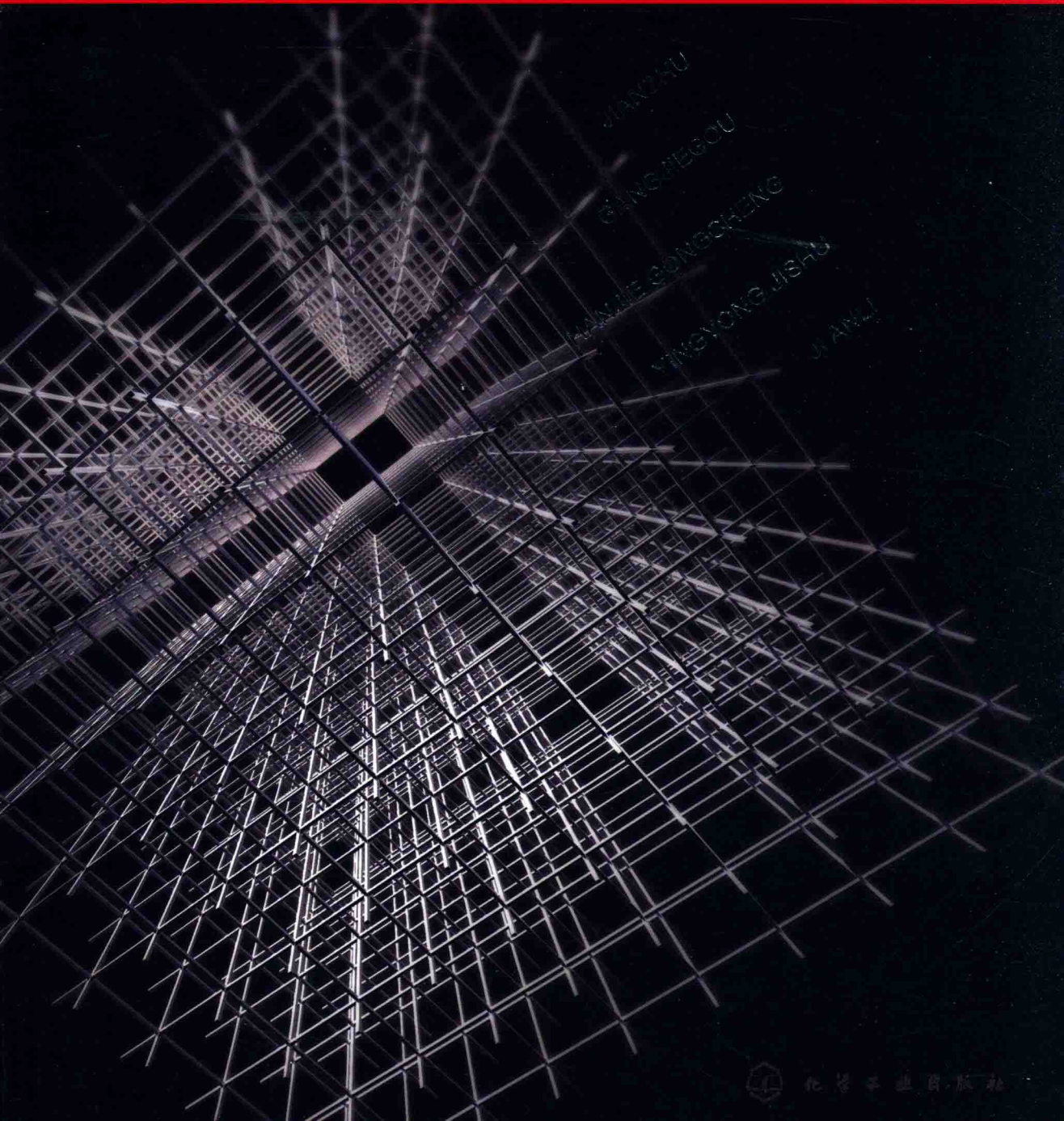


建筑
钢结构

焊接工程

应用技术及案例

戴为志 刘景凤 高良 主编



化学工业出版社

建筑 钢结构 焊接工程

应用技术及案例

戴为志 刘景凤 高良 主编



化学工业出版社

·北京·

本书内容丰富,从最基础的理论及其应用到建筑钢结构焊接机器人及工程竣工,针对性和系统性较强,案例众多,各章节所阐述的技术观点十分鲜明。本书所阐述的观点是实践经验的升华,来自于实践,上升到理论并经过实践检验,本书的技术观点同样适用于其他钢结构行业。

