

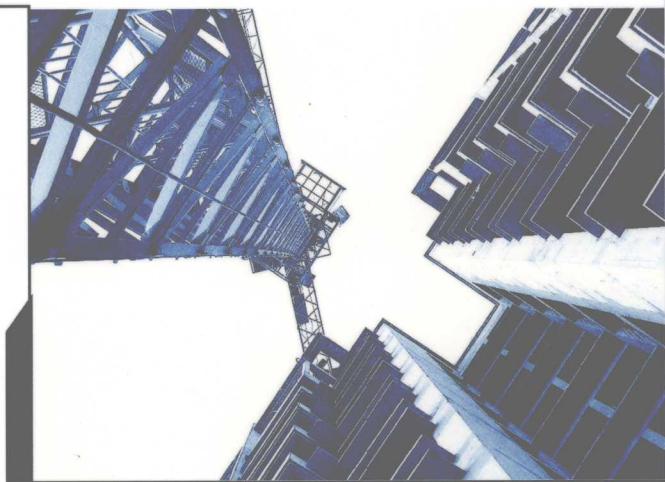


21世纪全国本科院校土木建筑类**创新型**应用人才培养规划教材

混凝土结构设计原理

主 编 邵永健 朱天志 段红霞
副主编 李瑞鸽 谢成新 方有珍
翁晓红

赠送电子课件



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
江苏省高等学校立项精品教材

混凝土结构设计原理

主 编 邵永健 朱天志 段红霞

 北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书根据全国高等学校土木工程专业指导委员会审定的教学大纲编写。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、受扭构件以及预应力混凝土构件的受力性能与设计,混凝土构件的变形、裂缝宽度验算与耐久性设计。本书主要结合我国国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010—2002 进行编写,并介绍了《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。

本书的主要特色有三点:一是对理论部分进行了充分的梳理,条理清晰;二是给出了规范化的计算流程图,例题类型齐全,解题过程规范;三是章前有教学提示和学习要求,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,朱天志,段红霞主编. —北京:北京大学出版社,2010.2

(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 978-7-301-16735-9

I. 混… II. ①邵…②朱…③段… III. 混凝土结构—结构设计—高等学校—教材 IV. TU370.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 015368 号

书 名:混凝土结构设计原理

著作责任者:邵永健 朱天志 段红霞 主编

策 划 编 辑:吴 迪

责 任 编 辑:卢 东

标 准 书 号:ISBN 978-7-301-16735-9/TU·0113

出 版 者: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> <http://www.pup6.com>

