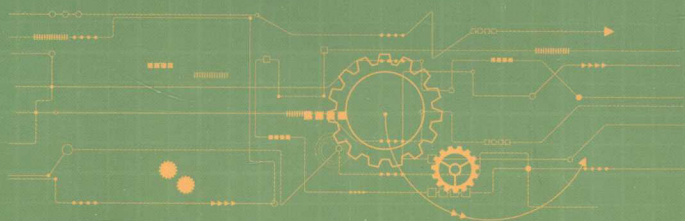


# 铸造工艺及设计



主 编 © 陈百明

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

# 铸造工艺及设计

主 编 陈百明  
副主编 张俊喜 孙治国

# 前言

Qianyan

1998年高校专业目录调整后,材料成型及控制工程专业按教育部的新专业目录以大专业宽口径方式培养学生。这种大专业宽口径的培养方式有利于拓展学生的知识面,方便学生的就业选择。但大专业宽口径的培养模式使学生在学习过程中不能深入掌握某一专门的成型设计知识,进入企业后难以很快适应具体的成型生产设计,这使高校的培养模式与企业的人才需求产生了一定程度的差距。鉴于这种培养模式与企业需求之间的问题,分类培养在一些高校逐渐展开,而大部分高校的材料成型及控制工程专业基本上按铸造、塑性成型、焊接方向分类培养学生。

分类培养模式对专业教材提出了较为全面和深入的知识要求,而大专业宽口径培养模式下的教材已不能适应新的需要,急需进行教材的重新编纂。本书就是顺应分类培养模式需求,根据材料成型及控制工程专业铸造方向的需要编写的。

本教材的编写吸收了作者长期的铸造教学与教改经验,参考了大量经典的铸造教材,借鉴各种教材的优点,使教材的内容具有理论与实际并重的特点。教材编写本着易学实用的原则,使学生在了解实际铸造生产的基础上掌握扎实的理论设计基础。在体系编排上,先阐述铸造工艺概述,在此基础上介绍造型材料以及铸造工艺原理,随后介绍铸造工艺设计内容,并以企业实际生产的产品为例,详细介绍了其铸造工艺设计的具体过程以及应用计算机模拟技术对设计的工艺进行优化设计的内容;在对铸造缺陷的分析与防止、铸造生产的旧砂回用以及环境保护方面进行介绍后,对特种铸造的内容也进行了简单介绍。

本书由兰州工业学院材料工程學院的材料成型及控制工程教研室负责编写,第3、4章由陈百明编写,第1、2、5、6、7、8章由张俊喜编写,其中第5章的铸件凝固过程模拟图片由孙治国提供,全书由陈百明统稿。

在教材的编写过程中,借鉴了多个不同时期典型铸造工艺设计教材的精华部分,这些教材中的内容对本教材的编写具有极其重要的指导意义,在此对参考教材的编著者表示衷心感谢!

由于水平有限,书中难免有疏漏和不足之处,希望读者批评指正!

第1章 铸造工艺概述	001
1.1 造型	001
1.1.1 砂型分类	001
1.1.2 手工造型	002
1.1.3 机器造型	005
1.2 制芯	009
1.2.1 砂芯的作用及结构	009
1.2.2 手工制芯	010
1.2.3 机器制芯	011
1.3 合箱与浇注	012
1.3.1 合箱前的铸型处理	012
1.3.2 合箱	012
1.3.3 浇注	013
1.4 落砂与清理	014
1.4.1 落砂	014
1.4.2 去除浇冒口	015
1.4.3 清砂	015
1.5 铸件质量检验与修补	015
1.5.1 铸件质量分类	015
1.5.2 质量检验与修补	016
复习思考题	016
第2章 造型材料	017
2.1 铸造用砂	017
2.1.1 铸造用砂的性能要求	017
2.1.2 铸造用砂的选用	019
2.1.3 铸造特殊用原砂	020
2.2 铸造用黏土	021
2.2.1 黏土分类	021
2.2.2 黏土的黏结机理	022

