

土木工程

专业专升本系列教材

混凝土与砌体结构

(第二版)

本系列教材编委会 组织编写

王毅红 叶燕华 主编

HUANNINGTU YU QITIJIEGOU

中国建筑工业出版社

土木工程专业专升本系列教材

混凝土与砌体结构（第二版）

本系列教材编委会 组织编写

王毅红 叶燕华 主编

王天贤 韩丽婷 副主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土与砌体结构/王毅红等主编. —2 版. —北京:
中国建筑工业出版社, 2012. 3
土木工程专业专升本系列教材
ISBN 978-7-112-14133-3

I. ①混… II. ①王… III. ①混凝土结构②砌体
结构 IV. ①TU37②TU36

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 042096 号

本教材根据国家最新修订颁布的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《砌体结构设计规范》(50003—2011)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001) (2006 年版) 编写, 全书共分八章, 主要内容包括: 绪论、混凝土结构材料的物理力学性能、混凝土结构设计基本原则、钢筋混凝土基本构件计算、预应力混凝土构件、梁板结构、单层厂房、多层框架结构、砌体结构。其中, 基本构件一章包括了钢筋混凝土拉、压、弯、剪、扭各构件的设计与构造要求。

本教材可作为土木工程专业专科起点本科的“混凝土及砌体结构”课程的教材, 也可供土木工程专业本科学生和各类工程设计和施工人员参考。

责任编辑: 王 跃 吉万旺

责任设计: 张 虹

责任校对: 王誉欣 赵 颖

土木工程专业专升本系列教材
混凝土与砌体结构 (第二版)
本系列教材编委会 组织编写
王毅红 叶燕华 主 编
王天贤 韩丽婷 副主编

*

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
北京世知印务有限公司印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 32³/₄ 字数: 638 千字
2012 年 8 月第二版 2012 年 8 月第十五次印刷
定价: **55.00 元**

ISBN 978-7-112-14133-3

(22182)

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)

土木工程专业专升本系列教材编委会

- 主 任：**邹定琪（重庆大学教授）
- 副主任：**高延伟（建设部人事教育司）
张丽霞（哈尔滨工业大学成人教育学院副院长）
刘凤菊（山东建工学院成人教育学院院长、研究员）
- 秘书长：**王新平（山东建筑工程学院成人教育学院副院长、副教授）
- 成 员：**周亚范（吉林建筑工程学院成人教育学院院长、副教授）
殷鸣镛（沈阳建筑工程学院书记兼副院长）
牛惠兰（北京建筑工程学院继续教育学院常务副院长、副研究员）
乔锐军（河北建筑工程学院成人教育学院院长、高级讲师）
韩连生（南京工业大学成人教育学院常务副院长、副研究员）
陈建中（苏州科技学院成人教育学院院长、副研究员）
于贵林（华中科技大学成人教育学院副院长、副教授）
梁业超（广东工业大学继续教育学院副院长）
王中德（广州大学继续教育学院院长）
孔 黎（长安大学继续教育学院副院长、副教授）
李惠民（西安建筑科技大学成人教育学院院长、教授）
朱首明（中国建筑工业出版社编审）
王毅红（长安大学教授）
苏明周（西安建筑科技大学教授）
刘 燕（北京建筑工程学院副教授）
张来仪（重庆大学教授）
李建峰（长安大学副教授）
刘 明（沈阳建筑工程学院教授）
王 杰（沈阳建筑工程学院教授）
王福川（西安建筑科技大学教授）
周孝清（广州大学副教授）

第二版前言

本教材是中国建设教育协会成人教育委员会高校分会组织编写的专科起点本科的系列教材之一。按照《专科起点本科土木工程专业教学计划》中的培养目标和《混凝土及砌体结构》课程的要求编写,教材突出了“成人教育”和“专升本”的特点,内容和体系注意到专科知识与本科知识的衔接与过渡,充分考虑到“专升本”的生源大多数有一定的实践经验和工作经历,选编的知识内容以够用为度,掌握原理、方法和技能为原则,结合工程实际。为避免与专科知识的重复,将基本构件并为一章,在深化专科知识的基础上,注意补充了新规范的内容,本教材的重点内容是应用基本理论解决各种结构设计问题。为便于自学,除绪论外,每章都有基本要求、小结、思考题,除绪论和第一、二章外,每章都有习题。本教材按国家新修订的《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010、《砌体结构设计规范》GB 50003—2011、《建筑结构荷载规范》GB 50009—2001(2006年版)、《建筑结构可靠度统一标准》GB 50068—2001编写,本教材除作为专科起点本科的专用教材外,还可供土木工程专业本科学生和工程技术人员参考。

