



高等学校土木工程专业系列教材

建筑工程

GAOCENG JIANZHU JIEGOU SHEJI YUANLI



高层建筑 结构设计原理

(第三版)

彭 伟 主编
彭 伟 李彤梅 葛宇东 编



西南交通大学出版社

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

(第三版)

彭 伟 主编
彭 伟 李彤梅 葛宇东 编

西南交通大学出版社

内 容 简 介

本书是在 2010 年版本的基础上,全面增删修改而成。本书按照现行新建筑结构荷载规范,新建筑抗震设计规范,新混凝土结构设计规范,新高层建筑混凝土结构技术规程等规范、规程编写。

本版收集了国内外新的建筑实例,较详细地讨论了高层结构抗震设计方法。为了突出基本概念,便于教学,书中阐述的计算方法以适合手算的简便方法为主,但也介绍了高层建筑结构计算机分析方法,概括介绍并评价了一些较好的电算程序。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与设计的要求;高层建筑常用结构体系的受力特点、布置和分析计算方法;复杂高层建筑结构设计;高层建筑结构计算机分析方法。全书安排了较多例题和适量思考题、习题、综合练习题,以及课程设计任务书及指导书。

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 / 彭伟主编. —3 版. —成都: 西南交通大学出版社, 2015.8
高等学校土木工程专业系列教材. 建筑工程
ISBN 978-7-5643-4239-5

I. ①高… II. ①彭… 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 190696 号

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

(第三版)

彭 伟 主编

*

责任编辑 李芳芳

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

四川省成都市金牛区交大路 146 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 87600564

<http://www.xnjdcbs.com>

四川煤田地质制图印刷厂印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 28

字数: 696 千

2015 年 8 月第 3 版 2015 年 8 月第 6 次印刷

ISBN 978-7-5643-4239-5

定价: 49.80 元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

第三版前言

我国新版《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012),《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010),《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010),《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ3—2010)等已经实施。新版规范较原版规范在建筑技术水平上有了较大的提高和发展,内容更加充实和完善,反映了近十年来我国建筑设计经验总结和科研成果。教材是高等学校面向 21 世纪教学内容和体系改革的重要组成部分,教材修订要与教学改革相适应。教材修订工作要遵循本科土木工程专业培养目标,努力适应 21 世纪社会进步和建筑事业发展的需求,做到在编写教材中体现“三基”(基本理论、基本知识、基本计算)和“五性”(思想性、科学性、启发性、先进性、适用性),重视教材的整体优化。《高层建筑结构设计原理》第三版教材本着讲授内容尽可能与国际接轨的新思路,注重知识更新,以实用性为宗旨,新章节展示了近年研究热点。全书力求处理好教材继承性与先进性的关系,以最简洁方式表达本学科的发展过程和基本理论体系,有效引导学生掌握最新、最先进的科学内容。

在修订本书时,注意保持了第二版的特点,叙述时力求内容由浅入深、循序渐进、理论联系实际。为了使读者更好地掌握书中的基本理论知识和新版规范有关条文内容,书中列举了较多有代表性的例题,在解题过程中,力求步骤清晰,说明详尽。

在编写本书时,参考和引用了公开发表的一些文献和资料,谨向这些作者表示感谢。

由于编者水平所限,书中可能存在疏漏之处,请读者不吝指正。

编 者
2015 年 6 月

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有好处,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 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	141
思考题	141
习 题	142
第三章 框架结构设计	144
第一节 框架结构的布置与计算简图	144
第二节 框架结构在竖向荷载作用下的近似计算	150
第三节 框架结构在水平荷载作用下的近似计算——反弯点法	158
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	164
第五节 框架结构在水平荷载作用下侧移的近似计算	177
第六节 框架的内力组合及最不利内力	183
第七节 框架结构构件截面设计及构造要求	194
第八节 框架结构算例	237
思考题	248
习 题	250
第四章 剪力墙结构设计	253
第一节 剪力墙结构的计算假定	253
第二节 剪力墙的受力特点、分类和计算方法	255
第三节 剪力墙结构的内力和侧移计算	261
第四节 剪力墙截面设计及构造要求	283

