

全国高职高专建筑类专业规划教材

GANGJIEGOU SHIGONG JISHU

钢结构施工技术

徐猛勇 申永康 田利萍 主编
李有香 主审



黄河水利出版社

全国高职高专建筑类专业规划教材

钢结构施工技术

主 编 徐猛勇 申永康 田利萍
副主编 祝冰清 艾思平 段文涛
主 审 麻 媛
李有香

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第033501号

责任编辑:王惠平 电话:0371-66033312 E-mail: hphelp@163.com
地址:郑州市航海路156号 邮编:450003

出版:黄河水利出版社
地址:河南省郑州市顺河路黄河水利委员会14楼 邮编:450003
发行单位:黄河水利出版社
发行部电话:0371-66036940/66036920/66036921(传真)

E-mail: hphelp@156.com
承印单位:黄河水利委员会印刷厂
开本:787mm×1092mm 1/16

黄 河 水 利 出 版 社

· 郑 州 ·

定价:35.00元

内 容 提 要

本书是全国高职高专建筑类专业规划教材,是根据教育部对高职高专教育的教学基本要求及全国水利水电高职教研会制定的钢结构施工技术课程标准编写完成的。本书是按现行国家标准,以培养钢结构施工技术人才为目的而编写的教材,主要内容包括钢结构的发展、钢结构材料、钢结构工程施工图识读及详图设计、钢结构加工制作、钢结构连接、钢结构安装、钢结构涂装、钢结构质量验收、钢结构案例等。

本书工程实践性突出,可作为高职高专院校建筑工程技术、工程监理、土木工程技术等土建类专业的教材,也可作为其他职业学校、相关职业岗位培训教材或自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构施工技术/徐猛勇,申永康,田利萍主编. —郑州:
黄河水利出版社,2013. 3
全国高职高专建筑类专业规划教材
ISBN 978 - 7 - 5509 - 0432 - 3

I. ①钢… II. ①徐… ②申… ③田… III. ①钢结构—工程施工—高等职业教育—教材 IV. ①TU758.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 033201 号

组稿编辑:王路平 电话:0371-66022212 E-mail:hhsllwlp@163.com
路夷坦 66026749 hhsllt@126.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hhsllcbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:17.25

字数:400 千字

版次:2013 年 3 月第 1 版

印数:1—4 100

印次:2013 年 3 月第 1 次印刷

定价:35.00 元

前 言

本书是根据《教育部关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)、《教育部关于推进高等职业教育改革创新引领职业教育科学发展的若干意见》(教职成[2011]12号)等文件精神,由全国水利水电高职教研会拟定的教材编写规划,在中国水利教育协会指导下,由全国水利水电高职教研会组织编写的建筑类专业规划教材。本套教材以学生能力培养为主线,具有鲜明的时代特点,体现出实用性、实践性、创新性的教材特色,是一套理论联系实际、教学面向生产的高职高专教育精品规划教材。

钢结构施工技术是高职高专建筑工程技术、工程监理、土木工程技术等专业的一门主要职业技术课程。通过本课程的学习,学生应掌握钢结构工程施工与管理基本技能,掌握钢结构加工和安装工序,对钢结构施工质量进行控制,能识读钢结构工程施工图纸。本书编写贯彻理论联系实际的原则,注重施工技能的培养,主要内容包括钢结构的发展、钢结构材料、钢结构工程施工图识读及详图设计、钢结构加工制作、钢结构连接、钢结构安装、钢结构涂装、钢结构质量验收、钢结构案例等。

本书编写人员及编写分工如下:湖南水利水电职业技术学院徐猛勇编写第1章、第6章,山西水利职业技术学院麻媛编写第2章,杨凌职业技术学院申永康编写第3章,安徽水利水电职业技术学院艾思平编写第4章,内蒙古机电职业技术学院田利萍编写第5章、第8章,安徽水利水电职业技术学院祝冰清编写第7章,长江工程职业技术学院段文涛编写第9章。本书由徐猛勇、申永康、田利萍担任主编,徐猛勇负责全书统稿;由祝冰清、艾思平、段文涛、麻媛担任副主编;由安徽水利水电职业技术学院李有香担任主审。

本书引用了大量有关专业文献和资料,未在书中一一注明出处,在此对有关文献的作者表示感谢。由于编者水平有限,加之时间仓促,难免存在错误和不足之处,诚恳地希望读者批评指正。

编 者

2013年1月

目 录

前 言

第1章 钢结构的发展	(1)
1.1 钢结构在我国的发展概况	(1)
1.2 钢结构的特点和应用范围	(3)
1.3 钢结构的发展及实例	(5)
1.4 钢结构新技术	(12)
本章小结	(14)
思考练习题	(14)
第2章 钢结构材料	(15)
2.1 建筑钢材的性能	(15)
2.2 结构用钢材的分类	(18)
2.3 耐大气腐蚀用钢	(20)
2.4 建筑钢材的品种、规格	(23)
2.5 钢材的材质检验和验收	(26)
本章小结	(29)
思考练习题	(29)
第3章 钢结构工程施工图识读及详图设计	(30)
3.1 钢结构工程施工图基本概念	(30)
3.2 钢结构施工图表示方法	(35)
3.3 焊缝及螺栓的表示方法	(42)
3.4 钢结构节点设计详图的识读	(55)
3.5 钢结构详图设计及图纸识读	(61)
3.6 钢结构工程施工图实例	(74)
本章小结	(86)
思考练习题	(86)
第4章 钢结构加工制作	(90)
4.1 钢结构零部件的加工制作	(90)
4.2 钢零件和钢部件加工的作业条件及工艺流程	(92)
4.3 钢结构零部件的加工制作工艺	(93)
4.4 钢结构预拼接	(102)
本章小结	(110)
思考练习题	(110)

