



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

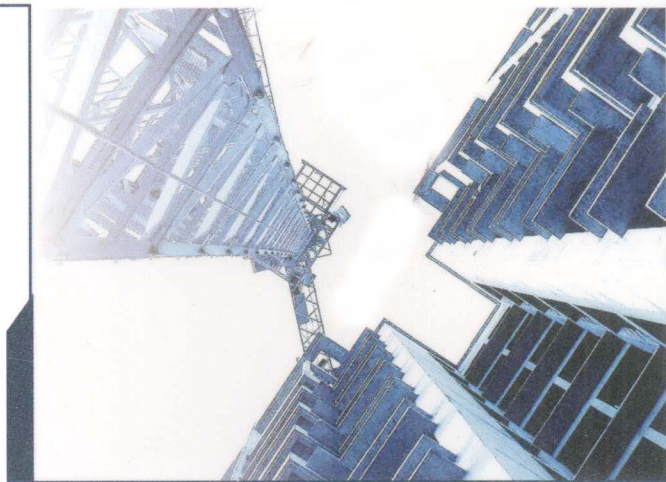
混凝土结构设计原理

(第2版)

主 编 邵永健 翁晓红 劳裕华

提供电子课件

- 采用最新混凝土结构设计规范
- 例题丰富新颖，解题过程详细



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
江苏省高等学校精品教材

混凝土结构设计原理(第 2 版)

主 编 邵永健 翁晓红 劳裕华
副主编 段红霞 夏 敏 方有珍



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书根据高等学校土木工程学科专业指导委员会编制的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》编写。全书共 10 章,包括:绪论,混凝土结构材料的物理力学性能,混凝土结构设计的基本原则,受弯构件正截面、受弯构件斜截面、受压构件、受拉构件、受扭构件及预应力混凝土构件的受力性能与设计,混凝土构件的裂缝宽度、变形验算与耐久性设计(本书带 * 号的为选学内容)。本书主要结合我国国家标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)进行编写,并在每章的最后一节介绍了《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)的设计计算方法。

本书对理论部分进行了充分的梳理,条理清晰,给出了规范化的计算流程图,计算例题类型全,解题过程规范,每章前有教学提示和学习要求,每章后有本章小结、思考题和习题。

本书可作为高等院校土木工程及相关专业的教材,也可作为该类专业继续教育的教材,并可作为土建设计与施工技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构设计原理/邵永健,翁晓红,劳裕华主编. —2 版. —北京:北京大学出版社,2013.8
(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 978-7-301-23028-2

I. ①混… II. ①邵…②翁…③劳… 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(2013)第 190868 号

书 名: 混凝土结构设计原理(第 2 版)

著作责任者: 邵永健 翁晓红 劳裕华 主编

策划编辑: 卢东 吴迪

责任编辑: 伍大维

标准书号: ISBN 978-7-301-23028-2/TU·0356

出版发行: 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> 新浪官方微博: @北京大学出版社

电子信箱: pup_6@163.com

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

印 刷 者: 三河市北燕印装有限公司

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 27.75 印张 654 千字

2010 年 2 月第 1 版

2013 年 8 月第 2 版 2013 年 8 月第 1 次印刷(总第 3 次印刷)

定 价: 52.00 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 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

第2版前言

“混凝土结构设计原理”不仅是一门理论性与实践性很强的课程，而且是一门不断发展中的课程。为了将混凝土结构学科的最新成果及时纳入规范，为工程建设服务，《混凝土结构设计规范》(GB 50010)一般10年左右修订一次。本书第1版出版后，新修订的国家标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)自2011年7月1日起实施，原国家标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)同时废止。由于本书第1版是按原国家标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)编写的，所以本书第2版按新实施的国家标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)对内容进行了全面的更新。同时，本书第1版出版后，为适应不同层次人才培养的需要，为使不同层次人才的培养有章可循，全国高等学校土木工程学科专业指导委员会编制的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》于2011年9月7日颁布，所以本书第2版同时按照《高等学校土木工程本科指导性专业规范》的要求进行了修订。

本书第2版除保留第1版的特色外，还增加了“先进性、正确性和系统性”三个新特色。先进性体现在全书内容均按新规范编写，从而避免现有部分教材在例题等地方还不同程度地遗留有旧规范的痕迹、有的甚至还在介绍已淘汰的设计计算方法等情况。正确性体现在不仅力争全书理论阐述部分内容的正确性，而且还力争全部例题的题意正确、计算过程合理、计算结果正确，从而避免现有部分教材编写时只重视理论部分内容的编写，对例题等的编写重视不够的情况。系统性体现在编者是在对内容特点、教学规律和认知规律进行全面考虑的基础上，来组织全书内容的编写。

本书由苏州科技学院、河北科技师范学院、台州学院和福建农林大学长期担任《混凝土结构设计原理》课程教学工作的教师共同编写完成。第1章和第3章由邵永健和翁晓红编写；第2章由翁晓红、邵永健和朱天志编写；第4章由夏敏和朱天志编写；第5章由劳裕华编写；第6章由翁晓红、邵永健和谢成新编写；第7章由夏敏和段红霞编写；第8章由劳裕华和李瑞鸽编写；第9章由翁晓红、邵永健和李瑞鸽编写；第10章由翁晓红、邵永健和方有珍编写。全书由邵永健统稿，苏州科技学院混凝土结构教研室的全体教师对本书的编写给予了很大的帮助，在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏与不妥之处，敬请读者批评指正。

