



21世纪全国高等院校材料类 **创新型** 应用人才培养规划教材



MATERIALS

铸造工程基础

主 编 范金辉 华 勤

主 审 魏 兵 朱世根

Materials



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材

铸造工程基础

主 编 范金辉 华 勤
主 审 魏 兵 朱世根



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书内容注重基础性、实用性、全面性和新颖性的结合,对铸造工程技术作了系统的介绍,体现铸造行业的新面貌,反映学科前沿。全书共分9章,内容包括绪论、铸造成形工艺原理、铸铁、铸钢、铸造非铁合金、砂型铸造、特种铸造、铸造CAE及其应用、铸造生产质量控制。

本书可作为普通高等院校材料科学与工程、机械工程和冶金工程各专业学习铸造基础知识的教材,也可供相关领域的科研及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

铸造工程基础/范金辉,华勤主编. —北京:北京大学出版社,2009.8

(21世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-15543-1

I. 铸… II. ①范… ②华… III. 铸造—高等学校—教材 IV. TG24

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第121456号

书 名: 铸造工程基础

著作责任者: 范金辉 华 勤 主编

策 划 编 辑: 童若鑫

责 任 编 辑: 李 楠

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-15543-1/TG·0001

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 三河市欣欣印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 25印张 579千字

2009年8月第1版 2009年8月第1次印刷

定 价: 40.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

21 世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材

编审指导与建设委员会

成员名单 (按拼音排序)

白培康 (中北大学)	陈华辉 (中国矿业大学)
崔占全 (燕山大学)	杜彦良 (石家庄铁道学院)
杜振民 (北京科技大学)	耿桂宏 (北方民族大学)
关绍康 (郑州大学)	胡志强 (大连工业大学)
李楠 (武汉科技大学)	梁金生 (河北工业大学)
林志东 (武汉工程大学)	刘爱民 (大连理工大学)
刘开平 (长安大学)	芦笙 (江苏科技大学)
石海芳 (辽宁工程技术大学)	孙玉福 (郑州大学)
万发荣 (北京科技大学)	王春青 (哈尔滨工业大学)
王金淑 (北京工业大学)	卫英慧 (太原理工大学)
伍玉娇 (贵州大学)	夏华 (重庆理工大学)
徐鸿 (华北电力大学)	余心宏 (西北工业大学)
张朝晖 (北京理工大学)	张光胜 (安徽工程科技学院)
张敏刚 (太原科技大学)	张锐 (郑州航空工业管理学院)
张晓燕 (贵州大学)	赵惠忠 (武汉科技大学)
赵莉萍 (内蒙古科技大学)	赵玉涛 (江苏大学)

前 言

铸造行业是机械制造业的主要组成部分，铸造技术是先进制造技术的重要内容，铸造行业对促进国民经济的增长和支持其他行业的发展都起了重要作用，因此必须十分重视铸造行业的发展。我国是当今世界铸件生产第一大国，产量超过了排名第二、三、四位的美、日、德三国的产量之和，2008 年我国铸件产量接近世界总产量的 1/3，是名副其实的铸造大国。同时我国又有着悠久的铸造历史，夏、商、周是人类青铜文化史上最为光辉灿烂的时代，我们祖先铸造的器件，如司母戊大方鼎、曾侯乙编钟等，至今仍令全世界惊叹不已。我国是世界上最早发明并使用生铁的国家，比欧洲早了 1800 多年，但目前我国铸造行业的技术水平与工业发达国家相比，仍有不小差距，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，因此必须全面提高我国机械制造行业人员的铸造知识水平，以适应我国现代铸造技术的进步和发展。

本书是 21 世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材，内容注重基础性、实用性、全面性和新颖性的结合，在编写过程中力求加强基础知识，阐明基本概念，尽可能结合当前国内的生产实际，努力反映国际的先进技术，并融入了编者多年的教学经验和科研成果，体现了铸造行业的新面貌，反映学科前沿。编者力求使本书的内容全面系统，条理清楚，便于读者学习和掌握，同时也注重提高读者分析和解决实际问题的能力。一些特别深入探讨的专业内容请参阅书末所列有关参考文献或其他铸造相关书籍。

本书共有 9 章，内容包括第 1 章绪论、第 2 章铸造成形工艺原理、第 3 章铸铁、第 4 章铸钢、第 5 章铸造非铁合金、第 6 章砂型铸造、第 7 章特种铸造、第 8 章铸造 CAE 及其应用、第 9 章铸造生产质量控制。本书由范金辉、华勤主编，其中第 1 章到第 5 章由范金辉编写，第 6 章到第 9 章由华勤编写。全书由范金辉统稿，由西安理工大学魏兵教授和东华大学朱世根教授主审。在此对两位教授在审稿过程中付出的辛劳致以崇高的敬意和深情的谢意！

