

■ 高等学校建筑工程专业系列教材

混凝土结构基本原理

韩建强 王宇亮 付秀艳 主编
王绍杰 刘英利 张玉敏 副主编
苏幼坡 主审



中国建筑工业出版社

高等学校建筑工程专业系列教材

混凝土结构基本原理

韩建强	王宇亮	付秀艳	主 编
王绍杰	刘英利	张玉敏	副主编
		苏幼坡	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 / 韩建强等主编. —北京:
中国建筑工业出版社, 2012. 6

(高等学校建筑工程专业系列教材)

ISBN 978-7-112-14455-6

I. ①混… II. ①韩… III. ①混凝土结构 IV. ①TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 143902 号

本书是根据新版国家规范《混凝土结构设计规范》(GB50010-2010)及相关参考文献编写,全书共分10章,主要内容为:第1章 绪论;第2章 钢筋和混凝土材料力学性能;第3章 钢筋混凝土结构基本设计方法;第4章 受弯构件正截面承载力设计;第5章 受弯构件的斜截面承载力设计;第6章 受压构件的截面承载力;第7章 受拉构件的截面承载力;第8章 受扭构件截面承载力;第9章 钢筋混凝土构件的变形与裂缝验算;第10章 预应力混凝土构件。

本书可作为高等院校建筑工程及相关专业的教材,也可供建筑工程设计及施工技术人员参考使用。

责任编辑:杨杰

责任设计:张虹

责任校对:刘梦然 陈晶晶

高等学校建筑工程专业系列教材

混凝土结构基本原理

韩建强 王宇亮 付秀艳 主编

王绍杰 刘英利 张玉敏 副主编

苏幼坡 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

文道思发展有限责任公司制版

北京市铁成印刷厂印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:16½ 字数:400千字

2012年6月第一版 2012年6月第一次印刷

定价:35.00元

ISBN 978-7-112-14455-6
(22542)

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)

前 言

“混凝土结构基本原理”是高等院校建筑工程专业的主干课程和专业课程之一，在建筑工程专业中占有重要的地位。通过本课程的学习，可以使学生掌握混凝土结构基本受力构件的设计原理，培养学生建筑工程结构设计能力，为学生的毕业设计和今后的工作奠定基础。

本书根据教育部对建筑工程专业培养要求，结合作者多年的教学实践经验，在原有教材的基础上，参考新实施的国家规范《混凝土结构设计规范》（GB50010—2010）及相关参考文献编写。通过对钢筋混凝土结构受弯、受剪、受压、受拉、受扭等基本受力构件的基本设计原理和方法的讲解，使学生具备一定的工程设计和解决实际工程问题的能力。

本书由苏幼坡教授主审，韩建强副教授、王宇亮、付秀艳老师担任主编，王绍杰教授、刘英利教授、张玉敏教授担任副主编。书中第1、2、3、4、5章由韩建强副教授编写；第6章由刘英利教授编写；第7章由张玉敏老师编写；第8章由王绍杰教授编写；第9、10章由王宇亮老师编写。

在本书编写过程中，参考了大量国内外近年来出版的混凝土结构方面的教材、规范和手册等文献，在此向相关作者表示感谢。

因编写作者水平有限，时间仓促，对新规范的深入理解和使用经验等方面多有欠缺，书中难免有遗漏和不足之处，热切希望广大读者批评指正。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 钢筋混凝土结构的一般概念	1
1.2 钢筋和混凝土在一起工作的原理	1
1.3 钢筋混凝土结构的优缺点	2
1.4 钢筋混凝土结构的发展概况	3
1.5 钢筋混凝土结构的工程应用	4
1.6 学习本课程要注意的问题	5
思考题	6
第 2 章 钢筋和混凝土材料力学性能	7
2.1 钢筋的材料力学性能	7
2.1.1 钢筋的种类及相关规范规定	7
2.1.2 钢筋的强度与变形	8
2.1.3 普通钢筋的冷加工方法	9
2.1.4 钢筋本构关系	10
2.1.5 钢筋的疲劳	11
2.2 混凝土的材料力学性能	12
2.2.1 混凝土的强度	12
2.2.2 混凝土的变形	16
2.2.3 混凝土单轴向受压应力—应变曲线的数学模型	22
2.2.4 混凝土的变形模量	23
2.3 钢筋和混凝土的粘结	24
2.3.1 粘结组成部分	24
2.3.2 钢筋锚固与连接	25
思考题	27
第 3 章 钢筋混凝土结构基本设计方法	28
3.1 基本概念	28
3.1.1 结构的使用年限	28
3.1.2 结构的安全等级	28

