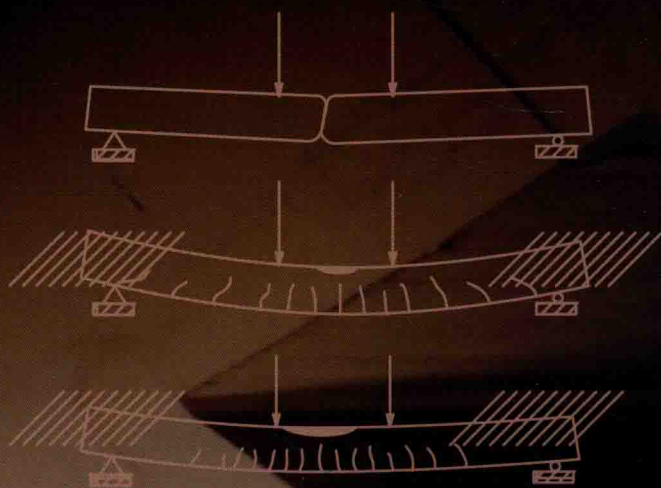


普通高等教育“十三五”规划教材

# 混凝土结构基本原理

李哲 秦凤艳 主编


## Basic Principles of Concrete Structure



快速检索本书公式



一张图掌握全书内容

 化学工业出版社

土类原... 混凝土... 普通高等教育“十三五”规划教材

# 普通高等教育“十三五”规划教材

# 混凝土结构基本原理

李哲 秦凤艳 主编  
郭光玲 李晓蕾 副主编

## Basic Principles of Concrete Structure

本书可作为土木工程专业及相关专业的教材，也可供从事土木工程的工程技术人员参考。

本书共分10章，主要内容包括：绪论、混凝土材料性能、混凝土结构设计原理、钢筋混凝土受弯构件、钢筋混凝土受压构件、钢筋混凝土轴心受压构件、钢筋混凝土偏心受压构件、钢筋混凝土受扭构件、钢筋混凝土梁板结构、钢筋混凝土结构抗震设计。

本书可作为土木工程专业及相关专业的教材，也可供从事土木工程的工程技术人员参考。

ISBN 978-7-122-23202-1  
普通高等教育“十三五”规划教材

李哲、秦凤艳、郭光玲、李晓蕾、王... 主编、副主编

责任编辑：... 封面设计：...

出版发行：... 北京... 100013



化学工业出版社

地址：... 电话：... 网址：...

本书介绍了混凝土结构的基本原理,包括混凝土结构设计原则,混凝土结构材料的性能,钢筋混凝土受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭构件承载力设计原理、计算方法及构造措施以及正常使用极限状态验算,预应力混凝土构件等部分。本书含丰富图片,注重规范与所学内容的对接,方便学生学习理解和提高对规范的认识。为了方便使用本书,封面设计二维码扫描可查全书公式;附录也可扫描二维码下载至手机。

本书适用于土木工程、水利水电工程、工程管理、工程造价、城市地下空间工程等土建类专业教学使用,也可供参加注册结构师考试的考生打基础,深入理解规范。

主 编 李 哲 秦 凤 艳  
副 主 编 李 雷 李 令 光 晓

### 图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土结构基本原理/李哲,秦凤艳主编。—北京:

化学工业出版社,2017.8

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-29705-1

I. ①混… II. ①李…②秦… 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 (2017) 第 108610 号

责任编辑:刘丽菲  
责任校对:王素芹

装帧设计:史利平

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京云浩印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张19 $\frac{3}{4}$  字数486千字 2017年9月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 46.00 元

版权所有 违者必究

# 前言

FOREWORD

钢筋混凝土结构设计原理是高等学校土木工程专业的专业基础课，其任务是通过本课程的学习，使学生掌握钢筋混凝土结构设计的基本方法和基本原理，为继续学习专业课程打下良好的基础，达到土木工程专业培养目标要求。

本教材紧扣我国建筑行业现行颁布执行的有关规范和标准，尤其是《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)等。本教材主要介绍混凝土结构材料的物理力学性能，混凝土结构设计原理，受弯构件、受压构件、受拉构件及受扭构件的承载力设计原理、计算方法及构造措施，钢筋混凝土构件正常使用极限状态的验算，如构件的变形、裂缝、耐久性，预应力混凝土结构构件的性能分析、设计计算方法和构造措施等。

为了便于学生的学习，本教材内容紧扣高等学校土木工程专业指导委员会制定的专业方案及课程大纲的要求，注重基本概念和基础理论知识的掌握，紧紧围绕现行国家规范和标准，使读者或学生通过对本教材的学习，能够较好和较完整地掌握《混凝土结构设计规范》中关于混凝土结构设计基本理论和方法的内容。本教材对混凝土结构构件的性能及分析有充分的论述，概念清楚、思路清晰；有明确的计算方法和详细的设计步骤，并有相当数量的计算例题有利于读者理解结构构件的受力性能和具体的设计方法。内容安排上重应用、重实践，不过多地进行理论分析，概念简练、表达清楚。

