



住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高等学校土木工程专业应用型人才培养规划教材

混凝土结构基本原理

Civil Engineering

宗 兰 倪 虹 主 编
陈 蓓 副主编
邱洪兴 主 审

中国建筑工业出版社

住房城乡建
高等学

“十三五”规划教材
人才培养规划教材

混凝土结构基本原理

宗 兰 倪 虹 主 编
陈 蓓 副主编
邱洪兴 主 审



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土结构基本原理/宗兰, 倪虹主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017.1

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材. 高等学校土木工程专业应用型人才培养规划教材

ISBN 978-7-112-20183-9

I. ①混… II. ①宗… ②倪… III. ①混凝土结构-高等学校-教材 IV. ①TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 321177 号

本书根据我国《高等学校土木工程本科指导性专业规范》对混凝土结构基本原理课程的要求, 结合应用型本科人才培养的特点, 参照最新的《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010 (2015 年版) 进行编写。本书主要内容包括: 绪论、钢筋混凝土材料的力学性能、钢筋混凝土结构的设计方法、受弯构件正截面承载力计算、钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算、钢筋混凝土受扭及弯剪扭构件承载力计算、钢筋混凝土受压构件的承载力计算、钢筋混凝土受拉构件的承载力计算、钢筋混凝土构件正常使用极限状态计算、预应力混凝土结构设计。为便于教学和学生自学, 本书每章都有本章要点和本章小结, 章末附有思考练习题。

本书可作为高等学校土木工程专业教材, 也可供从事混凝土结构设计、施工、科研、工程管理的工程技术人员参考。

责任编辑: 吉万旺 王 跃 仕 帅

责任设计: 韩蒙恩

责任校对: 焦 乐 刘梦然

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高等学校土木工程专业应用型人才培养规划教材

混凝土结构基本原理

宗 兰 倪 虹 主 编

陈 蓓 副 主 编

邱洪兴 主 审

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17 字数: 420 千字

2017 年 2 月第一版 2017 年 2 月第一次印刷

定价: 35.00 元

ISBN 978-7-112-20183-9

(29684)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

高等学校土木工程专业应用型人才培养规划教材 编委会成员名单 (按姓氏笔画排序)

顾问：吕恒林 刘伟庆 吴刚 金丰年 高玉峰

主任委员：李文虎 沈元勤

副主任委员：华渊 宗兰 荀勇 姜慧 高延伟

委员：于清泉 王跃 王振波 包华 吉万旺

朱平华 张华 张三柱 陈蓓 宣卫红

耿欧 郭献芳 董云 裴星洙

出版说明

近年来,我国高等教育教学改革不断深入,高校招生人数逐年增加,对教材的实用性和质量要求越来越高,对教材的品种和数量的需求不断扩大。随着我国建设行业的大发展、大繁荣,高等学校土木工程专业教育也得到迅猛发展。江苏省作为我国土木工程大省、教育大省,无论是开设土木工程专业的高校数量还是人才培养质量,均走在了全国前列。江苏省各高校土木工程专业教育蓬勃发展,涌现出了许多具有鲜明特色的应用型人才培养模式,为培养适应社会需求的合格土木工程专业人才发挥了引领作用。

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会(以下简称江苏分会)是经中国土木工程学会教育工作委员会批准成立的,其宗旨是为了加强江苏省具有土木工程专业的高等院校之间的交流与合作,提高土木工程专业人才培养质量,促进江苏省建设事业的蓬勃发展。中国建筑工业出版社是住房和城乡建设部直属出版单位,是专门从事住房和城乡建设领域的科技专著、教材、标准规范、职业资格考试用书等的专业科技出版社。作为本套教材出版的组织单位,在教材编审委员会人员组成、教材主参编确定、编写大纲审定、编写要求拟定、计划出版时间以及教材特色体现和出版后的营销宣传等方面都做了精心组织和协调,体现出了其强有力的组织协调能力。

经过反复研讨,《高等学校土木工程专业应用型人才培养规划教材》定位为以普通应用型本科人才培养为主的院校通用课程教材。本套教材主要体现适用性,充分考虑各学校土木工程专业课程开设特点,选择20种专业基础课、专业课组织编写相应教材。本套教材主要特点为:抓住应用型人才培养的主线;编写中采用先引入工程背景再引入知识,在教材中插入工程案例等灵活多样的方式;尽量多用图、表说明,减少篇幅;编写风格统一;体现绿色、节能、环保的理念;注重学生实践能力的培养。同时,本套教材编写过程中既考虑了江苏的地域特色,又兼顾全国,教材出版后力求能满足全国各应用型高校的教学需求。为满足多媒体教学需要,我们要求所有教材在出版时均配有多媒体教学课件。

本套《高等学校土木工程专业应用型人才培养规划教材》是中国建筑工业出版社成套出版区域特色教材的首次尝试,对行业人才培养具有非常重要的意义。今年正值我国“十三五”规划的开局之年,本套教材有幸整体入选《住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材》。我们也期待能够利用本套教材策划出版的成功经验,在其他专业、其他地区组织出版体现区域特色的教材。

