

焊接工程师  
必备工具书

第3版

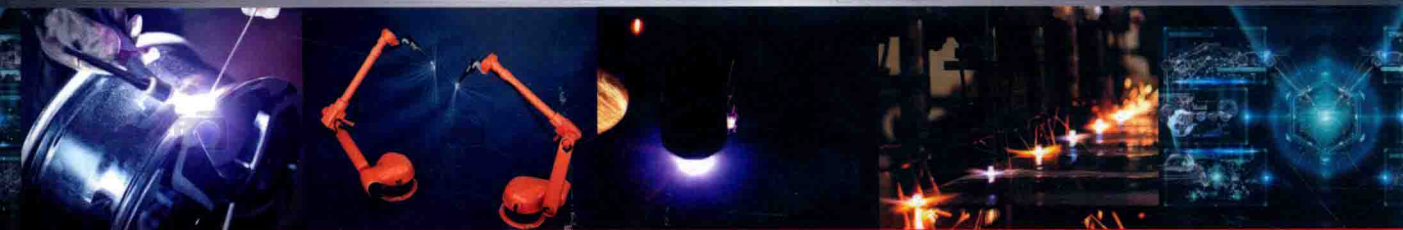
# 焊接工程师手册

*Handbook for Welding Engineer*

陈祝年 陈茂爱 © 编著



先 进 · 实 用 · 准 确 · 可 靠



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



# 焊接工程师手册

第 3 版

陈祝年 陈茂爱 编著



机械工业出版社

本书是焊接专业的综合性工具书,基本涵盖了焊接专业的技术内容。本版在保留第2版精华和特色的基础上添加了先进的工艺技术内容。全书共9篇58章。第1篇汇集了焊接工程师常用而又不易记忆的符号、公式和数据等资料;第2篇阐述了焊接过程中的物理行为和冶金行为,以及与金属焊接性密切相关的焊接裂纹问题;第3、4、5篇介绍了工程中的各种焊接方法及设备,包括电弧焊、电阻焊和其他特殊的焊接方法及其设备等;第6篇以焊条、焊丝和焊剂为重点介绍了焊接材料的性能参数及选用方法;第7篇介绍了各种金属材料的焊接性能及其焊接工艺;第8篇重点介绍了焊接应力与变形、结构强度和结构设计等;第9篇除介绍生产中遇到的焊接工艺过程设计、焊接工艺评定和焊接质量检验外,还介绍了与焊接过程机械化、自动化和柔性化有关的焊接工艺装备的设计和计算以及焊接机器人的应用等方面的内容。

本书主要供从事焊接结构设计、制造和管理的工程师使用,也可供与焊接技术相关的各类工程技术人员以及大专院校焊接专业师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

焊接工程师手册/陈祝年,陈茂爱编著. —3版. —北京:机械工业出版社,2018.9

ISBN 978-7-111-61016-8

I. ①焊… II. ①陈… ②陈… III. ①焊接-技术手册 IV. ①TG4-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第221172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:吕德齐 责任编辑:吕德齐 贺怡 李含杨 王彦青

责任校对:刘志文 张晓蓉 王延 封面设计:鞠杨

责任印制:张博

三河市宏达印刷有限公司印刷

2019年3月第3版第1次印刷

184mm×260mm·86印张·3插页·2964千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-61016-8

定价:259.00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

网络服务

服务咨询热线:010-88361066 机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294 机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

此为试读,需要完整PDF请访问: [www.ertongbook.com](http://www.ertongbook.com)

## 第3版前言

时隔9年,《焊接工程师手册》的第3版终于与大家见面了。我们本着“与时俱进,不断充实更新,服务于读者”的宗旨,努力把焊接工程师喜爱的这本手册修订好,今后也将定期地进行修订。

本次修订的总设想是:保留原书特色,继承第1、2版好的想法和好的写法;适当删去逐渐被淘汰的或已很少使用的内容,以减小全书的篇幅;增添近几年新发展并已用于生产中的焊接新材料、新工艺和新设备,紧跟时代的步伐,凸显本手册的先进性。

在第1版前言中指出了“便于查阅、简明扼要、适应性强和适当说理”的特色;在第2版前言中强调了“基本、常用同时兼顾先进性的取材原则”。可见本手册的性质是一本面向焊接工程师的内容系统、全面的综合性专业工具书,具有储存、实用和便查等功能,这些都是本次修订需要继承的。

我国现在已是世界上钢铁产量大国,大约有一半的钢材用于制造不同用途的焊接结构。焊接技术已广泛应用于航空航天、船舶、海洋工程、压力锅炉、化工容器、大型或重型机械装备,以及桥梁、建筑等钢结构的建造,焊接作为一种金属加工工艺方法在制造业中起着无法替代的作用。

当前在建造大型而复杂的焊接结构时所遇到的金属材料不仅是常规的金属材料,还有具有或耐高温、或耐低温、或抗氧化、或耐腐蚀等特殊性能的金属材料,焊件的厚薄差异很大;不仅焊接工作量大,而且焊接技术难度越来越大,对焊接质量的要求也越来越高。常规的焊接方法和普通工艺已经不适应新的需求了,同时生产方式也需要相应改变。为了适应焊接行业的现状和发展趋势,本次修订在内容取舍上做了一些调整。

本次修订增加的内容较多地体现在焊接生产数字化、自动化和柔性化方面,例如,增加了数字式弧焊电源,介绍了如何把数字控制技术引入到弧焊电源,实现了对电源输出波形及各种参数等的一体化调节与自适应控制,以满足特殊材料和特殊结构在焊接工艺过程中提出的各种特殊要求;考虑了航空航天工业和能源工业的发展需要,增加了轻金属镁合金焊接的内容,充实了焊接难度较大的细晶高强韧型马氏体耐热钢的焊接工艺;在目前应用最多的气体保护焊工艺中,增补了先进的波形控制焊接热输入的气体保护焊新技术;在焊接结构设计和生产设计方面增加了计算机技术辅助设计的篇幅和实现自动化、柔性化生产的内容,贯彻执行了如承压设备、建筑钢结构等建造的现行国家标准和规范。无损检测是保证焊接质量很重要的一环,这次修订增添了新的超声相控阵检测技术和衍射时差法超声检测(TOFD)技术,在焊接残余应力的测定方面增添了超声波法、压痕法等三种新方法。这些增补都符合当前国内工业生产大型化、高参数、高效率 and 高质量发展方向的需要。

