



百校土木工程专业“十二五”规划教材

房屋建筑钢结构设计

Design of Building Steel Structure

王秀丽 主 编

梁亚雄 吴 长 陈 明 副主编

周绪红 主 审



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

百校土木工程专业“十二五”规划教材

房屋建筑钢结构设计

Design of Building Steel Structure

	王秀丽	主 编	
梁亚雄	吴 长	陈 明	副主编
	周绪红	主 审	



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书按照土木工程专业本科生教学大纲要求,结合最新修订的钢结构设计常用的系列规范,从钢结构的基本形式出发,重点介绍钢结构的选择、构造特点、受力与破坏特性,突出结构合理设计的过程和技术要点,强调结构设计概念与应用,旨在全面培养学生的钢结构分析与设计水平,尤其是培养学生从基本理论到实际应用的能力。

本书在阐述各种基本设计方法的同时,结合工程实际设计中曾经出现的问题给出部分思考题,供学生在学习过程中思考和探讨。可作为课堂讨论题目,也可供读者在工程问题设计分析时参考。此外,在每章结束后增加一些相关工程和参考信息,便于在学习关注相关知识的用途以及相应的复杂问题,以培养学生的学习兴趣和创新思维。

本书力求做到系统性、完整性和实用性,内容上重点强调基本概念和基本原理,并结合实际工程应用强调实用性,在文字叙述上力争简洁易懂,便于读者自学。

本书可作为土木工程专业本科教材或参考书,参考学时 32~48,可以选择基础知识作为课堂讲授,部分内容作为自学和选修。本书也可作为结构工程设计、科研、施工和管理人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

房屋建筑钢结构设计/王秀丽主编. —上海: 同济大学出版社, 2015.12

百校土木工程专业“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5608 - 6099 - 2

I. ①房… II. ①王… III. ①房屋建筑学—钢结构—结构设计—高等学校—教材 IV. ①TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 294661 号

百校土木工程专业“十二五”规划教材

房屋建筑钢结构设计

王秀丽 主编 梁亚雄 吴 长 陈 明 副主编 周绪红 主审
责任编辑 马继兰 责任校对 张德胜 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 常熟市大宏印刷有限公司

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 19.75

印 数 1—3100

字 数 493 000

版 次 2016 年 1 月第 1 版 2016 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 5608 - 6099 - 2

定 价 42.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

前 言

近年来,我国钢结构事业蓬勃发展,越来越多的工程采用钢结构体系,无论是以往必须采用的“大、高、重”结构(大跨度空间结构、超高层钢结构以及重型工业厂房),还是现在可以多方案选择的建筑体系,钢结构正以其独特的优势和可持续发展的潜力广泛应用于各种结构,包括大量的轻型厂房、多高层住宅、学校以及各种形式各异的结构,相关的内容十分丰富。日益发展的钢结构工程建设应用急需大量的既具有扎实理论基础又有实践能力的钢工程设计与施工专门人才。土木工程专业教学大纲按照国家的人才需求及时调整相关培养大纲和教学计划,提出实用新型工程师等培养计划。在此背景下,“房屋建筑钢结构设计”课程成为土木工程专业必修专业课程之一。本课程学习目标是使学生将钢结构基本理论知识应用于实际,培养学生分析问题和解决问题的能力。因此,本书着重从实用的角度出发,重点阐述各种实用的结构体系的主要构成、分析原理、设计方法和构造措施,让学生理解各门课程之间的关系,尽可能做到学以致用。

全书共分为6章,第1章为绪论,重点介绍建筑工程钢结构的基本形式、设计方法、钢结构相关规范;第2章介绍大跨度空间钢结构的基本形式,重点介绍钢网格结构的设计与分析方法,对丰富的其他空间结构,简要介绍结构主要受力特点;第3章为应用较多的轻型门式刚架钢结构,重点学习结构组成特征、结构设计要点以及实用设计方法;第4章为单层厂房钢结构,重点突出在设计方法与荷载取值上的特殊性;第5章讲述多层建筑钢结构体系的组成与受力特征,强调结构抗震设计方法;第6章为高层钢结构的简要介绍,以便学生在有限的时间内了解钢结构的各种体系,扩展学生的知识面。

本书由王秀丽教授主编,周绪红院士主审,王秀丽负责编写第1、第2章,梁亚雄负责第3章、吴长负责第4章,陈明负责第5、第6章。本书在编写过程中参考了大量国内外钢结构相关教材、专著及论文,在此对相关作者表示衷心感谢。同时,本书编写过程中,研究生王昊、陈发有、孙宽、梅凤君、马润田、胡志明和高芳芳等参加了部分内容的文字处理工作,在此表示诚挚的感谢。尤其要说明的是本书由钢结构资深专家周绪红院士主审,周院士详细审查了本书,提出了很多富有建设性的宝贵意见和建议,作者一并采纳并修改完善,在此对周绪红院士表示衷心的感谢。

