



普通高等学校土木工程专业创新系列规划教材



钢结构基本原理

主编 牛秀艳 刘 伟
主审 刘殿忠



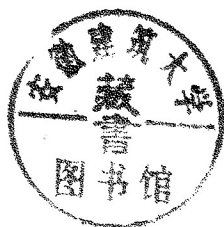
WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

普通高等学校土木工程专业创新系列规划教材

钢结构基本原理

主 编 牛秀艳 刘 伟
副主编 金殿玉 崔文一
主 审 刘殿忠



WUHAN UNIVERSITY PRESS
武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

钢结构基本原理/牛秀艳,刘伟主编. —武汉:武汉大学出版社,2015.2
普通高等学校土木工程专业创新系列规划教材
ISBN 978-7-307-14983-0

I. 钢… II. ①牛… ②刘… III. 钢结构—高等学校—教材 IV. TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 301214 号

责任编辑:王亚明 责任校对:黄孝莉 装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)
(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:荆州市鸿盛印务有限公司

开本:850×1168 1/16 印张:13 字数:351 千字

版次:2015 年 2 月第 1 版 2015 年 2 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-14983-0 定价:26.00 元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

普通高等学校土木工程专业创新系列规划教材 编审委员会

(按姓氏笔画排名)

主任委员:刘殿忠

副主任委员:张利 孟宪强 金菊顺 郑毅 秦力

崔文一 韩玉民

委员:马光述 王睿 王文华 王显利 王晓天

牛秀艳 白立华 吕文胜 仲玉侠 刘伟

刘卫星 李利 李栋国 杨艳敏 邱国林

宋敏 张自荣 邵晓双 范国庆 庞平

赵元勤 侯景鹏 钱坤 高兵 郭靳时

程志辉 蒙彦宇 廖明军

总责任编辑:曲生伟

秘书长:蔡巍

特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导的模式而成为一次建设性、发现性的学习,从被动学习而成为主动学习,由教师传播知识而到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。

本系列教材在相关编写人员的配合下,将逐步配备基本数字教学资源,其主要内容包括:

课程教学指导文件

- (1)课程教学大纲;
- (2)课程理论与实践教学时数;
- (3)课程教学日历:授课内容、授课时间、作业布置;
- (4)课程教学讲义、PowerPoint 电子教案。

课程教学延伸学习资源

- (1)课程教学参考案例集:计算例题、设计例题、工程实例等;
- (2)课程教学参考图片集:原理图、外观图、设计图等;
- (3)课程教学试题库:思考题、练习题、模拟试卷及参考解答;
- (4)课程实践教学(实习、实验、试验)指导文件;
- (5)课程设计(大作业)教学指导文件,以及典型设计范例;
- (6)专业培养方向毕业设计教学指导文件,以及典型设计范例;
- (7)相关参考文献:产业政策、技术标准、专利文献、学术论文、研究报告等。

 本书基本数字教学资源及读者信息反馈表请登录www.stmpress.cn下载,欢迎您对本书提出宝贵意见。



前 言

钢结构建筑具有强度高,自重轻,抗震性好,工业化程度高的特点。随着计算方法的进步,新型钢结构形式不断出现。这使钢结构建筑在经济生活的各个领域得到了广泛的应用,具有广阔的发展前景。目前除需要大量的钢结构研究、设计人员外,也急需大量的了解钢结构材料性能、受力特点、制作要求并从事钢结构施工与制作的人员。通过几年的教学实践,我们认为以培养实践型人才为目标的普通高等院校的钢结构课程,应注重钢结构基本理论在工程实践中的应用,并以培养学生应用钢结构基本理论解决工程实践中常见问题的能力为教学的基本目的。在编写本书的过程中,编者力求将钢结构理论涉及的概念阐述清楚,使之通俗易懂,易于理解。本书要求学生掌握各类构件的承载力验算与设计,而对钢结构计算理论不作更深入的探讨。

