



21世纪全国本科院校土木建筑类**创新型**应用人才培养规划教材

混凝土结构设计原理

主 编 熊丹安 吴建林
副主编 白应华 汪 芳 赵 亮

赠送电子课件

- 按照2010版混凝土结构设计规范编写
- 突破传统计算表达式的表述方法
- 配有丰富的实例及习题



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材

混凝土结构设计原理

主 编 熊丹安 吴建林
副主编 白应华 汪 芳 赵 亮



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书为“混凝土结构”的设计原理部分,是依据最新《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)和相应规范、规程的内容编写,包括绪论、钢筋和混凝土的力学性能、轴心受力构件承载力、受弯构件承载力、偏心受力构件承载力、受扭构件承载力、正常使用极限状态和预应力混凝土结构构件。

本书适用于自 2011 年 7 月 1 日起实施的新规范,突破传统的计算表达式的表述方法,用尽量简洁的语言说明原理,用较多的实例示范,对设计计算方法以及施工图的绘制等都有深入浅出的论述,并以相应例题进行讲解。本书可作为普通高等院校土木工程专业专业的专业课教材,也可用作土木工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构设计原理/熊丹安,吴建林主编. —北京:北京大学出版社,2012.1

(21 世纪全国本科院校土木建筑类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-19706-6

I. ①混… II. ①熊… ②吴… III. ①混凝土结构—结构设计—高等学校—教材 IV. ①TU370.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 228809 号

书 名:混凝土结构设计原理

著作责任者:熊丹安 吴建林 主编

策划编辑:吴迪 卢东

责任编辑:伍大维

标准书号:ISBN 978-7-301-19706-6/TU·0191

出 版 者:北京大学出版社

地 址:北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址:<http://www.pup.cn> <http://www.pup6.cn>

电 话:邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱:pup_6@sohu.com pup_6@163.com

印 刷 者:北京大学印刷厂

发 行 者:北京大学出版社

经 销 者:新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 16 印张 372 千字

2012 年 1 月第 1 版 2012 年 1 月第 1 次印刷

定 价:32.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话:010-62752024

电子邮箱:fd@pup.pku.edu.cn

前 言

为适应高等教育事业的发展,反映我国混凝土结构理论和设计方法在土木工程领域的新进展,培养土木工程专业合格的高级工程技术人员和卓越的工程师,本书编者依据最新《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)和相关标准、规程,以及多年的教学实践和施工、设计方面的经验,按照教学大纲的要求,本着“讲清基本概念、讲透基本计算、教好基本构造、方便教学和自学”的原则,编写了《混凝土结构设计原理》。

本书具体讲述以下四方面的内容:①混凝土结构材料的力学性能及其选用原则;②基本混凝土构件如轴心受力构件、受弯构件、偏心受力构件、受扭构件的承载力计算和构造;③混凝土构件正常使用的裂缝宽度验算和受弯构件的挠度验算;④预应力混凝土结构构件的设计计算。本书与后续课程教材《混凝土结构设计》相衔接。

参加本书编写的人员有:熊丹安(第1章、第4章)、吴建林(第2章)、程志勇(第3章)、梅巧林(第5章)、赵亮(第6章)、汪芳(第7章)、白应华(第8章)。本书由熊丹安教授、吴建林副教授担任主编,白应华、汪芳、赵亮担任副主编。

在众多版本的《混凝土结构设计原理》教材中,本书的显著特点是:突破传统的计算表达式的表述方法,在受弯构件和偏心受力构件的正截面承载力计算中,以混凝土相对受压区高度 ξ 代替 x ,使计算公式和适用条件统一;直接求解 ξ 以简化计算过程,加快了计算速度,摒弃了传统的查表方法;用简化的流程图说明计算步骤;用尽量简洁的语言说明原理;用较多的实例示范;编制有可操作的课程设计任务书、指导书和计算书;将《混凝土结构设计规范》中的部分内容和说明用“*”号标记,用“★”作重点提示。总之,希望本书的出版能使读者受益。书中不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

