

建筑施工工程师技术丛书

# 现代钢结构 工程施工

徐 伟 主编

中国建筑工业出版社

建筑施工工程师技术丛书

# 现代钢结构工程施工

徐 伟 主编

中国建筑工业出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

现代钢结构工程施工/徐伟主编. —北京:中国建筑  
工业出版社, 2006

(建筑施工工程师技术丛书)

ISBN 7-112-08680-9

I. 现... II. 徐... III. 钢结构-工程施工  
IV. TU758.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 122938 号

建筑施工工程师技术丛书

**现代钢结构工程施工**

徐 伟 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

北京千辰公司制作

北京市安泰印刷厂印刷

\*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 12% 字数: 330 千字

2006 年 11 月第一版 2006 年 11 月第一次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 26.00 元

ISBN 7-112-08680-9

(15344)

**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.cabp.com.cn>

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

本书是“建筑施工工程师技术丛书”之一,详细介绍了钢结构的施工工艺和施工技术。主要内容有:钢结构材料及其连接、高层钢结构施工、大跨空间钢结构施工、轻钢结构施工、钢-混凝土组合结构施工、现代钢结构的防火与防腐等。

本书适用于从事建筑施工的工程技术人员学习,也可供大专院校相关师生参考。

\* \* \*

责任编辑:郦锁林

责任设计:董建平

责任校对:邵鸣军 关 健

## 出版说明

《建筑施工工程师技术丛书》(第二版)自1994年出版至今已经10年。在这10年期间,《中华人民共和国建筑法》、《中华人民共和国招标投标法》、《建设工程质量管理条例》、《建设工程安全生产管理条例》等相继出台;2001年以来,由建设部负责编制的《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300—2001和相关的14个专业施工质量验收规范也已全部颁布,全面调整了建筑工程质量管理和验收方面的要求。

为了适应这一新的建筑业发展形势,我社对原丛书第二版的结构体系进行部分调整,同时根据这10年来国家新颁布的建筑法规和标准、规范,以及施工管理技术的新动向,对第二版的内容进行认真的修改和补充,以更好地满足广大读者的要求,并对第二版中存在的问题,尽可能一一作了订正。

我们希望本套丛书的第三版,能够继续对现场施工工程师更新知识结构,掌握最新的建筑工程施工技术和管理方法有所帮助,同时对在职科技人员的继续教育,起到积极的推动作用。

中国建筑工业出版社

2005年7月

# 前 言

建筑业已成为国民经济发展的支柱产业之一,也是用钢量较大的一个行业。目前,我国建筑工程中钢结构的应用范围正在迅速扩大,这一发展趋势符合我国建筑技术经济政策。1997年11月建设部发布的《中国建筑技术政策》(1996~2010年)中,明确提出发展建筑钢材、建筑钢结构和建筑钢结构施工工艺的具体要求,使我国长期以来实行的“节约钢材”政策转变为“合理用钢”、“鼓励用钢”的积极政策。2000年5月,建设部、国家冶金工业局建筑用钢协调组在北京召开了全国建筑钢结构技术发展研讨会,讨论了国家建筑钢结构产业“十五”计划和2010年发展规划纲要建筑钢结构工程技术政策,提出2005年和2010年建筑钢结构用钢材分别达到全国钢材总产量的3%和6%。

改革开放以来,特别是20世纪90年代以后,随着国民经济的发展和钢铁工业跨越式发展,2004年全国钢产量达到2.72亿t;2005年超过3亿t。在政府积极政策的指导和支持下,从重大工程、标志性建筑使用钢结构到钢结构普遍使用而得到迅速发展,呈现出了从未有过的繁荣景象。经统计分析,钢结构行业目前产量约1400万t,产值1000亿元以上,加工制造能力基本满足工程建设需要并还在不断扩大。与此同时,钢结构工程质量不断提高。钢结构的科技和管理也有了显著地进步,在有些方面如制作、安装、钢材供应方面,达到了国外先进水平,为国民经济发展做出了贡献。

