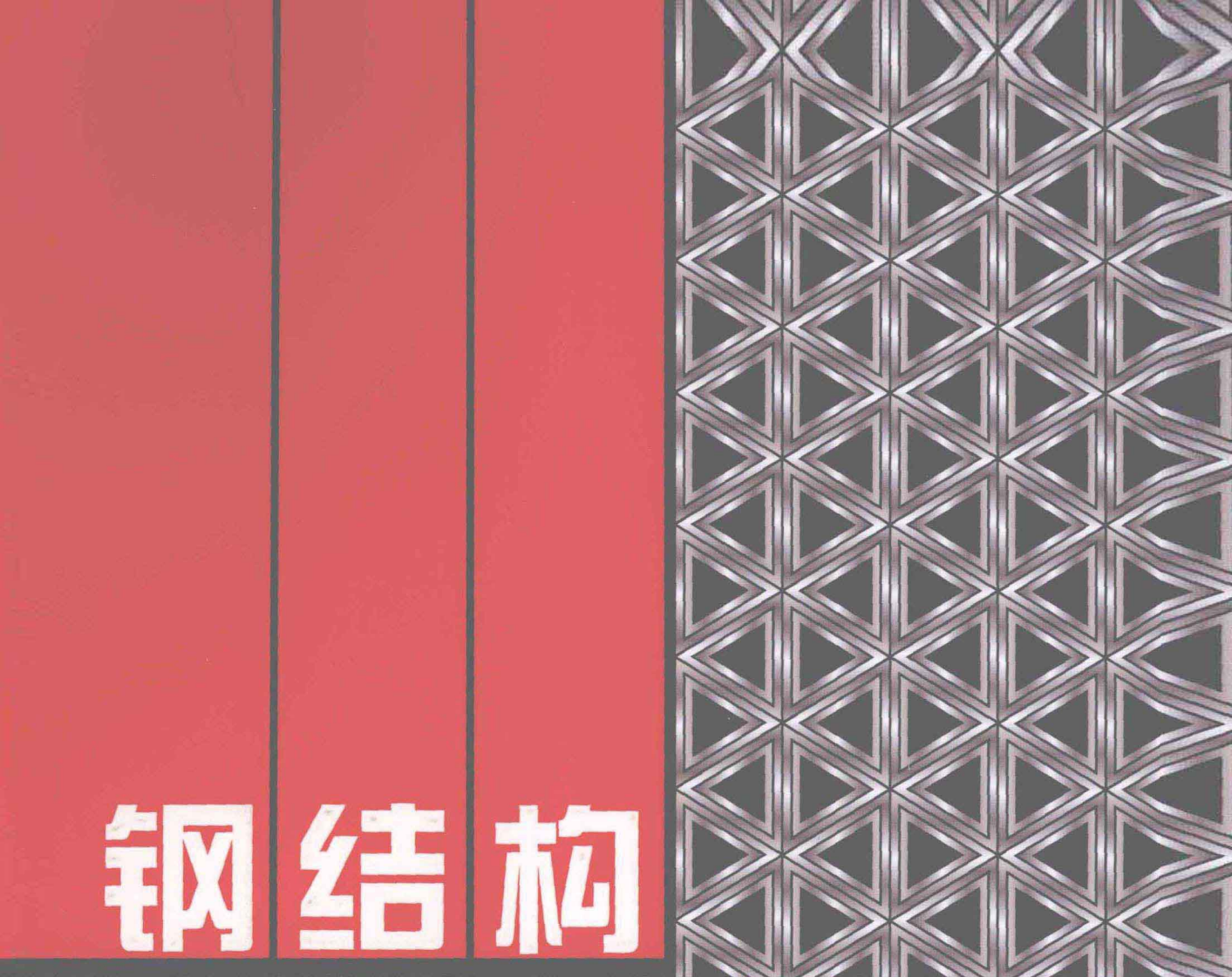




钢结构

焊接技术 培训教程

GANGJIEGOU
HANJIE JISHU
PEIXUN JIAOCHENG

戴为志 高良 主编



化学工业出版社

钢 结 构

焊接技术

培训教程

GANGJIEGOU
HANJIE JISHU
PEIXUN JIAOCHENG

戴为志 高 良 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

钢结构焊接技术培训教程/戴为志, 高良主编. —北京: 化学工业出版社, 2009. 2
ISBN 978-7-122-04303-0

I. 钢… II. ①戴…②高… III. 钢结构 焊接工艺-技术培训-教材 IV. TG457.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 193789 号

责任编辑: 马燕珠 郭乃锋
责任校对: 凌亚男

文字编辑: 陈 喆
装帧设计: 尹琳琳

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: 三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 23 $\frac{3}{4}$ 字数 631 千字 2009 年 2 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: 49.00 元