本书有极其丰富的工程第一手资料,所表述的技术数据全部经过工程实际的运用和检验,可作为工程项目应用的手册;也可作为钢结构焊接从业人员提高业务水平自学的参考书;还可作为“案例教学”的教案,适合作为高等院校相关专业的教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑钢结构焊接工程应用技术及案例/戴为志,刘景凤,
高良主编. —北京:化学工业出版社,2016.2
ISBN 978-7-122-24102-3

I. ①建… II. ①戴… ②刘… ③高… III. ①建筑
结构-钢结构-焊接工艺 IV. ①TG457.11

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第004865号

责任编辑:马燕珠 李玉晖
责任校对:边涛

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:北京永鑫印刷有限公司

装 订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张34¼ 字数810千字 2016年4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:188.00元

版权所有 违者必究

建筑钢结构

焊接工程应用技术及案例

编写人员名单

主 编 戴为志 刘景凤 高 良

编写人员 (排名不分先后)

侯 敏 周云芳

中国工程建设焊接协会

范鹏涛 刘代龙 张建平 滕 骝

崔 崑 沈李强 阙子雄 陈 辉

浙江精工钢结构 (集团) 有限公司

张 伟 王 垒 高玲丽 孙 峰

施元强 邢遵胜 曾祥文 陆安洪

何志涛 张发荣

湖北精工钢结构有限公司

汪 鹏 贾宝华

安徽精工钢结构有限公司

陈 浩

美建建筑系统 (中国) 有限公司

贾 军

中冶集团宝昆焊丝厂

李海兵

北京城建集团

李浓云 芦广平

北京城建精工

郭剑云

多维联合集团有限公司

张亚军

安徽鸿路钢结构 (集团) 股份有限公司

张 威

上海合星财富管理有限公司

以“奥运”“世博”工程为代表,我国的建筑钢结构行业迅速发展。焊接是构建钢结构的一种主要的连接方法,在建筑钢结构工程中发挥了重要的作用。据统计,约50%以上的钢材在投入使用前需要经过焊接加工处理。焊接可以说是钢结构的生命和灵魂。

目前,建筑钢结构已规模采用高强钢,对焊接在热输入控制、组织与性能方面的技术要求也在发展变化。焊接制造由“控形”向“控性”演变,由“宏观”向“微观”深化,由“经验估计”向“数字量化”提升,由“手工焊”向“自动焊”跨越。同时,建筑钢结构的钢材正在向更加高级的方向发展,节能减排的绿色制造理念推动着焊接钢结构的变革,未来新钢种会层出不穷,钢材的强度和韧性会不断提高。

为适应这样的发展趋势,对高强钢焊接接头的等强匹配和等韧匹配、接头强韧性界限值、预热温度和热输入量(焊接线能量)、工艺参数与定量评定等提出大量的研发课题。由于焊接接头与基体之间的不顺应,焊接接头成为影响构件服役的薄弱部位,亟待在焊接制造基础理论的应用上有所突破,从热源、电弧及熔池不同层面出发,揭示焊缝组织、应力状态以及接头性能的精确调控规律。

现代控制理论与数字信号处理技术的应用,使得我们能够通过“源”的能量输出形式变化赋予“弧”新的热特性和力特性,由此涌现出一系列“受控”条件下的弧焊新工艺。例如,通过对接头成形与热输入的定量分析来选择金属过渡的形式;多热源复合在提高焊接效率的同时也提升了焊接接头的综合性能。

与钢结构行业飞速发展的形势和对焊接的要求不适应的是,很多从业人员对焊接技术的认识不到位,认识水平有待提高。

近年来在钢结构焊接工程中相继发生重大、恶性的安全、质量事故;各地相继发现以焊缝裂纹为主的钢结构质量缺陷。这些现象说明钢结构行业进入“问题期”。问题的产生,很大部分来源于对焊接技术掌握的不足;问题的解决,必须依赖于对焊接技术的透彻理解。宏观来看,分析现状、找到对策,是钢结构行业提高整体竞争力、实现可持续发展、向产业化进军的要求。

