁 壁厚>25mm	0.75	0.5	非铁合金： 铝-硅合金	1.0~	0.8~
中大件	0.9	0.8						
特大件	0.8	0.7	白心可锻铸铁	1.75	1.5	铝-镁合金	1.3	1.0
筒形件长度方向	0.9	0.8	球墨铸铁	1.0	0.8	铝-铜合金	1.6	1.4
直径方向	0.7	0.5				铸钢：碳钢及 低合金钢	1.6~	1.3~
孕育铸铁：			含铬高合金钢	2.0	1.7	镁合金	1.6	1.2
HT250	1.0	0.8	铁素体-奥氏 体钢	1.3~	1.0~	锌黄铜	1.8~	1.5~
HT300	1.0	0.8		1.7	1.4		2.0	1.7
HT350	1.5	1.0		1.8~	1.5~	锡青铜	1.4	1.2
				2.2	1.9	无锡青铜	2.0~	1.6~
							2.2	1.8

二、机械加工余量

机械加工余量是为保证铸件加工面尺寸和零件精度，在铸造工艺设计时预先增加且在机械加工时应予切除的金属层厚度。机械加工余量应根据合金种类、铸件大小、铸造方法、铸件精度等级、加工面在浇注时的位置等因素酌情确定。加工余量过大会造成材料和加工工时浪费，且将铸件表面致密层切掉会影响零件的使用性能；加工余量过小会因铸件表皮硬度较高而加剧刀具磨损或因铸件变形等原因达不到图样要求的加工尺寸而报废。

相对而言，铸钢件因浇注温度高、收缩大、表面质量差，故加工余量宜取大些；铸铁件的表面质量较好，加工余量可取小些；铸造非铁合金较贵重，因此加工余量要更小些。此外，在铸件浇注位置的顶

面较易产生气孔和夹渣等铸造缺陷，其加工余量要适当放大；尺寸大的铸件变形也较大，加工余量也要放大些。

根据 GB/T11350—1989 规定，机械加工余量的代号用字母“MA”表示。加工余量的等级由精到粗分为 A、B、C、D、E、F、G、H、J 共 9 个等级（砂型铸造一般为 G、H、J 级）。

按 GB/T11350—1989《铸件机械加工余量》的规定选取具体加工余量时，要结合 GB6414—1986《铸件尺寸公差》相关规定配套使用。铸件尺寸公差的代号为“CT”，其等级分为 16 级。砂型铸造时，成批和大量生产的公差等级为 CT7~13 级，小批和单件生产为 CT10~15 级。

加工余量应在工艺图或技术文件中注明。标注例：加工余量按 GB/T11350—1989 CT8-MAH/G（即铸件尺寸公差等级按 CT8 级，加工余量顶面按 H 级，其余按 G 级规定在 GB/T11350—1989《铸件加工余量》中选取）采用非标准加工余量时，应在铸造工艺图上所需部位直接标出。

三、起模斜度

为方便造型或制芯时的起模操作，避免损坏砂型（芯），在平行于起模方向的模样和芯盒壁上做出的斜度为起模斜度。

起模斜度的大小取决于造型（芯）方法、起模高度、模样材料、模样制作精度及表面粗糙度、造型制芯材料等因素。起模斜度根据铸件的具体要求可采取增加铸件壁厚、增减铸件壁厚或减少铸件壁厚的方式形成，见图 9-27。起模斜度可根据 JB/T5105—1991 推荐标准提供的有关规定选用，见表 9-6、表 9-7。

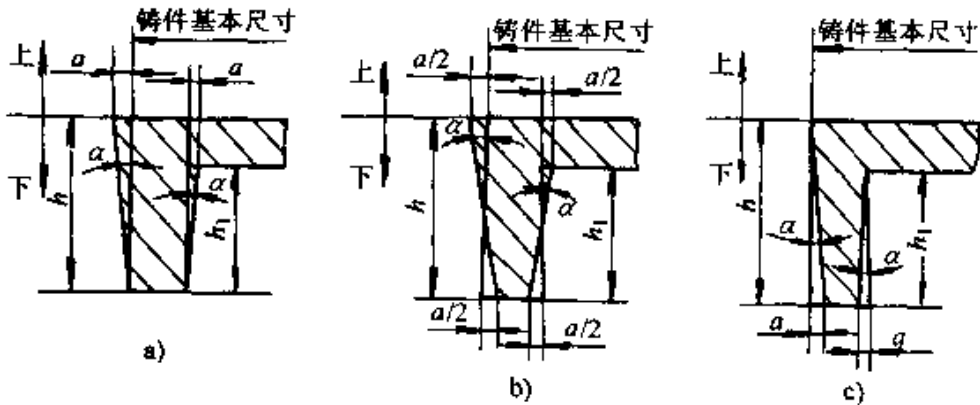


图 9-27 起模斜度施加形式

a) 增加铸件壁厚 b) 增减铸件壁厚 c) 减少铸件壁厚

表 9-6 粘土砂造型时, 模样外表面的起模斜度

测量面高度 h/mm	起 模 斜 度 \leq			
	金属模样、塑料模样		木 模 样	
	α	a/mm	α	a/mm
≤ 10	$2^{\circ}20'$	0.4	$2^{\circ}55'$	0.6
$> 10 \sim 40$	$1^{\circ}10'$	0.8	$1^{\circ}25'$	1.0
$> 40 \sim 100$	$0^{\circ}30'$	1.0	$0^{\circ}40'$	1.2
$> 100 \sim 160$	$0^{\circ}25'$	1.2	$0^{\circ}30'$	1.4
$> 160 \sim 250$	$0^{\circ}20'$	1.6	$0^{\circ}25'$	1.8
$> 250 \sim 400$	$0^{\circ}20'$	2.4	$0^{\circ}25'$	3.0
$> 400 \sim 630$	$0^{\circ}20'$	3.8	$0^{\circ}20'$	3.8
$> 630 \sim 1000$	$0^{\circ}15'$	4.4	$0^{\circ}20'$	5.8
$> 1000 \sim 1600$	—	—	$0^{\circ}20'$	9.2
$> 1600 \sim 2500$	—	—	$0^{\circ}15'$	11.0
> 2500	—	—	$0^{\circ}15'$	—

四、最小铸出孔、槽

通常, 铸件上尺寸较大的孔、槽以及机加工无法做出的孔、槽都应直接铸出。这不但可以降低零件的生产成本和提高其使用性能(保留了孔壁金属致密层), 还可以避免因铸件局部过厚形成热节而产生缩孔、缩松缺陷。但是, 尺寸较小的孔、槽在铸件壁很厚时, 则不宜铸出, 直接用机加工方法制出反而更方便和经济。最小铸出孔、槽的尺寸, 和铸件的铸造方法、生产批量、合金种类、铸件壁厚等因素有关, 表 9-8 所列最小铸出孔、槽尺寸仅供参考。

五、分型负数

在采用干型、表干型砂型生产大中型铸件时, 分型面在修型、烘干过程中会产生变形、使合型不严。为防止浇注时跑火, 合型前需在分型面之间垫以石棉线、油泥条等, 导致垂直于分型面方向的铸型尺寸增大。为了抵消铸件在分型面部位产生的增厚, 在模样上预先减去相应尺寸, 该尺寸称为分型负数。其数值按表 9-9 选取。

表 9-7 粘土砂造型时, 模样凹处内表面的起模斜度

测量面高度 h/mm	起 模 斜 度 \leq			
	金属模样、塑料模样		木 模 样	
	α	a/mm	α	a/mm
≤ 10	$4^{\circ}35'$	0.8	$5^{\circ}45'$	1.0
$> 10 \sim 40$	$2^{\circ}20'$	1.6	$2^{\circ}50'$	2.0
$> 40 \sim 100$	$1^{\circ}05'$	2.0	$1^{\circ}15'$	2.2
$> 100 \sim 160$	$0^{\circ}45'$	2.2	$0^{\circ}55'$	2.6
$> 160 \sim 250$	$0^{\circ}40'$	3.0	$0^{\circ}45'$	3.4
$> 250 \sim 400$	$0^{\circ}40'$	4.6	$0^{\circ}45'$	5.2
$> 400 \sim 630$	$0^{\circ}35'$	6.4	$0^{\circ}40'$	7.4
$> 630 \sim 1000$	$0^{\circ}30'$	8.8	$0^{\circ}35'$	10.2
> 1000	—	—	$0^{\circ}35'$	—

注: 1. 当凹处过深时, 可用活块或砂芯形成。

2. 对于起模困难的模样, 允许采用较大的起模斜度, 但不得超过表中数值一倍。

3. 当造型机工作比压在 $0.7MPa$ 以上, 允许将本表的起模斜度增加, 但不得超过 50%。

4. 铸件结构本身在起模方向上有足够的斜度时不再增加起模斜度。

5. 同一铸件, 上下两个起模斜度应取在分型面上同一点。

表 9-8 最小铸出孔、槽尺寸 (单位: mm)

合金种类	生 产 批 量		
	大量生产	成批生产	单件、小批生产
铸 铁	12~15	15~30	30~50
铸 钢	—	35~50	≥ 60

注: 表中孔、槽尺寸为考虑加工余量后的数值。

确定分型负数 a 的一般原则为

(1) 两箱分模造型、上下模样结构对称的, 分型负数在上下分模面各取一半, 见图 9-28a; 上下模样不对称的, 分型负数一般取在上半模, 见图 9-28b。

(2) 整模造型, 铸件模样又全部位于一个砂箱时, 分型负数取在分型面模样一端, 见图 9-28c。

(3) 多箱造型时, 每个分型面均要取分型负数。

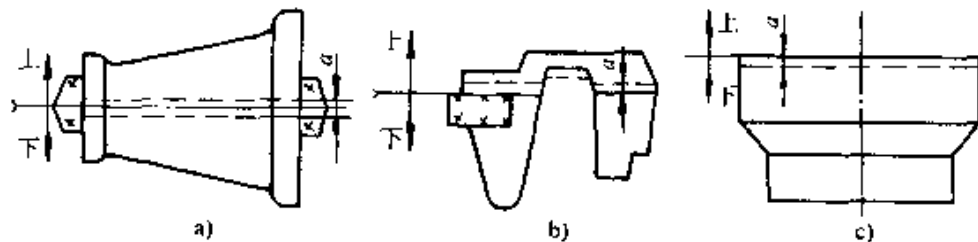


图 9-28 分型负数取向示意

a) 对分模 b) 不对称分体模 c) 整体模

表 9-9 模样的分型负数

(单位: mm)

砂箱长度	分型负数 a		砂箱长度	分型负数 a	
	干型	表干型		干型	表干型
< 1000	2	1	3500 ~ 5000	5	4
1000 ~ 2000	3	2	> 5000	7	6
2000 ~ 3500	4	3			

注: 采用自硬砂型时, 分型负数应减小。

六、工艺补正量

在单件小批生产中, 为防止因选用的铸件线收缩率与实际值不符, 或由于铸件变形、砂芯移位及有规律的操作偏差等原因的影响而造成铸件局部壁厚不足, 在铸件相应部位的非加工面上增加的金属层厚度, 叫工艺补正量, 见图 9-29。

工艺补正量的取值与铸件大小、结构和合金成分等因素有关, 选择时应结合具体的铸件情况和生产条件酌定, 见表 9-10。

七、反变型量 (反挠度)

在铸造壁厚不均的长条形铸件或扁平类铸件时, 由于其冷却速度不同及收缩不一致, 易产生较大的内应力, 导致铸件挠曲变形。为此, 制作模样时, 在铸件可能产生变形的部位预先做出与之相反的变形量, 称为反变形量。反变形量应在铸件冷却变形后正好得以抵消, 从而获得符合图样要求的铸件, 见图 9-30、图 9-31。

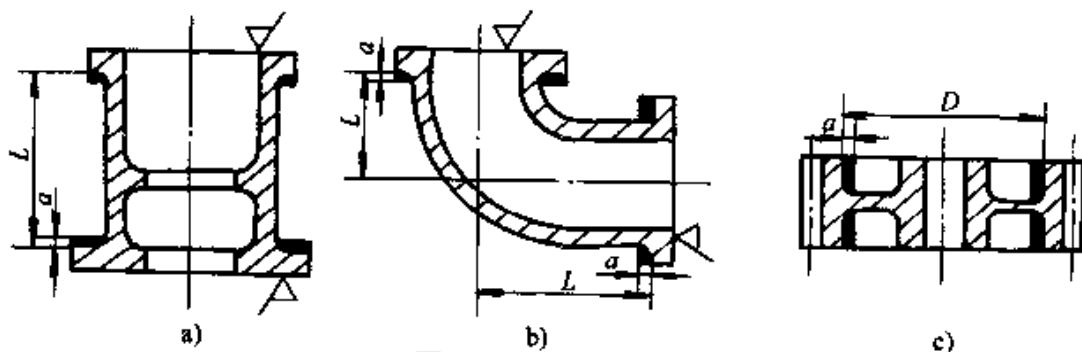


图 9-29 工艺补正量

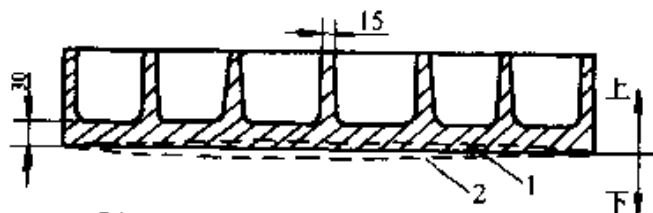


图 9-30 平板的变形与反变型量
1—挠曲变形趋势线 2—模样的反变型量

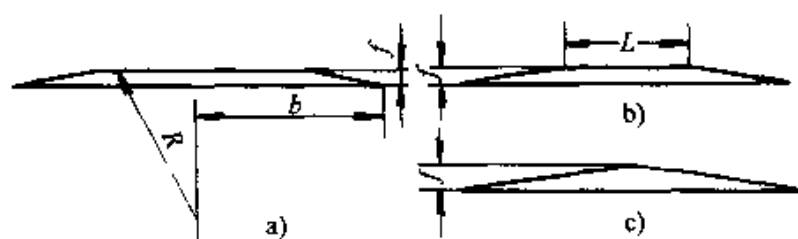


图 9-31 反变形量的形式

a) 月牙形 $R = (b^2 + f^2) / 2f$ b) 竹节形 c) 三角形

表 9-10 铸件的工艺补正量 (单位: mm)

被补面间距或被补面与基准面距离 L	工艺补正量 α	
	铸铁	铸钢
< 250	1~2	2~4
250~400	1~2	3~5
400~650	1.5~2.5	3~5
650~1000	2.5~3.0	5~6
1000~1600	3.0~3.5	6~7
1600~2500	3.5~4.0	7~8
2500~4000	4~5	8~10
4000~6500	5~6	10~12
6500~8000	6~7	12~14
8000~10000	7~8	14~16
10000~12000	8~9	16~18

铸件挠曲变形的大小和铸件的合金成分、尺寸、结构、造型方法、浇注温度和开箱时间等因素有关。因此，铸件的反变形量一般根据实际生产经验来确定：

1. 反变形量的大小 铸件壁厚越不均匀，长度越大，高度越小，则变形量越大，需要预加的反变形量也越大。一般工作台或机床床身小于 5m 时，按 1.5~2.5mm/m 取变形量；床身长度大于 5m 时，按 1~2mm/m 取变形量。铸件壁厚相差大或长度与高度之比较大时应选上限。此数据仅为初生产时选用，铸件经试生产后，尚需根据实际检测情况对反变形量进行修正和确定。

2. 反变形量的施加方向 通常，铸件壁厚的部分冷却慢而收缩迟易产生拉应力，使铸件呈内凹变形；铸件壁薄的部分冷却快而收缩早易产生压应力，使铸件呈外凸变形。因此，应对铸件具体的挠曲变

形趋势全面分析后再确定反变形量的施加方向。

3. 不加反变形量 对于尺寸较小的平台或床身 (小于 2m), 一般可不留反变形量, 而通过加大加工余量来补偿变形或设置同时凝固的冷却条件 (如加冷铁) 来减少变形。

第四节 铸造工艺文件

铸造工艺文件是用文字、图样及表格说明零件的生产工艺过程和指导生产作业的技术资料。实际生产中常用的工艺文件有: 铸造工艺图、铸件图、模样和模板图、芯盒图、砂箱图、铸型装配图和铸造工艺卡等。

工艺文件的格式和内容, 因铸件生产性质、生产类型和生产条件不同而有所区别。各种工艺文件所反映的主要内容和应用范围见表 9-1。铸造工艺图上常用的工艺符号、表示方法、铸造工艺卡的内容和格式如下:

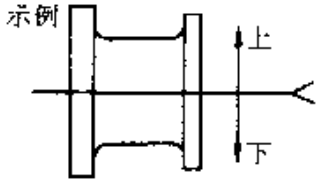
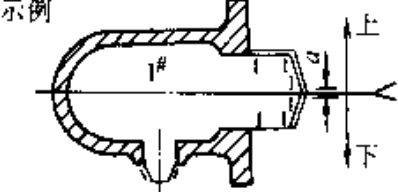
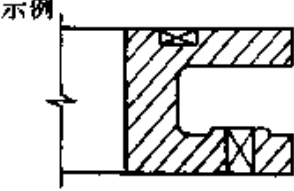
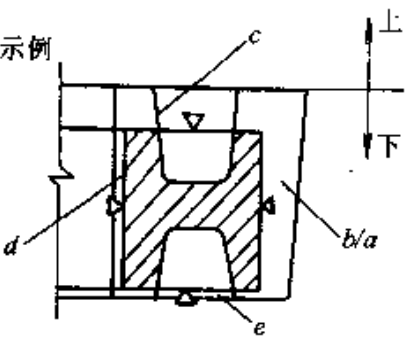
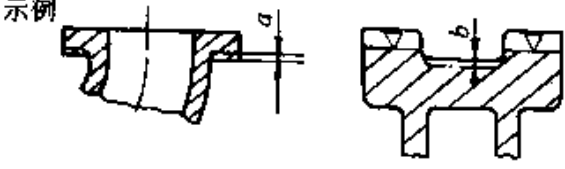
一、常用铸造工艺符号及表示方法

铸造工艺符号是表达设计者设计意图与要求的专用符号。根据 JB2435—1978 标准规定, 铸造工艺符号可采用甲、乙两类形式表示。甲类形式是在零件的图样上用红蓝两色线条绘制的工艺图; 乙类形式是用墨线绘制的工艺图。这两类形式均适用于砂型铸钢件、铸铁件和铸造非铁合金铸件。表 9-11 为甲类形式的常用工艺符号和表示方法。

表 9-11 铸造工艺符号及表示方法

序号	名称	工艺符号及示例	表示方法
1	分型线		用红色线表示, 并用红色写出“上、中、下”字样
2	分模线		用红色线表示, 在任一端画“<”号

(续)

序号	名称	工艺符号及示例	表示方法
3	分型分模线		用红色线表示
4	分型负数		用红色线表示, 并注明减量数值
5	不铸出的孔槽		不铸出的孔或槽在图上用红笔打叉
6	机械加工余量		<p>加工余量分两种方法可任选其一</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 用红色线表示, 在加工符号附近注明加工余量数值 2. 在工艺说明中写出上、侧、下加工余量数值。特殊要求的加工余量可将数值标在加工符号附近。凡带斜度的加工余量应注明斜度
7	工艺补正量		用红色线表示, 注明正、负工艺补正量的数值

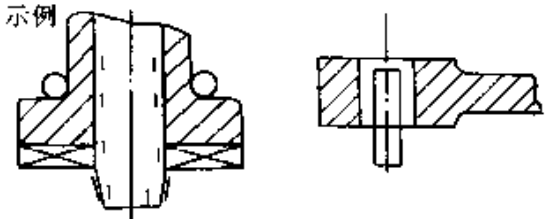
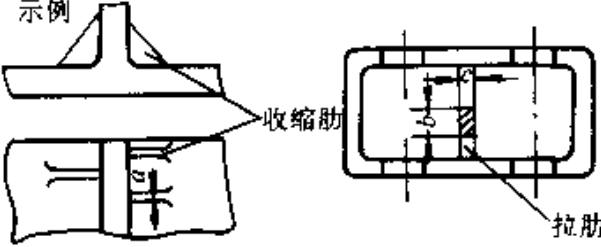
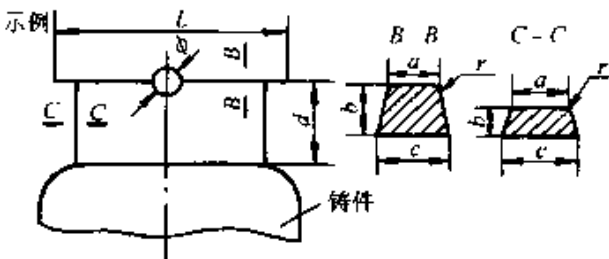
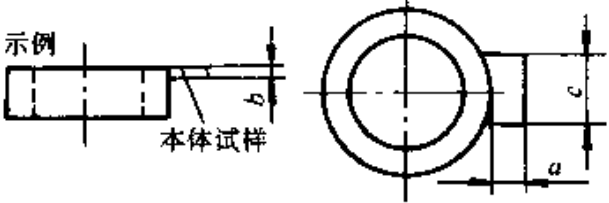
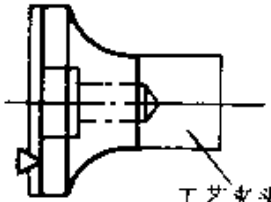
(续)

序号	名称	工艺符号及示例	表示方法
8	冒口		<p>各种冒口均用红色线表示, 注明斜度和各部尺寸, 并用序号 1#、2# 区分</p>
9	冒口切割余量		<p>用红虚线表示, 注明切割余量数值</p>
10	补贴		<p>用红色线表示并注明各部尺寸</p>
11	出气孔		<p>用红色线表示, 注明各部尺寸</p>
12	砂芯		<p>芯头边界用蓝色线表示, 编号用阿拉伯数字 1#、2# 等标注; 边界符号一般只在芯头及砂芯交界处用与砂芯编号相同的小号数字表示; 铁芯须写出“铁芯”字样</p>

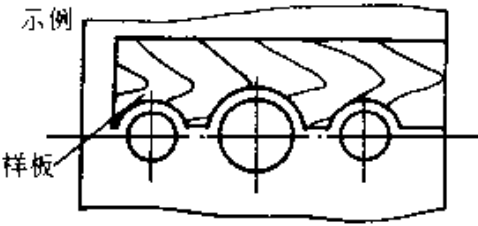
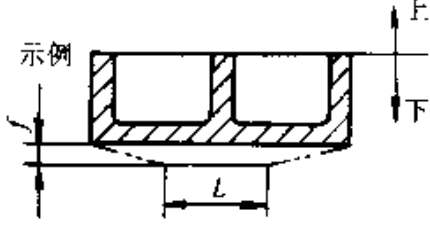
(续)

序号	名称	工艺符号及示例	表示方法
13	芯头斜度与间隙		用蓝色线表示并注明斜度及间隙数值
14	砂芯增量、芯间间隙		用蓝色线表示, 注明增量与间隙数值, 或在工艺说明中注明
15	捣砂、出气和紧固方向		用蓝色线表示, 箭头表示方向, 箭尾划出不同符号
16	芯撑		一般芯撑用红色线表示, 结构特殊的芯撑要写出“芯撑”字样
17	模样活块		用红色线表示, 并在此线上画两条平行短线

(续)

序号	名称	工艺符号及示例	表示方法
18	冷铁	 <p>示例</p>	用蓝色线表示。圆钢冷铁涂淡蓝色，成型冷铁打叉
19	拉肋、收缩肋	 <p>示例</p> <p>收缩肋</p> <p>拉肋</p>	用红色线表示，注明各部尺寸，并写出“拉肋”或“收缩肋”字样
20	浇注系统	 <p>示例</p> <p>铸件</p>	用红色线或红色双线表示并注明各部尺寸
21	本体试样	 <p>示例</p> <p>本体试样</p>	用红色线表示，注明各部尺寸，并写出“本体试样”字样
22	工艺夹头	 <p>工艺夹头</p>	用红色线描(划)出工艺夹头的轮廓，并写出“工艺夹头”字样

(续)

序号	名称	工艺符号及示例	表示方法
23	样板		<p>用蓝色线划出样板轮廓及木材剖面纹理，并写出“样板”字样</p> <p>专门绘制样板图时，应在检验位置注明样板标记</p>
24	反变形量		<p>用红色双点划线表示，并注明反变形量的数值</p>

二、常用铸造工艺卡片格式

铸造工艺卡用表格化的形式，集中体现了铸造工艺设计和操作要点的主要内容。它和铸造工艺图一样，都是铸件在铸造生产过程中最基本、最重要的技术资料 and 工艺文件，也是施工单位编制生产计划、调整劳动组织、安排物资供应、进行质量检验和经济核算的主要凭据。

铸造工艺卡具体内容的详略因生产条件、生产性质和类型而异。通常，对于需成批、大量生产的定型产品，其工艺卡内容应详尽；单件、小批生产的铸件工艺卡内容可以适当简化。

表 9-12 和表 9-13 所示铸造工艺卡的内容及格式分别适用于手工造型的单件小批生产和机器造型的成批生产，供参考。

表 9-12 铸造综合性工艺卡片格式(适用于单件小批生产手工造型)

单位		铸造工艺卡片		卡片编号	号	工艺简图	
产品代号		零件代号		合金牌号			
产品名称		零件名称		铸件重量	kg		
		每台件数		浇注重量	kg		
砂箱内框尺寸/mm		造 型		模 样			
长	宽	高	型砂类别	模样类别			
			砂型类别	活块块数			
			涂料类别	托板块数			
			烘干规范	轮廓尺寸/mm			
制 芯							
芯盒数量			芯盒材料	芯骨数量			
砂芯编号			芯砂类别	芯骨材料			
芯板数量			涂料类别	冷铁数量			
样板数量			烘干规范	冷铁材料			
合型和浇注							
样板数量			出炉温度	浇注时间	s		
紧箱方法			浇注温度	冷却时间	h		
浇冒口系统尺寸/mm							
编号	浇口杯	直浇道	横浇道	内浇道	冒口		
数量							
				批准	审核	编制	日期

表 9-13 铸造综合性工艺卡片格式(适用于成批生产机器造型)

单位	砂型铸造工艺卡										零件代号	共页
	毛重		浇冒口重		工艺出品率		每箱总重		零件名称			
材料	名称	规格	名称	规格	砂型名称	面砂编号	填充砂编号	涂料编号	芯撑	规格	砂箱(压铁)号或重量	砂型类别
每箱型数	上砂箱		型板						铁冷			造型方法及设备
芯盒总数	中砂箱		型板									
砂芯数量	下砂箱		型板									
制 芯												
砂芯编号												
制芯方法												
涂料编号												
涂料烘干前												
次数												
特殊操作说明:												
浇口杯	内浇道		横浇道		直浇道		冒口		浇注温度		浇注时间	
	编号	数量	规格	数量	规格	数量	规格	数量	规格	数量	规格	冷却时间
标记	处数	签字	日期	更改文件号	签字	日期	编制	校对	审核	会签	批准	

第五节 铸造工艺实例分析

一、箱体类

箱体铸件一般指封闭或半封闭的箱形或框架形铸件。如齿轮箱、床身、柴油机缸体等。其特征是内腔容积较大，尺寸要求较高，壁较薄，有些铸件内腔具有隔板及轴孔，有些还要求铸件耐压及耐磨，其铸造难度相对较高。

通常，箱体类铸件的工艺特点是：重点考虑砂芯的制作、安放、固定、排气及检查等问题。浇注系统应满足快速、平稳、顺利排气的要求。一般按同时凝固的原则来设计浇冒口。

箱体类铸件较易产生的铸造缺陷有气孔、砂眼、夹砂、冷隔、裂纹等。

1. S195 柴油机缸体

(1) 材质：HT250。

(2) 基本结构参数及技术要求

1) 壁厚 一般为 5mm，最大壁厚为 15mm。

2) 结构 铸件为封闭式箱形结构，毛坯轮廓尺寸为 528mm × 306mm × 183mm。

3) 重量 铸件毛坯重 41kg，加工后净重 35.4kg。每箱浇注总重 98kg。

4) 铸件水套要求在 0.3~0.4MPa 的水压下保压 3min 不渗漏。

5) 内外表面要求清洁、无粘砂、飞翅及毛刺，表面粗糙度值不大于 $R_a = 25\mu\text{m}$ 。

6) 铸件不允许有裂纹、冷隔、错型等缺陷。

(3) 生产方式及条件 大批量生产；GF 气冲造型线造型；K87 壳芯机及 Z8612B 射芯机制芯；冲天炉加工频炉双联熔炼。

(4) 铸造工艺方案（工艺图见图 9-32）

1) 浇注位置和分型面 从造型及下芯方便且有利于排气等多方面因素考虑，采用平做平浇方式，中间对称分型，浇注位置为齿轮室盖面朝下，浇注采用中注式。该方案的特点是：分型面设于缸体中部使模样分模面与主体砂芯的芯盒分盒面保持一致，起模斜度方向相

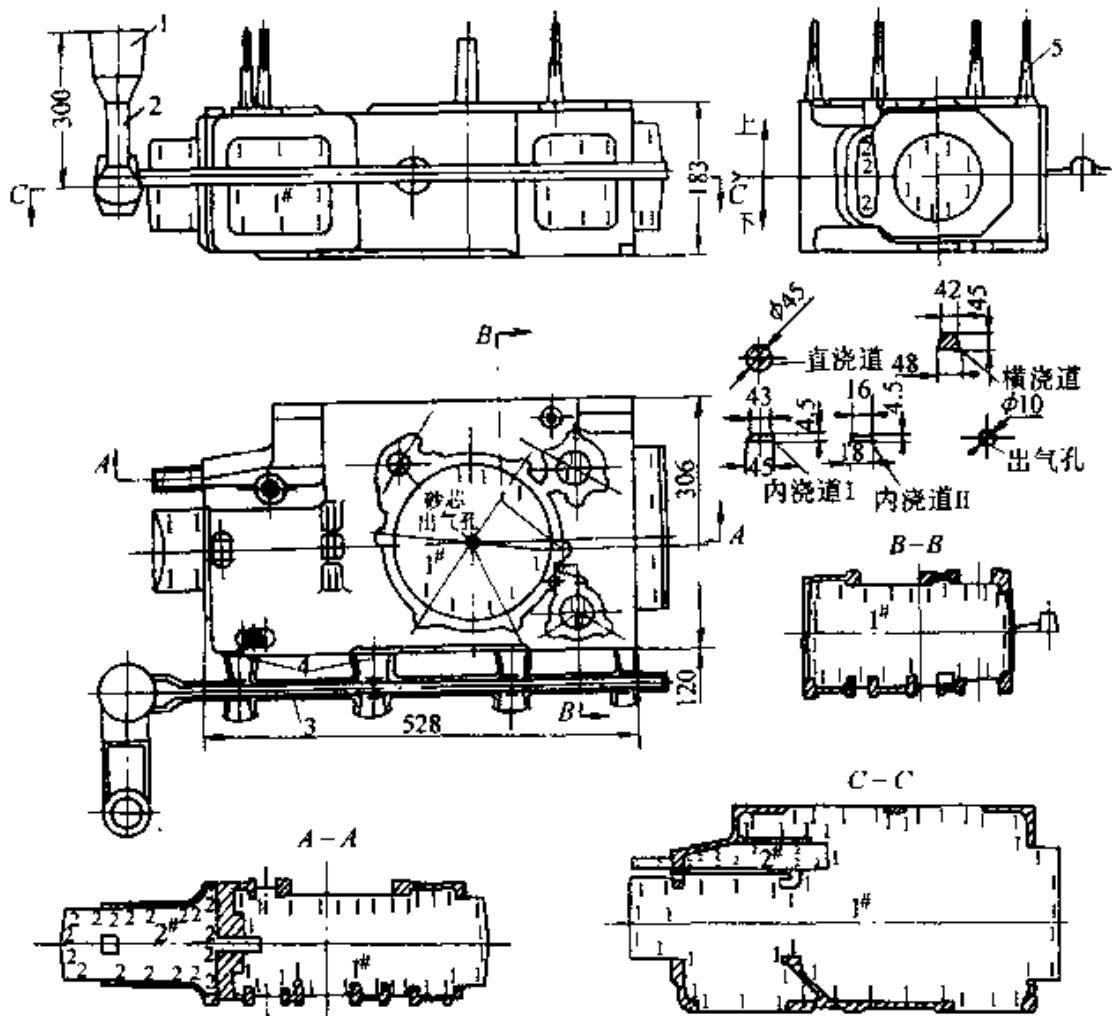


图 9-32 S195 柴油机缸体工艺简图

1—浇口杯 2—直浇道 3—横浇道 4—内浇道 5—出气孔

同，有利于保证铸件的尺寸精度，且便于造型和下芯；齿轮室盖面设于下箱是考虑室盖面外形较复杂，自来芯较多，将其置于下箱有利于保证造型质量。另外，置于上箱的飞轮端主轴孔垂直芯头的直径较大，有利于砂芯的排气及保证砂芯在浇注时不产生上浮现象。

2) 每箱铸件数量的确定 造型线砂箱尺寸为 $1000\text{mm} \times 800\text{mm} \times 300\text{mm}/300\text{mm}$ ，根据缸体尺寸定为一箱两件。

3) 确定工艺参数

①加工余量：因缸体采用金属模样在气冲造型线上大量生产，侧底面取加工余量 3mm ，其余取 3.5mm 。

②缩尺：根据合金种类及结构，各向缩尺同取 1% 。

③起模斜度和铸造圆角：一般起模斜度为 1° ，自来芯为 3° 。铸

造圆角取 $R = 3\text{mm}$ 。

④浇注温度：1340~1400℃。

⑤开箱时间：大于 40min。

4) 砂芯设计 根据缸体内腔结构，其主体结构形状用两个砂芯形成，其中 1# 砂芯为主体芯（壳芯），2# 砂芯为挺杆孔芯（热芯盒），下芯时先下 1# 芯，再下 2# 芯。为保证下芯位置准确，1# 主体芯采用专用夹具下芯。

5) 浇注系统设计 因缸体的结构为薄壁箱体件，浇注时要求快速、平稳充型。根据每箱排放两个铸件且为对称布置的特点，将两个缸体并在一起计算。

①采用水力学计算公式计算 $\Sigma A_{\text{内}}$

$$\Sigma A_{\text{内}} = \frac{G}{0.31 \mu t \sqrt{H_p}} \quad (9-5)$$

式中 $\Sigma A_{\text{内}}$ ——内浇道总截面积 (cm^2)；

G ——每箱铸型浇注铁液总重量 (kg)， $G = 98\text{kg}$ ；

μ ——流量系数，查有关表格并经修正得 $\mu = 0.30$ ；

t ——浇注时间 (s)， $t = S \sqrt{G}$ ，查有关表得 $S = 1.85$ ，
则 $t \approx 18.31\text{s}$ ；

H_p ——平均静压头高度 (cm)，中间注入式浇道 $H_p = H_0$

$$- \frac{c}{8} = 30\text{cm} - \frac{18.3}{8} \text{cm} = 27.7\text{cm}；$$

综上， $\Sigma A_{\text{内}} = \frac{98}{0.31 \times 0.30 \times 18.31 \times \sqrt{27.7}} \text{cm}^2 \approx 10.93\text{cm}^2$

取 $\Sigma A_{\text{内}} = 11\text{cm}^2$ 。

②内浇道从壁较薄的水箱窗口面引入，取内浇道截面形状为扁梯形，因受铸件结构位置尺寸所限，每个铸件所设四道内浇道采用两种尺寸。

③浇注系统各部分比例选择为： $\Sigma A_{\text{内}} : \Sigma A_{\text{横}} : \Sigma A_{\text{直}} = 1 : 1.84 : 1.45$ 。为加强挡渣作用，在上、下型横浇道搭接处放置一块高硅氧纤维滤网，网孔尺寸为 $1.5\text{mm} \times 1.5\text{mm}$ 。

6) 排气系统设计

①砂型的排气 在缸体主轴孔法兰边、凸轮轴孔和平衡轴孔等凸台处共设置 $\phi 10\text{mm}$ 出气孔 15 处。

②砂芯的排气 在 1[#] 芯主轴孔垂直芯头中心和后封门水平芯头处设砂芯排气道，另在 2[#] 芯内设两处 $\phi 8\text{mm}$ 排气道从水平芯头处引出气体。设计时在芯头部位均做出压紧环，以防铁液钻入排气道。

2. 床身

(1) 材质：HT300。

(2) 基本结构参数及技术要求

1) 壁厚 一般壁厚 12~13mm，最大壁厚 65mm。

2) 结构 铸件为半封闭式箱形结构，毛坯轮廓尺寸为 2240mm × 400mm × 479mm。

3) 重量 铸件重量 520kg，浇注总重 620kg。

4) 硬度 导轨面硬度要求 190~240HBS (铸态)，并要求硬度均匀。

5) 导轨面不允许有任何铸造缺陷。

6) 铸件须经人工时效处理。

(3) 生产方式及条件 成批生产；干型、抛砂机造型；手工制芯；冲天炉熔炼。

(4) 铸造工艺方案 (工艺图见图 9-33)

1) 浇注位置和分型面 沿床身轴向中心线分型，两箱造型。下芯合型后翻转 90°，浇注位置为导轨面朝下。

2) 每箱铸件数量 每箱一件。

3) 确定工艺参数

①加工余量：导轨处为 6~9mm，床脚等处为 5~7mm；为预防床身变形，在导轨面处设反变形量 3mm。

②缩尺：轴向取 1%，径向取 0.8%。

③浇注温度：1340~1380℃。

4) 砂芯设计 铸件的内腔和肋板等均由砂芯形成。为便于制芯，将主体芯 3[#]、4[#] 分成两半制芯，干燥后再组装成整体，在接合面各留 0.5mm 的砂芯减量。芯头间隙取 2mm。

5) 浇注系统设计 因该床身较短，铁液可从床身一端的底部沿

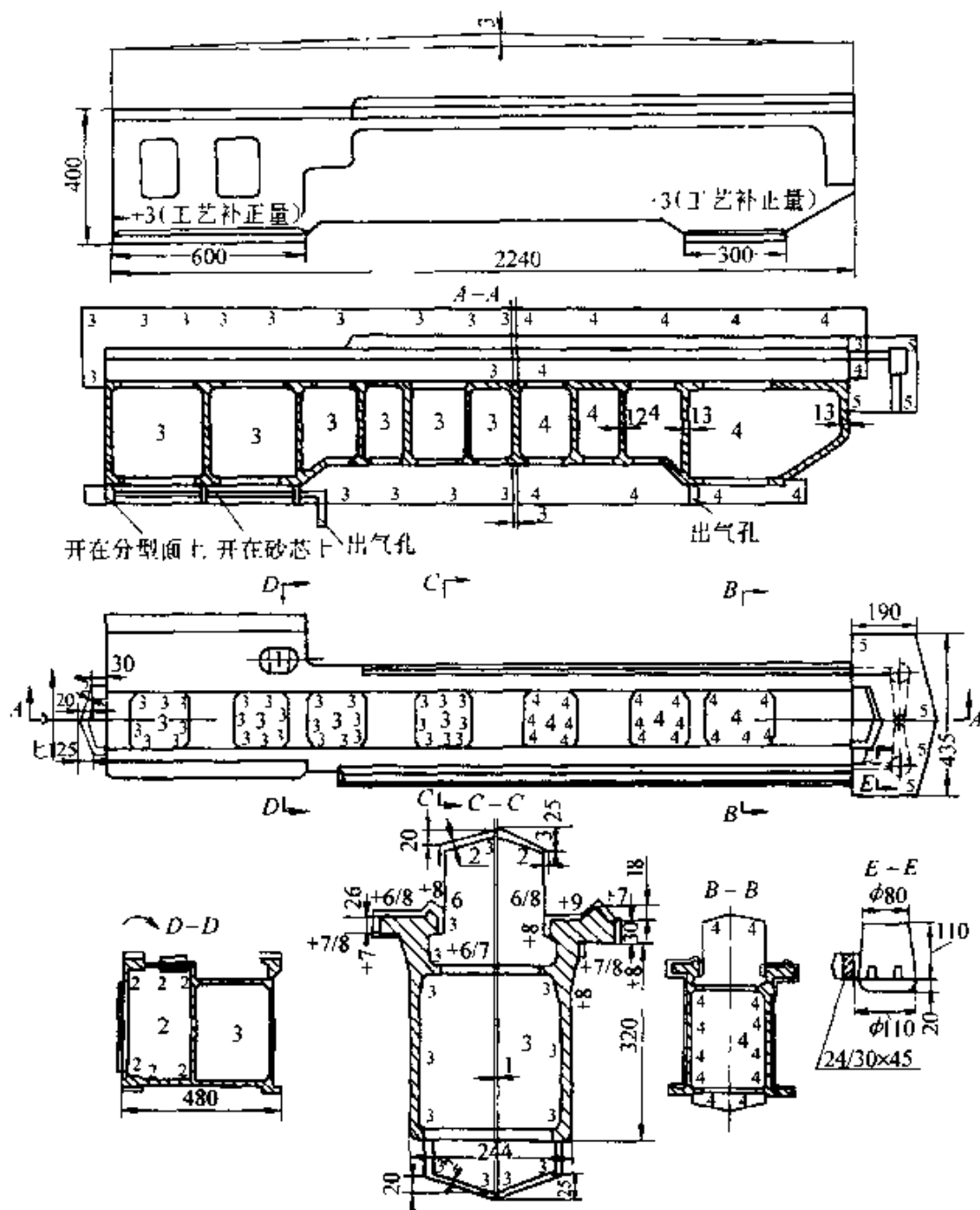


图 9-33 床身工艺简图

导轨长度方向注入。使用一个直浇道，截面积为 28cm^2 ，横浇道总截面积为 24cm^2 ，内浇道总截面积为 18.5cm^2 。浇注系统各部分比例为 $\Sigma A_{\text{内}} : \Sigma A_{\text{横}} : \Sigma A_{\text{直}} = 1 : 1.3 : 1.5$ 。

由于材质为灰铸铁，且铸件顶部壁厚较均匀，故采用同时凝固方式，不设置补缩冒口，只在前后床脚处设扁出气冒口 $22\text{mm} \times 20\text{mm}$

的 3 个, 35mm×20mm 的 1 个。

二、筒体类

筒体类铸件根据其直径与高度比的不同, 可分为长筒类和短筒类。这类铸件的铸造工艺方案有立浇和平浇两大类。立浇又可分为平做立浇和立做立浇, 前者适用于长筒, 后者适用于短筒。相对而言, 立浇的铸件质量要优于平浇, 但其操作较麻烦。立浇常采用顶雨淋、底雨淋或多层阶梯式浇道; 平浇常采用中注式浇道。

1. 气缸套

(1) 材质: HT350。

(2) 基本结构参数及技术要求

1) 壁厚 主要壁厚 36mm。

2) 结构 长筒类结构, 铸件轮廓尺寸为 $\phi 350\text{mm}/\phi 290\text{mm} \times 850\text{mm}$ (带环形冒口)。

3) 重量 铸件重量 160kg, 浇注总重 250kg。

4) 硬度 207~241HBS, 要求硬度均匀。

5) 铸件不允许存在任何铸造缺陷 (铸件各表面都需机械加工)。

6) 铸件须经 7.5MPa 水压试验。

7) 铸件须经人工时效处理。

(3) 生产方式及条件 成批生产; 干型, 手工造型与制芯; 冲天炉加电炉双联熔炼。

(4) 铸造工艺方案 (工艺图见图 9-34)

1) 浇注位置和分型面 根据该铸件质量要求高的特点, 采用立做立浇方案。四箱造型。

2) 每箱铸件数量 每箱一件。

3) 确定工艺参数

①加工余量: 铸件内、外圆各为 6mm, 底面 9mm。

②缩尺: 各向缩尺取 0.8%。

③浇注温度: 1340~1380℃。

4) 砂芯设计 主体砂芯的中部用带孔钢管作芯骨和排气道。另外, 要求用强度较高、变形量较小的芯砂制作主体砂芯, 砂芯的烘干质量和表面质量要严格控制。雨淋浇口砂芯的紧实度和四个内浇道截

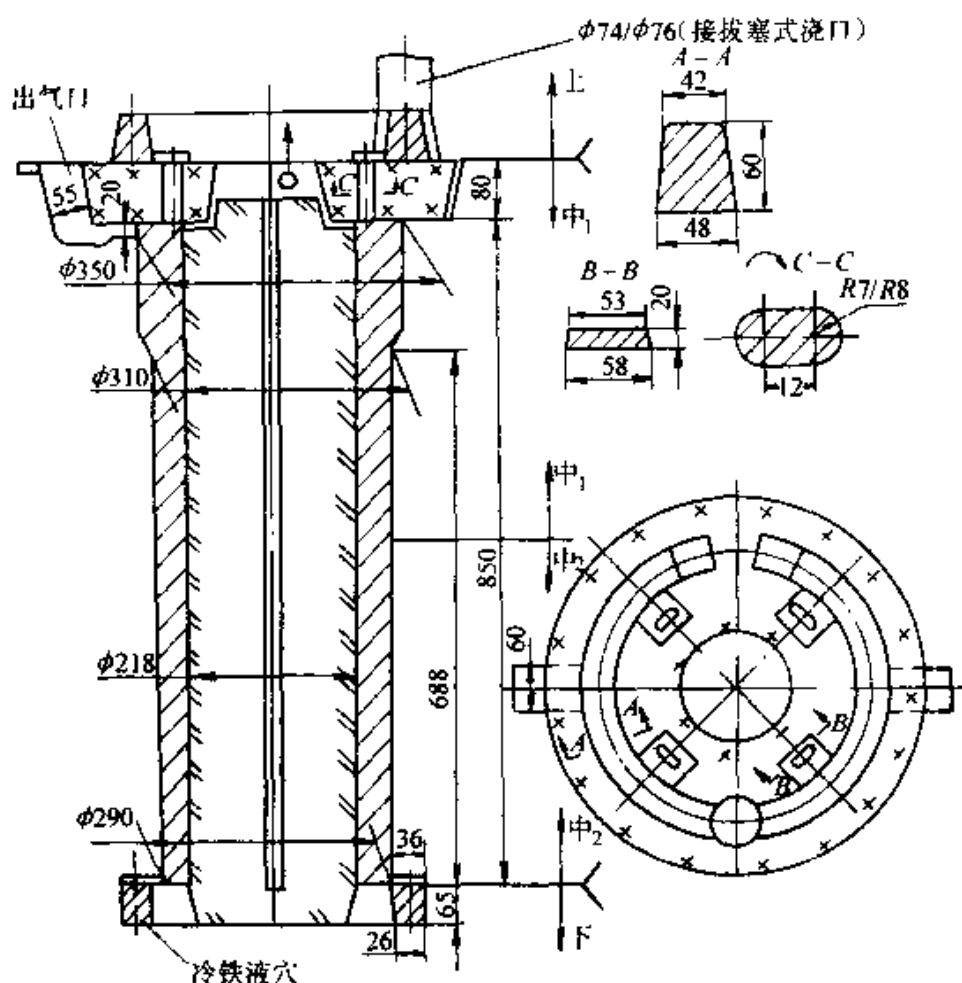


图 9-34 气缸套工艺简图

面尺寸要保证。

5) 浇注系统设计 浇注系统采用顶注雨淋式，铁液通过直浇道、横浇道从椭圆形内浇道注入型腔。为防止铁液冲刷型（芯）壁，将内浇道的中心对准铸件壁的中心。浇注系统各部分比例为 $\Sigma A_{内} : \Sigma A_{横} : \Sigma A_{直} = 1 : 4.2 : 3.6$ 。为进一步提高挡渣效果，采用定量拔塞式外浇口杯。另外，在铸件的顶端加高一段作为补缩冒口，可在车加工时割除并从中取样作检验。冒口顶部开设两道出气口，以排出型腔内气体并作为浇注指示。为保证铸件底端的质量，在铸件底端设一圈放冷铁液的存贮穴。

三、轮盘类

轮盘类铸件包括齿轮、带轮、蜗轮、叶轮、飞轮等铸件。由于轮缘和轮毂及上下端面通常都需机械加工，故对铸件质量要求较高，尤

其在齿面和轴孔处不允许有任何铸造缺陷。

通常轮盘类铸件的壁厚差较大，故其铸造应力较大。另外，壁厚较大的轮缘和轮毂处是热节区，易形成缩孔或缩松。针对该类铸件的结构特点，铸造工艺常采用多而分散的内浇道，使金属液平稳而快速充型。为保证热节区的铸造质量，工艺上常采用冒口补缩或冒口与冷铁配合使用方案。