本书突出规范的引领地位和工程实践的指导作用，在每章的思考题与习题中，增加工程实例分析的内容，培养学生解决实际问题的能力。

全书由西安理工大学李哲、皖西学院秦凤艳任主编，由陕西理工大学郭光玲、西安理工大学李晓蕾任副主编，西安理工大学马辉、卢俊龙、寇佳亮和田建勃参与编写，全书由李哲统稿。具体编写分工为：李哲编写第4章、第7章和附录，秦凤艳编写第10章，郭光玲编写第1章、第2章，李晓蕾编写第3章、第5章和附录，马辉编写第6章，卢俊龙编写第9章，寇佳亮和田建勃编写第8章。

在本书编写过程中还参考了国内同行的教材、著作和论文等资料，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏或不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2017. 1

2.1.2 钢筋混凝土的力学性能	10
2.1.3 钢筋混凝土的变形原理	11
2.2 混凝土的物理力学性能	12
2.2.1 混凝土的强度	12
2.2.2 混凝土的变形	13

# 目录

CONTENTS

<b>第 1 章</b>	<b>绪论</b>	<b>1</b>
1.1	► 钢筋混凝土结构的概念和基本特点	1
1.1.1	混凝土结构的概念	1
1.1.2	钢筋混凝土结构的基本特点	2
1.1.3	钢筋和混凝土共同工作的基础	2
1.1.4	钢筋混凝土结构的优缺点	3
1.2	► 混凝土结构的类型	4
1.3	► 钢筋混凝土结构在国内外的应用和发展概况	5
1.3.1	材料方面的发展	5
1.3.2	结构和施工方面的发展	7
1.3.3	设计计算理论方面的发展	8
1.4	► 本课程的任务、主要内容和学习方法	9
1.4.1	课程的任务	9
1.4.2	课程的主要内容	9
1.4.3	课程的学习方法	9
1.5	► 本课程与先修课程及后续课程之联系	11
	思考题与习题	11
<b>第 2 章</b>	<b>钢筋混凝土材料的物理力学性能</b>	<b>12</b>
2.1	► 钢筋的品种及物理力学性能	12
2.1.1	钢筋的品种与级别	12
2.1.2	钢筋的力学性能	13
2.1.3	钢筋的选用原则	17
2.2	► 混凝土的物理力学性能	18
2.2.1	混凝土的强度	18
2.2.2	混凝土的变形	22

2.2.3 混凝土的选用原则 .....	27
<b>2.3 ▶ 钢筋与混凝土的黏结性能 .....</b>	<b>28</b>
2.3.1 钢筋与混凝土之间的黏结机理 .....	28
2.3.2 钢筋的锚固 .....	30
2.3.3 钢筋的连接 .....	32
2.3.4 装配式混凝土结构中钢筋的连接 .....	34
<b>思考题与习题 .....</b>	<b>35</b>

## 第 3 章

## 结构设计基本原则

36

<b>3.1 ▶ 结构的可靠性与极限状态概念 .....</b>	<b>36</b>
3.1.1 结构的功能要求和结构的可靠性 .....	36
3.1.2 结构极限状态 .....	38
<b>3.2 ▶ 结构作用、作用效应及抗力 .....</b>	<b>39</b>
3.2.1 结构上的作用、作用效应基本概念 .....	40
3.2.2 荷载 .....	41
3.2.3 材料强度 .....	42
<b>3.3 ▶ 结构极限状态设计方法 .....</b>	<b>42</b>
3.3.1 结构的设计状况 .....	42
3.3.2 极限状态设计 .....	43
3.3.3 结构的功能函数和极限状态方程 .....	43
3.3.4 结构可靠度的计算 .....	44
<b>3.4 ▶ 现行规范极限状态设计实用表达式 .....</b>	<b>46</b>
3.4.1 极限状态计算内容 .....	46
3.4.2 极限状态设计基本表达式 .....	47
3.4.3 荷载效应组合 .....	47
3.4.4 荷载分项系数 .....	49
3.4.5 应用实例 .....	50
<b>思考题与习题 .....</b>	<b>53</b>

## 第 4 章

## 受弯构件正截面抗弯承载力计算

55

<b>4.1 ▶ 概述 .....</b>	<b>55</b>
4.1.1 受弯构件的分类 .....	55
4.1.2 梁、板常用的截面形式 .....	55
4.1.3 受弯构件的破坏类型 .....	55
<b>4.2 ▶ 受弯构件的一般构造 .....</b>	<b>56</b>
4.2.1 梁的构造要求 .....	56

