

高等学校土木建筑专业
|应用型本科系列规划教材|

高层建筑 结构设计

章丛俊 宗 兰 ◎ 主编

GAOCENGJIANZHU
JIEGOUSHEJI



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

高等学校土木建筑专业应用型本科系列规划教材

高层建筑结构设计

主 编 章丛俊 宗 兰

参 编 吕清芳 曹秀丽 黄 柏 刘 涛

东南大学出版社

· 南京 ·

内 容 简 介

本书根据土木工程专业本科教学要求,依据《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)等国家规范和规程,并结合工程设计实例编写。

本书共9章,主要包括:高层建筑结构设计概述、荷载与作用效应组合、高层框架结构设计、剪力墙结构设计、框架-剪力墙结构设计、筒体结构设计、复杂高层结构设计、混合结构设计、高层建筑基础设计。

本书可作为土木工程专业本科生教材或参考书,也可供研究生和有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高层建筑结构设计 / 章丛俊,宗兰主编. —南京:
东南大学出版社, 2014. 10
ISBN 978-7-5641-5182-9

I. ①高… II. ①章… ②宗… III. ①高层建筑—结
构设计 IV. ①TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 205591 号

高层建筑结构设计

出版发行: 东南大学出版社
社 址: 南京市四牌楼 2 号 邮编: 210096
出 版 人: 江建中
责任编辑: 史建农 戴坚敏
网 址: <http://www.seupress.com>
电子邮箱: press@seupress.com
经 销: 全国各地新华书店
印 刷: 扬中市印刷有限公司
开 本: 787mm×1092mm 1/16
印 张: 21.25
字 数: 544 千字
版 次: 2014 年 10 月第 1 版
印 次: 2014 年 10 月第 1 次印刷
书 号: ISBN 978-7-5641-5182-9
印 数: 1—3000 册
定 价: 46.00 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话:025-83791830

高等学校土木建筑专业应用型本科系列 规划教材编审委员会

名誉主任 吕志涛(院士)

主任 蓝宗建

副主任 (以拼音为序)

陈蓓 陈斌 方达宪 汤 鸿

夏军武 肖 鹏 宗 兰 张三柱

秘书长 戴坚敏

委员 (以拼音为序)

程 晔 戴望炎 董良峰 董 祥

郭贯成 胡伍生 黄春霞 贾仁甫

金 江 李 果 李幽铮 李宗琪

刘殿华 刘 桐 刘子彤 龙帮云

唐 敢 王丽艳 王照宇 徐德良

于习法 余丽武 喻 骁 张 剑

张靖静 张伟郁 张友志 章丛俊

赵冰华 赵才其 赵 玲 赵庆华

周桂云 周 佶

总前言

国家颁布的《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》指出,要“适应国家和区域经济社会发展需要,不断优化高等教育结构,重点扩大应用型、复合型、技能型人才培养规模”;“学生适应社会和就业创业能力不强,创新型、实用型、复合型人才紧缺”。为了更好地适应我国高等教育的改革和发展,满足高等学校对应用型人才的培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等的要求,东南大学出版社携手国内部分高等院校组建土木建筑专业应用型本科系列规划教材编审委员会。大家认为,目前适用于应用型人才培养的优秀教材还较少,大部分国家级教材对于培养应用型人才的院校来说起点偏高、难度偏大、内容偏多,且结合工程实践的内容往往偏少。因此,组织一批学术水平较高、实践能力较强、培养应用型人才的教学经验丰富的教师,编写出一套适用于应用型人才培养的教材是十分必要的,这将有力地促进应用型本科教学质量的提高。

经编审委员会商讨,对教材的编写达成如下共识:

一、体例要新颖活泼。学习和借鉴优秀教材特别是国外精品教材的写作思路、写作方法以及章节安排,摒弃传统工科教材知识点设置按部就班、理论讲解枯燥乏味的弊端,以清新活泼的风格抓住学生的兴趣点,让教材为学生所用,使学生对教材不会产生畏难情绪。

