

Modern Welding Technology

PEARSON
Prentice
Hall

原著第六版

现代焊接技术

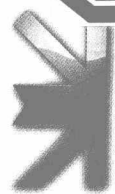
- [美] 霍华德 B. 卡里 (Howard B. Cary) 著
- 斯科特 C. 黑尔策 (Scott C. Helzer)
- 陈茂爱 王新洪 陈俊华 等译

PEARSON
Education



化学工业出版社

TG4
K063



Modern Welding Technology

原著第六版

现代焊接技术

- [美] 霍华德 B. 卡里 (Howard B. Cary) 著
斯科特 C. 黑尔策 (Scott C. Helzer)
- 陈茂爱 王新洪 陈俊华 等译

TG4
K063



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

现代焊接技术: 第6版. / [美] 卡里 (Cary, H. B.), [美] 黑尔策 (Helzer, S. C.) 著; 陈茂爱等译. —北京: 化学工业出版社, 2010.1

书名原文: Modern Welding Technology

ISBN 978-7-122-07078-4

I. 现… II. ①卡…②黑…③陈… III. 焊接-技术 IV. TG4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 207075 号

Authorized translation from the English Language edition, entitled **Modern Welding Technology**, 0-13-113029-3 by Howard B. Cary, Scott C. Helzer, published by Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Education, Inc. Copyright © 2005 Pearson Education, Inc.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

Simplified Chinese edition published by Pearson Education North Asia Limited and Chemical Industry Press.

Copyright © 2010

This edition is authorized for sale only in the People's republic of China (Except Taiwan, Hong Kong SAR and Macau SAR).

本书中文简体字版由培生教育 (北亚) 出版有限公司和化学工业出版社合作出版。本书仅限于中华人民共和国境内 (不包括中国香港、澳门特别行政区和中国台湾地区) 销售发行。

未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制和抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 Pearson Education (培生教育出版集团) 激光防伪标签, 无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2005-0865

责任编辑: 张兴辉

责任校对: 陈 静

文字编辑: 项 激 陈 喆

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 39 1/4 字数 1003 千字 2010 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 118.00 元

版权所有 违者必究

译者序

我国已成为世界第一机械制造大国，机械产品出口量日益增多，制造业与世界其他国家的联系越来越紧密，而我国采用的焊接标准及规范与其他国家并不完全一致，这需要我们了解并熟悉国外的焊接标准、规范及规程。为了适应这些需要，我们翻译了美国著名焊接专家 Howard B. Cary 和 Scott C. Helzer 的巨著——《现代焊接技术》，奉献给大家。

《现代焊接技术》是美国最畅销的焊接工具书之一，已再版 5 次。第 6 版是 Howard B. Cary 逝世后由 Scott C. Helzer 负责修订的。Howard B. Cary 是美国一代焊接大师，在焊接方面有众多的发明、创造和革新，而 Scott C. Helzer 也是美国著名的焊接专家。本书全方位地阐述了焊接知识，包括基础理论、操作技能、焊接安全以及人员培训及取证等各个方面的知识，可称得上是焊接百科全书。本书最大的特点是先进性和实用性兼顾，即使是最新的焊接技术，也将重点放在其应用上。

由于书中许多焊接材料及设备型号中的数字是以英制单位为基础的，为了保持统一性，译文中仍采用了英制单位。为了方便读者阅读，在英制单位后面用括号给出了国际单位对应数值。在附录中还给出了常用单位换算表。

本书可供焊接或相关行业的工程技术人员、工程管理人员及操作人员使用，特别是外向型企业的工程技术人员和管理人员。也可用作高等学校、高等职业学校、技工学校的教学参考书。

在翻译过程中得到了邹增大教授的悉心指导，在此表示衷心的感谢！

本书主要由陈茂爱、王新洪、陈俊华翻译，参加本书翻译人员还有：齐勇田、卢小琳、李清明、宋思利、陈俊华、杨敏、王娟、高进强、姜丽岩、陈姬、张涛、韩加强、霍玉双、胡庆贤、张明贤、苏学燕等。

译文中的不当之处，敬请广大读者批评指正。

译者

前言

焊接一直是最常用的金属连接方法。随着焊接设备及过程数字化程度的不断提高,焊接技术变得越来越复杂、成熟,但焊接操作却变得越来越简单、高效。在世界范围内,焊接生产量持续增加,这在很大程度上取决于钢铁制造业和其他金属制造业的发展。

自从《现代焊接技术》第5版问世以来,焊接技术发生了很多重大变化,出现了很多新工艺、新方法和复合工艺方法。复合焊接方法就是两种或两种以上的焊接方法组合起来形成的焊接方法。焊接电源体积变得越来越小,效率越来越高,重量越来越轻,而控制性能越来越好。有些焊接方法的应用范围不断扩大,有些方法不断得以优化。例如,激光束已广泛应用于焊接及切割(特别是切割),而汽车及航空工业中已开始利用搅拌摩擦焊来连接铝及铝合金。

提高焊接质量及降低焊接成本的需要促进了焊接行业的发展。随着材料性能和加工方法的不断改进,焊接技术也不断提高,半自动焊已广泛替代了手工焊,而自动焊和焊接机器人也在工业中获得了越来越多的应用。自适应控制也开始广泛应用到焊接生产中。而功能强大的计算机控制及耐用传感器的应用也越来越多。由于这些新技术的广泛应用,焊接工人离焊接电弧和烟尘越来越远,工人的工作环境越来越清洁。

新型合金不断出现。而金属还要与塑料、复合材料、陶瓷以及其他材料相竞争。最终的结果是经济性能最好的材料获得更多的应用。大部分金属及合金都需要进行焊接,包括高强度控轧控冷钢。低碳及低杂质含量的钢通过适当热处理也可获得很高的强度。多种新型高温钢也不断问世。新型不锈钢耐蚀能力逐步提高。航空工业已开始使用铝锂合金。非金属材料也在不断发展,塑料的性能显著提高,而用于建造桥梁的复合材料梁已开发成功。对于任何应用场合来说,最终获得应用的是性价比最高的材料。而各种材料均需要焊接人员来确定焊接方法和工艺。

