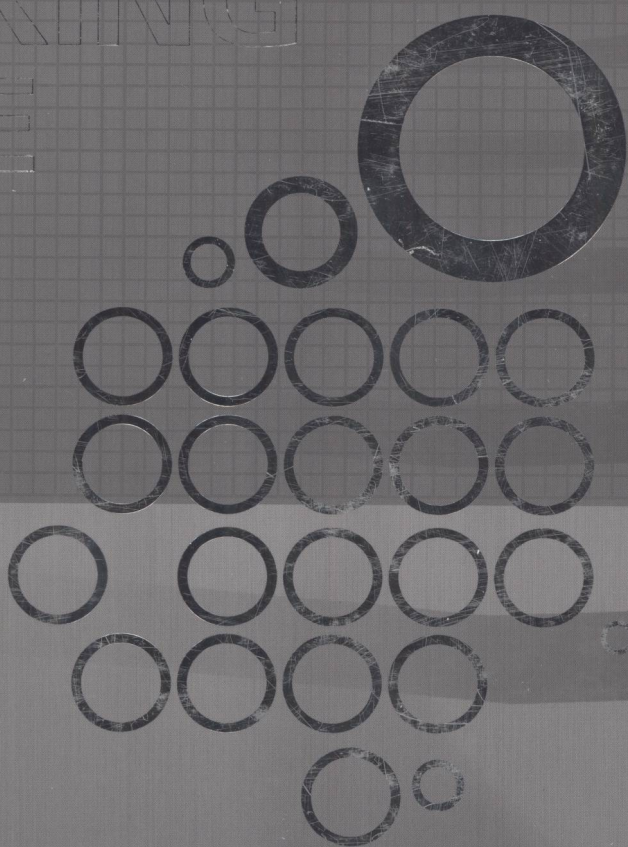


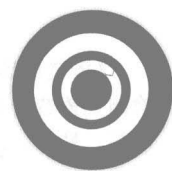
铸造成形手册上

柳百成 黄天佑 主编

ZHUZAO
CHENGXING
SHOUCE



化学工业出版社



铸造成形手册

[上]

柳百成 黄天佑 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

《铸造成形手册》铸造专业技术工具书。本书从铸造成形工程的科学基础、成形工艺与设备、生产质量管理与检测、铸造新技术应用等方面，作全方位论述。对当前应用比较成熟的砂型铸造，突出实用性，以满足生产实际的需要；另外，还详细介绍了当前先进的特种铸造技术、铸造成形 CAD/CAM 技术等。本书全面系统地反映了我国铸造技术的发展及取得的成就和经验，并介绍了国内外的先进铸造技术。

本书主要供从事制造业和材料工程的科技人员在工作中查阅使用，也可以供研究人员、管理人员和高等院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

铸造成形手册. 上/柳百成, 黄天佑主编. —北京: 化学工业出版社, 2009. 6
ISBN 978-7-122-05323-7

I. 铸… II. ①柳…②黄… III. 铸造-成型-技术手册
IV. TG24-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 057697 号

责任编辑: 周国庆 王清颖
责任校对: 郑 捷

装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 北京蓝海印刷有限公司
装 订: 三河市前程装订厂
880mm×1230mm 1/16 印张 60 字数 2828 千字 2009 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 180.00 元

版权所有 违者必究

前言

铸造行业是制造业的主要组成部分，对国民经济的发展有重要作用。铸造是汽车、电力、钢铁、石化、造船、装备制造等支柱产业的基础制造技术，新一代铸造技术也是当代材料工程和先进制造技术的重要内容。中国已是世界铸件生产的第一大国，2004年铸件产量已超过2200万吨。进入21世纪，中国铸造业迎来了持续发展的大好局面，但同时也面临对铸件生产的技术水平、质量、能源消耗、环境污染等方面的严峻挑战。中国的铸造业只有向世界先进水平看齐，提高整体技术和管理水平，才能在世界市场激烈的竞争中保持和发扬优势，变“铸造大国”为“铸造强国”，这也是我国广大铸造工作者所面临的紧迫和艰巨的任务。本书的编写和出版，正是适应了这种形势发展的需要。

本书是我国至今为止篇幅最大、涵盖内容最新最全的铸造专业技术工具书。内容包括概论、铸造合金及其熔炼、铸造成形工艺技术基础、砂型铸造、特种铸造、铸造成形CAD/CAE、铸造生产质量检测及控制等7篇共49章，字数共约400多万字。参加这部著作编写的有全国著名铸造企业、研究所及大学等各方面的专家教授共40余名，最后由柳百成和黄天佑进行统稿。参加编写的主要单位有清华大学、沈阳铸造研究所、北京航空材料研究院、东风汽车公司铸造二厂、哈尔滨工业大学、华中科技大学、西安交通大学、东北大学、西安工程科技学院、河北工业大学等，历时3年多完稿。各篇主编如下。

第1篇	概论	柳百成院士
第2篇	铸造合金及其熔炼	邢建东教授
第3篇	铸造成形工艺技术基础	郭景杰教授
第4篇	砂型铸造	黄天佑教授
第5篇	特种铸造	姜不居教授
第6篇	铸造成形CAD/CAE	熊守美教授
第7篇	铸造生产质量检测及控制	黄天佑教授

本书的编写过程强调以“全而精、新而准、实用便查”为特点，在整体设计上，既立足全局，又突出重点。从材料铸造成形工程的科学基础、成形工艺与设备、生产质量管理与检测、铸造新技术应用等方面，作全方位论述。在取材上，以“基础、通用、先进、实用”为原则。本书全面系统地反映了我国铸造技术的发展及取得的成就和经验，并介绍了国内外的先进铸造技术，具有“科学性、先进性和实用性”。本书主要供从事制造业和材料工程的科技人员在工作中查阅使用，也可以供研究人员、管理人员和高等院校师生参考。

衷心感谢有关单位和个人对本书编写工作的指导与大力支持，是他们的积极参与和共同协作，才使编写工作得以顺利完成。由于编写时间紧迫和编者水平所限，书中的不当之处，恳请读者指正并提出宝贵意见。

