

# 第 2 篇

1

铸

造

---



**主编单位** 机械工业部沈阳铸造研究所  
机械工业部济南铸造锻压机械研究所

**编写单位** 机械工业部沈阳铸造研究所  
哈尔滨工业大学  
南京市机械研究所  
沈阳工业大学  
上海市机械制造工艺研究所  
北京玛钢厂  
沈阳铸造厂  
东北大学  
中国铸造协会实型铸造专业委员会  
北方车辆制造厂  
机械工业部机械科学研究院  
机械工业部济南铸造锻压机械研究所

**主 编** 徐人瑞 潘慎松

**副主编** 李维镛 王作礼 戴励策

**编写人** 徐人瑞 戴励策 安阁英 王深强  
李庆春 钱天江 白彦华 李志辉  
吴锦亮 谢祖锡 于尔元 王玉玮  
梁光泽 林柏年 李传斌 胡学文  
石 雯 贾 均 李培杰 陈 琦  
刘长万 李德珊 潘慎松 王作礼  
张魁生 葛厚彦 李英民

**主 审** 唐玉林

**副主审** 陈士梁 周静一



# 第 1 章 概 论

## 1 铸造的特点及在工业生产中的地位

铸造是熔炼金属,制造铸型,并将熔融金属浇入铸型,凝固后获得一定形状与性能铸件的成形方法,在我国已有 6000 年的历史<sup>①</sup>。铸造是生产机器金属零件毛坯的主要形式之一,与其他零件成形工艺相比,具有生产成本低,工艺灵活性大,几乎不受零件尺寸大小及形状结构复杂程度的限制等特点。铸件的质量可由几克到数百吨,壁厚可由 0.3mm 到 1m 以上。铸造是现代机械工业的基础,铸件广泛应用于机械制造、矿山冶金、交通运输、石油化工、农业、能源动力、轻工纺织、土建工程、电力电子、航天航空和军工等国民经济各部门。

铸件在机械产品中占有很大的比例(质量比),汽车中约为 25%,拖拉机中为 50%~60%,机床中为 60%~80%。铸件的质量(品质)直接影响到机械产品的质量(品质)。提高铸造生产工艺水平是机械产品更新换代、新产品开发、现有重大设备维持运转的重要保证,是机械工业调整产品结构,提高产品质量(品质)和经济效益,改变行业面貌的关键之一。

## 2 铸件及其生产方法

为适应不同使用目的、价格要求与使用寿命,选用不同的材料来制作铸件。铸件按材料分类见表 2-1-1。铸件的成品质量按外观质量、内在质量进行评等,分为合格品、一等品和优等品三个等级。

铸件的生产工艺方法大体分为砂型铸造(表 2-1-

2)和特种铸造(表 2-1-3)两大类。砂型铸造工艺流程如图 2-1-1 所示,砂型(芯)的种类、特点与应用范围见表 2-1-4。用于铸造生产过程机械化和自动化的主要铸造设备与仪器类别列于表 2-1-5。

表 2-1-1 铸件按材料分类

铸 件	材 料
铸铁件	灰铸铁、蠕墨铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁、特种性能铸铁(耐热铸铁、耐蚀铸铁和耐磨铸铁等)
铸钢件	铸造碳钢、铸造合金钢
铜铸件	铸造青铜、铸造黄铜
轻合金铸件	铸造铝合金、铸造镁合金
其他铸件	铸造锌合金、铸造钛合金、铸造轴承合金等

表 2-1-2 砂型铸造方法及应用范围

造型方法	特 点	应用范围
手工造型	用手工或手动工具完成全部造型工序,可按铸件尺寸、形状、批量与现场生产条件灵活地选用具体造型方法。但生产效率不高,劳动强度大,铸件尺寸精度、表面质量较差	单件、小批量铸件或难以用造型机械生产的形状复杂的大型铸件
机器造型	采用机械完成全部操作,至少完成紧砂操作的造型方法。效率高、铸型和铸件质量好,但投资较大	大量或成批生产的中、小铸件

表 2-1-3 特种铸造方法及应用范围

铸造方法	特 点	应用范围	铸造方法	特 点	应用范围
压力铸造	铸件尺寸精度高、表面光洁,生产容易实现自动化,效率高,成本低,但压铸机及铸型费用高。普通压铸件不能热处理强化	大量生产铝、锌、铜、镁等合金中小型薄壁铸件	低压铸造	铸件组织致密,工艺出品率高,设备较简单,可采用各种铸型,但生产率不太高	各种批量的大、中型铝、铜合金铸件

<sup>①</sup> 摘自华觉明,中国——六千年铸造之美,见:周尧和主编,中国机械工程学会第八届全国铸造年会论文集,沈阳:中国机械工程学会铸造分会秘书处,1992.238~241页。



(续)

铸造方法	特点	应用范围	铸造方法	特点	应用范围
差压铸造	液态金属在可控压力下充型凝固, 铸件成形性好, 组织致密, 力学性能高, 但生产率不高	高性能和形状复杂的非铁合金铸件	离心铸造	铸件组织致密, 力学性能好, 不需制芯, 生产率高	旋转体型铸件, 如管、套、轧辊
金属型铸造	铸件尺寸精度较高, 组织致密, 表面较光洁, 力学性能高, 生产容易实现自动化, 生产率较高	大批量生产非铁合金铸件, 也用于生产钢铁件	连续铸造	铸件组织致密, 力学性能好, 尺寸与断面形状可自由选择, 但可生产的铸件种类受限制大	固定截面的长形铸件, 如锭、管、型材
熔模铸造	铸件尺寸精度高, 表面光洁, 但生产工序繁多, 手工操作时劳动强度较大	各种批量的铸钢和高熔点合金的小型复杂精密铸件及工艺品	真空吸铸	铸件成形性好, 可采用多种铸型, 但生产率不高	各种合金的复杂薄壁铸件
实型铸造	铸件尺寸精度较高, 铸件设计的自由度大, 生产工艺简单, 但模样只能用一次, 模样燃烧产物影响环境	不同批量较复杂的各种合金铸件	挤压铸造	铸件组织致密, 尺寸精度高, 力学性能好, 可采用锻造合金, 容易实现机械化、自动化, 但对金属液质量及定量浇注精度要求高	批量生产高性能小型简单铸件及金属基复合材料铸件
陶瓷型铸造	铸件尺寸精度高, 表面光洁, 但生产率低	单件小批生产各种金属型、模、精密铸件及工艺品	电渣熔铸	金属液冶金质量高, 铸件组织致密, 金属利用率高, 但可生产的铸件种类受限制大	优质铸锭和形状简单的铸件

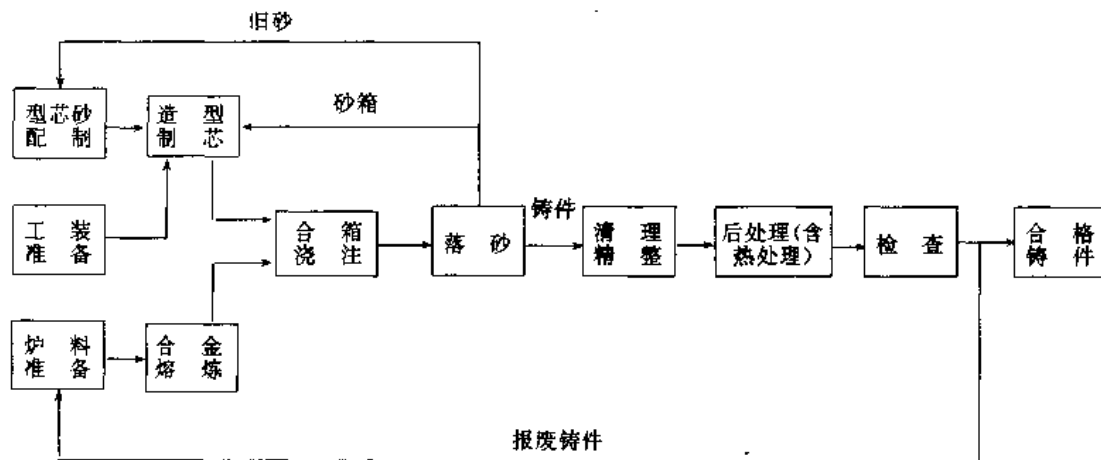


图 2-1-1 砂型铸造工艺流程



表 2-1-4 砂型(芯)的种类及应用范围

(续)

种类	特点	应用范围
干型	以粘土为粘结剂,铸型烘干后强度高,透气性好,但效率低,耗能高,劳动条件差,不易实现机械化	单件小批生产的中大铸件,有被自硬砂取代的趋势
湿型	以粘土为粘结剂,铸型无需干燥,应用现代造型机械可低成本高效率获得优质铸型	成批、大量生产的中小铸件
自硬型	铸型无需烘干,强度高,铸件精度高,表面光洁。水玻璃自硬砂成本低,无污染,但溃散性较差;树脂自硬砂溃散性好,但造型成本较高,对环境有污染	单件小批生产的大中型铸件
热硬(树脂砂)芯	加热硬化成形,硬化速度快,强度高,铸件尺寸精度高,表面光洁,易实现机械化、自动化,生产率高,但对环境有污染	大批生产的砂芯
冷硬(树脂砂)芯	在催化剂作用下,常温硬化成形,硬化速度快,强度高,铸件尺寸精度高,表面光洁,易实现机械化、自动化,节能,但对环境有污染	大批生产的砂芯
无(少)粘结剂砂型	不用或少用粘结剂,铸件尺寸精度高,表面光洁,劳动强度低,节省砂处理设备,真空密封砂型浇注时,金属流动性好,但难以实现全部机械化,生产率较低	真空密封砂型适用于生产大型薄壁扁平铸件和形状简单铸件

表 2-1-5 主要铸造设备与仪器

设备类别	举 例
合金熔化和浇注	冲天炉,电弧炉,感应电炉,坩埚炉,反射炉,装料机械,金属输送机械,浇包,浇注装置
砂处理	混砂机,筛砂机,旧砂再生机,型砂输送及贮存装置
造型与制芯	各种造型机,制芯机,烘干炉

设备类别	举 例
落砂清理及后处理	捅箱机,振动落砂机,抛丸、喷丸清理机,浇冒口切割机,机械手,热处理炉,浸渗装置
特种铸造	压铸机,低压铸造机,差压铸造机,金属型铸造机,离心铸造机,熔模铸造设备,连续铸造设备等
检验	型砂试验仪器,材料分析仪器,无损检测仪器
环境保护与劳动卫生	除尘与空气净化装置,噪声控制装置,污水处理装置

### 3 铸造生产技术的发展趋势

随着科学的进步和国民经济的发展,对铸造提出优质、低耗、高效、少污染的要求,铸造这一传统工艺也发生着深刻的变化。

**1. 向机械化自动化方向发展** 由于各种新造型方法(如高压造型、射压造型、气冲造型)和制芯方法(如热芯盒法、冷芯盒法)的开发和推广,铸件生产以汽车、拖拉机铸件为代表,向机械化、自动化的方向发展。

#### 2. 发展特种铸造工艺技术

(1) 扩大特种铸造工艺的适应性,如精密铸造的应用向大型铸件方向发展,压铸柔性加工系统(FMS)和压铸柔性加工单元(FMC)使压铸适应产品更新换代迅速和多品种小批量生产的要求。

(2) 发展复合铸造工艺技术,如挤压铸造、熔模真空吸铸等。

(3) 完善和开发一批全新的工艺方法,如实型铸造工艺、超级合金等离子滴铸工艺。

#### 3. 采用具有高强韧性和特殊使用性能的铸造合金材料

(1) 采用具有高比强和特种性能的材料,如球墨铸铁、合金钢及铝合金、钛合金等。

(2) 开发新型铸造功能材料,如铸造复合材料,阻尼材料和具有特殊磁学、电学、热学性能和耐辐射材料。

**4. 发展材料净化强化新技术** 冶炼方面采用炉外精炼、电渣熔铸;铸后采用浸渗、激光等离子表面处理及热等静压处理等。

**5. 加速采用微电子技术** 微电子技术已开始用于铸造生产的各个环节,如铸件及铸造工艺设计,模具的



设计与制造,凝固过程数值模拟,铸造过程自动检测、监测与控制,铸造车间管理,各种数据库系统和专家系统,机器人的应用等。今后还将进一步扩大微电子技术在铸造生产中的应用范围。

#### 6. 开发、应用新型造型材料,提高传统造型材料

的质量 如通过浮选和整形等工艺,提高硅砂质量,以满足新造型制芯方法对高品位硅砂的需求;开发复合耐火材料来解决特种铸造用砂的资源不足;开发新型粘结剂和新的抗粘砂涂料以改善铸造生产的工作条件和提高铸件表面质量。

## 第2章 铸件形成过程的理论基础<sup>[1]~[3]</sup>

### 1 金属充型

液态金属充满铸型,获得尺寸精确、轮廓清晰的铸件,取决于充型能力。充型能力不足时,会产生浇不足、冷隔等缺陷。

#### 1.1 影响充型能力的因素

充型能力是考虑铸型及工艺因素影响的熔融金属的流动性,它首先取决于金属本身的流动性(流动能力),同时又受铸型性质、浇注条件、铸件结构等因素的影响。

##### 1.1.1 合金流动性的影响

合金流动性用浇注流动性试样的方法来衡量。流动性试样的种类很多,如螺旋形、球形、U形、 $\alpha$ 形、真空试样等等,应用最多的是螺旋形试样,如图2-2-1所示。合金流动性与合金的成分、温度、杂质含量及物理性质有关。

**1. 合金成分** 合金流动性主要取决于合金成分,表2-2-1所列是一些合金的流动性。图2-2-2为Pb-Sn合金和Fe-C合金流动性与合金成分的关系。可以看出,对应着纯金属、共晶点和形成金属间化合物的成分,流动性出现最大值,而有结晶温度范围的成分,流动性下降。

铸铁的凝固温度范围虽比铸钢的宽,但流动性却比铸钢的好,这是由于铸钢的熔点高,钢液的过热度比铸铁的小,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,很快析出一定数量的枝晶,使钢液失去流动能力。

铸铁中的其他元素也影响流动性,如磷增加铸铁的流动性,但磷量增加使铸铁变脆,故通常不用增磷的方法提高铸铁的流动性。铸铁中硅的作用与碳相似,硅量增加,液相线下降,流动性提高。

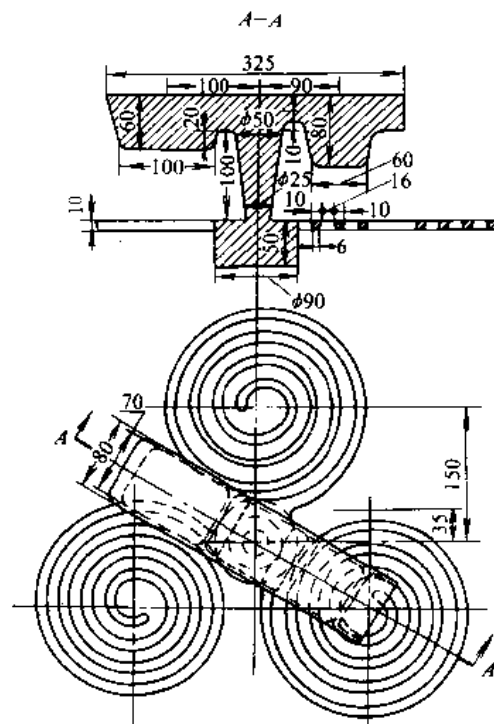


图2-2-1 螺旋形流动性试样示意图

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的好,这是由于稀土镁有脱硫、去气和排除非金属夹杂物使铁液净化的作用。但是,原铁液经球化处理,温度下降很多,若原铁液温度较低,含硫高,则其流动性比灰铸铁差。

钢的所有元素中,铜最有利于提高其流动性。

**2. 结晶潜热** 结晶潜热约占液态金属热含量的85%~90%,但它对不同类型合金的流动性影响不同。对纯金属及共晶合金,结晶潜热的影响大;对结晶温度范围较宽的合金,散失一部分(约20%)潜热后,晶粒就连成网络而阻塞流动,使大部分潜热的作用不能发挥,因而对流动性影响较小。



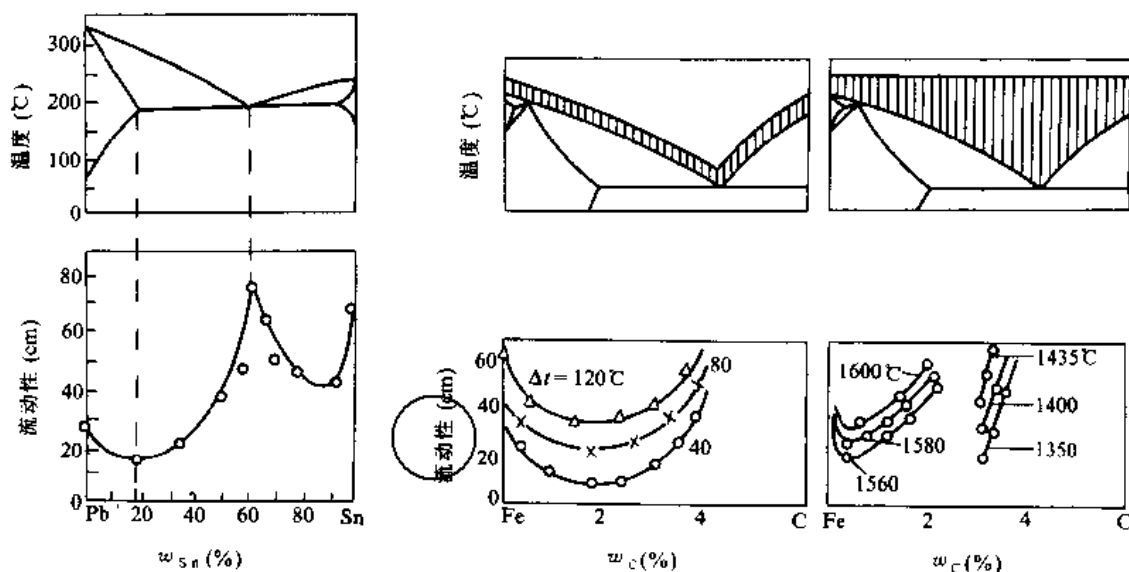


图 2-2-2 合金流动性与状态图的关系

a) Pb-Sn 合金 b) Fe-C 合金

$w_{Sn}$ 、 $w_C$  分别为 Sn、C 的质量分数

表 2-2-1 部分合金的流动性

(螺旋形试样, 沟槽截面 8mm×8mm)

合金①	铸型	浇注温度 (°C)	螺旋线长度 (mm)
铸铁 ( $w_C + w_{Si} = 6.2\%$ )	砂型	1300	1800
( $w_C + w_{Si} = 5.9\%$ )	砂型	1300	1300
( $w_C + w_{Si} = 5.2\%$ )	砂型	1300	1000
( $w_C + w_{Si} = 4.2\%$ )	砂型	1300	600
铸钢 ( $w_C = 0.4\%$ )	砂型	1600	100
		1640	200
铝硅合金	金属型 (300°C)	680 ~720	700~800
镁合金 (Mg-Al-Zn)	砂型	700	400~600
锡青铜 ( $w_{Sn} = 9\% \sim 11\%$ $w_{Zn} = 2\% \sim 4\%$ )	砂型	1040	420
硅黄铜 ( $w_{Si} = 1.5\% \sim 4.5\%$ )	砂型	1100	1000

①  $w_C$ 、 $w_{Si}$  等分别为 C、Si 等的质量分数, 下同。

3. 金属的比热容、密度和热导率 比热容和密度大的合金, 因其本身含有较多的热量, 在相同的过热度下, 保持液态的时间长, 流动性好。热导率小的合金, 热量散失慢, 且在凝固期间液固并存的两相区小, 流动阻力小, 故流动性也好。

4. 液态金属的粘度 液态金属的粘度与其成分、

温度、夹杂物含量和状态等有关。粘度对层流运动的流速影响较大, 对紊流运动的流速影响较小。实际测得, 金属液在浇注系统或试样中的流动, 在停止流动前的阶段都是紊流运动。在充型的最后很短时间内, 由于通道面积缩小, 或由于通道中出现液固混合物, 特别是此时温度下降, 使粘度显著提高, 粘度才对流动性表现出较大的影响。

5. 表面张力 造型材料一般不被液态金属润湿, 即润湿角  $\theta > 90^\circ$ 。故液态金属在铸型细薄部分的液面是凸起的, 而由表面张力产生一个指向液体内部的附加压力, 阻碍该部分的充填。型腔越细薄, 棱角的曲率半径越小, 表面张力的影响则越大。

### 1.1.2 铸型的影响

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热量的能力。蓄热系数愈大, 铸型的激冷能力就越强, 金属液于其中保持液态的时间就越短, 充型能力下降。

2. 铸型温度 铸型温度越高, 液态金属与铸型的温差越小, 充型能力越强。

3. 铸型中的气体 铸型在浇注时发气, 能在金属液与铸型间形成气膜, 减小摩擦阻力, 有利于充型。但铸型的发气能力过强, 浇注速度太快, 而铸型的排气能力又小时, 则型腔中的气体压力增大, 阻碍金属流动。



## 1.1.3 浇注条件的影响

**1. 浇注温度** 浇注温度对液态金属的充型能力有决定性影响。浇注温度越高,充型能力越强,如图2·2-3所示。

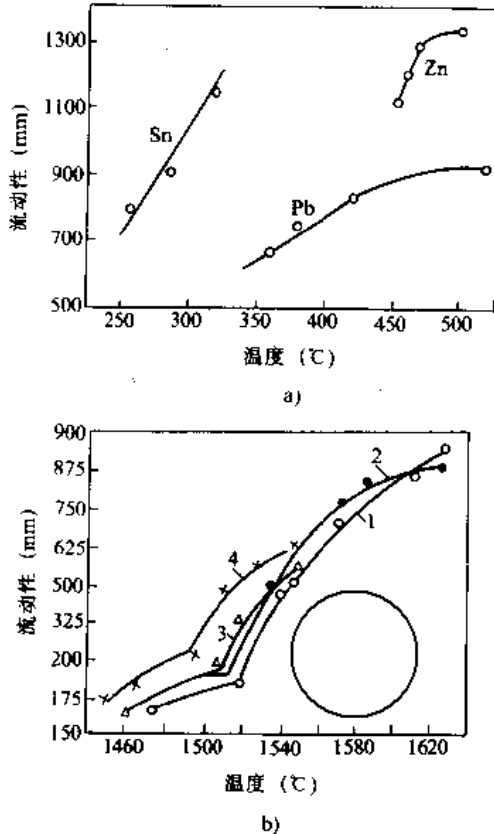


图 2·2-3 液态金属的流动性与温度的关系

a) 纯金属 b) 铸钢

1— $w_C$ 0.2%,  $w_{Mn}$ 0.29%,  $w_{Si}$ 0.61%2— $w_C$ 0.3%,  $w_{Mn}$ 0.26%,  $w_{Si}$ 0.56%3— $w_C$ 0.39%,  $w_{Mn}$ 0.32%,  $w_{Si}$ 0.80%4— $w_C$ 0.72%,  $w_{Mn}$ 0.32%,  $w_{Si}$ 0.67% $w_C$ 、 $w_{Mn}$ 、 $w_{Si}$ 分别为C、Mn、Si的质量百分数

**2. 充型压头** 液态金属在流动方向上所受的压头越大,充型能力就越强。但金属液的静压头过大或充型速度过高时,会发生喷射和飞溅现象,使金属氧化和产生外渗豆缺陷,还会因型腔中气体来不及排出,造成浇不足或冷隔缺陷。

**3. 浇注系统的结构** 浇注系统的结构越复杂,流动阻力越大,充型能力越差。浇口杯对金属有净化作用,但其中的液态金属散热很快,使充型能力下降。

## 1.1.4 铸件结构的影响

衡量铸件结构特点的因素是铸件的折算厚度和复

杂程度。

**1. 折算厚度** 折算厚度也叫当量厚度或模数,为铸件体积与表面积之比。折算厚度大,热量散失慢,充型能力就好。铸件壁厚相同时,垂直壁比水平壁更容易充填。

**2. 铸件复杂程度** 铸件结构复杂,流动阻力大,铸型的充填就困难。

## 1.2 提高充型能力的措施

## 1. 金属方面

(1) 正确选择合金成分。在不影响铸件使用性能的情况下,尽量将合金成分调整到实际共晶成分附近,或选用结晶温度范围小的合金。对某些合金进行变质处理使晶粒细化,也有利于提高充型能力。

(2) 严格控制熔炼工艺。原材料上的锈蚀、油污要去除,熔剂要烘干;熔炼过程中尽量使金属液不接触或少接触有害气体;对某些合金要充分脱氧或精炼去气,减少其中的非金属夹杂物和气体。铸铁件宜高温出炉低温浇注。

## 2. 铸型方面

(1) 选用蓄热系数低的造型材料。在金属型铸造中,可采用涂料调整蓄热系数。

(2) 预热铸型。熔模铸造中,常将型壳焙烧到800°C以上进行浇注。金属型铸造灰铸铁件时,预热铸型不但能提高充型能力,还能防止白口。

(3) 减小铸型中气体的反压力。这可通过两条途径实现:一是适当降低型砂中的含水量和发气物质含量,二是在铸型上开设排气通道,在离浇注端最远区或铸型最高部位设排气冒口。

## 3. 浇注方面

(1) 对于薄壁铸件或流动性差的合金,适当提高浇注温度。但是,随着浇注温度的提高,铸件一次结晶组织粗大,容易产生缩孔、缩松、粘砂、裂纹等缺陷。

(2) 合理设计浇注系统,适当提高充型压头。压铸、低压铸造、真空吸铸等也能提高金属液的充型能力。

**4. 铸件结构方面** 为使铸型容易充填,应尽量简化铸件结构。这需要铸件生产部门和设计部门共同努力。

## 2 铸件凝固

铸件凝固过程指金属液浇入铸型后至完全凝固所经历的物理、化学过程及伴随现象。凝固过程首先是从





液态金属向温度较低的铸型传输热量开始的,许多凝固现象都与铸件温度场分布和凝固冷却速度有关。因此,掌握铸件在铸型中的传热特点,对于控制凝固过程及防止缩孔、缩松等铸造缺陷产生,从而获得优质铸件,有着十分重要的意义。

### 2.1 金属在铸型中的传热特点

当高温金属液浇入铸型后,金属所含热量通过液态金属、已凝固的固态金属、金属—铸型界面和铸型的热阻而传出,图2-2-4为金属在铸型中凝固的传热模型示意图。随着金属液热量的不断传出,固液界面或固液共存区逐渐由型壁向铸件中心推进,直至完成全部液固转变而获得固态铸件。在由铸件—铸型构成的传热系统中,其传热特点一方面和金属液本身的凝固传热特点有关,另一方面还和铸型的热物理性质以及金属与铸型的界面接触情况密切相关。

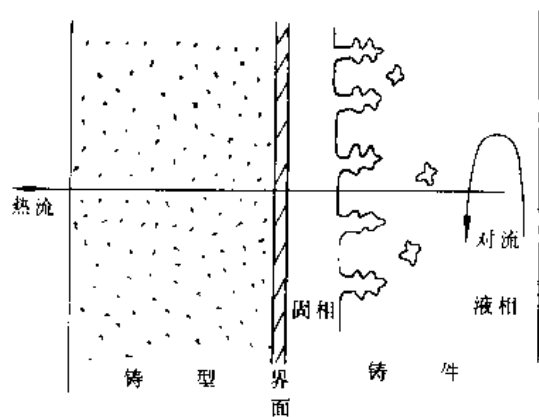


图 2-2-4 金属在铸型中凝固的传热模型示意图

从金属液本身的凝固传热特点来看,首先它是一个有移动热源的热传导过程。金属凝固时释放出凝固潜热,可看作热源释放的热。凝固潜热是在不断推进的固液界面前沿上释放,即热源位置随凝固进程而移动。当固液界面凹凸不平或以枝晶状生长时(图2-2-4),即使是在宏观上表现为一维传热的定向凝固,在固液界面上也会表现出十分复杂的微观三维传热特征和热源的三维移动特点。凝固潜热的释放速度与该处凝固速度有关。其次,它不是一个单纯的热传导过程。在已完全凝固的固态金属层内,其传热过程可认为是单纯的热传导而严格遵守傅立叶定律,但在固液共存区以及液相区内,除存在热传导过程外,还存在液相对流对传热过程的影响,液相产生对流的原因有两方面,其一为由于液相中温度和溶质成分分布不均匀造成密度差异

而驱动的自然对流,其二为凝固时由于固液相同的密度差异导致体积突变而驱动的凝固收缩流。另外,在某些情况下,固液共存区中自由等轴晶的移动也会对铸件凝固传热过程产生影响。

从铸件与铸型的接触界面情况看,在界面上也通常存在接触热阻或称界面热阻,因而在界面上存在一温度降,而且随着凝固过程的进行,由于金属的收缩和铸型的膨胀,其界面接触情况也不断发生变化,其接触热阻也相应发生变化。但在实际计算中通常根据不同具体情况将接触热阻假设为一定值来处理。

铸型的热物理性质对铸件的凝固传热和温度场分布有重要影响。通常,根据铸型热物理性质和金属—铸型接触情况分为如下四种情况:

#### 2.1.1 铸件在绝热铸型中的传热特点

砂型、石膏型、陶瓷型、熔模铸型等铸型材料的热导率远小于凝固金属的热导率,可统称为绝热铸型。因此,在凝固传热中,金属铸件中的温度梯度比铸型中的温度梯度小得多,相对而言,金属中的温度梯度可忽略不计。铸件和铸型的温度分布特点如图2-2-5所示。

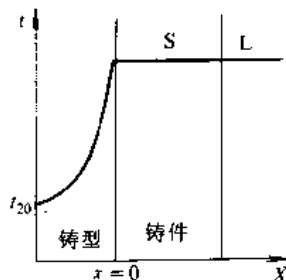


图 2-2-5 绝热铸型中铸件和铸型的温度分布

S—固态 L—液态

由于铸件断面的温度分布在整個传热过程中可认为是基本均匀的,因而往往存在较宽的固液共存区间而表现出糊状凝固特点。在这种情况下,绝热铸型本身的热物理性质是决定整个系统传热过程的主要因素。

#### 2.1.2 铸件在金属—铸型界面热阻为主的金属型中的传热特点

较薄的铸件在工作表面涂有涂料的金属型中铸造时,就属于这种情况,金属—铸型界面处涂料的热阻较铸件和铸型的热阻大得多。这时,凝固金属和金属铸型



中的温度梯度可忽略不计，整个传热过程取决于涂料层的热物理性质，其温度场分布特点如图 2·2-6 所示。

### 2·1·3 铸件在厚壁金属型中的传热特点

当金属型的涂料层很薄，厚壁金属型中凝固的金属和铸型的热阻都不可忽略，因而都存在明显的温度梯度，凝固金属的固液共存区往往较窄，多表现为层状凝固。由于此时金属-铸型界面的热阻相对很小，可忽略不计，则铸型内表面温度和铸件表面温度可认为相同，整个系统的传热过程取决于铸件和铸型的热物理性质，其温度分布特点如图 2·2-7 所示。

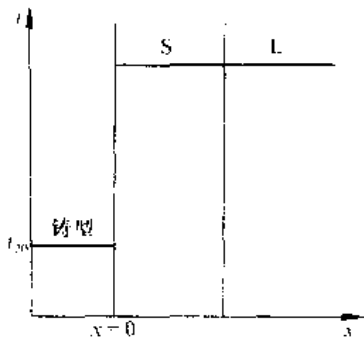


图 2·2-6 铸件在界面热阻为主的金属型中凝固的温度分布  
S—固态 L—液态

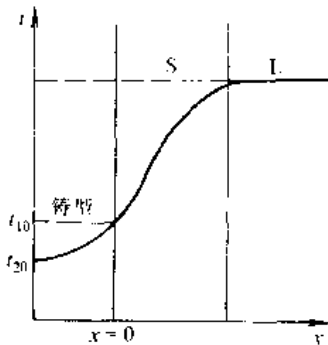


图 2·2-7 铸件在厚壁金属型中凝固的温度分布  
S—固态 L—液态

### 2·1·4 铸件在水冷金属型中的传热特点

在水冷金属型中，通过控制冷却水温度和流量使铸型温度保持近似恒定，在不考虑金属-铸型界面热阻的情况下，凝固金属表面温度等于铸型温度。在这种情况下，凝固传热的主要热阻是凝固金属的热阻，铸件中有较大的温度梯度，固液共存区较窄，多表现为层状凝

固，其温度分布特点如图 2·2-8 所示。

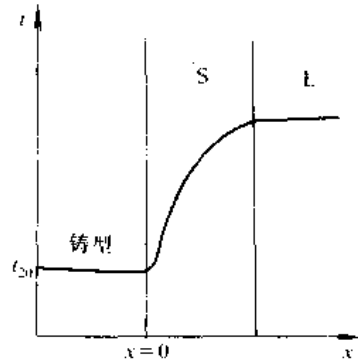


图 2·2-8 铸件在水冷金属型中凝固的温度分布  
S—固态 L—液态

## 2·2 铸件凝固时间的计算

铸件的凝固时间，是指从液态金属充满铸型后至凝固完毕所需要的时间。

在设计冒口和冷铁时需对铸件的凝固时间进行估算。为掌握打箱时间，有时也需要对凝固时间进行估算。确定铸件凝固时间的方法有理论计算法、平方根定律法、折算厚度法和数值模拟法。

### 2·2·1 理论计算法

根据铸件凝固放出热量与铸型吸收热量相等这一能量守恒原则，可导出理论计算公式。但由于计算式较为复杂，且在推导中进行了许多简化，仍为近似算法，故在实际中应用较少。

### 2·2·2 平方根定律法

该法适用于大型平板类、结晶间隔小的合金铸件，表达式如下：

$$\tau = \frac{\xi^2}{K^2} \quad (2·2-1)$$

式中  $\tau$ ——凝固时间 (min)；

$\xi$ ——凝固层厚度 (cm)；

$K$ ——凝固系数 ( $\text{cm}/\text{min}^{\frac{1}{2}}$ )。

凝固系数  $K$  的取值见表 2·2-2。

### 2·2·3 折算厚度法

当铸件合金、铸型和浇注条件确定之后，铸件凝固时间取决于铸件体积与散热表面积之比，即折算厚度(模数)。由于考虑了铸件结构形状的影响，计算值更接近实际。



表 2-2-2 几种合金的凝固系数

合金	冷却条件	凝固系数 $K$ ( $\text{cm}/\text{min}^{\frac{1}{2}}$ )
灰铸铁	砂型	0.72
	金属型	2.0
可锻铸铁	砂型	1.1
	金属型	2.0
铸钢	砂型	1.3
	金属型	2.6
黄铜	砂型	1.8
	金属型	3.8
	水冷金属型	4.2
铝合金	金属型	3.1

$$\tau = \left( \frac{V}{S} \right)^2 / K^2 = R^2 / K^2 \quad (2-2-2)$$

式中  $\tau$  — 凝固时间 (min);  
 $V$  — 铸件体积 ( $\text{cm}^3$ );  
 $S$  — 铸件散热表面积 ( $\text{cm}^2$ );  
 $R$  — 铸件折算厚度 (cm);  
 $K$  — 凝固系数 ( $\text{cm}/\text{min}^{\frac{1}{2}}$ ), 见表 2-2-2。

折算厚度法在实际生产中应用较多, 图 2-2-9 是

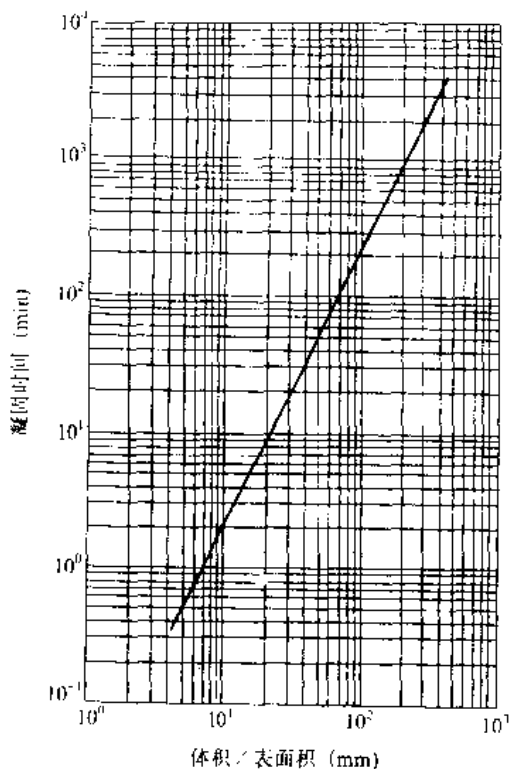


图 2-2-9 铸钢件凝固时间与折算厚度的关系

铸钢件 (10~65000kg) 实测凝固时间与折算厚度的关系。

应用折算厚度法计算铸件凝固时间时, 可将复杂的铸件化为简单的平板、圆柱、球、长方体等的组合, 分别计算各简单体的折算厚度, 其中  $R$  最大的简单体的凝固时间即为铸件的凝固时间。折算厚度法也是近似的方法, 对于大平板、球和长的圆柱体较为准确。对于短而粗的杆和立方体铸件, 由于边缘和棱角散热效应的影响较大, 计算结果一般比实际凝固时间长约 10%~15%。如果被金属包围的型芯, 其直径或厚度较小时, 因型芯很快达到热饱和, 与型芯接触的铸件表面可不纳入铸件散热面积。

### 2-2-4 数值模拟法

该法是利用计算机对铸件的凝固过程进行数值模拟, 来确定铸件的凝固时间。它能够方便地反映具体工艺条件的多样性和复杂性, 与前几种方法相比, 是一种较为科学和准确的方法。下节将详细论述。

## 3 铸件凝固过程数值模拟

铸件凝固过程数值模拟是一个综合性很强的技术, 但在实际应用中, 目前一般只对其凝固传热过程进行数值模拟, 以计算铸件的凝固顺序、温度场分布及预测可能的缩孔缩松位置, 并进一步优化补缩工艺。

### 3-1 基本原理

凝固过程数值模拟基本步骤为: 单元剖分, 建立相应的数值方程; 编制程序和模拟计算。

铸件凝固传热过程通用微分方程为

$$\lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \dot{q} - c\rho \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2-2-3)$$

$$\dot{q} = \rho L \frac{\partial f_s}{\partial t} \quad (2-2-4)$$

式中  $\dot{q}$  — 金属凝固过程中单位体积的金属在单位时间内释放的潜热 ( $\text{J}/(\text{m}^3 \cdot \text{s})$ );

$f_s$  — 凝固金属的局部固相分数;

$L$  — 金属的凝固潜热 ( $\text{J}/\text{kg}$ );

$\rho$  — 金属的密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

由于凝固潜热只在凝固范围内由凝固金属释放, 因此, 对铸型材料以及液相线以上和固相线以下的铸件金属,  $\dot{q} = 0$ , 而且对于正在凝固的金属, 其潜热通常由温度补偿法和等效比热容法来处理。因此, 在基本计算步骤中, 可消去非线性项  $\dot{q}$ , 即在式 (2-2-3) 中令



$\dot{q}=0$  进行计算。

以二维剖分显式差分计算介绍基本方法,其剖分如图 2·2-10 所示。对于某单元  $(i, j)$ , 根据式 (2·2-3) 进行显式差分, 可得到其差分方程如下:

$$\lambda \left( \frac{T_{i+1,j}^n - 2T_{i,j}^n + T_{i-1,j}^n}{\Delta x^2} + \frac{T_{i,j+1}^n - 2T_{i,j}^n + T_{i,j-1}^n}{\Delta y^2} \right) = c\rho \left( \frac{T_{i,j}^{n+\Delta t} - T_{i,j}^n}{\Delta t} \right) \quad (2\cdot2-5)$$

已知  $t$  时刻的温度场分布, 即可直接解出  $t+\Delta t$  时刻的温度场  $T_{i,j}^{n+\Delta t}$ , 循环计算下去, 即可对整个传热过程进行数值求解。

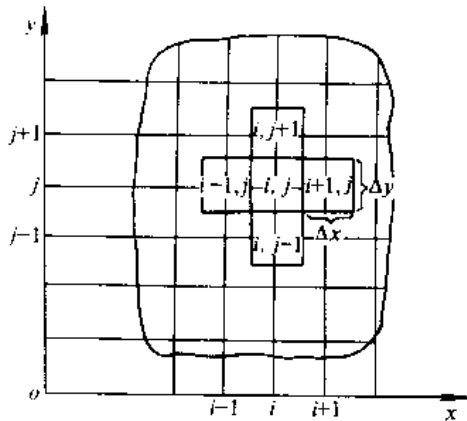


图 2·2-10 二维系统的网格剖分

$i-1, i, i+1$ ——系统中  $x$  方向上任意相邻三点

$j-1, j, j+1$ ——系统中  $y$  方向上任意相邻三点

但在显式差分计算中, 应严格限制计算时间步长  $\Delta t$ , 才能保证计算过程的收敛稳定性,  $\Delta t$  的选取应满足如下条件:

$$\Delta t \leq \frac{c\rho\Delta x^2\Delta y^2}{2\lambda(\Delta x^2 + \Delta y^2)} \quad (s) \quad (2\cdot2-6)$$

当网格剖分较粗时,  $\Delta t$  可相对选大一些, 从而缩短计算时间; 但如果网格太大, 则会严重影响模拟计算精度。如果网格剖分过于细密, 由式 (2·2-6) 知, 计算时间步长  $\Delta t$  必须选得很小, 在整个计算过程中往往出现较大的积累误差, 同样会影响到模拟计算精度, 且计算时间较长。因此, 在网格划分时应同时权衡这两方面的因素。

此外, 在计算中还须对凝固潜热及边界条件进行数值处理。

(1) 凝固潜热的处理。凝固潜热的处理方法主要有二种。一种为等效比热容法; 一种为温度补偿法。

将式 (2·2-4) 代入式 (2·2-3) 中并整理, 得

$$\lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = \left( c - L \frac{\partial f_s}{\partial t} \right) \rho \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2\cdot2-7)$$

定义等效比热容  $c'$  为

$$c' = c - L \frac{\partial f_s}{\partial t} \quad [J / (kg \cdot K)] \quad (2\cdot2-8)$$

即在计算中对凝固金属的比热容进行修正, 就可以有效地计算热源项  $\dot{q}$  对温度场的影响, 这种方法称为等效比热容法。但该方法不宜于处理纯金属或共晶合金等具有固定凝固点的潜热问题。

温度补偿法既适合于有结晶区间的合金凝固, 也适合于有固定凝固点的金属或合金凝固。其基本原理为将金属凝固时释放的潜热

$$\Delta Q = L\rho\Delta f_s\Delta x\Delta y \quad (J) \quad (2\cdot2-9)$$

用来补偿自身温度, 使单元温度  $\Delta T$  升高:

$$\Delta T = \frac{\Delta Q}{c\rho\Delta x\Delta y} = \frac{L}{c}\Delta f_s \quad (K) \quad (2\cdot2-10)$$

将升高后的温度代入温度场进行下一个计算循环的计算。

(2) 初始条件和边界条件的处理。对于铸型-铸件界面上的两个相邻单元, 其间的导热系数  $\lambda$  用下式计算:

$$\lambda = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{\frac{\Delta x_1}{\lambda_1} + \frac{2}{h_i} + \frac{\Delta x_2}{\lambda_2}} \quad (2\cdot2-11)$$

式中  $h_i$ ——界面换热系数。

铸件和铸型分别与大气相接触的边界条件一般按自由换热来处理

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = h(T - T_0) \quad (2\cdot2-12)$$

式中  $T_0$ ——环境温度(K);

$h$ ——边界上的换热系数  $[J / (m^2 \cdot s \cdot K)]$ 。

初始条件一般采用较为简单的方法, 以浇注温度作为铸件部分各单元的初始温度, 浇注开始时的铸型温度作为铸型部分各单元的初始温度, 环境温度认为不变。

经过以上对基本方程的数值求解, 和对具体边界条件、初始条件以及凝固潜热的处理, 编制程序就可对实际铸造凝固过程进行温度场计算, 并通过温度场的信息可以对铸件的缩孔、缩松进行预测。

### 3·2 各种数值方法应用简介

1. 显式差分法 显式差分法方法简便, 程序简单, 适应性强, 内存占有量小, 很适合求解复杂的铸造凝固



问题,特别是开发三维计算,它往往被首先选用。但该方法对收敛时间步长有一定要求。

**2. 隐式差分法** 隐式差分法稳定性好,精度较显式法高,可以取大时间步长  $\Delta t$  进行计算,节省计算时间。但由于求解联立方程组较为复杂,且要同时存贮方程组的系数矩阵,占用内存大。特别是对三维计算,该法并不实用。

**3. 分裂格式差分法** 分裂格式差分法是将显式差分法和隐式差分法相结合的解法,无论是对二维问题还是三维问题,该法只交替地对一个方向进行隐式计算,精度较高,收敛性好,占用内存也相对较少,对传热计算较为实用。但对于处理更为复杂的凝固现象如对流问题,该法依然不如显式差分法方便。

**4. 有限元法** 有限元法由于精度高,收敛性好,且剖分网格可采用高次单元,几何模型精度很高,因此适合于解决形状复杂且形状因素对过程量影响较大的问题,如计算铸件凝固过程中的应力应变问题以及诸如此类的力学问题。但该方法较差分法显得复杂,程序也较繁冗,用其解决传热问题似乎是用大方法解决小问题。

**5. 模数法** 模数法是基于铸件模数 ( $M=V/S$ ) 与凝固时间的关系  $M=K\sqrt{\tau}$ , 对铸件凝固顺序进行计算。特别是点模数法,即通过定义计算铸件内部各点的点模数及对应的凝固时间,可方便地对形状复杂的铸件凝固顺序进行模拟计算。该方法计算十分简便,占用内存少,同时能与实际铸造工艺设计方法相衔接,能够满足一般的工艺设计要求。因此,也是一种较实用的方法。

## 4 铸件凝固组织的控制

铸件凝固组织对铸件的性能影响很大。由于合金成分、冷却条件和结晶条件的不同,铸件的凝固组织可能形成柱状晶、粒状晶(等轴晶)或两种晶体组成的混合组织。

柱状晶就其形成条件,有利于补缩,减少显微疏松,但晶界常富集杂质,故横向性能差。粒状晶显微疏松和杂质较分散,各向性能差异小,故一般成形铸件希望为细晶粒状组织,如减少金属中的有害杂质,则柱状晶在纵向或横向性能上均可超过粒状晶。对于磁性材料,如使柱状晶方向与磁场方向重合,则可显著提高其电磁性能。

### 4.1 粒状晶组织的控制

多数合金(钢、铝、铜、镁合金)在凝固过程只形成固溶体相或主要形成固溶体相。固溶体初生相形核后如单向生长受到阻碍,即获得粒状晶组织。形核愈多,晶粒愈小,凝固组织愈细。

获得细晶粒组织的主要措施如下:

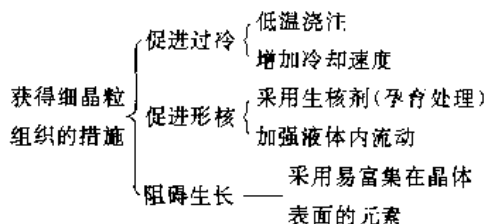


表 2-2-3 为常用包晶型合金生核剂。表 2-2-4 为常用合金中细化初生相的生核剂。表 2-2-5 为增强液体内流动以细化粒状晶的方法。

表 2-2-3 常用包晶型生核剂

状态图	合金	生核剂	珠光体中的质量分数 (%)	铁素体中的质量分数 (%)	$t_F$ (°C)	$Me_mB_n$		工业用量 (%)
						名称	晶格	
<p><math>w_B</math> 为 B 的质量分数</p>	铝及铝合金	Ti	0.19	0.28	668	TiAl <sub>3</sub>	正方 a=5.44nm c=8.59nm	>0.05 最好 0.2~0.3
		Zr	0.11	0.28	660.5	ZrAl <sub>3</sub>	正方 a=4.01nm c=17.32nm	0.1~0.2
		V	0.10	0.37	661	VAl <sub>10</sub>	面心立方 a=14.59nm	0.03~0.05
	镁 Mg-Zn Mg-Mn	Zr	≈0.58	—	654	Zr <sub>2</sub>	六方 a=3.23nm c=5.133nm	0.3~0.7
	铜合金	Fe	2.8	4.0	1094	Fe <sub>7</sub>	面心立方 a=3.66nm	>1

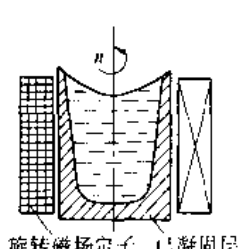
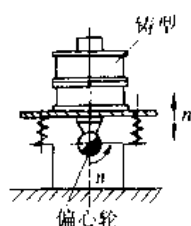
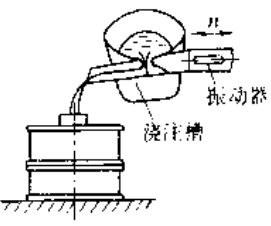
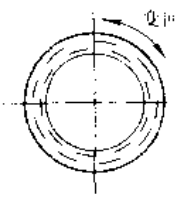


表 2-2-4 常用合金中细化初生相的生核剂

合金类别	生核剂	生核剂的质量分数(%)	备注
碳钢及低合金钢	V	0.06~0.3	形成 TiN、TiC、VN、VC 为晶核
	Ti	0.1~0.2	
	B	0.005~0.01	可能是成分过冷或表面活性作用
高锰钢 (Mn13)	CaCN <sub>2</sub>	0.45	消除穿晶, 细化晶粒
高铬钢 (Cr25)	Ti	0.8~1	细化晶粒, 减小脆性
硅钢 (w <sub>Si</sub> 3%)	TiB <sub>2</sub> 粉粒		溶解并析出 TiN、TiC
铸 铁	石墨粉		增加石墨晶核, 细化共晶团
	FeSi	0.1~1.5	Si 局部浓度起伏区提前析出石墨质点, 宜采用瞬时加入工艺
	Ca、Sr、Ba	配合 FeSi 中, 成复合生核剂	CaC <sub>2</sub> 、SrC <sub>2</sub> 、BaC <sub>2</sub> 的 (111) 与石墨 (0001) 对应, 并增强 Si 的生核作用
过共晶 Al-Si	P	>0.02	以 Cu-P、Fe-P、Al-P 合金加入, 形成 AlP 细化初生硅, 但不细化共晶硅
铝、Al-Cu、Al-Mg Al-Mn、Al-Si	Ti、Zr、V Ti+B	见表 2-2-3	以中间合金或盐类加入, 明显细化 αAl
镁、Mg-Zn	Zr	0.3~0.7	800~850℃, 以 K <sub>2</sub> ZrF <sub>6</sub> 加入, Mg-Zr 包晶开始成分 w <sub>Zr</sub> 约 0.58%, αZr 晶格与 Mg 很一致, Al 有干扰作用
Mg-Al Mg-Al-Zn	C	0.1	坩埚中过热, 或加入六氯乙烷形成 Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub> 作 Mg 的晶核, Zr 起干扰作用
	V		
	Ti+B	0.05Ti+0.01B	以 Al-Ti、Al-B 中间合金加入
Mg-Mn	Ti、V	0.03~0.1	
	B、Zr	0.03~0.05	
铜	Li	0.05~0.02	成分过冷作用
	Bi	0.5	
	Li+Bi	0.05Ti+0.05Bi	
一般铜合金	Fe	>1	包晶开始点 w <sub>Fe</sub> 2.8%, γFe 晶格与 Cu 很一致, 用于含 Fe 的铜合金
铝青铜 (Cu-Al-Fe)	V、B、W、Zr、Ti	0.05~0.1	存在碳时, 碳化物起晶核作用, B 仅细化 β 相
	V+B	0.05V+0.02B	
Cu-Sn、Cu-Zn	Ti+B	0.05Ti+0.02B	
	V+B	0.05V+0.05B	
Cu-Zn-Pb (HPb59-1)	混合稀土	0.05	消除柱状晶, 细化晶粒
钛合金	B	0.05~0.1	硼化物和碳化物起晶核作用
	B+Zr	总数 0.1~0.15	

注: w<sub>Si</sub>、w<sub>Zr</sub>、w<sub>Fe</sub> 分别为 Si、Zr、Fe 的质量分数。

表 2-2-5 增强液体内流动以细化粒状晶的方法

工艺装置示意图				
原 理	用旋转磁场使液体金属旋转	用偏心轮使铸型产生惯性振动或震击	金属流经振动的浇注槽或浇口杯，再进入铸型	铸型变速转动或间断地变向转动
工艺参数	调节旋转磁场的电压，使液体的转速 $n > 40r/min$	$n = 5 \sim 50r/min$	用风动或电磁振动器使浇注槽或浇口杯振动	
用 途	Al、Mg、Cu 及钢等固溶体型合金的初生相细化	同前，并可减少铸件缩孔和缩松	细化上述固溶体型合金的初生晶	细化上述固溶体型合金的初生晶
备 注	采用薄壳砂型或非铁磁性的金属型	应用砂型时应待浇满铸型有一定凝固层后再振动，以免砂型损坏	浇注温度应控制，以免脱落的晶体重新熔化	变速及变向频率按具体情况确定之

#### 4.2 柱状晶组织的控制

柱状晶和等轴晶的内部均由树枝状组织组成。采用如下措施有利于获得柱状晶：保证铸件单向散热，采用定向凝固工艺；提高液态金属的纯洁性，减少外来质点的生核作用；减少凝固过程液体流动和固相移动。

合金凝固过程结晶前沿的温度梯度  $G$  与凝固速度  $R$ （即晶体生长速度）的比值  $G/R$  是促进树枝状组织单向延伸成为柱状晶的一个重要参数。 $G/R$  越大，树枝状组织的横向分枝越短小，故柱状晶越细而挺直。当  $G/R$  足够大时，固液界面将以平面晶生长，形成的柱状晶将是单晶。精密铸造高温合金单晶叶片，已在航空发动机上得到应用，热疲劳性能得到明显提高。

#### 4.3 共晶组织的控制

铸铁和铝硅合金是常用的共晶型合金，铸造性能好，用途广泛。共晶型合金凝固时都经过一个共晶转变阶段，从液相中直接析出两个相，或同为固溶体，或另一为非金属相——石墨或硅。共晶转变时，在固/液界面析出领先相，构成共晶团的骨架，决定共晶团的形状和大小。被领先相则充填于骨架之间，构成共晶团的基体。领先相往往是高熔点相，如石墨或硅。因此对共晶型合金组织的控制主要是控制领先相——石墨或硅。

对铸铁进行孕育处理，常用的孕育剂为含硅的质量分数 75% 的硅铁，可以促进石墨生核，细化共晶团，提高铸铁性能。对铝硅合金进行变质处理，如含钠、含锶、含稀土变质剂，可以明显细化共晶硅，提高铝硅合金的性能。

### 5 金属与铸型相互作用

液态金属在浇注、充型和凝固过程中，与铸型发生热的、物理化学的和机械的作用。这对铸造缺陷的形成以及铸件表面氧化、脱碳和表面合金化带来一系列影响。

#### 5.1 热作用

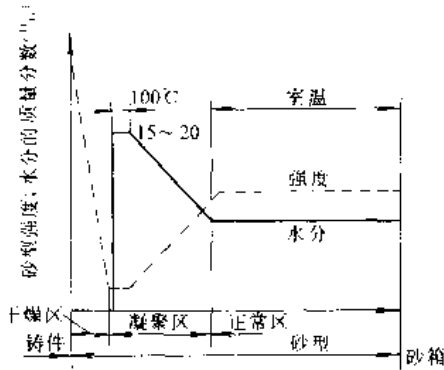
对于湿型砂，由于铸型表面层中的水分受热后蒸发，水分由高温处向低温处迁移，并在砂型内层的空隙中凝结，表层的强度将下降，如表 2-2-6 所示。

对于有机粘结剂铸型，粘结剂受热后分解，所产生的气体可能进入液体金属内部而产生气孔。

铸型表层被加热时的膨胀和应力不仅与铸型本身的材质、粘结剂和附加物的种类有关，同时与加热温度、加热速度以及膨胀时的外界条件等因素有关。当砂型表层受热膨胀而产生的热应力超过水分凝聚区的强度时，砂型表层拱起开裂，使铸件表面产生夹砂。



表 2-2-6 浇注时铸型中瞬时水分迁移和强度变化的特征



干燥区	凝聚区	正常区
又称发气区, 在该区内, 各种状态的水被加热变成水蒸气, 有机物燃烧或升华、碳酸盐等化合物分解而产生大量气体	由于该区温度较低, 水蒸气又重新凝结, 干燥区的水蒸气挤压尚未汽化的水也向此移动, 使该区的湿度达正常湿度的两倍左右, 大量的水分堵塞在砂粒间空隙, 阻碍发气区的气体逸出型外, 使气体压力增加	未受到液体金属的热作用, 水分含量与浇注前相同

5.2 物理化学作用

液态金属和铸型之间的物理化学作用主要表现在以下几个方面:

液态金属在浇注过程中形成氧化物(如 FeO)与铸型材料发生化学反应, 形成低熔点化合物, 如熔融硅酸铁, 渗入砂型(芯)空隙之间, 在铸件表面产生化学粘砂。

采用耐火度高、导热性好的锆砂、镁砂、铬铁矿砂代替石英砂或用上述材料配制的涂料代替石英粉涂料涂覆于型腔表面, 可以避免化学反应而形成化学粘砂。

采用湿型浇注薄壁碳钢铸件、球墨铸铁件和铜合金铸件时, 易在铸件表层 1~2mm 下产生直径 1~3mm, 长 2~10mm 的皮下气孔。铸钢件产生皮下气孔

的原因在于: 钢液与水蒸气接触, 生成氢和氧化铁。其中一部分氢扩散进入钢液, 使外层氢的浓度增加, 氧化铁与钢液中碳反应生成一氧化碳不溶于钢液, 在凝固的金属或夹杂物表面聚集成气泡核心。钢液中析出的氢进入一氧化碳气核中, 使气泡沿晶体方向长大, 形成皮下气孔。严格控制砂型水分, 对钢液进行充分脱氧, 有利于防止皮下气孔产生。采用干砂型或表面烘干型可以杜绝水、蒸汽来源, 也有利于防止皮下气孔产生。

利用液态金属与铸型的物理化学作用, 可以实现铸件表面铸渗, 使铸件表面合金化, 以提高铸件的耐磨性或耐蚀性。通常是将铸渗的合金元素混在砂型面层中, 或作成涂膏(料)涂覆在铸型表层。液态金属浇注到铸型后, 铸渗元素通过扩散进入到金属表面, 达到表面合金化目的。这种铸渗工艺在生产中已得到应用, 具有简单、易行和表面复合改性的特点。

5.3 机械作用

液态金属在浇注和充型过程中由于对铸型表面的冲刷和摩擦, 型腔表层砂粒或涂料可能脱落, 造成砂眼、渣眼、多肉等缺陷。

6 铸件凝固过程的伴生现象

铸件凝固过程将产生一系列伴生现象, 由于溶解气体的析出将产生气孔, 由于溶质的迁移和再分布将形成宏观和微观偏析, 由于凝固收缩将产生缩孔、缩松和热裂, 在收缩和冷却过程中铸件将产生应力和变形。

6.1 铸件中的气孔和夹杂

合金在熔炼过程中, 一些气体将溶解其中, 形成氧化物和氮化物。如合金精炼去气效果不佳, 铸件凝固时将形成气孔和夹杂。

6.1.1 气体对铸件质量的影响

气体在铸件中存在的形态有三种: 原子态、分子态和化合态。表 2-2-7 为不同状态的气体对铸件质量的影响。

表 2-2-7 气体对铸件质量的影响

气体	在液态金属中存在的形态	对铸件质量的影响
氢	氢的原子半径很小, 在所有的铸造合金中以原子状态直接溶解, 形成含有氢的溶液	对铸件极为有害, 在铝合金、铜合金、铸钢及铸铁件中均能形成氢气泡, 在铜合金和铸钢件中也能产生微小裂纹, 如铜铸件的“氢病”。





(续)

气 体	在液态金属中存在的形态	对铸件质量的影响												
氧	在钢铁合金中,以原子状态直接溶解并形成氧化物	各种氧化物在铸件中均能形成氧化夹杂。铸件凝固时,氧化物能在晶界析出,破坏金属基体的连续性和致密性,降低铸件的力学性能、物理性能和化学性能,多数的氧化物能增加铸件的热裂倾向性。钢液脱氧不完全,能使铸钢件产生气孔												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>合 金</th> <th>生 成 氧 化 物</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>碳 钢</td> <td>FeO, MnO, TiO<sub>2</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> 等</td> </tr> <tr> <td>合 金 钢</td> <td>FeO, MnO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></td> </tr> <tr> <td>铸 铁</td> <td>Cu<sub>2</sub>O, ZnO, SnO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, MnO, SiO<sub>2</sub>, PbO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></td> </tr> <tr> <td>铜 合 金</td> <td>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, MgO, TiO<sub>2</sub></td> </tr> <tr> <td>铝 合 金</td> <td>MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, SiO<sub>2</sub></td> </tr> <tr> <td>镁 合 金</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		合 金	生 成 氧 化 物	碳 钢	FeO, MnO, TiO <sub>2</sub> , Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> 等	合 金 钢	FeO, MnO, SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	铸 铁	Cu <sub>2</sub> O, ZnO, SnO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , FeO, MnO, SiO <sub>2</sub> , PbO, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	铜 合 金	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , MgO, TiO <sub>2</sub>	铝 合 金	MgO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MnO, SiO <sub>2</sub>
合 金	生 成 氧 化 物													
碳 钢	FeO, MnO, TiO <sub>2</sub> , Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> 等													
合 金 钢	FeO, MnO, SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>													
铸 铁	Cu <sub>2</sub> O, ZnO, SnO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , FeO, MnO, SiO <sub>2</sub> , PbO, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>													
铜 合 金	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , MgO, TiO <sub>2</sub>													
铝 合 金	MgO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MnO, SiO <sub>2</sub>													
镁 合 金														
氮	在非铁合金中一般不溶解,在铸钢和铸铁中能以原子状态溶解或形成氮化物如 TiN、VN、BN 等	对非铁合金无不良影响,但使铸铁件产生气孔,AlN能使合金钢铸件产生裂纹和石状断口;TiN、VN、BN 在合金钢中能细化晶粒,提高铸件的力学性能												
水蒸气	在各种合金中不能直接溶解,但能与金属反应生成氧化物,并析出氢气。如: $Fe + H_2O \rightarrow FeO + H_2 \uparrow$ $2Al + 3H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 3H_2 \uparrow$ $2Cu + H_2O \rightarrow Cu_2O + H_2 \uparrow$ $Mg + H_2O \rightarrow MgO + H_2 \uparrow$	反应生成的氧化物能促使铸件形成氧化夹杂、热裂和气孔 析出的氢能部分溶解于金属液中,产生气孔或皮下气孔												
二氧化碳	在各种合金中不能直接溶解,但能促使合金中的Al、Si、Mn、Zn等元素氧化,形成氧化物,如: $2Al + 3CO_2 \rightarrow Al_2O_3 + 3CO$ $Si + 2CO_2 \rightarrow SiO_2 + 2CO$	在铸件中形成氧化夹杂												
一氧化碳	在各种合金中都不溶解	—												
二氧化硫	在 Fe-C 合金中不溶解,在铜合金中微量溶解	—												

6.1.2 气体在合金中的溶解和析出

2.2-11 和图 2.2-12。

气体在合金中的溶解包括吸附、离解和扩散三个过程,气体的溶解度受压力、温度和成分的影响。在一定温度下,气体在合金中的溶解度与该气体在合金液面上平衡分压力平方根成正比,如

$$[H] = K_H \sqrt{p_{H_2}}$$

式中 [H] —— 溶液平衡时,氢在合金中的溶解度;  
 $p_{H_2}$  —— 氢在合金液上的分压;  
 $K_H$  —— 氢的平衡常数。

气体在绝大多数合金中的溶解过程是吸热反应,故气体在合金中的溶解度随温度升高而增大,见图

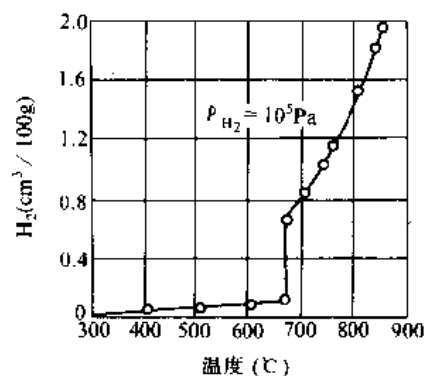


图 2.2-11 氢在纯铝中的溶解度与温度的关系



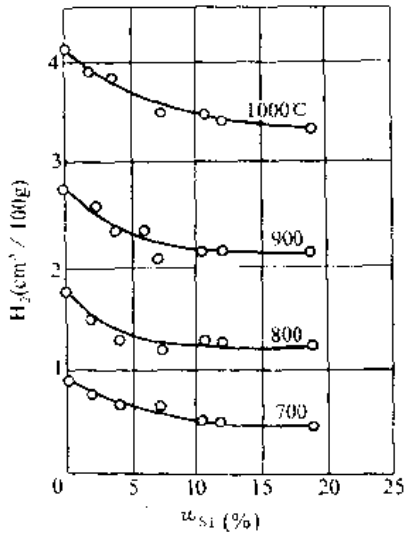


图 2-2-12 包在 Al-Si 合金中的溶解度  
w<sub>Si</sub> 为 Si 的质量分数

### 6.2 铸件的收缩

液态金属浇入铸型后，从浇注温度冷却到常温要经历液态收缩、凝固收缩和固态收缩三个阶段。图 2-2-13 是纯铁和碳钢比容与温度和碳含量的关系，图 2-2-14 是铁碳合金的自由收缩曲线。

表 2-2-8、表 2-2-9 为碳钢与铸铁的凝固收缩率。

铸件中缩孔的容积取决于合金的化学成分，也决定于浇注温度和铸型的冷却条件。合金的液态收缩和凝固收缩越大，缩孔容积越大。灰铸铁凝固期因石墨膨胀，使缩孔容积显著减少（表 2-2-10）。

表 2-2-8 碳钢的凝固收缩率  $\epsilon_{sr}$  (%)

碳含量 (w <sub>C</sub> )	0.10	0.35	0.45	0.70
$\epsilon_{sr}$	2.0	3.0	4.3	5.3

表 2-2-10 几种铁碳合金的缩孔容积

材 料	浇注温度 (°C)	化学成分的质量分数 (%)						缩孔容积 (%)	金属基体组织
		C	Si	Mn	P	S	Mg		
碳 钢	1540	0.24	0.01	0.05	0.05	0.040	—	6.45	铁素体-珠光体
白口铸铁	1250	2.65	1.10	0.48	0.16	0.090	—	5.70	莱氏体-珠光体
灰铸铁	1270	3.23	2.93	0.45	0.11	0.032	—	2.56	铁素体-珠光体
灰铸铁	1290	3.40	4.12	0.60	0.09	0.025	—	1.65	铁素体
灰口球墨铸铁	1290	3.22	3.70	0.51	0.09	0.010	0.060	5.50	珠光体-铁素体

### 6.3 铸件的热裂

铸件凝固期间，因型芯或浇注系统阻碍而不能自由收缩，在铸件内产生收缩应变超过金属在该温度下的断裂应变时，在热节部位将产生热裂。铸件的热裂多

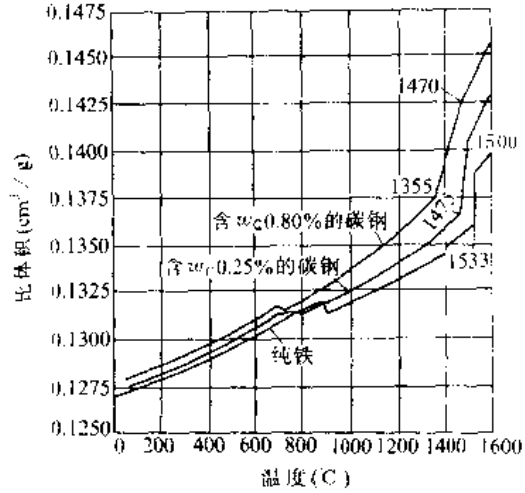


图 2-2-13 纯铁和碳钢比体积与温度和碳含量 (w<sub>C</sub>) 的关系

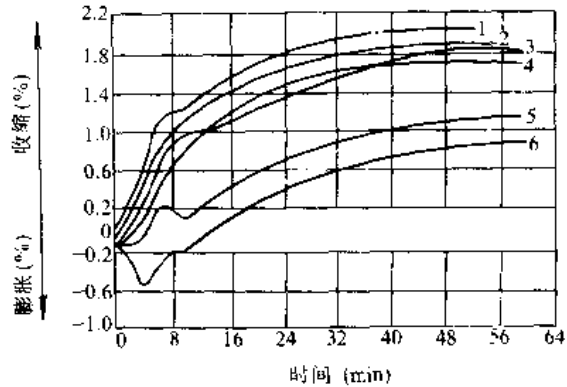


图 2-2-14 Fe-C 合金的自由收缩曲线

- 1—碳钢 2—白口铸铁 3—白口镁球墨铸铁
- 4—硅钢 5—灰铸铁 6—灰口镁球墨铸铁

表 2-2-9 铸铁的凝固收缩率  $\epsilon_{sr}$  (%)

碳含量 (w <sub>C</sub> )	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	
	$\epsilon_{sr}$	白口铸铁	5.1	4.6	4.2	3.7
	灰铸铁	4.3	2.8	1.4	0.1	-1.5

产生在凝固末期，裂缝形状曲折，表面呈氧化色。

凡能扩大有效结晶区间的元素，都促进热裂的形成。硫在钢中能形成低熔点共晶 (935°C)，使固相线下移，扩大有效结晶区间，增加热裂倾向。对钢液充分脱氧，减少非金属夹杂物，降低硫和磷含量，有利于防止热裂。



## 第3章 铸造工艺设计<sup>[4]~[6]</sup>

工艺设计应根据产品结构、技术要求、生产批量及生产条件进行,其内容和程序见表2-3-1。大批量定型产品或特殊重要铸件的工艺设计应订得细致些,单件、小批生产的一般性产品则可简化。

表2-3-1 工艺设计的内容和程序

项 目	内 容	用 途	设 计 程 序
铸 造 工艺图	在零件图上用各色工艺符号表示出:浇注位置和分型面位置、加工余量、缩尺、拔模斜度、预变形曲率(反挠度)、分型负数、工艺补正量、浇冒口系统、内外冷铁、铸筋、型芯形状、数量及芯头大小等	各种批量生产中用作制造模样、模板、生产准备和验收工作的依据	产品零件技术条件和结构分析 选择铸造方法 确定浇注位置和分型面型芯设计 选用工艺参数 设计浇注系统、冒口、冷铁、补贴和铸筋
铸件图	把经过铸造工艺设计后,改变了零件形状、尺寸的地方都反映在铸件图上	成批、大量或重要铸件生产中用作铸件验收和机械加工的依据	在完成铸造工艺图的基础上,画出铸件图
铸 型 装配图 (合箱图)	表示出铸件浇注位置、型芯数量、固定和安装次序、浇冒口和冷铁布置、砂箱结构和尺寸大小等	成批、大量生产重要铸件或重型铸件时用作生产准备、合箱、检验、工艺调整的依据	通常在完成砂箱设计后画出
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及要求	根据批量大小填写必要的内容,作为生产的重要依据	综合整个设计内容

### 1 铸件的工艺分析

#### 1.1 铸件结构分析(参见机械零部件设计卷第2篇第2章)

#### 1.2 造型、制芯方法及铸型种类的选择(参见本篇第1章2节、第4章)

#### 1.3 浇注位置和分型面的确定

浇注位置与分型面的选择密切相关。通常分型面取决于浇注位置的选定,既要保证质量,又要简化造型工艺。但对质量要求不很严格的支架类铸件,应以简化造型工艺为主,先选定分型面。

##### 1.3.1 浇注位置选定原则

(1) 铸件的重要加工面或主要工作面应处于底面或侧面,避免该部位出现气孔、砂眼、缩松、缩孔等缺

陷。对于体收缩大的合金铸件,为放置冒口和毛坯修整方便,重要加工面或主要工作面可以朝上。

(2) 铸件的大平面尽可能朝下或采用倾斜浇注,避免夹砂和夹渣缺陷,也有利于排气、减小铁液对铸型的冲刷力。

(3) 将铸件的薄壁部分放在铸型的下部或侧面,以免产生浇不足、冷隔等。

##### 1.3.2 分型面选定原则

(1) 铸件加工面和加工基准面尽量放在同一砂箱中,以保证铸件的尺寸精度。

(2) 尽量减少分型面的数量。机器造型时,通常只有一个分型面,并力求采用平分型面代替特殊形状的分型面(图2-3-1)。

(3) 一般取在铸件的最大截面上,以便顺利取出模样。尽量减少型芯或活块的数量。注意减低砂箱高度,便于起模和修型。

(4) 为了有利于下芯、合箱和便于检查型腔尺寸,



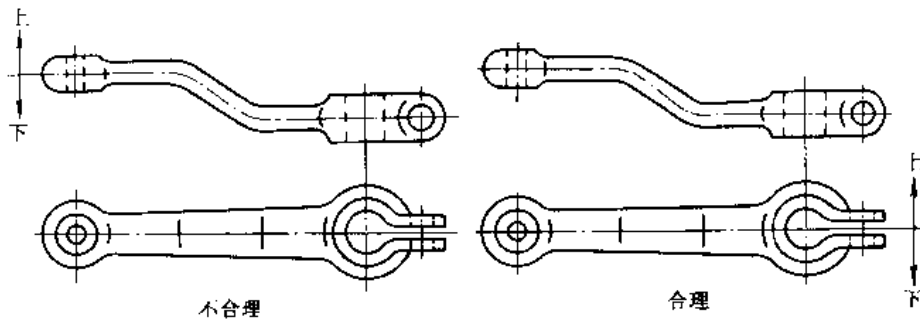


图 2-3-1 起重臂分型面的选择

通常把主要型芯放在下半铸型中。

### 1.4 型芯设计原则

型芯设计包括型芯的划分(选定形状和数目)和芯头设计两部分。型芯的划分,主要取决于铸件的结构和铸造工艺方案。

(1) 尺寸大、结构复杂的型芯,可分块制作,如加热炉砂封槽型芯(图 2-3-2)。型芯的划分应使制芯、烘干、下芯、合箱、尺寸检查和型芯的排气等过程方便。铸件内腔尺寸精度要求严格的部位,最好由一个型芯形成。若为了保证铸件某一部分的精度,也可将型芯分块,如图 2-3-3 所示的铸件,下部窗孔位置要求准确,单独用 1# 型芯,可不受上部 2# 型芯错动的影响。

(2) 型芯分块时,应保证每个型芯有足够的强度,并使下芯稳固(图 2-3-4)。

(3) 尽量减少型芯的数量。在单件、小批生产的手工造型中,可用活块代替型芯(图 2-3-5)。

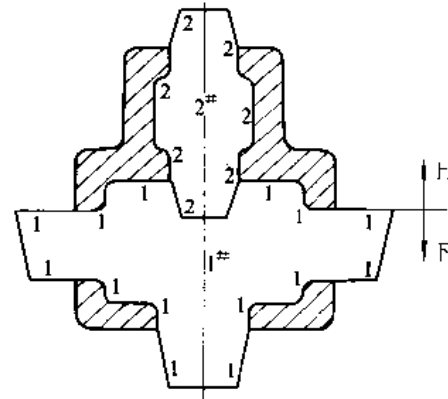


图 2-3-4 下芯稳固的分块型芯

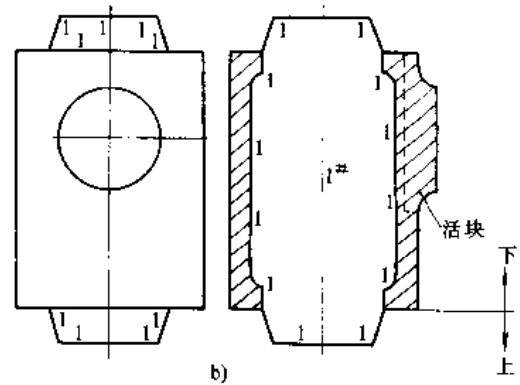
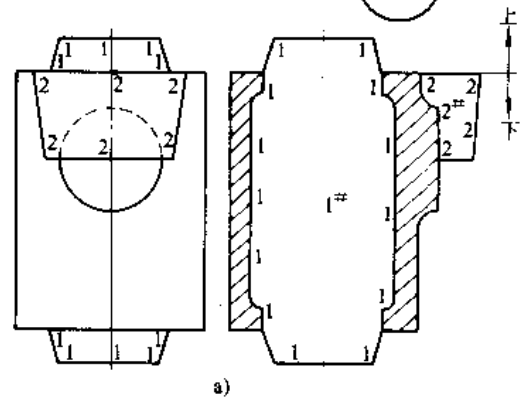


图 2-3-5 带凸台的筒状铸件

a) 适用于机器造型 b) 适用于手工造型

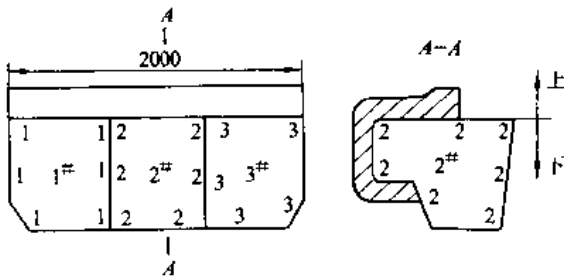


图 2-3-2 分块型芯 (一)

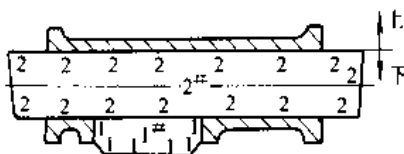


图 2-3-3 分块型芯 (二)



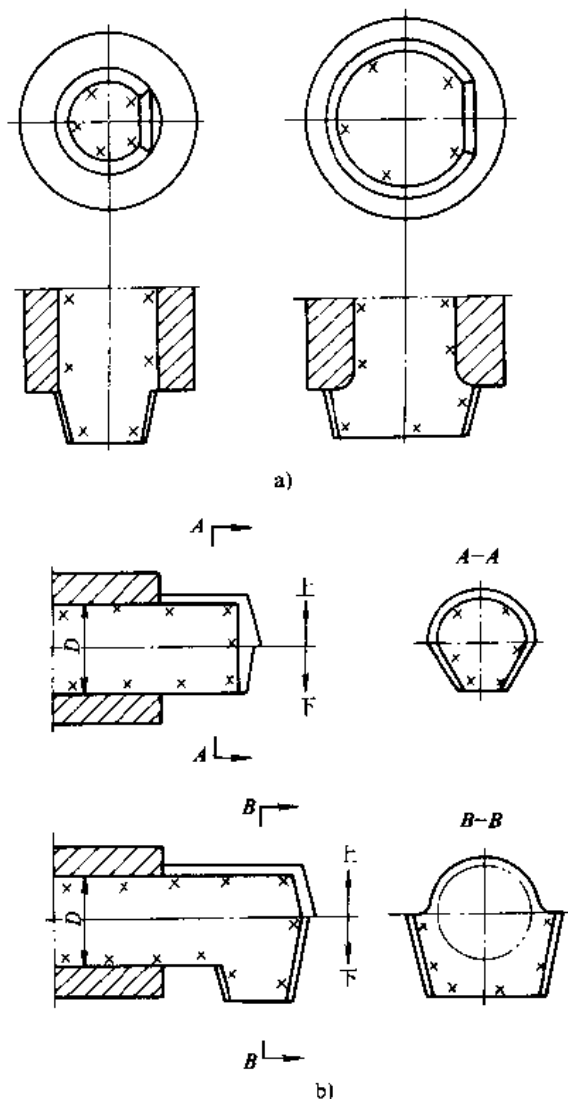


图 2-3-6 芯头定位结构实例

a) 防止转动(直立式) b) 防止转动和移动(水平式)

表 2-3-2 成批和大量生产的铸件尺寸公差等级 (GB6414—86)

铸造方法	公差等级 CT								
	铸 钢	灰 铸 铁	球 墨 铸 铁	可 锻 铸 铁	铜 合 金	锌 合 金	轻 金 属 合 金	镍 基 合 金	钴 基 合 金
砂型手工造型	11~13	11~13	11~13	11~13	10~12		9~11		
砂型机器造型 及壳型	8~10	8~10	8~10	8~10	8~10		7~9		
金属型		7~9	7~9	7~9	7~9	7~9	6~8		
低压铸造		7~9	7~9	7~9	7~9	7~9	6~8		
压力铸造					6~8	4~6	5~7		
熔模铸造	5~7	5~7	5~7		4~6		4~6	5~7	5~7

注：若通过对设备和工装的改进、调整和维修，严格控制型芯位置，可获得比表中所列更高的等级。

(4)要求定位严格或下芯时易搞错方位的型芯,芯头需有一定的定位结构。图 2-3-6为直立式和水平式芯头定位结构实例。为使下芯与合箱方便,芯头与芯座之间一般都留有一定的间隙。

(5)悬臂型芯尽量采用一箱多件的办法(图 2-3-7),使几个铸件共用一个芯头,以增加型芯的稳定性。

(6)铸件模样用型芯头的基本尺寸和定位形式见 JB/T5106—91。

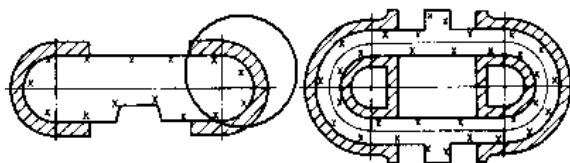


图 2-3-7 悬臂型芯设计

## 2 主要工艺参数

### 2.1 铸件尺寸公差

铸件的尺寸公差取决于铸件设计要求的精度、机械加工要求、铸件大小和批量,采用的铸造合金种类、铸造设备及工装、铸造工艺方法等。铸件尺寸公差(CT)等级分为16级,各级公差数值见GB6414—86。

铸件尺寸公差等级的选用,按生产批量划分,成批和大量生产铸件的尺寸公差等级见表 2-3-2;小批和单件生产铸件的尺寸公差等级见表 2-3-3。



表 2-3-3 小批和单件生产的铸件尺寸公差等级 (GB6414-86)

铸型种类	公差等级 CT					
	铸 钢	灰 铸 铁	球 墨 铸 铁	可 锻 铸 铁	铜 合 金	轻 金 属 合 金
干、湿砂型	13~15	13~15	13~15	13~15	13~15	11~13
自硬砂型	12~14	11~13	11~13	11~13	10~12	10~12

注：表中数值一般适用于 $>25\text{mm}$ 的铸件基本尺寸，对 $<25\text{mm}$ 的铸件基本尺寸，公差等级可适当提高。

## 2.2 铸件重量公差

铸件重量公差是以占铸件公称重量的百分比为单位的铸件重量变动的允许范围。它取决于铸件公称重量(包括机械加工余量和其他工艺余量)、生产批量、采用的铸造合金种类及铸造工艺方法等因素。铸件重量公差(MT)等级分为16级，各级公差数值见GB/T11351-89。标注方法如下：

如重量公差等级为10级，重量公差的上、下偏差相同时，标注为：GB/T11351-89MT10级；重量公差的上、下偏差不同时，标注为：GB/T11351-89MT10/8级。

成批和大量生产的铸件重量公差等级按表2-3-4选取，小批和单件生产的铸件重量公差等级按表2-3-5选取。重量公差应与尺寸公差对应选取。

表 2-3-4 成批和大量生产的铸件重量公差等级 (GB/T11351-89)

铸造方法	重量公差等级 MT								
	铸 钢	灰 铸 铁	球 墨 铸 铁	可 锻 铸 铁	铜 合 金	锌 合 金	轻 金 属 合 金	镍 基 合 金	钴 基 合 金
砂型手工造型	11~13	11~13	11~13	11~13	10~12		9~11		
砂型机器造型 及壳型	8~10	8~10	8~10	8~10	8~10		7~9		
金属型		7~9	7~9	7~9	7~9	7~9	6~8		
低压铸造		7~9	7~9	7~9	7~9	7~9	6~8		
压力铸造					6~8	4~6	5~7		
熔模铸造	5~7	5~7	5~7		4~6		4~6	5~7	5~7

表 2-3-5 小批和单件生产的铸件重量公差等级 (GB/T11351-89)

铸型种类	重量公差等级 MT					
	铸 钢	灰 铸 铁	球 墨 铸 铁	可 锻 铸 铁	铜 合 金	轻 金 属 合 金
干、湿型砂	13~15	13~15	13~15	13~15	13~15	11~13
自硬砂	12~14	11~13	11~13	11~13	10~12	10~12

## 2.3 铸件加工余量

铸件需要加工的表面都要留加工余量(MA)。加工余量数值根据选择的铸造方法、合金种类、生产批量和铸件基本尺寸的大小来确定，其等级由精到粗分为A、B、C、D、E、F、G、H和J共9个等级，与《铸件尺寸公差》配套使用。铸件机械加工余量数值见

GB/T11350-89。标注方法如下：

如尺寸公差为10级，底、侧面加工余量等级为G、顶面加工余量等级为H时，标注为：GB/T11350-89CT10 MA H/G。

成批和大量生产的铸件机械加工余量等级列于表2-3-6，小批和单件生产的铸件机械加工余量等级列于表2-3-7。



表 2-3-6 成批和大量生产的铸件机械加工余量等级 (GB/T11350-89)

铸造方法	尺寸公差等级 CT								
	加工余量等级 MA								
	铸 钢	灰 铸 铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铜 合 金	锌 合 金	轻金属合金	镍基合金	钴基合金
砂型手工造型	$\frac{11\sim13}{J}$	$\frac{11\sim13}{H}$	$\frac{11\sim13}{H}$	$\frac{10\sim12}{H}$	$\frac{10\sim12}{H}$		$\frac{9\sim11}{H}$		
砂型机器造型及壳型	$\frac{8\sim10}{H}$	$\frac{8\sim10}{G}$	$\frac{8\sim10}{G}$	$\frac{8\sim10}{G}$	$\frac{8\sim10}{G}$		$\frac{7\sim9}{G}$		
金属型		$\frac{7\sim9}{F}$	$\frac{7\sim9}{F}$	$\frac{7\sim9}{F}$	$\frac{7\sim9}{F}$	$\frac{7\sim9}{F}$	$\frac{6\sim8}{F}$		
低压铸造		$\frac{7\sim9}{F}$	$\frac{7\sim9}{F}$	$\frac{7\sim9}{F}$	$\frac{7\sim9}{F}$	$\frac{7\sim9}{F}$	$\frac{6\sim8}{F}$		
压力铸造					$\frac{6\sim8}{D}$	$\frac{4\sim6}{D}$	$\frac{5\sim7}{D}$		
熔模铸造	$\frac{5\sim7}{D}$	$\frac{5\sim7}{D}$	$\frac{5\sim7}{D}$		$\frac{4\sim6}{E}$		$\frac{4\sim6}{E}$	$\frac{5\sim7}{E}$	$\frac{5\sim7}{E}$

表 2-3-7 小批和单件生产的铸件机械加工余量等级 (GB/T11350-89)

铸 型 种 类	尺寸公差等级 CT					
	加工余量等级 MA					
	铸 钢	灰 铸 铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铜 合 金	轻金属合金
干、湿砂型	$\frac{13\sim15}{J}$	$\frac{13\sim15}{H}$	$\frac{13\sim15}{H}$	$\frac{13\sim15}{H}$	$\frac{13\sim15}{H}$	$\frac{11\sim13}{H}$
白硬砂型	$\frac{12\sim14}{J}$	$\frac{11\sim13}{H}$	$\frac{11\sim13}{H}$	$\frac{11\sim13}{H}$	$\frac{10\sim12}{H}$	$\frac{10\sim12}{H}$

2.4 铸造收缩率

常用合金的铸造收缩率见表 2-3-8。由于铸件各部分收缩阻力不同,起模、烘型和浇注过程可能改变型

腔的尺寸,故表中数据应通过实践加以修正。对结构复杂或精度要求较高的铸件,模样尺寸必须经过多次尺寸定型实验来确定。

表 2-3-8 铸造合金线收缩率

铸 件 种 类		收 缩 率 (%)	
		阻碍收缩	自由收缩
灰 铸 铁	中小型铸件	0.8~1.0	0.9~1.1
	大中型铸件	0.7~0.9	0.8~1.0
	特大型铸件	0.6~0.8	0.7~0.9
球墨铸铁	珠光体球墨铸铁件	0.6~0.8	0.9~1.1
	铁素体球墨铸铁件	0.4~0.6	0.8~1.0
蠕墨铸铁	蠕墨铸铁件	0.6~0.8	0.8~1.2
可锻铸铁	黑心可锻铸铁件 壁厚>25mm 壁厚<25mm	0.5~0.6	0.6~0.8
		0.6~0.8	0.8~1.0
	白心可锻铸铁件	1.2~1.8	1.5~2.0
铸 钢	碳钢与低合金结构钢铸件	1.3~1.7	1.6~2.0
	奥氏体、铁素体钢铸件	1.5~1.9	1.8~2.2
	纯奥氏体钢铸件	1.7~2.0	2.0~2.3



(续)

铸件种类		收缩率 (%)	
		阻碍收缩	自由收缩
非铁合金	锡青铜铸件	1.2~1.4	1.4~1.6
	铅青铜铸件	1.2~1.4	1.4~1.6
	铝青铜铸件	1.4~1.6	1.6~2.2
	锌黄铜铸件	1.5~1.7	1.8~2.0
	硅黄铜铸件	1.6~1.7	1.7~1.8
	锰黄铜铸件	1.8~2.0	2.0~2.3
	含硅的铝基合金铸件	0.8~1.0	1.0~1.2
	铝铜合金铸件	1.1~1.3	1.3~1.5
	铝镁合金铸件	0.9~1.1	1.2~1.4
	铝锌合金铸件	1.0~1.2	1.2~1.4
	镁合金铸件	1.1~1.3	1.5~1.7

注：1. 对于手工造型的灰铸铁和球墨铸铁小件以及薄壁大芯的可锻铸铁中小件可以不留缩尺。

2. 珠光体可锻铸铁件的线收缩率可在黑心与白心可锻铸铁件之间选取。

### 2.5 铸件模样起模斜度

起模斜度的形式有三种，如图 2·3-8 所示。采用粘土砂造型时，模样外表面的起模斜度值见表 2·3-9。粘

土砂造型时，模样凹处内表面的起模斜度值见表 2·3-10。采用自硬砂造型时，模样外表面的起模斜度值见表 2·3-11。起模斜度可选倾斜角  $\alpha$  或尺寸  $a$  表示，根据生产实际任选一种。

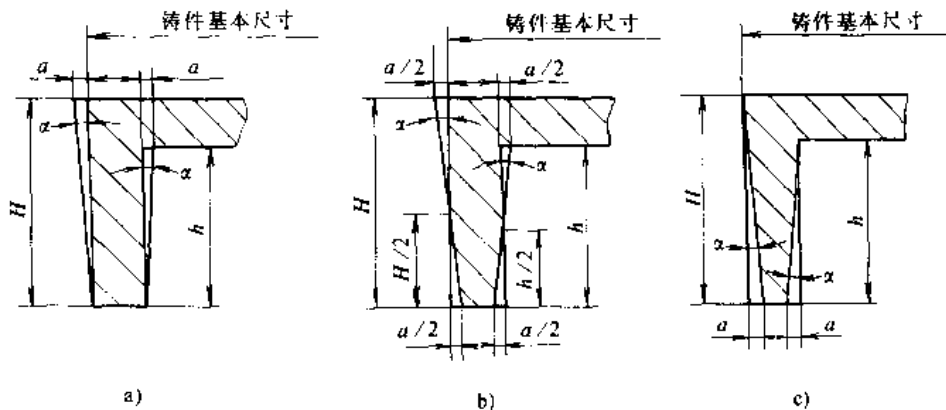


图 2·3-8 起模斜度示意图

a) 增加铸件尺寸 b) 增加和减少铸件尺寸 c) 减少铸件尺寸

表 2·3-9 粘土砂造型时，模样外表面的起模斜度值 (JB/T5105—91)

测量面高度 $H$ (mm)	起模斜度 $\leq$			
	金属模样、塑料模样		木模样	
	$a$	$a$ (mm)	$a$	$a$ (mm)
$\leq 10$	$2^{\circ}20'$	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





(续)

测量面高度 $H$ (mm)	起模斜度 $\leq$			
	金属模样、塑料模样		木模样	
	$\alpha$	$a$ (mm)	$\alpha$	$a$ (mm)
>250~400	0°20'	2.4	0°25'	3.0
>400~630	0°20'	3.8	0°20'	3.8
>630~1000	0°15'	4.4	0°20'	5.8
>1000~1600	—	—	0°20'	9.2
>1600~2500	—	—	0°15'	11.0
>2500	—	—	0°15'	—

表 2-3-10 粘土砂造型时, 模样凹处内表面的起模斜度值 (JB/T5105—91)

测量面高度 $h$ (mm)	起模斜度 $\leq$			
	金属模样、塑料模样		木模样	
	$\alpha$	$a$ (mm)	$\alpha$	$a$ (mm)
$\leq 10$	4°35'	0.8	5°45'	1.0
>10~40	2°20'	1.6	2°50'	2.0
>40~100	1°05'	2.0	1°15'	2.2
>100~160	0°45'	2.2	0°55'	2.6
>160~250	0°40'	3.0	0°45'	3.4
>250~400	0°40'	4.6	0°45'	5.2
>400~630	0°35'	6.4	0°40'	7.4
>630~1000	0°30'	8.8	0°35'	10.2
>1000	—	—	0°35'	—

注: 当凹处过深时, 可用活块或型芯形成。

表 2-3-11 自硬砂造型时, 模样外表面的起模斜度值 (JB/T5105—91)

测量面高度 $H$ (mm)	起模斜度 $\leq$			
	金属模样、塑料模样		木模样	
	$\alpha$	$a$ (mm)	$\alpha$	$a$ (mm)
$\leq 10$	3°30'	0.6	4°00'	0.8
>10~40	1°50'	1.4	2°05'	1.6
>40~100	0°50'	1.6	0°55'	1.6
>100~160	0°35'	1.6	0°40'	2.0
>160~250	0°30'	2.2	0°35'	2.6
>250~400	0°30'	3.6	0°35'	4.2
>400~630	0°25'	4.6	0°30'	5.6
>630~1000	0°20'	5.8	0°25'	7.4
>1000~1600	—	—	0°25'	11.6
>1600~2500	—	—	0°25'	18.2
>2500	—	—	0°25'	—

注: 模样凹处内表面的起模斜度值允许按表中数值增加 50%, 当凹处过深时, 可用活块或型芯形成。



### 3 浇注系统设计

浇注系统一般由浇口杯、直浇道、横浇道和内浇道组成(图2-3-9)。

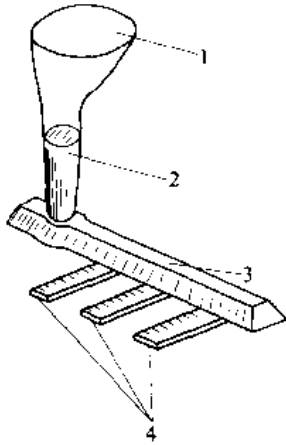


图2-3-9 浇注系统

1—浇口杯 2—直浇道 3—横浇道 4—内浇道

浇注系统的设计,除包括浇注时间、直浇道高度、最小断面的截面积、各单元断面比例、金属液的上升速度等参数的计算与选择外,还应设法提高其去除非金属夹杂物的净化功能。设计原则为:

(1) 保证金属液平稳、均匀地充满型腔,阻止熔渣和气体随金属液流通过。

(2) 合理地选择金属的引入位置,以保证合理的温度分布,减少对铸型的损坏,减少和消除铸件的缩孔、缩松与内应力。

#### 3.1 金属引入位置

应根据铸件的凝固特点确定金属液的引入位置。一般壁厚均匀的铸件多采用同时凝固原则;体收缩较大的铸钢、可锻铸铁和非铁合金等铸件多采用顺序凝固原则;灰铸铁和球墨铸铁件宜采用均衡凝固原则。

(1) 同时凝固原则。内浇道应开设在铸件的薄壁处,在局部厚的地方可以加放内、外冷铁。对于尺寸大的薄壁铸件应采用数个分散的内浇道,均匀地引入金属液。

(2) 顺序凝固原则。内浇道应开设在铸件的厚壁处,最好采用浇口通过冒口的形式。

(3) 均衡凝固原则<sup>[7]</sup>。灰铸铁和球墨铸铁在冷却、凝固过程中,既有液态收缩、凝固收缩,又有石墨析出而产生的膨胀,所以,铸件表现出来的收缩值实质上是

膨胀—收缩相抵的结果。在凝固过程前期,石墨化膨胀量小,膨胀相抵后,表现为收缩,凝固过程后期,石墨化膨胀量大,膨胀相抵后,表现为膨胀,膨胀正好相抵的这点称为均衡点。即在均衡点之前,必须有外部补缩,而在均衡点之后,铸件靠自身石墨化补缩,浇、冒口系统皆失去补缩作用。因此,铸铁件浇、冒口系统不必要晚于铸件凝固,冒口和内浇道也不宜开在热节上,以免造成热量积聚,而应设在靠近热节的部位。

#### 3.2 浇注系统的类型及其选用

##### 3.2.1 浇注系统特点及应用

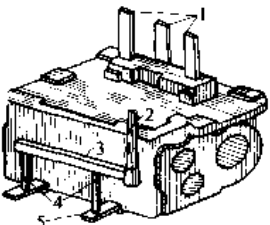
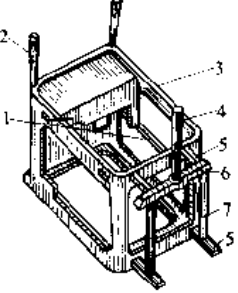
一般形式的浇注系统特点及应用见表2-3-12。对形状特殊或有特殊要求的铸件则采用特殊形式的浇注系统,如雨淋式、压边式、集渣包式、楔形式和牛角式等。

表2-3-12 一般形式的浇注系统特点及应用

注 入 形 式	特 点	应 用
<p>1—直浇道 2—浇口杯 3—出气孔 4—内浇道 5—横浇道</p>	由分型面注入,造型操作方便	各种合金和结构复杂的小型铸件,尤其适用壁厚均匀的矮小件
<p>1—出气孔 2—浇口杯 3—直浇道 4—铸件</p>	金属液自上注入,可防浇不足、冷隔,自上而下顺序凝固,利于补缩,构造简单,但铸件太高时,易产生砂眼、铁豆、气孔、氧化皮等缺陷	简单矮小的铸件和要求致密、顶部补缩的中小厚铸件



(续)

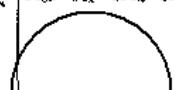
注入形式	特点	应用
 <p>1—出气片 2—直浇道 3—横浇道 4—分支直浇道 5—内浇道</p>	<p>金属液进入型腔平稳,冲击力小,不易氧化,排气容易。薄壁铸件不易充满,补缩不良,高的铸件易产生氧化皮,造成夹渣、冷隔等缺陷</p>	<p>易氧化的非铁合金及铸钢件以及要求较高和形状复杂的铸铁件</p>
 <p>1—加强筋 2—出气孔 3—铸件 4—直浇道 5—内浇道 6—横浇道 7—分支直浇道</p>	<p>充型平稳,热金属液集中在上部,有利补缩,减轻铸型局部过热,但金属消耗多,造型较麻烦</p>	<p>形状复杂和高大的铸件</p>

3.2.2 浇注系统各单元断面间的关系型式、特点及应用 (表 2.3-13)

表 2.3-13 浇注系统各单元断面间的关系型式、特点和应用

型式	特点	应用
<p>开放式 <math>A_r &lt; A_k &lt; A_n</math></p>	<p>充型平稳,冲刷力小,但易带入熔渣和气体</p>	<p>镁合金底注式 锡青铜大中件,底注式铝合金大中件 铸钢件漏包浇注式 1t 以上灰铸铁件</p>
<p>封闭式 <math>A_r &gt; A_k &gt; A_n</math></p>	<p>充型迅速,呈有压流动状态,有一定挡渣作用,冲刷力大</p>	<p>灰铸铁大、中、小件,湿型、干型 可锻铸铁件</p>

(续)

型式	特点	应用
<p>半封闭式 <math>A_k &gt; A_r &gt; A_n</math></p>	<p>系统中呈充满状态,撇渣能力强, <math>A_r &lt; A_k</math>, 对铸型冲刷力小</p>	<p>灰铸铁件,表面干型 锡青铜件,雨淋式浇注系统 薄壁球墨铸铁小件,底注式</p>
<p>封闭—开放式 <math>A_k &gt; A_r &lt; A_k &lt; A_n</math> 或 <math>A_r &gt; A_{rv} &lt; A_n &lt; A_k</math></p>	<p>在横浇道阻流片处封闭,靠阻流片挡渣,后段开放,充型平稳</p>	<p>成批或大量流水线生产</p>
<p>封闭—开放式 <math>A_b &gt; A_r &lt; A_k &lt; A_n</math></p> 	<p>在直浇道根部处封闭,靠浇口杯挡渣,后段开放,充型平稳</p>	<p>易于产生熔渣的合金,大量生产的中、小铸件</p>
<p>封闭—开放式 <math>A_b &gt; A_r &gt; A_j &lt; A_k &lt; A_n</math></p>	<p>在集渣包处封闭,靠集渣包挡渣,后段开放,充型平稳</p>	<p>重要的大、中型铸件</p>

注:  $A_r$ 、 $A_k$ 、 $A_n$ 、 $A_{rv}$ 、 $A_b$ 、 $A_j$  分别为直浇道、横浇道、内浇道、阻流片、浇口杯根部、集渣包出口处的总截面积。

3.3 浇注系统各部分尺寸的确定

3.3.1 铸铁件浇注系统

1. 最小断面总截面积  $A_{min}$  的理论公式计算 浇注系统可近似地看成是一个液体流动的管道,液态金属为流体,按流体的流动规律和能量方程式,经过简化得到

$$A_{min} = \frac{m}{0.31t\mu\sqrt{H_p}} \quad (\text{cm}^2)$$

$$H_p = H_0 - \frac{P^2}{2c} \quad (\text{cm})$$

式中  $m$ ——铸型中铁液总质量,即铸件与浇冒口质量之和(表 2.3-14)(kg);  
 $t$ ——浇注时间(s)(表 2.3-15);  
 $\mu$ ——流量系数(表 2.3-16);  
 $H_p$ ——平均静压力头(cm)(图 2.3-10);  
 $H_0$ ——浇口杯水平面至内浇道的距离(cm);  
 $P$ ——内浇道至铸件最高点的距离(cm);  
 $c$ ——铸件在铸型中的总高度(cm)。



表 2-3-14 铸件浇冒口质量占铸件质量的比例参考数值 (%)

铸件质量 (kg)	大量流水线生产	成批生产	单件小批生产
<100	20~25	20~30	25~35
100~1000	15~20	15~20	20~25
>1000	—	10~15	10~20

注：1. 球墨铸铁件可按 20%~50% 选取。  
2. 可锻铸铁件按 50% 选取。

表 2-3-15 浇注时间  $t$  的计算公式

铸件质量 (kg)	计算公式	经验系数			
		$\delta$ (mm)	3~5	6~8	9~15
<100	$t = S \sqrt{m}$ (s)	$S$	1.6	1.9	2.2
100~1000	$t = S_1 \sqrt[3]{\delta m}$ (s)	一般取 $S_1 = 1.5 \sim 2.0$ , 需快浇时取 $S_1 = 1.7 \sim 1.9$			
>1000	$t = S_2 \sqrt{m}$ (s)	$\delta$ (mm)	$\leq 10$	11~20	21~40 >40
		$S_2$	1.1	1.4	1.7 1.9

注：1.  $S, S_1, S_2$ ——经验系数； $\delta$ ——铸件平均壁厚。  
2. 与铁液面上升速度（表 2-3-17）校核，相差很大时，须调整经验系数。

表 2-3-16 流量系数  $\mu$  的参考数值

铸型种类	铸型内阻力		
	大	中	小
湿型	0.35	0.42	0.50
干型	0.41	0.48	0.60

注：雨淋式浇注系统  $\mu = 0.75$ 。

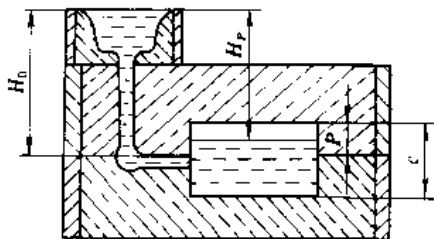


图 2-3-10 平均静压力头计算示意图

表 2-3-17 一般允许铁液的最小上升速度  $v$  范围的参考数值

公 式	铸件平均壁厚 (mm)	上升速度 $v$ (mm/s)
$v = \frac{c}{t}$	>40 或大型平面铸件水平浇注时	5~15
式中 $c$ ——铸件高度 (mm) $t$ ——浇注时间 (s)	40~10	10~20
	10~4	20~30
	<4	30~100

2. 最小断面总面积的经验公式计算(表 2-3-18)

表 2-3-18 最小断面总面积的经验公式计算

经验公式	$A_{min} = \frac{x \sqrt{m_j}}{\sqrt{H_P}}$ (cm <sup>2</sup> )			$A_{min} = x \sqrt{m_j}$ (cm <sup>2</sup> )		
铸件平均壁厚 (mm)	3~5	6~8	9~15	$\leq 15$	16~30	31~60
经验系数 $x$	5.8	4.9	4.3	0.7	0.6	0.5
应用范围	形状复杂及薄壁的中、小型铸件 $m_j < 400\text{kg}$			形状简单的中、大型铸件 $m_j > 100\text{kg}$ 雨淋式浇口可用		

注： $m_j$ ——铸件质量(kg)；  
 $H_P$ ——平均静压力头(cm)。

3-3-2 铸钢件浇注系统

与铸铁相比，铸钢熔点高、易氧化、流动性差、收缩大，故容易产生粘砂、缩孔、缩松、裂纹、变形等缺陷。为此，浇口断面尺寸和浇注速度相对地都要增大。铸钢件通常采用漏包浇注，大量生产的小型铸钢件则采用转包浇注。

用漏包浇铸钢件的浇注系统尺寸，多以经验确定。中、大件一般采用一定规格的成型耐火砖管(当铸件质量  $< 5t$  时，一般直浇道仍用耐火砖管，而横、内浇道可用手工挖出)。

1. 包孔直径的选择 包孔大小通常与钢包容量相对应，见表 2-3-19。包孔断面与浇注系统各单元断面之间的经验比例为：

$$A_k : A_c : A_h : A_n = 1 : (1.8 \sim 2.0) : (1.8 \sim 2.0) : 2.0$$

式中  $A_k$ ——包孔截面积。



表 2-3-19 钢包容量与包孔直径

钢包容量 (t)	包孔直径 (mm)	钢包容量 (t)	包孔直径 (mm)
3	30~35	12	40~60
5	35~45	30	45~70
8	35~50	40	50~80
10	35~55	90	55~100

2. 浇注时间  $t$  的计算

$$t = \frac{m}{Nnq_m} \quad (s)$$

式中  $m$ ——铸件质量(kg);  
 $N$ ——同时浇注的浇包数;  
 $n$ ——每个浇包的包孔数;  
 $q_m$ ——钢液的质量流量(kg/s),其值可参照表 2-3-20。

为避免烤坏铸型,钢液在铸型中的上升速度不应过小(表 2-3-21)。否则,应调整包孔直径或数量。

表 2-3-20 钢液的质量流量与包孔直径之间的关系

包孔直径(mm)	30	35	40	45	50	55	60	70	80	100
质量流量 $q_m$ ①(kg/s)	15	20	27	42	55	72	90	120	150	195

①  $q_m$  指包孔全开时的平均质量流量。

表 2-3-21 钢液在铸型中的上升速度

铸件质量(t)	≤5			>5~15			>15~35			>35~65			>65~100			>100		
	复杂	一般	简单	复杂	一般	简单	复杂	一般	简单	复杂	一般	简单	复杂	一般	简单	复杂	一般	简单
上升速度 $v \geq$ (mm/s)	25	20	15	20	15	10	16	12	8	14	10	6	12	8	5	10	7	4

- 注: 1. 对于立浇铸件, 钢液上升速度可按表中复杂件数值选取。  
 2. 对于齿轮类铸件, 钢液上升速度可按表中简单件数值选取。  
 3. 对于平板、平台类铸件, 钢液上升速度可按表中简单件数值降低 20%~30% 选取。  
 4. 对于大型合金钢铸件或试压铸件, 钢液上升速度可比表中数值增加 30%~50%。

3-3-3 铝合金铸件浇注系统

铝合金密度小、导热快、铝液表面张力大、收缩大、易氧化, 要求浇注十分平稳、充填时间短、撇渣能力强。浇注系统通常采用底注开放式或缝隙式(图 2-3-11)。为了减少冲击、防止吸气, 直浇道可倾斜  $10^\circ \sim 15^\circ$ (图 2-3-12), 或采用蛇形直浇道(图 2-3-11)。

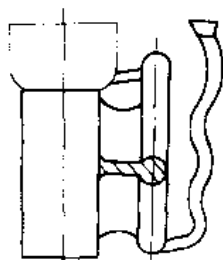


图 2-3-11 缝隙式浇口及蛇形直浇道

铝合金铸件浇注系统最小断面总截面积  $A_{mb}$  的确定见表 2-3-22。

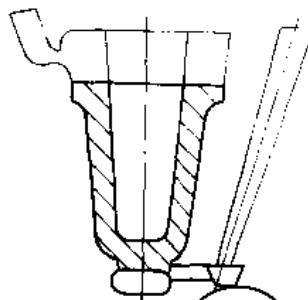


图 2-3-12 倾斜直浇道

圆形直浇道的直径一般为  $10 \sim 20\text{mm}$  (蛇形浇道的直径可略大于  $20\text{mm}$ )。当直浇道太大时, 容易出现漩涡和吸气现象。对尺寸较大的铸件, 可选用数个扁形直浇道。为防止夹渣缺陷, 可在浇注系统中设置过滤器。



表 2-3-22 铝合金铸件浇注系统最小断面总面积  $A_{min}$  的确定

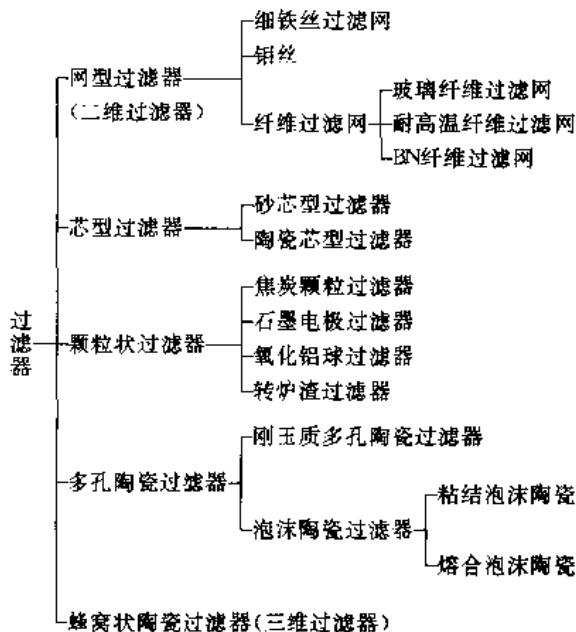
公 式	铝液总质量 $m$ (kg)		系 数 $K$	浇注时间 $t=S\sqrt[3]{m}$	
	铸件无冒口时	铸件有冒口时		铸件平均壁厚 $\delta$ (mm)	经验系数 $s$
$A_{min} = \frac{m}{Kt\sqrt{H_F}}$ (cm <sup>2</sup> )	(1.1~1.3) $m_j$	(1.5~2) $m_j$	一般取 0.04 ~ 0.07, 当铸型内阻力大时, 取下限值	<6	3.0
				6~10	3.2
				10~15	3.6
				>15	4.0

注:  $A_{min}$  一般指直浇道, 平均压力头  $H_F$  值参考铸铁部分。

### 3.4 过滤器应用

在浇注系统中设置过滤器, 是净化金属熔液的重要工艺措施。可提高铸件质量, 降低铸件废品率和成本。

#### 3.4.1 过滤器的种类



$$A_1 = \frac{A_2}{ab} \quad (\text{cm}^2)$$

式中  $A_2$  —— 未放过滤网原浇注系统截面面积 (cm<sup>2</sup>);  
 $a$  —— 过滤网的孔隙率, 一般为 40%~70%;  
 $b$  —— 过滤网的过滤效率, 一般为 60%~80%。

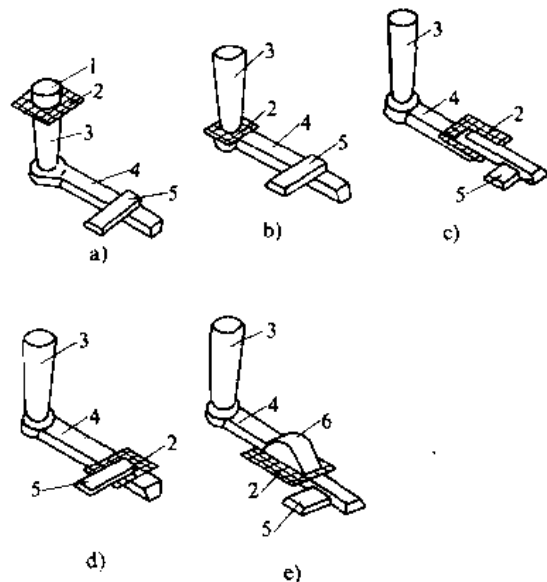


图 2-3-13 过滤网放置位置

- a) 浇口杯下 b) 直浇道与横浇道的交接处
- c) 横浇道与横浇道的交接处 d) 横浇道与内浇道的交接处 e) 集渣包与横浇道的交接处
- 1—浇口杯 2—过滤网 3—直浇道
- 4—横浇道 5—内浇道 6—集渣包

目前, 纤维过滤网和泡沫陶瓷过滤器应用较多。

#### 3.4.2 纤维过滤网的应用

玻璃纤维过滤网适用于过滤铝合金铸件; 耐高温纤维过滤网适用于过滤铸铁、铸钢和铜合金铸件。

1. 过滤网在浇注系统中的位置 过滤网放置位置如图 2-3-13 所示。一般尽量把过滤网放在分型面上, 便于操作; 过滤网离铸件越近, 过滤效果越好。

2. 放过滤网处浇注系统截面面积  $A_1$  的计算 为了避免因浇道阻力增加造成铸件浇不足缺陷, 应适当扩大过滤网处的浇注系统截面面积, 用公式表示:

#### 3.4.3 泡沫陶瓷过滤器的应用

粘结泡沫陶瓷适用于过滤铝合金铸件; 熔合泡沫陶瓷适用于过滤铸铁、铸钢和铜合金铸件。

1. 泡沫陶瓷过滤器在浇注系统中的位置 泡沫

摘自叶荣茂编著. 铸造合金过滤技术. 沈阳: 机械系统铸造信息网秘书处, 1986



陶瓷过滤器适用于各种铸造方法，如砂型铸造、金属型铸造和低压铸造等。放置位置与纤维过滤网类似。

2. 过滤器横截面积  $A_1$  的确定 用下式表示：

$$K = \frac{A_1}{A_2}$$

式中  $K$ —系数，主要根据合金种类选取，一般为 4~13；

$A_2$ —放过滤器处的浇道横截面积 ( $\text{cm}^2$ )。

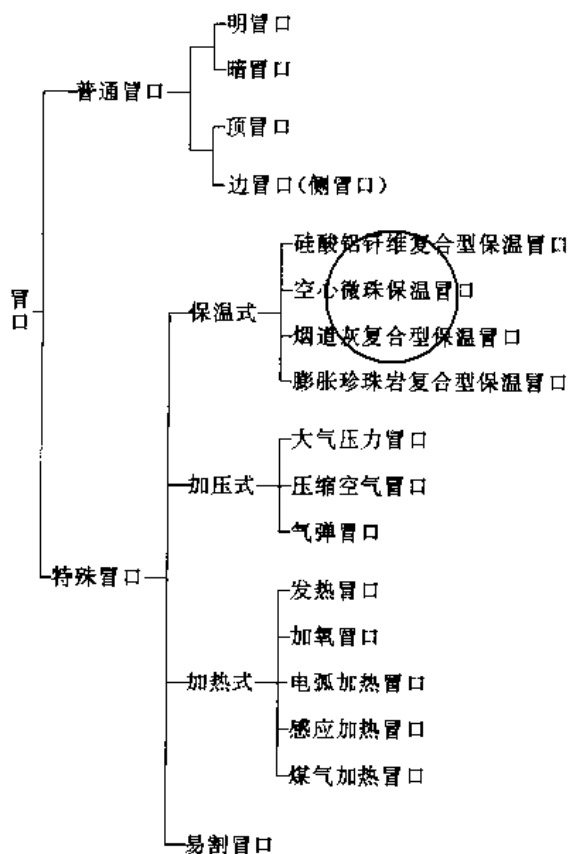
#### 4 冒口、保温补贴、冷铁、铸筋

##### 4.1 冒口

冒口设计包括冒口类型、形状的选择；冒口位置、数量及尺寸的确定；校核冒口的补缩能力等内容。

##### 4.1.1 冒口的种类

冒口种类如下：



##### 4.1.2 冒口形状

冒口的形状取决于铸件或铸件热节处的形状和尺寸。为了提高冒口的补缩效率，要求其相对散热面

积越小越好，因此，球形冒口最理想，但制作麻烦。一般采用圆柱形和椭圆形冒口。

##### 4.1.3 冒口位置与数量

冒口位置需考虑合金的凝固特性。如体收缩较大的铸钢、可锻铸铁和非铁合金等铸件多采用顺序凝固原则，冒口应设在铸件最后凝固处。而灰铸铁和球墨铸铁件在凝固过程中有收缩和石墨析出产生的膨胀，冒口不应该放在铸件的热节上（以免增加几何热节），而又要靠近热节部位，有利于浇注初始阶段的外部补缩。冒口的数量通常取决于浇注位置、铸件结构和尺寸。

##### 4.1.4 冒口尺寸

确定冒口尺寸的方法有：比例法、模数法、形状因素法、热节圆法和缩管法等，其中以比例法应用较为广泛。计算出的冒口尺寸，通常用铸件的工艺出品率进行校核。根据经验确定的碳钢及低合金钢铸件的工艺出品率见表 2-3-23。齿轮类铸钢件的工艺出品率见表 2-3-24。

##### 1. 铸钢件冒口尺寸

a. 比例法 根据铸件热节圆的大小，按一定比例确定冒口的尺寸，比例法确定的冒口形式与尺寸见表 2-3-25。

表 2-3-23 碳钢及低合金钢铸件的工艺出品率

铸件质量 (kg)	铸件主要壁厚 (mm)	铸件加工面所占比例 (%)	工艺出品率 (%)	
			明冒口	暗冒口
≤100	≤20	>50	58~62	65~69
	21~50		54~58	64~68
	>50		51~55	61~65
	≤20	≤50	63~67	68~72
21~50	59~63		65~69	
>50	56~60		62~66	
101~500	≤30	>50	63~67	66~70
	31~60		61~65	64~68
	>60		58~62	62~66
	≤30	≤50	65~69	68~72
31~60	63~67		66~70	
>60	61~65		64~68	
501~5000	≤50	>50	64~70	66~72
	51~100		61~67	64~70
	>100		59~65	62~68
	≤50	≤50	65~71	67~73
51~100	63~69		66~72	
>100	61~67		65~71	



(续)

铸件质量 (kg)	铸件主要壁厚 (mm)	铸件加工面所占比例 (%)	工艺出品率 (%)	
			明冒口	暗冒口
5001~15000	≤50	>50	65~71	67~73
	51~100		63~69	65~71
	>100		61~67	63~69
	≤50	≤50	64~72	66~74
	51~100		62~70	65~73
	>100		61~69	64~72
>15000	≤100	>50	64~72	—
	101~300		—	—
	>300		—	—
	≤100	≤50	66~74	—
	101~300		—	—
	>300		—	—

注：使用保温冒口时，工艺出品率增加10%~25%。

表 2·3-24 齿轮类铸钢件的工艺出品率 (%)

铸件质量 (kg)	明冒口	暗冒口
≤500	48~52	51~54
501~2000	51~54	53~56
>2000	53~56	55~59

注：使用保温冒口时，工艺出品率增加10%~25%。

b. 模数法 铸件凝固时间取决于其体积  $V$  和表面积  $S$  的比值。这一比值称为模数  $M$ ，即  $M = \frac{V}{S}$ 。模数越大，凝固时间越长。冒口模数 ( $M_m$ ) 应略大于铸件模数 ( $M_j$ ) (表 2·3-26)。冒口模数与冒口尺寸间的关系举例列于表 2·3-27。最后，进行冒口补缩能力的校核，其计算方法列于表 2·3-28。

表 2·3-25 比例法确定的冒口形式与尺寸

(mm)

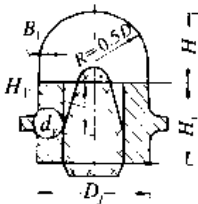
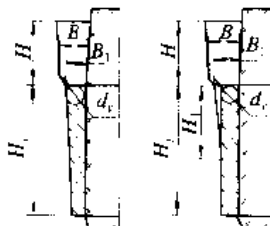
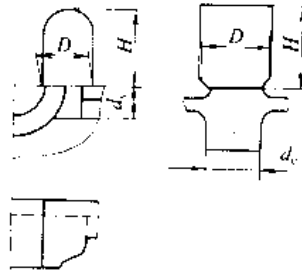
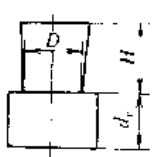
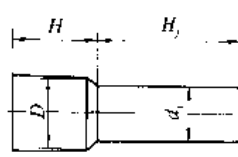
截面形状	冒口形式	冒口尺寸参数						应用范围	
		$B_1$	$H_1$	$D$ 或 $B$					$H$
				当 $\frac{H_j}{d_y}$ 或 $\frac{B_j}{d_y}$ 为下列值时					
				<2	2~4	4~6	>6		
	腰圆暗冒口	—	—	(1.4~2.0) $d_y$	(1.8~2.5) $d_y$	(2.2~2.4) $d_y$	(2.4~2.7) $d_y$	(1.2~1.5) $B$	杆状、板状、铸件或扁平环状铸件
	腰圆明冒口	(1.3~1.6) $d_y$	—	(1.3~1.7) $d_y$	(1.7~2.1) $d_y$	(2.1~2.3) $d_y$	(2.3~2.6) $d_y$	(1.2~1.6) $B$	
	腰圆暗冒口	(1.25~1.7) $d_y$	$H_1$ 应确保热节圆部位至冒口的顺序凝固	(1.6~2) $d_y$	(1.9~2.4) $d_y$	(2.3~2.7) $d_y$	—	(1.2~1.5) $B$	齿轮、车轮、联轴节等类铸件
	腰圆明冒口			(1.5~1.9) $d_y$	(1.8~2.3) $d_y$	(2.2~2.5) $d_y$	—	(1.2~1.7) $B$	
	腰圆暗冒口	(1.25~1.6) $d_y$	(0.3~0.5) $H_j$	—	(1.7~2.3) $d_y$	(2.1~2.5) $d_y$	(2.3~2.8) $d_y$	(1.3~1.5) $B$	筒体或法兰类铸件
	腰圆明冒口			—	(1.6~2.2) $d_y$	(2~2.4) $d_y$	(2.2~2.7) $d_y$	(1.3~1.7) $B$	





(续)

铸造工艺设计 请尊重原作者版权

截面形状	冒口形式	冒口尺寸参数						应用范围	
		$B_1$	$H_1$	$D$ 或 $B$					$H$
				当 $\frac{H_j}{d_y}$ 或 $\frac{B_j}{d_y}$ 为下列值时					
$<2$	$2\sim4$	$4\sim6$	$>6$						
	半球形暗冒口	$(1.2\sim1.4) d_y$	$H_1$ 应确保热节圆部位至冒口的顺序凝固	$R = (0.45\sim0.48) D_1$				$(0.6\sim1) H_1$ 轴毂类	
	整圈环形明冒口	$(1\sim1.8) d_y$	$(0.5\sim0.8) H_1$	—		$B_1 + (0.1\sim0.2) d_y$		$(1.6\sim2.5) B$ 细长筒状(压力容器、缸体等)铸件要求高件须考虑斜度) 较高件须考虑斜度)	
	圆柱形暗冒口 圆柱形明冒口	—	—	$D = (1.2\sim2.0) d_y$				$(1.25\sim1.5) D$ $(1.2\sim1.4) D$ 铸件局部厚实(圆柱体或立方体)	
	圆柱形明冒口	—	—	$D = (0.8\sim1.5) d_y$				$(0.8\sim1.3) D$ 质量小于5t的厚铸件(可考虑安放内冷铁)	
	圆柱形明冒口	—	—	$(1.1\sim1.3) d_y$	$(1.2\sim1.4) d_y$	$(1.3\sim1.5) d_y$	$(1.4\sim1.6) d_y$	$(1.2\sim1.7) D$ 轴类圆柱体铸件	

注：1. 腰圆冒口宽度  $B$  与长度  $L$  的比例： $\frac{L}{B} = 1.5$

2. 明冒口斜度为  $5^\circ$  或  $7^\circ$ 。

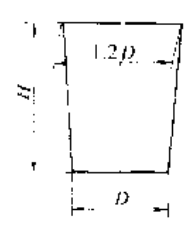
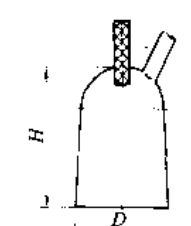


表 2-3-26 冒口模数 (mm)

冒口种类	冒口模数
顶冒口	$M_m = (1 \sim 1.2) M_j$ $M_m : M_j : M_j = 1.2 : 1.1 : 1$
边冒口	当浇口通过冒口时, $M_m : M_j : M_j = 1.2 : (1 \sim 1.03) : 1$

注: 1.  $M_m$ ——冒口模数;  $M_j$ ——铸件模数;  $M_j$ ——冒口颈模数;  
2. 对质量要求高的铸件, 如齿轮件, 系数可超过 1.2。

表 2-3-27 冒口模数与冒口尺寸间的关系举例 (mm)

种类	简图	尺寸
明冒口		$M_m = 0.201D$ $H = (1.2 \sim 1.5) D$ $V_m = 1.429D^3$
暗冒口		$M_m = 0.1905D$ $H = (1.2 \sim 1.5) D$ $V_m = 1.047D^3$

注:  $V_m$ ——冒口体积 ( $\text{mm}^3$ )。

表 2-3-28 冒口补缩能力的计算

内容	公式
冒口内缩孔总体积	$\eta V_m$
能补缩铸件的最大体积	$\left[ \frac{\eta - \epsilon_v}{\epsilon_v} \right] V_m$

注:  $\epsilon_v$ ——体收缩率 (%);  $\eta$ ——冒口补缩效率 (%);  
 $V_m$ ——冒口体积 ( $\text{mm}^3$ )。

c. 形状因素法 形状因素法是冒口尺寸的一种简化算法, 通过计算铸件的形状因素及其与  $\frac{V_m}{V_j}$  之间的关系来确定冒口的尺寸, 反映了整个铸件凝固的情况。形状因素  $GF$  取决于铸件长  $L$ 、宽  $W$  之和与厚度  $T$  之比值, 即  $GF = \frac{L+W}{T}$ , 基本形状的形状因素公式见表 2-3-29。形状因素越大, 铸件散热条件越好, 所需冒口体积  $V_m$  相对就小。

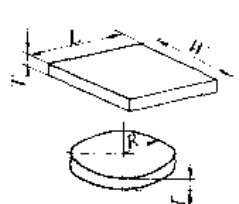

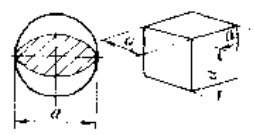
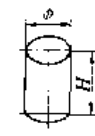
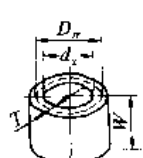
表 2-3-29 中, 对杆状铸件的不规则截面可简化成矩形截面。对筒状铸件, 求出的冒口值还应当放大, 其

放大因素  $K$  与  $\frac{d_j}{T}$  有关 (图 2-3-14)。对板相交或杆相交铸件, 求出的冒口值还应当放大, 其放大因素  $K$  与  $\frac{d_j}{T}$  有关 (图 2-3-15)。

$GF$  与  $\frac{V_m}{V_j}$  或  $\frac{m_m}{m_j}$  ( $m_m$ 、 $m_j$  分别为冒口和铸件质量) 之间的关系见图 2-3-16。 $V_j$  是指冒口补缩范围内的铸件体积 (若一个铸件采用两个冒口, 则  $V_j$  应取整个铸件体积的一半)。

根据铸件结构特点, 选取冒口形式及尺寸见表 2-3-30 和图 2-3-17。

表 2-3-29 基本形状的形状因素公式

基本形状的名称	计算公式	图形
板状	$GF = \frac{L+W}{T}$ (平板) $GF = \frac{2R}{T}$ (圆盘)	
杆状	$GF = \frac{L+W}{T}$	
球状立方体	$GF = \frac{a+a}{a}$	
圆柱体	$GF = \frac{\phi+H}{\phi}$	
筒状	$GF = \frac{\pi D_m + W}{T}$	



(续)

基本形状的名称	计算公式	图 形
板相交	$GF = \frac{L+W}{T}$	
杆相交	$GF = \frac{L+W}{T}$	

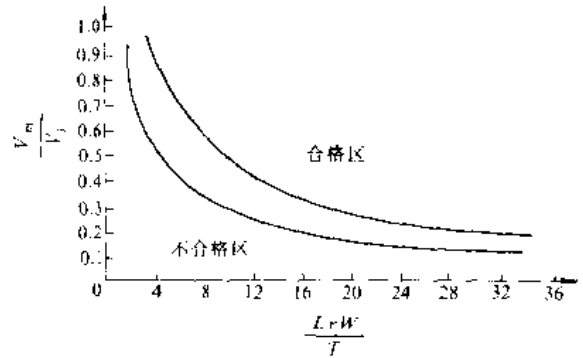


图2-3-16 形状因素GF与 $\frac{V}{V_m}$ 或 $\frac{m}{m_i}$ 之间的关系

合格区——指铸件内无缩孔。

取值范围——一般取两曲线间的数值。

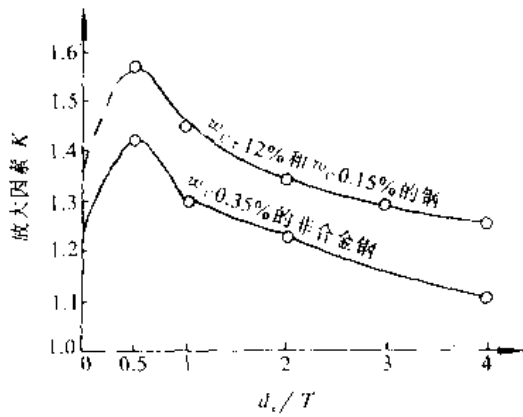


图2-3-14 放大因素K与 $\frac{d_s}{T}$ 的关系

$w_{Cr}$ 、 $w_C$ 分别为Cr、C的质量分数

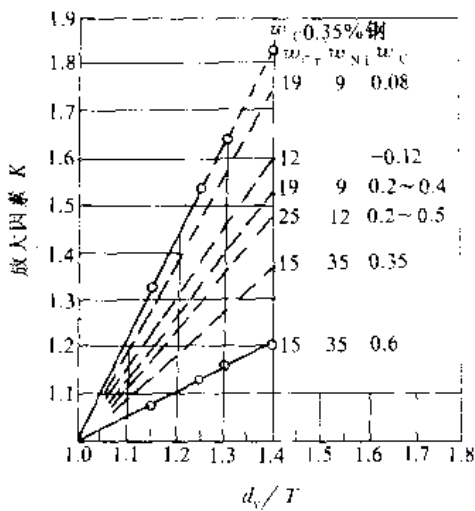
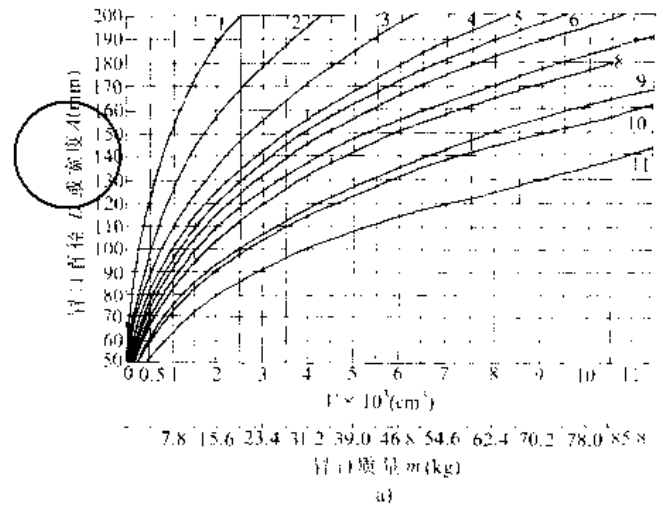


图2-3-15 放大因素K与 $\frac{d_s}{T}$ 的关系

$w_C$ 、 $w_{Cr}$ 、 $w_{Ni}$ 分别为C、Cr、Ni的质量分数

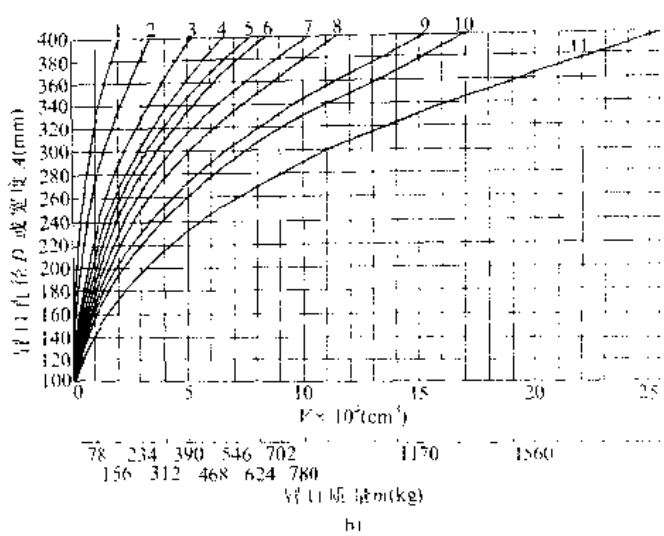
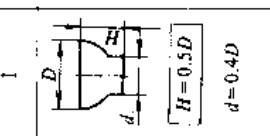
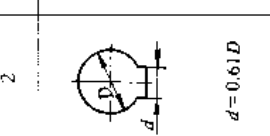
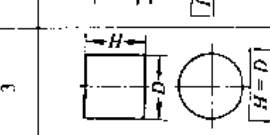
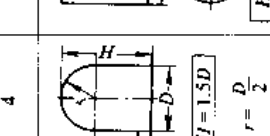
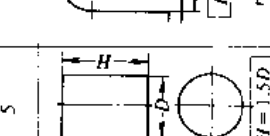

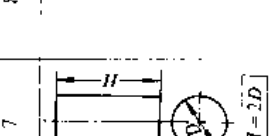
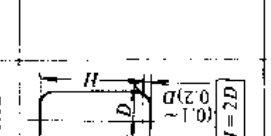
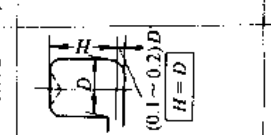

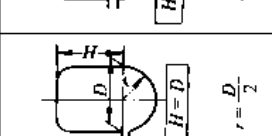
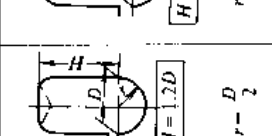
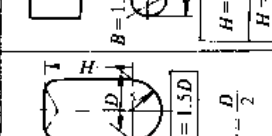
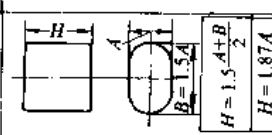
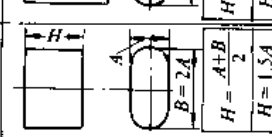
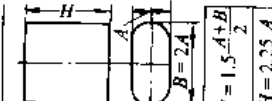


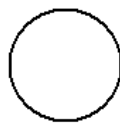
图2-3-17 冒口形式及尺寸



表 2·3-30 冒口形式及尺寸

(mm<sup>3</sup>)

形 式	参 数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
圆柱形 明冒口 及 其他特 种冒口												
浅盆底 明冒口												
常用 冒口及 椭圆形 明冒口												



2. 铸铁件冒口尺寸 (表 2·3-31)

表 2·3-31 铸铁件冒口尺寸

(mm)

形式	简图	铸铁种类	冒口尺寸	备注										
明冒口		灰铸铁	$D = (1.2 \sim 2.5) T$ $H = (1.2 \sim 2.5) D$	1. 碳硅含量较高的普通灰铸铁 (如 HT200 以下), 体收缩小, 一般可不设冒口 2. 随热节 $T$ 的增加, 铸铁牌号的降低以及铸件结构有利于补缩时, $\frac{D}{T}$ 应取偏小值 3. 生产上可以创造条件 (如提高铸型刚度, 采用金属型, 内浇口设在铸件薄壁处, 保证同时凝固以及控制合金的成分等), 使球墨铸铁缩前膨胀转化为铸件本身的补缩, 从而实现球墨铸铁件的无冒口铸造										
		球墨铸铁	$D = (1.2 \sim 3.5) T$ $H = (1.2 \sim 2.5) D$											
暗冒口		灰铸铁	$D = (1.2 \sim 2) T$ $H = (1.2 \sim 1.5) D$	1. 对于壁厚较薄, 但质量较大或形状较高的铸件, $\frac{D}{T}$ 的数值应适当扩大, 一般可取 $D = (3 \sim 5) T$ 2. $H$ 值一般应高出铸件 20~30mm, 以免铸件顶部缩松										
		球墨铸铁	$D = (1.2 \sim 3.5) T$ $H = (1.2 \sim 1.5) D$											
暗冒口		可锻铸铁	<table border="1"> <tr> <td colspan="2"><math>D = (2.2 \sim 2.8) T</math></td> </tr> <tr> <td colspan="2">铸件被补缩位置</td> </tr> <tr> <td>上型</td> <td>下型</td> </tr> <tr> <td><math>H = 1.5D</math></td> <td><math>H = D</math></td> </tr> <tr> <td><math>k = 0.25D</math></td> <td><math>h = 0.5D</math></td> </tr> </table>	$D = (2.2 \sim 2.8) T$		铸件被补缩位置		上型	下型	$H = 1.5D$	$H = D$	$k = 0.25D$	$h = 0.5D$	1. 对于壁厚较薄, 但质量较大或形状较高的铸件, $\frac{D}{T}$ 的数值应适当扩大, 一般可取 $D = (3 \sim 5) T$ 2. $H$ 值一般应高出铸件 20~30mm, 以免铸件顶部缩松
$D = (2.2 \sim 2.8) T$														
铸件被补缩位置														
上型	下型													
$H = 1.5D$	$H = D$													
$k = 0.25D$	$h = 0.5D$													

3. 非铁合金铸件冒口尺寸 (表 2·3-32)

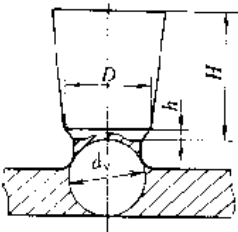
表 2·3-32 非铁合金铸件冒口尺寸

(mm)

简图	合金种类	冒口尺寸	应用特点
	锡青铜和磷青铜	$D = 1.2d$ $H = (1.5 \sim 2) d$ $h = 5 \sim 8$	适用于圆柱形、矩形及丁字形截面的铸件
	铝青铜和黄铜	$D = (1.3 \sim 1.5) d$ $H \geq 2d$ $h = 5 \sim 8$	
	锡青铜和磷青铜	$D = (1.2 \sim 1.5) b$ $H = (1.5 \sim 2.5) D$	适用于轮、套类铸件



(续)

简图	合金种类	冒口尺寸	应用特点
	铝合金	$D = (1.2 \sim 2) d$ $H = (1.2 \sim 2) D$ $h = 5 \sim 8$	一般在铸件壁厚 $\delta \geq 25\text{mm}$ 或要求较高的铸件 $\delta \geq 20\text{mm}$ 时,才设置冒口,且多与冷铁配合使用

注:一般小件或质量(品质)要求较高的铸件,系数取上限。

### 4.1.5 冒口有效补缩距离

冒口有效补缩距离是指铸件中致密的冒口区与致密的末端区之和。若铸件被补缩的长度超过冒口的有效补缩距离,就会在致密的冒口区和致密的末端区之间部位出现缩松,如图2.3-18所示。主要合金的冒口有效补缩距离参考数值见表2.3-33~表2.3-36。对于体收缩大的合金,在铸件上设置金属补贴或在铸型上

安放保温补贴,可增加有效补缩距离。

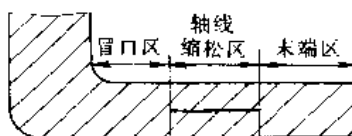
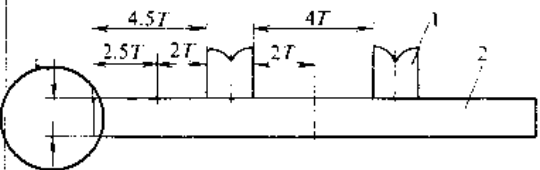
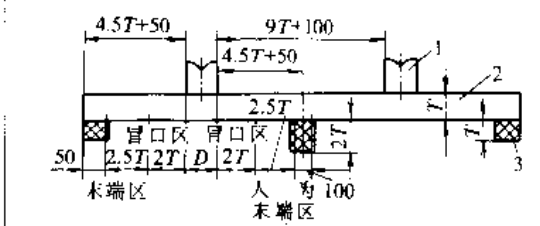
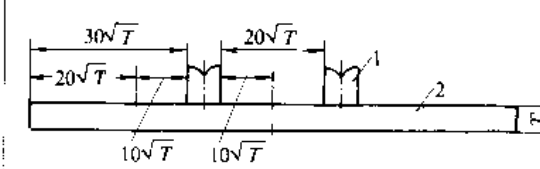
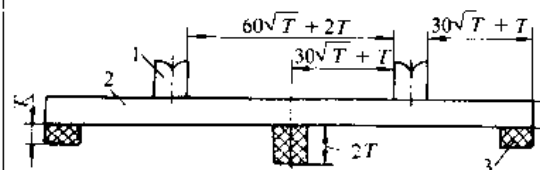


图2.3-18 凝固结束后的三个区域

表2.3-33 铸钢件冒口有效补缩距离参考数值 (mm)

形状	工艺措施	简图	冒口有效补缩距离	
			单个冒口	两个冒口之间
板	不设置冷铁		4.5T	4T
状	设置冷铁		4.5T+50	9T+100
杆	不设置冷铁		$30\sqrt{T}$	$20\sqrt{T}$
状	设置冷铁		$30\sqrt{T} + T$	$60\sqrt{T} + 2T$

铸造工业出版社 请尊重作者版权



(续)

形状	工艺措施	简图	冒口有效补缩距离	
			单个冒口	两个冒口之间
组合板状			$L_1 = 3.5T_2$ $L_2 = 3(T_2 - T_1) + 110$	
			$L_1 = 3.5T_2$ $L_2 = 3.5(T_3 - T_1)$ $L_3 = 3(T_3 - T_2) + 110$	

注：图中：1—冒口；2—铸件；3—冷铁。

表 2-3-34 球墨铸铁件冒口有效补缩距离参考数值 (mm)

补缩条件	简图	有效补缩距离	补缩条件	简图	有效补缩距离
单面补缩		$L = 4.5T$	双面补缩		$L = 3T$

注：1. 一般适用于壁厚 10~50mm 的铸件，当铸件壁厚 > 50mm 时，有效补缩距离可适当增加。

2.  $L_1$ —末端作用距离，一般可取 2.5T。

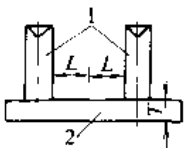
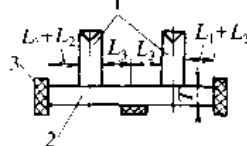
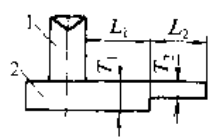
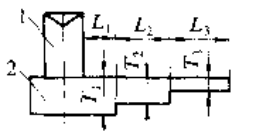
3. 图中：1—冒口；2—铸件。

表 2-3-35 铜合金铸件明冒口有效补缩距离参考数值 (mm)

简图	黄铜、铝青铜件冒口		锡青铜件冒口	
	普通冒口	发热冒口	普通冒口	发热冒口
	$L_1 + L_2 = 4.5T$	$L_1 + L_2 = 5T$	$L_1 + L_2 = 3.5T$	$L_1 + L_2 = 4.5T$
	$L_1 + L_2 = 4.5T + 0.5T$	$L_1 + L_2 = 5T + 0.5T$	$L_1 + L_2 = 3.5T + 50$	$L_1 + L_2 = 4.5T + 50$

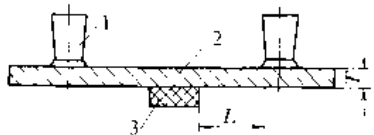


(续)

简 图	黄铜、铝青铜件冒口		锡青铜件冒口	
	普通冒口	发热冒口	普通冒口	发热冒口
	$2L = 4T$	$2L = 5T$	$2L = 3T$	$2L = 4T$
	$2L_1 = 10T$ $L_1 + L_2 = 5T$	$2L_2 = 11T$ $L_1 + L_2 = 5.5T$	$2L_3 = 4T$ $L_1 + L_2 = 3.5T + 50$	$2L_3 = 5T$ $L_1 + L_2 = 4.5T + 50$
	$L_1 = 3.5(T_1 - T_2)$ $L_2 = 3.5T_2$	$L_1 = 3(T_1 - T_2) + T_1$ $L_2 = 3.5T_2$	$L_1 = 3.5(T_1 - T_2)$ $L_2 = 3T_2$	$L_1 = 3(T_1 - T_2) + T_1$ $L_2 = 3T_2$
	$L_1 = 3.5(T_1 - T_2)$ $L_2 = 3.5(T_2 - T_3)$ $L_3 = 3.5T_2$	$L_1 = 3(T_1 - T_2) + T_1$ $L_2 = 3.5(T_2 - T_3)$ $L_3 = 3.5T_2$	$L_1 = 3(T_1 - T_2)$ $L_2 = 3(T_2 - T_3)$ $L_3 = 3T_2$	$L_1 = 2.5(T_1 - T_2) + T_1$ $L_2 = 3(T_2 - T_3)$ $L_3 = 3T_2$

注：图中：1—冒口；2—铸件；3—冷铁。

表 2-3-36 铝合金铸件冒口有效补缩距离参考数值 (mm)

简 图	铝合金类型	冒口有效补缩距离
	共晶型	$L = 4.5T$
	非共晶型	$L = 2T$

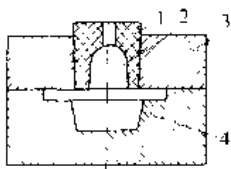
4.1.6 提高冒口补缩效率的措施

一般有提高补缩压力(加压冒口)和设法延长冒口

中金属液的凝固时间(加热冒口和保温冒口)两类。目前,发热冒口和保温冒口应用较多,尤其是保温冒口。

1. 发热冒口 (表 2-3-37)

表 2-3-37 发热冒口的原理和尺寸 (mm)

简 图	原 理	尺 寸
	利用发热剂和保温剂配制成发热套,放在冒口上,浇入金属液后,在高温下,发热剂氧化放热,延长了冒口中金属液的凝固时间,提高冒口补缩效果。常用发热剂质量配方: 膨润土 2%+木炭粉 25%+氧化铁粉 15%+木屑 14%+铝屑 4%+水玻璃 25%+白煤粉 15%+适量的水	$D_f = (0.75 \sim 0.8) D$ $D$ —普通冒口直径 $D_f$ —发热冒口直径 发热套厚度一般为 20~30mm

1—发热套 2—冒口  
3—铸型 4—铸件





**2. 保温冒口** 保温冒口的原理系采用保温材料做冒口套,以延长冒口中金属液的凝固时间,从而减小冒口尺寸,提高工艺出品率,与普通冒口相比,由于保温效果不同,它们的缩孔形状也不同,如图2·3-19所示。常用的保温冒口套材料的性能见表2·3-38。

保温冒口尺寸计算方法如下:

(1) 保温冒口直径 ( $D_b$ )。将普通冒口直径 ( $D$ ), 按比例系数 ( $K$ ) 折算成保温冒口直径 ( $D_b$ ), 即  $D_b = K \cdot D$ 。比例系数  $K$  值与铸件结构、合金种类、补缩位置以及选用的保温冒口套材料有关, 其参考数值见表2·3-39。

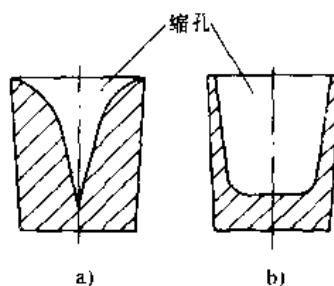


图2·3-19 缩孔形状

a) 普通冒口 b) 保温冒口

表2·3-38 常用的保温冒口套材料的性能

名称		容积密度 (kg/m <sup>3</sup> )	导热系数 $\lambda$ [W/(m·K)]	比热容 $C$ [J/(kg·K)]	湿压强度 (MPa)	耐火度 (°C)
硅酸铝纤维复合型		900	0.302	1047		1700
空心微珠		400	0.209	837	2.5	1600
烟道灰复合型		774	0.480	837	2.0~2.5	1530
膨胀珍珠岩复合型	镁砂粉	600	0.302	1256	2.6	1580
	高铝质熟料及工业磷酸	650~850	0.233	1256~1674	3.5~4.3	1700

表2·3-39  $K$  值参考数值

铸件特点	$K$
一般铸件	0.75~0.80
轮形件	0.80~0.85
高锰钢件	0.70~0.80

注: 1. 水平补缩时,  $K$  按偏上限取值; 垂直补缩时,  $K$  按偏下限取值。

2. 保温冒口套材料的蓄热系数  $b$  越小,  $K$  值应取偏下限值。

(2) 保温冒口高度  $H_b = (1.2 \sim 1.5) D_b$ 。

(3) 保温冒口套厚度  $\delta_b = (10 \sim 15) \% D_b$ 。

烟道灰复合型保温冒口套的厚度, 最薄不得小于25mm。

## 4·2 保温补贴

### 4·2·1 保温补贴原理及特点

保温补贴工艺是在铸型局部施以保温材料, 延缓该处铸件的冷却速度和凝固进程, 保证铸件凝固过程中补缩通道的畅通, 取代传统工艺中的金属补贴, 如图2·3-20所示。其特点是:

(1) 免除了金属补贴的气割和机械加工。

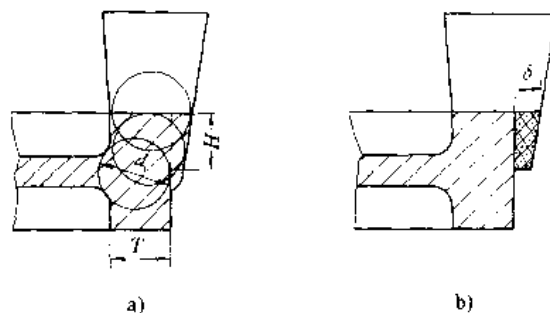


图2·3-20 保温补贴示意图

a) 金属补贴 b) 保温补贴

(2) 消除了由于气割金属补贴后, 铸件表面留下的粗糙面, 从而提高了机床加工精度和刀具的寿命。

(3) 避免了气割作业时的局部高温, 有利于保证铸件的组织和性能。

(4) 进一步提高了金属利用率和工艺出品率。

### 4·2·2 保温补贴材料性能的基本要求

(1) 良好的保温性能。

(2) 良好的高温综合性能。如较高的耐火度、高温体积稳定性和化学稳定性。

(3) 不污染环境。



(1) 不污染铸件。

(5) 足够的强度。

保温补贴用分子材料与保温冒口套材料基本相同。

### 4.2.3 保温补贴工艺设计方法

根据热节圆法确定保温补贴上端厚度  $\delta$  (图 2-3-20)。当  $\frac{H}{T} < 5$  时, 选用单面保温补贴, 公式如下:

$$\delta = (0.4 \sim 1.0) d_y \quad (\text{mm})$$

式中  $d_y$ ——热节圆直径 (mm);

$H$ ——热节圆中心到冒口根部的距离 (mm);

$T$ ——铸件壁厚 (mm)。

保温补贴下端厚度一般取 10~20mm, 其长度取金属补贴的 85%~90%。当  $\frac{H}{T} > 5$  时, 可采用双面补贴。

### 4.3 冷铁

设置冷铁, 局部地控制铸件冷却速度, 创造同时凝固、顺序凝固或均衡凝固的条件, 起防止裂纹, 减少收缩, 控制变形, 提高工艺出品率的作用。冷铁分外冷铁和内冷铁两种, 为保证铸件质量, 应尽量采用外冷铁。常用外冷铁的型式和尺寸见表 2-3-40。

表 2-3-40 常用外冷铁的形式和尺寸

(mm)

形 式	序 号	简 图	尺 寸
与铸件直接接触	1		$d = (0.3 \sim 0.8) T$
	2		$d = (0.3 \sim 0.5) T$ $B = (0.4 \sim 0.8) a$ $L = (2.0 \sim 3.0) b$
	3		$B = (0.4 \sim 1.0) T$
	4		$B = (0.3 \sim 0.6) T$ $L = (1.0 \sim 3.0) T$
	5		$B = (0.5 \sim 0.7) T$



(续)

形式	序号	简图	尺寸
隔砂冷铁 (暗冷铁)	6		$B = (1.0 \sim 1.4) T$ $\delta = 20 \sim 30$
	7		$B = (0.8 \sim 1.2) T$ $\delta = 10$
	8		$B = 0.5T$ $\delta \approx 10$

- 注：1. 外冷铁的形状根据铸件上需要激冷部分的形状而定，常用的有圆柱形、长方形和板形等。冷铁的材料有铸铁、型钢、铸钢、石墨等。
2. 序号4中算出的B值必须大于H值，否则可适当加大系数，当 $l < 150\text{mm}$ 时，L可等于 $l$ 。
3. 序号5中图b，若法兰宽度大于 $200 \sim 250\text{mm}$ 时，冷铁可分内、外两圈或多圈交叉安放，此时冷铁之间须留有一定间隙，以免冷铁受热膨胀后将铸型挤坏。
4. 隔砂冷铁的作用是为了减缓激冷速度，通过隔砂层厚度的变化，调整冷却速度。
5. 表中： $T$ —铸件被激冷部位厚度； $B$ —冷铁厚度； $\delta$ —隔砂层厚度。

#### 4.4 铸筋

##### 4.4.1 割筋

割筋设置在铸件易产生热裂的部位，用以防止热裂，因此，割筋应比铸件壁先凝固，起承受铸件在凝固收缩时受铸型或型芯的阻碍所产生的拉应力的作用，一般清理时去除。割筋的厚度必须根据设铸筋处铸件的壁厚（主壁厚度）选取。铸件的主壁与邻壁的结构型式，如图2-3-21所示，当 $\frac{a}{b} > 1 \sim 2$ 和 $\frac{l}{b} < 2$ 时或 $\frac{a}{b} > 2 \sim 3$ 和 $\frac{l}{b} < 1$ 时，可以不用割筋。几种常用割筋的型式和尺寸见表2-3-41。

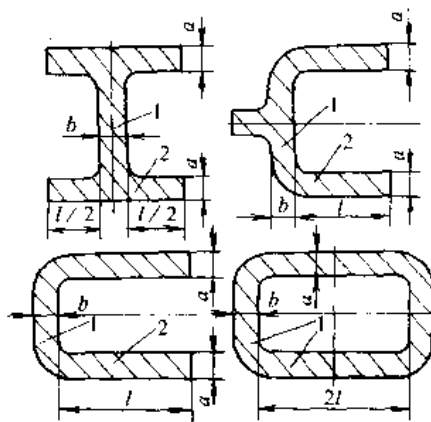


图2-3-21 主壁和邻壁的结构型式  
1—主壁 2—邻壁



表 2·3-41 几种常用割筋的型式和尺寸 (mm)

简 图	尺 寸						
	主壁厚度	$t$	$H$	筋间距离	$R$	$A$	$r$
	6~10	<3.5	20	40	30	45	2
	11~15	5	30	60	50	65	3
	16~25	6~7	35	80	70	75	4
	26~40	8~10	45	140	90	100	5
	41~60	12~14	55	160	120	125	5
	61~100	16~18	65	180	160	140	6
	101~200	20~24	70~80	200	160	170	8
	201~300	25~30	85~100	200	160	210	10

注：主壁厚度在铸件凝固收缩时，是受拉应力的。

4·4·2 拉筋

拉筋设置在铸件易产生变形的部位，用以防止变形，于热处理后去除。一般设在断面为“U”形、半圆形或其他易变形的铸件上。铸钢件的拉筋形式和尺寸列于表 2·3-42（其他合金铸件的拉筋可参照该表确定）。

一般只有在满足以下条件时才设拉筋：

$\frac{a}{b}$	$\frac{1}{3} \sim 1$	1~2	2~3
$\frac{l}{b}$	>3	>2	>1

表 2·3-42 铸钢件拉筋形式和尺寸 (mm)

简 图	分 类	尺 寸			
		邻壁厚度 $a$	A 型		B 型
			拉筋直径 $\phi$	筋距 $s$	拉筋厚度 $\delta$
	小型铸钢件	10~15	5~7	20~30	4~6
		15~20	7~10	30~40	4~6
		20~25	10~13	40~50	6~8
		25~30	13~15	50~60	6~8
	中、大型铸钢件	拉筋的厚度为设在拉筋处铸件壁厚的 40%~60%。			

注：1. 小型铸钢件，一般指质量<150kg，壁厚<50mm。  
2. 表中： $b$ —主壁厚度； $l$ —垂直于主壁方向的邻壁长度。

5 铸造计算机辅助工艺规程编制

5·1 基本概念

计算机辅助工艺规程编制 (Computer-aided pro-

cess planning CAPP) 系统应具备如下功能：

- (1) 几何模拟功能；
- (2) 数值模拟功能；
- (3) 数据库管理功能。

这三者之间通过专门设计的接口程序相互联接，



形成CAPP系统的有机体。其中数值模拟功能是完成计算机优化辅助工艺规程编制的基础和核心,它通过对浇注充型过程和铸件凝固过程进行定量化数值模拟,为铸件浇冒口系统设计的合理性提供评价依据。但有时也可不包括数值模拟,而只具备几何模拟和数据库两大功能。它是以大量的半理论半经验工艺设计法则和工艺参数做为数据库的主要内容,并通过几何模拟建立起良好的人机界面和图形文件处理功能来实现铸造的辅助工艺规程编制。

## 5.2 铸造CAPP内容和基本步骤

### 5.2.1 几何模拟

铸造CAPP中,所有有关图形的运算处理和输入输出操作都是几何模拟的内容。根据铸件的形状、尺寸要求建立几何实体模型,通过对铸件实体模型的动态屏幕显示操作,初步对可能采取的总体工艺方案进行分析,如铸件在铸型中的位置、分型面的选择、开设浇注系统的可能位置、安放冒口冷铁补贴的可能位置等。

为进行数值模拟,将铸件铸型系统进行微单元网格剖分,并将剖分数据存入数据库。剖分网格可以为二维,也可以为三维;可以对铸件铸型整体进行剖分,也可以根据实际铸件特点对重要局部进行剖分。此外,铸件充型凝固过程的动态显示以及最佳工艺方案的工艺图输出等内容也属于几何模拟的范围。

### 5.2.2 数值模拟

根据液态金属的充型流动过程及凝固过程物理模型,建立相应的数值模型,可以对铸件形成过程进行动态计算和描述,预测铸件质量,对浇注系统、补缩系统的合理性进行评价,从而达到优化工艺的目的。

充型过程的数值模拟能够定量描述液态金属在充型过程中的流速分布、流态形式和充型顺序等现象,检验浇注系统的类型、位置、大小、浇口数量等工艺因素的合理性,为进一步优化设计提供依据。充型数值模拟方法可分为两大类,一类以求解能量方程、动量方程和连续性方程所构成的三联方程为基础;另一类以伯努利方程加上一系列经验修正系数为基础。