选用本书作教材，各学校可根据课程的性质和特点灵活安排教学。本书较适宜的授课学时为 60 左右，各章的参考教学时数如下表：

章 次	建议学时	章 次	建议学时
第 1 章 绪论	2	第 6 章 砂型铸造	14
第 2 章 铸造成形工艺原理	8	第 7 章 特种铸造	10
第 3 章 铸铁	8	第 8 章 铸造 CAE 及其应用	4
第 4 章 铸钢	4	第 9 章 铸造生产质量控制	4
第 5 章 铸造非铁合金	6	合计	60



本书在编写过程中得到了上海大学崔启杰教授、河北科技大学刘瑞玲教授的关心和指导，在此表示衷心的感谢！同时特别感谢北京大学出版社各位编辑在本书出版过程中给予的大力支持和帮助！在本书编写过程中，编者参阅并引用了大量专著和相关文献，这些文献不仅丰富和充实了教材内容，也令编者受益匪浅，在此谨向文献作者表示真诚的谢意！

由于编者水平有限和时间仓促，书中难免有欠妥之处，恳请读者批评指正！

编 者

2009 年 6 月

目 录

第1章 绪论 1

- 1.1 铸造生产的概念和特点 2
 - 1.1.1 铸造生产的概念 2
 - 1.1.2 铸造生产的特点 2
- 1.2 我国铸造行业的地位和成就 3
 - 1.2.1 我国铸造行业的重要地位 3
 - 1.2.2 我国铸造行业的巨大成就 3
- 1.3 我国铸造技术的辉煌历史 6
 - 1.3.1 我国古代青铜铸造技术 6
 - 1.3.2 我国古代的铸铁技术 8
- 1.4 铸造技术的发展趋势 9
- 思考题 10

第2章 铸造成形工艺原理 11

- 2.1 液态金属对铸型的充填 12
 - 2.1.1 充型能力的概念 12
 - 2.1.2 影响充型能力的因素 12
 - 2.1.3 提高充型能力的措施 16
- 2.2 铸件的凝固 16
 - 2.2.1 铸件的温度场 16
 - 2.2.2 铸件的凝固方式 20
 - 2.2.3 铸件的凝固时间 24
- 2.3 液态金属的结晶及组织控制 25
 - 2.3.1 液态金属的结构特点 26
 - 2.3.2 液态金属的结晶过程 26
 - 2.3.3 铸件结晶组织的形成 28
 - 2.3.4 铸件结晶组织与性能的关系 30
 - 2.3.5 铸件结晶组织的控制 31
- 2.4 铸件的偏析 34
 - 2.4.1 微观偏析 35

- 2.4.2 宏观偏析 36
- 2.5 铸件中的气体与非金属夹杂物 39
 - 2.5.1 金属中的气体 39
 - 2.5.2 铸件中的气孔 40
 - 2.5.3 铸件中的非金属夹杂物 42
 - 2.5.4 气体与非金属夹杂物的排除 46
- 2.6 铸件的收缩及收缩缺陷 47
 - 2.6.1 铸造合金及铸件的收缩 47
 - 2.6.2 铸件的缩孔与缩松 50
 - 2.6.3 铸件的热裂 53
 - 2.6.4 铸件的应力、变形及冷裂 55
- 阅读材料 61
- 思考题 61

第3章 铸铁 62

- 3.1 铸铁的基础知识 63
 - 3.1.1 铁-碳合金双重相图 63
 - 3.1.2 铁-碳合金中的基本组成 64
 - 3.1.3 合金元素对铁-碳相图的影响 66
 - 3.1.4 Fe-C-Si 凝固相图 68
 - 3.1.5 铸铁的种类及其特征 68
 - 3.1.6 铸铁的凝固结晶过程 69
 - 3.1.7 铸铁的固态相变 76
- 3.2 灰铸铁 77
 - 3.2.1 灰铸铁的石墨类型 77
 - 3.2.2 灰铸铁的性能特点及应用 78
 - 3.2.3 提高灰铸铁性能的方法 80
- 3.3 球墨铸铁 84



