

土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列教材

# 混凝土结构 与砌体结构设计

程东辉 张力滨 主 编

熊慧中 李长凤 副主编  
张亮泉 徐 嫚



 科学出版社

土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列教材

# 混凝土结构与砌体结构设计

程东辉 张力滨 主 编

熊慧中 李长凤 副主编

张亮泉 徐 嫚

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书针对卓越工程师培养模式的特点,重点阐述现代混凝土结构设计方法及构造措施。本书共五章,主要包括混凝土结构一般设计方法、混凝土梁板结构设计、单层工业厂房结构设计、框架结构设计和砌体结构。

本书可作为高等院校土木工程专业及相关专业的教材,也可供工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构与砌体结构设计/程东辉,张力滨主编. —北京:科学出版社, 2015

(土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列教材)

ISBN 978-7-03-046474-3

I. ①混… II. ①程…②张 III. ①混凝土结构—结构设计—高等学校—教材②砌体结构—结构设计—高等学校—教材 IV. ①TU370.4②TU360.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第282656号

责任编辑:童安齐 王杰琼 / 责任校对:刘玉靖

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2015年12月第一版 开本:787×1092 1/16

2015年12月第一次印刷 印张:22 1/2

字数:510 000

定价:56.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换<京华虎彩>)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62130750

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

## 前 言

本书是土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列教材之一。本书根据全国高等学校土木工程专业指导委员会对土木工程专业的培养要求、混凝土结构设计课程教学大纲、砌体结构设计课程教学大纲，以及我国《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)和《砌体结构设计规范》(GB50003—2011)编写。

本书编写时力求紧密结合规范，语言通俗易懂，内容条理清晰、深入浅出、循序渐进、理论联系实际。

本书内容包括混凝土结构设计一般方法、混凝土梁板结构设计、单层工业厂房设计、框架结构设计和砌体结构设计等。为了便于教学和利于学生自学和自测，书中每章都附有本章提示、思考题与习题。

本书既可作为高等院校土木工程专业专业的专业课教材，又可作为从事土木工程设计、施工和监理的工程技术人员以及结构设计师注册考试人员的参考书。

本书由程东辉、张力滨担任主编，熊慧中、李长凤、张亮泉、徐嫚担任副主编。参加本书的编写人员有：程东辉、张力滨（第一章、第四章），李长凤（第二章），徐嫚（第三章），熊慧中、张亮泉（第五章）；研究生俞永志、张姝、董志鹏、王蕾、杨燕红等绘制本书插图并对习题进行计算整理。

对本书所引用参考文献的作者，以及所有给予本书支持、关心的人员，作者在此表示由衷的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2014年8月

# 目 录

## 前言

|                              |    |
|------------------------------|----|
| <b>第一章 混凝土结构一般设计方法</b> ..... | 1  |
| 1.1 混凝土结构的组成与分类.....         | 1  |
| 1.1.1 混凝土结构组成.....           | 1  |
| 1.1.2 混凝土结构分类.....           | 2  |
| 1.2 建筑结构设计的一般要求.....         | 3  |
| 1.2.1 设计原则.....              | 3  |
| 1.2.2 工程项目建设程序.....          | 3  |
| 1.2.3 结构设计流程.....            | 4  |
| 1.3 结构分析.....                | 5  |
| 1.3.1 基本原则.....              | 5  |
| 1.3.2 分析模型.....              | 6  |
| 1.3.3 分析方法.....              | 7  |
| 1.4 结构的荷载.....               | 10 |
| 1.4.1 荷载的分类.....             | 10 |
| 1.4.2 荷载代表值.....             | 11 |
| 1.4.3 荷载效应组合.....            | 13 |
| 1.5 计算机技术在结构分析中的应用.....      | 15 |
| 1.6 混凝土结构新技术发展趋势.....        | 21 |
| 1.6.1 材料.....                | 21 |
| 1.6.2 结构形式.....              | 24 |
| 1.6.3 计算理论.....              | 25 |
| 思考题.....                     | 27 |
| <b>第二章 混凝土梁板结构设计</b> .....   | 28 |
| 2.1 梁板结构形式.....              | 28 |
| 2.2 肋梁楼盖计算简图.....            | 29 |
| 2.2.1 单向板与双向板.....           | 29 |
| 2.2.2 梁板结构布置及基本尺寸的估算.....    | 30 |
| 2.2.3 结构计算简图.....            | 32 |
| 2.3 单向板结构的设计.....            | 37 |
| 2.3.1 按弹性理论设计.....           | 37 |

