

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



GAOCENG JIANZHU HUNNINGTU
JIEGOU

高层建筑 混凝土结构

黄林青 主 编
张亦静 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



GAOCENG JIANZHU HUNNINGTU
JIEGOU

高层建筑 混凝土结构

主 编 黄林青
副主编 张亦静
编 写 朱浪涛 杨晓华
 陈小英 全学友
主 审 陈明政



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。全书共 10 章, 主要包括高层建筑的发展和结构体系、高层建筑结构基本规定与布置原则、高层建筑结构的荷载和地震作用、高层建筑结构分析、框架结构设计、剪力墙结构设计、框架—剪力墙结构设计、筒体结构设计、高层建筑结构基础设计、建筑结构分析方法和设计软件等, 各章末均附有思考题与习题, 以巩固所学知识。本书将概念设计、计算方法和相关规范有机结合, 与实际工程需要联系紧密, 概念清晰, 图文并茂。

本书可作为普通高等院校土木工程专业教材, 也可作为高职高专院校相关专业教材, 还可作为工程技术人员和注册结构工程师考试的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

高层建筑混凝土结构/黄林青主编. —北京: 中国电力出版社, 2009

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-8941-7

I. 高… II. 黄… III. 高层建筑-混凝土结构-高等学校-教材 IV. TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 098399 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 8 月第一版 2009 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.25 印张 346 千字

定价 23.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失

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

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

进入 21 世纪,伴随着世界经济全球化的发展,始于美国的高层建筑,正在亚洲各国得到迅猛的发展,2004 年建成的台北 101 大厦是世界已建成的最高摩天大楼,目前正在施工中的迪拜塔又已经超越了台北 101 大厦。建筑物的高度不断被刷新的同时,高层建筑还呈现出建筑体型复杂化、功能多样化、结构体系巨型化和施工技术信息化等特点。

基于高层建筑在我国快速发展,为培养复合型高等土木工程专业人才,并结合实际工程设计的需要,根据全国高等学校土木工程专业教学指导委员会关于本课程教学大纲要求及我国现行《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2002)及相关规范,编写本教材。

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。全书结合土木工程专业教学的特点、紧紧围绕着应用型人才培养目标编写,注重理论联系实际,强调应用,遵循学习认知规律,精选内容、简化推导,力求通过本教材学习,使学生掌握高层建筑混凝土结构设计的基本原理。

本书共 10 章,其主要内容包括高层建筑的发展和结构体系,高层建筑结构基本规定与布置原则,高层建筑结构的荷载和地震作用,高层建筑结构分析,框架结构设计,剪力墙结构设计,框架—剪力墙结构设计,筒体结构设计,高层建筑结构基础设计和建筑结构分析方法和设计软件等。本教材各章均辅以一定数量的思考题与习题,以方便读者学习和复习。

本书主要参编人员均是具有多年教学经验和一定工程设计经验的高校教师,主编重庆科技学院黄林青、副主编张亦静,主审陈明政博士,参加教材编写的人员还有朱浪涛、杨晓华、陈小英、全学友等。

本书在编写过程中得到了各参编学校的大力支持,在此一并表示感谢。

由于作者的理论水平和实践经验有限,本书错误及不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2009 年 3 月



目 录

前言

1 高层建筑的发展和结构体系	1
1.1 高层建筑概念	1
1.2 高层建筑的发展概况	1
1.3 高层建筑结构体系	7
1.4 高层建筑结构设计的影响因素	11
1.5 高层建筑混凝土结构设计的主要内容	15
思考题与习题	15
2 高层建筑结构基本规定与布置原则	17
2.1 房屋总高度与高宽比	17
2.2 结构平面布置	19
2.3 结构竖向布置	21
2.4 变形缝设置	23
2.5 楼盖结构	25
2.6 抗震设计基本规定	27
思考题与习题	33
3 高层建筑结构的荷载和地震作用	34
3.1 竖向荷载	34
3.2 风荷载	35
3.3 地震作用计算	42
3.4 荷载效应组合与截面验算	50
思考题与习题	52
4 高层建筑结构分析	54
4.1 高层建筑结构分析的基本假定	54
4.2 结构水平位移控制	58
4.3 重力二阶效应及结构稳定	61
4.4 扭转的近似计算	64
思考题与习题	68
5 框架结构设计	69
5.1 框架结构布置与计算简图	69
5.2 竖向荷载作用下框架内力的计算	72
5.3 水平荷载作用下框架内力的计算	74
5.4 水平荷载作用下框架侧移的近似计算	87
5.5 框架内力组合与延性框架	90

5.6 框架结构的截面设计·····	92
思考题与习题·····	106
6 剪力墙结构设计 ·····	108
6.1 剪力墙结构布置与计算基本假定 ·····	108
6.2 剪力墙的分类 ·····	111
6.3 整体墙的计算 ·····	114
6.4 双肢剪力墙的计算 ·····	119
6.5 多肢剪力墙的计算 ·····	132
6.6 壁式框架的计算 ·····	136
6.7 剪力墙结构的截面设计 ·····	140
思考题与习题·····	153
7 框架—剪力墙结构设计 ·····	155
7.1 框架—剪力墙结构布置 ·····	155
7.2 框架—剪力墙协同工作原理与计算简图 ·····	157
7.3 框架—剪力墙按铰接体系的计算 ·····	159
7.4 框架—剪力墙按刚接体系的计算 ·····	165
7.5 框架—剪力墙的内力分配 ·····	167
7.6 框架—剪力墙结构截面设计的规定 ·····	171
思考题与习题·····	173
8 筒体结构设计 ·····	174
8.1 筒体结构的类型与受力特点 ·····	174
8.2 筒体结构的简化计算方法 ·····	177
8.3 筒体结构截面设计的规定 ·····	181
思考题与习题·····	184
9 高层建筑结构基础设计 ·····	185
9.1 高层建筑基础的类型与埋置深度 ·····	185
9.2 筏板基础的计算与设计 ·····	186
9.3 箱形基础的计算与设计 ·····	191
9.4 桩基础的计算与设计 ·····	198
思考题与习题·····	202
10 建筑结构分析方法和设计软件 ·····	204
10.1 建筑结构程序设计的基本原理·····	204
10.2 PKPM 系列工程设计软件 ·····	206
10.3 其他常用工程设计软件简介·····	211
10.4 建筑结构设计软件计算结果的分析·····	212
10.5 结构施工图平面整体设计方法·····	216
思考题与习题·····	220
参考文献 ·····	221

