

结构设计原理

(第2版)

主 编 于 辉 崔 岩

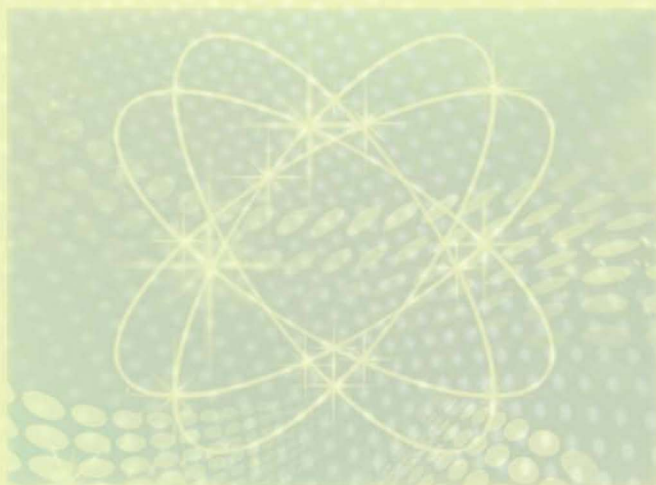
副主编 陈立春 申 建

参 编 郭 梅 王东杰 慕 平 钱雪松

姜仁安 闫淑杰 朱春风 陈 晴

谢守军 张宏斌 李春风

主 审 刘寒冰



北京理工大学出版社



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

结构设计原理

(第2版)

主 编	于 辉	崔 岩			
副主编	陈立春	申 建			
参 编	郭 梅	王东杰	慕 平	钱雪松	
	姜仁安	闫淑杰	朱春风	陈 晴	
	谢守军	张宏斌	李春风		
主 审	刘寒冰				

内 容 提 要

本书为“十二五”职业教育国家规划教材。全书根据现行国家标准、交通行业标准与设计规范,结合高职高专交通土建专业课程教学要求编写完成,对公路桥涵有关钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和圬工结构的材料、构成、施工、设计时必要的计算、验算等相关问题进行了详尽介绍。本书在每章前设计了学习任务单,在课后配备思考题与习题、能力训练等,编写体例新颖,贴近教学实践,体现了能力培养的实用性、素质培养的拓展性、教材资源的多样性等特点。

本书可作为高职高专道路与桥梁工程技术专业、公路监理专业、高等级公路维护与管理专业、轨道交通工程专业技术专业等交通土建类专业教材,也可供从事交通土建专业设计与施工的有关技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

结构设计原理/于辉,崔岩主编. —2版. —北京:北京理工大学出版社,2014.8

“十二五”职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-5640-9591-8

I. ①结… II. ①于… ②崔… III. ①公路桥—桥梁结构—混凝土结构—结构设计—高等职业教育—教材 IV. ①U448.142.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 184418 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

82562903(教材售后服务热线)

68948351(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京紫瑞利印刷有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 15

插 页 / 1

字 数 / 368 千字

版 次 / 2014 年 8 月第 2 版 2014 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 36.00 元

责任编辑 / 王玲玲

文案编辑 / 王玲玲

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

第2版前言

为了适应 21 世纪国家建设对交通土建类高职人才的需求,满足高职院校教学改革对教材建设的需要,北京理工大学出版社于 2008 年组织知名专家、学者及企业一线路桥设计施工人员进行反复研讨,确定了“以学生就业所需专业知识和操作技能为着眼点,紧跟最新的技术发展和技术应用,在理论知识够用的前提下,着重讲解应用型人才培养所需的技能,突出实用性和可操作性”的思路,编写了高等职业教育特色精品课程系列规划教材。

自 2009 年第 1 版教材出版以来,桥梁建设有了很大的发展,各种新规范、新标准相继颁布,同时我们收到了很多读者和一线教师的有关教材的反馈意见,为了适应社会需求,我们于 2013 年秉承“理论够用,加强实践,以能力培养为主线”的思想对教材进行了再版。本次再版主要更换了原书部分内容,并增补了部分内容,引用了目前施工中的新技术、新工艺、新案例。

第 2 版教材特点如下:

1. 先进性与科学性:新标准、新规范内容及时在教材中更新和体现,以更加贴近工程实践需要;根据本课程特点,淘汰过时的、落后的旧内容,以社会发展和科技进步的新近成果充实、更新教材内容。

2. 实用性:根据交通土建专业工程生产特点和应用型人才的发展方向,结合注册监理工程师、注册建造师、注册造价工程师等考试大纲要求修订,增强教材实用性。

3. 设置更适合教学的架构:在每章前增加学习任务单,包括“知识目标、能力目标、教学过程设计、教学方式、单项考核、教师技能、学生技能”等项目,供学生及教师在教学过程中做预习及教学参考。

