



普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材

高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材  
(按高等学校土木工程本科指导性专业规范编写)

# 混凝土结构基本原理

朱彦鹏 邵永健 主编  
白国良 主审

中国建筑工业出版社

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材  
高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材  
(按高等学校土木工程本科指导性专业规范编写)

# 混凝土结构基本原理

朱彦鹏 邵永健 主编  
白国良 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/朱彦鹏, 邵永健主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2012. 12

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材. 高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材(按高等学校土木工程本科指导性专业规范编写)

ISBN 978-7-112-14920-9

I. ①混… II. ①朱…②邵… 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(2012)第 279908 号

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材  
高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材  
(按高等学校土木工程本科指导性专业规范编写)

**混凝土结构基本原理**

朱彦鹏 邵永健 主编

白国良 主审

\*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

化学工业出版社印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 24 字数: 500 千字

2012 年 12 月第一版 2012 年 12 月第一次印刷

定价: 48.00 元(赠送课件)

ISBN 978-7-112-14920-9

(23001)

**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)

本书是在高等学校土木工程专业指导委员会编撰的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》(北京,中国建筑工业出版社,2011)和中华人民共和国国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010基础上,根据《混凝土结构基本原理》教学大纲、教学内容变化,编写的服务于大多数土木工程院校的教材。本教材主要特点是紧扣专业规范,实用简练,例题、思考题和习题较多,便于教学。

本书共分9章,第1章为绪论,主要介绍混凝土结构的研究对象、混凝土结构的发展概况和发展趋势,第2~9章分别为:混凝土结构材料的物理力学性能,受弯构件正截面受弯承载力的计算,受弯构件斜截面承载力的计算,受压构件的承载力计算,受拉构件承载力的计算,受扭构件扭曲截面承载力的计算,钢筋混凝土构件的变形、裂缝及混凝土结构的耐久性,预应力混凝土构件。书中还将《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010的相关表格作为附表;此外,在附录中还收录了《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62—2004的主要内容。

本书可作为土木工程本科专业基础课教材,也可供从事混凝土结构设计与施工的专业技术人员参考。

为了更好地支持本课程教学,本书作者制作了精美的教学课件,有需要的读者可以发送邮件至:jiacaikejian@sina.com 免费索取。

责任编辑:王 跃 吉万旺 聂 伟

责任设计:陈 旭

责任校对:肖 剑 刘 钰

## 本系列教材编审委员会名单

主 任：李国强

常务副主任：何若全

副 主 任：沈元勤 高延伟

委 员：（按拼音排序）

白国良 房贞政 高延伟 顾祥林 何若全 黄 勇  
李国强 李远富 刘 凡 刘伟庆 祁 皑 沈元勤  
王 燕 王 跃 熊海贝 阎 石 张永兴 周新刚  
朱彦鹏

组 织 单 位：高等学校土木工程学科专业指导委员会  
中国建筑工业出版社

## 出版说明

从2007年开始,高校土木工程学科专业教学指导委员会对全国土木工程专业的教学现状的调研结果显示,2000年至今,全国的土木工程教育情况发生了很大变化,主要表现在:一是教学规模不断扩大,据统计,目前我国有超过300余所院校开设了土木工程专业,但是约有一半是2000年以后才开设此专业的,大众化教育面临许多新的形势和任务;二是学生的就业岗位发生了很大变化,土木工程专业本科毕业生中90%以上在施工、监理、管理等部门就业,在高等院校、研究设计单位工作的大学生越来越少;三是由于用人单位性质不同、规模不同、毕业生岗位不同,多样化人才的需求愈加明显。《土木工程指导性专业规范》(以下简称《规范》)就是在这种背景下开展研究制定的。

《规范》按照规范性与多样性相结合的原则、拓宽专业口径的原则、规范内容最小化的原则和核心内容最低标准的原则,对专业基础课提出了明确要求。2009年12月高校土木工程学科专业教学指导委员会和中国建筑工业出版社在厦门召开了《规范》研究及配套教材规划会议,会上成立了以参与《规范》编制的专家为主要成员的系列教材编审委员会。此后,通过在全国范围内开展的主编征集工作,确定了20门专业基础课教材的主编,主编均参与了《规范》的研制,他们都是各自学校的学科带头人和教学负责人,都具有丰富的教学经验和教材编写经历。2010年4月又在烟台召开了系列规划教材编写工作会议,进一步明确了本系列规划教材的定位和编写原则:规划教材的内容满足建筑工程、道路桥梁工程、地下工程和铁道工程四个主要方向的需要;满足应用型人才培养要求,注重工程背景和工程案例的引入;编写方式具有时代特征,以学生为主体,注意90后学生的思维习惯、学习方式和特点;注意系列教材之间尽量不出现不必要的重复等编写原则。为保证教材质量,系列教材编审委员会还邀请了本领域知名教授对每本教材进行审稿,对教材是否符合《规范》思想,定位是否准确,是否采用新规范、新技术、新材料,以及内容安排、文字叙述等是否合理进行全方位审读。

