



中国焊接

1994-2016

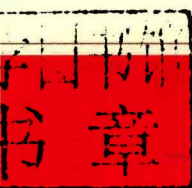
中国机械工程学会焊接学会 编



中国焊接

1994-2016

中国机械工程学会焊接学会 编



《中国焊接 1994—2016》系统地总结了我国 20 余年来焊接技术的发展及在各行业的应用,全书由技术篇、应用篇及综合篇三大部分组成。技术篇(第 1 章到第 11 章)主要介绍了焊接基础理论及焊接技术发展方面的科研成果,包括钎焊与特种连接、焊接性及焊接材料、压力焊方法及设备、高能束及特种焊接、焊接检验与质量保证、焊接结构、熔化焊、计算机辅助焊接工程、机器人焊接、微纳连接、焊接环境及健康与安全等内容。应用篇(第 12 章到第 23 章)主要介绍了焊接技术在各行业的应用及取得的成就,包括发电设备、重型机械、油田与管道、汽车、机车车辆、造船与海洋工程、建筑工程、航空航天、压力容器、桥梁及再制造等领域。综合篇(第 24 章到第 32 章)主要介绍了我国在焊接专业教育、焊接人员培训与认证、焊接设备及装备、焊接材料、焊接标准化、国内外学术交流、焊接专利与科技成果等方面取得的成就。

本书丰富的焊接技术理论及各行业典型的焊接技术应用成果,可为从事焊接工作的科研与工程技术人员,高等院校的本科生、研究生开阔视野、拓展思路、创新思维提供非常有价值的参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国焊接:1994—2016/中国机械工程学会焊接学会编. —北京:机械工业出版社,2017.5

ISBN 978-7-111-56759-2

I. ①中… II. ①中… III. ①焊接—技术史—概况—中国—1994—2016 IV. ①TG4-092

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 078119 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:何月秋 吕德齐 责任编辑:雷云辉 王彦青

责任校对:张晓蓉

封面设计:鞠 杨

责任印制:李 昂

北京中科印刷有限公司印刷

2017 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·34 印张·938 千字

0001—2800 册

标准书号:ISBN 978-7-111-56759-2

定价:159.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线:010-88361066

读者购书热线:010-68326294

010-88379203

封面防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

教育服务网:www.cmpedu.com

展示中国焊接创新成果
促进世界科技快速发展

清华大学教授 潘际奎
二零一七丁酉年

《中国焊接 1994—2016》编委会名单

顾问委员会

潘际銮 徐滨士 林尚扬 关 桥 宋天虎 吴 林 陈剑虹 单 平

编写委员会

主 任 陈 强

副主任 张彦敏 吴毅雄 薛振奎 田志凌 李宪政

主 编 冯吉才

副主编 王麟书

主 审 史耀武

副主审 何 实

委 员 (按姓氏笔画排序)

王 敏	王国庆	王鲁军	田艳红	史春元	巩水利
朴东光	刘剑威	闫久春	苏 平	杨 松	吴九澎
何月秋	林 涛	邸新杰	张 平	陈善本	陈树君
陈清阳	武传松	荆洪阳	胡庆贤	都 东	栗卓新
顾长石	徐向军	郭德伦	黄彩艳	储继君	雷万庆
解应龙	熊华平				

秘 书 黄彩艳 刘 丹 杜 森

在国际焊接学会（IIW）第70届年会及国际会议召开之际，中国机械工程学会焊接学会以中文和英文两种语言编辑出版了《中国焊接1994—2016》，谨以此书祝贺国际焊接年会第70届年会的隆重开幕。

自1994年中国首次承办IIW焊接年会以来，这是第二次在我国召开的焊接界规模最大的“奥林匹克”盛会。为了迎接本次会议，中国机械工程学会焊接学会执委会经过几次讨论，决定组织编写《中国焊接1994—2016》一书，其目的是梳理我国20余年来的焊接技术发展状况，向世界上的焊接同行介绍我国的焊接技术成果，展示改革开放以来取得的成就，扩大我国在国际焊接领域的影响，推动中国的焊接技术走向世界。

