



面向 21 世纪课程教材

Textbook Series for 21st Century

高校土木工程学科  
专业指导委员会规划推荐教材

# 混凝土结构

上册

## 混凝土结构设计原理

东南大学 天津大学 同济大学 合编  
清华大学 主审



中国建筑工业出版社

CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

面向 21 世纪 课程 教材

高校土木工程学科专业指导委员会规划推荐教材

# 混凝土结构

上册 混凝土结构设计原理

东南大学 程文瀾  
天津大学 康谷贻 主编  
同济大学 颜德姮  
清华大学 江见鲸 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. 上册, 混凝土结构设计原理/程文瀾等主编.

—北京: 中国建筑工业出版社, 2001. 6

面向 21 世纪课程教材. 高校土木工程学科专业指导委员会规划推荐教材

ISBN 7-112-04659-9

I. 混… II. 程… III. 混凝土结构—结构设计—理论  
—高等学校—教材 N. TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 22800 号

本教材分上、下两册。上册混凝土结构设计原理, 主要讲述基本理论和基本构件。下册混凝土结构设计, 主要讲述楼盖、单层厂房、多层框架、高层建筑、公路桥梁等的设计方法。

上册共分 11 章, 主要结合新修订的《混凝土结构设计规范》报批稿编写。内容有: 绪论, 混凝土结构材料的物理、力学性能, 按概率理论的极限状态设计法, 受弯构件正截面受弯承载力、斜截面承载力, 受压构件截面承载力, 受拉构件截面承载力, 受扭构件的扭曲截面承载力, 钢筋混凝土构件的变形、裂缝及混凝土结构的耐久性, 预应力混凝土构件, 以及混凝土结构按我国《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》的设计原理等。

本教材可作为大学本科土木工程专业的专业基础课教材, 也可供从事混凝土结构设计、制作、施工技术人员参考。

### 面向 21 世纪课程教材

高校土木工程学科专业指导委员会规划推荐教材

混凝土结构  
上册, 混凝土结构设计原理  
东南大学 程文瀾  
天津大学 康谷贻 主编  
同济大学 颜德姮  
清华大学 江见鲸 王甯

\*  
中国建筑工业出版社 出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京市彩桥印刷厂印刷

\*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 28 1/4 字数: 575 千字

2001 年 6 月第一版 2001 年 12 月第二次印刷

印数: 5,001—9,000 册 定价: 39.00 元

ISBN 7-112-04659-9

TU·4114 (10124)

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

本教材是教育部、建设部共同确定的“九五”国家级重点教材，也是我国土木工程专业指导委员会推荐的面向 21 世纪的教材。

本教材是根据全国高校土木工程学科专业指导委员会审定通过的教学大纲编写的，分上、下册，上册为《混凝土结构设计原理》，属专业基础课教材，主要讲述基本理论和基本构件；下册为《混凝土结构设计》，属专业课教材，主要讲述楼盖、单层厂房、多层框架、高层建筑、公路桥梁的设计。

《混凝土结构设计原理》共有 11 章，包括绪论、计算方法、材性、弯、剪、扭、压、拉、预应力等基本构件。其中，第 2 章至第 10 章主要是结合新修订的《混凝土结构设计规范》(GB50010—2001) 报批稿编写的，第 11 章是在此基础上，再结合《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ023—85) 编写的。初步实践表明，这种两段式的编写方法能体现先进性和现实性，也符合认识规律，便于教学。

编写本教材时，注意了以教学为主，少而精；突出重点、讲清难点，在讲述基本原理和概念的基础上，结合规范和工程实际；注意与其他课程和教材的衔接与综合应用；体现国内外先进的科学技术成果；有一定数量的例题，每章都有思考题，除第 1 章外，每章都有习题。

本教材的编写人员都具有丰富的教学经验，上册主编：程文瀟、康谷贻、颜德姮；下册主编：程文瀟、颜德姮、康谷贻。参加编写的有：王铁成（第 1、2、3 章）、陈云霞（第 1、2 章）、杨建江（第 4、8 章）、顾蕙若（第 5 章）、李砚波（第 6、7 章）、康谷贻（第 6、7、8 章）、蒋永生（第 9 章）、高莲娣（第 10 章）、颜德姮（第 10 章）、叶见曙（第 11、16 章）、程文瀟（第 11、13 章）、邱洪兴（第 12 章）、曹双寅（第 13 章）、张建荣（第 14、15 章）、陆莲娣（第 16 章）、朱征平（第 16 章）。全书主审：江见鲸。