铸件凝固过程的数值模拟旨在对铸件在凝固过程中的温度场、流场、溶质分布及应力应变等动态物理过程进行定量计算,并利用一些判据准则对铸件可能产

生的缩孔、缩松、偏析、裂纹等重要缺陷进行定量预测。由此可评价补缩措施(如冒口、冷铁及补贴的大小、位置、数量等)的有效性,分析浇注温度等工艺因素对铸件质量的影响,并相应地改进设计,直至获得合格铸件。

凝固过程数值模拟的精度取决于所采用的物理模型、数值模型及所选用的物性参数。根据其物理及数值模型,可将凝固数值模拟分为如下几类类型:

- (1)以模数法等经验法则为基础,预测铸件凝固顺序和补缩质量;
- (2)以凝固传热计算为基础,模拟铸件温度场;
- (3)以凝固过程中的传热、传质及动量传递为对象,进行温度场、流场及溶质偏析的综合模拟;
- (4)对一些重要结构铸件,往往还要对液固转变过程中的应力应变行为进行模拟,预测裂纹产生。

### 5.2.3 数据库

数据库是由大量的数据文件和一系列相应的管理程序构成的。进行铸造CAPP所需的大量数据以及在运算过程中生成的数据都分门别类以数据文件的形式存放在数据库中。这些数据按其性质可分为常驻数据和过程数据。

常驻数据包括各种材料的物性参数,成功的经验设计参数和工艺法则等。过程数据是指根据具体工艺条件由外部设备(键盘、数据化仪等)输入和选择的数据,为执行CAPP而生成的大量中间数据以及在完成CAPP过程中生成的结果数据,包括几何模型数据、部分工艺参数和物理过程数据。

通过数据库的管理程序将过程数据进行分类存储,可建立铸造CAPP档案,积累宝贵的CAPP技术经验。

数据库管理程序的设计还必须保证数据库在整体上是开放型的,可根据实际需要不断修正,补充常驻数据,并通过干预过程数据方便地实现对不同工艺因素所造成的影响进行CAPP分析。

### 5.2.4 铸造CAPP基本步骤

从根据铸件的技术要求进行初步工艺方案分析到完成整个CAPP操作输出工艺图这一过程的基本步骤见图2.3-22。



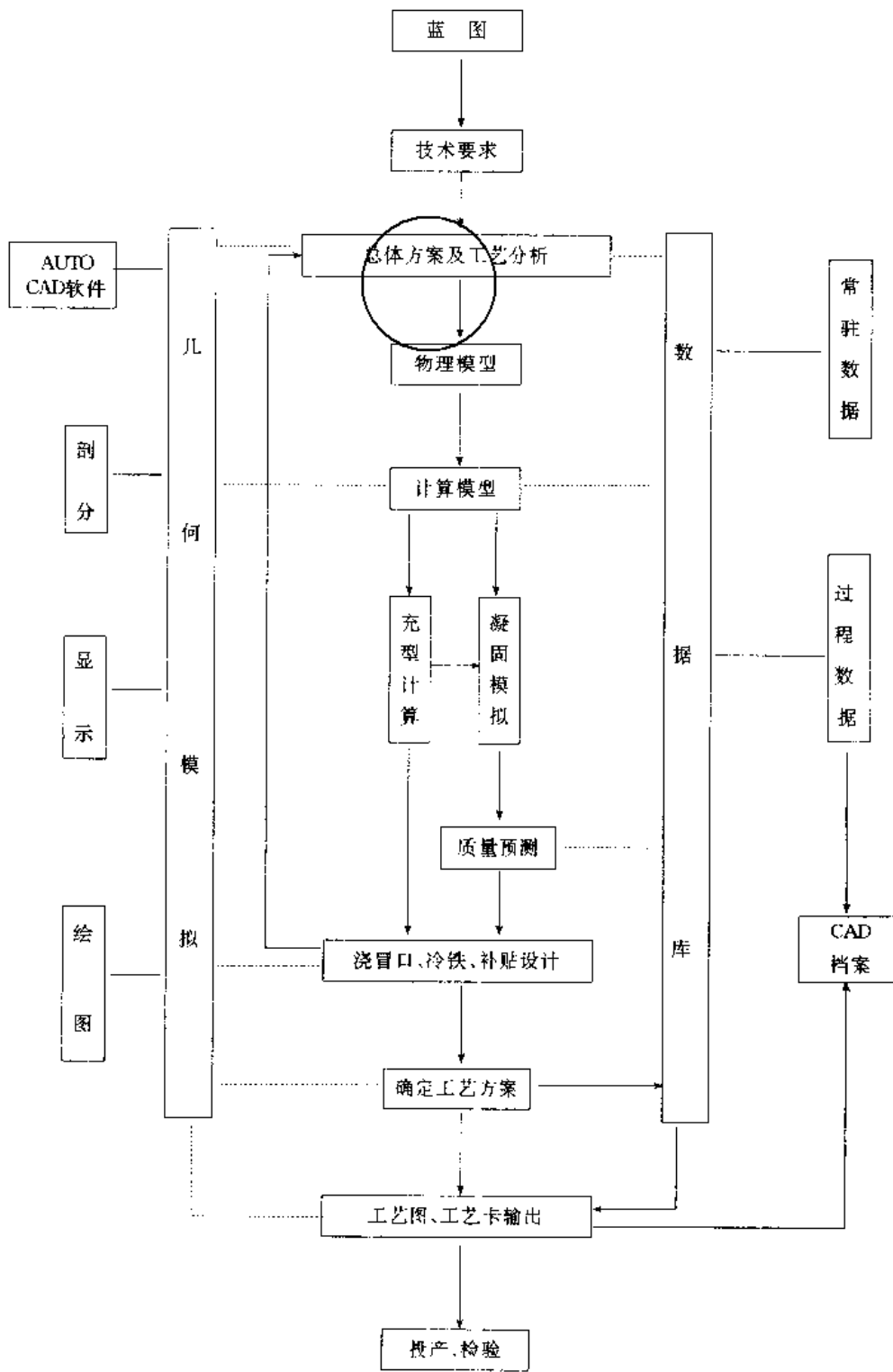


图 2-3-22 铸造 CAPP 基本步骤



# 第4章 砂型铸造

## 1 工艺装备设计 [176] [176]

工艺装备是指整个造型、制芯、合箱、浇注过程中所需要的除机械设备外的各类模具、砂箱以及工卡量具。工艺装备对保证铸件质量、提高劳动生产率、改善劳动条件等都有重要作用,特别是在机械化、自动化生产情况下,尤为显著。

### 1.1 模样

模样应具有良好的强度、刚度以及与铸件技术要求相适应的表面粗糙度和加工精度。由于铸件结构、技术要求和生产批量不同,模样有整体模、分开模、刮板模、车板模几种结构形式。各种制模材料的特点及应用范围见表 2-4-1。

表 2-4-1 各种制模材料的特点及应用范围

材 料	特 点		采用条件	使用寿命 (造型次数)	
	优 点	缺 点		手工造型	机器造型
木 材	质量小,易加工,生产周期短,价廉	强度低,易吸湿变形和损坏,尺寸精度较低	用于单件,小批或成批生产的各种模样	≈100	≈1000
铝 合 金	质量小,易加工,加工后表面光滑,具有好的耐蚀表皮	强度、硬度都较低,不耐磨	用于成批和大量生产的中小型模样	≈5000	90000~130000
铜 合 金	易加工,加工后表面光滑,耐蚀,耐磨	较其他材料质量大,成本高	用于制造精度要求较高的薄小铸件模样及筋板、活块等		200000~300000
铸 铁 (灰铸铁和球墨铸铁)	有良好的机械加工性,加工后表面光滑,强度及硬度较高,耐用价廉,资源丰富	密度大,易氧化锈蚀,钳工不易加工,不易焊补	用于中大型且大批量生产铸件的模样		200000~300000
塑 料	质量小,制造工艺简单,表面光洁,收缩变形小,精度较高,耐蚀易复制,成本低	较脆,导热能力差,不能加热,制模用原材料(胶、苯、酮类)有毒性	用于制造成批大量生产的各种模样,特别适用于几何形状复杂,难于进行机械加工的模様		8000~12000
菱 苦 土	表面光洁,易加工,变形小,不吸湿,硬度较高,制造成本低	质量大,强度、冲击韧性较低	用于中大型铸件的单件小批生产,尤其适用于曲面结构模样	10~30	
汽化泡沫塑料	轻,制作简便	较贵,表面不够光滑,压力下易变形,只能用一次	用于制造各种批量各种类型模样,特别是结构复杂的模样		一次性

#### 1.1.1 木模

木模是手工造型中使用最广泛的一种模样,它是由平板、箱体、筒体、圆弧板及补角件等不同部件粘接组合而成。

1. 木模材料 常用木材的特性及应用范围见表

2-4-2。

2. 木模等级及允许尺寸偏差 根据铸件尺寸精度的要求和生产批量及木模重复使用的程度,将木模分为三级,见表 2-4-3。各级木模的尺寸偏差见表 2-4-4。壁厚、筋条和辐板尺寸偏差见表 2-4-5。



表 2-4-2 常用木材的特性及应用范围

名称	产地	木材特性	应用范围
红松	东北	木材巨大, 木纹平直, 结构细致, 材质松软易加工, 变形小但收缩性较大	大中小各种木模
柏木	湖北 四川	材质坚硬, 结构细致, 纤维强韧耐磨, 但木材不直、树节较多, 干燥后易开裂, 不易刨削	高精度中小型实木木模
柚木	热带 地区	木材坚韧而含有油质, 收缩量小, 不易变形, 木纹多数平直, 易加工, 耐用, 但料源少, 价高	高精度中小型模样及活动部件
银木	浙江 江苏	木纹平直, 结构细致, 木质松软, 无节, 易加工, 不易开裂和变形	高精度中小型实木木模
杉木	全国各地	材质松软, 木节坚硬, 不易加工	适于制造大型、数量较少的模样
白松	东北	纤维粗而松, 不易加工, 收缩较大, 易翘曲变形	用于做大型木模的档撑和平板等, 不宜做木模面料
落叶松	东北 华北	木纹平直、木质坚硬而有弹性, 耐磨, 易变形, 不易加工	要求较低的木模
白杨	华中 东南	木质细而松软, 易加工, 但易吸湿变形	要求较低的木模
黄松	福建	木质坚硬, 结构较粗, 易变形	仅适用于做刮板及档撑, 不宜做木模实样
椴木	东北 内蒙	结构细, 质轻柔, 易加工, 有光泽, 变形小	大中型木模
桦木	东北 华北 西北	纹理不太直, 结构细, 质较硬易变形	底板、框架、次表面板加强筋等

表 2-4-3 木模分级和制造要求

木模等级	应用范围	制造要求
I	铸件尺寸精度和表面质量要求高, 批量较大或长期使用目的木模	木模结构要牢固、不易变形, 表面易损轮廓处及芯盒刮砂面要镶金属板或胶布层压板, 部分易损件可用金属材料
II	铸件尺寸精度和表面质量有一定要求, 并多次使用的木模	木模结构要牢固, 表面易损轮廓处及芯盒刮砂面可镶聚氯乙烯塑料板或铝合金板
III	铸件尺寸精度要求不高, 并使用次数有限的木模	木模的制造要求较低, 牢固性可稍差





表 2-4-4 木模允许尺寸偏差 (mm)

木模 被测 量尺寸	木模的精度等级																	
	I						II						III					
	木模最大外形尺寸																	
	≤100	101~300	301~500	501~1200	1201~3000	3001~6000	≤100	101~300	301~500	501~1200	1201~3000	3001~6000	≤100	101~300	301~500	501~1200	1201~3000	3001~6000
≤50	±0.1	±0.15	±0.2	±0.3	±0.4	±0.5	±0.2	±0.3	±0.4	±0.5	±0.6	±0.7	±0.3	±0.4	±0.5	±0.6	±0.8	±0.9
51~100	±0.15	±0.2	±0.3	±0.4	±0.5	±0.6	±0.3	±0.4	±0.5	±0.6	±0.7	±0.8	±0.4	±0.5	±0.6	±0.7	±0.9	±1.0
101~300		±0.3	±0.4	±0.5	±0.6	±0.7	±0.5	±0.6	±0.7	±0.8	±0.9		±0.6	±0.7	±0.8	±1.0	±1.2	
301~500			±0.5	±0.6	±0.7	±0.8		±0.8	±0.9	±1.0	±1.1		±1.0	±1.1	±1.2	±1.5		
501~800				±0.7	±0.8	±0.9			±1.0	±1.1	±1.3				±1.2	±1.5	±1.7	
801~1200				±0.8	±0.9	±1.1			±1.1	±1.3	±1.5				±1.5	±1.7	±2.0	
1201~2000					±1.0	±1.5				±1.5	±1.8					±1.7	±2.0	
2001~3000						±1.5	±1.8			±1.8	±2.0					±2.0	±2.5	
3001~5000							±1.8				±2.5						±3.0	
>5000											±3.0						±3.5	

注：1. 对小于 300mm 的木模，在保证表中给定的偏差值不变的情况下，凸体尺寸把上偏差值放大，凹体尺寸把下偏差值缩小。  
2. 芯头部分不应取负偏差值。

表 2-4-5 壁厚、筋条和辐板的允许尺寸偏差 (mm)

基本尺寸		≤20	>20~28	>28~40	>40~56	>56~70	>70~90	>90
允许尺寸偏差	I	±0.3	±0.3	±0.4	±0.5	±0.6	±0.7	±0.8
	II	±0.3	±0.4	±0.5	±0.6	±0.7	±0.8	±0.9
	III	±0.4	±0.5	±0.6	±0.7	±0.8	±1.0	±1.2

1.1.2 金属模

金属模是机器造型中广泛使用的一种模样，可用铝合金、铜合金、灰铸铁、铸钢及钢材等制作，铝合金

模应用最多。

1. 金属模的结构设计 金属模一般由铸造毛坯经机械加工制成，金属模壁厚及筋条的结构参数见表 2-4-6。

表 2-4-6 金属模壁厚与筋条的结构参数

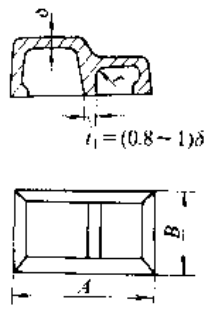
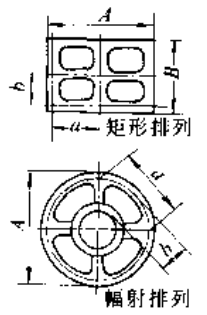
金属模尺寸说明图	加强筋排列说明图 (金属模背面图)	金属模平均轮廓尺寸 $\frac{A+B}{2}$ (mm)	金属模壁厚 (mm)			长向筋距 $a$	宽向筋距 $b$	筋与金属模壁间圆角 $r$
			铸铝	铸铁	铸钢			
		≤200	6	6	6	$\approx \frac{A}{2}$	$a \sim \frac{2}{3}a$	5
		201~500	8	7	7	$\frac{A}{3} \sim \frac{A}{4}$	$a \sim \frac{2}{3}a$	5
		501~1000	10	9	8~9	$\frac{A}{4} \sim \frac{A}{5}$	$a \sim \frac{2}{3}a$	8
		1001~1500	12	10		$\approx \frac{A}{5}$	$\frac{2}{3}a$	8
		1501~2000	14	12		$\approx \frac{A}{5}$	$\frac{2}{3}a$	12



表 2·4-7 金属模表面粗糙度

图 例	金属模部位	粗 糙 度 $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	备 注	
	金属模工作表面	3.2~1.6	机械加工后,经砂光或抛光	
	金属模分型面	机器造型	6.3~1.6	金属模与模板接触面要求较高如保证不平整
		手工造型	6.3	
	金属模定位销孔	1.6~0.8		
	插块配合面	6.3~1.6		

表 2·4-8 金属模的允许尺寸偏差 (mm)

基本尺寸	允许尺寸偏差		
	凸体	凹体	基准线中心线
$\leq 300$	-0.2 -0.1	-0.2 +0.1	$\pm 0.1$
301~500	+0.25 -0.1	-0.25 +0.1	$\pm 0.1$
501~800	+0.3 0.1	-0.3 -0.1	$\pm 0.1$
$> 800$	+0.4 -0.2	-0.4 +0.2	$\pm 0.1$

注: 1. 凸体正公差, 凹体负公差为新模制造用。  
2. 凸体负公差, 凹体正公差为新模检验用。

2. 金属模技术要求 金属模的表面粗糙度及允许尺寸偏差分别见表 2·4-7和表 2·4-8。

1·1·3 环氧塑料模

环氧塑料模是环氧树脂与各种填料及硬化剂混合后,发生聚合反应而成的模样。根据环氧塑料模各部位不同要求,采用不同配比(表 2·4-9)。

1·1·4 泡沫塑料模(参见本篇第 5 章 7·2 节)

表 2·4-9 环氧塑料常用质量配方

用 途	材 料	备 注
阴模表面层用塑料	基料+滑石粉(300目)100%~120%或立德粉(300目)120%~150%	
阳模表面层用塑料	基料+铁粉(200目)160%或氧化铝粉(300目)100%~180%	阳模表面层要求耐磨光滑,应根据不同生产要求选择填料
层数层塑料	基料+玻璃纤维布,有时加10%的丙酮或甲苯稀释	玻璃纤维布层数厚度视要求而定,一般1~6层即可,加稀释剂为操作方便,增加树脂流动性和浸透性
尖角、转角填补层塑料	基料+玻璃纤维+填料20%	
浇注层用塑料	基料+铁粉200%或石英粉200%	
覆盖层用塑料	基料+滑石粉80%或氧化铝粉50%	

注: 基料由下列材料组成: 环氧树脂(6101#, 637#, 638#等)+增塑剂(邻苯二甲酸二丁脂15%~20%+ $\beta$ 羟乙基乙二胺15%~18%或乙二胺6%~8%)。

1·2 模底板及模板框

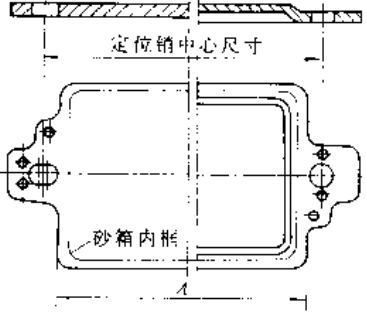
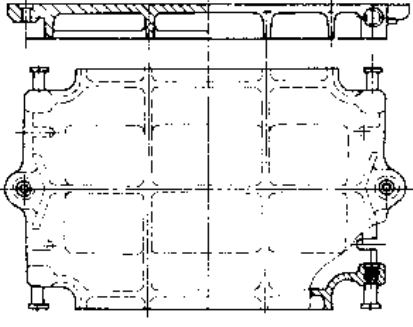
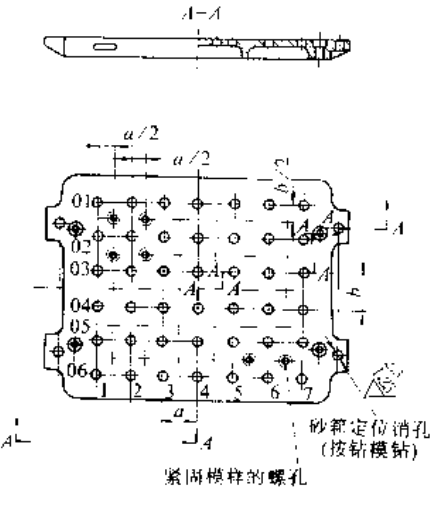
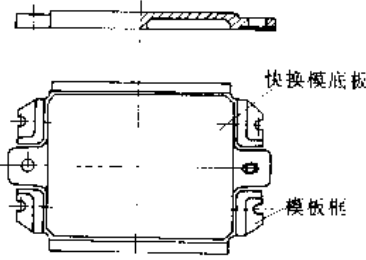
模底板的作用是安装模样和造型时形成铸型分型面。模板框的作用是在造型机上迅速更换模板、简化模底板结构及便于安装加热器等装置。模底板和模板框

结构型式、材料和尺寸应根据铸件结构、生产批量、造型方法、造型设备、砂箱尺寸及便于制造等情况确定。

1. 模底板基本结构(表 2·4-10)
2. 模板框基本结构(表 2·4-11)



表 2-4-10 模底板基本结构

类别	特点	材质	应用范围
双面模底板 	两面都装有模样, 用同一块模板造上、下铸型, 多数采用曲面形截面, 以增加模底板刚度及防止错箱	木材、铸铝合金、塑料	多用于小铸件、成批大量生产的复杂造型
普通单面模底板 	一般分别由两块模板造上、下铸型	铸铝合金、铸铁	手工或机器造型
坐标模底板 	模样带有定位销, 利用坐标孔定位, 并用螺钉紧固在模底板上, 使模样装拆方便, 一块模板可用于多种模样, 大量节约模底板数量	常用 HT200、QT500、ZG35	中大型铸件、多品种的单件小批生产
快换模底板 	有辅助快速更换的模板框, 模底板套在模板框的定位销上定位, 可迅速更换模板, 节约时间	木材、铸铝合金	应用范围广泛, 从小批生产到大量生产

模具公司制作 请尊重作者版权



(续)

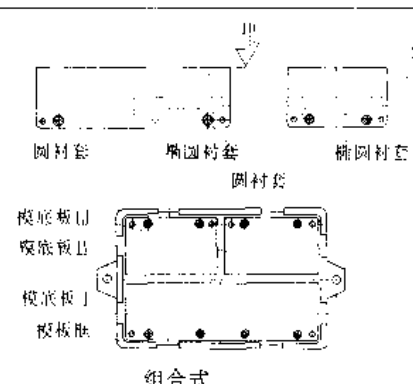
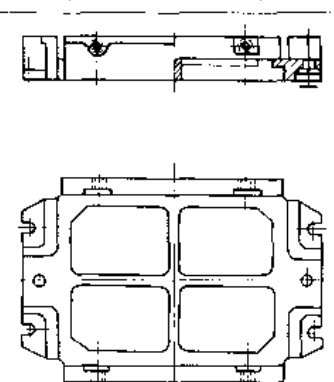
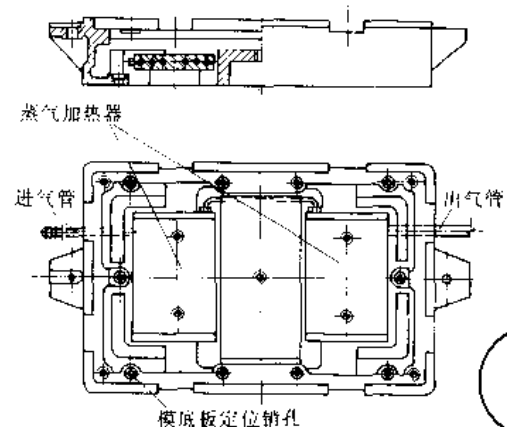
类	别	特 点	材 质	应用范围
单面模底板	快换模底板	 <p>由快换模板框和快换模板组成,同一框内可放置1~4种模样,可任意更换其中一块模板,充分利用砂箱面积,实现多品种生产,合理地组织生产</p>	常用HT200铸铝合金	便于组织多品种流水线生产

表 2-4-11 模板框基本结构

类	别	特 点	材 质	应用范围
	普通快换模板框	 <p>快换模板靠紧固螺丝或气锁装置与模板框固定</p>	铸铁、铸钢	广泛用于中小型铸件
	组合快换模板框	 <p>组合模底板靠固定在模板框的导销定位,用填条或螺钉固定在模板框上,模板框上装有电热或蒸汽加热器,加热模底板,防止粘型</p>	铸铁、铸钢	用于气动微振造型、高压造型或射压造型

1.3 砂箱

砂箱按制造方法分为整铸式、装配式和焊接式。常用的砂箱材料有铸铁、铸钢、铸铝、钢板等。砂箱的结构型式、材料和尺寸应根据铸件大小、造型方法、造型设备及生产批量等情况确定。

1.3.1 砂箱设计

1. 砂箱结构 砂箱的强度和刚度除砂箱材质影响外,由箱壁结构形式、外壁加强筋布置形式及箱带布置形式所决定。高压造型生产线上使用的砂箱箱壁结构型式见图 2-4-1。





图 2-4-1 高压造型用砂箱箱壁结构形式

2. 砂箱精度、定位精度和加工表面粗糙度

(表 2-4-12~表 2-4-14)

表 2-4-12 砂箱加工精度要求 (mm)

砂箱内框 平均尺寸 $\frac{A+B}{2}$	分型面平 面度公差值		填砂面与分型 面平行度公差值	
	通用砂箱	特殊砂箱	通用砂箱	特殊砂箱
≤500	0.1~0.3	<0.1	≤0.3	≤0.1
501~1000	0.3~0.5	<0.15	≤0.5	≤0.2
1001~1500	0.5~0.8	<0.2	≤0.8	≤0.25
1501~2000	0.8~1.0	—	—	—
2001~2500	1.0~1.5	—	—	—
>2500	2	—	—	—

表 2-4-13 定位销孔中心距、孔径及其公差 (mm)

定位销孔中心距	定位销孔孔径 及公差	定位销孔中心距公差		定位销孔中心和分型面 的垂直度公差值	
		普通造型机用 砂箱	高压造型机用砂 箱和滑道式砂箱	普通造型机用 砂箱	高压造型机用砂 箱和滑道式砂箱
≤600	20+8.033	±0.5	±0.05	0.05~0.08	0.03~0.05
601~850	25+8.033	±0.5~0.8	±0.10		
851~1100	30+8.033	±0.8~1.2	±0.15		
1101~1650	35+8.039 或	±1.2~1.5	±0.20	0.00~0.10	—
1651~2200	40+8.039				

表 2-4-14 砂箱加工表面粗糙度  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ )

砂箱工作表面名称	手工造型 用砂箱	普通造型 机用砂箱	高压和气动微 振压实造型机 用砂箱	劈模造型用侧 箱和端头	装配式砂箱
分箱面平面	12.5或不加工	6.3	6.3	6.3	12.5或6.3
填砂面平面	12.5或不加工	12.5	6.3	12.5	12.5或不加工
定位销孔	1.6	1.6	1.6	1.6	—
定位套与砂箱孔的配合面	1.6或0.8	1.6或0.8	1.6或0.8	—	—
沉头座	12.5或6.3	12.5或6.3	12.5或6.3	—	—
砂箱滑道面	—	—	6.3或3.2	—	—
砂箱锁紧孔或锁紧槽	12.5或不加工	12.5或6.3	—	12.5或不加工	12.5或不加工
侧面或接头结合面	—	—	—	6.3	不加工或6.3
其他	不加工	不加工	不加工	不加工	不加工

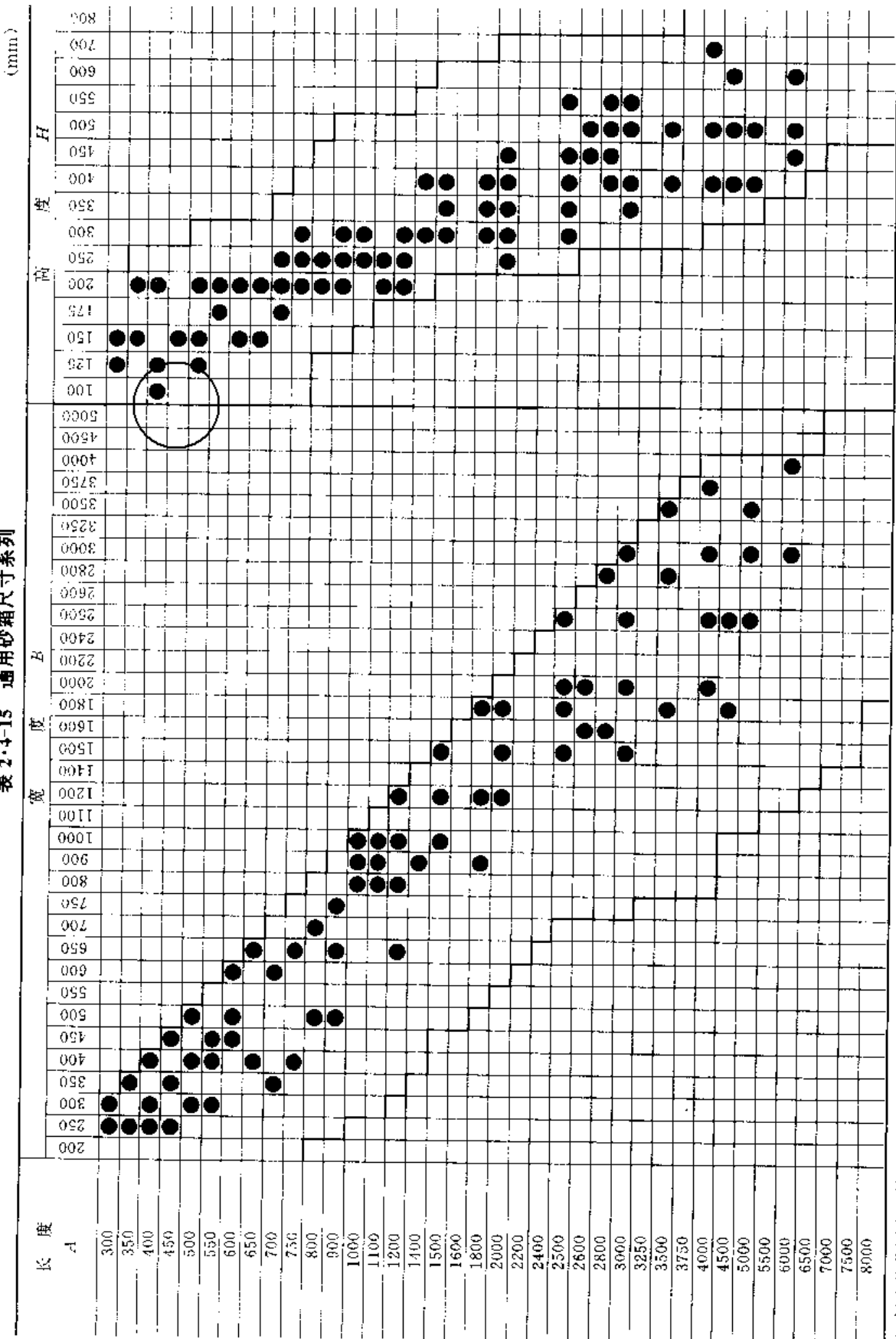
1.3.2 砂箱尺寸系列

铸件的种类很多,不可能为每种铸件都设计一种

砂箱,为扩大砂箱通用范围,最大限度减少砂箱种类,便于生产管理,一般设计成通用砂箱,其尺寸系列见表 2-4-15。



表 2-4-15 通用砂箱尺寸系列



注：粗实线范围内的是砂箱尺寸系列，表中有●点的为生产中应用较多的规格。



1.4 芯盒

芯盒可用金属、木材、塑料等制造，常用的结构形式见表 2-4-16。

1.4.1 普通金属芯盒

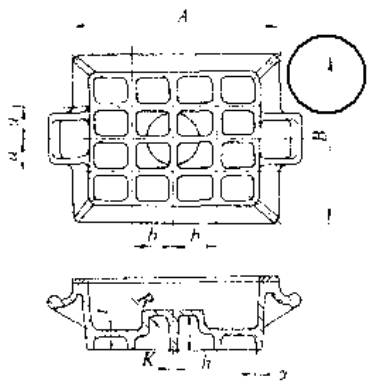
普通金属芯盒常用铝合金制造，芯盒组成见表 2-4-16。

普通金属芯盒一般采用带有凸缘和加强筋的薄壁箱形结构，其壁厚和加强筋的尺寸见表 2-4-17。

表 2-4-16 常用芯盒结构形式及组成

结构形式	组 成
敞口整体式	芯盒本体和活块
水平对开式	由上下两芯盒组成的芯盒本体、定位装置和活块。垂直填砂、紧实，水平开盒的芯盒有时还应设夹紧装置
垂直对开式	由左右两芯盒组成的芯盒本体、定位装置、夹紧装置和活块
敞口套框式	内盒、套框和底板
多向开盒式	侧板、端板、定位板、底板和夹紧装置

表 2-4-17 普通金属芯盒壁厚和加强筋尺寸 (mm)

	$\frac{A+B}{2}$	$a$	$b$	$l$	$K$	$R$
	$\leq 300$	100~120	(1.5~1) a	6	6	5
301~500	120~140	7			6	6
501~700	140~160	10			8	6
701~1000	160~200	12			10	8
>1000	>200	14			10	8

注：表中数据为铝合金芯盒

1.4.2 特种金属芯盒

1. 热芯盒 热芯盒一般包括芯盒本体、定位装置、

排气系统、射砂孔、顶芯机构和加热装置等部分(图 2-4-2)。热芯盒及其附具材料见表 2-4-18，芯盒本体壁厚见表 2-4-19。

表 2-4-18 热芯盒及其附具材料选用表

序 号	名 称	材 料		热 处 理
		名 称	牌 号	
1	热芯盒本体	灰铸铁	HT200 或 HT250	去应力热处理
2	镶 块 活 块	灰铸铁 铜合金	HT200 ZCuSn5Pb5Zn5	去应力热处理
3	顶芯杆 回位顶杆	碳 钢	45	45~50HRC
4	顶杆板	碳 钢	45	45~50HRC
5	顶杆压板	碳 钢	45	45~50HRC
6	回位顶杆弹簧	弹簧钢	50CrVA	42~50HRC
7	定位销	碳 钢	45	45~50HRC
8	定位销套	碳 钢	45	42~48HRC
9	排气塞	铝合金 铜合金	ZAlSi7Mg ZCuZn38	



(续)

序号	名称	材料		热处理
		名称	牌号	
10	加热板	灰铸铁	HT200、HT250	去应力热处理
11	水冷射砂板	灰铸铁	HT200、HT250	去应力热处理
12	水冷射嘴	碳钢	45	38~42HRC

表 2·4-19 热芯盒本体壁厚的选择 (mm)

芯盒平均外形尺寸 $\frac{A+B}{2}$	$\leq 250$	$> 250 \sim 500$	$> 500 \sim 650$	$> 650$
芯盒本体壁厚	15~30	20~40	25~50	30~60

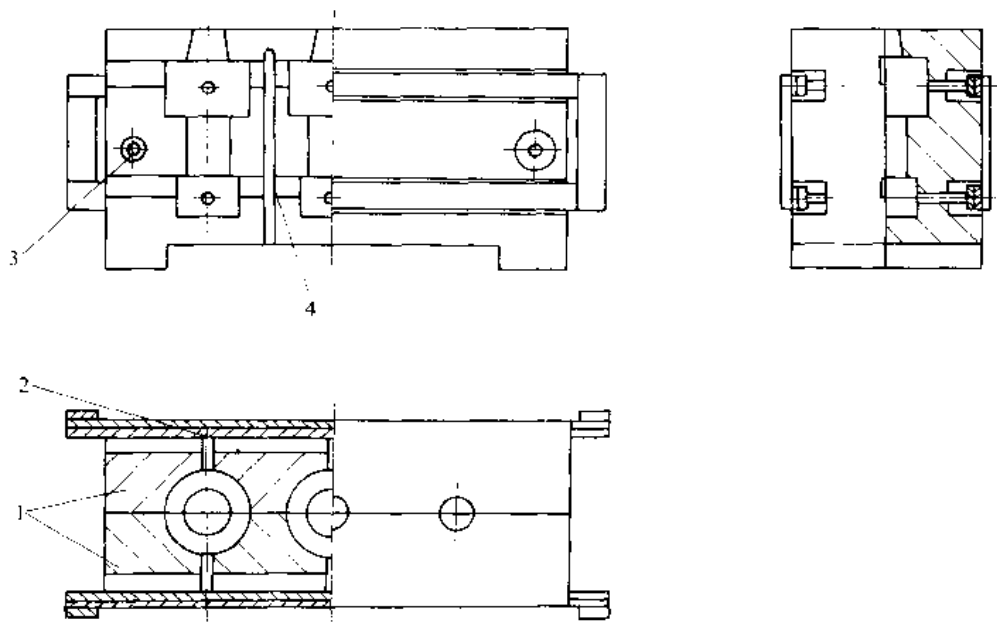


图 2·4-2 热芯盒结构简图

1—芯盒本体 2—顶出机构 3—定位销(套) 4—排气装置

2. 壳芯盒 壳芯盒与热芯盒有许多共同之处,但由于采用的粘结剂不同,其成形、硬化机理及加热温度也不同,因此又有不同的特点和要求。壳芯盒壁厚和加强筋尺寸见表 2·4-20, 煤气加热壳芯盒典型结构见图 2·4-3。

表 2·4-20 壳芯盒壁厚和加强筋尺寸 (mm)

芯盒外轮廓平均尺寸 $\frac{A+B}{2}$	加强筋厚度 K	芯盒壁厚 t	加强筋平均间距 $\frac{a+b}{2}$
$\leq 250$	15~20	20~25	100~120
$> 250 \sim 500$	20~25	25~30	120~150
$> 500$	25~30	30~40	150~200

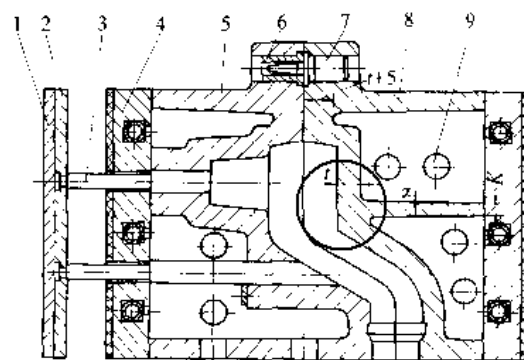


图 2·4-3 煤气加热壳芯盒典型结构

1—顶杆板压板 2—顶杆板 3—顶芯杆 4—加热板 5—静芯盒 6—定位销套 7—定位销 8—动芯盒 9—通气孔( $\phi 20 \sim 30\text{mm}$ )





3. 冷芯盒 冷芯盒由芯盒本体、密封装置、定位装置、顶出机构和排气装置等部分组成,典型结构见图2-4-4。三乙胺气雾冷芯盒法各种材料芯盒的使用性能见表2-4-21。

表 2-4-21 各种材料冷芯盒的使用性能

材料名称	吹气次数 (次)	耐溶剂、 清洗剂性	砂芯脱模性
铸铁	70000	很好	很好
铝合金	4000	很好	好
环氧树脂	60000	好	较好
氨基甲酸酯	1000000	不足	较好
硬木(涂漆)	2000	不足	略好

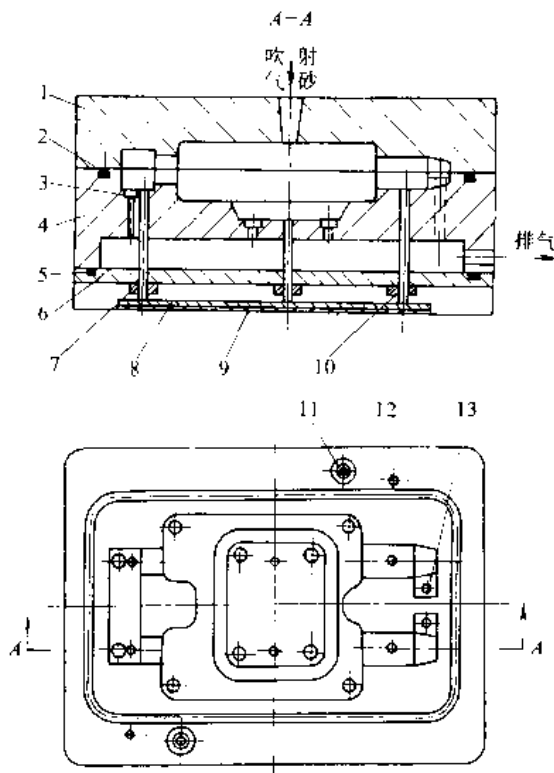


图 2-4-4 冷芯盒的典型结构

- 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—密封圈及压盖
- 8—顶杆板 9—压板 10—顶芯杆 11—定位销、定位衬套及紧固件
- 12—回位顶杆
- 13—排气槽及排气孔

## 2 造型材料

### 2.1 原砂

铸造用原砂分为两类,如下表所示。一般多用硅砂。

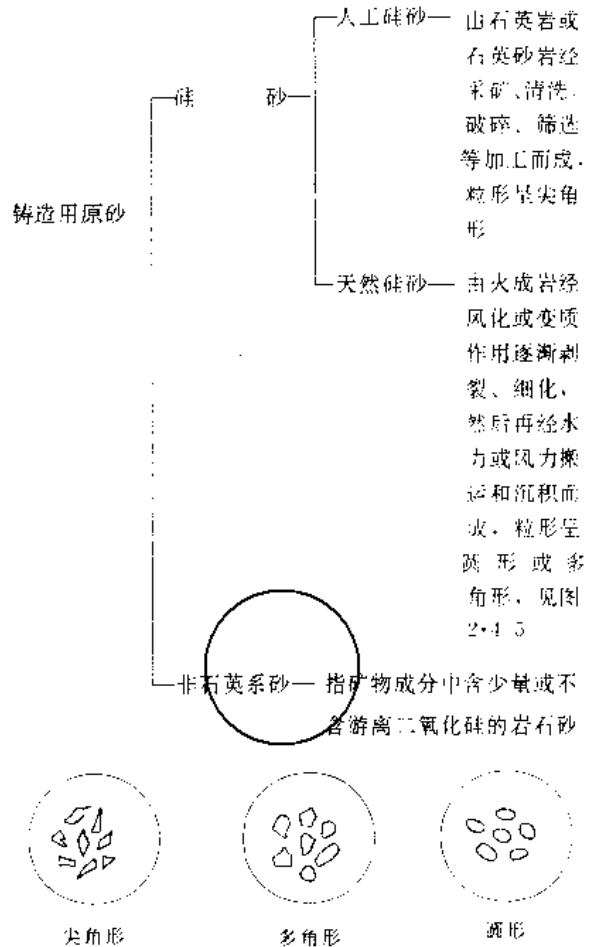


图 2-4-5 硅砂粒形示意图

#### 2.1.1 硅砂

1. 矿物成分及其特性 硅砂的矿物成分主要为石英( $\beta\text{-SiO}_2$ ),其次为长石以及少量云母、铁的氧化物、碳酸盐、硫化物等。长石和云母等矿物莫氏硬度低,且都含有碱金属和碱土金属氧化物。这种氧化物与石英形成低熔点物质,造成铸件的化学粘砂。因此,除石英外,其他各种矿物都能降低原砂的耐火度和复用性。

2. 含泥量 含泥量高,降低砂型透气性和耐火度,当采用各种合成树脂粘结剂或油类粘结剂时,使混合料的强度降低,故对含泥量高的硅砂应进行水洗或擦洗。

3. pH值和酸耗量 原砂的pH值是指原砂中能溶于水的碱性物质或酸性物质的含量。酸耗量(ADV)则指原砂中含有不溶于水的碱性物质的量。对pH值或酸耗量高的原砂,不宜用于酸作固化剂的树脂砂,否则原砂必须经过水洗或擦洗。

4. 颗粒的组成 颗粒形状、大小、分布情况以及颗粒表面状态等对砂型的透气性、强度和耐火度都有



一定的影响。颗粒组成的选择取决于铸造合金种类、铸件重量、造型方法以及特殊工艺性能的要求。

5. **热稳定性** 原砂在高温作用下, 体积膨胀或收缩的性能对铸件尺寸精度有一定影响。硅砂在加热过程中(573℃)会发生相变和体积膨胀。

表 2-4-22 非石英系砂分类、主要成分、性能及应用范围

原砂名称	主要成分	性能	应用范围
锆砂	硅酸锆 ( $ZrO_2 \cdot SiO_2$ )	耐火度高, 热导率和膨胀系数小	大型碳钢及合金钢铸件
镁砂	MgO	熔点高, 不与氧化铁、氧化锰作用	高锰钢铸件
铬铁矿砂	$FeO \cdot Cr_2O_3$	抗碱性渣, 不与FeO等反应, 能防熔融金属渗透	大型或特殊铸钢件
高铝矾土	$mAl_2O_3 \cdot SiO_2$	体积稳定, 抗渣性好	大型碳钢铸件涂料, 熔模铸造制壳材料
刚玉砂	$\alpha-Al_2O_3$	耐火度高, 高温体积稳定, 抗酸碱	合金钢铸件, 也用于熔模和陶瓷型铸造
镁橄榄石砂	$(Mg \cdot Fe) SiO_3$	抗金属氧化物侵蚀能力强	高锰钢铸件和中型铸钢件
钛渣砂	$Al_2O_3, TiO_2$	抗碱性渣能力强	中小型铸钢件面砂和涂料

## 2.2 粘结剂

### 2.2.1 粘土

铸造生产用的粘土, 根据其矿物晶体结构和性能的不同, 分为普通粘土和膨润土两类。普通粘土用于干型, 膨润土常用于湿型, 也可与普通粘土掺合用于干型。

1. **普通粘土** 铸造用普通粘土主要矿物组分为高岭石。按耐火度可分为两级, 见表 2-4-23; 按湿压强度值可分为三级, 见表 2-4-24; 按干压强度值可分为三级, 见表 2-4-25。

表 2-4-23 普通粘土按耐火度分级

等级	高	低
等级代号	G	D
耐火度(℃)	>1580	1350~1580

表 2-4-24 普通粘土按湿压强度值分级

等级代号	5	3	2
工艺试样湿压强度(MPa)	>0.05	>0.03 ~0.05	>0.02 ~0.03

注: 混合料配制: 标准砂 2000g, 粘土 200g, 水 100mL, 干混 2min, 湿混 8min。

### 2.1.2 非石英系砂

非石英系砂主要用于大型铸钢件或有特殊要求的铸件, 其分类、主要成分、性能及应用范围见表 2-4-22。

表 2-4-25 普通粘土按干压强度值分级

等级代号	50	30	20
工艺试样干压强度(MPa)	>0.5	>0.3 ~0.5	>0.2 ~0.3

注: 混合料配制同表 2-4-24, 试样在  $180 \pm 5^\circ C$  保温 1h, 在干燥器内冷却到室温后进行测定。

2. **膨润土** 铸造用膨润土主要矿物成分为蒙脱石。按其交换性阳离子可分为四类, 见表 2-4-26。

表 2-4-26 膨润土的类别

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

钠膨润土对水的极化作用大, 能吸附较多的水分子, 因而抗夹砂能力优于钙膨润土。为了提高钙膨润土的性能, 可加入膨润土量的质量分数 3%~5% 的  $Na_2CO_3$  进行活化处理。

铸造用膨润土按工艺试样热湿拉强度可分四级, 见表 2-4-27; 按工艺试样湿压强度值分四级, 见表



2·4-28。

表 2·4-27 铸造用膨润土按热湿拉强度值分级

等级代号	25	20	15	5
工艺试样热湿拉强度 (kPa)	>2.5	>2.0~2.5	>1.5~2.0	>0.5~1.5

注：混合料配制：标准砂 2000g，膨润土 100g，干混 2min，加水 40ml，混制 8min。

表 2·4-28 铸造用膨润土按湿压强度值分级

等级代号	10	7	5	3
工艺试样湿压强度 (MPa)	>0.1	>0.07 ~0.1	>0.05 ~0.07	>0.03 ~0.05

注：混合料配制同表 2·4-27。

2·2·2 水玻璃

铸造生产中所用的水玻璃多为硅酸钠水玻璃，是一种无色透明的胶体，呈碱性。配制时如与油类粘结剂混合使用，将发生皂化而失去粘结性能。水玻璃能与二氧化碳反应硬化，也可加热硬化或与某些矿渣（如赤泥、炉渣等）和有机酯类起反应而硬化。

水玻璃模数 (M) 是指水玻璃溶液中含 SiO<sub>2</sub> 的物质的量 (mol) 与 Na<sub>2</sub>O 的物质的量 (mol) 之比。若以质量分数 (%) 表示则乘以 1.033。

水玻璃模数越高，水玻璃中含游离的硅胶量也越多，则硬化速度也越快。加入 NaOH 中和水玻璃中部分游离的 SiO<sub>2</sub>，可降低水玻璃的模数。加入 NH<sub>4</sub>Cl 与水玻璃中的 Na<sub>2</sub>O 反应则可提高水玻璃的模数。此外，也可用两种不同模数的水玻璃掺合来获得所要求的模数。

铸造用水玻璃按 ZBJ31003-88 的规定，其性能应符合表 2·4-29 要求。

表 2·4-29 水玻璃的技术要求

牌 号	ZS2.9	ZS2.5
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.40~1.50	1.50~1.56
w <sub>SiO<sub>2</sub></sub> (%)	≥25.7	≥29.3
w <sub>Na<sub>2</sub>O</sub> (%)	≥10.2	≥12.8
模数 (M)	2.51~2.90	2.20~2.50
w <sub>H<sub>2</sub>O</sub> (%)	≤0.04	≤0.05
水不溶物含量的质量分数 (%)	<0.6	<0.8

注：w<sub>SiO<sub>2</sub></sub>、w<sub>Na<sub>2</sub>O</sub>等分别为 SiO<sub>2</sub>、Na<sub>2</sub>O 等的质量分数。

2·2·3 水溶性有机粘结剂

水溶性有机粘结剂的粘结作用是由于粘结剂加热脱水后形成一种包覆在砂粒之间的薄膜并使其粘结起

来。硬化后的强度比油类粘结剂或合成树脂粘结剂低，且有较大的吸湿性。水溶性有机粘结剂常与其他粘结剂配合使用。

1. 亚硫酸盐纸浆残液 亚硫酸盐纸浆残液简称纸浆残液，是以木材为原料采用亚硫酸盐—钙盐基法生产纸浆时所获得的洗涤液，经浓缩处理而制成的。其成分主要含有木质素磺酸盐和糖分。其性能技术指标见表 2·4-30。

表 2·4-30 亚硫酸盐纸浆残液技术条件

项目	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	pH 值	水不溶物的质量分数 (%)	工艺试样干拉强度 (MPa)
指标	1.27~1.28	4.5~6.5	≤1.0	≥0.2

纸浆残液粘结剂主要与其他粘结剂配合使用。粘上砂中加入适量纸浆残液可提高干强度。在油砂中加入少量纸浆残液可提高湿强度。由于纸浆残液粘结剂的吸湿性较大，因此不宜在湿度大的地区使用。

2. 淀粉 淀粉按其颗粒结构形式可分为 β 淀粉和 α 淀粉两种。β 淀粉为天然淀粉。将 β 淀粉与水混合后在一定温度和压力下进行糊化处理使淀粉体积膨胀，分子断裂，微晶结构破坏，膨胀后的颗粒重新缠绕即形成 α 淀粉。α 淀粉颗粒大，呈片状，经烘干破碎即获得细颗粒的 α 淀粉。α 淀粉常作为高压造型湿型砂的附加物，用以提高型砂的韧性，增强砂型表面强度，减少铸件夹砂等缺陷。

3. 糊精 糊精由于制法不同，其颜色有淡黄色和白色两种。淡黄色糊精在水中的溶解度大 (90% 左右)，白色糊精在水中的溶解度小 (60% 左右) 粘结性能稍差。糊精常与油类粘结剂配合使用。在油类粘结剂中加入质量分数为 1%~2% 的糊精可提高油砂芯的湿态强度。

4. 糖浆 糖浆可分淀粉糖浆和甘蔗糖浆两种。其糖分的质量分数为 40% 以上，密度 1.3g/cm<sup>3</sup> 左右。糖浆的粘结强度取决于糖分的含量，含量高粘结强度高，糖浆一般多用于涂料中，可提高涂层的强度。

2·2·4 油类粘结剂

油类粘结剂按其来源可分为植物油粘结剂和矿物油粘结剂两大类。用油类粘结剂配制的芯砂流动性好、干强度高、溃散性好，用于制造形状较复杂的砂芯。

铸造生产中所用的植物油粘结剂有：桐油、亚麻籽油、米糠油、豆油、棉子油及菜子油等。矿物油粘结剂大都是石油化工副产品，呈褐色的粘稠液体或膏状物。



用作粘结剂时,都需经过溶剂稀释。几种油类粘结剂工艺试样配比及性能见表2·4-31。

表2·4-31 油类粘结剂工艺试样的配制

粘结剂种类	试样配比 (g)		混砂时间 (min)	烘干温度、时间		工艺试样干拉强度 (MPa)
	ZBS标准砂	粘 结 剂		温度 (°C)	时间 (min)	
桐 油	2000	40	8	210±5	60	≥2.0
亚麻籽油	2000	40	8	210±5	60	≥2.0
改性米糠油	2000	40	8	215±5	60	≥1.6
塔 油	2000	60	8	220±5	60	≥2.0
合 脂	2000	60	8	210±5	60	≥1.5 ~1.6
渣 油	2000	80	8	250±5	60	≥1.6

油类粘结剂中应用较多的是合脂粘结剂。合脂是石蜡氧化制取合成脂肪酸过程中所获得的副产品,主要含有高碳脂肪酸、羧基酸、皂化物等,是手工制作油砂芯的主要粘结剂。

### 2·2·5 合成树脂

铸造用合成树脂均属高分子有机化合物。合成树脂分三类:尿醛树脂(UF);酚醛树脂(PF);糠醇树脂(FA)。使用单一类树脂往往难以满足铸造生产的要求,因此多采取改性处理。例如,糠醇改性尿醛树脂;糠醇改性酚醛树脂;酚醛改性尿醛树脂等等。因糠醇又称呋喃甲醇,所以以糠醇改性的这类含有呋喃环的树脂总称呋喃树脂。呋喃树脂的性能,主要取决于树脂中尿素、苯酚、糠醇的含量以及树脂的合成工艺。树脂中尿素、苯酚、糠醇含量的增减对树脂砂工艺性能的影响见表2·4-32。

改性后树脂种类繁多,硬化形式多样。常用的有以下几种:

**1. 壳型(芯)用树脂** 制造壳型(芯)的覆膜砂一般都采用固体的酚醛树脂。该种树脂用六次甲基胺(乌洛托品)作固化剂时,在一定温度下产生交联反应,将线型结构联成网状结构使树脂具有较高的强度。

除固体酚醛树脂外,也可用热塑性液状酚醛树脂,以冷法或温法工艺配制覆膜砂。酚醛树脂的技术条件见表2·4-33。

**2. 热芯盒用树脂** 热芯盒法所用的树脂为热固性树脂。该类树脂在一定温度下借催化剂的作用能进一

步缩聚和加聚反应交联成体形结构而硬化。热芯盒用糠醇改性尿醛树脂用氯化胺水溶液作固化剂,因含氮量高不宜用于球墨铸铁和铸钢件,而适用于非铁合金铸件和灰铸铁件。糠醇改性酚醛树脂用乌洛托品或苯磺酸水溶液作固化剂,因含氮量低故适宜用于球墨铸铁件或铸钢件。热芯盒用树脂的技术条件见表2·4-34。

表2·4-32 树脂原料对树脂砂工艺性能的影响

树脂中原料变化	增加尿素	增加苯酚	增加糠醇
固化速度和强度	增加	减少	增加
脆 性	减少	增加	减少 (加到酚醛中) 增加 (加到尿醛中)
砂芯吸湿性	增加	减少	减少
砂芯溃散性	改善	变差	变差
含氮量、发气量和气孔	增加	减少	减少
铸件表面粗糙度	较粗糙	较光洁	较光洁
树脂成本	降低	提高	提高

表2·4-33 酚醛树脂的技术条件

树脂牌号	PF-90	PF-110
软化点(°C)	75~90	91~110
聚合速度(s)	35~60	100~140
游离酚的质量分数(%)	<7	<4
流动性(mm)	45~85	45~85
覆膜砂熔点(°C)	95~105	100~110
覆膜砂常温抗拉强度(MPa)	>3.0	>3.0

注:覆膜砂中树脂加入量的质量分数为5%。

表2·4-34 热芯盒用树脂技术条件

树脂名称	糠醇改性尿醛树脂 (呋喃I型)	糠醇改性酚醛树脂 (呋喃II型)
	粘度20°C (mPa·s)	≤3000
固体的质量分数(%)	≥75	≥60
游离甲醛的质量分数(%)	≤5	≤5
pH	6.5~7.5	6.5~7.5
氮的质量分数(%)	≤13.5	≤0.3

**3. 酸硬化自硬砂用树脂** 自硬砂是指在酸类固化剂作用下,能在常温自行硬化的型(芯)砂。

自硬砂用树脂为呋喃系树脂。根据含氮量不同可分为高氮树脂,低氮树脂和无氮树脂。其含氮量和使用



范围见表2-4-35,自硬砂用树脂的性能指标见表2-4-36。不同类型的树脂,性能差别很大。

表 2-4-35 自硬砂用树脂的含氮量 (wt%) 和使用范围

类别	w <sub>N2</sub> (%)	使用范围
高氮树脂	>3	非铁合金铸件、中小型灰铸铁件和可锻铸铁件
低氮树脂	<5	球墨铸铁件和铸钢件
无氮树脂	<0.3	球墨铸铁件和铸钢件

表 2-4-36 自硬砂用树脂性能指标

项 目	指 标
粘度 20℃ (mPa·s)	40~1000
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.15~1.20
游离甲醛的质量分数 (%)	<1
pH	6.0~7.5
氮的质量分数 (%)	0~13

4. 冷芯盒用树脂 冷芯盒用树脂系指三乙胺法冷芯盒树脂和二氧化硫法冷芯盒树脂。三乙胺法冷芯盒

用树脂是由两种组分树脂组成,一个组分是聚异氰酸酯树脂,另一个组分是聚苯醚酚醛树脂。这两种组分混合后,吹入气态的固化剂——三乙胺(TEA),使聚异氰酸酯中的异氰酸根(-NCO)和酚醛树脂中的羟基(-OH)产生反应生成体型的聚氨基甲酸酯而固化。

二氧化硫法冷芯盒用树脂是由尿素、甲醛、糠醇合成的一种热固性糠醇尿醛树脂。用酸性固化剂(SO<sub>2</sub>)进行硬化。

2.3 混合料及其配制

2.3.1 粘土砂

粘土砂分为湿型砂、下型砂和表干砂,干型砂和表干砂的使用面逐渐减少。湿型砂以膨润土作粘结剂,由于型砂不需烘干,所以生产周期短、便于组织流水生产、成本低。但对型砂性能控制要求严格,以免铸件产生气孔、夹砂、砂眼、粘砂等缺陷。湿型砂主要用于中小型铸件,特别是用于大批量机械化造型生产汽车、拖拉机、柴油机及轻纺机等铸件。铸铁件湿型砂配比及性能见表2-4-37。

表 2-4-37 铸铁件湿型砂配比及性能

质 量 配 比						性 能						用 途
旧砂	新砂	膨润土	煤粉	碳酸钠(占膨润土量)	重油	水的质量分数 (%)	紧实率 (%)	透气性	湿压强度 (MPa)	热湿拉强度 (MPa)	泥的质量分数 (%)	
90~95	5~10	1~2	1~1.5	3~4	-	3.2~3.8	35~45	>100	0.15~0.2	>2	<15	高密度造型用单砂
50	50	4~5	4~5	4~5	1~1.5	5.0~6.0	-	>80	0.08~0.1	>2	-	手工造型用面砂
90	10	2~3	-	3~4	-	5.0~6.0	-	>100	0.08~0.1	-	-	手工造型用背砂

注:高密度造型指高压造型、无箱射压造型、气冲造型。

2.3.2 水玻璃砂

采用不同硬化方法的水玻璃砂的配比及性能见表2-4-38~表2-4-40。

表 2-4-38 CO<sub>2</sub> 硬化法水玻璃砂的配比及性能

质 量 配 比			抗压强度 (MPa)	
新砂	水玻璃 M=2.2~2.1	溃散剂	瞬时	24h
100	5~6	1~1.2	≥0.4	≥1.5
100	一元化水玻璃 4~5	-	≥0.7	≥2.0



表 2-4-39 烘干硬化法水玻璃砂的配比及性能

质 量 配 比				性 能				备 注
新砂	水玻璃 M=2.2~2.4	膨润土	粘土	水分的质量 分数 (%)	透气性	湿压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	
100	6~8	3~4	0~3	4~5	>100	0.02~0.03	0.5~0.6	起模后 烘干硬化

表 2-4-40 自硬法水玻璃砂的配比及性能

质 量 配 比				性 能	
新砂	水玻璃 (M=2.2~2.4)	硬化剂	NaOH100g/L 水溶液	水分的质量分数 (%)	24h 后 抗压强度 (MPa)
100	6~7	赤泥 4~5	0~1	4.5~5.5	≥0.8
100	6~7	炉渣 5~7	—	3~4	≥0.8
100	6~7	铬铁矿渣 3~6	—	4.5~5.5	≥1.0
100	3~4	有机酯 0.3~0.4	—	—	≥2.0

2.3.3 油砂

油砂用于制芯，其配比及性能见表 2-4-41。

表 2-4-41 油砂的配比及性能

制 芯 方 法	质 量 配 比							性 能				使 用 范 围	
	硅 砂	桐油或 亚麻油	米 糠 油	合 脂	膨 润 土	糊 精	纸浆 残液	水	水分 的 质 量 分 数 (%)	透 气 性	湿 压 强 度 (MPa)		干 拉 强 度 (MPa)
机 器 制 芯	2~2.5	—	—	—	0.5~1	—	适 量	1.5~2.0	>100	0.07 ~0.1	1.6~2.0	干强度高， 湿强度低，制 作形状复杂 的砂芯	
	2~2.5	—	—	—	—	1.5~2.0		2.0~2.5		0.07 ~0.1	1.6~2.0		
	—	2~2.5	—	—	1~1.5	0.5~1		—		2.5~3.0	0.10 ~0.15	1.2~1.6	干强度高， 湿强度中等， 制作形状中 等复杂的砂 芯
	—	2~2.5	—	—	1~1.5	—		1.5~2.0		2.5~3.0	0.10 ~0.15	1.2~1.6	
	—	—	3.5~4	—	1~1.5	0.5~1		—		2.5~3.0	0.10 ~0.15	1.2~1.6	
	—	—	3.5~4	—	1~1.5	—		1.5~2.0		2.5~3.0	0.10 ~0.15	1.2~1.6	



铸造工业出版社



(续)

制芯方法	质量配比							性能				使用范围	
	硅砂	桐油或亚麻油	米糠油	合脂	膨润土	糊精	纸浆残液	水	水分的 质量分数 (%)	透 气 性	湿压 强度 (MPa)		干拉 强度 (MPa)
下 上 100 制 芯		2~2.5	—	—	—	1.0~1.5	—	适量	2.0~2.5	>100	0.15 ~0.20	1.6~2.0	干强度高, 湿强度低,制 作形状复杂 的砂芯
		2~2.5	—	—	0.5~1.0	—	1.0~1.5		2.5~3.0		0.15 ~0.20	1.6~2.0	
		—	2~2.5	—	1.5~2.0	1.0~1.5	—		2.5~3.5		0.20 ~0.25	1.2~1.6	干强度高, 湿强度中等, 制作形状中 等复杂的砂 芯
		—	2~2.5	—	1.5~2.0	—	1.5~2.0		2.5~3.5		0.20 ~0.25	1.2~1.6	
		—	—	4~4.5	1.5~2.0	1.0~1.5	—		2.5~3.5		0.20 ~0.25	1.2~1.6	
		—	—	3.5~4.5	1.5~2.0	—	1.5~2.0		2.5~3.5		0.20 ~0.25	1.2~1.6	
		—	2~2.5	—	3~4	—	2.0~2.5		2.5~3.5		0.25 ~0.35	0.8~1.2	
	—	—	3.5~4.5	3~4	—	2.0~2.5	2.5~3.5	0.25 ~0.35	0.8~1.2				

2.3.4 树脂砂

1. 壳型(芯)砂 热法覆膜砂的配比及性能见表 2.4-42。

热覆膜砂混制工艺是将原砂加热到 140~160℃ 后,与树脂混拌(约 45~50s)使热砂将树脂熔化并包覆在砂粒上,当温度降到 70℃ 左右时,加入乌洛托品和硬脂酸钙(二者均以水溶液加入)再混和均匀(约 45~50s),然后经破碎,过筛及冷却(35℃ 以下)后即可

使用。

表 2.4-42 热法覆膜砂的配比及性能

新砂	质量配比			性能	
	酚醛树脂	乌洛托品 (占树脂量)	硬脂酸钙 (占树脂量)	常温抗拉 强度 (MPa)	熔点 (℃)
100	4~6	12~15	3.5~4.0	>2.5	94~98

2. 热芯盒砂 热芯盒砂的配比及性能见表 2.4-43。

表 2.4-43 热芯盒砂配比及性能

原砂	质量配比				性能		用途
	糠醇改性 尿醛树脂	糠醇改性 酚醛树脂	氯化胺水溶液 (占树脂量)	苯磺酸水溶液 (占树脂量)	氧化铁粉	常温抗拉强度 (MPa)	
100	2~2.5	—	20	—	0.2~0.3	≥2.5	铸铁件
100	—	2.5~3.0	—	15	—	≥2.5	铸钢件

注: 1. 氯化胺水溶液为氯化胺:尿素:水=1:3:3, 苯磺酸水溶液浓度 600g/L。

2. 混制工艺: 砂+固化剂→加树脂→出料。

(混 1min)(混 2min)



3. 冷芯盒砂

a. 三乙胺法砂 三乙胺法冷芯盒砂采用双组分粘剂。组分 I 是液体酚醛树脂；组分 II 为聚异氰酸酯。两种组分与砂混合后，吹入雾化三乙胺而硬化。

三乙胺法芯砂的配制是将两种组分树脂以 1:1 匹配。对铸钢件而言，为了降低氮含量采用 6:4。树脂占总加入量的质量分数：铸铁、铸钢为 1.5%~2.0%，非铁合金为 1%~1.5%。混制工艺：两种组分树脂可同时加入，也可分别加入砂中。混拌时间以树脂能均匀包覆砂粒为宜。一般混拌 2min 左右。混拌时间过长，使砂温上升而影响芯砂的可使用时间。混拌时间过短，树脂分布不均匀，容易粘芯盒同时砂芯强度也低。

b. SO<sub>2</sub> 法砂 SO<sub>2</sub> 法砂本质上是酸硬化树脂体系。此法是在砂中加入酚醛树脂或呋喃树脂和有机过氧化物。搅拌后的混合物，通入 SO<sub>2</sub> 气体即使砂芯很快硬化。SO<sub>2</sub> 法砂的质量配比：原砂 100%；500g/L 浓度的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>（占树脂质量）25%~50%，硅烷（占树脂

质量）0.3%。混制工艺：

砂+树脂+硅烷  $\xrightarrow[1.5\sim3\text{min}]{\text{混拌}}$  加过氧化氢  $\xrightarrow[1.5\text{min}]{\text{混拌}}$  出砂  
 SO<sub>2</sub> 法砂存放时间长，一般可放置 8h 左右。

c. 酯硬化砂 酯硬化制芯法是近几年出现的一种气硬化芯新工艺。它是采用一种水溶性碱性甲阶酚醛树脂与原砂搅拌后，吹入雾化的甲酸甲酯使砂芯硬化。该法无环境污染，无需净化处理。砂芯热塑性好，可减少铸件产生结疤、鼠尾、热裂等铸造缺陷。

不同气硬化法砂的抗压强度见表 2-4-44。

表 2-4-44 几种气硬化法砂的抗压强度比较

工艺方法	三乙胺法	SO <sub>2</sub> 法	酯硬化法
粘剂加入量(质量分数)(%)	1.5	1.5	1.5
抗压强度(MPa)	7.0	8.4	4.9

4. 呋喃树脂自硬砂 呋喃树脂自硬砂的配制是由原砂、树脂、酸性固化剂，添加剂等组成。其配比及性能

表 2-4-45 呋喃树脂自硬砂配比及性能

合金种类	质 量 配 比						性 能 24h 抗拉强度(MPa)
	新砂	旧砂	树脂	固化剂 (占树脂质量)	硅烷 (占树脂质量)	氧化铁	
铸铁	100		0.8~1.2	40~60	0.2~0.3	2~3	≥1.5
	5~10	90~95	0.8~1.2	40~60	0.2~0.3	—	≥1.5
铸钢	100	—	0.8~1.5	40~60	0.2~0.3	—	≥1.5

能见表 2-4-45。

呋喃树脂自硬砂的混制工艺视不同混砂设备而异。最好采用连续混砂机。将原砂、固化剂、树脂按一定比例加入混拌而成。树脂自硬砂的固化速度与原砂、树脂、固化剂质量，砂温，环境温度、湿度等有关。因此，固化剂的加入量根据上述诸因素和硬化工艺要求来决定。一般加入量占树脂质量的 30%~60%，固化剂加入量越多，固化速度越快。但过量时，会使树脂焦

化，强度下降。加入量过少则影响硬化速度。

2.3.5 非石英系型砂和芯砂

以硅砂为原砂的型砂和芯砂，用于铸造大型厚壁的铸钢件或合金钢铸件时，往往产生粘砂现象。因此，生产该类铸件常采用非石英系原砂如：锆砂、镁砂，铬铁矿砂等等。非石英系型砂和芯砂的配比及性能见表 2-4-46。

表 2-4-46 非石英系型(芯)砂配比及性能

型(芯) 原砂名称	质 量 配 比						性 能					
	原砂	粘土	膨润土	水玻璃	树脂	固化剂	水的质量分数(%)	湿透气性	湿压强度(MPa)	抗拉强度(MPa)	干压强度(MPa)	干剪强度(MPa)
锆砂	100	—	—	—	1.0~1.2	0.3~0.5	—	—	—	>0.8	—	—
铬铁矿砂	100	2~3	—	6~8	NaOH 0~0.5	重油 0~0.5	4~5	>50	0.03~0.05	>0.8	—	—





(续)

型(芯) 原砂名称	质 量 配 比						性 能					
	原砂	粘土	膨润土	水玻璃	树脂	固化剂	水的质量分数(%)	湿透气性	湿压强度(MPa)	抗拉强度(MPa)	干压强度(MPa)	干剪强度(MPa)
镁砂	100	10~12	糖浆 2~3	—	—	—	8~9	>100	0.06 ~0.07	—	>0.5	—
橄榄石砂	100	—	6	—	—	—	4~5	>50	0.03 ~0.04	—	—	>1.0
钛渣砂	100	0~1	—	6~8	—	—	4~5	>100	0.01 ~0.02	—	>1.3	—

2.4 砂型砂芯涂料

砂型砂芯涂料由耐火粉料、悬浮剂、粘结剂、分散介质及改善涂料某些性能的添加剂等组成。涂料的作

用主要是提高铸件表面质量。

1. 耐火粉料 耐火粉料是涂料的主要组成物,常以两种或两种以上的耐火材料搭配而成。常用的耐火粉料见表 2-4-47。

表 2-4-47 常用的耐火粉料

铸件材质		锆砂粉	白刚玉粉	棕刚玉粉	镁砂粉	硅石粉	熟铝矾土粉	石墨	焦炭粉	滑石粉
铸 钢 件	合金钢	√	√	—	—	—	—	—	—	—
	碳钢	√	○	√	—	√	○	—	—	—
	高锰钢	—	—	—	√	—	—	—	—	—
铸 铁 件	灰铸铁	○	—	—	—	○	√	√	○	○
	球墨铸铁	○	—	—	—	○	√	√	○	○
	可锻铸铁	○	—	—	—	○	√	√	○	○
铜 铸 件	○	—	—	—	○	○	√	√	√	
铝 铸 件	—	—	—	—	—	—	√	√	√	
镁 铸 件	—	—	—	√	—	—	○	○	—	

注：“√”常用，“○”不常用，“—”不用。

2. 粘结剂 涂料中的粘结剂按其化学结构可分为有机粘结剂和无机粘结剂,按其粘结作用可分常温粘结剂和高温粘结剂。一般有机粘结剂为常温粘结剂而无机粘结剂常为高温粘结剂。用作涂料的有机粘结剂有:水溶性或醇溶性树脂,糊精,糖浆,纸浆残液,磷酸盐等。实际生产中,涂料中的粘结剂常将有机粘结剂和无机粘结剂配合使用,以保证涂料的常温 and 高温粘结性能。

3. 悬浮剂 涂料的悬浮剂有:钠基膨润土或活化膨润土;凹凸棒土,羧甲基纤维素钠(CMC),聚乙烯醇(PVA),有机膨润土,聚乙烯醇缩丁醛(PVB),聚丙烯酰胺等。这些悬浮剂同样也具有粘结的作

用。

4. 分散介质 耐火粉料在分散介质(又称载体)中能分散或悬浮。涂料按其分散介质的不同可分为以水为分散介质的水基涂料;以醇类为分散介质的醇基涂料。醇基涂料因不需烘干,而只需将分散介质引燃后迅速燃烧而硬化,故又称快干涂料。以卤化烃为分散介质的称自干涂料。这种分散介质有二氯甲烷、氯仿、四氯化碳等。这些介质沸点低,挥发快,配制的涂料具有风干特性。但由于毒性较大,因此采用较少。自干涂料中常用的分散介质为二氯甲烷。

5. 添加剂 添加剂的种类、作用与名称见表 2-4-48。



表 2·4-48 添加剂种类、作用与名称

(续)

种类	作用	名称
表面活性剂	提高涂料对铸型(芯)的润湿能力	烷基磺酸钠
消泡剂	避免涂料产生气泡	正丁醇 正戊醇 正辛醇
渗透剂	增加涂料对砂型(芯)的渗透深度	乳百灵(OP-10) T-80 JFC

种类	作用	名称
防腐剂	防止涂料中有机物质发酵变质	五氯苯酚、五氯酚钠、苯甲酸钠、甲醛溶液
防潮剂	防止涂层吸潮	70~100g/L 浓度的有机硅液体

6. 砂型和砂芯涂料的配比 用于铸钢件、铸铁件和非铁合金铸件的涂料配比和应用范围分别见表 2·4-49~表 2·4-52。

表 2·4-49 铸钢件用水基涂料的质量配比和应用范围

结砂粉	白刚玉粉	棕刚玉粉	铝矾土粉	硅石粉	煅砂粉	铬铁矿粉	粘土	膨润土	CMC	液态酚醛树脂	糖浆	聚醋酸乙烯乳液	水柏油	水	应用范围
100	—	—	—	—	—	—	—	1.5~2.0	0.1~0.2	—	—	3~4	—	适量	大型碳钢铸件或合金钢铸件
100	—	—	—	—	—	—	2~3	0.2~0.5	4~5	—	—	—			
—	100	—	—	—	—	—	3~4	0.3~0.5	—	—	3~4	—			
—	—	100	—	—	—	—	3~4	0.3~0.5	—	—	3~1	—	—		中大碳钢铸件
—	—	—	100	—	—	—	1.5~2.5	—	—	2~3	—	1.5~2.0	—		中小碳钢铸件
—	—	—	—	100	—	—	1~2	2~3	—	—	3~5	—	2~3		一般碳钢铸件
—	—	—	—	—	100	—	—	1~1.5	—	—	6~7	—	3~4		锰钢铸件
—	—	—	—	—	—	100	0~2	2~3	—	—	5~6	—	—	中大碳钢铸件或合金钢铸件	

表 2·4-50 铸铁件用水基涂料的质量配比和应用范围

土状石墨	鳞片石墨	铝矾土粉	滑石粉	粘土	膨润土	CMC	糖浆	聚醋酸乙烯乳液	水溶性树脂	水	应用范围
70	30	—	—	0~2	2~3	0.3~0.8	3~5	—	—	适量	大件
70	30	—	—	0~2	2~3	0.3~0.8	—	—	5~6		大件
45	15	40	—	0~2	2~3	0.3~0.8	—	3~4	—		中小件
50	20	—	30	—	2~3	0.3~0.8	—	—	4~5		中小件



表 2·4-51 醇基涂料的质量配比和应用范围

蛭英粉	铝矾土粉	石墨粉	有机膨润土	锂膨润土	PVB	树脂	松香	异丙醇或乙醇	应用范围
100	—	—	1~3	—	0~1	—	2~3	适量	大型碳钢铸件或合金钢铸件
100	—	—	—	3~4	0~1	3~5	—		中、大铸铁件
—	40	60	—	4~5	0~1	4~6	—		一般铸铁件
—	—	100	2~3	—	0~1	3~5	1~2		

表 2·4-52 非铁合金铸件涂料的质量配比和应用范围

名称	石墨粉	滑石粉	云母粉	白垩粉	粘土	膨润土	糊精	糖浆	纸浆残液	玻璃	水	应用范围
铜铸件	70	—	—	—	30	—	—	7	—	—	适量	大件
	25	75	—	—	—	—	—	8	—	—		中件
	—	70	—	30	—	—	—	6	—	—		小件
	—	44	50	—	—	—	—	6	—	—		小件
	76	18	—	—	—	4	2	—	—	—	中大件	
铝铸件	—	22	—	—	—	—	—	—	—	8	70	中小件
	—	100	—	—	—	6	2	—	—	—	适量	小件
	—	88	—	—	10	—	—	—	2	—	适量	中件

7. 涂料配制工艺 配制涂料时,应先将粉状的高分子化合物预先配制成溶液后再加入。膨润土也最好预先用水浸泡。

配制蛭英粉或石墨粉涂料,可采用高速搅拌机直接配制成液状涂料。配制其他耐火粉料涂料时,最好采用捏和机、球磨机或碾压机。因在混碾过程中,耐火粉料的颗粒被粉碎形成新生表面而具有较大的活性,使配制好的涂料有较好的悬浮性和稳定性。当球磨或碾压时,一般先配成膏状,这时涂料中的水分约为粉料质量的25%~30%,然后再加水搅拌稀释到所需的密度,或直接以膏状出售。使用单位根据要求自行搅拌稀释。

加料顺序:采用高速搅拌机时,先加液料和浆料混均后再加粉料混制。采用球磨机或碾压机时,先加粉料混均后再加液料和浆料混制。

## 2·5 旧砂再生<sup>[14][15]</sup>

### 2·5·1 旧砂再生方法

旧砂再生处理方法可分为干法再生、湿法再生和热法再生。在干法再生中又可分为机械再生和气流再生。再生方法的选择根据使用粘结剂种类,对再生砂要求的净化程度以及经济效益等诸因素决定。

1. 干法再生 将砂团经过滚筒破碎,过筛除去金属碎片或杂块,然后经过除尘(细粉)、冷却即可。对一般背砂或铸铁件湿型砂可以直接使用。对于要求高的再生砂则需进一步去除残存的粘结膜。去除方法有机械法和气流法。机械法是将砂子送入搓擦装置中,利用旋转的叶片或转板将砂子抛向冲击板,使砂子产生几次冲击和相互摩擦而去除粘结膜。气流法是利用气流带动砂子通过混合喷嘴喷射到冲击板上,由于砂粒与砂粒,砂粒与管壁之间的摩擦以及砂粒喷射到冲击板上的冲击作用将砂粒表面的粘结膜去除。粘结膜剥落后再经过风选、除尘即可使用。

2. 湿法再生 前道工序与干法再生一样,不同的是搓擦过程是在水中进行。某些水溶性物质可随水流冲走,提高了纯化程度。该法特别适用于水玻璃砂的旧砂再生。湿法再生虽可获得质量良好的再生砂,但设备投资大,操作费用高,再生砂还需烘干处理,耗能大。另外,湿法再生的废水要经过净化处理而排放。

3. 热法再生 是利用热量将砂粒表面的粘结剂烧掉。该法对有机粘结剂砂、树脂砂特别有效,但需要热源故成本较高。

湿法、热法和机械法联合再生,可获得比新砂性能更好的再生砂。各种旧砂用于不同型(芯)砂时,需对旧砂进行再生处理的方法见表2·4-53。



表 2-4-53 各种旧砂再生处理方法

再生用途	旧 砂 种 类					
	粘土砂	水玻璃砂	壳型砂	热芯盒砂	冷芯盒砂	自硬树脂砂
粘土砂	风力	风力+湿法	机械	热法	机械	热法
水玻璃砂	湿法	机械+风力或湿法	机械	热法	机械	热法
壳型砂	湿法+擦磨	机械+风力或湿法	热法	热法	机械+风力	热法
热芯盒砂	—	—	热法	机械+风力	热法	热法
冷芯盒砂	—	—	—	热法	热法	—
自硬树脂砂	—	—	热法	热法	热法	热法或机械+风力

2-5-2 再生砂质量控制指标

再生砂质量控制指标因粘结剂种类、铸件材质、铸件大小等不同而不同。判断再生砂质量的主要指标是：

灼减量、酸耗量、pH 值、含氮量以及砂粒表面状态和粒度分布。各种型(芯)砂的再生砂质量控制指标列于表 2-4-54。

表 2-4-54 再生砂质量控制指标

型(芯)砂名称	铸件材质	灼减量① (%)	酸耗量 (mL)	pH 值	0.075 筛底盘① (%)	底盘① (%)	含水量① (%)	含 N <sub>2</sub> 量① (%)
酚醛尿烷砂	灰铸铁	<3.0	—	8	<3.0	<0.5	<0.2	—
呋喃树脂砂	灰铸铁	<3.0	<2.0	5	<1.0	<0.2	<0.2	<0.1
	碳钢	<1.5	<2.0	5	<1.0	<0.2	<0.2	<0.03
	铝合金	<4.0	<1.0	6	<1.0	<0.2	<0.2	—
	铜合金	<2.5	<1.0	6	<1.0	<0.2	<0.2	—
多元醇尿烷砂	铝合金	<5.0	—	7	—	<0.4	<0.2	—
树脂覆膜砂	铸铁、铸钢、非铁合金	<0.1	—	8	—	—	<0.2	—
CO <sub>2</sub> 法水玻璃砂	铸铁、铸钢、非铁合金	<0.1	—	11	—	<1.0	<0.2	Na <sub>2</sub> O <0.5
冷芯盒砂	铸铁、非铁合金	—	—	—	—	<0.5	<0.1	含泥量 <0.1

① 皆指质量分数。

3 造型制芯工艺<sup>[26][12]</sup>

传统的手工造型和制芯方法，如砂箱造型、叠箱造型、劈箱造型、脱箱造型、组芯造型、地坑造型、刮板造型、芯盒制芯和刮板制芯等，在单件小批生产特别是

大型复杂铸件生产中仍有应用，但其中的填砂、搬运及翻转等笨重操作大都已借助机械来完成。这些手工造型和制芯方法要求工人操作技术高，而且劳动强度大，生产率低，铸件质量不易稳定，故应缩小其应用范围。常用的砂型铸造造型制芯工艺见表 2-4-55。

表 2-4-55 常用砂型铸造造型制芯方法

类 别	工 作 原 理	主要特点和应用范围
振击造型(制芯)	靠造型(制芯)机的振击来紧实型(芯)砂	机构简单，振击噪声大，生产率低，适用于成批生产中大铸件
压实造型	用较低的比压压实型砂	机构简单，噪声小，生产率较高，适用于大量、成批生产中中小扁平铸件



(续)

类别	工作原理	主要特点和应用范围
振压造型	先振击然后用较低比压压实型砂	特点与振击造型基本相同,但生产率得到提高,砂型紧实度比较均匀,适用于大量、成批生产中小铸件
气动微振压实造型	可在压实的同时进行微振,使型砂紧实	砂型紧实度较高,且分布均匀,生产率较高,能适应各种形状的铸件,对厂房基础要求较低,但振击噪声大,适用于大量、成批生产各种铸件
抛砂造型(制芯)	将砂团高速抛入砂箱(芯盒),达到充填和紧实的目的	砂型(芯)紧实度较均匀,不要求专用模板和砂箱,生产率较低,适用于单件、小批生产中大铸件
高压造型(包括多触头高压造型、水平分型脱箱射压造型和垂直分型无箱射压造型等)	用较高比压压实型砂	砂型紧实度高,铸件尺寸精度高、表面光洁,生产率高,劳动条件好,易实现自动化,但机器及工装复杂,造价高,维护保养要求严格,适用于大量、成批生产中小铸件
气流冲击造型	用压力气流对砂箱中的型砂进行瞬间冲击,使型砂紧实	砂型紧实度高,铸件尺寸精度高,设备结构较简单,容易维修,能耗低,散落砂少,噪声小,适用于大量、成批生产中小铸件
气流紧实造型	用压缩空气在短时间内透过砂箱内的型砂,使型砂紧实,然后压实砂型顶部	砂型紧实度均匀,铸件尺寸精度高,振动小,噪声低,但设备结构较复杂,耗气量大,模板上需安装相当数量的排气塞,适于生产薄壁复杂的发动机类铸件
树脂自硬砂造型(制芯)	树脂粘结剂、催化剂(或固化剂)与原砂混合,然后填入常温的砂箱(芯盒)中通过化学反应自行硬化	操作简便,劳动量小,但型(芯)砂需随混随用,适用于单件、小批生产形状复杂的大中铸件
水玻璃砂造型(制芯)	将水玻璃为粘结剂的型(芯)砂填入砂箱(芯盒),借助于硬化剂或吹 $\text{CO}_2$ 等使其硬化	型(芯)砂价格便宜,无毒无臭,但溃散性较差,旧砂回用困难,采用酯硬化法或真空置换硬化法能克服上述缺点。适用于生产形状较简单的中大件(水玻璃砂的原砂可为石灰石砂)
热芯盒制芯	将热固性树脂为粘结剂的芯砂射入加热的芯盒(一般为 $200^\circ\text{C}$ 以上)中硬化	生产率高,工艺简单,便于自动化,砂芯强度较高,但耗能多,劳动条件较差。适用于大批量生产的砂芯
	温芯盒制芯 将树脂砂芯射入温度一般为 $60\sim 175^\circ\text{C}$ 的芯盒中硬化	芯砂可用期长,设备与热芯盒法相同,能耗较少,砂芯强度较高
冷芯盒制芯	将树脂砂芯射入常温芯盒,再用气体或气雾催化剂(或固化剂)使芯砂快速硬化	芯砂可用时间长,生产率高,节省能源,砂芯尺寸精确,可使用塑料、木材做的芯盒,但芯砂原材料价格较贵,浇注时要加强通风。适用于生产各种批量的砂芯
薄壳制芯	将热塑性树脂为粘结剂的覆膜砂吹入加热的芯盒,制成中空的薄壳砂芯	芯砂消耗少,砂芯高温强度高,透气性落砂性好,可长期存放,但树脂用量多,芯砂配制复杂,适用于大批生产大中砂芯
真空密封造型	利用真空度使密封在砂箱和上下塑料薄膜之间的干石英砂紧实成型,并在保持真空度的情况下合箱浇注并使铸件凝固	铸件表面光洁,轮廓清晰,尺寸精确;设备简单,砂可回用,但造型操作较复杂,实现机械化较困难,适用于生产各种批量的铸件,尤其是薄壁扁平铸件
冷冻造型	石英砂、水及很少量粘结剂混制后置于砂箱中冷却成型	基本无公害,砂可回用,但投资较大



3.1 气动微振压实造型<sup>[18][19]</sup>

气动微振压实造型(图2-4-6)以压缩空气为动力,使振铁1进行振幅较小(几毫米~几十毫米)、频率较高(8~15次/s)的微振,向上打击工作台2,之后或同时压实活塞5进行压实。

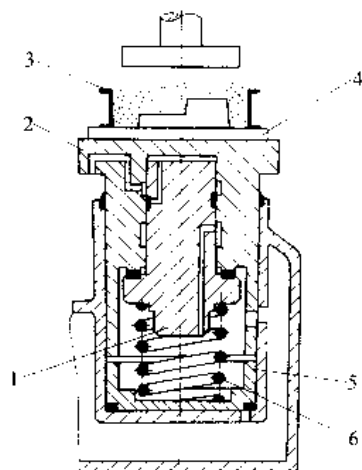


图2-4-6 气动微振压实造型工作原理

1—振铁 2—工作台 3—砂箱

4—模板 5—压实活塞 6—弹簧

气动微振压实造型与振压造型相比有以下优点:

(1) 紧实效果好。可在压实砂型同时进行微振,从而促进型砂流动,获得紧实度较高而且均匀的砂型(图2-4-7)。采用气动微振相当于增加30%~50%甚至75%的压实力。电磁微振由于振实力小,使用甚少。

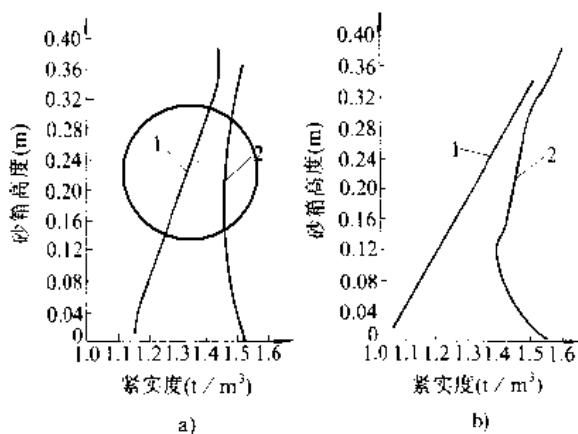


图2-4-7 砂型紧实度分布

a) 靠近砂箱壁 b) 靠近砂箱转角

1—单纯压实 2—气动微振压实

(2) 工作适应性强。可根据铸件形状特点选择不同

的紧实方式;型腔深窄、砂型紧实度要求高时采用预振加压振方式;型腔深窄、砂型紧实度要求不高时采用预振加压方式;型腔平坦时采用压振方式以提高生产率;铸件不高、形状简单时只用单纯压实方式以便消除振击噪声。

(3) 生产率较高。达到适宜的砂型紧实度所需时间较短。

(4) 对机器地基的要求较低。该法的缺点是振击噪声大,砂箱、模板的定位销和销套磨损较快。

气动微振压实造型通常是指比压为0.15~0.4MPa的低压造型。但是气动微振也可与高压、中压压实配合使用。目前,气动微振压实造型在中小铸件生产中已广泛应用。

气动微振压实造型对型砂和工艺装备的要求与一般机器造型相同。

## 3.2 高压造型

高压造型一般指压实比压超过0.7MPa的机器造型,压实机构以液压为动力。按工艺装备可分为有箱、脱箱和无箱三种。加砂可采用重力填砂方式,但更多的是用射砂或真空填砂方式进行充填及预紧实。重力填砂时通常配备多触头压头或成形压头,而射砂或真空填砂时则常配备平板压头。

高压造型铸件尺寸精度高,表面光洁,生产效率高,劳动条件好,且易实现自动化,但机器结构复杂,维护保养要求严格,模板、砂箱等工艺装备的投资也较大,故选用时应进行认真的技术经济可行性分析。大量生产中小铸件的自动造型线采用高压造型最为适宜。在配备高效模板更换装置的情况下,高压造型也可用于中小铸件的成批生产。

## 3.2.1 多触头高压造型

多触头由许多可单独动作的触头组成,可分为主动伸缩的主动式触头和浮动式触头。使用较多的弹簧复位浮动式多触头如图2-4-8所示。当压实活塞1向上推动时,触头4将型砂从余砂框3压入砂箱2,而自身在多触头箱体5的相互连通的油腔内浮动,以适应不同形状的模样,使整个砂型得到均匀的紧实度。

多触头高压造型机通常也配备气动微振装置,以便增加工作适应能力。

与脱箱或无箱射压造型相比,多触头高压造型辅机多,砂箱数量大,造价高,适用于各种形状中小铸件的大量或成批生产。



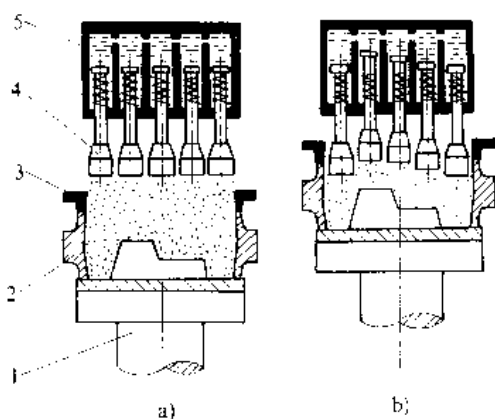


图 2-4-8 多触头高压造型工作原理

a) 原始位置 b) 压实位置  
1—压实活塞 2 砂箱 3—余砂框  
4—触头 5 多触头箱体

### 3-2-2 水平分型脱箱射压造型

按照上下砂型的射砂方向可分为顶底射式(图 2-4-9)、顶侧射式和全侧射式。型砂由压缩空气射入上砂箱 3 和下砂箱 1, 迅速地起到充填和预紧实作用。压实板 4、5 在液压驱动下进行高压压实。双工位转台 6 能将起模后的下砂型移出, 以便有足够的空间(几乎与造型周期相同)和时间进行下芯, 与此同时已下芯的一个下砂型进入合箱位置。所用砂箱(一个上箱、两个下箱)四壁做出排气塞和排气通道。上下砂型高度可在一定范围内随意调节。双面模板 2 沿轨道进出。近期出现的一些机型采用真空填砂, 即利用负压将型砂吸入砂箱, 以便减少噪声和喷砂。

水平分型脱箱射压造型可节省大量的砂箱及其运输装置, 投资较少, 生产率较高, 工艺适应性广, 下芯

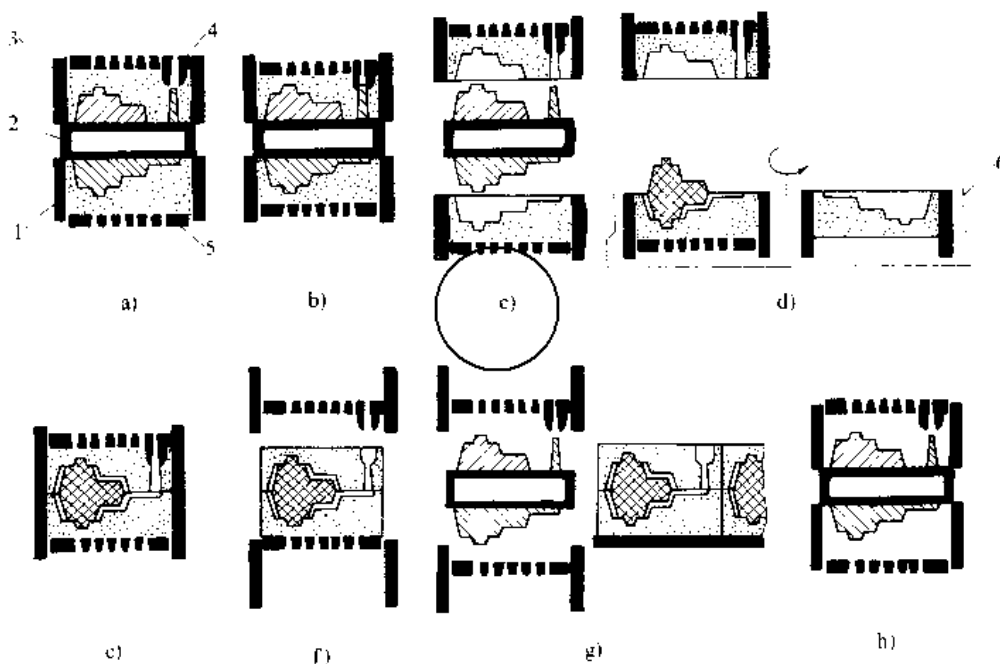


图 2-4-9 水平分型脱箱射压造型工作原理

a) 射砂 b) 压实 c) 起模 d) 模板退出, 转位下芯 e) 合型 f) 脱箱 g) 推出砂型, 模板进入 h) 加砂箱  
1—下砂箱 2—模板 3—上砂箱 4—上压实板 5—下压实板 6—转台

方便, 可利用原有工艺和部分工装, 因此有利于老车间的设备更新。该法尤其适用于大量、成批生产砂芯较多、形状复杂的中小铸件。

### 3-2-3 垂直分型无箱射压造型

垂直分型无箱射压造型(图 2-4-10)制出的砂型在紧实、下芯、合型及浇注过程中分型面始终与地平面垂

直, 而且砂型两面都有型腔。造型室由射砂板 1、压实模板 2、反压模板 3、底板 4 和两块侧板构成。射砂充填、预紧实的时间不足 0.5s。高压压实时模板 2 前移, 模板 3 静止, 也可采用上述两块模板同时向造型室中部移动的双面压实方式。砂型厚度主要取决于压实模板 2 在造型室中的前后位置。下芯由专用机械手完成。制出的砂型横向重叠成一长列, 以便浇注、冷却及落砂。



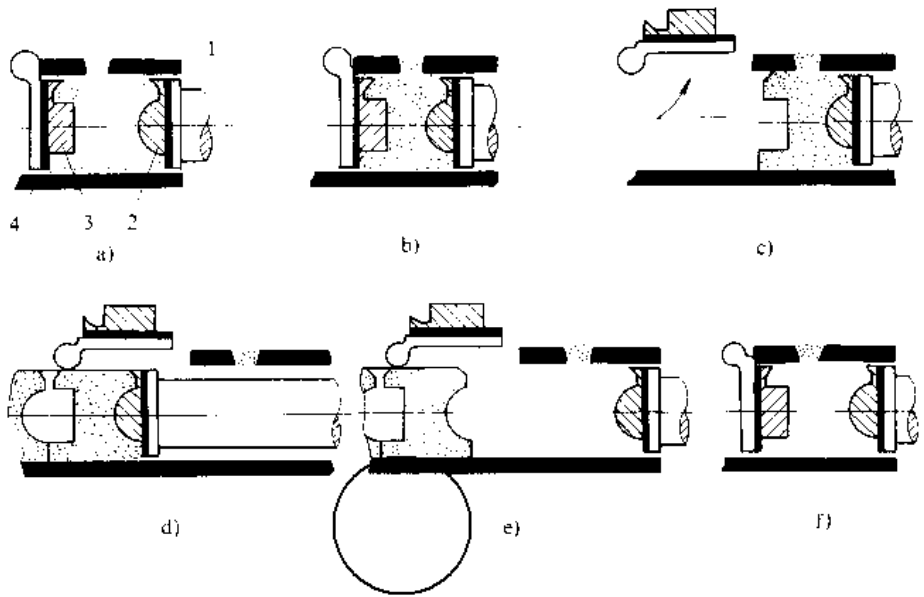


图 2-4-10 垂直分型无箱射压造型工作原理

a)射砂 b)压实 c)反压模板起模 d)推出合型 e)压实模板起模 f)关闭造型室

1—射砂板 2—压实模板 3—反压模板 4—底板

垂直分型无箱射压造型一块砂型两面成型，砂型厚度调节方便，既节省型砂，生产率又高。而且无需砂箱、压铁和套箱，生产线呈简单直线状，辅机少，自动化程度高，占地面积最省。但该法下芯的空间小时间短（下芯超过 7~8s 将严重降低造型生产率），不如水平分型时方便，因此最适用于无芯和少芯铸件的大量或成批生产。此外，铸造工艺与传统的水平分型工艺有较大差别。

### 3-2-4 高压造型的几个工艺问题<sup>[9]</sup>

(1) 高压造型的型砂。高压造型型砂的主要特点是高强度、高透气性、高粘土含量和低水分，此外还需控制湿压强度、热湿拉强度、紧实率、破碎指数以及有效膨润土和有效煤粉。

其中，湿拉强度表示砂型在起模时的强度，保证起模时砂型凸出部分不致被拉断。热湿拉强度代表砂型浇注后水分凝聚区的强度，热湿拉强度高时铸件不易产生夹砂等缺陷。紧实率在一定程度上反映型砂在紧实时流动能力。破碎指数是试样强度和变形量的综合反映，破碎指数高说明型砂韧性好。为了保证型砂工艺性能，还要控制有效膨润土量和有效煤粉量，为此应定期检查旧砂的这两种含量，以便确定混制型砂时膨润土和煤粉的添加量。

(2) 模板。高压造型用的模板要有足够的强度和刚

度，采用射砂方式时还要求良好的耐磨性。模底板常用铸铁或钢制成，而模样的常用材料为灰铸铁、钢、青铜或铝合金等。模样表面镀铬是增加耐磨性的有效措施。

(3) 射砂压力。采用射砂方式加砂时压缩空气的压力一般为 0.2~0.3MPa，过高的射砂压力会加速模板、砂箱或造型室的磨损，并使砂型不易被压紧。模样的深凹、转角等部位可安装排气塞来改善射砂预紧程度。

(4) 压实比压。压实比压加大，砂型紧实度随之增高，当比压值较低时紧实度的变化较为明显(图 2-4-11)。但是过高的比压会导致砂型回弹、工装变形、起模困难、功率消耗增加、机器结构庞大以及落砂困难等

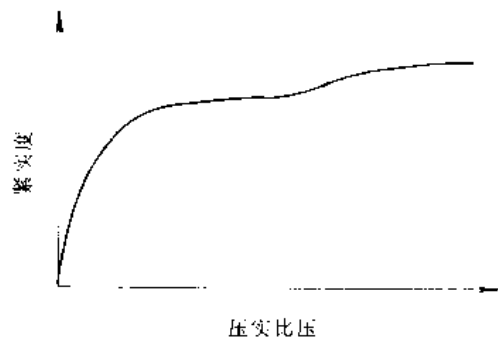


图 2-4-11 砂型紧实度与压实比压的关系





弊病,因此高压造型的压实比压一般控制在 0.7~1.5MPa 范围内。

(5) 高压造型应加强砂型通气,一般均开设通气孔和排气槽。通气孔应位于型腔的最高部位、死角、暗冒口顶部及芯座上,而排气槽开设在分型面上,由型腔通往砂型边缘。

(6) 防止起模时的真空现象。高紧实度砂型透气条件较差,在起模瞬间模样表面和型腔之间会形成一定真空度,导致砂型凸出部分损坏。为此应保证型砂透气性良好,在模样深凹部位安装通气塞,甚至采用导入压缩空气的“正压起模法”。

(7) 用垂直分型无箱射压造型时,工装设计应注意以下的特殊问题:

1) 反压模板的高度一般应限制在射砂口前缘线左侧(图 2-4-12),绝对不允许超出反压模板摆动曲线范围,以防在起模翻转时撞毁。反压模板摆动曲线的具体数值按所用机型确定。

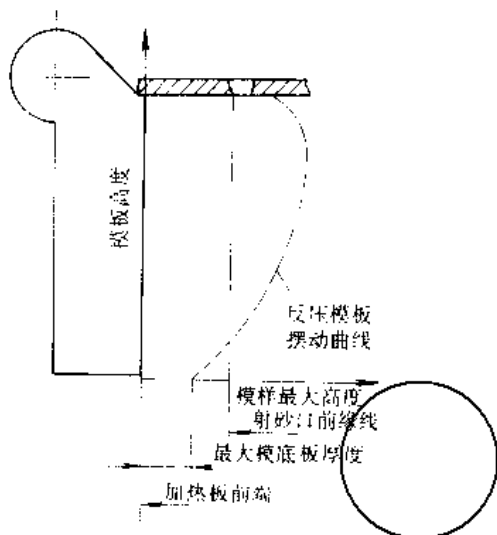
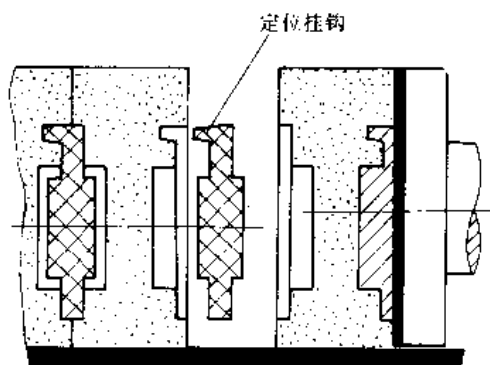


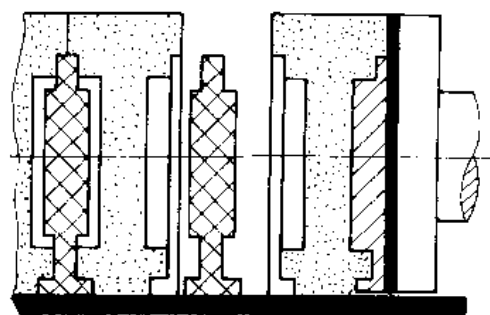
图 2-4-12 反压模板的高度限制

2) 砂芯固定方式可用定位挂钩悬吊在型腔中,或以芯头底面支承在底板上(图 2-4-13),后一种形式适用于较大的砂芯。定位挂钩的配合尺寸比型腔相应部分大 0.2~0.3mm,以便悬吊稳固。为了适应下芯机械手的动作,带芯头定位挂钩的模板必须作为压实模板使用。

3) 宜采用封闭式等流量浇注系统。设计容量足够的浇口杯及不同截面的内浇道,使砂型上下型腔在浇注过程中基本上等流量同时充满。否则,由于下部型腔金属液静压头高、流量过大,容易造成铸件冲砂、粘砂、气孔等多种缺陷。



a)



b)

图 2-4-13 砂芯固定形式  
a) 定位挂钩式 b) 底面支承式

### 3.3 气流冲击造型<sup>[20]</sup>

气流冲击造型简称气冲造型,是一种新的造型方法。其原理是利用气流冲击,使预填在砂箱内的型砂在极短的时间内完成冲击紧实过程。

气冲造型分低压气冲造型和高压气冲造型两种,前者应用较多。本节所述气冲造型指低压气冲造型。

气冲造型是通过一种特殊的快开阀将低压空气( $p \leq 0.5 \sim 0.6 \text{MPa}$ )迅速引入填满型砂的砂箱上部,使型砂获得冲击紧实。气冲造型的优点是砂型紧实度高且分布合理,透气性好、铸件精度高、表面光洁、工作噪声低、粉尘少、生产率高、气压机结构简单、工作安全、可靠、方便;缺点是砂型最上部约 30mm 的型砂达不到紧实要求,因而不适用于高度小于 150mm 的矮砂箱造型,工装要求严格,砂箱强度要求高。

#### 3.3.1 气冲造型过程及紧实原理

1. 气冲造型过程 将填满型砂的砂箱(含辅助



框)置于气冲造型机下,开启快开阀(开阀速度 $t < 0.01s$ ),压缩空气以极高的升压速度进入砂型上腔,将砂型紧实,整个砂型紧实过程在 $10 \sim 20ms$ 内完成。紧实结束后,快开阀关闭,排气阀打开,排除砂箱上部的余气,即完成造型过程。

**2. 气冲紧实原理**<sup>[2]</sup> 气冲紧实过程可分成两个阶段,如图2-4-14所示。

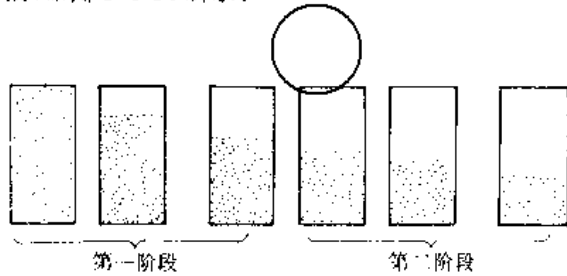


图 2-4-14 气冲紧实过程

(1) 型砂自上而下加速并初步紧实阶段。气冲开始时,砂箱顶部的气压迅速提高,一方面气流通过砂层的空隙向砂型深部渗透,形成气渗波使砂粒相互接近,另一方面在表面层型砂上下产生很大的气压差。这一气压差使表面层型砂紧实度迅速提高,形成一初实层。初实层如同一块高速压板,在气压推动下,以很大的速度向下移动,形成型砂紧实波,使下面的砂层加速并初步紧实,这是气冲紧实的第一阶段。

(2) 运动的砂层自下而上冲击紧实阶段。初实层继续向下移动和扩展,由于气体的渗透前锋落后于型砂的紧实前锋,紧实前锋很快到达模板,与模板发生冲击;在冲击处,砂层运动突然滞止,产生巨大的冲击力,使靠近模板的一层型砂紧实度剧烈提高;随后,冲击向上发展,型砂由下而上逐层滞止,直到砂层顶部为止,这是气冲紧实的第二阶段。

### 3.3.2 气冲造型紧实度

**1. 紧实度分布规律** 无模紧实时,靠近模底板处紧实度最高,随着与模底板距离的加大,紧实度降低,到砂型顶部,紧实度最低。这样的分布既保证砂型分型面处及型腔的高紧实度,又使砂型具有良好的通气性,有利于得到表面光洁、精度高的铸件。图2-4-15是几种不同造型方法所得砂型中心部位紧实度沿砂箱高度分布情况的比较,从曲线可见,气冲造型砂型紧实度分布最合理。

有模紧实时,模样顶上砂型紧实度很高;在模样四周,当模样宽度不大、型内深凹处深凹比(型内深凹处的高度与最小宽度之比)较小时,其紧实度分布规律与

无模时相似,这是因为模样顶上型砂先进行冲击紧实,应力迅速升高时,四周深凹区正处于加速向下运动而应力尚较低阶段,由此产生巨大应力差造成模顶型砂向深凹区填充的有利条件,因此,气冲紧实的均匀性较慢压紧实好。

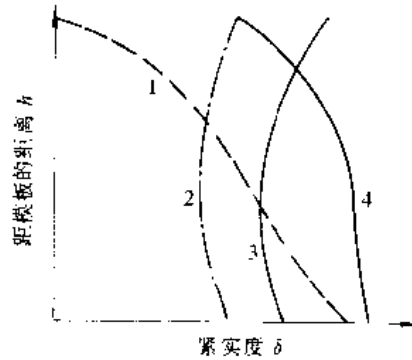


图 2-4-15 气冲紧实与几种不同紧实方法的铸型紧实度分布

1—振击紧实 2—压实 3—高压紧实  
4—气冲紧实

当模样较宽、型腔中深凹区深凹比大时,会出现漏斗堵塞现象(又称拱效应):在深凹区入口处上部,出现相对的高紧实区,在深凹区入口处以下不远处出现紧实度最低区;再向下,紧实度又升高,如图2-4-16所示。

影响堵塞现象的主要工艺因素是模样高度、模顶宽度,吃砂量及型砂紧实率等。

**2. 影响紧实效果的主要因素** 升压速度 $\frac{dp}{dt}$ 是影响气冲紧实效果的主要因素, $\frac{dp}{dt}$ 值越大,气冲紧实的效果越好,关键是进气初期的 $\frac{dp}{dt}$ 值。升压速度与气包气压、特别是开阀速度有关。一个好的快开冲击阀(开阀时间 $t < 5ms$ )在气包气压为 $0.3 \sim 0.4MPa$ 的情况下,可以得到很好的气冲紧实效果。但对于有模砂型来讲,当深凹比大于2.5以后, $\frac{dp}{dt}$ 值增大反而使漏斗堵塞现象加剧,使紧实的均匀性恶化。

[1] 摘自陈士梁等。气冲紧实造型机理的探讨。见:北京国际铸造学术会议论文集。中国机械工程学会铸造学会。1986,1433页。

[2] 摘自陈士梁。气冲紧实机理的进一步探讨。见:中国机械工程学会第八届全国铸造年会论文集。中国机械工程学会铸造学会。1992,108页。



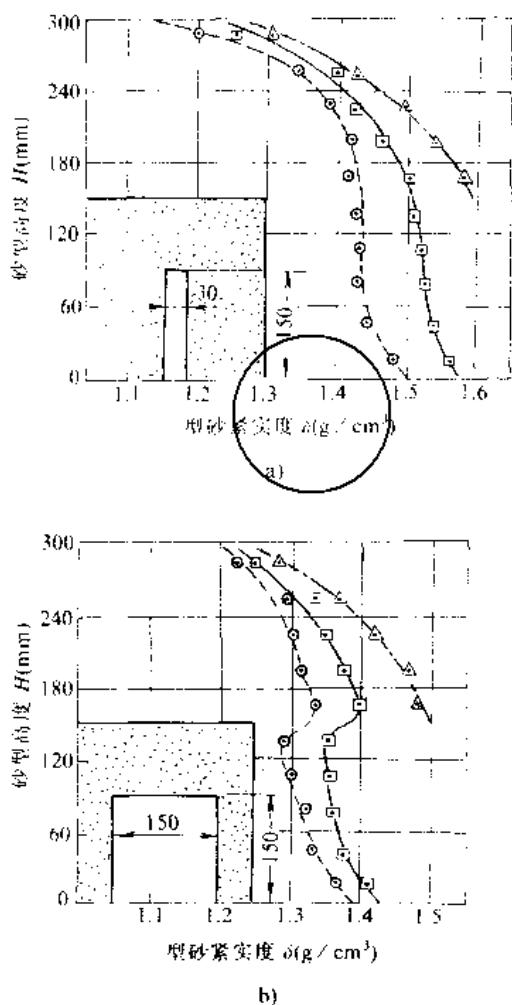


图 2-4-16 有模样砂型气冲后所得紧实度分布

a) 深凹比小 b) 深凹比大

---△--- 模样顶上紧实度分布  
 ---□--- 深凹部中间紧实度分布  
 .....○..... 砂箱角上紧实度分布

### 3.3.3 气冲紧实的回弹

气冲紧实时,紧实力持续作用时间很短暂,虽砂型紧实度很高,但型内应力在冲击紧实后较早地松弛和达到平衡,起模时回弹量较小。

### 3.3.4 气冲造型工艺参数

1. 气包气压 通常取 0.4~0.6MPa。

2. 气包容积 容积大,有利于提高升压速度,但同时也使机构庞大,一般取气包容积  $V=3\sim 5$ (砂箱体积+辅助框体积)。

3. 余隙容积 是指砂型顶上压缩空气进气时需要加以填充的容积,也叫结构有害空隙。余隙容积值越

大,  $\frac{dp}{dt}$  越小,冲击效果降低。

4. 升压速度 升压速度  $\frac{dp}{dt}$  通常要求大于 30~50MPa/s,有的达 80~100MPa/s 或更高。

5. 耗气量 每立方米型砂气冲紧实耗气量为 5~8m<sup>3</sup>,比振击造型及射压造型用气量均小。

6. 型砂紧实率 无论是从型砂紧实的效果还是从避免浇注过程的呛火或防止铸件气孔来说,冲击造型用型砂的紧实率均不宜过高。在保证起模顺利及不产生冲砂等缺陷的前提下,应尽量使用低紧实率型砂,推荐使用型砂紧实率为 36%~42%。

7. 吃砂量 气冲造型模样与砂箱壁之间的吃砂量,由模样与箱壁之间的深凹比来确定,通常在深凹比  $B\leq 2.5$  的情况下,深凹部的型砂紧实度可满足工艺要求。

### 3.4 真空密封造型 [C21][22]

真空密封造型又称真空薄膜造型、减压造型、负压造型或 V 法,适于生产薄壁、面积大、形状不太复杂的扁平铸件。该法的优点是:

- (1) 铸件尺寸精确,能浇出 2~3mm 的薄壁部分。
- (2) 铸件缺陷少,废品率可控制到 1.5% 以下。
- (3) 型砂成本低、损耗少,回用率在 95% 以上。
- (4) 噪声小、粉尘少,工作环境比较好,劳动强度低。

缺点是:对形状复杂、比较高的铸件覆膜成形困难,工艺装备较复杂,造型生产率比较低。

#### 3.4.1 造型原理、过程及主要参数

真空密封造型是在特制砂箱内充填无水无粘结剂的型砂,用薄而富有弹性的塑料薄膜将砂箱密封后抽成真空,借助铸型内外的压力差(约 40kPa)使型砂紧实和成型。造型过程(图 2-4-17)如下:

(1) 通过抽气箱抽气,将预先加热好的塑料薄膜吸贴到模样表面上。

(2) 放置砂箱,充填型砂,微振紧实。

(3) 刮平,覆背膜,抽真空,使砂型保持一定真空度。

(4) 在负压状态下起模、下芯、合箱、浇注。铸件凝固后恢复常压,砂子自行溃散,取出铸件。

为了确保各工作阶段对真空度的要求,真空泵应具有足够的抽气量,其数值见表 2-4-56。表 2-4-57 是铸型硬度与真空度的关系。



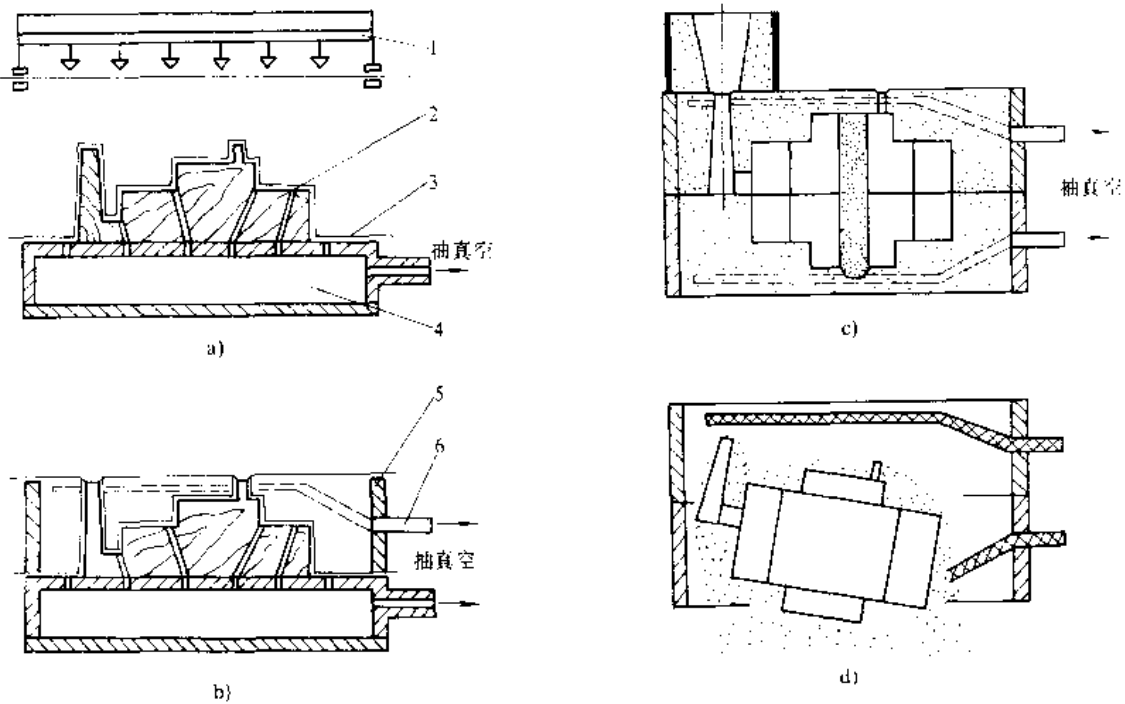


图 2-4-17 真空密封造型过程示意图

a) 覆塑料薄膜 b) 放砂箱, 填砂, 紧实 c) 合型, 准备浇注 d) 落砂

1—发热元件 2—搅拌 3—塑料薄膜 4—抽气箱 5—砂箱 6—过滤抽气管

表 2-4-56 真空密封造型的真空度和抽气量

工作阶段	真空度 (kPa)	抽气量 (m <sup>3</sup> /min)
造型、下芯	74~47	3~4
浇注、冷却	61~34	9~11

表 2-4-57 铸型硬度与真空度的关系

真空度 (kPa)	36	54	71	<81
硬度值	90~80	80~70	70~60	塌箱

### 3.4.2 基本工艺问题

1. 造型材料 主要包括塑料薄膜、型砂和涂料。

a. 塑料薄膜 真空密封造型用塑料薄膜厚度约 0.05~0.1mm, 应具备延展特性好、不粘模、表面无杂质和气泡, 受热分解时发气量少, 且无毒无味等特点。一般选择乙烯-醋酸乙烯共聚物 (EVA) 做成型薄膜。背膜只起密封砂箱作用, 可选用价格便宜的聚乙烯 (PE) 薄膜。表 2-4-58 是 EVA 塑料薄膜的物理性能。

b. 型砂 真空密封造型用砂有硅砂、锆砂、铬铁矿砂、橄榄石砂等。要求颗粒细, 杂质少, 不含水分, 旧砂在除净残留塑料薄膜后可回用。

c. 涂料 在覆膜后涂于塑料薄膜上面, 涂料中不允许有与薄膜起化学反应的材料。表 2-4-59 是涂料配比和适用范围。

表 2-4-58 EVA 塑料薄膜的物理性能

厚度 (mm)	醋酸乙烯的质量分数 (%)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	熔化指数 (g/10min)	软化点 (°C)	延伸率 (50°C, %)	塑性变形率 (50°C, %)
0.07~0.10	17.5~19	0.93~0.94	1.5~2.5	60~70	>650	>85



表 2·4-59 真空密封造型用涂料配比及适用范围

涂料组分	铝矾土	石墨粉	酒精	刚玉粉	甲醇	滑石粉	松香	酒精
加入量(质量分数)(%)	75	25	适量	75	25	35~40	4~6	55~60
适用范围	铸 铁 件			铸钢件		非铁合金件		

2. 工艺装备 真空密封造型需专用的模样和砂箱。

a. 模样 真空密封造型时模样不与型砂接触, 磨损较小, 可用木材、塑料及金属制作, 表面钻些抽气孔, 孔径 0.8~1.5mm, 孔距约 20mm。对不易成型部位, 孔

的数量要适当增加或安放特制的通气塞。

b. 砂箱 通常用钢板焊成双层结构, 内装能阻挡砂粒及粉尘通过的滤网或抽气管。图 2·4-18 是三种基本形式的砂箱。

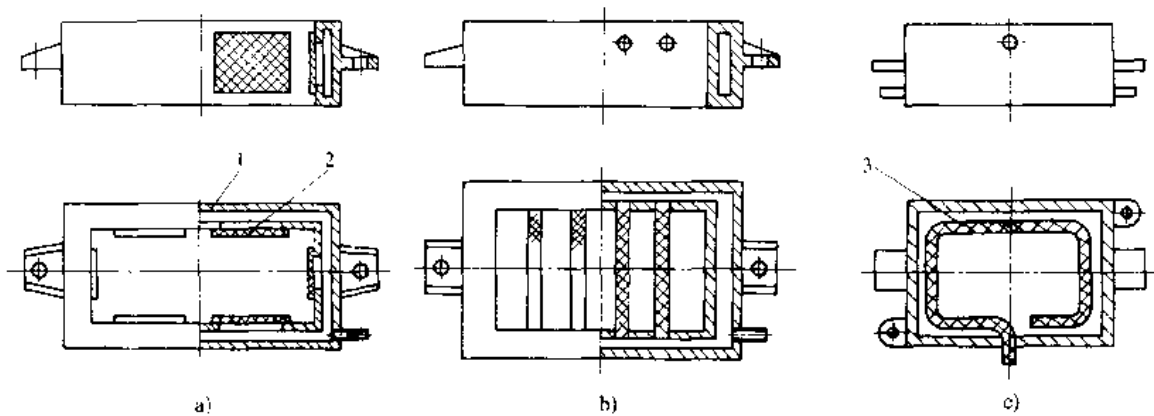


图 2·4-18 真空密封造型用砂箱

a) 侧吸式 b) 背吸式 c) 管吸式

1—砂箱 2—滤网 3—吸气管

3. 工艺设计 工艺设计时, 应考虑覆膜方便和浇注过程中铸型稳定等问题。

a. 浇注位置及分型面 一般采用垂直分型面做立浇的工艺方法。图 2·4-19a 适用普通铸造方法, 真空密封造型则采用图 2·4-19b 的形式, 可简化造型并避免浇注时塌箱。

b. 浇注系统及出气孔 真空密封造型的浇注系统多为底注, 按开放或半开放式设计。对大平面铸件应倾斜浇注或增加内浇道的数量和面积。

铸型顶部要设置出气孔, 其面积取内浇道总面积的 50%, 厚度为该处铸件壁厚的 2/3。在铸件需要补缩部位, 可以用明冒口代替出气孔。

c. 铸型紧缩负余量及起模斜度 真空密封造型由于真空吸力的作用使铸型紧缩, 在铸型与模样之间出现空隙, 即铸型紧缩负余量, 约 0.5~0.7mm。制作模样时, 应减去这一数值。

真空密封造型起模力很小, 因此可不考虑起模斜度。

4. 工艺操作

a. 覆膜和下芯 覆膜前将塑料薄膜加热至 80~

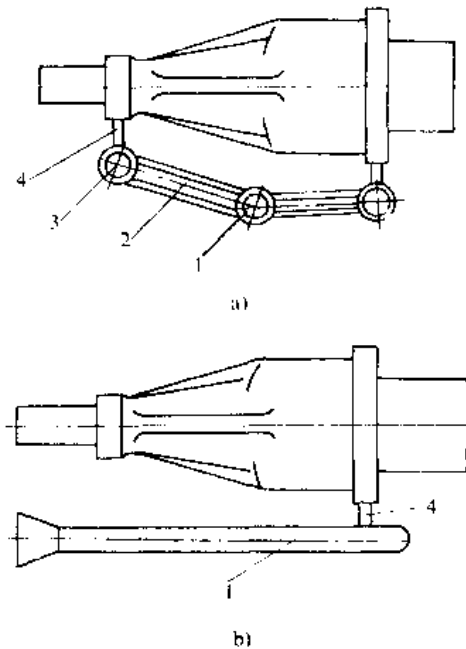


图 2·4-19 壳体铸件分型面选择

a) 水平分型模板 b) 垂直分型模板

1—直浇道 2—横浇道 3—冒口 4—内浇道



100℃,当薄膜呈镜面并开始下垂时即可覆膜。覆膜后应仔细检查,对贴合不严处,可附加一定压力或涂少许溶剂消除。在覆膜和下芯时,注意避免擦破薄膜。

b. 浇注和落砂 浇注要平稳,始终充满浇口杯不断流,要防止金属液飞溅到铸型上面。铸件在铸型内的冷却时间,比粘土砂湿型和水玻璃砂型长,不可过早撤消真空。

c. 经常对抽气管路、砂箱接头等进行检查和维修。

### 3.5 树脂自硬砂造型与制芯<sup>[23][24]</sup>

树脂自硬砂造型与制芯一般指酸固化树脂砂造型与制芯,粘结剂采用呋喃树脂,固化剂多用磷酸或对甲苯磺酸。该法的优点是铸件尺寸精度高,比干粘土砂型铸件高2~3级,表面光洁;型砂工艺性好,便于紧实,固化强度高,浇注后容易落砂。但型砂成本较高,有刺激气味,混砂后不宜久放,有些树脂或固化剂可能使球墨铸铁、蠕墨铸铁件表面产生异常组织,超低碳铸钢件出现渗碳、渗硫。此类自硬砂应用广泛,特别是质量要求较高的中大型铸件的单件小批生产。

#### 3.5.1 造型制芯原理及工艺过程

呋喃树脂在强酸或中强酸固化剂的作用下,树脂分子间相继发生缩聚反应和加聚反应,使原来分子量不太大的线型结构互相交联,转变为分子量很大的体型结构树脂膜,将砂粒粘结起来,达到型、芯的常温固化。反应产生的热量促进固化过程,生成物中的甲醛和水分则具有不良影响。

树脂自硬砂造型制芯过程与粘土砂造型制芯类似。其特点是工艺过程具有明显的时间性。

#### 3.5.2 型(芯)砂性能控制

1. 固化速度 影响固化速度的因素有环境温度、湿度及固化剂种类和加入量等。控制固化速度的目的是调节型(芯)砂的可使用时间和起模时间,使其能满足造型制芯工艺要求。可使用时间指混砂后的型(芯)砂能以制作出合格型、芯的这一段期间;起模时间是指制好的型、芯,当它硬化到可以起模(或能从芯盒中取出来)而不致损坏所需的这一段期间。小幅度改变可使用时间和起模时间可用增减固化剂加入量来解决,而大幅度调整则应更换固化剂。

低温高湿环境对使用树脂自硬砂非常不利。此时应采取原砂干燥、提高砂温等措施,或加入少量干燥

剂,如质量分数为0.2%的CaCl<sub>2</sub>粉末。

树脂自硬砂固化速度与温度、相对湿度的关系见图2-4-20;不同温度下可使用时间与固化剂加入量的关系见图2-4-21。

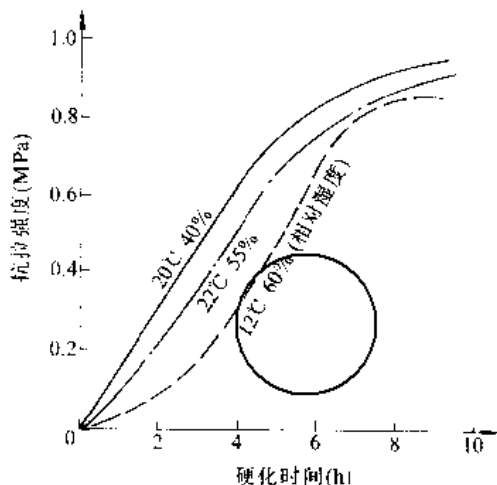


图 2-4-20 树脂自硬砂固化速度与温度、相对湿度的关系

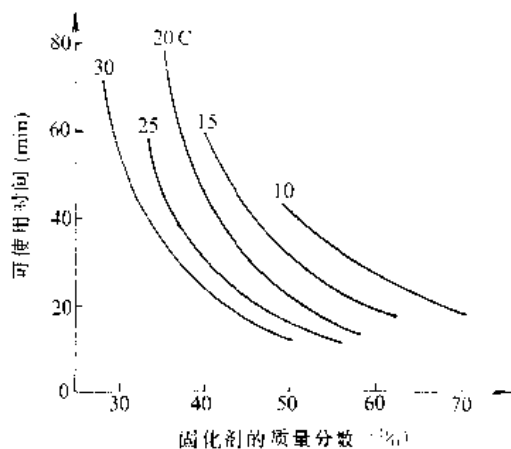


图 2-4-21 不同温度下树脂自硬砂可使用时间与固化剂加入量的关系

2. 固化强度 推荐的树脂自硬砂抗拉强度指标:造型0.8~1.0MPa;制芯1.0~1.2MPa;制复杂砂芯1.6~2.0MPa。过高的固化强度不利于落砂和旧砂再生,甚至造成铸件裂纹。树脂自硬砂的强度与原材料及环境条件的关系见图2-4-22~图2-4-25。

采用经过处理的原砂或在树脂中加入硅烷增强剂,可有效提高树脂自硬砂的强度(表2-4-60,图2-4-26),加入硅烷的另一作用是提高抗湿性,延长砂芯的储存期。



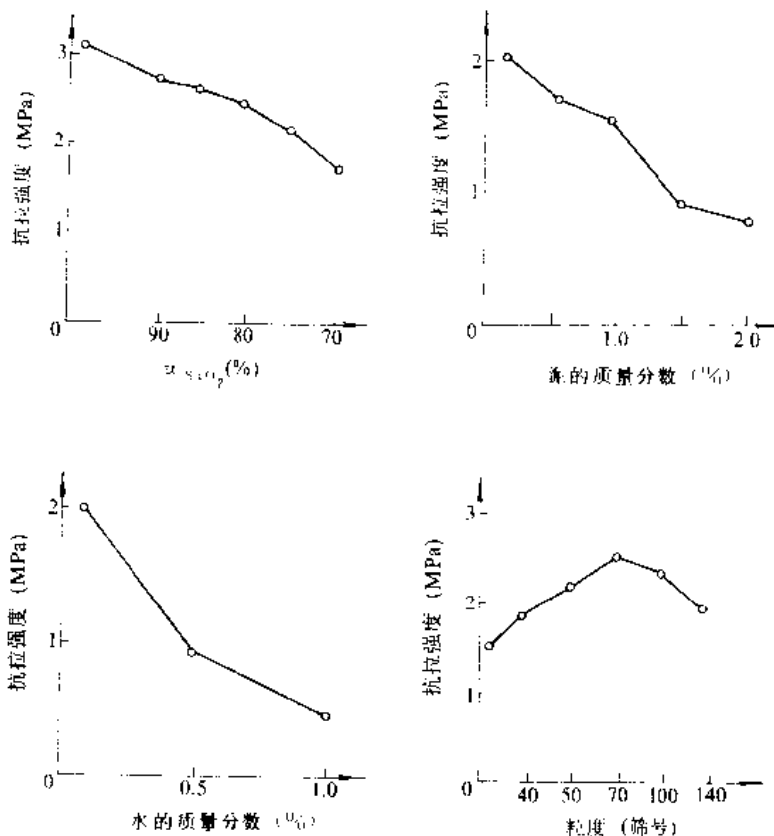


图 2-4-22 树脂自硬砂强度与原砂的关系

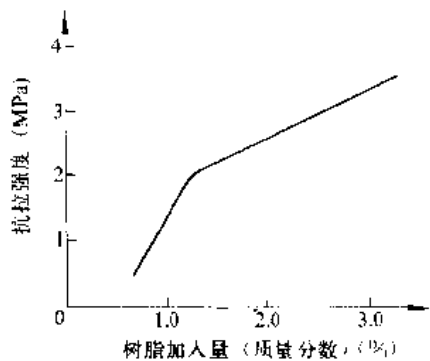


图 2-4-23 树脂自硬砂强度与树脂加入量的关系

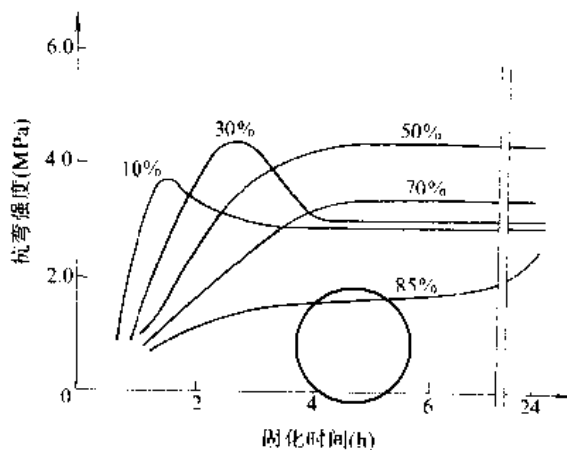


图 2-4-25 树脂自硬砂强度与湿度 (%) 的关系

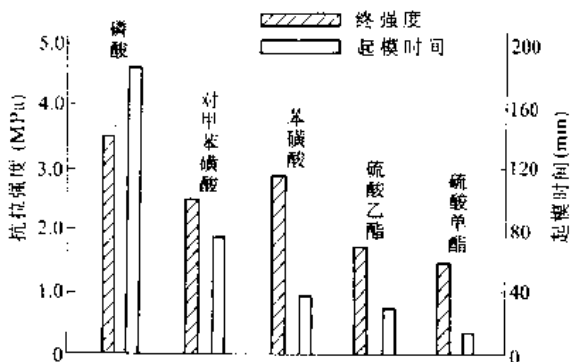


图 2-4-24 树脂自硬砂强度、起模时间与固化剂种类的关系

表 2-4-60 原砂擦洗处理对树脂自硬砂强度的影响

原砂种类	抗拉强度 (MPa)	
	擦洗前	擦洗后
大林砂	1.70	2.91
伊湖塔砂	1.38	2.80
湖口砂	0.63	2.49
望城砂	1.13	1.93



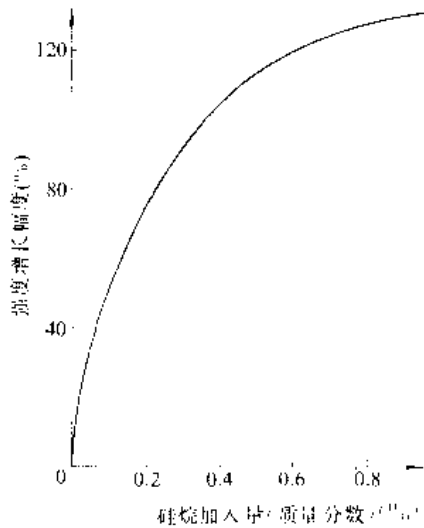


图 2-4-26 硅烷加入量对树脂自硬砂强度的影响

3-5-3 工艺参数与装备

树脂自硬砂造型制芯工艺参数及对工艺装备的要求与粘土砂造型制芯有所不同。主要是：

- (1) 模样、芯盒精度、光洁度、强度、刚度要高，模样漆要耐树脂砂化学腐蚀。
- (2) 起模斜度比粘土干型增加 1/4~1/2。用起模机时，不必增大。
- (3) 分型负数和芯头间隙较粘土干型小 50%，造型砂铁比控制在 3 左右，吃砂量见表 2-4-61。

表 2-4-61 树脂自硬砂型吃砂量

铸件长宽尺寸 (mm)	铸件高度 (mm)	吃砂量 (mm)		
		侧面	上、下面	铸件之间
300	300	25~35	30~45	35~45
300~600	600	35~40	45~55	45~55
600~900	900	40~55	55~70	50~100
900~1200	≤1200	50~75	70~90	70~150
1200~1500	≤1500	60~85	85~110	·
1500~1800	≤1800	70~90	95~120	·

- (4) 铸件收缩率比粘土砂型铸件大 (表 2-4-62)。

表 2-4-62 树脂自硬砂铸件收缩率

铸件材质	收缩率 (%)	备注
铸 铁	0.8~1.4	自由收缩取上限
碳钢、低合金钢	1.8~2.5	厚大件和易收缩件
	1.5~2.0	薄壁件和不易收缩件
奥氏体钢	2.2~3.0	厚大件和易收缩件
	1.8~2.5	薄壁件和不易收缩件

(5) 浇注系统宜采用快速浇注，内浇道要适当分散，加强铸型排气和撇渣措施。对大件浇注系统冲刷处，宜镶嵌耐火砖。

3-6 水玻璃砂造型与制芯<sup>[23]</sup>

水玻璃砂固化速度快、干强度高、成本低、无污染，且不受合金种类及铸件尺寸和批量限制。但一般型(芯)砂溃散性差，旧砂再生困难。酯固化水玻璃砂和真空置换硬化法 (VRH 法) 能改善溃散性，且节省水玻璃。

3-6-1 水玻璃砂的固化

用不同方法固化的水玻璃砂试样的强度和固化时间见表 2-4-63。

表 2-4-63 水玻璃砂的固化强度

固化方法	固化时间 (min)	抗压强度 (MPa)
吹 CO <sub>2</sub>	0.2~1	0.8~1.8
有机酯固化剂	24 (h)	2~3
硅酸二钙固化剂	60	0.2~0.55
200~250℃烘干	30~120	3~5

3-6-2 水玻璃砂造型与制芯工艺方法

生产中常用的工艺方法主要有 CO<sub>2</sub> 法、硅酸二钙自硬法和酯固化自硬法。

1. CO<sub>2</sub> 法 该工艺是将水玻璃与砂子混合后填入砂箱或芯盒内，然后吹入 CO<sub>2</sub> 气，吹气压力约 0.15~0.2MPa，时间视型(芯)大小而定 (表 2-4-64)，吹毕型(芯)即固化。

表 2-4-64 水玻璃砂型吹 CO<sub>2</sub> 的时间

砂箱面积 (m <sup>2</sup> )	0.5~	1~	2~	3~	4~	6	8
	0.75	1.5	2.5	3.25	4.25		
吹气时间 (min)	1	2	3	4	5	6	8

CO<sub>2</sub> 法工艺简单、效率高，适用范围广。但水玻璃用量多，强度损失大，浇注后溃散性差。近年出现的真空置换硬化法是将型(芯)放入密封罩内，先抽真空，然后吹进 CO<sub>2</sub> 气体 (图 2-4-27)，型(芯)在很短时间内固化。其特点是固化均匀，强度高，水玻璃和 CO<sub>2</sub> 用量少，但装置结构较复杂，适合于中小型、芯的制作。





2. 硅酸二钙自硬法 用硅酸二钙作硬化剂。硅酸二钙主要取自炼铝、炼铬或炼镁等的残渣, 普遍采用的有赤泥和炉渣等。

该工艺因受炉渣成分、粒度、储存吸水等因素影响较大, 型(芯)砂溃散性亦差, 已应用不多。

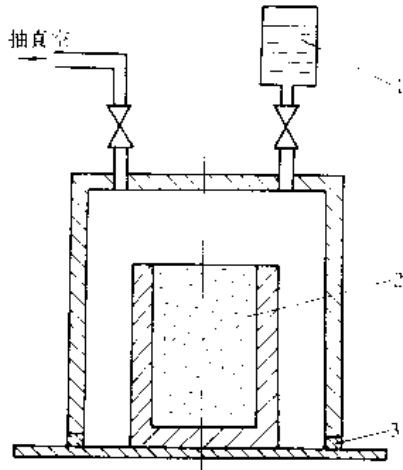


图 2-4-27 真空置换硬化法示意图  
1—液态 CO<sub>2</sub> 2—砂芯 3—密封圈

3. 酯固化自硬法<sup>[25]</sup> 以有机酯(乙二醇醋酸酯系列)作固化剂, 型(芯)砂工艺性好, 干强度高, 水玻璃用量少(是 CO<sub>2</sub> 法的 50%), 不腐蚀机械, 少污染, 型、芯可长期存放, 浇注后易溃散。

铸造用酯固化剂是无色或浅黄色油状液体, 无毒, 低粘度, 与砂和水玻璃容易混合均匀。用酯固化时, 酯在碱性水玻璃中水解, 产生醇和醋酸, 醋酸与水玻璃反应, 析出硅胶, 使砂型(芯)固化。

酯固化砂的性能与原砂、水玻璃、有机酯的品种、规格以及环境温度有关。图 2-4-28 是酯加入量对强度

的影响。水玻璃模数 ( $M$ ) 增高, 反应加快, 其终强度大。水玻璃浓度 ( $Be$ ) 对强度的影响见表 2-4-65。通过模数和浓度的适当搭配可适应环境温度的变化(表 2-4-66)。表 2-4-67 是酯固化水玻璃砂的配比和性能。

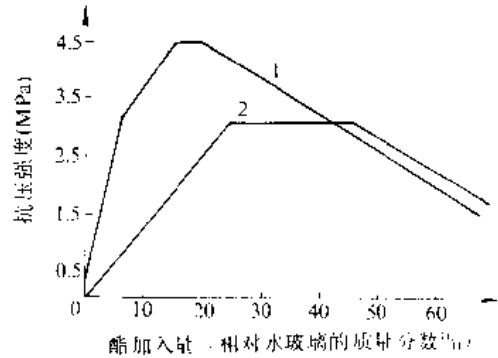


图 2-4-28 有机酯加入量对 24h 抗压强度的影响  
1—水玻璃 M2.9 Be39 加入量 4%  
2—水玻璃 M2.3 Be50 加入量 4%

表 2-4-65 水玻璃浓度对强度的影响

水玻璃浓度 ( $Be$ )	47	45	43	40
抗压强度 24h (MPa)	0	1.4	2.1	3.2

表 2-4-66 酯固化水玻璃砂用水玻璃的选择

季 节	冬	春、秋	夏
水玻璃模数 ( $M$ )	2.8~2.9	2.5~2.6	2.1~2.3
水玻璃浓度 ( $Be$ )	40~42	46~48	50~51

表 2-4-67 酯固化水玻璃砂质量配比及性能

原砂 (目)	水玻璃 (模数)	有机酯 (类别)	出碱水分	透气性	抗压强度 (MPa)			
					1h	2h	3h	4h
100	3~4 (2.5~2.8)	0.3~0.4 (乙二醇丁二酯)	1.8~2.2	$\geq 200$	0.1~0.8	0.6~1.0	0.9~2.1	1.5~3.6
100	3~4 (2.2~2.4)	0.1~0.2 (碳酸丙烯酯)	1.8~2.2	$\geq 200$	0.1~0.8	0.3~1.2	0.5~1.9	2.0~3.8
100	3~4 (2.2~2.4)	0.2~0.3 (丁内酯)	1.8~2.2	$\geq 200$	0.5~0.6	0.7~0.8	0.8~0.9	1.5~2.5



3.7 薄壳制芯<sup>[26]</sup>

薄壳制芯是用热塑性树脂为粘结剂制得中空薄壳砂芯。该法的优点是：壳芯覆膜砂成干颗粒状，流动性好，充填性强；可以储存三个月以上，便于专业制砂供应；芯砂常温和高温强度均较好，能获得尺寸精确、表面光洁、质量小、透气性好的复杂中空或薄壳砂芯；芯砂耗量小；壳芯抗湿性好，可长期保存；且清砂容易。其缺点是覆膜砂树脂加入量高，制备工艺复杂，成本较高；制芯工装要求严格，耗能多，砂芯尺寸受到限制，

制芯工作条件差。现广泛用于汽车、拖拉机、阀门行业大批量大中型复杂砂芯的制造。

3.7.1 薄壳制芯原理

薄壳制芯是利用壳芯机将混合料吹入加热的芯盒内，并保持一定时间（结壳时间），使靠近芯盒壁的芯砂中的粘结剂熔融，将砂粒粘结在一起，沿芯盒壁形成一层具有一定厚度的塑性薄壳，然后将未粘附的芯砂倒出，塑性薄壳继续加热（硬化时间），使塑性薄壳变为坚硬的薄壳，开启芯盒，顶出砂芯，即得薄壳砂芯。

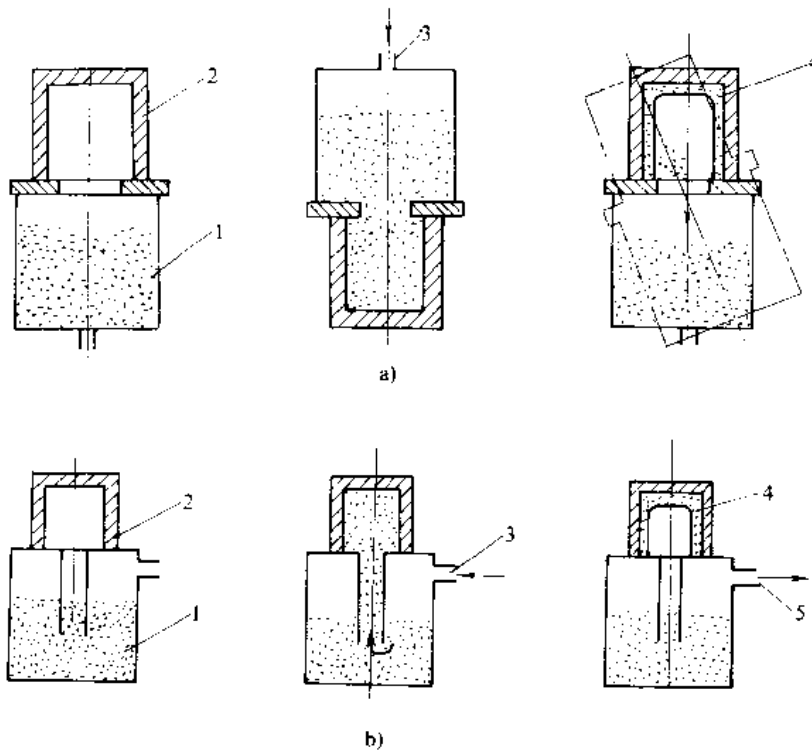


图 2-4-29 壳芯吹制方法

a) 顶吹法制芯 b) 底吹法制芯

1—壳芯砂 2—芯盒 3—吹气口 4—壳芯 5—排气

壳芯吹制常用顶吹法和底吹法，见图 2-4-29。

3.7.2 覆膜砂的主要性能及影响因素

壳芯砂是将树脂薄膜覆盖在砂粒表面，所以通常又称覆膜砂。壳芯覆膜砂有三个需要控制的性能。

1. 强度 影响壳芯砂强度的主要因素为原砂、树脂、附加物以及混制工艺等。原砂的水分及含泥量高，壳芯砂强度降低；树脂加入量减少，强度下降；润滑剂

硬脂酸钙加入量过多，以及加入树脂和乌洛托品时砂温过高，也会引起壳芯砂强度的降低。

2. 熔点 指壳芯加热时，进入塑性变形范围的温度，它对结壳性影响较大。熔点高，结壳厚度薄，壳芯强度低；熔点低，制芯时中心部分壳芯砂不易倒出，砂芯轮廓不清，易产生脱壳，且贮存时壳芯砂易结块。

3. 发气量 覆膜砂的发气量大，在浇注过程中当气体来不及排出就会造成侵入性气孔。同时，由于树脂



中含氮化合物在浇注后受热分解放出原子态氮和氨，并溶于液体金属中，在金属冷凝时形成析出性针孔。树脂加入量越多，发气量越大；树脂中含尿素量越大，析出性气体越多。

### 3·7·3 壳芯制造工艺 (表 2·4-68)

表 2·4-68 壳芯制造工艺

工艺参数选择		参 数	要 点 及 应 用
名 称			
芯盒温度 (°C)		250~300	取决于壳芯大小、结壳厚度。在保证树脂不过烧的情况下，尽量选择较高的芯盒温度，以提高生产率
喷分型剂		每喷一次可制芯 10~40 次	在芯盒内腔喷涂分型剂，以利于脱芯，常用分型剂为甲基硅油氧化剂
吹	压力 (MPa)	顶吹 0.1~0.35 底吹 0.4~0.5	压力大，时间长，壳芯表面易产生波纹，压力小，时间短，则吹不紧，壳芯强度不均匀
	时间 (s)	顶吹 2~5 底吹 15~35	底吹时间含结壳时间
砂	吹砂斗砂位高度 (mm)	100~200	吹砂斗砂位高度要稳定，砂位过低，不利壳芯成形
结壳	厚度 (mm)	6~15	壳芯厚度与壳芯砂熔点和结壳时间有关，应根据运送、下芯及浇注要求而定
	时间 (s)	15~60	
硬化时间 (s)		30~100	硬化时间为结壳时间的 1.5~2 倍，硬化时间短，壳芯强度低，硬化时间过长，壳芯表面层碳化，失去强度

## 3·8 热芯盒制芯

### 3·8·1 热芯盒制芯原理及特点

热芯盒制芯是利用热芯盒射芯机将由液态热固性树脂和催化剂配制成的芯砂(也用覆膜砂)射入加热到一定温度的芯盒内，砂芯在芯盒内硬化一定时间后，便从芯盒内顶出，利用余热及催化剂作用所引起的硬化反应放出的热量，使砂芯继续硬化，获得合格的砂芯。

热芯盒法具有芯砂制备较简单、硬化快、制芯生产率高、砂芯强度较高、表面质量好、尺寸精确、溃散性好等优点，适用于大批大量铸件的生产，在汽车、拖拉机制造业中得到广泛应用。其缺点是砂芯厚度受到限制，易出现某些截面硬化过度而另一些截面又硬化不足的现象，造成制芯破损率大，必须用金属芯盒，与冷芯盒法相比能耗多。因此，热芯盒的应用呈下降趋势。但壳型覆膜砂热芯盒工艺，即采用壳型覆膜砂进行热芯盒法制芯，用于汽车、内燃机及液压件行业中大批量生产强度要求高、形状复杂的砂芯，较为普

遍。

### 3·8·2 热芯盒砂的性能及影响因素

1. 强度 热芯盒砂芯的强度主要与下述因素有关：

(1) 原砂含泥量及水分含量。原砂含泥量多、水分多，则强度下降；原砂含泥量的质量分数必须控制在 1% 以下，并经烘干。

(2) 粘结剂(树脂)加入量。加入量增加，强度也增加，但流动性下降。

(3) 催化剂加入量。催化剂加入量不足，延长砂芯(型)硬化时间，降低生产率，砂芯硬化不完全，强度下降；催化剂加入量过多，有效存放期减短，射砂嘴易堵塞，影响射砂制芯正常进行。

2. 有效存放期 为保证必要的有效存放期，原砂温度要低 ( $\leq 35^{\circ}\text{C}$ )，混砂时间要短 (3~4min)，混制要均匀，催化剂不过量。

3. 发气量 热芯盒砂发气量与粘结剂加入量有关。粘结剂量越多，发气量也越多，发气时间也会延长。



### 3-8-3 热芯盒制芯工艺

芯盒材料一般为铸铁,芯盒用电热管或煤气加热,用射芯机制芯。

1. 芯盒温度 芯盒温度高,砂芯硬化快,热抗拉强度高,但砂芯易烧焦,造成表面强度低,芯盒易变形;芯盒温度低,砂芯硬化慢,冷抗拉强度高,砂芯表面质量好。粘结剂不同,芯盒加热温度也不同,如糠醇改性脲醛树脂最佳芯盒温度为 $200\sim 230^{\circ}\text{C}$ ;糠醇改性酚醛树脂最佳芯盒温度为 $240\sim 280^{\circ}\text{C}$ 。图2-4-30和图2-4-31为芯盒温度对砂芯强度的影响(粘结剂为糠醇改性脲醛树脂,温度为芯盒温度)。

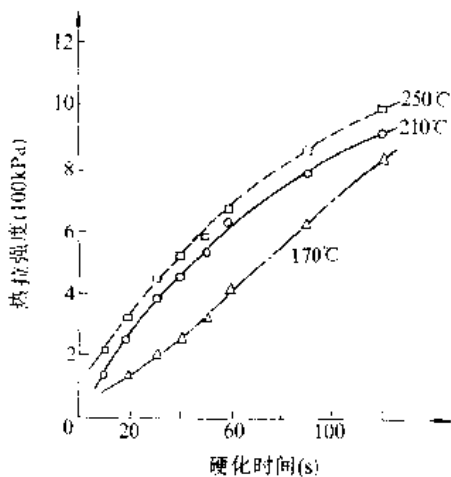


图 2-4-30 芯盒温度对热抗拉强度的影响

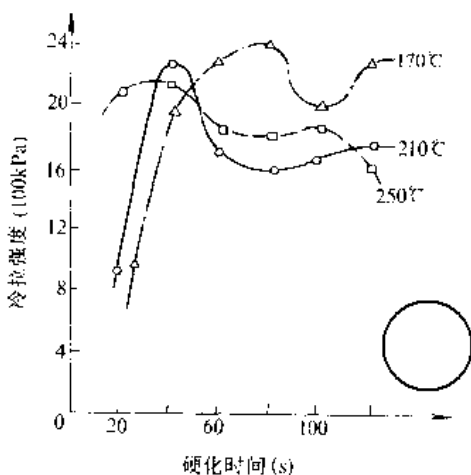


图 2-4-31 芯盒温度对冷抗拉强度的影响

2. 射砂压力 大型复杂砂芯射砂压力为 $0.5\sim 0.7\text{MPa}$ ，简单小砂芯射砂压力为 $0.4\sim 0.5\text{MPa}$ 。

3. 射砂时间  $0.5\sim 1\text{s}$ 。

4. 硬化时间 热芯盒砂加热硬化时间与粘结剂的种类、砂芯大小、壁厚有关。芯子在芯盒内的硬化时间一般为 $10\sim 30\text{s}$ ，厚大砂芯宜制成空心的。

5. 分型剂 热芯盒分型剂一般选用甲基硅油乳化剂，喷涂量以芯盒内腔见湿为宜。每喷涂一次，可射芯 $10\sim 15$ 次。

6. 涂料 对于表面质量要求高的砂芯，可涂刷水基或醇基石墨涂料。

7. 存放 用糠醇改性脲醛树脂为粘结剂制得的砂芯，吸湿性较强，在相对湿度 $80\%$ 的情况下，砂芯放置 $24\text{h}$ 后强度下降 $30\%\sim 40\%$ ，故对砂芯存放期应加以控制，不宜过长。

### 3-8-4 温芯盒制芯

温芯盒制芯常指芯盒温度低于 $175^{\circ}\text{C}$ 的热法制芯工艺，最理想的芯盒温度是低于 $100^{\circ}\text{C}$ 。温芯盒法与热芯盒法的区别在于粘结剂采用少水、低氮、高糠醇的高活性树脂，催化剂采用特殊的潜伏酸。该法的优点是芯盒温度低，砂芯表面不会过烧，可使砂芯表面光洁和具有最高强度，砂芯硬化速度快，且硬度均匀，生产率高，耗能较低，较一般热芯盒法少 $20\%\sim 30\%$ ；工作环境比热芯盒与壳芯法都要好。其缺点是高活性树脂及能在较低温度下产生高活性强酸的新型潜伏型催化剂比较贵，成本高。目前采用的几种温芯盒制芯法有：

(1) 呋喃树脂温芯盒法。以呋喃树脂为粘结剂，用磺酸盐作为无氮潜伏型催化剂，芯盒温度为 $120\sim 175^{\circ}\text{C}$ ，磺酸盐在芯盒温度下分解出活性磺酸，使树脂迅速固化。

(2) 辅以真空的温芯盒法。以呋喃树脂或热固性酚醛树脂为粘结剂，使用在较低温度下产生高活性强酸的新型潜伏型催化剂，芯盒温度为 $60\sim 100^{\circ}\text{C}$ 。将混好的树脂砂射入芯盒内，抽真空，在室温和大气压下，稳定地存在于树脂中的有机酸，当压力降低和温度升高时，其潜伏性被破坏，分解出强酸，促使树脂迅速硬化；接着通入空气，随后取芯。

(3)  $\text{CO}_2$ 热硬化法。粘结剂为特种热塑性酚醛树脂，溶解于钡钙的碱溶液或氢氧化铝内，催化剂为六亚甲基四胺和 $\text{CO}_2$ ，射芯后吹入 $\text{CO}_2$ 便立即硬化。

### 3-9 冷芯盒制芯

冷芯盒制芯是将芯砂射入不加热的芯盒中，通过化学或物理变化实现快速硬化；分为自硬冷芯盒法和



气硬冷芯盒法。通常所说的冷芯盒制芯是指气硬冷芯盒法制芯，它是用吹入气体或气雾硬化剂使树脂砂在常温芯盒中迅速硬化。气硬冷芯盒法的优点是芯砂的有效存放期较长；制芯、脱模时间短，生产率高；砂芯致密度及均匀性较好，发气量较低；芯盒可采用便宜、易于加工的铝合金、塑料、木材、石膏等材料制造，节能。缺点是所用树脂较贵，三乙胺、SO<sub>2</sub>有毒有味，因此尾气排放造成污染，需经净化、洗涤，设备要求严格。该法适用于各种批量的中小型铸铁、铸钢件的砂芯生产。

### 3.9.1 三乙胺法

1. 制芯原理 以酚醛树脂与聚异氰酸酯为粘结剂，在气雾状三乙胺等的作用下使砂芯硬化。

#### 2. 制芯工艺

(1) 射芯。射芯时间为 0.5s，压力为 0.2 ~ 0.35MPa。

(2) 吹气硬化。催化剂液态三乙胺要通过气雾发生

器形成气雾吹入芯盒中，固化时间为 4~5s。

(3) 净化和开盒取芯。三乙胺有毒有味，芯子吹气硬化后要经过净化，可用干燥空气、CO<sub>2</sub> 或 N<sub>2</sub> 气加以净化。净化时间为 5s 左右。净化后即可开盒取芯。排出的三乙胺及净化气体，一般经稀硫酸洗涤塔除胺净化。

### 3.9.2 二氧化硫法

1. 制芯原理 芯砂混合物中加入含过氧化物的活化剂，当 SO<sub>2</sub> 气体吹入芯砂时，就与过氧化物释放出的新生态氧反应生成 SO<sub>3</sub>，SO<sub>3</sub> 溶于粘结剂的水分之中生成硫酸，催化树脂发生放热聚合反应使砂芯硬化。

2. 制芯工艺 射芯后，用氮气或干燥空气将液化的 SO<sub>2</sub> 从钢瓶中带出，吹入芯盒中，吹气压力为 0.2MPa，吹气硬化时间为 5s，接着吹压缩空气，使砂芯净化。净化后即可开盒取芯。排除的 SO<sub>2</sub> 及净化砂芯后排除的气体需经装有氢氧化钠溶液的洗涤塔洗涤。

## 第5章 特种铸造<sup>[27][28]</sup>

### 1 概述

特种铸造是指与砂型铸造不同的其他铸造方法。主要有压力铸造、低压铸造、差压铸造、金属型铸造、熔模铸造、实型铸造、陶瓷型铸造、离心铸造和连续铸造等。

特种铸造方法优点很多，绝大多数方法获得的铸件尺寸精度高、表面光洁，易实现少无切屑加工；铸件内部组织致密，力学性能好；金属液消耗少，工艺出品率高；多数方法工艺简单，易实现机械化和自动化；改善了劳动条件，提高了劳动生产率。常用特种铸造方法的特点及应用范围见表 2-5-1。

表 2-5-1 常用特种铸造方法的特点及应用范围

铸造方法	压力铸造	低压铸造		差压铸造	金属型铸造	熔模铸造	实型铸造	陶瓷型铸造	离心铸造	连续铸造
		砂型	金属型							
铸件	各种非铁合金	各种铸造合金	各种铸造合金	常用于非铁合金	常用于铁合金	各种铸造合金	各种铸造合金	各种合金钢	各种铸造合金	各种铸造合金
尺寸大小	中、小件	中件为主	中小件	中小件	中小件为主	小件为主	大中、小件	大中、小件	大中、小件	
复杂程度	较复杂	较复杂	较复杂	较复杂	一般	复杂	较复杂	一般	一般或简单	简单
特征	铜合金 2, 其他合金 0.5~1.0	2~3	1.5~2.0	1.5~2.0	铝、镁合金为 3, 铸铁 5	0.3 (孔 $\phi$ 0.5)	3			



(续)