本书由吉林建筑大学牛秀艳、刘伟担任主编,吉林建筑大学金殿玉、延边大学崔文一担任副主编,吉林大学胡忠君、长春工程学院赵庆明、吉林建筑大学董丽欣担任参编。

具体编写分工如下:牛秀艳(第1~4章、第6章、附录);刘伟(第5章);金殿玉(第4章);崔文一(第4章);胡忠君(第1章);赵庆明(第2~3章);董丽欣(第2~3章)。

吉林建筑大学土木工程学院院长刘殿忠教授担任本书主审,详细审阅了编写大纲和全部书稿,并提出了宝贵的修改意见,特此感谢。

编者在编写过程中参考、引用了公开发表的文献和资料,在此向相关作者深表谢意。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中的缺点、错误在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2014年12月

目 录

1 绪论	1
1.1 钢结构的特点/1	
1.2 钢结构的应用和发展/2	
1.3 钢结构的设计方法/7	
知识归纳/11	
2 钢结构的材料	12
2.1 钢结构用材要求/12	
2.2 钢材的破坏形式/13	
2.3 钢材的性能/13	
2.4 影响钢材性能的主要因素/18	
2.5 钢材的疲劳破坏/24	
2.6 建筑钢材的种类/26	
2.7 型钢的规格/27	
知识归纳/29	
思考题/30	
3 轴心受力构件	31
3.1 概述/31	
3.2 轴心受力构件的强度/33	
3.3 轴心受力构件的刚度/36	
3.4 轴心受压构件的整体稳定/37	
3.5 轴心受压构件的局部稳定/48	
3.6 格构式轴心受压构件的整体稳定/52	
知识归纳/57	
思考题/57	
习题/58	
4 受弯构件	59
4.1 概述/59	
4.2 梁的强度/60	
4.3 梁的挠度/65	
4.4 受弯构件的剪力中心/66	
4.5 梁的扭转/68	
4.6 梁的整体稳定/71	

4.7 梁的局部稳定/77

知识归纳/85

思考题/86

习题/86

5 拉弯和压弯构件

88

5.1 概述/88

5.2 拉弯和压弯构件的强度/89

5.3 压弯构件的整体稳定/91

5.4 压弯构件的局部稳定/98

知识归纳/101

思考题/101

习题/101

6 钢结构的连接

103

6.1 钢结构的连接方法/103

6.2 焊接连接概述/104

6.3 对接焊缝的构造和计算/113

6.4 角焊缝的构造及应力分布/116

6.5 角焊缝的受力计算/118

6.6 螺栓连接特性/125

6.7 普通螺栓连接计算/129

6.8 高强度螺栓连接的计算/140

知识归纳/151

思考题/151

习题/152

附录

156

附录1 钢材和连接的强度设计值/156

附录2 结构或构件的变形容许值/158

附录3 轴心受压构件的稳定系数/160

附录4 截面塑性发展系数/163

附录5 疲劳计算的构件和连接分类/165

附录6 型钢表/168

附录7 螺栓规格/181

附录8 常用角钢规格/182

参考文献

198

1 绪 论

内容提要

本章的主要内容为钢结构的特点、应用、发展过程、趋势及钢结构设计方法。

能力要求

通过本章的学习,学生应掌握钢结构的特点及钢结构设计方法,了解钢结构的应用及发展。

1.1 钢结构的特点

钢结构使用的材料主要是钢材。钢结构是指由钢板、热轧型钢、薄壁型钢或焊接型材等构件通过连接件连接组合而成的结构,它是土木工程的主要结构形式之一。目前,钢结构在工业厂房、大跨度结构、房屋建筑、桥梁、塔桅和特种结构中都得到了广泛应用。这是由于钢结构与其他材料建造的结构相比有如下特点。

(1) 自重轻,跨度大

与砌体材料和混凝土材料相比,钢材具有较高的强度。在混凝土结构中,C30 混凝土的抗压强度为 14.3 N/mm^2 ,而 Q235 钢材的屈服强度为 235 N/mm^2 ,比 C30 混凝土高出十几倍。因此,在受力相同的情况下,钢结构构件的截面面积要小得多,结构自重也会减轻,上部结构自重轻减轻了下部基础的负荷,降低了地基基础造价;同样的截面积,钢结构构件可以承受较大荷载或跨越较大跨度,适用于跨度大、高度高和承载重的结构。

