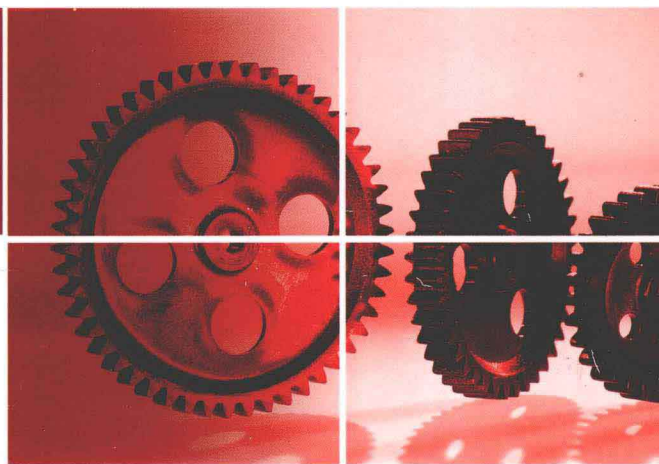


普通高等教育“十二五”工程训练系列规划教材



# 机械工程 实践教程

河南工业大学 沙杰 主编



 **机械工业出版社**  
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”工程训练系列规划教材

# 机械 工 程 实 践 教 程

主 编 沙 杰  
副主编 张振离 周新平  
主 审 刘自然



机械工业出版社

本书根据我国现代制造技术迅速发展的现状及综合性大学工、文、理、法等多学科各专业对学生工程素质的基本要求,在总结各高校实践教学实践经验的基础上,对传统机械制造技术的实习教学内容进行了改革,同时加强了对现代制造技术的实训,并结合了大量的实例进行操作训练。

本书共分14章,内容包括材料成形制造技术(铸造、焊接、钣金、陶艺)、金属零件加工技术(普通机床加工、数控机床加工、特种加工、钳工加工)、产品装配技术及企业信息管理技术。本书内容具有综合性、实践性、科学性和先进性的特点。

本书可作为高等学校各专业工程训练的基本教材,也可供高职院校、成人高校选用。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械工程实践教程/沙杰主编. —北京:机械工业出版社,2012.11  
普通高等教育“十二五”工程训练系列规划教材  
ISBN 978-7-111-39962-9

I. ①机… II. ①沙… III. ①机械工程—高等学校—教材  
IV. ①TH

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第235897号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:邓海平

责任编辑:丁昕祯 邓海平 程足芬 王海霞 王丹凤

版式设计:霍永明 责任校对:纪敬

封面设计:张静 责任印制:杨曦

北京中兴印刷有限公司印刷

2013年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·21印张·519千字

标准书号:ISBN 978-7-111-39962-9

定价:42.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

# 前 言

本书作为工程训练的指导教材，适应了现代工程训练的要求。本书本着“重基本理论、基本概念，淡化过程推导，突出工程应用”的原则组织编写而成，并力求达到以下特点：

1. 本书的各个章节均以具体实习科目为单元，建立循序渐进的实训课题结构，以适应不同学科专业学生学习。

2. 以够用为原则，简化传统教材中有关材料、设备和计算的内容，加强了操作部分的内容，强调技能训练和操作的规范性。

3. 强化现代制造技术的基础实践训练，结合典型范例，注重过程学习。

4. 增加图文档管理、企业资源管理等实习教学内容，为培养学生从企业信息化集成角度认识现代制造技术的发展打下一定的实践基础。

5. 在叙述上，力求图文并茂、深入浅出、直观形象，以便于教学。

本书具有很强的实践性，因此，广大教师应注重采用先进的教学方法和手段，将基础知识与基本工艺实践有机地结合起来，强化操作、讨论和多媒体教学方法等教学环节，以达到更好的教学效果。

全书由河南工业大学沙杰任主编，张振离、周新平任副主编。河南工业大学刘自然教授担任主审。各章节编写分工为：崔希文（第1章、第4章），孙月梅（第2章、第3章、第11章），沙杰（第5章、第8章、第14章），周新平（第6章），张振离（第7章、第12章、第14章），张淑梅（第14章），李爱民（第2章、第3章），申建芳（第9章），曹志军（第10章），陈其峰（第13章），刘铁勇（第14章）。

在本书的编写过程中，于胜昔、赵飞、邢康林参与了有关资料的收集、整理及部分内容的编写工作，在此表示诚挚的感谢。本书参考并引用了有关文献资料、插图等，编者在此对其这些文献的作者也表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有缺点、错误，恳请读者批评指正。