焊接教育和培训也在不断变化。现在,培训重点已不再是手工电弧焊操作技术。焊接工作者必须能够通过选择合适的高效焊接工艺来提高生产率,因此需要对焊接理论知识有更深入的理解。本书编写的目的就是向读者介绍这些理论知识。

美国焊接学会和美国焊接研究委员会联合进行了旨在确定常规条件下的最佳焊接方法的研究项目,已经取得了重大突破。已颁布了各种常见应用条件下的焊接工艺,这些标准焊接工艺是相应条件下的优先推荐工艺。这大大降低了焊接成本,因为标准焊接工艺的使用节省了大量的工艺评定费用。这无疑是一个巨大的进步。

美国焊接学会继续推进焊接相关职业的专业化。通过对人员评定及资格认证程序进行标准化,公众对焊接行业的信心大大增强。美国焊接学会是美国最权威的焊接机构,该学会负责焊接检验员、教师、技师及工程师的教育培训、考试及证书发放。

本版保持了上一版的基本理念,重点阐述了电弧焊方法及工业及建筑用钢的应用。本书严格遵循美国焊接学会的有关标准、规范和规程,向读者提供了当前最新焊接技术资料和技术改进信息。当然,随着工业的不断发展,焊接技术也会不断改善,而焊接生产率也会不断提高。

致 谢

本版献给已逝的一代焊接大师 Howard Cary。作为最伟大一代的一员，他对焊接行业做出了杰出的贡献。如果你曾仔细聆听过 Howard Cary 的讲话，你就可能会听到一些前所未闻的新焊接方法和技术，那些是他发明或改进的焊接方法或技术。他是伟大一代的典型代表。有一天，Howard Cary 发现我的大学实验室内还缺一些焊接设备，他责怪我为什么不把我的需要告诉有关人员。我简单地回答说：“我们还过得去，现在焊接行业不景气，我不好意思向别人要这些设备。”他反问道：“如果有了这些设备，对你的教学和科研项目会有多大帮助！”三个月之后的一天，一辆半拖车停在我们大学校园内，运来了我所要的所有焊接设备，另外还有其他一些我没要但非常有用的设备。Howard Cary 在随附的便笺中说：“我们国家的未来取决于我们在学生身上的投入，如果我们不投入，我们就不会有美好的未来。”Howard Cary 就是这种关心下一代教育培养的人。我非常幸运，从年轻时就受到了 Howard Cary 的教诲和帮助，这铸就了我的焊接职业生涯，开阔了我的视野。我深深地怀念 Howard Cary，不仅仅是因为他是一代焊接大师，更重要的是因为他是我的良师益友。

焊接是我生活的重要组成部分，从六岁时在祖父手把手的帮助和监督下第一次引燃电弧到现在，40 年已过去了。尽管焊接技术在不断变化，但从另一方面来说，焊接某些方面又是不变的。例如，当你摘下你的面罩，看着你刚焊出的漂亮焊缝时，你会觉得非常自豪。这些焊缝将工件永远连接在一起。

本书使用了美国焊接学会规定的术语，从技术上保证了精确性。另外还给出了美国焊接学会标准及规范的一些有关技术资料。美国焊接学会慷慨地允许我们使用这些资料，这使我们能更准确地阐述有关焊接资料和信息。非常感谢美国焊接学会。

美国焊接杂志社允许我们在本版本中使用了其杂志中的大量照片。感谢杂志社编辑 Andrew Cullison 先生和教育部主任 Chirs Pollock 先生提供了这些照片。

这里还要感谢本版本的审阅人员：Orange Coast College（橙色海岸学院）的 William L. Galvery, Jr.、Fox Valley Technical College（狐狸谷技术学院）的 Dave Hoffman 和 Mount Hood Community College（Mount Hood 社区学院）的 Wendall Johnson。他们提出了很好的意见和建议。

目 录

第 1 章 焊接的发展背景	1	6.5 药芯焊丝电弧焊	114
1.1 焊接的重要性	1	6.6 埋弧焊	124
1.2 各种金属的焊接	2	6.7 电渣焊	134
1.3 焊接的发展历史	5	6.8 气电焊	140
1.4 涉及焊接的有关行业	9	6.9 其他熔化极电弧焊	142
1.5 焊接的未来	12	6.10 电弧焊焊接参数的调节	143
第 2 章 焊接基础知识	14	6.11 电弧焊方法的选择	148
2.1 焊接术语	14	第 7 章 气焊、硬钎焊、软钎焊及	
2.2 焊接方法及分类	16	固相焊	150
2.3 焊接操作方式	18	7.1 气焊	150
2.4 焊接工艺	20	7.2 钎焊	155
2.5 焊接物理及化学	21	7.3 软钎焊	163
第 3 章 焊接人员及其培训和取证	26	7.4 铝热剂焊	167
3.1 焊工的工作	26	7.5 固相焊接	168
3.2 焊工工作展望	28	7.6 其他焊接方法	173
3.3 焊工的工作行业及地区	29	第 8 章 电阻焊、电子束焊和激光束焊接和	
3.4 培训项目及学校	31	切割	175
3.5 焊接有关人员的资格认证及证书发放	33	8.1 电阻焊	175
第 4 章 焊工安全及健康	36	8.2 电子束焊	184
4.1 焊工劳动保护及安全规则	36	8.3 激光束焊接	188
4.2 电击	42	8.4 高能束切割	192
4.3 弧光辐射	44	第 9 章 焊接相关工艺	195
4.4 空气污染危险	46	9.1 气割	195
4.5 火灾和爆炸危险	52	9.2 电弧及等离子弧切割	198
4.6 高压气体	55	9.3 水射流切割	203
4.7 焊件清理时的危险及其他危险	57	9.4 自动仿形切割	205
4.8 具体焊接方法或工种的安全要求	57	9.5 热喷涂	207
第 5 章 非熔化极电弧焊	59	9.6 胶接	211
5.1 非熔化极电弧	59	9.7 塑料的焊接	213
5.2 钨极惰性气体保护焊	62	9.8 复合材料及陶瓷的焊接	216
5.3 等离子弧焊	70	9.9 预热及焊后热处理	218
5.4 碳弧焊	74	9.10 机械消除应力法	221
5.5 螺柱焊	76	第 10 章 弧焊电源	222
5.6 其他非熔化极电弧焊	80	10.1 电弧焊电工学	222
第 6 章 熔化极电弧焊	81	10.2 焊接电弧对电源的要求	224
6.1 熔化极电弧焊	81	10.3 弧焊电源的分类	228
6.2 熔滴过渡	85	10.4 旋转直流弧焊发电机	230
6.3 手工电弧焊	92	10.5 弧焊变压器	232
6.4 熔化极气体保护焊	105	10.6 弧焊整流器	235