鉴于目前各类钢结构体系的迅速发展和广泛应用,以及各种施工方法和技术的层出不穷,为全面提高我国钢结构施工技术水平,促进钢结构施工工艺的规范化、系统化,本书就目前主要的钢

结构类型,系统、详细地介绍了相应的施工工艺和技术,总结了我国现代钢结构施工的发展及应用现状,为提高建筑钢结构应用技术水平,特别是提高钢结构加工制作和施工安装技术的总体水平做出贡献。在此,希望通过本书,能够给予广大的专业技术及施工人员以引导和帮助,也同时为钢结构施工的有关技术规范、规程和标准的补充及修订提供一些有益的参考。

本书由徐伟主编,骆艳斌、郭征红副主编。全书共分七章:第一章,绪论,由徐伟、骆艳斌、郭征红编写;第二章,钢结构材料及其连接,由徐伟、李劭晖编写;第三章,高层建筑钢结构施工,由谢小松、郭征红编写;第四章,大跨空间钢结构施工,由骆艳斌、徐伟编写;第五章,轻钢结构施工,由孙旻、徐伟编写;第六章,钢-混凝土组合结构施工,由李劭晖、郭征红编写;第七章,现代钢结构的防火与防腐,由徐伟、骆艳斌编写。全书最后由徐伟、骆艳斌、郭征红统纂定稿。由于编者水平有限,书中难免会有不妥之处,恳请广大读者批评指正。

**编者**  
2006.10

# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 钢结构的发展 .....	1
1.1.1 钢结构建筑在国外的发展 .....	1
1.1.2 钢结构建筑在国内的发展 .....	2
1.2 钢结构的施工技术 .....	9
<b>2 钢结构材料及其连接</b> .....	11
2.1 钢结构材料 .....	11
2.1.1 钢结构用钢的性能要求 .....	11
2.1.2 普通碳素钢 .....	12
2.1.3 钢材力学性能 .....	13
2.1.4 钢材规格 .....	17
2.2 影响钢材性能的因素 .....	19
2.2.1 化学成分 .....	19
2.2.2 冶金缺陷 .....	20
2.2.3 温度影响 .....	21
2.2.4 残余应力影响 .....	21
2.2.5 应力集中影响 .....	21
2.2.6 钢材的疲劳 .....	22
2.3 钢结构的焊接 .....	25
2.3.1 焊接材料 .....	25
2.3.2 焊接施工 .....	26
2.3.3 焊缝形式 .....	28
2.3.4 型钢标准接头 .....	30
2.3.5 焊接缺陷处理 .....	33
2.3.6 质量控制与检验 .....	35
2.4 钢结构紧固件连接施工 .....	36



2.4.1	普通螺栓及垫圈 .....	36
2.4.2	普通螺栓施工 .....	37
2.4.3	高强度螺栓连接 .....	40
2.4.4	质量控制与检验 .....	44
2.4.5	成品保护 .....	46
<b>3</b>	<b>高层建筑钢结构施工 .....</b>	<b>47</b>
3.1	高层钢结构概述 .....	47
3.1.1	高层钢结构的发展 .....	47
3.1.2	高层钢结构的分类 .....	49
3.1.3	高层钢结构的特点 .....	53
3.1.4	高层钢结构的发展趋势 .....	55
3.2	高层钢结构节点连接 .....	57
3.2.1	柱与柱连接 .....	59
3.2.2	梁与柱连接 .....	61
3.2.3	梁与梁连接 .....	63
3.2.4	支撑与梁柱的连接 .....	67
3.2.5	柱脚节点 .....	72
3.3	高层钢结构构件制作 .....	78
3.3.1	材料的采购和保管 .....	79
3.3.2	加工机具设备 .....	80
3.3.3	钢构件零件加工 .....	80
3.3.4	钢构件的预检 .....	86
3.3.5	钢构件的制作验收 .....	88
3.3.6	钢构件质量检测评定 .....	88
3.3.7	钢构件制作应注意的事项 .....	91
3.4	高层钢结构现场安装 .....	92
3.4.1	安装前的准备工作 .....	92
3.4.2	高层钢结构的构件安装与校正 .....	98
3.4.3	高层钢结构的连接施工 .....	103
3.4.4	高层钢结构施工中的安全防护 .....	114
3.5	高层钢结构的施工质量控制 .....	117
3.5.1	高层钢结构施工质量控制的依据 .....	117
3.5.2	高层钢结构工程的检查内容 .....	117

