



高等学校土木工程专业系列教材

建筑工程

GAO CENG JIAN ZHU JIE GOU SHE JI YUAN LI

高层建筑 结构设计原理

(第二版)

彭 伟 主编

彭 伟 李彤梅 葛宇东 编



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——建筑工程

高层建筑结构设计原理

(第二版)

彭 伟 主编

彭 伟 李彤梅 葛宇东 编

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

第二版前言

本书第一版出版至今,国内外的高层建筑又有了很大的发展。这些高层建筑不仅数量大,而且高度较过去增加,体型更加复杂,高度已突破 800 m,这使高层建筑结构分析和设计越来越复杂。另外,高层钢结构和高层混合结构在我国也开始兴建。与此相应,围绕高层建筑结构的科学研究取得了众多成果。广大工程技术人员、研究人员的创造和探索,使我国高层建筑结构设计的理论和实践都大为丰富和深化。

鉴于上述情况,本教材重新修订,而且确实有许多内容有待充实与更新。第二版考虑到由于高层建筑结构的简化分析方法不仅概念清楚,其结果便于工程分析和判断,而且其解决问题的思路对培养学生分析问题和解决问题以及创新能力颇好处,所以本书保留了原书中关于简化分析方法的有关内容。除了所有内容都按照新规范和新规程进行编写外,主要还增加了以下一些内容:鉴于目前我国高层建筑结构已大部分或全部采用计算机程序进行设计,因此,本书增加了高层建筑结构计算机分析方法和设计程序等内容;增加了复杂高层建筑结构的设计方法。

本书第一版以其科学性、系统性、实践性以及深入浅出的阐述方式受到广大读者的欢迎。在这次编写修订过程中,我们注意保持了第一版的特点,并有所改进。第二版更加注意基本概念的阐述及结构受力和变形特性的分析,这将有助于提高读者的概念设计能力。此外,为了适应教与学的要求,本书每章后有思考题和习题等内容,有利于初学者掌握基本概念和设计方法。本书还增加了较多的例题。

21 世纪科学技术发展日新月异,知识更替非常迅速,希望、困惑、机遇、挑战,随时随地都有可能出现在每一个人的面前。抓住机遇,寻求发展,迎接挑战,适应变化的制胜法宝就是学习、终生学习。

作为一个优秀的工程师,只掌握基础知识和专业知识是不够的,还要注重扩大视野,建立开放的知识体系(既有科学的训练,又有人文的素养),必须不断吸取新的科技成果,养成及时将自己所获得的知识系统化与深化的习惯,以提高独立处理各种复杂问题的能力。

优秀的工程师要在工作中树立创新意识的意识。创新是设计工作的灵魂,没有创新的设计不是真正意义上的设计,也就没有生命力,但创新不是标新立异,不是哗众取宠,创新的基础是实践。

优秀的工程师在改造世界的同时,还必须对人类的生存环境负责,开发和利用新的环保

建筑材料，设计和建设无污染工程和绿色建筑。

西南交通大学教务处将本书列为校级重点教材，并予以资助。特在此对他们表示感谢。

本书在编写过程中参考了大量的国内外文献，引用了一些学者的资料，这在书末的参考文献中已予列出，特在此向其作者表示深深的感谢。本书是建立在他们研究基础上的，是他们如此优秀与有益的成果，使本书增色。

本书第一、二、三、四、五、六章及附录一、二由彭伟编写，第七章由彭伟、李彤梅编写，第八章由葛宇东编写。

鉴于作者水平有限，书中难免有疏漏及不足之处，敬请批评指正。

编 者

2010年2月

第一版前言

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	40
思考题	56
第二章 高层建筑荷载和地震作用计算及设计要求	57
第一节 竖向荷载的计算	57
第二节 风荷载的计算	62
第三节 地震作用的计算	81
第四节 高层建筑结构的荷载效应组合	112
第五节 高层建筑结构计算简化的一般规定	115
第六节 高层建筑结构的设计要求	118
第七节 高层建筑结构的设计步骤	135
思考题	135
习 题	136
第三章 框架结构设计	138
第一节 框架结构的布置与计算简图	138
第二节 框架结构在竖向荷载作用下的近似计算	144
第三节 框架结构在水平荷载作用下的近似计算——反弯点法	152
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	158
第五节 框架结构在水平荷载作用下侧移的近似计算	171
第六节 框架的内力组合及最不利内力	177
第七节 框架结构构件截面设计及构造要求	188
第八节 框架结构算例	230
思考题	242
习 题	244