柳百成 黄天佑

编辑委员会^①

顾问：师昌绪 严东生 李恒德 何光远 陆燕荪 徐匡迪 李学勇 栾恩杰
王淀佐 朱道本 颜鸣皋 黄培云 周 廉 左铁镛

主任：路甬祥

副主任：李成功（常务） 钟群鹏 干 勇 黄伯云 江东亮 徐滨士 王占国
潘健生 杜善义 胡正寰 柳百成 徐祖耀 陈立泉

总策划：宋天虎 黄远东 总编辑：李骏带 秘书长：黄远东（兼）

委员（按姓氏笔画排列）：

丁 辛	丁传贤	干 勇	于月光	才鸿年	马世宁	马冲先	马济民	马眷荣
马福康	王占国	王务同	王尔德	王永岩	王亚军	王至尧	王克光	王克俭
王高潮	王淀佐	王琦安	王新林	王德志	方禹之	尹志民	邓 炬	左铁钊
左铁镛	石力开	石春山	卢世刚	叶小玲	叶光斗	田志凌	田荣璋	史耀武
冯 涤	冯 稷	冯春祥	宁远涛	邢建东	师昌绪	吕 炎	吕反修	同继锋
曲文生	朱万森	朱如瑾	朱绍华	朱道本	仲维卓	任家烈	华 林	刘 明
刘正才	刘世参	刘占阳	刘邦津	刘作信	刘其贤	刘郁丽	刘治国	刘建章
刘晋春	刘清友	刘献明	齐从谦	闫 洪	江东亮	许祖泽	许祖彦	阳明书
孙 坚	孙加林	杜善义	杨 合	杨 武	杨乃宾	杨才福	杨鸣波	杨忠民
杨晓华	杨海波	杨焕文	杨德仁	李 强	李 晋	李 楠	李长久	李龙土
李成功	李光福	李志刚	李明哲	李明辉	李学勇	李虹霞	李恒德	李贺军
李海军	李骏带	李鹤林	严东生	连克仁	肖亚庆	吴 行	吴 昆	吴 诚
吴永声	吴伟仁	吴性良	吴科如	吴恩熙	吴谊群	吴智华	吴德馨	何光远
何季麟	佟晓辉	邱 勇	邱冠周	邱德仁	余金中	邹广田	汪明朴	沈 真
沈万慈	沈德忠	宋天虎	张 力	张 扬	张 华	张 杰	张 金	张 峥
张子龙	张用宾	张立同	张永俐	张吉龙	张旭初	张佐光	张晋远	张康侯
张道中	张新民	陆燕荪	陈 琦	陈文哲	陈世朴	陈立泉	陈运远	陈志良
陈国钧	陈治明	陈南宁	陈祝年	陈晓慈	陈涌海	陈祥宝	陈超志	林慧国
欧阳世翥	卓尚军	易建宏	罗祥林	罗豪甦	果世驹	周 廉	周伟斌	周国庆
郑有料	柳玉起	柳百成	胡玉亭	胡正寰	南策文	赵万生	赵有文	赵国群
赵金榜	赵梓森	赵慕岳	钟群鹏	施东成	施剑林	姜不居	姜晓霞	祖荣祥
姚 燕	贺守华	耿 林	聂大钧	贾成厂	顾冬红	夏巨湛	夏志华	俸培宗
徐匡迪	徐廷献	徐建军	徐祖耀	徐家文	徐跃明	徐滨士	殷树言	翁宇庆
郭会光	郭景杰	高瑞萍	栾恩杰	唐仁政	唐汝钧	唐志玉	唐昌世	益小苏
涂善东	黄 勇	黄天佑	黄玉东	黄本立	黄远东	黄伯云	黄校先	黄培云
曹勇家	曹湘洪	龚七一	崔 健	康喜范	梁 齐	梁 军	梁志杰	屠海令
隋同波	韩凤麟	彭艳萍	葛子干	董 瀚	董汉山	董首山	董祖珏	董湘怀
蒋力培	蒋建平	傅绍云	储君浩	谢邦互	谢里阳	谢建新	郝国强	雷天民
路甬祥	解应龙	解思深	雍歧龙	蔡中义	漆 玄	谭 抚	熊守美	靳常青
樊东黎	黎文献	颜永年	颜鸣皋	潘正安	潘叶金	潘振甦	潘健生	燕 瑛
戴国强								

① 本书是原《中国材料工程大典》其中的一卷。《中国材料工程大典》由中国机械工程学会、中国材料研究学会组织编写，中国金属学会、中国化工学会、中国硅酸盐学会、中国有色金属学会及中国复合材料学会参加组织编写。本编辑委员会即为《中国材料工程大典》编委会。

目 录

第1篇 概论	1	1.1 铸造碳钢的牌号及性能	179
1 铸造行业及铸造技术的作用与地位	3	1.2 铸造碳钢的凝固过程和铸态组织	180
2 辉煌的历史	3	1.3 铸造碳钢的铸造性能及常见缺陷	181
3 巨大的成就	5	1.4 铸造碳钢的常用热处理	184
4 铸造技术发展趋势	7	2 铸造低合金钢及中合金钢	187
4.1 铸件的轻量化	8	2.1 常用合金元素对组织性能的影响	187
4.2 铸件的精确化——新一代的精确铸造技术	9	2.2 铸造低合金钢的牌号及性能	189
4.3 数字化铸造——铸造过程的模拟仿真	11	2.3 低合金钢的铸造性能特点	194
4.4 网络化铸造	11	2.4 低合金钢铸件的热处理	194
4.5 洁净化铸造——绿色铸造	13	3 铸造不锈钢	195
5 结束语	13	3.1 钢的耐腐蚀原理	195
参考文献	14	3.2 不锈钢的牌号及性能(化学成分)	195
第2篇 铸造合金及其熔炼	15	3.3 不锈钢的铸造性能	196
第1章 铸铁及其熔炼	17	3.4 常用不锈钢	196
1 铸铁的基础知识	17	4 铸造耐热钢	200
1.1 铁-碳相图	17	4.1 钢在高温下的失效机制	200
1.2 铸铁的种类及组织与性能特点	20	4.2 耐热钢牌号及性能	202
1.3 铸铁的凝固结晶过程	20	4.3 常用耐热钢	204
1.4 连续冷却过程铸铁的固态相变	30	4.4 常用热强钢	205
1.5 影响铸铁铸态组织的主要因素	31	5 高锰钢	209
2 灰铸铁	37	5.1 高锰钢的牌号及性能特点	209
2.1 灰铸铁的牌号及金相组织	37	5.2 高锰钢的生产	213
2.2 灰铸铁的性能	43	5.3 高锰钢的热处理	214
2.3 灰铸铁的生产	51	5.4 高锰钢的发展	215
3 球墨铸铁	57	6 低温用铸钢	216
3.1 球墨铸铁的牌号及金相组织	57	6.1 材料在低温下的失效	216
3.2 球墨铸铁的性能	67	6.2 常用低温钢及其力学性能	226
3.3 球墨铸铁的生产	72	7 铸钢的熔炼	238
3.4 球墨铸铁的热处理	79	7.1 电弧炉炼钢	238
4 蠕墨铸铁	82	7.2 感应电炉炼钢	249
4.1 蠕墨铸铁的牌号及金相组织	82	7.3 铸造用钢的炉外精炼	252
4.2 蠕墨铸铁的性能特点	84	第3章 铸造非铁合金及其熔炼	258
4.3 蠕墨铸铁的生产及其控制	87	1 铸造铝合金及其熔炼	258
4.4 蠕墨铸铁的应用	89	1.1 铸造铝合金的分类及牌号	258
5 可锻铸铁	92	1.2 铸造铝硅合金	261
5.1 可锻铸铁的牌号及金相组织	92	1.3 铸造铝铜合金	270
5.2 可锻铸铁的性能特点	94	1.4 铸造铝镁合金	274
5.3 可锻铸铁的生产	96	1.5 铸造铝锌合金	276
6 特殊性能铸铁	104	1.6 铸铝件的热处理	277
6.1 抗磨铸铁	104	1.7 铸造铝合金的熔炼	281
6.2 耐热铸铁	115	2 铸造铜合金及其熔炼	287
6.3 耐腐蚀铸铁	121	2.1 铸造铜合金的分类及牌号	287
7 铸铁的熔炼	125	2.2 铸造锡青铜	288
7.1 冲天炉的基本结构及一般操作过程	126	2.3 铸造铝青铜	292
7.2 冲天炉熔炼的基本原理	127	2.4 铸造其他青铜	294
7.3 冲天炉熔炼过程的控制	134	2.5 铸造黄铜	296
7.4 常用冲天炉及其主要结构参数的选择	148	2.6 铸造白铜	300
7.5 感应电炉熔炼	156	2.7 铸造铜合金的熔炼	302
7.6 双联熔炼	163	3 铸造镁合金及其熔炼	307
7.7 炉料及修炉材料	165	3.1 铸造镁合金的牌号及性能	307
第2章 铸钢及其熔炼	179	3.2 镁铝锌合金	309
1 铸造碳钢	179	3.3 镁锌铝合金	313
		3.4 其他镁合金	315
		3.5 镁合金的熔炼特点	317