4.2.2	板的构造要求	58
<b>4.3</b>	<b>▶ 受弯构件正截面的受力性能试验</b>	60
4.3.1	受弯构件正截面受弯承载力的受力全过程	60
4.3.2	正截面受弯承载力的三种破坏形态	61
<b>4.4</b>	<b>▶ 混凝土构件正截面承载力的计算原理</b>	63
4.4.1	正截面承载力计算的基本假定	63
4.4.2	受压区混凝土压应力的合力及作用点	64
4.4.3	受压区混凝土等效矩形应力图	65
4.4.4	界限相对受压区高度及界限配筋率、最小配筋率	66
<b>4.5</b>	<b>▶ 单筋矩形截面受弯构件正截面受弯承载力计算</b>	68
4.5.1	基本计算公式及适用条件	68
4.5.2	正截面承载力基本公式应用的两类工程问题	69
4.5.3	基本公式的截面设计法	70
4.5.4	正截面受弯承载力的计算系数法	71
<b>4.6</b>	<b>▶ 双筋矩形截面受弯构件的正截面承载力计算</b>	75
4.6.1	概述	75
4.6.2	基本公式及适用条件	75
4.6.3	基本公式的应用	77
<b>4.7</b>	<b>▶ T形截面受弯构件正截面受弯承载力计算</b>	81
4.7.1	概述	81
4.7.2	基本公式及适用条件	84
4.7.3	基本公式的应用	86
	<b>思考题与习题</b>	90

## 第5章

## 钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算

94

<b>5.1</b>	<b>▶ 概述</b>	94
<b>5.2</b>	<b>▶ 受弯构件斜截面受剪性能</b>	96
5.2.1	剪跨比	96
5.2.2	无腹筋梁的斜截面受力分析	96
5.2.3	无腹筋梁的斜截面受剪破坏形态	98
5.2.4	有腹筋梁的斜截面受力分析	98
5.2.5	有腹筋梁的斜截面受剪破坏形态	99
<b>5.3</b>	<b>▶ 受弯构件斜截面抗剪承载力</b>	100
5.3.1	影响斜截面抗剪承载力的主要因素	100
5.3.2	有腹筋梁斜截面承载力计算公式及适用条件	102
<b>5.4</b>	<b>▶ 受弯构件斜截面受剪承载力计算实例</b>	104
5.4.1	计算截面	104

88	5.4.2	箍筋配置规定	105
08	5.4.3	计算步骤	105
06	5.4.4	计算实例	106
18	<b>5.5</b>	<b>▶ 斜截面受弯承载力及构造要求</b>	111
88	5.5.1	抵抗弯矩图	111
88	5.5.2	纵筋的弯起	112
48	5.5.3	纵筋的截断	114
88	5.5.4	纵筋与弯起钢筋的锚固	115
88	<b>5.6</b>	<b>▶ 应用实例：钢筋混凝土伸臂梁</b>	118
88	5.6.1	梁的内力及内力矩	119
88	5.6.2	正截面承载力计算	121
88	5.6.3	斜截面承载力计算	122
07	5.6.4	钢筋布置和抵抗弯矩图的绘制	122
17	5.6.5	绘制梁的配筋图	123
37		<b>思考题与习题</b>	125

## 第6章 受压构件的截面承载力计算

127

18	<b>6.1</b>	<b>▶ 轴心受压构件承载力计算</b>	127
18	6.1.1	轴心受压普通箍筋柱的正截面受压承载力计算	128
48	6.1.2	螺旋箍筋受压截面承载力计算	132
88	<b>6.2</b>	<b>▶ 偏心受压构件破坏形态</b>	135
02	6.2.1	偏心受压短柱的破坏形态	136
	6.2.2	偏心受压长柱的破坏类型	138
48	<b>6.3</b>	<b>▶ 偏心受压构件的二阶效应</b>	139
	6.3.1	附加偏心距和初始偏心距	139
49	6.3.2	偏心受压长柱的二阶效应	140
88	<b>6.4</b>	<b>▶ 偏心受压构件正截面承载力基本公式</b>	142
88	6.4.1	偏心受压构件正截面受压承载力基本假定	142
88	6.4.2	钢筋应力 $\sigma_s$ 值	143
88	6.4.3	大偏心受压构件正截面承载力计算公式 ( $\xi \leq \xi_b$ )	143
88	6.4.4	小偏心受压构件正截面承载力计算公式 ( $\xi > \xi_b$ )	145
88	6.4.5	小偏心受压构件反向破坏的正截面承载力计算公式	145
001	<b>6.5</b>	<b>▶ 矩形截面非对称配筋的正截面承载力计算</b>	146
001	6.5.1	大、小偏心受压破坏的设计判别	146
501	6.5.2	截面设计	147
401	6.5.3	截面承载力复核	157
401	<b>6.6</b>	<b>▶ 矩形截面对称配筋的正截面承载力计算</b>	161