铸造方法	压力铸造	低压铸造		差压铸造	金属型铸造	熔模铸造	实型铸造	陶瓷型铸造	离心铸造	连续铸造		
		砂型	金属型									
铸件质量	能达到的尺寸精度(CT)	4	9	6	6	4	8	6				
	内部质量	晶粒细小,力学性能好,易产生气孔	组织致密,力学性能好	组织致密,力学性能好,气密性好	晶粒细小,组织致密,力学性能好,气密性好	组织致密,力学性能好,气密性好	在重力浇注时与砂型相近	与砂型铸造同	与砂型铸造相近	组织致密,力学性能好	组织致密,力学性能好	
技术指标比较	生产率	很高	一般	较高	一般较低	较高	随机机械化程度提高而提高	一般	低	较高	高	
	生产批量	大量	小批、成批	大量	成批	成批、大量	成批、大量	各种批量	单件、小批	成批、大量	大量	
	生产准备周期	长	较长	较长	长	较长	较长	较长	短	较长	较长	
	设备费用	高	中等	中等	较高	中等	较高	随机机械化程度高而提高	中等	低	中等或高	中等或较高
	工装费用	高	低	中等	中等	中等	较高	中等	低	中等	较高	

## 2 压力铸造<sup>[29][30]</sup>

### 2.1 压力铸造原理及工艺流程

压力铸造是金属液在高压下高速充型,并在压力下凝固成型的铸造方法。

高压(压射比压从几兆帕至几十兆帕,甚至高达500MPa),高速(从10~120m/s),以极短时间(0.01~0.2s)填充铸型是压力铸造与其他铸造方法的根本区别。压力铸造的工艺流程如图2.5-1所示。不同类型压铸机的应用范围见表2.5-2。

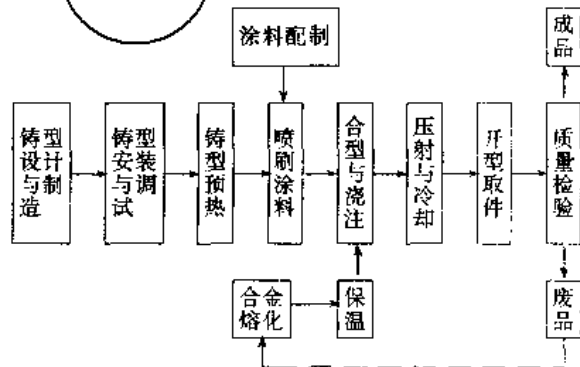


图 2.5-1 压力铸造工艺流程



表 2-5-2 不同类型压铸机的应用范围

压铸机类型	应用范围
热室压铸机	压铸铅、锡、锌合金及镁合金
卧式冷室压铸机	适用于各种压铸合金
立式冷室压铸机	适用于压铸锌、镁、铝合金
全立式压铸机	主要用于中小型电机转子的压铸,也可压铸各种合金

2.2 压铸工艺参数

2.2.1 压射比压

压射比压  $p_b$  是指压室内金属液单位面积上所受的力,其计算式为:

$$p_b = \frac{F_y}{A} = \frac{4F_y}{\pi d^2} \quad (\text{N/m}^2)$$

式中  $F_y$  —— 压射力 (N);

$A$  —— 压射冲头 (或压室) 截面积 ( $\text{m}^2$ );

$d$  —— 压射冲头直径 (或压室内径) (m)。

在压射过程中,作用在金属液上的压力以两种不同形式出现,其作用也不同。

(1) 金属液在填充过程中,以流体动压力表示,其作用主要是填充和成型。

(2) 填充结束之后,以流体静压力表示,其作用是对凝固过程中的金属液进行压实。

常用压射比压见表 2-5-3。

表 2-5-3 常用压射比压 (MPa)

合金	铸件壁厚 $\leq 3\text{mm}$		铸件壁厚 $> 3\text{mm}$	
	结构简单	结构复杂	结构简单	结构复杂
锌合金	30	50	50	60
铝合金	25	50	45	80
镁合金	30	50	50	80
铜合金	50	70	80	110

2.2.2 填充速度

填充速度是指金属液通过内浇道进入型腔的线速度,亦称内浇道速度,见表 2-5-4。

表 2-5-4 填充速度

压射比压 (MPa)	铸件壁厚 (mm)		
	1~4	4~8	>8
	填充速度 (m/s)		
$\leq 20$	56	45	34
$> 20 \sim 40$	37.5	30	22.5
$> 40 \sim 60$	20.5	15	11.25
$> 60 \sim 80$	15	12	9
$> 80 \sim 100$	11.25	9	6.75
$> 100$	7.5	6	4.5

2.2.3 浇注温度与压铸型温度

浇注温度指金属液自压室进入型腔时的平均温度。各种压铸合金的浇注温度见表 2-5-5,压铸型温度见表 2-5-6。

表 2-5-5 各种压铸合金的浇注温度 (°C)

合金	铸件壁厚 $\leq 3\text{mm}$		铸件壁厚 $> 3\text{mm}$	
	结构简单	结构复杂	结构简单	结构复杂
锌合金	420~440	430~450	410~430	420~440
铝合金	含硅	610~650	590~630	610~650
	含铜	620~650	600~640	620~650
	含镁	640~680	660~700	620~660
镁合金	640~680	660~700	620~660	610~680
铜合金	普通黄铜	870~920	850~900	870~920
	硅黄铜	900~940	930~970	880~920

表 2-5-6 各种压铸合金的压铸型温度 (°C)

合金	压型温度	铸件壁厚 $\leq 3\text{mm}$		铸件壁厚 $> 3\text{mm}$	
		结构简单	结构复杂	结构简单	结构复杂
锌合金	预热温度	130~180	150~200	110~140	120~150
	连续工作保持温度	180~200	190~220	140~170	150~200

此星公司制作 请尊重原作者版权



(续)

合金	压型温度	铸件壁厚 $\leq 3\text{mm}$		铸件壁厚 $> 3\text{mm}$	
		结构简单	结构复杂	结构简单	结构复杂
铝合金	预热温度	150~180	200~230	120~150	150~180
	连续工作保持温度	180~240	250~280	150~180	180~200
镁合金	预热温度	150~180	200~230	120~150	150~180
	连续工作保持温度	180~240	250~280	150~180	180~220
铜合金	预热温度	200~230	230~250	170~200	200~230
	连续工作保持温度	300~325	325~350	250~300	300~350

## 2.2.4 压铸用涂料 (表 2.5-7)

表 2.5-7 压铸用涂料

名称及代号	外观特征	适用范围
胶体石墨 (水基、油基)	灰、黑色	用于铝合金,防粘型效果好,用于压射冲头、压室及易咬合处
蜂蜡或石蜡	白色 淡黄色	应用于型腔及浇道部分,适用于各种压铸合金
DPS-1 (水基) DFY-1 (油基)	乳白或淡 黄色膏状	应用于压射冲头和型腔,适用于各种压铸合金
RE-1 (水基)	乳白(略黄) 乳液	用于各种压铸合金,型腔部分

## 2.3 特殊压铸方法

## 2.3.1 真空压铸法

真空压铸是先将压铸型腔内气体抽除,然后再压入金属液的压铸方法。优点是减少或消除铸件内部的气孔,提高铸件的力学性能和表面质量,改善镀覆性。一个有效的真空系统见图 2.5-2。抽气阀门有两个部分,分别镶在动型和定型上,其开合与压铸型完全同步,当压射冲头刚刚推过压室浇注孔时,抽气启动开关被打开,开始对压室和型腔抽真空,抽气过程连续进行,直到填充结束,金属液经过压型最后被填充的部位流入抽气阀门内,阀门自动关闭,抽气过程结束。

## 2.3.2 定向引气充氧压铸

在压铸时,顺着金属液流填充的方向,以超过填充的速度将气体抽出,使金属液顺利地填充铸型,对有深

凹的复杂铸件,可在抽气的同时充氧。该法可消除铸件气孔和疏松。

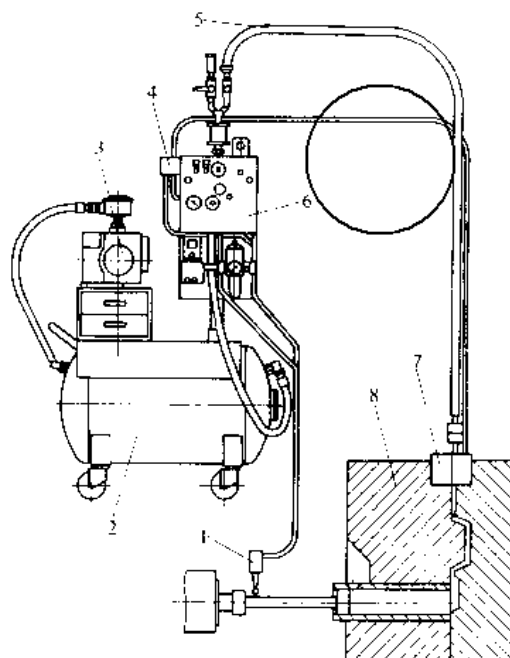


图 2.5-2 真空系统装置图

- 1—抽气启动开关 2—真空罐 3—真空泵  
4—放气、清理、抽气阀门 5—抽气管  
6—控制元件 7—抽气阀门 8—压铸型

## 2.3.3 双冲头压铸

双冲头压铸(精速密压铸)的优点是减少压铸件气孔,特别是缩孔和缩松。压铸机有两个套在一起的冲头,外冲头是圆筒,内冲头为圆柱,见图 2.5-3。在开始压射时,两个冲头同时前进,填充終了,内冲头继续前进,压实正在凝固的金属液。

## 2.3.4 半固态压铸

半固态压铸是当金属液在凝固时,进行强烈地搅





拌, 在一定的冷却速率下获得 50% 左右甚至更高的固体组分的浆料, 并将这种浆料送入压室进行压铸的方法。

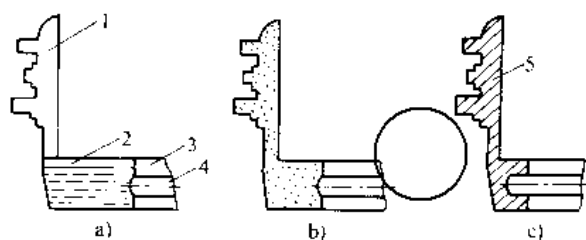


图 2-5-3 双冲头压铸原理示意图

a) 开始状态 b) 中间状态 c) 冲压状态

1—型腔 2—压室 3—外冲头

4—内冲头 5—铸件

半固态压铸包括流变铸造和搅溶铸造。流变铸造是将半固态的金属浆料直接压射到型腔里形成铸件的方法。搅溶铸造是将半固态浆料预先制成一定大小的锭块, 需要时, 重新加热到半固态温度, 然后送入压室

压入型腔, 形成铸件的方法。半固态压铸的优点是:

- (1) 减少热冲击, 可提高压铸型寿命;
- (2) 提高铸件质量;
- (3) 细化晶粒, 改善结晶组织;
- (4) 输送方便。

### 2.4 压铸型(压铸模)设计(参见第5篇第4章)

## 3 低压铸造<sup>[31]</sup>

### 3.1 低压铸造原理

低压铸造是金属液在低压(20~60kPa)作用下, 由下而上地填充铸型型腔, 并在压力下凝固而形成铸件的一种工艺方法。低压铸造的铸型可以是金属型、砂型、石墨型、壳型, 也可以是熔模铸造型壳和陶瓷型。低压铸造工艺流程见图 2-5-4。

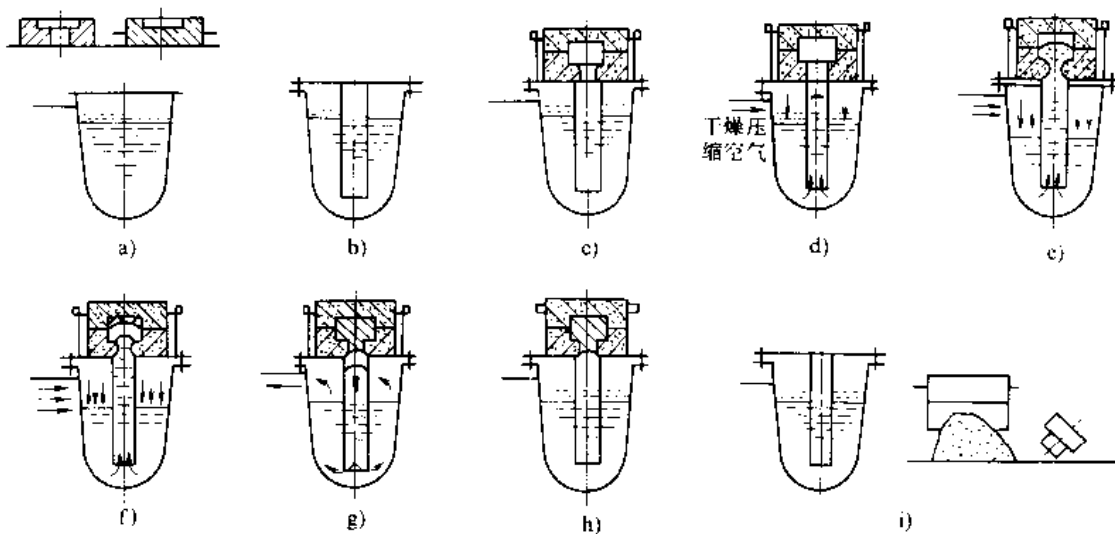


图 2-5-4 低压铸造工艺流程示意图

a) 炉料熔炼及铸型准备 b) 装配密封盖和扒渣 c) 配型及固紧 d) 加压升液  
e) 充型 f) 结晶凝固 g) 撤压放气 h) 松型 i) 开箱取件

低压铸造的特点是:

- (1) 填充平稳。由下而上填充, 金属液洁净, 夹杂和气孔少, 铸件合格率高。
- (2) 铸件成型性好。充型压力和速度可调, 有利于提高填充能力, 获得轮廓清晰的铸件。
- (3) 铸件组织致密。在压力下结晶和补缩, 减少缩

孔、缩松, 有利于提高铸件力学性能。

- (4) 金属液工艺收得率高。
- (5) 简化浇冒口系统, 改善劳动条件。

### 3.2 低压铸造工艺

低压铸造工艺的关键是保证铸件顺序凝固, 并使



型腔内空气顺利排出。低压铸造顺序凝固示意图见图2-5-5。铸件的顺序凝固可以从浇注系统设计、升液管与铸型的连接以及控制铸型冷却条件等方面考虑。

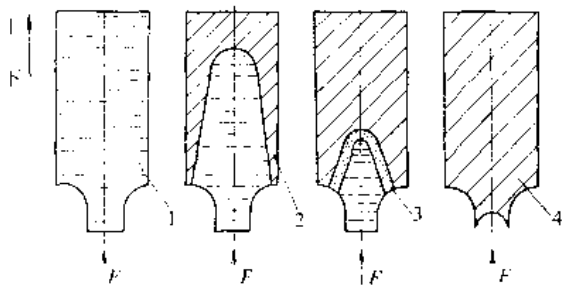


图 2-5-5 低压铸造顺序凝固示意图

1—金属液 2—凝固层 3—糊状层 4—铸件

### 3·2·1 浇注系统

1. 简单浇道 简单铸件由与升液管相连的单一内浇道充型，见图2-5-6。

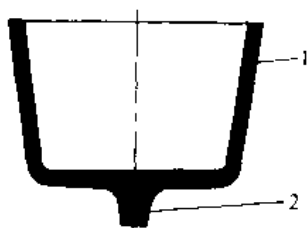


图 2-5-6 简单浇道

1—铸件 2—浇道

2. 分散内浇道 对大型铸件或复杂铸件设横浇道，并设多个内浇道，见图2-5-7。

浇道截面积为： $A_1 : A_2 : A_3 = 1 : 1.7 : 2.3$ 。其中  $A_1$  为内浇道截面积， $A_2$  为横浇道截面积， $A_3$  为直浇道截面积。

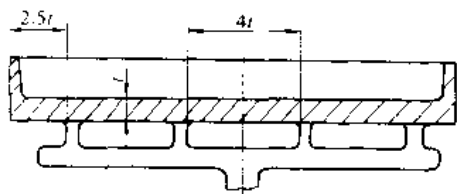


图 2-5-7 多内浇道的浇注系统

### 3·2·2 浇注温度和铸型温度

低压铸造较相同条件下的重力铸造浇注温度低  $10 \sim 20^\circ\text{C}$ ，常用铸型温度见表2-5-8。

表 2-5-8 常用铸型温度

铸型	铸型温度 ( $^\circ\text{C}$ )		
	一般铸件	薄壁复杂件	金属芯子
金属型	200~350	450~500	250~350
干砂型	60~80	120~150	冷铁
石墨型	100~150	150~200	200~250

### 3·2·3 浇注过程

浇注过程包括升液、充型、增压、保压和卸压五个阶段。

1. 浇注过程参数的变化 (表2-5-9)

2. 升液压力和速度 升液压力  $p_1$  是指当金属液面上升到浇口，高度为  $H_1$  时所要求的压力， $p_1 = H_1 \rho \mu$  (表2-5-9)。根据经验，升液速度一般控制在  $150\text{mm/s}$  以下。

3. 充型压力和速度 充型压力  $p_2$  是使金属液充型上升到铸型顶部所需的压力。从表2-5-9可见，充型压力  $p_2 = H_2 \rho \mu$  (MPa)。在充型阶段，金属液面上的压力从  $p_1$  升到  $p_2$ ，其升压速度

$$v_2 = \frac{p_2 - p_1}{\tau_2} \quad (\text{MPa/s})$$

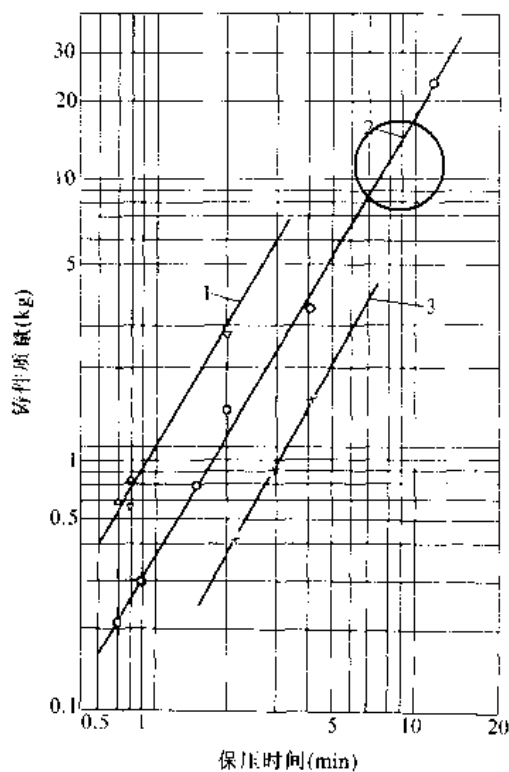
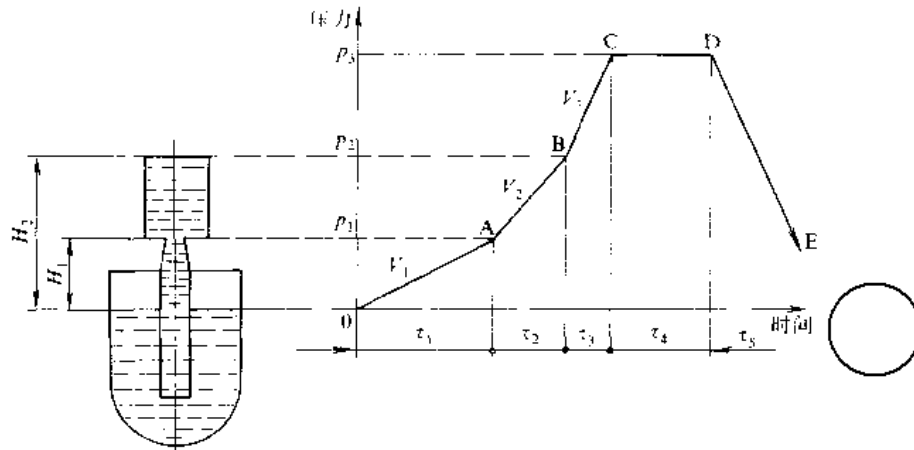


图 2-5-8 保压时间与铸件质量关系

1—浇道开在薄壁处 2—浇道开在中等壁厚处  
3—浇道开在厚壁处



表 2-5-9 浇注过程各阶段参数的变化



参 数	加压过程的各个阶段				
	0-A 升液阶段	A-B 充型阶段	B-C 增压阶段	C-D 保压阶段	D-E 卸压阶段
时间 $\tau$ (s)	$\tau_1$	$\tau_2$	$\tau_3$	$\tau_4$	$\tau_5$
压力 $p$ (MPa)	$p_1 = H_1 \rho \mu$	$p_2 = H_2 \rho \mu$	$p_3$ (根据工艺要求)	$p_4$ (根据工艺要求)	0
加压速度 $v$ (MPa/s)	$v_1 = \frac{p_1}{\tau_1}$	$v_2 = \frac{p_2 - p_1}{\tau_2}$	$v_3 = \frac{p_3 - p_2}{\tau_3}$	—	—

注： $\rho$ —合金液密度； $\mu$ —系数。

4. 增压和增压速度 金属液充满型腔后，再继续增压，使铸件的结晶凝固在一定压力  $p_3$  下进行。此压力称结晶压力。一般  $p_3 = 1.3 \sim 2.0 p_2$ 。增压速度

$$v_3 = \frac{p_3 - p_2}{\tau_3}$$

5. 保压时间 保压时间与铸件质量有关，见图 2-5-8。

3.2.4 常用的浇注工艺及应用范围 (表 2-5-10)

表 2-5-10 常用浇注工艺及应用范围

浇注工艺	低压充型工艺	稳压结晶工艺
工艺曲线	<p>1—浇道使用闸板时 2—浇道使用石墨冷却时</p>	<p>虚线表示铸件冷却速度较快的加压曲线</p>
应用范围	砂型低压铸造大中型铸件	铝合金湿砂型和金属型，复杂、薄壁铸件
说 明	只是低压充型，不用增压结晶	结晶压力不宜过高，一般只超过充型压 0.005 ~ 0.01MPa



(续)

浇注工艺	缓慢增压结晶工艺	急速增压结晶工艺
工艺曲线	<p>虚线表示铸件冷却较快的压力工艺曲线</p>	<p>虚线表示薄壁复杂铸件的压力曲线</p>
应用范围	用于干砂型厚壁铸件	用于金属型石墨型低压铸造
说明	充型完毕后, 稳定充型压力, 待铸件凝固一定厚度时开始增压, 压力一般在 0.1~0.15MPa, 特殊时可达 0.25MPa	一般铸件最高结晶压力为 0.1~0.25MPa, 在有特殊要求时, 可达 0.35~0.5MPa

#### 4 差压铸造<sup>[32]</sup>

##### 4.1 差压铸造工作原理

差压铸造(反压铸造)装置见图 2·5-9。工作原理

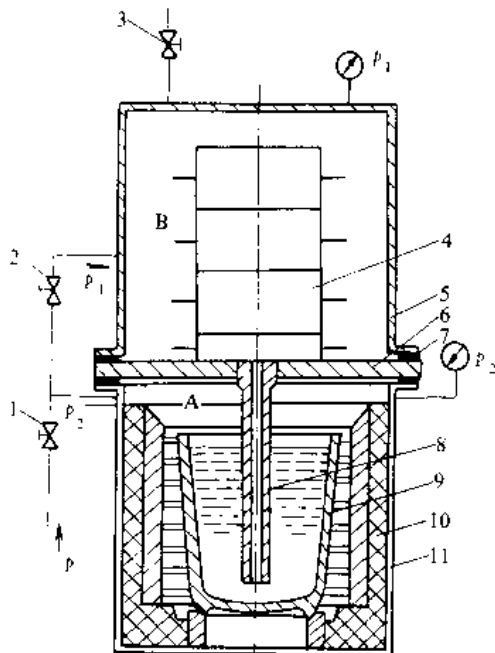


图 2·5-9 差压铸造装置示意图

- 1、2、3—气阀 4—铸型 5—密封室 B
- 6—密封盖 7—密封圈 8—升液管 9—坩
- 埚 10—电炉 11—密封室 A

是: 浇注前密封室内有一定压力(或真空度), 然后借密封室 A 中加压或由密封室 B 减压使 A、B 室之间形成压力差, 进行升液、充型和结晶。

##### 4.2 差压铸造充型过程

差压铸造充型分为减压充型、增压充型和真空充型。差压铸造还可用于压铸。

1. 减压法充型(图 2·5-9) 开始时, 通过阀 1、2 将干燥的压缩空气通入密封室 A 与 B, 当达到给定的压力时, 将阀 1、2 同时关闭, 并打开阀 3, 使 B 室压力下降, 由于密封室 A 与 B 形成压差 ( $p_1 < p_2$ ) 即充型。充型后关闭阀 3, 铸件在压力下结晶凝固成形, 其充型工艺曲线, 见图 2·5-10a。

2. 增压法充型 当引入气体达到给定压力时, 将阀 2 关闭, 由阀 1 继续充气, 使密封室 A 与 B 产生压差 ( $p_2 > p_1$ ) 即充型, 充满后在压力下凝固, 其工艺曲线见图 2·5-10b。

3. 真空充型 其装置见图 2·5-11。工作时, 先将坩埚和铸型分别放在 A 与 B 两个压室中, 并将密封盖 4 和 7 紧闭, 然后通过管道 1、2 抽真空, 待达到一定真空度时, 由液压缸 B 将坩埚顶上去, 使升液管浸入金属液, 随即关闭管道 1, 这时 B 室压力继续下降, 使 A、B 室产生压差(一般压差不超过 25kPa)即充型。充满后, 即关闭阀 2, 在压力下成型。

4. 反压压铸 反压压铸机与一般压铸机相似, 只



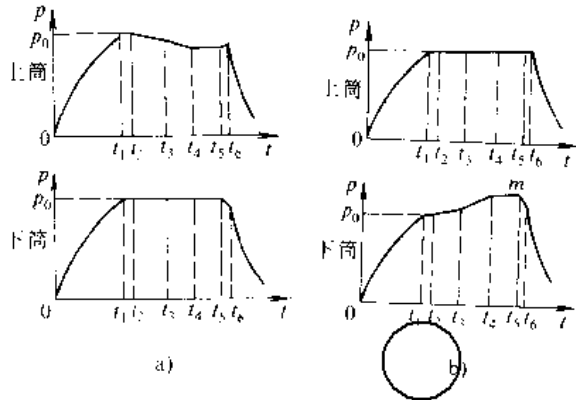


图 2-5-10 差压铸造充型及逐排气过程曲线

a) 减压法 b) 增压法  
 0-t<sub>1</sub>段——充气 t<sub>1</sub>-t<sub>2</sub>段——平衡  
 t<sub>2</sub>-t<sub>3</sub>段——升液 t<sub>3</sub>-t<sub>4</sub>段——充型  
 t<sub>4</sub>-t<sub>5</sub>段——保压 t<sub>5</sub>-t<sub>6</sub>段——互通  
 t<sub>6</sub>——开始排气

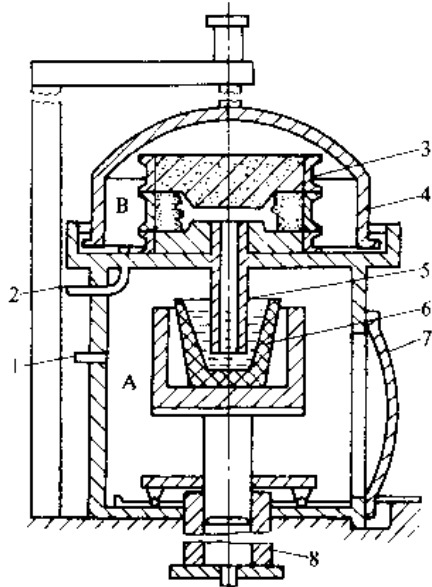


图 2-5-11 真空差压铸造

1、2—管道 3—铸型 4—密封盖 5—升液管 6—坩埚 7—密封盖 8—液压缸

是在浇注前要向型内充0.7~0.8MPa的压缩空气,使金属液在反压作用下充型。充满后,压射活塞使合金增压到20~40MPa。其优点是防止金属液中的气体析出,初始结晶速度快易补缩。此种方法可铸造壁厚50mm以上或壁厚差较大的铸件。铸件组织致密,力学性能好。

### 5 金属型铸造

#### 5.1 金属型铸造原理及特点

金属型铸造是指在重力作用下,金属液充填金属型型腔,冷却成形而获得铸件的工艺方法,其特点见表2-5-11。

表 2-5-11 金属型铸造特点

金属型特点	铸件成形过程特点	对铸件的影响
无退让性	铸件在凝固过程中,受阻较大,难以自由收缩	铸件内应力大,易产生裂纹
无透气性	金属液在充填过程中,受型内气体阻碍,不易充满	在金属液汇合处,对流处或铸型凹入的死角,易产生浇不到缺陷
导热快	金属冷却速度快,在金属型传热系统中,中间层是控制冷却速度的关键	铸件晶粒细小,组织致密,表面光洁,力学性能好

#### 5.2 金属型设计

##### 5.2.1 金属型种类及特点 (表 2-5-12)

表 2-5-12 金属型种类及特点

金属型种类	整体型	垂直分型	水平分型	综合分型
示意图				



(续)

金属型种类	整体型	垂直分型	水平分型	综合分型
特点	结构简单、制造方便, 尺寸精确, 操作便利	铸型排气条件好, 便于设置浇冒口和采用金属型芯, 易于实现机械化作业, 但安放砂芯较麻烦	安放砂芯方便, 但不便于设置浇冒口, 铸型排气也较困难, 不易实现机械化作业	金属型制造较困难
用途	起模斜度较大的简单件	铝、镁合金铸件	平板状铸件, 如盘、板、轮类铸件	较复杂的铸件

### 5.2.2 金属型材质

金属型材质, 最常用的为灰铸铁, 对中小件多用珠光体铸铁, 如 HT200, 对大型铸件, 常采用铁素体铸铁。孕育铸铁、球墨铸铁则更好。此外也采用阳极氧化处理的铝型, 只有在要求高时, 才采用碳钢、低合金钢或低合金铸铁。

### 5.2.3 金属型壁厚

金属型壁厚影响金属型使用寿命和铸件的冷却速度。壁太薄时, 强度和刚度小; 反之, 则浇注时型壁内外温差太大, 易引起铸型开裂。非铁合金铸件和钢铁铸件用金属型的壁厚分别列于表 2.5-13 和表 2.5-14。

表 2.5-13 非铁合金铸件用铸铁金属型壁厚 (mm)

分型面平均尺寸	<130	130~175	175~200	200~500	>500
金属型壁厚	15	16	18	25	30

表 2.5-14 钢铁铸件的金属型壁厚 (mm)

金属型的工作情况	铸钢件平均壁厚			铸铁件平均壁厚		
	<20	20~50	>50	<15	15~30	>30
间歇很久的定期浇注	20	20~40	(0.7~0.9) 铸件厚	15	15~30	0.8 铸件厚
连续进行浇注	25	40~50	铸件厚	20	30~40	铸件厚
连续进行浇注人工冷却	20	30~35	0.8 铸件厚	15	20~30	0.8 铸件厚

注: 表中所列铸件厚是指铸件的平均壁厚。

### 5.2.4 分型面布置

金属型分型面的铸件布置及尺寸, 见表 2.5-15。

### 5.2.5 金属型排气

金属型排气一般是通过在金属型上部开设出气冒

口; 在难以排气部位安放通气塞; 在分型面上开通气槽等方法进行。

1. 排气塞的形状及开设位置 排气塞(通气塞)的形状及开设位置, 见图 2.5-12 与图 2.5-13。

2. 排气槽的形状及开设位置 排气槽主要是开在分型面上, 见图 2.5-14。



表 2-5-15 金属型分型面上铸件布置及尺寸

		(mm)
型腔边缘至金属型边缘的距离 $l_1$	25~30	
型腔边缘间的距离 $l_2$	>30 小件 10~20	
直浇道边缘至型腔边缘间的距离 $l_3$	10~25	
型腔下缘至金属型底边间的距离 $l_4$	30~50	
型腔上缘至金属型上边间的距离 $l_5$	40~60	

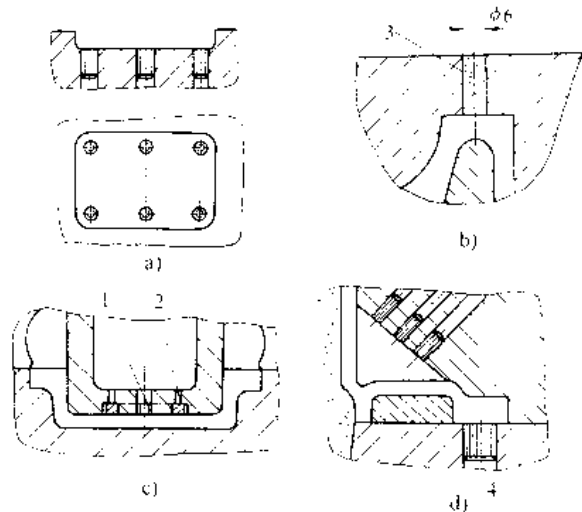


图 2-5-13 排气塞的位置

a) c) 排气塞(环)安装在型腔大平面

b) 孔内填水玻璃砂代替排气塞

d) 排气塞安装在铸件的厚壁处

1—排气塞 2—排气环 3—砂塞 4—铜塞

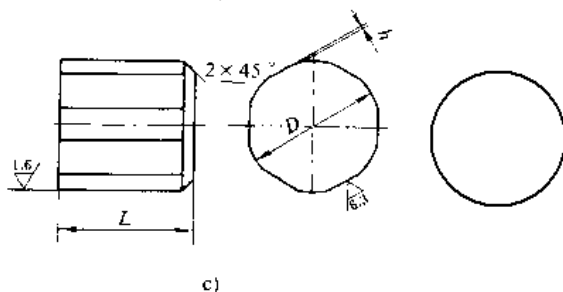
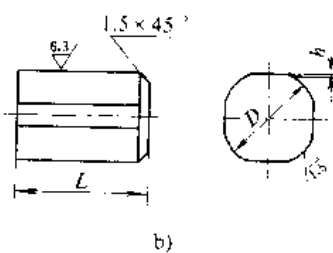
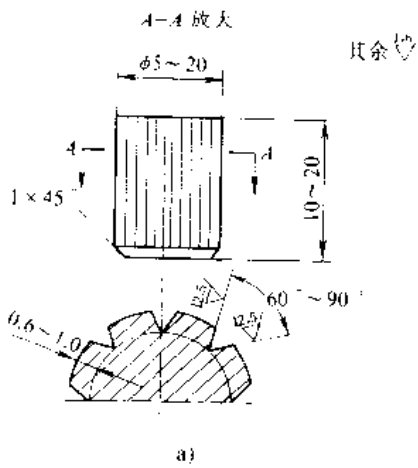


图 2-5-12 排气塞的形状

a) A型排气塞 b) B型排气塞

$D=15, 20$   $L=15, 20, 30, 50$   $h=0.5$

c) C型排气塞

$D=25, 30$   $L=25, 30, 40, 50$   $h=0.5$

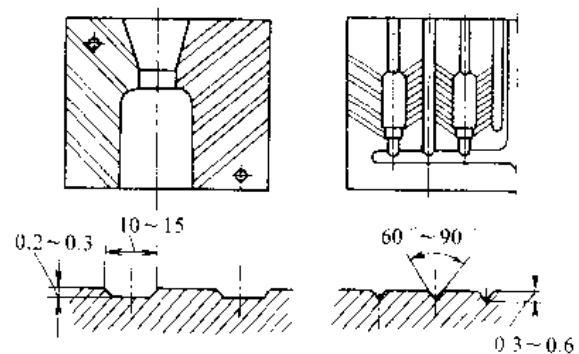


图 2-5-14 在分型面上的排气槽

3. 排气孔的形状及开设位置 排气孔主要开在型腔的憋气部位, 见图 2-5-15。

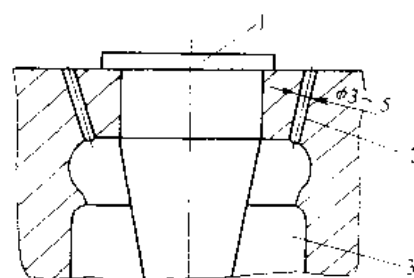


图 2-5-15 排气孔开设部位

1—型芯 2—排气孔 3—型腔

4. 其他排气方法 利用型芯与铸型间隙排气, 对



砂芯或壳芯可利用铸型的型芯座排气，还可利用金属型的组合件排气。

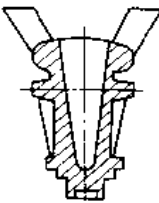
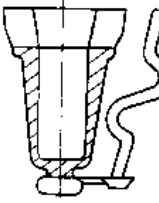
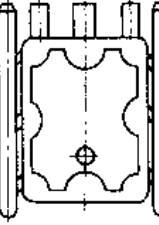
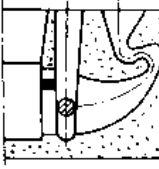
5.2.6 浇注系统

因为金属型冷却速度快，浇口截面应比砂型时

增大20%~25%，长度短一些。垂直分型金属型一般不使用垂直直浇道，而用斜浇道或蛇形直浇道。采用较大砂芯时，浇注系统应尽量开在砂芯上。常用的金属型浇注系统的形式、特点及应用范围见表2.5

-16。

表 2.5-16 金属型浇注系统形式、特点及应用范围

形式	典型图例	特 点	应用范围
顶注式		结构简单，有利于顺序凝固，金属消耗少，但浇注不平稳，金属易飞溅，容易带入夹杂物	不太高的小型铸件
底注式		与顶注式相反	大中型较复杂的铝、镁合金铸件
阶梯式		与底注式基本相似，为避免上面内浇道过早进入金属液，应采用开放式浇注系统	高大铸件
缝隙式		既能使金属液自下而上平稳充型，又利于顺序凝固，切割浇道较困难	要求质量高或高度较大的薄壁筒状与板状铝、镁合金铸件

5.3 金属型铸造工艺

5.3.1 金属型预热与浇注

1. 喷涂料前预热温度 (表 2.5-17)

表 2.5-17 喷涂料前预热温度 (°C)

铸件材质	预热温度	铸件材质	预热温度
铸 铁	80~150	镁合金	120~200
铸 钢	150~250	铜合金	100~150
铝合金	120~200		

2. 浇注前预热温度 (工作温度) (表 2.5-18)

表 2.5-18 浇注前预热温度

铸件材质	铸件特点	预热温度 (°C)
灰铸铁		250~350
可锻铸铁		150~250
铸 钢		150~300
铝合金	一般铸件	200~300
	薄壁复杂件	300~450
	金属芯	200~400
镁合金	一般铸件	200~350
	薄壁复杂件	350~450
	金属芯	300~450





(续)

铸件材质	铸件特点	预热温度 (°C)
铜合金	锡青铜	150~250
	铝青铜	120~200
	铅青铜	50~125
	一般黄铜	100~150
	铅黄铜	350~450

5.3.2 金属型用涂料 (表 2.5-19)

5.4 覆砂金属型

覆砂金属型是在金属型的型腔表面覆盖一层型砂(树脂砂或粘土砂)。优点是:

(1) 砂层由于有金属型的支撑, 铸型整体刚度好, 不易变形, 铸件尺寸精度高。

(2) 由于砂层保护, 金属型受热冲击小, 不易变形和产生裂纹、寿命长。

(3) 可通过砂层厚度调整铸件的冷却速度, 控制铸件组织结构。

3. 浇注温度 金属型铸造浇注温度比砂型铸造浇注温度高 20~25°C。

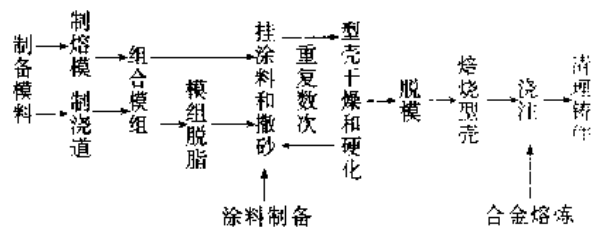
表 2.5-19 金属型用涂料质量配比

浇注合金	氧化锌	白垩粉	石棉粉	石墨粉	二氧化钛	滑石粉	耐火砖粉	刚玉粉	粘土	硅石粉	松香	糖浆	肥皂液	表面活性剂	硼酸	水玻璃	水	用途	
铝合金	10															6	其余	型腔表面	
		17.5	8.7													3.5	其余	浇注系统工作表面	
				石棉粉														用水玻璃粘在冒口工作表面	
				10~15													6	其余	型腔局部厚大处
		6	4		3												6	其余	改善铸件表面粗糙度
镁合金		5				5									2	2	其余	中小件型腔表面	
						18									2.5	2.5	其余	复杂铸件型腔表面	
		20	25												6.5		100	浇冒口型腔表面	
灰铸铁			10~15					10~15						0.5		5~7	其余	型腔用	
						35		25	25							15	适量	浇冒口表面	
铸钢							30~40								0.7~0.8	5~9	其余	型腔	
								6	70		1~2	1~1.5					其余		
铜合金			14							28								用 58% 汽油溶化松香, 型腔表面用	



### 6 熔模铸造

熔模铸造又称失蜡铸造、熔模精密铸造、包模精密铸造，是精密铸造法的一种。根据铸型的特点，可分为型壳熔模铸造、填箱熔模铸造（型壳制好后，装入砂箱中，在型壳周围注入耐火浆料或干砂增强）、石膏型熔模铸造（用石膏型代替型壳）。以型壳熔模铸造应用最广泛，其工艺流程如下：



型壳熔模铸造过程示意图 2·5-16。

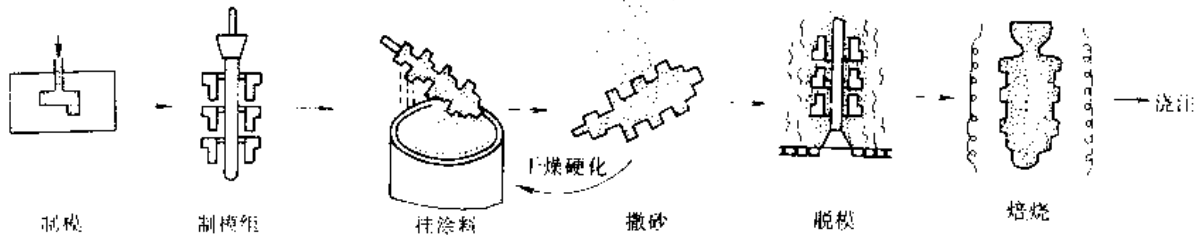


图 2·5-16 型壳熔模铸造过程示意图

#### 6·1 制模用压型

熔模铸造用模样由压型制出，压型由本体、型芯及定位、锁紧、起模装置等组成，在本体内制出型腔、浇注通道（图 2·5-17）。有时压型本体中也制出冷却水道以提高制模效率。压型种类、特点及应用范围见表 2·5-20。

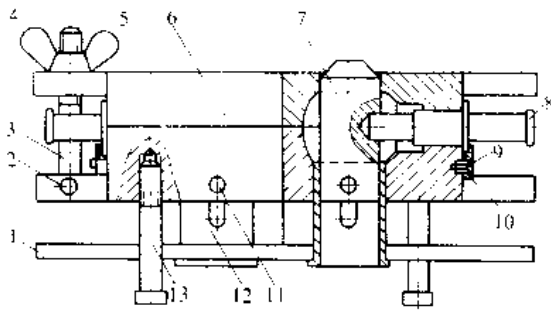


图 2·5-17 压型结构实例

- 1—顶板 2—圆柱销 3—活节螺栓 4—蝶形螺母
- 5—上压型 6—下压型 7、8—型芯
- 9—型头螺钉 10—镶块 11—定位销 12—顶块 13—支撑销

设计压型时型腔尺寸的简易计算法为：

$$\text{压型型腔尺寸} = \text{铸件公称尺寸} (1 + \text{总收缩率}) \pm$$

$$\left( \frac{1}{2} \sim \frac{1}{5} \right) \text{铸件尺寸公差}$$

$$\text{总收缩率} = \text{模料收缩率} - \text{铸型膨胀率} - \text{铸件合金收缩率}$$

不同合金熔模铸造时的总收缩率数值见表 2·5-21 及表 2·5-22。

压型表面粗糙度应比铸件低 1~3 级。

表 2·5-20 压型的种类、特点及应用范围

制造方法	材料	特点	应用范围
机械加工	碳钢、铝合金、铜合金	制出熔模尺寸精确，表面粗糙度低，生产率高，熔模结构可复杂，寿命高，但价贵	大批大量生产高精密铸件，机械化制模
铸造（浇注）	易熔合金： 如 $w_{Sn} 42\% + w_{Bi} 58\%$ 、 $w_{Sn} 40\% + w_{Cu} 40\%$ 、 $w_{Sn} 40\% + w_{Pb} 20\%$	熔模精度稍低，表面粗糙度 $R_a = 0.63 \sim 5\mu m$ ，成本低，易制造，材料可回用，寿命 1000~10000 次	批量较大，形状不易机械加工或较简单、精度要求不太高的铸件，如高尔夫球杆头、大型钻头
	石膏：石膏的质量分数（70~85%）+ 水泥的质量分数（15~30%）+ 水	熔模精度低，表面粗糙度高，易制造，成本低，生产率低，寿命 < 100 次	单件、小批生产精度要求不高的铸件，工艺调整试生产



(续)

制造方法	材料	特点	应用范围
铸造(浇注)	塑料: 环氧树脂+金属粉	熔模精度低, 表面粗糙度稍高, 易制造, 成本低, 生产率低, 寿命数次	中批生产, 精度要求不高, 形状简单的铸件, 试生产件
挤压	超塑性合金: 如 Zn-Al (Al 的质量分数为 22%)	熔模精度较高, 制造较难, 生产率适中, 熔模结构简单(分型面为平面)	成批生产, 形状较简单, 精度要求适中的铸件

注:  $w_{Sn}$ 、 $w_{Bi}$ 、 $w_{Pb}$  分别为 Sn、Bi、Pb 的质量分数。

表 2-5-22 熔模铜合金件总收缩率 (%)

合金牌号	总收缩率
ZCuSn10Pb1	1.2~1.4
ZCuAl9FeNi4Mn2	2.2~2.5
ZCuPb10Sn10	1.35~1.55
ZCuZn38	1.9~2.1
ZCuZn59Pb1	2.0~2.5

6.2 熔模材料及制模工艺

6.2.1 熔模材料

熔模材料应具有合适的熔化温度和凝固温度区间, 热膨胀系数小, 软化点、强度、硬度、塑性高, 灰分少, 对涂料的涂挂性好, 并且价廉易得。组成模料的原材料主要为蜡料(石蜡、地蜡、褐煤蜡、川蜡、硬脂酸等)、松香及其衍生物、高分子聚合物(聚乙烯(PE)、乙烯-醋酸乙烯共聚物(EVA)、聚苯乙烯(PS))、尿素等。表 2-5-23 示出了一些模料配方举例。

表 2-5-21 熔模碳钢件总收缩率 (%)

铸件壁厚 (mm)	阻碍收缩	半阻碍收缩	自由收缩
1~6	1.1~1.5	1.3~1.9	2.0~2.3
6~10	1.1~1.8	1.5~2.3	2.2~2.4
10~16	1.1~2.3	1.8~2.4	2.2~2.5

注: 铸件最大尺寸 200mm, 石蜡、硬脂酸各 1/2 糊状模料注射制模。

表 2-5-23 模料配方表

模料类型	质量配比										物理性能					特点		
	石蜡	硬脂酸	地蜡	褐煤蜡	松香	川蜡	树脂	140 聚合松香	PE	PS	EVA	尿素	熔点 (°C)	软化点 (°C)	线收缩率 (%)		抗弯强度 (MPa)	滴点 (°C)
	50	50											50~51	≈31	0.6~0.92	2.0~2.2		流动性好, 熔模表面粗糙度低, 易于制备, 软化点低, 应用广泛
蜡基模料	40		20		40								55~60	35	0.5~0.7	2.0		流动性差, 韧性好, 涂挂性好, 熔模变形小, 易回收, 但地蜡产量少, 应用少
	95			2					低分子 3				62	35	0.82	4.70		力学性能改善, 收缩性稍大
	98.5										1.5		62	38	0.85	4.80		力学性能改善, 耐热性稍好, 但收缩性稍大



(续)

模料类型	质量配比										物理性能					特点		
	石蜡	硬脂酸	地蜡	褐煤蜡	松香	川蜡	树脂	140 聚合松香	PE	PS	EVA	尿素	熔点 (°C)	软化点 (°C)	线收缩率 (%)		抗弯强度 (MPa)	滴点 (°C)
松香基模料			14.3		81		210 树脂 1.6		3.1				≈110		0.58	3.6	95	力学性能、热稳定性好,涂挂性好,流动性差,不易制备
			5		75	15			5				≈110		0.95	10.0	94	与上相似,但力学性能更好
	30		5			5	424 树脂 25	30			5				0.55	6.4	80	可液态压模,熔模尺寸精度高,表面粗糙度低,涂挂性好
水溶模料												100	132.7	>5		18.0		力学性能稳定,制模后溶去,在熔模内形成金属芯不能形成的内腔
气化模料									100									用聚苯乙烯珠粒发泡模制壳型,可防止模变形

6.2.2 模料制备

制备好的模料有糊状和液态两种,模料的制备工序主要为熔化和搅拌。熔化蜡基模料时不必考虑化料次序,但熔化松香基模料时,应注意原材料的熔化次序:蜡料→高分子聚合物→松香。

6.2.3 制模工艺 (表 2.5-24)

制成的铸件模样与浇注补缩系统模样用焊接、胶接或机械组装法组合在一起,形成模组,准备挂涂料微


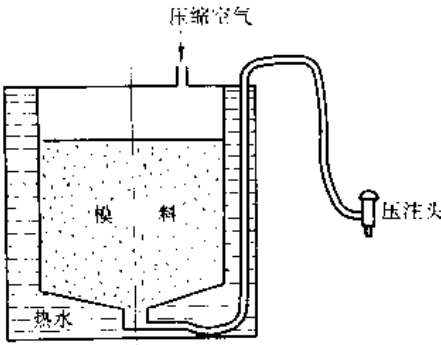
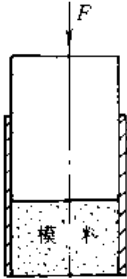
砂制型。

表 2.5-24 制模工艺类型及特点

工艺类型	特点
糊状压注	模料中有较多析出的固态颗粒,模料充型较稳,熔模表面不易出现缺陷,但较粗糙,熔模线收缩小,制模生产率高,所需设备简单
液态压注	模料中已析出少量微晶,熔模表面粗糙度低,接低于压型。熔模线收缩稍大,制模生产率低,需贵重设备

6.2.4 制模装置 (表 2.5-25)

表 2.5-25 制模装置

名称	手动压注枪	气动压注枪	活塞压注装置
图例			



(续)

名称	手动压注枪	气动压注枪	活塞压注装置
特点	结构简单, 操作方便, 适于压注糊状蜡基模料	结构复杂, 操作方便, 易于机械化、自动化, 生产率高, 适于压注糊状蜡基模料	结构简单, 适于压注糊状松香基模料
适用范围	小件、单件, 小批生产	成批, 大量生产	成批, 单件生产

名称	液态压注机	
图例		
特点	结构复杂, 价高, 适于压注液态模料	
适用范围	单件、成批生产	

1—活塞 2—压蜡缸 3—油缸 4—压嘴 5—模料筒 6—模料进口

6.3 熔模铸型

用较广泛的耐火材料见表 2.5-26。

涂料用粉料的粒度  $< 0.053\text{mm}$ , 撒砂用砂粒度为  $0.150 \sim 0.425\text{mm}$  (面层) 和  $0.425 \sim 1.700\text{mm}$  (加固层)。

6.3.1 熔模铸型用材料

1. 耐火材料 (涂料中粉料和撒砂用粒状料) 应 2. 粘结剂

表 2.5-26 熔模铸型用耐火材料

名称	组成的质量分数 (%)			杂质的质量分数 (%)							耐火度 (°C)	备注
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
硅砂	$>90$	0.7~0.9		1.0				0.1			1680	经 800~900°C 焙烧
熔融石英	$>99.9$										1713	制陶瓷芯用
刚玉砂	$\leq 0.2$	$\geq 98.5$				$\leq 0.6$		$\leq 0.1$			$\geq 1850$	用于浇注温度高、尺寸精度高铸件



(续)

名称	组成的质量分数 (%)			杂质的质量分数 (%)						耐火度 (°C)	备注	
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
铝矾土	≤30	≥70		0.8~1.0		0.5~0.7		1.0~4.0	1.0~4.0		≥1770	经 1450°C 以上焙烧
上店土	49~55	40~46		0.7		0.30		1.2	0.15			
煤矸石	≈50	≈45		≈0.6	≈0.1	≈0.2	≈0.3	≈1.3	≈0.7			
匣钵砂	30~50	35~60		0.2~1.30	0.2~4.5	0.4~1.70		1.2~2.0	1.2~2.8			
铸砂	≈32		≥60					≤0.3~1.0①	≤1.0~3.0①	≤0.3~0.8①	2190	型壳面层涂料用粉
石膏	CaSO <sub>4</sub> · 1/2 H <sub>2</sub> O											

① 质量分数随材料的级别变化。

a. 水玻璃 熔模铸型用水玻璃的技术指标为：模数  $M=2.7\sim3.3$ ，密度  $\rho=1.25\sim1.27$ （面层涂料）和  $1.29\sim1.32\text{g/cm}^3$ （加固层涂料）。大多数市售水玻璃的模数偏低，密度偏高，故在使用前需加氯化铵提高模数，加水降低密度。处理时先把氯化铵溶于水，逐渐加入水玻璃中，同时搅拌，加完后继续搅拌 15~30min，使白色析出物重新溶解。

也有高模数水玻璃出售，需加 NaOH 降低模数。

b. 硅酸乙酯水解液 由硅酸乙酯（表 2·5-27）水解而得。进行硅酸乙酯水解时，除了直接参加反应的硅酸乙酯和水外，还需用酒精或丙酮作溶剂，并借此调整硅酸乙酯水解液中的 SiO<sub>2</sub> 含量。此外还需加一定量的盐酸作催化剂。

常用一次水解法：把盐酸、水和溶剂混匀后，加到硅酸乙酯中，搅拌。要控制水解的反应温度为 40~

52°C（水解硅酸乙酯 32 时）或 32~42°C（水解硅酸乙酯 40 时）。

表 2·5-27 硅酸乙酯技术要求

项 目	硅酸乙酯 32	硅酸乙酯 40
SiO <sub>2</sub> 的质量分数 (%)	32.0~34.0	40.0~42.0
HCl 的质量分数 (%)	≤0.04	≤0.015
110°C 以下缩分的 质量分数 (%)	≤2	≤3
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.97~1.00	1.04~1.07
运动粘度 (m <sup>2</sup> /s)	≤1.6×10 <sup>-6</sup>	(3.0~5.0) ×10 <sup>-6</sup>

c. 硅溶胶 把水玻璃去除钠离子和杂质后，经浓缩即可制得硅溶胶，其技术要求见表 2·5-28。

表 2·5-28 硅溶胶技术要求

牌 号	化学成分的质量分数 (%)		物理性能				稳定期
	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	pH	运动粘度 (m <sup>2</sup> /s)	SiO <sub>2</sub> 粒子直径 (nm)	
GRJ-26	24~28	≤0.3	1.15~1.19	9~9.5	≤6×10 <sup>-4</sup>	7~15	≥1a
GRJ-30	29~31	≤0.5	1.20~1.22	9~10	≤8×10 <sup>-4</sup>	9~20	

对市售的硅溶胶需加水或乙醇稀释到 SiO<sub>2</sub> 的质量分数为 20% 左右后才能使用。

在上述三种粘结剂中加入粒度小于 0.053mm 的耐火粉料，经充分搅拌，即可获得制型壳用的涂料。有时在

水玻璃涂料中加入 0.06% 左右农乳或 JFC 表面活性剂，在硅溶胶涂料中加 0.1% 左右正辛醇或 0.4% 左

① 皆指质量分数。



有阳离子型表面活性剂，以改善涂料对模组的涂挂性。

d. 三种粘结剂比较 (表 2·5-29)

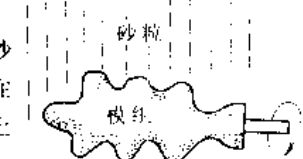
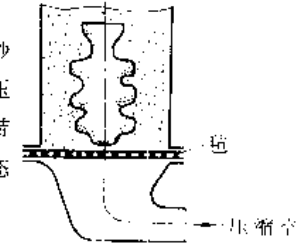
表 2·5-29 三种粘结剂比较

粘结剂	水玻璃	硅酸乙酯水解液	硅溶胶
价格	最廉 货源充足	最贵	适中
制壳周期	最短	适中	长，但不需使用专门的硬化剂
型壳高温强度应用范围	低 应用较多，但不适用于生产精度高、表面粗糙度要求低的铸件	高 应用广泛，在生产精度高、表面粗糙度要求低的铸件时，除作表面型壳外，还普遍用于加固层涂料	高 涂料对熔模润湿性差。在生产精度高、表面粗糙度要求低的铸件时，除作加固层外，还常在面层涂料中，尤其需添加表面孕育剂时使用

成洗涤剂液浸泡脱脂，有时也可用丙酮或酒精洗去模组表面油脂。制型壳的工序为模组挂涂料、撒砂、干燥、硬化，反复多次后，对型壳脱模、焙烧。

1. 模组挂涂料、撒砂工艺 (表 2·5-30)

表 2·5-30 模组挂涂料、撒砂工艺特点

工序	工艺特点
挂涂料	1. 模组在涂料中转动和搅动 (移动) } 挂面层涂料后，需用毛笔修饰涂料层，消除气泡、涂料桶带动涂料绕桶的轴线转动 } 涂料堆积和模组裸露现象
撒砂	雨淋式撒砂：砂粒如雨淋般掉落在带有涂料的模组上 
砂	流态化撒砂：砂粒在流态床中被压缩空气流态化，带涂料模组浸入流态化砂粒中 

6·3·2 熔模铸型 (型壳) 制造工艺

制型壳前，蜡基模料的模组需用中性肥皂液或合

2. 型壳干燥、硬化工艺 (表 2·5-31)

表 2·5-31 型壳干燥、硬化工艺

型壳种类	硬化前干燥	硬化剂成分①及工艺参数	硬化时间	硬化后处理
水玻璃型壳	自然干燥 面层：0.5h~数小时 加固层：>2min	氯化铵 ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) >95%、 $\text{NaCl}$ ≤3% 溶液，浓度 220~250g/L，温度 25~30℃	数十秒	在空气中静置 10~30min，让 $\text{NH}_4\text{Cl}$ 液滴净， $\text{NH}_3$ 气散发完
		结晶氯化铝 ( $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) ≥95% 溶液，浓度 300~350g/L，温度 30~40℃	2~7min	对 1、2 层型壳需水洗清除残留硬化剂，型壳全部涂挂完后需存放 24h 以上，才能脱模
		聚合氯化铝溶液 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ 8%~10%、B<50%)，温度 30~40℃		
		氯化镁 ( $\text{MgCl}_2$ 40%~50%) 溶液，浓度 280~320g/L，温度 30~45℃	<3min	用热风干燥，型壳全部涂挂后，需存放 8h 以上，方可脱模
硅酸乙酯水解液型壳	1. 自然干燥 >3h 2. 通风干燥 >2h	氨 气	20~30min	在空气中静置 15~30min，待 $\text{NH}_3$ 散发完后，再涂挂下一层
在一定湿度和温度的流通空气中干燥、硬化约 24h				
硅溶胶型壳	1. 通风 (风速 60~250m/min，风的相对湿度 <50%) 干燥、硬化，面层、第 2、3 层风温 20~25℃；第 4、5、6 层风温 30~50℃，每次通风 1.5~4h 2. 自然干燥、硬化，需 24h			

① 皆指质量分数。



水玻璃型壳的不同硬化工艺比较见表2·5-32。

表 2·5-32 水玻璃型壳不同硬化工艺比较

硬化工艺	氯化铵液硬化	氯化铝液硬化	氯化镁液硬化
硬化速度	快	慢, 型壳全部硬化后需存放一段时间方可脱模	居中
型壳、铸件表面质量	最好	差, 不宜硬化表面层	差, 不宜硬化表面层
型壳残留强度	低	高	低
型壳高温强度	稍低	稍高	稍低
型壳表面质量	存放时易生茸毛	使用时, 氯化铝液性能变化缓慢	使用时, 氯化镁液性能变化较快, 需经常补充氯化镁
环境影响	析出 NH <sub>3</sub> 污染空气, 味刺鼻, 腐蚀设备	不污染环境, 但硬化工艺复杂	不污染环境, 但硬化工艺稍复杂

3. 脱模和旧模料回收 常用热水脱模或蒸汽脱模。热水脱模时, 型壳浇口向上, 浸泡在 95℃ 左右的热水中。蒸汽脱模时, 型壳浇口向下, 搁置在密封容器中的带孔板上, 受压力约 0.1MPa、温度约 120℃ 的水蒸气加热。它们的比较见表 2·5-33。

表 2·5-33 不同脱模工艺比较

	热水脱模	蒸汽脱模
设备情况	简单	较复杂
对水玻璃型壳中 Na <sub>2</sub> O 的影响	可进一步降低, 并提高其高温强度	不能进一步降低
适用模料	只适用于蜡基模料, 模料回收率高	适用于蜡基、松香基模料, 但蜡基模料皂化严重
型壳质量	易破损	不易损坏
型腔质量	杂物易进入型内	杂物不易进入型内
劳动条件	差	好

在生产重要铸件时, 常用新模料做铸件的模样, 将回收的模料制浇注系统的模样。生产一般熔模铸件时, 可在回收模料中加入部分新模料制造铸件的模样。回收模料在使用前必须过滤清除杂质, 对松香基模料还需在熔化的状态下, 向内吹压缩空气搅拌, 除去模料中的水分。对含有塑料的回收模料, 可加少量增塑剂苯二甲酸二丁酯, 防止模料变脆。

对含有硬脂酸的模料, 在使用过程中会生成硬脂酸盐(皂盐), 使模料性能变坏。对多次重复使用, 含皂盐太多的回收模料可用表2·5-34所示的方法处理。

表 2·5-34 去除模料中皂盐的方法

名称	方 法	特 点
盐酸法	模料加水, 热至沸腾, 加入模料 3%~5% 的盐酸, 使皂盐还原, 反应式为 $C_{17}H_{35}COOMe + HCl = C_{17}H_{35}COOH + MeCl$	工作简便, 但不能还原硬脂酸铁
活性白土法	在用盐酸法处理后的模料中, 加入用酸活化后的粘土(活性白土), 充分搅拌, 而后在 70℃ 下保温静置 4~5h, 使吸附了皂盐的白土充分沉淀。活性白土中的阳离子还能中和模料中带负电荷的杂质, 使成凝胶下沉	能去除硬脂酸铁, 对多次盐酸法处理的模料作补充处理用, 但模料损耗大
电解法	电解槽中放入 80~85℃ 的模料, 再加浓度为 28~35g/L 的盐酸, 电压为 15~20V, 利用阳极上产生的初生态氯还原皂盐	效果好, 设备复杂, 产生气体有毒, 很少应用

4. 型壳焙烧 型壳脱模后, 在空气中静置 1~2h 后, 即可装入炉内焙烧, 以去除型壳中的水分、残余模料、盐类等杂质, 同时改善型壳的透气性和高温力学性能, 并使型壳获得浇注时所需的高温。如采用填箱铸造, 型壳在焙烧前需先装箱, 在型壳周围填耐火浆料或干砂。型壳焙烧工艺参数见表 2·5-35。

5. 陶瓷芯 铸件中形状复杂、窄小、细长的内腔





表 2-5-35 型壳焙烧工艺参数

型壳种类	焙烧温度 (°C)	焙烧时间 (h)
水玻璃型壳	800~900	>1
硅酸乙酯水解液型壳 硅溶胶型壳	950~1050	>2

孔道,制型壳时无法往模样的相应部位挂涂料和撒砂,只能用陶瓷芯形成。制模样时,先把陶瓷芯放在压型型腔的相应位置上,制成的模样上带有陶瓷芯,芯头伸出模样,在制型壳、脱模后,陶瓷芯成为型壳的组成部分以形成铸件的内腔。陶瓷芯制造工艺见表 2-5-36。

表 2-5-36 陶瓷芯制造工艺

工艺过程	工艺内容
制备陶瓷浆料	将耐火材料(如石英玻璃、刚玉、锆砂等)粉料质量约 80%和增塑剂(蜡料、塑料)质量约 20%在热态下放在一起,充分搅拌
制坯	将具有一定温度的陶瓷浆料用压力(2.7~4MPa)压入压型,浆料在压型中冷却成陶瓷芯坯
焙烧	将陶瓷芯坯埋入粉状填料(刚玉粉或 $\alpha\text{Al}_2\text{O}_3$ 粉)中,放入炉中焙烧 焙烧规范: 200°C (1h) → 400°C (1h) → 550°C (1h) → 900°C (1h) → 1200°C (4h) → 随炉冷却
常温强化	1. 渗蜡(蜡料需熔化,渗完后冷却) 2. 渗尿素(尿素需熔化,渗完后冷却) 3. 渗树脂(先把热固性树脂溶于溶剂中,渗完后加热固化)

6.3.3 石膏型制造工艺 (表 2-5-37)

表 2-5-37 石膏型制造工艺

工艺过程	工艺内容
制备石膏浆料	$\alpha$ 石膏或 $\beta$ 石膏质量约 30%加耐火材料(硅石粉、硅砂、铝矾土粉或其他铝硅系耐火材料)质量约 70%以及其他附加物,另加上述材料质量的 30%~50%水,在真空(66~93kPa)下搅拌 3~6min
造型	将模组放在可拆型框中,在微振下往框中灌石膏浆(1~2min),石膏浆硬化成型
脱模	石膏型固化后,拆去型框,停放 1~2h 以下,用热空气或蒸汽脱模
焙烧	脱模后的石膏型在自然干燥或低温烘干后,放入炉中焙烧,焙烧温度 600~700°C,焙烧时间 2~3d

用石膏型可生产铝合金、锡合金、锌合金、铝合金、部分铜合金、金、银等熔模铸件,铁基合金不能用石膏型铸造。

6.4 熔模铸件的浇注和清理

6.4.1 熔模铸件的浇注 (表 2-5-38)

6.4.2 熔模铸件的清理

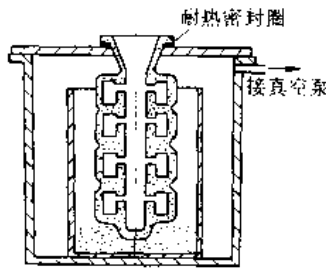
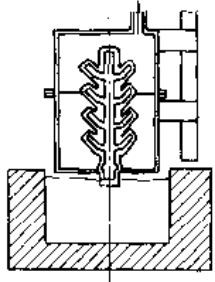
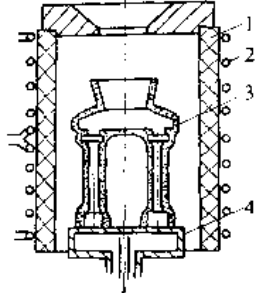
熔模铸件的清理工序包含去除型壳、型芯和铸件表面残余耐火材料等作业,所采用的方法见表 2-5-39。

表 2-5-38 熔模铸件浇注工艺

浇注工艺	工艺特点	优缺点	应用情况
重力浇注	熔模铸型焙烧后,冷却至一定温度(铸铝 100~300°C,铸铜 100~500°C,铸钢 300~900°C,高温合金 800~1050°C),浇注合金液 常用一般倾倒浇注法。有时也用翻转式浇注法,即把铸型浇口向下,固定在感应炉的上方,随感应炉翻转 180°,使炉内金属液平稳流入型内,防止氧化夹渣	1. 工艺设备简单,成本低 2. 铸件凝固缓慢,晶粒粗大,伸长率降低 3. 碳钢件,低合金钢件表面易得脱碳层	应用最广泛



(续)

浇注工艺	工艺特点	优缺点	应用情况
真空浇注	1. 合金真空熔炼时, 铸型放在真空室中浇注 2. 铸型放在真空箱中, 从型壳外面抽气, 浇注金属液 	1. 更好地改善金属液充型能力, 铸件复制型腔形状能力强 2. 在真空室中浇注时, 可防止金属液二次氧化, 减少铸件夹渣 3. 铸件补缩效果好, 致密度高 4. 设备复杂, 尤其在真空室浇注时	在生产易氧化合金铸件时, 用真空室浇注法。真空箱浇注正在推广
真空吸铸 (CLA法)	型壳倒置真空箱内, 浇口伸出箱外, 浸入金属液内, 金属液被吸入型腔凝固成形, 撤除真空, 浇道内设凝固金属流回坩埚 	1. 金属液充型能力强, 可形成形状复杂的铸件, 可降低浇注温度 2. 金属液充型平稳, 减少气孔夹渣缺陷, 铸件晶粒细, 减轻碳钢件脱碳现象 3. 金属工艺收得率提高, 可达90% 4. 简化清理工序 5. 需专门装置 6. 铸件尺寸、壁厚不能太大	可铸各种钢件, 铬钴合金件, 镍基、铜基、铝基合金件, 如叶轮、叶片、赛车弯管, 高尔夫球棒头等
离心浇注	将铸型 (常用实心型①) 放在立式离心铸造机的工作台或立式离心铸造机的回转臂上进行浇注	1. 金属液充型能力强 2. 浇注准备复杂②, 或需特殊结构的离心铸造机 3. 铸件致密度高	一些特殊铸件、钛合金铸件, 金牙、首饰常用此法浇注
定向结晶	 <p>冷却水</p> <p>1—石墨套 2—感应圈 3—型壳 4—水冷底板</p>	1. 可使铸件内形成一定方向的柱状晶或单晶组织, 改善铸件工作性能 2. 设备和工艺过程复杂	一些特殊零件, 如叶片、磁钢等用此法浇注
低压浇注	将铸型放在低压铸造机上浇注	1. 金属液充型能力强, 充型平稳 2. 可适当降低浇注温度 3. 铸件致密度高 4. 浇注准备复杂, 需专用设备 5. 可浇注大型铸件	一些形状复杂壁厚不均匀、性能要求高的铸件可用此法浇注

铸造工业出版社重作版权



(续)

浇注工艺	工艺特点	优缺点	应用情况
真空浇注, 加压凝固	在真空室内浇注, 而后立即往室内输入压缩空气, 使铸件在压力下凝固	1. 可提高金属液充型性 2. 提高铸件致密度 3. 需专门的浇注室	石膏型熔模铸造时浇注用

① 型壳放在砂箱中, 在型壳周围充填干砂或水泥而组成的铸型。

② 指实心型准备复杂。

表 2-5-39 熔模铸件清理方法

方法	特点	优缺点
机械震击	用手锤、风锤, 装有风锤的立式、卧式脱壳机敲打铸件组的浇注系统	1. 能有效地震落型壳, 但陶瓷芯清除不净, 铸件表面常粘有残余耐火材料 2. 噪声大, 灰尘飞扬 3. 脆性铸件易产生裂纹
滚筒	用普通清理滚筒或抛丸清理滚筒清理已清除型壳的铸件	1. 铸件复杂的外表面易清理干净, 效果好 2. 普通清理滚筒结构简单, 抛丸清理滚筒结构复杂, 但效率高, 效果好 3. 只适用于小型铸件, 不宜清理精度要求较高、易磁坏的铸件 4. 有噪声、灰尘污染环境
喷砂	用压缩空气将硅砂喷在已清除型壳的铸件上	1. 可清除铸件表面的残留耐火材料和氧化皮 2. 通过工艺参数的控制可避免铸件变形, 保证铸件表面粗糙度 3. 生产率低, 有灰尘污染环境
电液压	将带壳铸件组放在带有电极的水槽中, 利用电极、铸件间高压放电产生的冲击波和冲击压力清理型壳和型芯	1. 生产效率高, 可同时清理型壳和型芯 2. 耗电少 3. 操作易于机械化、自动化 4. 无粉尘, 但有一氧化氮、臭氧、电磁辐射污染环境 5. 设备较贵
高压水	用压力高达 70MPa 的水束喷在带有型壳的铸件上, 清除型壳和型芯	1. 无粉尘, 生产效率高 2. 可使铸件表面光洁 3. 细小型芯不能清除
碱(溶液)煮	将清除型壳的铸件放在沸腾的 NaOH (浓度 200~300g/L) 或 KOH (浓度 400~500g/L) 溶液中, 浸泡 4~8h, 而后用热水清洗	1. 可清除石英玻璃陶瓷型芯和石英玻璃型芯 2. 可清理铸件表面粘附的型壳残留物 3. 费时较长, 但一次可清理较多铸件 4. 应用较广
	将 NaOH35%+KOH65%加热熔化, 在 400~500℃时保温, 把预热到 200℃并去除了型壳的铸件放入上述熔液中 0.5~0.7h, 而后用 HCl 和 H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 各一半的水溶液中和约 4h, 再用沸水煮, 冷水冲洗	1. 能有效地清除铸件上细小孔洞、小槽内的型芯、残壳 2. 工艺复杂, 碱液侵蚀性强, 工作环境差 3. 碱消耗大 4. 特殊需要时采用
碱爆	将去壳铸件置于 500~520℃NaOH 中 25~60min, 取出后立即放入冷水中水爆, 再放入 70~90℃热水中清洗	1. 对清除铸件内腔型芯和氧化皮十分有效 2. 对设备腐蚀大, 工作环境差 3. 碱消耗大 4. 特殊需要时用
电化学	将去除型壳的铸件放入熔融的 NaOH、Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 或易熔渣中, 通直流电, 铸件接阳极, 而后用冷水、热水冲洗铸件	1. 除了碱清理的作用外, 还有金属钠还原铸件表面氧化物的作用, 清理效果好 2. 铸件表面光洁, 清理时间短 3. 设备复杂 4. 主要用来清除内腔复杂铸件的残砂和型芯



### 7 实型铸造<sup>[47]</sup>

#### 7.1 实型铸造原理、特点及应用范围

实型铸造又称气化模铸造和消失模铸造，其原理是用泡沫塑料模（包括浇冒口系统）替代木模或金属模进行造型，造型后模样不取出，铸型呈实体，浇入金属液后，模样燃烧气化消失，金属液充填模样的位置，冷

却凝固成铸件。图 2·5-18 为实型铸造工艺过程示意图。

实型铸造由于铸型没有型腔和分型面，不必起模和修型，与普通铸造相比有以下优点：工序简单、生产周期短、效率高、铸件尺寸精度高，可采用无粘结剂型砂，劳动强度低，而且零件设计自由度大。

实型铸造应用范围较广，几乎不受铸件结构、尺寸、重量、材料和批量限制，特别适用于生产形状复杂的铸件。

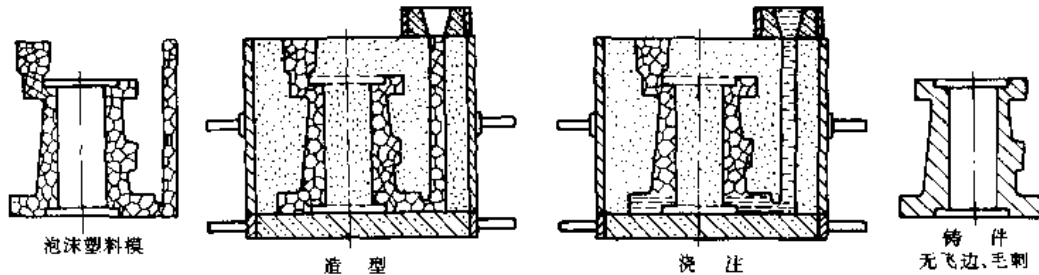


图 2·5-18 实型铸造工艺过程示意图

#### 7.2 实型铸造模样材料及制造

##### 7.2.1 模样原材料

实型铸造用模样原材料有：聚苯乙烯（EPS）、聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）、聚苯乙烯-丙烯腈共聚物

（SAN）、泡沫聚丙烯（PP）。应用最广的是聚苯乙烯泡沫塑料，它是含碳的质量分数约 92%、含氢的质量分数约 8% 的碳氢化合物。铸造用泡沫塑料的规格和牌号见表 2·5-40，物理、力学性能见表 2·5-41，化学性能见表 2·5-42，线收缩率见表 2·5-43。

表 2·5-40 铸造用泡沫塑料的规格和牌号

型号	牌 号	密 度 (g/cm <sup>3</sup> )	规 格		用 途
			聚苯乙烯珠粒 (目数)	板 材 (mm)	
ZKb-18	铸-1	0.015~0.020	10~16	1500×1000×100	铸铁和非铁合金铸件
ZKb-23	铸-2	0.020~0.025	17~20	1500×1000×50/100	铸钢件
ZKb-80	铸-3①	0.06~0.12	21~25		精密铸件

① 尚未列入正式牌号。

表 2·5-41 泡沫塑料的物理、力学性能

密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.020	0.030	0.040	0.050	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.020	0.030	0.040	0.050
抗拉强度 (kPa)			>300		热变形温度 (°C)			75	
抗弯强度 (kPa)	302	380	517	527	耐寒值 (不变形、不发脆)			-80°C	
抗压强度 (kPa)	122	181	243	286	吸水性① (kg/m <sup>3</sup> )			<1	
冲击韧度 (J/cm <sup>2</sup> )	0.046	0.049	0.056	0.082	线膨胀系数 (cm/cm·°C)			7×10 <sup>-5</sup>	
冲击弹性 (%)	28	30	29	30					

① 于水中放置一天的体积吸水率。



表 2·5-42 泡沫塑料的化学性能

性能	化学药品
稳定	水、海水、浓盐酸、浓硫酸、浓硝酸、浓磷酸、浓醋酸、苛性钾(50%)、甲醇、乙醇、植物油、动物油
溶解	丙酮、氯化烃类、苯、甲苯、混合汽油、松节油、乙醚、香蕉水、乙酸乙酯
溶胀	汽油、矿物油

表 2·5-43 泡沫塑料的线收缩率

冷却方式	收缩率 (%)	测试条件
空冷至起模温度	0.2~0.3	1. 试样密度为 0.025g/cm <sup>3</sup>
流水冷却至起模温度	0.3~0.5	2. 试样为 $\phi 35 \times 450\text{mm}$
静水冷却至起模温度	0.5~0.8	3. 蒸缸成型发泡

7·2·2 模样的制造

实型铸造用模样的制造方法主要根据产品的数量而定。小批或大批量生产时，采用发泡成型；单件、小批量生产时，可采用与制造木模相似的方法。

1. 发泡成形 将经过预发泡并熟化好的聚苯乙烯珠粒，置入发泡模具内，注入蒸汽或热空气加热，使预发珠粒在模具内进一步膨胀，获得组织致密、表面光洁的模样。加热时间视加热方式和模样结构、壁厚而定(表 2·5-44)。

表 2·5-44 发泡成型的加热时间

加热方式	蒸汽压力 (kPa)	加热时间 (min)
压机通气成型	<200	≈2
蒸缸发泡成型	40~75	5~20

2. 加工成形 一般按零件图纸尺寸，用泡沫塑料板材，采用车、铣、刨、磨、电热丝切割和手工等方法先加工成若干几何形状简单的泡沫塑料部件，而后用不损害泡沫聚苯乙烯的粘结剂(如聚醋酸乙烯乳液等)将各个部件粘合并组装成与铸件形状相同的模样。

7·2·3 模样的结构形式 (表 2·5-45)

表 2·5-45 常用的泡沫塑料模结构

类别	塑木结构	空心结构	分块模结构	内通气道结构
应用范围	生产批量不等、形状复杂、易钩砂、无法起模或修型困难部分，如活块、凸台、法兰、筋条、吊钩等	形状简单、壁厚 > 80mm 的铸件	形状复杂的铸件	壁厚差异较大或壁厚 > 50mm 的长铸件
特点	泡沫塑料模与木模结合，省略制芯工序、简化造型操作	节约模样材料，减少浇注时产生大量气体和烟雾	借助模碎的分块(分段)或活块，以解决填砂造型的困难	有利于加速泡沫塑料模的气化

7·3 实型铸造模样在浇注中的变化

7·3·1 模样的热破坏

聚苯乙烯泡沫塑料模在高温金属液作用下的热破坏过程见图 2·5-19。

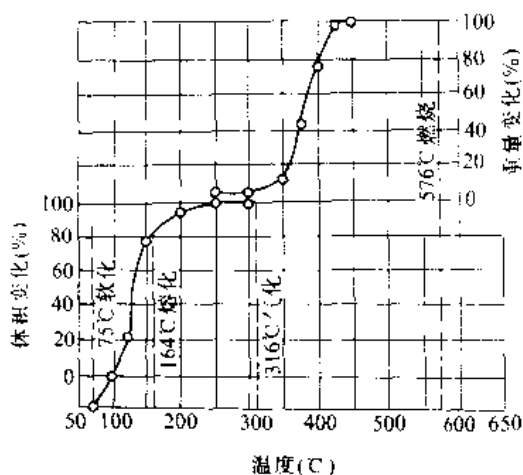


图 2·5-19 聚苯乙烯泡沫塑料模在加热过程中的变化

7·3·2 金属液与模样的相互作用

铸型中的模样受高温金属液的作用，先发生软化、



熔融，继之气化、燃烧，产生大量的气体（表 2·5-46），在金属液与模样间保持一个间隙  $\delta$ （图 2·5-20），气化产物与金属液在这间隙中互相作用。

表 2·5-46 泡沫塑料在不同浇注温度下的发气量

合金种类	浇注温度 (°C)	发气量 (cm <sup>3</sup> /g)
锌合金	450	20
铝合金	750	40
铸铁	1300	300
铸钢	1550	500~600

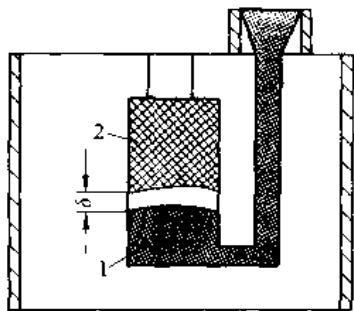


图 2·5-20 金属液与模样相互作用示意图

1—金属液 2—泡沫塑料模  $\delta$ —间隙

金属液浇注速度慢或铸型透气性好时，气隙  $\delta$  处压力小，有利于聚苯乙烯的高温分解产物渗入或逸出铸型，还降低了  $\delta$  间隙内气相和固相产物的浓度，减少分解产物与金属液的作用，有利于提高铸件质量；浇注速度快或铸型透气性差时， $\delta$  处气体压力大，易发生金属液沸腾，使尚未完全气化的聚苯乙烯残留物卷入金属液内或压向铸型表面，引起铸件缺陷。

### 7·3·3 聚苯乙烯模样分解产物对铸件表面质量的影响

浇注铸铁时，如铸型透气性差，则模样分解产物中的游离碳不易渗入铸型，而是沉积在铸件和铸型表面，有利于防止粘砂，但易造成固态碳在局部堆积过多，引起铸件表面粗糙、夹渣，甚至形成波状或滴瘤状皱皮。

浇注铸钢时，模样分解的固相产物多，使铸件在冷却过程中始终被雾状游离碳包围，造成铸件表面渗碳。

浇注铝合金时，模样只分解出气相或少量液相产物，几乎没有固态产物，对铸件质量无明显影响。

## 7·4 实型铸造工艺

### 7·4·1 造型材料

实型铸造型砂有水泥砂、水玻璃砂和呋喃树脂砂以及铁丸、钢丸和无粘结剂的干硅砂；其中，含粘结剂的自硬砂用于生产单件、小批量大中型铸件，无粘结剂的干砂用于大批量的机械化和自动化生产。

实型铸造型砂要求透气性好 ( $>500$ )、水分、发气性和湿强度低，干强度和流动性好。为此，要求原砂中的泥含量低，加入型砂中的粘结剂（或固化剂）、水分和其他辅助材料（如膨润土、煤粉等）少。

实型铸造涂料分表面光洁用涂料和耐火涂料两大类。涂料要涂在模样表面。涂覆方法除小型大批量生产用模样宜采用浸涂外，一般均为刷涂。涂层厚 0.5~2.5mm。中、大型模样用的水基涂料选用自然干燥，大量生产的小型模样的涂料采用在 40~60°C 条件下加热 2~4h 干燥。实型铸造型涂料见表 2·5-47。

表 2·5-47 实型铸造型涂料

涂料类别		成分的质量分数 (%)				用途
表面光洁涂料		硝化纤维素①25，乙醇 50，乙二醇乙醚酯 12.5，苯二甲酸二丁酯 3.12，蓖麻油 3.13，樟脑 6.25				要求表面光洁的铸件
		石蜡 20，牛油 80，泡沫聚苯乙烯粉末适量				一般铸件
		石蜡 100，泡沫聚苯乙烯粉末适量				一般铸件
耐火涂料	铸钢	刚玉粉 (200目) 45~60	铝矾土② (>180目)	聚乙烯醇缩丁酯	乙醇	合金钢和厚大碳钢铸件
		锆砂粉 (7#) 45~60	10~20	适量	30~40	合金钢和厚大碳钢铸件
		镁砂粉 (7#) 45~60	10~20	适量	30~40	高锰钢铸件
		硅石粉 (7#) 45~60	10~20	适量	30~40	一般碳钢铸件



(续)

涂料类别		成分的质量分数(%)				用途	
耐火涂料	铸	铝矾土③ (>180目)	石墨粉	聚乙烯醇缩丁醛	乙醇	一般铸件	
		50~60	5~10	适量	35~40		
	铁	40~25④	5~10	刚玉粉(铸砂粉)	适量	大型、厚壁和 要求高的铸件	
				25~40			
		10	82	膨润土 8	糖浆少量	水	一般铸件
		70~80	10~20	6~8	少量	适量	一般铸件

- ① N<sub>2</sub>的质量分数 10.4%~11.0%；粘度 5秒以下。
- ② Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的质量分数 60%~80%。
- ③ 涂料密度为 1.54g/cm<sup>3</sup>，浓度为 52°(玻美度)。
- ④ 涂料密度为 1.64g/cm<sup>3</sup>，浓度为 58°(玻美度)。

#### 7.4.2 浇冒口系统

实型铸造在浇注温度低于 750℃的轻合金时，可采用与普通空腔铸造法相似的浇注系统。而在浇注温度高于模样热分解温度的铸件(如铸铁、铸钢件)时，浇注系统宜选用开放式底注，底侧注或分层阶梯浇道；浇道的布置不宜集中，而应分散多道；浇道的最小截面积应比普通砂型铸造的尺寸大 10%~20%；内浇道截面厚度不宜小于 5mm；浇注系统各部分截面积之比与铸件的重量和壁厚成反比，即铸件越小、越薄和形状越复杂，其内浇道相对截面积就应愈大(表 2.5-48)。实型铸造的冒口因不受起模的限制，可以设置在需要补缩和排渣的任何部位；宜选用球形暗冒口以提高补缩和排渣效率。

表 2.5-48 实型铸造浇注系统比例

铸件类别	浇道总截面积比例		
	$\Sigma A_z$	$\Sigma A_H$	$\Sigma A_n$
铸 钢	1	1.1~1.2	1.2~1.4
铸 铁	1	1.1~1.5	1.4~3.0

注： $\Sigma A_z$ 、 $\Sigma A_H$ 、 $\Sigma A_n$  分别代表直浇道、横浇道、内浇道的总截面积。

#### 7.4.3 造型

采用含粘结剂的自硬型砂造型时，每批填砂量宜控制在 100~150mm，舂砂时应由下而上均匀舂实。对形状复杂和薄壁模样，为防止其变形，可借助托架、垫板或撑筋等辅助工具。为确保砂型的强度，个别部位可安置芯骨和砂钩等。铸型上要多扎气眼和采取内外通气道等排气措施。如采用无粘结剂的干砂，对不高的简单小型模样，可一次性填砂，然后振动紧实；对较高的中、大型模样，应采取分批填砂，逐层振动紧实。每批(层)填砂量宜为 150~300mm，振动频率一般为 50Hz。

#### 7.4.4 浇注

实型铸造的浇注原则是高温先慢后快地浇注。铸钢件浇注温度比普通砂型铸造高 20~80℃，铸铜件高 10~40℃。浇注时，产生大量气体，应安置通风除尘和排烟装置。

#### 7.5 实型铸造的新发展

实型铸造用的泡沫塑料模与不断涌现的其他新材料、新设备、新技术相结合，发展形成很多新的造型和铸造方法，如实型陶瓷型铸造、实型精密铸造、实型干砂法、磁型法、磁型真空法、实型减压造型法等，见图 2.5-21。这些方法扩大了实型铸造的应用范围，提高了



铸造生产水平。

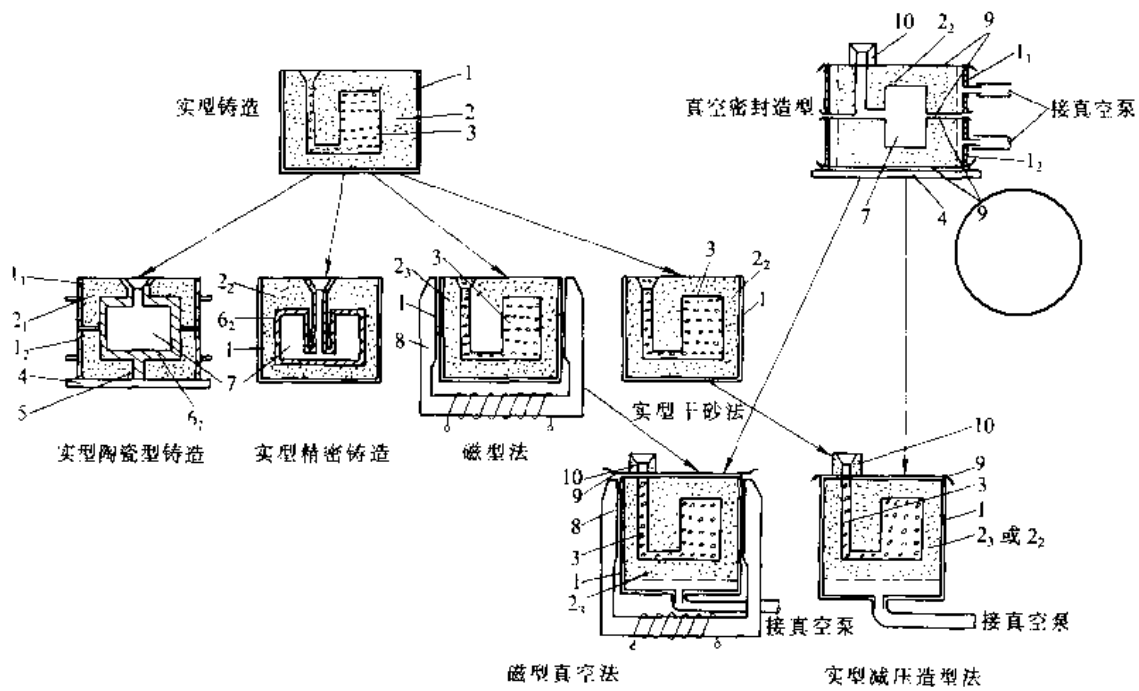


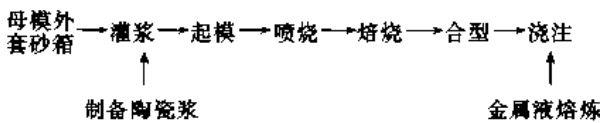
图 2-5-21 实型铸造新发展示意图

1—砂箱 1<sub>1</sub>—上砂箱 1<sub>2</sub>—下砂箱 2—型砂 2<sub>1</sub>—水玻璃砂 2<sub>2</sub>—干砂 2<sub>3</sub>—铁丸 3—泡沫塑料模 4—底板  
5—灌浆孔 6<sub>1</sub>—陶瓷层 6<sub>2</sub>—型壳 7—去除 3 之后的型腔 8—磁型机 9—密封薄膜 10—浇口杯

### 8 陶瓷型铸造<sup>[34][35][36]</sup>

陶瓷型铸造分整体陶瓷型（整个铸型由陶瓷浆形成）和复合陶瓷型（铸型表面工作层由陶瓷浆形成，其余部分（底套）由水玻璃砂（称砂套）或金属套形成）。复合陶瓷型可节省大量昂贵的陶瓷浆粘结剂，在大件生产时效果更显著。而金属套只适用于大批量生产。

整体陶瓷型铸造的工艺流程如下：



砂套复合陶瓷型铸造过程见图 2-5-22。

陶瓷型的特点和适用范围见表 2-5-49。

陶瓷型铸造可有效地用来制造铸造用铸铁金属型、合金钢锻模、铸型和橡胶件生产用的钢模、铜合金模以及玻璃成形的模具，模具工作面上可铸出复杂、光滑的花纹，尺寸精确，模具的耐蚀性和工作寿命也较高。也用陶瓷型铸造法生产一般机械零件，如螺旋压缩机转子、内燃机喷嘴、水泵叶轮、齿轮箱、阀体、钻机凿刀、船用螺旋桨、工具、刀具等。

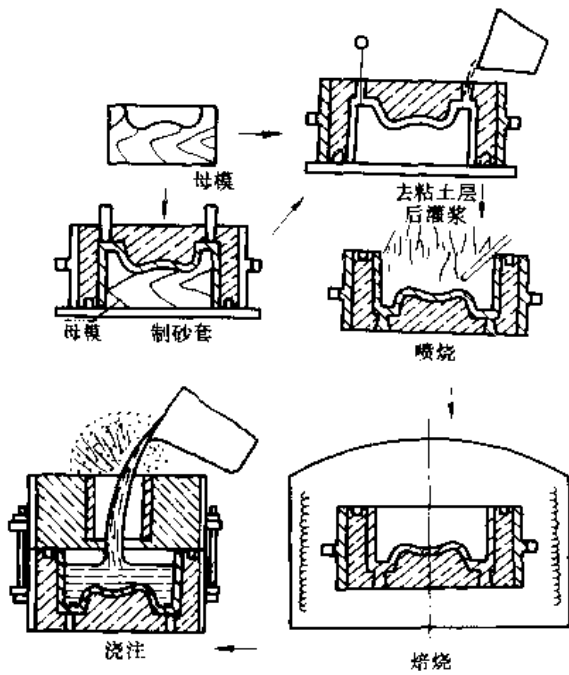


图 2-5-22 砂套复合陶瓷型铸造过程示意图





表 2·5-49 陶瓷型的特点和适用范围

陶瓷型种类	特 点	适用范围
整体陶瓷型	操作简单,陶瓷浆用量大,铸型易形成大裂缝	小型铸件生产和形成陶瓷型芯
砂套陶瓷型	制型工艺稍复杂,但可大量节省陶瓷浆(表面陶瓷层厚度为3~20mm),减少铸型产生裂纹和变形,提高铸型透气性	中大铸件生产
金属套陶瓷型	制型过程简单,但需用专门的成型金属套;节省陶瓷浆,提高铸件尺寸精度,但只能用喷嘴焙烧陶瓷层	大量生产精度较高铸件

8·1 陶瓷浆料的配制

陶瓷浆料由耐火材料、粘结剂、催化劑(硬化剂)、透气剂组成。

1. 耐火材料 常用硅砂、刚玉砂、铝矾土、锆砂、硅酸铝的砂粒和粉料制备陶瓷浆料。粉料应占耐火材料总量的60%~80%。

2. 粘结剂 常用的粘结剂是硅酸乙酯水解液。粘结剂用量对陶瓷浆的流动性、铸件裂纹有很大影响。根

据耐火材料和铸型结构的不同,粘结剂的体积约为浆料体积的  $\frac{2}{3} \sim \frac{1}{5}$ 。

3. 催化劑 催化劑的种类和用量直接影响陶瓷浆的硬化速度,而催化劑的作用又与气温等环境条件有关。酸性材料和碱性材料都可作催化劑,如硫酸、盐酸、磷酸、饱和醋酸锌和氢氧化钙、氧化镁、氧化钙、氟化钠、碳酸钠、碳酸铵等。吡啶和胺类也可用作催化劑。

在我国,主要用氢氧化钙(每1kg水解液用3~5g)和氧化镁。国外多用胺类(如三羟三乙胺),用量为水解液的1.5%~2.5%。催化劑用量的调节,一般按控制陶瓷浆料的结胶时间为3~10min为合适。

4. 透气剂 为增加陶瓷型的透气性,可在陶瓷浆料中加一些有机物(如松香、糊精、酚醛树脂、糖浆)或发气物(如双氧水、碳酸钡)。用得较多的为双氧水,其加入量为耐火材料质量的0.2%~0.3%。

配制陶瓷浆时,先把干料、液态材料分别混和,而后把干料倒在液态材料中充分搅拌至开始结胶,才能灌浆。

8·2 陶瓷型制造

8·2·1 砂套的制造 (表 2·5-50)

表 2·5-50 陶瓷型砂套制造工艺

母 模	母模材料	砂套材料				砂套制造方法
母模基体	木、石膏、橡胶、金属、泡沫塑料、环氧树脂	水玻璃硅砂 (CO <sub>2</sub> 硬化) (陶瓷型焙烧温度<550℃时用)				同砂型制造,在砂套层中制出灌浆口、出气口
		质 量 配 方 举 例				
母模补贴 (在母模上补贴厚度为陶瓷层厚度的其他材料)	白泥、橡胶泥、毡等	硅砂 (1.397~0.833mm)	硅石粉 (<0.147mm)	水玻璃	水	
		100%	2% (外加)	(7~10)% (外加)	适量	
		水玻璃铝矾土砂 (CO <sub>2</sub> 硬化) (陶瓷型焙烧温度>550℃时用)				

8·2·2 灌浆

灌浆时应注意:

(1) 陶瓷浆既要有较好的流动性,使能很好充型,又需在充完型后很快胶凝,以免浆中组成物分层。

(2) 灌浆前,母模表面需涂脱模剂(上光蜡或凡士

林)。

(3) 灌浆时,母模表面应处于型(砂)箱底部,防止陶瓷浆中气泡上浮时,停留在母模表面。

(4) 灌浆时,可轻微振动型箱或砂套,使陶瓷浆充型容易。如用砂套,可在通气孔中部插一涂有脱模剂的圆锥,灌浆结胶后拔去,使在陶瓷层中形成通气孔,起



模容易。

### 8.2.3 起模和喷烧

陶瓷浆结胶开始后 20~30min 起模，过早起模会因陶瓷层强度尚低使铸型表面受损；太迟起模又会因已硬化的陶瓷层收缩较多而不易起模。

起模后 10s 内，在陶瓷型表面点火，使陶瓷型中乙醇燃烧，同时对型中凹处不易与空气接触的部位吹压缩空气助燃，使陶瓷型表面均匀燃烧。此时，因乙醇消耗所引起的陶瓷型收缩也在各部均匀进行，形成均匀分布的微小裂纹。这种裂纹既不会损害铸型工作表面，又可改善陶瓷型通气性。

### 8.2.4 焙烧和浇注

为充分排除陶瓷型中的乙醇、水和其他有机物，增加陶瓷型强度，并进行热型（100~400℃）浇注，喷烧后的陶瓷型需高温焙烧，其焙烧温度见表 2.5-51。

表 2.5-51 陶瓷型焙烧工艺

铸件合金	焙烧温度 (°C)	保温时间 (h)	备注
钢	>500	2~4	整体陶瓷型 焙烧温度可达 900°C
铁、铜	400~500	2~3	
铝	<400		

## 9 离心铸造<sup>[3]</sup>

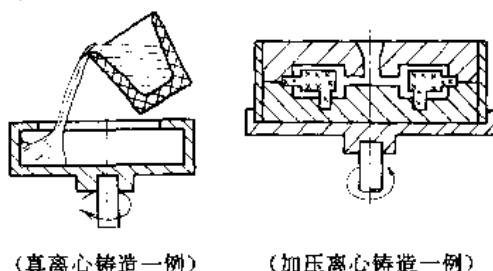
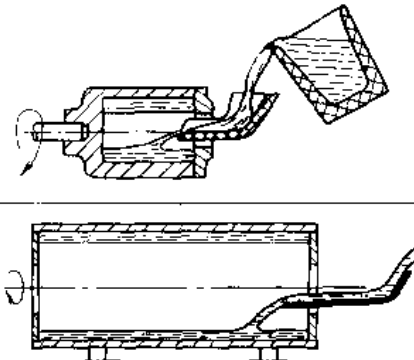
### 9.1 离心铸造原理、分类和应用范围

离心铸造是将金属液浇入旋转的铸型中，使金属液在离心力作用下充型并凝固成形的铸造方法。

在离心力作用下凝固成型的铸件内部组织致密，可消除夹渣和气孔，力学性能高；在生产管状、筒状铸件时可不用型芯，简化工艺，故获得广泛应用；但易形成偏析，铸件内表面尺寸不易控制。

#### 9.1.1 离心铸造分类和应用范围 (表 2.5-52)

表 2.5-52 离心铸造分类和应用范围

离心铸造分类	图 例	应用范围
立式离心铸造 (铸型绕垂直轴旋转)	 <p>(真离心铸造一例) (加压离心铸造一例)</p>	大多用来生产高度小于直径的圆环类铸件 (如蜗轮毛坯、铜环等) 和成形铸件 (如金牙、首饰、阀体等)
卧式离心铸造 (铸型绕水平轴旋转, 大多属真离心铸造类)	 <p>悬壁式 滚筒式</p>	<p>生产长度小于 600mm, 长度/直径比 &gt; 1, 直径较小的套筒类铸件, 如铜套、汽缸套</p> <p>生产长度较大、长度/直径比较大的管套类铸件, 如铁管、钢管、轧辊、造纸滚筒等</p>

在生产实心双金属冶金轧辊时，有时也采用旋转轴倾斜的离心铸造法。

离心铸造用铸型可为一般砂型、金属型、涂料金属型、树脂砂型、石膏型、熔模壳型、石墨型等。所浇注的合金可为铁、钢和各种非铁合金；还可浇注双金属复合铸件，如钢背铜套、轧辊等。


#### 9.1.2 离心力对铸件凝固的影响

金属液在旋转情况下凝固结晶时所承受的离心力常比一般重力大几十倍至一百多倍。此时，不能与金属液基体互溶的渣粒、气泡、液滴、晶粒，由于其密度与基体金属液不同而以高速向铸件内表面浮动（密度小

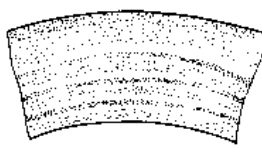


于基体金属的颗粒),或向外表面沉降(密度大于基体金属液的颗粒),因此在铸件凝固后,内部不易形成渣孔、气孔缺陷。铸件的凝固次序也易倾向于自外表面向内表面进行,创造了较理想的补缩条件,具有较大离心力的金属液也有较大能力流入凝固层中枝晶间的孔隙,所以铸件内部不易有缩松,组织致密,力学性能高。同样的原理,金属液中不能互溶的组成成分便于分层,使铸件出现重度偏析,如铸铁件中C元素向内表面偏析等。

9-1-3 离心铸件断面上的特殊结晶现象 (表 2-5-53)

结晶组织名称	图 例	成 因
倾斜柱状晶		金属液相对铸型和结晶前缘有一反旋转方向的流动,使向内生长的柱状晶生长方向倾斜

(续)

结晶组织名称	图 例	成 因
层状偏析		金属液充填铸型时,由落点向铸型两端以一层复盖一层的方式流动,各层金属凝固条件不同,结晶组织也不同

9-2 离心铸造工艺

9-2-1 离心铸型转速

常见的离心铸型转速公式示于表 2-5-54。

9-2-2 离心浇注定量

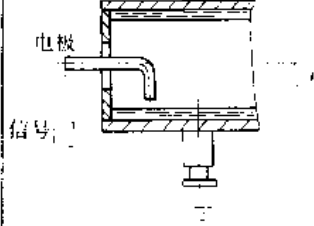
离心铸造浇注时,必需控制进入型内的金属液数量,保证铸件内表面半径尺寸符合要求,控制方法见表 2-5-55。

表 2-5-54 离心铸型转速计算公式

计算式名称	计 算 式	系 数 取 值					
		铸件合金	铁	钢	铜	铝	
卡门公式	$n = \frac{C}{\sqrt{r_0}}$	C 值	11250~15660	13400~16000	10600~12000	16000~21900	
		例	铁管、汽缸套		轴 承		
		铸件合金	铁	钢	铜	铝	
有效重度公式	$n = 29.9 \sqrt{\frac{\gamma'}{r_0 \gamma}}$ $\gamma' = \rho \omega^2 r$	$\gamma'$ 值 (N/m <sup>3</sup> )	(4~6) × 10 <sup>6</sup>	(3.5~6) × 10 <sup>6</sup>	(4~6) × 10 <sup>6</sup>	(2~4) × 10 <sup>6</sup>	
		$\gamma$ 值 (N/m <sup>3</sup> )	6.9 × 10 <sup>4</sup>	7.7 × 10 <sup>4</sup>	(8.0~8.5) × 10 <sup>4</sup>	2.6 × 10 <sup>4</sup>	
		铸件合金	铁	铁	钢	铜	铝
重力系数公式	$n = 29.9 \sqrt{\frac{G}{r_0}}$ $G = \frac{\gamma'}{\gamma}$	G 值	50~110	30~50	50~75	50~100	78~153
		例	汽缸套	金属型铁管	钢管		
		铸件合金	铁	铁	钢	铜	铝
康斯坦丁诺夫公式	$n = \frac{55200}{\sqrt{r_0}} \beta$	$\beta = 0.8 \sim 1.5$					
立式离心铸造时根据铸件内表面尺寸要求的铸型转速公式	$n = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{2gh}{K(2x_1 - K)}}$						
备 注	$n$ —铸型转速 (r/min) $r_0$ —铸件内半径 (m) $\gamma'$ —合金有效重度 $\gamma$ —合金重度 $G$ —重力系数 $\beta$ —修正系数 $g$ —重力加速度 (m/s <sup>2</sup> )	$h$ —铸件高度 (m) $x_1$ —铸件上部内表面半径 (m) $K$ —铸件最大壁厚差 (m) $\rho$ —合金密度 (kg/m <sup>3</sup> ) $\omega$ —角速度 (s <sup>-1</sup> ) $r$ —旋转半径 (m)					



表 2-5-55 离心浇注定量法

名称	内容	优缺点	名称	内容	优缺点
容积定量法	用浇包取一定容积的金属液，一次性地浇入铸型	1. 操作简单、方便 2. 定量准确性不高 3. 应用较广泛	金属液面定量法	浇注时，金属液面向旋转轴移动，当液面移至电极处，电路接通，给出信号，停止浇注 	1. 只适用于卧式离心铸造长、厚铸件 2. 定量不准
重量定量法	用浇包取一定重量的金属液，一次性地浇入铸型	1. 定量准确性高 2. 操作麻烦 3. 应用不太广泛	电磁泵定量浇注	金属液存在于有电磁泵作用的保温炉内，浇注时开动电磁泵，按开动时间控制浇入型内的金属液数量	1. 定量准确 2. 只适用于大量、自动化生产 3. 投资较高

9.3 几种典型件的离心铸造

主要用卧式离心铸造法生产，各种不同离心铸管工艺比较示于表 2-5-56。

1. 铁管离心铸造 用于输水、输气、排水的铁管

2. 汽缸套离心铸造 (表 2-5-57)

表 2-5-56 铁管离心铸造工艺

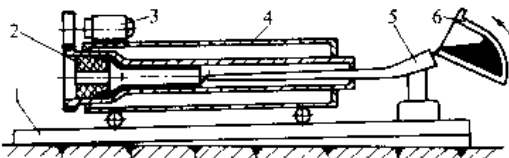
名称	水冷金属型离心铸造	砂型离心铸造	树脂砂型离心铸造	涂料金属型离心铸造
特点	 采用长浇注槽 5，浇注前机罩 4 带动铸型 7 移至最后端，浇注槽出口处于承口砂芯 2 前端。盛有铁液的扇形浇包 8 匀速翻转，铁液经浇注槽流入被电动机 3 带动旋转的铸型承口型腔内。机罩沿导轨 1 往左滑动，铁液均匀铺在水冷铸型内壁，铁液浇完，铸型移至最左端，浇注槽伸出型外。待铁液凝固，铸型停止转动，钳子从承口芯一端伸入铁管内，夹住铁管，机罩、铸型右移，铁管自型内拔出，铸型回至准备浇注工位	在带气孔的金属型内做出厚度约 40mm 的粘土砂衬，用火焙表面干燥后，放在滚筒式离心铸造机上浇注铁管	在热金属型上铺一层厚度为 3~5mm 的酚醛树脂覆膜砂，而后离心浇注铁管	在热金属型内壁喷水基绝热涂料，用短浇口离心浇注铁管
优缺点及应用情况	1. 生产效率高 2. 工作条件好，机械化、自动化程度高 3. 铸态铁管有白口，需热处理 4. 机器结构复杂，投资高 5. 铸型寿命低，价格高，直径≤300mm 的球墨铸铁管离心铸造都用此工艺，可生产的最大球墨铸铁管直径达 1600mm	1. 投资低，铸型价低，寿命高 2. 铸件上无白口，可生产低性能铸态球墨铸铁管。高性能球墨铸铁管仍需热处理 3. 工艺过程复杂，工作条件差，在世界上已趋淘汰	1. 铸型消耗降低 2. 离心铸管结构简单 3. 生产高性能球墨铸铁管时，铁管仍需热处理 4. 工艺过程复杂 用此工艺生产球墨铸铁管的直径达 2600mm	1. 工艺过程简单 2. 铸态铁管无白口 3. 能生产低性能铸态球墨铸铁管，生产灰铸铁排水管时应用较多



表 2-5-57 汽缸套离心铸造工艺

使用机器	工艺特点	应用情况
卧式悬臂式离心铸造机	金属型内喷涂料, 离心浇注	小型汽缸套多用此法生产, 但不易控制铸件组织, 工艺过程简单
	往金属型内先放置预制好的砂芯套, 离心浇注	工艺过程稍复杂, 但易控制缸套组织, 可浇注外形有一定凹凸形状的小型缸套, 节省机械加工量和金属
卧式滚筒式离心铸造机	1. 金属型内挂涂料后进行离心浇注 2. 砂型离心铸造	主要用来生产大型汽缸套, 如船用发动机汽缸套

3. 双金属轴瓦(套)离心铸造 (表 2-5-58)

表 2-5-58 双金属钢背铜瓦(套)离心铸造工艺

方法	工 序	优缺点
加热熔化法	铜套内表面涂硼砂→铜套封底→往铜套内装铜料、熔剂→铜套封口→放炉中化铜→把装有铜液的铜套放离心铸造机上旋转、冷却	1. 质量好 2. 工序复杂, 生产周期长
浇注法		1. 工序简单, 生产周期短 2. 质量可保证

注: 浇注前铜套需经加工及除油除锈处理。

4. 双金属铸铁轧辊 冶金轧钢工业、食品加工工业、轻工机械常需外层为合金白口铸铁, 内层(或中心层)为球墨铸铁或灰铸铁的轧辊, 这种轧辊的铸造方法之一就是离心铸造, 其工艺特点和优缺点见表 2-5-59。

表 2-5-59 双金属轧辊离心铸造

方法	工 序	优缺点
立式离心铸造	辊身铸型、辊颈铸型组合在一起→直立地装在离心铸造机转台上→转动铸型, 往辊身铸型浇注外层铁液→外层铁液冷凝至约 1000℃时, 铸型停止转动→往型内浇内层铁液(含辊颈铁液)→凝固后得实心轧辊铸坯	工艺过程简单, 但外层铁厚度不均匀, 生产小型轧辊应用较多
卧式离心铸造	辊身铸型放在滚筒式离心铸造机上→转动铸型, 浇注外层铁液→待型内铁凝固至约 1100℃, 停止转动铸型→从离心铸造机上取下铸型, 迅速与辊颈铸型组合→重力浇注内层铁液(含辊颈铁液)→凝固后得实心轧辊铸坯	工艺过程复杂, 外层铁厚度均匀, 生产大型轧辊应用
	辊身铸型、辊颈铸型组合在一起→放离心铸造机上转动→浇注外层铁液→型内铁液冷至约 1000℃时浇注内层铁液(含辊颈铁液)→凝固后铸型停止转动, 得空心轧辊铸坯	工艺过程适中, 外层铁厚度均匀, 生产大型空心轧辊或轧辊套用

注: 也有用倾斜轴离心铸造法生产轧辊的。

10 连续铸造<sup>[10]</sup>

在水冷结晶器(金属型)的一端连续浇入金属液, 在结晶器的另一端连续拔出铸件的铸造方法称连续铸造。

按结晶器的空间布置位置, 连续铸造基本可分为垂直(立式)连续铸造(如连续铸锭、连续铸管等)和水平(卧式)连续铸造(如连续铸棒、连续铸异形铸铁件等)两种。

在连续铸造机上可浇注的合金有钢、铁、铜合金、铝合金等。

10.1 连续铸铁管

原理图示于图 2-5-23。铁液经浇杯流槽进入转动浇杯, 经浇杯底部的小孔进入内、外结晶器间的型腔, 凝固成形后在结晶器的下部被引管拉出结晶器, 至管长达预定要求, 停止浇注, 从连续铸管机上取下铁管。铁管自结晶器中拉出后, 由于管壁中部的温度很高, 可使铁管内、外表面温度回升, 使内、外表面金属自动退火, 消除在结晶器中由于快速冷却所得的白口组织。



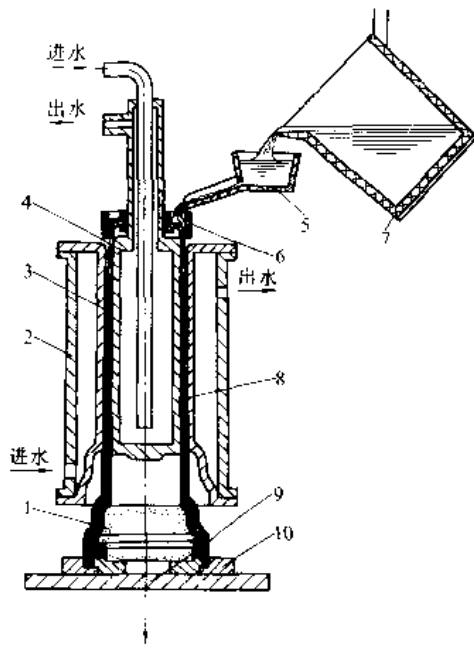


图 2-5-23 连续铸铁管原理图

- 1—承口砂芯 2—外结晶器外壳 3—外结晶器工作壁
- 4—内结晶器 5—浇杯流槽 6—转动浇杯
- 7—浇包 8—铁管 9—升降盘 10—引管板

连续铸造法生产的铁管直径为 75~1500mm，长度为 4~6m，个别的达 10m，多为承压灰铸铁管，中大型管开始转用球墨铸铁制造。用此法还可生产排水管和化工厂使用的法兰铁管等。

连续铸铁管用的结晶器材料和特性见表 2·5-60。灰铸铁管连续铸造工艺参数见表 2·5-61。

表 2·5-60 结晶器材料和特性

材 料	特 性
钢	多用于内结晶器，导热性好，强度高，工作寿命较高(350~500次)，浇注中大口径时常用，但易变形和龟裂失效
灰铸铁	应用最广泛，耐热性好，不易变形，价格便宜，易于制造，易龟裂失效，寿命较低(几十次到一百多次)
铁素体球墨铸铁	耐热性好，不易变形，寿命较高(150~750次)，制造工艺较复杂
紫铜或低锡青铜	导热性最好，铸出铁管质量好，工作寿命长(1000~2000次)，可提高生产率，价格高，但经济效益仍合适，常变形失效

表 2·5-61 连续铸造灰铸铁管工艺参数范围

铁管尺寸	直径 (mm)	75~1200
	壁厚 (mm)	9~25
浇注温度 (°C)		1240~1360
浇注速度 (kg/s)		0.65~3
转动浇杯	孔数 (个)	4~14
	孔径 (mm)	7~14
	转速 (r/min)	5~13
	浇杯孔总面积 管壁截面积 (%)	2.25~8.47
结晶器	振动频率 (Hz)	1.8~4.0
	振 幅 (mm)	3~20
冷却水	水压 (MPa)	0.15~0.25
	流量 (m <sup>3</sup> /min)	0.095~2.12
	温升 (°C)	6~20
脱模时间 (s)		23~100
脱模温度 (°C)		1000~1080
铁液面距结晶器上缘距离 (mm)		10~40
拉管速度 (m/min)		0.64~2

小口径铁管连续铸造时，常用铸铁块组合的承口芯，或水玻璃砂承口芯。

铸铁管都需经水压检验，检验的水压为 1.5~2.5MPa。输水用的铁管除了在铁管外表面上涂沥青防腐外，在铁管内表面上涂覆水泥层。

### 10·2 连续铸造铸铁型材

铸铁型材，包括  $\phi 10\sim 400\text{mm}$  的圆棒、不同尺寸的方棒、长方形断面棒、多边形断面棒、 $\phi 50\sim 300\text{mm}$  的铁管，机床导轨，轴承盒，齿轮，盖，液压件，气压件，轴，凸轮，转子，辊子，密封环，活塞，集成块，阀体等的毛坯，常用水平连续铸造法生产(图 2·5-24)。从结晶器中拉拔出来的型材被砂轮片锯按一定长度切一缺口，而后由随动压断机压断，便可得一定长度的铸铁型材。

铸铁型材的连续铸造工艺特点见表 2·5-62。

灰铸铁和球墨铸铁，如 HT150、HT200、HT250、HT300、QT400-15、QT450-10、QT500-7、QT600-3、QT700-2 等均可进行连续铸造。所得型材内部组织致密，结晶细小，无渣孔、气孔、缩松等缺陷；外表面光



滑，无粘砂；材质力学性能高，气压试验 65MPa 时无泄漏。型材尺寸精度高，可有效地减小加工余量。用此

法生产铸铁毛坯工艺过程简单、生产效率高，但只适于大量生产。

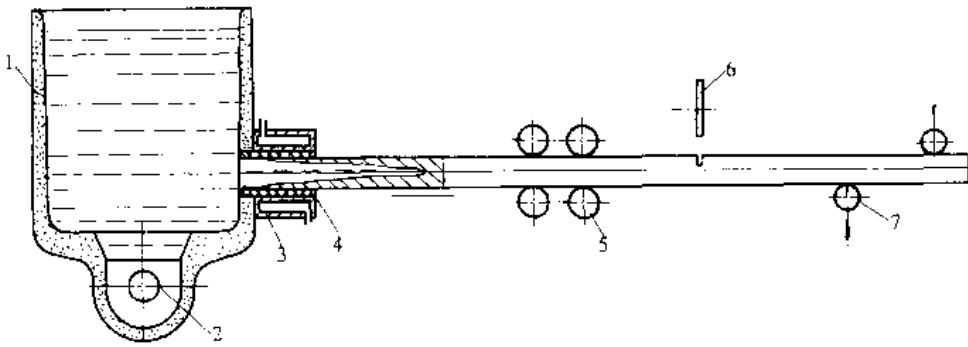


图 2-5-24 铸铁型材水平连续铸造原理图

- 1 有芯感应保温炉（也可用无芯感应保温炉） 2—感应圈 3—水冷套 4—石墨结晶器 5—拉拔装置  
6—砂轮片锯 7—液压随动压断机

表 2-5-62 铸铁型材连续铸造工艺特点

铁液保温温度 (°C)	结晶器出口处型材温度 (°C)	拉拔一次时间 (s)	拉拔一次行程 (mm)	拉拔速度 (m/min)	停拔一次时间 (s)	冷却水		工艺收得率 (%)
						结晶器入口处温度 (°C)	温升 (°C)	
1180~1250	850~1050	1~10	2~100	0.2~2	2~20	20~30	10~15	90~97

## 11 其他特种铸造<sup>[40]</sup>

### 11.1 真空吸铸

图 2-5-25 是真空吸铸示意图，如图将与真空系统

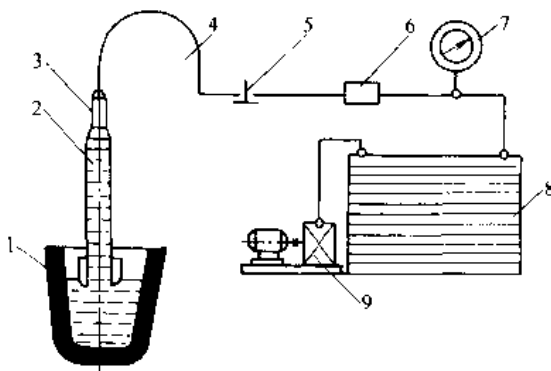


图 2-5-25 真空吸铸原理图

- 1—保温包 2—金属液 3—结晶器 4—气管  
5—气阀 6—真空调节器 7—真空表  
8—真空罐 9—真空泵

连接的结晶器下口浸入金属液中，接通真空，金属液上升充满结晶器，金属沿结晶器内壁自周边向中心顺序凝固，金属液自下向上、由内向外补缩，至一定凝固厚度后，结晶器上端接通大气，中部未凝金属液回流至坩埚内，形成中空筒状铸件。所得铸件组织致密，晶粒细小，力学性能高，工艺操作容易，工序简单，生产率高。常用于铜合金轴瓦（轴套）坯件的生产。

为获得真空，除了图 2-5-25 所示真空系统外，常用图 2-5-26 所示喷嘴结构原理，利用压缩空气获得真空。真空吸铸结晶器见图 2-5-27。

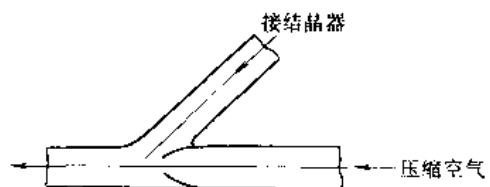


图 2-5-26 真空喷嘴结构原理图

铸件的长度取决于真空度，理论所需的真空度值  $h$  可按下式计算：



铸造工业出版社

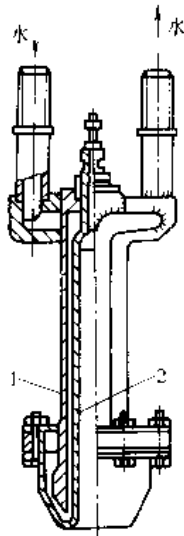


图 2-5-27 真空吸铸结晶器

1—外套 2—内套  
 $h = l\rho g$  (Pa)

式中  $l$ ——铸件长度 (m);  
 $\rho$ ——铸件合金密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  
 $g$ ——重力加速度 ( $\text{m}/\text{s}^2$ )。

实际使用的真空度值可能比  $h$  值稍大, 需根据生产条件调整。

结晶器浸入金属液深度  $H$  根据吸铸后结晶器下口仍保证浸入金属液面 10mm 计算。

$$H = l \left( \frac{r_1^2 - r_2^2}{R^2} \right) + 10 \quad (\text{mm})$$

式中  $r_1$ 、 $r_2$ 、 $R$ ——铸件的外、内半径和金属液池半径 (mm);  
 $l$ ——铸件长度 (mm)。

铸件壁厚取决于凝固时间 (即真空保持时间), 一般吸铸铜合金时, 可按每秒凝固 1.0~1.5mm 估算。铸件壁越薄, 凝固速度越快。

进入结晶器的冷却水温应高于室温 15~20℃。

结晶器内壁应常擦石墨粉或滑石粉润滑型腔, 结晶器下口部可涂氧化锌-水玻璃涂料减少粘附金属。

一般锡青铜的吸铸温度为 1050~1080℃, 铝青铜的吸铸温度为 1120~1140℃, 黄铜的吸铸温度为 1030~1080℃。

真空吸铸法是 50 年代初期发展起来的, 当时仅限于生产简单的筒形和棒形铸件。70 年代以来, 真空吸铸又与熔模铸造和砂型铸造相结合, 用于生产形状复杂的薄壁铸件, 如涡轮叶片、透平压缩机叶轮等, 铸件

材质除铜合金外, 也用于碳钢、合金钢、铬钴合金、镍基合金及铝合金。

### 11.2 挤压铸造<sup>[40]</sup>

用铸型的一部分直接挤压金属液, 使金属在压力作用下成形、凝固的铸造方法称挤压铸造 (图 2-5-28), 又称液态金属模锻。

根据加压作用的不同, 挤压铸造法分类列于表 2-5-63。

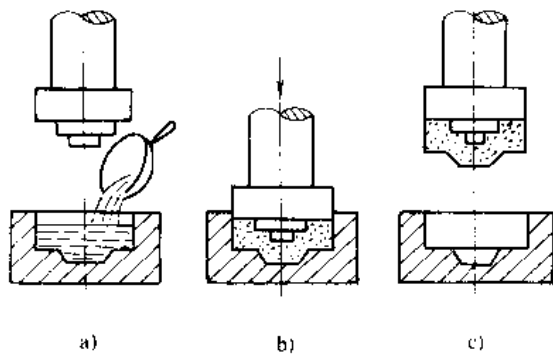


图 2-5-28 挤压铸造工序过程示意图

a) 浇注 b) 挤压成形 c) 开型

挤压铸件成形时伴有局部塑性变形, 在高压下凝固的铸件晶粒较细, 可基本消除铸件内部的疏松、气孔, 使力学性能提高。铸件尺寸精确度较高, 表面比较光洁, 收得率较高。但浇注时金属液中夹杂不易被排除, 铸件高度尺寸有时不易控制, 铸件上表面上易形成冷隔。

挤压铸造法还被应用来制造铝-铁双金属铸件、纤维增强金属基复合材料, 如碳纤维-铝复合材料等。

挤压铸造用铸型涂料同压力铸造。

挤压铸造的开始加压时间应尽量早些, 以最大限度地减薄铸件自由结壳。挤压铸造时施加在金属上的压力由数十至 200MPa, 在保证铸件质量的前提下应尽量取最低值。表 2-5-64 示出了冲头挤压时的最低压力值。保压时间可按每毫米铸件壁厚度需多少秒进行估算 (表 2-5-65)。而压头的加压速度为 0.2~0.4m/s (小铸件) 和 0.1m/s (大铸件)。

合金液的浇注温度一般比液相线温度高 50~100℃ (表 2-5-66)。

挤压铸型的预热温度和工作温度见表 2-5-67。





表 2-5-63 挤压铸造法分类、特点、应用范围

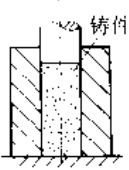
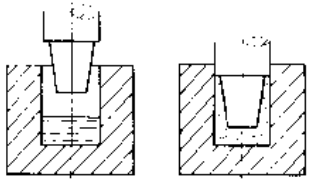
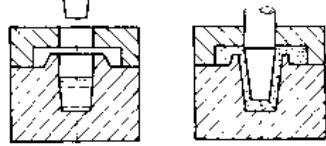
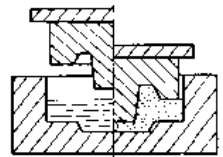
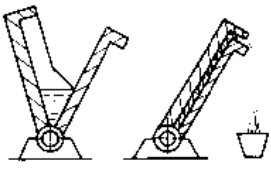
挤压方式	示意图	特点	应用范围
柱塞加压		合型加压时, 金属液无充型运动	形状简单的厚壁铸件, 如铝合金阀体、铜合金法兰盘、球墨铸铁齿轮毛坯等
直接冲头挤压		合型加压时, 金属液有充型运动, 充填冲头与凹型组成的型腔中, 冲头直接加压在铸件上	壁较薄、形状较复杂的铸件, 如汽车活塞、汽车轮盘、铁钢等
间接冲头挤压		在已闭合的型腔中, 冲头加压使金属液充填型腔, 并通过内浇道将压力传至铸件上。铸件尺寸精度高, 加压效果较差	产量较大、形状较复杂或小型铸件
冲头—柱塞挤压		合型加压时, 部分金属液充填冲头凹窝腔中, 冲头压力直接加在铸件上	厚壁、稍复杂铸件, 如法兰盘
型板挤压		型板合拢时, 金属液充型, 并在低压力下凝固	散热面较大的薄壁铸件

表 2-5-64 冲头挤压时的最低压力值

工 艺 方 案		压 力 (MPa)		
		大空腔铸件	小空腔铸件	实心铸件
液态金属挤压	薄壁铸件	40	50	60
	厚壁铸件	30	40	50
半固态金属挤压	薄壁铸件	100	90	110~120
	厚壁铸件	80	70	80~100



表 2·5-65 挤压铸件每毫米壁厚所需保压时间 (s)

铸件合金	直径 < 100mm	壁厚 > 100mm
铝合金	0.5~1.0	1.0~1.5
铜合金	1.5	—
钢、铁	0.5	—

表 2·5-66 挤压铸造时合金浇注温度 (°C)

合金名称	浇注温度	合金牌号	浇注温度
铸铝合金 (ZL101, ZL102, ZL103, ZL104, ZL105, ZL301)	640~720	ZCuSn10Pb, ZCuSn6Pb6Zn3	1050~1130
		ZCuAl9Mn2, ZCuAl9Mn4	1100~1150
铸铝合金 (ZL203) 铝合金 (LC4, LY12, LD11, LD8, LD2)	680~720	ZCuSn10Zn2, ZCuSn5Pb5Zn5	1100~1175
		ZCuZn38Mn2Pb2, 57-3-1 锰黄铜	920~1000
铸铝合金 (ZL501)	600~620	ZCuZn40Pb2	960~1000
铝镁合金 (ZM5)	580~650	ZCuZn16Si4	980~1030

表 2·5-67 挤压铸型预热温度和工作温度 (°C)

铸件合金	预热温度	工作温度
铝合金	150~200	200~300
铜合金	175~250	200~350
钢、铁	150~200	300~400

来的铸造法(图 2·5-29),通过自耗电极 5 和铸型 1 接通电流,利用熔渣 4 中的热量熔电极的金属,金属液充填被水强制冷却的型腔,最后获得成形铸件 2。

电渣熔铸需在专门的电渣熔铸机上进行,铸型常用紫铜制造(也有用纯铝的),用水冷却。其工艺过程为:安装自耗电极→向铸型内浇熔融渣→通电,进行电渣熔铸→熔铸完毕,放出熔渣→取出铸件,吊走剩余电极。

用电渣熔铸法可生产几十克(如假牙、牙套等)至几十吨(如船用柴油内燃机曲轴)的碳钢、合金钢、非

### 11·3 电渣熔铸

电渣熔铸是一种从电渣焊、电渣重熔技术发展起

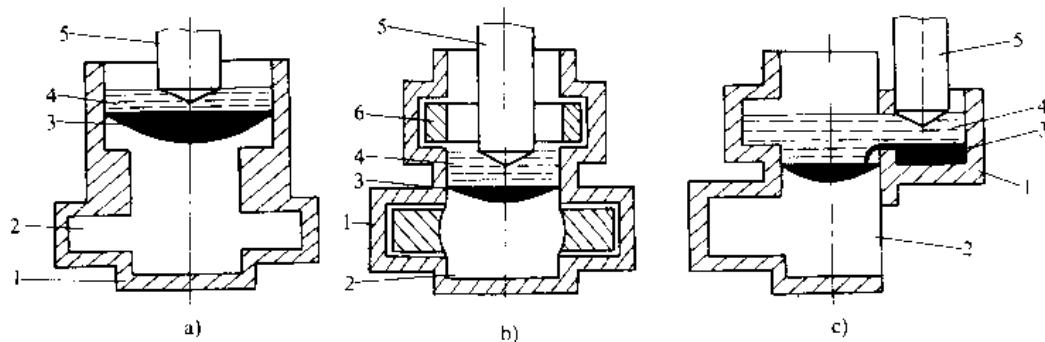


图 2·5-29 各种电渣熔铸原理图

a) 一般电渣熔铸法 b) 带有镶块的电渣熔铸法 c) 有金属溢流过程的电渣熔铸法  
1—铸型 2—铸件 3—金属熔池 4—熔渣池 5—自耗电极 6—镶块



铁合金、球墨铸铁、高强度铸铁铸件。电渣熔铸时，金属液不与空气接触，并经熔渣精炼（可除硫、氮、氧）后立刻进入铸型，故铸件内部杂质很少，见表 2·5-68。电渣熔铸的熔渣成分见表 2·5-69。电渣熔铸件大多定向

凝固，不需冒口补缩，也可不用浇注系统，铸件组织致密，晶粒细小，力学性能（尤其是塑性、韧性）提高很多，见表 2·5-70。电渣熔铸工艺参数见表 2·5-71。

表 2·5-68 38CrSi 钢杂质含量和疲劳强度比较

铸造方法	杂质的质量分数 (%)				疲 劳 强 度 (次)		
	氧化物	硫化物	氮化物	总 量	空气中	腐蚀介质中	氢化介质中
一般方法	0.0028	0.0017	0.0001	0.0046	23000	8800	3800
电渣熔铸①	0.0004	0	0.0001	0.0006	34800	13900	4650
	~0.0021	~0.0014	~0.0004	~0.0027	~48600	~17800	~48600

① 杂质含量和疲劳强度随熔渣成分变化。

表 2·5-69 熔渣成分的质量分数举例 (%)

序号	CaF <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	BaO	ZrO <sub>2</sub>	NaF
1	100	—	—	—	—	—	—
2	80	—	—	—	—	—	20
3	70	30	—	—	—	—	—
4	80	—	20	—	—	—	—
5	60	20	20	—	—	—	—
6	80	—	—	20	—	—	—
7	80	—	—	—	20	—	—
8	80	—	—	—	—	20	—
9	—	55	45	—	—	—	—
10	18	40	25	17	—	—	—

注：渣中杂质 SiO<sub>2</sub> ≤ 2.0%、FeO ≤ 0.5%、S ≤ 0.05%、P ≤ 0.02%（均指质量分数）。

表 2·5-70 15Cr1MnV 钢力学性能比较

铸造方法	$\sigma_b$ (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	$\delta$ (%)	$\psi$ (%)	$a_N$ (J/cm <sup>2</sup> )
一般方法	664	518	18.7	58.2	60.75
电渣熔铸	679	528	23.8	66.8	133.28

表 2·5-71 电渣熔铸工艺参数范围

工艺参数	电极电压 (V)	电极最 大电流 (A)	熔铸效率 (kg/h)	自耗 电极长 (m)	自耗 电极数
参数范围	40~160	10000 ~50000	80 ~3600	2.0 ~7.5	≥1



## 第 6 章 铸钢熔炼<sup>[41]</sup>

### 1 熔炼过程<sup>[42]</sup>

铸钢熔炼过程包括钢液内、炉渣内、钢液与炉渣间、钢液与炉内气氛间、炉渣与炉内气氛间以及炉渣与炉衬耐火材料间发生的一系列氧化和还原反应，是在高温下多相间进行的复杂物理、化学和物理化学过程的综合结果。

#### 1.1 炉渣

在炼钢过程中，钢液是在炉渣覆盖下进行各种冶

金反应的，因此在炼钢的各阶段，炉渣的状态是决定钢的质量的重要因素。

#### 1.1.1 炉渣的化学成分

炉渣是由多种碱性和酸性氧化物以及它们的复化合物组成的复杂熔体。组成炉渣的氧化物，按自左向右碱性递增的顺序排列如下：

B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (TiO<sub>2</sub>), FeO, MgO, MnO, CaO

电炉炼钢过程中的炉渣基本组成见表 2·6-1。



表 2-6-1 电弧炉炉渣的基本组成

炼钢方法	炉渣主要成分的质量分数	
酸性炉炼钢	FeO+MnO	≈50%
	SiO <sub>2</sub>	≈50%
碱性炉炼钢	氧化渣	
	CaO/SiO <sub>2</sub>	2~3.5
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10%~15%
	FeO	5%~30%
	还原渣	
	CaO/SiO <sub>2</sub>	2~3.5
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10%~15%
	CaF <sub>2</sub>	2%~5%
FeO	<1.0%	

炉渣的来源:

- (1) 为控制炉渣性质而故意加入的, 如石灰 (CaO)、萤石 (CaF<sub>2</sub>)、硅砂、氧化铁和炭粉等。
- (2) 钢中所含元素被氧化而产生的, 如 FeO、MnO、SiO<sub>2</sub> 和 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等。
- (3) 炉衬熔化而进入炉渣的, 如 SiO<sub>2</sub>、MgO 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等。

### 1.1.2 炉渣的碱度

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

$$R = \frac{\text{各种碱性氧化物的质量分数 (\%) 的总和}}{\text{各种酸性氧化物的质量分数 (\%) 的总和}}$$

实际上, 常用  $\frac{w_{CaO} (\%) + w_{MgO} (\%)}{w_{SiO_2} (\%)}$  或  $\frac{w_{CaO} (\%)}{w_{SiO_2} (\%)}$  代表炉渣的碱度。其他氧化物含量甚少, 一般情况下可忽略不计。

炉渣的碱度越高, 则其中 CaO 的活度越大, 促使钢液中的磷或硫向炉渣中转移的能力越强。但碱度过高时炉渣的粘度增大, 又不利于脱磷和脱硫。碱性炉渣的碱度, 以控制在 2~3.5 范围内为宜。

### 1.1.3 炉渣的粘度

炼钢过程中, 许多重要反应 (如脱磷和脱硫) 都是在钢液-炉渣间通过扩散作用进行的。扩散速率与炉渣的粘度有相依关系。

碱性炉炼钢, 氧化渣的粘度与温度的关系见图 2-6-1。提高温度可使炉渣的粘度下降, 但温度过高将导致炼钢的能耗增大、炉衬寿命缩短, 而且会使钢的质量降低。

通常, 炉渣的粘度可由加入造渣材料改变其组成来控制, 见图 2-6-2 和表 2-6-2。

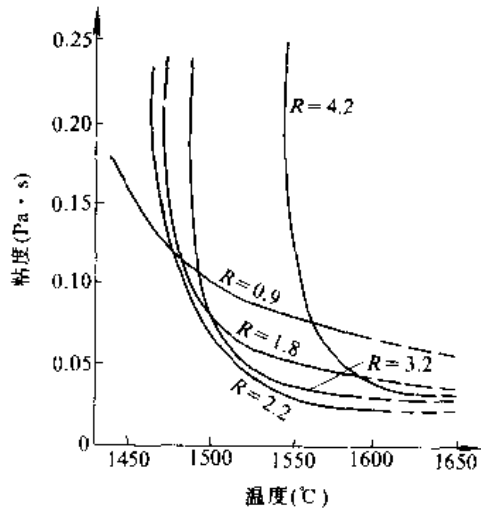


图 2-6-1 氧化渣的粘度与温度的关系  
R——炉渣的碱度

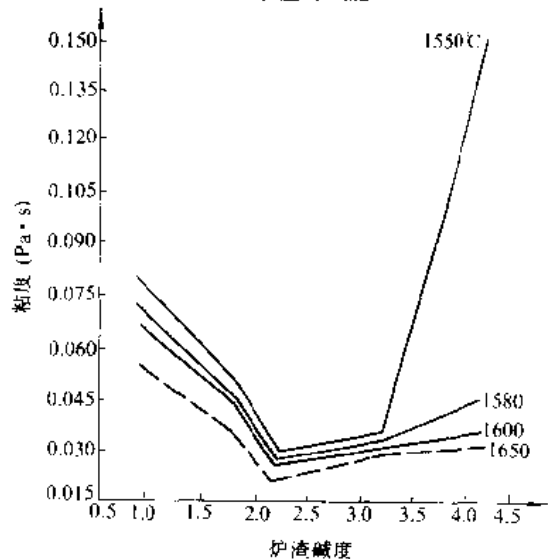


图 2-6-2 碱性炉渣的粘度与碱度的关系

表 2-6-2 通过加入造渣材料调整炉渣粘度

炉渣性质	提高粘度	降低粘度
酸性炉渣	加入硅砂	加入 FeO 或 CaO
碱性炉渣	加入 CaO 或 MgO	加入硅砂、耐火砖碎块或 CaF <sub>2</sub>

## 1.2 脱磷

磷在钢液中以 Fe<sub>2</sub>P 和 Fe<sub>3</sub>P 的形态存在, 在炉渣中则以 3CaO·P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 4CaO·P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 为最稳定。钢液脱磷, 是使其中的磷氧化并进入炉渣与 CaO 结合。也

(\*) w<sub>CaO</sub>、w<sub>MgO</sub>、w<sub>SiO<sub>2</sub></sub> 分别为 CaO、MgO、SiO<sub>2</sub> 的质量分数。



有用还原脱磷的。

炉渣中的 FeO 含量和较高的炉渣碱度 (有足够的 CaO 含量), 是脱磷的重要条件, 只有在碱性炉中冶炼, 造碱性渣, 才能脱磷。

炉渣的碱度和 FeO 含量对炉渣中 FeO 活度的影响见图 2-6-3。图中实线是镁砂坩埚熔炼时的平衡炉渣; 低碱度部分的虚线, 表示炉渣中 MgO 的质量分数 < 3%; 高碱度部分的点划线是由离子处理方法计算出来的。

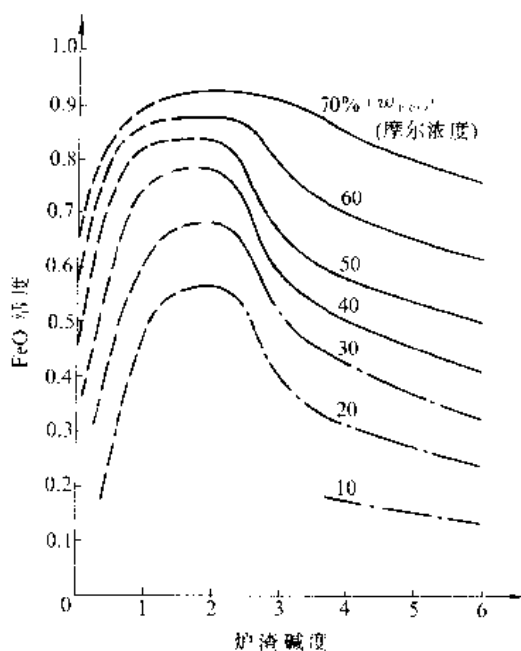


图 2-6-3 炉渣的碱度和  $w_{FeO}$  对炉渣中 FeO 活度的影响  
 $w_{Fe}$  为 Fe 的质量分数

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

脱磷是放热反应, 较低的温度也是脱磷的条件之一, 但同时应保证炉渣有良好的流动性。

熔清后部分扒渣, 氧化期增大渣量并自动流渣, 都是有效的脱磷操作。

### 1.3 脱硫

硫以 FeS 的形态溶于钢液, 但不能固溶于固态钢中。FeS 和 Fe 的共晶体在钢液凝固过程中沿初生晶晶界析出, 是钢有热脆性的原因。此外, 硫化物夹杂也会

导致钢的韧性显著下降。

在碱性炉中炼钢, 脱硫效果是很好的。主要过程是钢液中的 FeS 向炉渣中扩散, 并与炉渣中的 CaO 反应, 生成不溶于钢液的 CaS。

提高炉渣中 CaO 的含量, 降低炉渣中的 FeO 含量, 有利于脱硫反应的进行, 参见图 2-6-4。

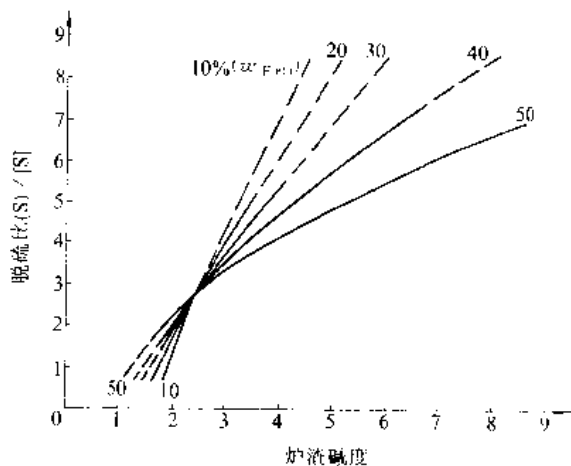


图 2-6-4 炉渣的碱度和炉渣中的  $w_{FeO}$  对脱硫比的影响 (1570~1630°C)

碱性电炉炼钢, 还原期炉渣的碱度可高达 3 以上 (其中  $w_{CaO}$  可在 50% 以上), 炉渣中的  $w_{FeO}$  可 < 1%。在此条件下, (S) / [S] 可大于 30, 故脱硫主要是在还原期进行的。

在氧化期内, 如炉渣的碱度很高、流动性良好, (S) / [S] 也可在 3 左右, 可能脱少量的硫。

为了强化脱氧, 使 FeO 中的 Fe 还原, 宜有较高的温度, 故还原期炉温高有利于脱硫。

加大渣量有利于脱硫。当要求钢中硫的质量分数降到 0.02% 以下时, 还原渣量宜为钢液的 5% 以上。

### 1.4 钢中的氢和氮

在不进行炉外精炼的常规熔炼过程中, 降低钢液中氢含量的有效方法是在氧化期间使钢液作良好的沸腾。钢液中氢含量与沸腾期脱碳量的关系见图 2-6-5 和图 2-6-6。

除某些氮含量钢要通过加入氮化铬铁增氮外, 钢中的含氮量也应尽量降低。电弧炉炼钢, 由于电弧的高温使空气中的氮离子化而被钢液吸收, 钢中的氮含量较用其他方法冶炼的钢高, 可通过加入 Ti、V、Zr 等元素形成氮化物而降低。钢液的良好沸腾也是降低钢中氮含量的重要手段。



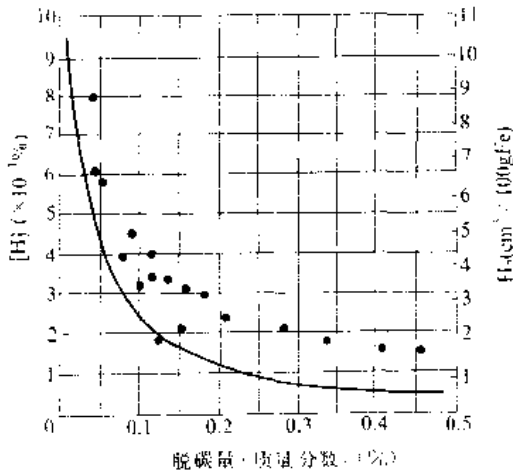


图 2·6-5 钢液氢含量与沸腾期脱碳量的关系

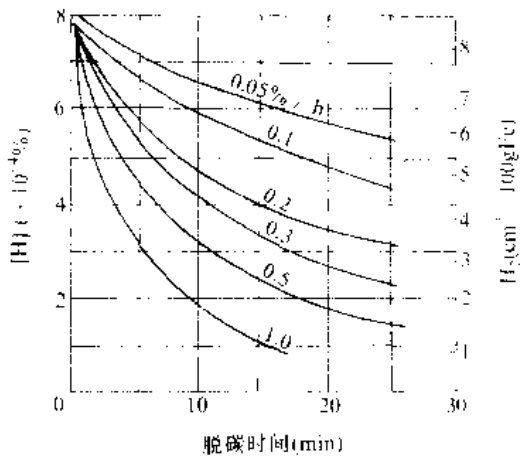


图 2·6-6 钢液氢含量与脱碳速率和脱碳时间的关系

只要炼钢操作正常，如使用干燥、无油的炉料，不用粉状石灰，氧化期脱碳量的（质量分数）0.2%以上等，因氢和氮而使铸件产生气孔的情况是极少见的。通常钢中的氢、氮含量见表 2·6-3。对于要求气体含量很低的钢，可采用其他冶炼方法或炉外精炼工艺。

表 2·6-3 平炉和电弧炉熔炼的钢中氢和氮的一般含量

熔炼炉	熔炼特点	钢种	钢中气体的质量分数 (%)	
			[H]	[N]
平炉	碱性	碳素结构钢	0.0004~0.0006	0.0040~0.0060
		合金结构钢	0.0006~0.0008	0.0040~0.0060
电弧炉	碱性	合金结构钢	0.0004~0.0008	0.0070~0.0150
		高合金钢	0.0008~0.0011	
	酸性	合金结构钢	0.00035~0.00050	
		高合金钢	0.0005~0.0008	

### 1·5 脱氧

脱氧的目的是降低钢液中 FeO 的浓度，并尽可能地使钢中非金属夹杂物的数量减少、形态改善。钢液中含 FeO 过高，凝固过程中将发生 C 还原 FeO 的反应，释放 CO，导致铸钢件中产生气孔。

用常规熔炼方法时，采用沉淀脱氧和扩散脱氧。

#### 1·5·1 沉淀脱氧

将脱氧剂直接加入钢液中，与钢液中的 FeO 反应，生成密度小且不溶于钢液的氧化物。脱氧剂的脱氧能力，决定于该元素在钢液中的活度、其氧化物生成时的自由能的变化、钢液温度及炉渣状况。常用于炼钢的脱氧元素有 Mn、Si、Ti、Al、Ca 和稀土元素等。

此法的优点是脱氧过程短，但脱氧产物会留在钢液中，成为非金属夹杂物。

钢中夹杂物的排除，主要依靠其在钢液中上浮。影响夹杂物上浮速度的因素是其颗粒尺寸和密度、钢液的粘度以及夹杂物是否易被钢液润湿。采用复合脱氧剂，如 Fe-Al-Si 类、Mn-Si 类、Si-Mn-Al 类、Ca-Si 类或 Ca-Si-Ba-Al 类，能产生熔点低、颗粒大的复合脱氧产物，不仅脱氧效果好，而且脱氧产物易于上浮进入炉渣。

用铝脱氧时生成的氧化铝（刚玉晶体），不易被钢液润湿，能聚集而上浮，比氧化硅夹杂物容易排出。但是，电弧炉熔炼的含氮较高的钢，加铝量应严格控制。加铝过多时，会在晶界上析出大量氮化铝，使钢脆化。

#### 1·5·2 扩散脱氧

将脱氧剂加在炉渣中，降低炉渣中的 FeO 含量，使钢液中的 FeO 向炉渣中扩散，从而达到降低钢液中 FeO 含量的目的。所用的脱氧剂有炭粉、电石粉、硅铁粉、铝屑和硅钙合金粉等。炭粉的使用最广，其价格便宜，且脱氧产物是气体，不产生非金属夹杂物。

扩散脱氧的优点是钢中夹杂物较少，缺点是脱氧进程缓慢、冶炼时间延长。

实际生产中常将扩散脱氧和沉淀脱氧结合使用，先用扩散法脱除一部分 FeO，再用沉淀法补充脱氧。这样，既可使钢中非金属夹杂物较少，又不致使熔炼时间过长。



### 1.6 炼钢过程中钢液的搅拌

加强搅拌对于强化钢液和炉渣间的作用，使钢液的温度和化学成分均匀，排除非金属夹杂物和气体，都有很重要的作用。在当前广泛采用的各种炉外精炼技术中，搅拌都占有极重要的地位。

对于常规的电弧炉炼钢，要特别强调搅拌的重要性。为克服人工搅拌的不充分，可采取电磁搅拌和气体搅拌。

## 2 电弧炉炼钢

### 2.1 交流电弧炉

三相交流电弧炉是铸钢熔炼的基本设备（图2·6-7），但能耗高，因此节电是重要的任务。根据电炉的特性曲线确定合适的工作电流，并按熔炼各时期的特点规定工作电压，是保证炉子高效运行的基础，是最基本的节电措施。图2·6-8是交流电弧炉的特性曲线示意

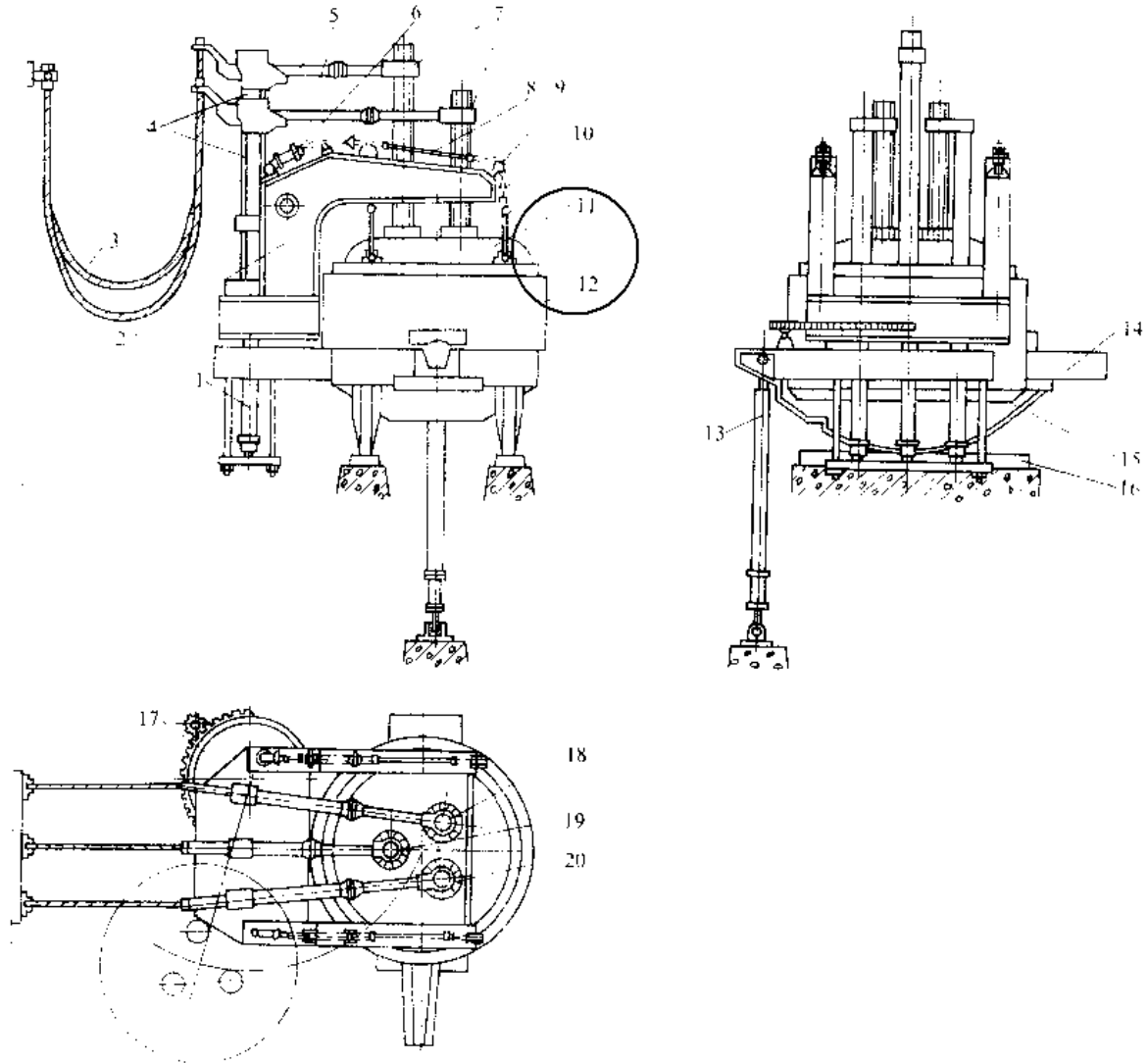


图2·6-7 三相交流电弧炉结构简图

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

图。由图可见，在一定的电压下，随着电流的增大，自电网得到的有效功率  $P_1$  增大。但是，在  $P_1$  曲线的峰值点以后，继续增大电流， $P_1$  不但不增加，反而急剧下降。这是因为设备的功率因数下降，无功功率增加。

可见，不加分析地用大电流操作是有害无益的。

实际上用于炼钢的有用功率  $P_2$  的峰值与  $P_1$  的峰值所对应的电流并不相同，通常， $P_2$  峰值对应的电流  $I_c$  小于  $P_1$  峰值对应的电流  $I_0$ 。 $P_1$  最大时，由于电器设

13B  
完



备发热而致的损失功率  $P_3$  增大, 效率  $\eta$  下降, 有用功率  $P_2$  并非最大。对于炼钢, 希望  $P_2$  最大, 所以, 电弧炉运行的最大工作电流应是  $I_0$ , 无论如何都不应超过  $I_0$ 。

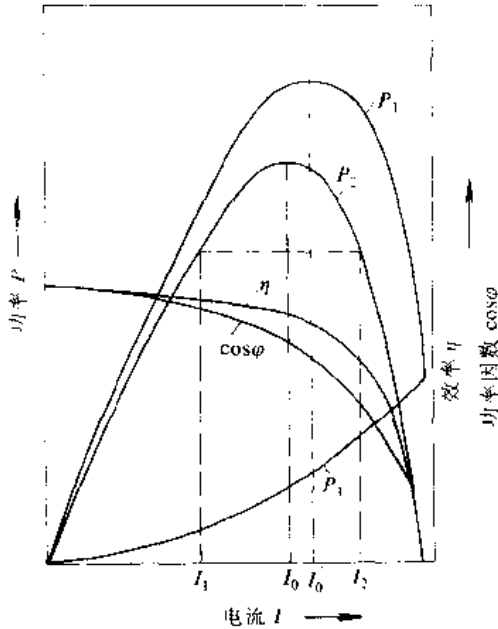


图 2-6-8 交流电弧炉特性曲线示意图

$P_1$ —电炉自电网得到的有效功率  $P_2$ —实际上用于炼钢的有用功率  $P_3$ —损失功率  
 $\eta$ —电炉运行的效率  $\cos\varphi$ —电炉的功率因数

目前还不可能用仪表显示有用功率  $P_2$ , 并用以控制电炉的供电, 通常都采用电流控制。电流控制是灵敏的, 但如无特性曲线作依据, 则很可能因电流大而不当导致电耗过大。例如, 当工作电流为  $I_1$  时感到有用功率不足, 在电压不变的情况下, 当然是要增加电流。此时, 如按特性曲线将电流控制到  $I_0$ , 电炉以最大有用功率运行, 效率  $\eta$  的值也很高; 如随意将电流增加到  $I_2$ , 则设备用电几乎增加一倍, 而有用功率实际上并未增加。

相当多的铸钢厂以扩大电炉装料量为增产措施, 实际装料量为炉子额定容量 2 倍以上。为此往往要强化变压器的冷却以大幅度增大工作电流, 且大多数厂不测炉子的特性曲线, 这是电耗居高不下的重要原因。

电炉的工作电压也应合理地选定。电压越高, 则输入功越大。但是, 电压越高, 则电弧越长, 对炉墙和炉

盖的辐射增强, 影响炉衬寿命, 而且热损失增大。只有在熔化期间, 电弧埋入炉料以后才可用最高电压。

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

还原期间, 钢液是静止的, 不利于提高温度, 而且这时炉渣的黑度系数小, 较易反射电弧的能量于炉衬。此时, 应避免电弧过长, 宜用低电压运行。

60 年代开始采用高功率电炉, 每吨容量功率输入达 500~600kW, 70 年代出现超高功率电炉, 每吨容量功率输入达 1000kW。采用大电流、短电弧操作, 可提高热效率并减轻电弧炉对电网的干扰。但由于炉体结构的限制, 增大电流时不可能大幅度增大电极的直径, 因此, 近年来发展了高功率石墨电极和抗氧化涂层石墨电极。两种电极的标准见 GB3073—82 和 GB9976—88。

### 2.2 直流电弧炉<sup>[43][44]</sup>

交流电弧稳定性差(熔化初期尤为严重), 对电网的干扰很大。直流电弧无此种频繁的熄弧, 稳定性好, 这是直流电弧炉受到关注的主要原因。其主要优点如下:

(1) 由于电弧稳定, 电极无崩碎现象, 每吨钢的电极耗用量只是交流电弧炉的 50% 或更低一些。

(2) 以电极为负极运行时, 电弧能有效地将能量传送到作为阳极的炉料, 冶炼能耗可比交流电弧炉低 3%~5%。若计及整流器和电抗器的损失, 目前两者的总能耗大致相同。

(3) 直流电流产生方向恒定的磁场, 有搅拌钢液的作用。

(4) 三相交流电弧炉中, 电弧受电磁力的作用而有外吸效应, 炉衬有易损坏的热点区, 成为薄弱环节。直流电弧炉的炉衬受热均匀。

(5) 运行噪声较小。

直流电弧炉有三电极直流电弧炉、单电极直流电弧炉和双电极直流电弧炉三种。电炉最大容量已超过 100t。图 2-6-9, 图 2-6-10 分别为单电极直流电弧炉和双电极磁镜式直流电弧炉结构示意图。

