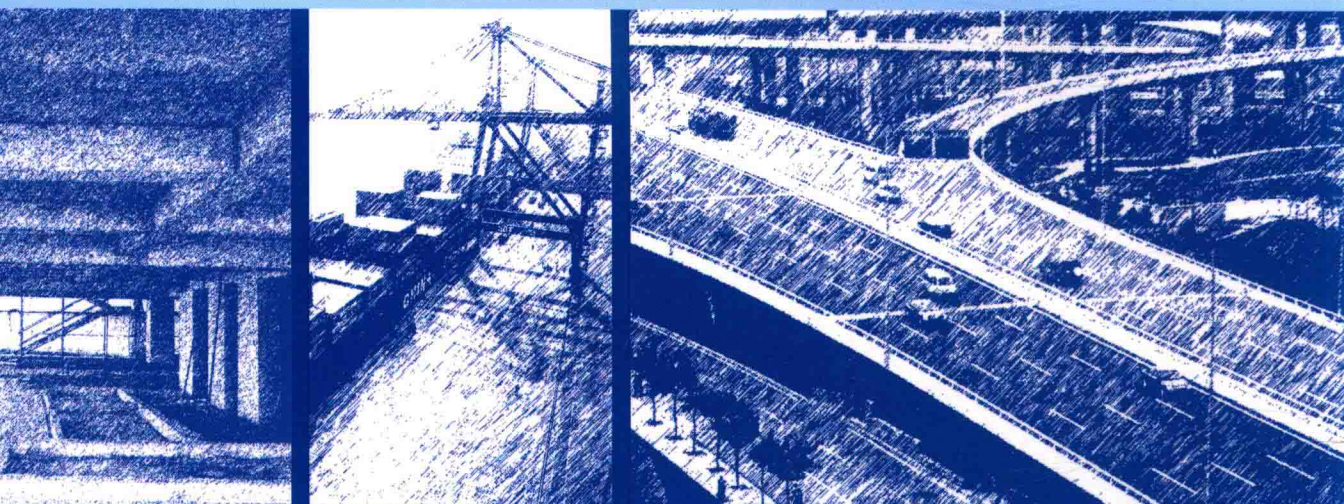




高等学校土木工程专业核心课程教材

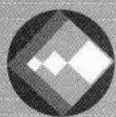
面向大土木

混凝土结构设计原理



邱洪兴 编著

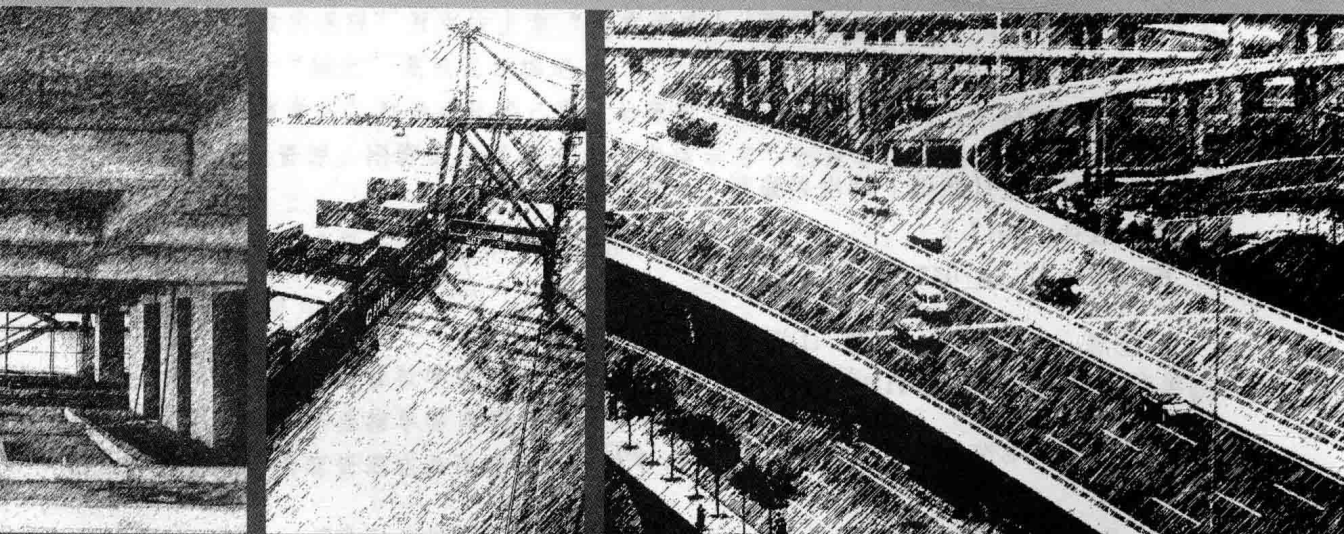
高等教育出版社



高等学校土木工程专业核心课程教材



混凝土结构设计原理



邱洪兴 编著



高等教育出版社·北京

内容提要

本书按照“大土木”培养方案要求编写,分为混凝土结构的材料性能,正截面基本受力性能,正截面承载力计算原理,正截面裂缝宽度和刚度计算原理,斜截面、扭曲截面和冲切承载力计算原理,结构设计方法等原理部分和钢筋混凝土构件设计、预应力混凝土构件设计等原理应用部分。除绪论外各章均配有思考题、作业题和测试题,通过扫描二维码还可以获得与本书配套的数字资源。

本书可以作为高等学校土木工程专业各方向的本科生教材,也可作为土木类工程技术人员继续教育的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构设计原理 / 邱洪兴编著. --北京: 高等教育出版社, 2017. 7

ISBN 978-7-04-047924-9

I. ①混… II. ①邱… 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(2017)第140713号

策划编辑 葛心 责任编辑 单蕾 封面设计 李小璐 版式设计 杜微言
插图绘制 杜晓丹 责任校对 刘丽娴 责任印制 赵义民

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街4号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印 刷	北京铭传印刷有限公司		http://www.hepmall.com
开 本	787 mm×1092 mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	27.25		