6.6.1	截面设计	162
6.6.2	截面复核	165
<b>6.7</b>	<b>▶ I 字形截面偏压构件的正截面承载力计算</b>	166
6.7.1	基本公式及其适用条件	166
6.7.2	对称配筋承载力计算	168
<b>6.8</b>	<b>▶ 受压构件的斜截面受剪承载力计算</b>	172
6.8.1	轴向压力对构件斜截面受剪承载力的影响	172
6.8.2	偏心受压构件斜截面受剪承载力的计算公式	172
<b>6.9</b>	<b>▶ 受压构件的构造要求</b>	175
6.9.1	材料强度	175
6.9.2	截面形状和尺寸	175
6.9.3	纵向钢筋	176
6.9.4	箍筋	176
	<b>思考题与习题</b>	177

## 第 7 章 受拉构件的承载力计算 179

<b>7.1</b>	<b>▶ 轴心受拉构件正截面承载力计算</b>	179
<b>7.2</b>	<b>▶ 偏心受拉构件正截面承载力计算及构造措施</b>	179
7.2.1	大、小偏心受拉构件的界限	179
7.2.2	矩形截面小偏心受拉构件正截面承载力计算	180
7.2.3	矩形截面大偏心受拉构件正截面承载力计算	182
7.2.4	受拉构件斜截面承载力计算	185
	<b>思考题与习题</b>	186

## 第 8 章 受扭构件的承载力计算 187

<b>8.1</b>	<b>▶ 钢筋混凝土受扭构件的应用</b>	187
<b>8.2</b>	<b>▶ 混凝土受扭构件裂缝产生与发展</b>	188
8.2.1	裂缝出现前的性能	188
8.2.2	裂缝出现后的性能	188
<b>8.3</b>	<b>▶ 受扭构件的破坏形式</b>	189
<b>8.4</b>	<b>▶ 纯扭构件的开裂扭矩</b>	190
8.4.1	矩形截面纯扭构件	190
8.4.2	T 形和 I 形截面纯扭构件	191
8.4.3	箱形截面纯扭构件	192
<b>8.5</b>	<b>▶ 纯扭构件的受扭承载力</b>	193

8.5.1	纯扭构件的力学模型	193
8.5.2	矩形截面纯扭构件	194
8.5.3	T形和I形截面纯扭构件	196
8.5.4	箱形截面纯扭构件	196
<b>8.6</b>	<b>▶ 弯剪扭构件的试验研究结果</b>	197
<b>8.7</b>	<b>▶ 弯剪扭构件截面的承载力</b>	197
8.7.1	剪扭构件承载力计算	197
8.7.2	弯扭构件承载力计算	200
8.7.3	弯剪扭构件承载力计算	201
<b>8.8</b>	<b>▶ 有轴向力作用时构件扭曲截面的承载力计算</b>	201
8.8.1	轴向压力、弯矩、剪力和扭矩共同作用下矩形截面构件受剪扭承载力	201
8.8.2	轴向拉力、弯矩、剪力和扭矩共同作用下矩形截面构件受剪扭承载力	202
<b>8.9</b>	<b>▶ 受扭构件的构造要求</b>	202
8.9.1	截面尺寸限制条件	202
8.9.2	构造配筋要求	203
	<b>习题</b>	212

## 第9章 正常使用极限状态验算 214

<b>9.1</b>	<b>▶ 概述</b>	214
<b>9.2</b>	<b>▶ 裂缝宽度验算</b>	216
9.2.1	第一批裂缝的产生及开展	216
9.2.2	第二批裂缝出现	217
9.2.3	平均裂缝间距	218
9.2.4	平均裂缝宽度	219
9.2.5	最大裂缝宽度	220
9.2.6	裂缝截面处钢筋等效应力	220
<b>9.3</b>	<b>▶ 受弯构件挠度验算</b>	223
9.3.1	受弯构件截面抗弯刚度	223
9.3.2	受弯构件短期刚度	225
9.3.3	受弯构件的截面弯曲刚度	228
9.3.4	受弯构件挠度验算	230
<b>9.4</b>	<b>▶ 钢筋混凝土构件的延性</b>	231
9.4.1	延性概念	231
9.4.2	受弯构件的截面曲率延性系数	231
9.4.3	受弯构件截面延性分析	232

9.4.4	构件延性设计的构造要求	233
<b>9.5</b>	<b>► 钢筋混凝土构件耐久性设计</b>	234
9.5.1	耐久性的概念	235
9.5.2	影响钢筋混凝土结构耐久性的因素	235
9.5.3	混凝土材料性能的劣化	236
9.5.4	钢筋的锈蚀	237
9.5.5	耐久性设计原则	238
9.5.6	混凝土材料耐久性基本要求	238
	<b>思考题与习题</b>	239