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

电 子 邮 箱:pup_6@163.com

印 刷 者:涿州市星河印刷有限公司

发 行 者:北京大学出版社

经 销 者:新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 25.5 印张 593 千字

2010 年 2 月第 1 版 2010 年 2 月第 1 次印刷

定 价:40.00 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

电子邮箱:fd@pup.pku.edu.cn

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

目 录

第 1 章 绪论 1

1.1 混凝土结构的一般概念及特点 1

1.1.1 混凝土结构的一般概念 1

1.1.2 混凝土结构的特点 3

1.2 混凝土结构的发展概况与应用 3

1.2.1 混凝土结构的发展概况 3

1.2.2 混凝土结构的应用 4

1.3 本课程的主要内容、特点和 学习方法 7

1.3.1 本课程的主要内容 7

1.3.2 本课程的特点和学习 方法 7

本章小结 8

思考题 8

第 2 章 混凝土结构材料的物理 力学性能 10

2.1 混凝土 10

2.1.1 单轴向应力状态下的混凝土 强度 10

2.1.2 复合应力状态下的混凝土 强度 13

2.1.3 混凝土的变形 14

2.2 钢筋 21

2.2.1 钢筋的成分、品种和 级别 21

2.2.2 钢筋的强度和变形性能 22

2.2.3 钢筋的疲劳 24

2.2.4 钢筋的冷加工 25

2.2.5 混凝土结构对钢筋性能的 要求 26

2.3 钢筋与混凝土的粘结 27

2.3.1 粘结的概念 27

2.3.2 粘结的作用 28

2.3.3 粘结力的组成 28

2.3.4 粘结强度 29

2.3.5 影响粘结强度的因素 30

2.3.6 钢筋的锚固 31

2.3.7 钢筋的连接 32

2.3.8 混凝土保护层 34

2.4 公路桥涵工程混凝土结构材料 35

2.4.1 公路桥涵工程混凝土结构 材料要求 35

2.4.2 公路桥涵工程混凝土结构 一般构造要求 35

本章小结 36

思考题 37

第 3 章 混凝土结构设计的基本 原则 38

3.1 结构的功能要求和极限状态 38

3.1.1 结构上的作用、作用效应及 结构抗力 38

3.1.2 结构的功能要求 39

3.1.3 结构的极限状态 40

3.2 概率极限状态设计方法 41

3.2.1 结构可靠度 41

3.2.2 失效概率与可靠指标 42

3.2.3 目标可靠指标 43

3.3 荷载的代表值 43

3.3.1 荷载标准值 44

3.3.2 荷载组合值 44

3.3.3 荷载频遇值 44

3.3.4 荷载准永久值 45

3.4 材料强度的标准值和设计值 45

3.4.1 钢筋强度的标准值和 设计值 45

3.4.2 混凝土强度的标准值和 设计值 46

3.5 实用设计表达式	46	4.6 双筋矩形截面受弯构件的正截面 受弯承载力计算	77
3.5.1 承载能力极限状态设计 表达式	46	4.6.1 概述	77
3.5.2 正常使用极限状态设计 表达式	49	4.6.2 基本计算公式及其适用 条件	78
3.6 公路桥涵工程混凝土结构设计的 基本原则	50	4.6.3 基本计算公式的应用	78
3.6.1 两种结构的区别及其 原因	50	4.7 T形截面受弯构件的正截面 受弯承载力计算	85
3.6.2 极限状态设计表达式	51	4.7.1 概述	85
本章小结	53	4.7.2 两类 T形截面及其判别 条件	87
思考题	53	4.7.3 基本计算公式及其适用 条件	88
第4章 受弯构件正截面的受力性能与 设计	55	4.7.4 基本计算公式的应用	89
4.1 概述	55	* 4.8 深受弯构件的正截面承载力 计算	95
4.2 受弯构件的一般构造	56	4.8.1 深受弯构件的概念	95
4.2.1 梁的一般构造	56	4.8.2 深梁的受力性能	96
4.2.2 板的一般构造	58	4.8.3 短梁的弯曲性能	98
4.3 受弯构件正截面的受弯性能	59	4.8.4 深受弯构件的正截面 受弯承载力计算	98
4.3.1 适筋梁的受弯性能 试验	59	4.9 公路桥涵工程受弯构件的 正截面设计	98
4.3.2 配筋率对正截面破坏形态的 影响	62	4.9.1 一般构造要求	98
4.4 受弯构件正截面受弯承载力的计算 方法	63	4.9.2 基本假定	100
4.4.1 正截面承载力计算的基本 假定	63	4.9.3 相对界限受压区高度	100
4.4.2 等效矩形应力图	64	4.9.4 单筋矩形截面正截面 承载力计算	101
4.4.3 适筋破坏与超筋破坏的界限 条件	65	4.9.5 双筋矩形截面正截面 承载力计算	102
4.4.4 适筋破坏与少筋破坏的界限 条件	66	4.9.6 T形与 I形截面正截面 承载力计算	103
4.5 单筋矩形截面受弯构件的正截面 受弯承载力计算	67	本章小结	104
4.5.1 基本计算公式及其适用 条件	67	思考题	106
4.5.2 基本计算公式的应用	68	习题	107
4.5.3 正截面受弯承载力的计算 系数及其计算方法	74	第5章 受弯构件斜截面的受力性能与 设计	109
		5.1 概述	109
		5.2 无腹筋简支梁的受剪性能	110

