

混凝土结构 原理与应用

**HUNNINGTU JIEGOU
YUANLI YU YINGYONG**

主编 夏志成 袁小军



国防工业出版社
National Defense Industry Press

混凝土结构原理与应用

主 编	夏志成	袁小军	
编审委员	龚自明	马淑娜	孔新立
	冷 捷	刘新宇	王 菲
	戴银所	陈明雄	苏新军

國防工業出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是根据国家“高等学校土木工程本科指导性专业规范”的要求,针对军事土木工程专业的人才培养方案和混凝土结构课程的特点,突出“原理与拓展相结合、军工与民用相结合、理论与实践相结合”的教学指导思想,依据《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)和其他相关规范、标准,结合编者多年来的教学实践经验编写而成。

本书既可作为军事土木工程本科专业和人防工程师培训的教材,也可作为从事国防工程和人防工程的技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构原理与应用 / 夏志成,袁小军主编. —
北京:国防工业出版社,2015. 10
ISBN 978 - 7 - 118 - 10465 - 3

I. ①混... II. ①夏... ②袁... III. ①混凝土结构
IV. ①TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 256707 号

※

国防工业出版社出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)
三河市腾飞印务有限公司印刷
新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 23½ 字数 584 千字
2015 年 10 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 49.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777 发行邮购:(010)88540776
发行传真:(010)88540755 发行业务:(010)88540717

“混凝土结构基本原理”是军事土木工程专业的一门专业基础核心课程,具有理论性强、实践性强和综合性强的特点。在课程内容方面,既有经典的力学理论和大量的结构试验,又有学科交叉产生的新技术;既有结构设计计算原理和方法,又与国家、军队的相关规范息息相关。在工程实践方面,既有民用土木工程的应用,又有军事土木工程的应用。目前,军事土木工程专业的人才培养方案对混凝土结构课程提出了更高的要求,课程教学既要达到普通高校土木工程专业的基本要求,又要突出军事土木工程领域的鲜明特色;既要强调课程基本原理的学习,更要注重理论知识与工程实践相结合。鉴于上述特点和要求,本教材除绪论外,主要包括混凝土结构材料的力学性能,混凝土结构的设计方法,受弯、受剪、受扭、受压和受拉承载力计算方法,混凝土构件的裂缝、变形控制和耐久性,预应力混凝土构件,混凝土梁板结构,混凝土板柱结构和混凝土防护结构等。

本教材共分13章。其中第1、3章由夏志成编写,第2章由龚自明、戴银所编写,第4、8章由袁小军编写,第5、11章由马淑娜编写,第6章由袁小军、夏志成、陈明雄编写,第7章由龚自明编写,第9章由冷捷、王菲编写,第10章由孔新立编写,第12章由刘新宇编写,第13章由苏新军、王菲编写。另外,袁小军对教材部分例题和习题进行了试做。本教材由夏志成、袁小军担任主编,由薛文、赵海燕统一排版,夏志成、袁小军、龚自明、冷捷对个别章节进行了审阅。

由于编者水平有限,不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者
2015年5月

第1章 绪论

1.1 混凝土结构的一般概念	1
1.1.1 基本概念	1
1.1.2 配筋的作用	1
1.1.3 共同工作的原因	2
1.1.4 主要优缺点	3
1.2 混凝土结构的发展及工程应用	3
1.2.1 发展阶段	3
1.2.2 工程应用	4
1.2.3 技术拓展	5
1.3 混凝土防护结构	7
1.3.1 基本概念	7
1.3.2 荷载特点	8
1.3.3 设计特点	8
1.4 本课程的主要内容及学习方法	9
1.4.1 主要内容	9
1.4.2 主要特点	10
1.4.3 注意问题	11
本章小结	11
思考题	12

第2章 混凝土结构材料的物理力学性能

2.1 混凝土	13
2.1.1 混凝土的组成材料	13
2.1.2 混凝土拌合物的和易性	14
2.1.3 混凝土的强度	17
2.1.4 混凝土的变形	24
2.1.5 混凝土的耐久性	31
2.1.6 普通混凝土的配合比设计	35

