



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

新世纪土木工程系列教材

钢结构设计

张耀春 主 编

周绪红 副主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

ISBN 978-7-04-020217-5



9 787040 202175 >

定价 29.00 元



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

主要内容

新世纪土木工程系列教材

钢结构设计

张耀春 主编

周绪红 副主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容提要

本书为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”，内容丰富、系统、理论联系实际。

本书着重讲述各种用途的钢结构，包括钢—混凝土组合结构、多层与高层钢结构、大跨度房屋钢结构、门式刚架轻型钢结构和钣结构的组成、结构形式、受力和设计特点。各章均编入较详细的设计例题，并在书后附有较丰富的参考文献，供读者参考。

本书可作为土木工程专业本科生教材，也可作为有关科研人员和工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构设计/张耀春主编. —北京：高等教育出版社，2007.1

ISBN 978-7-04-020217-5

I. 钢... II. 张... III. 钢结构—结构设计—高等学校—教材 IV. TU391.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 147344 号

策划编辑	赵湘慧	责任编辑	赵湘慧	封面设计	王 睢	责任绘图	尹文军
版式设计	王艳红	责任校对	张 颖	责任印制	尤 静		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京铭成印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 23.25
字 数 560 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2007 年 1 月第 1 版
印 次 2007 年 1 月第 1 次印刷
定 价 29.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 20217-00

教育部高等教育出版社土建类系列教材

编辑委员会委员名单

主任委员：沈蒲生(湖南大学)

副主任委员：(按姓氏笔画排序)

白国良(西安建筑科技大学)

邹超英(哈尔滨工业大学)

周绪红(兰州大学)

强士中(西南交通大学)

委 员：(按姓氏笔画排序)

卫 军 (华中科技大学)

王清湘 (大连理工大学)

江见鲸 (清华大学)

刘 明 (沈阳建筑大学)

张印阁 (东北林业大学)

吴胜兴 (河海大学)

杨和礼 (武汉大学)

周 云 (广州大学)

梁兴文 (西安建筑科技大学)

焦兆平 (广州大学)

霍 达 (北京工业大学)

王 健 (北京建筑工程学院)

叶志明 (上海大学)

关宝树 (西南交通大学)

朱彦鹏 (兰州理工大学)

张家良 (辽宁工学院)

沙爱民 (长安大学)

尚守平 (湖南大学)

赵明华 (湖南大学)

黄醒春 (上海交通大学)

廖红建 (西安交通大学)

出版者的话

新世纪土木工程系列教材是我社组织编写出版的“大土木”范畴的专业系列教材。1998年教育部颁布了新修订的《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》，新专业目录中土建类土木工程专业覆盖了原来建筑工程和交通土建工程等8个专业。1999年各高校已按新的专业目录招生。开设土木工程专业的各院校把近年来在教育思想与教学观念、教学内容与课程体系、教学方法与教学手段等方面取得的改革成果固化到教学计划和人才培养过程中，设计了从教学思想到教学模式等一系列教学改革方案。大家在教学实践中体会到：专业、课程教学改革必然引起相应的教材改革。我社从1999年开始进行土木工程专业系列教材的策划工作，并于2000年成立了“教育部高等教育出版社土建类系列教材编委会”。

我们编辑出版土木工程系列教材的指导思想是：

1. 紧密结合人才培养模式改革，根据拓宽专业基础、提高综合素质、增强创新能力的要求，调整学生的知识结构。

2. 从各院校调整土建类各专业教学计划出发，加强基础课程到专业课程的有机沟通，用系统的观点和方法建立新的课程体系结构，包括对课程的整合与集成，组织和建设专业核心课程，成套成系列地推出土木工程系列教材。

3. 各门课程教材要具有与本门学科发展相适应的学科水平，以科技进步和社会发展的最新成果充实、更新教材内容，贯彻理论联系实际的原则。

4. 要正确处理继承、借鉴和创新的关系，不能简单地以传统和现代划线，决定取舍，而应根据教学要求进行取舍。继承、借鉴历史和国外的经验，注意研究结合我国的现实情况，择善而从，消化创新。

5. 随着高新技术、特点是数字化和网络化技术的发展，在土木工程系列教材建设中，要充分考虑文字教材与音像、电子、网络教材的综合发展，发挥综合媒体在教学中的优势，提高教学效率。在开发研制教学软件的同时，要注意使文字教材与先进的软件接轨，明确不同形式教材之间的关系是相辅相成、相互补充的。

6. 坚持质量第一。图书是特殊的商品，教材是特殊的图书。教材质量的优劣直接影响教学质量和教学秩序，最终影响学校人才培养的质量。教材不仅具有传播知识、服务教育、积累文化的功能，也是沟通作者、编辑、读者的桥梁，一定程度上还代表着国家学术文化或学校教学、科研水平。因此，遴选作者、审订教材、贯彻国家标准和规范等方面需严格把关。