|            |                    |            |
|------------|--------------------|------------|
| 2.3.2      | 按弹塑性理论设计(连续梁内力重分布) | 39         |
| 2.3.3      | 设计要点和构造要求          | 47         |
| 2.3.4      | 单向板肋梁楼盖设计例题        | 53         |
| 2.4        | 整体式双向板设计           | 64         |
| 2.4.1      | 双向板受力特点            | 64         |
| 2.4.2      | 按弹性理论计算            | 65         |
| 2.4.3      | 塑性铰线分析法            | 66         |
| 2.4.4      | 带孔板的设计             | 71         |
| 2.4.5      | 双向板支撑梁的计算          | 74         |
| 2.4.6      | 设计要点和构造要求          | 74         |
| 2.5        | 井字楼盖和密肋楼盖          | 76         |
| 2.5.1      | 简述                 | 76         |
| 2.5.2      | 井式楼盖和密肋楼盖设计要点      | 78         |
| 2.6        | 无梁楼盖               | 79         |
| 2.6.1      | 简述                 | 79         |
| 2.6.2      | 无梁楼盖的受力分析及试验结果     | 79         |
| 2.6.3      | 无梁楼盖的内力分析          | 81         |
| 2.6.4      | 节点设计               | 83         |
| 2.6.5      | 无梁楼盖的构造要求          | 88         |
| 2.7        | 楼盖设计时常见问题及解决方法     | 89         |
| 2.8        | 楼梯和雨篷的设计           | 90         |
| 2.8.1      | 楼梯                 | 90         |
| 2.8.2      | 雨篷                 | 107        |
|            | 思考题                | 109        |
|            | 练习题                | 110        |
| <b>第三章</b> | <b>单层工业厂房结构设计</b>  | <b>112</b> |
| 3.1        | 单层厂房结构类型           | 112        |
| 3.2        | 单层厂房结构体系           | 114        |
| 3.2.1      | 结构体系的组成            | 114        |
| 3.2.2      | 荷载的传递              | 118        |
| 3.3        | 厂房结构布置             | 119        |
| 3.3.1      | 平面柱网布置             | 119        |
| 3.3.2      | 主要构件的定位            | 120        |
| 3.3.3      | 变形缝布置              | 123        |
| 3.3.4      | 厂房高度确定             | 124        |
| 3.3.5      | 支撑布置               | 126        |
| 3.3.6      | 围护结构的布置            | 129        |
| 3.4        | 单层排架内力计算           | 131        |

|            |                    |            |
|------------|--------------------|------------|
| 3.4.1      | 排架计算简图             | 132        |
| 3.4.2      | 荷载计算               | 133        |
| 3.5        | 剪力分配法计算等高排架内力      | 143        |
| 3.5.1      | 等高排架               | 143        |
| 3.5.2      | 剪力分配法基本原理          | 144        |
| 3.5.3      | 任意荷载作用下等高排架内力计算    | 146        |
| 3.5.4      | 用力法计算不等高排架         | 147        |
| 3.5.5      | 排架结构考虑整体空间作用的计算    | 150        |
| 3.6        | 排架结构的内力组合          | 153        |
| 3.6.1      | 需要进行内力组合的柱截面——控制截面 | 154        |
| 3.6.2      | 内力组合原则             | 154        |
| 3.6.3      | 内力组合项目             | 155        |
| 3.7        | 单层厂房排架柱的设计         | 156        |
| 3.7.1      | 柱截面尺寸的估算           | 157        |
| 3.7.2      | 矩形和工形截面柱的设计        | 158        |
| 3.7.3      | 牛腿设计               | 163        |
| 3.8        | 柱下独立基础的设计          | 168        |
| 3.8.1      | 柱下独立基础的设计          | 169        |
| 3.8.2      | 确定基础高度             | 171        |
| 3.8.3      | 基础底板配筋计算           | 174        |
| 3.9        | 单层厂房构件的选型          | 177        |
| 3.9.1      | 排架柱                | 177        |
| 3.9.2      | 屋架(屋面梁)、天窗架和托架     | 178        |
| 3.9.3      | 檩条                 | 181        |
| 3.9.4      | 屋面板                | 182        |
| 3.9.5      | 吊车梁                | 183        |
|            | 思考题                | 184        |
|            | 练习题                | 185        |
| <b>第四章</b> | <b>框架结构设计</b>      | <b>187</b> |
| 4.1        | 概述                 | 187        |
| 4.1.1      | 框架的受力变形特点          | 187        |
| 4.1.2      | 框架结构的分类            | 187        |
| 4.1.3      | 工厂化商品住宅发展技术要点      | 188        |
| 4.1.4      | 框架结构的布置            | 188        |
| 4.1.5      | 梁、柱截面尺寸估定及刚度取值     | 190        |
| 4.2        | 竖向荷载作用下的内力近似计算     | 194        |
| 4.3        | 水平荷载作用下的内力近似计算     | 195        |
| 4.3.1      | 反弯点法               | 195        |