本书绪论、第一章、第二章和第五章由王毅红编写,第三章、第四章由王天贤编写,第六章由杨坤、王毅红编写,第七章由韩丽婷、叶燕华编写,第八章由叶燕华、郭樟根编写。全书由王毅红、叶燕华做统一修改后定稿。韩岗、惠亚楠、高航宇、徐杰、周翔为本书作了部分例题,描绘了部分插图。在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,错误在所难免,敬请批评指正。

第一版前言

本教材是中国建设教育协会成人教育委员会高校分会组织编写的专科起点本科的系列教材之一。按照《专科起点本科土木工程专业教学计划》中的培养目标和《混凝土及砌体结构》课程的要求编写,教材突出了“成人教育”和“专升本”的特点,内容和体系注意到专科知识与本科知识的衔接与过渡,充分考虑到“专升本”的生源大多数有一定的实践经验和工作经历,选编的知识内容以够用为度,掌握原理、方法和技能为原则,结合工程实际。为避免专科知识的重复,将基本构件并为一章,主要补充新规范的内容,本教材的重点内容是应用基本理论解决各种结构设计问题。为便于自学,除绪论外,每章都有学习要点、小结、思考题,除一、二章外,每章都有习题。本教材按国家新修订的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)、《建筑结构可靠度统一标准》(GB 50068—2001)编写,本教材除作为专科起点本科的专用教材外,还可供土木工程专业本科学生和工程技术人员参考。

本教材主编单位是长安大学,参编单位有:沈阳建工学院、南京工业大学、吉林建工学院。主编王毅红,副主编王天贤。编写人员有:王毅红(绪论、第一章、第二章、第五章),王天贤(第三章:弯、扭、拉、压构件和裂缝变形,第四章),陈兆才(第六章、第七章),叶燕华(第八章),王志先(第三章:受剪构件)。全书由河北建工学院张庆泽主审。

孙香红为本书作了部分例题,研究生李新忠、汤文锋、蒋建飞、崔莹为本书描绘了部分插图,长安大学教务处为本书设立了专项资助基金。在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,错误在所难免,敬请批评指正。

目 录

绪论	1
第一节 混凝土结构的概念	1
第二节 混凝土结构的组成及结构类型	1
第三节 混凝土结构的工程应用及发展	2
第四节 本课程的特点及学习方法	7
第一章 混凝土结构材料的物理力学性能	8
第一节 钢筋的物理力学性能	8
第二节 混凝土的物理力学性能	15
第三节 钢筋与混凝土的粘结力	30
小结	36
思考题	37
附录	37
第二章 混凝土结构设计基本原则	40
第一节 结构设计的要求	40
第二节 结构的极限状态	44
第三节 随机变量的统计特性	46
第四节 概率极限状态设计方法	48
第五节 实用设计表达式	50
小结	57
思考题	57
第三章 钢筋混凝土基本构件计算	59
第一节 受弯构件正截面承载力计算	59
第二节 受弯构件斜截面承载力计算	87
第三节 受扭构件扭曲截面承载力计算	105
第四节 钢筋混凝土轴心受力构件承载力计算	115
第五节 偏心受力构件承载力计算	122
第六节 钢筋混凝土构件裂缝与变形	148
小结	163
思考题	164
习题	167
附录	172

