

焊接手册

焊接方法及设备

第2版

1

中国机械工程学会焊接学会 编



机械工业出版社
China Machine Press



77.7073
140

焊 接 手 册

(第2版)

第1卷 焊接方法及设备

中国机械工程学会焊接学会 编



机 械 工 业 出 版 社

《焊接手册》是由焊接学会在全国范围内组织专家编著的一部综合性专业工具书，是学会为生产服务的具体体现。对手册内容的不断充实、完善是学会的长期工作任务。此次修订即第2版，是在第1版的基础上，依然保持内容选材广泛、突出手册的实践性、准确性、可靠性等特点；采纳近几年国内外焊接生产技术飞速发展的成果，新颁布的国内外标准。与第1版相同，全套手册共计3卷（焊接方法及设备；材料的焊接；焊接结构），本书为其中的第1卷。

本卷共分6篇、41章，特点是焊接工艺与设备兼顾，原理与工艺（或设备）密切联系。目的是引导读者正确选择和使用焊接方法及设备，并提供解决焊接工艺问题的基本途径。具体内容包括各种电弧焊、电阻焊、高能束焊、钎焊、焊接过程自动化技术以及其他焊接方法等。增加了药芯焊丝电弧焊及SMT中的焊接技术两章。

《焊接手册》的读者对象是以各个工业部门中从事焊接生产的工程技术人员为主，但同时这部手册对于焊接科研、设计和教学人员也是一部解决实际问题时必备的工具书。

图书在版编目（CIP）数据

焊接手册. 焊接方法及设备: 第1卷 / 中国机械工程学会焊接学会编. — 2版. — 北京: 机械工业出版社, 2001.8

ISBN 7-111-03073-7

I. 焊... II. 中... III. ①焊接—技术手册②焊接工艺—技术手册③焊接设备—技术手册 IV. TG4-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第043669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：武江 周国萍

封面设计：姚毅

责任印制：李妍

北京蓝海印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005年1月第2版第3次印刷

1000mm×1400mm B5·31.375印张·3插页·1638千字

38001-40000册

定价：78.00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、88379646

封面无防伪标均为盗版

《焊接手册》第2版 编委会

主 任 宋天虎

副主任 陈剑虹 吴 林 陈丙森

邹增大 单 平 崔树森

顾 问 潘际銮 斯重遥 田锡唐 关 桥

委 员 殷树言 刘金合 陈善本 周昭伟 任家烈

张修智 史耀武 苏 毅 陈祝年

《焊接手册》第2版第1卷编审者名单

主 编

吴 林 哈尔滨工业大学 教授

副主编

殷树言
北京工业大学
教 授

刘金合
西北工业大学
教 授

陈善本
上海交通大学
教 授

作 者 审 者

(编审者按姓氏汉语拼音顺序排列)