|            |                  |            |
|------------|------------------|------------|
| 4.3.2      | D 值法 (修正的反弯点法)   | 198        |
| 4.4        | 水平荷载作用下侧移的近似计算   | 207        |
| 4.5        | 框架结构的内力组合        | 209        |
| 4.5.1      | 控制截面的选取          | 209        |
| 4.5.2      | 竖向活荷载的最不利布置      | 210        |
| 4.5.3      | 梁端弯矩的调整          | 213        |
| 4.6        | 框架梁的设计           | 214        |
| 4.6.1      | 框架梁的破坏形态         | 214        |
| 4.6.2      | 框架梁的承载力计算        | 215        |
| 4.6.3      | 框架梁的构造要求         | 217        |
| 4.7        | 框架柱设计            | 218        |
| 4.7.1      | 框架柱的破坏形态         | 218        |
| 4.7.2      | 影响框架柱延性的因素       | 218        |
| 4.7.3      | 框架柱的承载力计算        | 219        |
| 4.7.4      | 框架柱的构造要求         | 222        |
| 4.8        | 框架节点设计           | 225        |
|            | 思考题              | 229        |
|            | 练习题              | 229        |
| <b>第五章</b> | <b>砌体结构</b>      | <b>231</b> |
| 5.1        | 概述               | 231        |
| 5.1.1      | 砌体结构定义           | 231        |
| 5.1.2      | 砌体结构特色           | 232        |
| 5.1.3      | 砌体结构的发展历史        | 232        |
| 5.2        | 砌块与砂浆的种类         | 234        |
| 5.2.1      | 块体的种类            | 234        |
| 5.2.2      | 块体材料的强度等级        | 235        |
| 5.2.3      | 砂浆               | 235        |
| 5.2.4      | 块体和砂浆的选择         | 236        |
| 5.3        | 砌体的力学性能          | 237        |
| 5.3.1      | 砌体抗压强度           | 237        |
| 5.3.2      | 空心砌块砌体抗压强度       | 239        |
| 5.3.3      | 砌体轴心受拉、受弯、受剪破坏特征 | 240        |
| 5.3.4      | 砌体的变形性能和摩擦系数     | 242        |
| 5.4        | 砌体结构设计方法及强度设计值   | 244        |
| 5.4.1      | 砌体结构设计方法的表达式     | 244        |
| 5.4.2      | 砌体强度计算指标         | 245        |
| 5.5        | 无筋砌体结构构件承载力      | 246        |
| 5.5.1      | 构件受压承载力          | 247        |



|        |                             |     |
|--------|-----------------------------|-----|
| 5.5.2  | 无筋砌体局部受压承载力                 | 252 |
| 5.5.3  | 砌体轴心受拉、受弯、受剪构件承载力           | 260 |
| 5.6    | 配筋砌体结构构件承载力                 | 261 |
| 5.6.1  | 网状配筋砖砌体受压构件                 | 261 |
| 5.6.2  | 组合砖砌体构件                     | 264 |
| 5.7    | 砌体结构静力计算方案                  | 269 |
| 5.7.1  | 承重墙布置                       | 269 |
| 5.7.2  | 混合结构房屋的静力计算基本规定             | 271 |
| 5.7.3  | 墙、柱高厚比验算                    | 274 |
| 5.8    | 墙体的设计计算                     | 279 |
| 5.8.1  | 多层房屋刚性方案墙体设计计算              | 279 |
| 5.8.2  | 弹性房屋的墙体设计计算基本假定             | 285 |
| 5.8.3  | 考虑房屋的空间性能影响的刚弹性房屋墙体设计计算     | 285 |
| 5.9    | 过梁、墙梁、挑梁设计                  | 287 |
| 5.9.1  | 过梁的设计计算                     | 287 |
| 5.9.2  | 墙梁的设计计算                     | 291 |
| 5.9.3  | 砌体中钢筋混凝土挑梁设计                | 300 |
| 5.10   | 砌体结构墙体的构造措施                 | 305 |
| 5.10.1 | 防止因材料收缩和温度变化使墙体开裂而采取的构造措施   | 306 |
| 5.10.2 | 防止因地基发生过大不均匀沉降使墙体开裂而采取的构造措施 | 307 |
| 5.10.3 | 其他构造要求                      | 310 |
|        | 思考题                         | 312 |
|        | 练习题                         | 312 |
|        | 附表                          | 315 |
| 附表 1   | 楼面和屋面活荷载                    | 315 |
| 附表 2   | 风荷载特征值                      | 317 |
| 附表 3   | 混凝土和钢筋的强度标准值、设计值及弹性模量       | 318 |
| 附表 4   | 等截面等跨连续梁在常用荷载作用下的内力系数表      | 321 |
| 附表 5   | 双向板在均布荷载作用下的计算系数表           | 330 |
| 附表 6   | 吊车相关参数                      | 334 |
| 附表 7   | 轴心受压和偏心受压柱的计算长度             | 336 |
| 附表 8   | 钢筋混凝土结构伸缩缝最大间距              | 337 |
| 附表 9   | 砌体结构的有关规定                   | 337 |
| 附表 10  | 钢筋混凝土轴心受压构件的稳定系数            | 347 |
|        | 主要参考文献                      | 348 |