4. 教材具备完善的立体化教学体系:围绕教材形成了在教学过程中以“工作过程引领”作为授课的主导思想,以文字图片、影音、网络课程为主的教学方式,并且另配备辅导教材《结构设计原理习题指导》供学生使用。

5. 素质培养的拓展性:教材编写注重工程实践的应用。教材理论阐述简明,涉及广泛的工程应用问题,在保留原教材各章思考题的基础上,在每个项目后增加了能力训练,突出实践技能训练,满足了培养高素质应用型人才的要求。

参与本书编写人员有:吉林交通职业技术学院于辉、崔岩、陈立春、申建、郭梅、王东杰、慕平、钱雪松、姜仁安、闫淑杰、朱春风、陈晴,吉林省交通基本建设质量监督站谢守军、张宏斌、李春风。本书由于辉、崔岩担任主编,陈立春、申建担任副主编。具体分工如下:于辉编写总说明和项目一中的第一章、第二章、第三章、第四章、第五章、第六章,崔岩编写项目一中的第七章、第八章、第九章,陈立春编写项目二中第十章和全书复习思考题及习题,申建编写项目二中第十一章,郭梅、姜仁安编写项目二中第十二章,王东杰、慕平、钱雪松编写项目三中第十三章,闫淑杰、朱春风、陈晴、谢守军、张宏斌、李春风编写项目三中第十四、十五章及全书的能力训练。全书由于辉、崔岩统稿,由吉林大学刘寒冰教授主审。在本书编写过程中,得到了兄弟院校的帮助和支持,在此表示深深的谢意,并对本书所参考论著和资料的编者表示感谢!

由于编者水平有限,时间仓促,教材中难免出现不足和欠妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

第1版前言

本书以最新颁布的《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)、《公路圬工桥涵设计规范》(JTG D61—2005)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)、《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007)、公路桥涵施工技术规范(JTJ 041—2000)为主要依据,介绍了钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和圬工结构的构造及基本设计原理。

根据编者们的多年的教学和工程实践经验,本书对上述规范做了必要的解释和说明,介绍了实用计算方法,并在每章附有例题、思考题和习题。

本书编写是通过调研及邀请企业一线路桥施工设计人员共同进行研究,对道路与桥梁工程的施工设计进行岗位能力分析,根据岗位能力要求,将结构设计原理理论课程内容分解为与岗位能力相对应的钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和圬工结构三个教学项目,各个项目下有各自的学习情境及子学习情境,并且每个项目配以工程施工工艺及工程实例,以满足学生职业能力的要求。

本书共分三大项目。项目一为钢筋混凝土结构,主要介绍了钢筋混凝土结构的基本概念及材料性质,我国现行公路设计规范的设计原则,钢筋混凝土受弯、受压构件的承载力计算及构造原理,受弯构件的应力、裂缝与变形计算验算,最后介绍了钢筋混凝土受弯构件及受压构件的施工预制过程。项目二为预应力混凝土结构,主要介绍了预应力混凝土结构的基本概念,预应力混凝土结构受弯构件的设计计算方法,最后介绍预应力混凝土结构的施工预制方法。项目三为圬工结构,主要介绍了圬工结构的基本概念,圬工结构的承载力计算,最后介绍圬工结构的砌筑方法。

参与本书编写的人员有:吉林交通职业技术学院于辉、崔岩、陈立春、申建、郭梅、王东杰、张月、姜仁安、高峰、崔惠德、闫淑杰、朱春风,昆明杰宏测绘科技咨询有限公司张广军。本书由于辉、崔岩任主编,陈立春、申建任副主编。具体分工如下:于辉编写总说明项目一中的子项目一,崔岩编写项目一中的子项目二及项目二中学习情境三,陈立春编写全书思考题与习题及项目二中学习情境一,申建编写项目二学习情境二中子学习情境一、子学习情境三、子学习情境四,郭梅、姜仁安编写项目二学习情境二中子学习情境二,王东杰、慕平编写项目三中的学习情境一,高峰、崔惠德、张月、闫淑杰、朱春风编写项目三中的学习情境二,张广军编写项目三中的学习情境三。全书由于辉、崔岩统稿。在编写过程中得到了吉林大学张弘强老师的帮助和支持,在此表示深深的谢意,并对本书参考的相关的论著和资料的编者表示感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,教材中难免出现不足和欠妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

