

铸造手册

铸 铁

第2版

中国机械工程学会铸造分会 编

1



机械工业出版社
China Machine Press

铸 造 手 册

第 1 卷

铸 铁

(第 2 版)

中国机械工程学会铸造分会 编



机 械 工 业 出 版 社

《铸造手册》共分铸铁、铸钢、铸造非铁合金、造型材料、铸造工艺和特种铸造 6 卷出版。本书为第 1 卷《铸铁》。本卷共有绪论、铸铁的基础知识、铸铁材质的检测、灰铸铁、球墨铸铁、蠕墨铸铁、可锻铸铁、抗磨铸铁、冷硬铸铁、耐热铸铁、耐蚀铸铁、铸铁熔炼等共 12 章。分别论述了铸铁生产的简史及其发展趋势；生产优质铸铁所必须掌握的基础知识；研究铸铁材质的常规及现代测试技术；各种铸铁的金相组织、性能、化学成分、生产工艺以及典型件等；铸铁的燃焦冲天炉、电炉和双联等熔炼方法及所用的原辅材料。附录中列出了各种铸铁的国际标准和主要国家的现行标准以供参考。

本手册主要供广大铸造工作者使用，也可供设计、科研人员及高等院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

铸造手册. 第 1 卷, 铸铁/中国机械工程学会铸造分会编. —2 版. —北京: 机械工业出版社, 2002. 1

ISBN 7-111-03117-2

I. 铸... I. 中... III. ①铸造技术手册②铸铁—技术手册
IV. TG2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 085661 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: 余茂祚 版式设计: 冉晓华 责任校对: 李秋荣

封面设计: 姚毅 责任印制: 路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 2 月第 2 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5 28 印张·4 插页·1 690 千字

21 501—25 500 册

定价: 75.00 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

铸造手册第2版编委会

顾问	陶令桓	周尧和	柳百成
主任委员	赵立信		
副主任委员	房贵如		
委员	(按姓氏笔画为序)		
	王君卿	刘兆邦	刘伯操
	张伯明	余茂祚	(常务)
	范英俊	钟学友	姚正耀
	黄天佑		

铸铁卷第2版编委会

主编	张伯明
副主编	陆文华
编委	李卫 唐力

第 2 版前言

建国以来,我国铸造行业获得很大发展,年产量超过千万吨,位居世界第二;从业人员超过百万人,是世界规模最大的铸造工作者队伍。为满足行业及广大铸造工作者的需要,机械工业出版社于1991年编辑出版了《铸造手册》,共6卷610万字。第1版手册自出版发行以来,先后分别重印3~6次,深受广大铸造工作者欢迎。两院院士、中国工程院副院长师昌绪教授,科学院院士、上海交通大学周尧和教授,科学院院士、机械科学研究院名誉院长雷天觉教授,工程院院士、中科院沈阳金属研究所胡壮麒教授,工程院院士、西北工业大学张立同教授等许多著名专家学者都对这套手册的出版给予了高度评价,认为手册内容丰富、数据可靠,具有科学性、先进性、实用性。这套手册的出版发行对跟踪世界先进技术、提高铸件质量、促进我国铸造技术进步起到了积极推进作用,在国内外产生较大影响,取得了显著的经济效益及社会效益。手册1995年获机械工业出版社科技进步(暨优秀图书)一等奖,1996年获中国机械工程学会优秀工作成果奖,1998年获机械工业部科技进步二等奖。

第1版手册出版后的近十年来,科学技术迅猛发展,先进制造技术不断涌现,标准及工艺参数不断更新,特别是高新技术的引入,使铸造行业的产品及技术结构发生很大变化,手册内容已不能适应当前生产实际及技术发展的需要。应广大读者要求,我们对手册进行了修订。第2版修订工作由中国机械工程学会铸造分会和机械工业出版社负责组织和协调。

修订后的手册基本保留了第1版风格,仍由铸铁、铸钢、铸造非铁合金、造型材料、铸造工艺、特种铸造共6卷组成。为我国进入WTO,与世界铸造技术接轨,并全面反映当代铸造技术水平,第2版除对第1版已显陈旧落后的内容进行删改外,着重增加了近十几年来国内外涌现出的新技术、新工艺、新材料、新设备的相关内容,并以最新的国内外技术标准替换已作废的旧标准,同时采用新的计量单位,修改内容累计达40%以上。第2版手册详细介绍了先进实用的铸造技术,数据翔实,图文并茂,基本反映了20世纪90年代末至21世纪初国内外铸造领域的技术现状及发展趋势。新版手册将以崭新的面貌为铸造工作者提供一套完整、先进、实用的技术工具书,对指导生产、推进21世纪我国铸造技术进步将发挥积极作用。

