

高等学校 **土木工程专业** 教材

GAODENG XUEXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE JIAOCAI

多高层房屋钢结构 设计与实例

郑廷银 ■ 编著

DUOGAOCENG FANGWU
GANGJIEGOU SHEJI YU SHILI



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

高等学校 土木工程专业教材

GAODENG XUEXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE JIAOCAI

多高层房屋钢结构 设计与实例

郑廷银 ■ 编著

DUOGAOCENG FANGWU
GANGJIEGOU SHEJI YU SHILI

重庆大学出版社

内容提要

本书密切结合我国新修订的《钢结构设计规范》《建筑结构荷载规范》《建筑抗震设计规范》《高层民用建筑钢结构技术规程》等有关现行规范、规程的要求,根据工程设计需要,对多高层建筑钢结构设计进行了系统的分析与介绍。全书共分12章,内容包括多高层钢结构的发展与展望、设计特点以及设计的依据与成果,结构类型和体系的选择与布置,概念设计,材料选择,荷载与作用计算,常用结构体系的简化计算与精确分析、地震作用效应计算,结构验算,梁、柱、支撑、剪力墙等构件设计,组合楼盖设计,梁-柱连接、梁-梁连接、柱-柱连接、钢柱脚、支撑连接、剪力墙板与钢框架连接等节点设计,钢结构防火与防腐设计,工程设计实例。

本书可作为高等院校土木工程专业本科生教材,也可作为结构工程专业研究生的教学用书,并可供土建类工程设计、科研、钢结构制作与安装以及其他相关工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

多高层房屋钢结构设计与实例/郑廷银编著. —重庆:重庆大学出版社,2014.8

高等学校土木工程专业教材

ISBN 978-7-5624-8529-2

I. ①多… II. ①郑… III. ①多层建筑—高层建筑—钢结构—结构设计—高等学校—教材 IV. ①TU973

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第197481号

高等学校土木工程专业教材

多高层房屋钢结构设计与实例

郑廷银 编著

责任编辑:范春青 刘颖果 版式设计:范春青

责任校对:贾梅 责任印制:赵晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路21号

邮编:401331

电话:(023)88617190 88617185(中小学)

传真:(023)88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

万州日报印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:26.5 字数:768千 插页:8开17页

2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷

印数:1—3000

ISBN 978-7-5624-8529-2 定价:49.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

钢结构具有自重轻、抗震性能好、绿色环保、工业化程度高、综合经济效益显著等诸多优点,深受国内外建筑师和结构工程师的青睐。因此,它不仅是世界早期多高层建筑中最先使用的一种结构类型,而且也将成为今后多高层建筑中具有广阔发展前景的结构类型,更将成为世界各国拟建的大型、复杂的综合性多功能超高层建筑首选的结构类型。

近年来,由于我国政策、钢材生产、设计研发等诸多方面的有利因素,建筑钢结构在我国得到了高速发展和广泛应用,但我国目前钢结构技术人才储备奇缺,特别是在最能反映国家建筑技术水平的工程硕大的高层或超高层钢结构方面的技术人才更是如此。为适应形势发展需要,加速该领域的人才培养是关键。目前该领域也缺少合适的教材或参考书。为此,作者结合多年的教学、科研和工程实践经验,根据我国新修订的《钢结构设计规范》(GB 50017)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011)和《高层民用建筑钢结构技术规程》(JGJ 99)等有关现行规范、规程的要求,编著了本书。

本书力求突出下列特色:

- (1)既注重传统基本理论和基本概念的阐述,又注重学科前沿知识的介绍,尽量反映现代建筑理念和建筑科学技术水平;
- (2)紧密结合我国新修订的国家规范、规程,以便与实际工程应用相结合;
- (3)尽量避免与先导教材内容重复;
- (4)尽量突出便于工程应用的教学特色;
- (5)既注重理论的系统性,又注重应用的可操作性,尽量突出钢结构设计的教学特色;
- (6)最大限度地贴近工程设计的基本程序,书末有工程设计实例与设计流程图,突出应用的可操作性;
- (7)每章设有导读和小结,并配有复习思考题,可读性强,便于读者学习及复习巩固。

在本书编著过程中,曾部分引用同行专家论著中的成果,许惠斌、苏文、金相继等研究生曾对本书稿的设计实例付出过辛勤劳动,在此一并致谢。书中如有引用同行专家论著或资料中的某些内容而未能详细说明出处的,敬请谅解!

由于作者水平所限,书中值得商榷改进之处在所难免,敬请读者批评指正,并提出宝贵意见。联系邮箱:zhlyzh@njut.edu.cn。

郑廷银

2014年6月于南京

目录

第1章 概 述	1
1.1 发展概况	1
1.2 设计特点	5
1.3 发展趋势	10
1.4 设计依据与成果	12
本章小结	17
复习思考题	18
第2章 结构类型与体系	19
2.1 结构类型与特征	19
2.2 结构体系与特性	20
本章小结	46
复习思考题	46
第3章 结构概念设计	48
3.1 选择有利的建筑场地	48
3.2 确定合适的建筑体型	49
3.3 变形缝的设置	53
3.4 选择有效的抗侧力结构体系	54
3.5 抗侧力构件的布置	59
3.6 竖向承重构件的布置	64
3.7 削减结构地震反应的措施	65
3.8 楼盖结构的选型与布置	66
3.9 地下结构的设计原则	73
本章小结	77
复习思考题	78
第4章 材料选择	79
4.1 结构材料	79

4.2 连接材料	84
本章小结	91
复习思考题	91
第5章 荷载与作用计算	92
5.1 竖向作用	92
5.2 风荷载	93
5.3 地震作用	108
本章小结	119
复习思考题	119
第6章 作用效应计算及其组合	120
6.1 结构分析方法的分类	120
6.2 作用效应计算的一般规定	120
6.3 简化计算方法	121
6.4 精确计算方法	137
6.5 地震作用效应计算	147
6.6 作用效应组合	154
本章小结	156
复习思考题	157
第7章 结构验算	158
7.1 承载力验算	158
7.2 结构侧移检验	159
7.3 风振舒适度验算	163
7.4 结构二阶分析与稳定验算	164
本章小结	171
复习思考题	171
第8章 构件设计	172
8.1 梁的设计	172
8.2 柱的设计	177
8.3 支撑设计	190
8.4 剪力墙设计	197
本章小结	208
复习思考题	208
第9章 组合楼盖设计	209
9.1 分类与组成	209

9.2 组合楼板设计	210
9.3 组合梁设计	225
本章小结	250
复习思考题	250
第10章 节点设计	251
10.1 概 述	252
10.2 梁-柱连接节点	254
10.3 梁-梁连接节点	272
10.4 柱-柱节点	279
10.5 钢柱柱脚	284
10.6 支撑连接节点	295
10.7 抗震剪力墙板与钢框架的连接	302
10.8 钢梁与钢筋混凝土构件的连接	304
本章小结	305
复习思考题	306
第11章 钢结构防火与防腐设计	307
11.1 钢结构防火设计	307
11.2 钢结构防腐设计	315
本章小结	317
复习思考题	318
第12章 工程设计实例	319
12.1 多层房屋钢结构设计实例	319
12.2 高层房屋钢结构设计实例	349
参考文献	412

