



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
高校土木工程专业规划教材

# 混凝土结构设计

梁兴文 史庆轩 主编  
童岳生 主审

HUNNINGTU JIEGOU SHEJI

中国建筑工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
高校土木工程专业规划教材

# 混凝土结构设计

梁兴文 史庆轩 主编  
童岳生 主审

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土结构设计/梁兴文, 史庆轩主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2008

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 高校土木工程专业规划教材

ISBN 978-7-112-10536-6

I. 混… II. ①梁…②史… III. 混凝土结构-结构设计-高等学校-教材 IV. TU370.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 189752 号

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、混凝土梁板结构、单层工业厂房混凝土结构、混凝土框架结构设计等, 是根据现行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。书中还给出了部分专业术语的英文表述。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。

\* \* \*

责任编辑: 王 跃 吉万旺

责任设计: 赵明霞

责任校对: 兰曼利 关 健

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
高校土木工程专业规划教材

### 混凝土结构设计

梁兴文 史庆轩 主编

童岳生 主审

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京建筑工业出版社印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 20 字数: 486 千字

2009 年 4 月第一版 2009 年 4 月第一次印刷

定价: 32.00 元

ISBN 978-7-112-10536-6

(17461)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

# 前 言

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。结构设计结果的优劣取决于结构工程师的能力与素质。因此，本书在编写时，除注意系统地介绍结构设计的基本知识外，在内容组织和论述上更加注重学生能力和素质的培养。

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、混凝土梁板结构、单层工业厂房混凝土结构、混凝土框架结构等，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》（中国建筑工业出版社，2008年2月）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，亦可作为相关专业学生的教学用书，并可供从事实际工作的建筑结构设计人员参考使用。

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；建立结构计算简图，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；构件截面设计及构件间的连接构造等。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。建立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近似方法。结构近似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，因此本书对各种近似方法作了较详细的论述。

本书着重于理论与实践相结合，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。为适应双语教学的需要，书中同时给出了部分专业术语的英文表述。

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，邓明科编写了第2、4章的例题，门进杰编写了第3章的例题。由资深教授童岳生先生主审，李晓文教授审阅了部分内容，他们均提出了许多宝贵意见。研究生杨鹏辉、陶荣杰、杨坤为本书绘制了部分插图。特在此对他们表示深切的感谢。

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。

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。

编者  
2008年11月

# 目 录

第 1 章 概论 .....	1
1.1 概述 .....	1
1.2 混凝土结构的形式 .....	2
1.3 结构设计的程序和内容 .....	3
1.3.1 建筑工程的建设程序 .....	3
1.3.2 建筑工程的设计阶段 .....	3
1.3.3 结构设计的基本内容 .....	4
1.4 混凝土建筑结构的分析方法 .....	6
1.4.1 基本原则 .....	6
1.4.2 分析模型 .....	7
1.4.3 各种分析方法 .....	8
1.5 本课程的主要内容及特点 .....	10
1.5.1 主要内容 .....	10
1.5.2 本课程的特点 .....	10
小结 .....	11
思考题 .....	12
第 2 章 混凝土梁板结构 .....	13
2.1 概述 .....	13
2.1.1 楼盖结构选型 .....	13
2.1.2 梁、板截面尺寸 .....	14
2.1.3 混凝土现浇整体式楼盖结构内力分析方法 .....	15
2.2 单向板肋梁楼盖设计 .....	17
2.2.1 单向板肋梁楼盖结构布置 .....	17
2.2.2 单向板肋梁楼盖按弹性理论方法计算结构内力 .....	18
2.2.3 受弯构件塑性铰和结构内力重分布 .....	23
2.2.4 单向板肋梁楼盖按塑性理论方法计算结构内力 .....	27
2.2.5 单向板肋梁楼盖配筋计算及构造要求 .....	32
2.2.6 单向板肋梁楼盖设计实例 .....	38
2.3 双向板肋梁楼盖设计 .....	49
2.3.1 双向板肋梁楼盖按弹性理论计算结构内力 .....	49
2.3.2 钢筋混凝土双向板极限承载力分析 .....	51
2.3.3 双向板肋梁楼盖按塑性理论计算 .....	61
2.3.4 双向板肋梁楼盖的配筋计算与构造要求 .....	62
2.3.5 双向板肋梁楼盖设计实例 .....	63
2.4 柱支承双向板楼盖 .....	67
2.4.1 柱支承双向板楼盖的受力性能 .....	67