第5章 钢结构连接	(111)
5.1 普通螺栓连接	(112)
5.2 高强度螺栓连接	(118)
5.3 铆钉连接	(134)
5.4 焊缝连接	(138)
本章小结	(169)
思考练习题	(170)
第6章 钢结构安装	(173)
6.1 钢结构安装概述	(173)
6.2 钢结构安装工程准备工作	(175)
6.3 钢结构安装工程	(179)
本章小结	(202)
思考练习题	(202)
第7章 钢结构涂装	(203)
7.1 钢结构除锈	(203)
7.2 钢结构涂装施工	(211)
7.3 钢结构防火涂料	(228)
本章小结	(239)
思考练习题	(240)
第8章 钢结构质量验收	(241)
8.1 钢结构验收项目	(241)
8.2 钢结构质量验收	(242)
本章小结	(255)
思考练习题	(256)
第9章 钢结构案例	(258)
9.1 上海金茂大厦	(258)
9.2 国家体育场	(260)
参考文献	(269)

第 1 章 钢结构的发展

【学习目标】

通过本章的学习,掌握钢结构的特点,能对钢结构的应用进行选择。

1.1 钢结构在我国的发展概况

在钢结构的应用和发展方面,我国有着悠久的历史。据历史资料记载,远在公元 1 世纪 50~60 年代,为了与西域国家通商和进行文化及宗教上的交流,在我国西南地区通往南亚诸国通道的深山峡谷上,成功地建造了一些铁索桥。例如,我国云南省景东地区澜沧江上的兰津桥,建于公元 58~75 年,是世界上最早的一座铁索桥,它比欧洲最早出现的铁索桥要早 70 年。随后陆续建造的有云南省的沉江桥(建于 400 多年前)、贵州省的盘江桥(建于 300 多年前)以及四川省泸定县的大渡河铁链桥(建于 1696 年)等。这些桥无论在工程规模上还是在建造技术上,当时都处于世界领先水平。大渡河铁链桥由 9 根桥面铁链、4 根桥栏铁链构成,大桥净长 100 m,桥宽 2.8 m,可同时通行 2 辆马车,铁链锚定在直径 20 cm、长 4 m 的锚桩上,每根铁链重达 1.5 t。

我国古代在各地还建造了不少铁塔。例如:湖北省当阳的玉泉寺铁塔,计 13 层,高 17.5 m,建于 1061 年;江苏省镇江的甘露寺铁塔,原为 9 层,现存 4 层,建于 1078 年;山东省济宁的铁塔寺铁塔,建于 1105 年等。我国古代采用钢结构的光辉史绩,充分说明了我国古代的冶金技术是领先的。

近百余年来,随着欧洲工业革命的兴起,钢铁冶炼技术的迅速发展,钢结构在欧美一些国家的工业与民用建筑物中得到了广泛的应用,不但数量日渐增多,而且应用范围也不断扩大。但我国由于长期处于封建落后的状态,特别是 1840 年鸦片战争以后,沦为半封建半殖民地,备受帝国主义、封建主义和官僚资本主义的压迫与剥削,发展很缓慢。那一时期,在全国只建造了少量的工业与民用建筑物(如上海 18 层的国际饭店、上海大厦等)和一些公路及铁路钢桥,而且主要是由外商承包设计和施工。同一时期,我国的钢结构工作者在艰难的环境下也建造了一些钢结构的建筑物,其中有代表性的有 1931 年建成的广州中山纪念堂、1934 年建成的上海体育馆和 1937 年建成的杭州钱塘江大桥,其中杭州钱塘江大桥是我国自行设计和建造的第一座公路铁路两用钢桥,安全使用到现在。

1949 年新中国成立以来,我国冶金工业不断发展,钢铁产量不断增长,钢结构的设计、制造和安装水平有了很大的提高,为我国钢结构的发展创造了条件。

在新中国成立初期的几年时间内,建造了一批钢结构厂房和矿场,其中主要有新建的太原和富拉尔基重型机器制造厂、长春第一汽车制造厂、哈尔滨三大动力厂、洛阳拖拉机厂、沈阳和哈尔滨的一些飞机制造厂等,扩建和恢复的有鞍山钢铁公司、武汉钢铁公司和大连造船厂等。此外,还新建了汉阳铁路桥和武汉长江大桥等。1959 年在北京建成的人

民大会堂,采用了跨度达 60.9 m、高达 7 m 的钢屋架和分别挑出 15.5 m 和 16.4 m 的看台箱形钢梁。1961 年建成的北京工人体育馆,屋盖采用了直径为 94 m 的车辐式悬索结构,能容纳观众 15 000 人。1965 年在广州建成的第一座高 200 m 的电视塔,截面为八角形,8 根立柱各由 3 根圆钢组成,缀条也采用了圆钢组合截面。1967 年建成的首都体育馆,屋盖采用了平板网架结构,跨度达 99 m,可容纳观众 15 000 人。

随后,在“文化大革命”时期,我国的基本建设几乎陷于完全停滞状态。这期间,只建成少数几个钢结构工程。例如:1968 年建成的南京长江大桥,采用了三跨连续桁架,并适当降低中间支座,调整桁架内力,取得了节约钢材 10% 的经济效果;1973 年建成的上海万人体育馆,屋盖采用了直径达 110 m 的圆形平板网架;1978 年建成的武汉钢铁公司一米七轧钢厂,采用的钢结构用钢量达 5 万 t。在这十年中,我国无论是钢结构的理论研究,还是工程应用,基本上处于停滞状态,进展缓慢。