5.2.1	无腹筋简支梁斜裂缝形成前后的应力状态	110	* 5.7	深受弯构件斜截面承载力计算	146
5.2.2	无腹筋简支梁的受剪破坏形态	112	5.7.1	深受弯构件的剪切性能	146
5.3	有腹筋简支梁的受剪性能	114	5.7.2	深受弯构件的斜截面受剪承载力计算	146
5.3.1	箍筋的作用和箍筋的配筋率	114	5.7.3	深受弯构件的构造规定	148
5.3.2	有腹筋简支梁的受剪破坏形态	115	5.8	公路桥涵工程受弯构件的斜截面设计	150
5.3.3	简支梁斜截面受剪机理	115	5.8.1	斜截面抗剪承载力的计算位置	150
5.3.4	影响斜截面受剪承载力的主要因素	116	5.8.2	斜截面抗剪承载力的计算公式及其适用条件	151
5.4	受弯构件斜截面受剪承载力计算公式	118	5.8.3	斜截面抗剪承载力的配筋设计方法	153
5.4.1	基本假定	118	5.8.4	斜截面抗弯承载力	155
5.4.2	仅配箍筋梁的斜截面受剪承载力计算公式	119	5.8.5	纵向钢筋和箍筋的构造要求	156
5.4.3	既配箍筋又配弯起钢筋梁的斜截面受剪承载力计算公式	120	本章小结	158	
5.4.4	斜截面受剪承载力计算公式的适用条件	120	思考题	159	
5.4.5	连续梁的受剪性能及其斜截面受剪承载力	121	习题	160	
5.4.6	板类受弯构件的斜截面受剪承载力	122	第 6 章	受压构件的受力性能与设计	162
5.5	受弯构件斜截面受剪承载力的设计计算	123	6.1	概述	162
5.5.1	计算截面的选取	123	6.2	受压构件的一般构造	163
5.5.2	截面设计	123	6.2.1	截面形式和尺寸	163
5.5.3	截面复核	130	6.2.2	材料强度等级	163
5.6	保证斜截面受弯承载力的构造措施	133	6.2.3	纵向钢筋	163
5.6.1	抵抗弯矩图	134	6.2.4	箍筋	164
5.6.2	纵筋的弯起	135	6.3	轴心受压构件正截面的受力性能与承载力计算	165
5.6.3	纵筋的截断	136	6.3.1	配普通箍筋轴心受压构件正截面的受力性能与承载力计算	166
5.6.4	纵筋的锚固	137	6.3.2	配螺旋箍筋轴心受压构件正截面的受力性能与承载力计算	168
5.6.5	箍筋的构造要求	139	6.4	偏心受压构件正截面的受力性能	172
5.6.6	钢筋混凝土伸臂梁的设计实例	140	6.4.1	偏心受压短柱的破坏形态	172