为了实现本套教材的指导思想，我们组建了由有丰富的教学经验、有较高的学术水平和学术声望的教师组成的编委会，由编委会研究提出土木工程系列教材的选题及其基本内容与编审原则，并推荐作者。

我们出版本系列教材，旨在为新世纪的土木工程专业学生提供一套经过整合优化的比较系统的专业系列教材，以期为我国的土木工程专业教材建设贡献自己的一份力量。

本系列教材第1版出版之后,在教学实践基础上,将组织修订出版第2版、第3版,希望在不断修订过程中更新内容、消除疏漏,更加适应教学需要。

本系列教材的编写大纲和初稿、修订稿都经过了编委会的审阅,以求教材质量更臻完善。如有疏漏之处,请读者批评指正!

高等教育出版社

建筑与力学分社

2006年3月

前 言

近年来,我国钢产量的持续增长,为钢结构在各个领域的应用和发展提供了坚实的物质基础,各种各样的钢结构工程在祖国各地建成并投入使用。为了适应我国基本建设事业对钢结构技术人才的需求,在大学土木类专业中应适当增加钢结构的教学内容。为此,在《钢结构设计原理》教材之后,编写了本教材。

本教材从“大土木”的专业要求出发,按土木工程中不同用途的钢结构类别分章编写而成。各章内容相对独立,以介绍各种用途钢结构的组成、结构形式、受力和设计特点为主,兼顾各相应标准的简单介绍,每章编入较详细的设计例题,以适应不同课群组的要求。

本书可作为土木工程专业本科生的专业课教材,也可作为钢结构技术工作者和土建人员的学习参考用书。

参加本书编写的人员有:哈尔滨工业大学张耀春(主编,第1、2章)、范峰(第4章)、张文元(第6章),兰州大学周绪红(副主编,第3章),湖南大学舒兴平(第5章)。湖南大学贺拥军教授复核计算了第3章多、高层钢结构设计例题。全书由张耀春统稿,由哈尔滨工业大学钟善桐教授主审。

在本书编写过程中,得到了高等教育出版社建筑与力学分社和土建类系列教材编委会的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。另外,哈尔滨工业大学研究生于海丰、赵金友协助主编整理了部分书稿,在此深表谢意。

将不同用途的钢结构类别汇集在一本教材,是初次尝试,限于编者水平,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2006年11月

