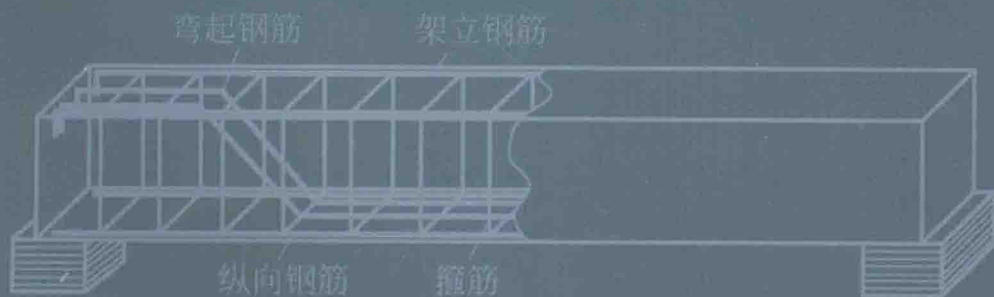


高等院校土木工程专业规划教材

混凝土结构设计原理

李斌 薛刚 牛建刚 主编



清华大学出版社

高等院校土木工程专业规划教材

混凝土结构 设计原理

李斌 薛刚 牛建刚 主编

清华大学出版社

内 容 简 介

本书为高等院校土木工程专业的学科基础课教材,介绍混凝土结构构件的受力性能以及房屋建筑工程混凝土结构设计方法。本书是依据我国国家标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)编写而成,主要内容包括:绪论,材料的基本性能,以概率理论为基础的极限状态设计方法,钢筋混凝土受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭构件性能分析、设计计算和构造措施,钢筋混凝土构件裂缝及变形验算,预应力混凝土轴心受拉构件、受弯构件的力学性能及设计方法。

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。每章有内容提要、思考题或习题等内容;文字通俗易懂,论述由浅入深,循序渐进,便于自学理解,巩固深入。编排了近年注册结构工程师专业考试真题的相关内容,便于读者学习。

本书可作为高等院校土木工程专业的教材,也可供有关的设计、施工和科研人员使用。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构设计原理/李斌,薛刚,牛建刚主编.--北京:清华大学出版社,2014

高等院校土木工程专业规划教材

ISBN 978-7-302-36980-6

I. ①混… II. ①李… ②薛… ③牛… 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(2014)第 139532 号

责任编辑:赵益鹏

封面设计:陈国熙

责任校对:赵丽敏

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:18.25

字 数:440 千字

版 次:2014 年 8 月第 1 版

印 次:2014 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~2500

定 价:42.00 元

产品编号:053622-01

“混凝土结构设计原理”是土木工程专业重要的专业基础课,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。其内容是土木工程专业本科学生应当具备的基础知识,为学习专业课和毕业后在本专业的其他领域继续深造提供坚实的基础。

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、以概率理论为基础的极限状态设计方法,钢筋混凝土结构基本构件的性能分析、设计计算和构造措施等。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,本书主要介绍房屋建筑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建筑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。

本课程的教学目的是: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。

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,每章结尾有思考题或习题等内容。

为了让读者了解全国注册结构工程师考试题型和解题思路,本书在主要章节设立全国注册结构工程师考题的内容,该专题中都是近年的注册结构师的考试真题及详解,题目和解题过程均按照《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)编写,书中提到的《混凝土结构设计规范》,均指最新版规范。

本书主编为李斌、薛刚、牛建刚,副主编为郝润霞、高春彦、李云云。具体编写分工如下:第1章由李斌执笔,第2、3、9章由郝润霞执笔,第4、5章由李云云执笔,第6、7章由高春彦执笔,9.5.2节、第10章由牛建刚执笔;第8章、各章的注册结构工程师考题及教材附录由薛刚执笔;全书最后由李斌、薛刚、牛建刚修改定稿。本教材出版得到内蒙古科技大学的专项资助。