第2版手册的编写班子实力雄厚,共有来自工厂、研究院所及高等院校40多个单位的109名专家教授参加编写。各卷主编是:

- 第1卷 铸铁 中国农业机械化科学研究院副院长 张伯明研究员。
- 第2卷 铸钢 中国第二重型机械集团公司总裁 姚正耀研究员级高工。
- 第3卷 铸造非铁合金 北京航空材料研究院院长 刘伯操研究员。
- 第4卷 造型材料 清华大学黄天佑教授。
- 第5卷 铸造工艺 沈阳铸造研究所总工程师 王君卿研究员级高工。
- 第6卷 特种铸造 中国新兴铸管集团公司董事长 范英俊研究员级高工。

本书为《铸造手册》的第1卷《铸铁》，编写组织工作得到中国农业机械化科学研究院的大力支持，并在该卷编委会的主持下，经过许多同志辛勤劳动完成的。本卷的主编张伯明研究员和副主编陆文华教授全面负责，汇同编委完成各章的审定工作。各章编写分工如下：

第1章 清华大学：吴德海教授。

第2章 西安交通大学：陆文华教授。

第3章 沈阳铸造研究所：赵芳欣高工。

第4章 中国农业机械化科学研究院：张伯明研究员、胡家骢研究员。

第5章 清华大学：吴德海教授。

第6章 一汽集团无锡柴油机厂：唐力高工。

第7章 宏德天津矿业有限公司：钱立教授。

第8章 广州有色研究院耐磨所：李卫研究员级高工。

第9章 邢台机械轧辊（集团）有限公司：苏长岐研究员级高工、周守航高工。

第10章 山东工业大学：李秀真教授，于化顺教授。

第11章 沈阳铸造研究所：申泽骥研究员级高工。

第12章 一汽集团公司工艺材料所：刘长锁高工、陈位铭高工。

附录 中国农业机械化科学研究院：关洪国高工。

本书统稿工作由主编张伯明研究员与责任编辑余茂祚研究员级高工共同完成。

本书在编写过程中得到各编写人员所在单位的大力支持，也得到了陶令桓顾问等有关同志的大力支持，在此一并表示感谢。由于编者水平有限，不周之处，在所难免，敬请读者指正。

中国机械工程学会铸造分会编译出版工作委员会

铸造手册第1版编委会

顾问	荣科		
主任	陶令桓		
副主任	缪良	周尧和	沈嘉猷
委员	(按姓氏笔画为序)		
	丛勉	刘兆邦	陈金城
	余茂祚	罗志健	姜希尚
	钟雪友	徐人瑞	黄恢元
	谢明师		

铸铁卷第1版编委会

主任	陶令桓		
副主任	陆文华	唐玉林	张伯明
委员	陈琦	刘静远	张宝庆
主审	罗志健		

第 1 版前言

随着科学技术和国民经济的发展,各行各业都对铸造生产提出了新的和更高的要求。铸造技术涉及物理、化学、冶金、机械等多种学科,影响铸件质量和成本的因素又很多,正确地使用合理的铸造技术,生产质量好、成本低的铸件,实际上并非易事,鉴于此,为了促进铸造生产的发展和技术水平的提高,并给铸造技术工作者提供工作上的方便,我会编译出版委员会与机械工业出版社组织有关专家编写了由铸铁、铸钢、铸造非铁合金、造型材料、铸造工艺和特种铸造共六卷组成的《铸造手册》。

手册的内容从生产需要出发,既总结国内行之有效的技术经验,也介绍近期有可能采用的国外先进技术。手册以图表和数据为主,辅以适当的文字说明。

手册的编写工作由我会编译出版委员会和机械工业出版社负责组织和协调。

本卷的编写工作是在本会铸铁及熔炼专业委员会的支持下,在铸铁卷编委会的主持下,由近 30 位同志辛勤劳动完成的。由主编机械电子工业部机械科学研究院陶令桓负责全书统编工作其各章编写分工如下:

第一章 吴德海(清华大学)

第二章 陆文华(西安交通大学)、王家炘(陕西机械学院)、张宝庆(机械电子工业部郑州机械研究所)

第三章 李德珊(机械电子工业部沈阳铸造研究所)、王世元(沈阳铸造厂)、吴又玄(机械电子工业部沈阳铸造研究所)、赵维俊(大连理工大学)