1978 年党的十一届三中全会以后,国家工作的重点转到了经济建设方面。从此,我国的社会主义建设步入了一个新的发展时期,各行各业都出现了蓬勃发展的新态势。对钢结构建筑的需求量不断增加,特别是钢产量逐年增长,从 1985 年的 4 666 万 t,1987 年的 5 600 万 t,1997 年达到 1 亿 t,到 2003 年达到 2 亿 t,更加促进了我国钢结构建筑的应用和发展。从 20 世纪 80 年代起,建成的大型钢结构工程主要有:上海宝山钢铁公司第一、二期工程,1986 年建成的北京香格里拉饭店(高 82.75 m),1987 年完工的深圳发展中心大厦(高 160 m),以及 1996 年竣工的九江长江大桥,2002 年竣工的芜湖长江大桥等。

高层建筑和大型公共建筑物大量兴建,其中主要有北京京广大厦(高 208 m),北京京城大厦(高 182.8 m),上海锦江饭店分馆(高 153.2 m)。另有:深圳发展中心大厦,有 5 根巨大箱形钢柱,截面尺寸为 1 070 mm × 1 070 mm,钢板厚度达 130 mm;1996 年建成的深圳市地王大厦,地下 3 层,地上 81 层,高 383.95 m(到旗杆顶),采用的箱形钢柱最大截面为 2 500 mm × 1 500 mm,钢板最大厚度 70 mm。近年来,钢管混凝土柱的应用也已进入了高层建筑领域。例如,1999 年建成的深圳赛格广场大厦(柱子全部为钢管混凝土柱,地下 4 层,地上 72 层),以及上海浦东的金茂大厦(高达 420 m,1998 年完工)。据不完全统计,自 20 世纪 80 年代迄今,全国各地兴建的百米以上的高层建筑已有数十座之多,其中大都采用钢结构。

近年来,我国各地建造的很多体育馆、剧场和大会堂等,也采用了钢网架结构或悬索结构。例如:首都体育馆采用了 99 m × 112.2 m 的正交平板网架;1986 年建造的吉林滑冰馆,采用了双层悬索屋盖结构,悬索跨度为 59 m,房屋跨度为 70 m;1998 年为冬运会建造的长春体育馆,采用了两个部分球壳组成的长轴 191.68 m、短轴 146 m 的方钢管拱壳屋盖结构,高 4.067 m。

此外,还有工业建筑中的飞机库、飞机装配车间等。如 1995 年建造的首都机场四机位飞机库,是当今世界上规模最大的飞机库,跨度为 (153 + 153) m,屋盖采用大桥和多层四角锥网架相结合的形式,有 10 t 悬挂吊车,屋盖结构总重约 5 400 t。北京地毯厂、长春第一汽车制造厂、天津钢厂无缝钢管厂以及上海宝钢管坯连铸主厂房等在厂房屋盖中,也都采用了网架结构,建筑总面积超过 300 万 m²。

1993 年建成的黑龙江省大庆市电视塔,塔身高 160 m,天线高 100 m,是我国 2000 年

前已建成的最高钢电视塔。2000 年新建成的黑龙江省电视塔,连天线总高 336 m,是迄今世界第二高的钢电视塔。

此外,轻型钢结构的发展也很快,据不完全统计,进入 20 世纪 90 年代后期,我国每年建成的工程面积达 400 万 m^2 之多。安徽芜湖 951 一期工程的厂房(长 315 m,宽 240 m,建筑面积达 7.56 万 m^2)、浙江吉利集团在前两年修建的临海机车工业公司厂房(计 14.5 万 m^2)等工程均采用了轻型钢结构。

综上所述,钢结构虽然造价高,但由于本身的特点,如轻质高强、抗震性能好、建造速度快、工期短等,因而综合经济效益好,获得广泛应用。可以预期,随着我国经济建设的不断发展,钢结构的应用将日益广泛,并将进入新的更高的发展阶段。

1.2 钢结构的特点和应用范围

钢结构是用钢板和各种型钢,如角钢、工字钢、槽钢、H 型钢、钢管和薄壁型钢等制成的结构,在钢结构制造厂中加工制造,运到现场进行安装。

1.2.1 钢结构的特点

1.2.1.1 钢材的强度高,钢结构的质量轻

钢材的强度比混凝土、砖石和木材等建筑材料要高得多,适用于荷载重、跨度大的结构。钢材的密度虽比其他建筑材料大,但强度却高得多,属于轻质高强材料。在相同的跨度和荷载条件下,钢屋架的质量只有钢筋混凝土屋架质量的 $1/4 \sim 1/3$,若采用薄壁型钢屋架甚至接近 $1/10$ 。钢结构质量轻,便于运输和安装,同时可以减轻基础的负荷,对抵抗地震作用比较有利。

1.2.1.2 钢材的塑性和韧性好

钢材的塑性好,在一般情况下钢结构不会因偶然超载或局部超载而突然断裂破坏,只是出现变形,使应力重分布。钢材的韧性好,使钢材具有一定的抗冲击脆断的能力,对动力荷载的适应性强。其良好的延性和耗能能力使钢结构具有较强的抗震性能。

1.2.1.3 材质均匀,和力学计算的假定条件比较符合

钢材在冶炼和轧制的过程中质量可以严格控制,材质波动性小。因此,钢材的内部组织比较均匀,接近各向同性体,而且在一定的应力幅度内材料为弹性,所以钢结构的实际受力情况和工程力学计算的假定条件比较符合,计算结果比较可靠。