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。

作 者

2014 年 5 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 混凝土结构的基本概念	1
1.2 混凝土结构的应用与发展概况	3
1.2.1 混凝土结构的发展概况	3
1.2.2 混凝土结构的工程应用	3
1.2.3 我国混凝土结构设计规范发展概况	6
1.3 混凝土结构发展展望	7
1.3.1 材料方面	7
1.3.2 结构方面	9
1.3.3 施工技术	9
1.3.4 试验技术	11
1.4 本课程的主要内容及特点	11
1.4.1 主要内容	11
1.4.2 课程特点及学习方法	12
第 2 章 钢筋和混凝土的基本性能	13
2.1 钢筋的基本性能	13
2.1.1 钢筋的品种和级别	13
2.1.2 钢筋的力学性能	13
2.1.3 钢筋应力-应变关系的数学模型	15
2.1.4 钢筋的松弛和疲劳	16
2.1.5 混凝土结构对钢筋性能的要求	16
2.1.6 钢筋的选用	17
2.2 混凝土的基本性能	17
2.2.1 单轴应力状态下混凝土的强度	17
2.2.2 复合应力状态下混凝土的强度	21
2.2.3 混凝土短期加载下的变形性能	22
2.2.4 混凝土的徐变	27
2.2.5 混凝土的疲劳性能	29
2.2.6 混凝土的收缩、膨胀和温度变形	29

2.3	钢筋与混凝土的粘结	30
2.3.1	基本概念	30
2.3.2	粘结力的组成及其影响因素	31
2.3.3	保证可靠粘结的构造措施	32
2.4	钢筋混凝土的一般构造规定	33
2.4.1	混凝土保护层	33
2.4.2	钢筋的锚固长度	34
2.4.3	机械锚固	34
2.4.4	钢筋的连接	35
2.4.5	并筋	36
	思考题	37
第3章	混凝土结构设计的基本原则	38
3.1	结构极限状态设计方法	38
3.1.1	结构的功能要求	38
3.1.2	结构功能的极限状态	39
3.1.3	结构上的作用及结构抗力	40
3.2	荷载和材料强度的取值	41
3.2.1	荷载标准值的确定	41
3.2.2	材料强度标准值的确定	43
3.2.3	材料强度设计值	44
3.3	结构可靠度、可靠指标和目标可靠指标	45
3.4	极限状态实用设计表达式	46
3.4.1	承载能力极限状态设计表达式	47
3.4.2	正常使用极限状态设计表达式	49
3.5	既有结构和防连续倒塌的设计原则	50
3.5.1	既有结构设计原则	50
3.5.2	防连续倒塌设计原则	50
	思考题	52
第4章	受弯构件的正截面受弯承载力	53
4.1	概述	53
4.2	受弯构件正截面的受力性能	54
4.2.1	梁的一般构造	54
4.2.2	板的一般构造	55
4.2.3	适筋梁正截面受弯的三个受力阶段	56
4.2.4	受弯构件沿正截面的破坏形态	58
4.3	受弯构件正截面承载力计算方法	59
4.3.1	基本假定	59

4.3.2	等效矩形应力图形	60
4.3.3	适筋破坏和超筋破坏的界限条件	61
4.3.4	适筋破坏与少筋破坏的界限条件	62
4.4	单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	63
4.4.1	基本计算公式及适用条件	63
4.4.2	受弯构件正截面承载力计算的两类问题	64
4.4.3	计算系数及其使用	67
4.5	双筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	68
4.5.1	概述	68
4.5.2	受压钢筋的应力	68
4.5.3	计算公式和适用条件	69
4.5.4	基本公式的应用	70
4.6	T形截面受弯构件正截面受弯承载力计算	73
4.6.1	概述	73
4.6.2	计算公式及适用条件	74
	思考题	81
	习题	82