在四位焊接界院士及焊接学会执委会的领导下，《中国焊接1994—2016》组成了强有力的编委会，撰写人员以焊接学会的各专业委员会主任及焊接协会的部分专业委员会主任为主体，在全国范围内遴选专家，组织我国各行业的龙头企业参与，历时两年完成了这一宏大的编写及出版工作。

本书分三篇共32章，系统地介绍了1994—2016年间我国焊接技术的发展及在各行业的应用成果。技术篇主要介绍了焊接基础理论及焊接技术发展方面的成果，不仅包括传统焊接方法的新理论及新技术进展，也涵盖了搅拌摩擦焊、增材制造、各类复合热源焊接、节能环保焊接、特种环境下的焊接、新型焊接材料等方面的内容。应用篇主要介绍了焊接技术的应用，我国诸多行业的焊接成果已经跻身世界前列，在国际上产生了巨大影响，展现出了焊接技术在造福人类、促进社会发展中起到的不可替代的作用。综合篇展示了我国在焊接人才培养、国际学术交流、焊接技术发明等方面取得的成就，收集并汇总了宝贵的数据资料。全书图文并茂、内容翔实、数据可靠、技术实用，将对我国焊接乃至世界焊接技术的发展起到很好的推动作用。

本书编委会有幸邀请到了各行各业70余位专家参与编写、30余位专家参与翻译、100余位专家参与讨论，许多企业把多年珍藏的照片、技术资料无偿奉献给本书。为了得到准确的数据，各专业委员会分别组织人员调研、访谈及召开编写讨论会，通过各种渠道收集资料。焊接学会秘书处为出版此书精心组织，出版社人员在较短时间内精心编辑，总之本书凝聚着所有编、审、校人员的心血与汗水，是焊接工作者无私奉献、辛勤努力的结晶。我谨代表焊接学会向所有参与编写的专家、向提供宝贵资料的个人及单位、向精心组织及出版的焊接学会秘书处及机械工业出版社的编辑们表示衷心的感谢。

鉴于资料收集及撰写方面的限制，书中难免有不足之处，敬请各位专家、学者及读者批评指正。

冯吉才

前言

技术篇 Technology

第1章 钎焊与特种连接 / 3

1.1 钎焊及特种连接技术发展概况 / 3	1.1.1 技术发展 / 3
	1.1.2 钎焊及特种连接专业委员会学术活动 / 4
1.2 国家级研发平台 / 6	1.2.1 先进焊接与连接国家重点实验室 / 6
	1.2.2 新型钎焊材料与技术国家重点实验室 / 6
1.3 应用基础研究成果 / 7	1.3.1 部分代表性的研究成果 / 7
	1.3.2 专著 / 9
1.4 重大技术成果 / 10	1.4.1 专利 / 10
	1.4.2 成果获奖 / 10
1.5 钎焊及特种连接专业委员会国际交流 / 13	
参考文献 / 16	

第2章 焊接性及焊接材料 / 18

2.1 中国钢铁工业的发展 / 18	
2.2 材料的焊接性 / 20	2.2.1 合金结构钢的焊接性 / 20
	2.2.2 微合金钢的焊接性 / 21
	2.2.3 耐热钢的焊接性 / 22
	2.2.4 镍基合金 / 23
2.3 焊接材料 / 24	2.3.1 国内焊接材料发展现状 / 24
	2.3.2 焊接冶金理论的完善和发展 / 25
参考文献 / 27	

第3章 压力焊方法及设备 / 28

3.1 概述 / 28	
3.2 电阻焊机理及工艺研究进展 / 28	3.2.1 电阻焊新工艺 / 28
	3.2.2 新型工业材料电阻焊机理及工艺 / 29
	3.2.3 电阻焊过程数值模拟 / 30
3.3 电阻焊设备及控制技术进展 / 30	3.3.1 电阻焊电源与设备 / 30
	3.3.2 电阻焊质量实时控制 / 31
3.4 摩擦焊机理及工艺研究进展 / 33	3.4.1 常规摩擦焊机理及工艺 / 33
	3.4.2 搅拌摩擦焊机理及工艺 / 34
	3.4.3 复合搅拌摩擦焊技术的创新发展 / 35
3.5 摩擦焊设备发展进程 / 37	3.5.1 连续驱动摩擦焊设备的发展及应用 / 37
	3.5.2 惯性摩擦焊设备的发展及应用 / 38
	3.5.3 径向摩擦焊设备的发展及应用 / 40
	3.5.4 线性摩擦焊设备的发展及应用 / 41
	3.5.5 搅拌摩擦焊设备的发展及应用 / 41
参考文献 / 43	