二、人文知识与科技知识渗透。在教材编写中参考一些人文历史和科技知识,进行一些浅显易懂的类比,使教材更具可读性,改变工科教材艰深古板的面貌。

三、以学生为本。在教材编写过程中,“注重学思结合,注重知行统一,注重因材施教”,充分考虑大学生人才就业市场的发展变化,努力站在学生的角度思考问题,考虑学生对教材的感受,考虑学生的学习动力,力求做到教材贴合学生实际,受教师和学生欢迎。同时,考虑到学生考取相关资格证书的需要,教材中

还结合各类职业资格考试编写了相关习题。

四、理论讲解要简明扼要,文例突出应用。在编写过程中,紧扣“应用”两字创特色,紧紧围绕着应用型人才培养的主题,避免一些高深的理论及公式的推导,大力提倡白话文教材,文字表述清晰明了、一目了然,便于学生理解、接受,能激起学生的学习兴趣,提高学习效率。

五、突出先进性、现实性、实用性、可操作性。对于知识更新较快的学科,力求将最新最前沿的知识写进教材,并且对未来发展趋势用阅读材料的方式介绍给学生。同时,努力将教学改革最新成果体现在教材中,以学生就业所需的专业知识和操作技能为着眼点,在适度的基础知识与理论体系覆盖下,着重讲解应用型人才所需的知识点和关键点,突出实用性和可操作性。

六、强化案例式教学。在编写过程中,有机融入最新的实例资料以及操作性较强的案例素材,并对这些素材资料进行有效的案例分析,提高教材的可读性和实用性,为教师案例教学提供便利。

七、重视实践环节。编写中力求优化知识结构,丰富社会实践,强化能力培养,着力提高学生的学习能力、实践能力、创新能力,注重实践操作的训练,通过实际训练加深对理论知识的理解。在实用性和技巧性强的章节中,设计相关的实践操作案例和练习题。

在教材编写过程中,由于编写者的水平和知识局限,难免存在缺陷与不足,恳请各位读者给予批评斧正,以便教材编审委员会重新审定,再版时进一步提升教材的质量。本套教材以“应用型”定位为出发点,适用于高等院校土木建筑、工程管理等相关专业,高校独立学院、民办院校以及成人教育和网络教育均可使用,也可作为相关专业人士的参考资料。

高等学校土木建筑专业应用型
本科系列规划教材编审委员会

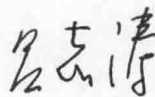
序

通常,人们认为,高层建筑的产生与发展主要在 20 世纪前 50 年。尽管 19 世纪后期,美国芝加哥已出现了一幢 9 层钢结构高楼,但是那时候工业并不发达,人口并没有向城市集中的趋势,强度较高的建筑材料还没有出现,电梯更没有生产出来,高楼的设计理论和方法远没有建立。因而直到 20 世纪,高层建筑才有了迅速的发展,特别是在第二次世界大战结束之后。

虽然我国现代高层建筑起步较晚,但是发展十分迅速,特别是在改革开放以后,短短二三十年间,工业大发展,人口迅速向全国各个大中城市集中,各式高层建筑如雨后春笋拔地而起。但是,对于我国高层建筑的这种高速发展现状和趋势的认识并不是一致的。记得本世纪初,我国有关部门曾召开过一次专家座谈会,专家通过讨论,促使我国高层建筑热适当“降温”。然而,事物的发展并不受这次会议的主观愿望而改变,相反,随着城镇化趋势和政策的推进,我国很快成为高层建筑大国。因此,我们认识到编写高层建筑方面的书籍,普及、提高高层建筑及结构设计知识已经十分必要。

最近,为适应上述形势,南京工程学院章丛俊教授级高级工程师结合多年的高层建筑结构工程设计实践,立足于当前的成熟理论成果和工程界通用的设计方法,依据我国现行《高层建筑混凝土结构技术规程》(JCJ3—2010)等相关规程和规范,联合有关教师编写了这本 50 万字的《高层建筑结构设计》,并希望我为此书写个序。

章丛俊等编写的这本《高层建筑结构设计》至少有两大特点:一是简明实用;二是强调理论与实际工程的结合。因而它不仅是高校土木工程相关专业的教材,也是从事高层建筑结构设计有关的工程技术人员重要的参考书。