# 第一章 混凝土结构一般设计方法

## 本章提示

本章重点介绍了混凝土结构承重构件的组成和各承重构件的定义,构件间相互连接及荷载在其间的传递。阐述了结构设计的基本程序和基本原则,在此基础上介绍了混凝土结构的基本设计方法。

## 1.1 混凝土结构的组成与分类

### 1.1.1 混凝土结构组成

建筑结构(building structure)是建筑物的受力主体,是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(梁、板、柱、墙、杆、壳等)通过正确的连接,使其能承受并传递各种荷载作用,并能形成使用空间的受力骨架。以室外地面为界,分为上部结构和下部结构两部分,下部结构由地基和基础等组成,在专门的课程体系中介绍,这里不再赘述。

上部结构由水平结构体系和竖向结构体系组成。

水平结构体系指各层的楼盖及顶层的屋盖,水平结构体系在结构中的主要作用是承受竖向荷载并将其传递给竖向结构体系,同时在承受地震或风等产生的水平方向荷载时,能够将水平力分配给竖向结构体系。

水平结构体系在混凝土结构中通常由梁、板等构件组成。

梁一般是指承受垂直于其纵轴方向荷载的线型构件,一般情况下其截面尺寸小于其跨度。如果荷载重心作用于梁的纵轴平面内,则梁只承受弯矩和剪力,否则还承受扭矩。如果荷载所在平面与梁的纵向对称轴面斜交或正交,则梁便处于双向受弯、受剪状态,甚至还可能同时承受扭矩作用。我国规范中将跨高比  $l_0/h$  小于 5 的构件定义为深受弯构件,其中将  $l_0/h$  小于 2 的构件称为深梁。这也意味着在国内设计中,将跨高比  $l_0/h$  大于 5 的构件按普通梁考虑。由于荷载作用下深梁沿梁高方向已经不再符合平截面假定,深梁和普通梁的设计方法是不同的。

板是覆盖一个具有较大平面尺寸,但具有相对较小厚度的平面结构构件,通常水平设置,承受垂直于板面方向的荷载。

竖向结构体系主要是承受梁、板等水平构件传递过来的竖向荷载并将其传给下部结构,同时要承受地震、风等产生的水平荷载,因此通常也将竖向结构体系称为抗侧力结构体系。竖向结构体系通常由墙、柱等构件组成。

柱是承受平行于其纵轴方向荷载的线型构件,它的截面尺寸小于它的高度,一般以

受压和受弯为主，故柱也称为压弯构件。

墙是主要承受平行于墙面方向荷载的竖向构件。它在重力和竖向荷载作用下承受压力，有时也承受弯矩和剪力，如在风荷载和地震荷载等水平荷载作用下。

建筑结构就是由上述几种主要构件组成的。建筑结构的作用是能提供人们活动所需要的、功能良好和舒适美观的空间；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；同时能充分发挥所使用材料的效能。

### 1.1.2 混凝土结构分类

钢筋混凝土结构按受力的机理不同主要分为以下几种。

#### (1) 框架结构

框架是由横梁和立柱组成的能同时承受竖向荷载和水平荷载的结构部分。在一般建筑物中，框架的横梁和立柱都是刚性连接，他们间的夹角在受力前后是不变的；连接处的刚性节点与框架在承受竖向和水平荷载时协同受力，框架柱和梁既受轴力又承受弯矩和剪力作用。

#### (2) 剪力墙结构

剪力墙结构是利用建筑的内墙或外墙做成剪力墙以承受竖向和水平荷载的结构。剪力墙一般为钢筋混凝土墙，高度和宽度可与整栋建筑相同。因其主要承受水平荷载而受剪受弯，所以称为剪力墙，以便与一般承受竖向荷载墙体相区别。剪力墙的侧向刚度很大，变形小，既承重又围护。