(2) 钢材材质均匀,计算可靠性好

钢材由于冶炼和轧制过程中的严格控制,材质波动范围小,内部组织比较均匀,接近各向同性,可视为理想的弹-塑性体。因此,钢结构的实际受力情况和工程力学的计算结果比较相符,在计算中采用的经验公式不多,计算的不确定性较小。目前的计算理论能较好地反应钢结构的实际工作情况,计算结果比较可靠。

(3) 钢结构建筑具有较好的抗震性能

钢结构自重轻,在地震中受到的地震作用较小。钢材具有的良好塑性和韧性性能,使得合理设计的钢结构建筑具有较好的延性,在地震中有较好的吸能和耗能能力。在国内外历次地震中,钢结构建筑损坏程度最小,因此,地震区建筑采用钢结构较为有利。

(4) 钢结构制造简便,施工工期短

钢结构构件一般采用专业化金属结构厂轧制成形的各种型材制作,受气候影响小,构件可以成批生产,产品准确度和精度都较高。

钢结构构件制作相对简便,制成的构件可直接运到施工现场,采用焊接或螺栓连接拼装。其安装的机械化程度高,可以缩短施工工期,降低造价;可以提早发挥投资的经济效益,综合经济效

益好。

(5) 钢结构密封性好

钢结构采用焊接连接后,水密性和气密性较好,适用于制作要求密闭的板壳结构,如高压容器、大型油库、油罐、气柜和管道等。

(6) 钢结构耐火性差

钢材在 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上就不能继续承载,而火灾温度一般在 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,所以钢结构在火灾中维持时间很短。结构需要防火时,应采取有效的防火措施,比如在钢结构构件表面喷涂防火涂料或外包其他防火材料。

(7) 钢结构耐蚀性差

钢材在潮湿环境中,特别是在有腐蚀性介质的环境中容易锈蚀。钢材锈蚀后会使构件受力面积减小,严重锈蚀时会导致结构破坏。因此,钢结构应定期刷涂料加以保护。

1.2 钢结构的应用和发展

1.2.1 钢结构的应用

钢结构的合理应用范围不仅取决于钢结构本身的特性,还取决于国民经济的发展情况。过去由于我国钢产量较低,钢结构的应用受到了一定的限制。近年来,我国钢产量有了很大的提高。据统计,2008年中国钢产量为5.0亿吨,占世界粗钢总产量的38%,是排名第2位到第4位的日本(1.2亿吨)、美国(0.9亿吨)、俄罗斯(0.7亿吨)3国钢产量总和的1.8倍。随着我国钢产量的不断提高,1997年颁布的《1996—2010中国建筑技术政策》中提出了合理发展钢结构的技术政策,加之钢结构的结构形式和设计手段不断推陈出新,使得钢结构的应用范围越来越广泛。

根据我国的实践经验,建筑钢结构的合理应用范围大致如下。

(1) 工业厂房(图 1-1)

重型车间的承重骨架,如冶金工厂的平炉车间、初轧车间、混铁炉车间,重型机械厂的铸钢车间、锻压车间,造船厂的船台车间,飞机制造厂的装配车间,以及其他车间的屋架、柱、吊车梁等常采用钢结构。



图 1-1 重型工业厂房

(2) 大跨度结构(图 1-2~图 1-5)

钢结构由于具有强度高、自重轻的优点,最适用于建造大跨度结构,如飞机库、体育馆、火车站、展览厅、影剧院、会展中心等。

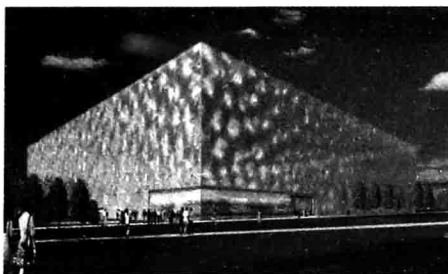


图 1-2 国家游泳中心“水立方”

