

中国铸造协会

铸造专业系列教材
铸造工程师认证培训用书

铸造工艺学

李魁盛 侯福生 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中国铸造协会

铸造专业系列教材
铸造工程师认证培训用书

铸造工艺学

李魁盛 侯福生 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是中国铸造协会新世纪铸造专业系列教材之一，同时也是铸造工程师认证培训用书。

本书分为三篇：第一篇，铸造工艺过程；第二篇，铸件形成原理；第三篇，铸造工艺及工装设计。本书重点介绍了砂型铸造的各种方法，包括各类黏土砂、水玻璃砂、树脂砂的机器造型（芯）和手工造型（芯）方法。通过本书的学习，可了解和掌握常用的铸造方法，并根据具体铸件和生产条件正确选用适宜的铸造方法；了解铸件形成原理及缺陷防止；掌握铸造工艺及工装设计的基本知识和技能。

本书内容丰富、实用，取材经典、新颖，充分体现了我国铸造的现状，并反映了国际先进铸造技术的发展趋势。

本书可作为普通高等学校和大专院校铸造专业课程教材，及铸造工程师认证培训用书，也可供机械工程专业技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

铸造工艺学 / 李魁盛，侯福生编. —北京：中国水利水电出版社，2005

（铸造专业系列教材）

铸造工程师认证培训用书

ISBN 7-5084-3505-2

I. 铸... II. ①李... ②侯... III. 铸造—工艺学—高等学校—教材 IV. TG24

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2005）第 155604 号

书 名	铸造专业系列教材 铸造工程师认证培训用书 铸造工艺学
作 者	李魁盛 侯福生 编
出版 发行	中国水利水电出版社（北京市三里河路 6 号 100044） 网址：www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话：（010）63202266（总机）、68331835（营销中心）
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市地矿印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 25.25 印张 599 千字 3 插页
版 次	2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月第 1 次印刷
印 数	0001—3100 册
定 价	63.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

“铸造”是一种既经济又便捷的金属成形工艺。无论过去、现在还是将来，铸造都是机械制造业的重要组成部分，它对社会进步和经济发展始终起着重要的作用。

我国的铸造业不仅历史悠久，而且在 21 世纪初，铸件产量已连续 4 年跃居世界第一位，已成为名副其实的铸造大国。然而铸造大国并不就是铸造强国。目前，我国铸造技术水平与发达国家相比仍存在不小的差距，主要表现在铸件质量较差、铸件产品构成落后、企业专业化程度低、绿色环境意识和可持续发展观念不强等方面。究其根本原因，在于人才素质与现代铸造要求不相适应。可以说，没有我国铸造专业人才素质的全面提高，就不会有我国现代铸造技术的进步和发展。

培养专业人才，教育要先行，教材是基础。以往，铸造专业教学及培训用教材大都是 20 世纪 80 年代末编印的，已不能适应培养现代铸造技术人才的需求，因此，编写出版新教材的工作已成为当务之急。同时，为开展铸造工程师的认证工作，也需要一套适用的考试用书。有鉴于此，中国铸造协会主动担起这一重任，并于 2004 年制订了“铸造专业人才教育培训和教材建设规划”，设立“教育培训专项基金”，组织和邀请国内知名铸造专家、学者编写铸造专业培训系列教材，首批入选规划的教材包括《铸造工艺学》、《造型材料》、《特种铸造》、《灰铸铁、球墨铸铁及其熔炼》、《铸钢及其熔炼》、《铸造非铁合金及其熔炼》、《铸造设备》、《铸造企业管理》共 8 本专业教程。

以上教材都是为了在 21 世纪之初，满足我国铸造专业人才教育培训的迫切需要而优先规划并出版的，这批教材的编写既要国情出发，又要面向世界、面向未来；既要保证基础性、实用性，又要突出新颖性；要体现本专业的面貌、新特点，反映学科前沿，培养创新意识和创新精神。总之，应按精品教材的高标准来完成，希望这套铸造专业系列教材的问世，能够开创我国铸造专业技术培训的新局面，加速铸造队伍的专业水平和整体素质的提高，并为我国铸造行业的新发展作出贡献。