版权所有 违者必究

本书编写人员名单

主 编 戴为志 高 良

副 主 编 贾宝华 黄明鑫

编写人员 戴为志 高 良

贾宝华 黄明鑫

张 伟 张建平

王 垒 郑 燕

曾祥文 俞荣华

沈李强 乔江伟

序

2008年5月12日，我国四川汶川发生了里氏8级特大地震，山崩地裂、惊天动地，损失十分惨重。6月20日，长江精工钢构（集团）股份有限公司派出专家组到灾区考察本公司已经建好和在建的所有钢结构工程经受住了地震灾害的严峻考验，无一受损。然而，在小于汶川地震强度的日本阪神、美国洛杉矶大地震中，部分钢结构建筑受损十分严重，特别是厚板钢结构。这是为什么呢？根据国际权威调查，这些钢结构厚板焊接节点的设计不符合焊接应用技术理论的要求、焊缝的拉应力同地震载荷叠加，十字和丁字焊接接头中质量不好的钢材承受不了地震所带来的强大冲击，产生“层状撕裂”，是导致钢结构建筑受损的直接原因之一。

同样是建筑钢结构，在地震灾害中呈现上述两种结果。客观地说，由于钢结构工程处于不同的时代、不同的地点，各种条件均有差异；但是，关键在于对焊接应用技术理论的理解和应用不一致。因此，大力普及焊接理论，推广焊接技术在建筑钢结构工程中具有举足轻重的地位和作用，对焊接行业的从业人员及时培训愈来愈受到关注。

焊接的主要对象是各种钢材。因此钢材的产量、消费量、品质及发展态势直接决定着焊接行业的可持续发展及焊接技术的发展方向。

自1996年以来，我国钢年产量已突破1亿吨，目前，钢年产量高居世界之首；在2010年以前钢铁工业仍将持续发展，即使发展达到平衡，也会在峰值产量上维持相当长的时间。

据统计预测：我国焊接结构用钢占钢产量的50%左右，钢铁工业的发展给我国焊接行业的可持续发展创造了很大的空间。据此推断，近十年仍是焊接行业发展的黄金时段，因此，钢结构行业是不折不扣的朝阳工业。

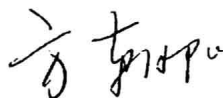
然而，由于钢结构焊接工程对象的不确定性、施工环境条件的多样性、现代钢结构工程的复杂性、市场竞争的残酷性、使焊接工作始终处于施工准备、人员培训、机具组合、购置、检修、焊接工艺评定、焊接方案编写等诸多工作交叉进行的局面，特别是在钢结构安装、焊接工程中呈现出点多、面广、战线长的特点，使钢结构复杂化、专业化，给钢结构行业的发展带来许多困难。当前的现实是：焊接技术力量严重不足，需要培养和造就大批、懂得焊接应用技术的钢结构从业人员来推动焊接技术的进步和发展。

长江精工钢构（集团）股份有限公司“以人为本，科技为先”，“用心做事，把不可能变为可能”，“真诚待人，感动自己才能感动别人”的核心价值观和企业文化理念集中体现了审时度势、顺应钢结构行业发展客观规律，创造良好的人文环境，以培养人才为己任，以为我国焊接技术的发展做贡献的精神，组织编写了《钢结构焊接技术培训教程》一书。

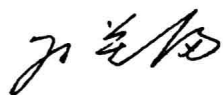
“质量-市场-效益-生存-发展”已经成为现代经济生活的生命线。随着科学技术和世界经

济的迅速发展，质量成为一个永恒的主题。焊接水平、焊接质量肯定会在原有的基础上“百尺竿头，更进一步”。

长江精工钢构（集团）股份有限公司董事长

A handwritten signature in black ink, likely belonging to the Chairman of the company.

长江精工钢构（集团）股份有限公司总裁

A handwritten signature in black ink, likely belonging to the President of the company.

2008年8月16日于绍兴

前 言

众所周知，建筑钢结构是一个复杂的系统工程，它包括钢结构设计等 13 个主要工艺流程。焊接应用技术对整个工艺流程起到决定性的作用。

作为钢结构行业的从业人员应当了解和掌握相应的焊接应用技术，然而，现实并不能让人乐观，同我国钢结构行业的规模相比，钢结构行业从业人员中，懂得焊接应用技术的人并不多，精通的更少，与钢结构行业的业务需求相比差距甚大。造成目前状况的原因是多方面的，有市场经济竞争机制的原因，也有人们对焊接应用技术不了解、不认识、甚至不重视焊接人才培养使用的原因。

在建筑钢结构行业的主要工艺流程中，焊接技术对整个工艺流程起决定性作用。需要掌握焊接应用技术的人员，单从数量上看，焊工最多，因此，大量的培训教材应运而生，对焊工业务水平的提高起到了举足轻重的作用。