3.3.1 球墨铸铁的组织	84	4.2.6 低合金钢的铸造性能	121
3.3.2 球墨铸铁的性能特点及 应用	85	4.3 铸造高合金钢	122
3.3.3 球墨铸铁的生产	87	4.3.1 概述	122
3.4 蠕墨铸铁	91	4.3.2 铸造高锰钢	123
3.4.1 蠕墨铸铁的组织	91	4.3.3 铸造不锈钢(耐蚀钢)	127
3.4.2 蠕墨铸铁的性能特点及 应用	92	4.3.4 铸造耐热钢	131
3.4.3 蠕墨铸铁的生产	93	4.4 铸钢的熔炼	134
3.5 可锻铸铁	94	4.4.1 电弧炉炼钢的特点和 应用	134
3.5.1 可锻铸铁的性能特点及 应用	94	4.4.2 电弧炉结构简介	134
3.5.2 可锻铸铁的生产	95	4.4.3 电弧炉氧化法炼钢工艺 过程	135
3.6 特殊性能铸铁	96	阅读材料	136
3.6.1 抗磨铸铁	96	思考题	137
3.6.2 耐热铸铁	98		
3.6.3 耐蚀铸铁	100	第5章 铸造非铁合金	138
3.7 铸铁的熔炼	102	5.1 铸造铝合金	139
3.7.1 冲天炉熔炼	102	5.1.1 铸造铝合金的分类	139
3.7.2 感应电炉熔炼	105	5.1.2 铸造铝硅合金	142
3.7.3 冲天炉与感应电炉双联 熔炼	106	5.1.3 铸造铝铜合金	145
阅读材料	106	5.1.4 铸造铝镁合金	146
思考题	107	5.1.5 铸造铝锌合金	147
		5.1.6 铝合金铸件的热处理	148
第4章 铸钢	108	5.1.7 铸造铝合金的熔炼	151
4.1 铸造碳钢	109	5.2 铸造铜合金	152
4.1.1 铸造碳钢的结晶过程和 铸态组织	110	5.2.1 铸造铜合金的分类	152
4.1.2 碳钢铸件的热处理	112	5.2.2 铸造锡青铜	156
4.1.3 影响铸造碳钢力学性能的 主要因素	113	5.2.3 铸造铝青铜	158
4.1.4 碳钢的铸造性能	115	5.2.4 铸造铅青铜	160
4.2 铸造低合金钢	117	5.2.5 铸造黄铜	160
4.2.1 合金元素对钢的组织及性能 的影响	117	5.2.6 铸造铜合金的熔炼	162
4.2.2 锰系铸造低合金钢	118	5.3 铸造镁合金	164
4.2.3 铬系铸造低合金钢	119	5.3.1 镁及镁合金的特性	164
4.2.4 微量合金化铸钢	120	5.3.2 镁铝锌合金	165
4.2.5 低合金钢铸件的热处理	121	5.3.3 镁锌铝合金	167
		5.3.4 铸造镁合金的熔铸	168
		5.4 铸造锌合金	170
		5.4.1 锌及锌合金的特性	170
		5.4.2 铸造锌合金的牌号和 成分	170

5.4.3 铸造锌合金的熔炼	171	6.4.1 黏土砂紧实方法、原理及特点	220
5.5 铸造轴承合金	172	6.4.2 黏土砂造型设备	226
5.5.1 铸造轴承合金的分类概述	172	6.4.3 砂处理设备	231
5.5.2 铸造轴承合金的牌号和成分	172	6.5 铸造工艺方案设计	235
5.5.3 铸造轴承合金的熔铸	174	6.5.1 零件结构的铸造工艺性	235
5.6 铸造钛合金	174	6.5.2 浇注位置的选择	238
5.6.1 钛及钛合金的特性	174	6.5.3 铸型分型面的选择	239
5.6.2 钛合金的组织成分和牌号	175	6.6 浇注系统设计	242
5.6.3 铸造钛合金的熔铸	177	6.6.1 液态金属在浇注系统基本组元中的流动	243
5.7 铸造高温合金	178	6.6.2 浇注系统的种类	245
5.7.1 铸造高温合金的分类	178	6.6.3 浇注系统的计算	247
5.7.2 铸造高温合金的成分与牌号	179	6.7 冒口的设计	251
5.7.3 铸造高温合金的熔铸	182	6.7.1 冒口的种类及补缩原理	251
阅读材料	183	6.7.2 铸铁件实用冒口设计	255
思考题	184	6.7.3 基于均衡理论的冒口设计	256
第6章 砂型铸造	185	6.8 铸造工艺装备设计	257
6.1 黏土砂型	186	6.8.1 模样及模板	257
6.1.1 黏土砂型铸造特点	186	6.8.2 砂箱	265
6.1.2 湿型砂性能要求	187	6.8.3 芯盒	268
6.1.3 湿型砂用原材料及其质量要求	191	阅读材料	272
6.1.4 湿型砂制备	199	思考题	272
6.2 无机化学黏结剂砂型(芯)	204	第7章 特种铸造	273
6.2.1 钠水玻璃及钠水玻璃砂的硬化机理	204	7.1 特种铸造的特点	274
6.2.2 CO_2 -钠水玻璃砂及砂型(芯)的制造工艺	207	7.1.1 特种铸造的工艺特点	274
6.2.3 自硬钠水玻璃砂	209	7.1.2 特种铸造的优点	274
6.2.4 钠水玻璃砂溃散性问题及其解决途径	211	7.2 熔模精密铸造	275
6.3 有机化学黏结剂砂型(芯)	212	7.2.1 熔模铸造工艺	275
6.3.1 壳型(芯)	212	7.2.2 熔模的制造	276
6.3.2 热芯盒法	215	7.2.3 型壳的制造	279
6.3.3 自硬冷芯盒法	216	7.2.4 浇注和清理	289
6.3.4 气硬冷芯盒法	218	7.3 消失模铸造	289
6.4 造型及砂处理设备	220	7.3.1 消失模铸造工艺	289
		7.3.2 泡沫塑料模样	290
		7.3.3 涂料	294