双电极磁镜式直流电弧炉的特点是无需底电极, 将两根电极安排在炉门和出钢口的中心线上。专用的磁镜线圈使电弧稳定、集中, 并兼有搅拌钢液的作用。





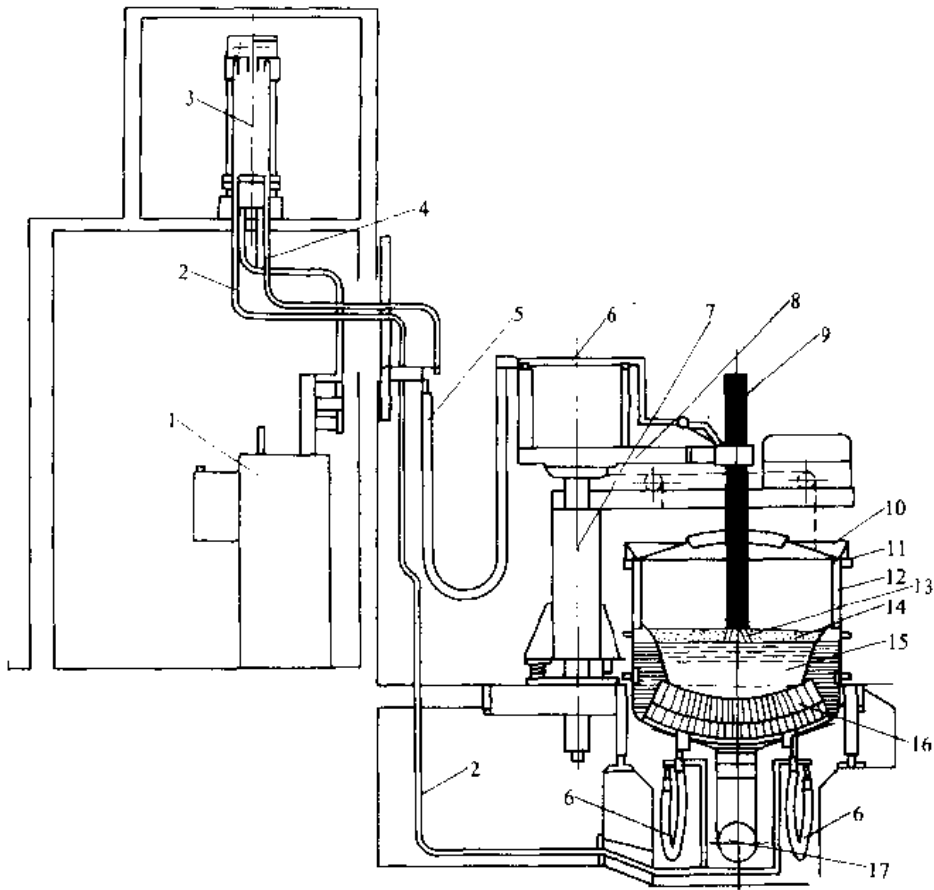


图 2-6-9 单电极直流电弧炉示意图

- 1-电炉变压器 2-水冷汇流排管(正极) 3-整流器 4-水冷汇流排管(负极) 5-水冷电缆(正极) 6-水冷电缆(负极) 7-电极升降装置 8-电极支承臂 9-石墨电极 10-电炉炉盖 11-绝缘法兰 12-炉体外壳 13-电弧 14-炉渣 15-钢液 16-导电炉底(镁砂-石墨砖砌成) 17-炉底通风冷却装置

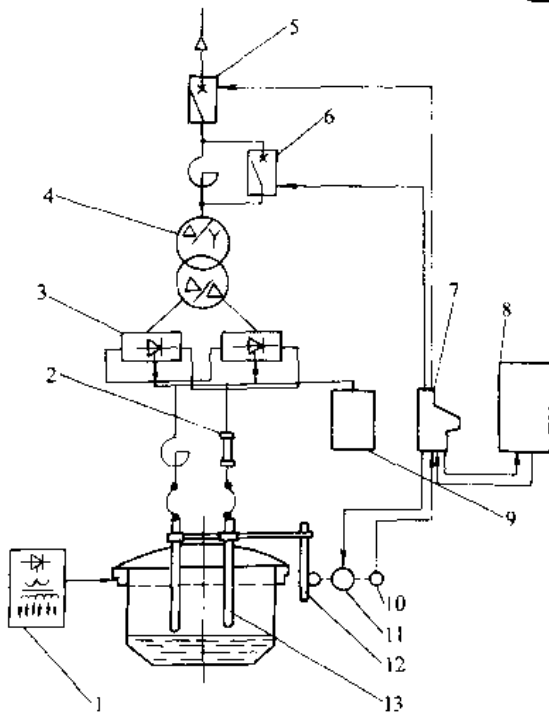


图 2-6-10 双电极磁镜式直流电弧炉结构示意图

- 1-磁镜线圈电源 2-分流器 3-硅整流器 4-电炉变压器 5-高压开关柜 6-电抗器 切换开关 7-KZY系统操作台 8-KZY系统控制台 9-硅整流器控制柜 10-测速发电机 11-双绕组力矩电机 12-电极升降齿条 13-电极



2.3 电弧炉炼钢工艺

2.3.1 碱性电弧炉炼钢

炼钢炉用碱性耐火材料修筑炉衬，炼钢时造碱性炉渣，可以脱磷、脱硫，因而对金属炉料的质量不必苛求，是铸钢行业中广泛采用的。

氧化法是用碱性电弧炉的最基本的熔炼方法，可生产碳钢、低合金钢和各种高合金钢，其他熔炼方法都是在此基础上发展起来的。氧化法的熔炼过程如下：

**1. 熔化期** 送电前，宜在每一电极下垫焦炭一块，使电弧稳定。电弧埋入金属炉料后，以最高电压、最大功率送电，并加电抗运行。炉底熔池形成，电压稳定后，撤除电抗。

在炉料已熔60%或未熔炉料的温度大致在900℃以上时，可吹氧助熔。当炉料中的磷含量偏高时，大部熔清后应扒除部分炉渣，并加入新渣料，以利于脱磷。

**2. 氧化期** 主要任务是：

(1) 脱磷。熔化末期和氧化初期是脱磷的最好时机，为此，应造成高碱度、富氧化铁且流动性好的泡沫渣，渣量为钢液的3%~5%（质量）。最好利用前期的沸腾使大部分炉渣自行流出，并补加造渣材料。氧化结束时，钢液含磷量的质量分数应比规格低0.015%~0.020%。

(2) 去除气体和非金属夹杂。碳的氧化使钢液呈沸腾状，可有效地排除气体和夹杂物。一般要求脱碳量（质量分数）是：普通碳钢>0.20%；优质钢和合金钢>0.30%。由于低温氧化不能造成有效的沸腾并使金属过份氧化，对钢的质量不利，用矿石脱碳时，钢液温度应高于1570℃，吹氧脱碳时，钢液温度应高于1560℃。

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

(4) 调整钢液温度。氧化末期钢液的温度应比出钢温度高20~30℃。

**3. 还原期** 主要任务是：

(1) 脱氧。通常采用沉淀脱氧和扩散脱氧相结合的方式。清除氧化渣以后，即按锰的规格下限加入锰铁，按 $w_{Si}0.20\%$ 加入硅铁，并造稀渣液覆盖钢液。此后按钢的碳含量造白渣、弱电石渣或电石渣进行扩散脱氧（表2-6-4）。

电石渣的脱氧能力较白渣强，但钢液增碳较多，故

用于碳含量较高的钢。电石渣的粘度高，出钢过程中易被钢液卷入，出钢前应予以破坏，使其变为白渣。

表 2-6-4 还原渣的应用

钢中碳的质量分数 (%)	<0.35	0.35~0.60	>0.60
炉渣种类	白渣	弱电石渣	电石渣

(2) 脱硫。如炉渣碱度 $\geq 2.5$ ， $w_{FeO}$ 低于1.0%，且钢液温度较高，则还原期一般可脱 $w_{S}50\% \sim 70\%$ 。

(3) 调整钢液的成分和温度。

**4. 出钢** 还原期结束后，加铝进行终脱氧（加入 $w_{Al}0.1\%$ ，在炉中插入钢液或冲入钢包中），然后出钢。如钢中要加入钛铁或硼铁，也可冲入包中。

碱性电弧炉的其他熔炼方法见表2-6-5

表 2-6-5 碱性电弧炉的其他熔炼方法

熔炼方法	工 艺 要 点	说 明
氧化法	将全部炉料（还原期加入的铁合金除外）装炉。炉料熔清后，搅拌，升温，随即开始还原。可吹惰性气体造成沸腾，以利于脱除气体和非金属夹杂物。	金属烧损少，熔炼时间短，电耗低。不能脱碳、脱硫，对炉料要求较严。
返料吹氧法	利用返料熔炼各种高合金钢，炉料中可用50%~80%的返回料，其余为干净的废钢和铁合金。炉料熔清后，将钢液温度提高到1600℃以上，开始吹氧。吹氧有两种方式，可根据具体情况选用其一： 1. 少量脱碳时，可采用低压（~0.1MPa）吹氧。 2. 炼低碳高合金钢时，采用高压（1.2~2.0MPa）吹氧，吹氧量为4~6m <sup>3</sup> /（min·t）。吹氧结束后，加锰铁、硅铁、硅钙合金预脱氧，随即造渣还原。	可炼低碳高合金钢，充分利用返回料。高合金钢用此法熔炼，锰的收得率为80%~90%。对炉料的含碳量、含铬量和含磷量都要严格控制。
单渣法	在熔化末期、氧化初期进行脱磷。钢液温度升到1560℃以上，加矿石（或吹氧）沸腾脱碳，脱碳0.20%后，让钢液净沸腾。沸腾结束后按 $w_{Si}0.2\% \sim 0.3\%$ 加硅铁，按锰的中限加锰铁，温度合适，即可出钢，其余硅铁加在包内，并加 $w_{Al}0.1\%$ 进行终脱氧。	熔炼时间短，电耗低。只能用于生产质量要求一般的钢。

注： $w_{Si}$ 为Si的质量分数。余同。



### 2.3.2 酸性电弧炉炼钢

酸性电弧炉以酸性耐火材料(硅砂、硅砖)修筑炉衬,炼钢时造酸性炉渣。由于酸性耐火材料的热导率约为碱性耐火材料的1/4,通过炉衬的热损失比碱性炉小得多。同时,酸性电弧炉冶炼时间比碱性电弧炉短。因此,酸性炉炼钢的电耗比碱性炉低很多。

酸性电弧炉熔炼的钢,所含的气体和夹杂物都较少。在钢液温度相同的条件下,酸性钢的流动性比碱性钢好,这对于制造薄壁和结构复杂的铸件是很有利的。但由于酸性炉炼钢不能脱磷、脱硫,必须用低磷、硫废钢作炉料,因而限制了它的应用范围。

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

氧化期由加入铁矿石或吹氧进行脱碳沸腾。当炉渣温度很高时,其中的 $\text{SiO}_2$ 会被还原而生成硅,从而使钢液脱氧而停止沸腾。这种情况,通常称之为硅还原。出现硅还原时,应放出部分炉渣,并加入石灰以抑制 $\text{SiO}_2$ 的还原。

熔炼过程中,炉渣随钢液的温度和化学成分而变化。氧化期,炉渣中 $\text{FeO}$ 的质量分数一般为25%~40%,冷却后呈黑色,断口致密。氧化终了时,炉渣中 $\text{FeO}$ 的质量分数为12%~20%,逐渐变为绿色。沸腾脱碳到终点时,扒除部分炉渣,并加入干燥的硅砂造渣,即可制止沸腾。

酸性电弧炉炼钢,通常采用单渣法,氧化渣大部分不扒除。开始还原时,先加锰铁预脱氧,然后加炭粉进行扩散脱氧。还原期一般为15~20min,钢液温度合适,即调整成分、出钢。加0.1%的铝在包内进行终脱氧。

## 3 其他炼钢法

### 3.1 平炉炼钢

平炉以煤气或重油为燃料,用蓄热室预热送风,燃烧产生的高温火焰直接喷射于熔池,以熔化炉料和冶炼钢液。平炉有两套蓄热和预热送风的系统轮番运行,结构庞大,故其容量不宜太小,最小的平炉,容量为20t;最大的可达600t。重型机器行业的铸钢厂常装设小型碱性平炉,也可配装炉外精炼设备。

平炉炼钢工艺与电弧炉的单渣法基本相同。炉料熔清后,加矿石或吹氧脱碳、沸腾,一般称之为精炼。

净沸腾终止也就是精炼结束。精炼后进行脱氧。脱氧方法有两种:

(1)在炉内加锰铁和硅铁预脱氧,出钢时在钢包中加硅铁和铝补充脱氧。

(2)不在炉内进行预脱氧,全部脱氧剂均加入钢包中。

### 3.2 感应电炉炼钢

炼钢用的感应电炉通常都是无铁芯的,按电炉的容量用不同频率的电源。容量为50~1000kg的电炉,电源频率一般1000~2500Hz,称为中频感应电炉,由晶闸管变频器或中频发电机供电。大容量电炉可采用工业频率的电源,称为工频电炉。与其他熔炼设备相比,用感应电炉炼钢有如下优点:

- (1)不用石墨电极,无钢液增碳问题。
- (2)电效率高。
- (3)有搅拌钢液的作用,钢液温度均匀且易于调整。
- (4)金属烧损少。
- (5)便于实施在真空或其他设定的气氛下熔炼。

感应电炉炼钢的缺点有:

(1)炉渣靠钢液加热,温度低于钢液,对一些冶金反应不利。因此,感应电炉炼钢实质上是重熔过程,对炉料的要求很高。

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

感应电炉也可按炉衬材料分为酸性和碱性两种。

酸性感应电炉修筑炉衬的基本材料是石英砂。为使炉衬致密,石英砂的粒度级配非常重要。粘结剂为硼酸,用量为石英砂的1.5%~2.0%。酸性感应电炉可用于熔炼各种低合金钢和碳钢,且炉衬寿命较高。

高锰钢和高铬钢,因生成的 $\text{MnO}$ 和 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 会侵蚀 $\text{SiO}_2$ ,不宜用酸性炉熔炼。在此情况下,可采用碱性炉衬,用品位高的煅烧镁砂为基本材料,用卤水或水玻璃作粘结剂。

### 3.3 等离子炉炼钢

用等离子弧为热源来熔化和精炼。等离子弧有直流和交流两种,目前工业应用的多为直流等离子弧,是用等离子枪使电弧压缩而形成的。可在铸钢生产中应用的设备有等离子电弧炉和等离子感应电炉。后者是在密闭的感应电炉插入等离子枪,强化炉中的冶金反



应。

等离子熔炼，可生产碳的质量分数为0.005%~0.009%的超低碳不锈钢。

### 3.4 电子束炉炼钢

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

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

## 4 炉外精炼<sup>[45]</sup>

炉外精炼的目的是将炼好的钢液在炉外作进一步的处理，使钢中所含的气体和夹杂物减少。经不断发展，除达到上述目的外，还将原来在炼钢炉内进行的某些精炼过程移到炉外精炼设备中完成，从而可缩短炉内熔炼的时间，提高炼钢炉的生产率。

### 4.1 真空脱气

40年代开发出钢包真空处理，系将盛有钢液的钢包置于密闭的容器内，然后抽真空，使钢液在真空下保持12~15min，以降低其中的气体含量。用此法处理，钢包上部的钢液产生沸腾，有脱除气体和夹杂物的作用，但下部钢液因受静压头的作用不易沸腾，除气效果差。

#### 4.1.1 液流脱气

基本原理是使钢液以流束状进入真空室，由于负压作用，流束分散为大量液滴，其表面积对体积的比很大，强化了真空对钢液的作用，脱氢率在70%以上，脱氧率约为20%。代表性的工艺有：

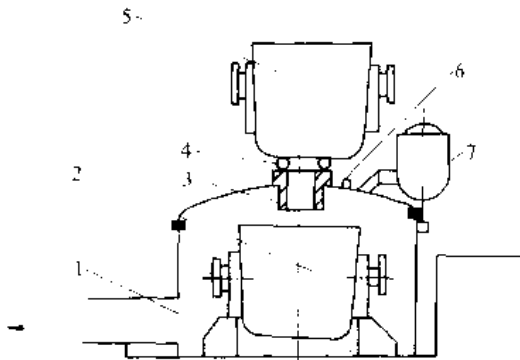


图 2·6-11 倒包脱气法示意图

1—真空抽气管道 2—浇注包 3—耐火材料套管  
4—铝盘 5—钢包 6—观察孔 7—加料斗

1. 倒包脱气法（图 2·6-11） 在真空室内放置浇注包 2，钢包 5 盛钢液后置于真空室上部，其塞座口与铝盘 4 相接。钢包 5 放出钢液时，钢液将铝盘 4 熔化通过耐火材料套管 3 进入真空室中的浇注包 2。处理时，还可通过料斗 7 加入合金，以调整钢液的化学成分。

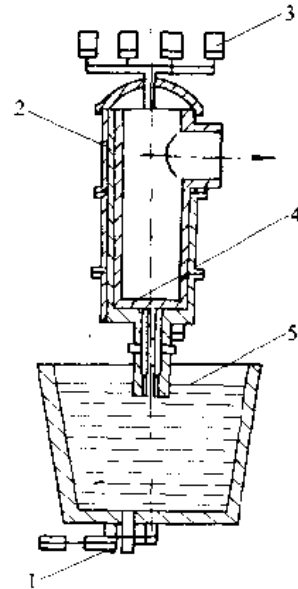


图 2·6-12 真空提升脱气法 (DH法) 示意图

1—滑动水口 2—真空脱气室 3—合金料斗  
4—钢液 5—炉渣

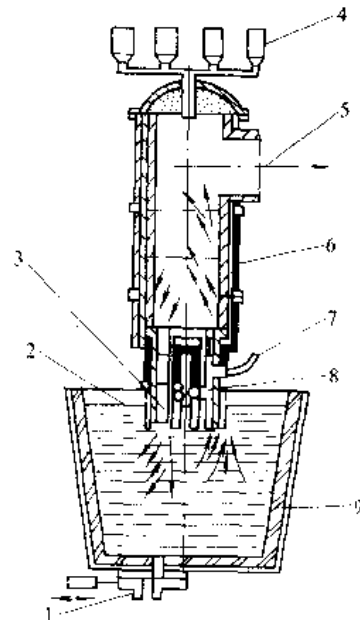


图 2·6-13 真空循环脱气法 (RH法) 示意图

1—滑动水口 2—炉渣 3—释放管 4—合金料斗  
5—真空管道 6—脱气室 7—氮气管  
8—吸入管 9—钢包



2. 真空提升脱气法 (DH 法) (图 2-6-12) 将真空脱气室下部的吸嘴插入钢液后抽真空, 钢液即上升到脱气室内。处理后, 钢液借自重返回钢包。此后, 再吸一批钢液予以处理, 并如此反复多次。真空脱气室还可作相对于钢包的移动, 也可上升或下降, 以处理各部钢液。

3. 真空循环脱气法 (RH 法) (图 2-6-13) 真空脱气室下装有钢液吸入管 8 和释放管 3, 处理时将两者插入钢液。将脱气室抽真空, 并由氩气管 7 吹入氩气驱动钢液由吸入管上升, 随即喷射于脱气室。经脱气的钢液汇集在脱气室的底部, 经释放管 3 返回钢包 9。如此循环, 经一段时间, 脱气过程即告结束。

4.1.2 搅拌脱气

搅拌脱气常用的方法有两种:

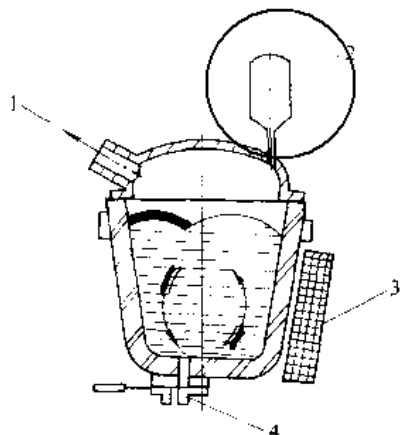


图 2-6-14 真空电磁搅拌法示意图  
1—真空管道 2—合金料斗 3—电磁搅拌线圈 4—滑动水口

1. 真空电磁搅拌法 (图 2-6-14) 搅拌强度可任意选定和调整, 但钢包外壳需用无磁性钢制造, 设备费用较高。

2. 真空吹氩搅拌法 (图 2-6-15)

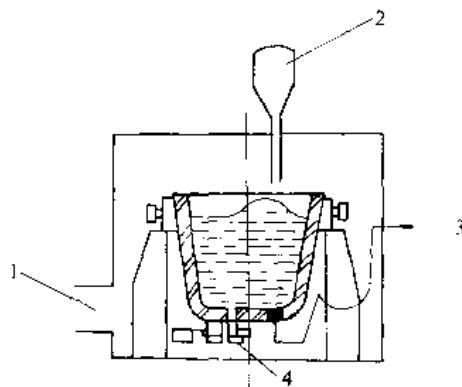


图 2-6-15 真空吹氩搅拌法示意图

1—真空管道 2—合金料斗 3—吹氩管道及多孔塞 4—滑动水口

4.2 加热精炼

真空液流脱气和搅拌脱气, 在脱气和去除非金属夹杂物方面都有很好的效果, 但仍存在一个问题, 即钢液温度下降过多。例如, 15min 的液流脱气会导致钢液温度下降 100℃。为解决这一问题, 出现了带加热装置的真空处理工艺, 其中, 电弧加热钢液的炉外精炼法应用甚广, 主要有以下几种:

1. 钢包真空精炼法 (ASEA-SKF 法) 基本工序见图 2-6-16。此法的工艺过程灵活, 钢液经电磁搅拌脱气 (工序 b) 后, 除去旧渣, 加入造渣材料, 转入

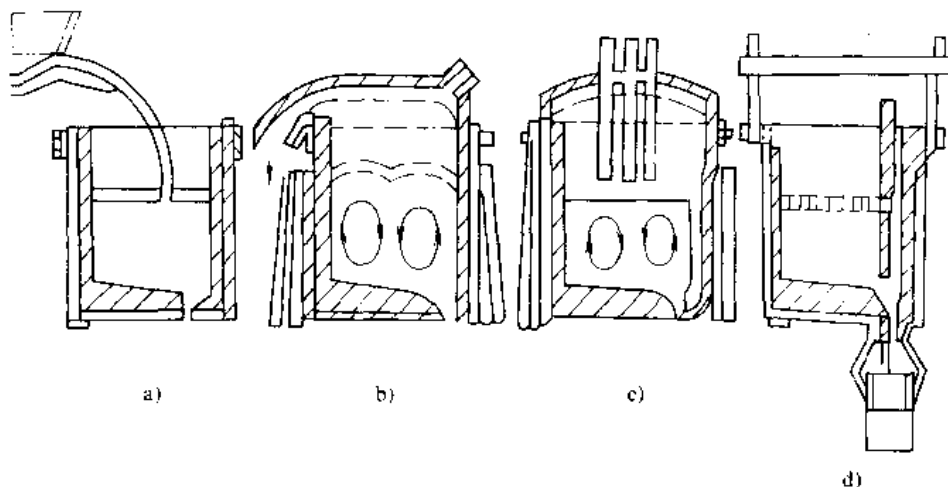


图 2-6-16 钢包真空精炼法 (ASEA-SKF 法) 基本工序示意图  
a) 钢包接受钢液 b) 电磁搅拌, 脱气 c) 电弧加热钢液, 搅拌 d) 浇注



电弧加热的工序c。进行b、c两工序转换时，或钢包不动、移换上盖，或上盖不动、钢包移动一个工位。有必要时，加热以后，可再次转到工序b，进行搅拌脱气，直到钢液符合要求为止。

2. 真空加热吹氩脱气法 (VAD法) 该法是在图

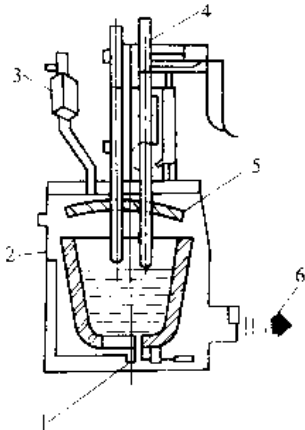


图 2-6-17 真空加热吹氩脱气法示意图  
1—滑动水口 2—吹氩管道 3—合金料斗  
4—电极 5—钢包盖 6—真空管道

2-6-15 真空吹氩脱气法的基础上增加了电弧加热装置 (图 2-6-17)。必要时，还可装设吹氧管，进行真空吹氧脱碳作业。

3. 钢包炉精炼法 (LF法) (图 2-6-18)

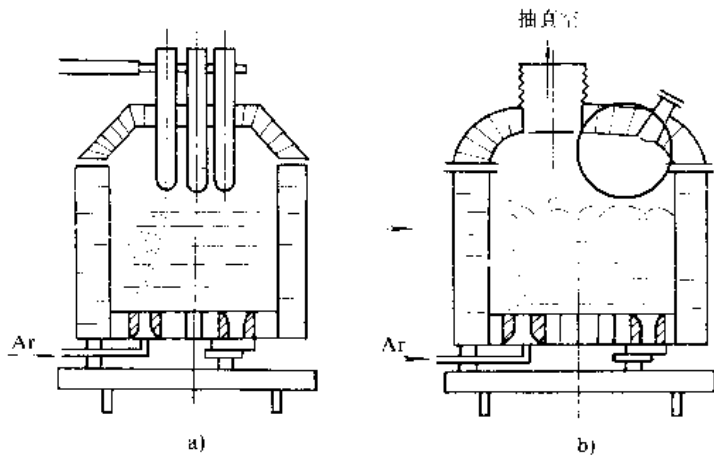


图 2-6-18 钢包炉精炼法示意图  
a) 电弧加热 (大气压力下) b) 真空脱气

4.3 吹氧脱碳精炼

1. 真空氧脱碳法 (VOD法) 此法是真空处理工艺的进一步发展，在真空罐中自钢包顶部向钢液吹氧，一方面有精炼作用，又可利用碳氧化产生的热补偿处

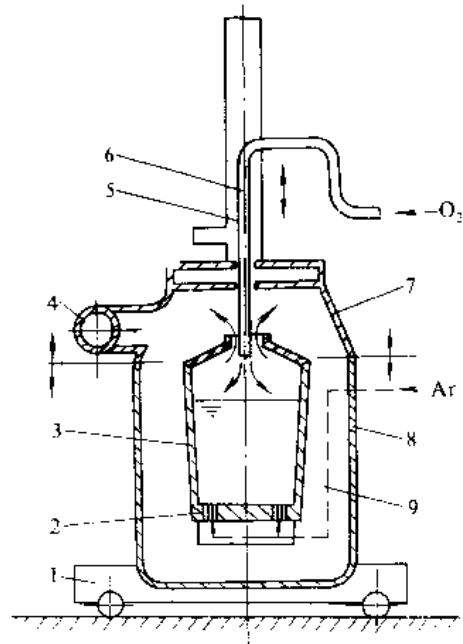


图 2-6-19 真空氧脱碳法 (VOD法) 示意图  
1—小车 2—多孔塞 (吹氩用) 3—钢包  
4—真空管道 5—真空密封罩 6—吹氧管  
7—真空罐盖 8—真空罐 9—吹氩管道

理过程中的热损失。在吹氧的同时，还自钢包底部吹入少量氩气，以搅拌钢液并促进气体和非金属夹杂物的脱除，故也称之为真空氧脱碳法，见图 2-6-19。

此法主要用于生产低碳或超低碳不锈钢，原钢液碳的质量分数一般为 0.4%~0.5%，因而可采用部分价廉的高碳铬铁。

2. 氩氧脱碳法 (AOD法) 氩氧脱碳法是继各种真空处理工艺之后在炉外精炼方面的重要发展。装置容量由 1t 至 60t。图 2-6-20 是氩氧脱碳法的示意图。

由炼钢炉得到钢液后，根据其化学成分、重量和温度计算吹炼所需的氧量。通常，分 4 个阶段吹气精炼。

第一阶段，钢中含碳量较高，按氧氩比为 3~4:1 供气，以吹氧脱碳为主。

第二阶段，降低氧氩比。由于气泡中氩气增多，降低了 CO 的分压，改变了原来碳与氧的平衡，脱碳反应继续进行。

第三阶段，进一步降低氧氩比，氩量多于氧量。将碳降到规格的上限。

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



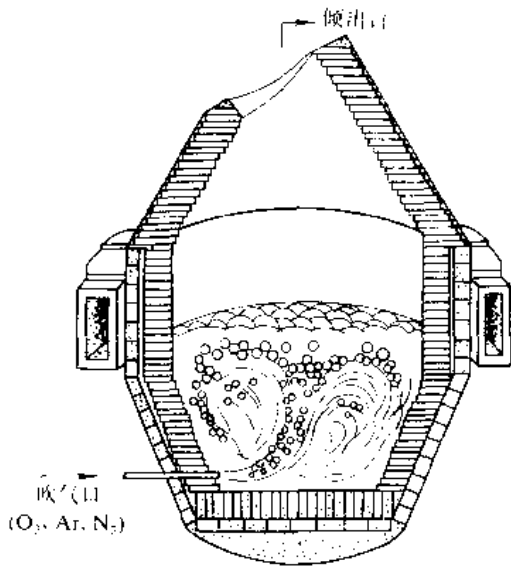


图 2·6-20 氩氧脱碳法 (AOD 法) 示意图

吹炼时间约为 1~1.5h。吹气系统装有切换装置，在吹炼的间歇自动关闭氩气，切换为压缩空气或氮，以节省昂贵的氩。

#### 4·4 喷粉精炼

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

目前采用的粉状精炼剂主要是含钙的物质，如硅钙合金、硅钙钡铝合金和电石粉等。常压下，钙的沸点为 1492℃。往钢液中加入硅钙合金时，钙的收得率很低。将硅钙合金射入钢液深部，钢液的静压头可抑制钙的气化，从而改善精炼效果。含钙合金中的钡是缓冲剂，起减缓钙气化的作用。

用含钙的精炼剂，脱氧、脱硫的作用很强，并可使钢中非金属夹杂物数量减少、形态改善。应用较多的一种喷粉装置 (TN 法) 见图 2·6-21。

由于喷粉精炼设备比其他炉外精炼设备简单，投资少，近年来发展很快。

喷粉精炼工艺还有不少新的发展，如：

(1) 将钢包真空循环脱气与喷粉精炼结合使用，有真空吹气搅拌和喷粉精炼双重作用，能去气和脱硫。

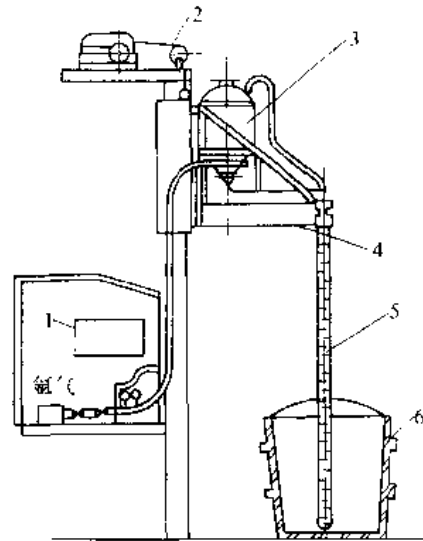


图 2·6-21 喷粉装置 (TN 法) 示意图  
1—控制室 2—升降装置 3—粉料罐 4—可移动的悬臂 5—喷枪 6—钢包

(2) 不用惰性气体作粉状精炼剂的载体，而是用钢皮包裹粉剂制成精炼丝射入钢液，称为射丝精炼。精炼丝以 80~300m/min 的速度射入钢液，待钢皮熔化，钙与钢液接触时已进入钢包下层，可借钢液的静压头抑制钙的气化。钙以液体状态上浮一定距离后成为包泡。图 2·6-22 是射丝精炼示意图。

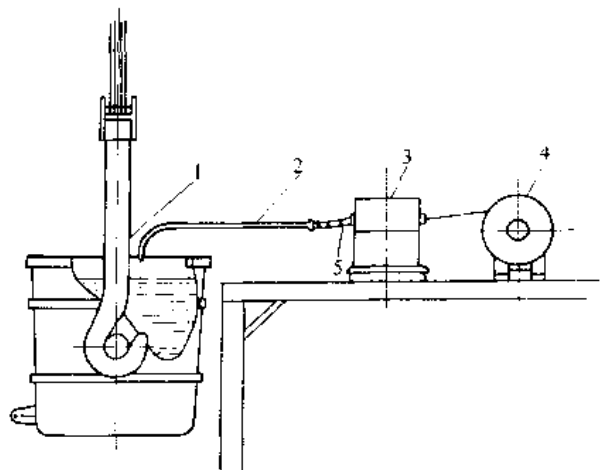


图 2·6-22 射丝精炼示意图  
1—射丝 2—精炼丝导管 3—给料器 4—精炼丝卷 5—柔性接管



## 第7章 铸铁熔炼<sup>[46]</sup>

铸铁熔炼不单是一个熔化过程,而且是冶金过程。用于铸铁熔炼的炉子类型很多,有冲天炉、非焦(煤粉、油、天然气)冲天炉、电炉(电弧炉、感应电炉)、反射炉等。最常用的是冲天炉,采用电炉和双联熔炼的日益增多。几种炉子的特点和适用范围见表2-7-1。

表2-7-1 几种铸铁熔炉的特点和适用范围

名称	特点	适用范围
冲天炉	结构简单,设备费用少,电能消耗低,生产率高,成本低,操作维修方便,能连续工作;热效率较低,氧化烧损大,增硫增碳严重	应用最广,除高合金铸铁外,皆可采用
电弧炉	设备费用高,电能消耗多,热效率较高,元素烧损中等,不增碳、能脱硫,能充分利用回炉料,噪声大	高牌号铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁、合金铸铁
感应电炉	设备费用高,电能消耗多,热效率高,元素烧损少,不增碳,不增硫,劳动条件好,污染轻	高合金成分或高温要求的铸铁
冲天炉-电炉双联	能发挥两种炉子的优点,提高适应性	质量要求高的铸件或大批量流水线生产作业

### 1 冲天炉熔炼<sup>[47]</sup>

常用的冲天炉炉型有三种:大排距两排风口冲天炉(又称大排距冲天炉、大双冲天炉)、多排小风口冲天炉和中央送风冲天炉。大排距两排风口冲天炉的优点是炉况稳定、铁液温度高、硅锰烧损正常、铁液不易氧化、结构简单、操作方便、容易掌握控制;缺点是底焦偏高、底焦耗量较多。多排小风口冲天炉的优点是可利用灰分较高的劣质焦炭,可在低焦耗条件下得到高燃烧比、提高炉子热效率,熔化强度高;缺点是底焦不能集中燃烧,铁液温度较低,炉气氧化气氛较浓,铁液易氧化,中央送风冲天炉主要是中大型炉,优点是可利

用块度较小的焦炭进行熔炼,炉衬侵蚀少;缺点是熔炼过程中不能停风,对风嘴的安装、密封要求严。中央送风冲天炉的炉况、铁液温度、硅锰烧损情况与大排距两排风口冲天炉类似。

#### 1.1 冲天炉结构

冲天炉结构主要包括支撑部分(炉底部分)、炉体(炉身)、炉顶部分和前炉。图2-7-1是冲天炉主要结构简图。

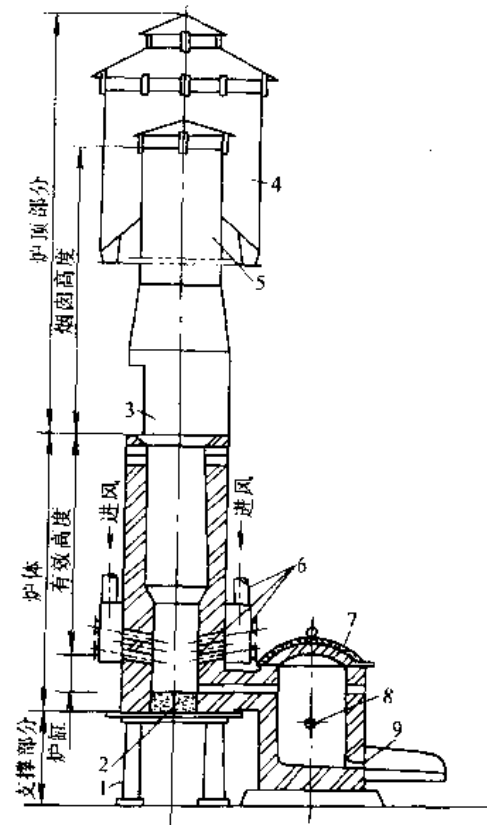


图2-7-1 冲天炉主要结构简图

- 1—支柱 2—炉底板 3—加料口 4—除尘器 5—烟囱 6—送风系统 7—前炉 8—出渣口 9—出铁口

冲天炉一次熔炼的持续时间一般为6~10h,取决于炉衬侵蚀程度和熔炼铁液量。每次熔炼后要修补炉





膛, 修炉材料见表 2·7-2。

表 2·7-2 冲天炉修炉材料

炉子种类	修 炉 材 料
酸性炉	硅砂加耐火粘土, 天然红硅石及水泡石, 铅质耐火砖, 粘土质耐火砖
碱性炉	镁砖, 白云石粉加盐卤

### 1.2 冲天炉熔炼主要工艺参数

#### 1.2.1 供风参数

供风参数中最重要的是风量和风压。风量是组织好底焦燃烧的决定因素, 风压是克服送风阻力将所需风量送入炉内的保证。

1. 风量 风量常以供风强度表示。表 2·7-3是根据现场经验推荐的最佳供风强度。

表 2·7-3 冲天炉最佳供风强度

层碳耗 (kg 碳/100kg 铁)	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
层铁焦比 (焦炭含固定碳按 80% 计)	5.7	6.2	6.7	7.3	8.0	8.9	10.0	11.4	13.3	16.0
送风强度 [m <sup>3</sup> / (m <sup>2</sup> · min)]	118	114	111	108	104	101	98	94	91	88

注: 选鼓风机风量时, 供风强度值应乘以 1.2~1.4 的漏风系数。

表 2·7-4 冲天炉供风压力

风口比 (%)	炉 膛 内 径 (mm)						
	500	600	700	900	1100	1300	1500
	风 箱 风 压 (kPa)						
22.5	4.0~5.0	5.0~6.5	5.5~7.0	6.0~7.5	6.5~8.0	7.0~8.5	7.5~9.0
3~7	8.0~12			10~16		14~20	

2. 风压 风箱风压根据炉径大小和风口比(风口总面积与炉膛面积之比)选择, 见表 2·7-4。

表 2·7-5。装炉底焦高度可根据风箱风压、炉膛直径或供风方式确定, 见表 2·7-6至表 2·7-8。

#### 1.2.2 底焦高度

底焦高度是指第一排风口中心至底焦顶面的垂直距离。足够的底焦高度是保证铁液温度和减少氧化的必要条件, 但底焦过高会增加还原反应的焦耗, 降低铁液温度。底焦高度分为运行底焦高度和装炉底焦高度。运行底焦高度指熔炼过程中底焦的高度, 影响因素见

表 2·7-5 影响底焦高度的因素

增加高度	降低高度
1. 降低铁焦比	1. 提高铁焦比
2. 减小铁料块度	2. 增大铁料块度, 增加废钢比例
3. 增大焦炭块度	3. 供风强度过大或过小

表 2·7-6 底焦高度与风压的关系

风压 (kPa)	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10
底焦高度 (mm)	900	1000	1100	1200	1250	1300	1400	1500

表 2·7-7 底焦高度与炉膛直径的关系

炉膛直径 (mm)	500	600	700	900	1100	1300	1500
底焦高度 (mm)	1250	1300	1350	1400	1500	1600	1700



表 2-7-8 底焦高度与供风方式的关系

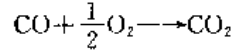
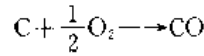
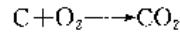
供风方式	双层送风	三排风口	多排风口	中央送风	
				矮风嘴	高风嘴
底焦高度 (mm)	1500 ~2000	1250 ~1700	1200 ~1800	1100 ~1300	1350 ~1700

1.3 冲天炉燃烧反应与热交换

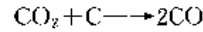
冲天炉熔炼的燃烧过程在底焦中进行。燃烧产生的高温炉气与下降的铁料进行逆流式热交换。铁料经预热，在底焦顶面熔化成铁液滴，流经底焦时被过热。根据焦炭燃烧的化学反应，可将底焦燃烧划分为两个

反应区段：

氧化带——焦炭燃烧



还原带——CO<sub>2</sub>被高温焦炭还原



从提高冲天炉热效率角度出发，应压缩还原带，或减轻其反应程度，但从冶金角度考虑，则应保持适当的还原反应，以减轻炉气的氧化性。

冲天炉中的燃烧与热交换过程见图 2-7-2。

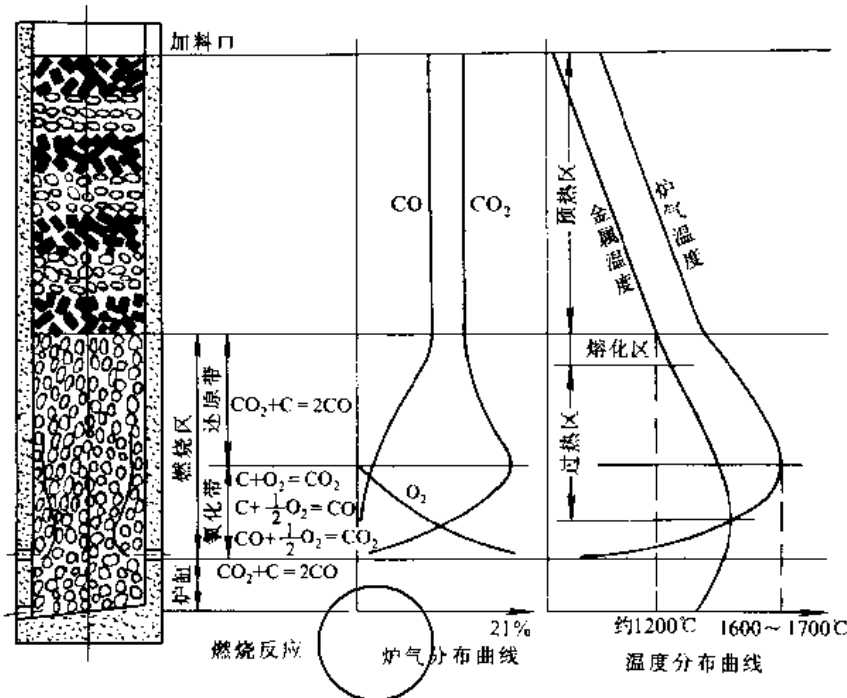


图 2-7-2 冲天炉中燃烧与热交换过程图

1.4 冲天炉熔炼冶金反应

1.4.1 炉渣

铁料熔化时，铁料表面附着的泥砂，焦炭中的灰分以及被侵蚀剥落的炉衬等结成炉渣。炉渣直接参加冶金反应，影响铁液的化学成分，如酸性炉渣可减少硅的烧损；碱性渣可减少锰的烧损，降低铁液的含硫量，但它又阻碍燃烧和冶金反应的顺利进行，必须用熔剂中和稀释，以便顺利排出。炉渣的主要成分是 SiO<sub>2</sub> 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，稀释剂主要是石灰石及萤石。

1.4.2 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，铁液含碳量变化总趋势是趋向于共晶成分。随着共晶度 S<sub>c</sub> 值的增加，增碳率减小；S<sub>c</sub>≈1 时，几乎不增碳；S<sub>c</sub>>1 时，会减碳，见表 2-7-9。

2. 硅、锰的烧损 硅、锰的烧损主要在铁料熔化后，通过铁液中的 FeO 来进行。由于硅、锰对氧的亲合力比铁大，铁的氧化被硅、锰所取代。到达一定温度后，铁液中碳对氧的亲合力超过硅、锰，硅、锰的氧化又被碳的氧化所取代。



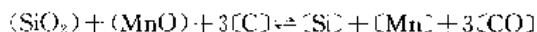


表 2·7-9 酸性冲天炉熔炼过程碳量变化实例

炉次	配料成分			铁液碳含量的质量分数 (%)	碳量增减值 (百分点)
	w <sub>C</sub> ① (%)	w <sub>Si</sub> (%)	S <sub>C</sub> ②		
1	2.63	2.00	0.71	3.12	+0.49
2	3.97	2.87	1.19	3.50	-0.47
3	4.04	2.49	1.17	3.49	-0.55
4	4.08	2.62	1.20	3.34	-0.74

① w<sub>C</sub>、w<sub>Si</sub>等分别为 C、Si 的质量分数。

$$\textcircled{2} S_C = \frac{w_C \%}{4.30 - \frac{1}{3}(w_{Si} + w_P) \%}$$

这种反应是可逆的，并与铁液中元素浓度有关。硅氧化还原的临界温度与铁液中硅、碳含量的关系见表 2·7-10。锰的临界温度在同样浓度下比硅略低。因此，提高熔炼温度对减少氧化烧损有很大作用。酸性冲天炉熔炼时硅的烧损率一般为 15%~20%，锰为 15%~25%。

表 2·7-10 硅氧化还原的临界温度与碳、硅量的关系

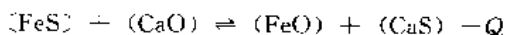
铁液中碳的质量分数 (%)	铁液中硅的质量分数 (%)				
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
	临界温度 (°C)				
2.7	1410	1430	1440	1445	1460
2.9	1400	1425	1435	1445	1455
3.1	1395	1415	1430	1440	1445
3.3	1395	1410	1425	1435	1440
3.5	1380	1405	1420	1430	1435
3.7	1380	1400	1415	1425	1430

**3. 铁的氧化** 铁与氧的亲合力没有硅、锰强，但由于铁液中铁的浓度最高，所以当炉气的氧化性气氛浓时，同样会被氧化。铁液氧化严重时，渣中 FeO 量增多，不仅导致硅、锰等元素大量烧损，更主要的是严重影响铁液质量。正常情况下，冷风冲天炉炉渣中 FeO 的质量分数应在 5% 以下，热风冲天炉炉渣中 FeO 的质量分数应在 2% 以下。

**4. 增硫与脱硫** 铁液增硫主要来自焦炭。焦炭中的硫以两种方式进入铁液：

- (1) 燃烧后以 SO<sub>2</sub> 的形式被铁料和铁液吸收。
- (2) 铁液直接吸收焦炭表面的硫。

铁液中最终硫含量取决于铁液与炉渣的相互作用，反应式为：



该式为吸热可逆反应，提高炉温，增加渣中的 CaO 含量，减少 FeO 含量，有利于脱硫。

**5. 脱磷** 酸性冲天炉不能脱磷，熔炼过程中磷量基本不变。碱性冲天炉有脱磷作用，但脱磷与脱硫的冶金条件和热力学条件相矛盾，使脱磷与脱硫无法同时进行，所以铸铁的含磷量主要靠配料控制。

### 1.5 冲天炉熔炼用焦炭

冲天炉用的焦炭要求固定碳含量高、强度大、块度大而均匀，硫量、灰分、水分、挥发物含量和气孔率低。长期以来，我国冲天炉熔炼一直采用气化焦、冶金焦和地方焦，近十几年大力提倡应用铸造焦，并制定了铸造焦标准，见表 2·7-11。

表 2·7-11 铸造焦技术指标 (GB8729-88)

指 标	级 别		
	特级	一级	二级
块度 (mm)	>80		
	80~60		
	>60		
水分① (%) ≤	5.0		
灰分① (%) ≤	≤8.00	8.01	10.01
		~10.00	~12.00
挥发① (%) ≤	1.50		
硫分① (%) ≤	0.60	0.80	0.80
转鼓强度 (%) ≥	85.0	81.0	77.0
落下强度 (%) ≥	92.0	88.0	84.0
显气孔率 (%) ≤	40	45	45
碎焦率 (<40mm) (%) ≤	4.0		

① 指质量分数。

### 1.6 改善冲天炉熔炼的主要措施

#### 1.6.1 预热送风

预热送风可提高铁液温度。热风温度 200°C 时，铁液温度可提高 10~20°C；风温 500°C 以上，可提高 100°C。如维持铁液温度不变，则可相应减少焦耗，并可提高熔化率。

预热送风分炉外预热式和炉内预热式。预热送风装置种类很多，换热器的主要形式及特点见表 2·7-12。炉内预热式主要用于内径 1000mm 以内的中小冲天炉，炉外预热式适用于大型冲天炉。



表 2-7-12 换热器的主要形式及特点

换热器型式	热 源	安装位置	热风温度 (°C)	设备投资	维修操作	使用寿命	适用范围
预热带密筋炉胆	炉气物理热	预热区	150~200	小	严格	较短	普通冲天炉, 对炉温影响不大
烟囱式注 管式 密筋炉胆	炉气物理 热及化学热	烟囱	250~300	较小	方便	较长	普通冲天炉, 对炉温有影响
			300~400				
抽气预热式	煤及其他	炉外	250~400	较大	较麻烦		
外加燃料		热风室	400~500		麻烦, 需设专人		

① 炉气含 CO 太少, 温度太低时, 无法使用。

### 1.6.2 富氧送风

富氧送风可提高熔化速度和铁液温度。富氧送风方法有三种:

- (1) 向送风管中引入氧气。
- (2) 从风口吹氧。
- (3) 在炉壁四周安装数个喷嘴, 将氧气直接吹入炉内。

为了减少氧气消耗量, 多用间断加氧, 如开炉初期或中途停风后复风, 炉温较低或铁液温度较低时, 可采用富氧送风。加氧量一般为 2%~4%。加氧过少, 效果不明显; 加氧太多, 炉况不稳定, 经济上也不合理。

### 1.6.3 控制送风湿度

送风湿度对铁液温度、铁液质量有直接影响, 应合理控制。送风湿度一般控制在  $5 \sim 7 \text{g}/\text{m}^3$ 。低于此值时, 可引入适量的过热蒸汽, 高于此值时, 则宜进行脱湿处理。冲天炉送风脱湿可采用三种方法:

- (1) 冷冻法。用冷冻机将空气冷至露点以下, 使过剩的水分从空气中冷凝析出。该法除湿效率高, 操作方便, 容易实现自动控制, 但设备投资较大。
- (2) 吸附法。空气通过吸湿性高的粒状固体(硅胶、沸石、分子筛等)脱湿。当吸湿剂被水饱和时, 需进行再生处理, 因此需设置两套脱湿设备轮流工作。
- (3) 吸收法。空气通过吸湿性高的液体(硫酸、氯化锂、氯化钙等)脱湿。吸收液被淡化, 吸湿能力降低后, 要通过加热等方法浓缩再用。为防止吸收液被空气中的灰尘污染和吸收液被空气带走, 除湿前后需对空气进行处理。

## 2 感应电炉熔炼

熔炼铁液使用的感应电炉多用工频或较低的中频( $\approx 1000 \text{Hz}$ )电源, 简称工频炉和中频炉, 又分为无芯感应电炉和有芯感应电炉。

### 2.1 感应电炉工作原理

感应电炉是利用交变磁场感应电流的热效应进行熔化与过热。无芯感应电炉相当于一个变压器, 坩埚外的感应线圈相当于变压器的原绕组, 坩埚内的金属料相当于副绕组。通电后交变磁场使短路连接的金属炉料产生强大的感应电流, 电流流动时, 为克服金属炉料表面层的电阻而产生热量, 使炉料加热熔化。有芯感应电流与无芯感应电流的工作原理类似, 不同的是它有一个闭合的铁芯, 铁芯上的线圈相当于原绕组, 与芯柱同心放置的充满金属液的熔沟相当于副绕组。

### 2.2 感应电炉熔炼特点

- (1) 渣相与熔池之间基本上不发生冶金反应, 铁液成分主要取决于配料成分, 容易控制掌握。
- (2) 熔池温度超过  $\text{SiO}_2$  被碳还原的临界温度时, 发生脱碳增硅反应, 使炉衬受烧蚀。
- (3) 钢铁切屑可直接入炉熔化。但锈蚀不要过多, 因在熔池电磁搅动下,  $\text{FeO}$  卷入炉中心, 不易上浮。

### 2.3 无芯工频感应电炉

#### 2.3.1 炉衬

多为酸性炉衬, 用硅砂打结, 使用寿命可达 100 次



以上,熔炼合金铸铁和球墨铸铁时,常用高铝质和镁质耐火材料。硅砂炉衬材料配比见表2-7-13。炉衬厚度与炉子容量和内径的关系见表2-7-14。

2.3.2 性能参数

无芯工频感应电炉部分型号和性能参数见表2-7-15。

表 2-7-13 硅砂炉衬材料配比实例

序号	硅砂质量配比					粘结剂的质量分数(%)			备注
	6~12目	12~20目	20~40目	40~140目	140目以上	硼酸 (工业用)	水	水玻璃	
1	30	40	—	10	20	1.5 1.8	—	—	用于炉底和炉壁 用于炉口
2	38	12	—	35	15	1.8 2.0~2.4	—	—	用于炉底和炉壁 用于炉口
3	15	8	15	24	38	3.0	1.0~1.5	4.0~5.0	用于炉底和炉壁 用于炉口

表 2-7-14 炉衬厚度与炉子容量和内径的关系

炉子容量 (t)	炉衬厚度 (mm)	内径 (mm)	$h/d$ ①
0.5	70~80	400	1.2
1.5	90~110	600	1.1~1.2
10	150	1130	1~1.1

①  $h/d$  为感应器高度与内径之比。

表 2-7-15 无芯工频感应电炉部分型号和性能参数

型号	额定容量 (t)	额定功率 (kW)	变压器容量 (kV·A)	额定电压 (V)	工作温度 (°C)	1450°C		升温 100°C	
						熔化率 (t/h)	电耗 (kW·h/t)	升温能力 (t/h)	电耗 (kW·h/t)
GW-0.75-270	0.75	270	400	500	1450	0.39	685	5.33	51
GW-1-360	1	360	500	500	1450	0.55	650	7.23	50
GW-1.5-500	1.5	500	630	750	1450	0.82	607	11.14	45
GW-3-800	3	800	1000	1000	1450	1.39	575	18.80	42.5
GW-5-1300	5	1300	1600	1000	1450	2.40	542	32.40	40.2
GW-7-1580	7	1580	2000	2000	1450	2.92	541	39.50	40
GW-10-2500	10	2500	3150	2000	1450	4.78	524	64.61	38.7
GW-15-3000	15	3000	4000	2000	1450	5.84	514	78.91	38
GW-20-3900	20	3900	5000	3000	1450	7.70	507	104	37.5
GW-25-4900	25	4900	6300	3000	1450	9.76	502	132	37.2
GW-30-6000	30	6000	8000	3000	1450	12.0	497	163	36.8

2.4 有芯工频感应电炉

有芯感应电炉通常采用工频电源。其特点是:

- (1) 电效率高,自然功率因数可达0.7~0.8。
- (2) 保温性能好,更适于冲天炉或其他熔炉配合进行双联熔炼。

(3) 筑炉及起熔时间长,炉内需始终保持一定数量的铁液,变换铁液成分困难。

(4) 对熔沟耐火材料要求高,使用维护要求严

3 双联熔炼

双联熔炼的形式很多,发展最快、综合技术经济效



果最好的是冲天炉与工频感应电炉双联。冲天炉用作熔化,工频炉用作过热精炼或保温贮存铁液,其中有芯感应电炉和无芯感应电炉的特点见表2·7-16。双联熔炼炉容量的匹配见表2·7-17。

表 2·7-16 用作过热精炼或保温贮存铁液的感应炉特点

炉子类型	特 点
有芯感应电炉	1. 容量大,适用于大批量生产单一品种铁液的保温和均匀成分 2. 可同时装入铁液和出铁液,满足连续出铁或频繁出铁的要求 3. 可贮存铁液,平衡生产节奏
无芯感应电炉	1. 可把炉内铁液全部倒空,更换铁液牌号比较方便 2. 单位功率大,能较快地熔化加入炉中调整成分用的合金材料 3. 适于精炼,能熔炼出成分和温度比较准确的铁液

表 2·7-17 双联熔炼炉容量的匹配

双联熔炼的工艺特性	炉子容量比①
主要用于贮存 (间接双联)	$\frac{\text{贮存炉容量 } Q}{\text{熔化炉容量 } q} = 4 \sim 6$
主要用于保温 (直接双联)	$\frac{\text{保温炉容量 } Q}{\text{熔化炉容量 } q} = 1 \sim 3$
主要用于过热 (间接或直接双联)	$\frac{\text{过热炉容量 } Q}{\text{熔化炉容量 } q} = 0.5 \sim 1.5$
主要用于精炼 (间接双联)	$\frac{\text{精炼炉容量 } Q}{\text{熔化炉容量 } q} = 0.5 \sim 1$

① 或炉子生产率之比。

## 4 几种铸铁的熔炼特点<sup>[2][14]</sup>

### 4·1 灰铸铁熔炼

#### 4·1·1 灰铸铁化学成分的选择

灰铸铁分为普通灰铸铁和孕育铸铁两类,灰铸铁中主要五元素的含量见表2·7-18。

实际生产中原铁液化学成分选择与孕育剂种类、铸件大小、壁厚、铸铁牌号等因素有关。一般低牌号、薄小件,碳、硅量取上限,锰量取下限。

表 2·7-18 灰铸铁五元素含量 (%)

元 素		C	Si	Mn	P	S
质量分 数范围	普通 灰铸铁	3.3 ~3.8	1.5 ~2.4	0.5 ~1.0	≤ 0.30	≤ 0.12
	孕育 铸铁	2.8 ~3.3	1.1 ~1.5	0.7 ~1.5	≤ 0.15	≤ 0.10

#### 4·1·2 灰铸铁熔炼工艺

灰铸铁对熔炼的要求是:铁液成分、温度合格,且均匀、波动范围小,铁液的出炉温度一般为:普通灰铸铁1370~1450℃,孕育铸铁为1450~1500℃,高牌号、薄小件铁液出炉温度取上限。

各种化铁炉均可用于熔炼灰铸铁,生产上多采用酸性冲天炉,生产孕育铸铁则希望采用冲天炉感应电炉双联熔炼。

普通灰铸铁配料时可不用或少用废钢,可采用一般铸造生铁;孕育铸铁对炉料应严格控制,生铁锭含碳、硅量不宜过高,磷、硫含量尽可能低( $w_s < 0.10\%$ ,  $w_p < 0.15\%$ ),回炉料尽量使用本牌号的浇冒口和废铸件,并且应采用低碳废钢( $w_c < 0.30\%$ )。表2·7-19列举了生产上常用的几种灰铸铁的炉料质量配比。

表 2·7-19 几种灰铸铁炉料质量配比 (%)

牌 号	新生铁	回炉料	废 钢	铁合金 孕育剂	
				FeSi、FeMn	FeSi75
HT150	50~60	30~40	0~10	由计算确定	—
HT200	30~40	30~40	10~25	由计算确定	—
HT300	16~25	30~50	30~50	由计算确定	0.3~0.7

#### 4·1·3 灰铸铁孕育处理

孕育处理是在铁液进入型腔前,把孕育剂附加到铁液中以改变铁液的冶金状态,从而改善铸铁的显微组织和性能,如促进石墨化,减少白口倾向;改善断面均匀性;控制石墨形态;减少共晶石墨和共生铁素体的形成,以获得中等大小的A型石墨;适当增加共晶团数和促进细片状珠光体的形成;改善铸铁的力学性能(如抗拉强度)和其他性能(如切削性能)。

1. 孕育剂 表2·7-20为灰铸铁常用孕育剂的成分和应用范围。

注:  $w_s$ 、 $w_c$  等分别为 S、C 的质量分数。



表 2·7-20 灰铸铁常用孕育剂成分的质量分数 (%)

孕育剂种类	Si	Ca	Al	其他	Fe	应用范围
硅铁	74~79	0.5~1.0	0.8~1.6		余	HT200, 250, 300 灰铸铁件生产, 壁厚差大, 浇注时间长时, 效果不理想
硅钙	60~65	30~33	≤0.2		≤5	适用于高温熔炼下生产各种灰铸铁件
硅锆	60~65	2.0	≤1.5	Zr5.0	余	抗衰退, 可用于厚大件, 价格比硅铁高
硅锶	73~78	≤0.1	≤0.5	Sr0.6~1.2	余	用于薄壁件, 尤其不希望有高共晶团数件
硅钡钙	60~65	1.0	1.3~1.7	Ba9~11	余	抗衰退, 用于厚大件
稀土锰铝	35~40	5~9	3~4	RE6~8 Mn6 Cr15	余	高强度灰铸铁件, 对薄壁件慎用

此外, 还有硅锆、硅钼、硅钨等孕育剂。在各种孕育剂中, 硅铁价格低, 来源广, 孕育效果可满足要求, 应用最多。含锶、钡的孕育剂抗衰退能力强, 含锆孕育剂效果好。目前, 对孕育剂的研究较广泛, 不断出现新型、商品化的孕育剂, 用以生产高性能的孕育铸铁件。

孕育剂的加入量与孕育剂种类、铁液牌号、铸件大小和孕育方法有关。FeSi75 加入量(质量分数)为 0.1%~1.0%, 高牌号、薄小件取上限, 瞬时孕育取下限。

2. 孕育方法 灰铸铁各种孕育方法及特点见表 2·7-21, 生产上常用的是出铁槽孕育, 或出铁槽孕育与各种瞬时孕育相结合。

表 2·7-21 灰铸铁孕育方法

孕育方法	工 艺	特 点
出铁槽孕育	将孕育剂置于出铁槽内, 出铁时将其冲入包内	工艺简便, 孕育剂用量大, 孕育衰退快
浮硅孕育	扒渣后在铁液表面放上硅铁块, 待其熔化摊开后浇注	浇注时, 表面富硅层与下部铁液同时流入铸型, 减少衰退, 孕育剂用量少
浇口杯孕育	将硅铁颗粒放入浇口杯内, 浇口杯充满铁液后拔塞浇注	几乎无孕育衰退, 孕育剂用量少, 需专用浇口杯
孕育丝孕育	将孕育剂包在铁丝外面(或薄铁皮里面), 浇注时加到直浇道中	工艺复杂, 需控制铁丝给料过程及铁丝熔解速度, 孕育剂用量少, 几乎不衰退
气力给料孕育	用密闭给料系统将孕育剂定量送入给料室, 用低压空气喷入铁液中	孕育剂用量少, 孕育效果好, 几乎不衰退, 工艺复杂, 用在流水线上
型内孕育	在浇注系统内放细铁粒, 浇注时将其冲入型腔	孕育效果好, 无衰退, 铁液温度与孕育剂粒度配合要求高

4·1·4 灰铸铁炉前检验<sup>[49]</sup>

炉前检验包括铁液温度、化学成分及孕育效果的检验。表 2·7-22 列举了铁液温度的几种检验方法和特点。预计随着测温精度的提高, 非接触式测温法的应用将会扩大。目前广泛采用的是热电偶测温法。

表 2·7-22 检测铁液温度的方法

测温方式	原 理	特 点
接触式 (热电高温计)	感温原件直接与铁液接触, 感受铁液温度	精度高, 成本低
非接触式 (全辐射高温计、光导测温计等)	利用多种物理原理, 即温度与热辐射、气体对流等的关系测温	测量上限高, 速度快, 成本低, 但有些方法测量误差大

表 2·7-23 检测铁液化学成分的方法

方 法	原 理	特 点
化学分析法	利用化学方法(各元素的化学性质)分析各元素成分	精度高, 速度慢, 成本低, 不能用于炉前快速分析, 可用于检验其他方法的精度
热分析法、微分热分析法	快速检测铁液凝固特征曲线或微分曲线, 经过处理得出元素含量	只能测碳、硅含量, 设备投资较低, 速度快, 方法简便, 还可检测组织球化、磷化和孕育情况, 易受外界条件影响
光谱分析法、发射光谱仪、X射线荧光分析仪、多功能光谱仪等	利用各元素光学性质不同(如吸收光谱、发射光谱等)通过测定各元素特征谱线的强度, 求得元素的含量	速度快, 可在一分至几分钟内检测多种元素(二十几种), 可满足炉前快速检测需要, 设备投资高, 要求有与被测铁液化学成分相近的标样



铁液化学成分的检验方法和特点见表 2·7-23。  
孕育效果的检验可采用热分析法和炉前三角试片

法。三角试片法应严格操作规程,试片的白口宽度与铸  
铁牌号关系见表 2·7-24。

表 2·7-24 三角试片白口宽度与灰铸铁牌号的关系

牌 号	HT100	HT150	HT200	HT250	HT300	HT350
三角试片白口宽度(mm)	0~2	2~3.5	3.5~5	5~6.5	6.5~8	8~15
孕育前后白口宽度比				1.5:1	2:1	2.8:1

#### 4·2 球墨铸铁和蠕墨铸铁熔炼

球墨铸铁是铁液经球化处理,石墨结晶呈球状,有时有少量呈团絮状等形态的铸铁;蠕墨铸铁则是铁液经蠕化处理,石墨大部分呈蠕虫状,有时小部分呈球状的铸铁。两者熔炼方法基本相同。

##### 4·2·1 球墨铸铁和蠕墨铸铁化学成分选择与配料

球墨铸铁和蠕墨铸铁化学成分见表 2·7-25。

表 2·7-25 球墨铸铁和蠕墨铸铁

化学成分的质量分数 (%)

元 素	C	Si	Mn	P	S
球墨铸铁	3.5~3.9	2.0~3.1	0.3~0.8	<0.08	<0.03
蠕墨铸铁	3.6~3.8	2.0~3.0	0.2~0.8	<0.08	≤0.03

化学成分与铸件壁厚和基体种类有关,珠光体基体硅取值偏下限,锰偏上限。

球墨铸铁和蠕墨铸铁配料时,要求生铁占的比例大,且生铁中硫、磷、硅、锰含量低,有害杂质少,不宜用合金钢,要采用本牌号的回炉料。炉料配比见表 2·7-26。

表 2·7-26 球墨铸铁和蠕墨铸铁

炉料质量配比 (%)

炉 料	生 铁	废 钢	回 炉 料
加入量	50~60	5~15	20~40

##### 4·2·2 球墨铸铁和蠕墨铸铁熔炼工艺

球墨铸铁和蠕墨铸铁要求原铁液出炉温度高、低氧化性、低含硫量。熔炼用炉有:冲天炉、电弧炉、感应炉等。最好采用电炉或冲天炉-电炉双联熔炼。铁液出炉温度 1440~1500℃。

用酸性冲天炉熔炼球墨铸铁和蠕墨铸铁时,为控制铁液含硫量,除注意选择炉料和用低硫焦炭及采用炉内加电石脱硫外,还用以下几种炉外脱硫方法。

(1)包内冲入法。将苏打粉加入包内或由出铁槽冲

入包内。苏打粉加入质量为铁液的 0.3%~0.5%。该法使铁液降温多,脱硫效果不显著。有些工厂采用加入占铁液的 0.2%电石粉+0.4%苏打粉或再加入 0.15%冰晶石粉进行处理,有一定效果。

(2)多孔塞气动脱硫法。将多孔塞置于包底,通过多孔塞将气体(通常用氮气)吹入铁液,使铁液循环翻动,将撒在铁液上面的脱硫剂带入铁液中(见图 2·7-3)。该法气体消耗及降温都少,目前应用较多。硫可自 0.10%脱至 0.01%。

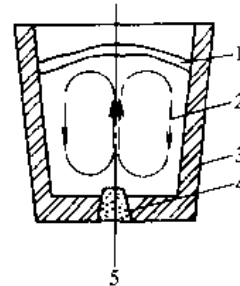


图 2·7-3 铁液在装有多孔塞的包内循环

1 电石粉(脱硫剂) 2—铁液循环方向 3 铁液包  
4—多孔塞 5—吹气

(3)摇包脱硫法。利用摇包的偏心旋转运动,使铁液不断地翻转脱硫剂颗粒,造成铁液与脱硫剂充分接触(图 2·7-4)。加入占铁液的 1.1%~1.6%电石,摇动 4~5min,硫量的质量分数由 0.13%降至 0.02%以

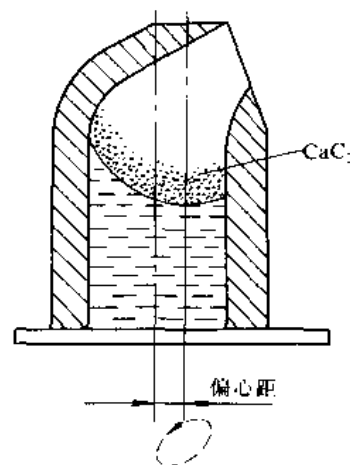


图 2·7-4 摇包脱硫示意图





下。该法脱硫率高，降温大，适用于处理1t以上且温度在1450℃以上的铁液。

(4)冲天炉连续脱硫。适用于冲天炉-感应电炉双联熔炼，工艺流程见图2-7-5。

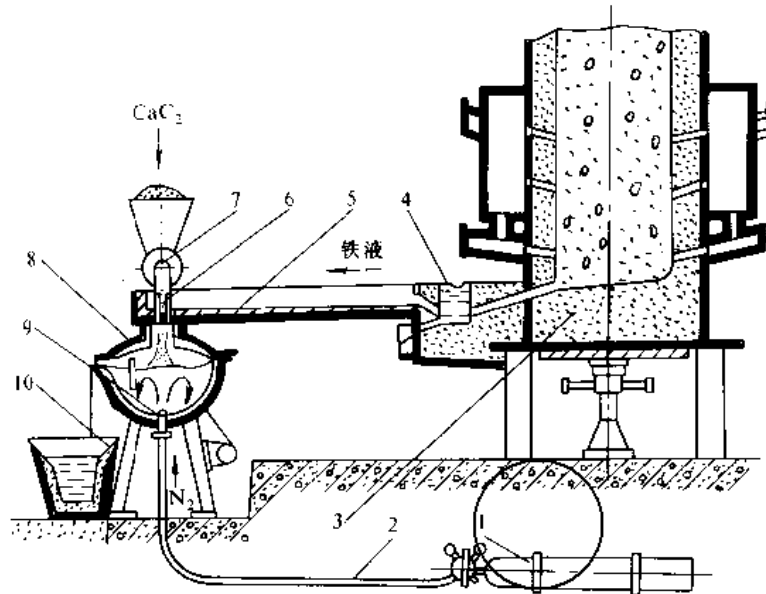


图 2-7-5 冲天炉连续脱硫工艺流程图

1—氮气瓶 2 软管 3—冲天炉 4—瓶渣器 5 铁液槽 6—石墨管  
7—螺旋给料器 8—电动转包 9—多孔塞装置 10 铁液包

### 4.2.3 球化和蠕化处理

1. 球化剂和蠕化剂 常用的球化剂和蠕化剂见表 2-7-27 和 2-7-28。

国内多采用稀土硅铁镁合金做球化剂，国外常用硅铁镁合金；国内多以稀土硅铁合金为蠕化剂，国外一般用镁钒钨钙复合蠕化剂和稀土混合金属蠕化剂。

球化剂和蠕化剂加入量与原铁液含硫量的关系见表 2-7-29。此外，加入量还与铸件壁厚有关。球化剂和蠕化剂粒度为 7~20mm。

2. 球化和蠕化处理方法 有冲入法、压入法、压力加镁法、型内球化法及转包法等。生产上多采用冲入法处理：用堤坝式和凹坑式处理包，先将球化剂或蠕化剂放入包底，加覆盖剂，将铁液的 2/3 冲入包内，反应

表 2-7-27 常用球化剂

球化剂	成分的质量分数 (%)	应用范围
纯 镁	Mg100	要求动载荷性能高和增硅少的铸件
稀土硅 铁 镁	RE0.5~20, Mg5~12, Si35~45, Ca<5, Al<0.5 余为 Fe	多数铸件用，有良好的抗干扰元素、脱硫、减少黑渣、缩松的作用
稀土硅铁镁钨	RE6~8, Mg3~4, Ca10~13, Si50~55 余为 Fe	易获得铁素体球墨铸铁，需用助熔剂和引爆剂
钇基重稀土	钇基重稀土氧化物 20~35 (Y 占稀土总质量的 55%~60%) Si40~45, Ca5~8	大断面重型铸件用，抗球化衰退能力强
铜 镁	Cu80 Mg20	大型珠光体基体铸件



表 2·7-28 常用蠕化剂

蠕化剂	主要成分的质量分数 (%)								应用范围
	RE	Al	Si	Mg	Ti	Ca	Fe	Mn	
镁钛合金	Ce0.25 ~0.35	1.0 ~1.5	48 ~52	4.0 ~5.0	8.5 ~10.5	4.0 ~5.5	余		适用接近共晶成分,大量生产, $\alpha_{Fe} < 0.03\%$ 的铁液
稀土硅铁合金	20~32		<45	<1		<5	余		适用冲天炉、电炉熔炼,生产中大件
稀土钙硅铁合金	12~15		40~50	<2		12~15	余		电炉熔炼,高温、低硫、薄、小件
钙镁硅铁合金	<2		45	3		15	余		适用薄、小件
稀土硅钙合金	11.59	1.10	56.54	0.61	0.93	14.27	9.01	0.56	适用于薄、小件
稀土硅铁镁合金	6~8		40~45	7~9		<4	余		合金适宜加入量范围窄,有的厂与稀土钙复合处理

表 2·7-29 蠕化剂、球化剂加入量与原铁液中硫含量的关系 (%)

原铁液中硫含量的质量分数	<0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11
蠕墨铸铁 RE 临界 <sup>①</sup>		0.176	0.210	0.246	0.280	0.315	0.350	0.384	0.421	0.462
蠕墨铸铁 稀土(25)硅铁 加入量(质量分数) ≥		0.70	0.84	0.98	1.12	1.26	1.40	1.54	1.70	1.85
稀土硅铁镁球化剂加入量 (质量分数)	0.6~0.8	0.8~1.1		1.1~1.3		1.3~1.8				

① RE 临界为用稀土蠕化剂处理时的稀土临界加入量的质量分数。

完毕后,冲入其余 1/3 铁液。该法工艺简单,但铁液降温多,球化到浇注间隔时间长,球化易衰退。型内球化处理法是在浇注系统内设反应室,将球化剂置于其中,浇注过程中在型内进行球化反应。该法球化效果好,工艺较复杂,易形成夹渣。采用纯镁做球化剂时,用压力加镁法、转包法处理。对含镁较高的球化剂和蠕化剂可采用压入法处理。

#### 4·2·4 孕育处理

球化和蠕化处理,进行孕育处理,一般采用 Fe-Si75 孕育剂。孕育方法一般用冲入法:待球化和蠕化反应完毕后,由余下的 1/3 铁水将孕育剂冲入包内,搅拌、扒渣、浇注。冲入法孕育剂的加入量和粒度见表 2·7-30。瞬时孕育用粒度 1~3mm 的 FeSi75,加入量(质量分数)为 0.1%~0.3%。

表 2·7-30 球墨铸铁和蠕墨铸铁孕育剂加入量和粒度

铸铁种类	铁素体球墨铸铁	珠光体球墨铸铁	蠕墨铸铁
	孕育剂(FeSi75)加入量(质量分数)	0.8~1.50	
孕育剂(FeSi75)粒度(mm)	3~10	3~10	2~8

#### 4·2·5 炉前检验

球墨铸铁、蠕墨铸铁的炉前检验包括铁液温度、成分、球化、蠕化及孕育效果等。铁液成分和温度的检验方法与灰铸铁相同。检测球化率最常用的方法为炉前三角试片法及快速金相检验,也可用快速热分析法。孕育效果可通过热分析法和微分热分析法来检验。图 2·7



-6为球化和蠕化良好的三角试片断口示意图,表2·7-31为球化效果与三角试片断口特征的关系。

蠕化处理,三角试片断口特征可分三种情况:(1)蠕化良好,如图2·7-6b;(2)蠕化不良或失败,断口呈黑灰色,无凹缩;(3)球墨过多断口与图2·7-6a类似。

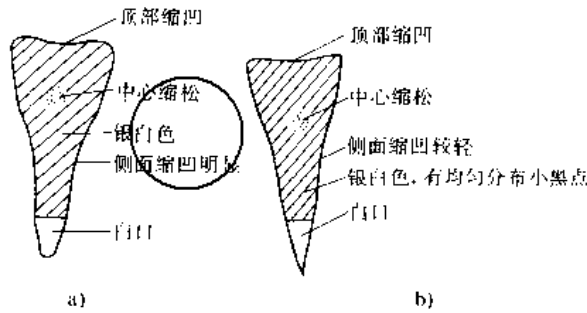


图2·7-6 球化和蠕化良好的试样断口  
a) 球化良好试样 b) 蠕化良好试样

表2·7-31 球化效果与三角试片断口特征的关系

球化情况	三角试片断口特征
良好	断口呈银白色,组织细,中心有疏松,两侧和顶部有缩凹,尖角白口清晰
不良	断口呈银灰色,夹有分散黑点,愈往中心愈多,其他球化特征不明显
不球化	断口呈暗灰色或黑麻断面,其他球化特征不明显
球化,但孕育不足	断口呈麻口或白口,晶粒呈放射状

### 4·3 可锻铸铁熔炼

可锻铸铁分为黑心可锻铸铁(铁素体可锻铸铁)、

表2·7-32 可锻铸铁的分类

可锻铸铁种类	退火条件	金相组织
黑心可锻铸铁	在中性介质中退火	主要是铁素体基体+团絮状石墨
珠光体可锻铸铁	在中性介质中退火	主要是珠光体基体+团絮状石墨
白心可锻铸铁	在氧化性介质中脱碳退火	薄断面(<6mm): 外层铁素体,心部有珠光体 较厚断面(6~15mm): 外层铁素体,心部有珠光体+团絮状石墨+(有时有)少量渗碳体

珠光体可锻铸铁和白心可锻铸铁(表2·7-32),国内主要生产黑心可锻铸铁和少量珠光体可锻铸铁;国外仍生产一些白心可锻铸铁。

### 4·3·1 可锻铸铁化学成分选择

可锻铸铁化学成分见表2·7-33,特点是:碳当量低,要考虑缩短退火周期,并要兼顾铸造性能和力学性能。

表2·7-33 可锻铸铁的化学成分的质量分数 (%)

元素	C	Si	Mn	P	S
黑心可锻铸铁	2.2~3.1	0.7~1.5	0.3~0.6	<0.2	0.12~0.18
珠光体可锻铸铁	2.3~2.8	1.3~2.0	0.4~0.65	<0.1	<0.2
白心可锻铸铁	2.8~3.4	0.7~1.1	0.4~0.7	<0.2	<0.2

一般碳、硅含量与铸件尺寸、孕育剂种类有关,碳硅总量为3.8%~4.2%。白心可锻铸铁对成分要求范围较宽。

### 4·3·2 可锻铸铁的熔炼工艺

要求获得高温、低碳铁液,铁液出炉温度1440~1460℃。熔炼设备为冲天炉、反射炉、电弧炉或冲天炉-感应电炉双联熔炼,最理想的是电炉。目前,生产上多用冲天炉熔炼,要求炉缸低(150~180mm),设有前炉,热风,大风量,高风压等,底焦高度控制在下限,采用低碳炉料。表2·7-34为生产可锻铸铁的配料,当回炉料不足时,可加10%~15%生铁。

表2·7-34 常用可锻铸铁质量配料(%)

牌 号	金属炉料		铁 合 金	
	废 钢	回炉料	硅铁 (FeSi75)	锰铁 (FeMn65C7.5)
KTH370-12	55~65	35~45	1.6~1.8	0.9~1.2
KTH350-10	50~60	40~50	1.5~1.6	0.9~1.2
KTH330-08	40~50	50~60	1.3~1.5	0.8~1.1
KTH300-06	35~45	55~65	1.1~1.3	0.8~1.1



4.3.3 可锻铸铁的孕育处理

孕育处理是铸态获全白口毛坯和缩短退火周期的措施，常用孕育剂见表 2·7-35，其中铝和稀土的作用

是脱氧、脱硫、增加石墨核心；硼促进退火石墨化；铋阻碍铸态石墨化。一般多采用复合孕育，其中硅铋孕育效果最佳，硼铋铝适用于厚大件快速退火。孕育方法一般为炉前加入法。

表 2·7-35 可锻铸铁常用孕育剂

孕育剂	Bi	Si-Bi 或高硅加铋	Al	Bi-Al	B-Bi	B-Bi-Al	1 <sup>#</sup> 稀土合金-Bi	Si-Sb
加入量 (质量分数) (%)	0.01~0.02	Bi0.006 ~0.008 终 Si1.5 ~1.8	0.005 ~0.015 C: 2.4~ 2.7, Si<1.5	Al: 0.005 ~0.015 Bi: 0.005 ~0.010	B: 0.0015 ~0.0025 Bi: 0.005 ~0.008	B: 0.001 ~0.0025 Bi: 0.006 ~0.010 Al: 0.008 ~0.012	1 <sup>#</sup> 合金: 0.2~0.4 Bi: 0.004 ~0.008	Sb0.003 ~0.005 终 Si (1.3 ~1.5)% Sb0.005 ~0.010 终 Si (1.5 ~1.7)%
特点	处理后在 8~10min 内浇完	稍加大冒 口	铝过量石 墨形式恶 化, 易缩松	与低温处 理配合效果 更好 Si>1.3%	适用于高 硅铁液	缩短退火 时间, Si> 1.3%效果 更好	净化铁液 加速退火	成本低, 加入时应搅 拌

4.3.4 可锻铸铁炉前检验

检验内容包括铁液温度、化学成分及铸态白口组织。温度与成分的检验方法与灰铸铁相同；对组织的检验一般采用炉前三角试片法观察断口。铸件壁厚与试样白口宽度的关系见表 2·7-36，也可用圆柱形试样检验断口。

若断口白口宽度过小则可补加铋，若断口为全灰口，则铁液成分不合格。

表 2·7-36 可锻铸铁件壁厚与三角试样白口宽度的关系 (mm)

铸件壁厚	5~10	10~15	15~20	20~25
三角试样白口宽度	8	12	18	22

4.3.5 缩短可锻铸铁退火周期方法 (表 2·7-37)

表 2·7-37 缩短可锻铸铁退火周期的方法

调整化学成分	增加白口件中碳、硅含量，严格控制铬、钒、砷、硫的含量，减少气体含量
细化组织	加微量硼、铝、锆、镁、稀土等元素，增加石墨核心，铁液过热，增加激冷，细化晶粒
改善退火炉	提高炉子升温 and 冷却能力，实行自动控制，增加炉子保温能力，炉温均匀，中性气氛退火时可不用退火箱
改善退火工艺	适当缩短升温时间；预温处理，预淬火，用液体介质加热；锌气氛退火；在退火箱中心装锌块，可缩短退火周期 1/3~1/2

4.4 特种铸铁熔炼

特种铸铁也称合金铸铁，按使用性能不同分为耐磨铸铁（包括减磨铸铁和抗磨铸铁）、耐热铸铁、耐蚀铸铁。常用特种铸铁系列见表 2·7-38。合金种类与合金元素不同对熔炼要求不同，一般抗磨白口铸铁和高



硅耐蚀铸铁宜在电炉里熔制。用冲天炉熔炼合金铸铁，要防止串料。对易氧化、吸气的铸铁，熔炼速度要快。

特种铸铁的熔炼特点见表 2·7-39。该类铸铁的炉前检验与前述几类铸铁相同，除 C、Si、Mn、P、S 五

元素含量外，最重要的是检测合金元素的含量。灰铸铁的炉前检验方法均适于特种铸铁。特种铸铁熔炼的关键问题是选择合适的合金元素加入方法，一般均以铁合金的形式加入。

表 2·7-38 特种铸铁分类及应用

种类	系列	主要合金元素	用途
减磨铸铁	磷系	P, Cu, Cr, V, Mo, Ti, Sb	在润滑条件下工作，如机床导轨、轴承、汽缸套等
	钒钛系	V, Ti, RE, Cu	
	硼系	B, P, Sb	
	镍铬系	Ni, Cr, Mo	
抗磨铸铁	铬系白口铸铁	Cr, Mo, Ni, V, Ti, RE	有冲击情况下的抗磨件如：抛丸机叶片、球磨机衬板、磨球、杂质泵零件等
	硼系白口铸铁	B, Cu	
	锰系白口铸铁	Mn, Cr, W, Mo, RE	
	钼钒白口铸铁	Mo, V, Bi	
耐热铸铁	中硅耐热铸铁	Si (5.0%~6.0%) ①, Cr,	能承受动载和温度急变
	中硅球墨铸铁	Si (3.5%~6.5%) ①, RE, Mg	
	铝系耐热铸铁	Al	用于空气及炉气介质
	铬系耐热铸铁	Cr	能承受一定动载
耐蚀铸铁	高硅耐蚀铸铁	Si	用于还原性酸以外的耐酸件
	高铝耐蚀铸铁	Al	用于碱类溶液
	高铬耐蚀铸铁	Cr	用于还原性酸以外的酸类
	高硅钼铸铁	Si, Mo	用于各种酸类
	高镍耐蚀铸铁	Ni	用于高温浓烧碱、海水、还原酸

① 为 Si 的质量分数。

表 2·7-39 特种铸铁熔炼特点

种类	熔炼特点
减磨铸铁	可采用各种熔炼设备。磷铁、低硅钛铁、硼铁等可在炉料中加入，但要采取措施防止合金氧化。低熔点合金，或加入量甚微时，可在浇包中加入，或由出铁槽冲入。铁液出炉温度在 1400℃ 左右。用 FeSi75 粉 (0.5%) ① 或焦炭粉孕育
抗磨铸铁	配料时废钢含量高，最好用电炉熔制。铁合金根据不同性质和加入量，可在炉料中加入、炉料熔清时加入、或炉前加入。铁液出炉温度高，一般通过观察炉前三角试片白口宽度预测铁液成分
耐热铸铁	熔炼工艺与一般铸铁相同。铬铁可在炉前和炉后加入，最好在炉前冲入包内。硅铁一般在炉后加入，要防止串料。铝采用炉前冲入法加入。炉前加 FeSi75 孕育。一般要检验 Si、Al、Cr 等合金元素的成分
耐蚀铸铁	高硅耐蚀铸铁宜在电炉中熔制，也可用坩埚炉、冲天炉-电炉双联熔炼。铝冲入铁液后，要使形成的氧化物或石墨充分上浮、去除。为防止吸氢，这类铸铁要求熔化速度快，避免过热。炉前可加稀土 0.15% ① 净化铁液。浇注温度 1260~1280℃

① 指质量分数。



## 第8章 非铁铸造合金熔炼<sup>[50][51]</sup>

### 1 非铁铸造合金熔炼设备

非铁铸造合金熔炼中,合金元素容易氧化烧损,并容易吸气。故非铁铸造合金熔炼炉,应保证金属炉

料快速熔化,使合金液迅速达到所需过热温度,合金元素的烧损,燃料及电能消耗尽可能少,炉龄要长,操作力求简便。常用熔炉的特点及应用范围见表2-8-1。

表 2-8-1 常用熔炉的特点及应用范围

名称	特点	应用范围
焦炭坩埚炉	结构简单,使用维修方便,可进行变质和精炼处理;炉温较难控制,金属烧损严重,合金吸气量大,容量小,燃料消耗多,效率低	小规模熔化铜、铝、锌合金及铋、铝中间合金。熔化铜合金使用石墨坩埚,铝、锌则用铸铁坩埚
煤气坩埚炉	使用灵活,温度易于控制,熔化效率高,烧损较小,出炉方便;使用寿命不长,燃料消耗大,容量一般小于500kg	熔化铜、铝、锌合金
电阻加热坩埚炉	设备简单,控温较准确,金属烧损少,可倾式出炉方便,可进行精炼和变质处理;熔炼时间长,耗电多,容量30~400kg	熔化铝、锌等低熔点合金
红外熔炼炉	温度场均匀,温度可任意调节,热效率高,容量15~250kg	熔化铝、铜合金
火焰反射炉	炉子容量大(几百公斤到几十吨),使用期限长;金属烧损大(5%),合金液及温度不均匀,不宜经常更换合金牌号,燃料耗用大;可进行精炼和变质处理,固体、液体、气体燃料都可用,容量小的可做可倾式	大规模熔化铜、铜合金,尤适用于重熔大尺寸回炉料
电阻反射炉	金属烧损少(约1.5%),增铁量低,使用期限长;不能采用腐蚀性熔剂,耗电量大,电阻加热器容易损坏;电热元件有电阻丝和碳硅棒两种,容量1~10t	适于大规模熔化铝、镁合金
单相电阻炉	炉子温度高,生产率高,金属烧损低,无噪声,合金质量高,劳动条件好;耗电量大	成批熔化铜合金
有芯感应电炉	生产率高,耗电率低,辅助设备简便;修筑炉衬工艺复杂,不能用熔剂及变质处理,以免堵塞炉沟;容量0.3~30t	连续熔化铜、铝、锌合金
无芯感应电炉	生产率高,合金液温度均匀,可进行氯气或氯盐精炼,使用方便,劳动条件好;辅助设备庞大,需移相变压器和大量电容器;坩埚可用耐火材料捣结,或用成型材料组合,容量0.3~40t。铁坩埚无芯感应电炉是一种新型非铁合金熔炼设备	熔炼铜、铝、锌合金,可在炉内精炼处理
快速熔化炉(1)	分竖炉、熔化区和升温熔池三部分,热效率可达42%~60%,可连续熔化一质	熔炼铝合金

1. 摘自林汉同主编,《日本现代铸造技术》,上海:上海经济区铸造协会,全国可锻铸铁科技情报网,1990,436页。



## 2 非铁铸造合金用炉料

### 2.1 原金属材料

原金属材料是由冶金工厂生产供应的纯金属及一次合金。牌号及化学成分查阅国家标准。

### 2.2 回炉料

回炉料的分级及应用见表 2·8-2。

表 2·8-2 回炉料的分级及应用

级别	材 料	质 量	用 途
1级	废铸件、浇冒口、出气口等大块料	具有比较固定的化学成分, 质量较高	清理后直接用于熔制工作合金
2级	切屑、溅块等小块料	杂质较多	加入一些新金属炉料, 重熔浇铸, 用于熔制要求不高的工作合金
3级	废屑、熔渣	杂质严重, 含气最多	一般限制使用

为了保证铸件质量, 回炉料使用比例不超过总重量的 85%。铸造重要零件时, 限制在 60% 以下。二级回炉料更要严格限制用量。

### 2.3 中间合金

为了将一些难熔元素加入到合金中去, 获得化学成分准确而均匀的合金, 为降低难熔元素加入时金属液的过热温度, 或避免某些组元与合金本身起放热反应而使合金过热, 必须使用中间合金。铝基中间合金牌号和化学成分见表 2·8-3, 铜基中间合金牌号和化学成分见表 2·8-4。

熔制中间合金常用的方法有:

1. **直接熔合法** 将难熔金属溶于铝液; 或先熔化难熔的金属, 再加入铝液; 或将两种金属分别熔化, 然后混合。

2. **化合物还原法(金属氧化物或其盐类还原法)** 将铝液过热并将金属氧化物或其盐类撒入, 由铝溶解并还原该金属氧化物。

表 2·8-3 铝基中间合金牌号和化学成分

序号	牌 号	化学成分的质量分数 (%)											物理性能			
		铜	硅	锰	钛	镍	铬	铌	锆	铈	铁	铍	铝	熔化温度 (°C)	特性	
1	AlCu50	48.0~52.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	余量	570~600	脆
2	AlSi24	—	22.0~26.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	余量	700~800	脆
3	AlSi20	—	18.0~21.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	余量	640~700	脆
4	AlMn10	—	—	9.0~11.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	余量	770~830	韧
5	AlTi4	—	—	—	3.0~5.0	—	—	—	—	—	—	—	—	余量	1020~1070	易偏析
6	AlTi5	—	—	—	4.5~6.0	—	—	—	—	—	—	—	—	余量	1050~1100	易偏析
7	AlNi10	—	—	—	—	9.0~11.0	—	—	—	—	—	—	—	余量	680~730	韧
8	AlCr2	—	—	—	—	—	2.0~3.0	—	—	—	—	—	—	余量	900~1000	易偏析
9	AlB3	—	—	—	—	—	—	2.5~3.5	—	—	—	—	—	余量	800	韧
10	AlB1	—	—	—	—	—	—	0.5~1.5	—	—	—	—	—	余量	800	韧
11	AlZr4	—	—	—	—	—	—	—	3.0~5.0	—	—	—	—	余量	800~850	易偏析
12	AlSb4	—	—	—	—	—	—	—	—	3.0~5.0	—	—	—	余量	660	易偏析
13	AlFe20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18.0~22.0	—	—	余量	1020	脆
14	AlTi5B1	—	—	—	5.0~6.2	—	—	0.9~1.4	—	—	—	—	—	余量	800	易偏析
15	AlBe3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.0~4.0	—	余量	820	韧



表 2·8-4 铜基中间合金牌号及化学成分

序号	牌 号	化学成分的质量分数 (%)									物理性能	
		硅	锰	镍	铁	锡	铍	磷	镁	铜	熔化温度 (°C)	特性
1	CuSi16	13.5~16.5	—	—	—	—	—	—	—	余量	800	脆
2	CuMn28	—	25.0~30.0	—	—	—	—	—	—	余量	870	韧
3	CuMn22	—	20.0~25.0	—	—	—	—	—	—	余量	850~900	韧
4	CuNi15	—	—	14.0~18.0	—	—	—	—	—	余量	1050~1200	韧
5	CuFe10	—	—	—	9.0~11.0	—	—	—	—	余量	1300~1400	韧
6	CuFe5	—	—	—	4.0~6.0	—	—	—	—	余量	1200~1300	韧
7	CuSb50	—	—	—	—	49.0~51.0	—	—	—	余量	680	脆
8	CuBe4	—	—	—	—	—	3.8~4.3	—	—	余量	1100~1200	韧
9	CuP14	—	—	—	—	—	—	13.0~15.0	—	余量	900~1020	脆
10	CuP12	—	—	—	—	—	—	11.0~13.0	—	余量	900~1020	脆
11	CuP10	—	—	—	—	—	—	9.0~11.0	—	余量	900~1020	脆
12	CuP8	—	—	—	—	—	—	8.0~9.0	—	余量	900~1020	脆
13	CuMg20	—	—	—	—	—	—	—	17.0~23.0	余量	1000~1100	脆
14	CuMg10	—	—	—	—	—	—	—	9.0~11.0	余量	750~800	脆

注：作为脱氧剂用的 CuP14、CuP12、CuP10、CuP8，其杂质 Fe 的含量可允许  $\leq 0.3\%$ 。

### 3 铸造铝合金熔炼<sup>[52][53]</sup>

#### 3.1 铝合金的精炼处理

精炼处理是铝合金熔炼工艺中的重要环节，其目的在于去除铝液中的氢和氧化夹杂。

精炼方法有如下几类：

- (1) 加入氟盐（如  $ZnCl_2$ 、 $MnCl_2$ 、 $C_2Cl_6$  等）。
- (2) 通入惰性气体（如 Ar、 $N_2$  等）。
- (3) 通入氟气。

#### (4) 真空处理。

生产中还常应用上述方法中的某两种结合在一起的联合精炼方法，比如 氟气-氟气，真空-六氟乙烷，惰性气体-氟，氟盐，等。为了增大精炼介质与熔体的接触面积，改善精炼的动力学条件，近年来国内外相继推出多种精炼方法，如 两气或三气法，多孔吹头法，旋转喷吹 (SNIF) 法，高效熔剂法，喷吹熔剂法等。

部分除气精炼工艺说明于表 2·8-5。



表 2·8-5 铸造铝合金除气精炼工艺方法

精炼方法	基本原理	处理工艺	备注
氯 盐	当氯化锌、氯化锰、六氯乙烷等被压入铝液时，分别与铝发生如下的反应： $3\text{ZnCl}_2 + 2\text{Al} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Zn}$ $3\text{MnCl}_2 + 2\text{Al} = 2\text{AlCl}_3 + 3\text{Mn}$ $3\text{C}_2\text{Cl}_6 + 2\text{Al} = 3\text{C}_2\text{Cl}_4 + 2\text{AlCl}_3$ 生成的 $\text{C}_2\text{Cl}_4$ 、 $\text{AlCl}_3$ 等物质在熔炼条件下都是气体，自铝液底部上浮的过程中起到除气精炼的作用	1. 处理温度：690~720℃ 2. 加入量为炉料总量的 0.10%~0.20% 3. 加入方法：用铝箔包好，以钟罩压入，并在距坩埚底部约 100mm 处缓慢水平移动	1. 使用前氯盐必须烘干 2. $\text{C}_2\text{Cl}_6$ 具有较好的除气效果，为延长作用时间和加强除渣作用，可加入经 350~400℃ 烘干的氯硼酸钠，均匀混合制成饼状
通 氮 法	氮以气泡的形式自铝液的底部向上浮起时，由于在气泡和铝液的接触界面上存在氮的分压差，合金中的氢不断地进入气泡，当气泡上升到液面后，氮亦随之逸入大气中，去氢的同时，还吸附了氧气夹杂一同浮到液面	1. 调节气体的压力和流量以不发生飞溅为原则 2. 处理温度：690~720℃，除气精炼管在插入铝液前应先接通氮气，管的下端在距坩埚底 100mm 左右处做缓慢水平移动 3. 根据合金量的多少，洁净程度，通气时间在 5~10min 4. 精炼后静置 5~10min 扒渣	1. 如能配合六氯乙烷或氯气，除气效果可以得到改善 2. 对人体无害，不腐蚀设备，精炼过程不会增加夹杂 3. 所用的氮气应严格控制氧的含量和水分
通 氯 法	氯气与铝发生如下化学反应： $3\text{Cl}_2 + 2\text{Al} = 2\text{AlCl}_3$ $\text{Cl}_2 + \text{H}_2 = 2\text{HCl}$ 在熔炼温度下， $\text{AlCl}_3$ 和 $\text{HCl}$ 都是气体物质，它们与氯气在铝液中向上浮起时共同起除气精炼作用	处理工艺同通氮法	1. 除气效果好，成本低，不会增加铝液杂质含量 2. 逸出的氯气对人体有害，腐蚀设备，需加设通风与安全措施
真 空 除 气	氯气在铝液中的溶解度 $S_H$ 和氢分压 $p_H$ 之间存在如下的关系： $S_H = K \sqrt{p_H}$ K—常数 在真空处理时，由于铝液表面压力的降低，氢在铝液中的溶解度随之降低，同时，因为“真空”的建立，使合金的沸点降低，也促使气体在铝液中的溶解度下降，从而起到除气精炼的作用	1. 将温度为 790~820℃ 的铝液置于真空罐中，为增加精炼效果，可在铝液表面撒上二元或三元熔剂 2. 处理的真空度要求为 13.3~66.5Pa，并在此压力下保持 8~10min	1. 精炼效果好，不污染合金，在高温和真空下易挥发的元素烧损大 2. 设备复杂

## 3·2 铝合金的变质处理

铝合金的变质处理主要是指对铝硅合金中的硅相进行细化处理。

共晶、亚共晶铝硅合金主要采用下列方法：

- (1) 钠盐变质；
- (2) 锶变质；
- (3) 稀土变质；
- (4) 铈变质。

有时，还采用钠-锶联合变质的方法。上述变质处理工艺方法的特点见表 2·8-6，常用的钠盐变质剂见

表 2·8-7。

过共晶 Al-Si 合金中的初生硅采用磷变质处理，使其细化。通常磷的加入量为合金液质量的 0.015%~0.02%。经变质处理的过共晶铝硅合金液，可保持 3h 不失效，超过时应补加变质剂。

过共晶合金变质剂的加入方法：直接加入  $\text{PCl}_5$  盐或  $\text{PCl}_5$  和其他盐的混合物；加入赤磷和其他盐的混合物 ( $\text{P}20\% + \text{KCl}70\% + \text{K}_2\text{TiF}_610\%$ )<sup>①</sup>；加入温度为 780℃；或加入磷铜或磷铝中间合金 ( $\text{Al}95\% + \text{P}5\%$ )<sup>②</sup>。

① 其数值皆为质量分数。



表 2·8-6 几种变质处理工艺方法的特点

变质剂	加入量 <sup>①</sup> (%)	处理工艺	优缺点	备注
钠盐	2~3	将变质剂均匀撒在铝液表面覆盖 10~15min, 搅拌 2~3min 扒渣	变质工艺安全可靠, 效果稳定。缺点是加入量大, 变质反应时间长, 对坩埚有一定的侵蚀作用	
铈变质	0.02~0.06	一般在精炼后加入 Al-Sr 中间合金, 变质温度为 720~730℃	变质有效期长达 6~8h, 重熔后仍有变质效果, 缺点是增大铸件针孔倾向, 当铝液中存在氢、氟时与铈反应, 使变质作用消失, 故变质后不宜用氢、氟盐精炼	一般以 Al-5%Sr 或 Al-Si-4.5%Sr <sup>①</sup> 中间合金形式加入
稀土变质	0.03~0.05	可将稀土变质剂同炉料一同投入, 变质温度为 720~740℃	对坩埚无腐蚀作用, 改善铝液的流动性, 对冷却速度比较敏感	多以混合稀土的中间合金形式或盐类形式加入
铋变质	0.1~0.5	变质温度 720~740℃	属长效变质剂, 重熔后仍有变质效果, 对坩埚无腐蚀, 铝液吸气氧化倾向小, 对冷却速度敏感, 适于金属型铸造	一般以 Al-Sb (5%~8%) <sup>①</sup> 中间合金形式加入

① 指质量分数。

表 2·8-7 常用的钠盐变质剂

变质剂名称	化学成分的质量分数 (%)				熔点 (°C)	处理温度 (°C)
	NaF	NaCl	KCl	Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub>		
二元	67	33			730	780~800
	25	62	13		700	725~740
三元	45	10	15		约 800	740~760
	60	25		15	850	730~800
	40	45		15	750	730 左右
四元	30	50	10	10	710	720~750

### 3·3 铝合金的细化处理

铝合金的细化处理主要是指对  $\alpha$ -Al 固溶体的细化。常用的细化元素有 Ti、B、Zr 等。这些元素以它们的盐类 (如  $K_2TiF_6$ ,  $KBF_4$ ,  $K_2ZrF_6$ ), 或与铝制成中间合金的形式加入。它们与铝合金中其他元素作用, 生成高熔点的化合物 ( $TiAl_3$ ,  $ZrAl_3$ ,  $AlB_3$ ,  $TiB_2$  等), 这些化合物在合金结晶时做为外来晶核使组织得到细化。

### 3·4 铝合金的炉前检验

#### 3·4·1 工艺试验法

将铝合金浇注在预热的耐火砖或石墨型中 (规格

950×20mm), 在凝固前用铁片或木片扒去表面氧化皮, 用肉眼直接观察逸出气泡的多少, 以估测合金液中气体含量。

#### 3·4·2 真空凝固法

试验装置见图 2·8-1。取 0.1kg 左右合金液倒入预热的坩埚内, 随即将坩埚置入真空室内, 密封起来。

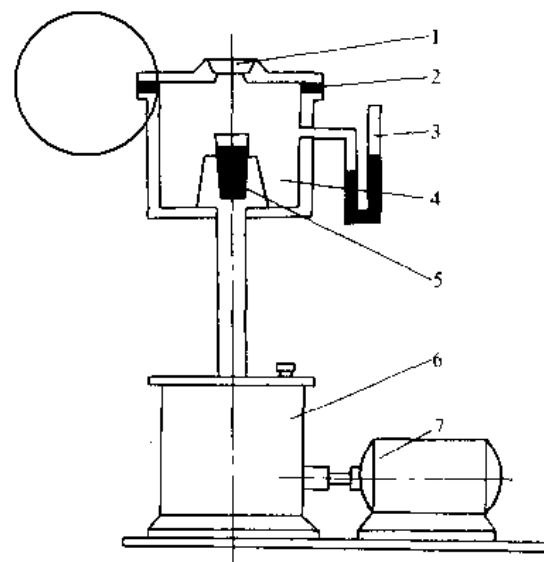


图 2·8-1 真空凝固装置示意图

1—耐热玻璃 2—真空橡皮 3—压力计 4—真空室 5—试样 6—真空泵 7—电机



开动真空泵(真空度通常低于665Pa)。试样凝固后,根据试样表面凸起程度或试样垂直截面气泡数量和分布情况来判断含气量多少。

### 3.4.3 变质效果检验法

变质效果可用断口或弯曲试样来判断,见表2-8-8。

表 2-8-8 变质处理效果与断口和弯曲试样状态的关系

变质效果	断口和弯曲试样状态	保证质量措施
良好	弯角在90°以内不开裂,断口平整,呈银白色细晶组织	应尽快浇完
不足	断口较平整,呈暗灰色,晶粒粗大,硅呈粗大亮点	合金液中少量的钠全部逸出后,重新变质处理
过度	断口不平整,呈青灰色,晶粒粗大,有闪亮白点	在温度允许下,可延长处理后合金液的停留时间再浇注,以便多余的钠逸出

### 3.5 常用铝合金的熔制工艺特点

由于铝合金很易氧化和吸气,熔炼时应快速熔化,尽量避免高温过热;炉料一定要经过预热,金属料应经过喷砂处理;各种熔炼工具也应仔细清理,喷刷涂料并烘烤。熔炼高熔点炉料的合金时(例如高强度铝合金),应尽量采用石墨坩埚,以避免增铁。

#### 3.5.1 铝硅合金熔炼

铝硅类合金的熔炼特点是吸气倾向大,需要进行变质处理,以细化共晶硅或过共晶硅。

【例2-8-1】 ZL104合金(化学成分的质量分数:Si8.0%~10.5%,Mg0.17%~0.30%,Mn0.20%~0.50%,余量为Al)。质量配料可按Si9.5%,Mg0.25%,Mn0.40%计算。硅和锰以中间合金形式加入。装料时可按回炉料、铝锭、中间合金和镁锭的顺序加入。炉料熔清后,升温至680~700℃,用冲罩将镁压入,以防镁烧损严重。合金可用六氯乙烷精炼,其质量分数为0.4%~0.6%,分批加入。精炼温度以730~740℃为佳。精炼后作含气量检查。

变质处理可用质量分数为0.1%~2.0%的四元变质剂,

处理温度为720℃左右,变质剂撒在合金液面上,静置10~12min,再将变质剂压入合金液中40~60mm深处,任其结壳上浮后清渣出炉。浇注温度为690~760℃。

#### 3.5.2 铝镁合金熔炼

由于铝合金中含镁量较高,极易氧化和吸气,必须在熔剂覆盖下快速熔炼,浇注时采用茶壶式浇包。

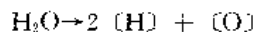
【例2-8-2】 ZL301合金(化学成分的质量分数:Mg9.5%~11.0%,余量为Al)。在预热的坩埚中加入炉料,先加铝锭,熔化后升温到700℃,加质量分数为1%~3%的熔剂覆盖,然后加入镁锭,温度到660~680℃时仔细搅拌。如有金属液面露出,则补加一些覆盖剂,静置3~5min。精炼可用MgCl<sub>2</sub>的质量分数0.1%~0.15%,精炼后在650~680℃扒渣,浇注。

## 4 铸造铜合金熔炼

### 4.1 铜合金的去氢脱氧

#### 4.1.1 铜液去氢

1. 氧化还原法 铜液中的氢主要来自炉气中的水蒸汽。水蒸汽遇到铜液后能分解成原子状态的氢和氧,溶于铜液中。其反应为:



在一定温度下,其平衡常数为:

$$K = \frac{[\text{H}]^2 \cdot [\text{O}]}{p_{\text{H}_2\text{O}}}$$

式中  $[\text{H}]$  —— 氢在铜液中的溶解度;

$[\text{O}]$  —— 氧在铜液中的溶解度;

$p_{\text{H}_2\text{O}}$  —— 炉气中水蒸汽的分压。

氢和氧在铜液中的平衡关系见图2-8-2。因此,在熔铜时可先使铜氧化来降低氢含量,浇注前再进行还原。为使铜液氧化,又避免金属烧损过多,炉内气氛应保持弱氧化性。

氧化还原法适用于纯铜或铜-铅、铜-锡合金,对于已含有与氧亲和力较强的元素Al、Mn、Zn等的铜合金,采用氧化法不仅达不到去氢的目的,且会产生氧化夹杂。如必须采用此法,则须先使铜液氧化还原,然后再加入Al、Mn、Zn等元素。

2. 吹氮法 氮须减压后,通过氯化钙干燥剂除去水分,再由钻有许多小孔的石墨管(或不锈钢管),通入铜液。氮压力为20~40kPa,流量为20~30cm<sup>3</sup>/min,吹氮时间为1.5~3min。此法适用于熔池较深的坩埚炉。反射炉因熔池浅,液面大,吹氮时间需相应延长。



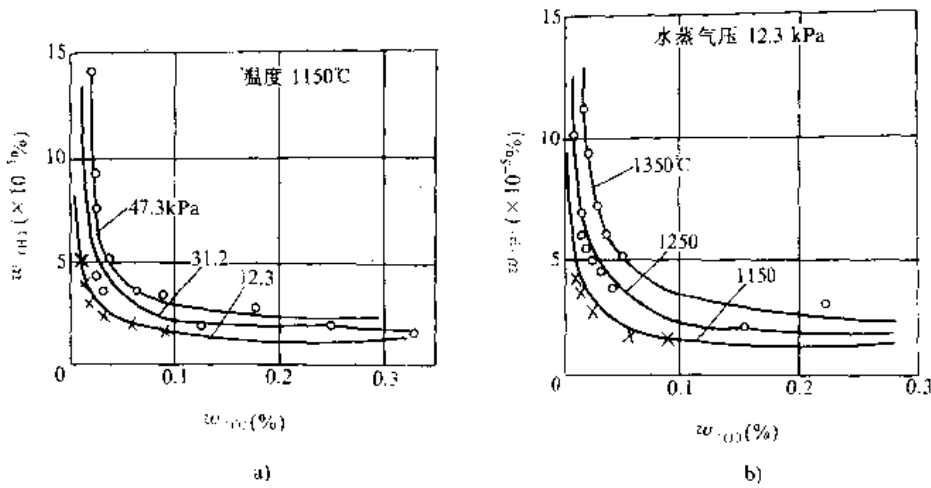


图 2-8-2 铜液中氮氧平衡关系

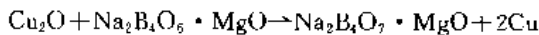
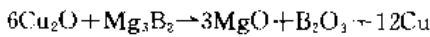
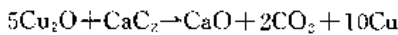
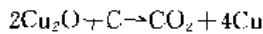
a) 水蒸气分压的影响 b) 温度的影响

$w_{(O)}$ —氧原子的质量分数  $w_{(N)}$ —氮原子的质量分数

### 4.1.2 铜液脱氧

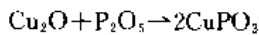
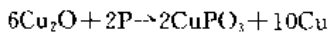
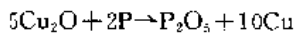
溶解于铜液中的  $Cu_2O$  分解压力较大, 稳定性差, 可用与氧亲和力更大的其他元素使  $Cu_2O$  还原成  $Cu$ , 再设法使新的氧化物从铜液中排除。因此, 对脱氧剂应有以下要求: 新生成的氧化物分解压力应低于  $Cu_2O$ , 且不溶于铜液, 易于排除; 残留的脱氧剂不致损害铜铸件的使用性能; 脱氧剂不稀缺等。脱氧剂分为二类:

(1) 表面脱氧剂。如木炭、碳化钙 ( $CaC_2$ )、硼化镁 ( $Mg_3B_2$ )、硼渣 ( $Na_2B_4O_7 \cdot MgO$ ) 等物质, 其脱氧反应为:



表面脱氧剂不溶于金属液, 可得到高纯度的合金。但反应仅在界面上进行, 速度较慢。

(2) 可溶于金属液的脱氧剂。生产中广泛采用磷脱氧, 反应式为:



$P_2O_5$  和  $CuPO_3$  均不溶于铜液。 $P_2O_5$  在 359°C 升华, 一部分以气泡逸出。 $CuPO_3$  在铜液中呈液态, 比重小, 与铜液不湿润, 易浮出。

$P_2O_5$  还与铜液中难熔的  $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$  等固态夹杂物造渣, 形成液态的  $Al_2O_3 \cdot 3P_2O_5$ 、 $SiO_2 \cdot P_2O_5$  复合物, 容易从铜液中除去, 兼有精炼铜液的作用。

用。

磷通常以磷铜中间合金形式分两次加入, 加入量为铜液质量的 0.2%~0.4%。在纯铜熔化后, 加入磷铜总量的 2/3, 再加入其他合金元素, 浇注前加入剩余的磷铜, 再次脱氧和精炼。

### 4.2 铜合金的熔炼工艺

铜合金的熔炼特点是在保证一定过热温度前提下, 尽可能地快速熔化。加料顺序一般先将难熔和不易氧化的金属, 如铜、铁、锰或其中间合金和回炉料加入预热的炉中。回炉料也可分批, 随熔随加。待炉料全部熔化后, 加入脱氧剂脱氧, 再依次将锌、锡、铅和铝等合金元素缓慢压入铜液, 充分搅拌。最后脱氧, 炉前检验。

几种铜合金的熔化温度和浇注温度见表 2-8-9。

表 2-8-9 几种铜合金的熔化温度及浇注温度

合金种类	熔化温度 (°C)	浇注温度 (°C)
锡青铜	1180~1250	1050~1200
磷青铜	1150~1200	1000~1130
铝青铜	1200~1300	复杂薄壁件 1220 中等件 1150 厚件 1100
普通黄铜	1080~1200	980~1150
特殊黄铜	1050~1100	铸件壁厚 <12mm 1030~1050 12~25mm 1000~1030 >20mm 980~1000 大型 950~980



### 5 铸造钛合金熔炼

钛是非常活泼的金属，在熔融条件下，和氧、氮、氢及碳的反应相当快，其中氧和氮的危害性最大。氧、氮溶于合金液后难以除去，即使微量的氧、氮就能严重降低钛合金的塑性。此外，钛合金在熔炼和铸造过程中极易和坩埚材料、铸型材料发生反应，导致钛合金的污染，因此，钛及其合金的熔炼和铸造必须在较高的真空度或惰性气体（Ar 或 Ne）保护下进行。钛中 O、N、H、C 等杂质元素的允许含量为： $w_O < 0.15\%$ ， $w_N < 0.05\%$ ， $w_H < 0.015\%$ ， $w_C < 0.1\%$ 。熔炼用坩埚是水冷铜坩埚，铸型材料一般采用石墨化石墨（炼钢用石墨）以及再结晶的氧化钽和氧化钙。

钛合金熔炼工艺有三种方式：

**1. 非自耗电极电弧炉熔炼** 合金熔炼在惰性气体保护或真空下进行。图 2·8-3 为非自耗电极电弧炉示意图。该工艺主要用于回收废料和致密块料的熔炼，为自耗电极熔炼制备电极。

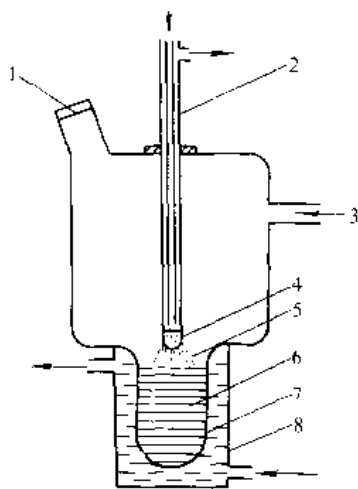


图 2·8-3 非自耗电极电弧炉示意图  
1—观察口 2—水冷电极（阴极） 3—氢气入口 4—电极头 5—电弧 6—熔体 7—铜坩埚 8—冷却水套

**2. 真空自耗电极电弧炉熔炼** 熔炼装置见图 2·8-4。以钛或钛合金制成的自耗电极为阴极，水冷铜坩埚为阳极。熔化了的电极以液滴形式进入坩埚，形成熔池。熔池表面被电弧加热，始终呈液态，底部和坩埚接触的四周受到强制冷却，产生自下而上的结晶。熔池内的金属液凝固后成为钛锭。锭重可达数吨。

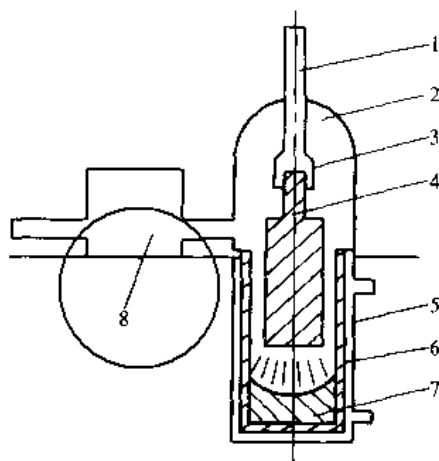


图 2·8-4 真空自耗电极电弧炉熔炼示意图  
1—电极杆 2—炉壳 3—电极夹头 4—电极 5—水套 6—坩埚 7—锭 8—真空泵

**3. 真空自耗电极凝壳炉熔炼** 熔炼装置见图 2·8-5。这种熔炉是在真空自耗电极电弧炉基础上发展起来的一种铸造异形件的炉型。熔炼时，使坩埚壁散热程度恰好能在坩埚底部和周围维持一层由钛合金液凝

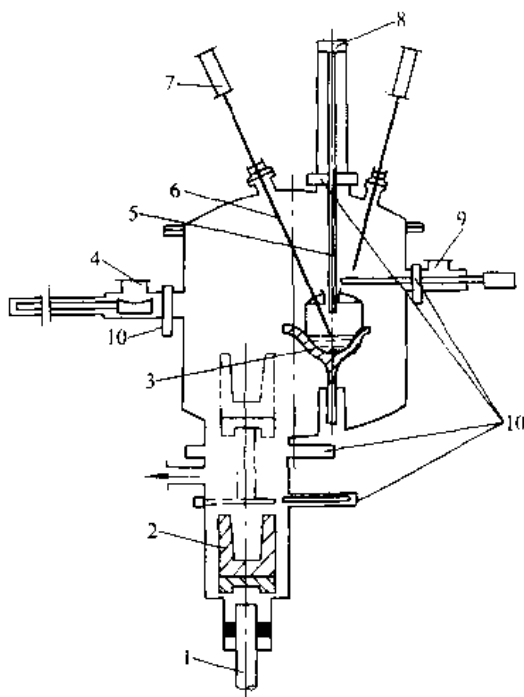


图 2·8-5 真空自耗电极凝壳炉示意图  
1—液压缸活塞 2—铸型 3—凝壳式水冷坩埚 4—装料室 5—自耗电极 6—非自耗电极 7—电极控制装置 8—自耗电极进给机构 9—合金料添加口 10—真空闸阀



结的薄壳,这层薄壳作为坩埚的内衬,在中间形成熔池储存铁液,以备浇注。铸型和离心机放在真空室内。熔化完毕后,熄灭电弧,提升电极,倾转坩埚浇注,从坩埚至浇注完毕,只需3~5s的时间,留在坩埚内一层凝结壳,可作为坩埚内衬继续使用。

## 6 铸造镁合金熔炼

镁同氧生成疏松的氧化膜,不能阻止镁的继续氧化。在熔炼温度下,镁液与氧强烈氧化而燃烧,镁液遇水极易爆炸,引起镁液剧烈飞溅。

一般熔炼镁合金是在熔剂覆盖下进行。但不可避免地还要和大气接触,同大气中的氧、氮及水分反应,生成不溶于镁液、而又难熔的 $MgO$ 、 $Mg_3N_2$ 等化合物,导致铸件非金属夹杂缺陷。此外,镁合金的熔剂属于下部熔剂(密度大于镁液),极易随镁液一起混入铸型中,造成熔剂夹杂。上述两种夹杂物处常伴有缩松和气孔,因此,对镁合金性能影响很大,也是镁合金熔炼工艺中的一个重要问题。

为了防止镁液与大气的反应,在熔炼过程中,始终要有覆盖剂保护。为了去除镁液中的氧化夹杂物,要加入足够数量的精炼剂进行精炼,精炼过程中使镁液产生平稳的循环流动,保证精炼剂能充分吸附夹杂物,尔

后沉淀在坩埚底部。为了提高性能,还可采用细化晶粒处理,所用覆盖剂以氯、氟盐为主。

镁合金熔炼方法基本上分为两种:一种是固定式坩埚熔炼。即在坩埚中熔炼好镁合金后,用浇包到坩埚中舀取镁合金液进行浇注,适用于中小型铸件;另一种是提出式坩埚炉熔炼,即在镁合金熔好后,将盛有镁合金液的坩埚提出,直接用坩埚浇注,适用于大中型铸件。

## 7 铸造锌合金熔炼

锌合金可以采用坩埚炉、电阻反射炉或感应电炉熔炼。因锌的沸点低(927℃),蒸气压高,易蒸发,在火焰炉中熔炼时,为了避免火焰同锌直接接触,最好使用木炭一类覆盖剂,并使炉气呈还原性气氛或微氧化性气氛,以降低氧化。此外锌液不能过热,以防合金晶粒粗大和增加铁杂质。

熔炼过程:先加入熔点较高的铝料、铝铜中间合金和一部分锌。覆盖木炭,熔清后搅拌合金液,再加入其余的锌。在440~460℃温度下用钟罩压入铸,扒除覆盖剂,并用炉料质量0.25%~0.3%的 $ZnCl_2$ 或 $NH_4Cl$ 精炼,去除氧化物夹杂,静置10min后浇注。熔炼温度不应超过440~480℃,浇注温度为400~440℃。

# 第9章 铸件落砂清理及后处理<sup>[54][55]</sup>

## 1 铸件落砂清理

铸件落砂清理包括铸件的落砂、清砂、切割浇冒口和铲磨,所采用的方法根据铸件的材质特点、复杂程度、批量大小、重量等级、技术要求以及铸造车间的规模等进行选定(表2-9-1)。

### 1.1 机械落砂

机械落砂用的落砂机类型和应用特点见表2-9-2。

选用落砂机时应考虑以下原则:

(1)落砂机的落砂效率应根据车间生产纲领或铸型的年产量选择。

(2)落砂机的台面尺寸及载重量,应根据车间最常落的大件砂箱底面尺寸及重量来选用。

(3)采用振动输送落砂机或对细长类铸件、大件落

表 2-9-1 铸件落砂清理方法及适用范围

工 序	采用的方法	适用范围
落砂	手工落砂除芯(用风动工具、榔头等)	铸件产量小和采用湿砂型或溃散性好的型砂的场合
	机械落砂除芯(用落砂机、除芯机、桶型机等)	各类铸件,特别是机械化铸造生产的场合
切割浇冒口	人工敲击	铸铁件
	机械切割(用金属锯床、砂轮高速切断机、浇冒口切断机等)	非铁合金铸件和大量生产的铸件
	氧乙炔切割	铸钢件及浇冒口尺寸比较大的铸件



(续)

工 序	采用的方法	适用范围
切割浇冒口	电弧切割	钢、铁铸件
	等离子切割	不锈钢铸件和灰铸铁件
	氧熔剂切割	不锈钢铸件
铸件清砂	水力清砂	难清砂的大、中型铸件
	滚筒清理	形状简单、允许碰撞的小铸件
铸件清砂	喷丸清理	清理非铁合金和各类铸件内腔的清理
	抛丸清理	清理各种大小的铸件
	喷抛丸联合清理	可高效清理各种大小的铸件
	喷砂清理	清理非铁合金铸件
	电液压清砂	清理铸件的砂芯和熔模铸件的型壳
	电化学清砂	清理内腔复杂和表面质量要求高的液压件
	铸件铲磨	铲削(风铲、手铲)
砂轮磨(砂轮机、自动磨床、专用磨床)		各种铸件
电弧气刨		钢、铁铸件
转刮机		材质较软的非铁合金铸件
抛光机		外观要求美观的艺术品和装饰品铸件

表 2-9-2 落砂机类型和应用特点

类 型	应 用 特 点	
偏心振动式	在同一落砂机上落大小种类较多的湿砂型铸件, 铸件质量 < 2.5t	
惯性振动式	普通式	成批机械化生产线上, 砂箱尺寸在 800mm × 600mm 以下, 质量在 1t 以下的湿型铸件
	固定式	手工、机械化、半机械化铸造车间, 型砂强度在中等以下的铸型, 铸件和铸型质量在 12t 以下
	双轴式	中等强度以下的铸钢、铸铁件干型及湿型, 铸件和铸型质量在 8t 以下
	横振动式	外形尺寸 450mm × 500mm 以下小型铸件的无箱造型线

(续)

类 型	应 用 特 点	
惯性振动输送式	电极驱动式	机械化、半自动化造型线上的大中小型铸件
	双轴式	高生产率的造型自动线
	双激振式	自动线上大型铸件
	双质体式	自动线上小型铸件
惯性振动冲击式	单件小批手工造型或机械化半机械化铸造车间铸铁件干型、湿型的落砂, 铸件和铸型质量 4~12.5t	
电磁振动落砂	单件小批中小铸铁件干型、湿型	
气动振动落砂	以粘结力小的油类、纸浆残液、合脂作粘结剂的砂芯, 并适于重型铸件	
滚筒落砂	垂直分型无箱射压造型线上不怕撞击的小件	

砂时, 可用两台或多台组合使用。

### 1.2 水力清砂

水力清砂是用高压水清理铸件, 主要用于清除大中型铸件的型砂和芯砂。水力清砂装置由三部分组成:

- (1) 水力清砂系统;
- (2) 旧砂湿法再生系统;
- (3) 污水污泥处理及再生循环系统。

高压射流的作用, 一是切割, 二是冲刷, 见表 2-9-3。

表 2-9-3 高压射流的基本特性及主要作用

射流部位			特 性	主要作用
第 I 段	第一带		射流结构最紧实, 呈核心状	切割
	第二带			
	第三带			



(续)

射流部位	特 性	主要作用
第Ⅱ段 第二带	射流受空气阻力, 核心周围夹有气泡, 紧实度已降低, 开始呈圆锥形	冲刷
第Ⅲ段 第三带	射流的锥角更大, 呈蓬散状, 带有更多的空气泡, 在未稍呈雾状	无用

不同类型铸件采用水力清砂时所选用的工作压力、流量及高压泵类型见表 2-9-4。

表 2-9-4 水力清砂工作压力、流量及高压泵类型的选用

铸件类型	工作压力 (MPa)	流 量 (m <sup>3</sup> /h)	高压泵类型	应用特点
中小型湿型铸铁件	2.5~7	20~30	分段式多级离心泵	流量大, 转速高, 操作维修方便, 对水质要求不高, 但水流压强小, 功率大, 清砂能力小, 叶片易磨损

(续)

铸件类型	工作压力 (MPa)	流 量 (m <sup>3</sup> /h)	高压泵类型	应用特点
中大型湿型铸铁件	7~10	12~16	活塞往复式泥浆泵	清砂能力较强, 对水质要求不高, 但结构笨重, 传动部分效率低, 制造工艺要求高
重大型干型铸铁件和铸钢件	10~16	12~16	柱塞往复式高压泵	清砂能力强, 但对水质要求高, 维护修理麻烦, 需用高压水管
水玻璃砂型铸铁件和铸钢件	16~20	15~20	柱塞往复式高压泵	水流压力大, 水流量大, 清砂能力更强, 但对水质要求高, 维修麻烦, 需用高压水管

水力清砂用喷枪的喷嘴直径为 4~8mm, 最大冲击力在喷嘴出口 800~1600mm 的断面上, 因此, 操作距离一般为 1000~1200mm。

水力清砂室的设计系列及其主要技术规格, 见表 2-9-5。

表 2-9-5 水力清砂室的设计系列及其主要技术规格

名 称		主要技术规格				
清砂室	室体尺寸 (mm)	长	4000	5000	6000	8000
		宽	4000	5000	6000	8000
		高	3400	4000	5000	6000
室体结构型式		贯通式, 采用钢结构室体				
清砂室下部结构		采用斜坡半深坑式, 砂浆用振动筛过筛, 水力提升器输送				
清理铸件最大尺寸 (mm)	长	2500	3000	4000	5000	
	宽	2500	3000	4000	5000	
	高	1500	2000	2500	3000	
吊笼	数量 (个)	1		2		
	升降速度 (m/min)	5				
	升降行程 (mm)	1200	1500	1500	2500	
喷枪	数量 (个)	1	1	1	2	
	最大伸出行程 (mm)	800	1200	1400	1750	
	垂直摆动角度	60°	60°~70°	50°	50°	
	水平摆动角度	60°	60°~70°	50°	50°	





(续)

名称		主要技术规格			
喷枪	移动方式	前后	电动或液压		液压
		上下			
		左右			
回轮台车	载质量 (t)	10 或 20	30 或 40	50	150
	直径 (mm)	φ2300 或 φ2800	φ3400	φ4000	φ5000
	台面高度 (mm)	800	1000	1050	1670
	行走速度 (m/min)	16.7	15	15.8	23.3
	回转速度 (r/min)	2	2.4	2.2	2
	行走电机功率 (kW)	2.2	5	5	19.5
回电电机功率 (kW)	2.2	5	7.5	13.5	
供电方式		低压供电 (36V)			
设备质量 (t)		≈12	22.5	31.26	58.55

### 1.3 喷丸、抛丸清理

喷丸、抛丸清理是铸件表面清砂的主要方法。

喷丸清理是利用压缩空气将弹丸高速喷射到铸件内外表面进行铸件表面清砂和清除砂芯，主要用于清理产量小的各种小型铸件。

抛丸清理是利用高速旋转的抛丸器将弹丸抛向铸件内外表面进行铸件表面清砂和清除砂芯，已广泛用于清理各种大小铸件，有日益取代喷丸清理的趋势。

对于单件小批生产的中大型铸件，现已开发出具有多功能的喷抛丸落砂清理设备，既具有落砂作用，又有表面清理作用和旧砂再生作用，并能充分发挥喷抛清理的各自优点。对于大批量生产的汽车、拖拉机、内燃机的缸体铸件，可以采用高效的鼠笼式抛丸清理机。

喷丸清理、抛丸清理的比较见表 2-9-6，设备类型及适用范围见表 2-9-7~表 2-9-9。

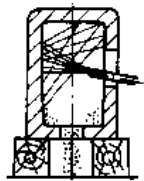
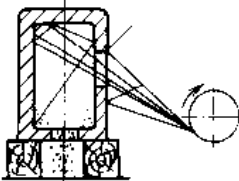
喷丸抛丸清理用的弹丸材料、粒度、抛射速度、喷射入射角和喷射工作压力等，对铸件的表面清理质量和清砂效率都有很大影响，可参照表 2-9-10 和表 2-9-11 进行选用。

通常，在选用喷丸抛丸清理设备时应考虑以下原则：

(1) 通常应优先考虑选用抛丸设备，其次考虑选用抛丸为主喷丸为辅的设备，对于具有复杂表面和内腔的铸件可考虑选用喷丸设备。

(2) 选择喷丸抛丸设备类型和规格的主要依据是

表 2-9-6 喷丸清理与抛丸清理的比较

比较项目	喷丸清理	抛丸清理
弹丸流形状	锥形束	扇形束
喷抛射效率	较低	较高
喷抛射距离	容易调整	一般不能调整
工艺特点	灵活 	较差 
	需由人工掌握喷枪，自由程度较低	不用人工操纵，自由程度较高
设备特点	机械加工件	较少
	易磨损件	较少
	机件（如机棚的橡胶板、平车的转台等）磨损速度	较慢
	生产中维修时间	较短
	动力消耗	大



(续)

表 2·9-7 喷丸清理设备类型及适用范围

设备类型	适用范围
转台式	小型铸件的表面清理
清理室式	中大型铸件的表面清理

表 2·9-8 抛丸清理设备类型及适用范围

设备类型	适用范围	
滚筒式	普通式	不怕碰撞的中小型铸件表面清理
	履带式	大批量及单件小批生产, 清理中小型铸件, 尤其适用清理怕碰撞的铸件
	倾斜式	中小型铸件
单钩转盘式	中型铸件的表面清理	
转台式	清理批量不大的扁平、薄壁、怕碰撞的铸件	

设备类型	适用范围	
清理室式	回转台式	清理单件小批或成批生产的大中型铸件
	单钩式	清理单件小批生产的中小型铸件, 最适于怕碰撞的细长薄壁件
	吊链式	大批量生产的中小型铸件
	吊挂落砂式	大批量生产的中小型铸件
振动槽式	普通式	批量生产的小型铸件
	落砂式	批量生产的小型铸件

表 2·9-9 喷抛丸联合清理设备类型及适用范围

设备类型	适用范围	
单钩式	多品种、中小批量生产的大中型铸件	
清理室式	普通式	单件大批量生产的大中型铸件
	落砂式	单件小批生产的大中型铸件

表 2·9-10 喷丸抛丸清理用的弹丸材料特性及适用范围

弹丸材料		特 性	适用范围
非金属类	石英砂 刚玉砂 玻璃球	以石英砂为主, 由于易造成硅砂危害, 破碎率高, 清砂效率又低, 已逐渐被金属弹丸所代替	要求不高的各类小型铸件的喷砂处理
铸铁类	冷硬铸铁 可锻铸铁 脱碳可锻铸铁	以冷硬铸铁为主, 其硬度控制在 50~57HRC, 密度 6.8g/cm <sup>3</sup> , 制造工艺简单, 来源充足, 价格低廉, 但易碎, 寿命短	在喷抛力不大的情况下, 广泛用于各种铸件
钢类	铸钢 钢丝 渗碳钢丝	铸钢丸使用寿命最长, 硬度控制在 45~50HRC, 密度 7.4g/cm <sup>3</sup> 以上, 但价格比冷硬铸铁贵 4~5 倍 钢丝丸使用寿命也长, 硬度控制在 40~45HRC, 可利用废料制成, 成本低, 且对抛丸器叶片的磨损小(仅为冷硬铸铁的 1/5~1/10), 可减少分离器的工作量	正逐渐代替冷硬铸铁丸
非铁合金类	铅丝 铜丝	强度低, 寿命短	清理要求较高的非铁合金铸件

表 2·9-11 喷丸抛丸清理工艺参数的选用

铸件种类	抛丸清理		喷丸清理		
	弹丸粒度 (mm)	抛射速度 (m/s)	弹丸粒度 (mm)	工作压力 (MPa)	喷射入射角 $\alpha$
重、大型铸铁件和铸钢件	$\phi 1.5 \sim 2.5$	70~80	$\phi 1.5 \sim 3$	0.45~0.55	{ 少量氧化皮和粘砂层 70°~90° 大量砂层 45° 硬砂块、烧结层或砂芯 75°~90°
中小型铸铁件和铸钢件	$\phi 0.5 \sim 1.2$	60~70	$\phi 0.5 \sim 1.5$	0.4~0.5	
铸铜件和铸铝件	$\phi 0.3 \sim 0.8$	60	$\phi 0.3 \sim 1$	0.1~0.3	



铸件的形状、特点、代表性铸件的最大尺寸、重量、批量、产量以及铸造车间机械化程度等。

(3) 喷丸清理时,铸件的温度应在150℃以下,因为铸件在受到弹丸喷打的同时,还受到高速压缩空气流的冲刷和激冷,容易产生裂纹。

### 1.4 电液压清砂

电液压清砂是将铸件浸入水中,利用高压放电所产生的冲击波对铸件进行落砂清理。该法具有耗电少、效率高、无粉尘、易于实现机械化、自动化等优点,可用于清理从几十克到几十吨的铸、铁铸件和非铁合金铸件,尤其适用于型腔复杂,用其他方法难以清理的铸件。

电液压清砂的原理见图2-9-1。当高压直流电源GZL向脉冲电容 $M_c$ 充电到一定电压值时,球间隙 $Q_x$ 被导通,即完成一次放电过程。由于铸件与型芯的固有频率和弹性模量不同或在冲击波直接作用下,使型芯破碎,与铸件分离。瞬间释放能量

$$W = \frac{1}{2}cu^2 \text{ (J)}$$

式中  $c$ ——电容量 ( $\mu\text{F}$ );  
 $u$ ——工作间隙击穿电压 (kV)。

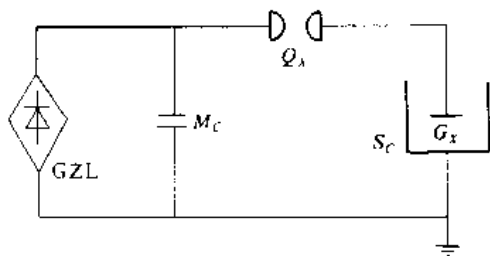


图 2-9-1 电液压清砂原理图  
GZL—直流电源  $M_c$ —电容  $Q_x$ —球间隙  
 $S_c$ —水槽  $G_x$ —工作间隙

电液压清砂设备由三部分组成。

(1) 高压冲击大电流发生器。采用恒流源充电回路或恒压源充电回路。恒流源充电效率高,系统较复杂;恒压源充电效率较低,设备分散,但易于维修。

(2) 清砂装置。按使用特点分为间歇作用单向式、间歇作用直通式、连续作用传送带式等。

(3) 废砂清除系统。目前国内多通过格筛料车将较大砂块隔离,再利用吸笼喷嘴使槽中细砂充分搅拌呈悬浮状,由水力提升器排除。

采用电液压清砂时,要采取减振、防噪声和防高压大电流等安全措施。

### 1.5 电化学清砂

电化学清砂是利用电解过程与化学反应来清除铸件内外表面的残砂和粘砂,工作原理见图2-9-2。该法清砂质量高,粉尘少。

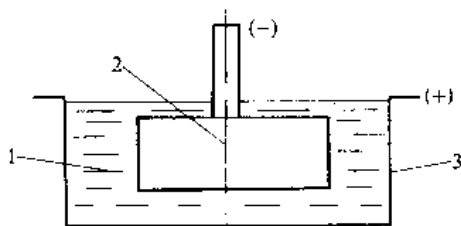


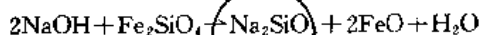
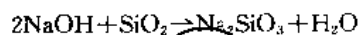
图 2-9-2 电化学清砂工作原理图

1—盐浴电解液 2—铸件 3—坩埚

电化学清砂的盐浴电解液的质量配比是:85%的工业纯碱和15%的工业纯盐。

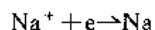
电化学清砂时,首先把待清理的铸件浸入熔融态下的盐浴电解液中,此时,铸件接通直流电的负极,坩埚接通正极。

铸件上残砂( $\text{SiO}_2$ )、粘砂( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ )和氧化铁皮( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )同工业纯碱( $\text{NaOH}$ )发生如下反应:

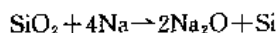


反应生成的钠的化合物,一方面沉淀,另一方面又被破坏残砂、粘砂和氧化铁皮与铸件粘合的中间层,使各种杂质成块脱落。

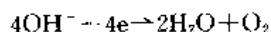
通电以后,在直流电场力作用下,从 $\text{NaOH}$ 、 $\text{NaCl}$ 中游离出来的钠离子( $\text{Na}^+$ )向负极运动,在负极俘获电子,成为金属钠:



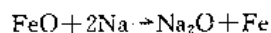
金属钠化学活性高,具有强烈的还原作用,铸件表面的氧化物(砂子)被其还原:

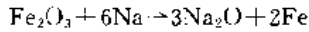


在正极,因 $\text{OH}^-$ 浓度高,而电极电位低于 $\text{Cl}^-$ ,故 $\text{OH}^-$ 失去电子:



铸件表面的锈蚀—— $\text{FeO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 、 $\text{Fe}_2\text{O} \cdot \text{H}_2\text{O}$ 等,亦同时被还原:





这些反应使砂子、氧化铁皮与铸件表面的联系破坏。

电化学清砂的工艺要点：(1) 由于苛性钠腐蚀性很强，对人体有危害，对铸件表面也有影响，因此浓度和操作都应注意；(2) 铸件浸入坩埚内时，所带进杂质的重量，不能超过坩埚内苛性钠的重量，并严禁把水带入；(3) 苛性钠加热必须在坩埚的侧壁上进行，不得在坩埚底部加热；(4) 铸件与坩埚壁的距离不少于50mm；(5) 通过的电流电压为4~12V，电流密度为5~12A/dm<sup>2</sup>。表2·9-12给出主要工艺参数。

表 2·9-12 主要工艺参数

苛性钠的质量分数 (%)	100	25~70
铸件预热温度 (°C)	150~300	
溶池温度 (°C)	450~500	110~170
浸入时间 (min)	5~25	1~10h
冷水清洗时间 (min)	5~15	5~15
热水清洗温度 (°C)	80~90	>50
热水清洗时间 (min)	5~15	5~15

### 1.6 电弧气刨

电弧气刨是利用直流电在碳电极与铸件表面之间产生的电弧热来熔化金属，同时借助压缩空气流将金属液与熔渣吹掉，以实现清除铸件飞边、毛刺、切割浇冒口或刨削冒口残根的一种方法。主要用于铸钢件和铸铁件。

图2·9-3和表2·9-13给出了电弧气刨的工作原理

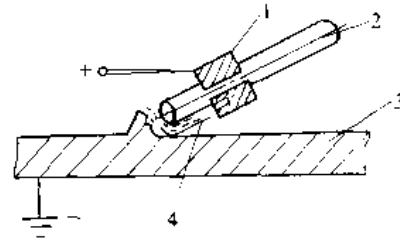


图 2·9-3 电弧气刨工作原理图

1—刨钎 2—碳棒 3—铸件  
4—压缩空气

表 2·9-13 电弧气刨的主要工艺参数

铸件材质	电源设备	极性接法		电流范围 (A)	压缩空气压力 (MPa)	备注
		铸件	碳极			
铸 钢	2台电焊机并联	负	正	500~1200	0.5~0.8	铸件正接表面不光滑
铸 铁	1~2台直流电焊机	正	负	150~800	0.4~0.7	铸件负接质量较差
铸造铜合金	1~2台直流电焊机	正	负	150~800	0.4~0.7	铸件负接不如正接
铸造铝合金	1~2台直流电焊机	正(或负)	负(或正)	150~600	0.4~0.6	影响不明显
铸造铝合金	1~2台直流电焊机	正(或负)	负(或正)	150~600	0.4~0.6	影响不明显

注：电流大小依铸件被刨处厚度、碳极粗细而定。

和主要工艺参数。

电弧气刨与风铲相比，提高了刨削效率，减轻了劳动强度，刨削的灵活性较大，且能修整铸件表面的铸疤，但铸件被刨削部位有硬化层，需经退火处理，否则难以加工。

## 2 铸件后处理

铸件后处理主要包括铸件的矫正、缺陷修补和热处理等，采用的方法及其适用范围见表2·9-14。

表 2·9-14 铸件后处理方法及其适用范围

后处理工序	采用的方法	适用范围
矫 正	冷矫(用液压机、摩擦压力机) 热矫 火焰矫	可锻铸铁件和非铁合金件 各种铸件 铸钢件

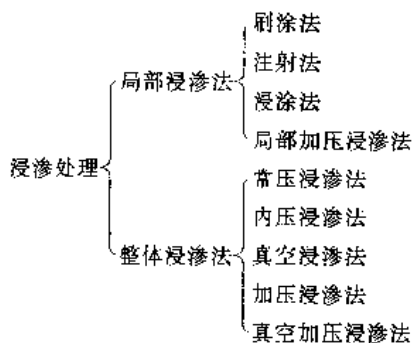
(续)

后处理工序	采用的方法	适用范围
缺陷修补	各种焊补法(参见第6篇第8章) 浸渗法 充填法	易渗漏铸件 修补或修饰不要求强度的部分
热处理 (参见本篇第10章)		
表面强化硬化	表面物理强化 表面硬化 析出硬化	球墨铸铁件 合金铸铁件、球墨铸铁件和铸钢件 铜合金铸件
底漆涂装	刷漆、喷漆 浸漆 电泳涂装 磷化处理	各种铸件 成批大量生产的铸件 铸铁件 铸钢件和铸铜件

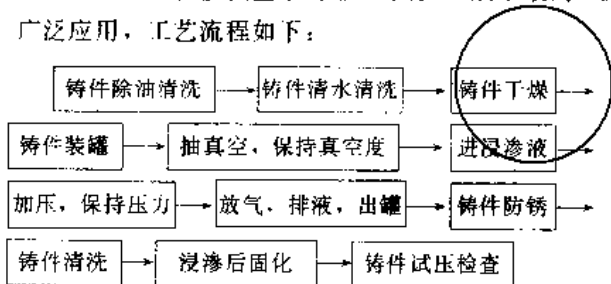


2.1 浸渗处理

浸渗处理是利用液体浸渍物渗透到铸件内的孔洞处以形成氧化物和胶体膜将其堵塞住的一种修补方法。主要用来挽救疏松致废的受压铸件或提高铸件表面的装饰质量。有些企业已做为生产重要铸件的一道必需工序。浸渗方法分类如下：



真空加压浸渗质量最可靠，周期短，效率最高，已广泛应用，工艺流程如下：



真空加压浸渗装置示意图见图 2.9-4，常用浸渗剂特性和应用特点见表 2.9-15。

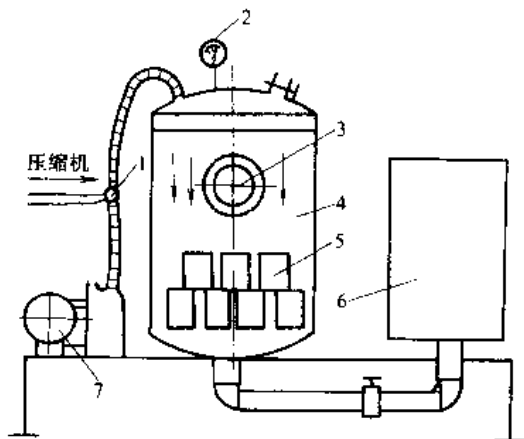


图 2.9-4 真空加压浸渗装置示意图

- 1—开关 2—压力表 3—观察孔 4—浸渗槽
- 5—工件 6—浸渗液槽 7—真空泵

真空加压浸渗工艺要点如下：

(1) 铸件水洗后应在 60~80℃ 烘干 1h 以上，或自然凉干水分，然后浸渗。

表 2.9-15 常用浸渗剂特性和应用特点

浸渗剂	特 性	应用特点
碱金属硅酸盐	优点：可室温 (25℃) 固化，贮存性能好，洗除性好，耐有机介质，无毒或低毒，成本低，原料来源广泛，耐高温 500~800℃ 缺点：固体物含量低，收缩率大，性脆，易龟裂	可渗补的孔隙 < 0.15mm，对于空隙较大的情况，需 2 次，甚至 3 次处理，浸渗件可承受高温
厌氧浸渗胶	优点：固化后表面张力适当，粘度小，浸渗效果好，无溶剂，固化时不收缩膨胀等 缺点：胶的价格较贵，真空浸渗设备较复杂	最大可处理 0.4~0.5mm 的孔隙，可进行局部浸渗
聚脂类浸渗剂	优点：具有较小的表面张力，浸渗效率高，收缩力小，耐介质性能好，耐高压 (70MPa 左右) 缺点：洗除性差，作业条件不好 (需通风)，需加热固化 (100~135℃)，价格较碱金属硅酸盐类浸渗剂贵	可渗补的孔隙在 0.2mm 以下，一次渗补成功率高，浸渗件可承受高压

(2) 浸渗罐内真空度应抽至 0.096MPa 以上，保持真空时间 15min 以上，停泵，然后利用负压将浸渗剂吸入浸渗罐内，浸渗剂超过铸件 5~5cm 时即可停止进液。

(3) 加压时，压力应为 0.5~0.7MPa，保持压力时间 15min 以上，尔后放气，在压力降至 0.1~0.05MPa 时，打开贮液罐阀，利用剩余压力使浸渗剂流向贮液罐。

(4) 浸渗后的铸件，首先放入防锈液中钝化防锈处理 3~5min，在清水中漂洗 10~30min，然后在固化罐中固化 (80℃ 保温 1~2h，或在室温搁置 24h 以上)。

2.2 磷化处理<sup>156</sup>

磷化处理是利用化学处理方法使铸件表面生成一层难溶于水的磷酸盐保护膜的处理方法。已用于铸钢和铸铁件的防锈处理。

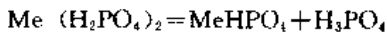
磷化膜主要由锰、铁、锌的磷酸盐晶体组成，外观呈深灰色或黑色。铸件的磷化反应可分为以下三个阶段：

(1) 金属与酸发生作用引起金属的溶解  

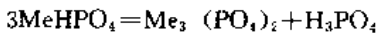
$$Fe + 2H_3PO_4 \rightarrow Fe (H_2PO_4)_2 + H_2 \uparrow$$



(2) 磷酸二氢盐在金属表面上发生重排

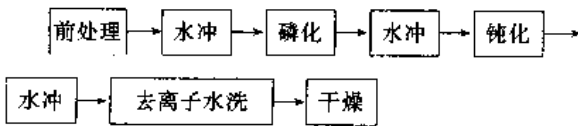


(3) 不溶性的正磷酸盐在金属表面沉淀而形成磷化膜



由于上述反应的进行,在金属表面和溶液界面处,磷酸氢铁( $\text{FeHPO}_4$ )和磷酸铁( $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ )的浓度不断增加,当达到一定过饱和度时,便开始在金属表面上结晶析出,首先形成晶核,然后是晶体的长大,最后形成磷化膜。与此同时,锰和锌离子也能生成 $\text{Mn}_3(\text{PO}_4)_2$ 、 $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$ 、 $\text{MnHPO}_4$ 和 $\text{ZnHPO}_4$ 成为固相析出,而构成磷化膜的一部分。

铸件的磷化处理工艺流程如下:



铸件的磷化前处理:必须通过抛丸或喷丸处理,彻底清除铸件表面的氧化皮、锈迹及表面附着物,吹掉表面所有部位的铁屑、灰尘及砂粒等。

铸件的磷化处理有高、中、低温三种处理方法。高温磷化所得膜层的耐蚀性较高,结合力、硬度和耐热性也较高,并且磷化成膜速度快,但溶液需加热、挥发快、稳定性差,磷化膜容易夹杂沉淀物,结晶粗细不匀。中温磷化处理所得膜层的耐蚀性近似于高温磷化,磷化速度快,溶液稳定,但溶液成分比较复杂,调整较麻烦。低温磷化处理所得膜层的耐蚀性较差,结合力与耐热性较低,但不需要加热,化学药品消耗少,成本低,溶液稳定。

铸件的磷化后处理:铸件磷化后需浸油处理,以使磷化膜孔隙充实,增强其抗蚀性能,如果铸件磷化后需要涂漆,就省掉浸油工序,将铸件直接涂漆即可。

采用磷化处理时应注意,对于铸件内部结构太复杂,从几个方向都不能把水倒出来的这类铸件,不适合进行磷化处理,因为水倒不干净磷化后起不到防锈作用。

## 第10章 铸件热处理

铸件热处理的目的是消除铸件内应力,改变组织并获得所需要的性能。

### 1 铸铁件热处理<sup>[6][46]</sup>

#### 1.1 灰铸铁件热处理

灰铸铁件的热处理工艺规范及其应用列于表2·10-1。一般来说,热处理只能改变灰铸铁的基体组织,不能改变石墨形状,因此不能明显改善灰铸铁的力学性能。灰铸铁热处理方法中应用最多的是降低铸件内应力的时效热处理,其工艺规范见表2·10-2。

表2·10-1 灰铸铁件热处理工艺规范及其应用

热处理名称	工艺规范	应用
时效热处理		冷却较快,壁厚不均匀,结构复杂的铸件,旨在降低铸件内应力

(续)

热处理名称	工艺规范	应用
退火		消除残存碳化物,改善铸件组织和加工性能
正火		消除碳化物和铸态铁素体,获得具有强韧性的组织,提高铸件综合性能
淬火+回火(调质)		提高铸件的强韧性特别是硬度,从而提高耐磨性
表面处理(包括表面淬火和化学热处理)		改变铸件表面组织或化学成分

注:  $\text{Ac}_1$ ——在加热过程中,奥氏体开始形成的温度;  
 $\text{Ac}_3$ ——在加热过程中,铁素体完全转变成奥氏体的温度。



表 2·10-2 灰铸铁件时效热处理规范

铸件类别	铸件质量 (t)	铸件壁厚 (mm)	热 处 理 规 范					出炉温度 (°C)
			装炉温度 (°C)	加热速度 (°C/h)	加热温度 (°C)	保温时间 (h)	冷却速度 (°C/h)	
外形复杂并要求尺寸精度高的铸件	>1.5	>70	200	75	500~550	9~10	20~30	<200
		40~70	200	70	450~500	8~9	20~30	<200
		<40	150	60	420~450	5~6	30~40	<200
机床床身类铸件	>2.0	20~80	<150	30~60	500~550	8~10	30~40	180~200
较小型机床铸件	<1.0	<60	200	100~150	500~550	3~5	20~30	<200
结构简单铸件	<0.3	10~40	100~300	100~150	550~600	2~3	40~50	<200
纺织机械小型铸件	<0.05	<15	150	50~70	500~550	1.5	30~40	150

1·2 球墨铸铁件热处理

球墨铸铁件的热处理方法分为无相变热处理(时效)和有相变热处理(包括石墨化退火、正火、淬火回火和等温淬火)。

球墨铸铁热处理有如下几个特点:

(1)与灰铸铁相比,球状石墨大大减弱了游离石墨对基体的割裂作用,因而通过热处理可显著提高其强韧性。

(2)球状石墨作为“碳库”,通过不同的热处理可随机调节基体的碳含量,从而可较大幅度地调节球墨铸铁的力学性能。

(3)由于硅含量较高,使奥氏体转变温度上移,并形成(A+F+G)三相并存的较宽温度区间,从而可以实现部分奥氏体化和低碳奥氏体化热处理。

1·2·1 球墨铸铁件的时效热处理

时效热处理的目的是降低铸件内应力,应力降低情况与铸件基体组织和时效温度有关。表 2·10-3 是铸件内应力变化与时效温度及基体组织的关系。

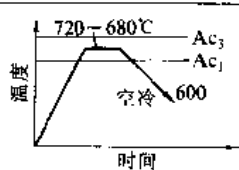
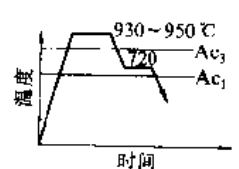
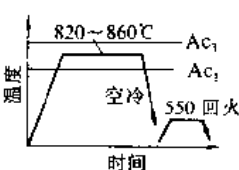
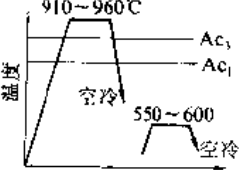
表 2·10-3 铸件内应力变化与时效温度及基体组织的关系

球墨铸铁的基体组织	400°C 时的初应力 (MPa)	保温 15h 后的内应力 (MPa)				
		400°C	450°C	500°C	550°C	600°C
珠光体	295	245	163	74	36	8.0
珠光体+铁素体	295	221	136	58	25	0
铁素体	295	250	138	54	30	0

1·2·2 球墨铸铁件的相变热处理

球墨铸铁件相变热处理名称、作用、工艺规范和典型铸件见表 2·10-4。

表 2·10-4 球墨铸铁件的相变热处理规范

热处理名称及作用	典型工艺规范	典型铸件
低温石墨化退火,共析渗碳体石墨化,获得铁素体基体		机车拨叉、汽车连杆、汽车差速器盖、蜗轮机壳体
高温石墨化退火,消除初晶渗碳体,共析渗碳体石墨化,获得铁素体		汽车前后桥、矿车踏板、阀体、汽车轮毂、减速机壳体、农机配件
部分奥氏体化正火回火,保留部分铁素体,提高强韧性		汽车连杆、曲轴、凸轮轴、高压汽缸、冷冻机曲轴
全奥氏体化正火回火,消除自由渗碳体,增加珠光体量,提高球墨铸铁强度		空压机缸套、高压压缩机曲轴连杆

⊙ A——奥氏体;F——铁素体;G——石墨。

铸造公司制作 请尊重作者版权



(续)

热处理名称及作用	典型工艺规范	典型铸件
淬火回火, 提高硬度(低温回火), 提高强度(高温回火)		船用柴油机油曲轴, 连杆, 方向轴, 铣床曲轴, 油泵套, 轴承环
部分奥氏体化等温淬火, 获得部分铁素体+贝氏体, 提高强韧性		各类强韧球墨铸铁构件
全奥氏体化等温淬火, 获得全贝氏体(上贝氏体或下贝氏体+残余奥氏体), 强韧性、耐磨性好		各类高强度、高韧性、耐磨构件: 曲轴, 连杆, 链轨板
表面热处理(表面淬火, 表面渗等), 可改变表面组织和化学成分, 提高耐磨性及抗蚀性		轴、齿轮、杆件

表 2·10-6 等温淬火工艺对球墨铸铁力学性能的影响

热处理规范		毛坯直径(mm)				
		20		50		
加热温度 (°C)	等温温度 (°C)	$\sigma_b$ (MPa)	$\delta$ (%)	$\sigma_b$ (MPa)	$\delta$ (%)	$a_k$ (J/cm <sup>2</sup> )
850	250	917	0.8	820		15
850	350	1025	4	1001	3.0	24
850	450	970	2.6	821	1.0	20
850	550	800	2.0	745	2.0	20
500	250	1265	1.0	893	1.6	13
500	350	971	1.9	820		20
900	450	738	1.0	860	0.6	13
900	550	800	0.8	801	1.8	14
950	250	775	0.5			18
950	350	817	2.4	900	2.0	12
550	450			713	1.2	17
550	550	801	20	685	0.8	14

1.3 可锻铸铁件热处理

可锻铸铁是白口铸铁经石墨化退火或脱碳退火获得的强韧性铸铁, 因而此处的热处理不是改变可锻铸铁组织、提高其性能的手段, 而是获得可锻铸铁的必经工序。

1.3.1 铁素体可锻铸铁件

铁素体可锻铸铁是经两段石墨化退火获得的, 第

1.2.3 球墨铸铁热处理后的组织和力学性能

通过不同的热处理, 球墨铸铁的组织得到改变, 力学性能显著提高。正火工艺对球墨铸铁珠光体量的影响见表 2·10-5, 等温淬火工艺对球墨铸铁力学性能的影响见表 2·10-6。

表 2·10-5 正火工艺对球墨铸铁珠光体量的影响

正火温度 (°C)	保温时间 (h)	冷却方式	珠光体的 体积分数 (%)	备注
920	1	空冷	70~75	
920	1	风冷	85	
920	1	喷雾冷	90~95	
900	1.5	空冷	70~75	正火后均 经 550°C 回火 1h
900	1.5	风冷	85	
900	1.5	喷雾冷	90~95	

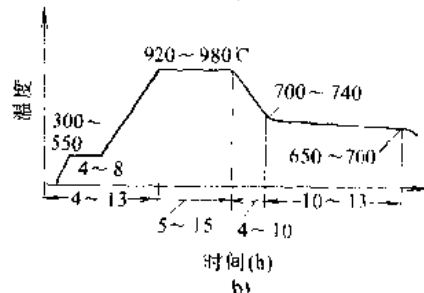
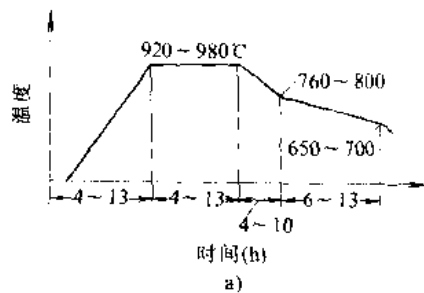


图 2·10-1 铁素体可锻铸铁件热处理工艺  
a) 用大型开式炉热处理 b) 用小型炉热处理

铸造工业出版社





一段石墨化是使初晶、共晶渗碳体加热到奥氏体区域分解,获得退火碳;第二段石墨化是使其析渗碳体不出现或重新在温度波动中分解,使过饱和碳在已形成的退火碳上析出,或形成二次石墨化,最终在保温和缓冷过程中获得铁素体及退火碳。由于成分或冷却速度等原因,可能残留部分珠光体。铁素体可锻铸铁件的热处理工艺如图 2·10-1 所示。

### 1·3·2 珠光体可锻铸铁件

制取珠光体可锻铸铁件的常用热处理工艺有三种,见表 2·10-7。

表 2·10-7 制取珠光体可锻铸铁件的常用热处理工艺

方 法	要 点	所得结果
调整成分得到片状珠光体可锻铸铁	减少碳硅含量,提高含锰量,必要时加入锡、铜、钒等合金元素。由白口铸铁直接退火	片状珠光体可锻铸铁
调整工艺制取片状珠光体可锻铸铁	使用成分适于铁素体可锻铸铁的铁液浇成白口坯件,再采用不同于铁素体可锻铸铁的热处理工艺,以获得不同结果	(注:必要时亦可适当提高锰量或加入合金元素)
	热处理工艺 I: 随炉加热至 910℃,经 10~15h 缓慢升温至 950℃,强制冷却(鼓风或喷雾),冷却速度应大于 30℃/min	细片状珠光体基体+团絮状石墨 可达到 KTZ65C02 或 KTZ700-02 牌号
	热处理工艺 II: 随炉加热至 910℃,经 10~15h 缓慢升温至 950℃,然后随炉降温至 800℃,出炉空冷,冷却速度应大于 30℃/min	珠光体+铁素体混合基体+团絮状石墨(牛眼状),一般可达到 KTZ450-06 或 KTZ550-04 牌号
	热处理工艺 III: 先按铁素体可锻铸铁退火工艺进行石墨化退火后,再加热至 820~850℃进行正火处理	珠光体+碎块状铁素体混合基体+团絮状石墨。一般可达 KTZ450-06 或 KTZ550-04 牌号
制取粒状珠光体可锻铸铁	热处理工艺: 进行第一阶段石墨化之后,再进行油淬及高温回火	粒状珠光体+团絮状石墨。具有较好的综合力学性能和切削性能