总说明	(1)
思考题与习题	(4)
能力训练	(5)
项目一 钢筋混凝土结构	(6)
第一章 钢筋混凝土结构的基本知识	(6)
第一节 钢筋混凝土结构概述	(7)
第二节 钢筋混凝土材料物理力学性质	(8)
第三节 钢筋与混凝土的相互作用——粘结力	(28)
思考题与习题	(29)
第二章 钢筋混凝土结构设计的基本原理	(31)
第一节 极限状态法的基本概念	(32)
第二节 作用、作用值与作用效应组合	(34)
第三节 公路桥涵设计规范的设计原则	(36)
思考题与习题	(39)
第三章 钢筋混凝土受弯构件构造及正截面承载力计算	(40)
第一节 钢筋混凝土受弯构件构造特点	(41)
第二节 钢筋混凝土受弯构件正截面破坏状态分析	(45)
第三节 单筋矩形截面受弯构件计算	(48)
第四节 双筋矩形截面受弯构件计算	(56)
第五节 单筋 T 形截面受弯构件计算	(60)
思考题与习题	(66)
第四章 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算	(68)
第一节 受弯构件斜截面抗剪承载力的影响因素及破坏形态	(69)
第二节 受弯构件斜截面承载力计算	(71)
第三节 全梁承载力校核与构造要求	(76)
思考题与习题	(85)
第五章 钢筋混凝土受弯构件的应力、裂缝和变形计算	(87)
第一节 换算截面及应力验算	(88)
第二节 钢筋混凝土受弯构件的裂缝和裂缝宽度验算	(94)
第三节 受弯构件的变形(挠度)验算	(96)
思考题与习题	(101)

第六章 钢筋混凝土梁的施工预制	(102)
思考题与习题	(109)
第七章 轴心受压构件的构造要求及计算	(111)
第一节 普通箍筋柱	(112)
第二节 螺旋箍筋柱	(116)
思考题与习题	(120)
第八章 偏心受压构件	(121)
第一节 矩形截面偏心受压构件	(121)
第二节 圆形截面偏心受压构件	(133)
思考题与习题	(137)
第九章 钻孔灌注桩施工	(139)
思考题与习题	(146)
能力训练	(147)
 项目二 预应力混凝土结构	 (149)
第十章 预应力混凝土结构的基本概念及材料	(149)
第一节 预应力混凝土的基本概念与特点	(150)
第二节 预应力混凝土结构的材料	(152)
第三节 预应力混凝土结构的分类	(154)
思考题与习题	(157)
第十一章 预应力混凝土简支梁的设计	(158)
第一节 预应力混凝土简支梁的构造	(159)
第二节 预应力混凝土受弯构件计算	(162)
第三节 预应力混凝土受弯构件的应力计算	(174)
第四节 预应力混凝土受弯构件抗裂性验算	(180)
思考题与习题	(195)
第十二章 预应力混凝土梁的施工工艺	(196)
第一节 后张法预应力混凝土梁的施工工艺	(196)
第二节 先张法预应力混凝土梁的施工工艺	(203)
思考题与习题	(205)
能力训练	(205)
 项目三 圬工结构	 (209)
第十三章 圬工结构的基本概念与材料	(209)
第一节 圬工结构砌体的种类	(210)
第二节 砌体的强度与变形	(213)
思考题与习题	(219)

第十四章 圬工结构的强度计算	(220)
第一节 圬工受压构件正截面承载力计算	(220)
第二节 砌体结构受弯、受剪构件的计算	(225)
思考题与习题	(227)
第十五章 石砌墩台施工	(228)
思考题与习题	(230)
能力训练	(230)
参考文献	(231)

学习任务单

项目：总说明	
学习任务：总说明	
教学目标 知识目标： 1. 了解结构的分类和各种工程结构的特点； 2. 知道混凝土结构的发展与应用概况。 能力目标： 1. 能掌握学好本课程需要注意的问题； 2. 阐述本课程所讲述的主要内容。	教学过程设计 学生准备： 查询本课程所讲述的主要内容、结构的分类和各种工程结构特点及混凝土结构的发展与应用概况。 教学方法： 创设职业氛围，模拟工程情境，精选案例，依据教师与学生交流的媒介和手段，在教学过程中运用大量的教学方法，如讲授法、讨论法、探究法、演示法、案例法、任务驱动法等。 教学组织： 结合施工图片、案例、视频、动画、施工规范要求引入该学习情境，使学生了解各结构的特点，掌握学习本课程应注意的问题，了解混凝土结构的发展与应用概况。
单项考核： 分组完成教学任务(掌握本课程所讲述的主要内容、结构的分类和各工程结构特点及混凝土结构的发展与应用概况)； 学生自评、小组互评、教师评价。	教学方式： 充分利用现代教育技术，将多媒体教学与传统教学相结合；通过网络资源库，为学生自主学习提供必要的资源支持。
学生技能： 钢筋混凝土结构的设计、计算、验算、施工技能；绘图技能；试验仪器操作与使用技能；组织设计；团队协作，职业道德。	教师技能： 对任务教学理念深刻认识； 具有一定的结构工程施工实践经验，能引导学生在项目实践中学习，帮助学生解决实际问题。