1.2.1.4 钢结构密闭性好

钢结构的钢材和焊接连接的不渗漏性、气密性和水密性比较好,适合制造各种密封的板壳结构容器,如油罐、气罐、管道和压力容器等。

1.2.1.5 钢结构制造简便,施工周期短

钢结构制造工厂化、施工装配化。钢结构所用的材料是由轧制成型的各种型材,由型材加工制成的构件在金属结构厂中制造,加工制作简便,成品的精确度高。制成的构件运到现场安装,构件又较轻,现场占地少,连接简单,安装方便,施工周期短,钢结构采用螺栓连接,还便于加固、改扩建和拆迁。

1.2.1.6 钢材耐腐蚀性差

钢材在湿度大和有侵蚀性介质的环境中,容易锈蚀,截面不断削弱,使结构受损,特别是薄壁构件更要注意。因而对钢结构必须注意采用防护措施,如表面除锈、刷油漆和涂料等,而且需要定期维护,故维护费用较高。

1.2.1.7 钢材耐热但不耐火

钢材受热时,当温度在 200℃ 以内时,其主要力学性能(如屈服点和弹性模量)降低不多。当温度超过 200℃ 时,钢材性能发生较大的变化,不仅强度逐步降低,还会发生蓝脆和徐变现象。当温度达 600℃ 时,钢材进入塑性状态,失去承载力。因此,规范规定当钢材表面温度超过 150℃ 时,应采用有效的防护措施,对需防火的结构,应按相关的标准采取防火措施。

1.2.2 钢结构的应用范围

钢结构由于其具有的特点和结构形式的多样化,随着我国国民经济的迅猛发展,其应用的范围越来越广泛,在工业与民用建筑中钢结构的合理应用范围如下。

1.2.2.1 大跨度结构

结构的跨度较大时,吊车减轻结构自重就会有明显的经济效果。钢材轻质高强,大跨度结构应采用钢结构,如体育馆、大剧场、展览馆、大会堂、会展中心以及工业建筑中的飞机库、飞机装配车间、大煤棚等。结构体系可为网架、悬索、拱架以及框架等。

1.2.2.2 重型工业厂房

对于跨度和柱距都比较大,吊车起重量较大或工作较繁重的车间多采用钢结构,如冶金工厂的炼钢车间、轧钢车间、重型机器制造厂的车间。此外,具有温度作用或设备的振动作用的车间也采用钢结构,如锻压车间等。

1.2.2.3 高耸结构

高耸结构包括塔架和桅杆结构等,如电视塔、微波塔、输电线塔、矿井塔、环境大气监测塔、无线天线桅杆和广播发射桅杆等。

1.2.2.4 多层建筑和高层建筑

多层建筑和高层建筑的骨架采用钢结构体系,最能体现钢结构建筑轻质高强的优越性,近年来钢结构在此领域已逐步得到发展。例如,在上海浦东开发区建设中,高层建筑钢结构的发展尤其迅速,现已建成的上海金茂大厦,据有关资料介绍为框-筒结构,混合材料,高度 420.5 m,地上 88 层,地下 3 层,钢结构安装,电动爬模。在北京、深圳等地的高层、超高层建筑中,大都采用了钢结构建筑。

目前,在高层、超高层建筑中应用的体系大致有三种:一是混凝土结构;二是钢结构;三是以上两种体系组成的混合结构。在这种混合结构中因发挥了钢结构的优点而克服了钢结构的缺点,所以应用得比较多。现在钢结构应用的形式主要有:①作为钢框架与混凝土核心筒组成受力结构体系,这是高层混合结构中常用的形式。②作为劲性骨架与混凝土一起组成受力构件,包括钢管混凝土,这种混合结构兼有钢材与混凝土两者的优点,整体强度大,刚性好,抗震性能好。当采用外包混凝土结构形式时,更具有良好的耐火和耐腐蚀性能。混合结构构件一般可以降低用钢量 15% ~ 20%,还可减少支模,施工方便、快

速,因此混合结构在高层、超高层建筑中所占比重较大。

1.2.2.5 承受振动荷载影响和地震作用的结构

由于钢材具有良好的韧性,在设有较大锻锤的车间,其骨架直接承受的动力荷载尽管不大,但间接的振动却极为强烈,应采用钢结构。对地震作用要求较高的结构也宜采用钢结构。

1.2.2.6 可拆卸或移动的结构

建筑工地的生产、生活附属用房以及流动式展览馆等可拆卸、移动的结构,如建筑机械的塔式起重机、履带式起重机的吊臂和龙门起重机等,都采用钢结构。

1.2.2.7 板壳结构及其他结构

油罐、煤气罐、高炉、锅炉、料斗、烟囱、水塔以及各种管道等均采用钢材板壳结构,运输通廊、栈桥、管道支架、高炉和锅炉构架、井架和海上采油平台等结构应采用钢结构,另外钢结构也广泛应用于跨度大、结构形式新颖的桥梁结构。

1.2.2.8 轻型钢结构

轻型钢结构包括轻型门式刚架房屋钢结构、冷弯薄壁型钢结构以及钢管结构等。这些结构可用于荷载较轻或跨度较小的建筑,具有自重小、建造快且节省钢材等许多优点,近年来轻型钢结构在我国发展非常迅猛。

以上是当前我国钢结构应用范围的一般情况。在确定采用钢结构时,应从建筑物或构筑物的使用要求和具体条件出发,考虑综合经济效益。总的来说,根据我国现实情况,钢结构适用于高、大、重型、轻型结构。