在钢结构工程中，焊工的作用非常重要，因为任何优秀的设计、完美的焊接方案都要通过焊工去完成。可是，焊工技术水平的提高，并不能完全解决钢结构焊接工程中的质量问题。因为，涉及焊接应用技术的 13 个阶段，焊工只占 2 个或者不到 2 个，大量焊接应用技术理论和实践经验是在其他 11 个阶段由焊工以上的工程技术人员、管理人员来完成的，这才是问题的核心；再者，焊工服从于经理、工长、厂长、车间主任、工程师等的领导，由于焊工所掌握的理论知识有限，缺乏分辨和抵制错误决策的能力；此外，上道工序的失误会直接影响焊接质量。

比如：在钢结构设计中，钢结构体系初始应力（应力比）的控制，涉及焊缝的布置及焊缝坡口的设计。特别是在厚板焊接结构中，层状撕裂的预防和控制处理十分重要，如果设计人员不了解甚至没有掌握，在深化设计阶段没有把好关，其错误节点流到下面的工序，将带来极其严重的后果，后工序中高水平的焊工也无法解决这一危险缺陷。

此外，钢材、焊材的复检等，都涉及焊接应用技术理论。

在工作实践中，有些人对焊接应用技术“知其然不知其所以然”，用错误的认识指导焊接，以致“低级错误”流行，质量问题时有发生，后果严重。

可见，普及和推广焊接应用技术理论是何等重要，然而，适合焊工以上工程技术人员、管理人员、设计人员的培训教材却很少。这就是我们编写本书的基本思想，既适合焊工以上的工程技术人员、管理人员学习参考，所涉及的焊接应用技术理论和实践数据能够指导生产，稍微简化后也适合焊工的培训学习。我们希望通过本书的出版，让更多的人比较系统地了解焊接、掌握焊接应用技术。

本书在编写的过程中，尽量采用目前焊接应用技术研究的最新成果、技术观点；比如：采用建筑钢结构行业中国国家体育场“鸟巢”钢结构焊接工程的技术成果和焊接应用技术理论，为广大读者提供技术支持和参考资料。在集中阐述焊接应用技术理论的同时，把平时总结的经验、形成的规程也进行了详细的论述。本书实用性强，有一定的理论深度；可繁可简，适应性强，适合于自学、参考；所涉及的数据准确可靠，可作为钢结构工程的技术支持；以建筑钢结构焊接工程为线索，适当收集了电力、石油、化工、压力容器等方面的内容，有较为广泛的知识面；涉及管理思想和方法，可以作为实践中的参考；采用了最新的焊接应用技术研究成果，对推进焊接技术进步具有较大的应用价值。

长江精工钢构（集团）股份有限公司总工程师

黄明鑫

2008 年 8 月 10 日于绍兴

目 录

第一章 绪论	1
第一节 焊接技术的发展历史	1
第二节 焊接技术的内涵及其特点	3
一、焊接技术的分类	3
二、现代焊接技术的特点	3
第三节 建筑钢结构主要工艺流程	4
一、钢结构设计	4
二、钢结构深化设计	8
三、钢结构使用钢材的复检	8
四、钢结构使用焊材的复检	8
五、焊接工艺评定 (PQR)	9
六、焊接专项方案编制 (WPS)	10
七、钢结构号料放样	10
八、钢结构组装	12
九、钢结构焊接	12
第二章 焊接应用技术理论基本知识	13
第一节 焊接性试验研究的定义及其内涵	13
一、焊接性试验研究方法及其分类	13
二、选择钢材 (材料) 焊接性试验研究方法的原则	14
三、影响钢材 (材料) 焊接性的因素	14
四、焊接性试验研究的技术路线	16
五、如何分析金属的焊接性	17
第二节 焊接 SH-CCT 图及其应用	21
一、国产低合金钢焊接 CCT 图的研究及应用	21
二、热影响区 CCT 图的表达形式	23
三、SH-CCT 图的应用	24
四、焊接热影响区 CCT 图在“鸟巢”工程中的应用	25
第三节 建筑钢结构焊缝坡口设计的基本理论	26
一、一次结晶、二次结晶对焊缝性能的影响	27
二、窄间隙焊接技术的基本分析	28
三、焊缝金属稀释率对焊缝性能的影响	29
第四节 钢的热处理基础知识	31
一、铁碳合金相图基础	31
二、热处理基础知识	34
第五节 焊接理论基础知识	37
一、焊丝的熔化	37