7.3.4 造型与浇注	295	8.2.3 热分析技术的进展	354
7.3.5 金属液的充型过程	297	8.3 铸造工艺 CAD	356
7.4 金属型铸造	300	8.3.1 铸件的几何、物理量计算 CAD	356
7.4.1 金属型铸造工艺	300	8.3.2 冒口系统 CAD	359
7.4.2 金属型铸件成形特点	301	8.4 网络化铸造	361
7.4.3 金属型设计	302	8.4.1 铸造行业 ASP 平台 系统	362
7.5 压力铸造	309	8.4.2 网络化铸件缺陷分析专家 系统	363
7.5.1 压力铸造工艺	309	8.4.3 网络化企业生产管理信息 系统	365
7.5.2 压铸过程原理	310	阅读材料	366
7.5.3 压铸机	312	思考题	367
7.5.4 压铸型的设计	316	第9章 铸造生产质量控制	368
7.5.5 压铸工艺规范	318	9.1 铸造生产过程的质量控制	369
7.5.6 压铸新工艺	319	9.1.1 铸件质量的概念	369
7.6 低压铸造	323	9.1.2 技术准备过程的质量 控制	369
7.6.1 低压铸造工艺	323	9.1.3 生产工艺过程的质量 控制	372
7.6.2 低压铸造铸型设计	324	9.2 铸件质量与检验	373
7.6.3 低压铸造设备	325	9.2.1 铸件的检验	373
7.6.4 低压铸造工艺	327	9.2.2 铸件精度控制	374
7.6.5 差压铸造	330	9.2.3 铸造表面粗糙度	375
7.7 其他特种铸造方法	331	9.3 铸件的缺陷分析	375
7.7.1 石膏型精密铸造	331	9.3.1 铸件缺陷及废品率	375
7.7.2 陶瓷型精密铸造	332	9.3.2 铸件缺陷分析和质量控制中 的数理统计方法	376
7.7.3 挤压铸造	333	9.4 铸造生产的环境保护	379
7.7.4 离心铸造	335	9.4.1 铸造生产的环境污染及 防治	379
7.7.5 连续铸造	336	9.4.2 铸造生产的能耗和 节能	383
7.7.6 V 法造型	338	阅读材料	386
7.7.7 快速铸造	339	思考题	386
阅读材料	341	参考文献	387
思考题	341		
第8章 铸造 CAE 及其应用	342		
8.1 铸造过程的数值模拟	343		
8.1.1 建立内节点差分方程	343		
8.1.2 铸件凝固过程数值方程的 求解条件	346		
8.1.3 应用实例	348		
8.2 计算机热分析系统及应用	352		
8.2.1 热分析的基本原理	352		
8.2.2 计算机热分析系统	352		

第 1 章

绪 论



本章教学要点

知识要点	掌握程度	相关知识
铸造生产的概念和特点	掌握铸造生产的概念和特点	冶金工程、机械工程、材料科学与工程的基本知识
我国的铸造成就	了解我国现代铸造成就和古代铸造技术	冶金工程、机械工程、材料科学与工程、冶金科技史的基本知识
铸造技术的发展趋势	了解铸造技术的发展趋势	冶金工程、机械工程、材料科学与工程的基本知识