字 数	600千字	版 次	2017年7月第1版
购书热线	010-58581118	印 次	2017年7月第1次印刷
咨询电话	400-810-0598	定 价	54.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 47924-00



邱洪兴 东南大学二级教授、博士生导师，工学博士、国家一级注册结构工程师，江苏省高校“青蓝工程”中青年学术带头人、江苏省教学名师，第三、第四、第五届全国高等教育土木工程专业评估委员会委员，《混凝土结构设计规范》（2010年版）编制组成员。1992年7月至2009年12月任土木工程学院教学副院长。现任全国建筑物鉴定与加固标准技术委员会江苏分会主任委员。

主要研究方向：结构损伤识别与加固改造；古建筑保护；装配式混凝土结构。承担973、国家科技支撑计划、国家自然科学基金、省部级基金项目10余项，承担工程项目100余项，核心刊物发表学术论文110余篇，获省级科技进步奖3项。主持的“建筑结构设计”课程2005年获国家精品课程、2016年获国家精品资源共享课程称号；主编的《土木工程概论》列入江苏省高等学校重点教材；主编的《建筑结构设计（第一册）——基本教程》《建筑结构设计（第二册）——设计示例》《建筑结构设计（第三册）——学习指导》列入“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材；获国家优秀教学成果一等奖、二等奖各2项。

与本书配套的数字课程资源使用说明

与本书配套的数字课程资源发布在高等教育出版社易课程网站，请登录网站后开始课程学习。

一、网站登录

1. 访问 <http://abook.hep.com.cn/1252721>，点击“注册”。在注册页面输入用户名、密码及常用的邮箱进行注册。已注册的用户直接输入用户名和密码登录即可进入“我的课程”界面。

2. 点击“我的课程”页面右上方“绑定课程”，按网站提示输入教材封底防伪标签上的数字，点击“确定”完成课程绑定。

3. 在“正在学习”列表中选择已绑定的课程，点击“进入课程”即可浏览或下载与本书配套的课程资源。刚绑定的课程请在“申请学习”列表中选择相应课程并点击“进入课程”。