二、熔滴过渡	38
三、母材的熔化与焊缝的形成	40
四、熔池形状对焊缝的影响	40
五、焊接冶金	40
六、凝固冶金	63
七、固相冶金	66
八、焊接裂纹	71
第三章 焊条电弧焊 (SMAW)	91
第一节 定义与原理	91
第二节 焊接冶金过程特点	92
第三节 工艺特点	92
第四节 适用范围与局限性	93
一、可焊工件厚度范围	93
二、可焊金属范围	93
三、最合适的产品结构和生产性质	93
四、焊接设备	93
五、弧焊电源	93
六、辅助设备	94
第五节 焊条电弧焊的基本操作技术	94
一、引弧	94
二、运条	95
三、接头	95
四、收弧	97
五、各种位置的焊接技术	97
六、单面焊双面成形技术	97
第六节 焊条	112
一、概述	112
二、焊条的主要性能、用途及其选用	115
三、焊条的使用和管理	116
四、焊条型号	118
第七节 建筑钢结构手工电弧焊施工工艺 (SMAW)	122
一、适用范围	122
二、施工准备	122
三、SMAW 操作工艺	126
四、质量标准	130
五、应注意的质量问题	132
第四章 埋弧焊 (SAW)	134
第一节 埋弧焊方法概论	134
一、埋弧焊过程原理及其特点	134
二、埋弧焊工艺方法及分类	135
三、埋弧焊的优缺点及适用范围	141
第二节 埋弧焊用焊接材料	142
一、埋弧焊的冶金特点	142

二、埋弧焊时的主要冶金反应	143
三、埋弧焊用焊剂	144
四、埋弧焊焊剂选择	149
五、焊剂的储存与烘干	153
六、埋弧焊用焊丝	153
七、埋弧焊焊剂与焊丝的选配	156
第三节 埋弧焊工艺及技术	157
一、埋弧焊工艺基础	157
二、埋弧焊接头的设计	164
三、埋弧焊焊前准备	169
四、埋弧焊操作技术	170
五、埋弧焊工艺规程	174
第四节 建筑钢结构埋弧焊施工工艺	181
一、施工准备	181
二、操作工艺	184
三、质量标准	191
四、成品保护	194
五、注意的质量问题	194
六、安全环保措施	196
第五章 气体保护焊方法概论	197
第一节 气体保护焊原理、特点及应用范围	197
一、气体保护焊的特点	197
二、气体保护焊原理	197
三、气体保护焊的应用范围	198
四、气体保护焊方法分类	198
第二节 CO ₂ 气体保护焊 (GMAW、FCAW-G)	199
一、CO ₂ 气体保护焊的特点	199
二、CO ₂ 气体保护焊冶金原理	200
三、CO ₂ 气体及焊丝	201
四、焊接工艺及焊接技术	203
第三节 建筑钢结构 GMAW、FCAW-G 工艺	243
一、适用范围	243
二、施工准备	243
第六章 电渣焊 (ESW)	254
第一节 电渣焊过程及特点	254
一、电渣焊的过程	254
二、电渣焊特点	255
第二节 电渣焊种类、适用范围	255
一、丝极电渣焊 (ESW-WE)	255
二、熔嘴电渣焊 (ESW-MN)	256
三、板极电渣焊 (ESW-BE)	257
四、电渣焊的适用范围	257
第三节 电渣焊设备	257

一、丝极电渣焊设备	257
二、熔嘴电渣焊设备	260
第四节 建筑钢结构电渣焊接工艺	261
一、施工准备	261
二、技术准备	263
三、操作工艺	266
四、焊缝质量检查	268
第七章 栓钉焊 (SW)	270
第一节 概述	270
第二节 电弧栓钉焊的焊接过程	271
一、母材	271
二、螺柱	272
三、套圈	272
四、电弧栓钉焊设备	273
五、弧栓钉焊的焊接工艺	273
第三节 建筑钢结构栓钉焊施工工艺流程	277
一、适用范围	277
二、施工准备	278
三、操作工艺	282
四、质量标准	284
第八章 焊接缺陷及质量管理	286
第一节 焊接缺陷及分级	286
一、焊接缺陷分类及特点	286
二、焊接缺陷评定及分级	291
第二节 焊接质量管理	294
一、焊接全面质量保证程序流程	294
二、焊接全面质量控制内容	294
第三节 焊接质量检验	297
一、概述	297
二、破坏性检验	297
三、非破坏性检验	297
四、无损探伤 (NDT)	297
第四节 《全国工程建设系统第九届焊工技术比赛工作文件》(摘录)	301
第九章 现代建筑钢结构典型焊接技术	307
第一节 “鸟巢”钢结构焊接工程的几项典型焊接技术	307
一、建筑钢结构厚板焊接技术	308
二、建筑钢结构低温焊接技术	309
三、建筑钢结构仰焊技术	312
四、建筑钢结构铸钢及其异种钢的焊接技术	315
五、建筑钢结构合拢、钢结构体系初始应力的控制焊接技术	322
六、建筑钢结构 Q460E-Z35 钢焊接技术	327
第二节 建筑钢结构厚板焊接层状撕裂的控制处理技术	333