2014 年 9 月

前 言

本书是以《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)及新近颁布的各类建筑结构设计规范为依据,结合编者多年教学、科研和设计经验,为适应教学和工程设计的需要而编写的。

编写时,考虑本书用作高等学校工院校土建专业的教材,也考虑结构工程师作参考用书。作为教材,要求做到内容简练,概念清楚,与其他前置课程衔接紧密;作为参考书,又要求本书有一定的独立性、实践性和先进性。为此,本书所介绍的内容,基本是国内在工程设计中普遍采用的理论和方法;同时,尽可能反映国内外先进的科学研究成果和目前高层结构设计创新现状。此外,从设计优化角度,对保证结构安全性基础上的经济、合理、有效性进行了分析阐述。以期读者阅读本书后有所收益。

在多层和高层的关系上,在介绍结构体系、方案、设计步骤和构造措施时,本书以高层建筑结构为主,但多层和高层在设计原理、概念性设计判断及计算方法等方面并无区别,截面设计、构件设计也是基本相同的。因此,本书对多层建筑结构设计也可用作参考书。

在计算方法的选取上,以适合手算的简便方法为主,可以帮助读者建立清晰的结构设计基本概念,不至于盲从于结构计算机软件输出的结果。同时,在第7章集中介绍了结构设计电算内容及对电算结果合理性、正确性的判断分析,此部分电算内容同样适用于一般工程结构的设计计算分析。

参加本书编写工作的有:宗兰(南京工程学院,编写第1章),章丛俊(南京工程学院,编写第2、4、6、7章),曹秀丽(南京工程学院,编写第3章),吕清芳(东南大学,编写第5章),刘涛(江苏省住房和城乡建设厅抗震办,编写第8章),黄柏(南京金海建筑设计工程有限公司,编写第9章),全书的编写工作由章丛俊、宗兰负责。

教材的编写,参考并引用了一些公开出版和发表的优秀教材和文献,均在参考文献中列出,谨向这些作者表示衷心的感谢!

本书主编从事高层建筑结构设计及理论研究,主观上希望所介绍的内容立

足于当前的成熟理论成果和工程界通用的设计方法,适当对高层建筑设计中一些疑难或关键理论进行思考分析并予以归纳,同时兼顾先进性和创新性。但由于本书所涉及的知识较广较深,是个需要不断探索的领域,作者水平有限,书中疏漏和错误之处,敬请读者指正,以期日臻完善。

章丛俊

2014年9月

目 录

1 高层建筑结构设计概述	1
1.1 高层建筑及分类	1
1.2 高层建筑发展与展望	2
1.3 高层结构系统及其分类	7
1.4 高层建筑结构选型的影响因素与原则	18
1.5 结构布置原则	31
复习思考题	40
2 荷载与作用效应组合	41
2.1 荷载与作用的分类与代表值	41
2.2 荷载效应组合	43
2.3 竖向荷载	48
2.4 风荷载	52
2.5 地震作用	59
2.6 温度作用	71
2.7 偶然荷载	73
2.8 荷载的优化选取	75
复习思考题	76
3 高层框架结构设计	77
3.1 框架结构的布置和设计要点	77
3.2 框架结构的计算	80
3.3 框架结构的延性设计	103
3.4 框架结构的构造要求	112
复习思考题	121
4 剪力墙结构设计	123
4.1 概述	123
4.2 剪力墙结构的内力及位移计算	128
4.3 剪力墙的截面设计与构造要求	160
复习思考题	174
5 框架-剪力墙结构设计	175
5.1 概述	175

5.2	框剪结构内力和位移分析	181
5.3	截面设计和构造	202
	复习思考题	204
6	筒体结构设计	205
6.1	概述	205
6.2	筒体结构的分析计算	208
6.3	筒体结构的截面设计及构造措施	216
	复习思考题	218
7	复杂高层结构设计	219
7.1	概述	219
7.2	复杂高层结构的计算分析	225
7.3	带转换层高层建筑结构	243
7.4	带加强层高层建筑结构	255
7.5	错层结构	260
7.6	连体结构	261
7.7	竖向体型收进、悬挑结构	265
	复习思考题	269
8	混合结构设计	270
8.1	概述	270
8.2	结构布置	271
8.3	混合结构的分析计算	276
8.4	构件设计	279
	复习思考题	301
9	高层建筑基础设计	302
9.1	基础的选型和埋置深度	302
9.2	高层建筑主楼基础与裙房基础的处理	305
9.3	地基承载力和单桩承载力	307
9.4	筏形基础	311
9.5	箱形基础	316
9.6	桩基础	321
	复习思考题	326
	参考文献	327

