

HUNNINGTU
JIEGOU
SHEJI YUANLI



混凝土 结构设计原理

(第3版)

■ 贾英杰 杨维国 主编



国家开放大学
THE OPEN UNIVERSITY OF CHINA

混凝土结构设计原理

(第3版)

贾英杰 杨维国 主编

中央广播电视大学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土结构设计原理 / 贾英杰, 杨维国主编. —3 版.
—北京: 中央广播电视大学出版社, 2015. 2

ISBN 978 - 7 - 304 - 05272 - 0

I. ①混… II. ①贾…②杨… III. ①混凝土结构 -
结构设计 IV. ①TU370. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 016204 号

版权所有, 翻印必究。

混凝土结构设计原理 (第 3 版)

HUNNINGTU JIEGOU SHEJI YUANLI

贾英杰 杨维国 主编

出版·发行: 中央广播电视大学出版社

电话: 营销中心 010 - 66490011 总编室 010 - 68182524

网址: <http://www.crtvup.com.cn>

地址: 北京市海淀区西四环中路 45 号 邮编: 100039

经销: 新华书店北京发行所

策划编辑: 申 敏

版式设计: 赵 洋

责任编辑: 申 敏

责任校对: 张 娜

责任印制: 赵连生

印刷: 北京明月印务有限责任公司

印数: 0001 ~ 15000

版本: 2015 年 2 月第 3 版

2015 年 2 月第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

印张: 21.25 字数: 468 千字

书号: ISBN 978 - 7 - 304 - 05272 - 0

定价: 30.00 元

(如有缺页或倒装, 本社负责退换)

内容提要

本书是根据国家开放大学开放教育土木工程专业本科“混凝土结构设计原理”课程教学大纲编写的专业基础课教材。其内容包括绪论、材料的物理和力学性能、混凝土结构设计的基本原则、受弯构件正截面承载力计算、受弯构件斜截面承载力计算、受压构件的截面承载力、受拉构件承载力计算、受扭构件承载力计算、正常使用极限状态验算及耐久性设计、预应力混凝土构件的计算、公路桥梁混凝土构件设计方法。

本书除供国家开放大学土木工程专业本科生作为教材使用外，尚可作为其他院校本科生及有关工程技术人员的参考书。

第3版前言 PREFACE

由于国家标准《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)的颁布实施以及新版《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62)的即将颁布,混凝土结构设计方法中的相关规定需予以及时更订,以满足工程结构安全可靠与经济耐久的要求。

本次再版修订,主要进行了以下工作:

(1) 按《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)及《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50153—2008)的规定,修改和补充了极限状态的标志、极限状态设计表达式、效应设计值的组合方法等内容。

(2) 增加了各相关知识点的图形化及表格化表示,并将原教材中的部分图、表进行了完善,更易直观学习和掌握、理解。

(3) 增加受弯梁截面设计的综合计算例题和偏心受压柱的计算例题,使学习者能从教材中获得更丰富的构件设计实例,并掌握更完善的构件设计流程。

(4) 对偏心受压柱构件的二阶弯矩效应进行了更易于理解的内容编排,帮助学习者进行直观、有效的学习,以准确理解《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)的修订思想。

(5) 在偏心受压柱的截面设计中,大、小偏心受压判别及截面设计方法是本课程的学习难点。本次修订引入 N_u-M_u 关系曲线中的菱形区概念,并借助图形描述来帮助学生复杂问题的清晰理解与扎实掌握。

(6) 增加了混凝土结构的耐久性设计内容,以应对日益严重的混凝土耐久性问题。

本书的修订工作由北京交通大学与国家开放大学合作完成。北京交通大学杨维国教授负责第1章至第3章的修订,北京交通大学贾英杰副教授负责第4章至第6章及第8章的修订,国家开放大学王卓副教授对第7章内容进行了审核修订,北京交通大学袁泉副教授对第9章至第11章内容进行了审核修订。全书由贾英杰、杨维国统一修改定稿。

国家开放大学王卓老师负责了本教材修订的组织和联系工作,国家开放大学工学院对本次修订工作也给予了大力支持,中央广播电视大学出版社为本书的顺利出版提供了很大帮助,努力使本教材成为有较高理论水平和编写水平的、优秀的混凝土结构设计原理学习用书。