6.4.2	附加偏心距 e_a 与初始 偏心距 e_i	174	6.10.2	矩形截面偏心受压 构件	229
6.4.3	偏心受压长柱的受力 性能	174	6.10.3	T 形和 I 形截面偏心受压 构件	231
6.4.4	偏心距增大系数 η	175	6.10.4	受压构件的构造要求	232
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	176	本章小结	232	
6.5.1	基本计算公式及其适用 条件	176	思考题	235	
6.5.2	大、小偏心受压的判别 条件	179	习题	235	
6.5.3	截面设计	180	第 7 章 受拉构件的受力性能与设计	238	
6.5.4	截面复核	192	7.1	受拉构件的分类	238
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	201	7.2	轴心受拉构件的正截面承载力 计算	239
6.6.1	大、小偏心受压构件的判别 条件	201	7.2.1	轴心受拉构件的受力 特点	239
6.6.2	基本计算公式及其适用 条件	202	7.2.2	轴心受拉构件正截面 承载力计算	239
6.6.3	截面设计	203	7.3	偏心受拉构件的正截面承载力 计算	240
6.6.4	截面复核	207	7.3.1	偏心受拉构件正截面的 破坏形态	240
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	211	7.3.2	矩形截面小偏心受拉构件 正截面承载力计算的基本 公式及其适用条件	241
6.7.1	基本计算公式及其适用 条件	211	7.3.3	矩形截面大偏心受拉构件 正截面承载力计算的基本 公式及其适用条件	242
6.7.2	大、小偏心受压的判别	214	7.3.4	截面设计与截面复核	243
6.7.3	截面设计	214	7.4	偏心受拉构件的斜截面受剪 承载力计算	248
6.7.4	截面复核	220	7.5	公路桥涵工程受拉构件的设计	249
6.8	偏心受压构件的 $N_u - M_u$ 相关 曲线	223	7.5.1	轴心受拉构件正截面 承载力计算	249
6.8.1	矩形截面对称配筋偏心受压 构件的 $N_u - M_u$ 相关 曲线方程	223	7.5.2	偏心受拉构件正截面 承载力计算	249
6.8.2	$N_u - M_u$ 相关曲线的特点与 工程应用	224	本章小结	251	
6.9	偏心受压构件的斜截面受剪 承载力计算	227	思考题	251	
6.10	公路桥涵工程受压构件的 设计	228	习题	252	
6.10.1	轴心受压构件	228	第 8 章 受扭构件的受力性能与设计	253	
			8.1	概述	253

8.2 纯扭构件的受力性能与承载力 计算	254	本章小结	281
8.2.1 纯扭构件的受力性能	254	思考题	283
8.2.2 纯扭构件开裂扭矩的 计算	256	习题	283
8.2.3 受扭构件的截面受扭塑性 抵抗矩计算	257	第9章 混凝土构件的变形、裂缝宽度 验算与耐久性设计	285
8.2.4 纯扭构件的受扭承载力 计算	258	9.1 概述	285
8.3 弯剪扭构件的受力性能与承载力 计算	261	9.2 裂缝宽度验算	286
8.3.1 弯剪扭构件的受力性能	261	9.2.1 裂缝出现与开展的过程	286
8.3.2 剪扭构件的承载力计算	262	9.2.2 最大裂缝宽度 $w_{\max}$ 的 计算	287
8.3.3 弯扭构件的承载力计算	265	9.2.3 裂缝宽度验算	292
8.3.4 弯剪扭构件的承载力 计算	265	9.3 变形验算	295
8.4 矩形截面压弯剪扭构件的受力 性能与承载力计算	266	9.3.1 钢筋混凝土梁抗弯刚度的 特点	295
8.4.1 轴向压力对受扭承载力的 影响	266	9.3.2 短期刚度 B_s 的计算	296
8.4.2 压扭构件的承载力计算	266	9.3.3 刚度 B 的计算	298
8.4.3 压弯剪扭构件的承载力 计算	267	9.3.4 最小刚度原则与挠度 计算	299
8.5 受扭构件承载力计算公式的适用 条件与钢筋的构造要求	267	9.3.5 受弯构件挠度验算	300
8.5.1 计算公式的适用条件	267	9.4 混凝土结构的耐久性	302
8.5.2 受扭构件钢筋的构造 要求	268	9.4.1 影响混凝土结构耐久性的 主要因素	302
8.6 受扭构件承载力计算流程图与 例题	269	9.4.2 混凝土结构的耐久性 设计	302
8.7 公路桥涵工程受扭构件的设计	275	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	304
8.7.1 矩形和箱形截面纯扭构件 承载力计算	275	9.5.1 裂缝宽度验算	304
8.7.2 矩形和箱形截面剪扭构件 承载力计算	276	9.5.2 公路桥涵工程受弯构件 变形验算	306
8.7.3 矩形、T形、I形和箱形 截面弯剪扭配筋的 上下限	278	9.5.3 公路桥涵工程中的耐久性 设计	307
8.7.4 矩形、T形、I形和箱形 截面弯剪扭配筋计算	278	本章小结	308
8.7.5 构造要求	281	思考题	309
		习题	309
		第10章 预应力混凝土构件的受力 性能与设计	311
		10.1 概述	311
		10.1.1 一般概念	311
		10.1.2 预应力混凝土的分类	313