第4章 高能束及特种焊接 / 44

- 4.1 高能束流焊接 / 44
 - 4.1.1 概述 / 44
 - 4.1.2 高能束流焊接基础研究 / 45
 - 4.1.3 材料焊接性研究 / 50
 - 4.1.4 高能束流焊接工艺技术进展 / 53
 - 4.1.5 高能束流焊接装备技术 / 59
 - 4.2 特种焊 / 63
 - 4.2.1 爆炸焊 / 63
 - 4.2.2 超声波焊接 / 70
- 参考文献 / 77

第5章 焊接检验与质量保证 / 79

- 5.1 焊接检验技术研究与应用 / 79
 - 5.1.1 技术与开发 / 79
 - 5.1.2 焊接检验技术在典型焊接产品检验中的应用 / 79
 - 5.2 焊接生产的质量保证 / 82
 - 5.2.1 质量保证体系的建立与发展 / 82
 - 5.2.2 质量体系标准的应用 / 83
 - 5.2.3 质量认证助推焊接企业走向世界 / 85
- 参考文献 / 86

第6章 焊接结构 / 87

- 6.1 概述 / 87
 - 6.2 焊接残余应力与变形 / 87
 - 6.2.1 焊接应力与变形的基本理论 / 87
 - 6.2.2 厚壁结构焊接残余应力测试 / 88
 - 6.2.3 焊接应力变形高效有限元计算 / 88
 - 6.2.4 随焊冲击碾压法 / 89
 - 6.2.5 随焊旋转挤压法 / 89
 - 6.2.6 随焊电磁冲击法 / 90
 - 6.2.7 搅拌摩擦焊应力与变形分析 / 91
 - 6.3 焊接接头的等承载设计 / 91
 - 6.3.1 焊接接头“等承载”思想的提出 / 91
 - 6.3.2 承受静拉伸载荷时对接接头的等承载设计 / 92
 - 6.3.3 承受静弯曲载荷时的对接接头等承载设计 / 93
 - 6.3.4 基于断裂参量 K 因子的焊接接头等承载设计 / 94
 - 6.3.5 关于动载荷条件下的等承载焊接接头设计问题 / 94
 - 6.4 焊接结构的失效与评估 / 95
 - 6.4.1 焊接结构断裂评定 / 95
 - 6.4.2 焊接接头疲劳评估与延寿 / 97
 - 6.4.3 焊接结构蠕变失效与断裂评估 / 99
- 参考文献 / 108

第7章 熔化焊 / 110

- 7.1 大功率固体激光-熔化极双电弧复合焊接技术及装备 / 110
- 7.2 超声复合电弧方法及物理特性研究 / 111
- 7.3 超音频方波大功率脉冲焊接电源技术及装备 / 112
- 7.4 变极性等离子弧穿孔焊接工艺及装备 / 113
- 7.5 摆动电弧窄间隙横焊技术 / 114
- 7.6 磁控电弧窄间隙焊接方法及装备 / 115
- 7.7 特厚结构双丝窄间隙自动埋弧焊技术 / 116
- 7.8 百万千瓦级先进电站汽轮机转子的焊接制造 / 117
- 7.9 航天运载器大型关键构件数字化弧焊系统装备 / 119
- 7.10 海底管道干式高气压环境焊接技术及装备 / 120
- 7.11 核电导流环复杂曲面异种材料自动堆焊技术及设备 / 122

7.12	油气输送钢管数字化焊接成套技术装备 / 123
7.13	水下湿法焊接熔滴过渡 X 射线高速成像系统及特征信息获取方法 / 124
	参考文献 / 125