查慧华
上海电焊机厂设计科
工程师

陈树君
北京工业大学
副教授

陈文威
长安大学工程机械学院
教授

陈彦宾
哈尔滨工业大学
副教授

崔维达
哈尔滨工业大学
教 授

董大军
长安大学工程机械学院
副教授

丁 韦
铁道部科学研究院
副研究员

都 东
清华大学
教 授

方鸿渊
哈尔滨工业大学
教 授

方臣富
华东船舶工程学院
教授、博士

冯吉才
哈尔滨工业大学
教 授

耿 正
哈尔滨工业大学
教 授

郭世康

清华大学
教 授

郭寓岷

冶金建筑研究总院
研究员级高级工程师

何方殿

清华大学
教 授

何伟儒

第二汽车制造厂
研究员级高级工程师

胡百僖

中国电工设备总公司
教授级高工

冀殿英

南昌航空工业学院
教 授

蒋建敏

北京工业大学
教 授

李鹤歧

甘肃工业大学
教 授

李宏运

北京航空材料研究院
高级工程师

李 力

铁道部科学研究院
副研究员

李西恭

北京工业大学
教 授

李致焕

河北工业大学
教 授

刘方军

北京航空工艺研究院
研究员

刘国溟

第二汽车制造厂
研究员级高级工程师

刘会杰

哈尔滨工业大学
副研究员

刘家发

大庆石油管理局
教授级高级工程师

刘文焕

清华大学
副 教 授

刘效方

北京航空材料研究院
研究员

罗树方

北京航空航天大学
教 授

马 鑫

信息产业部电子第五研究所
博士、工程师

潘际奎

南昌大学
中国科学院院士

齐志扬

上海交通大学焊接工程研究所
教 授

钱乙余

哈尔滨工业大学
教 授

施克仁

清华大学机械工程系
教 授

宋宝天

哈尔滨焊接研究所
研究员级高级工程师

王纯孝

中国航空工业制造工程研究所
研究员

王克争

清华大学
副教授

王 奇

沈阳铁路局锦州分局科学研究所
高级工程师

王士元

西安交通大学
教 授

温忠和

哈尔滨焊接研究所
高级工程师

吴文飞

陕西达西瑞房地产发展有限公司
工程师

徐松英

上海电焊机厂
研究员级高级工程师

徐滨士

装甲兵工程学院
中国工程院院士

薛崇貌

西北工业大学
教 授

薛松柏

哈尔滨焊接研究所
研究员级高级工程师

益小苏

北京航空材料研究院
教 授

俞尚知

上海交通大学
教 授

张 华

哈尔滨焊接研究所
高级工程师

张人豪

清华大学
教 授

张 义

吉林工业大学
教 授

张振学

装甲兵工程学院
副教授

赵家瑞

天津大学
教 授

郑会鐸

成都电焊机厂
教授级高级工程师

郑远谋

银峰企业有限公司
新技术应用研究所
高级工程师

邹立顺

铁道部科学研究院
副研究员

邹一心

西北工业大学
教 授

《焊接手册》第1版第1卷编审者名单

主 编 潘际銮

中国科学院学部委员
清华大学教授

第一副主编 郭世康

清华大学教授

副 主 编 王其隆

哈尔滨工业大学教授

何方殿

清华大学教授

作 者 审 者

(编审者按姓氏汉语拼音顺序排列)