在土木工程中，由建筑材料筑成，能承受荷载而起骨架作用的构架称为结构。从应用领域分，结构可分为建筑结构、桥梁结构、水电结构和其他特种结构等。从结构所使用的建筑材料种类分，又可分为钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、钢结构、木结构、圬工砌体结构以及组合结构等。本专业所涉及的各种桥梁结构都由桥面板、横梁、主梁、桥梁的墩台、拱等基本构件所组成，虽然这些构件形式很多，但按主要受力特点可以分为受压构件、受弯构件、受拉构件和受扭构件等几种最典型的基本构件。

结构设计原理就是讨论工程结构基本构件的构造、受力性能、计算验算方法及基本结构施工预制过程的课程，是学习和掌握桥梁工程和其他道路人工构造物的基础。

一、各种工程结构特点及使用范围

1. 钢筋混凝土结构

钢筋混凝土结构由钢筋和混凝土两种不同材料所组成，混凝土材料具有较高的抗压强度，而抗拉强度很低，根据构件受力情况，在混凝土中合理配置钢筋，使混凝土和钢筋自身材料的强度得到充分的发挥，就可形成承载力较高、刚度较大的钢筋混凝土结构构件。

钢筋混凝土结构的优点在于：

(1)耐久性好。与钢结构相比，钢筋混凝土结构有较好的耐久性，它不需要经常的保养与维护。在钢筋混凝土结构中，钢筋被混凝土包裹而不致锈蚀，另外，混凝土的强度还会随时间增长而略有提高，故钢筋混凝土有较好的耐久性，对于在有侵蚀介质存在的环境中工作的钢筋混凝土结构，可根据侵蚀的性质合理地选用不同品种的水泥，达到提高耐久性的目的。一般火山灰质水泥和矿渣水泥抗硫酸盐侵蚀的能力很强，可在有硫酸盐腐蚀的环境中使用；另外，矿渣水泥抗碱腐蚀的能力也很强，则可用于碱腐蚀的环境中。

(2)耐火性好。相对钢结构和木结构而言，钢筋混凝土结构具有较好的耐火性。在钢筋混凝土结构中，由于钢筋包裹在混凝土里面而受到保护，火灾时钢筋不至于很快达到流塑状态而使结构整体破坏。

(3)整体性好。相对砌体结构而言，钢筋混凝土结构具有较好的整体性，适用于抗震、抗爆结构。另外，钢筋混凝土结构刚性较好，受力后变形小。

(4)容易取材。混凝土所用的砂、石料可就地取材，节省运费，降低运输成本。另外，还可以将工业废料(如矿渣、粉煤灰)用于混凝土中，从而降低造价。

(5)可模性好。可根据结构形状的要求制造模板，进而将钢筋混凝土结构浇筑成各种形状和尺寸。

钢筋混凝土结构除了具有以上优点外，存在以下缺点：

(1)结构自重大。钢筋混凝土结构自重大，截面尺寸也较大，当达到一定跨径时，结构承受的弯矩显著增大，其承受荷载的能力就会显著降低。

(2)抗裂性能差。由于混凝土抗拉强度很低，在使用阶段，构件一般是带裂缝工作的，这对构件的刚度和耐久性都带来不利影响。

(3)浇筑混凝土时需要大量的模板，增大造价。

(4)户外浇筑混凝土时受季节及天气条件限制，冬期及雨期混凝土施工必须对混凝土浇筑振捣和养护等工艺采取相应的措施，以确保施工质量。

(5)钢筋混凝土结构隔热、隔声性能也较差。

由于钢筋混凝土结构具有许多显而易见的诸多优点，现在已成为世界各地建筑、道路桥梁、机场、码头和核电站等工程中应用最广的工程材料。在公路与城市道路工程、桥梁工程中，钢筋混凝土结构广泛应用于中小跨径桥梁、涵洞、挡土墙等结构物中。