2.4.2	柱支承双向板楼盖按弹性理论计算内力	69
2.4.3	柱支承双向板楼盖按塑性理论计算内力	75
2.4.4	柱帽设计	77
2.4.5	截面设计与配筋构造	78
2.5	无粘结预应力混凝土楼盖	79
2.5.1	概述	79
2.5.2	分析结构内力的等效荷载法	79
2.5.3	无粘结预应力混凝土楼盖的截面设计	82
2.6	装配式混凝土楼盖	85
2.6.1	预制混凝土铺板	85
2.6.2	楼盖梁	86
2.6.3	装配式构件的计算要点	86
2.6.4	装配式楼盖的连接构造	87
2.7	楼梯	88
2.7.1	楼梯的结构类型	88
2.7.2	梁式楼梯的计算	89
2.7.3	板式楼梯的计算	91
2.7.4	折板悬挑式楼梯和螺旋式楼梯的计算	91
2.7.5	整体式楼梯的构造要求	92
2.7.6	整体式楼梯设计实例	92
2.8	悬挑结构	97
2.8.1	概述	97
2.8.2	雨篷设计	97
	小结	99
	思考题	100
	习题	100
<b>第3章</b>	<b>单层厂房结构</b>	<b>102</b>
3.1	概述	102
3.1.1	单层厂房的特点	102
3.1.2	单层厂房的结构类型	102
3.1.3	单层厂房的结构分析方法	104
3.2	结构组成及荷载传递	104
3.2.1	结构组成	104
3.2.2	主要荷载及其传递路线	106
3.3	结构布置	107
3.3.1	结构平面布置	108
3.3.2	厂房高度的确定	112
3.3.3	支撑布置	113
3.3.4	围护结构布置	117
3.4	构件选型与截面尺寸确定	120
3.4.1	屋盖结构构件	120
3.4.2	吊车梁	123

3.4.3 柱	123
3.4.4 基础	127
3.5 排架结构内力分析	127
3.5.1 排架计算简图	128
3.5.2 荷载计算	129
3.5.3 等高排架结构内力分析	137
3.5.4 不等高排架内力分析	141
3.5.5 考虑厂房整体空间作用的排架内力分析	142
3.5.6 内力组合	144
3.6 柱的设计	147
3.6.1 截面设计	147
3.6.2 牛腿设计	148
3.6.3 柱的吊装验算	151
3.6.4 抗风柱的设计	152
3.7 柱下独立基础设计	153
3.7.1 基础底面尺寸	153
3.7.2 基础高度验算	155
3.7.3 基础底板配筋	157
3.7.4 构造要求	159
3.8 连接构造及预埋件设计	160
3.8.1 连接构造及传力分析	160
3.8.2 预埋件设计	162
3.8.3 吊环设计	165
3.9 单层厂房排架结构设计实例	165
3.9.1 设计资料及要求	165
3.9.2 构件选型及柱截面尺寸确定	165
3.9.3 定位轴线	167
3.9.4 计算简图确定	168
3.9.5 荷载计算	168
3.9.6 排架内力分析有关系数	171
3.9.7 排架内力分析	172
3.9.8 内力组合	177
3.9.9 柱截面设计	178
3.9.10 基础设计	187
小结	196
思考题	197
习题	198
<b>第4章 混凝土框架结构</b>	<b>200</b>
4.1 多高层建筑混凝土结构概述	200
4.1.1 结构类型	200
4.1.2 结构体系	201
4.1.3 结构总体布置	205