本系列规划教材是贯彻《规范》精神、延续教学改革成果的最好实践,具有很好的社会效益和影响,住房和城乡建设部已经确定本系列规划教材为《普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材》。在本系列规划教材的编写过程中得到了住房和城乡建设部人事司及主编所在学校和学院的大力支持,在此一并表示感谢。希望使用本系列规划教材的广大读者提出宝贵意见和建议,以便我们在重印再版及规划和出版专业课教材时得以改进和完善。

高等学校土木工程学科专业指导委员会  
中国建筑工业出版社  
2011年6月

## 前 言

在高等学校土木工程专业指导委员会编撰的《高等学校土木工程本科指导型专业规范》(北京, 中国建筑工业出版社, 2011)和中华人民共和国国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010 颁布之后, 土木工程专业本科《混凝土结构基本原理》教学大纲、教学内容有了较大变化。根据专业规范, 考虑到量大面广的土木工程专业的基本要求, 我们组织力量编写了服务于大多数土木工程院校的教材。本教材主要特点是紧扣专业规范, 实用简练, 例题、思考题和习题较多, 便于教学和学生自学。

本书对混凝土结构发展概况和发展趋势、混凝土结构材料的物理力学性能、混凝土构件的承载力计算方法和正常使用设计计算方法、预应力混凝土结构的设计计算方法等进行了系统全面的介绍。考虑到土木工程专业学生就业方向的不确定性, 编写时考虑了部分学生可能从事路桥工程方面的工作, 将《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62—2004 的主要内容, 特别是与《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010 有区别的内容作为本书的附录进行了简单介绍, 可在教学时参考。另外, 由于目前工程中已经不再使用非对称偏心受压构件, 因此作者建议本书第 5 章的 5.7 节“不对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面承载力的计算”可作为选修内容, 本次印刷时在标题后加\*, 以示区别。

全书共分 9 章, 主编为朱彦鹏、邵永健, 编者分工如下: 朱彦鹏(第 1 章、附表、附录)、马天忠(第 2 章)、夏敏(第 3 章)、劳裕华(第 4 章)、周勇(第 5 章)、邵永健(第 6 章)、陈宗平(第 7 章)、张贵文(第 8 章)、来春景(第 9 章), 全书由朱彦鹏统稿。