编 者

2012. 9

# 目 录

## 前言

## 第 1 章 铸造成形 ..... 1

### 1.1 型砂配制及基础知识 ..... 1

#### 1.1.1 铸造成形基础知识 ..... 1

#### 1.1.2 造型材料 ..... 4

#### 1.1.3 型砂配制 ..... 5

#### 思考题 ..... 6

### 1.2 整体造型 ..... 6

#### 1.2.1 手工造型基础知识 ..... 6

#### 1.2.2 整造型方法 ..... 7

#### 1.2.3 建立浇注系统 ..... 8

#### 1.2.4 造型基本操作 ..... 10

#### 思考题 ..... 12

### 1.3 分造型及造芯 ..... 12

#### 1.3.1 分造型 ..... 12

#### 1.3.2 造芯 ..... 13

#### 思考题 ..... 16

### 1.4 其他手工造型方法 ..... 17

#### 1.4.1 挖砂造型 ..... 17

#### 1.4.2 活块造型 ..... 18

#### 1.4.3 刮板造型 ..... 19

#### 1.4.4 三箱造型 ..... 19

#### 1.4.5 机器造型 ..... 20

#### 思考题 ..... 22

### 1.5 特种铸造方法 ..... 22

#### 1.5.1 熔模铸造 ..... 23

#### 1.5.2 金属型铸造 ..... 24

#### 1.5.3 压力铸造 ..... 25

#### 1.5.4 离心铸造 ..... 26

#### 1.5.5 消失模铸造 ..... 26

#### 1.5.6 连续铸造 ..... 28

#### 思考题 ..... 28

### 1.6 合金的熔炼、浇注及废品分析 ..... 29

#### 1.6.1 合金的熔炼 ..... 29

#### 1.6.2 浇注 ..... 33

#### 1.6.3 铸件的落砂、清理和时效 处理 ..... 34

#### 1.6.4 铸造缺陷分析 ..... 34

#### 思考题 ..... 36

## 第 2 章 焊接成形 ..... 37

### 2.1 焊接基础知识及焊条电弧焊 ..... 37

#### 2.1.1 焊接的分类、特点及应用 ..... 37

#### 2.1.2 焊条电弧焊 ..... 38

#### 思考题 ..... 42

### 2.2 气焊与气割 ..... 42

#### 2.2.1 气焊 ..... 42

#### 2.2.2 气割 ..... 46

#### 思考题 ..... 47

### 2.3 其他焊接方法 ..... 47

#### 2.3.1 埋弧焊 ..... 47

#### 2.3.2 气体保护焊 ..... 48

#### 2.3.3 等离子弧焊 ..... 49

#### 2.3.4 电阻焊 ..... 50

#### 2.3.5 电渣焊 ..... 51

#### 2.3.6 钎焊 ..... 51

#### 2.3.7 焊接缺陷、焊接变形 ..... 52

#### 思考题 ..... 53

## 第 3 章 钣金成形 ..... 54

### 3.1 钣金基础知识 ..... 54

#### 3.1.1 冷作钣金工作内容 ..... 54

#### 3.1.2 常用工、夹、量具和器具 ..... 55

#### 3.1.3 手工剪切下料 ..... 60

#### 思考题 ..... 61

### 3.2 钣金展开放样工艺 ..... 61

#### 3.2.1 钣金展开基础 ..... 61

#### 3.2.2 钣金展开的工艺处理 ..... 64

#### 3.2.3 薄板制件的咬缝 ..... 67

#### 思考题 ..... 71

### 3.3 手工成形 ..... 71

#### 3.3.1 弯曲 ..... 72

#### 3.3.2 卷边 ..... 74

#### 3.3.3 拔缘 ..... 75

#### 3.3.4 拱曲 ..... 76

#### 思考题 ..... 77

<b>第4章 陶艺成形</b> .....	78	<b>第6章 车削加工</b> .....	106
4.1 泥条盘筑成形 .....	78	6.1 车床的操作 .....	106
4.1.1 陶艺基础知识 .....	78	6.1.1 车削加工基础知识 .....	106
4.1.2 泥条盘制方法 .....	80	6.1.2 车床的组成及传动 .....	107
思考题 .....	83	6.1.3 车刀及其安装 .....	109
4.2 泥板成形 .....	83	思考题 .....	111
4.2.1 制泥板的工具及用途 .....	83	6.2 车削外圆、端面和台阶 .....	111
4.2.2 制泥板 .....	84	6.2.1 工件在车床上的装夹方法 .....	112
4.2.3 泥板成形实例 .....	85	6.2.2 车削端面 .....	114
思考题 .....	86	6.2.3 车削外圆和台阶 .....	115
4.3 拉坯成形 .....	86	思考题 .....	117
4.3.1 拉坯成形方法 .....	86	6.3 车削圆锥 .....	117
4.3.2 施釉技法 .....	89	6.3.1 圆锥的种类及作用 .....	117
4.3.3 陶瓷烧成工艺 .....	91	6.3.2 车削圆锥面的方法 .....	118
思考题 .....	93	6.3.3 圆锥面工件的测量 .....	120
<b>第5章 切削加工基础</b> .....	94	思考题 .....	121
5.1 概述 .....	94	6.4 钻孔和车孔 .....	121
5.1.1 切削运动 .....	94	6.4.1 圆柱孔概述 .....	121
5.1.2 切削用量 .....	95	6.4.2 钻孔 .....	122
5.2 常用量具及其应用 .....	96	6.4.3 车孔 .....	123
5.2.1 钢直尺 .....	96	思考题 .....	125
5.2.2 卡钳 .....	96	6.5 切断和车槽 .....	125
5.2.3 游标卡尺 .....	96	6.5.1 切断 .....	125
5.2.4 千分尺 .....	97	6.5.2 车槽 .....	127
5.2.5 量规 .....	98	思考题 .....	129
5.2.6 百分表 .....	98	6.6 车削螺纹 .....	129
5.2.7 塞尺 .....	99	6.6.1 普通螺纹各部分的名称及基本 要素 .....	129
5.2.8 直角尺 .....	99	6.6.2 螺纹车刀及其安装 .....	130
5.3 机床的分类及编号 .....	99	6.6.3 车床的调整 .....	131
5.3.1 机床的类别及其代号 .....	99	6.6.4 车削螺纹的方法与步骤 .....	131
5.3.2 机床的特性及其代号 .....	100	6.6.5 螺纹的测量 .....	132
5.3.3 主要参数及其表示 .....	100	思考题 .....	133
5.3.4 机床型号的结构 .....	100	<b>第7章 铣削加工</b> .....	134
5.4 刀具材料 .....	101	7.1 铣床的操作及铣刀 .....	134
5.4.1 刀具材料应具备的性能 .....	101	7.1.1 铣削加工基础知识 .....	134
5.4.2 常用的刀具材料 .....	102	7.1.2 铣床及其附件 .....	136
5.4.3 新型刀具材料 .....	102	7.1.3 铣刀 .....	138
5.5 零件加工精度与表面质量 .....	103	思考题 .....	140
5.5.1 精度 .....	103	7.2 铣削加工工艺 .....	140
5.5.2 表面粗糙度 .....	104	7.2.1 铣削方式 .....	141
思考题 .....	105	7.2.2 零件的安装 .....	142
		7.2.3 铣削加工工艺 .....	142