4.1.4	结构分析方法	205
4.1.5	结构设计要求	207
4.2	框架结构的结构布置	208
4.2.1	柱网和层高	208
4.2.2	框架结构的承重方案	209
4.2.3	梁柱相交位置	209
4.2.4	变形缝的设置	210
4.3	框架结构的计算简图	210
4.3.1	梁、柱截面尺寸	210
4.3.2	框架结构的计算简图	212
4.3.3	框架结构上的荷载	214
4.4	竖向荷载作用下框架结构内力的近似计算	216
4.4.1	分层法	216
4.4.2	弯矩二次分配法	219
4.4.3	系数法	219
4.5	水平荷载作用下框架结构内力和侧移的近似计算	220
4.5.1	水平荷载作用下框架结构的受力及变形特点	220
4.5.2	$D$ 值法	221
4.5.3	反弯点法	229
4.5.4	门架法	229
4.5.5	框架结构侧移的近似计算	230
4.5.6	框架结构的水平位移控制	233
4.6	荷载效应组合及构件设计	233
4.6.1	荷载效应组合	233
4.6.2	构件设计	236
4.7	叠合梁设计	238
4.7.1	叠合梁的受力特点	238
4.7.2	叠合梁的承载力计算	239
4.7.3	叠合梁的正常使用极限状态验算	241
4.7.4	叠合梁的构造规定	245
4.8	框架结构的构造要求	249
4.8.1	框架梁	249
4.8.2	框架柱	249
4.8.3	梁柱节点	250
4.8.4	钢筋的连接和锚固	251
4.9	框架结构房屋基础	252
4.9.1	基础类型及其选择	252
4.9.2	柱下条形基础设计	253
4.9.3	柱下十字交叉条形基础设计	256
4.10	设计实例	258
4.10.1	设计资料	258
4.10.2	梁、柱截面尺寸及计算简图	259



4.10.3	重力荷载及水平荷载计算 .....	260
4.10.4	风荷载作用下框架结构分析 .....	262
4.10.5	竖向荷载作用下框架结构内力分析 .....	265
4.10.6	内力组合 .....	269
4.10.7	梁、柱截面设计 .....	272
小结	.....	276
思考题	.....	277
习题	.....	278
<b>附录</b>	.....	280
附表 1	等截面等跨连续梁在常用荷载作用下的内力系数表 .....	280
附表 2	双向板计算系数表 .....	287
附表 3	风荷载特征值 .....	292
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) .....	296
附表 5	钢筋混凝土结构伸缩缝最大间距 (m) .....	298
附表 6	I 形截面柱的力学特性 .....	299
附表 7	框架柱反弯点高度比 .....	301
<b>参考文献</b>	.....	309

# 第 1 章 概 论

## 1.1 概 述

建筑结构 (building structure) 是组成工业与民用房屋建筑包括基础在内的承重骨架体系。在一个空间中, 由各种材料 (砖、石、混凝土、钢材和木材等) 建造的结构构件通过正确的连接, 组成能承受并传递荷载的受力骨架, 即建筑物的基本受力骨架。混凝土结构 (concrete structures) 是以混凝土为主要材料的建筑结构, 包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构及配置各种纤维筋的混凝土结构等。

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; 按其结构形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, 承受竖向荷载和水平荷载的作用, 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。

建筑结构的作用, 首先表现为能形成人们活动所需要的、功能良好和舒适美观的空间; 其次表现为能够抵御自然的和人为的各种作用, 使建筑物安全、适用、耐久, 并在突发偶然事件时能保持整体稳定; 第三表现为能充分发挥所使用材料的效能。因此, 对要建造的建筑结构, 首先需要选择合理的结构形式和受力体系, 其次是合理选择结构的材料, 充分发挥所用材料的作用, 使结构具有抵御自然的和人为的各种作用的能力, 如结构自重、使用荷载、风荷载和地震作用等。一个优良的建筑结构, 在使用上, 要满足空间要求和适用性要求; 在安全上, 要满足承载力和耐久性要求; 在技术上, 要体现科学技术和工程的新发展; 在造型上, 要与建筑艺术融为一体; 在建造上, 能合理使用材料并与施工实际相结合。

设计是指应用设计工具、依据设计规范和标准、考虑限制条件, 将所提供的设计数据合成一个“对象”(如建筑)的过程。建筑结构设计是建筑工程设计中的一个重要内容, 既是一项创造性工作, 又是一项全面、具体、细致的综合性工作。一个建筑工程的设计需要建筑师、结构工程师和设备工程师的通力合作, 特别是建筑师和结构工程师的相互沟通与密切配合。一个优秀的建筑工程应该是“功能、结构、美观、建造的统一”, 是建筑师和结构工程师创造性共同合作完成的作品。其中, 结构工程师的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，我国建筑结构的设计计算目前采用以概率理论为基础的极限状态设计方法。