2011年10月

目 录

第1章 绪论 1

1.1 一般概念 2

1.1.1 混凝土和钢筋 2

1.1.2 混凝土结构 2

1.1.3 混凝土结构的分类 3

1.1.4 混凝土结构构件的类型 5

1.1.5 钢筋混凝土结构构件的优点 6

1.1.6 混凝土结构设计内容 6

1.2 混凝土结构的发展简况 7

1.3 混凝土结构的设计原则和方法 7

1.3.1 设计使用年限和设计基准期 8

1.3.2 结构的功能要求 9

1.3.3 结构的可靠度 11

1.3.4 极限状态设计方法 13

1.4 本课程的特点和学习方法 17

1.5 本书的主要符号和计量单位 17

本章小结 18

思考题 18

第2章 钢筋和混凝土的力学性能 19

2.1 钢筋 20

2.1.1 钢筋的类型和品种 20

2.1.2 钢筋的强度和变形 21

2.1.3 钢筋的冷加工 24

2.1.4 钢筋的其他性能 25

2.1.5 钢筋的选用 25

2.2 混凝土 26

2.2.1 概述 26

2.2.2 混凝土的强度 27

2.2.3 复合应力状态下的混凝土强度 30

2.2.4 混凝土的变形 31

2.2.5 混凝土强度等级的选用原则 38

2.3 钢筋与混凝土的粘结 38

2.3.1 粘结的作用及产生的原因 38

2.3.2 粘结力的测定 40

2.3.3 保证钢筋和混凝土间可靠粘结的措施 40

本章小结 45

思考题 46

选择题 46

第3章 轴心受力构件承载力 48

3.1 概述 49

3.2 轴心受拉构件 49

3.2.1 轴心受拉构件的受力特点 49

3.2.2 轴心受拉构件承载力计算 51

3.2.3 构造要求 51

3.3 轴心受压构件 52

3.3.1 普通箍筋柱 53

3.3.2 配有螺旋箍筋的轴心受压构件 58

本章小结 61

思考题 61

习题 62

第4章 受弯构件承载力 63

4.1 受弯构件的一般构造规定 64

4.1.1 板的构造规定 64

4.1.2 梁的构造规定 66

4.2 受弯构件正截面性能试验研究	68
4.2.1 试件设计和加载程序	68
4.2.2 受力的3个阶段	68
4.2.3 梁的正截面破坏特征	70
4.3 受弯构件正截面承载力计算公式	71
4.3.1 计算基本假定	71
4.3.2 基本计算公式	72
4.3.3 公式的适用条件	73
4.4 按正截面受弯承载力的设计计算	74
4.4.1 单筋矩形截面	75
4.4.2 双筋矩形截面	79
4.4.3 T形截面	84
4.5 受弯构件剪弯段的受力特点	89
4.5.1 无腹筋梁	90
4.5.2 配有箍筋的梁	94
4.6 受弯构件受剪承载力计算公式	95
4.6.1 无腹筋梁的受剪承载力	95
4.6.2 有腹筋梁的斜截面受剪承载力	96
4.7 梁按斜截面受剪承载力的设计计算	97
4.7.1 计算公式的适用范围	97
4.7.2 计算位置	99
4.7.3 设计计算步骤	100
4.7.4 计算例题	101
4.8 纵向钢筋的弯起、锚固、截断及箍筋构造要求	104
4.8.1 正截面受弯承载力图(材料图)的概念	104
4.8.2 满足斜截面受弯承载力的纵向钢筋弯起位置	106
4.8.3 纵向受力钢筋的截断位置	108
4.8.4 纵向钢筋在支座处的锚固	108
4.8.5 弯起钢筋的锚固	111

4.8.6 箍筋的构造要求	111
4.8.7 梁腹部的构造钢筋	113
4.9 伸臂梁设计	113
4.9.1 设计条件	113
4.9.2 梁的内力计算和内力图	114
4.10 深受弯构件	120
4.10.1 正截面承载力计算	120
4.10.2 斜截面受剪承载力计算	122
4.10.3 附加吊筋	122
本章小结	123
思考题	124
习题	125
选择题	127

第5章 偏心受力构件承载力

5.1 偏心受压构件的构造要求	131
5.1.1 截面形式	131
5.1.2 纵向受力钢筋	131
5.1.3 箍筋	132
5.1.4 混凝土	132
5.2 偏心受压构件的受力性能	133
5.2.1 试验研究分析	133
5.2.2 大、小偏心受压的分界	135
5.2.3 纵向弯曲(挠曲)的影响	136
5.3 矩形截面偏心受压构件受压承载力计算	140
5.3.1 基本计算公式	140
5.3.2 垂直于弯矩作用平面的受压承载力验算	140
5.3.3 基本计算公式的应用	141
5.4 对称配筋I形截面受压承载力计算	154
5.4.1 偏心受压类型的判断	154
5.4.2 大偏心受压	154
5.4.3 小偏心受压	154