3.5.3	高层钢结构工程的检查方法 .....	119
3.5.4	高层钢结构工程的检查程序 .....	120
3.5.5	高层钢结构质量检验评定的等级与提供的 质量保证资料 .....	123
3.5.6	高层钢结构施工过程中的质量控制 .....	124
<b>4</b>	<b>大跨空间钢结构施工 .....</b>	<b>137</b>
4.1	大跨空间钢结构类型 .....	137
4.1.1	刚性结构体系 .....	137
4.1.2	柔性结构体系 .....	139
4.1.3	杂交结构体系 .....	142
4.2	网架与网壳的施工 .....	143
4.2.1	网架与网壳的制作 .....	143
4.2.2	网架与网壳的拼装 .....	154
4.2.3	网架与网壳的安装 .....	163
4.3	悬索结构施工 .....	191
4.3.1	钢索 .....	191
4.3.2	索的节点 .....	194
4.3.3	悬索结构施工 .....	202
4.4	膜结构施工 .....	206
4.4.1	膜结构形式 .....	206
4.4.2	膜材 .....	208
4.4.3	膜的制作 .....	212
4.4.4	膜的安装 .....	222
4.4.5	膜结构施工质量控制 .....	225
4.5	预应力大跨空间钢结构施工 .....	226
4.5.1	预应力大跨空间钢结构类型 .....	227
4.5.2	预应力施加方法 .....	229
4.5.3	预应力网架与网壳施工 .....	233
4.5.4	吊挂结构施工 .....	238
4.5.5	张拉结构施工 .....	240
4.6	大跨钢结构的施工安全 .....	245
4.6.1	高处作业的一般要求 .....	245

4.6.2	悬空作业安全	246
4.6.3	攀登作业安全	247
4.6.4	交叉作业安全	247
4.6.5	钢结构焊接安全	248
4.6.6	钢结构吊装安全	249
4.7	大跨钢结构施工实例	253
4.7.1	上海铁路南站大跨钢屋盖施工	253
4.7.2	上海大剧院钢屋盖施工	263
<b>5</b>	<b>轻钢结构施工</b>	<b>272</b>
5.1	轻钢结构概述	272
5.1.1	轻钢结构的基本概念	272
5.1.2	轻结构的产生和发展	273
5.1.3	轻钢结构建筑的特点	277
5.2	轻钢结构材料	279
5.2.1	冷弯薄壁型钢	279
5.2.2	H型钢	280
5.2.3	彩色钢板	281
5.3	轻钢建筑屋面系统构造	286
5.3.1	概述	286
5.3.2	金属压型钢板屋面构造	289
5.4	轻钢结构建筑的结构体系	295
5.4.1	门式刚架体系	295
5.4.2	多层钢框架结构体系	301
5.4.3	金属拱形波纹屋盖结构	304
<b>6</b>	<b>钢—混凝土组合结构施工</b>	<b>307</b>
6.1	钢—混凝土组合结构类型	307
6.1.1	组合板	308
6.1.2	型钢混凝土组合结构	309
6.1.3	钢管混凝土柱	311
6.2	压型钢板—混凝土组合板施工	312
6.2.1	压型钢板—混凝土组合楼板特点	312
6.2.2	压型钢板施工	314