10.1.3	张拉预应力钢筋的方法	314	10.6.4	使用阶段斜截面抗裂验算	351
10.1.4	锚具	316	10.6.5	施工阶段的验算	353
10.1.5	预应力混凝土材料	318	10.6.6	挠度验算	355
10.1.6	预应力混凝土的特点	318	10.7	预应力混凝土构件的构造要求	360
10.2	预应力损失	319	10.7.1	截面形状与尺寸	360
10.2.1	张拉控制应力 σ_{con}	319	10.7.2	先张法构件	361
10.2.2	预应力损失	320	10.7.3	后张法构件	361
10.2.3	预应力损失值的分阶段组合	324	10.8	公路桥涵工程中预应力混凝土构件的设计	363
10.2.4	有效预应力沿构件长度的分布规律	325	10.8.1	张拉控制应力和预应力损失	363
10.3	预应力混凝土轴心受拉构件各阶段的应力分析	326	10.8.2	预应力混凝土受弯构件承载力计算	367
10.3.1	先张法轴心受拉构件	326	10.8.3	预应力混凝土受弯构件应力计算和应力控制	369
10.3.2	后张法轴心受拉构件	328	10.8.4	预应力混凝土受弯构件抗裂验算	374
10.4	预应力混凝土轴心受拉构件的设计与验算	331	10.8.5	预应力混凝土受弯构件变形验算	375
10.4.1	使用阶段的承载力计算	331	10.8.6	预应力混凝土受弯构件锚固区计算	376
10.4.2	使用阶段的裂缝控制验算	332	本章小结		378
10.4.3	施工阶段的承载力验算	334	思考题		378
10.4.4	施工阶段的局部受压承载力验算	334	习题		379
10.5	预应力混凝土受弯构件各阶段的应力分析	341	附录 A	GB 50010—2002《混凝土结构设计规范》相关附表	381
10.6	预应力混凝土受弯构件的设计与验算	344	附录 B	JTG D62—2004《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》相关附表	390
10.6.1	使用阶段正截面承载力计算	344	参考文献		395
10.6.2	使用阶段斜截面承载力计算	347			
10.6.3	使用阶段正截面裂缝控制验算	350			

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、特点以及学习过程中需注意的问题。

学习要求：通过本章学习，学生应掌握混凝土结构的一般概念及特点，了解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制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、机场跑道以及一些非承重结构。钢筋混凝土结构是由配制受力的普通钢筋、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制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、刚度大和强度高的特点，特别适宜于一些跨度大、荷载重以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)、(b)所示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)所示的梁内没有配筋,即为素混凝土梁;图 1.1(b)所示的梁下部配有 $2\Phi 16$ 的纵向钢筋,即为钢筋混凝土梁。