10.7	弧焊逆变电源	239	第 17 章	有色金属的焊接	389
10.8	弧焊电源的选择和技术规格的确定	241	17.1	铝及铝合金	389
10.9	电源的安装和维护	243	17.2	铜及铜合金	401
第 11 章	其他焊接设备	245	17.3	镁基合金	406
11.1	电弧焊焊枪及焊炬	245	17.4	镍基合金	411
11.2	送丝系统	248	17.5	活性金属及难熔金属	414
11.3	焊接电缆及电缆夹	256	17.6	其他有色金属	417
11.4	辅助焊接设备	260	第 18 章	特殊材料及异种金属的焊接	419
11.5	焊接过程监控装置	262	18.1	铸铁	419
第 12 章	机械化焊接、自动焊和弧焊		18.2	工具钢	423
	机器人	265	18.3	钢筋	425
12.1	自动焊	265	18.4	镀层钢板	428
12.2	电弧行走装置	267	18.5	其他金属	429
12.3	工件移动装置	271	18.6	复合金属	431
12.4	标准自动焊机	276	18.7	异种金属	434
12.5	专用自动焊设备	281	第 19 章	焊接结构设计	437
12.6	柔性自动焊	284	19.1	焊接结构的优点	437
12.7	弧焊机器人	286	19.2	焊接结构设计时需考虑的因素	438
12.8	自动焊的控制系统	295	19.3	焊接位置和焊缝可达性	443
12.9	自适应控制	300	19.4	接头及焊缝设计	446
12.10	装配工具和夹具	305	19.5	接头设计中遵守的各种规程	457
第 13 章	焊条和焊丝	308	19.6	转换设计——其他结构件转换为 焊件	458
13.1	焊接材料的类型	308	19.7	计算机辅助设计	462
13.2	焊条	310	19.8	降低焊件成本的方法	464
13.3	实心焊丝	315	19.9	焊接符号	466
13.4	药芯焊丝	316	第 20 章	焊接成本	471
13.5	焊丝包装	318	20.1	焊接成本要素	471
13.6	焊剂	320	20.2	所需的熔敷金属量	472
13.7	其他焊接材料	321	20.3	填充金属及材料用量	477
第 14 章	焊接用气体	323	20.4	所需的工时	480
14.1	保护气	323	20.5	电费及间接成本	481
14.2	焊接与切割用燃气	328	20.6	焊接成本及示例	482
14.3	大气	331	第 21 章	焊接质量控制和评定	485
14.4	气体容器	331	21.1	质量控制大纲	485
第 15 章	金属材料及其可焊性	337	21.2	破坏性试验	486
15.1	金属的性能	337	21.3	外观检查	491
15.2	金属的有关规范及钢的分类	345	21.4	无损检验	494
15.3	金属的识别	352	21.5	焊接缺陷及防止措施	500
15.4	金属的加热及焊接	356	21.6	焊缝模板和标准	508
15.5	焊接冶金学	359	21.7	无损检验符号	513
15.6	金属的可焊性	367	第 22 章	焊接规程、焊接工艺及评定	515
第 16 章	钢的焊接	370	22.1	焊接的可靠性	515
16.1	碳钢和低合金钢的焊接	370	22.2	焊接标准及规程	516
16.2	合金钢的焊接	373	22.3	焊接工艺及评定主题	519
16.3	不锈钢的焊接	378	22.4	标准焊接工艺规程 (SWPS)	529
16.4	超强钢的焊接	385			

22.5	焊工资格评定及证书发放	529	24.7	焊接在其他表面加工中的应用	575
第 23 章 焊接中常见的问题及解决			第 25 章 管子和管道焊接		576
	方法	536	25.1	管材	576
23.1	磁偏吹	536	25.2	管子及管道焊接	580
23.2	焊接变形	538	25.3	管子的手工焊及半自动焊	586
23.3	火焰成形及火焰矫正	545	25.4	管子的机械焊	588
23.4	焊接应力及裂纹	548	25.5	管子的自动焊	590
23.5	焊件的失效	551	25.6	管板焊接	592
23.6	油漆涂层钢的焊接	555	第 26 章 特种焊		595
第 24 章 失效分析、修复焊及表面			26.1	电弧点焊	595
	堆焊	557	26.2	薄板焊接	599
24.1	焊接失效分析	557	26.3	单面焊	603
24.2	确定修复方法	562	26.4	窄间隙焊	605
24.3	修复焊	564	26.5	水下焊接	607
24.4	再制造及堆焊	566	26.6	空间焊接	611
24.5	表面耐磨堆焊	568	26.7	微连接	612
24.6	表面耐蚀堆焊	573	附录		614

第 1 章

焊接的发展背景

1.1 焊接的重要性

焊接是把两个金属零件或多个金属零件连接成一个部件的最常用加工方法，而得到的部件通常在各个方向均具有很高的强度。焊接不但可用来连接所有的相同金属和合金，而且可用来连接强度不同的金属或异种金属。这种加工方法对国民经济发展及国防建设均具有重要的意义。据统计，美国 50% 以上的国民生产总值与焊接具有直接或间接的关系。焊接是最经济、最有效的金属永久连接方法。

