

高等学校试用教材

# 机械 制造 基础

许音 马仙 杨晶 编著

机械工业出版社  
China Machine Press

本书包括金属零件的毛坯铸造加工、压力加工、焊接加工和零件的切削加工工艺的基本原理及工艺设计方法共四篇。为适应国家教委 1998 年颁布的本科专业目录下的课程体系与课程内容,本书着重论述了各种加工工艺设计的原理与方法,并引入计算机工艺辅助设计及数控机床手工编程语言的编写方法。为了便于读者深入掌握教学内容,各章附有复习思考题。

本书可作大专院校机械制造专业的教材,也可作为从事金属零件加工工艺的设计人员和其他专业技术人员的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础/许音等编著. -北京:机械工业出版社, 1999.12  
ISBN 7-111-07465-3

I. 机… II. 许… III. 金属加工-工艺 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 48350 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:季顺利 版式设计:张世琴 责任校对:张佳  
王天湛

封面设计:李雨桥 责任印制:何全君

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2000 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·26.25 印张·638 千字

0 001—4 500 册

定价:36.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、68326677-2527

## 前 言

国家教委1998年颁布了第四次调整后的本科专业目录，专业结构的调整在拓宽原有专业面的基础上，实现宽专业、窄方向。其指导思想是强调基础与强调应用统一起来，尤其注重基础。

在新专业目录框架下，积极进行课程体系和教学内容的改革势在必行。“机械制造基础”课程是研究有关金属机件工艺方法的综合性技术学科，在新的课程体系中有举足轻重的地位。为了适应新目录下的课程体系与课程内容的调整，我们编写了本教材。本教材加强了工艺设计的内容，并在同类教材中首次引入了计算机辅助设计和数控机床编程等内容，供本科教学使用。

本书由许音副教授任主编，马仙副教授和杨晶副教授任副主编。

本书共分四篇。其中第一篇的1~4章，第四篇的7~8章由杨晶副教授编写；第一篇的5~6章，第二篇、第三篇由马仙副教授编写；第四篇的1~6章由许音副教授编写。本书在编写过程中参阅了国内一些同类教材，同时吸收了国内外发表的科研论文中一些先进而成熟的内容。编写时力求语言精炼，追求内容的科学性、先进性、系统性和实用性。本书讲课学时为80学时左右。先修课程为机械制图、工程材料。

本书是在原有讲义的基础上完善提高后完成的。原讲义由翟云教授审阅，这次出版由姜决成审阅全书，并提出宝贵意见。本书的编写还得到王静珍、朱宇明和牛汝峰等同志的大力帮助，在此表示诚挚的感谢。

本书不足之处请读者批评指正。

1999年6月

# 目 录

前言

绪论 ..... 1

## 第一篇 铸 造

第一章 砂型铸造 ..... 3

第一节 造型材料 ..... 4

一、型砂和芯砂应具备的性能 ..... 4

二、造型用砂与型砂分类 ..... 6

第二节 造型方法 ..... 11

一、手工造型 ..... 11

二、机器造型 ..... 11

三、砂型组成 ..... 16

第三节 浇注系统 ..... 17

一、浇注系统开设的原则 ..... 17

二、浇注系统各组元 ..... 18

三、浇注系统的类型及应用 ..... 20

复习思考题 ..... 22

第二章 合金的铸造性能 ..... 23

第一节 合金的流动性 ..... 23

一、合金流动性的测定方法 ..... 23

二、影响合金流动性的因素 ..... 23

第二节 合金的凝固与收缩 ..... 26

一、铸件的凝固方式 ..... 26

二、铸造合金的收缩 ..... 26

三、影响合金收缩的因素 ..... 27

四、缩孔的形成机理及防止措施 ..... 28

五、铸造内应力、变形和裂纹 ..... 31

第三节 铸件中的气体 ..... 34

一、气体的存在形态 ..... 34

二、铸造合金的吸气性 ..... 34

三、铸件中气孔的种类 ..... 35

复习思考题 ..... 35

第三章 常用的铸造合金及其

铸造工艺特点 ..... 37

第一节 铸钢及其铸造工艺特点 ..... 37

一、铸造碳钢的铸造性能 ..... 37

二、常用铸造碳钢的牌号及性能 ..... 37

三、钢的铸造工艺特点 ..... 38

第二节 铸铁及其铸造工艺特点 ..... 39

一、铸铁的石墨化过程 ..... 39

二、铸铁的分类 ..... 39

三、灰铸铁及其铸造工艺特点 ..... 40

四、球墨铸铁及其铸造工艺特点 ..... 45

五、可锻铸铁简介 ..... 47

六、蠕墨铸铁简介 ..... 48

第三节 铜、铝合金铸件生产

简介 ..... 48

一、铜合金的铸造 ..... 48

二、铝合金的铸造 ..... 48

复习思考题 ..... 50

第四章 铸件结构设计 ..... 51

第一节 铸件结构与铸造工艺的

关系 ..... 51

一、应使模样和芯盒制作容易 ..... 51

二、铸件结构应便于造型 ..... 51

三、铸件结构应便于铸件清砂 ..... 54

第二节 铸件结构与后续机械

加工的关系 ..... 54

一、铸件设计应考虑到加工余量对

铸件内腔形状的影响 ..... 54

二、铸件设计应便于后续加工 ..... 55

第三节 铸件结构与合金铸造

性能的关系 ..... 56

一、铸件壁厚 ..... 56

二、铸件壁的连接 ..... 58

三、防裂肋的应用 ..... 59

四、铸件尽量避免过大的水平面 ..... 59

五、铸件结构应避免受阻收缩 ..... 60

六、注意防止铸件的翘曲变形 .....	60	五、浇注系统 .....	69
第四节 不同铸造合金对零件		复习思考题 .....	69
结构的要求 .....	61	<b>第六章 特种铸造</b> .....	71
第五节 组合铸件 .....	62	第一节 压力铸造 .....	71
复习思考题 .....	63	第二节 离心铸造 .....	72
<b>第五章 砂型铸造工艺图的制定</b> .....	64	第三节 低压铸造 .....	73
一、对产品零件进行结构分析 .....	64	第四节 熔模铸造 .....	74
二、铸造工艺方案的确定 .....	64	第五节 金属型铸造 .....	75
三、主要工艺参数的选择 .....	66	复习思考题 .....	77
四、型芯设计 .....	68		

