

# 中国材料 工程大典

中国机械工程学会 中国材料研究学会

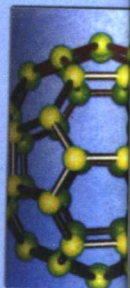
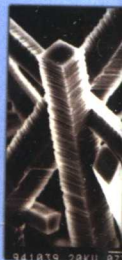


中国材料工程大典编委会

## 第2卷 钢铁材料工程（上）

干勇 田志凌

董瀚 冯涤 王新林 主编



化学工业出版社

CHINA MATERIALS ENGINEERING CANON

# 中国材料 工程大典

中国机械工程学会 中国材料研究学会



中国材料工程大典编委会

## 第2卷

钢铁材料工程(上)

干 勇 田志凌 主编  
董 瀚 冯 涤 王新林



化学工业出版社

·北 京·

(京)新登字 039 号

## 内 容 简 介

中国材料工程大典是中国机械工程学会和中国材料研究学会共同组织全国 39 位院士、百余位各学科带头人、千余位材料工程专家共同执笔编写,全面反映当今国内外材料工程领域发展的最新资料和最新成果,集实用性、先进性和权威性于一体的大型综合性工具书。中国材料工程大典包括材料工程基础、钢铁材料工程、有色金属材料工程、高分子材料工程、无机非金属材料工程、复合材料工程、信息功能材料工程、粉末冶金材料工程、材料热处理工程、材料表面工程、材料铸造成形工程、材料塑性成形工程、材料焊接工程、材料特种加工成形工程、材料表征与检测技术等内容,涵盖了材料工程的各个领域,将最新的实用数据(特别是与国际接轨的标准数据)、图表与先进实用的科研成果系统地集合起来,并附应用实例,充分展示了材料工程各领域的现状和未来。中国材料工程大典不仅可以满足现代企业正确选材,合理用材,应用先进的材料成形加工技术,提高产品质量和性能,降低产品成本,增强产品市场竞争力的需要,而且对推动中国材料科学与材料成形加工技术的不断创新,促进制造业的发展,提高我国制造业的竞争能力,具有重要的现实意义。

本书为第 2 卷,钢铁材料工程(上)。主要内容包括钢铁产品牌号表示方法、铁、铸铁与铸钢、非合金钢、低合金钢、超细晶钢、镍基和铁镍基耐蚀合金、电热合金、高温合金、金属功能材料、钢铁焊接材料等。

本书主要供具有大专以上文化水平,从事材料工程研究的工程技术人员在综合研究和处理钢铁材料工程各类技术问题时使用,起备查、提示和启发的作用,也可供研究人员、理工院校的有关师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

中国材料工程大典.第2卷,钢铁材料工程.上/干勇等主编.—北京:化学工业出版社,2005.8  
ISBN 7-5025-7304-6

I. 中… II. 干… III. ①材料科学②黑色金属—金属材料 IV. ①TB3 ②TG141

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 094358 号

## 中国材料工程大典

### 第 2 卷

### 钢铁材料工程(上)

中国机械工程学会

中国材料研究学会

中国材料工程大典编委会

干勇等 主编

责任编辑:周国庆 陈志良 李骏带

责任校对:洪雅妹

封面设计:雷嘉琦

\*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码:100029)

购书咨询:(010) 64982530

(010) 64918013

购书传真:(010) 64982630

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京蓝海印刷有限公司印装

开本 880mm×1230mm 1/16 印张 68 1/4 字数 3148 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7304-6

定价:210.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

# 序

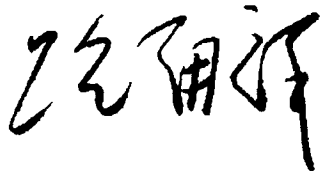
材料是当代社会经济发展的物质基础，也是制造业发展的基础和重要保障。进入 21 世纪以来，随着经济全球化的发展和中国的崛起，现代制造业的重心正不断向中国转移。据统计，今天中国制造业直接创造国民生产总值的 1/3 以上，约占全国工业生产的 4/5，为国家财政提供 1/3 以上的收入，占出口总额的 90%。但是与发达国家相比，我国制造业的水平不高、自主创新能力不足、高端市场竞争力还不强。我国虽然已是世界制造业大国，但还不是世界制造业强国。在有关因素中，材料工程基础薄弱是制约我国制造业发展的关键因素。广义的材料工程包括材料制备、测试和加工成形过程。为了提高我国制造业的水平和竞争力，突破材料工程这个薄弱环节，中国机械工程学会和中国材料研究学会牵头，会同中国金属学会、中国化工学会、中国硅酸盐学会、中国有色金属学会、中国复合材料学会共同组织编撰《中国材料工程大典》（简称《材料大典》），其目的是力图为我国制造业提供一部集科学性、先进性和实用性于一体的综合性专业工具书。以满足广大科技工作者的迫切需求，为科技自主创新和我国制造业的崛起加强技术基础。

经过 5 年多的艰苦努力，《材料大典》终将出版了。这部共 26 卷约 7000 万字的巨著，是 39 位两院院士和 1200 余位参编专家教授们辛勤劳动的智慧结晶。有的作者为此牺牲了健康，如一位退休了的总工程师，为了把他多年的研究成果和实践经验写成书稿，由于长时间写作，导致眼睛视网膜脱落……。这种敬业精神与坚强毅力是值得学习铭记的。借此机会，我们要感谢中国金属学会、中国化工学会、中国硅酸盐学会、中国有色金属学会、中国复合材料学会的支持。这些学会的众多专家教授积极参与了《材料大典》编写工作，与中国机械工程学会和中国材料研究学会的专家教授一起完成这项艰巨任务，从而使《材料大典》在完整性与先进性、科学性与实用性的结合上得到了加强；我们要感谢科学技术部、国防科学技术工业委员会、国家自然科学基金委员会、中国科学技术协会、中国科学院、中国工程院，以及各协作单位对编写工作的大力支持和积极帮助；我们也要感谢师昌绪院士等顾问的殷切指导，他们在编委会的两次工作会议上提出了许多重要的意见和建议，平时也给予了经常关心和指导，使我们少走了许多弯路；我们还要对关心和支持《材料大典》编写工作的科研院所、院校、企业以及有关人员表示感谢。没有大家的支持与协同，就不可能有《材料大典》的成功编写和顺利出版。

《材料大典》既总结了 10 多年来在材料工程方面的最新数据、图表及科研成果，还汇集了国内外在材料工程方面的成熟经验和先进理念，它体现了科学性、先进性和实用性的结合。可供具有大专以上文化水平的有关工程技术人员查阅使用，也可供理工院校的师生参考。

编撰《材料大典》涉及范围广，难度大，书中不可避免地会存在一些缺点和不足之处，恳请各位读者指正。

中国机械工程学会理事长  
中国材料工程大典编委会主任



2005 年 9 月 23 日

# 前 言

《钢铁材料工程》是《中国材料工程大典》中的卷目之一。

钢铁材料既是传统材料，又是先进材料。以超细组织、高洁净度、高均匀性为特征的一代钢铁材料，大幅度地提高了钢铁材料的质量和性能。钢铁结构材料的功能化，均质材料的复合化，与环境的协调化，已成为钢铁材料的发展方向。

我国正在进行大规模的经济建设，对钢铁材料的品种、质量和数量均提出了很高的需求。2004年我国的钢产量达2亿7千万吨，约相当于日、美、俄三个产钢大国产量总和，已多年为世界第一产钢大国。在相当长期间内，基础设施建设和制造业的发展，对钢铁材料的需求量仍将保持在高位，这既是挑战又是机遇。钢铁产量的大量增加已给资源、能源供应、交通运输、环境保护带来了巨大压力。钢铁材料的研究、生产和使用部门的共同任务是：提高钢铁材料的质量和性能，延长其使用寿命，降低对资源、能源的消耗和对环境的污染。正确选材，合理用材，提高材料的利用率，已成为广大工程技术人员实际工作中急于要解决的主要问题。

编写本卷的目的在于为广大工程技术人员对正确选材，合理用材，以及应用先进的钢铁材料及其加工工艺成形的技术参数、图表及科研成果、实践经验提供技术依据。

本卷分上、下卷共约500万字。参加编写的主要单位有钢铁研究总院、北京科技大学、清华大学、沈阳铸造研究所、首钢冶金研究院、北京钢丝厂等。干勇、田志凌、董瀚、冯涤、王新林任本卷主编。参加各篇编写的人员都是该领域的专家教授，并具有深厚理论知识和丰富的生产实践经验。

各篇的主编如下：

第1篇	概论	干 勇			
第2篇	钢铁牌号表示方法	林慧国			
第3篇	铁	祖荣祥			
第4篇	铸铁与铸钢	陈 琦	彭兆弟		
第5篇	非合金钢	杨忠民			
第6篇	低合金钢	董 瀚	雍歧龙	刘清友	杨才福
第7篇	超细晶钢	刘正才			
第8篇	镍基和铁镍基耐蚀合金	康喜范			
第9篇	电热合金	唐昌世			
第10篇	高温合金	冯 涤			
第11篇	金属功能材料	王新林	陈国钧		
第12篇	钢铁焊接材料	田志凌			
第13篇	合金钢	董 瀚			