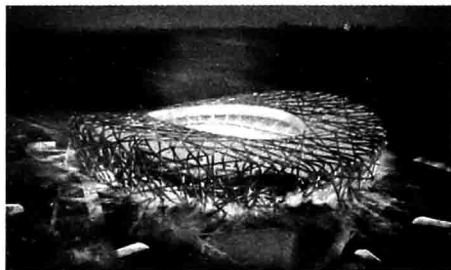


图 1-3 国家体育场“鸟巢”



图 1-4 网壳结构



图 1-5 平板网架

(3) 多层和高层建筑(图 1-6、图 1-7)

多层和高层建筑的骨架可采用钢结构。近年来,钢结构在多层和高层建筑领域已得到了较多应用。其结构形式主要有框架结构、框架-支撑结构、框筒结构、悬挂结构、巨型框架结构等。

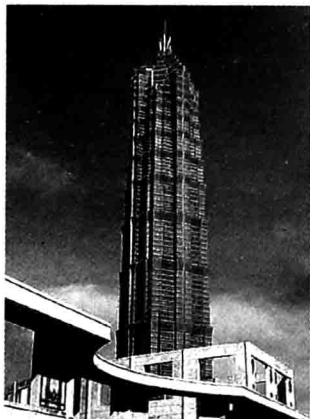


图 1-6 金茂大厦



图 1-7 上海环球金融中心

(4) 轻型钢结构(图 1-8~图 1-11)

轻型钢结构主要包括门式刚架轻型房屋钢结构、冷弯薄壁型钢结构和钢管结构。其中,门式刚架轻型房屋钢结构具有建造快、用钢量省、综合经济效益好等优点,从而得到了广泛的应用。目前,轻型钢结构主要用于建造工业厂房、仓库和办公楼等,并向住宅和别墅方向发展。

(5) 高耸结构(图 1-12、图 1-13)

高耸结构包括桅杆和塔架结构,如输电线路塔架、无线电广播发射桅杆、电视播映发射塔、环境气象塔、卫星或火箭发射塔等。



图 1-8 兴建中的轻型钢结构厂房



图 1-9 使用中的轻型钢结构厂房



图 1-10 兴建中的轻型钢结构别墅

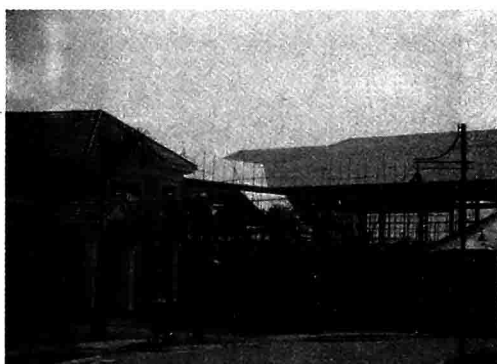


图 1-11 使用中的轻型钢结构别墅



图 1-12 法国埃菲尔铁塔

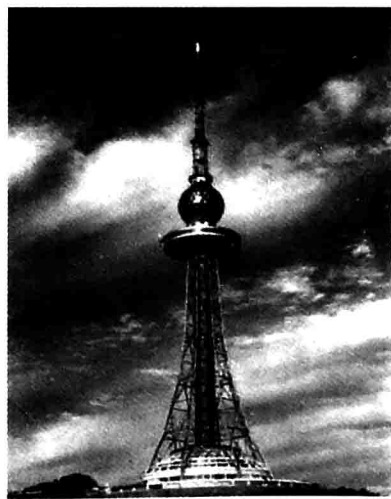


图 1-13 多功能电视发射塔

(6) 板壳结构(图 1-14、图 1-15)

一般对气密性和液密性要求较高的板壳结构,如油库、油罐、水塔、输油管、输气管等多采用钢结构。

(7) 可拆卸和移动式结构(图 1-16、图 1-17)