第四章 预应力混凝土构件	177
第一节 预应力混凝土结构原理及计算规定	177
第二节 预应力混凝土轴心受拉构件计算	194
第三节 预应力混凝土受弯构件计算	206
第四节 预应力混凝土构件的构造要求	220
小结	227
思考题	227
习题	228
附录	229
第五章 梁板结构	230
第一节 概述	230
第二节 整体式单向板肋梁楼盖	236
第三节 整体式双向板肋梁楼盖	265
第四节 无梁楼盖	274
第五节 井式楼盖	284
第六节 装配式楼盖	286
第七节 楼梯与雨篷的设计	288
小结	297
思考题	298
习题	299
附录	300
第六章 单层厂房	318
第一节 概述	318
第二节 单层厂房结构的组成和布置	319
第三节 排架计算	327
第四节 柱的设计	348
第五节 柱下独立基础	360
第六节 单层厂房各构件与柱的连接	370
第七节 单层厂房结构构件	373
小结	377
思考题	379
习题	379
附录	380
第七章 多层框架结构	386
第一节 多层框架的结构布置	386
第二节 框架结构的计算简图及荷载	389
第三节 框架结构内力和位移的近似计算方法	392
第四节 内力组合	399

第五节 框架结构构件设计	403
小结	410
思考题	410
习题	410
附录	411
第八章 砌体结构	414
第一节 砌体材料力学性能及设计原则	414
第二节 砌体结构构件的设计计算	427
第三节 混合结构房屋设计	465
第四节 砌体结构的构造要求	484
第五节 过梁、墙梁、挑梁及圈梁	492
小结	507
思考题	508
习题	508
附录	510
参考文献	512

绪 论

第一节 混凝土结构的概念

混凝土结构包括钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、素混凝土结构。钢筋混凝土由钢筋和混凝土两种不同的材料组成，混凝土材料的抗拉强度较抗压强度低，通常抗拉强度仅为抗压强度的 $1/20 \sim 1/10$ ，当结构构件中出现拉应力时，混凝土极易开裂破坏。钢筋混凝土结构在构件的受拉部位配置钢筋，混凝土主要承受压力，钢筋主要承受拉力。为减小构件截面尺寸，有时也在构件的受压部位配置钢筋，与受压区混凝土共同受力，改变结构构件的变形能力和提高承载能力。两种材料能有效地共同工作是因为：

(1) 混凝土硬化后与钢筋之间具有良好的粘结力；

(2) 钢筋与混凝土具有相近的温度线膨胀系数，使两者间的粘结力不致因温度的变化而破坏；

(3) 混凝土包裹钢筋使钢筋免受大气侵蚀，保证构件的耐久性。

混凝土的优点是可模性、耐久性、耐火性、整体性好，且易于就地取材、价格较低，混凝土的强度比砖材、木材高，混凝土能和钢筋粘结制成各种强度高的钢筋混凝土结构。但混凝土自重较大、易产生裂缝、施工现场湿作业较多。

第二节 混凝土结构的组成及结构类型

一、混凝土结构的组成及基本构件

混凝土结构是由各种构件组合而成，常用的混凝土结构构件有板、梁、柱、墙、基础，也可由直杆组成平面桁架如屋架、双肢柱等（图 0-1a），由杆和支座形成拱（图 0-1b），由曲线形板与边缘构件形成壳（图 0-1c）。

这些构件中，板主要承受弯矩；梁主要承受弯矩和剪力；柱、墙主要承受压力、弯矩、剪力；基础主要承受压力、冲切力、弯矩和剪力；桁架整体可承受弯矩、剪力、拉力、压力，各杆主要承受拉力和压力；拱主要承受压力，有时也有弯矩和剪力；壳体主要承受壳面内的压力。