5.5 偏心受拉构件正截面承载力 计算	157	6.4.3 受扭计算的几点 补充	179
5.5.1 偏心受拉构件分类和破坏 特征	158	本章小结	180
5.5.2 偏心受拉构件正截面承 载力计算公式	159	思考题	181
5.6 偏心受力构件的斜截面受剪 承载力	161	习题	181
5.6.1 截面应符合的条件	161	选择题	182
5.6.2 斜截面受剪承载力计算 公式	161	第7章 正常使用极限状态	183
5.7 双向偏心受力构件正截面 承载力计算	163	7.1 裂缝宽度验算	184
5.7.1 双向偏心受压构件	163	7.1.1 裂缝的产生、分布和 开展	184
5.7.2 双向偏心受拉构件	164	7.1.2 裂缝宽度验算	185
本章小结	164	7.1.3 减小裂缝宽度的主要 措施	189
思考题	165	7.2 受弯构件的挠度验算	191
习题	166	7.2.1 裂缝出现后的受弯构件 刚度	191
选择题	167	7.2.2 长期刚度计算	193
第6章 受扭构件承载力	169	7.2.3 受弯构件的挠度验算	193
6.1 矩形截面纯扭构件承 载力	170	7.2.4 减小挠度的主要措施	194
6.1.1 纯扭构件的受力性能	170	本章小结	195
6.1.2 纯扭构件受扭承载力 计算	171	思考题	195
6.2 矩形截面剪扭构件承 载力	173	习题	196
6.2.1 受扭承载力降低 系数 β_t	173	选择题	196
6.2.2 剪扭构件的剪扭承 载力	174	第8章 预应力混凝土结构构件	197
6.3 矩形截面弯扭构件承 载力	175	8.1 预应力混凝土的一般 概念	198
6.3.1 弯扭构件的受力性能	175	8.1.1 预应力混凝土的受力 特征	198
6.3.2 弯扭构件的承载力 计算	176	8.1.2 预应力混凝土构件的 分类	199
6.4 受扭构件的计算和构造	176	8.1.3 预应力混凝土的发展 经过	199
6.4.1 受扭构件的计算内容和 步骤	176	8.1.4 预应力钢筋的制图 符号	200
6.4.2 主要构造规定	178	8.2 施加预应力的方法	201
		8.2.1 先张法	201
		8.2.2 后张法	201
		8.3 锚具和夹具	202
		8.4 预应力混凝土构件的材料	203

8.4.1 钢筋	203	8.7.3 正常使用极限状态 验算	223
8.4.2 混凝土	203	* 8.7.4 施工阶段验算	227
8.5 张拉控制应力及预应力 损失	203	8.7.5 预应力混凝土受弯构件 设计例题	228
8.5.1 张拉控制应力 σ_{con}	203	8.8 预应力混凝土构件的构造 规定	233
8.5.2 预应力损失值 σ_l 及其 组合	204	8.8.1 先张法构件	233
8.6 预应力混凝土轴心受拉 构件的计算	209	8.8.2 后张法构件	233
8.6.1 应力分析	209	本章小结	235
8.6.2 计算内容	212	思考题	236
8.6.3 设计计算例题	216	习题	236
8.7 预应力混凝土受弯构件	218	选择题	237
8.7.1 应力分析	219	附录	239
8.7.2 预应力混凝土受弯构件 承载力计算	222	参考文献	246

第1章

绪论

教学目标

本章主要讲述钢筋混凝土的一般概念和设计方法。通过本章的学习，应达到以下目标。

- (1) 掌握钢筋和混凝土的一般性能和它们共同工作的原因。
- (2) 熟悉钢筋混凝土结构构件的设计方法。
- (3) 理解本课程的特点和学习方法。

教学要求

知识要点	能力要求	相关知识
钢筋和混凝土的一般性能	(1) 理解钢筋和混凝土共同工作的原因，钢筋混凝土的优缺点 (2) 熟悉钢筋在混凝土中的布置方式 (3) 掌握学习要点	(1) 钢筋 (2) 混凝土 (3) 粘结力
规范的设计方法	(1) 理解安全等级、结构功能要求、结构可靠度、失效概率、可靠指标、混凝土结构的耐久性概念 (2) 熟悉承载能力极限状态表达式	(1) 荷载、作用、荷载效应 (2) 抗力 (3) 概率极限状态



基本概念

钢筋和混凝土的性能差异、共同工作原因；极限状态，概率极限状态设计法。



引言

混凝土是现代土木工程中最重要的材料之一，它与钢筋的有序结合赋予了混凝土结构的无限发展空间。作为本课程的开篇，本章将介绍混凝土结构构件的类型。钢筋和混凝土共同工作的原因，以及如何进行混凝土结构构件的设计等基本概念。

1.1 一般概念

1.1.1 混凝土和钢筋

混凝土(concrete)是由水泥、砂、石、水等原材料,按一定配合比经搅拌—成型—养护硬化等过程而形成的人工石材。文字“砼”对其作了形象的表达。

混凝土是一种非匀质、非连续、非弹性的材料,其抗压强度较高而抗拉强度很低(抗拉强度大致为相应抗压强度的 $1/10$),它的性能与石材类似,破坏呈脆性。不仅如此,由于混凝土中的水泥和水的化学-物理反应过程要经历很长的时间并受周围环境的影响,所以它的性能还与时间及环境因素(如温度、湿度等)有关。