账号自登录之日起一年内有效，过期作废。

二、资源使用

与本书配套的易课程数字课程资源按照章、节的形式构成，配有测试题解答、电子讲稿、思考题注释、作业指导等内容的资源，均以二维码的（如下）形式在书中出现，扫描后即可观看。所有资源在易课程的对应章节也可观看。

前 言

混凝土结构广泛应用于建筑工程、桥梁工程、地下工程、隧道工程、水利水电工程、港口工程等土木工程各个领域。在我国，混凝土结构占土木结构的90%以上，设有土木类专业的学校均将“混凝土结构设计原理”列为核心课程。

根据大土木专业培养方案要求，作为专业基础课的“混凝土结构设计原理”需要面向土木工程专业的多个方向、无差异衔接“房屋混凝土结构设计”“混凝土桥梁设计”“混凝土水工建筑物设计”“混凝土港口工程设计”等后续课程。由于现行各行业混凝土结构设计规范存在差异，目前尚缺少能满足这一要求的教材。

为了化解规范差异带来的难点，编者对各行业的混凝土结构设计规范进行了系统对比分析，归纳出四类差异：第一类计算模式相同、公式的表达形式相同，符号、强度指标、分项系数等的取值不同；第二类计算模式相同、公式内涵相同，公式的具体表达形式有区别；第三类计算模式不同；第四类针对具体工程对象的细部规定不同。通过摆正教材与规范的关系、区分原理和应用、处理好普遍性与特殊性的关系、先修课程与后续课程合理分工，达到克服教材编写障碍的目的。

全书由邱洪兴编著，分原理和原理应用两部分。原理部分包括混凝土结构的材料性能，正截面基本受力性能，正截面承载力计算原理，正截面裂缝宽度和刚度计算原理，斜截面、扭曲截面和冲切承载力计算原理，结构设计方法等6章；原理应用设钢筋混凝土构件设计、预应力混凝土构件设计等2章。

教材的编写注重基本概念、基本理论、基本方法和综合应用，强化训练。构件性能以受力全过程为主线，以几何条件、平衡条件、物理条件为手段；截面抗力以试验现象→机理分析→计算模型→适用范围为主线；构件设计以实际工程为背景，以工程设计要求为主线。通过大量例题帮助理解原理，每章末配有涵盖该章内容的思考题、作业题和水平测试题（其中加*代表扩展题）。借助出版社的数字课程平台，通过扫描二维码及登录数字课程网站还可以获得本书的数字资源。

哈尔滨工业大学的邹超英教授审阅了书稿，提出了不少宝贵意见。在此表示衷心感谢。

由于是全新的内容体系，限于编者水平和经验，书中一定还存在不合适甚至错误的地方，敬请读者提出批评指正，以便及时改进。

邱洪兴

2016年9月于六朝松

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 混凝土结构的含义	1
1.2 混凝土结构的应用	3
1.2.1 建筑工程	3
1.2.2 桥梁工程	3
1.2.3 隧道与地下工程	4
1.2.4 水利工程	4
1.2.5 港口工程	4
1.3 混凝土结构的优势与不足	5
1.3.1 混凝土结构的优势	5
1.3.2 混凝土结构的不足	6
1.4 混凝土结构的发展概况	6
1.4.1 探索阶段	6
1.4.2 成长阶段	7
1.4.3 成熟阶段	7
思考题	8
第 2 章 混凝土结构的材料性能	9
2.1 混凝土强度	9
2.1.1 混凝土强度等级	9
2.1.2 混凝土强度指标	10
2.1.3 复合应力状态下的混凝土强度	14
2.2 混凝土变形	16
2.2.1 一次短期加载下混凝土单轴受压应力-应变关系	16
2.2.2 混凝土变形模量	19
2.2.3 混凝土单轴受拉时的变形	20
2.2.4 重复荷载下的混凝土变形	21
2.2.5 长期荷载下的混凝土变形	21
2.2.6 混凝土非受力变形	24
2.3 混凝土耐久性能	25
2.3.1 抗渗性	25
2.3.2 抗冻性	25
2.3.3 抗侵蚀性	26

