

//

钢结构施工技术及实例



GANGJIEGOU SHIGONG JISHU JI SHILI

鲍广镒 主编

2

中国建筑工业出版社

钢结构施工技术及实例

鲍广鑑 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

钢结构施工技术及实例 / 鲍广镗主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2005
ISBN 7-112-07233-6

I. 钢... II. 鲍... III. 钢结构—工程施工—施工技术 IV. TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 013155 号

本书主要分为三部分: 工序、高层及超高层钢结构实例, 以及复杂空间钢结构实例。

工序部分主要对钢结构施工的重要工序进行了详细的阐述, 包括: 材料、焊接、螺栓、深化设计、构件制作、安装、涂装及测量。

高层及超高层钢结构实例部分以近年来国内出现或是筹建、拟建中的一批高层、超高层钢结构工程为实例, 详尽介绍高层及超高层钢结构安装工程的各项施工技术。

复杂空间钢结构实例部分主要讲述大型复杂空间钢结构成套施工技术的研究与应用。

* * *

责任编辑: 郭 栋
责任设计: 孙 梅
责任校对: 刘 梅 王金珠

钢结构施工技术及实例

鲍广镗 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京蓝海印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 36³/₄ 字数: 916 千字

2005 年 3 月第一版 2005 年 3 月第一次印刷

印数: 1-3500 册 定价: 75.00 元

ISBN 7-112-07233-6

TU·6461 (13187)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>



鲍广镡，男，1940年12月5日生于上海，安徽寿县人，教授级高级工程师，享受国务院特殊津贴专家，重庆大学兼职教授，博士生导师，英国皇家特许建造师，全国劳动模范，现任深圳建升和钢结构工程有限公司董事长兼总经理。

主持建设了我国数十幢超高层、大跨度钢结构建筑，其本人获国家科技进步二、三等奖共3项（深圳发展中心施工技术、深圳地王施工技术、复杂空间钢结构综合施工技术），国家级工法成果3项（超厚钢板现场焊接工法、大跨度曲线空间结构滑移工法、大跨度屋盖钢结构胎架滑移工法），国家发明专利1项（二氧化碳立焊、斜立焊工艺），省部级科技进步奖8项。

序

大跨空间结构和超高层结构的建造技术是一个国家建筑科技发展水平的重要标志。十余年来,我国建设事业突飞猛进,大跨度建筑和超高层建筑到处涌现,这些建筑大量采用钢结构,其建设规模之大,建造速度之快,技术进步之明显,均世所罕见。可以毫不夸张地说,我国的钢结构技术水平已进入世界先进行列。在这一进程中,我们的施工工程师、设计工程师和理论研究工作者作为一个群体做出了巨大贡献。

十余年来,作为钢结构技术进步的一种反映或佐证,我们可以看到大量有关钢结构理论和设计计算方面的文章被发表,也出版了不少这方面的专著。相对来说,关于钢结构施工方面的文章则很少,更不必说系统总结这方面丰富实践经验的专著。这种状况说明我国现代钢结构科学技术的发展没有得到完整的反映,同时也不利于施工战线上广大工程技术人员的学习、交流和提高,不能不说是一件憾事。因此,当两年前听说鲍广鑑教授有志于把自己几十年来在钢结构施工方面的经验系统总结,编撰成册,就深受鼓舞,因为我知道鲍广鑑教授是我国著名的钢结构施工专家,长期奋战在工程第一线,处理并解决了大量钢结构施工技术难题,积累了丰富的实践经验,又富于理论探索精神,由他来编写这样一本具有开创意义的著作,无疑是最佳人选。今天看到书籍,俨然煌煌巨著,既系统介绍钢结构施工的各主要工序,又结合大量超高层结构和大跨度空间结构的工程实例,深入总结大型复杂钢结构施工中遇到的各种特殊技术问题和解决方案,内容翔实,实用性和可读性都很强。我相信,这本书很好地完成了自己的目标,填补了我国在钢结构施工技术方面迄今缺乏一本系统参考资料的空白;目前,我国钢结构技术还在继续快速发展,这本书的出版对钢结构领域的科技工作者,尤其是对施工战线上广大工程技术人员会有所启迪,并对我国钢结构建设事业的健康发展做出一份贡献。爰为之序。

汪世钊

2005年3月于哈尔滨工业大学

前 言

针对目前国内钢结构的快速发展,以及有关钢结构工程实例方面的技术书籍的缺乏,有必要对过去已建成的及在建的一些工程进行总结,将施工经验介绍给广大从事钢结构工程建设的同行们,希望可以解决实际工程问题提供一点经验或新的思路、新的方法。本书主要分为三部分:工序、高层及超高层钢结构实例以及复杂空间钢结构实例。

