



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材
高校土木工程专业规划教材

混凝土结构设计原理

(第三版)

(按规范GB 50010-2010及局部修订编写)

梁兴文 史庆轩 主编

童岳生 主审

HUNNINGTU JIEGOU SHEJI YUANLI

中国建筑工业出版社

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材
高校土木工程专业规划教材

混凝土结构设计原理（第三版）

（按规范 GB 50010—2010 及局部修订编写）

梁兴文 史庆轩 主编
童岳生 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构设计原理(按规范 GB 50010—2010 及局部修订编写)/梁兴文,史庆轩主编. —3 版. —北京:中国建筑业出版社,2015.12

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材. 普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材. 高校土木工程专业规划教材

ISBN 978-7-112-18849-9

I. ①混… II. ①梁…②史… 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(2015)第 303283 号

本书为高等院校土木工程专业学科基础课教材,内容包括概论、材料的基本性能、结构构件以概率理论为基础极限状态设计方法的基本原理,以及受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭构件、预应力混凝土构件的性能分析、设计计算和构造措施。本书是根据《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010 及局部修订、《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153—2008 等而编写的。

本书对混凝土结构构件的性能及分析有充分的论述,概念清楚;有明确的计算方法和详细的设计步骤,以及相当数量的计算例题,有利于理解结构构件的受力性能和具体的设计计算方法。每章有小结、思考题和习题等内容;文字通顺易懂,论述由浅入深,循序渐进,便于自学理解,巩固深入。书中还给出了部分专业术语的英文表述。

本书可作为高等院校土木工程专业教材,也可供有关的设计、施工和科研人员使用。

为更好地支持本课程的教学,我们可以向采用本书作为教材的教师提供教学课件,请有需要者与出版社联系,邮箱:jiangongkejian@163.com。

责任编辑:王跃 吉万旺

责任校对:李美娜 党蕾

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材
高校土木工程专业规划教材

混凝土结构设计原理(第三版)

(按规范 GB 50010—2010 及局部修订编写)

梁兴文 史庆轩 主编

童岳生 主审

*

中国建筑业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京建筑业印刷厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:22 $\frac{3}{4}$ 字数:552 千字

2016 年 2 月第三版 2016 年 2 月第十三次印刷

定价:42.00 元(赠课件)

ISBN 978-7-112-18849-9

(28109)

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)

第三版前言

本书第二版于2011年8月出版,当时《建筑结构荷载规范》GB 50009—2012尚未正式颁布;《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010局部修订也于近期完成。为此,需要对第二版进行修订。第三版除对第二版的不妥之处进行修改外,主要做了以下修订:

(1) 根据《建筑结构荷载规范》GB 50009—2012,对有关荷载和作用效应组合以及相关算例等内容进行了修订。

(2) 根据《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010局部修订有关“取消HRBF335、限制使用HRB335和HPB300钢筋”的规定,对本书的相关内容进行了修订。

(3) 根据《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010局部修订有关“HRB500钢筋抗压强度设计值由原来的 410N/mm^2 调整为 435N/mm^2 ”的规定,对本书第4、5章等的相关内容进行了修订。

(4) 根据《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010局部修订有关“对轴心受压构件,当钢筋的抗压强度设计值大于 400N/mm^2 时应取 400N/mm^2 ”以及“预应力螺纹钢筋的抗压强度设计值由原来的 410N/mm^2 调整为 400N/mm^2 ”的规定,对本书第5、10章的相关内容进行了修订。

参加本书修订工作的除了原作者梁兴文、史庆轩、李晓文和李方圆外,还有王秋维、邓明科、门进杰、于婧和陶毅。

本书由资深教授童岳生先生主审,他提出了许多宝贵意见。研究生党争、王英俊、邢朋涛、陆婷婷、刘贞珍等为本书做了部分计算及绘制图工作。在此对他们表示衷心的感谢!

