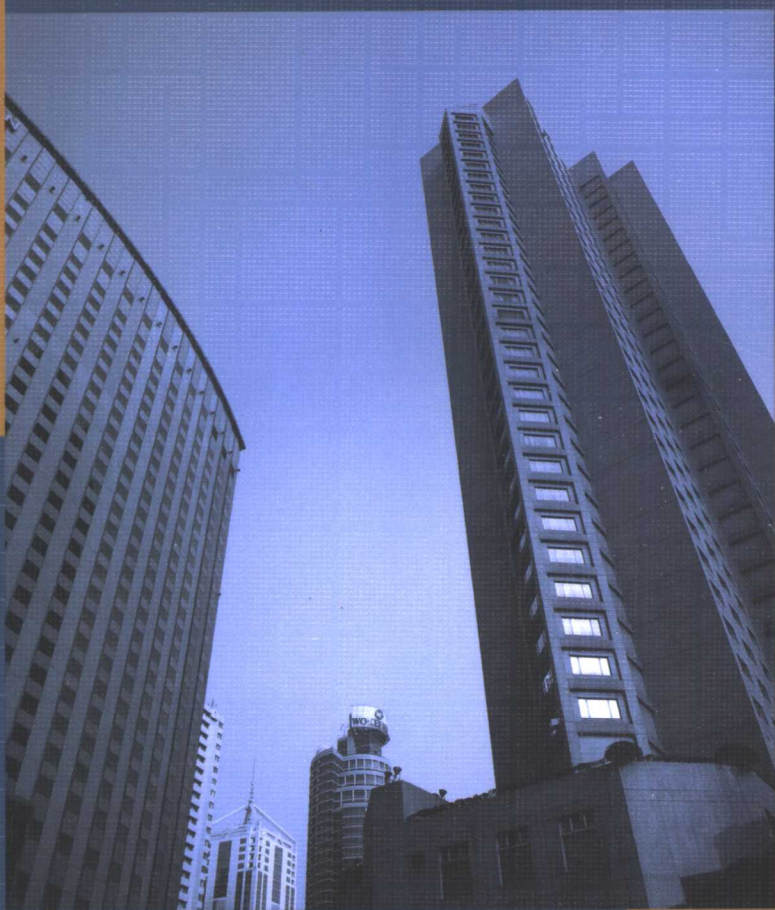




高等学校土木工程专业系列教材

高层建筑结构设计原理

彭伟 编著



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

高等学校土木工程专业系列教材

高层建筑结构设计原理

彭 伟 编著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本书按照建筑结构荷载规范(GB 50009—2001),建筑抗震设计规范(GB 50011—2001),混凝土结构设计规范(GB 50010—2001),高层建筑混凝土结构技术规程(JGJ 3—2002)和高层民用建筑钢结构技术规程(JGJ 99—98)等新规范、新规程编写。

全书系统阐述了高层建筑结构体系与布置;高层建筑结构的荷载;高层建筑结构的设计要求;高层建筑框架结构、剪力墙结构、框架—剪力墙结构、筒体结构与高层钢结构等的特点、布置和分析计算方法。对高层建筑抗风、抗震设计及结构截面设计等也作了详细介绍。全书安排了一些例题和适量思考题、习题。

本书可作为土木工程专业本科生的教材,也可供结构设计、施工及研究人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

高层建筑结构设计原理/彭伟编著. —成都:西南交通大学出版社, 2004.9
ISBN 7-81057-947-9

I. 高... II. 彭... III. 高层建筑—结构设计
IV. TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 082037 号

高层建筑设计原理 彭伟 编著

责任编辑	唐元宁
封面设计	何东琳设计工作室
出版发行	西南交通大学出版社出版发行 成都二环路北一段 111 号
邮 编	610031
发行部电话	028-87600533 87600564
网 址	http://press.swjtu.edu.cn
E-mail	cbsxx@swjtu.edu.cn
印 刷	成都蜀通印务有限责任公司印刷
开 本	787 mm × 1 092 mm 1/16
印 张	25.375
字 数	608 千字
印 数	1—5000 册
版 次	2004 年 9 月第 1 版
印 次	2004 年 9 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 7-81057-947-9/TU · 352
定 价	36.00 元

图书如有印装问题,本社负责退换
版权所有,盗版必究,举报电话:(028) 87600562

前 言

为适应教育部颁布、实施的新《普通高等学校本科专业目录》对土木工程类人才的培养要求，按土木工程专业大类教学计划的构建要求，特编写本书，以适应教学需要。该书曾作为讲义，在西南交通大学进行了几年的讲授，现在原讲义的基础上修订而成。

编写本书的指导思想是在内容上既有理论又注重实用，在文字叙述上力求简明扼要，说理清楚，又突出重点，并适当地考虑了《国家一级注册结构工程师考试大纲》对土木类专业人才知识结构的要求。

在教学应用方面，由于该书是一门技术性很强的专业课教材，编写上强调理论与实际、科学与技术相结合的原则，并提出运用科学理论解决实际问题的方法。

世纪之交，在我国广阔的土地上正进行着世界上最大规模的基本建设，高层建筑的发展更是有如雨后春笋，日新月异。其数量之多、规模之大、设计技术之先进和艺术之动人，是过去所不可比拟的。这就为高层建筑结构工程学科的发展提供了最好的发展机遇。因此，本书在编写过程中注意适当地介绍了本学科的一些新发展和新成果。