希望各学校积极选用本套教材,也欢迎广大读者在使用本套教材过程中提出宝贵意见和建议,以便我们在重印再版时得以改进和完善。

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会

中国建筑工业出版社

2016年12月

前 言

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》要求，混凝土结构基本原理为土木工程专业的专业基础课程。编者深入理解《高等学校土木工程本科指导性专业规范》对该课程的知识点的要求并结合应用型本科人才培养的特点编写了本书。

本教材按照我国现行《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010（2015年版）编写。应用型土木工程人才培养的特点，就是对相关规范规程的理解、应用、创新，所以本教材在内容上注意了从基本原理上理解混凝土结构设计规范的条文；通过工程实例培养学生如何应用设计规范；通过思考练习题培养学生的创新精神。重点突出，兼顾难点，注重培养学生解决工程问题的能力。在每章都有本章要点和本章小结，并附有思考练习题，以方便学生复习和自学。

本教材编写分工如下：第1章、第4章、第5章、附表由南京工程学院宗兰编写；第2章、第3章由南京理工大学泰州科技学院陈蓓编写；第6章、第10章由南京金陵科技学院倪虹编写；第7章、第8章由南京工程学院耿方方编写；第9章由常州工学院鲁良辉编写。本书由宗兰统稿。

本教材由东南大学邱洪兴教授担任主审。邱先生治学严谨，在百忙之中认真仔细地审阅了书稿，从编写体例到书稿的细部，都提出了重要的修改意见，编者对邱先生表示诚挚的谢意。

在本教材编写过程中，我们参考和引用了国内已经出版的有关混凝土结构的教材和规范、标准，在此向有关作者表示感谢。鉴于编者水平有限，在编写中难免存在不足之处，恳请读者指教。

编 者

2016年11月

目 录

第 1 章 绪论	1	第 3 章 钢筋混凝土结构的设计方法	42
本章要点及学习目标	1	本章要点及学习目标	42
1.1 概述	1	3.1 混凝土结构设计理论发展 简史	42
1.2 钢筋混凝土结构的优缺点	2	3.2 结构的功能和极限状态	44
1.2.1 钢筋混凝土结构的优点	2	3.2.1 作用效应和结构抗力	44
1.2.2 钢筋混凝土结构的缺点	2	3.2.2 结构的功能要求	45
1.3 钢筋混凝土结构的发展概况	3	3.2.3 结构的极限状态	45
1.4 混凝土结构基本原理课程特点 及学习方法	4	3.2.4 结构的设计状况	46
本章小结	5	3.2.5 设计基准期和设计使用年限	47
思考与练习题	5	3.3 结构的可靠度和极限状态 方程	47
第 2 章 钢筋混凝土材料的力学性能	6	3.3.1 数理统计的基本概念	47
本章要点及学习目标	6	3.3.2 结构可靠度	50
2.1 钢筋	6	3.3.3 极限状态方程	50
2.1.1 钢筋的种类	6	3.4 可靠指标和目标可靠指标	51
2.1.2 钢筋的力学性能、强度和变形	8	3.4.1 可靠度与失效概率	51
2.1.3 钢筋的冷加工	11	3.4.2 可靠指标 β	52
2.1.4 钢筋的疲劳	13	3.4.3 目标可靠指标	52
2.1.5 混凝土结构对钢筋性能的要求	13	3.5 建筑结构极限状态设计 表达式	53
2.2 混凝土	14	3.5.1 荷载代表值	53
2.2.1 混凝土的强度	14	3.5.2 材料强度指标	54
2.2.2 混凝土的变形	22	3.5.3 承载能力极限状态设计表达式	55
2.2.3 混凝土的疲劳	30	3.5.4 正常使用极限状态设计表达式	58
2.3 钢筋与混凝土的粘结	31	本章小结	62
2.3.1 粘结的作用与机理	32	思考与练习题	62
2.3.2 影响粘结强度的因素	35	第 4 章 受弯构件正截面承载力计算	64
2.4 钢筋的锚固和连接	36	本章要点及学习目标	64
2.4.1 钢筋的锚固	37	4.1 概述	64
2.4.2 钢筋的连接	39	4.2 受弯构件的基本构造要求	64
本章小结	40	4.2.1 板的构造要求	65
思考与练习题	41		