1.3 钢结构的发展及实例

钢材是国民经济建设和国防建设中的重要材料。钢结构由于具有强度高、自重轻、可靠性好、容易密封、工业化程度高、施工速度快等优点,一直是人们喜爱采用的一种结构,近百年来得到了快速的发展。随着我国经济建设的迅速发展和钢产量的不断提高,生产工艺的不断革新,钢结构也相应保持并扩大其应用领域。21 世纪,在建筑用钢量比例上,钢结构与钢筋混凝土将分别出现增长与递减的趋势。钢结构将主宰大跨度、重载荷、超高层及可移动结构领域,并向中小跨度延伸。钢结构的市場越来越广泛,我国钢结构的应用及发展应在合理地使用材料的基础上,不断创新合理的结构形式,更新设计理论和计算方法,充分发挥钢结构自身的优点,不断扩大其应用领域。

1.3.1 高效钢材的应用

钢材的质量和品种,直接影响钢结构的应用和发展。近年来,世界各产钢国竞相发展高效钢材。高效钢材是相对于普通钢材的统称,是指在一定环境和工作条件下,适用性好、社会综合经济效益高的钢材。与普通钢材相比,其主要表现为几何尺寸合理、性能更好、适用性广泛、节约金属、经久耐用、易于维护、使用方便。它包含的品种有低合金钢材、热强化钢材、经济截面钢材、表面处理钢材、冷加工钢材和金属制品等。

1.3.1.1 低合金钢材

用低合金钢代替普通碳素钢,利用添加少量合金元素提高钢材的强度和改善其他一些性能,从而达到降低钢材用量和延长钢材使用寿命等目的,以取得良好的经济效益。各产钢国一般都结合其富有的合金资源大力开发,我国亦将开发低合金钢列为发展高效钢材的重点,并已形成锰、钒、钛、铌和稀土元素的低合金钢系列,且近几年发展速度较快。通常所说的低合金钢材包括高强度结构钢、耐腐蚀钢、耐腐蚀钢轨、高强度建筑钢筋等。例如耐候钢(耐腐蚀钢),是低合金钢中需大力发展的钢种之一,由于耐候钢暴露在大气条件下时,表面可逐渐形成一层非常致密且附着力很强的稳定锈层,从而阻止外界腐蚀介质的侵入,减缓金属继续腐蚀的速度,因此耐候钢可大量节约涂漆和维护费用。近年来,一些国家的铁路车辆、桥梁和房屋建筑已较普遍地采用低合金耐候钢,经济效果显著。

1.3.1.2 热强化钢材

热强化钢材是指经控制轧制、控制冷却和热处理的各类钢材,包括控制轧制钢材、控制冷却钢材、强化热处理钢材等。由于经热强化后,钢材的内部组织经过调整,其强度、韧性等均有显著提高,如钢轨经热强化后,寿命可较一般的钢延长 12 倍。但我国的热强化钢材的品种及数量还很有限,仍需进一步的研制和发展。控制轧制法的利用目前也比较普遍,通过控轧控冷,钢材强度约可提高一个等级,韧性也有所改善,能显著节约钢材。

1.3.1.3 经济截面钢材

经济截面钢材包括 H 型钢、T 型钢、异型钢、周期断面型钢、钢管及冷弯型钢、压型钢板等。由于截面形状合理,故在用钢量相等的情况下,其截面惯性矩可比一般截面型材的大,且使用方便,能高效地发挥钢材的作用,节约金属和降低钢结构制造费用。热轧 H 型钢是经工字钢优化改进而来的经济断面形式,因其平行翼缘比工字钢宽,而其腹板又相对较薄,在工字形截面钢构件中,抗弯作用主要由翼缘承担,H 型钢宽翼缘加上相应的薄腹板,其力学性能明显地优于工字钢,20 世纪五六十年代发达国家已广泛应用 H 型钢。在材料用料相同的情况下,H 型钢的实际承载能力比传统的普通工字钢大,而且对梁、柱、桩,可根据其受力特性,选择工厂生产的不同类型的 H 型钢,以适应结构特点,节约钢材。

在我国,冷弯薄壁型钢结构的具体应用也有很多成功的工程实践经验,自 20 世纪 60 年代以来,已建造了约 50 万 m^2 ,并成功地用于跨度达 30 m 的屋盖结构。压型钢板在我国目前多用于建筑物的组合楼盖和围护结构(屋面和墙面)。组合楼盖是将压型钢板置于梁上,并在其上浇灌混凝土。此时,压型钢板可以代替拉筋承受拉力,和混凝土良好的受压性能结合,各尽所能,效果显著。

围护结构用的压型钢板主要有彩色涂层钢板、镀锌钢板和铝合金板,它们可直接用作非保温的屋面板或墙板。例如,彩色压型钢板复合墙板具有质量轻、保温性好、色彩鲜艳、立面美观、施工速度快等优点,由于所使用的压型钢板已敷有各种防腐耐蚀涂层,因而还具有耐久性能好和抗腐蚀性能好的优点。彩色压型钢板复合墙板不仅适用于工业建筑物的外墙挂板,而且在许多民用建筑和公共建筑中也被广泛采用。由于压型钢板自重比过去传统的钢筋混凝土板轻得多,且制造、安装简便,外形美观,故近年来在我国已得到较多应用。

1.3.1.4 表面处理钢材

镀层、涂层、复合等表面处理钢材由于钢材表面覆层后,防腐性能改善,可使其寿命延长 25 倍,是节约钢材的有效途径。主要包括镀保护金属(锌、铝或锌铝合金)的镀层钢材(如镀锌钢板等)和涂有机物(油漆和塑料)的涂层钢材(如彩色涂层钢板)等,可适应各产业部门对耐蚀性、涂装性、焊接性和美观性等各种不同要求,从而在汽车、电机和建材等方面的应用不断扩大。用覆层钢板制造冷弯型钢和压型钢板等经济截面,配套用于轻型钢结构或做围护结构用材,可减少维护费用,经济效果更为显著。