建筑工地上供生活、生产等用的临时房屋,流动式展览馆等,这些结构往往做成可拆卸的钢结构。移动式结构如塔式起重机和龙门式起重机等,都可采用钢结构。



图 1-14 兴建中的油罐

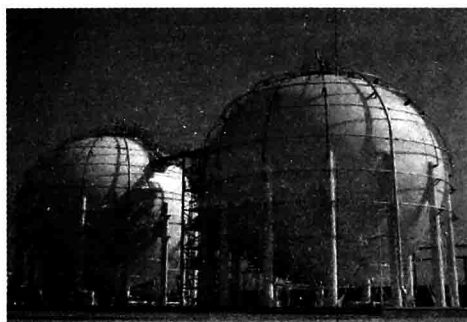


图 1-15 使用中的油罐



图 1-16 钢结构临时用房



图 1-17 龙门式起重机

(8) 承受振动荷载和地震作用的结构

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,但间接的振动却较为强烈,应尽量采用钢结构。对于抗震要求较高的结构也宜采用钢结构。

(9) 其他特种结构(图 1-18、图 1-19)

其他特种结构如管道支架、井架和海上采油平台等也广泛采用钢结构。

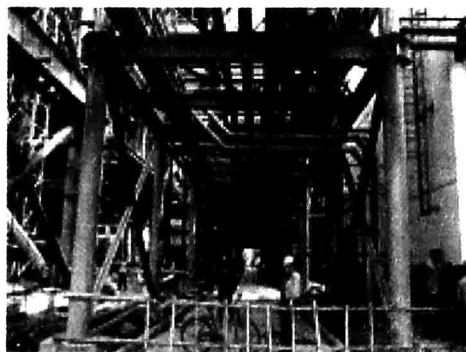


图 1-18 输油管道支架

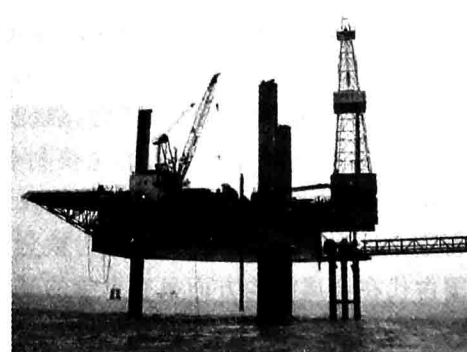


图 1-19 海上采油平台

(10) 钢-混凝土组合结构(图 1-20)

钢构件和板件受压时必须满足稳定性要求,往往不能充分发挥其强度高的特性,而混凝土则最宜于受压,而不适于受拉。将钢材和混凝土并用,使两种材料都充分发挥它们的长处,是一种很合理的结构组合形式。近年来,这种结构在我国获得了长足的发展,广泛应用于高层建筑(如深圳的