钢筋(steel bar)则是较理想的匀质弹性材料。作为钢材的一种,钢筋的材质均匀,抗拉强度和抗压强度都很高。

显然,混凝土和钢筋是两种性质不同的材料,它们又都是土木工程中的重要建筑材料。

1.1.2 混凝土结构

由混凝土和钢筋通过一定方式生产制作形成的结构称为混凝土结构(concrete structure)。混凝土结构广泛用于房屋建筑工程、大跨度结构工程、桥梁工程、港口工程、大坝工程、地下工程等。

混凝土结构包括钢筋混凝土结构(reinforced concrete structure)、预应力混凝土结构(prestressed concrete structure)、素混凝土结构(plain concrete structure)3种。其中,素混凝土结构主要用于设备基础、道路路面、某些非承重结构和大体积的块体结构中,而一般的混凝土结构则由钢筋和混凝土组成。

既然混凝土和钢筋是两种性质完全不同的材料,为什么二者能结合在一起共同工作呢?其主要原因有3个:①混凝土结硬后,能与钢筋牢固地粘结在一起,相互传递应力,粘结力是这两种材料共同工作的基础;②钢筋和混凝土具有相近的线膨胀系数,因而在温度变化时,它们之间不会发生较大的相对变形,其粘结力不致因温度变化而破坏(钢筋的线膨胀系数为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,混凝土为 $1.0 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C} \sim 1.5 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$);③混凝土提供的碱性环境可以保护钢筋免遭锈蚀。钢筋在碱性环境下不会锈蚀,而水泥与水反应后生成的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 恰好提供了这种环境。

在钢筋混凝土结构构件中,混凝土主要承受压力,钢筋主要承受拉力(也可按需要承受构件受压区的部分压力),二者各自发挥其特长。预应力混凝土结构则是一种特殊的钢筋混凝土结构,其中的预应力钢筋在构件承受荷载之前被施加拉应力,该拉应力反作用于混凝土,使构件受拉区的混凝土受到预压,间接提高了混凝土的受拉性能。

那么,钢筋和混凝土是如何共同工作的呢?下面看一个简单的例子。

图 1.1 所示的简支梁,当其承受均布荷载 q 时,梁的弯矩图为一抛物线,沿梁跨长的

各个截面下部都受拉；跨中截面的弯矩最大，该截面的拉应力和压应力也最大。假若该梁是素混凝土（即不配钢筋）制作的，则在荷载不大的情况下，由于混凝土的抗拉强度很低，梁在跨中弯矩最大处截面的受拉区将首先开裂。而一旦开裂，则会导致裂缝处受力截面有效高度减小，裂缝迅速向受压区发展，梁很快破坏。破坏荷载与开裂荷载几乎相同，这种破坏是“一裂即坏”型的无警告破坏，称之为脆性破坏。而当在梁的受拉区下部配置适当的纵向钢筋①后，则在荷载作用下，由于钢筋和混凝土共同受力，虽然梁开裂时的荷载与素混凝土梁相差不多，但开裂后的拉力可由钢筋①承担，裂缝不会迅速发展，梁可以继续承受较大的荷载直至受拉区的钢筋屈服、受压区边缘混凝土被压坏，梁才会丧失承载能力，梁在破坏前有明显的预兆。

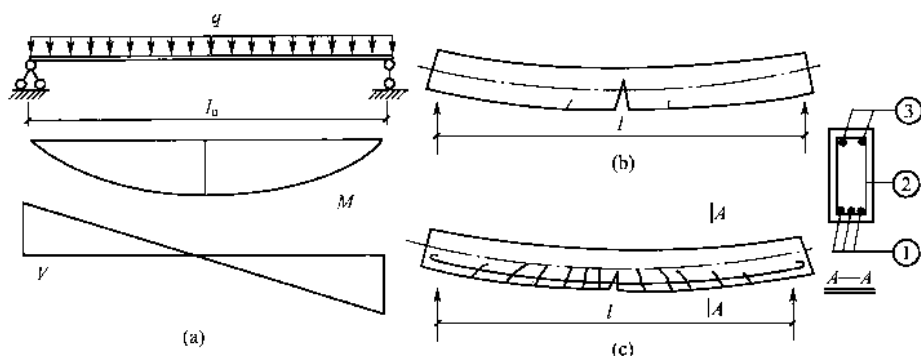


图 1.1 简支梁的受力

可见，适当配筋的钢筋混凝土梁，不仅使承受的荷载大大增加，而且受力性能也有显著改善。荷载在梁内产生的剪力则由配置在梁内的箍筋②和混凝土共同承担。同时，钢筋①、②通过配置在梁顶部的纵向构造钢筋③（称为架立钢筋）相互绑扎形成钢筋骨架，便于钢筋的固定和混凝土的浇灌。显然，钢筋①、②、③在梁内是有序配置的。