第5章 受弯构件斜截面承载力计算

5.1	概述	84
5.2	受弯构件斜截面受力特点与破坏机理	85
5.2.1	斜截面开裂前后受力分析	85
5.2.2	无腹筋梁斜截面的受力特点和破坏形态	86
5.2.3	有腹筋梁斜截面的受力特点和破坏形态	88
5.3	受弯构件斜截面受剪承载力计算	89
5.3.1	影响梁斜截面受剪承载力的主要因素	89
5.3.2	受弯构件斜截面受剪承载力计算公式	90
5.4	受弯构件斜截面受剪承载力的设计计算	94
5.4.1	截面设计	94
5.4.2	截面复核	95
5.5	保证斜截面受弯承载力的构造措施	99
5.5.1	材料抵抗弯矩图	99
5.5.2	纵筋的弯起	101
5.5.3	纵筋的截断	101
5.5.4	纵筋的锚固	102
5.5.5	箍筋的构造要求	104
	思考题	107
	习题	108

第 6 章 受压构件截面承载力计算	110
6.1 概述	110
6.2 受压构件的一般构造要求	110
6.2.1 材料强度等级	110
6.2.2 截面形式和尺寸	110
6.2.3 纵向钢筋	111
6.2.4 箍筋	111
6.3 轴心受压构件正截面承载力计算	112
6.3.1 轴心受压普通箍筋柱的正截面承载力计算	112
6.3.2 轴心受压螺旋箍筋柱的正截面承载力计算	115
6.4 偏心受压构件正截面承载力计算原理	118
6.4.1 偏心受压短柱的破坏形态	118
6.4.2 偏心受压长柱的正截面受压破坏	121
6.4.3 偏心受压长柱自身挠曲引起的二阶效应($P-\delta$ 效应)	121
6.4.4 偏心受压构件正截面承载力计算的基本假定	124
6.4.5 附加偏心距	124
6.4.6 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 矩形截面不对称配筋偏心受压构件正截面承载力计算	125
6.5.1 区分大、小偏心受压破坏形态的界限	125
6.5.2 矩形截面大偏心受压构件正截面承载力计算	125
6.5.3 矩形截面小偏心受压构件正截面承载力计算	126
6.5.4 截面设计	127
6.5.5 截面承载力复核	129
6.6 矩形截面对称配筋偏心受压构件正截面承载力计算	135
6.6.1 基本公式及适用条件	136
6.6.2 截面设计	136
6.6.3 截面复核	137
6.7 I 形截面对称配筋偏心受压构件正截面承载力计算	137
6.7.1 基本公式及适用条件	138
6.7.2 截面设计	139
6.8 偏心受压构件 $N-M$ 相关曲线	142
6.9 双向偏心受压构件正截面承载力计算	144
6.10 偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	145
思考题	148
习题	148
第 7 章 受拉构件的正截面承载力计算	150
7.1 轴心受拉构件的截面承载力计算	150
7.2 矩形截面偏心受拉构件正截面受拉承载力计算	151

7.2.1 偏心受拉构件正截面的破坏形态	151
7.2.2 矩形截面大偏心受拉构件正截面的承载力计算	152
7.2.3 矩形截面小偏心受拉构件正截面的承载力计算	152
7.3 偏心受拉构件斜截面受剪承载力计算	154
思考题	156
习题	156

第8章 受扭构件的扭曲截面承载力 157

8.1 概述	157
8.2 受扭构件的破坏特征	158
8.3 截面开裂扭矩	160
8.4 纯扭构件变角度空间桁架模型计算理论	162
8.5 受扭构件配筋计算方法	164
8.5.1 纯扭构件的配筋计算方法	164
8.5.2 弯剪扭构件的配筋计算方法	166
8.6 压、弯、剪、扭矩共同作用下钢筋混凝土矩形截面框架柱受扭承载力计算	169
8.7 构造要求	169
思考题	175
习题	175

第9章 钢筋混凝土构件的变形、裂缝及混凝土结构的耐久性 177

9.1 概述	177
9.2 钢筋混凝土受弯构件的挠度验算	179
9.2.1 截面弯曲刚度	179
9.2.2 纵向受拉钢筋应变不均匀系数	180
9.2.3 截面弯曲刚度的计算公式	183
9.2.4 影响截面受弯刚度的主要因素	186
9.2.5 最小刚度原则与挠度验算	186
9.3 钢筋混凝土构件裂缝宽度验算	189
9.3.1 裂缝的出现、分布与开展	189
9.3.2 平均裂缝间距	190
9.3.3 平均裂缝宽度	192
9.3.4 最大裂缝宽度及其验算	194
9.4 钢筋混凝土构件的截面延性	197
9.4.1 延性的概念	197
9.4.2 受弯构件的截面曲率延性系数	198
9.4.3 偏心受压构件截面曲率延性的分析	200
9.5 混凝土结构的耐久性	201
9.5.1 耐久性的概念与结构耐久性劣化现象	201
9.5.2 耐久性设计	204