# 目 录

# Contents

2.2.3 黏土的选用 .....	023
2.3 黏土砂 .....	024
2.3.1 黏土砂的性能 .....	024
2.3.2 湿型黏土砂 .....	026
2.3.3 非湿型黏土砂 .....	028
2.4 有机黏结剂砂 .....	028
2.4.1 植物油砂 .....	029
2.4.2 壳芯树脂砂 .....	029
2.4.3 热芯盒树脂砂 .....	030
2.4.4 树脂自硬砂 .....	031
2.4.5 冷芯盒树脂砂 .....	032
2.5 无机黏结剂砂 .....	032
2.5.1 水玻璃的黏结原理 .....	033
2.5.2 水玻璃 CO <sub>2</sub> 硬化砂 .....	034
2.5.3 水玻璃自硬砂 .....	036
2.5.4 水泥自硬砂及其他铸造用无机自硬砂简介 .....	037
2.6 铸造用辅助材料 .....	038
2.6.1 铸造用涂料 .....	038
2.6.2 其他辅助材料 .....	039
复习思考题 .....	040
<b>第3章 铸造工艺原理 .....</b>	<b>041</b>
3.1 液态金属的性质 .....	041
3.1.1 液态金属的物理性质 .....	041
3.1.2 液态合金的黏性和表面现象 .....	042
3.1.3 液态合金的充型能力 .....	044
3.2 铸件的凝固机理 .....	046
3.2.1 铸件与铸型之间的热作用 .....	046
3.2.2 铸件的凝固动态曲线 .....	048
3.2.3 铸件的凝固方式和凝固时间 .....	049



3.3 金属的结晶和铸件的宏观组织 .....	051
3.3.1 结晶与铸件质量 .....	051
3.3.2 晶核的形成及生长 .....	052
3.3.3 铸件宏观组织的控制 .....	053
3.4 铸件中的气体和夹杂物 .....	054
3.4.1 气体和夹杂物与铸件质量 .....	054
3.4.2 气体的存在形式和来源 .....	055
3.4.3 气孔的预防措施 .....	056
3.5 铸件的收缩 .....	057
3.5.1 铸造合金的收缩规律 .....	057
3.5.2 铸件收缩缺陷及防止 .....	059
3.5.3 铸件的热裂、铸造应力与冷裂和变形 .....	062
复习思考题 .....	065
<b>第4章 铸造工艺设计 .....</b>	<b>066</b>
4.1 铸造工艺设计内容 .....	066
4.1.1 铸造工艺设计简介 .....	066
4.1.2 铸造工艺设计依据 .....	066
4.1.3 设计内容和程序 .....	067
4.2 铸造工艺方案 .....	068
4.2.1 铸件结构的铸造工艺性 .....	068
4.2.2 造型、制芯方法的选择 .....	072
4.2.3 浇注位置的确定 .....	073
4.2.4 分型面位置的确定 .....	075
4.2.5 砂箱中铸件数量的确定及布置 .....	077
4.2.6 型芯的设计 .....	079
4.2.7 铸造工艺参数的确定 .....	085
4.3 浇注系统设计 .....	089
4.3.1 液态金属在浇注系统中的流动 .....	089
4.3.2 浇注系统的类型 .....	098

# 目 录

# Contents

4.3.3 铸铁件浇注系统的尺寸计算 .....	102
4.3.4 其他合金铸件浇注系统设计 .....	108
4.4 冒口和冷铁 .....	112
4.4.1 冒口的补缩机理 .....	112
4.4.2 铸钢件冒口设计 .....	121
4.4.3 铸铁件冒口设计 .....	124
4.4.4 特种冒口 .....	132
4.4.5 冷铁的使用 .....	135
4.5 铸造工艺装备设计 .....	138
4.5.1 模样和模板设计 .....	139
4.5.2 芯盒设计 .....	144
4.5.3 砂箱的选择和设计 .....	147
4.6 铸造工艺 CAD 原理及应用简介 .....	150
4.6.1 充型过程数值模拟 .....	151
4.6.2 凝固过程数值模拟 .....	152
复习思考题 .....	154
<b>第 5 章 铸造工艺设计实例 .....</b>	<b>155</b>
5.1 转台零件图及整体工艺方案 .....	155
5.1.1 铸件基本结构参数及技术要求 .....	155
5.1.2 整体铸造工艺方案的确定 .....	156
5.2 浇注系统计算 .....	156
5.2.1 确定浇注时间 .....	156
5.2.2 确定漏包浇注的包孔直径及各组元截面积 .....	157
5.2.3 冒口的设计计算 .....	157
5.3 铸造工艺参数和砂箱的确定 .....	158
5.3.1 铸造工艺参数 .....	158
5.3.2 砂箱尺寸的确定 .....	158
5.3.3 铸造工艺图 .....	158
5.4 铸造工艺模拟 .....	159