现代建筑钢结构焊接工程向大型化和高参数方向发展;钢板的强度越来越高,厚度越来越大,系统越来越复杂,新钢种越来越多,要求技术条件越来越严格。钢结构焊接技术在工艺、材料和装备三大领域的关键核心技术方面,仍然需要更多的技术创新。作为研发和创新的基础,强调和普及建筑钢结构焊接应用技术的一些基础理论,使这些基础理论得到准确的认识,并被推广应用,显得十分重要。“正本清源”,才能“更上层楼”。

笔者在多年工作中发现,工程的成败常常直接决定于一些焊接技术基础理论是否

正确合理应用。在缺乏基础理论指导的情况下,工程指挥者“以其昏昏,使人昭昭”,工程做得好不知为什么好,工程做得差不知为什么差。面对出现的问题,由于对事物的本质认识不清,“知其然而不知其所以然”,现场采取措施不得力,针对性不强,谬误时有发生。其工程肯定成也焊接、败也焊接。这种现象在建筑钢结构焊接行业相当普遍,十分令人遗憾。

目前钢结构从业人员中,焊接专业工程技术人员数量上、素质上难以满足要求,是急需解决的主要矛盾。大多数从事焊接技术和管理的人员并不是科班出身,而是根据行业或单位发展的需要“半路出家”。即使是专业对口的大专院校毕业生,没有三到五年的实践磨练,没有经过参加一两个大工程的锻炼,大多数是不可能胜任岗位要求的。焊接技术人员的成长,需要工程实践经验的积累。

笔者全程亲历“鸟巢”焊接工程以及多项重大建筑钢结构焊接工程,编著出版了《建筑钢结构焊接技术——“鸟巢”焊接工程实践》,本书是其姊妹篇,是以“鸟巢”为代表的建筑钢结构焊接技术的再一次总结和升华。

1. 全面推广“鸟巢”钢结构焊接工程应用技术

“鸟巢”工程荣获国际焊接协会(IIW)2010 UGO GUERRERA PRIZE(优格大奖),至今仍然影响着我国建筑钢结构行业的技术发展。本书以国家体育场“鸟巢”钢结构焊接工程采用的14项焊接技术为线索,收集整理了大量新型的钢结构体系应用“鸟巢”焊接技术的成功案例,揭示了建筑钢结构焊接技术的发展趋势。

2. 焊接工程全面质量管理的思想得到了发扬光大

实现了管理同基础技术的有机结合,从实践角度提供了大量真实可靠的焊接数据;同时提供了组建正规焊工队伍的成功经验,为焊接工程全面质量管理提供了有益的借鉴。

3. 新钢种焊接性试验技术也得到发展

“鸟巢”工程以Q460E-Z35、STMGr60(Q420)新钢种焊接性试验研究为核心,展示了新钢种焊接性的创新点以及焊接新工艺,为建筑钢结构焊接工程采用类似新钢种提供了详细的技术参考资料,缩短了建筑钢结构行业大规模采用高强钢的时间。本书对超过Q460E-Z35的高强钢焊接性试验进行了阐述分析,将成为后续工程的参考。

4. 控制钢结构体系初始应力的观点得到了确认和发展

“鸟巢”工程中第一次正式提出控制初始应力的观点,开发和创新了复杂钢结构控制应力应变的基本方法,简化了应力应变控制的理论分析。本书收集了控制焊接应力应变及钢结构体系初始应力的案例,提出了全新的观点和措施,特别是焊接残余应力的控制与众不同,澄清了业内没有统一的认识。

5. 低温焊接技术得到长足的发展

“鸟巢”工程中第一次进行大规模的低温焊接试验,解决了建筑钢结构冬季施焊的难题。本书从工程实践中总结了一套低温焊接施工技术并上升到理论分析,提出了防止低温脆断的理论及方法。

6. 厚板多层多道错位焊接技术得到了全面的推广应用,仰焊技术得到长足发展

“鸟巢”工程第一次大规模采用厚板多层多道错位焊接技术,解决了仰焊技术推

广应用的基础理论和思想认识问题。本书对厚板多层多道错位焊接技术在高强钢焊接中的应用、仰焊技术在控制钢结构体系初始应力应变控制中的地位和作用均有讲解,将这些技术提高到一个新的台阶。