2.2	钢筋	39
2.2.1	钢筋的类型	39
2.2.2	钢筋的成分、性能、品种和级别	39
2.2.3	钢筋强度和变形	41
2.2.4	混凝土结构对钢筋性能的要求	44
2.3	钢筋与混凝土材料的动力性能	44
2.3.1	概述	44
2.3.2	钢筋的动力性能	45
2.3.3	混凝土的动力性能	46
2.4	钢筋与混凝土的相互作用——粘结	47
2.4.1	粘结的作用与性质	47
2.4.2	粘结机理分析	48
2.4.3	影响粘结强度的主要因素	49
2.4.4	钢筋的锚固长度	50
	本章小结	52
	思考题	53
	习题	53

第3章 混凝土结构设计方法

3.1	结构设计的要求	54
3.1.1	结构的功能要求	54
3.1.2	结构的安全等级	55
3.1.3	结构的设计使用年限	55
3.1.4	结构的设计状况	56
3.2	结构的极限状态	56
3.2.1	结构的极限状态	56
3.2.2	结构上的作用、作用效应和结构抗力	57
3.2.3	结构的极限状态方程	57
3.3	概率极限状态设计法	58
3.3.1	结构的可靠度和可靠指标	58
3.3.2	荷载代表值	60
3.3.3	材料强度的取值	62
3.3.4	极限状态设计表达式	62
3.4	混凝土防护结构设计方法	66
3.4.1	防护结构的极限状态	66
3.4.2	防护结构设计的基本规定	66
3.4.3	极限状态设计表达式	67

本章小结	68
思考题	69
习题	69

第4章 受弯构件正截面承载力计算

4.1 概述	70
4.2 受弯构件一般构造要求	70
4.2.1 梁的构造要求	70
4.2.2 板的构造要求	72
4.2.3 混凝土保护层厚度和截面有效高度	73
4.3 受弯构件正截面受弯性能试验研究	75
4.3.1 纵向受拉钢筋的配筋率	75
4.3.2 受弯构件正截面破坏形态	75
4.3.3 适筋梁正截面受力的3个阶段	76
4.4 受弯构件正截面受弯承载力分析	77
4.4.1 基本假定	77
4.4.2 等效矩形应力图	79
4.4.3 界限相对受压区高度	80
4.4.4 最小配筋率	82
4.5 单筋矩形截面受弯承载力计算	82
4.5.1 基本公式	82
4.5.2 适用条件	83
4.5.3 计算系数	83
4.5.4 设计计算方法	84
4.6 双筋矩形截面受弯承载力计算	87
4.6.1 基本公式	87
4.6.2 适用条件	88
4.6.3 设计计算方法	89
4.7 T形截面受弯承载力计算	92
4.7.1 T形截面翼缘计算宽度	93
4.7.2 两类T形截面及其判别	93
4.7.3 基本公式及适用条件	94
4.7.4 设计计算方法	96
4.8 深受弯构件的受弯承载力计算	99
4.8.1 深受弯构件的定义及应用	99
4.8.2 深受弯构件的受力特点及受弯破坏特征	100
4.8.3 深受弯构件的受弯承载力计算	101

4.9 受弯构件的抗弯动力性能	101
4.9.1 构件的抗力曲线	101
4.9.2 纵向受拉钢筋配筋范围	102
4.9.3 纵向受压钢筋配筋范围	102
4.9.4 构件的延性	103
本章小结	103
思考题	103
习题	104

第5章 受弯构件斜截面承载力计算

5.1 概述	106
5.2 梁的受剪性能分析	109
5.2.1 无腹筋简支梁的受剪性能	109
5.2.2 无腹筋梁斜截面破坏的主要形态	110
5.2.3 影响斜截面承载力的主要因素	112
5.2.4 有腹筋简支梁的受剪性能	113
5.2.5 有腹筋梁斜截面破坏的主要形态	114
5.3 梁斜截面抗剪承载力计算	115
5.3.1 计算公式及适用范围	115
5.3.2 梁斜截面抗剪承载力计算步骤	119
5.4 梁斜截面构造要求	126
5.4.1 抵抗弯矩图	126
5.4.2 钢筋的弯起	127
5.4.3 钢筋的截断	128
5.4.4 纵筋的锚固	130
5.4.5 纵筋的连接	132
5.5 设计例题	133
5.6 深受弯构件的受剪承载力计算	136
5.6.1 深受弯构件斜截面承载力计算	136
5.6.2 深受弯构件的构造要求	137
5.7 受弯构件的抗剪动力性能	139
本章小结	140
思考题	140
习题	141