1.1.3 混凝土结构的分类

根据结构构件的几何形状和受力特点，以及结构所在的空间位置、结构层数和高度等，混凝土结构可以有不同的分类方法。

1. 按结构构件的几何形状分类

按照结构构件的几何形状和受力特征，混凝土结构可以分为杆系结构、板壳结构、拱结构、块体结构等。

1) 杆系结构

这类结构中的结构构件都是细长的直杆，如连续梁、钢筋混凝土或预应力混凝土屋架、框架结构、排架结构等，杆系结构是建筑工程中应用最广泛的结构形式。

2) 板壳结构

当结构构件两个方向的尺寸远大于第三个方向的尺寸时，其平者称为板，曲面形状者称为壳，这样的结构称为板壳结构。板以受弯为主，房屋建筑中的楼面板和屋面板大多是平板；壳则以受压为主，是一种空间受力的结构，公共建筑中的大跨度混凝土屋盖可以做

成壳体。

3) 拱结构

拱是以承受轴向压力为主的结构。由于拱体各截面上的内力大致相等,因而拱结构是一种有效的大跨度结构,在桥梁和房屋中都有广泛的应用。拱结构的轴线常采用抛物线形状(当拱的矢高 f 不大于拱的 $1/4$ 跨度时,也可用圆弧代替)。拱的矢高 f 一般为 $(1/2 \sim 1/8)l_0$;矢高小的拱,水平推力大,拱体受力也大;矢高大的则相反。合理选择矢高是设计中应充分考虑的问题。拱体截面一般为矩形截面或T形截面等实体截面;当截面高度较大时(如大于 1.5m),可做成格构式、折板式或波形截面。

4) 块体结构

3个方向的尺寸为同量级的结构,称为块体结构。属于块体结构的有柱下独立基础和设备基础、桥台和桥墩等。图1.2为块体结构示意图。

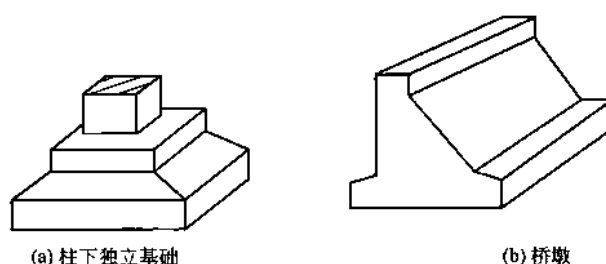


图 1.2 块体结构

2. 按结构的层数和高度分类

混凝土结构按层数和高度的不同,可分为单层、多层和高层结构。

1) 单层混凝土结构

单层混凝土结构包括混凝土排架结构、混凝土刚架结构以及拱结构等,主要用于单层工业厂房、仓库及站台等建筑。排架结构是《混凝土结构设计》要讲述的基本结构之一,用于有较大起重设备的工业厂房。

刚架是一种梁柱合一的结构,混凝土刚架结构常作为中小型单层厂房的主体结构。有三铰、两铰及无铰等几种形式,以三铰刚架应用较多。可以做成单跨或多跨。

2) 多层混凝土结构

常用于多层轻工业厂房及多层民用房屋,主要有框架结构及框架-剪力墙结构。框架结构也是《混凝土结构设计》要讲述的基本结构之一。而框架-剪力墙结构则是在框架结构的适当部位设置成片的钢筋混凝土墙体,以提高框架结构抵抗水平作用的能力。

3) 高层混凝土结构

《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2002)规定:大于等于10层或高度大于等于 28m 的房屋结构称为高层结构。高度大于等于 100m 的建筑则称为超高层建筑。其结构形式除框架结构、框架-剪力墙结构外,还有剪力墙结构、筒体结构等。

(1) 剪力墙结构。钢筋混凝土剪力墙是指以承受水平荷载为主要目的(同时也承受相应范围内的竖向荷载)而在房屋结构中设置的成片钢筋混凝土墙,其长度可与房屋的总宽度相同,其高度可为房屋的总高,其厚度最薄时可到 140mm 。《混凝土结构设计规范》(以

下简称《规范》)规定:当钢筋混凝土墙的长度大于其厚度的4倍时,应按钢筋混凝土剪力墙要求进行设计(未超过时则按钢筋混凝土柱设计)。当纵横交叉的房屋墙体都由剪力墙组成时,形成剪力墙结构。剪力墙结构可用于40层以下的高层旅馆、住宅等房屋。

(2) 筒体结构。将房屋的剪力墙集中到房屋的外部或内部,组成一个竖向悬臂的封闭式箱体时,可大大增强房屋的整体空间受力性能和抵抗侧移的能力,这种封闭的箱体称为筒体。筒体和框架结合可形成框筒结构,内筒和外筒结合则形成筒中筒结构,等等。筒体结构一般用于30层以上的超高层房屋(图1.3)。

