



“十三五”普通高等教育本科规划教材

高层建筑 结构设计

徐亚丰 主 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

015059391



“十三五”普通高等教育本科规划教材

高层建筑 结构设计

主 编 徐亚丰
编 写 孙 丽
主 审 崔熙光
张绍武 白首晏 梁德志



中国电力出版社

内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育本科规划教材，是土木工程本科生必修课——高层建筑结构设计的教学用书。

全书分为10章，主要描述了高层建筑结构的发展、特点、体系与布置，荷载和地震作用、高层建筑结构的计算分析和设计要求；重点讲解了框架结构、框剪结构、剪力墙结构的设计方法；对筒体结构、复杂高层建筑结构、高层建筑钢结构和混合结构也进行了一定深度的介绍。

本书例题讲解详细，理论分析透彻，可供高等院校土木工程专业本科生教学用书，也可供相关领域的科研和技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

高层建筑结构设计/徐亚丰主编. —北京：中国电力出版社，2015.10

“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5123-7839-1

I. ①高… II. ①徐… III. ①高层建筑-结构设计-高等学校-教材 IV. ①TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 118437 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 http://www.cepp.sgcc.com.cn)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015年10月第一版 2015年10月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 18.75印张 447千字

定价 38.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

《高层建筑设计》是作者在总结多年教学经验的基础上，结合近年来高层建筑设计的新发展，并根据高等院校土木工程专业本科生课程高层建筑设计的教学要求而编写的。

本书由徐亚丰担任主编，编写分工：孙丽编写第1、2章；张绍武编写第3、4章；梁德志编写第5、6章；徐亚丰编写第7、8、9章；徐亚丰、白首晏编写第10章。沈阳建筑大学研究生倪浩然、朱绍杰、王建滨、高颖、周曼、龙秋颖、陈谦、闫勇、曾俊、翟章琳、高振铎、张艳超、张月、牟璐、敕勒格尔、金松负责本书课件的整理和制作。

沈阳建筑大学的崔熙光教授担任本书主审，并提出了宝贵意见。同时编者在编写此书过程中得到了国家留学基金（201308210105）项目的资助，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，欢迎广大读者予以批评、指正。

编者

2015年7月

目 录

前言

第1章 概述	1
1.1 高层建筑的定义	1
1.2 高层建筑的特点	2
1.3 高层建筑结构的类型	5
1.4 高层建筑的发展概况	6
1.4.1 高层建筑发展简史	6
1.4.2 我国高层建筑发展概况	10
1.4.3 世界上即将建设的高层建筑	11
习题	12
第2章 高层建筑的结构体系与结构布置	13
2.1 结构体系	13
2.1.1 框架结构体系	13
2.1.2 剪力墙结构体系	15
2.1.3 框架-剪力墙结构体系	16
2.1.4 筒体结构体系	17
2.1.5 框架-核心筒结构体系	20
2.1.6 带加强层的高层建筑结构体系	20
2.1.7 不规则结构体系	21
2.1.8 各种结构体系的最大适用高度和适用的最大高宽比	22
2.2 结构总体布置	24
2.2.1 结构平面布置	24
2.2.2 结构竖向布置	29
2.3 高层建筑的基础及楼盖结构	32
2.3.1 基础形式及埋置深度	32
2.3.2 楼盖结构选型	32
2.3.3 楼盖构造要求	33
习题	34
第3章 高层建筑结构的荷载和地震作用	35
3.1 竖向荷载	35
3.1.1 恒荷载	35
3.1.2 活荷载	36