本套系列教材适用于大学、大专层次的铸造专业教学用书，也是铸造工程师认证的培训用书，同时亦可供从事铸造生产的管理与技术人员和其他相关专业技术人员参考。

郭树言

2005 年 10 月

前言

《铸造工艺学》系中国铸造协会新世纪铸造专业系列教材之一，同时也是铸造工程师认证培训用书。本书是铸造专业重要的工艺课程教材，着重论述广泛应用的各类砂型铸造方法。内容分为三篇：铸造工艺过程；铸件形成原理；铸造工艺及工装设计。通过本书的学习，可以了解和掌握常用的各种铸造方法，并能根据具体铸件和生产条件来正确选用适宜的铸造方法；了解铸件形成原理及缺陷防止；掌握铸造工艺及工装设计的基本知识和技能。同时，可使读者拓宽专业思路，开阔技术视野，为改进现有铸造工艺、采用和研究新的铸造方法奠定坚实的专业基础知识。

本书内容丰富而实用，取材经典而新颖，既符合国情，充分体现我国铸造的现状，又反映国际先进铸造技术的发展趋势，具有时代特征。

铸造方法多种多样，本书重点介绍砂型铸造的各种方法，包括各类黏土砂、水玻璃砂、树脂砂的机器造型（芯）和手工造型（芯）方法。熔模铸造、石膏型精密铸造、陶瓷型精密铸造、消失模铸造、金属型铸造、压力铸造、低压和差压铸造、挤压铸造、离心铸造、连续铸造、V法造型和快速铸造等，将在《特种铸造》一书中介绍。有关型砂、芯砂的各种知识，将在《造型材料》一书中讲述。本书所讲述的铸造方法，大都在工业生产中早已得到广泛应用，并包括新近发展起来的、方兴未艾的先进方法。概言之，所有这些方法对我国铸造生产都具有现实和长远的重要意义。我们相信，本书的出版发行，将有助于满足我国铸造技术教育培训与提高的需要，从而加速我国铸造生产和技术的发展步伐，为使我国由铸造大国转变为铸造强国贡献绵薄之力。

本书可作为普通高等学校和大专院校铸造专业课程教材，及铸造工程师认证培训用书，也可供机械工程专业技术人员参考。

本书由绪论和三篇十七章组成，由李魁盛、侯福生共同完成。李魁盛编写了绪论、第二篇的第六章～第十一章、第三篇的第十二章～第十六章；侯福生编写了第一篇的第一章～第五章和第三篇的第十七章。全书由李魁盛统稿、白天申主审。特别感谢共同编写过高校统编教材“铸造工艺设计基础”、“铸造工艺及原理”的刘友鹏、徐远耀、陈漱秋、程宽中、程厚义等教授的协助与支持，感谢李庆春、安阁英教授，本书有些内容取材于他们的工作。

由于编者水平有限及时间仓促，书中缺点、疏漏及错误在所难免，恳请读者不吝批评指正。

编者

2005年10月19日于清华园

目 录

序
前言

绪 论

第一篇 铸造工艺过程

第一章 造 型

第一节	概述	7
第二节	手工造型	9
第三节	普通机器造型	16
第四节	水平分型高压造型	20
第五节	垂直分型无箱高压造型	25
第六节	其他造型方法	30
思考题		36

第二章 制 芯

第一节	概述	37
第二节	手工制芯	39
第三节	机器制芯	42
思考题		47

第三章 铸型(芯)的烘干、合箱与浇注

第一节	砂型与砂芯的烘干	48
第二节	合箱	52
第三节	铸型抬箱力计算	53
第四节	铸型浇注	55
思考题		57

第四章 铸件的落砂与清理

第一节	工艺流程	59
-----	------	----

第二节	铸件的落砂	60
第三节	铸件的清理	62
第四节	铸件的热处理	68
第五节	铸件的涂漆	70
思考题		71

第五章 铸件质量检验与缺陷修补

第一节	铸件质量的概念	72
第二节	铸件质量的检验	73
第三节	铸件缺陷的修补和矫正	76
思考题		79

第二篇 铸件形成原理

第六章 液态金属的性质及充型能力

第一节	液态金属的物理性质	83
第二节	液态合金的黏性	85
第三节	液态合金的表面现象	87
第四节	液态合金的充型能力	90
第五节	充型能力的影响因素和提高措施	92
思考题		96