第 8 章 计算机辅助焊接工程 / 129

8.1	概述 / 129
8.2	焊接物理与工艺过程的数值模拟 / 129
8.2.1	电弧物理 / 129
8.2.2	等离子弧-熔池-小孔的一体化模型 / 130
8.2.3	等离子弧焊接熔池的穿孔过程 / 131
8.2.4	激光焊接过程 / 132
8.2.5	激光-GMAW 复合热源焊接 / 132
8.2.6	搅拌摩擦焊的产热、传热与材料流动 / 134
8.3	焊接接头的组织模拟与预测 / 137
8.3.1	焊接熔池凝固过程模拟 / 137
8.3.2	焊接热影响区晶粒生长计算 / 138
8.4	焊接残余应力与变形的数值分析 / 139
8.4.1	核电设备典型焊接接头中的残余应力 / 139
8.4.2	异种钢焊接接头的残余应力数值模拟 / 140
8.4.3	建筑钢结构中箱型梁结构的焊接残余应力理论预测 / 140
8.4.4	核电转子焊接残余应力的数值模拟 / 141
8.4.5	固有应变法预测焊接变形 / 141
8.4.6	薄板结构中因焊接引起的屈曲变形(波浪变形) / 142
8.4.7	固有应变法预测非对称曲面结构的焊接变形 / 142
8.4.8	汽车车门的焊接变形数值模拟 / 143
8.5	计算机辅助焊接应用软件 / 143
8.5.1	焊接基础数据共享 / 143
8.5.2	焊接性分析与预测 / 143
8.5.3	焊接专家系统与知识工程 / 144
8.5.4	智能化焊接办公系统 / 144
8.6	焊接过程计算机检测 / 144
8.6.1	基于单一传感器的背面小孔与熔池同步检测 / 145
8.6.2	激光焊接过程的视觉检测 / 146
8.6.3	GMAW 熔池流动速度的实时检测 / 147
8.6.4	GTAW 熔池表面三维恢复及熔透状态预测 / 148
8.7	数字化焊接制造 / 149
8.7.1	面向“互联网+”的智慧焊接系统 / 149
8.7.2	数字化焊接车间 / 149
	参考文献 / 151

第 9 章 智能化焊接机器人技术 / 153

9.1	概述 / 153
9.2	焊接智能化及机器人焊接研究现状 / 154
9.2.1	智能化焊接技术 / 154
9.2.2	智能化机器人焊接技术及系统 / 155
9.3	焊接多智能体及焊接智能车间 / 159
9.4	焊接机器人系统工程 / 160
9.5	机器人与自动化专业委员会发展概况 / 164
	参考文献 / 165

第 10 章 电子工业中的焊接技术 / 166

10.1	芯片超声引线键合技术 / 166
10.2	晶圆键合技术 / 169
10.3	电子组装软钎焊技术 / 171
10.4	熔化微连接技术 / 175
10.5	纳米连接技术 / 176



10.6 微互连焊点可靠性及失效 / 181

参考文献 / 183

第 11 章 焊接环境、健康与安全 / 185

11.1 焊接 EHS 的发展 / 185	11.1.1 现状 / 185
	11.1.2 趋势 / 185
11.2 焊接 EHS 法律、法规与标准 / 186	11.2.1 现状 / 186
	11.2.2 差距 / 187
11.3 焊接整体防护新产品与新成果 / 188	11.3.1 厂房整体防护新产品 / 188
	11.3.2 焊接整体防护新成果 / 189
11.4 焊接局部防护新产品与新成果 / 190	11.4.1 焊接面罩 / 191
	11.4.2 焊接防护口罩 / 192
	11.4.3 焊接防护服 / 193
	11.4.4 焊接防护手套 / 193
	11.4.5 其他防护用品 / 194
11.5 焊接 EHS 学术研究进展 / 194	11.5.1 电弧焊烟尘研究 / 194
	11.5.2 电弧焊有害气体研究 / 195
	11.5.3 电弧焊弧光研究 / 195
	11.5.4 重金属污染研究 / 196
	11.5.5 碳弧气刨污染研究 / 196
	11.5.6 电磁污染研究 / 197
	11.5.7 焊接材料与环境协调性研究 / 197
11.6 焊接 EHS 总结与展望 / 197	11.6.1 现状和存在的问题 / 197
	11.6.2 对未来发展的建议 / 198
	11.6.3 展望 / 198