6.2.3	压型钢板和混凝土之间的连接方法	317
6.3	型钢混凝土结构施工技术	318
6.3.1	型钢混凝土结构特点	319
6.3.2	型钢混凝土结构材料及构造	320
6.3.3	北京西客站北站房型钢混凝土柱施工	328
6.4	钢管混凝土柱施工	331
6.4.1	钢管混凝土结构特点	331
6.4.2	钢管混凝土结构施工	333
6.4.3	新华大厦钢管混凝土柱施工	336
<b>7</b>	<b>现代钢结构的防火与防腐</b>	<b>339</b>
7.1	钢结构防火	339
7.1.1	钢结构的耐火性能和火灾特性	340
7.1.2	钢结构的防火保护措施	341
7.1.3	钢结构防火涂料类型及其性能	343
7.1.4	钢结构防火涂料的选用	346
7.1.5	钢结构防火涂料施工与管理	347
7.2	钢结构防腐	355
7.2.1	钢结构的腐蚀与防护	356
7.2.2	防腐涂料的种类与选用	359
7.2.3	涂装前钢材表面的处理	361
7.2.4	涂料施工方法和施工机具	368
7.2.5	涂装施工与管理	374
7.2.6	防腐涂装施工的安全技术	377
	<b>主要参考文献</b>	<b>380</b>

# 1 绪 论

## 1.1 钢结构的发展

钢结构具有强度高、自重轻、安装容易、施工周期短、抗震性能好、投资回收快、环境污染少等综合优势，与钢筋混凝土结构相比，更具有在“高、大、轻”三个方面发展的独特优势。因此，钢结构在工程中得到了合理的、迅速的应用。我国钢结构建筑与国外相比，起步较晚，一直到 20 世纪 90 年代才得到了快速地发展，尤其是 1996 年以来，钢产量突破 1 亿吨大关和国家鼓励钢结构建筑政策的引导，为钢结构建筑的发展提供了非常广阔的空间。钢结构这一新的建筑结构体系的出现和发展，无疑将会对整个建筑领域带来深刻地影响，极大地促进我国建筑产品结构的调整和扩展。

### 1.1.1 钢结构建筑在国外的的发展

以 1885 年建立的美国芝加哥第一座 10 层钢结构大楼和 1889 年法国建起的巴黎 320.7m 高的埃菲尔铁塔为标志，钢结构技术受到了广泛的关注和重视。近数十年来，钢结构建筑在工业发达国家得到蓬勃地发展，在美国、日本等发达国家，钢结构用钢量已经占到全部钢产量的 10% 以上，钢结构建筑面积占总建筑面积 40% 以上。作为反映一个国家科技水平的高层钢结构建筑越来越给人们带来建筑与空间美学的享受。例如，美国纽约的帝国大厦和世贸大厦（9·11 事件中倒塌）、芝加哥西尔斯大厦、日本的 NFC 大厦、德国的法兰克福商业银行大楼等在世界工程界都

极具影响，有些已成为一座城市的标志。历届奥运会体育场馆和世界博览会场馆也为钢结构建筑提供了展示魅力的机会。1996年的亚特兰大奥运会场馆、2000年悉尼奥运会场馆都已成了空间钢结构建筑的典范。可以这么说，目前，世界各地的机场、车库、体育馆和展览中心等大型公共建筑采用的都是空间钢结构。在低层建筑中也越来越多地采用钢结构。1995年以来，美国的非住宅低层建筑中有65%是用钢结构建造的，欧洲约有48%，中东更是达到了90%左右。

许多西方发达国家，目前还正在积极推广预制化钢结构低层住宅。美国最早采用钢框架结构住宅，1996年，已有20万幢钢框架小型住宅，约占住宅建筑总数的20%。日本的钢结构建筑数量最多，其新建的1~4层建筑，大都采用了钢结构。2000年在澳大利亚，钢框架住宅占全部住宅数量的30%。