第6章 受压构件承载力计算

6.1 概述	142
--------------	-----

6.2	受压构件的构造要求	143
6.2.1	截面形式及尺寸	143
6.2.2	材料强度	143
6.2.3	纵向钢筋	143
6.2.4	箍筋	144
6.2.5	保护层厚度	144
6.3	轴心受压构件承载力计算	145
6.3.1	普通箍筋柱的承载力计算	145
6.3.2	螺旋箍筋柱的承载力计算	150
6.4	偏心受压构件正截面受力性能分析	154
6.4.1	偏心受压短柱的受力特点和破坏形态	154
6.4.2	偏心受压长柱的受力特点和破坏形态	157
6.4.3	偏心受压构件的附加弯矩或二阶弯矩	158
6.4.4	偏心受压长柱的设计弯矩	159
6.5	偏心受压构件正截面承载力计算	160
6.5.1	矩形截面承载力计算的基本公式	160
6.5.2	矩形截面不对称配筋时的承载力计算方法	163
6.5.3	矩形截面对称配筋时的承载力计算方法	171
6.5.4	工字形截面承载力计算的基本公式	176
6.5.5	工字形截面对称配筋时的承载力计算方法	179
6.5.6	截面承载力 $N_u - M_u$ 相关曲线	181
6.5.7	双向偏心受压构件承载力计算	182
6.6	偏心受压构件斜截面承载力计算	183
6.6.1	轴向压力对构件斜截面承载力的影响	183
6.6.2	偏心受压构件斜截面承载力计算公式	184
6.7	钢筋混凝土受压构件的抗压动力性能	184
6.7.1	轴心受压构件	184
6.7.2	偏心受压构件	185
	本章小结	185
	思考题	186
	习题	186

第7章 受拉构件承载力计算

7.1	概述	188
7.2	轴心受拉构件承载力计算	188
7.3	偏心受拉构件正截面承载力	189
7.4	偏心受拉构件斜截面受剪承载力	193

本章小结	193
思考题	193
习题	194

第8章 受扭构件承载力计算

8.1 概述	195
8.2 纯扭构件的受力性能和扭曲截面承载力计算	196
8.2.1 试验研究分析	196
8.2.2 纯扭构件的开裂扭矩	198
8.2.3 纯扭构件的受扭承载力	199
8.3 剪扭构件承载力计算	200
8.3.1 剪扭承载力的相关关系	200
8.3.2 矩形截面剪扭构件承载力计算	202
8.4 弯扭构件承载力计算	202
8.5 弯剪扭构件承载力计算	203
8.5.1 弯剪扭构件的破坏形态	203
8.5.2 弯剪扭构件承载力计算	204
8.6 受扭构件的构造要求	205
8.6.1 受扭箍筋的构造要求	205
8.6.2 受扭纵筋的构造要求	205
本章小结	207
思考题	208
习题	208

第9章 钢筋混凝土构件的挠度、裂缝和耐久性

9.1 概述	210
9.2 受弯构件挠度计算	210
9.2.1 变形控制的目的和要求	210
9.2.2 截面弯曲刚度的定义	211
9.2.3 受弯构件短期刚度	212
9.2.4 受弯构件长期刚度	218
9.2.5 受弯构件挠度计算	219
9.2.6 提高受弯构件刚度的措施	219
9.2.7 计算例题	220
9.3 裂缝宽度的验算	222
9.3.1 裂缝控制的目的和要求	222
9.3.2 裂缝出现、分布和开展过程	223