本书由彭伟编著，张磊编写了第三章框架结构的设计例题。

编写本书时，参考、引用了一些公开发表的文献和资料，在此谨向这些作者表示深深的谢意。

本书可作为土木工程专业的教学用书，也可供从事土木工程设计和施工的技术人员参考。由于编者水平有限，加上时间仓促，不当之处敬请批评指正。

编 者

2004年6月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 国内外高层建筑发展概况	1
第二节 高层建筑结构设计的特点	6
第三节 高层建筑的结构类型及结构体系	10
第四节 高层建筑的结构布置原则	38
思考题	53
第二章 高层建筑荷载计算和设计要求	55
第一节 竖向荷载的计算	55
第二节 风荷载的计算	60
第三节 地震作用的计算	75
第四节 高层建筑结构的荷载效应组合	103
第五节 高层建筑结构计算简化的一般规定	105
第六节 高层建筑结构的设计要求	107
第七节 高层建筑结构的设计步骤	120
思考题	121
习 题	122
第三章 框架结构设计	123
第一节 框架结构的布置与计算简图	123
第二节 框架结构在竖向荷载作用下的近似计算	129
第三节 框架结构在水平荷载作用下的近似计算——反弯点法	137
第四节 框架结构在水平荷载作用下的改进反弯点法—— D 值法	143
第五节 框架结构在水平荷载作用下侧移的近似计算	156
第六节 框架的内力组合及最不利内力	161
第七节 框架结构构件截面设计及构造要求	170
第八节 框架结构算例	210
思考题	222
第四章 剪力墙结构设计	224
第一节 剪力墙结构的计算假定	224
第二节 剪力墙的受力特点、分类和计算方法	226
第三节 剪力墙结构的内力和侧移计算	232
第四节 剪力墙截面设计及构造要求	254

第五节 连梁截面设计及构造要求	271
第六节 剪力墙结构的布置要求	277
思考题	281
第五章 框架—剪力墙（筒体）结构设计	282
第一节 框—剪结构的分类和计算简图	283
第二节 框架—剪力墙（筒体）结构的简化计算方法	288
第三节 框架—剪力墙（筒体）结构的构件设计	302
思考题	303
第六章 筒体结构设计	305
第一节 筒体结构在侧向力作用下的受力特点	305
第二节 筒体结构的计算方法	308
第三节 筒体结构的布置要点	312
第四节 筒体结构的截面设计及构造要求	319
思考题	322
第七章 高层建筑钢结构设计	323
第一节 高层钢结构材料	323
第二节 高层建筑钢结构体系与选型	329
第三节 高层钢结构基本设计规定	343
第四节 高层钢结构内力和位移计算	350
第五节 高层钢结构构件设计	357
第六节 高层钢结构节点设计	379
思考题	386
第八章 高层建筑与地基基础的共同作用简介	388
第一节 概 述	388
第二节 共同作用分析中采用的地基模型	391
第三节 高层建筑与地基基础共同作用的分析方法	393
第四节 高层建筑与地基基础共同作用的机理分析	396
参考文献	399

第一章 绪 论

人类有史以来就有脱离地面、接近苍穹的渴望，从圣经故事中的巴别通天塔到圣保罗大教堂，人们一直渴望建造高大建筑。攀登珠穆朗玛峰是人们为了体验九天揽月的某种愿望，建造摩天大楼或许也与这种愿望有关。在现代房地产业发展中高层建筑占有愈益明显的位置，直插云霄的摩天大楼体现了现代人类世界的远大抱负。

高大建筑往往使某些人或公司出名，在马来西亚国有石油公司的塔楼建成之前，很少有人知道马来西亚国有石油公司，尽管它是世界上最大的石油生产商之一。

近 30 年来，高层建筑发展十分迅速，如雨后春笋林立干世界各地，具有强大的生命力。它的突出优点是有效地利用空间资源，占地面积小，可缓解大城市的住房困难、交通拥挤和用地紧张等问题。据国外的有关资料介绍，9~10 层的建筑比 5 层的节约用地 23%~28%，16~17 层的建筑比 5 层的节约用地 32%~49%。

不论是为了炫耀，还是为了解决实际需要，人们都将不断建造高层建筑。事实证明丁高层建筑并未像某些人预言的那样逐渐走向衰亡，而是仍然保持着旺盛的发展势头，尤其是在第三世界国家。

第一节 国内外高层建筑发展概况

一、高层建筑的定义

对高层建筑的定义与一个国家的经济条件、建筑技术、电梯设备、消防装置等许多因素有关。

全世界对高层建筑至今没有统一的划分标准，在不同国家、不同年代，其规定也不一样。例如，美国规定高度 22~25 m 以上或 7 层以上的建筑为高层建筑；英国规定高度 24.3 m 以上的建筑为高层建筑；日本则把 8 层以上或建筑高度超过 31 m 的建筑称为高层建筑，并把 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。

根据联合国教科文组织所属的世界高层建筑委员会的建议，一般将高层建筑划分为以下四类：

I 类高层：9~16 层，高度不超过 50 m；

II 类高层：17~25 层，高度不超过 75 m；

Ⅲ类高层: 26~40层, 高度不超过 100 m;