1 高层建筑结构设计概述

1.1 高层建筑及分类

1.1.1 高层建筑定义

超过一定层数或高度的建筑称为高层建筑。我国《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)规定,10层及10层以上或房屋高度大于28m的住宅建筑以及房屋高度大于24m的其他高层民用建筑混凝土结构为高层建筑。美国规定高度在7层以上或25m以上的建筑物为高层建筑;英国规定24.3m以上的建筑物为高层建筑;法国规定居住建筑高度在50m以上、其他建筑高度在28m以上的建筑为高层建筑。

1.1.1.1 高层建筑定义

超过一定层数或高度的建筑称为高层建筑。我国《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)规定,10层及10层以上或房屋高度大于28m的住宅建筑以及房屋高度大于24m的其他高层民用建筑混凝土结构为高层建筑。美国规定高度在7层以上或25m以上的建筑物为高层建筑;英国规定24.3m以上的建筑物为高层建筑;法国规定居住建筑高度在50m以上、其他建筑高度在28m以上的建筑为高层建筑。

1.1.2 高层建筑的分类

按不同的分类标准或分类指标可对高层建筑进行不同的分类,同时,有时即使采用相同的分类标准或分类指标,不同国家或不同时期,其分类规定亦不相同,目前国际上还没有统一的高层建筑划分标准。以下给出高层建筑的几种分类方法。

1) 按层数和高度分类

国际上按建筑的高度与层数可将高层建筑分为低高层(40层或152m高度以下)、高层、超高层结构(100层或365m高度以上)三类。联合国教科文组织所属的世界高层建筑委员会建议,一般将高层建筑划分为以下4类:第一类高层建筑为9~16层,高度不超过50m;第二类高层建筑为17~25层,高度不超过75m;第三类高层建筑为26~40层,高度不超过100m;第四类高层建筑为40层以上,高度超过100m。日本规定,8层以上或高度超过31m的建筑为高层建筑,30层以上的旅馆、办公楼和20层以上的住宅定为超高层建筑等。

2) 按高层建筑功能分类

按建筑的主要使用功能,可将高层建筑分为住宅类、旅馆类、办公类和综合类等。

3) 按高层建筑结构材料分类

按高层建筑结构材料的不同,可将建筑分为钢筋混凝土类高层建筑、钢结构类高层建筑、钢-混凝土混合结构类高层建筑等。同样,也可按结构体系或施工方法等进行分类。

1.2 高层建筑发展与展望

1.2.1 高层建筑产生与发展的原因与动力

从古代的各类寺塔到今天的各类现代高层建筑,人类对高层建筑的探索与实践一直没有停止。特别是近年来随着社会经济与现代科技的发展,高层建筑已经成了各国各级政府解决现代城市问题的重要手段之一,成为城市和时代的标志和象征,其美学价值与广告效应也将成为城市的重要文化财富,高层建筑与现代城市的关系日益密切。特别是近 30 多年,世界各地兴建的各式各样高楼,如雨后春笋,在许多大中城市中拔地而起。其规模之大,数量之多,技术之先进,形式之多样,外观之新颖,让人惊叹称奇。导致高层建筑产生与发展及其近几十年内得到快速发展的主要原因可概括为以下几个方面:

(1) 社会的需求是高层建筑产生与发展的原动力。如古代军事战争、宗教、瞭望、皇权象征等的需要,导致了古代高层塔、寺的产生与发展;又如 18 世纪末的产业革命,带来了生产力的飞速发展和经济繁荣,大工业的兴起促使人口向城市集中,造成城市用地紧张,地价高涨。为了缓解城市用地紧张的矛盾,就要在较小的场地范围内,建造出更多的建筑使用空间或建筑面积,迫使建筑物不得不向空中延伸,由低层发展到多层,又由多层发展为高层,人类社会不断提高的需求是高层建筑产生与发展的最直接原因。