9.3.3	平均裂缝间距	224
9.3.4	平均裂缝宽度	226
9.3.5	最大裂缝宽度	227
9.3.6	影响裂缝宽度的主要因素	227
9.3.7	计算例题	228
9.4	钢筋混凝土结构的耐久性	229
9.4.1	耐久性的一般概念	229
9.4.2	影响耐久性的主要因素	230
9.4.3	混凝土结构的耐久性设计	231
	本章小结	232
	思考题	233
	习题	233

第10章 预应力混凝土构件

10.1	预应力混凝土的基本概念	234
10.1.1	一般概念	234
10.1.2	预应力混凝土的分类	235
10.1.3	预应力的施加方法	236
10.1.4	夹具和锚具	237
10.2	预应力混凝土构件设计的一般规定	239
10.2.1	预应力混凝土的材料	239
10.2.2	张拉控制应力	240
10.2.3	预应力损失	241
10.2.4	先张法构件预应力筋的传递长度	245
10.2.5	后张法构件端部锚固区局部受压承载力计算	246
10.3	预应力混凝土轴心受拉构件的计算	248
10.3.1	轴心受拉构件各阶段应力分析	248
10.3.2	轴心受拉构件使用阶段的计算	251
10.3.3	轴心受拉构件施工阶段的验算	253
10.3.4	计算例题	253
10.4	预应力混凝土受弯构件的计算	255
10.4.1	各阶段应力分析	255
10.4.2	使用阶段正截面承载力计算	257
10.4.3	使用阶段斜截面承载力计算	258
10.4.4	使用阶段裂缝控制验算	259
10.4.5	使用阶段挠度验算	260
10.4.6	施工阶段验算	261

10.5 预应力混凝土构件的构造要求	261
10.5.1 先张法预应力混凝土构件的主要构造要求	261
10.5.2 后张法预应力混凝土构件的主要构造要求	262
本章小结	263
思考题	264
习题	264

第11章 钢筋混凝土梁板结构

11.1 概述	266
11.1.1 楼盖的类型	267
11.1.2 单向板与双向板的概念	269
11.2 单向板肋梁楼盖	270
11.2.1 单向板肋梁楼盖的设计步骤	270
11.2.2 结构平面布置	270
11.2.3 连续梁、板按弹性理论的内力计算	271
11.2.4 连续梁、板考虑内力重分布的计算	276
11.2.5 单向板肋梁楼盖的截面设计与配筋构造	281
11.3 双向板肋梁楼盖	296
11.3.1 按弹性理论计算双向板	297
11.3.2 按塑性理论计算双向板	299
11.3.3 双向板楼盖的截面设计与构造	303
11.4 楼梯	307
11.4.1 楼梯概述	307
11.4.2 梁式楼梯设计	308
11.4.3 板式楼梯设计	310
11.5 雨篷	315
11.5.1 雨篷板的计算和构造	315
11.5.2 雨篷梁的计算和构造	315
11.5.3 雨篷抗倾覆验算	316
本章小结	316
习题	317

第12章 钢筋混凝土板桩结构

12.1 概述	318
12.2 板的内力计算	319
12.3 柱与柱帽的结构计算	320
12.3.1 柱的设计	320

13.3.2 柱帽的设计	321
12.4 截面设计与构造要求	322
12.4.1 板的截面与配筋	322
12.4.2 抗冲切钢筋	323
12.4.3 柱帽构造钢筋	324
本章小结	324
思考题	325

第13章 钢筋混凝土防护结构简介

13.1 概述	326
13.1.1 核武器的破坏作用	326
13.1.2 常规武器的破坏作用	327
13.1.3 防护结构的设计阶段	327
13.2 掘开式防护结构	328
13.2.1 小跨度整体式结构	328
13.2.2 大跨度整体式结构	330
13.2.3 成层式防护结构	331
13.3 附建式防护结构	333
13.3.1 设计原则	333
13.3.2 结构选型	333
13.3.3 设计要点	335
13.4 坑道式防护结构	336
13.4.1 结构组成	336
13.4.2 结构特点	336
13.4.3 结构形式	337
13.4.4 设计要点	337
本章小结	338
思考题	339