我们在修订过程中参考和引用了许多专著和技术资料,在此特向被引用专著或资料的各位作者致以衷心感谢。由于我们能力有限,在修订中难免有错漏,希望各位读者批评指正。

编者

## 第2版前言

《焊接工程师手册》出版已七年了，深受读者的欢迎。为了对广大读者负责，也为了使这本读者喜爱的书充满活力，保持其先进性和实用性，故决定进行本次修订。本次修订重点考虑3方面：①现代科学技术飞速发展，焊接工艺技术发展日新月异，对于在工程建设第一线工作的焊接工程师使用的工具书——《焊接工程师手册》来说，也应与时俱进，及时地把当前最先进且成熟的焊接技术吸纳进来，供工程师们选用；②在每一项焊接工程建设中都须执行相关国家标准，本书初版时贯彻的是当时颁布实施的国家标准。而近年来为了与国际接轨，不少焊接的国家标准参照国际标准（ISO）已进行重新修订，或颁布了新的国家标准，同时也废止了一批旧的标准，本书也须作相应调整和更新；③初版经验不足，书中尚有欠缺和遗漏，需要通过这次修订进行更正和增补，使之更完善。

出版发行以来，读者来信和咨询表明本书之所以受到欢迎，其主要原因是本书内容系统全面，具有综合性，正是焊接工程师工作中所需要的；在焊接工程中所遇到的主要技术问题，无论是理论知识还是实际应用，基本上都能在本书中方便、快速查找到主要答案；取材的深度和广度，以及对问题的阐述比较符合焊接工程师这一层次读者的需求；焊接工程师在工作过程中常用而易忘的资料汇集得比较齐全，若案头上有了此书，则可以方便地查到，节省不少时间。这些都是本书的特色，这次修订仍给予保留。

基本、常用同时兼顾先进性是本书取材的基本原则。这次修订对过深、过细和过尖的技术问题，受篇幅限制没有过多编入，而是采取提及、点到为止，或采取推荐文献、提供来源出处的方式，让感兴趣的读者能进一步去求索。修订过程中仍着力于应用，使之更具操作性，适当考虑到理论与今后发展；阐述仍采取点面结合、突出关键的原则。对所引用的各种图表和数据，均经认真分析和核对，力求准确可靠。

在这次修订中，各篇修改的重点如下。

第1篇 综合资料。更换数学符号，更换新标准，并按新标准更新了焊接代号、增加焊缝工作位置符号、增加工程制图常用基础资料（含CAD）、增加钢铁产品牌号统一数字代号。

第2篇 焊接物理冶金。属基础部分，只增补拘束度概念及其计算和Z向钢性能测定等内容。

第3篇 弧焊方法及设备。强调弧焊电源发展方向；为适应“西气东输”管线建设需要，加强单面焊双面成形焊接技术介绍；氩弧焊加强薄板的焊接技术介绍；熔化极气体保护焊增补药芯焊丝及其应用内容，以及现代自动化焊接设备；现代高层钢结构建筑、造船、汽车制造大量采用螺柱焊，因此重写了螺柱焊这一章，增加了新内容。

第4篇 电阻焊方法及设备。这些年工艺和方法变化不大，只在设备控制方面的逐渐数字化上有一些新进展，内容上只增加些许。

第5篇 其他焊接方法及设备。为适应国内高层建筑钢结构焊接，增加管极电渣焊和压力电渣焊工艺和设备方面的内容；激光焊章已重写，充实激光产生的原理、特性与应用；为了熔化极气体保护焊机器人的顺利应用，发展了激光—电弧复合焊接技术，本篇增补了这方面的内容；搅拌摩擦焊出现，所以重写摩擦焊章，补充较多内容；钎焊章增加电子工业中新发展的表面组装连接新技术——再流钎焊的工艺和设备；高频焊完善了集肤效应描述；热切割增加精细

等离子弧切割和数控切割设备的介绍。

第6篇 焊接材料。重点增加药芯焊丝方面的介绍，新标准对焊剂与焊丝的组合配套有新要求，适当作了介绍；增补焊带内容，以适应表面埋弧堆焊的需要。

第7篇 金属材料的焊接。删去一些已经废止焊接性试验方法的标准；增加了钢铁产品牌号统一数字代号介绍；原名为“合金结构钢的焊接”章改为“低合金钢的焊接”，分类方法按《钢的分类》标准，其中按供应状态分类，突出介绍近年发展最快的控轧控冷钢的焊接；建筑钢结构量大面广，颁布了用钢的新标准，且从焊接角度对钢规定了新要求，现已增补了这方面的内容；考虑“西气东输”管线建设和其他大型金属结构越来越多地采用TMCP钢，增加了其焊接工艺特点的介绍；耐热钢方面重点增补了在建设超临界锅炉中已得到大量应用的细精强韧型耐热钢的焊接内容，这类钢属于近年新发展的微合金细晶粒高强韧钢；不锈钢的焊接一章则指出新标准已改变了牌号的标记和部分成分的调整。

第8篇 焊接结构。焊接应力与变形章增补了数值分析方法的原理部分，以及减少薄板焊接应力与变形的新技术；焊接接头设计与计算介绍了新标准，更改建筑钢结构中连接计算部分；焊接结构设计方面按新标准重写了建筑结构设计的极限状态设计法；增补了结构设计基础和细部处理的内容。

第9篇 焊接结构生产。本篇各章近年均有一些新进展，这些新进展的技术含量高而复杂，且涉及学科多，在有限篇幅内只能从选用和应用角度作简要介绍。如焊接工艺过程设计可以采用现代的设计方法——计算机辅助工艺设计（CAPP）；焊接工艺评定按2005年国家颁布标准所规定5种方法中只重点介绍较成熟也具代表性的一种，它和目前在锅炉压力容器生产中已采用的基本相同；对于焊接生产机械化和自动化，近年主要在自动控制方面及焊接机器人使用方面很活跃，与之密切配合的辅助设备——焊接工装显得更为重要，但是这次修订只作了强调，而未展开介绍；焊接质量检验方面，无损检测有较多新技术已被应用，这次增补了实时成像检测技术、工业CT检测技术、金属磁记忆检测技术、红外热成像检测技术和声发射检测技术，重点介绍它们的特点和如何选用。

书末增加新参考文献；附录中焊接标准部分已重新整理，删去已废止的，更换新修订的，增加新颁布的；鉴于国际贸易的增多，增加了国内外不锈钢和耐热钢牌号对照表。

本人能够完成本书的编写，接着又完成了这次修订工作，得益于下列两个方面：一是有诸多焊接前辈的经验总结和论著（书后“参考文献”仅是其中主要部分），吸取了他们的精华和要点，汇编到本手册中来，所以才能形成这本理论性和实用性较强的专业工具书。因此我首先得感谢被我引用其论著的前辈们，是他们为我提供了丰富的素材。二是本书的读者和我的同行朋友热心的支持。本书第1版出版以来，受到了他们的支持和鼓励，有些素不相识的读者，通过各种途径找到我的地址和电话，向我提出书中的问题或提出好的建议，如江全昌高级工程师还把他多年搜集到的实用资料无偿寄给我，等等，都让我十分感动。这些意见、建议和资料许多已成为我这次修订的素材、依据和参考，在此我要向关心和支持我的读者和我的朋友表示衷心的感谢！