4.2.2	梁的构造要求	66
4.2.3	混凝土保护层厚度与材料选择	67
4.2.4	纵向受拉钢筋的配筋百分率	67
4.3	钢筋混凝土受弯构件正截面 受力性能	68
4.3.1	适筋梁的试验研究	68
4.3.2	配筋率与受弯构件正截面受 力性能	70
4.4	单筋矩形截面受弯构件正截面 承载力计算	72
4.4.1	基本假定	72
4.4.2	受压区等效矩形应力图形	73
4.4.3	受弯构件正截面承载力计算 基本公式	74
4.4.4	适用条件	76
4.4.5	设计计算方法	76
4.5	双筋矩形截面受弯构件正截面 承载力计算	81
4.5.1	概述	81
4.5.2	受压钢筋的应力	81
4.5.3	基本计算公式与适用条件	82
4.5.4	计算方法	84
4.6	T形截面受弯构件正截面承载力 计算	87
4.6.1	概述	87
4.6.2	T形截面类型及判别条件	88
4.6.3	基本计算公式与适用条件	89
4.6.4	计算方法	90
	本章小结	92
	思考与练习题	93
第5章 钢筋混凝土受弯构件斜截 面承载力计算		
	本章要点及学习目标	96
5.1	概述	96
5.2	无腹筋梁斜截面剪切破坏 形态	97
5.2.1	斜裂缝出现后的受力状态	97
5.2.2	无腹筋梁剪切破坏形态	99
5.3	有腹筋梁斜截面剪切破坏 形态	101

5.3.1	斜裂缝出现后的受力状态	101
5.3.2	有腹筋梁受剪破坏形态	101
5.3.3	影响斜截面受剪承载力的主要 因素	102
5.4	受弯构件斜截面受剪承载力 计算	105
5.4.1	简支梁斜截面承载力	105
5.4.2	连续梁斜截面承载力	108
5.4.3	受弯构件斜截面受剪承载力的 设计计算	109
5.5	受弯构件斜截面受弯承载力和 钢筋的构造要求	110
5.5.1	受弯构件抵抗弯矩图	111
5.5.2	纵向钢筋的弯起与截断	113
5.5.3	受力钢筋的锚固与连接	115
5.5.4	箍筋与弯起筋的构造要求	118
5.6	受弯构件斜截面承载力计算 例题	120
	本章小结	126
	思考与练习题	127
第6章 钢筋混凝土受扭及弯剪扭构 件承载力计算		
	本章要点及学习目标	129
6.1	概述	129
6.2	钢筋混凝土纯扭构件的试验 研究	130
6.2.1	试验研究分析	130
6.2.2	纯扭构件的开裂扭矩	132
6.3	纯扭构件的受扭承载力	133
6.4	弯剪扭构件承载力计算	137
6.4.1	弯剪扭构件的破坏形态	137
6.4.2	弯剪扭构件承载力计算	138
6.5	受扭构件的构造要求	139
6.5.1	受扭箍筋的构造要求	139
6.5.2	受扭纵筋的构造要求	139
6.6	剪扭构件承载力计算	142
6.6.1	剪扭承载力的相关关系	142
6.6.2	矩形截面剪扭构件承载力 计算	143
	本章小结	144

思考与练习题	144	计算	192
第 7 章 钢筋混凝土受压构件的承载力计算	146	8.2.1 矩形截面小偏心受拉构件正截面承载力计算	192
本章要点及学习目标	146	8.2.2 矩形截面大偏心受拉构件正截面承载力计算	193
7.1 概述	146	8.3 偏心受拉构件斜截面受剪承载力计算	195
7.2 轴心受压构件正截面承载力计算	147	本章小结	196
7.2.1 配有普通箍筋轴心受压构件正截面承载力计算	147	思考与练习题	196
7.2.2 配有螺旋箍筋轴心受压构件正截面承载力计算	152	第 9 章 钢筋混凝土构件正常使用极限状态计算	197
7.3 矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算	156	本章要点及学习目标	197
7.3.1 偏心受压构件的受力特点和破坏特征	156	9.1 概述	197
7.3.2 偏心受压构件的二阶效应	158	9.2 裂缝宽度验算	198
7.3.3 偏心受压构件正截面承载力计算的基本原则	162	9.2.1 裂缝控制等级及验算	198
7.3.4 非对称配筋矩形截面偏压构件正截面承载力计算	163	9.2.2 裂缝的形成和展开过程	198
7.3.5 对称配筋矩形截面偏压构件正截面承载力计算	175	9.2.3 平均裂缝间距	200
7.3.6 偏心受压构件正截面承载力 N_u 和 M_u 的关系	178	9.2.4 平均裂缝宽度	201
7.4 I 形截面偏心受压构件正截面承载力计算	178	9.2.5 最大裂缝宽度	203
7.5 双向偏心受压构件正截面承载力计算	183	9.2.6 控制裂缝宽度的主要措施	204
7.6 偏心受压构件斜截面承载力计算	185	9.3 受弯构件挠度验算	206
7.7 构造要求	186	9.3.1 变形控制的目的是与要求	206
本章小结	189	9.3.2 截面弯曲刚度	206
思考与练习题	189	9.3.3 短期截面弯曲刚度 B_s	208
第 8 章 钢筋混凝土受拉构件的承载力计算	191	9.3.4 受弯构件的截面弯曲刚度 B	211
本章要点及学习目标	191	9.3.5 受弯构件挠度验算	211
8.1 轴心受拉构件承载力计算	191	9.4 混凝土结构耐久性概念设计	213
8.2 偏心受拉构件正截面承载力计算	192	9.4.1 耐久性的概念	213
		9.4.2 影响混凝土结构耐久性能的主要因素	213
		9.4.3 混凝土结构的耐久性设计	215
		本章小结	217
		思考与练习题	217
		第 10 章 预应力混凝土结构设计	219
		本章要点及学习目标	219
		10.1 预应力混凝土的基本原理	219
		10.2 预应力混凝土的分类与施加方法	220
		10.2.1 预应力混凝土的分类	220

