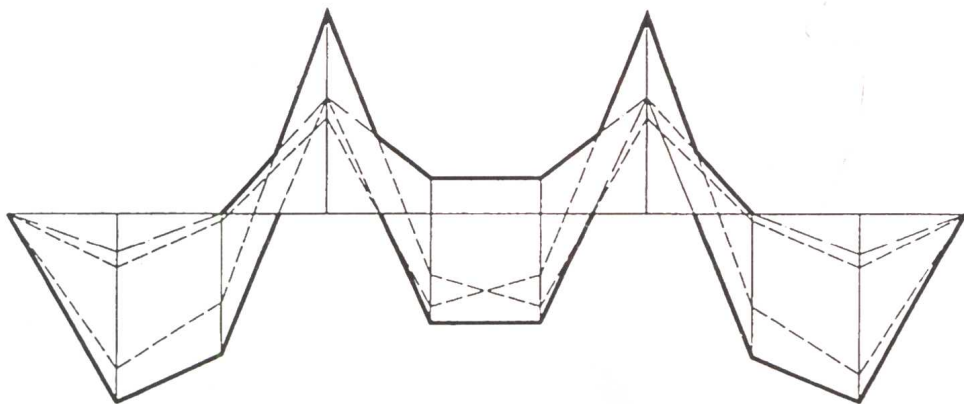



高等院校土木工程系列教材

# 混凝土结构设计

梁兴文 史庆轩 编著



 科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

高等院校土木工程系列教材

# 混凝土结构设计

梁兴文 史庆轩 编著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书为高等院校土木工程专业的专业课教材,内容包括概论、楼盖和楼梯、单层厂房结构、框架结构等,是根据最新颁布的国家标准和规范而编写的。

本书着重阐明各种混凝土结构整体设计的基本概念和方法,对结构方案设计、结构分析方法和确定结构计算简图等内容有比较充分的论述,有利于培养读者的创新能力;对各主要结构给出了比较完整的设计实例,有利于初学者掌握基本概念和设计方法;每章附有小结、思考题和习题等。

本书文字通俗易懂,论述由浅入深、循序渐进,便于自学理解。

本书可作为高等院校土木工程专业的教材,也可供相关专业的设计、施工和科研人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构设计/梁兴文,史庆轩编著. —北京:科学出版社, 2004. 2

(高等院校土木工程系列教材)

ISBN 7-03-012704-8

I. 钢… II. ①梁…②史… III. 混凝土结构—结构设计—高等学校—教材 VI. TU375.04

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第002307号

责任编辑:杨家福/责任校对:宋玲玲

责任印制:刘士平/封面设计:张放

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2004年2月第一版 开本: B5 (720×1000)

2004年2月第一次印刷 印张: 21 1/4

印数: 1—5 000 字数: 413 000

定价: 28.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

# 前 言

混凝土结构是土木工程中广泛使用的一种结构形式，这种结构在建造和使用过程中的可靠性、经济性和技术合理性有重要的社会和经济意义。结构设计就是充分利用先进技术，科学地解决结构的可靠性与经济性这对矛盾。

本书介绍了房屋建筑工程中混凝土结构的设计方法，包括概论、楼盖和楼梯、单层工业厂房、框架结构设计等，内容侧重于混凝土结构的整体设计，与《混凝土结构设计原理》（科学出版社，2003年）一书配套使用。本书是高等学校土木工程专业本科生的主干课程教材，亦可作为本专业大专生的教学用书，还可供从事实际工作的建筑结构设计人员参考。

结构整体设计主要包括下列内容：选择结构方案和结构体系，进行结构布置；确定结构计算简图，选用合适的结构分析方法；计算作用（荷载）、作用（荷载）效应，并进行作用（荷载）效应组合；进行构件截面设计及构件间的连接构造设计等。其中结构方案设计是关键，其合理与否对结构的可靠性和经济性影响很大。为此，书中用较多的篇幅介绍了结构方案设计的主要内容。确定结构计算简图和选用结构分析方法是结构设计的一个重要内容，本书除在各章对不同结构分别论述其计算简图和分析方法外，还在第1章集中论述了这个问题，以引起读者对此问题的重视。鉴于读者已在结构力学课程中学习了结构分析的一般方法，所以本书仅介绍结构分析的简化方法。结构简化分析方法除可用于手算外，其解决问题的思路对培养学生分析问题和解决问题的能力以及创新能力均有帮助，因此本书对各种简化方法亦做了较详细的论述。