本人力求跟上时代步伐，精益求精，为满足广大读者的需要而进行了这次修订，但个人的知识和能力是有限的，难免还有错漏或不尽人意之处，殷切希望广大读者批评指正。

# 第1版前言

机械工业出版社计划出版4种关于热加工技术的“工程师手册”，本书是其中之一。

本书属中型的综合性焊接技术工具书。主要供焊接工程师查阅，也可供与焊接技术相关的各类工程技术人员以及大专学校焊接专业师生参考。

本手册是根据焊接工程师的工作特点和业务需要进行选材和编写的，力求实用、先进、简明和便查。为了充分发挥工具书的储存功能和备忘功能，本手册力图做到在有限的篇幅内含有尽可能多的技术信息，所以较全面地汇集了解决技术问题所需的基础理论、基本知识和最新的焊接工艺技术资料，并做了精选和合理的编排，供读者查阅。

本书有以下特色。

## 1. 便于查阅

焊接工程师常用但不易记忆的资料，如符号、公式和数据等，通常都分散在各种文献中，需用时难以查找。本手册把使用频率最高的这些资料都收集在一起，编成第1篇“综合资料”，读者可随时查用以节约时间；其他篇章的编排均分出层次，且有大小标题，读者很容易查出所需要的资料。

## 2. 简明扼要

相对于现有大型焊接工具书，本手册较简明。在内容选择上是取其精华，摘其要点，深广度适中，以够用为度；在阐述上则以能揭示出事物本质、发展规律和关键之所在为限。力求简单、明确和扼要，以缩短查阅时间。

## 3. 适应性强

本手册与专用的焊接工具书相比，则是综合的和较为完整的。基本上涵盖了焊接学科的各个重要领域，如焊接方法、焊接工艺、焊接设备、焊接材料、焊接力学、焊接设计、焊接施工和焊接质量管理等。涉及了焊接结构在设计、制造和使用中常遇到的技术问题。基本上能满足焊接或与焊接相关的工程技术人员需要，因而本书具有较强的适应性和实用性。

## 4. 适当说理

本手册在处理每一焊接的具体技术问题时，向读者交代解决问题的方法无疑是放在首位的。但是，并不简单地指出应该这样干，不应该那样干，而是还指出为什么要这样干。也即适度地引述一些与此问题有关的理论，尽量说清楚问题的来龙去脉，让读者既知其然，亦知其所以然，变被动为主动。

本手册编入“焊接物理冶金”篇的用意，不仅是为焊接工程师在处理焊接技术问题时提供分析问题的思路和解决问题的理论依据，而且也是为了适应那些改行从事焊接技术工作的工程师对焊接基础理论和基本知识的需求。

焊接工程师经常要进行工装设计，仅举几个典型工装结构例子是不够的。本手册编入“焊接机械装备及其设计”一章，较全面系统地介绍焊接工装设计与计算的原理和方法，以满足这方面的需要。

现代科学技术的发展日新月异，焊接技术领域中出现的新材料、新工艺和新设备，本手册在保证编入基本、常用的焊接技术的同时，也尽量把现阶段成熟的，并已用于生产的这些焊接先进技术编到手册中来。对那些尚未用于生产的新技术，手册中就作为发展趋势的信息来报

道。编者已经注意到国家标准正处在向国际通行标准接轨，旧的标准不断修订，新的标准不断颁布，所以本手册努力把现行的最新国家焊接标准贯彻到手册中来，以跟上时代发展的步伐。

本书在编写过程中得到了有关工厂、科研单位和各大专院校的大力支持，提供了许多实用的数据和资料。此外，编者还参阅和引用了许多技术文献中的大量数据和资料，在此一并表示感谢。由于编者水平有限，错漏在所难免，尚望广大读者批评指正。

编者

# 目 录

- 第 3 版前言
- 第 2 版前言
- 第 1 版前言

## 第 1 篇 综合资料

第 1 章 符号	3	2.4.1 米制倍数与分数单位换算	45
1.1 希腊字母	3	2.4.2 英制与米制单位换算	45
1.2 标准代号	3	2.4.3 市制单位换算	47
1.2.1 中国标准代号	3	2.4.4 温度换算公式	48
1.2.2 国外部分标准代号	4	第 3 章 常用公式、数据和资料	49
1.3 数学符号	5	3.1 基本与常用物理常数	49
1.4 物理量名称及其符号	9	3.2 化学元素周期表及各元素的物理性能	49
1.5 化学元素符号	9	3.2.1 化学元素周期表	49
1.6 图形符号	12	3.2.2 各化学元素的物理性能	49
1.6.1 机械图样中的常用符号	12	3.3 工程制图常用基础资料	54
1.6.2 焊缝图形符号	16	3.3.1 图纸幅面和格式	54
1.6.3 电工系统图常用图形符号	20	3.3.2 标题栏与明细栏	54
1.7 我国钢铁产品牌号及其统一数字代号中		3.3.3 比例	54
字母的含义	26	3.3.4 字体及其在 CAD 制图中的规定	55
1.8 焊接材料型号和牌号中的代号	28	3.3.5 图线及其在 CAD 制图中的规定	56
1.9 电焊机型号中的符号	30	3.4 常用计算公式及运算	57
1.9.1 电焊机型号的编制	30	3.4.1 常用数学公式	57
1.9.2 电焊机型号中符号的含义	30	3.4.2 常用平面图形的计算公式	61
1.10 焊接方法的英文缩写字母	32	3.4.3 常用几何体的计算公式	62
1.11 焊缝无损检测符(代)号	33	3.4.4 常用理论力学公式	64
1.12 焊缝工作位置的符号	34	3.4.5 常用材料力学公式	65
第 2 章 单位及其换算	37	3.4.6 常用电工学公式	68
2.1 单位与单位制	37	3.5 钢铁材料基础资料	69
2.2 国际单位制及我国法定计量单位	37	3.5.1 钢铁及其热处理基础资料	69
2.2.1 国际单位制及其构成	37	3.5.2 常用钢材的品种及规格	80
2.2.2 我国的法定计量单位	37	3.5.3 钢铁材料的硬度及强度换算	83
2.3 物理量的符号和单位	39	3.6 常用材料的物理性能	88
2.3.1 常用空间、时间和周期的量和		3.6.1 常用材料的线胀系数	88
单位	39	3.6.2 常用材料的熔点、热导率及	
2.3.2 常用力学的量和单位	40	比热容	88
2.3.3 常用热力学的量和单位	41	3.6.3 常用材料的密度	88
2.3.4 常用电学及磁学的量和单位	43	3.6.4 材料的滑动摩擦因数	89
2.3.5 常用光学及声学的量和单位	44	3.7 常用有机与无机化工产品	
2.4 简易单位换算	45	及盐类的	
		性质	90