目 录

第1章 概述 1

1.1 钢结构的应用、组成和主要结构形式 1

1.1.1 钢结构的应用 1

1.1.2 钢结构的组成 1

1.1.3 钢结构的主要结构形式 2

1.2 钢结构的整体工作性能 2

1.2.1 钢结构的受力和变形性能 2

1.2.2 钢结构的整体稳定 4

1.2.3 钢结构的动力性能 5

1.3 钢结构的设计方法 6

1.3.1 钢结构的计算方法 6

1.3.2 规范在钢结构设计中的应用 6

1.3.3 钢结构设计文件的编制 7

1.4 学习本课程的建议 7

第2章 钢—混凝土组合结构 8

2.1 钢—混凝土组合结构的特点与应用 8

2.1.1 钢—混凝土组合结构的特点 8

2.1.2 钢—混凝土组合结构的发展与应用 10

2.2 钢—混凝土组合梁设计 13

2.2.1 一般规定 13

2.2.2 组合梁强度设计 15

2.2.3 抗剪连接件的计算 20

2.2.4 挠度计算 23

2.2.5 构造要求 25

2.3 钢管与型钢混凝土结构的性能和设计特点 26

2.3.1 钢管混凝土结构的性能和设计特点 26

2.3.2 钢管混凝土结构设计标准

简介 28

2.3.3 钢管混凝土结构典型的梁柱节点构造简介 40

2.3.4 型钢混凝土组合结构的性能和设计特点 44

2.4 组合结构设计例题 47

2.4.1 设计资料 47

2.4.2 次梁 B1 设计 48

2.4.3 主梁 B2 设计 56

2.4.4 钢管混凝土柱 Z1 设计 60

2.4.5 工作平台梁柱构造图 62

第3章 多层与高层钢结构 63

3.1 结构的平面和立面布置原则 63

3.1.1 结构的平面布置原则 63

3.1.2 结构的立面布置原则 65

3.2 多、高层钢结构的结构体系工作特点及其应用范围 67

3.2.1 框架结构 67

3.2.2 框架—支撑结构 68

3.2.3 筒体结构 72

3.2.4 巨型结构 73

3.3 结构的内力分析特点 76

3.3.1 荷载与作用 76

3.3.2 结构建模的一般原则 79

3.3.3 静力计算方法 80

3.3.4 稳定性验算 82

3.4 高层钢结构抗震和抗风设计特点 83

3.4.1 高层钢结构抗震设计特点 83

3.4.2 高层钢结构抗风设计特点 87

3.5 构件和节点的设计特点 89

3.5.1 构件设计 89

3.5.2 节点及连接的设计 94

3.6 多、高层钢结构设计例题	98	4.4.2 悬索结构分析的有限单元法	217
3.6.1 设计资料	98	4.4.3 悬索结构的动力特性及抗震抗风分析	225
3.6.2 结构选型	99	4.4.4 悬索结构的强度和刚度校核	229
3.6.3 结构布置	99	4.4.5 钢索的锚固及连接节点	230
3.6.4 荷载计算	102	4.5 网壳结构设计例题	249
3.6.5 水平荷载作用下结构侧移计算	110	4.5.1 设计条件	249
3.6.6 内力计算	113	4.5.2 结构选型	249
3.6.7 内力组合	128	4.5.3 屋盖结构计算	249
3.6.8 构件截面验算	128	4.5.4 杆件及节点设计	252
3.6.9 节点设计	134	4.5.5 支座节点设计	252
3.6.10 施工图(略)	140	4.5.6 施工图绘制	253
第4章 大跨度房屋钢结构	141	第5章 门式刚架轻型钢结构	256
4.1 大跨度房屋钢结构的组成及布置原则	141	5.1 门式刚架轻型钢结构的组成及布置	256
4.2 大跨度房屋钢结构的形式和受力特点	157	5.1.1 门式刚架轻型钢结构的组成	256
4.2.1 网架结构的形式和受力特点	157	5.1.2 门式刚架轻型钢结构的布置	257
4.2.2 网壳结构的分类	163	5.2 变截面门式刚架的内力分析和变形计算	259
4.2.3 球面网壳的网格划分和受力特点	166	5.2.1 门式刚架的计算简图	259
4.2.4 柱面网壳的网格划分和受力特点	170	5.2.2 门式刚架的荷载计算	260
4.2.5 双曲抛物面网壳的网格划分和受力特点	173	5.2.3 门式刚架的内力计算及荷载组合	262
4.2.6 悬索结构的形式和受力特点	173	5.2.4 门式刚架的变形计算	266
4.3 网架与网壳结构的设计特点	185	5.3 变截面梁、柱构件的设计特点	269
4.3.1 荷载、作用与效应组合	185	5.3.1 门式刚架梁、柱截面板件的最大宽厚比和有效宽度	269
4.3.2 计算原则	195	5.3.2 抗剪强度计算	270
4.3.3 网壳结构的稳定性	196	5.3.3 抗弯强度计算	271
4.3.4 杆件的设计与构造	200	5.3.4 加劲肋设置	271
4.3.5 主要几何尺寸的确定	202	5.3.5 刚架梁的验算	272
4.3.6 网架与网壳结构的节点与支座设计	203	5.3.6 刚架柱的验算	272
4.4 悬索结构的设计特点	212	5.4 端板节点设计特点	274
4.4.1 钢索及其基本受力性能	212	5.5 变截面单跨门式刚架设计例题	277

5.5.1 设计资料	277	6.2.2 立式圆柱形贮液罐的材料 选择	314
5.5.2 结构平面及支撑布置	278	6.2.3 立式圆柱形贮液罐的尺寸选择 和荷载	316
5.5.3 荷载计算	279	6.2.4 罐壁设计	319
5.5.4 内力计算及组合	283	6.2.5 罐底设计	325
5.5.5 刚架梁、柱截面验算	288	6.2.6 罐顶设计	327
5.5.6 位移验算	295	6.3 料仓和料斗的构造和设计要点	333
5.5.7 节点设计	295	6.3.1 概述	333
5.5.8 刚架施工图	299	6.3.2 料仓和料斗荷载	334
第6章 钣结构	301	6.3.3 料仓仓壁设计	337
6.1 钣结构的种类和受力特点	301	6.3.4 料斗结构设计	339
6.1.1 钣结构的种类	301	6.4 压力容器的构造和设计要点	341
6.1.2 钣结构的特点	301	6.4.1 概述	341
6.1.3 钣结构计算的回转薄壳 理论	302	6.4.2 压力容器的分类与典型结构 形式	341
6.1.4 几种典型轴对称回转薄壳的 薄膜内力	307	6.4.3 压力容器用钢	344
6.1.5 轴对称回转薄壳的边缘 效应	310	6.4.4 压力容器的设计	348
6.2 立式储液罐的构造与设计特点	310	6.5 浮顶式贮液罐设计例题	351
6.2.1 贮液罐的基本特点	310	参考文献	356