10.2.2 预应力的施加方法	221	附表 3 混凝土的弹性模量	251
10.3 预应力混凝土的夹具和锚具	222	附表 4 混凝土受拉疲劳强度修正系数 γ_p	251
10.4 预应力混凝土的材料	224	附表 5 混凝土受拉疲劳强度修正系数 γ_p	251
10.5 张拉控制应力与预应力损失	225	附表 6 混凝土的疲劳变形模量	251
10.5.1 张拉控制应力	225	附表 7 普通钢筋强度标准值	251
10.5.2 预应力损失	226	附表 8 预应力筋强度标准值	252
10.6 预应力混凝土轴心受拉构件各阶段应力分析	230	附表 9 普通钢筋强度设计值	252
10.7 预应力混凝土轴心受拉构件设计计算	234	附表 10 预应力筋强度设计值	253
10.7.1 使用阶段承载力计算	234	附表 11 钢筋的弹性模量	253
10.7.2 抗裂度验算及裂缝宽度验算 ..	234	附表 12 普通钢筋疲劳应力幅限值	253
10.7.3 施工阶段的验算	235	附表 13 预应力筋疲劳应力幅限值	254
10.7.4 计算例题	238	附表 14 受弯构件的挠度限值	254
10.8 预应力混凝土受弯构件的计算	240	附表 15 结构构件的裂缝控制及最大裂缝宽度限值	254
10.8.1 各阶段应力分析	240	附表 16 混凝土结构的环境类别	254
10.8.2 使用阶段正截面承载力计算 ..	242	附表 17 结构混凝土材料的耐久性基本要求	255
10.8.3 使用阶段斜截面承载力计算 ..	243	附表 18 混凝土保护层的最小厚度 c	255
10.8.4 使用阶段裂缝控制验算	244	附表 19 纵向受力钢筋的最小配筋百分率 ρ_{\min}	256
10.8.5 使用阶段挠度验算	245	附表 20 钢筋混凝土矩形和 T 形截面受弯构件正截面承载力计算系数 ξ 、 γ_s 、 α_s	256
10.8.6 施工阶段验算	246	附表 21 钢筋的计算截面面积及理论质量表	257
10.9 预应力混凝土构件的构造要求	246	附表 22 钢绞线公称直径、截面面积及理论质量	257
10.9.1 先张法预应力混凝土构件的主要构造要求	247	附表 23 钢丝公称直径、截面面积及理论质量	258
10.9.2 后张法预应力混凝土构件的主要构造要求	248	附表 24 钢筋混凝土每米宽的钢筋截面面积	258
本章小结	248	附表 25 钢筋混凝土轴心受压构件的稳定系数 φ	259
思考与练习题	249	附表 26 截面抵抗矩塑性系数 γ_m	259
附表	251	参考文献	260
附表 1 混凝土强度标准值	251		
附表 2 混凝土强度设计值	251		

第 1 章 绪 论

本章要点及学习目标

本章要点:

1. 钢筋与混凝土能够共同工作的原因;
2. 钢筋混凝土结构的优缺点;
3. 钢筋混凝土结构设计理论的发展沿革;
4. 混凝土结构设计基本原理课程的特点。

学习目标:

1. 掌握混凝土与钢筋共同工作的三个要点;
2. 熟悉混凝土结构的优缺点;
3. 了解混凝土结构的发展沿革和本课程的学习特点。

1.1 概述

以混凝土为主制成的结构称为混凝土结构。混凝土结构包括素混凝土结构 (plain concrete structure)、钢筋混凝土结构 (reinforced concrete structure)、预应力混凝土结构 (prestressed concrete structure) 等。混凝土是一种抗压能力较高的材料,但是它的抗拉能力却很低,这就使得混凝土结构的应用受到很大限制。例如,一根截面为 $200\text{mm} \times 300\text{mm}$, 跨度为 2.5m , 用 C20 混凝土做成的素混凝土简支梁, 只能承受 12.5kN 作用在梁跨中的集中力, 就会因跨中截面下边缘应力超过混凝土的抗拉能力而破坏 (图 1-1a)。为了改变这种情况, 如果在混凝土构件的受拉区配置一定数量的钢筋 (图 1-1b), 做成钢筋混凝土构件, 当混凝土开裂后, 混凝土退出工作, 由钢筋承担受拉区的拉力, 使构件的承载能力大大提高。试验表明, 如果在受拉区配置了 2 根直径为 20mm 的 HRB335 级钢筋, 该梁在破坏时能承受约 76kN 的集中力。由此可见, 与素混凝土梁相比, 相同截面形状和尺寸的钢筋混凝土梁可承担大得多的外荷载。并且钢筋在受拉区承担拉力, 混凝土承担受压区的压力, 使钢筋和混凝土两种材料的强度都能得到充分的利用。