本书着重理论与实践相结合，力求对基本概念论述清楚，使读者通过对有关内容的学习，熟练地掌握结构分析方法；书中有明确的计算方法和实用设计步骤，力求做到能具体应用；特别是对各主要结构附有完整的工程设计实例，有利于初学者对基本概念的理解和设计方法的掌握。为了便于学习，每章有小结、思考题和习题等内容，这对教学要求、自学理解、巩固深入、熟练掌握都是有益的，能提高教学效果。另外，为适应双语教学的需要，书中同时相应地给出了专业术语的部分英文表述。

本书由西安建筑科技大学土木工程学院梁兴文（第2、4章）和史庆轩（第1、3章）编写。童岳生教授主审本书，李晓文教授审阅了部分内容，他们均提出了许多宝贵意见。研究生张伟、邓明科、赵辉和王鑫为本书绘制了部分插图。西安建筑科技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国内外文献，引用了一些学者的资料，这在本书末的参考文献中已予列出，特在此向其作者表示感谢。

希望本书能为读者的学习和工作提供帮助。鉴于作者水平有限，书中难免有错误及不妥之处，敬请读者批评指正。

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 概 论</b> .....	1
1.1 建筑结构的概念及其基本形式 .....	1
1.2 混凝土建筑结构的形成 .....	1
1.3 建筑结构设计程序和內容 .....	3
1.3.1 基本建设工作程序 .....	3
1.3.2 房屋建筑工程的设计阶段 .....	3
1.3.3 结构方案的确定 .....	4
1.4 混凝土建筑结构的分析方法 .....	5
1.4.1 基本原则 .....	5
1.4.2 各种分析方法 .....	6
1.5 本课程的主要內容及特点 .....	9
1.5.1 主要內容 .....	9
1.5.2 本课程的特点 .....	10
小结 .....	10
思考題 .....	11
<b>第 2 章 楼盖和楼梯</b> .....	12
2.1 概述 .....	12
2.1.1 楼盖结构选型 .....	12
2.1.2 单向板与双向板 .....	13
2.1.3 梁、板截面尺寸 .....	14
2.1.4 现浇整体式楼盖结构內力分析方法 .....	15
2.2 受弯构件塑性铰和结构內力重分布 .....	15
2.2.1 受弯构件的塑性铰 .....	16
2.2.2 超静定结构的塑性內力重分布 .....	17
2.3 单向板肋梁楼盖设计 .....	20
2.3.1 单向板肋梁楼盖结构布置 .....	20
2.3.2 单向板肋梁楼盖按弹性理论方法计算结构內力 .....	21
2.3.3 单向板肋梁楼盖按塑性理论方法计算结构內力 .....	27
2.3.4 单向板肋梁楼盖的配筋计算及构造要求 .....	31
2.3.5 单向板肋梁楼盖设计实例 .....	37

2.4	双向板肋梁楼盖设计	49
2.4.1	双向板肋梁楼盖按弹性理论计算结构内力	50
2.4.2	钢筋混凝土双向板极限承载力分析	52
2.4.3	双向板肋梁楼盖按塑性理论计算	62
2.4.4	双向板肋梁楼盖的配筋计算与构造要求	63
2.4.5	双向板肋梁楼盖设计实例	64
2.5	无梁楼盖	69
2.5.1	一般说明	69
2.5.2	无梁楼盖的受力性能	70
2.5.3	无梁楼盖的计算	71
2.5.4	柱帽设计	74
2.5.5	截面设计与配筋构造	75
2.6	无粘结预应力混凝土楼盖	77
2.6.1	一般说明	77
2.6.2	等效荷载法	77
2.6.3	无粘结预应力混凝土楼盖的截面设计	82
2.7	楼梯	84
2.7.1	楼梯的结构类型	84
2.7.2	梁式楼梯的计算	85
2.7.3	板式楼梯的计算	88
2.7.4	折板悬挑式楼梯和螺旋式楼梯的计算	88
2.7.5	整体式楼梯的构造要求	89
	小结	95
	思考题	96
	习题	97
<b>第3章</b>	<b>单层厂房结构</b>	<b>99</b>
3.1	概述	99
3.2	结构组成及荷载传递	101
3.2.1	结构组成	101
3.2.2	主要荷载及其传递路线	104
3.3	结构布置	105
3.3.1	结构平面与剖面布置	105
3.3.2	支撑布置	110
3.3.3	围护结构布置	116
3.4	构件选型与截面尺寸确定	119
3.4.1	屋盖结构构件	119