2. 预应力混凝土结构

为了使钢筋混凝土构件满足变形和裂缝控制的要求，则需增加构件的截面尺寸和用钢量，这将导致截面尺寸和自重过大，使钢筋混凝土构件用于大跨度或承受动力荷载的结构(如大跨屋盖、重吨位吊车梁、较大跨径的桥梁等)成为很不经济、很不合理甚至是不可能的，如果在结构构件受外荷载作用前，预先对由外荷载引起的混凝土受拉区施加预压应力，用以减小或抵消外荷载所引起的混凝土的拉应力，则能使结构构件承受荷载时的拉应力不

大，甚至处于受压状态，也就是借助于混凝土较高的抗压能力来弥补其抗拉能力的不足，采用预先加压的手段来间接地提高混凝土的抗拉强度，从本质上改变混凝土易裂的特性。这种在构件受荷载以前预先对混凝土受拉区施加压应力的结构，称为“预应力混凝土结构”。

在混凝土受拉区适当地施加压应力可以延缓裂缝的产生和发展，并且可以使用高强高性能混凝土、高强度钢筋以减小结构截面尺寸，减轻结构自重，增大跨越能力。预应力技术还可以作为装配钢筋混凝土结构的一种可靠的手段。

预应力混凝土结构的缺点是其结构材料的单价高，施工工序多，要求有经验、熟练的技术人员和技术工人施工，且要求较多的严格的现场技术监督和检查。

3. 圬工结构

圬工结构是由胶结材料将砖、天然石料、混凝土预制块等块材按规则砌筑而成的整体结构，特点是易于就地取材。由于圬工结构抗压能力强，适合应用于主要承受压力的结构。圬工结构自重较大，施工中工业化程度低。圬工结构多用于中小跨径的拱桥、墩台、挡土墙、基础、涵洞、道路护坡等工程中。

4. 钢结构

钢结构一般由钢厂轧制的型钢或钢板通过焊接或螺栓等连接组成的结构。钢结构由于钢材的强度高，构件所需的尺寸较小，所以是自重较轻的结构。钢结构可靠性高，机械化程度高，已预制的构件可在施工现场较快地装配连接，施工效率高，但相对于钢筋混凝土结构，钢结构造价高，养护费用高。

钢结构一般应用于大跨径的钢桥、城市人行天桥、高层建筑、海洋钻井采油平台等，同时，还应用于钢支架、钢模板、钢围堰、钢挂梁等临时结构中。

随着科学的发展，工程中还出现了多种组合结构和新材料结构。例如，预应力混凝土组合梁、钢管混凝土结构、钢—混凝土组合梁、纤维增强聚合物(FRP)结构、FRP—混凝土组合结构等。组合结构利用各自材料及结构特点的部件，通过可靠的连接使之结合成整体受力的构件，从而获得较好的工程效果。例如，FRP结构具有轻质、高强、耐腐蚀的特点，近几年在一些特殊环境条件下日益得到应用。

二、学习本课程应注意的问题

结构设计原理是一门综合性较强的应用科学，其发展需综合运用数学、力学、材料科学和施工技术等相关知识，并涉及许多领域，建立了自己完整的设计理论、结构体系和施工技术。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。

(1)结构设计原理以提高道桥工程施工技术人员岗位能力为前提进行课程设计，按照道桥施工设计时“工作任务引领”方式进行教学内容设计；将结构设计原理理论课程内容按岗位能力分解为相对应的钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、圬工结构等教学项目。

(2)加强试验、实践性教学环节并注意扩大知识面。结构设计原理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，它是以试验为基础的，因此，除课堂学习以外，还要加强试验的教学环节，以使学生进一步理解学习内容和训练试验的基本技能；要求学生能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等的试验。结构设计原理课程的实践性很强，因此，还要加强课程作业、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,如《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)、《公路圬工桥涵设计规范》(JTG D61—2005)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)、《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50—2011)等。

(3)逐步培养工程思维模式。该课程中一些公式是以经验、试验为基础得到的,而非由理论推导而来。另外,构件和结构设计是一个综合性问题,设计过程包括结构方案、构件选型、材料选择、配筋构造、施工方案等,同时,还需要考虑安全适用和经济合理。设计中许多数据可能有多种选择方案,因此,设计结果不是唯一的。最终设计结果应经过各种方案的比较,综合考虑使用、材料、造价、施工等各项指标的可行性,这样才能确定一个较为合适的设计结果。