编 者

2014年10月于北京

第2版前言 PREFACE

随着《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)的实施,我国土木工程在混凝土结构领域的设计理论和设计方法又有了进一步的提高和完善。通过对国际相关标准与国外先进标准的学习和借鉴,并结合我国土木工程领域的特点和自身的实践经验,混凝土学科获得了快速稳定和持续有效的发展。

新施行的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)与2002年的版本相比,在结构方案设计、结构防连续倒塌、既有结构设计和无黏结预应力设计方面都增加了相关规定;在钢筋选用方面,用高强度钢筋对低强度钢筋进行取代;在承载力计算方面,补充了复合受力构件设计的相关规定,并修改了受剪、受冲切承载力的计算公式;提出了钢筋保护层厚度新的定义,并调整了钢筋保护层厚度;对钢筋的锚固长度、纵向受力钢筋的最小配筋率等也作了调整;对一些混凝土构件的抗震设计进行了补充和修改;在正常使用极限状态的要求和验算方面也作了较大的调整。

新版《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)在内容的补充和修改两方面都比较显著。本教材内容的编写选取了主要的设计理论和主要构件的基本设计方法,以帮助专业人员掌握基本的混凝土结构设计知识并能对规范规定的其他内容形成自我认知和学习的能力。本次修订主要是在第1版的基础上,对新版规范有修改的条款进行了对应的描述、解释和完善,而在编写大纲上仍保持与第1版基本相同的框架结构。

本教材第1版的主编姚谦峰教授于2010年9月不幸去世,他生前曾密切关注新版《混凝土结构设计规范》的发布和实施,并对本教材和新规范的紧密结合提出了修订思路和预期目标,本次修订正是遵循了既定的修订方案,以期与第1版保持一致的编写原则。

中央广播电视大学王卓老师负责了本教材修订的组织和联系工作,北京交通大学刘钧慧为本书修改了部分插图,中央广播电视大学工学院对这次修订工作给予了大力支持,中央广播电视大学出版社为本书的顺利出版提供了很大帮助,在此对他们表示诚挚的感谢。

谨以此书献给敬爱的姚谦峰教授——我永远的导师。

贾英杰

2011年9月于休斯敦大学

第 1 版前言 PREFACE

土木工程涵盖了建筑工程、桥梁工程、地下工程、水利工程及港口工程等学科专业，而“混凝土结构设计原理”作为土木工程专业基础课程构成了其共有的平台，课程内容体现了本专业学生应当具备的最基本的基础知识，可为学生在校学习专业课和毕业后从事本专业领域工作提供坚实的基础，同时也为学生今后在本专业继续深造做好一定的铺垫。

混凝土结构由一些基本构件，例如受拉构件、受压构件、受弯构件、受剪构件、受扭构件或复合受力构件等组成。而“混凝土结构设计原理”课程主要讲述这些构件的受力性能和设计计算方法，它是土木工程专业最重要的专业基础课。本书内容主要包括：钢筋和混凝土材料的物理力学性能、基于概率理论的混凝土结构设计原理、各种基本构件的性能分析、设计计算和构造措施等。

由于目前我国土木工程各领域混凝土结构设计规范尚不统一，建筑工程和公路桥涵工程采用的是极限状态设计方法，而铁路桥涵工程使用的是容许应力设计方法，因此本书突出混凝土结构构件的受力性能分析，主要介绍建筑工程和公路桥涵工程的相关规范内容，而铁路桥涵工程的构件设计方法及相关规范内容尚未考虑。

书中各章节按混凝土结构构件的受力性能和特点划分，便于根据不同的教学要求对内容进行取舍。在叙述方法上，考虑学生从基础课到专业课的认识规律，由浅入深，循序渐进，力求对基本概念及基本原理论述清楚、重点突出，使学生能较容易地掌握结构构件的力学性能及理论分析方法，对结构构件的设计计算和设计步骤力求做到具体、实用。为了符合广播电视大学“开放教学”的特点，每章都附有小结、思考题和习题，以便学生能更好地理解和掌握课程内容。

本书由北京交通大学土木建筑工程学院和中央广播电视大学合作编写。具体分工如下：第 1 章至第 3 章由北京交通大学的姚谦峰执笔，第 4 章、第 5 章及第 8 章由北京交通大学的贾英杰执笔，第 6 章、第 9 章及第 10 章由北京交通大学的袁泉执笔，第 7 章由中央广播电视大学的王圻执笔，第 11 章由北京交通大学的杨维国执笔。全书由姚谦峰、贾英杰统一修改定稿。