附录

- 附录1 多层钢结构设计实例结构图
- 附录2 高层钢结构设计实例结构图

第1章 概述

本章导读

- 内容与要求 本章主要介绍多高层钢结构的发展与展望、设计特点以及设计依据与成果。通过本章的学习,应对多高层钢结构的发展概况、设计特点、发展趋势以及设计依据与成果等相关知识有全面了解。
- 重点 多高层钢结构的设计特点;多高层钢结构设计的依据与成果。
- 难点 多高层钢结构设计的依据与成果。

1.1 发展概况

高层钢结构是近代经济发展和科学技术进步的产物,至今已有 100 多年的发展史。自 1885 年美国兴建第一幢高层钢结构建筑——芝加哥家庭保险公司大楼(Home Insurance Company, 10 层, 55 m)以来,高层钢结构建筑得到了不断发展。特别是进入 20 世纪以后,随着钢结构设计技术的发展,高层建筑在结构与构造技术上的逐渐成熟,大量高层钢结构在美国建成。如:1913 年在纽约建造的沃尔沃斯(Wool Worth)大楼,采用钢框架体系,主体结构为 31 层,高 122 m,塔楼再升高 29 层,总计达 60 层,总高 244 m;1931 年在纽约修建的帝国大厦(Empire State Building),102 层,高 381 m,保持世界最高建筑的记录达 41 年之久。在第二次世界大战前,超过 200 m 的高层建筑已有 10 幢。第二次世界大战的爆发,使高层建筑的发展受到严重影响。第二次世界大战结束后,美国重新兴起建造高层建筑的热潮,并向超高层发展,继而世界各国相继建造了许多高层建筑,形成了高层建筑的繁荣时期。至 1979 年,全世界建成 200 m 以上的高层建筑有 50 幢以上,大部分在美国。其中著名的建筑有:1945 年在纽约建造的标准石油公司大楼,82 层,高 346 m;1968 年在芝加哥建造的约翰·汉考克大厦(Hancock Centre),100 层,高 344 m,上有 106 m 的电视天线,是一幢综合性高层办公建筑,其平面为长方形,外形上窄下宽,结构为钢结构内筒加 X 形支撑-钢桁架外筒(图 1.1);1972 年建造的纽约世界贸易中心大厦(World Trade Centre),110 层,北塔楼高 417 m,南塔楼高 415 m,打破了帝国大厦保持 41 年世界最高建筑的纪录,塔楼平面为正方形,尺寸为 63 m × 63 m,结构采用筒中筒体系,内筒由电梯井及辅助用房组成,外筒由钢框架组成,该大楼共装有 2 万余个减振器,每层 100 个,顶部设计计算位移 900 mm,实测位移仅 280 mm(该大楼已毁于 2001 年“9.11”事件);1974 年,美国又在芝加哥建成了西尔斯大厦(Sears Tower),110 层,高 443 m,目前仍为世界第六高楼,结构为由 9 个标准方筒组成的束筒体系,外形特点是逐级上收(图 1.2),它的出现标志着现代建筑技术的新发展,它保持世界最高建筑的纪录达 23 年之久。到 20 世纪 80 年代末至 90 年代初期,高层

建筑虽然在高度上未有新的突破,但其风格有了新的变化,并酝酿着更高的建筑。如,在这一时期内,美国曾规划、设计纽约“电视城”(Television City Tower, 150 层, 509 m)和费尼克斯市的 Phoenix Tower(高 515 m),高度突破 500 m。在建的纽约新世贸中心一号楼高约 541.3 m,届时将成为世界第三高建筑物。在全世界已建成的前十大高楼(至 2012 年)中,美国 1 幢,亚洲 9 幢(其中中国 7 幢),见表 1.1。

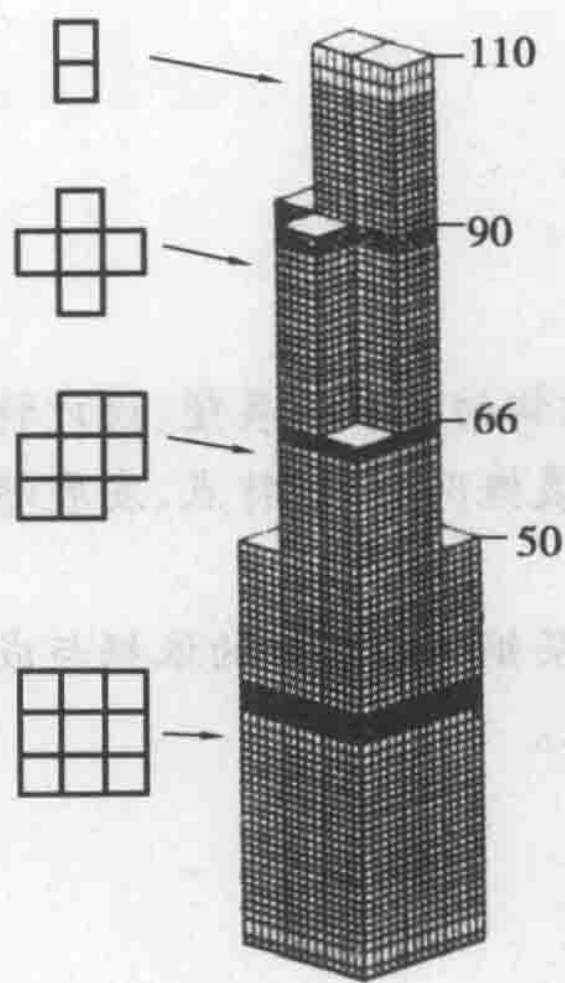
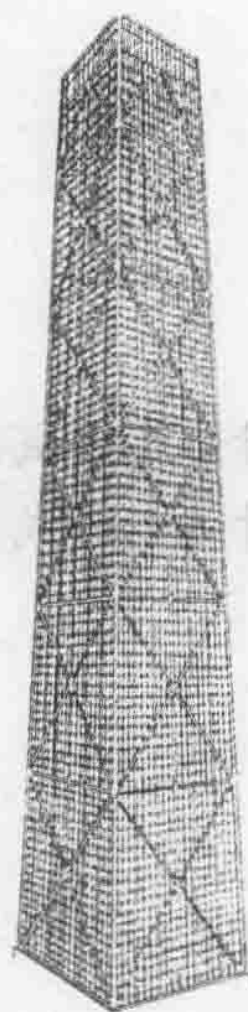


图 1.1 美国汉考克大厦

图 1.2 美国西尔斯大厦

图 1.3 阿联酋迪拜塔

表 1.1 世界 10 幢最高的高层建筑(截至 2012 年)