### 1·3·3 白心可锻铸铁件

白心可锻铸铁是通过脱碳退火获得的:白口坯件在氧化性气氛中进行退火处理,高温时  $Fe_3C$  分解出碳,被炉气氧化成  $CO$  及  $CO_2$ ,表层碳氧化去除后,铸件断面上形成碳的浓度梯度,使碳不断由里及表地扩散,不断被氧化。脱碳工艺分固体脱碳(利用氧化铁、矿石)和气体脱碳(利用空气、水蒸气)两种,退火曲线见图 2·10-2 和图 2·10-3。气体脱碳法不需要退火箱和脱碳剂,可保证铸件质量,又节约能源,是今后的发展方向。

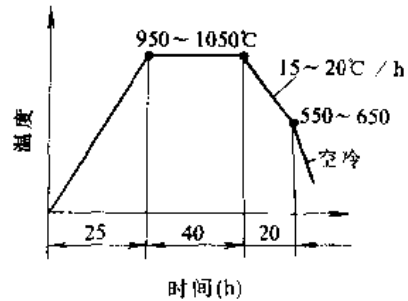


图 2·10-2 白心可锻铸铁件固体脱碳退火曲线

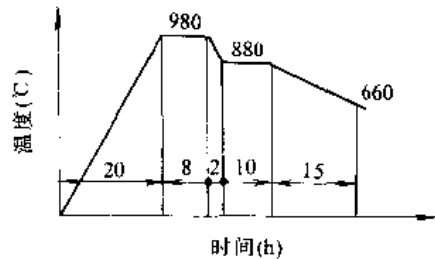


图 2·10-3 白心可锻铸铁件气体脱碳退火曲线

### 1·4 抗磨白口铸铁件热处理

抗磨白口铸铁常采用软化退火和硬化热处理(淬火回火)。

软化退火是将铸件加热至珠光体区,保温,使珠光体充分形成,并使部分共析碳化物球化,然后缓冷至室温。

硬化热处理包括淬火和回火两个工艺过程。淬火是将铸件在全奥氏体化温度加热及保温,使合金元素全部溶于奥氏体,部分碳化物(尺寸小的)也溶于奥氏体,然后采用空冷、油冷获得马氏体及残余奥氏体。回



火时,淬火马氏体分解为回火马氏体,残余奥氏体转变为回火马氏体,使铸件二次硬化。

抗磨白口铸铁件的热处理工艺及硬度见表 2·10-8 和表 2·10-9。

表 2·10-8 抗磨白口铸铁热处理工艺

牌 号	软化退火工艺	淬火工艺	回火工艺
KmTBNi4Cr2-DT	—	—	430~470℃保温 4~6h, 出炉空冷,然后再在 250~300℃保温 4~16h,出炉空冷
KmTBNi4Cr2-GT			
KmTBCr9Ni5Si2	—	750~825℃保温 4~10h,出炉空冷	250~300℃保温 4~16h, 出炉空冷
KmTBCr2Mo1Cu1	940~960℃保温 1~6h, 缓冷至 760~780℃保温 4~6h, 缓冷至 600℃以下出炉空冷	960~1000℃保温 1~6h,出炉空冷	200~300℃保温 4~6h, 出炉空冷
KmTBCr15Mo2-DT	920~960℃保温 1~8h, 缓冷至 700~750℃保温 4~8h, 缓冷至 600℃以下出炉空冷	920~1000℃保温 2~6h,出炉空冷	200~300℃保温 2~8h, 出炉空冷
KmTBCr15Mo2-GT			
KmTBCr20Mo2Cu1	920~960℃保温 1~8h, 缓冷至 700~750℃保温 4~10h, 缓冷至 600℃以下出炉空冷	960~1020℃保温 2~6h,出炉空冷	200~300℃保温 2~8h, 出炉空冷
KmTBCr26		960~1060℃保温 2~6h,出炉空冷	

表 2·10-9 抗磨白口铸铁的硬度(GB8263-87)

牌 号	洛氏硬度 (HRC)		
	铸 态	淬 火 态	软 化 退 火 态
KmTBMn5W3	50~60	—	—
KmTBW5Cr4	50~60	—	—
KmTBNi4Cr2-DT	—	≥53①	—
KmTBNi4Cr2-GT	—	≥55①	—
KmTBCr9Ni5Si2	—	≥55	—
KmTBCr2Mo1Cu1	50~56	≥56	≤40
KmTBCr15Mo2-DT	40~56	≥58	≤40
KmTBCr15Mo2-GT	50~58	≥58	≤40
KmTBCr20Mo2Cu1	50~58	≥58	≤40
KmTBCr26	50~58	≥55	≤40

① 淬火加回火态。

## 2 铸钢件热处理<sup>[4][57]</sup>

一般说来,铸钢件易产生较严重的枝晶偏析,所得组织极不均匀,高合金钢铸件尤为明显。此外,由于铸件结构比较复杂,壁厚差异大,同一铸件各部位的组织往往不同,并残留相当大的内应力。因

此,铸钢件,尤其是合金钢铸件,一般都要进行热处理。

### 2·1 铸钢件热处理分类

铸钢件热处理名称、工艺规范及应用见表 2·10-10。

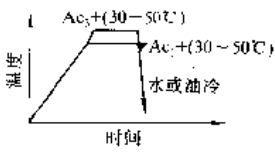
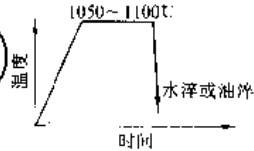
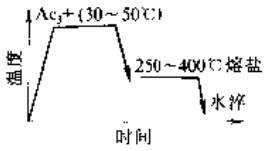
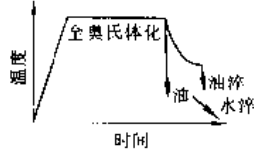
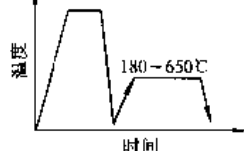
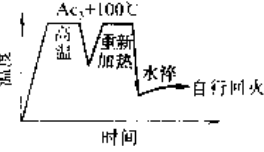
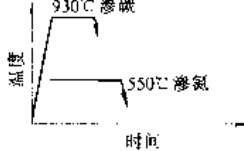


表 2·10-10 铸钢件热处理名称、工艺规范及应用

热处理名称	工艺规范	应用
消除应力退火		结构复杂、冷却速度较快的铸件，消除铸造应力
均匀化退火 (扩散退火)		用于消除偏析，需时间长，耗能高，合金铸件必要时才使用
完全退火		一般工程用钢及低合金钢铸件，细化和软化组织，消除内应力
不完全退火		使用较广，用以降低硬度，改善切削性能，消除内应力
去氢退火 (真空退火)		含碳的高合金钢，去除氢气
热等静压退火		用以消除铸件疏松、气孔
球化退火		共析钢、过共析钢铸件，使碳化物球化，降低硬度，改善切削性能
亚共析钢正火		消除部分铁素体，细化组织，形成伪珠光体，提高力学性能
过共析钢正火		消除网状碳化物，获得伪共析细化组织，为球化碳化物做准备



(续)

热处理名称	工艺规范	应用
马氏体化淬火		中碳钢和高碳钢铸件, 获得马氏体+残余奥氏体
奥氏体化淬火 (固溶热处理)		高锰钢、不锈钢, 消除碳化物, 获得全奥氏体, 提高高锰钢铸件的韧性和加工硬化能力, 提高不锈钢铸件的韧性和防晶间腐蚀能力
等温淬火		不用回火, 提高强韧性
分级淬火 (双淬火)		大型铸件, 先空冷后油淬或先油淬后水淬, 减少应力
淬火回火		是淬火的后续工序, 获得逆变奥氏体和回火马氏体, 消除淬火应力, 提高韧性和塑性
表面淬火		提高表面硬度和耐磨性, 心部基本保持原来的组织和性能
化学热处理 (渗碳、渗氮)		提高表面耐磨性、耐腐蚀性、耐疲劳性

注:  $Ac_1$ —过共析钢在加热过程中, 渗碳体完全溶入奥氏体的温度。

## 2.2 铸钢件热处理工艺

### 2.2.1 碳钢铸件热处理

碳钢铸件通常采用退火、正火或正火加回火, 碳的质量分数 0.35% 以上的碳钢铸件也可采用淬火加回火处理。退火, 一般要求加热超过  $Ac_3$ , 炉冷; 正火, 要求加热超过  $Ac_3$ , 空冷; 淬火, 要求加热超过  $Ac_3$ , 快速冷却; 回火, 要求加热低于  $Ac_1$ 。

### 2.2.2 低合金钢铸件热处理

低合金铸钢含有少量硅、锰、铬、钼、镍、铜和钒等合金元素, 具有较好的淬透性, 经适当的热处理后, 可获得良好的综合力学性能。对要求抗拉强度  $< 650\text{MPa}$  者, 采用正火加回火; 对要求抗拉强度  $> 650\text{MPa}$  者, 采用淬火加回火。表 2.10-11 为常用低合金钢铸件正火或正火加回火温度范围; 表 2.10-12 为常用低合金钢铸件淬火加回火温度范围。



表 2·10-11 常用低合金钢铸件正火或正火  
加回火温度范围

钢 号	正火温度 (°C)	回火温度 (°C)	硬 度 (HBS)
ZG22Mn	880~900	—	—
ZG40Mn	850~870	550~620	≥163
ZG40Mn2	850~870	550~600	≥197
ZG50Mn2	820~840	590~650	—
ZG20SiMn	900~930	580~600	≥156
ZG35SiMn	860~880	600~620	—
ZG42SiMn	860~880	500~600	≥229
ZG50SiMn	850~870	580~600	217~255
ZG20MnMo	900~920	550~660	≥156
ZG35SiMnMo	880~900	550~650	—
ZG40Cr	830~850	520~680	≤212
ZG35CrMo	860~880	550~600	—
ZG35CrMnSi	850~900	550~600	≤217
ZG30CrMnMo	860~880	650~700	—

表 2·10-12 常用低合金钢铸件淬火  
加回火温度范围

钢 号	淬火温度(°C)	回火温度(°C)
ZG35Mn	850~860	600~650
ZG40Mn2	830~850	530~600
ZG35SiMn	870~890	580~600
ZG42SiMn	850~870	550~600
ZG35SiMnMo	880~920	550~650
ZG40Cr	850~850	520~680
ZG35CrMo	850~880	590~610
ZG30CrMnMo	840~860	540~600
ZG40CrNi	850~860	570~600
ZG30CrNiMo	860~870	600~650
ZG18Cr2MnMoB	860	650
ZG30CrNiB	860~870	600~650
ZG40CrNiMo	860~880	600~650

2·2·3 不锈钢铸件热处理

不锈钢铸件热处理是为了获得均匀的单相(奥氏

体)或双相(奥氏体—铁素体)组织,消除晶界碳化物,防止晶界腐蚀。不锈钢多半是高合金钢,热处理特点是加热温度高,使抗腐蚀元素充分固溶于基体。表 2·10-13 是不锈钢铸件的热处理规范。

表 2·10-13 不锈钢铸件热处理规范

组织类型	序号	牌 号	代号	热处理规范		冷却介质
				类型	加热温度 (°C)	
马氏体型	1	ZG1Cr13	101	退火 淬火 回火	950 1050 750	— 水 空气
	2	ZG2Cr13	102	退火 淬火 回火	950 1050 750~800	— 油 空气
铁素体型	3	ZG1Cr17	201	退火	850~800	—
	4	ZG1Cr19Mo2	202	退火	800	—
奥氏体型	5	ZG0Cr18Ni10	301	淬火	1050~1100	水
	6	ZG0Cr18Ni9	302	淬火	1080~1130	水
	7	ZG1Cr18Ni9	303	淬火	1050~1100	水
	8	ZG0Cr18Ni9Ti	304	淬火	950~1050	水
	9	ZG1Cr18Ni9Ti	305	淬火	950~1050	水
	10	ZG0Cr18Ni12Mo2Ti	306	淬火	1100~1150	水
	11	ZG1Cr18Ni12Mo2Ti	307	淬火	1100~1150	水
	12	ZG1Cr24Ni20Mo2Cu3	308	淬火	1100~1150	水
	13	ZG1Cr18Mn8Ni4N	309	淬火	1100~1150	水
奥氏体- 铁素体型	14	ZG1Cr17Mn9Ni4Mo3Cu2N	401	淬火	1150~1180	水
	15	ZG1Cr18Mn13Mo2CuN	402	淬火	1100~1150	水
沉 淀 硬化型	16	ZG0Cr17Ni4Cu4Nb	501	淬火	1020~1100	水
				时效	185~570	空气 空气



2.2.4 高锰钢铸件热处理

高锰钢铸件采用水韧处理,目的是消除铸态组织中晶内和晶界上的碳化物,提高韧性和冲击硬化性能。

水韧处理是将铸件加热到1000℃以上,保温适当时间,随后迅速冷却。图2·10-4是高锰钢铸件的典型热处理工艺规范。

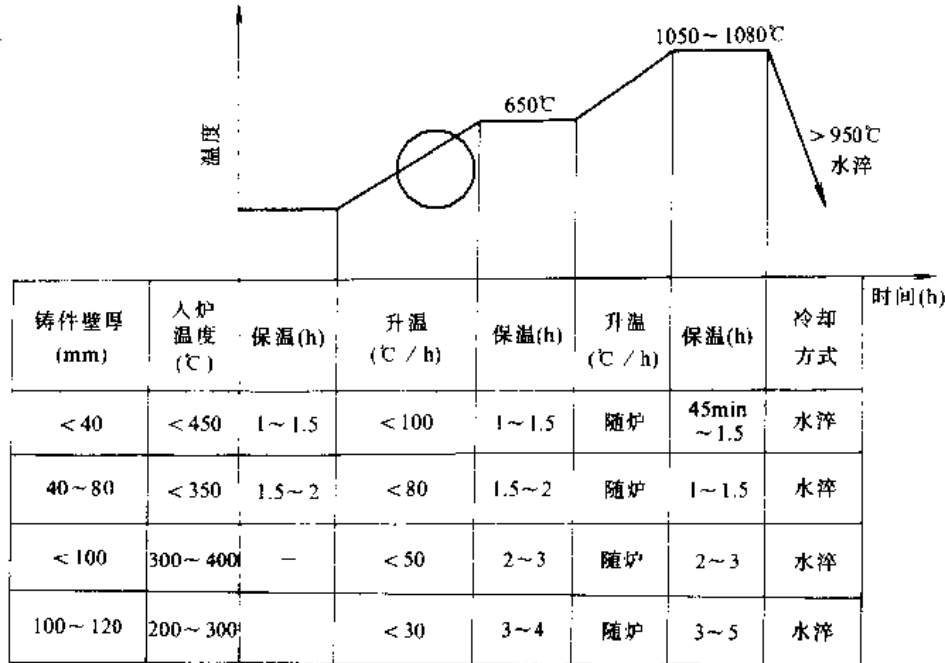


图 2·10-4 高锰钢铸件典型热处理工艺规范

3 非铁合金铸件热处理<sup>[50]</sup>

3.1 铝合金铸件热处理

3.1.1 铝合金铸件的热处理规范(表 2·10-14)

表 2·10-14 铝合金铸件热处理规范

合金代号	热处理状态	固溶热处理			人工时效处理		
		加热温度 (°C)	保温时间 (h)	冷却介质及温度 (°C)	加热温度 (°C)	保温时间 (h)	冷却介质
ZL101	T2	—	—	—	300±10	2~4	空气或随炉冷
	T4	535±5	2~6	水(60~100)	—	—	—
	T5	535±5	2~6	水(60~100)	150±5	2~4	空气
	T6	535±5	2~6	水(60~100)	200±5	3~5	空气
	T7	535±5	2~6	水(60~100)	225±5	3~5	空气
	T8	535±5	2~6	水(60~100)	250±10	3~5	空气
ZL102	T2	—	—	—	300±10	2~4	空气或随炉冷
ZL104	T1	—	—	—	175±5	5~10	空气
	T6	535±5	3~5	水(60~100)	175±5	5~10	空气
ZL105	T1	—	—	—	180±5	5~10	空气
	T5	525±5	3~5	水(60~100)	180±5	5~10	空气
	T7	525±5	3~5	水(60~100)	230±10	3~5	空气



(续)

合金代号	热处理状态	固溶热处理			人工时效处理		
		加热温度 (°C)	保温时间 (h)	冷却介质及温度 (°C)	加热温度 (°C)	保温时间 (h)	冷却介质
ZL106	T1	—	—	—	230±5	8	空气
	T5	515±5	5~12	水(80~100)	150±5	3	
	T7	515±5	5~12	水(80~100)	230±5	8	
ZL107	T5	515±5	6~8	水(20~100)	175±5	6~8	空气
ZL108	T1	—	—	—	190±5	8~12	空气
	T6	515±5	6~8	水(20~70)	175±5	14~18	
	T7	515±5	3~8	水(20~70)	230~250	6~10	
ZL109	T1	—	—	—	205±5	8~12	空气
	T6	515±5	6~8	水(20~70)	170±5	14~18	
ZL110	T1	—	—	—	210±10	10~16	空气
	T6	480~495	3~8	水(20~100)	210±10	8~12	
ZL111	分级加热 T6	490±5	4	—	—	—	—
		500±5	4	—	—	—	—
		510±5	8	水(60~100)	175±5	6	空气
	分级加热 T6	515±5	4	—	—	—	—
		525±5	8	水(60~100)	175±5	6	空气
ZL201	T4	530±5	7~9	—	—	—	—
		540±5	7~9	水(60~100)	—	—	—
	T5	530±5	7~9	—	—	—	—
		540±5	7~9	水(60~100)	175±5	3~5	空气
ZL207	T1	—	—	—	200±5	5~10	空气
ZL208	T7	540±5	7	水(70~100)	215±5	16	空气

注: T1——人工时效处理。

T2——退火。

T4——固溶热处理加自然时效处理。

T5——固溶热处理加不完全人工时效处理。

T6——固溶热处理加完全人工时效处理。

T7——固溶热处理加稳定化处理。

T8——固溶热处理加软化处理。

ZL1××——Al-Si 系合金。

ZL2××——Al-Cu 系合金。

3.1.2 铝合金铸件热处理的特点(表 2.10-15)。

表 2.10-15 铝合金铸件热处理的特点

合金系列	热 处 理 特 点
铝 硅 系	1. 二元 Al-Si 合金不能经热处理强化,只能在铸造状态和退火状态使用 2. 在 Al-Si-Mg 系三元合金中可能出现:α+Mg <sub>2</sub> Si+Si 三元共晶,在 Al-Si-Mg-Mn 系四元合金中可能出现:α+Mg <sub>2</sub> Si+Si+β(AlMnFeSi) 低熔点共晶,选择热处理规范时应注意。为保证这两类合金热处理效果,必须在固溶热处理后,尽快进入人工时效



(续)

合金系列	热 处 理 特 点
铝-硅系	3. 过量的 Fe( $w_{Fe}$ 0.6%~0.8%)可能形成片状组织,铸件易产生裂纹 4. 成分复杂的活塞合金(ZL101, ZL108等)与其他铝合金的热处理有较大差别,可在固溶热处理后人工时效或在人工时效状态使用,为获得较大强度,不一定在固溶热处理后立即进行时效热处理
铝-硅-铜系	1. Al-Si-Cu三元合金中出现熔点为525℃三元共晶; Al( $\alpha$ )+Si+Al <sub>2</sub> Cu, Al-Si-Cu-Mg四元合金中出现 Al( $\alpha$ )+Si+CuAl <sub>2</sub> +Mg <sub>2</sub> Si共晶,熔点为517℃,当镁含量为上限时, ZL103应较ZL105采用较低的处理温度 2. 不同的热处理规范对高温性能有较大的影响。如对于ZL105其高温性能随不同状态递增的顺序如下: 稳定化处理→固溶热处理+完全时效→固溶热处理+不完全时效→铸态
铝-铜系	1. 二元Al-Cu合金 $w_{Cu}$ 为4.5%~5.25%时,具有最大的强化效果。二元共晶点548℃,当有Si存在时,产生三元共晶: Al( $\alpha$ )+Si+CuAl <sub>2</sub> ,熔点为525℃。当有Mg存在时,产生三元共晶: Al( $\alpha$ )+CuAl <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> CuMg,其共晶温度为:507℃。当Si、Mg超过规定范围时, ZL203、ZL201在按正常规范热处理时可能发生过热 2. Cu在铝合金中有较大的扩散速度,固溶热处理时间应尽量缩短 3. ZL203具有自然时效倾向,而人工时效会使塑性大大降低 4. ZL202因存在过量的共晶A( $\alpha$ )+CuAl <sub>2</sub> ,热处理效果不显著,故只在铸态使用
铝-镁系	1. 二元Al-Mg合金只有 $w_{Mg}$ >9%时,热处理后才能明显强化。二元共晶: Al( $\alpha$ )+ $\beta$ (Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub> )的熔点为449℃ 2. 二元Al-Mg合金只能在T4状态使用,铸态很脆,固溶热处理加人工时效,不仅不能增加强度,反而使耐腐蚀性和塑性大大下降 3. 固溶热处理保温时间需要很长,才能获得良好效果,易产生裂纹 4. 固溶热处理后硬度变化不明显
铝-锌系	固溶热处理或在铸态经20d自然时效可获得较高的力学性能

注:  $w_{Fe}$ 、 $w_{Cu}$ 、 $w_{Mg}$ 分别为Fe、Cu、Mg的质量分数。

### 3.2 铜合金铸件热处理

各种铜合金热处理的特点如下:

**锡青铜:** 加热至400~650℃时发生再结晶,  $\alpha$ 相之间的 $\delta$ 相溶于 $\alpha$ 相,这时引起合金体积膨胀,能堵塞铜合金中的微孔,改善耐水压性能,但降低硬度及耐磨性。

**铝青铜:**  $w_{Al}$  9.4%铜合金加热至 $\beta$ 相区淬火,可获得极细的针状马氏体,回火有微粒状析出相,对合金有

明显地强化作用。

**普通黄铜:** 铸态树枝状 $\alpha$ 黄铜,经退火能改善加工性能,  $w_{Zn}$  35%黄铜有较多的 $\beta$ 相,经退火 $\beta$ 相消失,改善铸态组织和加工性能。退火温度不可过高,防止粗大角状组织生成。

**特殊黄铜:** 消除应力退火温度低于350℃,防止脆性相析出。硅黄铜合金在400~600℃产生热脆性,加热温度要低于300℃。铜合金铸件的热处理规范见表2-10-16。

表 2-10-16 铜合金铸件的热处理规范

合 金	应用的种类	规 范
ZCuBe0.6Co2.5	强 化	900~925℃,每10mm厚保温1h,460~480℃水淬,3~5h时效,空冷
ZCuBe0.6Ni2	强 化	915~930℃,每10mm厚保温1h,460~480℃水淬,3~5h时效,空冷
ZCuBe2 ZCuBe2.4	强 化	770~790℃,每25mm厚保温1h,310~330℃水淬,2~4h时效,空冷
ZCuCr1	强 化	980~1000℃,每25mm厚保温1h,450~520℃水淬,2~4h时效,空冷
ZCuAl10Fe4Ni4	强 化	870~925℃,每10mm厚保温1h,565~645℃水淬,每25mm厚保温1h回火,空冷





(续)

合金	应用的种类	规范
ZCuAl10Fe3	强化	870~925℃, 每 10mm 厚保温 1h, 700~740℃ 水淬, 2~4h 回火, 空冷
ZCuAl8Mn13Fe3Ni2	改善耐蚀性	870~925℃, 每 10mm 厚保温 1h, 535~545℃ 水淬, 2h 回火, 空冷
铝青铜	焊后热处理 (消除内应力)	炉内退火: 以 ≤100℃/h 的升温速度升至 450~550℃, 保温 4~8h, 然后以 ≤50℃/h 的降温速度冷却至 200℃ 以下, 打开炉门冷却
		局部退火: 将补焊区加热至退火温度 (450~550℃), 保温的时间分数大于该处厚度的毫米数, 然后用石棉布覆盖缓冷
ZCuZn24Al5Mn2Fe2	焊后热处理 (消除内应力)	以 ≤100℃/h 的加热速度升温至 500~550℃, 保温 4~8h, 然后以 ≤50℃/h 的降温速度随炉降至 200℃ 以下, 打开炉门冷却
ZCuZn40Mn3Fe1	焊后热处理 (消除内应力)	以 ≤100℃/h 的加热速度升温至 300~400℃, 保温 4~8h, 然后以 ≤50℃/h 的降温速度随炉降至 200℃ 以下, 打开炉门冷却
ZCuAl10Fe3	回火 (消除缓冷脆性)	850~870℃, 2h, 空冷
ZCuSn10P1	退火 (消除内应力)	500~550℃, 2~3h, 空冷或随炉冷
锡青铜	退火 (消除铸造缺陷)	650℃, 3h, 随炉冷或空冷
特殊黄铜	退火 (消除内应力)	250~350℃, 2~3h, 空冷

## 第 11 章 冲天炉配料、加料及浇注 机械化与自动化<sup>[19][54][58]</sup>

### 1 冲天炉配料设备

#### 1.1 冲天炉微处理机配料装置

冲天炉微处理机配料装置由电磁盘、前置放大器、传感器、A/D 转换器及带电子钟的微处理机等部分组成。与车间吊车配套用于冲天炉、工频炉等配、运各种铁炉料。

图 2-11-1 为冲天炉微处理机配料装置方框图, 图 2-11-2 为该装置与吊车配套示意图。

该装置的动作原理是, 拉力传感器将电磁盘所吸

铁料质量转化为毫伏级电讯号, 经前置放大器放大为 0~5V 电信号。此模拟量信号经 A/D 转换成相应数字信号输入微机, 并与微机内存预定值相比, 若大于预定值, 微机通过晶闸管电源控制电磁盘“放—吸”, 直到多余铁料放完为止。对于出现误差, 微机自动记忆。

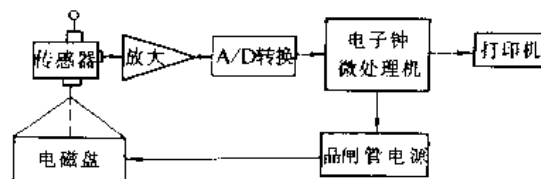


图 2-11-1 冲天炉微处理机配料装置方框图



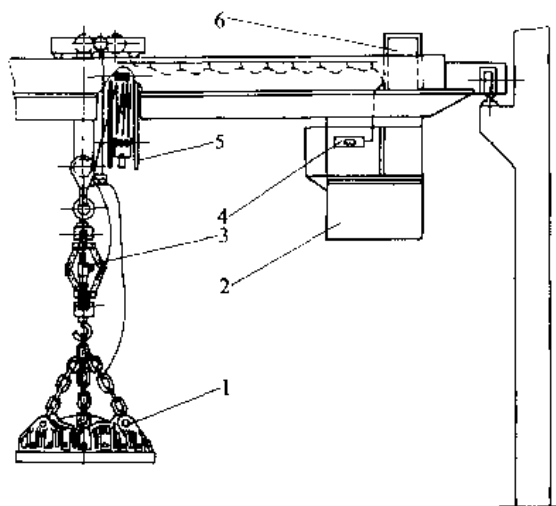


图 2-11-2 冲天炉微处理机配料装置与吊车配套示意图

- 1—电磁盘 2—吊车驾驶室 3—双十字节万向吊钩  
4—电子电位差计 5—电缆滑轮组 6—控制屏

在配下一批该种料时给予自动补偿。当出现误差大于允许值时,微机即自动把料放掉,并发出音响与数显信号通知配料工重新操作吸料。一批料配完后,打印机自动打印各种铁炉料实际值、批料值、批次、批料累加值、配料完成时间、两批料时间间隔及熔化率等数据。

### 1.2 铁料翻斗

采用电磁盘配料时,一般要设置铁料翻斗,贮存配好的铁料。铁料翻斗的倾翻机构有气动式、电磁式(图 2-11-3)和电动式(图 2-11-4)等三种。

### 1.3 过渡料车

当铁料翻斗与加料机料桶不能布置在一起时,用过渡料车作中间运输。料车的结构型式有气倾式、轨倾式和撞钩式,以撞钩式(图 2-11-5)使用效果较好。

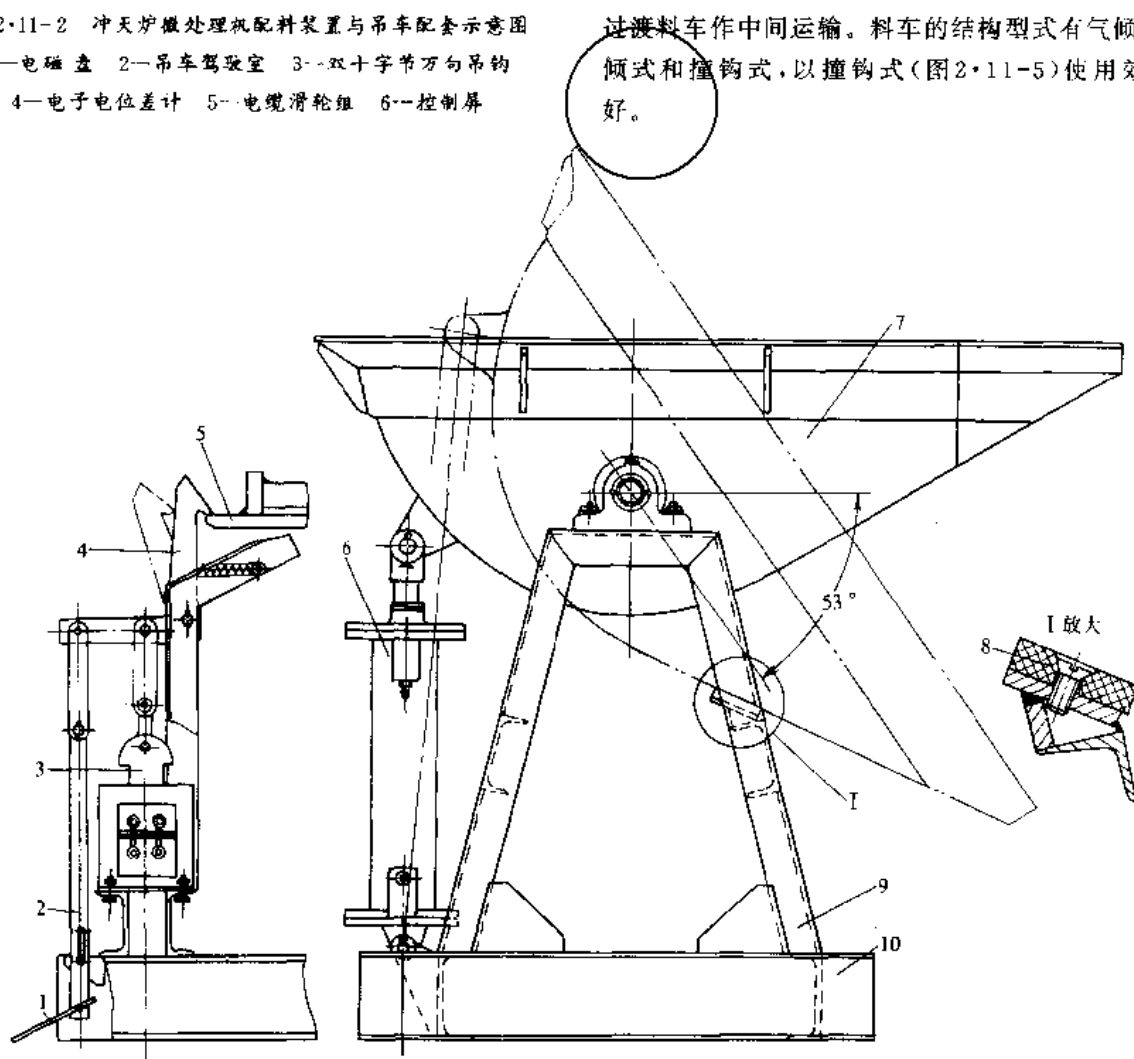


图 2-11-3 气动式、电磁式铁料翻斗

- 1—踏板 2—拉杆 3—牵引电磁铁 4—钩板 5—斗体尾部钩架 6—气缸  
7—斗体 8—缓冲胶垫 9—支架 10—底座



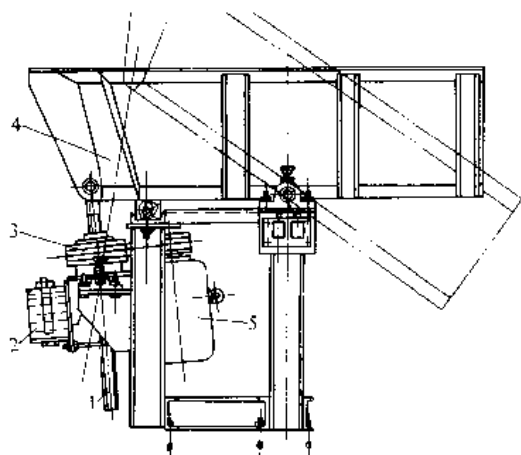


图 2-11-4 电动式铁料翻斗

1—丝杠 2—配重 3—螺母-带轮  
4—斗体 5—电动机

料车 4 用搭钩 3 自锁,料车行走至终点时,靠限位碰块 2 脱钩,料斗靠重心变化自动倾转和复位。

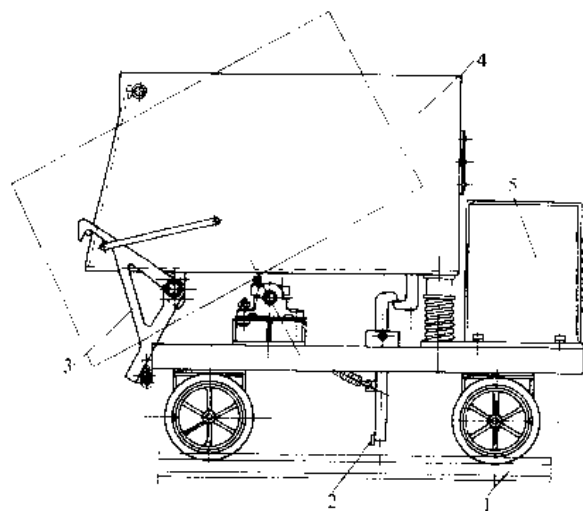


图 2-11-5 撞钩式过渡料车

1—轨道 2—限位碰块 3—搭钩  
4—料车 5—驱动装置

#### 1.4 焦炭、石灰石定量给料装置

已普遍采用电磁振动给料,定量斗定量。电磁振动给料机的结构型式见图 2-11-6。

定量斗按其称量方法分台秤式和电子秤式两种。

台秤式结构见图 2-11-7。常用的是标尺台秤,当斗内物料达到给定值时,秤杆抬起,碰合触点开关,使电磁给料机停止给料。卸料门靠气缸推开或用电磁铁脱钩,靠物料自重将卸料门推开。

电子秤式结构见图 2-11-8。在电子电位差计的表

头上加一个定值装置,当指针到定值装置时,发出信号给电磁振动给料机,停止给料。电子秤式的优点是准确度高,可进行多种物料定量,缺点是不能承受较大的冲击。

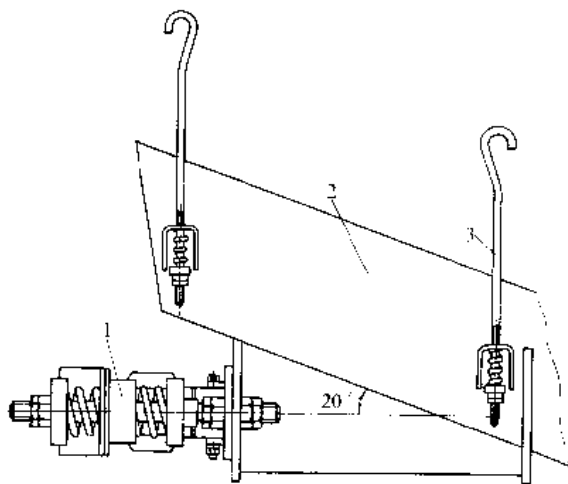


图 2-11-6 电磁振动给料机

1—激振装置 2—振动槽 3—吊钩

## 2 冲天炉加料设备

冲天炉加料设备一般由机架、料桶小车和卷扬机等三个主要部分组成。此外还有启闭机构、保险和行程限位等辅助装置。目前应用的加料设备有爬式、单轨式和翻斗式三种类型。

### 2.1 爬式加料机

分固定式(图 2-11-9)和回转式(图 2-11-10)两种。回转式爬式加料机以回转盘为中心,沿加料平台上的弧形轨道回转。回转式比固定式结构复杂,钢材用量约多一半,但可供两台炉轮替使用。

爬式加料机上下圆弧段分别用上台架(图 2-11-11)和尾架支撑(图 2-11-12),中间的直线段用辅助框架加强其稳定性。

爬式加料机按尾架结构可分为长尾和短尾两种。当配料、加料系统布置在车间两个跨度内时,利用长尾爬式加料机过跨,可节省过渡料车。短尾爬式加料机适用于配料、加料系统布置在车间同一跨度内。图 2-11-13 为短尾爬式加料机尾架结构型式的一种。

爬式加料机加料动作少,控制简单,加料周期短,易于实现自动化。其缺点是,结构复杂,对加工制造的要求较高,造价高。另外还需要较深较大的地坑构筑物,占用的炉后面积也较大。



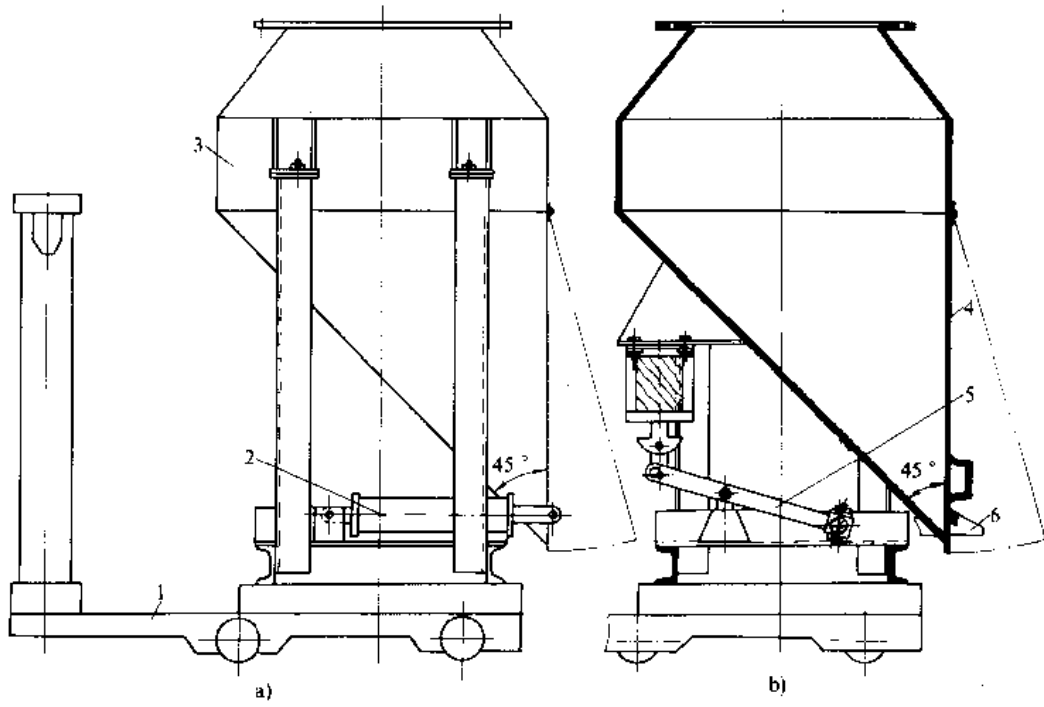


图 2-11-7 台秤式定量斗

a) 气动式 b) 电磁式

1—台秤 2—卸料门启闭气缸 3—斗体 4—卸料门 5—开启卸料门连杆 6—挂钩

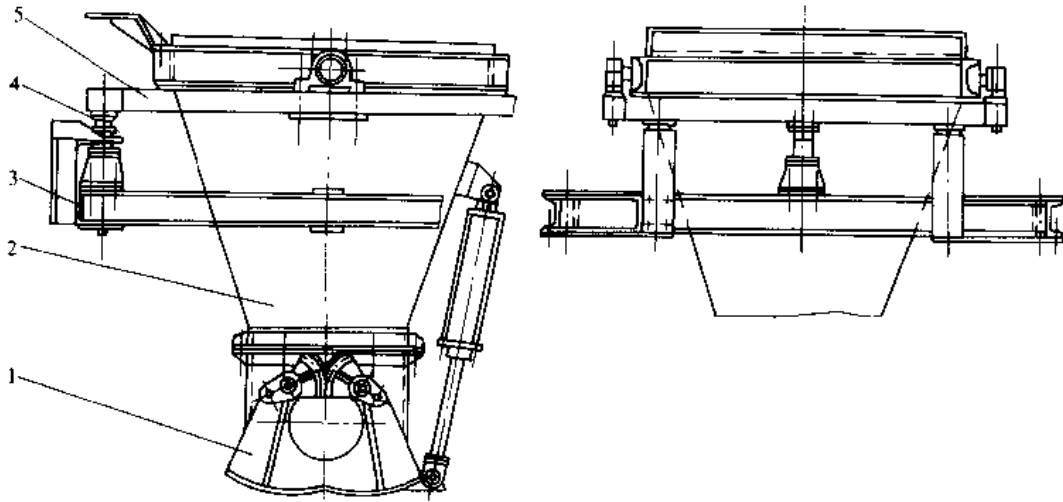


图 2-11-8 电子秤式定量斗

1—扇形闸门 2—定量斗 3—安装传感器框架 4—传感器 5—定量斗框架



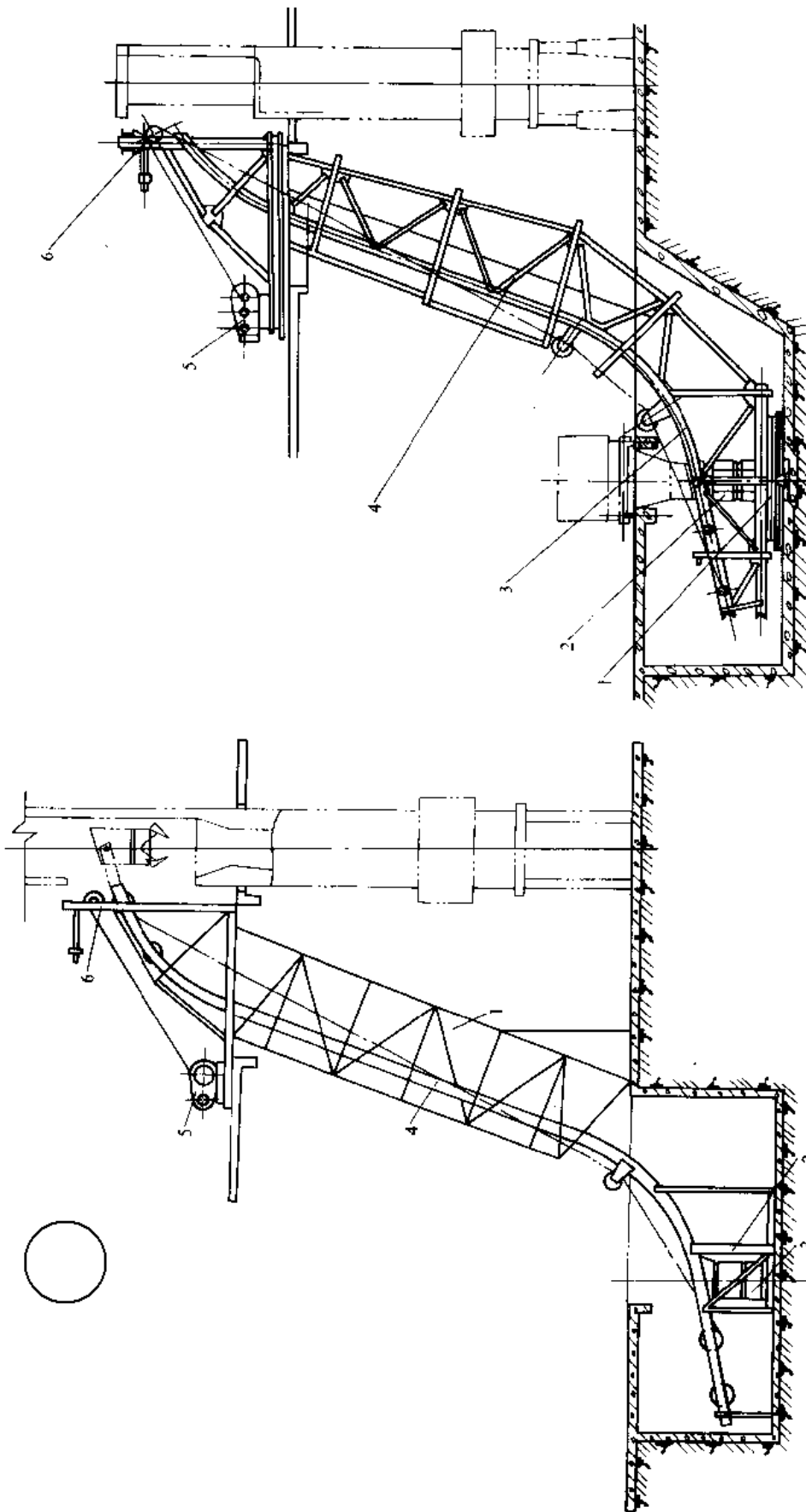


图 2·11-9 固定式爬式加料机

1—导轨直线段 2—导轨尾架 3—料桶 4—导轨 5—卷扬机 6—上台架

图 2·11-10 回转式爬式加料机

1—回转盘 2—料桶 3—尾架圆弧段 4—导轨直线段 5—卷扬机 6—上台架



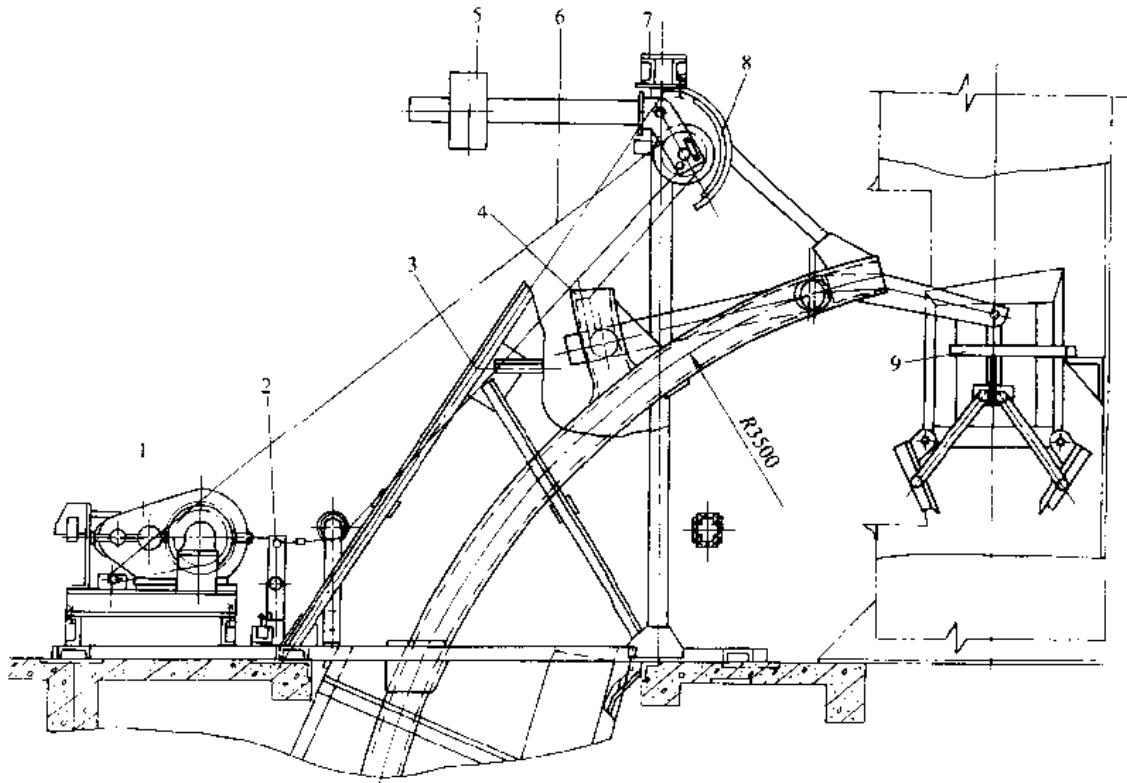


图 2-11-11 爬式加料机上台架

- 1—卷扬机 2 批料计数装置 3—上台架 4—轨道上岔道 5—牵引钢丝绳保险装置  
6—牵引钢丝绳 7 台架横梁 8—防护罩 9—料桶

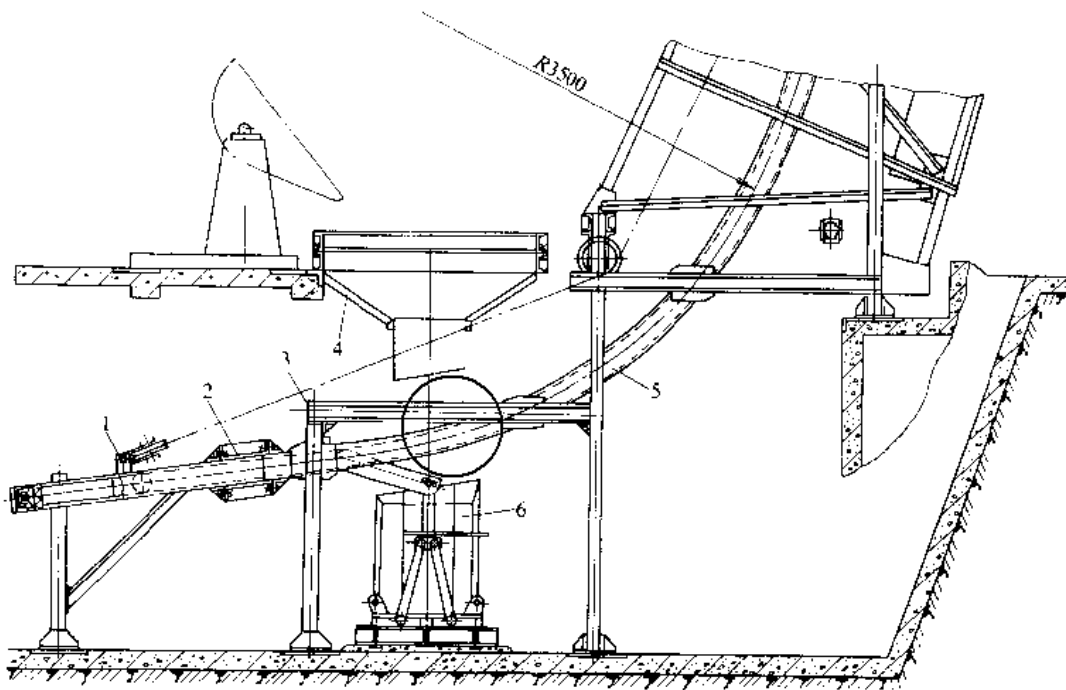


图 2-11-12 爬式加料机尾架支撑

- 1—小车牵引滑轮架 2—导轨拆装组件 3—尾架 4—受料漏斗 5—导轨 6—料桶



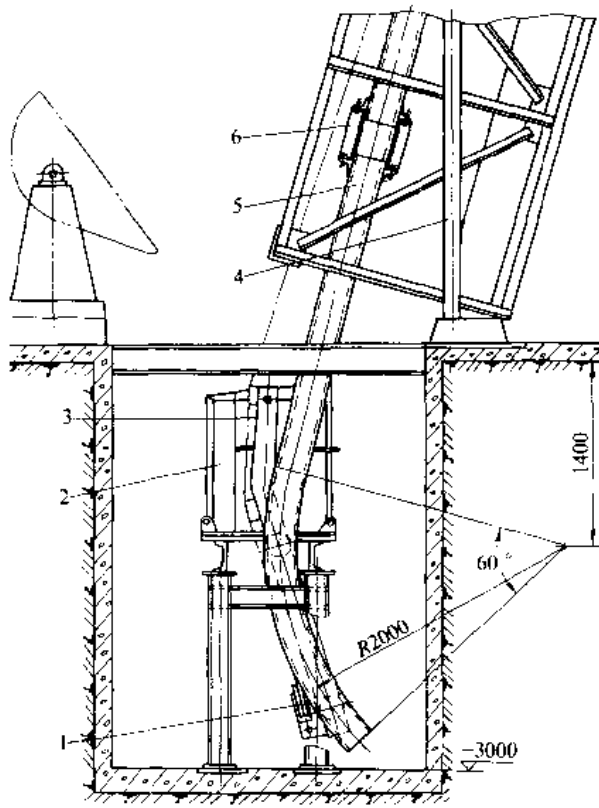


图 2-11-13 短尾爬式加料机尾架结构  
1—小车牵引滑轮 2—料桶 3—小车架 4—导轨支柱 5—导轨 6—导轨拆装组件

爬式加料机直线段桁架在设计时要考虑纵向刚性与横向稳定性。导轨本身的强度一般是足够的,可不必验算。

$$\text{纵向刚性条件应满足: } h/L \geq \left( \frac{1}{15} \sim \frac{1}{20} \right)$$

$$\text{横向稳定性条件应满足: } b/L \geq \left( \frac{1}{40} \sim \frac{1}{50} \right)$$

式中  $h$ ——导轨断面的垂直高度(m);

$b$ ——导轨断面的横向宽度(m);

$L$ ——导轨直线段跨度(m)。

桁架自身的纵向稳定性用桁架高度与纵向长度之比  $\lambda \leq 120$  来保证。

导轨上下圆弧段的曲率半径  $R_1, R_2$ , 一般按小车轮距的 1.5~3 倍取值。

### 2.2 单轨式加料机

单轨式加料机分固定与回转及移动等型式。回转式和移动式可供两台炉轮替使用。图 2-11-14 为回转式单轨加料机结构简图。

单轨式加料机结构较简单,制造容易,造价低。在布置上,所需地坑小,占地面积也少。其缺点是动作程序比爬式加料机多,控制系统复杂,实现自动化较困难。在布置上一般不能过跨,当冲天炉与炉料进入料桶的投料口不在同一跨时,需用过渡料车转运。

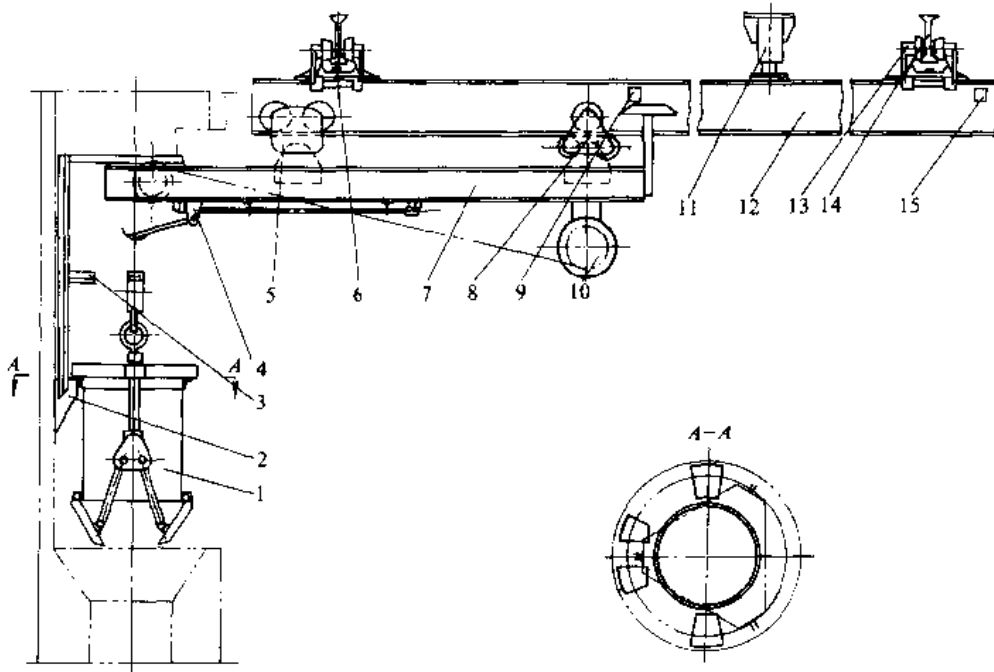


图 2-11-14 回转式单轨加料机  
1—料桶 2—炉壁撑块 3—限位框 4—行程开关上止点触动机构 5—行走主动轮 6、14—前后弧形轨  
7—小车架 8—行走从动轮 9—小车前止点行程开关 10—卷筒 11—回转轴支座 12—回转梁  
13—回转轮架 15—小车后止点行程开关



### 3 冲天炉微型计算机控制、检测与管理系统的

该系统是集冲天炉控制、检测与管理三种功能为

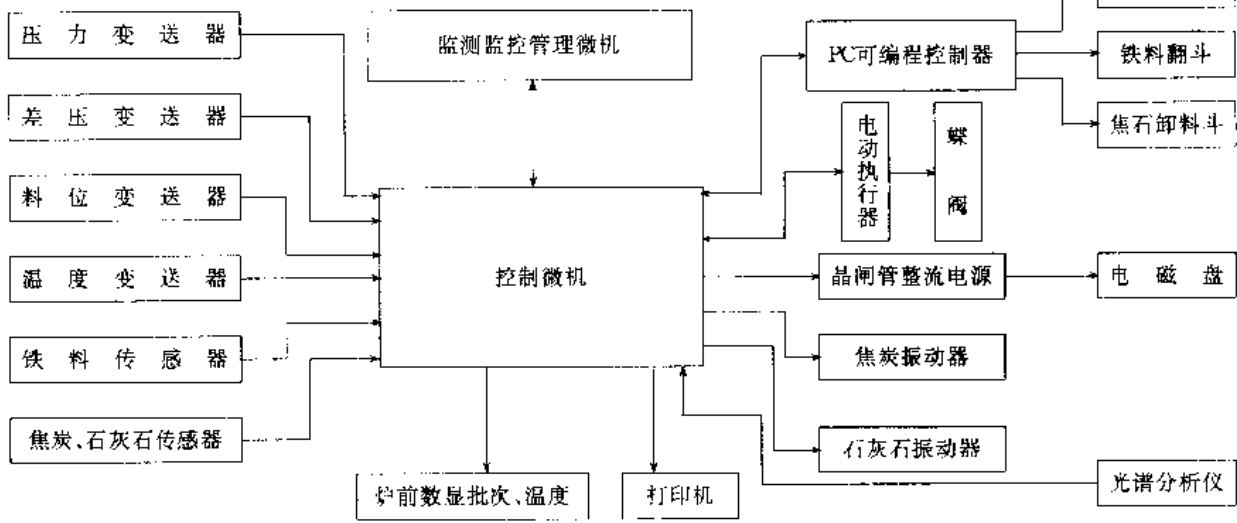


图 2-11-15 控制、检测及管理系统方框图

#### 3.1 控制系统

冲天炉控制、检测与管理系统中的微机控制系统具有炉后配料、加料和对熔炼过程中主要工艺参数连续检测的功能。

对炉后配料，除具有前述冲天炉微处理机配料装置全部功能外，还能配非金属炉料（焦炭，石灰石）和铁合金料。配焦炭时，可按批铁重量和铁焦比自动配层焦，按预定值加底焦，按铁液牌号加隔焦以及根据炉况判断自动加接力焦。对石灰石则按给定值配料。焦炭、石灰石配料的基本误差，连续 5 次配料平均误差  $< 2\%$ 。

铁合金质量配料时，事先要将铁合金料按大小块分级，分别装在两个贮存斗内。先配 80% 大块料，后配 20% 小块料，如出现误差，能在配下批料时自动补偿。连续配 5 批料的平均误差为 3%。

对冲天炉熔炼过程主要工艺参数的检测包括风量，风压，铁液温度，熔化率，铁焦比，批次，料位，铁料批料时间间隔等，检测数据由打印机打印，在炉前数字屏还能显示铁料批次和铁液温度。

#### 3.2 监测监控管理系统

微机监测监控管理系统能按照预定的操作规程对冲天炉熔炼过程进行监督和管理。它通过串行接口不断接受控制微机送来的冲天炉各种工艺参数及控制状

一体的微机系统。由监测监控管理微机和控制微机两部分组成。图 2-11-15 为系统方框图。

态的开关信号。根据这些参数和信号在彩色 CRT 屏幕上通过图形方式反映各种设备的运行状态（包括故障显示），通过数字，仪表水柱和曲线三种方式显示主要工艺参数的数值和变化趋势。

微机监测监控管理系统的管理职能在熔炼过程中能自动判别预定的操作规程是否执行，如果未按操作规程操作，就作为事故记录备案。每月根据事故原因统计表，还能打印出强化管理与保证质量的建议。

### 4 机械化自动化浇注设备

#### 4.1 加热式浇注设备

加热式浇注设备也称保温浇注炉。铸铁的保温浇注炉主要采用有（无）芯工频炉和气压式或柱塞式浇注方式。由于炉衬耐火材料的不断改进以及电、液、气、测试与控制领域技术的不断发展，浇注自动化技术也日趋成熟。

图 2-11-16 为用于垂直无箱射压造型线的气压式自动浇注设备，采用有芯工频加热，气压浇注方式。铁液由注入槽 7 加入气压浇包 3，由气压作用经浇出槽 11 浇入铸型 10。

图 2-11-17 为另一种加热式浇注设备。采用无芯工频加热，柱塞浇注方式，浇注设备横跨在造型线上，与铸型同步运行。





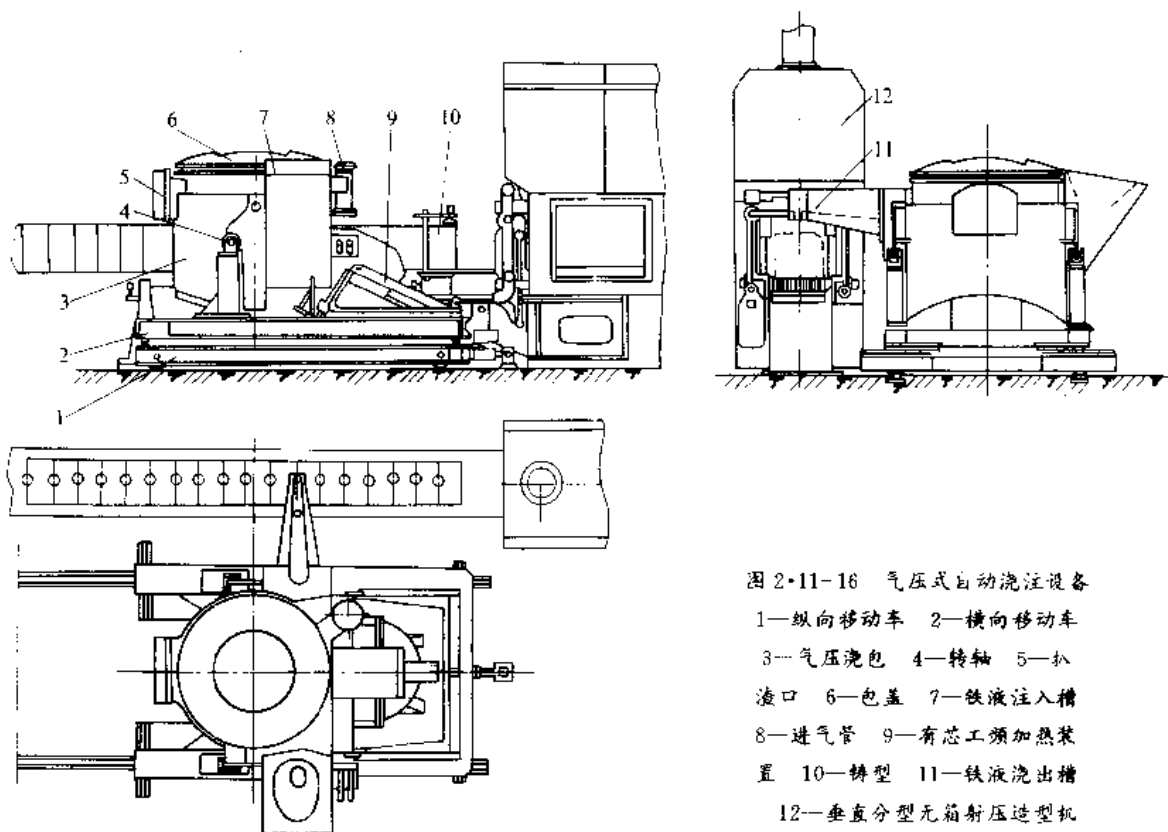


图 2-11-16 气压式自动浇注设备  
 1—纵向移动车 2—横向移动车  
 3—气压浇包 4—转轴 5—扒渣口  
 6—包盖 7—铁液注入槽  
 8—进气管 9—有芯工频加热装置  
 10—铸型 11—铁液浇出槽  
 12—垂直分型无箱射压造型机

图 2-11-18 为气压式柱塞浇注设备示意图。压缩惰性气体使金属液进入加热炉的浇注嘴处，浇注嘴由柱塞堵住。当加热炉内金属液量在一定范围内变化时，靠压力控制系统的调节，压缩惰性气体都能使浇嘴里液位稳定不变。浇注速度取决于柱塞从出铁孔提起的距离和孔的直径。

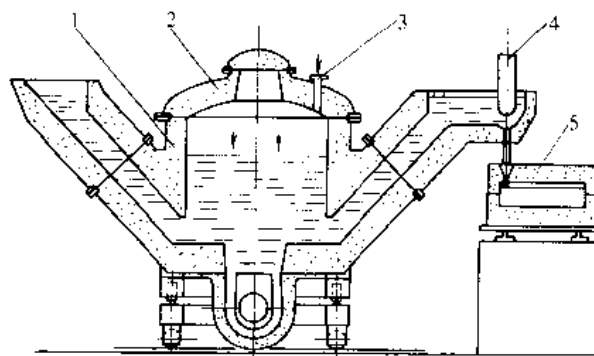


图 2-11-18 气压式柱塞浇注设备  
 1—加热炉 2—密封盖 3—压缩惰性气体入口  
 4—柱塞 5—铸型

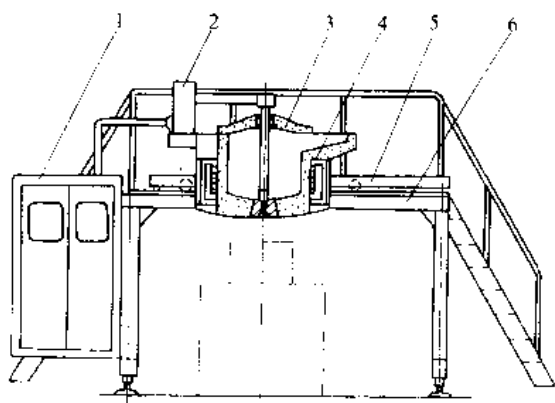


图 2-11-17 柱塞式机械化浇注设备  
 1—操纵室 2—柱塞机构 3—炉盖  
 4—炉体 5—小车架 6—大车架

#### 4.2 非加热式浇注设备

非加热式浇注设备多用于机械化浇注场合。图 2-11-19 为用于垂直分型无箱射压造型线的机械化浇注机，由操纵室 2，浇包倾转机构 3，小车 5，大车 7 等组成。大车可作纵向移动，小车可作横向移动以调节浇注位置。浇包倾转机构可使浇包 4 倾转进行浇注，最大倾转角 90°，横向调整距离为 250mm，工人在操纵室内操作，不受灼热烟气的影晌。



图 2-11-20 为用于微振压实造型线的机械化浇注机。其结构为倾转浇注式,采用浇包往复同步,当浇注机对准铸型浇口后,同步挡铁 11 向外推出,使浇注

机与铸型输送机同步运动,浇注完毕,同步挡铁缩回,浇注机迅速退至下一铸型进行再一次浇注。

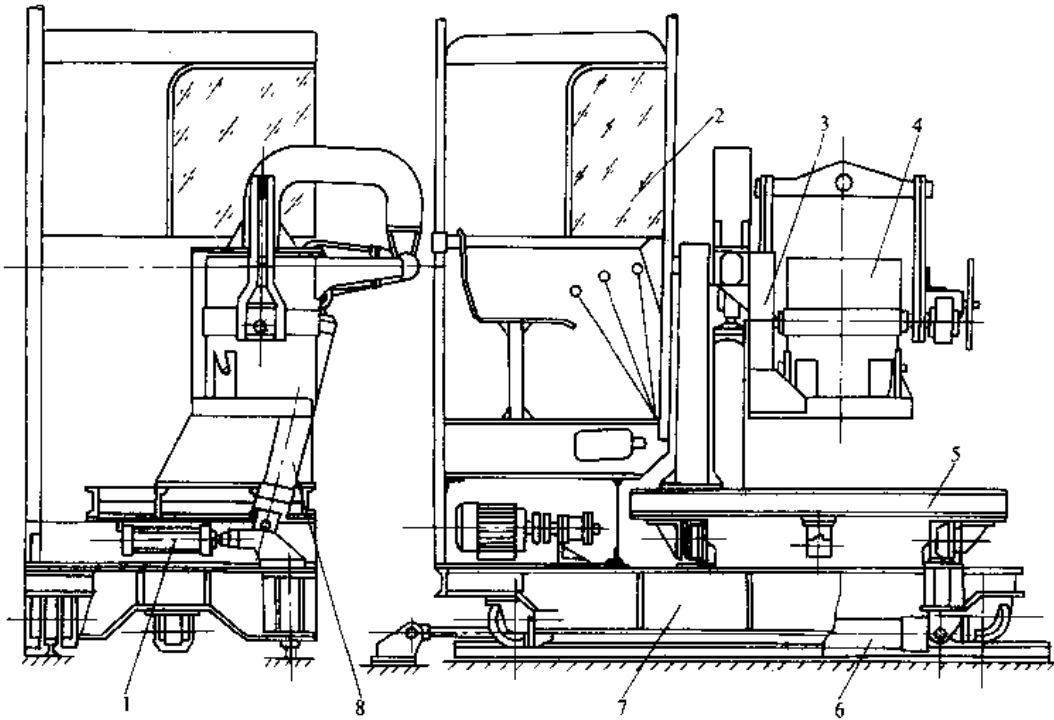


图 2-11-19 用于垂直无箱射压造型线的机械化浇注机

- 1—小车行走油缸 2—操纵室 3—浇包倾转机构 4—浇包 5—小车  
6—大车行走油缸 7—大车 8—倾转机构油缸

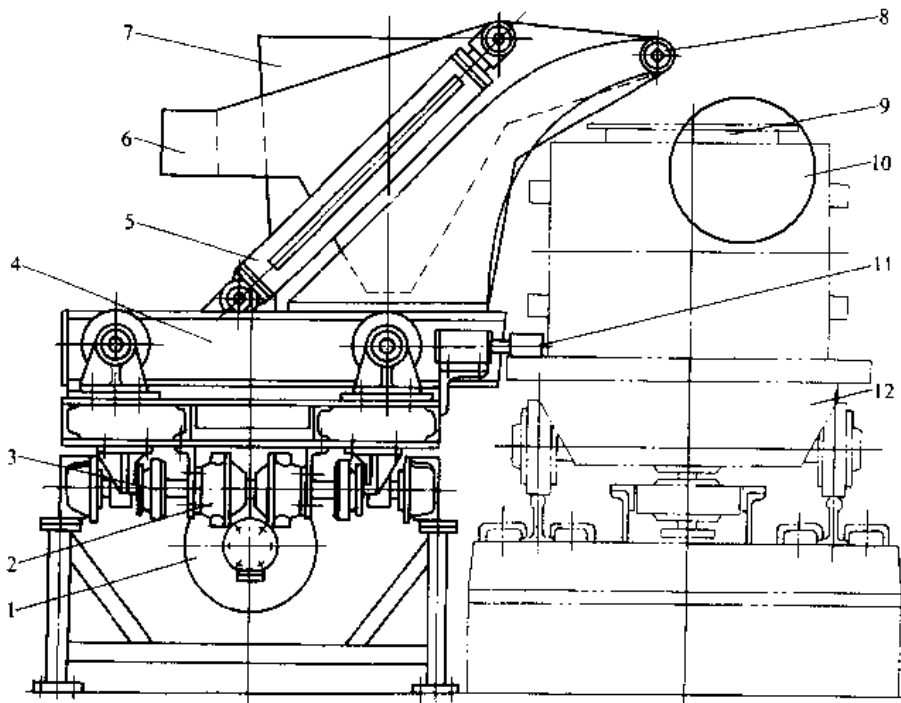


图 2-11-20 用于微振压实造型线的机械化浇注机

- 1—电动机 2—薄膜气缸 3—气动离合器 4—横向移动车 5—倾转油缸 6—倾转机构 7—浇包  
8—转轴 9—压铁 10—铸型 11—同步挡铁 12—铸型输送机



## 第12章 砂处理机械化与自动化<sup>[54][58]~[60]</sup>

砂处理包括旧砂、新砂、辅料的处理,一般简称砂处理。它的最终任务就是及时向造型和制芯部门提供一定数量,而且符合工艺要求的型、芯砂。

砂处理机械化与自动化线,主要由工艺设备、输送设备、辅助设备和控制系统组成。输送设备主要有带式输送机、惯性振动输送机、斗式提升机和气力输送装置等。辅助设备主要有带式给料机、螺

旋给料机、圆盘给料机、振动给料机、杠杆配料秤等。有关这类设备参见物料搬运设备卷第3篇,本章重点介绍砂处理主要工艺设备和砂处理系统的机械化与自动化。

砂处理工艺流程,根据生产性质,生产规模,铸件种类,以及对型、芯砂的技术要求等实际情况确定。图2-12-1是常用的砂处理工艺流程。

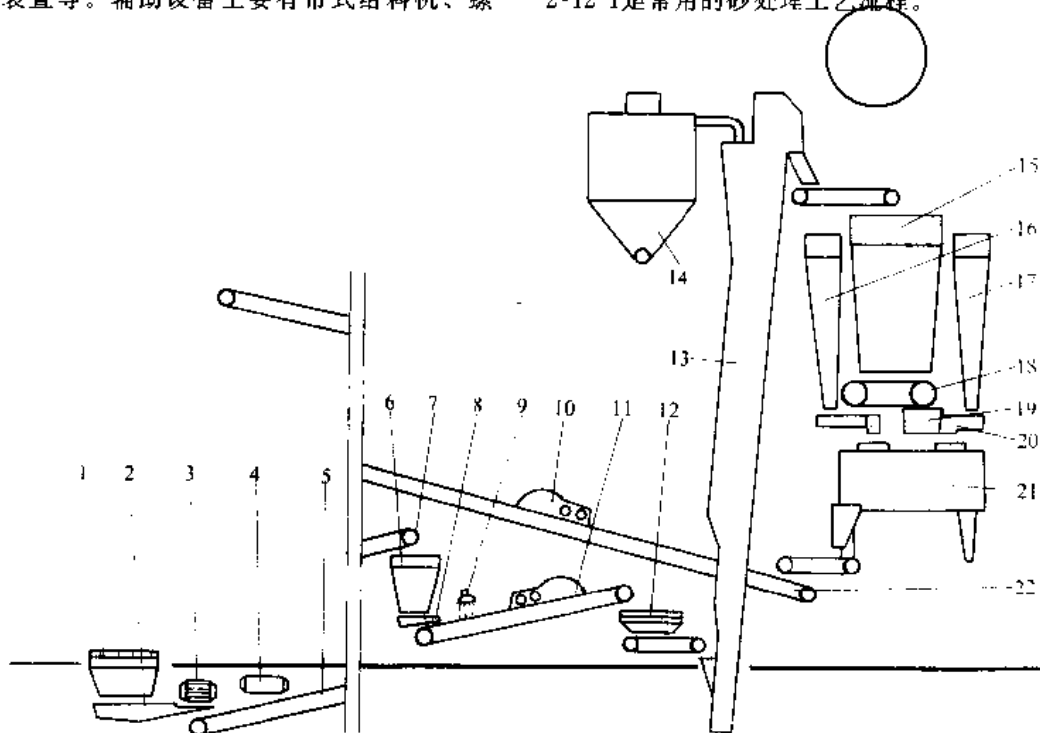


图2-12-1 砂处理工艺流程图

- 1—落砂机 2—振动给料机 3—带式永磁分离机 4—新砂带式输送机 5—旧砂带式输送机 6—中间砂斗  
7—永磁带轮 8—振动给料机 9—增湿装置 10—双轮松砂机 11—双轮破碎机 12—振动筛  
13—冷却提升机 14—旋风除尘器 15—旧砂斗 16—煤粉斗 17—粘土斗 18—带式给料机  
19—定量器 20—螺旋给料机 21—混砂机 22—型砂带式输送机

### 1 新砂烘干机械化

首先应根据工艺要求,决定新砂是否需要烘干。用水玻璃砂、树脂砂、油砂等制芯时,为保证型芯质量,新砂必须烘干;对于湿法清理铸件的回用砂,因含水量太高,要烘干后再用。新砂烘干设备有:三回程滚筒烘砂装置、振动沸腾烘砂装置和热气流烘砂装置等。

#### 1.1 三回程滚筒烘砂装置

三回程滚筒烘砂装置见图2-12-2。其工作过程是湿砂加入后,在滚筒转动过程中,热气流与湿砂在滚筒中进行顺流热交换,折转三次后当砂子到达出料口时,湿砂已被烘干。废气和灰尘经除尘器过滤后排出车间外。以三回程滚筒烘砂装置组成的新砂烘干系统见图2-12-3。



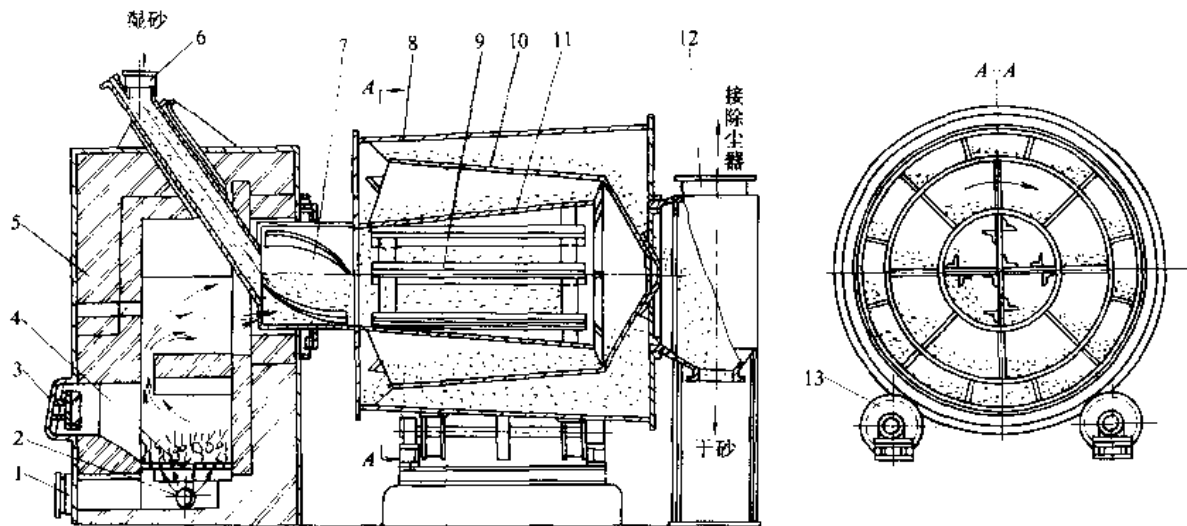


图 2·12-2 三回程滚筒烘砂装置

- 1—出灰门 2—进风口 3—操作门 4—炉篦 5—炉体 6—进砂管 7—导向筋片 8—外滚筒  
9—举升板 10—中滚筒 11—内滚筒 12—漏斗 13—传动托轮

### 1·2 振动沸腾烘砂装置

振动沸腾烘砂装置见图 2·12-4。这种烘砂装置是利用流态化原理制成的。由于激振，砂处于沸腾状态，因而同热气流的热交换比较充分。特点是结构比较简单，维护工作量少，可供干含质量分数为 15% 以下水的新砂和再生砂。适用于大中型铸造车间，当振动床长为 7m、宽为 1m、热风温度为 250~300℃ 时，烘干含质量分数为 10% 水的再生砂，生产率可达 15~20t/h。

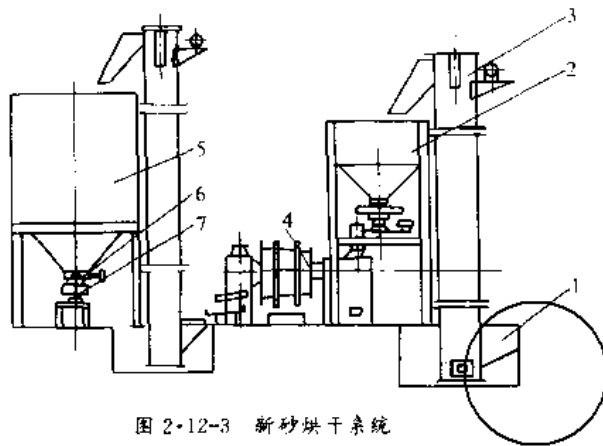


图 2·12-3 新砂烘干系统

- 1—格栅砂斗 2—新砂斗 3—斗式提升机 4—三回程滚筒烘砂装置 5—砂斗 6—振动砂斗 7—带式输送机

### 1·3 热气流烘砂装置

热气流烘砂装置(图 2·12-5)的特点是烘干和输送同时进行，宜烘干含质量分数为 10% 以下水的湿砂。装置简单，投资少；但动力消耗大，有噪声。当烘

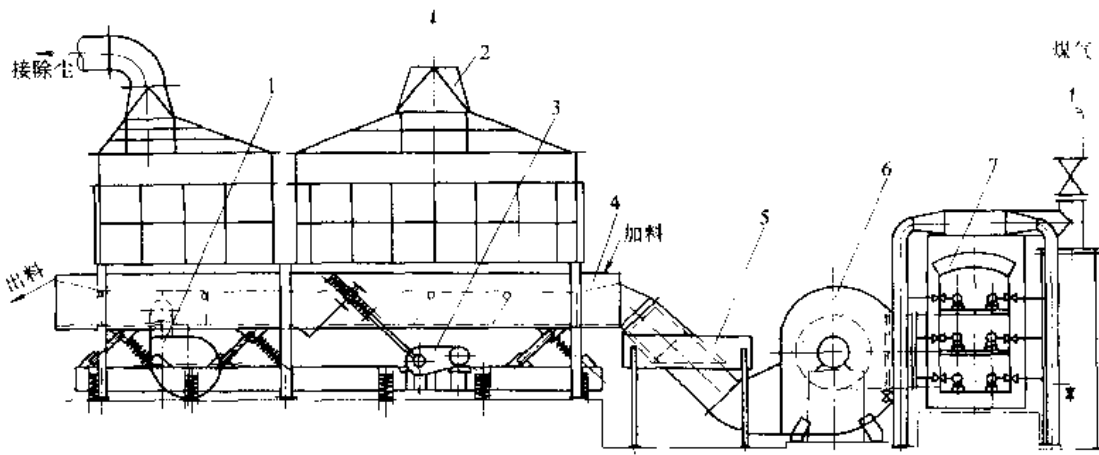


图 2·12-4 振动沸腾烘砂装置

- 1—冷却鼓风机 2—自然通风口 3—驱动装置 4—振动床 5—动静管接头水箱 6—热风鼓风机 7—燃烧炉



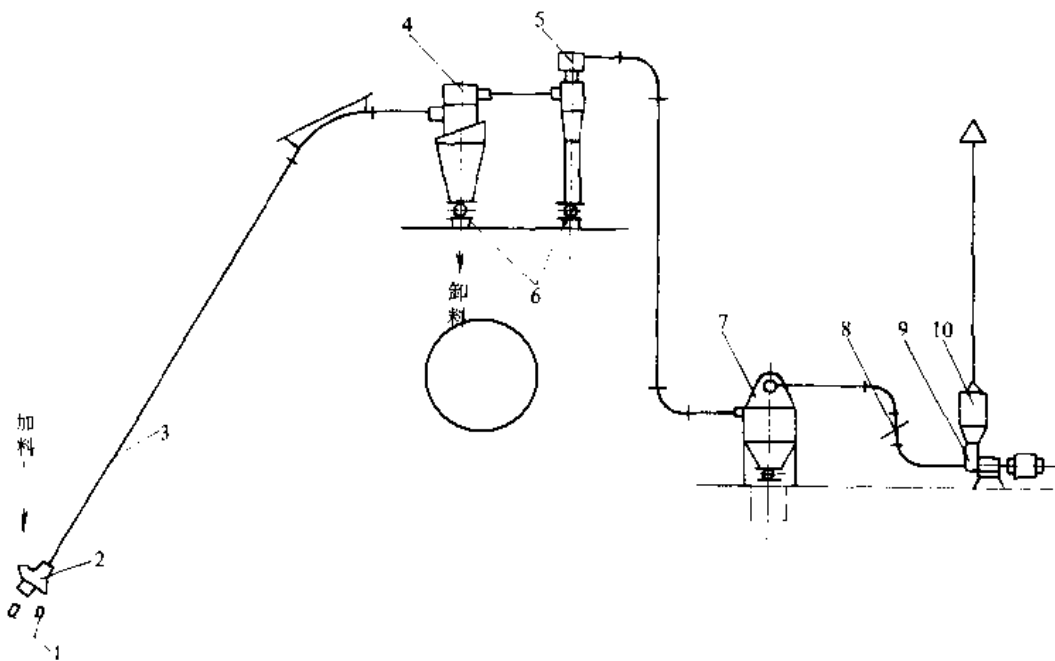


图 2-12-5 热气流烘砂系统

- 1—燃烧器 2—喉管 3—烘干管 4—旋风分离器 5—干式除尘器 6—闭锁器 7—湿式除尘器  
8—节气阀 9—风机 10—消声器

干段管道长为 10~20m, 管径 250~300mm, 安装倾角 60°~70°, 热风温度 250~400℃ 时, 生产率 5~10t/h。

## 2 旧砂处理机械化

旧砂处理和回用是砂处理系统的重要环节, 因为旧砂一般占型砂总量 80% 以上, 它的质量将直接影响型砂性能。旧砂处理的目的是去除其中各种杂物, 调节水分, 降低温度, 使成分均匀化。

### 2.1 磁分离设备

落砂后的旧砂中含有浇冒口、铁豆、铁钉、飞边毛刺、芯骨等铁磁性物质, 在旧砂处理过程中, 必须将这些铁料去除。由于这些铁料属于强磁性物质, 所以采用磁分离方法, 将其从旧砂中分出。

磁分离设备按磁源分为电磁和永磁两种。电磁分离设备需要直流电源、铁芯和线圈, 而永磁分离设备则不需要直流电源, 结构简单, 可在较高温度下工作, 应用广泛。其型式有滚筒式、皮带轮式和带式。

磁分离设备的分类、安装形式及应用详见表 2-12-1。

#### 2.1.1 永磁分离滚筒

永磁分离滚筒工作原理如图 2-12-6 所示。工

时, 由给料机均匀地向分离滚筒供应旧砂, 使砂层厚度保持在 45~75mm 间, 最大可至 100mm。旧砂因惯性落于滚筒左侧, 而铁料则被固定磁系吸住, 由转动的滚筒及凸棱带至滚筒右侧, 脱离磁场后下落, 这样就使砂与铁料分离。图 2-12-7 为永磁分离滚筒外形图。

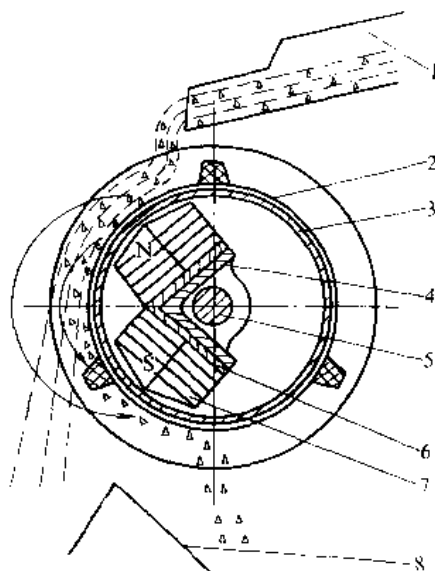
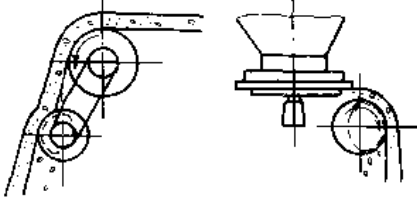
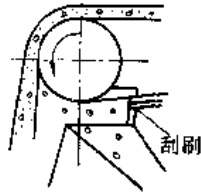
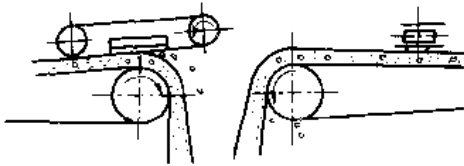


图 2-12-6 永磁分离滚筒工作原理

- 1—给料机 2—保护层和凸棱 3—转动滚筒 4—固定磁轭 5—固定轴 6—磁极底板 7—固定磁系 8—分料溜槽



表 2-12-1 磁分离设备的分类、安装形式及应用

名称	磁系	结构	安装形式	应用
磁分离滚筒	水磁 电磁	滚筒旋转，磁系不转		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 可自行排除铁质</li> <li>2. 必须自配驱动装置</li> <li>3. 分离效果较差，一般作辅助磁分离应用</li> </ol>
磁皮带轮	水磁 电磁	磁系随滚筒一起旋转，兼作传动滚筒作用		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 能分离出旧砂中较小的铁杂质</li> <li>2. 常作为主要的磁分离工序应用</li> <li>3. 可自行排除铁质</li> </ol>
带式磁分离机	水磁 电磁	磁系固定悬挂在输送设备上方。右图为带式磁分离机垂直交叉安装形式，左图为重叠安装形式		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 适用于厚砂层的分离</li> <li>2. 磁分离效率高</li> <li>3. 安装时需占用一定通道面积</li> </ol>

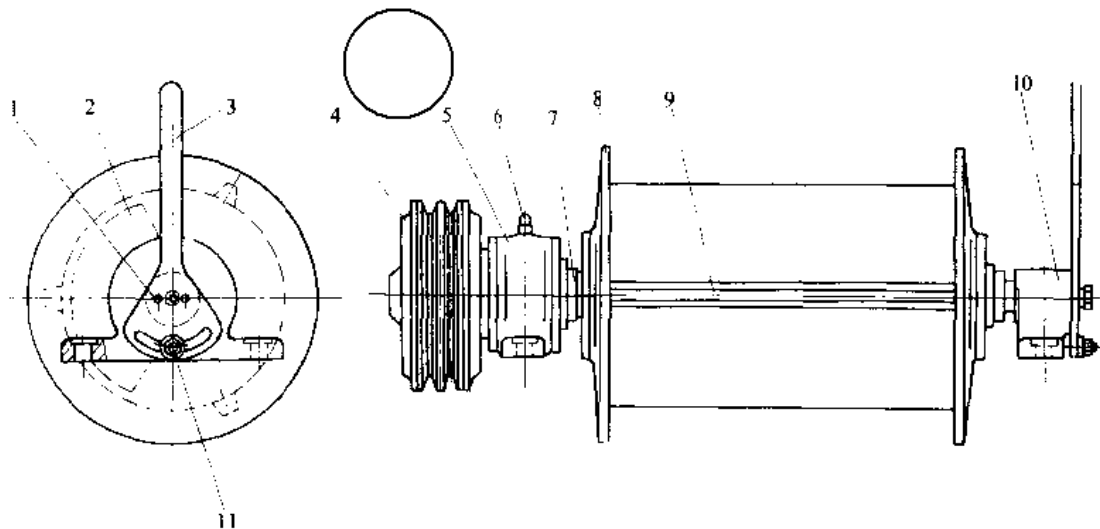


图 2-12-7 永磁分离滚筒外形图

- 1—圆柱销 2—扇形磁系 3—磁系转动调整手把 4—带轮 5—轴承座 6—油环 7—迷宫式密封  
8—铝法兰 9—胶棱 10—轴承座 11—固定螺母



2.1.2 永磁带轮

永磁带轮工作原理如图 2-12-8 所示。当驱动装置带动传动滚筒及磁系旋转时，随输送胶带一起运行的旧砂，在传动滚筒处因惯性作用被卸至前方，而其中的磁性物质则被旋转的磁系吸住，随传动滚筒一起旋转，在传动滚筒下方，远离磁场后，靠重力下落。图 2-12-9 为永磁带轮结构图。

2.1.3 带式永磁分离机

这种磁分离设备一般纵向或横向吊挂安装在输送机上，作为第一道分离工序先把旧砂中较大铁质杂物分离出来，以保护砂处理工艺设备。分离胶带与输送机上物料间的距离一般为 150~200mm，物料输送速度 < 1m/s 为宜。图 2-12-10 为分离机横向安装在带式输送机上方。图 2-12-11 为分离机纵向安装在振动输送机上方。

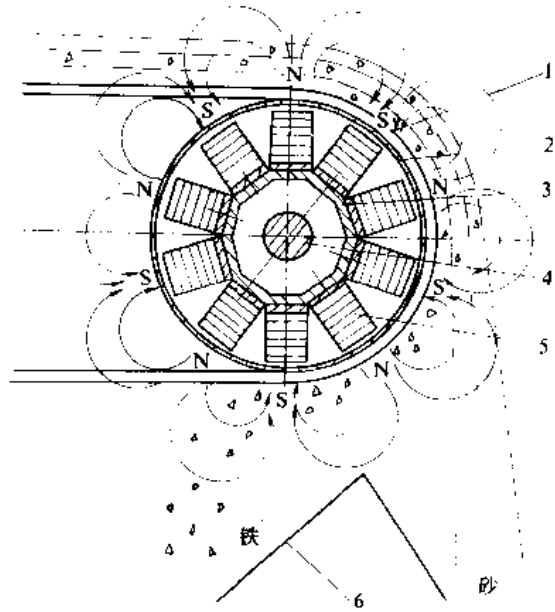


图 2-12-8 永磁带轮工作原理

- 1—输送胶带 2—滚筒 3—磁轭 4—传动轴  
5—旋转磁系 6—溜槽

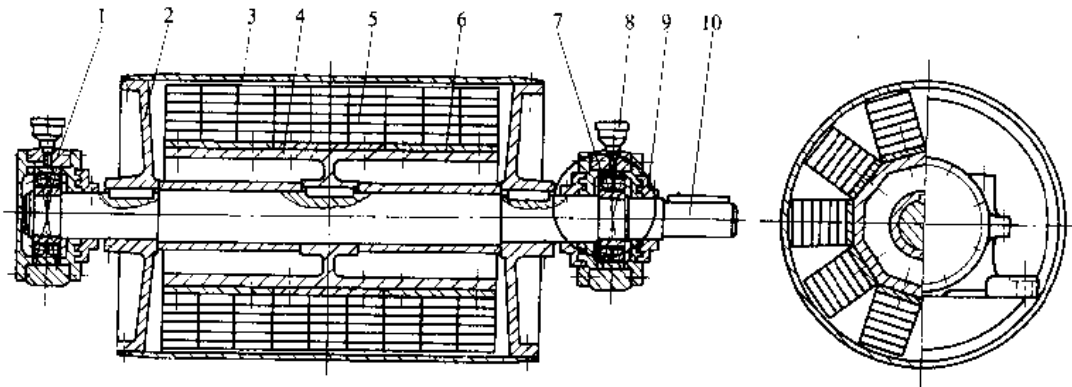


图 2-12-9 永磁带轮结构图

- 1—轴承座 2—端盖 3—筒皮 4—磁轭 5—磁块组 6—磁极底板 7—球面轴承 8—油杯 9—密封压盖 10—传动轴

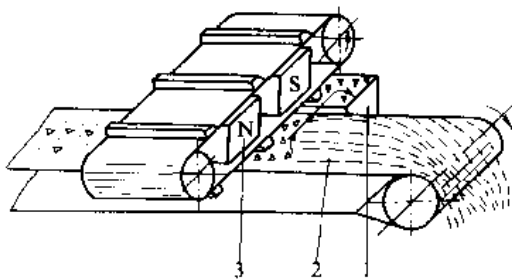


图 2-12-10 磁分离器横向布置示意图

- 1—废铁斗 2—带式输送机 3—带式永磁分离机

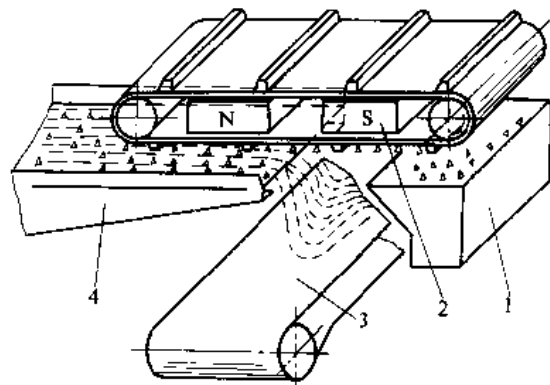


图 2-12-11 磁分离器纵向布置示意图

- 1—废铁斗 2—带式永磁分离机  
3—带式输送机 4—振动输送机



## 2.2 破碎设备

在旧砂处理过程中,为了使旧砂回用或再生,必须将其破碎。一般多经过1~2道破碎后再筛分。破碎设备有颚式破碎机、辊式破碎机、锤式破碎机等。有关上述几种破碎设备参见专用机械卷(二)第2篇第5章。

此外,目前生产常用的还有滚筒破碎筛,将破碎和过筛一起完成。

图2·12-12为滚筒破碎筛。工作时,依靠托轮的摩擦传动,使滚筒旋转,物料由进料口均匀加入,靠物料与筒壁间的摩擦力及四块提升叶片的作用,将物料举升,然后下落,冲击到内滚筒上,使砂块破碎,物料过筛。

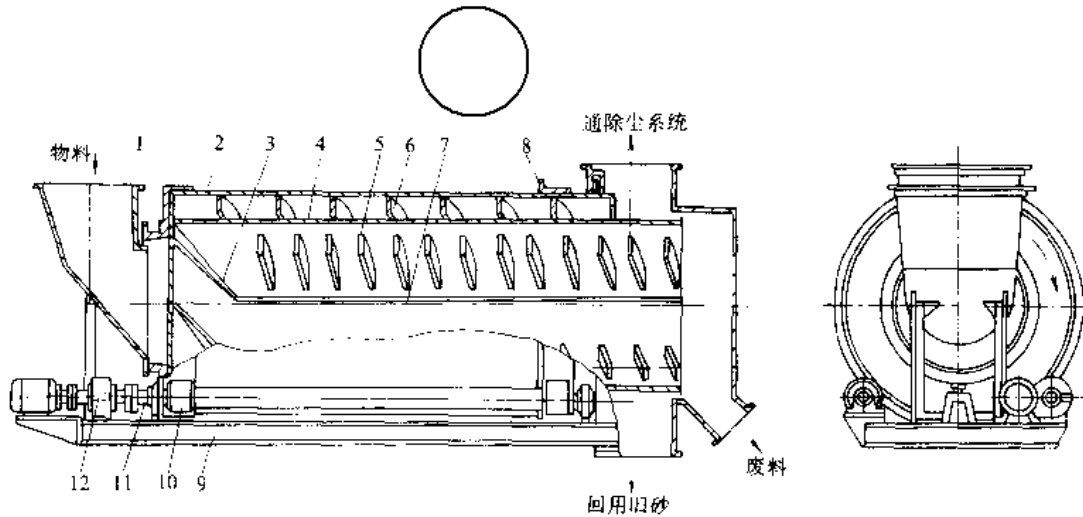


图2·12-12 滚筒破碎筛结构图

1—进料口 2—外滚筒 3—分配叶片 4—内滚筒 5、6—输送叶片 7—提升叶片 8—导轨  
9—机架 10—托轮 11—导轮 12—传动装置

## 2.3 筛分设备

筛分设备有多种类型,可用于筛分旧砂和新砂。旧砂过筛的目的是排除非金属夹杂物和未破碎的砂团,旧砂过筛一般是设在磁分离破碎之后。常用的类型有惯性直线振动筛砂机、滚筒筛砂机、摆动筛砂机以及旋振筛砂机等。

## 2.3.1 惯性直线振动筛砂机

惯性直线振动筛砂机见图2·12-13。筛的两侧壁上装有振动电机作为激振源。物料相对筛网垂直运动,因而过筛效率高,并具有激振力可调,结构紧凑,布置灵活等优点,应用广泛。这类振动筛的筛孔尺寸一般为6~15mm,筛网由钢丝编织或钢板钻孔构成。

## 2.3.2 滚筒筛砂机

滚筒筛砂机的断面形状有圆形和多角形两种,在长度方向又可分为圆柱形和锥形两种。这种筛运转平

稳且有一定破碎作用。

## 2.4 旧砂冷却设备

铸型在浇注后,旧砂因受高温金属的烘烤,温度升高。尤其在大量生产的铸造车间,旧砂循环快,旧砂的冷却更需十分重视。

冷却旧砂有两种方法:一是提高砂铁比,因为砂铁比越高,旧砂温度越低,混制的型砂质量愈稳定;二是在旧砂处理系统中,设置冷却设备。常用的旧砂冷却设备有:双盘搅拌冷却机、振动沸腾冷却装置、固定式沸腾冷却装置、冷却提升机和水冷式冷却装置等。各种旧砂冷却设备的应用及特点详见表2·12-2。

## 2.4.1 固定式沸腾冷却装置

这种冷却装置沸腾床倾角约 $8^{\circ}$ ,通过调节床的下倾角度来调节热砂在床上的停留时间,从而获得一定的冷却效果。热砂进入冷却器前须增湿搅拌均匀并除去较大的团块。图2·12-14为固定式沸腾冷却装置。





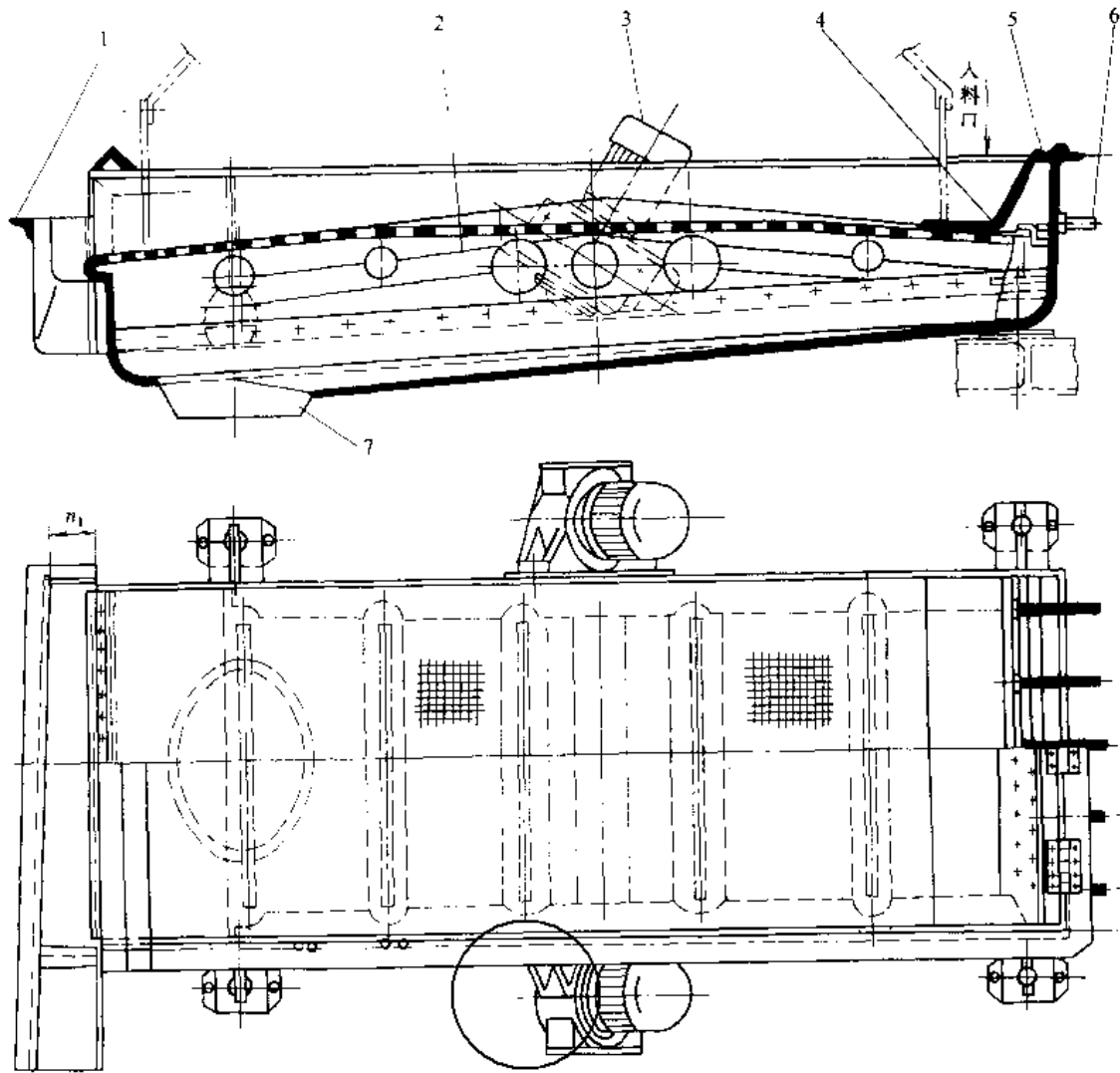


图 2-12-13 惯性直线振动筛砂机

1—废砂出口 2—筛网 3—振动电机 4—橡胶板 5—槽体 6—张紧螺栓 7—出料口

表 2-12-2 各种旧砂冷却设备的应用及特点

设备名称	应用	特点	设备名称	应用	特点
双盘搅拌冷却机	1. 能适应各种生产率的需要, 能起预混作用 2. 不宜在空气相对湿度较大的情况下应用	1. 可在机内增湿 2. 空气需要量大	固定式沸腾冷却装置	适用于生产率 20~50t/h 的中型机械化铸造车间	1. 结构简单 2. 对旧砂要求较高
振动沸腾冷却装置	适用于生产率 10~120t/h 的大中型铸造车间	1. 冷却效率高 2. 设备结构庞大 3. 振动噪声较大	冷却提升机	适用于生产率 50~60t/h 的大中型铸造车间	1. 有冷却兼有提升作用 2. 空气需要量较大



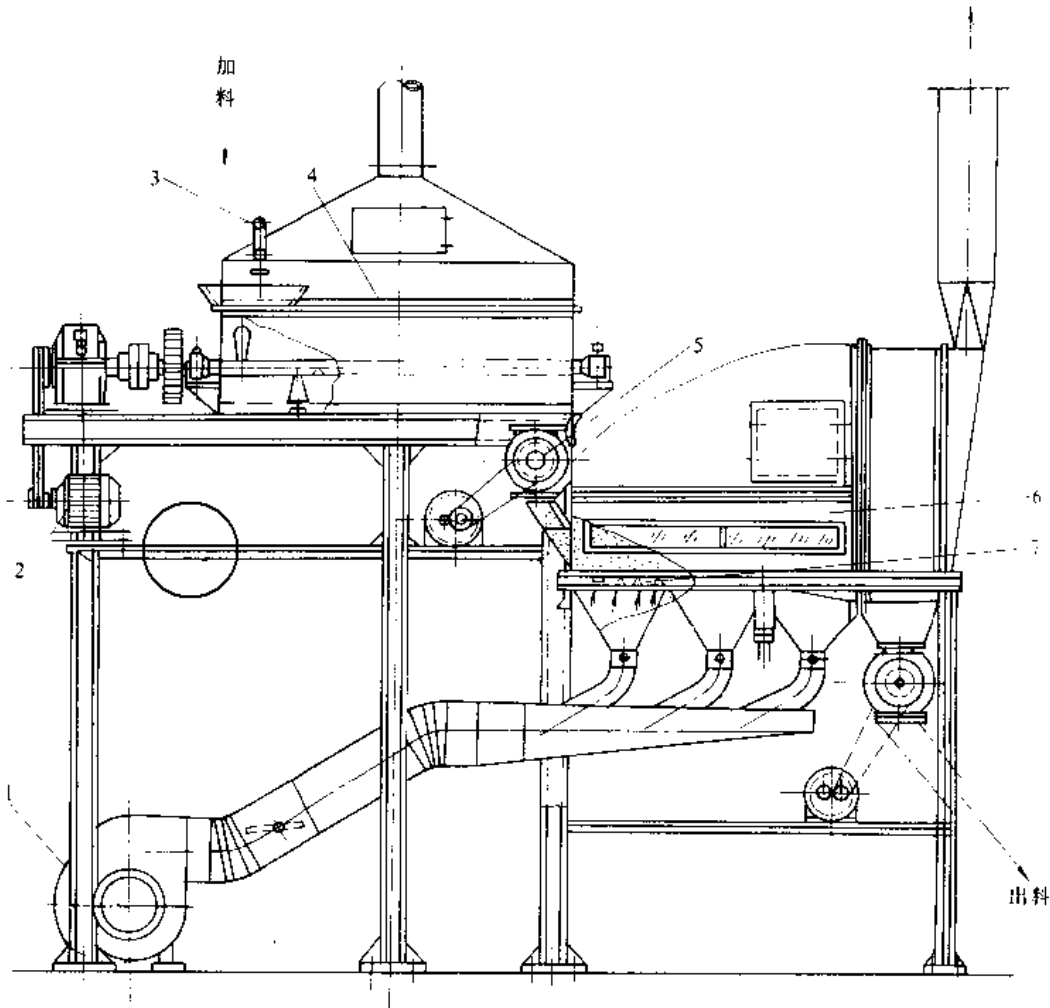


图 2-12-14 固定式沸腾冷却装置

- 1—鼓风系统 2—增湿器驱动机构 3—加水喷嘴 4—双轴叶片搅拌增湿器 5—星形给料器  
6—沸腾冷却器 7—沸腾床

2.4.2 双盘搅拌冷却机

双盘搅拌冷却机如图 2-12-15 所示。在椭圆形的盆体内有两个转速相同转向相反的搅拌器，经过磁选、增湿、过筛的旧砂由加料口均匀加入，在搅拌器的作用下，在盆内按“∞”字形路线反复运动。由鼓风机吹入的冷空气，吹向旧砂，使旧砂有一定的沸腾作用，冷风与热砂充分接触进行热交换，使旧砂冷却。

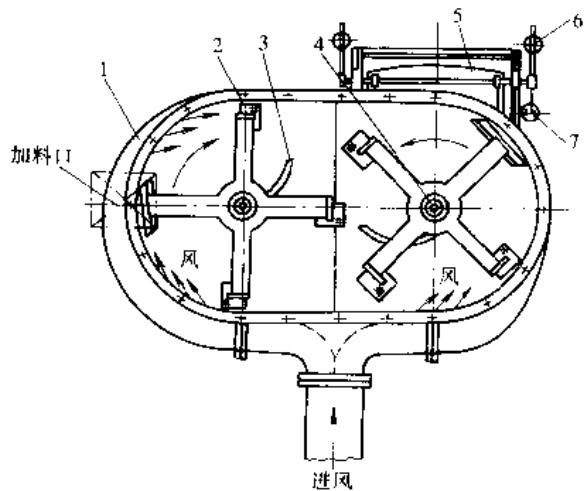


图 2-12-15 双盘搅拌冷却器

- 1—风箱 2—外刮板 3—内刮板 4—回转轴  
5—卸料门 6—平衡垂锤 7—油缸

2.4.3 振动沸腾冷却装置

热的旧砂经过增湿搅拌器，喷水搅拌均匀后落入振动沸腾冷却床的孔板上，在沿振动方向前进的同时，鼓风系统从孔板下部鼓入冷风，使热砂呈沸腾状态，空气和热砂充分接触，把热砂中水汽、热量带走，达到冷却热砂的目的。振动沸腾冷却装置见图 2-12-16。



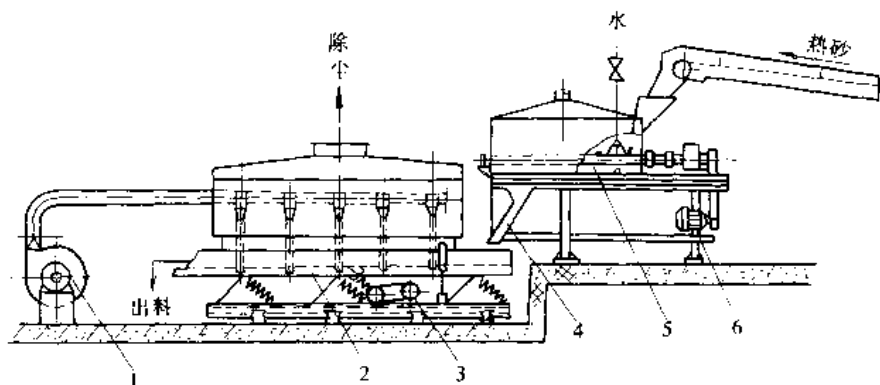


图 2·12-16 振动沸腾冷却装置

- 1-鼓风系统 2-振动床 3-振动床驱动机构 4-加料溜管 5-双轴叶片搅拌增湿器  
6-增湿器驱动机构

### 2·4·4 冷却提升机

冷却提升机兼有提升和冷却旧砂的双重作用，其工作原理如图 2·12-17 所示。经过磁选、增湿、过筛后的旧砂，被均匀地送入冷却提升机中。在提升和回落过程中，与由壳体进入的冷空气充分接触，以对流形式交换热量，使旧砂冷却。这种冷却机占地面积小，但是由于旧砂在冷却提升机中停留时间较短，冷却效果不很理想。

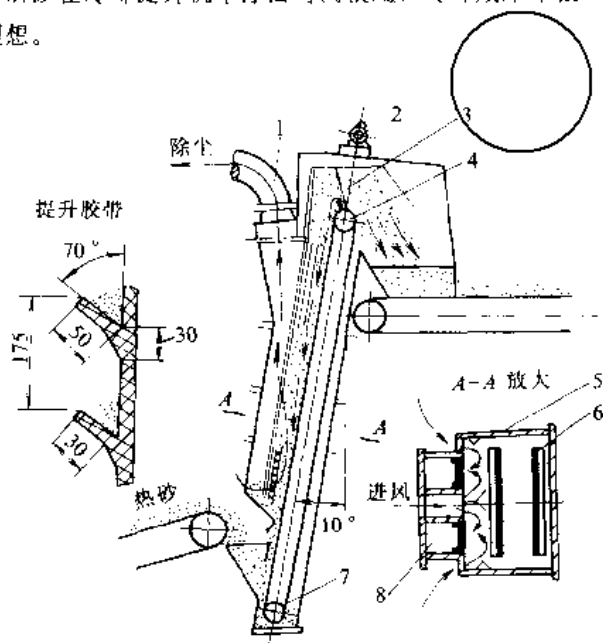


图 2·12-17 冷却提升机

- 1-排风管 2-电动机 3-可调挡板 4-提升胶带头轮  
5-壳体 6-提升胶带 7-提升胶带尾轮 8-排风通道

除上述几种旧砂冷却设备外，还有下列几种砂冷却系统：

#### 1. 增湿转鼓式砂冷却系统

这种系统设置于热砂斗和冷却斗之间，见 2·12-18 所示。热砂斗中的砂量由两个料位计控制，并通过料位计来决定均一化增湿转鼓和砂冷却器的启动。旧砂由带式输送机送到均一化增湿转鼓中，在离心力作用下，沿着侧壁向上，在到达顶点前落下并翻滚。自动增湿器的喷头自动喷水到砂表面，并送入砂冷却器，使热砂得到冷却。

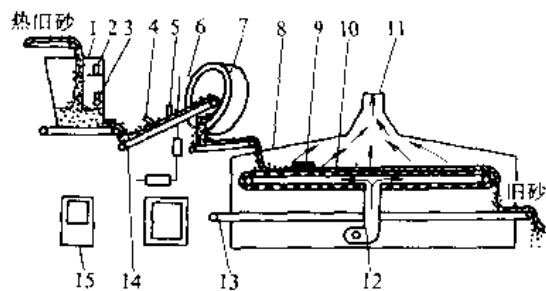


图 2·12-18 增湿转鼓式砂冷却系统

- 1-热旧砂斗 2-上料位计 3-下料位计 4-砂触头  
5-砂温传感器 6-自动增湿器 7-均一化增湿转鼓  
8-砂冷却器 9-砂耙 10-冷却输送机 11-吸风罩  
12-风机 13、14-带式输送机 15-控制柜

2. 转筒式砂冷却系统 在现代化造型系统中，由于模板交换频繁，旧砂量和水分多次变化，即使采用了旧砂冷却设备，若不考虑旧砂中水分的变化，也不可能获得性能稳定的型砂。采用转筒式砂冷却系统，不仅可以冷却旧砂温度，而且还能控制水分，其流程如图 2·12-19 所示。这种砂冷却系统的特点是：冷却效率高，能耗小，维修方便。

3. 真空混砂机型砂冷却系统 这种砂冷却系统可以在混砂机内同时完成旧砂的增湿冷却和干燥，还可防止有害气体及粉尘外逸。其工.序流程见图 2·12-20。



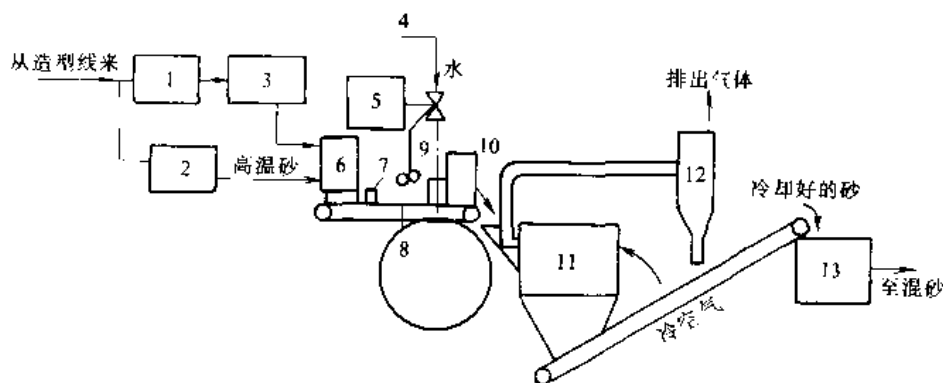


图 2·12-19 转筒式砂冷却系统流程

- 1—落砂机 2—铸型冷却器 3—滚筒筛 4—喷水单元 5—温度调节器 6、13—砂斗  
7—热电偶 8—砂触头 9—喷嘴 10—搅拌单元  
11—冷却器 12—干燥除尘器

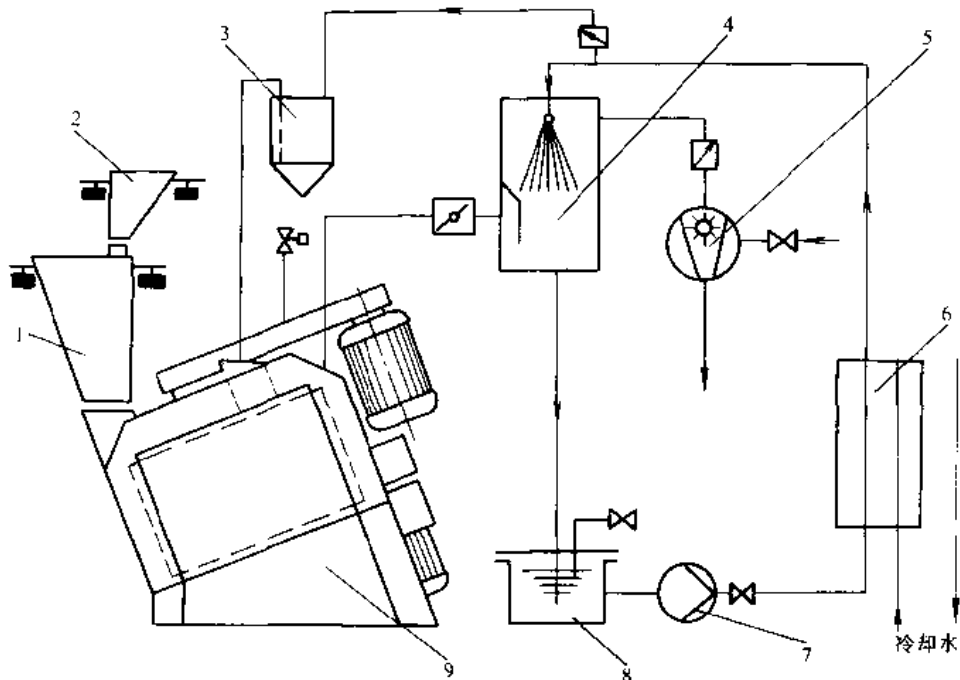


图 2·12-20 真空混砂机型砂冷却系统

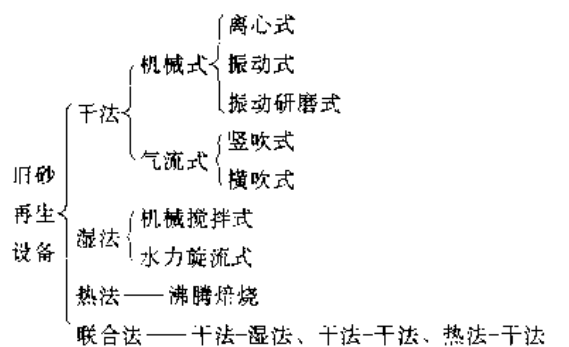
- 1—称量装置 2—加料器 3、8—水箱 4—冷凝器 5—真空泵 6—热交换器  
7—冷却水泵 9—真空混砂机

### 2·5 旧砂再生设备

旧砂再生的目的是去除粘附在旧砂砂粒表面的残

留粘结剂膜,使其恢复到接近于新砂的使用性能。由于经济 and 环境保护的要求,旧砂再生普遍受到重视。根据旧砂再生的机理和特点,旧砂再生设备分类如下:





各种旧砂再生设备的特点及应用详见表 2·12-3。

表 2·12-3 各种旧砂再生设备的特点及应用

类型	特点	应用
干法再生	<b>机械式</b> 1. 结构紧凑 2. 动力消耗少 3. 造价便宜, 再生成本低	再生一般粘土砂、树脂自硬砂和水玻璃砂
	<b>气流式</b> 1. 设备磨损部件少, 维护简单方便 2. 再生效果较好 3. 功率消耗较大	适用于再生一般粘土砂、树脂自硬砂和水玻璃砂
湿法再生	1. 再生质量高 2. 砂回收率高 3. 动力消耗大, 占地面积大 4. 投资和运转费用高 5. 需解决污水处理和污泥排除问题	与水力清砂、电液压清砂等工艺配合使用
热法再生	1. 再生砂发气量小, 热稳定性好 2. 再生砂的粒度分布好 3. 砂回收率高 4. 能耗大, 费用高	再生树脂砂
联合再生	1. 再生砂具有良好的综合性能 2. 再生效率高 3. 费用较高	再生树脂砂、水玻璃砂和不同粘结剂的混合砂

在旧砂再生设备中, 目前应用较普遍的是干法再生设备。干法再生设备有两种类型, 一类是机械法, 其工作原理是利用机械的方式, 使砂子产生撞击和摩擦,

以去除砂粒表面的残留粘结物。另一类是气流再生法, 其工作原理是借助于压缩空气, 使砂子加速产生撞击和摩擦, 以除去砂表面的残留粘结物。

### 2·5·1 机械离心式砂再生装置

机械离心式砂再生装置工作原理(图 2·12-21)是利用高速旋转的叶轮使旧砂团加速, 沿着径向叶片, 切向高速抛向撞击环, 抛射速度一般为 30~40m/s, 在抛射过程中使砂团与撞击环、砂团与砂团之间产生多次撞击和搓擦, 从而除去砂粒表面的残留粘结膜及附着物, 获得再生砂。

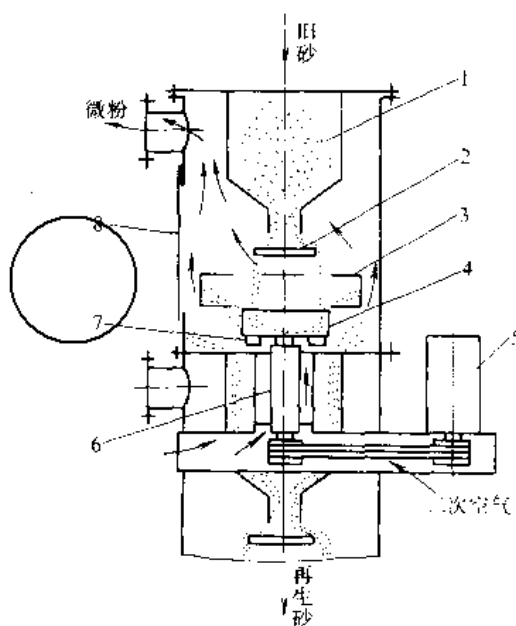


图 2·12-21 机械离心式砂再生装置原理图

- 1-砂斗 2-给料盘 3-固定环形挡板 4-回转盘  
5-电动机 6-座体 7-风翼 8-室体

### 2·5·2 振动式砂再生机

振动式砂再生机结构见图 2·12-22。其工作原理是旧砂进入机体以后, 在振动电机的作用下, 整个机体不停地振动, 引起砂块之间的撞击、摩擦以及砂块和振动体内壁、筛板之间的撞击、摩擦, 使砂块破碎并去除砂粒表面的粘结物。其特点是: 一机多用, 结构紧凑, 砂回收率高。

### 2·5·3 振动研磨式砂再生机

振动研磨式砂再生机结构(图 2·12-23)工作原理是筒体内装有钢球, 当预处理过的旧砂进入后, 两个对



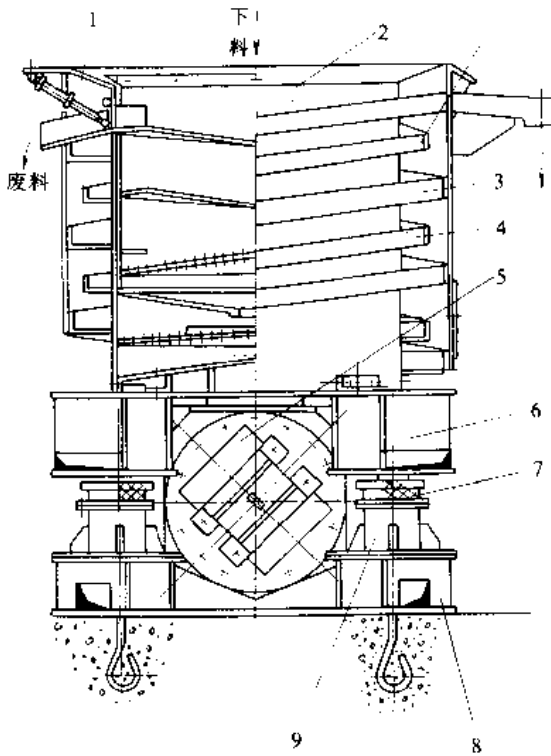


图 2-12-22 振动式砂再生机

- 1—废料门气动机构 2—振动机体 3—第一层螺旋输送槽
- 4—第二层螺旋输送槽 5—激振机构 6—支架
- 7—减振器 8—底座 9—托架

称布置的激振器使承载筒体产生振动。从而使筒内的钢球同砂团以及砂团与砂团之间相互摩擦，并一起在筒体内向上运动，达到顶部时，研磨好的砂粒由筛板 3 落下并排出，获得再生砂，未落下的砂团再继续同钢球一起向下循环再生。主要特点是，采用橡胶弹簧减振，噪声低。

#### 2·5·4 横吹式气流砂再生机

横吹式气流砂再生机结构(图 2·12-24)工作原理是，旧砂由顶部的贮斗 9 中依重力下流，高速气流则从横向风管通过喷嘴 11 进入混合室 10，砂气混合流经过吹管喷射至顶盖 6 上，产生撞击与摩擦，以去除砂粒表面的粘结剂薄膜及附着物。主要优点是：结构紧凑，占地面积小，便于安装；对旧砂水分要求不严，即使达到质量分数为 3%~4% 的水分，机器仍可正常运转；能量消耗少。

#### 2·5·5 竖吹四室式气流砂再生机

竖吹四室式气流砂再生机(图 2-12-25)其工作原理是，经过预处理的旧砂进入再生室，在下落过程中，被高速气流上吹，并与锥形顶盖相遇，这样在吹管内和顶盖上，砂与砂、砂与吹管或顶盖之间产生强烈的摩擦与撞击，以除去砂粒表面的粘结膜及附着物，从而获得再生砂。主要优点是，无传动件，易于制造维修。但不足之处是对水分要求严格，应控制在 1%~1.5% 范围内。

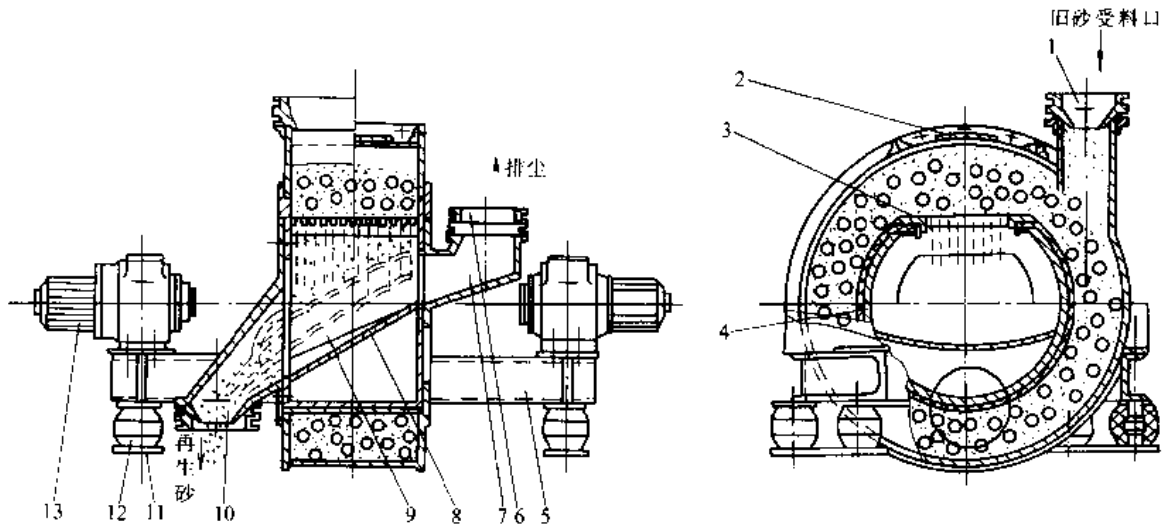


图 2-12-23 振动研磨式砂再生机结构简图

- 1—旧砂受料斗 2—窥孔盖板 3—栅格筛板 4—衬板 5—机架 6—排尘口 7—外筒体
- 8—内筒体 9—栅板 10—再生砂排出口 11—簧座 12—橡胶弹簧 13—激振器



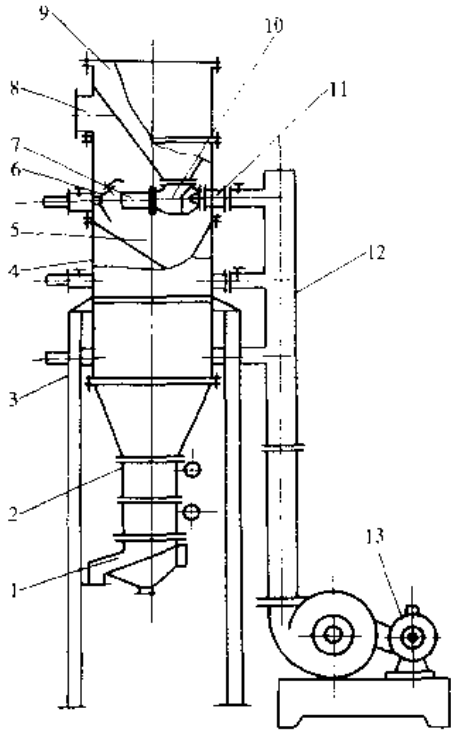


图 2-12-24 横吹式气流砂再生机结构简图

- 1—分选机 2—锁气器 3—支架 4—再生室 5—漏斗  
6—顶盖 7—吹管 8—除尘管 9—贮砂斗 10—混合室 11—喷嘴 12—进风管 13—鼓风机

### 2.5.6 砂再生配套设备

砂再生系统的配套设备一般有磁分离、破碎、筛分、分级、冷却等设备。本节重点介绍振动破碎机、砂温调节装置和风选分离机。

**1. 振动破碎机** 图 2-12-26 为振动破碎机结构图。整个振动机体安装在减振弹簧上，由振动器的激振力使其做圆振动。砂块进入机体后，沿圆周方向振动，并互相挤压、碰撞、搓擦而破碎。主要特点是，结构简单，旧砂中夹杂的金属块不易损伤机体。

**2. 砂温调节装置** 用于对树脂砂再生系统的砂温调节装置，有三种类型：管式砂温调节器，适用于砂温降低幅度小的情况；沸腾冷却装置，效率高，适用于回收砂温度高的情况；砂加热器，适用于环境温度较低的情况与混砂机配套使用。

图 2-12-27 为 5t/h 树脂砂温度调节器。该调节器如同一个热交换器。工作原理是把冷却水（或热水）通入有散热片的多级冷却（或升温）水管内，砂子从上部砂斗进入调节器，从水管外面流过，砂子因与水管接触而被冷却（或加热）。

**3. 分离机** 分离机的用途是除去旧砂中已经碎化的微粒和粉尘，使再生砂的粒度恢复到接近原砂。目前生产的主要有流幕式空气分离器、风力分级机和振

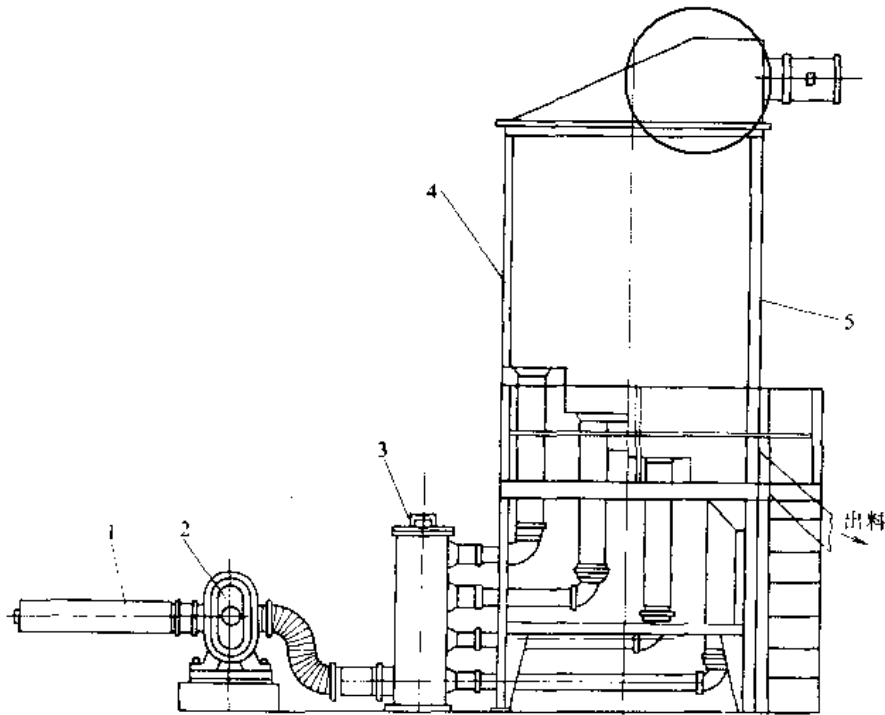


图 2-12-25 竖吹四室式气流砂再生机结构图

- 1—消音器 2—鼓风机 3—空气分配箱 4—加砂口 5—再生室



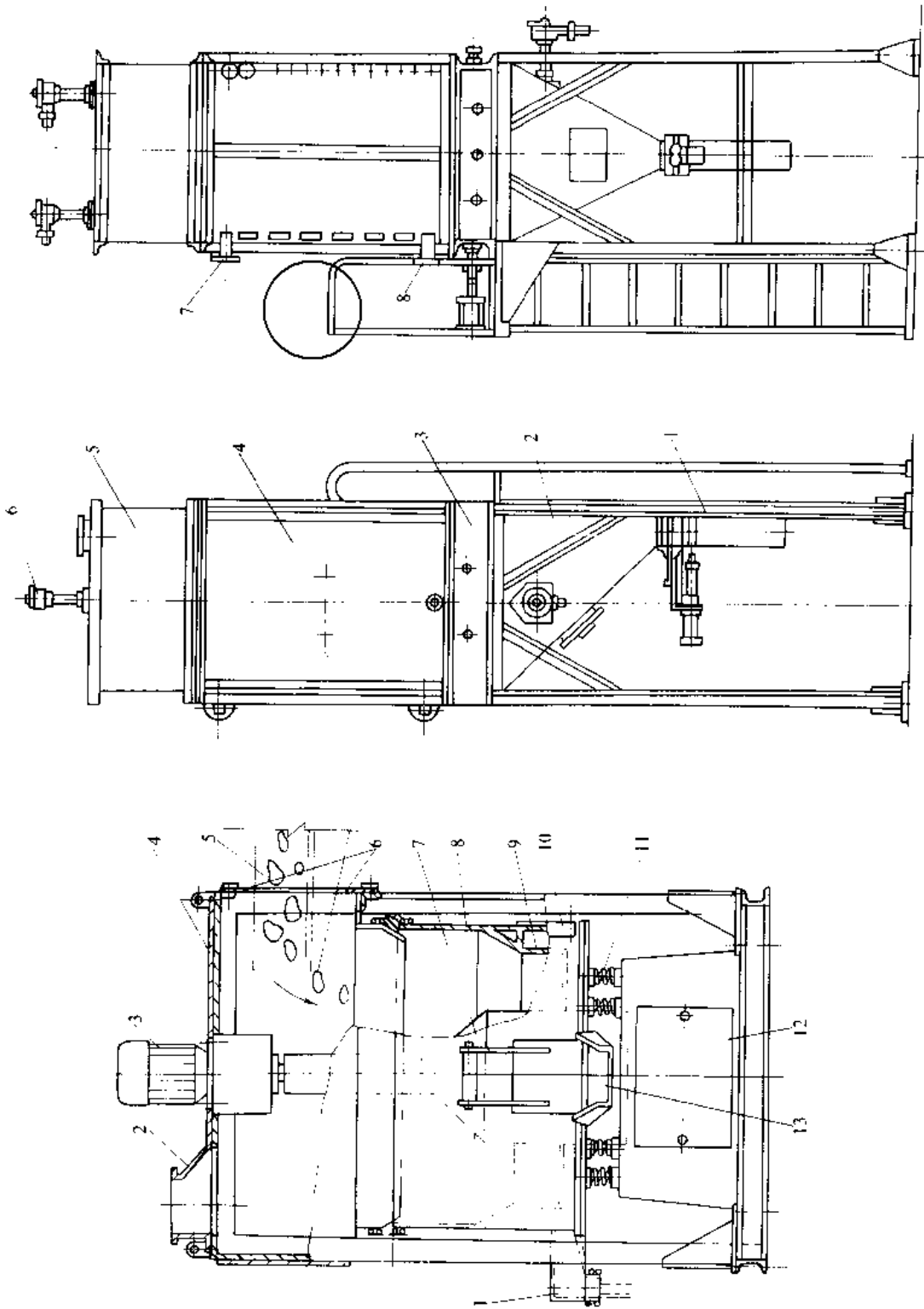


图 2-12-26 振动破碎机结构图

- 1—出砂口 2—除尘风口 3—振动器传动电机 4—上罩
- 5—振动输送槽 6—橡皮帘 7—振动器筒体 8—筒体
- 9—栅格板 10—清理门 11—减振簧 12 人孔门
- 13—度全属排出溜槽

图 2-12-27 5t/h树脂砂温度调节器

- 1—支架 2—下砂斗 3—调节阀 4 调温器 5 上砂斗
- 6 精位器 7 出水口 8—进水管





动风力分级机三种类型。各类分离机的特点和应用见表 2-12-4。

表 2-12-4 各类分离机的特点和应用

类 型	特 点	应 用
风力分 级机	结构简单、安装方便、造价低	适用于分离粉尘量较小的砂再生系统
流幕式 空气分离器	分离效果好, 生产率高, 可以利用除尘系统的风机	适用于分离粉尘量较大的砂再生系统
振动风 力分级机	结构紧凑, 分级效果好	适用于分离粉尘量大的砂再生系统

图 2-12-28 为流幕式空气分离器结构简图。其工作原理是, 当砂子呈流幕状落下并进入分离区时, 在受到重力及水平风速产生的推力作用下, 因粉尘、砂粒的粒度及密度不同, 使沉降速度和水平速度不同, 促使它

们的运动轨迹产生差异, 落入不同的间隔, 从而达到分级的目的。

2-5-7 砂再生成套设备的典型布置

1. 简单砂再生系统布置(图 2-12-29) 该套砂再生系统较为简单, 振动破碎与再生以及输送均在一台设备上完成, 然后冷却, 再生砂即可送至混砂机上的砂斗备用。采用该砂再生系统后, 一般工厂使用质量配制为 80% 再生砂和 20% 新砂的型砂即可满足造型工艺要求。

2. 粘土旧砂再生系统布置(图 2-12-30) 这种系统适用于大批量生产粘土旧砂再生, 能连续、稳定地提供再生砂。

3. 逆流式再生机配套单元(图 2-12-31) 该系统使用效果较好,  $\text{Na}_2\text{O}$  去除率在 40% 以上, 回用率 80% 左右。

4. 树脂砂再生生产线(图 2-12-32) 该系统的特点是采用机械离心式再生原理, 适用于铸件年产量 2000~6000t 的铸铁、铸钢专业铸造厂和铸造车间的树脂砂旧砂再生。

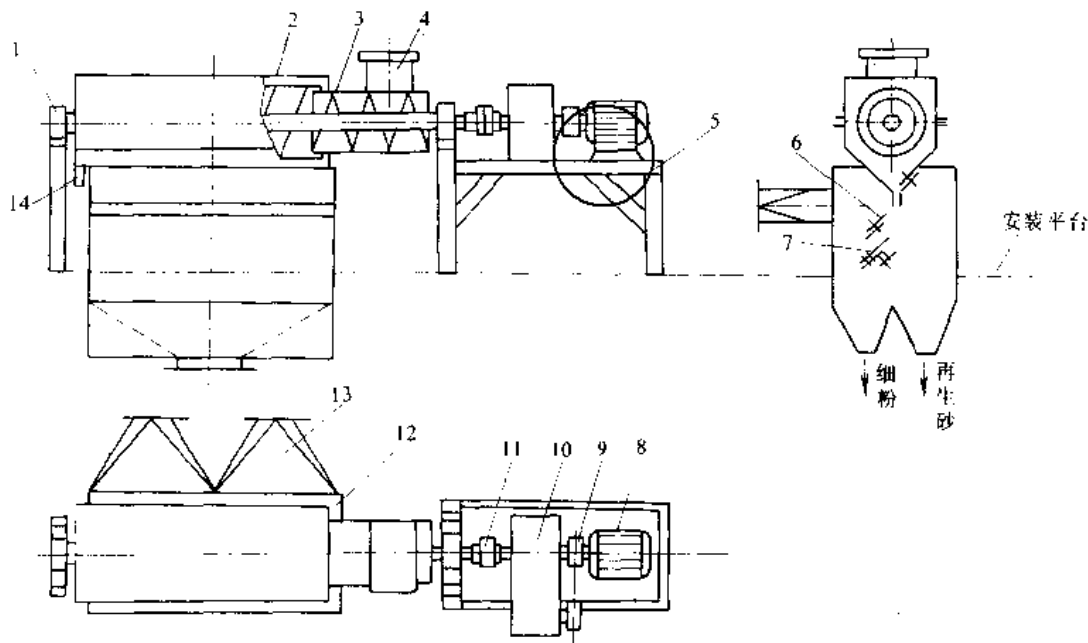


图 2-12-28 流幕式空气分离器结构简图

- 1—轴承座 2—滚筒筛 3—螺旋给料器 4—进料口 5—支架 6—一级分离板 7—二级分离板  
8—电动机 9—带轮 10—减速器 11—联轴节 12—分离器体  
13—抽风管 14—粗渣排出口



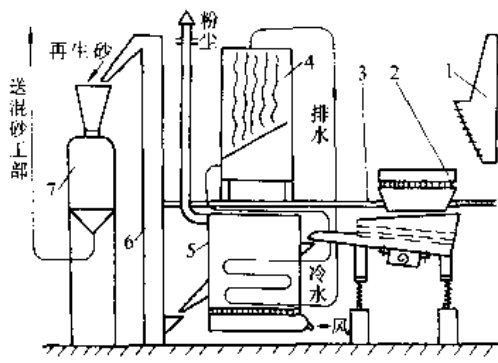


图 2-12-29 简单砂再生系统布置

- 1—侧除尘罩 2—落砂机 3—振动破碎输送再生机  
4—冷却塔 5—沸腾冷却器 6—斗式提升机  
7—气力压送装置

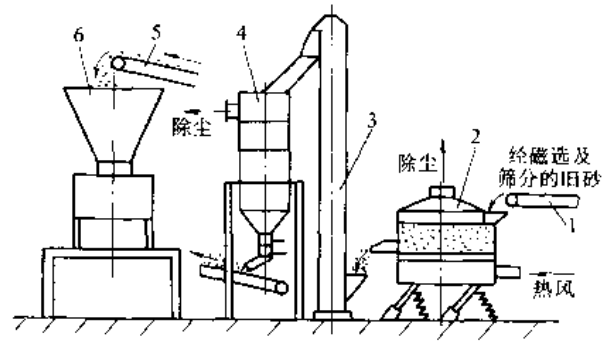


图 2-12-30 粘土旧砂再生系统布置

- 1—带式输送机 2—振动沸腾烘砂装置  
3—链斗式或耐热胶带式提升机 4—横吹式气流再生机 6—再生砂斗

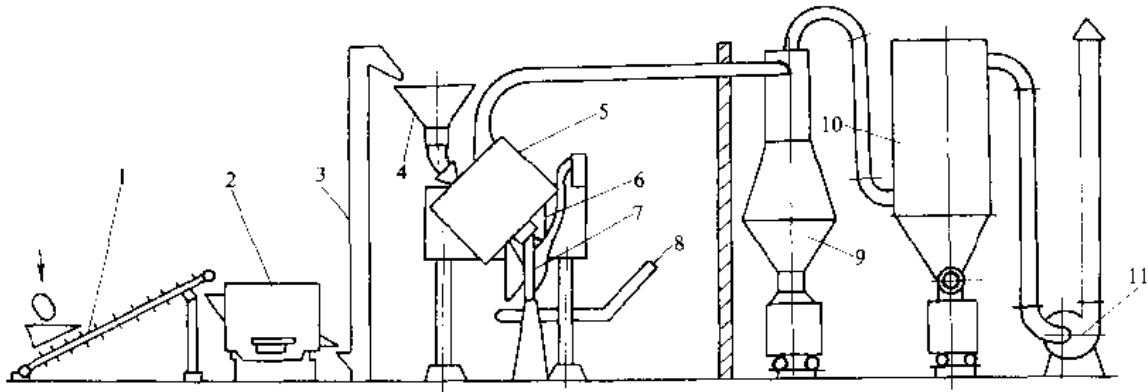


图 2-12-31 3t/h 逆流式再生机配套单元

- 1—皮带输送机 2—振动破碎机 3—斗式提升机 4—贮砂斗及定量装置 5—逆流式再生机 6—卸砂斗  
7—卸砂门气缸 8—再生砂皮带机 9—扩散式除尘器 10—布袋式除尘器 11—轴风机

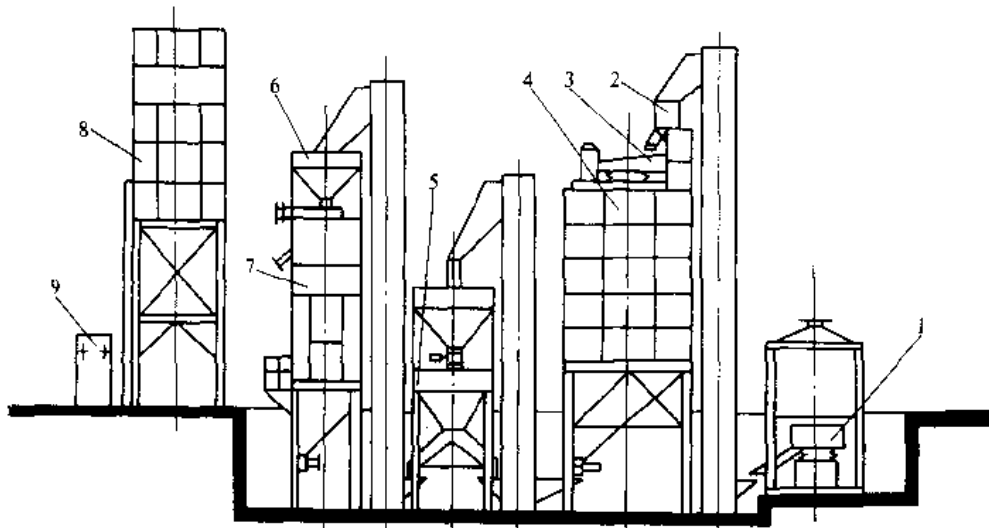


图 2-12-32 树脂砂再生生产线

- 1—振动破碎机 2—磁选机 3—振动筛 4—中间砂斗 5—机械离心式砂再生机 6—风力分级机  
7—砂温调节器 8—布袋除尘器 9—电气控制箱



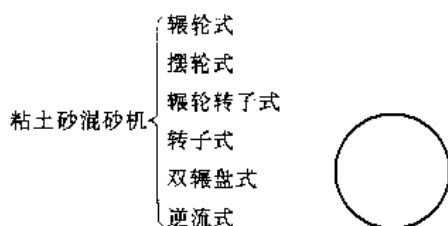
### 3 型砂制备机械化

型砂制备是将已准备好的原材料根据工艺要求按一定的配方和顺序加入混砂机混制，最后达到满足造型工艺的合格型砂。主要由混砂机、给料机和定量器以及松砂机组成。

混砂机是砂处理设备中的主要设备，也是获得合格型砂的关键设备。混砂机可分为粘土砂混砂机和特种砂混砂机（主要是树脂砂混砂机）两大类。

#### 3.1 粘土砂混砂机

粘土砂混砂机可分类如下：



各类粘土混砂机的特点和应用见表 2-12-5。

表 2-12-5 各类粘土混砂机的特点和应用

类型	特点	应用
轆轮混砂机	1. 结构简单 2. 型砂质量好 3. 生产率低，能耗较高	混制面砂、芯砂、单一砂，适用于大中小厂
轆轮转子混砂机	1. 型砂质量和松散性较好 2. 结构较复杂，维修不便	单一砂、下砂和芯砂
转子混砂机	1. 混砂效率高 2. 结构复杂	混制单一砂、芯砂和下型砂，尤其适于高压造型或气流冲击造型用砂
双轆盘混砂机	1. 生产率高 2. 有预混作用	大厂混制单一砂
逆流混砂机	混砂效率高	中小型车间混制单一砂、芯砂

#### 3.1.1 轆轮混砂机

图 2-12-33 是轆轮混砂机。混砂机加料后，在轆盘上形成一定厚度的砂层。轆轮一方面随主轴公转，另一

方面由于与砂层接触，又绕水平轆轮轴自转，在转动过程中将砂层压实。随十字头一起旋转的刮板，接着将压实的砂层翻起，松散。随轆轮和刮板不断地辗压和松散型砂，达到混砂目的。目前轆轮混砂机普遍采用轆轮弹簧加减压机构，压力喷雾加水，矮刮板以及提高主轴转速等措施，提高了型砂质量和生产率。国外有的混砂机，采用了加宽且表面呈凹型的轆轮，大大提高了生产效率。

#### 3.1.2 轆轮转子混砂机

轆轮转子混砂机是在轆轮混砂机基础上发展起来的，即将混砂机的双轆轮中的一个改为混砂转子。其优点是混制湿型单一砂时，型砂的松散性较好，有利于造型。但相对来说，其结构较复杂，增加了制造、维修的麻烦，因此应用不如轆轮混砂机广泛。

#### 3.1.3 转子混砂机

转子混砂机按其转子工作状态和装配型式可分为固定转子和动转子两大类。固定转子混砂机又分为底盘不动和底盘转动两类；动转子混砂机也可分为逆流转子和行星转子两类。

1. 底盘不动固定转子混砂机(图 2-12-34) 采用低速转动的刮板推动物料在机盆内形成环流，中速转动的转子叶片既对型砂施以冲击力，又与刮板配合对型砂施以剪切力，促使砂粒间快速接触和强烈摩擦，从而达到混砂速度快，质量好，能耗低的目的。

2. 动转子混砂机 这类混砂机又可分为逆流转子和行星转子两种类型。逆流转子混砂机的转子分上、下两层，转子在绕主轴公转的同时又有自转，而且上、下转子的转向相反，转速也不一样。上转子的转速比下转子的速度快，从而使混合料分层逆向流动产生强烈的对流、搓擦和剪切作用，使混合料很快得到均匀的混合。主要优点是，型砂质量好，但结构复杂，砂层逆流消耗功率大。为了弥补逆流转子混砂机的不足，发展了行星转子混砂机，主要由原来的双层双向转子改为单层单向转子。图 2-12-35 为 2500mm 行星转子混砂机。

#### 3.1.4 双轆盘混砂机

双轆盘混砂机(图 2-12-36)可连续生产，由相当两台轆轮混砂机组成，两盘中心距约为盘径的 0.9 倍。通过控制摆动式卸料门的开启度调节物料在轆盘中的停留时间，以适应不同混砂工艺的要求。主要适用于大批量工厂混制单一砂。



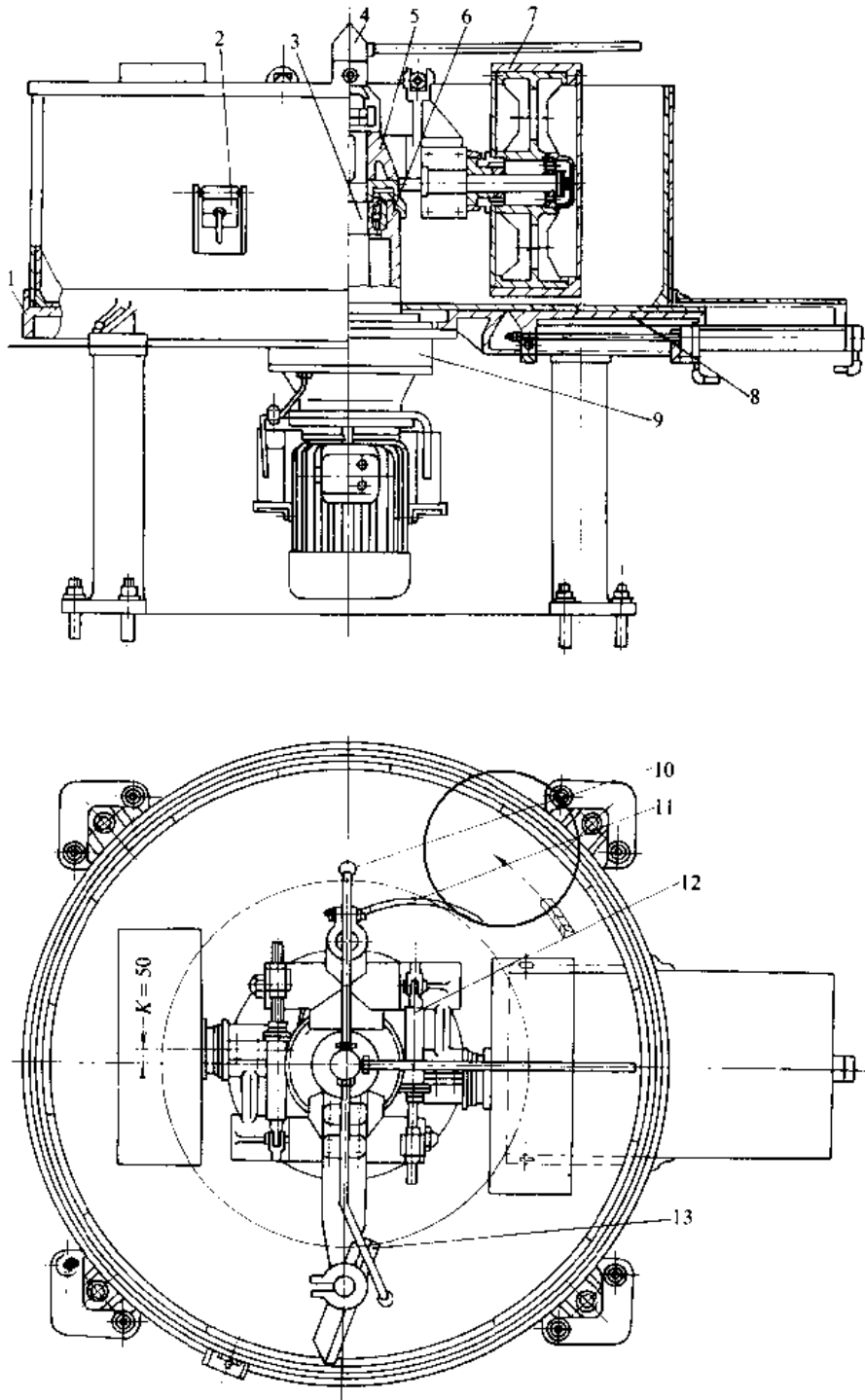


图 2·12-33 竖轮混砂机

- 1—碾盘 2—取样门 3—主轴 4—加水回转头 5—十字头 6—立柱 7—碾轮 8—抽屜式卸料门  
 9—减速器 10—喷水嘴 11—内刮板 12—弹簧加减压机构 13—外刮板



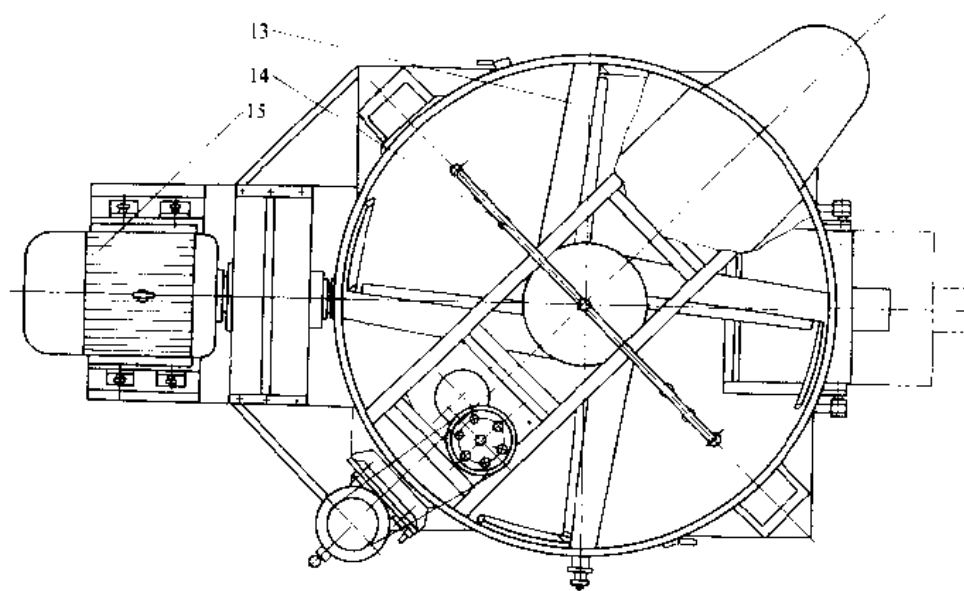
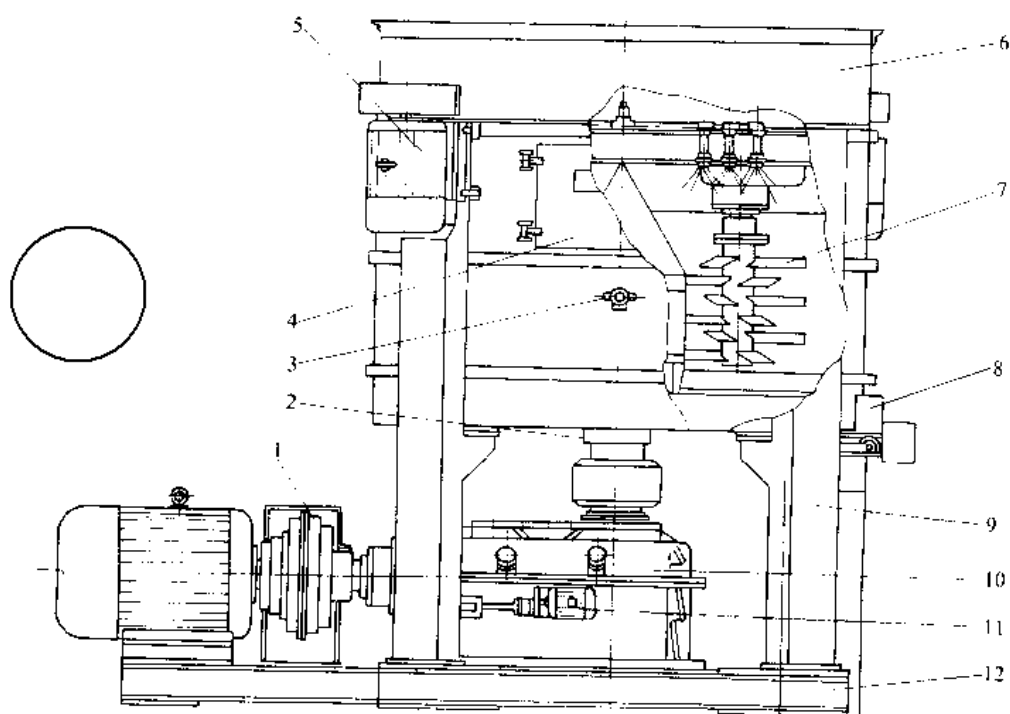