全书力求全面、系统地反映我国钢铁材料的研究开发现状，特别是所取得的最新成果，包括许多首次公布的技术参数。使其成为一部集实用性与先进性于一体的钢铁材料工程工具书。主要供制造业、钢铁材料工程的科技人员使用，也供材料科学科研人员、管理人员和高等院校的师生查阅。

在本书编写过程中，得到有关单位和个人的支持与指导。在本书即将出版之际，全体作者表示衷心的感谢。由于编写时间紧迫和编著水平所限，书中不当之处，恳请指正。

干勇 田志凌

董瀚 冯涤 王新林

2005年10月6日

# 目 录

第1篇 概论	1	2 合金元素对铁碳平衡相图的影响	30
第1章 钢铁材料的地位和作用	3	2.1 铁碳平衡相图	30
1 在结构材料领域 20 世纪是钢铁材料的世纪	3	2.2 铁和其他合金元素的二元素平衡相图的类型	30
2 钢铁材料的优势	4	2.3 合金元素对 Fe-C 平衡相图的影响	30
3 市场需求	5	3 合金元素在钢中的分布和存在状态	31
4 21 世纪钢铁仍是占主导地位的结构材料	5	3.1 合金元素在不同金相组织中的溶解度	31
第2章 钢铁材料和冶金工艺的进展	6	3.2 合金元素在钢中的分布倾向	32
1 钢铁材料的发展由凭经验到靠科学	6	4 合金元素对钢的组织及热处理的影响	33
2 冶金工艺从手工技艺到工程科学	6	4.1 合金元素对钢的相变和组织的影响	33
3 钢的强化	7	4.2 合金元素对热处理的影响	34
3.1 固溶强化	7	5 合金元素对钢性能的影响	36
3.2 沉淀强化	7	5.1 合金元素对钢力学性能的影响	36
3.3 形变强化	8	5.2 合金元素对钢焊接性和切削性的影响	38
3.4 晶粒细化强化	8	5.3 合金元素对钢物理性能的影响	38
3.5 细化	8	5.4 合金元素对钢化学稳定性的影响	39
4 高洁净钢与炉外精炼	9	第6章 钢的固态相变与微观组织	40
4.1 炉外精炼迅速发展的背景	9	1 钢的固态相变	40
4.2 炉外精炼技术的主要功能	9	2 铁碳平衡图	40
5 钢质的均匀性与连续铸钢	10	3 珠光体转变	41
6 组织细化与控轧控冷	11	4 贝氏体转变	42
第3章 21 世纪钢铁材料的发展展望	14	4.1 上贝氏体	42
1 21 世纪国外钢铁材料的发展展望	14	4.2 下贝氏体	42
1.1 钢铁材料性能的超级化	14	4.3 无碳化物贝氏体	43
1.2 钢铁均质材料的复合化	14	4.4 粒状贝氏体	43
1.3 钢铁结构材料的功能化	14	5 马氏体相变	43
1.4 钢铁材料的智能化	14	第7章 钢的基础热处理	45
1.5 钢铁材料的环境协调化	14	1 钢在加热时的转变	45
1.6 钢铁材料的计算机设计	14	2 钢的过冷奥氏体转变	46
1.7 钢铁材料“绿色”生产新工艺、新技术和新装备的逐步实用化	14	3 退火	48
2 21 世纪国内钢铁材料的发展展望	15	3.1 重结晶退火	48
2.1 我国钢铁材料的现状与差距	15	3.2 等温退火	49
2.2 到 2020 年我国钢铁材料的发展目标	15	3.3 均匀化退火	49
2.3 到 2020 年我国钢铁材料的发展方向	15	3.4 球化退火	49
2.4 到 2020 年急需开发的先进钢铁材料	15	3.5 再结晶退火	50
第4章 钢铁材料的分类	19	3.6 去应力退火	50
1 钢的分类	19	4 正火	50
1.1 按化学成分分类	19	5 淬火	50
1.2 按主要质量等级和主要性能及使用特性分类	19	5.1 淬火加热温度	50
1.3 按冶炼方法分类	24	5.2 理想的淬火冷却曲线	50
1.4 按脱氧程度分类	25	5.3 冷却方式	51
1.5 按碳含量高低分类	25	6 回火	51
1.6 按金相组织分类	25	6.1 回火的温度	51
2 铁的分类	25	6.2 特殊碳化物和二次硬化	52
2.1 生铁	25	6.3 回火脆性	52
2.2 直接还原铁 (DRI)	26	第8章 钢铁材料的主要性能	53
2.3 纯铁	26	1 钢铁材料的力学性能	53
2.4 铸铁	26	1.1 硬度	53
第5章 合金元素在钢铁材料中的作用	27	1.2 强度与塑性	53
1 钢中的合金元素	27	1.3 疲劳强度	53
1.1 非合金钢中的其他元素	27	1.4 高温力学性能	53
1.2 合金钢中的合金元素	27	1.5 磨损与接触疲劳	53
		2 钢铁材料的工艺性能	54
		2.1 铸造性	54

2.2 锻造性	54
2.3 焊接性	54
2.4 切削性	54
2.5 热处理工艺性	54
3 钢铁材料的化学性能	54
3.1 耐腐蚀性	54
3.2 抗氧化性	55
4 钢铁材料的物理性能	55
4.1 热学性能	55
4.2 电学性能	55
4.3 磁性	55
参考文献	57
<b>第2篇 钢铁牌号表示方法</b>	<b>59</b>
<b>第1章 我国钢铁产品牌号的表示方法</b>	<b>61</b>
1 概述	61
2 生铁	62
3 铁合金	62
4 铸铁	62
5 铸钢	63
6 碳素结构钢和低合金高强度结构钢	63
6.1 碳素结构钢	63
6.2 低合金高强度结构钢	64
7 优质碳素结构钢	64
8 易切削钢和深冲压用钢	64
8.1 易切削钢	64
8.2 深冲压用钢	64
9 合金结构钢	64
10 非调质机械结构钢	64
11 弹簧钢和轴承钢	65
11.1 弹簧钢	65
11.2 轴承钢	65
12 工具钢	65
12.1 碳素工具钢	65
12.2 合金工具钢	65
12.3 高速工具钢	65
13 不锈钢和耐热钢	65
14 焊接用钢	65
15 电工用硅钢和电磁纯铁	65
15.1 电工用硅钢	65
15.2 电磁纯铁	66
16 高温合金和耐蚀合金	66
16.1 高温合金	66
16.2 耐蚀合金	66
17 精密合金和高电阻电热合金	66
17.1 精密合金	66
17.2 高电阻电热合金	66
18 快淬金属	66
19 硬质合金	67
20 粉末冶金材料	67
<b>第2章 我国钢铁及合金牌号统一数字代号的表示方法</b>	<b>69</b>
1 概述	69
2 合金结构钢	69
3 轴承钢	70
4 铸铁、铸钢及铸造合金	70
5 电工用钢和纯铁	71
6 铁合金和生铁	71
7 高温合金和耐蚀合金	72
8 精密合金及其他特殊物理性能材料	72
9 低合金钢	72
10 杂类材料	73
11 粉末及粉末材料	73
12 快淬金属及合金	73
13 不锈、耐蚀和耐热钢	74
14 工具钢	74
15 非合金钢	74
16 焊接用钢和合金	75
<b>第3章 我国钢材规格的标记方法与钢材理论重量计算</b>	<b>76</b>
1 概述	76
2 型钢	76
2.1 型钢的品种与规格	76
2.2 型钢规格的标记方法	77
2.3 型钢的理论重量计算	78
3 钢板和钢带	79
3.1 钢板和钢带的品种与规格	79
3.2 钢板和钢带规格的表示方法	79
3.3 钢板和钢带的理论重量计算	80
4 钢管	80
4.1 钢管的品种与规格	80
4.2 钢管规格的标记方法	80
4.3 钢管的理论重量计算	81
5 线材和钢丝	81
5.1 线材的品种与规格	81
5.2 钢丝的品种与规格	82
5.3 线材和钢丝规格的标记方法	82
5.4 线材和钢丝的理论重量计算	82
6 钢材状态标记和涂色标记	83
6.1 钢材状态标记	83
6.2 钢材涂色标记	83
<b>第3篇 铁</b>	<b>85</b>
<b>第1章 概述</b>	<b>87</b>
<b>第2章 纯铁</b>	<b>89</b>
1 纯铁的组织转变	89
2 纯铁的磁性变化	90
3 纯铁的性质	90
4 纯铁的种类及应用	91
4.1 按生产方法分类	91
4.2 按用途分类	92
<b>第3章 生铁</b>	<b>100</b>
1 生铁的冶炼	100
1.1 高炉冶炼生铁	100
1.2 非高炉炼铁	100
2 生铁的种类	100
2.1 按化学成分分类	100
2.2 按用途分类	101
参考文献	104
<b>第4篇 铸铁与铸钢</b>	<b>105</b>
<b>第1章 铸铁</b>	<b>107</b>
1 灰铸铁	107
1.1 灰铸铁牌号	107
1.2 灰铸铁技术要求	107
1.3 灰铸铁适用范围	108
1.4 灰铸铁选用技术	110