随着世界能源和环境问题越来越为人们所关注，工业发达国家已经把具有绿色环保的钢结构材料看作为未来建筑的主要材料之一。开发研制与钢结构相关的新技术、新材料，在建筑中更多地采用钢结构已成为主流趋势。

### 1.1.2 钢结构建筑在国内的发展

我国现代钢结构技术应用起步较晚。虽然在1901年建成了全长1027m的松花江钢桁架桥，1905年建成全长3015m的郑州黄河钢桥，最早的高层钢结构房屋上海国际饭店、上海大厦也于1934年建成，但真正起步是在建国以后。20世纪80年代以前，我国钢结构建筑的应用主要是网架、网壳结构。据广东省空间结构学会理事长王仕统介绍，1994年前，中国超过100m高层建筑152幢，其中只有9幢采用钢结构或钢-混结构，而在其他国家这样高的建筑一般都首选钢结构。中国每年的建筑用钢量仅有百分之一被用于预制钢结构，与发达国家80%以上的用量比较，差距巨大。

20世纪90年代以后，尤其是1995年以后，随着我国经济的

发展，钢铁产量的迅速增加，新技术新材料的不断出现，为钢结构建筑的快速发展奠定了物质和技术基础。20 世纪 90 年代中期以来，利用钢结构建成的典型建筑有：上海金茂大厦、深圳地王大厦、成都双流机场、广州会展中心、广州体育馆、厦门会展中心、长沙锦绣中环大厦、浙江黄龙体育馆、杭州瑞丰商务大厦、杭州大剧院等。同时还有一大批新的钢结构建筑项目正在建设之中，如上海体育馆、上海国际金融中心、中央电视台新办公大楼、北京电视台新办公大楼、北京国贸三期、首都博物馆等。此外，国内大中型企业和来华投资的国外企业的生产基地很多都采用钢结构建筑。

近年来，钢结构在中国正处于建国以来最好的一个发展时期。尽管我国钢结构工程以及钢结构工程用材的发展起步较晚，但随着我国改革开放和经济建设的不断发展，钢结构在工程中也得到了迅速的发展。自 1996 年我国钢产量达到 1 亿吨后，到 2003 年已达到 2.4119 亿吨，2004 年达到 2.72 亿吨，连续 9 年世界第一。钢产量的增长为发展我国的钢结构建造事业提供了良好的契机。另外，随着建筑规模的不断扩大，建筑对环保、高效、节能的要求也越来越高，加之我国施工技术水平及管理水平的不断提高，都为钢结构的发展提供了广阔的空间。

同时，国家政策上也大力支持发展钢结构。1997 年建设部发布《中国建筑技术政策》(1996 ~ 2010 年)，明确提出发展建筑钢材、建筑钢结构和建筑钢结构施工工艺的具体要求，使我国的钢结构产业政策出现了重大转变，由长期以来实行的“节约钢材”已转变为“合理用钢”、“鼓励用钢”的积极政策，这将进一步促进我国建筑产品结构的调整，使我国工程结构向多种材料、多种结构方向变化。由于我国已具备了促进钢结构发展的基本条件，因此，最近几年来，我国钢结构出现了非常好的发展势头，主要体现在以下几个方面：