本书主审西安建筑科技大学白国良教授提出了许多宝贵意见, 在此表示衷心感谢。

由于编写时间仓促, 加之编者水平有限, 错误之处在所难免, 敬请读者批评指正。

编者

2012 年 10 月 10 日

# 目 录

第 1 章 绪论 .....	1	思考题 .....	45
1.1 混凝土结构的一般概念 .....	3	第 3 章 受弯构件正截面受弯 承载力的计算 .....	46
1.1.1 结构的分类、本门课程的 研究对象 .....	3	本章知识点 .....	46
1.1.2 钢筋混凝土结构的基本概念 .....	3	3.1 概述 .....	46
1.1.3 混凝土结构的主要优缺点 .....	4	3.2 梁、板的一般构造 .....	47
1.2 混凝土结构的发展及应用概况 .....	5	3.2.1 梁的一般构造 .....	47
1.2.1 混凝土结构的发展概况 .....	5	3.2.2 板的一般构造 .....	49
1.2.2 混凝土在国民经济中的地位 .....	7	3.3 梁正截面受弯承载力的试验 研究 .....	51
1.2.3 现代混凝土的研究与应用现状 .....	8	3.3.1 适筋梁正截面受弯的试验 .....	51
1.2.4 混凝土材料的研发趋势 .....	10	3.3.2 配筋率对正截面破坏形态的 影响 .....	54
1.3 学习本课程应注意的问题 .....	12	3.4 正截面承载力计算的基本假定及 应用 .....	55
思考题 .....	13	3.4.1 正截面承载力计算的基本 假定 .....	55
第 2 章 混凝土结构材料的物理 力学性能 .....	14	3.4.2 等效矩形应力图 .....	57
本章知识点 .....	14	3.4.3 适筋破坏与超筋破坏的界限 条件 .....	57
2.1 概述 .....	14	3.4.4 适筋破坏与少筋破坏的界限 条件 .....	58
2.2 钢筋 .....	14	3.5 单筋矩形截面受弯构件正截面 受弯承载力的计算 .....	59
2.2.1 钢筋的品种和级别 .....	14	3.5.1 基本公式及适用条件 .....	59
2.2.2 钢筋强度和变形 .....	16	3.5.2 基本公式的应用 .....	60
2.2.3 钢筋的疲劳 .....	21	3.5.3 正截面受弯承载力的计算系数及 计算方法 .....	67
2.2.4 混凝土结构对钢筋性能的 要求 .....	22	3.6 双筋矩形截面受弯构件正截面 受弯承载力的计算 .....	71
2.3 混凝土 .....	22	3.6.1 概述 .....	71
2.3.1 混凝土的组成 .....	22	3.6.2 基本公式及适用条件 .....	71
2.3.2 混凝土的强度 .....	23		
2.3.3 混凝土的变形 .....	29		
2.4 钢筋与混凝土的粘结 .....	39		
2.4.1 粘结的作用和性质 .....	39		
2.4.2 粘结机理分析 .....	41		
2.4.3 影响粘结强度的主要因素 .....	42		
2.4.4 钢筋的锚固长度 .....	43		

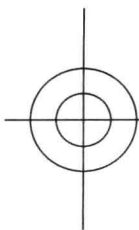


3.6.3 基本公式的应用 .....	72	4.5.1 计算截面的选取 .....	107
3.7 T形截面受弯构件正截面受弯 承载力的计算 .....	79	4.5.2 截面设计 .....	108
3.7.1 概述 .....	79	4.5.3 截面复核 .....	115
3.7.2 T形截面的两种类型及判别 条件 .....	81	4.6 保证斜截面受弯承载力的 构造措施 .....	118
3.7.3 基本公式及适用条件 .....	82	4.6.1 抵抗弯矩图 .....	119
3.7.4 基本公式的应用 .....	84	4.6.2 纵筋的弯起 .....	120
思考题 .....	89	4.6.3 纵筋的截断 .....	122
习题 .....	90	4.7 梁内钢筋的构造要求 .....	122
<b>第4章 受弯构件斜截面承载力的     计算</b> .....	93	4.7.1 纵向受力钢筋的构造 要求 .....	122
本章知识点 .....	93	4.7.2 箍筋的构造 .....	128
4.1 概述 .....	93	4.7.3 纵向构造钢筋 .....	129
4.2 受弯构件受剪性能的试验 研究 .....	94	4.8 受弯构件设计实例 .....	129
4.2.1 无腹筋简支梁受剪性能 .....	94	思考题 .....	136
4.2.2 有腹筋简支梁受剪性能 .....	98	习题 .....	137
4.3 斜截面受剪机理及影响受剪 承载力的主要因素 .....	100	<b>第5章 受压构件的承载力计算</b> .....	140
4.3.1 斜截面受剪机理 .....	100	本章知识点 .....	140
4.3.2 影响受弯构件受剪承载力的 主要因素 .....	101	5.1 概述 .....	140
4.4 斜截面受剪承载力的计算公式与 适用范围 .....	103	5.2 受压构件的一般构造要求 .....	142
4.4.1 基本假定 .....	103	5.2.1 截面形式和尺寸 .....	142
4.4.2 仅配箍筋梁的斜截面受剪 承载力计算公式 .....	103	5.2.2 材料的强度等级 .....	142
4.4.3 既配箍筋又配弯起钢筋梁的斜截面 受剪承载力计算公式 .....	104	5.2.3 纵筋 .....	143
4.4.4 斜截面受剪承载力计算公式的 适用条件 .....	105	5.2.4 箍筋 .....	143
4.4.5 连续梁的受剪性能及其斜截面 受剪承载力 .....	106	5.3 轴心受压构件正截面受压 承载力计算 .....	145
4.4.6 板类受弯构件的斜截面受剪 承载力 .....	107	5.3.1 轴心受压普通箍筋柱的正截面 受压承载力计算 .....	145
4.5 斜截面受剪承载力计算的 方法和步骤 .....	107	5.3.2 轴心受压螺旋箍筋柱的正截面 受压承载力的计算 .....	151
		5.4 偏心受压构件正截面的受力 过程和破坏形态 .....	155
		5.4.1 破坏形态与特征 .....	155
		5.4.2 两类偏心受压破坏的界限 .....	158
		5.4.3 附加偏心距 $e_a$ 和初始偏 心距 $e_i$ .....	159
		5.5 偏心受压构件的纵向弯曲 影响 .....	159