第1章

概述

1.1 钢结构的应用、组成和主要结构形式

1.1.1 钢结构的应用

与砖石、钢筋混凝土和木结构等相较,钢结构的工作性能最受肯定,结构本身也较为轻便,生产和制作工业化程度高,安装快捷,因此跨度或高度较大的建筑物或构筑物,以及需要快速建造或拆卸的工程结构,大多都采用钢结构。

近年来,随着我国经济建设的不断发展以及钢产量的不断提高,钢结构在我国建设事业中的应用范围也在不断扩大。除传统的采用大型截面和厚板的高层、大跨、厂房和桥梁等重钢结构之外,采用轻型屋面和墙面等围护体系的轻钢结构,诸如门式刚架轻钢结构,冷弯薄壁型钢结构,直接焊接管结构,多层建筑骨架、网架和网壳结构,悬索和悬挂结构,拱形金属波纹屋盖等也得到了快速发展。适合我国国情的钢与混凝土的组合结构,包括组合楼盖、钢管混凝土结构和钢骨混凝土结构也取得了长足的进展。此外,随着电视、通讯、电力、石油以及仓储事业的发展,高耸塔桅结构及钣结构也得到了普遍的应用。

1.1.2 钢结构的组成

任何形式的钢结构都是由基本构件通过节点连接而成的。

钢结构的基本构件包括轴心受力构件、柔性拉索、受弯构件、拉弯和压弯构件、薄板和薄壳等;对于钢与混凝土的组合结构,还包括钢与混凝土组合板、钢与混凝土组合梁、钢管混凝土柱和型钢混凝土构件等。

除柔性拉索、板壳和钢与混凝土组合构件外,钢结构的其它基本构件的截面形式、受力特点、设计方法、基本构造要求等,均已在《钢结构设计原理》^①一书中做了详细介绍。有关拉索、板壳以及钢与混凝土的组合构件等内容将在本书相关章节中介绍。

根据被连接构件间的传力和相对变形性能,钢结构的节点分为刚接、半刚接和铰接节点三类。每类节点均可通过焊接、普通螺栓或高强度螺栓连接,采用不同的构造形式构成。这些内

^① 张耀春主编,周绪红副主编. 钢结构设计原理[M]. 北京:高等教育出版社,2004.

容大部分均在《钢结构设计原理》中介绍过。某些特殊节点构造,将在本书相关章节中介绍。

1.1.3 钢结构的主要结构形式

众所周知,结构是建筑物、构筑物等的受力骨架,由基本构件和连接构成。根据结构的受力特点不同,可分为二种结构体系——平面结构体系和空间结构体系。

工程中应用最多的梁、板、柱体系大多为平面结构体系,如工业厂房中的横向框架、变截面门式刚架,房屋建筑中的多跨多层刚架,以及大跨结构中的梁式桁架体系、拱式体系、单向悬索或悬挂体系等。平面结构体系构造简单,传力直接、明确;易于实现标准化、定型化,可简化制作、安装,加快施工进度。缺点是形式单调;空间整体性差,需在受力平面外设置支撑系统;某些平面结构形式经济性较差等。但由于其前述的优点,目前仍然是应用最多的结构体系。

空间结构是指具有三维受力特性并呈空间工作状态的结构。如在大跨房屋中目前应用较多的平板网架、网壳和空间悬索结构,在高层建筑中采用的各种筒式结构体系,以及近年来发展起来的张拉整体结构和索膜结构等。空间结构体系较平面结构体系传力合理、均匀,结构的整体性强,可以减少甚至省掉支撑结构,有效地节省钢材;空间结构形式多样,较易于满足使用功能和建筑造型的要求。缺点是某些空间结构形式较难于实现标准化、定型化,制作和安装的难度大;空间结构的受力分析比平面结构复杂,计算与设计工作量大等。

面对一个具体的设计对象,结构工程师的责任是积极主动的配合建筑师去选择一个经济合理的结构方案,即选择一个可行的结构形式和结构体系,使其具有尽可能好的结构性能、经济效果和建造速度。

与《钢结构设计原理》以构件和节点的设计方法为主不同,本书的重点在于对不同结构体系的工作性能和设计方法的介绍。所涉及的结构种类包括高层钢结构、大跨钢结构、门式刚架轻型钢结构、钢—混凝土组合结构和板结构等。希望通过本书的学习,读者能在结构选型和设计方法方面打下较好的基础。