1. 工序

本部分主要对钢结构施工的重要工序进行了详细的阐述,一共8章,分别为:材料、焊接、螺栓、深化设计、构件制作、安装、涂装及测量。

2. 高层及超高层钢结构实例

以近年来国内出现或是筹建、拟建中的一批高层、超高层钢结构工程为实例,详尽介绍高层及超高层钢结构安装工程的各项施工技术。

3. 复杂空间钢结构实例

主要讲述大型复杂空间钢结构成套施工技术的研究与应用。

本书由鲍广镗主编,王宏、李国荣参编。

在此感谢罗军、王煦、曾强和陈伯全等同志,对本书的顺利出版所做的大量认真、细致的工作。由于作者水平有限,书中疏漏之处挚诚感谢各位读者批评指正。

目 录

绪论	1
第一章 钢结构施工	4
第一节 钢结构的材料	4
第二节 焊接工程	7
第三节 螺栓工程	23
第四节 钢结构深化设计	29
第五节 钢结构的加工与制作	34
第六节 钢结构安装	52
第七节 涂装工程	63
第八节 测量工程	73
第二章 高层超高层钢结构工程实例	77
第一节 深圳地王商业大厦	77
第二节 北京国际贸易中心二期	114
第三节 上海 21 世纪大厦	120
第四节 中集集团研发中心工程	133
第五节 香港 MEGA 大厦 (方案)	140
第六节 长春光大银行营业楼	151
第七节 上海环球金融中心 (在建中)	156
第八节 北京银泰中心北塔楼 (在建中)	193
第九节 北京通讯时代中心	210
第十节 中国中央电视台	235
第三章 大跨度空间钢结构工程实例	275
第一节 深圳机场候机楼改扩建工程	275
第二节 沈阳桃仙机场	297
第三节 哈尔滨会展中心	321
第四节 广州新白云机场航站楼	357
第五节 广州新白云机场飞机维修库	390
第六节 厦门国际会议展览中心	431
第七节 深圳国际会议展览中心	445
第八节 深圳文化中心	491

第九节	深圳少年宫	529
第十节	佛山体育馆（方案）	534
第四章	钢结构建筑简介	551
第一节	高层及超高层钢结构建筑	551
第二节	空间钢结构	558
第三节	日本钢结构工程简介	563
第四节	上海地区高层钢结构建筑一览表	578

绪 论

一、本书的目的及主要内容

(一) 目的

早在 1985 年, 中国建筑第三工程局及其钢结构专业施工队伍 (深圳建升和钢结构建筑安装工程有限公司前身) 就承建了我国第一幢超高层钢结构建筑——深圳发展中心大厦 (高度 166m, 总用钢量 1.1 万 t), 更在随后的 1994 年建造了具有重要意义的当时亚洲第一高楼——深圳地王商业大厦 (高度 384m, 总用钢量达 1.5 万 t)。作为国内最早的超高层钢结构建筑, 在施工过程中曾遇到和解决了许多棘手的问题, 多项施工技术为国内首次使用, 为后来的多项高层超高层钢结构的建造积累了一定的经验。

近年来, 大跨度、复杂公共建筑, 如体育场馆、会议展览中心、文化设施、航空港候机楼等钢结构工程发展迅速, 很多工程在规模和结构形式上都没有先例, 传统的施工工艺已无法满足需要。例如: 深圳机场二期航站楼工程在国内首次采用多点支承曲线钢管直接汇交点空间桁架结构; 广州新白云机场是我国最大的航空港; 沈阳博览中心是亚洲最大的室内足球场; 深圳会议展览中心是深圳市最大的单体建筑工程和在国内首次采用的由大截面双箱梁和大直径钢棒拉杆组合的结构体系; 广州新白云机场飞机维修设施是全国最大的飞机维修库; 深圳市文化中心是国内首次采用大型铸钢节点枝状空间钢结构的工程。

针对目前国内钢结构的快速发展, 以及有关钢结构工程实例方面的技术书籍的缺乏, 实在很有必要对过去已建成的及在建的一些工程进行总结, 将施工经验介绍给广大从事钢结构建筑的同行们, 希望可以为解决实际工程问题提供一点经验或新的思路、新的方法。