3.6 镁合金的热处理及表面化学处理	323	2.2 物理、化学作用	434
4 铸造锌合金及其熔炼	327	2.3 机械作用	434
4.1 铸造锌合金的牌号及性能	328	3 凝固过程中的液态金属流动	434
4.2 工业用锌合金	331	3.1 凝固过程中的流体流动分类	434
4.3 锌合金的熔炼	333	3.2 凝固过程液相区流体流动	434
4.4 锌合金的热处理及表面处理	335	3.3 枝晶凝固过程两相区中的液体流动	435
5 铸造轴承合金	336	第4章 液态金属的凝固	437
5.1 轴承合金的牌号及分类	336	1 凝固过程的基本原理	437
5.2 锡基和铅基轴承合金	337	1.1 相图与凝固	437
5.3 铝基轴承合金	343	1.2 晶体的形核	439
5.4 铜基轴承合金	346	1.3 晶体的长大方式与生长速率	440
6 铸造钛合金及其熔炼	350	2 凝固过程的传热与传质	441
6.1 铸造钛合金牌号及其性能	350	2.1 凝固过程的传热	441
6.2 铸造钛合金的熔炼	360	2.2 凝固过程中的传质	444
6.3 铸造钛合金的热处理	363	3 单相合金的凝固	445
6.4 铸造钛合金的工艺性能	371	3.1 固-液界面前方的局部温度分布	445
6.5 铸造钛合金的工程应用	374	3.2 单相合金凝固过程中的成分过冷	446
7 铸造高温合金及其熔炼	379	3.3 界面前方过冷状态对单相合金凝固过程的 影响	446
7.1 铸造高温合金的分类与牌号	379	3.4 界面稳定性理论	450
7.2 合金元素在铸造高温合金中的作用	381	4 共晶合金的凝固	450
7.3 铸造高温合金的显微组织	383	4.1 概述	450
7.4 铸造高温合金的性能	385	4.2 规则共晶凝固	451
7.5 铸造高温合金的热处理	396	4.3 非规则共晶凝固	453
7.6 铸造高温合金真空感应熔炼	398	5 包晶合金的凝固	454
7.7 铸造高温合金的发展前景	403	5.1 包晶合金的凝固特点	454
参考文献	404	5.2 包晶相形核	455
第3篇 铸造成形工艺技术基础	407	5.3 包晶相的生长	455
第1章 液态金属和合金的结构	409	5.4 亚、过包晶成分合金凝固	455
1 金属的熔化和气化过程	409	6 偏晶合金的凝固	456
2 气、液、固三态物性比较	409	6.1 偏晶合金特点	456
2.1 金属熔化时体积的变化	409	6.2 偏晶合金的形核特点	456
2.2 熔化热、熔化焓和蒸发热、蒸发焓	410	6.3 生长	457
2.3 熔化前后金属原子间距和配位数	410	6.4 Ostwald 熟化	457
3 液态金属的结构	410	6.5 第二相沉积	458
4 液态合金结构	411	6.6 碰撞、聚集和凝结	458
5 金属和合金液态结构的测定	411	第5章 铸件凝固组织的形成及控制	460
第2章 液态金属和合金的基本物理性质	413	1 铸件凝固组织的形成	460
1 液态金属和合金的密度	413	1.1 凝固区域及凝固方式	460
1.1 基本概念	413	1.2 铸件宏观凝固组织及形成过程	461
1.2 影响密度的几个因素	413	2 铸件典型宏观凝固组织形态的控制	463
1.3 液态金属和合金密度的测量	414	2.1 等轴晶的晶粒细化	464
2 液态金属和合金的黏度	415	2.2 单向凝固——柱状晶组织及单晶生长	465
2.1 黏度的定义	415	2.3 共晶合金结晶组织的控制	468
2.2 影响黏度的因素	415	第6章 铸件凝固组织中化学成分的不均匀性	470
3 液态金属和合金的扩散	417	1 树枝晶凝固时的溶质再分配	470
3.1 液态金属和合金的扩散系数	417	1.1 胞晶凝固的溶质再分配	470
3.2 影响扩散系数的因素	417	1.2 有枝晶间液体流动时的溶质再分配	471
3.3 扩散系数的测量方法	418	2 枝晶凝固组织中的微观偏析及控制	471
4 液态金属和合金的表面张力	418	2.1 微观偏析	471
4.1 表面张力的定义	418	2.2 微观偏析的控制	472
4.2 影响表面张力的因素	419	3 宏观偏析	473
4.3 表面张力的测量方法	420	3.1 枝晶间液体的流动对宏观偏析的影响	473
第3章 铸造成形过程中的液态金属流动	428	3.2 正常偏析	475
1 液态金属充型过程的流动	428	3.3 逆偏析	475
1.1 液态金属的水力学特性	428	3.4 V形和逆V形偏析	475
1.2 液态金属的充型能力	428	3.5 减少宏观偏析的措施	475
2 液态金属与铸型的相互作用	433	第7章 铸件中的气体与非金属夹杂物	477
2.1 热作用	433	1 铸件中的气体	477