一、层状撕裂的定义、种类、产生机理及特征	333
二、预防为主是防止层状撕裂产生的主要技术措施	338
三、层状撕裂处理技术	341
四、层状撕裂处理的工程实例	341
第三节 国家体育场“鸟巢”钢结构柱脚拼装焊接技术	344
一、国家体育场“鸟巢”钢结构柱脚拼装焊接技术理论依据阐述分析	344
二、排定整体焊接顺序	346
三、典型焊接工艺及分析	347
第四节 工业厂房行车轨道焊条电弧焊焊接工艺	348
附录	353
附录 1 常用钢的焊后热处理温度与时间	353
附录 2 常用钢的预热温度	353
附录 3 钢结构焊缝外形尺寸 (JB/T 7949—1999 代替 JB/T 7949—95)	354
附录 4 电站钢结构焊接通用技术条件摘要 (DL/T 678—1999)	356
参考文献	367

第一章 绪 论

在当今工业社会，没有哪一种连接技术像焊接那样被如此广泛、如此普遍地应用在各个领域，以焊接作为主要连接手段的工程已遍及国民经济的各个方面，通常包括：机械制造、航天航空、建筑钢结构、船舶、桥梁、电子器件及设备。焊接技术以其独特的优越性已经成为了国民经济的支柱技术。

第一节 焊接技术的发展历史

纵观中华五千年文明史，我们可以发现焊接技术最早出现在我国；焊接技术是随着金属的应用而出现的，古代的焊接方法主要是铸焊、钎焊和锻焊。中国商朝制造的铁刃铜钺，就是铁与铜的铸焊件，其表面铜与铁的熔合线蜿蜒曲折，接合良好。春秋战国时期曾侯乙墓中的建鼓铜座上有许多盘龙，是分段钎焊连接而成的。经分析，所用的与现代软钎料成分相近。

战国时期制造的刀剑，刀刃为钢，刀背为熟铁，一般是经过加热锻焊而成的。据明朝宋应星所著《天工开物》一书记载：中国古代将铜和铁一起入炉加热，经锻打制造刀、斧；用黄泥或筛细的陈久壁土撒在接口上，分段锻焊大型船锚。中世纪，在叙利亚大马士革也曾用锻焊制造兵器。

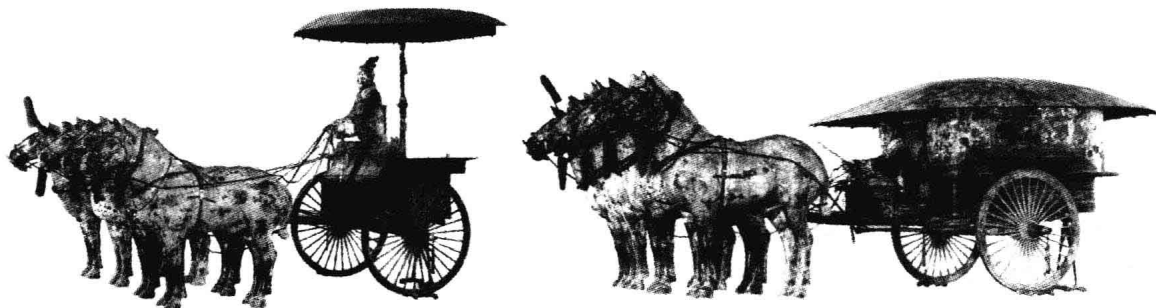


图 1-1 我国秦朝出土的文物铜车马

如图 1-1 所示为我国秦朝出土的文物铜车马，车、马和俑的大小约相当于真车、真马、真人的二分之一。它完全仿实物精心制作，真实地再现了秦始皇车驾的风采。至今，铜车马上的各种链条仍转动灵活，门、窗开闭自如，牵动辕衡，仍能载舆行驶。秦陵铜车马被誉为中国古代的“青铜之冠”。秦陵铜车马共有三千多个零件。铜车马主体为青铜所铸，一些零部件为金银饰品。秦代工匠巧妙地运用了铸造、焊接、镶嵌、销接、活铰连接、子母扣连接、纽环扣接、销钉连接、转轴连接等各种工艺技术。特别是一、二号车的伞盖，其厚度仅 $0.1\sim 0.4\text{cm}$ ，而面积分别为 1.12m^2 和 2.3m^2 ，整体用浑铸法一次铸出，即使在今天，要铸成这么大而薄、均匀呈穹窿形的铜件也非易事。

但是，由于历史客观环境的限制，古代焊接技术长期停留在铸焊、锻焊和钎焊的水平

上，使用的热源都是炉火，温度低、能量不集中，无法用于大截面、长焊缝工件的焊接，只能用以制作装饰品、简单的工具和武器，但这一切完全可以证明，焊接技术起源于中国；由于基础工业发展十分缓慢，焊接技术的进步在我国古代受到阻碍，直到电力的应用，焊接技术才得到长足的发展。如图 1-2 所示为焊接技术发展的历程。