鲍力立

第二汽车制造厂
高级工程师

丁培璠

中国机械工程学会
研究员级高级工程师

何伟儒

第二汽车制造厂
研究员级高级工程师

才荫先

哈尔滨焊接研究所
高级工程师

冯吉才

哈尔滨工业大学
讲 师

胡百僖

北京精艺技术开发公司
高级工程师

陈武柱

清华大学
教 授

龚国尚

清华大学
副 教 授

胡正衡

北京工业大学
教 授

成亚男

北京金属结构厂
高级工程师

郭明达

上海重型机器厂
高级工程师

黄石生

华南理工大学
教 授

崔维达

哈尔滨工业大学
教 授

郭希烈

铁道部科学研究院
研 究 员

冀殿英

南昌航空工业学院
教 授

李尚周

华南理工大学
讲 师

蒲万林

原华中理工大学
教 授

吴敏生

清华大学
副 教 授

李树槐

吉林工业大学
教 授

齐志扬

上海交通大学
副 教 授

吴志强

清华大学
教 授

李先耀

清华大学
副 教 授

乔松龄

北京精艺技术开发公司
高级工程师

肖 敏

华中理工大学
讲 师

李致焕

河北工学院
副 教 授

施克仁

清华大学
副 教 授

邢小琳

冶金部钢铁研究院
高级工程师

刘国溟

第二汽车制造厂
研究员级高级工程师

宋天虎

哈尔滨焊接研究所
高级工程师

徐滨士

装甲兵工程学院
教 授

刘文焕

清华大学
副 教 授

孙 勇

装甲兵工程学院
讲 师

徐庆鸿

哈尔滨工业大学
副 教 授

刘效方

北京航空材料研究所
研究员级高级工程师

王纯孝

北京航空工艺研究所
高级工程师

徐松英

上海电焊机厂
高级工程师

梅福欣

华南理工大学
教 授

王克家

铁道部科学研究院
副研究员

益小苏

浙江大学
教 授

聂淦生

机电部成都电焊机研究所
高级工程师

王克争

清华大学
副 教 授

俞尚知

上海交通大学
教 授

宁斐章

哈尔滨焊接研究所
研究员级高级工程师

吴 林

哈尔滨工业大学
教 授

张人豪

清华大学
教 授

赵家瑞

天津大学
教 授

郑元亮

上海电焊机厂
高级工程师

朱正行

上海交通大学
教 授

郑笔康

中国科学院金属研究所
副研究员

郑远谋

第二汽车制造厂
工 程 师

庄鸿寿

北京航空航天大学
教 授

郑 兵

哈尔滨工业大学
讲 师

周方洁

北京理工大学
助理研究员

邹积铎

上海重型机器厂
高级工程师

郑宜庭

北京航空航天大学
副 教 授

周万盛

航空航天工业部 703 所
研 究 员

何瑞芳高级工程师也曾积极参加了第六篇第三十九章的编写工作。

此外，还有清华大学焊接专业研究生朱志明和苏勇同志参加了编审的辅助工作。

第 2 版 序

古往今来，逢盛世修典编籍昭祥瑞，中国机械工程学会焊接分会恭循此例，于是，就有了这一部集百家智慧精心修订而成的《焊接手册》（第 2 版）。

回溯 20 世纪 90 年代初，来自全国近 200 名焊接工程技术专家齐心协力编撰了《焊接手册》（第 1 版），填补了我国焊接学科大型综合性工具书的空白，了却了几代焊接工程技术人员的夙愿，此善举博得了海内外读者的广泛称颂。此次修订再版更是中国机械工程学会焊接分会奉献给新世纪的一份厚礼。

中国改革开放步伐的突飞猛进和社会主义现代化建设的日新月异对作为现代先进制造技术之一的焊接技术提出了更高的要求，为我国焊接技术水平以及焊接生产能力的提高建立了一个良好的平台，同时也为我国焊接工程界跻身于世界先进焊接强国行列奠定了可靠的基础。在 20 世纪最后 10 年间，焊接技术在我国国民经济建设各个领域的应用在广度和深度方面均产生了质的飞跃，呈现出新的群雄并存、共同繁荣的新格局：焊接机械化、自动化水平不断提高，具有高参数、高寿命、大型化、超微细等特征的焊接制品的不断出现；焊接结构设计革新程度迅速提升；焊接新工艺、新方法投入生产实际应用周期大为缩短；高效优质焊接材料、焊接设备系列化和国产化均攀上新台阶；焊接标准化体系日趋完整；合资和外资企业在中国市场上日益活跃，有力地推进了中国焊接技术与生产融入国际化发展的进程。

有鉴于此，及时全面修订、充实、完善《焊接手册》（第 1 版）的内容，使其真正成为广大焊接工作者不可或缺的工具书，从而全面满足现代焊接技术研发工作和生产实际的需要，就成为摆在中国机械工程学会焊接分会面前一项紧迫而必要的工作。令人欣慰的是我们没有辜负各

界同行的期望与嘱托，在较短的时间里完成了这一宏大的修订工作。

第2版《焊接手册》共分3卷，约500万字。在充分汲取国外先进经验、全面采纳国内外最新技术标准的基础上，完整展示了近十年来我国焊接工程技术领域的最新技术成就，全面总结了当今最新的焊接基础知识，包括焊接理论基础、焊接方法与设备、焊接自动化、各种材料的焊接、焊接结构的设计、生产、检验、安全评定、劳动安全与卫生等，并着意提供了焊接技术在各行各业的生产实际应用范例。焕然一新的《焊接手册》第2版学科布局齐全，内容丰富翔实，数据实用可靠，图文并茂，生动活泼，既是我国焊接技术文库中的一部恢弘巨著，又是一部具有极强实用性的工具书。我们有理由相信，新版手册将为我国焊接技术的蓬勃发展发挥不可替代的独特的作用。