参考文献 / 198

应用篇 Application

第 12 章 发电设备制造安装中的焊接结构与技术 / 203

12.1 我国发电行业的发展 / 203	
12.2 发电设备制造技术发展 / 204	12.2.1 火电设备技术发展 / 204
	12.2.2 水电设备技术发展 / 204
	12.2.3 核电设备技术发展 / 204
12.3 发电设备材料发展 / 205	12.3.1 火电设备材料发展 / 205
	12.3.2 水轮机、水轮发电机、汽轮发电机材料发展 / 205
	12.3.3 核电设备材料发展 / 205
12.4 焊接结构与技术 / 206	12.4.1 火电设备焊接结构与技术 / 206
	12.4.2 水电设备焊接结构与技术 / 209
	12.4.3 核电设备焊接结构与技术 / 214

参考文献 / 222

第 13 章 重型机械装备制造中的焊接结构与技术 / 224

13.1 重型机械装备发展概述 / 224	
13.2 重型机械装备的发展 / 224	13.2.1 起重机的的发展 / 224
	13.2.2 大型矿用挖掘机的发展 / 236
	13.2.3 架桥机的发展 / 236
	13.2.4 盾构机的发展 / 239
13.3 重型机械装备制造中材料的发展 / 241	13.3.1 钢结构新材料的研发 / 241

13.4 重型机械装备制造中焊接新设备的应用 / 244	13.3.2 焊接材料的研发 / 241
参考文献 / 248	13.4.1 焊接备料装备的应用 / 244
	13.4.2 焊接新设备的推广应用 / 245
第 14 章 油田与管道建设中的焊接技术 / 249	
14.1 长输管道焊接技术 / 249	14.1.1 焊条电弧焊技术 / 249
	14.1.2 手工半自动焊技术 / 249
	14.1.3 管道全位置自动焊技术与装备 / 250
14.2 石油化工工艺管道焊接技术 / 256	14.2.1 焊条电弧焊技术 / 256
	14.2.2 半自动焊技术 / 256
	14.2.3 自动焊技术 / 257
14.3 海洋管道工程焊接技术 / 258	14.3.1 海洋管道工程焊接技术特点 / 258
	14.3.2 海洋管道施工工艺流程 / 258
	14.3.3 焊接工艺方法 / 258
	14.3.4 工程应用 / 259
参考文献 / 259	
第 15 章 汽车制造中的焊接技术 / 261	
15.1 车身焊装 / 261	15.1.1 车身结构与材料 / 261
	15.1.2 车身焊装生产线 / 261
	15.1.3 车身制造中的焊接技术 / 263
15.2 汽车零部件焊接 / 267	15.2.1 汽车车身件焊接 / 267
	15.2.2 汽车内饰件焊接 / 271
	15.2.3 汽车底盘件焊接 / 273
15.3 激光焊技术在汽车制造中的应用 / 274 ----	15.3.1 激光拼焊板技术 / 274
	15.3.2 汽车车身激光焊 / 275
	15.3.3 新能源汽车动力电池的激光焊 / 275
第 16 章 机车车辆制造及铁道建设中的焊接技术 / 279	
16.1 概述 / 279	16.1.1 机车车辆制造中焊接技术的发展概况 / 279
	16.1.2 铁道建设中钢轨焊接技术的发展概况 / 279
16.2 机车制造中的焊接技术 / 279	16.2.1 内燃机车制造中的焊接技术 / 279
	16.2.2 电力机车制造中的焊接技术 / 280
16.3 客运车辆制造中的焊接技术 / 281	16.3.1 高速动车组制造中的焊接技术 / 281
	16.3.2 城市轨道交通客车制造中的焊接技术 / 284
	16.3.3 先进焊接与检测技术在客车车辆制造中的应用 / 285
16.4 货运车辆制造中的焊接技术 / 291	16.4.1 重载提速货车制造中的焊接技术 / 291
	16.4.2 先进焊接技术在货车车辆制造中的应用 / 292
16.5 铁道建设中的钢轨焊接技术 / 293	16.5.1 无缝线路钢轨焊接技术 / 293
	16.5.2 铁路道岔中钢轨与辙叉焊接技术 / 294
参考文献 / 295	
第 17 章 造船与海洋工程建设中的焊接技术 / 297	
17.1 概述 / 297	17.1.1 主要运输船舶概述 / 297
	17.1.2 海洋工程装备发展概述 / 301
17.2 造船与海洋工程建造中焊接技术的发展 / 303	17.2.1 焊接材料及其应用 / 303