钢筋和混凝土是两种不同性能的材料, 它们之所以能够协同工作, 主要由于以下三点:

(1) 钢筋和混凝土之间有良好的粘结力, 能牢固地粘结成整体, 在外力作用时能共同变形、共同工作;

(2) 钢筋与混凝土两种材料的温度线膨胀系数近似相等 (钢为 1.2×10^{-5} , 混凝土为 $1.0 \sim 1.5 \times 10^{-5}$), 当温度变化时, 这两种材料不致发生相对的温度变形而破坏它们之间的结合;

(3) 混凝土包裹住钢筋, 对钢筋起到保护作用。

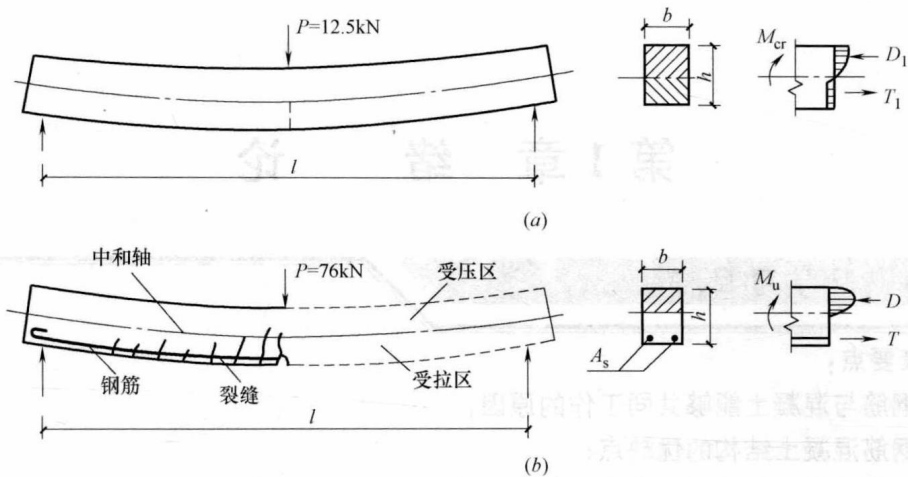


图 1-1 混凝土及钢筋混凝土筒支梁的承载力

(a) 素混凝土梁; (b) 钢筋混凝土梁

1.2 钢筋混凝土结构的优缺点

1.2.1 钢筋混凝土结构的优点

(1) 耐久性好。处于良好工作环境下的钢筋混凝土结构，混凝土强度随时间不断增长，且钢筋受到混凝土的保护而不易锈蚀，因而提高了混凝土结构的耐久性。

(2) 耐火性好。由于有热传导性差的混凝土作钢筋的保护层，当火灾发生时，钢筋混凝土结构不像木结构那样易燃烧，也不像钢结构那样很快易软化而破坏。

(3) 整体性好，刚度大。现浇式或装配整体式钢筋混凝土结构，具有较好的整体性，因而有利于结构的抗震和抗爆。钢筋混凝土结构的刚度大，在使用荷载作用下仅产生较小的变形，能有效地用于对变形较严格的各种结构。

(4) 就地取材，节约钢材。混凝土所用砂、石材料，一般可以就地、就近取材，因而可以降低运输费用，从而可以显著降低工程造价；钢筋混凝土结构合理地利用钢筋和混凝土各自的优良性能，在某些情况下能代替钢结构，从而可节约钢材，降低工程造价。

(5) 可模性好。钢筋混凝土结构可以根据设计需要，制作成各种形状的模板，从而将钢筋混凝土浇捣成任何形状。

正是由于钢筋混凝土结构有上述优点，所以钢筋混凝土结构的应用非常广泛，除了在建筑工程中大量采用外，在水利工程、港口工程、桥梁工程、海洋工程以及原子能工程中亦得到广泛利用。

1.2.2 钢筋混凝土结构的缺点

(1) 自重。钢筋混凝土的重度大约为 25kN/m^3 ，大于砌体和木材的重度。虽然比钢材的重度小，但由于结构的截面比钢结构大，因而其结构自重远远超过相同跨度和高度的钢结构，所以不利于建造大跨度结构和超高层建筑。

(2) 抗裂性差。由于混凝土抗拉强度低 (约为抗压强度的 $1/10\sim 1/9$)，因此，普通混凝土结构经常处于带裂缝工作状态。虽然从设计理论上裂缝的存在并不意味着结构就会破坏，但是可能要影响结构的耐久性和美观。