轮盘类铸件较易产生的铸造缺陷有缩孔、缩松、气孔、砂（渣）眼等。某些壁厚差较大的铸件，也会因铸造应力过大而产生裂纹。

1. 蜗轮

(1) 材质：QT450-10。

(2) 基本结构参数及技术要求

- 1) 壁厚 最薄处 15mm，最厚处 65mm。
- 2) 结构 铸件为轮盘类，毛坯轮廓尺寸 $\phi 835\text{mm} \times 140\text{mm}$ 。
- 3) 重量 铸件重量 240kg，浇注总重 340kg。
- 4) 金相要求 球化级别不得大于 4 级，渗碳体含量不得大于 2%（附铸试块）。
- 5) 硬度 160~210HBS。
- 6) 轮缘齿面及轴孔内不允许有任何铸造缺陷。
- 7) 铸件须经高温石墨化退火处理。

(3) 生产方式及条件 单件小批生产；干型、干芯，手工造型、制芯；冲天炉熔炼，冲入法球化处理。

(4) 铸造工艺方案（工艺图见图 9-35）

1) 浇注位置和分型面 分型面设于轮缘一端的倒角处。采用两箱造型，平做平浇方案。

2) 每箱铸件数量 每箱一件。

3) 确定工艺参数

①加工余量：顶面 12mm，外圆 9mm，内孔和底面 8mm。

②缩尺：各向缩尺取 0.8%。

③浇注温度：1320~1350℃。

4) 浇注系统设计 根据铸件壁厚差较大的结构特点和球墨铸铁的糊状凝固特性，浇注系统采用定向凝固方案。铁液从直浇道、横浇

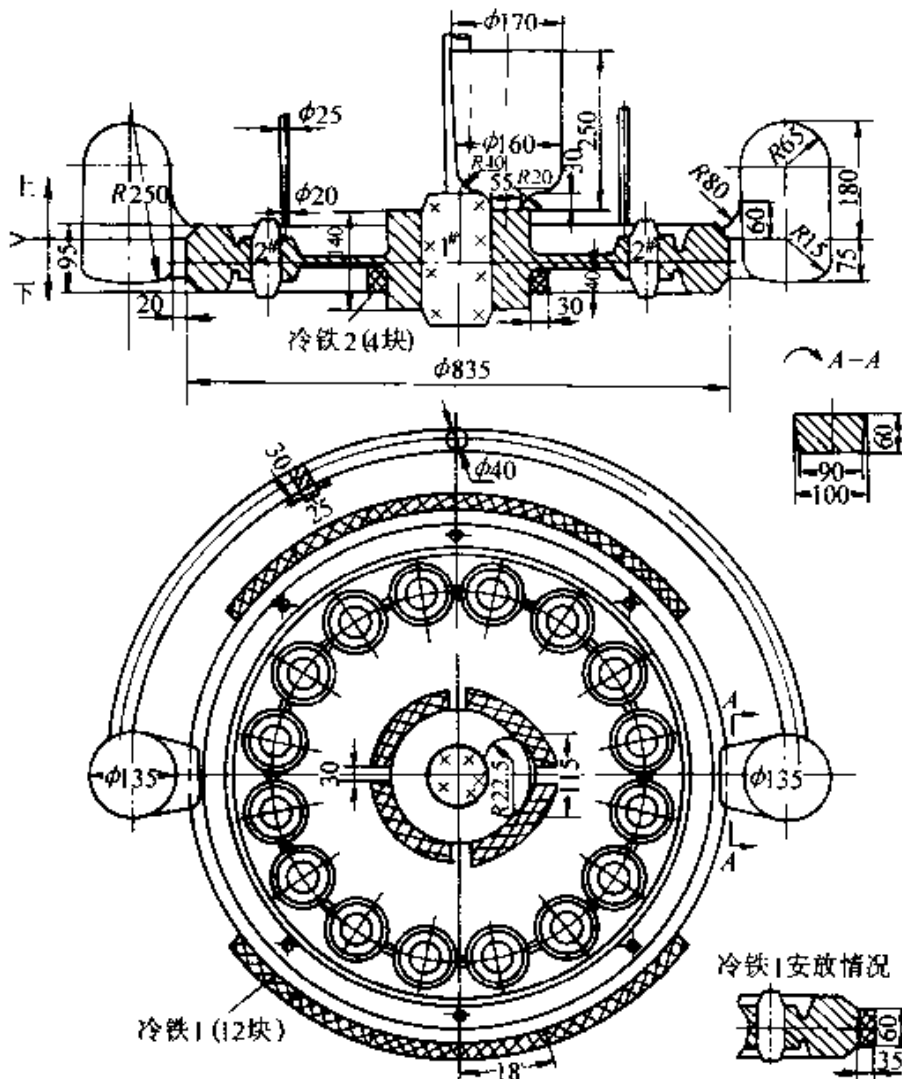


图 9-35 球墨铸铁蜗轮工艺简图

道进入两个对称布置的暗边冒口（暗冒口直径为热节圆直径的 1.8 倍），再从铸件轮缘处进入型腔。由于铸件轮缘周长尺寸较大，两个边冒口的补缩距离不够（冒口单侧有效补缩距离按 3 倍的热节圆直径考虑），尚需在其补缩距离之外再设置 12 块外冷铁，以加速这些部位的冷却，防止产生缩孔、缩松。另外，在轮毂顶端设一个明冒口补缩（该冒口在铸件浇注末期要补充高温铁液），明冒口直径为该处热节圆直径的 2.6 倍。为保证轮毂与辐板连接处热节区的铸造质量，在下型的轮毂与辐板交接处再设置 4 块外冷铁。因为当作内浇道的两个冒口颈截面尺寸较大，浇注系统呈开放式，故要求在直浇道或横浇道上设置过滤网挡渣。

铸型在浇注时通过设在轮缘上的 6 个 $\phi 20\text{mm}$ 的出气孔和中部 $\phi 160\text{mm}$ 的冒口进行排气。

第六节 铸造工艺 CAD 简介

一、铸造工艺 CAD 的基本概念

CAD 是人机结合, 各尽所长的新型设计方法。铸造工艺 CAD 通常指计算模拟、几何模拟和数据库的有机结合, 是铸造工作者利用计算机进行工艺分析、试浇注和质量预测从而优选铸造方案、估算铸造成本, 并用计算机绘制、编制铸造工艺图、工装图、工艺卡等技术资料。其系统原理的框图见图 9-36。目前, 铸造工艺 CAD 技术仍在不断发展和完善, 且随着计算机辅助制造技术 CAM 的发展和普及, 将进一步促进铸造工艺 CAD 向实际铸造生产过程的 CAD/CAM 发展。

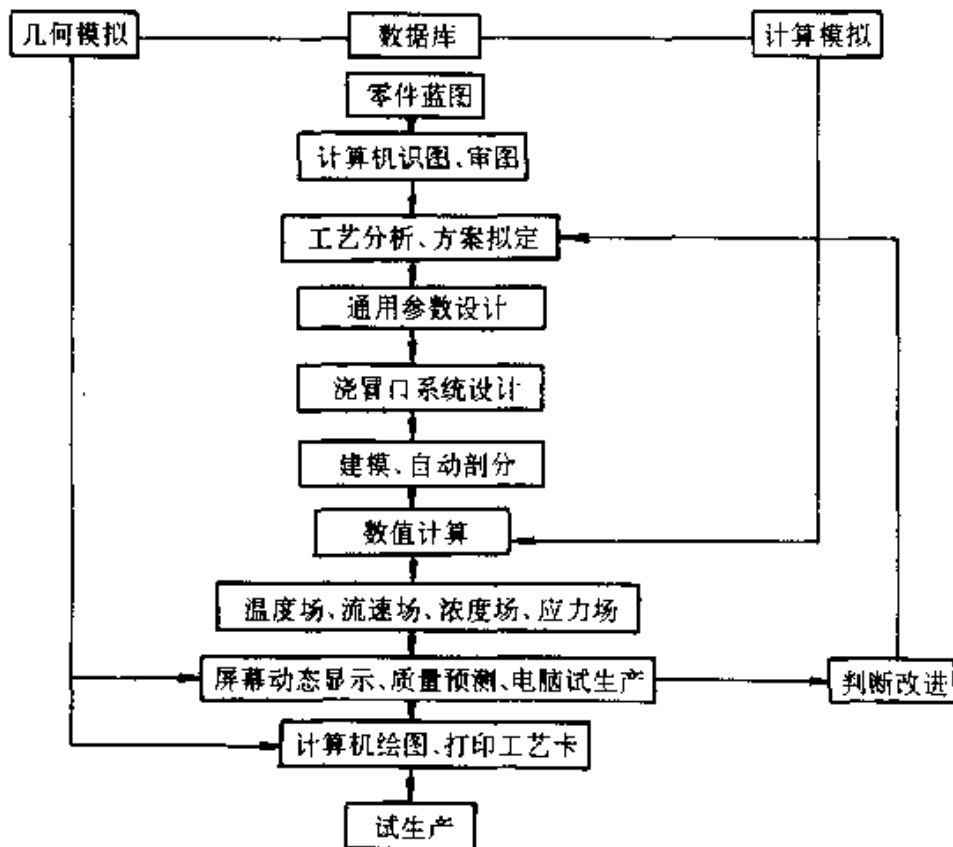


图 9-36 铸造工艺 CAD 系统原理图

二、铸件凝固模拟及铸造工艺优化

1. 铸件收缩缺陷预测原理 铸件凝固模拟是铸造工艺 CAD 的一

个重要组成部分，其目的是预测铸件在凝固过程中是否会产生收缩缺陷，如缩孔、缩松。目前的凝固模拟技术一般采用临界流动固相率法来预测铸造收缩缺陷。

假定温度与液态金属固相率呈线性关系，即

$$f_s = \frac{T_L - T}{T_L - T_S} \quad (9-6)$$

式中 f_s ——液态金属固相率；
 T_L ——金属液相线温度；
 T_S ——金属固相线温度；
 T ——金属在 t 时刻的温度。

由式 (9-6) 可知

当 $T \geq T_L$ 时， $f_s \leq 0$ ，金属为液态；
 当 $T_S < T < T_L$ 时， $0 < f_s < 1.0$ ，固液共存；
 当 $T \leq T_S$ 时， $f_s \geq 1.0$ ，金属完全凝固。

事实上，当液态金属固相率 f_s 大于该金属的临界流动固相率 f_{sc} 时就已经丧失流动性，补缩通道封闭，如普通球墨铸铁的 f_{sc} 约为 0.75。所以，预测铸件内部是否产生收缩缺陷的准则是：当 $f_s < f_{sc}$ 时，金属液可流动，补缩通道畅通；当 $f_s \geq f_{sc}$ 时，补缩通道封闭。

2. 铸件凝固模拟软件系统组成 铸件凝固模拟软件系统由前处理、计算和后处理三部分组成，其系统结构框图见图 9-37。

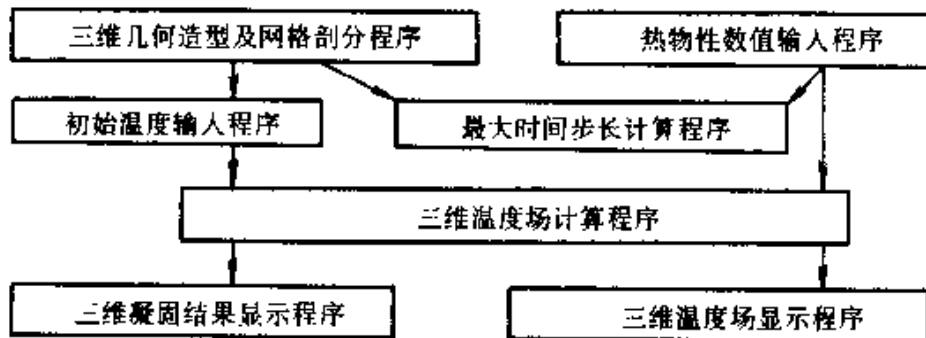


图 9-37 铸件凝固模拟软件系统结构

3. 凝固模拟技术在实际铸件工艺优化中的应用 图 9-38 所示为某汽车后桥壳铸件，其材质为 QT450-10，铸件毛重 100kg。图 9-38a 为原工艺方案，该工艺经现场应用并对首批铸件解剖检查时，

发现在法兰根部和弹簧钢板平台不放浇口的一侧有缩孔和缩松现象。这是由于铸件在弹簧钢板平台和法兰根部之间的连接通道壁厚较小，凝固快，补缩通道关闭过早，导致冒口无法对其进行补缩，以致产生收缩缺陷。后用计算机进行凝固模拟分析后证实了这一事实。图 9-38b 是该铸件浇注后 300s 时的模拟凝固状态，图中铸件上黑线框内的白区为已凝固部分，黑色块部分为液相区，因其与冒口连通的补缩通道已关闭，所以形成了收缩缺陷区。经在计算机上改进原工艺，即在原收缩缺陷相应部位加设外冷铁，见图 9-38c。改进工艺经计算机模拟试浇，内部缺陷已消除，见图 9-38d。该工艺在现场应用后，效果良好。

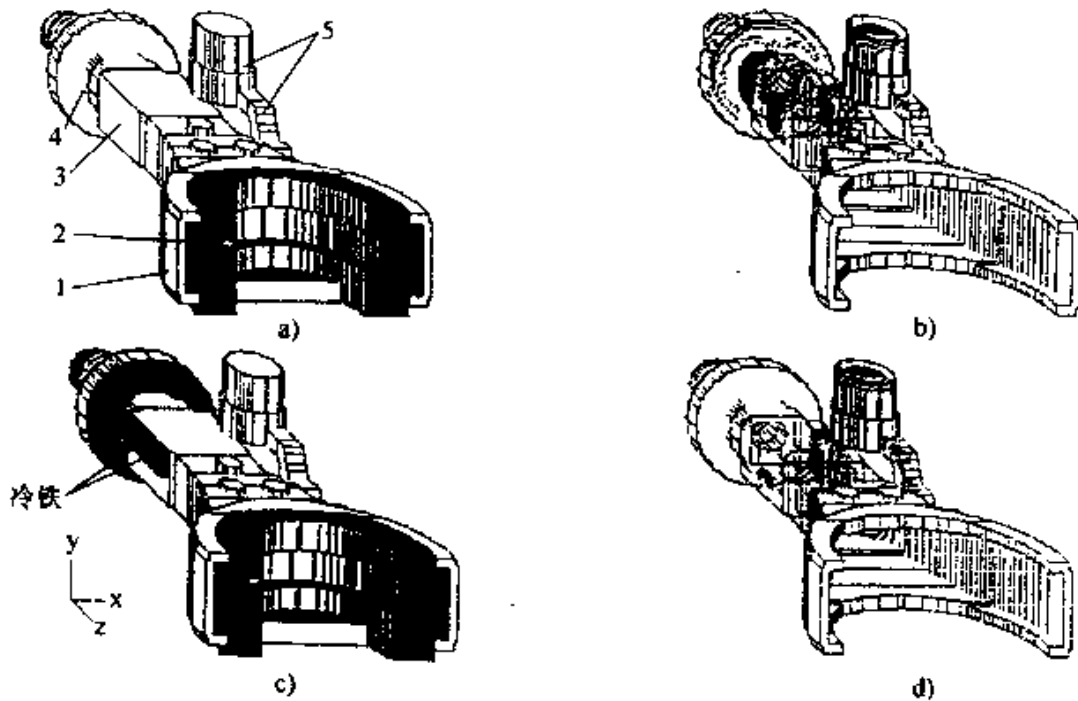


图 9-38 后桥壳工艺优化过程

- a) 原工艺方案 b) 原方案在浇注后 300s 时模拟凝固状态
 c) 改进工艺方案 d) 改进工艺方案在浇注后 210s 时模拟凝固状态
 1—铸件 2—砂芯 3—弹簧钢板平台 4—法兰根部 5—浇冒口

第十章 铸造工艺装备

培训要点：铸造工艺装备的内涵以及模样、模板、芯盒、砂箱的种类、结构特点、技术要求。

铸造工艺装备主要包括模样、模板、芯盒、砂箱、浇冒口模、芯骨、烘芯板、专用压头、定位销（套）以及造型、下芯用的夹具、样板、模具和量具等。本章仅介绍模样、模板、芯盒和砂箱等常用工装的种类、结构特点及其技术要求。

第一节 模 样

模样是由木材、金属或其它材料制成用来形成铸型型腔的工艺装备。为确保铸件的质量，模样必须有足够的强度和刚度，以及与铸件技术要求相适应的表面粗糙度和尺寸精度，同时要便于加工制作、使用方便且成本低。

铸造生产中使用的模样按结构形式可分为：整体模样、分开式模样、刮板模样、骨架模样等。按制作材料可分为：木模、金属模、塑料模、菱苦土模、泡沫塑料气化模等。

一、木模

木模是用木料制成的模样，它具有质轻、价廉、易加工成形及制作周期短等优点。但容易变形和损坏，所以一般用于单件或小批量生产。如果实现了木材的综合利用，改型材为层胶板的形式，并配合改进木模涂装（如采用表面金属喷镀等措施），同样也能用于机械化造型线大批量生产。木模有时也用来制作金属模、塑料模的母模。

1. 常用的制模木材 常用的制模木材有红松、白松、杉木、银杏木和柚木等。其中红松是制作普通木模的基本材料，而柚木由于价格昂贵，只用于制作精度要求高的小型木模。

2. 木模的结构形式 就木模的整体结构来讲,常用的有下述三种:

(1) 实体模样 小型铸件的模样,特别是高压造型使用的模样必须制成实体结构。

(2) 空心框架模样 大、中型木模一般采用多块木料经合理拼接组合制作中空的框架模样,这种结构既能减少和防止模样变形,提高木模强度,又能充分利用小块木材。有时为保证模样的刚度,对较大的木模,中心可做成钢骨架结构。

(3) 刮板模样 单件或小批量生产的回转体或形体简单的铸件,为节省制模材料和加工工时,常用刮板模进行造型。

二、金属模

金属模是用金属制成的模样,它具有强度高、尺寸精确、表面光洁、耐磨耐用等优点,但也有制模周期长、成本高的缺点,常用于大批量机械化生产。传统的工艺流程为:工艺技术准备、制造母模、铸造金属毛坯、机械加工、装配成模。随着科技的发展,国内已采用了许多制模新工艺,如电铸法、陶瓷型及自硬树脂砂铸造金属模样,更为先进的是利用计算机进行编程直接加工金属模,既快又精确。

用来铸造金属模毛坯的模样称为母模。制作母模时相当于把金属模看作是一个铸造零件进行铸造工艺设计。

$$A_{\text{母模}} = (A_{\text{模}} \pm A_{\text{艺}}) (1 + K_{\text{模材}})$$

式中 $A_{\text{母模}}$ ——母模的工作尺寸 (mm);

$A_{\text{模}}$ ——金属模样尺寸 (mm);

$A_{\text{艺}}$ ——模样的铸造工艺尺寸 (mm);

$K_{\text{模材}}$ ——金属模样材料的线收缩率 (%)。

1. 制作金属模的材料 (见表 10-1)

2. 金属模的结构 首先要满足造型,便于紧实和起模,并具有足够的强度和刚度,不致发生变形和破坏,其次也要尽量减轻重量,节约金属材料,便于制造和降低成本。

(1) 手工造型用金属模样 其结构必须考虑手工操作的特点,设有敲模和起模装置,便于手工造型起模。如模样为大平面结构,可在模体上设置两个起模螺孔。对于铝模样,直接攻螺纹不耐用,可嵌入钢套。分开式模样还需在分模面上设置定位结构,如用止口或定位销

定位。

表 10-1 金属模材料的特点及使用条件

材料	特点		使用条件	常用牌号
	优点	缺点		
铝合金	质轻、易加工，加工后表面光滑不生锈，不粘砂	强度和硬度较低，不耐磨	成批或大量生产	ZL101、ZL102、ZL104、ZL401
铸铁	有良好的机械加工性，加工表面光滑，强度和硬度高，耐用价廉	易氧化、锈蚀、钳工不易加工，不易焊补	用于大中型且大批量生产的模样。球墨铸铁用于高压或射压造型	HT150、HT200、QT500-7
铜合金	易加工，加工后表面光滑、耐磨耐蚀	资源缺乏，价格较贵	用于精度要求高的细薄模样及肋条、活块	ZCuZn40Mn3Fe1 ZCuSn3Zn11Pb4

(2) 机械造型用模样 一般是利用模样原有的凸缘或凸耳与模底板紧固和定位，如没有这些，或数量不够时，须在模样的内侧专门设置。其安装方式见下一节。高压造型的模样，为便于起模，有时要在模样的凹槽处安放排气塞或开通气孔，同时模样上还需考虑安放通气针、出气片。通气针、出气片与模样的配合方式有：螺纹配合、压配、螺钉紧固等。

(3) 金属模样的壁厚和加强肋 金属模有实体和空心两种结构，除外形轮廓尺寸小于 $50\text{mm} \times 50\text{mm}$ 或高度小于 30mm 的模样，要做成实心外，一般都做成空心结构。

模样壁厚一般根据模样的平均轮廓尺寸及所用材料而定，可按图 10-1 选择。

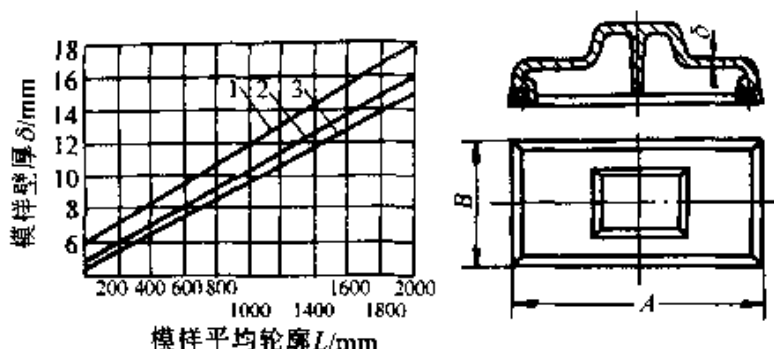


图 10-1 金属模样壁厚的确定

1—铝合金 2—铸铁 3—黄铜

模样壁厚也可用下列经验公式求得

$$\delta = \alpha (1 + 0.0008L)$$

式中 δ —— 模样壁厚，取整数 (mm)；

L —— 模样平均轮廓尺寸 $L = (A + B)/2$ (mm)；

α —— 系数，铸铝模样为 6，铸铁和铸铜模样为 5。

为了使轮廓尺寸较大的空心模样具有较高的强度和刚度，必须在内壁设计加强肋，加强肋应排列合理，既要有一定的规则性，又要防止形成铸造应力集中，便于模样制造和使用。

(4) 金属模的活块 模样上妨碍起模的部分应做成活块，活块应能很好的在模样本体上固定，起模时又便于脱开。常用的结构形式有三种：燕尾槽式、滑销式和榫式，如图 10-2 所示。同时在设计活块时，还必须考虑在模样上放置平稳且容易从砂型中取出，利于造型。如型腔既深又窄，取出活块不便时，可在活块上设计捏手或提针孔。若活块伸出部分较大，其支撑重心又难以设计到模样本体上时，可另设支撑钉等等。

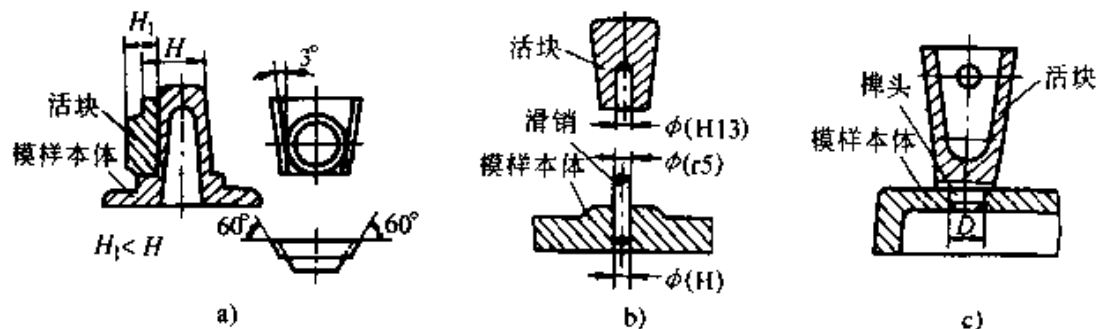


图 10-2 活块的定位固定方式

a) 燕尾槽式 b) 滑销式 c) 榫式

三、塑料模

塑料模是以环氧树脂塑料为主要原材料的模样，由于它具有接近金属模样的使用质量，又有制作木模那样短的生产周期和较低的成本，所以铸造生产中得到广泛的应用。

1. 塑料模的原材料

(1) 环氧树脂 环氧树脂起粘结作用，对金属和非金属都有良好的粘附力，常用牌号有 6101[#]、634[#]。

(2) 硬化剂 环氧树脂本身不会硬化，必须用硬化剂才能使热塑性线型环氧树脂分子交联成网状结构的热固性物质。常用硬化剂是乙二胺、 β -羟乙基乙二胺。

(3) 增塑剂 用来改善硬化后塑料的韧性，降低硬化速度，增加流动性，便于制模操作。

(4) 稀释剂 用以降低环氧树脂的粘度，提高其流动性。

(5) 填料 主要是改善塑料的性能，节约环氧树脂用量，降低成本。

(6) 辅助材料 包括着色剂、清洗剂，脱模剂。

2. 塑料模样的结构设计 根据模样的大小和使用特点，一般由三种形式：实体结构模样、薄壳框架结构模样和复合塑料模样。

3. 塑料模的制造工艺流程 塑料模样设计→制造母模→制造阴模→浇注或层敷塑料模样→硬化、起模、修整→装配塑料模。

母模的制造可用木模、石膏模等，塑料模的精度和表面粗糙度，主要取决于母模，考虑到阴模要涂脱模剂，所以塑料模制出后，表面要用砂纸打光而去掉一定厚度，故制造母模尺寸应放大 0.1~0.3mm 余量。

塑料模的制造方法有浇注和层敷两种。

四、泡沫塑料气化模

泡沫塑料气化模是用聚苯乙烯泡沫塑料制成的模样，用这种模样造型后不必取出，当浇注高温金属液时，模样被燃烧气化而消失，金属液取代原来泡沫塑料的位置，凝固后而成铸件。这种方法也称为“消失模”或“气化模铸造”。是一种铸造新技术，近年来在国内外广泛应用。

1. 气化模的制造 气化模的制造方法通常分为加工成型和发泡

成型两种。

(1) 加工成型 模样的制造是用机械或手工从泡沫塑料板材上加工制成，适用于单件或小批生产的模样，特别是大型模样。

(2) 发泡成型 是将经过预发泡处理的聚苯乙烯珠粒，填充到密封的金属型内，注入蒸气或热空气，泡沫珠粒在型内膨胀而形成内压力，使半熔融的泡沫珠粒相互粘在一起，得到表面光洁的泡沫塑料模样，其内部是蜂窝状的封闭结构。

2. 气化模的结构形式 气化模的结构形式有四种，实体结构、空心结构、组合模结构、内通气道结构。其中组合模结构用于一些封闭或半封闭的，形状复杂或高大的模样，将其分成几部分，造型过程中依各部结构顺序装配组合成完整模样。而内通气道结构是将模样壁厚大于 50mm，浇注线路较长的厚壁部位，为使浇注燃烧的气体顺利逸出铸型，在模样壁内部作出通气道。

3. 气化模的优缺点 ①制造泡沫塑料模可以不考虑起模斜度，铸件上的孔穴、薄壁和挡砂部位都可以直接做出，无需分型面、分模面，故尺寸较精确。②气化模原材料轻，操作轻巧灵便，并节省材料、简化工艺工序，提高铸件的表面质量和尺寸精度。③模样不能回收，浇注一只铸件，必须有一只泡沫塑料模，故大批量生产铸件成本高，浇注时并产生大量黑色烟雾，不利于环境保护。

第二节 模 板

模板一般是由铸件模样、芯头模样和浇冒口系统模样与模底板装配而成，也有整铸的。造型时，模底板形成分型面，模样等形成铸型型腔。采用模板造型，可以提高生产率和铸件质量并使铸件尺寸精确，所以它不仅应用于成批大量生产上，而且也在单件小批量生产中应用。

一、模板的分类

模板的形式很多，按制造方法和模板结构分类如下：

1. 按制造方法分 有整铸式模板和装配式模板。整铸式模板是模样和模底板整体铸成，故刚性较好，但是这种模板加工困难，成本高，主要用于大批量生产且容易变形的小件。装配式模板是模样和模

底板分开制造，然后装配在一起。模样可以用螺栓、螺钉等固定在模底板上，也可以是活动可拆换的结构，所以应用较广。

2. 按结构分 有双面模板和单面模板。

(1) 双面模板 上下模样分别固定在同一模底板的两面，用一块模板即可做出上、下铸型。这种模底板又有平面如图 10-3a 和曲面如图 10-3b 之分，曲面模底板的刚性好，能防止砂型错位，但加工制造困难，且有效利用面积少，所以主要用于小型铸件的脱箱造型。

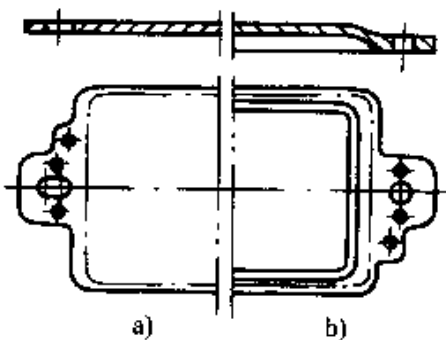


图 10-3 双面模底板

a) 平面模板 b) 曲面模板

(2) 单面模板 上、下模样分别固定在两块模底板上，组成上、下模板，造型时，上、下铸型分别由两块模板造出。单面模板可适用于各类生产条件。

此外，单面模板根据其结构和使用场合又可分为：顶箱式模板、顶框式模板、转台式模板、翻台式模板、快换模板、坐标式模板、高压造型模板和射压造型模板等。

二、模底板的结构设计

1. 模底板材料 模底板常用的材料有铝合金（ZL101、ZL102、ZL103、ZL104 等）；铸铁（HT150、HT200）及球墨铸铁等；铸钢、塑料和木材。模底板材料是根据其平面尺寸大小，使用场合，铸件的生产批量和本厂车间加工能力来选定。

2. 模底板尺寸的确定

(1) 模底板的平面尺寸 通常模底板的平面尺寸 $A_0 \times B_0$ 与配套使用的砂箱外廓尺寸相一致。机器造型用模底板尺寸取决于造型机型号。一般为砂箱内框尺寸加两倍砂箱边宽。

(2) 模底板的高度 模底板的高度 H 根据使用要求和选定的造型机来确定。一般按如下要求：

- 1) 普通模底板的高度 $H_{\text{铸铝}} = 30 \sim 90\text{mm}$ ， $H_{\text{铸铁}} = 80 \sim 150\text{mm}$
- 2) 普通凹面式模底板 H 根据凹进去的深度决定。
- 3) 采用双层销耳的模底板 一般 $H > 100\text{mm}$

(3) 模底板的壁厚和加强肋 在保证模底板有足够强度的前提下, 应尽量减轻重量, 节约金属, 故模底板常采用框架结构。壁厚和加强肋厚度及间距应根据模底板的平均轮廓尺寸 $(A_0 + B_0) / 2$ 来确定。加强肋的布置有矩形正交、矩形错交、圆形错交、异形正交等。

3. 模底板定位 造型时, 模底板与砂箱通常用定位销和销套定位, 其定位方式如图 10-4 所示。其中图 10-4a、b 为直接定位, 图 10-4a 用于普通单面模板, 图 10-4b 用于需加热的快换模板, 图 10-4c 为间接定位方式, 用于组合快换模板, 也用于普通快换模板。

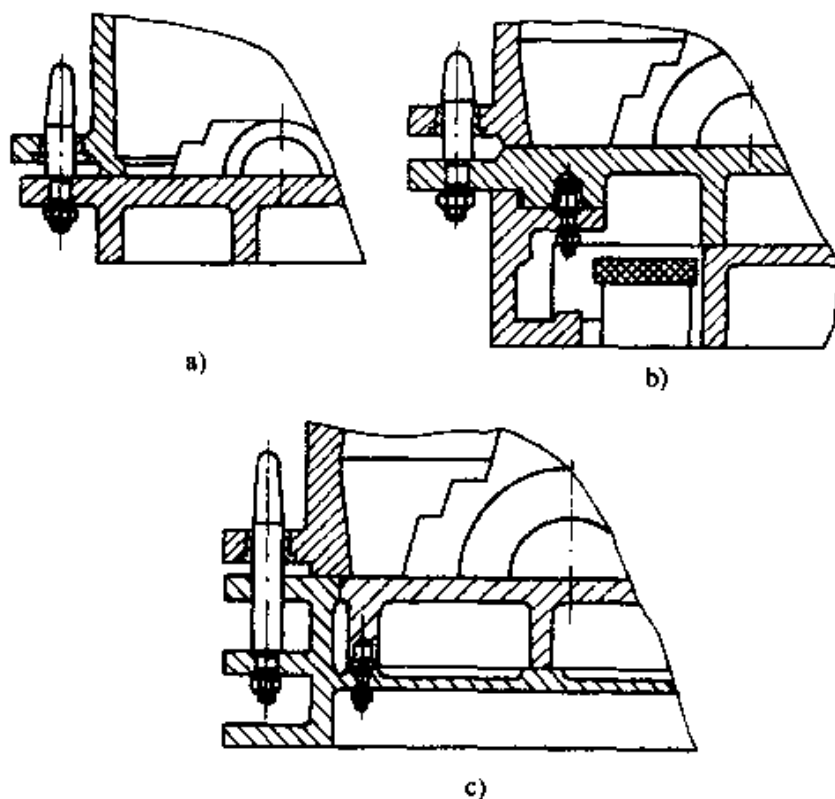


图 10-4 模底板与砂箱的定位方式

a)、b) 直接定位方式 c) 间接定位方式

4. 模底板上的定位销耳 模底板上的定位销一般装在沿中心线长度方向两端的销耳上。销耳的结构见图 10-5 所示。当底板上模样不高时, 一般只做单层销耳, 如图 10-5a、b 所示, 当模样较高时, 需做成双层销耳, 如图 10-5c 所示。

5. 模底板的吊运结构 平均轮廓尺寸小于 500mm 的小型模底板, 可以不设吊轴, 一般设有手把。中、大型模底板为了便于翻型起

模和搬运，需设吊轴。常用吊轴结构如图 10-6 所示，有铸接式和整铸式两种。铸铁和铸铝模底板用铸接式，而铸钢模底板用整铸式。一般模底板设两个吊轴，大型模底板可设四个吊轴，对称设置在中心线或中心线的两侧。

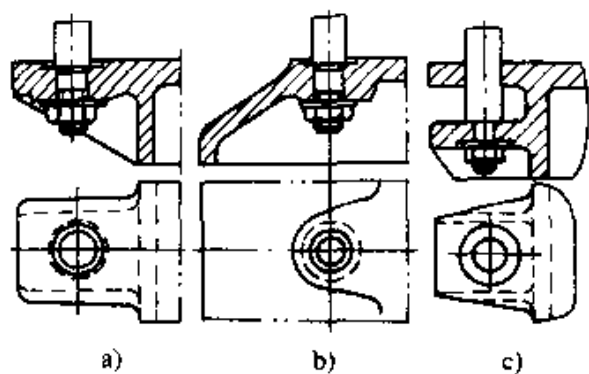


图 10-5 模底板定位销耳

a)、b) 单层销耳式 c) 双层销耳

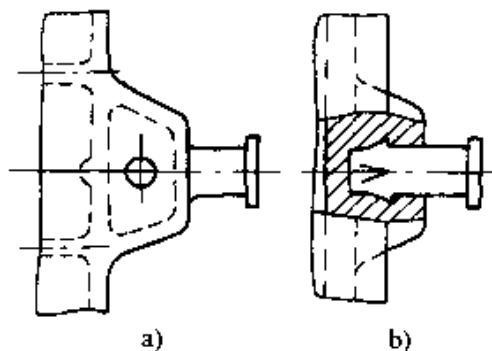


图 10-6 吊轴结构图

a) 整铸式 b) 铸接式

6. 模底板与造型机工作台的连接
用螺栓将模底板紧固在造型机工作台上，因此模底板上应设计紧固耳，而且位置必须和“T”形槽或所攻螺纹或所钻螺钉孔的位置相对应。紧固耳的结构如图 10-7 所示。

三、模样在模底板上的装配

1. 模样在模底板上的装配

(1) 模样的装配形式和紧固方式 模样在模底板上的装配形式有平放式和嵌入式两种。如图 10-8 a、b 所示，当模样上没有低于分型面以下的凹坑时，均采用平放式，并尽量采用模样外凸缘、壁厚处或设计内凸台来紧固。如图 10-8 c、d，当模样上有低于分型面以下的凹坑，或分型面处有圆角，或模样高度太小而无法安装时，均采用嵌入式。

模样在模底板上常用螺钉、螺栓、定位销或过盈配合紧固。紧固有以下三种方法。

1) 上固定法 螺钉穿过模样从上面紧固在底板上，这种固定法

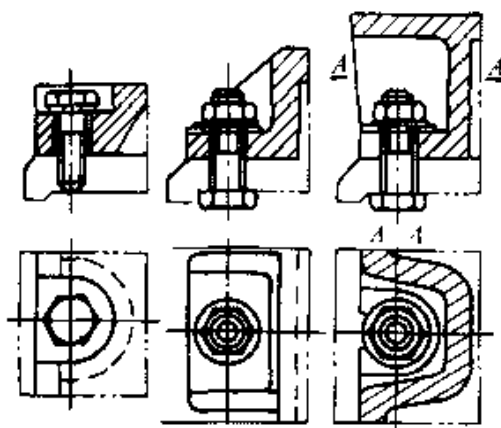


图 10-7 模底板紧固耳结构

优点是螺钉孔位置便于选择，钻孔、紧固、调整方便。缺点是模样上钻有沉头座孔，模样工作表面被破坏，紧固后应用金属、塑料、油灰等填平，如图 10-8 中 a、c、d 所示。

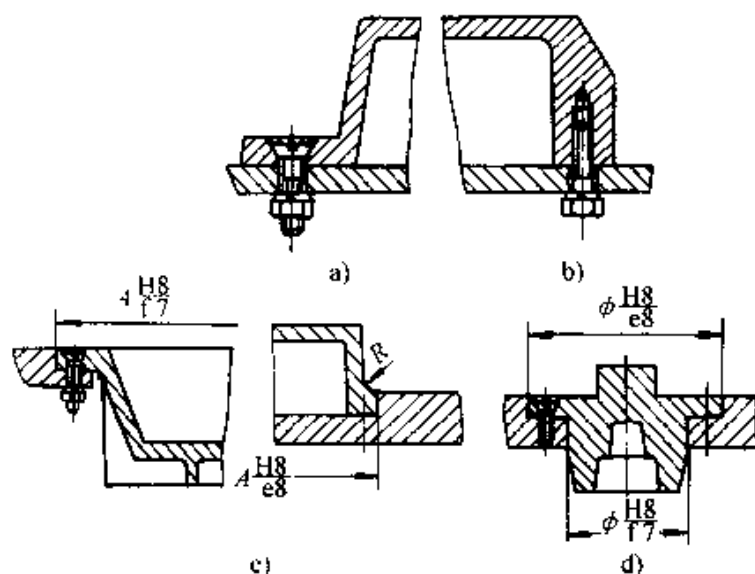


图 10-8 模样在模底板的放置形式

a)、b) 平放式 c)、d) 嵌入式

2) 下固定法 如图 10-8 中的 b，螺钉通过底板底面把模样固定在模底板上，优点是不破坏模样工作表面，铸件表面质量有保证，缺点是螺孔受模底板下面肋条分布的限制，安装操作困难。

3) 对于小型模样可用销子以过盈配合或用铆钉铆接来加以紧固。

(2) 模样在模底板上的定位 模样在模底板上采用定位销来定位，防止模样因螺钉松动而错位。定位销的位置，一般选择在模样高度较低处，并尽量使两定位销距离远一些，定位销常采用圆柱销。

2. 浇冒口和芯头模样在模底板上的装配

(1) 直浇道、冒口、排气道模样在模底板上的装配 起模前必须从铸型顶部拔出的直浇道、冒口、排气道等模样与模底板或铸件模样之间只定位面不紧固。设计成上小下大的浇道、冒口、排气道等模样用螺钉、螺母及铆钉等紧固在模底板上。

(2) 装配式芯头模样的定位与紧固 为了加工模样的方便，芯头往往单独加工制作，然后再与铸件模样装配在一起。水平芯头模样一面与铸件模样贴合，一面与模底板贴合，因此除用螺钉紧固外，还用—个定位销定位。也有嵌入模样，然后再螺钉紧固。如图 10-9 所

示。垂直芯头尺寸较小时可以用螺钉直接拧入模样本体，尺寸较大时可用嵌入法，然后再用螺钉紧固。

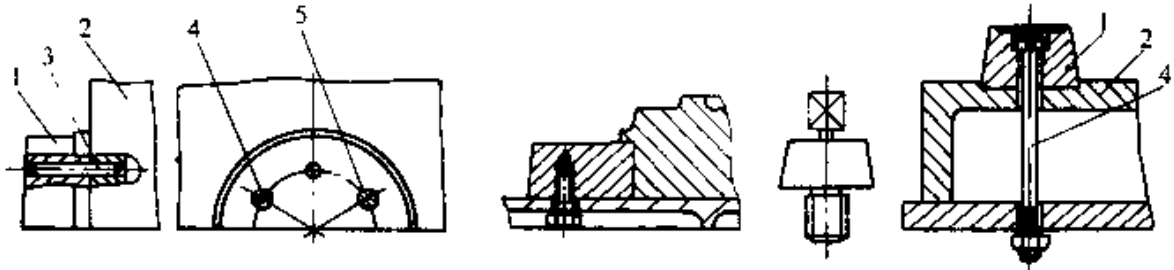


图 10-9 芯头模样与铸件模样的安装方式

1—芯头模样 2—铸件模样 3—定位销 4—螺钉(栓) 5—填料

3. 单面模板上下模样的定位 单面模板上下模样必须准确定位，才能保证铸件不致产生错边缺陷。单面模板上、下模样在底板上的定位必须以模板上定位销和导向销为基准。生产中常采用配钻、配铰的加工方法来保证装配精度。

四、模板的技术要求

(1) 两定位销孔的中心与模底板工作面的垂直度允差，模底板工作面的平面度及工作表面与底面的平行度均不能超过允许值。

(2) 导销工作表面须有允许磨损的极限规定值。

(3) 模底板与砂箱接触的四边允许的磨损值，对于双面模底板允许磨损值为 0.4mm，单面模底板则允许 0.8mm，

(4) 必须规定模样在模底板上位置的允许偏差，模样在模底板上装配的平行度。

(5) 所有铸铁和铸铝模底板需经人工时效处理，铸钢模底板需经退火处理。

(6) 由于高压造型压实比压高，所有工装都会产生一定的弹性变形，因此模底板、模板框多用灰铸铁、球墨铸铁或铸钢制造，并做成框形结构。

第三节 芯 盒

芯盒是制造砂芯的模具。制造砂芯除用车板、刮板外，大多采用芯盒。生产实践表明，合理的芯盒结构对砂芯的质量、产量、铸件成

本及劳动条件有着重要影响。

一、芯盒的种类

1. 按材质分 有木质芯盒、金属芯盒、塑料芯盒及混合结构芯盒。由于木质芯盒和塑料芯盒制造周期短、成本低，一般用于手工制芯，有时也用于冷芯盒制芯。而大批量生产的铸造车间，为提高砂芯的尺寸精度，保持芯盒的耐用性，大多采用金属芯盒。小型芯盒用铝合金，中、大型芯盒则用铸铁制造。

2. 按芯盒的结构分 有敞口整体式芯盒、对开式芯盒、套框脱落式芯盒和拆卸式芯盒四大类。本节主要介绍金属芯盒和特种芯盒。

二、芯盒的结构

常用芯盒的组成包括本体结构和附具结构两部分。

1. 芯盒本体结构

(1) 壁厚和加强肋 金属芯盒多采用带有凸缘和加强肋的薄壁箱形结构，在保证强度和使用寿命的前提下，尽可能减小壁厚和加强肋的厚度，并简化加强肋布置，以减轻芯盒重量和改善劳动条件，通常中小型芯盒的壁厚为8~10mm，大芯盒的壁厚取12~14mm。而加强肋的厚度和高度视芯盒形状和大小而定。

(2) 芯盒凸缘和耐磨护板 为防止磨损、延长芯盒使用寿命，在芯盒分盒面和填砂面设有加宽加厚的凸缘。而铝质芯盒的凸缘面上还应加设耐磨护板，耐磨护板通常采用Q235-A钢或30钢制成，其厚度为3mm，并用沉头螺钉紧固在芯盒上。

(3) 活块 芯盒中阻碍出芯或难以出芯的部分通常设置活块。活块与芯盒常用的连接固定形式有滑座式、燕尾槽式和定位销式三种。其中滑座式使用最广泛，滑座式活块的固定和定位是依靠设置在芯盒本体上的窝座。芯盒和窝座应很好的配合以保证芯盒翻转180°后，活块自由落下。

2. 芯盒附具结构

(1) 芯盒的把手和吊轴 为便于搬运和起芯操作，芯盒一般均设置把手和吊轴，连同砂芯在内，芯盒重量小于12kg的小型芯盒设置把手，而中、大型芯盒则安装吊轴，把手和吊轴的安装位置，应能确保芯盒的平稳搬运和提取，同时满足芯盒翻转等操作要求。通常设置在

芯盒二分之一高度偏上的位置上。把手和吊轴的结构形式见图 10-10。

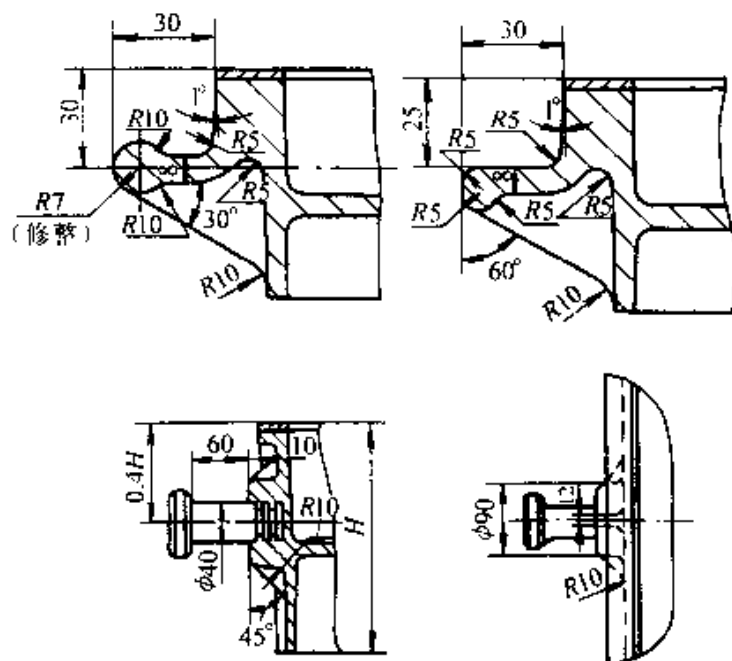


图 10-10 芯盒的把手和吊轴结构

(2) 芯盒的定位 对开式芯盒均要设置定位装置，常用芯盒定位是定位销和定位销套。定位销套的结构形式有螺母紧固式和压配式两种。定位销的布置，有对角线布置、中心线布置等多种形式，如图 10-11 所示。此外芯盒也用凹凸面式的定位结构。

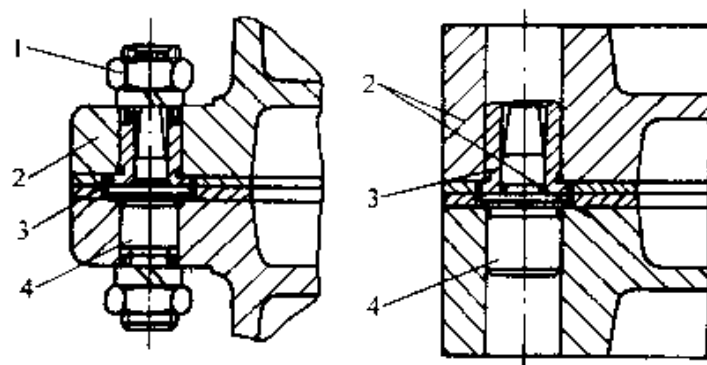


图 10-11 芯盒的定位紧固形式

1—六角螺母 2—芯盒 3—定位销套 4—定位销

(3) 锁紧装置 芯盒锁紧装置不仅要锁紧效果好，经久耐用，而且力求使用方便，灵活紧凑，常用的有蝶形（或滚花）螺母铰链式和双螺母关节式等两种形式。蝶形螺母锁紧装置结构简单、使用方便，但锁紧力较小，适用于小型芯盒的锁紧。如图 10-12a 所示，而双螺