## 第 2 篇 焊接物理冶金

第 1 章 焊接及其分类 .....	95	3.2.3 熔池结晶的线速度 .....	151
1.1 焊接过程的物理本质 .....	95	3.2.4 熔池结晶的形态 .....	152
1.2 焊接的分类 .....	95	3.2.5 焊缝金属的化学成分不均匀性 .....	155
1.3 各种焊接方法的基本特点与应用 .....	96	3.2.6 焊缝一次结晶组织的改善 .....	157
1.4 焊接方法的选择 .....	98	3.2.7 焊缝的固态相变组织 .....	158
第 2 章 焊接物理 .....	102	3.2.8 焊缝中的气孔与夹杂 .....	161
2.1 焊接热过程及其特点 .....	102	3.3 固相冶金 .....	164
2.1.1 概述 .....	102	3.3.1 焊缝金属的固态相变 .....	164
2.1.2 焊接的热源 .....	103	3.3.2 焊接热影响区的固态相变 .....	164
2.1.3 焊接热传导 .....	105	3.3.3 焊接连续冷却转变图及其应用 .....	170
2.1.4 焊接热循环 .....	110	第 4 章 焊接裂纹 .....	174
2.2 焊接电弧及其特性 .....	116	4.1 概述 .....	174
2.2.1 焊接电弧 .....	116	4.1.1 裂纹的危害 .....	174
2.2.2 电弧的构造及其电压分布 .....	118	4.1.2 焊接裂纹的分类及其特点 .....	174
2.2.3 焊接电弧的最小能量消耗特性 .....	118	4.2 焊接热裂纹 .....	175
2.2.4 焊接电弧的热特性 .....	119	4.2.1 结晶裂纹 .....	175
2.2.5 焊接电弧的电特性 .....	120	4.2.2 液化裂纹 .....	179
2.2.6 焊接电弧的力学特性 .....	121	4.2.3 多边化裂纹 .....	180
2.2.7 拘束电弧 .....	122	4.3 焊接再热裂纹 .....	180
2.2.8 磁场对电弧的作用 .....	122	4.3.1 再热裂纹的发生及其特点 .....	180
2.3 焊丝的加热、熔化与熔滴过渡 .....	124	4.3.2 再热裂纹的形成机理 .....	181
2.3.1 焊丝的加热与熔化 .....	124	4.3.3 再热裂纹的影响因素及其防治 .....	181
2.3.2 熔滴过渡 .....	125	4.4 焊接冷裂纹 .....	183
2.4 母材的熔化与焊缝的形成 .....	129	4.4.1 冷裂纹的基本特征及其分类 .....	183
2.4.1 母材的熔化与熔池的形成 .....	129	4.4.2 冷裂纹的形成机理 .....	184
2.4.2 熔池的形状与焊缝的形成 .....	129	4.4.3 冷裂倾向的判据 .....	187
第 3 章 焊接冶金 .....	132	4.4.4 防止冷裂纹的措施 .....	189
3.1 液相冶金 .....	132	4.5 层状撕裂 .....	192
3.1.1 液相冶金过程的特点 .....	132	4.5.1 层状撕裂的特征与危害 .....	192
3.1.2 焊接时对金属的保护 .....	132	4.5.2 层状撕裂的形成机理 .....	193
3.1.3 焊接冶金反应区及其反应条件 .....	133	4.5.3 影响层状撕裂的因素 .....	193
3.1.4 气相对金属的作用 .....	134	4.5.4 防止层状撕裂的措施 .....	193
3.1.5 熔渣及其对金属的作用 .....	142	4.6 应力腐蚀裂纹 .....	195
3.2 凝固冶金 .....	150	4.6.1 应力腐蚀裂纹的特征与形成条件 .....	195
3.2.1 焊接熔池凝固的特点 .....	150	4.6.2 应力腐蚀开裂的机理 .....	196
3.2.2 熔池结晶的一般规律 .....	151	4.6.3 防治应力腐蚀裂纹的途径 .....	196

## 第 3 篇 弧焊方法及设备

第 1 章 弧焊电源 .....	201	1.1.2 弧焊电源的基本特点和适用范围 .....	201
1.1 弧焊电源的类型、基本特点及其适用范围 .....	201	1.2 对弧焊电源的基本要求 .....	201
1.1.1 弧焊电源的类型 .....	201	1.2.1 对弧焊电源外特性的要求 .....	201
		1.2.2 对弧焊电源调节特性的要求 .....	203

1.2.3 对弧焊电源动特性的要求 .....	203	2.5.1 焊前准备 .....	233
1.2.4 对弧焊电源的其他要求 .....	205	2.5.2 焊接参数 .....	233
1.3 交流弧焊电源 .....	205	2.5.3 后热与焊后热处理 .....	236
1.3.1 弧焊变压器 .....	205	<b>第3章 埋弧焊</b> .....	237
1.3.2 矩形波交流弧焊电源 .....	207	3.1 概述 .....	237
1.4 直流弧焊电源——弧焊发电机 .....	208	3.1.1 基本原理 .....	237
1.5 直流弧焊电源——弧焊整流器 .....	208	3.1.2 优缺点 .....	237
1.5.1 弧焊整流器的分类 .....	208	3.1.3 分类 .....	238
1.5.2 硅弧焊整流器 .....	208	3.2 适用范围 .....	238
1.5.3 晶闸管式弧焊整流器 .....	211	3.2.1 材料范围 .....	238
1.6 脉冲弧焊电源 .....	212	3.2.2 厚度范围 .....	238
1.6.1 脉冲弧焊电源的基本原理 .....	213	3.3 埋弧焊的自动调节系统 .....	238
1.6.2 脉冲弧焊电源的种类、特点与 应用 .....	213	3.3.1 实现焊接过程自动化的一般要求 ..	238
1.6.3 晶闸管式脉冲弧焊电源 .....	214	3.3.2 电弧自身调节系统 .....	239
1.6.4 晶体管式脉冲弧焊电源 .....	215	3.3.3 电弧电压反馈调节系统 .....	240
1.7 逆变式弧焊电源 .....	216	3.3.4 等速与电弧电压反馈送丝系统 性能的比较 .....	241
1.7.1 逆变式弧焊电源的基本原理及 组成 .....	216	3.4 埋弧焊机 .....	241
1.7.2 逆变式弧焊电源的分类、特点及 应用范围 .....	217	3.4.1 组成与分类 .....	241
1.7.3 逆变式弧焊电源的基本电路 .....	217	3.4.2 埋弧焊机的电源 .....	241
1.7.4 各类逆变式弧焊电源的比较 .....	221	3.4.3 送丝与行走机构 .....	243
1.8 数字式弧焊电源 .....	222	3.4.4 焊机机头调整机构 .....	245
1.8.1 数字式弧焊电源的基本结构 .....	222	3.4.5 易损件及辅助装置 .....	245
1.8.2 数字式弧焊电源的特点 .....	223	3.5 焊接材料——焊丝与焊剂 .....	246
1.9 弧焊电源的选择、使用与维修 .....	224	3.6 埋弧焊接工艺与技术 .....	246
1.9.1 弧焊电源的选择 .....	224	3.6.1 焊缝形状与尺寸及影响因素 .....	246
1.9.2 弧焊电源的安装、使用与维修 .....	226	3.6.2 焊接接头设计与坡口加工 .....	250
<b>第2章 焊条电弧焊</b> .....	227	3.6.3 组装与定位焊 .....	251
2.1 概述 .....	227	3.6.4 引弧板与引出板 .....	251
2.1.1 定义与工作原理 .....	227	3.6.5 焊接衬垫与打底焊道 .....	251
2.1.2 工艺特点 .....	227	3.6.6 焊前与层间的清理 .....	253
2.1.3 适用范围与局限性 .....	227	3.6.7 自动埋弧焊的常规工艺与技术 .....	253
2.2 焊接设备 .....	227	3.6.8 高效埋弧焊接工艺与技术 .....	258
2.2.1 弧焊电源 .....	227	3.7 埋弧焊常见的缺陷及消除 .....	266
2.2.2 辅助器具 .....	228	<b>第4章 钨极氩弧焊 (TIG 焊)</b> .....	268
2.3 焊接材料——焊条 .....	228	4.1 概述 .....	268
2.4 焊条电弧焊接头的设计与准备 .....	228	4.1.1 原理与分类 .....	268
2.4.1 接头的设计与选用 .....	228	4.1.2 TIG 焊的优缺点 .....	268
2.4.2 坡口的制备 .....	230	4.1.3 适用范围 .....	269
2.4.3 焊接位置 .....	231	4.2 不同电流与极性的 TIG 焊的工艺特点 ..	269
2.4.4 焊接衬垫与引出板 .....	231	4.2.1 直流钨极氩弧焊 .....	269
2.4.5 装配与定位焊 .....	232	4.2.2 交流钨极氩弧焊 .....	270
2.5 焊条电弧焊的焊接工艺 .....	233	4.2.3 脉冲钨极氩弧焊 .....	271
		4.3 钨极氩弧焊焊机 .....	273
		4.3.1 TIG 焊接过程的一般程序 .....	273