(3) 混凝土的补强维修困难。

(4) 隔热隔声效果差。

(5) 施工比钢结构复杂，建造工期一般较长，施工质量受到自然环境的影响。

1.3 钢筋混凝土结构的发展概况

混凝土结构从问世到现在有 150 多年的历史。1824 年英国人阿斯普丁取得了波特兰水泥 (我国称硅酸盐水泥) 的专利权，1850 年开始生产。这是形成混凝土的主要材料，使得混凝土在土木工程中得到广泛应用。1861 年法国约瑟夫·莫尼埃获得了制造钢筋混凝土楼板、管道和拱桥等的专利。1886 年美国入杰克逊首先应用预应力混凝土制作建筑配件，后又用它制作楼板。1938 年弗列西涅发明了锥形锚具和 1940 年比利时的门格尔发明了门格尔体系后，使预应力混凝土结构的抗裂性得到根本的改善，使高强钢筋能够在混凝土结构中得到有效地利用，从而使混凝土结构能够用于大跨结构、压力贮罐、电站容器等领域中。

自 20 世纪 50 年代以来，钢筋混凝土在高层建筑中的应用也有了迅速发展。1976 年建成的美国芝加哥水塔广场大厦达 72 层，高 262m；朝鲜平壤柳京大厦 105 层，高 305m；中国香港中信大厦，高 374m，78 层；马来西亚双塔大厦，高 450m；上海环球金融中心，高 492m，地上建筑 101 层。电视塔、水池、冷却塔、烟囱等特殊构筑物也普遍采用了钢筋混凝土和预应力混凝土。上海电视塔高 468m；加拿大多伦多电视塔，高度为 549m。在铁路、公路、城市立交桥、高架桥、地铁隧道以及水利、港口等工程中，用钢筋混凝土建造的桥梁、水闸、水电站、船坞和码头已是星罗棋布。如我国在四川万州建成主跨 420m 的混凝土拱桥；长江三峡水利枢纽工程，大坝高 186m，坝体混凝土用量达 1527 万 m^3 ，是世界上最大的水利工程；已建成的江苏润扬大桥是连接镇江和扬州的长江大桥，其南桥为主跨长等于 1490m 的钢悬索桥，北桥为主跨长 406m 的预应力混凝土斜拉桥。

混凝土材料作为混凝土结构的主体，主要向轻质、高强、耐久、抗震等方向发展，如高强度混凝土 (HSC)、高性能混凝土 (HPC)。目前我国普通应用的混凝土强度等级一般在 C20~C60，个别工程已经用到 C80；轻集料混凝土 (light Aggregate concrete)，利用天然轻集料 (如浮石、凝灰岩等)、工业废料轻集料 (如炉渣、粉煤灰、煤矸石等)、人造轻集料 (页岩陶粒、黏土陶粒、膨胀珍珠岩陶粒等)，具有自重轻，相对强度高以及保温、抗冻性能好等优点；改良混凝土 (Modified concrete)，为了改善混凝土抗拉性能和延性差的缺点，20 世纪 60 年代以后，掺加纤维以改善混凝土性能的研究和应用发展得相当迅速，目前研究较多的有掺钢纤维、耐碱玻璃纤维、聚丙烯纤维或尼龙合成纤维、植物纤维等；新型外加剂的研制与应用，不断改善混凝土的物理力学性能，以适应不同的环境、不同要求的混凝土结构。

在混凝土结构计算理论方面，20 世纪 50 年代以前，基本上处于经验性的允许应力法阶段。20 世纪 50~60 年代，世界各国逐步采用半经验半概率的极限状态设计法。20 世纪

70年代以来以概率论数理统计学为基础的结构可靠度理论有了很大发展,使结构可靠度的近似概率法进入了工程设计中。为了提高我国建筑结构设计规范的先进性和统一性,我国已编制了《建筑结构设计统一标准》GB J68—84,及其修订本《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068—2001,该标准采用了目前国际上正在发展和推行的,以概率理论为基础的极限状态设计方法,统一了我国建筑结构设计的基本原则,规定了适用于各种材料结构的可靠度分析方法和设计表达式,并对材料与构件质量控制和验收提出了相应的要求。按照《建筑结构可靠度设计统一标准》规定的基本原则,在总结工程建设的实践经验以及科学研究成果的基础上,修订了《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010,把我国的混凝土结构设计提高到一个新的水平。这样使我国混凝土结构设计理论在可靠度设计方法上趋于一致。

1.4 混凝土结构基本原理课程特点及学习方法

混凝土结构是建筑、交通、水利等工程中最基本的结构形式。学习本课程的目的是:掌握混凝土结构构件设计的基本理论、基本方法和构造知识,为今后能顺利从事结构工程设计、施工、管理工作打下牢固的基础。在学习混凝土结构设计原理课程时应注意以下几点:

1. 混凝土材料的非匀质、非弹性

混凝土结构通常是由钢筋和混凝土结合而成的一种结构,它与材料力学、结构力学中的理想弹性、理想塑性材料是有区别的。材料力学研究的是由单一、匀质、连续弹性材料制成的构件,而混凝土结构是非匀质的弹塑性体。因此,不能直接应用材料力学中的强度理论计算公式来进行混凝土结构设计。为了对混凝土结构的受力性能和破坏特征有较好的了解,首先要求对组成结构或构件的材料性能很好地掌握。

2. 混凝土结构基本原理的特殊性

混凝土结构的受力性能与结构的受力状态、配筋方式和配筋数量等多种因素有关,目前还难以用一种简单的数学、力学模型来描述,因此目前混凝土结构的基本理论建立的方法是:试验研究发现结构的破坏机理;基本假定建立计算模型;根据平衡条件建立基本计算公式;规定适用条件保证计算理论的正确性。正是由于基本理论是以混凝土结构构件的试验与工程实践经验为基础进行分析,许多计算公式都带有经验性质。虽然不如理想的弹性材料组成的结构构件的计算公式那样严谨,然而却能较好地反映结构的真实受力性能。

3. 混凝土结构设计中构造要求的重要性

混凝土结构设计包括两部分:一是按设计规范给定的计算方法进行结构计算;二是各种结构构造措施。因为现行的计算方法一般只考虑了荷载效应,而其他影响因素,如混凝土的温度影响、收缩问题以及地基不均匀沉陷影响等,难于用计算公式来表达。《混凝土结构设计规范》根据长期的工程实践经验,总结出一些构造措施来考虑这些因素的影响。所以在学习混凝土结构设计时,除了要对各种计算公式了解和掌握以外,对于各种构造措施也必须给予高度重视。

4. 混凝土结构设计的综合性

在材料力学、结构力学等课程中侧重于结构或构件的内力(或应力)和变形的计算,在解力学习题时答案可能是唯一的。而混凝土结构设计是一个综合问题,不仅要解决结构

或构件的承载力和变形问题，还要考虑材料的选择、结构方案、构件的类型、配筋方法、配筋构造等问题；不仅要考虑结构受力的合理性，还要考虑满足使用功能的要求、工程造价、施工方法等方面的问题。因此，混凝土结构设计的特点是多方案性，答案可能不是唯一的，而且要达到结构设计安全可靠、经济合理，设计和计算通常也不是一次就可以获得成功的。综上所述，在学习混凝土结构设计原理课程时，要注意培养对工程中各种因素进行综合分析的能力。

本章小结

1. 钢筋混凝土是把钢筋和混凝土两种不同的材料，按照合理的方式结合在一起共同工作，使钢筋和混凝土充分发挥两种材料的各自优点的一种复合材料。
2. 钢筋和混凝土能够有效地结合在一起共同工作的主要原因有三条：一是钢筋和混凝土之间存在着粘结力；二是钢筋和混凝土的线膨胀系数近似相等；三是混凝土包住钢筋对钢筋有保护作用。
3. 钢筋混凝土构件的优点较多，但是较大的缺点就是自重大，抗裂性较差，施工质量受季节影响较大等。
4. 混凝土材料的发展方向是高强、轻质、耐久，而钢筋的发展方向是高强、较好的延性和较好的粘结锚固性能等。

思考与练习题

- 1-1 钢筋和混凝土这两种不同的材料能够有效地结合在一起共同工作的主要原因是什么？
- 1-2 钢筋混凝土结构有哪些优点和缺点？如何克服这些缺点？
- 1-3 简述混凝土结构计算理论的发展过程。
- 1-4 学习混凝土结构课程时应注意哪些问题？

第2章 钢筋混凝土材料的力学性能

本章要点及学习目标

本章要点:

1. 钢筋和混凝土在不同受力条件下强度和变形的特点;
2. 钢筋和混凝土共同工作的性能和粘结机理;
3. 结构设计中混凝土与钢筋材料的选用原则。

学习目标:

1. 熟悉工程中常用钢筋的种类、级别及其性能;
2. 掌握混凝土各种受力状态下的强度和变形性能;
3. 掌握钢筋和混凝土的选用原则;
4. 理解钢筋与混凝土共同工作的原理;
5. 熟悉保证钢筋与混凝土之间协同工作的构造措施;
6. 熟悉钢筋的锚固和连接的构造要求。

混凝土与钢筋的物理力学性能及两者共同工作的原理,决定了钢筋混凝土结构构件的基本性能。因此,要掌握钢筋混凝土这种复合材料所制成结构的计算理论及设计方法,必须很好地掌握钢筋和混凝土两种结构材料在各种应力条件下的性能。

2.1 钢筋

2.1.1 钢筋的种类

混凝土结构中所用钢材有柔性钢筋(线材)和劲性钢筋(型材)。常用的钢筋均为柔性钢筋。由各种型钢(角钢、槽钢及工字形钢等)、钢轨或者用型钢与钢筋焊接而成的骨架则为劲性钢筋。