(2) 高层建筑建设经验的积累与技术的进步、新型建筑材料、结构体系、设计理论与手段的产生及其在高层建筑结构设计、施工与运行中的应用,为高层建筑向更高的高度和更多的层数发展提供了可能,并奠定了物资与技术基础。如 1850 年水泥的问世,1850 年开始生产,1890 年开始采用回转窑进行大规模生产,1859 年转炉炼钢新方法的出现,1861 年钢筋混凝土的出现,1857 年电梯的发明及其于 1880 年在工程中的应用,为高层建筑的发展提供了可能。特别是近几十年来科学技术的快速发展,出现了多种轻质高强建筑材料和多种新型的高效结构体系,创造出了先进的施工技术和机械设备,提供了高速电梯、空调、防火、自控等现代化设施,再加上计算机技术在工程分析设计中的应用等,为高层建筑向更高更复杂的方面发展提供了更加充分的条件。

(3) 现代化城市建设的要求。①高层建筑可以增加人们的聚集密度,缩短相互联系的距离,水平交通与竖向交通相结合,使人们在城市中活动的分布走向空间化,节约了时间,增加了效率。②在建筑面积与场地面积相同比值的条件下,高层建筑比低层和多层建筑能够提供更多的自由地面。利用它可进行场地与环境的绿化或用作活动和休息场地,有利于美化城市环境,并给房屋带来更充足的日照、采光和通风效果。③从城市建设角度来看,建筑物向高空发展,可以充分利用城市土地资源,减小城市平面规模,缩短城市道路和各种公用管线的长度等市政工程费和复杂地形处理费,减少拆迁费,节约城市建设投资,提高城市社会综合效益,缓解因城市化进程加快而带来的城市快速膨胀及城市房屋的严峻供需矛盾,改善城市环境与调节心理等城市社会性问题。④高层建筑已成了现代化城市建设和发展的重要标志和象征。现代建筑思潮的倡导者,为高层建筑发展建立了理论基础,现代结构工程学

科在工程结构新材料、新技术、新工艺、新结构体系型式以及先进的分析计算方法和手段等方面的发展,为各类更高和更复杂高层建筑结构的设计与建造,提供了技术上的支持,也为增加高层建筑的使用功能和适用性奠定了基础。

(4) 高层建筑工程建设的高度与层数及其复杂程度,已成为衡量一个国家、地区和部门设计水平、建设能力以及工程创新和竞争能力的决定性因素。

1.2.2 高层建筑的产生与发展

从古代的高层塔、寺到今天的现代化高层建筑,高层建筑经历了孕育、产生与发展等阶段后,今天已进入到了快速发展的繁荣期。以下简要介绍各发展时期的特征。

1) 孕育期(古代)

早在远古时代,人类在建筑方面就有着向高空发展的愿望和需要。在我国,早在汉武帝时代,长安城内就已经出现了不少较高的木结构楼阁。公元 520 年,在河南登封县,用砖砌筒体和木楼板建造的嵩岳寺塔,共 10 层,高约 40 m。公元 704 年(唐代)在西安建造的大雁塔,为砖砌塔身,木楼板,共 7 层,总高 64 m。河北省定县开元寺的瞭敌塔,建于公元 1001—1055 年(北宋咸平年间),用于监视敌情;平面为正八边形,底部边长为 9.8 m,采取砖砌双层筒体系,外筒壁厚 3 m,共 11 层,总高 82 m。公元 1056 年在山西省应县佛宫寺内建造的释迦塔,是迄今保存得最完好的最古最大的木塔,是一座正八边形的木结构塔楼,共 9 层,高达 67 m。