清华大学的叶列平教授、北京工业大学的曹万林教授及北京交通大学的季文玉教授审阅了本书并提出了许多宝贵意见，何玉阳、李挺、汤丁、张子荣、刘丹、刘佩、贾穗子等参与了本书插图的绘制工作，中央广播电视大学工学院对本书的编写给予了高度的重视与支持，中央广播电视大学出版社为本书的顺利出版提供了很大的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中还参考了大量国内外文献，引用了不少学者的资料，这些在本书中的参考文献中已予列出，在此向广大作者表示衷心的感谢。

希望本书能为读者的学习和工作提供帮助，鉴于作者水平有限，书中难免有错误及不妥之处，望请读者批评指正。

姚谦峰

2009年6月于北京交通大学红果园

目 录 CONTENTS

第1章 绪论	1
1.1 混凝土结构的一般概念	1
1.2 钢筋和混凝土共同工作的可能性与有效性	2
1.3 钢筋混凝土结构的特点	3
1.3.1 钢筋混凝土结构的优点	3
1.3.2 钢筋混凝土结构的缺点	4
1.4 混凝土结构的发展与应用	4
1.4.1 混凝土结构发展概况	4
1.4.2 混凝土结构在实际工程中的应用	7
1.5 本课程的主要内容及特点	10
1.5.1 课程内容	10
1.5.2 课程特点	10
1.5.3 学习方法	11
小 结	12
思考题	12
第2章 材料的物理和力学性能	13
2.1 混凝土	13
2.1.1 混凝土的强度	13
2.1.2 复杂受力下混凝土的受力性能	17
2.1.3 混凝土的变形	20
2.1.4 混凝土的选用原则	27
2.2 钢筋	27
2.2.1 钢筋的种类	27
2.2.2 钢筋的强度与变形性质	29
2.2.3 钢筋的性能要求与选用原则	32

2.3 钢筋与混凝土的黏结	33
2.3.1 黏结的意义	33
2.3.2 黏结力的组成	34
2.3.3 黏结强度	34
2.3.4 影响黏结强度的因素	35
小 结	37
思考题	37
习 题	38
第3章 混凝土结构设计的基本原则	39
3.1 结构的功能要求和极限状态	39
3.1.1 结构的功能要求	39
3.1.2 结构的极限状态	39
3.1.3 结构的安全等级	40
3.2 结构的可靠度和极限状态方程	41
3.2.1 结构上的作用、作用效应及结构抗力	41
3.2.2 结构的可靠性和可靠度	42
3.2.3 设计使用年限、设计基准期和实际使用寿命	42
3.2.4 极限状态方程及可靠指标	43
3.3 极限状态设计表达式	45
3.3.1 荷载和材料强度的取值	45
3.3.2 分项系数	49
3.3.3 承载能力极限状态设计表达式	51
3.3.4 正常使用极限状态设计表达式	52
小 结	54
思考题	55
习 题	55
第4章 受弯构件正截面承载力计算	57
4.1 概述	57
4.2 梁、板结构的一般构造	58
4.3 梁正截面受弯承载力的试验研究	62
4.3.1 适筋梁正截面受弯的3个阶段	62
4.3.2 纵向受拉钢筋配筋率对正截面受弯破坏形态和受弯性能的影响	65

4.4 正截面承载力计算的基本假定及应用	66
4.4.1 正截面承载力计算的基本假定	66
4.4.2 受压区混凝土应力的计算图形	68
4.4.3 界限相对受压区高度	70
4.4.4 适筋和少筋破坏的界限条件	72
4.5 单筋矩形截面正截面受弯承载力计算	72
4.5.1 基本计算公式	73
4.5.2 基本计算公式的适用条件及意义	74
4.5.3 计算系数和应用	74
4.5.4 正截面受弯承载力计算的两类问题	75
4.6 双筋矩形截面正截面受弯承载力计算	79
4.6.1 双筋矩形截面的受力机理	79
4.6.2 基本计算公式	80
4.6.3 双筋矩形截面正截面受弯承载力的截面设计方法	82
4.7 T形截面受弯构件的正截面受弯承载力计算	85
4.7.1 T形截面的定义及翼缘计算宽度	85
4.7.2 T形截面受弯构件的正截面受弯承载力计算	86
小 结	90
思考题	91
习 题	92
第5章 受弯构件斜截面承载力计算	94
5.1 概述	94
5.2 无腹筋梁斜截面受剪的破坏形态	96
5.2.1 斜截面开裂后梁中的应力状态	96
5.2.2 剪跨比及无腹筋梁斜截面受剪破坏形态	98
5.3 无腹筋梁斜截面受剪承载力的影响因素及计算公式	100
5.3.1 影响无腹筋梁受剪承载力的因素	100
5.3.2 无腹筋梁受剪承载力的计算公式	101
5.4 有腹筋梁的受剪性能	102
5.4.1 有腹筋梁的受剪破坏形态	103
5.4.2 斜截面承载力的计算公式和适用范围	105
5.4.3 弯起钢筋	108
5.4.4 受弯构件斜截面受剪承载力的截面设计方法	109