#### (3) 框架-剪力墙结构

在框架结构中布置一定数量的剪力墙形成框架-剪力墙结构，这种结构空间布置灵活，满足不同建筑功能的要求，同时又具有足够的抗侧刚度。框架-剪力墙结构的受力是由框架和剪力墙两种不同的抗侧力结构组成的受力体系，所以结构中的框架不同于纯框架结构中的框架，剪力墙受力也有别于纯剪力墙结构中的剪力墙。

#### (4) 筒体结构

由密柱高梁空间框架或空间剪力墙所组成，在水平荷载作用下起整体空间作用的抗侧力构件称为筒体。由一个或数个筒体作为主要抗侧力构件而形成的结构成为筒体结构。它适用于平面或竖向布置繁杂、水平荷载大的高层建筑。

#### (5) 壳体结构

壳体是一种曲面形的构件，它与边缘构件（可由梁、拱或桁架等构成）组成的空间结构称为壳体结构。壳体结构具有很好的空间传力性能，能以较小的构件厚度覆盖大跨度空间。它可以做成各种形状，以适应多种工程造型的需要；无论做成什么形状，一般都能做到刚度大、承载力高、造型新颖，且可兼有承重和围护双重作用，能较大幅度的节省结构用材，因而广泛应用于结构工程中。壳体的曲面一般可由直线或曲线旋转或平移而成；它们在壳面荷载作用下主要的受力状态为双向受压，因而可以做得很薄，但其在与边缘构件连接处的附近除承受压力外还承受弯矩、剪力作用，因而局部需加厚。

## 1.2 建筑结构设计的一般要求

### 1.2.1 设计原则

建筑结构设计的一般原则是使建筑物能够满足“三性”，即安全性、适用性、耐久性，同时还要考虑建筑物的经济性。

由于建筑结构设计是一个系统和全面的工作，要求设计人员具有扎实的理论基础、丰富的专业知识、灵活的创新思维和认真负责的工作态度，密切配合其他专业，善于反思和总结。结构设计时应注意以下问题。

1) 现行的国建规范和标准是已有理论成果及经验的集成，是在工程设计过程中提出的平均或最低要求，设计人员在设计过程中要严格遵循其中的各项规定，但有时对于一些具体工程，或一些重要或重大工程，仅仅按满足规范的要求进行设计是不够的，这就要求设计人员在遵循规范的基础上，深刻理解规范中相关规定制定时的理论基础，在设计过程中灵活运用，做到严格遵守规范的精髓，又灵活掌握规范所规定的设计标准。

2) 结构的力学计算分析是结构设计的关键，分析时掌握力的平衡条件、几何变形条件和本构关系是确保结构分析计算正确的前提。计算机的发展和普及极大地提高了设计效率和计算精度，但不能忽略由此带来的负面影响，为此要理解设计软件的编制原理和使用范围，正确地输入设计参数，并对分析结果有正确的判断，而不能盲目迷信计算机分析软件。

3) 要重视结构的概念设计和构造要求，因为在结构设计时，各种作用、材料性能、施工的变异性以及其他不可预测的因素，会使计算结果与实际情况相差较大，甚至有些作用效应至今尚无法定量计算。因此，虽然设计计算是必需的，也是结构设计的重要依据，但仅仅依靠设计计算尚无法达到预期的设计目标，还必须重视结构概念设计和构造要求。从某种意义上讲，结构概念设计和构造要求有时甚至比设计计算更为重要。

4) 图纸是工程师的语言，结构设计成果一般通过结构施工图表达。设计图纸应能以最简洁的图纸充分表达设计意图，并能易于使施工人员理解和接受。

### 1.2.2 工程项目建设程序

工程项目 (engineering project) 建设程序是指工程项目从策划、评估、决策、勘察、设计、施工到竣工验收、投入生产或交付使用的整个建设过程中，各项工作必须遵循的先后工作次序，如图 1-1 所示。