原三校合编，清华大学主审，中国建筑工业出版社出版的高等学校推荐教材《混凝土结构》(建筑工程专业用)，1995 年荣获建设部教材一等奖。本教材是在此基础上全面改编而成的，其中，第 11 章是按东南大学叶见曙教授主编的高等学校教材《结构设计原理》中的部分内容改编的。

本教材已有近 30 年的历史，在历届专业指导委员会的指导下，四校的领导和教师紧密合作，投入很多精力进行了三次编写。在此，特向陈肇元、沈祖炎、江见鲸、蒋永生等教授及资深前辈：吉金标、蒋大骅、丁大均、滕智明、车宏亚、屠成松、范家骥、袁必果、童启明、黄兴棣、赖国麟、储彭年、曹祖同、于庆荣、姚崇德、张仁爱、戴自强等教授，向中国建筑科学研究院白生翔教授、清华大学叶列平教授，向给予帮助和支持的兄弟院校，向中国建筑工业出版社的领导及有关编辑等表示深深的敬意和感谢。

限于水平，本教材中有不妥之处，请批评指正。

编 者

2000 年 10 月

•



面向 21 世纪课程教材



普通高等教育“九五”

国家教委重点教材

# 目 录

第 1 章 绪论	1
§ 1.1 混凝土结构的一般概念	1
§ 1.2 混凝土结构的发展与应用概况	3
§ 1.3 学习本课程要注意的问题	4
思考题	5
第 2 章 混凝土结构材料的物理力学性能	6
§ 2.1 混凝土的物理力学性能	6
§ 2.2 钢筋的物理力学性能	21
§ 2.3 混凝土与钢筋的粘结	27
思考题	32
第 3 章 接近似概率理论的极限状态设计法	33
§ 3.1 极限状态	33
§ 3.2 接近似概率的极限状态设计法	36
§ 3.3 实用设计表达式	39
思考题	47
第 4 章 受弯构件的正截面受弯承载力	49
§ 4.1 梁、板的一般构造	49
§ 4.2 受弯构件正截面受弯的受力全过程	53
§ 4.3 正截面受弯承载力计算原理	61
§ 4.4 单筋矩形截面受弯构件正截面受弯承载力计算	67
§ 4.5 双筋矩形截面受弯构件正截面受弯承载力计算	73
§ 4.6 T 形截面受弯构件正截面受弯承载力计算	79
思考题	85
习题	86
第 5 章 受弯构件的斜截面承载力	87
§ 5.1 概述	87
§ 5.2 斜裂缝、剪跨比及斜截面受剪破坏形态	88
§ 5.3 简支梁斜截面受剪机理	92
§ 5.4 斜截面受剪承载力计算公式	95
§ 5.5 斜截面受剪承载力的设计计算	101
§ 5.6 保证斜截面受弯承载力的构造措施	110