## 第 10 章

## 预应力混凝土构件

241

<b>10.1</b>	<b>► 预应力混凝土的基本概念</b>	241
10.1.1	预应力混凝土的概念	241
10.1.2	预应力混凝土结构的优缺点及应用	243
<b>10.2</b>	<b>► 施加预加应力的方法及锚具</b>	244
10.2.1	先张法预应力混凝土和后张法预应力混凝土	244
10.2.2	预应力混凝土结构的锚具	245
<b>10.3</b>	<b>► 预应力混凝土材料</b>	247
10.3.1	钢筋	247
10.3.2	混凝土	248
10.3.3	留孔及灌浆材料	248
<b>10.4</b>	<b>► 张拉控制应力及预应力损失</b>	249
10.4.1	张拉控制应力	249
10.4.2	预应力损失	250
10.4.3	预应力损失值的组合	256
10.4.4	预应力钢筋的传递长度和锚固长度	258
<b>10.5</b>	<b>► 预应力混凝土轴心受拉构件的应力分析</b>	259
10.5.1	预应力构件张拉施工阶段应力分析	259
10.5.2	正常使用阶段应力分析	262
10.5.3	正常使用极限状态验算	264
10.5.4	正截面承载力分析与计算	265
10.5.5	施工阶段局部承压验算	266
<b>10.6</b>	<b>► 预应力混凝土受弯构件的设计</b>	272
10.6.1	预应力张拉施工阶段应力分析	272
10.6.2	正常使用阶段应力分析	275
10.6.3	施工阶段混凝土应力控制验算	275
10.6.4	正常使用极限状态验算	276

10.6.5	正截面承载力计算	279
10.6.6	斜截面承载力计算	280
<b>10.7</b>	<b>► 预应力混凝土结构构件的构造要求</b>	<b>288</b>
10.7.1	截面形式和尺寸	288
10.7.2	纵向非预应力钢筋	288
10.7.3	先张法构件的要求	288
10.7.4	后张法构件的要求	289
	<b>思考题与习题</b>	<b>291</b>

**附 录** **294**

附录 1	《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 附表	294
附录 2	钢筋的计算截面面积及公称质量	297
附录 3	《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 的有关规定	299
附录 4	《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012) 的有关规定	301

**参考文献** **304**

1. 《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 附表

2. 钢筋的计算截面面积及公称质量

3. 《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 的有关规定

4. 《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012) 的有关规定

5. 《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 附表

6. 钢筋的计算截面面积及公称质量

7. 《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 的有关规定

8. 《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012) 的有关规定

9. 《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 附表

10. 钢筋的计算截面面积及公称质量

11. 《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 的有关规定

12. 《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012) 的有关规定

13. 《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 附表

14. 钢筋的计算截面面积及公称质量

15. 《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 的有关规定

16. 《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012) 的有关规定

17. 《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 附表

18. 钢筋的计算截面面积及公称质量

19. 《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) 的有关规定

20. 《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012) 的有关规定

# 第1章

## 绪论

### 学习目标

1. 掌握混凝土结构的一般概念;
2. 掌握性质不同的两种材料(钢筋和混凝土)能够结合在一起共同工作的可能性和有效性以及混凝土结构的特点;
3. 了解钢筋混凝土结构在工程中的应用、发展前景及对混凝土结构课程的特点及学习方法。

## 1.1 钢筋混凝土结构的概念和基本特点

### 1.1.1 混凝土结构的概念

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。素混凝土结构是指由无筋或不配置受力钢筋的混凝土制成的结构(如图1-1);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(如图1-2);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(如图1-3),充分利用高强度材料来改善钢筋混凝土结构的抗裂性能。

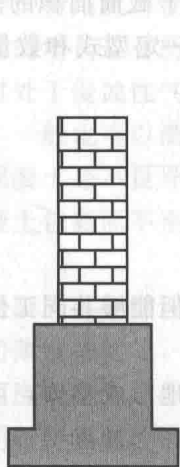


图 1-1 素混凝土基础

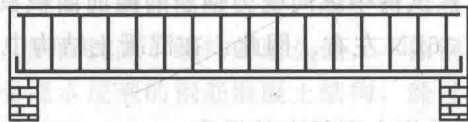


图 1-2 钢筋混凝土梁

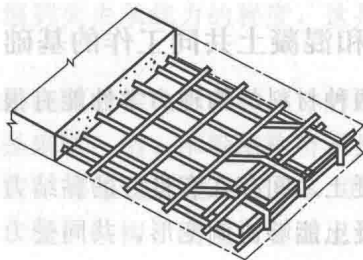


图 1-3 预应力混凝土楼板

钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构常用作土木工程中的主要承重结构。在多数情况下混凝土结构是指钢筋混凝土结构。