序号	建筑物	城市	建成年份	层数	高度/m	材料	用途
1	迪拜塔楼(图 1.3)	迪拜	2009	162	828	钢/混凝土	商住综合
2	101 大厦	台北	2004	101	508	钢/混凝土	多功能
3	上海环球金融中心大厦	上海	2008	101	492	钢/混凝土	多功能
4	双塔大厦	吉隆坡	1997	88	452	钢/混凝土	多功能
5	紫峰大厦	南京	2009	89	450	钢/混凝土	多功能
6	西尔斯大厦	芝加哥	1974	110	443	钢	办公楼
7	金茂大厦	上海	1998	88	421	钢/混凝土	多功能
8	国际金融中心大厦(二期)	香港	2003	88	420	钢/混凝土	办公楼
9	中信广场大厦	广州	1997	88	391	混凝土	多功能
10	地王大厦	深圳	1995	81	384	钢/混凝土	多功能

在我国,高层钢结构建筑虽然起步较晚,但发展较快。自 20 世纪 80 年代中期始建高层钢结构至 2004 年,在这短短的 20 余年中,我国已建和在建的高层钢结构建筑(含钢-混凝土混合结构和组合结构)已近 80 幢,总建筑面积约 600 万 m^2 。它们主要分布于上海、北京和深圳,其中上海最多。1998 年竣工的上海金茂大厦(图 1.4),地上 88 层,高 421 m,目前高度为中国大

陆之最,亚洲第三,世界第七;2008年竣工的上海环球金融中心大厦(图1.5),地下3层,地上101层,高492 m,世界第三;在建的上海中心大厦,高632 m,将成为世界第二高楼。据有关资料介绍,上海还拟建1 000 m高楼。在深圳,继深圳发展中心(地上48层,高165 m)、地王大厦(地上68层,高325 m)、赛格广场(地上70层,高278.6 m)等一批高层钢结构建筑相继建成后,在建的京基大厦高达441.8 m,而且拟建造两幢外形相同、每幢128层、高488 m的中华大厦。北京于20世纪80年代建成京广中心(57层,高208 m)、京城大厦(52层,高182 m)等高层钢结构建筑之后,亦将动工兴建88层的大楼。在建的重庆嘉陵大厦高达450 m。在建的武汉绿地中心大厦,地上125层,建筑高度达606 m,结构高度达575 m。在中国香港,继中国银行大厦(地面以上72层,高368 m)和香港汇丰银行大厦(地面以上48层,高178.8 m)建成之后,于2003年又建成了高达420 m的国际金融中心大厦等高楼。在中国台湾,85层的T&C大厦,高348 m;台北101大厦(图1.6),地面以上101层,高508 m,目前为世界第二高楼;这两栋建筑为台湾地区的高层钢结构代表性建筑。



图 1.4 中国上海金茂大厦

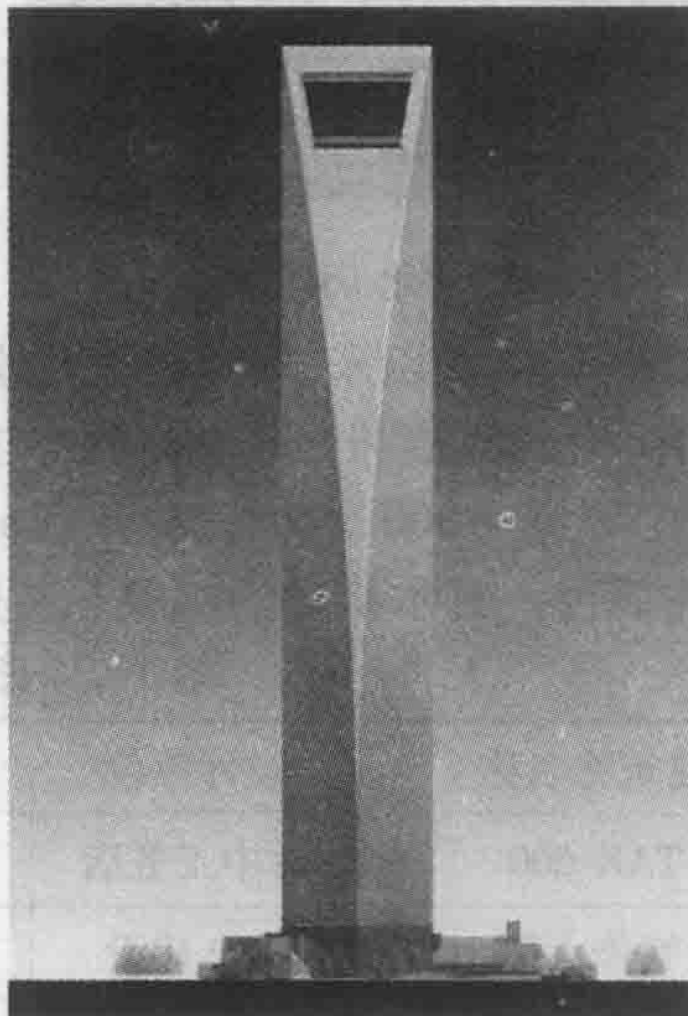


图 1.5 上海环球金融中心大厦

日本的高层钢结构建筑始于20世纪60年代。在日本,超过100 m的建筑几乎全部采用钢结构,近年新建的200 m以上的建筑全为钢结构。位于日本东京的NEC办公大楼,地面以上43层,地面以下4层,屋顶间1层,高180 m;日本神户TC办公大楼,地面以下3层,地面以上25层,高103 m;日本东京第一市政厅办公大楼,地面以上48层,高243 m。这批高层钢结构建筑,采用了能满足特殊功能和综合功能要求的、具有良好建筑适应性和潜在的高效结构性能的高层建筑结构新体系——巨型钢框架结构体系。日本横滨标志大厦(Landmark Tower),地面以上73层,高296 m,是当前日本最高的建筑。日本是亚洲高层钢结构建筑发展较快、数量较多的国家。

马来西亚于1997年在吉隆坡建成双塔大厦(Petronas Tower),88层,高452 m,目前为世界第四高楼(图1.7)。此外,在新加坡、首尔等地也于20世纪80年代中期就已建成高度超200 m的钢结构建筑。



图 1.6 台北 101 大厦



图 1.7 吉隆坡双塔大厦(Petronas Tower)

自 20 世纪 70 年代以来,亚洲陆续建造了一些高度超过 200 m,甚至超过 400 m 的超高层建筑,并正在向更大的高度发展。如,日本拟建的动力智能大厦-200,地上 200 层,高 800 m(图 1.7);空中城市大厦-1000,地面直径 400 m,高 1 000 m,地基深达 60 m,可供 10 万人居住,提供 3.5 万个工作职位。日本拟建的部分超高层建筑见表 1.2。