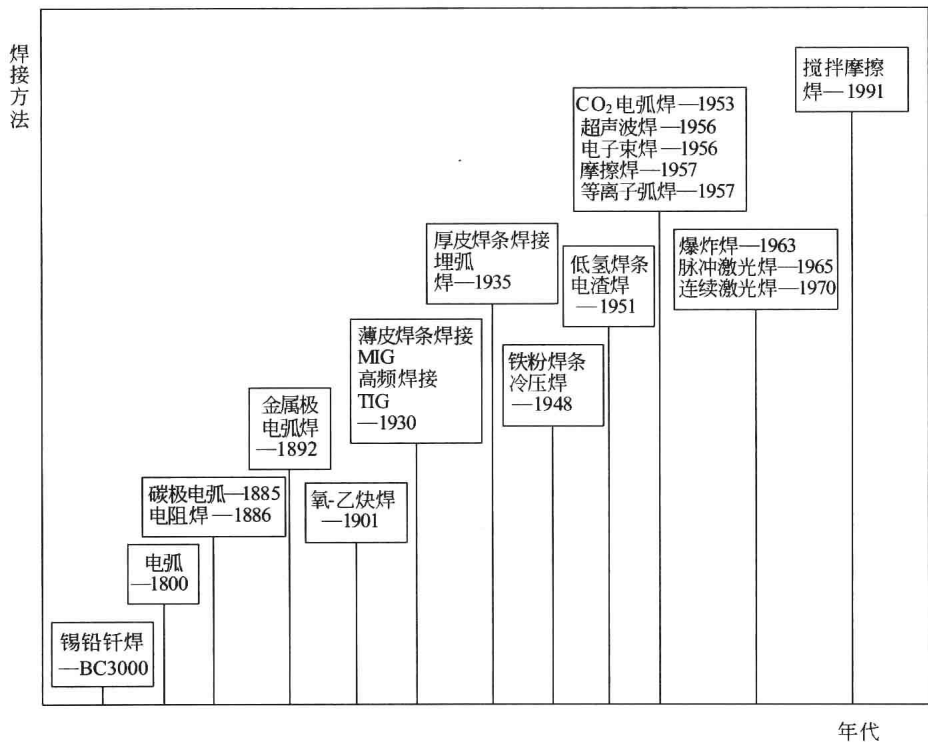


图 1-2 焊接技术发展的历程

19 世纪初，英国的戴维斯发现电弧和氧-乙炔焰两种能局部熔化金属的高温热源；1885~1887 年，俄国的别纳尔多斯发明碳极电弧焊钳；1900 年又出现了铝热焊。20 世纪初，碳极电弧焊和气焊得到应用，同时还出现了薄药皮焊条电弧焊，电弧比较稳定，焊接熔池受到熔渣保护，焊接质量得到提高，使手工电弧焊进入实用阶段，电弧焊从 20 世纪 20 年代起成为一种重要的焊接方法。在此期间，美国的诺布尔利用电弧电压控制焊条送给速度，制成自动电弧焊机，从而成为焊接机械化、自动化的开端。1930 年美国的罗宾诺夫发明使用焊丝和焊剂的埋弧焊，焊接机械化得到进一步发展。20 世纪 40 年代，为适应铝、镁合金和合金钢焊接的需要，钨极和熔化极惰性气体保护焊相继问世。1951 年苏联的巴顿电焊研究所创造电渣焊，成为大厚度工件的高效焊接法。1953 年，苏联的柳巴夫斯基等人发明二氧化碳气体保护焊，促进了气体保护电弧焊的应用和发展，如出现了混合气体保护焊、药芯焊丝气渣联合保护焊和自保护电弧焊等。1957 年美国的盖奇发明等离子弧焊；20 世纪 40 年代德国和法国发明的电子束焊，也在 20 世纪 50 年代得到实用和进一步发展；20 世纪 60 年代等离子、电子束激光焊接方法的出现，标志着高能量密度熔焊的新发展，大大改善了材料的焊接性，使许多难以用其他方法焊接的材料和结构得以焊接。其他的焊接技术还有：1887 年，美国的汤普森发明电阻焊，并用于薄板的点焊和缝焊；缝焊是压焊中最早的半机械化焊接方法，随着缝焊过程的进行，工件被两滚轮推送前进；20 世纪 20 年代开始使用闪光对焊方法焊接棒材和链条。至此电阻焊进入实用阶段。1956 年，美国的琼斯发明超声波焊；苏联的丘季科夫发明摩擦焊；1959 年，美国斯坦福研究所研究成功爆炸焊；20 世纪 50 年代末

苏联又制成真空扩散焊设备。

当今，焊接已经从一种传统的热加工工艺发展成为集材料、冶金、结构、力学、电子等多门类科学为一体的工程工艺学科。而且，随着相关学科技术的发展和进步，不断会有新的知识融合在焊接之中。