3.2 风荷载	37
3.2.1 风荷载标准值	37
3.2.2 总风荷载	44
3.3 地震作用	44
3.3.1 基本概念	44
3.3.2 三水准抗震设计目标	44
3.3.3 一般计算原则	45
3.3.4 计算地震作用的反应谱法	46
3.3.5 水平地震作用计算	48
3.3.6 结构自振周期计算	52
3.3.7 竖向地震作用计算	53
3.4 温度和其他作用	54
习题	54
第4章 高层建筑结构的计算分析和设计要求	56
4.1 高层建筑结构的计算分析	56
4.1.1 结构计算原则	56
4.1.2 结构计算模型	56
4.2 荷载效应和地震作用效应的组合	57
4.3 高层建筑结构的设计要求	59
4.3.1 承载力要求	59
4.3.2 水平位移限制和舒适度要求	60
4.3.3 整体稳定和倾覆问题	63
4.3.4 结构延性和抗震等级	67
4.4 高层建筑结构的抗震概念设计	68
4.5 超限高层建筑工程抗震设计	69
4.5.1 超限高层建筑工程的认定和抗震概念设计	69
4.5.2 超限高层建筑工程的抗震计算和抗震构造措施	70
习题	71
第5章 框架结构设计	72
5.1 框架结构的基本尺寸和承重方案	72
5.1.1 柱网和层高	72
5.1.2 框架结构的承重方案	72
5.2 框架结构的计算简图	73
5.2.1 梁、柱截面尺寸	73
5.2.2 框架结构的计算简图	75
5.3 竖向荷载作用下框架结构内力的简化计算	76
5.3.1 分层法	77
5.3.2 弯矩二次分配法	81

5.4 水平荷载作用下框架结构内力和侧移的简化计算	85
5.4.1 水平荷载作用下框架结构的受力及变形特点	85
5.4.2 反弯点法	85
5.4.3 D 值法	90
5.4.4 框架结构侧移的近似计算	100
5.4.5 框架结构的水平位移控制	102
5.5 荷载效应组合和构件设计	102
5.5.1 荷载效应组合	102
5.5.2 构件设计	105
5.5.3 框架梁设计	107
5.5.4 框架柱设计	109
5.6 框架结构的构造要求	113
5.6.1 框架梁	113
5.6.2 框架柱	114
5.6.3 梁柱节点	117
5.6.4 钢筋连接和锚固	117
习题	119
第6章 剪力墙结构分析与设计	121
6.1 结构布置	121
6.1.1 墙体承重方案	121
6.1.2 剪力墙的布置	121
6.2 剪力墙结构平面协同工作分析	122
6.2.1 剪力墙的分类及计算方法	123
6.2.2 剪力墙结构平面协同工作分析	124
6.2.3 剪力墙的等效刚度	126
6.3 整体剪力墙内力和位移计算	127
6.3.1 整体剪力墙内力	127
6.3.2 位移和等效刚度	127
6.4 整体小开口墙的内力和位移计算	131
6.4.1 整体小开口墙内力计算	132
6.4.2 整体小开口墙等效刚度和位移计算	134
6.5 双肢墙的内力和位移计算	137
6.5.1 基本假定	137
6.5.2 微分方程的建立	138
6.5.3 微分方程的求解	142
6.5.4 内力计算	144
6.5.5 位移和等效刚度	145
6.5.6 双肢墙内力和位移分布特点	147

6.6	多肢墙的内力和位移计算	148
6.6.1	微分方程的建立和求解	148
6.6.2	约束弯矩分配系数	149
6.6.3	内力计算	151
6.6.4	位移和等效刚度	151
6.7	壁式框架的内力和位移计算	155
6.7.1	计算简图	156
6.7.2	带刚域杆件的线刚度计算	156
6.7.3	内力和位向计算	158
6.8	剪力墙分类的判别	167
6.8.1	剪力墙判别方法	167
6.8.2	剪力墙分类的判别	168
6.9	剪力墙截面设计和构造要求	171
6.9.1	剪力墙的厚度和混凝土强度等级	171
6.9.2	剪力墙的加强部位	171
6.9.3	剪力墙内力设计值的调整	172
6.9.4	剪力墙截面设计	172
6.9.5	剪力墙轴压比限值和边缘构件	176
6.9.6	剪力墙截面的构造要求	178
6.9.7	连梁截面设计	180
6.9.8	剪力墙墙面和连梁开洞时的构造要求	182
	习题	183
第7章	框架-剪力墙结构房屋设计	184
7.1	框架-剪力墙协同工作原理与计算简图	184
7.1.1	协同工作理论基础	184
7.1.2	基本假定与计算简图	184
7.2	结构布置与基本计算参数	186
7.2.1	框架-剪力墙结构中剪力墙的布置	186
7.2.2	板柱-剪力墙结构的布置	187
7.2.3	梁、柱截面尺寸及剪力墙数量的初步拟定	187
7.2.4	基本计算参数	188
7.2.5	截面设计及抗震要求	191
7.3	框架-剪力墙铰接体系结构分析	192
7.3.1	基本方程及其一般解	192
7.3.2	水平均布荷载作用下内力及侧移计算	193
7.3.3	倒三角形分布水平荷载作用下内力及侧移计算	194
7.3.4	顶点集中水平荷载作用下内力及侧移计算	195
7.4	框架-剪力墙刚接体系结构分析	196