Ⅳ类高层: 40层以上, 高度超过 100 m 以上。

我国在《高层建筑混凝土结构技术规程》(以下简称《高规》)中规定: 10层及 10层以上或房屋高度超过 28 m 的混凝土结构高层民用建筑物称为高层建筑, 并把常规高度的高层建筑称为 A 级高度的高层建筑, 把高度超过 A 级高度限值的高层建筑称为 B 级高度的高层建筑。其中 A 级高度钢筋混凝土高层建筑的适用高度见表 1.1, B 级高度钢筋混凝土高层建筑的适用高度见表 1.2, 钢结构高层建筑的适用高度见表 1.3。

表 1.1 A 级高度钢筋混凝土高层建筑的适用高度 (m)

结构体系	非抗震设计	抗震设防烈度			
		6 度	7 度	8 度	9 度
框 架	70	60	55	45	25
框架—剪力墙	140	130	120	100	50
剪力墙	全部落地	150	140	120	100
	部分框支	130	120	100	80
筒 体	框架—核心筒	160	150	130	100
	筒中筒	200	180	150	120
板柱—剪力墙	70	40	35	30	不应采用

表 1.2 B 级高度钢筋混凝土高层建筑的适用高度 (m)

结构体系	非抗震设计	抗震设防烈度		
		6 度	7 度	8 度
框架—剪力墙	170	160	140	120
剪力墙全部落地	180	170	150	130
剪力墙部分框支	150	140	120	100
框架—核心筒	220	210	180	140
筒中筒	300	280	230	170

表 1.3 钢结构高层建筑的适用高度 (m)

结构类型	结构体系	非抗震设计	抗震设防烈度		
			6 度、7 度	8 度	9 度
钢 结 构	框 架	110	110	90	—
	框架—支撑 (剪力墙)	240	200	180	140
	各类筒体	400	350	300	250
混凝土—钢结构	钢框架—混凝土剪力墙	220	180	—	—
	钢框架—混凝土芯筒	220	220	150	—
	钢框筒—混凝土芯筒	220	220	150	—
型钢混凝土结构	框 架	110	110	90	70
	框架—剪力墙	180	150	120	100
	各类筒体	200	180	150	120

说明:

- (1) 上述三表对于甲类建筑宜按设防烈度提高一度后查用。
- (2) 对于位于Ⅳ类场地的建筑或不规则特殊建筑,其适用高度宜适当降低。
- (3) 在结构设计中,高层建筑的高度一般是指从室外地面至主体结构屋面的距离,不包括突出屋面的水箱、电梯间、地下室等部分的高度。

二、高层建筑的发展概况

在世界几千年建筑史中,构成建筑物的物质手段与技术措施,大多局限于土木砖石等比较原始的材料与简单的砌筑方式,建筑都是属于低层的,它们蔓延于地平线上,形成紧凑的组群与拘谨的空间。

高层建筑是近代经济发展和科学技术进步的产物。高层建筑虽然在 19 世纪末就已出现,但是真正在世界上得到普遍的发展还是 20 世纪中叶的事,尤其是近 30 年来,它犹如雨后春笋,已逐渐遍及到世界各国。世界各地兴建的各种高层建筑数量之多、规模之大、设计技术之先进和艺术之动人,是过去所不可比拟的。高层建筑显示出人类塑造空间环境,形成现代城市风貌的优越技术与才能。

高层建筑之所以具有这样大的生命力,能在较短的时期内蓬勃地发展,其原因是:

- (1) 由于城市人口高度集中,市区用地紧张,地价昂贵,迫使建筑不得不向高空发展。
- (2) 高层建筑占地面积小,在既定的地段内能最大限度地增加建筑面积,扩大市区空地,有利城市绿化,改善环境卫生。
- (3) 由于城市用地紧凑,可使道路、管线设施相对集中,节省市政投资费用。
- (4) 在设备完善的情况下,垂直交通比水平交通方便,可使许多相互有关的机构放在一座建筑物内,便于联系。在建筑群布局上,高低相间,点面结合,可以改善城市面貌,丰富城市艺术。
- (5) 大企业为了显示自己的实力与取得广告效果,彼此竞相建造高楼。

(6) 由于社会生产力的发展和广泛地进行科学试验的结果,特别是电子计算机与现代先进技术的应用,为高层建筑的发展提供了科学基础。

高层建筑的发展同时是和垂直交通问题的解决分不开的。回顾 19 世纪中叶以前,欧美城市建筑的层数一般都在 6 层以内,这就明显地反映了垂直交通的局限性。自从 1853 年奥蒂斯在美国发明了安全载客升降机以后,把楼层高度从人体能攀登的高度限制中解放出来,高层建筑的实现才有了可能性。