工程建设通常包括工程勘察、工程设计、工程施工三个主要环节，应遵循先勘察后设计，先设计后施工的顺序。

工程勘察是进行工程设计的前提，掌握建设场地的地质、水文、气象等详细情况和有关数据，为设计提供可靠的依据。

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。

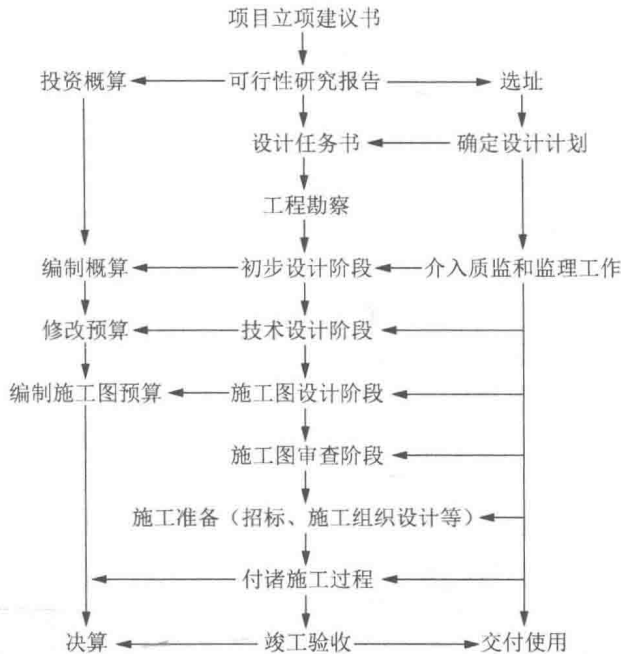


图 1-1 工程项目建设工作程序和内容

工程施工是依据前期设计人员所提供的施工图纸进行现场施工，将工程项目转化为实体结构并通过竣工验收。

### 1.2.3 结构设计流程

结构设计分为概念设计、初步设计和施工图设计，基本内容主要有结构方案、结构布置、结构分析与计算、荷载组合、构件及其连接构造的设计、绘制施工图。

1) 概念设计是根据建筑物所处的环境条件、使用要求和空间需求，确定合适的结构方案和结构布置，并选择合适的结构材料。对于一般工程，可根据本工程所处的环境与地质条件和材料供应及施工技术水平，参照以往既有同类结构设计经验进行结构方案设计。

2) 初步设计是根据概念设计提出的几种结构方案和主要荷载情况进行较为深入的分析，并对分析结构进行综合比较，比如可分别采用不同结构材料、不同结构体系、不同结构布置进行初步计算分析比较，并对有关问题进行专门分析和研究，在此基础上初步确定结构整体和各部分构件尺寸以及所采用的主要技术。

3) 分析和确定结构上可能承受的各种荷载与变形作用的形式和量值，并根据工程所处环境估计环境介质对结构耐久性的影响。

4) 确定结构分析计算简图，对各种荷载和变形作用进行结构分析计算，并考虑它们可能同时造成的影响的情况，获知结构整体受力性能以及各个部位的受力和变形大小。

5) 根据结构荷载效应组合结果，选取对配筋起控制作用的截面不利组合内力设计

值,按承载能力极限状态和正常使用极限状态分别进行截面的配筋计算和裂缝宽度、变形验算,计算结果尚应满足相应的构造要求,保证不同材料结构构件之间良好结合,选择可靠的连接方式以及保证可靠传力所采取可靠的措施等。

6) 最终设计结果以施工图形式提交,并将整个设计过程中的各项技术工作整理成设计计算书存档。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,即结构设计总说明、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、楼梯剖面图等。

② 结构设计总说明一般包括工程概况、设计保准、设计依据、图纸说明、建筑分类等级、荷载取值、设计计算程序、主要结构材料、基础及地下室工程、上部结构说明、检测(观测)要求、施工需要特别注意的问题等。

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定位轴线或柱网尺寸、孔洞及埋件的位置及尺寸;应准确标注梁、柱、剪力墙、楼梯等和纵横定位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方法;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,但不能与计算结果和构造规定相抵触。

## 1.3 结构分析

结构分析是指采用力学方法对结构在各种荷载作用下的内力、变形等作用效应进行计算。结构分析的目的是通过计算得到各构件控制截面的内力设计值。结构分析中的核心是建立合理的结构分析模型,即计算简图。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,是结构受力分析的基础。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。

### 1.3.1 基本原则

进行混凝土结构分析时,应遵守以下基本原则:

1) 混凝土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,应进行整体作用(荷载)效应分析,必要时还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)的

受力状况进行更详细的分析。

2) 结构在施工和使用期的不同阶段(如结构的施工期、检修期和使用期,预制构件的制作、运输和安装阶段等)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、飓风、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) 结构分析时,所采用的计算简图、几何尺寸、计算参数、边界条件、结构材料性能指标、构造措施等应符合实际工作状况。结构上可能的作用(荷载)及其组合、初始应力和变形状况等也应符合结构的实际工作状况。所采用的各种假定和简化应有理论、试验依据或经工程实践验证;计算结果的精度应符合工程设计的要求。计算结果应有相应的构造措施加以保证,如固定端和刚节点承受弯矩能力和对变形的限制、塑性铰充分转动的能力、适筋截面的配筋率或受压区相对高度的限值等。