中国机械工程学会焊接分会荣幸邀请到200余位来自大江南北的杰出专家学者加盟手册的修订工作，可谓群贤毕至，少长咸集。他们以认真负责的精神，一丝不苟的态度，科学严谨的作风，忘我地投入手册的修订工作中去。这沉甸甸的三卷手册凝聚着所有编、审、校人员的心血与汗水，是他们辛勤劳动的结晶。我谨代表中国机械工程学会暨焊接分会向所有参与手册修订工作的专家学者表示衷心的感谢。我还要借此机会，向所有给予手册修订出版以大力支持的单位与个人表示衷心的感谢。我更要向所有使用这部手册的广大读者和工程技术人员致以崇高的敬意和真诚的谢意，你们的信任和鼓励过去是、现在是、今后仍将是我们追求更高技术境界的强大动力。

中国机械工程学会

秘书长



2001年5月28日

第 2 版 第 1 卷 前 言

在机械工程学会焊接学会的组织领导和机械工业出版社的大力支持下,《焊接手册》第 1 卷焊接方法及设备第 2 版与读者见面了。

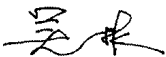
这次修订的指导思想是在原手册的基础上尽量反映 1992 年第 1 版出版以来焊接技术的新发展,以更好地指导生产实践和应用。因此,本卷第 2 版的修订基本上保留了手册第 1 卷第 1 版的原框架,总体结构仍然分为 6 篇,只是由原 39 章增加为 41 章,增加了药芯焊丝电弧焊及 SMT 中的焊接技术两章。

近十年来,世界焊接技术,尤其是我国焊接技术和生产发展迅速,本卷增加了大约 1/3 的新内容,力求反映焊接方法及设备方面的新成果和生产实践。

本卷的修订工作,邀请了 40 多位作者和审者,他们都是焊接领域有很高理论水平和丰富实践经验的教授、高级工程师和专家,他们都是在繁忙的本职工作之余,克服种种困难,无私奉献地参加了本卷修订工作,三位副主编殷树言教授、刘金合教授、陈善本教授除了参加具体修订外,还为第 2 版的组织协调工作付出了大量的辛劳,在这里表示深深的谢意。

由于许多作者年事已高等原因,第 2 版的作者有 2/3 不是原作者,我们的修订工作是在第 1 版作者的劳动成果上进行的。让我们向原作者,尤其是本卷第 1 版的主编潘际銮院士、副主编郭世康教授、王其隆教授及何方殿教授致谢。

由于我们的水平和种种主客观原因,本卷第 2 版一定存在许多不足,恳请广大读者提出批评建议,使下一版的修订更加完善。

主 编 

2001 年 7 月 1 日

目 录

第 2 版序		1.2 焊接方法介绍	5
第 2 版第 1 卷前言		1.3 焊接方法的选择	8
第 1 章 焊接方法概述	1	1.4 焊接技术的新发展	13
1.1 焊接方法分类	1	参考文献	14