本书第三版可能会存在新的不足和错误,欢迎读者批评指正。

第二版前言

与本书内容相关的国家标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)已于近期颁布,并将于2011年7月1日起实施。国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50153—2008)也于2009年7月1日起实施。为使读者及时了解新修订的国家标准的内容,并便于设计应用,本书再版就提到日程上来了。

这次再版修订工作,除了对第一版中的不妥之处进行修订外,主要做了以下工作:

(1) 补充了新牌号钢筋的强度指标以及所有钢筋混凝土结构用钢筋的最大力下的总伸长率限值等。

(2) 按GB 50010—2010和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、作用组合的效应设计值的组合方法等。

(3) 完善了考虑轴向压力在构件中产生二阶效应后控制截面弯矩设计值的计算方法;修改了构件斜截面受剪承载力计算公式和局部受压承载力计算公式;补充了拉、扭以及拉、弯、剪、扭构件承载力计算方法;修改和补充了预应力混凝土构件的张拉控制应力、预应力损失计算方法等。

(4) 修改了钢筋混凝土构件裂缝宽度和受弯构件挠度的计算方法。

(5) 按混凝土保护层厚度的新定义,以及选用新牌号的钢筋等,修改了本书中的例题和习题。

(6) 由于目前我国土木工程专业一般不再强调学生掌握两个课群组专业知识的学习要求,所以删去了本书第一版中关于公路桥涵工程的相关内容。

参加本书修订工作的有:梁兴文(第1~3章和第7、8章)、史庆轩(第4、9章)、李晓文(第5、6章)、李方圆(第10章),全书最后由梁兴文、史庆轩修改定稿。

本书由童岳生教授主审,他提出了许多宝贵的修改意见。李方圆、杨克家绘制了部分补充和修改的插图。在此对他们表示诚挚的谢意。

本修订版会存在新的不足和错误,欢迎读者批评指正。

第一版前言

《混凝土结构设计原理》是土木工程专业重要的学科基础课,它适用于土木工程领域内所有混凝土结构的设计,如房屋建筑工程、交通土建工程、矿井建设、水利工程、港口工程等。其教学内容是土木工程专业本科学生应当具备的基础知识,为学生在校学习专业课和毕业后在本专业的其他领域继续学习提供坚实的基础。

混凝土结构是由一些基本构件所组成,例如受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭构件、预应力混凝土构件等。本书主要讲述混凝土结构构件的受力性能和设计计算方法,包括钢筋和混凝土材料的基本性能、混凝土结构构件以概率理论为基础极限状态设计方法的基本原理,以及基本构件的性能分析、设计计算和构造措施等。

本课程的教学目的,首先使学生从原理和问题的本质上去认识混凝土结构的受力和变形性能,对钢筋混凝土的基本性能有一个正确理解,然后引导学生掌握现行设计实践所用的主要方法,特别是现行设计规范所推荐的方法。鉴于目前我国土木工程各领域的混凝土结构设计规范尚未统一,为了节省篇幅,本书突出混凝土结构构件的受力性能分析,主要介绍房屋建筑工程和公路桥涵工程的有关规范内容。读者在掌握了基本构件的受力性能和这两类工程混凝土结构的设计原理之后,通过自学不难掌握其他工程的混凝土结构设计原理。

本书按混凝土结构构件的受力性能和特点划分章节,各章相对独立,以便根据不同的教学要求对内容进行取舍。在叙述方法上,注意到学生从数学、力学等基础课到学习学科基础课的认识规律,由浅入深,循序渐进,力求对基本概念论述清楚,使读者能较容易地掌握结构构件的力学性能及理论分析方法;有明确的计算方法和实用设计步骤,力求做到能具体应用。书中有相当数量的计算例题,有利于理解和掌握设计原理。为了便于自学,每章有小结、思考题和习题等内容。另外,为适应双语教学需要,书中同时给出了部分专业术语的英文表述。

书中还编入一部分比较深入的内容,标以*号,供读者自由选读。

本书由西安建筑科技大学土木工程学院的部分教师编写。第1、2、3章和第7、8章由梁兴文执笔;第4章和第9章由史庆轩执笔;第5、6章由李晓文执笔;第10章由李方圆执笔;全书最后由梁兴文、史庆轩修改定稿。