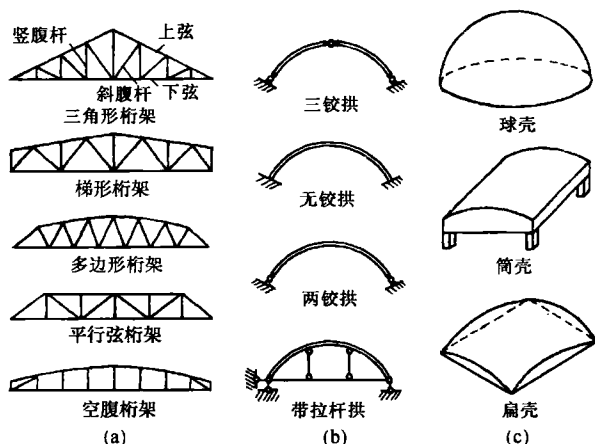


图 0-1 混凝土结构构件

(a) 桁架; (b) 拱; (c) 壳

二、混凝土结构的类型

混凝土结构按受力方式可分为平面结构和空间结构两种类型。平面排架、平面拱、平面桁架等属平面结构，壳体结构、空间框架、筒体结构等属空间结构。混凝土结构按结构体系可分为框架结构、框-剪结构、剪力墙结构、框-支结构、板柱结构、拱结构、空间薄壳结构等；也可按建筑物层数分为单层、多层、高层混凝土结构。

第三节 混凝土结构的工程应用及发展

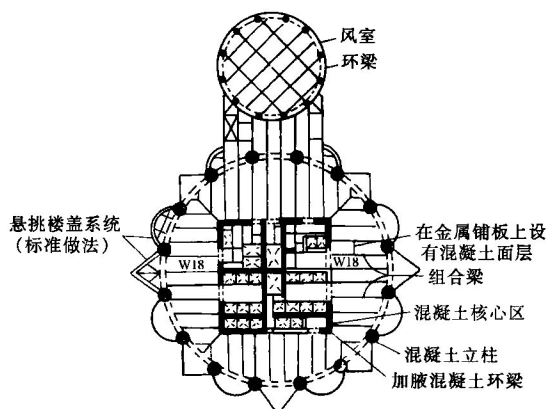
混凝土是一种原材料资源丰富，能消纳工业废渣，成本较低，可以与钢筋、型钢粘结共同工作的材料，由于混凝土的可模性、整体性、刚性均较好，体内能按受力需要配置钢筋等优点，可用于各种受力构件（如板、梁、柱等），做成各种结构体系（如墙体结构体系、框架结构体系、薄壳结构体系等），建造各种建筑（如住宅建筑、公共建筑、商业建筑等）。也能做成预应力混凝土、高性能混凝土和轻骨料混凝土，应用范围极广。超高层建筑、巨型大跨度建筑、海洋工程建筑、核工业建筑，以及高达 1300℃、低达 -160℃ 的高、低温工程建筑，都可以采用混凝土结构。混凝土结构在现代土木工程中广泛应用。

目前，世界上最高的混凝土结构建筑是马来西亚的石油双塔大厦（图 0-2）。它是两个并排的圆形筒体建筑，23m 见方的内芯由混凝土墙体构成，直径

46.2m 的外框设 16 个圆形混凝土立柱。框架柱直径由底层的 2.4m 逐渐变化到顶层的 1.2m，建筑面积 600000m^2 左右，地上 88 层，若考虑夹层和超高层楼面，地上为 95 层，高 390m，连同桅杆共高 450m。从底层至 84 层采用的都是混凝土结构，混凝土强度自下而上为 C80 至 C40，支承 84 层以上是钢柱和钢环梁组成的结构。



(a)



(b)

图 0-2 马来西亚吉隆坡石油双塔

(a) 石油双塔外观；(b) 标准层平面

国内最高、世界第二高的钢筋混凝土建筑是广州中天广场（图 0-3），1996 年建成。主塔楼为办公楼，80 层钢筋混凝土框架筒体结构，高 321.9m，连同桅杆（钢塔）总高 389.9m。

当前世界上跨度最大的混凝土结构公共建筑是法国巴黎国家工业与技术展览中心大厅（图 0-4），钢筋混凝土薄壳结构的平面成正三角形，各边长 219m，折算球面总厚度只有 180mm，厚跨比为 1 : 1200，是鸡蛋蛋壳的厚长比 1 : 100 的 1/12，而且建筑造型新颖，充分展示了混凝土壳体结构的优越性。

世界上最高的混凝土结构构筑物是加拿大多伦多的 CN 电视塔（图 0-5），塔高 553m，塔身采用预应力混凝土，用滑升模板方式施工。

1994 年建成的上海东方明珠塔（图 0-6）位于上海浦东陆家嘴，塔高 468m。主体为混凝土结构，基础为桩基，3 根直径为 7m 与地面呈 60° 交角的斜撑，支撑 3 根直径为 9m 的圆柱直上云天。