3.4.2	吊车梁	123
3.4.3	柱	124
3.4.4	基础	128
3.5	横向排架结构内力分析	129
3.5.1	排架计算简图	129
3.5.2	排架结构上的荷载	131
3.5.3	等高排架内力分析	139
3.5.4	不等高排架内力分析	143
3.5.5	考虑厂房整体空间作用的排架内力分析	144
3.5.6	内力组合	148
3.6	柱的设计	151
3.6.1	截面设计	151
3.6.2	牛腿设计	153
3.6.3	柱的吊装验算	157
3.6.4	抗风柱的设计	158
3.7	柱下独立基础设计	159
3.7.1	基础底面尺寸	159
3.7.2	基础高度验算	161
3.7.3	基础底板配筋	163
3.7.4	构造要求	165
3.8	钢筋混凝土屋架设计要点	167
3.8.1	屋架高度和杆件截面尺寸	167
3.8.2	荷载及荷载组合	167
3.8.3	计算简图和内力计算	168
3.8.4	杆件截面设计和配筋构造要求	169
3.8.5	屋架的扶直和吊装验算	169
3.9	吊车梁设计要点	170
3.9.1	拟定截面尺寸	170
3.9.2	吊车荷载的特点	170
3.9.3	内力计算	171
3.9.4	吊车梁验算项目	172
3.10	连接构造及预埋件设计	173
3.10.1	连接构造及传力分析	173
3.10.2	预埋件设计	176
3.10.3	吊环设计	178
3.11	单层厂房排架结构设计实例	179



3.11.1	设计资料	179
3.11.2	构件选型及柱截面尺寸确定	180
3.11.3	定位轴线	181
3.11.4	计算简图及柱的计算参数	181
3.11.5	荷载计算	182
3.11.6	排架内力分析	185
3.11.7	内力组合	191
3.11.8	柱截面设计	192
3.11.9	基础设计	202
小结		211
思考题		213
习题		214
<b>第4章</b>	<b>框架结构</b>	216
4.1	结构组成和结构布置	216
4.1.1	结构组成及特点	216
4.1.2	结构布置	217
4.2	框架结构的计算简图及荷载	220
4.2.1	梁、柱截面尺寸	220
4.2.2	框架结构的计算简图	221
4.2.3	框架结构上的荷载	224
4.3	竖向荷载作用下框架结构内力的简化计算	226
4.3.1	分层法	226
4.3.2	弯矩二次分配法	229
4.3.3	系数法	230
4.4	水平荷载作用下框架结构内力和侧移的简化计算	231
4.4.1	水平荷载作用下框架结构的受力及变形特点	231
4.4.2	$D$ 值法	232
4.4.3	反弯点法	241
4.4.4	门架法	242
4.4.5	框架结构侧移的近似计算	243
4.4.6	框架结构的水平位移控制	245
4.5	荷载效应组合和构件设计	246
4.5.1	荷载效应组合	246
4.5.2	构件设计	250
4.6	叠合梁设计	251
4.6.1	叠合梁的受力特点	252