本书由资深教授童岳生先生审阅,并提出了许多宝贵的意见。研究生辛力、杨克家、李波、文保军、朱海峰、辛高伟、刘建毅等为本书绘制了插图。特在此对他们表示诚挚的谢意。

本书在编写过程中参考了大量国内外参考文献,引用了一些学者的资料,这在本书末的参考文献中已予以列出。

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,敬请读者批评指正。

为更好地支持本课程的教学,我们可以向采用本书作为教材的教师提供教学课件,请有需要者与出版社联系,邮箱:jiangongkejian@163.com。

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 混凝土结构的基本概念和特点	1
1.1.1 混凝土结构的基本概念	1
1.1.2 混凝土结构的特点	3
1.2 混凝土结构的应用及发展	3
1.2.1 发展阶段	3
1.2.2 应用	4
1.2.3 拓展	5
1.3 本课程的主要内容及特点	7
1.3.1 主要内容	7
1.3.2 课程特点与学习方法	7
小结	8
思考题	8
第 2 章 钢筋和混凝土材料的基本性能	9
2.1 钢筋的基本性能	9
2.1.1 钢筋的品种和级别	9
2.1.2 钢筋的强度和变形性能	10
2.1.3 钢筋的冷加工	13
2.1.4 混凝土结构对钢筋性能的要求	13
2.2 混凝土的基本性能	14
2.2.1 混凝土的强度	15
2.2.2 混凝土的变形性能	24
2.3 钢筋与混凝土的粘结	33
2.3.1 一般概念	33
2.3.2 粘结应力的特点	34
2.3.3 粘结破坏机理	35
2.3.4 影响粘结强度的因素	37
2.3.5 钢筋的锚固和连接	38
小结	42
思考题	43
第 3 章 结构设计基本原理	44
3.1 结构可靠度及结构设计方法	44
3.1.1 结构上的作用、作用效应及结构抗力	44

3.1.2 结构的预定功能及结构可靠度	45
3.1.3 结构的安全等级	46
3.1.4 混凝土结构构件设计计算方法	46
3.2 荷载和材料强度的取值	47
3.2.1 荷载标准值的确定	47
3.2.2 材料强度标准值的确定	49
3.3 概率极限状态设计方法	51
3.3.1 结构的极限状态	51
3.3.2 结构的设计状况	52
3.3.3 结构的功能函数和极限状态方程	53
3.3.4 结构可靠度的计算	53
3.4 结构极限状态设计表达式	56
3.4.1 承载能力极限状态设计表达式	56
3.4.2 正常使用极限状态设计表达式	59
小结	61
思考题	62
第4章 受弯构件正截面的性能与设计	63
4.1 概述	63
4.2 受弯构件一般构造要求	64
4.2.1 梁的构造要求	64
4.2.2 板的构造要求	65
4.3 正截面受弯性能的试验研究	67
4.3.1 试验测试及结果	67
4.3.2 适筋梁正截面工作的三个阶段	68
4.3.3 适筋梁的截面应力分布	70
4.3.4 钢筋混凝土适筋梁的受力特点	71
4.3.5 正截面受弯破坏形态	72
4.3.6 适筋梁的配筋率范围	74
4.4 正截面受弯承载力分析	75
4.4.1 基本假定	75
4.4.2 正截面受弯分析	77
4.4.3 受压区等效矩形应力图形	78
4.4.4 界限受压区高度与最小配筋率	79
4.5 单筋矩形截面受弯承载力计算	83
4.5.1 基本公式及适用条件	83
4.5.2 基本公式的应用	84
4.5.3 计算系数及其应用	85
4.6 双筋矩形截面受弯承载力计算	90
4.6.1 概述	90

4.6.2	受压钢筋的应力	90
4.6.3	基本公式及适用条件	91
4.6.4	双筋矩形截面计算	93
4.7	T形截面受弯承载力计算	96
4.7.1	T形截面梁的应用	96
4.7.2	受压区有效翼缘计算宽度	97
4.7.3	基本公式及适用条件	99
4.7.4	T形截面的计算方法	101
*4.8	深受弯构件的受弯承载力计算	106
4.8.1	深受弯构件的定义及工程应用	106
4.8.2	深受弯构件的受力特点和受弯破坏特征	106
4.8.3	深受弯构件的受弯承载力计算	108
	小结	108
	思考题	109
	习题	110
第5章	受压构件正截面的性能与设计	112
5.1	轴心受压构件承载力计算	112
5.1.1	轴心受压普通箍筋柱正截面受压承载力计算	113
5.1.2	轴心受压螺旋箍筋柱正截面受压承载力计算	117
5.2	偏心受压构件正截面受力性能分析	120
5.2.1	破坏形态	120
5.2.2	两类偏心受压破坏的界限	122
5.2.3	附加偏心距 e_a 、初始偏心距 e_i	122
5.2.4	偏心受压长柱的正截面受压破坏	122
5.2.5	偏心受压长柱的二阶弯矩	123
5.2.6	重力二阶效应的考虑	126
5.3	矩形截面非对称配筋偏心受压构件正截面受压承载力计算	129
5.3.1	基本公式及适用条件	129
5.3.2	大、小偏心受压破坏的设计判别(界限偏心距)	132
5.3.3	截面设计	133
5.3.4	截面承载力复核	142
5.4	矩形截面对称配筋偏心受压构件正截面受压承载力计算	143
5.4.1	基本公式及适用条件	143
5.4.2	大、小偏心受压构件的设计判别	145
5.4.3	截面设计	145
5.4.4	截面承载力复核	150
5.4.5	矩形截面对称配筋偏心受压构件的计算曲线	150
5.5	I形截面对称配筋偏心受压构件正截面受压承载力计算	154
5.5.1	基本公式及适用条件	154