思考题	211
习题	211
第 10 章 预应力混凝土构件	213
10.1 概述	213
10.1.1 预应力混凝土的概念	213
10.1.2 预应力结构在国内外的发展简史	215
10.1.3 预应力混凝土的分类	216
10.1.4 张拉预应力钢筋的方法	216
10.1.5 锚具与孔道成型材料	218
10.1.6 预应力混凝土材料	221
10.2 张拉控制应力与预应力损失	222
10.2.1 张拉控制应力 σ_{con}	222
10.2.2 预应力损失的分类	223
10.2.3 预应力损失值的组合	228
10.3 预应力钢筋的传递长度和构件端部锚固区局部受压承载力计算	231
10.3.1 预应力钢筋的传递长度 l_{tr}	231
10.3.2 后张法构件端部锚固区的局部承压承载力计算	232
10.4 预应力混凝土轴心受拉构件的计算	235
10.4.1 轴心受拉构件各阶段的应力分析	235
10.4.2 预应力混凝土轴心受拉构件的计算和验算	244
10.5 预应力混凝土受弯构件的计算	250
10.5.1 各阶段应力分析	250
10.5.2 受弯构件正截面破坏形态及基本假定	254
10.5.3 预应力混凝土受弯构件正截面承载力计算	256
10.5.4 预应力混凝土受弯构件斜截面承载力计算	258
10.5.5 受弯构件使用阶段正截面抗裂度验算	260
10.5.6 受弯构件使用阶段斜截面抗裂度验算	260
10.5.7 受弯构件使用阶段变形验算	262
10.5.8 受弯构件施工阶段的验算	263
10.6 预应力混凝土构件的构造要求	265
思考题	267
习题	268
附录 A 材料力学指标	269
附录 B 钢筋的计算截面面积及公称质量	273
附录 C 基本规定	275
附录 D 术语	278
参考文献	279

绪 论

本章主要讲述混凝土结构的一般概念,重点阐述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,分析混凝土结构的特点;简要介绍混凝土结构的发展与应用概况。最后指出本课程的主要内容和特点,并对混凝土结构课程的学习方法提出建议。

1.1 混凝土结构的基本概念

将水泥、砂、石子、水以及必要的添加剂按一定的比例和工序进行混合,经搅拌、养护即成为混凝土。混凝土结构主要包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和其他形式的加筋混凝土结构等。

素混凝土结构是指无筋或不配置受力钢筋的混凝土结构,在建筑工程中一般用作基础的垫层或室内外地坪,很少将其做成受力构件。钢筋混凝土结构是配置普通受力钢筋的混凝土结构。预应力混凝土是配置预应力钢筋,通过张拉或其他方法建立预应力的混凝土结构。

钢筋和混凝土都是土木工程中重要的建筑材料,混凝土有较好的抗压强度,但其抗拉强度很低,只有其抗压强度的 $1/17 \sim 1/8$;若将其用于梁构件,则起不到承担荷载的作用。钢材抗拉、抗压强度均很高,但细长条的钢筋受压易压屈,几乎不能形成实际承重结构。钢筋和混凝土两者经适当组合,则可充分发挥混凝土抗压性能好、钢筋受拉强度高的优点。