母式锁紧装置锁紧力较大，工作中不易松脱，适用于较大尺寸的芯盒。如图 10-12b 所示。

三、芯盒技术要求

(1) 芯盒毛坯的材料，表面质量及尺寸公差应符合设计图和毛坯验收技术条件要求。

(2) 芯盒本体要进行人工时效处理。

(3) 芯盒的主要工作部位的尺寸公差一般为 $+0.1 \sim -0.2\text{mm}$ ，芯盒工作面的尺寸偏差一般取负值，对于装配砂芯的装配部分尺寸公差，外芯内尺寸取正值，内芯外尺寸取负值。

(4) 活块与芯盒活块窝座配合面在所有深度上紧贴接触，当芯盒翻转 180° 时活块自由落下，同时装配间隙一般取 $0.1 \sim 0.2\text{mm}$ 。

(5) 合模间隙不大于 0.1mm 。

(6) 芯盒定位销的位置公差不大于 0.25mm 。

(7) 芯盒所有工作面的表面粗糙度值 R_a 为 $1.6\mu\text{m}$ 。

(8) 芯盒使用过程中工作部分允许的磨损量为 $0.2 \sim 0.3\text{mm}$ 。

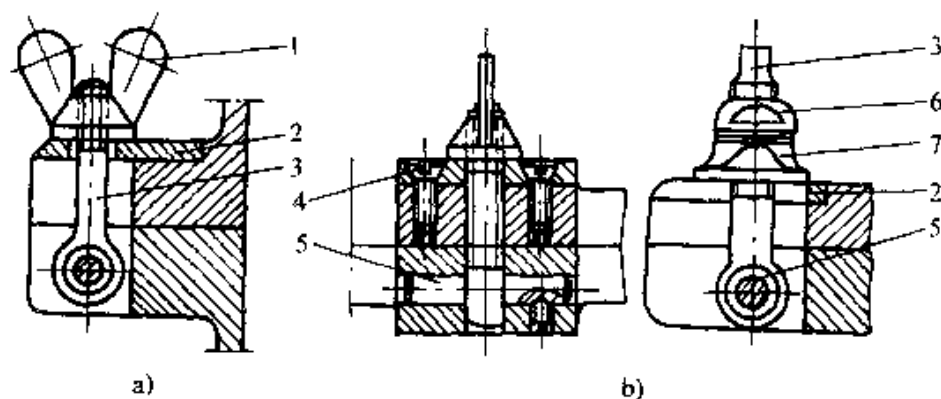


图 10-12 芯盒锁紧装置

1—蝶形螺母 2—垫片 3—螺杆 4—沉头螺钉 5—销轴 6—上螺母 7—下螺母

四、特种芯盒

1. 热芯盒 热芯盒设计的主要内容包括：材料的选择，芯盒结构的确定，射砂口的位置和形式，定位、排气装置和顶出机构，热芯盒在射芯机工作台的安装及支撑方式，以及射砂头等。

(1) 材料的选择 热芯盒在高温情况下，承受高速砂流的不断冲刷，因此热芯盒材料除应有良好的加工性能和低廉的成本外，还要求

强度高、比热容大、热导性好、热膨胀小、耐磨及热稳定性好，因此热芯盒本体材料常选用 HT200，而定位销、套用 T8A 和 T10A 制成，其它用 45 钢制作。

(2) 热芯盒体结构 根据砂芯的形状确定芯盒的结构形式和分盒面。分盒面多采用平直的分盒面，射砂口、排气装置及出芯机构结构要合理，确保砂芯留在设有顶杆机构的一片芯盒中。

1) 热芯盒的壁厚和形状 热芯盒的壁厚和形状与普通芯盒有所不同，通常设计成立方体形的实体结构，芯盒本体的壁厚既满足强度和刚度的要求，又能储存足够的热量，确保连续生产，所以一般壁厚较大。若加热管直接安装在芯盒壁内时，芯腔离加热管的最小距离不小于 10mm，一盒多芯时，芯腔之间的距离取 15~25mm。

2) 射砂口 芯砂进入芯盒的通道称射砂口，射砂口须确保砂流畅通地进入芯盒，有利于紧实和排气，一般选择在如下位置：①芯头处。②砂芯的大端。③砂芯的平面处，并避免砂流直接冲刷芯盒凸出部分、斜面和芯棒。④确保砂流畅通地进入芯盒、不产生涡流的部分。⑤射砂口对称且均匀布置。

射砂口的形状有圆形、长圆形两种，也有射砂口根据砂芯的形状来确定，砂芯越大，选用的射砂口也越大，但必须确保射砂口截面积不大于芯盒中砂流最小通道的截面积。对流动性好的树脂砂，宜选用小尺寸的射口。另外芯盒上的射砂孔比水冷射砂板大 1~2mm。

3) 芯盒的定位 热芯盒常用的定位装置是定位销和定位销套，定位销套与芯盒的装配形式类似于一般金属芯盒。

4) 出芯机构 取出热芯盒内紧实固化的砂芯，必须在芯盒内设置专门的出芯机构。出芯方式有以下二种：

①顶出机构由顶芯杆、顶芯板、回位杆、顶杆紧固装置等组成。回位杆和顶芯杆均安装在顶芯板上，开盒时，依靠外力作用推动顶芯板，使顶芯杆将砂芯从芯盒中顶出。

顶芯杆的位置一般设置在动芯盒上，即形状复杂、起芯深度大、起模斜度小的芯盒上。顶芯杆顶芯表面的形状根据芯盒内腔表面形状进行修整，使两表面一致，如不能确定砂芯会附着在哪一片芯盒上时，可两边均设顶芯杆。水平分型的芯盒，上、下芯盒均设有出芯机构。

②另外还有一种出芯机构是移动托板机构，当芯盒开启后，砂芯留在底座（托板）的芯棒上，直接或待托板外移后用手取出砂芯。此法适用于较厚大的砂芯，用芯棒使砂芯做成空心，如图 10-13 所示。而小砂芯用 5° ~ 10° 锥度的针棒托住砂芯。

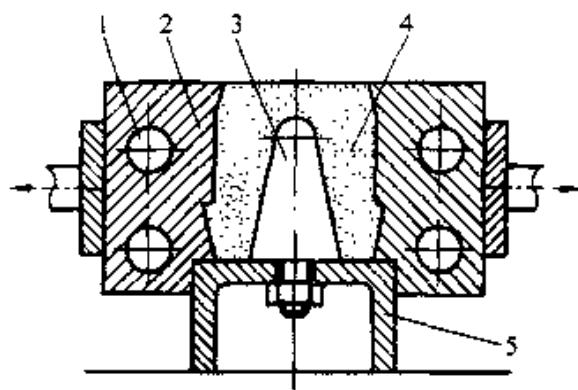


图 10-13 托芯板出芯机构简图
1—加热管 2—芯盒 3—芯棒 4—砂芯
5—底座（托板）

5) 加热装置 实际生产中电加热较为普遍，通常加热管安装在芯盒壁内或加热板上。

2. 壳芯盒 壳芯盒与热芯盒工艺装备有许多共同之处，但由于制芯工艺过程有区别，芯盒及附具结构也有不同的特点和要求，现就不同部分加以介绍。

(1) 吹砂口 覆膜砂进入芯盒的通道称为吹砂口。实际生产中，吹砂口布置在大端芯头处，有利于检查壳芯的内部缺陷，且棱角和拐角处结壳均匀。吹砂口形状有圆形、椭圆形、方形及长方形等。实际应用中可按吹砂口处砂芯的几何形状选定。如图 10-14 为 S195 柴油机机身主体芯的吹砂口形状。

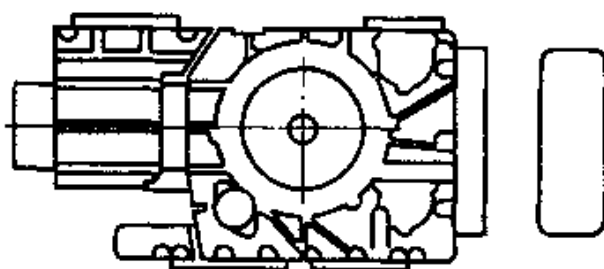


图 10-14 S195 机身主体芯的吹砂口结构

(2) 排气装置 为了确保砂芯获得良好的紧实度，壳芯盒必须开设排气道，由于壳芯制芯使用的吹砂压力较低，加之覆膜砂流动性极好，因此排气面积可小于热芯盒。排气道常开设在如下位置。①深凹的型腔部分。②吹砂方向的背面。③按砂流方向在凸台的背面。④砂流不易充填的部位。其排气装置的结构形式与热芯盒相似。

(3) 吹砂板的结构 吹砂板安装在壳芯机的砂斗上，吹砂时与芯盒夹紧，所以采用带有水冷腔的中空式结构，通常是整铸式，材料为HT200。经机械加工制得，其结构尺寸与壳芯机的砂斗有关，如图10-15所示。

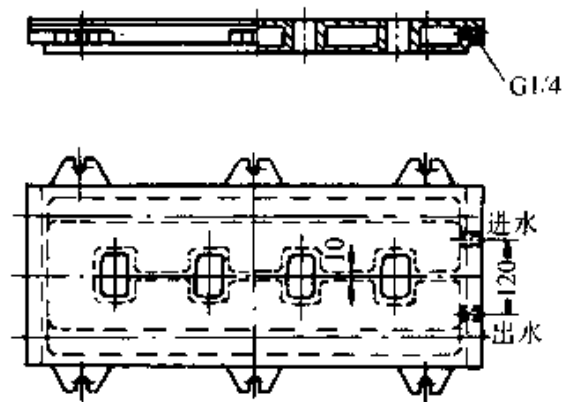


图10-15 K87壳芯机吹砂板的典型结构

(4) 加热装置 壳芯盒的加热有可燃气体加热和电加热两种，热源不同，则加热板的结构有所不同。

3. 冷芯盒 冷芯盒制芯使用的工艺装备与热芯盒大致相同，但是由于彼此硬化机理存在着差异，所以它又有自身的特点。

(1) 芯盒材料的选择 冷芯盒制芯属于常温制芯工艺，芯盒无须加热，因此可选用各种材料。如铸铁、铝合金、塑料和木材等。而铸铁芯盒具有良好的使用性能，适用于成批大量生产，其它材质的用于小批量生产。

(2) 芯盒本体结构 通常芯盒设计成立方体形的实体结构，同时为了汇集吹气硬化过程中从芯盒型腔排出的废气和粉尘，冷芯盒本体还应设置排气腔，腔体开设在芯盒的背部。用螺钉与排气腔盖板紧固。同时为确保配合面的密封性，应加设密封装置，如图10-16所示。如

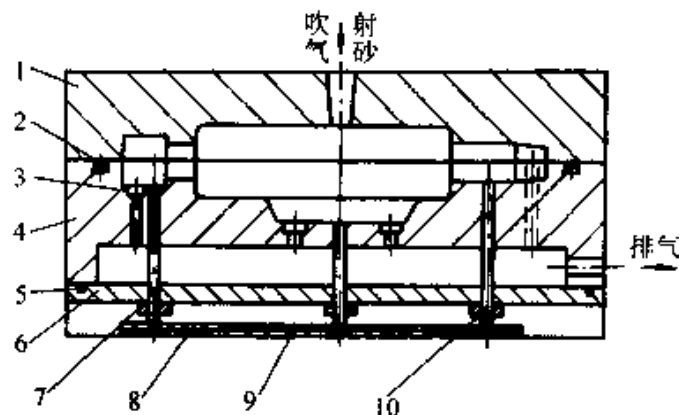


图10-16 冷芯盒的典型结构

1—上芯盒 2—密封环 3—排气塞 4—下芯盒 5—密封圈
6—排气腔盖板 7—密封圈及盖板 8—顶杆板 9—压板 10—顶芯杆

使用的冷芯盒射芯机是带密封防护罩的封闭式结构，则芯盒本体不需开设排气腔。由于 CO_2 气体可以直接排放，二氧化碳芯盒本体可不设置排气腔。

(3) 密封装置 吹气硬化过程中硬化气体的泄漏不仅会减缓砂芯的硬化速度，降低砂芯的强度，增加硬化气体的消耗量，而且还会污染环境，因此必须保持芯盒工作时的密封性。在芯盒分盒面、吹气罩(板)与芯盒的接触面、芯盒与排气腔盖板的配合面以及顶芯杆与顶杆孔的配合面等处须加设密封件。为了便于安装和检查，密封环分别安装在吹气板的下平面、水平上芯盒的分盒面、垂直分盒面安装定位销套的箱体上以及排气腔的配合面上。中小型芯盒采用单排密封环结构，中、大型或无密封防护罩射芯机使用的芯盒应采用双排密封圈，双排密封圈之间开设气路，并与芯盒排气腔相通，以排出泄漏的废气。生产中密封材料通常是塑料或橡胶，密封环的截面形状有圆形、梯形和凸台多种。

(4) 芯盒射砂口 冷芯盒射砂口不仅是砂进入芯盒的通道，而且也是吹气硬化的吹气口，故射砂口要同时满足射砂和吹气两种工艺要求。为了确保砂芯有良好的硬化效果，尽可能增大射砂口的面积，并将射砂口的位置设在砂芯深凹处及厚实的部位，确保硬化气体在砂芯中的平衡扩散。

由于 SO_2 在砂芯中的扩散穿透力强，吹气面积可小于三乙胺气雾冷芯盒法，而 CO_2 冷芯盒法射砂口的面积应大于其它两类冷芯盒法，因为水玻璃砂流动性较差。

(5) 排气装置 冷芯盒排气装置不仅影响砂芯的紧实，而且直接关系到砂芯的硬化速度和硬化剂消耗量。实践证明，排气面积为进气面积的 60% ~ 80%。设置排气装置应尽量避免进、排气口直接相对。排气一般开设在深凹部位和厚大部位。对于垂直分盒芯盒的排气位置设在芯盒下部。排气

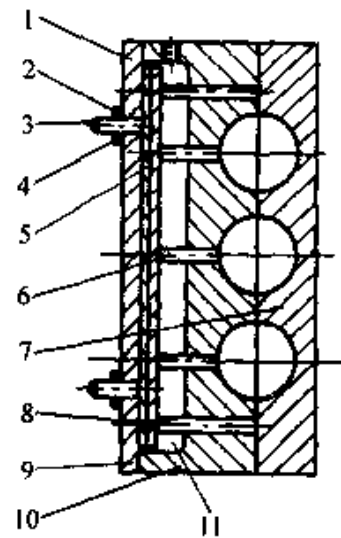


图 10-17 排气腔封闭式顶出机构简图

- 1—排气腔盖 2—压盖
- 3—顶杆 4、9—密封圈
- 5—顶杆板 6—顶芯杆
- 7—静芯盒 8—回位杆
- 10—动芯盒 11—排气腔

装置的结构与热芯盒相似，只是要考虑废气的收集。

(6) 冷芯盒的顶出机构 其结构形式类同于热芯盒，根据冷芯盒制芯的工艺特点，顶出机构必须有良好的密封性。密封结构有三种形式：吹气罩封闭式、排气腔封闭式和顶芯杆密封式，图 10-17 所示为排气腔封闭式顶出机构简图。

第四节 砂 箱

砂箱是铸造车间使用的主要工艺装备之一，合理的砂箱结构和尺寸对获得优质铸件、提高劳动生产率有很大作用。

一、砂箱的选用和设计原则

(1) 砂箱内壁和模样间留有足够的吃砂量，箱带不妨碍浇冒口的安放，不阻碍铸件收缩，箱壁设有排气孔，利于铸型的烘干和浇注中排气。

(2) 砂箱的结构要有足够的强度和刚度，确保安全生产，经久耐用。

(3) 砂箱的定位装置要准确、使用方便。

(4) 箱壁和箱带结构既要有利于附着型砂，又要便于落砂和脱出铸件。

(5) 砂箱的规格尽可能标准化、系列化、通用化以减少砂箱数目，降低铸件成本，便于使用和管理。

二、砂箱的分类

1. 按制造材料分 有木质砂箱、铝质砂箱、铸铁砂箱、球铁砂箱和铸钢砂箱。

2. 按制造方法分 有整铸式砂箱、焊接式砂箱和装配式砂箱。

3. 按构造形式分 有普通砂箱和专用砂箱。专用砂箱为特定的铸件所用，砂箱内腔与模样轮廓形状相似。图 10-18 所示为专用砂箱。

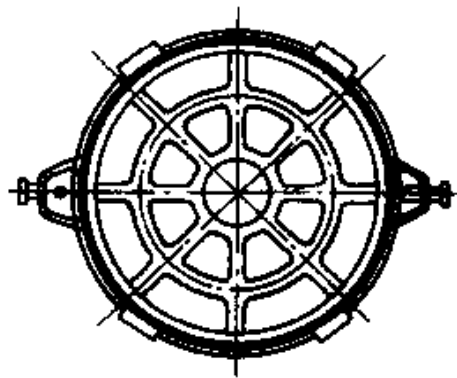


图 10-18 专用砂箱

三、通用砂箱结构

砂箱本体是一个支持砂型的框架，它包括内框尺寸，箱壁、箱

带、箱肋和出气孔等。

1. 砂箱尺寸 砂箱尺寸一般用分型面处砂箱内框的长度 A 、宽度 B 及高度 H 来表示即 $A \times B \times H$ 表示。选择和确定砂箱尺寸的主要依据是铸造工艺图模样、浇冒口及冷铁的布置，再加上合理的吃砂量。如为标准砂箱，则将尺寸取为系列尺寸。大量生产的专用砂箱，则不受砂箱系列尺寸的限制，但尽可能使最后一位数为 0 或 5。

2. 箱壁结构 砂箱壁断面形状和尺寸是决定砂箱强度和刚度的因素，它要根据砂箱的材质、内框尺寸及工作条件来决定。图 10-19 是砂箱常用的断面形状。铸钢车间用的砂箱由于钢液温度高，工作条件恶劣，所以砂箱的壁厚较铸铁车间的厚些。

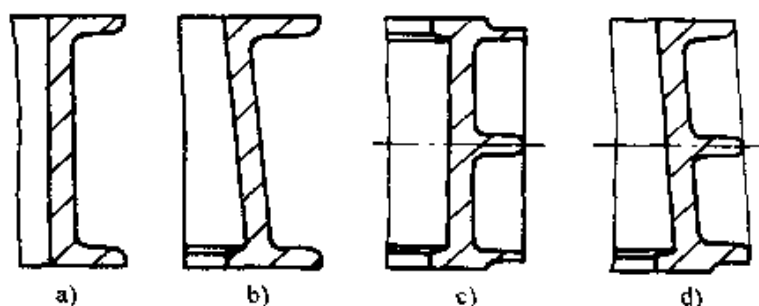


图 10-19 砂箱常用的断面形状

(1) 手工造型用的简易砂箱壁的断面结构有两种，较小的砂箱为平板壁，不设凸缘结构，较大的砂箱设有外凸缘，以增加砂箱的强度和刚度。对于多箱造型的中箱因无箱带，上、下两面均做出内凸缘，以防塌箱。

生产中常使用带凸缘的砂箱，而凸缘有内外之分，图 10-19 中内凸缘的作用是防止砂型在翻转、搬运过程中塌落，外凸缘的作用是增加砂箱的强度和刚度并可加大接触面积而减少接触应力（内凸缘也有此作用）。一般情况下内凸缘设计在分箱面上，而填砂面通常不设内凸缘。为防止翻箱时塌箱，可将箱壁做成带斜度的结构，见图 10-19b、d。为减少机械加工工作量和便于清理箱口，一些大、中型砂箱的外凸缘可设计成阶梯形的结构，见图 10-19c、d。

(2) 为减小砂箱壁的厚度而不影响砂箱的强度和刚度，可在砂箱壁的外侧做出纵向和横向加强肋，见图 10-19c、d。对于长条形而要求刚度好的砂箱可设计成“人”字形的加强肋，设置箱壁加强肋不

能妨碍砂箱的定位和紧固。

(3) 砂箱的转角处是砂箱应力集中的地方，手工造型通常设计成倒角，机器造型采用圆角过渡。

(4) 砂箱壁排气形式。为排除烘干或浇注时铸型内产生的气体，除了射压造型、高压造型及小型砂箱外，一般在中大型砂箱壁上设计出均匀布置的排气孔，形状有圆形和腰圆形两种。排气孔为内小外大的锥形孔，它们应交错排列，减少对箱壁强度的削弱作用。如图 10-20 所示。

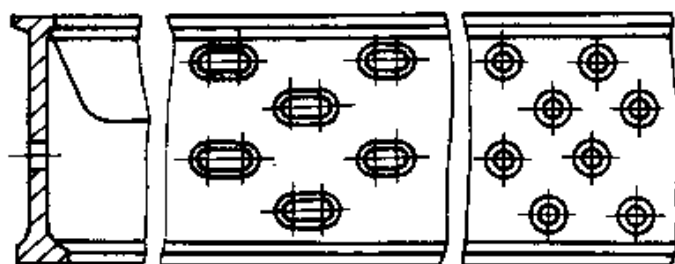


图 10-20 砂箱壁的排气形式

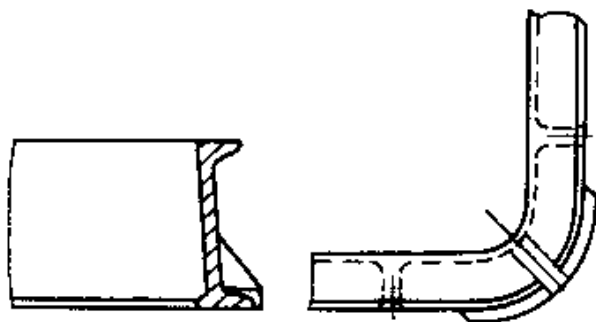


图 10-21 砂箱的顶箱部分结构

(5) 顶箱起模类造型机用的砂箱，实际上将砂箱四角局部加大，使造型机四根顶杆与砂箱的接触范围增大，便于顶箱起模。为增加此部分的强度，可以设加强肋加固。顶箱部分的结构如图 10-21 所示。

3. 箱带 箱带不但能增加砂箱的强度和刚度，主要作用是增加对型砂的承托力和附着力，可以防止砂型的塌箱，设计时注意以下几点：

(1) 为减轻人工搬运小型砂箱的重量，平均尺寸小于 500mm 的砂箱可以不用设计箱带，或者只设计横箱带。

(2) 布置箱带时，应不妨碍浇冒口的放置和铸件的收缩，不妨碍春砂，并能保证砂箱在运输和翻箱时不塌箱。

(3) 箱带和模样之间留有一定的吃砂量，通用砂箱吃砂量大些，

以适应不同高度的模样，专用砂箱吃砂量可小些。

(4) 箱带厚度取箱壁厚度的 75%~100%，而且要交错排列以减少铸造应力，对于大型砂箱为使箱带适应热膨胀，常在箱带上留 2~4 处断口，对于箱带为了减轻重量，可在箱带上开设窗孔，箱带和箱壁连接处应用圆弧过度，箱带的布置和结构如图 10-22 所示。

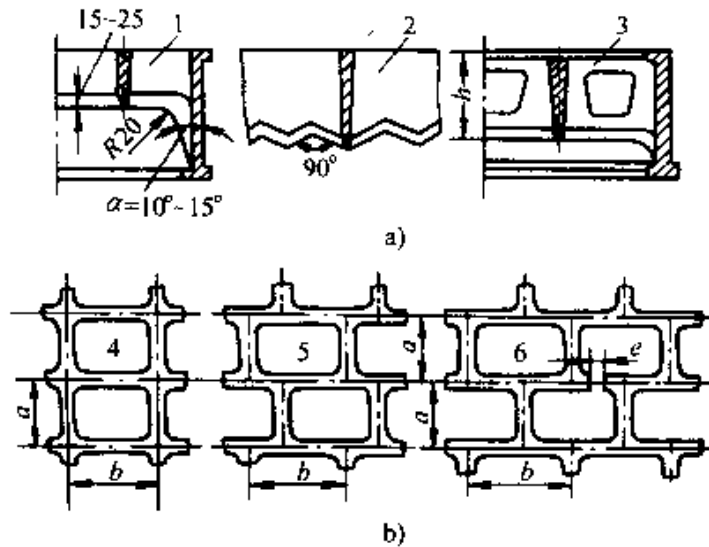


图 10-22 箱带的布置和结构

a) 砂箱剖视图 b) 砂箱俯视图

1—普通箱带 2—锯齿形箱带 3—开窗孔箱带
4—井字形箱带 5—交叉布置 6—带有断口箱带

4. 砂箱的定位、锁紧和吊运结构 造型及合型时，砂箱与模板、砂箱与砂箱必须严格定位，并能互换以确保铸件精度。铸型浇注时，上下型要牢固锁紧，以防止抬箱。砂型制造过程中需要起吊搬运，因此砂箱本体上都设置定位、锁紧和吊运装置。

(1) 砂箱定位装置 砂箱上的定位装置由定位箱耳、定位套和合型定位销组成。定位箱耳结构有两种形式：一种与吊轴连在一起，如图 10-25c 所示；另一种单独设在箱壁上，如图 10-25d 所示。中小型砂箱定位装置可设置在砂箱两端，且在长度方向的中心线上，而大型砂箱一般均设在砂箱的两侧。

定位销套装配在砂箱两端的定位箱耳上，大批量生产条件下，定位销套用钢材制成后镶在箱耳上，磨损后可以更换，从而延长砂箱的使用寿命。在砂箱使用次数少，磨损较轻的情况下，可以不用销套而是直接在箱耳上加工出销孔。

砂箱上两个定位销孔的中心距，随砂箱受热或型砂张力的作用而变化，并且上、下砂箱的变形量也不一致，为了适应这种情况，保证合型定位操作能正常地进行，一般将定位销套的内孔做成一个圆形，将导向销套的内孔做成椭圆形。

用金属销套定位在机械化湿型浇注的条件下效果较好，但在手工造型、干型浇注的条件下效果则较差，因为在烘干砂型过程中，容易使销套生锈或变形，造成合型困难。目前，手工造型生产中大型铸件，广泛采用图 10-23 型内合型销定位。用这种方法定位，砂箱上不再做出定位装置。造型时，将图 10-23a 型内合型销半模放在底板上，在分型面上造出砂锥孔，分型时用图 10-23b 腰鼓形型内合型销放在下箱的锥孔内，再造上砂型，合型时将腰鼓形销放在下型上，就能起导向定位作用。腰鼓形型内合型销可用钢和铸铁制成，也可用型砂制成。

(2) 锁紧装置 合型后上、下砂箱需要锁紧，以防止搬运时错动和浇注时抬型。锁紧装置有多种形式，机器造型的中小型砂箱用楔形箱卡锁紧，在砂箱两侧设四个楔形凸台（图 10-24a），该装置使用方便。单件小批生产中的中大型砂箱常用楔销和螺栓锁紧，在砂箱上

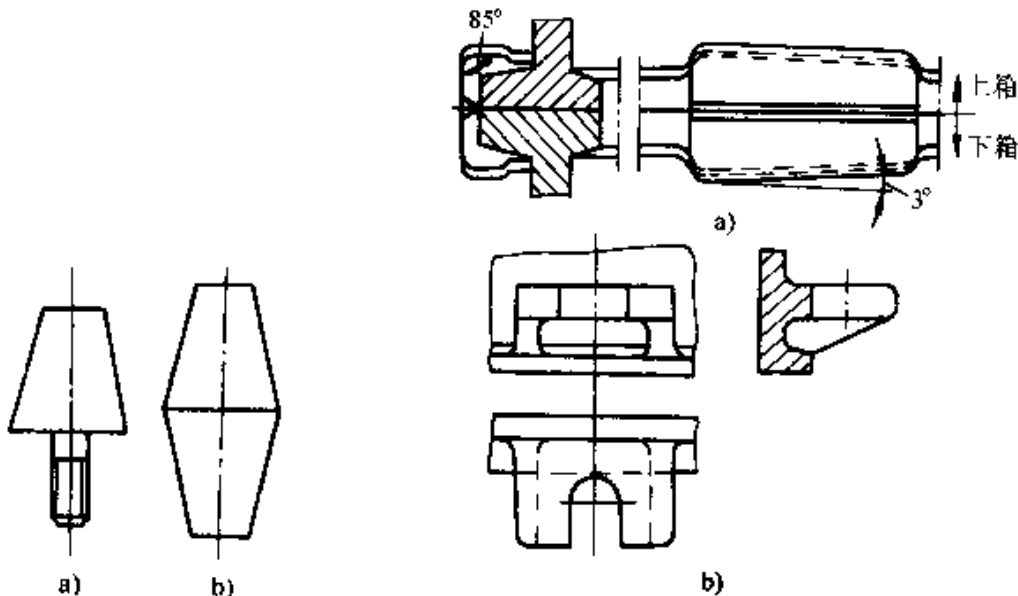


图 10-23 型内合型销

- a) 型内合型销半模
b) 腰鼓形型内合型销

图 10-24 砂箱锁紧装置

- a) 楔形凸台 b) 锁箱箱耳

对称地设四个以上的锁箱箱耳如图 10-24b 所示。

(3) 吊运装置 吊运装置着重考虑吊运时的安全，需取较大的安全因数，还需考虑吊具引钩吊挂时的可靠性。常用的吊运装置有下几种：

1) 箱把 常用于人工搬运的小砂箱，箱把共两对，供两人抬用，其间距相当于人的肩宽 300~400mm。

2) 吊轴 用于大中型砂箱，可分为整铸式吊轴（图 10-25b~d）和铸接式（图 10-25a），整铸吊轴又分为单独的和与定位箱耳连在一起的两种，分别如图 10-25d、c 所示。

3) 吊环 对于一些大中型砂箱除设置吊轴外，为便于吊运和翻箱，还在砂箱两侧设四个以上的吊环，如图 10-25e 所示。

四、砂箱的技术要求

(1) 砂箱毛坯按允许的尺寸偏差和形位公差进行验收。

(2) 砂箱的机械加工精度包括分型面平面度、填砂面与分型面平行度、定位销孔中心距公差、定位销孔轴线与分型面的垂直度等都必须符合要求。

(3) 规定定位销孔和导套内孔的允许磨损范围等。

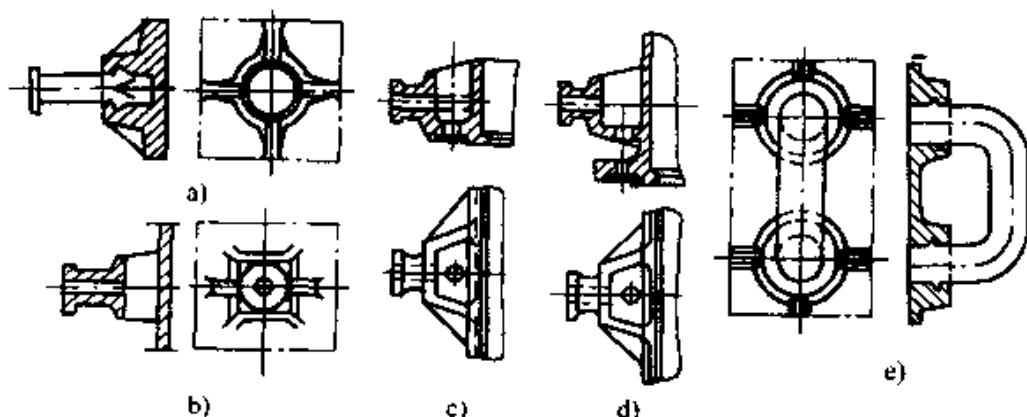


图 10-25 砂箱的吊运装置

a) 铸接吊轴 b) ~d) 整铸吊轴 e) 吊环

五、特种砂箱

为了提高铸件尺寸精度，降低铸件表面粗糙度值和提高生产率，国内外越来越多地采用高压造型。高压造型时，砂箱侧壁承受很

大的侧压力，导致砂箱侧壁变形，从而引起型腔变形开裂，塌箱等现象。所以砂箱设计必须保证有足够的强度和刚度。

1. 砂箱材料 高压造型线上都采用辊道输送砂箱，用机械手、合型机进行翻型和合型，砂箱所受的冲击力和磨损较大，故高压造型砂箱材质采用球墨铸铁和铸钢，并经消除应力后加工。

2. 砂箱结构 为了增加高压造型用砂箱的强度和刚度，砂箱壁断面均设计成双层壁。同时高压造型砂箱一般不设箱带，有时为了防止砂型塌箱，砂箱内壁可做成向砂箱高度中部倾斜 $5 \sim 10\text{mm}$ ，也可做成弧形或其它形状。

为了便于砂箱在造型生产线的边辊上移动，在砂箱双层壁的上、下平面处要留出一定宽度的边辊滑道，滑道面均应机械加工，如图 10-26 所示。

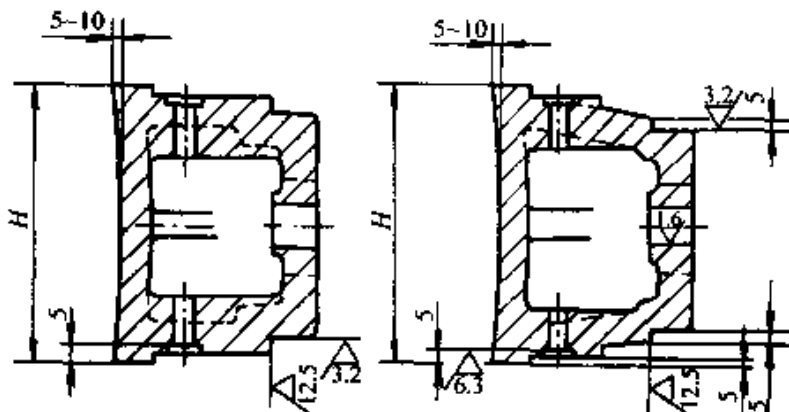


图 10-26 高压砂箱短边壁断面形状

3. 高压造型砂箱在造型生产线各工位上的定位方式 有以下两种：

(1) 定位碰头 利用装配在砂箱两侧面（或两端面）的定位碰头相互靠紧推动砂箱输送到各个工位上，并起到初定位的作用。如图 10-27a 所示。

(2) 工位定位套 利用装配在砂箱两端（两侧面）的工位定位套和装在各工位上的定位销自动插入来定位。考虑砂型在输送过程中所造成的位置误差，工位定位套的定位内孔需作出 45° 大倒角，以便定位销插入，使砂型正确地停留在各个工位上，如图 10-27b 所示。

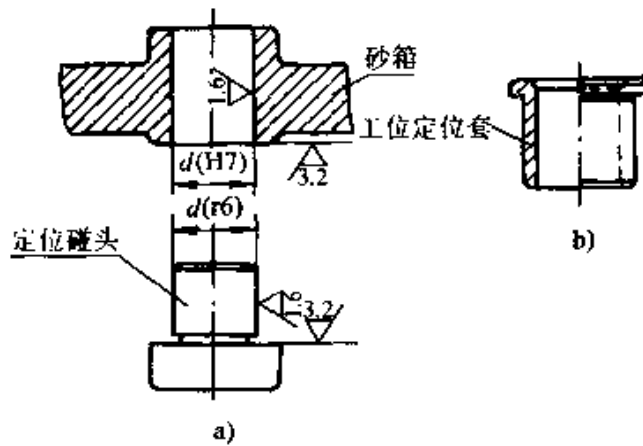


图 10-27 高压砂箱在生产线上的定位方式

a) 定位碰头 b) 工位定位套

4. 高压造型砂箱在造型和合型时的定位 砂箱的定位套和定位销既用于造型时砂箱和模板（或模板框）之间的定位。也用作合型时上、下铸型定位。由于其工作条件差，定位销（套）易磨损和变形，故定位销直径应比普通砂箱的定位销粗些，其结构如图 10-28 所示。

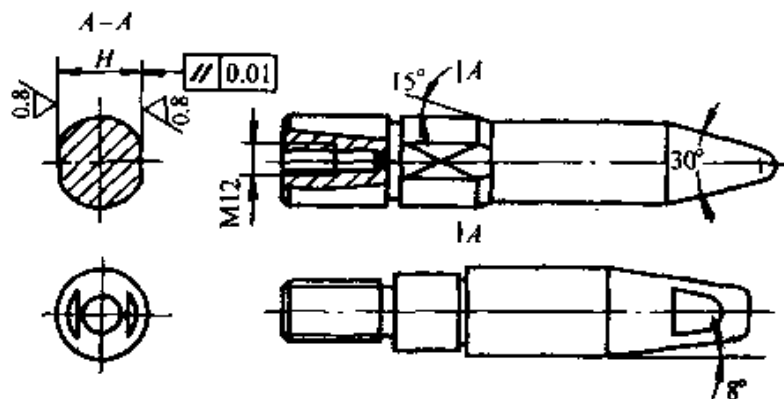


图 10-28 GF 造型线上用的砂箱定位销结构

第十一章 铸件缺陷分析

培训要点：本章主要介绍铸件缺陷的种类和特征，重点是铸造缺陷分析，查找原因，制订对策。

铸件生产要经过十分复杂的工艺过程。只要其中某一道工序或某一个过程失误，均会造成铸造缺陷。同一类缺陷由于场合和零件的不同，往往又有不同的形成原因，这种错综复杂的情况，给铸造缺陷的准确判断和分析带来很大的难度。

本章在介绍铸件缺陷种类和特征的基础上，主要讲铸造缺陷的形成机理、缺陷分析、原因查找、方法应用、质量检验和缺陷修补，以增加铸造技师的基础知识，提高分析问题的能力。

第一节 铸件缺陷分类

铸件缺陷种类繁多，形貌各异，在 GB/T 5611—1998《铸造术语》中将铸造缺陷分为八类 100 余种，见表 11-1。

表 11-1 铸件缺陷的分类 (GB/T5611—1998)

类别	序号	名称	特征
一、 多肉 类 缺 陷	1-1	飞翅(飞边)	垂直于铸件表面上厚薄不均匀的薄片状金属突起物，常出现在铸件分型面和芯头部位
	1-2	毛刺	铸件表面上刺状金属凸起物。常出现在型和芯的裂缝处，形状极不规则。呈网状或脉状分布的毛刺称脉纹
	1-3	外渗物 (外渗豆)	铸件表面渗出来的金属物。多呈豆粒状，一般出现在铸件的自由表面上，例如明浇铸件的上表面、离心浇注铸件的內表面等。其化学成分与铸件金属往往有差异
	1-4	粘模多肉	因砂型(芯)起模时部分砂块粘附在模样或芯盒上所引起的铸件相应部位多肉

(续)

类别	序号	名称	特征
一、 多肉类缺陷	1-5	冲砂	砂型或砂芯表面局部型砂被金属液冲刷掉, 在铸件表面的相应部位上形成的粗糙、不规则的金属瘤状物。常位于浇口附近, 被冲刷掉的型砂, 往往在铸件的其它部位形成砂眼
	1-6	掉砂	砂型或砂芯的局部砂块在机械力作用下掉落, 使铸件表面相应部位形成的块状金属突起物。其外形与掉落的砂块很相似。在铸件其它部位则往往出现砂眼或缺陷
	1-7	胀砂	铸件内外表面局部胀大, 重量增加的现象。由型壁退移引起
	1-8	抬型(抬箱)	由于金属液的浮力使上型或砂芯局部或全部抬起、使铸件高度增加的现象
二、 孔洞类缺陷	2-1	气孔	铸件内由气体形成的孔洞类缺陷。其表面一般比较光滑, 主要呈梨形、圆形和椭圆形。一般不在铸件表面露出, 大孔常孤立存在, 小孔则成群出现
	2-2	气缩孔	分散性气孔与缩孔和缩松合并而成的孔洞类铸造缺陷
	2-3	针孔	一般为针头大小分布在铸件截面上的析出性气孔。铝合金铸件中常出现这类气孔, 对铸件性能危害很大
	2-4	表面针孔	成群分布在铸件表层的分散性气孔。其特征和形成原因与皮下气孔相同, 通常暴露在铸件表面, 机械加工1-2mm后即可去掉
	2-5	皮下气孔	位于铸件表皮下的分散性气孔。为金属液与砂型之间发生化学反应产生的反应性气孔。形状有针状、蝌蚪状、球状、梨状等。大小不一, 深度不等。通常在机械加工或热处理后才能发现

(续)

类别	序号	名称	特征
二、孔洞类缺陷	2-6	呛火	浇注过程中产生的大量气体不能顺利排出, 在金属液内发生沸腾, 导致在铸件内产生大量气孔, 甚至出现铸件不完整的缺陷
	2-7	缩孔	铸件在凝固过程中, 由于补缩不良而产生的空洞。形状极不规则、孔壁粗糙并带有枝状晶, 常出现在铸件最后凝固的部位
	2-8	缩松	铸件断面上出现的分散而细小的缩孔。借助高倍放大镜才能发现的缩松称为显微缩松。铸件有缩松缺陷的部位, 在气密性试验时可能渗漏
	2-9	疏松 (显微缩松)	铸件缓慢凝固区出现的很细小的孔洞。分布在枝晶内和枝晶间。是弥散性气孔、显微缩松、组织粗大的混合缺陷, 使铸件致密性降低, 易造成渗漏
	2-10	渗漏	铸件在气密性试验时或使用过程中发生的漏气、渗水或渗油现象。多由于铸件有缩松、疏松、组织粗大、毛细裂纹、气孔或夹杂物等缺陷引起
三、裂纹、冷隔类缺陷	3-1	冷裂	铸件凝固后在较低温度下形成的裂纹。裂口常穿过晶粒延伸到整个断面
	3-2	热裂	铸件在凝固后期或凝固后在较高温度下形成的裂纹。其断面严重氧化, 无金属光泽, 裂口沿晶粒边界产生和发展, 外形曲折而不规则
	3-3	缩裂 (收缩裂纹)	由于铸件补缩不当、收缩受阻或收缩不均匀而造成的裂纹。可能出现在刚凝固之后或在更低的温度
	3-4	热处理裂纹	铸件在热处理过程中产生的穿透或不穿透的裂纹。其断面有氧化现象
	3-5	网状裂纹 (龟裂)	金属型和压铸型因受交变热机械作用发生热疲劳, 在型腔表面形成的微细龟裂状裂纹。铸型龟裂在铸件表面形成龟纹缺陷

(续)

类别	序号	名称	特征
三、 裂纹、 冷隔类 缺陷	3-6	白点(发裂)	钢中主要因氢的析出而引起的缺陷。在纵向断面上,它呈现近似圆形或椭圆形的银白色斑点,故称白点;在横断面宏观磨片上,腐蚀后则呈现为毛细裂纹,故又称发裂
	3-7	冷隔	在铸件上穿透或不穿透,边缘呈圆角状的缝隙。多出现在远离浇口的宽大上表面或薄壁处、金属流汇合处以及冷铁、芯撑等激冷部位
	3-8	浇注断流	铸件表面某一高度可见的接缝。接缝的某些部分熔合不好或分开。由浇注中断而引起
	3-9	重皮	充型过程中因金属液飞溅或液面波动,型腔表面已凝固金属不能与后续金属熔合所造成的铸件表皮折叠缺陷
四、 表面 缺陷	4-1	表面粗糙	铸件表面毛糙、凹凸不平,其微观几何特征超出铸造表面粗糙度测量上限,但尚未形成粘砂缺陷
	4-2	化学粘砂	铸件的部分或整个表面上,牢固地粘附一层由金属氧化物、砂子和粘土相互作用而生成的低熔点化合物。硬度高,只能用砂轮磨去
	4-3	机械粘砂 (渗透粘砂)	铸件的部分或整个表面上粘附着一层砂粒和金属的机械混合物。清铲粘砂层时可以看到金属光泽
	4-4	夹砂结疤 (夹砂)	铸件表面产生的疤片状金属突起物。其表面粗糙,边缘锐利,有一小部分金属和铸件本体相连,疤片状凸起物与铸件之间夹有一层砂
	4-5	涂料结疤	由于涂层在浇注过程中开裂,金属液进入裂缝,在铸件表面产生的疤痕状金属突起物
	4-6	沟槽	铸件表面产生较深(>5mm)的边缘光滑的V型凹痕。通常有分枝,多发生在铸件的上、下表面

(续)

类别	序号	名称	特征
四、 表面缺陷	4-7	粘型	熔融金属粘附在金属型型腔表面的现象
	4-8	龟纹 (网状花纹)	1. 磁力探伤时熔模铸件表面出现的龟壳状网纹缺陷, 多出现在铸件过热部位。因浇注温度和型壳温度过高, 金属液与型壳内 Na_2O 残留量过高而析出的“白霜”发生反应所致。2. 因铸型型腔表面龟裂而在金属型铸件或压铸件表面形成的网状花纹缺陷
	4-9	流痕 (水纹)	压铸件表面与金属流动方向一致的, 无发展趋势且与基体颜色明显不一样的微凸或微凹的条纹状缺陷
	4-10	缩陷	铸件的厚断面或断面交接处上平面的塌陷现象。缩陷的下面, 有时有缩孔。缩陷有时也出现在内缩孔附近的表面
	4-11	鼠尾	铸件表面出现较浅 ($\leq 5\text{mm}$) 的带有锐角的凹痕
	4-12	印痕	因顶杆或镶块与型腔表面不齐平, 而在金属型铸件或压铸件表面相应部位产生的凸起或凹下的痕迹
	4-13	皱皮	铸件上不规则的粗粒状或皱褶状的表皮。一般带有较深的网状沟槽
	4-14	拉伤	金属型铸件和压铸件表面由于与金属型啮合或粘结, 顶出时顺出型方向出现的擦伤痕迹
五、 残缺类缺陷	5-1	浇不到 (浇不足)	铸件残缺或轮廓不完整或虽然完整但边角圆且光亮。常出现在远离浇口的部位及薄壁处。其浇注系统是充满的
	5-2	未浇满	铸件上部产生缺肉, 其边角略呈圆形, 浇冒口未浇满, 顶面与铸件平齐

(续)

类别	序号	名称	特征
五、 残缺类 缺陷	5-3	型漏 (漏箱)	铸件内有严重的空壳状残缺。有时铸件外形虽较完整, 但内部的金属已漏空, 铸件完全呈壳状, 铸型底部有残留的多余金属
	5-4	损伤 (机械损伤)	铸件受机械撞击而破损、残缺不完整的现象
	5-5	跑火	因浇注过程中金属液从分型面处流出而产生的铸件分型面以上的部分严重凹陷, 有时会沿未充满的型腔表面留下类似飞翅的残片
	5-6	漏空	在低压铸造中, 由于结晶时间过短, 金属液从升液管漏出, 形成类似型漏的缺陷
六、 形状及 重量差 错类 缺陷	6-1	铸件变形	铸件在铸造应力和残余应力作用下所发生的变形及由于模样或铸型变形引起的变形
	6-2	形状不合格	铸件的几何形状不符合铸件图的要求
	6-3	尺寸不合格	在铸造过程中由于各种原因造成的铸件局部尺寸或全部尺寸与铸件图的要求不符
	6-4	拉长	由于凝固收缩时铸型阻力大而引起的铸件部分尺寸比图样尺寸大的现象
	6-5	挠曲	1. 铸件在生产过程中, 由于残余应力、模样或铸型变形等原因造成的弯曲和扭曲变形。2. 铸件在热处理过程中因未放平正或在外力作用下而发生的弯曲和扭曲变形
	6-6	错型 (错箱)	铸件的一部分与另一部分在分型面处相互错开
	6-7	错芯	由于砂芯在分芯面处错开, 铸件孔隙尺寸不符合铸件的要求
	6-8	偏芯 (漂芯)	由于型芯在金属液作用下漂浮移动, 使铸件内孔位置、形状和尺寸发生偏错, 不符合铸件图的要求

(续)