1 高层建筑的发展和结构体系

【本章提要】 主要介绍高层建筑概念及其发展概况,重点介绍高层建筑混凝土结构中常采用的框架、剪力墙、框架—剪力墙、筒体结构和巨型结构等结构体系,提出高层建筑结构设计的主要影响因素。

1.1 高层建筑概念

高层建筑是指超过一定高度和层数的多层建筑。高层建筑发展到今天已超过一个世纪。现代高层建筑源于美国,1884年美国在芝加哥建造了第一座11层的建筑(芝加哥家庭保险公司大楼),被认为是现代高层建筑的开端。但高层建筑是相对而言的,多少层的建筑或多少高度的建筑可称为高层建筑,在国际上至今尚无统一的划分标准,对于不同国家、不同地区、不同时期,均有不同规定。为了使高层建筑有一个较为统一的概念,根据1972年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9层及其以上的建筑定义为高层建筑,并按建筑层数和高度划分为四类:

第一类,9~16层,高度不超过50m;

第二类,17~25层,高度不超过75m;

第三类,26~40层,高度不超过100m;

第四类,40层以上,高度超过100m以上。

这一标准除了确定层数外,还限定了楼层高度,因为建筑的层数和高度并不一致。分类标准考虑到了高层建筑设计中的主要因素——抗风,建议采用不同而合理的结构形式,用以针对各地不同风力的特殊性。

世界各国对高层建筑规定也不尽相同。美国规定22~25m以上,或7层以上建筑物为高层建筑;英国规定24m以上建筑物为高层建筑;法国规定28m以上,居住建筑高度在50m以上建筑物为高层建筑;日本规定高度31m以上,或8层以上建筑物为高层建筑。世界上许多国家将超过100m的高层建筑物定义为超高层建筑。

我国《高层民用建筑设计防火规范》(GBJ 45—1982)中规定:10层及10层以上的住宅和建筑物高度超过24m的其他民用建筑为高层建筑;《住宅建筑设计规定》(GBJ 96—1986)中规定:11~16层的住宅为中高层住宅,16~30层的住宅为高层住宅;《民用建筑设计通则》(JGJ 37—1988)中规定:10层以上的住宅和建筑物高度超过24m的其他建筑为高层建筑;《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2002)中规定:超过10层的建筑物为高层建筑。对于钢筋混凝土结构,一般是按《高层建筑混凝土结构技术规程》(以下简称《高层规程》)的规定来划分高层建筑的。

1.2 高层建筑的发展概况

我国著名的唐朝大诗人李白曾经写过一首《夜宿山寺》“危楼高百尺,手可摘星辰。不

敢高声语，恐惊天上人”。这首诗展现的当然是诗人的浪漫情怀，但是，从另一个侧面透露出的却是人类征服自然、登高望远的强烈激情和冲动。我国古代历史上就有建设高楼的记载，早在黄帝时期就曾造有高楼。春秋战国时期各诸侯相互比高，兴建了大量台榭、阁、阙，有的著名建筑高达数十米，甚至上百米。唐武则天时期的明堂、天枢、天堂等也都是数十米、上百米高的庞大建筑（图 1-1、图 1-2）。

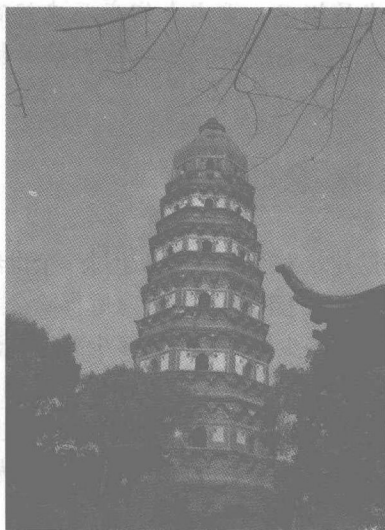


图 1-1 苏州虎丘塔



图 1-2 西安大雁塔

高层建筑是近代社会经济发展和科学进步的产物，是商业化、工业化和城市化的必然结果。科学技术进步、结构设计理论的发展、轻质高强材料出现、机械化电气化在建筑中的应用等，为高层建筑发展提供必要的物质条件和理论基础。高层建筑在全世界范围内的蓬勃发展，得益于社会进步与经济繁荣；得益于力学分析方法的发展、结构设计理论的突破、新材料的开发应用与施工技术的进步；得益于现代机械的发展与电子科学技术的贡献。