编者

2013年4月

第 1 版前言

混凝土结构设计原理是一门理论性与实践性均很强，且与现行国家工程建设标准密切相关的课程。本书内容可直接应用于工程实践，并为工程实践服务。本书适用于房屋建筑、交通土建、水利、矿井、运输管道、港口以及海洋平台等工程的混凝土结构设计课程。本书内容可为学生在校学习后续专业课和毕业后从事工程建设技术工作或继续深造学习提供坚实的基础。

本书内容主要由混凝土构件的受力性能、设计计算方法和构造措施三个知识模块组成。受力性能知识模块主要内容是混凝土构件的试验及其力学性能分析。编写该部分时，编者除对内容进行了较为全面的梳理外，还力求其叙述层次分明，条理清晰，表达简洁明了，图文并茂。设计计算方法和构造措施知识模块是本书与工程实践直接衔接的内容。编写该部分时，一是除与现行标准的表述一致外，为了便于学生理解、掌握和应用，一般一个计算类型还配有一个计算流程图，而且流程图的逻辑关系合理，格式全书一致；二是重视例题的编写，选取的例题力求符合工程实际，例题的类型齐全，题意清晰、完整，解题过程规范。

本书由苏州科技学院、河北科技师范学院、河南城建学院和福建农林大学长期担任混凝土结构设计原理课程教学工作的教师共同编写。第 1 章和第 3 章由邵永健和翁晓红编写；第 2 章和第 4 章由朱天志和段红霞编写；第 5 章由段红霞和翁晓红编写；第 6 章的 6.1~6.9 节由谢成新编写；第 6 章的 6.10 节由方有珍编写；第 7 章和第 8 章的 8.1~8.2 节由段红霞编写；第 8 章的 8.3~8.7 节和第 9 章由李瑞鸽编写；第 10 章由方有珍编写。全书的计算流程图、例题和习题由段红霞审核；JTG D62—2004《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》的设计计算方法由方有珍审核；全书由邵永健统稿。研究生白明杰、余热兵和郁文参加了本书的校对工作，苏州科技学院混凝土结构教研室的全体教师对本书的编写给予了很大的帮助，在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中难免有错误与不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2009 年 12 月

北京大学出版社土木建筑系列教材(已出版)

序号	书名	主编	定价	序号	书名	主编	定价
1	建筑设备(第2版)	刘源全 张国军	46.00	50	土木工程施工	石海均 马哲	40.00
2	土木工程测量(第2版)	陈久强 刘文生	40.00	51	土木工程制图	张会平	34.00
3	土木工程材料(第2版)	柯国军	45.00	52	土木工程制图习题集	张会平	22.00
4	土木工程计算机绘图	袁果 张渝生	28.00	53	土木工程材料(第2版)	王春阳	50.00
5	工程地质(第2版)	何培玲 张婷	26.00	54	结构抗震设计	祝英杰	30.00
6	建设工程监理概论(第3版)	巩天真 张泽平	40.00	55	土木工程专业英语	霍俊芳 姜丽云	35.00
7	工程经济学(第2版)	冯为民 付晓灵	42.00	56	混凝土结构设计原理(第2版)	邵永健	52.00
8	工程项目管理(第2版)	仲景冰 王红兵	45.00	57	土木工程计量与计价	王翠琴 李春燕	35.00
9	工程造价管理	车春鹏 杜春艳	24.00	58	房地产开发与管理	刘薇	38.00
10	工程招标投标管理(第2版)	刘昌明	30.00	59	土力学	高向阳	32.00
11	工程合同管理	方俊 胡向真	23.00	60	建筑表现技法	冯柯	42.00
12	建筑工程施工组织与管理(第2版)	余群舟 宋会莲	31.00	61	工程招投标与合同管理	吴芳 冯宁	39.00
13	建设法规(第2版)	肖铭 潘安平	32.00	62	工程施工组织	周国恩	28.00
14	建设项目评估	王华	35.00	63	建筑力学	邹建奇	34.00
15	工程量清单的编制与投标报价	刘富勤 陈德方	25.00	64	土力学学习指导与考题精解	高向阳	26.00
16	土木工程概预算与投标报价(第2版)	刘薇 叶良	37.00	65	建筑概论	钱坤	28.00
17	室内装饰工程预算	陈祖建	30.00	66	岩石力学	高玮	35.00
18	力学与结构	徐吉恩 唐小弟	42.00	67	交通工程学	李杰 王富	39.00
19	理论力学(第2版)	张俊彦 赵荣国	40.00	68	房地产策划	王直民	42.00
20	材料力学	金康宁 谢群丹	27.00	69	中国传统建筑构造	李合群	35.00
21	结构力学简明教程	张系斌	20.00	70	房地产开发	石海均 王宏	34.00
22	流体力学	刘建军 章宝华	20.00	71	室内设计原理	冯柯	28.00
23	弹性力学	薛强	22.00	72	建筑结构优化及应用	朱杰江	30.00
24	工程力学	罗迎社 喻小明	30.00	73	高层与大跨建筑结构施工	王绍君	45.00
25	土力学	肖仁成 俞晓	18.00	74	工程造价管理	周国恩	42.00
26	基础工程	王协群 章宝华	32.00	75	土建工程制图	张黎骅	29.00
27	有限单元法(第2版)	丁科 殷水平	30.00	76	土建工程制图习题集	张黎骅	26.00
28	土木工程施工	邓寿昌 李晓日	42.00	77	材料力学	章宝华	36.00
29	房屋建筑学(第2版)	聂洪达 郑恩田	48.00	78	土力学教程	孟祥波	30.00
30	混凝土结构设计原理	许成祥 何培玲	28.00	79	土力学	曹卫平	34.00
31	混凝土结构设计	彭刚 蔡江勇	28.00	80	土木工程项目管理	郑文新	41.00
32	钢结构设计原理	石建军 姜袁	32.00	81	工程力学	王明斌 庞永平	37.00
33	结构抗震设计	马成松 苏原	25.00	82	建筑工程造价	郑文新	39.00
34	高层建筑施工	张厚先 陈德方	32.00	83	土力学(中英双语)	郎煜华	38.00
35	高层建筑结构设计	张仲先 王海波	23.00	84	土木建筑CAD实用教程	王文达	30.00
36	工程事故分析与工程安全(第2版)	谢征勋 罗章	38.00	85	工程管理概论	郑文新 李献涛	26.00
37	砌体结构(第2版)	何培玲 尹维新	26.00	86	景观设计	陈玲玲	49.00
38	荷载与结构设计方法(第2版)	许成祥 何培玲	30.00	87	色彩景观基础教程	阮正仪	42.00
39	工程结构检测	周详 刘益虹	20.00	88	工程力学	杨云芳	42.00
40	土木工程课程设计指南	许明 孟苗超	25.00	89	工程设计软件应用	孙香红	39.00
41	桥梁工程(第2版)	周先雁 王解军	37.00	90	城市轨道交通工程建设风险与保险	吴宏建 刘宽亮	75.00
42	房屋建筑学(上:民用建筑)	钱坤 王若竹	32.00	91	混凝土结构设计原理	熊丹安	32.00