## 第二篇 金属压力加工

<b>第一章 锻造</b> .....	78	四、自由锻工艺规程制订 .....	87
第一节 下料 .....	78	五、自由锻件结构工艺性 .....	93
一、剪床下料 .....	78	<b>第四节 模锻</b> .....	94
二、锻锤剪切下料 .....	79	一、锤上模锻 .....	95
三、冷折法下料 .....	79	二、胎模锻造 .....	101
四、锯割 .....	79	三、压力机上模锻简介 .....	104
五、其他下料方法 .....	79	四、模锻后续工序 .....	108
<b>第二节 锻前加热及锻后冷却</b> .....	80	复习思考题 .....	109
一、锻前加热的目的及方法 .....	80	<b>第二章 其他压力加工简介</b> .....	110
二、钢在加热过程中的物理、		第一节 轧制 .....	110
化学变化 .....	80	第二节 挤压 .....	110
三、锻造温度范围的确定 .....	82	第三节 拉拔 .....	111
四、锻件的冷却 .....	82	第四节 板料冲压 .....	111
<b>第三节 自由锻造工艺</b> .....	83	一、分离工序 .....	111
一、自由锻设备简介 .....	83	二、变形工序 .....	113
二、自由锻造工序 .....	86	复习思考题 .....	116
三、自由锻件分类 .....	86		

## 第三篇 焊 接

<b>第一章 电弧焊</b> .....	120	<b>第三节 埋弧自动焊</b> .....	132
第一节 概述 .....	120	一、埋弧焊的特点及应用范围 .....	132
一、焊接电弧 .....	120	二、焊接材料选用 .....	133
二、焊接的化学冶金过程 .....	121	三、埋弧焊工艺 .....	134
<b>第二节 手工电弧焊</b> .....	122	<b>第四节 气体保护焊</b> .....	136
一、电焊条 .....	122	一、氩弧焊 .....	137
二、手工电弧焊设备 .....	128	二、二氧化碳气体保护焊 .....	138
三、手工电弧焊工艺 .....	130	复习思考题 .....	139
四、重力焊 .....	131	<b>第二章 气焊</b> .....	140
五、手工堆焊 .....	132	第一节 概述 .....	140

第二节 气焊火焰 .....	141	二、软钎剂 .....	168
一、中性焰 .....	141	三、加热方式 .....	168
二、碳化焰 .....	142	第四节 钎焊工艺要求 .....	169
三、氧化焰 .....	142	一、钎焊接头形式 .....	169
第三节 气焊设备 .....	142	二、钎焊规范 .....	170
一、氧气瓶及氧气瓶阀 .....	142	复习思考题 .....	170
二、乙炔瓶 .....	143	<b>第五章 常用金属材料的焊接</b> .....	171
三、乙炔发生器 .....	143	第一节 概述 .....	171
四、回火防止器 .....	144	第二节 金属材料的焊接性 .....	171
五、减压器 .....	144	第三节 碳钢及合金钢的焊接 .....	173
六、焊炬 .....	145	一、低碳钢的焊接 .....	173
第四节 焊丝和焊剂 .....	146	二、中、高碳钢的焊接及补焊 .....	174
一、气焊丝 .....	146	三、普通低合金结构钢的焊接 .....	175
二、气焊熔剂 .....	147	第四节 铸铁的焊接 .....	176
第五节 气焊规范选择 .....	148	一、铸铁的焊接特点 .....	176
第六节 气焊操作 .....	148	二、防止白口和裂纹的措施 .....	176
复习思考题 .....	149	三、焊补方法选择 .....	177
<b>第三章 压力焊</b> .....	150	第五节 非铁金属的焊接 .....	177
第一节 概述 .....	150	一、铝及铝合金的焊接 .....	177
第二节 电阻焊 .....	150	二、铜及铜合金的焊接 .....	179
一、概述 .....	150	第六节 焊接缺陷与检验 .....	181
二、点焊 .....	152	一、焊接缺陷 .....	181
三、缝焊 .....	156	二、焊接检验 .....	181
四、对焊 .....	157	复习思考题 .....	183
第三节 摩擦焊 .....	158	<b>第六章 焊接结构设计与工艺设计</b> .....	184
一、摩擦焊的形式 .....	158	第一节 概述 .....	184
二、焊接实质 .....	159	第二节 焊接接头与坡口 .....	185
三、摩擦焊焊接规范 .....	159	一、焊接接头的种类 .....	185
四、摩擦焊的特点与应用 .....	159	二、坡口形式 .....	185
复习思考题 .....	160	三、焊接接头与坡口的选择 .....	188
<b>第四章 钎焊</b> .....	161	第三节 焊接结构的工艺性 .....	189
第一节 概述 .....	161	一、焊接结构材料的选定 .....	189
一、钎焊特点及其应用 .....	161	二、焊接结构应施焊方便 .....	189
二、钎缝形成基本原理 .....	161	三、焊接结构设计应有利于减少 焊接应力与变形 .....	190
三、钎料与钎剂应具备的性能 .....	163	第四节 防止和减少焊接结构变形 的工艺措施 .....	191
第二节 硬钎焊 .....	164	第五节 焊接工艺设计的内容及 步骤 .....	192
一、硬钎料 .....	164	一、准备工作 .....	192
二、硬钎剂 .....	166	二、产品工艺过程分析 .....	192
三、硬钎焊加热方式 .....	166		
第三节 软钎焊 .....	167		
一、软钎料 .....	168		