类别	序号	名称	特征
六、形状及重量差错类缺陷	6-9	型芯下沉	由于芯砂强度低或芯骨软, 不足以支撑自重, 使型芯高度降低、下部变大或下弯变形而造成的铸件变形缺陷
	6-10	串皮	熔模铸件内腔中的型芯露在铸件表面, 使铸件缺肉
	6-11	型壁移动	金属液浇入砂型后, 型壁发生位移的现象
	6-12	春移	由于春移砂型或模样, 在铸件相应部位产生的局部增厚缺陷
	6-13	缩沕	使用水玻璃石灰石砂型生产铸件时产生的一种铸件缺陷, 其特征为铸件断面尺寸胀大
	6-14	缩尺不符	由于制模时所用的缩尺与合金收缩不相符而产生的一种铸造缺陷
	6-15	坍塌	离心铸造时, 因转速低、停车过早、浇注温度过高等引起合金液逆旋转方向由上向下流淌或淋降, 在离心铸件内表面形成的局部凹陷、凸起或小金属瘤
	6-16	铸件重量不合格(超重)	铸件实际重量, 相对于公称重量的偏差值超出铸件重量公差
七、夹杂类缺陷	7-1	夹杂物	铸件内或表面上存在的和基体金属成分不同的质点。包括渣、砂、涂料层、氧化物、硫化物、硅酸盐等
	7-2	内生夹杂物	在熔炼、浇注和凝固过程中, 因金属液成分之间或金属液与炉气之间发生化学反应而生成的夹杂物以及因金属液温度下降, 溶解度减小而析出的夹杂物
	7-3	外生夹杂物	由熔液及外来杂质引起的夹杂物
	7-4	夹渣	因浇注金属液不纯净, 或浇注方法和浇注系统不当, 由裹在金属液中的熔渣、低熔点化合物及氧化物造成的铸件中夹杂类缺陷。由于其熔点和密度通常都比金属液低, 一般分布在铸件顶面或上部, 以及型芯下表面和铸件死角处。断口无光泽, 呈暗灰色

(续)

类别	序号	名称	特征
七、夹杂类缺陷	7-5	黑渣	球墨铸铁件中由硫化镁、硫化锰、氧化镁和氧化铁等组成的夹杂缺陷。在铸件断面上呈暗灰色。一般分布在铸件上部、砂芯下表面和铸件死角处
	7-6	涂料渣孔	因涂层粉化、脱落后留在铸件表面而造成的，含有残留涂料堆积物质的不规则坑窝
	7-7	冷豆	浇注位置下方存在于铸件表面的金属珠。其化学成分与铸件相同，表面有氧化现象
	7-8	磷豆	含磷合金铸件表面渗析出来的豆粒或汗珠状磷共晶物
	7-9	内渗物 (内渗豆)	铸件孔洞缺陷内部带有光泽的豆粒状金属渗出物。其化学成分和铸件本体不一致，接近共晶成分
	7-10	砂眼	铸件内部或表面带有砂粒的孔洞
	7-11	锡豆	锡青铜铸件的表面或内部孔洞中渗析出来的高锡低熔点相豆粒状或汗珠状金属物
	7-12	硬点	在铸件的断面上出现分散的或比较大的硬质夹杂物，多在机械加工或表面处理时发现
	7-13	渣气孔	铸件浇注位置上表面的非金属夹杂物。通常在加工后发现与气孔并存，孔径大小不一，成群集结
八、成分、组织及性能不合格类缺陷	8-1	物理力学性能不合格	铸件的强度、硬度、伸长率、冲击韧度及耐热、耐蚀、耐磨等性能不符合技术条件的规定
	8-2	化学成分不合格	铸件的化学成分不符合技术条件的规定
	8-3	金相组织不合格	铸件的金属组织不符合技术条件的规定
	8-4	白边过厚	铁素体可锻铸铁件退火时因氧化严重在表层形成的过厚的无石墨脱碳层
	8-5	菜花头	由于溶解气体析出或形成密度比铸件小的新相，铸件最后凝固处或冒口表面鼓起、起泡或重皮的现象

(续)

类别	序号	名称	特征
八、成分、组织及性能不合格类缺陷	8-6	断晶	定向结晶叶片, 由于横向温度场不均匀和叶片扭度较大等原因造成的柱状晶断续生长缺陷
	8-7	反白口	灰铸铁件断面的中心部位出现白口组织或麻口组织。外层是正常的灰口组织
	8-8	过烧	铸件在高温热处理过程, 由于加热温度过高或加热时间过久, 使其表层严重氧化, 或晶界处和枝晶间的低熔点相熔化的现象。过烧使铸件组织和性能显著恶化, 无法挽救
	8-9	巨晶	由于浇注温度高、凝固慢, 在铸锭或厚壁铸件内部形成的粗大的枝状晶缺陷
	8-10	亮皮	在铁素体可锻铸铁的断面上, 存在的清晰发亮的边缘。缺陷层主要是由含有少量回火碳的珠光体组成。回火碳有时包有铁素体壳
	8-11	偏析	铸件或铸锭的各部分化学成分或金相组织不均匀的现象
	8-12	反偏析	与正偏析相反的偏析现象。溶质分配系数 $K < 1$ 且凝固区间宽的合金缓慢凝固时, 因形成粗大枝晶, 富含溶质的剩余金属液在凝固收缩力和析出气体压力作用下沿枝晶间通道向先凝固区域流动, 使溶质集中在铸锭或铸件的先凝固区域或表层, 中心部分溶质较少
	8-13	正偏析	溶质分配系数 $K < 1$ 的合金凝固时, 凝固界面处一部分溶质被排出到液相中, 随着温度的降低, 液相中的溶质浓度逐渐增加, 导致低熔点成分和易熔杂质从铸件外部到中心逐渐增多的区域偏析
	8-14	宏观偏析	铸件或铸锭中用肉眼或放大镜可以发现的化学成分不均匀性。分为正偏析、反偏析、V型偏析、带状偏析、重力偏析。宏观偏析只能在铸造过程中采取适当措施来减轻, 无法用热处理和变形加工来消除

(续)

类别	序号	名称	特征
八、成分、组织及性能不合格类缺陷	8-15	微观偏析	铸件中用显微镜或其它仪器方能确定的显微尺度范围内的化学成分不均匀性。分为枝晶偏析(晶内偏析)和晶界偏析。晶粒细化和均匀化热处理可减轻这种偏析
	8-16	重力偏析	在重力或离心力作用下,因密度差使金属液分离为互不溶合的金属液层,或在铸件内产生的成分和组织偏析
	8-17	晶间偏析 (晶界偏析)	晶粒本体或枝晶之间存在的化学成分不均匀性。由合金在凝固过程中的溶质再分配导致某些溶质元素或低熔点物质富集晶界所造成
	8-18	晶内偏析 (枝晶偏析)	固溶合金按树枝方式结晶时,由于先结晶的枝干与后结晶的枝干及枝干间的化学成分不同所引起的枝晶内和枝晶间化学成分差异
	8-19	球化不良	在铸件断面上,有块状黑斑或明显的小黑点,愈近中心愈密,金相组织中有较多的厚片状石墨或枝晶间石墨
	8-20	球化衰退	因铁液含硫量过高或球化处理后停留时间过长而引起的铸件球化不良缺陷
	8-21	组织粗大	铸件内部晶粒粗大,加工后表面硬度偏低,渗漏试验时,会发生渗漏现象
	8-22	石墨粗大	铸铁件的基体组织上分布着粗大的片状石墨。机械加工后,可看到均匀分布的石墨孔洞。加工面呈灰黑色,断口晶粒粗大。有这种缺陷的铸件,硬度和强度低于相应牌号铸铁的规定值。气密性试验时会发生渗漏现象

(续)

类别	序号	名称	特征
八、成分、组织及性能不合格类缺陷	8-23	石墨集结	在加工大断面铸铁件时，表面上充满石墨粉且边缘粗糙的部位。石墨集结处硬度低，且渗漏
	8-24	铸态麻口	可锻铸铁的一种金相组织缺陷。其断口退火前白中带灰，退火后有片状石墨，降低铸件的力学性能
	8-25	石墨漂浮	在球墨铸铁件纵断面的上部存在的一层密集的石墨黑斑。和正常的银白色断面组织相比，有清晰可见的分界线。金相组织特征为石墨球破裂，同时缺陷区富有含氧化合物和硫化镁
	8-26	表面脱碳	铸钢件或铸铁件因充型金属液与铸型中的氧化性物质发生反应，使铸件表层含碳量低于规定值

第二节 铸造缺陷分析

铸造缺陷对铸造生产和铸件质量有很大的危害。要迅速有效地消除缺陷，必须作系统地调查研究，尽可能准确地判明缺陷的种类和性质，查明产生的原因，经综合分析和实践验证，方可采取相应的防止措施。

现就几种常见的影响较大而有时又难以区分的铸造缺陷进行分析和介绍。

一、气孔

气孔是气体聚集在铸件表面和内部而形成的孔洞。气孔的形状、大小不一，位置不一，孔壁光滑、带氧化色彩，是铸件常见的缺陷之一。

气孔有各种类型，产生的原因各不相同，按气体来源不同，大致可分为三种：侵入性气孔、析出性气孔和反应性气孔。

1. 侵入性气孔 由于浇注过程中金属液对铸型激烈的热作用，使型砂和砂芯中的发气物（水分、粘结剂、附加物等）气化、分解和燃烧，生成大量气体，侵入金属液内部所产生的洞孔，见图 11-1 所示。

(1) 特征 气孔数量少、尺寸大、孔壁光滑、有光泽或轻微氧化色，呈圆形或扁圆形，有时呈梨形。它的小头所指方向常常就是气体侵入的方向。如图 11-1d 所示气体，若被凝固在金属中，就是此类气孔的典型例子。

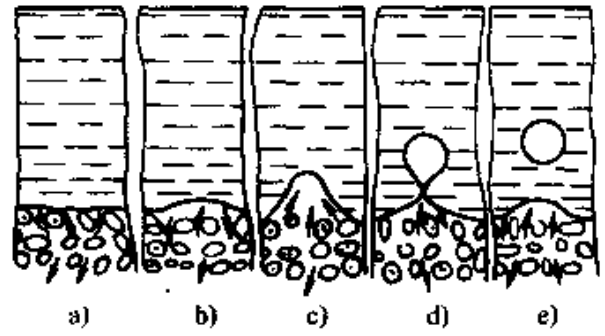


图 11-1 侵入气孔形成过程示意图

(2) 侵入性气孔的形成条件 由于浇注时型砂在金属液的高温作用下，产生大量气体，使金属液和砂型界面上的气体压力骤然增加，气体可能侵入金属液，也可能从砂隙或气眼中排外型外，只有在满足下列条件的情况下，型砂中的气体才会侵入金属液（见图 11-2），即

$$p_{\text{气}} > p_{\text{液}} + p_{\text{阻}} + p_{\text{腔}}$$

式中 $p_{\text{气}}$ ——金属液和砂型界面的气体压力；

$p_{\text{液}}$ ——金属液的静压力（ $p_{\text{液}} = \rho gh$ ， ρ 为金属液的密度， g 为重力加速度， h 为金属液的高度）；

$p_{\text{阻}}$ ——气体侵入金属液时，由于金属液表面张力而引起的阻力（ $p_{\text{阻}} = 2\sigma/r$ ，其中 σ 为金属液表面张力， r 为气泡的半径，当 r 很小时， $p_{\text{阻}}$ 可以很大）；

$p_{\text{腔}}$ ——型腔中金属液面上的气体压力。

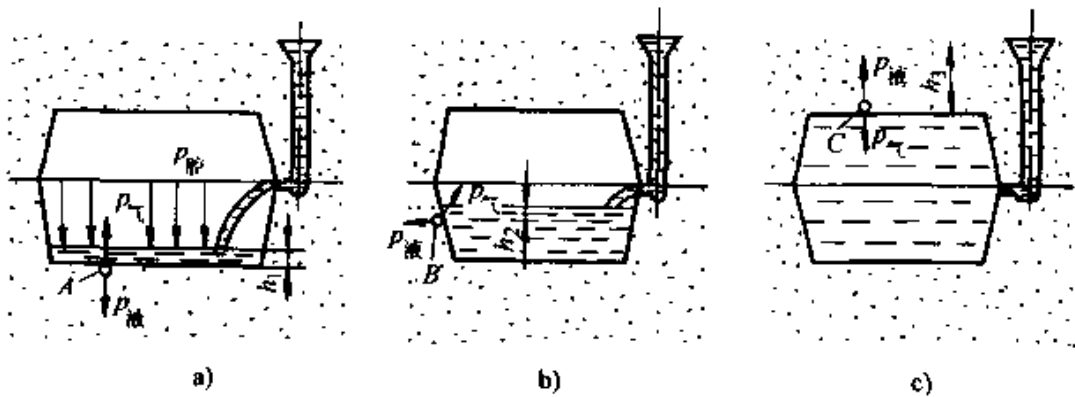


图 11-2 型砂界面气体侵入金属液的条件

(3) 防止侵入性气孔的主要方法和工艺措施

1) 使用各种方法,降低砂型(芯)界面的气体压力 $p_{\text{气}}$,这是最主要的,也是最有效的手段。如:选用合适的造型材料,透气性好,发气量低;控制湿型砂的水分及其它发气附加物;应用发气量低,发气速度慢,发气温度高的粘结剂;砂芯的排气一定要畅通,这往往是侵入性气孔的主要来源,有时还是较难解决的问题。

2) 适当提高浇注温度,使侵入的气体有充分的时间从金属液中上浮和排出。

3) 加快浇注速度,增加上砂型高度,使有效压力头增加,提高金属液的静压力。

4) 浇注系统设置时,应注意铁液流平稳,防止气体卷入。

2. 析出性气孔 溶解在金属液中的气体,在冷却和凝固过程中,由于溶解度降低而析出形成的孔洞,称为析出性气孔。

(1) 特征 数量多、尺寸小,形状呈圆形、椭圆形或针状。在铸件断面呈大面积均匀分布,同一炉次铸件大部有气孔。主要是氢气孔和氮气孔,是铝合金和铸钢中常见的缺陷,铸铁中相对较少。

(2) 析出性气孔的形成机理 金属具有吸附和溶解气体的能力(如氢、氮、氧等)。尤其在液态时,能够溶解大量气体。其形成过程分吸附和扩散两个阶段。

1) 吸附 吸附分为物理吸附和化学吸附。气体分子与金属原子由于靠分子间引力吸附到金属表面的,叫做物理吸附。吸附不牢固,也不能进入金属内部,吸附量不大而且只是在低温下进行。

当某些气体分子(如氢气、氧气等)碰撞到金属表面后被离解为原子,由于化学键的作用被吸附在金属表面,叫做化学吸附。化学吸附的气体随温度升高而增加,是铸造合金吸收气体的主要过渡阶段。

2) 扩散 被化学吸附在金属表面的气体原子,能继续渗入到金属内部,这个过程即为扩散。大量气体扩散到金属内部并保留其中,称为溶解或吸收。气体的溶解度与压力、温度、合金和气体的种类等因素有关。

3) 气体的析出及气孔的形成 溶解在金属液中的气体,在温度

降低和外界气氛压力降低时，就会从金属中析出，析出的方式有二种：一种是气体原子从金属内部扩散到金属表面，脱离吸附状态。另一种是气体原子在金属内部形成气体分子和气泡上浮排出。

(3) 铸铁中的气体及变化

1) 铸铁中的气体有氢气、氮气、氧气等。其中氢气对析出性气孔的形成影响较大。

2) 随着含碳量的增加， H_2 、 N_2 的溶解度就降低。如图 11-3 所示。

3) 微量的铝能促进铁液大量吸氢。

4) 硅的增加可以减少铁液中氧气，并能促进氢气析出。

5) 温度降低会使氢和氮在铁液中溶解度降低，尤其在凝固过程中特别剧烈。此时，由于铁液粘度高，气体不易扩散和逸出，生成气孔的可能性较大。

6) 金属熔炼过程中吸收的气体是铁液中气体的重要来源。硅铁中有时含有大量的氢气，燃料炉衬中的水分，潮湿的空气等，均使铁液易于吸收氢和氧。

(4) 防止析出性气孔的方法 主要从三方面采取措施：

1) 减少合金的吸气量，清洁炉料，烘干炉衬和浇注工具，缩短熔炼时间，以避免液态金属和炉气的接触，减少熔炼吸气等。

2) 合金液的除气处理可用加入元素除气法，吹入不溶性气体，真空除气法等。

3) 阻止气体的析出。如提高铸件冷却速度，提高外界气氛的压力等。

3. 反应性气孔 由于金属液与铸型界面之间、或金属液与渣之间、或金属液内部某些元素之间，发生了某些化学反应所产生的气体造成。

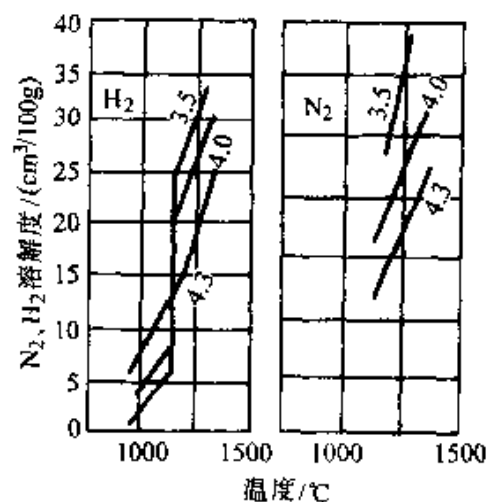


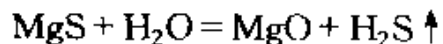
图 11-3 H_2 、 N_2 的溶解度与含碳量和温度的关系

(图中曲线上数字为碳的质量分数)

(1) 特征 这种气孔一般均匀成群分布，且往往产生于铸件皮下，形成皮下气孔。又因形状呈针头状或细长腰圆形，又称针孔，此类气孔在铸钢和球墨铸铁中出现较多。

下面着重阐述球墨铸铁中针孔的形成机理、影响因素、防止措施。

(2) 反应性气孔的形成机理 皮下气孔的形成是一个复杂的物理化学过程，受各种因素的影响，气体来源于内部析出或外部侵入。铁液内部析出的气体有：镁的蒸气、硅铁和稀土合金中的氢气及铁液凝固时溶解度急剧降低而析出的气体；外部侵入的气体主要是铁液和铸型界面上产生某种化学反应所生成的气体。例如：铁液中逸出的镁或铁液表面的硫化镁，与铸型中的水蒸气发生如下反应：



内部析出的气体，受到铁液表面氧化膜的阻止，不能尽快逸出液面；外部界面反应的气体凭较大的压力侵入有糊状凝固特性面表层往往较长时间内不能完全凝固的球墨铸铁液中，待表面凝固后，滞留于铸件表皮下形成皮下气孔。

(3) 影响因素及防止措施

1) 铁液化学成分的影响 镁的含量是影响皮下气孔的首要因素。铁液中残留镁的质量分数超过 0.05% 临界值时，皮下气孔显著增加；原铁液硫高是产生皮下气孔的又一个原因。由于含硫量高产生较多硫化镁，与型砂中的水分作用生成硫化氢气体，而生成皮下气孔。所以在保证球化的前提下，要尽量减少残留镁量，使镁的质量分数控制在 0.03% ~ 0.04% 之间。并尽可能降低原铁液的含硫量。

2) 铸型的影响 主要是铸型中水分、粘土、砂、附加物四种物质的影响。

① 水分的影响 铸型中的水分能与镁、硫化镁反应生成氢和硫化氢气体，形成皮下气孔，所以要尽量控制型砂中的水分。水的质量分数，中压造型应低于 5%，高压造型应低于 4%。

② 粘土性质和失效粘土的影响 粘土受热随温度的升高，依次失去自由水、吸附水、层间水、结构水。那种低温加热下就能排出水

分的粘土，易于产生皮下气孔。失效粘土是有害的载水物，在各项性能指标相同的情况下，型砂的水分明显增加，使皮下气孔产生的机率增加。为了减少水分的影响，在型砂中加入适量的煤粉是有效的，它能产生还原性气氛，在铸型和金属接触的界面生成薄层碳膜，使铸型和金属界面处的化学反应难以进行。

③ 原砂的影响 主要表现为原砂的种类、大小、形状、均匀程度等因素对型砂透气性的影响。透气性好，界面反应的气体容易外逸，不易形成入侵金属液的气体压力，因而气孔也难于生成。

3) 冷却速度和浇注条件的影响

① 冷却速度 在凝固速度很快的情况下，皮下气孔很少。原因是：溶解于金属中的气体来不及析出；铸件表面层很快结壳，外部气体来不及侵入。如金属型铸件皮下气孔较少。冷却速度很慢，皮下气孔亦很少。原因是：凝固慢，金属液内的气体有足够的时间在凝固前浮出液面；金属液面的气体，可以扩散到铸件中心，使铸件表层的含气量达不到饱和程度，亦不会产生气孔。

② 浇注条件的影响 主要指浇注温度和浇注平稳性的影响。

浇注温度高，相当于冷却速度慢，凝固时间长，利于气泡上浮，皮下气孔少。加上球墨铸铁为糊状凝固特征，内部融化状态时间长，表面凝固层生成慢，利于表面层的气体向外排出和向铸件内部扩散。表面层含气量的降低，减少了生成皮下气孔的可能。所以在可能的条件下尽可能提高金属液的温度。国内有的厂家，在电炉熔化球墨铸铁液时，出炉温度控制在 1510 ~ 1530℃，浇注温度控制在 1360 ~ 1400℃。

浇注平稳性。一是防止浇注时紊流卷入气体；二是球墨铸铁要注意防止铁液飞溅搅动，造成镁蒸气大量挥发和燃烧，造成皮下气孔，为了保证浇注平稳，要采用横浇道截面大的半封闭浇注系统。如：

$$\sum A_{内} : \sum A_{横} : A_{直} = 3 : 8 : 4$$

$$\sum A_{内} : \sum A_{横} : A_{直} = 0.8 : (1.2 \sim 1.5) : 1$$

二、粘砂

粘砂是铸件表面粘附着一层很难清除的砂粒或低熔点化合物。如图 11-4 所示。

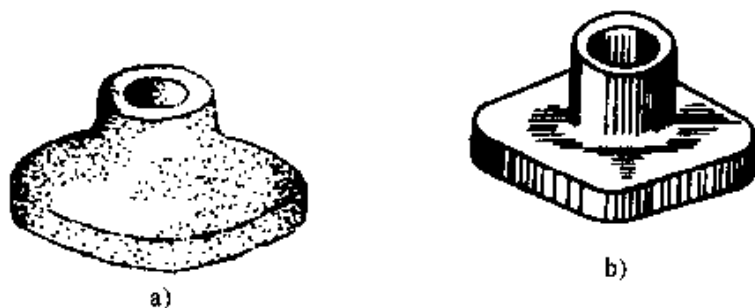


图 11-4 粘砂

a) 粘砂的铸件 b) 无粘砂铸件

粘砂大多数发生在铸件厚壁部位，砂型的下型，凹槽内角，薄壁砂芯表面等。通常铸钢件比铸铁件严重，湿型比干型严重。铸件粘砂一般不予报废，但造成许多危害：影响铸件美观，增加清理工作量，切削刀具磨损加快，影响内腔清洁度，造成传动件早期磨损，阻碍了水、气、油的流动等。

一般将粘砂分为机械粘砂、化学粘砂、热粘砂和表面粗糙四种。表面粗糙是机械粘砂的早期阶段。热粘砂是铸件表面粘附一薄层玻璃状型砂烧结物，实质属化学粘砂范畴。最终造成粘砂往往是以上几种类型综合作用的结果，下面主要分析机械粘砂和化学粘砂。

1. 机械粘砂 铁液钻入砂型表面孔隙中，凝固后将砂粒机械地钩连在铸件表面。

(1) 机械粘砂的形成 金属液渗入砂粒之间隙，实际上是金属液在静压力作用下沿砂隙间毛细管渗入并包围砂粒，成为网状的金属和砂粒的混合物。

(2) 影响机械粘砂的因素

1) 铸件表面处于液体状态的时间长短是决定渗入深度的最基本因素。时间越长，砂型温度越高，越利于金属液渗入，渗入深度越深。

2) 金属液的静压力越高，渗入深度越大。

3) 金属液的成分、氧化程度、周围气氛、造型材料的性质决定了金属液是否湿润毛细管壁，湿润则易于粘砂。

4) 金属液的浇注温度越高，型砂受到的热作用越大，砂粒的孔隙发生烧结或熔化而增大，金属液易于渗入。

(3) 防止机械粘砂的措施

- 1) 使用细砂，细砂孔隙小，毛细管阻力大，金属液不容易渗入。
- 2) 提高铸型的紧实度，舂紧的砂粒靠得近，表面孔隙小可防铁液渗入。

3) 湿型砂中加入煤粉，铸铁湿型砂中的煤粉可显著改善粘砂的发生。由于煤粉燃烧和挥发产生的还原性气氛对金属起保护作用，防止金属液被氧化而与造型材料化学反应。另外，煤粉受热软化、烧结、堵塞砂型表面的孔隙，使金属液不易渗入，一般要求煤粉的焦渣特征为4~5级。

4) 湿型表面匀洒干石墨粉或涂快干涂料，砂芯用水基或醇基涂料。

5) 在保证质量的前提下，适当降低浇注温度。

2. 化学粘砂 铸件表面牢固地粘附一层硬度很高、不易清除，由金属氧化物、砂子和粘土相互作用而生成的低熔点化合物。

(1) 化学粘砂的形成机理 铸件表面的氧化铁(FeO)，与砂中的二氧化硅和粘土作用，形成液态硅酸亚铁，其SiO₂质量分数为22%的第一种共晶的熔点仅为1220℃，流动性很好，熔融的硅酸亚铁能润湿硅砂，在毛细压力作用下，能渗入砂粒空隙。另外，FeO的熔点仅1370℃，低于纯金属铁，且能润湿型壁，易于渗入铸型，更促使了化学粘砂的加剧。

所以，化学粘砂的防止，一要解决金属氧化物对化学粘砂的影响；二要解决低熔点化合物对化学粘砂的影响。有研究证实：

① 金属氧化物层薄，则与铸件牢固连接；金属氧化物层厚，则容易剥落。其临界厚度约为100μm。

② 低熔点化合物冷凝后是结晶体，则粘砂层难以清除。如果是玻璃体则不易粘砂。

(2) 防止化学粘砂的措施

1) 防止铸件表面的金属氧化，在型砂中加入煤粉、重油、沥青及采用涂料等，浇注后燃烧将铸型内的氧迅速耗尽，在缺氧或还原性气氛中减少金属氧化物的形成。

2) 加剧铸件表面金属的氧化，使金属氧化层厚度超过临界值。

如采用石灰石砂，在型砂中加入加剧金属氧化的物质，如加入 Fe_2O_3 等，或增加粘土层中氧化铁和氧化锰的含量。

3) 促使低熔点化合物成为玻璃体。一是加快冷却速度，可促进玻璃体的形成。如减少吃砂量，采用吸热好、传热快的造型材料；二是增加粘砂层中的 FeO 、 MnO 、 Na_2O 等成分，促进玻璃体的形成。如采用钠基或钙基活化膨润土，在型砂中加入适量的氧化铁粉等。

三、冷隔与残缺

冷隔和浇注断流，浇不到、未浇满、跑火、型漏等缺陷均会造成铸件的残缺。缺陷部位往往有明显的氧化色彩，近似圆弧的残缺端面，铸件轮廓不完整、不饱满等。这些缺陷有相似之处，往往使人一时难以判断，现分析各自的主要特征、判别方法、产生原因和解决办法。

1. 一般冷隔 图 11-5 铸件上有穿透和不穿透的缝隙，边缘呈圆角，缝隙往往与型腔水平面垂直。这是由于浇入铸型的金属液前端呈圆弧状，温度低，两股金属液流相遇而不能相接造成的。

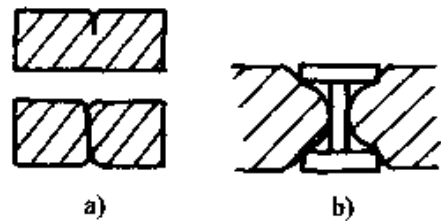


图 11-5 冷隔

a) 一般冷隔 b) 芯撑冷隔

2. 浇注断流或断流冷隔 图 11-6 所示的铸件截面可见水平方向的圆弧形接缝

相叠，可以一层亦可以多层，原因可以是浇注中断补浇造成，亦可以是充型阻力过大或局部砂型过硬，气体堵塞，待阻力逐步消减，铁液逐层进入而形成。

3. 浇不到 图 11-7 所示的铸件边角圆滑光亮，局部残缺，尤以远离浇口及薄壁处为甚。

4. 未浇满 图 11-8 所示的铸件上部轮廓缺少边角，呈圆形，

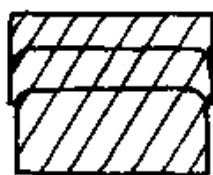


图 11-6 断流冷隔

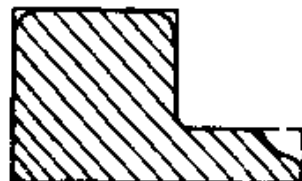


图 11-7 浇不到

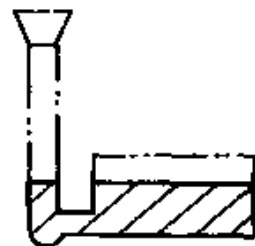


图 11-8 未浇满

尤其是浇冒口上平面与残缺铸件平面平齐，这与浇不到和跑火，有明显的区别。

上述四种缺陷产生的共同原因是：铁液温度低、化学成分不合适、浇注速度慢、型腔内充型阻力大、浇注系统设计不合理等造成铁液流速慢，浇注不畅顺等。

5. 跑火 图 11-9 所示的铸件分型面以上有严重残缺。有时沿型腔面有类似披缝的金属壳。铸件因向外跑火射箱，可在分型面找到向外跑铁液的披缝。如用壳芯，金属液向壳芯空腔内跑火，可在铸件内腔找到形状不规则的实心铁块。

6. 型漏或漏箱 图 11-10 所示的铸件有时虽有比较完整的外形，但其内部金属已漏空，铸件呈壳状，底部可找到多余的残留金属，形状不一，表面粗糙。



图 11-9 跑火

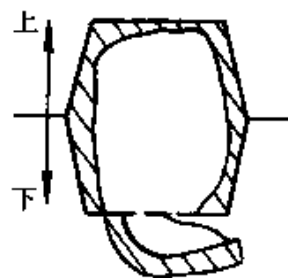


图 11-10 型漏

跑火是由于分型面不平、缝隙太大、浇注的金属液抬力大、压箱铁较早拿走等原因造成，是金属液从分型面跑出。而型漏是浇注后期或结束后从型腔底部跑火，因型腔底部砂层过薄、开裂、强度偏低、浇注过猛、静压头过高造成。当这些问题排除后，缺陷可以很快消失。

第三节 铸件缺陷实例分析

一、S195 柴油机曲轴孔洞

S195 曲轴是缸颈 $\phi 95\text{mm}$ 柴油机的重要零件。铸件重 15kg、材质 QT700-2、壁厚 30~70mm。柴油机工作时与连杆一起将动力传递出去。由于曲轴曲拐的特殊形状，在交变弯曲载荷的作用下，易在

拐角处产生裂纹，严重时曲轴断裂，造成机器毁坏的严重事故。断裂处刚好又是铸件热节部位，是铸件孔洞易发位置，见图 11-11。

1. 铸造缺陷 在断轴截面往往可见孔洞，小的如黄豆，大的如鸽蛋。有的孔形多变，孔壁粗糙，并伴有枝状晶；有的孔形规则、圆整、表面光滑，并有氧化色泽；有的介于二者之间，孔壁略粗糙，但亦有氧化色泽，多数属后二种。孔内往往有铁豆，豆体和铸件相连，曲轴经介剖和超声波探伤，孔洞率一般在 5%~10%，高时达 20%。

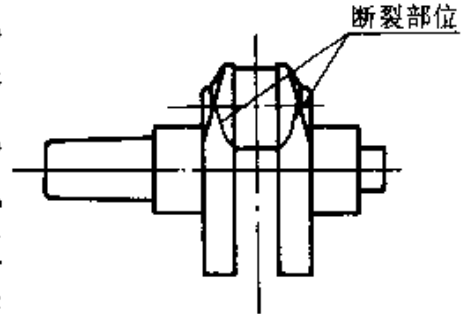


图 11-11 曲轴断裂部位示意图

2. 生产条件 铸件为覆砂金属型造型，即在成型的铁砂箱内，覆 5~7mm 覆膜砂层，由于铸型刚度高，冷却条件好，铸件共晶膨胀时，一般不发生型壁位移。正是利用这一点，曲轴工艺设计为无冒口铸造，以共晶膨胀和强的自补缩能力，满足球墨铸铁的补缩要求，工艺经长期验证是可行的，并在生产中广泛应用。

覆砂曲轴为机械化流水线生产，采用带前炉 7t 冲天炉，铁液出炉温度一般 1480℃，高时大于 1500℃，控制碳的质量分数为 3.75%~3.95%，硅的质量分数为 1.7%~2.0%，浇注温度控制在 1370℃±20℃。

3. 缺陷鉴别 分析缺陷首先要判别缺陷的性质，是气孔还是缩孔或其它；孔洞中的铁豆是冷豆，还是内渗豆；缺陷产生的主要原因。

(1) 铁豆 铁豆有冷豆和内渗豆两种。冷豆为浇注和充型过程中飞溅，铁液滴冷却成豆状并表面氧化，豆与铸件本体是同一化学成分，孔洞是铁豆表面氧化膜分解形成的，是先有豆后有孔。内渗豆与铸件本体相连，化学成分接近共晶成分，与铸件本体化学成分不一致，含磷高于本体。在凝固末期，低熔点共晶液在共晶石墨化膨胀挤压力的作用下，向铸件内部已成形孔洞挤出而成，是先有孔后有豆。经曲轴孔洞内铁豆化学成分测定，符合内渗豆特征，判别结论为：内渗豆。要解决此缺陷，先要解决孔的问题，无孔即无豆。

(2) 孔洞 孔的性质是气孔、缩孔还是气缩孔。曲轴孔洞的情况比较复杂，不能一概而论，要根据不同情况分别判断。经过深入研究，还是有规律可循，有主要矛盾在起作用。

1) 缩孔 在碳当量低，尤其是碳的质量分数低于 3.65% 的情况下，曲轴铸件扇板内侧就有缩沉。热节部位也易生成具有典型特征的缩孔。由于曲轴是无冒口工艺，当含碳量偏低时，共晶胀力不够，自补能力不足，易产生缩孔。

2) 气缩孔 在已生成缩孔的前提下，砂芯中气体易于向热节部位的孔洞侵入，或溶解在铁液中的气体，向处于真空状态的缩孔内扩散和析出。外来的气体扩大了缩孔的体积，钝化了缩孔内典型的树枝状结晶。成为既有别于纯气孔的光滑表面，又有别于典型缩孔的树枝晶表面。形成较粗糙的孔壁，既有树枝晶残留痕迹，又有气体氧化色彩的孔洞。这是一种缩孔在前，气体在后的气缩孔。

以上两种孔洞的根源是缩孔。而在化学成分控制较严的情况下，因成分不当而生成缩孔的比率较少。现场发现的孔洞，大部分是气孔和气缩孔。

3) 气孔 有下列理由说明本孔洞是气孔。

① 具有典型的气孔特征，孔壁光滑而不粗糙。

② 孔洞在热节部位，是最薄弱、最后凝固结壳，气体最容易侵入的部位。浇口从短轴扇板导入铁液，短轴端温度较长轴端更高，大部分孔洞产生在短轴热节，孔洞一般靠近油塞孔芯截面由大到小的过渡区。孔洞内有明显的气道尾巴，尖头指向砂芯，是典型的侵入性气孔，见图 11-12 所示。

③ 油塞孔芯大部分被铁液包围，工作条件差，加上芯子两头小，中间大，不利气体排出。面球墨铸铁的糊状凝固特征，表层不易结壳，气体更易侵入形成气孔。

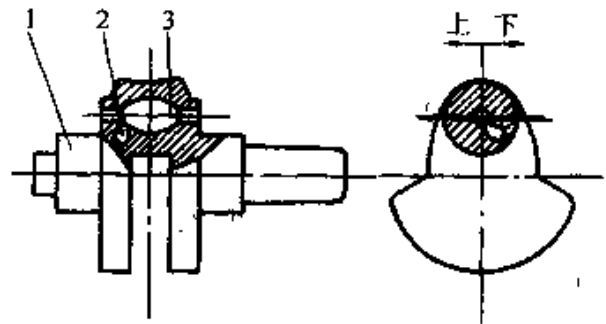


图 11-12 曲轴孔洞

1—铸件 2—孔洞 3—油塞孔

4. 曲轴侵入性气孔和气缩孔的形成及根源 经过长期观察和研究,发现孔洞的多少与铁液中的含渣量有直接联系。纤维过滤网上的渣量增加,孔洞的数量同步增加;纤维过滤网一旦被铁液冲破,铸件内的夹渣增加,孔洞反而下降;冲天炉熔化过程正常,铁液出炉温度在1480℃左右,铁液净化程度好,孔洞数量减少。这些现象的出现,为揭示孔洞产生的根源提供了重要的线索。

侵入性气孔形成的条件是: $p_{气} > p_{液} + p_{阻} + p_{腔}$ 。说明只有在气体压力 $p_{气}$ 大于金属液静压力 $p_{液}$ 与金属液毛细压力 $p_{阻}$ 及型腔内金属液面上的气体压力 $p_{腔}$ 之和时,才会造成气体入侵金属液和侵入性气孔的产生。

覆砂金属型造型的工艺情况,见图11-13。铁液浇入铸型的路线是:外浇口杯—直浇道—上箱横浇道—纤维滤网—下箱横浇道—内浇道—铸型。纤维滤网起着过滤铁液和挡渣的作用。一旦铁液中渣量大,纤维滤网挡渣面上形成一层密实的渣面,轻则影响铁液的通过量,重则阻断铁液的通道。这就带来二方面的后果:一是堵塞了铁液补缩通道,使缩孔易于生成。本工艺虽是无冒口铸造,但对共晶转变前的液态收缩还应有足够的铁液补给;二是

隔断了传递铁液压力的通道,使整个浇注系统成为非液压系统,金属液高度(h)趋于零,使金属液静压力 $p_{液}$ 基本丧失 ($p_{液} = \rho gh$)。由于 $p_{液}$ 在抵御气体入侵三阻力中起着重要的作用,使侵入性气孔形成条件的平衡式: $p_{气} \approx p_{液} + p_{阻} + p_{腔}$, 发生了利于气体侵入的倾斜,为气体侵入铸件提供了条件。这就是曲轴侵入性气孔和气缩孔的形成机理和产生根源。

基于上述分析,采取了一系列净化铁液,减少渣量,畅通浇注系

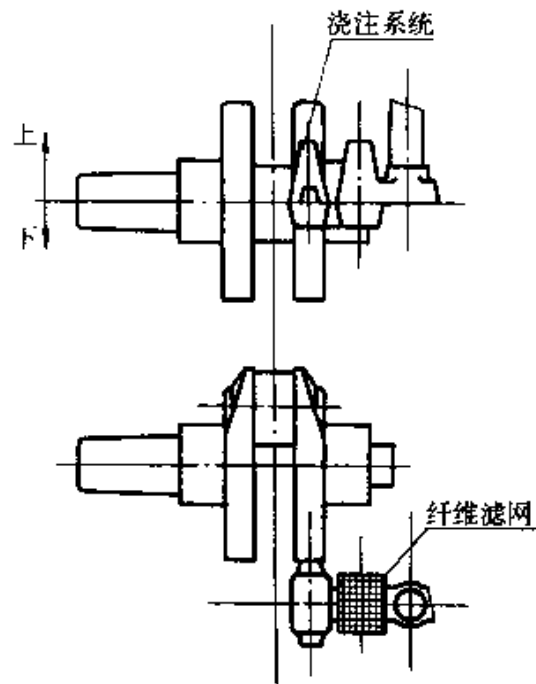


图 11-13 覆砂曲轴浇注系统

统的措施，收到了明显效果，孔洞率最低达 0.47%，但一旦渣量回升，孔洞率仍有反复。

二、1100 柴油机飞轮夹砂结疤

飞轮是柴油机蓄能零件，材质为 HT200，铸件重量 35kg，轮辐厚 15mm，外圈轮缘厚 60mm，柴油机工作时，飞轮高速转动，不能有影响强度的铸造缺陷，以免飞轮破裂伤人。

1. 铸造缺陷 柴油机零件大多为薄壁件，相对飞轮属于厚壁件，在上箱压边冒口前端，经常出现较大面积，有一定深度的疤状金属突起物。

2. 生产条件 本件为水平中压气动微震造型机造型，机械化流水线生产，单一型砂。砂箱尺寸：670mm×510mm×150mm/170mm，每箱布置一只铸件，用二只压边冒口从轮缘处进铁液浇注，见图 11-14。熔化设备为带前炉的 7t 冲天炉，浇注温度控制 1290~1340℃，型砂经混砂机混制，回性处理后送造型线生产，型砂湿强度 0.1~0.13MPa，水的质量分数为 3.9%~4.5%，透气性 (AFA) 大于 90，泥的质量分数为 16%，上平面砂型硬度单位 80~90。

3. 缺陷鉴别 从缺陷外形看，铸件表面有不规则片状金属突起物，表面粗糙，边缘锐利，部分与铸件本体相连，金属片状物与铸件之间夹有砂层，敲去片状物，除去夹砂层，露出缺陷部位凹入铸件周围平面 3~5mm，夹层下面光滑平面为原铸型平面，这与冲砂、胀砂、掉砂等形成的金属凸起物有明显差异，鉴别结论为：夹砂结疤。

4. 缺陷分析 砂型受热时，由于硅砂晶体发生晶型转变——从 β 向 α 转变，体积膨胀，表层和内层受热程度不一，膨胀亦不一致，故层间应力增加，促使表层脱离内层面拱起。

另外，型砂中水分在热作用下，向砂型内部迁移，在 100℃ 左右区域内，水分特别高，形成高湿区。粘土的粘结力和热湿拉强度下降，

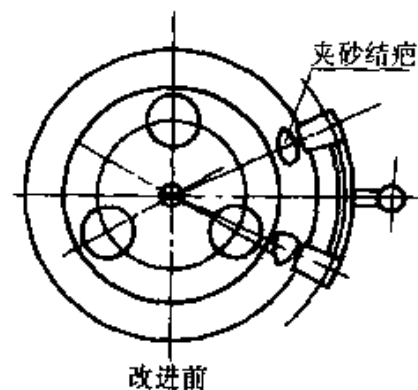


图 11-14 飞轮工艺布置及缺陷

两者结合造成表层砂拱起、开裂，一旦铁液钻入，即成为夹砂结疤。

本铸件由于工艺条件限制，亦促使夹砂结疤生成。

(1) 由于砂箱尺寸的限制，浇注系统难以布置，只能用二只压边冒口浇注。铁液进入型腔点少、集中、速度慢，上箱烘烤时间长。

(2) 单一型砂，性能不理想。

5. 改进措施

(1) 增加煤粉含量，有时配入淀粉类物质。

(2) 使用活化膨润土，增加粘土含量，图 11-15 飞轮工艺改进图水分控制不宜高，紧实均匀，避免局部过硬。

(3) 适当降低浇注温度，缩短浇注时间。

(4) 主要工艺措施：重新工艺布置，增加和均匀分布进铁液点，用多道压边内浇道顶注，圆弧形横浇道，可保证补缩，见图 11-15。由于多点进铁液，减少了局部烘烤和冲刷，缩短了浇注时间，经上述各项措施，本缺陷从根本上解决了。

三、S195 凸轮轴气孔

凸轮轴是柴油机主要三轴之一。材质为 QT600-3，凸轮工作面要求耐磨、无缺陷。本件在垂直分型射压造型线生产，属高压造型。工艺布置为：垂直底注、无冒口铸造、每型 7 件，见图 11-16 所示。

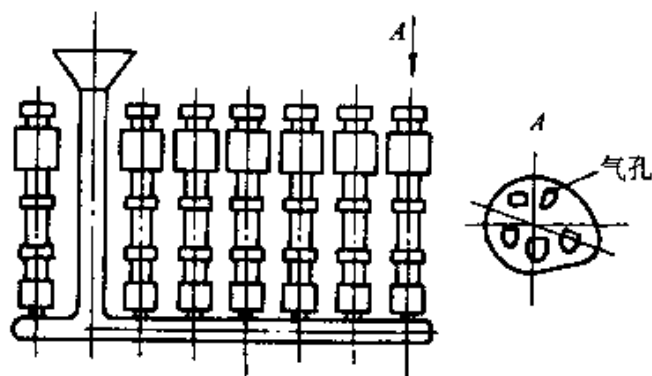
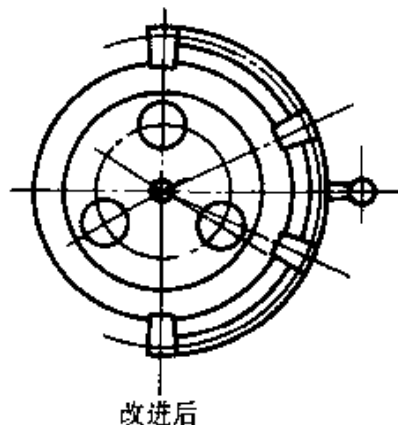


图 11-16 凸轮轴工艺布置与气孔

1. 铸造缺陷 铸件表面尤其是铸型上部的表面有大气孔, 严重时达到 50%。从型态看是气孔, 而且是侵入性气孔。本件没有砂芯, 在传统水平铸造中, 铸件不会产生此类缺陷, 侵入铸型的气体从何而来?