5.4.1 铸造工艺方案的三维图形建立及网格剖分 .....	159
5.4.2 充型过程模拟 .....	160
5.4.3 凝固过程模拟 .....	162
5.4.4 铸件生产 .....	162
复习思考题 .....	163
<b>第6章 铸件缺陷的分析与防止 .....</b>	<b>164</b>
6.1 铸件质量的评判等级 .....	164
6.1.1 铸件质量分类 .....	164
6.1.2 铸件缺陷分类 .....	164
6.1.3 铸件生产工艺过程质量指标 .....	164
6.1.4 铸件缺陷分类 .....	165
6.2 铸件常见缺陷的形成原因分析与防止措施 .....	168
6.2.1 气孔的形成原因与防止措施 .....	168
6.2.2 缩陷、缩松、缩孔的形成原因及防止措施 .....	169
6.2.3 冷裂和热裂的形成原因及防止措施 .....	169
6.2.4 冷隔、夹砂结疤的形成原因及防止措施 .....	169
6.2.5 粘砂、夹杂的形成原因及防止措施 .....	170
6.3 铸件缺陷的修补方法 .....	170
6.3.1 焊接法 .....	171
6.3.2 浸渗修补 .....	171
6.3.3 填腻子修补 .....	172
6.3.4 熔补法 .....	172
复习思考题 .....	173
<b>第7章 铸造生产的旧砂回用及环境保护 .....</b>	<b>174</b>
7.1 旧砂的处理和回收利用 .....	174
7.1.1 黏土砂旧砂处理 .....	174
7.1.2 旧砂的再生处理 .....	176
7.1.3 再生砂的后处理 .....	178



# 目 录

*Contents*

7.2 铸造生产的环境保护 .....	179
7.2.1 铸造生产废物及其处理 .....	179
7.2.2 铸造生产中的粉尘及处理 .....	180
7.2.3 铸造生产中噪声的防治 .....	180
复习思考题 .....	181
<b>第8章 特种铸造方法简介</b> .....	<b>182</b>
8.1 熔模铸造 .....	182
8.1.1 熔模铸造概述 .....	182
8.1.2 熔模铸造的特点及应用 .....	183
8.1.3 熔模的制造 .....	184
8.1.4 型壳的制备 .....	189
8.1.5 浇注和清理 .....	192
8.1.6 熔模铸造工艺设计 .....	193
8.2 离心铸造 .....	194
8.2.1 离心铸造概述 .....	194
8.2.2 离心铸造原理 .....	195
8.2.3 离心铸造工艺 .....	198
8.3 消失模铸造 .....	203
8.3.1 消失模铸造概述 .....	203
8.3.2 消失模铸造的泡沫塑料模样的生产 .....	204
8.3.3 消失模铸造用模样涂料 .....	205
8.3.4 消失模浇注系统的设计 .....	207
8.3.5 填砂与浇注 .....	209
复习思考题 .....	210
<b>参考文献</b> .....	<b>211</b>



# 第1章 铸造工艺概述

铸造生产就是把熔化的金属液浇注到具有所要求的形状和尺寸的型腔中，经过冷却凝固后得到所需要形状的零件毛坯的方法。铸造方法较多，但应用最广泛的方法是砂型铸造，其生产工序包括造型、制芯、合箱与浇注、落砂与清理、铸件检验等。本书主要讲述砂型铸造。

## 1.1 造 型

以型砂为主要材料制备的铸型称为砂型。形成铸件外部形状的砂型为外型，形成铸件内部型腔的砂型为型芯。砂型的主要结构包括上半砂型、下半砂型和砂芯等结构，如图1-1所示。

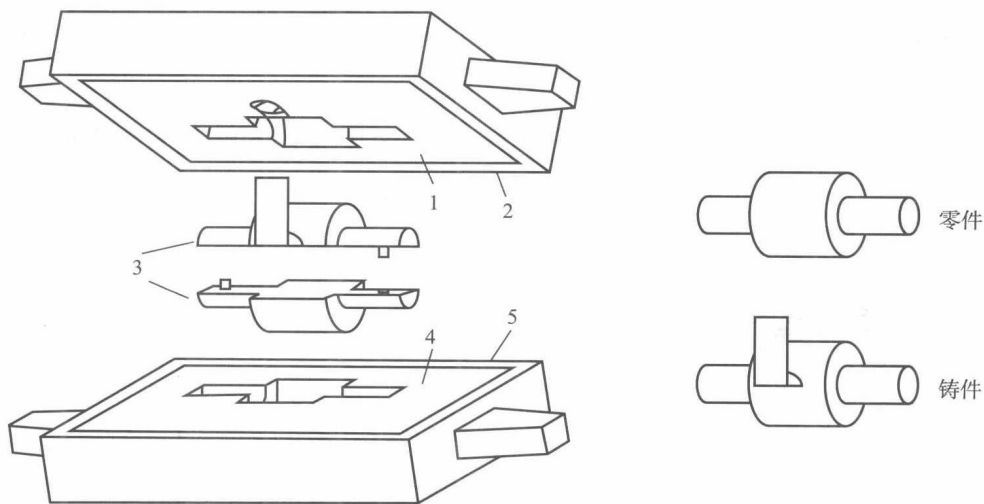


图1-1 砂型的结构组成

1—上砂型；2—上砂箱；3—上、下模样；4—下砂型；5—下砂箱

### 1.1.1 砂型分类和铸造工艺流程

#### 1. 砂型的种类

常用的砂型种类有湿型、干型、表面干型及其他砂型。

### 1) 湿型

在石英砂中加入一定量的黏土、水分、煤粉和其他附加物混制而成的型砂，在造型后不经烘干直接浇注的砂型为湿型。湿型不经烘干，节省了烘干设备和能源，其生产周期短，生产效率高，型砂配方无特殊要求，便于自动化生产。