1.1 概述	477	6.2 不同情况下的型(芯)砂流变性能研究	539
1.2 气体在金属中的溶解和析出	478	6.3 型芯砂流变性能的机械模型	546
1.3 析出性气孔	482	7 铸造合金的流变性能	547
1.4 反应性气孔	485	7.1 易熔伍德合金(Wood's Metal)的流变性能	547
2 铸件中的非金属夹杂物	486	7.2 含有卵状晶半固态合金的流变性能	548
2.1 概述	486	7.3 含树枝晶半固态合金的流变性能	552
2.2 非金属夹杂物的生成	487	8 铸件缺陷的流变学研究	555
2.3 夹杂物的长大、分布和形状	490	8.1 流变学研究成果在铸件热裂研究中的应用	555
2.4 排除和减少非金属夹杂物的途径	491	8.2 缩松形成的流变学特点	557
第8章 铸件的收缩及其引起的铸造缺陷	493	8.3 沉浮流动型铸造缺陷的流变学特点	559
1 铸造合金的收缩	493	9 其他铸造中的流变学问题	562
1.1 收缩的基本概念	493	9.1 熔模模料的流变性能	562
1.2 铸钢和铸铁的收缩	494	9.2 熔融酚醛树脂的流变性能	563
1.3 铸件的收缩	495	9.3 泡沫聚苯乙烯的流变性能	564
2 铸件的缩孔和缩松	496	9.4 不致密铸件的流变性能	565
2.1 集中缩孔	496	参考文献	567
2.2 缩松	497	第4篇 砂型铸造	569
2.3 灰铸铁和球墨铸铁铸件的缩孔和缩松	500	第1章 黏土型砂	571
2.4 防止铸件产生缩孔和缩松的途径	502	1 概述	571
3 铸件的热裂	503	2 黏土砂用原材料	572
3.1 概述	503	2.1 原砂	572
3.2 热裂形成的温度范围和形成机理	504	2.2 黏土	582
3.3 影响热裂形成的因素和防止铸件产生热裂的途径	507	2.3 煤粉及其复合添加剂	588
4 铸造应力、变形及冷裂纹	510	2.4 淀粉类附加物	589
4.1 概述	510	3 与型砂质量有关的铸件缺陷及其预防	591
4.2 铸件在冷却过程中产生的应力	510	3.1 气孔	591
4.3 影响铸造残余应力的因素及减少和消除铸造应力的途径	512	3.2 粘砂	593
4.4 铸件的变形和冷裂	513	3.3 砂眼	596
第9章 铸造成形过程中的流变行为	516	3.4 夹砂	597
1 绪论	516	3.5 胀砂	599
1.1 流变学的一些基本概念	516	4. 湿型黏土砂的性能及其控制	600
1.2 铸造成形过程中的一些流变学问题	516	4.1 黏土砂各种材料的选用	600
2 材料的简单流变性能	517	4.2 湿型砂的配比和性能控制	601
2.1 胡克弹性体流变性能	517	4.3 黏土湿型砂的混制	606
2.2 牛顿黏性体流变性能	518	4.4 旧砂循环使用过程中应注意的问题	606
2.3 圣维南塑性体流变性能	519	4.5 干型(芯)砂和表面烘干型砂	607
3 材料的复杂流变性能	520	第2章 芯砂	611
3.1 开尔芬体流变性能	520	1 概述	611
3.2 麦克斯韦体流变性能	521	1.1 砂芯的分类	611
3.3 宾汉体流变性能	522	1.2 制芯方法分类及其选择	612
3.4 普朗特体流变性能	523	1.3 黏结剂的分类及其选择	612
3.5 流动中黏度不保持常数的黏性体流变性能	524	2 加热硬化芯砂	613
4 流变性能的测量	525	2.1 植物油砂	613
4.1 转筒式黏度计的流变性能测量	525	2.2 合脂砂	616
4.2 毛细管黏度计的流变性能测量	527	2.3 改性渣油砂	617
4.3 其他类型的流变性能测量	529	2.4 其他油砂	618
5 铸造涂料流变性能	530	2.5 热芯盒砂	619
5.1 涂料涂覆操作对涂料流变性能的要求	530	2.6 温芯盒砂	623
5.2 涂料分散体系特点及组成对其流变性能的影响	531	2.7 覆膜砂	623
5.3 熔模铸造涂料的流变性能	534	2.8 其他加热硬化芯砂	626
5.4 砂型铸造涂料流变性能	536	3 冷法硬化芯砂	627
5.5 一种新的涂料悬浮性测试法——沉降率测试法	537	3.1 气硬冷芯盒法	627
6 型(芯)砂的流变性能	539	3.2 CO ₂ -聚丙烯酸钠砂	630
6.1 型(芯)砂的黏结性特点及其在紧实过程中的流动现象	539	3.3 甲酸甲酯-碱性酚醛树脂砂	631
		3.4 其他冷法硬化芯砂	631
		第3章 造型、制芯及砂处理设备	633
		1 造型设备	633
		1.1 概述	633

1.2 震实造型机	633	6 石灰石 CO ₂ 吹气硬化水玻璃砂	713
1.3 震压造型机	636	6.1 石灰石原砂	713
1.4 中低压压实造型机	639	6.2 混砂及硬化工艺	713
1.5 高压造型机	641	6.3 石灰石水玻璃砂存在的问题及其解决办法	714
1.6 射压造型机	643	第5章 树脂自硬砂砂型	716
1.7 气力冲击造型机	650	1 概述	716
1.8 静压造型机	653	1.1 自硬树脂砂的特点	716
2 制芯设备	658	1.2 分类	716
2.1 概述	658	2 酸固化树脂自硬砂	716
2.2 热芯盒射芯机	659	2.1 原材料选用	716
2.3 壳芯机	665	2.2 混合料配比及混制	720
2.4 冷芯盒射芯机	668	2.3 树脂自硬砂的硬化特性	721
2.5 制芯中心	671	2.4 工艺性能	723
2.6 芯砂混砂机	674	2.5 造型(芯)和浇注工艺	723
3 黏土砂处理设备	676	2.6 对模样和芯盒材料的要求	724
3.1 概述	676	2.7 旧砂再生及再生砂质量控制	724
3.2 黏土砂混砂机	676	2.8 酸自硬树脂砂的常见缺陷及预防措施	729
3.3 混砂机加料定量装置	681	2.9 环境卫生	729
3.4 旧砂冷却装置	681	2.10 生产应用实例	729
4 砂处理系统的计算机控制	686	3 酚醛脲烷树脂自硬砂	731
4.1 水分自动控制系统	687	3.1 酚醛脲烷自硬树脂砂	731
4.2 型砂性能的在线检测	687	3.2 醇酸油脲烷树脂(alkyd-oil-urethane)砂	733
4.3 物料加入量的计算机控制	689	3.3 多元醇脲烷树脂(Polyol-urethane systems)砂	734
4.4 型砂质量分析与控制的计算机人工智能系统	689	4 酯固化碱性酚醛树脂自硬砂	734
5 铸造车间除尘设备	690	4.1 特点及应用范围	734
5.1 概述	690	4.2 原材料选择	734
5.2 铸造车间除尘设备种类和特点、选用原则	690	4.3 配比、混砂工艺及硬化特性	734
5.3 铸造车间常用除尘设备	690	4.4 工艺性能	735
第4章 水玻璃砂型	693	4.5 旧砂再生	735
1 概述	693	5 各种自硬树脂的性能及应用范围对比	735
1.1 水玻璃砂的发展历程	693	第6章 砂型(砂芯)涂料	737
1.2 水玻璃砂特点	693	1 涂料的作用	737
1.3 水玻璃砂硬化方式及其分类	693	2 涂料的性能及检测方法	737
2 CO ₂ 吹气硬化水玻璃砂	693	2.1 涂料的物理化学性能	737
2.1 工艺原理	693	2.2 涂料的工艺性能	738
2.2 对原材料的要求	694	2.3 涂料的工作性能	740
2.3 混合料配比及其混制工艺	695	3 涂料的基本组成及主要原材料	741
2.4 型砂性能特点	697	3.1 耐火填料	741
2.5 CO ₂ 吹气硬化工艺及其装置	699	3.2 载体	743
2.6 常见缺陷及其防止措施	700	3.3 悬浮剂	744
2.7 CO ₂ 水玻璃砂的新发展(VRH法、复合硬化法)	702	3.4 黏结剂	745
3 有机酯水玻璃自硬砂	703	3.5 助剂	746
3.1 工艺原理	703	4 涂料的分类及配比	746
3.2 对原材料的要求	703	4.1 涂料的分类	746
3.3 混合料配比及其混制工艺	704	4.2 常用涂料的配比	746
3.4 型砂性能特点及其影响因素	704	5 涂料的制备方法及设备	750
3.5 酯硬化工艺主要装置	705	5.1 膏状涂料的制备	750
3.6 型砂常见缺陷及其防止措施	707	5.2 浆状涂料的制备	750
4 微波硬化水玻璃砂	708	5.3 原材料的预处理	751
4.1 微波硬化的工艺原理及型砂性能	708	6 涂料涂敷方法及设备	751
4.2 微波硬化水玻璃砂典型设备	708	6.1 刷涂法	751
4.3 微波硬化水玻璃砂展望	708	6.2 浸涂法	751
5 水玻璃旧砂的再生回用	708	6.3 流涂法	752
5.1 水玻璃旧砂的性能特征	708	6.4 喷涂法	752
5.2 水玻璃旧砂再生方法分类	709	6.5 涂层转移法	753
5.3 干法再生工艺及其装备	709	7 涂料的质量控制	753
5.4 湿法再生工艺及其装备	711	7.1 涂料生产质量控制	753
		7.2 涂料使用中的质量控制	753