7.4.1	基本微分关系	196
7.4.2	基本方程及其解	198
7.4.3	总框架剪力 V_i 和总连梁的线约束弯矩 m 的另一种算法	199
7.4.4	框架-剪力墙结构的受力和侧移特征	199
7.5	框架-剪力墙结构内力计算	202
7.5.1	总框架、总连梁及剪力墙内力	202
7.5.2	构件内力	202
7.6	框架、剪力墙及框架-剪力墙结构考虑扭转效应的近似计算	204
7.6.1	结构侧向刚度与刚度中心	204
7.6.2	考虑扭转后剪力修正	205
7.6.3	讨论	208
7.7	计算实例及分析	208
7.7.1	基本资料	208
7.7.2	刚度计算	209
7.7.3	地震作用计算	212
7.7.4	侧移计算	214
7.7.5	内力计算	215
	习题	219
第8章	筒体结构设计	221
8.1	筒体结构基本概念	221
8.1.1	筒体结构的类型	221
8.1.2	筒体结构的受力性能和工作特点	222
8.1.3	筒体结构建筑实例	223
8.2	框架-核心筒结构的布置	224
8.2.1	框架-核心筒结构的受力特点	224
8.2.2	框架-核心筒结构的布置	227
8.3	框架-核心筒结构的设计与构造	228
8.3.1	框架-核心筒中的框架梁和柱, 以及筒中筒中柱的设计及主要构造要求	228
8.3.2	框架-核心筒和筒中筒结构中墙体的设计及主要构造要求	229
8.3.3	框筒梁和内筒连梁的设计和主要构造要求	229
8.3.4	板的构造要求	230
8.4	框架-核心筒-伸臂桁架结构体系的简介	231
8.4.1	框架-核心筒-伸臂桁架结构体系的基本概念	231
8.4.2	框架-核心筒-伸臂桁架结构体系设计的一般原则	231
8.4.3	框架-核心筒-伸臂桁架结构体系相关结论	232
8.5	框筒、筒中筒和束筒结构的布置	232
8.6	筒体结构计算方法	235
8.6.1	框筒结构的剪力滞后现象	235

8.6.2	等效槽形截面近似估算方法	236
8.6.3	等效平面框架法-翼缘展开法	237
8.6.4	空间杆系-薄壁柱矩阵位移法	238
8.7	筒体结构的截面设计及构造要求	238
8.8	框筒及筒中筒结构计算简介	239
8.8.1	空间构件有限元矩阵位移法	239
8.8.2	等效连续体法	240
8.8.3	有限条方法	240
8.8.4	平面结构分析方法	240
	习题	241
第9章	复杂高层建筑设计	242
9.1	带转换层高层建筑结构	242
9.1.1	转换层的分类及主要结构形式	242
9.1.2	结构布置	243
9.1.3	梁式转换层结构设计	246
9.2	其他高层建筑结构	249
9.2.1	带加强层高层建筑结构	249
9.2.2	错层结构	250
9.2.3	连体结构	251
9.2.4	构造措施	251
	习题	252
第10章	高层建筑钢结构和混合结构设计	253
10.1	高层建筑钢结构设计概要	253
10.1.1	高层建筑钢结构布置及体系	253
10.1.2	高层钢结构抗震设计	255
10.2	钢构件和连接的抗震设计	256
10.2.1	钢构件抗震设计	256
10.2.2	钢结构节点的抗震设计	258
10.3	高层建筑混合结构设计概要	260
10.3.1	高层建筑混合结构的结构布置和概念设计	260
10.3.2	混合结构构件类型	262
10.3.3	混合结构体系	263
10.3.4	高层建筑混合结构分析	266
10.4	型钢混凝土结构设计及计算	267
10.4.1	型钢混凝土梁	267
10.4.2	型钢混凝土柱	270
10.4.3	型钢混凝土剪力墙	273
10.4.4	型钢混凝土其余构件的构造要求	274