1.2.1 我国高层建筑发展

我国现代高层建筑起步较晚，发展缓慢，从 20 世纪初至 1949 年，我国高层建筑很少，且大都由外国人设计，高层建筑主要分布在上海和北京等主要的大城市。

我国自行设计建造高层建筑开始于 20 世纪 50 年代，1958 年～1959 年，北京的十大建筑工程推动了我国高层建筑的发展，如 1959 年建成的北京民族饭店（12 层，47.4m）。到了 60 年代，我国高层建筑有了新的发展，1964 年建成北京民航大楼（15 层，60.8m）。70 年代最具代表性的是广州白云宾馆（34 层，112m），如图 1-3 所示。它保持我国最高层建筑长达 9 年，同时标志着我国高层建筑突破 100m 大关。

随着我国经济发展，特别是改革开放后，高层建筑在我国不断发展，各种结构体系得到相应的研究和广泛应用。20 世纪 80 年代是我国高层建筑发展的兴盛时期，在北京、上海、广州、重庆等 30 多个大中城市建造了一批高层建筑，如 1987 年建成的北京彩色电视中心（27 层，112.7m）；进入 90 年代，随着经济实力的增强和城市建设的快速发展，1998 年上海在浦东新区建成的金茂大厦（88 层，421m），成为 20 世纪国内最高的高层建筑，如图 1-4 所示。



图 1-3 广州白云宾馆

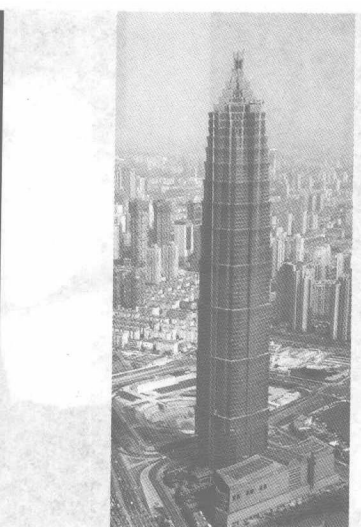


图 1-4 上海金茂大厦

进入 21 世纪,高层建筑在全国大中城市得到了前所未有的发展,各种新型的结构体系在高层建筑中处得到广泛的应用,高层建筑的规模和高度不断地突破。其中最为突出的是 2008 年竣工上海环球金融中心大厦(101 层,492m),如图 1-5 所示,它超越了 421m 的上海金茂大厦成为我国大陆目前最高的建筑。

在已建成的高层建筑中,2004 年竣工的台北 101 大厦(Taipei 101,地上 101 层,地下 5 层,508m),是目前全球最高的摩天大楼,如图 1-6 所示。

1.2.2 国外高层建筑发展

城市中的高层建筑是城市经济繁荣和社会进步的重要标志,随着城市建设的发展,要求建筑物所能达到的高度和规模不断增加。实际上,全球城市中修建最高建筑的竞争从来就没有停止过,高层建筑仍将是大部分国家在未来城市建设中的主要建筑形式。国外高层建筑的发展一般划分为三个阶段。

第一阶段,在 19 世纪中期之前,欧洲和美国一般只能建造层数 6 层左右的建筑,1801 年在英国 Manchester 建成了一座七层棉纺厂房,采用铸铁框架承重。其主要原因是缺少材料和可靠的垂直运输系统。

第二阶段,从 19 世纪中叶开始到 20 世纪 50 年代,美国于 1884 年兴建了世界上第一幢高层建筑——芝加哥家庭保险公司大楼(Home Insurance Building,11 层,55m)。到了 19 世纪末,高层建筑发展很快,高层建筑高度已突破 100m 大关。在 20 世纪初,大量的钢结构高层建筑在美国建成。第二次世界大战前,超过 200m 的高层建筑已有 10 幢,其中最为突出的是 1931 年建成的纽约市帝国大厦(Empire State Building,102 层,381m),它保持世界最高建筑的记录长达 41 年之久。在这一时期混凝土作为结构材料开始进入高层建筑的领域。

第三阶段,从 20 世纪 50 年代开始,高层建筑进入一个新的发展时期,高层建筑出现多种结构体系。1974 年美国建成芝加哥西尔斯大厦(Sears Tower,110 层,443m),其高度居世界最高水平长达 20 年,如图 1-7 所示。到了 20 世纪 80 年代,高层建筑虽然在高度上未有新的突破,但其风格都有了新的变化,并酝酿着更高建筑。