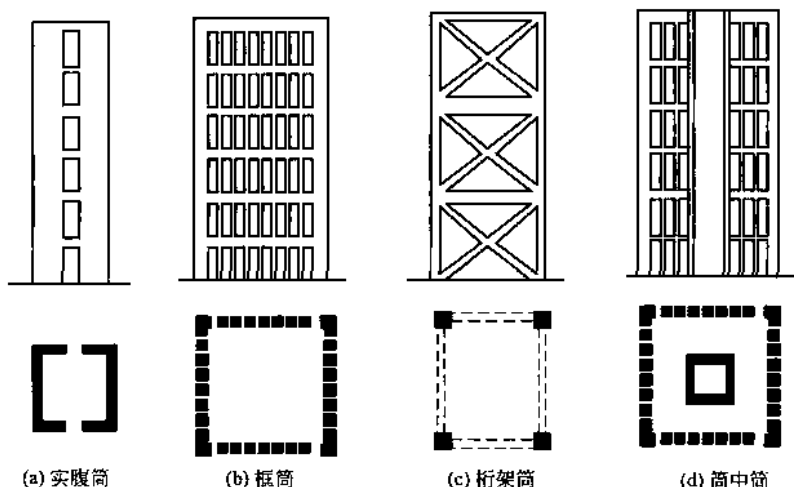


图 1.3 筒体结构

此外,按照施工工艺的不同,可分为在现场原位支模并整体浇筑而成的现浇混凝土结构(cast-in-situ concrete structure)、由预制混凝土构件或部件装配而形成的装配式混凝土结构(prefabricated concrete structure),以及由预制混凝土构件或部件通过钢筋锚固、连接或施加预应力等加以连接并现场浇筑混凝土而形成整体的装配整体式混凝土结构(assembled monolithic concrete structure)。

1.1.4 混凝土结构构件的类型

结构由构件组成。钢筋与混凝土的有序结合形成的钢筋混凝土结构构件(以下简称为混凝土结构构件),按其受力状态的不同可以分为受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭构件等。其中,受弯构件和受压构件是最基本的受力构件。

1. 受弯构件

主要构件形式为钢筋混凝土梁和钢筋混凝土板,在外荷载作用下承受弯矩 M 和剪力 V 。

2. 受压构件

主要构件形式为钢筋混凝土柱和钢筋混凝土墙。仅承受轴心压力 N 的构件称为轴心受压构件;不仅承受压力,同时还承受弯矩和剪力的构件称偏心受压构件。

3. 受拉构件

承受拉力 N 或拉力与弯矩共同作用的构件，如屋架的受拉腹杆和弦杆、水池的池壁等。

4. 受扭构件

承受扭矩 T 与弯矩、剪力等共同作用的构件，如雨篷梁、平面曲梁、螺旋楼梯等。

1.1.5 钢筋混凝土结构构件的优缺点

除了能合理利用钢筋和混凝土两种材料的性能外，钢筋混凝土结构构件还具有如下优点：①整体性好。尤其是现浇的钢筋混凝土结构，构件的连接通过钢筋的贯通和锚固、混凝土浇筑成整体，其整体性能好，有利于承受各种作用，尤其是偶然作用（如地震、冲击波）的影响，钢筋混凝土结构广泛用作抗震结构。②可模性好。混凝土在浇筑时是半流动状态，现浇钢筋的加工也比较容易，因而可按使用需要制作成各种形状和尺寸的结构。此外，根据建筑物的结构选型，可以设计成各种形式的受力结构，即具有设计的自由性。③就地取材。混凝土的主要原材料是砂、石骨料，易于就地取材；而且还可利用工业废料如粉煤灰、矿渣、煤研石等作骨料，变废为宝。④耐久性好。如前所述，混凝土可以保护钢筋免遭锈蚀，同时混凝土结构受风雨寒暑的影响小，因而钢筋混凝土结构的耐久性好，不需要像钢结构那样经常性维护。采用特种混凝土还可使钢筋混凝土结构在恶劣环境（如侵蚀性介质环境和海水环境中等）下正常受力。⑤耐火性好。钢筋和混凝土都是不燃材料，但在高温受热时强度会显著降低。然而，混凝土的热传导系数很小，适当的混凝土保护层可使钢材不致在火灾发生时很快达到软化的危险温度而导致结构整体破坏。与钢结构或木结构相比，钢筋混凝土结构有很好的耐火性。⑥节省钢材。由于钢筋混凝土结构合理地利用了材料性能，在某些情况下可以代替钢结构，从而节省钢材，降低造价。