7.2.4 铣削加工实例 .....	146	9.3.1 锉削工具 .....	185
思考题 .....	148	9.3.2 锉刀的选用 .....	186
7.3 等分零件 .....	148	9.3.3 工件的装夹 .....	186
7.3.1 万能分度头的结构与传动 原理 .....	148	9.3.4 锉刀柄的装卸 .....	187
7.3.2 万能分度头的分度方法 .....	149	9.3.5 锉削操作方法 .....	187
7.3.3 分度头的安装 .....	151	9.3.6 常见表面的锉削方法 .....	188
7.3.4 铣削螺旋槽和齿轮 .....	152	9.3.7 锉削质量检测 .....	189
思考题 .....	154	9.3.8 锉削技能训练 .....	189
<b>第8章 磨削加工</b> .....	155	思考题 .....	190
8.1 磨削操作及砂轮 .....	155	9.4 孔加工 .....	190
8.1.1 磨削加工基础知识 .....	155	9.4.1 钻孔 .....	190
8.1.2 砂轮及其平衡和修整 .....	158	9.4.2 扩孔 .....	192
8.1.3 外圆磨削实例 .....	160	9.4.3 铰孔 .....	193
思考题 .....	161	9.4.4 孔加工技能训练 .....	194
8.2 磨削加工技术 .....	161	思考题 .....	194
8.2.1 常见的磨削方法 .....	161	9.5 螺纹加工 .....	194
8.2.2 台阶轴的磨削 .....	163	9.5.1 攻螺纹 .....	194
8.2.3 圆锥的磨削 .....	164	9.5.2 套螺纹 .....	196
8.2.4 圆锥磨削实例 .....	165	9.5.3 螺纹加工技能训练 .....	197
8.2.5 磨削外圆零件时易出现的缺陷 及其解决措施 .....	166	思考题 .....	198
思考题 .....	167	9.6 銮削和刮削 .....	198
8.3 精密内圆磨削 .....	167	9.6.1 銮削 .....	198
8.3.1 精密内圆磨床简介 .....	167	9.6.2 刮削 .....	200
8.3.2 Z2-015 数控双工位精密内圆 磨床磨削实例 .....	169	9.6.3 銮削和刮削技能训练 .....	203
思考题 .....	174	思考题 .....	204
<b>第9章 钳工加工</b> .....	175	<b>第10章 机械装配</b> .....	205
9.1 钳工加工基础知识及划线 .....	175	10.1 装配前的准备 .....	205
9.1.1 钳工加工基础知识 .....	175	10.1.1 装配基础知识 .....	205
9.1.2 划线 .....	176	10.1.2 装配图分析 .....	208
思考题 .....	180	10.1.3 制订装配工艺规程 .....	208
9.2 锯削 .....	180	10.1.4 装配场地及用具准备 .....	210
9.2.1 锯削工具 .....	180	10.1.5 零件准备 .....	211
9.2.2 锯条的安装方法 .....	181	10.1.6 零部件的平衡 .....	212
9.2.3 工件的装夹 .....	182	思考题 .....	213
9.2.4 锯削操作方法 .....	182	10.2 部件装配 .....	213
9.2.5 锯条损坏的原因 .....	183	10.2.1 典型装配 .....	213
9.2.6 常用零件的锯削方法 .....	183	10.2.2 部件装配实例一 Z4012A 台式 钻床花键套轴承座的装配 .....	220
9.2.7 锯削技能训练 .....	184	10.2.3 部件装配实例二 Z4012A 台式 钻床主轴套筒组件的装配 .....	221
思考题 .....	184	10.2.4 部件装配实例三 Z4012A 台式 钻床齿轮轴组件的装配 .....	223
9.3 锉削 .....	185	思考题 .....	224

10.3 总装配 .....	224	12.2.2 常用编程指令 .....	270
10.3.1 总装配图样及工艺分析 .....	224	12.2.3 建立工件坐标系 .....	274
10.3.2 总装配的工艺要求 .....	228	12.2.4 MPI 运行 .....	275
10.3.3 装配步骤与方法 .....	230	思考题 .....	275
10.3.4 整机测试 .....	235	12.3 编程及零件加工 .....	275
思考题 .....	237	思考题 .....	280
10.4 装配质量的控制与检验 .....	237	<b>第 13 章 数控线切割加工</b> .....	282
10.4.1 控制装配质量的途径 .....	237	13.1 数控线切割基础知识 .....	282
10.4.2 选择合理的装配方法 .....	240	13.1.1 数控线切割加工基础知识 .....	282
10.4.3 装配质量检验 .....	240	13.1.2 数控线切割加工原理 .....	284
10.4.4 精度检测实例 .....	241	13.1.3 数控线切割机床 .....	284
思考题 .....	243	13.1.4 数控线切割刀具与线切割液 .....	286
<b>第 11 章 数控车削加工</b> .....	244	思考题 .....	286
11.1 数控车削加工基础知识及数控 车床操作面板 .....	244	13.2 数控线切割编程与加工实例 .....	287
11.1.1 数控车削加工基础知识 .....	244	13.2.1 数控线切割编程 .....	287
11.1.2 数控车床操作面板 .....	246	13.2.2 数控线切割加工实例 .....	288
11.1.3 数控车床常用刀具 .....	250	思考题 .....	292
思考题 .....	250	<b>第 14 章 CAD/PDM/CAM/ERP 技     术应用</b> .....	293
11.2 常用编程指令及坐标系建立 .....	251	14.1 CAD 技术应用 .....	293
11.2.1 运动方向的确定 .....	251	14.1.1 CAD 概述和流程 .....	293
11.2.2 常用编程指令 .....	252	14.1.2 SolidWorks 应用实例 .....	294
11.2.3 MDI 运行 .....	256	思考题 .....	301
11.2.4 建立工件坐标系 .....	256	14.2 PDM 技术应用 .....	302
思考题 .....	259	14.2.1 PDM 概述 .....	302
11.3 编程及零件加工 .....	259	14.2.2 PDM 应用实例 .....	303
11.3.1 程序的结构格式 .....	259	思考题 .....	307
11.3.2 编程方法 .....	259	14.3 CAM 技术应用 .....	307
11.3.3 零件加工实例 .....	260	14.3.1 CAM 概述 .....	307
思考题 .....	262	14.3.2 MasterCAM 应用实例 .....	308
<b>第 12 章 数控铣削加工</b> .....	263	思考题 .....	316
12.1 数控铣削加工基础知识及数控 铣床操作面板 .....	263	14.4 ERP 技术应用 .....	316
12.1.1 数控铣削加工基础知识 .....	263	14.4.1 ERP 概念 .....	316
12.1.2 数控铣床操作面板 .....	266	14.4.2 ERP 的基本功能模块 .....	316
12.1.3 数控铣床的工具 .....	268	14.4.3 ERP 的实施及实施的意义 .....	318
思考题 .....	269	14.4.4 ERP 应用软件简介 .....	319
12.2 常用编程指令及建立坐标系 .....	269	思考题 .....	327
12.2.1 运动方向的确定 .....	269	<b>参考文献</b> .....	328