湿型水分高，强度较低，不适合生产壁厚较大的铸件，主要用于生产各种中小铸件。

### 2) 干型

在造型后将砂型从里到外烘干得到的砂型为干型。由于需要烘干，增加了烘干设备和能源消耗，生产周期延长，降低了生产效率，也难以实现自动化造型生产。与湿型相比，干型的强度和透气性增强，气孔、夹砂等因铸型原因产生的缺陷也较少，适合质量要求高、单件或小批量生产的中大型铸件。

### 3) 表面干型

造型后铸型表面仅 15 ~ 20 mm 厚的型砂被烘干的铸型为表面干型。表面干型的强度和发气性比湿型好，又比干型节省烘干的能源消耗，结合了二者的优点。表面干型一般在中大型铸铁件的生产中应用较多。

### 4) 其他砂型

除常用的湿型、干型和表面干型外，还有经过化学反应而硬化的自硬砂型。自硬砂型根据使用的黏结剂不同，可分为水玻璃自硬砂、树脂自硬砂、水泥自硬砂等。这些自硬砂具有强度高、效率高等优点，多用于大型的铸铁件和铸钢件。

## 2. 砂型铸造工艺流程

砂型铸造的工艺流程从制定工艺方案开始到取得合格铸件结束，其流程如图 1-2 所示。



图 1-2 砂型铸造工艺流程

## 1.1.2 手工造型

### 1. 手工造型适用范围

造型过程基本依靠人工操作完成的造型为手工造型。手工造型基本上可以生产任何铸件，但其生产效率低，砂型质量因取决于操作者的技术水平而难以保持稳定。手工造型适用于单件小批生产的铸件或大型复杂铸件。

### 2. 手工造型方法分类

根据铸件的形状、结构和生产批量，手工造型方法可分为整模造型、分模造型、活块模造型、挖砂造型、刮板造型、组芯造型、地面造型、多箱造型、漏模造型等。

#### 1) 整模造型

对于形状简单，从一端到另一端截面逐渐增大或保持不变，且最大截面为平面的铸件，可只使用一个整体模样来造型，这样的造型方法称为整模造型。适合整模造型的常见铸件有齿轮坯、轴承座、机器外壳或罩等。整模造型如图 1-3 所示。

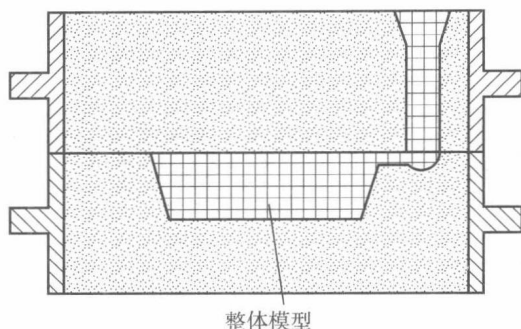


图 1-3 整模造型

### 2) 分模造型

对于最大截面处于端部以外部位的铸件，只有把模样分成至少两部分才能在造型后取出模样，这样的造型方法称为分模造型。只有一个最大截面，且最大截面处于中部的铸件，其模样可从最大截面处分为两半，模样的两半部分用销钉定位，在造型时模样的两半部分分别置于上、下砂箱中，称为两箱分模造型，多于两箱造型的称为多箱分模造型。两箱分模造型可参考图 1-1。适合分模造型的铸件有各种管件、轴套类、阀体等。

### 3) 活块模造型

在铸件上，有的局部结构不利于脱模，如轴线与脱模方向垂直的凸台等，把这种不利于脱模的铸件局部结构与主体之间做成可拆连接，在模样主体起模后再从侧面取出活块的造型方法称为活块模造型，如图 1-4 所示。活块与模样之间的连接如图 1-4 (a) 右上所示。