习题..... 275

附录..... 277

附表 1 均布水平荷载下各层柱标准反弯点高比 y_0 277

附表 2 倒三角形荷载下各层柱标准反弯点高比 y_0 280

附表 3 上下梁相对刚度变化时修正值 y_1 283

附表 4 上下层柱高度相对刚度变化时修正值 y_1 284

参考文献..... 285

第 1 章 概 述

1.1 高层建筑的定义

所谓高层建筑是相对于多层建筑而言的,是指层数较多、高度较高的建筑。评判一栋建筑是否为高层建筑,通常以建筑的高度和层数作为两个主要指标。但是,迄今为止,多少层数以上或多少高度以上的建筑为高层建筑,世界各国对多层建筑与高层建筑的划分界限并不统一,这与一个国家当时的经济条件、建筑技术、电梯设备、消防装置等许多因素有关。例如,美国规定高度为 22~25m 以上或 7 层以上的建筑为高层建筑;英国规定高度为 24.3m 以上的建筑为高层建筑;日本规定 8 层以上或高度超过 31m 的建筑为高层建筑。表 1.1 中列出了一部分国家和组织对高层建筑起始高度的规定。

表 1.1 一部分国家和组织对高层建筑起始高度的规定

国家和组织名称	高层建筑起始高度
联合国	大于或等于 9 层,分为四类: 第一类:9~16 层(最高到 50m); 第二类:17~25 层(最高到 75m); 第三类:26~40 层(最高到 100m); 第四类:40 层以上(高度在 100m 以上时,为超高层建筑)
前苏联	住宅为 10 层及 10 层以上,其他建筑为 7 层及 7 层以上
美国	22~25m,或 7 层以上
法国	住宅为 8 层及 8 层以上,大于或等于 31m
英国	24.3m
日本	11 层,31m
德国	大于或等于 22m(层室内地面起)
比利时	25m(从室外地面起)

我国《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)规定,10 层及 10 层以上或房屋高度超过 28m 的住宅建筑,以及房屋高度大于 24m 的其他高层民用建筑混凝土结构物为高层建筑。在结构设计时,高层建筑的高度是指自室外地面至房屋主要屋面的高度,不包括突出屋面的电梯机房、水箱、构架等高度。

随着建筑技术的飞速发展,高层建筑高度的大幅度增加,出现了超高层建筑。“超高层建筑”一词来源于日本,即使在日本,超高层建筑也没有明确的分界线,如在 20 世纪 70 年代,指 70m 以上的建筑,而到 80 年代,提高到 100m。目前,日本一般将 120m 以上的建筑称为超高层建筑,由此可以看出,超高层建筑完全是人为界定的,特指当时日

本最高的一些建筑物；日本还将 30 层以上的旅馆、办公楼和 20 层以上的住宅规定为超高层建筑。目前，超高层建筑一词流行广泛，但又无统一和确切的定义，一般泛指某个国家或地区内较高的一些建筑。国际上，通常将高度超过 100m 或层数在 40 层以上的高层建筑称为超高层建筑。

1.2 高层建筑的特点

在高层建筑的设计中，其结构可以设想成为支承在地面上的竖向悬臂构件，承受着竖向荷载和水平荷载的作用，如图 1.1(a)、(b) 所示。与多层建筑结构相比，具有如下特点：