7. 控制焊接裂纹技术深入人心

落实了建筑钢结构焊接工程中主要防止热裂纹、冷裂纹、层状撕裂三大裂纹的观点,对防止裂纹做了深入细致的研究,把防止措施具体化,为提高建筑钢结构焊接质量提供了技术上的保证。

8. 合龙已经成为控制钢结构体系初始应力状态的关键工序

“鸟巢”工程创立了建筑钢结构合龙技术,对建筑钢结构合龙及合龙焊缝在理论上进行了深入的分析研究。本书记叙了在典型工程中合龙技术的成功案例,不仅记载了全部合龙过程,而且对卸载也做了阐述。

本书所阐述的建筑钢结构焊接技术观点来自于实践,上升到理论并经过了实践检验;其中高强钢焊接技术是“鸟巢”之后浙江精工焊接技术研究所的科研成果。为了让这些观点迅速被读者理解和运用,用观点说明案例,用案例支持观点,两者有机结合。对大量素材进行了有针对性的选择,使观点和案例具有说服力和一定的理论高度。

本书记录了“鸟巢”之后的建筑钢结构的发展历程,收集了各单位在工程中对“鸟巢”钢结构焊接工程应用技术的学习、消化、吸收、创新,展现了一幅绚丽多彩的工程画卷。

本书的写作过程得到了中国工程建设焊接协会的大力支持,协会把本书的编写作为年度重要工作安排落实,派出人员协助专家工作,提供优秀焊接工程资料。

浙江精工钢结构(集团)有限公司大力支持本书的编写;公司董事长方朝阳先生、总裁孙关富先生以企业家高瞻远瞩的眼光,派遣高良等工程技术人员,无私地提供资料,协助编写。这样的善举值得尊敬和感谢!

感谢唐山开元机器人系统有限公司、北京时代科技股份有限公司、北京石油化工学院、四川玛瑞焊业发展有限公司、中建钢构有限公司、安徽鸿路钢结构(集团)股份有限公司、多维联合集团有限公司以及其他提供资料的相关单位和个人,感谢他们对本书的大力支持。

本书是多家单位和团队共同支持、团结协作的结晶,书中的观点和技术是宝贵的,体现的合作精神是无价的。

本书有丰富的工程第一手资料,所表述的技术数据全部经过工程实际的运用,真实、准确、可靠、较全面。本书可以作为焊接工程师培养“案例教学”的教材,可作为工程应用的手册;更希望成为大专院校毕业生的参考书,使莘莘学子毕业后带着正确的技术观点迅速进入角色。笔者相信,本书的重要技术观点和实际操作技术将在行业中得到广泛应用和推广。希望通过本书,令读者受益,加快建筑钢结构焊接工程技术发展的进程。

编 者

2016年1月5日于上海

I

第一章 基础概念理论及工程案例

● 一、简析建筑钢结构体系的复杂性	2
(一) 建筑钢结构体系复杂	4
(二) 建筑钢结构工序最复杂	5
(三) 建筑钢结构分类最复杂	6
(四) 建筑钢结构采用钢材最复杂	7
(五) 建筑钢结构节点最复杂	8
(六) 建筑钢结构焊接工程采用的焊接技术最全	9
(七) 建筑钢结构功能性强, 地位很高	10
(八) 建筑钢结构焊接工程应用机器人自动焊很困难	10
(九) 建筑钢结构不重视焊接	11
● 二、焊接线能量定义及其实际控制	12
(一) 焊接线能量的定义	12
(二) 焊接线能量与焊缝“控形、控性”质量控制	13
(三) 焊缝最精准的控形指标和焊接线能量的关系	13
(四) 焊缝最少损害的控性指标和焊接线能量的关系	16
(五) 焊接线能量在焊接热循环中的作用	17
(六) 最佳焊接线能量和最佳焊接参数上、下限的确定	18
(七) 简析用焊接工艺实际控制焊接线能量技术	20
(八) 焊缝“最精准的控形、最少损害的控性”同焊接线能量、焊接电流、 焊接电压、焊接速度之间的关系	25
(九) 工程案例及焊接专项试验研究	36
● 三、碳当量定义及其应用	44
(一) 碳当量定义	44
(二) 碳当量的应用	44
● 四、建筑钢结构焊接裂纹定义、产生机理及其控制	51
(一) 建筑钢结构焊接工程主要产生的裂纹种类	51
(二) 建筑钢结构焊接热裂纹定义及其产生的机理	56
(三) 建筑钢结构焊接冷裂纹定义及其产生的机理	72
(四) 建筑钢结构层状撕裂定义、种类、产生机理及防止措施	81