4.6.2	叠合梁的承载力计算	253
4.6.3	叠合梁的正常使用极限状态验算	255
4.6.4	叠合梁的构造规定	260
4.7	框架结构的构造要求	264
4.7.1	框架梁	264
4.7.2	框架柱	265
4.7.3	梁柱节点	266
4.7.4	钢筋连接和锚固	266
4.8	多层框架柱下基础	267
4.8.1	基础类型及其选择	267
4.8.2	柱下条形基础设计	269
4.8.3	柱下十字交叉条形基础设计	273
4.9	设计实例	275
4.9.1	设计资料	275
4.9.2	梁、柱截面尺寸及计算简图	275
4.9.3	重力荷载和水平荷载计算	277
4.9.4	风荷载作用下框架结构分析	279
4.9.5	竖向荷载作用下框架结构内力分析	283
4.9.6	内力组合	288
4.9.7	梁、柱截面设计	291
	小结	296
	思考题	298
	习题	298
	<b>附录</b>	301
	附表 1 等截面等跨连续梁在常用荷载作用下的内力系数	301
	附表 2 双向板计算系数	308
	附表 3 风荷载特征值	312
	附表 4 5~50/5t 一般用途电动桥式起重机基本参数和尺寸系 列 (ZQ1-62)	317
	附表 5 钢筋混凝土结构伸缩缝最大间距 (m)	318
	附表 6 I 形截面柱的力学特征	319
	附表 7 框架柱反弯点高度比	320
	<b>参考文献</b>	328

# 第 1 章 概 论

## 1.1 建筑结构的概念及其基本形式

工程结构(engineering structure)是指用各种材料(砖、石、混凝土、钢材和木材等)建造的建筑物或构筑物的受力骨架体系。建筑结构(building structure)是房屋建筑的空间受力骨架体系,是建筑物得以存在的基本物质要素。

建筑结构的\*\*功能\*\*首先是骨架所形成的空间能良好地为人类生活与生产服务,并满足人类对美观的需求,为此须选择合理的结构型式。其次是应合理选择结构的材料和受力体系,充分发挥所用材料的作用,使结构具有抵御自然界各种作用的能力,如结构自重、使用荷载、风荷载和地震作用等。

工程结构按其使用功能可分为建筑结构、桥梁结构、岩土工程结构、水工结构、特种结构等。建筑结构按其用途可分为工业厂房结构和民用建筑结构;按其体型和高度可划分为单层结构(多用于单层工业厂房、单层空旷房屋等)、多层结构(2~9层)、高层结构(一般10层以上)和大跨结构(跨度在40~50m以上)等;按其材料可分为钢筋混凝土结构、钢结构、砌体结构、木结构和薄膜充气结构等;按其\*\*主要结构型式\*\*可划分为墙体结构、框架结构、筒体结构、拱结构、网架结构、空间薄壁结构等。

建筑结构由竖向承重结构体系、水平承重结构体系和下部结构三部分组成。竖向承重结构由墙和柱等构件组成,承受竖向和水平荷载的作用,主要有墙体结构、框架结构、框架-剪力墙结构和筒体结构等。水平承重结构由楼盖、屋盖、楼梯等组成,它将竖向荷载传递至竖向承重结构上,主要有梁板结构、平板结构、密肋结构等。下部结构包括地基和基础,基础主要采用钢筋混凝土,当荷载较小时也可采用砌体。

## 1.2 混凝土建筑结构的\*\*形式\*\*

混凝土结构(reinforced concrete structure)是指以混凝土为主制作的结构,包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构等,其应用范围极广,是目前土木建筑工程中应用最多的一种结构形式。素混凝土用于主要承受压力的结构,如基础、挡土墙、支墩、地坪等。钢筋混凝土适用于承受压力、拉力、弯矩、剪力和扭矩等各种受力形式的结构或构件,如各种桁架(truss)、梁(beam)、板(slab)、柱

(column)、墙(wall)、拱(arch)、壳(shell)、地面(pavement)等。预应力混凝土结构的应用范围与钢筋混凝土结构相似,但由于它具有抗裂性好、刚度大和强度高等特点,特别适用于制作跨度大、荷载重以及有抗裂抗渗要求的结构。

硅酸盐水泥是英国人阿斯普丁(J. Aspdin)于1824年发明的,距今仅约180年。从1850年法国人朗波(L. Lambot)制造了第一只钢筋混凝土小船,到19世纪中叶钢筋混凝土结构开始应用在建筑工程中,混凝土结构的历史距今也仅150多年。在我国,水泥工业始于1889年,19世纪末20世纪初,上海等沿海城市的个别建筑,部分地采用了钢筋混凝土楼板,1908年建造的上海电话公司大楼是我国最早的钢筋混凝土框架结构。与砖石结构、木结构和钢结构相比,混凝土结构的历史虽不长,但却发展迅速,应用广泛,特别是自1949年后,混凝土结构的应用远超过其他的结构形式。