5.5.1 偏心受压长柱的附加弯矩或二阶弯矩	159	习题	201
5.5.2 偏心距调节系数和弯矩增大系数	161	<b>第6章 受拉构件承载力的计算</b>	203
5.5.3 控制截面设计弯矩计算方法	163	本章知识点	203
5.6 偏心受压构件正截面承载力的一般计算公式	163	6.1 概述	203
5.6.1 大偏心受压构件基本计算公式及适用条件	163	6.2 轴心受拉构件正截面承载力的计算	204
5.6.2 小偏心受压构件基本计算公式及适用条件	165	6.2.1 轴心受拉构件的受力特点	204
5.7 不对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面承载力的计算*	167	6.2.2 轴心受拉构件正截面承载力计算	204
5.7.1 大、小偏心受压破坏类型的判别	167	6.3 偏心受拉构件正截面承载力的计算	205
5.7.2 截面设计题	169	6.3.1 偏心受拉构件正截面的破坏形态	205
5.7.3 截面复核题	179	6.3.2 矩形截面小偏心受拉构件的正截面承载力计算	206
5.8 对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算	183	6.3.3 矩形截面大偏心受拉构件的正截面承载力计算	207
5.8.1 截面设计	183	6.3.4 截面设计与截面复核	208
5.8.2 截面复核	186	6.4 偏心受拉构件斜截面受剪承载力的计算	214
5.9 对称配筋工形截面偏心受压构件正截面承载力的计算	189	思考题	215
5.9.1 大偏心受压计算	190	习题	215
5.9.2 小偏心受压构件计算	191	<b>第7章 受扭构件扭曲截面承载力的计算</b>	216
5.10 正截面承载力 $N_u$ — $M_u$ 相关曲线及其应用	194	本章知识点	216
5.10.1 $N_u$ — $M_u$ 相关曲线	194	7.1 概述	216
5.10.2 $N_u$ — $M_u$ 相关曲线的意义、特点和用途	195	7.2 纯扭构件的试验研究	217
5.11 双向偏心受压构件正截面承载力的计算	196	7.2.1 素混凝土纯扭构件的破坏形式	217
5.11.1 受力特点	197	7.2.2 钢筋混凝土纯扭构件的试验研究	217
5.11.2 简化计算公式	198	7.3 纯扭构件扭曲截面承载力的计算	219
5.12 偏心受压构件斜截面受剪承载力的计算	198	7.3.1 受扭构件开裂扭矩的计算	219
思考题	199	7.3.2 受扭构件扭曲截面承载力的计算	221
		7.4 弯剪扭构件扭曲截面承载力的计算	223