从 1885 年美国兴建第一幢高层建筑——芝加哥人寿保险公司大楼(10 层,55 m,见图 1.1)算起,至今已有 100 多年的历史。



图 1.1 芝加哥人寿保险公司大楼

在这期间，特别是在 20 世纪 70 年代和 80 年代，高层建筑的发展是很快的，全世界范围内差不多有 35 个国家建造了 100 m 以上的高层建筑。随着材料、结构、设备、消防等方面的发展，美国高层建筑的高度纪录几乎以每 10 年提高 10 层的速度增长。19 世纪末，美国的高层建筑已达到 29 层，118 m 高。在 20 世纪初，美国高层建筑的高度继续大幅度上升，1911—1913 年在纽约建造的伍尔沃斯大厦（Woolworth Building），高度已达 52 层，241 m。1931 年在纽约建造号称 120 层的帝国大厦，高 381 m，在 20 世纪 70 年代前一直保持着世界最高的记录。

目前世界上最高的建筑物是马来西亚石油双塔大厦（88 层，450 m，见图 1.2），中国最高的建筑物是上海金茂大厦（88 层，420 m，见图 1.3，世界第三高楼）。汉考克大厦和世界贸易中心如图 1.4、图 1.5 所示，图 1.6 为西尔斯大厦的结构示意图。