第七章 铸件的凝固

第一节	铸件—铸型的温度场	97
第二节	铸件的凝固方式	105
第三节	铸件的凝固时间	114
思考题		116

第八章 金属的结晶及铸件宏观组织的控制

第一节	概述	117
第二节	晶核的形成	118
第三节	晶体的生长	124
第四节	单相合金的结晶	131
第五节	共晶合金的结晶	142
第六节	液体流动对结晶过程的影响	150
第七节	铸件宏观组织的形成和控制	152
思考题		162

第九章 铸件中的偏析

第一节 微观偏析	163
第二节 宏观偏析	167
思考题	171

第十章 铸件中的气体和非金属夹杂物

第一节 气孔和非金属夹杂物	172
第二节 金属中气体存在形态及来源	176
第三节 析出性气孔的形成及防止	179
第四节 反应性气孔的形成及防止	185
第五节 非金属夹杂物的形成及防止	188
思考题	192

第十一章 铸件的收缩及收缩缺陷

第一节 铸造合金和铸件的收缩	193
第二节 缩孔、缩松的形成机理及防止	202
第三节 铸件的热裂	213
第四节 铸造应力	221
第五节 铸件的变形、冷裂及其防止方法	228
思考题	231

第三篇 铸造工艺及工装设计

第十二章 铸造工艺设计概念

第一节 铸造工艺设计的概念	235
第二节 铸造工艺设计与经济指标和环境保护的关系	238
思考题	238

第十三章 铸造工艺方案

第一节 零件结构的铸造工艺性	239
第二节 造型、造芯方法的选择	245
第三节 浇注位置的确定	246
第四节 分型面的选择	248
思考题	251

第十四章 砂芯设计及铸造工艺设计参数

第一节	砂芯设计	252
第二节	铸造工艺设计参数	257
思考题		268

第十五章 浇注系统设计

第一节	液态金属在浇注系统基本组元中的流动	270
第二节	浇注系统的基本类型及选择	280
第三节	计算阻流截面的水力学公式	284
第四节	铸铁件浇注系统设计及计算	291
第五节	其他合金铸件浇注系统的特点	295
第六节	金属过滤技术	299
思考题		301

第十六章 冒口、冷铁和铸肋

第一节	冒口的种类及补缩原理	302
第二节	铸钢件冒口的设计与计算	309
第三节	铸铁件实用冒口的设计	318
第四节	提高通用冒口补缩效率的措施和特种冒口	327
第五节	冷铁	331
第六节	铸肋	338
思考题		342

第十七章 铸造工艺装备设计

第一节	模样及模板	343
第二节	芯盒设计	364
第三节	砂箱设计	380
第四节	其他工艺设备	391
思考题		393
参考文献		394
附表	铸造工艺符号及表示方法	

绪 论

一、铸造生产的概念、特点及其重要性

铸造生产是用液态合金形成产品的方法。将液态合金注入铸型中使之冷却、凝固，这种制造金属制品的过程称为铸造生产，简称铸造，所铸出的金属制品称为铸件。绝大多数铸件作为毛坯，需要经机械加工后才能成为各种机器零件；少数铸件当达到使用的尺寸精度和表面粗糙度要求时，可作为成品或零件而直接应用。

铸造生产具有以下特点。

(一) 适用范围广

铸造法几乎不受零件大小、厚薄和复杂程度的限制，适用范围广，可以铸造壁厚 0.3~1m、长度从几个毫米到十几米、重量从几克到 400 多 t 的各种合金铸件。铸件形状可以非常复杂，如汽车用多缸式水冷整铸汽缸体。