赛格广场)、大跨度桥梁、工业厂房和地铁站台柱等。其主要构件形式有钢-混凝土组合梁、钢骨混凝土柱和钢管混凝土柱等。

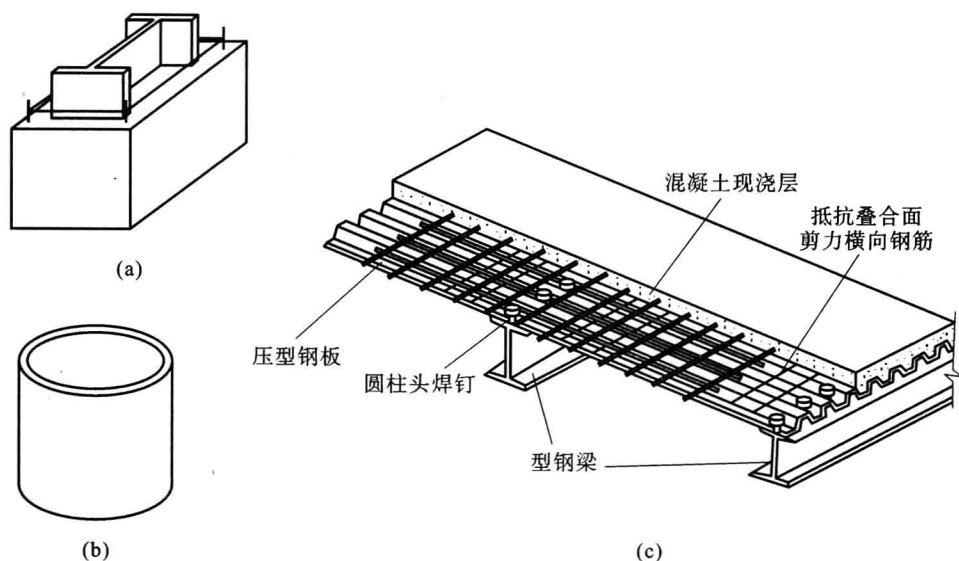


图 1-20 钢-混凝土组合结构

(a) 钢骨混凝土柱;(b) 钢管混凝土柱;(c) 钢-混凝土组合梁板

1.2.2 钢结构的发展

钢结构是由生铁结构逐步发展起来的,我国是最早用铁制造承重结构的国家。早在秦始皇时代(公元前 200 多年),就有了用铁建造的桥墩;汉朝时期已建造了铁链悬桥;公元 58—75 年建造了蓝津桥;1061 年(宋代)建造了湖北荆州玉泉寺铁塔(13 层)。这些都表明我国古代在冶金技术和建造技术方面具有较高的水平。

欧美等国家中最早将铁作为建筑材料的当属英国。但直到 1840 年以前,英国还只是采用铸铁来建造拱桥。1840 年以后,随着铆钉连接和锻铁技术的发展,铸铁结构逐渐被锻铁结构取代。1846—1850 年间,在英国威尔士修建的布里塔尼亚桥是这方面的典型代表。1855 年英国人发明贝氏转炉炼钢法和 1865 年法国人发明平炉炼钢法,以及 1870 年成功轧制出工字钢之后,工业上逐步具有了大批量生产钢材的能力,强度高且韧性好的钢材开始在建筑领域逐渐取代锻铁材料,在 1890 年以后成为金属结构的主要材料。20 世纪初焊接技术的出现,以及 1934 年高强度螺栓连接的出现,极大地促进了钢结构的发展。除西欧、北美之外,钢结构在前苏联和日本等国家也获得了广泛的应用,逐渐发展成为被全世界接受的重要结构体系。

我国古代在金属结构方面虽有卓越的成就,但由于受到内部的束缚和外部的侵略,在相当长一段时间内其发展较为缓慢。即使这样,我国建筑工程师和工人仍有不少优秀的设计和创造成果,如 1927 年建成的沈阳黄姑屯机车厂钢结构厂房,1928—1931 年建成的广州中心纪念堂圆屋,1934—1937 年建成的杭州钱塘江大桥等。

新中国成立以后,随着经济建设的发展,钢结构在重型工业厂房、大跨度公共建筑、桥梁以及桅杆结构中得到了一定程度的发展。在工业厂房方面,我国几个大型的钢铁企业,如鞍山和武汉等钢厂的炼钢、轧钢和连铸车间等都采用了钢结构;在公共建筑方面,1975 年建成的跨度达 110 m 的三向网架上海体育馆及 1962 年建成的直径为 94 m 的圆形双层辐射式悬索结构——北京工人体育



馆,也都采用了钢结构;在桥梁方面,1957年建成的武汉长江大桥和1968年建成的南京长江大桥都采用了铁路、公路两用双层钢桁架桥结构;在塔桅结构方面,广州、上海等地都建造了高度超过200 m的多边形空间桁架钢电视塔,1977年北京建成的环境气象塔是一个高达325 m的5层纤维三角形杆身的钢桅杆结构。

改革开放以后,我国的经济建设有了突飞猛进的发展,钢结构也有了前所未有的发展,应用领域有了较大的扩展。高层和超高层房屋、单层轻型厂房、体育场馆、大跨度会展中心、大型客机检修库、大跨度公路桥梁以及海上采油平台等都已采用钢结构。目前已建和在建的高层和超高层钢结构建筑已有30余幢。其中,地上88层、地下3层、高421 m的上海金茂大厦和地上101层、地下3层、高492 m的上海环球金融中心的建成,标志着我国的超高层钢结构已进入世界前列。在大跨度建筑和单层工业厂房中,网架和网壳等结构的广泛应用已受到世界各国的瞩目。其中上海体育馆马鞍形环形大悬挑空间钢结构屋盖和上海浦东国际机场航站楼张弦梁屋盖的建成,更标志着我国的大跨度空间钢结构已进入世界先进行列。桥梁方面,九江长江大桥、上海杨浦大桥和江阴长江大桥等桥梁的建成,标志着我国已有建造现代化桥梁的能力。

