

///
普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会 审定

高层建筑结构

G C J Z J G

吕西林 主编



WUTP

武汉工业大学出版社

普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会 审定

高层建筑结构

主 编 吕西林
副主编 桂国庆

武汉工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

高层建筑结构/吕西林主编. —武汉:武汉工业大学出版社, 2001. 8
ISBN 7-5629-1738-8

I. 高… II. 吕… III. 高层建筑-高等学校-教材 IV. TU973

内容提要

本教材主要是根据高等学校土木工程本科专业“高层建筑结构”课程的教学大纲编写的。内容包括高层建筑结构体系与结构布置,高层建筑结构荷载作用与结构计算原则,高层建筑结构扭转效应的简化计算,框架结构的内力与位移计算,剪力墙结构的内力与位移计算,框架-剪力墙结构协同工作计算,筒体结构的受力分析方法,高层建筑结构构件的截面设计与构造要求,钢与混凝土组合结构设计以及高层建筑基础的设计要点等。

本教材的目的是,使学生通过本课程的学习,能够深刻理解高层建筑结构的受力性能、变形特点和设计原则,了解高层建筑结构的组成及各种结构体系的布置特点、应用范围等,为学生毕业后从事高层建筑结构的设计、施工和技术管理打下基础。

本书也可以作为高等专科学校、高等职业技术学院的教学用书,以及土建工程技术人员的参考用书。

出版者:武汉工业大学出版社(武汉市武昌珞狮路122号 邮编:430070)

印刷者:武汉工业大学出版社印刷厂

发行者:各地新华书店

开本:880×1230 1/16

印张:11.75

插页:1

字数:389千字

版次:2001年8月第1版

印次:2001年8月第1次印刷

书号:ISBN 7-5629-1738-8/TU·138

印数:1~10 000册

定价:17.50元

(本书如有印装质量问题,请向承印厂调换)



上海金茂大厦

普通高等学校土木工程专业新编系列教材 编 审 委 员 会

顾 问：成文山 滕智明 罗福午 魏明钟 李少甫
甘绍熿 施楚贤 白绍良 彭少民 范令惠
主 任：江见鲸 吕西林 高鸣涵
副主任：朱宏亮 辛克贵 袁海庆 吴培明 李世蓉
苏三庆 刘立新 赵明华 孙成林

委 员：(按姓氏笔画顺序排列)

于书翰	丰定国	毛鹤琴	甘绍熿	白绍良
白晓红	包世华	田道全	成文山	江见鲸
吕西林	刘立新	刘长滨	刘永坚	刘伟庆
朱宏亮	朱彦鹏	孙家齐	孙成林	过静君
李少甫	李世蓉	李必瑜	吴培明	吴炎海
辛克贵	苏三庆	何铭新	汤康民	陈志源
罗福午	周 云	赵明华	赵均海	尚守平
施楚贤	柳炳康	姚甫昌	胡敏良	俞 晓
桂国庆	顾敏煜	徐茂波	袁海庆	高鸣涵
蒋沧如	谢用九	彭少民	覃仁辉	蔡德明
燕柳斌	魏明钟			

总责任编辑：刘永坚 田道全

秘 书 长：蔡德明

出版说明

1998年7月,教育部颁布了新的普通高等学校本科专业目录,1999年全国高等学校都已按新的专业目录招生。新的土木工程专业专业面大大拓宽,相应的专业业务培养目标、业务培养要求、主干学科、主要课程、主要实践性教学环节等都有了不同程度的变化。原有的教材已经不能适应新专业的培养目标和教学要求,组织一套新的土木工程专业系列教材成为众多院校的翘首之盼。武汉工业大学出版社在中国土木工程学会教育工作委员会的指导和支持下,经过大量的调研,组织国内29所大学的土木工程学科的教授共同编写了这套系列教材。

本套教材的主、参编人员及编委会顾问遵照1998年1月建设部全国土木建筑工程专业教学指导委员会昆明会议和1998年5月上海的全国土木工程专业系主任会议的精神,经过充分研讨,决定首批编写出版29种主干课程的教材,以尽快满足全国众多院校的教学需要,以后再根据专业方向的需要逐步增补。中国土木工程学会教育工作委员会组织专家审查了本套教材的编写大纲,决定将其作为“中国土木工程学会教育工作委员会审定教材”出版。作为一套全新的系列教材,本套教材的“新”体现在以下几点:

体系新——本套教材从“大土木”的专业要求出发,从整体上考虑专业的课程设置和各门课程的内容安排,按照教学改革方向要求的学时统一协调与整合,组成一套完整的、各门课程有机联系的系列。整套教材的编写除正文外,大多增加了本章提要、本章重点、例题详解、思考题、习题等,以使教材既适合教学需要,又便于学生自学。