(二) 主要内容

本书主要包括: 钢结构施工、高层及超高层钢结构实例、复杂空间钢结构实例以及钢结构建筑工程简介。

1. 钢结构施工

本章主要对钢结构施工的重要工序进行了详细阐述, 一共 8 节, 分别为: 材料、焊接、螺栓、深化设计、构件制作、安装、涂装及测量。

2. 高层及超高层钢结构实例

以近年来国内出现或是筹建、拟建中的一批高层、超高层钢结构工程为实例, 重点介绍高层及超高层钢结构安装工程的施工技术。

本书所涉及的工程包括深圳地王商业大厦、深圳发展中心、深圳商务大厦、北京国贸二期、中国长春光大银行、北京医院老北楼等, 此外还包括一些筹建及拟建中的工程, 如北京银泰中心、北京通用时代中心、上海环球中心、香港 MEGE 大厦等。本册介绍建成工程的同时, 也介绍筹建和拟建的工程, 目的是尽量全面阐述钢结构安装施工技术, 既包括成熟、可靠的施工技术, 也涉及最新的工程、最新的施工工艺。

本书内容上的构架主要以单个工程为载体, 介绍该工程中所使用的新技术、新方法,

或者较为典型的施工工艺,具体从施工现场布置、构件深化设计、吊装、焊接及经营管理等五大方面进行针对性的叙述,原则是有特点、要详尽、不求全,同时各个施工工艺都应具有推广意义,如深圳地王商业大厦 CO_2 气体保护焊在斜立焊的应用技术;长 85.61m、重 91.14t 的桅杆在 300 多米的高空吊装;“A”型门架的安装;M440D 塔吊的内爬升技术;北京国贸二期搭起拱梁安装技术;弧形、橄榄状筒体的构件安装;深圳发展中心 130mm 厚板全熔透焊接技术;上海环球中心月亮门吊装、北京银泰中心施工平面布置;上海 21 世纪超重钢柱的深化设计、吊装等,都极具代表意义。

3. 复杂空间钢结构实例

本书主要讲述大型复杂空间钢结构成套施工技术的应用。中国建筑第三工程局及其控股企业深圳建升和钢结构建筑安装工程有限公司近几年先后承接了一大批大跨度、复杂空间钢结构工程,建设的规模和复杂程度都是国内外所罕见的。公司结合钢结构行业发展的要求,开展了多项大型复杂空间钢结构施工技术的研究,并结合工程付诸实践,取得了多项居于世界先进水平的创新性成果。

这些技术主要包括:

- (1) 特殊钢构件制作技术:多分支大型铸钢节点设计与制作技术; $\phi 150\text{mm}$ 实心钢棒制作技术;大截面薄壁箱梁制作技术。
- (2) 大型复杂空间钢结构施工成套技术:大跨度复杂空间钢结构曲线滑移施工成套技术;大跨度非对称结构整体提升技术;块体扩大单元无支托组装施工技术。
- (3) 厚板及管结构的多角度、全位置、异种钢材焊接技术的应用与研究。
- (4) 大型复杂空间钢结构施工过程的计算机仿真模拟。
- (5) 复杂空间钢结构的测控及试验研究。

针对以上五项技术研究内容,本书主要以建升和钢结构公司承建的典型工程为实例,对如何运用这些新技术去解决工程的实际难题进行了详尽地分析和阐述。公司通过在深圳机场航站楼工程开发并利用的大跨度空间钢结构的滑移技术,从而顺利承接了沈阳机场二期。更为突出的是在施工目前亚洲最大的机场广州新白云机场航站楼过程中创造性地开发了大跨度空间结构曲线滑移技术。深圳市文化中心大型铸钢节点枝状空间结构在我国是一种全新的结构形式,相关技术已运用于哈尔滨会展中心、深圳福田体育公园等工程。广州新白云机场飞机维修库成功采用了多吊点、非对称整体提升技术,这是对传统提升技术的创新性的突破。深圳国际会议展览中心是预应力钢结构的代表性实例,工程中公司将计算机虚拟仿真技术运用于结构施工过程并收到了良好的效果,同时采用先进的光线测量技术确保了工程的优秀品质。

本书所涉及的工程实例钢结构主体结构施工均由主编单位深圳建升和钢结构建筑安装工程有限公司承建完成。

二、深圳建升和钢结构建筑安装工程有限公司(简介)

深圳建升和钢结构建筑安装工程有限公司由中国建筑第三工程局、香港升港工程有限公司、北京市中天辰装饰工程有限公司共同出资于 1996 年 11 月 18 日成立,具有钢结构工程、机电设备安装工程、起重设备安装工程专业承包一级资质和轻钢结构设计乙级资质。公司董事长兼总经理系全国劳动模范、全国五一劳动奖章获得者、国务院政府特殊津贴获得者、全国优秀施工企业家、英国皇家特许建造师、教授级高工、博士生导师的钢结