钢筋按外形分为光面钢筋(图2-1a)和带肋钢筋(图2-1b~d)两种。光面钢筋直径为6~50mm;带肋钢筋表面有两条纵向凸缘(横肋)、其中斜向一个方向而成螺纹形的称为螺纹钢(图2-1b),斜向不同方向而成“人”字形的,称为人字纹钢筋(图2-1c)。

为了改进上述带肋钢筋的外形,使之便于生产,又不影响使用性能,原冶金部组织有关单位研制了月牙形钢筋(图2-1d),它与混凝土的粘结性能虽略低于螺纹钢,但仍具有良好的粘结性能,而其他性能都优于或等于螺纹钢。

钢筋的物理力学性能主要取决于它的化学成分,其中铁元素是主要成分,此外还有少

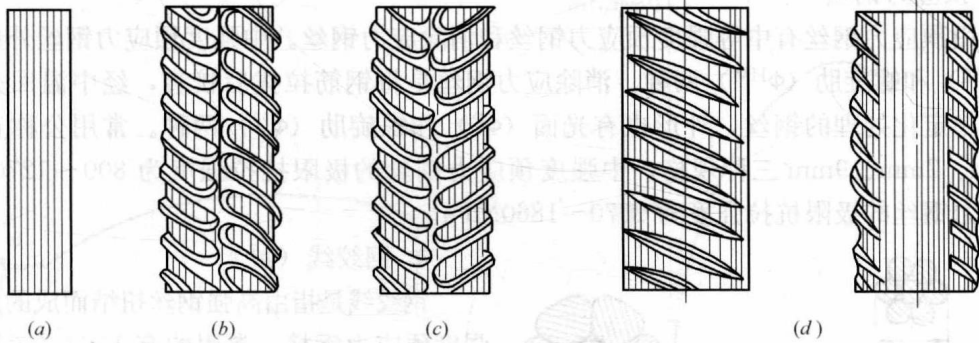


图 2-1 钢筋的类型

量的碳、锰、硅、磷、硫等元素。混凝土结构中使用的钢材，按化学成分可分为碳素钢和普通低合金钢两大类。

根据钢材中含碳量的多少碳素钢可分为低碳钢（含碳量为 0.25%）、中碳钢（含碳量为 0.25%~0.6%）和高碳钢（含碳量为 0.6%~1.4%）。钢材中含碳量越高强度越大，但是塑性和可焊性会降低。

在碳素钢中加入少量的合金元素（如锰、硅、钒、钛、铬等），即制成低合金钢。加入合金元素后可以有效地提高钢材的强度，改善钢材的其他性能，如可以保持较好的塑性。目前，我国普通低合金钢按加入合金元素种类有以下几种系列：锰系（20MnSi、25MnSi）、硅钒系（40Si₂MnV、45SiMnV）、硅钛系（45Si₂MnTi）、硅锰系（45Si₂Mn、48Si₂Mn）、硅铬系（45Si₂Cr）。

为了节约合金资源，冶金行业近年来研制出细晶粒钢筋，这种钢筋不需要添加或只需添加很少的合金元素，通过控制轧钢的温度形成细晶粒的金相组织，达到与添加合金元素相同的效果，其强度和延性完全满足混凝土结构对钢筋性能的要求。

《混凝土结构设计规范》规定，用于钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构中的普通钢筋，可采用热轧钢筋；用于预应力混凝土结构中的预应力筋，可采用预应力钢丝、钢绞线和预应力螺纹钢筋。

1. 热轧钢筋 (Hot-Rolled Bar)

由低碳钢或普通低合金钢或细晶粒钢在高温下轧制而成，其强度由低到高分为 HPB300 (Φ)、HRB335 (Φ)、HRBF335 (Φ^F)、HRB400 (Φ)、HRBF400 (Φ^F)、RRB400 (Φ^R)、HRB500 (Φ)、HRBF500 (Φ^F) 级。其中，HPB300 级为低碳钢，外形为光面圆形（图 2-1a），称为光圆钢筋（plain bar）。HRB335 级、HRB400 级和 HRB500 级为普通低合金钢筋；HRBF335 级、HRBF400 级和 HRBF500 为细晶粒钢筋。表面均轧有月牙肋，称为变形钢筋（deformed bar）。RRB400 级钢筋为余热处理月牙纹变形钢筋，是在生产过程中，钢筋热轧后经淬火提高其强度，再利用芯部余热回火处理而保留一定延性的钢筋。

钢筋混凝土结构中的纵向受力普通钢筋可采用 HRB400、HRB500、HRBF400 和 HRBF500 钢筋，也可采用 HPB300、HRB335、RRB400 钢筋。RRB400 钢筋的可焊性、机械连接性能以及施工适应性降低，一般可用于对延性及加工性能要求不高的构件中，如基础、大体积混凝土以及楼板、墙体等，不宜用作重要部位的受力钢筋，不应用于直接承受疲劳荷载的构件。