内容新——本套教材中各门课程教材的主、参编人员特别注意了教材内容的更新和吸收各校教学改革的阶段性成果,以适应21世纪土木工程人才的培育要求。

规范新——本套教材中凡涉及土木工程规范的全部采用国家颁布的最新规范。

本套教材是新专业目录颁布实施后的第一套土木工程专业系列教材,是面向新世纪、适应新专业的一套全新的教材。能为新世纪土木工程专业的教材建设贡献微薄之力,自是我们应尽的责任和义务,我们感到十分欣慰。然而,正因其为第一套教材,尽管我们的编审者、编辑出版者夙兴夜寐、尽心竭力,不敢稍有懈怠,它仍然还会存在缺点和不足。嚶其鸣矣,求其友声,我们诚恳地希望选用本套教材的广大师生在使用过程中给我们多提意见和建议,以便我们不断修改、完善全套教材,共同为教育事业的发展作出贡献。

武汉工业大学出版社

2000.2

前 言

本教材主要是根据土木工程本科专业“高层建筑结构”课程的教学大纲编写的,内容包括高层建筑结构体系与结构布置,高层建筑结构荷载作用与结构计算原则,高层建筑结构扭转效应的简化计算,框架结构的内力与位移计算,剪力墙结构的内力与位移计算,框架-剪力墙结构协同工作计算,筒体结构及钢与混凝土组合结构的分析与设计方法,高层建筑结构构件的截面设计与构造要求,以及高层建筑基础的设计要点。

本教材的目的是使学生通过本课程的学习,能够深刻理解高层建筑结构的受力性能、变形特点和设计原则,了解高层建筑结构的组成及各种结构体系的布置特点、应用范围;掌握高层建筑结构计算简图的确定方法;掌握风荷载及地震作用的计算方法;掌握框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构内力与位移计算的实用方法;掌握高层建筑结构的抗震设计概念,掌握框架和剪力墙的截面设计原理;了解筒体结构的内力计算方法、内力分布特点及构造要点;了解钢与混凝土组合结构以及高层建筑基础的设计要点。

本教材是在作者多年教学、科研和工程实践经验的基础上,依据《钢筋混凝土高层建筑结构设计与施工规程》、《混凝土结构设计规范》、《建筑抗震设计规范》、《建筑结构荷载规范》等有关规范或规程编写的。内容取舍上在符合大专院校土木工程专业教学要求的前提下,力求基本、实用,既注重理论上的系统性,也注意叙述时简明扼要,并附有思考题。

本课程的课内总学时为 36 个,学时分配建议如下:

学时分配参考表

章 节	学 时	章 节	学 时
1		6	6
2	4	7	2
3	6	8	2
4	8	9	2
5	6		

很明显,上述学时分配是很紧的,主要是要求学生要课前自学预习,课后再进一步复习加深,通过自学和课堂教学逐步掌握高层建筑结构的设计原理。当然,学校可根据各自教学安排适当地增减学时和教学内容。

本教材由吕西林担任主编并编写第 1 章,桂国庆任副主编并编写第 3、5、6、9 章,张建荣编写第 4、7、8 章,卢文胜编写第 2 章。全书由吕西林修改定稿。

由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,欢迎读者批评指正。

编 者

2001 年 7 月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 高层建筑的特点.....	(1)
1.2 高层建筑结构的发展概况.....	(2)
1.3 本课程的教学内容与要求.....	(4)
2 高层建筑结构体系与结构布置	(7)
2.1 概述.....	(7)
2.1.1 框架结构体系.....	(7)
2.1.2 剪力墙结构体系.....	(8)
2.1.3 框架-剪力墙结构体系.....	(9)
2.1.4 筒体结构体系.....	(9)
2.1.5 巨型结构体系.....	(10)
2.2 结构布置原则.....	(10)
2.2.1 抗震设防结构布置原则.....	(10)
2.2.2 结构平面布置原则.....	(11)
2.2.3 结构竖向布置原则.....	(12)
2.2.4 设温度缝、沉降缝和防震缝的原则.....	(13)
2.2.5 结构截面尺寸初估.....	(15)
2.3 结构布置实例.....	(16)
2.3.1 建筑物的高度.....	(16)
2.3.2 建筑物用途.....	(17)
2.4 楼盖结构布置.....	(18)
2.4.1 现浇楼盖和装配整体式楼盖.....	(18)
2.4.2 梁板式楼盖.....	(18)
2.4.3 密肋楼盖.....	(19)
2.4.4 无梁楼盖.....	(19)
2.4.5 非预应力平板.....	(19)
2.4.6 预应力平板.....	(19)
2.5 基础结构布置.....	(20)
2.5.1 基础类型.....	(20)
2.5.2 基础选型原则.....	(20)
2.5.3 基础埋深.....	(21)
2.5.4 基础底板厚度.....	(21)
思考题.....	(22)
3 高层建筑结构荷载作用与结构设计原则	(23)
3.1 恒荷载及楼面活荷载的计算.....	(23)
3.1.1 恒荷载.....	(23)
3.1.2 活荷载.....	(23)
3.2 风荷载的计算.....	(24)
3.2.1 风荷载标准值及基本风压.....	(24)
3.2.2 总风荷载和局部风荷载.....	(26)