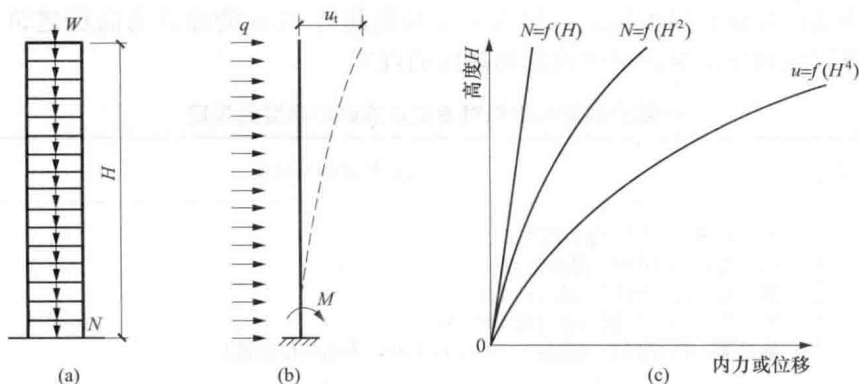


图 1.1 高层结构的受力和变形示意图

(1) 水平荷载成为设计的决定性因素。10 层以下的建筑，由竖向荷载产生的内力占主导地位，水平荷载的影响较小。随着房屋层数的增加，虽然竖向荷载对结构设计有着重要的影响，但水平荷载更为主要，已成为结构设计的控制因素。因为竖向荷载在结构的竖向构件中主要产生轴向压力，其数值仅与结构高度的一次方成正比；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，其数值与结构高度的二次方成正比。而且，与竖向荷载相比，作为水平荷载的风荷载和地震作用，其数值与结构的动力特性等有关，具有较大的变异性。

高层建筑结构底部所产生的轴力 N 和倾覆力矩 M 与结构高度 H 存在着如下关系式

竖向结构的轴力

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

结构底部的倾覆力矩

$$M = \begin{cases} \frac{1}{2} qH^2 & (\text{水平均布荷载}) \\ \frac{1}{3} qH^2 & (\text{水平倒三角荷载}) \end{cases} \quad (1.2)$$

式中 w 、 q ——沿单位建筑高度的竖向荷载和水平荷载, kN/m 。

为直观起见, 结构底部内力 N 、 M 与建筑高度 H 的关系示于图 1.1(c) 中。

(2) 侧移成为设计的控制指标。由于高层建筑高度较高, 水平荷载作用下结构的侧移急剧增大。由图 1.1 可知, 结构顶点的侧移 u_t 与结构高度 H 的四次方成正比, 即

$$u_t = \begin{cases} \frac{1}{9EI} q H^4 & (\text{水平均布荷载}) \\ \frac{11}{120EI} q H^4 & (\text{水平倒三角形荷载}) \end{cases} \quad (1.3)$$

式中 EI ——建筑物的总体抗弯刚度 (E 为弹性模量, I 为惯性矩)。

由图 1.1(c) 中结构顶点侧移 u_t 与建筑高度 H 的关系可知, 水平荷载作用下, 随着建筑物高度的增大, 水平位移增加的速度最快, 内力次之。因此, 高层建筑结构设计时, 为了有效地抵抗水平荷载产生的内力和变形, 必须选择可靠的抗侧力结构体系, 使所设计的结构不仅具有较大的承载力, 而且还应具有较大的侧向刚度, 将水平位移限制在一定的范围内。

结构的侧移与结构的使用功能和安全性有着密切关系。因为, 过大的水平位移会使人产生不安全感, 会使填充墙和主体结构出现裂缝或损坏, 造成电梯轨道变形, 影响正常使用; 过大的侧移会使结构因 $p-\Delta$ 效应而产生较大的附加内力等。同时, 对水平荷载作用下结构侧移的控制实际上是对结构构件截面尺寸和刚度大小控制的一个相对指标。

(3) 轴向变形在设计中的影响。轴向变形的影响在设计中是不可忽视的, 竖向荷载是从上到下一层一层传递累积的, 会使高层建筑的竖向结构构件产生较大的轴向变形。如在框架结构中, 中柱承受的轴压力一般要大于边柱的轴压力, 相应地中柱的轴向压缩变形要大于边柱的轴向压缩变形。当房屋很高时, 中柱和边柱就会产生较大的差异轴向变形, 使框架梁产生不均匀沉降, 造成框架梁的弯矩分布发生较大的变化。图 1.2(a) 为未考虑各柱轴向变形时框架梁的弯矩分布, 图 1.2(b) 为考虑各柱差异轴向变形时框架梁的弯矩分布。同时, 在高层建筑特别是超高层建筑中, 竖向构件 (特别是柱) 的轴向压缩变形对预制构件的下料长度和楼面标高会产生较大的影响。