2. 缺陷分析 经试验和探讨, 对缺陷产生的原因有了如下认识:

(1) 高压造型对型砂有特殊的要求, 要求高粘土、高强度、高硬度、低水分、好的流动性。压实比压大于 0.7MPa。砂型紧实度从低压造型的 $1.2 \sim 1.3\text{g/cm}^3$, 提高到 $1.6 \sim 1.8\text{g/cm}^3$, 砂型硬度从 60~70, 提高至 90 左右。由于孔隙度大大减少, 透气能力下降。当高温金属液进入铸型, 型砂中水分急剧气化, 由于透气能力下降, 水分和气体迁移较中、低压造型慢, 易在瞬间形成高压, 以“水爆炸”形式侵入金属液造成气孔, 这是原因之一。

(2) 由于是垂直底注, 砂型高度 600mm, 型腔内高度大于 500mm, 这在水平小件生产中是没有的。型腔内气体和砂型中水分, 随铁液从底部逐步上升向上迁移, 易于在铸型上部形成高湿区。

(3) 浇注采用环形滚道和手工小包浇注, 每包可浇 5 箱, 一般连续浇注中较少产生水爆炸。待后一包铁液上线浇注时, 未浇的第六箱直浇道内可见绿色火苗窜出, 此箱浇注时更易产生水爆炸, 取出铸件可见明显侵入性气孔。经分析由于是无箱造型, 砂型之间没有砂箱隔断和保护, 裸露的垂直砂型紧靠一起, 浇注时气体和水分可向旁边砂型迁移, 虽然较慢, 但由于每包之间有一定的时间间隔, 容易造成第六箱内高湿度区的形成。

(4) 型砂内失效粘土和其它粉尘含量偏高, 造成型砂水分难以降低, 透气性偏低。

上述几点是造成水爆炸和侵入性气孔产生的主要原因, 针对这些问题采取了改进措施。

3. 改进措施

(1) 降低型砂水分, 控制水的质量分数为 3.9%~4.3%、将失效粘土和粉尘含量降下来, 采用一种新型添加剂, 既可作粘结剂又可作煤粉, 使粉尘量有较大下降, 水分达标, 透气性上升。

(2) 按恒压等流量原理调整工艺, 保证每型同时进铁液, 减少相

互干扰，加快浇注速度，控制水分迁移和高湿区的形成。

(3) 模板上增加排气系统。

(4) 要求连续浇注，减少包与包之间浇注停顿时间，或第六箱不浇注，或点燃第六箱内气体后浇注。

由于采取了上述措施，水爆炸现象大为减少，气孔率下降 95%，满足了质量要求。

第四节 铸件质量检验

铸造生产经造型、制芯、熔炼等一系列过程，最终制成铸件，生产过程中虽设置了各种质量控制手段和各工序的中间检验环节，但铸件的最终检验，仍是不可缺少的重要环节，其目的是保证铸件质量符合交货验收条件。

铸件质量检验的依据是：铸件图样、铸造工艺文件，有关标准及铸件交货验收技术条件。

铸件质量主要包括以下两方面：

1. 铸件外观质量 包括铸件尺寸公差，铸件表面粗糙度，铸件重量公差，浇冒口残留量，铸件焊补质量及铸件表面缺陷等。

2. 铸件内在质量 包括铸件的化学成分，物理力学性能，金相组织，内部缺陷，以及其它特殊的物理—化学性能等。

铸件质量检验结果分为三类：合格品、返修品和废品。合格品是指外观和内在质量符合验收条件的铸件；返修品是指铸件外观和内在质量不完全符合验收条件，但经返修后能达到标准的铸件；废品是指外观和内在质量不合格，不允许返修或返修后仍不能达到验收条件的铸件。

铸件质量检验主要分四个方面：外观质量、表面缺陷、内部缺陷、理化性能。

一、铸件外观质量检验

1. 铸件形状和尺寸检验 根据铸件图样和铸造工艺文件规定提供的依据，可用划线检测的手段检查铸件的全部或部分尺寸，或用专用的工、夹、量具检测铸件的主要尺寸，根据实物与图样的符合性程度，判断铸件的质量。

亦可用三坐标测量仪法：三坐标测量仪是一种微型计算机控制的，测量物体尺寸的仪器，其优点是测量精度高，速度快，自动显示和打印测量结果，可在各种场合测量物体的三维尺寸，铸造上可用于测量铸件和工装模具的尺寸。

2. 铸件表面粗糙度评定 铸件表面粗糙度是评定毛坯铸件表面质量的重要指标。铸件表面粗糙度用其表面轮廓算术平均偏差 R_a 或微观不平度十点高度 R_z 进行分级。具体实施，应采用符合 GB/T6060.1—1997《表面粗糙度比较样块 铸造表面》规定的，铸造表面粗糙度比较样块进行比对。评定方法，应按全国铸造标准化技术委员会标准 BWZ001—1988《铸造表面粗糙度的评定方法》的规定进行。比较样块不适用于浇口、冒口，补贴的残余表面和表面缺陷。

3. 铸件外观缺陷检验 用肉眼或借助低倍放大镜及其它工具检查铸件表面宏观缺陷，可检项目有：气孔、缩孔、砂眼、夹渣、粘砂、夹砂结疤、裂纹、冷隔等到一切目视极易发现的缺陷，这是最普通最常用的检验方法。

二、铸件表面缺陷检验

铸件表面或近表面的缺陷，常用浸渗法、压力法、磁粉检测等无损探伤方法检验。

1. 渗透检验 渗透检验主要用于检查铸件表面开口缺陷。尤其适用于不能采用磁粉检验方法的不锈钢铸件和非铁合金铸件。其原理是：在被检铸件表面浸涂渗透力强的液体，使液体渗入细微缝隙和孔眼中，并在被检表面喷涂显示材料，经毛细作用，将孔隙中渗透液吸附出来并被显示。

检测方法有荧光检测、着色检测、浸油检测。使各种液体渗入缺陷并被显示，以判断出铸件缺陷。

渗透检测简单易行、高效、低耗，不受铸件几何形状和尺寸大小的限制，一次可同时检测出不同方向的表面缺陷。但只便于检测表面开口的缺陷，灵敏度不高，被检铸件表面粗糙度值应低。

2. 压力检测 压力试验是用来检验铸件壁穿透性裂纹、砂眼、气孔、缩孔等影响铸件耐压和气密性缺陷的方法。对缸盖、缸体及其它耐压零件都要进行压力试验。

压力试验是将一定压力的水、油、气压入铸件的空腔，如果铸件有穿透性缺陷，压入物将从铸件壁渗漏出来，从而发现缺陷的位置，试验压力通常要超过铸件工作压力 30%~50%。

用水或油进行压力试验称为液压试验。由于压力高，缺陷易发现，应用较广泛。用空气进行压力试验称为气压试验。小铸件可浸入水中试验，大铸件可在疑点处涂上肥皂水等发泡液，当有气体渗出时，缺陷处就有气泡生成。

3. 磁粉探伤 磁粉探伤常用于铸钢，铸铁等铁磁性材料表面或近表面缺陷的无损检测，主要用于检查裂纹以及夹渣、气孔等。

其原理是在强磁场中缺陷和铁磁材料基体的磁导率不同，在缺陷处产生漏磁场而吸附撒在材料表面的磁粉。

探伤方法是将被检验的铸件，放在电磁铁正负极之间，使磁力线通过铸件，并在铸件表面撒上细磁粉，或浇上磁粉悬浮液，如铸件表层存在缺陷，会产生很大的磁阻，使磁力线在缺陷处穿出铸件表面再进入铸件，到达铸件的另一极，如图 11-17 所示。这就形成漏磁场，缺陷附近的磁粉被漏磁场吸引，在缺陷处形成肉眼可见的磁粉堆积和定向现象，形成的图案与缺陷相似，显示缺陷的位置。

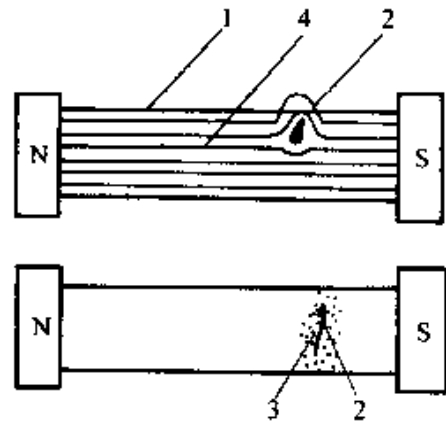


图 11-17 磁粉探伤原理

1—铸件 2—缺陷

3—磁粉 4—磁力线

磁粉检测对表面缺陷最敏感，在合适的条件下，能发现宽度仅十分之一微米的磨削裂纹。对表面以下的缺陷，随埋藏深度的增加，灵敏度迅速下降。工件表面粗糙度值越低，材料导磁性越好，缺陷与磁化磁场方向越接近垂直，灵敏度越高。磁粉检测操作简便、可靠、价格便宜，应用十分广泛。

三、铸件内部缺陷检测

主要检验方法有射线探伤法和超声波探伤法。射线探伤较超声波探伤更利于缺陷种类的判定。随着对铸件质量要求的提高，已广泛应用于铸件缺陷检验，有的甚至配备于铸件清理流水线，对铸件全数检查。

1. 射线检测 用射线检测铸件缺陷的方法称为射线检测。原理是利用 X 射线或 γ 射线穿透被测材料时，材料中的原子对射线的能量不断吸收和散射，使射线能量逐渐衰减，衰减的快慢与物体的密度有关，密度越大，衰减越快，与厚度成正比。而铸件缺陷部位对射线的吸收能力大大低于金属对射线的吸收能力，因而在射线感光的胶片上，便显示出不同的黑度图象，如图 11-18 所示。

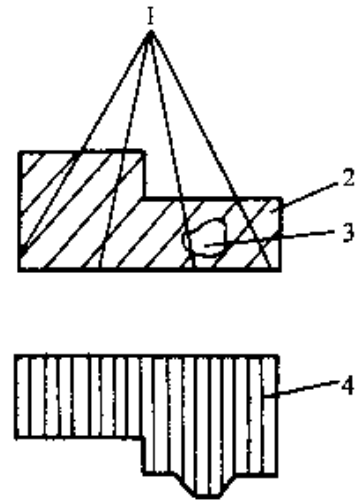


图 11-18 射线探伤原理

1—射线 2—铸件
3—缺陷 4—底片的黑度

被检铸件左端厚右端薄，射线通过右半部比左半部能量吸收少，因而底片的黑度比左半部大，铸件右端的孔洞使其有效厚度减小，因而对应的黑度较周围高，胶片冲洗后便显示出缺陷图形。

射线能探测的铸件厚度与铸件材质有关，对钢材来说，X 射线能探测的厚度在 180mm 以下，（一般工厂的设备上能探测 50mm 左右）， γ 射线能探测的厚度在 300mm 以下，但 X 射线的透视灵敏度较 γ 射线高。

2. 超声波检测 超声波探伤是用指向性和束射性强的超声波在介质中直线传播，遇到缺陷时在界面上会产生反射，特别是由金属传向空气或由空气传向金属时，差不多 99% 能量从界面上反射回去，反射信号被探头接收，经处理后显示在荧光屏上，根据反射信号的特征，判断被测材料内部有无缺陷，以及缺陷的位置，形状和大小。

图 11-19a 表示铸件内没有缺陷，荧光屏上只有探测而上反射形成的始波和底面上反射形成的底波。图 11-19b 表示有缺陷，它除了始波和底波，还有因缺陷反射形成的伤波，根据伤波在始波和底波之间的位置。可以推测出缺陷的位置和深度。缺陷越大，经缺陷反射的能量越多，伤波越高，而相应的底波要降低。

进行超声波探伤时，应对探伤面局部打磨或机械加工，并在被测表面涂刷一层耦合剂（如机油），使超声波探头与铸件表面贴合，使超声波大部分能进入铸件内部，然后按一定的路线缓慢移动探头，并

注意示波屏上的图形，从而判断缺陷的种类、大小和深度。但难以探知缺陷的性质。

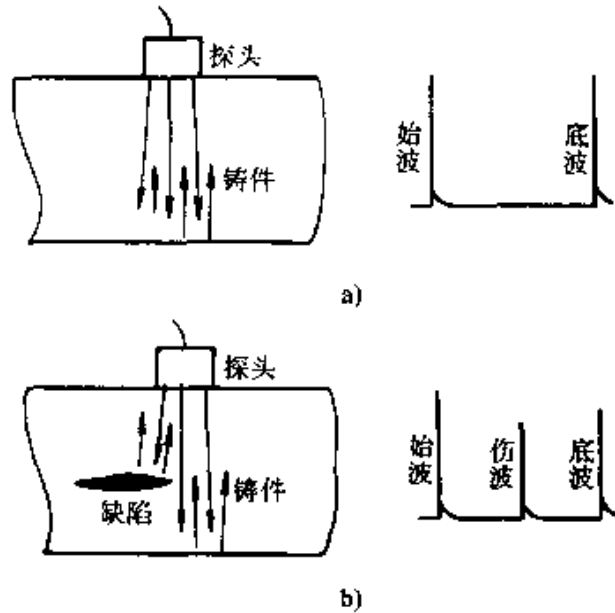


图 11-19 超声波探伤原理示意图

a) 无缺陷 b) 有大缺陷

超声波探伤适应范围广、灵敏度高，当缺陷表面与超声波传播方向垂直时，检出率更高、更灵敏。灰铸铁由于片状石墨和夹渣的存在相当于裂纹，对探伤灵敏度有影响，一般应用于球墨铸铁件。

四、理化性能检验

理化性能检验主要包括化学成分分析，金相组织检验，力学性能测定及特殊性能检验。

1. 化学成分分析 铸钢件、非铁合金铸件以及要求特殊性能的高合金铸件和特种铸铁件，常把化学成分作为铸件验收的条件之一。一般铸铁件虽然化学成分不作验收依据，但由于化学成分对基体组织、力学性能、铸造性能及铸造缺陷有较大影响，为了保证铸件质量，在生产过程中仍要对化学成分进行检查和控制。

铸件的成分分析，一般分为炉前检验和成品铸件终端检验。要制取分析试样，进行定量分析，从化学成分的变化中，监控配料、熔炼及炉前处理的各个过程，保证铁液及铸件的化学成分符合技术要求。炉前分析一般用快速测定法，如热分析法、光谱分析法等，数分钟即可测出结果，满足连续批量生产的要求。终端检验及仲裁检验，以化

学分析法为多。

2. 金相组织检验 铸件的金相组织对材料的力学性能有着决定性的影响。相同化学成分的铸件，可具有不同的金相组织和力学性能。因而在技术标准、合同条文和验收依据中，均作相应的规定。

铸件的显微组织，通常采用金相显微镜进行观测，必要时可拍成照片进行细致的分析，试样可用做过力学性能的试样，也可从铸件本体，专用或附铸试块上切取，取样的部位由供需双方商定。

进行金相检验，有利于改进生产工艺、提高铸件质量，是生产高质量铸件不可缺少的手段。

3. 力学性能的检验 主要指常规力学性能检验，检验项目通常包括：抗拉强度、屈服点、伸长率、冲击韧度、硬度等。要制取单铸试样、附铸试样或本体试样，在专门测试设备上测定，但单铸试样的制取必须在冷却条件与铸件相仿的条件才行。

力学性能是对机械零件基本的性能要求。是化学成分、金相组织等内在质量因素的最终反映，是国家标准和验收条件中明确必须达到的指标。

第五节 铸造缺陷修补

有铸造缺陷的铸件，只要经修补后能满足铸件的技术要求，经济上合算可进行修补。常用的修补方法有焊补法、浸渗法、环氧树脂修补法等。其中，焊补法有应用广泛、经济、可靠等优点，浸渗法在有气密性要求的铸件中，运用越来越多。

一、焊补

常用的焊补方法有电焊和气焊两种。

1. 电焊 铸钢件缺陷采用电焊修补，焊前一般不必预热；铸铁件修补分冷焊和热焊两种。冷焊法工艺简单，焊前铸件不预热，主要用于焊补铸件不加工表面，若铸件焊补后需机械加工，可采用镍基合金焊条。采用铸铁焊条焊补的焊缝强度、硬度和颜色与铸件本体相近，焊补后可机械加工，但焊补后易开裂。

铸件的加工面或承受动载荷处的缺陷，应采用高硅铸铁焊条进行热焊。铸件焊补前预热至 $500 \sim 700^{\circ}\text{C}$ 。焊补后需保温缓冷，铸件不

易开裂，可进行机械加工。

2. 气焊 气焊焊补是利用可燃性气体（乙炔、丙烷、氢气等）与氧气混合燃烧产生的热量，使铸件本体金属和焊接金属（焊条、焊丝、焊粉）熔接成一体焊补方法，生产中最常用的是氧—乙炔焰气焊焊补法。

气焊多用于焊补未经机械加工的铸铁件和非铁合金铸件。铸铁件施焊前往往需缓慢预热至 $500 \sim 550^{\circ}\text{C}$ ，焊后缓冷。某些复杂的铸件还需进行退火处理，消除应力防止裂纹。

传统的气焊法有一定的局限性和缺点。气体喷覆焊补法，是近几年发展起来的新技术。其工艺如下：以氧—乙炔火焰为热源和送粉载体，将专门设计的焊补材料制成合金粉，通过特别的喷枪高速喷吹于经过处理的缺陷内而实施焊补，喷焊炬外形见图 11-20。

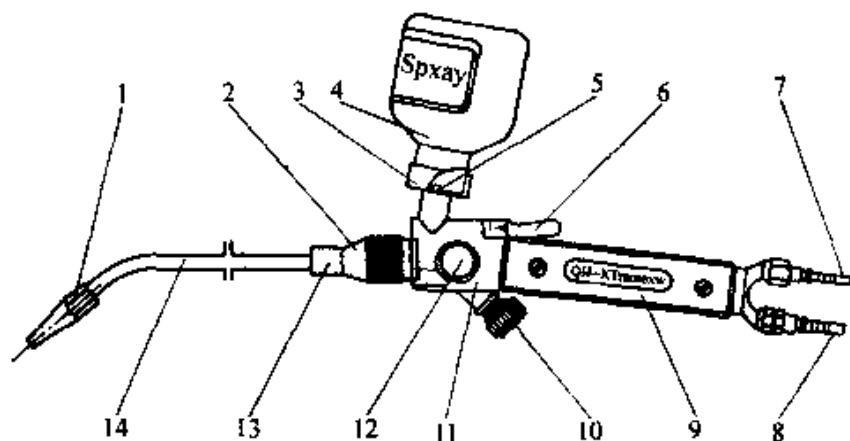


图 11-20 喷焊炬外形图

- 1—喷焊嘴 2—联接螺母 3—粉斗座 4—粉斗
5—粉控器 6—喷粉撒手 7—氧气接头 8—乙炔接头
9—手柄 10—乙炔手轮 11—中部主体 12—氧气手轮
13—混合接头 14—混合气管

其特点是：与母材结合强度高，大于 HT200，硬度与母材相当，色泽基本与母材一致。此外，还兼有加工性能好、无气孔、裂纹、硬点、操作简便、性能可靠的特点。该工艺主要适用于铸铁及铸钢件等各种缺陷的修复，对大部分薄壁铸件也同样适用。所以在机械制造行业中，具有广泛的应用价值。

二、浸渗修补

浸渗是解决铸件渗漏的新技术，对弥补铸件缺陷，降低铸造成本有良好的效果。它是用含有填料和胶体物质的渗透液，渗入铸件的孔隙中固化，达到堵漏的目的。

1. 浸渗剂 目前常用的浸渗剂有水玻璃型，合成树脂型和厌氧胶型三种。

(1) 水玻璃型 其优点是：原料来源广泛、价格便宜、工艺操作简便，室温下固化，耐油、酸、碱及高温，能经受 500~800℃ 高温，是耐热性最好的浸渗剂。其缺点是：性脆、易龟裂、收缩性大。

(2) 合成树脂型 有环氧树脂及酚醛树脂型，其特点是：表面张力小、收缩率小、耐化学试剂腐蚀、耐高压、一次浸渗成功率高，缺点是：要有一定的固化温度和烘干时间，价格比水玻璃型高许多倍，应用不及水玻璃型和厌氧胶型广泛。

(3) 厌氧胶型 以丙烯酸酯类为主，其特点是：浸渗力强，浸渗效率可高达 99%。常温固化，承受压力高，耐腐蚀性强，是一种新型浸渗剂。适用于铸铁、铸铝、铜及其它合金的渗补，国产厌氧胶有 Y-50、GY-340、ZY-801、Zy-S₁ 等。

2. 渗补工艺 渗补工艺因铸件结构、生产类型、浸渗剂种类、铸件缺陷位置的不同而不同。常用的渗补工艺有以下几种：无压局部渗补，真空减压局部渗补，真空加压整体渗补。应用范围广、生产批量大、效果好的是真空压力浸渗。此法不受零件形状限制，适应性强。渗补时将铸件装入专用吊运设备中放入浸渗罐内，加盖密封、抽成真空、注入水玻璃或合成树脂，铸件淹没在浸渗液中，短暂静置，使浸渗液渗入缺陷孔隙，然后通入 0.5~0.7MPa 的压缩空气保压 20min，增强浸渗效果。铸件取出后经清洗、钝化、固化后，作耐压密封检查。

三、其它修补方法

主要有：腻子填补、环氧树脂类铸工胶修补、金属喷镀、金属液熔补、金属塞镶补等。采用哪种方法应根据铸件的技术条件及各地的客观情况灵活选用。

四、修补前的清理

在修补前均应对缺陷表面进行清理，去除夹渣、砂泥及氧化皮等夹杂物，对缺陷扩孔成相对规则形状以保证焊透和补牢。焊补件要加工出 V 形坡口或 X 形坡口，使其露出金属基体。必要时要用碱水、汽油、四氯化碳、丙酮等擦洗掉铸件表面油污。为防裂纹延伸，补前在裂纹两端距离 5~10mm 处各钻 $\phi 8\sim\phi 10\text{mm}$ 止裂孔。

清理铸件缺陷可采用风铲、风动和电动砂轮、磨头、铣刀、火焰切割、碳弧切割及机械加工等方法。

试 题 库

试 题

一、是非题（是画√，非画×）

1. 与纯金属相比，合金具有更高的强度和硬度。 ()
2. 某种金属的重量称为该金属的密度。 ()
3. 金属的热导率越大，导热性越差。 ()
4. 纯金属的导电性比合金差。 ()
5. 顺磁性材料在磁场中能强烈地被磁化。 ()
6. 金属材料在超过其 σ_s 的条件下工作，就会引起零件的断裂。 ()
7. 灰铸铁的伸长率可达 50%。 ()
8. 金属性能的差异，从本质上来说，是由其内部结构所决定的。 ()
9. 金属材料的伸长率 δ 数值越大，表示材料的塑性越差。 ()
10. 金属材料不能在超过其 σ_b 的条件下工作，但能在超过其 σ_s 的条件下工作。 ()
11. 铁碳合金中，碳溶于 α -Fe 中形成的间隙固溶体称为铁素体。 ()
12. 实际结晶温度总是高于理论结晶温度。 ()
13. 金属结晶时过冷度的大小并不是一个恒定值。 ()
14. 金属结晶时晶粒的大小是无法控制的。 ()
15. 研究铸铁的结晶过程、组织、性能及铸造、热处理工艺时，常用 Fe-Fe₃C 亚稳定系相图。 ()

16. 固溶体的强度和硬度比纯金属高的原因是“固溶强化”。 ()
17. 金属化合物的晶格形式与原来一种组元相同。 ()
18. 相图是表示合金系中合金的状态与温度、成分间的关系的图解。 ()
19. 铁碳合金是以铁为基础的合金，也是钢和铸铁的统称。 ()
20. 当铁碳合金的碳含量超过其溶解度时，多余的碳在稳定状态下形成渗碳体，在亚稳定状态下则直接析出石墨。 ()
21. 铁碳合金的温度在液相线以下都处于固体状态。 ()
22. $S_c < 1$ 的铸铁为过共晶铸铁。 ()
23. 石墨呈紧密团絮状的铸铁称为球墨铸铁。 ()
24. 灰铸铁件的热处理既能改变基体组织，又能改变石墨的形状。 ()
25. 灰铸铁件消除白口组织的热处理是生产必须的工序。 ()
26. 球墨铸铁件不能进行等温淬火处理。 ()
27. 球墨铸铁普通正火的目的是获得珠光体或索氏体基体。 ()
28. 铸钢件热处理的目的是细化晶粒、消除魏氏组织和铸造应力。 ()
29. 铸造铝合金在铸态下的力学性能已完全满足使用要求，很少需要热处理。 ()
30. 只有少数铸造铜合金可热处理强化。 ()
31. 片状石墨的数量大小和分布状况是影响灰铸铁性能的主要因素。 ()
32. 碳和硅都是强烈促进石墨化的元素。 ()
33. 孕育剂主要含有强烈阻碍石墨化元素。 ()
34. 灰铸铁炉前三角试块白口宽度越大，孕育效果越好。 ()
35. 对于珠光体球墨铸铁，含锰量越高越好。 ()
36. 在球墨铸铁中，残余镁量及稀土量越高越好。 ()
37. 采用冲入法球化处理工艺，出铁时应将铁液冲入浇包中放球

化剂的一侧。 ()

38. 球化后的铁液，铁液表面窜出的火苗越多、越长、越有力，说明球化越差。 ()

39. 蠕墨铸铁的力学性能高于同基体的球墨铸铁。 ()

40. 铸铁熔炼的基本任务是提供成分和温度符合要求，非金属夹杂物与气体含量少的优质铁液。 ()

41. 所谓底焦高度是指装入金属料以前加入冲天炉内的全部焦炭的高度。 ()

42. 冲天炉熔炼的加料顺序为新生铁、熔剂、废钢、铁合金、回炉铁、焦炭。 ()

43. 在冲天炉熔炼过程中，正常的炉渣应为黑色玻璃状。 ()

44. 冲天炉是一种以对流的传热原理进行工作的井式熔炉。 ()

45. 冲天炉氧化带中，从下往上，自由氧浓度不断增加，二氧化碳浓度不断减少。 ()

46. 燃烧系数 η_v 越小，焦炭的燃烧越完全。 ()

47. 冲天炉内的造渣，是靠随同每批炉料加入的定量熔剂来完成的。 ()

48. 冲天炉内金属元素的烧损，主要发生在预热区和炉缸区。 ()

49. 铁液的增硫与焦炭含硫量有直接关系，故应选用低硫焦炭做熔炼燃料。 ()

50. 在酸性冲天炉熔炼过程中，铁液磷的质量分数基本上保持不变。铸铁的磷的质量分数主要靠配料控制。 ()

51. 铸钢不具有焊接性能。 ()

52. 电弧炉熔炼的基本原理，是利用电极与金属料之间放电产生的电弧所发出的热量来熔化金属料和使钢液进行过热的。 ()

53. 酸性电弧炉的脱磷和脱硫能力比碱性电弧炉强。 ()

54. 氧化法炼钢的工艺流程包括补炉、装料、熔化期、氧化期、还原期和出钢。 ()

55. 氧化法炼钢氧化期的任务是脱氧、脱硫和调整钢液温度及化

- 学成分。 ()
56. 铸造锡青铜增加锡量, 使塑性增加而强度下降。 ()
57. 两元铝青铜加入锰、铁、镍易产生“缓冷脆性”。 ()
58. 铸造铝硅合金的流动性差、收缩大, 不易获得致密铸件。 ()
59. 铝合金熔炼的一般顺序为: 熔化前的准备→装料→熔化→调整化学成分→精炼→变质处理→调整温度→浇注。 ()
60. 在铝合金熔炼时, 一般采用最小的加热能力, 将合金缓慢熔化并升温到要求温度, 这样可避免合金过分氧化。 ()
61. 铸造上将颗粒直径大于 $22\mu\text{m}$ 的岩石风化物称为砂。 ()
62. 铸造用普通粘土的主要成分是高岭石。 ()
63. 铸造用膨润土, 因吸水能力强, 强度高, 加热时, 体积变化大, 故常来用作湿型砂粘结剂, 而普通粘土常作干型砂粘结剂。 ()
64. 对粘土湿型砂而言, 水分适当时, 粘土含量越高, 强度也越高。 ()
65. 在铸铁用粘土湿型砂中, 必须全部采用新砂混制型砂。 ()
66. 湿型砂中加入煤粉的作用主要是防止铸件粘砂和提高铸件表面质量。 ()
67. 与普通机器造型相比较, 高密度造型用湿型砂的主要特点是: 水分高、强度低、流动性好。 ()
68. 紧实率是表示湿型砂中粘土与水比例是否适宜于造型的一种综合性指标。 ()
69. 桐油砂的干强度越高越好, 这样才能保证铸件质量。 ()
70. 桐油砂的发气量较大, 除与桐油及附加物加入量有关。与烘干工艺无关。 ()
71. 合脂砂干强度的高低取决于合脂本身的性能与加入量, 与原砂、合脂稀释比, 以及烘干工艺无关。 ()
72. 合成树脂砂用于铸造能满足各种铸造合金及不同生产条件的要求。 ()

73. 热芯盒法树脂砂的强度高, 主要决定于树脂本身的性质而与原砂质量、芯盒温度、混制质量等无关。 ()
74. 热芯盒树脂砂的发气量虽大, 但发气速度较快, 因此砂芯不需加强排气措施。 ()
75. 在树脂砂中加入偶联剂, 其目的是为了提_高树脂砂的流动性。 ()
76. 在酸固化自硬砂中加入偶联剂的目的是提高自硬砂的强度。 ()
77. 影响自硬砂可使用时间和起模时间的因素主要是砂温和环境温度。 ()
78. 在酚醛脲烷树脂自硬砂中, 减少 II 组分的用量是为了增加树脂砂的强度。 ()
79. 水玻璃砂只能用于铸钢件和大型铸铁件的生产, 而不能用于小型铸铁件和非铁合金铸件。 ()
80. 在水玻璃中加入氢氧化钠的目的是为了降低水玻璃的模数。 ()
81. 水玻璃砂的保存性较差, 故混砂和制芯造型应很好配合, 做到及时供砂。 ()
82. 铸造用涂料的主要作用是防止粘砂和加固砂型 (芯)。 ()
83. 铸造涂料中, 水基涂料大多采用膨润土作悬浮剂。 ()
84. 刷涂法是铸造涂料使用中最常用的涂敷方法。 ()
85. 对于中型铸铁件大多采用石墨涂料。 ()
86. 液态金属充填铸型的能力是生产合格铸件的最基本的要求。 ()
87. 对灰铸铁, 在亚共晶铸铁中越接近共晶成分, 流动性越好。 ()
88. 铸铁中提高流动性的元素有 Mn、Cr, 降低流动性的元素有 P、Si、Cu、Ni。 ()
89. 流动性与金属的化学成分、杂质含量及其物理性能有关。 ()

90. 稀土镁有脱硫、去气和排除杂质, 净化铁液的作用, 因此, 在任何情况下, 球墨铸铁比灰铸铁的流动性好。 ()

91. 铸钢浇注温度比铸铁高, 因此铸钢流动性比铸铁好。 ()

92. 压边浇口、雨淋浇口为顶注式浇口。 ()

93. 铝合金常用垂直缝隙式浇注系统, 它是底注式浇注系统。 ()

94. 浇注时间仅取决于总浇注重量, 与其它因素无关。 ()

95. 横浇道也称“撇渣道”, 因此只要设计好横浇道, 可以不必采取其它挡渣措施。 ()

96. 拔塞浇口盆除起挡渣作用外, 还能起定量作用。 ()

97. 正圆台直浇道可防止气体和熔渣卷入铸型, 因此生产中不采用倒圆台型直浇道。 ()

98. 可锻铸铁、球墨铸铁件冒口颈尺寸远大于阻流截面尺寸, 所以它们都是开放式浇注系统。 ()

99. 对同一铸件, 用 $\sum A_{内} = \frac{G}{0.31\mu t \sqrt{H_p}}$ 计算内浇道截面积时, 球墨铸铁比灰铸铁计算结果值大。 ()

100. 不同浇注形式的平均静压头高度计算公式, 底部注入: $H_p = H_0 - h/8$; 中间注入: $H_p = H_0$ 。 ()

101. 型腔内最小液面上升速度主要取决于铸件壁厚。 ()

102. 下列方法可使流量系数 μ 值增大: 顶注式, 增加型砂透气性, 采用封闭式浇注系统。 ()

103. 铸件工艺出品率的计算公式是: ()

$$\text{工艺出品率} = \frac{\text{铸件重量}}{\text{铸件重量} + \text{浇冒口重量}} \times 100\%$$

104. 剩余压力头计算公式为 $H_M \geq L \tan \alpha$ 。 ()

105. 半封闭浇注系统阻流截面在直浇道上部或浇口杯底部。 ()

106. 铸型浇注时内浇道至外浇道液面的高度与内浇道以上铸件高度之差称为平均静压头。 ()

107. 有一铸铁件, 其浇注系统各组元的比例为: $\sum A_{内} : \sum A_{横} :$

$A_{\text{直}} = 1:1.1:1.2$,它是采用了封闭式浇注系统。 ()

108. 在浇注温度和铸型工艺因素等条件正常的情况下,铸件形状越复杂,壁厚越薄,则对金属液流动阻力越大,流量阻力系数 μ 值越小。 ()

109. 铸型对金属液流动的影响,主要是:铸型型腔特点、铸型的导热能力、浇注系统的阻力等。 ()

110. 流量系数 μ 值主要取决于铸型对金属液流动阻力的大小,对同一铸件,湿型比干型阻力大。 ()

111. 浇注时间确定后如果型内液面上升速度达不到要求,则必须重新修正浇注时间。 ()

112. 在横浇道上有多个相同面积的内浇道时,离直浇道近的内浇道进铁液多,最远的内浇道进铁液少。 ()

113. 有一灰铸铁件为大量流水生产,铸件重量为36kg,每箱金属总重量45kg,则此铸件的工艺出品率为75%。 ()

114. 在两箱造型中,横浇道、内浇道开设在分型面上的浇注系统称中间注入式。 ()

115. 铸件截面凝固区域的大小是由合金的结晶温度范围决定的。 ()

116. 定向凝固原则与同时凝固原则相比,其优点是铸铁件冷却均匀,热应力小,铸铁件不容易变形和产生裂纹。 ()

117. 金属从液态到常温线尺寸的改变量,称为线收缩。 ()

118. 固态收缩阶段是铸件产生应力和变形的基本原因。 ()

119. 对于承受高温、高压、不允许渗漏,且致密性要求较高的铸件,一般采用同时凝固原则。 ()

120. 纯铁在凝固过程中,其截面凝固区域宽度为零,固相和液相由一条界线分开。 ()

121. 当合金从液相线温度 $t_{\text{液}}$ 冷却到固相线温度 $t_{\text{固}}$ 所发生的体收缩称为凝固体收缩,其凝固体收缩只与状态改变有关。 ()

122. 铸造合金在不同收缩阶段的收缩性能是不同的,但对铸件质量的影响基本上是一致的。 ()

123. 凡具有结晶温度范围的铸钢凝固体收缩主要包括温度降低

和状态改变两部分，铸钢的结晶温度范围随着含碳量提高而扩大，因而， $\varepsilon_{V液}$ 也随着含碳量增加而增大。 ()

124. 铸铁的固态收缩可分为珠光体转变前的收缩、共析转变期的膨胀，珠光体转变后的收缩三个阶段。 ()

125. 铸铁固态收缩阶段共析转变的膨胀是由于奥氏体分解为铁素体和石墨，或者转变为珠光体造成的，石墨化越充分，珠光体含量越少则膨胀值越大。 ()

126. 铸件中形成缩孔的体积比合金总的体收缩（即液态体收缩、凝固体收缩和固态体收缩之和）小。 ()

127. 缩孔与气孔相比，缩孔内壁较平滑，形状规则。 ()

128. 在实际生产中，铸件的收缩受到外界阻力的影响，对同一合金而言，受阻收缩率大于自由收缩率。 ()

129. 铸件产生缩孔的位置一般是最后凝固的位置。 ()

130. 等固相线是指合金的凝固前沿视为固液相的分界线，也是一条等温线。等固相线不相切的地方就是铸件最后凝固区域，也就是缩孔的位置。 ()

131. 在铸件中或多或少都存在微观缩松，一般不作为缺陷看待。 ()

132. 提高浇注温度，合金的液态收缩增加，缩孔体积和缩孔总体积增加，缩松体积也增大。 ()

133. 碳的质量分数超过 4.3% 的过共晶铸铁，由于 C 含量高石墨析出量增多，石墨化膨胀充分，因此缩孔的体积减小。 ()

134. 防止铸件产生缩孔和缩松的基本出发点是尽可能使缩松转化为缩孔，并使它移到铸件最后凝固部位，然后采取合理铸造工艺消除缩孔。 ()

135. 铸件材质的弹性系数和固态线收缩系数越大，则铸件中热应力也越大。 ()

136. 灰铸铁的弹性系数与其牌号有关，高牌号铸铁的弹性系数比低牌号铸铁小，故低牌号铸铁的热应力比高牌号铸铁大，冷裂的可能性较大。 ()

137. 相变应力分布特点：铸件上的截面外层冷却快的部分为拉

应力，截面中心部位冷却慢的部分为压应力。这种分布特点同热应力相同。 ()

138. 一般防止铸件变形的方法都可以防止产生铸造应力。 ()

139. 铸件中存在任何形式的热裂都损害其力学性能。 ()

140. 强度理论认为，合金的热裂倾向性与合金结晶末期晶体周围的液体性质及其分布有关。 ()

141. 由于白口铸铁和球墨铸铁在凝固过程中发生石墨化膨胀，它们的收缩量减小，热裂的倾向性也减小。 ()

142. 冷裂是铸件处于弹性状态时，铸造应力超过合金的强度极限而产生的。一般出现在铸件受压的部位。 ()

143. 合金钢铸件所选用冒口的直径是根据比例式： ()

$$D = \frac{\text{缩径直径 } d}{\text{热节圆直径 } T} = 0.6 \sim 0.85 \text{ 的范围确定。}$$

144. 铸件的工艺出品率，是评价冒口优劣的重要依据。 ()

145. 冒口的体积为 1950cm^3 ，其表面积为 898cm^2 ，则它的模数为 2.17cm 。 ()

146. 用模数法确定冒口尺寸时，应满足铸件的模数大于冒口的模数，否则冒口不能发挥补缩作用。 ()

147. 冒口尺寸的大小，与合金的性质和温度、铸件的结构和技术要求、造型材料的导热能力等因素无关。 ()

148. 热节处是铸件上凝固较慢的部位，热节圆直径是表示热节凝固速度的尺寸参数。 ()

149. 冒口的补缩距离是有一定限制的，它包括冒口区 and 末端区两部分。 ()

150. 为了便于将冒口从铸件上清除，灰铸铁件一般采用瓶式冒口或侧暗冒口。 ()

151. 冷铁除起配合冒口的作用外，还可以加速铸件某些特殊部位的冷却速度，以达到细化组织，提高铸件表面硬度和耐磨性的目的。 ()

152. 由于内冷铁要和铸件熔接在一起，故要求其材质应与铸件

材质相同或相适应。如铸钢件和铸铁件，一般采用低碳钢材质的内冷铁。 ()

153. 外冷铁重量一般为铸件被激冷部分重量的 5%~7%，对重要件可达 8%~10%。 ()

154. 球墨铸铁件冒口的补缩距离，通常要比灰铸铁件冒口的补缩距离大。 ()

155. 加补贴的作用是使铸件定向凝固，增大冒口补缩距离。 ()

156. 铸件体积与铸件表面积的比值，叫冒口的当量厚度或模数。 ()

157. 为了充分利用冒口内金属液静压力的补缩作用，通常将冒口设置在铸件浇注位置的最高处。 ()

158. 冒口具备补缩的基本条件，是冒口的大小和形状，应使冒口中的金属最后凝固，并形成由铸件到冒口的定向凝固。 ()

159. 随着灰铸铁牌号提高，其冒口缩颈直径与铸件热节圆直径的比值需相应减小。 ()

160. 可以增加冒口补缩能力的特种冒口是：发热保温冒口、加氧冒口和电弧加热冒口等。 ()

161. 大气压力冒口的顶部，需扎 1~2 只出气孔，以便在浇注时排气，并与大气连通。 ()

162. 压缩空气冒口是利用弹药受热发气，使冒口内压力增大，从而提高冒口的补缩压力。 ()

163. 浇注时，使金属液通过冒口再流入型腔，能提高冒口的补缩效率。 ()

164. 一个冒口只能补缩一个铸件的一个热节。 ()

165. 在实际生产中，应用最多最广的冒口形状是圆柱形、球顶圆柱形和腰圆柱形等。 ()

166. 造型是铸造生产过程中一个重要而复杂的生产环节，它要求操作者不但要掌握一定的理论知识，而且要具备熟练的操作技能。 ()

167. 随着铸造技术的不断发展，各种新型造型技术不断涌现，

砂型造型技术已呈被淘汰的趋势。 ()

168. 由于湿型造型的砂型强度低、水分含量高,所以湿型砂型只能用于生产简单的小型铸件。 ()

169. 自硬砂型是利用化学反应来硬化砂型的,为了保证砂型的质量,在浇注前还需将砂型放入烘炉进行烘干硬化处理。 ()

170. 手工造型的模样按结构形式可分为整体模、分体模、刮板模、骨架模。 ()

171. 铸铁件和非铁合金铸件通常采用干型造型,而铸钢件常采用湿型造型。 ()

172. 表干砂型只是将铸型表层约 10~30mm 的砂层烘干,它兼有湿型和干型的优点。 ()

173. 使用叠箱造型的目的是为了方便浇注。 ()

174. 采用劈箱造型法主要是为了减少制作模样的工作量。 ()

175. 为了能在砂型中取出模样,其砂型分型面必须位于模样的凸点线处。 ()

176. 由模样上连续凹点构成的环模封闭曲线,称为凹点线,为了能起出模样,模样必须在凹点线处分模。 ()

177. 砂型的分型面就是模样的分模面。 ()

178. 由于活砂造型法能够省却圈箱和制作芯盒工作,因此适用于成批大量生产的铸件。 ()

179. 对于一些内外形复杂,造型很困难的铸件,生产中常采用组芯造型法,由于其模样都采用分体制作,故此法又称做劈模造型。 ()

180. 劈箱造型是将三箱造型的中箱和模样相应部分沿垂直方向劈成几个部分,分别造型后,再组装而成的造型方法。 ()

181. 在制作硬砂床或加固硬砂床时,要特别注意铸件浇注时的排气问题。 ()

182. 由于地坑造型的砂型无法搬运,若需烘干,只能采用移动式烘干炉。移动式烘干炉根据其送风方式可分为鼓风机送风和压缩空气送风。 ()

183. 检测地坑砂型烘干程度的方法，通常采用间接检验法，
()
184. 根据砂型内层温度来测定烘干程度时，当测得温度低于100℃时，表示该处砂型已经烘干。
()
185. 大型车板架由底座、直轴、吊环、转动臂、颈圈、紧定螺钉、螺栓、车板和木尺等构成。
()
186. 采用车板造型时，大型铸件的尺寸精度比实样模高，而小型铸件的尺寸精度要比实样模低。
()
187. 由于导向刮板上、下型是分别刮制的，所以合型时只能用划线法定位合型才能保证不错边。
()
188. 当铸件截面的形状和大小不断变化时，不能用车板或导向刮板造型，可采用骨架模造型。
()
189. 在车板造型校调车板时，要注意使分型面略低于砂箱边沿，并注意检查立轴杆垂直度。
()
190. 砂型的紧实度表示砂粒间排列堆集的密集程度。在实际生产中常通过检测砂型的表面硬度来判断砂型的紧实度。
()
191. 几种常见的型砂紧实度为：十分松散的型砂 $0.6 \sim 1.0 \text{g/cm}^3$ ；一般紧实的型砂 $1.55 \sim 1.7 \text{g/cm}^3$ ；高压紧实的型砂 $1.6 \sim 1.8 \text{g/cm}^3$ 。
()
192. 低压压实式造型机结构简单，使用成本低，适用于砂箱高度小于300mm的各类中小型铸件造型。
()
193. 采用成型压头压实砂型的目的是为了提高砂型的透气性。
()
194. 采用压实造型时，其压实比压大于0.7MPa的称为高压造型。
()
195. 采用高压造型时，为了保证砂型的紧实度，其压实比压越高越好。
()
196. 在多触头高压造型过程中，各浮动压头压入型砂的深度均相同，它并不随模样的高低变化而改变。
()
197. 高压造型时，若压实比压过高，会导致砂型产生回弹现象，使砂型产生变形甚至开裂现象。
()

198. 气动微震机构是微震压实造型机的主结构之一，目前常用的有弹簧式气动微震机构和气垫式气动微震机构。 ()

199. 微震压实造型是利用高频率、低振幅震击紧实砂型，并辅以压实，可同时微震压实，也可先震后压。 ()

200. 气冲造型和静压造型均利用气流紧实，其成型原理是相同的，区别只在于静压造型还多一道补压工序。 ()

201. 静压造型的砂型尺寸公差可达 CT5 级，表面硬度达 80 单位以上，模样的起模斜度可减至 0.5° 。 ()

202. 顶箱起模时，造型机模板下的四根顶杆顶住砂箱四角同步上升，使砂型与模板分离，实现起模，这称做顶箱回程起模。()

203. 由于翻台式起模机构的起模工艺性好，因此广泛应用于各类高效造型机。 ()

204. 合金种类不同对砂型的刚度要求也不同，一般铁合金高于铸造非铁合金，造型紧实度高的设备易于获得高刚度铸型。 ()

205. 在三乙胺气雾法冷芯盒制芯中，如硬化时间长，是由于芯盒不密封，吹气有漏气。或由于吹气与排气位置、截面设计不当。或由于吹气压力，胺量不足等原因。 ()

206. 三乙胺气雾法冷芯盒制出的砂芯紧实度差，是由于原砂水分高、混砂质量差等原因。 ()

207. 砂芯应具有良好的透气性。这是砂芯重要的工艺条件，因此在制芯时要采取各种工艺措施，来加强砂芯通气。 ()

208. 砂芯应具有足够的强度和刚度，因此有的砂芯要放芯骨，对芯骨既要有足够的强度，还必须具有弹性。 ()

209. 手工制芯可分为芯盒制芯和刮板制芯两种，其中芯盒制芯应用最广，刮板制芯只能用于某些特定的砂芯制造，如截面不能变化的，且中心线应是直的圆柱形芯的刮制。 ()

210. 铸造用砂芯只用来形成铸件的内腔或内孔。 ()

211. 壳芯制出的砂芯是中空的，而热芯盒制出的砂芯都是实芯的。 ()

212. 砂芯上涂料仅仅是为了提高其耐火度。 ()

213. 热芯盒制芯的芯盒型腔必须保持清洁，这是保证砂芯表面

质量的重要条件，因此操作者应该常做芯盒型腔的清洁工作，而对冷芯盒制芯就不必要做同样的清洁工作了。（ ）

214. 为了保证射砂紧实质量，因此对呋喃 I 型热芯盒湿态砂，要用 0.6MPa 左右的射砂压力。同样为了射砂紧实质量，对热芯盒干态砂（覆膜砂）也要用同样的射砂压力。（ ）

215. 射砂紧实度与芯盒内压力差关系很大，压力差大，紧实度高，而压力差是靠芯盒底部的排气获得的。芯盒底部排气孔越多，排气就越好，压力差就越大，因此芯盒底部的排气孔越多越好。（ ）

216. 热芯盒的顶芯装置是经常处在运动之中，因此对顶芯杆一定要安装好，故最好要用螺栓结构紧固好。（ ）

217. 热芯盒热功率是按硬化砂芯所需要热量设置的，如每硬化 1kg 芯砂所需热量为 251.2kJ，若芯盒设计能力为每小时生产 100kg 重的砂芯，那么该芯盒的加热只需 25120kJ 的热量就可以了。（ ）

218. 树脂砂冷芯盒制芯的硬化气体都有毒性，因此要注意系统的密封和气体发生器、废气净化器等设备的完好，加强环境保护。（ ）

219. 铸造工艺规程编制水平的高低，对铸件质量、生产成本和效率起着关键性的作用。（ ）

220. 铸造工艺图是在铸件生产过程中必备的技术文件。（ ）

221. 所谓零件结构的铸造工艺性，通常是指零件本身的结构对铸造生产要求的适应程度。（ ）

222. 铸件的最小允许壁厚和铸造合金的凝固收缩特性密切相关。（ ）

223. 铸件的浇注位置只对造型方式有直接影响，对铸件的内在质量影响不大。（ ）

224. 浇注位置和分型面的选择，应以保证铸件质量为主，经济因素可以忽略。（ ）

225. 砂芯的分块数量越少，铸件的尺寸精度越高。（ ）

226. 大型砂芯水平芯头长度，需根据该砂芯重量大小来确定。（ ）

227. 合金成分相同的铸件，在长、宽、高三个方向的线收缩率

均相同。 ()

228. 通常, 铸件壁厚越不均匀, 长度与高度比越大, 其变形量也越大。 ()

229. 通常, 铸件壁厚大的部分冷却慢而收缩迟易产生拉应力, 使铸件呈内凹变形。 ()

230. 确定铸造工艺方案时, 应尽量使合型和浇注位置与铸件冷却位置一致。 ()

231. 为了提高砂芯在型腔内的定位精度, 可在芯座上做出压环结构, 以避免砂芯窜动。 ()

232. 铸件的最小铸出孔, 和铸件的铸造方法、生产批量、合金种类等因素有关。 ()

233. 在采用湿型生产中, 小型铸件时, 为了抵消铸件在分型面部位产生的增厚, 在制作模样时要考虑分型负数。 ()

234. 铸件尺寸公差的代号为“CT”。砂型铸造的公差等级为CT7~15级。 ()

235. 相对而言, 铸钢件因浇注温度高、收缩大、表面质量差, 故加工余量宜取大些。 ()

236. 大型砂芯应尽量使烘干位置与下芯位置保持一致, 以避免砂芯在翻动时造成损坏。 ()

237. 当同一砂芯上有两个以上的芯头时, 可将其中定位作用不大的芯头间隙加大, 以便于下芯。 ()

238. 起模斜度的大小取决于铸件的大小。 ()

239. 对有些铸件增加砂芯分块反而能提高铸件精度。 ()

240. 为了提高造型效率, 应尽量增加砂箱中铸件的排列数量。 ()

241. 对于长度较大的筒类铸件, 为了方便造型, 宜采用平做平浇方案。 ()

242. 机床床身的导轨面是关键部位, 正确的浇注位置应使导轨面朝下。 ()

243. 壁厚差较大的轮类铸件铸造应力较大, 工艺上常采用少而集中的内浇道。 ()

244. 筒类铸件在立浇时常采用雨淋式浇道；平浇时用中注式浇道。 ()
245. 铸造工艺卡内容的详略可因生产条件、生产性质和类型而异。 ()
246. 铸造工艺符号是表达设计者意图与要求的专用符号。 ()
247. 铸造工艺 CAD 是铸造工作者利用计算机进行工艺分析、试浇注和质量预测而优选铸造方案的先进技术。 ()
248. 采用临界流动固相率法进行凝固模拟时，当 $f_s < f_{sc}$ 时，补缩通道被封闭。 ()
249. 烘芯板、芯骨属于铸造工艺装备。 ()
250. 白松是制作普通木模的基本材料。 ()
251. 木模只适用于单件或小批量生产。 ()
252. 塑料模既有接近金属模的使用质量，又有制作木模那样短的生产周期和较低的成本，所以铸造生产中得到广泛使用。 ()
253. 整铸式模板由于刚性好、使用寿命长而被铸造生产广泛使用。 ()
254. 铸造生产中使用最广泛的金属模是由铜合金制造的。 ()
255. 双面曲面模板有效利用面积少，且加工制造困难，用于小型铸件的脱箱造型。 ()
256. 模样较高时，模底板需做成双层销耳。 ()
257. 模板上导销的工作长度应小于模样高度。 ()
258. 模底板与砂箱的定位方式有直接定位方式和间接定位方式两种。 ()
259. 高压造型的模样，为便于起模，模样的凹槽处或模样周围可以安放排气塞。 ()
260. 金属模样的加强肋是为了提高模样的强度和刚度，所以布置得越多越有利。 ()
261. 为保证模样尺寸的稳定性，金属模样的毛坯应进行消除应力的热处理。 ()