5.5.2	截面设计	156
5.5.3	截面承载力复核	162
* 5.6	均匀配筋和双向偏心受压构件计算	162
5.6.1	均匀配筋偏心受压构件计算	162
5.6.2	双向偏心受压构件承载力计算	164
5.7	受压构件的一般构造	170
5.7.1	截面形式及尺寸	170
5.7.2	材料	170
5.7.3	纵向钢筋	171
5.7.4	箍筋	171
	小结	172
	思考题	173
	习题	174
第 6 章	受拉构件正截面的性能与设计	176
6.1	轴心受拉构件承载力计算	176
6.2	矩形截面偏心受拉构件正截面承载力计算	178
6.2.1	偏心受拉构件正截面的破坏形态	178
6.2.2	矩形截面小偏心受拉构件正截面承载力计算	179
6.2.3	矩形截面大偏心受拉构件正截面承载力计算	179
6.2.4	截面设计	180
6.2.5	截面承载力复核	182
	小结	183
	思考题	183
	习题	184
第 7 章	构件斜截面受剪性能与设计	185
7.1	概述	185
7.2	受弯构件受剪性能的试验研究	185
7.2.1	无腹筋简支梁的受剪性能	185
7.2.2	有腹筋简支梁的受剪性能	188
7.2.3	影响斜截面受剪承载力的主要因素	191
7.3	受弯构件斜截面受剪承载力计算	193
7.3.1	计算原则	193
7.3.2	仅配有箍筋梁的斜截面受剪承载力	194
7.3.3	配有箍筋和弯起钢筋梁的斜截面受剪承载力	196
7.3.4	公式的适用范围	197
7.3.5	连续梁、框架梁和外伸梁的斜截面受剪承载力	198
7.3.6	板类构件的受剪承载力	199
7.4	受弯构件斜截面受剪承载力的设计计算	200
7.4.1	计算截面的确定及箍筋级别选用	200

7.4.2	设计计算	200
7.4.3	计算例题	201
7.5	受弯构件斜截面受弯承载力和钢筋的构造要求	206
7.5.1	抵抗弯矩图	206
7.5.2	纵筋的弯起	208
7.5.3	纵筋的截断	209
7.5.4	应用实例	211
7.5.5	钢筋的构造要求	214
*7.6	深受弯构件的受剪承载力计算	216
7.6.1	截面尺寸限制条件及斜截面抗裂控制条件	216
7.6.2	受剪承载力计算	217
7.6.3	基本构造规定	218
7.7	偏心受力构件的斜截面受剪承载力	220
7.7.1	偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	220
7.7.2	偏心受拉构件斜截面受剪承载力计算	221
7.7.3	框架柱双向受剪承载力计算	222
7.7.4	剪力墙的斜截面受剪承载力计算	223
*7.8	构件的受冲切性能	224
7.8.1	板的冲切破坏	224
7.8.2	板的受冲切承载力计算	225
7.8.3	板的受冲切截面限制条件及配筋构造要求	226
小结		227
思考题		228
习题		229
第8章	受扭构件扭曲截面受力性能与设计	232
8.1	一般说明	232
8.2	纯扭构件的受力性能和扭曲截面承载力计算	233
8.2.1	试验研究分析	233
8.2.2	纯扭构件的开裂扭矩	235
8.2.3	纯扭构件的受扭承载力	237
8.3	复合受扭构件承载力计算	241
8.3.1	剪扭构件承载力计算	241
8.3.2	弯扭构件承载力计算	244
8.3.3	弯剪扭构件承载力计算	244
8.3.4	压弯剪扭矩形截面框架柱承载力计算	247
8.3.5	拉弯剪扭矩形截面承载力计算	248
8.3.6	超静定结构中的扭转问题	251
小结		252
思考题		252

