



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

建筑结构设计 (第三册)

——学习指导

邱洪兴 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

建筑结构设计 (第三册)

——学习指导

邱洪兴 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内 容 提 要

本书是邱洪兴主编的《建筑结构设计》教材的第三册,内容包括结构设计通论、水平结构体系设计、竖向结构体系设计和基础设计等4章,每章由内容归纳、基本学习要求、概念解释、分析讨论、典型例题和水平测试等六部分组成。通过本书学习,有利于学生学习知识的总结、提高和创新。本书可作为高等院校土木工程专业高年级本科生和研究生的研学用书,也可供从事建筑结构设计的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构设计.第3册,学习指导/邱洪兴主编.一北京:
高等教育出版社,2009.1

ISBN 978-7-04-024726-8

I. 建… II. 邱… III. 建筑结构-结构设计-高等学校-教学参考资料 IV. TU318

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 165952 号

策划编辑	赵湘慧	责任编辑	葛 心	封面设计	王 睢
责任绘图	尹文军	版式设计	王艳红	责任校对	朱惠芳
责任印制	毛斯璐				

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京未来科学技术研究所
有限责任公司印刷厂

开 本 787×960 1/16
印 张 13
字 数 240 000

版 次 2009年1月第1版
印 次 2009年1月第1次印刷
定 价 20.60元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 24726-00

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010)58581897/58581896/58581879

反盗版举报传真：(010)82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

前 言

按照“理论教学、实践教学和自主研学”相结合的教学模式要求,邱洪兴主编的《建筑结构设计》分三册,本书是其中的第三册,用于学生的课外研学,旨在“总结、提高、创新”。

通过对《建筑结构设计——基本教程》内容的系统总结和归纳,可加深对结构设计思想的认识、对设计方法的全面掌握、对设计规律的整体把握;通过对不同结构类型受力性能的对比分析,可突出结构概念设计和优化设计的思想,拓展思考空间,培养创新意识和创新能力。

为强化不同结构类型的对比,本书不再按结构形式编排章节,而是按照结构系统划分章节,分为结构设计通论、水平结构体系设计、竖向结构体系设计和基础设计等4章。每一章按照内容归纳、基本学习要求、概念解释、分析讨论、典型例题和水平测试组织内容;其中前三部分局限于本课程的基本内容;“分析讨论”超出本课程基本要求,融入了相关课程内容和最新设计思想,以开阔思路,为读者留下思考空间;“典型例题”均为具有工程背景的综合性的结构设计问题,注重基本理论和基本方法的综合、灵活应用;水平测试既包括基本内容又包括扩展内容,前者可用来自我测试对基本内容的掌握程度,后者主要用来启发思考。

湖南大学沈蒲生教授担任本书的审稿工作,提出了许多很好的意见,在此表示衷心感谢。

本书的编写方式是一种尝试,非常希望能获得读者的学习体会和创新思想,以便逐步充实、完善。

编 者

2008年1月

目 录

第1章 结构设计通论	1
1.1 内容归纳	1
1.1.1 结构设计的对象、过程和内容	1
1.1.2 结构的作用	2
1.1.3 结构耐火设计	2
1.1.4 结构设计一般要求	2
1.1.5 结构抗震设计	6
1.2 基本学习要求	7
1.3 概念解释	7
1.3.1 竖向结构体系	7
1.3.2 水平结构体系	8
1.3.3 结构分析理论	8
1.3.4 定位轴线与标高	9
1.3.5 变形缝	9
1.3.6 荷载代表值	9
1.3.7 荷载组合与内力组合	10
1.3.8 风振效应	10
1.3.9 梯度风高度	11
1.4 分析讨论	11
1.4.1 设计基准期内最大荷载的概率分布	11
1.4.2 住宅楼面可变荷载标准值的超越概率	13
1.4.3 基本风压的超越概率	15
1.5 水平测试	15
第2章 水平结构体系设计	19
2.1 内容归纳	19
2.1.1 结构选型	19
2.1.2 结构布置	20
2.1.3 计算模型的选取	20
2.1.4 内力计算	20
2.1.5 截面计算	22

2.1.6 连接与构造	25
2.2 基本学习要求	26
2.3 概念解释	27
2.3.1 单向板与双向板	27
2.3.2 正交各向异性板	27
2.3.3 计算单元	28
2.3.4 支座	28
2.3.5 荷载传递路线	29
2.3.6 计算跨度	30
2.3.7 折算荷载	30
2.3.8 塑性铰	30
2.3.9 内力重分布	31
2.3.10 弯矩调幅法	31
2.4 分析讨论	31
2.4.1 单向板的板厚要求	31
2.4.2 支承构件刚度对双向板内力的影响	33
2.4.3 组合板内力的弹性计算方法	39
2.4.4 柱支承板内力的近似计算方法	40
2.4.5 板和梁的完全塑性分析方法	42
2.4.6 弹性匀质材料不同结构形式的承载效率	44
2.5 典型例题	50
2.5.1 三跑板式楼梯	50
2.5.2 组合楼盖	53
2.6 水平测试	57
第3章 竖向结构体系设计	64
3.1 内容归纳	64
3.1.1 结构选型	64
3.1.2 结构布置	65
3.1.3 计算模型的选取	66
3.1.4 内力与变形计算	68
3.1.5 截面计算	72
3.1.6 连接与构造	75
3.2 基本学习要求	76
3.3 概念解释	77
3.3.1 抗侧刚度	77
3.3.2 剪力分配	78
3.3.3 反弯点	78

3.3.4 分层法	79
3.3.5 整体空间作用	80
3.3.6 修正反弯点法	80
3.3.7 计算长度系数	81
3.3.8 柱端抗转刚度系数	82
3.3.9 结构规则性	83
3.3.10 剪力墙的整体性系数	83
3.3.11 框架-剪力墙结构的刚度特征值	84
3.3.12 砌体房屋的静力计算方案	84
3.4 分析讨论	84
3.4.1 剪力对正应力分布的影响	84
3.4.2 材料非线性问题	87
3.4.3 几何非线性与二阶分析方法	88
3.4.4 竖向结构抵抗水平荷载的机理	90
3.4.5 竖向结构抵抗侧移的机理	93
3.4.6 竖向结构抵抗扭转的机理	100
3.4.7 结构扭转不规则的判别标准	106
3.4.8 结构竖向刚度突变的不利影响	111
3.4.9 不同材料轴心受压承载能力的比较	116
3.4.10 不同材料构件承载力(强度)的比较	118
3.5 典型例题	122
3.5.1 内框架房屋	122
3.5.2 框架结构改造	129
3.5.3 剪力墙分类判别	135
3.5.4 高层结构侧移计算	136
3.5.5 不同平面布置的扭转效应	144
3.6 水平测试	156
第4章 基础设计	165
4.1 内容归纳	165
4.1.1 基础选型与布置	165
4.1.2 分析模型的选取	166
4.1.3 地基计算	167
4.1.4 基础内力计算	168
4.1.5 基础截面设计	168
4.2 基本学习要求	168
4.3 概念解释	168
4.3.1 地基承载力特征值	168

4.3.2	基础埋置深度	169
4.3.3	地基变形	169
4.3.4	软弱下卧层	169
4.3.5	刚性基础	170
4.3.6	土侧压力	170
4.4	分析讨论	170
4.4.1	基础刚度对基底反力和基础内力的影响	170
4.4.2	框架结构条形基础的整体分析	179
4.4.3	上部结构对地基变形的敏感性分析	185
4.5	典型例题	191
4.5.1	顶管施工	191
4.5.2	基础加固方案	192
4.6	水平测试	195
参考文献		199

第1章

结构设计通论

1.1 内容归纳

结构设计通论包含四部分内容:结构设计的对象、过程和内容;结构的作用;结构耐火设计;结构设计的一般要求。

1.1.1 结构设计的对象、过程和内容

了解结构设计的对象需从其组成开始。建筑结构由下部结构、上部水平结构体系和上部竖向结构体系三大部分组成,每一部分有多种类型。类型涉及分类,与结构设计关系密切的分类方法有三种:按层数、按材料和按结构形式。

结构按层数分为单层、多层和高层三种。层数不同,水平荷载和竖向荷载产生的内力在总内力中所占比例不同。竖向荷载引起的内力大致随层数线性增加,而水平荷载引起的内力随层数非线性增加。单层和多层常常是竖向荷载起控制作用,而高层常常是水平荷载起控制作用。

基本的结构材料有木、砌体(砖石)、混凝土和钢四类。这四类材料在竖向结构体系中均有应用;除砌体极少用于水平结构体系外,其他三种材料均可用于水平结构体系;基础以混凝土材料居多,在桩基础中也有使用钢材和木材的,砌体材料可用于刚性基础。上述四种结构材料可以组合,形成混合结构或组合结构。前者一般指不同部位的构件采用不同的结构材料,如砖墙与木楼盖组成的砖-木结构;后者指一种构件由两种或两种以上的结构材料组成,如型钢混凝土。材料不同,构件设计方法不同。

结构形式是结构分析重点研究的对象,结构形式不同,构件的受力状态不同。地下结构中的基础有浅基础和深基础两大类。水平结构体系有梁板结构和大跨结构两大类,基本的大跨结构可以组合,形成复合水平结构体系,如网壳结

构。竖向结构体系有三类基本结构形式:框架结构、墙体结构和筒体结构^①,框架结构与墙体结构的区别在于竖向构件一个是柱,一个是墙;墙体结构与筒体结构的区别在于墙体是否在平面上组成封闭的环形,发挥空间作用。这些基本结构形式可以以两种方式组合,形成复合竖向结构体系:一种是水平复合,在平面的不同位置采用不同的结构形式,如框架-剪力墙结构;另一种是竖向复合,在房屋的不同高度采用不同的结构形式,如底部框架砌体房屋。

层数、结构材料和结构形式之间还可以相互组合,形成种类繁多的结构类型。

结构设计分四个步骤,包含的内容如图1-1所示。

1.1.2 结构的作用

“建筑结构设计”是“结构设计原理”课程的后续课程,二者既有联系,又有区别。简单说来,前者侧重结构构件的作用(荷载)效应(内力、变形等),后者侧重结构构件的抗力——梁、板、柱、墙、杆、索等基本构件在拉、压、弯、剪、扭不同受力状态下的抵抗能力。可见,作用是本课程的重要内容之一。

建筑结构的作用种类如图1-2所示。

直接作用习惯上称为荷载。荷载需了解其形式、大小、作用位置和作用方向。荷载形式分集中荷载和分布荷载两种;荷载作用方向一般分水平方向和竖直方向。荷载大小用代表值表示,永久荷载的代表值是标准值,可变荷载的代表值有标准值、组合值、频遇值和准永久值等四个,其中标准值是基本代表值,其他代表值是在标准值的基础上乘以小于1的系数。常用荷载的形式、作用位置和作用方向见表1-1,代表值的计算方法见表1-2。

1.1.3 结构耐火设计

结构耐火设计的程序如下:根据建筑物的重要性、火灾的危险性、建筑物高度和火灾荷载的大小确定建筑物的耐火等级,分为一级、二级、三级和四级4个等级;根据建筑物的耐火等级及构件的重要性确定各结构构件的耐火极限值和燃烧性能要求;采用合适措施使各结构构件的耐火极限不小于要求值。

1.1.4 结构设计一般要求

建筑结构根据其破坏后果的严重程度分一级、二级、三级等3个安全等级;根据使用要求分为5年、25年、50年和100年等4种设计使用年限。结构的安全等级不同,设计使用年限不同,目标可靠指标不同,具体在极限状态设计表达

^① 因竖向桁架在房屋中不单独使用(输电塔是典型的竖向桁架结构),故没有作为基本结构形式。

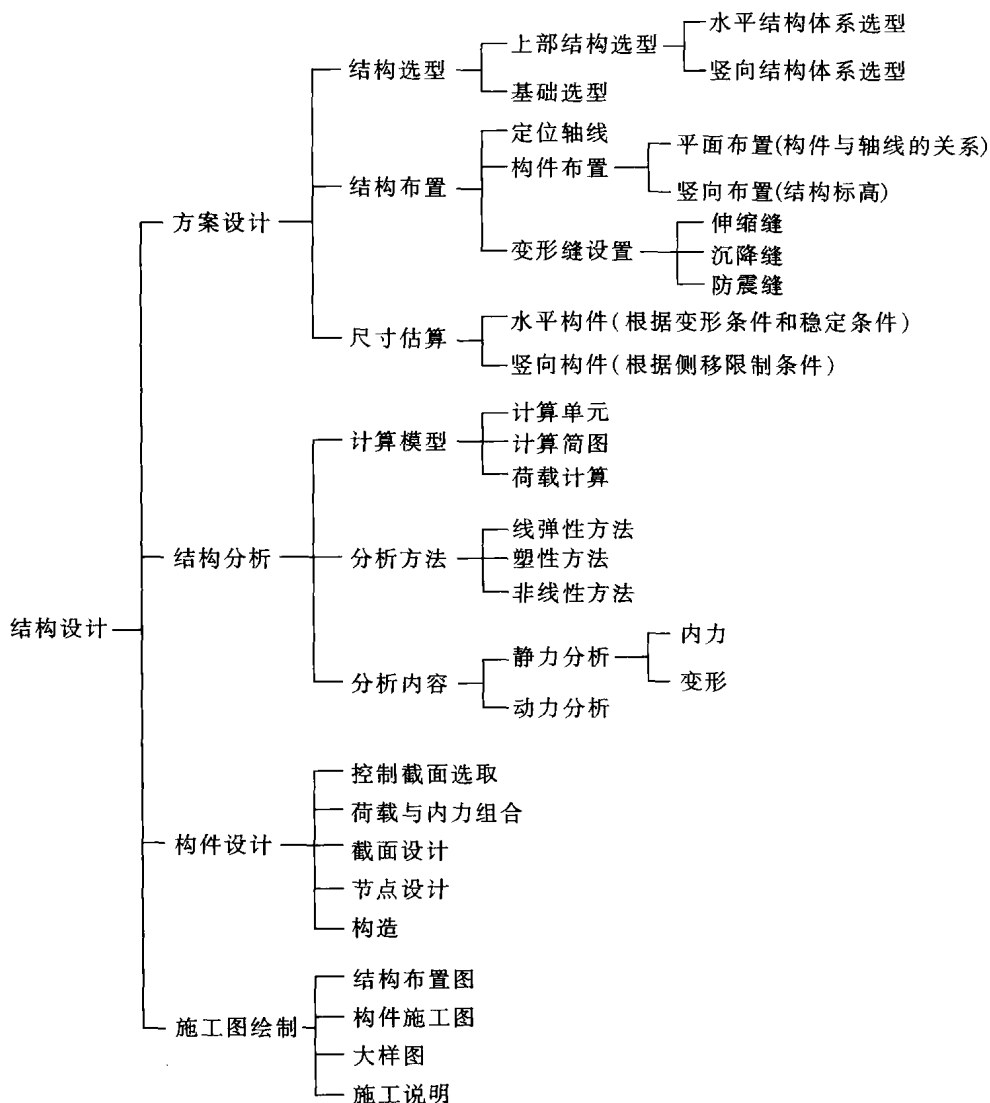


图 1-1 结构设计的内容

式中用结构重要性系数 γ_0 来体现。

建筑结构进行极限状态设计时分持续状态、短暂状态和偶然状态等 3 种设计状态,不同设计状态需要进行的极限状态设计要求、计算内容及荷载效应组合要求见表 1-3。

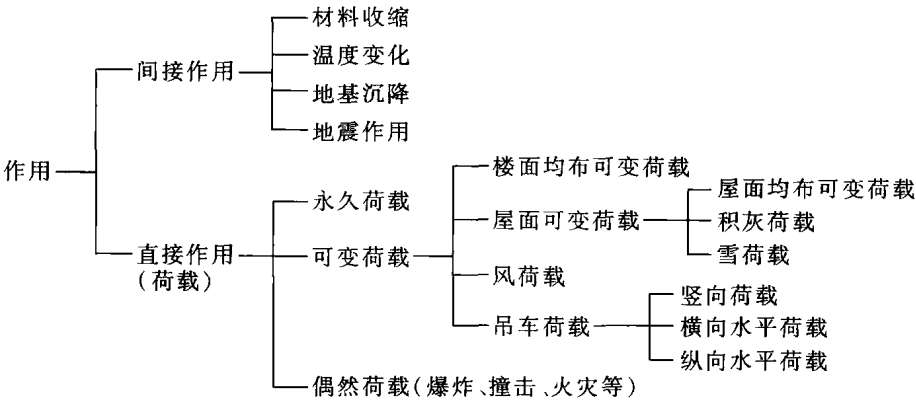


图 1-2 建筑结构的作用种类

表 1-1 常用荷载的形式、作用位置和作用方向

荷 载 种 类		荷 载 形 式	作 用 位 置	作 用 方 向
自重		分布荷载	质心	竖直向下
楼面均布可变荷载			楼面	
屋面可变荷载	均布可变荷载		屋面	
	积灰荷载			
	雪荷载			
风荷载			外墙及屋面	垂直表面
吊车荷载	竖向荷载	集中荷载	轨道轮子处	竖直向下
	横向水平荷载			水平、垂直轨道
	纵向水平荷载			水平、沿轨道

表 1-2 常用荷载代表值的计算方法

荷 载 种 类	标准值计算方法	其他代表值		
		组合值系数	频遇值系数	准永久值系数
自重	体积×重度	—		
楼面均布可变荷载	根据楼面使用功能查《建筑结构荷载规范》(简称《荷载规范》)			

续表

荷载种类		标准值计算方法	其他代表值		
			组合值系数	频遇值系数	准永久值系数
屋面可变荷载	均布可变荷载	根据屋顶用途查《荷载规范》			
	积灰荷载	根据厂房性质查《荷载规范》	0.9	0.9	0.8
	雪荷载	$S_k = \mu_r S_0$	0.7	0.6	地区Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ分别为0.5、0.2、0
风荷载		$w_k = \beta_z \mu_s \mu_z w_0$	0.6	0.4	0
吊车荷载	竖向荷载	$P_{\max,k}$ 或 $P_{\min,k} = (G_{1,k} + G_{2,k} + G_{3,k})/2 - P_{\max,k}$	与吊车工作级别有关		
	横向水平荷载	$T_k = \alpha (G_{2,k} + G_{3,k})/4$			
	纵向水平荷载	$T_0 = 0.1 P_{\max,k}$			

地基基础分甲、乙、丙三个设计等级,不同设计等级的地基计算要求及地基基础设计时的荷载效应组合要求见表1-4。

荷载效应的组合方法及适用场合见表1-5,其中基本组合中永久荷载分项系数的取值见表1-6。

表1-3 不同设计状态的极限状态设计要求、计算内容及荷载效应组合要求

设计状态	极限状态设计要求		极限状态计算内容		荷载效应组合要求	
	承载能力	正常使用	承载能力	正常使用	承载能力	正常使用
持久状况	√	√	强度、稳定、倾覆、滑移、漂浮等	疲劳、变形、抗裂或裂缝宽度、耐久性	基本组合	标准组合
短暂状况	√	视情况				或频遇组合 或准永久组合
偶然状况	√	—			偶然组合	—

表1-4 不同设计等级的地基计算要求及地基基础设计时的荷载效应组合要求

设计状态	地基计算要求		荷载效应组合要求			
	承载力	变形	地基承载力	地基变形	基础承载力	基础裂缝宽度
甲级	√	√	标准组合	准永久组合	基本组合	标准组合
乙级	√	√				
丙级	√	部分需要				

表 1-5 荷载效应组合方法及适用场合

组合类型		组合方法	适用场合
基本组合	可变荷载控制	$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qik}$	结构承载能力极限状态的计算
	永久荷载控制	$S = \gamma_G S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} S_{Qik}$	
标准组合		$S = S_{Gk} + S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} S_{Qik}$	当一个极限状态被超越时将产生严重的永久性损害的情况,如变形、疲劳、混凝土裂缝控制
频遇组合①		$S = S_{Gk} + \psi_{\Pi} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{qi} S_{Qik}$	当一个极限状态被超越时将产生局部损害、较大变形或短暂振动等
准永久组合		$S = S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \psi_{qi} S_{Qik}$	当长期效应是决定性因素时,如地基变形

表 1-6 永久荷载分项系数的取值

组合类型	效应对结构不利时		效应对结构有利时	
	由可变荷载效应控制的组合	由永久荷载效应控制的组合	一般情况	倾覆、滑移、漂浮验算
γ_G	1.2	1.35	1.0	0.9

1.1.5 结构抗震设计

我国的抗震设防采用“三水准”目标、“二阶段”设计方法,其相互关系见表 1-7。

根据建筑物使用功能的重要性,分为甲类、乙类、丙类和丁类 4 个设防类别,不同的设防类别采用不同的设防标准。

① 频遇组合是《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)新增加的,目前尚未在具体的结构设计规范中应用。

表 1-7 抗震设防目标与抗震计算内容的关系

	水准 烈度	50 年超 越概率	设 防 目 标	结 构 状 况	计 算 内 容
小震	多遇地 震烈度	63%	不受损坏或不需 修理仍可继续使用	处于弹性的正常 使用阶段	第一阶段设计： 1. 多遇地震作用 下截面承载力验 算；
中震	基本 烈度	10%	可能损坏，经一 般修理或不需修理 可继续使用	进入非弹性工作 阶段，但非弹性变 形或结构体系的损 坏处于可修复范围	2. 多遇地震作用 下变形验算
大震	罕遇地 震烈度	2% ~ 3%	不至于倒塌或发 生危及生命的严重 破坏	较大的非弹性变 形控制在不倒塌的 范围内	第二阶段设计： 罕遇地震作用下 薄弱层的弹塑性变 形验算

1.2 基本学习要求

1. 了解建筑结构的组成和常用种类,能进行结构类型的判别。
2. 了解结构设计的一般过程和内容。
3. 了解建筑结构的作用,了解可变荷载的随机特性。
4. 掌握荷载标准值、组合值、频遇值、准永久值等概念。
5. 掌握风荷载、吊车荷载的计算方法。
6. 了解结构耐火设计的基本知识。
7. 了解建筑结构的安全性等级、地基基础设计等级、设计使用年限、结构重要性系数等概念。
8. 熟悉极限状态设计要求和内容,掌握荷载效应的基本组合、标准组合、频遇组合、准永久组合方法和使用场合。
9. 了解抗震设防目标、抗震设防标准及抗震设计基本内容。

1.3 概念解释

1.3.1 竖向结构体系

竖向结构体系(vertical structural system)由房屋中的竖向构件组成,所有的荷载(包括水平荷载和竖向荷载)最终都是由它传递给基础。整体结构体系的

名称常取自竖向结构体系。

竖向荷载在竖向构件中主要产生轴压力,水平荷载将在竖向构件中产生弯矩、剪力和轴力。抵抗水平荷载的能力是衡量竖向结构体系性能的重要指标,竖向结构体系的三种基本结构类型,框架结构(frame structures)、墙体结构(wall structures)和筒体结构(tubular structures)的差异也主要体现在承受水平荷载的能力上,筒体结构最强、墙体结构次之、框架结构最弱;框架结构中,梁柱铰接的排架又弱于梁柱刚接的刚架。

1.3.2 水平结构体系

水平结构体系(horizontal structural system)由房屋中的水平构件组成,包括各层楼盖(对多层房屋而言)和屋盖。此体系有三个作用:一是直接承受作用在楼面和屋面的竖向荷载,并将它们传递给竖向结构体系;二是为竖向构件之间提供水平联系,提高竖向结构体系抵抗水平荷载的能力;三是把整体结构上的水平荷载传递和分配给各竖向构件。其中,第一个是单独发挥的作用,也是其结构设计的主要依据;后两个是配合竖向结构体系所发挥的作用,是在结构方案设计中需要考虑的因素。可见,水平结构体系的设计不仅要满足承受竖向荷载的需要,还要考虑整体结构体系的需要。

1.3.3 结构分析理论

结构分析理论(theory of structural analysis),根据材料性能的不同,可以分为弹性理论(theory of elasticity)、塑性理论(theory of plasticity)、弹塑性理论(theory of elasticity and plasticity)等,其中弹性理论又包括线弹性理论(材料的应力-应变曲线为线性弹性关系)和弹性非线性理论(材料的应力-应变曲线为弹性非线性关系);根据内力、位移与荷载的关系,可以分为线性理论(linear theory)和非线性理论(nonlinear theory),前者内力、位移与荷载呈线性关系,后者呈非线性关系。

非线性问题包括材料非线性和几何非线性,前者因材料应力-应变关系的非线性,导致内力、位移与荷载呈非线性关系;后者因根据结构变形后的几何位置(而不是原始状态)建立平衡方程,导致内力、位移与荷载呈非线性关系。

线弹性理论是目前结构分析中使用最为普遍的,大家比较熟悉;基于塑性理论的实用结构分析方法也有所接触,如塑性内力重分布法(连续梁和框架梁的弯矩调幅法)、塑性极限分析方法(双向板的塑性铰线法);非线性理论比较陌生,3.4节将通过具体示例作些说明。