3.1.3	结构的功能要求	29
3.1.4	结构上的作用	29
3.1.5	作用效应和结构抗力	30
3.2	极限状态概念及分类	31
3.3	结构的可靠性	31
3.3.1	可靠性和可靠度的概念	31
3.3.2	结构的可靠指标和失效概率	32
3.4	极限状态表达公式	34
3.4.1	分项系数	34
3.4.2	承载能力极限状态设计表达式	35
3.4.3	正常使用极限状态表达公式	36
3.5	钢筋混凝土结构耐久性的要求	38
3.5.1	耐久性的概念与主要影响因素	38
3.5.2	混凝土的碳化	39
3.5.3	钢筋的锈蚀	40
3.5.4	耐久性概念设计	41
	思考题	43
第4章	受弯构件正截面承载力设计	45
4.1	受弯构件概述	45
4.1.1	截面形状及尺寸	46
4.1.2	结构构件的基本规定	46
4.2	受弯构件正截面受弯的受力特性	50
4.2.1	正截面受弯的破坏形态	50
4.2.2	适筋受弯构件正截面受力的三个阶段	51
4.3	正截面受弯承载力计算原理	54
4.3.1	正截面承载力计算的基本假定	54
4.3.2	受压区混凝土的压应力的合力及其作用点	54
4.3.3	等效矩形应力图	56
4.3.4	适筋梁与超筋梁的界限及界限配筋率	57
4.4	单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	58
4.4.1	基本计算公式及设计思路	58
4.4.2	截面承载力复核	59
4.5	双筋矩形截面受弯构件的正截面受弯承载力计算	62
4.5.1	概述	62
4.5.2	受力分析图及基本计算公式	63
4.5.3	基本计算公式的应用	64
4.6	T形截面受弯构件正截面受弯承载力计算	66
4.6.1	概述	66
4.6.2	计算公式及适用条件	68

4.6.3	基本公式的应用	70
	思考题	73
	习题	74
第5章	受弯构件的斜截面承载力设计	75
5.1	概述	75
5.2	无腹筋梁斜截面的受力特点和破坏形态	76
5.2.1	无腹筋梁斜裂缝出现前的应力状态	76
5.2.2	无腹筋梁斜裂缝出现后的应力状态	76
5.2.3	剪跨比的概念	78
5.2.4	无腹筋梁沿斜截面破坏的主要形态	79
5.3	有腹筋梁斜截面的受力特点和破坏形态	80
5.3.1	有腹筋梁斜裂缝出现前后的受力特点	80
5.3.2	有腹筋梁沿斜截面破坏的形态	80
5.4	影响斜截面受剪承载力的主要因素	81
5.5	受弯构件斜截面承载力计算公式	82
5.5.1	计算公式的建立原则	82
5.5.2	无腹筋梁受剪承载力计算公式	83
5.5.3	有腹筋梁受剪承载力计算公式	85
5.5.4	公式的适用范围	86
5.5.5	截面计算位置	87
5.6	连续梁斜截面承载力	88
5.7	受弯构件斜截面承载力的计算方法	89
5.7.1	截面设计	89
5.7.2	截面校核	90
5.7.3	斜截面受剪例题讲解	90
5.8	纵向钢筋的弯起和截断	96
5.8.1	材料抵抗弯矩图	96
5.8.2	纵筋弯起的构造要求	97
5.8.3	纵向受力钢筋的截断和锚固	99
5.8.4	箍筋的构造要求	101
5.8.5	弯起钢筋的构造要求	102
	思考题	102
	习题	103
第6章	受压构件的截面承载力	105
6.1	概述	105
6.2	基本构造要求	106
6.2.1	截面形式及尺寸	106
6.2.2	材料强度要求	106
6.2.3	纵筋	107