表 1.2 日本部分超高层建筑构想

建筑物名称	设计单位	层数	高度/m	材料	结构形式
TAK-600	竹中工务店	106	600	钢	不详
动力智能大厦-200	鹿岛建设	200	800	钢	分离式巨型筒体
Millennium Tower	大林组	150	800	钢	圆锥形巨型桁架筒体
空中城市-1000	竹中工务店	不详	1 000	钢	巨型框架+巨型桁架
空中大都会-2001	大林组	500	2 001	钢	巨型框架
TRY-2004 空中都市	清水建设	不详	2 004	钢	不详
X-SEED4000	大成建设	800	4 000	钢	不详

欧洲一些经济比较发达国家的城市,如巴黎、伦敦、罗马、柏林、法兰克福等,虽也建造了一些高层建筑,但总体来说不是太高,大多数为 100 多米的高层建筑。其中,1997 年 5 月竣工的德国法兰克福商业银行中心新大楼,地上 63 层,高 298.74 m,目前为欧洲高层钢结构第一高楼,也是世界上最高的生态型摩天大楼。

据文献统计,在全世界 100 幢最高建筑物中,全钢结构占 58 幢,钢与混凝土混合结构占 26 幢,两项合计占总数的 84%,钢筋混凝土结构仅占 16%。目前的统计资料显示,高层钢结构所占比例还在增加。世界十大高楼中,要么是全钢结构,要么是以钢结构为主的混合结构。可见高层建筑(特别是超高层建筑)最适合的结构类型应是钢结构或以钢为主的混合或组合结构,

这也充分说明了该结构类型具有广阔的发展前景。

1.2 设计特点

1) 水平荷载成为决定因素

在高度较小的建筑中,往往是竖向荷载(楼面、屋面活载,结构自重等)控制着结构设计,而在多高层建筑中,尽管竖向荷载仍对结构设计产生着重要影响,但水平荷载却起着决定性因素,往往成为高层建筑结构设计的控制因素。这是因为:一方面结构自重和楼面使用荷载在竖向构件中所引起的轴力和弯矩的数值,仅与楼房高度成正比,而水平荷载对结构产生的倾覆力矩以及由此在竖向构件中所引起的轴力,与楼房高度的两次方成正比;另一方面,对某一高度的楼房来说,竖向荷载大体上是定值,而作为水平荷载的风载和地震作用,其数值是随结构动力特性的不同而有较大幅度的变化,从而使合理确定水平荷载比确定竖向荷载困难。

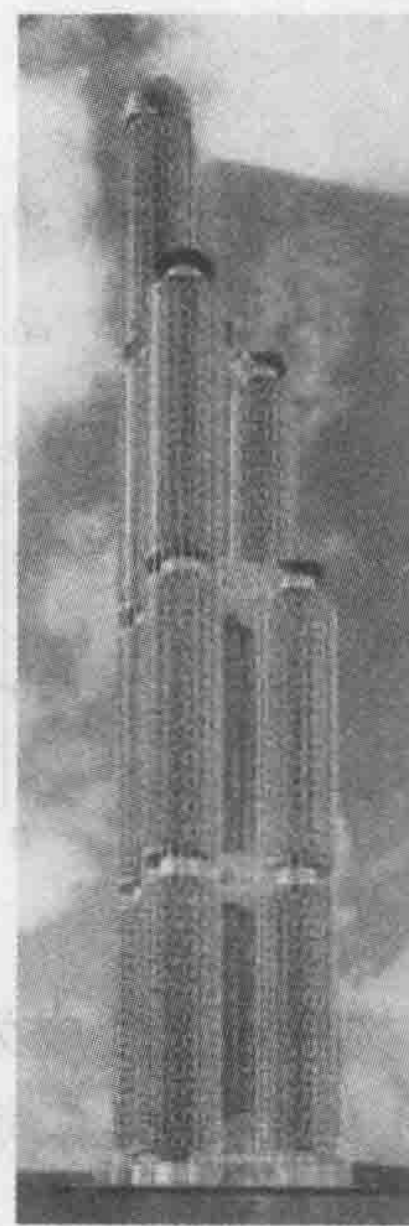


图 1.8 日本“动力智能大厦-200”

图 1.9 为某高层建筑结构的计算简图,在各种荷载作用下的内力与房屋高度的关系为:

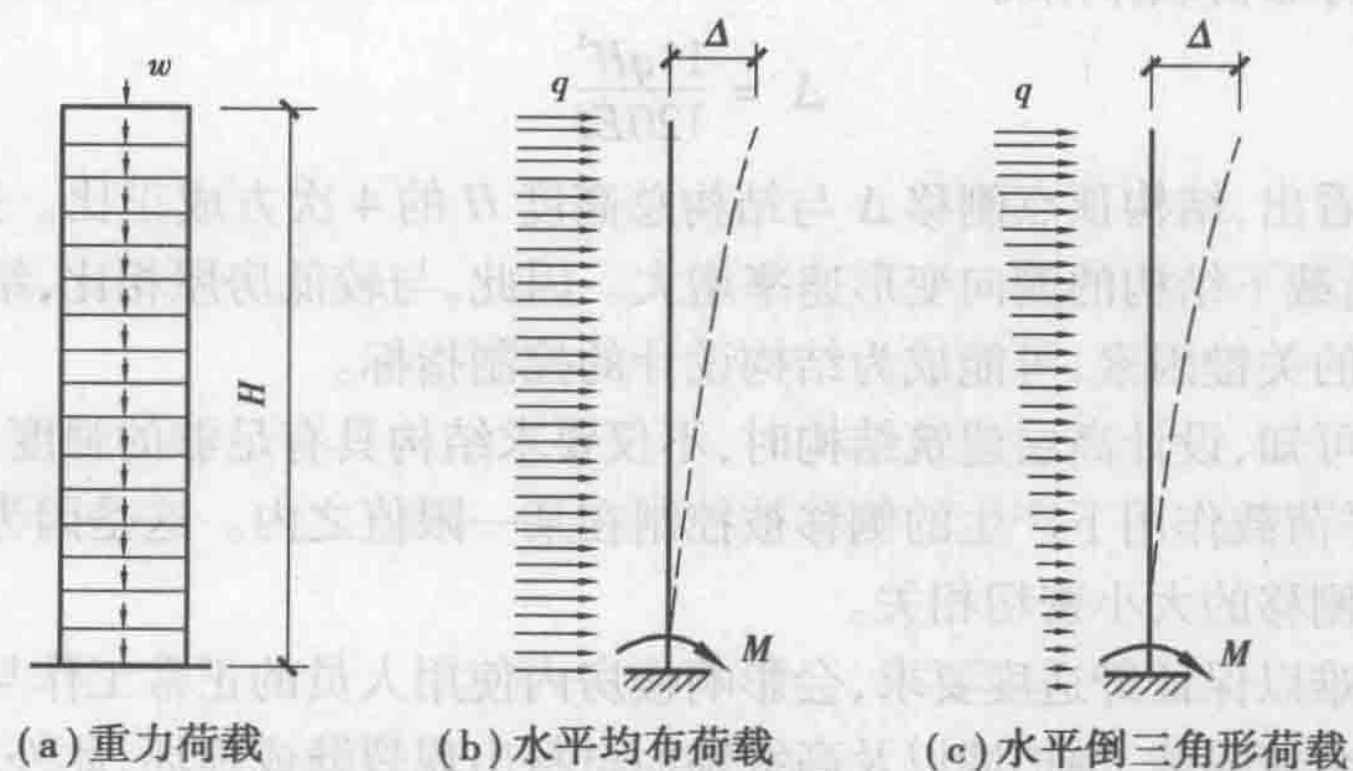


图 1.9 荷载内力与侧移

竖向荷载作用下的最大轴力

$$N = wH \quad (1.1)$$

水平均匀布荷载作用下的最大弯矩

$$M = \frac{1}{2}qH^2 \quad (1.2)$$

水平倒三角形分布荷载作用下的最大弯矩

$$M = \frac{1}{3}qH^2 \quad (1.3)$$

式中 q, w ——作用于楼房每米高度上的水平荷载与竖向荷载。

图 1.10 为风荷载作用下的 5 跨钢框架各分项用钢量随房屋层数而变化的示意图,由图可

见水平荷载的影响远远大于竖向荷载的影响,而且随着房屋层数的增加而急剧增加。

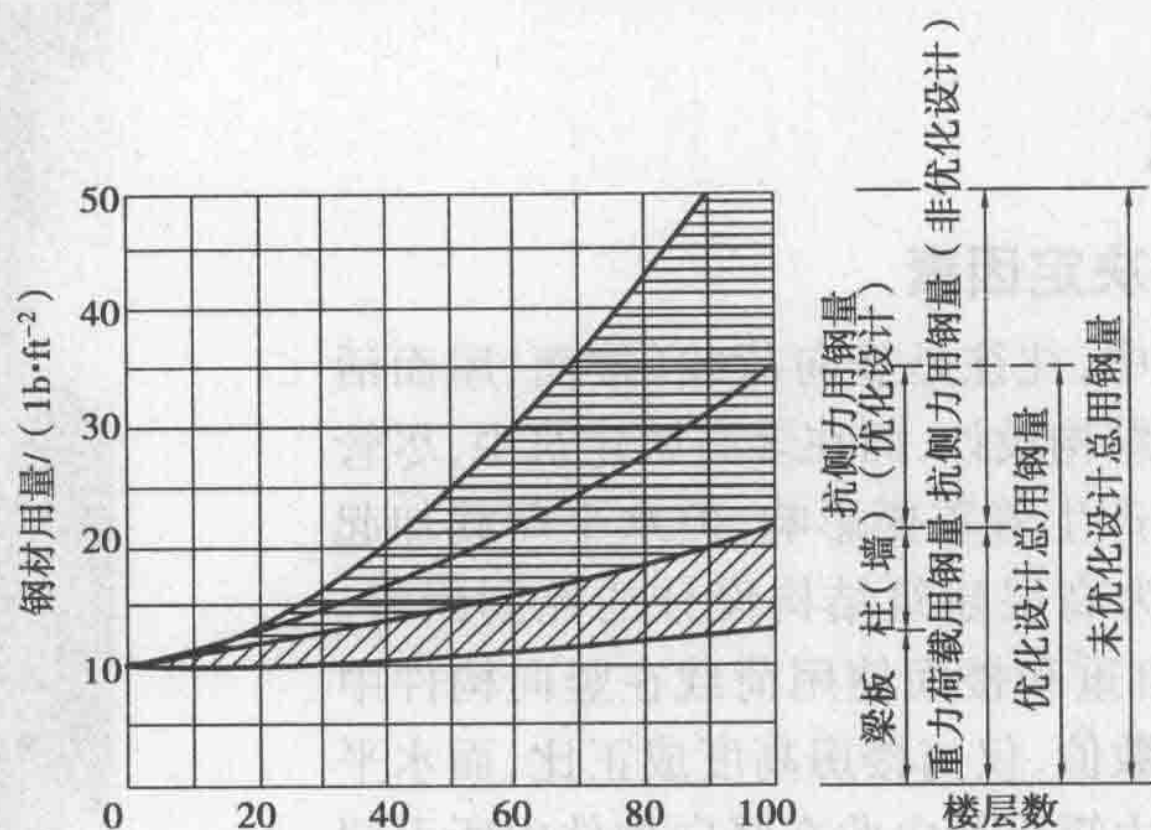


图 1.10 高层建筑结构用钢量随层数的变化

2) 结构侧移可能成为控制指标

由图 1.9 所示的计算简图确定的结构顶点侧移为:

水平均匀布荷载作用时

$$\Delta = \frac{qH^4}{8EI} \quad (1.4)$$

水平倒三角形分布荷载作用时

$$\Delta = \frac{11qH^4}{120EI} \quad (1.5)$$

从上两式可以看出,结构顶点侧移 Δ 与结构总高度 H 的 4 次方成正比。这说明,随着房屋高度的增加,水平荷载下结构的侧向变形速率增大。因此,与较低房屋相比,结构侧移已上升为高层建筑设计的关键因素,可能成为结构设计的控制指标。

通过上述分析可知,设计高层建筑结构时,不仅要求结构具有足够的强度,还要求有足够的刚度,使结构在水平荷载作用下产生的侧移被控制在某一限值之内。这是因为高层建筑的使用功能和安全与结构侧移的大小密切相关。

①过大的侧移难以保证舒适度要求,会影响楼房内使用人员的正常工作与生活。

②过大的侧移会使隔墙、围护墙以及高级饰面材料出现裂缝或损坏,此外,也会使电梯因轨道变形而不能正常运行等,无法保证房屋的正常使用。

③过大的侧移会使结构产生过大的二阶效应——引起过大的附加内力,以致有时使总内力超过结构的承载能力,或者使结构的变形成为不稳定,甚至引起倒塌,结构的安全受到威胁。

因此,结构的侧移控制成为一个保证结构合理性的综合性指标。

3) 连续梁支座沉陷效应不容忽视

在高层钢结构中,由于柱中轴力大(特别是底层柱),因而轴向变形大,同时各柱轴向变形差异随房屋高度的增加而加大。框架中柱的轴压应力往往大于边柱的轴压应力,中柱的轴向压缩变形大于边柱的轴向压缩变形。当房屋很高时,这种轴向压缩差异将会达到较大的数值,其后果相当于连续梁的中间支座产生沉陷,从而使连续梁中间支座处的负弯矩值减小,跨中正弯矩值和端支座负弯矩值增大,如图 1.11 所示。因此,若忽略柱中轴向变形,将会使结构内力和