II 目录

2.3.4	碳化	26
2.3.5	碱骨料反应	27
2.4	钢筋的性能	27
2.4.1	钢筋种类	27
2.4.2	钢筋的强度和变形	28
2.4.3	钢筋的疲劳性能	30
2.4.4	钢筋的工艺性能	31
2.5	钢筋与混凝土的黏结	32
2.5.1	黏结的意义	32
2.5.2	黏结力	33
2.5.3	钢筋的锚固	36
	思考题	38
	作业题	38
	测试题	39
第3章	正截面基本受力性能	42
3.1	钢筋混凝土轴心受拉构件	42
3.1.1	轴心受拉构件受力全过程	42
3.1.2	截面轴向刚度	46
3.1.3	受力裂缝开展	48
3.1.4	混凝土收缩引起的应力	51
3.1.5	最小配筋率	53
3.2	钢筋混凝土受弯构件	53
3.2.1	弯曲受力全过程	53
3.2.2	开裂弯矩	57
3.2.3	弯曲破坏类型与配筋率的关系	59
3.2.4	截面弯曲刚度	60
3.2.5	混凝土收缩对受弯构件的影响	61
3.2.6	截面延性	62
3.3	钢筋混凝土轴心受压构件	63
3.3.1	轴心受压短构件的受力全过程	63
3.3.2	收缩、徐变对轴压构件的影响	65
3.3.3	轴心受压长构件的稳定系数	70
3.4	预应力混凝土构件	71
3.4.1	建立预应力的方法	71
3.4.2	预应力混凝土轴心受拉构件受力全过程	73
3.4.3	预应力混凝土与钢筋混凝土轴拉构件受力性能的比较	75
3.4.4	收缩、徐变对预应力的影响	78
3.4.5	预应力混凝土受弯构件的受力特点	80
	思考题	87

作业题	88
测试题	89
第4章 正截面承载力计算原理	93
4.1 基本假定	93
4.1.1 平截面假定	93
4.1.2 混凝土受压应力-应变模型	93
4.1.3 钢筋应力-应变模型	94
4.1.4 不考虑混凝土抗拉强度的假定	94
4.2 正截面受弯承载力	94
4.2.1 钢筋混凝土适筋截面承载能力极限状态	94
4.2.2 等效矩形应力图形	94
4.2.3 钢筋混凝土单筋矩形截面承载力计算公式及适用条件	96
4.2.4 截面承载力计算的两类问题	99
4.2.5 钢筋混凝土双筋矩形截面的承载力计算	101
4.2.6 钢筋混凝土T形截面的承载力计算	104
4.2.7 预应力混凝土受弯构件的承载力计算	107
4.3 钢筋混凝土轴心受压构件正截面受压承载力	110
4.3.1 配有普通箍筋的轴心受压构件	110
4.3.2 配有螺旋箍筋或焊接环筋的轴心受压构件	111
4.4 混凝土构件局部受压承载力	114
4.4.1 局部受压受力性能	114
4.4.2 素混凝土局部受压时的强度提高系数	115
4.4.3 间接配筋混凝土构件的局部受压承载力	117
4.5 钢筋混凝土偏心受压构件正截面承载力	119
4.5.1 破坏类型	119
4.5.2 矩形截面偏心受压构件的正截面承载力	121
4.5.3 工字形截面偏心受压构件的正截面承载力	127
4.6 正截面受拉承载力	130
4.6.1 轴心受拉构件正截面承载力	130
4.6.2 小偏心受拉构件正截面承载力	131
4.6.3 大偏心受拉构件正截面承载力	132
4.7 钢筋混凝土构件正截面承载力比较	133
4.7.1 承载力计算公式	133
4.7.2 正截面承载力 N_u-M_u 相关曲线	135
4.8 偏心受压构件的挠曲二阶弯矩	139
4.8.1 二阶弯矩的概念	139
4.8.2 标准偏压构件的弯矩增大系数	140
4.8.3 端弯矩不等时弯矩增大系数的调整	141
4.8.4 不需考虑挠曲二阶弯矩的条件	143