7.4.1	弯剪扭构件的试验研究	223	8.5.1	耐久性的概念与主要影响因素	263
7.4.2	剪扭构件扭曲截面承载力的计算	225	8.5.2	混凝土结构耐久性设计的主要内容	264
7.4.3	弯扭构件的承载力计算	228	思考题		266
7.4.4	弯剪扭构件扭曲截面承载力的计算	228	习题		266
7.5	受扭构件的构造要求	229	<b>第9章 预应力混凝土构件</b>		267
7.5.1	受扭构件计算公式的适用条件	229	本章知识点		267
7.5.2	受扭构件钢筋的构造要求	230	9.1 概述		267
7.6	受扭构件承载力计算例题	231	9.2 预应力混凝土的基本概念		269
思考题		237	9.2.1 预应力混凝土的分类		269
习题		238	9.2.2 预应力混凝土材料		270
<b>第8章 钢筋混凝土构件的变形、裂缝及混凝土结构的耐久性</b>		240	9.2.3 预应力锚具与设备		272
本章知识点		240	9.2.4 预应力钢筋的传递长度		276
8.1 概述		240	9.3 张拉控制应力与预应力损失		277
8.1.1 变形控制的目的与要求		240	9.3.1 张拉控制应力 $\sigma_{con}$		277
8.1.2 裂缝控制的目的与要求		241	9.3.2 各种预应力损失值		278
8.2 钢筋混凝土受弯构件的挠度验算		245	9.3.3 预应力损失值的组合		285
8.2.1 截面弯曲刚度的概念及定义		245	9.4 后张法构件端部锚固区的局部承压验算		285
8.2.2 短期刚度 $B_s$		246	9.5 预应力混凝土轴心受拉构件的计算		289
8.2.3 受弯构件的截面弯曲刚度 $B$		249	9.5.1 轴心受拉构件各阶段的应力分析		289
8.2.4 受弯构件的变形验算		250	9.5.2 预应力混凝土轴心受拉构件的计算与验算		294
8.2.5 减小挠度的主要措施		251	9.5.3 轴心受拉构件的设计计算实例		297
8.3 钢筋混凝土构件裂缝宽度验算		252	9.6 预应力混凝土受弯构件的计算		301
8.3.1 平均裂缝间距		252	9.6.1 预应力混凝土受弯构件各阶段的应力分析		302
8.3.2 裂缝宽度		255	9.6.2 受弯构件承载力计算		306
8.4 钢筋混凝土构件的截面延性		260	9.6.3 正常使用极限状态验算		312
8.4.1 延性的概念		260	9.6.4 受弯构件施工阶段验算		316
8.4.2 受弯构件的截面曲率延性系数		260	9.6.5 预应力混凝土受弯构件设计计算步骤		318
8.4.3 偏心受压构件截面曲率延性的分析		262	9.6.6 预应力混凝土受弯构件设计计算实例		318
8.5 混凝土结构的耐久性		262			

9.7 部分预应力混凝土及无粘结	
预应力混凝土结构简述 .....	326
9.7.1 部分预应力混凝土的基本	
概念 .....	326
9.7.2 无粘结预应力混凝土结构	
简述 .....	328
9.8 预应力混凝土构件的构造	
要求 .....	329
9.8.1 截面形式和尺寸 .....	329
9.8.2 非预应力纵向钢筋的布置 .....	330
9.8.3 先张法构件的构造要求 .....	330
9.8.4 后张法构件的构造要求 .....	331
思考题 .....	334
习题 .....	335
附表 .....	337
附录 《公路钢筋混凝土及预应力	
混凝土桥涵设计规范》	
JTG D62—2004 简介 .....	346
参考文献 .....	372



## 第1章

# 绪 论

混凝土是一种由填充料与胶凝材料组成的复合材料。实际上，混凝土是一种人造石材。从其字面上理解，要形成这种材料，首先要将各组成部分混在一起，然后经过胶凝材料的凝结作用，形成统一的材料，即人造石材。在混凝土中，填充料起骨架作用，称为骨料；胶凝材料与水形成浆体，称为胶凝浆体。胶凝浆体包裹在骨料表面并填充骨料之间的空隙。在硬化前，胶凝浆体起润滑作用，使得拌合物具有一定的和易性，便于施工。胶凝浆体硬化后，将骨料胶结为一个坚实的整体。根据所用胶凝材料的不同，混凝土可分为不同种类，如石灰混凝土、石膏混凝土、沥青混凝土、聚合物混凝土、波特兰水泥混凝土等。当前应用最广泛的是波特兰水泥混凝土。从广义上来讲，混凝土的历史可以追溯到远古时代。新石器时代即有泥结卵石、草筋泥砂浆。埃及早在公元前 2700 年即用石膏砂浆砌筑金字塔。中国早在秦朝(公元前 220 年)也已用石灰砂浆建造了万里长城。近代波特兰水泥混凝土的发展是以 1756 年英国的 John Smeaton 发明水硬性胶凝材料并重建 Eddyston 灯塔起，经历了 1796 年英国的 James Parker 获得天然水硬性水泥的专利，1813 年法国的 Louis Vicat 通过烧结石灰石与黏土生产人造水硬性水泥，至 1824 年英国的 Joseph Aspdin 发明波特兰水泥这一整个历史阶段为起点。