单层混凝土建筑结构主要用于单层工业厂房、仓库、实验室、食堂等单层空旷房屋。单层混凝土结构一般由屋盖和钢筋混凝土柱组成,根据房屋的功能不同和跨度大小,屋盖可采用钢筋混凝土梁板结构、拱或薄壳、折板以及钢筋混凝土屋架或钢屋架等。根据施工方法不同,单层混凝土结构可分为装配式和现浇式两种,现浇整体式单层混凝土结构往往采用有平屋面或坡屋面的门式刚架;装配式单层混凝土结构一般由屋盖结构、钢筋混凝土柱等组成,钢筋混凝土柱可为现浇式,也可为装配式,而屋盖结构一般均为装配式。

多高层混凝土建筑结构的应用较为广泛。我国《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3-2002)规定,10层及10层以上或房屋高度超过28m的民用建筑为高层混凝土建筑结构,故可将2~9层房屋作为多层混凝土建筑结构。多高层混凝土建筑结构可采用框架(frame)、板柱(slab-column)、剪力墙(shear wall)、框架-剪力墙(frame-shear wall)、板柱-剪力墙(slab-column shear wall)和筒体(tube)等结构体系。其中,混凝土框架结构是多层建筑中常见的结构形式。对于钢筋混凝土框架和剪力墙结构,在非地震区可采用装配式,其他结构形式一般均采用现浇式。

在多层建筑中,常采用由砌体内、外墙和钢筋混凝土楼(屋)盖组成的混合结构;混合结构还包括由钢筋混凝土内柱(与楼盖中的肋梁形成框架)和砌体外墙组成的内框架结构,以及由底部钢筋混凝土框架和上部砌体结构组成的底部框架砌体结构。这些钢筋混凝土-砌体混合结构也是多层建筑中常见的结构形式。

近年来,随着高层建筑结构的飞速发展,钢管混凝土结构(concrete filled tubular steel structure)、钢管混凝土组合结构(composite structure)和钢-混凝土混合结构(mixed structure)已成为高层特别是超高层建筑结构的主要结构形式,这种结构体系可以充分发挥混凝土结构和钢结构各自的长处,如上海金茂大厦(地上88层,地下3层,高421m)和正在建造中的上海环球金融中心(95层,高460m)均是由钢筋混凝土核心筒、外框钢管混凝土柱及钢柱组成。

大跨结构广泛应用于体育馆、展览馆、会堂等的公共建筑,其屋盖一般采用网

架、网壳、斜拉、悬索等钢结构形式,以便形成较大的空间,而其竖向承重结构和下部基础一般均采用钢筋混凝土结构。

### 1.3 建筑结构设计的内容和程序

房屋设计是为人类生活与生产服务的各种民用或工业房屋的综合设计。一幢建筑物设计和施工,需要建筑师、结构工程师、设备工程师、施工工程师的共同努力和多边合作。建筑结构设计由结构工程师负责,其基本任务是在结构的可靠与经济之间选择一种合理的平衡,力求以最低的代价,使所建造的结构在规定的条件下和规定的使用期限内,能满足预定的安全性、适用性和耐久性等功能要求。为完成这一基本任务,我国建筑结构设计目前采用以概率理论为基础的极限状态设计方法。

#### 1.3.1 基本建设工作程序

我国基本建设工作程序和内容如图 1.3.1 所示。由图可知,其主导线分设计和施工两个阶段,对主导线起保证作用的有两条辅线,其一为对投资的控制,另一为质量和进度的监控。