§ 5.7 其他构造要求 .....	119
思考题 .....	121
习题 .....	122
<b>第 6 章 受压构件的截面承载力</b> .....	<b>125</b>
§ 6.1 受压构件一般构造要求 .....	125
§ 6.2 轴心受压构件正截面受压承载力 .....	127
§ 6.3 偏心受压构件正截面受压破坏形态 .....	136
§ 6.4 偏心受压长柱的二阶弯矩 .....	140
§ 6.5 矩形截面偏心受压构件正截面受压承载力基本计算公式 .....	145
§ 6.6 不对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面受压承载力 计算方法 .....	149
§ 6.7 对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面受压承载力 计算方法 .....	160
§ 6.8 对称配筋 I 形截面偏心受压构件正截面受压承载力计算 .....	164
§ 6.9 正截面承载力 $N_0$ - $M_0$ 的相关曲线及其应用 .....	170
§ 6.10 双向偏心受压构件的正截面承载力计算 .....	173
§ 6.11 偏心受压构件斜截面受剪承载力计算 .....	177
思考题 .....	178
习题 .....	179
<b>第 7 章 受拉构件的截面承载力</b> .....	<b>180</b>
§ 7.1 轴心受拉构件正截面受拉承载力计算 .....	180
§ 7.2 偏心受拉构件正截面受拉承载力计算 .....	180
§ 7.3 偏心受拉构件斜截面受剪承载力计算 .....	183
思考题 .....	184
习题 .....	184
<b>第 8 章 受扭构件的扭曲截面承载力</b> .....	<b>185</b>
§ 8.1 概述 .....	185
§ 8.2 纯扭构件的试验研究 .....	186
§ 8.3 纯扭构件的扭曲截面承载力 .....	188
§ 8.4 弯剪扭构件的扭曲截面承载力 .....	197
§ 8.5 在轴向压力、弯矩、剪力和扭矩共同作用下钢筋混凝土矩形 截面框架柱受扭承载力计算 .....	202
§ 8.6 对属于协调扭转的钢筋混凝土构件扭曲截面承载力 .....	202
§ 8.7 构造要求 .....	203
思考题 .....	207
习题 .....	208



<b>第9章 钢筋混凝土构件的变形、裂缝及混凝土结构的耐久性</b> .....	209
§ 9.1 钢筋混凝土受弯构件的挠度验算 .....	209
§ 9.2 钢筋混凝土构件裂缝宽度验算 .....	222
§ 9.3 混凝土构件的截面延性 .....	231
§ 9.4 混凝土结构的耐久性 .....	234
思考题.....	240
习题.....	241
<b>第10章 预应力混凝土构件</b> .....	242
§ 10.1 概述 .....	242
§ 10.2 预应力混凝土轴心受拉构件的计算 .....	265
§ 10.3 预应力混凝土受弯构件的计算 .....	281
§ 10.4 预应力混凝土构件的构造要求 .....	300
§ 10.5 部分预应力混凝土与无粘结预应力混凝土 .....	304
思考题 .....	306
习题 .....	307
<b>第11章 混凝土结构按《公路桥规》的设计原理</b> .....	309
§ 11.1 半概率极限状态设计法及其在《公路桥规》中的应用 .....	309
§ 11.2 《公路桥规》中的主要术语和符号 .....	313
§ 11.3 受弯构件正截面与斜截面强度的计算 .....	314
§ 11.4 受扭构件强度计算 .....	349
§ 11.5 受压构件强度计算 .....	357
§ 11.6 钢筋混凝土受弯构件的应力、裂缝和变形验算 .....	377
§ 11.7 公路桥预应力混凝土受弯构件的设计与计算 .....	388
思考题 .....	425
习题 .....	426
<b>附录1 术语及符号</b> .....	429
附 1.1 《混凝土结构设计规范》(GB50010—2001) 的术语 .....	429
附 1.2 《混凝土结构设计规范》(GB50010—2001) 的符号 .....	430
附 1.3 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ023—85) 的符号 .....	433
<b>附录2 《混凝土结构设计规范》(GB50010—2001) 规定的材料     力学指标</b> .....	438
附表 2-1 混凝土强度标准值 ( $N/mm^2$ ) .....	438
附表 2-2 混凝土强度设计值 ( $N/mm^2$ ) .....	438
附表 2-3 混凝土弹性模量 $E_c$ ( $\times 10^4 N/mm^2$ ) .....	438
附表 2-4 不同 $\rho_c'$ 值时混凝土的疲劳强度修正系数 $\gamma_p$ .....	438