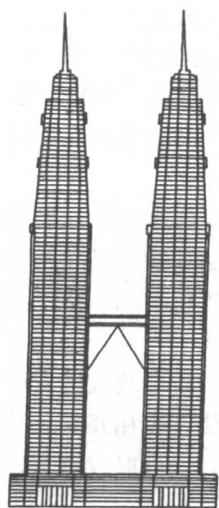


图 1.2 马来西亚石油大厦

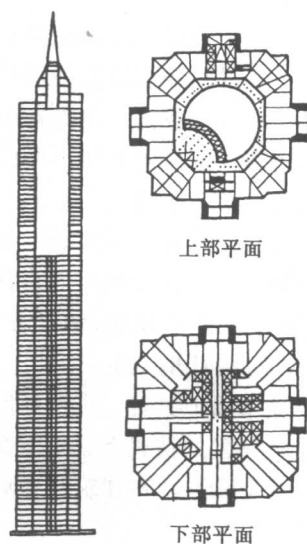


图 1.3 上海浦东金茂大厦

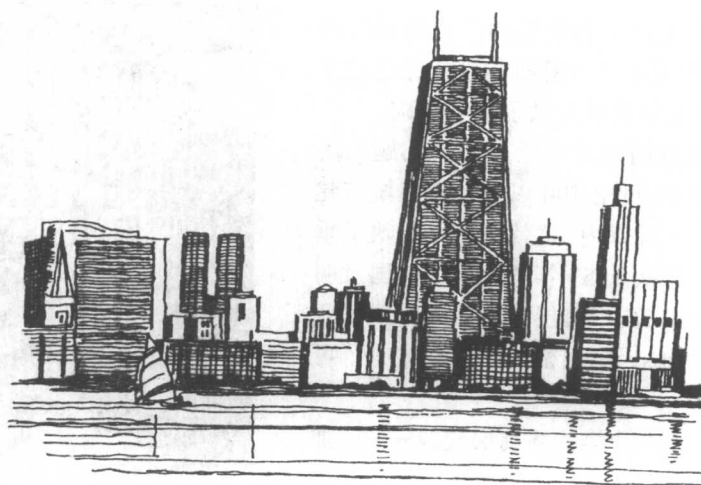


图 1.4 汉考克大厦

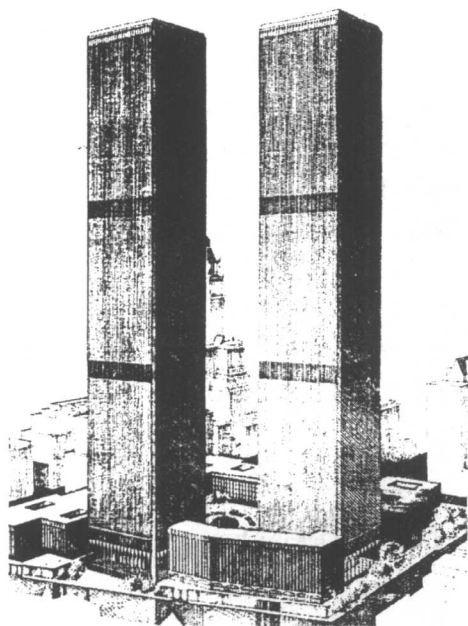


图 1.5 世界贸易中心

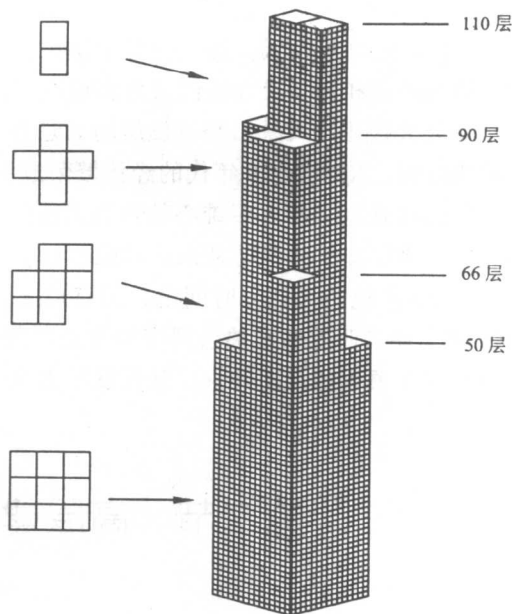


图 1.6 西尔斯大厦

由于出现了轻质高强材料、新的结构体系和高速电梯, 150~200 层的建筑在技术上已成为可能。因此, 近年来高层建筑又向新的方向发展。美国正在规划好几幢摩天大楼, 如电视城大厦, 150 层, 509 m。为了解决人口向东京等大城市集中造成的地价上涨、公害、交通、停车场等问题, 日本大建筑公司纷纷计划建筑超高层建筑, 幻想进入超高层建筑时代。由日本大成建设公司宣布要建设的 X-CEED4000 有 4 000 m 高, 是迄今宣布建设的建筑中最高的。它的外形像富士山, 工程期为 30 年, 造价 2 500 亿美元。它的地面直径为 6 km, 内部面积为 5 000~7 000 公顷, 可居住 50~70 万人, 就业人口可达 30~50 万人。

我国自 20 世纪 50 年代初开始设计、建造高层建筑, 虽然只有 40 余年的历史, 但发展是很快的, 特别是在钢筋混凝土高层方面有明显的进展, 近十几年内高层钢结构建筑也有所发展。

20 世纪 60 年代, 建成广州宾馆 (27 层, 88 m)。

20 世纪 70 年代, 建成北京饭店新楼 (19 层, 87 m, 在地震区首次突破 80 m); 1976 年建成白云宾馆 (33 层, 112 m, 我国高层建筑首次超过 100 m)。

20 世纪 80 年代, 我国高层建筑发展进入全盛时期, 全国 30 多个大中城市都兴建了一批高层建筑。

进入 20 世纪 90 年代以来, 我国高层建筑更是迅猛发展。1996 年建成深圳地王大厦, 81 层, 325 m; 1998 年建成上海金茂大厦, 88 层, 420 m, 是目前世界第三高楼。

正在施工的上海环球金融中心, 95 层, 460 m, 将是世界最高的建筑物。

以往, 摩天大楼是北美的天下。落成于 1931 年的纽约帝国大厦, 曾傲视全球 40 年, 直到 20 世纪 70 年代, 才被更高的纽约世界贸易中心大厦 (见图 1.5) 和芝加哥的西尔斯大厦

(见图 1.6) 所取代。北美摩天大楼声名显赫, 但其称霸地位正在动摇。因为, 亚洲各地正在竞相建造超高层摩天大楼, 包括中国以及马来西亚、日本, 都已卷入这股攀比高度的热潮中。争建高层和超高层大楼已成为实现现代化和显示经济实力的一个新标志。

摩天大楼还能反映出经济发展的大趋势。随着经济的繁荣和衰退, 建造摩天大楼的进程也时快时慢。20 世纪 80 年代的经济繁荣成为世界许多城市建造高层建筑的催化剂, 而 90 年代初的经济衰退又使许多雄心勃勃的工程停顿下来。然而, 在日益繁荣的亚洲市场上, 建造标志性的高层建筑的愿望从未这样强烈过。

在 20 世纪的大部分时间里, 拥有最高建筑的荣耀在芝加哥和纽约之间来回更迭, 直到 1998 年, 马来西亚的石油公司塔楼使这项荣誉转移到太平洋彼岸。这似乎预示着建筑活动的焦点出现了重大的地理转移, 从而展示出太平洋周边地区国家的经济繁荣。

第二节 高层建筑设计的特点

1. 承受的荷载

高层建筑和低层建筑一样, 承受自重、活载、雪载等垂直荷载和风、地震等水平力。

在低层结构中, 水平荷载产生的内力和位移很小, 通常可以忽略; 在多层结构中, 水平荷载的效应(内力和位移)逐渐增大; 在高层建筑中, 水平荷载和地震力将成为主要的控制因素(见图 1.7)。

2. 对结构内力的影响

从对结构内力的影响看, 垂直荷载主要使柱产生轴力, 其与房屋高度大体上为线性关系(见图 1.8); 水平荷载则产生弯矩, 其与房屋高度呈二次方变化(见图 1.8)。

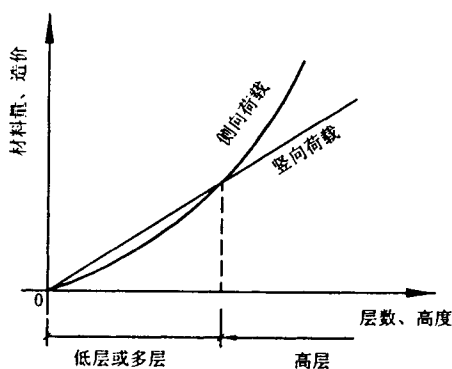


图 1.7 荷载对建筑的影响

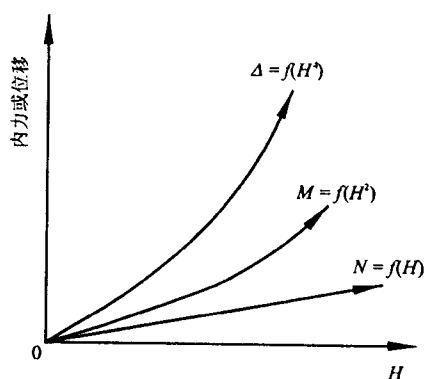


图 1.8 建筑高度对内力和位移的影响

3. 受力特性

从受力特性看, 垂直荷载方向不变, 房屋高度增加, 仅引起量的增加; 水平荷载则来自任意方向, 反向荷载可能使内力反号。

4. 侧移

从侧移观点看, 侧移主要由水平荷载产生, 且与高度呈四次方变化 (见图 1.8)。

高层建筑设计不仅需要较大的承载能力, 而且需要较大的刚度, 使侧移不至于过大, 这是因为:

- (1) 过大的侧移, 影响使用。
- (2) 过大的侧移, 会使填充墙和装修损坏, 也会使电梯轨道变形。
- (3) 过大的侧移, 会使主体结构出现裂缝, 甚至损坏。
- (4) 过大的侧移, 会使结构产生附加内力 ($P-\Delta$ 效应), 甚至引起倒塌。

5. 更高的抗震设计要求

有抗震设防的高层建筑结构设计, 除要考虑正常使用时的竖向荷载、风荷载以外, 还必须使结构具有良好的抗震性能, 做到小震时不坏, 大震时不倒塌。

建筑结构是否具有耐震能力, 主要取决于结构所能吸收的地震能量, 它等于结构承载力与变形能力的乘积 (见图 1.9)。而结构抗震能力是由承载力和变形能力两者共同决定的。当结构承载力较小, 但具有很大延性, 所能吸收的能量多, 虽然较早出现损坏, 但能经受住较大的变形, 避免倒塌。但是, 仅有较大承载力而无塑性变形能力的脆性结构, 吸收的能量少, 一旦遭遇超过设计烈度的地震作用时, 很容易因脆性破坏使房屋造成倒塌。

一个构件或结构的延性用延性系数 μ 表达, 一般为最大允许变形 Δ_p 与屈服变形 Δ_y 的比值, 变形可以是线位移、转角或层间侧移, 其相应的延性, 称之为线性位移延性、角位移延性和相对位移延性。结构延性的表达式为

$$\mu = \Delta_p / \Delta_y$$

式中 Δ_y ——结构屈服时荷载 F_y 对应的变形;

Δ_p ——结构极限荷载 F_m 或降低 10% 时所对应的最大允许变形 (见图 1.10)。

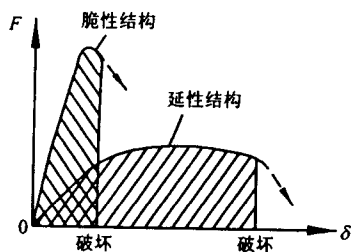


图 1.9 结构的变形

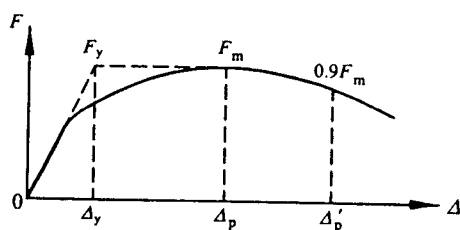


图 1.10 屈服变形和最大允许变形

结构的延性与许多因素有关, 如结构材料、结构体系、总体布置、节点连接、构造措施等。要计算结构的延性是很困难的, 一般通过试验测定。

结构或构件的延性是通过一系列的构造措施实现的。因此, 在高层建筑的设计中, 为使结构具有良好的延性, 构件要有足够的截面尺寸、柱的轴压比、梁和剪力墙的剪压比, 构件的配筋率要适宜, 应遵照规范、规程的规定要求。高层建筑钢筋混凝土结构的延性要求为 $\mu = 4 \sim 8$ 。

6. 抗震结构的概念设计与理论计算同等重要

结构抗震设计中存在着许多不确定或不确知的因素。例如,地震地面运动的特征(强度、频谱、持时)是不确定的,结构的地震响应也就很难确定,同时又很难对结构进行精确计算。

高层建筑工程的抗震设计计算是在一定假定条件下进行的。尽管分析的手段不断提高,分析的原理不断完善,但是由于地震作用的复杂性和不确定性,地基土影响的复杂性和结构体系本身的复杂性可能导致理论分析计算和实际情况相差数倍之多。尤其是当结构进入弹塑性阶段之后,会出现构件的局部开裂,甚至破坏,这时结构已很难用常规的计算原理去进行内力分析。

实践表明,在设计中把握好高层建筑的概念设计,从整体上提高建筑的抗震能力,消除结构中的抗震薄弱环节,再辅以必要的计算和结构措施,才能设计出具有良好的耐震性能和足够抗震可靠度的高层建筑。

概念设计是指在设计中,要求工程师运用概念进行分析(不是只依赖计算),做出判断,采取相应措施。判断能力主要来自工程师本人所具有的设计经验,包括力学知识、专业知识、对结构地震破坏机理的认识、对地震震害经验教训和试验破坏现象认识的积累等。

概念设计是抗震设计很重要的一部分,涉及的内容十分丰富,主要有以下几点:

(1) 选择对建筑抗震有利的场地和地基。

场地条件通常指局部地形、断层、地基土层、砂土液化等。表土覆盖层土质硬、厚度小,则承载力高、稳定性好,在地震作用下不易产生地基失效;土质愈软、厚度愈大,对地震的放大效应愈大;局部突出的土质山梁,孤立的包,对地震效应有放大作用;在发震断层,地震中常出现地层错位、滑坡、地基失效或土体变形。