2 球墨铸铁 .....	123	5.3 铸造热强钢及其选用 .....	208
2.1 球墨铸铁牌号 .....	123	6 铸造耐蚀钢和合金 .....	209
2.2 球墨铸铁技术要求 .....	123	6.1 一般用途铸造耐蚀钢及其选用 .....	209
2.3 球墨铸铁适用范围 .....	124	6.2 非标准型铸造耐蚀钢及其选用 .....	212
2.4 球墨铸铁选用技术 .....	128	6.3 铸造耐蚀合金及其选用 .....	217
3 蠕墨铸铁 .....	136	7 特殊用途铸钢 .....	217
3.1 蠕墨铸铁牌号 .....	136	7.1 低温用铸钢及其选用 .....	217
3.2 蠕墨铸铁技术要求 .....	137	7.2 铸造工具用铸钢及其选用 .....	218
3.3 蠕墨铸铁适用范围 .....	137	7.3 承压用铸钢及其选用 .....	218
3.4 蠕墨铸铁选用技术 .....	138	7.4 焊接结构用铸造碳素钢及其选用 .....	223
4 可锻铸铁 .....	142	7.5 熔模铸造用铸造碳钢及其选用 .....	224
4.1 可锻铸铁牌号 .....	142	8 专业常用铸钢 .....	225
4.2 可锻铸铁技术要求 .....	142	8.1 大型铸件常用铸钢及其选用 .....	225
4.3 可锻铸铁适用范围 .....	142	8.2 重型机械常用铸钢及其选用 .....	229
4.4 可锻铸铁选用技术 .....	144	8.3 水轮机常用铸钢及其选用 .....	230
5 抗磨铸铁 .....	146	8.4 汽轮机常用铸钢及其选用 .....	230
5.1 抗磨白口铸铁及其选用 .....	146	8.5 铁道机车车辆常用铸钢及其选用 .....	230
5.2 抗磨球墨铸铁及其选用 .....	152	8.6 冶金轧辊常用铸钢及其选用 .....	231
6 冷硬铸铁 .....	154	8.7 无磁与电工常用铸钢及其选用 .....	233
6.1 轧辊用冷硬铸铁及其选用 .....	154	参考文献 .....	237
6.2 一般用冷硬铸铁及其选用 .....	160	<b>第5篇 非合金钢</b> .....	239
7 耐热铸铁 .....	162	<b>第1章 概述</b> .....	241
7.1 耐热铸铁牌号 .....	162	1 非合金钢按其主要质量等级分类 .....	241
7.2 耐热铸铁技术要求 .....	162	1.1 普通质量非合金钢 .....	241
7.3 耐热铸铁适用范围 .....	163	1.2 优质非合金钢 .....	241
7.4 耐热铸铁选用技术 .....	165	1.3 特殊质量非合金钢 .....	241
8 耐蚀铸铁 .....	167	2 非合金钢按其性能或使用特性分类 .....	242
8.1 高硅耐蚀铸铁及其选用 .....	167	2.1 以规定最高强度为主要特征的非合金钢 .....	242
8.2 高镍耐蚀铸铁及其选用 .....	169	2.2 以规定最低强度为主要特征的非合金钢 .....	242
8.3 高铬耐蚀铸铁及其选用 .....	170	2.3 以限制碳含量为主要特征的非合金钢 .....	242
8.4 中、低合金耐蚀铸铁及其选用 .....	170	2.4 非合金易切削钢 .....	242
8.5 专用耐蚀铸铁及其选用 .....	171	2.5 非合金工具钢 .....	242
9 奥氏体铸铁 .....	172	2.6 具有专门规定磁性能或电性能的非合金钢 .....	242
9.1 奥氏体灰铸铁及其选用 .....	172	2.7 其他非合金钢 .....	242
9.2 奥氏体球墨铸铁及其选用 .....	174	<b>第2章 普通质量非合金结构钢</b> .....	243
<b>第2章 铸钢</b> .....	176	1 概述 .....	243
1 铸造碳钢 .....	176	1.1 分类及特性 .....	243
1.1 铸造碳钢牌号 .....	176	1.2 在国民经济中的作用 .....	243
1.2 铸造碳钢技术要求 .....	176	1.3 国内外现状 .....	243
1.3 铸造碳钢适用范围 .....	176	1.4 发展趋势和展望 .....	243
1.4 铸造碳钢选用技术 .....	176	2 合金元素在钢中的作用 .....	244
2 铸造中、低合金钢 .....	182	2.1 钢中的相 .....	244
2.1 一般工程与结构用低合金铸钢及其选用 .....	182	2.2 合金元素对钢组织性能的影响 .....	244
2.2 中、低合金高强度铸钢及其选用 .....	185	3 钢的成形与加工 .....	245
2.3 微量合金化铸钢及其选用 .....	195	3.1 钢的热加工 .....	245
3 铸造中、高强度不锈钢 .....	197	3.2 钢的冷加工 .....	245
3.1 工程结构用中、高强度铸造不锈钢及其选用 .....	197	4 钢的热处理与表面处理 .....	245
3.2 铸造沉淀硬化型不锈钢及其选用 .....	199	5 常用钢号化学成分、性能特点及用途 .....	246
4 铸造耐磨钢 .....	199	5.1 化学成分 .....	246
4.1 铸造耐磨锰钢及其选用 .....	199	5.2 力学性能 .....	246
4.2 铸造耐磨中铬钢及其选用 .....	201	5.3 物理性能 .....	246
4.3 铸造耐磨低合金钢及其选用 .....	201	5.4 工艺性能 .....	246
4.4 铸造耐磨碳钢及其选用 .....	205	6 钢号的选择原则、注意事项及选用举例 .....	248
4.5 铸造耐磨石墨钢及其选用 .....	205	6.1 钢号的选择原则 .....	248
5 铸造耐热钢和合金 .....	205	6.2 选用时注意事项 .....	248
5.1 一般用途铸造耐热钢和合金及其选用 .....	205	6.3 选用举例 .....	249
5.2 非标准型铸造耐热钢及其选用 .....	207	7 Q235A 冲击吸收功及 FATT .....	249



<b>第3章 优质非合金结构钢</b> .....	250	3.1 低合金高强度钢的性能要求 .....	302
1 概述 .....	250	3.2 低合金高强度钢的组织性能关系与 强化方式的选择 .....	303
1.1 分类及特性 .....	250	3.3 低合金高强度钢的合金化 .....	304
1.2 在国民经济中的作用 .....	251	4 低合金钢的分类 .....	306
1.3 国内外现状 .....	251	<b>第2章 焊接高强度钢</b> .....	308
1.4 发展趋势和展望 .....	251	1 概述 .....	308
2 合金元素在钢中的作用 .....	252	1.1 分类及其特性 .....	308
2.1 钢中的相 .....	252	1.2 焊接高强度钢的性能要求 .....	308
2.2 合金元素对钢组织性能的影响 .....	252	2 合金元素在钢中的作用 .....	311
3 钢的成形与加工 .....	252	2.1 钢中的相 .....	311
4 钢的热处理与表面处理 .....	252	2.2 合金元素的作用 .....	312
5 常用钢号化学成分、性能特点及用途 .....	252	3 焊接高强度钢品种、性能和特点 .....	312
5.1 化学成分 .....	252	3.1 钢炉和压力容器用低合金钢 .....	312
5.2 力学性能 .....	253	3.2 普通船舶用低合金钢 .....	314
5.3 特性及用途 .....	253	3.3 桥梁用低合金钢 .....	315
6 钢号的选择原则与注意事项 .....	279	3.4 海上采油平台用钢 .....	316
<b>第4章 碳素工具钢</b> .....	280	3.5 油气管线用低合金钢 .....	317
1 概述 .....	280	3.6 建筑用低合金钢 .....	319
1.1 分类及特性 .....	280	4 焊接高强度钢 .....	321
1.2 在国民经济中的作用 .....	281	4.1 一般结构用钢 .....	321
1.3 国内外现状 .....	281	4.2 桥梁用钢 .....	322
1.4 发展趋势和展望 .....	281	4.3 压力容器用钢 .....	323
2 合金元素在钢中作用 .....	281	4.4 锅炉用钢 .....	326
2.1 钢中的相 .....	281	4.5 造船和海上采油平台用钢 .....	328
2.2 合金元素对钢组织性能的影响 .....	281	4.6 工程机械用钢 .....	331
3 钢的成形与加工 .....	281	4.7 建筑用钢 .....	331
4 钢的热处理与表面处理 .....	281	4.8 油气输送管线用钢 .....	334
5 常用钢号化学成分、性能特点及用途 .....	281	4.9 车辆用钢 .....	337
6 钢号的选择原则、注意事项及选用举例 .....	284	<b>第3章 低合金冲压钢</b> .....	338
6.1 钢号的选择原则 .....	284	1 概述 .....	338
6.2 选用时注意事项 .....	284	2 板成形概念 .....	338
<b>第5章 焊接用非合金钢</b> .....	285	2.1 延展性参数 .....	338
1 分类及特性 .....	285	2.2 应变硬化指数 $n$ 值和塑性应变比 $r$ 值 .....	338
2 在国民经济中的作用 .....	285	2.3 综合成形参数 $F$ 值 .....	339
3 国内外现状 .....	285	2.4 由冲压模拟试验测定的成形参数 .....	339
4 发展趋势和展望 .....	285	3 低合金冲压用高强度钢的分类 .....	339
5 非合金结构钢的焊接 .....	286	4 合金元素在钢中的作用 .....	340
<b>第6章 专业用非合金钢</b> .....	287	4.1 钢中的相 .....	340
1 概述 .....	287	4.2 合金元素对钢的组织 and 性能的影响 .....	340
1.1 分类及特性 .....	287	5 生产工艺技术 .....	341
1.2 在国民经济中的作用 .....	287	5.1 热轧高强度钢生产工艺技术 .....	341
1.3 国内外现状 .....	287	5.2 冷轧高强度钢生产工艺技术 .....	342
1.4 发展趋势和展望 .....	288	6 典型钢种介绍 .....	343
2 造船用非合金钢 .....	288	6.1 热轧高强度钢 .....	343
3 锅炉和压力容器用非合金钢 .....	289	6.2 热轧双相钢板 .....	344
4 桥梁用非合金钢 .....	290	6.3 滚型车轮用钢 .....	344
5 铁路用非合金钢 .....	290	6.4 高强度 Al 镇静钢 (含 P 钢) .....	346
6 非合金钢建筑钢筋 .....	291	6.5 高强度 IF 钢 .....	346
<b>参考文献</b> .....	292	6.6 超低碳高强度 BH 钢 .....	346
<b>第6篇 低合金钢</b> .....	293	7 冷轧双相钢 .....	346
<b>第1章 概述</b> .....	295	<b>第4章 耐候钢</b> .....	347
1 低合金钢的定义 .....	295	1 耐候钢的成分设计 .....	347
2 低合金钢的标准 .....	297	1.1 耐候钢的耐候机制 .....	347
2.1 中国标准 .....	297	1.2 合金元素对耐候性的影响 .....	349
2.2 ISO 标准 .....	298	2 耐候钢的成分、组织与性能 .....	352
2.3 美国标准 .....	299	2.1 耐候钢的化学成分 .....	352
2.4 日本标准 .....	300	2.2 耐候钢的组织 .....	353
3 低合金高强度钢的强韧化与合金化原理 .....	302	2.3 耐候钢的性能 .....	354