第二节 焊接技术的内涵及其特点

一、焊接技术的分类

如图 1-3 所示为焊接技术的分类。

二、现代焊接技术的特点

在当今世界，随处可见焊接技术的应用，为什么人们如此热衷于使用焊接技术呢？原因是多方面的，而其中最主要的原因就是其极具竞争力的性价比。我们不妨作如下分析。

（一）与铆接、铸造、锻造结构相比，焊接结构的优点

- ① 构造合理。应力集中系数小，接头连接效率高，对接接头可达 100%，铆接很难达到 70%。
- ② 简化结构，减轻自重。由于焊接的强度较高，在同样的承载条件下，可更轻、更薄，对交通运输工具来说还可因此而节约能量。

③ 密封性好。焊接结构对水、油、气密封性都很好，是理想的密封结构，适合于制造各类容器。

④ 板厚限制小。在板厚大于 50mm 时铆接将会十分困难；而焊接结构高压容器的单层壁厚可达 300mm 以上。

⑤ 设计简单、灵活。铆接结构的连接部分在设计上相当复杂，而焊接结构可将结构元件比较简单地对接、角接、T 形接或搭接起来，同时可制成任意结构，也较灵活，不像铸、锻工艺对工件形状有很多限制。

⑥ 制造周期短，成本低，经济效益好。焊接结构的制造工艺比铆接结构简单得多，可省去钻孔和划埋头孔等工作。采用现代的焊接制造工艺，很容易实现专业化和批量生产。

⑦ 可焊接不同金属材料。采用焊接工艺能把不同的金属连接起来，有效利用材料。焊接结构还可可在不同部位采用不同性能的材料，充分发挥各种性能不同的材料的优势。

（二）焊接显现了极高的技术含量和附加值

如今，焊接已经进入了一个崭新的发展阶段。当今世界许多最新的科研成果、前沿技术和高新技术，诸如：计算机、微电子、数字控制、信息管理、工业机器人、激光技术等，已经被广泛地应用于焊接领域，这使得焊接的技术含量得到了空前的

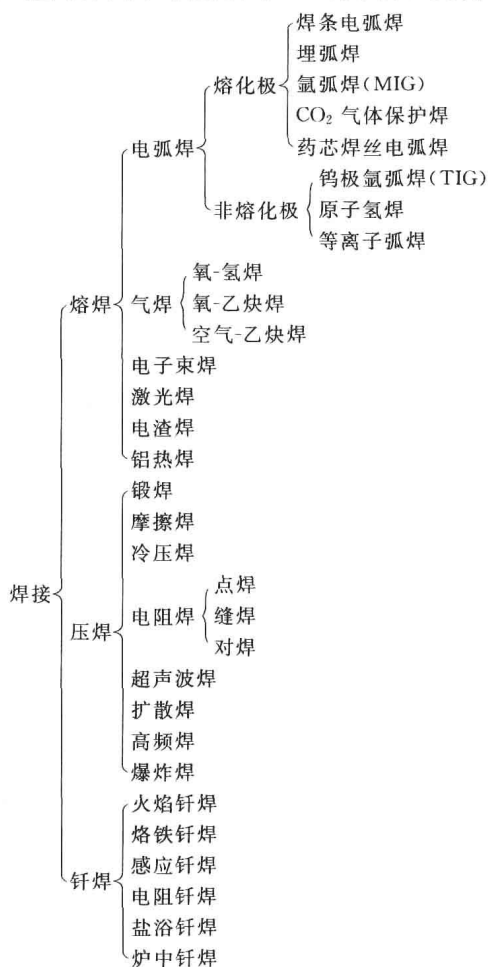


图 1-3 焊接技术的分类

提高,并在制造过程中创造了极高的附加值。

(三) 焊接已成为关键的制造技术

焊接作为组装工艺之一,通常被安排在制造流程的后期或最终阶段,因而对产品质量具有决定性的作用。正因为如此,在许多行业中,焊接被视为一种关键的制造技术。

(四) 焊接已成为现代工业不可分离的组成部分

在工业化发达的美国,焊接被视为“美国制造业的命脉,而且是美国未来竞争力的关键所在”。其主要根源就是基于这样一个事实:许多工业产品的制造已经无法离开焊接技术的使用。

在人类发展史上留下辉煌篇章的国家体育场“鸟巢”钢结构焊接工程、三峡水利工程、西气东输工程等,哪个没有采用焊接结构?以西气东输工程项目为例,全长约 4300km 的输气管道,焊接接头的数量竟达 35 万个以上,整个管道上焊缝的长度至少 1.5 万公里。离开焊接,简直无法想象如何完成这样的工程。