## 1.2 混凝土结构的形式

混凝土结构应用范围极广，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、重力式挡土墙、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、刚度大和强度高的特点，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 世纪初在上海等沿海城市的个别建筑中，部分地采用了钢筋混凝土楼板，如 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、影剧院、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。根据我国现行《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 的民用建筑为高层建筑混凝土结构，故多层建筑混凝土结构是指 2~9 层或房屋高度小于 28m 的民用建筑结构。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。

在多层建筑中，常采用由砌体内、外墙和钢筋混凝土楼 (屋) 盖组成的砖混结构；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)、型钢混凝土组合结构 (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，这种结构形式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) 和上海环球金融中心 (地上 101 层，地下 3 层，高 492m) 均是由钢筋混凝土核心筒、外框型钢混凝土柱及钢柱组成。

在各类多、高层建筑结构中，楼盖基本上都是钢筋混凝土结构，主要是梁板结合而

成。除砌体房屋的基础有时采用砌体结构外，大部分多、高层建筑的基础都是钢筋混凝土结构，有柱下单独基础、条形基础、十字交叉基础、筏形基础以及箱形基础等。

大跨结构广泛应用于体育训练馆、展览馆、会堂等公共建筑，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构件。

### 1.3 结构设计的程序和内容

#### 1.3.1 建筑工程的建设程序

我国建筑工程的建设工作程序和内容如图 1-1 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。

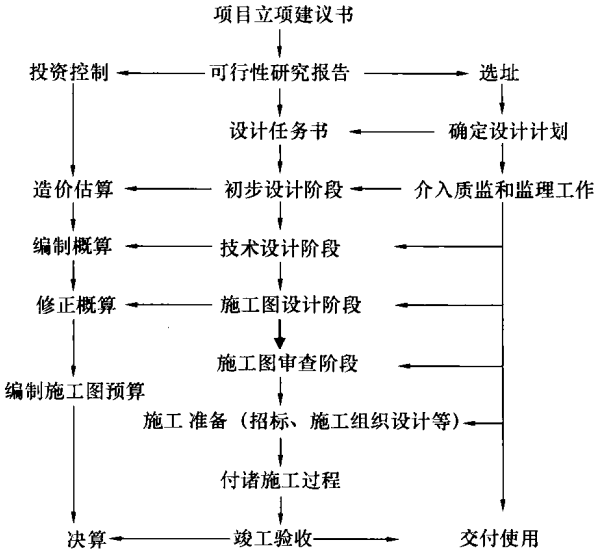


图 1-1 基本建设工作程序和内容

#### 1.3.2 建筑工程的设计阶段

由图 1-1 可知，大型建筑工程设计可分为三个阶段进行，即初步设计阶段、技术设计阶段和施工图设计阶段。对一般的建筑工程，可按初步设计和施工图设计两阶段进行。对存在总体部署问题的项目，还应在设计前进行总体规划设计或总体设计。

##### 1. 初步设计阶段 (preliminary design phase)

主要是提供建设项目可行性分析，确定基本规模、重要工艺和设备及工程项目的方案设计，以及确定概算总投资等原则问题，该阶段需完成的设计文件有设计说明书、设计图纸、主要设备和材料清单、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等。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，提出具体的地基处理方案，选

定主要结构材料和构件标准图等。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. 技术设计阶段 (technical design phase)

技术设计是专门对技术复杂或有特殊要求的大中型建筑工程项目增加的一个设计阶段，它是对初步设计方案所作的调整和深化，其设计依据为已批准的初步设计文件，主要解决工艺技术标准、主要设备类型、结构形式和控制尺寸以及单项工程预算等主要技术问题。对技术关键问题作出处理，协调解决各专业之间存在的矛盾。

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。

## 3. 施工图设计阶段 (working drawing design phase)

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。施工图按专业内容可分为建筑、结构、水、暖、电等几部分。