3 耐候钢的应用 .....	356	6.1 热轧钢筋 .....	392
3.1 耐候钢的使用方式 .....	356	6.2 余热处理Ⅲ级钢筋 .....	393
3.2 耐候钢的应用领域 .....	356	6.3 预应力混凝土用热处理钢筋 .....	394
4 耐候钢开发的新方向 .....	356	6.4 预应力混凝土用钢丝、钢绞线 .....	394
4.1 开发新一代耐候钢 .....	356	6.5 低合金(中强)钢丝和冷拔低碳钢丝 .....	395
4.2 进一步对耐候钢的耐候机制进行研究 .....	357	6.6 冷轧带肋钢筋 .....	395
5 低合金耐海水腐蚀钢 .....	357	7 国内外实物质量的对比 .....	396
5.1 耐海水腐蚀钢的发展历史 .....	357	7.1 钢筋的化学成分与碳当量 .....	396
5.2 耐海水腐蚀钢的性能 .....	358	7.2 力学性能及工艺性能 .....	396
5.3 耐海水腐蚀钢的成分设计特点 .....	358	7.3 化学成分和力学、工艺性能数据分析 .....	397
5.4 耐海水腐蚀钢的生产 .....	359	7.4 尺寸公差和表面质量 .....	397
5.5 耐海水腐蚀钢的典型钢号 .....	359	<b>第7章 低合金钢轨钢</b> .....	398
<b>第5章 低合金耐磨钢</b> .....	361	1 概述 .....	398
1 概述 .....	361	1.1 钢轨分类及其特性 .....	398
1.1 材料耐磨性与低合金耐磨钢 .....	361	1.2 国内外现状及发展趋势和展望 .....	398
1.2 低合金耐磨钢的发展概况 .....	362	2 合金元素在钢轨钢中的作用 .....	399
1.3 低合金耐磨钢的分类及其特性 .....	363	3 钢轨钢的生产工艺特点 .....	400
1.4 低合金耐磨钢的发展趋势 .....	366	3.1 钢轨的生产 .....	400
2 低合金耐磨钢的合金成分设计 .....	367	3.2 钢轨的焊接 .....	400
2.1 合金元素对耐磨性能的影响 .....	367	4 钢轨的热处理 .....	400
2.2 不同类型低合金耐磨钢中合金元素的作用 .....	368	4.1 钢轨的热处理工艺 .....	401
3 低合金耐磨钢的生产 .....	369	4.2 钢轨钢热处理工艺的选择 .....	402
3.1 轧材直接使用的低合金耐磨钢的生产 .....	369	5 常用钢轨钢的化学成分、性能特点及用途 .....	402
3.2 轧材改锻使用的低合金耐磨钢的生产 .....	370	5.1 常用钢号及化学成分 .....	402
3.3 铸造低合金耐磨钢的生产 .....	370	5.2 低合金钢轨钢的性能要求 .....	403
4 低合金耐磨钢的常用钢号 .....	370	<b>第8章 微合金钢</b> .....	406
4.1 铁道用低合金耐磨钢 .....	370	1 概述 .....	406
4.2 农机具用低合金耐磨钢 .....	373	1.1 微合金钢的定义 .....	406
4.3 矿用低合金耐磨钢 .....	376	1.2 微合金钢的发展概况 .....	406
5 低合金耐磨钢钢号的选择原则及注意事项 .....	379	1.3 微合金钢的分类及其特性 .....	407
5.1 摩擦材料之间的匹配与工况条件的适应性 .....	380	1.4 微合金钢的性能要求 .....	407
5.2 低合金耐磨钢的系列化、标准化 .....	380	1.5 微合金钢在国内经济中的作用 .....	408
5.3 重视冶金质量对低中合金耐磨钢质量的影响 .....	380	1.6 微合金钢的发展趋势 .....	408
5.4 双金属复合材料及铸渗工艺的发展 .....	381	2 微合金化技术原理 .....	409
<b>第6章 低合金钢筋</b> .....	382	2.1 微合金元素在钢中的固溶量及微合金碳氮化物的体积分数的变化规律 .....	409
1 概述 .....	382	2.2 微合金碳氮化物的长大及其尺寸变化规律 .....	410
2 低合金钢筋的分类和性能要求 .....	382	2.3 微合金碳氮化物阻止高温奥氏体晶粒长大 .....	411
2.1 钢筋的分类 .....	382	2.4 微合金元素及微合金碳氮化物对铁基体再结晶行为的影响 .....	411
2.2 钢筋的基本性能要求 .....	382	2.5 微合金元素及微合金碳氮化物对铁基体 $\gamma \rightarrow \alpha$ 相变行为的影响 .....	412
3 低合金钢筋的合金化 .....	384	2.6 微合金碳氮化物的沉淀强化 .....	412
3.1 固溶强化钢筋(Si、Mn) .....	384	2.7 微合金元素与氧、硫、碳、氮元素的交互作用及固定作用 .....	412
3.2 微合金化钢筋 .....	384	2.8 微合金钢中主要合金元素的作用 .....	413
3.3 余热处理钢筋 .....	386	3 微合金钢的生产与加工 .....	414
3.4 预应力钢筋 .....	386	3.1 微合金钢的冶炼 .....	414
4 钢筋的生产工艺 .....	386	3.2 微合金钢的连铸 .....	415
4.1 钢筋的热轧 .....	386	3.3 微合金钢的再结晶控制轧制(RCR) .....	416
4.2 钢筋的调质热处理 .....	387	3.4 微合金钢的未再结晶控制轧制(CCR) .....	417
4.3 钢筋的轧后余热处理 .....	387	3.5 微合金钢的形变诱导铁素体相变(DIFT) .....	418
4.4 钢筋的冷加工 .....	388	3.6 微合金钢的双相区控制轧制和铁素体区控制轧制 .....	419
5 我国低合金钢筋品种和质量的发展 .....	388	3.7 微合金钢的控制冷却 .....	419
5.1 钢筋强度等级系列 .....	388	4 微合金钢的常用钢号 .....	420
5.2 钢筋牌号和品种 .....	389	5 微合金钢号的选择原则、注意事项及	
5.3 钢筋外形的改进 .....	390		
5.4 钢筋品种和性能的新进展 .....	390		
5.5 我国现行标准的钢筋质量水平 .....	391		
6 我国低合金钢筋的性能和应用 .....	392		