### 1.1.2 钢筋混凝土结构的基本特点

钢筋和混凝土都是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，破坏时表现出良好的变形能力。但细长的钢筋受压时极易失稳，强度得不到充分发挥，仅能作为受拉构件，同时钢筋的防锈能力差，价格较高；混凝土的抗压强度高而抗拉强度很低，一般抗拉强度只有抗压强度的  $1/20 \sim 1/8$ ，受拉破坏时具有明显的脆性性质，破坏前无预兆，这就使得素混凝土结构仅能用于以受压为主的基础、柱墩和一些非承重结构，很少用作主要受力构件。但如果将钢筋和混凝土这两种材料按照合理的方式有机地结合在一起共同工作，可以取长补短，使钢筋主要承受拉力，混凝土主要承受压力，充分发挥这两种材料的特性，使得结构具有良好的变形能力。

将钢筋和混凝土结合在一起做成钢筋混凝土结构和构件，其优势可通过下面的试验看出。图 1-4(a) 为一根未配置钢筋的素混凝土简支梁，跨度 4m，截面尺寸  $b \times h = 200\text{mm} \times 300\text{mm}$ ，混凝土强度等级为 C20，梁的跨中作用一个集中荷载  $F$ 。对其进行破坏性试验，结果表明，当荷载较小时，截面上的应变如同弹性材料的梁一样，沿截面高度呈直线分布；当荷载增大使截面受拉区边缘纤维拉应变达到混凝土抗拉极限应变时，该处的混凝土被拉裂，裂缝沿截面高度方向迅速开展，试件随即发生脆性断裂破坏。这种破坏是突然发生的，没有明显的预兆。尽管混凝土的抗压强度比其抗拉强度高几倍或十几倍，但得不到充分利用，因为该试件的破坏是由混凝土的抗拉强度控制，破坏荷载值很小，只有 8kN 左右。如果在该梁的受拉区布置三根直径为 16mm 的 HPB300 级钢筋（记作  $3\phi 16$ ），并在受压区布置两根直径为 10mm 的架立钢筋和适量的箍筋，再进行同样的荷载试验 [图 1-4(b)]，则可以看到，当加载到一定阶段，使截面受拉区边缘纤维拉应力达到混凝土抗拉极限强度时，混凝土虽被拉裂，但裂缝不会沿截面的高度方向迅速开展，试件也不会随即发生断裂破坏。混凝土开裂后，裂缝截面的混凝土拉应力由纵向受拉钢筋来承受，故荷载还可进一步增加。此时变形将相应发展，裂缝的数量和宽度也将增大，直到受拉钢筋抗拉强度和受压区混凝土抗压强度被充分利用时，试件才发生破坏。试件破坏前，变形和裂缝都发展得很充分，呈现出明显的破坏预兆。虽然试件中纵向受力钢筋的截面面积只占整个截面面积的 1% 左右，但破坏荷载却可以提高到 36kN 左右。因此，在混凝土结构中配置一定型式和数量的钢筋，可以收到下列的效果：

- ① 结构的承载能力有很大的提高；
- ② 结构的受力性能得到显著的改善。

### 1.1.3 钢筋和混凝土共同工作的基础

钢筋和混凝土两种材料的物理力学性能有很大不同，但能够共同工作，主要基于下述三个原因。

(1) 钢筋与混凝土之间存在有良好的黏结力，能牢固地形成整体，可以保证在荷载作用下，钢筋和外围混凝土能够协调变形，共同受力。

(2) 钢筋和混凝土两种材料的温度线膨胀系数接近。钢材为  $1.2 \times 10^{-5}$ ，混凝土为  $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}$ ，因此当温度变化时，两者之间不会产生过大的相对变形导致它们之间的黏结力破坏。