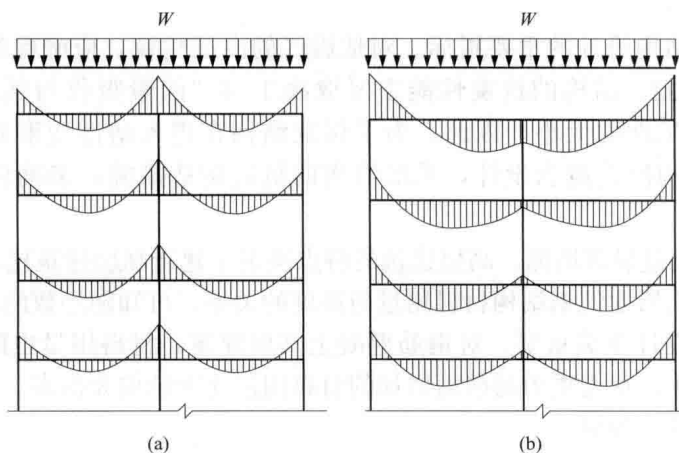


图 1.2 柱轴向变形对高层框架梁弯矩分布的影响

随着建筑高度的增大,结构的高宽比增大,水平荷载作用下的整体弯曲影响越来越大。一方面,整体弯曲使竖向结构体系产生轴向压力和拉力;另一方面,竖向结构体系中的轴向压力和拉力,使一侧的竖向构件产生轴向压缩,另一侧的竖向构件产生轴向拉伸,从而引起结构产生水平侧移,如图 1.3 所示。计算表明,水平荷载作用下,竖向结构体系的轴向变形对结构的内力和水平侧移有着重要的影响。

例如,某三跨 12 层框架,层高均为 4m,全高 48m,高宽比为 2.59,在均布水平荷载作用下,柱轴向变形所产生的侧移可达梁、柱弯曲变形所产生侧移的 40%。

又如,某 17 层钢筋混凝土框架-剪力墙结构,其结构平面如图 1.4 所示,在水平荷载作用下,采用矩阵位移法分别进行了考虑和不考虑轴向变形的内力和位移计算;结果表明,与考虑竖向构件轴向变形的剪力相比较,不考虑竖向轴向变形时,各构件水平剪力的平均误差达 30%以上,如图 1.4 所示为不考虑轴向变形时楼层剪力的平均误差。计算结果还表明,不考虑轴向变形时顶点侧移为考虑轴向变形时的 $1/3 \sim 1/2$;不考虑轴向变形时结构的自振周期为考虑轴向变形时的 $1/1.7 \sim 1/1.4$ 。

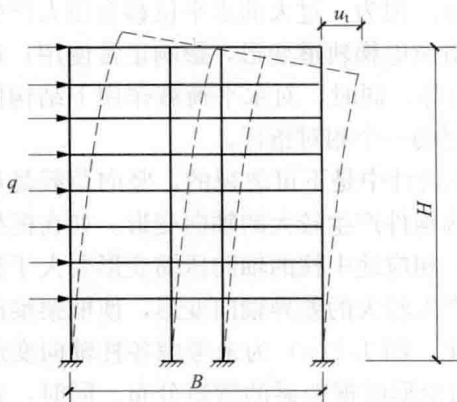


图 1.3 竖向结构体系的整体弯曲变形

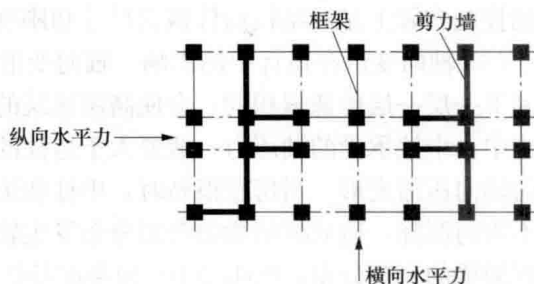


图 1.4 某框架-剪力墙结构平面及构件水平剪力计算误差

(4) 延性成为结构设计的重要指标。对地震区的高层建筑,应确保结构在地震作用下具有较好的抗震性能。结构的抗震性能主要取决于其“能量吸收与耗散”能力的大小,而它又取决于结构延性的大小。因此,为了保证结构在进入塑性变形后仍具有较好的抗震性能,需加强结构抗震概念设计,采取恰当的抗震构造措施,来确保结构具有较好的延性。