构专家鲍广镗，党委书记兼副总经理系国际杰出项目经理、英国皇家特许建造师、高级工程师王宏。

公司前身先后承建了我国第一幢超高层钢结构建筑——深圳发展中心大厦，我国第一幢全钢结构超高层建筑——上海国际贸易中心，当年亚洲第一、世界第四高的深圳地王大厦等钢结构主体工程。获国家科技进步三等奖两项，鲁班金像奖、国家级工法、国家发明专利各一项。地王大厦施工还创造了两天半一个结构层的“新深圳速度”。公司成立后，全面拓展超高层、大跨度和异型空间钢结构领域。先后承揽了以北京中国国际贸易中心二期、长春光大大厦、北京银泰中心、中央电视台新楼为代表的超高层商业建筑；以深圳宝安机场航站楼一期和二期、沈阳桃仙机场航站楼二期、广州新白云机场航站楼为代表的航空港站；以沈阳博览中心、广州体育馆、哈尔滨国际会展体育中心为代表的体育场馆；以厦门会议展览中心、深圳会议展览中心为代表的会展设施；以IBM深圳厂房、广州新白云机场飞机维修设施为代表的大型厂房；以澳门文化中心、深圳市少年宫、深圳市文化中心、北京医院、中国电影博物馆为代表的文卫设施。其中广州新白云机场是我国最大的航空港；沈阳博览中心是亚洲最大的室内足球场；深圳会议展览中心是深圳市最大的单体建筑；广州新白云机场飞机维修设施是亚洲最大的飞机维修库；深圳市文化中心是我国最大的树枝结构工程；北京银泰中心是首都最高建筑。目前公司正在承建国内第一、世界第三高楼——上海环球金融中心钢结构工程。

公司6项施工技术通过专家鉴定，达到国际先进水平，其中广州新机场航站楼核心技术达到国际领先水平。公司一项技术（复杂空间钢结构施工技术研究与实践）获国家科技进步二等奖，五项施工技术获省部级科技进步奖，两项工法成果（大跨度曲线空间结构滑移工法、大跨度屋盖钢结构胎架滑移工法）被评为国家级工法，七项工程获中国建筑钢结构金奖，两项工程被评为全国优秀焊接工程，两项工程被评为全国优秀焊接工程一等奖。公司的计算机虚拟施工技术在行业中居于领先地位。

公司是国内首家通过ISO9002质量体系认证的钢结构专业施工企业，还通过了环境、安全、质量三合一体系的换版认证。公司先后获深圳市“文明企业”、“全国用户满意施工企业”等荣誉称号，公司信用等级“AAA”。

第一章 钢结构施工

第一节 钢结构的材料

一、钢结构对材料的要求

钢结构的原材料是钢。钢的种类繁多，性能差别很大，适用于钢结构的钢只是其中的一小部分。应用于钢结构的钢材必须符合下列要求：

(1) 较高的抗拉强度 f_u 和屈服点 f_y 。 f_y 是衡量结构承载能力的指标， f_y 高则可减轻结构自重，节约钢材和降低造价。 f_u 是衡量钢材经过较大变形后的抗拉能力，它直接反映钢材内部组织的优劣，同时 f_u 高可以增加结构的安全保障。

(2) 较高的塑性和韧性。塑性和韧性好，结构在静载和动载作用下有足够的应变能力，既可减轻结构脆性破坏的倾向，又能通过较大的塑性变形调整局部应力，同时又具有较好的抵抗重复荷载作用的能力。

(3) 良好的工艺性能（包括冷加工、热加工和可焊性能）。良好的工艺性能要求钢材不但要易于加工成各种形式的结构，而且不致因加工而对结构的强度、塑性、韧性等造成较大的不利影响。

此外，根据结构的具体工作条件，有时还要求钢材具有适应低温、高温和腐蚀性环境的能力。

按以上要求，钢结构设计规范具体规定：承重结构的钢材应具有抗拉强度、伸长率、屈服点和碳、硫、磷含量的合格保证；焊接结构尚应具有冷弯试验的合格保证；对某些承受动力荷载的结构以及重要的受拉或受弯的焊接结构尚应具有常温或低温冲击韧性的合格保证。