4.3.2	TIG 焊机的组成	273	5.4.3	送丝系统	304
4.3.3	焊接电源	273	5.4.4	供气与水冷系统	305
4.3.4	引弧和稳弧装置	274	5.4.5	控制系统	305
4.3.5	焊接电流衰减装置	275	5.5	MIG/MAG 焊的焊接工艺	306
4.3.6	焊枪	275	5.5.1	焊接材料的选择	306
4.3.7	供气系统与水冷系统	277	5.5.2	焊接参数	307
4.3.8	送丝机构和焊接小车	277	5.5.3	典型 MIG 焊的焊接参数	310
4.4	焊接材料	277	5.6	CO <sub>2</sub> 气体保护焊	315
4.4.1	钨极	277	5.6.1	工艺特点	315
4.4.2	保护气体	278	5.6.2	冶金特点	316
4.4.3	填充金属	279	5.6.3	焊接材料	317
4.5	焊接工艺	280	5.6.4	CO <sub>2</sub> 气体保护焊的焊接参数	318
4.5.1	接头形式与坡口	280	5.6.5	CO <sub>2</sub> 气体保护焊的常见缺陷及其产生原因	322
4.5.2	焊前清理	280	5.7	药芯焊丝气体保护电弧焊	323
4.5.3	装配	281	5.7.1	药芯焊丝气体保护电弧焊的工艺特点	323
4.5.4	电流类型与极性选择	281	5.7.2	药芯焊丝	324
4.5.5	钨极的选择与使用	282	5.7.3	药芯焊丝气体保护焊的工艺	324
4.5.6	焊接参数的选择	282	5.8	窄间隙熔化极气体保护电弧焊	326
4.6	管子 TIG 焊	287	5.8.1	基本特征	326
4.6.1	固定管全位置 TIG 焊	287	5.8.2	优缺点及适用范围	326
4.6.2	管板焊接	290	5.8.3	焊接工艺	327
4.7	工艺缺陷及其产生原因与防止措施	291	5.9	CO <sub>2</sub> 电弧点焊	329
4.8	特殊 TIG 焊技术	291	5.9.1	特点与应用	329
4.8.1	TIG 点焊	291	5.9.2	常用接头形式	329
4.8.2	热丝 TIG 焊	293	5.9.3	焊接工艺	330
4.8.3	TOPTIG 焊	294	5.10	气电立焊	330
4.9	安全技术	295	5.10.1	操作原理	330
<b>第 5 章 熔化极气体保护焊</b>		297	5.10.2	优缺点	330
5.1	概述	297	5.10.3	适用范围	331
5.1.1	基本原理	297	5.10.4	焊接设备	331
5.1.2	分类	297	5.10.5	焊接材料	332
5.1.3	优缺点	297	5.10.6	焊接工艺	332
5.1.4	适用范围	297	5.11	先进熔化极气体保护焊	333
5.2	保护气体和焊丝	298	5.11.1	冷金属过渡 (CMT) 焊	333
5.2.1	保护气体	298	5.11.2	表面张力过渡 (STT) 焊	335
5.2.2	焊丝	299	5.11.3	TIME 焊 (四元混合气体熔化极保护焊)	336
5.3	熔化极气体保护焊的熔滴过渡	299	5.11.4	Time Twin GMAW (相位控制的双丝脉冲 GMAW)	337
5.3.1	短路过渡	299	<b>第 6 章 等离子弧焊</b>		339
5.3.2	细颗粒过渡	300	6.1	概述	339
5.3.3	喷射过渡	300	6.1.1	等离子弧及其形成	339
5.3.4	亚射流过渡	301	6.1.2	等离子弧的特性	339
5.3.5	脉冲喷射过渡	301			
5.4	熔化极气体保护电弧焊的设备	302			
5.4.1	焊接电源	302			
5.4.2	焊枪	303			

6.1.3 等离子弧的类型 .....	340	6.7 等离子弧焊的常见缺陷及其产生原因 .....	351
6.2 等离子弧焊的工艺特点与适用范围 .....	340	<b>第7章 螺柱焊</b> .....	352
6.2.1 工艺特点 .....	340	7.1 概述 .....	352
6.2.2 适用范围 .....	341	7.2 拉弧式螺柱焊 .....	352
6.3 等离子弧焊的类型 .....	341	7.2.1 瓷环保护拉弧式螺柱焊 .....	352
6.4 等离子弧焊设备 .....	342	7.2.2 短周期拉弧式螺柱焊 .....	355
6.4.1 设备的组成 .....	342	7.3 电容放电螺柱焊 .....	356
6.4.2 焊接电源 .....	342	7.3.1 电容放电螺柱焊的焊接过程 .....	356
6.4.3 焊枪 .....	343	7.3.2 电容放电螺柱焊的设备 .....	358
6.5 等离子弧焊的双弧问题 .....	345	7.3.3 电容放电螺柱焊的焊接工艺 .....	359
6.6 等离子弧焊工艺 .....	345	7.4 螺柱焊材料的组合及其焊接性 .....	360
6.6.1 焊接接头 .....	345	7.5 螺柱焊方法的选择与应用 .....	361
6.6.2 装配与夹紧 .....	346	7.5.1 螺柱焊方法的选择 .....	361
6.6.3 等离子弧焊气体的选择 .....	346	7.5.2 螺柱焊的应用 .....	363
6.6.4 焊接参数 .....	347		