参考文献 / 311

第 18 章 建筑工程建设中的焊接结构与技术 / 312

18.1 概述 / 312

18.2 建筑钢结构的发展历程 / 312	18.2.1 特殊结构 / 312
	18.2.2 超高层建筑 / 314
	18.2.3 大跨度结构 / 317
	18.2.4 高耸结构 / 320
18.3 建筑钢结构焊接技术 / 321	18.3.1 焊接方法 / 321
	18.3.2 焊接设备 / 322
	18.3.3 高强度钢焊接技术 / 322
	18.3.4 铸钢和铸钢节点的焊接技术 / 322
	18.3.5 标准规范的编制与修订 / 323

参考文献 / 324

第 19 章 航天器制造中的焊接技术及应用 / 325

19.1 运载火箭贮箱焊接技术及应用 / 325	19.1.1 运载火箭贮箱简介 / 325
	19.1.2 运载火箭贮箱焊接技术研究及应用 / 325
19.2 发动机焊接技术及应用 / 328	19.2.1 发动机简介 / 328
	19.2.2 发动机焊接技术研究及应用 / 329
19.3 增压输送系统焊接技术及应用 / 332	19.3.1 增压输送系统简介 / 332
	19.3.2 增压系统焊接技术研究及应用 / 333
19.4 载人航天系统焊接技术及应用 / 337	19.4.1 载人航天系统产品介绍 / 337
	19.4.2 载人航天系统焊接技术研究及应用 / 337
19.5 卫星系统焊接技术及应用 / 341	19.5.1 卫星系统简介 / 341
	19.5.2 卫星焊接技术研究及应用 / 341

参考文献 / 344

第 20 章 航空制造工程中的焊接技术 / 346

20.1 概述 / 346

20.2 飞机典型构件的焊接 / 347	20.2.1 起落架的焊接 / 347
	20.2.2 油箱焊接 / 348
	20.2.3 大厚度承力隔框的焊接 / 349
	20.2.4 后机身带筋壁板穿透焊及双弧焊 / 354
	20.2.5 金属蜂窝夹层结构 / 355
	20.2.6 钛合金后机身带筋壁板激光焊接 / 358
20.3 发动机典型构件的焊接 / 361	20.3.1 燃烧室的焊接 / 361
	20.3.2 机匣类组合件的焊接 / 363
	20.3.3 加力燃烧室的焊接 / 364
	20.3.4 火焰稳定器的焊接 / 365
	20.3.5 盘轴类零件的焊接 / 366
	20.3.6 导管的焊接 / 367
20.4 航空结构中的新型焊接技术 / 368	20.4.1 真空电子束钎焊技术 / 368
	20.4.2 真空电弧钎焊技术 / 368
	20.4.3 过渡液相扩散焊技术 / 370
	20.4.4 放电等离子弧扩散焊技术 / 372
	20.4.5 线性摩擦焊技术 / 373
	20.4.6 搅拌摩擦焊技术 / 378

第 21 章 压力容器制造中的焊接技术 / 381

21.1 概述 / 381	
21.2 压力容器行业中焊接技术的发展概况 / 384	21.2.1 压力容器制造中的窄间隙自动焊技术 / 384
	21.2.2 压力容器制造中的堆焊技术 / 385
	21.2.3 接管马鞍形焊缝的自动焊接技术 / 387
	21.2.4 管子-管板全位置焊接技术 / 387
	21.2.5 大型容器现场焊接技术 / 388
	21.2.6 其他焊接技术 / 389
21.3 典型的压力容器产品 / 390	21.3.1 尿素合成塔 / 390
	21.3.2 四合一连续重整反应器 / 390
	21.3.3 加氢反应器 / 391
	21.3.4 大型球形储罐 / 391
	21.3.5 螺纹锁紧式高压换热器 / 392
	21.3.6 费托合成反应器 / 392
	21.3.7 气化炉 / 392
	21.3.8 其他产品 / 392
21.4 发展趋势 / 396	
参考文献 / 396	