附表	340
----------	-----

参考文献	361
------------	-----

第1章

绪 论

本章提要:阐述了混凝土结构的基本概念,配筋的作用,钢筋和混凝土共同工作的原因,以及混凝土结构的优缺点;介绍了混凝土结构的发展阶段以及在建筑工程、桥梁工程、水利工程、地下工程、特种结构和军事工程中的应用,从材料和结构方面简介了混凝土结构的技术拓展;叙述了混凝土防护结构的基本概念、荷载特点和设计特点;最后,归纳了本课程的主要内容和主要特点,提出了学习本课程应注意的问题。

1.1 混凝土结构的一般概念

1.1.1 基本概念

以混凝土为主要材料制成的结构称为混凝土结构(concrete structure),包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构等。无筋或不配置受力钢筋的混凝土结构称为素混凝土结构(plain concrete structure);配置受力的普通钢筋、钢筋网或钢筋骨架的混凝土结构称为钢筋混凝土结构(reinforced concrete structure);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称为预应力混凝土结构(prestressed concrete structure)。目前,混凝土结构广泛应用于工业与民用建筑、桥梁、隧道、矿井以及水利、港口、核电和军事工程建设中。

1.1.2 配筋的作用

钢筋混凝土结构或构件是由钢筋和混凝土两种不同的材料组成的,钢筋的抗拉和抗压强度都很高,而混凝土的抗压强度较高、抗拉强度很低。为了充分发挥这两种材料的性能,按照受力合理的方式把钢筋和混凝土组合在一起,使钢筋主要承受拉力,混凝土主要承受压力,取长补短,共同工作,这就形成了钢筋混凝土结构或构件。混凝土内配置钢筋的目的主要是提高结构或构件的承载能力和变形能力。

如图 1.1(a)所示为素混凝土简支梁,在外加集中荷载 P 和梁自重的作用下,梁的截面上部受压,下部受拉。由于混凝土的抗拉强度很低,只要梁弯矩最大截面附近受拉边缘的混凝土一旦被拉裂,梁就会突然断裂,此时梁截面受压区的压应力还不大,其混凝土抗压强度远远没有充分利用,梁的承载力也很低。这种梁在破坏前变形很小,破坏很突然,没有任何预兆,属于脆性破坏,在工程设计中必须避免。

为了克服上述情况,在梁截面受拉区的下侧配置适量的受力钢筋,使钢筋主要承受梁受拉区的拉力,混凝土主要承受梁受压区的压力,这就构成了钢筋混凝土梁,如图 1.1(b)所示。由于钢筋的抗拉强度和混凝土的抗压强度都高,当受拉区的混凝土开裂后,梁还能继续承受荷载,直到受拉钢筋达到屈服强度后,荷载还略有增加,直至受压区混凝土被压坏,梁才破坏。破坏时,钢筋与混凝土两种材料的强度都得到了充分的利用。与条件相同的素混凝土梁相比,其承载能力和变形能力也有了很大的提高。破坏前,梁的变形很大,破坏过程较缓慢,有明显的预兆,属于延性破坏,是工程设计中所要求的。

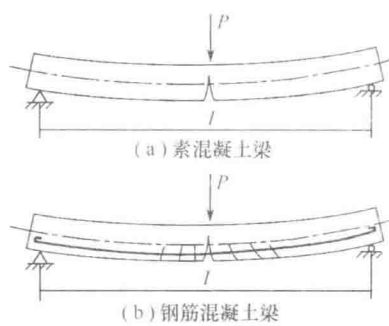


图 1.1 素混凝土梁和钢筋混凝土梁的破坏情况

混凝土的抗压强度高,常用于受压构件或拱形结构,如图 1.2(a)、图 1.3 所示。在轴心受压构件中,如图 1.2(b)所示,配置纵向受压钢筋的作用是:协助混凝土承受压力,提高柱的承载能力;改善柱的脆性破坏程度;减小柱的截面尺寸;承受偶然因素引起的弯矩和拉应力。