第 1 篇 电 弧 焊

第 2 章 弧焊电源	17	3.1 焊条电弧焊电弧的特性	51
2.1 焊接电弧	17	3.1.1 焊条电弧焊电弧的静特性	51
2.1.1 焊接电弧的物理基础	17	3.1.2 电弧的温度分布	51
2.1.2 焊接电弧的电特性	19	3.1.3 电弧偏吹	51
2.1.3 焊接电弧分类	20	3.1.4 熔滴和熔池的作用力	52
2.2 弧焊电源的基础知识	22	3.2 焊接设备	53
2.3 对弧焊电源的基本要求	23	3.2.1 基本焊接电路	53
2.4 弧焊电源的分类与基本原理	28	3.2.2 弧焊电源	53
2.4.1 机械调节型弧焊电源	29	3.2.3 常用工具和辅具	54
2.4.2 电磁控制型弧焊电源	32	3.3 焊条	57
2.4.3 电子控制型弧焊电源	33	3.3.1 焊条的组成及其作用	57
2.5 直流弧焊电源	34	3.3.2 焊条分类、型号和牌号	57
2.6 交流弧焊电源	40	3.3.3 焊条的选用原则	60
2.6.1 记忆电感式交流方波电源	40	3.3.4 常用钢材的焊条选用	60
2.6.2 逆变式交流方波及变极性电源	42	3.3.5 焊条的管理和使用	62
2.7 脉冲弧焊电源	43	3.4 接头设计与焊条消耗量计算	62
2.7.1 脉冲弧焊电源的基本原理	43	3.4.1 接头形式	62
2.7.2 脉冲弧焊电源的种类	44	3.4.2 坡口形式	63
2.7.3 脉冲电流的波形和可调的基本		3.4.3 焊缝衬垫	63
工艺参数	45	3.4.4 焊接位置	63
2.7.4 脉冲焊的适用范围	46	3.4.5 焊条消耗量计算	64
2.8 弧焊电源的选择	46	3.5 焊接工艺参数	66
2.8.1 根据焊接方法选择	46	3.5.1 焊条直径	66
2.8.2 弧焊电源种类的选择	48	3.5.2 焊接电流	66
2.8.3 弧焊电源功率的选择	49	3.5.3 电弧电压	67
2.8.4 根据工作条件和节能要求选择	49	3.5.4 焊接速度	67
参考文献	49	3.5.5 焊缝层数	67
第 3 章 焊条电弧焊	50	3.5.6 热输入	67

3.5.7 预热温度	68	4.5.1 影响焊缝形状、性能的因素 ...	110
3.5.8 后热与焊后热处理	68	4.5.2 埋弧焊实施方法及工艺参数 选择	113
3.6 焊接操作技术	68	4.5.3 埋弧焊生产工艺举例	124
3.6.1 基本操作技术	68	4.6 埋弧焊主要缺陷及防止	127
3.6.2 单面焊双面成形技术	70	4.6.1 气孔	127
3.6.3 立向下焊接技术	71	4.6.2 裂纹	127
3.7 常见的焊条电弧焊缺陷及防止 措施	72	4.6.3 夹渣	129
3.7.1 焊缝形状缺陷及防止措施	73	参考文献	130
3.7.2 气孔、夹杂和夹渣及防止措施 ...	74	第5章 钨极气体保护焊	132
3.7.3 裂纹产生的原因及防止措施	75	5.1 钨极氩弧焊原理、分类及特点 ...	132
3.8 安全与防护技术	76	5.1.1 原理	132
3.8.1 防止触电	76	5.1.2 分类	132
3.8.2 防止弧光辐射	76	5.1.3 特点	132
3.8.3 防止火灾	76	5.1.4 氩弧焊电流种类及极性选择	133
3.8.4 防止爆炸	76	5.2 氩弧焊设备	137
3.8.5 防止有毒气体和烟尘中毒	77	5.2.1 焊接电源	137
参考文献	77	5.2.2 引弧及稳弧装置	138
第4章 埋弧焊	78	5.2.3 焊枪	140
4.1 埋弧焊原理及应用	78	5.2.4 供气系统和水冷系统	142
4.1.1 埋弧焊工作原理	78	5.2.5 焊接程序控制装置	142
4.1.2 埋弧焊的特点	79	5.2.6 典型的通用钨极氩弧焊机技术 数据	142
4.1.3 埋弧焊的应用	79	5.3 钨电极和保护气体	143
4.2 埋弧焊自动调节系统	80	5.3.1 钨极	143
4.2.1 埋弧焊对自动调节的要求	80	5.3.2 保护气体	145
4.2.2 等速送丝电弧自身调节系统	80	5.4 焊接工艺	146
4.2.3 电弧电压反馈变速送丝调节 系统	83	5.4.1 接头及坡口形式	146
4.3 埋弧焊设备	85	5.4.2 工件和填充焊丝的焊前清理	148
4.3.1 埋弧焊设备分类及其结构特点 ...	85	5.4.3 工艺参数的选择	148
4.3.2 埋弧焊电源	87	5.4.4 操作技术	153
4.3.3 埋弧焊控制系统	88	5.4.5 加强气体保护作用的措施 ...	154
4.3.4 埋弧焊机械系统	94	5.5 钨极氩弧焊的特种类型及应用 ...	155
4.3.5 埋弧焊电极及其形状	96	5.5.1 钨极氩弧点焊	155
4.3.6 埋弧焊辅助设备	97	5.5.2 热丝钨极氩弧焊	156
4.4 埋弧焊材料——焊丝、焊剂及 选配	102	5.5.3 双电极脉冲氩弧焊	156
4.4.1 焊丝	102	5.5.4 固定管、管与管板焊接技术	157
4.4.2 焊剂	105	5.5.5 特种钨极氩弧焊机技术数据	162
4.5 埋弧焊工艺参数及焊接技术	110	5.6 安全技术	163
		5.6.1 氩弧焊的有害因素	163