由于时间仓促,加之作者水平有限,书中难免有大量的不足和疏漏,恳请读者批评指正。

作 者

2015年12月

目 录

前言	1
第 1 章 绪论	1
1.1 钢结构的分类及应用	1
1.1.1 建筑钢结构	1
1.1.2 桥梁钢结构	3
1.1.3 设备钢结构(冶金、石油化工、电力行业)	4
1.1.4 特种钢结构	6
1.1.5 可拆卸的结构	6
1.1.6 轻型钢结构	6
1.2 钢结构的设计方法	7
1.2.1 设计原则	7
1.2.2 设计方法	7
1.2.3 荷载和荷载效应计算	8
1.2.4 设计表达式	8
1.3 钢结构设计课程特点及学习建议	9
1.4 常用钢结构设计规范	11
第 2 章 大跨度空间钢结构	13
2.1 概述	13
2.1.1 空间结构的概念	13
2.1.2 空间结构的分类与应用	13
2.1.3 空间结构应用范围的拓展	19
2.1.4 大跨空间钢结构的应用与发展趋势	20
2.1.5 空间结构设计的主要步骤与学习建议	23
2.2 网架结构分析	24
2.2.1 网架结构形式及选择	24
2.2.2 网架结构基本尺寸的确定	33
2.2.3 网架结构的内力分析方法	35
2.2.4 网架结构构造设计	39
2.3 网壳结构分析与设计要点	51
2.3.1 网壳结构工程应用及特点	51
2.3.2 网壳结构形式、分类及其选型	54
2.3.3 网壳结构设计一般原则	66
2.3.4 网壳结构的内力分析方法简述	69
2.3.5 网壳结构的抗震设计要点	70
2.3.6 网壳结构的稳定性概念	70

2.3.7 网壳结构的杆件设计与节点构造特点	71
2.4 索膜结构简介	73
2.4.1 悬索结构	73
2.4.2 膜结构	77
2.5 其他空间结构简介	80
2.5.1 管桁架结构	80
2.5.2 斜拉结构	82
2.5.3 张弦结构	83
2.5.4 索穹顶结构	86
第3章 轻型门式刚架钢结构设计	88
3.1 概述	88
3.1.1 单层门式刚架结构的组成	88
3.1.2 单层门式刚架结构的特点	89
3.1.3 门式刚架结构的应用情况	89
3.2 结构形式和结构布置	89
3.2.1 门式刚架的结构形式	89
3.2.2 门式刚架尺寸	90
3.2.3 门式刚架的结构布置	91
3.3 门式刚架的荷载、内力分析和构件设计	92
3.3.1 荷载及荷载组合	92
3.3.2 刚架的内力和侧移计算	93
3.3.3 刚架的梁、柱设计	95
3.3.4 刚架的刚度计算	103
3.4 节点设计	104
3.4.1 梁柱拼接节点设计	104
3.4.2 柱脚设计	107
3.4.3 牛腿设计	108
3.4.4 摇摆柱与斜梁的连接构造	109
3.5 其他构件设计	109
3.5.1 压型钢板设计	109
3.5.2 檩条设计	113
3.5.3 墙梁设计	119
3.5.4 支撑构件设计	119
3.6 轻型门式刚架设计实例	120
第4章 单层厂房钢结构	135
4.1 概述	135
4.1.1 单层厂房钢结构的应用和种类	135
4.1.2 单层厂房钢结构的组成	136
4.1.3 单层厂房钢结构设计内容与步骤	137
4.2 普通单层厂房钢结构设计	137
4.2.1 结构选型	137

4.2.2	柱网和变形缝的布置	138
4.2.3	屋盖结构与支撑布置	140
4.2.4	柱间支撑布置	142
4.2.5	墙架结构布置	143
4.2.6	厂房横向框架的计算	144
4.2.7	单层厂房框架柱的设计	150
4.2.8	阶形柱变截面处的构造	156
4.2.9	单层厂房框架柱的柱脚设计	158
4.3	吊车梁设计	163
4.3.1	吊车梁系统结构组成	163
4.3.2	吊车梁的荷载及工作性能	164
4.3.3	吊车梁的内力计算及截面验算	166
4.3.4	吊车梁的连接	172
4.3.5	设计举例	174
4.4	钢屋架设计	180
4.4.1	屋盖支撑	180
4.4.2	屋架的主要形式和主要尺寸	181
4.4.3	屋架荷载计算与荷载效应组合	183
4.4.4	屋架杆件内力计算	184
4.4.5	屋架杆件设计	186
4.4.6	屋架节点设计	188
4.4.7	设计方法及注意事项	193
4.4.8	普通钢屋架设计实例	194
第5章	多层建筑钢结构	206
5.1	概述	206
5.1.1	多层钢结构建筑的种类和应用	206
5.1.2	多层钢结构建筑的结构类型	206
5.2	计算模型的选取	211
5.2.1	计算模型的确定原则	211
5.2.2	平面协同计算模型	211
5.2.3	平面抗侧力结构的协同计算模型	212
5.2.4	空间结构计算模型	213
5.3	荷载计算与效应组合	213
5.3.1	作用的种类与计算	213
5.3.2	作用效应组合	215
5.4	多层钢结构内力与位移计算	216
5.4.1	计算的一般原则及基本假定	216
5.4.2	框架结构的近似分析方法	217
5.4.3	框架-支撑体系的近似分析方法	217
5.4.4	空间结构模型的精确计算	217