(3) 混凝土对钢筋的包裹可防止钢筋锈蚀。暴露在空气介质中的钢材，由于受空气中酸

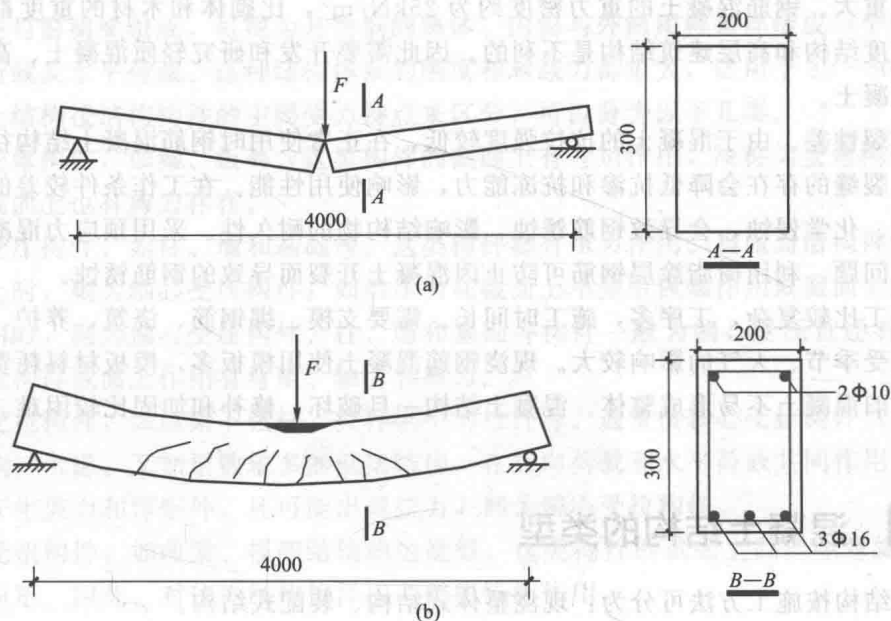


图 1-4 素混凝土与钢筋混凝土梁的破坏情况对比

性介质的影响，很容易锈蚀，而埋在混凝土中的钢筋，受到呈弱碱性混凝土的保护，只要钢筋至构件边缘间的保护层具有足够的密实度和厚度并控制构件裂缝不致过宽，混凝土能够保护钢筋免受锈蚀，从而保证结构具有良好的耐久性，使钢筋和混凝土长期可靠地共同工作。

#### 1.1.4 钢筋混凝土结构的优缺点

钢筋混凝土结构与其他结构相比，主要有如下优点。

(1) 用材合理，强度高。能充分合理地利用混凝土（抗压性能好）和钢筋（抗拉性能好）两种材料的受力性能，结构的承载力与其刚度比例合适，基本无局部稳定问题。和砖、木结构相比其强度很高，在某些情况下可以代替钢结构，因而能够节约钢材。

(2) 耐久性好，维护费用低。在一般环境下，钢筋受到混凝土保护而不易发生锈蚀，而混凝土的强度随着时间的增长还有所提高，因而提高了结构的耐久性，不像钢结构那样需要经常的维修和保养。对处于侵蚀性气体或受海水浸泡的钢筋混凝土结构，经过合理地设计并采取特殊的防护措施，一般也可以满足工程需要。

(3) 耐火性好。混凝土是不良导热体，遭受火灾时，钢筋混凝土结构不会像木结构那样被燃烧，钢筋因有混凝土包裹而不至于很快升温到失去承载力的程度，这是钢、木结构所不能比拟的。

(4) 可模性好。混凝土可根据设计需要支模浇筑成各种形状和尺寸的结构，适用于建造形状复杂的结构及空间薄壁结构等，这一特点是砌体、钢、木等结构所不具备的。

(5) 整体性好。现浇混凝土结构的整体性好，再通过合适的配筋，可获得较好的延性，有利于抗震、防爆；同时防辐射性能好，适用于防护结构；刚度大、阻尼大，有利于结构的变形控制。

(6) 易于就地取材。混凝土所用的大量砂、石，易于就地取材。另外，还可有效利用矿渣、粉煤灰等工业废料。

但是，钢筋混凝土结构也存在一些缺点。

(1) 自重大。钢筋混凝土的重力密度约为  $25\text{kN/m}^3$ ，比砌体和木材的重度都大。这对于建造大跨度结构和高层建筑结构是不利的。因此需要开发和研究轻质混凝土、高强混凝土和预应力混凝土。

(2) 抗裂性差。由于混凝土的抗拉强度较低，在正常使用时钢筋混凝土结构往往是带裂缝工作的，裂缝的存在会降低抗渗和抗冻能力，影响使用性能。在工作条件较差的环境，如露天、沿海、化学侵蚀，会导致钢筋锈蚀，影响结构物的耐久性。采用预应力混凝土可较好地解决开裂问题，利用树脂涂层钢筋可防止因混凝土开裂而导致的钢筋锈蚀。

(3) 施工比较复杂，工序多，施工时间长。需要支模、绑钢筋、浇筑、养护、拆模，工期长，施工受季节、天气的影响较大。现浇钢筋混凝土使用模板多，模板材料耗费用量大。

(4) 新旧混凝土不易形成整体。混凝土结构一旦破坏，修补和加固比较困难。

## 1.2 混凝土结构的类型

混凝土结构按施工方法可分为：现浇整体式结构、装配式结构。

(1) 现浇整体式结构：钢筋、混凝土是在现场绑扎、现场架设模板、现场浇混凝土并养护等全部在现场完成的结构。现浇整体式结构整体性能好，有利于抗震。

(2) 装配式结构：装配式混凝土结构是由预制混凝土构件或部件通过各种可靠的连接方式装配而成的混凝土结构，包括装配整体式混凝土结构、全装配混凝土结构。

混凝土结构按结构构成的类型可以分为四类，即框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构和筒体结构。