第四章 张伯明、胡家骢(机械电子工业部中国农业机械化科学研究院)、马敬仲(北京第一机床厂)

第五章 王云昭、唐玉林(机械电子工业部沈阳铸造研究所)

第六章 楼恩贤(北京农业工程大学)、曾大本(清华大学)、刘静远(机械电子工业部沈阳铸造研究所)

第七章 陈永民(昆明工学院)、钱翰城(重庆大学)

第八章 陆文华、周庆德(西安交通大学)、胡起萱(湖南省机械研究所)、柳葆铠(清华大学)

第九章 杨士浩(山东工业大学)

第十章 姜炳焕(机械电子工业部沈阳铸造研究所)

第十一章 陈琦(机械电子工业部沈阳铸造研究所)、林克光(沈阳工业大学)、胡起萱、刘幼华(机械电子工业部沈阳铸造研究所)

第十二章 姜炳焕、唐玉林

附 录 胡家骢

在本卷的编写过程中得到了机械电子工业部机械科学研究院、西安交通大学、机械电子工业部沈阳铸造研究所、中国农业机械化科学研究院、机械电子工业部郑州机械研究所、扬州柴油机厂等许多工厂、科研单位和高等院校的大力支持,以及柳百成(清华大学)、曾艺成(机械电子工业部机械科学研究院)、崔春芳(沈阳市钢铁研究所)、于泉根、李

安民(机械电子工业部沈阳铸造研究所)、高志栋(清华大学)等许多同志的帮助。此外,参加本卷审稿工作的除主审外,还有陈农(郑州纺织机械厂)、王贻青(陕西机械学院)、胡学文(机械电子工业部机械科学研究院)等,在此一并致谢。由于水平有限,书中难免有不当和错误之处,恳请读者批评指正,以便再版时予以订正。

中国机械工程学会铸造专业学会

本书所用符号表

符号	名称	单位	符号	名称	备注
σ_b	抗拉强度	MPa 或 N/mm ²	w	质量分数	
σ_{bc}	抗压强度		φ	体积分数	
σ_{bb}	抗弯强度		A	奥氏体	
σ_s	屈服点		F	铁素体	
$\sigma_{0.2}$	屈服强度		P	珠光体	
σ_e	弹性极限		B	贝氏体	
σ_c	临界应力	N	M	马氏体	
σ_p	非比例伸长应力		L _d	莱氏体	
τ	切应力		FeC	渗碳体	
τ_b	抗剪强度、扭转强度	MPa 或 N/mm ²	S	索氏体	
E	弹性模量		G	石墨	
G	切变模量		C	碳化物	
$\delta(\delta_5, \delta_{10})$	断后伸长率	%	CE	碳当量	
ϵ	应变率		RE	稀土	
ψ	断面收缩率		L	液态(体)	
A_K	冲击吸收功	J	Z	铸态	
a_K	冲击韧度	J/cm ²	Zh	正火态	
K_{IC}	平面应变断裂韧度	J/cm ² 或 N/cm ^{3/2}	C	淬火态	
HBS (≤450 时)	布氏硬度		H	回火态	
HBW (>450 时)			S	时效态	
HRA	洛氏硬度		D	等温淬火态	
HRB			Sc	共晶度	
HRC			HG	硬化度	
HM	显微硬度		RH	相对硬度	
HV	维氏硬度		RG	成熟度	
HK	努氏硬度		Mf	马氏体转变终了温度	
HS	肖氏硬度		Ms	马氏体转变开始温度	
λ	热导率	W/(m·K)	Ac ₁	加热时下临界点温度	
c	比热容	J/(kg·K)	Ac ₃	加热时上临界点温度	
ρ	密度	g/cm ³ 或 t/m ³	Ac _m	加热时过共析上临界点温度	
α_l	线胀系数	1/K	Ar ₁	冷却时下临界点温度	
H	磁场强度	A/m	Ar ₃	冷却时上临界点温度	
B	磁感应强度	T	Ar _{cm}	冷却时过共析上临界点温度	
μ	泊松比		筛号	与旧标准的目等同	