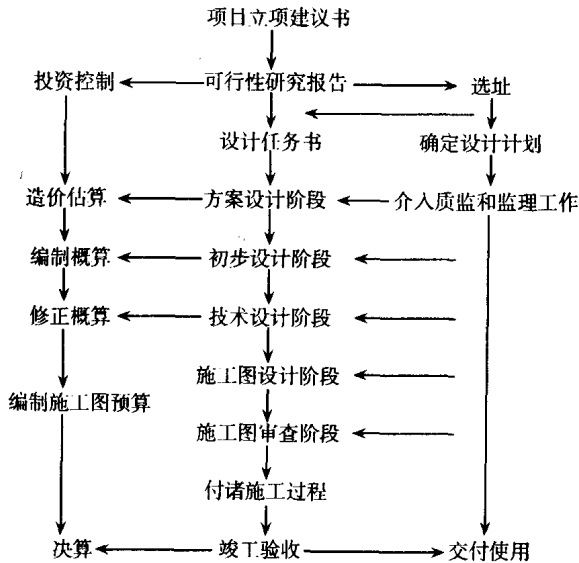


图 1.3.1 基本建设工作程序和内容

#### 1.3.2 房屋建筑工程的设计阶段

由图 1.3.1 可知,房屋建筑工程一般分为四个设计阶段,即方案设计阶段、初步设计阶段、技术设计阶段和施工图设计阶段。

(1) 方案设计(scheme design)阶段。

此阶段需完成的设计文件有设计说明书、设计图纸、投资估算及效果透视图等内容,应在调查研究和设计基础资料的基础上分专业编制。其中结构专业负责编制结构设计文件,其设计依据为项目可行性研究报告、设计任务书和上级批准的立项文件等。

结构设计文件的主要内容是编制结构设计说明书和结构平面简图。其中结构设计说明书包括设计依据、结构设计要点和需要说明的问题等;设计依据应阐述建筑所在地域、地界、有关自然条件、抗震设防烈度、工程地质概况等;结构设计要点应包括上部结构选型、基础选型、人防结构及抗震设计初步方案等;需要说明的其他问题是指对工艺的特殊要求、与相邻建筑物的关系、基坑特征及防护等。结构平面简图应标出柱网、剪力墙、沉降缝等。

#### (2) 初步设计(preliminary design)阶段。

此阶段的任务是根据中标方案、设计任务书和设计基础资料,对设计对象进行总体安排和控制性结构计算,同时对工程工期和投资总额进行深入分析,编制设计总概算。应提交的设计文件有设计说明书、设计图纸、主要设备和材料清单等。

结构设计在此阶段包括编制抗震设防要点及主要措施,说明上部结构方案设计的依据及(人防)地下室结构方案的要点,简述变形缝的布置及做法,提出具体的地基处理方案,选定主要结构的材料和采用的构件标准图等。结构设计文件应包括设计说明书、结构控制性计算的计算书、方案设计简图和总概算书。

#### (3) 技术设计(technical design)阶段。

技术设计是专门对技术复杂或有特殊要求的大中型项目增加的一个设计阶段。它是对初步设计方案进行调整和深化,其设计依据为已批准的初步设计文件。

结构设计的主要内容为确定结构受力体系和主要技术参数,通过计算初步确定主要构件(梁、柱、墙等)的截面和配筋,绘出结构平面简图及重要节点大样图以及必要的文字说明,写明对地质勘探、施工条件及主要材料等方面的特殊要求。

#### (4) 施工图设计(working drawing design)阶段。

施工图设计是项目施工前最重要的一个设计阶段,要求以图纸和文字的形式解决工程建设中预期的全部技术问题,并编制相应的对施工过程起指导作用的施工预算。

在整个设计阶段,仅对重要和复杂的大中型工程建设项目才要求上述四个设计阶段;对普通大中型项目可将第二和第三设计阶段合并为一个扩大技术设计阶段;对简单的小型建设项目也可只进行第一和第四两个设计阶段。

### 1.3.3 结构方案的确定

结构方案主要是配合建筑设计的功能和造型要求,结合所选结构材料的特性,从结构受力、安全、经济以及地基基础和抗震等条件出发,综合确定出合理的结构形式。结构方案应在满足适用性的条件下,符合受力合理、技术可行和尽可能经济

的原则。无论是方案设计阶段,还是初步设计阶段,结构方案都是结构设计中最重要的一项工作,也是结构设计成败的关键。方案设计阶段和初步设计阶段的结构方案,所考虑的问题是相同的,只不过是随着设计阶段的深入结构方案的成熟程度不同而已。