1.3.1.5 冷加工钢材

冷加工钢材是指经冷轧、冷拔和冷挤压的钢材。由于产生冷加工硬化,故其强度大为提高,且表面光洁,尺寸精确,不仅可用于特殊用途,也可代替热轧钢材,通常包括冷轧薄钢板(带)、冷轧(拔)无缝管、冷轧硅钢片、冷拉冷轧型钢材。如用得最多的冷轧薄钢板,由于强度较高,使用厚度相对较薄,一般可节约钢材约 30%,而生产费用仅增加约 10%,故主要产钢国家都在努力发展。

1.3.1.6 金属制品

金属制品一般是指各类钢丝、预应力高强度钢丝及钢绞线、钢丝绳、镀层和复合层钢丝、钢丝绳等。由于经冷拔的钢丝及其制品钢绞线、钢丝绳等有极高的抗拉强度,可比普通线材极大地节约钢材。钢丝、钢绞线除用于预应力混凝土结构外,钢绞线亦是钢结构中的悬索屋顶结构和悬索桥梁的主要用材。悬索结构是能最充分有效地发挥钢材性能特点的新型钢结构,是节约钢材的有效途径。

综上所述,由于高效钢材具有良好的性能、截面形状合理等特点,因此可以大大节约钢材并延长使用寿命。实践证明,高效钢材在使用中一般可以节约金属 15% 左右,有的品种节约金属更多。国外低合金钢的使用平均可以节约金属 30%。因此,大力发展高效钢材生产,是增加社会效益、缓和钢材紧缺矛盾的重要措施。例如,HRB400 钢筋不仅强度高,而且黏结性能好,2000 年经建设部与国家冶金局协调后,我国钢厂已能生产且已生产出包括细直径在内的各种直径的 HRB400 级钢筋,所以现行规范不仅在纵向受力钢筋上推广使用这种钢筋,而且在箍筋上也推广使用这种钢筋,这样可以明显降低钢筋用量。即使在分布钢筋上推广使用这种钢筋,与光面的 HPB235 级钢筋相比,也可以有效地减小混凝土裂缝宽度。

1.3.2 设计方法的改进

1.3.2.1 概率极限状态设计方法有待发展和完善

结构设计规范是实践和智慧的结晶,代表着一个国家结构设计理论发展的水平。作为标准,它不是一成不变的,而是随着科学技术的不断发展和对客观世界的新认识,在继承旧规范合理部分的同时,不断吸收新的研究成果,逐步修订和完善。工程结构设计经历了传统的容许应力法、概率设计法、极限状态设计法等阶段后,目前已进入以概率理论为基础的极限状态设计法阶段。

目前,我国以概率理论为基础的极限状态设计法中很多数据的研究分析及理论阐述尚需进一步的完善和发展,因为它计算的可靠度还只是构件或某一截面的可靠度,而不是

结构体系的可靠度,同时也不适用于疲劳计算的反复荷载作用下的结构,对于板件屈曲后的强度、压弯构件的弯扭屈曲、空间结构的稳定、钢材的断裂理论等问题,都是今后要发展的理论研究课题。

1.3.2.2 组合结构、预应力结构、高层结构、钢管结构等的研究和发展

规范只对钢管结构及组合梁规定了一般的设计原则,很多设计问题还需逐步解决,以适应推广使用的要求。高层钢结构、预应力钢结构的优点,还有待总结。

1.3.2.3 计算机辅助设计的开发

国外采用计算机进行计算在设计工作中越来越占主要地位,结构设计上考虑优化理论的应用与计算机辅助设计及绘图都得到很大的发展,所有概略的比较和计算都已用小型计算机进行,国外比较通用的钢结构设计计算软件有 XSTEEL、ANSYS 等。我国也相继开发了一系列比较好的软件,如中国建筑科学研究院的 PKPM 中 STS 模块,同济大学研究的 3D3S 软件、MTS 等。软件的开发离不开程序的开发,钢网架、轻钢结构的设计程序比较成熟,但是高层钢结构设计程序有待于进一步研究,在高层钢结构设计中弹塑性动力时程分析仍是难点,钢结构住宅的通用程序也有待于开发。

1.3.3 新型结构的采用

1.3.3.1 轻型钢结构

轻型钢结构的材料规格小,杆件细而薄,而且材料的调直、下料、弯曲成型、加工拼装、构件的翻身搬运容易,不需要大型的专用设备,故特别适合在中、小型工厂加工制造。轻型钢结构能使同样数量的钢材发挥更大的作用,减轻结构自重,降低耗钢指标,降低工程造价。轻型钢结构主要用在不承受大载荷的承重建筑。比如,采用轻型 H 型钢(焊接或轧制,变截面或等截面)做成门式钢架支承;采用 C 型、Z 型冷弯薄壁型钢做檩条和墙梁;采用压型钢板或轻质夹芯板做屋面、墙面围护结构;采用高强度螺栓、普通螺栓及自攻螺丝等连接件和密封材料组装成的低层、多层预制装配式钢结构房屋体系。

1.3.3.2 空间结构

近年来,结构新材料的应用进一步推动了大跨度空间钢结构的发展,网架、网壳、钢管桁架结构等空间结构获得了广泛应用。20 世纪 60 年代网架在我国开始获得应用,到 80~90 年代,大、中、小跨度的网架几乎已遍及各地。以 1990 年北京亚运会为例,兴建的场馆中有 7 个馆采用了网架、网壳结构。在此期间,机械、汽车、化工、轻工等行业先后兴建许多大面积工业厂房,也大量采用了多种形式的大跨度空间钢结构。尤其是近年来,大型公共建筑大多采用了钢管杆件直接会交的钢管桁架结构,它们外形丰富、结构轻巧、传力简捷、制作安装方便、经济效果好,是当前应用较多的一种结构体系,这标志着我国房屋建筑由传统的平面结构体系向空间结构体系迈进了一大步。今后除配合开发高效钢材、挖掘潜力、改进平板网架的设计外,还应开发更加节约钢材的悬索结构。