图 2-12-34 底盘不动固定转子混砂机

- 1—液力偶合器 2—立柱 3—取样门 4—清理门 5—转子电机 6—上罩 7—转子机构 8—卸料门  
9—机体 10—减速机 11—润滑系统 12—底座 13—刮板装置 14—加水装置 15—主电机



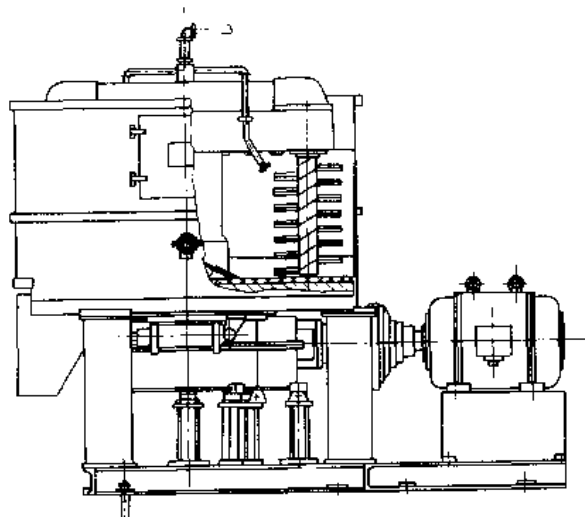


图 2-12-35 2500mm 行星转子混砂机

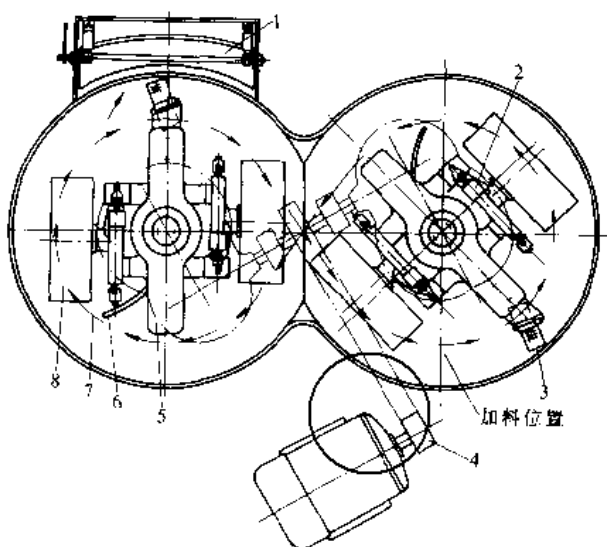
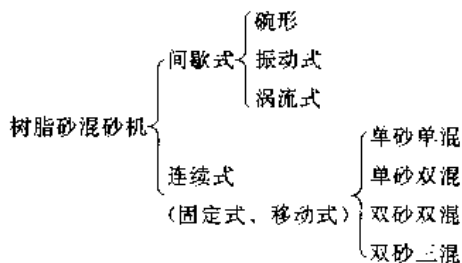


图 2-12-36 双碾盘混砂机

- 1 摆动式卸料门 2 弹簧加压机构 3 外刮板
- 4 驱动装置 5 十字头 6 内刮板 7 物料
- “8”字形移动轨迹 8 碾轮

### 3.2 树脂砂混砂机

树脂砂混砂机按混砂速度分为高速混制 (1000r/min 左右), 中速混制 (400~700r/min) 和低速混制 (<350r/min)。按混砂方式分类如下:



#### 3.2.1 碗形树脂砂混砂机

图 2-12-37 为碗形树脂砂混砂机。在混砂机球体的内部有两个类似刮板的搅拌叶片, 还有两个整流叶片, 搅拌叶片搅拌砂子呈涡流状态, 在整流叶片的作用下使砂子混合均匀。

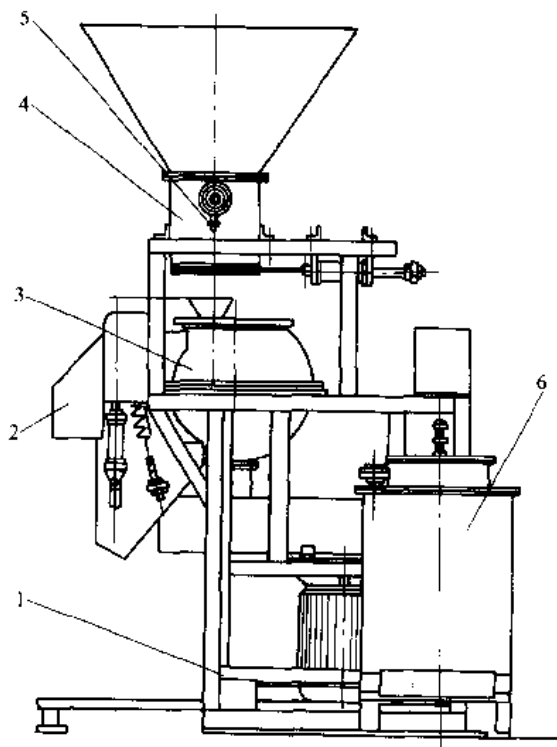


图 2-12-37 碗形树脂砂混砂机

- 1—机架 2—出砂门 3—混砂机构
- 4—料斗 5—料位计 6—液料桶

#### 3.2.2 双槽螺旋叶片树脂砂混砂机

图 2-12-38 为双槽螺旋叶片树脂砂混砂机。其工



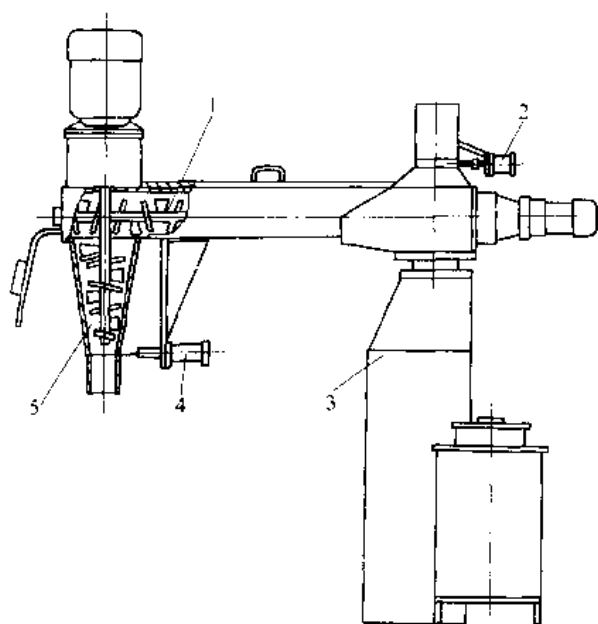


图 2·12-38 双槽螺旋叶片树脂砂混砂机

- 1—螺旋混砂器 2、4—闸门气缸  
3—机身 5—快速混砂器

作原理是,将砂和树脂及催化剂,按一定比例分别加入两个螺旋混砂器中,由于螺旋叶片的转动,一边混合,一边向前运送,落入快速混砂器中继续搅拌后卸出。这种混砂由于水平槽内树脂和固化剂没有接触,所以在型砂制备过程中基本没有预硬问题,适用于快速硬化树脂和高生产率。

### 3·2·3 单槽树脂砂混砂机

图 2·12-39 为单槽树脂砂混砂机搅拌槽结构。其工作原理是:送砂螺旋片将进入搅拌器的砂沿输送槽向前输送,输送过程中添加固化剂,然后设置在主轴上的送砂叶片和回砂叶片将砂和固化剂搅拌后继续向前输送。在输送槽中部,工作压力 30~50kPa 压缩空气将树脂通过喷嘴喷射出来,添加在砂中。在叶片作用下树脂砂边搅拌边向前移动,并经卸砂口排出。主要特点:叶片形状简单,安装、调换方便,劳动条件较好。

近年来,中速混砂机发展较快是由于采用中速混砂机既可保证型砂质量,也减少了设备的磨损。低、中、高速单槽树脂砂混砂机性能比较见表 2·12-6。

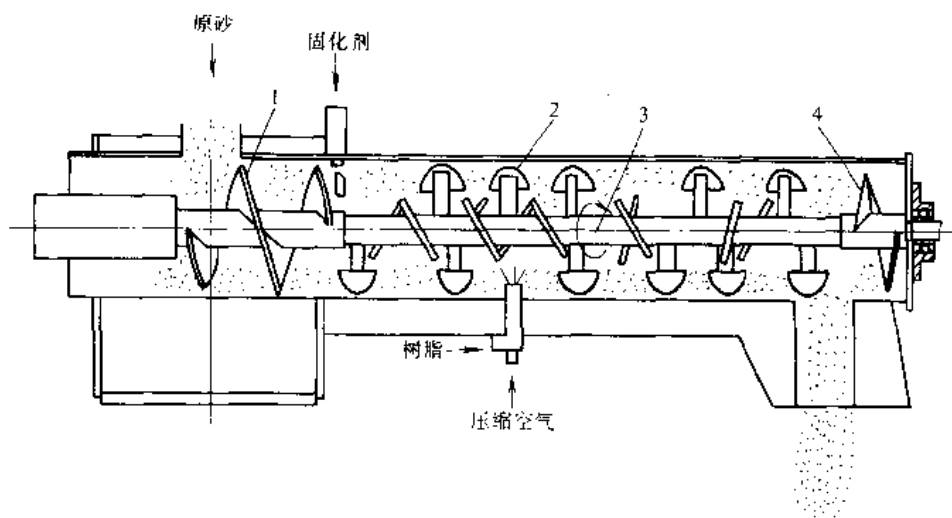


图 2·12-39 单槽树脂砂混砂机搅拌槽结构

- 1—送砂螺旋片 2—搅拌叶片 3—主轴 4—回砂螺旋片

表 2·12-6 低、中、高速单槽树脂砂混砂机性能比较

项 目	单槽低速	单槽中速	单槽高速	项 目	单槽低速	单槽中速	单槽高速
转速 (r/min)	75~100	400~600	1000~1500	对快速反应树脂的适	差	好	好
叶片磨损	小	中	大	应能力			
槽内残留低质砂量	多	少	少	混砂均匀性	差	好	好
清理时间	长	短	短	维修量	小	中	大
对树脂粘性适应性	好	好	差	生产小型芯的适应性	差	好	好
混砂时气体发生量	少	少	多	价格	低	高	高



3·2·4 双臂树脂砂混砂机

双臂树脂砂混砂机是在单槽式或双槽式前再铰接

一送砂悬臂以扩大送砂范围。图 2·12-40 为移动式双臂树脂砂混砂机。主要用于大件的地面造型和地坑造型。

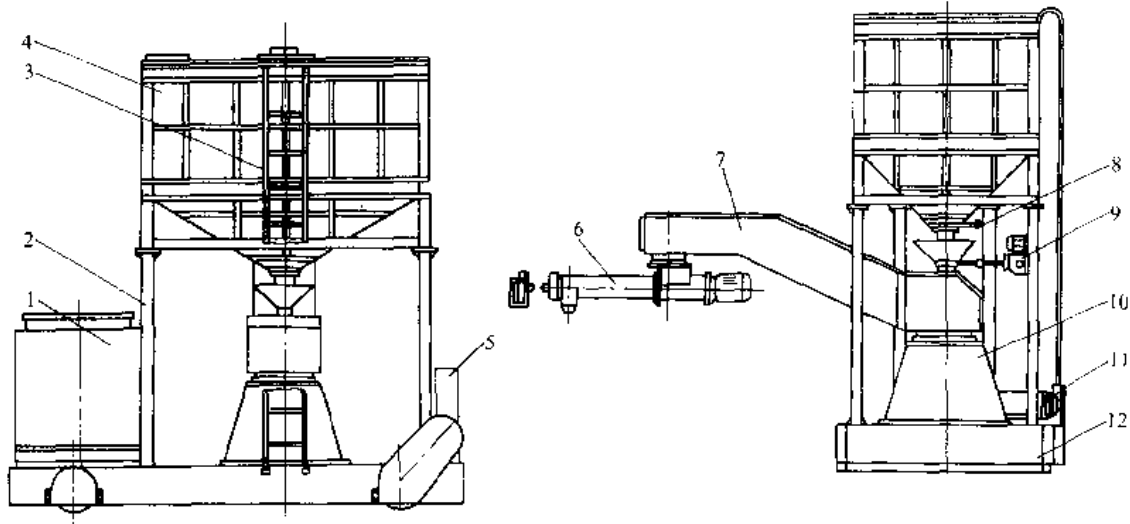


图 2·12-40 移动式双臂树脂砂混砂机

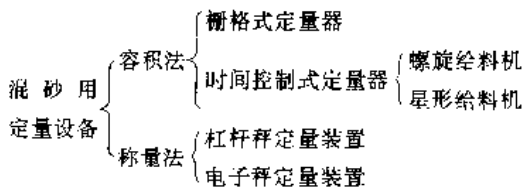
- 1—管路系统 2—立柱 3—梯子 4—砂斗 5—电气柜 6—螺旋混砂器 7—大臂 8—手动阀门  
9—电动推杆 10—泵阀箱 11—减速器 12—移动小车

3·3 型砂给料设备

型砂给料设备对于机械化、自动化的铸造车间来说,是不可缺少的设备。在铸造车间最常用的给料设备有振动给料机、带式给料机、螺旋给料机、圆盘给料机等(参见物料搬运设备卷第3篇)。

3·4 混砂用定量设备

本节所涉及的主要是用于间歇式混砂机的加料定量设备。随着铸造工艺的要求越来越严格和砂处理机械化、自动化程度的不断提高,对混砂用定量设备提出了更高的要求。铸造车间使用的定量设备大致可如下分类:



各种定量设备特点和应用见表 2·12-7。

表 2·12-7 各种定量设备特点和应用

类型	特点	应用
栅格式定量器	结构简单、制造、安装方便	定量及配比准确要求不高的混砂机新、旧砂定量
时间控制式定量器	定量准确	粘土、煤粉的定量
杠杆秤定量装置	定量精度高, 配比灵活	使用方便, 能远距离控制
电子称量斗	机械结构简单	可远距离显示和调节

杠杆电子秤在混砂单元安装形式有两种, 一是四点支柱式, 将支承架支承在牢固的工作平台上; 另一种是四点悬吊式, 将支承架吊装在上方的砂斗上, 见图 2·12-41。





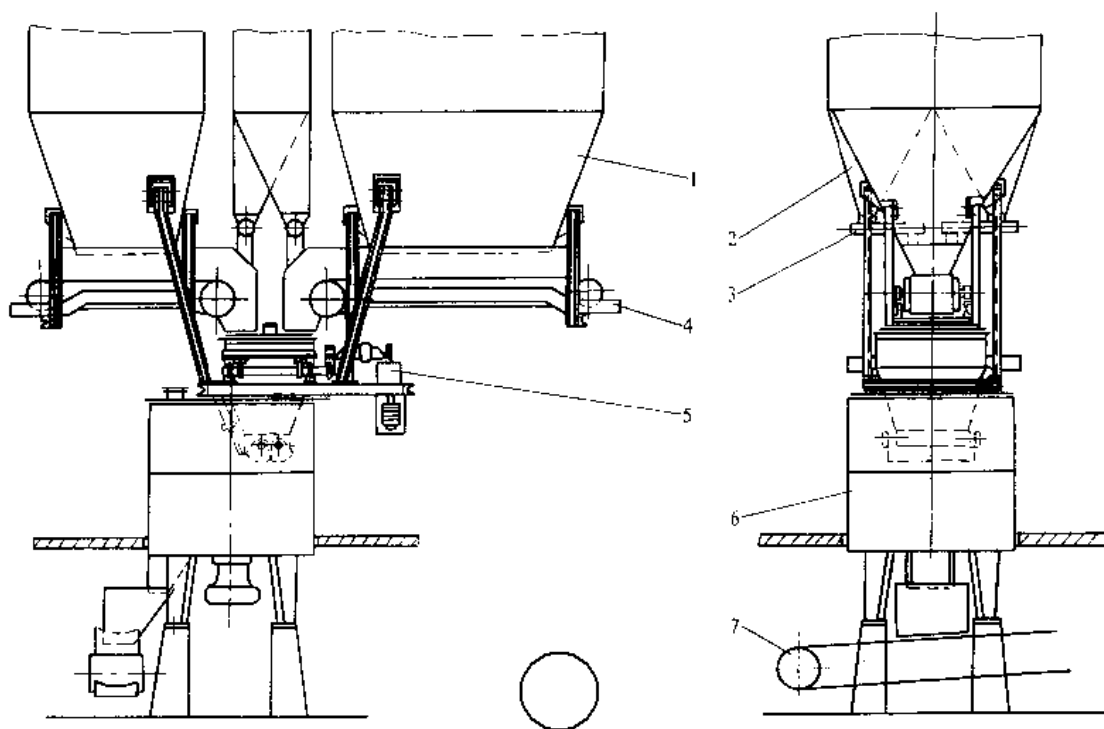


图 2-12-41 杠杆电子秤在混砂单元安装形式

1—砂斗 2—粉料斗 3—螺旋给料机 4—带式给料机 5—杠杆电子秤 6—混砂机 7—带式输送机

### 3.5 松砂设备

经混砂机混碾出来的型砂,往往有许多团块,必须经过松砂才能满足铸造工艺要求。松砂设备主要有带式松砂机、叶片松砂机、双轮松砂破碎机等不同型式。其中应用最广泛的是双轮松砂破碎机。它直接安装在带式输送机上,安装倾角需 $\leq 15^\circ$ ,被松的砂层厚度一般为 25~100mm。这种松砂机结构较简单,松砂效果好。适用于带式输送机运送湿型砂的出砂系统上,特别适用于运送含水率较低的高压造型线上的给砂系统。图 2-12-42 为双轮松砂破碎机。

### 3.6 砂处理机械化布置

砂处理机械化与生产规模或年产量有很大关系。一般年产量 500~2000t 的铸造车间(厂)采用中等机械化; $>2000t$  的铸造车间(厂)可采用全盘机械化; $>5000t$  的铸造车间(厂)可在全盘机械化的基础上,考虑自动或半自动砂处理系统。

在砂处理工部的布置上,每条产量较大的造型线应单独由一条砂处理线来供砂。在布置形式上,倾向于将物料垂直提升到最高位置,随后向下进行冷却、磁分

离、筛分、贮存、定量、混砂、送向造型工部。这种布置形式占地面积小,物料的流向较顺,但要求厂房较高。

【例 2-12-1】 某可锻铸铁厂铸造车间砂处理工部(图 2-12-43),生产型砂量 95t/h, 分别供应普通造型车间和高压造型车间需用的湿型砂,可以满足年产~6000t 铸铁件的需要。该砂处理工部工艺流程合理,布置紧凑,设备先进可靠,劳动环境较好。

【例 2-12-2】 图 2-12-44 示采用 3t/h 单臂连续式树脂砂混砂机的小型树脂砂生产线。

【例 2-12-3】 图 2-12-45 示热法树脂覆膜砂生产线,采用的行星转子混砂机生产率为 2t/h。

### 3.7 型砂质量检测与控制自动化

在砂处理系统中,由于工序多,物料运输距离长,粉尘量大,应该广泛地采用自动程序控制。

#### 3.7.1 砂斗料位的自动检测

造型机上的型砂斗,旧砂处理系统中的中间砂斗,以及混砂机上的新、旧砂斗应有料位自动检测装置。斗中装有低料位和高料位自动检测器,用以保证最低限度的砂量使设备正常工作。



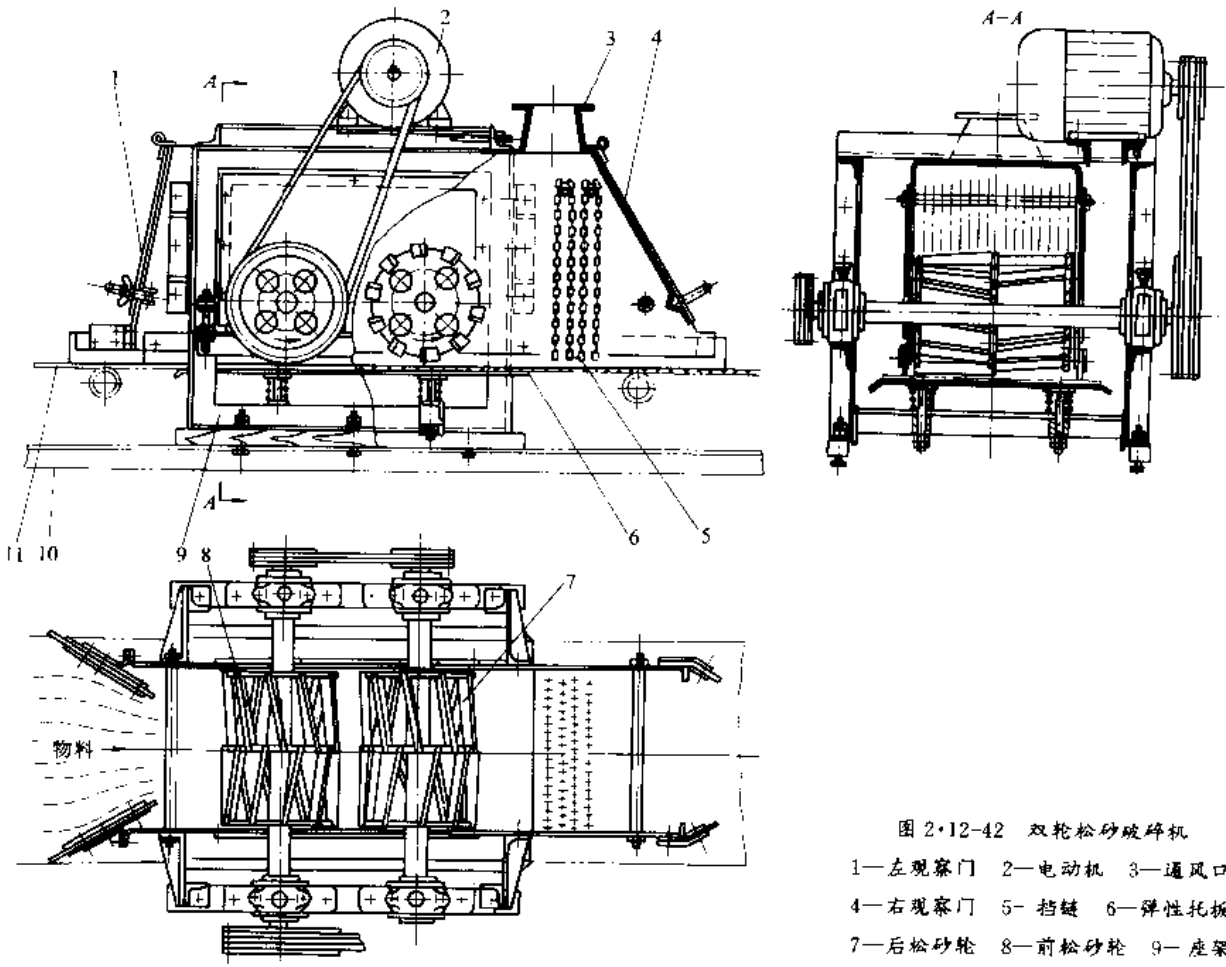


图 2·12-42 双轮松砂破碎机

- 1—左观察门 2—电动机 3—通风口
- 4—右观察门 5—档链 6—弹性托板
- 7—后松砂轮 8—前松砂轮 9—座架
- 10—带式输送机 11—胶带

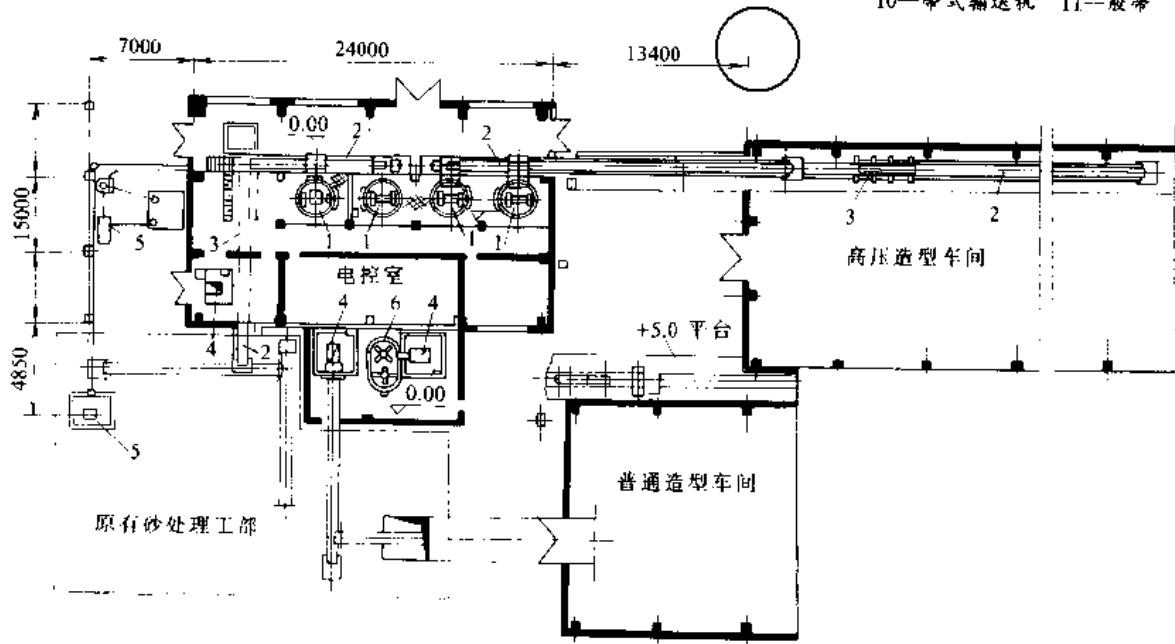


图 2·12-43 某可锻铸铁厂铸造车间砂处理工部

- 1—混砂机 2—带式输送机 3—双轮松砂机 4—斗式提升机 5—真空吸送系统 6—双盘冷却机



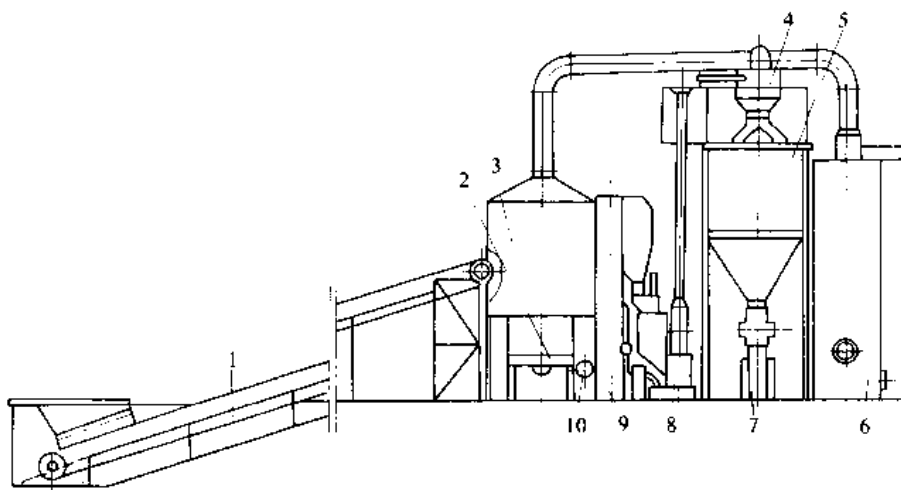


图 2-12-44 小型树脂砂生产线

- 1—上料胶带机 2—振动破碎机 3—除尘罩 4—分离器 5—砂斗 6—袋式除尘器 7—搅拌混砂机  
8—回砂再生回收系统 9—斗式提升机 10—磁选滚筒

度,从而确定增湿时的加水量。在混制型砂前,也要测定旧砂水分,以便调节每次混砂时的加水量,使混制的型砂含有最适宜的水分,综合性能能达到最佳。因此,砂中水分自动检测,就成为砂处理系统自动化的重要问题。

常用的水分自动检测装置是电容法水分检测装置。由于型砂的水分不同,其介电系数也不相同,通过测定型砂的介电系数,就可以检测型砂水分。

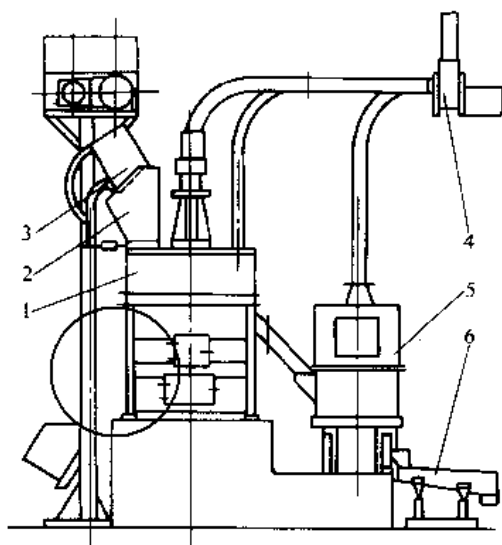


图 2-12-45 热法树脂覆膜砂生产线

- 1—加热器 2—料斗 3—加料斗  
4—风机 5—混砂机 6—振动筛

料位检测方法很多,其中使用比较普遍的是电容法料位检测,其工作原理如图 2-12-46 所示。各种料位控制器参数规格和用途见表 2-12-8。

### 3.7.2 砂中水分的自动检测

在旧砂增湿冷却前,必须测定旧砂中的水分和温

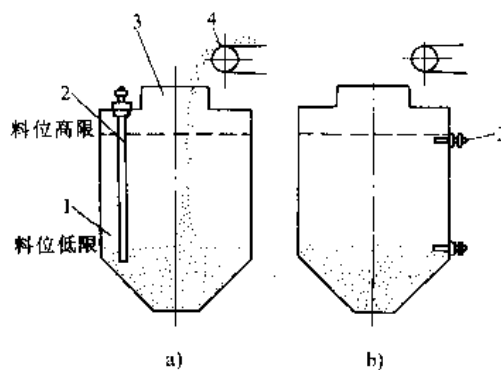


图 2-12-46 电容法料位检测原理

- a) 用一个电极控制料位高低限  
b) 用两个电极控制料位高低限

- 1—砂斗 2—电极 3—进料口 4—带式输送机



表 2-12-8 各种料位控制器参数规格和用途

名称	参数规格	用途
电阻法料位器	工作电压: 12~24V 灵敏度: 5mΩ 输出电源: 100mA	测量新砂、煤粉、粘土、型砂料库料位高低
电容法料位自动控制器	使用环境温度: -2~60℃ 相对湿度: ≤80%	密封料斗内对型砂、煤粉等固体物料和液体物料进行高位及低位控制
连续料位自动控制仪	使用环境温度: -2~60℃ 相对湿度: ≤80%	
阻旋式料位控制器	旋转速度: 1~5r/min 环境温度: -10~+80℃	新砂、型砂仓及粉料仓内极限料位的显示和控制
薄膜式料位控制器	环境温度: -30~+60℃ 相对湿度: <85%	检测、显示干燥的粒状物料在料仓中的极限料位

3.7.3 筛法型砂水分自动控制仪

筛法型砂水分自动控制仪的检测部分工作原理(图 2-12-47)是在不同含水量情况下,型砂中膨润土

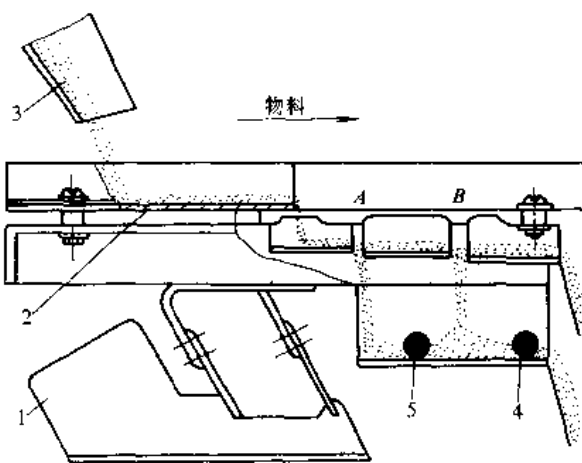


图 2-12-47 筛法型砂水分自动控制仪结构

- 1—电磁激振器 2—振动物槽
- 3—给料器 4、5—光电管

吸附的极性分子数量不同,因而使砂粒间的内聚力发生变化。这种变化使一定流量的型砂跨越一定尺寸缝隙的能力产生变化,越缝能力随型砂含水量的增加而提高。取样器自混砂机中取出砂样,并使之沿振动槽均匀前进。在第二层有两个缝隙A和B,A是窄缝,用于控制粗加水;B是宽缝,用于控制精加水。调节两个缝隙的宽度,可以控制加水量和加水时间。第三层是一个集砂槽,在两侧壁上对应宽缝和窄缝开有四个孔,其中两孔为光源,另外两孔中装有光电管,通过两个光电管的光源被型砂遮住程度来控制混砂机的加水量。

3.7.4 紧实率控制器

图 2-12-48 为紧实率控制器工作原理。型砂的紧实率与含水量呈线性关系,型砂越干燥,紧实率越低,型砂越潮湿,紧实率越高。开始混砂时,由于型砂较干,就从缝隙落入第二层;如果型砂的紧实率小于 20%,则落入第三层,并遮住光电管的光源,使粗加水电磁阀动作,向混砂机迅速加水。水分增加后,型砂的内聚力提高,越过第二层上的缝隙,沿振动槽向前运动,落入槽轮的槽中,然后用压砂轮压实槽中型砂。压砂轮进入槽轮越深,则表示型砂紧实率越大。将压入深度经过差动变压器变换器变成电信号(一面显示并记录紧实率值,一面继续向混砂机加水,直至紧实率达到预定值为止。这种控制器比筛法控制仪更为完善,因为紧实率能度量一定成分型砂的水分效果。

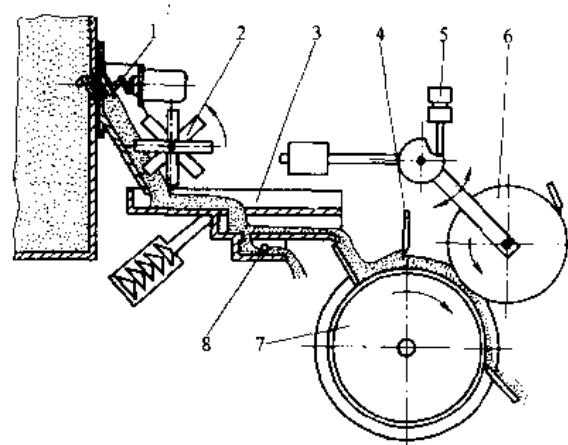


图 2-12-48 紧实率控制器工作原理

- 1—取砂样螺旋 2—松砂叶片 3—振动槽
- 4—平砂刮板 5—差动变压器式变换器
- 6—压砂轮 7—槽轮 8—光电管



3.7.5 型砂性能综合检测仪

这种检测仪的最大特点是离线操作，只要将需要检测的砂样用人工加入到检测仪中，40s 就可以把砂的温度、紧实率 (CB 值)、水分、透气性和抗压强度检测出来。具有自动显示、储存、打印功能，操作方便，检测速度快，精确度高，体积小 (830mm×1130mm×530mm) 等优点。检测项目、范围及精度见表 2.12-9。

表 2.12-9 型砂性能综合检测仪性能表

项 目	范 围	精 度
砂温度	0~60℃	±1℃
紧实率 (CB 值)	0%~60%	±1.5%
水分 (质量分数)	1%~7%	±0.2%
透气性	0~400	±5
抗压强度 (MPa)	0~0.25	±0.01

型砂水分自动控制仪参数规格和用途见表 2.12-10。

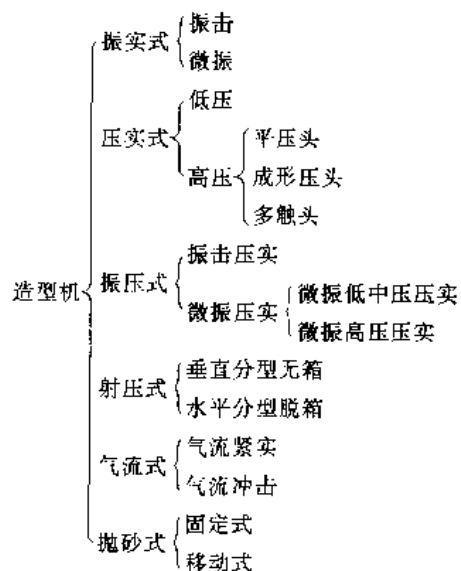
表 2.12-10 型砂水分自动控制仪参数规格和用途

名 称	参数规格	用 途
筛法型砂水分自动控制仪	振动槽振幅 130~230mm 可调; 控制精度湿度: ±0.3% 紧实率: ±5%	用于混砂机混制粘土砂时自动控制型砂的水分
电容法型砂水分自动控制仪	旧砂湿度范围: 0.5%~3.5% 运算时间: <2s	自动检测旧砂湿度, 根据混砂量和所需型砂湿度自动加水
型砂紧实率自动控制仪	紧实率控制精度: ±3% 水分控制精度: ±5%	用于混砂机混制型砂时测试、控制型砂紧实率
微波法型砂水分测定仪	水分(质量分数)测试范围: 4%~7% 测试精度: ±2% 显示时间: 5s	用于铸造车间输送皮带上监测型砂水分

# 第 13 章 造型机械化与自动化<sup>[54][60]</sup>

## 1 造型机

造型机分类如下:



### 1.1 气动微振压实造型机

振击频率 400~3000Hz, 小振幅, 压实的同时进行振击, 可以提高铸型的紧实度及均匀性, 并且缓冲性能良好, 对基础要求不高。但是机器的微振部位磨损较快, 而且振击噪声较大。

主要结构形式有悬臂式 (图 2.13-1) 和四立柱式 (图 2.13-2) 两类。悬臂式的压头可回转一定的角度, 四立柱式的压头是可移动的。缓冲机构有气垫缓冲或弹簧缓冲。起模机械大部分用气压油以实现慢-快-慢的起模速度。

四立柱气动微振压实造型机的工作过程见图 2.13-3。

### 1.2 多触头高压造型机

由于比压高 (达 0.7MPa 以上), 这类造型机多采用四立柱结构, 液压压实。所造砂型质量好, 生产率高。但结构复杂, 对制造、安装都有较严格的要求。



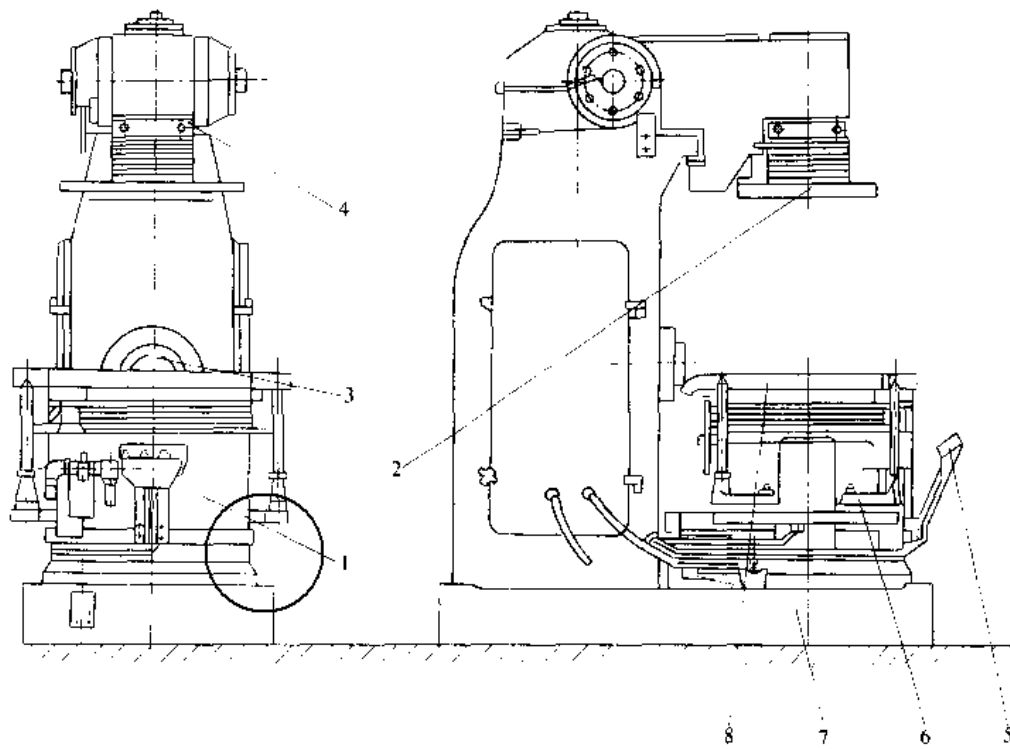


图 2-13-1 悬臂式气动微振压实造型机

1-振压机构 2-压头 3-工作台夹紧器 4-摇臂定位销 5-开关组 6-起模机构 7-底座 8-工作台

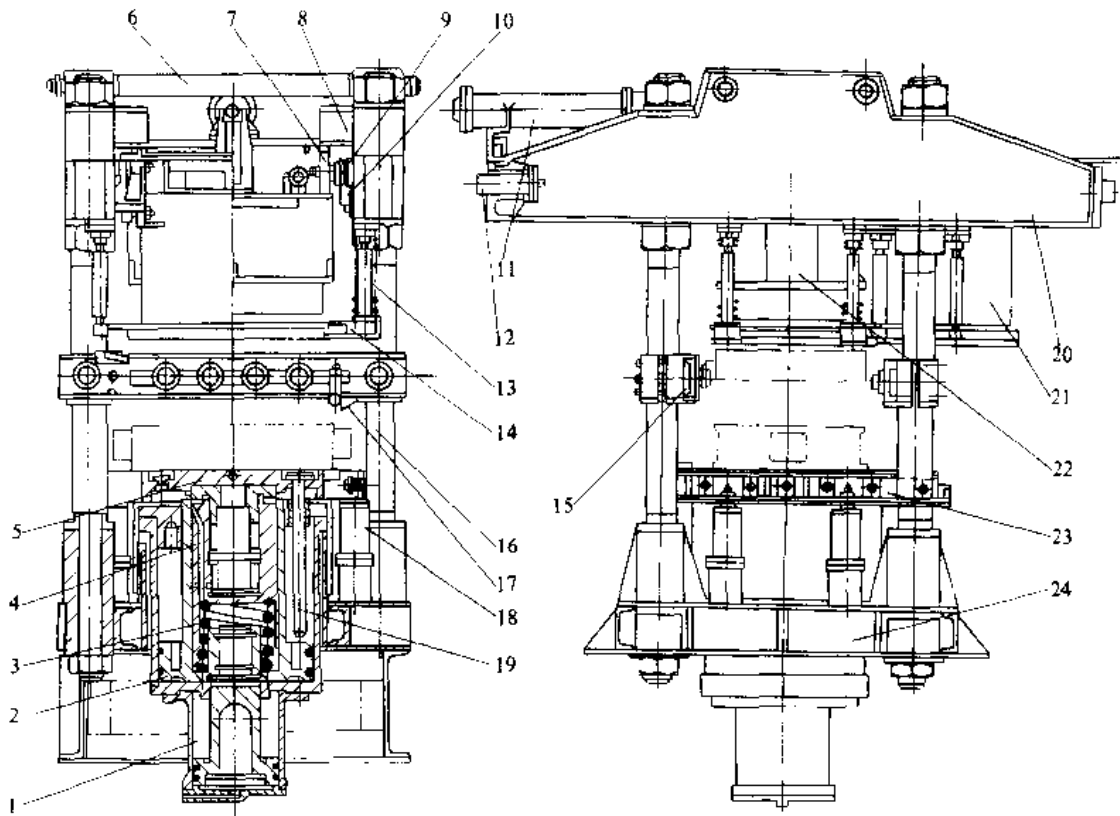


图 2-13-2 四立柱气动微振压实造型机

1-接砂缸 2-压实活塞 3-缓冲弹簧 4-磁铁 5-工作台 6-拉杆 7-支撑板 8-顶板 9-滚轮 10-轨道  
11-推动缸 12-缓冲器 13-弹簧 14-辅助框 15-砂箱边滚 16-立柱 17-定位块 18-模板升降缸  
19-导向杆 20-横梁 21-定量斗 22-压头 23-模板边滚 24-底座



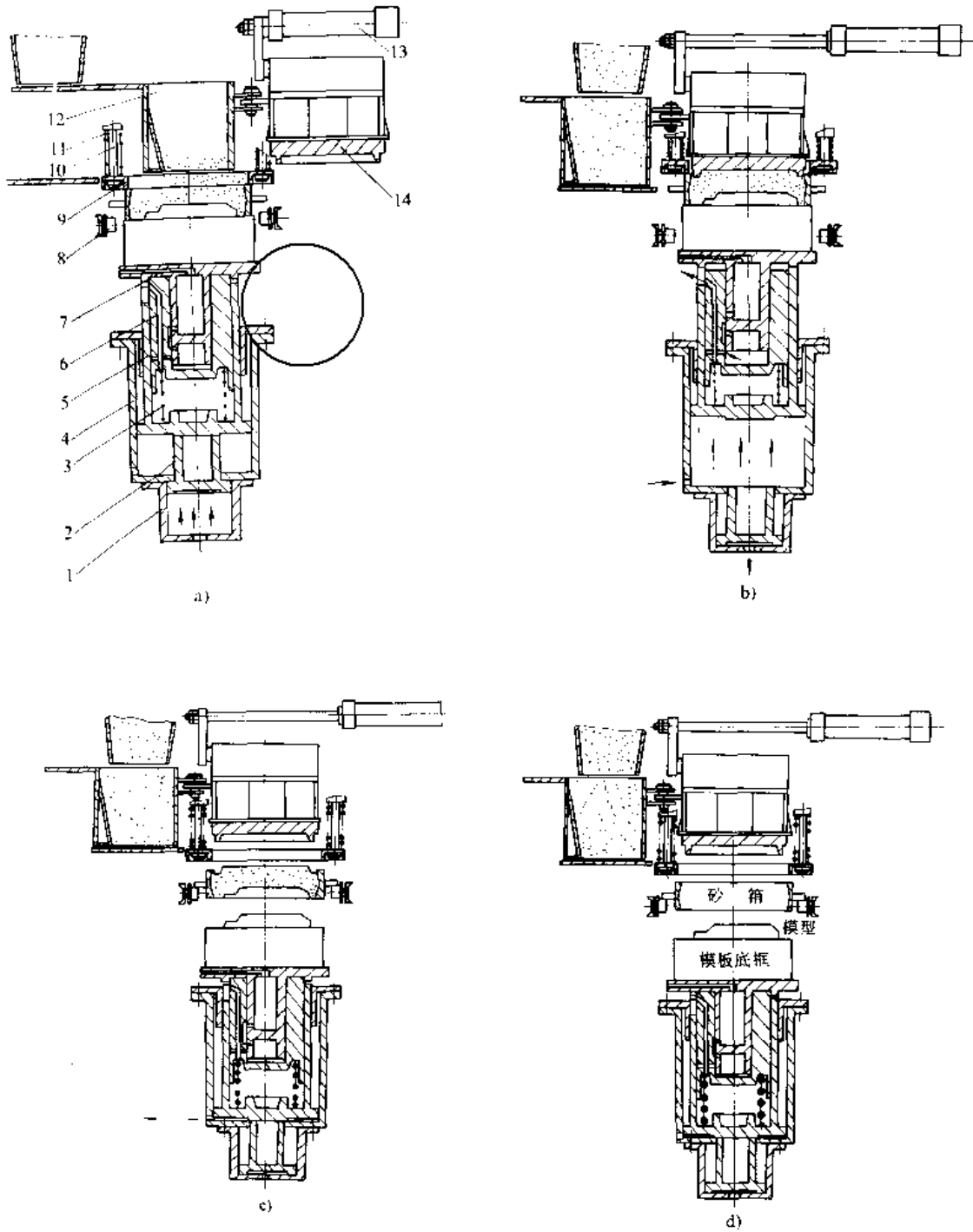


图 2-13-3 四立柱气动微振压实造型机动作过程

a) 加砂和预振 b) 压实加微振 c) 起模 d) 空砂箱进入 (推出砂型)

1—接砂缸 2—接砂活塞 3—大弹簧 4—压实缸 5—压实活塞 6—砧铁 7—工作台及振击活塞  
8—砂箱边滚 9—辅助框 10—弹簧导柱 11—弹簧 12—定量斗 13—移动缸 14—压头

多触头高压造型机有单工位和多工位等形式。单工位多触头高压造型机(图 2-13-4)带气动微振机构(弹簧减振),浮动式多触头压头,液压驱动。砂箱内尺寸(mm):850×600×200/200,最大压实力 600kN,生

产率为 150 箱/h。工作过程见表 2-13-1。多工位多触头高压造型机将加砂、紧实、起模、下芯、合箱等分在不同的工位进行,定量砂头沿导轨移动,采用模板穿梭造型,进一步提高了生产率。

405  
几



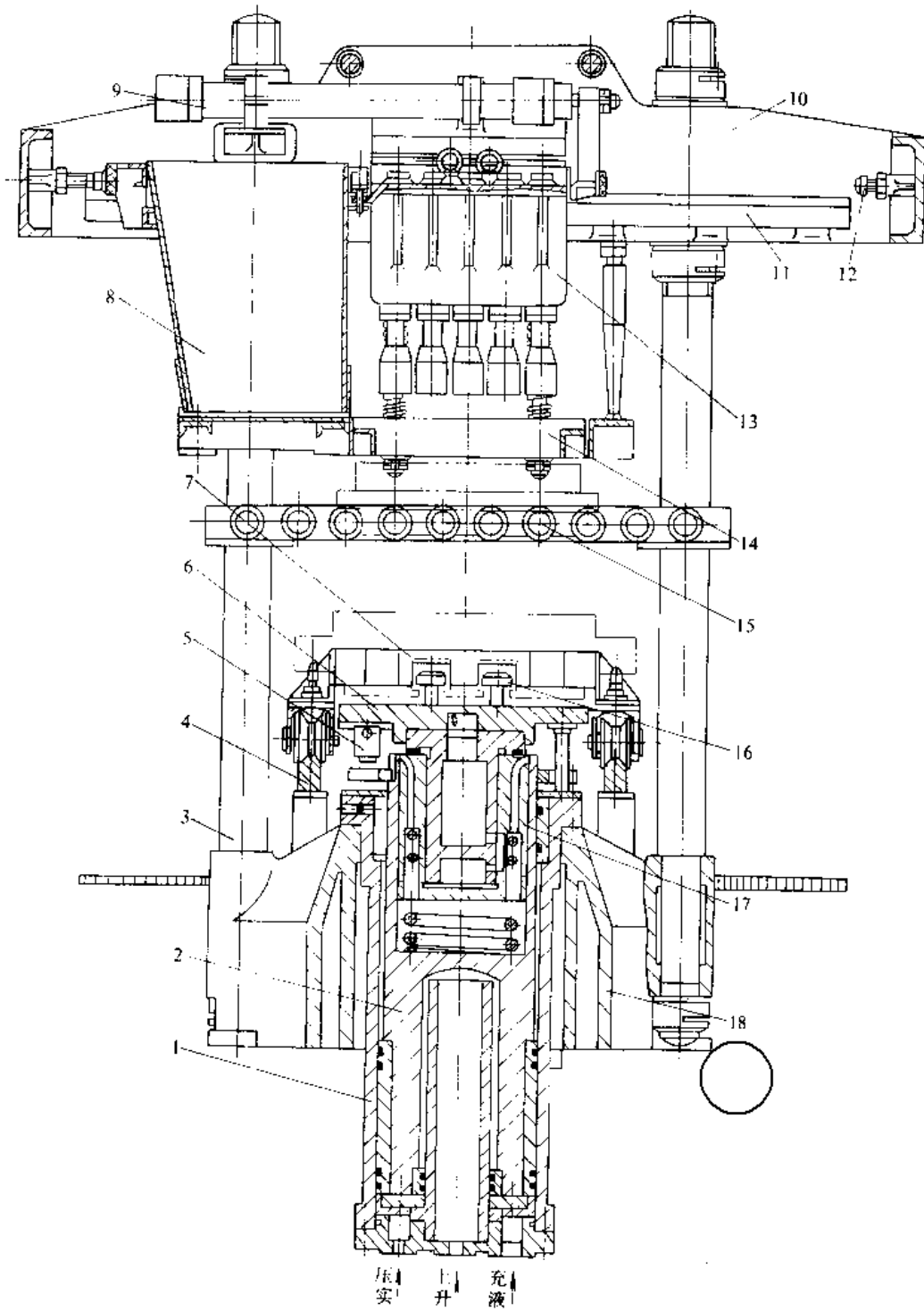


图 2-13-4 多触头高压造型机

- 1—压实缸 2—压实活塞 3—立柱 4—换模板机构 5—电动机 6—工作台 7—模板框 8—定量砂斗  
 9—压头移动缸 10—横梁 11—导轨 12—缓冲器 13—多触头压头 14—辅助框  
 15—边滚 16—夹紧器 17—振击机构 18—机座





表 2-13-1 单工位多触头高压造型机工作过程

工作内容	顺序过程						
	1	2	3	4	5	6	7
砂箱进入造型位置	→						
举升活塞 上升 返回		→					→
模板框夹紧器 夹紧 松开		→					→
定量砂斗进入, 则压头 箱移出工作位置 压头箱进入, 则定量砂 斗移出工作位置			→				
加砂			→				
泵击机构微振			→		→		
压实机构 压实 回程起模					→		→

### 1.3 真空压实造型机

真空压实造型机的特点是把砂箱、中间加砂斗和压头放在一个真空室中, 室内压力为 0.1MPa, 中间加砂斗与大气相通, 利用中间加砂斗和砂箱间的压力差, 将型砂吸入砂箱, 获得较好的预紧实, 再在真空下进行压实。

真空压实造型机的动作过程如图 2-13-5 所示: 图 a 将造好的砂型由造型机中推出, 空砂箱 5 推入。同时更换模板, 压头 11 移开, 定量砂斗 9 填砂。图 b 举升缸 1 将工作台 2 升起, 顶起模板框 4, 再上升顶起砂箱, 进入造型室 3。然后真空阀 10 打开, 造型室抽气直到达到规定的真空度。型砂进入中间加砂斗 8。图 c 真空阀关闭后, 加砂门 7 打开, 依靠中间加砂斗与造型室的压力差, 型砂进入砂箱和辅助框 6。图 d 为中间加砂斗移开, 压头移入, 举升缸再一次上升, 铸型压实, 造型室放气。然后举升缸下降, 造型室回到原始位置。砂箱下降到滚道之后, 进行起模, 模板框下降到转台上更换模板, 举升缸及工作台恢复原位。

真空压实造型机的优点是:

(1) 在真空下压实, 型砂流动性好, 铸型尺寸精度高, 硬度均匀, 避免了回弹现象。

(2) 不需振动, 模样不易损坏, 封闭式的造型过程减少了粉尘, 噪声小, 工作环境好。

缺点是要增设真空系统, 密封要求高。

### 1.4 射压造型机

#### 1. 垂直分型无箱射压造型机 (图 2-13-6)

垂直分型无箱射压造型机工作过程如图 2-13-7 所示: 图 a 正、反压板组成造型室, 射砂; 图 b 正压板压实砂型; 图 c 反压板退出, 完成起模 I, 反压板依靠导轨翻转 90°; 图 d 正压板将砂型推出合型; 图 e 正压板退回, 完成起模 II; 图 f 反压板复位, 组成造型室。

图 2-13-8 为垂直分型无箱射压造型机工作过程方框图。

这种造型机所造砂型两面都有型腔, 压实、起模、合型, 均依靠主油缸前、后活塞移动来完成, 生产率很高, 在没有砂芯的情况下, 可达 240 型/h 以上。改变正压板初始位置, 可在一定范围内调节砂型厚度。缺点是: 结构复杂, 制造、调整、维护要求高。下芯较困难, 一般用于简单砂芯或无芯的中小件造型。

2. 水平分型脱箱射压造型机 (图 2-13-9) 其特点是上、下箱均为侧射填砂和下压紧实; 采用模板和下砂箱 (二只) 十字穿梭形式, 将下芯移至造型工位之外, 下芯和造型工序同时进行, 提高了造型机的生产率; 还设有模板快换机构, 一般更换模板时间仅需 1~2min, 既适应大批量铸件生产, 也适用于多品种小批量生产。该机的动作过程如图 2-13-10 所示: 图 a 为两只下砂箱有一只处于造型工位。图 b 举升压实缸活塞上升, 将下砂箱由砂箱穿梭机构上举起。下砂箱上装有 4 个弹簧支撑, 将模板由模板穿梭机构上托起, 并一同上升到射砂位置。上、下砂箱同时射砂。此时下砂箱和模板的高度位置由限位机构控制。图 c 为射砂后, 限位活塞后退, 使限位块脱开, 同时举升压实缸活塞继续上行, 上、下箱铸型压实。图 d 是压实后, 下砂箱开始下降, 弹簧支撑复位, 模板不动, 使下型脱模; 随后模板在自重作用下也跟着下降, 使上型脱模, 模板和下砂箱落到各自穿梭机构上的原来位置上。图 e 模板和下砂箱同时穿梭, 模板向后退, 下砂箱横移至一侧下芯, 另一侧已下好芯的另一只下砂箱移入造型工位。图 f 为举升缸再次上升, 将上砂箱举升到与上砂箱合拢, 上、下箱脱箱缸活塞同时动作, 使上、下型合型完成。图 g 为举升活塞再次下降, 脱箱缸活塞继续动作, 将合好的砂型推出砂箱。最后在将铸型推到铸型输送机的同时, 模板穿梭进入造型工位, 进入下一个循环。



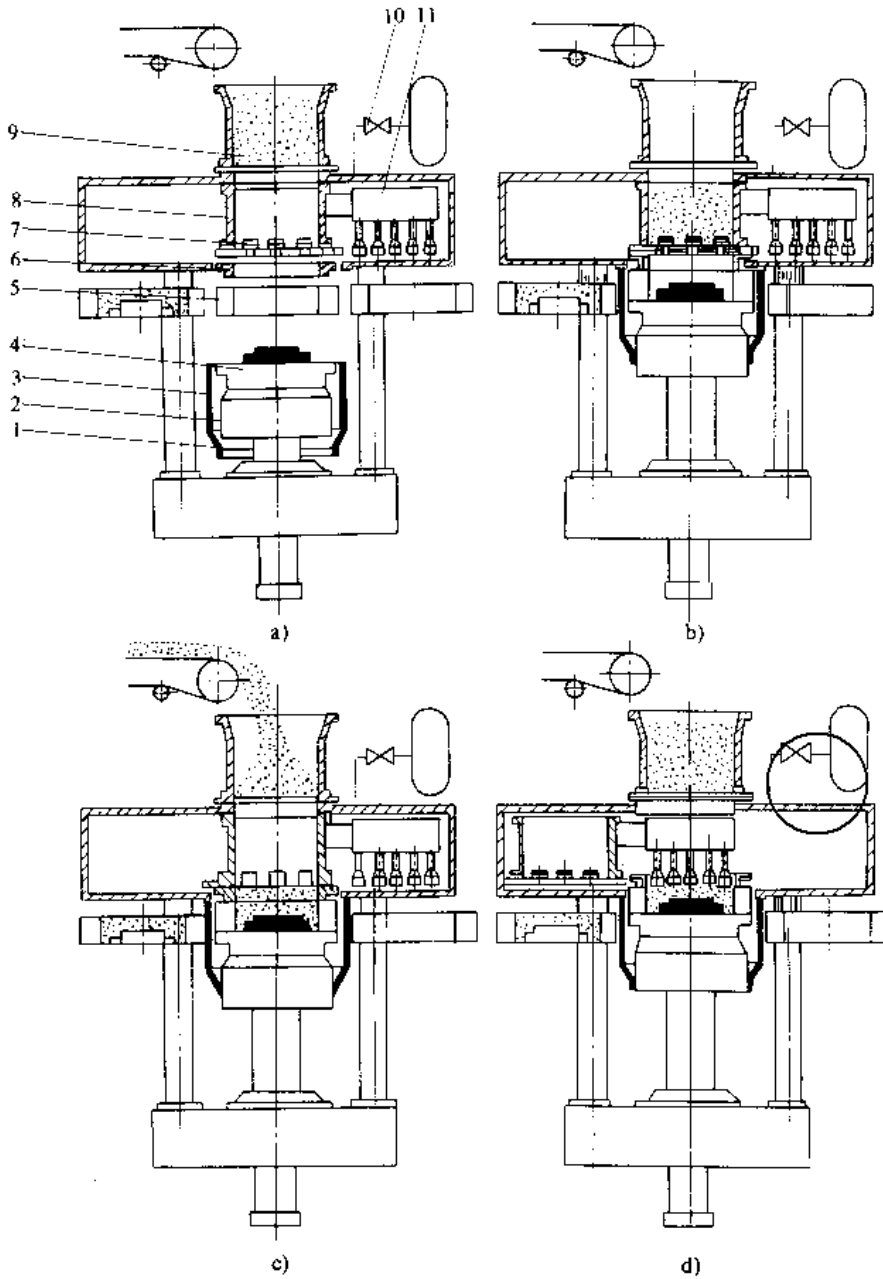


图 2-13-5 真空压实造型机动作过程示意图

1—举升缸 2—工作台 3—造型室 4—模板框 5—砂箱 6—辅助框 7—加砂门  
8—中间加砂斗 9—定量砂斗 10—真空阀 11—压头

### 1.5 气流造型机

1. 气流紧实造型机(图 2-13-11) 该机的主要机构有:

(1) 静压阀。是气流紧实造型机的一个关键部件, 它的开闭都由自动控制气动元件进排气, 当控制气由进气口进入启动活塞, 压缩空气瞬间进入砂型, 对型砂

进行紧实。

(2) 百叶窗式砂斗向砂箱提供一定量的经松散的型砂。当胶带机将一定量的型砂送到时, 型砂由导流叶片进入定量砂斗, 然后砂斗移至砂箱上方, 打开百叶窗, 型砂通过下面的导流叶片, 再经由钢琴线组成的振动槽 7, 使型砂均匀而松散地充填到砂箱中。



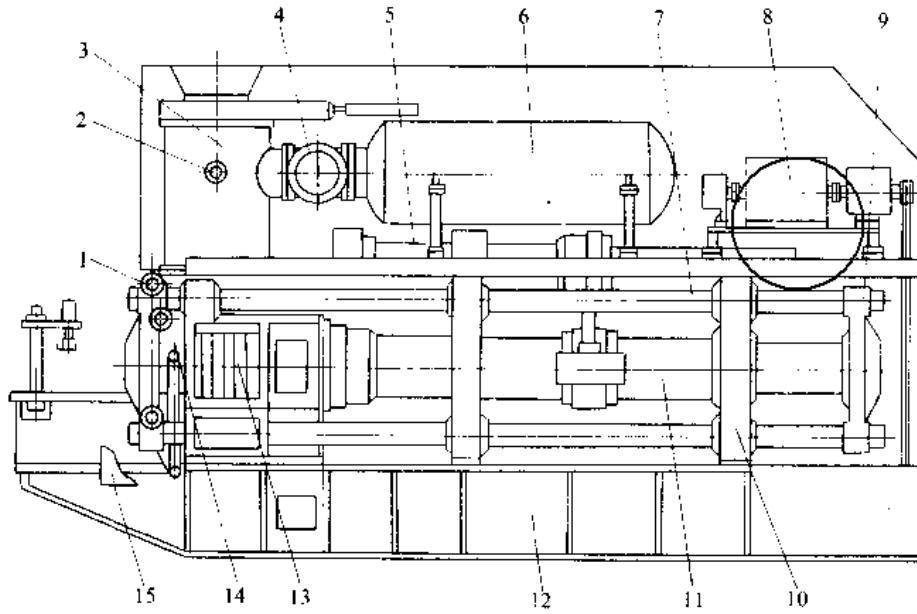


图 2-13-6 垂直分型无箱射压造型机

- 1—反压板框架 2—排气阀 3—射砂筒 4—射砂阀 5—蓄油缸 6—贮气包 7—导向杆 8—控制箱  
9—十字框架 10—框架 11—主油缸 12—机座 13—造型室 14—反压板 15—导轨

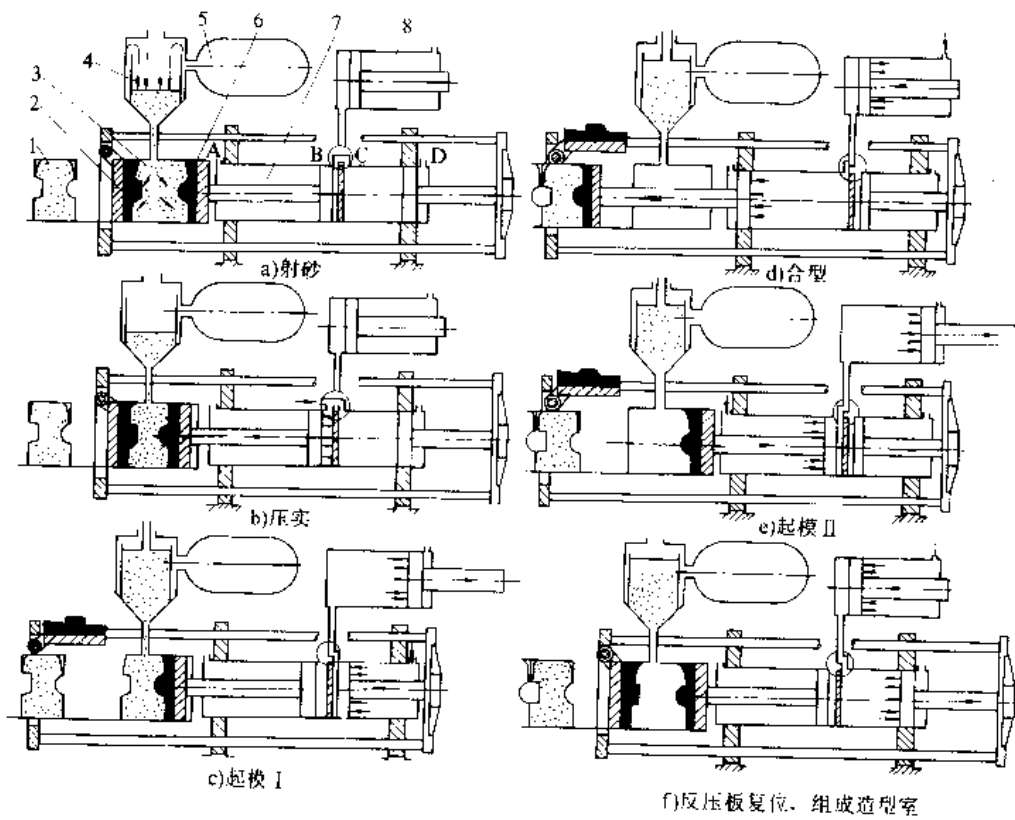


图 2-13-7 垂直分型无箱射压造型机工作过程示意图

- 1—砂型 2—反压板 3—造型室 4—射砂筒 5—贮气包 6—正压板 7—主油缸 8—蓄油缸



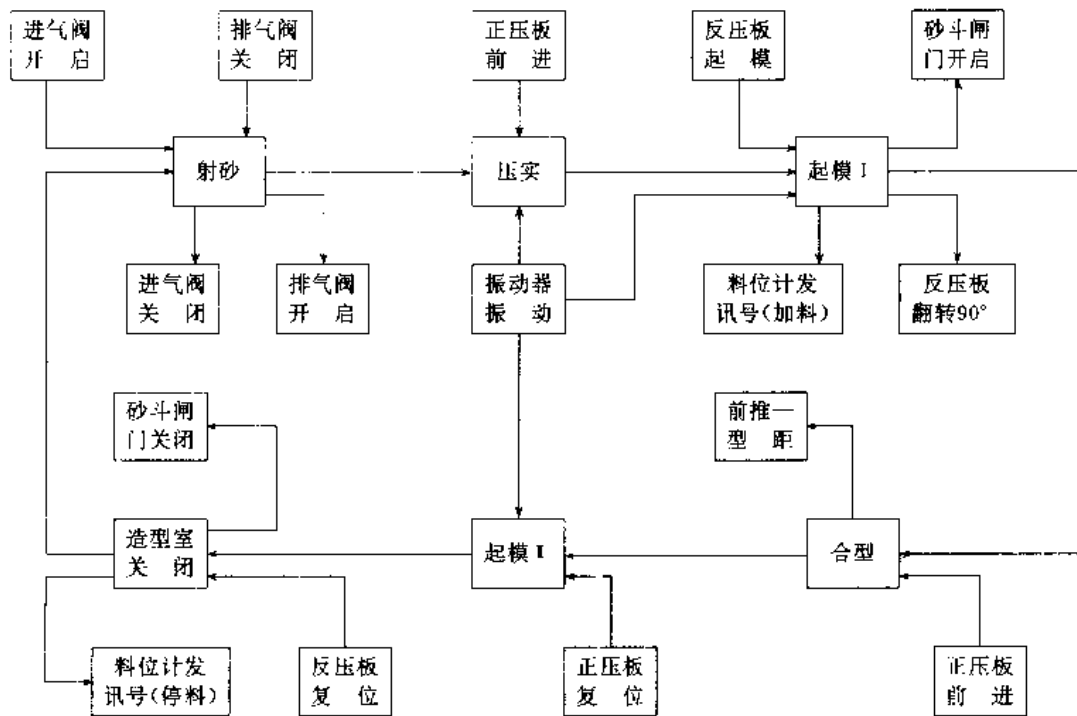


图 2·13-8 垂直分型无箱射压造型机工作过程方框图

(3) 脱模自动调平装置保证了砂型起模前找平衡后再起模。当造型后的砂型向下起模时,首先落在四个调平气缸 8 上,自动调平后再继续向下起模,提高了起模精度和保证了铸型尺寸精度。

气流紧实造型机的工作过程原理(图 2·13-12)主要分为两个阶段。第一阶段,将一定压力的空气,瞬间加入充填了型砂的密闭砂箱中。当外加的压缩空气通过型砂的颗粒间后,再通过模板上的排气塞孔排出型外,接近模板附近的型砂得到较好的紧实度。再进行第二阶段,比较松的砂型上部得到压实后,使铸型达到了较高的硬度。

气流紧实造型机的优点:

- (1) 铸型尺寸精度和硬度较高,能适应模样高度较高的铸件生产,起模斜度较小。
- (2) 铸型吃砂量少,提高了砂箱利用率,而且散落砂少。
- (3) 减少了振动和噪声,改善了工作环境。
- (4) 由于没有振击,相应的基础可以简化,易损件少,因而使用周期长,维护费用低。

缺点是模板上需设置排气塞,增加了制做难度;对型砂要求较高。

2. 气流冲击造型机(图 2·13-13) 其动作过程是:

是:

(1) 下砂箱经输送机辊道进入起模滚道 8 中,停留在造型工位(由相邻砂箱定位缸定位)。

(2) 顶升压紧机构 7 中的顶升缸举升工作台,带动模板框和砂箱 4 上升与辅助框 2 贴合。

(3) 砂斗在油缸驱动下移入造型工位(气冲头 1 同时移出),然后砂斗中百叶窗打开加砂。加砂后砂斗复位,同时刮掉辅助框上的余砂。此时气冲头复位,给砂皮带向砂斗中加砂。

(4) 工作台继续上升,使模板框、砂箱、辅助框和气冲头紧压在一起。

(5) 气冲头快开阀打开,对型砂进行紧实。

(6) 快开阀关闭并排出砂箱上方的余气。

(7) 顶升压紧机构带动工作台下降,进行回程起模。

(8) 上砂箱被推箱缸推入造型机中,造好型的下砂箱同时被推出。模板更换机构 6 更换模板,上箱的造型循环开始进行。

气流冲击造型机工作过程方框图见 2·13-14。

与其他类型的造型机相比,气流冲击造型机的主要优点是:

- (1) 由于仅用压缩空气作动力,设备结构简单,保养和维修容易。
- (2) 铸型紧实度高,即使在两个较高模样之间的砂



胎的硬度也要比一般振压式造型机生产的高几个硬度单位,铸型尺寸精度也高,且起模容易,因此特别适用于形状较复杂的铸件造型。

(3)不需预紧实和最后压实,压缩空气能量能充分得到应用。

(4)散落砂少,没有振击,工作环境好。

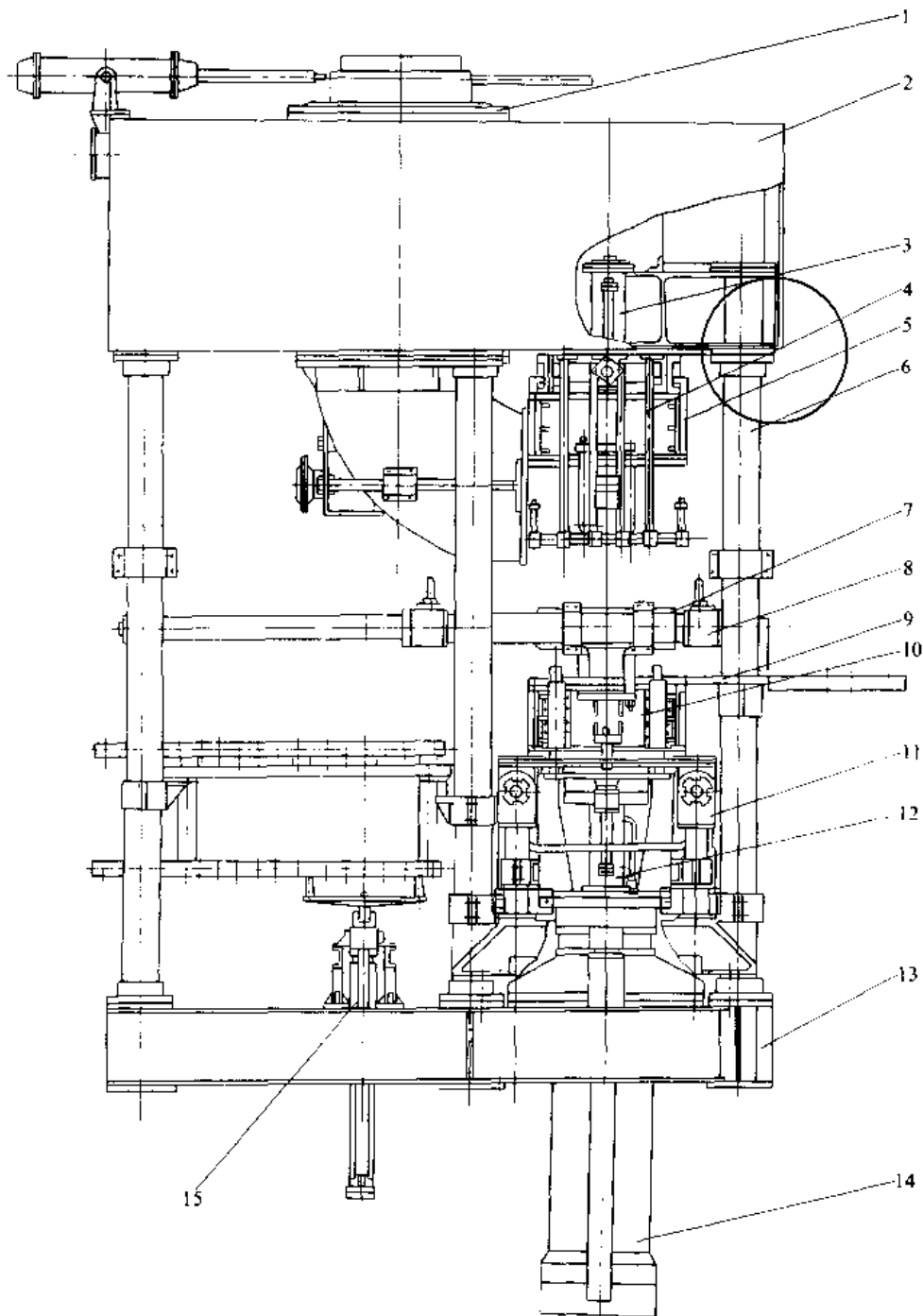


图 2·13-9 水平分型脱箱射压造型机

- 1—射砂机构 2—上机架 3—上型脱箱机构 4—限位机构 5—上砂箱 6—立柱 7—模板  
8—模板穿梭机构 9—过桥 10—下砂箱 11—砂箱穿梭机构 12—下型脱箱机构  
13—机座 14—举升、压实机构 15—快换模板机构



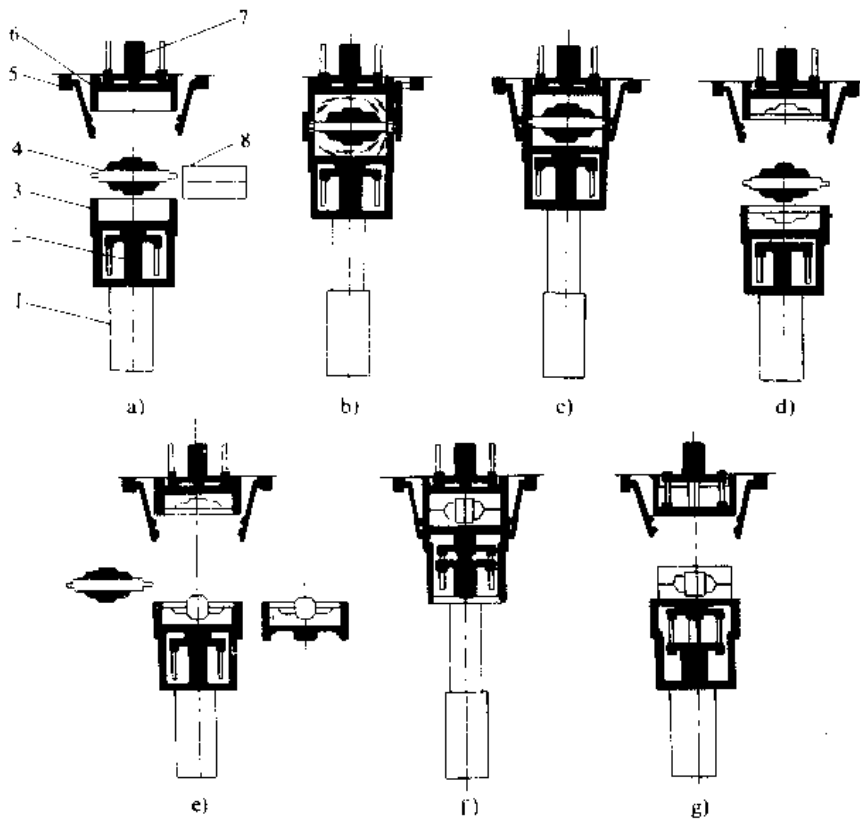


图2·13-10 水平分型脱箱射压造型机动作过程示意图

1—举升压实缸 2—下箱脱箱缸 3—下砂箱 4—模板 5—限位缸 6—上砂箱 7—上箱脱箱缸 8—砂型

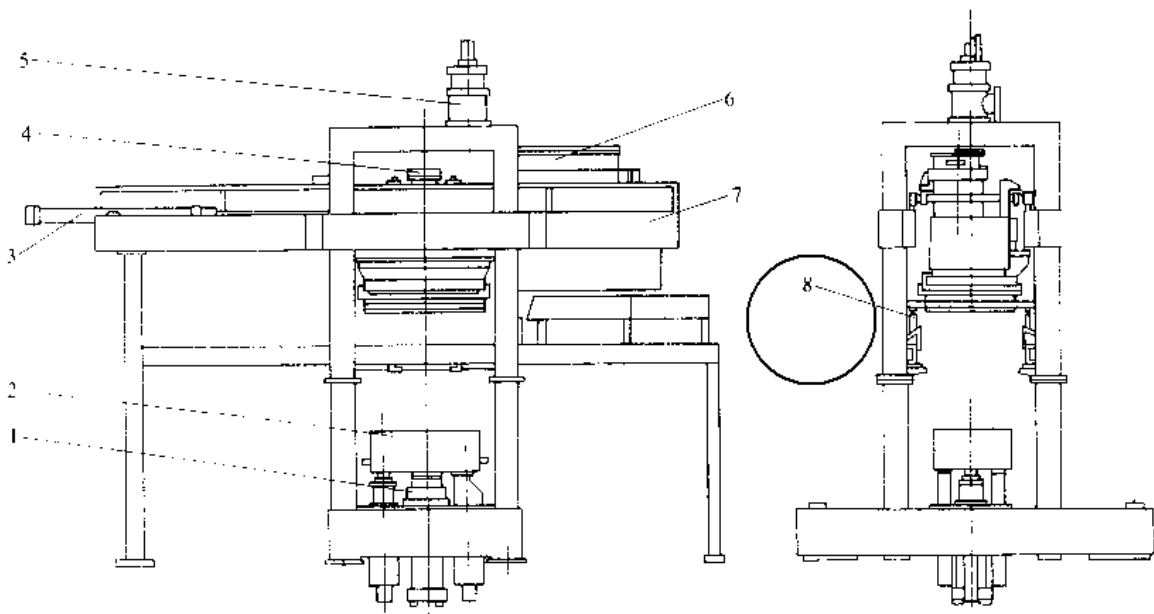


图2·13-11 气流紧实造型机

1—定位缸 2—工作台 3—往复气缸 4—压实缸 5—静压阀 6—百叶窗式砂斗  
7—振动导料槽 8—调平气缸



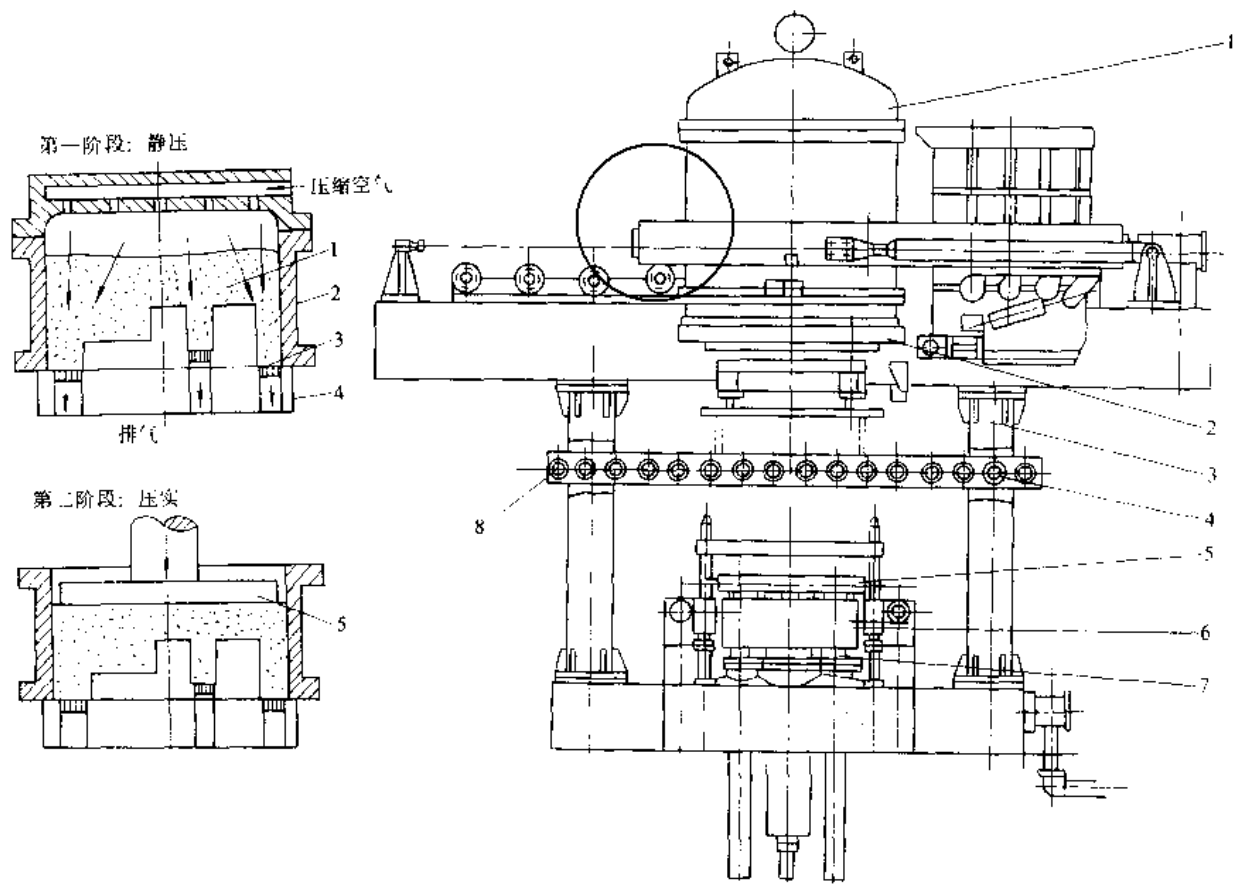


图 2-13-12 气流紧实造型机

工作过程原理图

- 1—型砂 2—砂箱 3—排气塞  
4—模板 5—压头

图 2-13-13 气流冲击造型机

- 1—气冲头 2—辅助框 3—管道支架 4—砂箱 5—模板框  
6—模板更换机构 7—顶升压紧机构 8—起模滚道

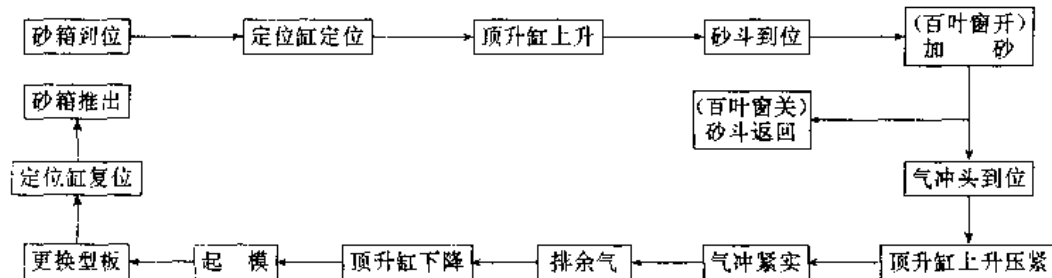


图 2-13-14 气流冲击造型机动作过程方框图

### 1.6 抛砂机

利用旋转叶片抛出砂团来紧实砂型，填砂与紧实同时进行，能量利用充分。与大型振实造型机相比，具有结构简单，重量轻，适应性强，噪声小，对基础要求

低等优点。但生产率比造型机低，对工人操作技术要求高，叶片易磨损，需经常更换。

抛砂机分为固定式、单轨移动式 and 双轨移动式三类。图 2-13-15 为固定式抛砂机结构图。



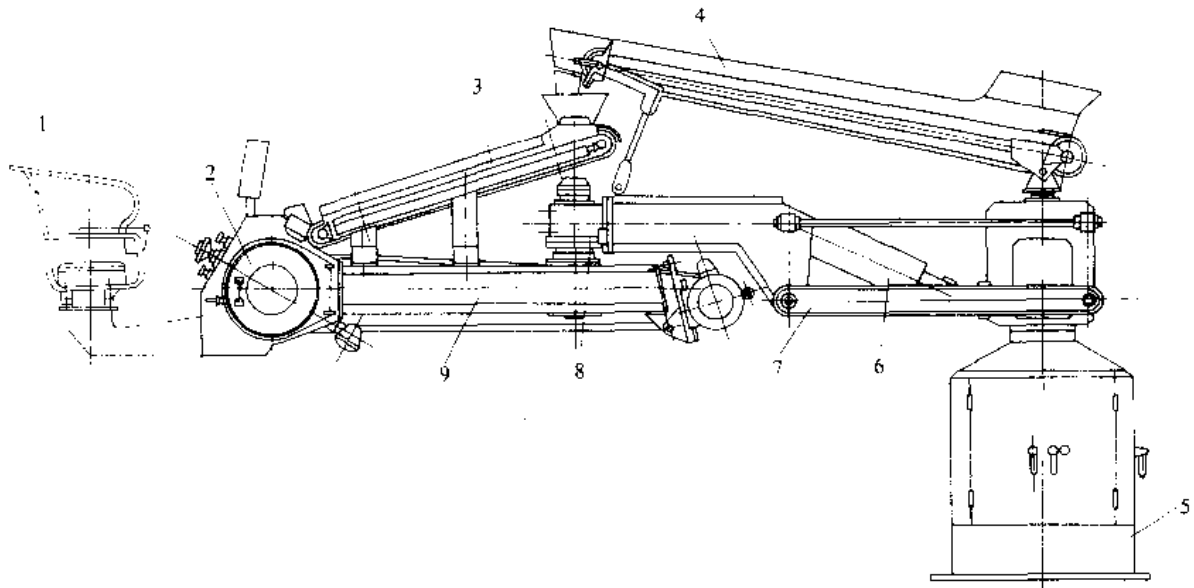


图 2·13-15 固定式抛砂机

1 座椅 2—抛头 3—小臂送砂带 4—大臂送砂带 5—底座 6—举升油缸 7—大臂 8—小臂回转油缸 9—小臂

## 2 造型机主要机构

### 2.1 微振机构

微振机构分弹簧式和气垫式两类，弹簧式应用较广泛。图 2·13-16 为弹簧缓冲微振机构，其工作原理是：压缩空气从工作台 5 上的进气孔 6 进入振击缸内，使工作台上升，砧铁 4 下降，在工作台（振击活塞）和砧铁相对运动过程中，进气孔自动关闭，再经过一段

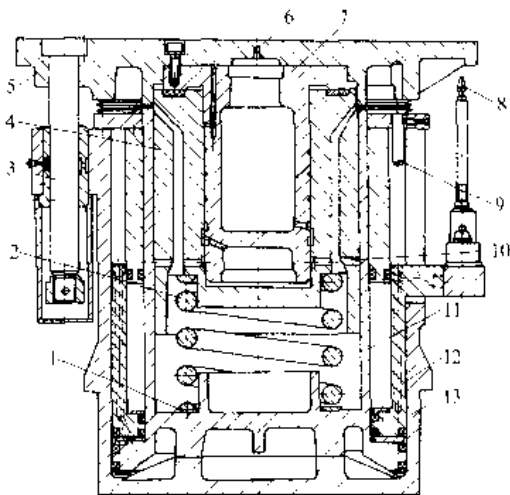


图 2·13-16 弹簧缓冲微振机构

1 调整垫 2 弹簧 3—导向杆 4 砧铁 5 工作台 6—进气孔 7—振击活塞 8—起模顶杆 9—起模行程调整杆 10—排气孔 11—压实活塞 12—起模缸 13—压实缸

膨胀行程，排气孔 10 打开，压缩空气快速排出，使振击缸压力突降。砧铁在弹簧 2 恢复力的作用下向上运动，而工作台靠自重下落，两者碰撞，完成振击循环。

### 2.2 增压机构

1. 气压油增压的压实机构(图 2·13-17) 其优点

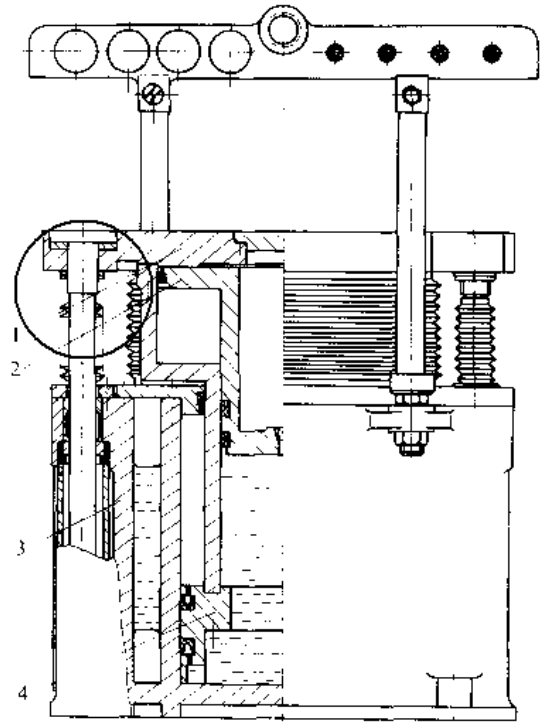


图 2·13-17 气压油增压压实机构

1—压实活塞 2—油箱 3—增压活塞 4—工作台





是传动平稳, 结构比液压传动系统简单, 制造也较容易, 但增压比不大, 一般适用于中压压实机构。

压实时, 压实缸进油, 压实活塞 1 上升, 低压压实。随后, 油路闭锁, 增压缸通气, 增压活塞 3 下降, 增压。

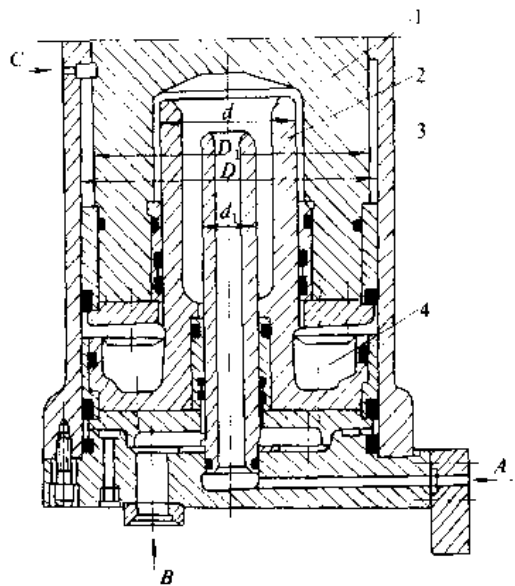


图 2-13-18 带复合油缸的压实机构

1—举升活塞 2—增压活塞 3—压实缸  
4—空腔 (与大气相通)

2. 带复合油缸的压实机构(图 2-13-18) 其特点是效率高, 具有快速接砂机构, 并且可以增压, 适用于高压高速造型。其工作过程见表 2-13-2。

表 2-13-2 带复合油缸的压实机构工作过程

工作 内 容	顺 序 过 程			
	1	2	3	4
A 孔	进油, 举升活塞快速升起, 加砂, 低压压实	→		
	关闭		→	
	排油 (回油箱)			→
B 孔	进油, 增压活塞升起, 高压压实		→	
	排油 (回油箱)			→
C 孔	进油, 举升活塞快速下降, 回程起模			→
	排油 (回油箱)	→		

### 2.3 加砂定量斗与压头机构

1. 固定式定量斗(图 2-13-19) 其特点是砂斗容量可通过调整缸 3 调节, 以适应模样高低不同的要求。砂斗闸门 1 为闸板式, 分为两半, 由位于两侧的驱动油缸 5, 经连杆机构开关闸门, 这种机构可以保证两个闸

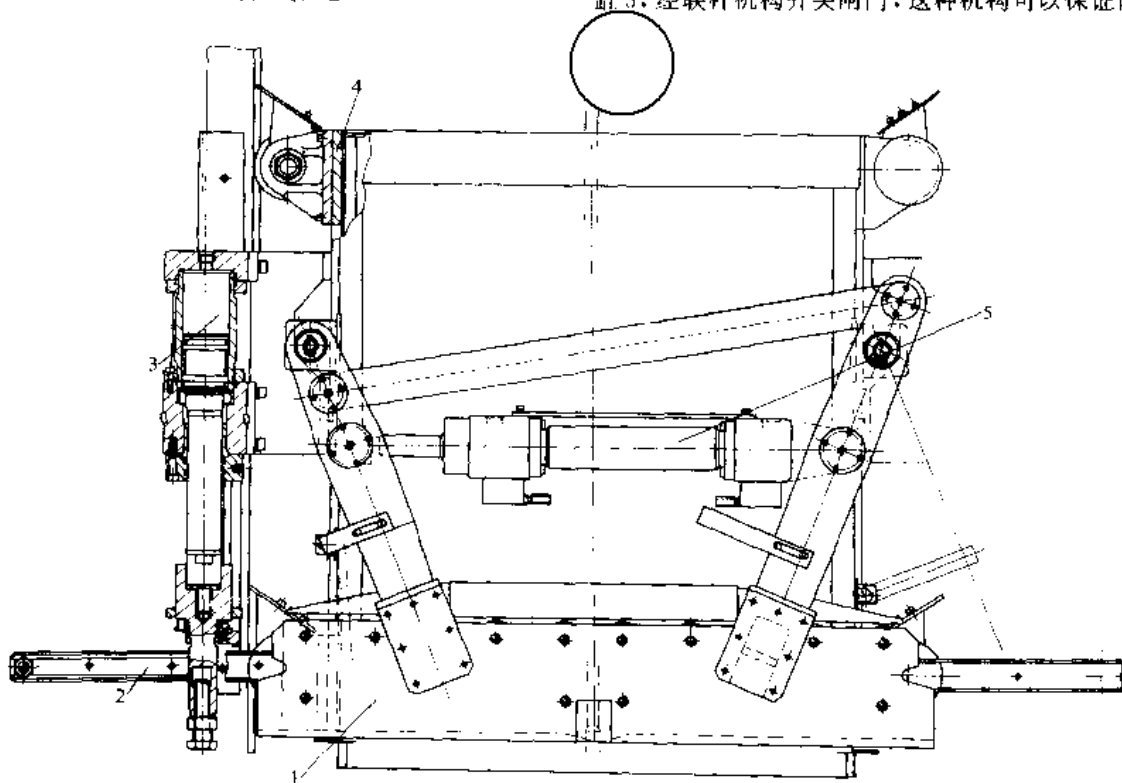


图 2-13-19 固定式加砂定量斗

1—砂斗闸门 2—闸门轨道 3—砂斗容量调整缸 4—砂斗 5—闸门驱动油缸



门同时动作,当闸门打开时,斗内的型砂即落到砂箱及辅助框中,多余的型砂在闸门关闭时被闸门铲平而返回砂斗内。

2. 固定式定量斗与压头(图2·13-20) 定量斗的闸板亦即压头的压板,闸板由气缸3中两个反向活塞开关。其优点是布局紧凑,结构简单,缺点是加砂不够均匀,闸板经多次使用易变形,影响砂型质量,仅适用于比压较低的小型造型机。

3. 交替移动式定量斗及压头(图2·13-21) 定量斗可与各种型式的压头(平压头、成形压头、多触头压头)相联,适用于高中低压的各种造型机。结构比较简单,但加砂不均匀,容易出现局部堆积现象。将定量斗的底板改为百叶窗结构(图2·13-22),随定量斗一起移动,可改善加砂的均匀性,但对型砂流动性要求较高。

4. 多触头压头 压实时有类似成形压头的作用,

其特点是把整个压实面积分割成许多个触头,使砂型的紧实度均匀。触头数量取决于砂型面积的大小,单个触头的尺寸一般为135mm×150mm,呈长方形。多触头压头有气动和液动,按驱动方式不同又分为主动式与浮动式。不同驱动方式的比较见表2·13-3。

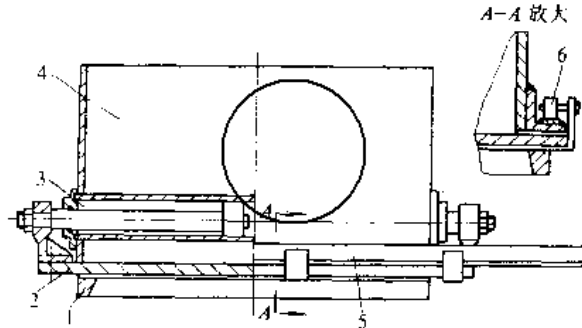


图2·13-20 定量斗压头

- 1—压头辅助框 2—闸板(压板) 3—气缸  
4—定量斗 5—角钢 6—滚子

表2·13-3 多触头压头不同驱动方式的比较

名称	简图	工作原理	特点
气动二级增压多触头压头	<p>1—压实缸 2—二级增压活塞 3—导杆 4—活塞 5—触头</p>	<p>1. 当B孔进气后,二级压实活塞及多触头向下运动,进行低压压实</p> <p>2. A、B孔同时进气,二级压实活塞及多触头继续向下运动,进行高压压实</p>	与液动相比,传动系统简单,制造容易,但结构较复杂,增压比不大,一般用于比压为0.7MPa左右的造型机
主动式液压多触头压头	<p>1—触头 2—油缸 3—导杆 4—压实活塞 5—减压阀</p>	每个小触头都由一个单独的油缸驱动,高压油通过减压阀5,进入触头油缸2,多触头第一次下降,进行低压压实。接着多触头第二次下降,进行高压压实	单个触头的压力可随砂型紧实度的要求进行调节,但管路连接不便
浮动式液压多触头压头	<p>1—压头箱 2—导向轴 3—排气孔 4—复位弹簧 5—导套 6—活塞杆 7—触头</p>	压头的全部触头活塞杆都安装在一个封闭的压头油箱内,形成一个联通器。活塞杆可在导套内上下运动,当压实力取消后,复位弹簧使触头复位	触头行程随模样外形自动调节,压实效果较理想,但压头箱加工精度及密封要求严格



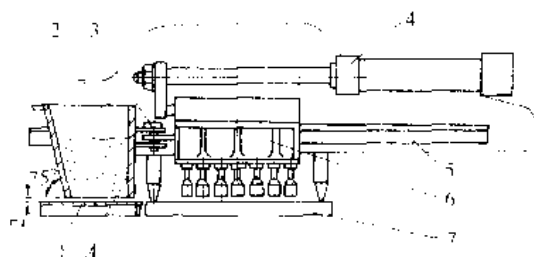


图 2-13-21 交替移动式定量斗及压头  
1—固定底板 2—定量斗 3—联接销钉 4—驱动缸  
5—压头移动轨道 6—压头筒 7—加砂辅助框

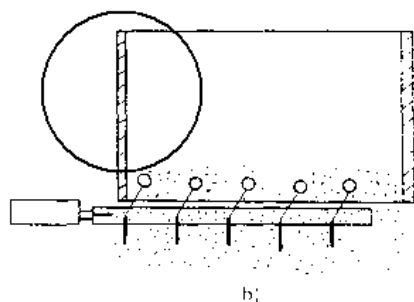
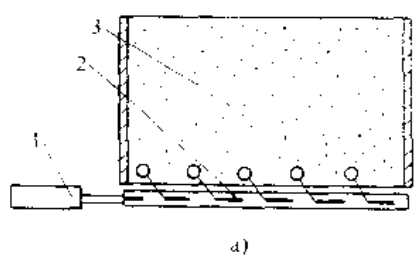


图 2-13-22 百叶窗式定量斗结构示意图  
a) 隔门关闭 b) 隔门打开  
1—气缸 2—百叶窗隔门 3—定量斗

### 2.4 快换模板装置

快换模板装置能有效地缩短更换模板时间，有助于组织小批量多品种的机械化生产，提高造型自动生产线的柔性化作用。

四块模板快换装置的动作原理如图 2-13-23。图 a 模板 A 下面的升降缸升起，使模板 A、C 处于同一水平面；图 b 机动滚轮将模板 C 送入穿梭位置，同时将模板 A 推向机动滚轮，升降缸返回，模板 C 落在穿梭小车上；图 c 穿梭小车移动，将模板 C 送入造型位置，同时将模板 B 送往更换位置。此时模板 B 下面的升降缸升起，使模板 B、D 处于同一水平面；图 d 机动滚轮将模板 D 送入穿梭位置，同时将模板 B 推向机动滚

轮，升降缸返回，模板 D 落在穿梭小车上，更换模板完毕，模板 C、D 开始穿梭造型。这种模板更换装置，可以在造型机不停的情况下，完成模板的更换

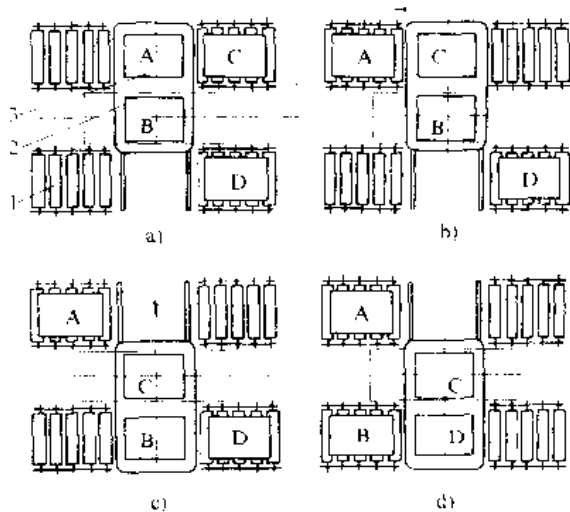


图 2-13-23 四块模板快换装置动作原理图  
1—四组机动滚轮 2—穿梭模板车 3—模板

### 2.5 射砂机构

**1. 垂直分型无箱射压造型机射砂机构** 小型垂直分型无箱射压造型机的射砂机构如图 2-13-24。设计时，射砂筒的容量应不小于所造最厚砂型用砂量的 1.5 倍。

较大型的垂直分型无箱射压造型机的两级射砂机构如图 2-13-25。为了改善砂型紧实度的均匀性，设置了两级射砂机构。与一级射砂机构比较，主要区别在于增大了贮气包，设置了两个射砂阀（见 A 向视图）。射砂过程是：首先开启第一个射砂阀进行射砂，经过 0.1~0.2s 后，开启第二个射砂阀，此时两个射砂阀同时进气。射砂压力一般选用 0.4MPa。两级射砂的效果较好，紧实度均匀，表面硬度平均在 90 度以上，硬度差为 5 度左右。

**2. 水平分型脱箱射压造型机的射砂机构** (图 2-13-26) 进气阀和排气阀均采用薄膜结构，射砂筒 2 的加砂量由电容式料位器 3 自动检测。侧射筒 5 的射嘴与下砂箱留有 5mm 的间隙，使压实和起模时砂箱能自由升降。射砂时由射嘴气缸 8 推动射嘴与下砂箱侧壁紧贴，防止型砂飞溅。在侧射筒 5 上还开有方形孔，以便清理积砂。

更换辅助框 9 内的垫块 11，可以在一定范围内改变砂型高度。



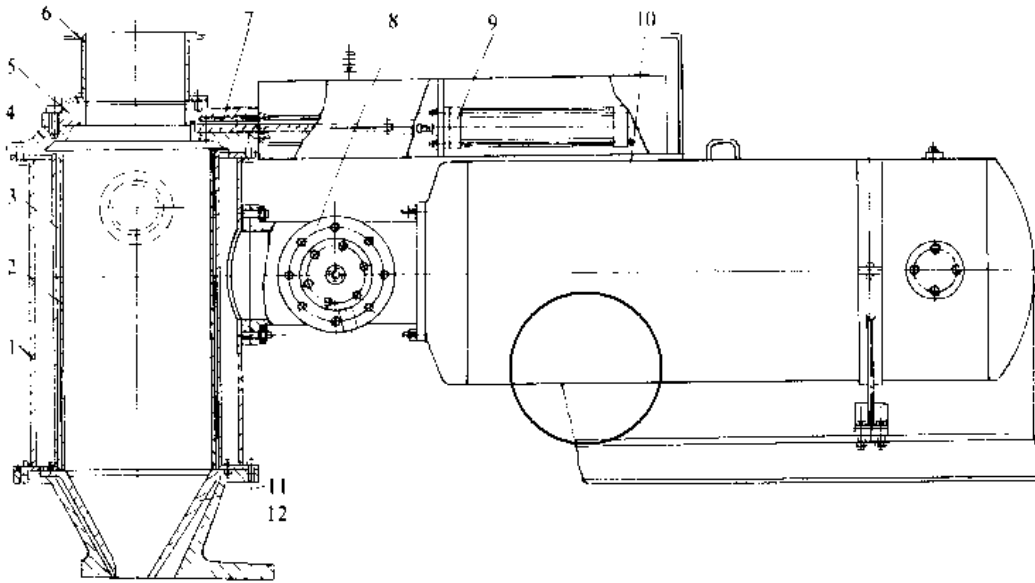


图 2-13-24 垂直分型无箱射压造型机射砂机构

- 1—射砂筒 2—内套 3—外套 4—下盖板 5—上盖板 6—接套 7—砂闸板 8—射砂阀  
9—气缸 10—贮气包 11—射头 12—射头体

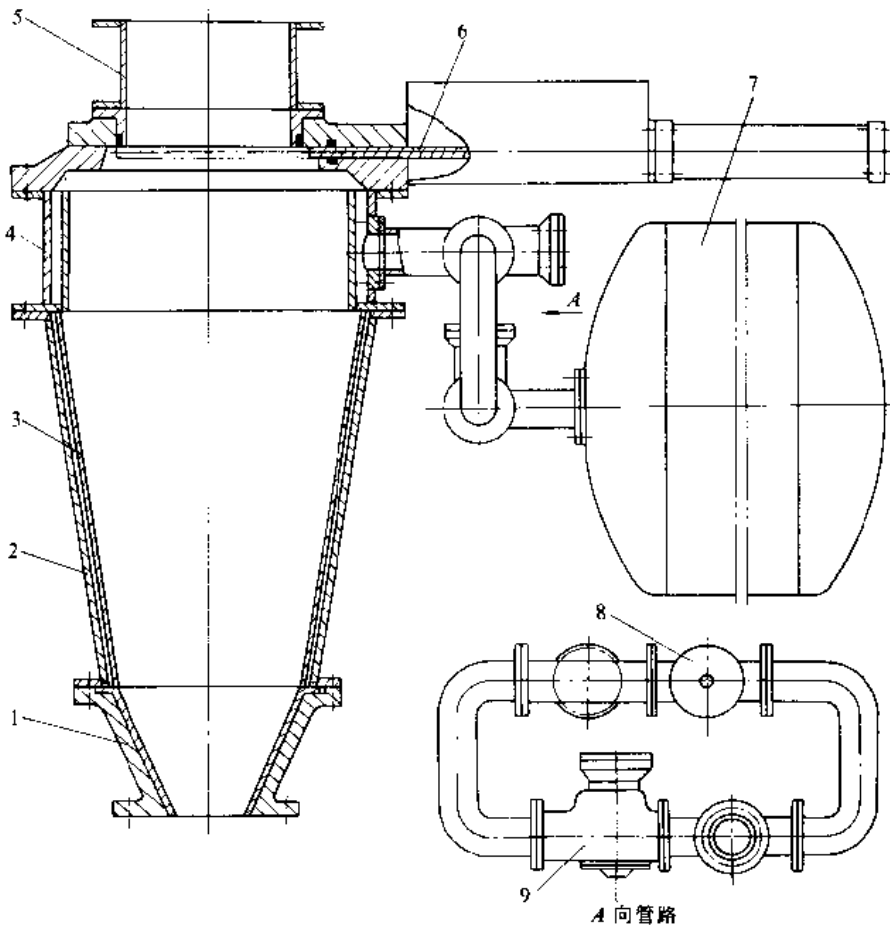


图 2-13-25 两级射砂机构

- 1—射砂头 2 下砂筒 3 衬套 4 上砂筒 5—加砂筒 6—砂闸门  
7—贮气包 8—射砂阀 9—二次射砂阀



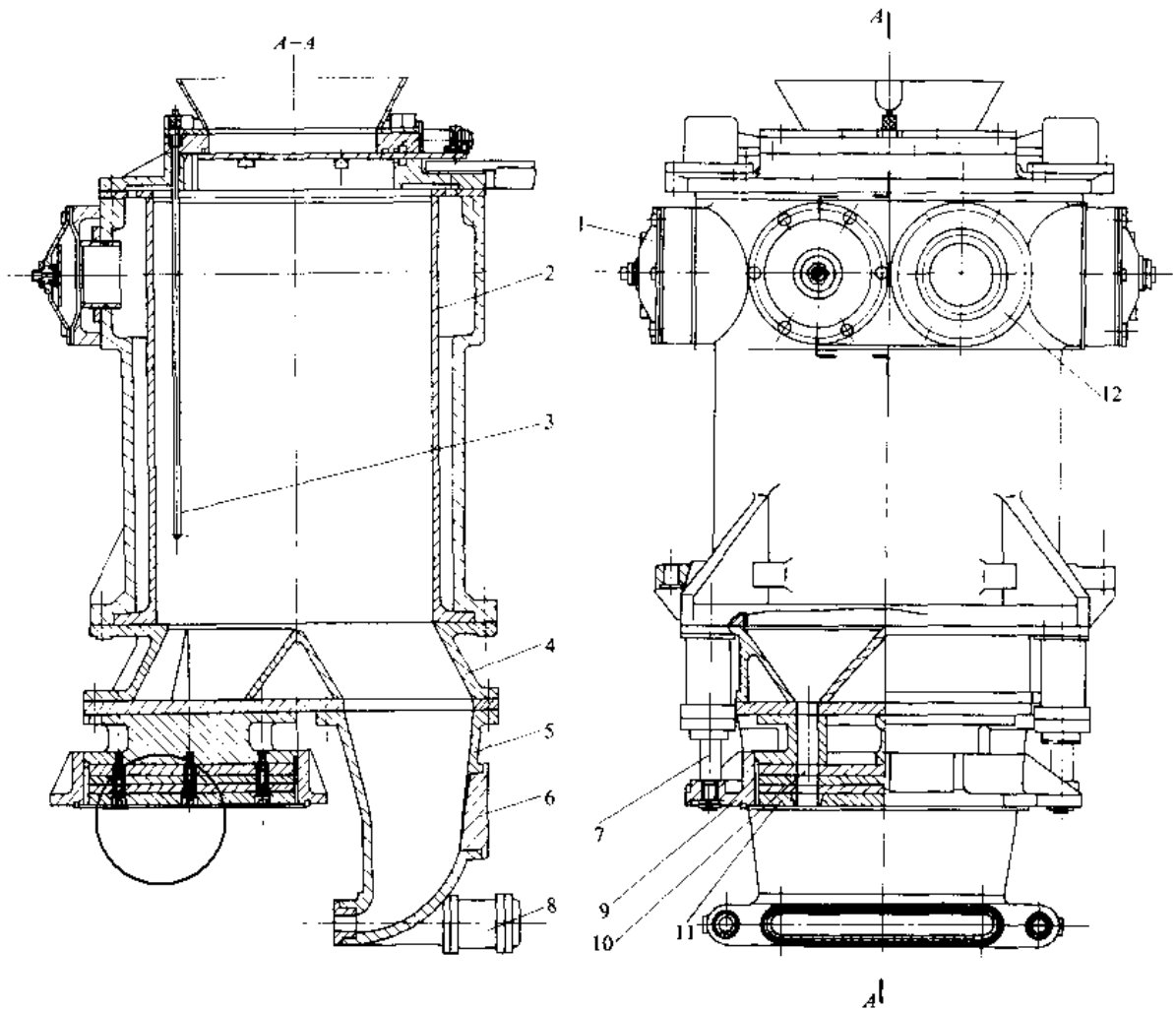


图 2-13-26 水平脱箱射压造型机射砂机构

1—进气阀 2—射砂筒 3—电容式料位器 4—射头 5—侧射筒 6—方形孔盖 7—辅助框顶升缸  
8—射嘴气缸 9—辅助框 10—射嘴 11—垫块

### 2.6 气冲头

气冲头(图 2-13-27)是气流冲击造型机的关键部件。它使压缩空气瞬时膨胀,产生的压力波在 5~10ms 内完成紧实过程。

其工作原理为:进入冲击阀 3 密封腔中的压缩空气将冲击阀板 2 压紧,随后压缩空气再充满贮气包 1,当通过排气管 4 排出冲击阀中的压缩空气时,冲击阀板在贮气包内压力差作用下开启,贮气包中的压缩空气迅速随之从射口射出,推动型砂得以紧实,完成一个气冲紧实循环。

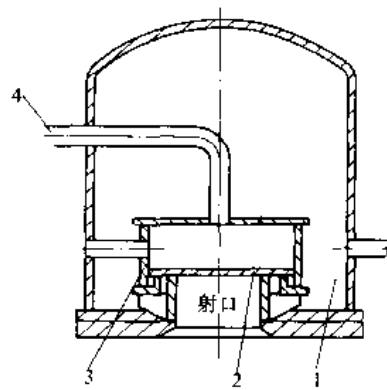


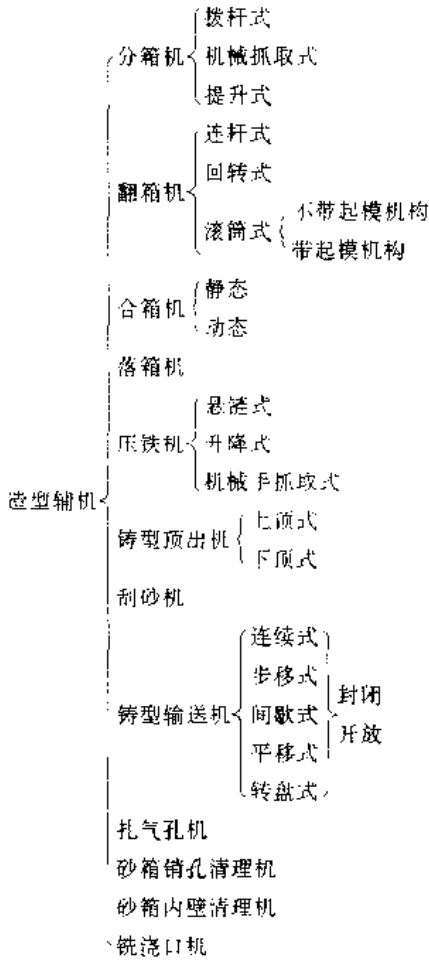
图 2-13-27 气冲头示意图

1—贮气包 2—冲击阀板 3—冲击阀 4—排气管



### 3 造型辅机

造型辅机种类如下：



#### 3.1 分箱机

其作用是将落砂后的上、下空箱分开。表 2·13-1 列出三种主要分箱机结构原理。

带有插箱二序的插分箱机结构如图 2·13-28。其动作程序是：铸型输送机上冷却了的铸型砂箱运行到插分箱机内，机械手臂 8 合拢抓住砂箱，行走机构 3 带着砂箱行到落砂机上方，插头 6 压住铸型砂胎，升降缸 4 带动机械手上升，铸型砂胎落入落砂机内。行走机构带着空砂箱并将其落到滚道上。机械手张开上升，再次合拢抓住上砂箱升起，滚道上的下砂箱同时被推走，然后再将上砂箱放在滚道上。此时行走机构返回原位，进入下一个循环。



#### 3.2 翻箱机

翻箱机用于翻转造好的砂型。表 2·13-5 为四种翻箱机结构原理及特点。

#### 3.3 合箱机

由于对合箱动作要求平稳无冲击，所以合箱缸一般都用液压传动或气压油传动。

1. 动态合箱机 (图 2·13-29) 其工作原理如下：

- (1) 上砂箱从右面进入合箱机的上滚道架，推动同步杆向左运动 (至终点止)。
- (2) 合箱缸第一次下降 (使同步杆的下爪能与下砂箱接触)。

表 2·13-4 三种主要分箱机结构

名称	简图	动作原理	特点
拨杆式分箱机	<p>1—举升缸 2—工作台 3—砂箱 4—拨杆 5—下箱滚道 6—上箱滚道 7—机架 8—挡板 9—楔铁</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 空砂箱进入，举升活塞举起砂箱，直至上箱越过上滚道，下箱越过下滚道</li> <li>2. 举升活塞下降，上下箱分别为上下滚道托住</li> <li>3. 拨杆拨动砂箱离开分箱机，沿倾斜回箱滚道至下工位</li> </ol>	<p>结构简单制造容易，使用维修方便。但效率低，适用于一般机械化程度的造型线</p>



(续)

名称	简 图	动作原理	特 点
机械抓取式分箱机	<p>1—砂箱 2—边滚伸缩缸 3—提升缸</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 空砂箱进入, 伸缩缸将边滚伸进上砂箱边道下面</li> <li>2. 提升活塞升起, 将上砂箱升至预定高度</li> <li>3. 推动油缸将砂箱推出分箱机</li> </ol>	<p>布置紧凑, 占地面积小, 动作可靠效率高, 下砂箱利用铸型输送机运出。结构较复杂适用于自动或半自动造型线</p>
提升式分箱机	<p>1—举升缸 2—支承缸 3—砂箱 4—支架 5—边滚伸缩缸</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 空砂箱进入, 伸缩缸退回, 支承缸活塞升起支托上砂箱</li> <li>2. 举升活塞升起, 将砂箱升至预定高度, 伸缩缸活塞伸出, 承托上砂箱</li> <li>3. 支承缸活塞及举升活塞复位, 推动缸将砂箱推出</li> </ol>	<p>特点与机械抓取式相同, 适用于自动或半自动造型线</p>

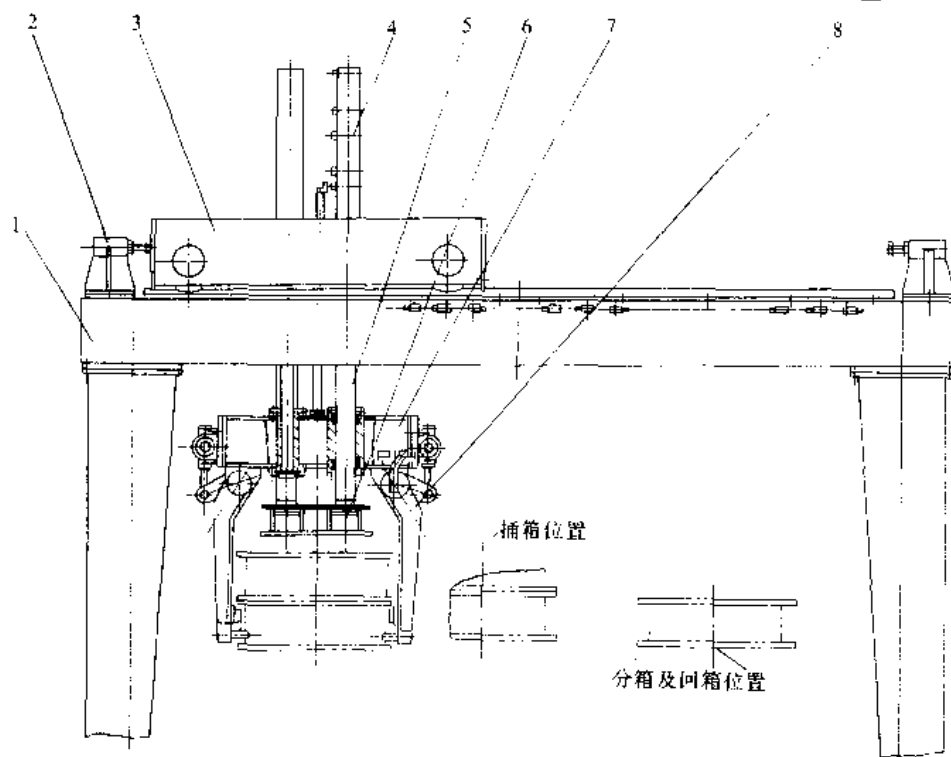


图 2-13-28 插分箱机

1—机架 2—限位机构 3—行走机构 4—升降缸 5—导向杆 6—桶头 7—机械手 8—机械手臂



表 2·13-5 四种翻箱机结构原理及特点

名称	简 图	特 点
连杆式翻箱机		<p>1. 结构简单, 制造和维修容易</p> <p>2. 砂箱在翻转前后的水平标高不相同</p>
回转式翻箱机		<p>1. 结构较复杂, 操作方便</p> <p>2. 砂箱在翻转前后的水平标高相同</p>
滚筒式翻箱机		<p>1. 转动平稳、可靠</p> <p>2. 砂箱在翻转前后的水平标高相同</p>
翻转起模机		<p>结构与滚筒式翻箱机类似, 但增加起模机构, 适用于抛砂机造型线</p>

铸造工业出版社





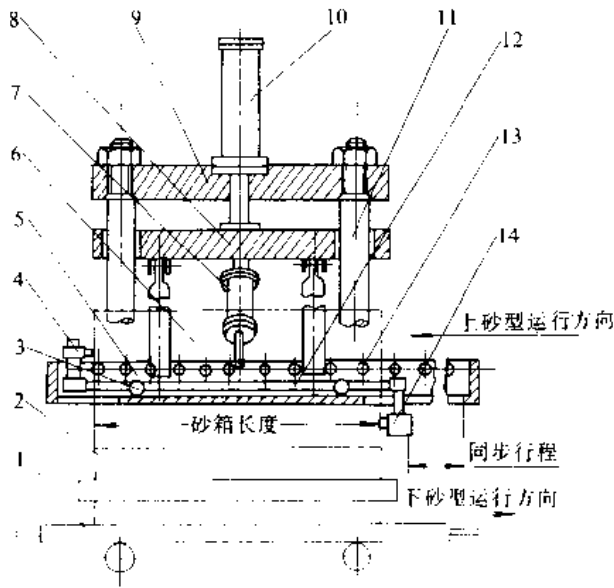


图 2-13-29 动态合箱机

- 1—铸型输送机 2—下砂箱 3—同步杆滚轮
- 4—同步杆上爪 5—上滚道架 6—上砂箱
- 7—开合缸 8—升降架 9—固定横梁
- 10—合箱缸 11—立柱 12—同步杆
- 13—滚轮 14—同步杆下爪

(3) 下砂箱由铸型输送机送入合箱机,当碰到同步杆的下爪后,同步杆即带动下砂箱随铸型输送机同步移动。

(4) 合箱缸第二次下降,上箱的定位销插入下箱的定位孔中合箱。

(5) 上滚道架的开合缸动作,使滚道架和同步杆下爪张开。

(6) 合箱机复位。

动态合箱不需另配落箱机,下砂型利用铸型输送机输送,下芯亦在输送机上进行,对紧实度较低的砂型及大砂芯,防止塌箱有利。但合箱机结构复杂,上砂箱需带合箱销,容易撞弯、磨损;当铸型输送机导向轮磨损后,小车可能左右偏移,影响合箱质量。

2. 静态合箱机 (图 2-13-30)

用于步移式输送机,下砂型可利用铸型输送机输送,对连续式输送机需另配落箱机。为提高合箱精度,在合箱机械手的两个手臂上(处于对角线位置)各有一个销子,机械手合拢抓起上箱时,销子顶开砂箱上的箱卡子,以便合箱。当机械手张开时,箱卡子销紧上下砂箱。静态合箱机结构简单,动作平稳,应用较广泛。

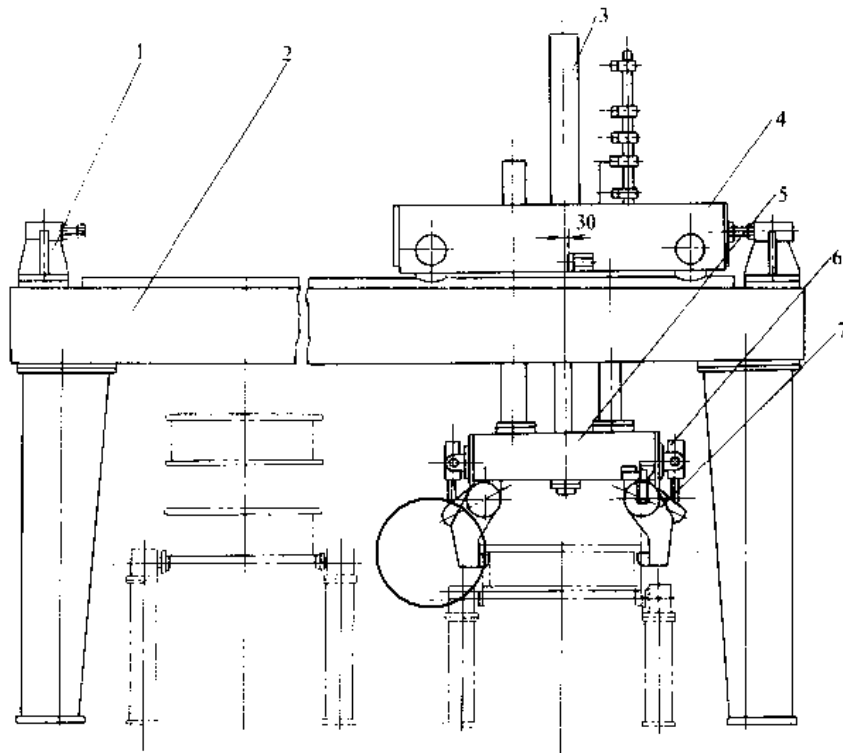


图 2-13-30 静态合箱机

- 1—限位机构 2—机架 3—升降缸 4—行走机构 5—机械手 6—销子 7—手臂

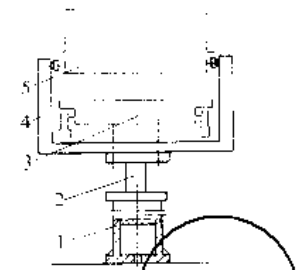
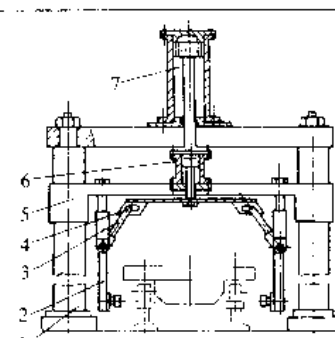
几  
—  
—  
—



3.4 落箱机

落箱机的动作比较简单,表2·13-6介绍两种落箱机。

表 2·13-6 落箱机结构及特点

名称	简图	特点	名称	简图	特点
简易落箱机	 <p>1—举升缸 2—举升活塞 3—铸型输送机 4—滚道架 5—砂箱</p>	结构简单,制造容易,但安装、维修都不方便	机械手落箱机	 <p>1—机架 2—机械手 3—爪 4—滑槽 5—升降架 6—夹紧缸 7—落箱缸</p>	结构较复杂,动作准确,效率高

3.5 压铁机

压铁机的结构形式有多种,其主要组成包括取压铁、放压铁及运送压铁三个部分。对于大砂型趋向于加重上砂箱重量,取代压铁。

1. 升降式压铁机(图2·13-31) 该机靠顶杆升降取放压铁。滚道架的开合,可用机械手、连杆机构、轨道以及铰链等不同型式。滚道架与机架采用销子铰接。这种压铁机结构较简单,放压铁动作平稳,但升降缸

需安装在地上,检修不便,对压铁的定位要求较准确。

2. 机械手压铁机(图2·13-32) 这种压铁机刚性大,动作准确可靠,效率高,但结构复杂,适用于自动或半自动造型线。

放压铁机构2的机械手,将压铁送至铸型输送机上方,放置在待浇注的砂型上,浇注后铸型经一段时间冷却,由取压铁机构6的机械手将压铁送至输送滚道4上,由输送缸8推回,重复使用。

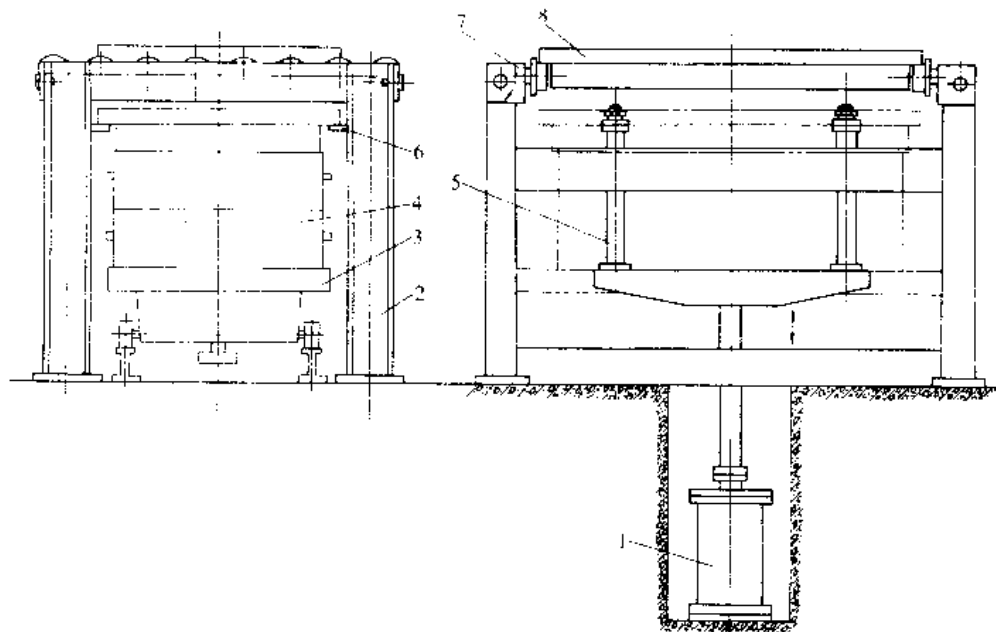


图 2·13-31 升降式压铁机(取压铁)

1—升降缸 2—机架 3—铸型输送机 4—铸型 5—顶杆 6—顶杆爪 7—滚道架 8—压铁



### 3.6 铸型顶出机

为了保护砂箱加工面,提高砂箱使用寿命,改善劳动条件,减少噪声,铸型在震动落砂前,先用铸型顶出机顶出砂胎,再送往(或经二次冷却后)落砂机落砂。

上顶式铸型顶出机结构原理见表 2·13-7。下顶式铸型顶出机结构见图 2·13-33。顶出工作过程由三工位组成,以提高效率:

(1) 第一工位机械手将铸型运到第二工位输送小车上;

(2) 输送小车将铸型送往顶出位置,同时将已顶出

砂胎的空砂箱送到第三工位;

(3) 第三工位机械手将空砂箱送回铸型输送机运走。

### 3.7 刮砂机

用于高压造型线的齿刃式刮砂机分两次刮砂。第一次为齿刃刮削,第二次为平刮削。结构如图 2·13-34。气冲造型线上用的另一种刮砂机如图 2·13-35 所示。刮砂机的松砂针 2、刮刀 3 安装在造型线滚道的下方,造好的砂型在被推进过程中,砂型背面的余砂先由松砂针疏松,再由刮刀刮掉,上方的二对压轮 1 的作用是防止刮砂过程中砂箱被抬起。

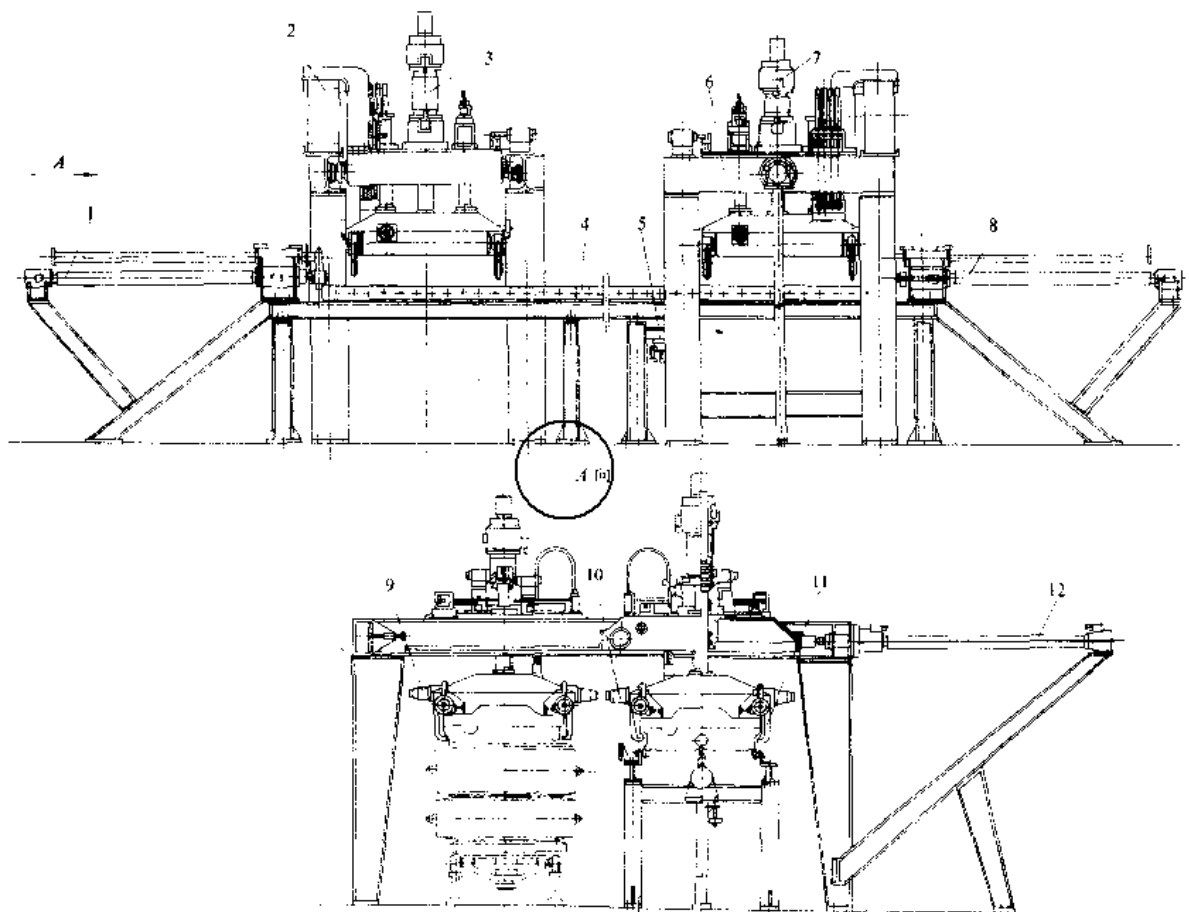


图 2·13-32 机械手压铁机

- 1—缓冲缸 2—放压铁机构 3—升降缸 4—输送滚道 5—定位缸 6—取压铁机构 7—升降缸  
8—压铁输送缸 9—机械手开合缸 10—机架 11—机械手 12—取压铁机构移动缸



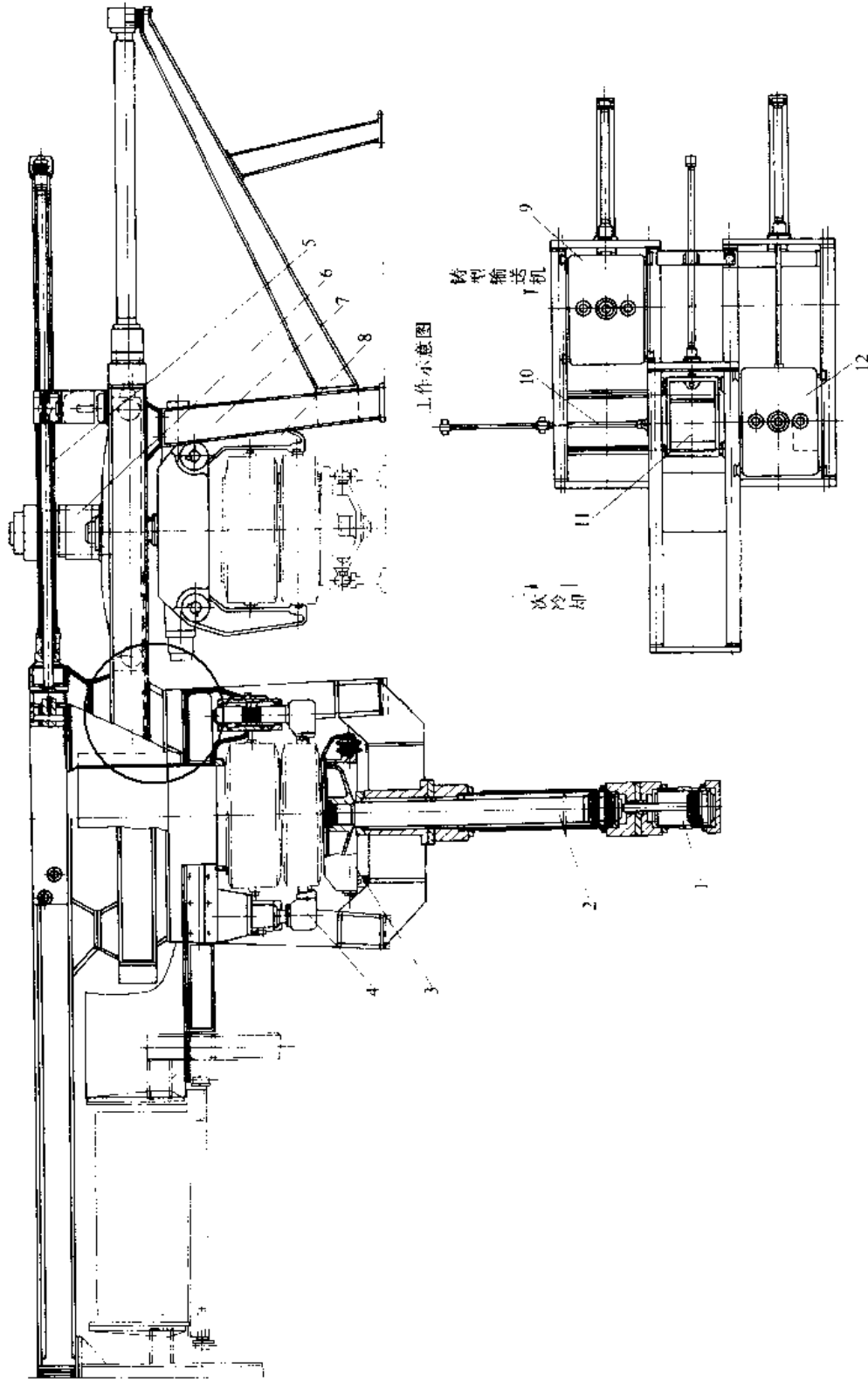


图 2-13-33 下顶式铸型顶出机

1—加力油缸 2—顶升活塞 3—顶盖 4—箱箱机械手 5—砂型推出缸 6—顶升缸 7—机架 8—抓取机械手  
 9—第一工位（抓取铸型） 10—第二工位（输送铸型） 11—顶出位置 12—第三工位（空砂箱送回）



表 2-13-7 上顶式铸型顶出机结构原理

名称	简易铸型顶出机	机械手铸型顶出机
简图		
特点	铸型固定，捅头向下运动，顶出砂胎，但需另配推杆，推送铸型	捅头固定，机械手将铸型提升，顶出砂胎，可同时完成砂箱运送

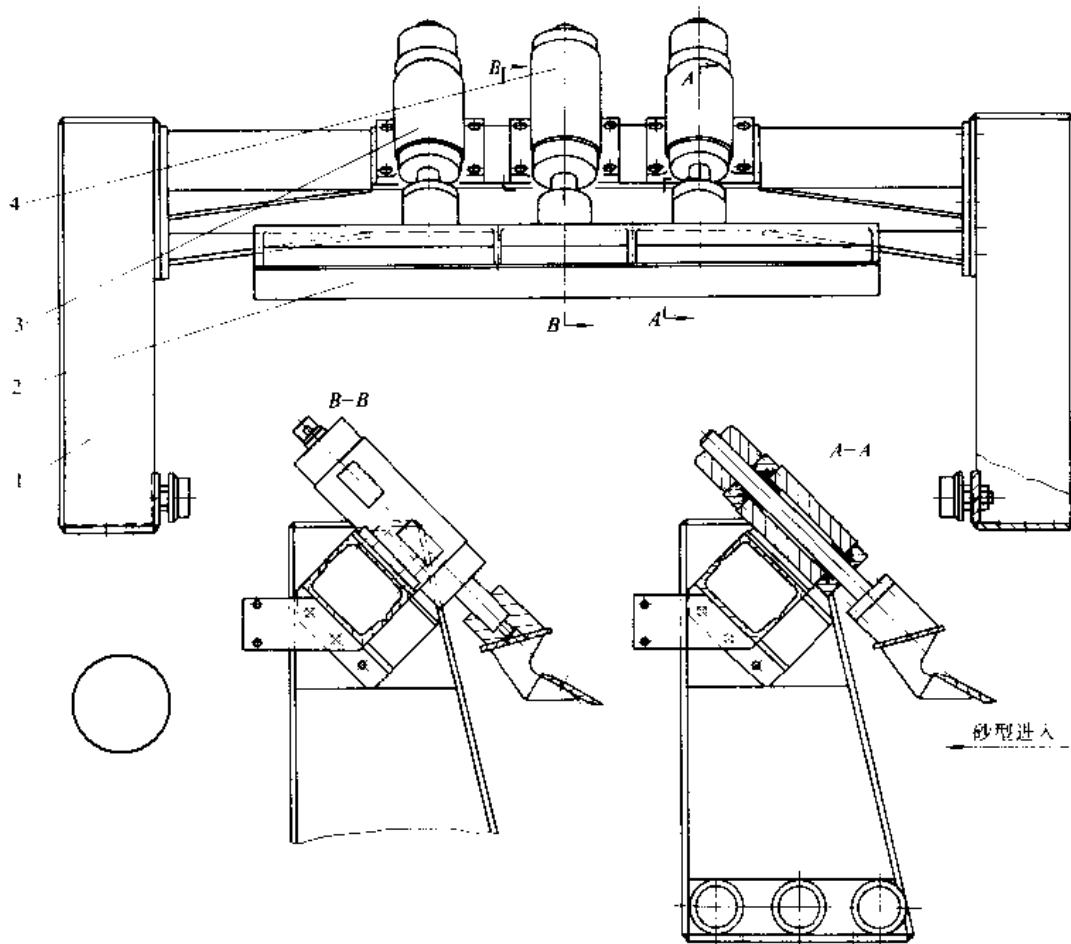


图 2-13-34 齿刃式刮砂机

1—机架 2—刮刀 3—支撑杆 4—升降缸



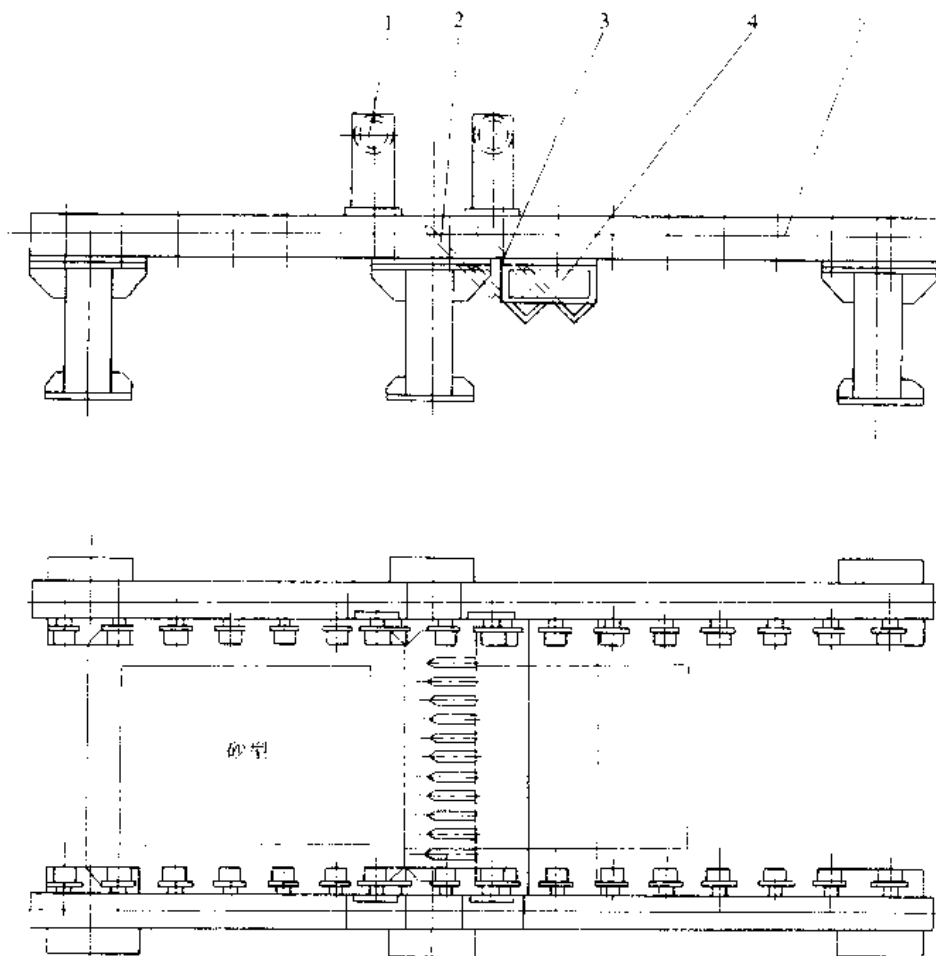


图 2-13-35 捣砂机

1—压轮 2—松砂针 3—刮刀 4—固定架 5—滚道

### 3.8 铸型输送机

1. 连续式铸型输送机(图 2-13-36) 多用于平行 T 工作制, 大量或成批生产的造型线。

(1) 输送机速度  $v$  的确定。

$$v = \frac{nT}{60Z\eta} \quad (\text{m/min})$$

式中  $n$  —— 输送机的铸型数 (箱/h);

$T$  —— 小车节距 (m);

$Z$  —— 每个小车存放的铸型数;

$\eta$  —— 装载系数, 对于机械化线取  $\eta = 0.8 \sim 0.85$ 。

(2) 输送机展开长度  $L_0$  的确定。

$$L_0 = NT \quad (\text{m})$$

式中  $N$  —— 输送机小车总数, 根据造型机生产率、浇注速度、冷却时间及布置型式决定;

$T$  —— 小车节距 (m)。

(3) 输送机高度  $H$ 。通常取 500~600mm。

2. 步移式铸型输送机 分为封闭型和直线型两种, 用于自动或半自动造型线。

(1) 封闭型步移式铸型输送机(图 2-13-37)与连续式铸型输送机相比, 具有以下特点: 起动频繁, 需用驱动力较大, 对小车节距要求严格, 制造与调整技术要求高, 但它能在静止状态下完成下芯、合箱、浇注及其他工序, 因此简化了各种辅机的动作要求。

这种输送机一般用液压缸驱动, 驱动时定位缸 1 将定位销 5 拔出, 传动缸 1 将传动销 2 插入小车 7 的销孔, 带动小车移动一个节距  $t$ , 然后定位销插入, 传动销拔出, 移动缸退回, 准备下一个节拍的传动。不同尺寸小车所需传动装置的主要技术数据, 可参照表 2-13-8 选用。

(2) 直线型步移式铸型输送机(图 2-13-38)主要用于无箱或脱箱射压造型线。



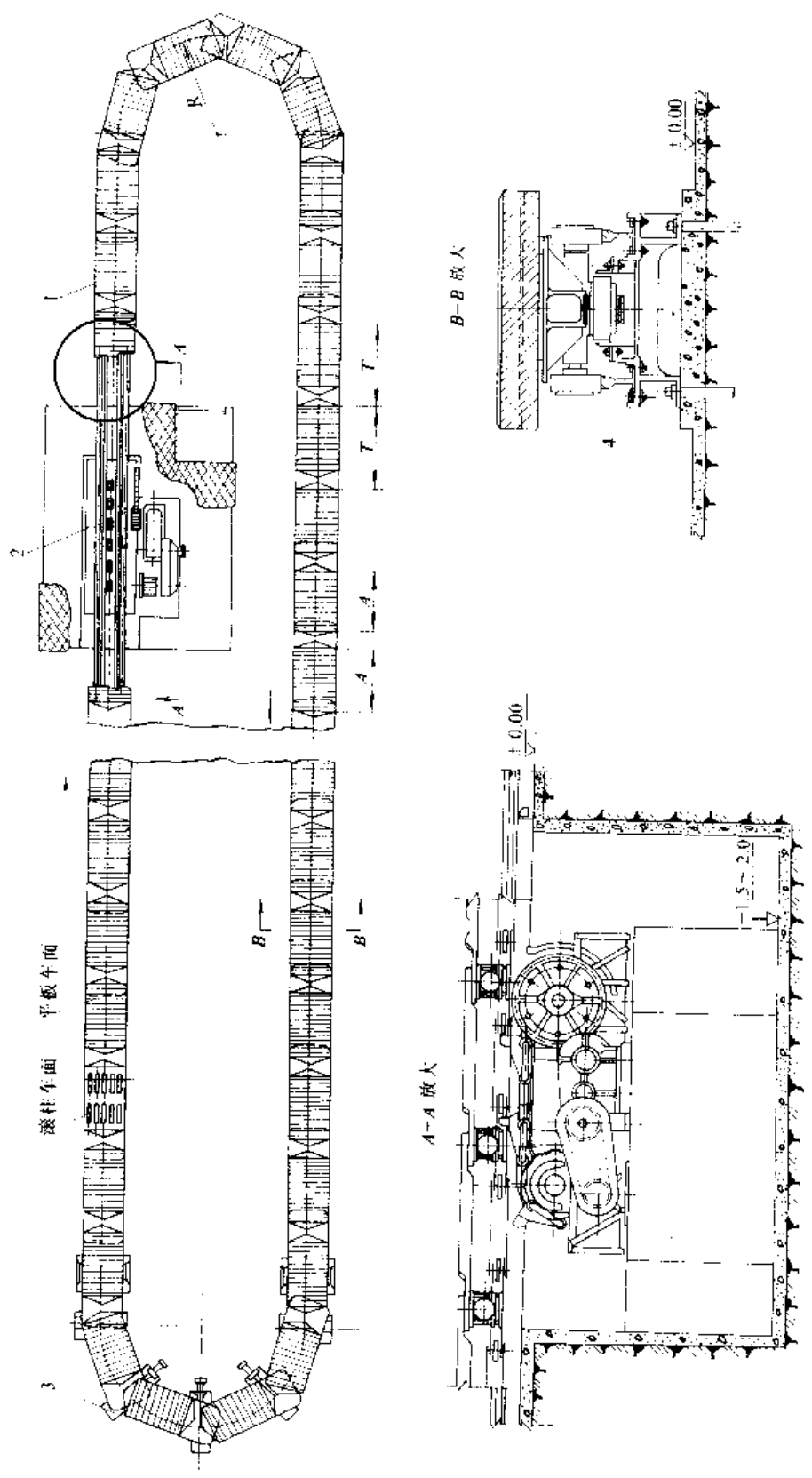


图 2-13-36 连续式铸型输送机  
 1-小车 2-传动装置 3-张紧装置 4-轨道系统



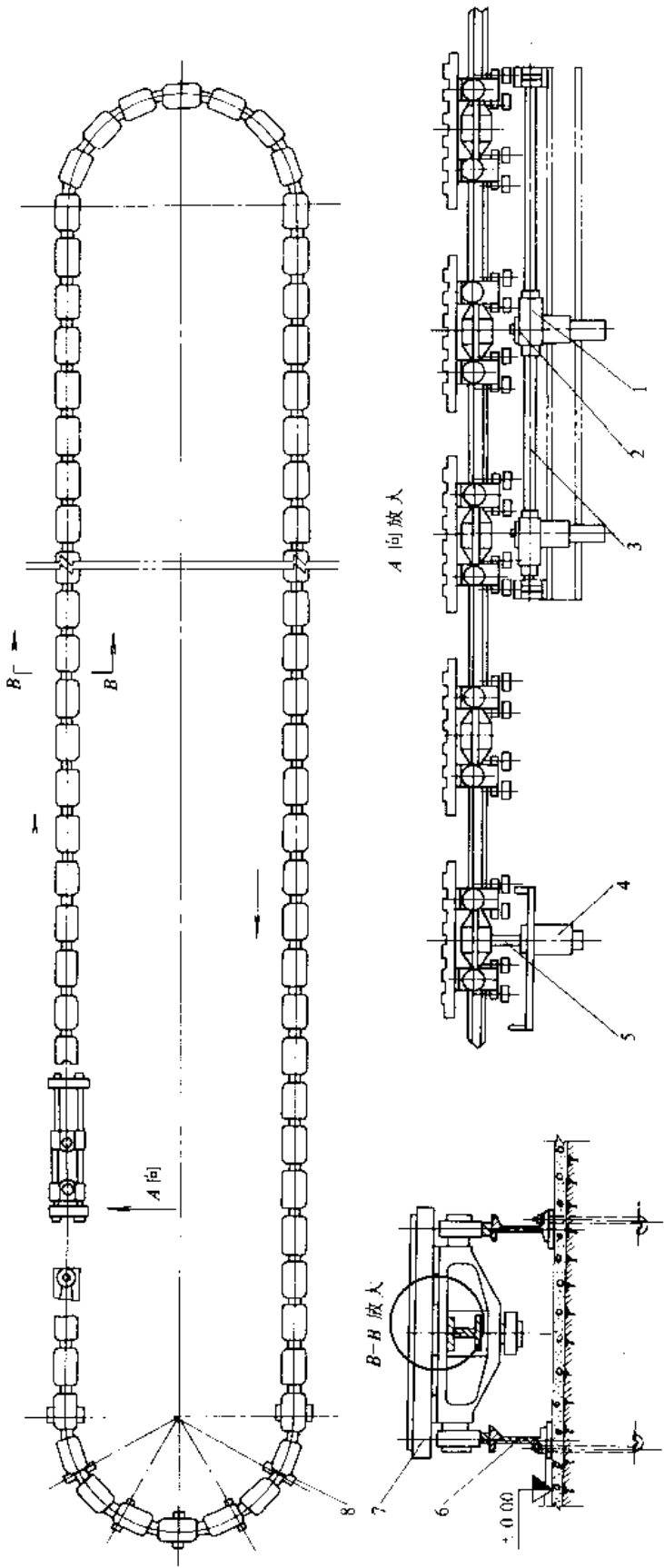


图 2-13-37 封闭式步移式铸型输送机  
 1—传动缸 2—传动轴 3—活塞杆 4—定位缸 5—定位销 6—轨道 7—小车 8—张紧装置





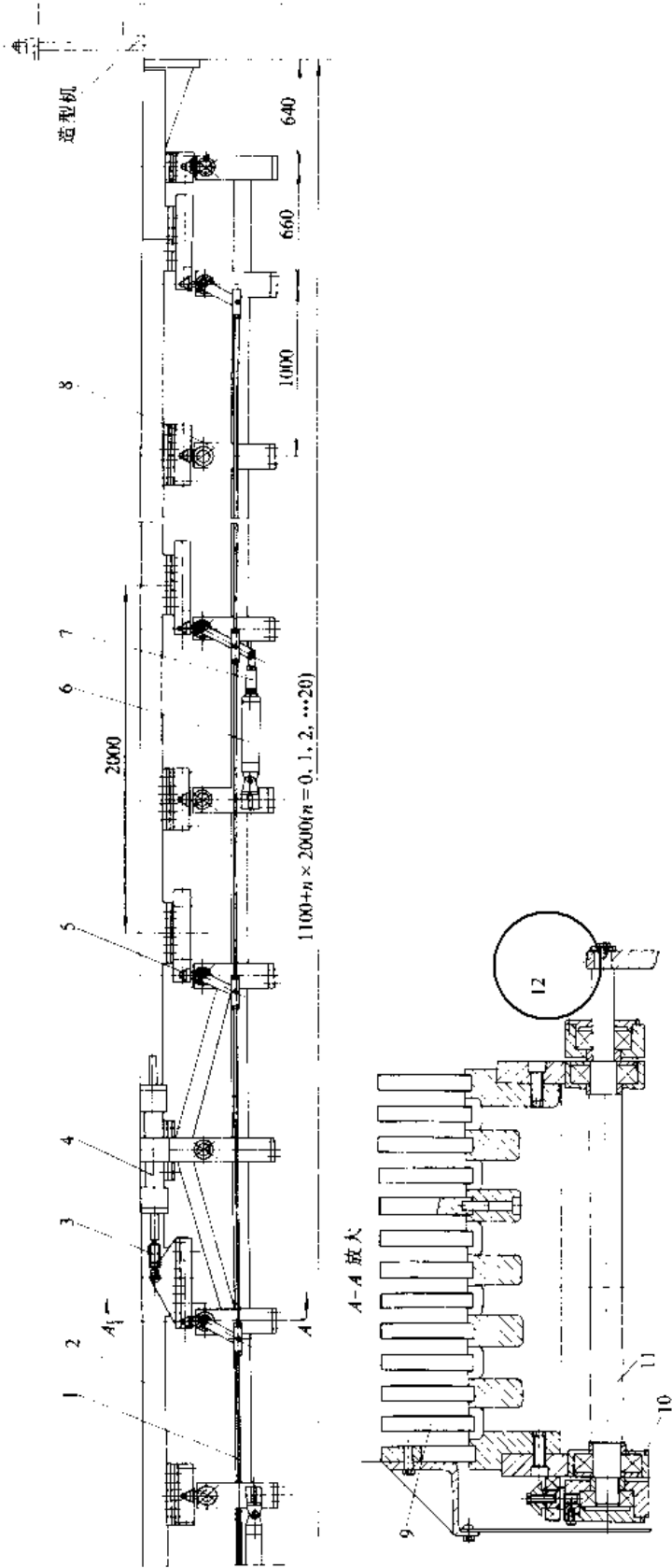


图 2-13-38 直线型步移式铸型输送机  
 1—长拉杆 2—输送栅板(平台) 3—油缸调长器 4—液压缸 5—边滚 6—升降气缸 7—气缸调长器  
 8—支架 9—支撑栅板(平台) 10—托滚 11—连杆 12—支承板