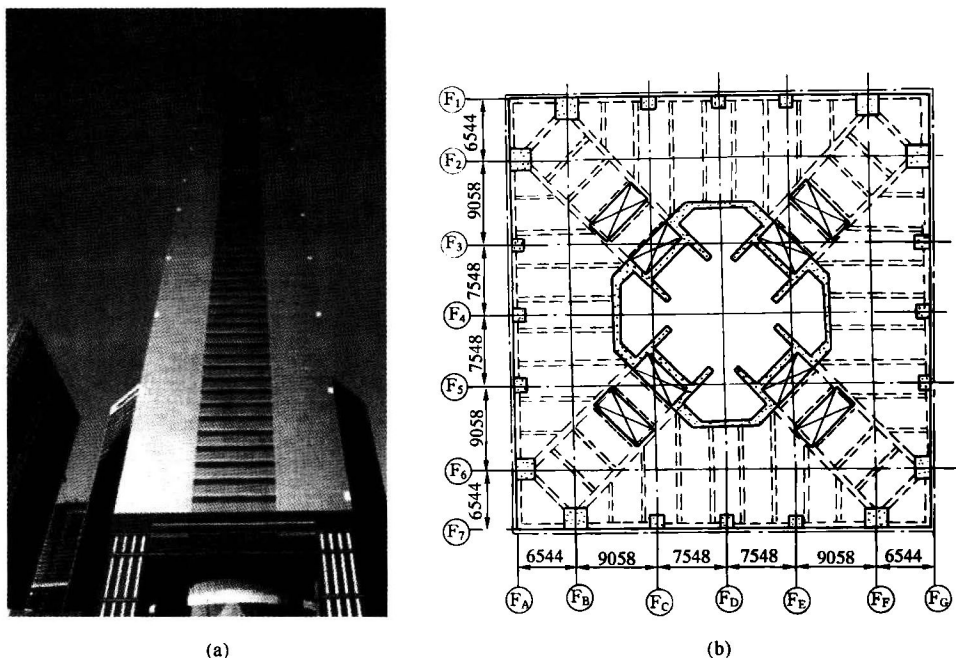


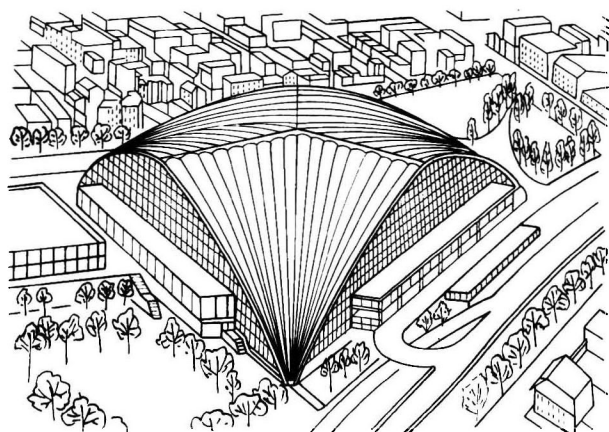
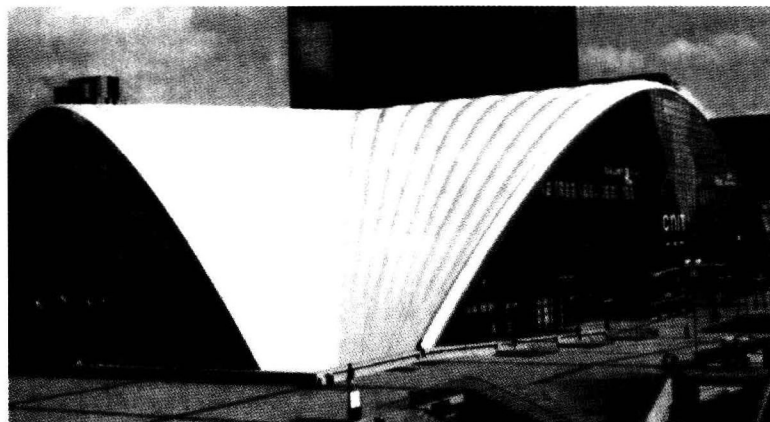
图 0-3 广州中天广场
(a) 中天广场外观；(b) 标准层平面