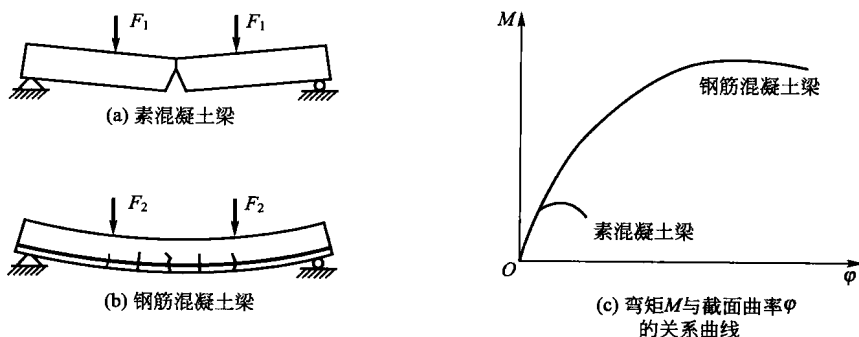


图 1.1 素混凝土梁与钢筋混凝土梁的受力破坏比较

图 1.1(a)所示的素混凝土梁在外荷载作用下,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外荷载均很小。为改变这种情况,在梁的受拉区域配制适量的钢筋形成钢筋混凝土梁,如图 1.1(b)所示。在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变成由钢筋承担。同时由于钢筋的强度和弹性模量均很大,因此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,梁才被破坏。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都得到利用,破坏前的变形大,有明显的预兆,属延性破坏。图 1.1(c)所示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)所示可见,钢筋混凝土梁的承载能力和变形能力跟素混凝土梁比有很大的提高。

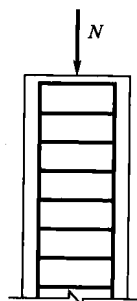


图 1.2 轴心受压柱

因为钢筋同时具有很高的抗拉强度和抗压强度,所以图 1.2 所示的轴心受压柱中通常也需配制钢筋:一是可以协助混凝土承担压力以提高柱的承载力而减小柱的截面尺寸;二是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三个。

- (1) 混凝土硬化后,钢筋与混凝土之间存在着良好的粘结力。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会因钢筋很快软化而导致结构破坏。因此,钢筋混凝土结构中的钢筋表面须有一定厚度的混凝土作保护层。

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，主要是由于其具有下列优点。

(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，所以发生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。现浇以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，主要如下。

(1) 自重大。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大。这对建造大跨度结构、高层建筑结构以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，混凝土结构还存在施工周期长、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以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，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、钢模板、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 混凝土结构的发展概况与应用

1.2.1 混凝土结构的发展概况

混凝土结构的历史并不长，至今只有约 150 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三个阶段。

第一阶段：从 1850~1920 年。1824 年英国人阿斯普丁(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 年法国人朗波(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,即按弹性理论进行结构的内力计算和截面设计。

第二阶段:从 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 年法国工程师弗雷西内(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(见图 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。



图 1.3 帝国大厦

第三阶段:从 1950 年至现在。该阶段材料强度不断提高,高强混凝土、高性能混凝土以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多系数表达的设计公式。

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、水利以及海洋等工程中得到广泛的应用。

在建筑工程中,住宅、学校等民用建筑以及单层、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。具有代表性的混凝土结构房屋建筑工程有:1996 年建成的世界上最高的钢筋混凝土结构建筑广州中信广场(见图 1.4),80 层,高度为 391m,为筒中筒结构,现列世界第七高楼。2003 年建成的世界第一高楼“中国台北的国际金融中心(见图 1.5)”,高度为 508m,为钢和混凝土的混合结构。2008 年建成的世界第二高楼“上海环球金融中心(见图 1.6)”,地上 101 层,地下 3 层,总高度为 492m,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的混合结构。1997 年建成的世界第三高楼“马来西亚吉隆坡国油双子塔楼(见图 1.7)”,88 层,高度为 452m,为型钢混凝土结构。现列世界第五高楼的上海金茂大厦(见图 1.8),88 层,高度为 420.5m,为钢筋混凝土核

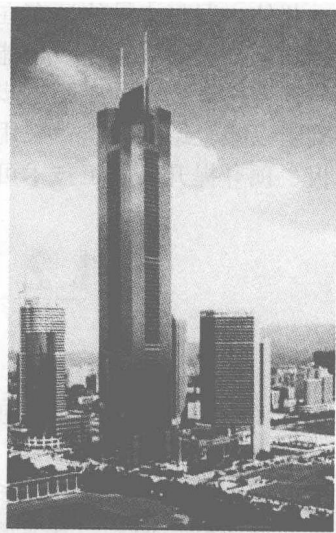


图 1.4 广州中信广场

心筒和外框架所组成的钢和混凝土混合结构。早在 1969 年,美国就用高强轻集料混凝土建成的高度为 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。