在西方,上古时期的七大建筑奇迹中,就有两座是高层建筑。一座是公元前 338 年巴比伦王在巴比伦城建造的巴贝尔塔(Tower of Babel),塔高 90 m。据说,当时建塔的动机是要在高空中形成葱翠的花园,以取悦于皇后。另一座是埃及亚历山大港的灯塔,建于公元前 280 年,塔高 135 m。据考证,公元 80 年的古罗马时代,欧洲的城市中,已经建造了采用砖墙承重的 10 层楼房。公元 1100 年之后的大约 10 年间,意大利建造了 40 多座塔楼,其中一座 L'asineeli 塔楼高达 98 m。

这一时期的高层构筑物主要是纪念性或功能性建筑,所采用的材料主要是天然的木、石及烧制的黏土砖等,材料强度低,承重构件尺度较大,使用面积小。虽然这一时期以寺塔等为主的建筑缺乏理论指导,主要是由能工巧匠根据经验进行建造,高度也较低,一般不具有居住生活等功能,但正是这一时期人们对高层寺塔的建设探索与实践,积累了高层构筑物的建设经验,孕育了以后高层建筑的产生与发展。

2) 产生或萌芽期(近代,19 世纪初至 19 世纪末)

19 世纪,随着工业的发展,人口向城市集中,用地逐渐紧张,这一形势要求在城市里建造高楼。不过,在 19 世纪初,由于主要建筑材料依旧是砖、石和木材,因而当时建造的大多数高楼,仍摆脱不开古老的承重墙体系。例如,1819 年美国芝加哥市建造的一幢 16 层 Monadnock 大楼,就是采用砖承重墙体系,底部 8 层砖墙的厚度竟达 1.8 m。

这一时期,在设计理论方面,纳维于 1825 年建立了结构设计的容许应力法,里特尔于 19 世纪末建立了极限平衡概念,麦可韦尔于 1854 年提出了优化的思想,19 世纪后期惠普尔和克拉伯龙先后提出了桁架计算理论和连续梁计算方法,以后麦可斯韦于 1864 年提出了超静定结构的力法方程,1874—1885 年莫尔发展了利用虚位移原理求位移的理论。在材料与

结构技术方面,水泥、混凝土产生,转炉炼钢新方法的出现,钢铁产量开始增加,电梯出现并在工程中开始应用。上述设计理论与建筑技术的进步,使 19 世纪开始出现采用钢铁材料制作的框架承重结构体系。如 1801 年在英国曼彻斯特建成的一座 7 层棉纺厂房,厂房内部采用铸铁框架承重,而且框架梁第一次采用工字形截面,以及 1854 年在美国长岛黑港采用熟铁框架建造了一座灯塔。19 世纪后期,在美国芝加哥则相继建成不少高楼。如 1883 年建造的 11 层保险公司大楼,是采用由生铁柱和熟铁梁所构成的框架来承担全部荷载,外围砖墙仅是自承重墙,就结构而论,这幢大楼可以说是近代高楼的始祖。又如 1889 年建造的 9 层 Second Rand Menally 大楼,则是世界上第一幢采用全钢框架承重的高层建筑。显然,该时期是高层建筑的产生或萌芽期,这一时期受材料性能、设计理论及电梯速度等的限制,高层建筑的层数一般不高。

3) 发展期(现代,19 世纪末至 20 世纪 50 年代)

20 世纪初,随着混凝土与钢结构设计技术的进步,以及高速电梯的出现,高层建筑的建设得到迅速发展,而且层数与高度逐步增加。高层建筑高度增大以后,风荷载成为结构设计的一个重要因素。由于在结构理论方面突破了纯框架抗侧力体系,提出在框架中间设置竖向支撑或剪力墙来增强结构的抗推刚度和强度,使高层建筑进一步向更多的层数发展。自从 1903 年在美国辛辛那提市建成世界首座钢筋混凝土结构高层建筑(Ingalls,高 16 层,64 m)以后,1905 年在美国纽约建造了 50 层的 Metrop Litann 大楼;1913 年建造了 57 层、高 241 m 的 Woolworth 大楼;1929 年建造了高 319 m 的 Chrysler 大厦;1931 年又建造了著名的 102 层、高 381 m 的帝国大厦,该建筑保持世界最高楼房称号达 47 年之久。我国高层建筑的起步较晚,且发展缓慢。于 20 世纪 20 年代以后才开始兴建,自 1921 年起到 1936 年,先后在上海和广州等城市陆续建造了一些高层旅馆、住宅和办公楼,其中最高的是上海国际饭店,地上 22 层,地下 2 层,高 82.51 m,这些高层建筑标志着我国现代高楼的初步发展。

在这一时期,本迪克森于 1914 年首先提出了转角位移法,罗斯于 1932 年首创了力矩分配法,戴孙于 1922 年提出了基于破损阶段的强度计算方法,这些理论的创建为以后建立各类结构设计理论与方法奠定了基础,也为更高更复杂高层建筑的出现奠定了基础。但由于结构设计仍未摆脱平面结构理论,而且建筑材料的强度低、质量大,以致整个大楼的材料用量较多,结构自重仍然较大。

4) 繁荣期(20 世纪 50 年代末至今)

1945 年第二次世界大战结束以后,建筑业得以复苏,并出现较大的发展,高层建筑也像雨后春笋一般在美国各地涌现,并向超高层建筑发展,继而在欧洲、亚洲、澳洲以及第三世界各国陆续建造了许多高楼,形成了世界范围的高层建筑建设繁荣期。如 1972 年建成的世界贸易中心(Twin Towers,高 417 m,110 层,钢结构);1974 年在美国芝加哥建成的西尔斯大厦高 443 m,立体结构-框筒束体系,用钢量 161 kg/m^2 ,与帝国大厦相比减少 20%,钢结构;1996 年吉隆坡建成石油大厦,88 层,高 450 m,是钢与混凝土混合结构,目前世界最高建筑之一。

中国近代高层建筑起步较晚,但在近 30 年高层建筑得到了快速发展。20 世纪 50 年代的国内高层建筑有上海电报大楼,地上 12 层,高 68.35 m;民族饭店,地下 1 层,地上 12 层,高 47.4 m;1968 年建成的广州宾馆 27 层(20 世纪 60 年代最高建筑),高 112.7 m,是当时中

国 8 度区最高的建筑(按 9 度设防);1976 年建成的白云宾馆(广州)33 层(1976—1982 年最高建筑);1983 年建成的南京金陵饭店 37 层,高 110 m,保持了 10 年“神州第一高楼”的称号。20 世纪 90 年代以后,高层建筑发展较快,深圳发展中心大厦(43 层,高 165.3 m),广州广东国际大厦(RC 结构,63 层,高 200.18 m),深圳贤成大厦(RC 结构,筒中筒,61 层,高 218 m),深圳地王大厦(69 层,高 383.95 m),中国银行(香港,72 层,高 364 m),深圳赛格广场(72 层,291.6 m,世界最高的钢管混凝土结构),香港汇丰银行大楼(48 层,179 m),广东国际大厦(63 层,200 m),中信广场(80 层,391.1 m),上海金茂大厦(1999 年建成,88 层,420.5 m,世界第四高层建筑),南京紫峰大厦(2010 年建成,89 层,450 m)等。

这一时期高层建筑得以迅猛发展的客观条件有三:①城市化进程加快,大量人口向城市集聚,密度猛增,纽约每公顷 1 000 人,香港更高达 3 700 人,造成城市生产、生活用房紧张,地价猛涨,迫使高层建筑向更高空间发展。②设计技术革新,建筑结构力学由一维的平面结构理论,发展为二维或三维的立体结构理论和空间结构理论,为新的高效抗侧力体系的出现创造了条件。同时,计算机的出现和在工程中的应用,提高了结构分析的速度和精度,为高层建筑在设计过程中进行多方案比较和优选提供了方便,上述设计技术方面的革新,增加了高楼的使用功能和适用性,并进一步降低了高楼的建筑造价。例如,1931 年建造的高 381 m 的帝国大厦,采用属平面结构的框架体系,用钢量为 206 kg/m^2 ;而 1974 年建造的高 442 m 的西尔斯塔楼,由于采用了属立体结构的框筒束体系,用钢量仅为 161 kg/m^2 ,约减少 20%。③轻质材料的应用,轻质隔墙和轻型围护墙的应用,减轻了建筑自重,并大大降低了基础工程费用。同时,镜面玻璃、合金铝板等新型饰面材料的问世,更使高层建筑面貌焕发异彩,为城市勾画出一幅美丽的空间构图,受到人们的赞许和欢迎。④多种性能更优的新型结构体系(如 RC 结构、S 结构等)出现并在高层建筑结构中开始应用。