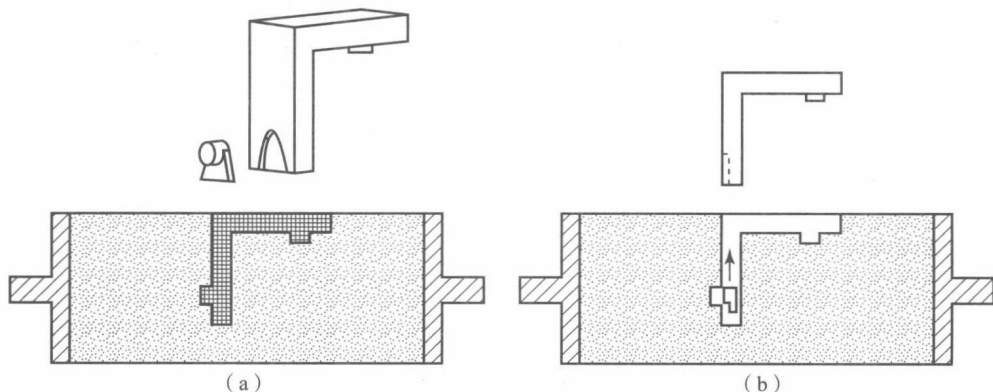


图 1-4 活块模造型过程

(a) 造型; (b) 活块脱模

### 4) 挖砂造型

对于最大截面不在端部，外部轮廓形状为曲面，其模样难以分成便于制作的两半的铸件，最好采取整体模样，在造型时手工去除阻碍脱模的型砂到模样最大截面处，造好另一半砂型后再脱模合箱的造型方法称为挖砂造型。适合挖砂造型的典型铸件有手轮等。挖砂造型仅仅适合单件、小批生产。手轮的挖砂造型过程如图 1-5 所示。

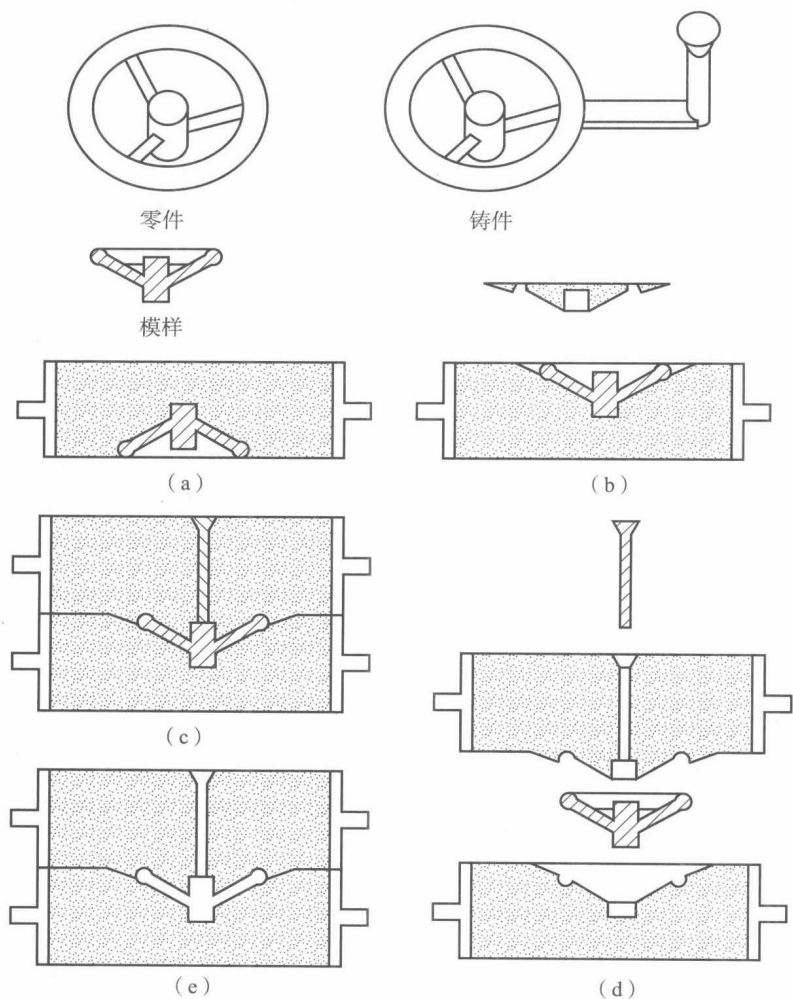


图 1-5 手轮挖砂造型过程

(a) 造下型; (b) 挖砂; (c) 造上型; (d) 脱模; (e) 合箱

### 5) 刮板造型

对于回转体或等截面的铸件, 可只做一个形状为铸件截面的刮板, 通过旋转刮板或沿铸件形状刮去型砂造出铸件型腔的造型方法称为刮板造型。刮板造型节省制作模样的材料和工时, 但对操作者的技术水平要求高。刮板造型过程如图 1-6 所示。