第 22 章 桥梁建造中的焊接技术 / 398

22.1 钢桥发展概述 / 398	22.1.1 铁路钢桥的发展 / 398
	22.1.2 公路钢桥的发展 / 400
	22.1.3 我国承建的国外钢桥 / 405
22.2 钢桥建造中焊接技术的发展 / 407	22.2.1 新材料的研发 / 407
	22.2.2 焊接新工艺和新装备的应用 / 409
参考文献 / 412	

第 23 章 堆焊及再制造 / 413

23.1 堆焊技术发展历程及现状 / 413	23.1.1 堆焊材料的发展 / 413
	23.1.2 堆焊工艺的发展 / 416
23.2 堆焊技术在制造和再制造中的应用 / 417	23.2.1 钢铁行业 / 417
	23.2.2 水泥行业 / 425
参考文献 / 430	

综合篇 Integration

第 24 章 焊接专业教育 / 433

24.1 概述 / 433	24.1.1 焊接专业的创建 / 433
	24.1.2 焊接专业发展初期 / 434
	24.1.3 焊接专业的蓬勃发展期 / 434
	24.1.4 焊接专业的转型发展期 / 435
24.2 焊接专业本科生的培养 / 435	24.2.1 培养目标及模式 / 435
	24.2.2 课程体系 / 437
	24.2.3 教材 / 438
	24.2.4 毕业生 / 438
	24.2.5 就业去向 / 440
24.3 焊接专业研究生的培养 / 440	24.3.1 硕士研究生的培养 / 440



第 25 章 IIW 焊接培训与资格认证体系在中国的建立与发展 / 444

25.1 中德合作与 CANB 的建立 / 444	25.1.1 中德合作项目简要回顾 / 444
	25.1.2 中德合作项目主要成果 / 444
	25.1.3 中国成为欧洲以外首批获 IIW 授权的国家 / 445
25.2 CANB 的发展与国际化焊接人才培养 / 447	25.2.1 地方焊接学会积极参与 IIW 体系推广 / 447
	25.2.2 高校合作创新国际化工程化人才培养途径 / 447
	25.2.3 国际焊接工程师培训与认证位列全球第一 / 447
	25.2.4 WTI 的发展成果介绍 / 448
25.3 CANBCC 服务企业国际化发展 / 449	
参考文献 / 450	

第 26 章 中国焊接职业培训与认证 / 451

26.1 我国焊接职业培训与认证发展历程和现状简介 / 451	
26.2 我国焊接职业培训与认证管理机构 / 451	
26.3 我国主要大型焊接职业培训基地建设与发展回顾 / 452	26.3.1 中国石油国际焊接技术培训中心 / 452
	26.3.2 中国焊接协会机器人焊接培训基地建设 / 453
26.4 焊接人才培养成就缩影——大国工匠绽放国际风采 / 454	
26.5 中国焊接职业培训与认证展望 / 455	
参考文献 / 456	