1.2 钢结构的整体工作性能

1.2.1 钢结构的受力和变形性能

钢结构的工作性能与其组成构件的受力特点和节点的构造形式有密切的关系,现以多层钢结构为例说明如下。

图1.1a为刚接框架结构在水平荷载下的受力和变形特点。由图中可见,其主要受力构件——梁和柱均以弯曲变形为主,框架结构各层间的相对侧移因各层的水平剪力不同,自底层向上逐层减少,类似于剪切变形为主的悬臂杆的变形(图1.1b),因此纯框架的整体变形以剪切变形为主。由于各主要受力构件的变形以弯曲变形为主,因此构件材料的利用效率较低,结构体系的整体侧向刚度较小。虽然该种体系构造简单,受力明确,各层刚度分布均匀,延性较好,自振周期较长,有利于抗震,但受变形控制,不宜用于高度超过30层的建筑中。

图1.2a为竖向支撑框架结构在水平荷载下的受力和变形特点。由图中可见,其主要受力

构件——梁、柱和支撑构件均以承受轴向力为主，构件的变形也以轴向变形为主，由于竖向构件的拉、压变形的累加作用，支撑框架结构的层间侧向位移由底层向上逐层加大，类似于弯曲变形为主的悬臂杆的变形(图 1.2b)，因此支撑框架结构的整体变形以弯曲变形为主。由于各主要受力构件的变形以轴向受力为主，因此构件的材料利用效率较高，结构体系的整体刚度较大，可用于较高的高耸和高层建筑中。但由于其侧向刚度较大，结构的自振周期较短，延性较差，不利于在地震烈度较高的地区使用。

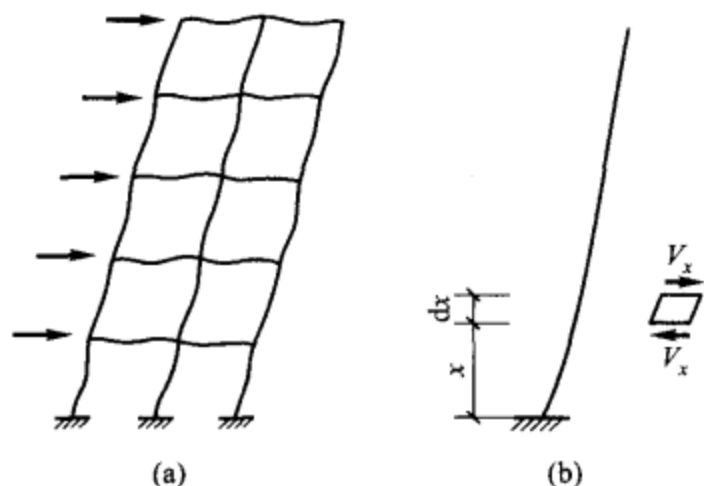


图 1.1 纯框架结构的受力和变形特点

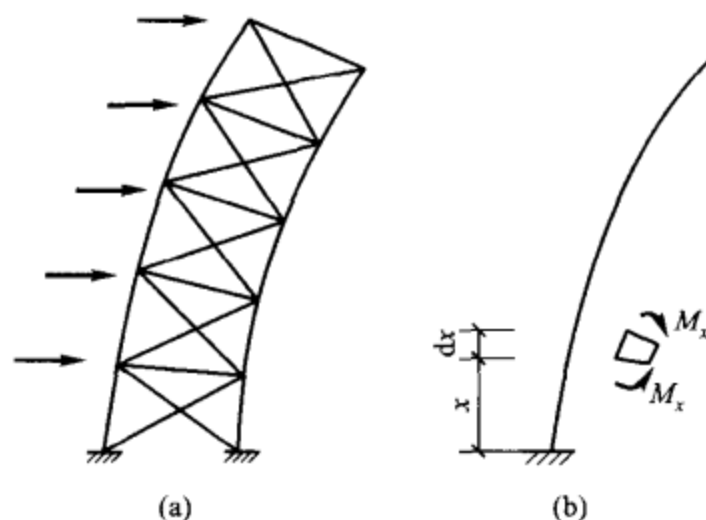


图 1.2 支撑框架结构的受力和变形特点

图 1.3a 为框架—支撑结构在水平荷载下的受力和变形特点，类似结构的计算简图见图 3.14。由图 1.1 和 1.2 中可见，作为体系中的竖向支撑框架部分的整体变形以弯曲变形为主，纯框架部分的整体变形以剪切变形为主，两部分的变形是不协调的。但由于水平刚度很大的楼板的的存在，使这两部分在楼板处的变形必须相同，于是在该处的两部分之间产生了相互作用力，将整个体系的变形协调成为介于弯曲和剪切变形之间的下弯上剪的变形，也称为弯剪变形。从图 1.3b 可以看出，由于楼板处的相互作用，使结构体系下部楼层的剪力大部分由竖向支撑框架承担，纯框架只承受很小的部分；而在结构体系的上部，全部楼层剪力外加竖向支撑框架的负剪力都由纯框架部分承担，这正是整个体系呈下弯上剪变形(即弯剪变形)的原因。