### 6) 组芯造型

对于外形、内形都比较复杂, 模型很难脱模的铸件, 其生产批量较大时, 采用组合砂芯造出铸件型腔的造型方法称为组芯造型。组芯造型的方法如图 1-7 所示。

以上为手工造型的几种典型方法, 此外还有地面造型、多箱造型、漏模造型等, 本节不再赘述。



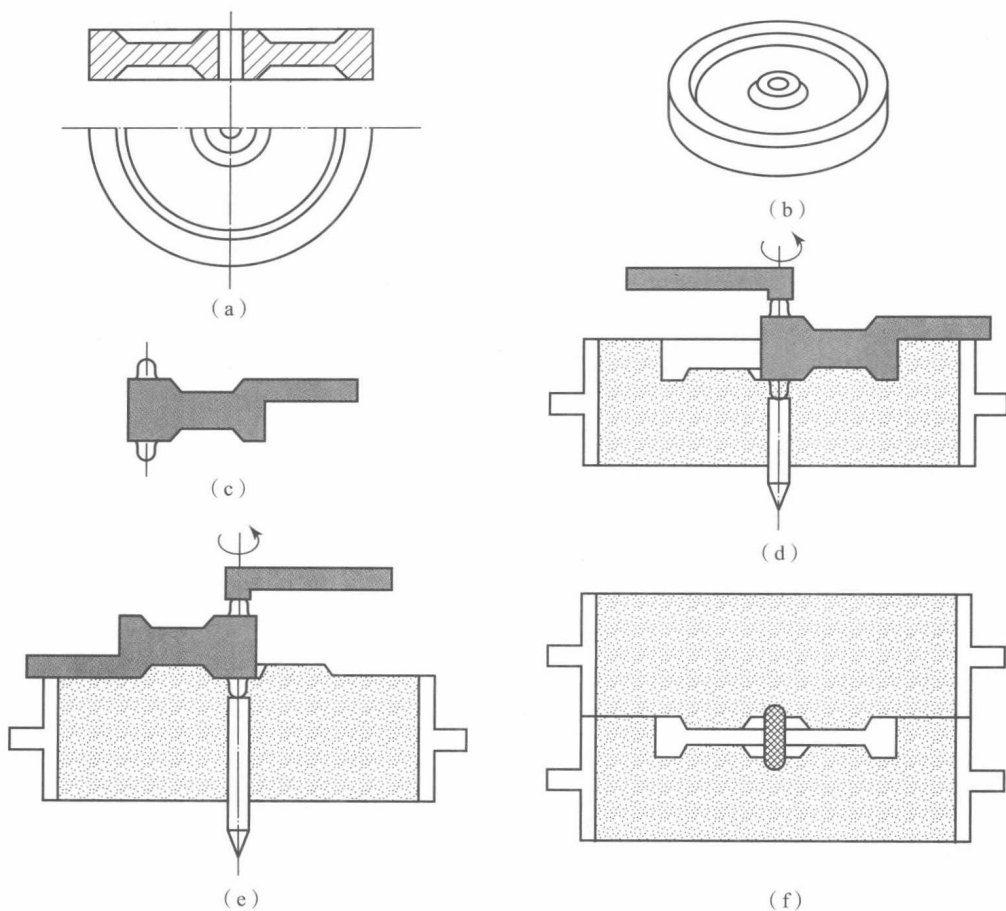


图 1-6 刮板造型过程

(a) 零件; (b) 零件轴测图; (c) 刮板; (d) 造下型; (e) 造上型; (f) 合箱

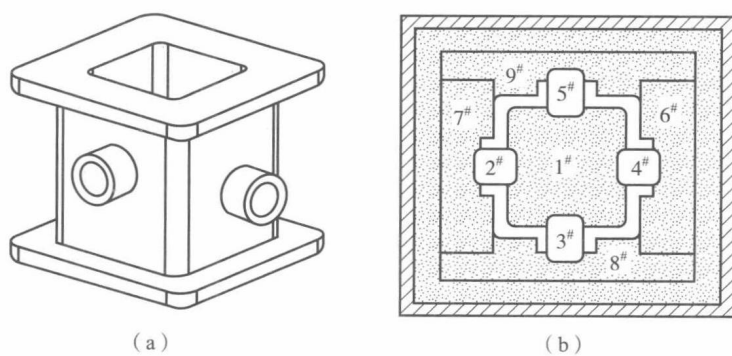


图 1-7 组芯造型

(a) 零件; (b) 组芯型芯

### 1.1.3 机器造型

由于手工造型生产率低，铸型质量难以保持稳定，不能满足现代化生产的需要。随着技

术的进步,大部分手工造型逐渐被机器造型所取代。全部的造型过程或至少紧实工序由机器完成的造型称为机器造型。

### 1. 机器造型的特点及分类

#### 1) 机器造型的特点

- (1) 机器造型的生产率高,约为人工造型的10倍。
- (2) 铸型质量高。和人工造型相比,机器造型的铸型紧实均匀、表面光洁、尺寸精确。
- (3) 机器造型要使用专门的工装,如模板、标准砂箱等。
- (4) 机器造型只能使用两箱造型。由于机器造型的铸件形状不能过于复杂,只能使用两箱造型,砂型也只具有一个分型面,其生产的铸件形状较为简单。