附表 2-5	混凝土疲劳变形模量 ( $\times 10^4 \text{N/mm}^2$ )	439
附表 2-6	普通钢筋强度标准值 ( $\text{N/mm}^2$ )	439
附表 2-7	普通钢筋强度设计值 ( $\text{N/mm}^2$ )	439
附表 2-8	预应力钢筋强度标准值 ( $\text{N/mm}^2$ )	439
附表 2-9	预应力钢筋强度设计值 ( $\text{N/mm}^2$ )	440
附表 2-10	钢筋弹性模量 $E_s$ ( $\text{N/mm}^2$ )	440
附表 2-11	钢筋混凝土结构中钢筋疲劳应力幅限值 ( $\text{N/mm}^2$ )	440
附表 2-12	预应力钢筋疲劳应力幅限值 ( $\text{N/mm}^2$ )	441
<b>附录 3</b>	<b>《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ023—85)</b>	
	规定的材料力学指标	442
附表 3-1	混凝土的强度设计值和强度标准值 ( $\text{N/mm}^2$ )	442
附表 3-2	混凝土的弹性模量 ( $\times 10^3 \text{N/mm}^2$ )	442
附表 3-3	热轧钢筋的强度设计值和强度标准值 ( $\text{N/mm}^2$ )	442
附表 3-4	热轧钢筋的弹性模量 ( $\times 10^3 \text{N/mm}^2$ )	443
附表 3-5	预应力筋强度设计值和强度标准值 ( $\text{N/mm}^2$ )	443
附表 3-6	预应力钢筋弹性模量 ( $\text{N/mm}^2$ )	443
<b>附录 4</b>	<b>钢筋的计算截面面积及公称质量</b>	444
附表 4-1	钢筋的计算截面面积及公称质量表	444
附表 4-2	钢绞线的公称直径、截面面积及理论质量	444
附表 4-3	钢丝公称直径、截面面积及理论质量	445
<b>附录 5</b>	<b>《混凝土结构设计规范》(GB50010—2001) 的有关规定</b>	446
附表 5-1	受弯构件的允许挠度	446
附表 5-2	混凝土结构的使用环境类别	446
附表 5-3	结构构件的裂缝控制等级和最大裂缝宽度限值 $w_{\text{lim}}$ (mm)	446
附表 5-4	纵向受力钢筋的混凝土保护层最小厚度 (mm)	447
附表 5-5	截面抵抗矩塑性影响系数基本值 $\gamma_m$	448
<b>参考文献</b>		449

# 第1章 绪 论

## § 1.1 混凝土结构的一般概念

### 1.1.1 混凝土结构的定义与分类

以混凝土为主要材料制成的结构称为混凝土结构，包括钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和素混凝土结构等。配置受力的普通钢筋、钢筋网或钢骨架的混凝土制成的结构称为钢筋混凝土结构；配置预应力钢筋，再经过张拉或其他方法建立预加应力的混凝土制成的结构称为预应力混凝土结构；无钢筋或不配置受力钢筋的混凝土制成的结构称为素混凝土结构。混凝土结构广泛应用于工业与民用建筑、桥梁、隧道、矿井以及水利、海港等工程中。本教材上册着重讲述钢筋混凝土结构的设计原理，在第10章和第11章中将讲述预应力混凝土构件和混凝土结构按《公路桥规》的设计原理。

### 1.1.2 配筋的作用与要求

钢筋混凝土是由钢筋和混凝土两种不同的材料组成的。在钢筋混凝土结构中，利用混凝土的抗压能力较强而抗拉能力很弱，钢筋的抗拉能力很强的特点，用混凝土主要承受压力，钢筋主要承受拉力，二者共同工作，以满足工程结构的使用要求。

图1-1(a)，(b)分别表示素混凝土简支梁和钢筋混凝土简支梁的受力和破坏形态。在图1-1(a)所示的外加集中力和梁的自身重力作用下，梁截面的上部受压，下部受拉。对素混凝土梁，由于混凝土的抗拉性能很差，在荷载作用下，梁的跨中附近截面边缘的混凝土一开裂，梁就突然断裂，破坏前变形很小，没有预兆，属于脆性破坏类型。为了改变这种情况，在受拉一侧区域内配置适量的钢筋构成钢筋混凝土梁，见图1-1(b)。钢筋主要承受梁中和轴以下受拉区的拉力，混凝土主要承受中和轴以上受压区的压力。由于钢筋的抗拉能力和混凝土的抗压能力都很大，即使受拉区的混凝土开裂后梁还能继续承受相当大的荷载，直到受拉钢筋达到屈服强度，以后，荷载再略有增加，受压区混凝土被压碎，梁才破坏。破坏前，变形较大，有明显预兆，属于延性破坏类型。可见，与素混凝土梁相比，钢筋混凝土梁的承载能力和变形能力都有很大提高，并且钢筋与混凝土两种材料的强度都能得到较充分的利用。