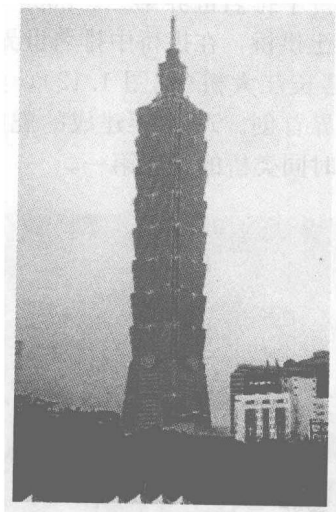


图 1.5 中国台北国际金融中心

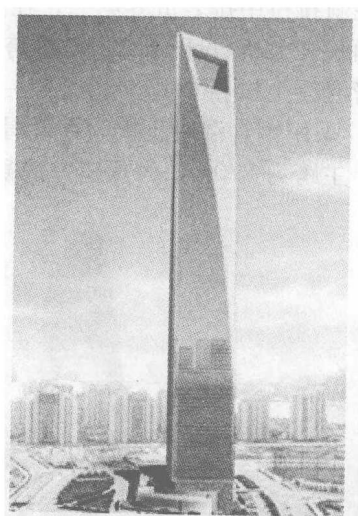


图 1.6 上海环球金融中心 (左)



图 1.7 吉隆坡国油双子塔楼

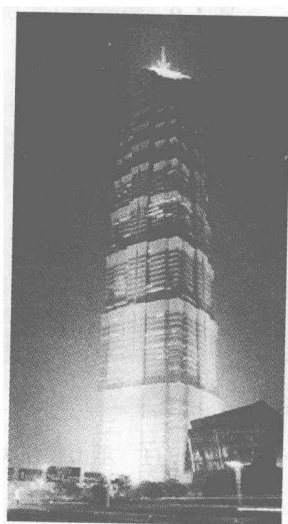


图 1.8 上海金茂大厦

在桥梁工程中,通常跨度小于 15m 的桥梁多采用钢筋混凝土结构建造;跨度在 15~25m 的桥梁多采用预应力混凝土结构建造;跨度在 25~60m 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,其桥塔一般也采用混凝土结构,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。具有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(见

图 1.9), 主跨为 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六, 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(见图 1.10), 主跨为 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七, 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(见图 1.11), 主跨为 460m, 为钢管混凝土拱桥, 在拱桥中排名世界第五, 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(见图 1.12), 主跨为 420m, 采用钢管混凝土拱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, 主跨为 270m, 为预应力混凝土连续刚架桥, 居当时同类桥的世界第一。