5.5 构件设计	217
5.5.1 构件设计的主要内容	217
5.5.2 组合楼板设计	217
5.5.3 组合梁设计	223
5.5.4 框架柱的设计	227
5.5.5 支撑设计	233
5.6 节点设计	237
5.6.1 多层钢框架结构的节点类型和基本设计原则	237
5.6.2 梁柱连接节点设计	238
5.6.3 梁与梁的拼接	246
5.6.4 柱与柱的拼接	248
5.6.5 次梁与主梁的连接设计	251
5.6.6 柱脚设计	252
5.6.7 支撑与梁柱的连接	257
5.6.8 节点的抗震设计	257
第6章 高层建筑钢结构	263
6.1 概述	263
6.1.1 国内外高层建筑钢结构典型实例	263
6.1.2 高层建筑钢结构的主要特点	264
6.2 高层建筑钢结构的结构体系	267
6.2.1 框架-剪力墙体系	267
6.2.2 框架-核心筒体系	269
6.2.3 筒体结构体系	270
6.3 高层建筑钢结构荷载	273
6.3.1 高层建筑钢结构荷载的种类	273
6.3.2 高层建筑钢结构的地震作用	274
6.4 高层建筑钢结构的设计	279
6.4.1 高层建筑钢结构设计的一般原则及基本假定	279
6.4.2 高层建筑钢结构的内力与位移计算	279
6.4.3 高层建筑钢结构的位移限制	280
6.4.4 高层建筑钢结构的构件设计	281
6.4.5 节点设计	285
附录	288
附录 A 斜卷边 Z 形冷弯型钢的截面特性	288
附录 B 卷边槽形冷弯型钢的截面特性	290
附录 C 楔形梁在刚架平面内的换算长度系数	291
附录 D 柱的计算长度系数	293
附录 E 国产楼面用压型钢板的主要板型及其截面力学特性	305
参考文献	307

第 1 章 绪 论

1.1 钢结构的分类及应用

众所周知,钢结构具有很多优点,例如:钢材强度高,结构重量轻,抗震性能好,材性均匀,塑性、韧性好;同时钢结构具有良好的加工性能和焊接性能,工业化程度高,施工方便,工期短;此外钢材可重复使用。以上这些优点使得钢结构成为广泛意义上的“绿色建筑”,具有可持续发展的优势,因而近年来钢结构得到广泛的应用。随着国民经济的稳定发展和钢铁工业跨越式发展,我国钢产量猛增,2012年,全国钢产量约为7.2亿吨,2013年突破10亿吨。钢结构行业因长期钢材匮乏提出限制和合理使用钢结构转变为推动钢结构发展的政策的导向,钢结构诸多优势得到广泛重视并迅速发展,从重大工程、标志性建筑到各种钢结构体系普遍使用,为我国经济的发展提供了强大的动力。在大量工程实践和科学研究的基础上,我国新的《钢结构设计规范》(GB 50017)和《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018)也已发布实施,这为钢结构在我国快速发展创造了条件。

当然钢结构也有不少制约其发展的缺陷,主要有:钢材本身在高温下强度急剧下降,钢结构抗火性能差,而且常规钢材耐腐蚀性较差,因此钢结构防护要求高,防腐与防火材料本身与增加的施工程序等无疑都增加了工程造价。从结构性能来讲,钢材由于构件长细比相对较大,因而构件及结构的稳定性问题不容忽视,设计中尤为重要;此外特殊条件下例如低温、疲劳等情况钢结构会产生材料脆断。因此,合理选择钢结构材料和体系,充分利用材料和钢结构体系的优势,扬长避短,达到材料和结构的合理匹配则是钢结构设计的核心问题。

钢结构在各行各业都有广泛的应用,由于不同的行业对我国钢结构的设计要求不同,因此设计中既要考虑到行业要求,也要按照实际结构的受力需求。按照结构受力来讲结构分析本身是一样的,只是设计参数中有特殊的取值和规定。因此,钢结构设计中应该考虑到这些因素的影响,在设计统一规定的前提下,满足相关的设计要求。

通常钢结构按照行业分为房屋建筑钢结构、桥梁钢结构、工业设备钢结构和特种钢结构构筑物几大类,同时依据行业设计标准按照结构形式进行分类。近年来,由于轻钢结构的发展,又形成了普通钢结构和轻型钢结构的分类。而轻型钢结构是一个较为模糊的概念,没有严格的定义,一般认为采用轻型维护结构并且承担较轻型的荷载相应的钢结构都称为轻型钢结构,除此之外就是普通钢结构。通常以下结构可称为轻型钢结构:①由冷弯薄壁型钢组成的结构;②由热轧轻型型钢(工字型钢、槽钢、H型钢、L型钢、T型钢等)组成的结构;③由焊接轻型型钢(工字型钢、槽钢、H型钢、L型钢、T型钢等)组成的结构;④由圆管、方管、矩形管组成的结构;⑤由薄钢板焊成的构件组成的结构;⑥由以上各种构件组成的结构。

1.1.1 建筑钢结构

建筑钢结构按照结构形式分为大跨度空间结构、工业厂房、多层钢结构和高层建筑等形式。

1. 大跨度空间结构

结构跨度越大,自重荷载中所占的比例就越大,减轻结构的自重会带来明显的经济效益。钢材强度高而结构重量轻的优势正好适合于大跨结构,因此钢结构在大跨空间结构和大跨桥梁结构中得到了广泛的应用。所采用的结构形式有空间桁架、网架、网壳、悬索(包括斜拉体系)、张