三、制定工艺过程·····	192	一、等离子弧·····	196
四、填写焊接生产工艺过程综合表·····	193	二、等离子弧焊接方法·····	197
复习思考题·····	193	第四节 电子束焊·····	198
<b>第七章 其他焊接工艺</b> ·····	194	第五节 激光焊·····	199
第一节 概述·····	194	第六节 塑料焊接工艺·····	200
第二节 电渣焊·····	194	一、加热工具焊接·····	200
一、电渣焊的焊接过程·····	194	二、感应焊接·····	200
二、电渣焊的特点·····	195	三、热气焊接·····	200
三、电渣焊的分类及其应用·····	195	四、摩擦焊接·····	201
第三节 等离子弧焊·····	196	复习思考题·····	201

## 第四篇 切削加工

<b>第一章 金属切削的基础知识</b> ·····	202	三、进给量的选择·····	225
第一节 基本定义·····	202	四、切削速度的确定·····	227
一、切削运动·····	202	五、机床功率校验·····	227
二、切削用量·····	203	六、提高切削用量的方法·····	230
三、切削层参数·····	204	七、选择切削用量的实例·····	230
第二节 刀具的几何参数·····	204	复习思考题·····	231
一、车刀的组成·····	204	<b>第二章 机床基础知识</b> ·····	233
二、确定刀具几何角度的参考表面·····	205	第一节 机床的分类及传动方式·····	233
三、刀具的标注角度·····	205	一、机床的分类·····	233
四、刀具的工作角度·····	207	二、机床型号的编制方法·····	233
五、刀具角度对切削加工的影响·····	209	三、机床的传动方式·····	234
第三节 刀具材料·····	210	四、传动链·····	237
一、刀具材料应具备的性能·····	210	五、机床的变速机构与换向机构·····	238
二、常用的刀具材料·····	210	第二节 CM6132 型精密卧式	
第四节 金属的切削过程·····	212	车床·····	240
一、切削过程中金属的变形·····	212	一、主运动传动分析·····	240
二、积屑瘤·····	213	二、进给运动传动分析·····	241
三、切削力·····	214	三、车螺纹传动分析·····	243
四、切削热与切削温度·····	217	第三节 M1432A 型万能外圆	
五、刀具的磨损与耐用度·····	219	磨床·····	245
第五节 工件材料的切削加工性·····	221	一、机床的机械运动·····	245
一、材料的切削加工性·····	221	二、机床的液压系统·····	249
二、常用的切削加工性指标·····	221	第四节 自动车床·····	253
三、工件材料的物理、力学性能对		一、机床的工作循环·····	253
切削加工性的影响·····	222	二、机床传动原理·····	253
四、改善工件材料的切削加工性·····	224	第五节 数控机床与柔性制造	
第六节 切削用量选择·····	224	系统简介·····	254
一、金属切除率·····	224	一、数控机床的工作原理·····	254
二、切削深度的选择·····	224	二、数控机床的分类·····	254

三、数控机床的特点及应用·····	256	四、制订工艺规程的基本原则·····	298
四、数控机床的发展与柔性制造 系统·····	256	五、制订工艺规程的原始资料·····	300
复习思考题·····	258	六、制订工艺过程的步骤·····	300
<b>第三章 典型表面加工分析与精     密加工</b> ·····	259	<b>第二节 零件的工艺分析</b> ·····	300
<b>第一节 拟定加工方案的基本         原则</b> ·····	259	一、审查零件图样的完整性和正确性·····	300
一、粗、精加工要分开·····	259	二、审查零件的材料及热处理方案 选择是否合理·····	300
二、几种加工方法要互相配合·····	260	三、分析零件的技术要求·····	300
<b>第二节 典型表面的加工路线</b> ·····	260	<b>第三节 毛坯的确定</b> ·····	301
一、外圆面的加工·····	260	一、毛坯的种类·····	301
二、孔加工·····	261	二、毛坯的选择·····	301
三、平面加工·····	261	<b>第四节 基准的选择</b> ·····	301
<b>第三节 精密加工</b> ·····	262	一、基准·····	302
一、珩磨·····	262	二、定位基准的选择·····	303
二、超精研·····	263	<b>第五节 工艺路线的拟定</b> ·····	306
三、研磨·····	266	一、加工顺序的安排·····	307
复习思考题·····	269	二、加工余量的确定·····	307
<b>第四章 零件的结构工艺性</b> ·····	270	<b>第六节 工艺尺寸链</b> ·····	308
一、零件的结构便于加工·····	270	一、工艺尺寸链的基本概念·····	308
二、尽量减少不必要的加工面积·····	271	二、尺寸链的基本计算式·····	309
三、零件的结构应便于安装·····	271	三、计算工艺尺寸链·····	311
四、提高标准化程度·····	271	<b>第七节 机械加工的生产效率         与经济分析</b> ·····	319
复习思考题·····	272	一、时间定额·····	319
<b>第五章 夹具基础知识</b> ·····	274	二、工艺成本和工艺方案的经济性·····	320
<b>第一节 工件装夹与夹具</b> ·····	274	三、各种加工设备的经济性比较·····	321
一、工件的装夹方法·····	274	四、提高机械加工生产率措施·····	322
二、机床夹具的分类·····	275	五、成组技术(GT)·····	324
三、机床夹具的组成·····	276	<b>第八节 典型零件加工工艺实例</b> ·····	330
<b>第二节 工件在夹具中的定位</b> ·····	277	一、轴类零件的加工工艺·····	330
一、工件定位的基本原理·····	277	二、齿轮类零件的加工工艺·····	334
二、常见的定位方式及定位元件·····	284	三、套筒类零件的加工工艺过程·····	337
三、常用典型夹紧机构·····	291	复习思考题·····	341
复习思考题·····	292	<b>第七章 计算机辅助工艺规程编制与     数控机床程序编制</b> ·····	344
<b>第六章 机械加工工艺规程的制定</b> ·····	296	<b>第一节 CAD/CAM的基本概念</b> ·····	344
<b>第一节 机械加工工艺流程的         基本概念</b> ·····	296	<b>第二节 计算机辅助工艺设计</b> ·····	345
一、生产过程与工艺过程·····	296	一、计算机辅助设计在铸造工艺 设计中的应用·····	345
二、机械加工工艺流程的组成·····	296	二、计算机辅助设计在自由锻工艺 设计中的应用·····	357
三、生产纲领和生产类型·····	298		