6.2.4	箍筋	107
6.2.5	上下层柱的接头	108
6.3	轴心受压构件正截面受压承载力计算	109
6.3.1	普通箍筋柱的轴心受压正截面承载力计算	109
6.3.2	螺旋箍筋柱轴心受压正截面承载力计算	114
6.4	偏心受压构件正截面承载力计算	118
6.4.1	偏心受压构件正截面的破坏形态和机理	118
6.4.2	区分大、小偏心受压破坏形态的界限	121
6.4.3	偏心受压构件二阶弯矩的影响	121
6.4.4	小偏心受压构件中远离纵向偏心力一侧的钢筋应力	124
6.5	不对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算	124
6.5.1	大偏心受压构件的截面计算	124
6.5.2	小偏心受压构件的截面计算	126
6.5.3	截面复核	128
6.5.4	大、小偏心受压构件的初始判断	129
6.6	对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算	135
6.6.1	设计方法	135
6.6.2	截面复核	136
6.7	I型截面偏心受压构件正截面承载力计算	137
6.7.1	不对称配筋偏心受压构件	137
6.7.2	对称配筋偏心受压构件	139
6.8	偏心受压构件 $N-M$ 相关曲线	141
6.9	双向偏心受压构件正截面承载力计算	142
6.10	偏心受压构件斜截面承载力计算	144
	思考题	145
	习题	146
第7章	受拉构件的截面承载力	148
7.1	概述	148
7.2	轴心受拉构件正截面受拉承载力计算	149
7.3	偏心受拉构件正截面受拉承载力计算	150
7.3.1	大偏心受拉构件正截面的承载力计算	150
7.3.2	小偏心受拉构件正截面承载力计算	153
7.4	偏心受拉构件斜截面受剪承载力计算	154
	思考题	155
	习题	155
第8章	受扭构件截面承载力	156
8.1	概述	156
8.2	纯扭构件的试验研究	157
8.3	纯扭构件的扭曲截面承载力	158

8.3.1	开裂扭矩的计算	158
8.3.2	扭曲截面受扭承载力的计算	159
8.3.3	受扭构件配筋计算方法	161
8.4	弯剪扭构件的截面承载力计算	164
8.4.1	剪扭构件承载力计算	164
8.4.2	弯剪扭构件的配筋计算方法	165
8.4.3	截面限值条件及构造要求	166
	思考题	170
	习题	171
第9章	钢筋混凝土构件的变形与裂缝验算	172
9.1	概述	172
9.2	裂缝验算	172
9.2.1	裂缝控制的目的要求	172
9.2.2	裂缝的出现与分布规律	173
9.2.3	平均裂缝间距	174
9.2.4	平均裂缝宽度	177
9.2.5	最大裂缝宽度与裂缝宽度验算	179
9.3	变形验算	182
9.3.1	变形控制的目的和要求	182
9.3.2	截面抗弯刚度的主要特点	182
9.3.3	短期刚度计算公式的建立	183
9.3.4	长期刚度	185
9.3.5	受弯构件的变形验算	186
	思考题	187
	习题	187
第10章	预应力混凝土构件	189
10.1	概述	189
10.2	施加预应力的方法	192
10.3	预应力混凝土使用的材料和机具	194
10.4	张拉控制应力	196
10.5	预应力损失	197
10.5.1	张拉端锚具变形和钢筋松动引起的预应力损失 σ_{l1}	197
10.5.2	预应力钢筋与孔道壁之间摩擦引起的预应力损失 σ_{l2}	199
10.5.3	混凝土加热养护时温度差引起的预应力损失 σ_{l3}	200
10.5.4	钢筋松弛引起的预应力损失 σ_{l4}	200
10.5.5	混凝土收缩、徐变引起的预应力损失 σ_{l5}	201
10.5.6	环形构件采用螺旋预应力筋时局部挤压引起的预应力损失 σ_{l6}	202
10.6	预应力轴心受拉构件各阶段的应力分析	203
10.6.1	先张法预应力混凝土轴心拉杆各阶段应力状态	203

10.6.2	后张法预应力轴心拉杆各阶段应力状态	206
10.7	预应力混凝土轴心受拉构件的计算	208
10.7.1	使用阶段强度计算	208
10.7.2	使用阶段裂缓验算	209
10.7.3	施工阶段验算	210
10.8	受弯构件各阶段的应力分析	211
10.8.1	先张法构件各阶段应力分析	211
10.8.2	后张法预应力受弯构件各阶段应力分析	213
10.9	预应力混凝土受弯构件计算	215
10.9.1	使用阶段正截面承载力计算	215
10.9.2	斜截面抗剪强度计算	216
10.9.3	使用阶段正截面裂缝验算	217
10.9.4	使用阶段斜截面裂缝验算	217
10.9.5	使用阶段的变形验算	218
10.9.6	施工阶段验算	219
10.10	预应力的传递长度和锚固区的局部承压	221
10.11	预应力混凝土构件的构造要求	223
10.12	部分预应力混凝土的基本原理	226
10.13	无粘结预应力混凝土的基本原理	229
10.14	预应力混凝土构件计算实例	231
	思考题	244
	习题	245
附录 1	钢筋材料力学性能指标	246
附录 2	混凝土材料力学性能指标	249
附录 3	钢筋的公称直径、公称截面面积及理论重量	251
附录 4	钢筋混凝土结构其他限值规定	253