43	房屋建筑学(下:工业建筑)	钱坤 吴歌	26.00	92	城市详细规划原理与设计方法	姜云	36.00
44	工程管理专业英语	王竹芳	24.00	93	工程经济学	都沅军	42.00
45	建筑结构 CAD 教程	崔钦淑	36.00	94	结构力学	边亚东	42.00
46	建设工程招标投标与合同管理实务	崔东红	38.00	95	房地产估价	沈良峰	45.00
47	工程地质(第2版)	倪宏革 周建波	30.00	96	土木工程结构试验	叶成杰	39.00
48	工程经济学	张厚钧	36.00	97	土木工程概论	邓友生	34.00
49	工程财务管理	张学英	38.00	98	工程项目管理	邓铁军 杨亚频	48.00
序号	书名	主编	定价	序号	书名	主编	定价
99	误差理论与测量平差基础	胡圣武 肖本林	37.00	114	建筑工程安全管理与技术	高向阳	40.00
100	房地产估价理论与实务	李龙	36.00	115	土木工程施工与管理	李华锋 徐芸	65.00
101	混凝土结构设计	熊丹安	37.00	116	土木工程试验	王吉民	34.00
102	钢结构设计原理	胡习兵	30.00	117	土质学与土力学	刘红军	36.00
103	土木工程材料	赵志曼	39.00	118	建筑工程施工组织与概预算	钟吉湘	52.00
104	工程项目投资控制	曲娜 陈顺良	32.00	119	房地产测量	魏德宏	28.00
105	建设项目评估	黄明知 尚华艳	38.00	120	土力学	贾彩虹	38.00
106	结构力学实用教程	常伏德	47.00	121	交通工程基础	王富	24.00
107	道路勘测设计	刘文生	43.00	122	房屋建筑学	宿晓萍 隋艳娥	43.00
108	大跨桥梁	王解军 周先雁	30.00	123	建筑工程计量与计价	张叶田	50.00
109	工程爆破	段宝福	42.00	124	工程力学	杨民献	50.00
110	地基处理	刘起霞	45.00	125	建筑工程管理专业英语	杨云会	36.00
111	水分析化学	宋吉娜	42.00	126	土木工程地质	陈文昭	32.00
112	基础工程	曹云	43.00	127	暖通空调节能运行	余晓平	30.00
113	建筑结构抗震分析与设计	裴星洙	35.00				

相关教学资源如电子课件、电子教材、习题答案等可以登录 www.pup6.com 下载或在线阅读。

扑六知识网(www.pup6.com)有海量的相关教学资源和电子教材供阅读及下载(包括北京大学出版社第六事业部的相关资源),同时欢迎您将教学课件、视频、教案、素材、习题、试卷、辅导材料、课改成果、设计作品、论文等教学资源上传到 pup6.com,与全国高校师生分享您的教学成就与经验,并可自由设定价格,知识也能创造财富。具体情况请登录网站查询。

如您需要免费纸质样书用于教学,欢迎登陆第六事业部门户网(www.pup6.com)填表申请,并欢迎在线登记选题以到北京大学出版社来出版您的大作,也可下载相关表格填写后发到我们的邮箱,我们将及时与您取得联系并做好全方位的服务。