世界上最大跨度的预应力混凝土简支梁桥为奥地利的阿尔姆 (Alm) 桥, 跨度为 76m, 建成于 1977 年。世界上最大跨度的预应力混凝土连续梁桥为巴西的瓜纳巴拉 (Guanabara) 桥, 跨度为 300m, 建于 1974 年。重庆万县长江大桥 (图 0-7) 是 318 国道 (成都-上海) 上跨越长江的一座大型劲性骨架混凝土箱拱桥 (箱形截面), 净跨 420m, 单孔跨江, 无深水基础, 在同类桥型中跨度居世界第一。

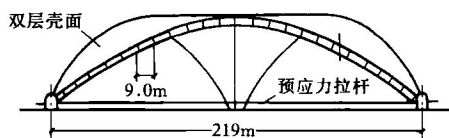
为了解决城市土地供求矛盾、满足人类生产生活的需要, 也因商业聚集效应的需要, 混凝土结构的建筑物、构筑物会向更高、更大跨度的方向发展。

高强混凝土、超高强混凝土的发展和逐步广泛的应用将大大拓宽混凝土结构的应用范围, 并创造新的高度、强度的记录。具有良好性能的高性能混凝土也将得到大的发展。高性能混凝土指具有优越工程性质的混凝土, 例如具有抗收缩、徐变性能、良好的可操作性、良好的耐久性能、高强度、高弹性模量等。

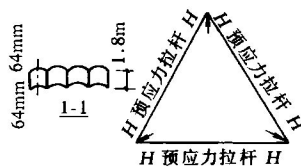
在普通混凝土中掺入适量的各种纤维材料, 如钢纤维、玻璃纤维、合成纤维、碳纤维等, 可以形成纤维混凝土, 提高混凝土的抗拉、抗剪、抗冲击、抗震等能力。从保护环境和可持续发展的角度看, 绿色混凝土也是一个发展方



(a)



(b)



(c)

图 0-4 法国国家工业与技术展览中心

(a) 外观图；(b) 剖面图；(c) 平面结构示意图

向，发展绿色混凝土，可用工业废料代替大量水泥熟料、骨料，减少环境污染。

随着科学技术的发展，进一步完善基于概率理论的极限状态设计法，深入研究混凝土非线性性能及计算机技术在结构分析中的应用是混凝土结构设计计算理论的发展方向。

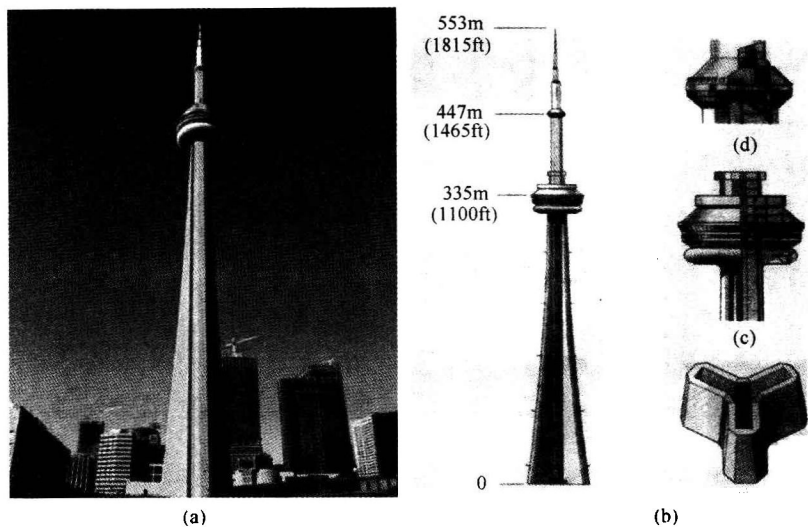


图 0-5 加拿大多伦多 CN 电视塔
(a) 外观图；(b) 高度、搭接及塔身剖面图



图 0-6 上海东方明珠塔



图 0-7 重庆万县长江大桥

第四节 本课程的特点及学习方法

一、课程的实践性

本课程是一门实践性很强的课程。在学习本课程时,要与试验、工程实践相结合,主动接触工程实际,除课堂学习外,也要注意试验、实习、课程设计等实践教学环节。完成每章后的思考题、习题将有助于理解和掌握本课程的基本概念、基本方法。应用书中的设计公式时,要特别注意公式的适用条件,一些公式是建立在试验研究的基础上,若超出公式的适用范围使用公式,会导致严重的错误。