第四章 剪力墙结构设计	247
第一节 剪力墙结构的计算假定	247
第二节 剪力墙的受力特点、分类和计算方法	249
第三节 剪力墙结构的内力和侧移计算	255
第四节 剪力墙截面设计及构造要求	277
第五节 连梁截面设计及构造要求	296
第六节 剪力墙结构的布置要求	302
思考题	306
习 题	307
第五章 框架-剪力墙（筒体）结构设计	308
第一节 框-剪结构的分类和计算简图	309
第二节 框架-剪力墙（筒体）结构的简化计算方法	314
第三节 框架-剪力墙（筒体）结构的构件设计	329
思考题	330
习 题	331
第六章 筒体结构设计	332
第一节 筒体结构在侧向力作用下的受力特点	332
第二节 筒体结构的计算方法	335
第三节 筒体结构的布置要点	339
第四节 筒体结构的截面设计及构造要求	341
思考题	345
第七章 复杂高层建筑设计	346
第一节 带转换层高层建筑设计	346
第二节 带加强层高层建筑设计	354
第三节 带错层高层建筑设计	357
第四节 多塔楼高层建筑设计	359
第五节 连体高层建筑设计	362
第六节 复杂高层建筑结构基于性能的抗震设计	366
思考题	371
第八章 高层结构计算机方法与设计程序	372
第一节 概 述	372
第二节 高层结构计算机分析原理	373
第三节 高层结构计算机分析方法	380
第四节 高层结构计算机分析程序	384
思考题	391

附录一 《高层建筑设计》课程设计任务书	392
附录二 《高层建筑设计》综合练习题	396
《高层建筑设计》综合练习一	400
《高层建筑设计》综合练习二	400
《高层建筑设计》综合练习三	404
参考文献	409

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 40 多年来，高层建筑发展十分迅速，如雨后春笋林立于世界各地，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。事实证明了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100m；

Ⅳ类高层：40层以上，高度超过100m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28m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最大适用高度见表1.1，B级高度钢筋混凝土高层建筑的最大适用高度见表1.2，钢结构高层建筑的最大适用高度见表1.3。

表 1.1 A级高度钢筋混凝土高层建筑的最大适用高度 单位：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	60
	部分框支	130	120	100	80	不应采用
筒 体	框架-核心筒	160	150	130	100	70
	筒中筒	200	180	150	120	80
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最大适用高度 单位：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 钢结构高层建筑的最大适用高度 单位：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	—
	钢框架-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

最大适用高度的规定是经验性的规定,考虑了我国目前常用的材料,并综合考虑了不同结构体系的抗震性能、经济和合理使用、地基条件及震害经验等因素,制定了各种结构体系的最大适用高度。B级高度的规定是在近年来我国实践经验的基础上新做出的规定。《高规》将高层建筑分为A级高度和B级高度,主要是它们的结构设计和构造要求有所差别,B级比A级高度大,设计要求更高。事实上,突破B级高度限制的高层建筑已经存在,从发展的观点看,当积累了更多经验以后,在修订规程时,适用的最大高度也会改变。

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、电梯间及地下室等部分的高度。

【例 1.1】^[46] 有一高层办公楼,屋面的上皮标高为 120 m,屋面上有一高 32 m 的尖塔和高 10 m 的局部建筑装饰物,如图 1.1 所示。室内外地坪高差 1.20 m。当确定该楼的抗震等级时,其房屋高度 H (m) 应为下列何项数值?

【解】 房屋高度指室外地面至主要屋面高度,不包括局部突出屋面的电梯机房等。房屋高度应为

$$H = 120 + 1.2 = 121.2 \quad (\text{m})$$

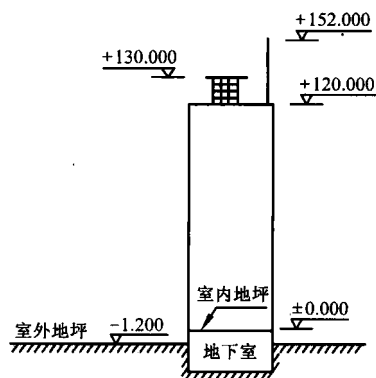


图 1.1

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 40 多年来,它犹如雨后春笋,已逐渐遍及世界各国。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。

(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 1.2) 算起, 至今已有 100 多年的历史。

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 36 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纪录。

目前世界上最高的建筑物是迪拜 Burj Dubai 大厦 (161 层, 828 m), 第二高楼是我国台湾台北市国际金融中心大厦 (101 层, 508 m), 目前我国大陆最高的建筑物是上海环球金融中心大厦 (101 层, 492 m), 1996 年建成的中国广州中信广场高达 80 层、391 m, 这是世界上最高的钢筋混凝土结构。马来西亚石油大厦和上海浦东金茂大厦如图 1.3、图 1.4 所示。汉考克大厦和世界贸易中心如图 1.5、图 1.6 所示, 图 1.7 为西尔斯大厦的结构示意图。