第1章 绪论

本章提要

- (1) 熟悉混凝土结构的基本概念和种类，并结合不同种类的混凝土结构简要说明其在实际工程中的应用；
- (2) 掌握钢筋和混凝土两种材料在一起工作的原理及素混凝土和钢筋混凝土结构破坏特征的主要区别；
- (3) 掌握钢筋混凝土结构与其他结构相比所体现出的主要优点和缺点；
- (4) 了解钢筋混凝土结构的发展史及在学习过程中应注意的事项。

1.1 钢筋混凝土结构的一般概念

混凝土结构就是以混凝土为主要材料制成的结构，其中素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、型钢混凝土结构和钢管混凝土结构等均属于混凝土结构。素混凝土结构即构件中没有配置钢筋，只有混凝土一种复合材料组成，一般应用在承受荷载较小的基础中。钢筋混凝土结构就是在混凝土构件中配置钢筋的结构，其中钢筋可以为受力的普通钢筋、钢筋网或其他形式的钢筋骨架等，钢筋混凝土结构在工业与民用建筑中应用比较广泛。预应力混凝土结构就是在普通钢筋混凝土结构中配置预应力钢筋的结构，预应力钢筋可以采用先张法或后张法对构件施加预压力。预应力混凝土结构一般应用在跨度比较大或者对裂缝要求比较高的结构中。型钢混凝土结构就是在普通的钢筋混凝土构件中配置型钢的结构，又称钢骨混凝土结构或劲性钢筋混凝土结构。这种结构承载能力较高、延性较好，多用于高层结构。在钢管中浇筑混凝土制成的混凝土结构就是钢管混凝土结构，多用于道路桥梁结构中的桥墩构件中。本教材主要讲述钢筋混凝土结构的设计原理和方法。

1.2 钢筋和混凝土在一起工作的原理

钢筋混凝土结构是由钢筋和混凝土两种不同的材料组成。混凝土的材料力学性能特点是抗压能力较强而抗拉能力很弱；钢筋的材料力学性能特点是抗拉和抗压强度都很高。在钢筋混凝土结构中，将两种材料合理地组合在一起，混凝土主要承受压力，钢筋主要承受拉力，这样，两种材料可以各自发挥其优势，成为具有良好工作性能的钢筋混凝土构件或结构。

钢筋与混凝土这两种力学性能不同的材料之所以能结合在一起有效地共同工作，主要原因是：

(1) 混凝土硬化后，可以和构件内部配置的钢筋表面之间产生良好的粘结，从而使两者可靠地结合在一起，共同变形、共同受力。

(2) 钢筋和混凝土两种材料的温度线膨胀系数非常接近（钢筋为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ；混凝土为 $1.0 \sim 1.5 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ），因此，钢筋与混凝土之间不会因温度变化而产生较大的相对变形造成材料间粘结破坏。

(3) 钢筋混凝土构件都有钢筋保护层厚度的要求，钢筋的保护层可以防止钢筋锈蚀，保证结构的耐久性，使钢筋和混凝土能够长期可靠地共同工作。

素混凝土简支梁和钢筋混凝土简支梁的受力和破坏形态如图 1.1 所示。其中 (a) 所示的外加集中力和梁的自身重力作用下，梁截面的上部受压，下部受拉。对素混凝土梁，由于混凝土的抗拉性能很差，在荷载作用下，梁的跨中附近截面边缘的混凝土一开裂，梁就突然断裂，这时截面受压区的混凝土抗压强度远远没有得到充分利用，表现出明显的“一裂即坏”破坏特征，破坏前变形很小，没有预兆，属于脆性破坏。为了改变这种情况，在受拉一侧区域内配置适量的钢筋构成钢筋混凝土梁，见图 1.1 (b)。钢筋主要承受梁中和轴以下受拉区的拉力，混凝土主要承受中和轴以上受压区的压力。由于钢筋的抗拉能力和混凝土的抗压能力都很大，即使受拉区的混凝土开裂后梁还能继续承受相当大的荷载，直到受拉钢筋达到屈服强度，荷载再略有增加，受压区混凝土即被压碎，梁进入破坏阶段。此时的破坏截面充分地利用了钢筋的抗拉强度和混凝土的抗压强度。破坏前，变形较大，有明显预兆，属于延性破坏。可见，与素混凝土梁相比，钢筋混凝土梁的承载能力和变形能力都有很大提高，并且构件中充分利用了钢筋的抗拉强度与混凝土的抗压强度，使得两种材料都能较好的发挥其优势。