焊接最初是作为一种修复或维修手段出现的，但目前已成为最重要的制造方法之一，也是最基本的建造方法。几乎所有的金属制品，从简单的日常生活用品到复杂的交通工具及设施无不是采用焊接方法制造的。可以说，如果没有焊接，我们就无法享受目前舒适、便捷的生活。工程机械（如推土机、挖掘机）、机车车辆、输油或输气管线（如著名的 Trans-Alaskan 管线）、供水系统的蓄水箱、游艇、水翼艇、室外金属座椅以及美国最高的摩天大楼 Sears Tower 等无不是用焊接方法制造或建造的。如果没有焊接，作为世界上最大移动式焊接结构件的超级油轮是根本不可能制造出来的。

没有焊接，汽车不可能像今天这么便宜，因为汽车的车体及车架是用低成本的机器人点焊、电弧焊和激光束焊等方法制造的。空间对接工作也需要利用焊接来完成，空间计划需要焊接技术来支持。所有空间站都是首先在地球上焊接成部件，然后发射到宇宙空间中，最后

在宇宙空间中利用焊接来完成最后总装。太空飞船的所有部件，从火箭发动机到外部燃料箱都是利用特殊的铝合金焊接工艺制造的。图 1.1 所示的大跨度桥是一个全焊接结构钢桥，是通过现场焊接制造的。尽管现在还没有全焊接结构的飞机，但大多数大型飞机上也采用许多焊接结构件，例如起落架、喷气发动机、发动机安装架以及其他一些专用装置，不过飞机的机体仍然是用铆接制造的。某些军用飞机，例如图 1.2 所示的航天飞机主要是采用焊接方法制造的。此外，电子设备和通信设备的微型部件也是利用焊接技术制造的。

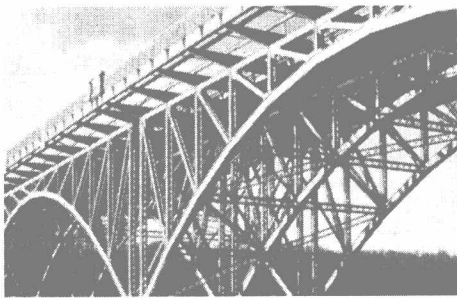


图 1.1 全焊接结构的大跨度钢桥
[AWS（美国焊接学会）焊接杂志]

在所有金属加工方法（包括机加工、锻造、冲压、铸造和焊接）中，焊接加工量居于前列。尽管看起来很简单，但焊接所涉及的科学理论知识及可调参数比其他金属加工方法更多、更复杂。只有充分理解并掌握焊接的有关知识，才能经济、有效地利用这种加工方法来连接金属构件。本书的目的是介绍各种焊接方法的理论和实用知识，包括所有常用焊接方法的原理及应用特点、常用金属的性能、焊接对

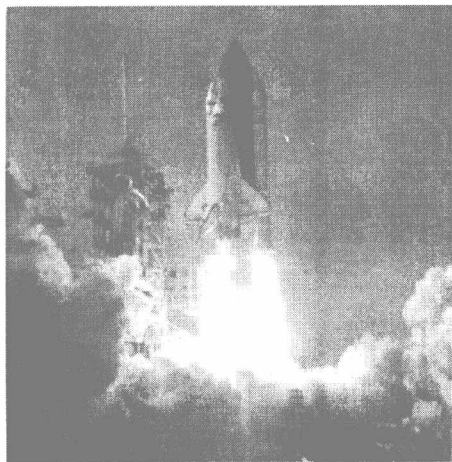


图 1.2 焊接使航天飞机计划成为现实
[AWS (美国焊接学会) 焊接杂志]

母材性能的影响、焊接结构设计及如何利用焊接来降低生产成本等。

目前应用的焊接方法有多种, 接头类型有多种, 而焊接操作方法也有多种。图 1.3 示出的是戴着面罩的焊工正采用最常用的焊接方法——电弧焊进行焊接。有些焊接方法不使用电弧, 而是利用电能或外加的热量进行焊接。焊接是一种复杂的技术, 只有掌握了有关知识才能根据具体的应用情况选择合适的焊接方法和工艺。本书旨在帮助读者掌握这方面的知识, 以能够充分发挥焊接的优点, 降低成本, 并提高生产效率和质量。焊接的主要优点如下:

① 成本低, 是一种永久连接方法;
② 通过选择适当的材料, 可降低产品的重量;

③ 可连接几乎所有的常用金属;

④ 使用场所不受任何限制;

⑤ 是一种柔性加工方法。

焊接也有一定局限性, 主要有:

① 对于不同的金属和应用场合, 必须选用与其相适应的焊接工艺;

② 手工焊的焊接质量取决于焊工的操作技术;

③ 通常需要对焊缝内部进行检查, 以确保焊缝质量。

这些局限性可通过适当的方法来克服, 例

如, 进行无损检验、实施严格的质量控制、使用合格的焊接工艺和合格的焊工以及尽量采用机械化焊接方法。

只要设计合理, 焊接工艺正确, 焊接结构件是最佳、最经济的金属结构件, 因此焊接对国民经济发展具有非常重要的意义。

1.2 各种金属的焊接

大部分金属均可利用一种或多种焊接方法进行连接。焊接性好的金属的可焊厚度范围非常宽, 从最薄的板到最厚的板均能进行焊接; 而且, 这类金属可在各种焊接位置下进行焊接, 如图 1.3 所示。难焊金属需要采用根据具体情况而开发的特殊焊接技术和工艺进行。

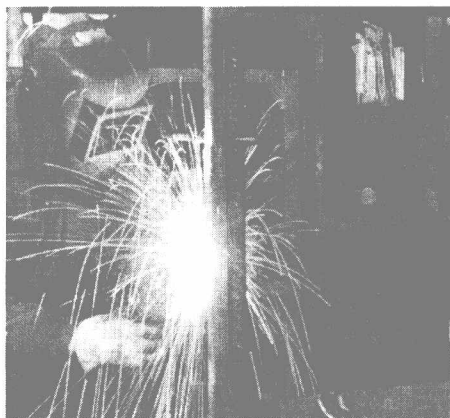


图 1.3 立焊位置的电弧焊
(美国焊接学会焊接杂志)