位移的分析结果产生一定的误差。图 1.11(a) 表示未考虑各柱压缩差异时梁的弯矩分布, 图 1.11(b) 表示各柱压缩差异后梁的实际弯矩分布。在较低的房屋中, 因为柱的总高度较小, 此种效应不显著, 所以可不考虑。

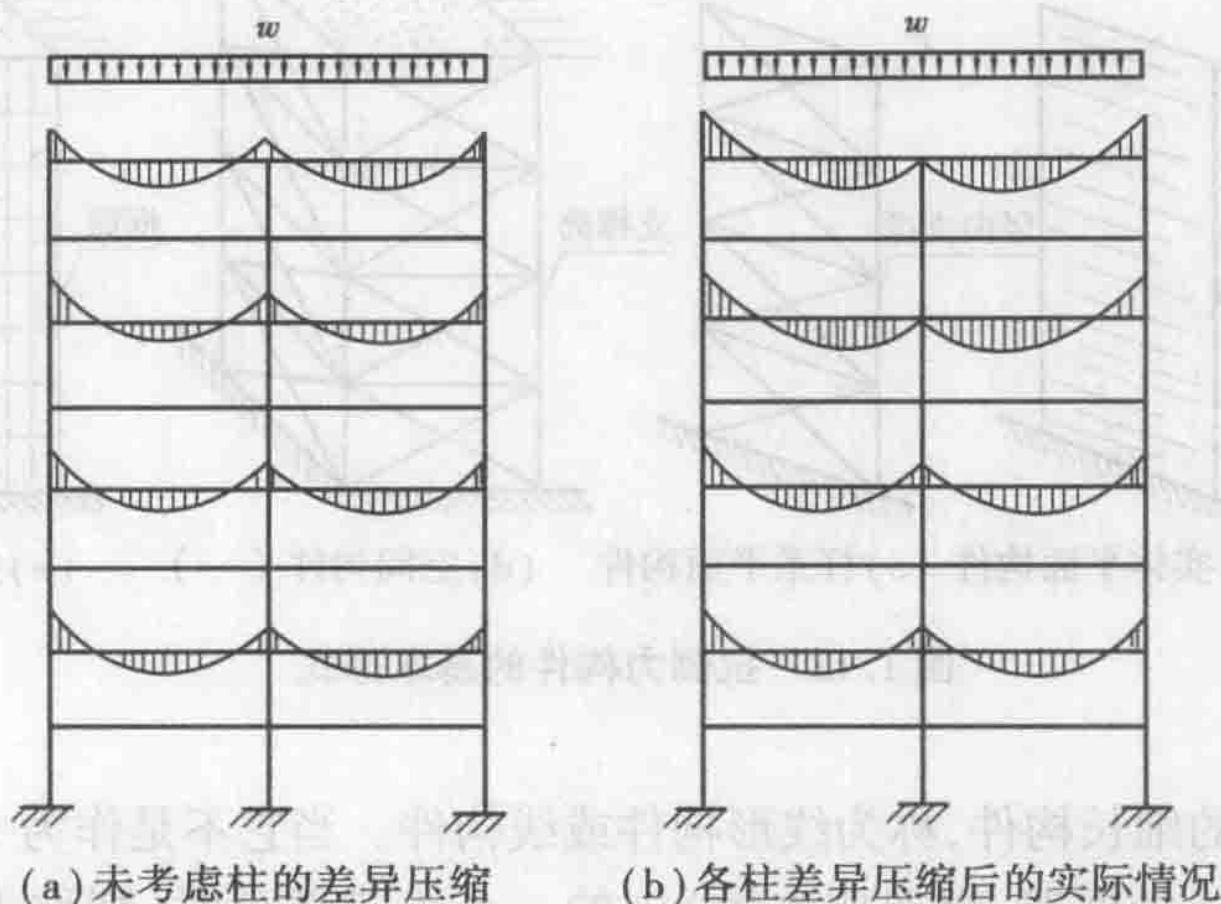


图 1.11 框架中连续梁的弯矩分布

4) 下料长度宜适当调整

在多高层建筑中, 特别是在超高层建筑中, 柱的负载很大, 其总高度又很大, 整根柱在重力荷载下的轴向变形有时可能达到数百毫米, 对建筑物的楼面标高产生不可忽视的影响。因此, 在构件下料时, 应根据轴向变形计算值, 对下料长度进行调整。

美国休斯顿的得克萨斯商业大厦(75 层), 采用型钢混凝土墙和钢柱组成的混合结构体系。据计算, 中心钢柱由于负荷面积大、截面尺寸小, 重力荷载下的轴向压缩变形要比型钢混凝土剪力墙多 260 mm, 这就要求该钢柱在下料时总共要加长 260 mm, 并需逐层加以调整。

5) 梁柱节点域的剪切变形影响不能忽视

在结构设计中, 钢框架的梁、柱大都采用工形或箱形截面, 若假设梁、柱端弯矩完全由梁、柱翼缘板承担, 并忽略轴力对节点域变形的影响, 则节点域可视为处于纯剪切状态工作, 加之节点域板件一般较薄, 剪切变形较大, 因此, 对结构内力和侧移的影响不能忽视。

文献[43]对同一钢框架结构, 采用有限元法分析后得出: 考虑梁、柱节点域剪切变形后, 其梁、柱弯矩均有所增加, 侧向水平位移增加显著。与不考虑其剪切变形的情况相比, 顶层绝对侧移量增大 8.8%, 若以层间侧移而论, 第一层增大 1.2%, 第二层增大 9.7%, 顶层则可增大达 25.7% 左右。可见, 在进行高层钢框架的内力和侧移计算时, 不能忽视其梁、柱节点域的剪切变形影响。

6) 结构延性是重要设计指标

相对于较低楼房而言, 多高层建筑更柔一些, 在地震作用下的变形更大一些。为了使结构在进入塑性变形阶段后仍具有较强的变形能力, 避免倒塌, 除选用延性较好的材料外, 特别需要在构造上采取恰当的措施, 来保证结构具有足够的延性。