(5) 结构材料用量显著增加。高层建筑的特点决定了建造高层建筑比多层建筑需要更多的材料。图 1.5 为高层建筑钢结构材料用量与高度的关系,可知随层数的增加,水平力作用下对结构进行优化设计至关重要。对钢筋混凝土高层建筑,材料用量也随层数的增加而增多,但不同之处在于,承受重力荷载而增加的材料用量比钢结构大得多,而为抵抗风荷载所增加的材料用量却并不很多。

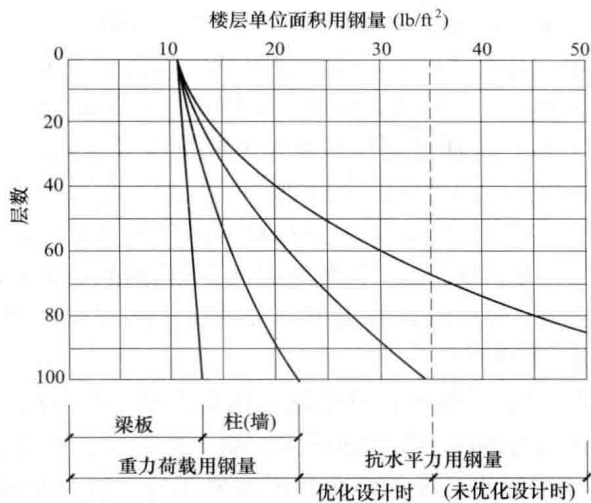


图 1.5 高层钢结构材料用钢量与高度的关系

1.3 高层建筑结构的类型

按照使用材料的不同，高层建筑可分为砌体结构、钢筋混凝土结构、钢结构和钢-混凝土混合结构等类型。

砌体结构是用砖砌体、石砌体或砌块砌体建造的结构，又称砖石结构。虽然其具有取材容易、施工简便、造价低廉等优点，但由于砌体是一种脆性材料，其抗拉、抗弯、抗剪强度均较低，抗震性能较差，现代高层建筑很少采用无筋砌体结构建造。在砌体内配置钢筋后，可大大改善砌体的受力性能，使之用于建造地震区和非地震区的中高层建筑成为可能。

钢筋混凝土结构是以混凝土为主制作的结构，具有取材容易、良好的耐久性和耐火性、承载能力大，刚度好、节约钢材、降低造价、可模性好，以及能浇制成各种复杂的截面和形状等优点，现浇整体式混凝土结构还具有整体性好，经过合理设计，可获得较好的抗震性能。钢筋混凝土结构布置灵活方便，可组成各种结构受力体系，在高层建筑中得到了广泛的应用，特别是在我国和其他一些发展中国家，高层建筑主要以混凝土结构为主。世界第一幢混凝土高层建筑为 1903 年建成的美国辛辛那提市的英格尔斯（Ingalls）大楼。但由于钢筋混凝土结构自重大，导致构件截面较大，占据较大的面积，如广东国际大厦，65 层，总高 200m，底层柱截面尺寸已达 1.8m×2.2m，占据了较大的空间。此外，钢筋混凝土结构施工工序复杂，建造周期较长，且受季节的影响等缺点，对高层建筑也较为不利。由于高性能混凝土材料的发展和施工技术的不断进步，钢筋混凝土结构仍将是今后高层建筑的主要结构类型。目前，美国、日本等从钢结构起步建造高层建筑的国家已转向发展混凝土结构，我国从 20 世纪 60 年代至今，绝大多数高层建筑都是采用钢筋混凝土结构。今后钢筋混凝土结构仍将是我国高层建筑发展的主流。