习题	253
第 9 章 正常使用极限状态验算及耐久性设计	254
9.1 概述	254
9.2 裂缝及其控制	254
9.2.1 裂缝控制的目的	254
9.2.2 裂缝控制等级	255
9.3 裂缝宽度的计算	256
9.3.1 裂缝的出现、分布和开展过程	256
9.3.2 平均裂缝间距	258
9.3.3 平均裂缝宽度	261
9.3.4 最大裂缝宽度	265
9.3.5 影响裂缝宽度的主要因素	266
9.4 受弯构件的挠度计算	269
9.4.1 变形控制的目的和要求	269
9.4.2 混凝土受弯构件变形计算的特点	270
9.4.3 短期刚度 B_s 的建立	271
9.4.4 参数 η 和 ζ 的确定	273
9.4.5 受弯构件刚度 B	274
9.4.6 最小刚度原则与挠度计算	275
9.4.7 提高受弯构件刚度的措施	276
9.5 混凝土结构的耐久性	278
9.5.1 影响混凝土结构耐久性的主要因素	278
9.5.2 混凝土结构耐久性设计方法和内容	280
9.5.3 混凝土结构耐久性设计的基本要求	280
小结	281
思考题	282
习题	282
第 10 章 预应力混凝土构件的性能与设计	284
10.1 预应力混凝土的基本知识	284
10.1.1 一般概念	284
10.1.2 预应力混凝土的分类	285
10.1.3 施加预应力的方法	286
10.1.4 锚具	287
10.1.5 预应力混凝土的材料	288
10.1.6 预应力混凝土的特点	290
10.2 预应力混凝土构件设计的一般规定	290
10.2.1 张拉控制应力 σ_{con}	290
10.2.2 预应力损失	291
10.2.3 有效预应力沿构件长度的分布	300

10.2.4 无粘结预应力混凝土结构·····	301
10.3 预应力混凝土轴心受拉构件的应力分析·····	302
10.3.1 先张法轴心受拉构件·····	302
10.3.2 后张法轴心受拉构件·····	304
10.3.3 先、后张法计算公式的比较·····	306
10.4 预应力混凝土轴心受拉构件的计算和验算·····	308
10.4.1 使用阶段正截面承载力计算·····	308
10.4.2 使用阶段正截面裂缝控制验算·····	308
10.4.3 施工阶段混凝土压应力验算·····	310
10.4.4 施工阶段后张法构件端部局部受压承载力计算·····	311
10.5 预应力混凝土受弯构件的设计与计算·····	317
10.5.1 各阶段应力分析·····	317
10.5.2 使用阶段计算·····	322
10.5.3 施工阶段验算·····	332
10.6 预应力混凝土构件的构造措施·····	337
10.6.1 先张法预应力混凝土构件的构造措施·····	337
10.6.2 后张法预应力混凝土构件的构造措施·····	337
小结·····	340
思考题·····	341
习题·····	341
附录 《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010 附表·····	343
主要参考文献·····	351

第 1 章 概 论

1.1 混凝土结构的基本概念和特点

1.1.1 混凝土结构的基本概念

混凝土是现代工程结构的主要材料，近年来我国每年混凝土用量约 $15.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，其中房屋建筑用量约 $9.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，钢筋用量约 $2.0 \times 10^7 \text{ t}$ ，用于混凝土结构的资金达 2000 亿元以上。混凝土结构（concrete structure）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、预应力混凝土结构以及配置各种纤维筋的混凝土结构。这种结构广泛应用于建筑、桥梁、隧道、矿井以及水利、港口等工程中。

混凝土材料的抗压强度较高而抗拉强度很低。因此，素混凝土结构（plain concrete structure）的应用受到很大限制。例如，图 1-1（a）所示素混凝土梁，随着荷载的逐渐增大，梁中拉应力及压应力不断增大。当荷载达到一定值时，弯矩最大截面受拉边缘的混凝土首先被拉裂，而后由于该截面高度减小致使开裂截面受拉区的拉应力进一步增大，于是裂缝迅速向上伸展并立即引起梁的破坏。这种梁的破坏很突然，其受压区混凝土的抗压强度未充分利用，且由于混凝土抗拉强度很低，故其极限承载力也很低。所以，对于在外荷载作用下或其他原因会在截面中产生拉应力的结构，不应采用素混凝土结构。