图 1.2 芝加哥人寿保险公司大楼

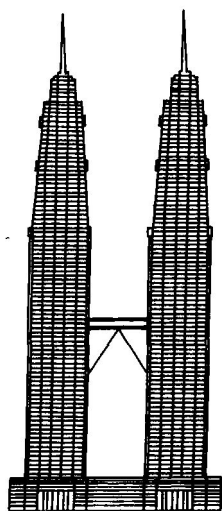


图 1.3 马来西亚石油大厦

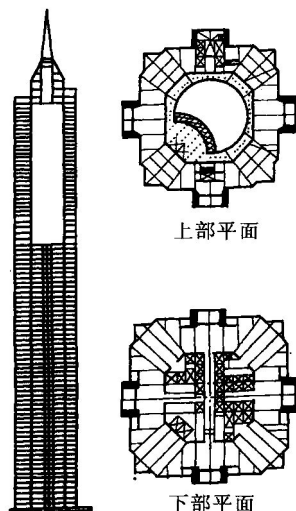


图 1.4 上海浦东金茂大厦

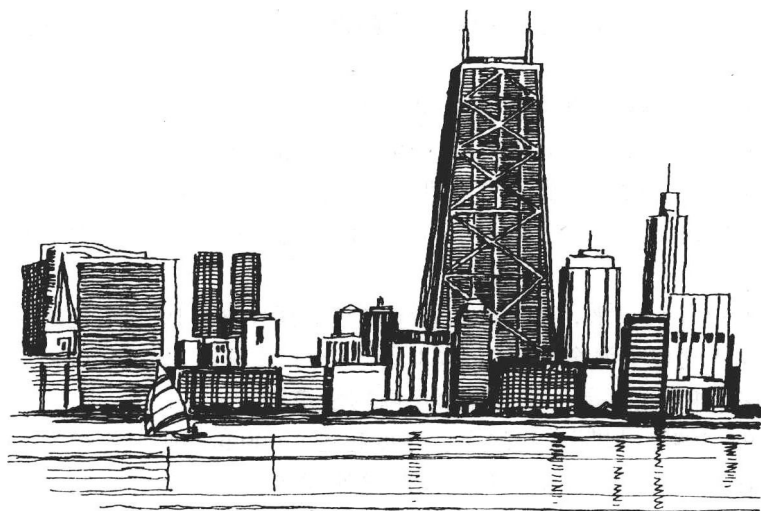


图 1.5 汉考克大厦

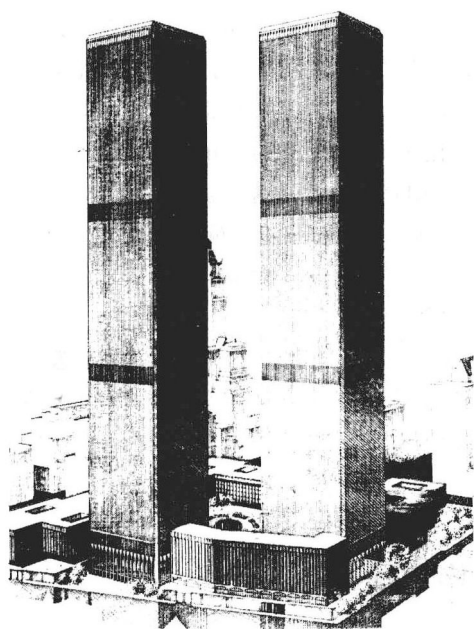


图 1.6 世界贸易中心

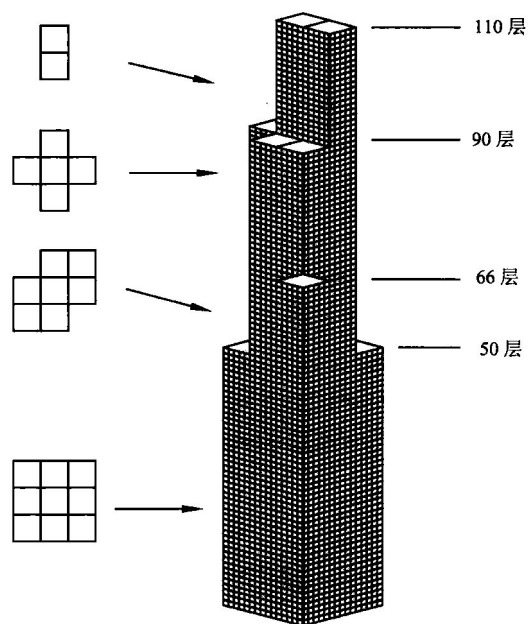


图 1.7 西尔斯大厦

由于出现了轻质高强材料、新的结构体系和高速电梯, 180~200 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, 预算造价 2 500 亿美元。它的地面直径为 6 km, 内部面积为 5 000~7 000 hm^2 , 可居住 50 万~70 万人, 就业人口可达 30 万~50 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 60 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，近二十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（见图 1.4）；2008 年建成的上海环球金融中心，101 层，492 m，是目前世界第三高的建筑物。