# 第1章 铸造成形

## 【学习目的与要求】

1. 了解铸造生产的工艺过程、特点和应用。
2. 了解型砂、芯砂等造型材料的性能、组成及其制备过程。
3. 了解铸造合金熔炼、浇注的基本知识，了解机器造型及特种铸造工艺。
4. 熟悉砂型铸造主要造型方法的工艺过程、特点与应用。
5. 熟悉常见的铸造缺陷及产生的主要原因。
6. 掌握手工整模造型与分模造型的基本操作方法。

## 1.1 型砂配制及基础知识

### 1.1.1 铸造成形基础知识

#### 1. 铸造及其特点

将熔融金属浇入和零件形状相适应的铸型型腔中，使之冷却、凝固，从而获得毛坯（或零件）的成形方法称为铸造。铸造的实质是利用熔融金属的流动性来实现成形。用铸造方法得到的具有一定形状和性能的金属件称为铸件。大多数铸件作为毛坯，需要经过机械加工后才能成为机器零件。某些铸件当达到使用的尺寸精度和表面粗糙度要求时，可作为成品或零件直接使用。

熔融金属和铸型是铸造的两大基本要素。铸件用金属有：铸铁、铸钢、铝合金、镁合金及铜合金等。铸型由型砂、金属或其他耐火材料制成，形成铸件形状的空腔等部分。

铸造生产方法很多，常见的有砂型铸造和特种铸造。

(1) 砂型铸造 用型砂制造铸型并生产铸件的方法称为砂型铸造。型砂来源广泛，价格低廉，且砂型铸造方法适应性强，因而是目前生产中用得最多、最基本的铸造方法。砂型铸造广泛应用于铸铁、铸钢件的生产。

(2) 特种铸造 特种铸造是与砂型铸造不同的其他铸造方法，如熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、低压铸造、离心铸造、连续铸造、磁型铸造等。

作为一种液态成形的加工方法，在制造业的诸多材料成形方法中，铸造生产具有以下优点：

1) 适用范围广。铸造几乎不受铸件大小、厚薄和形状复杂程度的限制。其结构形状可以很简单，也可以很复杂；质量可以小到几克，大到几百吨；其壁厚可以小到0.3mm，大到1m左右。铸造最适合生产形状复杂，特别是内腔复杂的零件，例如复杂的箱体、阀体、叶轮、发动机气缸体、螺旋桨等。

2) 铸件的形状和尺寸与图样设计零件非常接近，加工余量小。尺寸精度一般比锻件、焊接件高。

3) 成本低廉、综合经济性能好。铸造成形的能源和材料消耗及成本均比其他金属成形方法低。铸件在一般机器中占总质量的40%~80%，而制造成本只占机器总成本的25%~30%。

铸造是机械制造行业中生产毛坯(或零件)的重要加工方法之一。在机床、汽车、拖拉机、动力机械、电机、水力机械和仪器仪表等制造业中得到广泛应用。但是，铸件的力学性能较差，而且由于铸造工序多、投料多，控制不当时会造成铸件的质量不稳定。此外，铸造生产劳动条件也比较差。

## 2. 砂型铸造的生产过程

砂型铸造的主要工序包括：根据零件的形状和尺寸，设计制造模样和芯盒；配制型砂和芯砂；用模样制造砂型，用芯盒制造型芯；将型芯装入砂型并合型；熔化金属，并将熔化的液态金属浇入铸型；冷却凝固后开型落砂，经表面清理、质量检验得到铸件。大型铸件的砂型及型芯，在合型前还需烘干。图1-1为砂型铸造套筒铸件的生产过程。

## 3. 铸型的组成

铸型是依据零件形状用造型材料制成的，铸型可以是砂型，也可以是金属型。砂型是由型砂等作为造型材料制成的。

铸型一般由上砂型、下砂型、型芯、型腔和浇注系统等组成，如图1-2所示。铸型组元间的接合面称为分型面。铸型中造型材料所包围的空腔部分，即形成铸件本体的空腔称为型腔。型芯一般用来形成铸件的內孔和內腔。液态金属通过浇注系统流入并充满型腔，型砂及型腔中的气体从出气口排出，而处于高温金属液包围之中的型芯所产生的气体则通过型芯通气孔排出。砂型各组成部分的名称与作用见表1-1。

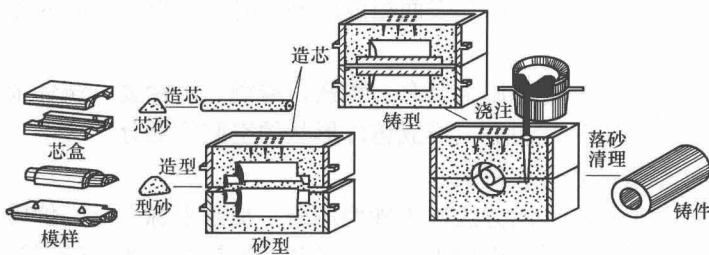


图 1-1 砂型铸造套筒铸件的生产过程

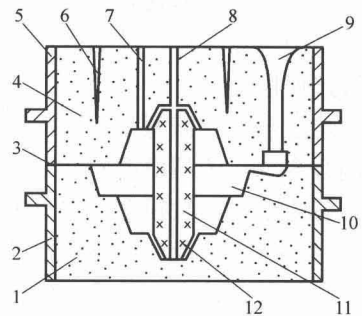


图 1-2 铸型的组成

- 1—下砂型 2—下砂箱 3—分型面  
4—上砂型 5—上砂箱 6—通气孔 7—出气口  
8—型芯通气孔 9—浇注系统 10—型腔  
11—型芯 12—型芯头

表 1-1 砂型各组成部分的名称与作用

名称	作用与说明
上砂型(上箱)	浇注时铸型的上部组元
下砂型(下箱)	浇注时铸型的下部组元
分型面	铸型组元间的接合面
型腔	铸型中造型材料包围的空腔部分，型腔不包括模样上芯头部分形成的相应空腔