目 录

第2版前言

第1版前言

本书所用符号表

第1章 绪论 1

1.1 铸铁发展简史 1

1.1.1 灰铸铁 2

1.1.2 球墨铸铁 2

1.1.3 蠕墨铸铁 3

1.1.4 可锻铸铁 4

1.1.5 特种性能铸铁 4

1.1.6 铸铁熔炼 5

1.2 对现代铸铁的展望 7

1.2.1 铸铁生产在当今社会中的地位
与作用 7

1.2.2 我国铸铁生产的发展 7

1.2.3 对现代铸铁提出的质量要求 8

参考文献 9

第2章 铸铁的基础知识 10

2.1 铸铁的分类 10

2.2 Fe-C相图 11

2.2.1 Fe-C、Fe-Fe₃C双重相图 11

2.2.2 Fe-C、Fe-Fe₃C双重相图中的基
本组成 12

2.2.3 Fe-C、Fe-Fe₃C双重相图中的组
成相 13

2.2.4 Fe-C-Si准二元相图 14

2.2.5 铸铁中常见元素对Fe-C相图上
各临界点的影响 15

2.2.6 碳当量和共晶度的意义及表
达式 15

2.3 铸铁的凝固结晶及固态相 变 16

2.3.1 铸铁熔液的结构 16

2.3.2 初生石墨的结晶 17

2.3.3 初生奥氏体的结晶 18

2.3.4 共晶凝固过程 23

2.3.5 磷共晶的形成 36

2.3.6 连续冷却时铸铁的固态相变 ... 38

2.3.7 铸铁的热处理原理 40

2.4 影响铸铁铸态组织的因素 42

2.4.1 冷却速度的影响 42

2.4.2 化学成分的影响 43

2.4.3 铁液的过热和高温静置的影
响 48

2.4.4 孕育的影响 48

2.4.5 气体的影响 50

2.4.6 炉料的影响 59

2.5 铸铁凝固及冷却过程中主要 缺陷的形成原理及其防止 60

2.5.1 缩孔及缩松的形成及其防止 ... 60

2.5.2 铸造应力、变形和开裂及其
防止 61

2.5.3 非金属夹杂物和组织不均匀性
及其防止 63

2.5.4 气孔的形成及其防止 66

参考文献 68

第3章 铸铁材质的检测 70

3.1 铁液质量的检测 70

3.1.1 铁液温度的检测 70

3.1.2 铁液成分的快速检测 71

3.1.3 用热分析法评估铁液质量 72

3.1.4 铸铁化学成分分析 77

3.2 铸铁金相组织的检测方法 81

3.2.1 铸铁光学金相试样的制备方
法 81

3.2.2 铸铁宏观组织检测 84

3.2.3 铸铁微观组织检测 88

3.3 金属物理研究方法在铸铁检测 中的应用 106

3.3.1 扫描电子显微分析 106

3.3.2 透射电子显微分析	110	影响	185
3.3.3 电子探针 X 射线显微分析	121	4.1.1 石墨	185
3.3.4 多功能电子显微分析及其他电 子显微分析	123	4.1.2 基体	188
3.3.5 X 射线衍射分析	124	4.1.3 碳化物	194
3.3.6 图像定量分析	126	4.1.4 磷共晶	195
3.4 铸铁物理性能的测试方法 ..	129	4.1.5 共晶团	197
3.4.1 密度的测定方法	129	4.1.6 金相组织对性能的影响	200
3.4.2 线胀系数的测定方法	131	4.2 灰铸铁的性能	207
3.4.3 比热容的测定方法	133	4.2.1 力学性能	207
3.4.4 热导率的测定方法	135	4.2.2 物理性能	219
3.4.5 电导率的测定方法	136	4.2.3 使用性能	224
3.5 铸铁力学性能试验方法	137	4.2.4 工艺性能	232
3.5.1 铸铁拉伸试验方法	137	4.3 灰铸铁的冶金质量指标	237
3.5.2 铸铁硬度试验方法	144	4.3.1 成熟度及相对强度	237
3.5.3 铸铁冲击试验方法	157	4.3.2 硬化度及相对硬度	239
3.5.4 铸铁弹性模量试验方法	159	4.3.3 品质系数	240
3.5.5 铸铁旋转弯曲疲劳试验方法 ..	161	4.4 提高灰铸铁性能的途径	240
3.5.6 铸铁平面应变断裂韧度 K_{IC} 试验方法	162	4.4.1 化学成分的合理选配	240
3.5.7 铸铁疲劳裂纹扩展速率和疲 劳裂纹扩展门槛值的试验方 法	164	4.4.2 改变炉料组成	245
3.6 铸铁铸造性能的测试方法 ..	165	4.4.3 铁液过热处理	247
3.6.1 流动性及其测试方法	165	4.4.4 铁液孕育处理	249
3.6.2 体收缩及其测试方法	166	4.4.5 低合金化	263
3.6.3 线收缩及其测试方法	167	4.5 灰铸铁的热处理及其他处 理	265
3.6.4 裂纹倾向及其测试方法	168	4.5.1 灰铸铁热处理特点	265
3.6.5 铸造应力及其测试方法	170	4.5.2 灰铸铁常用的热处理工艺	265
3.6.6 凝固膨胀力及其测试方法	171	4.5.3 振动时效	272
3.7 铸铁使用性能的测试方法 ..	171	4.6 灰铸铁的标准及合理选用 原则	274
3.7.1 铸铁耐热性能测试方法	171	4.6.1 灰铸铁的力学性能标准	274
3.7.2 铸铁耐磨性能测试方法	172	4.6.2 灰铸铁力学性能与铸件壁厚 的关系	275
3.7.3 铸铁耐蚀性能测试方法	177	4.6.3 试棒与铸件本体性能	276
3.7.4 铸铁致密性测试方法	179	4.6.4 合理选用原则	278
3.8 铸铁材质无损检测方法	179	4.7 典型灰铸铁件	281
3.8.1 用超声波法测定球墨铸铁球 化率	179	4.7.1 高强度灰铸铁件	281
3.8.2 用电磁法进行铸铁分选	180	4.7.2 薄壁减磨灰铸铁件	287
参考文献	183	4.7.3 D 型石墨铸铁件	292
参考文献	183	参考文献	294
第 4 章 灰铸铁	185	第 5 章 球墨铸铁	297
4.1 金相组织特点及其对性能的		5.1 金相组织	297