弦梁、实腹或格构式拱架和框架等。例如国家体育场钢结构工程是其中技术难度最大、最关键的施工阶段(图 1-1)。钢结构是由 24 榀钢桁架及次结构编织而成的形似鸟巢的构造,空间为双曲线马鞍形,东西轴长 298 m,南北轴长 333 m,最高点 69 m,最低点 40 m,结构用钢量达到 42 000 t。作为屋盖结构的主要承重构件,桁架柱最大断面为 25 m×20 m,高度达 67 m,单榀最重达 500 t。而主桁架高度 12 m,双榀贯通最大跨度 145.577 m+112.788 m,不贯通桁架最大跨度 102.391 m,桁架柱与主桁架体型大、单体重量重。此外,还有国家大剧院等大量的工程(图 1-2)。

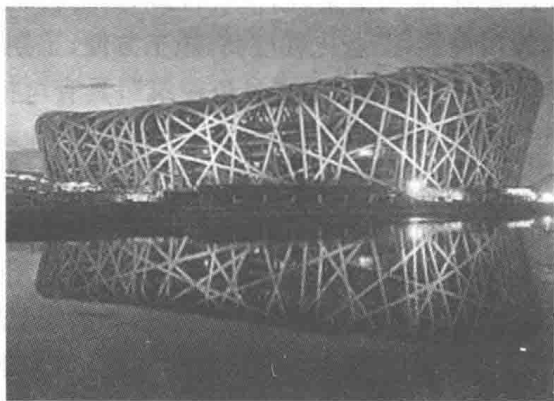


图 1-1 国家体育场(鸟巢)



图 1-2 国家大剧院

2. 工业厂房

当吊车起重量较大或者其工作较繁重的车间的主要承重骨架多采用钢结构。另外,有强烈辐射热的车间,也经常采用钢结构。结构形式多为由钢屋架和阶形柱组成的门式刚架或排架,屋面可以采用网架结构形式。

近年来,随着压型钢板等轻型屋面材料的发展,轻钢结构工业厂房得到了迅速的发展。其结构形式主要为实腹式变截面门式刚架(图 1-3)。

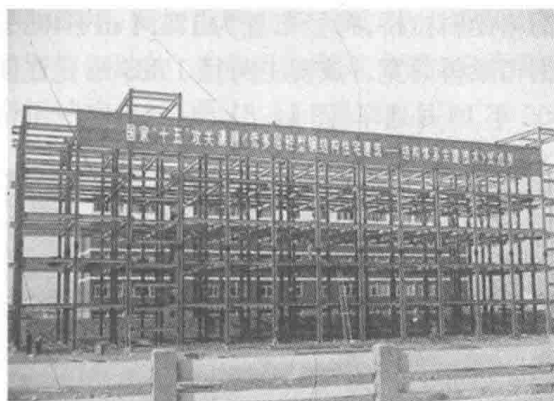


图 1-3 轻钢厂房门式刚架

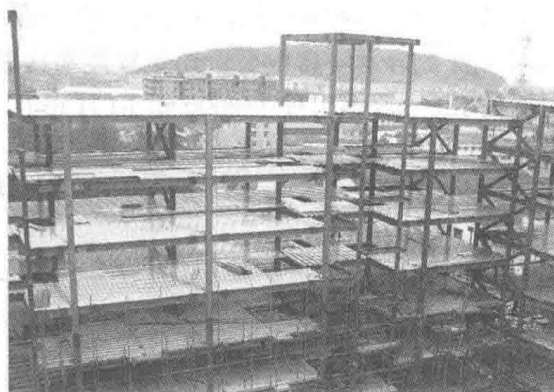
3. 多层钢结构

多层建筑是指建筑高度大于 10 m,小于 24 m($10\text{ m} < \text{多层建筑高度} < 24\text{ m}$),且建筑层数大于 3 层,小于 7 层($3 < \text{层数} < 7$)的建筑。但人们通常将 2 层以上的建筑都笼统地概括为多层建筑(图 1-4)。

钢结构具有强度高、质量轻、构件截面小、有效空间大、施工速度快等特点,不但适宜于建造高层、大跨建筑,在多层民用房屋中也具有广泛的应用前景。与传统钢筋混凝土结构相比,



(a)



(b)

图 1-4 多层钢结构房屋

它具有较好的延性、韧性和耗能能力,是地震区多层民用建筑优先考虑的结构形式之一,具有较好的综合效益。

4. 高层钢结构建筑

由于钢结构的综合效益指标优良,近年来在多、高层民用建筑中也得到了广泛的应用。其结构形式主要有多层框架、框架-支撑结构、框筒、悬挂、巨型框架,如上海中心大厦(图 1-5),就是集各种优异的结构体系综合运用。另外,对于非常复杂的混合结构体系例如央视大楼只能发挥钢结构的优势得以实现(图 1-6)。