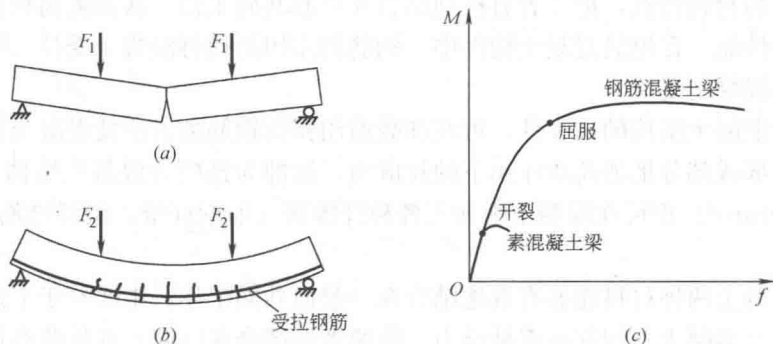


图 1-1 素混凝土梁及钢筋混凝土梁

与混凝土材料相比，钢筋的抗拉、压强度均很高。如将混凝土和钢筋这两种材料结合在一起，使混凝土主要承受压力，而钢筋主要承受拉力，这就成为钢筋混凝土结构（reinforced concrete structure）。例如，图 1-1（b）所示为作用集中荷载的钢筋混凝土梁，在截面受拉区配有适量的钢筋。当荷载达到一定值时，梁受拉区仍然开裂，但开裂截面的变形性能与素混凝土梁大不相同。因为钢筋与混凝土牢固地粘结在一起，故在裂缝截面原由混凝土承受的拉力现转由钢筋承受；由于钢筋强度和弹性模量均很高，所以此时裂缝截面的钢筋拉应力和受拉变形均很小，有效地约束了裂缝的开展，使其不致无限制地向上延

伸而使梁产生断裂破坏。如此，钢筋混凝土梁上的荷载可继续加大，直至其受拉钢筋应力达到屈服强度，随后截面受压区混凝土被压坏，这时梁才达到破坏状态。由此可见，在钢筋混凝土梁中，钢筋与混凝土两种材料的强度都得到了较为充分的利用，破坏过程较为缓和，且这种梁的极限承载力和变形能力大大超过同样条件的素混凝土梁，如图 1-1 (c) 所示。

混凝土的抗压强度高，常用于受压构件（图 1-2a）。但素混凝土柱的受压承载力及变形能力均很低（图 1-2c），所以在轴心受压柱中配置纵向受压钢筋（图 1-2b）与混凝土共同承受压力，以提高柱的承载能力和变形能力（图 1-2c），减小柱截面的尺寸，还可负担由于某种原因而引起的弯矩和拉应力。

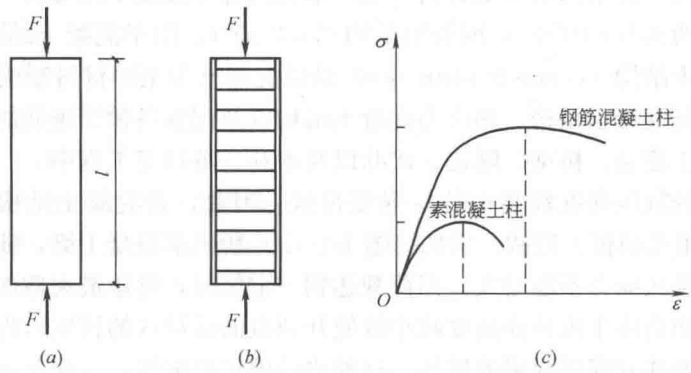


图 1-2 素混凝土与钢筋混凝土轴心受压构件

综上所述，根据构件受力状态配置受力钢筋形成钢筋混凝土构件，可以充分利用钢筋和混凝土各自的材料特点，把二者有机地结合在一起共同工作，从而提高构件的承载能力并改善其受力性能。在钢筋混凝土构件中，钢筋的作用是代替混凝土受拉（受拉区出现裂缝后）或协助混凝土受压。