如图 1-1(a)、(b)所示两根简支梁,跨度为 3m,截面尺寸 $b \times h = 150\text{mm} \times 300\text{mm}$,混凝土强度等级为 C20,一根为素混凝土梁,另一根梁的受拉区配置了两根直径为 16mm 的钢筋(HRB335 级,记作 2B16)。混凝土的抗拉强度较低,在荷载作用下,素混凝土梁受拉区边缘混凝土一旦开裂,裂缝便迅速发展,梁瞬时脆断而破坏(见图 1-1(a)),此时受压区混凝土的抗压强度还远远没有充分利用,梁的承载力只有 2.5kN 左右。对于在受拉区配置钢筋的梁,当受拉区混凝土开裂后,裂缝截面处混凝土的拉力转由钢筋来承担,裂缝不会迅速发展,裂缝截面处混凝土的拉力转由钢筋来承担,故荷载还可以进一步增加,直到加荷到 27kN 时,受拉钢筋的应力达到屈服强度,随后截面受压区混凝土被压碎,梁始告破坏。试件破坏前,裂缝充分发展,梁的变形幅度较大,有明显的破坏预兆(见图 1-1(b))。由素混凝土梁与钢筋混凝土梁的对比实验可知,在混凝土中配置一定形式和数量的钢筋形成钢筋混凝土构件后,构件的承载能力可得到很大提高,受力性能也得到明显改善。

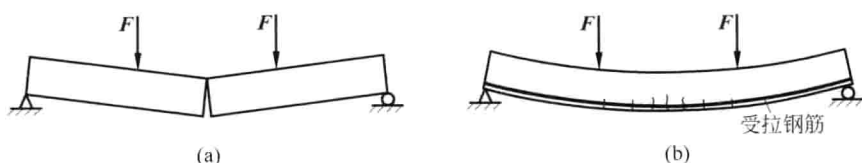


图 1-1 素混凝土梁与钢筋混凝土梁的破坏情况对比

(a) 素混凝土梁; (b) 钢筋混凝土梁

钢筋和混凝土是两种物理、力学性能完全不同的材料,之所以能有效地结合在一起共同发挥作用,首先是由于混凝土硬化后,钢筋(尤其是带肋钢筋)与混凝土之间有很好的粘结力,在外荷载作用下能协调变形、共同工作。其次,钢筋与混凝土两种材料的温度线膨胀系数颇为接近:钢为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 。当温度变化时,不会产生过大的相对变形而破坏两者之间的粘结。再次,混凝土可为钢筋提供保护作用。

钢筋混凝土结构在土木工程结构中的应用非常广泛。目前我国,90%的在役建筑和在建的工业与民用建筑采用钢筋混凝土结构,这是因为它有如下优点:

(1) 就地取材。在钢筋混凝土结构中,所占比例较大的砂和石易于就地取材,在工业废料(例如矿渣、粉煤灰等)较多的地方,还可将其部分替代水泥或加工成人造骨料用于钢筋混凝土结构中。

(2) 节约钢材。钢筋混凝土结构合理地发挥了材料的性能,达到节约钢材、降低造价的目的。

(3) 耐久性好。在钢筋混凝土结构中,混凝土的强度随时间而增长,与此同时,钢筋受混凝土的保护而不易锈蚀,所以钢筋混凝土结构的耐久性很好,不像钢结构那样需要定期保养和维修。处于侵蚀性气体或受海水浸泡的钢筋混凝土结构,经过合理的设计及采取特殊的措施,一般也可满足工程需要。

(4) 耐火性好。混凝土包裹在钢筋的外面,起着保护作用。一定的保护层厚度,可避免钢材在火灾中很快达到软化温度而造成结构整体破坏。与钢结构和木结构相比,钢筋混凝土结构的耐火性相对较好。

(5) 可模性好。可根据需要将钢筋混凝土结构浇筑成各种形状和尺寸,以适用于形状复杂的结构,如箱形结构、空间薄壳等。

(6) 整体性好。整体浇筑的钢筋混凝土结构整体性好,对结构抗震、抗爆有利。

但是,钢筋混凝土结构也存在一些缺点,主要有以下几点:

(1) 自重较大。钢筋混凝土的密度约 $2.5\text{t}/\text{m}^3$,对大跨度结构、高层结构、高耸结构的抗震性能不利。

(2) 抗裂性差。混凝土的抗拉强度很低,混凝土受拉时极易产生裂缝。因此,在正常使用荷载作用下,普通钢筋混凝土结构往往带裂缝工作,从而限制了钢筋混凝土结构在防渗、防漏要求严格的容器、管道结构中的应用。