1.2.3 现代高层建筑的发展概况与展望

1) 国内外高层建筑发展概况

目前,世界尤其是我国正处在经济的快速发展期,城市化进程稳步加快,城市人口继续增加,高层建筑的建设正处于快速发展期。表 1-1 给出了世界已建成的高度位列前十的建筑和我国大陆地区前十的已建高层建筑。

表 1-1(a) 全世界已建成的高度位于前十的建筑物

序号	建筑物	城市	建成年份	层数	高度(m)	材料	用途
1	迪拜塔	阿联酋	2010	163	828	钢	综合
2	台北 101	中国台北	2004	101	508	钢	综合
3	环球金融中心	上海	2008	101	492	混合	办公
4	环球贸易广场	香港	2010	108	484	混合	综合
5	双子塔	吉隆坡	1997	88	451.9	钢	综合
6	紫峰大厦	南京	2010	89	450	混合	办公
7	西尔斯大厦	芝加哥	1973	110	442.3	钢	综合

续表 1-1(a)

序号	建筑物	城市	建成年份	层数	高度(m)	材料	用途
8	京基金融中心	深圳	2011	100	441.8	混合	办公
9	国际金融中心	广州	2010	103	441.75	混合	办公
10	金茂大厦	上海	1999	88	420.5	混合	综合

表 1-1(b) 我国大陆地区高度位于前 10 的已建高层建筑

序号	建筑物	城市	建成年份	层数	结构体顶部高度(m)	用途
1	环球金融中心	上海	2008	101	492	办公
2	紫峰大厦	南京	2010	89	450	办公
3	京基金融中心	深圳	2011	100	441.8	办公
4	国际金融中心	广州	2010	103	441.75	办公
5	金茂大厦	上海	1999	88	420.5	综合
6	中信大厦	广州	1996	80	391.1	办公
7	地王大厦	深圳	1995	69	383.95	办公
8	天津环球金融中心	天津	2010	76	336.9	办公
9	温州世贸中心	温州	2010	72	333	办公
10	上海世茂国际广场	上海	2007	60	333	办公

2) 高层结构的发展趋势

高层建筑的发展,充分显示了科学技术的深厚力量,使建筑师从过去强调艺术效果转向重视建筑特有功能与技术因素。未来的高层建筑将朝着技术功能先进与艺术完美结合的方向发展。

(1) 新材料、高强材料的开发利用。在高层结构的技术问题中,首先要解决的是材料问题。目前混凝土强度等级已经达到 C100 以上,高强度和良好韧性混凝土有利于减少结构的自重,改善结构抗震性能。同时,为了实现轻质高强度的目的,必须在高层结构中发展轻骨料混凝土、轻混凝土、纤维混凝土、聚合物混凝土、侧限(约束)混凝土和预应力混凝土。高性能混凝土的开发和应用,将继续受到广泛的重视,也将给高层结构带来重大和深远的影响。

从强度和塑性方面考虑,钢材是高层结构的理想材料,增进或改善钢材的强度、塑性和可焊性性能,一直是结构工程师追求的目标。特别是对新型耐火耐候钢材的研发具有重要意义,可以使钢材减小或抛弃对防火材料的依赖,从而提高建筑钢材的竞争力。复合材料用来制作高层部分构件正在开发和实践中。

(2) 混合结构在高层结构中的应用。混合结构体系由钢和钢筋混凝土两种材料组成,混合结构体系经合理设计可取得经济合理、技术性能优良的效果,而且易满足高层建筑抗侧刚度的需求,可建造比钢筋混凝土结构更高的建筑,因此,在高层建筑中,混合结构往往仍是合理的、可行的结构方案,今后建造混合结构的比率将会越来越大。

(3) 新的设计概念、新的结构形式的应用。现代建筑功能趋于多样化,建筑的体型和结