## 第4篇 电阻焊方法及设备

<b>第1章 电阻焊基础</b> .....	367	2.4 电阻焊机的控制器 .....	382
1.1 概述 .....	367	2.4.1 控制器的功能 .....	382
1.1.1 电阻焊的分类 .....	367	2.4.2 控制器的分类、特点和选用 .....	382
1.1.2 电阻焊的优缺点 .....	368	2.5 点焊机器人 .....	384
1.2 电阻焊的热量及其影响因素 .....	368	2.5.1 点焊机器人的组成 .....	384
1.2.1 电阻焊的热量 .....	368	2.5.2 点焊机器人的优点 .....	385
1.2.2 影响焊接热量的因素 .....	368	<b>第3章 点焊工艺</b> .....	386
1.3 热平衡及温度分布 .....	370	3.1 熔核的形成及其对质量的一般要求 .....	386
1.3.1 热平衡 .....	370	3.1.1 熔核的形成 .....	386
1.3.2 温度分布 .....	371	3.1.2 对熔核质量的一般要求 .....	386
1.4 焊接循环 .....	371	3.2 点焊方法的种类 .....	387
1.5 金属材料电阻焊的焊接性及其影响因素 .....	372	3.3 点焊接头的设计 .....	388
<b>第2章 电阻焊设备</b> .....	374	3.4 点焊电极与电极握杆 .....	389
2.1 概述 .....	374	3.4.1 点焊电极 .....	389
2.1.1 分类 .....	374	3.4.2 电极握杆 .....	392
2.1.2 电阻焊设备的型号编制方法 .....	374	3.5 点焊工艺 .....	392
2.1.3 电阻焊机的技术指标 .....	374	3.5.1 焊前焊件的表面清理 .....	392
2.1.4 电阻焊设备的基本构成 .....	374	3.5.2 点焊的焊接参数 .....	393
2.2 点焊机 .....	378	3.5.3 点焊时电流的分流 .....	396
2.2.1 摇臂型点焊机 .....	378	3.5.4 不等厚或异种材料的点焊 .....	397
2.2.2 直压型点焊机 .....	379	3.5.5 常用金属材料的点焊工艺要点 .....	398
2.2.3 移动型点焊机 .....	379	<b>第4章 凸焊工艺</b> .....	405
2.2.4 多点型点焊机 .....	380	4.1 概述 .....	405
2.3 其他电阻焊机 .....	381	4.1.1 凸焊的工艺特点 .....	405
2.3.1 凸焊机 .....	381	4.1.2 凸焊的优缺点 .....	406
2.3.2 缝焊机 .....	381	4.1.3 凸焊的适用范围 .....	406
2.3.3 对焊机 .....	382	4.2 凸焊工艺 .....	406
		4.2.1 凸焊的接头设计 .....	406

4.2.2 凸焊的电极 .....	407	5.5.1 低碳钢的缝焊 .....	414
4.2.3 凸焊的焊接参数 .....	408	5.5.2 镀层钢板的缝焊 .....	414
4.3 常用金属材料的凸焊要点 .....	408	5.5.3 不锈钢与高温合金的缝焊 .....	416
<b>第5章 缝焊工艺</b> .....	<b>411</b>	5.5.4 铝合金的缝焊 .....	417
5.1 概述 .....	411	5.5.5 钛合金的缝焊 .....	417
5.1.1 缝焊的基本形式及其工艺特点 .....	411	<b>第6章 对焊工艺</b> .....	<b>419</b>
5.1.2 缝焊的优缺点 .....	411	6.1 电阻对焊工艺 .....	419
5.1.3 缝焊的应用 .....	412	6.1.1 接头的形成与所需的基本条件 .....	419
5.2 缝焊用电极 .....	412	6.1.2 电阻对焊的特点与适用范围 .....	419
5.2.1 电极的形状 .....	412	6.1.3 焊接工艺 .....	419
5.2.2 电极的尺寸 .....	412	6.2 闪光对焊工艺 .....	421
5.2.3 电极的材料 .....	413	6.2.1 闪光对焊的工作原理 .....	421
5.3 缝焊的焊接参数及其对焊接质量的 影响 .....	413	6.2.2 闪光对焊的特点与适用范围 .....	422
5.4 缝焊的接头设计 .....	414	6.2.3 焊接工艺 .....	424
5.5 常用金属材料的缝焊工艺要点 .....	414	6.2.4 闪光对焊新技术 .....	431
<b>第5篇 其他焊接方法及设备</b>			
<b>第1章 电渣焊</b> .....	<b>435</b>	2.1.2 电子束焊的特点 .....	455
1.1 概述 .....	435	2.1.3 电子束焊的适用范围 .....	455
1.1.1 电渣焊的基本原理 .....	435	2.2 焊接设备与装置 .....	456
1.1.2 电渣焊的特点 .....	435	2.2.1 电子束焊机的组成 .....	456
1.1.3 电渣焊的种类 .....	435	2.2.2 电子束焊机的分类 .....	456
1.1.4 电渣焊的适用范围 .....	437	2.3 焊接工艺 .....	457
1.2 电渣焊设备 .....	437	2.3.1 接头设计 .....	457
1.2.1 丝极电渣焊设备 .....	437	2.3.2 焊前准备 .....	458
1.2.2 熔嘴电渣焊设备 .....	438	2.3.3 焊接参数 .....	459
1.3 电渣焊工艺 .....	438	2.4 常用金属材料的电子束焊要点 .....	461
1.3.1 焊接材料 .....	438	2.4.1 钢的电子束焊 .....	461
1.3.2 焊接接头设计 .....	439	2.4.2 有色金属的电子束焊 .....	461
1.3.3 丝极电渣焊工艺 .....	439	2.4.3 难熔金属的电子束焊 .....	461
1.3.4 熔嘴电渣焊工艺 .....	446	2.4.4 异种金属的电子束焊 .....	461
1.3.5 板极电渣焊工艺 .....	450	2.5 焊接缺陷 .....	462
1.3.6 焊后处理 .....	451	2.6 安全技术 .....	463
1.3.7 电渣焊接头的缺陷 .....	451	<b>第3章 激光焊</b> .....	<b>464</b>
1.4 电渣压焊 .....	452	3.1 概述 .....	464
1.4.1 电渣压焊的焊接过程 .....	452	3.1.1 激光焊及其特点 .....	464
1.4.2 电渣压焊的特点与适用范围 .....	453	3.1.2 激光焊的分类 .....	464
1.4.3 电渣压焊设备 .....	453	3.1.3 激光焊的主要应用 .....	464
1.4.4 电渣压焊用焊剂 .....	453	3.2 激光焊设备 .....	464
1.4.5 电渣压焊的焊接工艺 .....	453	3.2.1 激光器 .....	465
1.4.6 焊接的质量与检验 .....	453	3.2.2 光束传输与聚焦系统 .....	466
<b>第2章 电子束焊</b> .....	<b>455</b>	3.3 激光焊接原理 .....	466
2.1 概述 .....	455	3.3.1 激光与材料间的相互作用 .....	466
2.1.1 电子束焊的工作原理 .....	455	3.3.2 金属材料的激光吸收率及其主要	