混凝土具有取材方便、常温下凝结固化、易于浇筑成型、经济实惠、耐高温性能好、水中生成强度、耐水性能好、维修要求低等优点。因此，自混凝土 180 年前面世后，发展极其迅速，至今已成为世界上用量最大、用途最广的材料。但作为结构材料，混凝土也存在着致命的弱点，即其抗拉强度远比其抗压强度低，其拉压比一般只有十分之一。因此，混凝土在结构中往往只起抗压作用，而拉应力则由钢筋来承担。一般认为，素混凝土为第一代混凝土。在配置钢筋以后所形成的钢筋混凝土为第二代混凝土。钢筋混凝土是 19 世纪 50 年代出现的。1853 年 Coignet 建造了第一座钢筋混凝土结构的四层楼别墅，坐落在 72 rue Charles Michels, St. Denis。此外，混凝土还有一大缺点，即容易开裂，即使在钢筋混凝土中，位于受拉区的混凝土也会开裂，往往导致内部钢筋的锈蚀加速。为了提高钢筋混凝土的抗裂性，预应力混凝土就应运而生了。预应力混凝土也被称为第三代混凝土，它是 1886 年由美国旧金山一工程师发明的。

混凝土的发展主要遵循复合化、高强度化、高性能化三条技术路线。复合化是各种材料发展的主要途径，混凝土也不例外。远古时代先人们用泥浆胶

结大卵石作为柱基；采用草木筋增强黄土与黄土结合泥浆抹墙、打地坪等方法来建筑居屋；古埃及用石膏砂浆砌筑金字塔；古罗马用火山灰石灰混凝土建造斗兽场、水渠、桥梁；东汉至今的石灰三合土房基路基；唐宋以来用桐油、牛马血、糯米汁、羊桃藤汁掺入石灰砂浆提高密实度、防水与耐久性。近代的各种增强混凝土，通过掺加混合材料与各种外加剂，采用多种材料的复合来改善混凝土性能，以达到增强、耐久、经济等目的。20世纪80年代以后开始采用“水泥基复合材料”名词来概括各种混凝土材料。复合化是混凝土材料获得高性能的主要途径。

随着社会经济的不断发展，大型复杂工程不断建设，高强度一直是混凝土材料发展的一个重要方向。这里需要指出的是混凝土的高强化只是指其抗压强度的高强化。作为主要的结构材料，抗压强度一直是混凝土的主要性能指标；加之混凝土抗压强度取决于密实性，后者与耐久性密切相关，因此高抗压强度一直是优质混凝土的特征。近几十年来，混凝土的高强化取得了飞速进展。20世纪70年代以前，混凝土抗压强度多在30MPa以下，40MPa以上即为高强混凝土；70年代以后，50~100MPa甚至更高强度的混凝土开始用于高层建筑与桥梁工程。1972年，62MPa的混凝土即用于芝加哥74层的Water-Tower Palace。可以预见，随着大跨、超高层建筑的不断出现，150MPa以上的超高强混凝土将逐渐扩大其应用。高性能混凝土(HPC)是20世纪90年代提出的一个新的概念。它是采用现代混凝土技术，通过选用优质原材料，添加必要的外加剂，严格控制质量而制成的。HPC侧重于提高混凝土的耐久性与工作性。20世纪80年代起，混凝土耐久性问题得到全世界的广泛关注，因为不少混凝土建筑退出服役不是由于强度不足而是由于混凝土材质劣化、耐久性降低造成的。从20世纪70年代起，发达国家已建设并投入使用的诸多基础建设和重大工程，已逐渐显示出过早破坏的问题。如美国有2530000座混凝土桥梁，桥面板使用不到20年就开始破坏。美国土木工程学会在其2005年基建工程状态报告中估计(美国)需花费1.6万亿美元在5年间将基建工程恢复到正常使用状态。英国英格兰的中环城快车道上有8座高架桥，全长21km，总造价只有2800万英镑，而2004年修补费用达1.2亿英镑，接近造价的4.2倍。我国房屋与基础设施的使用年限低于世界平均水平，且远远达不到设计的要求。有的公路桥梁甚至仅使用3~5年就出现破损，个别的桥梁建成后尚未投入使用已需要维修，甚至边建边修，大大缩短了混凝土结构的服役寿命。要解决这些问题，就必须加速混凝土高性能化研究，大力提高混凝土的耐久性。

混凝土结构基本原理是研究混凝土基本构件的承载力、适用性和耐久性的一门混凝土构件的基础科学，本书将从混凝土材料、基本构件的承载力和正常使用变形、裂缝和耐久性等方面研究混凝土构件的基本工作原理，为土木工程专业学生学习专业方向课程奠定基础。