II

第二章 建筑钢结构体系初始应力控制技术及观点

- 一、建筑钢结构的构件受力分析 106
- 二、承重建筑钢结构的钢材综合性能合格保证的项目 106
 - (一) 强度 107
 - (二) 塑性 109
 - (三) 硬度 110
 - (四) 冲击韧度 112
 - (五) 硫、磷含量 113
 - (六) 碳当量 113
- 三、建筑钢结构焊接应力与应变控制基本要素 113
 - (一) 焊接残余应力的性质 114
 - (二) 建筑钢结构焊接工程不宜消除焊缝焊接残余应力的观点 115
 - (三) 建筑钢结构体系设计是控制焊接应力与应变的关键 124
 - (四) 采用仰焊技术实现对称施焊是控制钢结构应力与应变的有效途径 128
 - (五) 建筑钢结构焊缝的焊接顺序直接影响焊接的应力与应变 129
 - (六) 建筑钢结构应推广应用小坡口焊接技术 131
 - (七) 提高建筑钢结构焊缝的表面质量是消除和减少焊接应力集中的关键 146

III

第三章 建筑钢结构焊接工程两个重要环节理论及案例

- 一、建筑钢结构新钢种焊接性试验 149
 - (一) 钢材的焊接性 149
 - (二) 金属焊接性的研究方法 151
 - (三) 焊接性的试验内容与方法分类 153
 - (四) 选择或设计焊接性试验方法的原则 154
 - (五) 常用焊接性试验方法 155
 - (六) 工程案例 164
- 二、建筑钢结构低温焊接相关理论及案例 185
 - (一) 应用低温焊接工艺需具备的材料力学基础 185
 - (二) 断裂力学及其在低温构件中的应用 190

(三) 焊接结构的断裂力学分析	196
(四) 焊接结构的失效类型	198
(五) 建筑钢结构低温焊接技术	203
(六) 工程案例	211
● 附录 建筑钢结构工程低温焊接工法	213

IV

第四章 建筑钢结构制作工程中的典型焊接技术

● 一、钢结构 SAW 不清根钢板对接技术	225
(一) SAW 钢板对接不开坡口不清根新技术	225
(二) 试验结果总结	233
(三) 工程案例分析	235
● 二、建筑钢结构厚板异形复杂节点防止层状撕裂技术	235
(一) 空间超大型异形 X 钢管节点的制作、防层状撕裂焊接创新工艺	236
(二) 空间超大型异形复杂 X 钢管节点防层状撕裂接头整体装配、 焊接顺序	239
(三) 工程案例分析	242
● 三、高强钢厚板复杂节点制作焊接技术	242
(一) 厚板高强钢复杂桁架节点制作焊接工艺研究与应用	243
(二) 工程案例分析	249
● 四、厚板复杂节点防层状撕裂及热裂纹制作焊接技术	249
(一) 工程概况	250
(二) 节点制作的重点与难点	251
(三) 制作工艺技术研究	251
(四) 工程案例分析	256
● 五、建筑钢结构箱型 (BOX) 巨拱加工焊接技术	257
(一) 箱型 (BOX) 桁架钢结构的特点	257
(二) 工程概况	258
(三) 箱形 (BOX) 巨拱制作工艺技术	259
● 六、大型复杂转换节点制作焊接技术	266
(一) 成都博物馆新馆钢结构工程概况	266
(二) 工程案例分析	273
● 七、异形变截面巨型横梁的制作、焊接技术	273
(一) 青岛火车站工程概况	274