三、混凝土结构的发展与应用概况

公元 1824 年,泥水匠阿斯谱丁发明了波特兰水泥,大约在 19 世纪 50 年代,钢筋混凝土开始被用来建造各种简单的楼板、柱、基础等。生产的需要促进了人们对钢筋混凝土性能的试验,开展了计算理论的探讨和施工方法的改进。进入 20 世纪以后,钢筋混凝土结构有了较快的发展,许多国家陆续建造了一些建筑、桥梁、码头和堤坝。20 世纪 30 年代,钢筋混凝土(如薄壳、折板)开始应用于空间结构,期间预应力混凝土结构件也得到了广泛的应用与研究。第二次世界大战以后,重建城市的任务十分繁重,必须加快建设速度,于是钢筋混凝土结构工业化施工方法得到快速发展,工厂生产的预制构件也得到了较广泛的应用。由于混凝土和钢筋材料强度不断提高,钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构的应用范围也在不断向大跨和高层发展,如日本浜名大桥采用预应力混凝土箱形截面桥梁,跨度超过 240 m。目前,钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构已应用到土木工程的各个领域,成为一种主要的土木工程结构。随着高强度钢筋、高强高性能混凝土以及高性能外加剂和混合材料的研制使用,钢筋混凝土和预应力混凝土结构的应用范围不断扩大,并且钢纤维混凝土和聚合物混凝土的研究和应用也有了很大发展。另外,轻质混凝土、加气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;防射线、耐磨、耐腐蚀、防渗透、保温等特殊需要的混凝土和智能型混凝土及其结构也正在研究中。钢筋混凝土结构在大跨度钢筋混凝土桁架、门式刚架、拱、薄壳等结构形式方面也有广泛应用。目前,用钢筋混凝土建造的桥梁、水闸、水电站、码头等已是星罗棋布,人们甚至已开始构思和试验用于月面建筑。

随着人们对混凝土的深入研究,钢筋混凝土结构在土木工程领域必将得到更广泛的应用。目前,钢管混凝土结构、钢骨混凝土结构和钢—混凝土组合结构的应用更加开拓了混凝土的使用范围。



思考题与习题

1. 钢筋混凝土结构按主要受力特点可以分为哪几种?
2. 钢筋混凝土结构按所使用的建筑材料分为哪些类型?
3. 钢筋混凝土结构的特点有哪些?
4. 预应力钢筋混凝土结构的特点有哪些?
5. 学习本课程应注意哪些问题?



能力训练

1. 某设计部门接到一方案比选任务，拟在三通河上架设一桥梁，桥梁全长为 100 m，试拟定出按材料分类的所有可能的桥梁结构类型，并根据材料特征进行比较。（至少三种）
2. 试论述我国现代钢筋混凝土结构的设计和施工与国外发达国家的差距。

钢筋混凝土结构

第一章 钢筋混凝土结构的基本知识

学习任务单

项目一：钢筋混凝土结构	
学习任务：钢筋混凝土结构的基本知识	
教学目标 知识目标： 1. 掌握钢筋混凝土结构受压及受弯构件的受力特点及破坏形态； 2. 了解钢筋与混凝土共同工作的原因； 3. 掌握钢筋与混凝土的物理力学性质； 4. 掌握钢筋与混凝土的强度、变形及钢筋加工要求； 5. 了解钢筋与混凝土的粘结作用。 能力目标： 1. 掌握钢筋混凝土材料物理力学性能； 2. 能做混凝土及钢筋强度的试验； 3. 掌握钢筋的加工要求。	教学过程设计 学生准备： 查询钢筋与混凝土的物理力学性质及钢筋与混凝土共同工作的原因。 教学方法： 创设职业氛围，模拟工程情境，精选案例，依据教师与学生交流的媒介和手段，在教学过程中运用大量的教学方法，如讲授法、讨论法、探究法、演示法、案例法、任务驱动法等。 教学组织： 结合施工图片、案例、视频、动画、施工规范要求引入该学习情境，使学生对钢筋混凝土结构基本知识的内容从认知到熟悉强化。
单项考核： 分组完成教学任务(根据试验阐述钢筋与混凝土的物理力学性质及钢筋与混凝土共同工作的原因)； 学生自评、小组互评、教师评价。	教学方式： 充分利用现代教育技术，将多媒体教学与传统教学相结合；通过网络资源库，为学生自主学习提供必要的资源支持；充分利用校内外实训资源，为学生提供实习、实训机会。
学生技能： 钢筋混凝土结构的设计、计算、验算、施工技能；绘图技能；试验仪器操作与使用技能；组织设计；团队协作，职业道德。	教师技能： 对任务教学理念深刻认识； 具有一定的钢筋混凝土结构工程施工实践经验，能引导学生在项目实践中学习，帮助学生解决实际问题。