8 涂料常见问题及对策	753	5.2 基本组元	799
第7章 砂型铸造工艺、工装设计	757	5.3 浇注系统结构尺寸的计算	808
1 概述	755	5.4 铸铁件的浇注系统	813
1.1 概念	755	5.5 铸钢件的浇注系统	820
1.2 设计依据	755	5.6 非铁合金铸件的浇注系统	822
1.3 设计内容和程序	755	5.7 特殊形式浇注系统	824
1.4 审查零件结构的铸造工艺性	756	6 冒口、冷铁设计	836
2 铸造工艺方案的确定	762	6.1 概述	836
2.1 造型、制芯方法的选择	763	6.2 通用冒口补缩原理	836
2.2 浇注位置的确定	767	6.3 铸钢件冒口的设计与计算	840
2.3 分型面的选择	768	6.4 铸铁件冒口的设计	849
2.4 砂箱(型)中铸件数量及排列的确定	770	6.5 非铁合金铸件的冒口	866
3 工艺设计参数	772	6.6 特种冒口及出气孔	871
3.1 铸件尺寸公差	772	6.7 冷铁	875
3.2 铸件重量公差	773	7 模样、模板设计	882
3.3 机械加工余量	773	7.1 模样设计	882
3.4 铸造收缩率(模样放大率、缩尺)	775	7.2 模板设计	886
3.5 起模斜度	777	8 芯盒	890
3.6 最小铸出孔及槽	778	8.1 类型和材质	890
3.7 工艺补正量	779	8.2 芯盒结构设计	890
3.8 工艺肋	780	8.3 热芯盒和壳芯盒	896
3.9 反变形量	781	9 砂箱及其他	905
3.10 非加工壁厚的负余量	783	9.1 设计和选用砂箱的基本原则	905
3.11 分型负数	783	9.2 类型	905
3.12 砂芯负数(砂芯减量)	783	9.3 砂箱结构	908
4 砂芯设计	783	9.4 其他工艺装备	914
4.1 砂芯的分类	783	10 设计实例及工艺符号、工艺卡片	915
4.2 砂芯设置的基本原则	784	10.1 铸造工艺符号及表示方法	915
4.3 芯头设计	785	10.2 铸造工艺图	915
4.4 芯撑和芯骨	791	10.3 铸件图(毛坯图)	920
4.5 砂芯的排气、拼合及预装配	794	10.4 工艺卡	921
5 浇注系统设计	795	10.5 铸造工艺设计实例	924
5.1 基本类型	795	参考文献	937

第 1 篇

概 论

■ 主 编 柳百成

■ 编 写 柳百成

1 铸造行业及铸造技术的作用与地位

铸造行业是制造业的主要组成部分，对国民经济的发展有重要作用。

众所周知，制造业是国民经济的物质基础，是国家安全的重要保障，是国家竞争力的重要体现。建国以来，经过 50 多年的艰苦努力，我国制造业已有较好的基础，并呈现出良好的发展态势。我国制造业的工业增加值占 GDP 的 35.75%。据预测，2020 年我国制造业工业增加值将占 GDP 的 37.66%，比 2002 年略有增长。

中国已是制造业大国，仅次于美国、日本、德国，位居世界第四。中国虽是制造业大国，但远不是制造业强国，与工业发达国家相比，仍有很大差距。为了实现 GDP 翻两番及全面建设小康社会的宏伟目标，必须把我国建设成为一个制造业强国。我国的制造业科技及铸造技术水平也将争取进入世界先进水平行列。

铸造是汽车、电力、钢铁、石化、造船、装备制造等支柱产业的基础制造技术，新一代铸造技术也是先进制造技术的重要内容。应该指出，以液态铸造成形、固态塑性成形及连接成形等为代表的成形制造技术，不仅赋予零件以形状，而且决定了零件的最终组织、结构与性能。

据 2002 年统计，我国铸件年产量已超过美国（1 181 万吨），达到 1 626 万吨，占世界产量的 23.2%，是世界铸件生产第一大国（见图 1.0-1）。我国有着悠久而又灿烂的铸造历史。3000 多年前我们祖先铸造的铜器至今仍然令全世界惊叹不已。但是，我国的铸造行业与国外工业发达国家相比，仍有很大差距。例如，重大工程的关键铸件如长江三峡水轮机的第一个铸造拼焊结构的叶轮重 426 t，仍从加拿大进口，价值为 960 万美元；航空工业发动机及其他重要的动力机械的关键铸件如燃气轮机高温合金单晶体叶片的核心铸造技术尚有待突破。又例如，比较中美两国的铸件产量结构（见图 1.0-2 及图 1.0-3），也可看出我国铸件仍然是以普通灰铸铁为主，而铝镁合金铸件及球墨铸铁的比例仅占 6% 及 18.4%，分别低于美国的 16.6% 及 31.4%。因此，在振兴我国制造业的同时，要十分重视和加强铸造技术的发展。

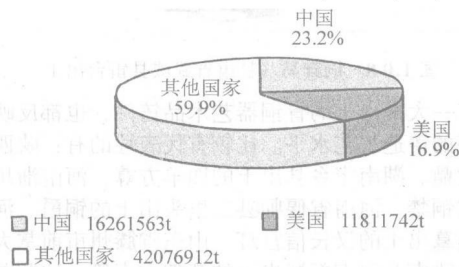


图 1.0-1 2002 年世界铸件产量分布图

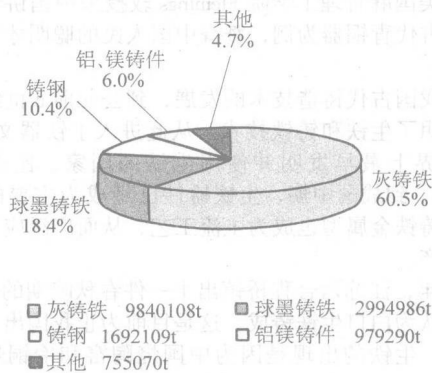


图 1.0-2 2002 年中国铸件产量结构图

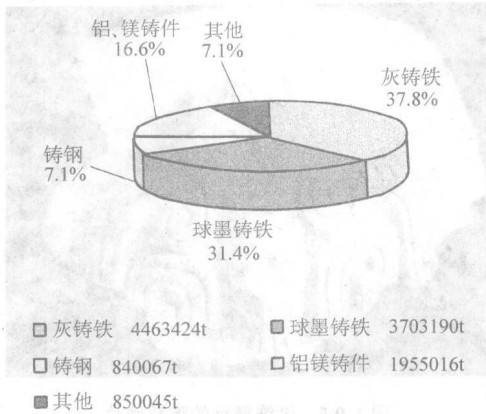


图 1.0-3 2002 年美国铸件产量结构图

回顾我国光辉灿烂的铸造历史，正视我国铸造技术的现状与问题，展望未来制造科技及铸造科技的发展趋势，我们满怀信心地要把我国从铸造大国建设成为铸造强国。

2 辉煌的历史

我国铸造技术有着悠久的历史，早在 5 000 多年前，铸造技术就出现在了中华大地上。铸造技术应用到农业生产、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 5 000 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 2 000 余年是以青铜为主的冶铸技术发展阶段；后 2 000 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。