4) 结构分析方法的建立都是基于力学平衡方程、变形协调(几何)条件和本构(物理)关系。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,包括节点和边界的约束条件等,若难以严格地满足,也应在不同程度上予以满足;材料或构件单元的受力-变形关系,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) 目前,结构设计中采用计算机分析日趋普遍,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,结构分析所采用的计算机软件应经考核和验证,其技术条件应符合现行国家规范和有关标准的要求;计算分析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。

### 1.3.2 分析模型

工程结构往往都是十分复杂的,一般都不可能完全按照实际状况进行结构分析,通常都是依据理论或试验分析进行必要的简化和近似假定。对于常用的梁、柱、杆等一维构件,宜取截面几何中心的轴线形成一根直线来代替实际构件,墙、板等二维构件宜取截面中心线组成的平面或曲面来代替实际构件。

构件间的连接,工程中常见的对于现浇结构和装配整体式结构的梁柱节点、柱与基础连接处可视作刚性连接;非整体浇筑的次梁两端及板跨两端可近似视作铰接。

梁、柱等杆件的计算跨度或计算高度可按其两端支撑长度的中心距或净距确定,并根据支撑节点的连接刚度或支撑反力的位置加以修正。

从严格意义上来说,结构整体分析模型一般都可以看作是三维空间结构,空间结构中可以根据结构布置和受力特征,将空间结构看作由一个个的平面结构组成,平面结构中的作用力只对本平面内的构件产生作用,而对其他平面的构件产生的作用没有显著影响,这样会使计算工作量大大简化。

需要指出的是,理想化的结构受力分析模型或多或少地与实际结构情况会存在差异,因此在结构设计和施工中应尽可能通过可靠的构造措施使结构的实际受力状态与结构分析模型相一致;另一方面也要考虑这种差异的趋势和影响程度,以便采取必要的措施进行处理。



平面框架结构分析模型见图 1-2。当对体型规则的空间结构沿不同方向分别进行分析后,尚应考虑平面结构的协同工作。

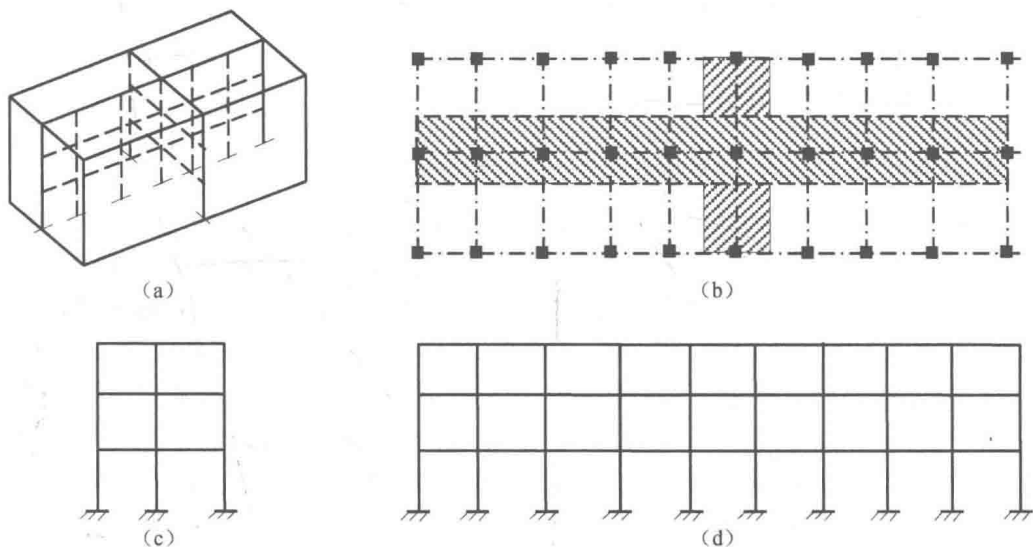


图 1-2 平面框架结构分析模型

### 1.3.3 分析方法

《混凝土结构设计规范》(GB50010—2010)中提出了下列 5 种分析方法。

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

线弹性分析方法假定结构材料为理想的弹塑性体,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,可用于混凝土结构的承载能力极限状态及正常使用极限状态作用效应的分析。按此设计的结构,其承载力一般偏于安全。