(3) 施工较复杂。现浇结构模板需耗用较多的木材,且施工受季节环境影响较大,补强修复工作比较困难。

(4) 承载力较低。与钢材相比,混凝土的强度很低,因此,钢筋混凝土构件的截面尺寸相对较大,占据较多的使用空间。

(5) 结构的循环再利用率较低。在钢筋混凝土结构的原材料中,水泥、钢材都属于高耗能材料,大量使用混凝土结构将对资源、生态产生不利影响,拆除、报废的混凝土结构又会污染环境。

随着科学技术的发展,上述一些缺点已经或正在逐步加以改善。例如:

(1) 针对自重大的问题,研制了轻骨料混凝土,轻质高强混凝土可达 LC60 级,密度约为 1800kg/m^3 ,约为普通混凝土的 70%。

(2) 采用预应力混凝土可有效提高结构构件的抗裂能力。

(3) 采用滑模施工,利用泵送混凝土、早强混凝土、自密实混凝土可大大提高施工效率。

(4) 针对钢筋混凝土承载力受限的问题,近年发展了钢骨混凝土、钢管混凝土等新型结构形式,减小了构件的截面尺寸,改善了受力性能。

(5) 出于对资源、能源的保护,近年发展了绿色混凝土、再生混凝土。

1.2 混凝土结构的应用与发展概况

1.2.1 混凝土结构的发展概况

现代混凝土结构是随着水泥和钢铁工业的进步而发展起来的。1824 年,英国人 J. 阿斯普汀(J. Asptin)发明了波特兰水泥并取得专利。1850 年,法国人朗波(L. Lambot)制造了世界上第一支钢筋混凝土小船。此后,混凝土结构逐步用于结构工程。

尽管混凝土结构的历史比砖石结构和钢结构都短,但其发展非常迅速。混凝土结构的发展大体分为三个阶段。

第一阶段是从钢筋混凝土发明到 20 世纪初。这一阶段所采用的钢筋和混凝土的强度都比较低,主要用来建造中小型楼板、梁、拱和基础等构件。计算套用弹性理论,采用容许应力法设计。

第二阶段是从 20 世纪初到第二次世界大战前后。这一阶段混凝土和钢筋强度有所提高,预应力混凝土的发明和应用使钢筋混凝土用于建造大跨的空间结构。在计算理论方面,能够考虑材料的塑性,如板的塑性铰线理论,并开始按破坏阶段计算钢筋混凝土构件的承载力。

第三阶段是第二次世界大战以后到现在。这一阶段的主要成就是高强混凝土和高强钢筋的出现及其广泛应用;装配式混凝土结构、泵送商品混凝土技术以及各种新的施工技术应用到各类土木工程,如超高层建筑、大跨度桥梁、特长的跨海隧道、高耸结构等。在计算理论方面,已过渡到充分考虑混凝土和钢筋塑性的极限状态设计理论,采用以概率论为基础的多系数表达的设计公式。

1.2.2 混凝土结构的工程应用

混凝土结构的应用范围日益扩大,无论从地上或地下,乃至海洋及工程构筑物,很多都用混凝土建造。下面从几个方面加以说明。

1. 高层建筑与大跨度结构

在房屋建筑中,工厂、住宅、办公楼等单层、多层建筑广泛采用混凝土结构。在 7 层以下

的多层房屋中,部分采用砌体结构作为竖向承重构件,但楼板几乎全都采用预制混凝土板或现浇钢筋混凝土楼盖。7层以上的大量高层建筑,采用了混凝土结构或钢与混凝土组合结构。目前,混凝土结构的高层建筑代表有朝鲜平壤市柳京饭店,105层,高334.2m,于1990年4月完工,主体结构采用钢筋混凝土剪力墙结构。广州天河中信广场(见图1-2),83层,主楼高达391m,是国内标志性的混凝土建筑。台湾国际金融中心大厦(101大楼)采用钢筋混凝土巨型结构,1998年1月动工,2003年10月主体工程完工,楼高508m,地上101层,地下5层。深圳平安金融中心屋顶高度为597m,基础底板厚4.5m,混凝土强度等级C40,混凝土总量为 $3.02 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。举世瞩目的摩天大楼迪拜塔(见图1-3),高818m,162层,主体结构为混凝土结构。