某些金属不能用任何焊接方法进行连接。后面的有关章节中将给出各种金属材料的性能数据, 如熔点、密度、热导率、抗拉强度及塑性。这些性能数据可用于衡量金属材料的焊接难易程度。一种金属是否可用作焊接结构材料取决于它的物理性能、力学性能、地质储量及价格。储量丰富且强度高的金属适合于作焊接结构材料。图 1.4 按美国年产量列出了几种常用金属材料所占的比重。图中的数据可能有误导作用, 因为美国使用的许多金属是靠进口的, 不过, 这些数据仍然是非常重要的, 因为从中可了解各种材料的相对用量。在其他工业化国家中, 各种金属材料的相对用量也大体类似于图 1.4。

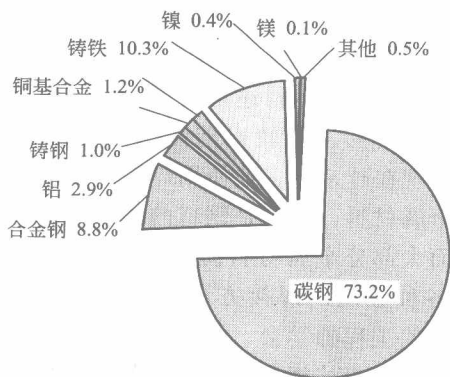


图 1.4 美国各种金属产量占金属总产量的比重

在所有的金属材料中,普通碳钢是应用最广泛、用量最大一种,本书给出的大部分焊接资料是关于低碳钢焊接的。

铸铁的用量居第二位,但大部分铸铁材料不用于焊接结构。有时铸铁也需要进行焊接或焊补,因此,了解各种铸铁材料的焊接性也是非常必要的。

合金钢的用量居第三位,这类钢包括低合金高强钢、热处理钢及超高强度钢。不同类型的合金钢需要利用不同的焊接工艺进行焊接。

铝及铝合金的用量居第四位,这种材料的应用范围越来越广,特别是要求重量轻的应用场合。不同铝合金具有不同的性能,需要利用不同的焊接工艺进行焊接。

铜及铜合金(如黄铜和青铜等)的用量位于第五位,这类金属主要用于电导率、耐腐蚀性或热导率要求较高的场合。

不锈钢和铸钢用量并列第六位。铸钢通常用于焊接结构,其焊接工艺类似于成分相当的轧制钢。不同不锈钢的性能相差较大,图 1.5 示出了不锈钢焊接实例。

镍及镍合金的用量位于第八位。这种金属用量虽小,但却十分重要,因为在某些应用环境中镍合金是最佳选择。

镁及镁合金是常用金属中用量最小的一种,然而这种金属却是十分重要的,因为它是常用结构金属材料中最轻的一种。这种材料有很大一部分用在焊接结构中。



图 1.5 不锈钢管的焊接
(美国焊接学会焊接杂志)

钢材的供货形状有多种不同类型,图 1.6 给出了各种形态的钢材所占的比重。钢板分为厚板和薄板两种,厚度不小于 $1/4\text{in}$ ^① 的钢板称为厚板;而厚度小于 $1/4\text{in}$ 的钢板称为薄板。钢板规格号越大,钢板的厚度越小。在各种类型的钢材中,薄板的用量最大。这并不奇怪,因为用于轿车、卡车、客车、家用电器、办公机械及家具的钢材大都是薄板。罐头盒及其他容器使用的也是薄板。图 1.7 为焊接的高速列车。

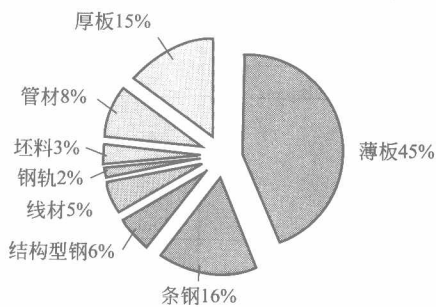


图 1.6 各种类型的钢材所占的比重

条钢的用量在所有类型的钢材中居第二位,在建筑业中,大部分条钢仅在机加工和切割后就用于最终目的,但仍然有相当一部分条钢要与结构型钢(其用量位于第五位)焊接成一体。

① $1\text{in} = 0.0254\text{m}$ 。

厚钢板的用量居第三位，主要用于制造大型容器、锅炉、机器设备、轮船及其他焊接结构件。

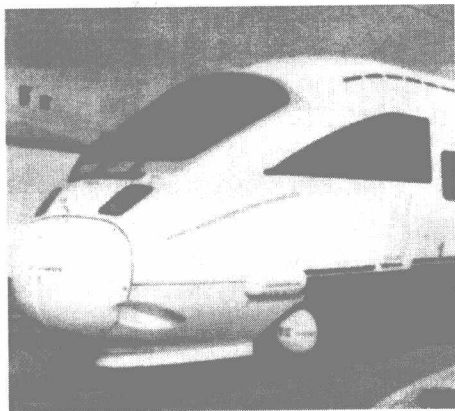


图 1.7 焊接的高速列车
(美国焊接学会焊接杂志)

钢管的用量居第四位。所有大直径钢管及大部分小直径钢管均要利用焊接来实现连接。

其他类型的钢材还有线材、钢轨等。线材一般无需焊接。钢轨以前多采用机械连接方式，但现在越来越多地使用焊接来连接。

金属材料，特别是钢材的使用范围非常广泛，而大部分金属材料需要进行焊接，因此，掌握各种金属的焊接方法及工艺是非常重要的。相关工程师学会、技术委员会及行业协会制定的有关焊接规范中提供了各种材料的焊接技术资料。

表 1.1 列出了各种常用的金属材料及其适用的焊接方法。大多数金属是可焊接的，但不同金属的焊接难易程度相差很大，或者说不同金属的焊接性是不同的。一种金属的焊接性是指该金属在一定制造条件下焊接成设计合理的