1.3.3.3 预应力钢结构

预应力技术不仅用于混凝土结构,而且又广泛应用于钢结构中。随着科学技术的飞速发展,工程建设要求扩大钢结构的应用,而且要求尽量节约钢材。解决这种矛盾的主要

途径是:不断研究和改进现有的钢结构形式和设计理论,并创造新型的钢结构形式(包括组合或复合结构)。除节约钢材减轻自重外,还扩大其应用的范围,创造新型的独特建筑风格,在此过程中,预应力技术必不可少。应用预应力钢结构技术的基本思想是,采用人为的方法在结构或构件最大受力截面部位,引入与荷载效应相反的预应力,以提高结构承载能力(延伸了材料的强度幅度),改善结构受力状态(调整内力峰值),增大刚度(施加初始位移,扩大结构允许位移范围),达到节约材料、降低造价的目的。此外,预应力还具有提高结构稳定性、抗震性,改善结构疲劳强度,改进材料低温脆断、抗蚀等各种特性的作用。现在国外的发展趋势是,不论是平面结构还是空间结构或塔桅结构,均广泛施加预应力,以达到减轻结构自重、节约钢材的目的,同时对结构的刚度加以改善。我国在20世纪末期已研制、开发、采用各种形式的预应力空间钢结构建筑约80幢,充分显示出这类结构的众多特点和优势,具有强大的生命力,是空间结构发展的一种新趋向。在21世纪,预应力空间钢结构将会更加发挥其固有的特色和活力,有更为广阔的应用和发展。

1.3.3.4 组合结构

随着材料、工艺和有限元分析技术的发展,新型钢-混凝土组合结构层出不穷。概括地讲,组合结构可分为以下两大类:一是结构中采用了组合构件(由两种以上的材料通过黏结力、机械咬合力或连接件结合为整体共同受力的构件,从截面来看是两种异性材料的结合),主要有波形钢板箱梁、混凝土板和钢管桁架组成的空腹式箱梁、钢-混凝土组合梁、混合梁等;二是由两种以上不同材料的构件组合为一种新的结构体系,并共同承担外荷载,主要有梁拱组合结构、部分斜拉桥等。

组合结构利用钢和混凝土组合起来共同受力,并充分发挥各自的长处,有效地节约钢材和模板,降低造价。如组合结构中的劲性钢筋混凝土柱就是一种具有开发价值的结构形式,它是用钢构件做骨架,再在外面包上钢筋混凝土,这种组合结构柱在高层房屋建筑中使用时可有效地节约钢材,其强度、稳定性和抗震性能均较好,还可弥补全钢结构用钢量过多和全混凝土结构截面过大的缺点,同时其钢骨架在施工时可先作为承重骨架,有利于开展工作面,加快施工进度。组合结构的发展也为桥梁结构中一些技术难题的解决提供了全新的思路,是桥梁工程发展的重要方向。

1.3.4 钢结构实例

1.3.4.1 国家大剧院

国家大剧院,总占地面积11.89万 m^2 ,总建筑面积16.5万 m^2 。外部围护钢结构壳体呈半椭球形,平面投影东西方向212.20m,南北方向143.64m,建筑物高度为46.285m,基础埋深的最深部分达到地面以下32.5m。椭球形屋面主要采用钛金属板饰面,中部为渐开式玻璃幕墙。椭球壳体外环绕人工湖,湖面面积达3.55万 m^2 ,各种通道和入口都设在水面下,见图1-1。

1.3.4.2 国家体育场——“鸟巢”

“鸟巢”(见图1-2),建设地点在北京奥林匹克公园,建筑面积25.8万 m^2 ,座席数8万个。赛时功能包括田径、足球。建筑顶面呈马鞍形,长轴为332.3m,短轴为296.4m,

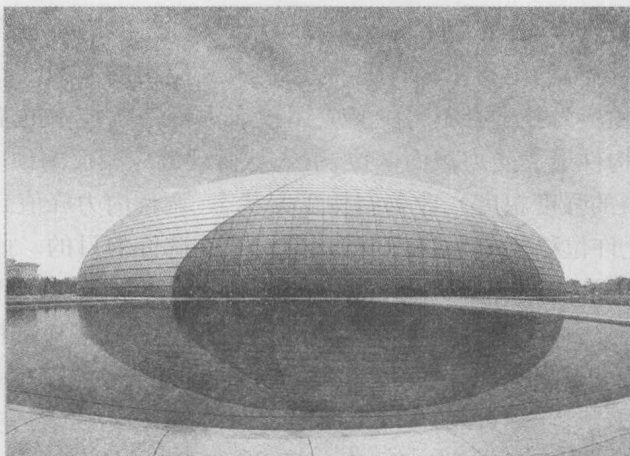


图 1-1 国家大剧院

最高点高度为 68.5 m,最低点高度为 42.8 m。“鸟巢”外形结构主要由巨大的门式钢架组成,共有 24 根桁架柱。大跨度屋盖支撑在桁架柱上,柱距为 37.96 m。主桁架围绕屋盖中间的开口呈放射形布置。钢结构大量采用由钢板焊接而成的箱形构件,交叉布置的主桁架与屋面及立面的次结构一起形成了“鸟巢”的特殊建筑造型。