抗震设计时,应选择坚硬土或中硬土地,当无法避开不利的或危险的场地时,应采取相应措施。

(2) 选择延性好的结构体系与材料。

(3) 抗震结构平面及立面布置应简单、规则。抗震结构的刚度、承载力和延性在楼层平面内应均匀,沿结构竖向应连续,刚度和质量分布均匀。

(4) 对于抗震结构,应设计成延性结构。

(5) 减轻结构自重有利于抗震。

(6) 抗震结构刚度不宜过大,结构也不宜太柔,要满足位移限制。所设计结构的周期要尽量与场地土的卓越周期错开,大于卓越周期较好。

(7) 防止结构出现软弱层而造成严重破坏或倒塌,防止传力途径中断。特别是不规则结构或体型复杂的结构,一定要设置从上到下贯通连续的有较大的刚度和承载力的抗侧力结构。

(8) 抗震结构应尽量减少扭转,扭转对结构的危害很大,同时要尽量增大结构的抗扭刚度。

(9) 抗震结构必须具有承载力和延性的协调关系。延性不好的构件或进入塑性产生较大变形的,对结构抗倒塌不利的部位可设计较高的承载力,使它们不屈服或晚屈服。

(10) 尽可能设置抵抗地震的多道防线。

超静定结构允许部分构件屈服甚至损坏,是抗震结构的优选结构。合理预见并控制超静定结构的塑性铰出现部位,就可能形成抗震的多道防线。

(11) 控制结构的非弹性部位(塑性铰区),实现合理的屈服耗能机制。

塑性铰部位会影响结构的耗能。合理的耗能机制应当是梁铰机制。因此,在延性框架中,盲目加大梁内的配筋是有害而无益的。

(12) 提高结构整体性。各构件之间的连接必须可靠。

(13) 地基基础的承载力和刚度要与上部结构的承载力和刚度相适应。

总之,概念设计中,最重要的是分析、预见、控制结构的耗能和薄弱部位。概念设计必须综合考虑,有矛盾时要衡量利弊,因势利导,转化或消除其弱点。计算是一种手段,计算本身也必须概念正确才有助于分析,概念清楚才有助于宏观的控制。

7. 减轻自重

高层建筑减轻自重比多层建筑更有意义。从地基承载力考虑,如果在同样地基情况下,减轻房屋自重意味着不增加基础的造价和处理措施,就可以多建层数,这在软弱土层上有突出的经济效益。

地震作用效应是与建筑的质量成正比,减轻房屋自重是提高结构抗震能力的有效办法。高层建筑中质量大了,不仅作用于结构上的地震剪力大,而且由于重心高,地震作用倾覆力矩大,对竖向构件产生很大的附加轴力, $P-\Delta$ 效应造成的附加弯矩更大。

因此,在高层建筑房屋中,结构构件宜采用高强度材料,非结构构件和围护墙体应采用轻质材料。减轻房屋自重,既减小了竖向荷载作用下构件的内力,使构件截面变小,又可减小结构刚度和地震效应,不但能节省材料,降低造价,还能增加使用空间。

8. 应重视轴向变形影响

采用框架体系和框—墙体系的高层建筑中,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,此种轴向变形的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的负弯矩值减小,跨中正弯矩值和端支座负弯矩值增大(见图 1.11)。在低层建筑中,因为柱的总高度较小,此种效应不显著,所以未曾考虑过。

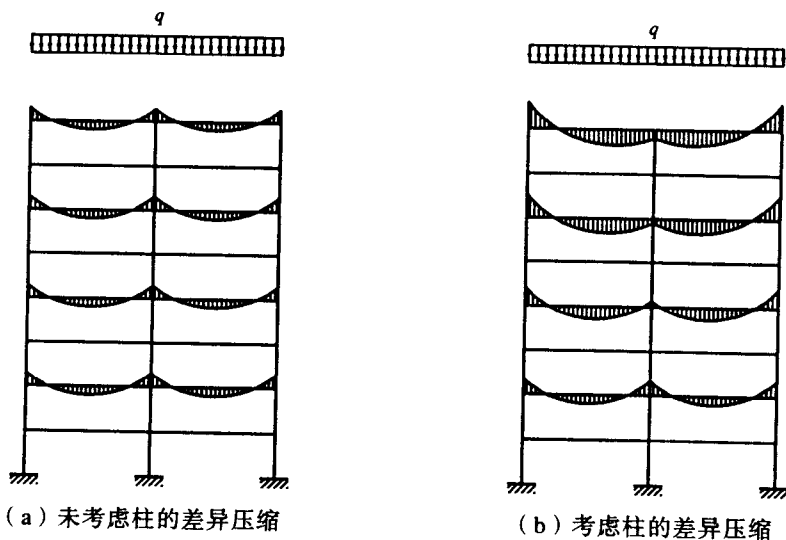


图 1.11 框架连续梁的弯矩分布

在高层建筑中,尤其是超高层建筑中,柱的负载很重,柱的总高度又很大,整根柱在重力荷载下的轴向变形有时达到数百毫米,对建筑物的楼面标高产生不可忽略的影响。同时,轴向变形对结构构件剪力和侧移的影响也不能忽略。