表 1.1 各种常用的金属材料及其适用的焊接方法

母 材	焊 接 方 法								
	SMAW	GTAW	PAW	SAW	GMAW	FCAW	ESW	BW	OFW
铝	C	A	A	No	A	No	Exp	B	B
铜基合金									
黄铜	No	C	C	No	C	No	No	A	A
青铜	A	A	B	No	A	No	No	A	B
紫铜	C	A	A	No	A	No	No	A	A
铜镍合金	B	A	A	No	A	No	No	A	A
铁									
铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁	A	B	B	No	B	B	No	A	A
锻铁	A	B	B	A	A	A	No	A	A
铅	No	B	B	No	No	No	No	No	A
镁	No	A	B	No	A	No	No	No	No
镍基合金									
因康镍合金	A	A	A	No	A	No	No	A	B
蒙乃尔合金	A	A	A	C	A	No	No	A	A
镍	A	A	A	C	A	No	No	A	A
镍银合金	No	C	C	No	C	No	No	A	B
贵金属	No	A	A	No	Exp	No	No	A	B
钢									
合金钢	A	A	A	B	A	A	A	A	A
低合金钢	A	A	A	A	A	A	A	A	A
中碳钢和高碳钢	A	A	A	B	A	A	A	A	A
低碳钢	A	A	A	A	A	A	A	A	A
不锈钢	A	A	A	A	A	B	A	A	C
工具钢	A	A	A	No	C	No	No	A	A
钛	No	A	A	Exp	A	No	No	No	No
钨	No	B	A	No	No	No	No	No	No
锌	No	C	C	No	No	No	No	No	C

注：A—推荐使用或焊接性好；B—可用，但非最佳选择，或焊接时需采取一定的处理措施；C—可用，但很少选用，或焊接性不好；No—不推荐使用或焊接性极差；Exp—试验中；SMAW—手工电弧焊；GMAW—熔化极气体保护焊；BW—电子束焊；GTAW—钨极惰性气体保护焊；FCAW—药芯焊丝电弧焊；OFW—氧乙炔焊；SAW—埋弧焊；PAW—等离子弧焊；ESW—电渣焊。

特定金属结构的难易程度以及所得到的金属结构在预定服役条件下满足设计性能的能力。并不是所有金属均可利用任何一种焊接方法来焊接的,有些焊接方法是专为某些特定金属而开发的,而有些难焊金属则需要采取特殊的焊前处理和焊接工艺。

金属或合金焊接时通常需要使用填充金属,将填充金属填充到焊缝中,使接头的强度达到母材的强度。填充金属是指填充到焊缝中的材料,包括焊条、焊丝和钎料。

1.3 焊接的发展历史

尽管是一种新的金属加工技术,但焊接的发展历史可追溯到远古时代。目前发现的最古老的焊件是青铜器时代制造的几个圆柱形金盒,它们是利用压力焊制造的。这些金盒大约是在公元前 2000 年制造的,目前存放在都柏林的爱尔兰国家博物馆内。铁器时代,埃及人及地中海东部地区的其他民族就发明了焊铁技术。考古人员发现了许多那个时期(大约公元前 1000 年)制造的焊件,这些焊件目前存放在伦敦的大英博物馆内。另外,费城和多伦多的博物馆中也存放着一些早期的焊件。在埃及的金字塔中还发现了一些具有复杂锻焊焊缝的铁器和铜器。

中世纪发明了锻造技术,人们开始用锤击的方法将铁件焊接起来。该时期的最大焊件是公元 310 年在印度建造的德里大铁柱(Iron Pillar of Deli)。它是用多个小钢坯焊接成的,大约 25ft (7.6m) 高,顶部直径为 12in (300mm),底部直径为 16in (400mm),重达 12000lb (5.4t)。在同一时期,印度还建造了其他一些铁柱,而罗马和英国也开始制造一些大焊件。德国和斯堪的纳维亚半岛也发现了该时期的焊接结构。而现代焊接技术是 19 世纪发明的。1800 年,哈姆弗里·德维爵士利用电池供电,在两个碳极之间引燃了电弧;1836 年,英国人埃德蒙多·德维发现了乙炔。19 世纪中叶,发电机的发明才使电弧成为一种易于获得的能源。19 世纪后期,焊接方面的发明或发现不断涌现,如气焊和气割。此后又相

继出现了碳极电弧焊和金属极电弧焊,而电阻焊也逐渐成为一种可实际应用的焊接方法。1881 年,法国 Cabot 实验室的 Auguste De Meritens 利用电弧热焊接了蓄电池用铅板。他的俄国学生 Nikolai N. Benardos 获得了一项电弧焊专利。1885 年, Nikolai N. Benardos 与其俄国同胞 Stanislaus Olszewski 一起获得了英国专利;1887 年,他们又获得了美国专利。图 1.8 为其专利说明书中示出的焊枪。他们发明的仅仅是碳弧焊,可用来焊接铅和铁。19 世纪 90 年代末期至 20 世纪初期,碳弧焊获得了广泛应用。

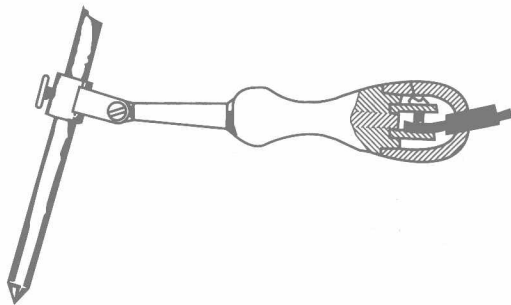


图 1.8 世界上第一把焊枪

很明显, Benardos 并没有在金属极电弧焊上获得成功。1890 年,底特律的 C. L. Coffin 获得了关于金属极电弧焊的第一个美国专利,该专利首次阐述了熔化的焊条金属穿过电弧空间填充到熔池并形成焊缝的现象,即熔滴过渡。同一个时期,俄国人 N. G. Slavianoff 也阐述了熔滴过渡的概念,但不是向熔池中过渡焊缝金属,而是向铸模中过渡铸造金属。

1900 年,英国的 A. P. Strohmenger 提出了药皮焊条的想法,通过在焊条表面涂一层薄薄的陶土或石灰使电弧的燃烧更稳定。1907~1914 年,瑞典人 Oscar Kjellberg 发明了药皮焊条,图 1.9 示出了 Kjellberg 发明的药皮焊条及药皮焊条电弧焊。Kjellberg 阐述的药皮焊条制造方法是:将一定长度的裸铁棒浸入碳酸盐和硅酸盐的混合液中,使其表面涂上焊药,然后烘干。1919 年, C. J. Holslag 发明了交流电弧焊,但直到厚药皮焊条在 20 世纪 30 年代出现以后,这种方法才获得实际应用。