扑六知识网将打造成全国最大的教育资源共享平台,欢迎您的加入——让知识有价值,让教学无界限,让学习更轻松。

联系方式: 010-62750667, donglu2004@163.com, linzhangbo@126.com, 欢迎来电来信咨询。

目 录

第 1 章 绪论	1	4.4 受弯构件正截面受弯承载力的 计算方法	70
1.1 混凝土结构的一般概念及特点	1	4.5 单筋矩形截面受弯构件的正截面 受弯承载力计算	73
1.2 混凝土结构的发展与应用概况	3	4.6 双筋矩形截面受弯构件的正截面 受弯承载力计算	85
1.3 本课程的主要内容、特点和 学习方法	7	4.7 T形截面受弯构件的正截面 受弯承载力计算	94
本章小结	8	*4.8 深受弯构件的正截面承载力 计算	105
思考题	9	4.9 公路桥涵工程受弯构件的正截面 设计	108
第 2 章 混凝土结构材料的物理力学 性能	10	本章小结	114
2.1 混凝土	10	思考题	116
2.2 钢筋	22	习题	116
2.3 钢筋与混凝土的粘结	29	第 5 章 受弯构件斜截面的受力 性能与设计	119
2.4 公路桥涵工程混凝土结构材料	38	5.1 概述	119
本章小结	42	5.2 无腹筋简支梁的受剪性能	120
思考题	43	5.3 有腹筋简支梁的受剪性能	124
第 3 章 混凝土结构设计的基本 原则	44	5.4 受弯构件斜截面受剪承载力 计算公式	128
3.1 结构的功能要求和极限状态	44	5.5 受弯构件斜截面受剪承载力的 设计计算	133
3.2 概率极限状态设计方法	47	5.6 保证斜截面受弯承载力的 构造措施	144
3.3 荷载的代表值	50	*5.7 深受弯构件斜截面承载力 计算	157
3.4 材料强度的标准值和设计值	51	5.8 公路桥涵工程受弯构件的 斜截面设计	162
3.5 实用设计表达式	52	本章小结	169
3.6 公路桥涵工程混凝土结构设计的 基本原则	58	思考题	171
本章小结	60	习题	172
思考题	61		
第 4 章 受弯构件正截面的受力 性能与设计	62		
4.1 受弯构件概述	62		
4.2 受弯构件的一般构造	63		
4.3 受弯构件正截面的受弯性能	66		

第 6 章 受压构件的受力性能与设计	174	8.2 纯扭构件的受力性能与承载力计算	267
6.1 受压构件概述	174	8.3 弯剪扭构件的受力性能与承载力计算	273
6.2 受压构件的一般构造	175	8.4 矩形截面压弯剪扭构件的受力性能与承载力计算	279
6.3 轴心受压构件正截面的受力性能与承载力计算	177	8.5 矩形截面拉弯剪扭构件的受力性能与承载力计算	281
6.4 偏心受压构件正截面的受力性能	184	8.6 受扭构件承载力计算公式的适用条件与构造规定	282
6.5 矩形截面非对称配筋偏心受压构件正截面受压承载力计算	188	8.7 受扭构件承载力计算流程图与例题	284
6.6 矩形截面对称配筋偏心受压构件正截面受压承载力计算	214	8.8 公路桥涵工程受扭构件的设计	292
6.7 I 形截面对称配筋偏心受压构件正截面受压承载力计算	223	本章小结	297
6.8 偏心受压构件的 $N_u - M_u$ 相关曲线	235	思考题	299
6.9 偏心受压构件的斜截面受剪承载力计算	239	习题	299
6.10 公路桥涵工程受压构件的设计	240	第 9 章 混凝土构件的裂缝宽度、变形验算与耐久性设计	301
本章小结	244	9.1 概述	301
思考题	246	9.2 裂缝宽度验算	302
习题	247	9.3 变形验算	311
第 7 章 受拉构件的受力性能与设计	250	9.4 混凝土结构的耐久性	319
7.1 受拉构件概述	250	9.5 公路桥涵工程混凝土构件的裂缝宽度、变形验算与耐久性设计	323
7.2 轴心受拉构件正截面的受力性能与承载力计算	251	本章小结	326
7.3 偏心受拉构件正截面的受力性能与承载力计算	252	思考题	327
7.4 偏心受拉构件的斜截面受剪承载力计算	261	习题	327
7.5 公路桥涵工程受拉构件的设计	262	第 10 章 预应力混凝土构件的受力性能与设计	329
本章小结	263	10.1 预应力混凝土概述	329
思考题	264	10.2 预应力损失概述	336
习题	265	10.3 预应力混凝土构件的受力性能分析	345
第 8 章 受扭构件的受力性能与设计	266	10.4 预应力混凝土构件的设计计算	365
8.1 受扭构件概述	266		

10.5 预应力混凝土构件的构造措施	393	附录 B 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)相关附表	427
10.6 公路桥涵工程中预应力混凝土构件的设计	398	附录 C 《高等学校土木工程本科指导性专业规范》对本课程的教学要求	432
本章小结	414	参考文献	434
思考题	415		
习题	416		
附录 A 《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)相关附表 ...	418		