3.3	地震作用的计算	(26)
3.3.1	一般计算原则	(26)
3.3.2	水平地震作用计算	(28)
3.3.3	突出屋面上塔楼的地震力	(29)
3.4	荷载效应组合	(30)
3.4.1	荷载效应和地震作用效应的组合方式	(30)
3.4.2	非抗震设计时的组合	(30)
3.4.3	抗震设计时的组合	(31)
3.5	结构简化计算原则	(32)
3.5.1	弹性工作状态	(32)
3.5.2	高层建筑结构应考虑整体共同工作	(32)
3.5.3	楼板在自身平面内的刚度为无限大,平面外的刚度可以不考虑	(32)
3.5.4	在计算中应考虑墙与柱子轴向变形的影响	(33)
3.6	扭转效应的简化计算	(33)
3.6.1	质量中心、刚度中心及扭转偏心距	(33)
3.6.2	考虑扭转作用的剪力修正	(35)
3.7	抗震设计的一般原则	(37)
3.7.1	地震时地面运动的特点	(37)
3.7.2	结构的抗震性能	(39)
3.7.3	合理选择结构的刚度	(40)
3.7.4	唐山地震中高层建筑的震害	(40)
3.7.5	抗震设计的基本原则	(41)
	思考题	(42)
4	框架结构设计	(44)
4.1	框架结构的计算简图	(44)
4.1.1	计算单元的确定	(44)
4.1.2	节点的简化	(44)
4.1.3	跨度与层高的确定	(45)
4.1.4	构件截面抗弯刚度的计算	(45)
4.2	竖向荷载作用下的近似计算	(46)
4.3	水平荷载作用下的反弯点法	(46)
4.4	水平荷载作用下的 D 值法	(48)
4.4.1	修正后的柱抗侧移刚度 D	(49)
4.4.2	修正后的柱反弯点高度	(50)
4.5	水平荷载作用下位移的近似计算	(51)
4.6	框架结构的内力组合	(52)
4.6.1	控制截面及最不利组合内力	(52)
4.6.2	竖向活荷载的最不利位置	(52)
4.6.3	梁端弯矩调幅	(53)
4.7	框架梁的设计	(53)
4.7.1	框架梁的受力性能	(53)
4.7.2	框架梁的承载力计算	(55)
4.7.3	框架梁构造要求	(56)
4.8	框架柱的设计	(57)
4.8.1	框架柱的受力性能	(57)

4.8.2	框架柱承载力计算	(58)
4.8.3	框架柱的计算长度	(60)
4.8.4	框架柱的构造要求	(61)
4.9	框架节点的设计	(63)
4.9.1	框架节点的受力性能	(63)
4.9.2	框架节点的受剪承载力计算	(64)
4.9.3	框架节点的构造要求	(65)
	思考题	(67)
5	剪力墙结构的内力与位移计算	(69)
5.1	概述	(69)
5.1.1	结构布置	(69)
5.1.2	剪力墙的分类	(69)
5.1.3	剪力墙的分析方法	(70)
5.2	整体剪力墙及整体小开口剪力墙的计算	(70)
5.2.1	整体墙的计算	(70)
5.2.2	整体小开口剪力墙的计算	(72)
5.3	联肢剪力墙的计算	(74)
5.3.1	双肢墙计算	(74)
5.3.2	多肢墙计算	(87)
5.4	壁式框架的计算	(91)
5.4.1	壁式框架计算简图	(91)
5.4.2	壁式框架内力计算	(91)
5.4.3	壁式框架位移计算	(93)
5.5	剪力墙结构的分类	(93)
5.5.1	按整体参数来划分	(94)
5.5.2	按剪力墙墙肢惯性矩比值来划分	(94)
5.5.3	剪力墙类型的判别方法	(95)
5.6	剪力墙的截面设计及构造要求	(95)
5.6.1	墙肢正截面抗弯承载力	(95)
5.6.2	墙肢斜截面抗剪承载力	(98)
5.6.3	剪力墙截面尺寸配筋构造要求	(99)
	思考题	(100)
6	框架-剪力墙结构的协同工作计算	(101)
6.1	概述	(101)
6.1.1	框架-剪力墙结构的特点	(101)
6.1.2	框架-剪力墙结构中的梁	(102)
6.1.3	适用高度及高宽比	(102)
6.1.4	剪力墙的合理数量	(103)
6.1.5	剪力墙的布置	(103)
6.2	框架-剪力墙结构的内力计算	(104)
6.2.1	基本假定及总剪力墙和总框架刚度计算	(104)
6.2.2	按铰结体系框剪结构的内力计算	(105)
6.2.3	按刚结体系框剪结构的内力计算	(113)
6.2.4	内力分配计算	(115)
6.3	框架-剪力墙结构协同工作性能	(117)