5.6.2 安全防护措施	164	7.2.2 熔滴过渡	197
5.7 生产实例	164	7.2.3 工艺参数	201
5.7.1 铝合金包壳核燃料元件端盖 密封焊接	164	7.3 设备	207
5.7.2 不锈钢薄板自动钨极惰性 气体保护焊	165	7.3.1 焊接电源	207
5.7.3 啤酒发酵罐制造	165	7.3.2 送丝系统	209
5.7.4 锅炉管道焊接	167	7.3.3 焊枪及软管	211
5.7.5 钛合金高压球形气瓶焊接	169	7.3.4 供气系统与冷却水系统	214
参考文献	169	7.3.5 控制系统	214
第 6 章 等离子弧焊及切割	170	7.4 消耗材料	214
6.1 等离子弧工作原理	170	7.4.1 焊丝	217
6.1.1 等离子弧的形式	170	7.4.2 保护气体	217
6.1.2 等离子弧的类型	171	7.5 熔化极气体保护电弧焊的应用	224
6.1.3 等离子弧的电流极性	171	7.5.1 焊丝的选择	224
6.2 等离子弧焊接	172	7.5.2 保护气体的选择	224
6.2.1 基本焊接方法	172	7.5.3 工艺参数设定	224
6.2.2 等离子弧焊设备	173	7.5.4 接头设计	224
6.2.3 焊接材料	178	7.5.5 焊接设备选择	235
6.2.4 焊接工装	180	7.6 熔化极气体保护焊的特殊应用	235
6.2.5 焊接工艺	182	7.6.1 气电立焊	235
6.2.6 焊接缺陷	187	7.6.2 熔化极气体保护电弧点焊	237
6.3 等离子弧切割	187	7.7 焊接缺陷与防止方法	239
6.3.1 工作原理与切割特点	187	参考文献	240
6.3.2 切割方法	188	第 8 章 药芯焊丝电弧焊	241
6.3.3 切割设备	191	8.1 概述	241
6.3.4 环境控制	192	8.1.1 药芯焊丝的发展	241
6.3.5 切割工艺	193	8.1.2 药芯焊丝的分类	241
6.3.6 割口质量	193	8.1.3 药芯焊丝的特点	244
6.4 安全防护技术	195	8.2 焊接设备	245
6.4.1 防电击	195	8.2.1 焊接电源	245
6.4.2 防电弧光辐射	195	8.2.2 送丝机	245
6.4.3 防灰尘与烟气	195	8.2.3 焊枪	246
6.4.4 防噪声	195	8.2.4 其他	246
6.4.5 防高频	195	8.3 焊接工艺参数	246
参考文献	195	8.3.1 焊接电流、电弧电压	246
第 7 章 熔化极气体保护电弧焊	196	8.3.2 焊丝伸出长度	247
7.1 概述	196	8.3.3 保护气体流量	248
7.2 基本原理	197	8.3.4 焊接速度	248
7.2.1 焊丝的加热与熔化	197	8.4 焊接工艺	248
		8.4.1 接头准备	248
		8.4.2 接头的施焊	248