选用实例 .....	420	1 无碳化物贝氏体/马氏体复相钢的特性 .....	464
5.1 建筑用微合金钢 .....	420	1.1 无碳化物贝氏体/马氏体钢强韧性 .....	464
5.2 桥梁用微合金钢 .....	422	1.2 无碳化物贝氏体/马氏体复相钢延迟断裂性能的影响 .....	465
5.3 油气管线用微合金钢 .....	423	1.3 无碳化物贝氏体/马氏体复相钢的疲劳特性 .....	466
5.4 汽车用微合金钢 .....	425	2 无碳化物贝氏体/马氏体复相钢性能改善的机理 .....	466
5.5 低温用微合金钢 .....	426	2.1 无碳化物贝氏体/马氏体复相钢强化机理 .....	466
5.6 普通船舶用微合金钢 .....	427	2.2 无碳化物贝氏体/马氏体复相钢延迟断裂机理 .....	468
参考文献 .....	429	3 无碳化物贝氏体/马氏体复相钢的合金设计及其组织结构 .....	469
<b>第7篇 超细晶钢</b> .....	431	4 无碳化物贝氏体/马氏体复相钢的应用前景 .....	471
<b>第1章 概述</b> .....	433	<b>第5章 耐延迟断裂高强度马氏体钢</b> .....	472
1 经济建设和社会发展需要新一代钢铁材料 .....	433	1 高强度马氏体钢的延迟断裂 .....	472
1.1 构件的轻量化 .....	433	1.1 延迟断裂的概念和特征 .....	472
1.2 发达国家的基础设施更新 .....	433	1.2 氢与高强度钢的延迟断裂行为 .....	473
1.3 我国的经济建设需要大量高性能钢材 .....	433	2 新型耐延迟断裂高强度钢的性能特征 .....	473
2 新一代钢铁材料的主要特征 .....	433	2.1 钢种设计思路及其实验验证 .....	473
3 组织细化理论和控制技术的新进展 .....	434	2.2 微观组织和力学性能特征 .....	477
3.1 超细晶铁素体/珠光体钢 .....	434	2.3 延迟断裂行为 .....	481
3.2 超细组织低(超低)碳贝氏体钢 .....	434	3 工业应用及其前景 .....	481
3.3 无碳化物贝氏体/马氏体复相钢 .....	435	参考文献 .....	483
3.4 耐延迟断裂高强度马氏体钢 .....	435	<b>第8篇 镍基和铁镍基耐蚀合金</b> .....	485
3.5 超细晶钢的选用 .....	435	<b>第1章 概述</b> .....	487
<b>第2章 铁素体/珠光体钢</b> .....	436	1 定义和分类 .....	487
1 形变诱导(强化)铁素体相变(DIFT、DEFT)和铁素体动态再结晶 .....	436	2 主要合金元素的作用 .....	487
1.1 形变诱导(强化)铁素体相变的热力学 .....	436	2.1 铬 .....	487
1.2 形变诱导(强化)铁素体相变的证实 .....	437	2.2 铜 .....	487
1.3 形变诱导(强化)铁素体相变的动力学 .....	437	2.3 钨 .....	487
1.4 化学成分对形变诱导(强化)铁素体相变的影响 .....	438	2.4 铜 .....	487
1.5 低碳碳素钢产生 DIFT 的必要条件 .....	439	2.5 铁 .....	487
1.6 铁素体的动态再结晶 .....	439	2.6 硅 .....	487
1.7 形变诱导(强化)铁素体相变的特征 .....	439	2.7 铌、钼 .....	487
2 热轧流程的超细晶综合控制理论与技术 .....	440	2.8 钛 .....	487
3 工业生产及产品性能 .....	440	2.9 铝 .....	487
3.1 薄板 .....	440	2.10 氮 .....	487
3.2 长型材 .....	441	3 镍基和铁镍基耐蚀合金的发展 .....	488
3.3 中厚板 .....	442	4 耐蚀合金中的碳化物 .....	489
3.4 超细晶耐大气腐蚀钢板 .....	443	4.1 $\text{Ni}_3\text{C}$ .....	489
<b>第3章 超细组织低(超低)碳贝氏体钢</b> .....	444	4.2 MC .....	489
1 概述 .....	444	4.3 $\text{Cr}_7\text{C}_3$ .....	489
1.1 研制低(超低)碳贝氏体型新钢类的意义 .....	444	4.4 $\text{M}_{23}\text{C}_6$ .....	490
1.2 低(超低)碳贝氏体钢的强化机制 .....	445	4.5 $\text{M}_6\text{C}$ .....	490
1.3 低(超低)碳贝氏体钢的组织类型及形貌 .....	445	4.6 $\text{Mo}_{12}\text{C}$ 和 $\text{Mo}_2\text{C}$ .....	490
1.4 钢种基本特征 .....	445	5 耐蚀合金中的金属间相 .....	491
2 新型超细组织低(超低)碳贝氏体钢 .....	449	5.1 $\sigma$ 相 .....	491
2.1 新的组织超细化技术思路及细化效果 .....	449	5.2 Laves 相( $\eta$ 相) .....	491
2.2 中温组织超细化的原理分析 .....	453	5.3 $\mu$ 相 .....	491
2.3 超细化板条束的变形行为 .....	456	5.4 $\gamma'$ 相 .....	491
3 新型超细组织低(超低)碳贝氏体钢的性能特征及用途 .....	458	5.5 $\text{Ni}_4\text{Mo}$ .....	492
3.1 590 MPa 级低(超低)碳贝氏体钢 .....	458	<b>第2章 纯镍</b> .....	493
3.2 685 MPa 级低(超低)碳贝氏体钢 .....	459	1 镍碳二元相图 .....	493
3.3 785 MPa 级 DB785 及 HQ785DB 钢 .....	460	2 热加工纯镍的性能 .....	493
3.4 800 MPa 级原型钢的试生产及使用情况 .....	461	2.1 Ni200 和 Ni201 的化学成分 .....	493
3.5 新一代钢的焊接性能 .....	462		
<b>第4章 无碳化物贝氏体/马氏体复相钢</b> .....	464		

2.2 室温力学性能 .....	493	3.4 00Cr22Ni60Mo13W3 (Hastelloy C-22) .....	583
2.3 低温性能 .....	493	3.5 00Cr21Ni58Mo16W4 (Inconel 686) .....	587
2.4 高温力学性能 .....	495	3.6 00Cr23Ni59Mo16 (Microfer 5923hMo-Alloy 59) .....	589
2.5 Ni200 和 Ni201 的耐蚀性 .....	496	3.7 00Cr23Ni59Mo16Cu2 (Hastelloy C-2000) .....	592
2.6 热加工、冷成形、热处理和焊接性能 .....	499	3.8 1Cr22Ni60Mo9Nb4 (Inconel 625) .....	593
2.7 Ni200 和 Ni201 的物理性能 .....	499	3.9 00Cr16Ni76Mo2Ti .....	596
3 应用 .....	500	<b>第 8 章 镍铬钼铜耐蚀合金</b> .....	600
<b>第 3 章 杜拉镍 301</b> .....	501	1 铜对镍铬钼合金耐蚀性的影响 .....	600
1 杜拉镍 301 的化学成分 .....	501	2 常用几种镍铬钼铜耐蚀合金的组织、性能和应用 .....	600
2 杜拉镍 301 的性能 .....	501	2.1 几种合金的化学成分和组织结构 .....	600
2.1 室温力学性能 .....	501	2.2 力学性能 .....	600
2.2 高温力学性能 .....	503	2.3 在各种介质中的耐蚀性 .....	601
2.3 耐蚀性 .....	503	2.4 热加工、冷加工、热处理和焊接 .....	604
2.4 热加工、冷成形、热处理和焊接性能 .....	503	2.5 应用 .....	604
2.5 物理性能 .....	503	<b>第 9 章 铁镍基耐蚀合金</b> .....	605
3 应用 .....	504	1 镍铁铬耐蚀合金 .....	605
<b>第 4 章 镍铜耐蚀合金</b> .....	505	1.1 铬对 Fe-Ni 合金耐蚀性的影响 .....	605
1 铜对镍耐蚀性的影响 .....	505	1.2 常用 Ni-Fe-Cr 耐蚀合金成分、组织、性能和应用 .....	607
1.1 铜对镍电化学行为的影响 .....	505	2 镍-铁-钼合金 .....	614
1.2 铜对镍耐蚀性的影响 .....	506	2.1 钼对镍-铁-钼合金耐蚀性的影响 .....	614
2 常用镍铜耐蚀合金的组织、性能和应用 .....	507	2.2 常用镍-铁-钼-钨耐蚀合金的组织性能和应用 .....	615
2.1 Ni68Cu28Fe (Monel 400) .....	507	3 镍-铁-钼-铜耐蚀合金 .....	617
2.2 Ni68Cu28Al (Monelk-500) .....	519	3.1 铜对 Ni-Fe-Cr-Mo 合金耐蚀性的影响 .....	618
<b>第 5 章 镍铬耐蚀合金</b> .....	524	3.2 铬对镍-铁-钼-铜合金耐蚀性的影响 .....	618
1 铬对镍耐蚀性的影响 .....	525	3.3 常用 Ni-Fe-Cr-Mo-Cu 耐蚀合金的组织、性能和应用 .....	619
1.1 铬对镍电化学行为的影响 .....	525	<b>参考文献</b> .....	648
1.2 铬对镍在氧化性酸介质中耐蚀性的影响 .....	525	<b>第 9 篇 电热合金</b> .....	649
1.3 铬对镍在强氧化性硝酸中耐蚀性的影响 .....	525	<b>第 1 章 概述</b> .....	651
1.4 铬对镍在高温气体中耐蚀性的影响 .....	526	1 对高电阻电热合金的要求、分类及其特点 .....	651
2 常用镍铬耐蚀合金的组织、性能和应用 .....	527	1.1 对高电阻电热合金的要求 .....	651
2.1 0Cr15Ni75Fe (Inconel 600) ——NS312 .....	527	1.2 高电阻电热合金的分类 .....	651
2.2 0Cr23Ni63Fe14Al (Inconel 601) ——NS313 .....	537	1.3 高电阻电热合金的特点 .....	651
2.3 0Cr20Ni65Ti3AlNb .....	541	2 在国民经济中的作用 .....	652
2.4 0Cr30Ni60Fe10 (Inconel 690) .....	543	2.1 电热元件 .....	652
2.5 0Cr35Ni65Al (Corronel 230) ——NS-314 .....	547	2.2 高、中温电阻元件 .....	652
2.6 0Cr50Ni50 (In-657、In-589、Inconel 671) .....	548	2.3 应力测量元件 .....	652
<b>第 6 章 镍钼耐蚀合金</b> .....	552	2.4 特种构件 .....	652
1 Ni-Mo 二元相图和中间相 .....	552	3 国内外现状 .....	652
2 钼和铁、铬对 Ni-Mo 合金的影响 .....	552	4 发展趋势和展望 .....	653
2.1 钼对镍性能的影响 .....	552	<b>第 2 章 镍基电热合金</b> .....	654
2.2 铁、铬对 Ni-Mo 合金性能的影响 .....	552	1 镍铬合金的相 .....	654
3 常用镍铜耐蚀合金的组织、性能和应用 .....	555	1.1 合金状态图 (相图) .....	654
3.1 0Mo28Ni65Fe (Hastelloy B) - NS321 .....	556	1.2 镍铬合金相图 .....	654
3.2 00Mo28Ni69Fe2 (Hastelloy B-2) - NS322 .....	562	2 合金元素在镍基电热合金钢中的作用 .....	654
3.3 00Mo29Ni65FeCr (Hastelloy B-3) .....	565	2.1 常用物理、化学数据 .....	654
<b>第 7 章 镍铬钼耐蚀合金</b> .....	567	2.2 合金元素与 $\gamma$ 相区的关系 .....	654
1 Ni-Cr-Mo 三元相图和相 .....	567	2.3 合金元素在镍基电热合金中的作用 .....	656
2 Ni-Cr-Mo 耐蚀合金中的合金元素及其作用 .....	567	2.4 镍铬合金的抗拉强度 .....	657
2.1 Cr, Mo 的作用 .....	567	2.5 镍基电热合金的抗氧化性能 .....	657
2.2 Fe 对 Ni-16Cr-16Mo-4W 合金耐蚀性的影响 .....	569	2.6 镍基合金的电阻特性 .....	659
2.3 Cu 对 00Cr16Ni60Mo16 合金耐蚀性的影响 .....	569	2.7 其他元素的影响 .....	660
3 镍铬钼耐蚀合金的组织、性能和应用 .....	570	<b>第 3 章 镍基电热合金的成形与加工</b> .....	661
3.1 0Cr16Ni60Mo16W4 (Hastelloy C) .....	572	1 镍基合金的热加工 .....	661
3.2 00Cr16Ni60Mo16W4 (Hastelloy C-276) .....	577	1.1 镍基合金坯料的外观质量 .....	661
3.3 00Cr16Ni65Mo16Ti (Hastelloy C-4) .....	580		