(续)

名称	作用与说明
型芯	为获得铸件的内孔或局部外形, 由芯砂或其他材料制成, 安装在型腔内部的铸型组元
浇注系统	为金属液填充型腔和冒口而开设于铸型中的一系列通道。通常由浇口杯、直浇道、横浇道和内浇道组成
冒口	在铸型内储存供补缩铸件用熔融金属的空腔。该空腔中充填的金属也称为冒口。冒口有时还起排气集渣的作用
排气道	为排除浇注时形成的气体而设置的沟槽或孔道
出气孔	在砂型或型芯上, 用通气针扎出的通气孔。出气孔的底部要与模样有一定的距离
冷铁	为增加铸件局部的冷却速度, 在砂型、型芯表面或型腔中安放金属物

#### 4. 模样与芯盒

模样和芯盒是造型和造芯用的模具。模样用来造型, 以形成铸件的外形, 芯盒用来造芯, 以形成铸件的内腔。小批量生产时, 模样和芯盒常用木材制造, 大批量生产中常用铝合金和塑料制造。

由于模样形成铸型的型腔, 故模样的结构一定要考虑铸造的特点。设计模样要考虑铸造工艺参数, 如加工余量、铸造收缩率、起模斜度、铸造圆角等, 还要考虑加工芯头和芯座。

(1) 加工余量 加工余量是为保证铸件加工面尺寸和零件精度, 在铸件设计时预先增加的金属层厚度, 该厚度在铸件机械加工成零件的过程中去除。

(2) 铸造收缩率 铸件浇注后, 在凝固冷却过程中, 会产生尺寸收缩, 其中以固态收缩阶段产生的尺寸缩小对铸件的形状和尺寸精度影响最大, 此时的收缩率又称线收缩率。

(3) 起模斜度 当零件本身没有足够的结构斜度, 为保证造型时容易起模, 避免损坏砂型, 应在铸件设计时给出铸件的起模斜度。

(4) 铸造圆角 模样上壁与壁的连接处应采用圆角过渡, 以改善铸件质量, 防止应力集中和起模时毁坏砂型。

(5) 芯头和芯座 为便于安放和固定型芯, 在模样和芯盒上应分别做出芯座和芯头。芯座应比芯头稍大些, 两者之差即为下芯时所需要的间隙。图 1-3 所示是压盖的零件图、铸造工艺图、模样和芯盒图。

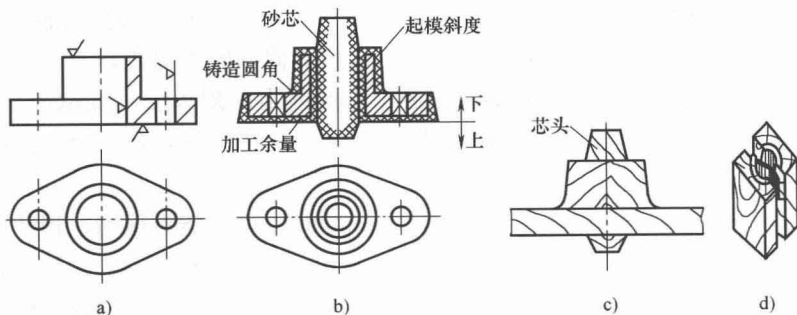


图 1-3 压盖的零件图、铸造工艺图、模样和芯盒图

a) 零件图 b) 铸造工艺图 c) 模样图 d) 芯盒图

### 1.1.2 造型材料

造型过程中,型砂在外力作用下成形并达到一定的紧实度或密度而成为砂型。型砂的质量直接影响铸件的质量,型砂质量不好会使铸件产生气孔、砂眼、粘砂和夹砂等缺陷,这些缺陷造成的废品约占铸件总废品的50%以上。中、小铸件广泛采用湿砂型(不经烘干可直接浇注的砂型),大铸件则用干砂型(经过烘干的砂型)。

#### 1. 型(芯)砂的组成

用来形成铸件外形的造型材料称为型砂。用来制造型芯的材料称为芯砂。型(芯)砂是由原砂、粘结剂、附加物和水按一定比例配合,经过混制成为符合造型要求的混合物。

(1) 原砂 原砂是骨干材料,占型砂总质量的82%~99%,原砂有山砂、河砂和海砂,主要成分是 $\text{SiO}_2$ ,其含量越高,耐火性越好。

(2) 粘结剂 粘结剂起粘结砂粒的作用,以粘结薄膜形式包覆砂粒,使型砂具有必要的强度和韧性。常用的粘结剂有粘土、膨润土、桐油、亚麻仁油、水玻璃等。

(3) 附加物 附加物是为了改善型砂所需要的性能,或为了抑制型砂不希望有的性能而加入的物质。常用的附加物有煤粉和锯木屑,煤粉可以防止铸件粘砂,提高其表面质量;锯木屑可改善型(芯)砂的透气性和退让性,防止铸件产生气孔、变形、裂纹等缺陷。

#### 2. 型砂应具备的主要性能

型砂的成分和性能对铸件质量有很大的影响,因此对型砂的质量要进行适当的控制。

(1) 强度 型砂必须具备一定的强度以承受各种外力的作用。如果强度不足,在起模、搬动砂型、下芯、合型等过程中,铸型有可能会破损塌落;浇注时铸型可能承受不住金属液的冲刷和冲击,冲坏砂型而造成砂眼缺陷。但是,型砂强度也不宜过高,因为高强度的型砂需要加入更多的粘土,不仅会增加水分和降低透气性,还会使铸件的生产成本增加,而且给混砂、紧实和落砂等工序带来困难。

(2) 透气性 紧实的型砂能让气体通过而逸出的能力称为透气性。浇注时,在液体金属的热作用下铸型会产生大量气体,这些气体必须通过铸型排出去。如果型砂、型芯不具备良好的排气能力,气体留在型砂内,浇注过程中就有可能发生呛火,使铸件产生气孔、浇不到等缺陷。但透气性太高会使型砂疏松,铸件易出现表面粗糙和机械粘砂。