7) 尽量选用空间构件

为使高层建筑适应各种使用情况的不同要求, 在实际工作中, 尽管出现多种结构体系, 然

而,组成这些结构体系的构件可归纳为线形构件、平面构件和空间构件 3 类基本形式,如图 1.12 所示。

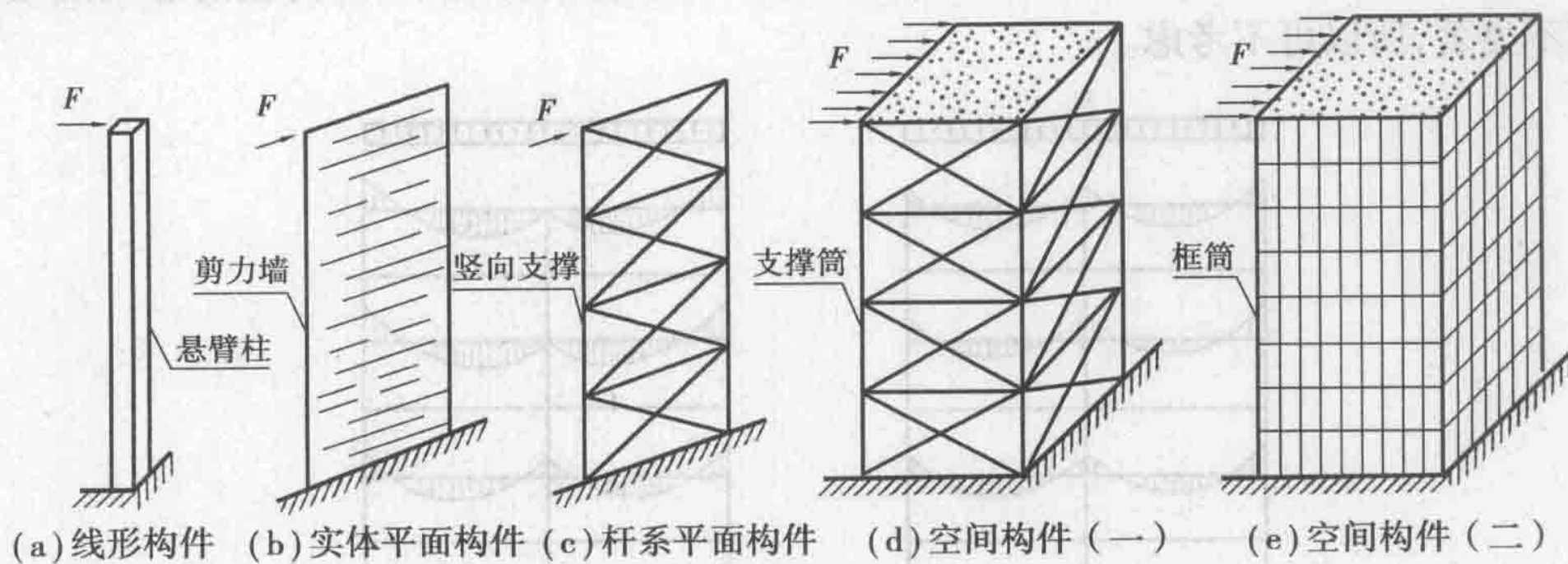


图 1.12 抗侧力构件的基本形式

(1) 线形构件

具有较大长细比的细长构件,称为线形构件或线构件。当它不是作为一个独立构件承受荷载,而是作为某种构件(如框架、桁架或支撑)中的一个组成部分时,则称为杆件。当它作为框架中的柱或梁使用时,主要承受弯矩、剪力和压力,其变形中的最主要成分是垂直于杆轴方向的弯曲变形;当它作为桁架或支撑中的弦杆和腹杆使用时,主要是承受轴向压力或拉力,轴向压缩或轴向拉伸是导致其变形的主要原因。

线构件是组成框架-支撑体系、框架-剪力墙体系的基本构件。

(2) 平面构件

具有较大横截面宽厚比的片状构件,称为平面构件或面构件。它作为楼板使用时,承受平面外弯矩,垂直于其平面的挠度是其变形的特点;它作为墙体使用时,承受着沿其平面作用的水平剪力和弯矩,也承担一定的竖向压力,弯曲变形和剪切变形是墙体侧移的主要原因。面构件出平面方向的刚度和承载力很小,结构分析中常略去不计。

面构件是组成框架-剪力墙体系、框架-核心筒体系的基本构件。

(3) 空间构件

由线构件和(或)面构件组成的具有较大横截面尺寸和较小壁厚的组合构件,称为空间构件或立体构件。框筒就是由梁和柱等线构件组成的空间构件;框架-核心筒体系中的核心筒常由面构件组成空间构件;巨型结构体系中的巨型柱常由线构件或线构件与面构件组合成空间构件,其巨型梁通常由线构件组成。在高层建筑结构中,空间构件作为竖向筒体或巨型柱使用时,主要承受倾覆力矩、水平剪力和扭转力矩。与线构件和面构件相比,它具有较大的抗扭刚度和极大的抗推刚度,在水平荷载下的侧移较小,因而在高层或超高层建筑中,宜尽量选用空间构件。

空间构件是框筒体系、筒中筒体系、束筒体系、支撑框筒体系、大型支撑筒体系及巨型结构体系中的基本构件。

8) 防火设计必不可少

钢材虽为非燃烧材料,但它耐热不耐火,在火灾高温下,结构钢的强度和刚度都将迅速降低,而火灾升温又十分迅速,故无防火保护措施钢构件在火灾中很容易破坏。高层建筑钢结构既有一般高层建筑的消防特点,又有钢结构在高温条件下的特有规律(主要是强度降低和蠕

变),因此,高层建筑钢结构必须进行恰当的抗火设计,以减少或避免财产损失和人员伤亡。

9) 防锈处理必须到位

由于钢材耐腐蚀性差,钢结构构件易生锈腐蚀,影响结构使用寿命,所以高层建筑钢结构中的所有钢结构构件均应进行合理的防锈处理,以保证结构的长期使用。

10) 避雷系统完整可靠

高层建筑遭受雷击的机会比一般建筑要多,一年中的雷击次数与建筑物的高度有关,建筑物越高,受到的雷击次数越多。在雷击放电时便有可能引起火灾或产生其他电击、机械性的事故。因此,为了保证高层建筑的防雷安全,高层建筑要设置可靠的避雷系统。

11) 结构动力响应成为关键因素

低层房屋一般采用简单方法计及结构动力响应对荷载的影响,设计主要按静力问题处理,而高层建筑风振、地震动响应成为设计考虑的关键因素。

由于风和地震作用的随机性和复杂性,高层建筑风振和地震响应分析至今仍处于深入研究之中。高层建筑动力响应是由结构特征、环境作用等诸因素综合影响决定的,是结构整体性能的体现,同时也表明,要获得满意的结构动力响应特征,必须综合考虑结构系统,这是高层结构动力响应分析设计难度较大的另一方面。

12) 减轻结构自重具有重要意义

高层建筑结构设计要求尽可能采用轻质、高强且性能良好的材料,一方面减小重力荷载,进一步减小基础压力和降低造价;另一方面因结构所受动力荷载大小直接与质量有关,减小质量有助于减小结构动力荷载。

13) 结构体系合理与否取决于能否有效提供抗侧能力

在满足建筑造型和空间设计的前提下,结构体系和结构方案主要由如何有效形成抗侧力体系确定。结构体系的经济性也主要取决于抗侧力体系的有效性。因此,多高层建筑随高度不同其结构体系有较大变化。图 1.13 为常用结构体系适用最多层数示意图。合理确定抗侧力结构成为高层建筑结构设计成败的关键。