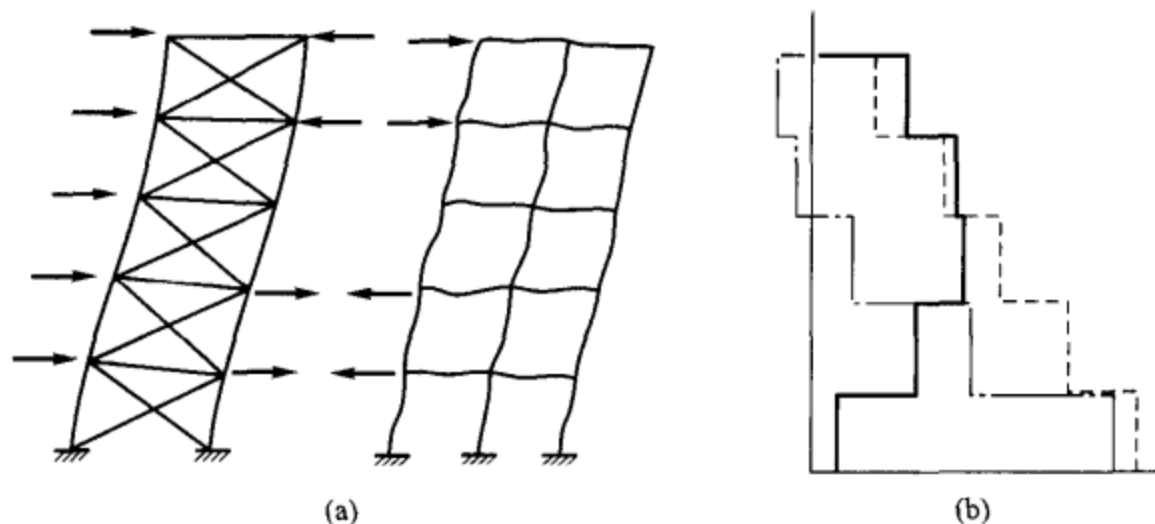


图 1.3 框架—支撑结构的受力和变形特点

(a) 两部分的协同变形；(b) 层剪力分布(图中虚线代表总剪力；实线代表框架所受剪力；点划线代表竖向支撑框架所受剪力)

该种体系的侧向刚度较大,在水平风荷载下,对减小结构的水平位移和改善结构的内力分布是有利的,适用于层数较多的高层建筑。但由于其下层的支撑构件受力较大,在地震作用下一旦失效,将在该层形成薄弱层而危及结构安全,因此在地震烈度较大的地区,宜采用偏心支撑或防屈曲耗能支撑代替中心支撑。

上述的概略分析,仅作为引导读者研究不同结构体系整体工作性能内在规律的方法举例,有关其他结构体系的性能,详见以下各章,此处不再赘述。

1.2.2 钢结构的整体稳定

由于钢构件通常较为柔细,由这些构件组成的整体结构的柔度也较大,因此钢结构的整体稳定问题较为突出,历史上曾发生过不少事故,应引起足够的重视。

结构的整体失稳破坏是指结构在外荷载作用下尚未达到其强度破坏承载力之前,在某一微小的荷载或几何干扰下,结构偏离了原来的平衡位置,而且即使去掉这些干扰,结构也不能恢复到其原先的平衡位置,甚或继续变形直至倒塌破坏的现象。

结构的整体稳定性能,可以从考虑几何和材料双重非线性的结构分析中得到的荷载一位移全过程曲线看得十分清楚。由全过程分析(也称为高等分析)给出的结构承载能力,将同时满足整个体系和它的组成构件的强度和稳定性要求,可完全抛开大家已熟悉的计算长度和单个构件验算的概念,对结构进行直接的分析设计。但目前只能对某些较为简单的结构体系开展高等分析和设计。

目前,考虑钢结构稳定问题的基本方法仍然是传统的计算长度方法。该方法的步骤是:采用一阶分析求解结构内力,按各种荷载组合求出各杆件的最不利内力;按第一类弹性稳定问题建立结构达到临界状态时的特征方程,确定各压杆的计算长度;将各杆件隔离出来,按单独杆件的受力特点进行构件的强度和稳定承载力验算,验算中考虑弹塑性、残余应力和几何缺陷的影响。该方法的最大的特点是采用计算长度系数来考虑结构体系对被隔离出来的构件的影响,当各构件均满足稳定性要求时,结构体系的稳定性自然就满足了,计算比较简单。