二、本课程与规范的关系

设计规范(规程)是国家颁布的关于设计计算和构造要求的技术规定和标准,是带有一定约束性和立法性的文件。本教材按新修订的《建筑结构可靠度统一标准》(GB 50068—2001)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)(2006版)等编写。新规范总结了近年来的实践经验,体现了最新的科研新成果,参考了国外规范和国际标准的有关内容,对工程设计具有指导作用。在学习本课程时,要学习正确使用规范。但事物总是不断发展的,随着科学技术的进步,规范也在不断的发展,约十年为一个更新周期。对学习者来说,一方面要用发展的眼光看待规范条文,不断对新的问题进行研究;一方面要熟悉、理解规范条文,只有对规范条文的概念和实质有真正的理解,才能充分发挥设计者的分析能力和主动性。

三、专科起点本科及成人教育的特点

本课程是在学习完大专水平的混凝土结构、砌体结构课程后又一次学习混凝土结构、砌体结构,在原有知识的基础上拓宽深化。在学习本课程时要特别注意与专科所学知识的衔接,对已学过的知识、概念进行必要的复习,将有利于本课程接受。本教材编写时,对专科教材中已较详细论述过的基本构件的内容,没有过多的重复,把基本构件并为一章,主要介绍基本构件的基本概念和设计计算方法,补充新规范的相关内容,学习时应注意知识的更新。

第一章 混凝土结构材料的物理力学性能

基 本 要 求

1. 了解钢筋的品种，理解软钢和硬钢的应力-应变关系，掌握混凝土结构中常用钢筋的性能。
2. 掌握混凝土的强度和变形性能。
3. 掌握钢筋与混凝土的粘结性能。

钢筋混凝土结构是由钢筋和混凝土两种性质完全不同的材料组成，钢筋混凝土结构的计算理论、计算公式都与这两种材料的物理力学性能相关。本章主要讨论钢筋和混凝土两种材料的物理力学性能以及两种材料之间的粘结性能。

第一节 钢筋的物理力学性能

一、钢筋的品种和等级

钢筋混凝土结构中使用的钢筋从力学性质上可分为两大类：一类是应力-应变曲线上有明显流幅的钢筋，称为软钢；另一类是应力-应变曲线上无明显流幅的钢筋，称为硬钢。

按钢材的化学成分可分为碳素钢和普通低合金钢两类。碳素钢除含有铁元素之外，还含有少量的碳、硅、锰、硫、磷等元素。根据含碳量的多少又可分为低碳钢（含碳量 $<0.25\%$ ）、中碳钢（含碳量在 $0.25\% \sim 0.6\%$ 之间）和高碳钢（含碳量在 $0.6\% \sim 1.4\%$ 之间）。含碳量越高，强度越高，但塑性、可焊性降低。普通低合金钢是在碳素钢的基础上添加总量小于 5% 的合金元素的钢材，具有强度高、塑性和低温冲击韧性好等特点。通常加入的合金元素有硅（Si）、锰（Mn）、钛（Ti）、钒（V）、铬（Cr）、铌（Nb）等。为节约合金元素资源，近年来研制开发出采用控温轧制工艺生产出的 HRBF 系列细晶粒带肋钢筋，这种钢筋合金元素的添加量很少，其强度和延性可以满足混凝土结构对钢筋性能的要求。我国生产的品种有 20MnSi、20MnSiV、20MnSiHb、20MnTi、K20MnSi、10Si₂Mn、48Si₂Mn、45Si₂Cr 等，代号前边的数字表示含碳量的万分数，元素符