二、钢材的破坏形式

钢材有两种性质完全不同的破坏形式，即塑性破坏和脆性破坏。钢结构所用的材料虽然具有较高的塑性和韧性，一般为塑性破坏，但在一定的条件下，仍然有脆性破坏的可能性。

塑性破坏是由于变形过大，超过了材料或构件可能的应变能力而产生的，而且仅在构件的应力达到了钢材的抗拉强度 f_u 后才发生。破坏前构件产生较大的塑性变形，断裂后的断口呈纤维状，色泽发暗。在塑性破坏前，由于总有较大的塑性变形发生，且变形持续的时间较长，很容易及时发现而采取措施予以补救，不致引起严重后果。另外，塑性变形后出现内力重分布，使结构中原先受力不等的部分应力趋于均匀，因而提高结构的承载能力。

脆性破坏前塑性变形很小，甚至没有塑性变形，计算应力可能小于钢材的屈服点 f_y ，断裂从应力集中处开始。冶金和机械加工过程中产生的缺陷，特别是缺口和裂纹，常是断

裂的发源地，破坏前没有任何预兆，破坏是突然发生的，断口平直并呈有光泽的晶粒状。由于脆性破坏前没有明显的预兆，很难及时察觉和采取补救措施，而且个别构件的断裂常引起整个结构塌毁，危及人民生命财产的安全，后果严重，损失较大。在施工和使用钢结构时，要特别注意防止出现脆性破坏。

三、钢材的主要性能

在建筑钢结构工程中钢材的主要性能包括：①强度性能；②塑性性能；③钢材的物理性能指标；④冷弯性能；⑤冲击韧性。这些性能决定了钢材的延性、抗冷脆性和抗疲劳性质。

四、钢材的种类

钢材按用途可分为结构钢、工具钢和特殊钢（如不锈钢等）。结构钢又分建筑用钢和机械用钢。按冶炼方法，钢可分为转炉钢、平炉钢还有电炉钢（是特种合金钢）。当前的转炉钢主要采用氧气顶吹转炉钢，侧吹（空气）转炉钢所含杂质多，使钢易脆，质量很差，目前多数已改建成氧气转炉钢，故已取消这种钢的使用。平炉钢质量好，但冶炼时间长，成本高。氧气转炉钢质量与平炉钢相当而成本则较低。按脱氧方法，钢又分为沸腾钢（代号为F）、半镇静钢（代号为b）、镇静钢（代号为Z）和特殊镇静钢（代号为TZ），镇静钢和特殊镇静钢的代号可以省去。镇静钢脱氧充分，但成本较高；沸腾钢脱氧较差，但成本较低；半镇静钢介于镇静钢和沸腾钢之间。按成型方法分类，钢又分为轧制钢（热轧、冷轧）、锻钢和铸钢。最后按化学成分分类，钢又分为碳素钢和合金钢。在建筑工程中采用的是碳素结构钢、低合金高强度结构钢和优质碳素结构钢。

钢材按质量等级将钢分为A、B、C、D四级，A级钢只保证抗拉强度、屈服点、伸长率，必要时尚可附加冷弯试验的要求，化学成分对碳、锰可以不作为交货条件。B、C、D级钢均保证抗拉强度、屈服点、伸长率、冷弯和冲击韧性（分别为+20℃，0℃，-20℃）等力学性能。化学成分对碳、硫、磷的极限含量比旧标准要求更加严格。

钢的牌号由代表屈服点的字母Q、屈服点数值、质量等级符号（A、B、C、D）、脱氧方法符号等四个部分按顺序组成。

根据钢材厚度（直径）不大于16mm时的屈服点数值，分为Q195、Q215、Q235、Q255、Q275，它们分别相当于旧标准中的1号、2号、3号、4号和5号钢。钢结构常用的钢材为Q235，因此钢的牌号根据需要可为Q235-B；Q235-B·b；Q235-C；Q235-D等。冶炼方法一般由供方自行决定，如需方有特殊要求时可单独加以注明。

新标准不用钢的品种表示钢的牌号，采用与碳素结构钢相同的钢的牌号表示方法，仍然根据钢材厚度（直径）不大于16mm时的屈服点大小，分为Q295、Q345、Q390、Q420、Q460。它们与旧标准相应的钢的牌号见表1-1-1。

新旧低合金高强度结构钢标准牌号对照表

表 1-1-1

G/T 1591—94	GB 1591—88
Q295	09MnV、09MnNb、09MnZ，12Mn
Q345	12MnV、14MnNb、16Mn、16MnRE、18Nb
Q390	15MnV、15MnTi、16MnNb
Q420	15MnVN、14MnVTiRE
Q460	