第一节 钢筋混凝土结构概述

钢筋混凝土是由两种力学性能不同的材料——钢筋和混凝土结合成整体，共同发挥作用的—种建筑材料。

一、素混凝土构件和钢筋混凝土构件受力与破坏形态比较

1. 素混凝土简支梁

素混凝土简支梁在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[图 1-1(a)]。由于混凝土的抗拉性能很差(为抗压强度的 1/18~1/8)，若梁下部受拉边缘的拉应力达到混凝土的极限拉应力，梁就会出现裂缝，裂缝急剧向上开展，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[图 1-1(b)]。因此，素混凝土构件在实际工程的应用很有限，主要用于以受压为主的基础、柱墩和一些非承重结构中。

2. 钢筋混凝土简支梁

为了改变由于混凝土抗拉性能差导致素混凝土简支梁易突然断裂这种情况，应在截面受拉区域配置适量的钢筋构成钢筋混凝土梁。钢筋主要承受梁中性轴以下受拉区的拉力，混凝土主要承受中性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强，受拉区的混凝土达到抗拉极限强度开裂，此时受拉区的抗力就由钢筋来承担，这样就使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，此后荷载还可略有增加，当受压区混凝土被压碎时梁才破坏。破坏前变形较大，有明显预兆，属于延性破坏类型[图 1-1(c)]。

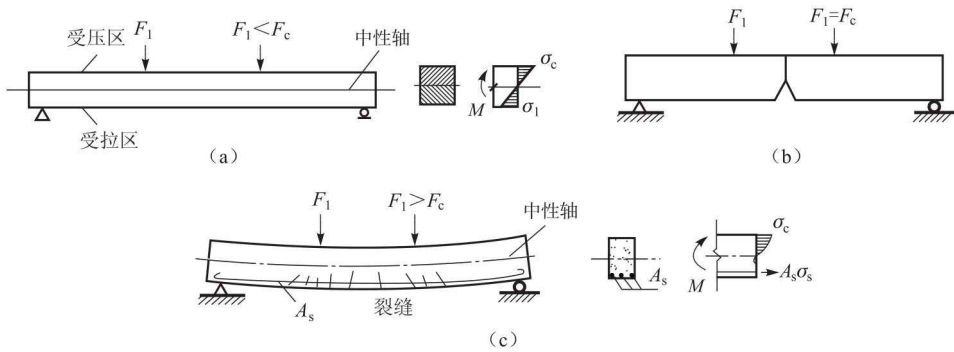


图 1-1 素混凝土梁和钢筋混凝土梁

(a)受竖向力作用的混凝土梁；(b)素混凝土梁的断裂；(c)钢筋混凝土梁的开裂

由此可见，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。

3. 钢筋混凝土受压柱

在轴心受压的混凝土柱中，通常也配置抗压强度较高的钢筋协助混凝土承受压力，以提高混凝土柱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，所以可以减小柱的截面尺寸。另外，配置了钢筋还能改善受压混凝土构件破坏时的脆性，并可以承受偶然因素在构件内产生的拉力(图 1-2)。

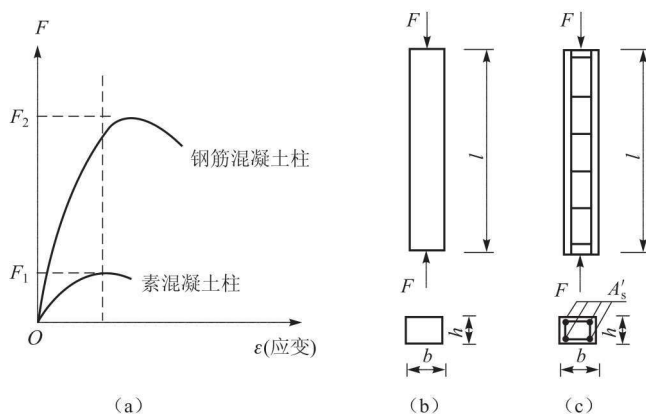


图 1-2 素混凝土和钢筋混凝土轴心受压构件的受力性能比较
(a)混凝土柱的压力—应变曲线；(b)素混凝土柱；(c)钢筋混凝土柱

除在构件的受拉区配置钢筋以承受拉力，在构件的受压区配置钢筋协助混凝土承受压力外，还有许多其他配筋方式：在复杂应力区域(如梁在受剪区段、受扭构件、节点区、剪力墙等)，可以配置箍筋或纵横交错的钢筋；当构件受力很大时，可以直接配置钢骨，还可以利用箍筋约束混凝土，来提高混凝土的抗压强度，甚至直接采用钢管，另外，采用纤维(钢纤维、玻璃纤维等)与混凝土一起搅拌，形成纤维混凝土，其抗拉强度可以得到提高。