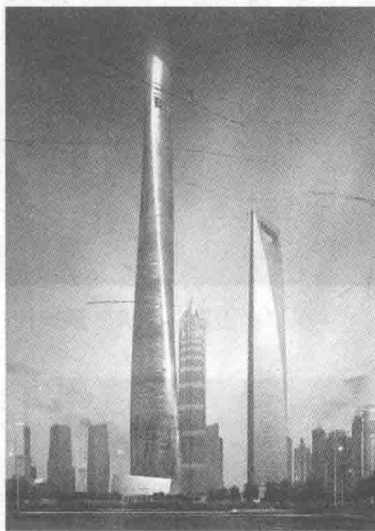


图 1-5 上海中心大厦

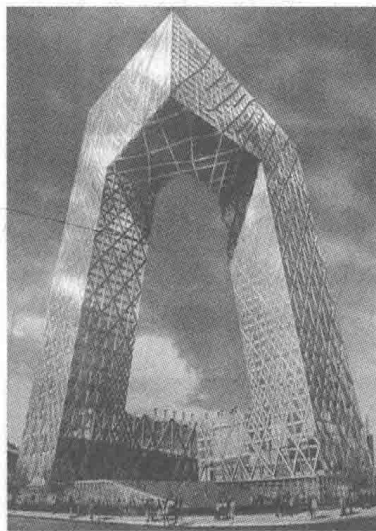


图 1-6 中央电视台大楼

1.1.2 桥梁钢结构

随着国家基础设施的建设,公路铁路桥梁发展尤为重要,而钢结构桥梁以它独特的优势被大量采用。钢板梁、钢箱梁、钢桁梁、钢管结构,钢塔、缆索、钢混凝土组合结构以及钢结构桥面系等都采用了钢结构。

世界单跨最长的桥是日本明石海峡大桥(图 1-7),主跨度为 1 991 m。两边孔各 990 m,桥宽 35.5 m。1998 年建成通车。国内跨度最大的润扬长江大桥项目主要由南汊悬索桥和北汊斜拉桥组成,南汊桥主桥是钢箱梁悬索桥,索塔高 209.9 m,两根主缆直径为 0.868 m,跨径布置为

470 m+1 490 m+470 m;北汊桥是主双塔双索面钢箱梁斜拉桥,跨径布置为 175.4 m+406 m+175.4 m,倒 Y 形索塔高 146.9 m,钢绞线斜拉索,钢箱梁桥面宽。该桥主跨径 1 385 m 比江阴长江大桥长 105 m。该工程于 2000 年 10 月开工,2005 年 10 月通车(图 1-8)。



图 1-7 日本明石海峡大桥

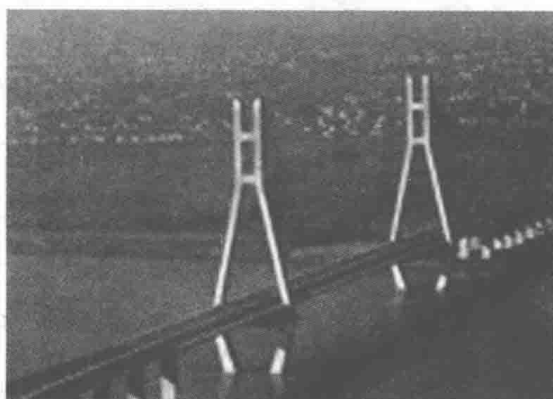


图 1-8 润扬大桥

此外在越来越多的大型桥梁建设中,钢结构发挥了优势,主要结构为悬索桥、斜拉桥、钢桁架桥、钢管混凝土拱桥等(图 1-9—图 1-12)。



图 1-9 钢结构悬索桥

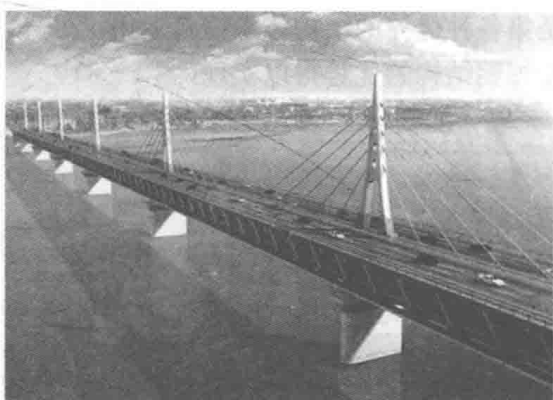


图 1-10 钢斜拉桥

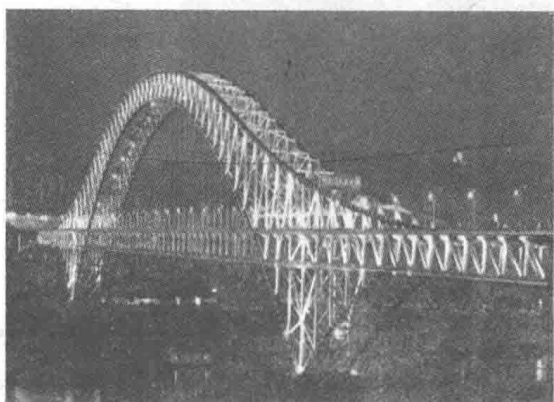


图 1-11 钢桁架桥

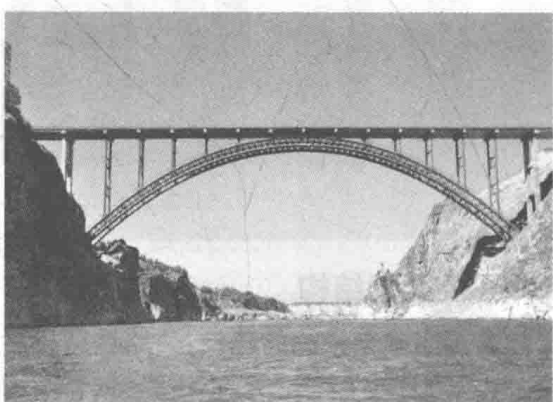


图 1-12 钢管混凝土拱桥

1.1.3 设备钢结构(冶金、石油化工、电力行业)