思考题	144
作业题	145
测试题	146
第5章 正截面裂缝宽度和刚度计算原理	150
5.1 裂缝宽度计算模式	150
5.2 基于半经验半理论模式的裂缝宽度计算公式	150
5.2.1 平均裂缝宽度	151
5.2.2 最大裂缝宽度	155
5.3 基于数理统计模式的裂缝宽度计算公式	158
5.3.1 裂缝宽度的主要影响因素	158
5.3.2 最大裂缝宽度的统计公式	159
5.3.3 两种计算模式的比较	161
5.4 受弯构件短期截面抗弯刚度计算模式	162
5.4.1 开裂前	162
5.4.2 开裂后	162
5.5 基于解析刚度模式的抗弯刚度计算公式	163
5.5.1 短期刚度基本表达式	163
5.5.2 建工规范钢筋混凝土受弯构件刚度计算公式	164
5.5.3 水工和港工规范钢筋混凝土受弯构件刚度计算公式	166
5.6 基于等效刚度模式的抗弯刚度计算公式	167
5.6.1 等效刚度的概念	167
5.6.2 公路桥规钢筋混凝土受弯构件刚度计算公式	168
5.7 基于双折线模式的抗弯刚度计算公式	170
5.7.1 短期刚度基本表达式	170
5.7.2 建工规范预应力混凝土受弯构件刚度计算公式	171
5.7.3 公路桥规预应力混凝土受弯构件刚度计算公式	171
5.7.4 水工规范预应力混凝土受弯构件刚度计算公式	172
思考题	173
作业题	173
测试题	173
第6章 斜截面、扭曲截面和冲切承载力计算原理	176
6.1 斜截面受力性能	176
6.1.1 斜裂缝的形成	176
6.1.2 无腹筋梁的斜截面受剪性能	177
6.1.3 有腹筋梁的斜截面受剪性能	181
6.2 斜截面受剪承载力	183
6.2.1 受剪承载力影响因素	183
6.2.2 受剪承载力计算模式	188

6.2.3	建工规范受剪承载力计算公式	189
6.2.4	公路桥规受剪承载力计算公式	192
6.2.5	港工规范受剪承载力计算公式	194
6.2.6	水工规范受剪承载力计算公式	196
6.3	扭曲截面受力性能	197
6.3.1	受扭构件的种类	197
6.3.2	无筋纯扭构件的受扭性能	198
6.3.3	钢筋混凝土纯扭构件的受扭性能	201
6.4	建工规范受扭承载力计算公式	204
6.4.1	纯扭构件承载力	204
6.4.2	压扭和拉扭构件承载力	206
6.4.3	弯剪扭构件承载力	207
6.4.4	拉、压弯剪扭构件承载力计算	211
6.4.5	扭曲截面的限制条件和最小配筋要求	212
6.5	其他规范受扭承载力计算公式	216
6.5.1	纯扭构件	216
6.5.2	弯剪扭构件	216
6.6	受冲切承载力	216
6.6.1	局部荷载下板的受力特点	217
6.6.2	无抗冲切钢筋板的受冲切承载力	218
6.6.3	配有冲切钢筋板的受冲切承载力	220
	思考题	220
	作业题	221
	测试题	222
第7章 结构设计方法		225
7.1	结构的功能与可靠度	225
7.1.1	结构的功能要求	225
7.1.2	设计使用年限	225
7.1.3	极限状态	226
7.1.4	作用与作用效应	227
7.1.5	抗力	229
7.1.6	结构可靠度	229
7.2*	常用概率模型	230
7.2.1	一维随机变量	230
7.2.2	多维随机变量	233
7.2.3	随机变量的函数的分布	236
7.2.4	随机过程	238
7.3	结构可靠度设计方法	243
7.3.1	作用的概率模型	243