为了提高混凝土结构的抗裂性，可在加载前用张拉钢筋的方法使混凝土截面内产生预压应力，以全部或部分抵消荷载作用下的拉应力，这即为预应力混凝土结构（prestressed concrete structure）；也可在混凝土中加入各种纤维筋（如钢纤维、碳纤维筋等），形成纤维加强混凝土。

钢筋与混凝土两种材料能够有效地结合在一起而共同工作，主要基于下述三个条件：

(1) 钢筋与混凝土之间存在着粘结力，使两者能结合在一起。在外荷载作用下，结构中的钢筋与混凝土协调变形，共同工作。因此，粘结力是这两种不同性质的材料能够共同工作的基础。

(2) 钢筋与混凝土两种材料的温度线膨胀系数很接近。钢材为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ，混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 。所以，钢筋与混凝土之间不致因温度变化产生较大的相对变形而使粘结力遭到破坏。

(3) 钢筋埋置于混凝土中，混凝土对钢筋起到了保护和固定作用，使钢筋不容易发生锈蚀，且使其受压时不易失稳，在遭受火灾时不致因钢筋很快软化而导致结构整体破坏。因此，在混凝土结构中，钢筋表面必须留有一定厚度的混凝土作保护层，这是保持二者共同工作的必要措施。

1.1.2 混凝土结构的特点

混凝土结构在土木工程中广泛应用，是因为它有很多优点。其主要优点如下：

(1) 耐久性好。处于正常环境下的混凝土耐久性好，高强高性能混凝土的耐久性更好。在混凝土结构中，钢筋受到保护不易锈蚀，所以混凝土结构具有良好的耐久性。对处于侵蚀性环境下的混凝土结构，经过合理设计及采取有效措施后，一般可满足工程需要。

(2) 耐火性好。混凝土为不良导热体，埋置在混凝土中的钢筋受高温影响远较暴露的钢结构小。只要钢筋表面的混凝土保护层具有一定厚度，则在发生火灾时钢筋不会很快软化，可避免结构倒塌。

(3) 整体性好。现浇或装配整体式混凝土结构具有良好的整体性，从而结构的刚度及稳定性都比较好。这有利于抗震、抵抗振动和爆炸冲击波。

(4) 可模性。新拌合的混凝土为可塑的，因此可根据需要制成任意形状和尺寸的结构，这有利于建筑造型。

(5) 就地取材。砂、石是混凝土的主要成分，均可就地取材。在工业废料（例如矿渣、粉煤灰等）比较多的地方，可利用工业废料制成人造骨料用于混凝土结构中。

(6) 节约钢材。钢筋混凝土结构合理地利用了材料的性能，发挥了钢筋与混凝土各自的优势，与钢结构相比能节约钢材并降低造价。

混凝土结构也具有下列缺点：

(1) 自重较大。与钢结构相比，混凝土结构自身重力较大，这样它所能负担的有效荷载相对较小。这对大跨度结构、高层建筑结构都是不利的。另外，自重大会使结构地震力增大，故对结构抗震也不利。

(2) 抗裂性差。在正常使用情况下钢筋混凝土构件截面受拉区通常存在裂缝，如果裂缝过宽，则会影响结构的耐久性和应用范围。

(3) 需用模板。混凝土结构的制作，需要模板予以成型。如采用木模板，则可重复使用的次数少，会增加工程造价。

此外，混凝土结构施工工序复杂，周期较长，且受季节气候影响；对于现役混凝土结构，如遇损伤则修复困难；隔热、隔声性能也比较差。

随着科学技术的不断发展，混凝土结构的缺点正在被逐渐克服或有所改进。如采用轻质、高强混凝土及预应力混凝土，可减小结构自重并提高其抗裂性；采用可重复使用的钢模板会降低工程造价；采用预制装配式结构，可以改善混凝土结构的制作条件，少受或不受气候条件的影响，并能提高工程质量及加快施工进度等。

1.2 混凝土结构的应用及发展

1.2.1 发展阶段

混凝土结构的应用约有 170 年的历史，可大致划分为四个阶段。从 1850~1920 年为第一阶段，这时由于钢筋和混凝土的强度都很低，仅能建造一些小型的梁、板、柱、基础等构件，钢筋混凝土本身的计算理论尚未建立，按弹性理论进行结构设计。从 1920~1950 年为第二阶段，这时已建成各种空间结构，发明了预应力混凝土并应用于实际工程，开始按破损阶段进行构件设计。1950~1980 年为第三阶段，由于材料强度的提高，混凝土