冶金、煤炭、石油化工及电力等行业通常具有大型设备或者其他特殊要求,钢结构发挥了

重要的作用,例如重型设备支架,电力塔架,传输廊桥等,此外还有大型设备钢结构,例如架桥机的塔架钢结构、起重机的起重大梁、起重机车身等都属于对精密性、材质、连接等要求较高的精密钢结构之一(图 1-13—图 1-17)。

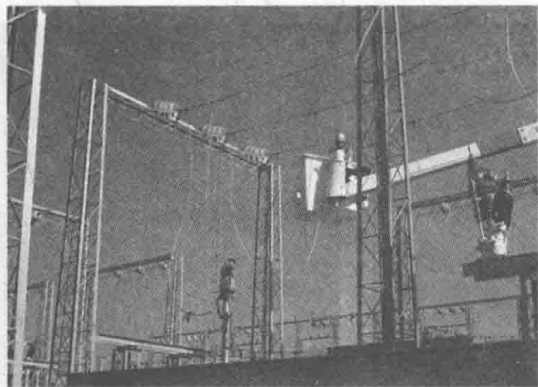


图 1-13 变电站构架

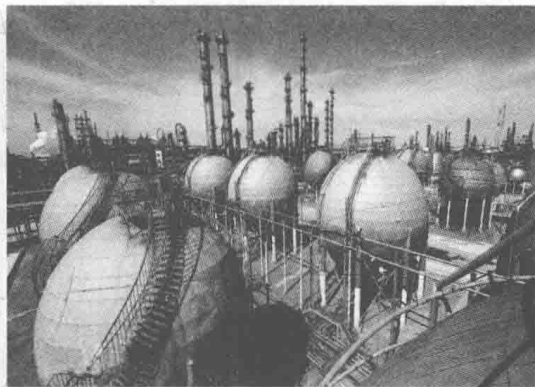


图 1-14 设备储罐

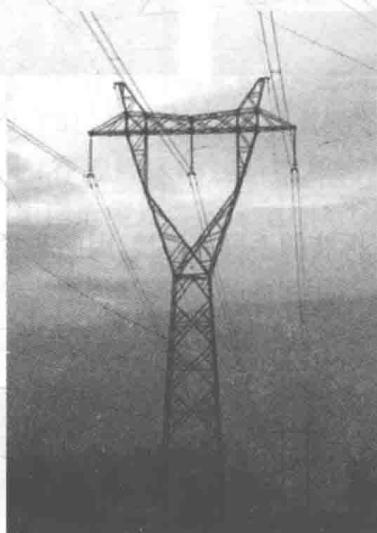


图 1-15 高压输电塔

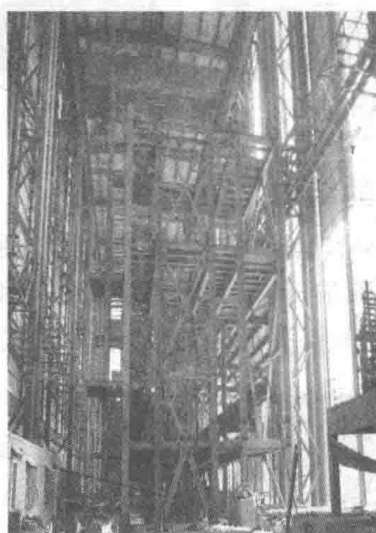


图 1-16 多层钢结构车间

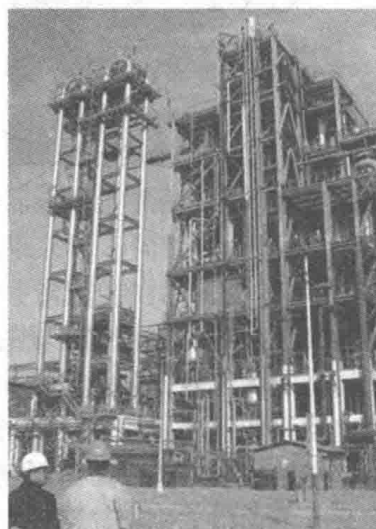
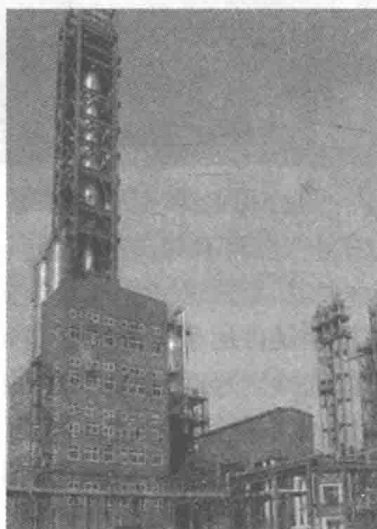