迪拜最著名的“纳赫勒塔”，它的设计高度超过 1 000 m，业主曾经为了确保它成为世界第一高楼，一直保密其设计方案的具体高度。这座建筑的高度如此震撼，以至于顶楼气温将比一楼低约 10 °C，因此，大厦需要从底部到顶部建造 5 个微气候系统来适应人的生存。

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 1.6）和芝加哥的西尔斯大厦（见图 1.7）所取代。北美摩天大楼声名显赫，但其霸主地位正在动摇。因为，亚洲及中东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、中东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 20 世纪 90 年代初及当前的经济衰退又使许多雄心勃勃的工程停顿下来。然而，在日益繁荣的亚洲及中东市场上，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 高层建筑结构设计的特点

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，水平荷载或作用的效应（内力和位移）逐渐增大；在高层建筑中，水平荷载和地震作用将成为主要的控制因素（见图 1.8）。

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 1.9）；水平荷载或作用则产生弯矩，其与房屋高度呈二次方变化（见图 1.9）。

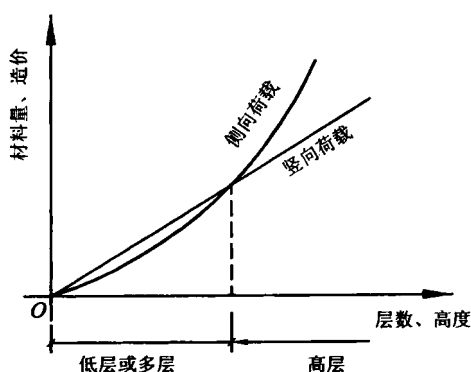


图 1.8 荷载对建筑的影响

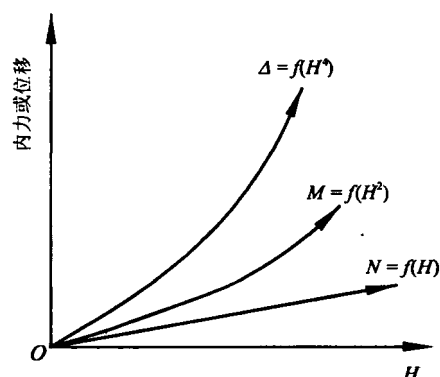


图 1.9 建筑高度对内力和位移的影响

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；水平荷载或作用则可来自任意方向，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或作用产生，且与高度呈四次方变化（见图 1.9）。

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 1.10）。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，但具有很大延性时，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

$$\mu = \Delta_p / \Delta_y \quad (1.1)$$

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 1.11）。

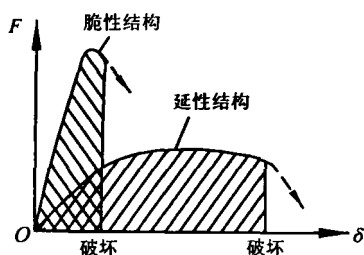


图 1.10 结构的变形

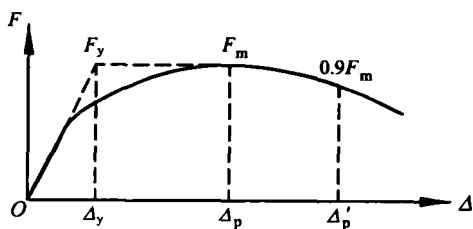


图 1.11 屈服变形和最大允许变形

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。高层建筑钢筋混凝土结构的延性一般要求为 $\mu = 4 \sim 8$ 。

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。

高层建筑结构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，孤立的山包，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。

结构概念设计是高层建筑结构设计的重要内容, 工程师对概念设计的掌握是一个不断学习和积累的过程, 应该通过力学知识与规律建立结构受力与变形规律的各种概念, 对历次地震震害的理解与对国内外震害教训经验的积累, 以及对各类结构试验研究结果的了解和应用, 还有大量工程经验的日积月累, 理论联系实际, 这样就会在概念设计的知识和能力上逐步前进。

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 1.12)。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。