### 1. 桥梁钢结构

交通建设在我国作为重点发展基础设施，发展十分迅速，也

促进了桥梁工程的发展。特别是近 10 年来，钢结构由于其诸多优点而被桥梁工程采用。目前，我国公路桥梁已有 23 万座，总长度达 800 万延米。其中 1999 年 10 月建成通车、主跨达 1385m 的江阴长江公路大桥，作为我国第一座超千米的悬索桥，不仅主跨长度居世界第四位，而且也标志我国跻身世界上能建造跨度千米以上大桥六强。正在建设中的苏通长江公路大桥是我国建桥史上工程规模最大、综合建设条件最复杂的特大型斜拉桥，其主孔跨度、主塔高度、斜拉索的长度、群桩基础平面尺寸均列世界第一，专用航道桥的 T 形钢构梁为同类桥梁工程世界第二。在这些桥梁结构中，钢结构功不可没。当然，我国还建造了许多大型的全钢结构桥梁，如卢浦大桥、万州长江大桥等。卢浦大桥为全钢结构中承式系杆拱桥，在同类桥梁中居世界第一，也是世界上唯一全焊接的全钢拱桥。万州长江大桥是我国第一座单拱连续钢桁架梁铁路桥，钢结构总重近万吨，采用带加劲肋的平弦桁梁和变高度桁拱组合新型结构，这座大桥主跨 360m，为目前我国铁路大桥跨度之最。

## 2. 高层钢结构

高层钢结构建筑在国外已有 120 多年的历史，我国在高层钢结构发展上起步较晚，且总面积很少，远远低于西方发达国家比重。我国高层钢结构应用起源于 20 世纪初期的上海。1934 年建成的上海国际饭店，地下 2 层、地上 22 层，高 32.5m，为我国第一幢高层钢结构。进入 20 世纪 90 年代后，一批高层、超高层建筑如雨后春笋般建起。高层钢结构一般是指六层以上（或 30m 以上），主要采用型钢、钢板连接或焊接成构件，再经连接、焊接而成的结构体系。高层钢结构具有一系列特点，如自重轻，抗震性能好，基础处理方便；柱用焊接方管（圆角）、H 型钢或组合柱；梁用 H 型钢，上下翼缘用对接焊，腹板用高强度螺栓作抗剪连接，柱与梁翼缘对应处有加强板；楼板用压型钢板加钢筋网与细石混凝土构成组合板，板与梁连接用销钉；防火要求非常严格。



高层钢结构的结构体系与一般高层建筑结构类似，但全钢结构中采用较多的是钢框架-钢支撑体系，如上海世界广场、厦门九州大厦和大连森茂大厦等。若与混凝土筒体结合，则可建造钢框架-混凝土核心筒结构体系，如天津世界贸易中心、大连云山大厦、上海新金桥大厦、广州远洋公寓等。目前，广泛用于超高层建筑中的一种结构体系是混凝土核心筒、外框钢骨混凝土体系，如金茂大厦、上海环球金融中心等，这实际上已属于组合结构。

在大连兴建的高度 200m 的远洋大厦钢结构，其设计、制造、安装和材料全部是由国内承担和供应的，说明我国的高层钢结构已经达到世界水平。

### 3. 大跨空间钢结构

我国大跨空间结构的基础原来比较薄弱，但随着国家经济实力的增强和社会发展的需要，近十余年来也取得了迅猛的发展。工程实践的数量较多，空间结构的形式趋向多样化，相应的理论研究和设计技术也逐步完善。以北京亚运会（1990 年）、哈尔滨冬季亚运会（1996 年）和上海八运会（1997 年）等的许多体育建筑为代表的一系列大跨空间结构——作为我国建筑科技进步的某种象征——在国内外都取得了一定影响。

我国虽然是一个发展中国家，但随着国力的不断增强，要建造更多更大的体育、休闲、展览、航空港、机库等大空间和超大空间建筑物以满足需求，而且这种需求在一定程度上可能超过许多发达国家，这是我国空间结构领域面临的巨大机遇。事实也是如此，20 世纪 80 年代以后，我国各种类型的大跨空间结构进入协调的发展阶段，工程项目逐年增长，结构形式趋向多样化，出现了越来越多的创新设计，理论研究也逐渐配套，形势相当喜人。

空间钢结构通常包括空间网格结构和张拉结构两大类。空间网格结构是以多根杆件按照一定规律通过节点连接成三角形、方形、菱形等网格。如果是平板形的就是网架结构，如首都体育馆