(二) 横梁结构特点	274
(三) 横梁结构制作技术重点与难点分析	274
(四) 横梁制作工艺研究	275
(五) 工程案例分析	281
● 八、空间异形仿生形钢结构建筑及特殊节点制作焊接技术	282
(一) 空间异形仿生树形节点加工制作工艺的研究与应用	283
(二) 异形复杂双曲立面箱形构件制作工艺	289
● 九、日本钢结构工程一种钢筋混凝土柱-钢梁混合构造节点(RCS)制作工艺技术	300
(一) RCS 节点简介	300
(二) 制作重难点分析	301
(三) 制作工艺	302
(四) 工程案例分析	305



第五章 建筑钢结构工程安装、焊接技术及案例

● 一、异形仿生建筑钢结构体系安装、焊接技术(1)	308
(一) 烟台雨岱山渔人码头鲸鲨馆仿生钢结构管桁架典型节点	309
(二) 钢结构深化设计的重难点	309
(三) 鲸鲨馆钢桁架安装的总体顺序及具体步骤	310
(四) 钢结构现场施工要点	315
(五) 现场焊接技术	316
(六) 施工现场临时用电方案	322
(七) 工程案例分析	327
● 二、建筑钢结构管桁架管管相贯节点高精度组装、焊接技术	328
(一) 海洋馆钢结构壳体工程概况	328
(二) 钢结构壳体关键焊接技术	332
(三) 工程案例分析	335
● 三、异形建筑钢结构体系安装、焊接技术	336
(一) 工程简介	336
(二) 钢结构现场安装难点及解决措施	338
(三) 钢结构总体施工安装方案	339
(四) 施工安装顺序	342
(五) 主要安装技术措施中钢柱的吊装与就位	342

(六) 现场安装焊接	345
(七) 湖州喜来登温泉度假酒店裙楼钢屋盖结构焊接技术	351
(八) 工程案例分析	357
● 四、异形仿生建筑钢结构体系安装、焊接技术 (2)	359
(一) 现场钢结构焊接类型	359
(二) 焊接特点、难点	360
(三) 焊接方法及合龙缝的焊接	360
(四) 焊接变形及应变控制整体思路	364
(五) 焊接参数的选择	365
(六) 厚板焊接及焊前预热	366
(七) 铸钢件与异种钢焊接工艺措施	366
(八) 贝壳状全焊接空间网格结构的焊接应力控制方法	369
● 五、大连期货广场 B 座钢结构安装焊接技术	374
(一) 工程概述	375
(二) 工程焊接方案	375
(三) 焊接质量控制与检验	380
(四) 典型焊接技术	381
(五) 工程案例分析	389
● 六、异形仿生建筑钢结构体系安装、焊接技术 (3)	390
(一) 钢结构工程简介	391
(二) 焊接特点与难点	393
(三) 本工程焊接变形及应变控制整体思想	396
(四) 铸钢件与异种钢焊接工艺措施	406
(五) 焊接质量控制	408
(六) 工程案例分析	409
● 七、建筑钢结构主楼核心筒钢板剪力墙焊接关键技术	410
(一) 高层钢结构典型节点概况及焊接要点	410
(二) 主楼核心筒钢板剪力墙分段概况	412
(三) 钢板剪力墙钢板竖向对接焊接顺序	413
(四) 钢板剪力墙焊接失败的教训和成功的经验	415
(五) 其他技术要点	417
(六) 工程案例分析	418

VI

第六章 简析建筑钢结构全面质量管理典型工程

- 一、“鸟巢”钢结构焊接工程“七分准备、三分施工” 421
 - (一) 第一要素: 建立钢结构焊接质量保证体系 421
 - (二) 第二要素: 抓好两项基础工作 422
 - (三) 第三要素: 树立“全员、全面、全过程”的管理思想 423
 - (四) 第四要素: 树立“四个一切”的思想, 逆向思维, 确定管理思想和
技术路线 423
- 二、“鸟巢”钢结构焊接工程全面质量管理的具体实施 428
 - (一) “鸟巢”工程的 10 个管理要点 429
 - (二) “鸟巢”工程的 10 个关键技术管理点 442

VII

第七章 建筑钢结构国产弧焊机器人应用技术研究

- 一、机器人产业概述 451
- 二、北京时代集团机器人本体及变位机的机械结构优化设计 452
- 三、北京时代集团机器人运动控制系统的研究设计 454
- 四、建筑钢结构焊接机器人的选型 456
 - (一) 国产弧焊机器人类型及选型基本观点 457
 - (二) 工程案例 459
 - (三) 浙江精工焊接机器人强-强联合技术 460
- 五、工程案例分析 466