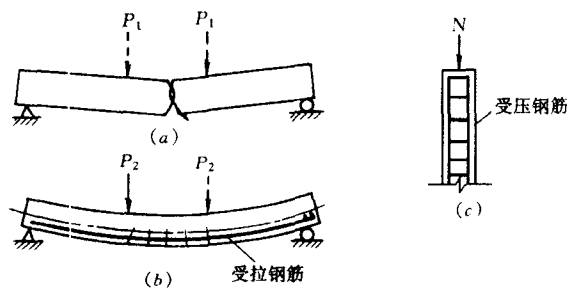


图 1-1 简支梁受力破坏示意图

如图 1-1 (c) 所示, 在轴心受压的柱子中通常也配置抗压强度较高的钢筋协助混凝土承受压力, 以提高柱子的承载能力和变形能力。由于钢筋的抗压强度比混凝土的高, 所以柱子的截面尺寸可以小些。另外, 配置了钢筋还能改善受压构件破坏时的脆性, 并可以承受偶然因素产生的拉力。

为了使钢筋和混凝土能够协同工作, 需要混凝土硬化后与钢筋之间有良好的粘结力, 从而可靠地结合在一起, 共同变形、共同受力。由于钢筋和混凝土两种材料的温度线膨胀系数十分接近 [钢  $1.2 \times 10^{-5} / \text{C}$ ; 混凝土  $(1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}) / \text{C}$ ], 当温度变化时钢筋与混凝土之间不会产生由温度引起的较大的相对变形造成的粘结破坏。

在设计和施工中, 钢筋的端部要留有一定的锚固长度, 有的还要做弯钩, 以保证可靠地锚固, 防止钢筋受力后被拔出或产生较大的滑移; 钢筋的布置和数量应由计算和构造要求确定。

### 1.1.3 钢筋混凝土结构的优缺点

钢筋混凝土结构的主要优点:

**取材容易:** 混凝土所用的砂、石一般易于就地取材。另外, 还可有效利用矿渣、粉煤灰等工业废料。

**合理用材:** 钢筋混凝土结构合理地发挥了钢筋和混凝土两种材料的性能, 与钢结构相比, 可以降低造价。

**耐久性:** 密实的混凝土有较高的强度, 同时由于钢筋被混凝土包裹, 不易锈蚀, 维修费用也很少, 所以钢筋混凝土结构的耐久性比较好。

**耐火性:** 混凝土包裹在钢筋外面, 火灾时钢筋不会很快达到软化温度而导致结构整体破坏。与裸露的木结构、钢结构相比耐火性要好。

**可模性:** 根据需要, 可以较容易地浇筑成各种形状和尺寸的钢筋混凝土结构。

**整体性:** 整浇或装配整体式钢筋混凝土结构有很好的整体性, 有利于抗震、抵抗振动和爆炸冲击波。

钢筋混凝土结构也存在一些缺点，主要是：自身重力较大，这对大跨度结构、高层建筑结构以及抗震不利，也给运输和施工吊装带来困难。还有，钢筋混凝土结构抗裂性较差，受拉和受弯等构件在正常使用时往往带裂缝工作，对一些不允许出现裂缝或对裂缝宽度有严格限制的结构，要满足这些要求就需要提高工程造价。此外，钢筋混凝土结构的隔热隔声性能也较差。针对这些缺点，可采用轻质高强混凝土及预应力混凝土以减轻自重，改善钢筋混凝土结构的抗裂性能。