262. 塑料芯盒、木质芯盒有时也用于冷芯盒制芯。 ()
263. 芯盒合型间隙应小于等于 0.1mm。 ()
264. 热芯盒中射砂口的截面积必须大于芯盒中砂流最小通道的截面积。 ()
265. 热芯盒、壳芯盒制芯时，吹砂板通常是带水冷的中空式结构。 ()
266. 壳芯盒制芯时，吹砂口的形状可以根据吹砂口处砂芯的几何形状来确定。 ()
267. CO₂ 冷芯盒制芯时，可不必保持芯盒工作的密封性。 ()
268. 冷芯盒制芯射砂口要同时满足射砂和吹气两种工艺要求。 ()
269. 铸钢车间用的砂箱壁厚比铸铁车间用的砂箱壁厚要小。 ()
270. 射压造型、高压造型所用的砂箱，一般须在砂箱壁上设计均匀布置且形状为锥形的排气孔。 ()
271. 专用砂箱的吃砂量可以比通用砂箱的吃砂量要小。 ()
272. 为增加高压造型用的砂箱的强度和刚度，砂箱断面一般均设计成双层壁结构。 ()
273. 高压造型用的砂箱一般不设箱带。 ()
274. 铸件生产是一个十分复杂的工艺过程，要经过一百余道工序的操作，只有每一道工序均保证质量，才能保证铸件最终合格。 ()
275. 同一种铸造缺陷（如气孔），在不同的场合，不同的零件上，产生的原因只有一种。 ()
276. 夹砂结疤，会在铸件表面凸起粗糙的金属片状物，是属于多肉类缺陷。 ()
277. 冷豆、内渗豆、外渗豆都是浇注飞溅引起的。 ()
278. 型腔内只要有气体，就会在铁液中形成侵人性气孔。 ()
279. 析出性气孔是溶解在金属液中的气体，在冷却凝固时，气体析出而形成的孔洞。 ()

280. 皮下气孔因形状呈针尖状又称为针孔, 在铸钢和球墨铸铁中出现较多。 ()
281. 化学粘砂是铸件表面粘附一层难以清理的砂粒。 ()
282. 表面粗糙是机械粘砂的早期阶段。 ()
283. 化学粘砂是铸件表面粘附一层由金属氧化物、砂子、粘土相互作用而生成低熔点化合物。 ()
284. 化学粘砂层中的金属氧化物越厚, 越难清理。 ()
285. 铸件上有圆弧形的残缺不全, 均是冷隔造成的。 ()
286. 气缩孔是气孔在前, 缩孔在后的混合型孔洞。 ()
287. 中压造型是比压为 $0.4 \sim 0.7\text{MPa}$ 的一种机械造型方式。 ()
288. 高压造型的水爆炸易造成气体侵入金属液。 ()
289. 铸件质量检验的依据是: 铸件图、铸造工艺文件、有关标准及铸件交货技术条件。 ()
290. 铸件表面粗糙度是评定毛坯铸件表面质量的重要指标, 具体实施用铸造表面粗糙度比较样块。 ()
291. 超声波可测铸件表面缺陷, 磁粉检测可查铸件内部孔洞。 ()
292. 一般铸铁件对化学成分不作验收依据。 ()
293. 炉前化学成分快速测定法用: 热分析法、光谱分析法等。终端检验和仲裁检验用化学分析法。 ()
294. 材料的力学性能测定, 用金相组织检验法。 ()
295. 力学性能是对机械零件的基本性能要求。是化学成分、金相组织等内在质量因素的最终反映, 是国家标准和验收条件中明确必须达到的指标。 ()
296. 常用的气焊焊补法是氧—乙炔焰焊补法。 ()
297. 浸渗修补是解决铸件渗漏的新技术, 对提高铸件气密性有良好的效果。 ()
298. 由于一些修补方法先进, 对缺陷表面不必清理, 即可直接修补。 ()
299. 热裂断口有严重的氧化色彩, 裂口穿过晶体, 呈直线状无

分叉。 ()

300. 铸件表面缩陷, 是缩孔的一种表现形式。 ()

301. 石墨漂浮是在球墨铸铁断口截面侧面和底部有一层密集的石墨黑斑。 ()

302. 反白口是在铸铁件断口的中心部位, 出现白口组织和麻口组织, 外层是正常的灰口组织。 ()

303. 球化不良是一包铁液开始时就不球化, 球化衰退是随时间延长而球化效果消失。 ()

二、选择题 (将正确答案的序号填入空格内)

1. 下列各项均为金属物理性能的为_____。

- a. 塑性、硬度、热膨胀性 b. 熔点、抗拉强度、冲击性
c. 导电性、磁性、疲劳强度 d. 密度、导热性、热膨胀性

2. 下列各项均为金属力学性能的为_____。

- a. 硬度、热膨胀性、强度 b. 抗拉强度、冲击性、疲劳强度
c. 导电性、熔点、磁性 d. 塑性、导热性、密度

3. 一般将密度小于 $5 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 的金属称为_____。

- a. 易熔金属 b. 重金属 c. 轻金属 d. 难熔金属

4. 金属材料随温度变化而热胀冷缩的特性称为_____。

- a. 热膨胀性 b. 磁性 c. 冲击性 d. 导热性

5. 金属材料的强度指标常用_____来表示。

- a. 抗拉强度和伸长率 b. 屈服强度和抗拉强度
c. 布氏硬度和屈服强度 d. 布氏硬度和伸长率

6. 下列性能可以通过拉伸试验测定的为_____。

- a. 布氏硬度和伸长率 b. 屈服强度和冲击韧度
c. 抗拉强度和伸长率 d. 疲劳强度和抗拉强度

7. 布氏硬度用符号_____表示。

- a. HRA b. HRB c. HRC d. HBS (W)

8. 金属的铸造性能主要有_____。

- a. 流动性和收缩性 b. 流动性和导热性
c. 热膨胀性和收缩性 d. 导热性和热膨胀性

9. 描述原子在晶体中排列方式的空间框架叫做_____。

a. 晶胞 b. 晶粒 c. 晶格 d. 晶格常数

10. 下列方法能细化晶粒的为_____。

a. 减少过冷度 b. 降低形核率 c. 变质处理 d. 避免振动

11. _____是溶质原子溶入固态的溶剂中, 并保持溶剂晶格类型而形成的相。

a. 金属化合物 b. 固溶体 c. 机械化合物 d. 机械混和物

12. 下列为机械混和物是_____。

a. 铁素体 b. 珠光体 c. 奥氏体 d. 渗碳体

13. 铁碳合金按亚稳定系转化时, 奥氏体析出_____渗碳体。

a. 一次 b. 共晶 c. 二次 d. 共析

14. 铁碳合金按稳定系转化时, 共晶转变时析出的为_____石墨。

a. 一次 b. 共晶 c. 二次 d. 共析

15. 铁碳合金按亚稳定系转化时, 在冷却到 1147℃ 时发生共晶转变, 形成奥氏体和渗碳体组成的机械混合物称为_____。

a. 铁素体 b. 珠光体 c. 固溶体 d. 莱氏体

16. $w(\text{CE})\%$ 为_____的铸铁为亚共晶铸铁。

a. <2.14 b. >2.14 c. <4.26 d. >4.26

17. $Sc=1$ 的铸铁为_____铸铁。

a. 亚共晶铸铁 b. 共晶铸铁 c. 过共晶铸铁 d. 高强度

18. 某铸铁成分(质量分数)为: C3.6%、Si2.7%, 该铸铁属于_____。

a. 亚共晶铸铁 b. 共晶铸铁 c. 过共晶铸铁 d. 高硅

19. 碳大部分或全部以片状石墨的形式存在于铸铁中, 断口呈暗灰色, 这种铸铁称为_____。

a. 球墨铸铁 b. 蠕墨铸铁 c. 可锻铸铁 d. 灰铸铁

20. 碳的质量分数小于_____的碳素铸钢为低碳铸钢。

a. 0.25% b. 0.30% c. 0.60% d. 0.77%

21. _____都是常用的铸造非铁合金元素。

a. 铜、锰、锡 b. 铜、铝、镁 c. 铁、铅、铋 d. 锌、钛、铬

22. 灰铸铁的人工时效也就是_____。

- a. 正火 b. 高温退火 c. 表面淬火 d. 低温退火
23. 球墨铸铁经_____处理后的组织是贝氏体和少量残余奥氏体。
- a. 等温淬火 b. 高温退火
c. 高温正火 d. 高温、低温二段正火
24. _____不是碳素铸钢件的热处理方法。
- a. 完全退火 b. 循环处理 c. 正火 d. 正火加回火
25. “固溶处理和不完全人工时效”热处理状态的代号是_____。
- a. T1 b. T4 c. T5 d. T8
26. 硅使铸铁的共晶点_____。
- a. 左移 b. 右移 c. 上移 d. 下移
27. 碳当量的计算公式为(均为质量分数) $CE\% = C\% + \underline{\hspace{2cm}}\%$ 。
- a. $1/3 (Si + Mn)$ b. $1/3 (Si + P)$
c. $1/3 (Si + S)$ d. $1/3 (Si + Cu)$
28. 下列不属于瞬时孕育的为_____。
- a. 浇包漏斗随流孕育 b. 喂丝孕育 c. 炉前孕育 d. 型内孕育
29. QT450-10牌号的球墨铸铁表示_____。
- a. 抗拉强度 $\leq 450\text{MPa}$ 、伸长率 $\geq 10\%$
b. 抗拉强度 $\geq 450\text{MPa}$ 、伸长率 $\leq 10\%$
c. 抗拉强度 $\geq 450\text{MPa}$ 、伸长率 $\geq 10\%$
d. 抗拉强度 $\leq 450\text{MPa}$ 、伸长率 $\leq 10\%$
30. 球墨铸铁在选定碳当量后, 原铁液应采用_____的原则。
- a. 高碳高硅 b. 高碳低硅 c. 低碳低硅 d. 低碳高硅
31. 从三角试块判断, _____表明球化良好。
- a. 试样棱角清晰 b. 断口中心无缩松
c. 断面暗灰、晶粒粗 d. 浇注位置上表面及侧面明显凹陷
32. 按冲天炉的操作工艺规定, 在加底焦操作中, 全部底焦分_____次加入。
- a. 1 b. 2 c. 3 d. 4
33. 炉渣上带白道或白点, 说明_____。
- a. 炉况正常, 溶剂加入量适宜 b. 炉渣内含硫过高

- c. 石灰石加入量过多 d. 炉温低、铁液氧化严重
34. 在冲天炉还原带内主要发生的化学反应为_____。
- a. $C + O_2 = CO_2$ b. $C + 1/2O_2 = CO$
 c. $CO + 1/2O_2 = CO_2$ d. $CO_2 + C = 2CO$
35. 从冲天炉加料口下沿料面到铁料开始熔化这段高度为_____。
- a. 预热区 b. 熔化区 c. 过热区 d. 炉缸区
36. 组成冲天炉炉渣的氧化物中, SiO_2 为_____氧化物。
- a. 酸性 b. 碱性 c. 中性 d. 强碱性
37. 冲天炉熔炼过程中, 常在金属炉料中加入一定量的_____, 以降低铁液的含碳量。
- a. 焦炭 b. 硅铁 c. 废钢 d. 废铁
38. 在酸性冲天炉熔炼过程中, 铁液磷的质量分数一般是_____。
- a. 增加 b. 减少 c. 变化不定 d. 不发生变化
39. ZG230 - 450 牌号的铸钢表示_____。
- a. 抗拉强度 $\geq 230MPa$ 、屈服强度 $\geq 450MPa$
 b. 抗拉强度 $\leq 230MPa$ 、屈服强度 $\leq 450MPa$
 c. 屈服强度 $\geq 230MPa$ 、抗拉强度 $\geq 450MPa$
 d. 屈服强度 $\leq 230MPa$ 、抗拉强度 $\leq 450MPa$
40. _____不用来炼钢。
- a. 电弧炉 b. 平炉 c. 坩埚炉 d. 感应电炉
41. 在碱性电弧炉炼钢中, 锰铁、硅铁、铝作为_____使用。
- a. 氧化剂 b. 还原剂 c. 变质剂 d. 造渣剂
42. $ZCuZn25Al6Fe3Mn3$ 属于_____。
- a. 锡青铜 b. 铝青铜 c. 普通黄铜 d. 特殊黄铜
43. ZL201A 属于_____。
- a. 铝硅合金 b. 铝铜合金 c. 铝镁合金 d. 铝锌合金
44. 铸造非铁合金常用的熔化炉有_____。
- a. 冲天炉、平炉和感应电炉 b. 电弧炉、坩埚炉和反射炉
 c. 冲天炉、电弧炉和坩埚炉 d. 坩埚炉、反射炉和感应电炉
45. 在铸造铝合金熔炼时, 常用的精炼剂有_____。
- a. $50\% NaCl + 50\% KCl$ b. C_2Cl_6

58. 热芯盒树脂砂的硬化速度主要取决于_____。
- a. 树脂性质 b. 催化剂种类及加入量
c. 芯盒温度 d. 以上全是
59. 水玻璃砂中使用较多的水玻璃是_____。
- a. 钾水玻璃 b. 钠水玻璃 c. 锂水玻璃 d. 以上全是
60. 在 CO_2 硬化法水玻璃砂吹 CO_2 气体是发生_____而硬化的方法。
- a. 化学反应 b. 物理反应
c. 化学反应和物理反应 d. 聚合反应
61. 在水玻璃砂中, 水玻璃的模数过高过低都不能满足生产要求, 一般将模数调整到_____。
- a. $M=1\sim 2$ b. $M=2\sim 3$ c. $M=3\sim 4$ d. $M=4.5\sim 5.5$
62. 在水玻璃砂中加入粘土等附加物主要是为了_____。
- a. 增加透气性 b. 增加干强度 c. 增加湿强度 d. 降低溃散性
63. 在铸造涂料中, 醇基涂料中加入防渗剂的作用是_____。
- a. 增加强度 b. 增加悬浮性
c. 延缓载体渗入过深 d. 增加耐火度
64. 在铸造涂料中, 测定水基涂料的悬浮性是用量筒沉淀法, 其沉降时间按_____ h 计。
- a. 24 b. 8 c. 12 d. 48
65. 浸涂法涂敷涂料的方法_____。
- a. 适合单件小批量生产 b. 适用于成批大量生产
c. 比较节约涂料 d. 适合单件大型铸件
66. 测定液态金属流动性最常用的方法是_____。
- a. y 形试样 b. 梅花形试样 c. 楔形试样 d. 螺旋形试样
67. 半封闭式浇注系统各组元截面的比例关系为_____。
- a. $A_{直} < \sum A_{横} < \sum A_{内}$ b. $A_{直} > \sum A_{横} > \sum A_{内}$
c. $A_{直} > \sum A_{内} > \sum A_{横}$ d. $\sum A_{横} > A_{直} > \sum A_{内}$
68. 有一铸钢件, 其浇注系统各组元的比例式为 $A_{直}:\sum A_{横}:\sum A_{内}=1:1.1:1.3$ 它是采用了_____。
- a. 封闭—开放式 b. 半封闭式 c. 开放式 d. 封闭式

69. 有一铸铁件，浇注金属总重量为 160kg，平均壁厚为 12mm，计算浇注时间为_____ s。

- a. 32 b. 30 c. 28 d. 25

70. 有一铸铁件浇注时高度为 240mm，上型总高度为 300mm，采用中间注入式，则其平均压力头高度 H_p 为_____ cm。

- a. 30 b. 27 c. 18 d. 24

71. 有一浇注总重量为 300kg 铸钢件，用 1 个包孔直径为 $\phi 35\text{mm}$ 漏包浇注，其浇注时间为_____ s。

- a. 15 b. 20 c. 10 d. 25

72. 在上题中，该铸钢件浇注位置高度为 300mm，则钢液在型内上升速度为_____ mm/s。

- a. 25 b. 15 c. 20 d. 10

73. 铸钢的所有合金元素中，最有利于提高流动性的元素是_____。

- a. S b. Cr c. Cu d. P

74. 凝固区域的宽度可根据_____直接判断。

- a. 凝固方式
b. 凝固原则
c. 合金相图上液相线与固相线之间的横向距离
d. 合金相图上液相线与固相线之间的纵向距离

75. 以下选项中_____不属于同时凝固原则的优点。

- a. 各部分冷却均匀
b. 铸件不容易变形和产生裂纹
c. 冒口补缩作用好，铸件内部致密
d. 热应力小

76. 亚共晶白口铸铁凝固收缩是由于_____作用的结果。

- a. 温度降低 b. 状态改变
c. 珠光体转变前收缩 d. 温度降低和状态改变

77. 铸造合金的_____是产生缩松、缩孔、裂纹和变形等缺陷和基本原因。

- a. 凝固 b. 收缩 c. 体收缩 d. 线收缩

78. 铸件中形成的缩孔体积 $V_{\text{缩孔}}$ 和合金总的体收缩 $V_{\text{总缩}}$ (液态体收缩、凝固体收缩和固态体收缩之和) 之间的关系_____。

- a. $V_{\text{缩孔}} < V_{\text{总缩}}$ b. $V_{\text{缩孔}} \leq V_{\text{总缩}}$
 c. $V_{\text{缩孔}} > V_{\text{总缩}}$ d. $V_{\text{缩孔}} = V_{\text{总缩}}$

79. 亚共晶灰铸铁和球墨铸铁凝固的共同点是_____。

- a. 共晶凝固方式相同 b. 石墨长大机理相同
 c. 初生奥氏体迅速布满整个截面 d. 共晶团所起的作用相同。

80. 当铸件内总应力值超过合金的_____时, 铸件将产生变形。

- a. 弹性极限 b. 屈服极限 c. 强度极限 d. 弹性模数。

81. 将具有残余应力的铸件置于外界数月甚至半年以上, 使残余应力松弛或部分消除称为_____。

- a. 自然时效 b. 热处理法 c. 人工时效 d. 热时效。

82. 液膜理论认为_____是产生热裂的根本原因。

- a. 铸件的收缩受阻 b. 合金存在热脆区
 c. 铸件的集中变形 d. 液膜。

83. 影响冷裂的因素和影响_____的因素是一致的。

- a. 铸件变形 b. 热裂 c. 铸造应力 d. 温裂。

84. 采用补贴的方法一般可以实现_____。

- a. 同时凝固 b. 逐层凝固 c. 定向凝固 d. 体积凝固

85. _____一般采用同时凝固原则。

- a. 铸钢 b. 碳硅含量高的薄壁铸件 c. 可锻铸铁 d. 黄铜

86. _____阶段对铸件的形状和尺寸精度影响最大。

- a. 固态收缩 b. 液态收缩 c. 凝固收缩 d. 线收缩

87. _____阶段不属于铸钢的固态收缩。

- a. 珠光体转变后收缩 b. 最初收缩
 c. 珠光体转变前收缩 d. 共析转变期的膨胀

88. _____不属于缩孔的特征。

- a. 形状不规则 b. 晶粒粗大
 c. 孔内壁光滑 d. 孔内壁粗糙不平

89. 机械阻力的大小取决于_____。

- a. 铸型和型砂紧实度

- b. 箱带和芯骨的位置
 c. 造型材料的强度
 d. 铸型和型砂紧实度、箱带和芯骨的位置和造型材料的强度
90. _____是铸件变形和裂纹的主要原因。
 a. 凝固 b. 收缩 c. 铸造应力 d. 凝固和收缩
91. 铸件厚实处的机械阻碍应力与_____方向相同。
 a. 残余热应力 b. 残余相变应力 c. 临时应力 d. 残余应力
92. 强度理论认为, _____是产生热裂的必要条件。
 a. 热脆区内合金的断裂应变低 b. 合金存在热脆区
 c. 集中变形 d. 铸件收缩受阻
93. 冒口尺寸主要指_____。
 a. 顶部直径 b. 根部直径 c. 高度 d. 根部直径和高度
94. 铸钢件设置冒口的主要作用是_____。
 a. 排气 b. 集渣 c. 补缩 d. 调节温度
95. 通常情况下, 板状铸钢件两冒口之间的补缩距离为_____。
 a. 铸件厚度的 2.5 倍 b. 铸件厚度的 4 倍
 c. 铸件厚度的 4.5 倍 d. 铸件厚度的 6 倍
96. 铸钢件上加设补贴的作用是_____。
 a. 增加冒口的补缩距离 b. 增加铸钢的强度
 c. 防止铸件变形 d. 防止铸件产生裂纹
97. 有一尺寸为 $500\text{mm} \times 400\text{mm} \times 150\text{mm}$ 的合金钢铸件, 采用水平浇注, 它需设置_____。
 a. 一个腰圆形顶明冒口 b. 一个圆形顶明冒口
 c. 两个暗侧冒口 d. 两个顶明圆形冒口
98. 铸件毛重与其浇注总重量比值的百分率叫_____。
 a. 分型负数 b. 工艺补正量 c. 模数 d. 工艺出品率
99. 铸件两壁十字形相交, 其壁厚分别为 40mm 和 30mm , 两壁交接圆角半径为 10mm , 则用作图法求得热节圆直径为_____ mm 。
 a. 44 b. 50 c. 56 d. 58
100. 当铸件的高度超过冒口的补缩距离时, 可采用加设_____的方法, 消除铸件中的轴线缩松。

a. 补贴 b. 冷铁 c. 冒口 d. 拉肋

101. 铸件的体积 V 和表面积 (铸件与砂型接触的表面积) A 的比值叫做_____。

a. 工艺收缩率 b. 工艺出品率 c. 补偿系数 d. 模数

102. 冒口补缩作用是有限的, 只有冒口的末端区和其_____衔接时, 才能获得致密的铸件。

a. 末端区 b. 冒口区 c. 轴线缩松区 d. 通气孔

103. 在发热冒口中, 常用水玻璃、膨润土、矾土水泥和酚醛树脂等材料作_____。

a. 发热剂 b. 保温剂 c. 粘结剂 d. 催化剂

104. 应用易割冒口的关键是合理选择隔片厚度和_____。

a. 冒口形状 b. 冒口高度 c. 冒口的位置 d. 缩颈直径

105. 设置在铸件补缩部位上面的冒口称_____。

a. 明冒口 b. 暗冒口 c. 顶冒口 d. 侧冒口

106. _____是最理想的冒口形状。

a. 圆柱形冒口 b. 腰圆柱形冒口
c. 球形冒口 d. 球顶圆柱形冒口

107. _____要和铸件熔接在一起, 故要求它的材质与铸件材质相同或相适应。

a. 外冷铁 b. 内冷铁 c. 明冷铁 d. 暗冷铁

108. 采用震击式造型时, 为了改善紧实度上下不均的状况, 采用_____的办法较有效。

a. 延长震击时间 b. 提高振幅
c. 上表层辅助紧实 d. 提高震动频率

109. 大中型铸件采用刮板造型时, 其铸件尺寸精度比实模造型要高, 这是因为大型实样模_____的原因。

a. 起模斜度大 b. 变形量大 c. 制造尺寸误差大 d. 造型精度低

110. _____状的铸件较适宜采用导向刮板造型。

a. 细长圆柱体 b. 粗短圆柱体 c. 球体 d. 粗短圆锥体

111. 在制作加固硬砂床时, 除了在地坑底部铺设钢轨外, 还可以用_____代替钢轨。

a. 成型骨架 b. 大型槽钢 c. 砂箱和砌砖垛 d. 铺设钢筋网

112. 在成批大量生产吊砂造型的铸型时, 其吊砂可用_____。

a. 木片加固 b. 铁钩加固 c. 骨架加固 d. 成型箱带加固

113. 对截面固定, 外形细长的铸件如直管、弯管等, 可采用_____造型。

a. 车板 b. 导向刮板 c. 实样模 d. 骨架模

114. 大型铸件采用地坑造型时, 因其砂型不能搬动, 故一般都采用_____法烘干砂型。

a. 局部烘干 b. 整体烘干 c. 分体烘干 d. 表面烘干

115. 在压实式造型过程中, 影响砂型紧实度高低的因素是_____。

a. 压头形状 b. 压实比压 c. 型砂性能 d. 砂箱高低

116. 为了避免在高压造型时砂型产生回弹现象, 通常将造型机压实比压的上限控制在_____ MPa 以下。

a. 0.7 b. 1.9 c. 1.5 d. 2.5

117. 在通常情况下, 微震压实造型的微震频率为_____次/min。

a. 150~200 b. 200~500 c. 1000~2000 d. 500~1000

118. 通常, 对于高压造型的砂型硬度要求在_____单位之间。

a. 85~90 b. 70~80 c. 75~85 d. 90~95

119. 砂型硬度计分 A、B、C 三种类型, 其中, 用于检测高压造型砂型硬度的是_____。

a. B 型 b. C 型 c. A 型 d. A、B、C 型都可以

120. 采用低压造型的砂型垂直面和凹面的紧实度较低, 在浇注时由于受金属液静压力作用, 易导致型腔因型壁移动面扩大, 造成铸件_____等缺陷。

a. 气孔、夹砂 b. 砂眼、粘砂 c. 胀砂、缩孔 d. 开裂、变形

121. 气冲造型砂型紧实度高而均匀, 且分布合理, 其铸件尺寸精度可达 CT _____ 级。

a. 8~10 b. 6~8 c. 11~13 d. 12~14

122. 大型铸件采用地坑造型时, 其地坑与地下管线和厂房柱脚的间距不应小于_____ m, 以防金属液渗入地层, 损坏设施, 引发事

故。

a. 0.5 b. 1 c. 1.5 d. 2

123. 地坑造型时, 为使较高大的铸型便于烘干和排气顺畅, 造型时要在模样四周距模壁_____ mm 处做出 $\phi 20 \sim \phi 25$ mm 的出气孔。

a. 50~100 b. 100~150 c. 150~200 d. 200~250

124. 若按模样起模要求需分模造型, 但有时为了便于制模或顾及模样强度, 将模样做成整体, 此时可采用_____。

a. 多箱造型 b. 吊砂造型 c. 挖砂造型 d. 劈箱造型

125. 对一些高度较大, 形状复杂或起模斜度很小的模样, 为避免起模时损坏砂型可以采用_____起模方式。

a. 翻台 b. 转台 c. 顶箱回程 d. 顶箱漏模

126. 对于大、中型铸件或有大凸块自来芯的下砂型起模, 可以采用_____起模方式。

a. 翻台 b. 顶箱漏模 c. 顶箱去程 d. 顶箱回程

127. _____是利用压缩空气将型砂高速射入造型室预紧实, 随后施以压实的造型方法。

a. 微震压实 b. 射压紧实 c. 静压紧实 d. 气冲紧实

128. 造型机械中, 设备结构较复杂, 使用成本较低, 生产率高, 适用于精度要求较高的中、小型铸件的是_____造型机。

a. 气冲 b. 静压 c. 震击 d. 微震压实

129. ZB148A 代表砂箱长边最大内廓尺寸为_____ mm, 经过一次修改设计的半自动顶箱震压式造型机。

a. 148 b. 400 c. 800 d. 480

130. 对于生产批量很大, 精度要求高且外形复杂的铸件, 宜选用_____造型。

a. 木模 b. 金属模 c. 塑料模 d. 菱苦土模

131. 采用 V 法造型时, 其型砂为_____。

a. 覆膜砂 b. 粘土砂 c. 干硅砂 d. 树脂砂

132. 覆砂金属型的砂型最大的特点是_____。

a. 铸型精度高 b. 铸型刚度高 c. 铸型透气性好 d. 节省型砂

133. 实型铸造(消失模铸造)与普通铸造的根本差异在于没有

_____。

- a. 模样 b. 浇口 c. 砂箱 d. 分型面

134. 砂芯大部被金属液包围, 要求有良好的耐高温性能。应根据铸造合金种类选择适宜的芯砂混合料, 以满足工艺要求。还可以采取刷涂料的办法, 获得良好的耐高温性能, 如铸钢件一般选用_____作涂料骨料。

- a. 滑石粉 b. 石墨粉 c. 石英粉或刚玉粉 d. 煤粉

135. 用旋转括板制作一批外径为 300mm, 长为 2500mm 的铸铁管, 应选用_____做芯骨。

- a. 圆钢 b. 铸铁 c. 钢管 d. 竹签

136. 某厂有几件重要的新品试制铸件砂芯, 要求时间快、质量好, 故选用_____为宜。

- a. 手工合脂砂芯 b. 热芯盒制芯 c. 自硬砂芯 d. 冷芯盒制芯

137. 烘芯炉的炉气湿度控制很重要, 但是没有定量的控制方法, 在现场生产中常用_____控制炉气湿度。

- a. 烘芯温度
b. 烘芯时间
c. 烟道闸门的开启程度
d. 砂芯中的水分

138. 有一手工油脂砂芯, 外形尺寸 800mm×600mm×500mm 为加强砂芯通气, 故采取_____。

- a. 内部按放蜡线
b. 制芯时扎通气眼
c. 内部安放碎焦炭或碎炉渣
d. 芯棒形成气道

139. 有一几何形状简单的砂芯, 尺寸为 300mm×200mm×100mm, 在高度方向斜度均一致, 故选用_____的芯盒制芯为宜。

- a. 对开式 b. 套框脱落式 c. 敞开整体式 d. 拆卸式

140. 某砂芯生产批量大, 几何形复杂, 尺寸精度要求高, 故采用_____为宜。

- a. 手工桐油砂芯
b. 普通芯盒射芯制芯
c. 热芯盒或冷芯盒树脂砂芯
d. 自硬砂制芯

141. 某砂芯为箱体形结构, 外形较复杂, 但断面变形不大, 外形尺寸 550mm×350mm×200mm, 尺寸精度要求高, 成批大量生产, 故选用_____制芯为宜。

a. 普通芯盒 b. 热芯盒 c. 壳芯盒 d. 冷芯盒

142. 热芯盒射芯机的选用, 应根据_____选择最适宜的射芯机。

a. 砂芯重量 b. 砂芯外形尺寸
c. 砂芯外形尺寸及结构特点 d. 生产情况需要

143. 射芯制芯的紧实是靠_____。

a. 芯砂获得的动能
b. 芯砂在芯盒内形成的压力差
c. 芯砂获得的动能及压力差双重作用
d. 射芯机本身的性能

144. 某合脂砂芯用普通射芯机制芯, 其投影面积达 $500\text{mm} \times 400\text{mm}$ 深为 70mm , 采用_____获得良好的射砂质量。

a. 紧砂顶面射砂板上的排气塞为主、型腔局部深凹处设置排气塞为辅的排气方法

b. 在型腔底部设排气塞排气
c. 在分型面处开设排气槽排气
d. 顶杆间隙排气

145. 中小砂芯的烘干, 从烘芯质量、烘芯时间、作业环境等方面考虑, 应采用_____为宜。

a. 远红外电阻烘芯炉 b. 普通电阻炉 c. 燃煤炉 d. 立式烘干炉

146. 植物油类砂芯最适宜的烘干温度_____℃。

a. $200 \sim 220$ b. $240 \sim 250$ c. $160 \sim 175$ d. $250 \sim 300$

147. 在气雾法冷芯盒制芯中, 为了获得良好的硬化质量和正常的气体消耗量及硬化速度, 必须_____。

a. 工装有良好的密封性、吹气及排气位置
b. 良好的排气
c. 良好的吹气位置
d. 工装有良好的密封性

148. 铸造工艺图用规定的_____来表达设计者的意图与要求。

a. 符号 b. 文字 c. 数字 d. 线条

149. _____的铸件工艺规程要详细编制。

a. 小批生产 b. 单件生产 c. 大量生产 d. 首批生产

150. 铸件图是铸件验收和_____的依据。
a. 铸造工装设计 b. 造型操作 c. 铸型检验 d. 机加工工艺设计
151. 零件结构的铸造工艺性通常指零件结构对_____要求的适应程度。
a. 机械加工 b. 铸造 c. 装配 d. 使用
152. 铸件的最小允许壁厚和铸造合金的_____密切相关。
a. 力学性能 b. 流动性 c. 熔点 d. 凝固特性
153. 较大的内应力易使铸件产生_____缺陷。
a. 夹砂 b. 夹渣 c. 胀砂 d. 裂纹
154. 简化和减少分型面, 可以提高铸件的_____。
a. 尺寸精度 b. 成品率 c. 表面质量 d. 内在质量
155. 铸件的浇注位置是指_____在铸型中所处的位置。
a. 浇注系统 b. 主体砂芯 c. 铸件 d. 直浇道
156. 为避免铸件产生夹砂缺陷, 应避免水平位置有_____。
a. 形状复杂部位 b. 重要表面 c. 较厚截面 d. 较大平面
157. 为方便起模, 分型面一般取在铸件的_____上。
a. 最小截面 b. 最大截面 c. 最厚截面 d. 最薄截面
158. 水平砂芯的体积越大, 浇注时所受_____也越大。
a. 压力 b. 重力 c. 浮力 d. 热作用
159. 为防止砂芯在铸型中产生转动或移动现象, 可采用_____结构。
a. 芯头压环 b. 芯头防压环 c. 芯头无间隙 d. 特殊定位芯头
160. 砂型铸造时, 成批和大量生产的铸件尺寸公差等级为_____级。
a. CT1~2 b. CT7~13 c. CT5~10 d. CT10~15
161. 字母“MA”是铸件_____的代号。
a. 尺寸公差 b. 重量公差 c. 加工余量 d. 表面粗糙度
162. 在采用_____砂型生产大中型铸件时, 通常要设置分型负数。
a. 干型 b. 湿型 c. 自硬 d. 壳型
163. 工艺补正量应施加于铸件的_____。
a. 重要表面 b. 壁厚最小处 c. 非加工面 d. 加工面
164. 通常, 长条形铸件壁薄的部分冷却快而收缩早易产生_____。

使铸件产生外凸变形。

a. 切应力 b. 拉应力 c. 压应力 d. 冲击力

165. 在铸造工艺图上, 芯头边界用_____表示。

a. 红色线 b. 蓝色线 c. 黄色线 d. 红色双点线

166. 在铸造工艺图上, 活块用红色线表示, 并在此线上画_____。

a. 两条交叉短线 b. 两条短线 c. 两条平行短线 d. 一条短线

167. 在铸造工艺图上, 一般芯撑用_____表示。

a. 文字 b. 数字 c. 红色线 d. 蓝色线

168. 对易产生缩松的合金, 如_____, 常采用同时凝固方式使缩松区控制在特定部位。

a. 黄铜 b. 锡青铜 c. 铸钢 d. 无锡青铜

169. 浇注很长的床身铸件时, 为避免导轨面处砂型被冲坏或过热, 保证导轨面硬度均匀, 可采用_____浇注系统。

a. 阶梯式 b. 顶注式 c. 中间注入式 d. 底雨淋式

170. 牛角式浇注系统广泛应用于_____铸件。

a. 合金铜 b. 可锻铸铁 c. 非铁合金 d. 球墨铸铁

171. 为防止铸件产生热裂而加在铸件上的工艺肋称作_____。

a. 拉肋 b. 收缩肋 c. 加强肋 d. 辅助肋

172. 工艺肋中的拉肋要在_____去除。

a. 清理时 b. 开箱时 c. 热处理后 d. 机加工后

173. _____形铸件冷却时易发生变形, 常需在相应部位设工艺肋。

a. “口” b. “U” c. “L” d. “工”

174. 根据球墨铸铁铁液的特点, 在设计浇注系统时其截面积要比灰铁铸件_____。

a. 大 10%~30% b. 小 10%~30%

c. 大 30%~100% d. 小 30%~100%

175. 在铸造较长的大型柴油机曲轴时, 为了保证铸件的补缩条件, 通常采用_____工艺。

a. 立浇立冷 b. 平浇立冷 c. 平浇平冷 d. 立浇平冷

176. 平面尺寸较大且壁厚均匀的板类铸件不易补缩, 易产生缩松, 故工艺上常采用_____和冷铁。

- a. 集中的内浇道 b. 封闭式浇注系统
c. 分散的内浇道 d. 开放式浇注系统

177. 阀类铸件通常有耐压要求，因此常在这类铸件的法兰等热节处采用_____补缩。

- a. 顶冒口 b. 明冒口 c. 边冒口 d. 压边浇口

178. 制作精度要求高的小型木模最好选用_____。

- a. 红松 b. 白松 c. 杉木 d. 柚木

179. 制作塑料模时，需加入_____以改善硬化后塑料的韧性，降低硬化速度，增加流动性，便于制模操作。

- a. 环氧树脂 b. 增塑剂 c. 稀释剂 d. 硬化剂

180. 使用_____造型，模样可以不放起模斜度，也无需分型面和分模面。

- a. 金属模 b. 木模 c. 菱苦土模 d. 泡沫塑料气化模

181. 顶箱起模类造型机所用的模底板上的模样高度应_____起模行程。

- a. 大于 b. 小于 c. 等于 d. 没有限制

182. 当模样分型面处有圆角时，为保证圆角部分模样的结构和强度，与模底板的装配，通常用_____。

- a. 平放式 b. 嵌入式 c. 滑销式 d. 燕尾槽式

183. 为使单件、小批量的产品也能使用造型机，可使用_____。

- a. 翻台类模底板 b. 双面模底板
c. 顶箱类模底板 d. 坐标模底板

184. 由于高压造型压实比压高，故模板框不宜采用_____制造。

- a. 灰铸铁 b. 铸钢 c. 铝合金 d. 球墨铸铁

185. 大批量生产的铸造车间，为提高砂芯的尺寸精度，保持芯盒的耐用性，大多采用_____。

- a. 木质芯盒 b. 塑料芯盒 c. 金属芯盒 d. 混合结构的芯盒

186. 芯盒的定位销和销套之间宜采用_____。

- a. 间隙配合 b. 过渡配合 c. 过盈配合 d. 三种均可

187. 较大尺寸的芯盒的锁紧装置通常选用_____。

- a. 螺母式锁紧装置 b. 蝶形螺母锁紧装置

c. 滚花螺母锁紧装置 d. 简易锁紧卡

188. 壳芯盒制芯时, 吹砂口一般宜布置在_____。

a. 大端芯头处 b. 小端芯头处
c. 砂不容易吹到的地方 d. 任意位置

189. 热芯盒制芯时, 为使砂芯能留在设有顶出机构的一半芯盒中, 通常可采取_____。

a. 对称砂芯的分盒面向没有顶杆的一半芯盒偏移
b. 设有顶出机构的芯盒起模斜度大于另一半芯盒的起模斜度
c. 将砂芯的形状复杂部分放在没有顶杆的一半芯盒中
d. 根据热射芯机的使用情况来决定

190. 装配式砂芯的装配部分尺寸公差, 内芯外尺寸所对应的芯盒尺寸公差取_____。

a. 正值 b. 负值 c. 零 d. 负值或零

191. 采用_____制芯时, 必须保持顶出机构有良好的密封性。

a. 热芯盒 b. 壳芯盒 c. 冷芯盒 d. 手工芯盒

192. 大型砂箱的箱带上常留 2~4 处断口, 目的是为了_____。

a. 减轻重量 b. 避免应力集中
c. 适应热膨胀 d. 砂箱与模体间留一定的吃砂量

193. 高压造型用砂箱一般采用_____材料。

a. 铝合金 b. 灰铸铁 c. 木材 d. 铸钢

194. 组合快换模板造型时, 模底板与砂箱之间的定位是_____。

a. 直接定位 b. 间接定位 c. 型内合型销定位 d. 凹凸面定位

195. 在 GB/T5611—1998《铸造名词术语》中, 将铸造缺陷分为_____。

a. 十类 80 种 b. 八类 53 种 c. 八类 45 种 d. 八类 100 余种

196. 按气体来源不同, 可分为侵入性气孔、析出性气孔、反应性气孔等_____。

a. 三种 b. 四种 c. 二种 d. 五种

197. 防止侵入性气孔的主要方法有_____。

a. 降低砂型界面气压 b. 降低浇注温度
c. 降低有效压力头 d. 减慢浇注速度

198. 下列四种铸造缺陷中属于粘砂的有_____。
- a. 胀砂 b. 机械粘砂 c. 夹砂 d. 冲砂
199. 造成机械粘砂的原因之一有_____。
- a. 浇注温度高 b. 静压力低 c. 液态时间短 d. 采用旧砂
200. 防止机械粘砂的措施之一有_____。
- a. 采用粗砂 b. 提高紧实度 c. 减少煤粉 d. 提高浇注温度
201. 化学粘砂层中存在下列情况可以不粘砂或者说少粘砂_____。
- a. 氧化层薄 b. 结晶体 c. 玻璃体 d. 都不是
202. 下面四种缺陷属于铸件残缺类缺陷有_____。
- a. 冷隔 b. 跑火 c. 缩陷 d. 沟槽
203. 防止夹砂结疤的措施有_____。
- a. 使用煤粉 b. 用钙膨润土 c. 提高型砂水分 d. 降低浇注速度
204. 高压造型对型砂性能有特殊要求, 下列四项中, 不正确的是_____。
- a. 高粘土 b. 高强度 c. 高水分 d. 高的流动性
205. 铸件检验的结果分为三类, 下列四种中哪一种不在范围内_____。
- a. 合格品 b. 等外品 c. 返修品 d. 废品
206. 对一般铸铁件, 国家标准和验收条件中明确必须达到的指标是_____。
- a. 金相组织 b. 化学成分 c. 力学性能 d. 特殊性能
207. 铸件表面缺陷的无损探伤方法之一有_____。
- a. 超声波 b. 磁粉探伤 c. 射线检测 d. 压力试验
208. 铸件内部缺陷的无损检测方法之一有_____。
- a. 浸渗法 b. 压力试验 c. 超声波 d. 磁粉探伤
209. 把化学成分作为验收条件之一的材料有_____。
- a. 铸钢件 b. 球墨铸铁件 c. 灰铸铁件 d. 可锻铸铁件
210. 解决铸件渗漏的新技术是_____。
- a. 电焊 b. 气焊 c. 浸渗 d. 填补
211. 常用浸渗剂有多种, 其中新型浸渗剂有_____。
- a. 水玻璃型 b. 合成树脂型 c. 厌氧型 d. 都不是

212. 防止铸钢件缩孔的主要方法有_____。
- a. 同时凝固 b. 顺序凝固 c. 控制钢液成分 d. 提高铸型刚度
213. 减少球墨铸铁皮下气孔的主要措施有_____。
- a. 降低残留镁量及含硫量 b. 增加型砂水分
c. 降低浇注温度 d. 增加粘土量
214. 造成铁液充型能力不够的原因之一有_____。
- a. 含碳量高 b. 铁液粘度低 c. 浇注系统不合理 d. 型内阻力小
215. 防止球墨铸铁缩孔的措施很多, 指出下列措施中, 不恰当的条目_____。
- a. 利用共晶石墨化胀力 b. 控制凝固顺序
c. 降低铸型刚度 d. 采用冷铁
216. 引起铸件热裂的原因较多, 指出下列项次中, 不会引起热裂的条目_____。
- a. 线收缩受阻 b. 厚薄悬殊 c. 落砂过早 d. 硫磷偏低
217. 指出下列缺陷中, 不属于夹砂结疤的项目_____。
- a. 鼠尾 b. 夹砂结疤 c. 夹杂物 d. 沟槽
218. 引起铸铁件内渗豆产生的前提条件是_____。
- a. 浇注飞溅 b. 铁液沸腾 c. 内部孔洞 d. 压力头高
219. 防止球墨铸铁夹渣的一些主要措施列举如下, 指出其中不恰当的条目_____。
- a. 降低含硫量 b. 铁液平稳 c. 提高残留镁量 d. 浇注扒渣

三、计算题

1. 有一金属零件, 重量为 35kg, 体积为 $5 \times 10^{-3} \text{m}^3$ 。该金属的密度是多少?
2. 某铸铁成分为 (均为质量分数): C3.7%、Si2.5%、Mn0.5%、P 0.05%、S 0.03%。试计算其碳当量及共晶度, 并判断其属于亚共晶铸铁、共晶铸铁还是过共晶铸铁。
3. 有一铸铁件, 铸件平均壁厚为 15mm, 浇注位置高度为 350mm, 浇注时间为 25s, 试求浇注时型腔内液面平均上升速度。
4. 有一铸铁件, 浇注重量为 200kg, 采用中间注入式, 半封闭浇注系统各组元截面积比为 $\Sigma A_{\text{内}} : \Sigma A_{\text{横}} : \Sigma A_{\text{直}} = 1 : 1.3 : 1.1$, 铸件高度为

200mm, 上型总高为 300mm, 浇注时间为 30s, 阻力系数 $\mu = 0.42$, 试求浇注系统各组元截面积值 $\Sigma A_{内}$ 、 $\Sigma A_{横}$ 、 $\Sigma A_{直}$ 。

5. 有一球墨铸铁件, 浇注重量为 64kg, 采用压边浇口, 系数 m 取 0.5, 试求压边浇口面积。

6. 某铸件浇注时高度为 200mm, 其上型总高度为 300mm, 分别求顶注、中注、底注时平均压力头。

7. 已知: 碳的质量分数为 0.45% 的中碳钢浇注温度为 1600°C , 它开始凝固的温度为 1510°C , 凝固结束温度为 1440°C 。铸件是边长为 20cm 的正方体, 合金的凝固温度范围较窄, 接近于逐层凝固, 凝固期间表层硬壳的收缩不计, 试计算其缩孔体积。($\alpha_{液} = 1.0 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$, 0.45% 的中碳钢凝固收缩率 $\epsilon_{V凝} = 4.3\%$)

8. 某铸件的毛重为 500kg, 浇冒口总重为 250kg, 该铸件的工艺出品率是多少?

9. 有一铸钢件的热节圆直径 $T = 150\text{mm}$, 如按 $D = (1.3 \sim 2.0) T$ 的比例关系确定冒口直径 D , 试求该铸件所设最大和最小冒口的直径?

10. 某一冒口的模数为 1.77cm , 其表面积为 1102cm^2 , 则它的体积是多少?

11. 有三个铸钢柱体形铸件, 它们的长度均为 10dm , 圆柱体直径 $d = 3\text{dm}$, 正方柱体的截面积 $A_{正} = 3\text{dm} \times 3\text{dm}$, 长方柱体截面积 $A_{长} = 0.6\text{dm} \times 15\text{dm}$, 试: ①分别计算它们的模数; ②三个柱体中哪一个冷却最快? 哪一个冷却最慢? 为什么?

12. 有甲、乙两个铸件的体积相等, 均为 2100cm^3 , 而甲铸件的表面积为 1100cm^2 , 乙铸件的表面积为 840cm^2 , 试比较它们的模数, 哪一个铸件冷却较快? 为什么?

13. 分别在某砂型的顶部和靠模板处 (底部) 各取一块体积为 5cm^3 的砂样, 并已测得顶部砂样的重量为 7.5g , 底部砂样的重量为 8.5g , 分别求出两处砂型的紧实度 $\delta_{顶}$ 和 $\delta_{底}$ 。

14. 对车板造型的带轮进行分肋计算, 已知圆线的尺寸为 1.2m , 带轮有 5 根轮幅, 求其弦长 S ?