(二) 可制造各种合金铸件

用铸造法可以生产铸钢件、铸铁件及各种铝合金、铜合金、镁合金、钛合金、锌合金等铸件。对于脆性金属或合金，铸造是唯一可行的加工方法。在生产中以铸铁件应用最广，约占铸件总产量的 70%。

(三) 铸件的尺寸精度高

铸件一般比锻件、焊接件尺寸精确，可节约大量金属材料和机械加工工时。

(四) 成本低廉

铸件在一般机器生产中约占总质量的 40%~80%，而成本只占机器总成本的 25%~30%。成本低廉的原因是：①容易实现机械化生产；②可大量利用废、旧金属料；③与锻件相比，其动力消耗小；④尺寸精度高，加工余量小，节约加工工时和金属。

二、我国铸造技术的发展

我国的铸造技术已有 6000 年悠久的历史，是世界上较早掌握铸造技术的文明古国，2500 多年前（公元前 513 年）就铸出 270kg 的铸铁刑鼎。世界上公认中国是最早应用铸铁的国家之一。最晚到宋朝，我国已使用铸造铁炮和铸造地雷。

我国在商朝时期就已创造了灿烂的青铜文化。1978 年湖北省随县出土的曾侯乙墓青铜器重达 10t。其中有 64 件的一套编钟，整套编钟音域宽达五个半八度，可演奏各类名曲，音律准确和谐，音色优美动听（图 0-1）。

现存于北京大钟寺内的明朝永乐大钟（图 0-2），铸于明永乐十八年前后（1418~1422 年），重 46.5t。钟体内外铸满经文，共约 227000 余字。大钟至今完好，声音幽雅悦耳，距钟 15~20km 都能听见，是世界上罕见的古钟之一。

图 0-3 为湖北省随县出土的曾侯尊盘，铸于战国初期，可以看出铸工之精湛。

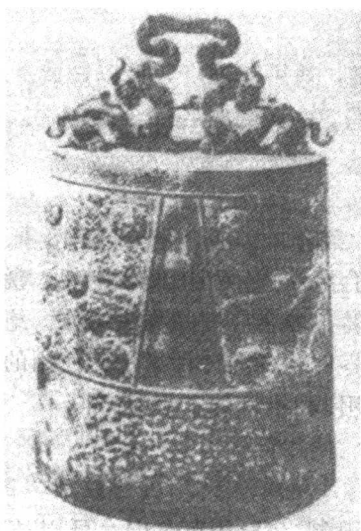


图 0-1 战国时期的青铜编钟之一



图 0-2 明永乐大钟（铸于 1418~1422 年）

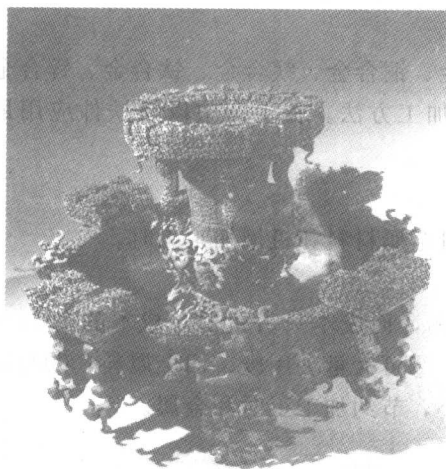


图 0-3 战国初期铸的曾侯尊盘

据考证，我国古代的钟、鼎、尊等文物，有些是失蜡法铸造的。明代宋应星著《天工开物》中曾记述了熔模铸造工艺过程。

河北省沧州的大铁狮，高 5m 多，长近 6m，重 19.3t^①，是公元 9 世纪五代后周时铸成的（见图 0-4）。现立于当阳的铁塔，由 13 层叠成，重 40t，铸于北宋淳熙年间。至少在公元前 500 年，我国就已成功地运用了叠箱铸造技术来大量生产铸铁件。图 0-5 所示的是考古工作者用河南省温县窑出土的 2000 年前的叠箱铸型浇注的铸铁件。