1.1 铸造生产的概念和特点

1.1.1 铸造生产的概念

铸造是液态金属成形的一种方法，其过程是指将金属熔化后，浇注到型腔内，冷却、凝固后形成具有型腔形状的金属制品。所铸出的金属制品称为铸件。大多数铸件作为毛坯，需要经过机械加工后成为各种机器零件使用，也有一些铸件能够达到使用的尺寸精度和表面粗糙度要求，可作为成品零件直接使用。铸造生产的方法有很多种，其中最普遍采用的是砂型铸造。图 1.1 所示为砂型铸造的生产过程。

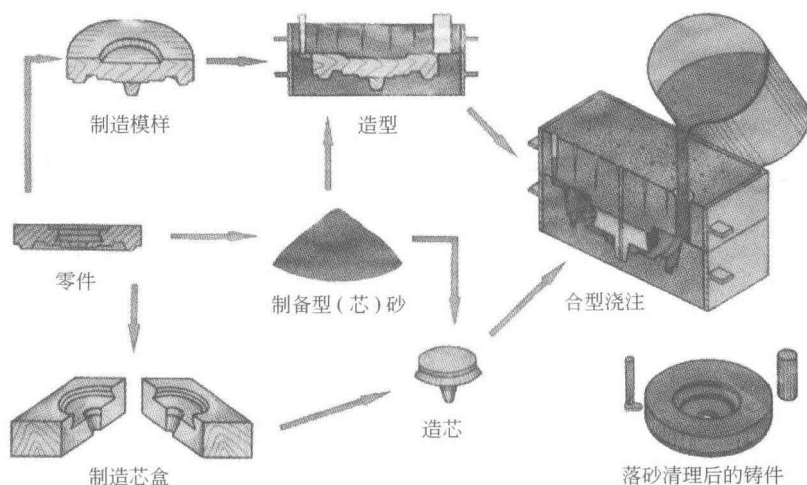


图 1.1 砂型铸造生产过程

1.1.2 铸造生产的特点

铸造生产的主要特点如下：

1. 适用范围广

铸造方法几乎不受零件的尺寸大小、壁的厚薄和形状复杂程度的限制，适用范围广。利用铸造方法可以铸造壁厚从零点儿毫米到一米左右、长度从几毫米到十几米、质量从几克到几百吨的各种合金铸件，而且铸件形状可以非常复杂，如汽车水冷式多缸汽缸体。

2. 可制造各种合金铸件

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

3. 成本低廉

铸件在一般机器生产中占总质量的40%~80%，而成本只占机器总成本的25%~30%。铸件成本低廉的原因是：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材料。

1.2 我国铸造行业的地位和成就

1.2.1 我国铸造行业的重要地位

铸造行业是制造业的主要组成部分，对国民经济的发展起重要作用。机械、汽车、电力、冶金、石化、航空、航天、国防、造船及家用电器等行业都离不开铸造。随着我国三峡工程、西气东输以及振兴东北工业基地等重要工程的逐步推进，给我国大型铸造行业带来了更为广阔的市场前景。我国庞大汽车业的持续发展，使汽车铸件的需求大幅增长。铸造在国民经济各行业中都占有举足轻重和不可替代的重要作用 and 地位，必须十分重视铸造行业的发展。

20世纪末到21世纪初，随着国民经济的高速发展，我国铸造行业也迅猛发展，各类铸件的产量都持续增长，铸件总产量到2008年年底已连续9年居世界首位，成为名副其实的铸造大国和铸件出口大国。我国铸造行业对促进国民经济的增长和支撑各行业的发展都起了极其重要的作用。

1.2.2 我国铸造行业的巨大成就

我国铸造界的广大科研及工程技术人员开展了大量卓有成效的基础理论和应用技术研究，使我国铸造行业发生了巨大变化，铸造技术水平已在众多领域接近或达到国际水平。技术进步和发展变化主要表现在以下几个方面。

1. 新技术的推广应用促进了铸造技术水平的提高

在缸体、缸盖等高强度薄壁铸件方面的大量流水生产中应用了过滤网技术，改善了铸件内在质量。金属型覆砂铸造技术在柴油机曲轴上得到了成功的应用，有效地提高了曲轴的质量和成品率。热芯盒、壳芯、冷芯盒等先进的树脂砂制芯技术已在汽车、内燃机、拖拉机、机床等行业的铸件生产上得到广泛应用，大幅提高了铸件的尺寸精度。

我国成功生产出了一些特大型铸件，如重260t的大型铸铁钢锭模。中国二重集团公司成功地铸造了世界最大的轧机机架铸件，钢液总质量达730t，铸件重约400t。哈尔滨电站设备集团有限公司成功地制造出铸焊结构的三峡工程用重450t的水轮机叶轮，如图1.2所示。沈阳铸造研究所生产出了铝液重5t、净重2.7t的特大型铝合金铸件，如图1.3所示。