钢结构是由钢板、型钢、钢管、钢绳、钢束等材料经过焊、铆、螺栓等形式连接而成的结构，具有材料强度高、截面小、自重轻、塑性和韧性好、制造简便、施工周期短、抗震性能好等优点，在高层建筑中也有着较广泛的应用。但由于高层建筑钢结构用钢量大，造价

高,加之因钢结构防火性能差,需要采取防火保护措施,增加了工程造价。钢结构的应用还受钢铁产量和造价的限制,在发达国家,高层建筑的结构类型主要以钢结构为主。近年来,随着我国国民经济的增强和钢产量的大幅度提高,以及高层建筑建造高度的增加,采用钢结构的高层建筑也不断地增多。特别是对地基条件差或抗震要求高,而高度又较大的高层建筑,更适合采用钢结构。如美国纽约的帝国大厦(102层,高384m)和已遭恐怖袭击倒塌的世界贸易中心(110层,高412m),美国芝加哥的西尔斯大厦(110层,442m),还有我国深圳的地王大厦(81层,高384m),上海的锦江宾馆分馆(46层,高153m)和国际贸易中心(37层,高140m),北京的京城大厦(52层,高183m)和京广中心(57层,高208m)等,均采用钢结构建造。

钢-混凝土组合结构或混合结构不仅具有钢结构自重轻、截面尺寸小、施工进度快、抗震性能好等特点,同时还兼有混凝土结构刚度大、防火性能好、造价低的优点,因而被认为是一种较好的高层建筑结构形式,近年来在我国发展迅速。组合结构是将钢材放在构件内部,外部由钢筋混凝土做成(称为钢骨混凝土),或在钢管内部填充混凝土,做成外包钢构件(称为钢管混凝土)。如北京的香格里拉饭店(24层,高83m)采用钢骨混凝土柱,上海环球金融中心大厦(95层,460m)和陕西信息大厦(52层,高189m)均采用钢骨混凝土框筒结构,深圳的赛格广场大厦(76层,高292m)采用圆钢管混凝土柱,中国香港中心大厦(70层,高292m)和中国台北国际金融中心大厦均采用方钢管混凝土柱。混合结构一般是指由钢筋混凝土或钢骨混凝土剪力墙(或筒体)及钢框架组成的抗侧力体系,以刚度很大的剪力墙或筒体承受风力和地震作用,钢框架主要承受竖向荷载,这样可以充分发挥两种结构材料各自的优势,达到良好的经济技术效果。从目前的一些工程来看,内部为钢筋混凝土剪力墙或筒体,外部为钢框架的体系应用比较广泛,如我国上海静安希尔顿饭店(43层,高143m),深圳发展中心(48层,165m)和上海浦东国际金融大厦(53层,230m)。混合结构的另一种形式为外框筒采用钢筋混凝土或钢骨混凝土结构,具有很大的刚度,内部则采用钢框架以满足使用空间的要求,如美国芝加哥的 Three First National Plaza 大厦(58层,236m),外筒柱距为5m的钢筋混凝土筒体,内部为钢框架。还有一些高层建筑是由钢-钢骨混凝土(或钢管混凝土)-钢筋混凝土组成的混合结构,如上海的金茂大厦(93层,370m),核心筒为钢筋混凝土结构,四边几根大柱为钢骨混凝土柱,其余周边柱为钢柱,楼面梁为钢梁。

综上所述,目前我国高层建筑中仍以混凝土结构为主,在混凝土高层建筑结构抗震设计方面,已处于世界先进行列。高层建筑钢结构和混合结构已有相当的数量,预期其应用会逐步增多,应对其设计和施工进行更深入的研究。

1.4 高层建筑的发展概况

随着经济的不断发展,科技的日益进步,高层建筑建造的数量越来越多,规模越来越大,地域也越来越广。近30年,世界各地兴建的高层建筑,其规模之大,数量之多,技术之先进,形式之多样,外观之新颖,无一不让人惊叹称奇。

1.4.1 高层建筑发展简史

1. 古代

古代的高层建筑是为防御、宗教或航海需要而建造。有代表性的高层建筑有: