

土木工程 专业专升本系列教材

TUMUGONGCHENGZHUANYE
ZHUANSHENGBENXILIEJIAOCAI

混凝土与砌体结构

本系列教材编委会

组织编写

HUNNINGTUYUQITIJIEGOU

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

本系列教材编委会组织编写

王毅红 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/王毅红主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2003
(土木工程专业专升本系列教材)
ISBN 7-112-05438-9

I. 混... II. 王... III. ①混凝土结构-高等学校-教材 ②砌块结构-高等学校-教材 IV. TU37
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 032735 号

土木工程专业专升本系列教材
混凝土与砌体结构

本系列教材编委会组织编写
王毅红 主编

*

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: 31¼ 字数: 629 千字
2003 年 7 月第一版 2003 年 7 月第一次印刷
印数: 1—3000 册 定价: 42.00 元

ISBN 7-112-05438-9

TU·4762 (11052)

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)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

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 混凝土结构的现状及展望	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 混凝土的物理力学性能	8
第二节 钢筋的物理力学性能	23
第三节 钢筋与混凝土的粘结力	28
小结	32
思考题	33
第二章 混凝土结构基本设计原则	34
第一节 结构设计的要求	34
第二节 极限状态	37
第三节 随机变量的统计特性	39
第四节 概率极限状态设计方法	41
第五节 实用设计表达式	43
小结	48
思考题	49
第三章 钢筋混凝土基本构件计算	50
第一节 受弯构件正截面承载力计算	50
第二节 受弯构件斜截面承载力计算	77
第三节 受扭构件扭曲截面承载力计算	96
第四节 轴心受力构件承载力计算	105
第五节 偏心受力构件承载力计算	112
第六节 构件裂缝及变形	137
小结	152

思考题	153
习题	155
附录	161
第四章 预应力混凝土构件	166
第一节 预应力混凝土结构原理及计算规定	166
第二节 预应力混凝土轴心受拉构件计算	185
第三节 预应力混凝土受弯构件计算	199
第四节 预应力混凝土构件的构造要求	213
小结	219
思考题	220
习题	220
附录	221
第五章 梁板结构	223
第一节 概述	223
第二节 整体式单向板肋梁楼盖	228
第三节 整体式双向板肋梁楼盖	257
第四节 无梁楼盖	265
第五节 井式楼盖	274
第六节 装配式楼盖	275
第七节 楼梯与雨篷的设计	278
小结	287
思考题	287
习题	288
附录	289
第六章 单层厂房	307
第一节 单层厂房结构的组成和布置	307
第二节 排架结构计算	316
第三节 单层厂房柱	335
第四节 柱下独立基础	348
第五节 单层厂房各构件与柱的连接	356
第六节 单层厂房结构	359
小结	363
思考题	365
习题	365
附录	366

第七章 多层框架结构房屋	372
第一节 多层框架结构布置	372
第二节 框架结构的计算简图及荷载	375
第三节 框架结构内力和位移近似计算方法	377
第四节 框架结构的内力组合	385
第五节 框架结构的构件设计	390
小结	394
思考题	395
习题	395
附录	396
第八章 砌体结构	399
第一节 砌体材料力学性能及设计原则	399
第二节 砌体结构构件的设计计算	411
第三节 混合结构房屋设计	449
第四节 过梁、墙梁、挑梁及圈梁设计	470
小结	485
思考题	486
习题	487
附录	488
参考文献	490

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 $1/10 \sim 1/20$ ，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，与混凝土共同受压改善结构构件的变形能力和提高承载能力。两种材料能有效的共同工作是因为：

(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，易于就地取材，价格较低，强度比砌块、木材高，能和钢筋粘结做成各种强度的钢筋混凝土结构；但其自重较大，施工比较复杂，工序多，工期长，易产生裂缝。

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(例如屋架、双肢柱等)如图 0-1(a)^[1]，或由杆和支座形成拱，如图 0-1(b)^[1]，或由曲线形板与边缘构件形成壳，如图 0-1(c)^[1]。

上述的构件中，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；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；壳体主要承受压力。

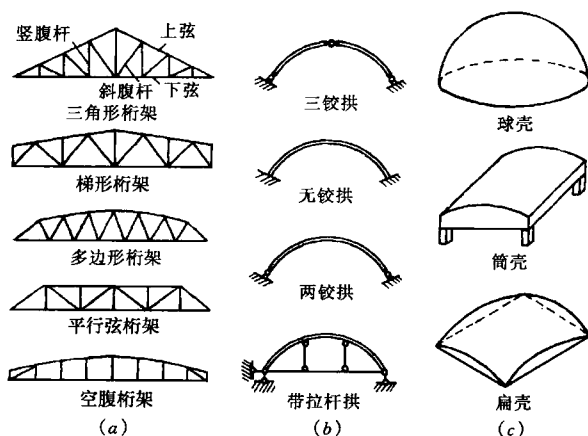


图 0-1 混凝土结构构件

二、混凝土结构的类型

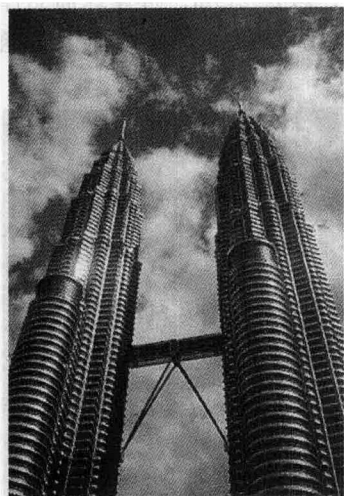
混凝土结构按受力方式可分为平面结构和空间结构两种类型。平面排架、平面拱、平面桁架等属平面结构，壳体结构、空间框架、筒体结构等属空间结构；按结构体系可分为框架结构、框-剪结构、剪力墙结构、框-支结构、拱结构、空间薄壳结构等；也可按建筑物层数分为单层、多层、高层混凝土结构。

第三节 混凝土结构的现状及展望

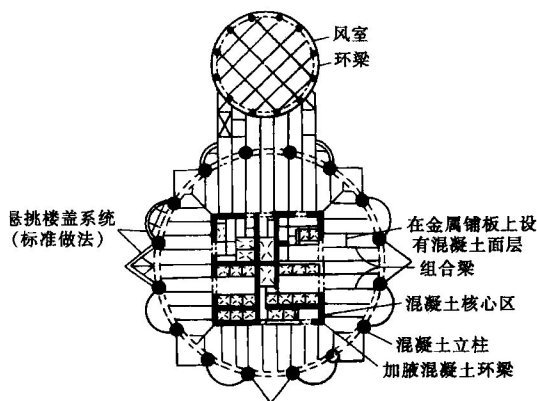
混凝土是一种原材料资源丰富，能消纳工业废渣，成本和能耗较低，可以与钢筋、型钢粘结共同工作的材料。由于混凝土的可模性、整体性、刚性均较好，体内能按受力需要配置钢筋等优点，可用于各种受力构件（如板、梁、柱等），做成各种结构体系（如墙体结构体系、框架结构体系、薄壳结构体系等），建造各种建筑（如住宅建筑、公共建筑、商业建筑等）。又由于能做成预应力混凝土、高性能混凝土（包括强度在 C50 以上的高强混凝土）和轻骨料混凝土，大大扩大了应用范围，超高层建筑、巨型大跨度建筑、海洋工程建筑、原子能工程建筑，以及高达 1300℃、低至 -160℃ 的高、低温工程建筑，都可以采用混凝土结构。混凝土结构实质上已成为现代工程建筑中的主要结构形式。

目前，世界上最高的建筑是马来西亚的石油双塔大厦（图 0-2）^[40]。它是两个并排的圆形建筑，23m 见方的内筒由混凝土墙体组成，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 600 000m²，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。



(a)

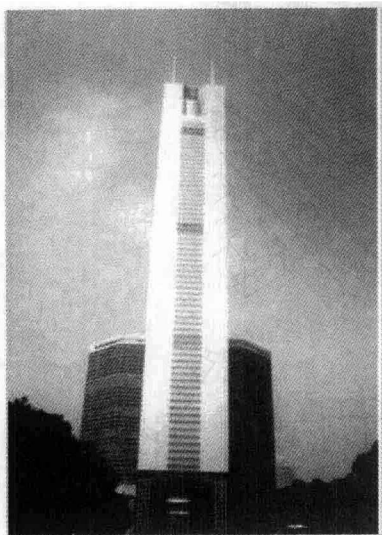


(b)

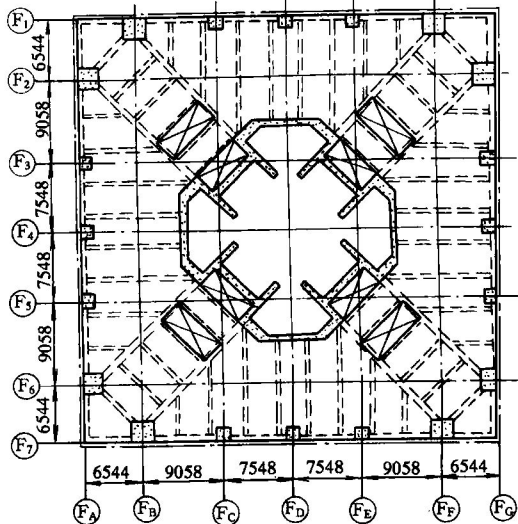
图 0-2 马来西亚吉隆坡石油双塔

(a) 双塔外观; (b) 塔平面

广州中天广场由 3 座塔楼和裙房组成(见图 0-3)^[1], 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 322.5m, 连同桅杆(钢塔)总高 382.5m。



(a)



(b)

图 0-3 广州中天广场

(a) 中天广场外观; (b) 标准层平面

当前世界上跨度最大的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)^[1], 钢筋混凝土薄壳结构的平面成三角形, 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, 充分说明混凝土壳体结构的优越性。

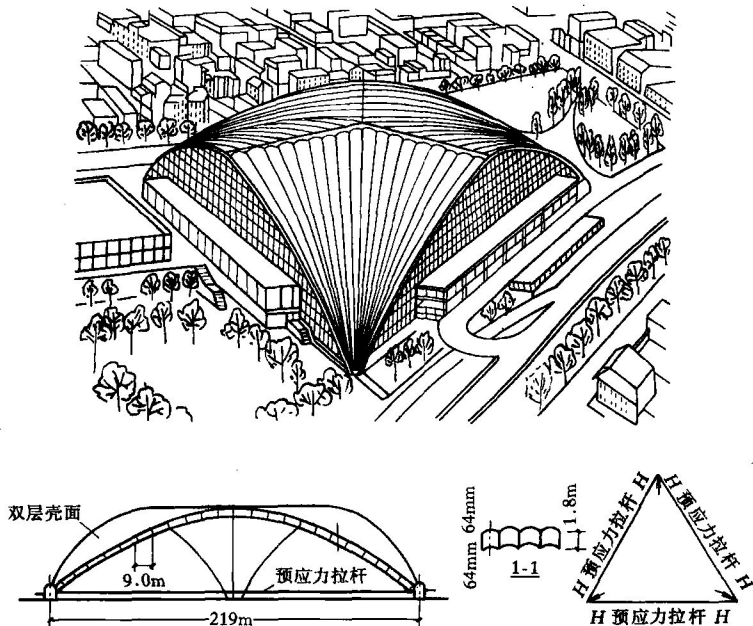
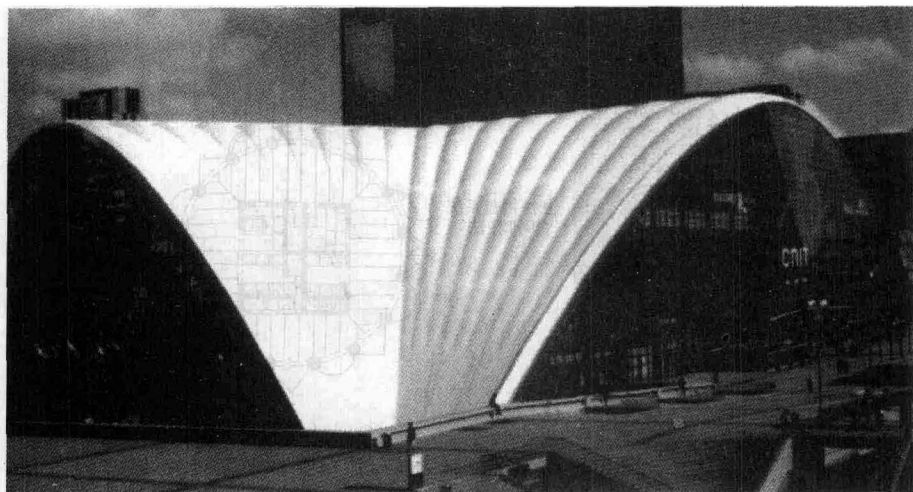


图 0-4 法国国家工业与技术展览中心

世界上最高的构筑物是加拿大多伦多的 CN 电视塔 (图 0-5)^[1], 塔高 553m,

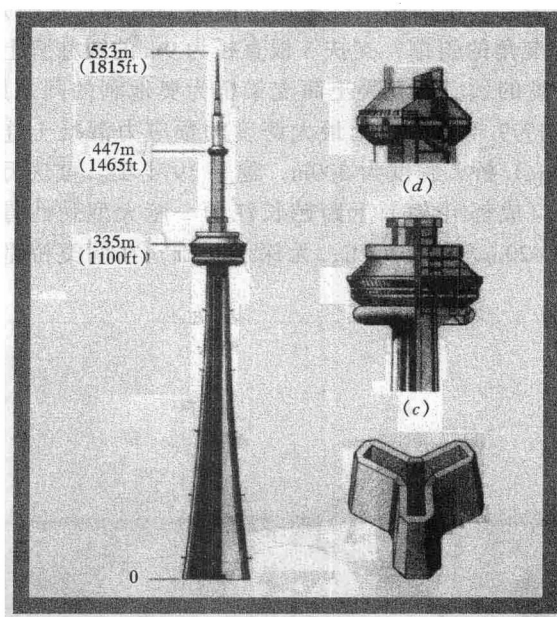


图 0-5 加拿大多伦多 CN 电视塔

塔身采用预应力混凝土，用滑升模板建造。

1994 年建成的上海东方明珠塔（图 0-6）^[40] 位于上海浦东陆家嘴，塔高

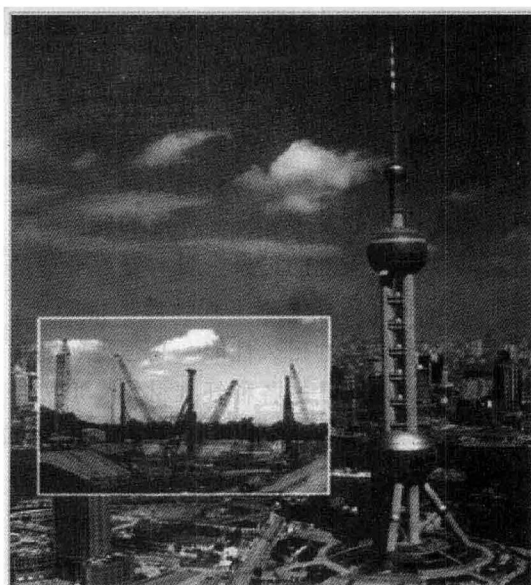


图 0-6 上海东方明珠塔

468m, 高度居世界第三, 中国第一。主体为混凝土结构, 基础为桩基, 3 根直径为 7m 与地面成 60° 交角的斜撑, 支撑 3 根直径为 9m 的圆柱直上云天。

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)^[40] 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。

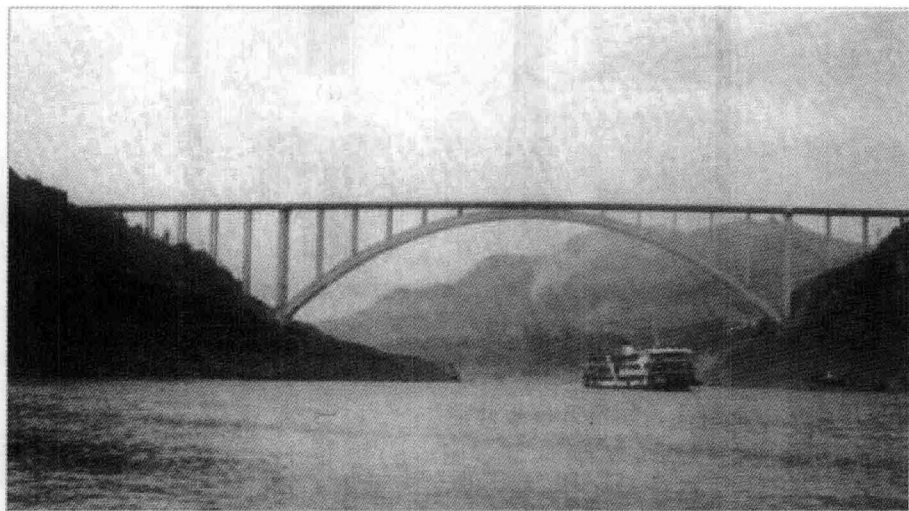


图 0-7 重庆万县长江大桥

为了解决城市土地供求矛盾、满足人类生产生活的需要, 或者因为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、更深的方向发展。

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。

另外, 在普通混凝土中掺入适量的各种纤维材料, 形成纤维混凝土 (如钢纤维、玻璃纤维、合成纤维、碳纤维等), 以提高混凝土的抗拉、抗剪、抗冲击、抗震等能力。发展绿色混凝土, 用工业废料代替大量水泥熟料, 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。

第四节 本课程的特点及学习方法

一、注意课程的实践性

混凝土结构设计理论在很大程度上是建立在前人工程实践经验和试验研究的基础上。解决实际工程问题,除需要混凝土结构的理论知识外,还依赖工程经验的积累。因此,本门课程是一门实践性很强的课程。在学习本课程时,要与工程实践相结合,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,一些公式的建立与试验结果有关,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《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)、《建筑结构可靠度统一标准》(GB 50068—2001)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)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。当然,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。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;一方面对规范的条文要熟悉、运用、理解,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,将有利于本课程的接受。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,主要补充了一些新规范的内容,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

学 习 要 点

1. 了解钢筋的品种，理解软钢和硬钢的应力-应变关系。
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这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 混凝土的物理力学性能

一、混凝土的强度

(一) 立方体抗压强度

为设计、施工和质量检验的需要，必须对混凝土的强度规定统一的级别，即混凝土强度等级。用立方体试块的单轴抗压强度作为强度等级的度量标准，称为混凝土立方体抗压强度。

1. 混凝土的强度等级

用边长 150mm 的标准立方体试块，在标准条件下(温度 $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 90% 以上)养护 28d，在压力机上以标准试验方法(中心加载，平均速度为 $0.3 \sim 0.8\text{N/mm}^2 \cdot \text{s}$ ，试件上下表面不涂润滑剂)测得的具有 95% 保证率的破坏时的平均压应力为混凝土立方体抗压强度。我国《混凝土结构设计规范》规定，混凝土强度等级按立方体抗压强度标准值确定，用符号 $f_{\text{cu},k}$ 表示，共 14 个等级，即 C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75、C80。例如，C35 表示立方体抗压强度标准值为 35N/mm^2 ，其中 C50 及 C50 以上属高强混凝土。

2. 破坏机理

由于混凝土本身的性质，特别是微裂缝的存在，使混凝土承受均匀外压力

时, 内部处于复杂应力状态, 最终导致破坏的是垂直于压力方向的横向拉应力。

水泥、水、骨料组成的混凝土在硬结过程中, 形成未水化的水泥颗粒、处于流动状态尚未硬结的凝胶体、已硬化的结晶体(水泥石)和多余的水分、气泡, 凝结初期, 由于水泥石的收缩及泌水、骨料下沉等原因, 在骨料与水泥石接触面上和水泥石内部, 将形成微裂缝, 见图 1-1^[20]。这是材料的内因, 是固有的薄弱环节。

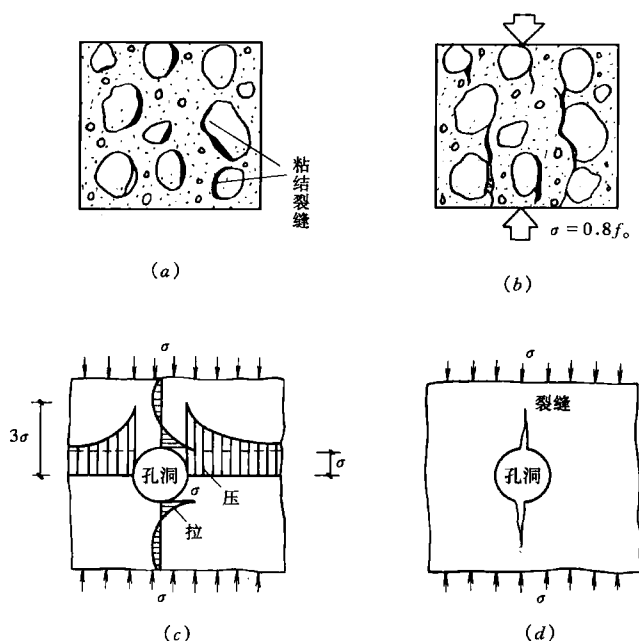
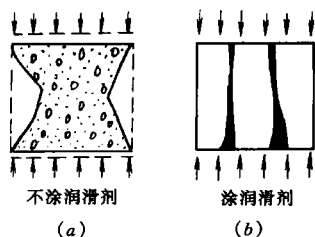