第1章

绪论

教学提示：本章首先讲述了混凝土结构的一般概念及特点，其重点在于两个方面：一是将钢筋和混凝土组合在一起形成钢筋混凝土结构的原因；二是钢筋与混凝土共同工作的条件。然后简要地介绍了混凝土结构的发展与应用概况。最后介绍了课程的主要内容、特点及学习过程中需注意的问题。

学习要求：通过本章学习，学生应熟悉混凝土结构的一般概念及特点，熟悉混凝土结构在国内外土木工程中的发展与应用概况，了解本课程的主要内容、要求和学习方法。

1.1 混凝土结构的一般概念及特点

1.1.1 混凝土结构的一般概念

混凝土是由胶凝材料、粗骨料(石子)、细骨料(砂粒)、水和外加剂等其他材料，按适当比例配制，经拌和、养护硬化而成的具有一定强度的人工石材。因此，也被称为“砼”。胶凝材料包括水泥、石灰、水玻璃、粉煤灰和矿粉等，但目前土木工程中使用最为广泛的是以水泥为胶凝材料的混凝土。

混凝土结构是以混凝土为主要材料制成的结构，包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构等。素混凝土结构是由无筋或不配置受力钢筋的混凝土制成的结构，主要用于承受压力而不承受拉力的结构，如基础、支墩、挡土墙、堤坝、地坪、路面、机场跑道及一些非承重结构。钢筋混凝土结构是由配置受力的普通钢筋、钢筋网或钢筋骨架的混凝土制成的结构。钢筋混凝土结构适用于各种受压、受拉、受弯和受扭的结构，如各种桁架、梁、板、柱、墙、拱、壳等。预应力混凝土结构是由配置受力的预应力钢筋通过张拉或其他方法建立预加应力的混凝土制成的结构。预应力混凝土结构的应用范围和钢筋混凝土结构相似，但由于预应力混凝土结构具有抗裂性好、刚度大和发挥高强钢筋强度的特点，特别适宜于一些跨度大、荷载重及有抗裂抗渗要求的结构。

其中，钢筋混凝土结构是目前土木工程中使用最为广泛的结构形式，由钢筋和混凝土两种力学性能极不相同的材料组成。钢筋的抗拉和抗压强度都很高，混凝土的抗压强度较高而抗拉强度却很低。钢筋混凝土结构就是把钢筋和混凝土通过合理的方式组合在一起，使钢筋主要承受拉力，混凝土主要承受压力，充分发挥两种材料的性能优势，从而使所设计的工程结构既安全可靠又经济合理。

图 1.1(a)和图 1.1(b)分别为尺寸和混凝土强度均相同的两根梁。唯一的区别是：图 1.1(a)的梁内没有配筋，即为素混凝土梁；图 1.1(b)的梁下部配有 $2\Phi 16$ 的纵向钢筋（以下简称“纵筋”），即为钢筋混凝土梁。

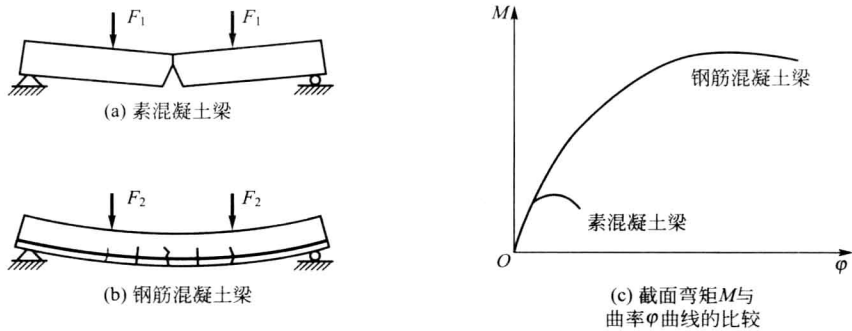


图 1.1 素混凝土梁与钢筋混凝土梁的受力破坏比较

图 1.1(a)所示的素混凝土梁在荷载作用下，梁截面上部受压、下部受拉。当梁跨中截面下边缘的混凝土达到抗拉强度时，该部位开裂，梁就突然断裂，属没有预兆的脆性破坏。同时由于混凝土的抗拉强度很低，所以梁破坏时的变形和荷载均很小。为改变这种情况，在梁的受拉区域配置适量的钢筋形成钢筋混凝土梁，如图 1.1(b)所示。在外荷载作用下钢筋混凝土梁同样是跨中截面下边缘的混凝土首先开裂，但此时开裂截面原来由混凝土承担的拉力转由钢筋承担。同时由于钢筋的强度和弹性模量均很大，故梁还能继续承受外荷载，直到受拉钢筋屈服，受压区混凝土压碎，梁才破坏。可见钢筋混凝土梁不仅破坏时能承受较大的外荷载，而且钢筋的抗拉强度和混凝土的抗压强度得到利用，破坏前的变形大，有明显的预兆，属延性破坏。图 1.1(c)分别给出了素混凝土梁和钢筋混凝土梁跨中截面的弯矩 M 与截面曲率 φ 的关系曲线。由图 1.1(c)可见，钢筋混凝土梁的承载能力和变形能力比素混凝土梁有很大的提高。

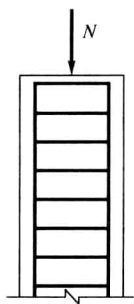


图 1.2 轴心受压柱

因钢筋同时具有很高的抗拉强度和抗压强度，所以如图 1.2 所示的轴心受压柱中通常也需配置钢筋，一可以协助混凝土承担压力以提高柱的承载力或减小柱的截面尺寸，二可以提高柱的变形能力以改善构件破坏时的脆性性能，同时还可以承担某些因素引起的拉力。