6.3.1	结构的侧向位移特征	(117)
6.3.2	结构的内力分布特征	(117)
6.4	框架-剪力墙结构构件的截面设计及构造要求	(118)
6.4.1	截面尺寸	(118)
6.4.2	截面设计	(118)
6.4.3	剪力墙的截面配筋	(118)
6.4.4	构造要求	(118)
	思考题	(119)
7	筒体结构设计	(120)
7.1	筒体结构的布置	(120)
7.1.1	核芯筒结构	(120)
7.1.2	框筒结构	(120)
7.1.3	筒中筒结构	(122)
7.1.4	框架-核芯筒结构	(122)
7.1.5	成束筒结构	(122)
7.1.6	多重筒结构	(122)
7.2	侧向力作用下的受力特点	(122)
7.3	筒体结构的计算方法	(123)
7.3.1	空间杆系-薄壁柱矩阵位移法	(123)
7.3.2	平面展开矩阵位移法	(124)
7.3.3	等效弹性连续体能量法求解	(125)
7.3.4	有限条分析法	(127)
7.4	筒体结构的截面设计及构造要求	(127)
7.4.1	混凝土	(127)
7.4.2	外框筒	(128)
7.4.3	核芯筒	(128)
	思考题	(129)
8	钢与混凝土组合结构设计	(130)
8.1	概述	(130)
8.2	组合结构的基本构件和结构布置	(131)
8.2.1	组合结构的基本单元	(131)
8.2.2	组合结构高层建筑结构布置举例	(133)
8.2.3	结构的总体布置原则	(135)
8.3	组合结构构件设计	(136)
8.3.1	截面形式和构造要求	(136)
8.3.2	型钢混凝土梁的计算	(136)
8.3.3	型钢混凝土柱的计算	(137)
8.3.4	钢管混凝土构件设计	(138)
8.3.5	型钢混凝土的梁柱节点	(139)
8.4	上海金茂大厦结构概况	(139)
	思考题	(142)
9	高层建筑结构基础设计	(143)
9.1	概述	(143)
9.1.1	高层建筑基础的常用形式	(143)
9.1.2	基础的埋置深度	(143)

9.1.3	高层部分的基础与裙房基础的连接	(144)
9.1.4	基础选型实例	(145)
9.1.5	地基承载力和单桩承载力	(145)
9.2	筏形基础设计	(147)
9.2.1	筏形基础的形式	(147)
9.2.2	构造要求	(149)
9.2.3	筏板尺寸确定及筏形基础内力计算	(150)
9.3	箱形基础设计	(151)
9.3.1	概述	(151)
9.3.2	箱形基础结构布置的要求	(151)
9.3.3	构造要求	(154)
9.3.4	箱形基础基底反力计算	(155)
9.3.5	箱形基础内力计算和基础强度验算	(157)
9.4	桩基础设计	(161)
9.4.1	概述	(161)
9.4.2	预制混凝土桩	(162)
9.4.3	灌注桩	(163)
9.4.4	大直径扩底墩	(163)
9.4.5	桩基承台	(165)
	思考题	(166)
	附录 1 风荷载体型系数	(167)
	附录 2 规则框架承受均布及倒三角形分布水平力作用时反弯点的高度比	(168)
	参考文献	(173)

1 绪 论

1.1 高层建筑的特点

城市中的高层建筑是反映这个城市经济繁荣和社会进步的重要标志,当人们谈起举世闻名的摩天大楼时,往往和芝加哥、纽约这样的国际大都市联系在一起,足以说明高层建筑对城市社会形象的贡献。进入 20 世纪 90 年代以来,随着社会与经济的蓬勃发展,特别是城市建设的发展,要求建筑物所能达到的高度与规模不断地增加,例如目前世界上高度超过 300m 的高层建筑已达几十幢,国际上正在筹划的 100~300 层的巨型建筑其高度均超过 400m,中国目前已建成并投入使用的上海金茂大厦高度为 420.5m,已建成并投入使用的位于马来西亚首都的石油大厦或称双塔大厦高度达 451.9m,已经超过了美国芝加哥 443m 高的西尔斯大厦。高层建筑在全球范围内突飞猛进的建设,从科学技术方面看,得益于力学分析方法的发展、结构设计和施工技术的进步以及现代机械和电子技术的贡献。

多少层的建筑或多少高度的建筑为高层建筑,不同国家有不同的规定。我国《民用建筑设计通则》规定,10 层及 10 层以上的住宅建筑以及高度超过 24m 的公共建筑和综合性建筑为高层;建筑物高度超过 100m 时,不论住宅建筑或公共建筑,均为超高层。在实际应用中,我国建设部有关主管部门自 1984 年起,将无论是住宅建筑还是公共建筑的高层建筑范围,一律定为 10 层及 10 层以上。联合国 1972 年国际高层建筑会议将 9 层或高度 100m 的建筑定为高层建筑,而将 30 层或高度 100m 以上的建筑定为超高层建筑。日本将 5 层到 15 层的建筑定为高层,而 15 层以上的建筑称为超高层建筑。

高层建筑的特点(包括有利的和不利的)有以下几个方面:

(1)在相同的建设场地中,建造高层建筑可以获得更多的建筑面积,这样可以部分解决城市用地紧张和地价高涨的问题。设计精美的高层建筑还可以为城市增加景观,如马来西亚首都的石油大厦和上海的金茂大厦等。但高层建筑太多、太密集也会对城市带来热岛效应,玻璃幕墙过多的高层建筑群还可能造成光污染现象。