1.2 影响镍基合金加工的内在因素 .....	661	1.3 高温合金的应用 .....	692
1.3 Ni-Cr 合金的加热制度 .....	661	2 高温合金的分类和牌号 .....	693
1.4 Ni-Cr 合金的热加工 .....	662	2.1 分类 .....	693
2 Ni-Cr 合金的冷加工 .....	663	2.2 牌号表示方法 .....	693
2.1 拔丝冷加工工艺 .....	663	2.3 高温合金和金属间化合物高温材料牌号的命名和使用 .....	693
2.2 碱浸 .....	664	2.4 常用高温合金和金属间化合物高温材料牌号及其化学成分 .....	694
2.3 酸洗 .....	664	<b>第 2 章 变形高温合金</b> .....	705
2.4 白化 (钝化) .....	664	1 概述 .....	705
2.5 涂层 .....	664	1.1 用途 .....	705
2.6 润滑剂 .....	664	1.2 变形高温合金的分类、牌号和强化机理 .....	705
2.7 镍基电热合金钢丝的拉拔 .....	664	1.3 变形高温合金的生产企业与生产流程及所用设备 .....	707
<b>第 4 章 Fe-Cr-Al 铁基电热合金</b> .....	665	1.4 变形高温合金的冶金缺陷 .....	710
1 铁铬铝合金的相 .....	665	2 盘类锻件用变形高温合金 .....	711
1.1 铁铬铝合金相图 .....	665	2.1 盘类锻件用变形高温合金的特殊要求 .....	711
1.2 合金元素的影响 .....	665	2.2 盘类锻件用变形高温合金的成分、性能与热处理工艺 .....	712
1.3 Fe-Cr-Al 的相图 .....	665	2.3 盘类零件的主要故障类型 .....	717
1.4 铁铬单边空间平衡图 .....	665	2.4 模锻和制造盘类零件的技术关键 .....	717
1.5 Fe-Cr-Al 三元合金组织结构的变化 .....	666	3 叶片用变形高温合金 .....	718
2 合金元素的作用 .....	667	3.1 叶片用变形高温合金的成分与特点 .....	718
2.1 Fe .....	667	3.2 叶片用变形高温合金的力学性能 .....	719
2.2 Cr .....	667	3.3 叶片的生产与应用 .....	719
2.3 Al .....	667	3.4 叶片的生产与应用中的质量问题与故障 .....	722
2.4 其他合金元素的作用 .....	667	4 环形件用变形高温合金 .....	722
3 Fe-Cr-Al 合金的性能 .....	668	4.1 环形件用变形高温合金的成分和特点 .....	722
3.1 Fe-Cr-Al 合金抗氧化性能 .....	668	4.2 变形高温合金环形锻件的生产过程 .....	723
3.2 稀土对 Fe-Cr-Al 电热合金寿命的影响 .....	668	4.3 变形高温合金环形锻件的力学性能 .....	724
3.3 良好的高温应变材料性能 .....	670	4.4 环形件的典型故障 .....	724
3.4 铁铬铝合金的力学性能 .....	671	5 轴类零件用变形高温合金 .....	725
<b>第 5 章 Fe-Cr-Al 电热合金成形与加工</b> .....	674	5.1 轴类零件用变形高温合金 .....	725
1 Fe-Cr-Al 合金的成形 .....	674	5.2 轴类零件的生产特点 .....	725
1.1 Fe-Cr-Al 合金的 4 种成形路线 .....	674	5.3 轴类零件用坯料性能 .....	726
1.2 Fe-Cr-Al 合金钢的坯料 .....	674	5.4 轴类零件的质量分析 .....	726
2 Fe-Cr-Al 合金的热加工 .....	675	6 紧固件用变形高温合金 .....	726
2.1 Fe-Cr-Al 合金钢锭的锻造开坯 .....	675	6.1 紧固件的应用与制造特点 .....	726
2.2 Fe-Cr-Al 合金盘条的热轧加工 .....	676	6.2 紧固件用变形高温合金 .....	727
3 Fe-Cr-Al 合金丝的冷加工 .....	677	6.3 紧固件的质量分析 .....	729
3.1 Fe-Cr-Al 合金粗丝拔丝加工 .....	677	7 板、带材用变形高温合金 .....	729
3.2 Fe-Cr-Al 合金盘条和丝材的拔制 .....	678	7.1 板、带类变形高温合金的牌号、分类和使用温度 .....	729
<b>第 6 章 电热合金常用牌号化学成分、性能及选用</b> .....	681	7.2 铁基板材合金 .....	730
1 常用牌号化学成分和性能 .....	681	7.3 镍基板材合金 .....	732
2 选用原则 .....	681	7.4 钴基固溶型板、带材变形高温合金 .....	737
3 选材应注意的几个问题 .....	682	8 管材用变形高温合金 .....	738
3.1 最高允许使用温度 .....	682	9 变形高温合金丝材 .....	738
3.2 电阻温度系数对炉温的影响 .....	682	<b>第 3 章 铸造高温合金</b> .....	739
3.3 炉丝表面负荷的选择 .....	682	1 概述 .....	739
3.4 Fe-Cr-Al 丝还是 Ni-Cr 丝的选择 .....	682	2 铁基 (铁-镍基) 普通铸造高温合金 .....	740
3.5 影响电热合金丝耐腐蚀性能的因素 .....	683	3 镍基普通铸造高温合金 .....	741
4 选用 .....	683	4 钴基普通铸造高温合金 .....	744
4.1 选用电功率 .....	683	5 高铬镍基和铬基普通铸造高温合金 .....	746
4.2 元件的表面负荷 .....	684	6 细晶铸造高温合金 .....	747
4.3 电热合金元件线径的确定 .....	685	7 低碳高硼铸造高温合金 .....	750
<b>参考文献</b> .....	688	8 含铅铸造高温合金 .....	751
<b>第 10 篇 高温合金</b> .....	689	9 低偏析铸造高温合金 .....	752
<b>第 1 章 概述</b> .....	691	9.1 低偏析镍基普通铸造高温合金 .....	753
1 高温合金的重要特征和用途 .....	691		
1.1 高温合金主要的金属特征 .....	691		
1.2 合金元素的强化效应 .....	691		