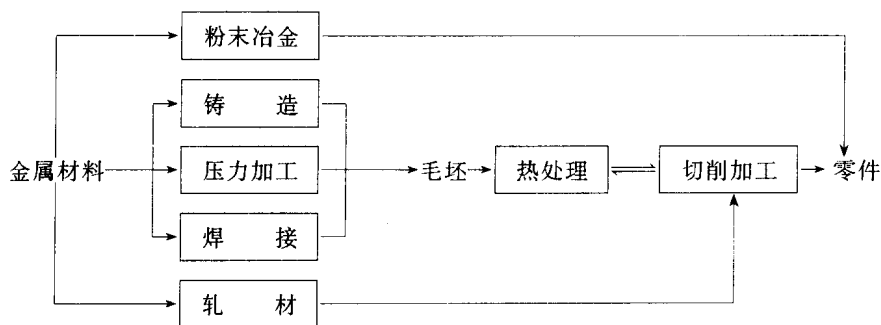
第三节 数控机床的加工程序		第三节 激光加工 .....	403
编制 .....	363	一、激光加工的基本原理 .....	403
一、数控加工程序编制基础 .....	363	二、激光加工的机理 .....	403
二、手工编程 .....	373	三、激光加工的特点 .....	404
三、自动编程 .....	393	第四节 超声波加工 .....	404
四、自动编程的发展概况及趋势 .....	394	一、超声波加工的基本原理 .....	404
复习思考题 .....	395	二、超声波加工的特点 .....	405
<b>第八章 特种加工</b> .....	<b>396</b>	第五节 电铸加工 .....	<b>405</b>
第一节 电火花加工 .....	396	一、电铸加工原理 .....	405
一、电火花加工的基本原理 .....	396	二、电铸加工的特点和应用范围 .....	405
二、电火花加工机理 .....	397	第六节 化学蚀刻 .....	406
三、电火花加工的特点及应用范围 .....	398	一、化学蚀刻加工的原理和特点 .....	406
第二节 电解加工 .....	399	二、化学蚀刻工艺过程 .....	407
一、电解加工的基本原理 .....	399	复习思考题 .....	408
二、电解过程的机理 .....	399	<b>参考文献</b> .....	<b>409</b>
三、电解加工的特点 .....	402		

## 绪 论

现代工业生产中，不论是机器制造、冶金、矿山及交通运输，还是建筑、化工、轻纺、电子仪表以至宇航工业，金属材料都是不可缺少的。因而研究金属材料及其加工工艺是非常重要的，所以机械制造在工业生产中占有举足轻重的地位。

机械制造基础是一门研究加工金属机件工艺方法的综合性技术基础课，该课程中主要介绍把金属材料制成机器零件的加工方法和各种加工方法的工艺特点及应用、常用金属材料对工艺的影响、金属机件的加工过程和结构工艺性以及各种加工工艺方法的综合比较等。

在金属机件加工过程中常用的加工方法一般有铸造、压力加工、焊接、热处理及切削加工等。其中铸造、压力加工和焊接属于热加工工艺，这些加工方法的功用是将金属材料制成毛坯。切削加工属于冷加工工艺，它包括车、铣、刨、磨、钳等基本加工方法及齿轮加工方法等。冷加工工艺的功用主要是将毛坯或金属材料加工成零件。热处理工艺能改善毛坯或金属材料的加工性能和力学性能。这些加工方法之间的关系可概括起来可用如下图表所示。



早期的机械制造是在手工业作坊中进行的。由于装备简陋，对产品不可能有很高的要求，产品生产没有图样，没有工艺文件，而是根据粗略的、通常是口头的数据来生产，工人的经验和技艺决定着产品质量和生产率。而现代的机械制造业要为国民经济各个部门提供精密度高、性能好、效率高和价格低的现代化装备。因此现代机械产品首先必须具有产品设计图样；其次需要做大量的工艺工作，如选择加工方法、制定工艺过程、研究工艺过程的劳动量和物质技术保证（设备、工具及夹具等）及在生产中进行技术指导等。要提高产品的质量，提高产品的生产率，提高经济效益，关键在先进的工艺技术。因此，工艺工作在机械制造过程中占有重要的地位。当前，工业发达的国家，对工艺技术的发展趋势如下：