第五节 连梁截面设计及构造要求	302
第六节 剪力墙结构的布置要求	309
思考题	316
习 题	317
第五章 框架-剪力墙（筒体）结构设计	318
第一节 框-剪结构的分类和计算简图	319
第二节 框架-剪力墙（筒体）结构的简化计算方法	324
第三节 框架-剪力墙（筒体）结构的构件设计	339
思考题	340
习 题	341
第六章 筒体结构设计	342
第一节 筒体结构在侧向力作用下的受力特点	342
第二节 筒体结构的计算方法	345
第三节 筒体结构的布置要点	349
第四节 筒体结构的截面设计及构造要求	351
思考题	357
第七章 复杂高层建筑结构设计	359
第一节 带转换层高层建筑结构设计	359
第二节 带加强层高层建筑结构设计	367
第三节 带错层高层建筑结构设计	370
第四节 多塔楼高层建筑结构设计	372
第五节 连体高层建筑结构设计	375
第六节 复杂高层建筑结构基于性能的抗震设计	379
思考题	384
第八章 高层结构计算机方法与设计程序	385
第一节 概 述	385
第二节 高层结构计算机分析原理	386
第三节 高层结构计算机分析方法	393
第四节 高层结构计算机分析程序	397
思考题	404
附录一 《高层建筑设计》课程设计任务书及指导书	405
《高层建筑设计》课程设计任务书	405
《高层建筑设计》课程设计指导书	408
附录二 《高层建筑设计》综合练习题	423
《高层建筑设计》综合练习一	423
《高层建筑设计》综合练习二	427
《高层建筑设计》综合练习三	431
参考文献	436

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》(JGJ 3—2010)(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

结构类型		非抗震设计	设防烈度				
			6 度	7 度	8 度		9 度
					0.2g	0.3g	
框 架		70	60	50	40	35	25
框架-剪力墙		150	130	120	100	80	50
剪力墙	全部落地剪力墙	150	140	120	100	80	60
	部分框支剪力墙	130	120	100	80	50	不应采用
筒 体	框架-核心筒	160	150	130	100	90	70
	筒中筒	200	180	150	120	100	80
板柱-剪力墙		110	80	70	55	40	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

结构类型		非抗震设计	设防烈度			
			6 度	7 度	8 度	
					0.2g	0.3g
框架-剪力墙		170	160	140	120	100
剪力墙	全部落地剪力墙	180	170	150	130	110
	部分框支剪力墙	150	140	120	100	80
筒 体	框架-核心筒	220	210	180	140	120
	筒中筒	300	280	230	170	150

表 1.3 钢结构高层建筑的最大适用高度 单位：m

结构类型	非抗震设计	设防烈度				
		6 度、7 度 (0.1g)	7 度 (0.15g)	8 度		9 度
				0.2g	0.3g	
框 架	110	110	90	90	70	50
框架-中心支撑	240	220	200	180	150	120
框架-偏心支撑	260	240	220	200	180	160
框架-屈曲约束支撑						
框架-延性墙板						
筒体（框筒、筒中筒、 桁架筒、束筒）、 巨型框架	360	300	280	260	240	180

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) 最大适用高度适用于乙类建筑和丙类建筑;甲类建筑的最大适用高度规定如下:6、7、8度时的A级和6、7度时的B级按本地区设防烈度提高一度后符合表中的高度,9度时的A级和8度时的B级须专门研究。

(2) 部分框支剪力墙结构在地面以上设置转换层的位置,8度时不超过3层,7度时不超过5层,6度时可适当提高。

(3) 短肢剪力墙较多的剪力墙结构(短肢剪力墙较多的剪力墙结构是指:在规定的水平地震作用下,短肢剪力墙承担的底部倾覆力矩不小于结构底部总地震倾覆力矩的30%的剪力墙结构),其适用高度比表1.1规定的剪力墙结构的最大适用高度适当降低,7度、8度(0.2g)和8度(0.3g)时结构的最大适用高度分别为100m、80m和60m;B级高度的高层建筑和9度时A级高度的高层建筑不宜布置短肢剪力墙,不应采用短肢剪力墙较多的剪力墙结构。

(4) 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。

【例1.1】^[46] 有一高层办公楼,屋面的上皮标高为120m,屋面上有一高32m的尖塔和高10m的局部建筑装饰物,如图1.1所示。室内外地坪高差1.20m。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

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

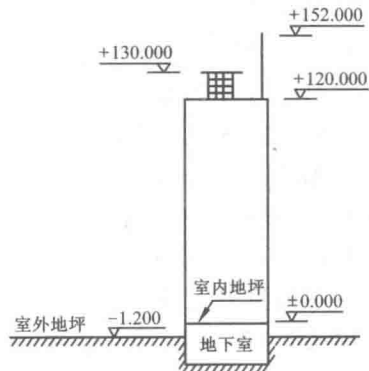


图 1.1

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中国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。

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-CCEED4000 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。