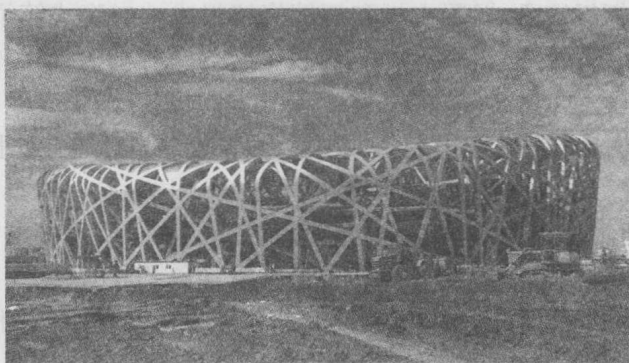


图 1-2 国家体育场——“鸟巢”

1.3.4.3 慕尼黑奥林匹克体育中心

奥运会的主要比赛场馆都建在奥林匹克公园内,其中奥林匹克主体育场是最为醒目的标志性建筑,由 45 岁的斯图加特建筑师拜尼施受 1967 年蒙特利尔世界博览会上德国馆一个小小的帐篷式结构的启发而创造的。其新颖之处就在于它有着半透明帐篷形的棚顶,覆盖面积达 85 000 m²,可以使数万名观众避免日晒雨淋。整个棚顶呈圆锥形,由网索钢缆组成,每一网格为 75 cm × 75 cm,网索屋顶镶嵌浅灰棕色丙烯塑料玻璃,用氟丁橡胶卡将玻璃卡在铝框中,使覆盖部分内光线充足且柔和。独具匠心的拜尼施以蜿蜒的奥林匹克湖为背景,该奥运会的主要比赛场馆包容在连绵的帐篷式悬空顶篷之下,以横空出世的气势将体育场馆与自然景观融为一体,为激烈的比赛带来了大自然的温馨。体育场不仅外形别具一格,而且配套设备齐全。看台共有 4.7 万个座位和 3.3 万个站席,观众离场

上最远处的距离为 195 m。在西看台上面最高处有体育评论员室。在南北看台上方装有电子显示牌。在看台下面设有更衣室、休息室、工程技术室、诊疗室、会议厅、贵宾室和新闻记者室等,还有停车场以及小卖部、餐厅和必要的通信设施用房。场内铺设了天然草皮,草皮下 25 cm 处按照设计铺设了全长 18.95 km 的管道,形成加热管道网,冷天可以导入热水,增加场地的温度,这样可以保证草皮四季常青。运动场的跑道是塑料跑道。奥林匹克火炬塔安装在体育场南侧的小山丘上,这样从各体育场馆都可以看到。虽然这座 74 800 m² 的体育场由预算时的 1 800 万马克激增到 1.7 亿马克,但在政府的大力支持下得以顺利完成,拜尼施本人也因此而跻身世界著名建筑师的行列,并在 20 年后主持完成了德国议会新楼的建设工程。这个在世界建筑史上堪称杰作的大型建筑群,成为慕尼黑市现代建筑的代表,见图 1-3。

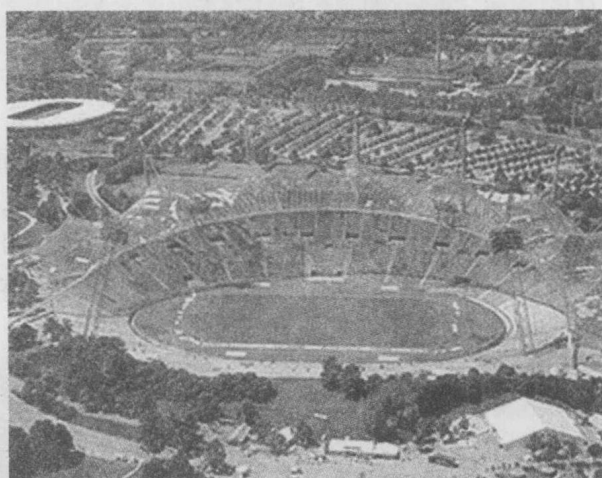


图 1-3 慕尼黑奥林匹克体育中心

1.3.4.4 沈阳奥林匹克体育中心

沈阳奥林匹克体育中心体育场为容纳 6 万人的大型体育场,其南北看台顶部设置了一对平等投影为梭形的空间钢网壳罩棚结构,在东西两端采用平行弦桁架将南北网壳进行局部连接,本罩棚钢结构总用量约 11 000 t,总建筑面积 140 000 多 m²,如图 1-4 所示。

该罩棚几何外形可以认为取自一直径约为 433 m 的球体,两着地点间水平距离 360 m,正中最宽处水平投影尺寸 111 m,最高点距地面约 82 m,屋面罩棚结构采用单层网壳结构体系,南北罩棚内侧悬挑处各设置一空间加劲三角桁架,屋面网壳采用单根大口径钢管(主要规格有:φ 1 524 × 23、φ 1 422 × 33),一端支撑在地面上,另一端直接与悬挑端的空间加劲桁架相贯连接。该工程主体钢屋盖呈双曲面,各点标高不一,主要构件超重、超长,主桁架跨度大、高度高,而且在屋盖内四周都是看台混凝土结构,在混凝土结构施工期间大型机械不能以常规方式在屋盖下进行作业,另外主要杆件均为大口径钢管,最大的钢管直径达到 1 524 mm,且按设计要求,所有拱架及外围轮廓杆件均需按照圆弧曲管加工和焊接,其中主桁架的最大安装标高达到 82 m 左右,安装设计较高,吊装难度大,对加工精度要求非常高。