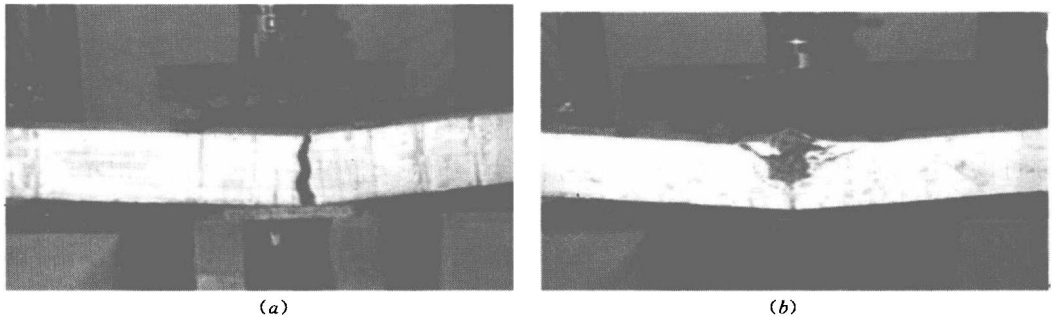


图 1.1 素混凝土简支梁和钢筋混凝土简支梁的受力和破坏形态

1.3 钢筋混凝土结构的优缺点

钢筋混凝土结构在土木工程建设领域应用广泛，说明钢筋混凝土结构除了能合理地利用钢筋和混凝土两种材料的力学性能外，在某些方面较其他结构形式还有明显的优点，主要表现在以下几个方面：

(1) 耐久性：密实的混凝土有较高的强度，同时由于钢筋被混凝土包裹，混凝土硬化后可以在钢筋表面形成保护膜，使得钢筋不易锈蚀，维修费用低，所以钢筋混凝土结构具有较好的耐久性。

(2) 耐火性：混凝土包裹在钢筋外面，火灾时钢筋不会很快达到软化温度而导致结构

整体破坏。与裸露的木结构、钢结构相比耐火性要好。

(3) 整体性：钢筋混凝土结构中的梁、板、柱一般都整浇在一起，节点处连续的钢筋保证了钢筋混凝土结构具有很好的整体性，有利于结构抵抗地震、振动和爆炸冲击波等作用。

(4) 可模性：由于混凝土在硬化前是可以流动的，因此，钢筋混凝土结构可根据设计需要浇筑成各种形状和尺寸的结构，适用于形状较复杂的空间结构。

(5) 取材容易：混凝土是由水泥、沙、石子和水通过一定比例组合而成，所用的砂、石一般易于就地取材。另外，还可有效利用矿渣、粉煤灰等工业废料。

钢筋混凝土结构除了上述优点外，也存在一些自身难以克服的缺点，主要表现在以下几个方面：

(1) 自重大：普通钢筋混凝土结构比其他结构要大很多，过大的结构自重对大跨度结构、高层建筑结构的设计以及结构抗震均很不利，而且也给运输和施工吊装带来困难。

(2) 抗裂性较差：由于混凝土材料的抗拉强度较低，在钢筋混凝土结构中受拉和受弯等构件在正常使用时往往带裂缝工作，对一些不允许出现裂缝或对裂缝宽度有严格限制的结构，要满足这些要求就需要提高工程造价，同时也不利于受拉区钢筋应力的发挥。

此外，钢筋混凝土结构还存在隔热、隔音性能差、费用大、模板用料多、施工周期长、加固和拆修困难等缺点。

针对以上缺点，我们在实际工程中为了减轻结构自重，多采用轻质高强混凝土；为了改善钢筋混凝土结构的抗裂性能，多采用预应力钢筋混凝土结构。目前，国内外学者还在通过不断地研究和创新以克服或降低钢筋混凝土结构的其他缺点。

1.4 钢筋混凝土结构的发展概况

钢筋混凝土结构在 19 世纪中期开始得到应用和推广，与钢结构、木结构和砌体结构相比，虽然出现相对较晚，但由于钢筋混凝土结构具有很多其他结构难以比拟的优点，使其在土木工程方面得到广泛应用，现已成为世界各国占主导地位的结构形式。近年来，随着中国经济的飞速发展，土木工程建设力度的加大，钢筋混凝土结构在我国已得到快速发展和广泛应用。目前，我国水泥产量已超过 4 亿 t/年，混凝土用量约为 5 亿 m³/年，钢筋用量约为 2000 万 t/年。因此，钢筋和混凝土已成为土木工程领域重要的工程材料。随着科学研究的不断进步，在材料和计算理论等方面都将会得到进一步的发展。