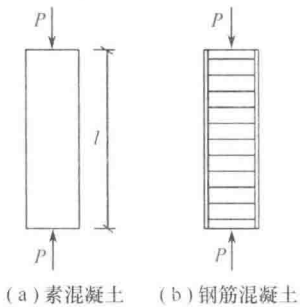


图 1.2 轴心受压构件

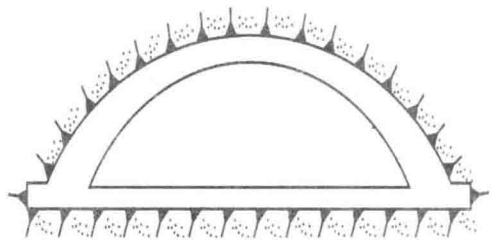


图 1.3 混凝土拱形结构

综上所述,钢筋混凝土构件中配筋的主要作用是:配置在构件受拉区的钢筋,当受拉区出现裂缝时主要代替混凝土受拉;配置在受压区的钢筋协助混凝土受压。其目的在于充分利用钢筋和混凝土各自的材料性能,提高构件的承载能力,改善其力学性能。

1.1.3 共同工作的原因

钢筋和混凝土的物理力学性能差异很大,却能有效地结合在一起共同工作,主要基于下述 3 个原因:

(1) 钢筋与混凝土之间存在着粘结力。混凝土硬化后,使钢筋和混凝土能结合在一起,保证在外荷载作用下两者共同受力、共同变形。因此,粘结力是钢筋和混凝土能够共同工作的基础。

(2) 钢筋和混凝土的温度线膨胀系数接近。钢材为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,混凝土为 $(1.1 \sim 1.5) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,当温度变化时,钢筋和混凝土之间的粘结力不会因两者之间产生过大的相对变形而破坏。

(3) 混凝土对钢筋具有保护和固定作用。混凝土始终包裹着钢筋,使钢筋不易锈蚀,受压时不易失稳,火灾时可避免钢筋很快软化而导致结构破坏。因此,合适的混凝土保护层厚度是保证钢筋和混凝土共同工作的必要措施。

1.1.4 主要优缺点

混凝土结构的主要优点如下:

(1) 就地取材。砂、石是混凝土中的主要组分,均可就地取材。另外,可有效利用矿渣、粉煤灰等工业废料和建筑垃圾制造再生骨料,变废为宝,低碳节能。

(2) 用材合理。充分发挥了钢筋抗拉强度高和混凝土抗压强度高的材料性能。与钢结构相比,可以节约钢材,降低造价。

(3) 可塑性好。根据工程建设需要,可以浇筑成各种形状和尺寸的结构,如箱形结构、拱形结构、圆形结构等。

(4) 整体性好。对于现浇混凝土结构或装配整体式混凝土结构,整体性好,这有利于结构抗震、抗爆和防水、防毒等。

(5) 耐火性好。在 300°C 范围以内混凝土强度基本不降低。由于钢筋表面具有一定厚度的混凝土保护层,使混凝土包裹着钢筋,可避免火灾时钢筋很快软化,结构发生倒塌破坏。

(6) 耐久性好。在正常环境条件下,混凝土包裹着钢筋,可避免钢筋锈蚀。通常混凝土强度越高,其耐久性越好,维修费用越少。对特殊环境下的混凝土结构,只要经过耐久性设计,一般也能满足工程使用要求。

正因为混凝土结构具有上述优点,所以在土木工程领域得到日益广泛的应用。但混凝土结构也存在一些缺点,主要是结构自重大,抗裂性差,隔热、隔声性能较差,施工复杂且受季节气候影响,现役结构如遭损伤则修复困难等,这些缺点也同样限制了混凝土结构的应用范围。随着科学技术的不断发展,新材料、新技术、新方法的不断应用,上述缺点在一定程度上已经克服或逐渐改善。如采用轻质高强混凝土能减轻结构自重,采用预应力混凝土和钢纤维混凝土能提高结构的抗裂性能,采用植筋技术能修复结构损坏,采用粘贴钢板或粘贴碳纤维布能进行结构加固等。