7.3.2	作用的代表值	247
7.3.3	抗力的概率模型	250
7.3.4	结构可靠度计算	254
7.3.5	结构可靠指标计算	257
7.3.6	目标可靠指标	265
7.4	以分项系数表达的极限状态设计方法	267
7.4.1	承载能力极限状态	268
7.4.2	正常使用极限状态	274
7.5	结构耐久性设计方法	276
7.5.1	耐久性极限状态	276
7.5.2	结构所处的环境类别	277
7.5.3	混凝土材料的耐久性要求	279
7.5.4	耐久性技术措施	280
	思考题	280
	作业题	282
	测试题	282
第 8 章	钢筋混凝土构件设计	288
8.1	概述	288
8.1.1	构件受力状态与种类	288
8.1.2	截面形式与尺寸	290
8.2	梁、板、柱构件设计内容	291
8.2.1	内力设计值计算	291
8.2.2	控制截面选择	295
8.2.3	承载能力极限状态计算	296
8.2.4	正常使用极限状态计算	297
8.2.5	配筋构造	298
8.3	工作平台板、次梁设计示例	303
8.3.1	设计条件	303
8.3.2	板的设计	304
8.3.3	次梁设计	307
8.4	简支梁桥主梁设计示例	310
8.4.1	设计条件	310
8.4.2	主梁内力设计值计算	310
8.4.3	主梁受弯承载力计算	311
8.4.4	主梁受剪承载力计算	313
8.4.5	主梁裂缝宽度验算	316
8.4.6	主梁挠度验算	316
	思考题	318
	作业题	319

测试题	319
第9章 预应力混凝土构件设计	322
9.1 概述	322
9.1.1 预应力混凝土分类	322
9.1.2 锚、夹具	322
9.1.3 张拉控制应力	325
9.1.4 先张法构件预应力筋的预应力传递长度和预应力筋的锚固长度	326
9.2 预应力损失值计算	327
9.2.1 摩擦损失	327
9.2.2 预应力筋内缩损失	329
9.2.3 预应力筋与台座间的温差损失	330
9.2.4 预应力筋的应力松弛损失	331
9.2.5 混凝土收缩、徐变损失	333
9.2.6 混凝土弹性压缩损失	336
9.2.7 预应力损失值的组合	337
9.3 预应力混凝土构件各状态截面应力分析	338
9.3.1 先张法轴心受拉构件	338
9.3.2 后张法轴心受拉构件	342
9.3.3 受弯构件	345
9.4 预应力混凝土构件设计内容与方法	351
9.4.1 使用阶段的承载能力极限状态计算	352
9.4.2 使用阶段的正截面裂缝控制	353
9.4.3 使用阶段的斜截面抗裂验算	354
9.4.4 使用阶段的挠度控制	356
9.4.5 使用阶段应力计算	358
9.4.6 施工阶段计算	358
9.4.7 预应力混凝土构件的构造要求	359
9.5 轴心受拉构件设计示例	362
9.5.1 设计条件	362
9.5.2 承载能力极限状态计算	364
9.5.3 预应力损失计算	364
9.5.4 正常使用极限状态计算	365
9.5.5 施工阶段计算	366
9.6 受弯构件设计示例	367
9.6.1 设计条件	367
9.6.2 承载能力极限状态计算	369
9.6.3 预应力损失计算	372
9.6.4 正常使用极限状态计算	377
9.6.5 使用阶段应力计算	382