9. 需更加关注的问题

一些在低层建筑中不太重要而常被忽视的问题,在高层建筑中却显得十分突出,必须慎重处理。由于条件限制,目前在荷载取值,结构的荷载效应等方面都存在着许多尚未解决的问题。例如,地震力和结构的地震反应,结构的延性和延性计算,风荷载和结构的风荷载反应,涡流和旋风,结构的端部效应, $P-\Delta$ 效应,结构的破坏过程,基础和上部结构的共同作用,材料的持久强度和积伤效应等。这些问题虽然在低层建筑中同样存在,但在高层建筑中更为突出。

10. 各工种间的配合协调

一个大的高层建筑,除了建筑、结构、施工外,还有设备、防火、环境、交通、服务设施等,各工种间的配合协调更加重要。

第三节 高层建筑的结构类型及结构体系

一、高层建筑的结构类型

钢和钢筋混凝土两种材料都是建造高层建筑的重要材料,但各自有着不同的特点。

1. 钢结构

钢结构的优点是:

① 钢材强度高、韧性大、易于加工,钢构件可在工厂加工,有利于缩短施工工期,且施工方便。

② 高层钢结构断面小,自重轻,抗震性能好。

钢结构的缺点是:

① 高层钢结构用钢量大,造价高。

② 钢材耐火性能不好,需要用大量防火涂料,增加了工期和造价。

在发达国家,大多数高层建筑采用钢结构,我国仅部分采用了高层钢结构。在一些地基软弱或抗震要求高而高度又大的高层建筑采用钢结构是合理的。

2. 钢筋混凝土结构

钢筋混凝土结构的优点是:

① 造价低,且材料来源丰富,并可浇注成各种复杂断面形状,组成各种复杂结构体系。

② 节省钢材,经过合理设计可获得较好的抗震性能。

钢筋混凝土结构的缺点是:构件强度低,截面大,自重大。

在发展中国家,大都采用钢筋混凝土结构建造高层建筑,我国的高层建筑也以钢筋混凝土结构为主。

3. 发展趋势

在当前的发展趋势中,更为合理的是同时采用钢和钢筋混凝土材料的组合结构。

将钢筋混凝土与钢结构结合起来,目的是为了利用钢筋混凝土的刚度以抵抗水平荷载,利用钢材的轻质和跨越性能好等优点以利于构造楼面。这种结构可以使两种材料互相取长补短,取得经济合理、技术性能优良的效果。

根据国外的经验,组合结构高层建筑(35~40层)的造价约为钢筋混凝土结构的63.3%,为纯钢结构的54%,钢—钢筋混凝土组合结构体系具有经济、方便的优点,被认为是最有发展前途的。

二、高层建筑结构体系及典型布置

结构体系是指结构抵抗外部作用的构件组成方式。

在高层建筑中,水平荷载往往是结构设计的主要控制因素。随着房屋高度的增加,如何有效地提高结构抵抗水平荷载的能力和侧向刚度(见图1.12)等,也就逐渐成为主要问题。

因此,随着建筑物的体型和高度的不同,根据建筑的功能要求,选用不同的结构体系来满足强度、刚度、延性和稳定的需要,并使其达到最佳的经济效果是高层建筑结构设计的关键问题。

高层建筑中常用的钢筋混凝土结构体系有:框架结构,剪力墙结构,框架—剪力墙结构,筒体结构。

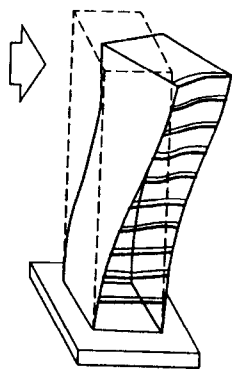


图 1.12

三、框架结构体系及适用范围

1. 结构特征

框架是指同一平面内由水平横梁和竖柱通过刚性节点连接在一起,形成矩形网格的形式(见图1.13)。框架结构体系是指沿房屋的纵向和横向均采用框架作为承重和抵抗侧力的主要构件所构成的结构体系(见图1.14)。

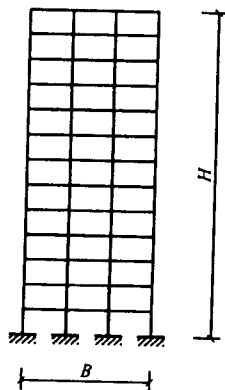


图 1.13 平面框架

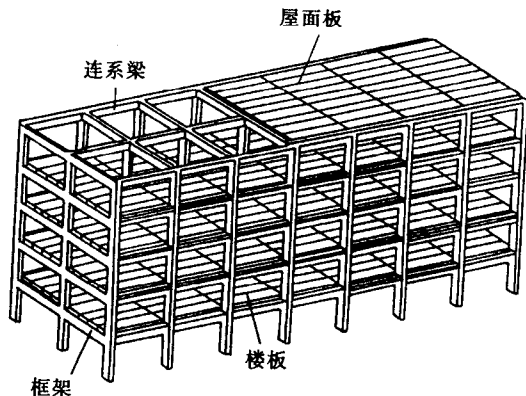


图 1.14 框架结构体系