(3) 可塑性 可塑性是指型砂在外力作用下变形,去除外力后仍保持所获得形状的能力。可塑性好,型砂变形容易,铸型轮廓清晰,起模和修型时不易破碎及掉落。

(4) 耐火度 耐火度是指型砂承受高温热作用的能力。耐火度主要取决于砂中 $\text{SiO}_2$ 的质量分数, $\text{SiO}_2$ 的质量分数越多,型砂耐火度越高。对铸铁件,砂中 $\text{SiO}_2$ 的质量分数 $\geq 90\%$ 就能满足要求。

(5) 退让性 铸件在凝固和冷却过程中产生收缩时,型砂能被压缩、退让的性能称为退让性。型砂退让性不足,会使铸件收缩受到阻碍,产生内应力和变形、裂纹等缺陷。对小砂型应避免舂得过紧,对大砂型,常在型(芯)砂中加入锯末、焦炭等材料以增加退让性。

(6) 流动性 型砂在外力或本身质量的作用下,沿模样和砂粒之间相对移动的能力称为流动性。流动性好的型砂易于充填、舂紧,可形成紧实度均匀、无局部疏松、轮廓清晰、表面光洁的型腔,这有助于防止机械粘砂,获得光洁的铸件。此外,还能减少造型时型砂紧实的劳动量,提高生产率和便于实现造型、造芯过程的机械化。

由于型芯在浇注时完全被高温液体金属包围，因此，芯砂对上述性能的要求比型砂更高。此外，还要求芯砂的吸湿性小、发气量少、落砂性好等。

### 3. 型（芯）砂的种类及应用

型（芯）砂按粘结剂的种类可分为以下几种：

(1) 粘土砂 粘土砂由原砂（应用最广泛的是硅砂）、粘土（或膨润土）、水及附加物（煤粉、木屑等）按一定比例配制而成，是迄今为止铸造生产中应用最广泛的型砂。粘土砂可用于制造铸铁件、铸钢件及铸造非铁合金的砂型和不重要的型芯。图 1-4 所示为粘土砂的结构示意图。粘土砂根据其功能及使用方式的不同，可分为面砂、背砂等。

(2) 水玻璃砂 水玻璃砂是用水玻璃作粘结剂配制成的型砂，它是除粘土砂外使用最广泛的一种型砂。水玻璃砂铸型或型芯无需烘干、硬化速度快、生产周期短、易于实现机械化、工人劳动条件好。但铸件易粘砂、型（芯）砂退让性差、落砂困难、耐用性差。

(3) 油砂和合脂砂 虽然粘土砂和水玻璃砂也可用来制造型芯，但对于结构形状复杂、要求高的型芯，则难以满足要求。因为型芯在浇注后被高温金属液包围，因此芯砂应具有比一般型砂更高的性能要求。尺寸较小、形状复杂或较重要的型芯，可用油砂或合脂砂制造。

(4) 树脂砂 树脂砂是以树脂作为粘结剂而配制成的型砂。用树脂砂造型或造芯，铸件质量好、生产率高、节省能源和工时费用，同时，也减少了清理工作量，降低了工人的劳动强度，适宜于成批大量生产。

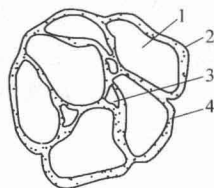


图 1-4 粘土砂的结构示意图  
1—砂粒 2—粘结剂  
3—空隙 4—附加物

### 1.1.3 型砂配制

型（芯）砂质量的好坏不但取决于原材料的性能，同时也取决于配比和配制的方法。

型砂的制配工艺对型砂的性能有很大影响。将新砂、旧砂、粘结剂等处理后，按一定比例和次序进行混合称为混制，型砂混制很重要。由于浇注时砂型表面受高温金属液的作用，砂粒粉碎变细，煤粉燃烧分解，使型砂中灰分增多，透气性降低，部分粘土会丧失粘结力，使型砂性能变坏，因此，落砂后的旧砂不能直接使用，必须经磁选（选出砂中的铁块、铁豆和铁钉等）、过筛，以去除铁块及砂团，再掺入适量的新砂、粘土和水，经过混制恢复良好性能后才能使用。

混砂的目的是将型砂各组成成分混合均匀，使粘结剂均匀分布在砂粒表面。型砂混制是在混砂机中进行的，目前常用的是碾轮式混砂机，如图 1-5 所示。混砂工艺是：按比例加入新砂、旧砂、粘结剂和辅助材料，先干混 2~3min，其目的是将大块压碎，将各种成分搅拌均匀；然后加水湿混 5~12min，即可出砂。在混砂机碾轮的碾压和搓揉作用下，各种材料被混合均匀。混好

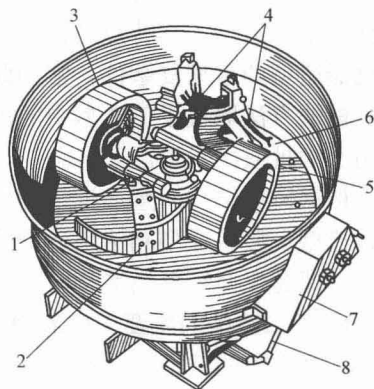


图 1-5 碾轮式混砂机  
1—主轴 2、4—刮板 3、5—碾轮  
6—卸料门 7—防护罩 8—气动拉杆

的型(芯)砂通常应堆放2~4h,使粘土膜中的水分分布更均匀,这一过程叫做调匀。型砂在使用前还需进行松散处理,使砂块松开,空隙增加。

型砂配好后,能否投入使用应通过型砂试验仪来进行检测。单件小批生产时,可用手捏检验法。用手攥一把型砂,感到潮湿但不沾手,且手感柔和,印在砂团上的手指痕迹清楚,砂团掰断时断面不粉碎,说明型砂的干湿程度适宜、性能合格,如图1-6所示。这种方法简单易行,但需凭个人经验,因人而异,也不准确,不能作为判断型砂干湿程度和控制型砂质量的主要依据。



图 1-6 手感法检验型砂

## 思考题

1. 什么是铸造? 铸造由哪些工序组成?
2. 铸型由哪几部分组成? 说明它们的作用。
3. 型砂的主要组成是什么? 应具有哪些性能?
4. 和零件相比, 模样结构上有什么特点?
5. 型砂反复使用后, 为什么性能会降低?