因此，两种(或两种以上)材料的有机组合，充分发挥各自的长处，可以创造出多种形式的复合材料，适应各种不同受力的要求，取得很好的综合经济效益。

二、钢筋与混凝土能共同工作的原因

(1)混凝土干缩硬化后能产生较大的粘结力(或称握裹力)，由于粘结力的存在，使两者可靠地结合成整体，在荷载的作用下能共同工作，协调变形。

(2)钢筋和混凝土的温度膨胀系数较为接近(钢筋为 1.2×10^{-5} ，混凝土为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}$)。当温度变化时，两种材料不会产生较大的相对变形，即不会产生较大的内应力。

(3)钢筋被混凝土包裹，免遭锈蚀，使钢筋混凝土结构具有较好的耐久性。水泥水化作用后产生碱性反应，在钢筋表面产生一种水泥石质薄膜，可以防止有害介质的直接侵蚀。

第二节 钢筋混凝土材料物理力学性质

一、混凝土物理力学性质

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。混凝土中的砂、石、水泥胶体组成了弹性骨架，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。此外，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，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。

(一)混凝土的强度

混凝土的强度是混凝土的重要力学性能指标，是设计混凝土结构的重要依据，它直接影响到结构的安全性和耐久性。在设计施工中常用混凝土的强度可分为立方体抗压强度、混凝土轴心抗压强度以及混凝土轴心抗拉强度等。

在实际工程中，单向受力构件极少见，一般均处于复合应力状态，复合应力作用下混凝土的强度应引起足够重视。研究复合应力作用下混凝土的强度必须以单向应力作用下的强度为基础，复合应力作用下混凝土的强度试验需要复杂的设备，理论分析也较难，还处在研究之中。因此，单向受力状态下混凝土的强度指标就很重要，它是结构构件分析、建立强度理论公式的重要依据。

1. 立方体抗压强度 $f_{cu,k}$

(1)概念。混凝土的强度与水泥强度等级、水灰比有很大关系；集料的性质、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强度的试验结果。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。我国采用边长为 150 mm 的立方体作为混凝土抗压强度的标准尺寸试件，并以立方体抗压强度作为混凝土各种力学指标的代表值。《混凝土强度检验评定标准》(GB/T 50107—2010)[以下简称《标准》(GB/T 50107)]规定以边长为 150 mm 的立方体，在 $(20\pm2)^{\circ}\text{C}$ 的温度和相对湿度在 95% 以上的潮湿空气中养护 28 天，依照标准试验方法测得的具有 95% 保证率的抗压强度(以 N/mm^2 计，也就是单位 MPa)作为混凝土的立方体抗压强度，并以此作为混凝土的强度等级，并用符号 $f_{cu,k}$ 表示。立方体抗压强度是在试验室条件下取得的抗压强度(标准养护试块)。

(2)强度等级的划分及有关规定。《标准》(GB/T 50107)规定，混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$ 确定。公路桥涵受力构件的混凝土强度等级划分为 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 以下为普通混凝土，C50~C80 属高强度混凝土。钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C20；当采用 HRB400 和 KL400 级钢筋配筋时，混凝土强度等级不得低于 C25。预应力混凝土结构的混凝土强度等级不应低于 C40。

(3)试验方法对立方体抗压强度的影响。试件在试验机上受压时，纵向要压缩，横向要膨胀，由于混凝土与压力机垫板弹性模量与横向变形的差异，压力机垫板的横向变形明显小于混凝土的横向变形。当试件承压接触面上不涂润滑剂时，混凝土的横向变形受到摩擦力的约束，形成“箍套”的作用。“箍套”的作用对混凝土试件的横向变形产生制约，试件破坏时形成两个对顶的角锥形破坏面，如图 1-3(a)所示，也就是说试件是被压坏的。如果在试件承压面上涂一些润滑剂，这时试件与压力机垫板间的摩擦力大大减小，使对试件横向变形的约束作用几乎没有，导致横向变形使混凝土产生横向拉力，试件沿着力的作用方向平行地产生几条裂缝而破坏，所测得的抗压极限强度较低，如图 1-3(b)所

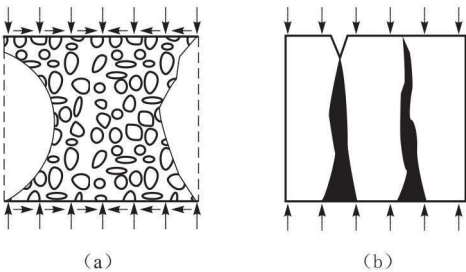


图 1-3 混凝土立方体标准试件的破坏情况
(a)不涂润滑剂；(b)涂润滑剂