15. 已知一灰铸铁件重 900kg , 取浇冒口总重为 180kg , 采用中间注入半封闭式浇注系统 ($\Sigma A_{内} : \Sigma A_{横} : \Sigma A_{直} = 1 : 1.3 : 1.1$), 浇注时

间为 51s, 流量系数 $\mu = 0.48$, 上型总高度为 700mm, 铸件的浇注高度为 800mm。试用公式法确定浇道各组元截面值和直浇道直径 $D_{直}$ 。

16. 见图 1 所示铸型图, 砂型为湿型, $[\sigma_{压}]$ 为 $6N/cm^2$ 。试计算砂芯在浇注时所受最大浮力及验算上芯座承压强度 (已知金属液密度 $\rho = 7g/cm^3$, 砂芯重力 $G_{芯} = 1000N$, $K = 1.3$)。

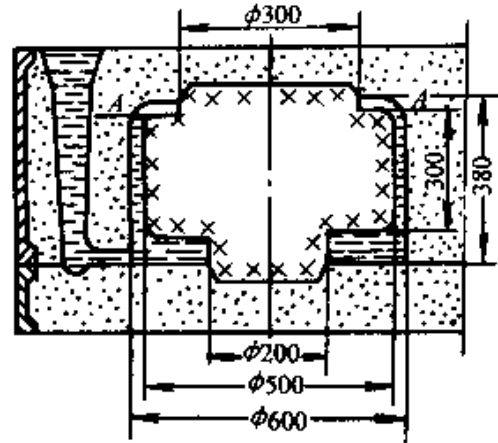


图 1 铸型图

17. 图 2 为 QT450—10 球墨铸铁齿圈, 采用干型铸造。试确定:

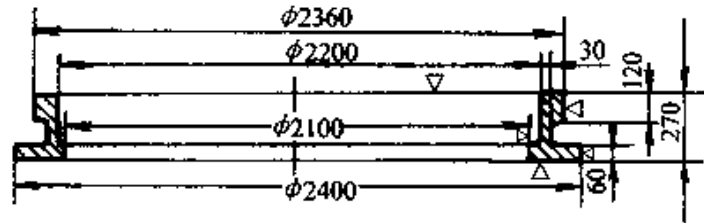


图 2 球墨铸铁齿圈

- (1) 铸造收缩率。
- (2) 分型面及浇注位置。
- (3) 砂芯。
- (4) 浇冒口形式、数量及位置。
- (5) 出气孔位置及冷铁位置。
- (6) 工艺出品率 (设铸铁密度为 $7.3g/cm^3$, 浇冒口总重为铸件重量的 40%)。

18. 图 3 为大量生产的铸钢轮坯 (设其密度为 $7.8g/cm^3$), 采用实样模造型, 试确定:

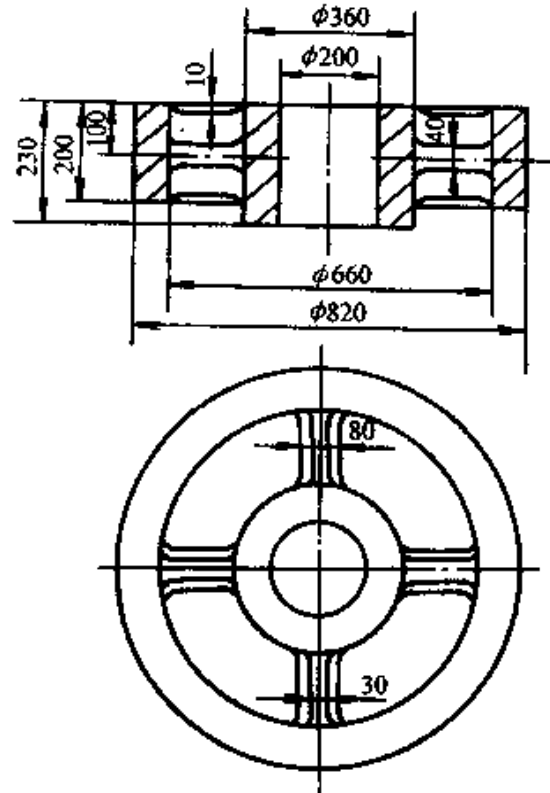


图 3 铸钢轮坯

- (1) 分型面及浇注位置。
- (2) 分模线 (模样拆活部分)。
- (3) 冒口形状、位置及数量。

- (4) 补贴。
- (5) 砂芯。
- (6) 浇注系统位置。
- (7) 工艺出品率 (设浇冒口总重量为铸件重量的 65%)。

四、简答题

1. 金属有哪些物理性能? 试述它们各自的含义。
2. 何谓金属的力学性能? 常用的力学性能指标有哪些?
3. 什么叫铸造? 什么是金属的铸造性能? 金属的铸造性能主要有哪些?

4. 什么叫变质处理?

5. 铁碳双重相图中的组成物有哪些?

6. 试述图 4 铁碳双重相图中主要特性点、线的含义。

7. 简述球墨铸铁的等温淬火工艺、处理后的组织及其性能特点。

8. 低合金灰铸铁中, 合金元素的作用主要有哪几方面?

9. 什么叫孕育铸铁? 如何选择孕育铸铁原铁液的化学成分?

10. 简述硅在球墨铸铁中的作用及选择原则。

11. 对球化处理后的铁液进行孕育处理有什么目的?

12. 简述冲天炉熔炼的一般过程。

13. 简述冲天炉熔炼过程中, 金属元素含量的变化情况及影响因素。

14. 简述碱性电弧炉氧化法炼钢的工艺流程。

15. 铸造铝合金熔炼的材料有哪些? 其熔炼工艺分哪几个环节?

16. 什么叫型砂的紧实率? 它对控制型砂的质量有什么作用?

17. 试述比强度的含义及其实际意义。

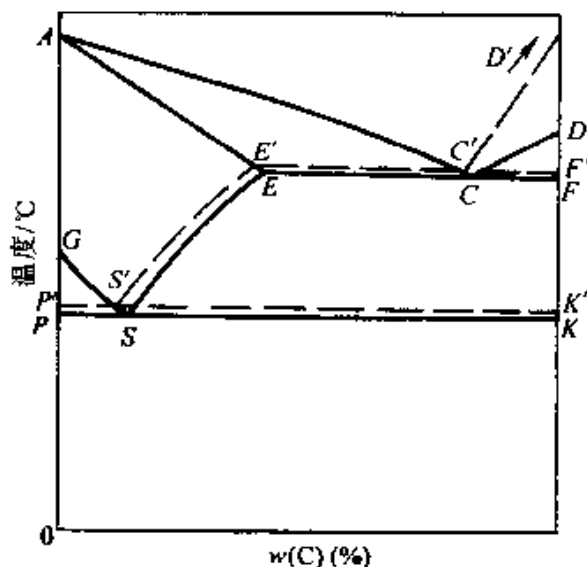


图 4 铁碳双重相图

18. 试述壳芯覆膜砂熔点的含义及其实际意义。
19. 水玻璃砂优缺点？
20. 对于铸造涂料的耐火骨料有何要求？
21. 影响液态金属充型能力的因素有哪些？
22. 简述内浇道设置原则。
23. 浇注时间对铸件质量有什么影响？
24. 浇注系统中一般采用哪些过滤装置，画出简图说明。
25. 剩余压力头有什么作用？剩余压力头过大和过小会有什么问
题？
26. 什么是定向凝固原则？存在什么优缺点？
27. 控制铸件凝固的方法有哪几种？
28. 试分析铸铁固态收缩？
29. 防止铸件产生缩孔和缩松的基本措施是什么？
30. 消除铸件中残余应力的方法有哪几种？
31. 冒口设计与计算的一般步骤有哪些？
32. 铸件的工艺出品率过高或过低说明什么问题？铸钢件工艺出
品率的大小，决定于哪些因素？
33. 放置外冷铁应注意哪些问题？
34. 采用怎样的冒口形状，其补缩作用最好？为什么？
35. 灰铸铁件为什么要采用瓶式冒口？
36. 什么叫发热冒口？其原理是什么？
37. 冒口具备补缩能力的基本条件是什么？
38. 明冒口与暗冒口比较有哪些优缺点？
39. 什么是模样的凸点线？什么是模样的凹点线？分型面和分模
面各应设于何处？
40. 什么叫活砂造型？简述活砂造型步骤？
41. 简述大型铸件地坑造型时，放模样前硬砂床底部的造型操
作？
42. 常用刮板造型有哪几种？各适用于什么样的铸件？
43. 简述气冲造型的成型原理及气冲和静压造型的主要不同点？
44. 为什么微震压实紧实比普通的震压式紧实造型效果好？

45. 根据图 5 所给出的砂型紧实度曲线特点分别指出其各属于哪种造型方式? 并试述其各自紧实度分布的特点。

46. 热芯盒(包括壳芯盒)制芯法有哪些特点? 壳芯法有哪些优点?

47. 机械化制芯的关键工装(热、冷壳芯盒)的设计制造目前达到什么水平?

48. 冷芯盒树脂砂法制芯有何特点?

49. 对砂芯有哪些工艺要求?

50. 简述砂芯烘干原理。

51. 什么是铸造工艺图? 它包括哪些内容?

52. 确定铸件浇注位置的原则是什么?

53. 什么是铸造收缩率? 其影响因素是什么? 写出铸造收缩率的计算式。

54. 确定分型面的原则有哪些?

55. 为什么说选择合适的加工余量值非常重要? 其决定因素是什么?

56. 对产品零件图进行铸造工艺性分析的意义是什么?

57. 如何从简化铸造工艺过程的角度来审查零件结构的工艺性?

58. 铸造工艺设计的内容是什么? 其设计程序怎样?

59. 铸造工艺 CAD 的基本概念及作用是什么?

60. 泡沫塑料气化模的优缺点。

61. 热芯盒射砂口位置的选择原则?

62. 简述砂箱的选用和设计原则。

63. 在铸件生产中如何保证铸件的最终质量。

64. 简述侵入性气孔的形成条件。

65. 解决铸造缺陷的基本顺序和思路。

66. 简述机械粘砂的成因, 及影响因素。

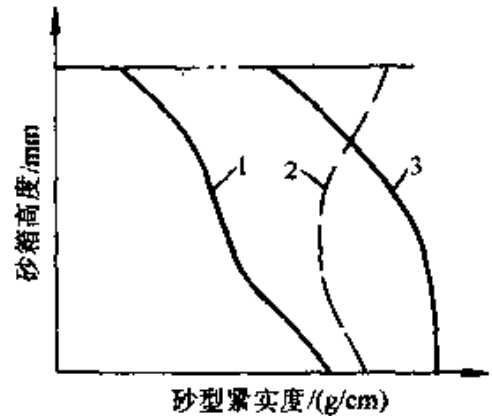


图 5 砂型紧实度曲线比较

1— 2— 3—

67. 简述什么是化学粘砂？防止措施有哪些？
68. 简述什么是析出性气孔？有何特征？
69. 简述夹砂结疤的形成过程。
70. 铸件质量主要包括哪些内容？
71. 简述真空压力渗补工艺过程。

考核试卷样例

第一套 试 卷

要求：时间 120min；满分 100 分；及格 60 分

一、是非题（是画√，非画×，每题 1.5 分，共 30 分）

1. 对灰铸铁，在亚共晶铸铁中越接近共晶成分，流动性越好。
()
2. 下列方法可使流量系数 μ 值增大：顶注、增加型砂透气性、采用封闭式浇注系统。
()
3. 在横浇道上有多个相同面积的内浇道时，离直浇道近的内浇道进铁液多，最远的内浇道进铁液少。
()
4. 紧实率是表示湿型砂中粘土与水比例是否适宜于造型的一种综合性指标。
()
5. 防止铸件产生缩孔和缩松的基本出发点是尽可能使缩松转化为缩孔，并使它移到铸件最后凝固部位，然后采取合理铸造工艺消除缩孔。
()
6. 用模数法确定冒口尺寸时，应满足铸件的模数大于冒口的模数，否则冒口不能发挥补缩作用。
()
7. 随着灰铸铁牌号的提高，其冒口缩颈直径与铸件热节圆直径的比值需相应减小。
()
8. 在车板造型校调车板时，要注意使分型面略低于砂箱边沿，并注意检查立轴杆垂直度。
()
9. 对于长度较大的筒类铸件，为了方便造型，宜采用平做平浇方案。
()
10. 当同一砂芯上有两个以上的芯头时，可将其中定位作用不大的芯头间隙加大，以便于下芯。
()

11. 铸造用砂芯只用来形成铸件的内腔或内孔。 ()
12. 高压造型的模样, 为便于起模, 模样的凹槽处或模样周围可以安放排气塞。 ()
13. 冷豆、内渗豆、外渗豆都是浇注飞溅引起的。 ()
14. 超声波可测铸件表面缺陷。磁粉检测可查铸件内部孔洞。 ()
15. 热芯盒法树脂砂的强度高, 主要决定于树脂本身的性质而与原砂质量、芯盒温度、混制质量等无关。 ()
16. 铸件的浇注位置只对造型方式有直接影响, 对铸件的内在质量影响不大。 ()
17. 采用高压造型时, 为了保证砂型的紧实度, 其压实比压越高越好。 ()
18. 在树脂砂中加入偶联剂, 其目的是为了提高树脂砂的流动性。 ()
19. 所谓底焦高度是指装入金属料以前加入冲天炉内的全部焦炭的高度。 ()
20. 片状石墨的数量大小和分布状况是影响灰铸铁性能的主要因素。 ()

二、选择题 (将正确答案的序号填入空格内; 每题 1.5 分, 共 30 分)

1. 在铸造铝合金熔炼时, 常用的精炼剂有_____。

- a. 50% NaCl + 50% KCl b. C_2Cl_6
c. 67% NaA + 33% NaCl d. 铝硅合金中间合金

2. 膨润土进行活性处理的目的是_____。

- a. 降低收缩膨胀性 b. 提高耐火度
c. 使 Na 膨润土化为 Ca 膨润土
d. 使 Ca 膨润土转化为 Na 膨润土。

3. 碳当量的计算公式为 (均为质量分数) $CE\% = C\% +$ _____ %。

- a. $1/3 (Si + Mn)$ b. $1/3 (Si + P)$
c. $1/3 (Si + S)$ d. $1/3 (Si + Cu)$

4. 半封闭式浇注系统各组元截面的比例关系为_____。
- a. $A_{直} < \Sigma A_{横} < \Sigma A_{内}$ b. $A_{直} > \Sigma A_{横} > \Sigma A_{内}$
 c. $A_{直} > \Sigma A_{内} > \Sigma A_{横}$ d. $\Sigma A_{横} > A_{直} > \Sigma A_{内}$
5. 有一铸铁件，浇注金属总重量为 160kg，平均壁厚为 12mm，计算浇注时间为_____ s。
- a. 32 b. 30 c. 28 d. 25
6. 凝固区域的宽度可根据_____直接判断。
- a. 凝固方式 b. 凝固原则 c. 合金相图上液相线与固相线之间的横向距离
 d. 合金相图上液相线与固相线之间的纵向距离
7. 选择铸件凝固原则最主要的依据是_____。
- a. 铸件的结构特点 b. 金属的铸造性质 c. 铸件的工作条件
 d. 铸型的类别
8. 冒口尺寸主要指_____。
- a. 顶部直径 b. 根部直径 c. 高度 d. 根部直径和高度
9. 在制作加固硬砂床时，除了在地坑底部铺设钢轨外，还可以用_____代替钢轨。
- a. 成型骨架 b. 大型槽钢 c. 砂箱和砌砖垛 d. 铺设钢筋网
10. 若按模样起模要求需分模造型，但有时为了便于制模或顾及模样强度，将模样做成整体，此时可采用_____。
- a. 多箱造型 b. 吊砂造型 c. 挖砂造型 d. 劈箱造型
11. 采用“V”法造型时，其型砂为_____。
- a. 覆膜砂 b. 粘土砂 c. 干硅砂 d. 树脂砂
12. 浇注很长的床身铸件时，为避免导轨面处砂型被冲坏或过热，保证导轨面硬度均匀，可采用_____浇注系统。
- a. 阶梯式 b. 顶注式 c. 中间注入式 d. 底雨淋式
13. 大中型铸件采用刮板造型时，其铸件尺寸精度比实模造型要高，这是因为大型实样模_____的原因。
- a. 起模斜度大 b. 变形量大 c. 制造尺寸误差大 d. 造型精度低
14. 为防止砂芯在铸型中产生转动或移动现象，可采用_____结

构。

- a. 芯头压环 b. 芯头防压环 c. 芯头无间隙 d. 特殊定位芯头

15. 工艺补正量应施加于铸件的_____。

- a. 重要表面 b. 壁厚最小处
c. 非加工面 d. 加工面

16. 在水玻璃砂中加入粘土等附加物主要是为了_____。

- a. 增加透气性 b. 增加干强度 c. 增加湿强度 d. 降低溃散性

17. 树脂覆膜砂的熔点主要与_____有关。

- a. 芯盒温度 b. 树脂软化点 c. 加热时间 d. 混制工艺

18. 覆砂金属型造型生产线在_____件生产中应用最广泛。

- a. 灰铸铁 b. 球墨铸铁 c. 可锻铸铁 d. 铸钢

19. 防止夹砂结疤的措施有_____。

- a. 使用煤粉 b. 用钙基膨润土 c. 提高型砂水分 d. 降低浇注速度

20. 对一般铸铁件，国家标准和验收条件中明确必须达到的指标是_____。

- a. 金相组织 b. 化学成分 c. 力学性能 d. 铸造性能

三、计算题（共16分）

1. 某铸件浇注时高度为200mm，其上型总高度为300mm，分别求顶注、中注、底注时平均压力头。（6分）

2. 有一铸铁件，浇注重量为200kg，采用中间注入式，半封闭浇注系统各组元截面积比为 $\Sigma A_{内} : \Sigma A_{横} : \Sigma A_{直} = 1 : 1.3 : 1.1$ ，铸件高度为200mm，上型总高为300mm，浇注时间为30s，流量系数 $\mu = 0.42$ ，试求浇注系统各组元截面积值 $\Sigma A_{内}$ 、 $\Sigma A_{横}$ 、 $A_{直}$ 。（10分）

四、简答题（每题4分，共24分）

1. 确定铸件浇注位置的原则是什么？
2. 什么是铸造工艺图？它包括哪些内容？
3. 采用怎样的冒口形状，其补缩作用最好？为什么？
4. 常用刮板造型有哪几种？各适用于什么样的铸件？

5. 简述侵入性气孔的形成条件。
6. 消除铸件中残余应力的方法有哪几种？

第二套 试 卷

要求：时间 120min；满分 100 分；及格 60 分

一、是非题（是画√，非画×，每题 1.5 分，共 30 分）

1. 稀土镁有脱硫、去气和排除杂质、净化铁液的作用，因此，在任何情况下，球墨铸铁比灰铁的流动性好。 ()
2. 在浇注温度和铸型工艺因素等条件正常的情况下，铸件形状越复杂，壁厚越薄，则对金属液流动阻力越大，流量系数 μ 值越小。 ()
3. 剩余压力头计算公式为 $H_M \geq L \tan \alpha$ 。 ()
4. 合成树脂砂用于铸造能满足各种铸造合金及不同生产条件的要求。 ()
5. 一般防止铸件变形的方法都可以防止产生铸造应力。 ()
6. 由于内冷铁要和铸件熔接在一起，故要求其材质应与铸件材质相同或相适应。如铸钢件和铸铁件，一般采用低碳钢材质的内冷铁。 ()
7. 冒口具备补缩的基本条件是：冒口的大小和形状应使冒口中的金属液最后凝固，并形成由铸件到冒口的定向凝固。 ()
8. 当铸件截面的形状和大小不断变化时，不能用车板或导向刮板造型时，可采用骨架模造型。 ()
9. 壁厚差较大的轮类铸件铸造应力较大，工艺上常采用少而集中的内浇道。 ()
10. 大型砂芯应尽量使烘干位置与下芯位置保持一致，以避免砂芯在翻动时造成损坏。 ()
11. 模板上导销的工作长度应小于模样高度。 ()
12. 射压造型、高压造型所用的砂箱，一般须在砂箱壁上设计均匀布置且形状为锥形的排气孔。 ()
13. 型腔内只要有气体，就会在铁液中形成侵入性气孔。 ()

14. 一般铸铁件对化学成分不作验收依据。 ()
15. 铸造用膨润土, 因吸水能力强、强度高, 加热时体积变化大, 故常来用作湿型砂粘结剂, 而普通粘土常作干型砂粘结剂。 ()
16. 水玻璃砂的保存性较差, 故混砂和制芯造型应很好配合, 做到及时供砂。 ()
17. 高压造型时, 若压实比压过高, 会导致砂型产生回弹现象, 使砂型产生变形甚至开裂现象。 ()
18. 气冲造型和静压造型均利用气流紧实, 其成型原理是相同的, 区别只在于静压造型还多一道补压工序。 ()
19. 铁液的增硫, 与焦炭含硫量有直接关系, 故应选用低硫焦炭作熔炼燃料。 ()
20. 孕育剂主要含有强烈阻碍石墨化元素。 ()

二、选择题 (将正确答案的序号填入空格内; 每题 1.5 分, 共 30 分)

1. ZG230 - 450 牌号的铸钢表示_____。
- a. 抗拉强度 $\geq 230\text{MPa}$ 、屈服强度 $\geq 450\text{MPa}$ b. 抗拉强度 $\leq 230\text{MPa}$ 、屈服强度 $\leq 450\text{MPa}$ c. 屈服强度 $\geq 230\text{MPa}$ 、抗拉强度 $\geq 450\text{MPa}$ d. 屈服强度 $\leq 230\text{MPa}$ 、抗拉强度 $\leq 450\text{MPa}$
2. 在水玻璃砂中, 水玻璃的模数过高过低都不能满足生产要求, 一般将模数调整到_____。
- a. $M = 1 \sim 2$ b. $M = 2 \sim 3$ c. $M = 3 \sim 4$ d. $M = 4.5 \sim 5.5$
3. 钢的所有合金元素中, 最有利于提高流动性的元素是_____。
- a. S b. Cr c. Cu d. P
4. 测定液态金属流动性最常用的方法是_____。
- a. y 形试样 b. 梅花形试样 c. 楔形试样 d. 螺旋形试样
5. 铸造合金的_____是产生缩松、缩孔、裂纹和变形等缺陷和基本原因。
- a. 凝固 b. 收缩 c. 体收缩 d. 线收缩

6. 当铸件内总应力值超过合金的_____时, 铸件将产生变形。
a. 弹性极限 b. 屈服极限 c. 强度极限 d. 弹性模数
7. 对结构复杂, 壁厚不均匀, 尺寸较大的铸件, 通常采用_____的凝固原则。
a. 同时凝固 b. 定向凝固
c. 先同时凝固后定向凝固 d. 同时凝固与定向凝固相结合
8. 铸件的体积 V 和表面积 (铸件与砂型接触的表面积) A 的比值叫做_____。
a. 工艺收缩率 b. 工艺出品率 c. 补偿系数 d. 模数
9. 大中型铸件采用刮板造型时, 其铸件尺寸精度比实模造型要高, 这是因为大型实样模_____的原因。
a. 起模斜度大 b. 变形量大 c. 制造尺寸误差大 d. 造型精度低
10. 对一些高度较大, 形状复杂或起模斜度很小的模样, 为避免起模时损坏砂型可以采用_____起模方式。
a. 翻台 b. 转台 c. 顶箱回程 d. 顶箱漏模
11. 覆砂金属型的砂型最大的特点是_____。
a. 铸型精度高 b. 铸型刚度高 c. 铸型透气性好 d. 节省型砂
12. 平面尺寸较大且壁厚均匀的板类铸件不易补缩, 易产生疏松, 故工艺上常采用_____和冷铁。
a. 集中的内浇道 b. 封闭式浇注系统 c. 分散的内浇道 d. 开放式浇注系统
13. 工艺肋中的拉肋要在_____去除。
a. 清理时 b. 开箱时 c. 热处理后 d. 机加工后
14. 水平砂芯的体积越大, 浇注时所受_____也越大。
a. 力 b. 重力 c. 浮力 d. 热作用压力
15. 牛角式浇注系统广泛应用于_____铸件。
a. 合金钢 b. 可锻铸铁 c. 铸造非铁合金 d. 球墨铸铁
16. 组合快换模板造型时, 模底板与砂箱之间的定位是_____。
a. 直接定位 b. 间接定位 c. 型内合型销定位 d. 凹凸面定位
17. 湿型砂的紧实率指数主要表示_____的指标。

a. 型砂强度高 b. 透气性大小 c. 发气量大小 d. 砂中粘土与水的比例是否适宜于造型

18. 合脂砂的蠕变现象主要由_____所决定。

- a. 合脂加入量 b. 原砂种类
c. 合脂本身的粘度特点 d. 烘干温度

19. 铸件内部缺陷的无损检测方法之一有_____。

- a. 浸渗法 b. 压力试验 c. 超声波 d. 磁粉探伤

20. 铸件图是铸件验收和_____的依据。

- a. 铸造工装设计 b. 造型操作 c. 铸型检验 d. 机加工工艺设计

三、计算题 (共 16 分)

1. 某铸件的毛重为 500kg, 浇冒口总重为 250kg, 该铸件的工艺出品率是多少? (6 分)

2. 见右所示铸型图, 砂型为湿型, $[\sigma_{压}]$ 为 $6N/cm^2$ 。试计算砂芯在浇注时所受最大浮力及验算上芯座承压强度 (已知金属液密度 $\rho = 7g/cm^3$, 砂芯重力 $G_{芯} = 1000N$, $K = 1.3$)。 (10 分)

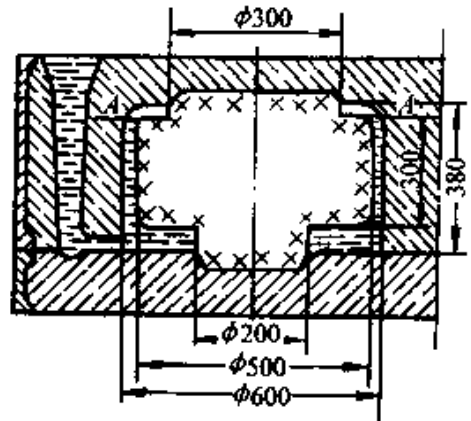


图 6 铸型图

四、简答题 (每题 4 分, 共 24 分)

1. 确定分型面的原则有哪些?
2. 铸造工艺设计的内容是什么? 其设计程序是怎样的?
3. 冒口具备补缩能力的基本条件是什么?
4. 对于铸造涂料的耐火骨料有何要求?
5. 简述夹砂结疤的形成过程。
6. 什么叫孕育铸铁? 如何选择孕育铸铁原铁液的化学成分?

第三套 试 卷

要求: 时间 120min; 满分 100 分; 及格 60 分

一、是非题 (是画√, 非画×, 每题 1.5 分, 共 30 分)

1. 铸钢浇注温度比铸铁高, 因此铸钢流动性比铸铁好。 ()

2. 流量阻力系数 μ 值主要取决于铸型对金属液流动阻力的大小, 对同一铸件, 湿型比干型阻力大。 ()

3. 铸型浇注时内浇道至外浇道液面的高度与内浇道以上铸件高度之差称为平均静压头。 ()

4. 水玻璃砂只能用于铸钢件和大型铸铁件的生产, 而不能用于小型铸件和非铁合金铸件。 ()

5. 冷裂是铸件处于弹性状态时, 铸造应力超过合金的强度极限而产生的。一般出现在铸件的受压部位。 ()

6. 加补贴的作用是使铸件定向凝固, 增大冒口补缩距离。 ()

7. 可以增加冒口补缩压力的特种冒口是: 发热保温冒口、加氧冒口和电弧加热冒口等。 ()

8. 由于导向刮板上、下型是分别刮制的, 所以合型时只能用划线法定位合型才能保证不错边。 ()

9. 筒类铸件在立浇时常采用雨淋式浇道; 平浇时用中注式浇道。 ()

10. 为了提高砂芯在型腔内的定位精度, 可在芯座上做出压环结构, 以避免砂芯窜动。 ()

11. 模底板与砂箱的定位方式有直接定位方式和间接定位方式两种。 ()

12. 化学粘砂层中的金属氧化物越厚, 越难清理。 ()

13. 力学性能是对机械零件的基本性能要求。是化学成分, 金相组织等内在质量因素的最终反映, 是国家标准和验收条件中明确必须达到的指标。 ()

14. 气缩孔是气孔在前, 缩孔在后的混合型孔洞。 ()

15. 砂冷却装置纯粹依靠空气吸热而起到砂冷却作用。 ()

16. 与普通机器造型相比较, 高密度造型用湿型砂的主要特点是: 水分高, 强度低, 流动性好。 ()

17. 铸造涂料中, 水基涂料大多采用膨润土作悬浮剂。 ()

18. 静压造型的砂型尺寸公差可达 CT5 级, 表面硬度达 80 以上, 模样的起模斜度可减至 0.5° 。 ()

19. 在冲天炉熔炼过程中, 正常的炉渣应为黑色玻璃状。()

20. 碳和硅都是强烈促进石墨化的元素。()

二、选择题 (将正确答案的序号填入空格内; 每题 1.5 分, 共 30 分)

1. QT450-10 牌号的球墨铸铁表示_____。

a. 抗拉强度 $\leq 450\text{MPa}$ 、伸长率 $\geq 10\%$

b. 抗拉强度 $\geq 450\text{MPa}$ 、伸长率 $\leq 10\%$

c. 抗拉强度 $\geq 450\text{MPa}$ 、伸长率 $\geq 10\%$

d. 抗拉强度 $\leq 450\text{MPa}$ 、伸长率 $\leq 10\%$

2. 湿型砂的紧实率指数主要表示_____的指标。

a. 型砂强度高 低 b. 透气性大小

c. 发气量大小 d. 砂中粘土与水的比例是否适宜于造型

3. 高压造型对型砂性能有特殊要求, 下列四项中, 不正确的是

_____。

a. 高粘土 b. 高强度

c. 高水分 d. 高的流动性

4. 有一铸铁件浇注时高度为 240mm, 上型总高度为 300mm, 采用中间注入式, 则其平均压力头高度 H_p 为_____ cm。

a. 30 b. 27 c. 18 d. 24

5. 有一铸钢件, 其浇注系统各组元的比例式为 $A_{直} : \Sigma A_{横} : \Sigma A_{内} = 1 : 1.1 : 1.3$ 它是采用了_____。

a. 封闭—开放式 b. 半封闭式 c. 开放式 d. 封闭式

6. 影响冷裂的因素和影响_____的因素是一致的。

a. 铸件变形 b. 热裂 c. 铸造应力 d. 温裂

7. _____阶段对铸件的形状和尺寸精度影响最大。

a. 固态收缩 b. 液态收缩

c. 凝固收缩 d. 线收缩

8. 通常情况下, 板状铸钢件两冒口之间的补缩距离为_____。

a. 铸件厚度的 2.5 倍 b. 铸件厚度的 4 倍

c. 铸件厚度的 4.5 倍 d. 铸件厚度的 6 倍

9. 地坑造型时, 为使较高大的铸型便于烘于和排气顺畅, 造型

时要在模样四周距模壁_____ mm 处做出 $\phi 20 \sim \phi 25$ mm 的出气孔。

- a. 50~100 b. 100~150
c. 150~200 d. 200~250

10. 对于大、中型铸件或有大凸块自来芯的下砂型起模, 可以采用_____起模方式。

- a. 翻台 b. 顶箱漏模 c. 顶箱去程 d. 顶箱回程

11. 实型铸造(消失模铸造)与普通铸造的根本差异在于没有_____。

- a. 模样 b. 浇口 c. 砂箱 d. 分型面

12. 阀类铸件通常有耐压要求, 因此常在这类铸件的法兰等热节处采用_____补缩。

- a. 顶冒口 b. 明冒口 c. 边冒口 d. 压边浇口

13. _____形铸件冷却时易发生变形, 常需在相应部位设工艺肋。

- a. 口 b. U c. L d. 工

14. 在采用_____砂型生产大中型铸件时, 通常要设置分型负数。

- a. 干型 b. 湿型 c. 自硬 d. 壳型

15. 在铸造较长的大型柴油机曲轴时, 为了保证铸件的补缩条件, 通常采用_____工艺。

- a. 立浇立冷 b. 平浇立冷 c. 平浇平冷 d. 立浇平冷

16. 装配式砂芯的装配部分尺寸公差, 内芯外尺寸所对应的芯盒尺寸公差取_____。

- a. 正值 b. 负值 c. 零 d. 负值或零

17. 水玻璃砂中使用较多的水玻璃是_____。

- a. 钾水玻璃 b. 钠水玻璃 c. 锂水玻璃 d. 以上全是

18. 热芯盒树脂砂的保存期(可使用时间)取决于_____。

- a. 催化剂种类 b. 催化剂加入量
c. 原砂温度及湿度 d. 以上全是

19. 防止侵入性气孔的主要方法有_____。

- a. 降低砂型界面气压 b. 降低浇注温度

c. 降低有效压力头 d. 减慢浇注速度

20. 为避免铸件产生夹砂缺陷, 应避免水平位置有_____。

a. 形状复杂部位 b. 重要表面 c. 较厚截面 d. 较大平面

三、计算题 (共 16 分)

1. 某一冒口的模数为 1.77cm , 其表面积为 1102cm^2 , 则它的体积是多少? (6 分)

2. 已知一灰铸铁件重 900kg , 取浇冒口总重为 180kg , 采用中间注入半封闭式浇注系统 ($\Sigma A_{\text{内}}:\Sigma A_{\text{横}}:A_{\text{直}}=1:1.3:1.1$), 浇注时间为 51s , 流量系数 $\mu=0.48$, 上型总高度为 700mm , 铸件的浇注高度为 800mm 。试用公式法确定浇道各组元截面值和直浇道直径 $D_{\text{直}}$ 。(10 分)

四、简答题 (每题 4 分, 共 24 分)

1. 如何从简化铸造工艺过程的角度来审查零件结构的工艺性?
2. 简述内浇道设置原则。
3. 明冒口与暗冒口比较有哪些优缺点?
4. 简述砂芯烘干原理。
5. 什么叫型砂的紧实率? 它对控制型砂的质量有什么作用?
6. 防止铸件产生缩孔和缩松的基本措施是什么?

答 案

一、是非题

1. (✓) 2. (×) 3. (×) 4. (×) 5. (×) 6. (×) 7. (×)
 8. (✓) 9. (×) 10. (×) 11. (✓) 12. (×) 13. (✓) 14. (×)
 15. (×) 16. (✓) 17. (×) 18. (✓) 19. (✓) 20. (×) 21. (×)
 22. (×) 23. (×) 24. (×) 25. (×) 26. (×) 27. (✓) 28. (✓)
 29. (×) 30. (✓) 31. (✓) 32. (✓) 33. (×) 34. (×) 35. (×)
 36. (×) 37. (×) 38. (×) 39. (×) 40. (✓) 41. (×) 42. (×)
 43. (×) 44. (✓) 45. (×) 46. (×) 47. (✓) 48. (×) 49. (✓)
 50. (✓) 51. (×) 52. (✓) 53. (×) 54. (✓) 55. (×) 56. (×)
 57. (×) 58. (×) 59. (✓) 60. (×) 61. (✓) 62. (✓) 63. (✓)

64. (×) 65. (×) 66. (✓) 67. (×) 68. (✓) 69. (×) 70. (×)
71. (×) 72. (✓) 73. (×) 74. (×) 75. (×) 76. (✓) 77. (×)
78. (×) 79. (×) 80. (✓) 81. (✓) 82. (✓) 83. (✓) 84. (✓)
85. (✓) 86. (✓) 87. (✓) 88. (×) 89. (✓) 90. (×) 91. (×)
92. (✓) 93. (×) 94. (×) 95. (×) 96. (✓) 97. (×) 98. (×)
99. (✓) 100. (×) 101. (×) 102. (✓) 103. (✓) 104. (✓)
105. (×) 106. (×) 107. (×) 108. (✓) 109. (✓) 110. (×)
111. (✓) 112. (×) 113. (×) 114. (×) 115. (×) 116. (×)
117. (×) 118. (✓) 119. (×) 120. (✓) 121. (×) 122. (×)
123. (✓) 124. (×) 125. (✓) 126. (✓) 127. (×) 128. (×)
129. (✓) 130. (×) 131. (✓) 132. (×) 133. (×) 134. (✓)
135. (✓) 136. (×) 137. (×) 138. (×) 139. (✓) 140. (×)
141. (×) 142. (×) 143. (✓) 144. (×) 145. (✓) 146. (×)
147. (×) 148. (✓) 149. (✓) 150. (×) 151. (✓) 152. (✓)
153. (×) 154. (×) 155. (✓) 156. (×) 157. (✓) 158. (✓)
159. (×) 160. (×) 161. (✓) 162. (×) 163. (✓) 164. (×)
165. (✓) 166. (✓) 167. (×) 168. (×) 169. (×) 170. (✓)
171. (×) 172. (✓) 173. (×) 174. (×) 175. (✓) 176. (✓)
177. (×) 178. (×) 179. (×) 180. (✓) 181. (✓) 182. (✓)
183. (×) 184. (×) 185. (✓) 186. (✓) 187. (×) 188. (✓)
189. (×) 190. (✓) 191. (✓) 192. (×) 193. (×) 194. (✓)
195. (×) 196. (×) 197. (✓) 198. (✓) 199. (✓) 200. (×)
201. (✓) 202. (×) 203. (×) 204. (✓) 205. (✓) 206. (✓)
207. (✓) 208. (×) 209. (×) 210. (×) 211. (×) 212. (×)
213. (×) 214. (×) 215. (×) 216. (×) 217. (×) 218. (✓)
219. (✓) 220. (✓) 221. (✓) 222. (×) 223. (×) 224. (×)
225. (×) 226. (×) 227. (×) 228. (✓) 229. (✓) 230. (✓)
231. (×) 232. (✓) 233. (×) 234. (✓) 235. (✓) 236. (✓)
237. (✓) 238. (×) 239. (✓) 240. (×) 241. (×) 242. (✓)
243. (×) 244. (✓) 245. (✓) 246. (✓) 247. (✓) 248. (×)
249. (✓) 250. (×) 251. (×) 252. (✓) 253. (×) 254. (×)

255. (✓) 256. (✓) 257. (×) 258. (✓) 259. (✓) 260. (×)
 261. (✓) 262. (✓) 263. (✓) 264. (×) 265. (✓) 266. (✓)
 267. (×) 268. (✓) 269. (×) 270. (×) 271. (✓) 272. (✓)
 273. (✓) 274. (✓) 275. (×) 276. (×) 277. (×) 278. (×)
 279. (✓) 280. (✓) 281. (×) 282. (✓) 283. (✓) 284. (×)
 285. (×) 286. (×) 287. (✓) 288. (✓) 289. (✓) 290. (✓)
 291. (×) 292. (✓) 293. (✓) 294. (×) 295. (✓) 296. (✓)
 297. (✓) 298. (×) 299. (×) 300. (✓) 301. (×) 302. (✓)
 303. (✓)

二、选择题

- 1.d 2.b 3.c 4.a 5.b 6.c 7.d 8.a 9.c 10.c 11.b
 12.b 13.c 14.b 15.d 16.c 17.b 18.c 19.d 20.a 21.b
 22.d 23.a 24.b 25.c 26.a 27.b 28.c 29.c 30.b 31.d
 32.c 33.c 34.d 35.a 36.a 37.c 38.d 39.c 40.c 41.b
 42.d 43.b 44.d 45.b 46.a 47.a 48.d 49.b 50.b 51.d
 52.b 53.c 54.d 55.b 56.d 57.c 58.d 59.b 60.c 61.b
 62.c 63.c 64.a 65.b 66.d 67.d 68.c 69.c 70.b 71.a
 72.c 73.c 74.d 75.c 76.d 77.b 78.a 79.c 80.b 81.a
 82.d 83.c 84.c 85.b 86.a 87.b 88.c 89.d 90.c 91.a
 92.c 93.d 94.c 95.b 96.a 97.b 98.d 99.d 100.a 101.d
 102.b 103.c 104.d 105.c 106.c 107.b 108.c 109.b
 110.a 111.c 112.d 113.b 114.d 115.b 116.c 117.d
 118.a 119.b 120.c 121.b 122.d 123.b 124.c 125.d
 126.a 127.b 128.d 129.c 130.b 131.c 132.b 133.d
 134.c 135.c 136.c 137.c 138.c 139.c 140.c 141.c 142.c
 143.c 144.a 145.a 146.a 147.a 148.a 149.c 150.d 151.b
 152.b 153.d 154.a 155.c 156.d 157.b 158.c 159.d
 160.b 161.c 162.a 163.c 164.c 165.b 166.c 167.c
 168.b 169.d 170.c 171.b 172.c 173.b 174.c 175.b
 176.c 177.c 178.d 179.b 180.d 181.b 182.b 183.d
 184.c 185.c 186.a 187.a 188.a 189.a 190.b 191.c 192.c

193.d 194.b 195.d 196.a 197.a 198.b 199.a 200.b
 201.c 202.b 203.a 204.c 205.b 206.c 207.b 208.c 209.a
 210.c 211.c 212.b 213.a 214.c 215.c 216.d 217.c 218.c
 219.c

三、计算题

1. 解：已知：零件的重量 $m = 35\text{kg}$ 、零件的体积 $V = 5 \times 10^{-3}\text{m}^3$

代入公式得
$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{35}{5 \times 10^{-3}} \text{kg/m}^3 = 7 \times 10^3 \text{kg/m}^3$$

答：金属的密度是 $7 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 。

2. 解：已知（均质量分数）：C3.7%、Si2.5%、P0.05%

代入公式：碳当量为： $\text{CE}\% = 3.7\% + 1/3 (2.5 + 0.05)\% = 4.55\%$

共晶度为：
$$S_c = \frac{3.7\%}{4.26\% - 1/3 (2.5 + 0.05)\%} = 1.09$$

答：该铸铁的 $\text{CE}\% > 4.26\%$ 、 $S_c > 1$ ，所以为过共晶铸铁。

3. 解：平均液面上升速度： $v = \frac{h}{t}$ 已知： $h = 350\text{mm}$ $t = 25\text{s}$

则
$$v = \frac{350\text{mm}}{25\text{s}} = 14\text{mm/s}$$

答：浇注时型腔内液面平均上升速度为 14mm/s 。

4. 解：根据公式 $A_{\text{内}} = \frac{G}{0.31\mu t \sqrt{H_P}}$ 已知： $G = 200\text{kg}$ $t = 30\text{s}$
 $\mu = 0.42$ 。

由题知中注式： $H_P = H_0 - \frac{h}{8} = 30 - \frac{20}{8} = 30\text{cm} - 2.5\text{cm} = 27.5\text{cm}$

$$A_{\text{内}} = \frac{200}{0.31 \times 30 \times 0.42 \times \sqrt{27.5}} \text{cm}^2 = 9.76\text{cm}^2$$

$A_{\text{横}} = 1.3A_{\text{内}} = 12.7\text{cm}^2$ $A_{\text{直}} = 1.1A_{\text{内}} = 10.7\text{cm}^2$

答：内浇道截面积为 9.76cm^2 ，横浇道截面积为 12.7cm^2 ，直浇道截面积为 10.7cm^2 。

5. 解：由公式 $A_{\text{min}} = m \sqrt{G}$ 已知： $m = 0.5$ $G = 64\text{kg}$ 则

$$A_{\min} = 0.5 \sqrt{64} = 4\text{cm}^2$$

答：压边浇口面积为 4cm^2 。

6. 解：由题已知 $h = 20\text{cm}$ $H_0 = 30\text{cm}$ 则顶注 $h_0 = 0$ $H_P = H_0 = 30\text{cm}$

$$\text{中注 } h_0 = \frac{h}{2} \quad H_P = H_0 - \frac{h}{8} = 30\text{cm} - 2.5\text{cm} = 27.5\text{cm}$$

$$\text{底注 } h_0 = h \quad H_P = H_0 - \frac{h}{2} = 30\text{cm} - \frac{20}{2}\text{cm} = 20\text{cm}$$

答：顶注时平均压力头为 30cm ，中注时平均压力头为 27.5cm ，底注时平均压力头为 20cm 。

7. 解：(1) 液态体收缩，根据公式 (5-3) 可知

$$\epsilon_{V_{\text{液}}} = \alpha_{V_{\text{液}}} (t_{\text{浇}} - t_{\text{液}}) \times 100\%$$

$$\text{已知：} \alpha_{V_{\text{液}}} = 1.0 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C} \quad t_{\text{浇}} = 1600^\circ\text{C} \quad t_{\text{液}} = 1510^\circ\text{C}$$

$$\epsilon_{V_{\text{液}}} = 1.0 \times 10^{-4} \times (1600 - 1510) \times 100\% = 0.9\%$$

因此液态体收缩 $V_{\text{缩液}}$ 为

$$V_{\text{缩液}} = V_{\text{铸件}} \times \epsilon_{V_{\text{液}}} = 8000\text{cm}^3 \times 0.9\% = 72\text{cm}^3$$

$$V_{\text{液}} = 8000\text{cm}^3 - 72\text{cm}^3 = 7928\text{cm}^3$$

(2) 凝固体收缩，0.45% 的中碳钢 $\epsilon_{V_{\text{凝}}} = 4.3\%$

因此凝固体收缩 $V_{\text{缩凝}}$ 为

$$V_{\text{缩凝}} = V_{\text{液}} \times \epsilon_{V_{\text{凝}}} = 7928\text{cm}^3 \times 4.3\% = 340.9\text{cm}^3 \approx 341\text{cm}^3$$

(3) 缩孔总体积 $V_{\text{缩总}}$ 为

$$V_{\text{缩总}} = V_{\text{缩液}} + V_{\text{缩凝}} = 72\text{cm}^3 + 341\text{cm}^3 = 413\text{cm}^3$$

$$8. \text{解：} \frac{500}{500 + 250} \times 100\% = 66.7\%$$

答：该铸件的工艺出品率为 66.7% 。

$$9. \text{解：} \quad D_{\max} = 150\text{mm} \times 2 = 300\text{mm}$$

$$D_{\min} = 150\text{mm} \times 1.3 = 195\text{mm}$$

答：该铸件的最大冒口直径为 300mm ，最小冒口直径为 195mm 。

$$10. \text{解：} \text{体积} = \text{模数} \times \text{表面积} = 1.77\text{mm} \times 1102\text{mm}^2 = 1951\text{cm}^3$$

答：该冒口的体积为 1951cm^3 。

11. 解：①它们的模数是

$$M_{\text{圆}} = \frac{\pi r^2 h}{2\pi r (r+h)} = \frac{70650\text{cm}^3}{10833\text{cm}^2} \approx 6.6\text{cm}$$

$$M_{\text{正}} = \frac{30^2 \times 100}{30^2 \times 2 + 30 \times 100 \times 4} = \frac{90000\text{cm}^3}{13800\text{cm}^2} = 6.5\text{cm}$$

$$M_{\text{长}} = \frac{6\text{cm} \times 150\text{cm} \times 100\text{cm}}{6\text{cm} \times 150\text{cm} \times 2 + 6\text{cm} \times 100\text{cm} \times 2 + 150\text{cm} \times 100\text{cm} \times 2} = \frac{90000\text{cm}^3}{33000\text{cm}^2} = 2.7\text{cm}$$

答：圆柱体的模数为 6.6cm，正方柱体的模数为 6.5cm，长方柱体的模数为 2.7cm。

②由于圆柱体的模数最大，含热量最多，故冷却最慢，而长方柱体的模数最小，也就是它的散热面积最大，故冷却最快。

12. 解： $M_{\text{甲}} = \frac{2100}{1100}\text{cm} = 1.91\text{cm}$

$$M_{\text{乙}} = \frac{2100}{840}\text{cm} = 2.5\text{cm}$$

则 $M_{\text{甲}} < M_{\text{乙}}$

答：由甲、乙两铸件的模数可知，甲铸件比乙铸件冷却快，因为甲铸件的模数比乙铸件小，表面积大，散热较快。

13. 解：根据紧实度求解公式可知

$$\delta = G/V, \quad \text{则 } \delta_{\text{顶}} = G_{\text{顶}}/V = 7.5\text{g}/5\text{cm}^3 = 1.5\text{g}/\text{cm}^3$$

$$\delta_{\text{底}} = G_{\text{底}}/V = 8.5\text{g}/5\text{cm}^3 = 1.7\text{g}/\text{cm}^3$$

答： $\delta_{\text{顶}}$ 为 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ ； $\delta_{\text{底}}$ 为 $1.7\text{g}/\text{cm}^3$ 。

14. 已知 $S = 2R\sin\alpha/2$

$$\text{又 } R = 1.2\text{m} \quad \alpha = 360^\circ/5 = 72^\circ$$

所以 $S = 2 \times 1.2\text{m} \times \sin 72^\circ / 2 \approx 2.4\text{m} \times 0.588 \approx 1.41\text{m}$

答：弦长 S 约等于 1.41m。

15. 解：据题意已知： $G = 900\text{kg} + 180\text{kg} = 1080\text{kg}$

$$t = 51\text{s} \quad \mu = 0.48$$

$$H_0 = 70\text{cm} \quad C = 80\text{cm}$$

浇注为中间注入式 $H_p = H_0 - \frac{c}{8} = 70\text{cm} - \frac{80\text{cm}}{8} = 60\text{cm}$

将上式各值代入公式, 得

$$\Sigma A_{\text{内}} = \frac{G}{0.31\mu t \sqrt{H_p}} = \frac{1080}{0.31 \times 0.48 \times 51 \times \sqrt{60}} \text{cm}^2 = 18.4\text{cm}^2$$

$$\Sigma A_{\text{横}} = 18.4 \times 1.3 = 23.9\text{cm}^2$$

$$\Sigma A_{\text{直}} = 18.4 \times 1.1 = 20.2\text{cm}^2$$

$$\text{直浇道直径 } D_{\text{直}} = \sqrt{\frac{20.2}{0.7854}} = 5.1\text{cm} = 51\text{mm}$$