9.6.6 施工阶段应力计算	383
9.6.7 受拉区纵向钢筋配筋率验算	384
思考题	384
作业题	385
测试题	386
附录 A 材料性能指标	389
附表 A.1 混凝土强度值 (N/mm^2)	389
附表 A.2 普通钢筋强度值 (N/mm^2)	390
附表 A.3 预应力筋强度值 (N/mm^2)	391
附表 A.4 混凝土弹性模量 ($10^4 \text{N}/\text{mm}^2$)	392
附表 A.5 钢筋弹性模量 ($10^5 \text{N}/\text{mm}^2$)	392
附录 B 作用分项系数	393
附表 B.1 建筑工程作用分项系数	393
附表 B.2 公路桥涵作用分项系数	393
附表 B.3 港口工程作用分项系数	394
附表 B.4 水利水电工程作用分项系数	395
附录 C 混凝土结构的环境类别	396
附表 C.1 建筑工程混凝土结构的环境类别	396
附表 C.2 水工混凝土结构的环境类别	396
附表 C.3 公路桥涵混凝土结构的环境类别	397
附录 D 混凝土材料的耐久性要求	398
附表 D.1 设计使用年限为 50 年的建筑工程混凝土耐久性基本要求	398
附表 D.2 设计使用年限为 50 年的水工结构混凝土耐久性基本要求	398
附表 D.3 公路桥涵混凝土耐久性基本要求	399
附表 D.4 水工结构混凝土最小抗渗等级	399
附表 D.5 公路桥涵混凝土抗渗等级选用标准	399
附表 D.6 水工结构混凝土最小抗冻等级	400
附表 D.7 公路桥涵混凝土抗冻等级选用标准	400
附录 E 钢筋的混凝土保护层厚度	401
附表 E.1 建筑工程最外层钢筋的混凝土保护层最小厚度 (mm)	401
附表 E.2 水工结构纵向受力钢筋的混凝土保护层最小厚度 (mm)	401
附表 E.3 公路桥涵钢筋的混凝土保护层最小厚度 (mm)	402
附表 E.4 港口工程纵向受力钢筋的混凝土保护层最小厚度 (mm)	402

附录 F 正截面受力裂缝控制	403
附表 F.1 建筑工程正截面受力裂缝控制要求	403
附表 F.2 水工结构正截面受力裂缝控制要求	403
附表 F.3 港口工程正截面受力裂缝控制要求	404
附表 F.4 公路桥涵正截面受力裂缝控制要求	404
附表 F.5 铁路桥涵正截面受力裂缝控制要求	404
附表 F.6 建筑工程钢筋的相对黏结特性系数 ν_1	405
附表 F.7 水工结构考虑钢筋表面形状和预应力张拉方法的系数 α_1	405
附录 G 混凝土受弯构件挠度限值	406
附表 G.1 建筑工程混凝土受弯构件挠度限值	406
附表 G.2 水工结构混凝土受弯构件挠度限值	406
附表 G.3 公路桥涵混凝土受弯构件挠度限值	406
附表 G.4 港口工程混凝土受弯构件挠度限值	406
附表 G.5 铁路桥涵混凝土受弯构件挠度限值	407
附录 H 钢筋混凝土梁、板、柱的一般构造要求	408
附表 H.1 板的最小厚度要求	408
附表 H.2 钢筋混凝土构件纵向受力钢筋的最小配筋率 ρ_{\min} (%)	408
附表 H.2.1 建筑工程纵向受力钢筋的最小配筋率 ρ_{\min} (%)	408
附表 H.2.2 公路桥涵纵向受力钢筋的最小配筋率 ρ_{\min} (%)	409
附表 H.2.3 水工结构纵向受力钢筋的最小配筋率 ρ_{\min} (%)	409
附表 H.2.4 港口工程纵向受力钢筋的最小配筋率 ρ_{\min} (%)	410
附表 H.3 梁内箍筋最大间距	410
附表 H.3.1 建筑工程梁内箍筋最大间距 (mm)	410
附表 H.3.2 港口工程梁内箍筋最大间距 (mm)	410
附表 H.3.3 水工结构梁内箍筋最大间距 (mm)	411
附表 H.4 受弯构件有效翼缘计算宽度 b'_f	411
附表 H.4.1 建筑工程、水工结构、港工结构受弯构件有效翼缘计算宽度	411
附表 H.4.2 公路桥涵 T 形截面梁有效翼缘计算宽度	412
附表 H.5 锚固钢筋的外形系数 α	412
附表 H.5.1 建筑工程取值	412
附表 H.5.2 水工结构取值	412
附录 I 预应力损失	413
附表 I.1 摩擦系数 κ 和 μ	413
附表 I.2 锚具变形、预应力筋回缩和接缝压缩值 (mm)	413
附表 I.3 预应力筋应力松弛损失时间变化系数	413