目前，土木工程中多采用强度等级为 C20~C50 的混凝土，在一些特殊工程中会采用 C50 以上强度等级的高强混凝土，美国在实验室已经制成超过 200N/mm² 强度的混凝土。为了减轻混凝土结构自重，国内外都在深入研究和发​​展轻质混凝土。轻质混凝土即主要采用天然轻集料（浮石、凝灰岩等）、人造轻集料（页岩陶粒、黏土陶粒、膨胀珍珠岩等）和工业废料（炉渣、矿渣粉煤灰陀粒等）等轻质骨料制成的混凝土，体积密度较普通混凝土可降低 20%~30%，在抗震设防区采用轻质混凝土可有效地减小结构的地震作用；为了提高钢筋混凝土结构的抗裂性能和耐久性能，试验研究表明，掺入一些高分子化合物（比如树脂、纤维）不仅可以提高混凝土的抗压强度和抗拉强度，而且在耐磨、抗渗、抗冲击、耐冻等方面都要明显优于普通混凝土，在一些特殊工程中已经开始得到应用；为了改

善混凝土的性能，各种高性能的混凝土外加剂也在不断地研制出来，目前应用较多的外加剂主要有四类：①改善混凝土拌合物流动性的外加剂，如各种减水剂、增塑剂等；②调节混凝土凝结时间的外加剂，如缓凝剂、早强剂、速凝剂等；③改善混凝土耐久性的外加剂，如引气剂、防水剂、阻锈剂等；④改善混凝土其他性能的外加剂，如加气剂、防冻剂、膨胀剂、着色剂等。因此，今后混凝土材料将会向高强、轻质、耐久、提高抗裂性和易于成型等方向发展。

对于钢筋，我国用于普通钢筋混凝土结构中的钢筋多为一级、二级、三级的热轧钢筋，强度标准值在 $200\text{N/mm}^2 \sim 400\text{N/mm}^2$ ，跨度较大的结构中采用的热处理钢筋和钢绞线强度标准值在 $1470\text{N/mm}^2 \sim 1860\text{N/mm}^2$ 。试验结果显示，中强和高强螺旋肋钢丝不仅强度高、延性好，而且与混凝土的粘结锚固性能也优于其他钢筋。为了提高钢筋的防腐性能，带有环氧树脂涂层的热轧钢筋已开始在某些有特殊防腐要求的工程中应用。因此，今后钢筋主要将向高强并具有较好延性、防腐、高粘结锚固性等方向发展。

近年来，我国在混凝土基本理论与设计方法、结构可靠性与荷载分析、工业化建筑体系、结构抗震与有限元方法、电子计算机在混凝土结构中的应用，以及现代化测试技术等方面的研究也取得了很多新的成果，某些方面已达到或接近国际水平。钢筋混凝土结构的设计和研究向更完善更科学的方向发展。先进的现代测试技术保证了实验研究更精确、更系统。基于可靠度理论的分析方法也在逐步完善，并开始用于结构整体和使用全过程的分析。与此同时，电子计算机的普及和多功能化，CAD 等软件系统的开发，缩短了建筑设计的时间和工作量，提高了经济效益。

此外，在混凝土结构设计理论和设计方法方面通过大量研究，取得了很大成绩。《混凝土结构设计规范》(GB50010) 积累了半个世纪以来丰富的工程实践经验和最新的科研成果，把我国混凝土结构设计方法提高到了当前的国际水平，它将在工程设计中发挥指导作用。

1.5 钢筋混凝土结构的工程应用

钢筋混凝土结构的应用范围也在不断地扩大，已从工业与民用建筑、交通设施、水利水电建筑和基础工程扩大到了近海工程、海底建筑、地下建筑、核电站安全壳等领域，甚至已开始构思和实验用于月球表面建筑。随着轻质高强材料的使用，在大跨度、高层建筑中的混凝土结构越来越多。