## 1.1 混凝土结构的一般概念

### 1.1.1 结构的分类、本门课程的研究对象

在土木工程中，由建筑材料筑成，能承受荷载而起骨架作用的构架称为工程结构，简称结构。从应用领域分，结构可分为建筑结构、桥梁结构、水电结构和其他特种结构。从材料种类分，可分为混凝土结构、钢结构、木结构、砌体结构以及组合结构等。

本课程主要是依据我国《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010，研究混凝土结构和预应力混凝土结构中各种基本构件的强度、刚度和抗裂度问题。

### 1.1.2 钢筋混凝土结构的基本概念

混凝土是一种应用很广的土木工程材料，由建筑材料课程可知，混凝土结硬后如同石料，可以认为是一种人造石材，它具有和石料相同的特点，其抗压强度很高，而抗拉强度却很低。这就决定了素混凝土和天然石材一样，只适用于以受压为主的构件，对于受拉构件、受弯构件、受扭构件和偏心受压构件，由于拉应力的存在，则在荷载很小的情况下，由于受拉区断裂而破坏，如图 1-1(b) 所示的素混凝土梁。但是如果在受拉区沿拉应力方向配置钢筋，形成钢筋混凝土构件，构件受力就会显示出另一种新的受力情况。

与混凝土材料不同的是钢筋的抗拉强度很高，而抗压受到截面尺寸的限制容易失稳。为了充分利用这两种材料的特点，将混凝土和钢筋这两种材料结合在一起，钢筋主要承受拉力，而混凝土主要承受压力，如图 1-1(c) 所示的

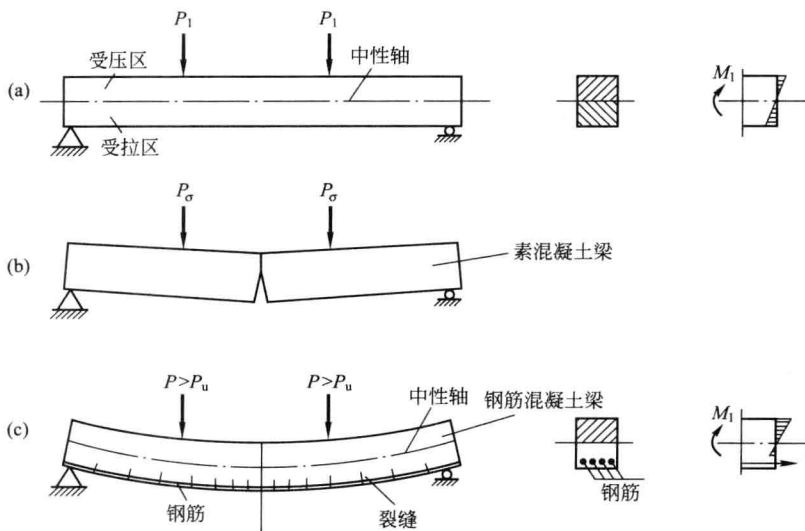


图 1-1 素混凝土梁和钢筋混凝土梁的受力破坏情况

钢筋混凝土梁。另外由于钢筋的抗压强度也很高，在混凝土中由于克服了稳定性问题，故在受压区中也能发挥很好的作用，例如钢筋混凝土柱中的钢筋能承受较大的压力。

当混凝土受拉区配置了适量的钢筋，一旦受拉区混凝土开裂，裂缝截面处的受拉混凝土虽然不能继续承受拉力，但是此力可由受拉区钢筋来承受(图 1-1c)，因此钢筋混凝土梁不会像素混凝土梁一样发生脆性破坏。而且在受拉区混凝土开裂后还可以继续增加荷载直至钢筋应力达到屈服强度，并使受压区混凝土的抗压强度也得到充分利用，这样会使梁的承载能力大大提高。由此可见，将这两种性能极不相同的材料结合在一起共同工作，使其发挥各自抗拉、抗压强度的特长，将会使梁具有较高的承载能力并获得较好的经济效益。但是这两种不同性质材料能否共同工作又是人们关心的问题，实践证明这两种材料是能够有效结合在一起共同工作的，其主要基于以下两点：

(1) 钢筋和混凝土两种材料的线膨胀系数相近，钢材为  $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ，混凝土为  $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 。当温度变化时，两种材料不会产生较大的相对变形而使两种材料之间的粘结应力受到破坏。