我国铸造历史悠久，灿烂的铸造技术对文化、经济的发展有重大影响，日常用语中的许多词汇如“模范”、“范围”、“就范”、“陶冶”、“陶铸”、“铸成大错”、“大器晚成”等，都来自古代铸造

术语。

改革开放以来，我国铸造工业发展很快，铸件产量已达 2000 万 t/年左右，居世界第一。已铸出 315t 的大型厚板轧机的铸钢机架、重 260t 的大型铸铁钢锭模，还铸出大型水轮机转子等非常复杂、尺寸要求很严的铸件。这些均标志着我国铸造技术水平正在接近和达到国际水平。铸件出口量与日俱增；专业铸造研究所和大学的科研工作迅速发展。我国的铸造工业潜力很大，铸造业将会对国民经济的发展作出更大的贡献。

① 1986 年 12 月经国家文物局批准，铁狮子已从低洼处迁至附近新建的 2m 高的钢筋混凝土地基上。



图 0-4 沧州的大铁狮
(铸于 953 年)

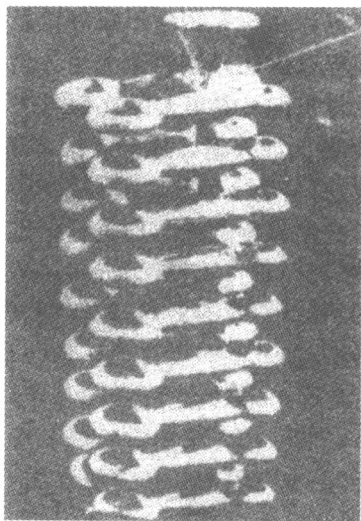


图 0-5 中国古代的叠箱铸铁件
(用 2000 年前出土铸型浇注)

三、本课程的内容及要求

铸造工艺学是铸造专业的主要专业课之一，学习本课程时应特别注意理论联系实际，以便为今后开发新的造型材料、研究新的铸造工艺方法和拟定合理的铸造工艺方案奠定良好的基础。

本课程主要内容为：①铸造工艺过程；②铸件形成原理；③铸造工艺及工装设计。

本课程以讲述砂型铸造为主，其他铸造方法在《特种铸造》课程中论述。

本教材贯彻《中华人民共和国法定计量单位》。为了适应传统习惯，书中所用元素或物质的百分含量、加入量、成分、配方等（如含水量 5% 等），除特殊指明者外，均指质量分数（质量分数符号为 ω ）。

在学完本课程之后，应进行铸造工艺设计训练，以巩固所学知识，培养学生的独立工作能力。

第一篇

铸造工艺过程

di yi pian

di yi pian

第一章 造 型

第一节 概 述

一、本课程的研究重点

把熔融的合金浇注到与所需零件相适应的铸型空腔内，得到铸件的生产过程称为铸造生产，简称为铸造。铸造工艺过程，从广义上说，就是铸件生产的整个过程。从零件图开始，一直到铸件成品检验合格入库为止，要经过许多工序，这些工序互相关联。为了生产出高质量的优质铸件和提高生产率，铸造工作者对每个环节进行着不断地研究和探讨，新的铸型制造方法不断出现。但是在今天，利用石英砂制造铸型的方法仍占据着铸造生产80%以上的比例，预计在21世纪前期，仍是铸造生产的主流，这种方法称为砂型铸造，是本课程研究的主要对象。其他铸造方法（压铸、金属型铸造、熔模精密铸造、消失模铸造等），称为特种铸造，将在后续课程中研究。

二、砂型铸造的优缺点

砂型铸造的优点是：不受零件形状、大小及复杂程度的限制，几乎所有的铸造合金铸件都可生产；制造铸型的原材料来源广泛，生产周期短，成本低。缺点是：劳动条件较差，工序较多，因此影响铸件质量的因素较多。

随着科学技术的不断发展，砂型铸造已不再采用古老传统的铸造方法。普通黏土砂造型已从古老的手工造型发展成了今日的机器造型、高压造型自动化或半自动化流水生产线，生产效率大大提高，铸件质量也明显改善。因此，在许多现代大型机器制造业中，砂型铸造仍是应用最主要的一种方法。