①扩大先进工艺方法的应用范围；提高加工自动化程度，使人从直接参加生产劳动变为主要负责控制生产。

②在采用先进工艺和高效专用设备的条件下，使工艺专业化。在日本，专业化生产的铸件已占全国铸件产量的95%，其他工业发达国家最低也占60%以上。

③机械加工技术的柔性化。对于单件小批生产，传统的生产方式是采用普通机床、通用工装进行生产，生产率很低。据统计，小批生产中，工件在车间内停留的时间，如果为

100%，则工件在机床上的时间仅占5%，其余95%时间是材料、工件的运输和等待时间。而先进的生产方式是扩大工件在机床上时间的比例，采用成组技术（GT），即通过对形状、尺寸与工艺路线相似的各种零件和产品进行分组，从而提高生产批量的一种技术。最近发展柔性制造系统（FMS），即借助计算机把若干台数控机床连接在一起，使工件在机床上的时间比例扩大到70%~80%。

机械制造基础是机械类专业学生的必修课程。它是实践性很强的技术基础课。有利于对学生进行技能训练，能培养学生的实际工作能力和开拓精神。因为机械制造基础是一门实践性很强的课程，所以在学时，应与实践结合起来，巩固所学知识。

# 第一篇 铸 造

机器的制造过程，往往是先选择金属材料，尔后通过铸造、锻造或焊接等方法生产毛坯，再切削加工成为零件，零件经装配成为机器。

将液体金属浇注到具有与零件形状相适应的铸型空腔中，待其冷却凝固后，以获得零件或毛坯的方法，称为铸造。铸造生产是机器制造业的基础。

我国铸造生产历史悠久，不少出土文物中的铸造制品，不仅是艺术珍品，而且表明当时我国在铸造技术上已达到了极高的水平。目前我国铸件年产量已超过 1000 万 t，是世界铸造生产大国。但是与工业发达国家相比，我国铸造生产技术水平仍然较低，急待奋起直追。

现代工业生产中，不论民用工业还是军事工业，铸造生产都占有相当大的比重，在汽车、拖拉机中，铸件重量占整机重量的 40%~60%，在农业机械中占 50%~70%，机床中占 70%~95%。

铸造之所以广泛应用，是因为它具有下列优点：

①利用熔化金属的流动性，可以比较方便地生产出具有相当复杂外形和内腔的零件，如箱体、机床床身等。

②不受零件大小的限制。大到数百吨，小到几克的零件，都可用铸造方法生产。

③常用金属材料如铸铁、铜合金、铝合金、碳素钢及合金钢等都可以铸造。

④铸件形状、尺寸与零件相近，减少了切削加工的余量，废品可以回炉重熔。因此，铸件成本低。

当然，铸造生产还有不少不足之处，目前铸件的凝固过程还不能精确控制，质量不够稳定；铸件往往晶粒粗大且不均匀，内部又常有缩孔、缩松和气孔等缺陷；铸造工序多，生产周期长；劳动条件较差。

电子计算机的应用正在使铸造生产的面貌发生根本变化，正在使铸造生产从主要依靠经验走向用科学理论指导生产的阶段。例如，铸造过程的计算机模拟分析及计算机辅助工程 (CAE) 的应用，可以科学地预测液体金属充型过程、凝固过程中的温度场及应力场以及宏观缺陷和微观组织等。它可以优化铸造过程，确保铸件质量，缩短试制周期，提高竞争能力。因此，用高新技术来促进传统产业的改造及发展已成为科学技术发展的必然趋势。

## 第一章 砂 型 铸 造

砂型铸造就是把液体金属浇注到砂型中从而获得铸件的铸造方法。其生产过程见图 1-1-1。

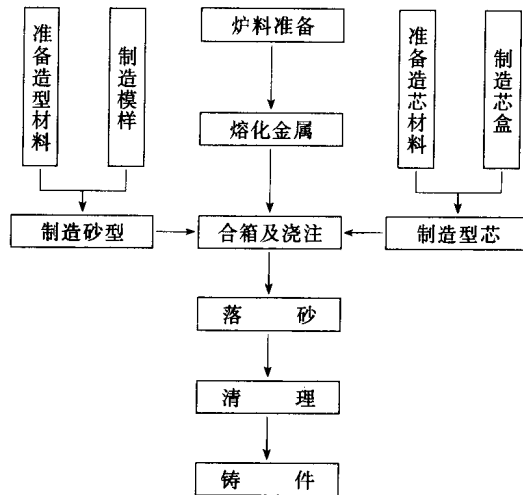


图 1-1-1 砂型铸造生产过程

## 第一节 造型材料

用来造型、造芯的各种原砂、粘结剂和附加物等原材料，以及由各种原材料配制成的型砂、芯砂和涂料等混合料，统称为造型材料。

造型材料是制造砂型和型芯用的，铸件的质量在一定程度上取决于造型材料的好坏。据统计，铸件废品约有 50% 以上与造型材料有关，它不仅涉及铸件质量，而且用量很大，生产 1t 合格铸件约需型砂、芯砂 5t 以上。