1.2 混凝土结构的发展及工程应用

1.2.1 发展阶段

19 世纪中期,混凝土结构开始得到应用,至今已有 160 多年的历史。与钢结构、木结构和砌体结构相比,它出现较晚,但由于具有独特的物理力学性能、丰富的材料来源和相对低廉的工程造价,其发展速度极快,目前已成为世界各国应用最为广泛的结构。其发展可大致划分为 4 个阶段。

第一阶段(1850—1920 年)。这一阶段仅能建造中小型的梁、板、拱、柱和基础等构件,原因在于采用的钢筋和混凝土强度都普遍很低。计算理论尚未建立,按弹性理论设计方法即容许应力法进行构件设计。

第二阶段(1920—1950 年)。这一阶段能建造各种空间结构,钢筋和混凝土强度有所提高。发明了预应力混凝土结构,并逐渐应用于实际工程。计算理论开始考虑材料塑性,按破损阶段计算构件截面承载力。

第三阶段(1950—1980 年)。这一阶段混凝土单层房屋和桥梁结构的跨度不断增大,预制构件广泛运用,高层建筑体系基本形成,混凝土高层建筑已达 262m,原因在于钢筋和混凝土强

度都普遍提高,各种现代化施工方法得以发展。计算理论开始考虑荷载和材料的变异性,并过渡到按极限状态设计方法进行构件设计。

第四阶段(1980 年—至今)。大模板现浇和大板等工业化体系进一步发展,高层建筑结构体系有新的发展,超高层建筑日益增多。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(CAD)有效地改进了设计方法,既提高设计效率,又提高了设计质量。非线性有限元分析方法的广泛应用,实现了复杂结构的全过程受力模拟,产生了“近代混凝土力学”这一学科分支。结构设计方法已采用以概率理论为基础的极限状态设计方法。新材料和新结构不断出现,各学科之间的相互渗透,促使混凝土结构不断发展。

1.2.2 工程应用

混凝土结构作为现代最主要的工程结构之一,在土木工程建设领域应用极其广泛,成就非常显著。

1. 建筑工程

我国是采用混凝土结构最多的国家。在高层建筑工程(constructional engineering)中多采用混凝土结构和钢与混凝土组合结构。例如目前世界上最高的建筑阿联酋迪拜大厦,160 层,高 828m,其主体结构采用钢与混凝土组合结构,如图 1.4 所示。上海环球金融中心是目前我国大陆最高的建筑,101 层,高 492m,其主体结构也是钢与混凝土组合结构,如图 1.5 所示。在多层住宅中,虽然墙体大多采用砌体结构,但其楼板几乎全部采用现浇混凝土楼盖或预制混凝土楼板。



图 1.4 阿联酋迪拜大厦

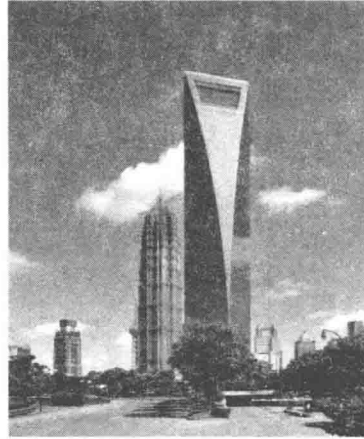


图 1.5 上海环球金融中心

2. 桥梁工程

桥梁工程(bridge engineering)的中小跨度桥梁绝大部分是采用混凝土结构建造的,常用的结构形式有梁、拱、桁架等;大跨度桥梁较多也是采用混凝土结构建造。例如,1991 年建造的挪威 Skarnsundet 预应力混凝土斜拉桥,跨度达 530m。重庆长江二桥为预应力混凝土斜拉桥,跨度达 444m。虽有采用钢悬索、钢斜拉索,但其桥面构件多采用混凝土构件。如上海杨浦大桥为斜拉桥,主跨 602m,其桥塔和桥面均为混凝土结构。

3. 水利工程

水利工程(water resources engineering)中的水电站、拦洪坝、引水渡槽、污水排灌管等均采