9.2 低偏析定向凝固高温合金 .....	753	4.2 FeAl 基合金 .....	834
10 耐热腐蚀铸造高温合金 .....	754	4.3 Fe <sub>3</sub> Al 基和 FeAl 基合金的制备和加工特点 .....	834
11 定向凝固高温合金 .....	756	5 其他系金属间化合物基合金简介 .....	834
12 单晶高温合金 .....	759	5.1 MoSi <sub>2</sub> 金属间化合物合金 .....	834
13 定向凝固共晶高温合金 .....	762	5.2 Mo <sub>5</sub> Si <sub>3</sub> 金属间化合物合金 .....	835
14 铸造高温合金母合金质量控制和返回料使用 .....	764	5.3 Nb <sub>3</sub> Al 金属间化合物合金 .....	835
14.1 母合金化学成分的控制 .....	764	5.4 Laves 相金属间化合物基合金 .....	835
14.2 母合金洁净度的控制 .....	764	<b>第 6 章 发散冷却高温结构材料</b> .....	836
14.3 母合金锭表面质量和断面质量 .....	765	1 发散冷却高温结构材料的研究背景 .....	836
14.4 母合金锭的力学性能 .....	765	2 发散冷却与发散冷却材料 .....	836
14.5 铸造高温合金返回料的利用 .....	765	3 丝网多孔发散冷却材料 .....	836
15 高温合金精密铸件冶金质量控制 .....	766	4 丝网多孔发散冷却材料的基本性能 .....	837
16 高温合金及其精密铸件的热处理 .....	769	5 丝网多孔发散冷却材料的应用 .....	837
16.1 均匀化固溶处理 .....	769	<b>第 7 章 民用高温合金</b> .....	838
16.2 稳定化处理 .....	770	1 概述 .....	838
16.3 时效热处理 .....	770	2 不同工业环境下所使用民用高温合金的特点 .....	838
16.4 消除应力热处理 .....	770	2.1 高温氧化环境 .....	838
17 高温合金精密铸件的热等静压 .....	771	2.2 其他腐蚀环境 .....	839
18 铸造高温合金的氧化、腐蚀和涂层防护 .....	773	3 高温合金在民用工业中的应用领域 .....	840
18.1 铸造高温合金的氧化 .....	773	<b>参考文献</b> .....	842
18.2 铸造高温合金的热腐蚀 .....	774	<b>第 11 篇 金属功能材料</b> .....	843
18.3 铸造高温合金的涂层防护 .....	775	<b>第 1 章 概述</b> .....	845
19 铸造高温合金的焊接 .....	776	1 金属功能材料的分类 .....	845
20 铸造高温合金在民用工业的应用 .....	778	2 金属功能材料的主要特点 .....	845
20.1 柴油机和内燃机用增压涡轮 .....	778	3 作用和地位 .....	845
20.2 烟气轮机叶片 .....	778	4 我国金属功能材料发展简况 .....	846
20.3 内燃机阀座 .....	779	5 磁学基础 .....	846
20.4 冶金加热炉垫块 .....	779	5.1 物质的磁性 .....	846
20.5 离心喷吹玻璃棉用离心头 .....	779	5.2 磁效应 .....	847
20.6 钴铬钼合金人工关节 .....	779	5.3 磁性参量的定义和单位 .....	849
21 铸造高温合金的牌号对照、使用标准和主要用途 .....	780	5.4 在交变磁场中的磁化 .....	851
22 铸造高温合金的物理力学性能 .....	781	<b>第 2 章 软磁合金</b> .....	853
22.1 铸造高温合金的物理性能 .....	781	1 铁镍系合金 .....	853
22.2 铸造高温合金的蠕变性能 .....	782	1.1 概述 .....	853
22.3 铸造高温合金的高周疲劳强度极限 .....	783	1.2 高起始磁导率 ( $\mu_i$ ) 合金 .....	854
<b>第 4 章 粉末高温合金和氧化物弥散强化 (ODS) 高温合金</b> .....	785	1.3 磁记录技术用高磁导率合金 .....	856
1 粉末高温合金 .....	785	1.4 高频用低损耗高磁导率合金 .....	858
1.1 粉末高温合金的发展概况 .....	785	1.5 矩形回线合金 .....	859
1.2 粉末高温合金的制造工艺 .....	786	1.6 高 $\Delta B$ 和恒磁导率合金 .....	860
1.3 粉末高温合金的质量控制 .....	788	1.7 具有较高 $B_s$ 的高磁导率 Ni-Fe 合金 .....	861
1.4 几种镍基粉末高温合金的化学成分 .....	788	1.8 热磁补偿合金 .....	864
1.5 几种粉末高温合金的物理性能及特征 .....	789	2 铁铝合金 .....	864
1.6 技术标准规定的力学性能 .....	789	2.1 概述 .....	864
1.7 几种粉末高温合金的组织结构 .....	790	2.2 相图和结构 .....	864
2 氧化物弥散强化 (ODS) 高温合金 .....	791	2.3 基本性能 .....	865
2.1 概述 .....	791	2.4 常用 FeAl 合金 .....	865
2.2 常用牌号与组织性能 .....	791	3 铁硅铝系合金 .....	867
2.3 合理选用 .....	794	4 铁钴系合金 .....	868
<b>第 5 章 金属间化合物高温结构材料</b> .....	799	5 铁铬系合金 .....	870
1 概述 .....	799	<b>第 3 章 电工钢</b> .....	872
2 Ti-Al 系金属间化合物合金 .....	799	1 电工纯铁和低碳电工钢 .....	872
2.1 Ti <sub>3</sub> Al 基和 Ti <sub>2</sub> AlNb 基合金 .....	800	2 铁硅系合金 (硅钢) .....	874
2.2 $\gamma$ -TiAl 基合金 .....	813	2.1 硅钢的基本特点和分类 .....	874
3 Ni-Al 系金属间化合物基合金 .....	824	2.2 相图和物理性能 .....	874
3.1 Ni <sub>3</sub> Al 基合金 .....	825	2.3 无取向硅钢 .....	875
3.2 NiAl 合金 .....	831	2.4 冷轧取向硅钢 .....	877
4 Fe-Al 系金属间化合物基合金 .....	833		
4.1 Fe <sub>3</sub> Al 基合金 .....	833		