图 1-17 石化公司振动设备塔架

1.1.4 特种钢结构

如图 1-18—图 1-20 所示,主要是塔桅结构或构筑物等采用特种钢结构,这类结构充分发挥了钢结构造型灵活及便于安装的优势。



图 1-18 广州电视塔



图 1-19 东方明珠塔



图 1-20 嘉峪关气象塔

1.1.5 可拆卸的结构

钢结构不仅重量轻,还可以用螺栓或其他便于拆装的手段来连接,因此非常适用于需要搬迁的结构,如建筑工地、油田和需野外作业的生产和生活用房的骨架,钢筋混凝土结构施工用的模板和支架,建筑施工用的脚手架,应急救援的活动式钢桥等也大量采用钢材制作(图 1-21、图 1-22)。



图 1-21 建筑工地脚手架



图 1-22 灾后重建活动桥

1.1.6 轻型钢结构

钢结构由于材料高强而得到综合重量轻的优势不仅可用于大跨度结构,对屋面活荷载特别轻的中小跨度结构也有优越性。因为当屋面活荷载特别轻时,小跨结构的自重也成为一个重要因素。冷弯薄壁型钢的发展应用,使得轻钢结构体系得到了极大地发展应用,而且综合造价明显降低。例如钢屋架在一定条件下的用钢量可比钢筋混凝土屋架的用钢量还少。轻钢结构的结构形式有实腹变截面门式刚架、冷弯薄壁型钢结构(包括金属拱形波纹屋盖)以及薄壁钢管结构等(图 1-23、图 1-24)。



图 1-23 金属拱形波纹屋盖

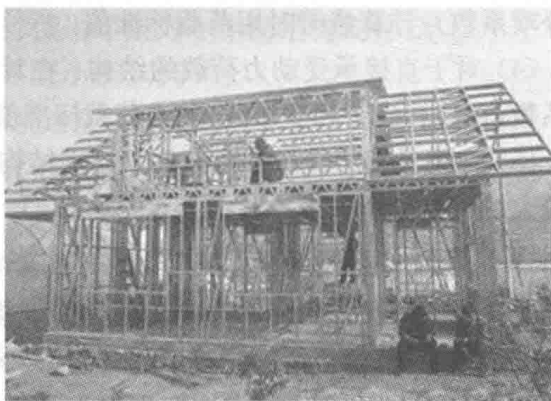


图 1-24 冷弯薄壁型钢别墅

1.2 钢结构的设计方法

1.2.1 设计原则

所有钢结构设计首先要依据现行的国家标准与规程。我国《钢结构设计规范》(GB 50017)的设计原则是根据现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068)制订的。按照钢结构规范设计时,取用的荷载及其组合值应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》(GB 50009)的规定;在地震区的建筑物和构筑物,尚应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》(GB 50011)、《中国地震动参数区划图》(GB 18306)和《构筑物抗震设计规范》(GB 50191)的规定。对有特殊设计要求和在特殊情况下的钢结构设计,尚应符合现行有关国家标准的要求,特殊行业钢结构也应符合行业设计标准。

当设计钢结构时,应从工程实际情况出发,合理选用材料、结构方案和构造措施,满足结构构件在运输、安装和使用过程中的强度、稳定性和刚度要求并符合防火、防腐蚀要求。宜优先采用通用的和标准化的结构和构件,减少制作、安装工作量。

1.2.2 设计方法

《钢结构设计规范》规定,钢结构除疲劳计算外,采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,用分项系数设计表达式进行计算。

承重结构应按下列承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计:

(1) 承载能力极限状态包括:构件和连接的强度破坏、疲劳破坏和因过度变形而不适于继续承载,结构和构件丧失稳定,结构转变为机动体系和结构倾覆。

(2) 正常使用极限状态包括:影响结构、构件和非结构构件正常使用或外观的变形,影响正常使用的振动,影响正常使用或耐久性能的局部损坏(包括混凝土裂缝)。

设计钢结构,应根据结构破坏可能产生的后果采用不同的安全等级。对于一般工业与民用建筑钢结构的安全等级应取为二级,其他特殊建筑钢结构的安全等级应根据具体情况另行确定。对于常用的情况下的组合方式可根据规范按下列要求执行:

(1) 按承载能力极限状态设计钢结构时,应考虑荷载效应的基本组合,必要时尚应考虑荷载效应的偶然组合。

(2) 按正常使用极限状态设计钢结构时,应考虑荷载效应的标准组合,对钢与混凝土组合梁,尚应考虑准永久组合。

(3) 计算结构或构件的强度、稳定性以及连接的强度时用荷载设计值(荷载标准值乘以荷

载分项系数);计算疲劳时用荷载标准值。

(4) 对于直接承受动力荷载的结构:在计算强度和稳定性时,动力荷载设计值应乘以动力系数;在计算疲劳和变形时,动力荷载标准值不乘以动力系数。

(5) 计算吊车梁或吊车桁架及其制动结构的疲劳和挠度时荷载应按作用在跨间内荷载效应最大的一台吊车确定。

1.2.3 荷载和荷载效应计算

设计钢结构时,荷载的标准值、荷载分项系数、荷载组合值系数、动力荷载的动力系数等,应按照国家标准《建筑结构荷载规范》(GB 50009)的规定采用。

结构域的重要性系数应按照国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)规定采用,其中对设计年限为 25 年的结构构件,结构构件,分项系数 γ_0 不应小于 0.95。