在外荷载作用下或温度变化时，钢筋混凝土构件应保证钢筋与混凝土能够协调工作。钢筋与混凝土能够共同工作的条件有以下 3 个。

(1) 混凝土硬化后，钢筋与混凝土之间有良好的粘结力。该粘结力使得钢筋混凝土结构中的钢筋和混凝土在外荷载作用下变形协调，共同工作。

(2) 钢筋与混凝土两种材料的温度线膨胀系数接近。钢筋为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ，混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 。因此，钢筋与混凝土之间的粘结不会因为温度变化产生较大的相对变形而破坏。

(3) 混凝土对埋置于其内的钢筋起到保护作用。混凝土的碱性环境使钢筋不易发生锈蚀；周围的混凝土不仅有助于固定钢筋的位置，而且在遭遇火灾时不致因钢筋很快软化而

导致结构破坏。因此，混凝土结构中的钢筋表面须有一定厚度的混凝土保护层。

1.1.2 混凝土结构的特点

混凝土结构在土木工程中得到广泛的应用，主要是由于混凝土结构具有下列优点。

(1) 就地取材。混凝土所用的砂、石均易于就地取材。另外，还可利用矿渣、粉煤灰等工业废料制成人造骨料作为浇筑混凝土的骨料。

(2) 合理用材、降低造价。钢筋混凝土结构合理地利用了钢筋和混凝土两种材料性能的优势，从而节约了钢材(与钢结构相比)、降低造价。

(3) 耐久性好。在混凝土结构中，钢筋由于受到混凝土的包裹而不易锈蚀，所以混凝土结构具有良好的耐久性。

(4) 耐火性好。混凝土为不良导热体，且包裹在钢筋的外面，所以火灾时钢筋不会很快达到软化温度而导致结构整体破坏。因此，与木结构、钢结构相比，混凝土结构具有良好的耐火性。

(5) 可模性好。由于新拌和的混凝土是可塑的，所以可根据建筑造型的需要制作成各种形状和尺寸的混凝土结构。

(6) 整体性好。现浇及装配整体式混凝土结构均具有良好的整体性，这有利于抗震、抵抗振动和爆炸冲击波。

混凝土结构也存在一些缺点，主要有以下几点。

(1) 自重。若承受相同的外荷载，采用混凝土结构时的截面尺寸比采用钢结构时要大许多，导致混凝土结构的自重。这对建造大跨度结构、高层建筑结构及结构抗震均是不利的。

(2) 抗裂性差。由于混凝土的抗拉强度低，所以在正常使用阶段钢筋混凝土构件的受拉区通常存在裂缝。如果裂缝宽度过大，就会影响结构的耐久性和使用性能。因此，对一些不允许出现裂缝或对裂缝宽度有严格限制的结构，应采取施加预应力等措施。

此外，混凝土结构尚存在施工周期长、施工工序复杂、费工、费模板、施工受季节气候影响、结构的隔热隔声性能较差及修复加固困难等缺点。

随着科学技术的不断进步，混凝土结构的这些缺点正在被逐步克服或逐渐改进。例如，采用轻质高强混凝土以减轻结构自重；采用预应力混凝土以提高结构的抗裂性；采用预制装配结构或采用钢模板，或采用顶升提升等施工技术可不同程度地节约模板和加快施工进度。

1.2 混凝土结构的发展与应用概况

1.2.1 混凝土结构的发展

混凝土结构的历史并不长，至今只有约 160 年，但发展很快，现已成为土木工程领域最为重要的结构形式。其发展大致分为以下 3 个阶段。

第1阶段：1850—1920年。1824年英国人J. Aspdin发明波特兰水泥，为钢筋混凝土的发明奠定了物质基础。从1850年法国人L. Lambot制造第一只钢筋混凝土小船(标志着混凝土结构的诞生)至1920年，该阶段钢筋与混凝土的强度都很低，只能用钢筋混凝土建造板、梁、柱和拱等简单的构件。此阶段采用材料力学中的容许应力法，按弹性理论进行结构的内力计算和截面设计。



图 1.3 帝国大厦

第2阶段：1920—1950年。这一阶段钢筋和混凝土的强度得到提高，开始出现装配式钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和壳体空间结构等。1928年法国工程师Freyssinet发明了预应力混凝土；1933年，法国、前苏联和美国分别建成跨度达60m的圆壳、扁壳和圆形悬索屋盖；1931年美国在纽约建成了102层、高381m的帝国大厦(图1.3)，该楼保持世界纪录达40年之久。此阶段计算理论开始考虑材料的塑性，开始按破损阶段进行构件的截面设计。

第3阶段：从1950年到现在。该阶段材料强度不断提高，高强混凝土、高性能混凝土及高强钢筋等相继出现并得到工程应用。各种新的结构形式和施工技术相继得到应用。混凝土结构所能达到的跨度和高度不断刷新。混凝土结构不断向新的应用领域拓展。计算理论已发展到充分考虑混凝土和钢筋塑性的极限状态设计理论，设计计算方法也已发展到以概率论为基础的极限状态设计法。