钢的牌号仍有质量等级符号,除与碳素结构钢 A、B、C、D 四个等级相同外增加一个等级 E,主要是要求 -40°C 的冲击韧性。钢的牌号如: Q345B、Q390C。低合金高强度结构钢一般为镇静钢,因此钢的牌号中不注明脱氧方法。冶炼方法也由供方自行选择。

A 级钢应进行冷弯试验,其他质量级别钢如供方能保证弯曲试验结果符合规定要求,可不作检验。Q460 和各牌号 D、E 级钢一般不供应型钢、钢棒。

优质碳素结构钢以不热处理或热处理(退火、正火或高温回火)状态交货,要求热处理状态交货的应在合同中注明,未注明者,按不热处理交货,如用于高强度螺栓的 45 号优质碳素结构钢需经热处理,强度较高,对塑性和韧性无显著影响。

五、Q235 及 Q345 钢的质量等级和保证项目

1. Q235A 钢号的保证项目

(1) 力学性能保证项目有屈服点、抗拉强度及伸长率三项。

(2) 化学成分保证项目有碳、锰、硅、硫、磷五项,但三项力学性能合格时,碳、锰含量可不作为交货条件,但应在质量证明书中注明其含量。

2. Q235 的 B、C、D 级钢的保证项目

(1) 力学性能保证项目有屈服点、抗拉强度、伸长率、V 形缺口冲击韧性、冷弯性能五项,其中冲击韧性的试验温度,对 B、C、D 级钢分别为 20°C 、 0°C 及 -20°C ,D 级试验温度属负温试验。

(2) 化学成分保证项目有碳、锰、硅、硫、磷五项,以及残余元素含量也应合格。五项保证项目中,主要以硫、磷含量的高低区分 B、C、D 级钢,D 级的含量最低。此外,五项保证项目均合格时,碳及锰的含量下限值可不作为交货条件。

3. Q345A 钢号的保证项目

(1) 力学性能保证项目有屈服点、抗拉强度、伸长率和冷弯性能四项,无冲击韧性要求。

(2) 化学成分保证项目有碳、硫、磷三项。其硫、磷含量大于其他等级。

4. Q345 的 B、C、D、E 级钢的保证项目

(1) 力学性能保证项目有屈服点、抗拉强度、伸长率、冲击韧性及冷弯性能五项,其中冲击韧性的试验温度,对 B、C、D、E 级分别为 20°C 、 0°C 、 -20°C 及 -40°C ,D、E 级属负温试验。

(2) 化学成分保证项目有碳、锰、硅、硫、磷等五项,以及四种残余元素含量也作为保证项目。D、E 级的碳、硫、磷含量限值最严。

上述 Q235 及 Q345 钢中,如有 Z 向受拉的断面收缩率要求,应作为单项附加的定货保证项目。

六、钢材的选择

钢材选择目的是保证安全可靠和做到经济合理。选择钢材时考虑的因素有:

(1) 结构的重要性

对重型工业建筑结构、大跨度结构、高层或超高层的民用建筑结构或构筑物等重要结构,应考虑选用质量好的钢材,对一般工业与民用建筑结构,可按工作性质分别选用普通质量的钢材。另外,按《建筑结构设计统一标准》规定的安全等级,把建筑物分为一级(重要的)、二级(一般的)和三级(次要的)。安全等级不同,要求的钢材质量也应不同。

(2) 荷载情况

荷载可分为静态荷载和动态荷载两种。直接承受动态荷载的结构和强烈地震区的结构,应选用综合性能好的钢材;一般承受静态荷载的结构则可选用价格较低的 Q235 钢。

(3) 连接方法

钢结构的连接方法有焊接和非焊接两种。由于在焊接过程中,会产生焊接变形、焊接应力以及其他焊接缺陷,如咬肉、气孔、裂纹、夹渣等,有导致结构产生裂缝或脆性断裂的危险。因此,焊接结构对材质的要求应严格一些。例如:在化学成分方面,焊接结构必须严格控制碳、硫、磷的极限含量;而非焊接结构对含碳量可降低要求。

(4) 结构所处的温度和环境

钢材处于低温时容易冷脆,因此在低温条件下工作的结构,尤其是焊接结构,应选用具有良好抗低温脆断性能的镇静钢。此外,露天结构的钢材容易产生时效,有害介质作用的钢材容易腐蚀、疲劳和断裂,也应加以区别地选择不同材质。