(2)在建筑面积与建设场地面积相同比值的情况下,建造高层建筑比多层建筑能够提供更多的空闲地面,将这些空闲地面用作绿化和休息场地,有利于美化环境,并带来更充足的日照、采光和通风效果。例如在新加坡的新建居住区中,由于建造了高层建筑群,留下了更多地面空间,可以更好地建设城市绿化和人们休闲活动空间。

(3)从城市建设和管理的角度看,建筑物向高空延伸,可以缩小城市的平面规模,缩短城市道路和各种公共管线的长度,从而节省城市建设与管理的投资。由于建造高层建筑可以增加人们的聚集密度,缩短相互间的距离,水平交通与竖向交通相结合,使人们在地面上的活动走向空间化,节约了时间,增加了效率。但人口的过分密集有时也会造成交通拥挤、出行困难等问题。

(4)高层建筑中的竖向交通一般由电梯来完成,这样就会增加建筑物的造价,从建筑防火的角度看,高层建筑的防火要求要高于中低层建筑,也会增加高层建筑的工程造价和运行成本。

(5)从结构受力特性来看,侧向荷载(风荷载和地震作用)在高层建筑分析和设计中将起着重要的作用,特别是在超高层建筑中将起主要作用。因此高层建筑的结构分析和设计要比一般的中低层建筑复杂得多。

综合高层建筑的上述特点,可以认为,建造高层建筑一般是利大于弊,而合理的规划和设计还可以达到美化城市环境的效果。可以预见,在相当长的一段时间内,高层建筑仍将是世界上大部分国家在城市建设中的主要建筑形式。因此,掌握高层建筑的设计知识是对建筑与土木工程领域技术人员的基本要求。作为土木工程专业的学生,更应该掌握高层建筑结构的分析理论和基本设计方法,为今后的工作打下良好的基础。

1.2 高层建筑结构的发展概况

高层建筑的结构体系是随社会生产的发展和科学技术的进步而不断发展的。早期高层建筑的发展是由于大工业的兴起促使人口向城市集中,造成城市用地紧张。为了在较小的场地范围内建造出更多的建筑面积,建筑物不得不向高空延伸,这样就由多层建筑发展为高层建筑。世界上第一幢近代高层建筑是美国芝加哥的家庭保险大楼,该楼10层,高55m,建于1885年,采用铁柱和砖墙作为结构体系。此后10年中,在芝加哥和纽约相继建成了30幢类似的高层建筑。1895年奥提斯(Otis)安全电梯首次在纽约某16层宾馆应用。19世纪末各种型钢有很大发展,1889年巴黎埃菲尔铁塔建成,所有这些,特别是钢结构与电梯相结合,对高层建筑的发展有很大的推动作用。20世纪30年代出现了高层建筑发展的第一个高潮。1931年建成的纽约帝国大厦,102层,高381m,保持了世界最高建筑纪录达41年之久。该建筑在结构体系上采用框架支撑体系,在电梯井纵横方向设置了支撑,连接采用铆接,在钢框中填充了墙体以共同承受侧向力。

第二次世界大战使高层建筑的发展几乎处于停顿状态,直到20世纪50年代,又开始了新的发展。战后焊接在钢结构制造中的推广和50年代高强螺栓的进一步应用,使60年代以来钢结构的加工既可以在工厂焊接制造,也可以在现场螺栓安装。美国在20世纪60年代末和70年代初建成了415m和417m高的纽约世界贸易中心双塔楼、443m高的芝加哥西尔斯大厦和344m高的芝加哥汉考克大厦等一批100层以上的超高层建筑,是这个时期最有代表性的建筑物,它们至今仍位于世界上少数最高的建筑物之列。这些建筑能达到如此新的高度,主要是因为采用了适应这种高度的新的结构体系,即60年代美国人坎恩(Fazler Khan)提出的框筒体系,为建造超高层建筑提供了理想的结构形式。从这种体系衍生出来的筒中筒、多束筒和斜撑筒等体系,各有特色,将高层建筑的发展推向了新阶段。纽约世界贸易中心大楼在规模和技术上的创新,是前所未有的。该工程首次进行了模型风洞试验,首次采用了压型钢板组合楼板,首次在楼梯井道采用了轻质防火隔墙,首次用粘弹性阻尼器减轻风振动效应等,对后来的高层建筑结构的设计和建造都具有重要的参考价值。

高层建筑结构的抗震研究,导致地震活动比较频繁的日本在1963年取消了房屋高度不得超过31m的限制,使日本的高层建筑得到了发展的空间。美国早在1957年就取消了地震区高层建筑不得超过13层的限制,推动了地震区高层建筑的发展。