1.2.2 混凝土结构的应用

混凝土结构已在房屋建筑、桥梁、隧道、矿井、水利及海洋等工程中得到广泛的应用。

在建筑工程中，住宅和学校等民用建筑，以及单层和多层工业厂房大量使用混凝土结构，其中钢筋混凝土结构在一般工业与民用建筑中使用最为广泛。高层建筑中的框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构、筒体结构等也多采用混凝土结构。代表性的混凝土结构房屋建筑工程有：世界上最高的钢筋混凝土结构建筑是1996年建成的广州中信广场(图1.4)，80层，391m高，为筒中筒结构。2003年建成的中国台北国际金融中心(图1.5)，508m高，为钢和混凝土混合结构。2008年建成的上海环球金融中心(图1.6)，地下3层，地上101层，492m高，为由巨型框架外筒和钢筋混凝土核心内筒所形成的钢和混凝土混合结构。1997年建成的马来西亚吉隆坡国油双子塔楼(图1.7)，88层，452m高，为型钢混凝土结构。2010年建成的现世界第一高楼阿联酋迪拜的哈利法塔(图1.8)，160层，828m高，其600m以下为混凝土结构，以上为钢结构。早在1969年，美国就用高强轻集料混凝土建成了高217.6m、52层的休斯敦贝壳广场大厦，是迄今为止用轻骨料混凝土建造的最高建筑。

2009年开工建设的深圳平安金融中心，地下5层，地上115层，646m高，混合结构；2008年开工建设的上海中心，地下5层，地上124层，632m高，混合结构。两楼

的高度均超过现世界第二高楼沙特阿拉伯的麦加皇家钟塔酒店(601m高),均计划2014年竣工。



图 1.4 广州中信广场

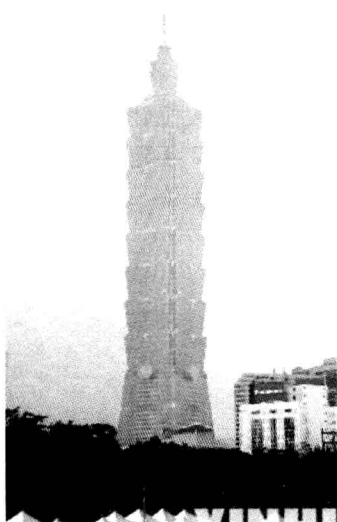


图 1.5 中国台北国际金融中心



图 1.6 上海环球金融中心



图 1.7 吉隆坡国油双子塔楼

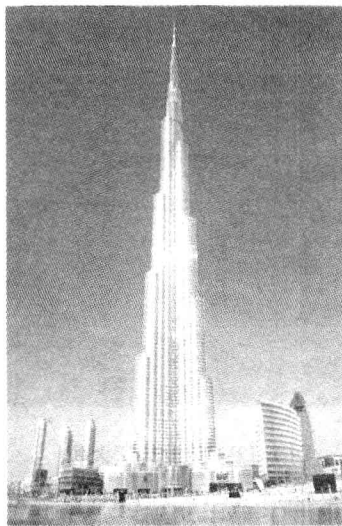


图 1.8 阿联酋迪拜的哈利法塔

在桥梁工程中,通常跨度 $<15\text{m}$ 的桥梁多采用钢筋混凝土结构建造,跨度在 $15\sim 25\text{m}$ 的桥梁多采用预应力混凝土结构建造,跨度在 $25\sim 60\text{m}$ 的桥梁则采用钢-混凝土组合结构建造较为经济,更大跨度的桥梁则一般采用钢结构建造。即使在悬索桥、斜拉桥等大跨度桥梁中,其桥塔一般仍采用混凝土结构,其桥面板也有采用混凝土结构的。现今,我国在桥梁工程的许多方面处于国际领先水平,取得了举世瞩目的建设成就。代表性的混凝土结构或钢-混凝土组合结构桥梁工程有:2000年建成的福州市青州闽江大桥(图 1.9),主跨

605m, 为双塔双索面钢-混凝土结合梁斜拉桥, 其桥塔和桥面板均为混凝土结构, 在斜拉桥中排名世界第十, 在钢-混凝土结合梁斜拉桥中排名世界第一。1993年建成的上海杨浦大桥(图 1.10), 主跨 602m, 也为双塔双索面钢-混凝土结合梁斜拉桥, 在斜拉桥中排名世界第十一, 在钢-混凝土结合梁斜拉桥中排名世界第二。2005年建成的巫山长江大桥(图 1.11), 主跨 460m, 为钢管混凝土拱桥, 在拱桥中排名世界第六, 在钢管混凝土拱桥中排名世界第一。1997年建成的万县长江大桥(图 1.12), 主跨 420m, 采用钢管混凝土拱桥为劲性骨架的箱形拱桥, 为世界首创。1997年建成的虎门辅航道桥, 主跨 270m, 为预应力混凝土连续刚架桥, 居当时同类桥的世界第一。