5.1.1	石墨	297
5.1.2	基体	299
5.1.3	渗碳体	309
5.1.4	磷共晶	310
5.2	球墨铸铁的性能	312
5.2.1	力学性能	312
5.2.2	物理性能	322
5.2.3	工艺性能	327
5.2.4	使用性能	332
5.3	球墨铸铁的化学成分	338
5.3.1	基本元素	338
5.3.2	合金元素	345
5.3.3	微量元素	353
5.3.4	各种基体组织球墨铸铁的化学成分	354
5.4	球化处理及孕育处理	358
5.4.1	球化处理	358
5.4.2	孕育处理	371
5.5	典型铸造缺陷及其防止	374
5.5.1	球化不良与球化衰退	374
5.5.2	缩孔和缩松	375
5.5.3	皮下气孔	377
5.5.4	夹渣	378
5.5.5	石墨漂浮	378
5.5.6	反白口	379
5.5.7	碎块状石墨	380
5.6	球墨铸铁的热处理	383
5.6.1	球墨铸铁的二次结晶	383
5.6.2	退火	391
5.6.3	正火	391
5.6.4	淬火与回火	393
5.6.5	等温淬火	394
5.7	球墨铸铁的表面强化	396
5.7.1	表面淬火	396
5.7.2	化学处理	398
5.7.3	机械强化	400
5.7.4	激光表面熔凝处理	400
5.8	球墨铸铁标准及选用	402
5.8.1	球墨铸铁的牌号、标准	402
5.8.2	选用原则	403
5.9	球墨铸铁的生产应用	404
5.9.1	应用领域	404

5.9.2	典型球墨铸铁件	410
	参考文献	413

第6章 蠕墨铸铁

6.1	蠕墨铸铁金相组织特点	417
6.1.1	石墨	417
6.1.2	基体组织	420
6.1.3	共晶团	421
6.2	蠕墨铸铁的性能	424
6.2.1	力学性能	424
6.2.2	物理性能	427
6.2.3	工艺性能	427
6.2.4	使用性能	431
6.3	影响组织及性能的因素	433
6.3.1	蠕化率	433
6.3.2	基体	433
6.3.3	化学成分	434
6.3.4	冷却速度	440
6.4	蠕墨铸铁的处理和控制	440
6.4.1	蠕化剂及蠕化处理工艺	440
6.4.2	蠕墨铸铁的孕育处理	444
6.4.3	蠕化率的检测	445
6.4.4	蠕墨铸铁蠕化处理和控制的 新进展	448
6.5	蠕墨铸铁的缺陷及防止方 法	448
6.6	蠕墨铸铁的热处理	451
6.6.1	蠕墨铸铁的正火	451
6.6.2	蠕墨铸铁的退火	452
6.7	蠕墨铸铁标准、牌号及其选 用原则	453
6.7.1	蠕墨铸铁的牌号	453
6.7.2	关于蠕墨铸铁蠕化率的规 定	453
6.7.3	牌号选用原则	454
6.8	典型蠕墨铸铁件	455
6.8.1	柴油机缸盖	455
6.8.2	液压件	456
6.8.3	汽车排气管	457
6.8.4	钢锭模	457
	参考文献	459