2.5 取向薄硅钢 .....	879	3 热双金属的制造 .....	935
<b>第4章 金属永磁材料</b> .....	882	3.1 熔合法 .....	935
1 概述 .....	882	3.2 爆炸结合法 .....	935
1.1 永磁材料的基本物理参量 .....	882	3.3 热轧结合法 .....	935
1.2 永磁材料的分类 .....	882	3.4 固相结合——冷轧结合法 .....	935
2 铝镍钴永磁材料 .....	883	4 热双金属材料 .....	935
3 可加工永磁材料 .....	885	4.1 牌号的演变 .....	935
3.1 铁铬钴永磁材料 .....	886	4.2 热双金属牌号分类及特征 .....	935
3.2 Mn-Al-C 永磁材料 .....	887	4.3 热双金属的性能 .....	935
3.3 铂钴合金 .....	887	4.4 热双金属国内外牌号的对照 .....	937
3.4 半硬磁材料 .....	888	4.5 热双金属的应用 .....	938
4 稀土永磁材料 .....	890	4.6 热双金属使用注意事项 .....	938
4.1 与稀土永磁有关的合金 .....	890	4.7 热双金属的稳定性处理 .....	938
4.2 烧结稀土永磁材料 .....	894	4.8 热双金属元件设计 .....	938
4.3 黏结稀土永磁材料 .....	903	<b>第8章 电性合金</b> .....	941
5 几种新型的稀土永磁材料 .....	905	1 电阻合金 .....	941
5.1 双相纳米晶复合永磁材料 .....	905	1.1 精密电阻合金 .....	941
5.2 2:17型氮化物稀土永磁材料 .....	905	1.2 应变电阻合金 .....	944
5.3 1:12型氮化物稀土永磁材料 .....	905	1.3 热敏电阻合金 .....	945
<b>第5章 弹性合金</b> .....	907	2 电热合金 .....	945
1 概述 .....	907	2.1 Ni-Cr 系电热合金 .....	945
2 高弹性合金 .....	910	2.2 Fe-Cr-Al 系电热合金 .....	946
2.1 铜基高弹性合金 .....	910	2.3 纯金属电热材料 .....	946
2.2 铁基高弹性合金 .....	911	2.4 不同介质气氛中电热合金的选择 .....	947
2.3 铁镍基高弹性合金 .....	913	3 热电偶合金 .....	947
2.4 镍基高弹性合金 .....	915	3.1 标准化热电偶品种 .....	948
2.5 钴基高弹性合金 .....	916	3.2 热电偶补偿导线 .....	950
2.6 铌基高弹性合金 .....	917	4 电触头材料 .....	951
2.7 新型高弹性材料 .....	918	4.1 弱电触头材料 .....	951
3 恒弹性合金 .....	918	4.2 强电触头材料 .....	954
3.1 概述 .....	918	<b>第9章 形状记忆合金</b> .....	956
3.2 Fe-Ni 系恒弹性合金 .....	919	1 概述 .....	956
3.3 Co-Fe 系恒弹性合金 .....	921	2 形状记忆效应的产生 .....	956
3.4 非铁磁性恒弹性合金 .....	921	3 形状记忆合金的用途 .....	957
3.5 高温恒弹性合金 .....	923	3.1 形状的回复 .....	957
3.6 其他恒弹性合金 .....	923	3.2 执行机构 .....	957
<b>第6章 膨胀合金</b> .....	924	3.3 合金的超弹性 .....	957
1 概述 .....	924	4 形状记忆合金的分类 .....	958
1.1 金属与合金的热膨胀特性 .....	924	5 形状记忆效应的产生机理 .....	958
1.2 膨胀合金的分类 .....	927	5.1 热弹性马氏体相变 .....	958
1.3 膨胀合金表示法 .....	927	5.2 应力诱发马氏体相变 .....	959
2 低膨胀合金 .....	927	6 几种主要的形状记忆合金 .....	959
2.1 Fe-Ni <sub>36</sub> 低膨胀合金 .....	927	6.1 Ni-Ti 合金 .....	959
2.2 Fe-Ni-Co 型低膨胀合金 .....	928	6.2 铜基合金 .....	960
2.3 其他低膨胀合金 .....	929	6.3 铁基合金 .....	960
2.4 因瓦和超因瓦合金的稳定化处理 .....	929	7 磁性形状记忆合金 .....	960
3 定膨胀合金 .....	929	7.1 磁性形状记忆合金的特点 .....	960
3.1 定膨胀合金的特点 .....	929	7.2 Ni <sub>2</sub> MnGa 磁性形状记忆合金的特点 .....	961
3.2 各类定膨胀合金 .....	929	7.3 磁性形状记忆效应的产生机制 .....	961
4 电子元器件用复合材料 .....	933	8 形状记忆合金的发展方向 .....	962
4.1 电子元器件复合材料的特点 .....	933	<b>第10章 非晶态合金</b> .....	963
4.2 复合材料主要性能计算 .....	933	1 概述 .....	963
4.3 复合膨胀材料 .....	933	1.1 定义与基本特征 .....	963
<b>第7章 热双金属</b> .....	934	1.2 材料和工艺的两大突破 .....	963
1 概述 .....	934	1.3 特殊的结构和优异特性 .....	963
2 热双金属的组元合金 .....	934	1.4 分类和应用 .....	965
2.1 被动层合金 .....	934	2 非晶态软磁合金 .....	965
2.2 主动层合金 .....	934	2.1 非晶态合金的结构及其形成 .....	965
2.3 组元合金的性能 .....	934	2.2 非晶态软磁合金的成分、分类及特点 .....	966

2.3 铁基非晶态软磁合金及其应用 .....	969	1.1 焊条的分类 .....	1011
2.4 铁镍基非晶态软磁合金及应用 .....	975	1.2 焊条的牌号编制 .....	1011
2.5 钴基非晶态合金及应用 .....	975	2 结构钢焊条 .....	1014
3 非晶态钎焊料 .....	980	2.1 焊条的成分和性能 .....	1014
3.1 概述 .....	980	2.2 焊条的选择和使用 .....	1014
3.2 非晶态钎焊料的分类 .....	980	2.3 焊条与钢种的配套 .....	1018
4 微晶合金 .....	982	3 铬钼耐热钢焊条和低温钢焊条 .....	1019
4.1 快淬 FeSiAl 系合金 .....	982	3.1 铬钼耐热钢焊条 .....	1019
4.2 快淬 Si-Fe 合金 .....	983	3.2 低温钢焊条 .....	1020
4.3 熔抽钢纤维 .....	984	4 不锈钢焊条 .....	1021
<b>第 11 章 纳米晶合金</b> .....	985	4.1 不锈钢焊条的成分和用途 .....	1021
1 纳米晶软磁合金 .....	985	4.2 不锈钢焊条的选择和使用 .....	1021
1.1 纳米晶结构及其形成 .....	985	4.3 不锈钢焊条与钢种的配套 .....	1024
1.2 软磁性起源 .....	985	5 堆焊焊条 .....	1024
1.3 FeCuMSiB 系 Finemet 型合金 .....	986	5.1 堆焊焊条的成分和性能 .....	1024
1.4 FeMM'B 系 Nanoperm 型合金 .....	991	5.2 堆焊焊条的选择和使用 .....	1026
1.5 非晶、纳米晶软磁合金的供货方式及铁芯 系列应用简介 .....	994	6 铸铁焊条和镍基合金焊条 .....	1027
2 特种非晶微晶合金 .....	997	6.1 铸铁焊条 .....	1027
2.1 非晶态薄膜 .....	997	6.2 镍基合金焊条 .....	1028
2.2 非晶微晶粉末 .....	997	<b>第 3 章 焊丝和焊带</b> .....	1029
2.3 非晶态丝材 .....	997	1 焊丝的分类和牌号、型号编制 .....	1029
<b>第 12 章 减振合金</b> .....	998	1.1 焊丝的分类 .....	1029
1 复相型 .....	998	1.2 焊丝的牌号编制 .....	1029
2 位错型 .....	998	1.3 焊丝的型号编制 .....	1030
3 孪晶型 .....	998	2 碳钢和低合金钢焊丝 .....	1031
4 铁磁性减振合金 .....	998	2.1 埋弧焊用焊丝 .....	1031
4.1 铁基铁磁性型减振合金 .....	999	2.2 气体保护焊用焊丝 .....	1032
4.2 钴镍基铁磁性减振合金 .....	999	3 不锈钢焊丝 .....	1037
<b>第 13 章 储氢合金</b> .....	1000	3.1 焊丝的成分和性能 .....	1037
1 概述 .....	1000	3.2 焊丝的选择和使用 .....	1039
1.1 储氢合金 .....	1000	3.3 焊丝与钢种的配套 .....	1039
1.2 储氢合金的化学和热力学原理 .....	1000	4 堆焊用焊丝和焊带 .....	1040
1.3 储氢合金的吸氢动力学 .....	1000	4.1 堆焊用焊丝 .....	1040
1.4 储氢合金的吸氢反应机理 .....	1000	4.2 堆焊用焊带 .....	1044
2 储氢合金的研究开发概况 .....	1001	<b>第 4 章 焊剂</b> .....	1047
2.1 AB <sub>5</sub> 型稀土镍系储氢电极合金 .....	1001	1 焊剂的分类和牌号编制 .....	1047
2.2 AB <sub>2</sub> 型 Laves 相储氢电极合金 .....	1001	1.1 焊剂的分类 .....	1047
2.3 镁基储氢合金 .....	1001	1.2 焊剂牌号编制 .....	1048
2.4 V 基固溶体型合金 .....	1002	2 焊剂的成分和特性 .....	1049
3 提高储氢合金综合性能的途径 .....	1002	3 焊剂的选择和使用 .....	1052
3.1 AB <sub>5</sub> 合金 A 侧混合稀土组成的优化 .....	1002	3.1 焊剂选择原则 .....	1052
3.2 合金 B 侧元素的优化 .....	1002	3.2 焊剂使用注意事项 .....	1052
3.3 非化学计量比低钴无钴储氢合金 .....	1002	<b>第 5 章 钎料</b> .....	1053
4 储氢合金的制备工艺 .....	1003	1 铜基钎料 .....	1053
4.1 合金电极的表面处理 .....	1003	1.1 铜钎料 .....	1053
4.2 储氢合金的制备工艺 .....	1003	1.2 铜锌钎料 .....	1053
5 储氢合金的应用 .....	1003	1.3 铜锡钎料 .....	1054
5.1 Ni/MH 电池 .....	1003	1.4 耐热铜基钎料 .....	1054
5.2 氢的储运与提纯 .....	1004	2 锰基钎料 .....	1055
5.3 其他方面的应用 .....	1004	3 镍基钎料 .....	1056
<b>参考文献</b> .....	1005	4 钴基钎料 .....	1058
<b>第 12 篇 钢铁焊接材料</b> .....	1007	5 银基钎料 .....	1058
<b>第 1 章 概述</b> .....	1009	5.1 银铜锌镉系钎料 .....	1058
1 焊接熔渣 .....	1009	5.2 银铜锌系钎料 .....	1060
2 焊缝金属的合金化 .....	1009	5.3 银铜系钎料 .....	1061
<b>第 2 章 焊条</b> .....	1011	5.4 银铜锡系钎料 .....	1061
1 焊条的分类和牌号编制 .....	1011	5.5 银锰钎料 .....	1061
		6 贵金属钎料 .....	1061
		6.1 金基钎料 .....	1061



6.2 含钡钎料 .....	1062	1 软钎剂 .....	1064
7 锡铅钎料 .....	1062	2 硬钎剂 .....	1065
8 活性钎料 .....	1063	3 气体钎剂 .....	1065
第6章 钎剂 .....	1064	参考文献 .....	1066