在《钢结构设计原理》中,已给出了某些简单边界条件下压杆的计算长度系数。本节将以多层多跨框架整体稳定问题的简化特征值分析结果为例,说明计算长度系数的确定方法。

多层多跨框架在节点竖向荷载作用下的失稳模式有两种:对称失稳模式和侧移失稳模式。图1.4给出了框架侧移受到约束时的对称失稳模式,图1.5给出了无支撑框架的侧移失稳模式。

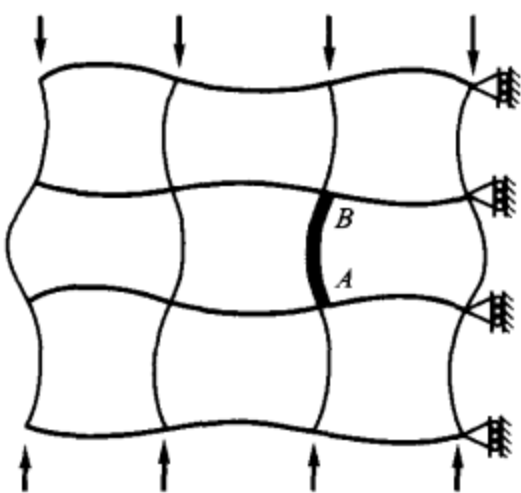


图 1.4 无侧移框架的失稳模式

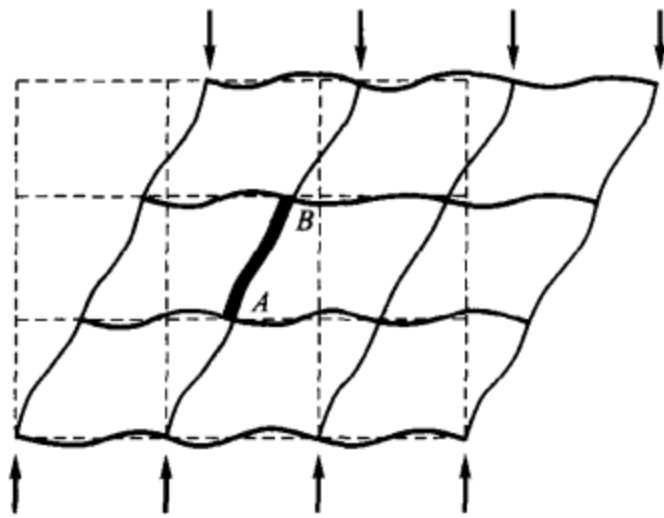


图 1.5 有侧移框架的失稳模式

在推导框架结构稳定问题的特征方程时,做了如下的基本假设:

① 组成框架的杆件均为无缺陷的等截面直杆,并为线弹性体。

② 框架只承受节点上的竖向荷载作用,且始终按比例加载。

③ 所有柱子同时在框架平面内失稳,当柱子开始失稳时,假设相交于柱子上下两端节点的横梁对柱子提供的约束弯矩(不平衡弯矩),按其于上下两端节点柱的线刚度之和的比值 K_1 和 K_2 分配给柱子。其中 K_1 是相交于柱上端节点的横梁线刚度之和与柱线刚度之和的比值; K_2 为相交于柱下端节点的横梁线刚度之和与柱线刚度之和的比值。

④ 在无侧移失稳时,横梁两端的转角大小相等,方向相反;在有侧移失稳时,横梁两端转角不但大小相等,而且方向亦相同。

由此推导得到的无侧移框架柱计算长度系数 μ 值的计算公式为

$$\left[\left(\frac{\pi}{\mu} \right)^2 + 2(K_1 + K_2) - 4K_1K_2 \right] \frac{\pi}{\mu} \cdot \sin \frac{\pi}{\mu} - 2 \left[(K_1 + K_2) \left(\frac{\pi}{\mu} \right)^2 + 4K_1K_2 \right] \cos \frac{\pi}{\mu} + 8K_1K_2 = 0 \quad (1.2.1)$$

有侧移框架柱计算长度系数 μ 值的计算公式为

$$\left[36K_1K_2 - \left(\frac{\pi}{\mu} \right)^2 \right] \sin \frac{\pi}{\mu} + 6(K_1 + K_2) \frac{\pi}{\mu} \cdot \cos \frac{\pi}{\mu} = 0 \quad (1.2.2)$$

GB 50017—2003《钢结构设计规范》根据以上两式计算出了两种失稳模式的计算长度系数 μ 值表,可根据 K_1 、 K_2 经内插查得 μ 值。《钢结构设计原理》的附表 6.1 和 6.2 亦给出了这两个表格。《钢结构设计规范》还给出了有关强、弱支撑框架的概念和相应的计算方法。