支承轻屋面的构件或结构(檩条、屋架、框架),当仅有一个可变荷载且受荷水平投影面积超过 60 mm^2 时,屋面均布活荷载标准值应取为 0.3 kN/mm^2 。

吊车荷载等具体取值参见荷载规范及钢结构规范确定。

结构的计算模型和基本假定应尽量与构件连接的实际性质相符合。结构计算一般按照静力学方法进行弹性分析。符合塑性设计要求的超静定结构可采用塑性分析。采用弹塑性分析的结构中,构件截面允许有塑性变形的发展。

1.2.4 设计表达式

极限状态设计表达式,应根据各种极限状态的设计要求,采用有关的荷载代表值、材料性能标准值、几何参数标准值以及各种分项系数等表达。

荷载分项系数 γ_s (包括永久荷载、可变荷载分项系数 γ_G, γ_Q) 和结构构件抗力分项系数 γ_R 应根据结构功能函数中基本变量的统计参数和概率分布类型,相应的结构构件可靠指标,通过计算分析,并考虑工程经验确定。

考虑到施加在结构上的可变荷载往往不止一种,这些荷载不可能同时达到各自的最大值,因此,还要根据组合荷载效应分布来确定荷载的组合系数 Ψ_{ci} 和 Ψ 。结构重要性系数 γ_0 应按结构构件的安全等级、设计使用年限并考虑工程经验确定。

根据结构的功能要求,进行承载能力极限状态设计时,应考虑作用效应的基本组合,必要时尚应考虑作用效应的偶然组合(考虑如火灾、爆炸、撞击等偶然事件的组合)。

1. 基本组合

在荷载作用效应的基本组合条件下,荷载效应的基本组合按下列设计表达式中的最不利值确定:

(1) 可变荷载效应控制的组合:

$$\gamma_0 (\gamma_G \sigma_{G_k} + \gamma_{Q_1} \sigma_{Q_{1k}} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Q_i} \Psi_{ci} \sigma_{Q_{ik}}) \leqslant f \quad (1-1)$$

(2) 永久荷载效应控制的组合:

$$\gamma_0 (\gamma_G \sigma_{G_k} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Q_i} \Psi_{ci} \sigma_{Q_{ik}}) \leqslant f \quad (1-2)$$

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;
对使用年限为 25 年的结构构件,不应小于 0.95;

σ_{G_k} ——永久荷载标准值在结构构件截面或连接中产生的应力;

$\sigma_{Q_{1k}}$ ——起控制作用的第 1 个可变荷载标准值在结构构件截面或连接中产生的应力
(该值使计算结果为最大);

$\sigma_{Q_{ik}}$ ——其他第 i 个可变荷载标准值在结构构件截面或连接中产生的应力;

γ_G ——永久荷载分项系数,当永久荷载效应对结构构件的承载能力不利时取 1.2;当永久荷载效应对结构构件的承载能力有利时,取为 1.0;验算结构倾覆、滑移或漂浮时取 0.9;

$\gamma_{Q_1}, \gamma_{Q_i}$ ——第 1 个和其他第 i 个可变荷载分项系数,当可变荷载效应对结构构件的承载能力不利时取 1.4(当楼面活荷载大于 4.0 kN/m^2 时,取 1.3),有利时取为 0;

Ψ_{ci} ——第 i 个可变荷载的组合系数,可按荷载规范的规定采用;

Ψ ——简化式中采用的荷载组合值系数,一般情况下可采用 0.9;当只有一个可变荷载时,取为 1.0;

f ——钢材或连接的强度设计值,对钢材为屈服点 f_y 除以抗力分项系数 γ_R 的商。如 Q235 钢抗拉强度设计值 $f = f_y / 1.087$;对于端面承压和连接则为极限强度 f_u 除以抗力分项系数 γ_{Ru} ,即 $f = f_u / \gamma_{Ru}$ 。

2. 偶然组合

对于偶然组合,极限状态设计表达式宜按下列原则确定:偶然作用的代表值不乘分项系数;与偶然作用同时出现的可变荷载,应根据观测资料和工程经验采用适当的代表值,具体的设计表达式及各种系数,应符合专门规范的规定。

1) 正常使用极限状态表达式

对于正常使用极限状态,按《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068—2001 的规定要求分别采用荷载的标准组合、频遇组合和准永久组合进行设计,并使变形等设计值不超过相应的规定限值。

钢结构只考虑荷载的标准组合,其设计式为:

$$\nu_{G_k} + \nu_{Q_{1k}} + \sum_{i=2}^n \Psi_{ci} \nu_{Q_{ik}} \leq [\nu] \quad (1-3)$$

式中 ν_{G_k} ——永久荷载的标准值在结构或结构构件中产生的变形值;

$\nu_{Q_{1k}}$ ——起控制作用的第 1 个可变荷载的标准值在结构或结构构件中产生的变形值
(该值使计算结果为最大);

$\nu_{Q_{ik}}$ ——其他第 i 个可变荷载的标准值在结构或结构构件中产生的变形值;

$[\nu]$ ——结构或结构构件的变形容许值。GB 50017 规范规定的变形容许值参见本规范。

1.3 钢结构设计课程特点及学习建议

随着钢结构产业的发展,钢结构将成为 21 世纪建筑的主流结构。钢结构设计课程是一门理论性和实践性都很强的课程,相关内容极其丰富。面对大量的新概念,初学者难免感到比较抽象,觉得很难,再加上钢结构的构造比较复杂,使得学生一开始对学习钢结构存在“畏难”心