在我国古代，常用的铸造工艺主要有范铸法和失蜡法等。范铸法是用范组合成铸型进行浇注的方法，主要包括铸接、铸焊、铸镶等工艺方法；根据所用范的不同，又可分为石范铸造、泥（陶）范铸造、金属范铸造等。图 1.0-4 是台湾故宫博物院展出的中国古代青铜器铸造工艺示意图，图 1.0-5 则是最近从西周青铜遗址出土的纹饰十分精美的陶范残片。失蜡法是用蜡制成模，外敷造型材料成为一整体铸型，然后加热使蜡融化流出，形成空腔，液态金属浇入后冷却成形，得到与原蜡模形状相同的铸件。明代宋应星的《天工开物》中就记述了失蜡法的工艺流程。



图 1.0-4 中国古代青铜器铸造工艺示意图
(台湾故宫博物院展出)

商代后期我国出现了大规模的冶铜场，冶炼技术达到了很高的水平，在冶炼时使用熔剂以调整炉渣成分，提高其流动性；冶炼设备也从陶炉发展成由预制陶圈叠成的竖炉。考古发掘的遗址有湖北大冶的铜绿山矿冶遗址、湖北阳新丰山洞矿区遗址等。《周礼考工记》关于“金有六齐”的记载明



图 1.0-5 纹饰精美的陶范残片
(陕西扶风县出土)

确给出了各类青铜器所用合金的成分，是世界上最早关于合金配比规律的记载。同时，关于合金强化、表面处理及铸造工艺方面也有较为详细的记载。

目前已知最早的可辨器形的青铜器是甘肃东乡林家马家窑文化遗址中出土的一件单范铸造青铜刀，年代为公元前 3280 ~ 前 2740 年。

中国古代青铜技术在商代晚期进入鼎盛阶段，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。英国科学家李约瑟博士曾说过：“没有任何的西方人能够超过中国商、周两代的青铜器铸造”。

商代和西周时期，青铜器铸造在技术上也达到颠峰，青铜器已应用在生产工具、农具、武器、礼器、生活用品等各个方面，这一时期铸造出了大量著名的青铜器铸件。著名的有河南安阳殷墟出土的司母戊大方鼎（见图 1.0-6），该鼎造型雄伟，高 1.33 m，长 1.16 m，宽 0.76 m，重达 875 kg。采用的铸造工艺为泥范铸造，整体浇注，司母戊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 1.0-6 司母戊大方鼎 (河南安阳殷墟出土)

1978 年于湖北省随县（今随州市）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。其中的一件尊盘（见图 1.0-7），堪称精品。出土时尊置于盘内，两件器物相映成趣，浑然一体。尊形似喇叭，高 33.1 cm，口宽 62 cm；盘高 24 cm，宽 57.6 cm，深 12 cm。宽沿上饰玲珑剔透的蟠虺透空花纹，盘口外布满镂空夔纹。尊盘附有大量透空装饰，令人叹为观止。该器是使用失蜡法铸造而成的，被誉为失蜡法青铜器的颠峰之作。在曾侯乙墓中还出土了一套编钟共 65 件，重约 2 500 kg，设计精巧，气势雄伟，震惊

世界，被誉为“世界珍宝”。1969 年 10 月在甘肃省武威县雷台东汉将军墓中出土了一件铜奔马铸件（见图 1.0-8），也称马超龙雀、马踏飞燕。通高 34.5 cm，造型巧妙，三足腾空，昂首扬尾。其右后蹄踏在一只燕形飞鸟之上，飞鸟展翅飞翔作回首翘望状，生动巧妙地表现了马的神速和骏逸，在中国古代马的艺术造型中可说是千古绝作。铜奔马因其巧夺天工的造型，被选作中国旅游的图形标志。

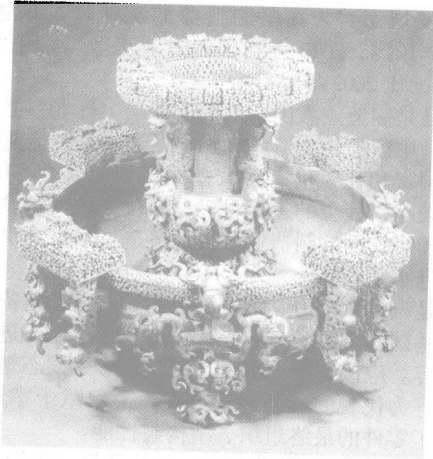


图 1.0-7 曾侯乙尊盘 (湖北随州出土)

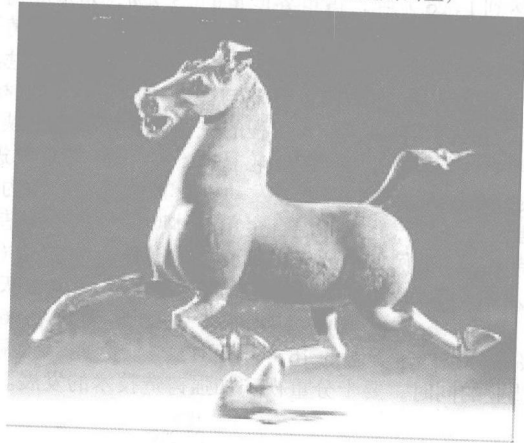


图 1.0-8 铜奔马 (甘肃省武威县雷台出土)

还有一大批出土的青铜器艺术品铸件，也都反映出我国古代精湛的铸造工艺水平。比较有代表性的有：陕西岐山出土的大孟鼎、湖南宁乡县出土的四羊方尊、河南浙川下寺出土的云纹铜禁、河南省偃师县二里头出土的铜爵、河北省满城县窦绾墓出土的汉长信宫灯、山东省滕州市前掌大村出土的商代提梁卣及河南新郑出土的莲鹤方壶等。这些艺术品工艺复杂，造型精巧，反映出我国古代劳动人民的伟大智慧。2002 年，美国麻省理工学院 Flemings 教授来中国讲学时，专门以中国古代青铜器为例，赞誉中国人民的聪明才智（见图 1.0-9）。

随着我国古代铸造技术的发展，到公元前 6 世纪的春秋晚期，发明了生铁和铸铁技术，从此进入了铁器文明时代。我国是世界上最早发明并使用生铁的国家，比欧洲早了 1 800 多年。到战国中期，生铁铸件已经成为主要的生产工具，此时铸铁金属型也成为主流工艺，从而广泛应用于军事和农业生产。

1964 年，江苏六合程桥镇出土一件春秋晚期的铁块，经过鉴定确认为白口生铁铸成，这是目前为止我国出土的最早生铁实物。生铁的出现是因为中国烧陶窑和冶铜炉炉温较高，具备了高温冶铁的条件。铁矿石在温度较高的炼铁炉中高温还原并渗碳，得到碳的质量分数为 3% ~ 4% 的液态生铁。