## § 1.2 混凝土结构的发展与应用概况

混凝土结构使用至今已约有 150 年的历史。与钢、木和砌体结构相比，由于它在物理力学性能及材料来源等方面有许多优点，所以其发展速度很快，应用也最广泛。

随着高强度钢筋、高强度高性能混凝土（强度达到  $100\text{N/mm}^2$ ）以及高性能外加剂和混合材料的研制使用，高强高性能混凝土的应用范围不断扩大，钢纤维混凝土和聚合物混凝土的研究和应用有了很大发展。还有，轻质混凝土、加气混凝土、陶粒混凝土以及利用工业废渣的“绿色混凝土”，不但改善了混凝土的性能，而且对节能和保护环境具有重要的意义。此外，防射线、耐磨、耐腐蚀、防渗透、保温等特殊需要的混凝土以及智能型混凝土及其结构也正在研究中。

混凝土结构的应用范围也在不断地扩大，已从工业与民用建筑、交通设施、水利水电建筑和基础工程扩大到了近海工程、海底建筑、地下建筑、核电站安全壳等领域，甚至已开始构思和实验用于月面建筑。随着轻质高强材料的使用，在大跨度、高层建筑中的混凝土结构越来越多。

我国是使用混凝土结构最多的国家，在高层建筑和多层框架中大多采用混凝土结构。在民用建筑中已较广泛地采用定型化、标准化的装配式钢筋混凝土构件。已建成的 94 层的上海金茂大厦，高 460m，是我国目前最高的高层建筑。电视塔、水塔、水池、冷却塔、烟囱、贮罐、筒仓等特殊构筑物也普遍采用了钢筋混凝土和预应力混凝土，上海电视塔高 460m，其高度为亚洲第一。此外，在大跨度的公共建筑和工业建筑中，钢筋混凝土桁架、门式刚架、拱、薄壳等结构形式也有广泛应用。在国外，朝鲜平壤 105 层的柳京饭店高达 319.8m，加拿大多伦多的预应力混凝土电视塔高达 549m，是有代表性的钢筋混凝土高层建筑物和预应力混凝土构筑物。

在铁路、公路、城市的立交桥、高架桥、地铁隧道，以及水利港口等交通工程中用钢筋混凝土建造的水闸、水电站、船坞和码头已是星罗棋布。正在兴建的长江三峡水利枢纽工程，大坝高 186m，坝体混凝土用量达  $1527\text{万 m}^3$ ，是世界上最大的水力工程。随着改革开放的深入，我国混凝土结构的应用将更加广泛，更加丰富多彩。

近年来,我国在混凝土基本理论与设计方法、结构可靠度与荷载分析、工业化建筑体系、结构抗震与有限元方法、电子计算机在混凝土结构中的应用,以及现代化测试技术等方面的研究也取得了很多新的成果,某些方面已达到或接近国际水平。钢筋混凝土结构的设计和研究向更完善更科学的方向发展。先进的现代测试技术保证了实验研究更精确、更系统。基于可靠度理论的分析方法也在逐步完善,并开始用于结构整体和使用全过程的分析。与此同时,电子计算机的普及和多功能化,CAD等软件系统的开发,缩短了建筑结构设计的时间和工作量,提高了经济效益。

此外,在混凝土结构设计理论和设计方法方面通过大量研究,取得了很大成绩。新颁布的《混凝土结构设计规范》(GB50010)积累了半个世纪以来丰富的工程实践经验和最新的科研成果,把我国混凝土结构设计方法提高到了当前的国际水平,它将在工程设计中发挥指导作用。

### § 1.3 学习本课程要注意的问题

混凝土结构课程通常按内容的性质可分为“钢筋混凝土基本构件”和“混凝土结构设计”两部分。前者主要讲述混凝土构件的受力性能、设计计算方法和构造等混凝土结构的基本理论,属于专业基础课内容。后者主要讲述梁板结构、单层厂房、多层和高层房屋、公路桥梁等的结构设计,属于专业课内容。通过本课程的学习,并通过课程设计和毕业设计等实践性教学环节,使学生初步具有运用这些理论知识正确进行混凝土结构设计和解决实际技术问题的能力。

学习本课程时,建议注意下面一些问题。

#### 1. 加强实验、实践性教学环节并注意扩大知识面

混凝土结构的基本理论相当于钢筋混凝土及预应力混凝土的材料力学,它是实验为基础的,因此除课堂学习以外,还要加强实验的教学环节,以进一步理解学习内容和训练实验的基本技能。当有条件时,可进行简支梁正截面受弯承载力、简支梁斜截面受剪承载力、偏心受压短柱正截面受压承载力的实验。