16. 解: (1) 计算砂芯所受浮力

据题意已知 $D_1 = 0.5\text{m}$ $D_2 = 0.3\text{m}$ $H = 0.3\text{m}$ 则

$$F_{\text{浮}} = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) H \rho g = \frac{\pi}{4} (0.5^2 - 0.3^2) \times 0.3 \times 7000 \times 9.8\text{N} = 3394\text{N}$$

(2) 上芯座所受压力

$$F_{\text{芯}} = F_{\text{浮}} - G_{\text{芯}} = 3394\text{N} - 1000\text{N} = 2394\text{N}$$

(3) 上芯座实际承压面积

$$A_{\text{实}} = \frac{\pi}{4} \times 30^2 = 707\text{cm}^2$$

(4) 上芯座许用的最小承压面积 A_{min}

$$A_{\text{min}} = \frac{K P_{\text{芯}}}{[\sigma_{\text{压}}]} = \frac{1.3 \times 2394}{6} \text{cm}^2 = 518.7\text{cm}^2$$

因 $A_{\text{min}} < A_{\text{实}}$, 故上芯座承压强度已够。

17. 解: 图 7 为齿圈的铸造工艺图

(1) 取铸造收缩率为 0.8%

(2) 工艺出品率

$$V_1 = 0.8 \times (236^2 - 220^2) \times 12\text{cm}^3 = 70041.6\text{cm}^3$$

$$V_2 = 0.8 \times (240^2 - 210^2) \times 6\text{cm}^3 = 44160\text{cm}^3$$

$$V_3 = 0.8 \times (226^2 - 220^2) \times 9\text{cm}^3 = 19267\text{cm}^3$$

$$V = 70041.6\text{cm}^3 + 44160\text{cm}^3 + 19267\text{cm}^3 = 133468.6\text{cm}^3$$

$$G = 133468.6 \times 7.3\text{kg} = 974.3\text{kg}$$

$$G_{\text{铸件}} = 974.3\text{kg} \times 40\% = 389.7\text{kg}$$

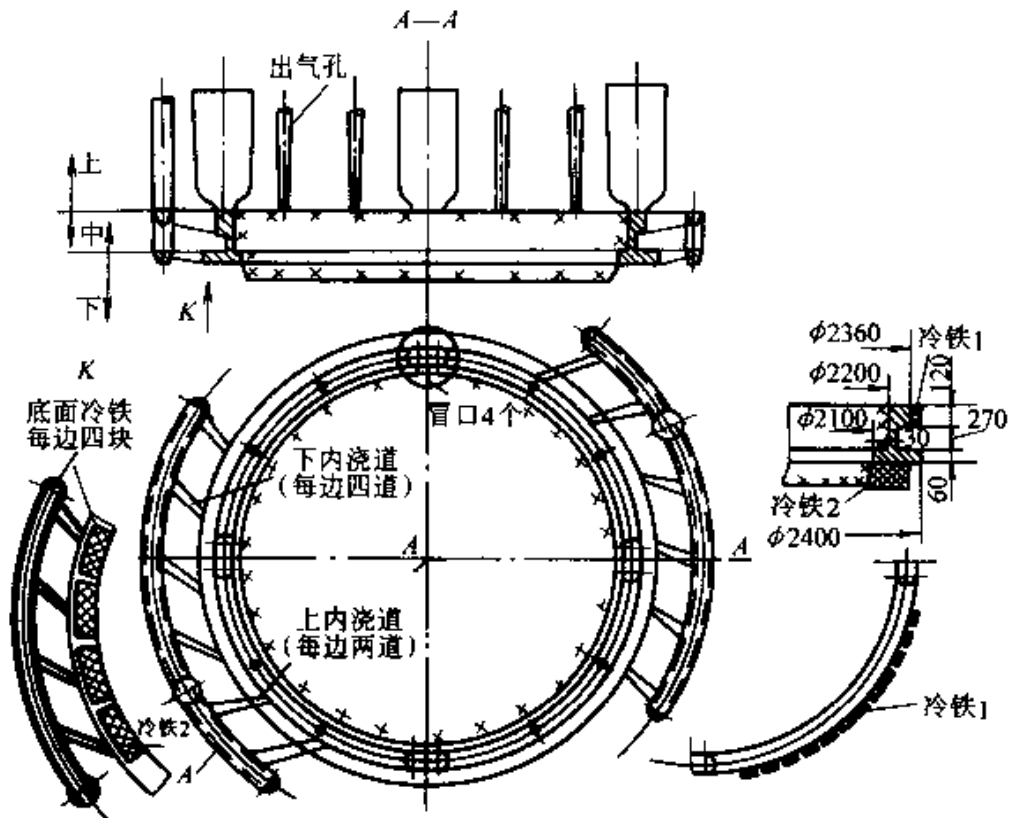


图7 齿圈铸造工艺图

$$\text{工艺出品率} = \frac{974.3}{974.3 + 389.7} \times 100\% = 71.4\%$$

18. 解：图8为铸钢轮坯的铸造工艺图。

(1) 在轮缘上设四个腰圆柱顶暗冒口，在轮毂处设两个冒口。

(2) 由于轮毂处冒口补贴影响了砂芯形状，故砂芯需设定位结构。

(3) 工艺出品率：

$$V_1 = 0.8 \times (82^2 - 66^2) \times 20 \text{cm}^3 = 37890 \text{cm}^3$$

$$V_2 = 0.8 \times (36^2 - 20^2) \times 23 \text{cm}^3 = 16490 \text{cm}^3$$

$$V_3 = 8 \times 4 \times (66 - 36) \times 2 + 3 \times (20 - 2 - 4) \times (66 - 36) \times 2 \text{cm}^3 = 4440 \text{cm}^3$$

$$V = 37890 \text{cm}^3 + 16490 \text{cm}^3 + 4440 \text{cm}^3 = 58820 \text{cm}^3$$

$$G = 58820 \text{cm}^3 \times 7.8 \text{kg/cm}^3 = 459 \text{kg}$$

$$G_{\text{浇冒}} = 459 \text{kg} \times 65\% = 298 \text{kg}$$

$$\text{工艺出品率} = \frac{459}{459 + 298} \times 100\% = 60.6\%$$

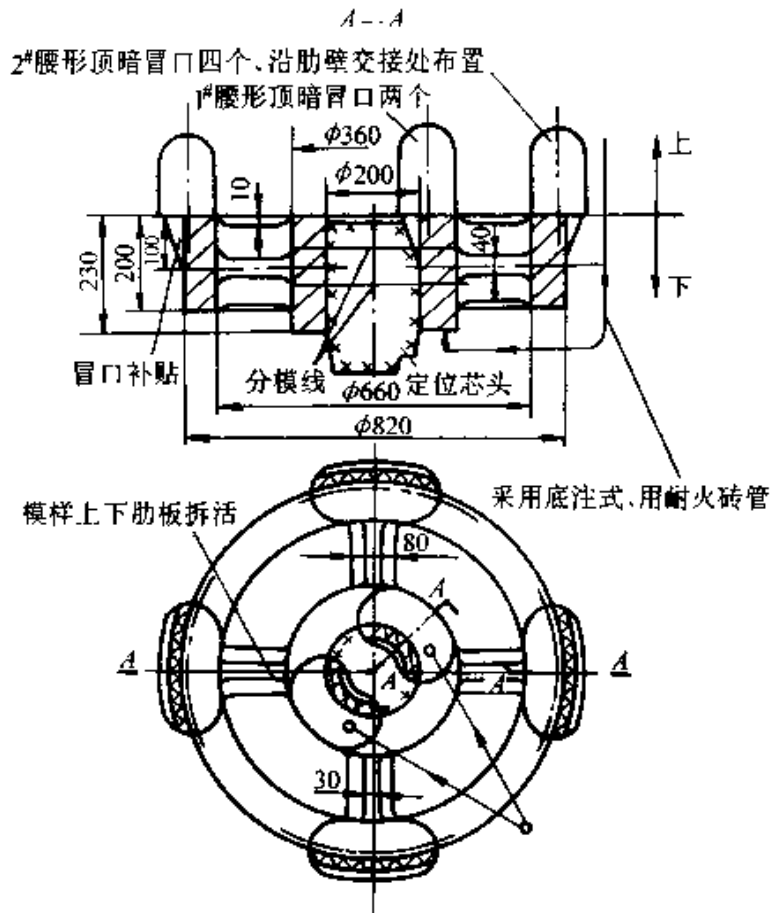


图8 铸钢轮坯铸造工艺图

四、简答题

1. 答：金属的物理性能包括密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性和磁性等。

某种金属单位体积的重量称为该金属的密度。某种金属由固态熔化成液态时的温度称为该金属的熔点。金属传导热量的能力称导热性。金属传导电流的能力称导电性。金属材料随温度变化而热胀冷缩的特性称为热膨胀性。金属材料在磁场中受到磁化的性能称为磁性。

2. 答：金属的力学性能是指金属在外力作用下所表现出的性能，包括强度、塑性、硬度、冲击性及疲劳强度等。强度指标常用屈服点和抗拉强度来表示。常用的塑性指标为伸长率。常用的硬度指标有布氏硬度和洛氏硬度。冲击性指标用冲击韧度表示。

3. 答：熔炼金属、制造铸型并将熔融金属浇入铸型，凝固后获得一定形状和性能铸件的成形方法，称为铸造。金属的铸造性能是指

金属铸造成形过程中获得外形正确、内部健全铸件的能力。铸造性能是铸造工艺的前提条件和基本要求。金属的铸造性能主要指流动性、收缩性和偏析等。

4. 答：在液态金属结晶前加入一些能促使生核或降低晶核长大速度的物质，用时可作为人工晶核，使金属在结晶时，容易依附在外加物质表面而形成大量晶核，这种生核方式称为“非自发生核”。这种细化晶粒的方法叫做变质处理，又称孕育处理。

5. 在 Fe-Fe₃C 和 Fe-C (石墨) 双重相图中的组成物包括液溶体、奥氏体、铁素体、渗碳体、石墨、莱氏体和珠光体。

6. 答：特性点：A 为纯铁的熔点；C、C' 为共晶点；D 为渗碳体的熔点、D' 为石墨的熔点；E、E' 为碳在 γ -Fe 中的最大溶解度；G 为 γ -Fe 与 α -Fe 的转变温度；S、S' 为共析点。

特性线：ACD 和 AC'D' 为液相线；AECF 和 AE'C'F' 为固相线；GS 为冷却时从奥氏体中析出铁素体的开始线；ES 和 E'S' 为碳在奥氏体中的固溶线；ECF 和 E'C'F' 为共晶线；PSK 和 P'S'K' 为共析线。

7. 答：球墨铸铁的等温淬火工艺为：将铸件加热到 860~920℃，保温一段时间待完全奥氏体化后，立即放入温度为 250~350℃ 的盐浴炉中等温 (30~90min)，然后取出空冷。得到贝氏体组织。

球墨铸铁经等温淬火处理后的组织是贝氏体和少量残余奥氏体，这种组织不仅具有较高的综合力学性能（较高的强度和韧性），而且具有很好的耐磨性。是目前发挥球墨铸铁最大潜力的热处理方法，应用和发展速度很快。

8. 答：①改善并显著提高铸铁的力学性能，增加硬度。②增加铸件性能的均匀性，降低断面敏感性。③改善铸件的塑性。④改善铸铁的高温及低温性能。⑤提高铸铁热处理的淬透性及改善耐磨性。

9. 答：向碳、硅含量较低的铁液中加入一定数量的孕育剂，造成人工晶核，改变铁液的结晶条件，从而细化共晶团，改善石墨的尺寸及分布，提高灰铸铁的力学性能。这种灰铸铁叫孕育铸铁。

碳、硅含量一般选择位于铸件组织图上麻口区或白口区域边缘（靠近麻口区）的成分，在孕育处理后，就可使铸铁转入珠光体区域。

一般原铁液的碳的质量分数为 2.8%~3.3%，硅的质量分数为 1.0%~1.6%。锰在孕育铸铁中的作用，除中和硫外，还能增加珠光体含量。所以，孕育铸铁的含锰量一般较高，其质量分数为 0.8%~1.0%。硫、磷作为有害元素，都会降低铸铁强度，应加以限制，一般硫的质量分数限制在 0.1% 以下，磷的质量分数限制在 0.15% 以下。

10. 答：硅明显促进石墨化，以孕育剂方式添加的硅作用更显著。因此，球墨铸铁在选定碳当量后，原铁液应采用高碳低硅的原则，终硅量以孕育剂方式添加。增加含硅量可增加铁素体量，铁素体球墨铸铁的终硅量比珠光体球墨铸铁高一些。但硅使常温冲击韧度降低，脆性转变温度提高，因此，硅不宜过高，特别是在低温下工作的零件，其含硅量应低一些为好。

11. 答：以目前的认识来看，至少有以下几个目的：①消除球化元素造成的白口倾向，获得铸态无自由渗碳体的铸件。②细化球状石墨，增加石墨球数，提高石墨球的圆整度，改善球化率。③减少晶间偏析程度，改善力学性能，提高伸长率和冲击韧度。④增加铁素体数量，获得铸态铁素体基体。

12. 答：冲天炉熔炼的一般过程是：冲天炉开风后，由风口进入炉内的空气与底焦发生燃烧反应，产生热量。由此而生成的高温炉气穿过炉料向上流动，对炉料加热，并使底焦顶面上的第一批金属炉料熔化。熔化的铁液滴，在穿过底焦层缝隙下落过程中，被高温炉气和炽热的焦炭进一步过热，然后经炉缸和过桥流入前炉。随着底焦的燃烧损耗和金属炉料的熔化，料层逐渐下降，由层焦补偿底焦，批料不断熔化，使熔炼过程连续进行。在炉气的热作用下，石灰石分解成二氧化碳和石灰。后者与焦炭中的灰分和侵蚀的炉衬结合成低熔点的炉渣。在炉气、焦炭和炉渣的作用下，金属的化学成分发生一系列变化，得到最终化学成分的铁液。

13. 答：在冲天炉熔炼过程中，由于炉气呈氧化性，硅、锰和铁等金属元素都会氧化烧损。它包括直接氧化烧损和间接氧化烧损。直接氧化烧损是指硅、锰和铁等元素与炉气中的 O_2 、 CO_2 直接发生反应所造成的氧化烧损。间接氧化烧损是指硅、锰等元素通过 FeO 氧

化烧损。影响金属元素氧化烧损的主要因素有：温度、炉气与金属元素的氧化特性、金属炉料及炉渣等。

14. 答：碱性电弧炉氧化法炼钢的工艺流程：①补炉。一般每炼完一炉钢以后，在装料前，照例要进行补炉。目的是修补侵蚀和损坏的炉衬。②装料。补炉完毕，即可装料。③熔化期。熔化期的任务是将固体炉料熔化成钢液，并进行脱磷。④氧化期。氧化期的主要任务是脱磷，去除钢液中的气体和夹杂物，并提高钢液的温度。⑤还原期。还原期的任务是脱氧、脱硫和调整钢液温度及化学成分。⑥出钢。出钢时要求“大口出钢”、“钢渣混出”。

15. 答：铸造铝合金熔炼的材料有：①金属炉料，包括新金属材料、回炉料及中间合金。②辅助材料，包括熔剂、精炼剂及变质剂。

铸造铝合金熔炼大致分以下几个环节：熔化前的准备→装料→熔化→调整化学成分→精炼→变质处理→调整温度→浇注。

16. 答：(1) 紧实率数据能够判断水分含量是否合适于造型，因为紧实率对水分很敏感，水的质量分数有 0.2% 的变化，紧实率就能够反映出来。因此紧实率可以检查型砂的干湿状态是否合适于造型。(2) 紧实率可以反映出型砂吸水物质的变化，当紧实率不变，而水分发生变化时，则可反映出型砂中吸水物质的变化。因而可考虑型砂成分发生变化。(3) 紧实率与湿压强度和水分一起考虑，可推测出：①型砂中粘土含量。②型砂中有效粘土含量。③混砂效率。因此，生产中用紧实率控制型砂性能是一种简单而迅速的方法。

17. 答：比强度的含义是衡量砂芯粘结剂的粘结能力的重要指标之一，它的含义如下：

$$\text{比强度} [\text{MPa}\%] = \frac{\text{总干拉强度} [\text{MPa}]}{\text{粘结剂加入量} [\%]}$$

比强度高，就可用少量的粘结剂获得需要的强度，这样可有利于改善型（芯）砂的其它性能，如降低粘结剂的加入量减少型（芯）砂的发气量，提高透气性等，同时也降低生产成本。因此，对于型（芯）砂而言，希望粘结剂的比强度越高越好。

18. 答：覆膜砂的熔点是指在制壳芯时覆膜砂被加热，包覆在砂粒表面的树脂开始熔融，将砂粒粘结在一起的温度，称为覆膜砂的熔

点。熔点过低，结壳太厚，制芯时容易脱壳，导致壳厚不均匀，浇注时由于铁液的高温作用，热应力过大容易破裂，铁液渗入壳芯内部而使铸件报废。熔点选择适当，结壳均匀、强度高、节约材料。

19. 答：水玻璃砂的主要优点是：①硬化快，且不需进炉烘干，缩短了生产周期和减少了工序，节约燃料，提高劳动生产率。②硬化强度高，因而可去除芯骨等，简化操作程序。③所得型、芯尺寸精确。④便于组织机械化、自动化生产。⑤水玻璃价格便宜，制造简便、来源极广。⑥不污染环境。水玻璃砂缺点：①落砂困难。②旧砂回用再生困难。③吸湿性较大，水玻璃砂对环境相对湿度非常敏感，制造的型或芯容易吸湿而导致强度下降。

20. 答：①耐火度。具有高的耐火度和烧结温度，良好的化学稳定性，在浇注温度下不发生化学反应。②粒度尺寸及分布。一般而言，骨料越细，则涂料悬浮稳定性越好。涂层烧结性能也好，容易得到光滑、细腻，渗透性强的涂层。但骨料越细，则需粘结剂越多，涂层也易开裂。因此，希望骨料的颗粒排列致密，粗细颗粒相互镶嵌，即要求颗粒粗细级配宽的粒度分布的骨料。

21. 答：影响液态金属充型能力的因素有：金属性质、铸型性质、浇注条件和铸件结构等四个方面。

22. 答：内浇道设置原则

(1) 内浇道应避免直冲砂芯、型壁或型腔中其它薄弱部位，防止造成冲砂。

(2) 有利于提高铸件外观质量。

(3) 有利于铸件凝固和补缩。

(4) 有利于改善铸件铸态组织。

(5) 有利于减少铸件收缩应力和防止裂纹。

(6) 有利于铸件清理。

(7) 其它要求：内浇道与直浇道和横浇道应有正确位置和距离，在保证质量前提下，内浇道应尽量减少金属消耗。

23. 答：每种铸件在确定的铸造工艺条件下，都对应有适宜的浇注时间范围。如果浇注时间太长，容易产生冷隔、浇不到、夹砂、粘砂等缺陷。如果浇注时间太短，金属液对型腔的冲击大，易造成冲

砂、渣眼、抬型和气孔等缺陷。

24. 答：浇注系统中通常采用砂芯过滤片、陶瓷过滤片、纤维过滤网或钢板冲压过滤网等过滤装置。如图 9 所示，当铁液从外浇道进入横浇道集渣包时，熔渣、杂质集积在集渣包上方，纯净铁液通过过滤器由横浇道经内浇道进入型腔。

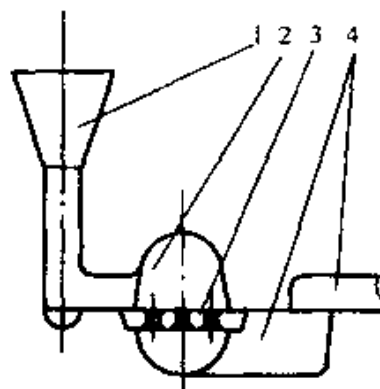


图 9 横浇道过滤装置示意图

1—外浇道 2—集渣包
3—过滤器 4—横浇道

25. 答：为了保证金属液能充满铸件上距直浇道最远最高的部位，铸件最高点离浇口杯液面必须有一最小 H_M 即剩余压力头。当铸件尺寸较大，壁厚较薄，金属液流程较远的情况下，如果剩余压力头过小可能造成浇不到、冷隔现象。剩余压力头过大，会造成不必要的浪费，增加铸件成本。

26. 答：铸件的定向凝固原则是从工艺上采取各种措施，保证铸件结构上按照远离冒口的部分最先凝固，然后是靠近冒口部分凝固，最后才是冒口本身凝固的顺序。

定向凝固的优点是冒口补缩作用好，铸件内部致密。但铸件不同部位温差较大，故热应力较大，易使铸件变形或产生热裂。定向凝固一般需加冒口和补贴，增加了金属的消耗量和切割冒口的工作量。

27. 答：控制铸件凝固的方法，主要的工艺措施有三种：①正确布置浇注系统的引入位置，选择合理的浇注工艺。②合理设计铸件结构。③采用具有不同蓄热系数的造型材料。

28. 答：铸铁的固态收缩分为五个阶段：

(1) 最初收缩 $\epsilon_{初缩}$ 这种收缩很小。

(2) 收缩前膨胀 $\epsilon_{缩前}$ 其原因是共晶转变后期石墨化所造成的，其膨胀值大小，不仅与石墨化程度有关，且与铸铁的凝固特性有关。石墨化进行得越充分，则膨胀值就越大。

(3) 珠光体转变前收缩 $\epsilon_{珠前}$ 这一阶段收缩与奥氏体的温度降低及石墨化过程有关。

(4) 共析转变膨胀 $\epsilon_{共膨}$ 这个阶段膨胀是在共析转变时由于奥

氏体分解为铁素体和石墨，或者珠光体造成的。石墨化进行的越充分，珠光体含量越少，则膨胀值越大。

(5) 珠光体转变后收缩 $\epsilon_{\text{珠后}}$ 在共析温度以下开始，因石墨化程度极其微弱， $\epsilon_{\text{珠后}}$ 主要取决于这个阶段的收缩系数。

29. 答：防止铸件产生缩孔和缩松的基本措施是根据该合金凝固特点和铸件结构，制定合理的铸造工艺来有效地控制凝固过程，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，并使缩孔移向铸件最后凝固的地方。这样，在铸件最后凝固的地方设置冒口，使缩孔集中于冒口中，或者把浇道开在最后凝固的地方直接补缩，即可获得健全的铸件。

30. 答：消除铸件中残余应力的方法有三种：

(1) 热处理法（人工时效） 一般规律是将铸件加热到塑性状态，在此温度下保温一定时间，使应力消失，再缓慢冷却至室温。

(2) 自然时效 将具有残余应力的铸件置于外界数月甚至半年以上，使残余应力松弛或部分消除。此方法费用低，但时间太长效率低，残余应力消除不彻底，生产中很少采用。

(3) 共振时效 其原理是调整振动频率，使铸件在具有共振频率的激振力作用下获得相当大的振动能量。在共振过程中交变应力与残余应力叠加，铸件局部屈服，产生塑性变形，使铸件中的残余应力逐步消失。

31. 答：冒口设计与计算的一般步骤是：①确定冒口的安放位置。②初步决定冒口的数目。③划分每个冒口的补缩区域，选择冒口类型。④计算冒口的具体尺寸。

32. 答：铸件的工艺出品率过高，说明冒口补缩铸件的金属液可能不够，应适当增加冒口的尺寸和数量。如过低说明冒口中的金属液，未被充分利用，应适当减小冒口尺寸，或减少冒口数量。

铸钢件工艺出品率的大小，主要取决于铸件的材质、结构、重量、技术要求、浇注位置及冒口形式等因素。

33. 答：在砂型中安放外冷铁时，应注意以下问题：①冷铁工作表面应光滑平整。②工作表面应刷涂料，并保持干燥。③当铸件厚度大于 100mm 时，尽量不用外冷铁，以防与铸件熔接。④板状外冷铁

厚度不宜超过 80mm，圆钢外冷铁直径不宜超过 50mm。⑤较厚大板状冷铁四周应作出 45°的斜度。⑥冷铁不能太长，并在冷铁之间应留有 10mm 左右的间隙。⑦外冷铁应相互交叉排列，以防产生裂纹。⑧外冷铁的安放位置，不能影响冒口的补缩通道等。

34. 答：球形冒口是最理想的冒口形状，因为球形冒口的表面积最小，散热最慢，凝固时间最长，补缩效果也最好。但因球形冒口造型起模困难，故在实际生产中应用受到限制。目前，应用较广的是圆柱形、腰圆柱形、球顶圆柱形等冒口。

35. 答：灰铸铁内石墨片耐高温，它不宜用气割切除。但属脆性材料可用锤击去除，为了容易将冒口击去，又不损坏铸件，可将冒口下部与铸件连接处做成缩颈，减少冒口与铸件的接触面积。但冒口缩颈直径不能太小，否则过早冻结影响补缩。

36. 答：发热冒口是在冒口上覆盖发热剂或铸型上安装用发热及保温材料做成的，其内壁与冒口柱部分外形相同的套的冒口。发热冒口套是由发热剂、保温剂和粘结剂等组成。

其原理是通过发热剂在金属液的热作用下发生化学反应释放大热量，使冒口中金属液被剧烈加热、升温，加上保温剂保温，从而延缓冒口内金属液的凝固时间，使冒口迟于铸件的凝固，提高补缩效率。

37. 答：冒口应具备补缩能力的基本条件是：①冒口的大小和形状，应使冒口中的金属液最后凝固，即能形成由铸件到冒口的定向凝固。②冒口应在保证供给铸件足够量液体金属的条件下，尽量减少金属液的消耗量。

38. 答：明冒口与暗冒口比较有以下优点：明冒口制造简单，造型方便，具有较好的补缩和排气作用，能观察型腔内的浇注情况，也可作为铸型浇满的标志等。其缺点是：明冒口与大气接触，热量损失大，需用保温剂和发热剂减少热量损失；体积较大，消耗金属液较多；需要专用砂箱造型等。

39. 答：(1) 凸点线：假想用一条平行于起模方向的直线，贴着模样轮廓的外沿平动一周，其直线与模样的接触点均为凸点，由模样上连续凸点构成的环模封闭曲线即为凸点线。

(2) 凹点线：假想用一条平行于起模方向的直线，贴着模样轮廓的内沿平动一周，其模样与直线的贴合点即为凹点，模样上连续凹点构成的环模封闭曲线即为凹点线。

(3) 分型面应设于凸点线处；分模面应设于凹点线处。

40. 答：(1) 为了在造型时省却圈箱或制芯盒的工作，将妨碍起模的砂型部分制成可以移动的活砂，以便从砂型中取出模样，此法即为活砂造型。

(2) 造型步骤为：①一般先春制上型。②春制下型前先将活砂春制好。

(3) 起模时先起出下型模样，再将下型合入到上型上，夹紧砂箱并翻身，此时活砂已落入下型中。

(4) 翻转上型，起模修型，合型浇注。

41. 答：(1) 挖坑，并将坑底夯实。

(2) 设排气道。在坚实的坑底先春实 1~2 层背砂，铲平后放一层 100~150mm 厚，粒度为 $\phi 30\sim\phi 100\text{mm}$ 的焦炭作排气层，上覆草袋以防型砂堵塞空隙，并用一根或几根内径大于 80mm 的排气管从焦炭层引上地面。

(3) 在草袋上分层填实背砂层，其总厚度为 200~250mm，最后一层型砂应春成与模样相应形状，必要时可在填背砂过程中在纵横两方向填入两层圆钢筋，间距 200~250mm，以增强砂型。

(4) 在背砂层上扎出气孔直通排气层，孔距 200~400mm，然后在其上盖一层面砂，防止金属液钻入。

42. 答：(1) 常用的刮板造型可分为车板造型、导向刮板造型、骨架模造型三种。

(2) 当铸件形状能用旋转刮板刮出，尺寸较大且数量较少时，宜选用车板造型；当铸件截面固定，外形细长时选用导向刮板造型；当铸件为截面变化的曲面铸件，且无法用车板或导向刮板造型时，可选用骨架模造型。

43. 答：(1) 气冲造型是利用一定压力的气体（空气或燃气）瞬时膨胀释放出来的气流冲击波直接作用在型砂上，使型砂产生触变，克服了砂粒间粘土膜引起的阻力，提高了型砂的流动性，在气流冲击

力和触变作用下迅速紧实成型。

(2) 气冲和静压造型的主要不同点有两点：①气冲的气压作用时间比静压快一个数量级（气冲小于 0.02s；静压 0.3s）。②静压还增加一道压实工序。

44. 答：因为通过微震能降低型砂流动的磨擦阻力，提高了型砂的流动性，从而使整个砂型尤其是模样周角处紧实度比单纯震压紧实要更加均匀，造型效果也更好。

45. 答：(1) 图中 1 曲线为震击造型紧实度分布曲线；2 曲线为高压造型紧实度分布曲线；3 曲线为气冲造型的紧实度分布曲线。

(2) 震击造型紧实度较低，且靠模板处和砂型顶部紧实度相差较大，砂型呈下紧上松的特点；高压造型的紧实度较高且上下紧实度差异较小；气冲造型的紧实度高而均匀，且分布合理，砂型顶部紧实度稍低有利于铸型排气。

46. 答：其主要特点是砂芯硬化速度快，砂芯尺寸精度高，砂芯质量好，便于机械化、自动化生产。适应生产各类复杂铸件砂芯的需要。壳芯法的主要优点：①强度应于一一般热芯。②壳层厚度一般 5~12mm，节约用砂，利于透气。③尺寸精确，表面光洁。④不吸湿，利于存放。⑤流动性好，可制复杂砂芯。

47. 答：适应现代市场化的需要，热芯盒等重要铸造工装的设计制造已进入一个全新的阶段，计算机辅助设计 (CAD)，三维造型、编程并输入加工中心进行自动化加工，使芯盒工装设计制造周期大为缩短，芯盒精度和产品质量大为提高。

48. 答：冷芯盒树脂砂制芯具备了热芯盒的某些优点，如硬化速度快、砂芯尺寸精度高、生产能力大，还克服了热芯盒的某些不足，如能量消耗少、生产适应性强，可满足不同批量的生产，可用不同材料的芯盒。不足之处是：如硬化气体有毒性，扩散性强，工装设备需要良好的密封，要有废气净化装置，硬化气体发生器及制芯设备复杂庞大。重要砂芯一般要上涂料，增加工艺的复杂性。

49. 答：对砂芯的基本工艺要求有以下几点：

(1) 砂芯应具有足够的强度。在制造、运输、下芯和浇注过程中，不损坏、不变形、不被金属液冲垮、浮料等现象发生。

(2) 砂芯应具有低的发气性。在高温金属液作用下，分解出来的气体量少、速度慢，减少气体侵入金属液的机会。

(3) 砂芯应有良好的透气性。

(4) 砂芯有良好的耐高温性能。这可以根据铸造合金的种类，其中铸钢件的浇注温度高，砂芯发耐高温性能也要求最高。

(5) 砂芯要有良好的退让性。不阻碍金属液的凝固和收缩。

(6) 砂芯要有良好的溃散性。利于铸件清理内腔复杂铸件的尤其重要。

(7) 低的吸湿性 对于一些水溶性粘结剂制造的砂芯，在空气中存放会逐渐吸收水分，而导致强度下降，发气量增加。因此在选择粘结剂时要考虑良好的抗吸湿性能。

50. 答：根据砂芯烘干原理，其烘干过程由三个阶段组成。

(1) 升温均热阶段 砂芯进入烘炉后，随着炉温的不断升高而吸收热量。由于湿态下的导热性好，砂芯表面温度能很快的辐射和传导到砂芯内部。要稳火慢烧，逐步升温，减少砂芯内外温差，达到砂芯内外温度均匀一致，要保持炉内饱和炉气湿度，降低砂芯表面蒸发。工艺上常常关闭烟道闸门，限制炉气流通。

(2) 高温烘干阶段 在砂芯内外温度达到一致后，应迅速升温，达到规定的烘干温度后，进行保温。促使水分迅速从表面蒸发，并不断地从砂芯内部迁移到表面。应打开烟道闸门，加快炉气循环，将不断蒸发出来的水气带走。

(3) 随炉冷却阶段 是砂芯经过保温阶段，达到基本烘干后停止加热，并随炉冷却到出炉温度。这个过程中，一是停止加热，二是通过烟道闸门来控制炉子冷却速度，砂芯在随炉冷却过程中，依靠其本身蓄热能继续排除残余水分，从而得到进一步的烘干。

51. 答：铸件工艺图是用于设计铸造工装、进行生产准备和铸件验收的主要技术文件。它在零件图上用规定的铸造工艺符号分别表示出：分型（模）面、浇注位置、加工余量、铸造收缩率、起模斜度、浇冒口系统、内外冷铁、砂芯形状和数量、芯头形状和配合间隙、铸肋、反变形量、分型负数、工艺补正量等。

52. 答：确定铸件浇注位置的原则主要有：

- (1) 重要加工面和主要受力部位应朝下，或侧立和斜置。
- (2) 铸件的宽大平面尽可能朝下，或侧立和倾斜。
- (3) 对于收缩率大和厚薄不均的铸件，应将其厚大部分朝上，以便于冒口补缩。
- (4) 应尽量减少砂芯数量，以保证造型质量和提高铸件精度。
- (5) 要使砂芯在铸型中安放牢固、排气顺利、合型检验方便。
- (6) 合型和浇注及铸件冷却位置以一致为宜。

53. 答：(1) 铸造收缩率是指铸件在凝固冷却过程中因产生线收缩而造成铸件实际尺寸与模样尺寸之间的缩小率。

(2) 铸造收缩率的大小主要取决于合金成分、铸件结构和大小以及砂型砂芯的退让性、浇冒口系统结构等因素。

$$(3) \text{ 铸造收缩率 } \epsilon = \frac{L - L_1}{L_1} \times 100\%$$

式中 L ——模样尺寸；

L_1 ——铸件尺寸。

54. 答：选择分型面有以下原则：

(1) 为了保证铸件的尺寸精度，应尽量使铸件全部或大部置于同一砂箱，或尽量使加工基准面和大部分加工面置于同一砂箱。

(2) 为简化造型操作，提高铸型精度，应尽量减少分型面的数量，尽量不用活块。

(3) 分型面的选择应有利于减少砂芯数量，且下芯位置最好设在下箱。

(4) 为方便起模，分型面一般取在铸件的最大截面上，且不使模样在一箱内过高。

(5) 选择分型面还要考虑铸件外观和减少清理工作量。如可能，分型面宜取平直面。

55. 答：因为加工余量过大不仅会造成材料和加工工时的浪费，而且由于铸件表面层金属组织较为致密，其力学性能和耐腐蚀性能较好，过大的加工余量切去了铸件表面致密层会影响零件的使用性能。加工余量过小则会因铸件表皮硬度较高而影响加工刀具寿命或因铸件变形和表面缺陷等原因达不到图样要求的加工尺寸而报废。

加工余量的大小取决于合金种类、铸件大小、铸造方法、铸件精度等级、加工面在浇注时的位置等因素。

56. 答：主要意义有以下两点：

(1) 审查零件结构是否符合铸造生产的工艺要求，如发现有不合理的结构，应与有关设计部门进行研究协商，在保证使用性能的前提下予以改进，以便于简化铸造工艺过程，保证铸件质量和降低生产成本。

(2) 在既定的零件结构条件下，估计到铸造过程中可能会出现的主要缺陷，在工艺设计中预先采取相应措施予以防止。

57. 答：主要从下述几方面进行分析考虑：

(1) 便于造型起模。应尽量避免铸件外表侧凹。

(2) 对妨碍起模的凸台、凸缘和肋板等要将其结构进行改进。

(3) 适当改进铸件内腔结构，减少砂芯数量和简化制芯操作。

(4) 减少和简化分型面。

(5) 有利于砂芯的安置、固定、排气和清理。

(6) 大而复杂的铸件采用分体铸造；简单的小铸件采用联体铸造。

58. 答：(1) 铸造工艺设计的主要内容为：绘制铸造工艺图、铸件图、模样模板图、芯盒图、砂箱图、铸型装配图和编制填写铸造工艺卡等。

(2) 铸造工艺设计的主要程序为：①对零件图进行铸造工艺性分析。②选择铸造方法。③确定浇注位置和分型（模）面。④选择工艺参数。⑤设计浇冒口系统和冷铁。⑥砂芯设计。⑦绘制铸造工艺图。⑧绘制铸件图。⑨设计工装图。⑩绘制合型图。⑪填写铸造工艺卡。

59. 答：铸造工艺 CAD 的基本概念是计算模拟、几何模拟和数据库的有机结合。其作用是铸造工作者利用计算机进行工艺分析，试浇注和质量预测而优选铸造方案，估算铸造成本，并用计算机绘制、编制工艺图、工装图和工艺卡等技术资料，从而大大提高了铸造工艺设计的效率和质量。

60. 答：塑料气化模的优缺点：①制造泡沫塑料模可以不考虑起模斜度，铸件上的孔穴、薄壁和挡砂部位都可以直接做出，无需分型

面、分模面，故尺寸较精确。②气化模原材料轻，操作轻巧灵便，并节省材料、简化工艺工序，提高铸件的表面质量和尺寸精度。③模样不能回收，浇注一只铸件，必须有一只泡沫塑料模，故大批量生产铸件成本高，浇注时并产生大量黑色烟雾，不利于环境保护。

61. 答：射砂口须确保砂流畅地进入芯盒，有利于紧实和排气，一般选择在如下位置：①芯头处。②砂芯的大端。③砂芯的平面处，并避免砂流直接冲刷芯盒凸出部分、斜面和芯棒。④确保砂流畅通地进入芯盒、不产生涡流的部位。⑤射砂口对称且均匀布置。

62. 答：砂箱的选用和设计原则

(1) 砂箱内壁和模样间留有足够的吃砂量，箱带不妨碍浇冒口的安放，不阻碍铸件收缩，箱壁设有排气孔，利于铸型的烘干和浇注中排气。

(2) 砂箱的结构要有足够的强度和刚度，确保安全生产，经久耐用。

(3) 砂箱的定位装置要准确、使用方便。

(4) 箱壁和箱带结构既要有利于附着型砂，又要便于落砂和脱出铸件。

(5) 砂箱的规格尽可能标准化、系列化、通用化以减少砂箱数目，降低铸件成本，便于使用和管理。

63. 答：铸件生产是一个十分复杂的工艺过程，要经过一百余道工序的操作，每一道工序，每一个过程，都要严格按工艺操作规则做，只要其中一道工序控制失误或操作不当，均会造成最终制品——铸件成为废品。

64. 答：由于浇注时型砂在金属液的高温作用下，产生大量气体，型砂界面上的气体压力骤然增加，气体可能侵入金属液，也可能从砂隙或气眼中排出型外，只有在满足下列条件的情况下，型砂中的气体才会侵入金属液，即： $p_{气} > p_{液} + p_{阻} + p_{腔}$

65. 答：要迅速有效的消除缺陷，必须做系统地调查研究，尽可能准确地判明缺陷的种类和性质，查明产生原因，经综合分析和实践验证，采取防止措施。

66. 答：机械粘砂的成因是：金属液在静压力作用下，沿砂隙间

的毛细管渗入并包围砂粒，成为网状金属和砂粒的混合物。

影响机械粘砂的因素：①铸件表面处于液体状态的时间长短是决定渗入深度的最基本因素。时间越长，砂型温度越高，越利于金属液渗入，渗入深度越深。②金属液的静压力越高，渗入深度越大。③金属液的成分、氧化程度、周围气氛、造型材料的性质决定了金属液是否湿润毛细管壁，湿润则易于粘砂。④金属液的浇注温度越高，型砂受到的热作用越大，砂粒的孔隙发生烧结或熔化而增大，金属液易于渗入。

67. 答：化学粘砂是铸件表面牢固地粘附一层硬度很高、不易清除，由金属氧化物、砂子和粘土相互作用而生成的低熔点化合物。

防止措施：①防止铸件表面氧化。在型砂中加入煤粉等有机物，造成浇注过程中的还原性气氛。②加剧铸件表面氧化，在型砂中加入 Fe_2O_3 等附加物，促使氧化层厚度超过临界值。③在型砂中加入钠基或活化膨润土、 Fe_2O_3 等，或加快铸件冷却，促使低熔点化合物成为玻璃体。

68. 答：析出性气孔是溶解在金属液中的气体，在冷却和凝固过程中，由于溶解度降低而析出形成的孔洞，称为析出性气孔。

特征是数量多、尺寸小，形状呈圆形、椭圆形或针状。在铸件断面呈大面积均匀分布，同一炉次铸件大部有气孔。主要是氢气孔和氮气孔，是铝合金和铸钢中常见的缺陷，铸铁中相对较少。

69. 答：砂型受热时，由于石英砂晶体发生晶型转变，从 β 向 α 转变，体积膨胀，而表层和内层受热程度不一，膨胀亦不一致，故层间应力增加，促使表层脱离内层面拱起。另外，型砂中水分在热作用下，向型砂内部迁移，在 100°C 左右区域内，水分特别高，形成高湿区。粘土的粘结力和湿拉强度下降，两者结合造成表层砂拱起、开裂，铁液钻入即成为夹砂结疤。

70. 答：铸件质量主要包括以下两方面：①铸件外观质量，包括：铸件尺寸公差，铸件表面粗糙度，铸件重量公差，浇冒口残留量，铸件焊补质量及铸件表面缺陷等。②铸件内在质量，包括：化学成分、物理力学性能、金相组织、内部缺陷以及其它特殊的物理—化学性能。

71. 答：将需渗补的铸件装入专用吊运设备中，放入浸渗罐内加盖密封、抽成真空、注入水玻璃或合成树脂，铸件淹没在浸渗液中，短暂静置，使浸渗液渗入缺陷孔隙，然后通入 0.5~0.7MPa 的压缩空气，保压 20min，增强浸渗效果。铸件取出，经清洗、钝化、固化后，做耐压密封检查。

附录 技师论文写作与答辩要点

一、论文写作

1. 论文定义 论文是讨论和研究某种问题的文章，是一个人从事某一专业（工种）的学识、技术和能力的基本反映，也是个人劳动成果、经验和智慧的升华。

论文由论点、论据、引证、论证、结论等几个部分构成。

(1) 论点 论述中的确定性意见及支持意见的理由。

(2) 论据 证明论题判断的依据。

(3) 引证 引用前人事例或著作作为明证、根据、证据。

(4) 论证

1) 用论据证明论题真实性的论述过程。

2) 根据个人的了解或理解证明。

(5) 结论 从一定的前提推论得到的结果，对事物作出的总结性判断。

2. 怎样撰写技术论文

(1) 技术论文的一般格式和具体要求 论文是按一定格式撰写的。内容一般分为：题目，作者姓名和工作单位，摘要，前言，实践方法（包括其理论依据），实践过程，参考文献等。具体要求如下：

1) 数据可靠 必须是经过反复验证，确定证明正确、准确可用的数据。

2) 论点明确 论述中的确定性意见及支持意见的理由要充分。

3) 引证有力 证明论题判断的论据在引证时要充分，有说服力，经得起推敲，经得起验证。

4) 论证严密 引用论据或个人了解、理解证明时要严密，使人口服心服。

5) 判断准确 做结论时对事物作出的总结性判断要准确，有概括性、科学性、严密性、总结性。

6) 实事求是 文字陈述简练, 不夸张臆造, 不弄虚作假, 论文全文的长短根据内容需要而定, 一般在三四千字以内。

(2) 论文命题的选择 论文命题的标题应做到贴切、鲜明、简短。写好论文关键在如何命题。就机械行业来讲, 由于每个单位情况不同, 各专业技术工种数也不同; 就同一工种而言, 其技术复杂程度, 难易、深浅各不相同, 专业技术各不相同, 因此不能用一种模式、一种定义来表达各不相同的专业技术情况。选择命题不是刻意地寻找, 去研究那些尚未开发的领域, 而是把生产实践中解决的生产问题、工作问题通过筛选总结整理出来, 上升为理论, 以达到指导今后生产和工作的目的。命题是论文的精髓所在, 是论文方向性、选择性、关键性、成功性的关键和体现, 命题方向选择失误往往导致论文的失败。因此在写论文之前, 一定要反复思考、反复构思, 确定自己想定的命题内容, 命题确定后再选择命题的标题。所以, 命题不能单纯理解为给论文的标题命名。

(3) 命题内容的选择 命题内容选择是命题的基础, 同样是论文成败的关键。选择内容应针对自己的工作和专业扬长避短地进行选择; 在工艺改进、质量攻关、技术改进方面, 在学习、消化推广和应用国内外先进技术方面, 在防止和排除重大隐患方面, 在大型和高精尖设备的安装、调试、操作、维修和保养方面以及成绩显著、贡献突出、确有推广价值的技术成果, 虽不是创造发明, 但为企业及社会创造了直接或间接经济效益的项目都可以写。从中选择自己最擅长、最突出的某一方面作为自己命题的内容, 然后再从中选择最具代表性的某一项进行整理、浓缩, 作为自己命题内容的基础材料。

(4) 摘要 是论文内容基本思想的浓缩, 简要阐明论文的论点、论据、方法、成果和结论; 要求完整、准确和简练, 其本身是完整的短文, 能独立使用, 字数一般二三百字为好, 至多不超过 500 字。

(5) 前言 是论文的开场白, 主要说明本课题研究的目的是、相关的前人成果和知识空白、理论依据和实践方法、设备基础和预期目标等。切忌自封水平、客套空话, 政治口号和商业宣传。

(6) 正文 是论文的主体, 包括论点、论据、引证、论证、实践方法 (包括其理论依据)、实践过程及参考文献、实际成果等。写好

这部分文章要有材料、有内容，文字简明精炼，通俗易懂，准确地表达必要的理论和实践成果。在写作中表达数据的图、表要经过精心挑选；论文中凡引用他人的文章、数据、论点、材料等，均应按出现顺序依次列出参考文献，并准确无误。

(7) 结论 是整篇论文的归结，它不应是前文已经分别作的研究、实践成果的简单重复，而应该提到更深层次的理论高度进行概括，文字组织要有说服力，要突出科学性、严密性，使论文有完善的结尾。

(8) 论文的修改定稿 论文完稿后应反复推敲，反复修改，精益求精。论文的体裁不强求统一，但要突出重点。论文的内容和表达方式不需要面面俱到，但通篇体例应统一，所用的各种符号、代号、图样均应符合国家标准规定，对外文符号应书写清楚，大小写、正斜体易搞混时应加标注。

(9) 论文撰写应注意的几个问题

1) 要明确读者对象。要解决“为谁写”、“写什么”、“给谁看”的问题。要考虑生产和社会需要，结合当前我国的有关技术政策、产业政策，考虑自己的经验和能力。若是为工人师傅写出的，应尽量结合生产实际写得通俗一些，深入浅出，易看、易懂。

2) 要充分占有资料。巧妇难为无米之炊，要写好技术论文，一定要掌握足够的资料，包括自己的经验总结和国内外资料；要对资料进行充分的分析、比较，加以消化，分清哪些是有用的，哪些是无用的，并根据选择的课题和命题拟出较详细的撰写提纲，包括主次的分类、段落的分节、重点的选择、图表的设计拟定、顺序的排列等。

3) 要仔细校阅。初稿完稿后，不能算定稿，论文必然存在不少问题，如论文格式、表述方式、图的画法、公式的表述、名词术语、字体标点、技术内容、文字表达及文章结构等方面要进行反复推敲与修改，使文字表达符合我国的语言习惯，文字精炼，逻辑关系明确。除自审外，最好请有关专家审阅，按所提的意见再修改一次，以消除差错，进一步提高论文质量，达到精益求精的目的。

二、论文的答辩

(1) 专业技术工种专家组须由 5~7 名各专业技术工种的专家、

技师、高级技师、工程师、高级工程师组成。

(2) 答辩时先由答辩者宣读论文，然后由专家组进行提问考核，时间约为 30 分钟。

(3) 对具体论文（工作总结）主要从论文项目的难度、项目的实用性、项目经济效果、项目的科学性进行评估。

(4) 答辩时对论文中提出的结构、原理、定义、原则、公式推导、方法等知识论证的正确性主要通过提问方式来考核。

(5) 对本工种的专业工艺知识主要考核其熟悉深浅程度并予以确认。

(6) 在相关知识，四新知识方面，如 XXX 考生为生产线调整技师，可考核：

(1) 机械工艺基础与夹具知识。

(2) 机电一体化新技术，数控，可编程控制器。

或

(1) 金属切削原理与刀、量具知识。

(2) 新材料、新设备的发展新动向及其应用技术。