表 2-13-8 传动装置的主要技术数据

序号	小车台面尺寸 (mm)	工作行程 (mm)	最大推力 (N)	使用油压 (MPa)	驱动油缸直径 (mm)	活塞杆直径 (mm)	插销缸径 (mm)	插销直径 (mm)	工作节拍 (s)	驱动时间 (s)
1	400×600	750	30030	2.5	φ170×2	φ120×2	φ130	φ80	24	6
2	750×850	1000	30030	4.0	φ140×2	φ120×2	φ120	—	12	4~5
3	700×1000	1200	35030	5.0~7.0	φ120×2	φ95×2	φ100	φ70	24	8
4	650×1000	1250	76500	2.5~3.5	φ180×2	φ120×2	φ160	φ65	20	7
5	700×920	1260	120000	2.0~3.0	φ150×2	φ220×2	φ150	φ65	30	7
6	900×1200	1575	200000	5.0	φ180×2	φ140×2	φ160	φ90	15	7
7	950×1200	1600	180000	8.0	φ125×2	φ80×2	φ110	φ90	60	7
8	900×1400	1800	100000	5.0	φ180×2	φ140×2	φ160	φ90	90	10

铸型输送机由栅板组成两副平台，一为输送平台，一为支撑平台。输送平台靠托滚 10 承托，由液压缸 4 操纵进退动作，由气缸 6 操纵升降动作。通过可调边滚 5 调节侧面导向，以保证平台的运动精度。支撑平台由气缸操纵升降运动。两副平台的升降高度可通过偏心轴调整，以保持造型线上的铸型与造型机上推出的砂型在同一水平面上。用连杆 11 连接两侧的偏心轴，保证台面两边升降动作的一致性。两副平台交替动作，使铸型与造型机同步按节拍地输送。其工作过程如图 2-13-39 所示。

输送机与造型机保持同步运行的措施是：(1)铸型输送机与主机采用同型号、同特性液压泵；(2)控制系统能按编制的程序作快慢动作的变化，使输送机随主机的速度运行；(3)装有压力传感器，控制最后一块铸型所受的压力，当主机推出的砂型到合型位置达到一定压力时，铸型输送机立即运行，超过一定压力时，它便立即卸荷，避免因压力过大而损坏铸型。

平台每单元长度为 2m，输送机长度可根据冷却时间要求，用多节平台拼合。

3. 间歇式铸型输送机(图 2-13-40) 运行路线不是封闭的，每次移动一个小车的距离后停止，无固定节拍时间，可以组成若干条主线路，但转运机构多，动力消耗大，适用于铸钢车间或定期浇注的造型线。

4. 平移式铸型输送机(图 2-13-41) 导槽 3 支撑在滚轮 6 上，夹紧气缸 11 夹持导槽从而夹紧铸型，送型气缸 2 通过曲柄 4 和连杆 5 推动导槽随造型机推出的砂型向前移动。为保证铸型输送机与主机严格同步，将送型气缸的总推力，设计为推动整列铸型向前移动所需推力的 90%，其余 10% 的推力由造型机主油缸承担。

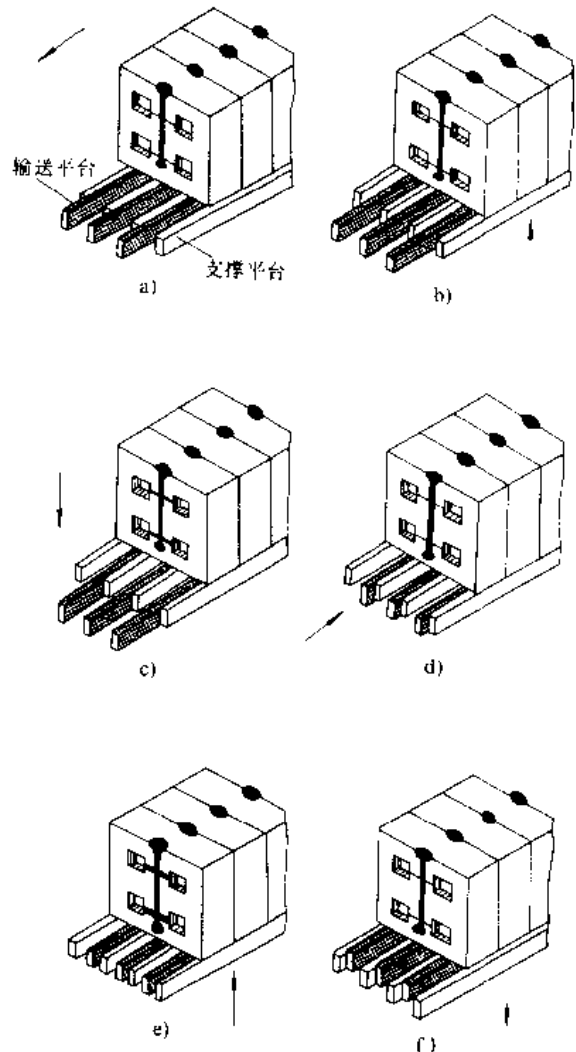


图 2-13-39 输送机工作过程  
a) 输送平台托着铸型向前移动 b) 支撑平台升起托住铸型 c) 输送平台下降 d) 输送平台返回 e) 输送平台升起托住铸型 f) 支撑平台下降



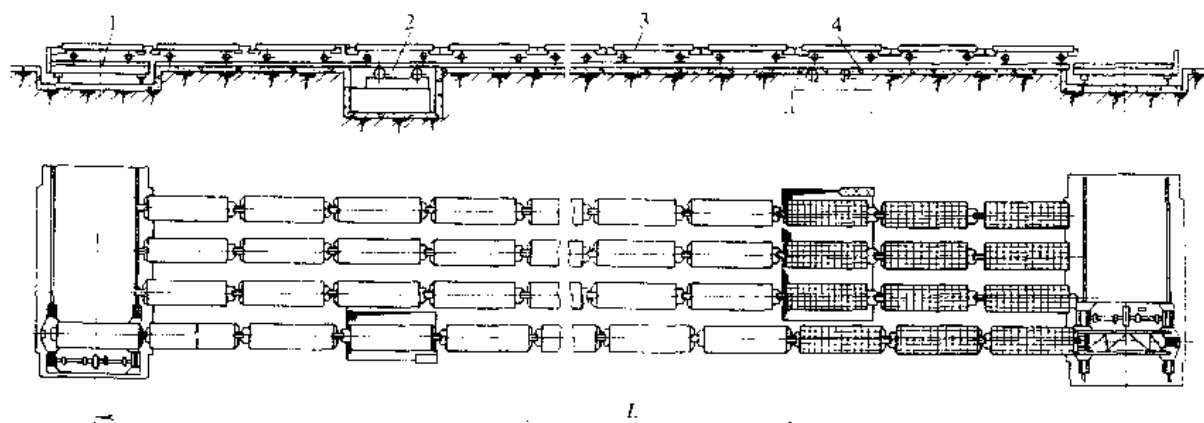


图 2-13-40 间歇式铸型输送机

1—过渡小车 2—传动装置 3—输送小车 4—轨道

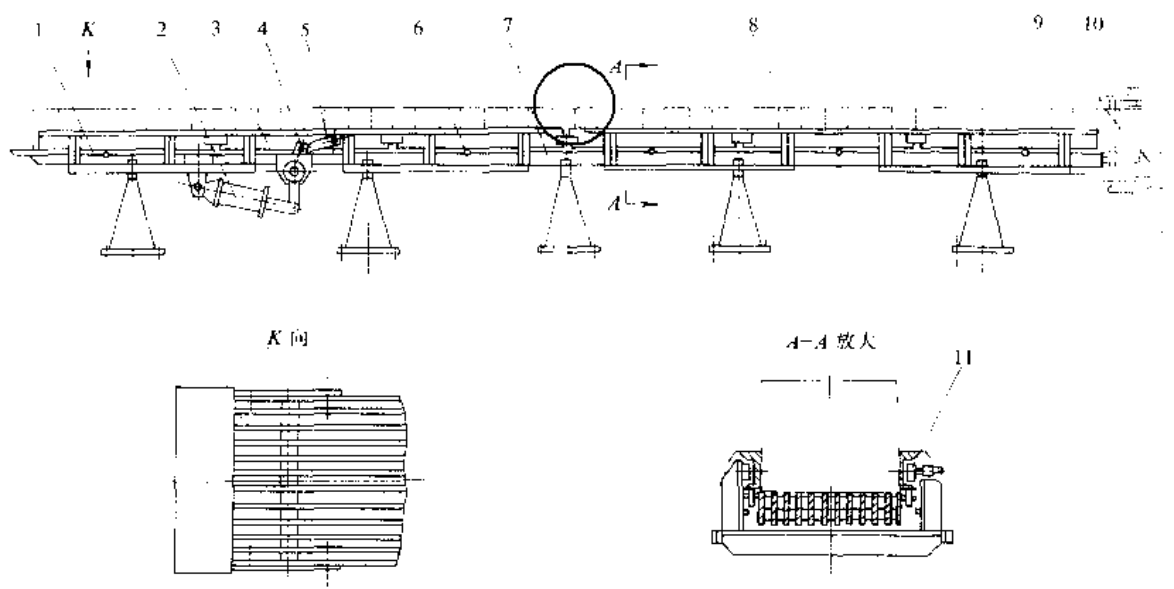


图 2-13-41 平移式铸型输送机

1—框架 2—送型气缸 3—导槽 4—曲柄 5—连杆 6—滚轮 7—平台 8—铸型  
9—造型机 10—压型器 11—夹紧气缸

导槽的单元长度为2m,输送机长度可按冷却时间要求,由导槽并接,导槽与导槽之间需用2mm的薄钢板软连接,以保证输送时导槽与整列铸型密贴。

### 3.9 定位机构

常用的定位机构有插入式(图2-13-42)和连杆式(图2-13-43),定位准确可靠,但要求辅机及砂箱制造精度高。

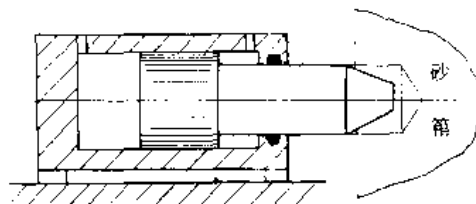


图 2-13-42 插入式定位机构



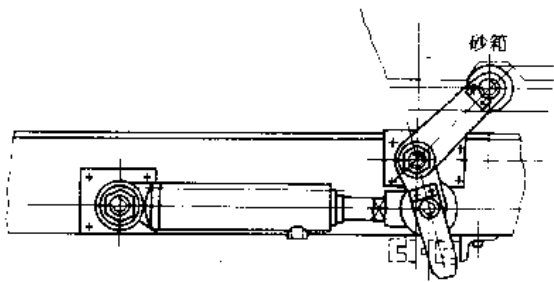


图 2·13-43 连杆式定位机构

## 4 造型线

### 4.1 造型线的布置型式

按照主机(造型机)在铸型输送机上的位置不同,有两种不同的布置形式,即串联布置和并联布置。造型机可以布置在线内或线外。

并联布置是从主机推出砂型到合箱以前的运行方向,和铸型输送机的运行方向垂直,如图 2·13-44 所示。并联布置的特点是占地短而宽。当造型机布置在

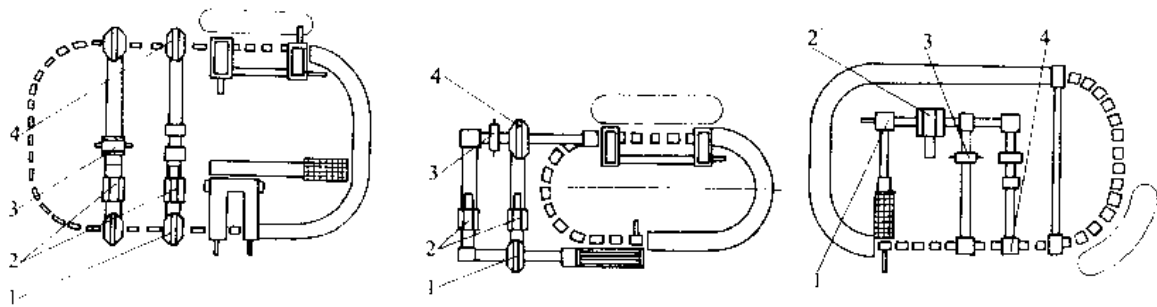


图 2·13-44 三种并联布置方案

1—分箱机 2—造型机 3—翻箱机 4—合箱机

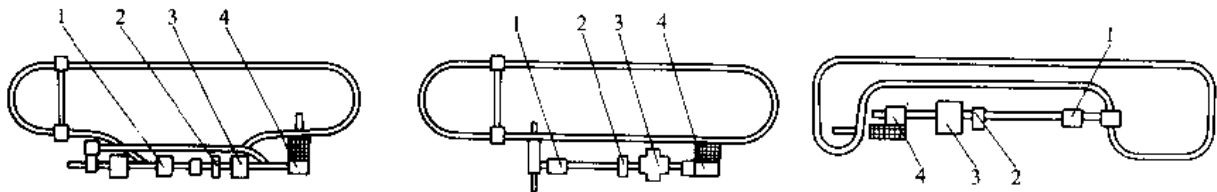


图 2·13-45 三种串联布置方案

1—合箱机 2—翻箱机 3—造型机 4—分箱机

线内时,节省面积,操作人员不受外界干扰,但机器检修不方便,操作人员出入也不方便;当造型机布置在线外时,占地面积大。

串联布置是从主机推出砂型到合箱以前的运行方向,和铸型输送机的运行方向平行,如图 2·13-45 所示。串联布置的特点是占地窄而长。

### 4.2 半机械化造型线

图 2·13-46 是用铸型输送机组成的半机械化造型线,造型机造好的砂型由人工搬到铸型输送机上,浇注冷却后的铸型由人工或推杆推到落砂机上落砂。

该线为小件脱箱造型,布置的特点是使用的辅机少,制造简单,但辅助劳动强度高。

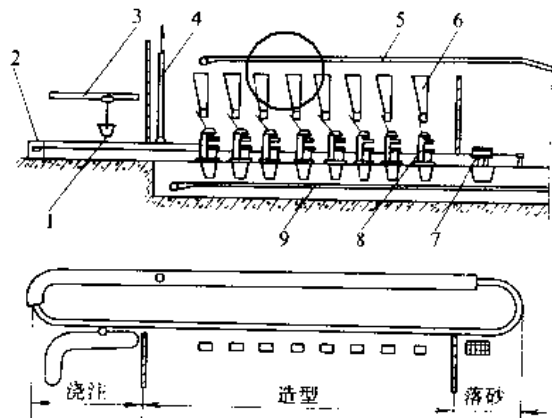


图 2·13-46 半机械化造型线

1—浇包 2—冷却罩 3—单轨吊车 4—排气管 5—送砂胶管 6—砂斗 7—落砂机 8—造型机 9—回砂胶管



### 4.3 机械化造型线

具有空砂箱回箱滚道的气动微振造型线(图 2·13-47)为并联式布置,采用连续式铸型输送机,适用砂箱内尺寸(mm):750×550×120/150。工艺流程如图 2·13-48。

与半机械化造型线比较,主要辅助动作已实现了机械化,减轻了劳动强度。此线能储存较多的空砂箱,同时利用弧形空箱辊道使空砂箱转向。整条线布置了三对造型机,所占面积较大,砂型进入合箱机需转向,增加了运转次数,砂箱也需人工钩送,全线所需工人较多。

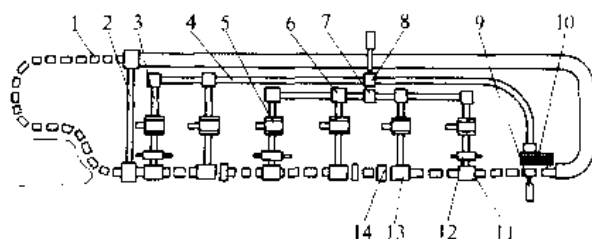


图 2·13-47 带回箱滚道的气动微振机械化造型线  
1—铸型输送机 2—压铁机 3—滚道 4—回箱滚道  
5—造型机 6—接箱机 7—2#分箱机 8—1#分箱机  
9—推杆 10—落砂机 11—转向机 12—翻箱机  
13—合箱机 14—落箱机

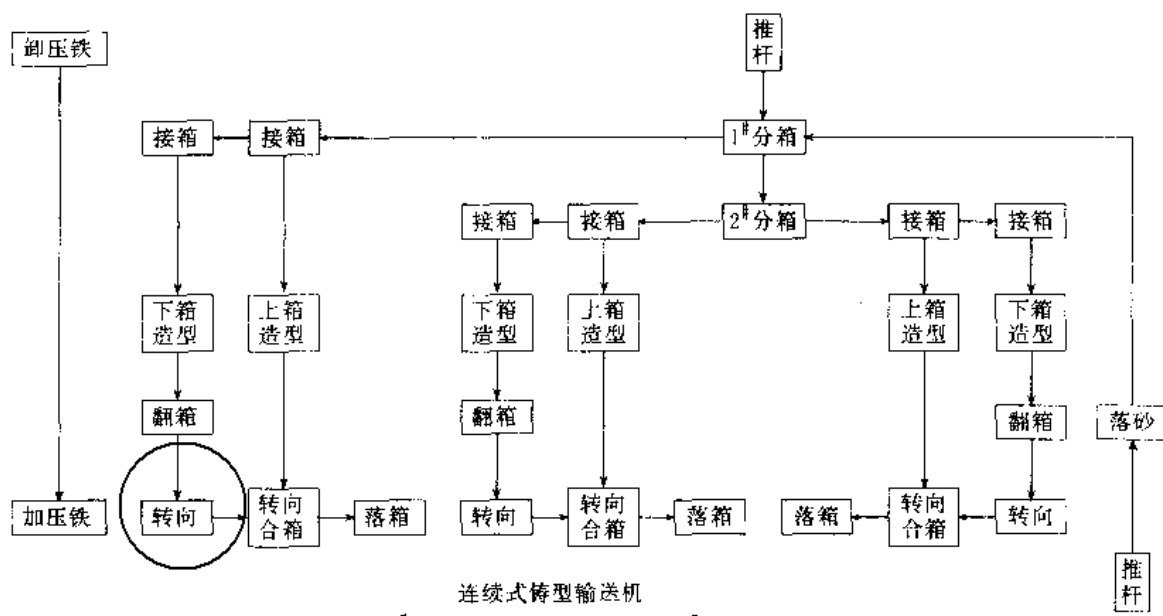


图 2·13-48 气动微振机械化造型线工艺流程图

### 4.4 半自动造型线

图 2·13-49 所示半自动气动微振造型线为串联式布置,采用连续式铸型输送机,砂箱内尺寸(mm):750×750×120/150。工艺流程如图 2·13-50 所示。

半自动气动微振造型线的主要特点是:控制系统以气控为主,使用条件较简单,容易掌握。由于造型机为全自动,整条线为半自动,大大减轻了劳动强度,生产率也较高。

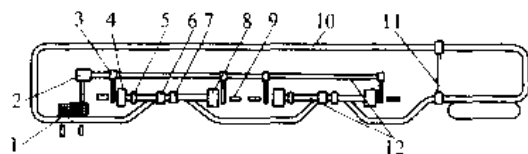


图 2·13-49 半自动气动微振造型线  
1—落砂机 2—分箱机 3—空砂箱小车 4—下箱造型机  
5—翻箱机 6—静态合箱机 7—落箱机 8—上箱造型机  
9—推动缸 10—连续式铸型输送机  
11—压铁机 12—滚道





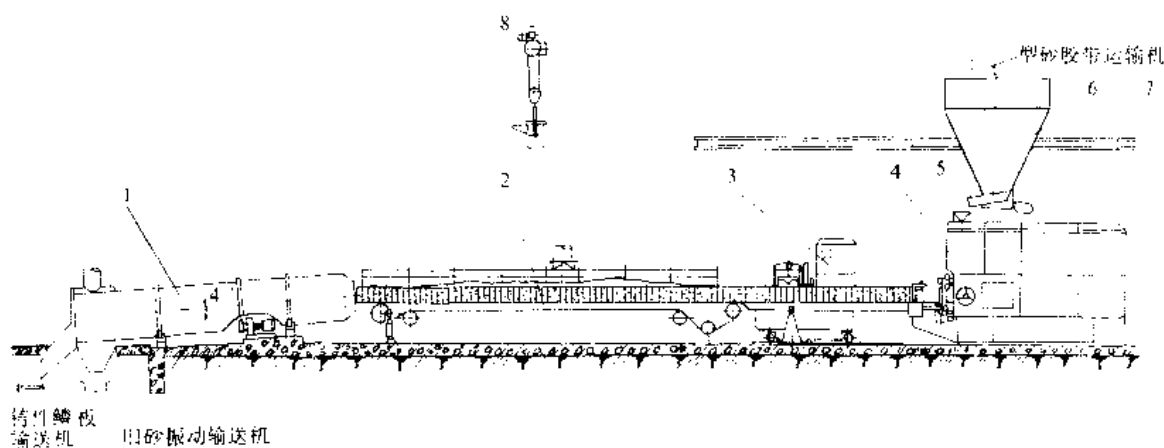


图 2-13-33 垂直分型无箱射压造型线

1—落砂滚筒 2—冷却皮带输送机 3—浇注车 4—造型机 5—振动输送机 6—砂斗 7—单轨 8—铁液输送机

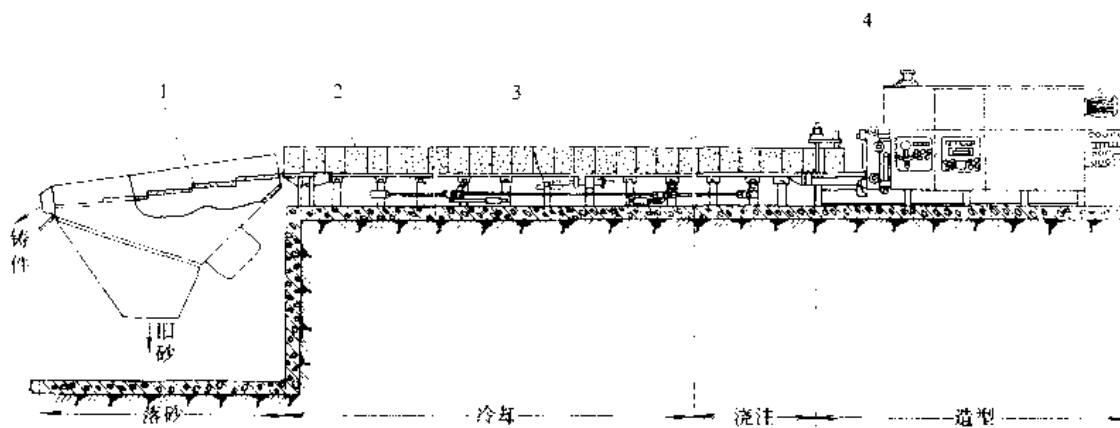


图 2-13-54 直线型步移式输送机垂直分型无箱射压造型线

1—惯性振动落砂机 2—铸型 3—步移式铸型输送机 4—无箱射压造型机

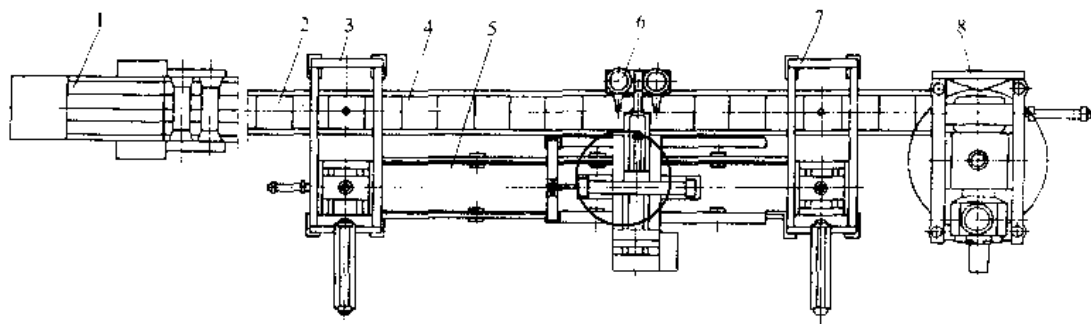


图 2-13-55 步移式输送机水平分型脱箱射压造型线

1—落砂机 2—步移式输送机 3—取压铁机 4—铸型 5—压铁返回滚道  
6—浇注小车 7—放压铁机 8—四工位水平分型射压造型机



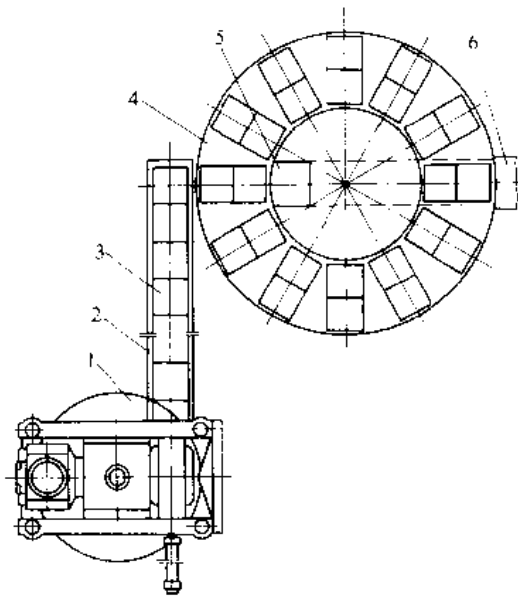


图 2·13-56 双层 12 工位转盘式输送机组成的自动线

- 1—射压造型机 2—步移式输送机 3—铸型
- 4—转盘输送机 5—落砂机 6—模板输送机

后，即推向落砂机落砂。

(3)连续式铸型输送机组成的自动线。该线占地面积大，输送机不能充分发挥作用，一般仅在对旧造型线改造，利用旧有铸型输送机时采用。

#### 4. 全自动气流冲击造型线

(1) 单机布线气流冲击造型线 (图 2·13-57)。砂箱内尺寸 (mm): 800×630×250/250, 采用步移式铸型输送机串联式布线。气流冲击造型机带有型板穿梭机构, 交替造上、下砂型。合箱机、插分箱机、移动式落箱机、铸型输送机、过渡车、翻转机的驱动机构均采用变速电机直接驱动, 在输送机小车上上下芯, 插分箱机合在一起, 全线采用可编程序控制器 (PC) 控制, 工艺流程如图 2·13-58 所示。

(2) 双机布线气流冲击造型线。适用于大批量高生产率铸造生产, 两台气流冲击造型机分别造出上、下砂型, 分箱机和插箱机各为一台, 两头的过渡车将浇注后的砂箱送到步移式输送机上冷却和落砂。工艺流程见图 2·13-59。

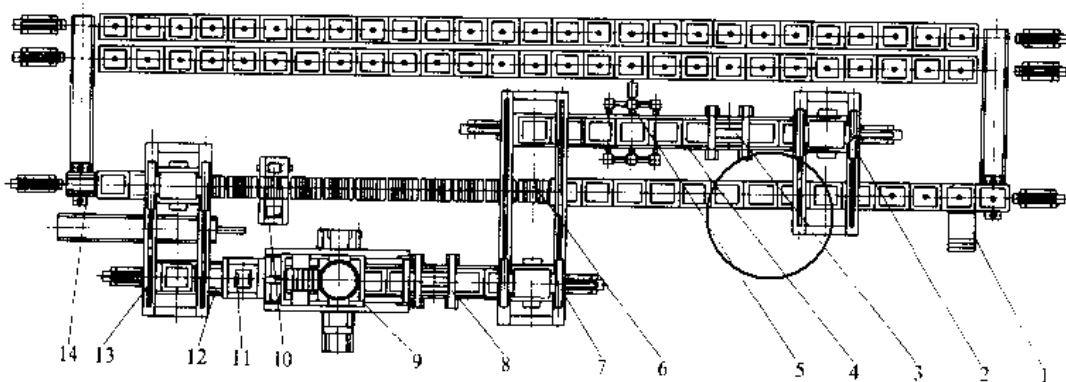


图 2·13-57 单机布线气流冲击造型线

- 1—浇注平台 2—合箱机 3—上箱翻转机 4—上箱输送滚道 5—铣浇口机 6—步移式输送机
- 7—移动式落箱机 8—下箱翻转机 9—气冲造型机 10—台面清扫机 11—内壁清扫机
- 12—下箱输送滚道 13—插分箱机 14—过渡车

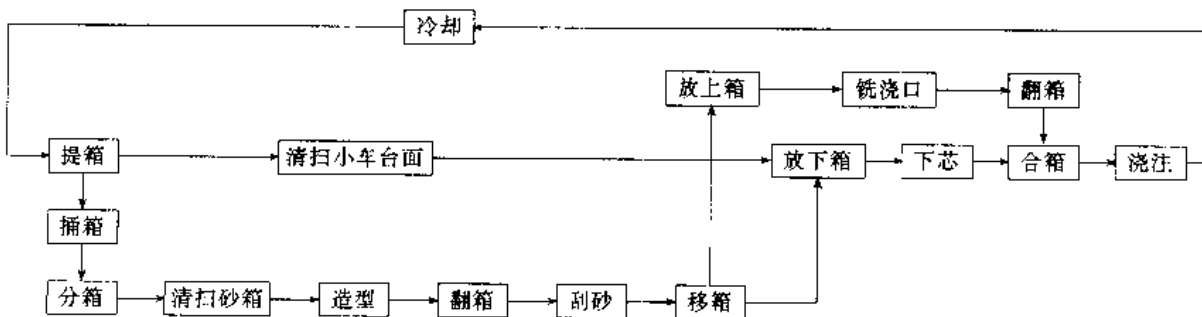


图 2·13-58 单机布线气流冲击造型线工艺流程图





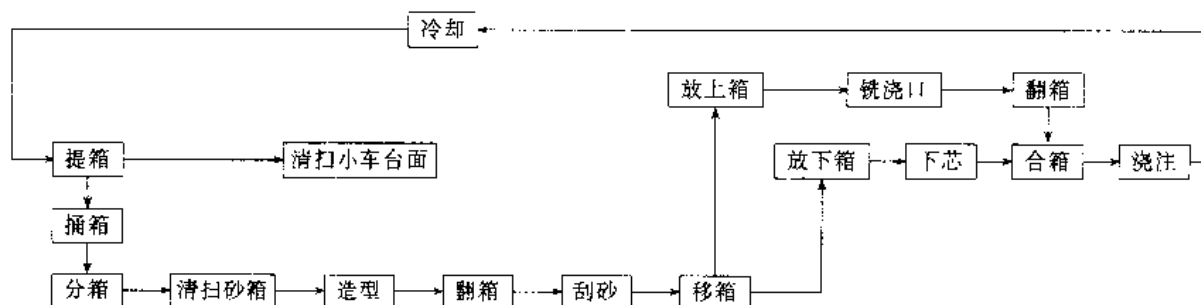


图 2-13-59 双机布线气流冲击造型线工艺流程图

### 5 柔性造型单元

柔性造型单元通过在造型自动线上加设模板库及模板快换机构等，由计算机集中控制模板的调运与更换、造型机工作参数及加砂量、铸型的浇口位置、铸型

质量的检测等。当中央控制室得到所造砂型模板形状与数量的信号，使自动调整造型自动线的各种工作参数，保持了造型自动线不停机的连续工作状态以适应各种形状与批量的铸件生产。

柔性造型单元流程见图 2-13-60。

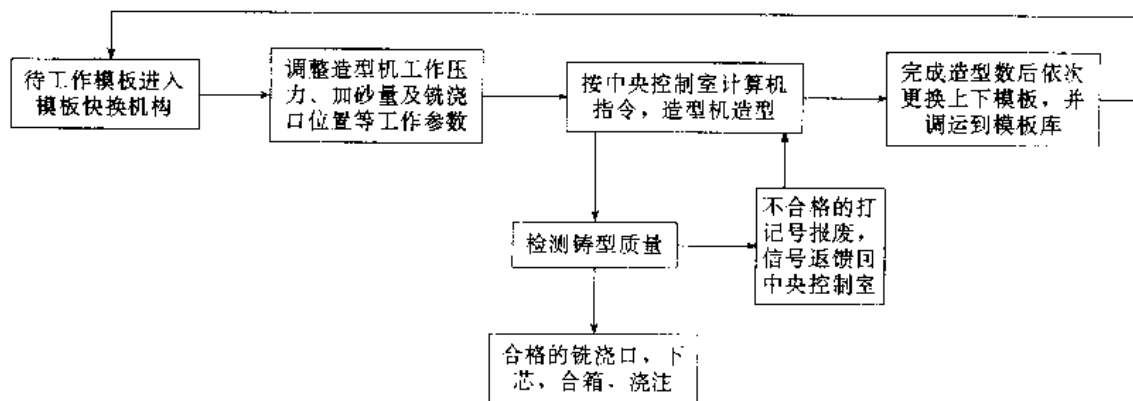


图 2-13-60 柔性造型单元流程图

## 第 14 章 制芯机械化与自动化

制芯机种类及应用范围见表 2-14-1。

(续)

表 2-14-1 制芯机种类及应用范围

名称	应用范围	名称	应用范围
挤芯机	截面形状不变的砂芯	冷芯盒射芯机	以常温固化树脂为粘结剂的中小砂芯
振实式制芯机、抛砂机	以粘土或合脂油为粘结剂的大中砂芯	多用射芯机	用于冷热芯盒制芯工艺
普通射芯机	以合脂油为粘结剂，形状较简单的砂芯	壳芯机	以热固性树脂为粘结剂的薄壳砂芯
热芯盒射芯机	以热固性树脂为粘结剂的中小砂芯		

### 1 射芯机

射芯机是利用高速气流携带芯砂充填芯盒并紧实芯砂。由于填砂和紧实同时进行，所以效率很高。另外，



用射芯的方法制芯,由于气力的分离作用,使芯砂中较细颗粒趋向砂芯表面,较粗颗粒沉集于砂芯内部,使砂芯兼有表面光洁和透气性好的优点。因而,射芯机已在制芯中获得广泛的应用。

射芯机在结构上有悬臂式、立柱式及单工位、多工位之分。按照砂芯粘结剂及制芯工艺的不同,又有普通射芯机,热芯盒射芯机,冷芯盒射芯机和多用射芯机的区别。

### 1.1 普通射芯机

图2·14-1所示为悬臂式普通射芯机。该机采用振动给砂斗8加砂,射砂机构6采用薄膜环形进气(图2·14-12)。顶升机构2(图2·14-13)采用液压调升,气动夹紧。

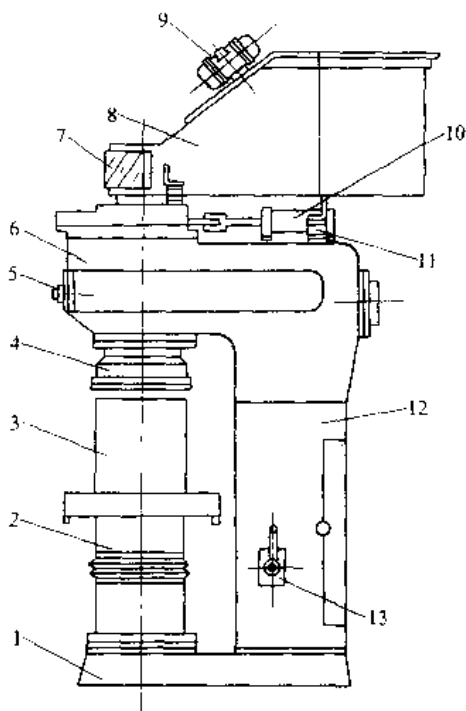


图2·14-1 悬臂式普通射芯机

- 1—底座 2—顶升机构 3—芯盒 4—射头 5—操纵阀
- 6—射砂机构 7—有机玻璃窥视窗 8—振动给砂斗
- 9—偏心振动电机 10—闸门气缸 11—减振座
- 12—立柱 13—液压调升操纵阀

普通射芯机的制芯过程如图2·14-2所示。图a为静止——准备状态。检查机器各部位,清理周围场地,在机器工作台7上安放芯盒8。图b调升,加砂。搬动顶升机构操纵手柄,使贮油缸5与液压缸3之间油路接通,工作台7、芯盒8上升。当芯盒上平面与射头9下平面达到一定间隙时(约5~8mm),将操纵阀手柄

搬至停止位置,此时油路切断,贮油缸排气。加砂时,闸门16打开,偏心振动电机12动作,芯砂加入射砂筒20中。图c为夹紧芯盒,射芯。夹紧芯盒时,夹紧气缸通气,由于夹紧活塞6与调升活塞固接,所以在夹紧芯盒时,活塞不动,气缸连同工作台,芯盒向上与射头紧贴。射砂时,排气阀10先进气将排气薄膜封住,然后,薄膜环形进气阀上方排气,贮气包中气压将薄膜顶起,压缩空气经薄膜与射腔顶部之间间隙迅速进入射砂筒,将芯砂射入芯盒。图d为排气,松开芯盒。射砂完毕,薄膜环形进气阀上方进气,切断贮气包与射砂筒

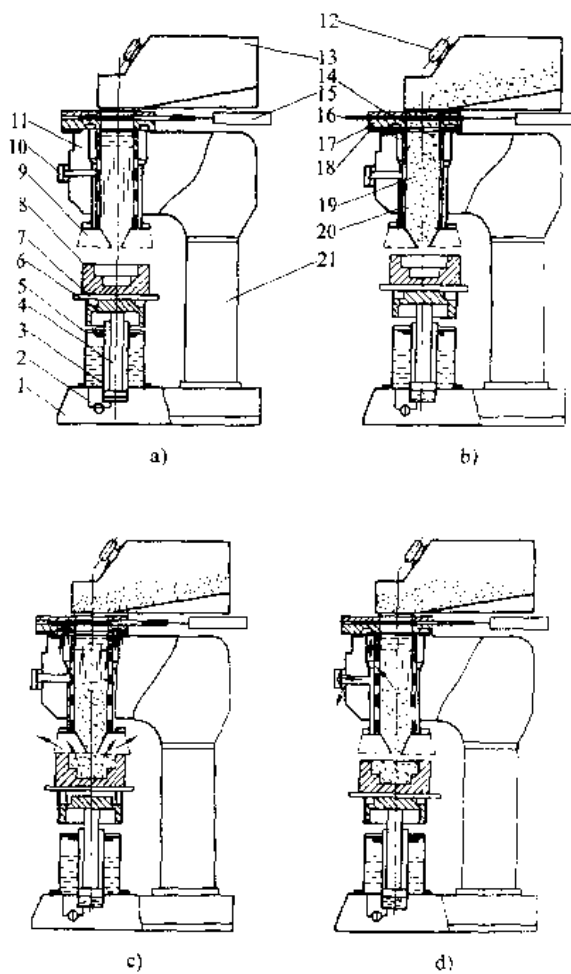


图2·14-2 普通射芯机制芯过程示意图

- a) 静止 b) 调升、加砂 c) 夹紧芯盒,射砂 d) 排气,松开芯盒

- 1—底座 2—顶升机构油路 3—调升油缸 4—调升活塞
- 5—贮油缸 6—夹紧活塞 7—工作台 8—芯盒 9—射头
- 10—排气阀 11—贮气包 12—偏心振动电机
- 13—振动给砂斗 14—上盖板 15—闸门气缸
- 16—闸门 17—下盖板 18—薄膜环形进气阀
- 19—射腔 20—射砂筒 21—立柱



之间的通路,排气阀排气。顶升机构夹紧气缸排气,芯盒,工作台等靠自重降落。对普通射芯机而言,制芯周期到此结束。造好的砂芯靠人工或机械起芯后,送往固化。

1.2 热芯盒射芯机

图 2-14-3 为悬臂式热芯盒射芯机,多用于射制垂直分型小砂芯。其结构与前述悬臂式普通射芯机大同小异。其中射砂机构 8,砂斗 7,排气阀 6 是相同的。其他结构则根据热芯盒制芯工艺的特点作相应的修改。如:增加垂直夹紧装置 4,并安装加热板 5 以固化砂芯;在工作台 3 上增设取芯拖板 2,便于取出固化的砂芯;在射头 10 上增设水冷却等等。

图 2-14-4 为全自动二工位四立柱式热芯盒射芯机,多用于射制水平分型中大砂芯。整机由一台射芯机和二台起芯机组成。用移动小车 2 将射芯和起芯工序连接起来,可用两付芯盒穿梭制芯。两小车之间动作是互锁的,即一个位于射芯工位时,另一个位于起芯工位,只有当前者退出射芯工位时,才能起动后者进入。

这种射芯机有全自动、半自动和手动三种操作方式,可以在按钮盘上任意选择。当全自动操作时,从加砂、射芯,加热固化,起芯,到将制好的砂芯送出等工序均自动循环进行。

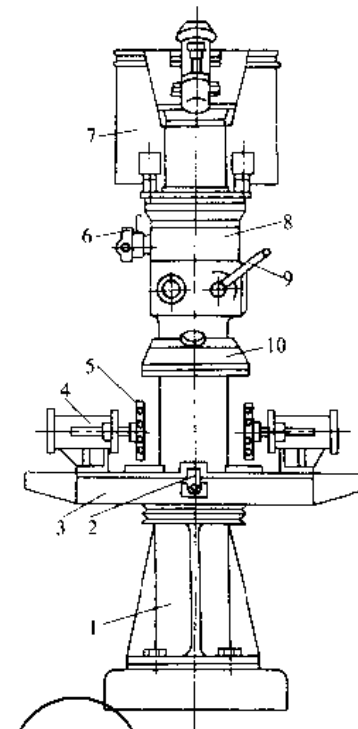


图 2-14-3 悬臂式热芯盒射芯机  
1-顶升(水平夹紧)机构 2-取芯拖板 3-工作台  
4-垂直夹紧装置 5-加热板 6-排气阀 7-砂斗  
8-射砂机构 9-操纵阀 10-射头

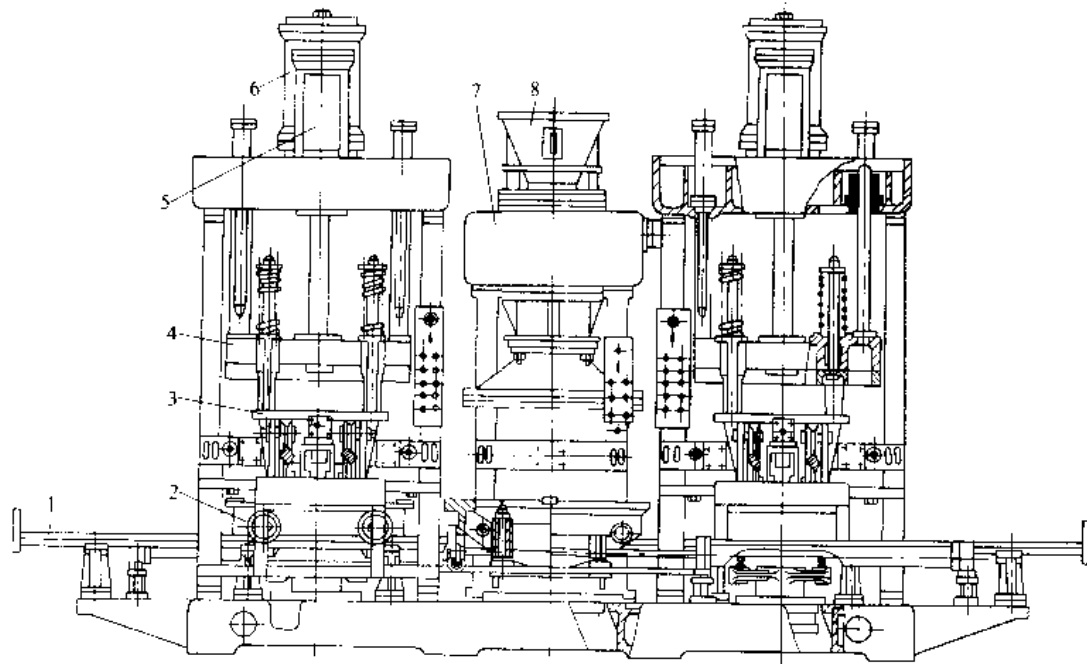


图 2-14-4 二工位四立柱式热芯盒射芯机  
1-移动小车轨道 2-移动小车 3-换芯小车 4-提升机构 5-顶出油缸 6-提升缸 7-射砂机构 8-砂斗



图 2·14-5 为全自动二工位热芯盒射芯机制芯过程示意图。砂芯由射砂工位移入起芯工位固化后,提升框 6 将上芯盒 3 提起,顶出杆 7 将砂芯顶落在接芯小车 8 上送出。接芯小车的运动方向,实际上与移动小车

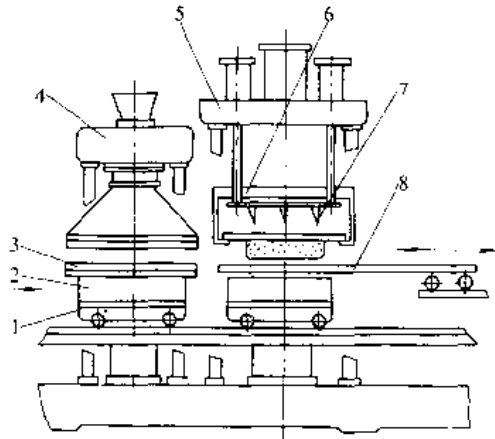


图 2·14-5 二工位热芯盒射芯机制芯过程示意图  
1—移动小车 2—下芯盒 3—上芯盒  
4—射芯机构 5—起芯机构 6—提升框  
7—顶出杆 8—接芯小车

1 的移动方向互成 90°, 为了表示方便, 图中绘成同一方向。

采用这种起芯机构, 当提升框提取上芯盒时, 必须保证砂芯离开下芯盒而停留在上芯盒上, 为此还需设置下顶芯机构 (图中未示出), 将砂芯顶离下芯盒。另外, 在工艺上也需采取措施, 使上芯盒内的砂芯包容面足以使上芯盒带起砂芯。

### 1.3 冷芯盒射芯机

冷芯盒制芯工艺分自硬法与吹气法两种。以常温固化树脂为粘结剂, 所用射芯机的结构与普通射芯机相似。

图 2·14-6 为吹气冷芯盒射芯机结构图。采用单工位四立柱结构。与热芯盒射芯机相比, 取消了芯盒加热部分, 增加吹气机构。另外, 还附有前后工序配套设备。前工序配套设备有: 气体发生器, 由 SO<sub>2</sub> 发生器、空气加热器、SO<sub>2</sub> 罐、三乙胺罐、三乙胺雾化器等组成。后工序配套设备采用雨淋式余气净化装置。

图 2·14-7 为吹气冷芯盒制芯过程示意图。

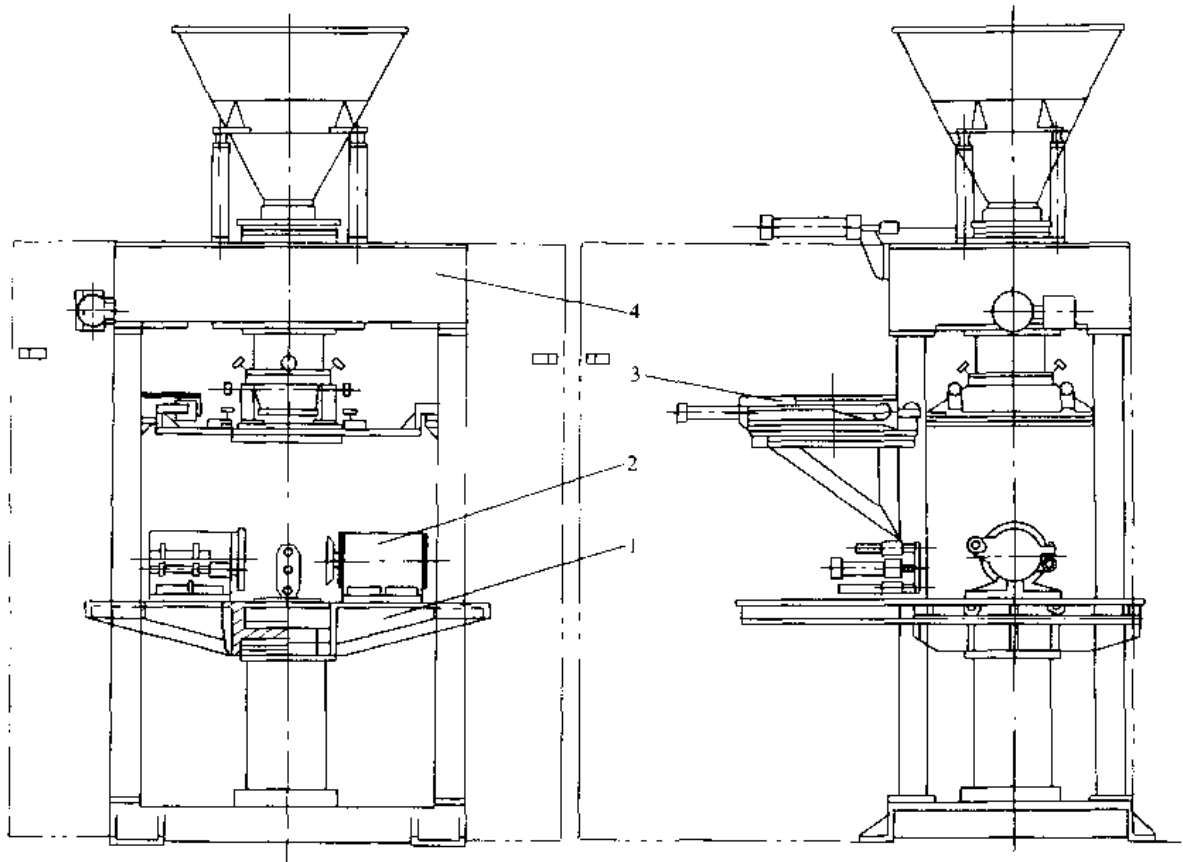


图 2·14-6 吹气冷芯盒射芯机  
1—工作台 2—夹紧缸 3—吹气小车 4—射砂机构



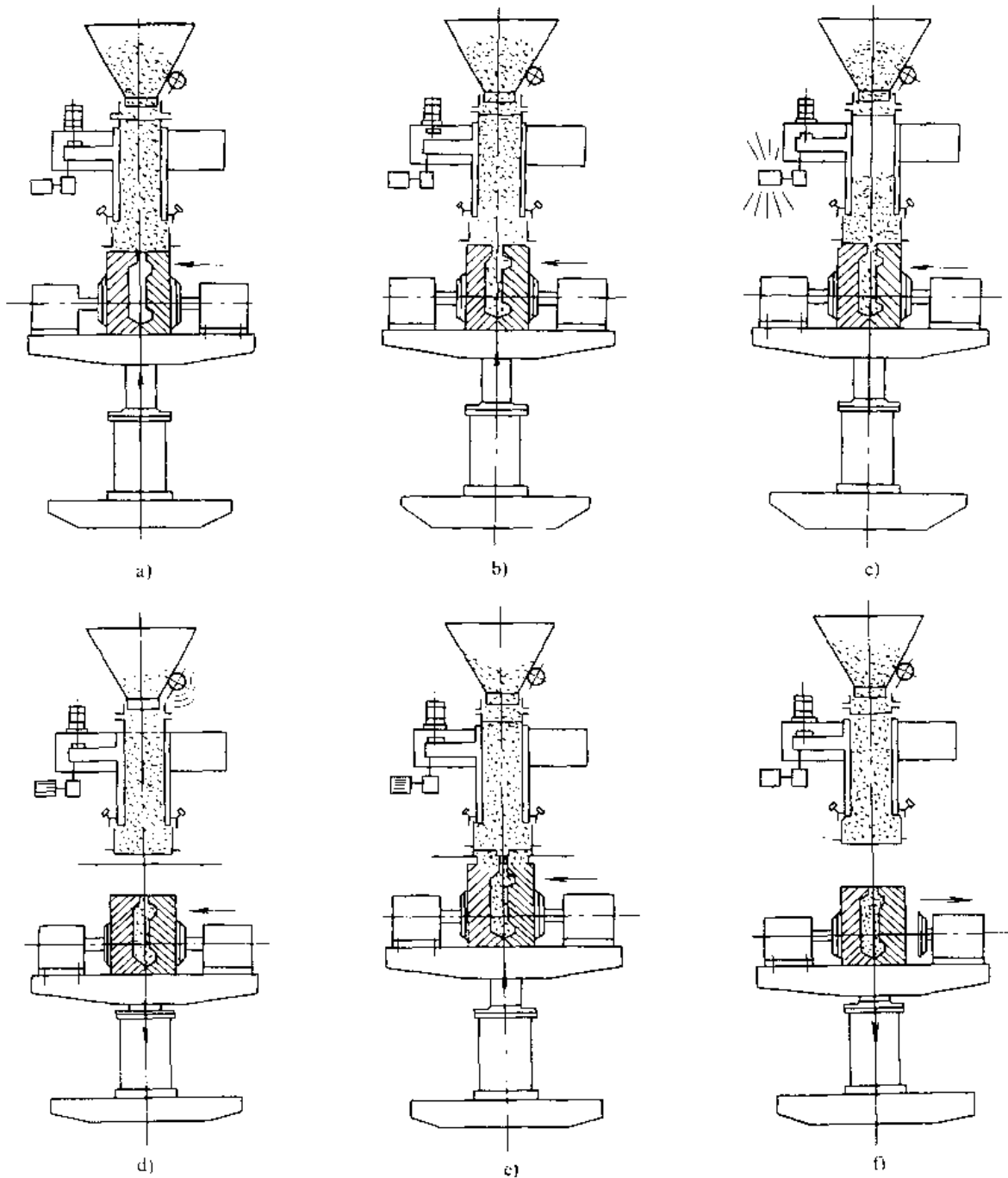


图 2-14-7 吹气冷芯盒制芯过程

- a) 芯盒夹紧，工作台升 b) 射砂 c) 排气 d) 工作台降，闷板开，加砂，吹气返进  
e) 工作台升，吹气固化，余气净化 f) 工作台降，夹紧缸松，起芯

#### 1.4 多用射芯机

由于多用射芯机要适应冷热芯盒制芯工艺，所以其结构具有冷热芯盒射芯机的特点。图 2-14-8 为多用射芯机结构简图。该机为四立柱结构，适用于冷芯盒、热芯盒、覆膜砂、水玻璃砂等制芯工艺要求。在整机结构上既有适合于热芯盒制芯的加热装置，又有适合冷

芯盒制芯的气体发生器、吹气板、气体净化装置等(图中均未示出)。

多用射芯机的动作程序比较复杂，控制部分多采用可编程控制器(PC)，设有手动和自动两种动作方式，在控制箱的面板上装有选择制芯工艺的旋钮。使用时，只要将旋转到相应的制芯工艺和动作方式，机器即能按预定程序制芯。



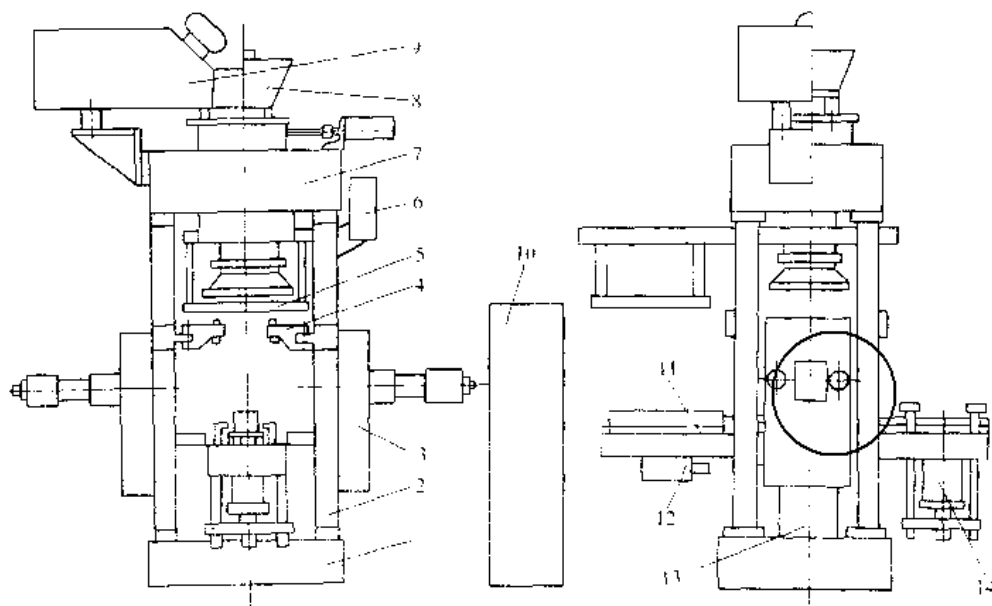


图 2-14-8 多用射芯机结构图

- 1—底座 2—立柱 3—夹紧机构 4—起芯架 5—档板移动机构 6—管路 7—射砂机构 8—砂斗 B  
9—砂斗 A 10—控制箱 11—底板移动机构 12—增压缸 13—顶升缸 14—顶芯缸

### 1.5 制芯中心

图 2-14-9 为制芯中心示意图。其特点是将混砂机、气体发生器等集中在一个制芯装置上,由计算机进行控制。混砂机为叶片式,新砂风送系统通过指令将砂

送入混砂机,混砂机叶片可上下移动,混砂机可水平移动。当混好芯砂后,叶片向上移出混砂机,气缸将混砂机推向制芯机砂斗上方,芯砂落入砂斗,同时混砂机清理叶片伸入混砂机清理。混制芯砂所需粘结剂通过指令由定量泵输入混砂机。

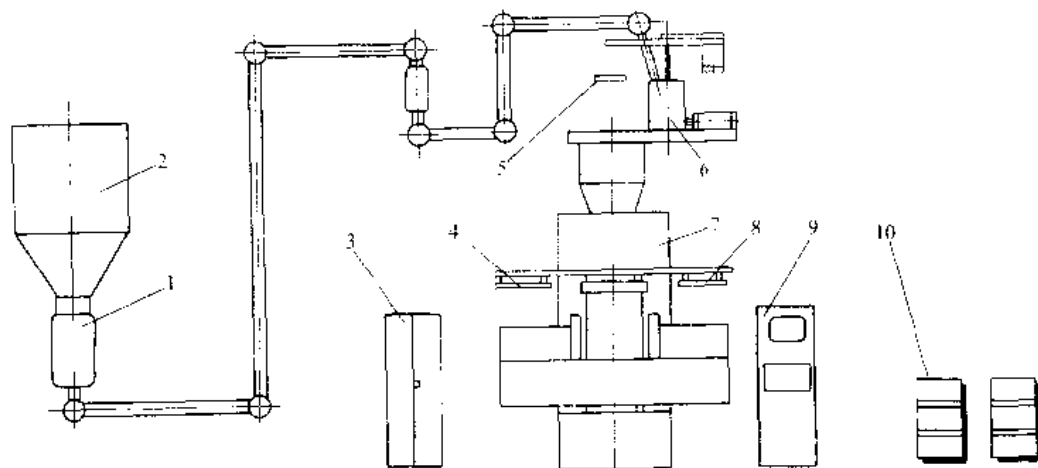


图 2-14-9 制芯中心示意图

- 1—新砂风送系统 2—新砂斗 3—气体发生器 4—吹气板 5—清理叶片 6—混砂机 7—射芯机  
8—上顶芯板 9—控制系统 10—粘结剂贮存罐

## 2 壳芯机

壳芯机结构大体上可分底吹式和顶吹式两大类。底吹式壳芯机制芯时芯砂由底部吹入芯盒,适用于外形简单的壳芯。顶吹式壳芯机制芯时芯砂由顶部吹入

芯盒,用于外形较复杂的壳芯。

### 2.1 底吹式壳芯机

图 2-14-10 为底吹式壳芯机结构图。由机架、贮砂斗、升降缸、芯盒夹紧缸、加热板等组成。制芯时,夹



紧缸 6 进气夹紧芯盒，升降缸 1 将贮砂斗 3 升起压紧芯盒进砂口，压缩空气由进气口 9 进入贮砂斗，将芯砂从导管 2 吹入芯盒。由于芯砂从底部吹入芯盒，充填情况不如顶吹式理想。

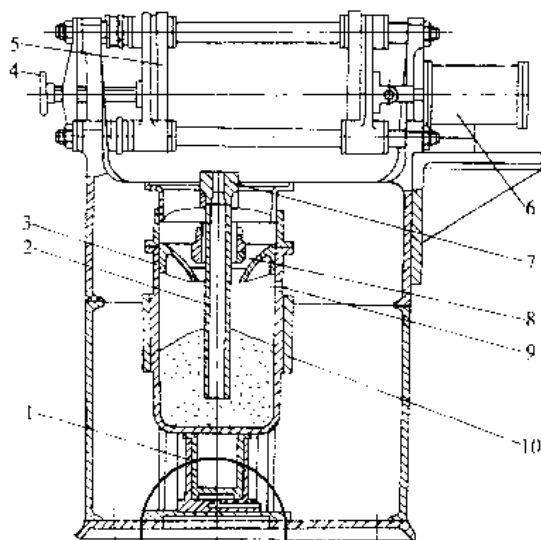


图 2-14-10 底吹式壳芯机

- 1—升降缸 2—导管 3—贮砂斗 4—调节手轮
- 5—加热板 6—夹紧缸 7—吹嘴 8—密封塞
- 9—进气口 10—导向器

### 2.2 顶吹式壳芯机

顶吹式壳芯机制芯时芯砂由芯盒顶部吹入，充填情况优于底吹，但整机结构要复杂的多。图 2-14-11 为顶吹式壳芯机结构图，由机架、转环、大砂斗、滑架、夹紧缸、加热板、方砂斗等组成。芯盒装在加热板 12 上。制芯时，夹紧缸 9 夹紧芯盒，转环 3 连同芯盒、方砂斗 14 由链传动装置 8 带动旋转 180°，使方砂斗位于芯盒上方，由芯盒顶部吹入芯砂。

吹入芯盒的芯砂经预定时间固化、结壳后，转环连同芯盒会自动左右摇摆数次，使芯盒中未固化芯砂与已结壳部分充分分离，然后转环往回旋转 180°，使方砂斗返回原始位置，芯盒中未固化芯砂掉回方砂斗中。气缸 4 将门 2 打开，顶芯缸 13 顶出制好的薄壳砂芯。

## 3 射芯机主要机构

### 3.1 射砂机构

射砂机构(图 2-14-12)是射芯机的主要机构。它的性能对射制的砂芯紧实度有直接的关系。在设计射砂机构时，一般要求有：

- (1) 具有一定截面并能迅速开闭的进气阀。
- (2) 有一定容量的贮气包，以防进气阀突然打开后，压缩空气压降过大，影响射砂筒上方气压的建立。
- (3) 射砂筒表面要光滑，以减少对芯砂运动时的阻力。为此，射砂筒一般应镀铬或用不锈钢卷制。

射砂机构的进气方式有法向、切向和环形进气等三种。不同进气方式及其特点可参见表 2-14-2。表 2-14-3 为射砂机构结构参数比值，可供设计时参考。

表 2-14-2 进气方式比较

进气方式	结构简图	分析比较
法向进气		结构简单，进气不够均匀，射芯机容量大时更为突出，只适用于小容量射芯机
切向进气		进气均匀性比法向好，但结构较复杂，制造困难，应用较少
环形进气		进气均匀性好。进气阀结构有活塞式和薄膜式两种。图示为薄膜环形进气结构。由于活塞式结构复杂，应用较少，薄膜式结构简单，已获得广泛应用，但对薄膜质量要求严格



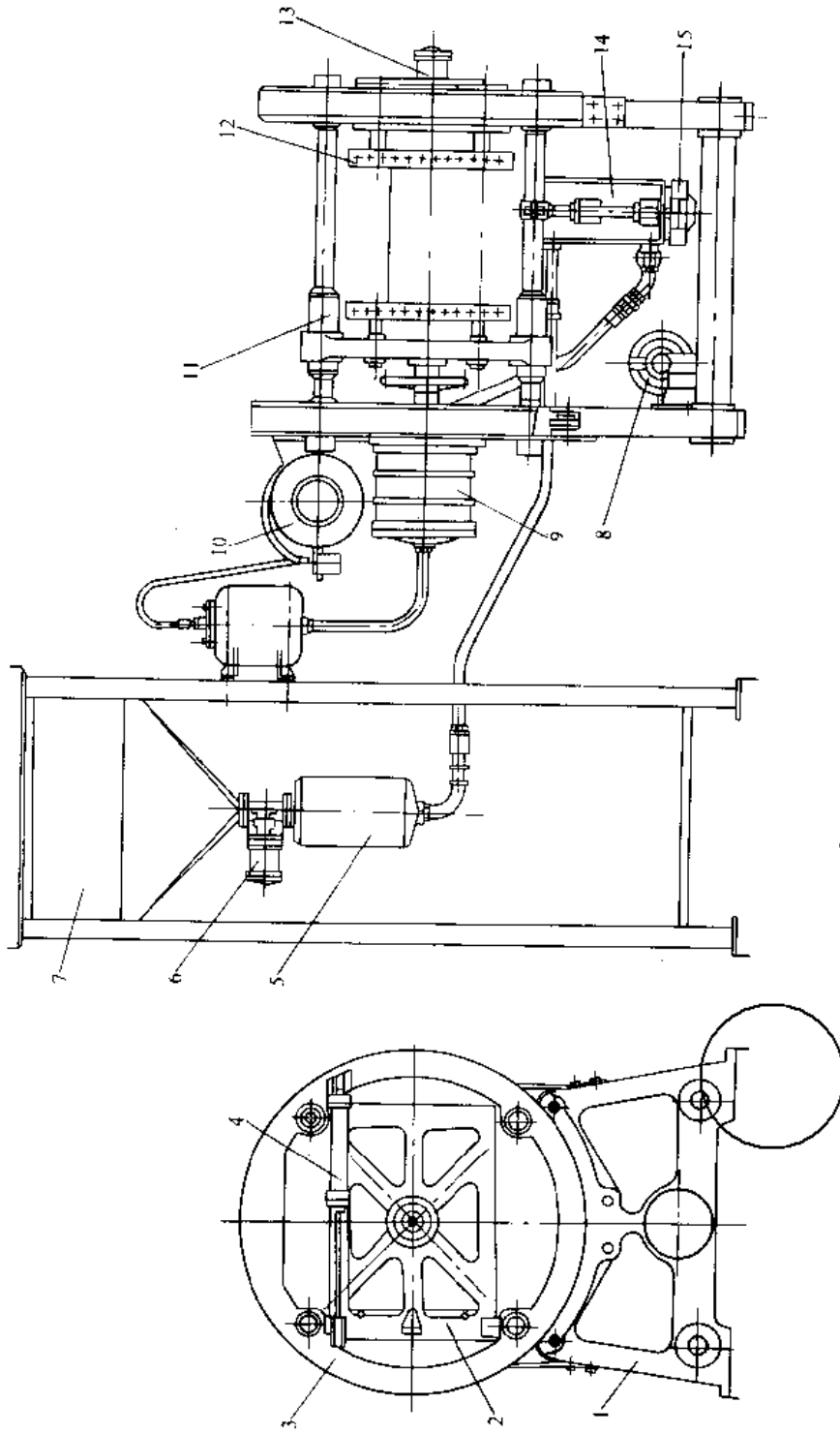


图 2-14-11 顶吹式壳芯机

- 1—机架
- 2—门
- 3—转环
- 4—开关门气缸
- 5—送砂包
- 6—送砂包
- 7—大砂斗
- 8—链传动装置
- 9—夹紧气缸
- 10—贮气包
- 11—滑架
- 12—加热板
- 13—顶芯缸
- 14—方砂斗
- 15—升气缸





表 2·14-3 射砂机构结构参数比值

参 数	代号	比值
射砂筒容积① (dm <sup>3</sup> )	V <sub>1</sub>	
射砂筒径高比	D <sub>1</sub> /H <sub>1</sub>	0.4~0.6
进气阀直径与射砂筒直径比	D <sub>1</sub> /D <sub>1</sub>	0.2~0.5
贮气包容积与射砂筒容积比	V <sub>2</sub> /V <sub>1</sub>	5~10
射砂筒缝隙面积与进气阀面积比	S <sub>f</sub> /S <sub>v</sub>	0.4~0.5
射砂筒上下缝隙面积比②	S <sub>上</sub> /S <sub>下</sub>	1~2
射砂筒与射腔的间隙 (mm)	δ	5~10

① 其数值等于所射制的砂芯质量 kg。

② 一般上部为横缝，下部为竖缝，缝宽 0.4mm。

图 2·14-12 所示射砂机构为薄膜环形进气，横梁内腔作为贮气包 7，这样，贮气包与射砂筒 2 之间除用薄膜环进气阀 5 的薄膜隔开外，没有其他管路连接。因而，从贮气包至射砂筒通路的压降最小。

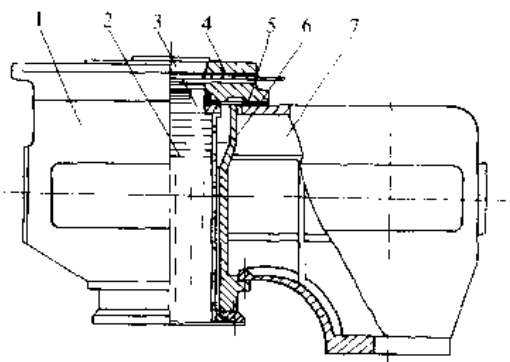


图 2·14-12 射砂机构

1—横梁 2—射砂筒 3—助射筒 4—网板  
5—薄膜环进气阀 6—射腔 7—贮气包

### 3·2 起芯机构

不同型式的起芯机构比较见表 2·14-4。

表 2·14-4 不同型式起芯机构比较

型式	简 图	分析比较	型式	简 图	分析比较
漏 出	<p>1—夹紧气缸 2—顶芯杆 3—动芯盒 4—工作台 5—静芯盒 6—砂芯</p>	起芯后，砂芯直接由工作台开孔处落入砂芯容器。结构简单，适用于形状简单，重量轻的砂芯	转 出	<p>1—夹紧气缸 2—芯盒 3—转出气缸 4—连杆机构 5—芯盒 6—砂芯</p>	起芯过程中，转出气缸 3 可将芯盒 5 旋转一角度，便于取芯。结构较复杂，适用于高度较大，厚度薄，不宜安放芯棒的砂芯
移 出	<p>夹紧缸运动方向</p> <p>1—夹紧板 2—加热板 3—芯盒 4—砂芯 5—芯棒 6—电加热管 7—夹紧气缸 8—导轨 9—托板 10—托板移出气缸 11—支架</p>	起芯后，砂芯由托板移出射砂位置取芯。适用于高度较大的砂芯。一般在托板上安放芯棒，因而要求砂芯具有一定厚度	顶 出 及 提 升	<p>1—顶芯缸 2—下芯盒 3—接芯车 4—上芯盒 5—顶出杆 6—顶出缸 7—提升缸</p>	是目前二工位热芯盒射芯机应用的一种起芯方式。结构比较复杂，适用于中大型砂芯。与接芯机构、机械手等配合可组成制芯自动线



3.3 顶升机构

顶升机构(图 2·14-13)的作用,一是调整工作台与射头间距,以适应不同高度的芯盒。二是射砂时夹紧芯盒,防止喷砂。目前顶升机构多采用机械或液压调升(降),气动夹紧。

调升时,扳动操纵阀手柄至“升”位置,这时连接贮油缸 3 与调升油缸 1 之间的截止阀通路打开(图中未示出),压缩空气通入贮油缸内,将油压向调升油缸。调升活塞 2 带动工作台 6 上升,当达到预定高度时,将操纵手柄扳到“停”位置,贮油缸与调升油缸之间油路切断,贮油缸排气,调升油缸油路闭锁。当要夹紧芯盒时,夹紧气缸 4 进气,由于夹紧活塞 5 系与调升活塞固定,通气后活塞不动,夹紧气缸连同工作台上上升夹紧芯盒。

如果需要工作台下落,将手柄置于“降”位置,贮油缸与调升油缸之间油路打开,贮油缸上方通大气,工作台靠自重降落。

设计顶升机构时,需对夹紧力进行计算。所需夹紧力与芯盒投影面积和射砂压力(通常采用射砂机构贮气包内压缩空气的压力值)有关,同时还要考虑射芯机

工作台,芯盒等自重部分的影响。

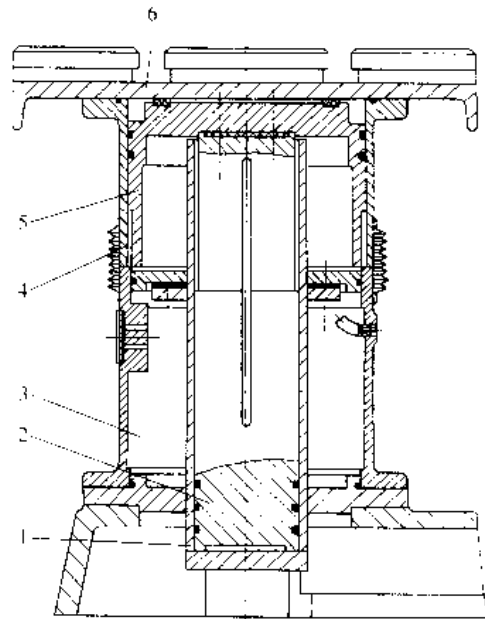


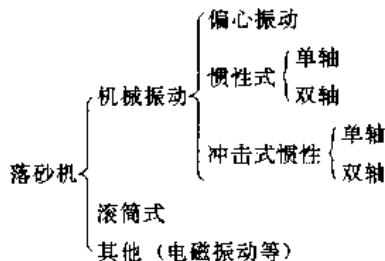
图 2·14-13 顶升机构

- 1—调升油缸 2—调升活塞 3—贮油缸
- 4—夹紧气缸 5—夹紧活塞 6—工作台

## 第 15 章 落砂、清理机械化与自动化 [54][58]~[60]

### 1 落砂机

落砂机是用于分离型砂与铸件的设备,主要分类如下:



常用落砂机特点和应用见表 2·15-1。

表 2·15-1 常用落砂机特点和应用

名称	特点	应用
偏心振动落砂机	振幅恒定,激振力较小,轴承受力大,寿命低	3t 以下中、小型铸型落砂

(续)

名称	特点	应用
惯性振动落砂机	结构简单,激振力可调,对基础要求较低	重型及大中小型落砂
冲击式惯性振动落砂机	载荷不是始终加在落砂机上,额定载荷可以相对提高,撞击架基础受力较大,对其要求较高	重型及大型铸型落砂
惯性振动输送落砂机	由于弹簧减振,对基础振动小,能边落砂边输送,结构简单,落砂时对大砂团有破碎作用	中小件造型线落砂
惯性横向振动输送落砂机	结构简单,能耗小,对铸件破坏力小,装有定量喷水和除尘装置,减少环境污染	中小件铸型的无箱造型线落砂
滚筒冷却落砂机	生产率高,密封性好,但结构较复杂,维修不便,不适于多品种生产	造型线落砂,不适于薄壁铸件落砂



### 1.1 惯性振动落砂机

落砂机由固定于栅架两侧的振动电机带动栅架上下振动。振动电机的激振力可调。由于整个落砂栅架支承在弹簧上，落砂时撞击力的一部分被弹簧吸收，使得机器基础所受到的振动减小，因此应用较广，特别是大型落砂机，一般均为惯性振动式。惯性振动落砂机原理见图 2-15-1。

由于惯性振动落砂机的振动是自由振动和强迫振动的叠加运动，载荷大小将直接影响落砂效果，因此，若几种铸型重量相差较大时，就不宜在同一个惯性振动落砂机上落砂。

图 2-15-2 为 4t 惯性振动落砂机结构外形。

对于大铸型的落砂，通常采用由几台惯性振动落砂机（如 2、4、6 台等）组成落砂机组，设固定撞击架，

并配备移动式防尘罩吸除粉尘。

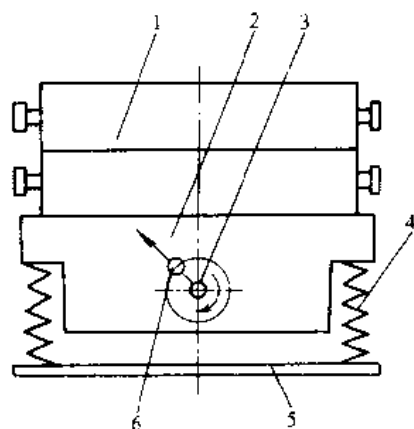


图 2-15-1 惯性振动落砂机原理  
1—铸型 2—落砂栅架 3—主轴  
4—弹簧 5—机座 6—偏心重

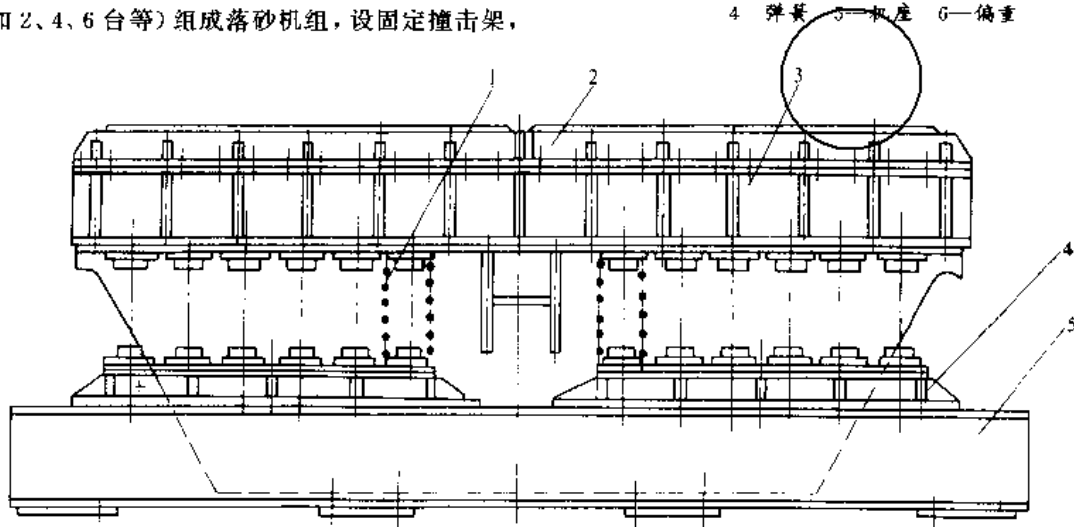


图 2-15-2 4t 惯性振动落砂机结构外形

1—铸型 2—栅架 3—框架主体 4—弹簧底座 5—底座

### 1.2 冲击式惯性振动落砂机

冲击式惯性振动落砂机工作原理见图 2-15-3。铸型放在固定支架上，下面安置惯性振动落砂机，靠撞击落砂栅架而进行落砂（落砂机顶面距支架顶面间的间隙  $x$  约为 5~8mm）。由于载荷不是始终加在落砂机上，因此，机器对载荷变化的适应性增强了，额定载荷也可以提高。

### 1.3 惯性振动输送落砂机

惯性振动输送落砂机有两种：单轴式和双轴式。单轴式的激振器是单轴的，由于栅架平面做成与水平有一倾角，使铸件一面落砂，一面下滑。同时，倾角对落砂时铸件在栅架上停留时间以及输送速度影响较大，

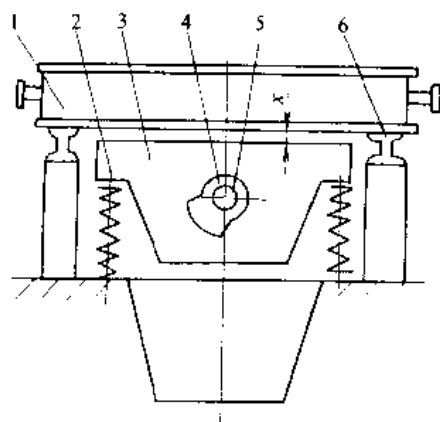


图 2-15-3 冲击式惯性振动落砂机工作原理  
1—铸型 2—弹簧 3—栅架 4—偏心重  
5—主轴 6—固定支架



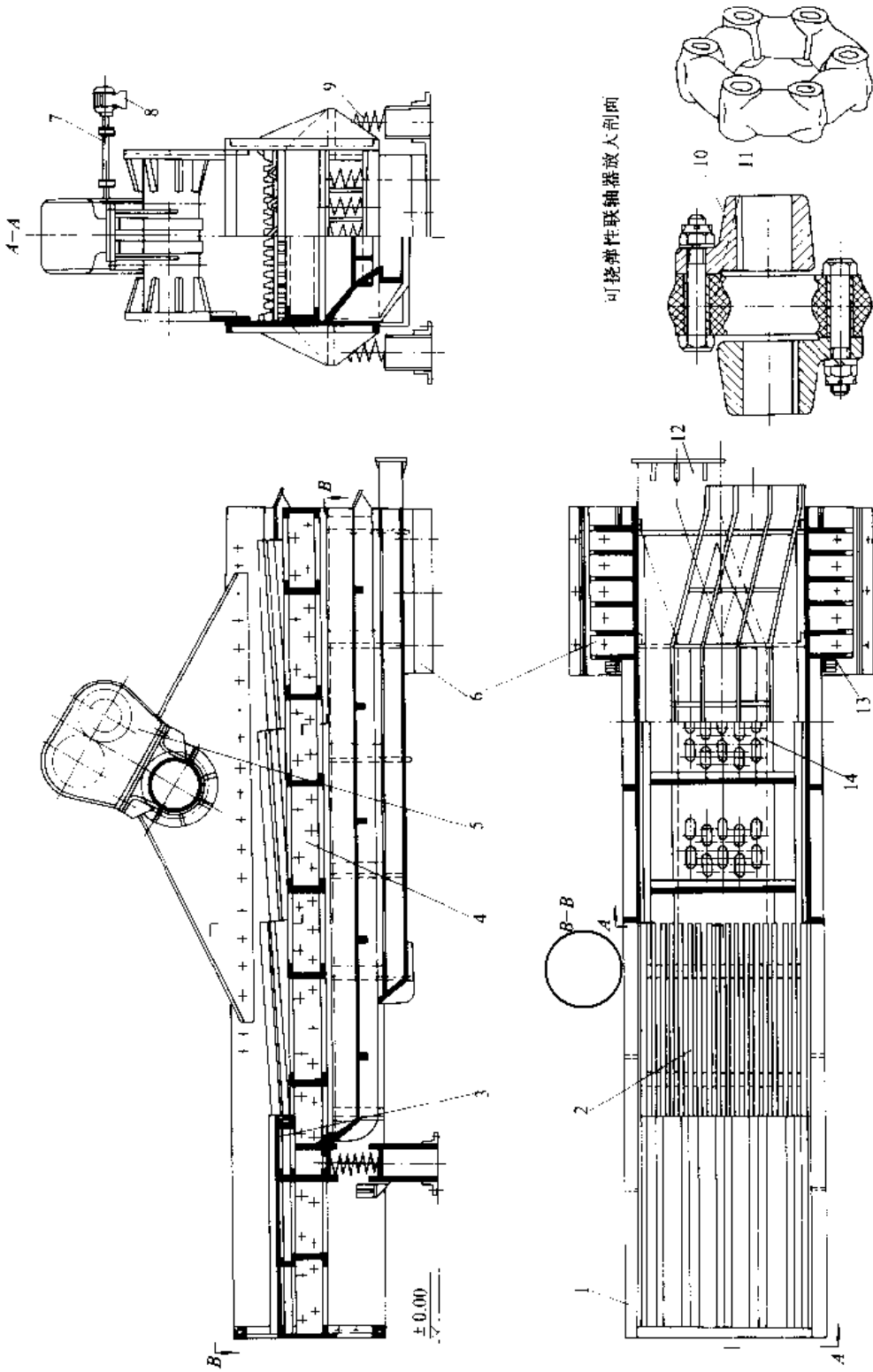


图 2-15-4 双轴弹性球动输送落砂机  
 1—边架 2—落砂轴架 3—底板 4—机架 5—双轴滚架器 6 弹簧支架 7 可挠性联轴器 8—电动机  
 9—减振弹簧 10—连接法兰 11—橡胶环 12—输砂槽 13—导向装置 14 铸件浇口槽架



应在使用中合理调整。

应用较多的是双轴惯性振动输送落砂机，它采用双轴式激振器，其激振角小于  $90^\circ$ ，让激振力在水平方向有一分力，产生输送作用。根据要求的输送速度大小，来确定激振角的数值。双轴惯性振动输送落砂机见图 2-15-4。

### 1.4 惯性横振动输送落砂机

图 2-15-5 为惯性横振动输送落砂机的结构图。其原理是利用安装在双层圆筒一侧的振动电机产生的激振力使装入筒体内的型砂和铸件产生一定规律的公转和自转（筒体不转），并向前运动，从而将型砂振碎和

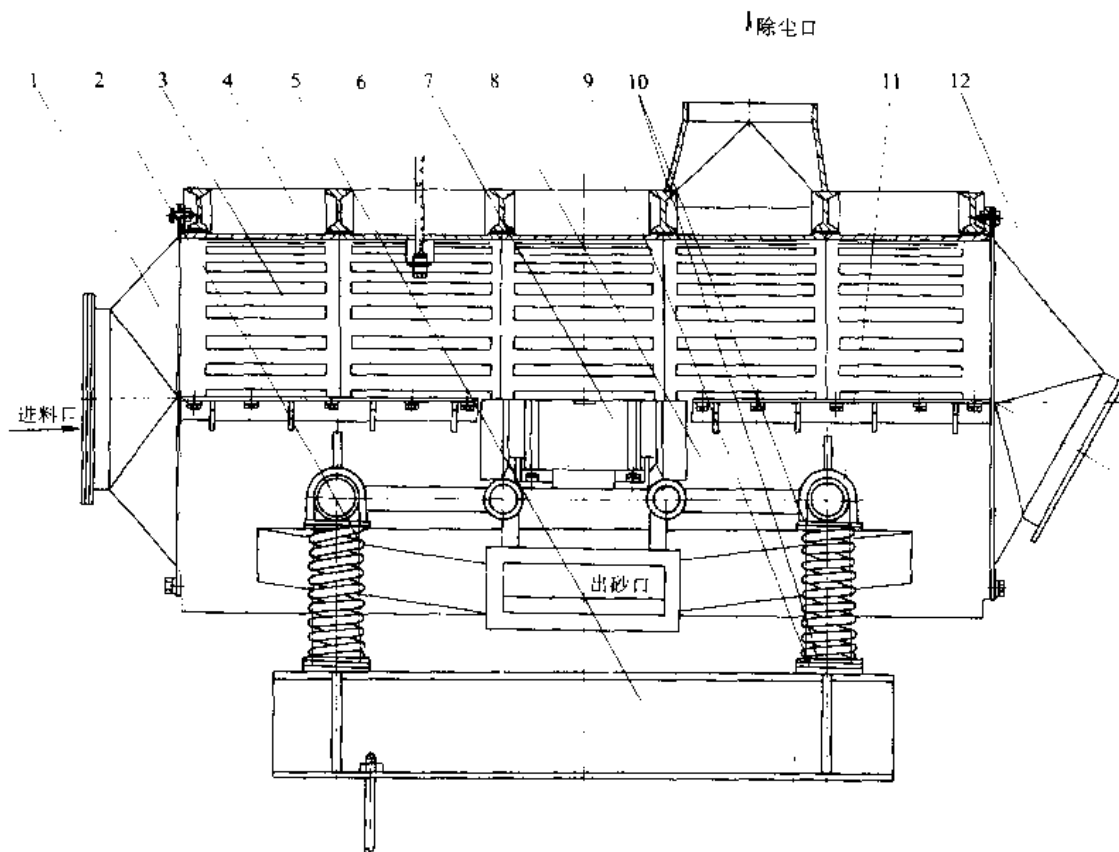


图 2-15-5 惯性横振动输送落砂机

- 1—进料斗 2—弹簧 3—内衬 4—上盖 5—底座 6—冷却器 7—振动电机 8—下盖  
9—调整垫 10—弹簧支座 11—螺栓环 12—出料斗

磨碎，达到铸型落砂的目的。机器还装有定量喷水及除尘装置，使型砂冷却并减少环境污染。

适用于无箱射压造型线。但是，对铸件类型的适应有局限性，制造也较复杂，维修不便。

### 1.5 滚筒冷却落砂机

滚筒冷却落砂机见图 2-15-6。其工作原理是：当脱去砂箱的铸型进入滚筒内随滚筒旋转到一定高度时，铸型借自重落到筒体下方，在相互不断撞击和摩擦的作用下，型砂与铸件分离并顺着螺旋片方向到达筒体栅格部分进行落砂。

滚筒冷却落砂机劳动条件较好，又便于组线，尤其

### 1.6 间歇电液清砂室

电液清砂是利用在水中高压脉冲放电时所产生的液压冲击能（液电效应）清除铸件砂芯的工艺方法，其原理如图 2-15-7 所示。主要适用于用普通方法难以清除的复杂砂芯的清砂，特别是能够有效地清理深孔和盲孔。缺点是设备费用较高。

间歇电液清砂室见图 2-15-8。



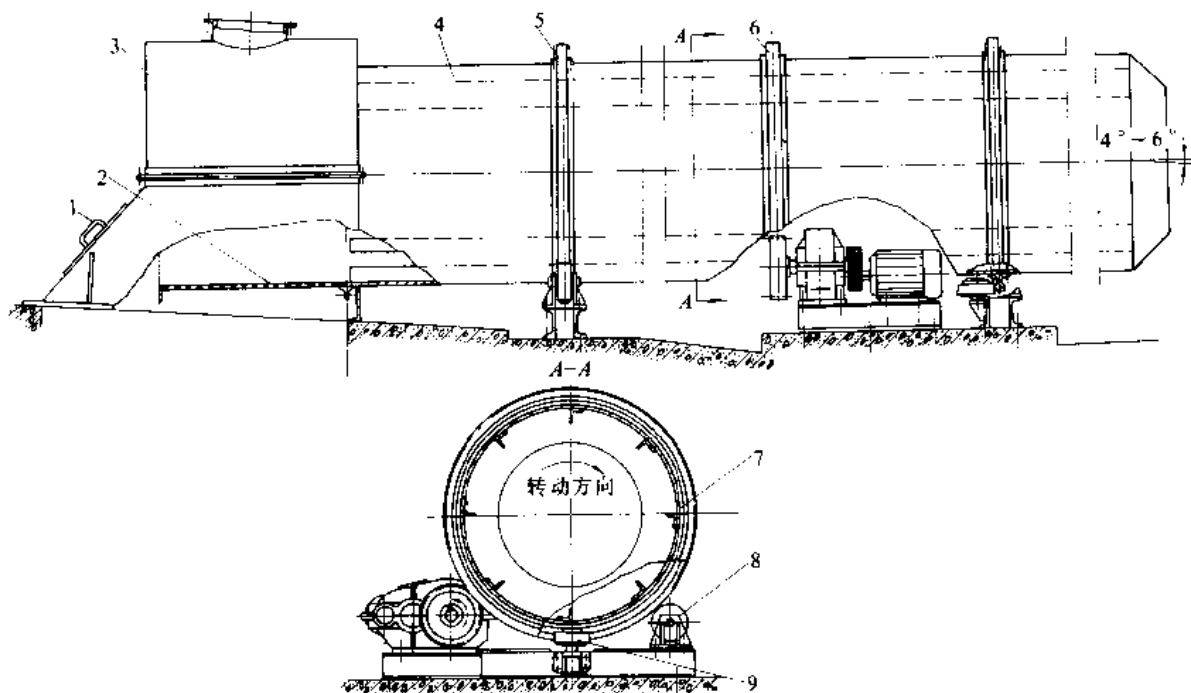


图 2-15-6 滚筒冷却落砂机

1—小门 2—圆筒筛 3—抽尘罩 4—滚筒体 5—导轨 6—齿圈 7—肋板 8—滚轮 9—挡轮

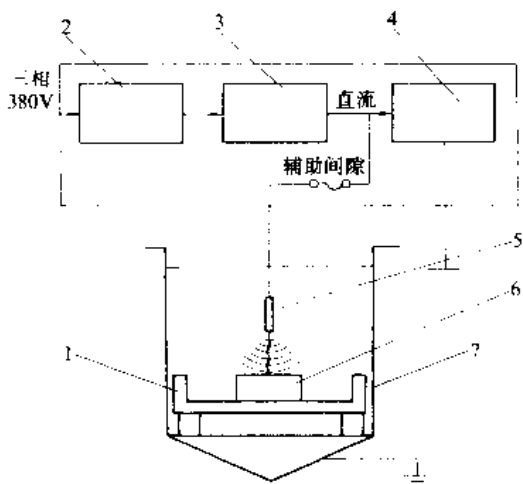


图 2-15-7 电液压清砂原理图

1—槽金 2—变压器 3—整流器 4—电容器  
5—电极 6—铸件 7—水槽

## 2 清理机械化与自动化

铸件清理包括表面清理和除去多余的金属两部分。

表面清理机械按工作原理分为喷丸、抛丸和摩擦式三类。

喷丸清理是利用压缩空气将弹丸喷射到铸件表面来实现清理目的。由于喷枪能在一定范围内移动，故可

用于清理复杂铸件，尤其适于清理具有复杂内腔和深孔的铸件。但喷丸清理能量消耗大，生产效率低。一般多作为抛丸清理的补充手段。

抛丸清理是利用高速旋转的叶轮将弹丸抛向铸件，靠弹丸的冲击打掉铸件表面粘砂和氧化皮。这种清理方法效果好，生产率高，劳动强度低。其缺点是抛射方向不能任意改变，灵活性差。

摩擦式清理是利用铸件与铸件、铸件与尾铁之间的摩擦和轻微撞击来实现清理目的。其特点是设备简单。缺点是生产率低，噪声大。

清理设备按其铸件载运方式可分为滚筒式、履带式、转台式、室式（悬挂式和台车式）。滚筒式、履带式适用于小型铸件；转台式适用于清理壁薄而又不宜翻转的中小型铸件；悬挂式清理室适用于清理中大型铸件；台车式清理室适用于清理大型和重型铸件。

### 2.1 抛喷丸清理机械化与自动化

#### 2.1.1 喷丸清理设备及辅件

1. 喷丸器 喷丸器是喷丸清理设备的关键装置，双室式喷丸器工作原理见图 2-15-9。

喷嘴孔直径直接关系着生产率和压缩空气消耗量。一般应不小于弹丸直径的 3.5~4 倍，常用孔径为 4~15mm。



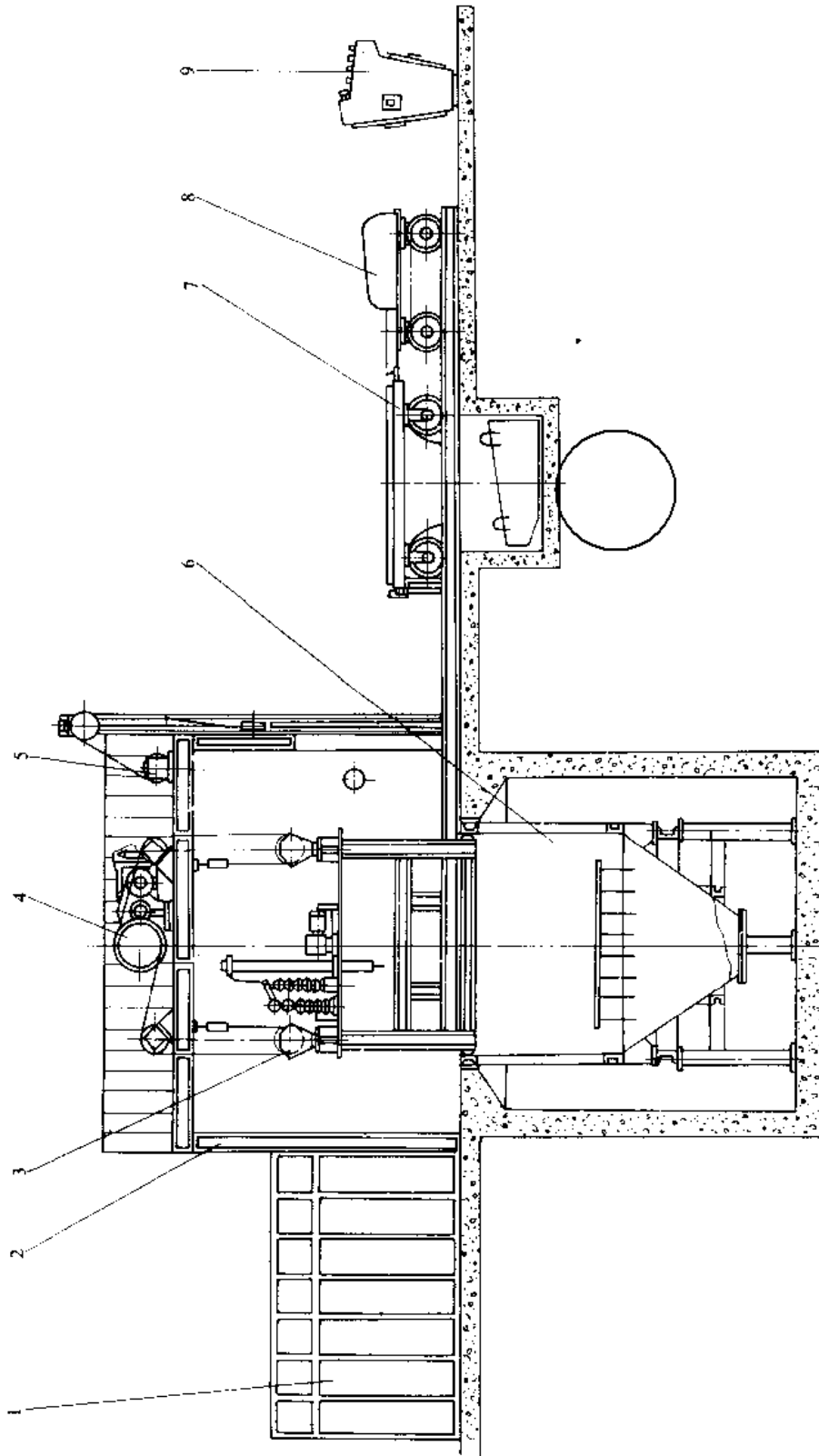


图 2-15-8 间歇电液压清砂室  
1—高压室 2—清砂室 3—起落架 4—提升机 5—开门机 6—水箱体 7—铸件车 8—牵引车 9—电控柜



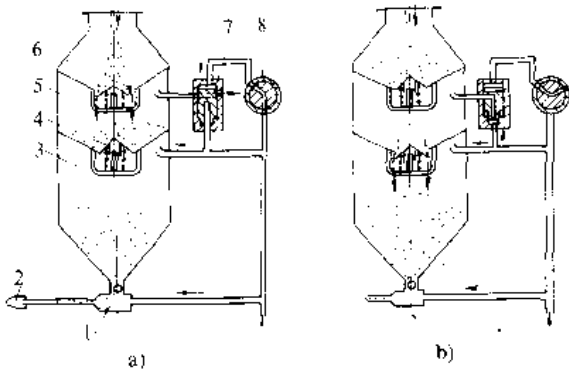


图 2-15-9 双室式喷丸器工作原理

a) 加丸时三通阀状态 b) 进丸完毕三通阀状态

- 1 混合室 2—喷嘴 3—下室 4—锥形阀
- 5 上室 6 加丸漏斗 7—转换阀
- 8 三通阀

喷嘴至铸件的距离，当气压为 350~550kPa 时，喷射距离取 350~350mm 最适宜。

喷丸流与铸件之间的夹角叫喷射角。通常喷射角取 75°~90°。对于难清理的表面取较大的角度。

喷丸所需压缩空气的压力取决于铸件材质、弹丸材质和粒度。一般是铸件的表面硬度越高，弹丸的密度

和粒度越大，所需气压越高。当采用钢或铁制弹丸时，压缩空气的工作气压可按表 2-15-2 选取。

表 2-15-2 喷丸工作气压

铸件材料	铸钢	铸铁	非铁金属
工作气压 (kPa)	450~550	400~300	100~300

2. 喷丸清理设备 喷丸清理设备的形式有转台式和室式，其中室式应用广泛。喷丸清理室一般配备一支喷枪，装在室体侧壁的一个活支架上，能够上下升降、前后伸缩并可在 100°圆锥角内自由摆动。有的大型喷丸室还设有辅助喷枪，必要时，工人可穿上防护服及面具进入室内，手持喷枪清理。

### 2.1.2 抛丸清理设备主要部件及弹丸

1. 抛丸器 抛丸器是抛丸清理设备的关键部件，它的效能决定着抛丸清理设备的工作质量和效率。抛丸器按弹丸进入叶轮的方式分为机械进丸和鼓风进丸两类。图 2-15-10 为机械进丸抛丸器结构。当弹丸进入叶轮后，在离心惯性力的作用下，沿叶片向外运动，最后以 60~80m/s 的速度离开叶片，抛向铸件。通过调整定向套窗口的位置，可以改变抛射的方向。

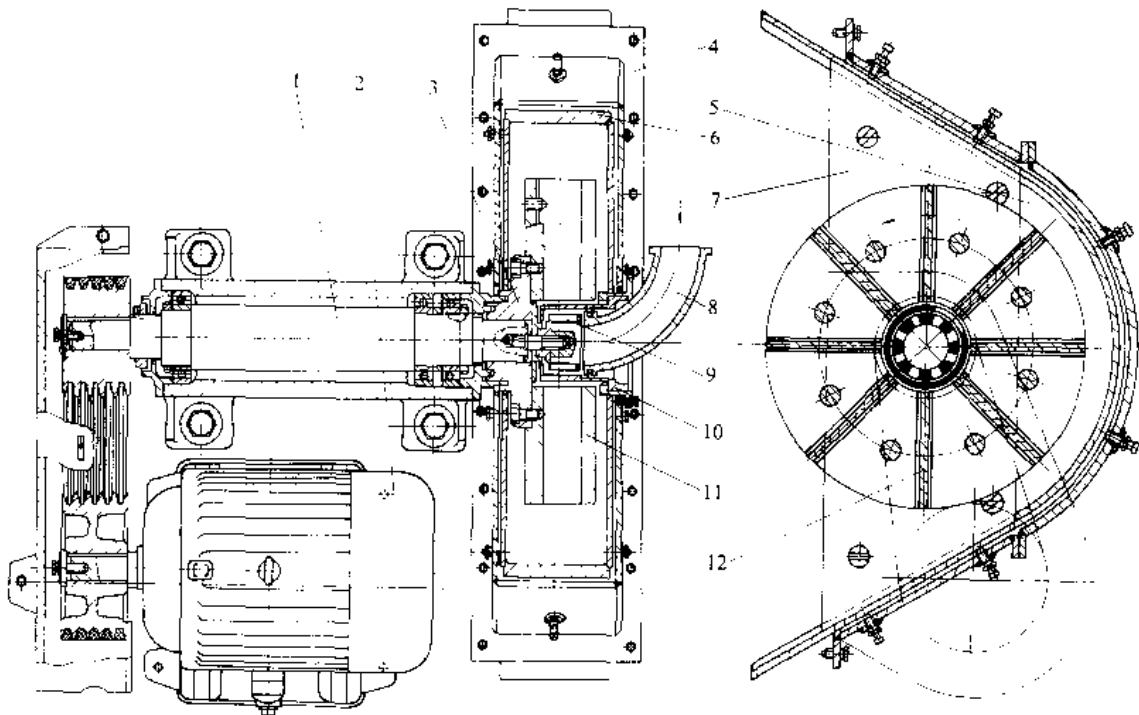


图 2-15-10 机械进丸抛丸器结构

- 1—主轴 2—电机 3—连接盘 4—壳体 5、6、7—护板 8—输丸管 9—分丸轮
- 10—定向套 11—叶轮 12—叶片





图 2·15-11 为鼓风进丸抛丸器。弹丸在喉管中被鼓风机送来的气流预加速后,经喷嘴送到叶片上,再由叶片进一步加速后抛出。调整喷嘴的出口位置,可以改变抛射方向。这种抛丸器的优点是减少了易损件,结构简单,但增加了动力消耗和设备安装面积。

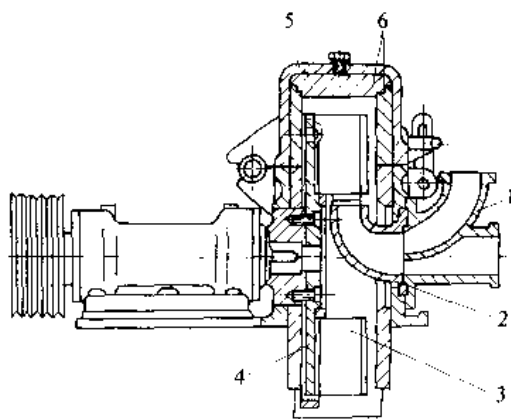


图 2·15-11 鼓风进丸抛丸器  
1—加速管 2—喷嘴 3—叶片  
4—叶轮 5—壳体 6—护板

抛丸器叶轮有双圆盘和单圆盘两种结构形式。双圆盘较单圆盘复杂,但对叶片的支承较好,应用广泛。

当前,有些抛丸器采用曲线叶片,与一般直线叶片抛丸器相比,提高了弹丸抛射速度和抛射效率,延长了叶片寿命,降低了机器噪声,扩大了弹丸分布区域。还有些抛丸器装有安全开关,保证了设备使用的安全。另外,还有些抛丸器,定向套通过电动机和连杆可以摆动,扩大了抛丸器弹丸的抛射面积。

2. 丸砂分离器 在抛丸清理设备中,尤其是在抛丸落砂清理设备中,丸砂分离器是关键部件之一。丸砂分离效果的好坏不仅直接关系到清理的效率和设备的使用寿命(特别是叶片),同时还影响到周围的环境和弹丸的消耗量以及回用旧砂的性能。

丸砂分离器按其结构原理分为流幕式和磁风式两种。图 2·15-12 为重锤流幕式丸砂分离器工作原理。这种分离装置是利用弹丸和砂子的密度和粒度的不同,在风力场中下落轨迹的不同,来完成分选工作。通过调节风速可以调节分离器的分离效果,而流幕的厚度可通过调节重锤位置来控制。

3. 弹丸 弹丸材料和粒度直接关系着铸件清理质量和效率,并且影响到抛丸器易损件寿命和清理成本,应予以足够的重视。弹丸可分为金属丸和非金属丸两大类。铸件清理多使用金属弹丸。金属弹丸又分为铸钢丸、钢砂、钢丝丸、白口铸铁丸、可锻铸铁丸和非铁金

属丸。弹丸的形状有球形、圆柱形和多角形。不同材料、不同形状的弹丸,其清理速度和本身的寿命也各不相同,详见表 2·15-3。

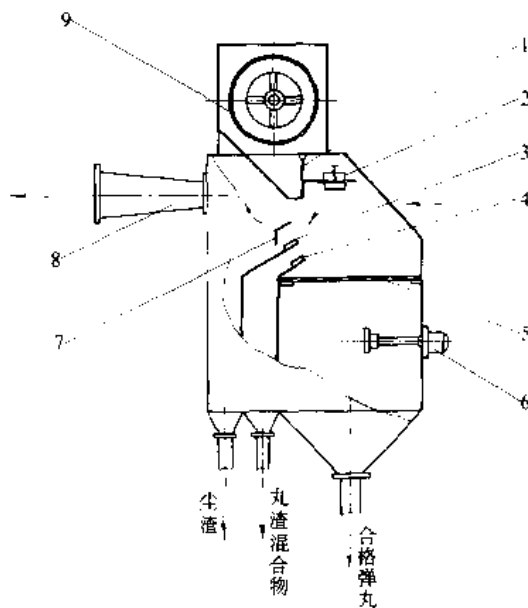


图 2·15-12 重锤流幕式丸砂分离器工作原理  
1—流量调节板 2—调节重锤 3—一级撇滤板  
4—二级撇滤板 5—网板 6—料位计  
7—中部导料板 8—风管 9—滚筒筛

表 2·15-3 各种弹丸的相对清理速度和寿命

弹丸种类 指标	白口 铸铁丸	可锻 铸铁丸	钢砂	铸钢丸	钢丝丸
	相对清理速度	2~3	1	3~4	1.5
使用次数	60	870	1320	1570	3410
相对寿命	1	15	22	26	57

### 2·1·3 抛丸清理设备

在抛丸清理设备中,抛丸器的合理布置是至关重要的。特别是用于大批量生产的清理设备,一定要选择一种最佳的抛丸器布置方案,以求达到最佳清理效果和较高的生产率。抛丸器布置的原则是:

抛丸器叶轮外沿与铸件的距离应保持在 0.8~1.5m,最好为 1.0~1.2m。

抛丸器弹丸流的有效抛射面应能全部覆盖铸件表面,不应有空白和死角。

应尽量避免有效抛射区内弹丸流的互相交叉,绝对不允许丸流直接对射。

1. 滚筒抛丸清理机 图 2·15-13 为间歇式滚筒抛丸清理机。铸件装入滚筒后,由于筒体内螺旋导筋板



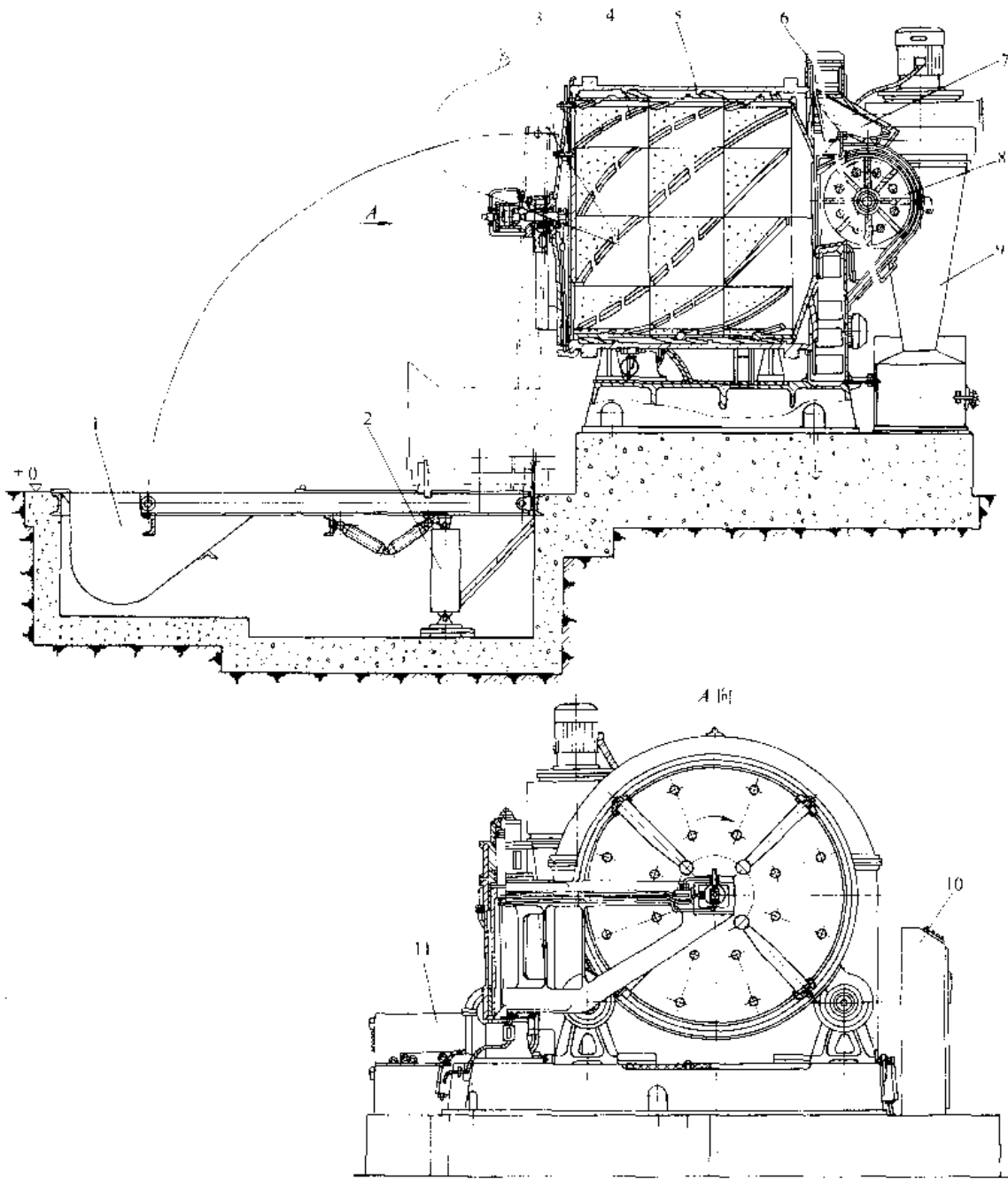


图 2-15-13 间歇式滚筒抛丸清理机

- 1—上料斗 2—升降油缸 3—装卸料门 4—护板 5—滚筒体 6—提升机 7—分离器  
8—抛丸器 9—集尘器 10—电容器箱 11—液压箱

的作用，铸件随筒体转动而不断翻转，以增加清理效果。由于是通过筒体的转动完成弹丸的循环，因此结构较简单，是当前应用最广泛的一种抛丸清理设备，主要适用于不怕碰撞的中小铸件的清理。

**2. 倾斜滚筒抛丸清理机** 倾斜滚筒抛丸清理机见图 2-15-14。其主要特点是滚筒与水平方向倾角  $30^\circ$ ，在清理过程中有利于工件的滚翻，提高了清理质

量。工件装卸料口分别在滚筒的两端，并有自动上料和自动输送机构，易于组成清理生产线。适用于大中型铸造车间清理中小型铸件。目前这种清理机滚筒直径有 1000mm 和 1300mm 两种，清理工件最大质量分别为 15kg 和 30kg。

**3. 螺旋滚筒抛丸清理机** 其工作原理见图 2-15-15。主要特点是滚筒与门连接在一起，由门上的传动



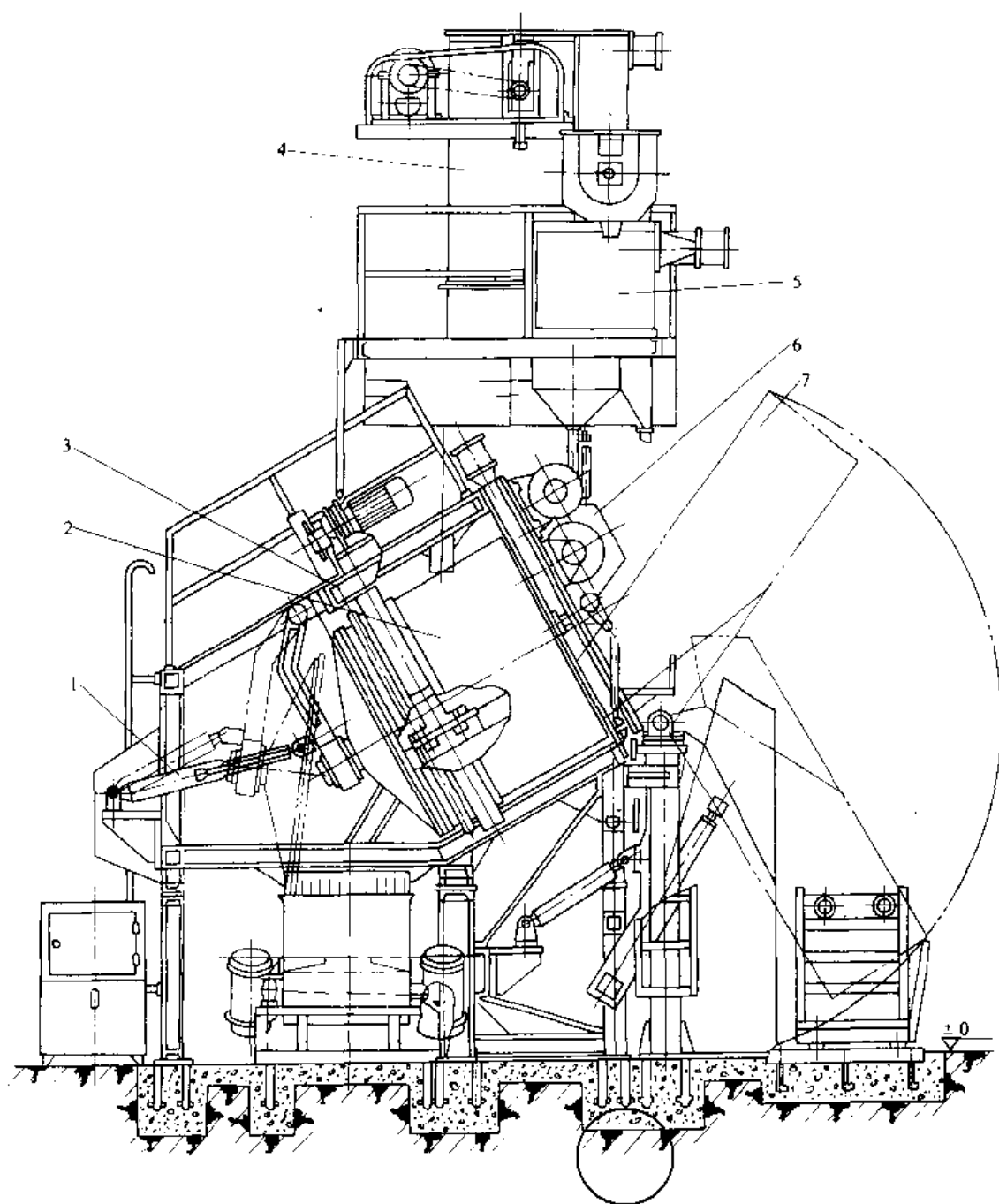


图 2-15-14 倾斜滚筒抛丸清理机

1—卸料机构 2—滚筒 3—构架 4—提升机 5—分离器 6—抛丸器 7—装料斗

机构带动滚筒旋转。铸件由加料翻斗通过螺旋口加入滚筒内，滚筒作顺时针方向旋转，抛丸器通过滚筒中心的圆孔进行清理，清理完毕，滚筒作逆时针旋转而卸料。

**4. 履带式抛丸清理机** 其工作原理如图 2-15-16 所示。铸件载运装置是由两个圆形端盘和一条封闭履带所组成的开放滚筒。履带可以正、反方向旋转，正转时使铸件不断翻动便于清理，反转时使铸件卸出。机器

可实现半自动操作，是目前使用最广泛的一种清理设备。但机器结构复杂，履带的维修量大。近年来有用耐磨橡胶履带取代金属履带的，其机重、噪声等均有所减轻。图 2-15-17 为履带式抛丸清理机结构图。

**5. 吊钩转盘抛丸清理机**(图 2-15-18) 在吊钩转盘上装有一组吊钩，吊钩在室内可以自转，可进行抛丸清理和装卸铸件。主要适用于多品种中小批量工件的清理，尤其对怕碰撞的非铁金属件和细长薄壁



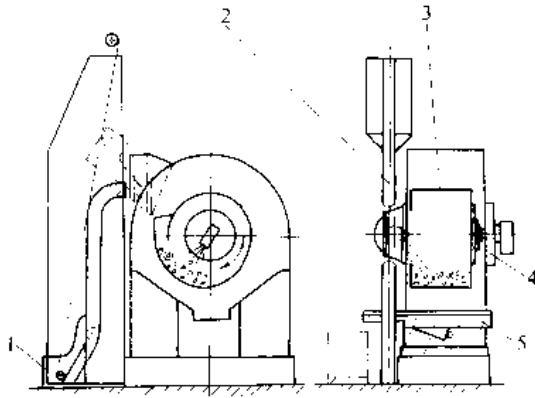


图 2-15-15 螺旋滚筒抛丸清理机工作原理

1—加料翻斗 2—提升机 3—滚筒

4—门 5—振动筛

件更为适宜。

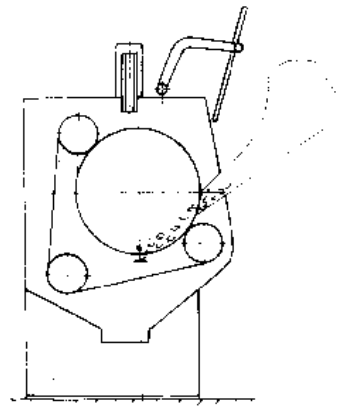
6. 转台抛丸清理机(图 2-15-19) 清理室由三个侧壁组成, 其间安装一个水平转台, 用橡皮帘隔成室内、室外两部分, 铸件在室内清理, 室外以手工或电葫芦翻转、装卸。

7. 台车式抛丸清理室(图 2-15-20) 被清理铸件连同小车 6 随转台 4 旋转, 清理完毕, 小车开出室外装卸铸件。也可将转台装在小车上, 装卸铸件时随小车开出室外。适用于大中型铸件。由于在清理时铸件底面得不到清理, 对于大型铸件有被单钩式抛丸清理机取代的趋势。

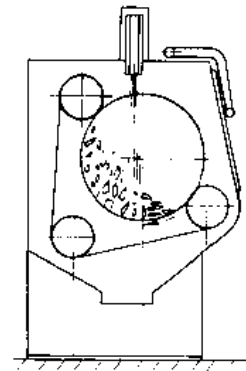
8. 单钩抛丸清理机(图 2-15-21) 将待清理的铸件挂在吊钩上, 通过架设在室顶上的轨道驶入清理室并自行旋转, 进行抛丸清理。吊钩上配备有行驶及旋转机构。一般每台设备有两付吊钩, 当一付吊钩在室内工作时, 另一付在室外装卸铸件。其优点是铸件的各个面都可以得到清理, 清理效果好。故近年来发展迅速, 单钩载质量已达几十吨。

9. 吊链抛丸清理室 吊链抛丸清理室有单行程式和双行程式两种形式。双行程吊链抛丸清理室见图 2-15-22。铸件悬挂在悬链输送机的吊钩上, 当其进入抛丸室抛射区时, 吊钩上的链轮与一条单独传动的链条啮合, 使吊钩边移动边旋转, 因而铸件的各个面都得到均匀的清理。由于是连续流水作业, 生产率很高, 适用于大批量生产车间清理中型铸件。设备的单钩负荷已达 1000kg。

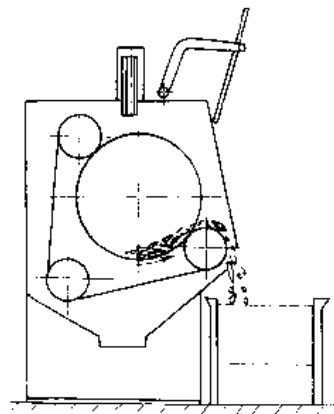
还有一种步移式吊链抛丸清理室, 共设有 4 个工位, 中间 2 个工位是抛射工作区, 两边 2 个工位是辅助工位。由悬挂输送机将旋转吊钩步移式送入清理室进行抛丸清理。



a)



b)



c)

图 2-15-16 履带式抛丸清理机工作原理

a) 装入铸件 b) 抛丸清理 c) 卸出铸件

10. 摇摆滚筒抛丸清理机(图 2-15-23) 被清理工件可借助于倾斜翻斗加料机或用人工加入滚筒中, 之后滚筒与门一起转到抛丸工位, 同时门体将被清理室封闭以防弹丸飞出伤人。由于滚筒可以绕水平轴上下摇摆, 因此卸料十分方便。主要适用于多品种中小批量铸件的清理。



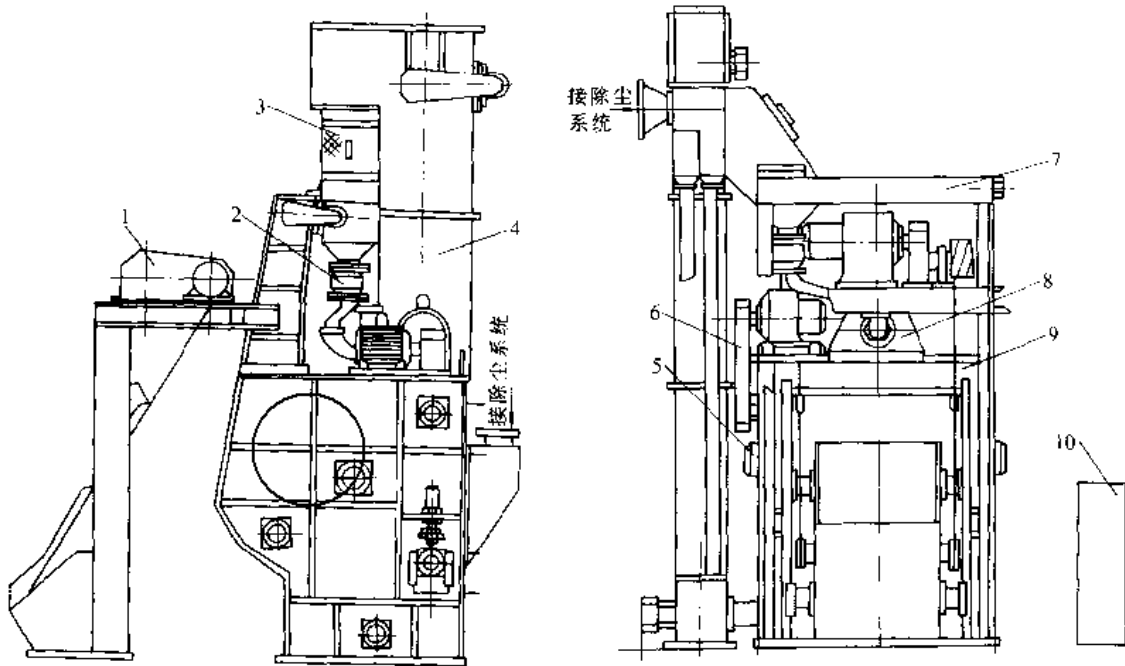


图 2-15-17 履带式抛丸清理机结构

- 1—加料机 2—弹丸控制系统 3—分离器 4—提升机 5—端盘 6—履带传动机构  
7—吊门 8—抛丸器 9—室体 10—电气系统

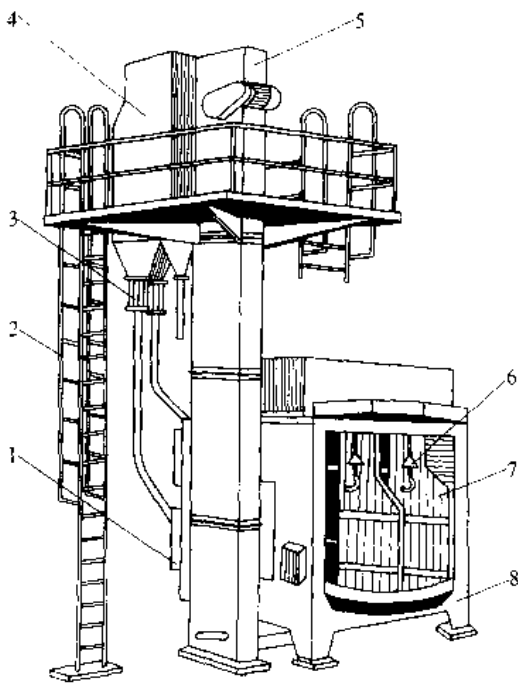


图 2-15-18 吊钩转盘抛丸清理机

- 1—抛丸器 2—平台梯子 3—弹丸控制系统 4—分离器  
5—提升机 6—吊钩自转机构 7—转盘 8—抛丸室

11. 振动槽连续抛丸清理机 (图 2-15-24) 工件由加料口进入槽体, 在振动作用下不断流向出口, 工件在振动槽内通过时被弹丸抛打而受到清理。其特点是: 能连续生产、效率高、除尘效果好。主要适用于 30kg 以下工件的清理。

12. 滚筒连续抛丸清理机 其工作原理见图 2-15-25。工件通过皮带或振动槽连续向滚筒内进料, 工件在滚筒内即转又前进, 清理后工件从滚筒的另一端连续排出。既可在生产线上使用, 又可单机使用, 适用于清理中小型的带少量砂的铸件。

13. 鼠笼式抛丸清理机 鼠笼式抛丸清理机的专用卡具象一鼠笼。其工作原理见图 2-15-26。机器外形见图 2-15-27。在装料工位铸件被推入鼠笼内, 然后将带有铸件的鼠笼推到抛丸清理机的两根传动辊子上。在通过抛丸清理机时, 辊子带动鼠笼自转, 使铸件的各表面和内腔得到均匀的清理。当鼠笼自转时, 能将铸件内腔里的弹丸倒出来。在卸料工位, 鼠笼停止旋转, 铸件被推出鼠笼。这种清理设备适用于清理气缸体、缸盖、齿轮箱等铸件。

由鼠笼式抛丸清理机组成的抛丸清理线见图 2-15-28。



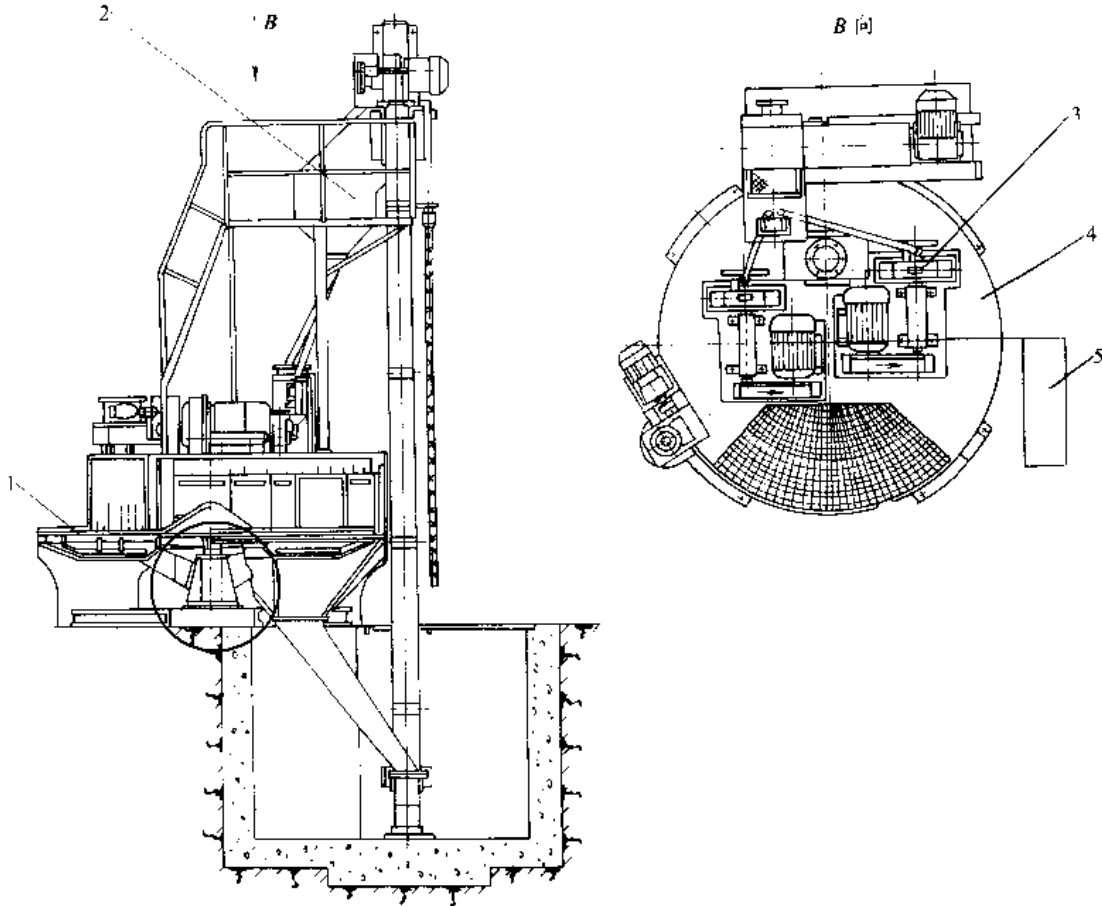


图 2-15-19 转台抛丸清理机结构图

1—转台 2—分离器 3—抛丸器 4—清理室 5—电气设备

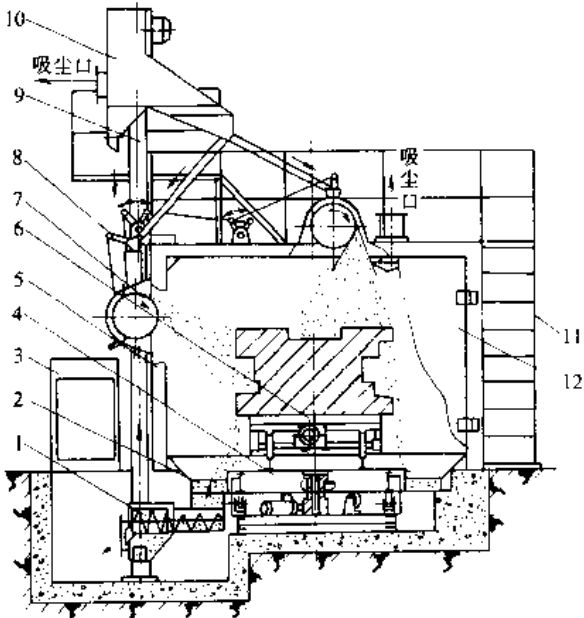


图 2-15-20 台车式抛丸清理室

1—螺旋输送机 2—刮丸板 3—电气箱 4—回转台  
5—清理室 6—小车 7—抛丸器 8—弹丸控制系统  
9—提升机 10—分离器 11—室梯 12—门

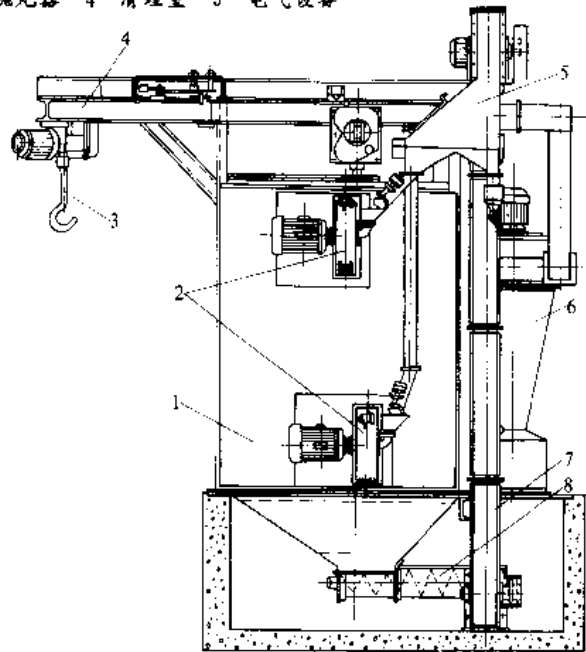


图 2-15-21 单钩抛丸清理机

1—清理室 2—抛丸器 3—吊钩 4—轨道  
5—分离器 6—集尘器 7—提升机  
8—螺旋输送机



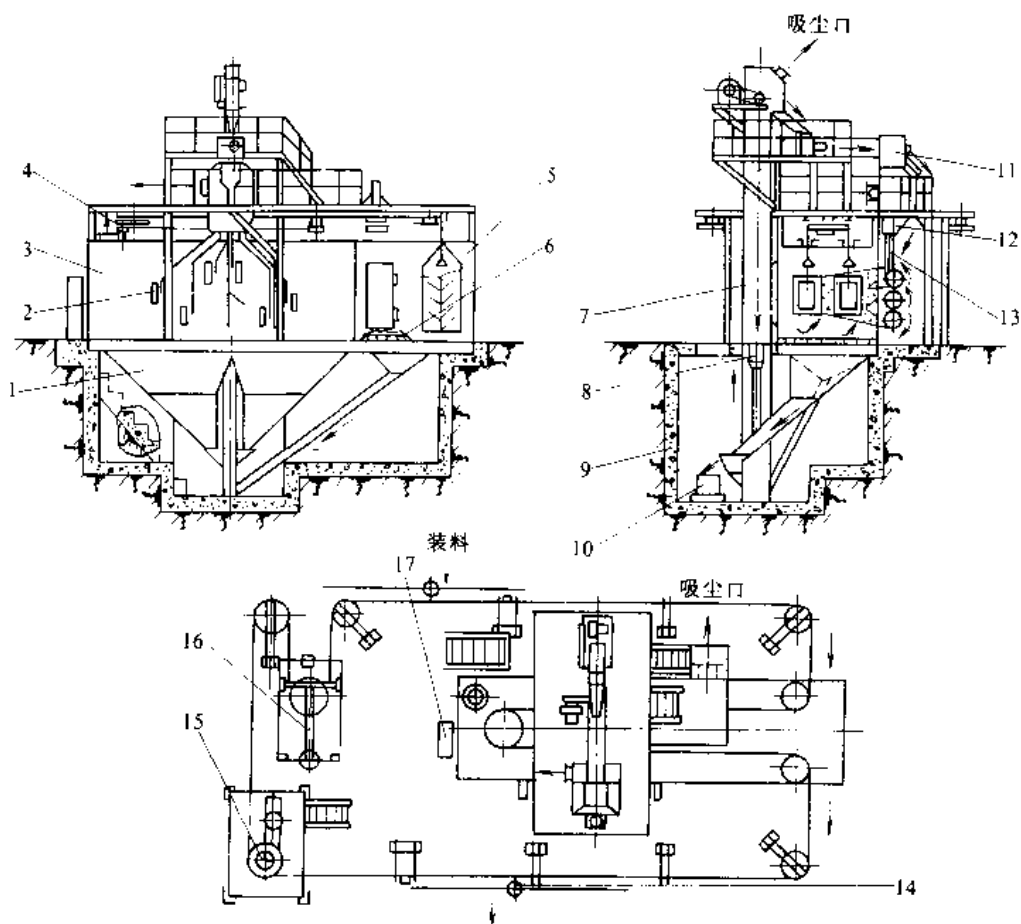


图 2·15-22 双行程吊链抛丸清理室

- 1—漏斗 2—抛丸器 3—清理室 4—吊链自转装置 5—辅助室 6—地坪 7—提升机 8—加丸斗 9—地坑 10—废料斗  
11—螺旋输送机 12—分离器 13—弹丸控制系统 14—气吊 15—驱动装置 16—张紧装置 17—电器箱

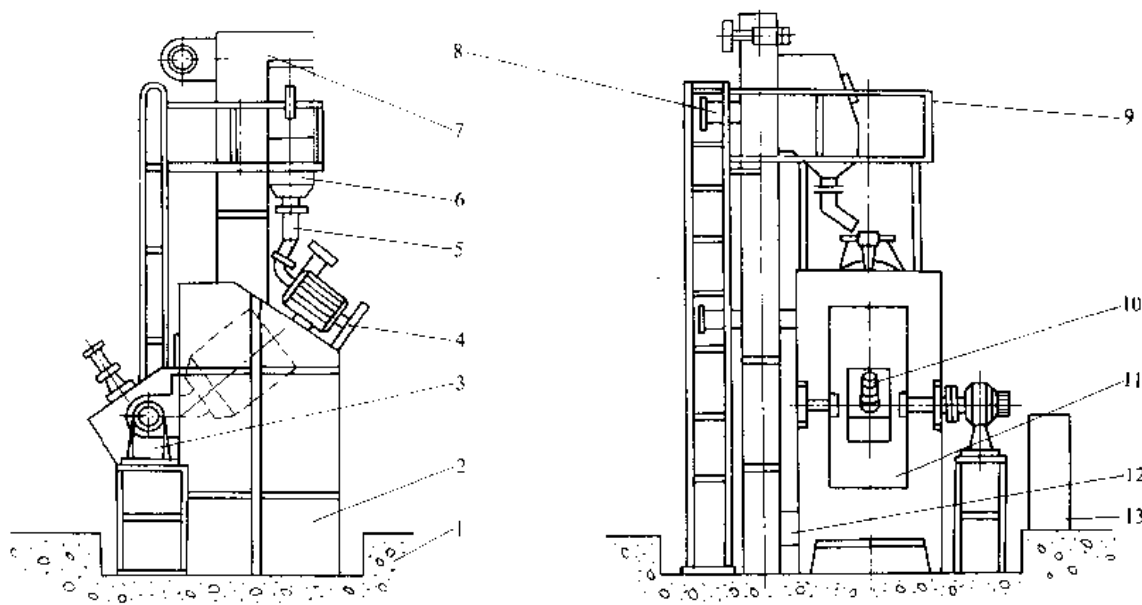


图 2·15-23 摇摆滚筒抛丸清理机

- 1—地基 2—室体 3—摇摆机构 4—抛丸器 5—弹丸控制系统 6—分离器 7—提升机 8—除尘系统接口  
9—平台 10—滚筒机构 11—门 12—螺旋输送机 13—电控箱



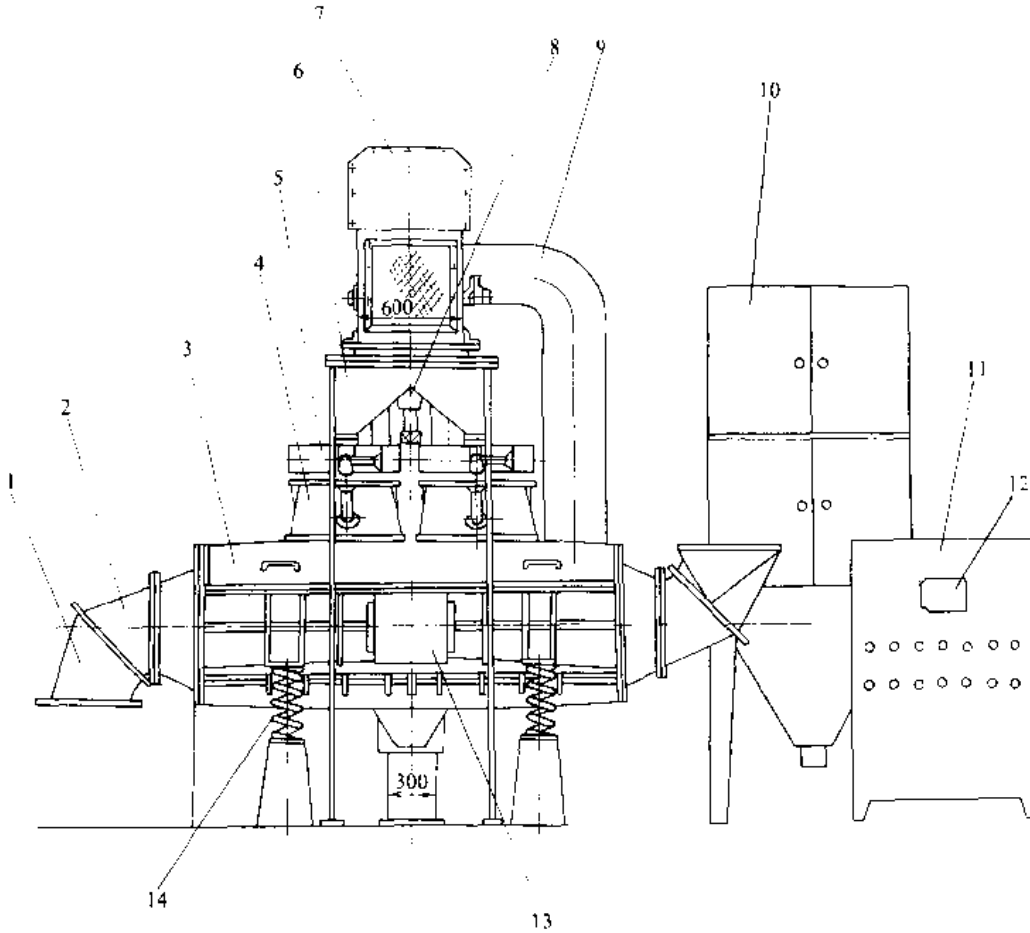


图 2-15-24 振动槽连续抛丸清理机

- 1—出料口 2—弯头 3—振动承载体 4—抛丸器 5—闸门 6—分离器下体 7—丸砂分离器 8—溢流管  
9—除尘管 10—除尘器 11—电气箱 12—电压表 13—振动电机 14—弹簧

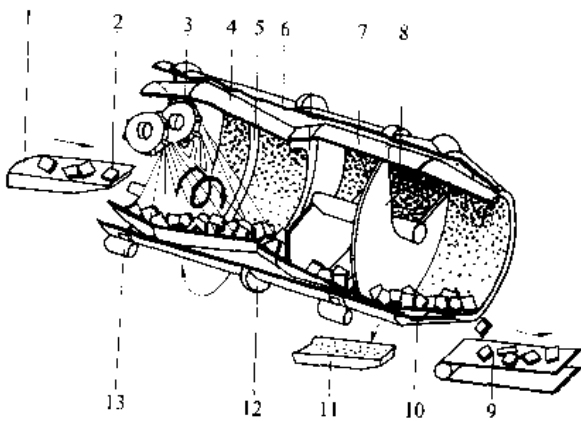


图 2-15-25 滚筒连续抛丸清理机工作原理图

- 1, 11—振动输送机 2—铸件 3—抛丸器 4—锥形清理滚筒 5—螺旋肋 6—衬有橡胶的外滚筒 7—卸料滚筒  
8—螺旋输送机 9—带式输送机 10—弹丸和出砂口  
12—滚筒传动装置 13—支承托轮

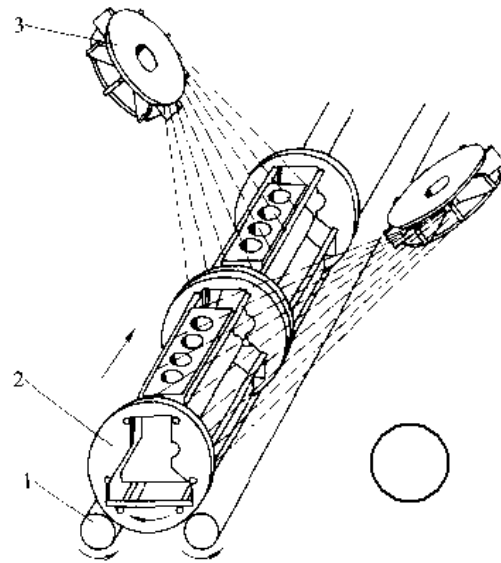


图 2-15-26 鼠笼式抛丸清理机工作原理

- 1—棍子 2—鼠笼 3—抛丸器





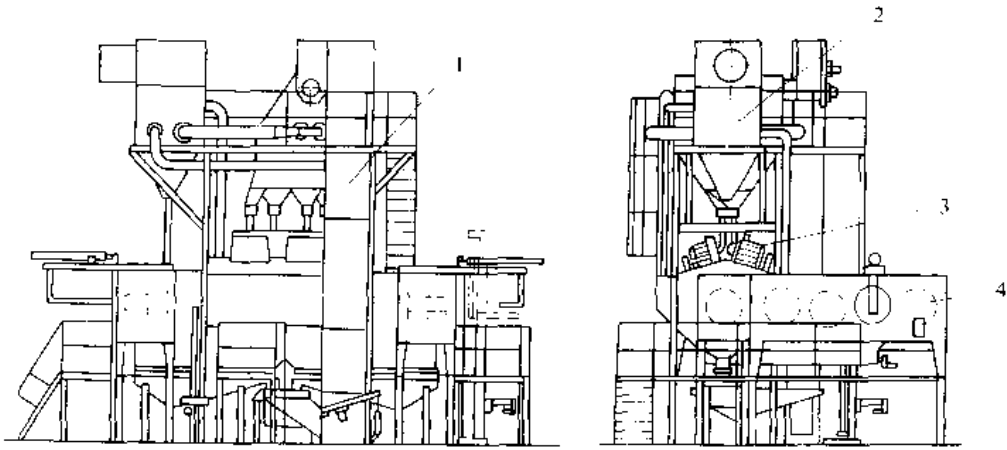


图 2-15-27 鼠笼式抛丸清理机

1—提升机 2—丸砂分离器 3—抛丸器 4—鼠笼

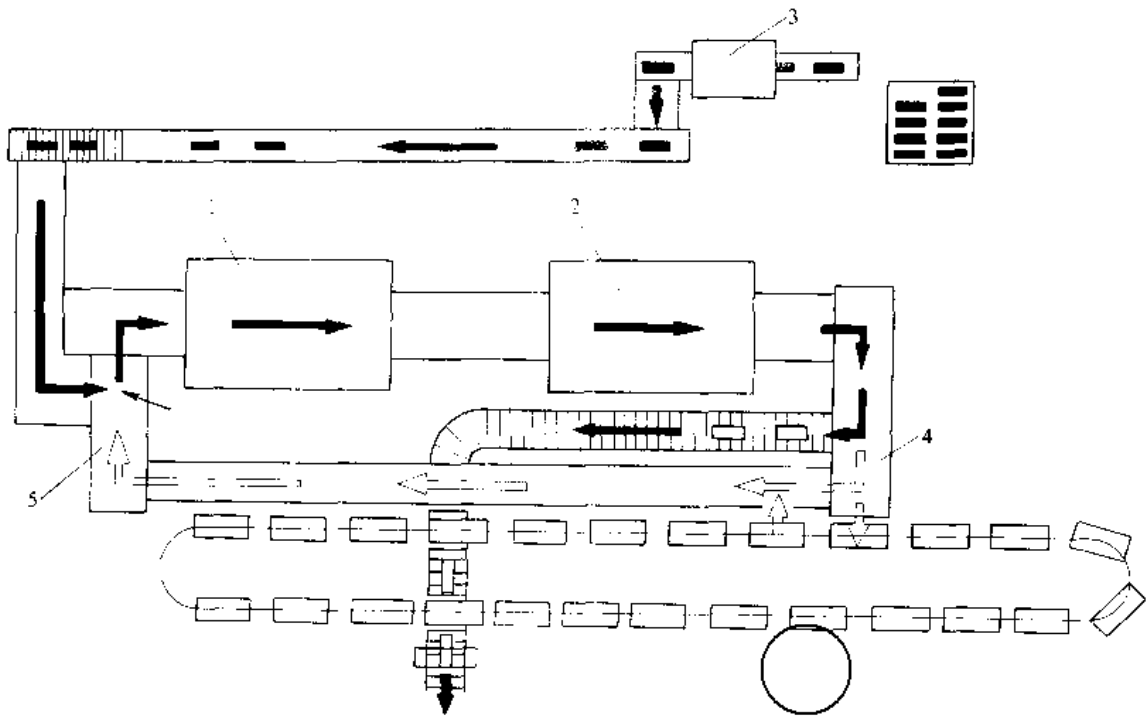


图 2-15-28 鼠笼式抛丸清理机生产线

1—抛丸室 (1) 2—抛丸室 (2) 3—粗砂轮机 4—鼠笼卸料站 5—鼠笼装料站

#### 2-1-4 抛丸落砂清理设备

抛丸落砂清理是将脱箱后带砂的铸件直接送入抛丸设备中进行落砂、表面清理和砂再生。其主要优点：

- (1) 一机多用，落砂、除芯、表面清理和旧砂再生同时进行，简化工艺流程，节约面积，提高生产率。
- (2) 可清理 350℃ 以下的热铸件，缩短生产周期。
- (3) 劳动强度低，噪声较小，工作环境好。

(4) 旧砂干法再生，回用率在 80% 以上。

抛丸落砂清理设备的关键在于配备了高生产率、高分离质量的丸砂分离器，另一特点是装有大抛丸量 (大于 200kg/min) 抛丸器。

1. 滚筒抛丸落砂清理机 (图 2-15-29) 它具有清理、除芯、砂再生和除尘“四合一”效果。当需要清理或除芯的铸件装入滚筒后，其护板上的斜筋即不断的搅动铸件使其各表面受到均匀的清理。主要适用于清理 15kg 以下小型铸件。



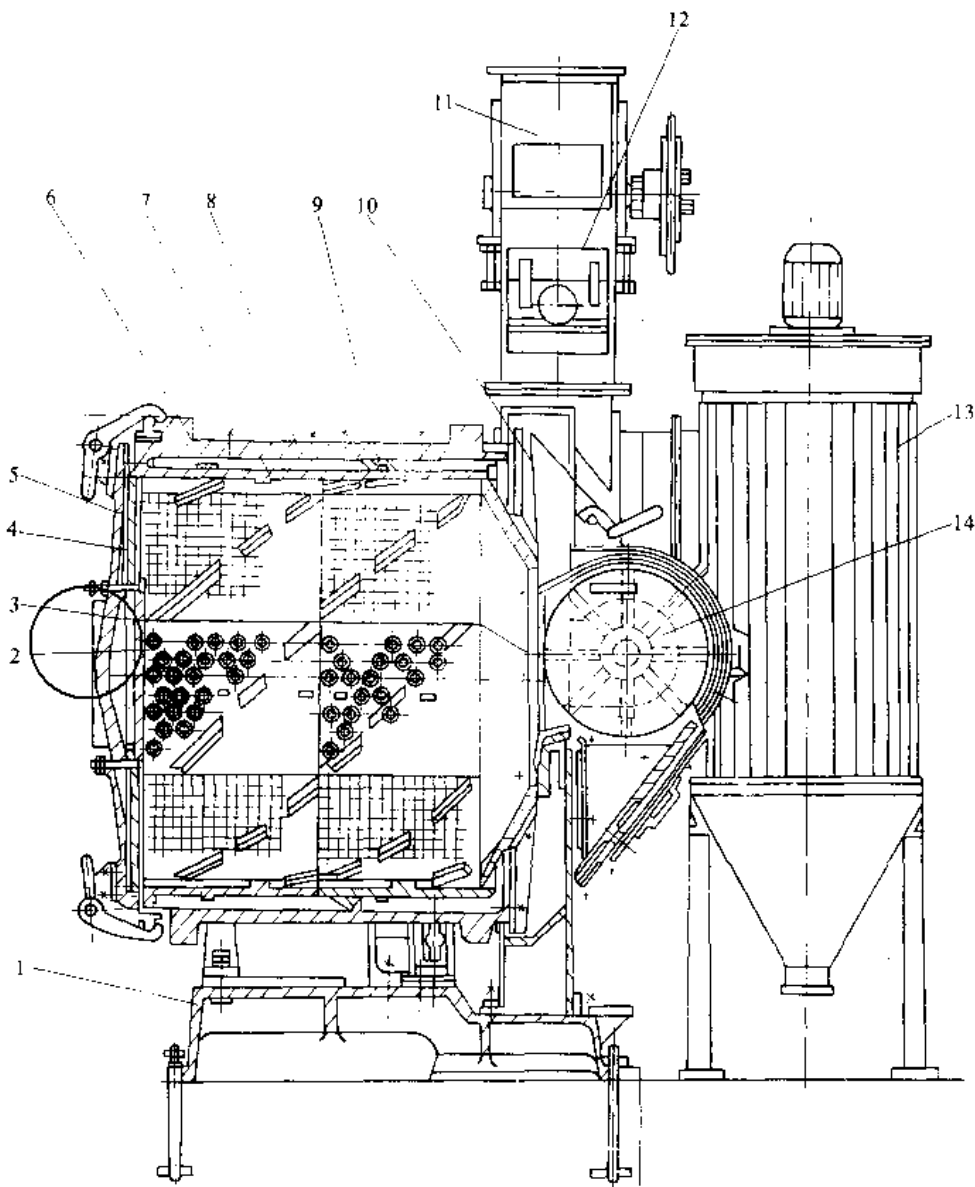


图 2·15-29 滚筒抛丸落砂清理机

- 1—机座 2—格子孔 3—圆形板 4—端盖 5—扇形板 6—大摩擦圈 7—护板 8—筒壳体  
9—螺旋带 10—锥体板 11—提升机 12—分离器 13—除尘器 14—抛丸器

2. 吊链连续抛丸落砂清理室(图 2·15-30)

该室的特点是采用先进的积放式推式吊链运送铸件, 并采用封闭式室体, 由吊钩将铸件送入室内, 即关闭大门, 吊钩在固定的位置上进行自转, 由四台抛丸器将高速弹丸抛射到铸件上, 使之得到良好的清理。这类设备均带有除尘系统适用于大批量生产中清理中小型铸件, 尤其适于清理带有内腔的铸件。

2·1·5 抛喷联合清理设备

联合清理设备既有抛丸清理设备效率高的特点, 又有喷丸清理设备便于清理铸件内腔及死角和复杂表面的优点。按其结构类型可分为转台式、单钩式和室式。

1. 转台式抛喷丸清理机 该机有 1 个大转台和 8 个小转台, 工件的夹持、输送及转动均在小转台上进行。



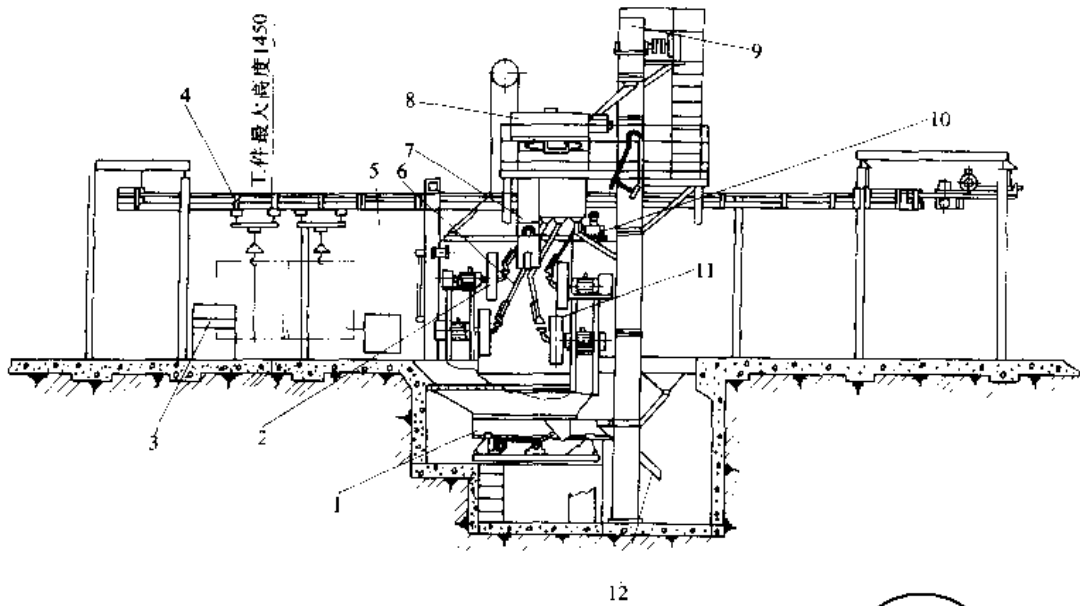


图 2-15-30 吊链抛丸落砂清理室

1—振动筛 2—抛丸器 3—电控柜 4—推式悬链 5—气控柜 6—弹丸分配系统 7—砂回收系统  
8—丸砂分离器 9—提升机 10—吊钩自转机构 11—室体 12—废料溜槽

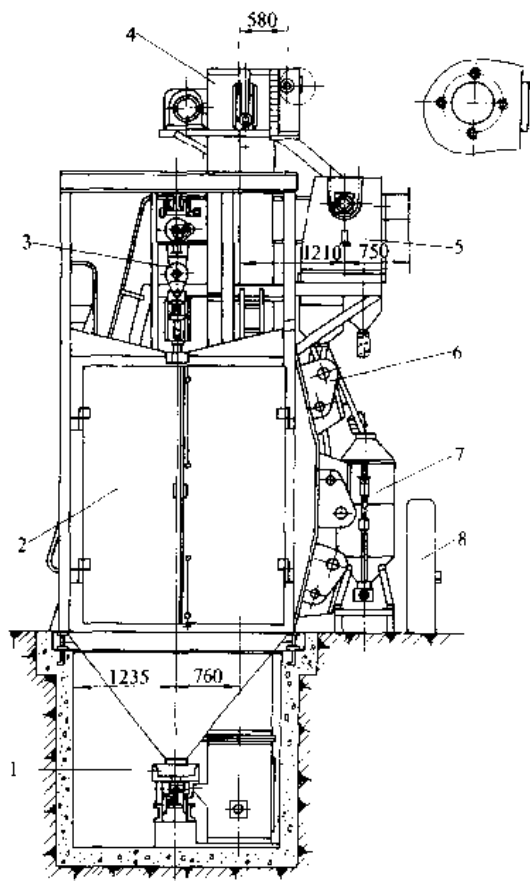


图 2-15-31 单钩抛喷丸清理机

1—振动输送机 2—清理室 3—吊钩装置 4—提升机  
5—丸砂分离器 6—抛丸器 7—喷丸器 8—电控柜

行，大转台通过气缸作间歇转动并完成定位，通过大、小转台运动完成工件的清理。主要适用于圆筒形铸件内外表面的清理。

2. 单钩抛喷丸清理机 (图 2-15-31) 该机利用抛丸器将弹丸抛向挂在吊钩上的铸件进行清理，对于内腔、死角或复杂表面，则利用喷丸器的喷枪进行补充清理。机器的吊钩能自动运行、升降和回转，便于装卸铸件。主要适用于多品种、中小批量生产的大中件清理。