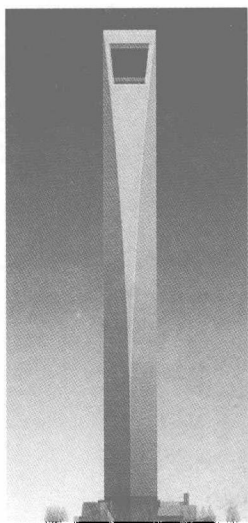


图 1-5 环球金融中心

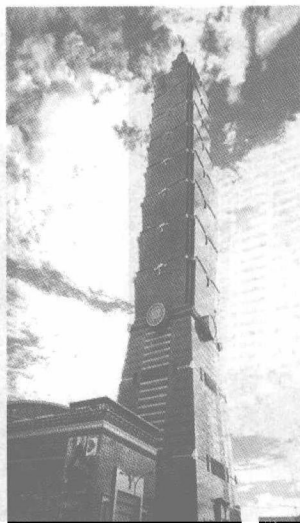


图 1-6 台北 101 大厦

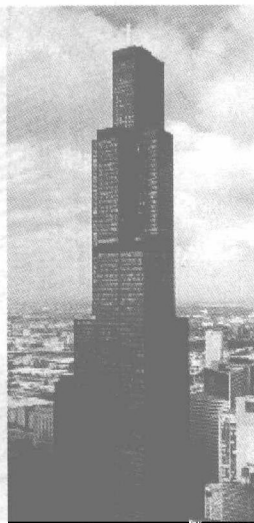


图 1-7 西尔斯大厦

美国仍是世界上高层建筑最多的国家,据有关专家分析,目前,其超高层建筑总数仍居世界第一。具有强大的经济实力不一定就要建设高层建筑,但是,建设高层建筑却需要强大的经济实力作为后盾,高层建筑体现了一个地区经济的繁荣与发展。美国从 19 世纪末开始,掀起了建设摩天大楼的高潮,一直持续到 20 世纪。这股热潮后来被人称为“高楼现象”,与之紧密相连的,是第二次产业革命带来的经济起飞。工业革命导致大量农民蜂拥进入城市,城市开始迅速的扩张,高楼大厦迅猛崛起。

进入 21 世纪,美国在高层方面的优势正在逐渐被改变,如表 1-1 所示。在世界 20 座最高建筑中,东南亚地区与美国平分秋色,在已建成的高层建筑中,台北 101 大厦是目前全球最高的摩天大楼。马来西亚吉隆坡的石油大厦(Petronas Tower 88 层,450m)为世界第三高楼,如图 1-8 所示。由表 1-1 还可以看到,在当今世界 20 座最高建筑中,建成于 20 世纪 30 年代 2 座、60 年代 1 座、70 年代 2 座、90 年代 11 座、2000 年以后建成为 4 座。也就是说,在世界高楼向高度发展的历史进程中,最近的十年多建成的高层建筑超过了以往的数十年。

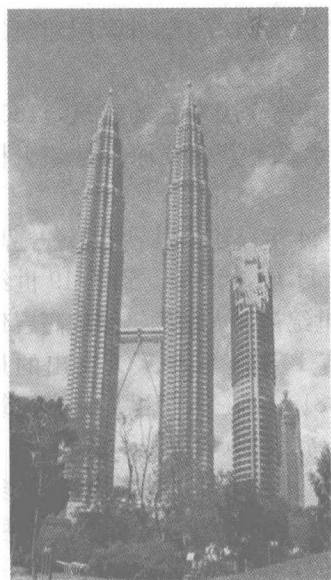


图 1-8 吉隆坡的石油大厦

随着结构计算越来越精确,建筑材料强度越来越高,施工技术也越来越成熟,建造 400m 以上的大厦已不是太困难的事。与此同时,利用人工智能,进一步提高结构构件对静载、风荷载、地震作用及其他各种内外力的感知和应变能力,建造 800~1000m 以上的大厦也已成为可能。如:目前正在施工中的迪拜塔已经超台北 101 大厦,预计高度为 818m;上海塔的高度约为 632m,建成后将成为中国内地的第一高楼。美国芝加哥螺旋塔 150 层,高度约为 615m,芝加哥螺旋塔可以使大楼外立面旋转 360°,令其成为世界上一座独特的摩天

大楼，而日本拟建空中城市高度超过 1000m。世界第一高楼的竞争从来就没有停止过，据闻已有了数千米高大厦的蓝图。

摩天大厦是经济、科技和文化发展到鼎盛时代的产物。它们宏大美妙的身躯炫耀着经济高度发达、社会和平稳定。高层建筑正向结构体系多样化、体型复杂化、用途多功能化方向发展。建造得高些、更高些，将是未来世界建筑发展的趋势。

表 1-1 全球最高建筑前 20 位

序 号	建 筑 名 称	层数	高度 (m)	竣工年份
1	[台北] 台北 101	101	508	2004
2	[上海] 环球金融中心	101	492	2008
3	[吉隆坡] 石油大厦	88	452	1996
4	[芝加哥] 西尔斯大厦	108	443	1974
5	[上海] 金茂大厦	88	421	1998
6	[香港] 国际金融中心第二期	88	415	2003
7	[广州] 中信广场	80	391	1997
8	[深圳] 地王大厦	69	384	1996
9	[纽约] 帝国大厦	102	381	1931
10	[香港] 中环广场	78	374	1992
11	[香港] 中国银行大厦	72	369	1990
12	[杜拜] 阿联酋酋长塔	54	355	2000
13	[高雄] 东帝士大厦	85	347	1997
14	[芝加哥] 阿摩珂大厦	83	346	1973
15	[香港] 中环中心	79	346	1998
16	[芝加哥] 约翰—汉考克大厦	100	344	1969
17	[杜拜] 阿拉伯塔酒店	60	321	1999
18	[纽约] 克莱斯勒大厦	77	319	1930
19	[亚特兰大] 国家银行广场大厦	55	312	1992
20	[洛杉矶] 第一洲际世界中心	75	310	1990

注 1. 数据截至 2008 年 8 月。

2. 进行最高建筑排位的依据是该建筑的构造高度，既以地面为起点算起，到建筑物的最高点或必需的构造要素为止，一般以该建筑组织给出数据为准。

1.2.3 高层建筑的发展趋势

一、高层建筑结构体系的多样化和复杂性

20 世纪 70 年代以前，我国的高层建筑多采用钢筋混凝土框架结构、框架—剪力墙结构和剪力墙结构。

进入 20 世纪 80 年代，由于建筑功能以及高度和层数等要求，筒中筒结构、筒体结构、底部大空间的框支剪力墙结构以及大底盘多塔楼结构在工程中逐渐采用。

20 世纪 90 年代以来，除上述结构体系得到广泛应用外，多筒体结构、带加强层的框架—筒体结构、连体结构、巨型结构、悬挑结构、错层结构等也逐渐在工程中被采用。

为适应结构体系的多样化,结构材料也向多样性发展。20 世纪 80 年代以前高层建筑主要为钢筋混凝土结构,进入 90 年代后,由于我国钢材产量的增加,钢结构、钢—混凝土混合结构逐渐被采用。如金茂大厦、地王大厦都是钢—混凝土混合结构。此外,型钢混凝土结构和钢管混凝土结构在高层建筑中也正在得到广泛应用。高层建筑结构采用的混凝土强度等级不断提高,从 C30 逐步向 C60 及更高的等级发展。预应力混凝土结构在高层建筑的梁、板结构中广泛应用。钢材的强度等级也不断提高。