按照上述设计阶段，对一般单项建筑工程项目，首先由建筑专业提出较成熟的初步建筑设计方案，结构专业根据建筑方案进行结构选型和结构布置，并确定有关结构尺寸，对建筑方案提出必要的修正；然后，建筑专业根据修改后的建筑方案进行建筑施工图设计，结构专业根据修改后的建筑方案和结构方案进行荷载计算、内力分析、截面设计和构造设计，并绘制结构施工图。

施工图交付施工，并不意味着设计已经完成，在施工过程中，根据新的情况，还需对设计作必要的修改；建筑物交付使用后，经过最关键的实践检验后，作出工程总结，设计工作才算最后完成。

### 1.3.3 结构设计的基本内容

结构设计的基本内容主要包括四个部分，依次是结构方案设计、结构分析、构件设计和绘制施工图。

#### 1. 结构方案设计

结构方案设计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。无论是初步设计阶段，还是技术设计阶段，结构方案设计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。初步设计阶段和技术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。

结构方案设计包括结构选型、结构布置和主要构件的截面尺寸估算等内容。

(1) 结构选型。主要包括确定结构形式、结构体系和施工方案。在初步设计阶段，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，结构方案设计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。

(2) 结构布置。主要包括定位轴线、构件布置和变形缝的设置。定位轴线一般由横向定位轴线和纵向定位轴线组成，用来确定各构件的水平位置；构件布置就是要确定构件的平面位置和竖向位置，平面位置通过与定位轴线的相对关系确定，竖向位置由标高来确定；标高有建筑标高和结构标高两种，建筑标高是指建筑物建造装修完毕后应有的标高，结构标高是指结构构件表面的标高，指建筑标高扣除建筑构造层厚度后的标高；变形缝包括伸缩缝、沉降缝和防震缝三种，不同的结构类型和结构体系以及建筑构造做法，变形缝的设置和要求不同，这将在本书的第3章和第4章分别介绍。

(3) 构件截面尺寸的估算。水平构件的截面尺寸一般根据刚度和稳定条件，利用经验公式确定；竖向构件的截面尺寸一般根据侧移（或侧移刚度）和轴压比的限值来估算。

## 2. 结构分析

结构分析是指结构在各种作用下的内力和变形等作用效应分析，其核心问题是确定结构计算模型，包括确定结构力学模型、计算简图和采用的计算方法。计算简图是进行结构分析时用以代表实际结构的经过简化的模型，是结构分析的基础。确定计算简图时应分清主次，抓住本质和主流，略去不重要的细节，使计算简图既能反映结构的实际工作性能，又便于计算。计算简图确定后，应采取适当的构造措施使实际结构尽量符合计算简图的特点。一般来说，结构越重要，选取的计算简图应越精确；施工图设计阶段的计算简图应比初步设计阶段精确；静力计算可选择较复杂的计算简图，动力和稳定计算可选用较简略的计算简图。

## 3. 构件设计

对钢筋混凝土构件，根据结构内力分析结果，选取对配筋起控制作用的截面作为控制截面进行不利内力组合，选取最不利内力进行截面的配筋计算，且应满足构造要求。实际工程中，有时须经多次调整或修改使构件设计逐渐完善合理。

## 4. 施工图绘制

施工图是全部设计工作的最后成果，是进行施工的主要依据，是设计意图的最准确、最完整的体现，是保证工程质量的重要环节。结构施工图编号前一般冠以“结施”字样，其绘制应遵守一般的制图规定和要求，并应注意以下事项：

(1) 图纸应按以下内容和顺序编号：结构设计总说明、基础平面图及剖面图、楼盖平面图、屋盖平面图、梁和柱等构件详图、楼梯平剖面图。

(2) 结构设计总说明，一般是说明图纸中一些共同的问题和要求以及难以表达的内容，如材料质量要求、施工注意事项和主要质量标准等；对局部问题的说明，可分别放在有关图纸的边角处。

(3) 楼盖、屋盖结构平面图应分层绘制，应准确标明各构件关系及轴线或柱网尺寸、孔洞及埋件的位置及尺寸；应准确标注梁、柱、剪力墙、楼梯等和纵横轴线的位置关系以及板的规格、数量和布置方法，同时应表示出墙厚及圈梁的位置和构造做法；构件代号一般应以构件名称的汉语拼音的第一个大写字母作为标志；如选用标准构件，其构件代号应与标准图一致，并注明标准图集的编号和页码。