土单层房屋和桥梁结构的跨度不断增大,混凝土高层建筑的高度已达 262m,混凝土的应用范围进一步扩大;各种现代化施工方法普遍采用,同时广泛采用预制构件,结构构件设计已过渡到按极限状态的设计方法。

大致从 1980 年起,混凝土结构的发展进入第四阶段。尤其是近年来,大模板现浇和大板等工业化体系进一步发展,高层建筑新结构体系有较多的应用。振动台试验、拟动力试验和风洞试验较普遍地开展。计算机辅助设计和绘图的程序化,改进了设计方法并提高了设计质量,也减少了设计工作量。非线性有限元分析方法的广泛应用,推动了混凝土强度理论和本构关系的深入研究,并形成了“近代混凝土力学”这一分支学科。结构构件的设计已采用以概率理论为基础的极限状态设计方法。

1.2.2 应用

混凝土结构的应用极其广泛,成就非常突出。下面简要介绍其主要应用情况。

随着高性能外加剂和混合材料的使用,混凝土强度不断提高,目前 C50~C80 级混凝土甚至更高强度等级混凝土的应用已较普遍。各种特殊用途的混凝土不断研制成功并获得应用,例如超耐久性混凝土的耐久年限可达 500 年;耐热混凝土可耐达 1800℃ 的高温;钢纤维混凝土和聚合物混凝土、防射线、耐磨、耐腐蚀、防渗透、保温等有特殊要求的混凝土也应用于实际工程中。

房屋建筑中的住宅和公共建筑,广泛采用钢筋混凝土楼盖和屋盖。单层厂房很多采用钢筋混凝土柱、基础,钢筋混凝土或预应力混凝土屋架及薄腹梁等。高层建筑混凝土结构体系的应用甚为广泛。须特别指出的有:1996 年建成的广州中信广场,80 层,391m 高,是当时世界上最高的钢筋混凝土建筑结构;1998 年建成的马来西亚石油双塔楼,88 层,高 452m,以及 2003 年建成的中国台北国际金融中心,101 层,高 455m,这两栋房屋均采用钢-混凝土混合结构,其高度已超过世界上最高的钢结构房屋(美国芝加哥 Sears 大厦)。我国上海金茂大厦,88 层,建筑高度 420.5m,也为混合结构;上海已建成 95 层 492m 高的上海环球金融中心大厦,为筒中筒结构体系,其中内筒为钢筋混凝土结构,外筒为型钢混凝土框架。广州西塔为现浇混凝土交叉柱外网筒结构,造型新颖。正在建设中的 632m 的上海中心和 648m 的深圳平安金融中心,均为混合结构。2010 年阿联酋迪拜建成的哈利法塔,高达 828m,其中 600m 以下为钢筋混凝土结构,以上为钢结构,为当前世界上的最高建筑。

桥梁工程中的中小跨度桥梁绝大部分采用混凝土结构建造,大跨度桥梁也有相当多的是采用混凝土结构建造。如 1991 年建成的挪威 Skarnsundet 预应力斜拉桥,跨度达 530m,居世界第一位;重庆长江二桥为预应力混凝土斜拉桥,跨度达 444m,居世界第二位;虎门大桥中的辅航道桥为预应力混凝土刚架公路桥,跨度达 270m;攀枝花预应力混凝土铁路刚架桥,跨度为 168m。公路混凝土拱桥应用也较多,其中突出的有 1997 年建成的四川万县长江大桥,为上承式拱桥,采用钢管混凝土和型钢骨架组成三室箱形截面,跨长 420m,为目前世界上第一长跨拱桥;另外还有贵州江界河 330m 的桁架式组合拱桥以及 312m 的广西邕宁江中承式拱桥等。

隧道及地下工程多采用混凝土结构建造。新中国成立后修建了约 2500km 长的铁道隧道,其中成昆铁路线中有隧道 427 座,总长 341km,占全线路长 31%;修建的公路隧道约 400 座,总长约 80km。日本 1994 年建成的青函海底隧道全长 53.8km,我国仅上海就修建了 4 条过江隧道。我国除北京、上海、天津、广州、南京等城市已有地铁外,许多城