用上述造型材料制成的砂型和型芯只能使用一次，即浇注后，铸型就损坏了，因此这种铸型叫做一次铸型。

### 一、型砂和芯砂应具备的性能

1. 透气性 浇注金属液时，气体必须通过砂型的空隙从铸型中排出，这种允许气体排出的性能叫透气性。

(1) 气体的来源 铸型中存在的空气；型砂中的水分在高温金属液作用下蒸发的水蒸气；液体金属与铸型中的某些物质反应产生的反应性气体，如： $\text{FeO} + \text{C} \longrightarrow \text{Fe} + \text{CO} \uparrow$ ， $\text{Mg} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{MgO} + \text{H}_2 \uparrow$ ；随着温度的下降，从液体金属内部也会析出一些气体。

(2) 透气性对铸件质量的影响 透气性差，气体不能顺利排出，会在铸件中形成气孔。气孔内表面圆滑，带有金属光泽或氧化皮的色泽，其形状有的接近圆形，有的为长形或不规则形状，有的很大，多数较小，也有似针孔形状的，分布在铸件内部或表层。由于气孔的存在，破坏了金属材料的连续性，减少了铸件的有效承载截面，降低了铸件的力学性能。

透气性差，浇注时，型腔内的气体压力会增高，当此压力与液体金属的静压力相平衡时，液体金属停止流动，因而浇不满铸型，造成浇不足缺陷，从而使铸件报废。所以透气性是型砂的重要性能指标之一，应该严格控制。

(3) 影响透气性的因素 砂子对透气性的影响，主要是颗粒大小和均匀程度，颗粒形状的影响则较小。原砂的粒度越粗，透气性越高。因为砂粒越粗，气体通过的阻力越小。

原砂的均匀程度对型砂透气性的影响很大。不均匀的原砂，细小颗粒总是嵌在大颗粒的孔隙中，使型砂的孔隙大为减小，透气能力大幅度下降。

水分对透气性的影响。随着水分的增加，透气性先升高到最大值，然后降低。因为在较低湿度时，粘土的粘结性还未能充分发挥，砂与粘土间相互滑移阻力较小，试样中砂粒排列较紧密，孔隙小；孔隙中往往又充满着未被充分湿润的粘土，因而透气性低。随着水分增加，粘土的粘结力逐渐得到发挥，砂与粘土间滑移阻力增大，用于冲制试样的条件是一定的，所以试样紧实度就低，砂粒排列较为疏松，透气性就增大。水分超过一定限度后，因水分增多，粘土膜变得厚而软，粘结力降低，冲制试样时湿粘土膜易被挤到孔隙中间，造成透气性逐渐降低。

水、粘土的含量（质量分数）对透气性的影响如图 1-1-2 所示。一般粘土含量增多则透气性最大值降低。但因粘土含量对透气性的影响还与含水量有关，故可能出现粘土含量高、含水量低的型砂比粘土含量稍低而含水量高的型砂透气性高的情形。图 1-1-2 中当含水量（质量分数）在 4%~6% 时，含膨润土（质量分数）10% 的型砂反而比含膨润土 6%（质量分数）的型砂透气性高一些。

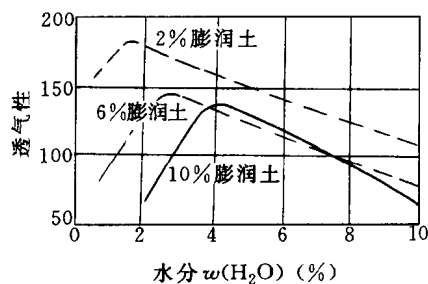


图 1-1-2 型砂透气性与粘土含量、含水量的关系

2. 强度 砂型的强度是指铸型在制造、搬运及金属液的静压力和动压力的作用下能保持完整的性能。

(1) 强度对铸件质量的影响 强度差，铸型在搬运、合箱时易塌箱，使铸型破坏，浇注时造成冲砂，形成砂眼。砂眼是铸件中充塞有型砂的孔眼，砂眼的存在降低了铸件的力学性能，破坏了金属材料的连续性。

强度太高，合金在冷却过程中收缩受阻，严重的会造成裂纹。

(2) 影响强度的因素 由于砂粒本身的强度很高，砂型的破坏发生在砂粒之间，故砂型是否易于破坏决定于粘结剂（粘土膜）的凝聚力和粘结剂与砂粒间的粘结力以及砂粒间粘膜的接触面积和分布。这就是说粘土砂的湿强度取决于粘土的质量及加入量、含水量、原砂的颗粒组成、混砂的质量和试样紧实程度等因素。

混砂工艺与粘土膜的分布有很大关系。粘土砂混制得好时，粘土浆在砂粒表面可形成均匀薄膜。这样，型砂中粘结材料的加入量可以较少而能达到较高的性能。粘土砂混制不好时，型砂中出现粘土团，大部分粘土没有起粘结作用，使型砂的强度和其他性能都差。