我国是使用混凝土结构最多的国家，在高层建筑和多层框架中大多采用混凝土结构。在民用建筑中已较广泛地采用定型化、标准化的装配式钢筋混凝土构件。已建成的 94 层的上海金茂大厦，高 460m。电视塔、水塔、水池、冷却塔、烟囱、贮罐、筒仓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 460m。此外，在大跨度的公共建筑和工业建筑中，钢筋混凝土桁架、门式刚架、拱、薄壳等结构形式也有广泛应用。在国外，朝鲜平壤 105 层的柳京饭店高达 319.8m，加拿大多伦多的预应力混凝土电视塔高达 549m，是有代表性的钢筋混凝土高层建筑物和预应力混凝土构筑物。图 1.2 所示为 2008 年 8 月竣工的北京国贸三期主塔，高度达到 330m。图 1.3 所示为 2009 年 9 月竣工的广州电视观光塔，整体高度达到 600m，内部为钢筋混凝土筒体结构；图 1.4 所示高

楼为 2010 年 1 月竣工的迪拜塔高 828m，迪拜塔建设历时 5 年，耗资约 15 亿美元。

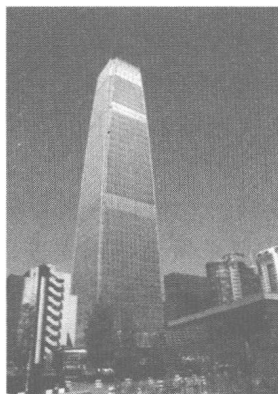


图 1.2 北京国贸三期主塔

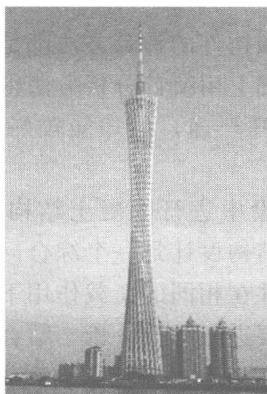


图 1.3 广州电视



图 1.4 迪拜塔

另外，在铁路、公路、城市的立交桥、高架桥、地铁隧道，以及水利港口等交通工程中也在大量采用钢筋混凝土建造水闸、水电站、船坞和码头等结构。已经修建完工投入使用的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。随着改革开放的深入，我国混凝土结构的应用将更加广泛，更加丰富多彩。

1.6 学习本课程要注意的问题

钢筋混凝土结构课程通常按内容的性质可分为“钢筋混凝土基本构件计算理论”和“钢筋混凝土结构设计”两部分。前者主要讲述混凝土构件的受力性能、设计计算方法和构造等混凝土结构的基本理论，属于专业基础课内容。后者主要讲述梁板结构、单层厂房的结构设计，属于专业课内容。通过本课程的学习，并通过课程设计和毕业设计等实践性教学环节，使学生初步具有运用这些理论知识正确进行混凝土结构设计和解决实际技术问题的能力。

本课程从学习钢筋混凝土材料的力学性能和以概率理论为基础的极限状态设计方法开始，然后对各种钢筋混凝土构件的受力性能、设计计算方法及配筋构造进行讨论，如受弯构件正截面和斜截面承载力计算，受压和受拉构件承载力计算，受扭构件承载力计算，受弯构件变形和裂缝宽度验算以及预应力混凝土构件的计算等。然后学习钢筋混凝土楼盖设计方法和单层工业厂房的设计方法。

学习本课程时应注意以下特点：

(1) 钢筋混凝土是由钢筋和混凝土两种力学性能不同的材料组成的复合材料，它与以往学过的材料力学中单一理想的弹性材料不同，所以材料力学公式可以直接应用的不多。为了对钢筋混凝土的受力性能和破坏特性有较好的了解，首先要掌握好钢筋和混凝土材料的力学性能。

(2) 钢筋混凝土既然是一种复合材料，就存在着两种材料的数量比例和强度搭配问题，超过一定范围，构件的受力性能就会改变，不能正常使用。以钢筋混凝土简支梁为

例，随着受拉区配置的纵向受拉钢筋的增加，梁的破坏形态可能由受拉钢筋先屈服而变为受压区混凝土先压碎。

(3) 钢筋混凝土材料的力学性能和构件的计算方法都是建立在试验研究基础上的，许多计算公式都是在大量试验资料的基础上用统计分析方法得出的半理论半经验公式。这些公式的推导并不像数学或力学公式那样严谨，但却能较好地反映钢筋混凝土的真实受力情况。

(4) 学习本课程是为了在工程建设中进行混凝土结构的设计，它包括方案、材料选择、截面形式、配筋、构造措施等。结构设计是一个综合问题，要求做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量。同一构件在相同的荷载作用下，可以有不同的截面形式、尺寸、配筋方法及配筋数量。设计时需要进行综合分析，结合具体情况确定最佳方案，以获得良好的技术经济效果。所以在学习过程中，要学会对多种因素进行综合分析的设计方法。