图 1-2 广州天河中信广场



图 1-3 迪拜塔

混凝土结构还用于建造民用建筑中的大跨度影剧院、体育馆、展览馆、大会堂、航空港候机大厅及其他大型公共建筑,以及工业建筑中的大跨度厂房、飞机装配车间和大型仓库等。林同炎设计的旧金山地下展览厅,采用16片钢筋混凝土拱,跨度为83.8m,拱的推力达 $4.8 \times 10^4 \text{ kN}$ 。意大利都灵展览馆拱顶由装配式构件组成,跨度达95m,非常宏伟、壮丽。钢筋混凝土薄壳组成的屋盖更是风格多样,如美国西雅图金群体育馆采用圆球壳,跨度达202m。前南斯拉夫贝尔格莱德展览馆,采用带肋的圆球顶,直径约110m。

2. 桥梁工程

一般中小跨径的桥梁,大部分采用钢筋混凝土建造,有梁式桥、拱桥、刚架桥和桁架桥等结构形式。有些大跨度桥梁虽然采用了钢悬索和钢制斜拉索,但其桥面结构也大部分采用混凝土结构。预应力混凝土简支梁桥在20世纪20~50年代得到广泛应用。基于拱桥的力学特性,采用钢筋混凝土建造具有更大的优势。目前,世界上跨度较大的混凝土拱桥有我国万县长江大桥(见图1-4),跨度达到420m。前南斯拉夫克尔克岛的克尔克1号桥(见图1-5),跨度390m。日本的别府明磐桥,跨度为30m+351m+30m。我国1989年建成的四川涪陵乌江桥,全长351.83m,主跨200m,为拱结构,矢跨比为1/4。

钢筋混凝土刚架桥在铁路、公路中也广为应用。如广东洛溪跨越珠江的洛溪大桥,采用刚架结构,桥面与桥墩整体刚接,主跨达180m。清水河大桥主桥三跨为72m+128m+

72m,为预应力连续刚架结构,桥梁主跨 128m,其中 4 号桥墩高 100m,是世界闻名的铁路桥墩。超过 500m 跨度的大桥往往采用悬索桥或斜拉桥,但也常与混凝土结构混合使用。如香港青马大桥,跨度 1377m,桥体为悬索结构,其中支承悬索的两端立塔高 203m,是混凝土结构;又如上海杨浦大桥,主跨 602m,为斜拉桥,其桥塔及桥面均为混凝土结构。



图 1-4 万县长江大桥



图 1-5 克尔克 1 号桥

3. 特殊结构与高耸结构

混凝土结构在道路、港口工程以及特种结构中也有大量应用。码头、道路、储水池、仓储构筑物、电线杆、下水管道、烟囱等均可见到混凝土结构的应用。由于滑模施工方法的发展,许多高耸建筑也可采用混凝土结构。广州电视台新塔(见图 1-6),塔身主体 454m,天线桅杆 156m,总高度 610m,建于广州市海珠区,距离珠江南岸 125m,是一座以观光旅游为主,具有广播电视发射、文化娱乐和城市窗口功能的大型城市基础设施,为 2010 年的第十六届亚洲运动会提供了转播服务。加拿大多伦多电视塔(见图 1-7),塔高 553.3m(包括天线部分),1975 年建成。其截面主体中间为圆筒,在塔楼以下有 Y 形肢翼相连,塔楼建于 335m 处,人们可以乘电梯到塔楼观光。莫斯科奥斯坦金电视塔,高 533.3m,1967 年建成。我国混凝土电视塔中高度超过 400m 的还有上海东方明珠电视塔,高 468m;天津电视塔,高 415.2m;北京中央电视塔,高 405m。