图 1-1 混凝土中微裂缝示意

(a) 粘结裂缝; (b) 通缝; (c) 孔洞处应力集中; (d) 孔洞处裂缝

当 σ 较小 ($\leq f_c/3$) 时, 混凝土变形主要由于骨料和水泥结晶体受力后的弹性变形所致, 随 σ 加大, 水泥凝胶体粘性流动增大, 形成塑性变形, 使 σ - ϵ 曲线开始弯曲, 同时, 在压应力下, 原有微裂缝扩展, 在水泥石中的气泡、水分逸出形成的孔洞产生应力集中, 形成新的裂缝, 但此阶段裂缝稳定, 若荷载不增加, 即不再出现新的裂缝。当 $\sigma \approx 0.8f_c$ 时, ϵ 较 σ 增加更快, 横向应变也明显加大, 这时骨料处的粘结裂缝与水泥石中的裂缝已发展贯通, 裂缝发展进入非稳定状态, 即使荷载不增大, 裂缝也将继续开展, 导致混凝土被分割成若干平行于受力方向的小柱体。当 $\sigma \approx f_c$ 时, 骨料与水泥石的粘结基本丧失, 试件剥落, 压酥, 破坏。由此得出, 混凝土宏观破坏是裂缝累积的过程, 是内部结构局部损伤到连续性遭受破坏 (裂缝贯通), 导致整个体系解体而丧失承载能力的过程, 决非组成相 (骨料、砂浆等) 自身强度耗尽。在立方体抗压强度的试验中, 试块承压面与垫板之间存在摩擦力, 使试块上下表面的横向变形受到约束, 剥落较少, 而越



向中间剥落越多，因而形成三角形残体。若在垫板之间涂润滑剂，减少摩擦力，破坏残体为带有多条纵向裂缝的立方体，如图 1-2 所示。

3. 影响立方体抗压强度的因素

(1) 尺寸的影响

试验表明，对同样的混凝土材料，采用不同尺寸的立方体试件测得的强度不同。立方体尺寸越小，测得的强度越高，反之越低。当采用边长为 200mm 和 100mm 的立方体试件时，其测得的抗压强度应分别乘以 1.05 和 0.95 的换算系数，以考虑尺寸效应的影响。

(2) 加荷速度的影响

试验表明，加荷速度越快，测得的抗压强度越高。通常规定加荷速度为：C30 以下混凝土取每秒 $(0.3 \sim 0.5) \text{ N/mm}^2$ ，C30 或 C30 以上的混凝土取每秒 $(0.5 \sim 0.8) \text{ N/mm}^2$ 。

(3) 龄期的影响

混凝土立方体抗压强度与试块成型后的龄期有关。龄期越长，强度越高，其增长速度是先快后慢，强度增长过程往往要持续几年，在潮湿环境中往往延续更长（图 1-3^[2]）。

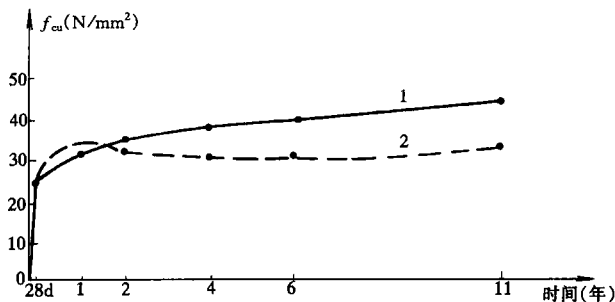


图 1-3 混凝土立方体强度随龄期的变化

1—在潮湿环境下；2—在干燥环境下

(二) 棱柱体轴心抗压强度

由于实际工程中的混凝土构件高度通常比截面边长大很多，因此棱柱体受压试件更接近实际构件的受力状况。在确定棱柱体试件尺寸时，为使棱柱体试件的强度不受试验机压板与试件间摩擦力的影响，试件应有一定高度，在试件中间形成纯压状态，同时，也应避免试件过高，产生附加偏心矩而降低抗压强度。根据研究资料，认为试件高宽比 $h/b = 3$ 左右，基本可消除上述两种因素的影响。我