图 1.2 三峡工程用水轮机叶轮

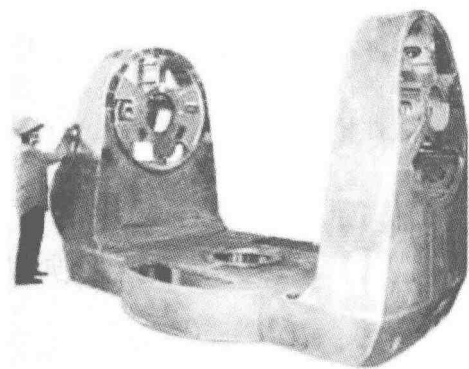


图 1.3 特大型铝合金铸件

2. 先进铸造合金的研发提高了铸件质量和使用寿命

我国有丰富的稀土资源，稀土在铸造生产中得到广泛的应用。汽车、柴油机以及其他机械产品中已大量采用了含稀土的镁球墨铸铁。我国已形成了自主的孕育剂、球化剂和蠕化剂系列，建立了按国际标准商品化供应的生产基地，有力地促进了我国铸铁件内在质量的提高。稀土中碳低合金铸钢和耐热铸钢在机械和冶金产品中得到良好应用，并获得显著的技术经济效益。

研究开发和推广了各种先进的铸铁熔炼设备，进一步提高了铁液温度，减少铁液氧化。外热式热风（风速 $500 \sim 600^{\circ}\text{C}$ ）冲天炉已在我国应用，使铁液温度达到或超过 1500°C 。

冲天炉—电炉双联熔炼工艺已在大批量生产中广泛应用。重型机械行业采用 AOD 与 VOD 等炉外精炼技术，大幅提高了高合金铸钢件的内在质量。

高强度、高弹性模量的灰铸铁已成功地应用于机床铸件，提高了机床的精度。抗拉强度 900MPa ，伸长率 5% 的高强度、高韧性球墨铸铁已用在曲轴零件上。厚大断面球墨铸铁件的生产技术达到国际先进水平，图 1.4 所示为宁波日月铸造有限公司生产的 60t 重厚大断面球墨铸铁注塑机模板。蠕墨铸铁已在汽车排气管和大马力柴油机缸盖等零件上应用，使汽车排气管的使用寿命达到了 10 万千米以上。高铬和低铬抗磨铸铁已在耐磨件上大量应用，使原产品的使用寿命分别提高了 8~10 倍和 2~3 倍。

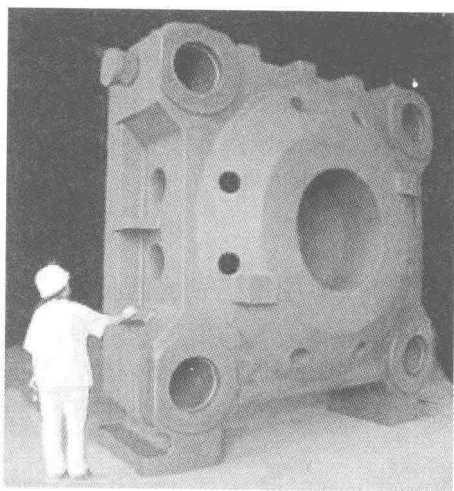


图 1.4 厚大断面球墨铸铁注塑机模板

3. 精确铸造成形等先进铸造工艺迅速发展

我国熔模精密铸造技术有了长足的进步，采用净终成形技术，生产出的高温合金熔模铸造定向凝固无余量航空燃气轮机叶片，达到了国际先进水平，如图 1.5 所示。我国

消失模技术也有很大发展,已应用于生产汽车用铝合金进气管、铸铁箱体、阀门和管件等铸件。合肥合力叉车集团公司生产的消失模铸件已达到国际先进水平,如图1.6所示。

球墨铸铁管行业先后引进了多套直径1m以下中型球墨铸铁管离心铸造成套设备。在此基础上,国内研制开发出1m以上大型球墨铸铁管的离心铸造成套设备,中型球墨铸铁管的水冷金属型离心机和多种配套辅机,使我国离心球墨铸铁管的产量迅速增加。