#### 2) 机器造型的分类

根据机器造型的紧实方式,机器造型可以分为压实造型、振实造型、振压结合造型、射砂造型、抛砂造型等。根据施加在砂型表面单位面积上的压力大小,机器造型可分为低压造型(0.13~0.40 MPa)、中压造型(0.40~0.70 MPa)、高压造型(大于0.70 MPa)。根据机器造型发展的阶段,机器造型可分为普通机器造型、微振机器造型、高压机器造型等。

#### 2. 普通机器造型

初期的机器造型主要以压缩空气为动力,以压力、振动、振压结合、抛砂的方式紧实型砂。根据不同的紧实方法,各种普通机器造型的特点和原理介绍如下。

#### 1) 压实造型

压实造型是以压缩空气为动力驱动压头压实型砂造型,其过程如图1-8所示。压实造型的紧实度不均匀,离压头越远紧实度越低,这主要是因为压头的作用范围较小,砂粒间的相互摩擦使压头的作用力随距离的增大而减小。压实造型机器结构简单、噪声小、铸型的比压小,只适合高度较小的铸件(砂箱高度小于150 mm)。

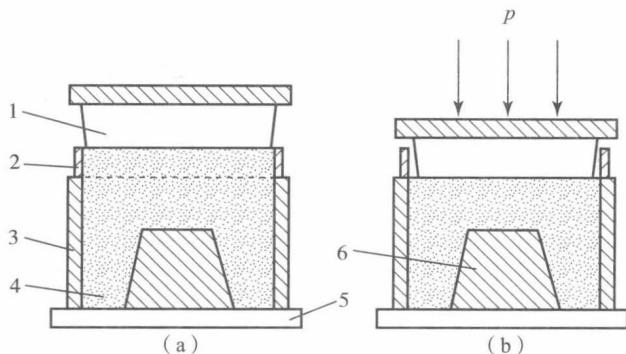


图1-8 压实造型过程

(a) 压实前; (b) 压实后

1—压头; 2—辅助框; 3—砂箱; 4—型砂; 5—模底板; 6—模样

#### 2) 振实造型

振实造型是以压缩空气为动力驱动振动机构,通过多次振动使型砂紧实,振动紧实原理如图1-9所示。振实造型的振动频率为30~50次/min,砂型紧实度均匀,适用于中大砂箱的铸件生产。

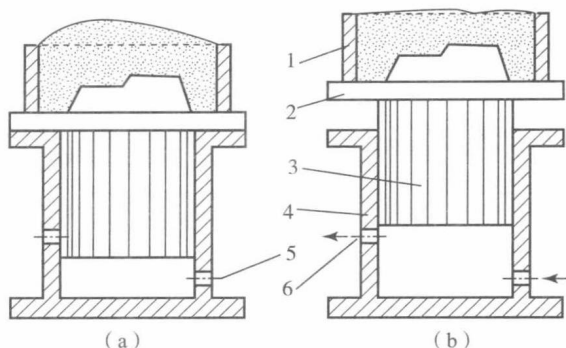


图 1-9 振动紧实原理

(a) 静止状态; (b) 振动紧实状态

1—砂箱; 2—工作台; 3—活塞; 4—气缸; 5—进气孔; 6—排气孔

### 3) 振压结合造型

振压结合造型是在振实造型的基础上再通过压头施加压力使型砂紧实的造型方法。振压结合造型方法得到的砂型紧实度均匀, 并可减少振动次数, 提高了生产率。振压结合造型适合中小尺寸的砂箱。

### 4) 抛砂造型

抛砂造型是通过抛砂机以高速将型砂连续、均匀地抛入砂箱的造型方法。抛砂造型同时完成填砂和紧实, 生产效率高, 噪声小, 适合任何批量的铸件生产。

### 3. 微振机器造型

普通机器造型中的振实造型, 其振动频率低, 振幅大, 生产效率低, 噪声高。为了克服振实造型的缺点, 振动频率比振实造型高 10 倍左右, 而振幅是其 1/10 左右的另一种造型方法——微振机器造型得到应用。微振造型机的原理如图 1-10 所示。压缩空气进入微振气缸, 推动微振活塞带动工作台上的模板和砂箱一起上升, 压缩空气同时使微振气缸向下运动压缩气缸底部下面的弹簧; 当微振活塞上升到一定高度时, 排气孔打开, 缸内气压迅速降