结构方案包括确定结构形式和结构体系两方面的内容。在方案设计阶段,一般须提出两种以上不同的结构方案,然后进行方案比较,综合考虑,选择较优的方案。对钢筋混凝土建筑,结构方案包括确定上部主要承重结构、楼(屋)盖结构和基础的形式及其结构布置,并对结构主要构造措施和特殊部位进行处理。

## 1.4 混凝土建筑结构的分析方法

结构分析(structural analysis)是指根据已确定的结构方案和结构布置,确定合理的计算简图和分析方法,进行荷载(或作用)计算,通过科学的计算分析准确地求出结构内力,以便进行构件截面配筋计算并采取可靠的构造措施。

混凝土结构是由钢筋和混凝土组成的结构,两种材料性能差别很大。钢筋为接近理想弹塑性体的材料,而混凝土的拉、压强度相差悬殊,应力-应变关系为非线性变化,且出现裂缝后为各向异性体。因此,钢筋混凝土结构在荷载作用下的受力性能十分复杂,是一个不断变化的非线性过程。对混凝土结构,合理地确定其力学模型和选择分析方法已成为提高设计质量、确保结构安全可靠的重要环节。为此,我国《混凝土结构设计规范》(GB 50010-2002)对混凝土结构分析的基本原则和各种分析方法的应用条件做出了明确规定,其内容反映了我国混凝土结构的设计现状、工程经验和试验研究等方面所取得的进展。

### 1.4.1 基本原则

进行混凝土结构分析时,应遵守以下基本原则:

(1) 结构按承载能力极限状态计算和按正常使用极限状态验算时,应按我国《建筑结构荷载规范》(GB 50009-2002)及《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2002)等国家标准规定的作用(或荷载)及其组合,对结构的整体进行作用(或荷载)效应分析;必要时,尚应对结构中的重要部位、形状突变部位以及内力和变形有异常变化的部位(例如较大孔洞周围、节点及其附近、支座和集中荷载附近等)进行更详细的结构分析。

(2) 当结构在施工和使用期的不同阶段(制作、运输和安装阶段,以及施工期、检修期和使用期等)有多种受力状况时,应分别进行结构分析,并确定其最不利的作用效应组合。当结构可能遭遇火灾、爆炸、撞击等偶然作用时,尚应按国家现行有关标准的要求进行相应的结构分析。

(3) 结构分析所需的各种几何尺寸以及所采用的计算图形、边界条件、作用

(荷载)的取值与组合、材料性能的计算指标、初始应力和变形状况等,应符合结构的实际工作状况并应具有相应的构造措施,如固定端和刚节点的承受弯矩能力和对变形的限制、塑性铰的充分转动能力等。

结构分析时应根据结构或构件的受力特点,采用具有理论或试验依据的各种近似简化和假定。对计算结果还应进行校核和修正,其准确程度应符合工程设计的要求。

(4) 所有结构分析方法的建立都基于三类基本方程,即力学平衡方程、变形协调(几何)方程和材料本构(物理)方程。其中,结构整体或其中任何一部分的力学平衡条件都必须满足;结构的变形协调条件,包括边界条件、支座和节点的约束条件、截面变形条件等,若难以严格满足,但应在不同的程度上予以满足;材料或各种计算单元的本构关系,应合理地选取,尽可能符合或接近钢筋混凝土的实际性能。

(5) 混凝土结构宜根据结构类型、构件布置、材料性能和受力特点选择合理的分析方法。目前工程设计中常用的计算方法,按其力学原理和受力阶段可分为以下五类:

- 1) 线弹性分析方法。
- 2) 考虑塑性内力重分布的分析方法。
- 3) 塑性极限分析方法。
- 4) 非线性分析方法。
- 5) 试验分析方法。

上述分析方法中,又各有多种具体的计算方法,如解析法或数值解法、精确解法或近似解法。结构设计时,应根据结构的重要性和使用要求、结构体系的特点、荷载(作用)状况、要求的计算精度等加以选择;计算方法的选取还取决于已有的分析手段,如计算程序、手册、图表等。