钢筋混凝土高层建筑是20世纪初出现的。世界上第一幢钢筋混凝土高层建筑是1903年建成的美国辛辛那提市的英格尔斯(Ingalls)大楼,16层,高64m。钢筋混凝土高层建筑的结构体系和高层钢结构类似。它的发展也经历了由低到高的过程,目前已出现了高度超过300m的混凝土结构高层建筑。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体系。与全钢结构和全混凝土结构相比,钢和混凝土的组合结构具有良好的抗震性能和耐腐蚀耐火等性能,在当今的超高层建筑中应用颇多。第一幢组合结构高层建筑是1955年在华沙建成的I Palac Kultury Nauki大楼,42层,241m,它至今仍然是欧洲最高的建筑。香港的中国银行大厦,采用空间桁架和大截面的组合柱,是组合结构在高层建筑结构中的新发展。上海的金茂大厦,采用框架-筒体结构,在钢筋混凝土筒体的外围设置了8根截面尺寸较大的钢与混凝土组合柱,则是组合结构在高层建筑中的最新应用。日本从20世纪80年代开始,在高层建筑结构的抗风和抗震控制中,大胆地使用了结构主动控制技术和混合控制技术,代表了现代机械和电子技术在高层建筑工程中的应用方向。

我国自行建造高层建筑是从20世纪50年代开始的。50年代中期建造了几幢8~10层的砖混结构住宅和旅馆。1959年北京建成了几幢钢筋混凝土高层公共建筑,如民族饭店(12层,47.7m)、民航大楼(15层,60.8m)。60年代,我国建成了广州宾馆(27层,88m)。70年代,北京、上海建成了一批剪力墙结构住宅(12~16层)。1974年建成了北京饭店(19层,87.15m),使我国地震区高层建筑突破了80m。1975年,广州建成了白云宾馆(33层,114.05m),标志着我国高层建筑开始突破100m。80年代是我国高层建筑发展的兴盛时期,北京、广州、深圳、上海等30多个大中城市建造了一批高层建筑。进入90年代,随着我国经济实力的增强和城市建设的快速发展,我国的高层建筑得到了前所未有的发展,各种新型的结构体系在高层建筑工程中得到了广泛的应用,高层建筑的规模和高度不断地突破。据不完全统计,我国目前已建成的和在建的高度超过150m的高层建筑已超过了100多幢,超过200m的高层建筑已达到20多幢。

高层建筑结构体系的发展过程可以大致地归纳在表 1.1 中。

高层建筑结构体系的发展过程

表 1.1

始用年代	结构体系和特点
1885	砖墙、铸铁柱、钢梁
1889	钢框架
1903	钢筋混凝土框架
20 世纪初	钢框架+支撑
二次大战后	钢筋混凝土框架+剪力墙, 钢筋混凝土剪力墙, 预制钢筋混凝土结构
20 世纪 50 年代	钢框架+钢筋混凝土核心筒, 钢骨钢筋混凝土结构
20 世纪 60 年代末和 70 年代初	框筒, 筒中筒, 束筒, 悬挂结构, 偏心支撑和带缝剪力墙板框架
20 世纪 80 年代	巨型结构, 应力蒙皮结构, 隔震结构
20 世纪 80 年代中期	被动耗能结构, 主动控制结构, 混合控制结构

根据高层建筑的发展过程和目前世界经济和科学技术的发展水平, 可以预测今后高层建筑结构的发展趋势如下:

(1) 新材料的开发和应用

随着高性能混凝土材料的研制和不断发展, 混凝土的强度等级和韧性性能也不断地得到改善。混凝土的强度等级已经可以达到 C100 以上, 在高层建筑中应用高强度混凝土, 可以减小结构构件的尺寸, 减少结构自重, 必将对高层建筑结构的发展产生重大影响。

高强度且具有良好可焊性的厚钢板将成为今后高层建筑钢结构的主要用钢, 而耐火钢材 FR 钢的出现为钢结构的抗火设计提供了方便。采用 FR 钢材制作高层钢结构时, 其防火保护层的厚度可大大减小, 在有些情况下可以不采用防火保护材料, 从而降低钢结构的造价, 使钢结构更具有竞争性。

(2) 高层建筑的高度将出现突破

表 1.2 为目前世界上最高的十大建筑。表 1.3 为我国内地最高的十大建筑, 它们都是 20 世纪 90 年代后期建成的。由于高层建筑中的科技含量越来越高, 已成为反映一个国家或城市科技实力和建设水平的指标之一, 目前世界上不少国家都设想设计和建造更高的高层建筑。美国、日本、韩国和我国目前都正在筹划高度超过 500m, 层数超过 100 层的超高层建筑, 看来在近期突破 500m 高度从技术上和经济上都是可能的。

世界最高十大建筑

表 1.2

排名	建筑名称	城市	建成年份	层数	高度(m)	结构材料	用途
1	石油大厦	吉隆坡	1996	88	451.9	组合	多用途
2	西尔斯大厦	芝加哥	1974	110	443	钢	办公
3	金茂大厦	上海	1998	88	420.5	组合	多用途
4	世界贸易中心	纽约	1972	110	417	钢	办公
5	帝国大厦	纽约	1931	102	381	钢	办公
6	中环大厦	香港	1992	78	374	混凝土	办公
7	中银大厦	香港	1989	70	369	组合	办公
8	T&C 大厦	高雄	1997	85	348	钢	多用途
9	艾莫科石油大厦	芝加哥	1973	80	346	钢	办公
10	汉考克大厦	芝加哥	1969	100	344	钢	多用途