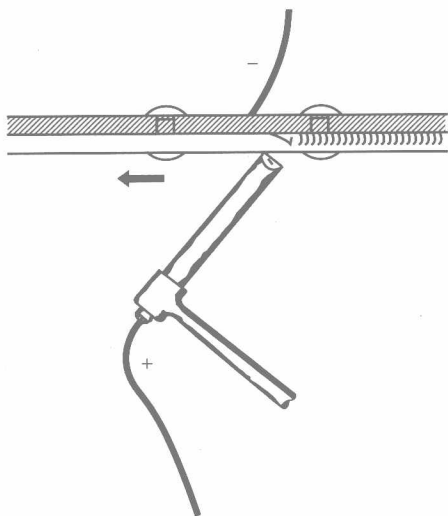


图 1.9 Kjellberg 发明的药皮焊条及
药皮焊条手工电弧焊示意图

电弧焊方法发展的同时,各种电阻焊方法(图 1.10)也相继问世,主要有点焊、缝焊、凸焊及闪光堆焊。电阻焊的发明人是 Elihu Thompson, 1885 年他获得了电阻焊专利。随后, Thompson 创建了 Thompson 焊接公司 (Electric Welding Company), 到 1900 年, 各种电阻焊方法相继在该公司问世。1903 年, 德国人 Goldschmidt 发明了铝热剂焊, 并首次用于钢轨的焊接。

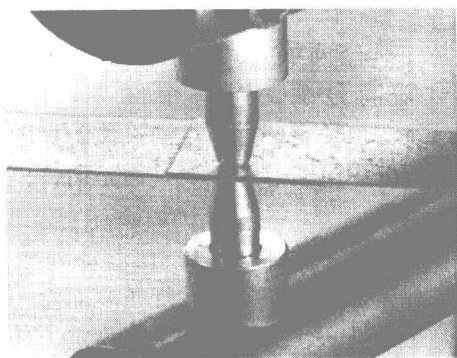


图 1.10 电阻焊
(美国焊接学会焊接检验技术委员会)

气焊和气割技术在这一时期日臻完善。1987 年, 气焊焊炬问世, 随着氧气制造技术的成熟及随后的液化空气的问世, 气焊和气割相继获得广泛应用。在 1900 年以前, 使用的可燃气体主要是氢气或煤气。1990 年发明了

适用于低压乙炔气体的焊炬后, 氧乙炔焊才正式问世, 见图 1.11。



图 1.11 氧乙炔焊 (美国焊接学会
焊接检验技术委员会)

第一次世界大战期间, 各国对军火的巨大需求刺激了焊接技术的迅速发展, 美国和欧洲迅速涌现出许多焊接设备制造公司和焊接材料制造公司。英国制造出了第一艘全焊接结构的轮船 H. M. S. Fuglaar, 荷兰也开始利用焊接来制造战斗机机身。而最著名的焊接事件是在纽约港进行的德国轮船修复工程, 利用焊接方法, 这些德国轮船迅速得以修复并用于从美国向欧洲运送物资。

1919 年, 第一次世界大战刚一结束, Comfort Avery Adams 领导下的应急船队公司的战时焊接委员会的二十个成员共同发起成立了美国焊接学会 (AWS)。这是一个非盈利性机构, 致力于促进焊接及相关技术的发展。

1920 年, 自动焊方法问世。这种方法采用了裸焊丝, 用直流电源供电, 并通过电弧电压调节送丝速度。这种自动焊方法是由通用电气公司的 P. O. Nobel 发明的, 最初用来修复磨损的电机轴和吊车车轮。后来又被汽车制造厂用来生产后轴套。

20 世纪 20 年代, 各种类型的焊条及焊丝相继问世。首先, 碳含量不高于 0.20% 的低碳钢焊丝/焊条被广泛用来焊接各种强度等级的普通碳钢。后来, 又研制了高碳钢焊丝/焊条、合金钢焊丝/焊条以及用于碳弧焊和钎焊的铜合金棒。

20 世纪 20 年代, 研究人员发现进入熔池金属的氧气和氮气会使焊缝金属严重脆化, 甚

至导致气孔。有人提出了利用外加气体来保护电弧和焊缝区域的设想。Alexander 和 Langmuir 尝试利用氢气作保护气体在腔体中进行焊接,引弧时用碳电极,电弧引燃后切换为钨电极。电弧引燃后,氢气分子在电弧热的作用下分解为原子,电弧熄灭后形成高温氢原子火焰,放出大量热量。这种电弧放出的热量为氧乙炔火焰的 1.5 倍。这种焊接方法就是原子氢焊。原子氢焊并未得到广泛应用,仅在 20 世纪 30~40 年代用到个别的特殊场合,后来又用来焊接工具钢。

H. M. Holbert 和 P. K. Dever 进行了与 Alexander 和 Langmuir 类似的研究工作,但采用的是氩气和氦气。他们于 1926 年申请了有关专利,专利书中阐述了一种利用电弧周围的外加气体进行保护的电弧焊方法,这种方法就是钨极氩弧焊的雏形。他们还设计了同心喷嘴,焊丝从喷嘴中送出,这是后来的熔化极气体保护焊的雏形。钨极氩弧焊和熔化极气体保护焊后来得到了迅速发展和广泛应用。

螺柱焊(图 1.12)是 1930 年在美国纽约海军船坞中发明的,最初用来将木制装饰件通过螺柱连接到金属表面上。这种方法通过一把能自动控制电弧燃烧时间的特殊焊枪将螺柱焊接到基体金属表面。螺柱端部通常套上一瓷环或导电药室,用来保护电弧和熔化金属,提高焊缝性能。螺柱焊主要用于造船、锅炉制造及建筑业。



图 1.12 螺柱焊(美国焊接学会焊接杂志)