(6) 目前普遍采用计算机作为手段进行结构分析,也是今后结构设计的发展方向。为了确保计算结果的正确性,对结构分析所采用的电算程序应经考核和验证,其技术条件应符合国家规范和有关标准的要求;电算结果应经判断和校核,在确认其合理、有效后,方可用于工程设计。

## 1.4.2 各种分析方法

### 1. 线弹性分析方法

线弹性分析方法假定结构材料为理想的弹性体,是最基本和最成熟的结构分析方法,也是其他分析方法的基础和特例,可用于任何形式结构的承载能力极限状态及正常使用极限状态下作用效应的分析。按照所分析结构构件的体型不同,可分为杆系结构(一维)、板结构(二维)和实体结构(三维)。

杆系结构是指由长度大于3倍截面高度的构件所组成的结构,如建筑结构中的连续梁、由梁和柱组成的框架等。混凝土杆系结构一般为高次超静定体系,宜按



空间体系进行结构整体分析,并宜考虑杆件的弯曲、轴向、剪切和扭转变形对结构内力的影响,但在一般情况下,为方便计算可作一定程度的简化:对体形规则的空间杆系结构,可沿柱列或墙轴线分解为不同方向的平面结构分别进行分析,但宜考虑平面结构的空间协同工作;杆件的轴向、剪切和扭转变形对结构内力的影响不大时,可不予考虑;结构或杆件的变形对其内力的二阶效应影响不大时,可不予考虑或通过局部修正来加以反映。

杆系结构的计算简图应根据结构的实际形状和尺寸、杆件的受力和变形特点、构件间的连接构造和支承条件等作合理简化。杆件的轴线宜取为截面几何中心的连线;杆件的节点和支座视其构造对相对变形的约束程度取为刚接或铰接,钢筋混凝土现浇和装配整体式结构的梁柱节点、柱与基础连接处等可作为刚接,梁、板与其支承构件非整体浇筑时可作为铰接;杆件的计算跨度(或高度)宜按其两端支承构件的中心距或净距确定,并根据支承节点的连接刚度或支承反力的位置加以修正;杆件间连接部分的刚度远大于杆件中间截面的刚度时,可作为刚域插入计算简图。

杆系结构中杆件的截面刚度、混凝土的弹性模量应按《混凝土结构设计规范》规定采用;截面惯性矩可按匀质的混凝土全截面计算,既不计钢筋的换算面积,也不扣除预应力钢筋孔道等的面积;T形截面杆件的截面惯性矩宜考虑翼缘的有效宽度进行计算,也可由截面矩形部分面积的惯性矩做修正后确定;端部加腋的杆件,应考虑其刚度变化对结构分析的影响;考虑到混凝土开裂和塑性变形的影响,可对结构的不同受力状态杆件,如梁和柱的截面刚度值分别予以折减。

杆系结构可采用解析法、有限元法或差分法等准确分析方法,编制计算机程序进行计算;对体形规则的结构,可根据其受力特点和作用(荷载)的种类采用有效的简化分析方法,如力矩分配法、迭代法、分层法、反弯点法和D值法等。内力求出后,对与支承构件整体浇筑的梁端,可取支座或节点边缘截面的内力值进行设计。

钢筋混凝土薄板长向和短向的跨度比值小于2时,应按双向板进行设计。各种支承条件(嵌固、简支、自由等)的双向板,在各种荷载作用下均可采用线弹性方法进行作用(荷载)效应分析。一般可采用有限元方法进行计算机分析,对于形状规则、支承条件和荷载形式简单的双向板,可采用解析法求解或利用已编制的图表进行计算。

非杆系的二维或三维结构可采用弹性理论分析方法、有限元分析方法或试验方法求解。假定结构为完全匀质材料,即不考虑钢筋的存在和混凝土开裂及塑性变形的影响;利用最简单的材料各向同性本构关系,即只需要弹性模量和泊松比两个物理常数。结构分析后所得结果为其弹性正应力和剪应力分布,经转换可求得主应力,根据主拉应力图形面积确定所需的配筋量和布置,并按多轴应力状态验算混凝土的强度。

结构按承载能力极限状态计算时,其荷载和材料性能指标可取为设计值;按正常使用极限状态验算时,其荷载和材料性能指标可取为标准值。