8.5 药芯焊丝标准	248	10.2 电容放电螺柱焊	292
8.5.1 中国 (GB) 标准	250	10.2.1 电容放电螺柱焊接过程	292
8.5.2 美国 (AWS) 标准	252	10.2.2 电容放电螺柱焊接设备	294
8.5.3 日本 (JIS) 标准	253	10.2.3 电容放电螺柱焊焊接条件 选择	295
8.6 焊接质量	253	10.3 短周期螺柱焊	295
参考文献	254	10.3.1 短周期螺柱焊焊接过程如下	296
第9章 水下电弧焊接与切割	255	10.3.2 焊接设备	296
9.1 水下焊接分类及特点	255	10.3.3 短周期螺柱焊参数设定	298
9.1.1 水下焊接分类	255	10.4 螺柱焊接方法的选择	298
9.1.2 水下焊接特点	256	10.5 接头质量检验	299
9.2 湿法水下焊接	257	参考文献	300
9.2.1 水下焊条电弧焊	258	第11章 碳弧气刨	301
9.2.2 其他湿法水下焊接	263	11.1 碳弧气刨的原理、特点及应用	301
9.3 干法水下焊接	263	11.1.1 原理	301
9.3.1 高压干法水下焊接	263	11.1.2 特点	301
9.3.2 常压干法水下焊接	265	11.1.3 应用	301
9.4 局部干法水下焊接	265	11.2 设备及材料	301
9.4.1 水下局部排水 CO ₂ 半自动焊 (LD-CO ₂ 焊)	266	11.2.1 电源	302
9.4.2 其他局部干法水下焊接	273	11.2.2 气刨枪	302
9.5 水下焊缝的性能指标及质量检验	274	11.2.3 碳棒	302
9.5.1 水下焊缝性能指标	274	11.3 碳弧气刨工艺	303
9.5.2 水下焊接常出现的缺陷及其 防止措施	275	11.3.1 工艺参数及其影响	303
9.5.3 水下焊缝的质量检验	277	11.3.2 常见缺陷及排除措施	303
9.6 水下切割	277	11.3.3 碳弧气刨的操作	304
9.6.1 水下切割的发展及其分类	277	11.4 低碳钢及合金钢的碳弧气刨	304
9.6.2 水下电-氧切割	280	11.4.1 低碳钢	304
9.6.3 其他水下切割方法	283	11.4.2 不锈钢	304
9.7 水下焊接与切割安全技术及劳动 卫生保护	284	11.4.3 Q345 和 Q390 钢	305
9.7.1 水下焊接与切割安全技术	284	11.5 自动碳弧气刨	305
9.7.2 水下焊接与切割劳动卫生保护	286	11.5.1 自动碳弧气刨的优点	305
参考文献	286	11.5.2 自动碳弧气刨设备	305
第10章 螺柱焊	288	11.6 碳弧水气刨	305
10.1 电弧螺柱焊	288	11.6.1 碳弧水气刨设备	305
10.1.1 电弧螺柱焊接过程	288	11.6.2 碳弧水气刨工艺参数	306
10.1.2 电弧螺柱焊接设备	289	11.6.3 碳弧水气刨对材料组织的 影响	306
10.1.3 电弧螺柱焊规范参数与接头 质量	291	11.6.4 粉尘测定	306
		11.7 安全技术	307
		参考文献	307