5.5	梁斜截面受弯承载力	114
5.5.1	抵抗弯矩图及绘制方法	114
5.5.2	保证斜截面受弯承载力的构造措施	115
5.6	梁、板内钢筋的其他构造要求	118
5.6.1	纵向钢筋的弯起、锚固、搭接、截断的构造要求	118
5.6.2	箍筋的构造要求	122
5.6.3	架立钢筋及纵向构造钢筋	124
5.7	连续梁受剪性能及其承载力计算	124
	小 结	130
	思考题	130
	习 题	131
第6章	受压构件的截面承载力	133
6.1	受压构件的一般构造要求	134
6.1.1	截面形式及尺寸	134
6.1.2	材料的强度要求	135
6.1.3	纵筋的构造要求	135
6.1.4	箍筋的构造要求	135
6.2	轴心受压构件的正截面承载力计算	137
6.2.1	普通箍筋柱的设计计算	137
6.2.2	螺旋箍筋柱的设计计算	140
6.3	偏心受压构件的正截面受压破坏形态	144
6.3.1	大偏心受压破坏	144
6.3.2	小偏心受压破坏	144
6.3.3	界限破坏	146
6.4	偏心受压中长柱的二阶弯矩	147
6.4.1	偏心受压中长柱的纵向弯曲影响	147
6.4.2	偏心受压构件二阶效应	149
6.5	矩形截面偏心受压构件正截面承载力的基本计算公式	153
6.5.1	矩形截面大偏心受压构件正截面承载力计算公式	153
6.5.2	矩形截面小偏心受压构件正截面承载力计算公式	154
6.5.3	相对界限偏心距	157
6.6	偏心受压构件的 $N_u - M_u$ 相关曲线及菱形区概念的应用	158
6.6.1	$N_u - M_u$ 相关曲线	158

6.6.2	$N_u - M_u$ 相关曲线中的菱形区概念	161
6.6.3	偏心受压构件设计原则及菱形区判别大小偏心的功能	163
6.7	矩形截面不对称配筋偏心受压构件的计算方法	164
6.7.1	截面设计	164
6.7.2	截面复核	166
6.8	矩形截面对称配筋偏心受压构件的计算方法	175
6.8.1	大、小偏心受压构件的判别	175
6.8.2	截面设计	176
6.9	偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	179
6.9.1	轴向压力对构件斜截面受剪承载力的影响	179
6.9.2	轴向压力对受剪承载力的影响	179
	小 结	180
	思考题	181
	习 题	181
第7章	受拉构件承载力计算	182
7.1	轴心受拉构件正截面承载力计算	182
7.2	偏心受拉构件正截面承载力计算	183
	小 结	186
	思考题	187
	习 题	187
第8章	受扭构件承载力计算	188
8.1	概述	188
8.2	纯扭构件的试验研究	189
8.2.1	破坏形态	189
8.2.2	纵筋和箍筋配置的影响	190
8.3	纯扭构件承载力的计算	190
8.3.1	开裂扭矩	190
8.3.2	纯扭构件的承载力	191
8.4	弯剪扭构件承载力的计算	194
8.4.1	破坏形式	194
8.4.2	弯剪扭构件的承载力	195
8.5	构造要求	200