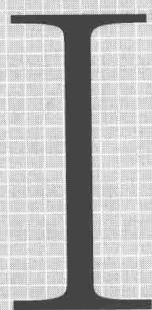
VIII

第八章 建筑钢结构高强钢焊接技术

- 一、高强钢的定义及相关技术内涵 468
 - (一) 高强钢的定义 468
 - (二) 我国钢结构高强钢研究及发展 470

● 二、建筑钢结构高强钢新钢种焊接性分析	474
(一) 焊接裂纹	475
(二) 热影响区的脆化及软化	475
(三) 焊缝金属的强韧化	476
(四) 热影响区的晶粒长大倾向	476
(五) 建筑钢结构采用高强钢的优点	477
(六) 建筑钢结构常用钢材介绍	477
● 三、高强钢焊接技术关键的重要观点	478
(一) 观点之一: 重视高强钢屈强比的研究	478
(二) 观点之二: 减少焊接热循环次数是保证高强钢焊接接头综合性能最 有效的途径	487
(三) 观点之三: 依靠碳当量确定高强钢焊接预热温度不准确	501
(四) 观点之四: 减少焊接 HAZ 高温停留时间, 高强钢焊接必须采用多层 多道错位焊接技术	508
(五) 观点之五: 机器人自动焊最适合高强钢的焊接	509
(六) 观点之六: 建筑钢结构特厚板焊接接头强韧性储备检测应采用 CTOD ...	509
● 四、高强钢快速压缩脉冲压缩电弧新工艺的开发研究	510
(一) 高强钢焊接采用保护气体的选择	510
(二) 工程案例 (一)	511
(三) 工程案例 (二)	515
● 附录 Q460E-Z35 高强度特厚钢板焊接工法	518
● 参考文献	530
● 后记	532

建筑钢结构
焊接工程应用技术及案例



第一章

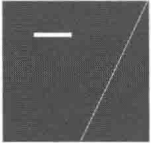
基础概念理论及工程案例

同其他钢结构行业一样，在建筑钢结构焊接工程中，经常使用焊接应用技术理论和实践要求都很高的技术参数和基础概念，这些参数和基础概念涉及基础理论和工程实际经验，或者说就是基础理论和实际结合的产物。比如：“焊接线能量”就是其中十分突出的代表，这些参数和基础概念在建筑钢结构焊接工程中的作用是非常重要的。甚至可以断定：是否正确应用这些参数和基础概念，是决定建筑钢结构焊接工程成败的关键。

然而十分遗憾，从表面上看，可能是这些参数太普通，于是很多人错误地认为这些参数技术含量不高。因此，在焊接学术界甚至工程界把这些参数作为研究课题的人很少，有关焊接线能量和基础概念的论述和文章很少，导致人们对此产生一些模糊认识。

理论上的无知必然产生实际上的无能，实际上，在工程实践中，很多焊接从业人员对其中部分参数和基础概念技术实质“知之甚少”，就是有些科班出身的焊接工程人员也“知其然，不知其所以然”。那么，可以断言：在这些焊接从业人员和工程技术人员指挥下的焊接工程，焊接质量肯定不容乐观，甚至会给焊接工程带来质量隐患或造成损失。

本章就是根据工程实践中所积累的经验教训，结合焊接应用技术基础理论，力争系统地分析研究、揭示各种参数和基础概念技术实质，采纳有关权威专家的新观点，并且应用工程实例，详细阐明这些参数的重要性和实用性，目的是尽快纠正在建筑钢结构焊接工程中的不正常的技术认识和管理状况，迅速提高建筑钢结构焊接工程质量。



简析建筑钢结构体系的复杂性

在对各行业钢结构体系复杂程度认真分析比较后，人们很容易得出“建筑钢结构是各行业钢结构体系中最复杂体系之一”的结论。这是一个突破一般对焊接结构复杂性认识的观点，也是一个宣传多年而得不到完全肯定观点，迄今为止可能还有很多人不同意上述的观点。