第二节 焊 接 工 程

一、概述

焊接是将需要连接的钢板,在接合处用高温熔合在一起。焊接连接灵活方便,构造简单,不削弱杆件截面,节省钢材,刚度大,密封性好,在工厂易于采用自动化操作,焊接质量有保障,可以得到较为美观和简洁的结构外形,造价也较低。但焊接易产生残余应力和残余变形,对受压构件的局部稳定和整体稳定有影响,此外,现场焊接一般需人工施焊,工作强度大,对疲劳和脆断较为敏感,施工质量较难控制。为此,工程师应根据节点是在工地焊接还是在现场焊接,选择焊接的接头形式并采用合理的构造措施。钢结构制作与安装制作单位在焊接前应制定合理的焊接工艺以保证焊接质量,并对焊缝进行探伤检查。

焊接是钢结构施工的一道关键工序,与其他行业相比,钢结构焊接具有自身的特点与难点,主要表现在:

(1) 钢结构型材的多样性,使焊接接头的截面形式也随之多样化,因而带来了许多焊接难题。工字钢、槽钢、角钢是工程结构中使用最早的型钢,之后截面性能优良的 H 型钢、钢管、网架节点球等型材相继问世并大量应用于钢结构建筑中,从而使钢构件间的焊接节点形式变得多样而复杂。对不同板厚不同截面的节点焊接,必须采取不同的焊接工艺,进行良好的焊接变形控制,消除焊接残余应力,才能使焊缝质量得到有效保证。

(2) 应用于钢结构工程的钢构件材质日益多样,使焊接工艺参数的确定变得困难。不同钢材的化学成分、机械性能是不同的,焊接材料应与钢构件的材质相适应,以保证焊接节点的强度、刚度等要求。特别地,对于异种钢材的焊接,还应考虑不同基体金属的不同成分组织,选择合适的焊接工艺参数及焊接方法,确保接头界面组织能有效熔合。

(3) 钢结构焊接的施工条件较复杂。建筑工程具有流动性大的突出特点,单从钢结构焊接工程来讲,不同工程的不同地理条件造成了不同的焊接环境条件。焊接环境是影响焊接质量的一个重要因素:一方面,复杂的节点构造、恶劣的焊接环境增大了焊工的操作难度;另一方面,温差大、空气湿度大的环境使得焊缝成形、焊缝保养等难度增大。因此,如何在复杂条件下保证焊接质量是焊接施工需要克服的一个难题。

从目前钢结构所发生的事故分析看,结构破坏的主要原因是焊接接头的焊缝及热影响区发生断裂,从而致使结构整体传力发生改变,最终导致强度破坏。由于焊接技术和工艺方面的原因,导致构件制作和结构安装过程中出现质量不符合要求的事件在国内时有发生,有的甚至造成较大经济损失。

二、焊接方法、焊接材料

(一) 药皮焊条手工电弧焊

1. 药皮焊条手工电弧焊原理

在涂有药皮的金属电极与焊件之间施加一定电压时,由于电极的强烈放电而使气体电离产生焊接电弧。电弧高温足以使焊条和工件局部熔化,形成气体、熔渣和熔池,气体和熔渣对熔池起保护作用,同时,熔渣在与熔池金属起冶金反应后凝固成为焊渣,熔池凝固后成为焊缝,固态焊渣则覆盖于焊缝金属表面。图 1-2-1 所示即为药皮焊条手工电弧焊的基本原理图。

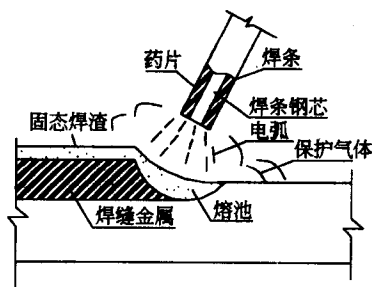


图 1-2-1 药皮焊条手工电弧焊原理图

药皮焊条手工电弧焊依靠人工移动焊条实现电弧前移完成连续的焊接,因此焊接的必要条件为焊条和焊接电源及其附件如电缆、电焊钳。

2. 手工电弧焊接电源

(1) 焊接电源的静外特性及对焊接电源静外特性的要求。弧焊电源静外特性,即输出电压随电流变化而改变的规律,有下降特性、平特性两种。下降特性中分为陡降特性和缓降特性。焊接过程要求电源的外特性曲线与电弧的静特性曲线相交,才能得到稳定的工作点。