我国内地最高十大建筑

表 1.3

排名	建筑名称	城市	建成年份	层数	高度(m)	结构材料	用途
1	金茂大厦	上海	1998	88	420.5	组合	办公、宾馆
2	地王大厦	深圳	1996	81	325	组合	办公
3	中天广场(中信广场)	广州	1997	80	322	混凝土	办公
4	赛格广场	深圳	1998	72	292	组合	办公

续表 1.3

排名	建筑名称	城市	建成年份	层数	高度(m)	结构材料	用途
5	中银大厦	青岛	1996	58	246	混凝土	办公
6	明天大厦	上海	1998	60	238	混凝土	办公
7	上海交银金融大厦——北楼	上海	1998	55	230	混凝土	办公
8	武汉世界贸易大厦	武汉	1998	58	229	混凝土	办公
9	浦东国际金融大厦	上海	1998	56	226	组合	办公
10	彭年广场(余氏酒店)	深圳	1998	58	222	混凝土	宾馆

(3) 组合结构高层建筑将增多

采用组合结构可以建造比混凝土结构更高的建筑。在强震国家日本,组合结构高层建筑发展迅速,其数量已超过混凝土结构高层建筑。除外包混凝土组合柱外,钢管混凝土组合柱应用也很广泛,外包混凝土的钢管混凝土双重组合柱的应用也很多。由于钢管内混凝土处于三轴受压后状态,能提高构件的竖向承载力,从而可以节省钢材。巨型组合柱首次在香港的中国银行应用,取得了很大的经济效益,上海金茂大厦结构中也成功地应用了巨型组合柱。随着混凝土强度的提高以及结构构造和施工技术上的改进,组合结构在高层建筑中的应用将进一步扩大。

(4) 新型结构形式的应用将增多

已建成的香港中国银行大厦和正在筹划中的芝加哥 532m 高的摩天大楼方案,都采用了桁架筒体,并将全部垂直荷载传至周边结构,它们的单位面积用钢量都仅约 $150\text{kg}/\text{m}^2$,是特别节省钢材的。预计这种结构体系今后在 300m 以上的高层建筑中将得到更多的应用。巨型框架体系由于其刚度大,便于在内部设置大空间,今后也将得到更多的应用。多束筒体系已表明在适应建筑场地、丰富建筑造型、满足多种功能和减小剪力滞后等方面具有很多优点,预计今后也将扩大应用。

(5) 耗能减震技术的应用将得到发展

建筑结构的减震有被动耗能减震和主动减震(有时也称被动控制和主动控制)。在高层建筑中的被动耗能减震有耗能支撑,带竖缝耗能剪力墙,被动调谐质量阻尼器以及安装各种被动耗能的油阻尼器等。主动减震则是计算机控制的,由各种作动器驱动的调谐质量阻尼器对结构进行主动控制或混合控制的各种作用过程。结构主动减震的基本原理是,通过安装在结构上的各种驱动装置和传感器,与计算机系统相连接,计算机系统对地震动(或风振)和结构反应进行实时分析,向驱动装置发出信号,驱动装置对结构不断地施加各种作用,以达到在地震(或风振)作用下减小结构反应的目的。目前在日本高层建筑结构中应用各种振动控制的实例已超过 30 个,在中国内地和台湾有 3 个工程应用了这种技术。随着人类进入信息时代,计算机、通讯设备以及各类办公电子设备不受振动干扰而安全平稳地运行,具有头等重要意义,这就要求创造安全、平稳、舒适的办公室环境,并要能对各种扰动进行有效的隔离和控制,因此,高层建筑的减震控制将有很大的发展前景。

1.3 本课程的教学内容与要求

现代高层建筑结构的材料主要有:钢筋混凝土、钢-钢-钢筋混凝土的组合(主要指钢筋混凝土核心筒,外围钢框架柱或钢管混凝土柱,国内也将这类结构称为钢-混凝土混合结构)。在国内,绝大多数高层建筑都是采用钢筋混凝土结构,极少数采用钢结构,高度超过 200m 的高层建筑有近半数采用钢-混凝土组合结构,无一采用钢结构。进入 20 世纪 90 年代,值得注意的发展趋势是:原来从高层钢结构起步的美国和日本,钢筋混凝土高层建筑也迅速发展起来。尤其是日本,以前基本上采用钢结构,现在正在大力发展钢筋混凝土结构,主要用在 20~30 层的高层建筑中,最高达到 40 层。其主要原因是:钢筋混凝土结构整体性好,刚度大,变形小;阻尼比高,舒适性佳;且钢筋混凝土结构耐腐蚀、耐火、维护方便、造价低。