钢筋混凝土结构构件也存在着如下缺点：①自重较大。由于混凝土的强度较低，因此钢筋混凝土结构构件往往需要较大的截面尺寸，而钢筋混凝土材料的自重标准值达 $24 \sim 25 \text{ kN/m}^3$ ，因此钢筋混凝土结构显得较为笨重。②易出现裂缝。由于混凝土的抗拉强度低，以及结构混凝土的收缩受到约束等原因，钢筋混凝土结构很难避免裂缝的发生。③施工烦琐。钢筋混凝土结构的施工，包括钢筋加工、形成钢筋骨架；模板的制作、加工；混凝土的浇筑、养护、拆模等工序，施工烦琐；施工质量的监督、检查等也非易事。④工期较长。施工烦琐加之混凝土达到规定的强度需要一定的时间，因此施工周期较长。同时，施工还受季节的影响。

1.1.6 混凝土结构设计内容

作为土木工程的建筑物，总体上可分为建筑、结构、设备三大部分。建筑和设备主要满足人们对使用功能的要求，结构则是保证建筑物安全性、适用性、耐久性的物质基础。混凝土结构设计包括下列内容：①结构方案设计，包括结构选型、构件布置及传力途径；②作用及作用效应分析；③结构的极限状态设计，进行构件的截面配筋计算及正常使用验算；④结构及构件的构造、连接措施；⑤耐久性及施工的要求；⑥满足特殊要求结构的专

门性能设计。本书主要对第③项即构件截面配筋计算及正常使用验算的原理和方法进行介绍,其余部分将在《混凝土结构设计》中进行阐述。

1.2 混凝土结构的发展简况

自从1824年Aspdin(英国人)发明水泥,才开始了混凝土应用的历史;1850年,Lambol(法国人)用铁丝网和水泥砂浆制造小船;1868年,曾经采用混凝土制作花盆的Monier(法国人)发明了混凝土板并获得专利权。随着对钢筋混凝土性能认识的深入,钢筋混凝土梁、板的制作工艺和计算方法的发表,配置纵向钢筋和箍筋的配筋方法的形成(1892年),水灰比对混凝土强度影响的正确认识(1918年),所有这些,都为现代的钢筋混凝土结构的发展奠定了基础。由于早期的混凝土强度和钢材的强度都比较低,混凝土结构主要用于中小型楼板、跨度不大的梁、拱及基础等。从20世纪初到40年代,随着混凝土强度和钢材强度的提高,混凝土结构已被用于大跨度及空间结构,预应力混凝土也已开始应用。现在,随着高强度混凝土和高强度钢筋的生产、泵送商品混凝土以及各种新的施工技术的推广应用,混凝土结构已广泛用于超高层建筑、大跨度桥梁、高速铁路、跨海隧道、地铁工程等。

目前,混凝土结构广泛用于:①房屋建筑工程,如多层住宅、办公楼、商店、医院、教学楼等民用建筑;单层和多层工业厂房;高层和超高层建筑。②大跨度建筑及桥梁工程,如预应力混凝土屋架、薄腹大梁、折板、拱、薄壳等;桥梁工程中有相当部分由混凝土结构建造。③特种结构与高耸结构,如贮仓、贮水池、电线杆、上下水管道、电视塔等(如加拿大的多伦多电视塔采用钢筋混凝土结构,高达549m)。④水利、电力工程、地铁、核电站的安全壳、机场跑道等。

随着国民经济的发展,混凝土结构学科也进入了一个全新的领域。在材料方面,混凝土向轻质、高强、耐久方向发展,《规范》规定的混凝土强度最高等级已达C80,钢筋则向高强度并有较好延性和高粘结锚固性能方向发展,预应力构件中的高强钢丝、钢绞线强度已达 1860N/mm^2 ;结构方面,预应力技术、钢和混凝土组合结构、钢管混凝土柱、外包钢混凝土柱、劲性钢筋混凝土结构等如百花争艳;而混凝土结构的施工技术进步对保证新材料的应用和新结构的实施起着关键作用。

1.3 混凝土结构的设计原则和方法

钢筋混凝土结构的早期设计理论,是基于弹性理论的容许应力设计理论。由于混凝土不是匀质弹性材料,并且容许应力的取值也带有很大的不确定性,这种设计方法大都偏于保守,但有时也不安全。随着对混凝土结构及构件的受力性能研究的深入,该法在绝大多数国家已不再采用。

20世纪40年代,前苏联开始采用按破损阶段的设计方法。这种方法考虑到了混凝土和钢筋实际受力时的塑性性能,使得设计更符合钢筋混凝土结构的工作情况,比容许应力设计方法前进了一大步,但在安全系数的取值上仍带有经验性。

20 世纪 50 年代,基于对材料和荷载的统计分析研究,前苏联又首先将按破损阶段的设计方法发展为按极限状态的设计方法。指出结构的极限状态是一种特定状态,超过这一状态时,结构构件即丧失承载能力或不能正常使用。这种按极限状态的设计方法要比按破损阶段的设计方法更合理,因此到 20 世纪 70 年代,为多数国家所接受。这种方法考虑到荷载及材料强度的变异性并由统计规律确定,而对一些非统计因素则仍需根据以往经验确定,因而这种设计方法是一种半经验、半概率的极限状态设计法。我国《钢筋混凝土结构设计规范》(GBJ 21—1966)、《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10—1974)都采用了这种极限状态设计方法。