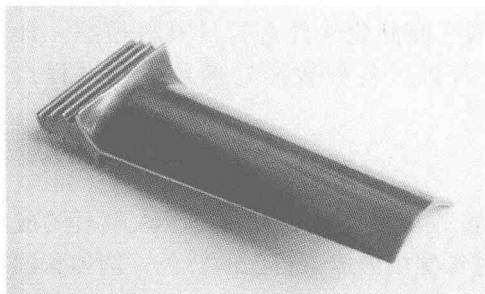


图 1.5 高温合金熔模铸造定向凝固无余量
航空燃气轮发动机叶片

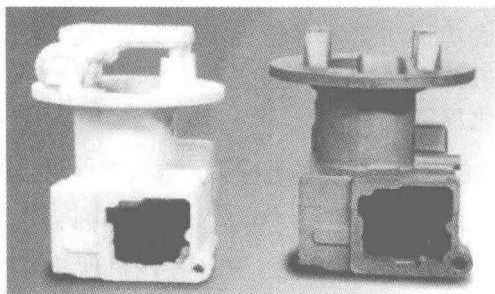


图 1.6 消失模铸造的泡沫塑料模(左)
及浇注成的铸件(右)

4. 新装备的应用提高了铸造机械化水平

我国已能制造世界上最新型的铸造机械和仪器,如各种类型熔炼炉、高压造型机、制芯机、砂处理和清理设备以及无损探伤仪等大型成套设备。机械手和机器人在铸造生产的落砂、清理工序以及压铸、熔模精铸中开始得到应用。

树脂砂生产线提高了我国铸造生产的技术水平,我国大中型铸件尺寸精度达到了CT9~11级,表面粗糙度 Ra 达12.5~50 μm ,成功地生产出150t重的树脂砂铸钢件。铸件质量达到当代工业发达国家同类企业的先进水平。

冲击、静压、射压等各种紧实方法的自动造型线的应用使我国形成了一批采用先进工艺、大量生产铸件的铸造厂,部分铸造厂生产的缸体、缸盖和箱体等铸件的尺寸精度达到了CT6~8级,表面粗糙度 Ra 达到了12.5~25 μm ,接近国际同类铸件的质量标准。

5. 原辅材料商品化为铸件质量提供保障

铸件原辅材料的质量和供应长期以来一直制约着我国铸造业的发展和铸件质量的提高。随着人们对铸造材料及商品化重要性的认识,铸造材料商品化市场得到空前的发展。

生产高温优质铁液所需的铸造焦在我国初步建成生产基地,形成一定的规模,为稳定球墨铸铁件和高强度灰铸铁件的质量创造了有利条件。已能批量生产和商品化供应树脂砂造型和制芯用各种树脂、覆膜树脂砂、硬化剂及辅料。我国铸件所需的铸造材料基本上实现了自给。中国已成为世界上铸造材料市场发展最快的国家之一。

6. 先进测试手段得到广泛应用

许多重点企业的骨干铸造厂广泛采用真空直读光谱仪和热分析仪,快速而有效地控制



了炉前金属液成分和杂质元素。采用超声波、X射线等测试方法控制铸件的质量,保证了铸件内在质量的可靠性和稳定性。三坐标测量仪已在一些铸造厂开始应用,有效地保证了模具、芯盒及铸件的尺寸精度。

7. 计算机技术促进铸造行业技术进步

以计算机模拟仿真技术为代表的计算机技术在铸造行业得到广泛应用,极大地提高了铸造技术水平,为企业获得了明显的经济及社会效益。目前,清华大学、华中科技大学等单位开发的国产商品化软件在国内企业广泛应用。中国二重集团公司一次浇注成功长江三峡水轮机不锈钢叶片,采用的就是国产商品化软件进行计算机模拟。计算机技术还用于铸造工艺辅助设计(CAD)、生产管理、各种数据处理及生产过程自动化控制等领域。

8. 积极开展基础研究,学科水平明显提高

我国拥有一大批高素质的铸造科研人员,在铸造领域的基础研究取得令人瞩目的成绩,在铸铁凝固理论、稀土作用机理及模拟仿真研究等领域形成了自己的特色,例如我国铸造科研工作者用SEM直接观察到了球状石墨的结晶核心。我国已在国际铸造学术界占有一席之地,并组织了多次大型国际学术会议。

1.3 我国铸造技术的辉煌历史

人类进入文明社会是以使用金属铸造材料(铜与铁)开始的。我国铸造技术有着悠久的历史,早在5000多年前,铸造技术就出现在了中华大地上。铸造技术被应用到农业生产、兵器制造、音乐艺术及人民生活等各方面,极大地推动了我国古代文明的进步。铸造技术的发展史,是中华民族五千年文明发展史的重要组成部分。我国古代铸造技术的发展经历了两个阶段,前2000余年是以青铜为主的发展阶段,后2000余年是以铸铁为主的发展阶段。这两个阶段是青铜器时代和铁器时代文明的重要标志。