(2) 钢筋混凝土结构中的钢筋和混凝土之间存在粘结力，由于粘结力的存在使二者结为整体，在荷载的作用下能共同工作，协调变形。

### 1.1.3 混凝土结构的主要优缺点

钢筋混凝土结构除具有良好的共同工作性能外，还具有如下优点：

#### (1) 合理用材

钢筋混凝土结构合理的利用了钢筋和混凝土两种不同材料的受力性能，使混凝土和钢筋的强度得到了充分的发挥，特别是现代预应力混凝土应用以后，在更大的范围内取代钢结构，降低了工程造价。

#### (2) 耐久性好

与钢结构相比，钢筋混凝土结构有较好的耐久性，它不需要经常的保养与维护。在钢筋混凝土结构中，钢筋被混凝土包裹而不致锈蚀；另外混凝土的强度还会随时间增长而略有提高，故钢筋混凝土有较好的耐久性。对于在有侵蚀介质存在的环境中工作的钢筋混凝土结构，可根据侵蚀的性质合理的选用不同品种的水泥，可达到提高耐久性的目的。一般情况下，火山灰水泥和矿渣水泥抗硫酸盐侵蚀的能力很强，可在有硫酸盐腐蚀的环境中使用；另外矿渣水泥抗碱腐蚀的能力也很强，则可用于碱腐蚀的环境中。

#### (3) 耐火性好

相对钢结构和木结构而言，钢筋混凝土结构具有较好的耐火性。在钢筋混凝土结构中，由于钢筋包裹在混凝土里面而受到保护，火灾时钢筋不至于很快达到流塑状态使结构整体破坏。

#### (4) 整体性好

相对砌体结构而言，钢筋混凝土结构具有较好的整体性，适用于抗震、抗爆结构。另外钢筋混凝土结构刚性较好，受力后变形小。



### (5) 容易取材

混凝土所用的砂、石料可就地取材。另外还可以将工业废料，如矿渣、粉煤灰，应用于混凝土中。

### (6) 具有可模性

可根据建筑、结构等方面的要求将钢筋混凝土结构浇筑成各种形状和尺寸。

由于钢筋混凝土结构具有许多优点，使其成为现在世界各地建筑、道路桥梁、机场、码头和核电站等工程中应用最广的工程材料。

混凝土结构除了具有以上优点外，还存在以下主要缺点：

#### (1) 结构自重大

混凝土和钢筋混凝土结构的重力密度一般为  $23\text{kN/m}^3$  和  $25\text{kN/m}^3$ ，由于钢筋混凝土结构截面尺寸大，所以对大跨度结构、高层抗震结构都是不利的。应发展高强高性能混凝土、预应力混凝土以减小钢筋混凝土结构截面尺寸，采用轻骨料混凝土以减轻结构自重。

#### (2) 抗裂性能差

混凝土抗拉强度很低，一般构件都有拉应力存在，配置钢筋以后虽然可以提高构件的承载力，但抗裂能力提高很少，因此在使用阶段构件一般是带裂缝工作的，这对构件的刚度和耐久性都造成了不利的影 响。施加预应力可改善此缺点。

#### (3) 费工费模

现浇的钢筋混凝土结构费工时较多，且施工受季节气候条件的限制。模板耗费量大，若采用木模，则耗费大量的木材。目前大多采用工具式钢模，效果较好。

## 1.2 混凝土结构的发展及应用概况

### 1.2.1 混凝土结构的发展概况

自从 1824 年波特兰水泥问世，19 世纪 80 年代美国人杰克逊应用预应力混凝土制作建筑配件，后又制作楼板，初步奠定钢筋混凝土在建筑工程中的应用基础。1903 年，美国在辛辛那提建成了世界第一幢混凝土结构高层建筑——英格尔大楼(Ingalls Building)。第一次世界大战期间(1914~1918 年)混凝土结构多用在多层建筑基础和楼板中。第二次世界大战(1939~1945 年)以后，由于世界钢材短缺，混凝土结构才得到了大规模的发展。20 世纪 50 年代混凝土建筑最高修建到 20 层，1958 年修建到 38 层，1962 年达到 50 层，1968 年又达到 70 层(美国芝加哥的湖岬大厦)，这时混凝土结构进入快速发展时期。从这个时期开始，混凝土结构在土木工程各个领域开始大量使用，大量的混凝土(多)高层建筑、各式混凝土结构桥梁隧道、大坝出现在世界各地。

我国从 1889 年才开始有了水泥工业，1908 年在上海建造的电话公司大楼是中国最早的钢筋混凝土框架结构，从 20 世纪初到新中国成立前，我国的混凝土