## 1.2 整体模造型

### 1.2.1 手工造型基础知识

在砂型铸造中, 主要、大量的工作是用型砂及模样来制造铸型。造型是铸造生产中最主要的工序, 对于保证铸件尺寸精度和提高铸件质量有着重要影响。

造型方法整体上可分为手工造型和机器造型两大类。通过手工或手动工具完成造型的工序称为手工造型, 其特点是操作灵活, 适用性强。因此, 在单件小批量生产中, 特别是不宜用机器造型的重型复杂件, 常用此法, 但手工造型效率低, 劳动强度大。机器造型实质上是用机械的方法取代手工造型中的填砂、紧实和起模动作, 极大地提高了劳动生产率, 它主要适用于大批或大量生产。

根据铸件结构、生产批量和生产条件, 手工造型常用方法有: 整模造型、分开模造型、挖砂造型、假箱造型和活块造型等。

本课题仅介绍整模造型。

#### 1. 手工造型的主要工序流程

一个完整的造型工艺过程, 应包括准备工作、安放模样、填砂、紧实、起模、修型、合箱等主要工序。图1-7所示为手工造型的主要工序流程图。

#### 2. 工装与工具

常用的手工造型工具如图1-8所示, 其中砂箱用于支承砂型; 底板用于放置模样,

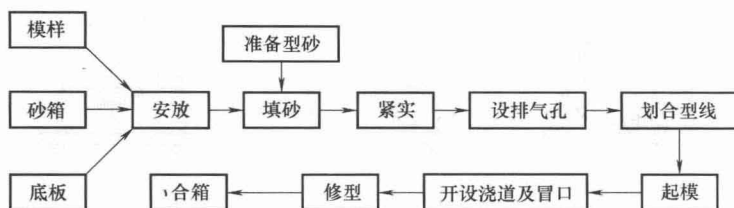


图 1-7 手工造型的主要工序流程

砂春的尖头用于舂砂，平头用于打紧砂箱顶部的砂；通气针用于扎通气孔，起模针用于起出模样；浇口棒用于形成直浇道；手风箱用于吹去型腔中的散砂；垦刀用于修平面及挖沟槽；秋叶用于修凹陷的曲面；砂钩用于修较深的沟槽底部或侧面，以及钩出砂型中的散砂；半圆用来修圆柱形的内壁和内圆角；刮砂板可用于刮去砂型上多余的型砂。

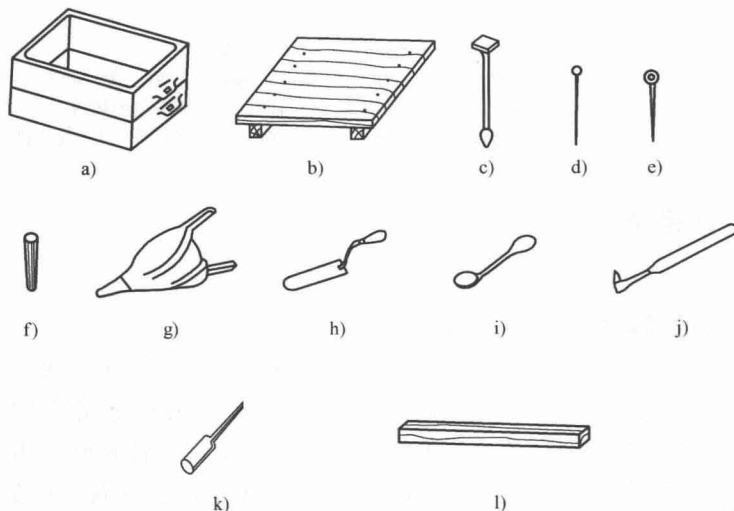


图 1-8 常用的手工造型工具

a) 砂箱 b) 底板 c) 砂冲 d) 通气针 e) 起模针 f) 浇口棒  
g) 手风箱 h) 垦刀 i) 秋叶 j) 砂钩 k) 半圆 l) 刮砂板

### 1.2.2 整模造型方法

整模造型的模样是一个整体，其特点是造型的模样全部放在一个砂箱（下箱）内，分型面为平面。

图 1-9 所示是整模造型的工艺过程，具体过程如下：①把模样放在型板上；②放好下砂箱，撒上厚度约 20mm 的面砂，再加填充砂；③均匀捣实每层型砂，刮去多余型砂；④翻转下砂箱，用垦刀修光分型面；⑤套上上砂箱，撒分型砂；⑥放浇口棒，加填充砂，并舂紧，刮平多余型砂，扎通气孔，拔出浇口棒，在直浇道上挖出外浇口，划合型线；⑦把上砂箱搬开，用毛笔蘸水把模样沿湿润用起模针起出模样；⑧在下砂箱挖出内浇道，在上砂箱挖出横浇道；⑨修型，吹去多余砂粒；⑩合箱，紧固上、下型或放上压铁，等待浇注。

整体模造型操作简便，所得铸型型腔的形状和尺寸精确，铸件不会产生错型缺陷，此方法适用于最大截面在一端，且为平面、形状简单的铸件，如压盖、齿轮坯、轴承座等。

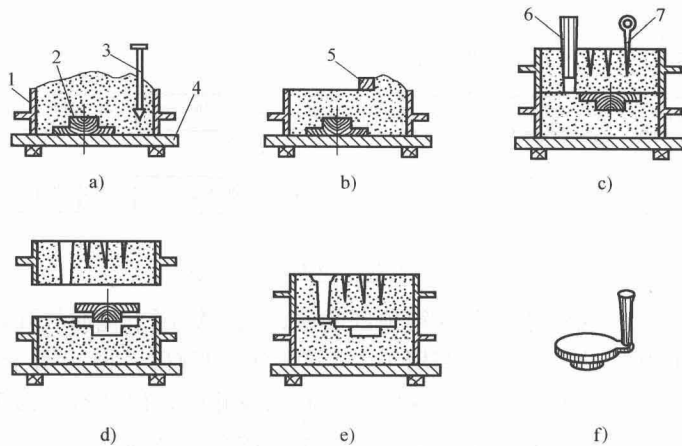


图 1-9 整模造型的工艺过程

- a) 填砂、春砂、造下砂型 b) 刮平、翻箱 c) 翻转下砂型、造上砂型、扎排气孔 d) 开箱、起模、开浇道 e) 合箱 f) 带浇道的铸件  
1—砂箱 2—模样 3—砂冲 4—型板 5—刮砂板 6—浇口棒 7—气孔针