砂的粒度相同时，不同形状的砂子中以圆形砂的表面积最小，尖角形砂的表面积最大。因此，为了形成一层均匀的有一定厚度的粘结薄膜，圆形砂所需的粘结剂量最少。

提高紧实度可以提高砂型的强度，但紧实度高也会使透气性下降。

(3) 型砂强度的测试 型砂的强度用其试样受力破坏时的应力数值来表示。试样强度通常分为湿态、干态两种。测试方法包括抗压、抗拉、抗弯、抗剪及抗裂等，见图 1-

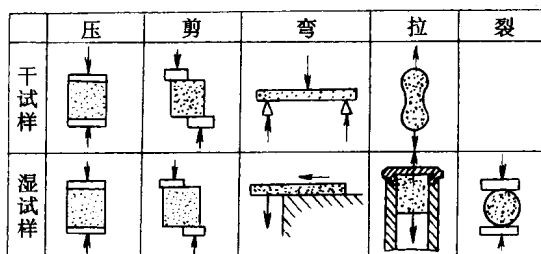


图 1-1-3 型砂强度试验方法简图

1-3. 测定各种强度用的试样都是用冲样机制成的。湿型铸造时，主要应检查型砂的湿态抗压强度。干型铸造时，主要检查型砂的干态抗压强度或抗剪强度，也检查湿压强度。

3. 耐火性 型砂在高温金属液作用下不被软化、熔化的性能称为耐火性。

(1) 耐火性对铸件质量的影响 型砂耐火性不足时，砂粒将被烧融而粘在铸件表面上形成一层硬皮叫粘砂，粘砂使切削加工困难，非加工表面则很不美观。

(2) 影响耐火性的因素 耐火性主要取决于砂子的化学成分，砂中含二氧化硅多，有害杂质少，型砂的耐火性就高。颗粒大的砂粒比颗粒小的耐火性高；圆形的比多角形的耐火性高。所以在浇注大型铸件及熔点较高的合金时，选用的砂粒较粗大。

实际生产中为防止粘砂，往往在湿型砂中加入一些煤粉，或者在铸型表面洒干石墨粉或喷刷涂料。

4. 退让性 铸件冷却收缩时，砂型和型芯可以稍稍被压缩的能力称为退让性。

(1) 退让性对铸件质量的影响 退让性差，铸件冷却收缩会受到阻碍，导致裂纹的产生。

(2) 影响退让性的因素 粘结剂在高温作用下残留强度高，则退让性差。用粘土作粘结剂的型砂高温下强度降低很少，退让性差；用有机物作粘结剂的型砂，高温下有机物被烧掉或挥发掉，强度大为降低，退让性就好。另外，附加物对退让性也有影响，如砂型中加入煤粉、木屑后，高温下木屑和煤粉被烧掉，使砂型的空隙增加，退让性就变好。

5. 流动性 型砂在外力或自身重力作用下砂粒间相互移动的能力称为流动性。

(1) 流动性对铸件质量的影响 有良好流动性的型砂，可得到各处紧实程度较均匀、无局部疏松、轮廓清晰、表面光洁及尺寸精确的型腔，它有利于防止机械粘砂，并可减少紧实型砂的劳动量和提高生产率。随着对铸件质量要求愈来愈高以及高压、射砂等紧砂方法的应用日趋扩大，型砂的流动性已日益受到重视。

(2) 影响流动性的因素 型砂的流动性主要取决于砂与粘结材料的性质和混合质量，粘土的质量和加入量。粘土和水的比例对粘土砂的流动性有很大影响，粘土砂的流动性随土水比在一定范围内增大而降低。在粘土砂中加入少量柴油或重油有利于提高型砂的流动性。加入少量丁酸二醇及表面活性剂等亦可改善粘土砂的流动性。

砂粒形状、大小和表面状态对型砂流动性影响较大。采用粒度大而集中的圆形砂可得到较好的流动性，尖角形和粒度分散的砂则流动性较差。

粘土砂混碾的时间太短或太长，加料次序不对，型砂中出现团块和未经松砂，都可能使型砂的流动性降低。

此外，型砂还应具有耐用性，使之在多次造型浇注后仍能保持原来的性能；应具有可塑性，以便铸型清晰。

型砂的性能可以通过仪器进行测定。

## 二、造型用砂与型砂分类

1. 造型用砂 铸造生产中用来制造砂型和型芯的砂称为造型用砂，也称原砂。

鉴别原砂自然性能的主要标准有以下几方面。

(1) 砂粒的形状 自然界中砂粒的形状有圆形砂、多角形砂、尖角形砂。圆形砂颗粒为圆形或接近圆形，表面光洁，没有突出的棱角，铸造生产中多采用圆形砂，圆形砂用符号(O)表示。

(2) 砂粒的粒度 粒度即砂粒的大小，砂子的粒度是用筛分法来测定的。将去除粘土后的砂子，通过一套筛子加以筛分，在三个相邻的筛子上残留的砂子总量最大者，就是砂子的主要组成部分，其粒度用三个相邻筛子的头尾筛号表示，标准筛号分为：6、12、20、30、40、50、70、100、140、200、270。筛号表示每英寸长度上筛孔的数目，筛号愈大则表示砂的粒度愈细。如果砂子筛分后，在40、50、70这三个相邻筛号上残留的砂子总量最多，且70筛号上残留砂量大于40筛号上的残留砂量，则该砂子的粒度写成70/40，粒度分组代号为30。

造型用砂根据粒度的大小，分成特粗砂、粗粒砂、中粒砂、细粒砂和特细砂五种。

根据砂粒主要组成部分的数量，造型用砂又可分为粒度集中的和粒度分散的两种，主要组成部分的数量（体积分数）大于60%，为粒度集中的；大于45%为粒度分散的。

(3) 含水量 原砂内含有水分的多少，叫做湿度，型砂在配制前，要求把原砂中的水分烘干，这样便于控制型砂中的水分含量。

(4) 二氧化硅含量 铸造用原砂以硅砂为主，主要成分为 $\text{SiO}_2$ ，表1-1-1所示为硅砂分类等级。

表 1-1-1 硅砂分类等级

原砂名称	等级符号	$w_{\text{H}_2\text{O}}$ (%)	$w_{\text{SiO}_2}$ (%)	有害杂质含量（质量分数）(%)			供参考的使用范围
				$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$	$\text{CaO} + \text{MgO}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	
硅砂	1S	$\leq 2$	$\geq 97$	0.5	1.0	0.75	配制铸钢件用型、芯砂
	2S	$\leq 2$	$\geq 96$	1.5		1.0	
	3S	$\leq 2$	$\geq 94$	2.0		1.5	
	4S	$\leq 2$	$\geq 90$	—		—	铸铁和部分铸钢小件用型、芯砂