(五) 未来的市场需求

根据国家统计局发布的《2003 年国民经济和社会发展统计公报》,我国 2003 年钢产量为 2.2 亿吨,比上年增长 21%。按照我国焊接用钢量为 40% 的比例计算,焊接结构的钢材量接近 9000 万吨。而在工业发达国家,焊接用钢量基本达到其钢材总量的 60%~70%。根据我国 2020 年国民经济发展的总体目标要求以及我国焊接行业的发展趋势预测,我国可能在今后 5~10 年时间内达到 60% 的水平。届时我国年钢产量将介于 2.5 亿~3 亿吨之间。这意味着焊接量将增加一倍,这就形成了对焊接生产效率和劳动力的可观需求。考虑到我国焊接生产效率增长的实际空间、生产率和劳动力之间的联动关系等方面因素,未来我国焊接劳动力的年需求可能在百万人数量级以上。因此,焊接行业将在今后 5~10 年继续保持增长的势态。

在进入 21 世纪的前夕,美国焊接学会(AWS)曾组织权威专家讨论、制订了美国今后 20 年焊接工业的发展战略。其分析报告对焊接行业未来做了如下预测:在 2020 年,焊接仍将是金属和其他工程材料连接的优选方法。美国工业界将依靠其在连接技术、产品设计、制造能力和全球竞争力方面的领先优势,成为这些性价比高、性能优越产品的世界主导。由此不难看出:焊接在未来的工业经济中不仅具有广阔的应用空间,而且还将对产品质量、企业的制造能力及其竞争力产生更大的影响。

我国在加入 WTO 后,作为全球最大的发展中国家和经济活力最强的国家,我国焊接工业的发展充满了机遇和挑战。如何有效地把握机会,迎接挑战,保证今后可持续地健康发展,是我国焊接行业面临的重要课题。

第三节 建筑钢结构主要工艺流程

建筑钢结构行业的主要工作流程是:①钢结构设计;②钢结构深化设计;③钢结构使用钢材的复检;④钢结构使用焊材的复检;⑤焊接工艺评定(PQR);⑥《焊接专项方案》编制(WPS);⑦钢结构号料放样;⑧钢结构下料;⑨钢结构组装;⑩钢结构焊接(在焊接阶段之后进行 NDT);⑪钢结构的一次涂装;⑫钢结构拼装;⑬钢结构安装;⑭钢结构安装阶段的焊接(在焊接阶段之后进行 NDT);⑮钢结构二次涂装。

从钢结构设计开始,焊接应用技术贯穿上述 13 个阶段(钢结构的一次涂装、二次涂装除外)。

一、钢结构设计

钢结构体系初始应力(应力比)涉及焊缝的布置;应力比的大小涉及坡口的形状;钢材

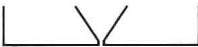
及构件断面的确定涉及焊接应用技术；焊接接头性能的确定涉及焊接材料的选择。

1. 焊缝强度计算系数

当母材金属与焊接材料等匹配时，其容许应力按母材金属的强度乘以焊缝系数 ϕ 计算，见表 1-1。

$$[\sigma] = \sigma_s \phi$$

表 1-1 压力容器强度计算时的焊缝系数 ϕ

焊接接头形式	无损探伤检验要求	焊 缝 系 数
双面焊的对接焊缝 	100% 无损探伤	1.0
	局部无损探伤	0.85
	不作无损探伤	0.70
单面焊的对接焊缝，在 焊接过程中沿焊缝根部全长 有紧贴母材的垫板 	100% 无损探伤	0.90
	局部无损探伤	0.80
	不作无损探伤	0.65
单面焊的对接焊缝，无垫板 	层板纵焊缝	0.95
	局部无损探伤	0.70
	不做无损探伤	0.60

2. 建筑钢结构焊缝的强度设计值

采用以概率论为基础的极限状态设计法，替代以往的容许应力设计法。焊缝强度设计值见表 1-2。

表 1-2 焊缝强度设计值 MPa

焊接方法和 焊条型号	构件 钢 材			对 接 焊 缝			角 焊 缝	
	钢号	组别	厚度或 直径/mm	抗压强度	焊缝质量为下列级别 时，抗拉和抗弯强度		抗剪强度	抗拉、抗压 和抗剪强度
					一级、二级	三级		
自动焊、半自动焊和 E43××型焊条的手工焊	Q235A 钢 (A3)	第一组	—	215	215	185	125	160
		第二组	—	200	200	170	115	160
		第三组	—	190	190	160	110	160
自动焊、半自动焊和 E50××型焊条的手工焊	16Mn 钢、 16Mnq 钢	—	≤16	315	315	270	185	200
		—	17~25	300	300	255	175	200
		—	26~36	290	290	245	170	200
自动焊、半自动焊和 E55××型焊条的手工焊	15MnV 钢、 15MnVq 钢	—	≤16	350	350	300	205	220
		—	17~25	335	335	285	195	220
		—	26~36	320	320	270	185	220

注：自动焊与半自动焊所采用的焊丝和焊剂，应保证其熔敷金属抗拉强度不低于相应手工焊焊条的数值。

3. 对焊接用结构钢材等级建议

① 任何一个焊接构件或结构的抗脆断安全度，可用危险指数 W 表示

$$W = KHZ$$

式中 K ——构造系数；

H ——危害系数；