我国高层建筑早期多为单一用途,为适应建筑功能需要,向多用途、多功能发展,高层建筑平面布置和立面体型日趋复杂。

结构平面形式多样,如三角形、梭形、圆形、弧形,以及多种形式的组合等亦多采用。高层建筑立面体型亦有丰富的变化,立面退台、部分切块、挖洞、尖塔、大悬臂等,使高层建筑的刚度沿竖向发生突变。

由于建筑功能的改变,使结构体系、柱网发生变化,同时主体结构也要发生转换,即由上部剪力墙结构到下部筒体框架或框架剪力墙结构的转换;或主体结构由上部小柱网、薄壁柱到下部大柱网的转换。

结构体系的转换及立面体型变化丰富的结构在震区建造难度较大,还有待于进一步深入研究,并经历强震的检验。

二、高层建筑结构设计方法不断创新

高层建筑结构的分析计算已基本告别传统的手工计算而采用计算机程序计算,基本上都采用三维空间结构分析计算程序。常用的计算分析模型有空间杆—薄壁杆件分析模型、空间杆—墙组元模型及空间杆—壳元分析模型。

有些程序可考虑楼板变形进行结构分析计算,能更真实反映复杂结构的受力特点。除可进行钢筋混凝土结构计算外,有些计算分析软件还可进行钢结构、钢—混凝土混合结构的计算。

弹性动力时程分析的程序已相当成熟,一般以层模型进行动力时程分析,可输入各种类型的地震波,求得结构的位移与内力。

弹塑性分析计算近几年已开始发展,并已初步开发出一些可应用于工程设计的程序,包括弹塑性静力分析、层模型动力分析、杆模型平面结构动力分析等程序。

在对结构体系进行了大量的研究工作,并总结科研、设计、施工的基础上,1980 年颁布施行了我国自行编制的《钢筋混凝土高层建筑结构与施工规定》(JZ 102—79),通过实践应用并积累更多的经验,在 1991 年修改为《钢筋混凝土高层建筑结构与施工规程》(JGJ 3—1991)。2002 年修订后名称改为《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2002),此规程更适合高层建筑结构的设计应用。

三、高层建筑结构施工技术迅速发展

由于高层建筑对抗震、抗风的要求高,且建筑多样化,层数、高度日益提高,90 年代以来国内高层建筑的施工方法是以全现浇钢筋混凝土施工为主体。另外由于钢结构和钢—混凝土混合结构的兴建,施工中常需辅以此类结构的预制安装方法和多种混合施工方法。

高层现浇钢筋混凝土施工技术着重解决了模板、混凝土、钢筋三个方面的施工新技术。90 年代国内采用 4 种类型支模方法,即采用中、小模板、大模板、滑模、爬模,各种模板均有其优缺点和适用范围,今后均要向标准化、工具化方向发展。

高层建筑采用的混凝土强度等级已由常用的 C30、C40 逐步向 C50、C60、C80 及更高的强度等级发展。高强高性能混凝土的生产要有严格的质量控制与管理措施,应由工厂预拌生产。国内预拌商品混凝土近年发展很快,约占全部混凝土总量的 21%。高层建筑还需要解决泵送混凝土问题,目前可用国产混凝土拖式泵一次泵送高度 200m。

在普及 C50、C60 级混凝土的工程应用,扩大 C70、C80 级的工程试点的同时,开发配制 C100 级高强混凝土。主要手段是在常规水泥、砂石的基础上,依靠化学外加剂和矿物掺和料来降低混凝土用水量和改善微观结构,使混凝土更加致密并获得高强度。近年来 C80 混凝土已在辽宁、上海、北京、广州等城市相关工程中试用,国内建筑业应用高强混凝土越来越多,高强度混凝土的使用得到建筑界的普遍关注。

在高层建筑基础采用大体积混凝土施工技术方面,通过经验总结其主要措施为:减少水泥水化热,采用较低水化热水泥,掺粉煤灰和减水剂,提高混凝土抗拉强度;采用泵送预拌混凝土、分段、分层连续作业的合理浇捣方法,并及时养护及进行测温监控。

高强混凝土在工程中得到应用,并迅速推广;由于钢结构、钢—混凝土混合结构的兴建,钢结构安装技术也有了新的发展。

1.3 高层建筑结构体系

高层建筑结构的结构形式繁多,框架、剪力墙、框架—剪力墙结构体系是高层钢筋混凝土建筑结构中最为传统的、广为应用的结构体系;随着层数和在建筑高度的增加,利用结构空间作用,又发展了框架—筒体结构、筒中筒结构、多筒结构和巨型结构等多种结构体系。

高层建筑结构的承载力能力、抗侧移刚度、抗震性能、材料用量和造价高低,与其采用何种结构体系有着密切关系。不同结构体系,适用于不同层数、高度和功能的建筑。下面主要介绍框架结构体系、剪力墙结构体系、框架—剪力墙结构体系和筒体结构体系。