原砂的牌号是由表示原砂的分类等级、颗粒形状、粒度等数字符号表示的。例如4S50/100(O)表示四级硅砂，粒度50/100，在50筛号上残留的砂子多，圆形砂。

2. 型砂分类 型砂是由原砂、粘结剂及附加物组成的混合料，按照粘结剂的不同，可分为粘土砂、水玻璃砂和有机粘结剂砂。

(1) 粘土砂 最常用的粘土型（芯）砂是由砂、粘土、水和其他附加物（如煤粉）按所需配比混制而成的。

粘土砂所用粘结剂是粘土，粘土具有一定的粘结性能，而且热化学稳定性较好，通常称为造型粘土。

造型粘土主要是由颗粒细小（直径小于0.022mm）且含水的硅酸铝所组成。它与造型用砂混合后，再加入适量的水，就能赋予型砂以一定的湿强度，而且使型砂烘干后也具有一定的干强度。

根据不同的矿物成分，造型粘土可分为普通粘土和膨润土两类。工厂中一般将普通粘土称为白泥，膨润土称为陶土。

普通粘土主要由高岭石（ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）类粘土矿物组成，其中含 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 较多。

普通粘土中，耐火度 $>1580^\circ\text{C}$ 的又称为耐火粘土。适用于铸钢件，而耐火度 $<1580^\circ\text{C}$ 的普通粘土一般用于铸铁件。

膨润土主要是由蒙脱石（ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ）类矿物组成。熔点仅为 $1250 \sim 1350^\circ\text{C}$ ，



但由于粘结性能比普通粘土好，在型砂中加入量少，故对整个型砂的耐火性影响不大。但由于膨润土加水后体积膨胀大，干燥后收缩大，所以用膨润土做粘结剂时，铸型烘干后易开裂，故多用于湿型铸造中小型铸铁件及有色金属铸件。

粘土砂中往往还要加入一些煤粉、木屑等附加物，加入煤粉后，经高温铁液作用，在型腔表面产生一层气膜，可以防止铸件表面粘砂；加入木屑后，浇注后木屑在高温下燃烧，提高了砂型退让性和出砂性。

粘土型砂分湿型（也称潮模）砂，表面干型砂和干型砂三类。

湿型砂铸造时铸型不烘干，工序简单，生产周期短，节约烘干设备和燃料，便于组织流水作业等，但由于湿型比干型含水分高（水分为4%~6%（质量分数）），湿强度低，易造成塌箱、气孔、砂眼及粘砂等缺陷。湿型砂按其使用不同又分为面砂、背砂和单一砂。

表面质量要求较高的，以及较大的铸件，应使用质量较好的型砂。但是，因为在浇注过程中只有表面一层型砂与高温金属液相接触，若整个铸型都使用质量好的型砂就会造成浪费。因而将型砂分为两种，与金属液接触的那部分叫做面砂，厚度一般为10~30mm；另一部分填充砂箱的型砂叫做背砂，也叫填充砂。面砂有较高的强度及耐火性，而背砂具有良好的透气性。

在制造砂型的过程中，仅使用一种砂子，叫单一砂。单一砂适用于机械化程度较高、有旧砂再生设备的铸工车间里，特别是机械化造型的小铸件，多用单一砂。在手工造型的铸工车间里，一些小铸件也使用单一砂。

表面干型铸造是在湿型铸造基础上发展起来的一种先进工艺，它适用于铸造重量较大的铸件，是扩大湿型应用范围的途径之一。

在铸造大型铸件时，由于铸件重量大，对铸型的热、机械及化学作用较强烈，一般湿型砂的性能难以适应这些要求。湿型砂难以保证大铸件的质量，关键在于表面砂层含水量高，表面干型就是针对这个弱点，采取表面干燥的手段，可降低表面层的湿度，提高表面层的强度和透气性，在浇注大铸件时，使铸型能经受得起铁液长时间的冲刷和较大的压力，以及强烈作用而不易造成缺陷。表面干型与干型相比，可节省烘炉工序，节约燃料、电力，缩短生产周期。近几年来，国内各地的铸造车间大力推广表面干型代替干型。

从发展的观点看，湿型应是铸造中的基本铸造方法，而干型则是在湿型暂时满足不了要求的情况下，采取的一种强化工艺措施。干型由于整个砂型干燥，大大减少了主要由水分引起的发气量，并提高了透气性（干透气性比湿透气性提高50%），增加了强度（烘干后强度比湿强度高5~10倍）。因此在生产一些中大型铸件时，有比较容易保证铸件质量的优点，但干型生产周期长，烘干设备投资大，燃料消耗多，所以干型主要用于生产一些重量大、质量要求高的大型铸件。

配制干型砂时，为提高型砂透气性、防止气孔，应选用比湿型砂粗的原砂，常用粒度分组代号为30、42、60的粗砂。重而大的铸件对砂型的热作用剧烈，为防止粘砂，选用耐火度较高的硅砂及热化学稳定性好的粘土，以提高型砂的耐火性。由于石墨耐火度高，又不与金属和金属氧化物起化学作用，所以为防止粘砂，提高铸件表面质量，在干型表面要刷石墨涂料。为提高砂型强度，以适应大型铸件造型、合箱及浇注的要求，防止冲砂，干型砂粘土加入量比湿型砂多。

型砂配制前一般要把新的原砂、粘土进行预先处理，首先烘干，干燥后的砂子还要进行