对网壳结构等具有很高几何非线性的结构体系,采用结构特征值的线性分析方法求解体系的稳定问题,通常会过高估计结构的稳定承载能力。此时,可以采用仅考虑几何非线性的全过程分析方法来研究具体结构体系的稳定问题,通过大量的参数分析,回归整理出实用的计算方法,如本书第 4 章有关网壳结构的稳定问题就是这样处理的。

1.2.3 钢结构的动力性能

结构体系的动力特性包括自振周期、振型和阻尼三部分,主要与结构体系的质量和刚度分布有关。由于钢结构的刚度较钢筋混凝土结构小,因此自振周期较长,其阻尼也较小,在进行风振和地震反应分析时,要充分考虑这些性能。

脉动风常会引起周期较长的高柔结构和悬索结构的较大风振反应,由于风振问题的复杂性,目前只有顺风向的风振计算问题得到一定程度的解决,一般采用随机振动理论进行分析。对于悬臂型结构,在满足一定要求的基础上,其顺风向的风振可通过相应的风振系数来考虑。而有关气流流过结构产生的漩涡脱落引起的横风向风振问题,只有圆柱形截面的结构得到了解决。对于非圆形截面的结构,宜通过空气弹性模型的风洞试验来确定。

地震引起的结构动力反应,除和结构自身的动力特性有关之外,还与地震时建筑场地的地面运动特性有关,即与地震动的强度(如地面加速度、速度、位移等的幅值大小)、频谱特性和持时有关。这些因素主要和地震的震级、震源所在位置、深度以及场地土的特征周期有关。目前结构的地震反应分析方法主要有反应谱理论与时程分析法二类。前者属于拟静力法,通过反应谱曲线将地震的动力作用折算成静力作用,采用底部剪力法或振型分解反应谱法进行计算,

过程比较简单,目前大多数结构的地震反应分析都应用该法。时程反应分析属于直接动力方法,要选用与场地特征相似的实际强震记录和人工模拟的加速度时程曲线,作为地震波输入进行分析。

由于建筑结构、构筑物等的抗震经验和研究基础不同,即使是同一种反应谱理论也有很大差别,在进行具体钢结构体系的地震反应分析时,要给予足够的重视。

例如我国的 GB 50011—2001《建筑抗震设计规范》和 JGJ 99—1998《高层民用建筑钢结构技术规程》,都是以多遇地震为主进行抗震计算的,即要求结构小震不坏,大震不倒,中震可修,但是所用的地震影响系数曲线(反应谱曲线)并不相同。又如我国的 GB 50191—1993《构筑物抗震设计规范》和 GB 50341—2003《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》都是以设防烈度地震(设计基本地震)为主进行抗震计算的,但所使用的地震影响系数曲线(或动力放大系数曲线)也不相同。因此在进行不同钢结构体系的抗震分析时,必须采用相应的反应谱曲线,不能相互套用。

1.3 钢结构的设计方法

1.3.1 钢结构的计算方法

目前我国采用的钢结构计算方法主要有二种,一种是《钢结构设计规范》所采用的以概率理论为基础的一次二阶矩极限状态设计法,已在《钢结构设计原理》中做过详细介绍,此处不再重复。另一种是以结构的极限状态为依据,在进行多系数分析的基础上,用单一安全系数表达的容许应力(或许用应力)设计法,如我国 GB 50341—2003《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》和 GB 150—1998《钢制压力容器》都采用了这一方法。由于容许应力中已考虑了包括荷载的变异在内的安全系数,在进行结构的反应分析时,只能采用标准荷载,不能再考虑荷载分项系数了。因此在进行不同结构体系的设计时,必须采用相关规范的计算方法。

1.3.2 规范在钢结构设计中的应用

目前我国同时存在两种性质的规范,一种是由国家行政部门组织编制的带有强制性的标准,一种是由工程建设标准化协会(属专业性社会团体)组织编制的推荐性标准。强制性标准必须执行,根据是否严格执行了标准的规定,来追究事故的责任。推荐性标准的条文是否执行,由设计者掌握选择权,不要求强制执行。但不管是什么性质的标准,都是由资深的专业人员,经过总结国内外的实践经验和研究成果(包括编制人员的研究成果)编制出来的,代表了各相关领域经过实践考验的成熟的科学技术成果和经验总结。这些标准的制定在贯彻执行技术经济政策、节约钢材、确保钢结构工程质量和安全、促进钢结构的技术进步等方面都起了十分重要的作用。

但是必须指出,由于我国相关标准的修订工作不同步,目前有些规范和规程还处于修订过程中,给设计工作带来不便。例如本书的多层和高层钢结构的内容就是仍按现行的 JGJ 99—1998《高层民用建筑钢结构技术规程》编写的,内容比较陈旧,有些部分还和新修订的相关规范有矛盾,这些问题只好留待上述标准修订后再来解决。