影响因素 .....	467	<b>第 6 章 冷压焊</b> .....	500
3.3.3 焊接过程中的几种效应 .....	468	6.1 概述 .....	500
3.4 连续激光焊工艺 .....	468	6.1.1 冷压焊的原理 .....	500
3.4.1 连续激光焊熔池的特点 .....	468	6.1.2 冷压焊的优缺点 .....	500
3.4.2 连续激光焊的接头设计 .....	469	6.1.3 冷压焊的适用范围 .....	500
3.4.3 影响连续激光焊接质量的主要 因素 .....	469	6.2 冷压焊工艺 .....	501
3.4.4 焊接参数 .....	472	6.2.1 冷压焊焊接界面的清理 .....	501
3.5 脉冲激光焊 .....	473	6.2.2 冷压焊焊接参数 .....	501
3.6 激光与其他热源复合焊接技术 .....	474	6.3 冷压焊用模具 .....	502
3.7 激光安全知识 .....	476	6.3.1 对接冷压焊的钳口 .....	502
3.7.1 激光对人体的危害 .....	476	6.3.2 搭接冷压焊模具 .....	502
3.7.2 激光的安全防护 .....	477	6.3.3 模具材料 .....	504
<b>第 4 章 摩擦焊</b> .....	478	<b>第 7 章 爆炸焊</b> .....	505
4.1 概述 .....	478	7.1 爆炸焊的原理 .....	505
4.1.1 摩擦焊的基本原理 .....	478	7.1.1 爆炸焊的焊接过程 .....	505
4.1.2 摩擦焊的种类及其工艺特点 .....	478	7.1.2 爆炸焊的基本原理 .....	505
4.1.3 摩擦焊的特点 .....	481	7.1.3 结合面形态与结合性质 .....	506
4.1.4 摩擦焊的适用范围 .....	481	7.2 爆炸焊的分类 .....	506
4.2 摩擦焊设备 .....	484	7.3 爆炸焊的优缺点 .....	506
4.2.1 旋转式摩擦焊机 .....	484	7.4 爆炸焊适用范围 .....	507
4.2.2 搅拌摩擦焊机 .....	485	7.4.1 可焊接的金属材料 .....	507
4.3 摩擦焊工艺 .....	485	7.4.2 可焊接的产品结构 .....	507
4.3.1 焊件转动摩擦焊工艺 .....	485	7.5 爆炸焊工艺 .....	508
4.3.2 搅拌摩擦焊工艺 .....	488	7.5.1 爆炸焊的接头准备 .....	508
4.4 摩擦焊接的质量及其控制 .....	490	7.5.2 爆炸焊用炸药 .....	509
4.4.1 焊件转动的摩擦焊接的质量 及其控制 .....	490	7.5.3 爆炸焊的安装工艺 .....	509
4.4.2 搅拌摩擦焊接的质量及其控制 .....	490	7.5.4 焊接参数 .....	509
4.4.3 摩擦焊接质量的检测 .....	492	7.6 爆炸焊的缺陷和检验 .....	510
4.5 摩擦焊安全技术 .....	492	7.6.1 爆炸焊的缺陷 .....	510
<b>第 5 章 扩散焊</b> .....	493	7.6.2 爆炸焊质量检验 .....	510
5.1 概述 .....	493	7.7 爆炸焊安全技术 .....	510
5.1.1 扩散焊的原理 .....	493	<b>第 8 章 超声波焊</b> .....	512
5.1.2 扩散焊的工艺特点 .....	494	8.1 概述 .....	512
5.2 扩散焊的优缺点 .....	494	8.1.1 超声波焊的原理 .....	512
5.3 扩散焊的种类 .....	494	8.1.2 超声波焊接头形成机理 .....	512
5.4 扩散焊工艺 .....	495	8.1.3 超声波焊的分类 .....	512
5.4.1 扩散焊的接头形式 .....	495	8.1.4 超声波焊的优缺点及其应用 .....	514
5.4.2 扩散焊待焊表面的制备与清理 .....	495	8.2 超声波焊的焊接工艺 .....	515
5.4.3 扩散焊中间层材料的选择 .....	496	8.2.1 超声波焊的接头设计 .....	515
5.4.4 扩散焊止焊剂的应用 .....	496	8.2.2 超声波焊的表面准备 .....	515
5.4.5 扩散焊焊接参数 .....	496	8.2.3 超声波焊的焊接参数 .....	515
5.5 扩散焊设备 .....	497	8.2.4 超声波焊的其他工艺因素 .....	516
5.6 扩散焊的应用 .....	499	8.3 焊接设备 .....	516
		8.3.1 超声波发生器 .....	517
		8.3.2 声学系统 .....	517