图 1.0-9 兽面纹觥（山西灵山旌介出土）

战国初期，发明了韧性铸铁工艺，采用热处理方法，使白口铁中与铁化合的碳成为石墨析出。到了西汉，这一技术得到了进一步的提高，出现了大量柔化处理的黑心可锻铸铁，这一工艺要比法国人在 1722 年发明的白心可锻铸铁和美国人 1826 年发明的黑心可锻铸铁早出现了 2000 年左右。战国中晚期后，可锻化处理工艺有了比较大的发展，部分器件已经处理得比较好，器件断面基本上是可锻铸铁组织，中心没有白口铁残余。汉代到南北朝时期，铸铁可锻化技术发展到了比较成熟的阶段，技术水平有了进一步提高，中心很少有白口铁组织残留，石墨形态及质量与现代同类产品相当。

例如，在河南南阳瓦房庄汉代冶铸遗址出土有 9 件铁农具，经检验有 8 件是黑心韧性铸铁，质量良好，有一些达到现代同类铸铁的性能。该遗址还出土了具有钢的组织的铸铁件，有的残存着少量微细的石墨，是经脱碳热处理获得的白心韧性铸铁或铸铁脱碳的钢件。此外，在湖南长沙出土的铁铲、湖北包山出土的空首斧以及在山东薛城、河南巩义市、湖北铜绿山等地出现的大量铁器中都发现了此类韧性铸铁组织。

我国古代生铁含硅量长期偏低，在低硅的情况下，我国劳动人民不但生产了大量具有絮状石墨的可锻铸铁，而且生产了部分球墨可锻铸铁，这在世界冶金史上是十分罕见的。特别是河南巩县铁生沟村出土的一件西汉铁铤，经分析发现内部组织具有十分良好的球状石墨（见图 1.0-10），有明显的石墨核心和放射状结构，与现行球墨铸铁国家标准一类 A 级石墨相当。另外，类似的球状石墨组织也在河南渑池出土的汉魏窖藏铁铤中发现。

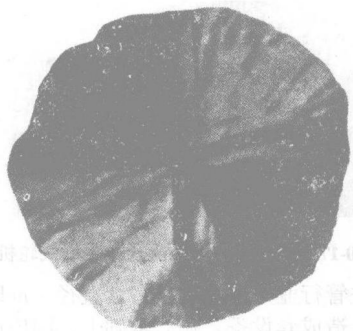


图 1.0-10 铁铤球状石墨 400×
（河南巩县铁生沟出土）

铁器铸造工艺方面，西汉铁器铸范也由战国时的单合范发展为双合范。在西汉，人们生活器皿和日用工具已广泛使用铁作为材质，如灯、釜、炉、剪等都已西汉中期的文化

遗址中发现，充分说明在西汉铁器的使用已相当广泛。到东汉时已熟练掌握了层叠铸造这一先进技术，即把若干泥范叠合起来，装配成套，一次就能铸造几个或几十个铸件，与以前相比叠铸技术有重大改进，由原来的双孔浇注，改为单孔一次浇注，进一步提高了生产效率。冶铁效率和铸造技术的提高，进一步促进了铁器使用的普遍化，促进了社会生产力的提高。

隋唐以后，铸造技术得到进一步发展，向大型和特大型铸件发展。比较著名的代表性铸件有河北沧州的后周大铁狮，又名“镇海吼”（见图 1.0-11），铸于 953 年，高 5.3 m，长 6.5 m，宽 3 m，重约 40 t。湖北当阳铁塔，铸于北宋淳熙年间，塔身共由 13 层叠成，高 17.9 m，重 53.3 t，是我国现存最高的古代铁塔。这些古代遗存，充分体现了中国古代精湛的铸造技术。



图 1.0-11 河北沧州铁狮

3 巨大的成就

建国以来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方面。

(1) 新工艺和新技术的推广应用促进了铸造技术水平的提高

中国二重集团公司成功地浇铸了世界最大的铸钢轧机机架铸件，钢液总重达 730 t（见图 1.0-12）。国内成功地生产出 60 万千瓦的汽轮机高中压缸体，12.5~70 万千瓦水轮机不锈钢叶片，其尺寸精度达到了国际电工会议规定的标准，并已成功应用于三峡工程中。哈电集团成功地制造出铸焊结构的三峡工程用水轮机叶轮，重 450 t（见图 1.0-13）。此外我国铸造行业还生产出了重 330 t 的大型铸钢件，315 t 的大型厚板轧机铸钢机架，260 t 的大型铸铁钢锭模，及铝液重

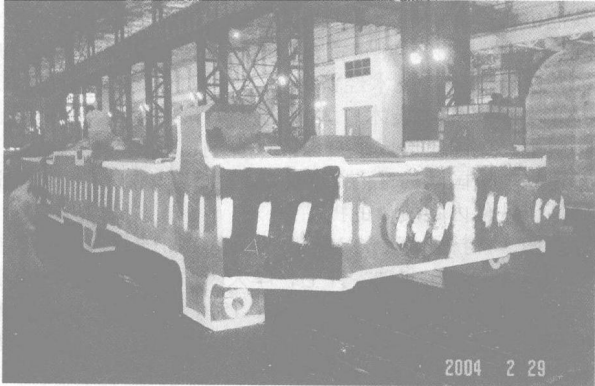


图 1.0-12 特大型铸钢轧机机架，铸件重约 400 t
（中国二重集团公司）

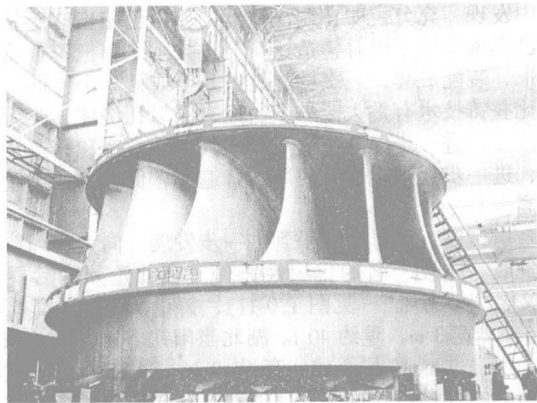


图 1.0-13 三峡工程水轮机叶轮，总重 450 t
(中国哈尔滨电站设备集团有限公司)

5 t、净重 2.7 t 的大型铝合金铸件 (见图 1.0-14)。

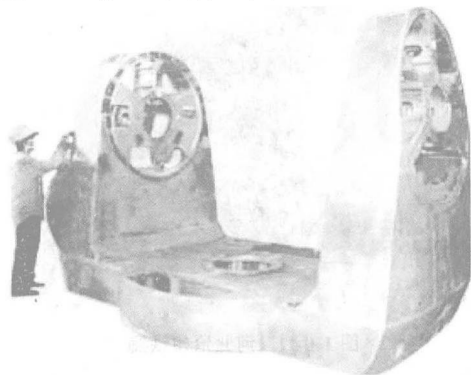


图 1.0-14 特大型铝合金铸件
(沈阳铸造研究所)

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（风温 500 ~ 600℃）冲天炉已开始在我国应用，使铁液温度达到或超过 1 500℃。冲天炉-电炉双联熔炼工艺已在大量流水及批量生产中广泛应用。

在缸体、缸盖等高强度薄壁铸件等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工艺技术已在汽车、内燃机、拖拉机、机床等行业的铸件上得到较普遍应用，大大提高了铸件的尺寸精度。

(2) 先进铸造合金的研发提高了铸件质量与使用寿命

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。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。重型机械行业采用 AOD 与 VOD 等炉外精炼技术，大大地提高了高级合金铸钢件的内在质量。我国已形成了自己的孕育剂、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。