(4) 基础平面图的内容和要求基本同楼盖平面图，尚应绘制基础剖面大样及注明基底标高，钢筋混凝土基础应画出模板图及配筋图。

(5) 梁、板、柱、剪力墙等构件施工详图应分类集中绘制，对各构件应把钢筋规格、

形状、位置、数量表示清楚，钢筋编号不能重复，用料规格应用文字说明，对标高尺寸应逐个构件标明，对预制构件应标明数量、所选用标准图集的编号；复杂外形的构件应绘出模板图，并标注预埋件、预留洞等；大样图可索引标准图集。

(6) 绘图的依据是计算结果和构造规定，同时应充分发挥设计者的创造性，力求简明清楚，图纸数量少；且不能与计算结果和构造规定相抵触。

## 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以及构件截面尺寸和材料性能等，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和变形，以便根据计算结果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，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是提高设计质量、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) (以下简称《规范》) 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作出了明确规定，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《建筑结构设计荷载规范》(GB 50009—2001) 及《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001) 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) 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。例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应能得到保证。

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一些近似简化和假定。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，若难以严格地满足，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：

- 线弹性分析方法；
- 考虑塑性内力重分布的分析方法；
- 塑性极限分析方法；
- 非线性分析方法；
- 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，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 分析模型

建筑结构的基本受力构件可分为梁、柱、支撑、墙、板等，可根据具体情况简化为一维单元（杆元、梁元）、二维单元（膜元、板元、壳元）或三维单元（实体单元）。进行建筑结构分析时，可假定楼板在其自身平面内为无限刚性，相应的设计应采取必要措施保证楼板平面内的整体刚度。当楼板或局部楼板产生较明显的面内变形时，应考虑楼板的内面变形进行结构分析，或对采用楼板面内无限刚性假定的分析结果进行适当调整。

梁、柱等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刚度时，可作为刚域插入计算图形。对于现浇楼面和现浇面层的装配整体式结构，可近似采用增加梁翼缘计算宽度的方式来考虑楼板作为翼缘对梁刚度和承载力的贡献。建筑结构楼面梁受扭计算中应考虑楼盖对梁的约束作用；当计算中未考虑楼盖对梁扭转的约束作用时，可对梁的计算扭矩乘以折减系数予以折减；梁扭矩折减系数应根据梁周围楼盖的情况确定，一般可取为 1.0~0.4。在对带地下室的建筑结构进行分析时，宜适当考虑回填土对结构水平位移的约束作用；当地下室结构的楼层侧向刚度不小于相邻上部结构楼层侧向刚度的 2 倍时，可将地下室顶板作为上部结构水平位移的嵌固部位；当地基-基础相互作用对结构的内力与变形有重要影响时，应考虑土的性能及其与结构相互作用的影响。



杆系结构中杆件的截面刚度，混凝土的弹性模量应按《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乘以某个大于1的系数来考虑；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（例如梁和柱）的截面刚度值分别予以折减。

结构分析中应合理考虑各类作用的特性。对建筑结构进行重力荷载效应分析时，若施工过程对结构受力影响较大，宜考虑施工过程的影响。当楼面活荷载较大时，应考虑楼面活荷载不利布置引起的梁、板弯矩和挠度的增大。对一般的房屋建筑混凝土结构进行风作用效应分析时，正反两个方向的风荷载可按两个方向的较大值采用；体型复杂的空旷、大跨或高层建筑，宜考虑正反两个方向风作用的不同影响。对于地震、人防等作用效应分析，应按有关标准、规范的具体规定考虑。

### 1.4.3 各种分析方法

#### 1. 线弹性分析方法 (linear elastic analysis method)

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形不同，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及变形的影响。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协同工作；杆件的轴向、剪切和扭转变形对结构内力及变形的影响不大时，可不予考虑；结构或杆件的变形对其内力及侧移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或板端，可取支座边缘处梁或板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、有限元分析或试验方法求解。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。