不过，事实胜于雄辩，建筑钢结构的发展现状已经说明了一切。

历史发展往往有惊人的相似之处，钢结构行业发展过程和我国锅炉压力容器行业发展轨迹相似，已经进入到十分类似当年锅炉压力容器行业，从“无序状态”、问题积重难返的局面进入“法治”的转折期阶段。钢结构企业无论是市场竞争、工程质量、人员素质、安全运营等方面，都存在不同程度的不足、缺陷和遗憾。前段时间在钢结构焊接工程中相继发生重大、恶性安全、质量事故，同时各地相继发现以焊缝裂纹为主的钢结构质量缺陷，足以说明钢结构行业也进入到“问题期”，于是也就有了我们谈论的社会基础。

有人在讲课时，曾向学员们提出两个问题：

问题一：在以下 8 个行业里，哪个行业焊接技术最复杂？

问题二：在以下 8 个行业里，哪个行业最不重视焊接技术？

① 锅炉压力容器（含火电站）；

② 长输送管道；

- ③ 机械制造（含工程机械）；
- ④ 海洋石油平台；
- ⑤ 造船行业（不含军工）；
- ⑥ 化工行业；
- ⑦ 建筑钢结构；
- ⑧ 铁路钢桥。

可想而知：学员们的回答是五花八门的，实际上答案十分肯定。两个问题的答案只有一个，那就是建筑钢结构！其理由如下。

建筑钢结构行业的发展进程是由我国的钢产量的提高速度决定的，我国建筑钢结构经历了困难期、低潮期、发展期、成熟期四个阶段。大至可按以下时间段划分，建筑钢结构行业也是按照这个规律发展的。

第一阶段：1949～1976年，我国钢结构行业处于困难期。1949年全国钢产量15.8万吨，基本建设限制用钢。

前期钢结构连接以铆接为主，设计不考虑钢材的屈服极限，就部分焊接工作而言，当时焊接的主要对象是A3，使用的焊材主要是焊条，通常以交流焊条J422为主。结构形式相对简单，在冶金工厂，以工艺钢结构为主，多半是冶金窑炉、能源介质管道、支架、梯子、平台、栏杆。当时对焊接技术十分不了解，有“火、电焊，三天半”之说法，而这种低级错误观念，至今还影响我们的思维。

在此期间，主要使用碳素结构钢。碳素结构钢在1988年前称为普通碳素钢结构，并分为甲类钢、乙类钢、特类钢三类。GB/T 700国家标准制定时，非等效采用国际标准ISO 630：1980《钢结构》，对普通质量等级，改名为碳素结构钢。标准中有Q195、Q215、Q235、Q255、Q275共5个牌号，牌号中字母Q代表钢的屈服强度，其后数值代表钢的屈服强度值（MPa）。其中Q195、Q275不分质量等级，Q215、Q255分A、B2个等级，Q235分A、B、C、D共4个等级，C、D级钢相当于有之碳素结构钢，其他相当于普通碳素结构钢。

从20世纪60年代后期开始，冶金工程出现了16Mn钢材，焊机开始大量采AX系列直流焊机，采用低氢型碱性焊条，研究和发 展碳弧气刨，人们开始重视焊接技术。

第二阶段：1976～1980年，我国钢结构行业处于低潮期。1978年钢产量上升到3178万吨；开始制作工艺钢结构、厂房钢结构，用钢不再困难。

第三阶段：1980～1998年，我国钢结构行业进入发展期。1989年钢材生产6159万吨，1996年钢材生产达到10514万吨，居世界第一。开始出现大规模的钢结构制造加工厂，开始制作厂房钢结构、工艺钢结构及中、小型的体育场馆。

第四阶段：1998至今，我国钢结构逐步进入成熟期。2006年我国的粗钢产量达到5.188亿吨，占全球粗钢产量的35.8%。从此以后，我国成为世界钢产量和钢结构生产的第一大国。

目前，我国的钢结构行业进入了成熟期。进入成熟期的主要标志就是奥运、世博钢结构焊接工程及其配套钢结构工程的顺利建成、运营。以国家体育场“鸟巢”钢结构焊接工程顺利竣工并成功运营为例，“鸟巢”这一项世纪工程的顺利建成，极大地推动了我国的施工技术和钢铁产业的飞速发展。2010年国家体育场“鸟巢”钢结构焊接技术获国际焊