(2) 常用焊接电源的种类。药皮焊条手工电弧焊的电源主要分为交流、直流两种,以及交直流两用的特殊形式。

(3) 交流弧焊机。交流弧焊机实质上是一种通过可调漏抗以得到下降外特性和所要求空载电压的降压变压器。其种类主要可分为动铁式(BX₁系列)、动圈式(BX₃系列)和抽头式(BX₆系列)。

动铁式弧焊变压器是通过丝杠调整电抗器铁芯的间隙以调节漏抗值达到调节电流的目的。动圈式弧焊变压器是通过调整一次与两次线圈之间的耦合距离,以调整漏抗值从而达到调节焊接电流的目的。以上两种交流焊机为目前一般钢结构制作、安装领域中应用最为广泛的电焊机。抽头式弧焊变压器是通过改变变压器线圈抽头达到调整焊接参数的目的。由于抽头变换装置受功率的限制且不能连续调节参数,只适用于小功率焊机,但价格低廉,在小型企业制作、安装轻型结构和家庭装修、维修领域得到广泛的应用。

(4) 直流弧焊机。传统的弧焊发电机是由大功率电动机带动各种形式的发电机以满足焊接电弧稳定的要求。由于该种发电机的电能耗损大,已明令禁止生产和逐步淘汰其使用。但还有适合于野外无供电条件的内燃机式弧焊发电机,现已少量生产和使用。

常用于药皮焊条手工电弧焊的整流电源主要有硅整流式、可控硅整流式和逆变整流式。硅整流式自开发、生产、应用若干年后,由于其动态特性较差,网路波动不易补偿,

已很少使用。磁放大器式整流器中的变压器通过激磁电流的大小调整其磁分路的磁饱和程度，以调整漏磁大小和输出电流。同时还有一定的网路补偿功能，输出外特性可调，因此也得到了较广泛的应用。

可控硅式整流器由平特性变压器和可控硅元件整流回路及触发控制线路组成。由于它的外特性可控，动态特性好，网路补偿方便，功率因素高，属于节能产品，因而得到了发展和广泛的应用。

逆变整流式电源在电网电压下直接整流、滤波、逆变至高频，由高频变压器降压、高频整流、滤波。由于整机在高频下工作使变压器、滤波器的重量大大减少。由控制电路完成焊机的动、静特性调节及驱动、保护，具有很强的网路补偿功能和优良的焊接特性。逆变式整流电源自开发以来经过了几代技术演变，目前已很少使用可控硅或一般晶体管元件，而用先进的绝缘栅双极晶体管 IGBT 作为主开关元件，采用相应的先进控制技术和驱动技术。逆变弧焊机是一种功率因数高、节能效果显著、电弧稳定、飞溅小，使用性能好的焊接电源。由于售价较高，目前国内结构制造厂和施工企业仅有少量应用。国内由于在元件性能方面和生产工艺方面的限制，整机使用可靠性还有待提高。但逆变电源具有节电、省材、轻便的特点，在使用功率相对较小的手工电弧焊领域无疑将会得到更广泛的应用。

手工电弧焊电源按其使用方式分类有单站式和多站式。单站式为一机供一个操作岗位使用。多站式为一机供多个操作岗位使用。但无论是交流还是直流多站焊机，各操作岗位均需有单独的电抗器或变阻器以供调节焊接电流。由于多站焊机电能损耗很大，运行不很稳定，尽管有节约一次投资等优点，也未得到广泛应用。

3. 焊条

涂有药皮的供手工弧焊用的熔化电极称为焊条。焊条由药皮和焊芯两部分组成。

(1) 焊芯焊条中被药皮包覆的金属芯称为焊芯。焊接时焊芯是用来传导焊接电流、产生电弧，同时焊芯熔化形成焊缝中的填充金属。

我国目前生产的各种焊条中，除不锈钢、有色金属焊条外，多以低碳钢、低合金结构钢作焊芯。焊芯的长度就是焊条的长度，通常为 200 ~ 700mm。焊条的长度取决于焊条的直径、焊芯材质、药皮组成以及便于操作等因素，故焊条长度是有限度的。结构钢焊条、不锈钢焊条的长度和直径见表 1-2-1。

结构钢、不锈钢焊条直径和长度 (mm)

表 1-2-1

焊芯直径	结构钢焊条	不锈钢焊条
1.6	200, 250	200 ~ 240
2.0	250, 300	
2.5	250, 300	220 ~ 240 或 290 ~ 310
3.2	350, 400	300 ~ 320 或 340 ~ 360
4.0	350, 400	340 ~ 360 或 380 ~ 400
5.0	400, 450	
6.0	400, 450	
8.0	500, 650	