2008年,我国钢产量达到5.0亿吨,已连续多年高居世界各国钢铁年产量榜首。钢材质量及钢材规格也已能满足建筑钢结构的要求。市场经济的发展与不断成熟更为钢结构的发展创造了条件。因此,我国钢结构正处于迅速发展的前期。可以预期,今后我国钢结构的发展方向主要体现在以下几个方面。

(1) 发展高强度低合金钢材

逐步发展高强度低合金钢材,除Q235钢、Q345钢外,Q390钢和Q420钢在钢结构中的应用尚有待进一步研究。

(2) 改进钢结构设计方法

概率极限状态设计法还有待发展,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中反复荷载作用下的结构。另外,结构设计上优化理论的应用与计算机辅助设计及绘图技术都得到了很大的发展,今后还应继续加以研究和改进。

(3) 革新结构形式

今后钢结构建筑会向超高层、大跨度和特殊造型等方向发展。特殊造型以广州电视塔、中央电视台总部大楼和国家体育场(“鸟巢”)为代表,同时首都机场、武汉天河机场、广州白云国际机场以及一些现代化的火车站等建筑形式也开始向空间曲线、大跨度方向发展。这些都对钢结构现有的结构形式提出了严峻的考验,因此,结构形式的革新,如索膜结构、张弦桁架、悬挂结构、超高层钢结构等也是今后值得研究的课题。

1.3 钢结构的设计方法

1.3.1 结构的作用与抗力

建筑结构在施工和使用期间内,要承受自身的重量,在建筑物中活动的人群的重量及风、雪、地震等其他作用。这些施加在结构上的集中力或分布力和引起结构外加变形或约束变形的原因称为作用。施加在结构上的集中力或分布力称为直接作用,也称为荷载;引起结构外加变形或约束变形的其他原因则称为间接作用。间接作用包括地震、温度变化、基础不均匀沉降等。

在结构使用期间大小不随时间变化,或其变化量很小,与平均值相比可忽略的结构上的作用,

称为恒荷载或永久荷载,如结构自重、土压力等;在结构使用期间大小随时间变化,且变化量与平均值相比不能忽略的作用,称为可变荷载,如人群荷载、吊车荷载、风荷载、雪荷载等;在结构使用期间不一定出现,一旦出现,其值很大、持续时间很短的作用,称为偶然作用,如地震作用、爆炸力、撞击力等。作用在结构或构件中引起的内力和变形称为荷载效应。

结构或构件所使用的材料具有一定的强度和刚度,能抵御上述作用的影响。这种结构和构件承受内力和变形的能力称为抗力。抗力与材料性能、几何参数、计算模式等有关。

1.3.2 结构的功能要求

结构在规定的设计使用年限内,在正常的使用情况下,应满足安全、适用、耐久等预定的功能要求。

(1) 安全性

在正常施工和正常使用时,结构应能承受可能出现的各种作用;在设计规定的偶然作用发生时及发生后,结构应仍能保持必需的整体稳定性。

(2) 适用性

在正常使用时,结构应具有良好的工作性能,满足预定使用要求,如不产生影响结构正常使用的过大变形。

(3) 耐久性

在正常维护下,结构应具有足够的耐久性能,如不发生严重的锈蚀而避免影响结构的使用年限。

1.3.3 结构的极限状态

结构或结构的一部分超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能要求,此特定状态为该功能的极限状态。极限状态是指结构或构件能够满足设计规定的某一项功能要求的临界状态。对于结构的各种极限状态,应规定明确的标志和限值,以作为结构设计的依据。结构的极限状态分为承载能力极限状态和正常使用极限状态。