混凝土结构课程的实践性很强,因此要加强课程作业、课程设计和毕业设计等实践性教学环节的学习,并在学习过程中逐步熟悉和正确运用我国颁布的一些设计规范和设计规程。诸如,《混凝土结构设计规范》(GB50010)、《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009)、《建筑抗震设计规范》(GB50011)、《钢筋混凝土高层建筑结构设计与施工规程》(JGJ3—91)和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ023—85)等。以下简称《混凝土结构设计规范》(GB50010)为《混凝土设计规范》,《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ023—85)为《公路桥规》。

混凝土结构是一门发展很快的学科,学习时要多注意它的新动向和新成就,以

扩大知识面。

### 2. 突出重点, 并注意难点的学习

本课程的内容多、符号多、计算公式多、构造规定也多, 学习时要遵循教学大纲的要求, 贯彻“少而精”的原则, 突出重点内容的学习。例如, 第4章是上册中的重点内容, 把它学好了, 就为后面各章的学习打下了好的基础。对学习中的难点要找出它的根源, 以利于化解。例如, 上册第5章中的抵抗弯矩图常是难点, 如果知道了画抵抗弯矩图的目的在于弯起、截断梁内纵向受力钢筋, 难点也就基本上化解了。

### 3. 深刻理解重要的概念, 熟练掌握设计计算的基本功, 且忌死记硬背

教学大纲中对要求深刻理解的一些重要概念作了具体的规定。注意, 深刻理解往往不是一步到位的, 而是随着学习内容的展开和深入, 逐步加深的。例如, 学习上册中的第9章和下册中的第12章后就要回过头来, 加深对适筋梁正截面受弯三个受力阶段的理解。

要求熟练掌握的设计计算内容也在教学大纲中有明确的规定, 它们是本课程的基本功。熟练掌握是指正确、快捷。为此, 本教材各章后面给出的习题是要求认真完成的。应该是先复习教学内容, 搞懂例题后再做习题, 且忌边做题边看例题。习题的正确答案往往不是唯一的, 这也是本课程与一般的数学、力学课程所不同的。

对构造规定, 也要着眼于理解, 且忌死记硬背。事实上, 不理解的东西也是难以记住的。当然, 对常识性的构造规定是应该知道的。

## 思考题

- 1.1 混凝土梁破坏时有哪些特点? 钢筋和混凝土是如何共同工作的?
- 1.2 钢筋混凝土有哪些优点和缺点?
- 1.3 本课程主要包括哪些内容? 学习本课程要注意哪些问题?

# 第 2 章 混凝土结构材料的物理力学性能

钢筋与混凝土的物理力学性能以及共同工作的特性直接影响混凝土结构和构件的性能，也是混凝土结构计算理论和设计方法的基础。本章讲述钢筋与混凝土的主要物理力学性能以及混凝土与钢筋的粘结。

## § 2.1 混凝土的物理力学性能

### 2.1.1 混凝土的组成结构

普通混凝土是由水泥、砂、石材料用水拌合硬化后形成的人工石材，是多相复合材料。混凝土组成结构是一个广泛的综合概念，包括从组成混凝土组分的原子、分子结构到混凝土宏观结构在内的不同层次的材料结构。通常把混凝土的结构分为三种基本类型：微观结构即水泥石结构；亚微观结构即混凝土中的水泥砂浆结构；宏观结构即砂浆和粗骨料两组分体系。

微观结构（水泥石结构）由水泥凝胶、晶体骨架、未水化完的水泥颗粒和凝胶孔组成，其物理力学性能取决于水泥的化学矿物成分、粉磨细度、水灰比和凝结硬化条件等。混凝土的宏观结构与亚微观结构有许多共同点，可以把水泥砂浆看作基相，粗骨料分布在砂浆中，砂浆与粗骨料的界面是结合的薄弱面。骨料的分布以及骨料与基相之间在界面的结合强度也是重要的影响因素。