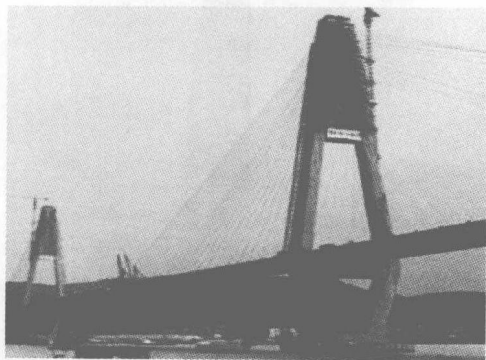


图 1.9 青州闽江大桥

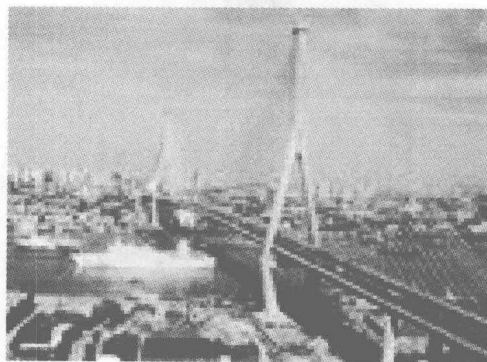


图 1.10 上海杨浦大桥

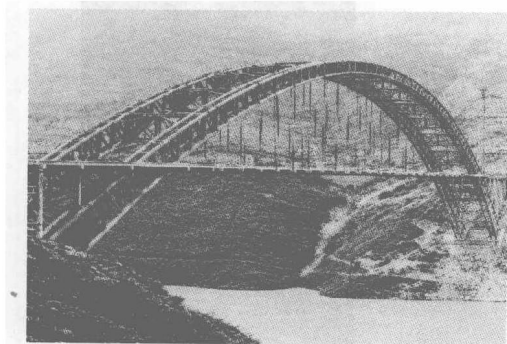


图 1.11 巫山长江大桥

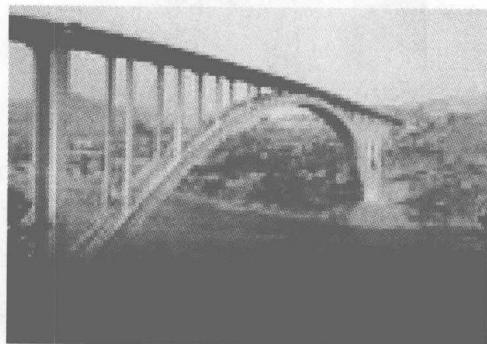


图 1.12 万县长江大桥

在水利水电工程中, 坝、水工隧洞、溢洪道等一般都采用混凝土结构。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。截止 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, 坝高度为 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(见图 1.13), 坝高度为 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度为 832m、高度为 216.5m, 坝体混凝土用量达到 736 万 m^3 , 为世界上最高的碾压混凝土重力坝。特别是三峡大坝(见图 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。三峡大坝是世上最宏伟的混凝土重力坝, 坝体混凝土用量达到 2794 万 m^3 , 为世界之最。

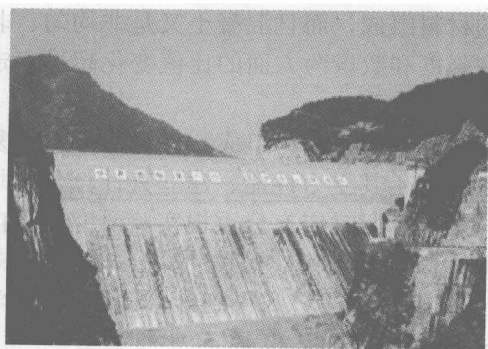


图 1.13 水布垭大坝



图 1.14 三峡大坝

除上述工程外,还有隧道、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 亿 m^3 , 钢筋用量约 2500 万 t。可见,我国混凝土结构应用的规模、耗资均居世界前列。

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法,混凝土结构四种构件(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”等专业课的基础课,课程各章内容关系如图 1.15 所示。

“混凝土结构设计”部分介绍的结构类型有: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、结构的内力分析、截面设计以及构造措施等,属专业课程内容。

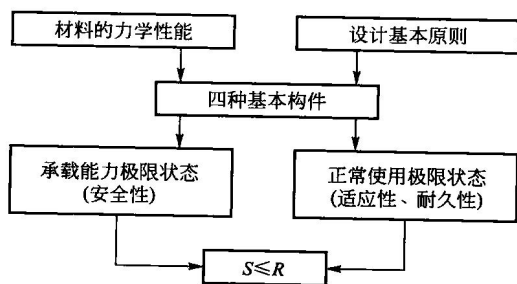


图 1.15 课程内容框架

1.3.2 本课程的特点和学习方法

本课程的特点和学习方法如下。

(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。但材料力学研究对象的材料单一、材性简单,为均质、连续的弹性材料。而本课程的研究对象“钢筋混凝土