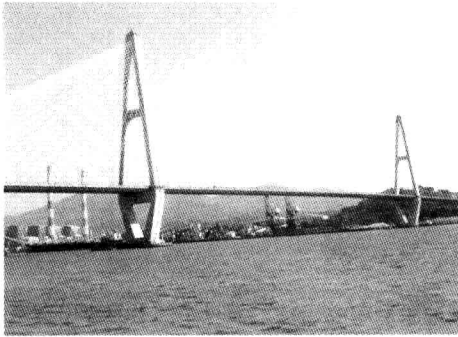


图 1.9 青州闽江大桥



图 1.10 杨浦大桥

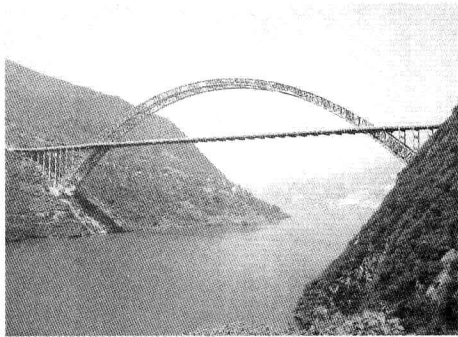


图 1.11 巫山长江大桥

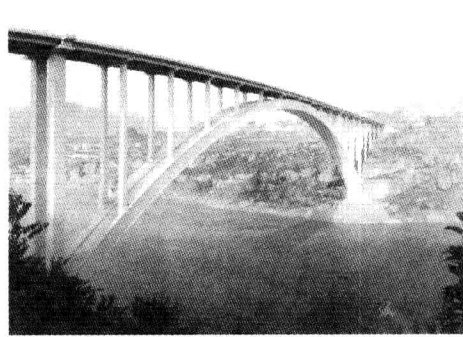


图 1.12 万县长江大桥

在水利水电工程中, 坝、水工隧洞、溢洪道等一般采用混凝土结构。同桥梁工程一样, 我国的水利水电工程建设规模大、建设水平高。截至 2005 年, 我国已建成 15m 以上的大坝 22000 多座, 占世界总量的 44%。其中世界最高的坝是我国雅砻江流域梯级开发龙头电站的锦屏一级拱坝, 为混凝土双曲拱坝, 坝高 305m, 2005 年开工建设。我国清江梯级开发第一级电站的水布垭大坝(图 1.13), 坝高 233m, 为世界第一高混凝土面板堆石坝, 2007 年建成。我国红水河龙滩水电站大坝长 832m、高 216.5m, 坝体混凝土用量达到 $736 \times 10^4 \text{ m}^3$, 为世界上最高的碾压混凝土重力坝。特别是三峡大坝(图 1.14)的建设成功, 标志着我国大坝建设跨入了世界先进行列。三峡大坝是混凝土重力坝, 坝体混凝土用量达到 $2794 \times 10^4 \text{ m}^3$, 为世界之最。

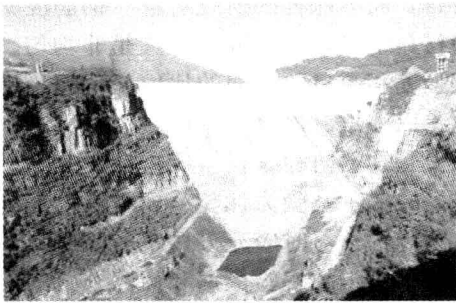


图 1.13 水布垭大坝



图 1.14 三峡大坝

除上述工程外,隧道、地铁、地下停车场、水塔、储液池、核反应堆安全壳和海上石油平台等工程大多也采用混凝土结构建造。我国每年混凝土用量约 $10 \times 10^8 \text{ m}^3$, 钢筋用量约 $2500 \times 10^4 \text{ t}$ 。可见,我国混凝土结构应用的规模之大,耗资之巨,居世界前列。

1.3 本课程的主要内容、特点和学习方法

1.3.1 本课程的主要内容

混凝土结构课程分为“混凝土结构设计原理”和“混凝土结构设计”两门课。本书主要介绍“混凝土结构设计原理”部分。其内容主要有:混凝土结构两大组成材料(钢筋和混凝土)的力学性能,混凝土结构设计的基本原则——以概率理论为基础的极限状态设计方法,混凝土结构4种基本构件(受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭构件)的受力性能、截面设计方法和构造措施。“混凝土结构设计原理”课程是“混凝土结构设计”等专业课程的基础课。课程各章内容关系如图1.15所示。

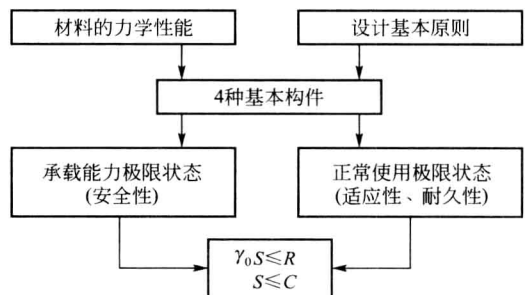


图 1.15 课程内容框架

“混凝土结构设计”部分介绍的结构类型一般有梁板结构、单层厂房、多高层混凝土建筑结构和混凝土桥梁结构等。其内容包括结构方案的选择、结构构件的布置与截面尺寸的确定、荷载计算、结构的内力计算与分析、截面设计及构造措施等,属专业课程内容。

1.3.2 本课程内容的特点和学习方法

(1) 课程内容复杂。本课程相当于钢筋混凝土“材料力学”,且与材料力学有许多相似之处,两者都通过平衡条件、物理条件和几何条件来建立基本方程。但材料力学研究对