8.5.1	计算公式的适用条件	200
8.5.2	配筋构造	201
小 结		206
思考题		206
习 题		206
第9章	正常使用极限状态验算及耐久性设计	207
9.1	概述	207
9.2	裂缝验算	207
9.2.1	裂缝控制的要求	208
9.2.2	裂缝的出现和分布规律	208
9.2.3	平均裂缝间距	209
9.2.4	平均裂缝宽度的计算公式	211
9.2.5	最大裂缝宽度验算	214
9.2.6	长期荷载的影响	215
9.3	变形验算	216
9.3.1	变形控制的要求	216
9.3.2	截面抗弯刚度的主要特点	217
9.3.3	短期刚度计算公式	218
9.3.4	长期刚度计算公式	220
9.3.5	最小刚度原则	221
9.4	混凝土结构的耐久性	224
9.4.1	混凝土结构耐久性的概念	224
9.4.2	影响混凝土结构耐久性的因素	225
9.4.3	混凝土结构耐久性设计的主要内容	230
小 结		232
思考题		232
习 题		233
第10章	预应力混凝土构件的计算	234
10.1	概述	234
10.1.1	预应力混凝土的概念	234
10.1.2	预应力混凝土的特点	235
10.1.3	预应力混凝土的分类	236

10.1.4	预应力钢筋的张拉方法	238
10.1.5	锚具与夹具	239
10.2	预应力混凝土构件的一般规定	241
10.2.1	预应力混凝土材料	241
10.2.2	张拉控制应力	242
10.2.3	预应力损失	243
10.3	预应力混凝土轴心受拉构件各阶段的应力分析	248
10.3.1	轴心受拉构件各阶段的应力分析	248
10.3.2	预应力混凝土轴心受拉构件的计算	255
10.4	预应力混凝土受弯构件的计算	264
10.4.1	受弯构件各阶段的应力分析	264
10.4.2	受弯构件使用阶段承载力计算	266
10.4.3	受弯构件抗裂度验算	270
10.4.4	受弯构件的变形验算	273
10.4.5	受弯构件施工阶段的验算	274
10.5	预应力混凝土构件的构造要求	275
10.5.1	一般规定	275
10.5.2	先张法构件的构造要求	276
10.5.3	后张法构件的构造要求	277
小 结		279
思考题		280
习 题		280
第 11 章	公路桥梁混凝土构件设计方法	282
11.1	公路桥梁混凝土构件设计方法及材料选用	282
11.2	受弯构件抗弯强度计算	285
11.3	受弯构件斜截面承载力简介	290
11.4	受压构件的强度计算	293
11.5	构件裂缝宽度和变形的计算	297
小 结		300
思考题		301
习 题		301
附 录		303
附录 1	术语及符号	303

附录2 《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)规定的材料力学指标	307
附录3 钢筋的计算截面面积、公称质量、轴心受压构件的 稳定系数及相关计算表格.....	311
附录4 《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)的有关规定	314
附录5 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62) 规定的材料力学指标.....	317
参考文献.....	319

第1章 绪论

CHAPTER

学习目标

1. 深刻理解并掌握钢筋和混凝土的共同工作条件。
2. 充分认识钢筋混凝土结构的优点和缺点。
3. 了解钢筋混凝土结构在土木工程中的应用及发展前景。

1.1 混凝土结构的一般概念

由水泥等胶凝材料、石子和砂等粗细骨料、水和其他掺和料及外加剂，按适当比例配制，拌和并硬化而成的具有一定强度和耐久性的人造石材，称为混凝土，也常被称为“砼”。混凝土结构则是以混凝土为主要材料，并根据需要配置钢筋、预应力钢筋、型钢等，组成承力构件的结构，如素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、钢管或钢骨混凝土结构和纤维混凝土结构。

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，常用于路面、基础等和一些非承重结构；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；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应力的混凝土结构；纤维混凝土结构是在钢筋混凝土中加入钢纤维、碳纤维筋等形成的混凝土结构。

钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构常用做土木工程中的主要承重结构，广泛应用于建筑、桥梁、隧道、矿井以及水利、港口等工程。

钢筋和混凝土都是现代土木工程中重要的建筑材料，钢筋的抗拉和抗压强度都很高，但混凝土的抗压强度较高而抗拉强度很低。为充分发挥两种材料各自的性能优势，把钢筋和混凝土按照合理的组合方式有机地结合起来，共同工作，使钢筋主要承受拉力，混凝土主要承受压力，以满足工程结构的使用要求。

如图1-1所示的混凝土简支梁，在外力作用下会产生弯曲变形，梁的上部材料受压，下部材料受拉。当此梁由素混凝土制成时[如图1-1(a)所示]，由于混凝土抗拉强度很低，当荷载作用值还很小时，梁下部受拉区边缘的混凝土就会出现裂缝，而受拉区混凝土一旦开裂，在荷载的持续作用下，裂缝会迅速向上发展，梁在瞬间骤然脆裂断开，而梁上部混凝土的