对于新一代超高层建筑,当今世界各国都已趋向采用钢-混凝土组合结构。今后,我国钢-混凝土组合结构和钢结构都会有所发展,特别是在高度超过 200m 的高层建筑中,采用钢-混凝土组合结构的可能性将会增加。但对于一般高层建筑,钢筋混凝土仍将是主要结构材料。所以,本书主要介绍钢筋混凝土高层建筑结构的设计方法,而对钢与混凝土组合结构仅做基本原理的介绍,为学生毕业后参与这些工作打下一个初步的

基础。

建造一栋高层建筑,一般包括设计和施工两大环节。设计中一般包括建筑设计、结构设计和设备设计(水、电、暖通等)。建筑设计一般由建筑师完成,结构设计一般由土木结构工程师完成,包括基础设计和上部结构设计。设备设计一般由给排水、供电、空调、暖通等专业工程师完成。高层建筑结构作为承受竖向与水平荷载的体系和建筑物的骨架,在高层建筑的发展中起着非常重要的作用。高层建筑结构作为一门学科,包括钢结构、混凝土结构、钢-混凝土组合结构等各类高层建筑的性能及设计和施工方面的有关技术问题。而本课程由于受到学时的限制,仅讨论混凝土结构和钢-混凝土组合结构设计方面的问题。其主要内容有:结构的体系和布置;结构的荷载作用及其组合;结构的设计原则和设计方法;结构的静力和动力分析方法以及实用简化分析方法;结构的抗震分析和抗震设计;框架梁、柱和剪力墙等抗侧力构件的性能和设计;结构的节点构造和设计;地基和基础的设计等等。

本课程是专业课,要求先修的课程主要有结构力学、建筑材料、混凝土结构、钢结构、土力学与地基基础等。本课程的主要任务是学习高层建筑结构设计的基本方法。主要要求是:了解高层建筑结构的常用结构体系、特点以及应用范围;熟练掌握风荷载及地震作用计算方法;掌握框架结构、剪力墙结构、框剪结构3种基本结构内力及位移计算方法,理解这3种结构内力分布及侧移变形的特点及规律,学会这3种结构体系中所包含的框架及剪力墙构件的配筋计算方法及构造要求。通过本课程的学习,还应掌握高层钢筋混凝土结构的抗震设计原则及方法,能区别抗震设计与非抗震设计的要求;对筒体结构、钢与混凝土组合结构(劲性钢筋混凝土结构)的内力分布、计算特点及结构设计有初步认识;对高层建筑结构的基础设计有初步的了解。由于目前计算机应用程序的发展以及各种结构设计软件的出现,绝大部分的高层建筑设计都是通过设计软件来完成的,然而大量的工程实践告诉我们,结构的概念设计更加重要,结构体系的选用和结构布置往往对设计起着决定的作用。因此,对土木工程专业学生来说,只有掌握了扎实的高层建筑设计的基本知识,才能在今后的工作中正确地运用各种设计软件完成一个个有自己创新特点的建筑工程的设计。

在本课程的学习中,还将用到国家的有关设计标准,如《钢筋混凝土高层建筑结构与施工规程》、《混凝土结构设计规范》、《钢结构设计规范》、《建筑抗震设计规范》、《建筑结构荷载规范》及《建筑地基基础设计规范》等。学习本课程中的基本原理将有助于理解这些规范中的有关规定,正确地运用规范进行工程设计。而将规范的有关内容引入到教材中也将使这门课程更加贴近工程实际,更有利于学生毕业走出校门后尽快投入到实际工程中去。

本课程各部分内容的具体要求如下:

(1) 结构体系及布置

了解水平力对结构内力及变形影响,了解不同体系的特点、优缺点及适用范围,了解结构总体布置的原则及需要考虑的问题。了解各种结构缝的处理,地基基础选型等。

(2) 荷载作用与结构计算简化原则

熟练掌握总风荷载和局部风荷载的计算,以及用反应谱方法计算等效地震作用的方法,理解地震作用两阶段设计的内容、方法及目的以及常遇地震、罕遇地震和设防烈度的关系。掌握结构自振周期计算的实用方法,理解结构计算的平面结构假定。

了解扭转对结构的影响,熟练掌握质量中心及刚度中心的近似计算方法,能正确应用剪力修正系数。

(3) 框架结构内力与位移计算

熟练掌握反弯点法、 D 值法计算内力及位移方法,深入理解这两种方法的区别及应用范围。了解内力分布及位移的影响因素、杆件弯曲变形及轴向变形对侧移的影响等。

(4) 剪力墙结构内力与位移计算

了解开洞对剪力墙内力及位移影响,了解不同近似方法的适用范围。深入理解连续化方法的基本假定、公式推导、公式图表应用等,熟练掌握连续化方法计算简图及带刚域框架计算简图的确定方法及带刚域杆件刚度计算方法。

(5) 框架-剪力墙协同工作计算

了解框架与剪力墙协同工作的意义。能正确建立计算简图,掌握总框架、总剪力墙、总连梁刚度计算方法,会用公式及曲线计算内力及位移。掌握几个重要概念:刚度特征值 λ 的物理意义及其对内力分配的影响,