### (1) 框架结构

框架结构是利用梁、柱组成的纵、横向框架，承受竖向荷载及水平荷载的结构。按施工方法可分为全现浇、半现浇、装配式和半装配式 4 种。框架结构的优点是建筑平面布置灵活，可形成较大的建筑空间，建筑立面处理也比较方便。其主要缺点是侧向刚度较小，当层数过多时，会产生过大的侧移，易引起非结构构件（如隔墙、装饰等）的破坏，从而影响使用要求。

### (2) 剪力墙结构

剪力墙结构是利用建筑物的纵、横墙体承受竖向荷载及水平荷载的结构。纵、横墙体也可兼作为围护墙或分隔房间墙。剪力墙结构的优点是侧向刚度大，在水平荷载作用下侧移小。其缺点是剪力墙间距小，建筑平面布置不灵活，不适合于要求大空间的公共建筑，另外结构自重也较大。

### (3) 框架-剪力墙结构

框架-剪力墙结构是在框架结构中设置适当剪力墙的结构，它具有框架结构平面布置灵活、有较大空间的优点，又具有剪力墙结构侧向刚度大的优点。框架-剪力墙结构中，剪力墙主要承受水平荷载，竖向荷载主要由框架承担。框架-剪力墙结构一般用于 10~20 层的建筑。

### (4) 筒体结构

筒体结构又可分为框架-核心筒结构、框筒结构、筒中筒结构、多筒结构等。框架-核心筒结构由内筒与外框架组成，这种结构受力很接近框架-剪力墙结构，适用于 10~30 层的房



屋。框筒结构及筒中筒结构，有内筒和外筒两种，内筒一般由电梯间、楼梯间组成，外筒一般为密排柱与窗裙梁组成，可视为开窗洞的筒体。内筒与外筒用楼盖连接成一个整体，共同抵抗竖向荷载及水平荷载。这种结构体系的刚度和承载力都很大，适用于30~50层的房屋。

混凝土结构按结构构件的主要受力特点来区分，可以分为以下几类。

(1) 受弯构件，如梁、板等。这类构件的截面上有弯矩作用，故称为受弯构件。与此同时，构件截面上也有剪力存在。

(2) 受压构件，如柱、墙和基础等。这类构件都有压力作用。当压力沿构件纵轴作用在构件截面上时，则为轴心受压构件；如果压力在截面上不是沿纵轴作用或截面上同时有压力和弯矩作用时，则为偏心受压构件。柱、墙和基础等构件一般为偏心受压且还有剪力作用，所以，受压构件截面上作用有弯矩、轴力和剪力。

(3) 受拉构件，如屋架下弦杆、拉杆拱中的拉杆等。通常按轴心受拉构件（忽略构件自重重力影响）考虑。又如层数较多的框架结构，在竖向荷载和水平荷载共同作用下，有的柱截面上除产生剪力和弯矩外，还可能出现拉力，则为偏心受拉构件。

(4) 受扭构件，如曲梁、框架结构的边梁等。这类构件的截面上除产生弯矩和剪力外，还会产生扭矩。因此，对这类结构构件应考虑扭矩的作用。

## 1.3 钢筋混凝土结构在国内外的应用和发展概况

混凝土结构从19世纪中叶开始采用以来，与砖石结构、木结构和钢结构相比，混凝土结构的历史并不长，但发展极为迅速，已成为世界各国现代土木工程建设中应用最广泛的结构之一。为了克服混凝土结构的缺点，发挥其优势，以适应社会建设不断发展的需要，对混凝土结构的材料制造与施工技术、结构型式、结构设计计算理论等方面的研究也在不断地发展。

### 1.3.1 材料方面的发展

#### (1) 混凝土材料

具有高强度、高工作性和高耐久性的高性能混凝土是混凝土的主要发展方向之一。早期混凝土的强度都比较低，较高强度的混凝土又比较干硬而难以成型。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猛的发展。高强混凝土的发展，促进了混凝土结构在超高层建筑中的应用。1976年建成的美国芝加哥水塔广场大厦达74层，高262m。朝鲜平壤的柳京大厦，105层，高305m，也是混凝土结构。美国、俄罗斯等国在高层建筑中采用的混凝土，强度已达C80~C100。美国西雅图市的双联大厦（58层）60%的竖向荷载由中央四根直径为10英尺（3.05m）的钢筋混凝土柱承受，钢筋内填充的混凝土强度等级达C135。

具有自身诊断、自身控制、自身修复等功能的机敏型高性能混凝土，得到越来越多的研究和重视。如自密实混凝土，可不需机械振捣，而是依靠自身的重量达到密实。混凝土具有高工作性，质量均匀、耐久，钢筋布置较密或构件体型复杂时也易于浇筑，施工速度快，使无噪声混凝土施工成为现实，从而实现了文明施工。再如内养护混凝土，采用部分吸水预湿轻集料在混凝土内部形成蓄水器，保持混凝土得到持续的内部潮湿养护，与外部潮湿养护相