(5) 在学习过程中逐步熟悉和正确运用我国颁布的一些设计规范和设计规程。诸如，《混凝土结构设计规范》(GB50010)、《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB50068)、《建筑结构荷载规范》(GB50009)、《建筑抗震设计规范》(GB50011)。设计规范是国家颁布的有关计算和构造要求的技术规定和标准，规范条文尤其是强制性条文是设计中必须遵守的带法律性的技术文件。这将使设计方法达到统一化和标准化，从而有效地贯彻国家的技术经济政策，保证工程质量。《规范》是总结了近年来全国高校和设计、科研单位的科研成果和工程实践经验，学习借鉴了国外先进规范和经验，并广泛征求国内有关单位意见，经过反复修改而制订的，它代表了该学科在一个时期的技术水平。

由于科学技术水平和生产实践经验是不断发展的，所以设计规范也必然需要不断修订和补充。因此，要用发展的观点来看待设计规范，在学习和掌握钢筋混凝土结构理论和设计方法的同时，要善于观察和分析，不断地进行探索和创新。

混凝土结构是我国工程建设中应用最广泛的一种结构，在现代化建设事业中起着重要作用。随着改革开放的不断深入，中国的建筑业必将走向世界，所以应该大力开展混凝土结构的科学研究，努力提高生产技术水平，采用先进的设计理论，推广新材料、新工艺，使我国的混凝土结构理论和设计水平尽快达到国际先进水平。

思 考 题

- 1.1 简述混凝土结构的概念及种类。
- 1.2 钢筋和混凝土两种材料能够在一起工作的主要原因是什么？
- 1.3 钢筋混凝土结构有哪些优点和缺点？应如何克服或降低其缺点？
- 1.4 简述钢筋混凝土结构的发展概况及方向。

第 2 章 钢筋和混凝土材料力学性能

本章提要

(1) 熟悉钢筋的种类及其在实际工程中的应用；

(2) 掌握钢筋的强度和变形力学性能指标，钢筋的冷加工方法及加工后对钢筋的力学性能有何改变，钢筋的计算模型及弹性模量，钢筋的疲劳强度及影响因素；

(3) 掌握混凝土的立方体抗压强度和轴心抗压强度的基本概念及区别，不同尺寸试件和试验方法对强度的影响，混凝土的抗拉强度，混凝土在复合应力作用下的强度，混凝土的计算模型及三个弹性模量；

(4) 掌握钢筋和混凝土的粘结组成部分，钢筋锚固长度的计算方法及影响因素，钢筋的混凝土保护层厚度。

2.1 钢筋的材料力学性能

2.1.1 钢筋的种类及相关规范规定

混凝土结构中使用的钢材按化学成分，可分为碳素钢及普通低合金钢两大类。碳素钢除含有铁元素外还含有少量的碳、硅、锰、氧、氮、硫、磷等元素。根据含碳量的多少，碳素钢又可以分为低碳钢（含碳量 $<0.25\%$ ）、中碳钢（含碳量 $0.25\% \sim 0.6\%$ ）和高碳钢（含碳量 $0.6\% \sim 1.4\%$ ），含碳量越高强度越高，但是塑性和可焊性会降低。普通低合金钢除碳素钢中已有的成分外，再加入少量的硅、锰、钛、钒、铬等合金元素，这些元素可以有效地提高钢材的强度和改善钢材的其他性能。

钢筋按生产加工工艺的不同，分为热轧钢筋、热处理钢筋和钢丝。热轧钢筋是低碳钢、普通低合金钢在高温状态下轧制而成。热轧钢筋为软钢，其应力—应变曲线有明显的屈服点和流幅，断裂时有“颈缩”现象，伸长率比较大。工程中常用的几种热轧钢筋如下：

1) 热轧光圆钢筋（hot rolled plain bars）根据其力学指标的高低分为 HPB235、HPB300，其中 HPB235 钢筋在新混凝土结构设计规范中已经被淘汰使用；

2) 热轧带肋钢筋（hot rolled ribbed bars）根据其力学指标的高低分为 HRB335、HRB400、HRB500；

3) 细晶粒热轧钢筋（hot rolled bars of fine grains），即在热轧过程中通过控扎和控冷工艺形成的细晶粒钢筋，分为 HRBF335、HRBF400、HRBF500。

其中字母后面的数字为钢筋屈服强度的特征值，即在无限多次的检验中，与某一规定概率所对应的分位值。