#### 2. 塑性内力重分布分析方法 (internal forces plastic redistribution analysis method)

超静定混凝土结构在出现塑性铰的情况下,使结构中的内力分布规律(弯矩图等)不同于按弹性分析方法计算所得的结果,在结构中引起内力重分布。可利用这一特点进行构件截面之间的内力调幅,充分发挥混凝土结构的潜力,以达到简化设计、节约配筋和方便施工的目的。

塑性内力重分布分析方法主要有极限平衡法、塑性铰法、变刚度法、弯矩调幅法以及弹塑性分析方法等。钢筋混凝土连续梁和连续单向板,可采用塑性内力重分布方法进行分析。重力荷载作用下的框架、框架-剪力墙结构中的现浇梁以及双向板等,经弹性分析求得内力后,可对支座或节点弯矩进行适当调幅,并确定相应的跨中弯矩。对属于协调扭转的混凝土构件,由于相邻构件的弯曲转动收到支承梁的约束,在支承梁内引起的扭转,其扭转会由于支承梁的开裂产生内力重分布而减小,支承梁的扭转宜考虑内力重分布的影响。



按考虑塑性内力重分布分析方法设计的结构和构件,由于塑性铰的出现,构件的变形和抗弯能力较小部位的裂缝宽度均较大,应进行构件变形和裂缝宽度验算,以满足正常使用极限状态的要求或采用有效的构造措施。同时,由于裂缝宽度较大等原因,对于直接承受动力荷载的结构,以及要求不出现裂缝或处于严重侵蚀环境等情况下的结构,不应采用考虑塑性内力重分布的分析方法。

### 3. 弹塑性分析方法 (elasto-plastic analysis method)

弹塑性分析方法是指考虑混凝土结构的受力特点,通过建立结构构件的平衡条件、变形协调条件和弹塑性本构关系,借助于计算分析软件,可较准确计算或详尽地描述结构从开始受力直至破坏全过程的内力、变形和塑性发展等。该方法可分为静力弹塑性分析和动力弹塑性分析两大类,是目前一种较为先进的结构分析方法,适用于任意形式和受力复杂的结构分析,特别是能较好地解决各种体型和受力复杂结构的分析问题,已在国内外一些重要结构的设计中采用。但由于这种分析方法比较复杂,计算工作量大,各种非线性本构关系尚不够完善和统一,且要有成熟、稳定的软件提供使用,至今其应用范围仍然有限,主要用于重要、复杂结构工程和罕遇地震作用下的结构分析。

弹塑性分析方法主要用于重要或受力复杂结构的整体或局部分析,可根据结构类型和复杂性、要求的计算精度等选择相应的计算方法。结构弹塑性分析时,应预先设定结构的形状、尺寸、边界条件、材料性能和配筋等,根据实际情况采用不同的离散尺度,确定相应的本构关系,如材料的应力-应变关系、弯矩-曲率关系、内力-变形关系等;钢筋和混凝土的材料特征值及本构关系宜根据试验分析确定,也可采用规范规定的材料强度平均值、本构模型或多轴强度准则;必要时还应考虑结构几何非线性的不利影响;当分析结果用于承载力设计时,宜考虑抗力模型不定性系数对结构的抗力进行适当调整。对某些变形较大的构件或节点区域等,钢筋与混凝土界面的粘结滑移对其分析结果有较大的影响,在对其进行局部精细分析时,宜考虑钢筋与混凝土间的粘结-滑移本构关系。

混凝土结构的弹塑性分析,可根据实际情况采用静力或动力分析方法。结构构件的计算模型、离散尺度应根据实际情况和计算精度的要求确定。梁、柱、杆等杆系构件,其一个方向的正应力明显大于另外两个正交方向的应力,则可简化为一维单元,且宜采用纤维束模型或塑性铰模型,采用杆系有限元方法求解。墙、板等构件,其两个方向的正应力均显著大于另一个方向的应力,则可简化为二维单元,且宜采用膜单元、板单元或壳单元,采用平面问题有限元方法求解。复杂的混凝土结构、大体积混凝土结构、结构的节点或局部区域等,其三个方向的正应力无显著差异,当对其需精细分析时,应按三维块体单元考虑,采用空间问题有限元方法求解。结构的弹塑性分析均须编制电算程序,利用计算机来完成大量繁琐的数值运算和求解。

### 4. 塑性极限分析方法 (plastic limit analysis method)

对于超静定结构,结构中的某一个截面(或某几个截面)达到屈服,整个结构可能并没有达到其最大承载能力,外荷载还可以继续增加,先达到屈服截面的塑性变形会随之不断增大,并且不断有其他界面陆续达到屈服。直至有足够数量的截面达到屈服,使