例如，抗拉强度 900 MPa，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 (见图 1.0-15)。高强度、高弹性模数的灰铸铁已成功地应用于机床铸件，提高了机床的精度。高强度薄壁灰铸铁件铸造技术的应用，使最薄壁厚仅 4 ~ 6 mm 的缸体和缸盖铸件的本体断面组织细密均匀，硬度差小于 30HBS。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。耐磨铸铁已在机床导轨、缸盖和活塞环上大量应用，耐磨性和使用寿命提高了 1 ~ 2 倍。高铬和低铬抗磨铸铁已在耐磨件上大量应用，使用寿命提高了 8 ~ 10 倍和 2 ~ 3 倍。

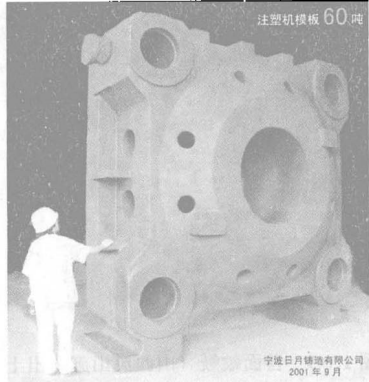


图 1.0-15 60 t 重厚大断面球墨铸铁注塑机模板
(宁波日月铸造有限公司)

(3) 精确铸造成形等先进铸造技术迅速发展

我国熔模精密铸造技术有了长足的进步 (见图 1.0-16)，采用净终成形技术，生产出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 (见图 1.0-17)。目前生产的不锈钢精铸件的尺寸精度和表面粗糙度均达到国际先进水平，满足了出口要求。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。

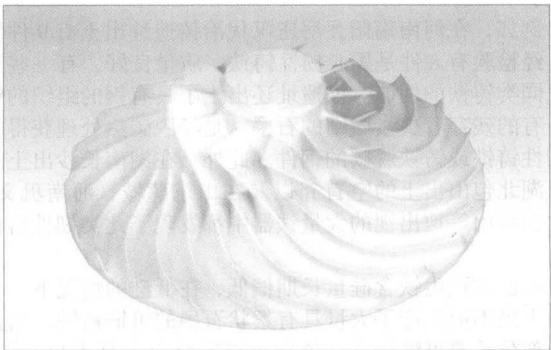


图 1.0-16 发动机压气机叶轮铝合金精密铸件

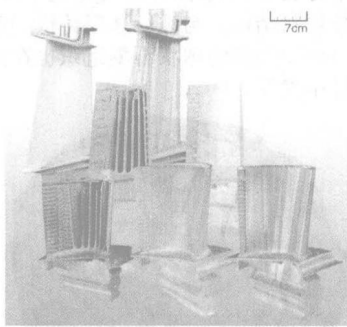


图 1.0-17 熔模铸造高温合金航空燃气轮机叶片

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

(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式的铸造机械和仪器，如能生产各种类型熔炼炉、高压造型机、制芯机、砂处理和清理设

备以及一些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，表面粗糙达 $R_a12.5\sim50\mu\text{m}$ ，成功地生产出 150 t 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 CT6~8 级，表面粗糙度达到 $R_a12.5\sim25\mu\text{m}$ ，接近国外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

铸造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其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。三坐标测量仪已在少数大型铸造厂开始应用，有效地保证了模具、芯盒以及铸件的尺寸精度。

(7) 信息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信息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已在国内企业广泛应用，90% 以上的企业采用国产商品化软件。中国二重集团公司一次浇注成功长江三峡水轮机叶片，采用的也是国产商品化软件（见图 1.0-18）。信息技术还用于铸造工艺辅助设计（CAD）、生产管理和各种数据处理及生产过程自动化控制等领域。

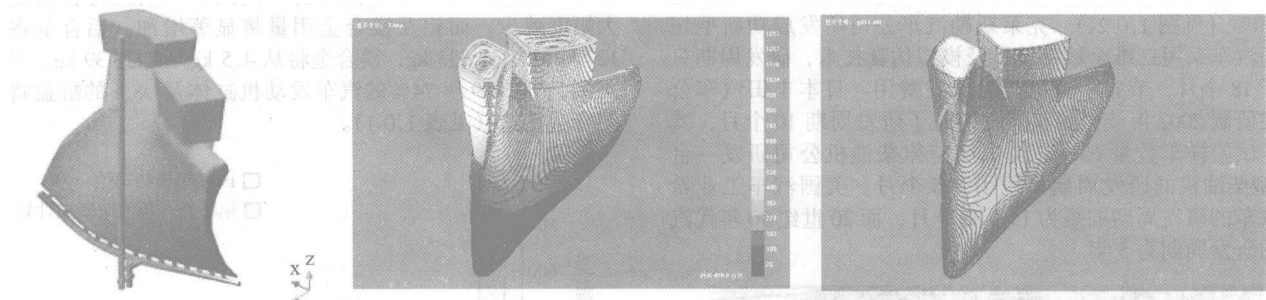


图 1.0-18 长江三峡水轮机不锈钢叶片采用了计算机模拟技术已由中国二重集团一次试制成功

(8) 积极开展基础研究，学科水平明显提高

我国高校及研究院所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（见图 1.0-19）、稀土作用机理及模拟仿真研究等领域形成了自己的特色，已在国际学术界占有一席之地。先后多次组织国际学术会议，在各种国际学术会议作特邀或主题报告。2006 年将由中国主办召开四年一度的第 8 届国际“铸铁科学与工艺”研讨会。

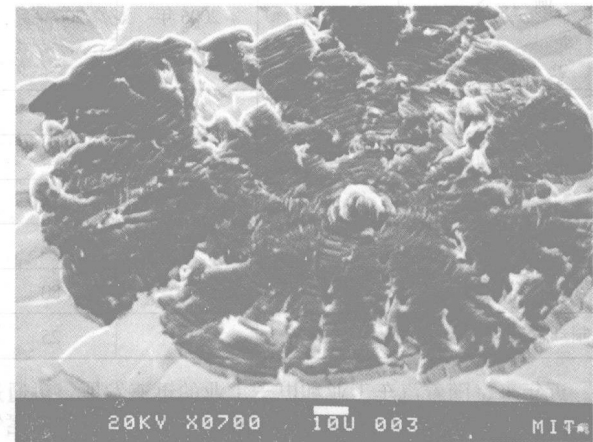


图 1.0-19 用 SEM 直接观察到球状石墨的结晶核心

(9) 科技进步以人为本，人才培养形成体系

建国以来，我国先后设立了铸造专业、材料加工专业及机械工程与自动化等专业，培养了一大批不同层次（学士、硕士及博士）科研及工程技术人员，为我国铸造行业的技术

进步作出了突出的贡献。

4 铸造技术发展趋势

铸造行业是制造业的重要组成部分，展望制造业的发展趋势有助于分析研究铸造技术的发展动向。

为了展望未来的制造科技发展，美国于 1998 年制订了“集成制造技术路线图计划”，提出未来制造业面临的六大时代特征。

1) 全球化市场竞争；例如，全球化市场竞争既对制造业及铸造行业带来了挑战，也带来了机遇（见图 1.0-20）。



图 1.0-20 全球化市场竞争对铸造行业带来了机遇

- 2) 环境保护与资源有限，要求绿色制造。
- 3) 信息大量广泛分布，要求以最快的速度得到最有用