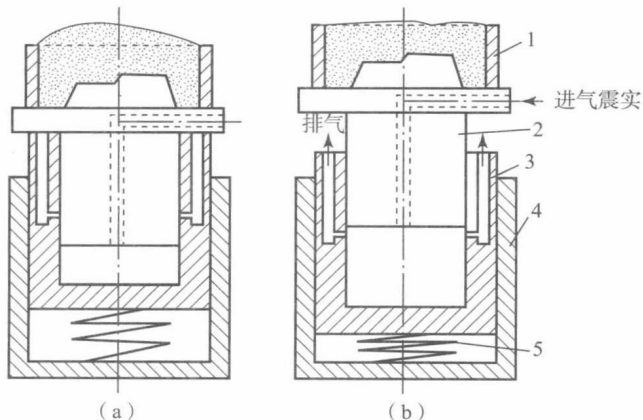


图 1-10 微振造型机的原理

(a) 振实前; (b) 进气振实

1—砂箱; 2—微振活塞; 3—微振气缸; 4—机座; 5—弹簧



低，在重力作用下微振活塞快速下降，而微振气缸在底部弹簧回复力的推动下迅速上升，在微振活塞和微振气缸的撞击下型砂得到紧实，并在短时间内经过多次重复撞击使砂型达到所要求的紧实度。

微振造型的比压较高，紧实度均匀，噪声小，生产效率高，铸件质量好，适应性广，在铸造自动化生产中得到了广泛应用。

#### 4. 高压机器造型

与其他机器造型相比，高压机器造型的铸型比压、铸型硬度、紧实度较高，铸件机械性能和精度等级也较高。按照高压造型的铸型分型面的位置，高压机器造型可分为水平分型高压造型和垂直分型高压造型两种。

##### 1) 水平分型高压造型

水平分型高压造型的铸型分型面为水平面，这种分型方式与常见的普通机器造型分型方式相符合，其浇注系统和砂芯结构与普通机器造型的也基本相同，无须改造便可使用普通机器造型的工艺和装备。水平分型高压造型的加砂方式有高压射砂和重力加砂两种方式，紧实的压头有平压头、成型压头、多触头压头等多种形式。水平分型脱箱高压造型的工艺过程如图 1-11 所示。

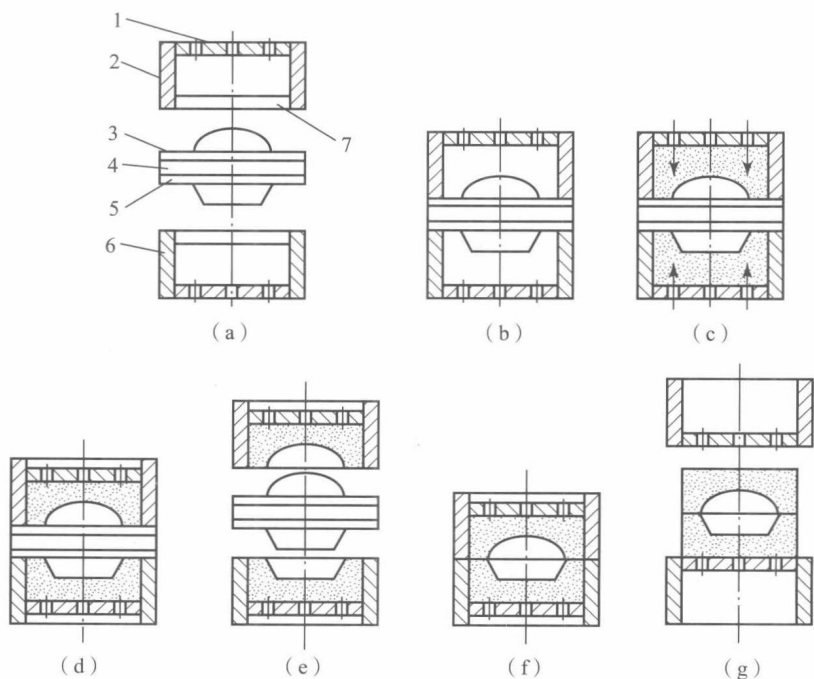


图 1-11 水平分型脱箱高压造型的工艺过程

(a) 砂箱和模样；(b) 合空箱；(c) 射砂；(d) 紧实；(e) 起模；(f) 合型；(g) 脱箱  
1—射压板；2—上砂箱；3—上模板；4—模板框；5—下模板；6—下砂箱；7—辅助框

##### 2) 垂直分型高压造型

垂直分型高压造型的铸型分型面为铅垂面，即与水平面相垂直的平面。垂直分型高压造型工艺不能兼容水平分型的工艺和工装，必须使用与垂直分型相适应的生产工艺，下芯较为不便，对原砂的要求较高。垂直分型无箱射压高压造型工艺过程如图 1-12 所示。