第7章 可锻铸铁 462

7.1 可锻铸铁的分类和金相组织特点 462

7.1.1 分类 462

7.1.2 牌号与应用 462

7.1.3 金相组织特点 464

7.2 可锻铸铁的性能 468

7.2.1 力学性能 468

7.2.2 物理性能 473

7.2.3 工艺性能 474

7.2.4 使用性能 475

7.3 可锻铸铁的坯件生产 476

7.3.1 化学成分的选择原则 476

7.3.2 元素的作用与化学成分范围 476

7.3.3 熔炉与熔炼特点 478

7.3.4 孕育剂与孕育处理 478

7.4 可锻铸铁的石墨化退火 480

7.4.1 固态石墨化原理 480

7.4.2 影响石墨化退火过程的因素 481

7.4.3 加速石墨化退火的措施 486

7.4.4 石墨化退火工艺 486

7.5 可锻铸铁的脱碳退火 492

7.5.1 脱碳退火原理 492

7.5.2 影响脱碳过程的因素 492

7.5.3 白心可锻铸铁的生产 493

7.6 可锻铸铁的缺陷及防止方法 495

7.6.1 铸造缺陷 495

7.6.2 退火缺陷 497

7.6.3 热镀锌缺陷 498

7.7 典型可锻铸铁件 500

7.7.1 管路连接件 500

7.7.2 线路金具 501

7.7.3 高吨位铁帽 501

7.7.4 可焊管件 501

7.7.5 玻璃模具 501

参考文献 502

第8章 抗磨铸铁 503

8.1 铸铁的抗磨性 503

8.1.1 抗磨性与工况的关系 503

8.1.2 抗磨铸铁件的失效 503

8.2 抗磨白口铸铁 504

8.2.1 普通白口铸铁 507

8.2.2 低合金白口铸铁 507

8.2.3 中合金白口铸铁 512

8.2.4 高合金白口铸铁——高铬白口铸铁 529

8.3 抗磨球墨铸铁 563

8.3.1 马氏体抗磨球墨铸铁 563

8.3.2 贝氏体抗磨球墨铸铁 565

8.3.3 中锰抗磨球墨铸铁 567

8.4 双金属抗磨材料 567

8.4.1 双液双金属复合铸造抗磨材料 568

8.4.2 镶铸双金属复合铸造抗磨材料 570

8.4.3 粘接工艺的双金属复合抗磨材料 572

8.4.4 铸渗工艺的双金属抗磨材料 572

8.5 典型抗磨铸铁件 579

8.5.1 磨球 579

8.5.2 衬板 580

8.5.3 泵壳与叶轮 581

参考文献 581

第9章 冷硬铸铁 585

9.1 概述 585

9.2 冷硬铸铁的组织特点 585

9.2.1 宏观断口 585

9.2.2 金相组织 585

9.3 化学成分对金相组织和性能的影响 587

9.3.1 各元素对白口倾向和石墨化的影响 587

9.3.2 各元素对冷硬铸铁白口深度的影响 588

9.3.3 各元素对冷硬铸铁显微组织和性能的影响 589

9.4 制造工艺对组织和性能的影响 592

9.4.1 冷却条件的影响 592

9.4.2 工艺条件的影响 597

9.4.3 工艺方法的影响 598

9.5 冷硬铸铁的应用、生产
及控制 599

9.5.1 冷硬铸铁的应用 599

9.5.2 冷硬铸铁轧辊 599

9.5.3 凸轮轴 604

9.5.4 气门挺柱 605

参考文献 606

第 10 章 耐热铸铁 607

10.1 铸铁的高温氧化 607

10.1.1 铸铁高温氧化特点 607

10.1.2 铸铁氧化膜结构 607

10.1.3 影响铸铁抗氧化性的主要
因素 608

10.1.4 铸铁的氧化脱碳 611

10.1.5 提高铸铁抗氧化性的途径 ... 611

10.1.6 铸铁抗氧化性的评定方法 ... 612

10.2 铸铁的生长 612

10.2.1 生长机理 612

10.2.2 防止生长的措施 612

10.3 耐热铸铁的成分、组织
及性能 613

10.3.1 耐热铸铁的分类 613

10.3.2 耐热铸铁件标准 614

10.3.3 硅系耐热铸铁的成分、组织及
性能 614

10.3.4 铝系耐热铸铁的成分、组织及