图 1.2 芝加哥人寿保险公司大楼

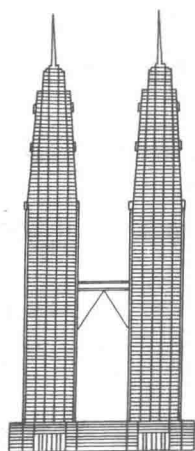


图 1.3 马来西亚石油大厦

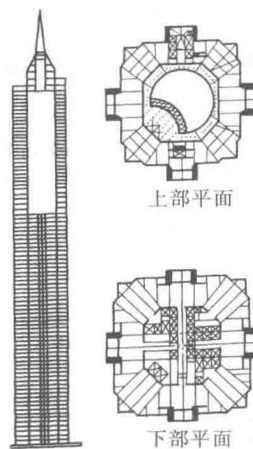


图 1.4 上海浦东金茂大厦

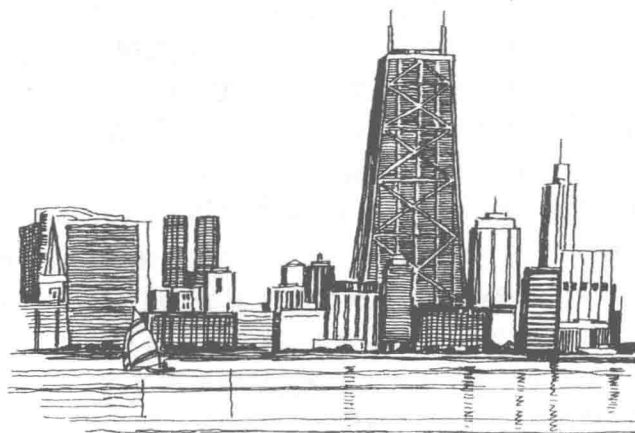


图 1.5 汉考克大厦

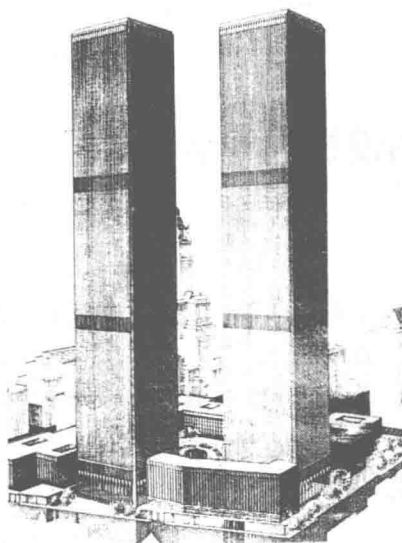


图 1.6 世界贸易中心

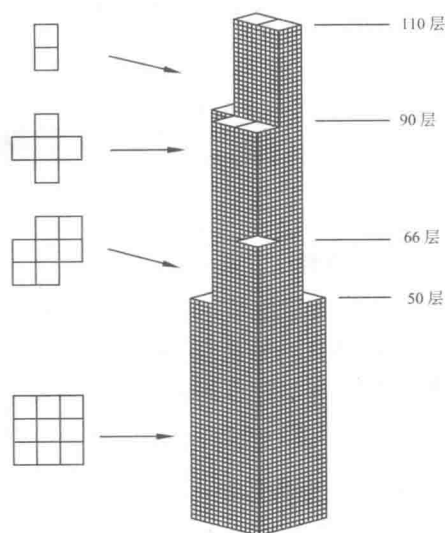


图 1.7 西尔斯大厦

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(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、地震等水平作用。

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)。

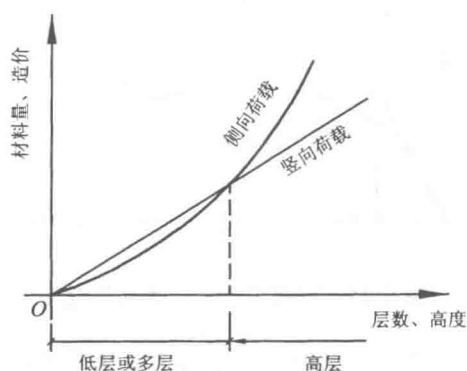


图 1.8 荷载对建筑的影响

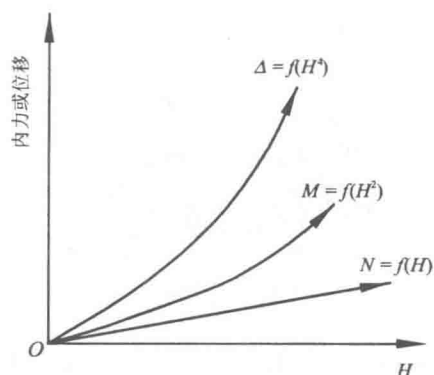


图 1.9 建筑高度对内力和位移的影响

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）。

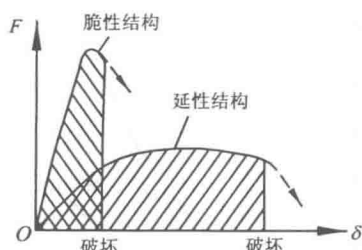


图 1.10 结构的变形

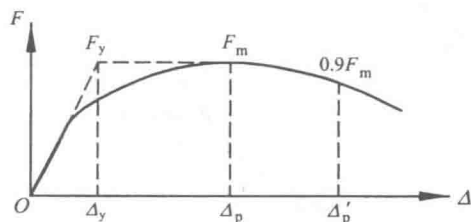


图 1.11 屈服变形和最大允许变形

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场地,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。