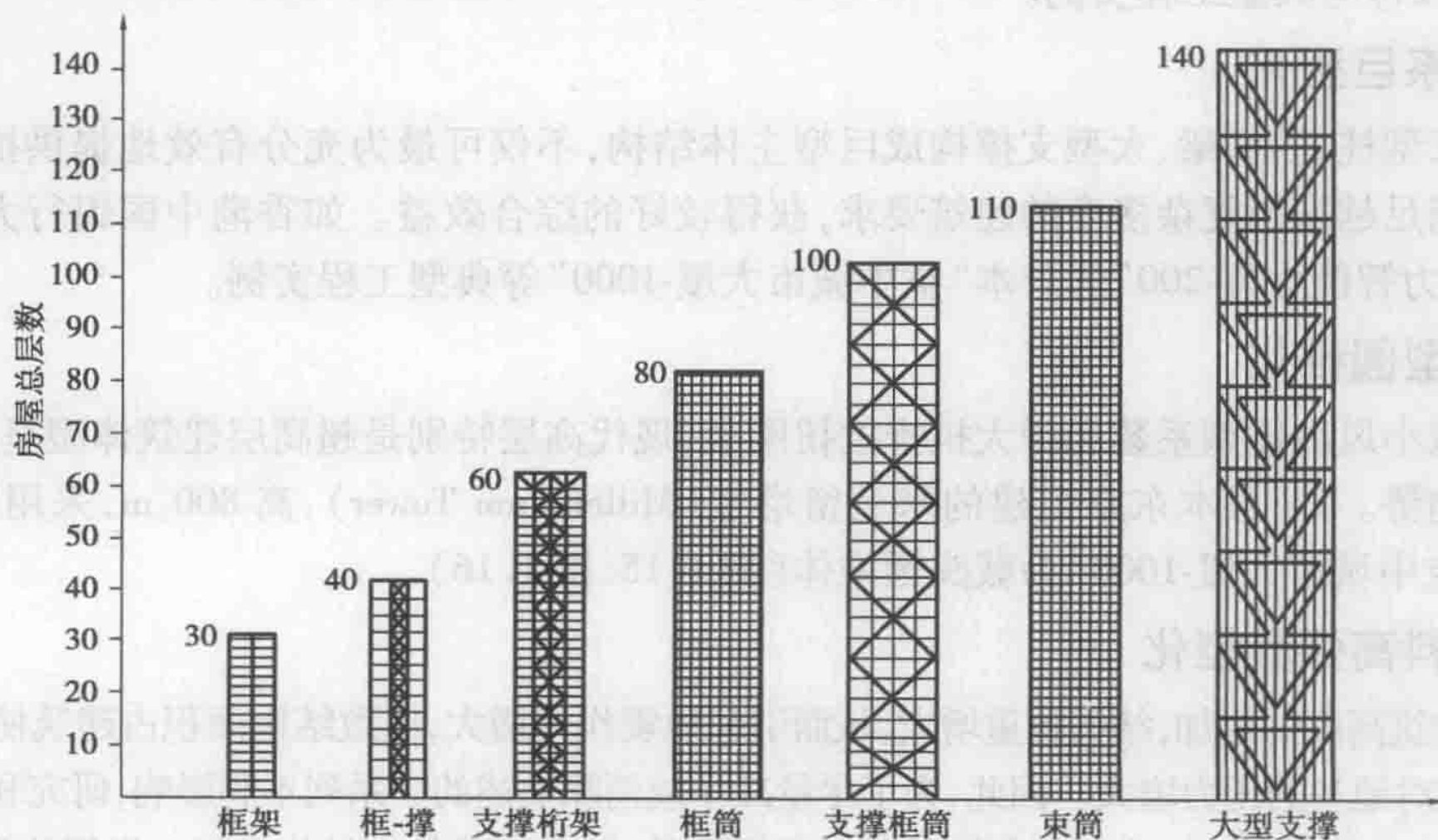


图 1.13 钢结构高层建筑结构体系

1.3 发展趋势

随着城市建设和社会发展,多高层建筑必将会高速发展。在确保高层建筑具有足够可靠度的前提下,为了进一步节约材料和降低造价,结构构件和材料正在不断更新,设计概念也在不断发展。多高层建筑钢结构的发展趋势主要表现在以下几个方面:

1) 构件立体化

高层建筑在水平荷载作用下,主要靠竖向构件提供抗推刚度和强度来维持稳定。在各类竖向构件中,竖向线性构件(如柱)的抗推刚度较小;竖向平面构件(剪力墙或平面框架)虽然在其平面内具有较大的刚度,然而其平面外的刚度依然小到可略去不计;由墙或密柱深梁组成的筒体或巨型柱,尽管其基本元件依旧是线形构件或平面构件,但它已转变成具有不同力学特性的立体构件,在任何方向均具有较大的抗推刚度及抗扭刚度,能抗御任何方向较大的倾覆力矩及扭转力矩,从而可充分发挥材料的作用。

2) 巨柱周边化

巨型柱属立体构件,本身具有较大的抗推刚度和抗扭刚度。若将巨型柱沿建筑平面的周边布置,则该结构具有特大的抗推刚度和抗扭刚度,能抗御特大的水平荷载与扭转荷载。因此,采用该种结构布置方案形成的结构主体是改善结构体系抗侧性能的有效途径,如日本拟建的“动力智能大厦-200”等建筑。

3) 支撑大型化

框筒是用于高层建筑的一种高效抗侧力体系,然而,它固有的剪力滞后效应(在水平荷载作用下,由于框架横梁的剪切变形,使框架柱的轴力呈非线性分布的现象),削弱了它的抗推刚度和水平承载力。特别是当房屋平面尺寸较大,或因建筑功能需要而加大柱距时,剪力滞后效应就更加严重。为使框筒能充分发挥潜力并有效地用于更高的房屋建筑之中,在框筒中增设大型支撑已成为一种强化框筒的有力措施。如美国芝加哥的约翰·汉考克大厦和香港中国银行大厦(图 1.14)等典型工程实例。

4) 体系巨型化

利用巨型柱、巨型梁、大型支撑构成巨型主体结构,不仅可最为充分有效地提供抗侧能力,而且可以满足越来越复杂多变的建筑要求,获得较好的综合效益。如香港中国银行大厦、日本拟建的“动力智能大厦-200”和日本“空中城市大厦-1000”等典型工程实例。

5) 体型圆锥化

为了减小风载体型系数和增大抗推抗扭刚度,现代高层特别是超高层建筑体型呈圆锥或截头圆锥化趋势。如,日本东京拟建的米兰留塔楼(Millennium Tower),高 800 m,采用圆锥状体形;日本“空中城市大厦-1000”为截头圆锥体(图 1.15、图 1.16)。

6) 材料高强轻型化

随着建筑高度的增加,结构自重增大,从而引起地震作用增大,以致结构面积占建筑使用面积的比例和结构对地基的压力增大。因此,为了尽量减小或消除上述的一系列不利影响,研究和选用轻质高强材料(如选用压型钢板或铝板作围护外墙或隔墙等)是高层建筑钢结构的又一发展趋势。