被广泛采用的自动焊方法是埋弧自动焊(图 1.13)。这种方法是美国国家管道公司发明的,宾夕法尼亚州麦基斯波特市钢管厂首先用这种方法焊接了钢管的纵缝。1930 年 Robinson 申请了该方法的专利,而后来又卖给了 Linde 航空制品公司。1938 年,该方法开始用于船舶制造及军工厂。它是最高效的焊接方法之一,至今仍在广泛使用。

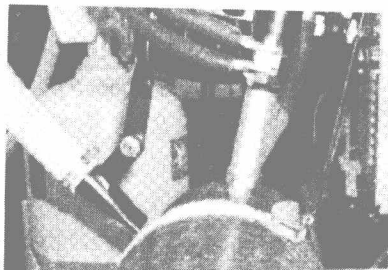


图 1.13 埋弧自动焊

钨极氩弧焊(图 1.14)起源于 C. L. Coffin 在非氧化性气氛中进行焊接的构想,他在 1890 年获得该构想的专利。20 世纪 20 年代 Hobart 和 Devers 先后对该构想进行了改进,分别利用氦气和氩气作保护气体进行焊接。第二次世界大战期间,战斗机镁部件的焊接需求刺激了该方法的迅速发展。



图 1.14 钨极氩弧焊

(美国焊接学会焊接检验技术委员会)

Northrup Aircraft 公司与 Dow 化学公司

的工程师们联合发明了一种适合于镁的焊接方法。而 Hobart 和 Devers 发明的惰性气体保护焊不仅是镁的理想焊接方法,也是铝合金及不锈钢的理想焊接方法。该方法直到 1941 年才得以完善,被命名为氩弧焊,因为最初采用的保护气体为氩气。Meredith 获得了氩弧焊的专利权。后来,专利权又被授予给发明了水冷式焊枪的 Linde 航空制品公司。自此,钨极惰性气体保护焊成为一种重要的焊接方法。

1948 年,在 Air Reduction 公司的资助下, Battelle Memorial 研究所成功地开发出熔化极气体保护焊 (GMAW), 见图 1.15。这种方法采用的保护气体类似于钨极惰性气体保护焊,但用连续送进的焊丝代替了钨极。最初,这种方法采用的是粗焊丝配陡降外特性电源的匹配方式,其使用范围有限;而在引入了细焊丝配平特性电源的匹配方式后,其应用范围显著扩大。H. E. Kennedy 最先获得了该方法基本原理的专利。GMAW 最初用来焊接有色金属。鉴于这种方法具有熔敷速度高的特点,后来,很多用户开始尝试将这种方法用于钢的焊接。由于惰性气体的价格较高,这种方法的使用成本很难在短期内降下来。

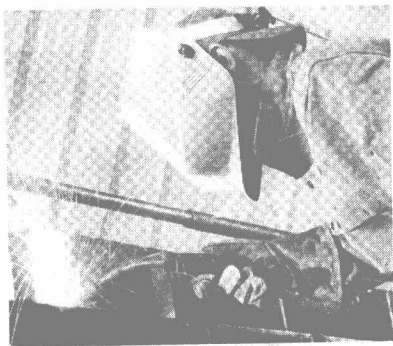


图 1.15 熔化极气体保护焊

1953 年, Lyubavski 和 Novoshilov 发明了 CO_2 气体保护焊。这种方法一问世就立即得到了高度重视,因为它使用的设备与熔化极惰性气体保护焊相同,但使用成本低,因此非常适合于钢的焊接。 CO_2 电弧温度很高,利用粗焊丝焊接时需要使用很大的电流才能保证电弧的稳定,因此,只有在采用了细焊丝和经过改进的弧焊电源后,这种方法才获得了广泛应用。

改进后的焊接工艺为短路过渡工艺,被称为“细丝、短弧、短路过渡 CO_2 焊”,这种工艺改进是在 1958 年末至 1959 年初完成的。短路过渡 CO_2 焊适合于全位置焊接和薄板的焊接,目前已成为应用最广泛的一种熔化极气体保护焊。

熔化极惰性气体保护焊的另一种改进形式是混合气体保护焊,利用惰性气体和少量氧气或二氧化碳的混合气体作保护气体,以实现稳定的喷射过渡。从 20 世纪 60 年代,这种混合气体保护焊就开始得到广泛应用。后来,又利用脉冲电流代替了一般的直流电流,出现了熔化极脉冲氩弧焊。焊接时,电流以一定的频率交替地从峰值电流切换为基值电流。最初的脉冲频率等于网压频率或为网压频率的 2 倍,而目前使用的频率有多种。今天,这种熔化极脉冲氩弧焊的应用越来越普遍。

CO_2 气体保护焊产生不久,一种特殊的焊丝——药芯焊丝问世。药芯焊丝又称管状焊丝,钢丝本身为管状,中间填充了一定成分的焊剂。药芯焊丝 CO_2 气体保护焊 (图 1.16) 又称为双保护焊,电弧不但受外加气体的保护,而且焊剂中产生的气体也提供保护。这种方法是由 Bernard 发明的,并于 1954 年对外宣布;1957 年美国国家钢瓶气体公司又重新提出这种方法时, Bernard 获得了专利权。

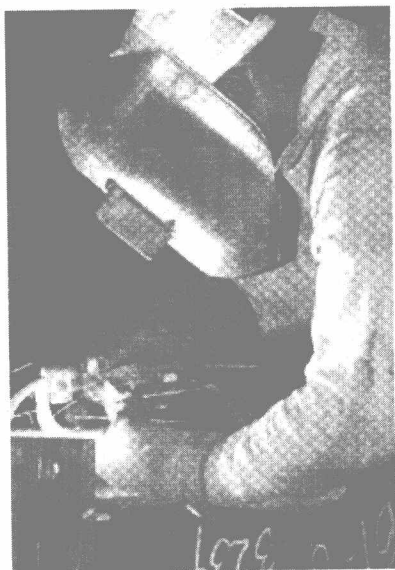


图 1.16 药芯焊丝 CO_2 气体保护焊
(美国焊接学会焊接检验技术委员会)