(1) 承载能力极限状态

承载能力极限状态对应于结构或构件达到最大承载能力或发生不适于继续承载的变形。当结构或构件出现下列状态之一时,应认为超过了承载能力极限状态:

- ① 整个结构或结构的一部分作为刚体失去了平衡,如结构发生倾覆;
- ② 结构构件或连接因超过材料强度而破坏,或因发生过大变形而不适于继续承载,如强度破坏、疲劳破坏、过度的塑性变形等;
- ③ 结构转变为机动体系;
- ④ 结构或构件丧失稳定,如压杆压屈;
- ⑤ 地基丧失承载能力。

(2) 正常使用极限状态

正常使用极限状态对应于结构或构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值。当结构或构件出现下列状态之一时,应认为超过了正常使用极限状态:

- ① 影响正常使用或外观的变形;
- ② 影响正常使用或耐久性能发生的局部损坏(包括裂缝);
- ③ 影响正常使用的振动;
- ④ 影响正常使用的其他特定状态。

由上可知,结构或构件的承载能力极限状态考虑了结构的安全性能。若结构或构件达到承载能力极限状态,就可能影响结构的安全性,甚至发生严重破坏,造成人员伤亡和重大经济损失。结构或构件的正常使用极限状态考虑的是结构的适用性和耐久性。结构达到正常使用极限状态时,不至于威胁到结构的安全,不会造成人员伤亡和重大经济损失。因此,对出现承载能力极限状态概率的控制比对出现正常使用极限状态概率的控制要更严格。

1.3.4 结构的可靠性

结构的安全性、适用性、耐久性总称为结构的可靠性。其是指结构在规定的时间内(设计基准期)内,在规定的条件(正常设计,正常施工,正常使用)下,完成预定功能的能力。影响结构可靠性的因素很多,如荷载取值、材料性能、构件尺寸、计算模型、施工和制作质量等。这些因素涉及结构的经济性,而可靠性和经济性常常相互矛盾。结构设计中应力求以最经济的设计手段满足结构要求的可靠度。影响可靠度的因素又都是随机的,例如,结构设计时采用的荷载值与实际作用在结构上的荷载值不一致,构件的设计尺寸与实际尺寸之间存在偏差,预期的工程质量与实际工程质量存在差异等,所以结构的可靠性应用概率来度量。度量结构可靠性的指标称为可靠度。可靠度是结构在规定时间内,在规定的条件下,完成预定功能的概率。反之,结构不能完成预定功能的概率为失效概率。

对结构可靠度进行度量的指标即为可靠指标,用 β 表示。若使 β 值增大,结构的可靠度就要增大,结构的建造费用也会相应增加。作为设计依据的可靠指标,直接与结构的建造费用、维修费用及结构失效后造成的人员、财产损失和社会影响有关。《建造结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)规定的结构构件承载能力极限状态的可靠指标见表 1-1。

表 1-1 结构构件承载能力极限状态的可靠指标

破坏类型	安全等级		
	一级	二级	三级
延性破坏	3.7	3.2	2.7
脆性破坏	4.2	3.7	3.2

1.3.5 概率极限状态设计法

概率极限状态设计法是以影响结构功能的诸因素作为设计变量,依据各极限状态的标志和限值,设计出满足适当可靠度要求的结构或构件。按概率极限状态设计法设计的结构或构件不能保证绝对安全,但当其失效概率小到人们可以接受的程度时,即可认为所设计的结构或构件是安全的。

为方便应用,《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)给出了针对不同极限状态的实用设计表达式。

(1) 承载能力极限状态设计表达式

$$\gamma_0 S \leq R \quad (1-1)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数。对安全等级为一级或设计使用年限为 100 年及以上的结构构件,不应小于 1.1;对于安全等级为二级或设计使用年限为 50 年的结构构件,不应小于 1.0;对于安全等级为三级或设计使用年限为 5 年的结构构件,不应小于 0.9;对于使用年限为 25 年的结构构件,不应小于 0.95。