浇注混凝土时的泌水作用会引起沉缩，硬化过程中由于水泥浆水化造成的化学收缩和干缩受到骨料的限制，会在不同层次的界面引起结合破坏，形成随机分布的界面裂缝。

混凝土中的砂、石、水泥胶体中的晶体、未水化的水泥颗粒组成了错综复杂的弹性骨架，主要承受外力，并使混凝土具有弹性变形的特点。而水泥胶体中的凝胶、孔隙和界面初始微裂缝等，在外力作用下使混凝土产生塑性变形。另一方面，混凝土中的孔隙、界面微裂缝等缺陷又往往是混凝土受力破坏的起源。在荷载作用下，微裂缝的扩展对混凝土的力学性能有着极为重要的影响。由于水泥胶体的硬化过程需要多年才能完成，所以混凝土的强度和变形也随时间逐渐增长。

### 2.1.2 单轴向应力状态下的混凝土强度

虽然实际工程中的混凝土构件和结构一般处于复合应力状态，但是单向受力



状态下混凝土的强度是复合应力状态下强度的基础和重要参数。

混凝土的强度与水泥强度等级、水灰比有很大关系，骨料的性质、混凝土的级配、混凝土成型方法、硬化时的环境条件及混凝土的龄期等也不同程度地影响混凝土的强度。试件的大小和形状、试验方法和加载速率也影响混凝土的强度，因此各国对各种单向受力下的混凝土强度都规定了统一的标准试验方法。

### 1. 混凝土的抗压强度

#### (1) 混凝土的立方体抗压强度和强度等级

立方体试件的强度比较稳定，所以我国把立方体强度值作为混凝土强度的基本指标，并把立方体抗压强度作为评定混凝土强度等级的标准。我国国家标准《普通混凝土力学性能试验方法》(GBJ81—85)规定以边长为150mm的立方体为标准试件，标准立方体试件在 $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ 的温度和相对湿度90%以上的潮湿空气中养护28d，按照标准试验方法测得的抗压强度作为混凝土的立方体抗压强度，单位为 $\text{N}/\text{mm}^2$ 。

《混凝土结构设计规范》规定混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值确定，用符号 $f_{\text{cu,k}}$ 表示。即用上述标准试验方法测得的具有95%保证率的立方体抗压强度作为混凝土的强度等级。《混凝土设计规范》规定的混凝土强度等级有C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75和C80，共14个等级。例如，C30表示立方体抗压强度标准值为 $30\text{N}/\text{mm}^2$ 。其中，C50~C80属高强度混凝土范畴。

《混凝土设计规范》规定，钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不应低于C15；当采用HRB335级钢筋时，混凝土强度等级不宜低于C20；当采用HRB400和RRB400级钢筋以及承受重复荷载的构件，混凝土强度等级不得低于C20。预应力混凝土结构的混凝土强度等级不应低于C30；当采用钢绞线、钢丝、热处理钢筋作预应力钢筋时，混凝土强度等级不宜低于C40。

试验方法对混凝土的立方体抗压强度有较大影响。试件在试验机上单向受压时，竖向缩短，横向扩张，由于混凝土与压力机垫板弹性模量与横向变形系数不同，压力机垫板的横向变形明显小于混凝土的横向变形，所以垫板通过接触面上的摩擦力约束混凝土试块的横向变形，就象在试件上下端各加了一个套箍，致使混凝土破坏时形成两个对顶的角锥形破坏面，抗压强度比没有约束的情况要高。如果在试件上下表面涂一些润滑剂，这时试件与压力机垫板间的摩擦力大大减小，其横向变形几乎不受约束，受压时没有“套箍”作用的影响，试件将沿着平行于力的作用方向产生几条裂缝而破坏，测得的抗压强度就低。图2-1(a)，(b)是两种混凝土立

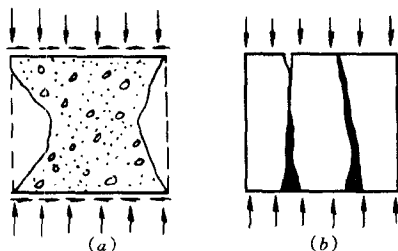


图 2-1 混凝土立方体试块的破坏情况  
(a) 不涂润滑剂；(b) 涂润滑剂