随着结构设计理论的发展、结构可靠度理论的提出,以概率理论为基础的极限状态设计法应运而生。这种设计方法是在对材料、荷载等的变异性进行大量调查、统计和分析的基础上,运用概率方法,以失效概率和与之相联系的可靠度指标来衡量结构的可靠性,因而更为科学和合理。我国《混凝土结构设计规范》(GBJ 10—1989)和经过修订的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)都采用这种设计方法。

近几年来,随着高强度混凝土的应用、高强度钢材的生产以及“节能、减排、降耗、环保”的要求,对建筑结构抵御各种自然灾害的要求的提高,混凝土结构学科的研究取得的新进展,在《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)的基础上,新修订的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)应运而生。

新修订的规范主要有如下变动:①材料方面,将混凝土强度最低等级提高为 C20,引入了强度级别为 500MPa 级的热轧带肋钢筋,预应力钢筋则以钢绞线和高强钢丝作为主导钢筋;②对承载力极限状态计算方法、正常使用极限状态验算方法进行了改进;③将设计内容由以构件设计为主适当扩展到整体结构设计、结构抗倒塌设计和既有结构设计;④完善了耐久性设计方法;⑤对各类构件的构造措施进行了修订、补充和完善。

本书依据《混凝土结构设计规范(Code for design of concrete structures)》(GB 50010—2010)和相关知识,使土木工程专业的学生学会规范的运用和混凝土结构构件和基本结构的设计(规范的实施日期从 2011 年 7 月 1 日开始)。

★最新颁布的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,以可靠指标度量结构构件的可靠度,采用分项系数的设计表达式进行设计。在本门课程学习前,下面对已学习的《荷载与结构设计方法》要点予以回顾,以便于本课程的学习和节省篇幅。

1.3.1 设计使用年限和设计基准期

1. 设计使用年限

设计使用年限(design working life)是设计规定的一个时期。在这一规定时期内,房屋建筑在正常设计、正常施工、正常使用和正常维护下,不需要进行大修就能按其预定目的使用。

★★设计应明确结构的用途,在设计使用年限内未经技术鉴定或设计许可,不得改变结构的用途和使用环境。

结构的设计使用年限按表 1-1 确定。

表 1-1 设计使用年限分类

类别	1	2	3	4
设计使用年限/年	5	25	50	100
示例	临时性结构	易于替换的结构构件	普通房屋和构筑物	纪念性建筑和特别重要的建筑结构

2. 设计基准期

设计基准期(design reference period)是指在对荷载进行统计、以及对与时间有关的材料性能取值所选定的一个时间段。我国所采用的设计基准期为 50 年。

1.3.2 结构的功能要求

结构在规定的设计使用年限内,应满足安全性、适用性、耐久性等各项功能要求。

1. 安全性要求

结构的安全性要求是指:①在正常施工和正常使用时,能承受可能出现的各种作用;②在设计规定的偶然事件发生时及发生后,仍能保持必需的整体稳定性。所谓整体稳定性,是指在偶然事件发生时和发生后,建筑结构仅产生局部的损坏而不致发生连续倒塌。

2. 适用性要求

结构在正常使用时具有良好的工作性能。如受弯构件在正常使用时不出现过大的挠度等。

3. 耐久性要求

结构在正常维护下具有足够的耐久性能。从工程概念上讲,就是指在正常维护条件(不需花费过高的维修费用)下,在预定的设计使用年限内,在预定的工作环境(建筑物所处的环境)中,结构能够正常使用。混凝土结构的耐久性设计包括下列内容:①确定结构所处的环境类别;②提出对混凝土材料的耐久性基本要求;③确定构件中钢筋的混凝土保护层厚度;④不同环境条件下的耐久性技术措施;⑤提出结构使用阶段的检测与维护要求。

1) 混凝土结构的环境类别

混凝土结构的环境类别分为 5 类,详见表 1-2。

表 1-2 混凝土结构耐久性设计的环境类别

环境类别	条 件
一	室内干燥环境;无侵蚀性静水浸没环境
二 a	室内潮湿环境;非严寒和非寒冷地区的露天环境; 非严寒和非寒冷地区与无侵蚀性的水或土壤直接接触的环境; 严寒和寒冷地区的冰冻线以下与无侵蚀性的水或土壤直接接触的环境
二 b	干湿交替环境;水位频繁变动区环境;严寒和寒冷地区的露天环境; 严寒和寒冷地区冰冻线以上与无侵蚀性的水或土壤直接接触的环境