附录 I.4 混凝土收缩应变终极值 $\varepsilon_{\infty} (\times 10^{-4})$	414
附表 I.4.1 建筑工程取值	414
附表 I.4.2 公路桥涵取值	414
附表 I.4.3 铁路桥涵取值	415
附录 I.5 混凝土徐变系数终极值 φ_{∞}	415
附表 I.5.1 建筑工程取值	415
附表 I.5.2 公路桥涵取值	416
附表 I.5.3 铁路桥涵取值	416
附录 I.6 建筑工程、铁路桥涵不同时刻混凝土收缩徐变损失与终极值的比值	416
参考文献	417

第1章 绪论

1.1 混凝土结构的含义

混凝土 (concrete) 是由胶凝材料 (cementitious material)、粗骨料 (coarse aggregate) (俗称石)、细骨料 (fine aggregate) (俗称砂) 和水按适当比例拌和、经一段时间硬化而成的一种人工材料, 其中以水泥作为胶凝材料的混凝土称为水泥混凝土, 简称混凝土。

混凝土结构是指以混凝土为主要材料制作的工程结构, 包括不放置任何加强材料的素混凝土结构 (plane concrete structure)、以钢筋作为加强材料的钢筋混凝土结构 (reinforced concrete structure)、用预应力筋在混凝土内建立预加应力的预应力混凝土结构 (prestressed concrete structure) 以及配置型钢的型钢混凝土结构 (steel reinforced concrete structure)。

混凝土是一种抗压强度较高而抗拉强度很低的材料 (抗拉强度一般只有抗压强度的 $1/16 \sim 1/8$)。图 1-1a 所示承受均布荷载的素混凝土简支梁, 最大弯矩在跨中, 横截面 (简称截面) 中和轴以上部分受压、中和轴以下部分受拉, 截面上、下边缘的应力最大, 见图 1-1b。随着荷载的增加, 截面应力增加; 当荷载增加到截面受拉边缘的拉应变达到混凝土的极限拉应变时, 混凝土裂开 (图 1-1c); 裂开部分不能再承受拉应力, 整个截面无法维持平衡, 梁即告破坏。此时截面的最大压应力相对混凝土的抗压强度还很低 (截面最大压应力与最大拉应力大致相等), 混凝土较高的抗压强度没有得到充分利用。由于梁的破坏不是由混凝土较高的抗压强度控制, 而是由很低的抗拉强度控制, 承载效率低; 一开裂就破坏, 没有预兆, 属于脆性破坏。所以, 素混凝土结构的应用很局限, 仅限于受压为主的构件, 如设备基础、重力坝等。

素混凝土构件的受拉区域很弱, 于是人们想到对它进行加强。钢筋是最普遍用来加强的材料, 这种加强的混凝土 (英文 reinforced concrete 本意为加强混凝土) 我国称为钢筋混凝土。

在简支梁的受拉区域放置钢筋后, 中性轴以下部分的混凝土和钢筋共同承受拉应力, 如图 1-1d 所示。当横截面受拉边缘的拉应变达到混凝土极限拉应变时, 仍然会开裂, 如图 1-1e 所示。与素混凝土梁不同的是, 混凝土开裂部分原来承担的拉应力转由钢筋承担 (混凝土开裂时钢筋的应力仅 $20 \sim 30$ MPa, 只有其强度的 $1/10$ 左右), 梁并不破坏, 荷载还能进一步增大; 随着荷载的增加, 原来弯矩较小的截面也相继开裂, 梁的变形增大; 当钢筋的拉应力达到其抗拉强度, 横截面受压区边缘应变达到混凝土极限压应变、混凝土压碎, 梁才告破坏, 见图 1-1f。与素混凝土梁相比, 钢筋混凝土梁的承载能力提高很多;