### 1.2.3 建立浇注系统

浇注系统是砂型中引导金属液进入型腔的通道。

#### 1. 对浇注系统的基本要求

浇注系统设计的正确与否对铸件质量影响很大，对浇注系统的基本要求是：

- 1) 引导金属液平稳、连续的充型，防止卷入、吸收气体和使金属过度氧化。
- 2) 充型过程中金属液流动的方向和速度可以控制，保证铸件轮廓清晰、完整，避免因充型速度过高而冲刷型壁或型芯及充型时间不适合造成的夹砂、冷隔、皱皮等缺陷。
- 3) 具有良好的挡渣、溢渣能力，净化进入型腔的金属液。
- 4) 浇注系统的结构应当简单、可靠，金属液消耗少，并容易清理。

#### 2. 浇注系统的组成

浇注系统包括外浇口、直浇道、横浇道、内浇道等，如图 1-10 所示。浇注系统的作用是让液态金属连续平稳均匀地填充铸型型腔，并能调节铸件各部分温度和起到挡渣的作用。若浇注系统不合理，将使铸件容易产生冲砂、砂眼、夹渣、浇不足、气孔和缩孔等缺陷。

(1) 外浇口 外浇口又称浇口杯，可单独制作或直接在铸型中形成，用于承接浇包流下的液态金属，减少液态金属的冲击，使金属液平稳地流入浇道，并起挡渣和防止气体卷入的作用。为便于浇注，外浇口多做成漏斗形或盆形，前者用于浇注

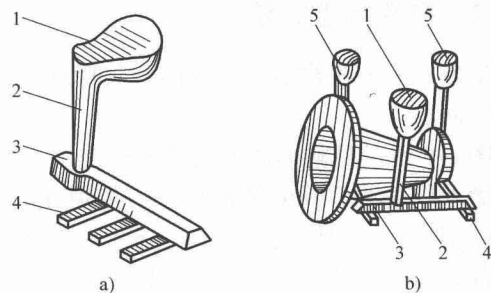


图 1-10 浇注系统的组成

- a) 带盆形外浇口的浇注系统 b) 带漏斗形外浇口的浇注系统  
1—外浇口 2—直浇道 3—横浇道  
4—内浇道 5—冒口



中小型铸件,后者用于浇注大型铸件。

(2) 直浇道 直浇道是浇注系统中的垂直通道,其形状一般是一个有锥度的圆柱体。它的作用是将金属液从外浇口平稳地引入横浇道,并形成充型的静压力。

(3) 横浇道 横浇道是连接直浇道和内浇道的水平通道,截面形状多为梯形。它除向内浇道分配金属液外,主要起挡渣作用,阻止夹杂物进入型腔。为了便于集渣,横浇道必须开在内浇道上面,末端与最后一个内浇道要有一段距离。

(4) 内浇道 内浇道是引导金属液进入型腔的通道,内浇道的截面形状一般为扁梯形、三角形或月牙形,其作用是控制液体金属流入型腔的速度和方向,并调节铸型各部分的温度分布。为避免金属液直接冲击型芯或型腔,内浇道不能正对着型芯或型壁开设。

### 3. 浇注系统的类型

常用的浇注系统按外浇口的注入位置不同可分为以下几种:

(1) 顶注式浇口 顶注式浇口开设在铸件顶部,其金属消耗少,补缩作用好,但容易冲坏砂型和产生飞溅,挡渣作用也差。主要用于高度较低,且形状简单、薄壁的铸件。

(2) 底注式浇口 底注式浇口开设在铸件底部,浇注时液体金属流动平稳,不易冲砂和飞溅,但补缩作用较差,不易浇满薄壁铸件。主要用于形状复杂、壁厚、高度较大的大中型铸件。

(3) 中间注入式浇口 中间注入式浇口是介于顶注式和底注式之间的一种浇口,开设方便、应用广泛。主要用于一些中型、不很高,但水平尺寸较大的铸件。

(4) 阶梯式浇口 阶梯式浇口由于内浇道从铸件底部、中部、顶部分层开设,因而兼有顶注式和底注式浇口的优点,主要用于高大铸件的浇注。

常见浇注系统的形式如图 1-11 所示。

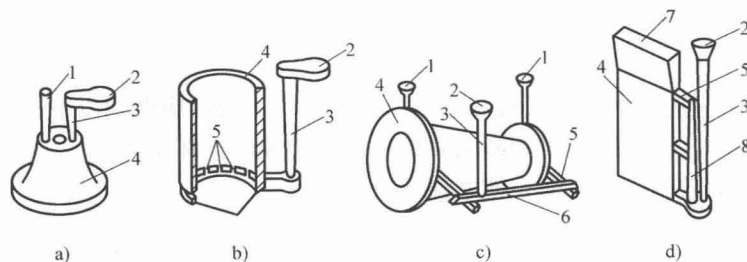


图 1-11 常见浇注系统的形式

a) 顶注式浇口 b) 底注式浇口 c) 中间注入式浇口 d) 阶梯式浇口

1—出气口 2—外浇口 3—直浇道 4—铸件 5—内浇道 6—横浇道 7—冒口 8—分配直浇道

### 4. 冒口、冷铁

(1) 冒口 对于大铸件或收缩率大的合金铸件,凝固时收缩大,如不采取措施,在最后凝固的地方(一般是铸件的厚壁部分),会形成缩孔或缩松。为使铸件在凝固的最后阶段能及时得到金属液而增设的补缩部分称为冒口。冒口的大小、形状应保证其在铸型中最后凝固,这样才能按由铸件到冒口的顺序凝固。冒口有明冒口和暗冒口两种,明冒口一般设在铸件的最高部位,其顶面敞露在铸型外面,除起补缩作用外,还有排气和集渣作用,此外,通过它还可以观察到金属液是否充满了型腔。暗冒口被埋在铸型中,由于其散热较慢,故补缩效果比明冒口好。