8.3.3 加压机构 .....	517	10.4.4 钎焊接头的工艺性设计 .....	552
8.3.4 程序控制器 .....	517	10.5 钎焊工艺 .....	553
<b>第9章 气焊</b> .....	<b>518</b>	10.5.1 焊件的清理与表面准备 .....	553
9.1 概述 .....	518	10.5.2 预置钎剂和阻流剂 .....	554
9.1.1 气焊的特点 .....	518	10.5.3 装配、定位与放置钎料 .....	554
9.1.2 气焊的适用范围 .....	518	10.5.4 焊接参数 .....	555
9.2 气体 .....	518	10.5.5 钎焊后处理 .....	555
9.2.1 氧气 .....	518	10.6 各种金属材料的钎焊 .....	555
9.2.2 可燃气体 .....	518	10.6.1 钎焊性 .....	555
9.3 气焊设备 .....	519	10.6.2 碳素钢与低合金钢的钎焊 .....	556
9.3.1 氧气瓶 .....	519	10.6.3 铸铁的钎焊 .....	556
9.3.2 减压器 .....	519	10.6.4 不锈钢的钎焊 .....	556
9.3.3 乙炔瓶 .....	519	10.6.5 铜及铜合金的钎焊 .....	557
9.3.4 回火及回火保险器 .....	520	10.6.6 铝及铝合金的钎焊 .....	558
9.3.5 焊炬 .....	520	10.6.7 钛及钛合金的钎焊 .....	559
9.3.6 气焊辅助工具 .....	521	10.6.8 工具钢与硬质合金的钎焊 .....	560
9.4 焊接材料 .....	521	<b>第11章 高频焊</b> .....	<b>562</b>
9.4.1 焊丝 .....	521	11.1 概述 .....	562
9.4.2 熔剂 .....	521	11.1.1 高频焊的工作原理 .....	562
9.5 气焊工艺 .....	522	11.1.2 高频焊的焊接过程 .....	562
9.5.1 气焊的接头设计 .....	522	11.1.3 高频焊的优缺点及基本应用 .....	563
9.5.2 气焊火焰 .....	522	11.2 高频焊设备 .....	564
9.5.3 左焊法与右焊法 .....	523	11.3 典型焊接工艺 .....	564
9.5.4 气焊的焊接参数 .....	524	11.3.1 连续高频焊 .....	564
<b>第10章 钎焊</b> .....	<b>525</b>	11.3.2 断续高频焊 .....	567
10.1 概述 .....	525	<b>第12章 热切割</b> .....	<b>569</b>
10.1.1 钎焊的特点、类型和适用范围 .....	525	12.1 切割及其分类 .....	569
10.1.2 钎焊的基本原理 .....	525	12.2 气体火焰切割 .....	569
10.1.3 钎焊接头的构成 .....	526	12.2.1 氧乙炔切割 .....	569
10.2 钎焊材料 .....	527	12.2.2 氧丙烷切割 .....	575
10.2.1 钎料 .....	527	12.2.3 氧甲烷切割 .....	575
10.2.2 钎剂 .....	537	12.2.4 氧熔剂切割 .....	575
10.3 钎焊方法 .....	542	12.3 等离子弧切割 .....	576
10.3.1 烙铁钎焊 .....	542	12.3.1 等离子弧切割的切割原理 .....	576
10.3.2 火焰钎焊 .....	542	12.3.2 等离子弧切割的种类 .....	577
10.3.3 浸渍钎焊 .....	542	12.3.3 等离子弧切割设备 .....	578
10.3.4 电阻钎焊 .....	543	12.3.4 等离子弧切割工艺 .....	579
10.3.5 感应钎焊 .....	544	12.4 碳弧气刨 .....	581
10.3.6 炉中钎焊 .....	545	12.4.1 碳弧气刨的原理、特点与应用 范围 .....	581
10.3.7 波峰钎焊和再流钎焊 .....	546	12.4.2 碳弧气刨用的设备与材料 .....	582
10.3.8 钎焊方法的选择 .....	549	12.4.3 碳弧气刨的参数选择、质量控制 及其对工件材质的影响 .....	584
10.4 钎焊接头的设计 .....	550	12.5 激光切割 .....	585
10.4.1 钎焊接头的基本形式 .....	550	12.5.1 激光切割的类型及原理 .....	585
10.4.2 钎接头搭接长度计算 .....	550		
10.4.3 钎焊接头的间隙 .....	551		

12.5.2 激光切割的特点 .....	586	比较 .....	589
12.5.3 材料的激光切割性 .....	586	12.6.2 热切割方法的选择 .....	590
12.5.4 激光切割设备 .....	586	12.7 切割的机械化与自动化 .....	591
12.5.5 激光切割工艺 .....	587	12.7.1 常用机械控制切割机 .....	591
12.6 热切割方法的比较与选择 .....	589	12.7.2 光电跟踪切割机 .....	591
12.6.1 主要热切割方法的技术经济性		12.7.3 数控切割机 .....	592

### 第6篇 焊接材料

<b>第1章 焊条</b> .....	599	2.3.1 焊剂 .....	670
1.1 概述 .....	599	2.3.2 焊丝型号与牌号 .....	678
1.1.1 焊条的组成及其作用 .....	599	2.3.3 焊丝-焊剂组合分类 .....	684
1.1.2 焊条的分类 .....	600	2.4 焊带 .....	690
1.1.3 焊条型号与牌号的编制方法 .....	602	<b>第3章 焊接用保护气体</b> .....	692
1.2 焊条的配方设计与制造 .....	612	3.1 概述 .....	692
1.2.1 焊条的配方设计 .....	612	3.2 保护气体的特性 .....	692
1.2.2 焊条制造简介 .....	614	3.2.1 保护气体的物理性能 .....	692
1.2.3 焊条质量及工艺性能评定 .....	615	3.2.2 保护气体的化学性能及其应用 .....	692
1.3 焊条的主要性能、用途及其选用 .....	615	3.2.3 保护气体在弧焊过程中的工艺特性 .....	692
1.3.1 各类焊条的主要性能与用途 .....	615	3.3 焊接用保护气体的技术要求 .....	694
1.3.2 焊条的选用 .....	627	3.4 保护气体选用要点 .....	694
1.3.3 焊条的正确使用与管理 .....	628	<b>第4章 电极</b> .....	697
<b>第2章 焊丝、焊带与焊剂</b> .....	631	4.1 概述 .....	697
2.1 气体保护焊实心焊丝 .....	631	4.2 弧焊用钨电极 .....	697
2.1.1 焊丝的作用与分类 .....	631	4.2.1 钨极的类型 .....	697
2.1.2 实心焊丝的型号、牌号及化学成分 .....	631	4.2.2 钨极载流能力 .....	697
2.1.3 实心焊丝选用要点 .....	652	4.2.3 钨极的形状尺寸和表面质量 .....	697
2.2 药芯焊丝 .....	652	4.2.4 钨极的选用 .....	698
2.2.1 药芯焊丝的特点及分类 .....	652	4.3 电阻焊用铜电极 .....	698
2.2.2 药芯焊丝的型号与牌号 .....	653	4.3.1 电极的功能及其损坏形式 .....	698
2.2.3 药芯焊丝的选择与使用 .....	669	4.3.2 电极材料 .....	699
2.3 埋弧焊用焊剂、焊丝及焊丝-焊剂组合分类 .....	670	4.3.3 电极材料选用要点 .....	701

### 第7篇 金属材料的焊接

<b>第1章 焊接性及其试验方法</b> .....	707	原则 .....	710
1.1 焊接性 .....	707	1.3 常用焊接性试验方法 .....	711
1.1.1 焊接性的概念 .....	707	1.3.1 工艺焊接性的间接估算法 .....	711
1.1.2 影响焊接性的因素 .....	707	1.3.2 工艺焊接性的直接试验法 .....	714
1.1.3 金属焊接性的研究方法 .....	708	1.3.3 使用焊接性的试验方法 .....	724
1.2 焊接性试验的内容与方法分类 .....	709	1.3.4 焊接热(应力、应变)模拟试验技术 .....	740
1.2.1 焊接性试验的内容 .....	709	<b>第2章 碳素钢的焊接</b> .....	742
1.2.2 焊接性试验方法的分类 .....	710	2.1 概述 .....	742
1.2.3 选择或设计焊接性试验方法的			