1.3.1 框架结构体系

当采用梁、柱组成的结构体系作为竖向承重结构,并同时承受水平荷载时,称其为框架结构体系。框架结构是空间刚性连接的杆系结构,独立承担竖向、横向的荷载和作用。框架结构的承重系统有横向承重、纵向承重和双向承重等三种体系。

框架结构体系一般用于钢结构和钢筋混凝土结构中,框架结构的主要构件是梁和柱,可以做成预制或现浇框架,钢筋混凝土框架按其施工方法的不同,又可分为:梁、板、柱全部现浇的框架;楼板预制,梁、柱现浇的框架;梁、楼预制,柱现浇的框架;梁、板、柱全部预制的全装配框架。

框架结构的构件截面尺寸较小,抗侧移刚度较小,在地震作用下结构整体位移和层间位移均较大,易产生震害。其优点是建筑平面布置灵活,立面也可变化。框架结构适合于多层办公楼、医院、学校、旅馆等,图 1-9 所示为一些框架结构的平面布置形式。

框架结构应设计双向梁柱抗侧力体系,抗震设计时框架结构不宜采用单跨框架。框架结构按抗震设计时,不应采用部分砌体墙承重的混合形式。框架结构中的楼梯、电梯间及局部突出屋顶的电梯机房、楼梯间、水箱间等,应采用框架承重,不应采用砌体墙承重。

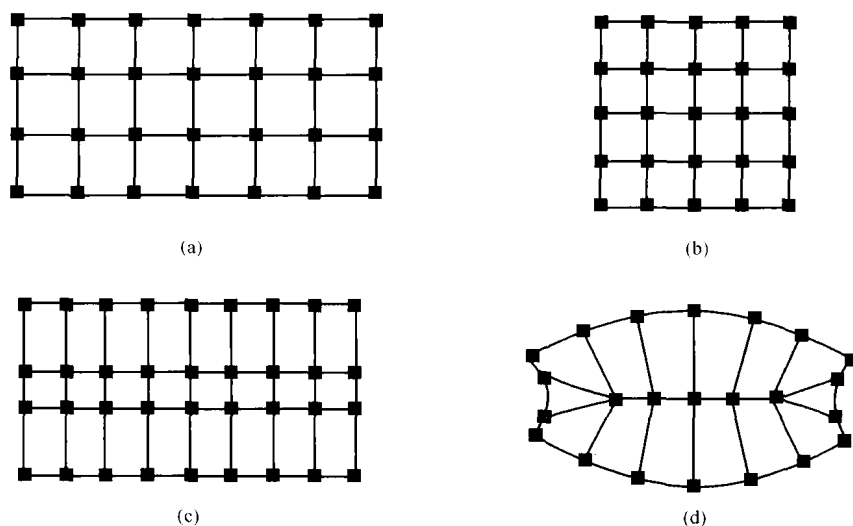


图 1-9 框架结构平面布置形式

1.3.2 剪力墙结构体系

利用建筑物墙体作为建筑的竖向承重和抵抗侧向力的结构，称其为剪力墙结构体系。剪力墙结构与楼盖一起组成空间结构，由于墙体截面大，整体性好、抗侧移刚度大、抗震性能较强，同时剪力墙也可作为维护结构和房间分隔构件。

剪力墙结构体系一般用于钢筋混凝土结构中，由墙体承受全部水平作用和竖向荷载。根据施工方法不同可分为：全现浇剪力墙；全部用预制墙板装配剪力墙；内墙现浇、外墙预制装配剪力墙。

剪力墙的间距受楼板构件跨度的限制，一般为 3~8m，因而剪力墙结构只适用于建造住宅、旅馆等隔墙较多的建筑。剪力墙结构的缺点和局限性是明显的，主要是剪力墙间距较小，平面布置不灵活，不适应建造公共建筑，结构自重较大。图 1-10 所示是典型剪力墙结构的平面。

剪力墙结构比框架结构刚度大，空间整体性能好，用钢量较省，结构的顶点位移和层间位移通常较小，能满足抗震设计变形的要求，具有良好的抗震性能。

剪力墙结构中，剪力墙宜沿主轴方向或其他方向双向布置；抗震设计的剪力墙结构，应避免出现单向有墙的布置形式。剪力墙墙肢截面宜简单、规则。剪力墙自上而下宜连续布置，避免刚度突变。门窗洞口宜上下对齐、成列布置，形成明确的墙肢和连梁，应注意避免墙肢刚度相差悬殊的洞口设置。

1.3.3 框架—剪力墙结构体系

将框架和剪力墙结构有机地结合在一起，组成一种共同抵抗竖向、水平荷载作用的结构体系，称其为框架—剪力墙结构体系。它利用剪力墙抗侧移刚度和承载力大的优点，弥补了框架结构柔性大和侧移大的缺点；同时只在部分位置上设剪力墙，保持了框架结构空间较大和立面易于变化等优点。

在框架—剪力墙结构体系中，剪力墙往往承担大部分水平荷载，并使结构总体刚度增大，侧移减小。同时，由于框架和剪力墙协同工作，通过变形协调，使得各楼层层间变形趋于均匀，改善了纯框架或纯剪力墙结构中上部和下部变形相差较大的缺点。框架—剪力墙结