图 1-6 广州电视台新塔



图 1-7 多伦多电视塔

4. 水利及其他工程

混凝土自重大,所用材料易于就地取材,所以在水利工程中,常用混凝土来修建大坝。如瑞士狄克桑斯坝,坝高 285m,坝顶宽 15.0m,坝底宽 225m,坝长 695m,库容量 $4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。美国胡佛坝为 1936 年建成的混凝土重力坝(见图 1-8),高 221m,坝顶长 379m,顶宽 14m,底宽 202m。此坝被认为是混凝土建坝史上的一个里程碑,在兴建该坝时,采用分块浇筑法,解决了大体积混凝土的收缩和温度应力问题,为以后修建大坝提供了成功经验。巴西和巴拉圭共有的伊泰普水电站,装机容量为 $1.26 \times 10^7 \text{ kW}$,主坝高 196m,长 1060m,为混凝土坝。我国长江三峡水利枢纽工程,装机容量为 $1.82 \times 10^7 \text{ kW}$,总库容 $3.93 \times 10^{10} \text{ m}^3$,其中防洪库容 $2.215 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。龙羊峡水电站(见图 1-9)是青海省内黄河上游的一座水电站,拦河大坝为混凝土重力坝,坝高 178m,坝长 393.34m,顶宽 15m,底宽 80m,于 1989 年全部竣工。该坝是在高寒地区建成的重力坝,技术难度极大。

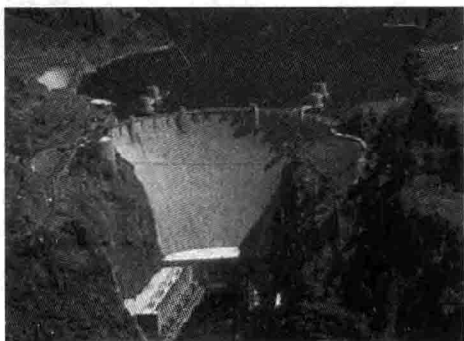


图 1-8 美国胡佛坝

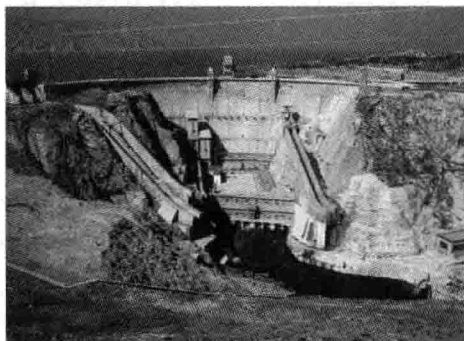


图 1-9 龙羊峡水电站

混凝土结构在其他特殊的结构中也有广泛的应用,如地下铁道的支护和站台工程、核电站的安全壳、机场的跑道、填海造地工程、海上采油平台等。

1.2.3 我国混凝土结构设计规范发展概况

我国在百废待兴的第一个“五年计划”期间(1953—1957 年),大规模的基本建设蓬勃开展,当时应用的是 20 世纪 50 年代发布的《钢筋混凝土结构设计规范》(规结 6—1955),实际这仅仅是一本苏联规范的“中译本”。

我国混凝土结构设计规范的编制起步于 20 世纪 60 年代初期。当时编制工作实际是学习、消化苏联规范。由于没有自己的研究成果,规范不可能作大的改进。当时发布的《钢筋混凝土结构设计规范》(BJG 21—1966)实际只是苏联规范的“消化版”。

随着基本建设发展的需要,我国急需编写自己的规范。但由于仍缺少自己的研究成果,故 20 世纪 70 年代公布的《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10—1974),虽然外表形象发生了改变,但从内涵而言,还是一本“脱胎不换骨”的苏联规范。

20 世纪 70 年代初,以中国建筑科学研究院结构所为主体,从基础研究开始,我国开展了全面、系统的混凝土结构构件的实验研究。这批科研成果为我国的混凝土结构理论和编制自己的设计规范奠定了基础。1989 年发布的《混凝土结构设计规范》(GB 10—1989)是我国自己编制并符合国情的混凝土结构设计规范。1993 年,对该规范进行了局部修订。