1.3.1 我国古代青铜铸造技术

在我国古代,常用的铸造工艺主要有范铸法和失蜡法。范铸法是用范组合成铸型进行浇注的方法,根据所用范的不同,可分为石范铸造、泥(陶)范铸造、金属范铸造等。如图1.7所示是陕西扶风县西周青铜遗址出土的纹饰十分精美的陶范残片。

夏、商、周是人类青铜文化史上最为光辉灿烂的时代,中国在金属冶炼、铸造以及合金技术、加工技术等方面都取得了极其伟大的成就。商代晚期青铜器铸造技术进入鼎盛阶段,青铜器已应用在农具、武器、礼器、生活用品等各个方面,铸造出了大量著名的青铜器铸件。河南安阳殷墟出土的司母戊大方鼎(图1.8),高1.33m、长1.16m、宽0.76m,重达875kg,造型雄伟,采用的铸造工艺为泥范铸造,整体浇注。司母戊大方鼎是已发现的中国古代形体最大、重量最重的青铜器,反映出商代青铜冶铸业具有极高水平。



图 1.7 纹饰精美的陶范残片

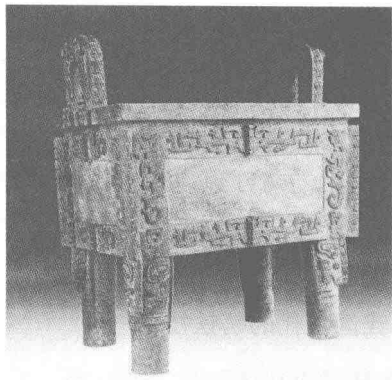


图 1.8 司母戊大方鼎

我国的失蜡法至迟起源于春秋时期。河南浙川下寺2号楚墓出土的春秋时代的铜禁是迄今所知的最早的失蜡法铸件，如图1.9所示。此铜禁高28cm、长107cm、宽47cm，四边及侧面均饰透雕云纹，四侧攀附12条龙头怪兽，器下有10个昂首前行的虎形足，透雕纹饰繁复多变，外形华丽而庄重，反映出春秋中期我国的失蜡法已经比较成熟。

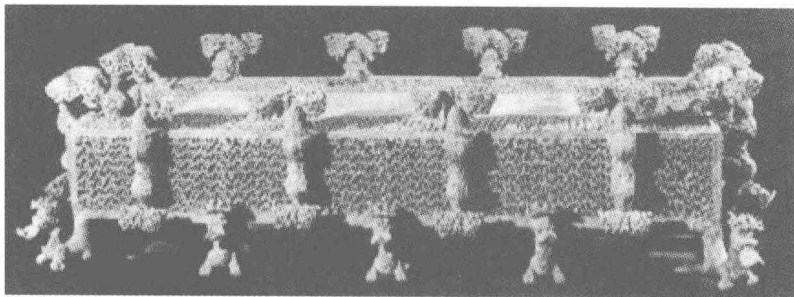


图 1.9 春秋时期失蜡法铸造的铜禁

湖北随县擂鼓墩曾侯乙墓出土的青铜器群，代表了战国时期青铜铸造技术的高峰。其中的一套编钟，堪称精品，如图1.10所示。共65件分8组组成，最大的甬钟重203.6kg，最小的纽钟重2.4kg，全套总重5t多，设计精巧，气势雄伟，震惊世界。

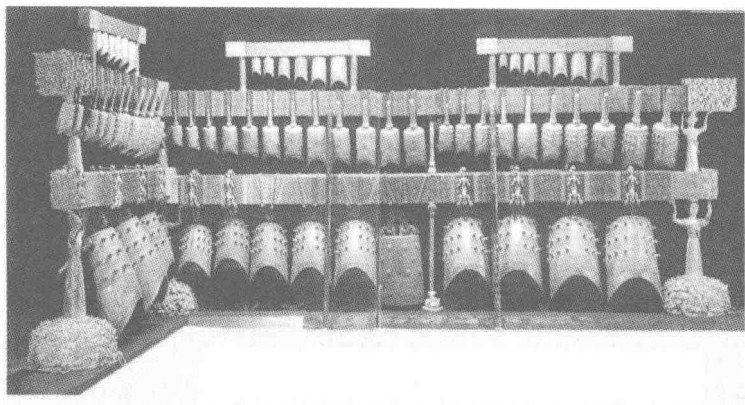


图 1.10 曾侯乙编钟