第 27 章 焊接设备与装备 / 457

27.1 概述 / 457	
27.2 我国成为焊接装备产能大国和出口大国 / 457	27.2.1 焊接装备产量 / 457
	27.2.2 品质的提升促进产品出口 / 458
27.3 产业结构及地区分布 / 458	27.3.1 企业背景 / 458
	27.3.2 企业地区分布情况 / 458
	27.3.3 产品分布概况 / 459
27.4 技术进步推动产品结构转型升级 / 459	27.4.1 产品结构变化情况 / 459
	27.4.2 技术发展带动产品结构的变化情况 / 460
27.5 市场需求加速我国焊接装备更新换代 / 462	27.5.1 逆变技术的普及与数字化焊接电源的发展 / 462
	27.5.2 电阻焊设备 / 462
	27.5.3 高技术焊接方法的研究及应用 / 463
	27.5.4 焊接机器人本体技术的发展 / 464
27.6 辅助机具助推焊接自动化水平飞跃发展 / 467	27.6.1 机器人关键零部件 RV 减速器发展情况 / 467
	27.6.2 AGV 小车研发 / 468
	27.6.3 结构件全自动焊接机器人 / 468
	27.6.4 单电源双细丝埋弧焊小车 / 469
	27.6.5 超厚壁双丝 (单丝) 窄间隙自动埋弧焊设备 / 469
27.7 自动化装备设计水平显著提升, 带动工业制造业换代升级 / 469	27.7.1 焊接机器人与自动化焊接 / 469
	27.7.2 自动化焊接装备 / 471

27.8 数字化设备到数字化车间 / 472	27.8.1 焊接群控系统 / 472
	27.8.2 自动化管理系统应用案例 / 472
	27.8.3 工程机械结构件智能焊接车间 / 473

参考文献 / 473

第 28 章 焊接材料 / 474

28.1 中国焊接材料产量、出口量和进口量 / 474	28.1.1 1994—2016 年中国焊接材料产量 / 474
	28.1.2 中国焊接材料出口量 / 475
	28.1.3 中国焊接材料进口量 / 475
28.2 中国焊接材料发展趋势分析 / 476	28.2.1 中国焊接材料总产量变化态势 / 476
	28.2.2 中国焊接材料产业布局调整的趋势 / 476
	28.2.3 中国焊接材料产品结构的变化 / 476
	28.2.4 中国焊接材料高端化发展趋势 / 476
28.3 中国焊接材料制备技术的进步 / 476	28.3.1 检验与开发能力不断提升 / 477
	28.3.2 原材料品质提升与控制保证了焊接材料产品质量的稳定 / 477
	28.3.3 焊接材料制备技术不断升级完善 / 477
28.4 中国焊接材料在重点工程上的应用 / 479	28.4.1 电力工程 / 479
	28.4.2 工程机械 / 482
	28.4.3 管道工程 / 482
	28.4.4 轨道交通 / 483
	28.4.5 海洋工程及船舶制造 / 484
	28.4.6 建筑及桥梁工程 / 485
	28.4.7 大型石化工程 / 488
	28.4.8 输变电工程 / 490
	28.4.9 焊接材料的其他研究应用 / 490
28.5 中国焊接材料的发展展望 / 491	28.5.1 积极发展低碳环保的焊接材料生产方式和焊接材料产品 / 491
	28.5.2 高端高效焊接材料将成为今后发展的重点 / 491
	28.5.3 由生产型制造向服务型制造转变 / 492
	28.5.4 加强品牌建设,实现差异化发展 / 492

参考文献 / 492

第 29 章 焊接标准化 / 493

29.1 概述 / 493	
29.2 焊接标准体系建设 / 494	
29.3 焊接领域内 ISO 标准的转化 / 496	29.3.1 基础标准的转化 / 497
	29.3.2 管理标准的转化 / 498
	29.3.3 产品标准的转化 / 500
	29.3.4 方法标准的转化 / 502
29.4 结语 / 504	

第 30 章 中国机械工程学会焊接学会及其开展的学术与国际交流活动 / 505

30.1 中国机械工程学会焊接学会组织机构 / 505
30.2 异彩纷呈的学术活动 / 506
30.3 国际交流与合作 / 509
30.4 持续发展 / 511

第 31 章 贸易促进与展览展示 / 513



第 32 章 焊接专利与科技成果 / 515

32.1 焊接专利 / 515	32.1.1 焊接设备与技术专利 / 515
	32.1.2 焊接材料专利 / 519
	32.1.3 切割设备与技术专利 / 521
32.2 中国专利奖 / 522	
32.3 国家科技奖励 / 525	
32.4 优秀焊接工程 / 526	
32.5 中国焊接终身成就奖 / 527	
32.6 焊接国际奖项 / 527	
32.7 结语 / 528	
参考文献 / 528	



技术篇

Technology