性能 619

10.3.5 铬系耐热铸铁的成分、组织及
性能 622

10.3.6 高镍奥氏体耐热铸铁的成分、
组织及性能 624

10.3.7 耐热铸铁的物理性能 624

10.3.8 耐热铸铁的铸造性能 626

10.4 耐热铸铁的选用 626

10.5 耐热铸铁的生产工艺 628

10.5.1 硅系耐热铸铁的生产工艺 ... 628

10.5.2 铝系耐热铸铁的生产工艺 ... 628

10.5.3 铬系耐热铸铁的生产工艺 ... 628

10.6 耐热铸铁的常见缺陷及防止
方法 628

10.7 典型耐热铸铁件 629

10.7.1 针状预热器 629

10.7.2 二硫化碳反应甑 630

10.7.3 SZD 型工业锅炉侧密封板 ... 631

参考文献 632

第 11 章 耐蚀铸铁 634

11.1 铸铁的耐蚀性 634

11.1.1 铸铁的腐蚀失效及特征 634

11.1.2 铸铁的化学成分和金相组织对
耐蚀性的影响 636

11.2 高硅耐蚀铸铁 642

11.2.1 高硅耐蚀铸铁件标准 642

11.2.2 高硅耐蚀铸铁的化学成分、金
相组织 643

11.2.3 高硅耐蚀铸铁的力学和物理
性能 644

11.2.4 高硅耐蚀铸铁的耐蚀性及
应用 645

11.2.5 高硅耐蚀铸铁件生产工艺 ... 647

11.3 高镍奥氏体耐蚀铸铁 649

11.3.1 高镍奥氏体耐蚀铸铁的化学
成分和金相组织 650

11.3.2 高镍奥氏体耐蚀铸铁的力学和
物理性能 652

11.3.3 高镍奥氏体耐蚀铸铁的耐蚀性
及应用 654

11.3.4 高镍奥氏体耐蚀铸铁件生产
工艺 659

11.4 高铬耐蚀铸铁 663

11.4.1 高铬耐蚀铸铁的化学成分、金
相组织和力学、物理性能 ... 663

11.4.2 高铬耐蚀铸铁的耐蚀性及
应用 665

11.4.3 高铬耐蚀铸铁件生产工艺 ... 668

11.5 中、低合金耐蚀铸铁 670

11.5.1 铝铸铁 670

11.5.2 低镍铬合金铸铁 670

11.5.3 低镍铸铁 671

11.5.4 含铜铸铁 671

11.5.5 耐盐卤冲蚀铸铁	672	12.3.2 无芯感应电炉熔炼	759
11.5.6 烧碱熔融锅用铸铁	672	12.3.3 有芯感应电炉熔炼	770
11.5.7 含铈铸铁	672	12.3.4 电弧炉熔炼	780
参考文献	673	12.4 双联熔炼	781
第 12 章 铸铁熔炼	675	12.4.1 双联熔炼的主要形式和特 点	781
12.1 概述	675	12.4.2 双联熔炼炉的合理选配	782
12.2 冲天炉熔炼	676	12.4.3 双联熔炼的应用实例	783
12.2.1 基本原理	676	12.5 炉料及修炉材料	785
12.2.2 冲天炉主要结构参数的选 择	683	12.5.1 炉料	785
12.2.3 鼓风机的选择	689	12.5.2 修炉材料	798
12.2.4 冲天炉主要工艺参数的选 择	692	参考文献	800
12.2.5 冲天炉的操作和控制	700	附录	802
12.2.6 冲天炉炉型系列化	706	附录 A 国外有关标准	802
12.2.7 冲天炉熔炼检测技术	707	A.1 灰铸铁标准	802
12.2.8 改善冲天炉熔炼效果的主要 措施	732	A.2 球墨铸铁标准	815
12.2.9 目前国内常用的几种典型 冲天炉	742	A.3 蠕墨铸铁标准	828
12.3 电炉熔炼	758	A.4 可锻铸铁标准	829
12.3.1 电炉熔炼的冶金特点	758	A.5 抗磨铸铁标准	838
		A.6 奥氏体铸铁标准	854
		A.7 高硅耐蚀铸铁标准	877
		附录 B 元素周期表	879

第 1 章 绪 论

1.1 铸铁发展简史

自从地球上的矿物被发现以来,金属铸造在人类社会发展中一直起着重要作用。作为各种技术发展不可分割的一部分,铸造使我们能制造出人类赖以生存的器皿和设备;使人类能为争取自立而奋斗;使我们能够制造出汽车、火车和飞机。总之,金属铸造是人类迈向美好生活不可缺少的关键一环。