3. 抛喷丸清理室 (图 2-15-32) 其主要特点是：

- (1) 采用高效抛丸器，抛丸量达 280kg/min，提高了清理效率；
- (2) 利用能升降的自动循环连续喷丸器，对较复杂内腔的铸件进行定向清理；
- (3) 采用改进的丸砂分离器，提高了丸砂分离效果；
- (4) 可实现整个清理周期自动化控制。

4. 抛喷丸落砂清理室 (图 2-15-33) 其特点是在一台设备上能同时完成落砂、除芯、表面清理、除尘和砂回用四道工序。采用高效抛丸器和丸砂分离器。除尘系统采用两级干法除尘。工作时，把开箱后冷却到 300℃ 以下的带砂铸件，装在带有回转台的台车上送到清理室内，抛丸器将弹丸以 80m/s 左右的速度抛射到铸件上，清除型、芯砂，并进行铸件表面清理，清理不到的内腔再用喷枪进行补充清理。



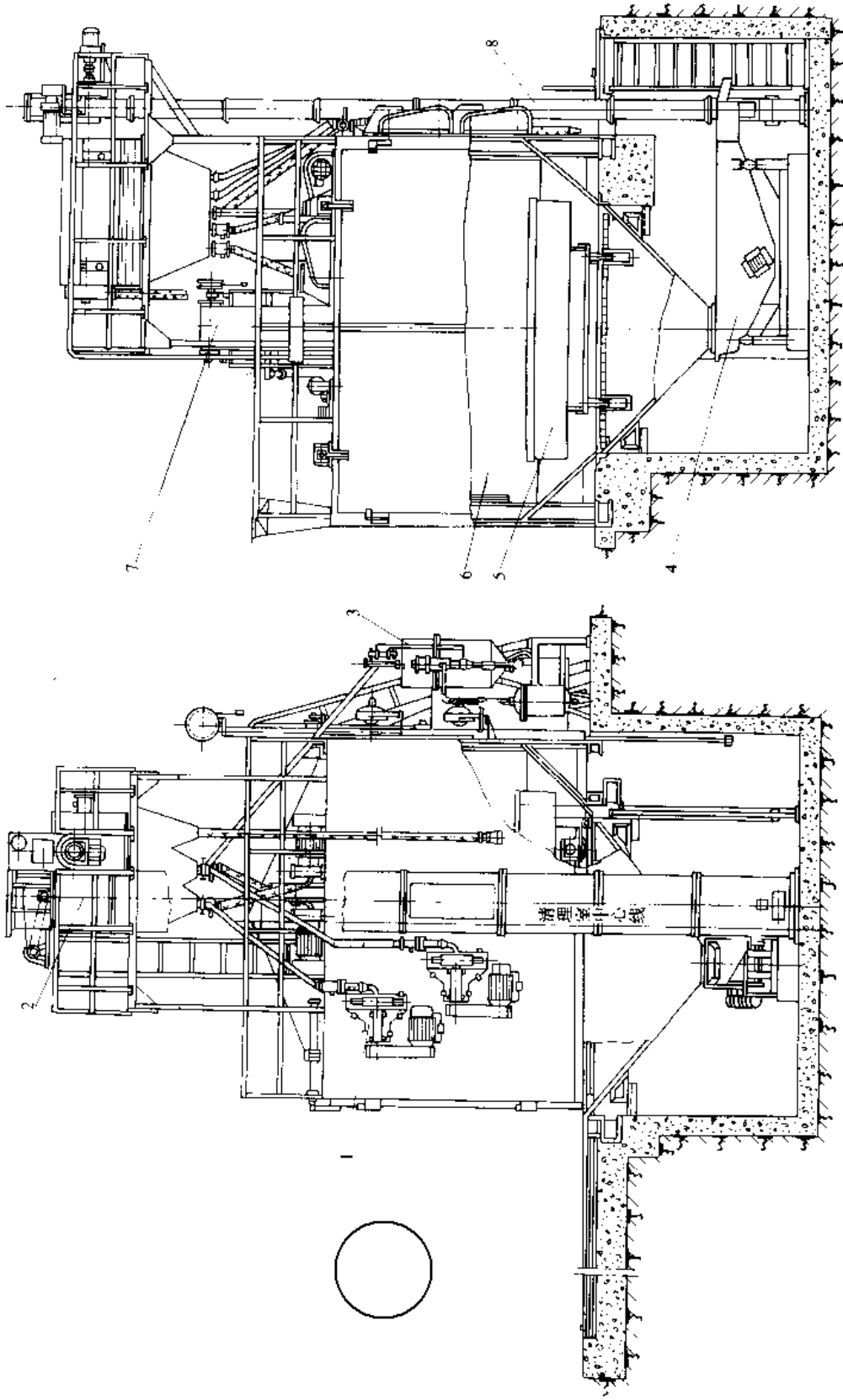


图 2-15-32 抛丸清理室  
 1—抛丸器 2—丸砂分离器 3—喷丸器 4—振动输送机 5—回转台车 6—清理室 7—喷枪升降装置 8—提升机



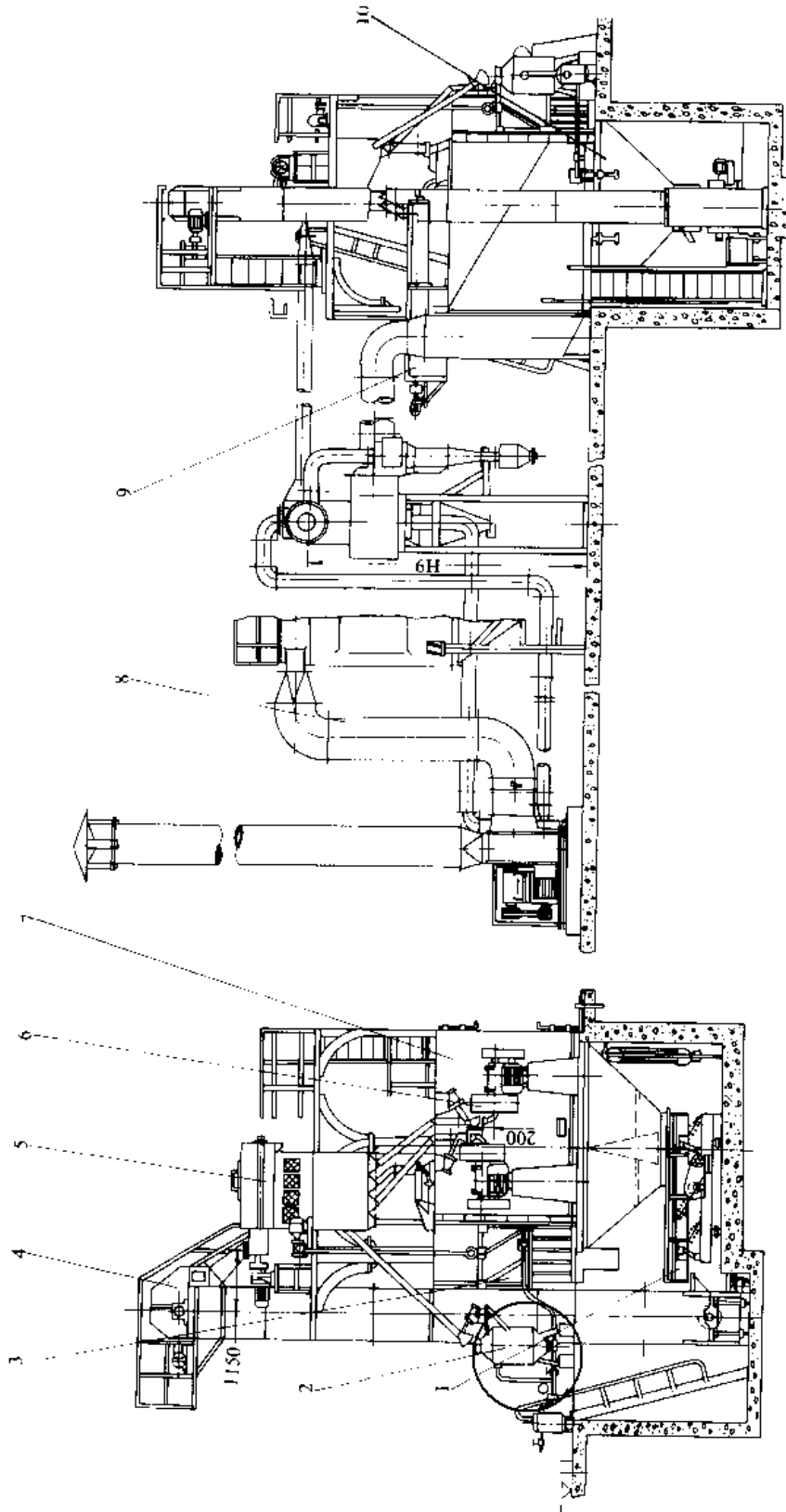


图 2-15-33 抛丸落砂清理室  
 1—振动筛 2—喷丸器 3—喷枪室 4—提升机 5—丸砂分离器 6—抛丸器 7 箱体  
 8·除尘系统 9—砂回用系统 10—地坑基础



### 2.2 浇冒口切除机械化

去除浇冒口的方法很多,应根据铸件的材质、重量和生产批量来进行选择。对于脆性铸件,如灰铸铁,可锻铸铁(退火前)和球墨铸铁小件,采用锤击或压断的方法除浇冒口是经济而简便的,但断口不整齐,必须进行后处理(铲或磨)。去除大型铸铁件的浇冒口,可以采用气动多向锤,如图2·15-34所示。它的工作原理为

在工作气缸的活塞杆端部装一锤头,靠锤头的冲击打掉铸件浇冒口。气缸装在一个可移动的机械手上,可以在很大的范围内作业。

采用机械加工的方法去除铸件浇冒口,断口整齐,但生产效率低,一般只用于较软的非铁金属铸件。

对于碳素钢铸件,气割浇冒口是最有效的方法。气割也可装在机械手上,工人可在控制室内进行遥控操作。

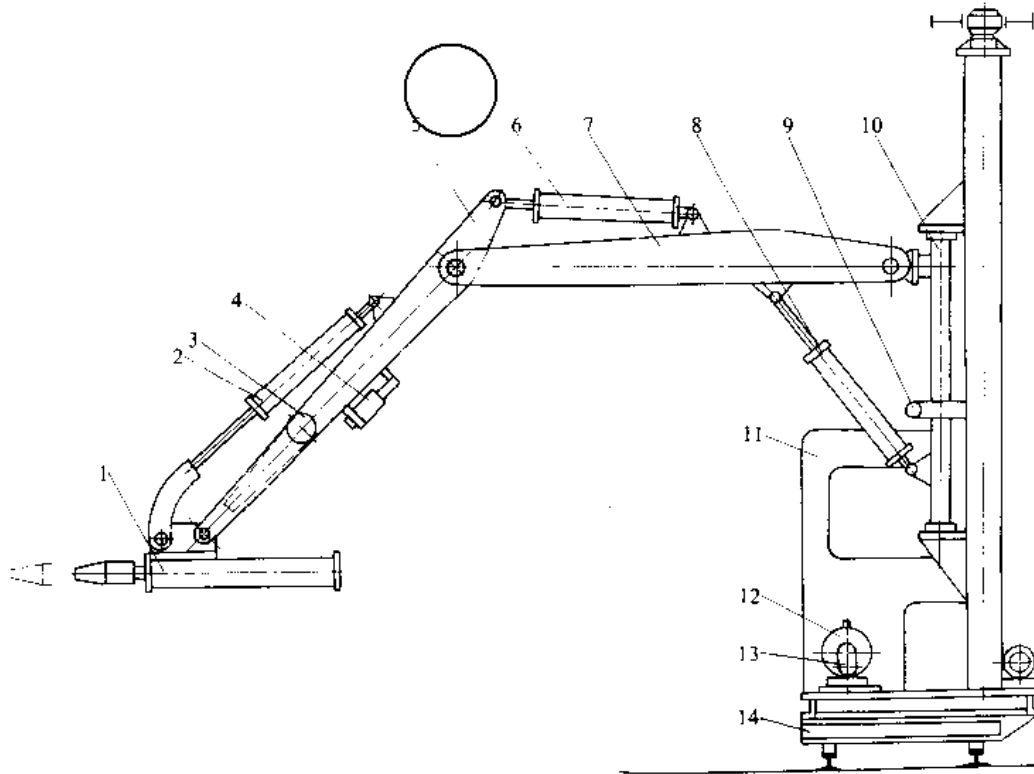


图 2·15-34 气动多向锤

- 1—工作气缸 2—变向油缸 3—贮气罐 4—气阀 5—小臂 6—伸缩油缸 7—大臂 8—升降油缸  
9—回转油缸 10—转柱 11—操纵室 12—电动机 13—油泵 14—小车

### 2.3 铸件铲磨生产线

打磨是去除铸件飞边毛刺的主要方法,一般采用各种砂轮机。对于较厚的飞边可采用气割(铸钢件)、等离子电弧切割(高合金钢件)或电弧气刨(铸铁件)等方法。

对于小型铸件,可以采用固定式砂轮机打磨。中型铸件,可采用悬挂式砂轮机。大型铸件则用手提式砂轮机打磨。还有一种气动砂带打磨工具——气动锉,可清理打磨复杂的铸件,特别是用来打磨清理铸件表面的死角非常方便。

大批量生产的铸件,可采用专门设计的铲磨机械化生产线。图2·15-35为柴油机机体铲磨生产线。

### 2.4 清理机器人

机器人清理铸件的基本要求是无论采用机器人通过夹具操作铸件,还是采用机器人操作工具,均要求能快速替换夹具或工具。对不同铸件,机器人的清理程序可以变化。有自动辨认铸件的系统。有一套能把铸件按随机顺序、随机位置和随机方位送往机器人清理工位的操作设备。

机器人清理铸件的基本形式:



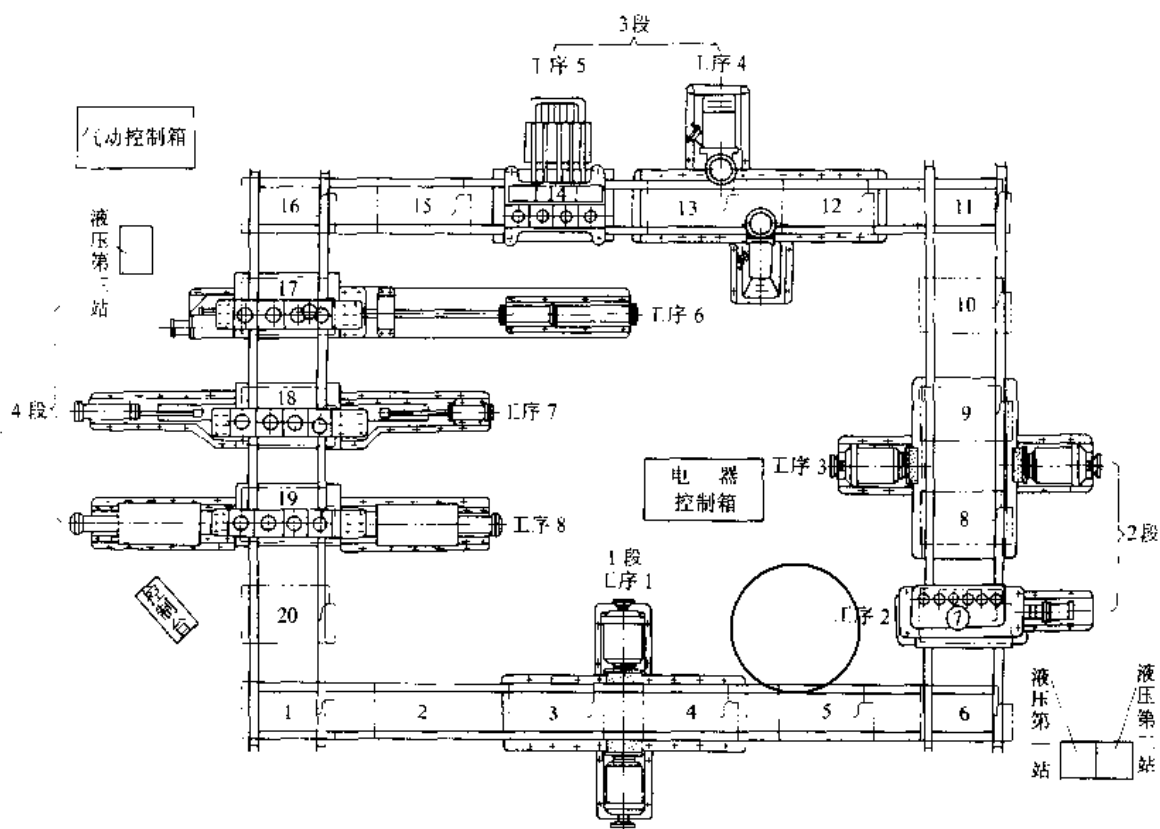


图 2·15-35 柴油机机体护磨生产线

- 1—磨床（磨顶、底面） 2—铣床（铣挺杆室出气孔及高压泵孔） 3—磨床（磨端面） 4—磨床（磨上侧面）
- 5—剪床（切中间窗口毛刺） 6—冲床（冲方孔毛刺） 7—冲床（冲凸轮轴孔毛刺）
- 8—冲床（冲主轴孔毛刺）

(1) 机器人操作铸件。机器人通过夹具操作铸件

(2) 机器人操作工具（图 2·15-37）。

到砂轮机上清理打磨，见图 2·15-36 所示。

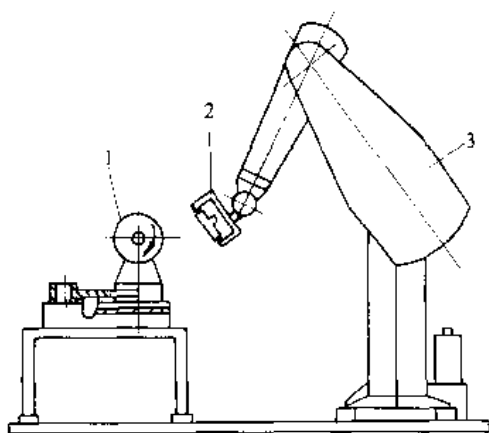


图 2·15-36 机器人操作铸件

1—带有传感器的工具 2—夹紧装置 3—机器人

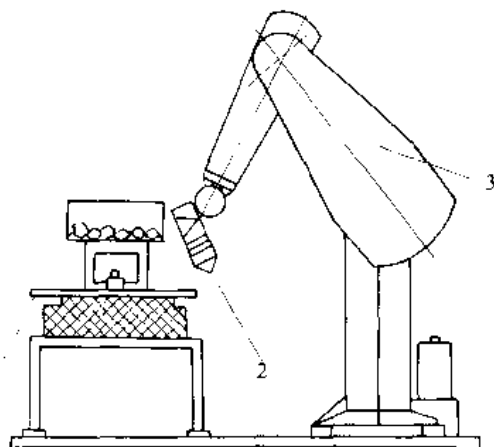


图 2·15-37 机器人操作工具

1—转台 2—工具 3—机器人



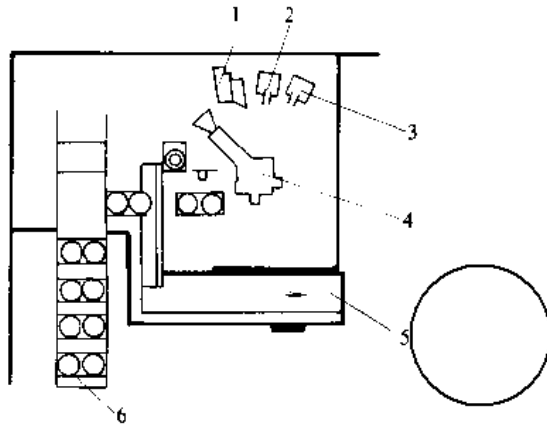


图 2·15-38 机器人交替操作工具和铸件

1—台架式砂轮机 2—齿锤 3—小砂轮机 4—工业机器人 5—回收物料传送带 6—供给铸件及移走清理后的铸件传送带

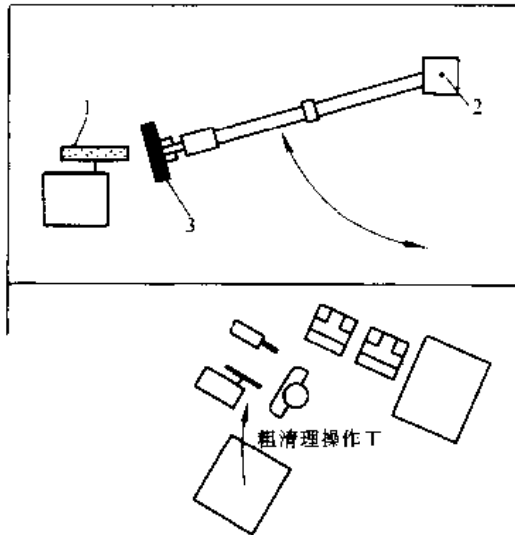


图 2·15-39 粗清理工与机器人同时工作  
1—砂轮机 2—工业机器人 3—铸件

(3) 机器人交替操作工具和铸件。机器人清理铸件的第一步，由机器人操作砂轮切割机除去铸件的冒口，第二步是机器人把铸件抓起来，送到砂轮机进行磨削，见图 2·15-38。

(4) 机器人与粗清理操作工配合。第一步是清理工对铸件去毛刺并清理铸件的一部分表面，接着将铸件放入料箱；第二步是机器人从料箱中把铸件取起到砂轮机处进一步清理。见图 2·15-39。

(5) 机器人铸件清理单元。为了更有效地使用机器人，由一台或几台机器人，配以清理铸件所需用的工具和铸件搬运装置等组成铸件清理单元。一台机器人布置的清理单元见图 2·15-40。

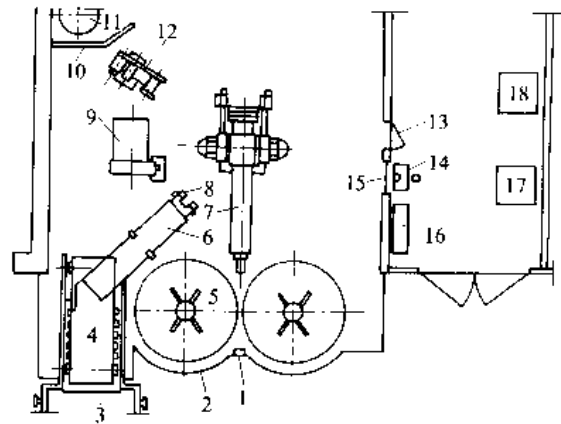


图 2·15-40 一台机器人布置的清理单元

1—操作台 2—挡板 3—清理后铸件贮存箱 4—带式输送机 5—铸件贮存台 6—溜槽 7—工业机器人 8—翻转装置 9—台架式砂轮机 10—噪声防护墙 11—工业集尘器 12—伸缩式砂轮机 13—机器人室入口 14—编程室 15—观察窗 16—液压设备 17—机器人控制室 18—外围设备控制室

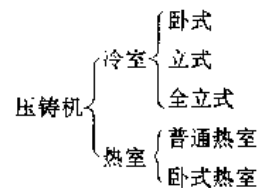
## 第 16 章 特种铸造机械化与自动化<sup>[28][61]</sup>

特种铸造设备主要包括：压铸机、金属型铸造机、低压铸造机、差（反）压铸造机、离心铸造机、实型（消失模）铸造设备、熔模铸造设备等。

### 1 压铸机

#### 1.1 压铸机分类与比较

压铸机按其工作原理和结构型式分类如下：



卧式冷室压铸机与立式冷室压铸机比较详见表 2·16-1。





表 2·16-1 卧式压铸机与立式压铸机比较

(续)

卧式压铸机		立式压铸机	
优 点	缺 点	优 点	缺 点
压力损失小	金属液在压射前易流入型腔,压室内金属液面必须低于横浇口下沿	压射前金属液不会流入型腔中	金属液转90°进入浇道,压力损失大
浇注后任何时间都可开型,压射冲头可从压室内推出余料,生产率高	压射冲头经常与热金属接触,膨胀严重,因此,压室内部磨损较大	采用中心浇口方便	反料冲头未截断浇口余料前,不能开型,生产率低
由于浇道直径大,无转折,金属流动性损失少	使用复杂的型具,才能压铸具有中心浇口的铸件	占地面积小	由压室到型腔有两个转折,液体流动性降低;金属余料较大,利用率不高

卧式压铸机		立式压铸机	
优 点	缺 点	优 点	缺 点
压室内可用较高比压;调整更换方便			许多配合零件,压室、喷嘴、压射冲头等,调整、更换不便
机器结构简单,操作方便			机器结构、安装及管路都较复杂

1.2 冷室压铸机

冷室压铸机的压室和熔炉是分开的,压铸时从保温炉中舀取金属液倒入压室内,再进行压铸。

1.2.1 卧式冷室压铸机

卧式冷室压铸机的压室中心线垂直于型具分型面,称为水平压室。其工作原理见图 2·16-1。6300kN 卧式冷室压铸机见图 2·16-2。

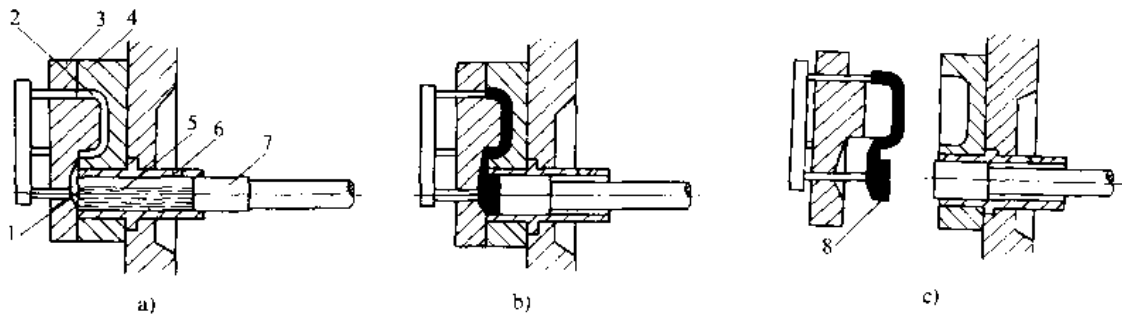


图 2·16-1 卧式冷室压铸机工作原理示意图

a) 合型 b) 压铸 c) 开型

1—浇道 2—型腔 3—动型 4—静型 5—液态金属 6—压室 7—压射头 8—余料

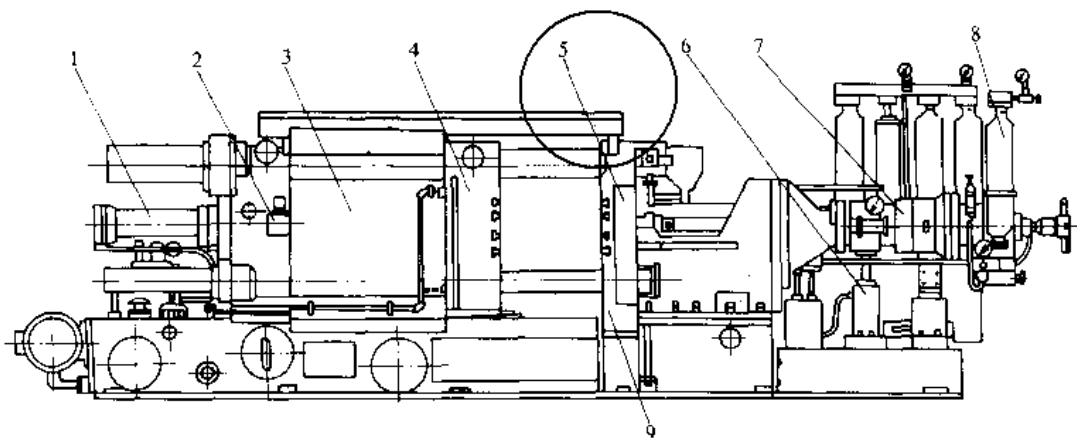


图 2·16-2 6300kN 卧式冷室压铸机

1—合型缸 2—润滑油泵 3—防护门 4—动型板 5—操作箱 6—压射升降缸 7—压射缸 8—增压蓄能器 9—静型板



卧式冷室压铸机压室简单, 维修方便。在工艺上, 卧式冷室压铸机液体金属进入型腔流程短, 压力损失小, 有利于传递最终压力, 便于提高比压, 故应用较广泛。同时由于压射缸采用卧式, 可以采用大压力, 适合于大规格的压铸机, 目前这类压铸机最大已达 40000kN 合型力。压出的铝铸件可达 80kg。

### 1-2-2 立式冷室压铸机

立式冷室压铸机压室的中心线平行于型具的分型面, 称为垂直侧压室。其工作原理见图 2-16-3。立式冷室压铸机压室内空气不会随液态金属进入型腔, 便于开设中心浇口, 但由于有切断、顶出余料的下油缸, 结构比较复杂。2500kN 立式冷室压铸机见图 2-16-4。

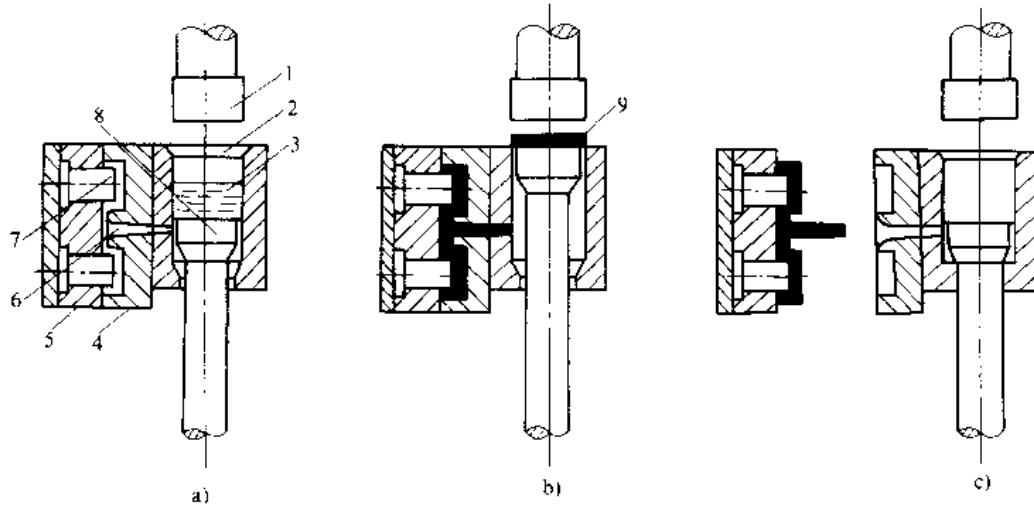


图 2-16-3 立式冷室压铸机工作原理示意图

a) 合型 b) 压铸、顶出余料 c) 开型

1-压射冲头 2-压室 3-液态金属 4-静型 5-动型 6-浇道 7-型腔 8-反料冲头 9-余料

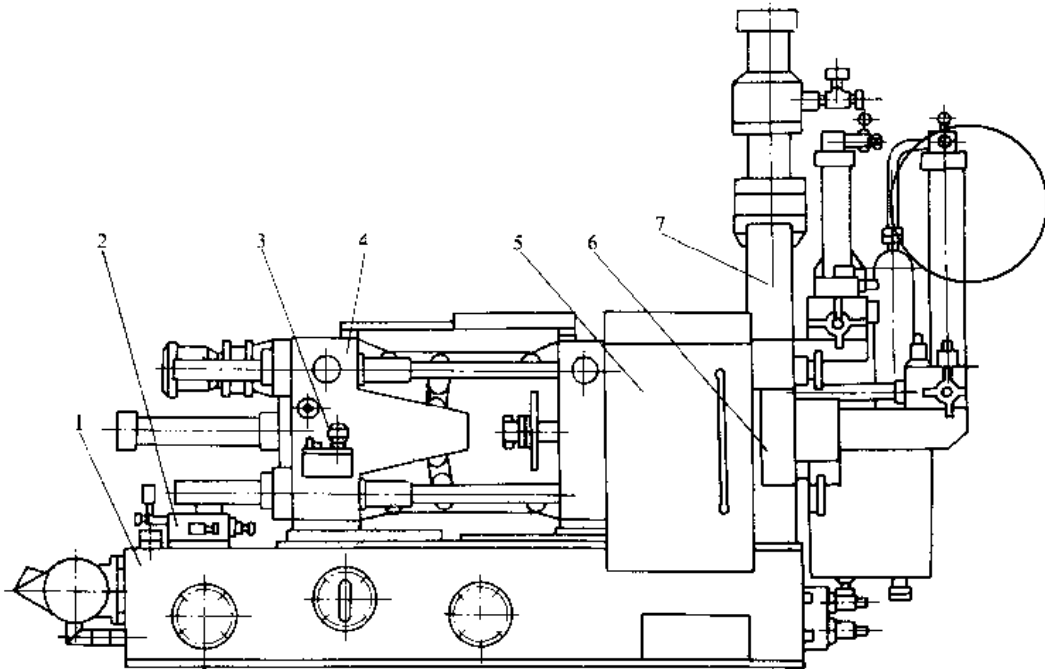


图 2-16-4 2500kN 立式冷室压铸机

1-机座 2-液压阀板 3-润滑泵 4-合型机构 5-防护门 6-操作箱 7-压射机构



1.2.3 电机转子压铸机

电机转子压铸机是用压铸法使电动机转子导线槽充满高纯的铝,并同时铸出端部的通风叶轮,其压铸型装配如图 2·16-5 所示。为了提高生产率和保证质量,发展了自动电机转子压铸机。这套装置的工作顺序见图 2·16-6。

1.3 热室压铸机

热室压铸机的压室与合金熔化炉联成一体,压室浸在保温坩埚的液体金属中,压射机构装在坩埚上面,用机械机构或压缩空气所产生的压力进行压铸。压铸过程如图 2·16-7 所示。当压射冲头 3 上升时,液态金属 1 通过进口 5 进入压室 4 内,合型后,在压射冲头下压时,液体金属沿着通道 6 经喷嘴 7 充填压铸型 8,冷却凝固成形,然后开型取件,完成一个压铸循环。

250kN 热室压铸机见图 2·16-8。

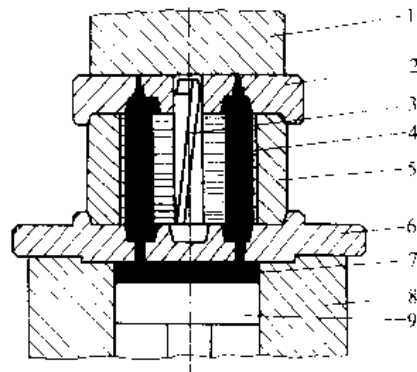


图 2·16-5 电机转子压铸型装配图  
1—上压头 2—上型 3—芯轴 4—铁芯  
5—中型 6—下型 7—余料饼  
8—压射缸 9—压射活塞

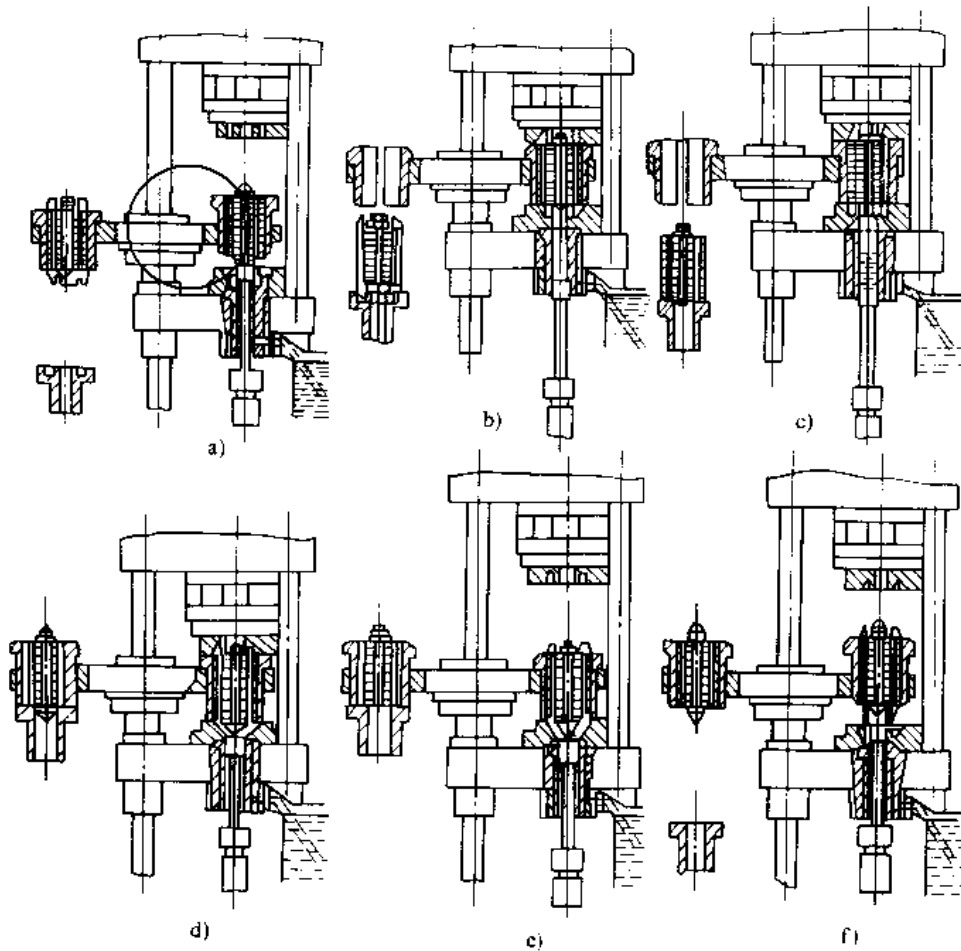


图 2·16-6 自动电机转子压铸机工作顺序简图

- a) 传送器旋转,把铁芯送到压铸型中心
- b) 合型
- c) 气动定量浇注器工作
- d) 压射冲头由下向上压射
- e) 动型座板上升
- f) 压射冲头从下面的定型内顶出铸件



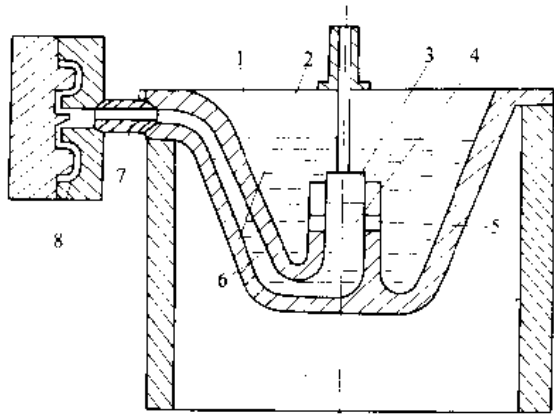


图 2-16-7 热室压铸机工作原理示意图

- 1—液态合金 2—坩埚 3—压射头 4—压室
- 5—合金进口 6—通道 7—喷嘴 8—压铸型

1.4 压铸机主要机构

1.4.1 合型机构

开合型及锁型机构统称合型机构，用于压铸机动型部分的开型或合型。合型机构按其传动形式分为动力式合型机构和机械式合型机构。动力式合型机构中应用最普遍的是全液压合型机构，见图 2-16-9。其合型动作是通过向内合型缸  $C_2$  通入高压油，使内缸 1 向右运动，带动外缸 6 与动型座板 7 向右运动。待动型合拢后，通过增压器口 8 使外合型缸中的低压油突然增压，使在压射金属时，合型力增大，压铸型不致胀开。开型时，将内合型缸  $C_2$  及外合型缸  $C_3$  均与卸压系统接通，(开型缸  $C_1$  保持常高压)，则开型缸  $C_1$  中的高压

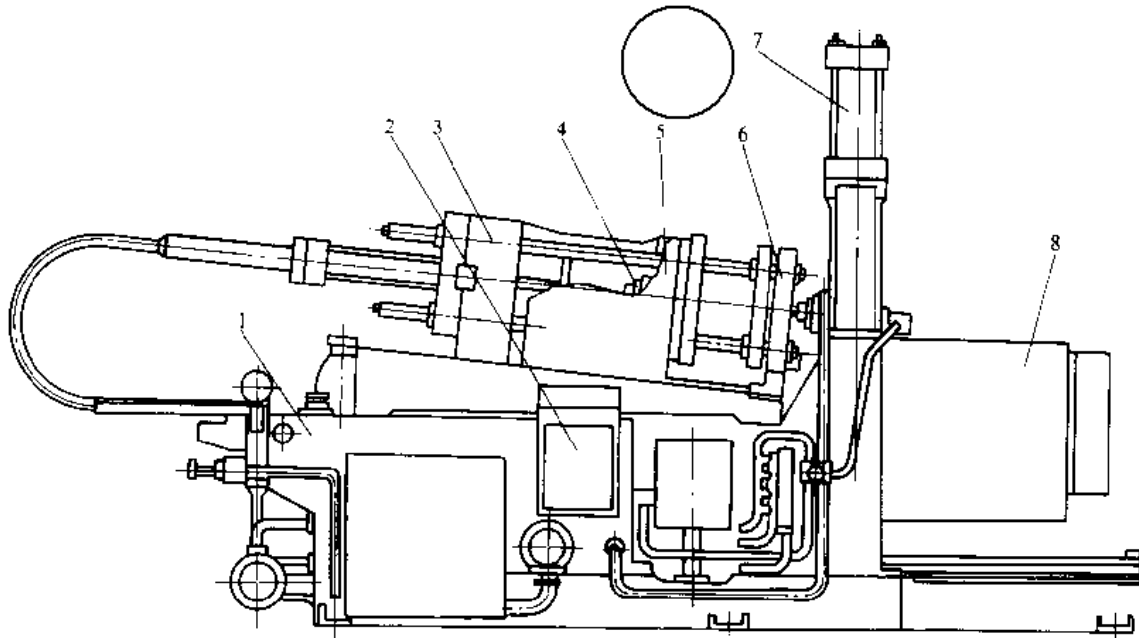


图 2-16-8 250kN 热室压铸机

- 1—床身 2—操作箱 3—合型机构 4—顶出缸 5—防护门 6—静型板 7—压射缸 8—电炉

油使内缸 1 被缓缓向左推动，压铸型随即打开。这种机构的特点是结构简单，在安装不同厚度压铸型时容易调整。但对大型压铸机因合型速度缓慢，动力消耗太大，机构的刚性和合型力可靠性差，因此，这种机构一般只用在小型压铸机上。

机械式合型机构分为曲肘式、斜楔式和混合式三种。目前大部分压铸机，特别是大型压铸机多采用曲肘式。与全液压式相比，合型缸径可大大减小，合型速度快，刚性好，控制简单。但调整较麻烦，对材料和加工要求也高。图 2-16-10 曲肘式合型机构示意图。

1.4.2 压射机构

压射机构是实现压铸工艺的关键部分，它的结构性能决定了压铸过程中的压射速度，增压时间等主要参数，对铸件的表面质量、轮廓尺寸、力学性能和致密性，都有直接影响。为了满足压铸基本工艺特性的需要，现代冷室压铸机应满足如下要求：

(1) 作用在压室内液体金属上的比压能够在一定范围内调整；增压时间要小于 0.03s，以便压力能在铸件凝固前，及时地传至型腔内；增压时的冲击压力峰要



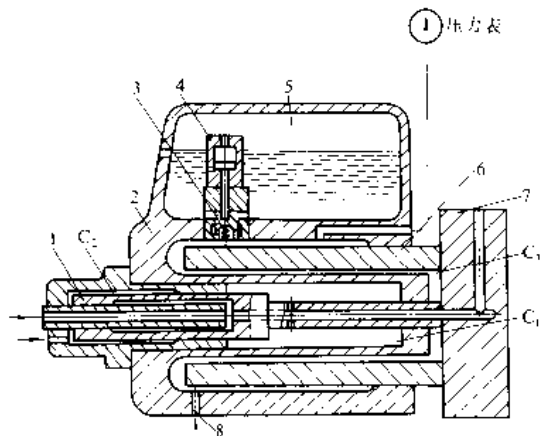


图 2-16-9 全液压合型机构简图

- 1—内缸 2—合型缸座 3—充填阀塞 4—充填阀  
5—充填油箱 6—外缸 7 动型座板 8 增压器  
□ C<sub>1</sub>—开型缸 C<sub>2</sub>—内合型缸 C<sub>3</sub>—外合型缸

尽可能小，防止压型被胀开，降低铸件的尺寸精度。

(2)应具有三级或四级压射速度，以满足不同压射阶段的要求。在各压射阶段，压射速度均应单独调整。

具有增压器的压射机构原理图见图 2-16-11。

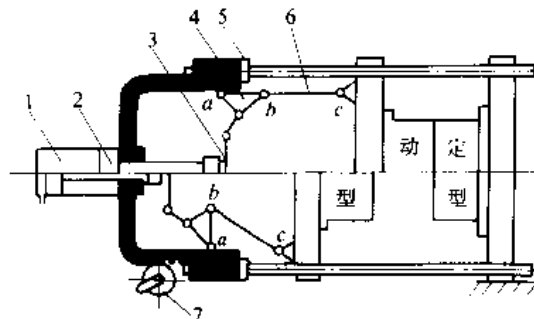


图 2-16-10 曲肘合型机构示意图

- 1—液压合型缸 2—合型活塞 3—连杆 4 三角形铰链 5—螺帽 6—力臂 7 齿轮

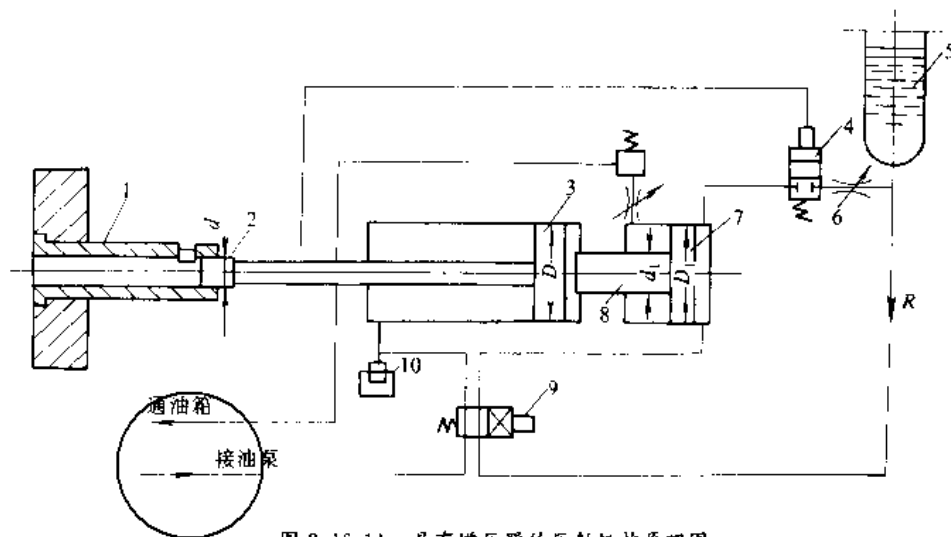


图 2-16-11 具有增压器的压射机构原理图

- 1—压室 2—压射冲头 3—压射活塞 4—压射阀 5—蓄能器 6—节流阀 7—增压活塞  
8—增压活塞杆 9—换向阀 10—快速液控单向阀

### 1.5 新型压铸机

由于压铸是在极短时间内完成充型过程的，很容易造成气体的卷入而影响压铸件的质量。为此，发展了加氧压铸机和真空压铸机，中压压铸机也获得了较快发展。有些压铸机的合型机构采用倾斜形式。

加氧压铸是在铝金属液充填型腔之前，用氧气充填压室和型腔，以取代其中的空气和其他气体。其特点是：消除或减少了气孔，提高铸件的质量；结构简单，操作方便，投资少。图 2-16-12 为加氧压铸装置示意图。

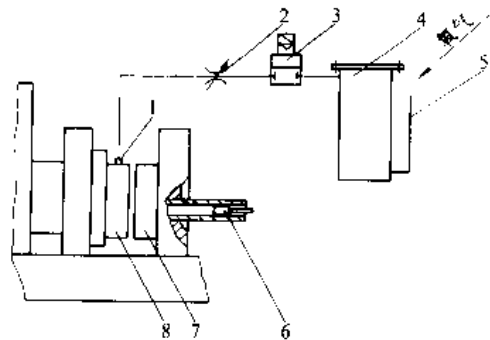


图 2-16-12 加氧压铸装置示意图

- 1—管接头 2—节流阀 3—电磁阀 4—干燥器  
5—通氧软管 6—压射冲头 7—静型 8—动型



真空压铸是先将压铸型腔内空气抽除,然后再压入液体金属。其特点是:可消除或减少压铸件内部的气孔,提高铸件的力学性能和表面质量;压铸时大大地减少了型腔的反压力,可使用较低的比压及铸造性能较差的合金。缺点是:密封结构复杂,制造及安装较困难。图2·16-13为真空压铸真空系统示意图。

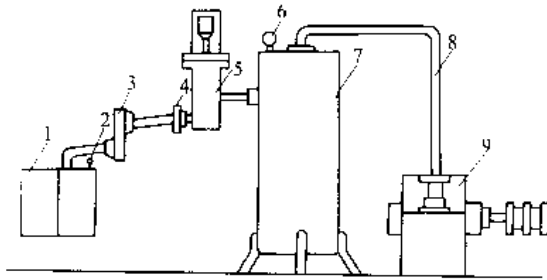


图 2·16-13 真空压铸真空系统示意图

- 1—压铸型 2—真空表 3—过滤器 4—接头
- 5—真空阀 6—电真空表 7—真空罐
- 8—真空管道 9—真空泵

## 2 压铸生产自动化

压铸生产自动化主要包括:压室、型具上涂料及压铸机润滑的自动化;合金浇注自动化;铸件脱型及取出的自动化;工作液、型具及压室的冷却和加热系统自动化等。

### 2.1 压铸型自动喷涂料装置

这种装置主要是向型腔表面均匀地喷涂分型剂,以保护压铸型腔表面并使压铸件顺利脱离,同时还有吹气清理和冷却压铸型的作用。喷涂料装置分为固定式和移动式两类。固定式主要是固定在动型和静型上,因此只适用于小型压铸机和形状简单的铸件,移动式多用于中大型压铸机和较复杂的铸件。

### 2.2 液体金属自动浇注设备

压铸中液体金属的输送包括两个方面:即从熔化炉输送到保温炉,再由保温炉送入压铸机压室。前者一般使用中间包或者管道输送;后者有如下几种方法:机械浇注、压力浇注和电磁泵浇注等。

#### 2.2.1 机械式自动浇注机

机械式自动浇注机分为直线往复式和回转式两

种类型。回转式又分为液压回转式和多连杆回转式两种。上述几种浇注方法的共同缺点是舀料时搅动金属液,易产生氧化夹杂,造成铸件缺陷。直线往复式浇注机见图2·16-14。其工作程序是:舀料→浇注→复位→定量调节。液压回转式输送定量浇注装置见图2·16-15,该装置是靠油缸带动齿条齿轮驱动回转臂旋转,带动浇勺实现自动浇注。多连杆回转式自动定量浇注机见图2·16-16。该机用直流调速电机分别驱动进给运动和浇包定量与浇注动作,两个运动的速度可方便的调节,以适应不同的浇注工艺需要。同时,还设有金属液面跟踪,在保温炉中的金属液随着浇注次数的增加而不断减少时,仍保证浇包能浸入液面规定的深度。这种浇注机的一次最大浇注金属液量为9kg(铝合金)。

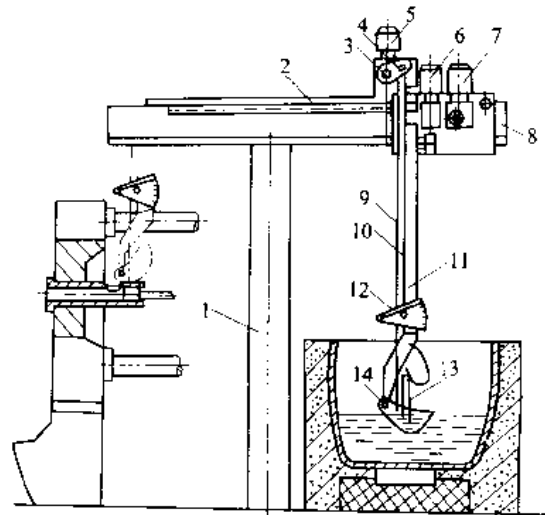


图 2·16-14 直线往复浇注机示意图

- 1—支柱 2—导轮齿条 3—减速器 4—浇包复位行程开关调节扇形盘
- 5—浇注电机 6—升降电机 7—主进给电机 8—导轨 9—连杆
- 10—微调连杆 11—升降杆 12—调整柄
- 13—探针 14—浇包轴

#### 2.2.2 压力式自动浇注机

1. 减压式自动浇注机 图2·16-17为减压式自动浇注示意图。这种浇注机由真空泵抽出压射室和加热管内的空气,液体金属由保温炉经加热管流入压射室,输送的金属量由真空系统控制。

2. 气压式自动浇注机 这种浇注机是将压缩空气送入保温炉的气室内,加于于液体金属面上,被压出的金属通过供料管流入压射室内。图2·16-18为气压



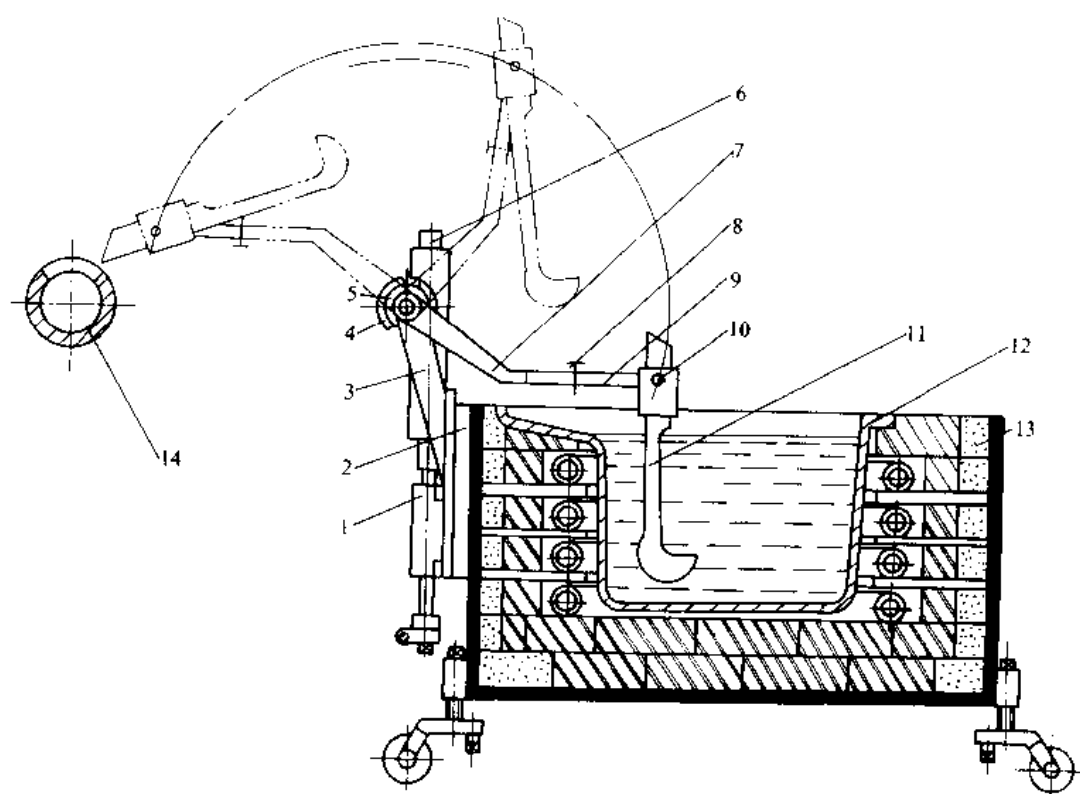


图2-16-15 液压回转式输送定量浇注机工作示意图

- 1—油缸 2—水套 3—轴架 4—凸轮 5—齿轮 6—齿条 7—回转臂 8—调节螺钉 9—支架  
10—小轴 11—料勺 12—坩埚 13—保温炉 14—压室

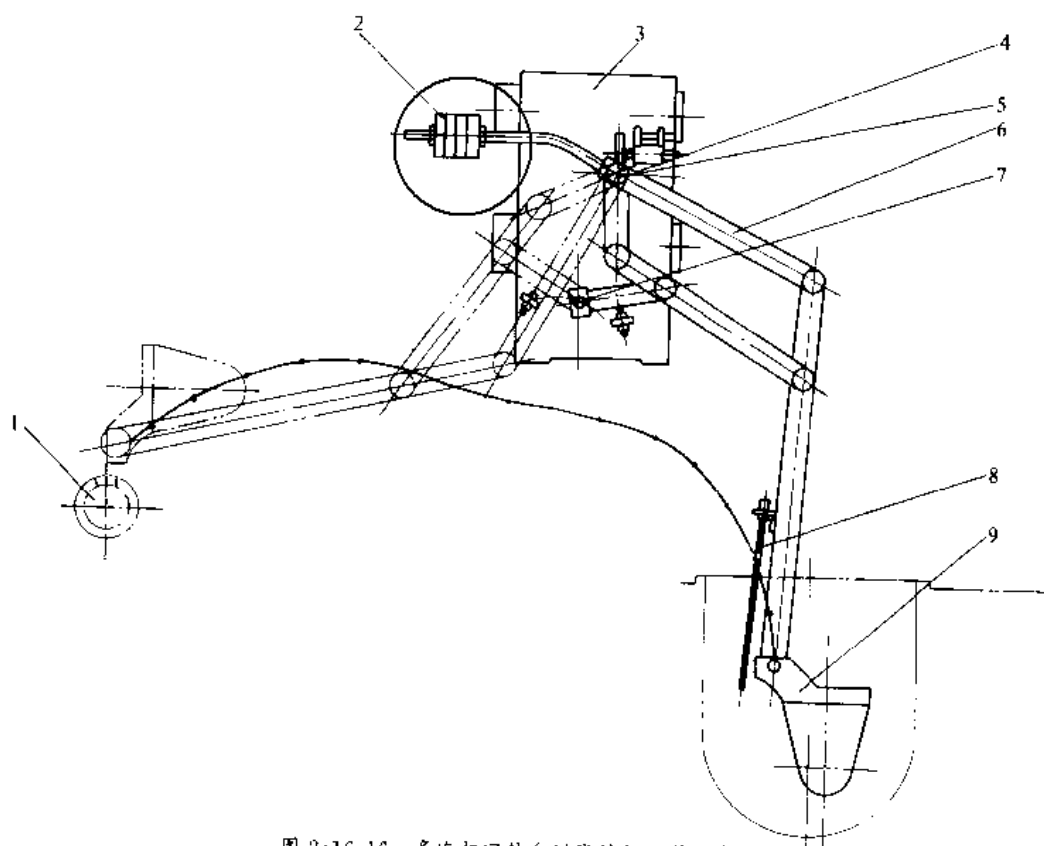


图2-16-16 多连杆回转自动浇注机工作示意图

- 1—压射室 2—配重 3—变速箱 4—定量调节螺钉 5—辅助轴 6—连杆机构 7—主动轴 8—液面探针 9—浇勺



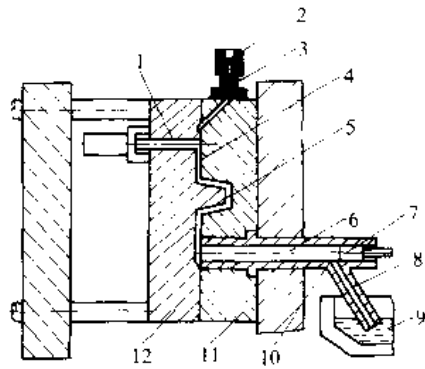


图 2-16-17 减压式自动浇注示意图  
 1-真空切断销 2-真空泵 3-真空过滤器  
 4-真空通道 5-型腔 6-压射室 7-填料  
 8-加热管 9-液体金属 10-管道填料  
 11-静型 12-动型

换或刷涂料,浇注金属的重量波动较大;气动式结构最简单,制造方便,但定量精度难于控制,工作灵活性差;电磁泵具有控制方便,定量准确的优点,但构造较复杂。

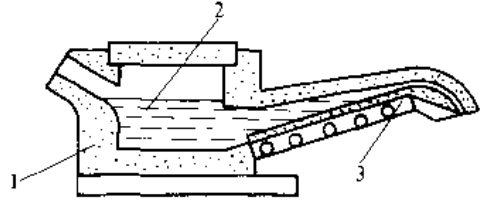


图 2-16-19 电磁泵浇注原理示意图  
 1-炉体 2-液体金属 3-感应器

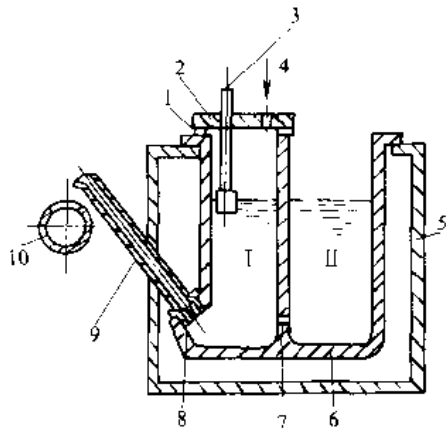


图 2-16-18 气压式自动浇注示意图  
 1-密封圈 2-盖板 3-液面指示器 4-空气进口  
 5-炉体 6-坩埚 7-分流孔 8-喷嘴  
 9-送料管 10-压射室

式自动浇注示意图。这种浇注方式与机械式浇注相比,液体金属无搅动的弊病,减少了液面的氧化,被压入型腔的金属液较干净。

### 2.2.3 电磁泵自动浇注装置

电磁泵自动浇注装置工作原理(图 2-16-19)是把一个装着液体金属的流槽放在一个线性交变的磁场中,液体金属内便产生感应电流和受到一个作用力。对不同重量铸件的定量是靠时间继电器来控制的。

上述几种方法各有其特点;机械式的结构简单,工作可靠,定量比较准确,使用灵活性大,但浇包要常更

### 2.2.4 自动浇注机械手

1. 单臂回转无探针自动浇注机械手 这种浇注机械手(图 2-16-20)用浇勺作为触点,配合电器控制来取代探针,以保证在不同液面处能舀取同样的金属液。在结构上能实现慢速取料,快速送料,慢速浇注等动作,保证了运行可靠,浇注平稳,且浇注时间短。各项参数调整方便,具有足够的准确性。

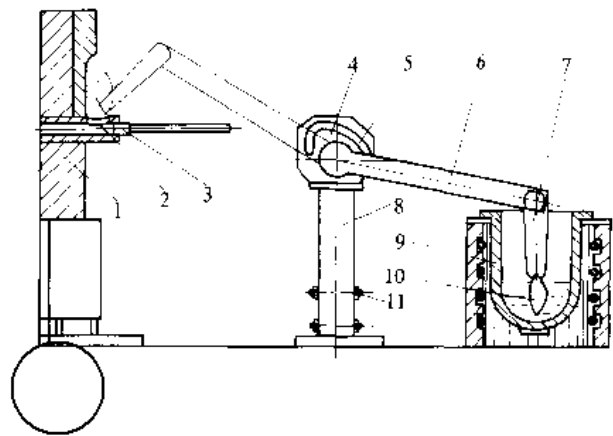


图 2-16-20 单臂回转无探针自动浇注机械手  
 1-压铸机 2-压室浇料口 3-压射冲头  
 4-旋转油缸 5-内凸轮槽 6-大臂  
 7-小臂 8-升降油缸 9-坩埚  
 10-浇勺 11-紧固螺母

2. 单缸立面回转式自动浇注机械手 如图 2-16-21所示,摇臂 8 和悬臂 5 的回转,浇勺 3 的浇注等动作,均由液压缸 9 活塞杆通过钢丝绳和钢丝绳带轮带动。活塞杆上下运动一次,带动摇臂往复摆动一次。





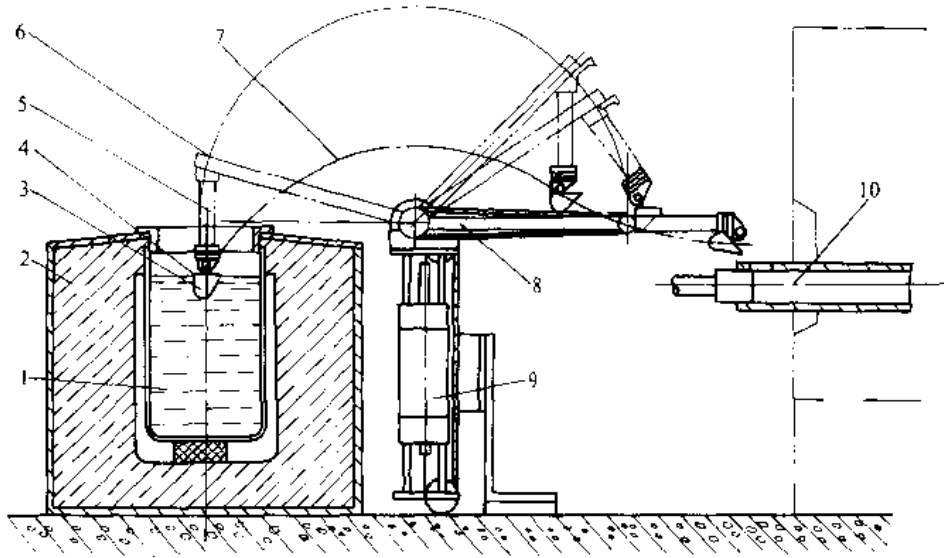


图 2-16-21 单缸回转式自动浇注机械手

1—金属液 2—保温炉 3—浇勺 4—电触点 5—悬臂 6—楔块 7—浇勺运动轨迹 8—摇臂 9—液压缸 10—压室

### 2.3 铸件取出自动化

压铸生产自动化中，自动取出铸件是比较困难的一道工序。自动取件装置可分为下落式和夹持式两种。下落式运用水冷输送机或运送板，把顶出落下的铸件，传送到压铸机外，这适用于中小型压铸机。而夹持式则

比较复杂，主要有四连杆取件机械手、电动取件机械手和气动取件机械手三种类型，多用于中大型压铸机。

#### 2.3.1 四连杆取件机械手

四连杆取件机械手固定在压铸机上，结构比较简

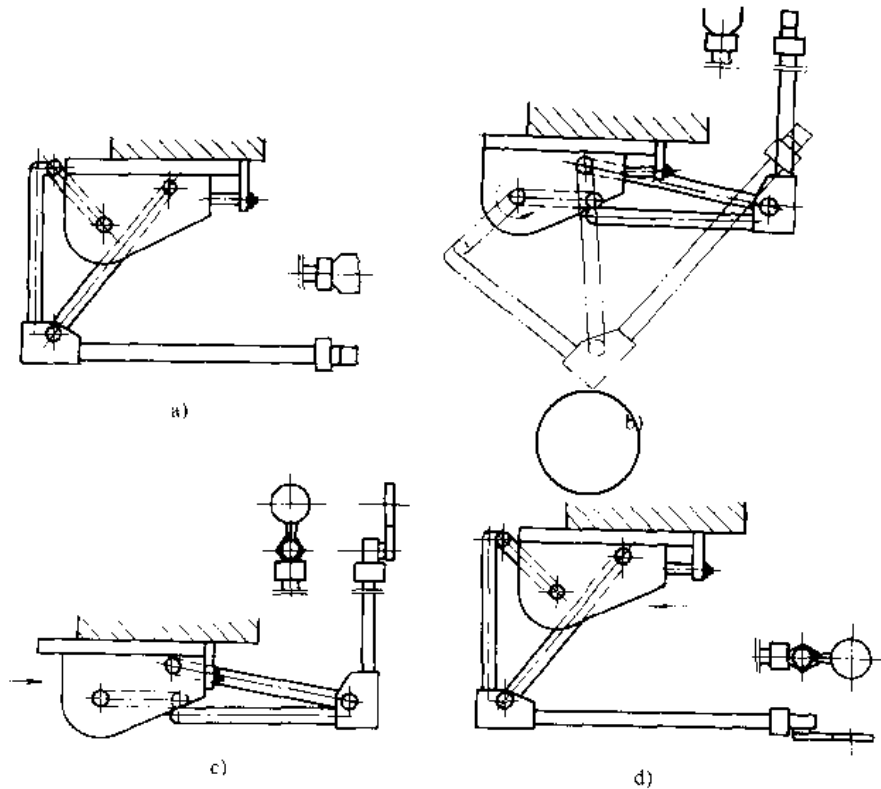


图 2-16-22 四连杆取件机械手动作示意图

a) 原始位置 b) 沿“S”轨迹伸入型内 c) 直线前移，夹住铸件 d) 直线后退，退出型外，放松铸件



单，动力消耗也少，同时夹取铸件准确，运动平稳，动作可靠。只要更换一下夹钳夹板，就可以适应各种浇口直径的铸件。其动作过程见图 2·16-22。

2·3·2 电动自动取件机械手

电动自动取件机械手(图 2·16-23)的动作过程是：开型后夹钳伸入动、静型之间夹持铸件；摆动夹钳

将铸件送到压铸机外；张开夹钳放下铸件。

2·3·3 气动自动取件机械手

该机械手(图 2·16-24)采用气动—机械传动式结构，伸入压铸机和拔出铸件为直线运动。机械手的原始位置可在横向水平及垂直方向无级调节，以适应不同压铸型厚度和浇口位置的要求。

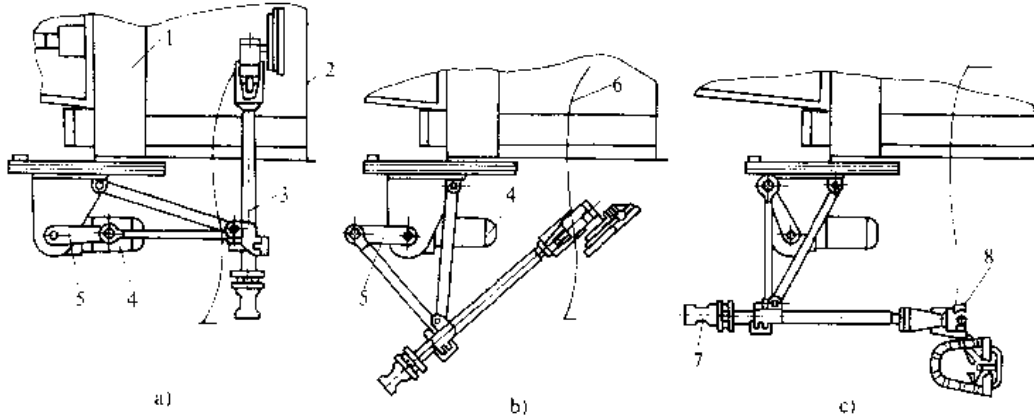


图 2·16-23 电动自动取件机械手

a) 取件 b) 机械手取件离开压铸机 c) 终端位置

1—动型 2—静型 3—转臂 4—电机 5—连杆 6—运动轨迹 7—回转电机 8—夹钳

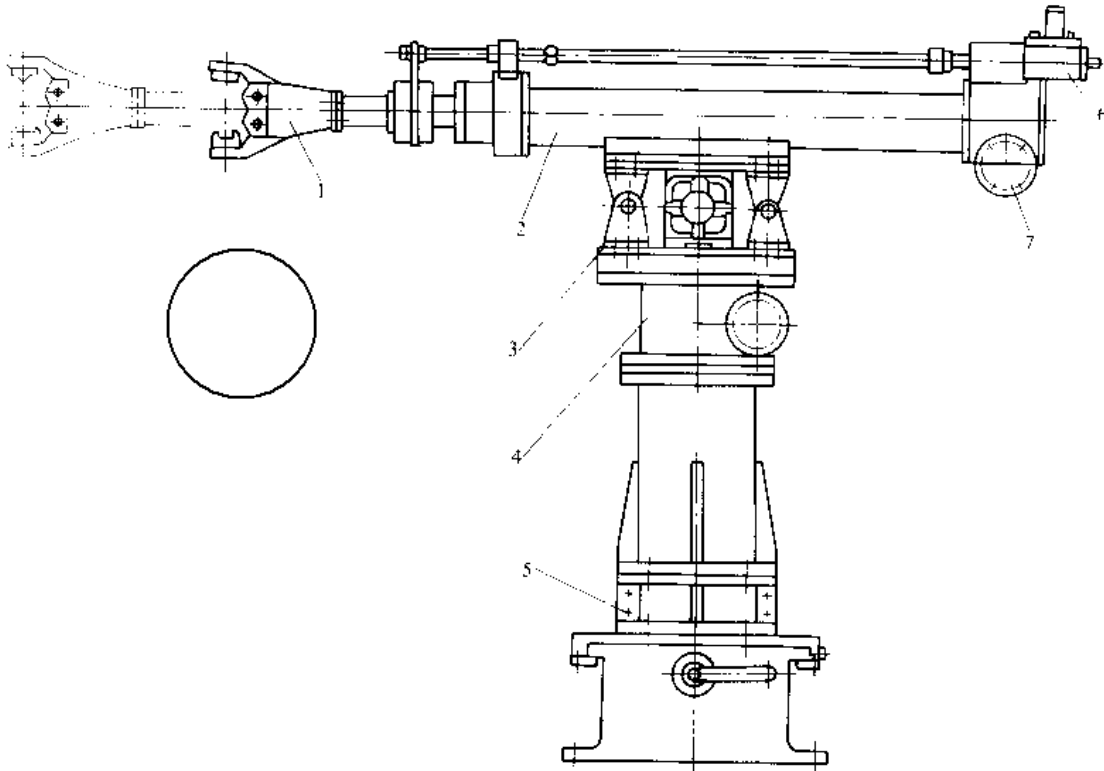


图 2·16-24 气动自动取件机械手

1—夹钳 2—伸缩缸 3—横移机构 4—回转机构 5—调整垫 6—缓冲器 7—手臂回转缸

2·4 型温自动控制

压铸型温度能影响工艺过程的所有参数，特别是

生产效率和铸件质量。

压铸型在使用前要预热到一定的温度，其主要作用避免高温液体金属对冷压铸型的热冲击以延长压铸



型使用寿命；同时，也可避免液体金属激冷造成浇不足、冷隔等缺陷。预热方法一般多用煤气喷烧，喷灯、电热器或感应加热。

在连续生产中，压铸型温度往往升高，温度过高除使液体金属产生粘型外，铸件冷却缓慢，影响压铸件的力学性能。因此在压铸型温度过高时，应采取冷却措施。通常用压缩空气，水或其他液体进行冷却。

### 2.5 压铸过程的微型计算机控制

压铸过程的控制，大都采用微型计算机实现对压铸过程的压射速度、压射力、增压时间以及对自动化装置（喷涂、浇注、取件装置等）的全系统控制，以满足多品种小批量生产的要求，提高生产率和稳定铸件质量。图 2·16-25 为微机控制压铸机系统示意图。在微机

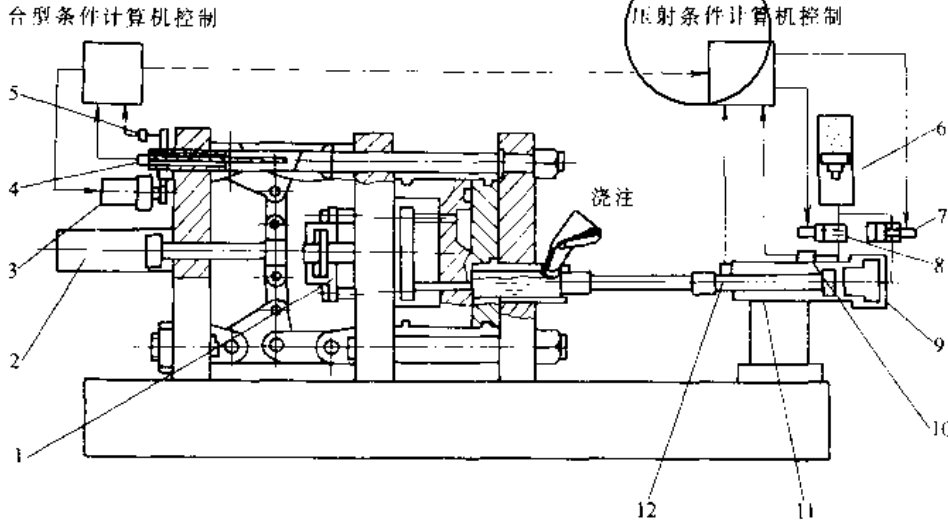


图 2·16-25 微机控制压铸机系统示意图

- 1—顶出机构 2—合型缸 3—电机 4—合型力传感器 5—压铸型厚度传感器 6—蓄能器 7—增压速度控制阀  
8—压射速度控制阀 9—增压缸 10—压射力传感器 11—压射缸 12—压射速度传感器

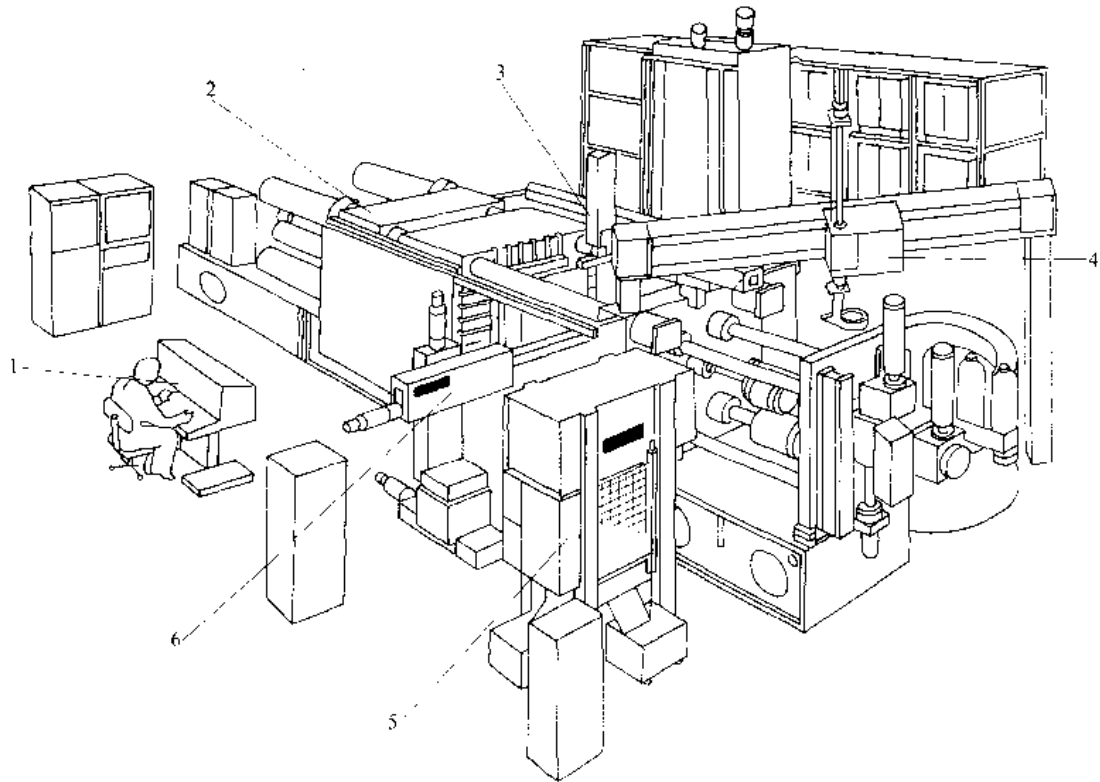


图 2·16-26 压铸柔性加工单元示意图

- 1—控制台 2—压铸机 3—自动喷涂装置 4—自动浇注装置 5—切边压力机 6—自动取件装置



控制的基础上又发展了压铸柔性加工单元(FMC),即在其规定的范围内,按照预先确定的工艺方案,生产各种零件的控制过程,其核心技术是快速更换模具和与之相关的其他零部件。图2-16-26为压铸柔性加工单元示意图。

### 3 金属型铸造机

根据结构和动力特点金属型铸造机可分为三种类型:手动金属型铸造机、机动金属型铸造机和转盘式金属型铸造机。

#### 3.1 手动金属型铸造机

这类设备结构简单,投资少,多用于中小件小批量生产,利用螺杆、齿条和杠杆来驱动金属型,进行开型、

合型及顶出铸件等工序。

#### 3.2 机动金属型铸造机

该机的动作是靠气动、液压或电动装置来实现。生产率高,劳动条件有很大改善,但是结构复杂,投资大,适用于大批量生产。

##### 3.2.1 气动金属型铸造机

气动金属型铸造机利用压缩空气为动力,借气缸活塞机构完成金属型的开合、型芯的抽拔及铸件的顶出等动作。其优点是:结构简单,制造和维修都比较容易。但是,由于压缩空气压力较低,如果铸型较大,机器结构相应较大。垂直分型气动金属型铸造机见图2-16-27。

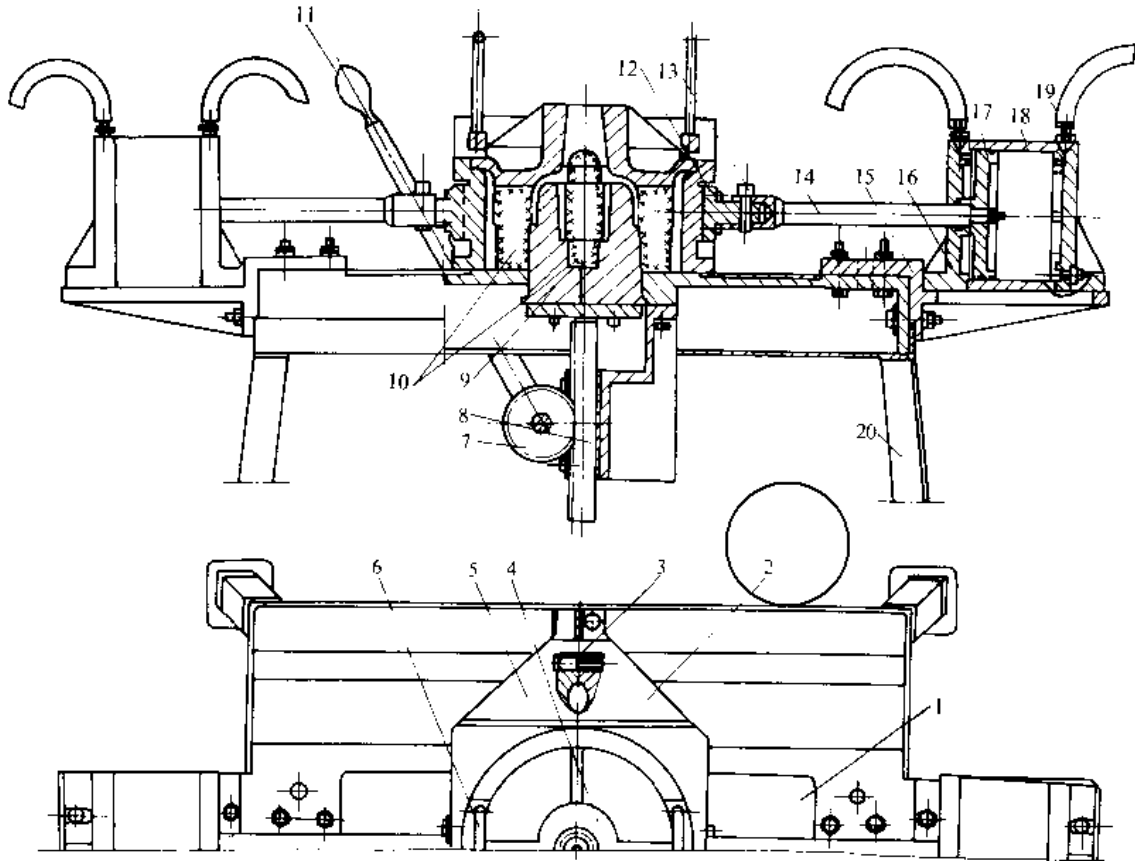


图2-16-27 垂直分型气动金属型铸造机

- 1—底座 2—右半型 3—导向销 4—上盖 5—左半型 6—把手 7—抽芯齿轮 8—抽芯齿条  
 9—金属芯 10—砂芯 11—手柄 12—接头 13—连接销 14—活塞杆 15—座板  
 16—前盖 17—活塞 18—气缸套 19—后盖 20—机架



### 3.2.2 液压金属型铸造机

该机用液压油缸带动金属型的开合型机构及抽芯

机构，与气压传动比较，机构质量小，结构紧凑。运动平稳，适用于大批量生产较大铸件。铸造缸套用液压金属型铸造机见图 2-16-28。

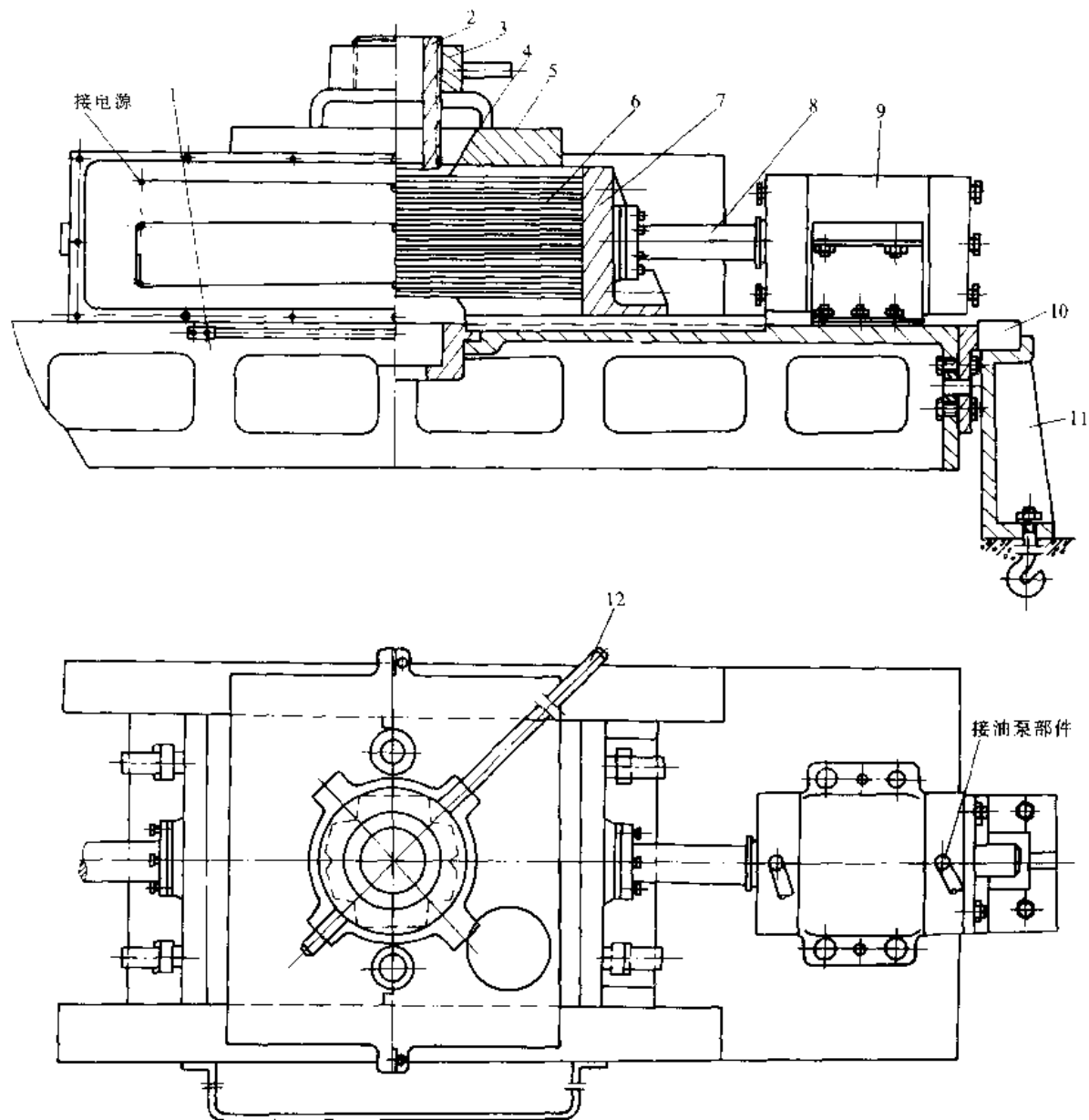


图 2-16-28 缸套液压金属型铸造机

- 1—床身 2—金属芯 3—起芯螺母 4—起芯支架 5—左、右冒口型 6—散热片 7—拉板  
8—连接杆 9—油缸 10—旋转轴 11—支架 12—手柄

### 3.3 转盘式金属型铸造机

转盘式金属型铸造机(图 2-16-29)是将若干铸型等距离地安装在一个圆盘上，每个铸型在回转

一周时，即完成一个工作循环，各个工序按顺序在一定位置上进行。在大批量生产中小件，特别是当铸件形状不太复杂时，常采用转盘式多工位金属型铸造机。



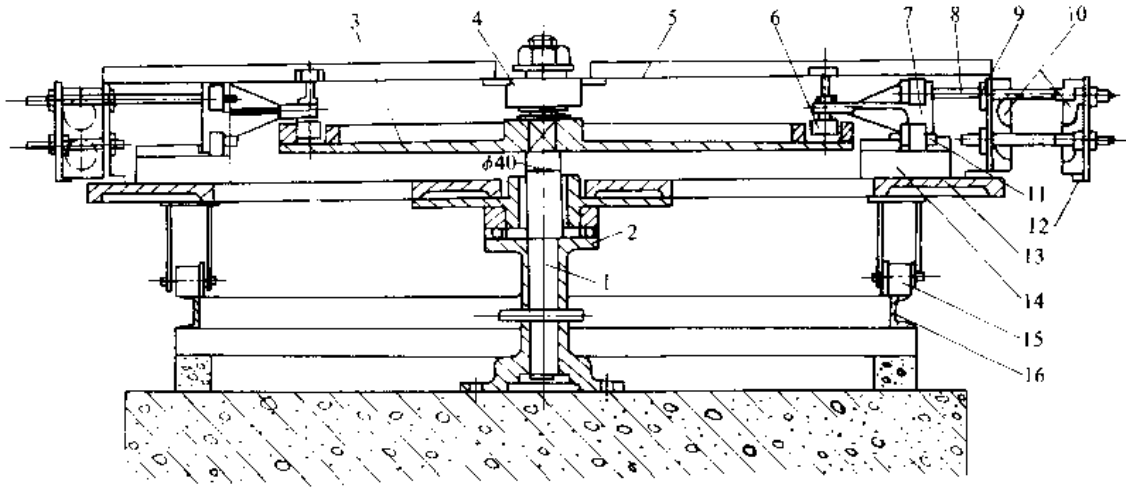


图 2-16-29 转盘式金属型铸造机

- 1—主轴 2—主轴座 3—轨道槽 4—轴套 5—导向槽 6—辊轮 7—上拖板 8—导杆 9—定型板  
10—金属型 11—中拖板 12—动型板 13—转盘 14—下拖板 15—车轮 16—轨道

#### 4 金属型铸造机械化

在大批量的金属型铸造生产时,为了提高生产率,根据铸件重量,合金种类及批量大小,可采用各种型式的机械化生产线和制造单元,也可采用积木式设计。多工位转盘式金属型铸造生产线见图 2-16-30。缸盖金属型制造单元见图 2-16-31。单元中金属铸造机的单

位生产节拍约 5.5min。这种单元布置实际上是一种宁可增加芯砂运输距离也不增加砂芯运输距离的原则。同时,由于每单元自成一体,便于管理。还有一种按积木式原理设计的金属型铸造机,见图 2-16-32。这种布置方式便于实现机械化生产,金属型尺寸可达 600mm × 500mm。

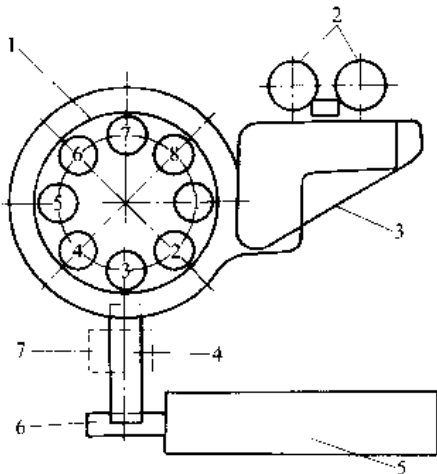


图 2-16-30 多工位转盘式金属型铸造生产线

- 1—多工位转盘机 2—冲天炉 3—浇注单轨  
4—翻板输送机 5—连续退火炉 6—铸件进炉装置 7—去除浇冒口装置

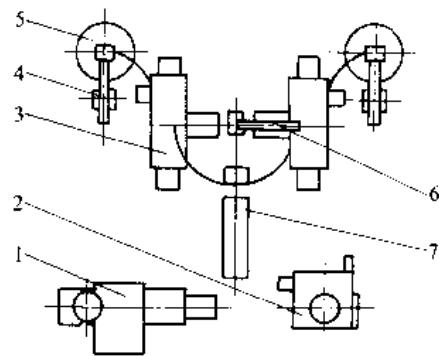


图 2-16-31 缸盖金属型制造单元

- 1、2—制芯机 3—金属型铸造机 4—浇注机械手  
5—保温炉 6—取件机械手 7—轨道



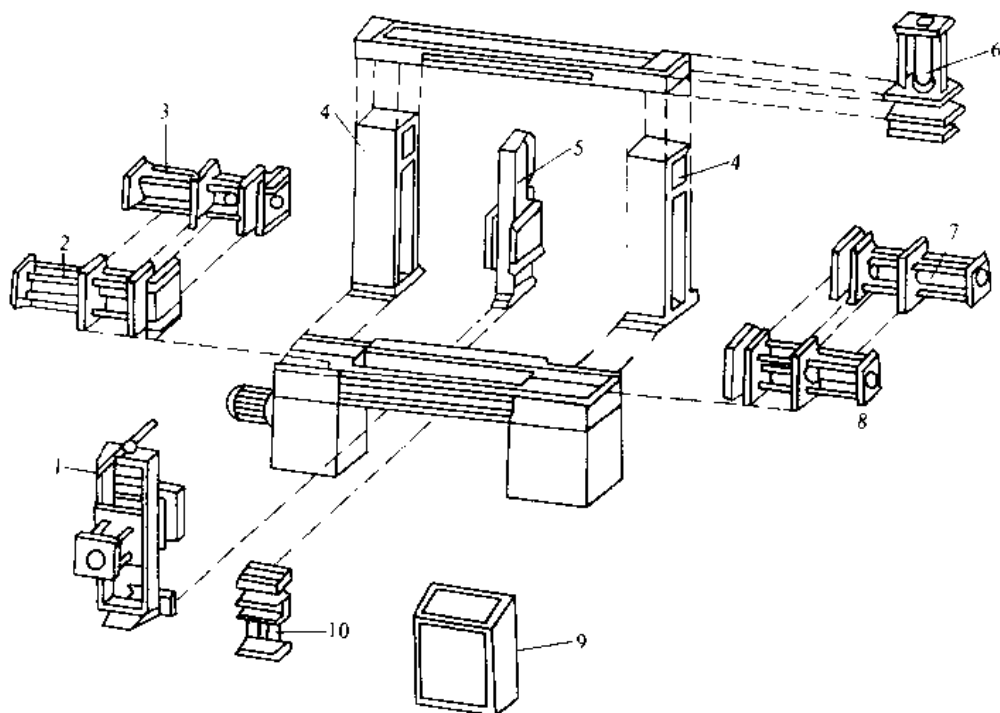


图 2-16-32 积木式金属型铸造机

1—前、后抽芯机构 2、8—无抽芯缸的合型机构 3、7—有抽芯缸的合型机构 4—机器主体 5—中间板  
6—上抽芯缸 9—控制柜 10—下抽芯缸

## 5 低压铸造机

低压铸造机由保温炉及附属装置,铸型开合系统和液面加压控制系统三部分组成。

### 5.1 保温炉及附属装置

目前应用最广泛的低压铸造保温炉是电阻炉。电阻炉坩埚是高温下承受压力的容器,因此要求材料有一定的高温强度,热稳定性及抗侵蚀能力,一般多选用耐热铸铁作坩埚材料,为了延长坩埚使用寿命,一般在坩埚内壁涂涂料。升液管是金属充填铸型的通道,它的上端要与铸型连接配合,下部浸泡在金属液里,本身又要与密封盖密切配合,所以升液管是一个非常重

### 5.2 铸型与炉体的配合

低压铸造的开合型机构与炉体部分的配合,可由机架移动式

和炉体移动式两种方式来实现。

1. 液压机架移动式低压铸造机 这种移动机构(图 2-16-33),采用平行四连杆机构原理,靠移动油缸带动,移动时机架按圆弧轨迹运动,其工作面始终保持水平。调换升液管和坩埚较为方便,并能保证铸型和升液管的配合定位。

2. 炉体移动式低压铸造机 炉体移动式低压铸造机是轮子装在炉体上,机架则固定不动,工作时炉体移到机架的下方。图 2-16-34 是炉体移动式低压铸造机。采用液压传动移动炉体,液压管道可以全部采用硬管,对于防漏和维修是方便的。但这种型式的缺点是需

要较大较深的地坑,增加了土建工作量。

图 2-16-35 是另一种炉体移动式六工位低压铸造机简图。机器不需要较大的地坑,圆盘工作台利用槽轮机构作间歇转位。拨盘由减速箱上的输出轴直接带动,其转速为 6r/min。



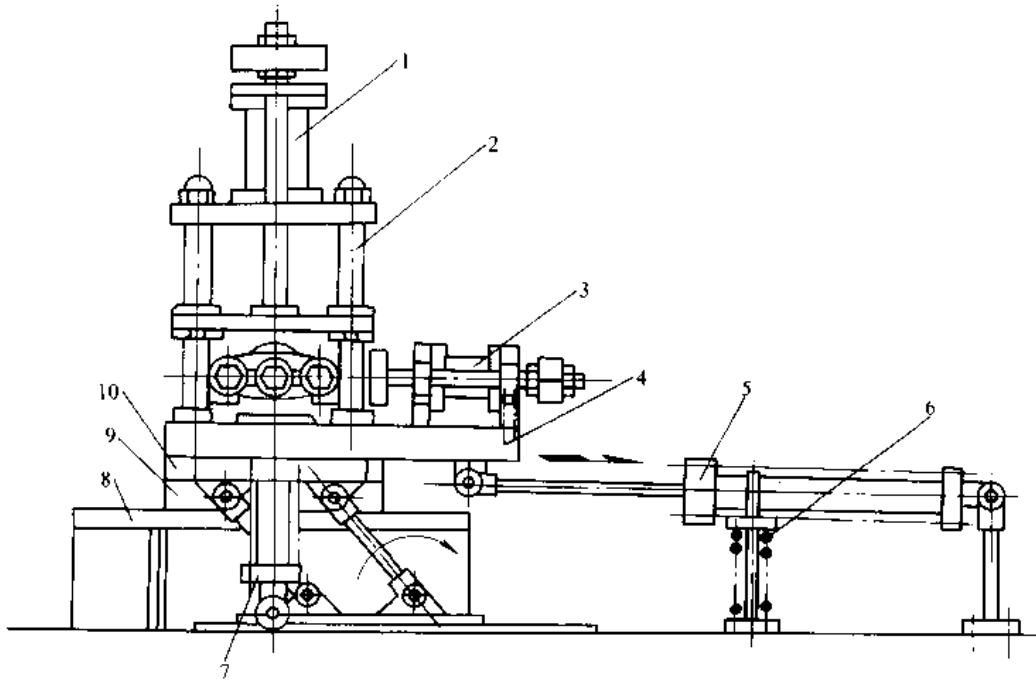


图 2-16-33 液压机架移动式低压铸造机

- 1—主油缸 2—立柱 3—侧油缸 4—底板 5—移动油缸 6—弹簧 7—顶起油缸  
8—保温炉 9—坩埚 10—密封盖

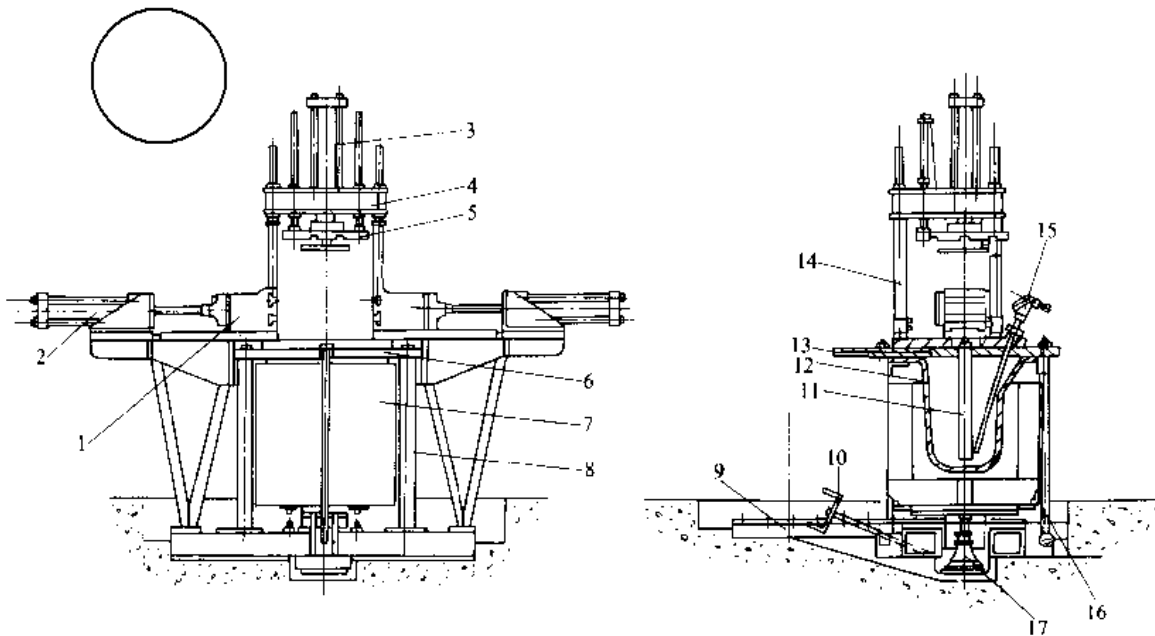


图 2-16-34 炉体移动式低压铸造机

- 1—动型板 2—水平开合型油缸 3—主开合型油缸 4—横梁 5—动型板 6—基准板 7—保温炉  
8—机架立柱 9—轨道 10—手柄 11—升液管 12—坩埚 13—进气口 14—立柱  
15—热电偶 16—紧固螺栓 17—千斤顶





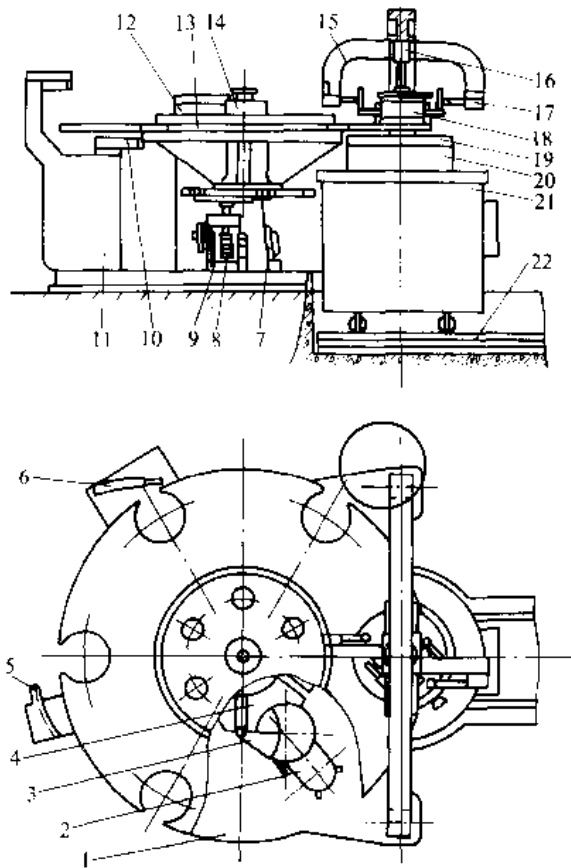


图 2-16-35 六工位低压铸造机

- 1—机座 2—减速箱 3—拨盘 4—转盘 5—开型曲线板 6—合型气缸 7—电机 8—凸轮 9—气电开关 10—刹车气缸 11、12—支座 13—工作台 14—主轴 15—支架 16—龙门架 17—加压和起型气缸 18—铸型 19—密封盖 20—坩埚 21—保温炉 22—钢轨

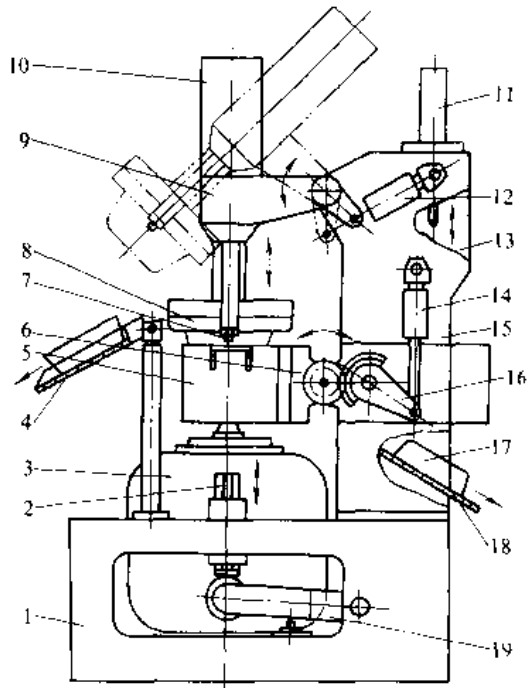


图 2-16-36 炉体、铸型移动式低压铸造机

- 1—浇注装置 2—导轨 3—电炉 4、18—送料板 5—下型 6—下型板 7—支柱 8—上型 9—横梁 10—上杆 11—顶出器 12、14—油缸 13—机架 15—外壳 16—杠杆 17—铸件 19—液压传动机构

### 5.3 液面加压控制系统

在低压铸造中,正确地控制和掌握加压速度,是保证获得良好铸件的关键。液面加压控制系统,是整个低

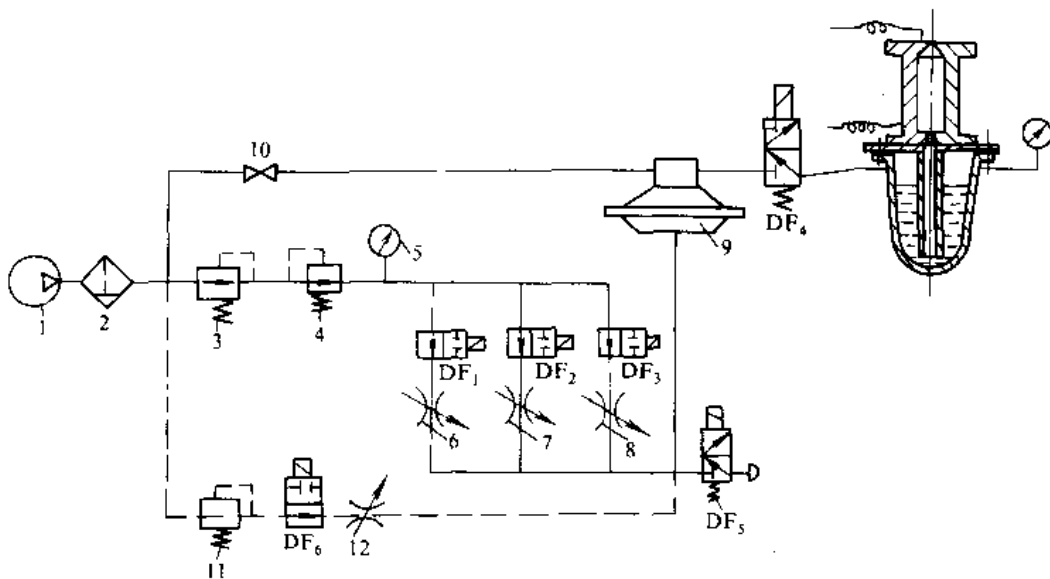


图 2-16-37 定压自动控制系统示意图

- 1—空压机 2—过滤器 3、11—减压阀 4—定值器 5—压力表 6、7、8、12—针阀 9—薄膜阀 10—截止阀 DF<sub>1</sub>、DF<sub>2</sub>、DF<sub>3</sub>、DF<sub>6</sub>—二位二通电磁阀 DF<sub>4</sub>、DF<sub>5</sub>—二位三通电磁阀



压铸机的核心部分。

图 2·16-37 是定压自动控制系统示意图。其特点是,不管液面发生下降变化,也不管坩埚空气泄漏情况发生变化,由于阀体自动根据坩埚内实际压力,调整开启程度,这就使金属液自始至终保持其“重复再现性”和上升时的“线性”性能。

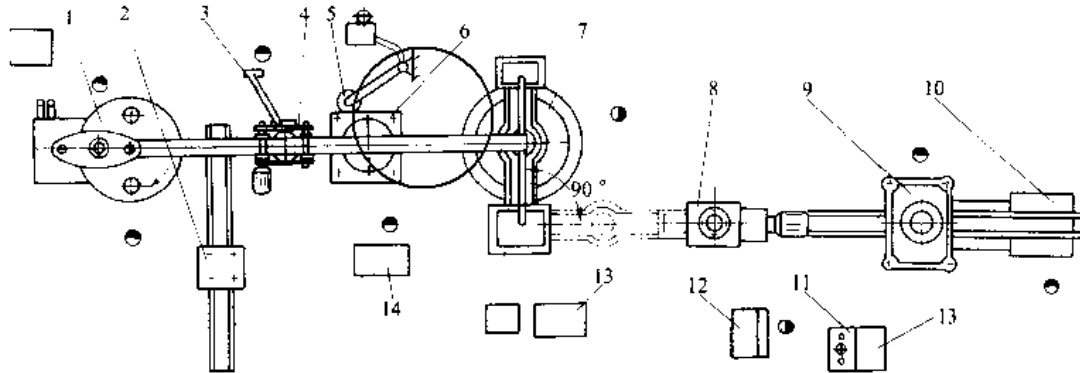


图 2·16-38 电机转子低压铸造生产线

- 1—四工位叠片油压机 2—手动进料小车 3—悬挂式按钮盒 4—气动机械手 5—抽烟装置 6—感应线圈  
7—低压铸造机 8—电动小车 9—切浇口油压机 10—水冷退模轴, 热套真轴工位  
11—切浇口油压机控制台 12—低压铸造机控制台 13—油箱 14—中频电源

### 7 差(反)压铸机

差(反)压铸机由上下压力筒构成,中间以中隔板隔开。铸型放在上压力筒内,保温炉则放在下压力筒

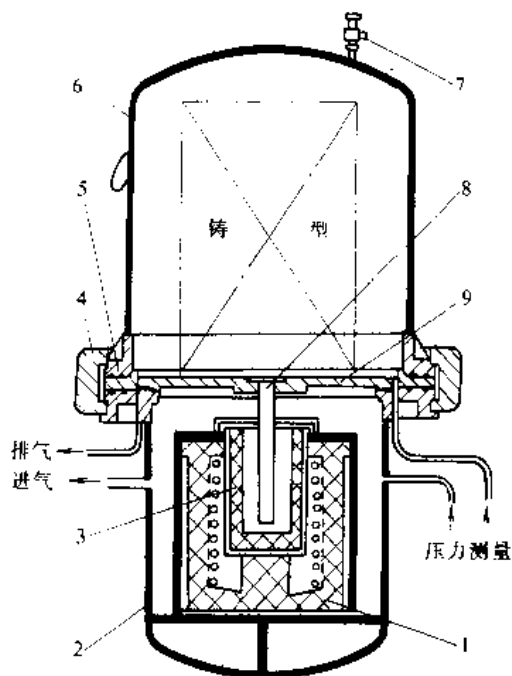


图 2·16-39 差(反)压铸机结构图

- 1—保温炉 2—下压力筒 3—坩埚 4—卡环 5—“O”形圈 6—上压力筒 7—安全阀 8—升液管 9—盖

### 6 低压铸造机械化示例

图 2·16-38 是电机转子低压铸造生产线平面布置图。生产线各台设备均采用液压、气压驱动,单独操纵,可以独立生产,有利于检修和故障排除,同时型具的安装更换也比较简单,便于组织多品种生产。

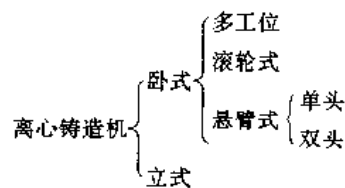
内,金属液通过升液管压向铸型型腔,上下压力筒以插销定位,并以“O”形密封圈密封,最后用带斜面的下环锁紧。差(反)压铸机结构见图 2·16-39。

由于是通过压力差来控制 and 调节充型速度,并在高压下结晶,大大减少了气孔和缩松,提高了铸件的力学性能,尤其是伸长率提高更多。

近年来发展的差(反)压铸机,上压力筒可以分节,下压力筒既作炉体又作压力筒。

### 8 离心铸造机

离心铸造机分类如下:



#### 8.1 悬臂单头卧式离心铸造机

图 2·16-40 为悬臂单头卧式离心铸造机。其铸型的转速可根据铸件的不同,选择 840~1170r/min,用于浇注最大外形尺寸为  $\phi 350\text{mm} \times 340\text{mm}$  的铸件,并且可以更换内型,以浇注不同尺寸的铸件。这种离心铸造机,结构简单,但由于主轴上只一端有荷重,因而不能浇太大件。



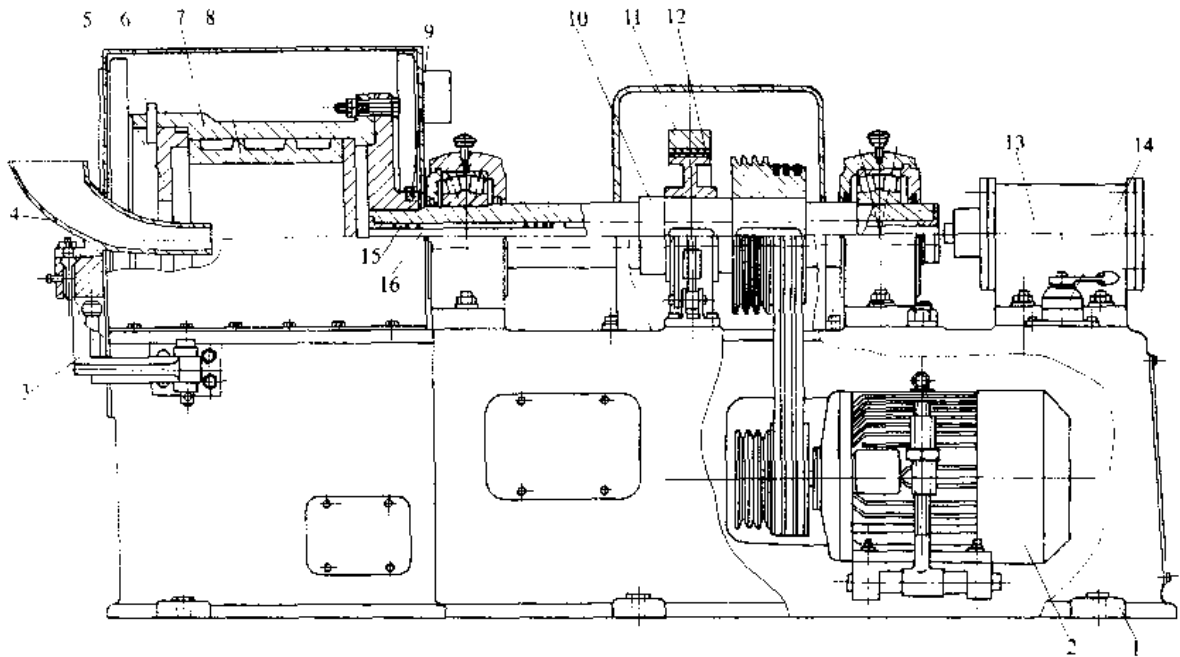


图 2-16-40 悬臂单头卧式离心铸造机

- 1—机座 2—电动机 3—浇槽支架 4—浇槽 5—端盖 6—销子 7—外型 8—内型 9—保险挡板  
10—主轴 11—闸板 12—制动轮 13 顶杆气缸 14—三通阀 15—复位弹簧 16—顶杆

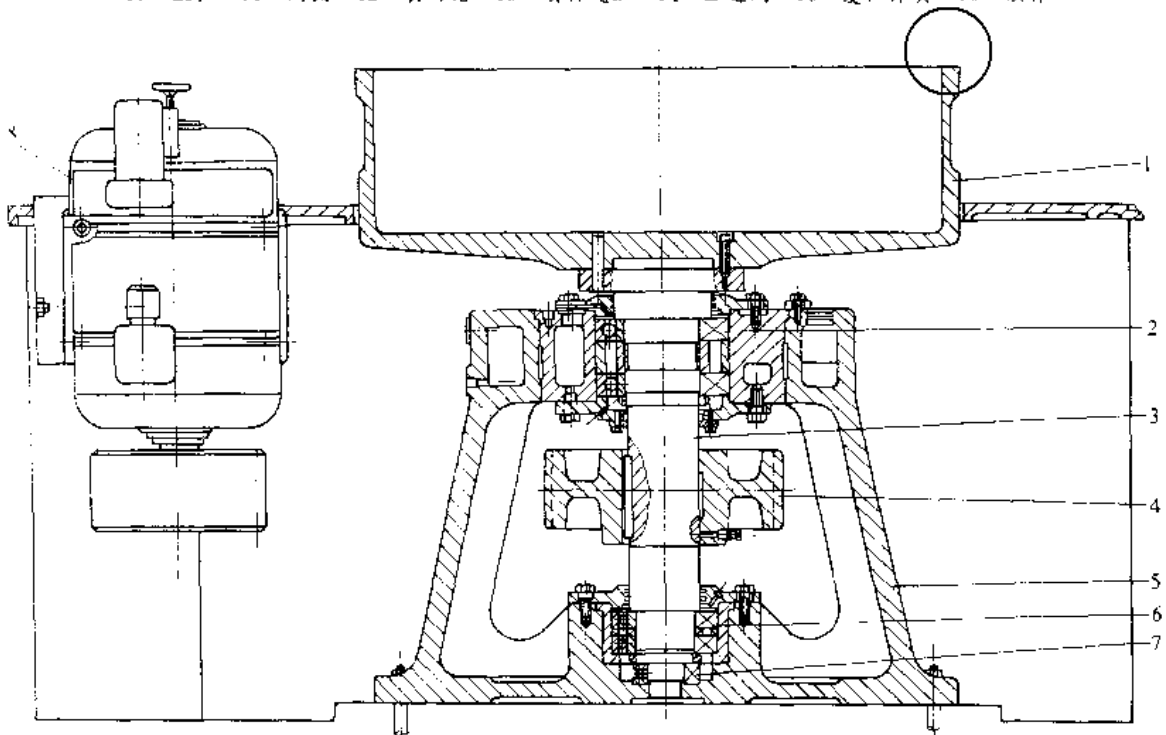


图 2-16-41 立式离心铸造机结构图

- 1—铸型外套 2—上轴承 3—主轴 4—传动带轮 5—机架 6—下轴承 7—底轴承 8—立式电动机



8.2 立式离心铸造机

立式离心铸造机多用于铸造短套、环及其他异形零件。图2·16-41为立式离心铸造机结构图。在生产异形零件时，铸型在工作台上的安装必须对称分布。可以垂直安放也可以水平安放，铸型的分型面可以是水平的、径向的、或切向的。

8.3 滚轮式离心铸造机

滚轮式离心铸造机见图2·16-42。这种机器可浇注长度较大的管状铸件，铸件的最大长度可达8m。在一般情况下，托轮的纵向距离和横向距离都可以调节，电动机的转速也能调节，以满足不同铸件的需要。如在铸型外面罩上机罩，则铸型在工作时便可用水冷

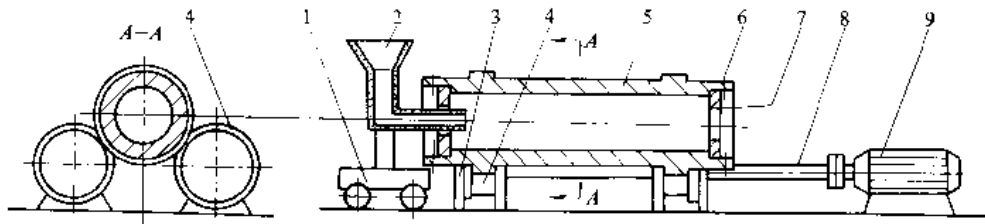


图2·16-42 滚轮式离心铸造机示意图

- 1—浇注小车 2—浇注流槽 3—托轮支架 4—托轮 5—铸型 6—销子  
7—端盖 8—传动轴 9—电动机

却。为减少铸型在旋转时的振动，可在铸型上部加压轮。

9 实型（消失模）铸造设备

实型铸造设备主要包括：储砂斗、移动定量斗、振实紧实装置、除尘系统和冷却系统等。其工作过程如图2·16-43所示。

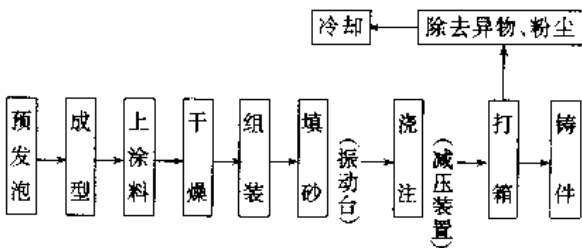


图2·16-43 实型（消失模）铸造工作过程

实型的填砂和振动方式与铸件形状及尺寸有很大关系，对于大型铸件一般多采用单向振动，小型铸件模组一般多采用多维振动。其供砂系统如图2·16-44所示。为了提高砂型紧实度，有些振实紧实装置，在浇注前增加了负压紧实工序，并且这种负压一直维持到浇注完毕。

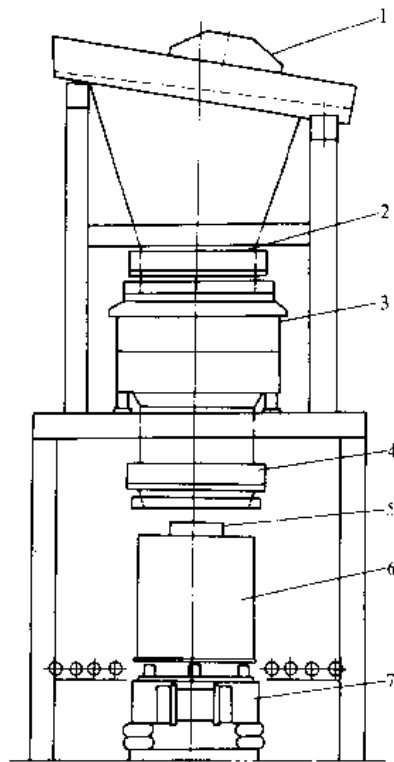


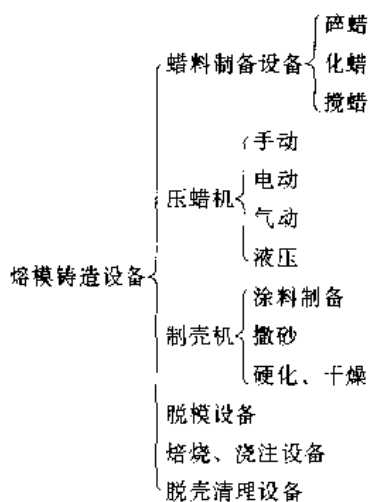
图2·16-44 实型铸造供砂系统示意图

- 1—筛 2—闸门 3—冷却器 4—分配装置  
5—固定器 6—砂箱 7—振实装置



### 10 熔模铸造机械化

熔模铸造设备具体有以下几种：



#### 10.1 蜡料制备线

图 2·16-45 是蜡料制备线简图。蜡块熔化后经滤网漏于保温槽内，经过滤用泵输送至高速搅蜡机内，在高速叶片打击和搅拌下，搅成膏状蜡料。压蜡机将膏状蜡抽吸至压蜡缸内，再通过管路系统压送至各个压蜡头以压制蜡模。

#### 10.2 液态蜡注射成型机

它是由主机和辅机组成。根据工艺要求，由一台辅机制备液态蜡料，供给二台主机压制蜡料，视各厂的具体要求进行布置。液态蜡制备设备见图 2·16-46，用以完成蜡料熔化、调温、真空除气和输蜡至主机的工作。液态蜡注射成型机见图 2·16-47。机器能完成成型、紧、槽压注射、保压、开型等整个蜡模制作过程。

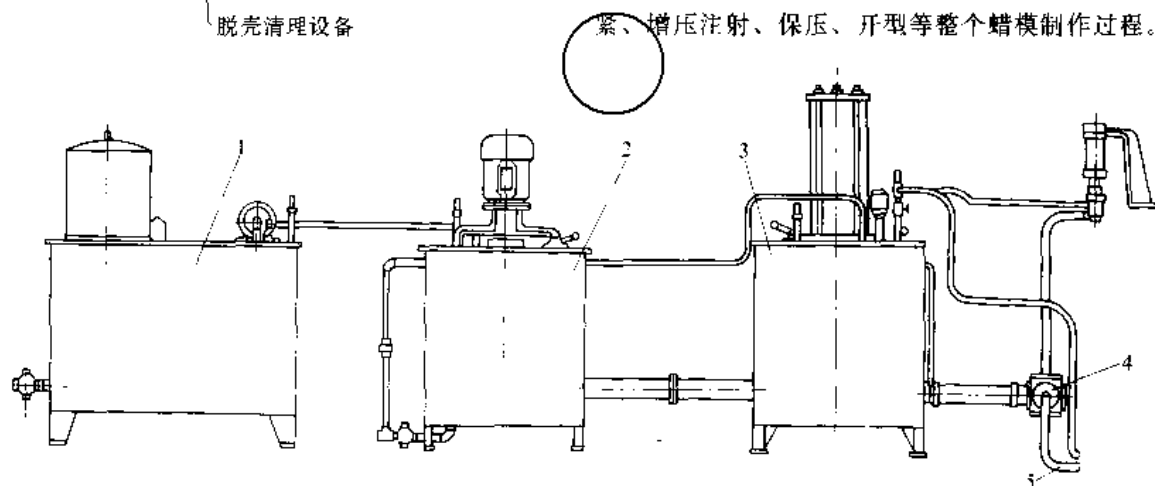


图 2·16-45 蜡料制备线简图

1—熔蜡槽 2—高速搅蜡机 3—压蜡机 4—管路系统 5—压蜡头

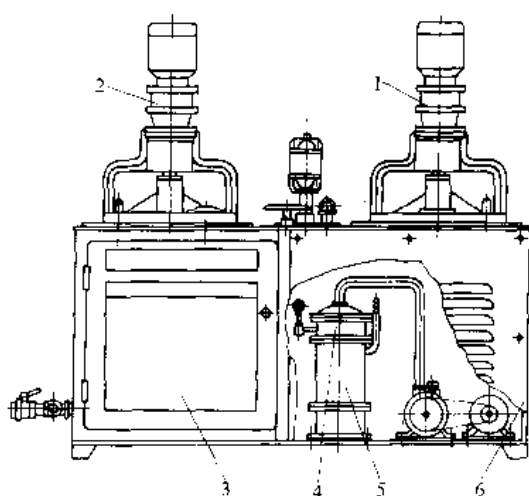


图 2·16-46 液态蜡制备设备

1—熔蜡罐 2—恒温除气罐 3—电气部分  
4—真空除气罐 5—冷却过滤器 6—机架

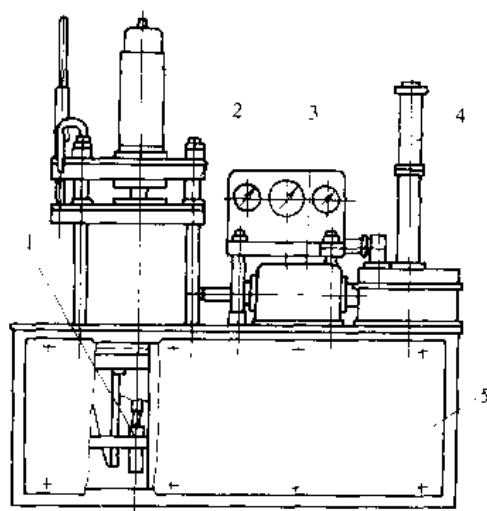


图 2·16-47 液态蜡注射成型机结构简图

1—底注机构 2—合型机构 3—侧注机构  
4—压蜡缸机构 5—机架



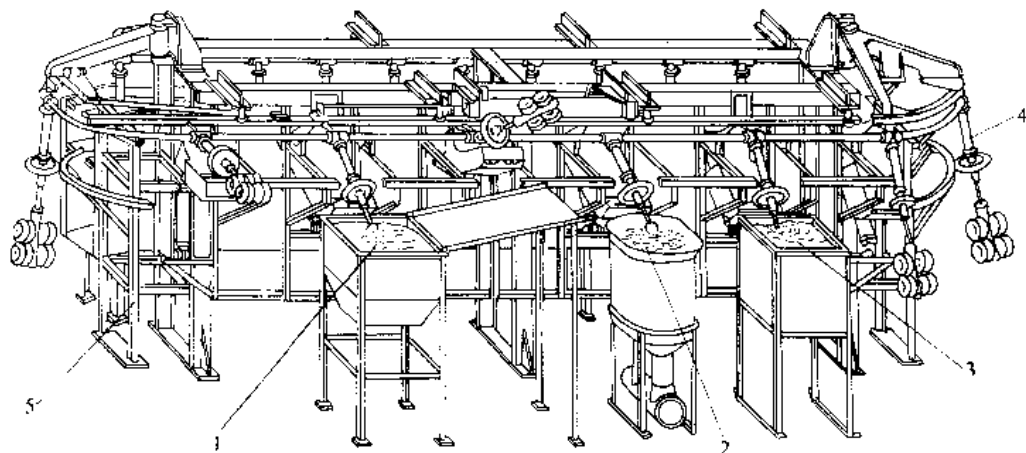


图 2-16-48 悬挂制壳机立体图

1—涂料桶 2—撒砂桶 3—硬化桶 4—吊具 5—机架

### 10.3 悬挂制壳机

悬挂制壳机能完成浸挂涂料、撒砂、硬化和干燥等工艺过程。制壳机的立体图如图 2-16-48 所示。这种制壳机生产周期短、效率高，劳动强度低，能够制备质量较大的模组，适用于大件的熔模铸造和年产 300~500t 铸件的车间（厂）。

### 10.4 制壳机械手

制壳机械手由一台机械手和二台撒砂机（面层和加固层）组成。可以代替人工完成上件、上涂料、撒砂及卸件等制壳工序。根据工艺要求在挂涂料和撒砂时，模组可进行下倾、水平及上仰动作，模组还能以不同的速度进行自转，以完成整个制壳过程。制壳机械手动作示意图如图 2-16-49 所示。制壳机械手最大夹持重量 80kg。

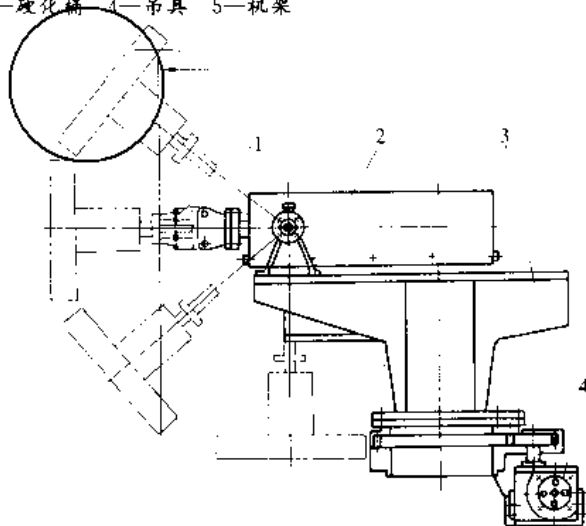


图 2-16-49 制壳机械手动作示意图

1—夹持头 2—夹持头旋转机构 3—摇臂摆动机构 4—摇臂回转机构

## 第 17 章 铸造安全技术及环境保护 [62]

铸造生产过程中，粉尘、烟尘、爆炸、烫伤、噪声、振动、高温、辐射及有毒有害气体对环境及操作者都会产生不良影响，甚至易发生安全事故。因此，要充分重视安全技术工作，不断强化与改善铸造生产安全技术措施和铸造生产环境保护措施。

### 1 粉尘、烟尘及其防止

铸造生产过程中，对人体健康危害最大的是接触生产性粉尘，另外，铜、铁、锌及其氧化物等金属性粉

尘，均能引起不同的职业病。

铸造现场粉尘、烟尘来自：

- (1) 固体物料加工处理，如石英砂、耐火砖机械破碎，煤、焦炭加工粉料，废铸件、浇冒口表面去锈、去粘砂处理。
- (2) 型、芯砂筛分、混制，造型，烘干，打箱（落砂）和清理。
- (3) 型、芯烘干、浇注时有机物的燃烧，合金熔炼与燃烧。



防止方法:

(1) 采用先进工艺方法,改善工作环境;采用高效混砂机,可减少混砂机台数,减少扬尘点;用管道输送代替皮带运输减少粉尘;采用高压静电技术对开放性尘源实行就地抑制,有效地防止粉尘扩散。采用真空密封造型也可有效地控制粉尘。

(2) 水力消尘。铸件清理采用水力清砂;切割飞边毛刺采用水雾电弧气刨。

(3) 通风排尘。把尘源产生的含尘气体抽走,经除尘器后再排入大气,常用螺旋集尘装置和布袋抽尘。

车间空气中粉尘的最高允许浓度见表2-17-1,允许排放浓度见表2-17-2。

表2-17-1 车间空气中粉尘的最高允许浓度①

物质名称	最高允许浓度 (mg/m <sup>3</sup> )
游离 SiO <sub>2</sub> 粉尘的质量分数>10%	2
游离 SiO <sub>2</sub> 的煤尘的质量分数<10%	10

① 摘自卫生部、国家建委、国家计委、国家经委和国家劳动总局颁发的《工业企业设计卫生标准》(TJ36-79)。

表2-17-2 粉尘的允许排放浓度①

物质名称	排放浓度 (mg/m <sup>3</sup> )
游离 SiO <sub>2</sub> 粉尘的质量分数>10%	100
游离 SiO <sub>2</sub> 的煤尘的质量分数<10%	150

① 摘自国家计委、国家建委和卫生部颁发的《工业“三废”排放试行标准》(GBJ4-73)。

(4) 加强职工教育,做好个人防护。

## 2 爆炸与烫伤及其防止

铸造生产中易发生爆炸事故,当爆炸与铸造液态金属联系在一起时,就可能产生烫伤。

分析其原因有:

(1) 炉料中有爆炸物(如雷管)或中空封闭物,在加热或熔化中爆炸。

(2) 液态金属接触到水或冷湿的铁钎、铁棒时产生飞溅。

(3) 冲天炉、烘干窑等炉内煤气浓度大时,没有通风就点火,产生气体爆炸。

(4) 混制含易燃易爆辅助材料的型、芯砂时,可燃物浓度大,遇到火焰时引起爆炸。

防止方法:

(1) 混制含易燃易爆辅助材料的型芯砂时,必须严格控制混合物的气体浓度,并加强通风排尘防止燃烧、爆炸。

(2) 地坑造型时,应注意地下水水位线。要求砂型底部距水位最小距离不少于1.5m,防止浇注过程中发生爆炸。浇注或冷却时,工人不允许在地坑中停留,以免CO、SO<sub>2</sub>中毒或跑火烧伤。

(3) 压力铸造时,铸型分型面处、浇口处应设防护挡板。

(4) 离心机周围保持整洁、干燥。开动前应检查离心机各部位和安全罩是否稳固可靠。浇注时,打开通风管吸出罩内气体,人不准接近浇注口,以防金属液烫伤。

(5) 熔炼浇注工人应配戴好劳保用品。保持炉前炉后地面干燥,炉子周围严禁存放易燃易爆物。浇包使用前必须烘干,底漏包注意检查塞头和塞座接触是否严密,避免发生漏包。所用工具保持干燥,必要时应预热。

(6) 冲天炉炉体每个风口都装上窥视孔,随时观察炉内熔化情况,便于清理风口。停风时打开窥视孔,送风时等5~6s再关窥视孔,以防残留煤气爆炸。打炉时炉底放上干砂,5m内不得有人,防止红焦炭、热蒸气伤人。

(7) 电弧炉、感应电炉应防止冷却水与金属液接触。

(8) 型、芯烘干炉和热处理加热炉,点火前要通风3~5min,排除炉内残留煤气,然后用小煤气管点火。

## 3 噪声及其防止

铸造生产过程中,噪声较多。短期在噪声下工作会引起听觉疲劳、听力减退。长期在噪声下工作可能引起各种疾病。

铸造生产过程的噪声有:

(1) 机械噪声。振实造型机振实砂型,振动除砂、落砂及落锤撞地的声音。

(2) 流体动力性噪声。气体压力突变或流体流动力产生的,如冲天炉的鼓风机、空气压缩机开动发出的声音。

(3) 电磁性噪声。在启动电机内交变力相互作用而产生的嗡嗡声,电弧气刨发出的声音。

防止方法:

(1) 控制和消除噪声源。用无振动或小振动紧实的自硬砂代替粘土砂,减少振动噪声;用气冲紧实代替振



实造型；对噪声源（鼓风机、空压机）进行封闭隔离。

1979年卫生部和国家劳动总局颁发的《工业企业噪声卫生标准》（试行草案），内容见表2-17-3。

表 2-17-3 企业噪声标准

每个工作日接触 噪声时间 (h)	允许噪声 [(dB) A]	
	新建、扩建和改建企业	现有企业
8	85	90
4	88	93
2	91	96
1	94	99
最高不得超过115		

(2) 合理设计和规划厂区。将产生噪声的工厂与居民区，噪声车间与非噪声车间隔一定距离或设防护带（植树或建隔离墙）。

(3) 做好个人防护。使用适当的防护用品，保护听觉器官。

#### 4 振动及其防止

操作者局部如手和足；也可能是全身受振动，对人体神经系统、心血管系统、消化系统均有影响，可以引起多种疾病。

在铸造生产中经常接触的振动主要有：

(1) 用风铲清理铸件，用捣固机造型制芯，可引起手或全身振动。

(2) 用电动砂轮、风砂轮打磨铸件，振动落砂。

(3) 振击式造型机、抛砂机引起全身振动。

防止方法：

(1) 局部振动的预防方法主要通过改进工艺设备，如变振实造型为挤压、气冲造型。

(2) 全身振动预防主要是采用隔离振动、减振，如对造型机、落砂机采用橡胶、弹簧等减振措施。另外，要进行耐力训练，增强抗振能力。

#### 5 高温及其防止

高温作业是铸造过程一大特点。高温作业时，人体出现一系列生理功能改变。严重时可导致中暑、休克。

合金熔炼、浇注、装出窑、合型、打箱、落砂、清理等铸造生产过程均在高温下作业。人体受高温的影响，再加上劳动强度大，持续时间长，容易发生中暑。

防止方法：

(1) 采用先进工艺、机械化自动化生产线、机器人

和机械手减轻工人体力劳动，改善作业环境。减少或消除高温、热辐射对人体的影响。

(2) 用水或导热系数小的材料隔热。

(3) 车间采用机械通风或自然通风。

#### 6 辐射及其防止

铸造生产中遇到较多的是非电离辐射的危害。非电离辐射包括紫外线、红外线、射频辐射或微波、高频电磁场等。

在型、芯表面干燥中应用红外线，往往产生非电离辐射。另外，高频热处理和高温熔炼时保护不当，会引起高频电磁伤害。

防止方法：

(1) 高频电磁场的防护。高频加热设备、高频电磁场源的振荡电路系统均在机壳内，只要接地良好，不打开机壳，泄漏场强均较小。采取措施有场源屏蔽、远距离操作和合理布局三方面。

(2) 微波的防护。主要是吸收微波辐射，合理配置工作位置和个体防护。

#### 7 有毒物及其防止

铸造过程使用的原材料、燃料及工艺过程中的化学和物理化学反应产生的有害物质，都可能对人体有害，甚至引起各种疾病。

铸造过程中产生的有毒有害物：

(1) 用呋喃树脂、合脂、植物油等做为粘结剂制芯时，产生有毒有害物有：

1) 丙烯醛与未饱和的碳化氢。植物油干燥或浇注时油质分解会放出丙烯醛蒸气和未饱和的碳化氢，车间最高允许浓度  $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 。

2) 甲醛。含甲醛树脂中未反应的游离甲醛会散发到空气中，车间最高允许浓度  $3\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(2) 熔炼铜合金或用氯脱氧时，产生氧化锌和氯气；熔炼镁合金时，液态镁合金表面覆盖一层氯化镁、氯化钾、氯化钠熔剂，均可产生氯气，车间最高允许浓度  $1\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(3) 合金熔炼和浇注过程中产生二氧化硫气体时，车间最高允许浓度  $15\text{mg}/\text{m}^3$ 。

防止方法：

(1) 选择制芯造型材料时，避免产生有毒有害物。

(2) 采取通风吸尘措施，严格控制有毒有害物的浓度。





# 第 18 章 铸件检验、质量评定及 常见缺陷防止方法<sup>[63][64]</sup>

## 1 铸件检验

### 1.1 铸件检验的目的和项目

#### 1. 铸件检验目的

- (1) 判断铸件是否符合质量标准或订货要求；
- (2) 区分开质量好的铸件与质量差的铸件；
- (3) 提早检验出缺陷，节省工程费用；
- (4) 检验资料可提供为外部质量保证的证据和技术改进之参考。

#### 2. 铸件检验项目

(1) 铸件外观质量。主要检验：铸件表面缺陷、表面粗糙度、重量公差和尺寸公差等。

(2) 铸件内在质量。主要检验：铸件内部缺陷、化学成分、金相组织和材质性能等。

(3) 铸件使用性能。主要检验：铸件在强力、高速、耐磨、耐蚀、耐热、耐低温等不同条件下的工作能力，如被切削性能、焊接性能、运转性能和工作寿命等。

### 1.2 铸件质量检验

铸件的外观质量检验项目与方法，见表 2·18-1。

表 2·18-1 铸件的外观质量检验项目与方法

检验项目	检验方法
表面缺陷	目视法 荧光探伤法 着色探伤法 外加磁场检验法 铸件的退磁法
表面粗糙度	铸件表面粗糙度样块对比法 光波干涉、不接触测量法 光切投影不接触测量法
重量公差	称重法
尺寸公差	铸件划线检验法（或用各种量具检验法） 三坐标仪检验法

铸件的内在质量检验项目与方法，见表 2·18-2。

表 2·18-2 铸件的内在质量检验项目与方法

检验项目	检验方法
内部缺陷	敲打检查法 着色渗透检查法 超声波探伤法 射线探伤法 液晶和声发射探伤法 磁粉探伤法 荧光探伤法
化学成分	化学分析法 原子吸收光谱分析法 发射光谱分析法
材质性能	万能试验机 硬度计 冲击试验机 疲劳试验机 磨损试验机
金相组织	目视断口检查 低倍放大镜检查 显微镜检查 电镜或电子探针微区检查

## 2 铸件质量评定

1. 铸件质量分等 按其达到的质量指标分为三个等级：合格品、一等品、优等品。其分等原则，可参见标准 JB/JQ82001—90《铸件质量分等通则》的规定，见表 2·18-3。

2. 铸件外观质量评定 铸件尺寸公差按 GB6414—86 评定；铸件表面粗糙度按 GB6060.1—85 评定；铸件重量公差按 GB/T11351—89 评定；铸件焊补，除技术文件规定不允许焊补的以外，一般情况下允许按有关规定焊补。

3. 铸件内在质量评定 包括铸件材质力学性能、



铸件化学成分、铸件金相组织和铸件内部缺陷,均按有关标准评定。

(续)

表 2-18-3 铸件质量分等原则

铸件质量等级	基本原则
合格品	1. 铸件外观质量和内在质量符合现行国家标准与行业标准(部标准) 2. 铸件生产过程质量稳定 3. 用户评价铸件能满足使用性能
等品	1. 铸件外观质量和内在质量符合现行国家标准与行业标准(部标准) 2. 铸件生产过程质量稳定 3. 铸件质量达到国内先进水平
优等品	1. 铸件外观质量和内在质量符合现行国家标准与行业标准(部标准) 2. 铸件生产过程质量很稳定 3. 铸件质量达到当代国际水平

名称	特征	主要防止方法
缩孔、缩松、疏松(显微疏松)	1. 缩孔: 形状不规则的封闭或敞露的孔洞,孔壁粗糙并带有枝状晶,常出现在铸件最后凝固部位	1. 改进工艺设计,确保铸件在凝固过程中不断补充金属液,做到顺序凝固
	2. 缩松: 铸件断面上出现的分散而细小的缩孔	2. 冒口的尺寸和数量要适当,也可采用补缩效率高的发热冒口、保温冒口等特殊冒口来保证金属液的补缩
	3. 疏松: 形状和缩松相似,但孔洞更细小	3. 采用冷铁,使铸件的厚断面或热节快速冷却 4. 减少金属液中的含气量

3 铸件缺陷及主要防止方法<sup>[65][66]</sup>

3.1 孔洞类缺陷(表 2-18-4)

3.2 表面缺陷(表 2-18-5)

表 2-18-4 孔洞类缺陷

名称	特征	主要防止方法
气孔、针孔	1. 气孔: 主要为梨形、圆形、椭圆形的孔洞,表面较光滑,一般不在铸件表面露出,大孔孤立存在,小孔则成群出现 2. 针孔: 一般为针头大小出现在铸件表层或成群小孔,铸件表面在机械加工 1~2mm 后可去掉的圆孔称针孔;在机械加工或热处理后才能发现的长孔称皮下气孔	1. 尽可能降低熔炼时金属液的吸气量,炉料和工具要干燥,无污染 2. 型、芯砂含水量要严格控制并具有良好的透气性 3. 浇冒口要合理,浇注前要对金属液进行除气处理 4. 所用型、芯砂及涂料发气量要小 5. 防止浇注和凝固过程中金属产生二次吸气 6. 提高金属液在型内的冷却速度和凝固速度,防止气孔自金属中析出

表 2-18-5 表面缺陷

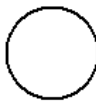
名称	特征	主要防止方法
鼠尾、沟槽、夹砂	1. 鼠尾: 铸件表面上有较浅的(深度最大达 5mm)带有锐角的凹痕,凹痕内常夹有型砂,由浇口伸出来,有时有分叉,常发生在铸件的下表面 2. 沟槽: 铸件表面上有边缘光滑的 V 型凹痕,常有分枝,多发生在铸件的上表面或下表面 3. 夹砂: 铸件表面上有凸起的金属片状物,表面粗糙,边角锐利,有小部分与铸件本体相连	1. 尽可能减少砂型的膨胀,在型砂中加入煤粉、沥青、木屑等材料,使砂型膨胀时有缓冲作用 2. 在型砂中加入高粘结力粘土,提高其热湿拉强度 3. 型砂的粒度粗一些,以防止产生过大的应力 4. 造型时,紧实度要均匀,防止局部紧实度过大 5. 型砂水分不宜过高,同时提高型砂的透气性 6. 浇注温度不宜过高,浇注时间要尽可能短



(续)

(续)

名称	特征	主要防止方法
机械粘砂 (渗透粘砂)	铸件的部分或整个表面粘附着一层金属和砂粒的机械混合物,多发生在铸件厚壁和热节处,粘砂处可见金属光泽	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 型砂粒度细些</li> <li>2. 提高砂型的紧实度,尤其是高大砂型的下部</li> <li>3. 采用优质涂料</li> <li>4. 适当降低浇注温度,减少金属的静压力和动压力</li> </ol>
化学粘砂 (烧结粘砂)	铸件局部或全部粘上一层由砂子、金属氧化物等作用而产生的低熔点物质,常发生在铸件的厚壁或热节处	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 防止产生金属氧化物,在型砂中加入煤粉等添加物,并使用优质涂料</li> <li>2. 合理设计浇注系统,防止型、芯砂局部过热</li> <li>3. 尽量降低浇注温度,并采用激冷强的材料,提高型砂的冷却速度和耐火度</li> <li>4. 提高原砂的烧结点</li> <li>5. 加入赤铁矿粉等附加物</li> </ol>



名称	特征	主要防止方法
冷裂	穿过晶体而不沿晶界断裂,断口有金属光泽或有轻微的氧化色泽	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 铸件壁厚力求均匀</li> <li>2. 改进浇冒口系统设置合理,使各部分的冷却速度趋于一致</li> <li>3. 改善型、芯砂的退让性</li> <li>4. 降低金属液中导致冷裂的元素如硫、磷的含量</li> <li>5. 防止夹渣、气孔等缺陷产生,减少铸件产生应力集中的机会</li> </ol>
热处理裂纹	铸件在热处理过程中出现的穿透或不穿透的裂纹,开裂处的金属表面有氧化现象	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 采用合理的热处理规范,降低加热速度和冷却速度</li> <li>2. 改进铸件结构,壁厚力求均匀</li> <li>3. 改进铸造工艺,防止孔洞、夹渣及偏析等缺陷产生</li> <li>4. 有较大残余应力的铸件,热处理时要谨慎处理</li> </ol>

3.3 裂纹类缺陷 (表 2·18-6)

表 2-18-6 裂纹类缺陷

名称	特征	主要防止方法
热裂	断面严重氧化,无金属光泽,断口沿晶界产生和发展,外形曲折而不规则的裂纹	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 铸件设计不要壁厚变化太突然</li> <li>2. 合理设计浇注系统,避免阻碍铸件的正常收缩</li> <li>3. 改善型、芯砂的退让性</li> <li>4. 降低金属液中导致热裂的元素如磷、硫的含量</li> <li>5. 在铸件易产生拉应力的部位和凝固慢的部位合理采用工艺筋和冷铁</li> </ol>

3.4 性能、成分、组织不合格 (表 2·18-7)

表 2-18-7 性能、成分、组织不合格

名称	特征	主要防止方法
化学成分及性能不合格	铸件的化学成分和硬度、强度、伸长率、冲击韧度、耐热、耐蚀及耐磨等性能不符合技术条件的规定	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 正确掌握配料的计算方法及元素烧损量</li> <li>2. 加强化学成分检验</li> <li>3. 炉前称重要准确,严格控制熔炼工艺</li> <li>4. 改进铸造工艺及热处理工艺</li> </ol>
白口	灰铸铁件断面全部或表面出现亮白色组织,常在铸件薄的断面,棱角及边缘部分	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 保证铁液中有足够的碳当量</li> <li>2. 增加孕育剂</li> <li>3. 合理使用冷铁</li> </ol>



(续)

名称	特征	主要防止方法
反白口	铸铁件断面内部出现小块白口区,白口区外围是正常组织	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 减少铁液中硫量,控制硫锰比</li> <li>2. 浇包预热,防止铁液吸氢</li> <li>3. 严格控制炉料成分,防止混入铬、磷等元素</li> <li>4. 减少球化剂,降低铁液中稀土残留量</li> </ol>
球化不良	球墨铸铁件断面上,有块状黑斑或明显的小黑点,愈近中心愈密,金相组织有较多的厚片状石墨或枝晶间石墨	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 用低硫生铁和焦炭,加强脱硫</li> <li>2. 熔化时防止氧化</li> <li>3. 用配比适当、成分稳定的球化剂</li> <li>4. 加入少量的稀土元素,可抵消反球化元素的干扰</li> </ol>
石墨漂浮	球墨铸铁件断口上表面有一层密集的石墨斑,与正常的银白色断口组织相比,有清晰的分界线,通常在厚大断面上表面、砂芯下表面和铸件死角处	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 严格控制破硅含量</li> <li>2. 选用镁、稀土含量合适的球化剂</li> <li>3. 合理设计浇冒口,使漂浮层集中到冒口中去</li> <li>4. 加快冷却速度,厚大部位放冷铁</li> </ol>
偏析	<p>铸件整体或部分出现化学成分、金相组织不一致</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 枝晶偏析:常发生在结晶温度范围宽的锡青铜等合金中,晶粒中先凝固的难熔成分为晶轴,易熔成分集中在晶轴间</li> <li>2. 比重偏析:合金成分中比重大的集中在铸件下部,比重小的集中在上部</li> <li>3. 区域偏析:铸件同一水平断面上的内外成分不一致</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 采用细化晶粒的办法防止枝晶偏析</li> <li>2. 对易产生区域偏析的合金,要选好合金成分,熔炼除气要恰当,铸件设计要避免厚断面,还要控制冷却速度</li> <li>3. 对易产生比重偏析的合金,应减少合金液的放置时间,熔炼和浇注时要充分搅拌,采用低温浇注和加速冷却的办法</li> </ol>

此外,还有多肉类缺陷、夹杂类缺陷、残缺类缺陷和尺寸、形状、重量差错类缺陷等。

## 参考文献

- [1] 李庆春主编. 铸件形成理论基础. 北京: 机械工业出版社, 1982
- [2] 安阁英. 铸件成形理论. 北京: 机械工业出版社, 1990
- [3] 日本鑄物協會編. 鑄物便覽. 改訂4版. 丸善株式會社, 1986
- [4] 施廷藻主编. 铸造实用手册. 沈阳: 东北工学院出版社, 1988
- [5] 孟少农主编. 机械加工工艺手册 第1卷. 北京: 机械工业出版社, 1991
- [6] 童本行等编译. 铸铁件手册. 北京: 清华大学出版社, 1990
- [7] 魏兵. 铸铁件均衡凝固与有限补缩. 铸造, 1985 (4)
- [8] 吴光峰主编. 铸造工艺装备设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1989
- [9] 砂型铸造工艺及工装设计联合编写组编. 砂型铸造工艺及工装设计. 北京: 北京出版社, 1983
- [10] 谢明师主编. 铸造手册 第4卷: 造型材料. 北京: 机械工业出版社, 1992
- [11] 胡彭生主编. 型砂. 上海: 上海科学技术出版社, 1987
- [12] 肖柯则编著. 铸型涂料. 北京: 机械工业出版社, 1985
- [13] 邹忠桂等. 铸型涂料的理论和实践. 铸造, 1983 (2)
- [14] [美] Jack C Miske. 再生砂综述. 李忠山译. 造型材料, 1986 (4)
- [15] [日] 小林一典. 再生砂质量控制标准. 周起玉等译. 造型材料, 1985 (3)
- [16] [德] Hofman F 等. 砂型铸造技术的发展. 中国铸机, 1986 (3) - 51~58
- [17] 虞和洵. 几种造型方法的发展及应用. 中国铸机, 1991 (1): 10~15
- [18] 清华大学, 华中工学院, 郑州工学院主编. 铸造设备. 北京: 机械工业出版社, 1980
- [19] 上海市机电设计院主编. 铸造车间机械化. 北京: 机械工业出版社, 1988



- [20] 阎荫槐. 铸造机械基础. 沈阳: 东北工学院出版社, 1990
- [21] 林再学, 樊铁船编. 现代铸造方法. 北京: 航空工业出版社, 1991
- [22] 计永毅. 日本铸造厂的 V 法造型生产线. 中国铸机, 1992 (3)
- [23] 曹文龙主编. 铸造工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1989
- [24] 阳国柱等. 树脂砂造型制芯技术. 中国铸机, 1992 (2)
- [25] 何世敏. 酯硬化水玻璃白硬砂的应用. 铸造, 1992 (9)
- [26] 李魁盛主编. 铸造工艺及原理. 北京: 机械工业出版社, 1989
- [27] 陈金城主编. 铸造手册 第 6 卷: 特种铸造. 北京: 机械工业出版社, 1993
- [28] 宫克强主编. 特种铸造. 北京: 机械工业出版社, 1982
- [29] [英]厄普顿 B, 奥尔索普 DF, 肯尼迪 D 著. 压力铸造. 马九荣, 劳瑞芬译. 北京: 机械工业出版社, 1988
- [30] [英]凯也 A, 斯特里特 A 著. 压铸冶金学. 黄杏蓉等译. 北京: 机械工业出版社, 1987
- [31] 罗庚生等编著. 低压铸造. 北京: 国防工业出版社, 1989
- [32] 李维箴. 第六届国际铸造博览会见联邦德国铸造业见闻. 机械科技, 1984 (11)
- [33] 佟天夫等. 熔模铸造工艺. 北京: 机械工业出版社, 1991
- [34] 林宗猷编著. 精密铸造. 台北: 全华科技图书股份有限公司, 1987
- [35] 日本鑄物協會精密鑄造研究部會. 精密鑄造技術: 脫蠟·陶模·石膏模. 台南: 復漢出版社, 1981
- [36] 熔模精密鑄造編寫組. 熔模精密鑄造. 北京: 國防工業出版社, 1981
- [37] 梁光澤. 實型鑄造. 第 3 版. 上海: 上海科學技術出版社, 1990
- [38] 郭希宇等. 陶瓷型鑄造. 北京: 機械工業出版社, 1977
- [39] 李觀賢. 連續鑄鐵管生產: 中級本. 北京: 冶金工業部, 1985
- [40] 齊丕驥. 擠壓鑄造. 北京: 國防工業出版社, 1984
- [41] 丛勉主编. 铸造手册 第 2 卷: 铸钢. 北京: 机械工业出版社, 1991
- [42] 陈家祥主编. 钢铁冶金学: 炼钢. 北京: 冶金工业出版社, 1990
- [43] Vigneron A et al. Start-up of the World's Largest DC Arc Furnace. In: Electric Furnace Conference Proceedings, New York: Metallurgical Society of AIME, 1986
- [44] Meredith D, Stenkvist S E. Single Electrode DC Arc Furnace Operation at Florida Steel Corp In: Electric Furnace Conference Proceedings, New York: Metallurgical Society of AIME, 1986
- [45] Frueham R J. Ladle Metallurgy Principles and Practice. Chelsea, MI Bookcrafters Inc., 1985
- [46] 陶令桓主编. 铸造手册 第 1 卷: 铸铁. 北京: 机械工业出版社, 1993
- [47] 刘幼华, 胡起萱主编. 冲天炉手册. 北京: 机械工业出版社, 1990
- [48] 陆文华主编. 铸铁及其熔炼. 北京: 机械工业出版社, 1981
- [49] 黄惠松, 祝光荣编. 现代铁水质量检测技术. 北京: 机械工业出版社, 1988
- [50] 黄恢元主编. 铸造手册 第 3 卷: 铸造非铁合金. 北京: 机械工业出版社, 1993
- [51] 陆树荪, 顾开道, 郑来芬. 有色铸造合金及熔炼. 北京: 国防工业出版社, 1983
- [52] Ammen C W. Casting Aluminum. Blue Ridge Summit; TAB Books Inc, 1985
- [53] Альтман М Б. Плавка и литье алюминиевых сплавов. Москва: Металлургия, 1983
- [54] 曹善堂主编. 铸造设备选用手册. 北京: 机械工业出版社, 1990
- [55] 林益昌. 铸后加工. 台北: 全华科技图书股份有限公司, 1975
- [56] 雷作斌, 胡梦珍编译. 金属的磷化处理. 北京: 机械工业出版社, 1992
- [57] Журавлев В Н. Машино-строительные стали. Москва: Машиностроение, 1981
- [58] 陈士梁. 铸造机械化. 北京: 机械工业出版社, 1988



- [59] 徐顺庆等主编. 国外铸造机械. 北京: 机械工业出版社, 1987
- [60] 中国铸机. 中国铸机杂志编辑部编. 1988. 1. 30 (1) ~ 1992. 11. 30 (6). 济南: 机械电子工业部济南铸造锻压机械研究所, 双月刊
- [61] 孟宪嘉等主编. 特种铸造设备. 北京: 国防工业出版社, 1988
- [62] 环保工作者实用手册编写组编. 环保工作者实用手册. 北京: 冶金工业出版社, 1984
- [63] 温永都, 李冬琪, 朱承兴. 铸造检验技术. 北京: 机械工业出版社, 1989
- [64] 国家机械工业委员会质量安全监督司. 铸件质量的检验. 北京: 机械工业出版社, 1991
- [65] 铸造名词术语委员会编. 铸件缺陷手册. 西宁: 青海人民出版社, 1980
- [66] 林松波编. 铸件的缺陷和防止方法. 北京: 机械工业出版社, 1986