三、砂型结构和种类

（一）砂型结构

砂型的整体结构，以法兰铸件为例，其铸型装配图见图1-1。它由上砂型、下砂型和砂芯等组成。上下砂型所形成的型腔，成为铸件的外轮廓，它是由法兰的模样或模板成形的。制造上下砂型的方法称为造型。砂芯形成法兰的内孔。制造砂芯的方法称为制芯。为了保证铸件的成型和铸件的质量，在砂型上必须采取许多工艺措施，如图1-1中的浇注系统是为了保证熔融合金的充填、出气孔是为了砂型的排气等，还有

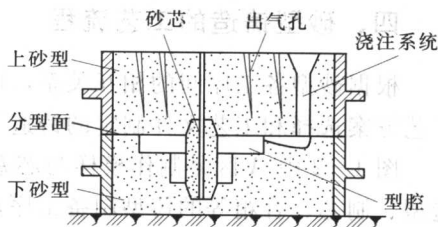


图 1-1 法兰铸型装配图

芯头、冒口、加工余量等,都将在本课程的有关章节中进行讲解。

(二) 砂型的种类

1. 湿型

砂型造好后,不烘干就进行浇注的铸型称为湿型。优点是成本低、生产率高,劳动条件得到改善,易于实现机械化自动化;但铸型水分多、强度低,易产生呛火、夹砂、气孔、冲砂、粘砂、涨箱等铸造缺陷。适用于单件、成批和大量生产的中小件及机械化、自动化的流水线生产中。

2. 干型

砂型造好后,经烘干后再进行浇注的铸型称为干型。优点是铸型水分少、强度高、透气性好,可避免由湿型而引起的一些铸造缺陷;但燃料耗费多,成本高,工艺过程复杂,生产周期长,劳动条件差,不易实现自动化。主要用于结构复杂、质量要求高的单件及小批生产的中大型铸件。

3. 表干型

砂型造好后,只将表面(约15~20mm厚)层烘干,再进行浇注的铸型称为表干型。它克服了干型的部分缺点,保持干型的一些优点,降低了成本,提高了生产率。主要用于结构复杂、质量要求较高的单件,及小批生产的中大型铸件。

4. 自硬型

砂型造好后,靠造型材料自身的化学反应而硬化,一般不需烘烤,或经低温烘烤的铸型称为自硬型。优点是强度高、粉尘少、效率高,但成本较高,易产生粘砂等缺陷。由于砂子回收利用困难,为了减少自硬砂的用量,可采用复砂铸型,即用普通硅砂作为背砂,用自硬砂作为面砂。自硬砂根据使用粘结剂的不同有水玻璃类和树脂类等。各种铸件均可采用,较多用于铸钢件和中大型铸铁件。

5. 石灰石砂型

用破碎的石灰石砂代替一般的硅砂,常用水玻璃作为粘结剂而制成的自硬性铸型称为石灰石砂型。其优点是硅粉尘少、易于清理,对消除工人的矽肺病有利。缺点是应用于大件有缩沉,易发生CO中毒现象,旧砂回收利用困难。主要应用于铸钢件的生产中。

6. 铁模复砂型

在铁模上复上一层5~15mm的砂层,组成的铸型称为铁模复砂型。铁模一般用铸铁制造,砂层目前多数用树脂砂。这种铸型刚度大,有利于利用球铁的凝固收缩特性,减轻或消除球铁铸件的缩孔和缩松缺陷,提高质量。缺点是铸型费用高,旧砂不可回用。主要应用于成批大量生产的厚大球铁件,如曲轴等。

四、砂型铸造的工艺流程

根据砂型各工序间的相互关系,可绘制如图1-2所示的铸造工艺流程图。其中包括工艺方案选择和工艺文件制定的铸造工艺设计过程。

图1-2中A区是制作模样与芯盒等模具的准备工作,B区是以铸型为主体的混砂、造型、制芯、合箱等的铸型制备工序;C区是铸造合金的熔炼、浇注及热处理等工序;D区是铸件的精整工序。