人类进入文明社会是以使用金属铸造材料(铜与铁)开始的。世界上最早的文明古国都先后进入过青铜器时代。早在公元前 4000 年,古埃及人便掌握了炼铜技术。我国用矿石炼铜始于公元前 2000 年(夏代早期)。晚商和西周是我国青铜时代的鼎盛时期,重达 875kg 的“司母戊”大方鼎,至今仍珍藏在我国的博物馆里。铜是人类最先使用的金属,在青铜器时代,铁比铜要宝贵,这是因为当时炼铜比炼铁更容易;并且,在地球表层中往往有呈自然金属状态存在的自然铜,以“露头”形式存在,因而容易被发现和开采。

人类最早使用的铁是陨石铁(又称自然铁,也叫陨铁),古埃及在至今 5000 年以前的前王朝时期,曾用镍的质量分数为 7.5% 的陨石铁作成铁珠。陨石铁的主要成分是铁和镍,这两者的一般质量分数在 98% 以上,其中, $w(\text{Ni})$ 为 4%~20%,余为铁;其他杂质元素中除 $w(\text{Co})$ 为 0.3%~1.0% 外,磷、硫和碳含量均是很低的($w(\text{P})=0.1\%\sim0.3\%$, $w(\text{S})=0.2\%\sim0.6\%$; $w(\text{C})=0.01\%\sim0.2\%$)^[1]。

从美索不达米亚出土的文物证明,在公元前大约 3000 年就有了铁器;在公元前 2000 年就知道了铸铁技艺。尽管古希腊人和古罗马人在很有限的范围内知道铸铁的技艺,但是他们在早期对铸铁的应用,远不能和中国古代所掌握的铸铁技术和发展应用相比拟。

古代文物表明,中国人早在 2500 年前就制作了铸铁件。重达 270kg 的铸铁刑鼎,是公元前 513 年铸造成功的,江苏六合程桥出土的春秋晚期楚

墓的铁丸,长沙楚墓的铁甬和铁鼎等。战国初期出现了用热处理法制取韧性铸铁的工艺,战国后期出现了铁范^[1]。由此可见,在中国生产铸铁要比其他国家早许多个世纪。

铸铁在中国得到迅速的发展,这在很大程度上是由于熔炼设备的改善和拥有丰富的原材料。采用风箱,取得了较大的风量。使铁矿石与木炭在高温下长时间保持接触,从而得到了适于浇注到铸型中的铁液。为了增加流动性,中国人早就知道加入动物或人体骨骼以增磷。

多少世纪以前,我国人民就把铸铁件用于制作各种制品,例如铸铁炊具、钟、农业机具和各种容器等。但是,就全世界范围来说,在工业革命以前,铸铁件的用途主要是兵器、祭器和艺术品。

虽然铸铁的历史经历了漫长的岁月,达几千年之久,但其发展速度缓慢。直到公元 1722 年,出现了 R. A. De Reaumur 氏冲天炉,并开始用显微镜研究铸铁的组织 and 断口,之后,于 1734 年 Svedenberg 写的“铸铁学”(“de ferro”)问世。特别是 1765~1785 年之间,出现了瓦特蒸汽机,由此,在机器制造业和桥梁建筑业中大量使用铸铁,并开始采用铸铁制造铁轨。公元 1788 年,为巴黎的自来水厂铸造了 60km 长的输水铸铁管,把它通向凡尔赛宫,以提供宫廷生活用水。从此,铸铁走上了工业发展的道路^[2]。要特别指出的是,考虑到输水管应具有足够的耐压和耐蚀能力,并应具有足够的韧性以支撑土壤的下沉压力,这条通向凡尔赛皇宫的世界第一条输水管道是用可锻铸铁制作的。

从近代物理冶金学的观点来看,铸铁是一种铁碳硅合金,一般碳的质量分数为 2.0%~4.5%;硅的质量分数为 1%~3%。此外,铸铁中还含有锰、磷、硫及其他合金元素。按铸铁中是否有石墨存在,把铸铁分成灰铸铁和白口铸铁。按石墨形态的不同,可以分为(普通)灰铸铁、球墨铸铁、蠕墨铸铁和可锻铸铁。此外,按铸铁中是否含有除常规元素以外的合金元素,还可把铸铁分成普通铸铁与合金铸铁,合金元素含量较高的铸铁