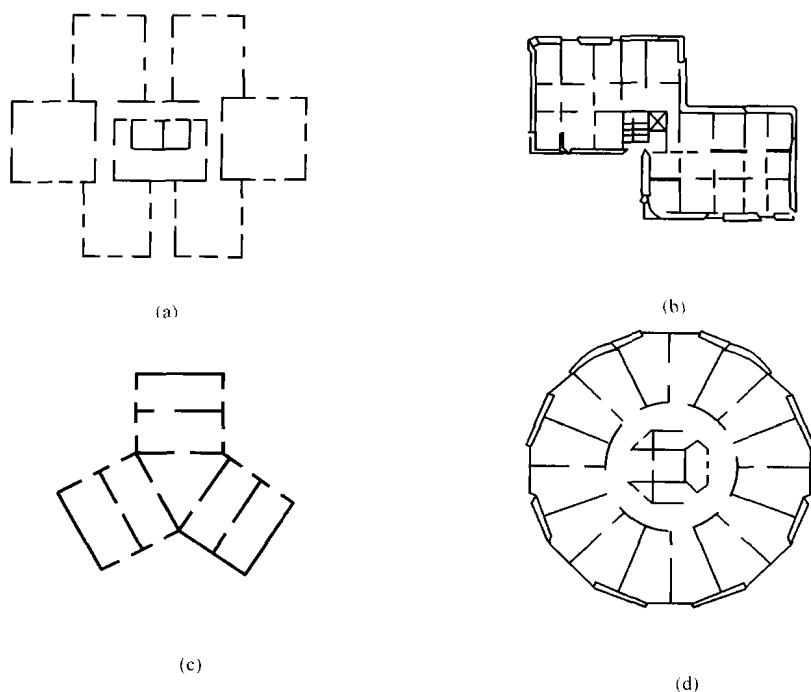


图 1-10 剪力墙结构平面布置

构体系是一种性能较好的结构体系，它既有框架结构体系布置灵活、使用方便的特点，又有较大的抗侧移刚度和较好的抗震性能，在公共建筑和办公楼等建筑中得到广泛应用。例如，上海宾馆（27 层，91.5m），北京饭店新楼（27 层，91.5m，如图 1-11 所示）等。

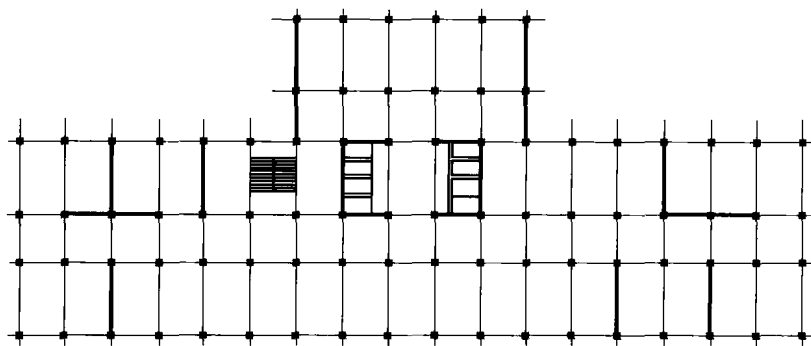


图 1-11 北京饭店新楼结构平面布置图

框架—剪力墙结构可采用如下的布置：框架与剪力墙（单片墙、联肢墙或较小井筒）分开布置；在框架结构的若干跨内嵌入剪力墙（带边框剪力墙）；在单片墙抗侧力结构连续分别布置框架和剪力墙；也可采用以上两种或三种形式的混合。

框架—剪力墙结构应设计双向抗侧力体系，抗震设计时结构两个主轴方向均应布置剪力墙。框架—剪力墙结构中剪力墙宜均匀布置在建筑物内部四周、楼梯间和电梯间等平面形状变化较大及恒载较大的部位，间距不宜过大。剪力墙宜沿贯通建筑物全高，避免刚度突变，开洞时洞口宜上下对齐，楼梯间、电梯间等竖井宜尽量与靠近的抗侧力结构结合布置。

1.3.4 筒体结构体系

由若干片剪力墙围成的井筒结构,作为建筑物的竖向承重和抵抗侧向力的结构体系,称其为筒体结构体系。筒体结构是一种空间受力性能较好的结构体系,它比框架或剪力墙结构具有更大的强度和刚度,犹如一个固定于基础上的封闭箱形悬臂构件,具有良好的抗风、抗侧移和抗震性能。该类结构体系根据筒的布置、组成和数量等又可分为框架—筒体结构体系、筒中筒结构体系和成束筒结构体系等,如图 1-12 所示。

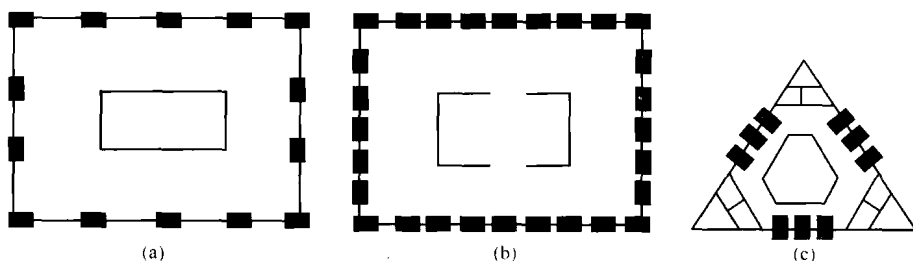


图 1-12 筒体结构体系

1. 框架—筒体结构体系

框架—筒体结构体系是由一般的框架结构发展起来的,它不设内部支撑或墙体,仅靠悬臂筒体的作用来抵抗水平荷载,如果设置内部柱子则将主要承受竖向荷载,不分担水平外荷载。框架—筒体结构体系具有较大的抗侧刚度和抗扭刚度,适宜于平面布置灵活、室内活动余地大的功能要求。

框架—筒体结构体系最明显的应用是美国纽约世界贸易中心大厦(110层,417m)和芝加哥标准石油公司大楼(83层,346m)。

2. 筒中筒结构体系

框筒结构可以在外围立面内用斜撑加强,还可以在房屋内部增设剪力墙筒体或内部核心,于是形成由两个或两个以上的筒体作为竖向承重和抗侧力结构的高层房屋结构体系。一般情况下,内部核心筒利用电梯间、楼梯间和设备间等墙体和支撑构成,楼面结构将外框筒和内框筒连接在一起,使二者形成一个整体,抵抗水平荷载。内筒不仅承受竖向荷载,也承受水平荷载。筒中筒结构体系在水平荷载作用下的受力性能接近于框架—剪力墙结构,但是框架式筒体的刚度要比一般框架强得多。

在我国采用筒中筒结构的主要有广东国际大厦、深圳国际贸易中心、上海电讯大楼(20层,125m)、北京中国国际贸易信托投资公司(29层,102m)、北京彩电中心(26层,107m)等。香港的合和中心(64层,215m),由一个外框筒和三个内框筒组成,呈圆形平面,也是典型的筒中筒结构。

3. 成束筒结构体系

当多个框筒组合在一起时,形成了框架束筒结构,相邻两个筒相连处的公共筒壁成为框架横隔,内筒柱距与外筒柱距相近,各层窗裙梁是连续的,这样便大大增强了建筑物的抗弯和抗剪能力。建筑结构内部空间较大,平面可以灵活划分,适用于多功能、多用途的超高层建筑。著名的西尔斯大厦就是由九个方块筒组成的,并逐步向上收缩。

1.3.5 巨型结构体系

随着高层建筑功能和造型要求的提高,建筑师对大空间的需求越来越迫切,结构工程师提出

了新颖的巨型结构体系。这种结构体系的主要特点是布置有若干个“巨大”的竖向支撑结构（组合柱、角筒体、边筒体等），并与梁式或桁架式转换楼层结合，形成一种巨型框架或巨型桁架的结构体系（图 1-13）。

巨型桁架结构体系以大截面的竖杆和斜杆组成悬臂桁架〔图 1-13 (a)〕，主要承受水平和竖向荷载。楼层竖向荷载通过楼盖、梁和柱传递到桁架的主要杆件上。香港中国银行大厦即为巨型桁架结构，其结构由八片钢平面框架组成，其中四片位于建筑物四周，相互正交，另外四片斜交，每一对角上有两片，而八片框架的端部由五根巨大的混凝土组合柱，即巨型结构柱连接，组成了巨型结构体系。

巨型框架由楼梯间、电梯井等大尺寸箱形截面巨型柱，或是大截面实体柱，以及每隔若干层设置 1~2 层楼高的转换梁组成结构体系〔图 1-13 (b)〕。巨型框架是主要承受水平荷载和竖向荷载的一级结构；上下层巨型框架梁之间的楼层梁柱组成二级结构，其荷载直接传递到一级结构上，其自身承受荷载较小，构件截面尺寸也就较小，增加了建筑布置的灵活性和有效使用面积。我国深圳亚洲大酒店（37 层，114m）即为巨型框架结构体系，每隔六层设置梁式转换楼层，转换楼层之间再用小框架分成六个建筑层。

此外，还有其他一些高层建筑结构体系，如悬挂结构体系、板柱结构体系等也得到广泛应用。但应用最广的还是框架结构、剪力墙结构、框架—剪力墙结构和筒体结构等结构体系。最后归纳一下高层建筑结构体系的适用范围，供参考。根据我国的经验，各类钢筋混凝土高层建筑适用的结构体系见表 1-2。

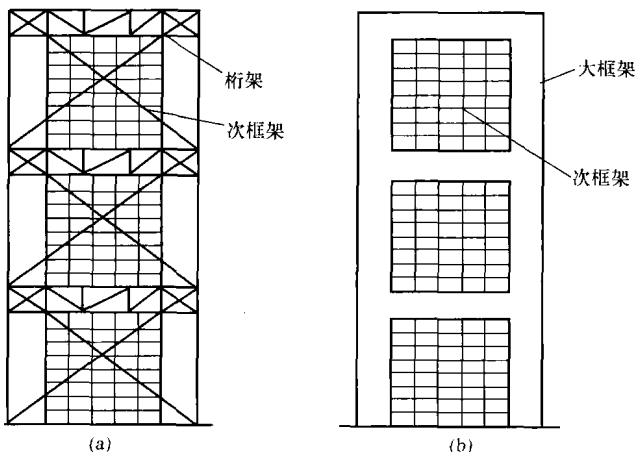


图 1-13 巨型结构体系

(a) 巨型桁架；(b) 巨型框架

表 1-2

各类钢筋混凝土高层建筑适用的结构体系

建筑物类型		无抗震设防要求	有抗震设防要求	
			≤50m	≥50m
住宅楼		框架、剪力墙、框—剪	剪力墙、框—剪	剪力墙、框—剪
集体宿舍、旅馆		剪力墙、框—剪	剪力墙、框—剪	剪力墙、框—剪
公共建筑	办公楼、教学楼、科研楼、医院病房、高级宾馆	框架、框—剪、筒体	框—剪	框—剪 筒体
	综合楼	框架、框支墙、框—剪		

1.4 高层建筑结构设计的影响因素

1.4.1 水平作用是设计的主要因素

任何建筑结构都要抵抗竖向荷载和水平荷载，在低层和多层结构设计中，往往是以重力