



普通高等教育“十二五”规划教材
中国科学院教材建设专家委员会“十二五”规划教材

混凝土结构设计原理 学习辅导

主 编 孙跃东
副主编 彭亚萍



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材
中国科学院教材建设专家委员会“十二五”规划教材

混凝土结构设计原理 学习辅导

孙跃东 主 编
彭亚萍 副主编

科学出版社
北 京

内 容 简 介

本书根据国家颁布的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)和《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)编写而成。

《混凝土结构设计原理学习辅导》是与《混凝土结构设计原理》教材相配套的参考书。本书包括四部分内容:第一部分主要是对教材基本概念、基本理论和基本设计方法的总结,强调重点、难点和必须要掌握的内容;第二部分为扩展内容,是在教材内容上的加深和扩展,多为教材没有讲授的知识,既可为有精力的同学继续深入学习提供素材,也可作为不同院校提供选讲内容;第三部分包括选择题、判断题、思考题和计算题,目的是通过大量习题,帮助学员理解和掌握混凝土结构的基本理论、基本计算方法和步骤,对重点和难点内容的加深记忆和巩固;第四部分为参考答案和讲评,对必须掌握、易于混淆的重要知识点结合习题进行讲评。

本书可作为高等院校土木工程专业“混凝土结构设计原理”课程的教学辅导书、教师参考书和研究生的学习用书,也可作为土建类科研、设计、施工和管理人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构设计原理学习辅导/孙跃东主编. —北京:科学出版社,2013
(普通高等教育“十二五”规划教材·中国科学院教材建设专家委员会
“十二五”规划教材)
ISBN 978-7-03-038425-6

I. ①混… II. ①孙… III. ①混凝土结构-结构设计-高等学校-教学参
考资料 IV. ①TU370.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 196871 号

责任编辑:童安齐 袁莉莉 / 责任校对:马英菊
责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 8 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013 年 8 月第一次印刷 印张:18 3/4

字数:428 000

定价:38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<路通>)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137026(BA08)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

《混凝土结构设计原理学习辅导》是与《混凝土结构设计原理》教材相配套的参考书。“混凝土结构设计原理”课程具有内容多、符号多、计算公式多等特点。对初学者来说,往往感觉“杂乱无章”、“逻辑性不强”、“无规律可循”,不像数学和力学课程有严密的逻辑推理。为了配合课堂教学,引导读者进一步理解、掌握和巩固混凝土结构构件的基本概念、基本原理和基本计算方法,在教材内容的基础上,更加深入地学习混凝土结构的基本理论,培养读者的工程素质和工程应用能力,特编写此书。

全书除了基本内容外,还有 50 多个扩展内容知识点,200 多道选择题、200 多道判断题、100 多道思考题、60 多道计算题,其中对 80% 的题目进行了讲评。

本书编排章节同配套教材。全书共分为 10 章,其中第 1、2、4、5、6、7 章由孙跃东编写,第 3 章由韩金生编写,第 8 章由李柏栋编写,第 9、10 章由彭亚萍编写。全书由孙跃东任主编,彭亚萍任副主编。全书由孙跃东修改、定稿。

编者对编写本书过程中给予指导和帮助的各位教授、同事表示衷心的感谢。

由于编者的水平和经验所限,书中不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2013 年 4 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
第 2 章 混凝土结构材料的物理力学性能	8
2.1 基本内容	8
2.1.1 钢筋	8
2.1.2 混凝土	8
2.1.3 钢筋与混凝土的粘结	12
2.2 扩展内容	13
2.2.1 钢筋应力-应变的计算模型	13
2.2.2 反复荷载作用下的变形	13
2.2.3 钢筋的徐变和松弛	14
2.2.4 混凝土的受力破坏机理	14
2.2.5 混凝土单轴受压时的应力-应变关系	15
2.2.6 混凝土单轴受拉时的应力-应变关系	19
2.2.7 混凝土在重复荷载作用下的应力-应变关系	21
2.2.8 混凝土双向受力状态下的应力-应变关系	21
2.2.9 混凝土三向受力状态下的应力-应变关系	23
2.2.10 混凝土徐变的计算	25
2.2.11 混凝土收缩的计算	26
2.2.12 钢筋与混凝土的粘结	27
2.3 习题	31
2.3.1 选择题	31
2.3.2 判断题	36
2.3.3 思考题	38
2.3.4 计算题	38
2.4 习题参考答案与讲评	38
2.4.1 选择题	38
2.4.2 判断题	40
2.4.3 思考题	42
2.4.4 计算题	45
第 3 章 混凝土结构设计方法	47
3.1 基本内容	47
3.1.1 结构功能要求和极限状态	47

3.1.2	极限状态方程与结构的可靠度分析	47
3.1.3	荷载和材料强度取值	48
3.1.4	概率极限状态实用设计表达式	48
3.2	扩展内容	50
3.2.1	结构的可靠指标	50
3.2.2	分项系数	52
3.2.3	可变荷载的概率模型	54
3.2.4	荷载的代表值	56
3.2.5	结构抗力	60
3.2.6	荷载组合	63
3.3	习题	66
3.3.1	选择题	66
3.3.2	判断题	67
3.3.3	思考题	67
3.3.4	计算题	67
3.4	习题参考答案与讲评	68
3.4.1	选择题	68
3.4.2	判断题	69
3.4.3	思考题	69
3.4.4	计算题	71
第4章	受弯构件正截面承载力计算	74
4.1	基本内容	74
4.1.1	梁、板的基本构造	74
4.1.2	受弯梁的试验研究和正截面受力性能	74
4.1.3	受弯构件正截面承载力计算的基本规定	75
4.1.4	单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	76
4.1.5	双筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	79
4.1.6	T形截面受弯构件正截面承载力计算	81
4.2	扩展内容	84
4.2.1	受弯构件的截面内力分析	84
4.2.2	均匀配筋的矩形截面受弯构件正截面承载力计算	91
4.2.3	任意截面受弯构件正截面承载力计算	94
4.2.4	圆形和环形截面受弯构件正截面承载力计算	95
4.3	习题	97
4.3.1	选择题	97
4.3.2	判断题	100
4.3.3	思考题	102
4.3.4	计算题	102

4.4 习题参考答案与讲评	105
4.4.1 选择题	105
4.4.2 判断题	106
4.4.3 思考题	107
4.4.4 计算题	111
第5章 受弯构件斜截面承载力计算	121
5.1 基本内容	121
5.1.1 梁受剪的受力特点和破坏形态	121
5.1.2 斜截面受剪承载力的计算公式	122
5.1.3 斜截面受剪承载力的计算	123
5.1.4 斜截面受弯及其构造要求	124
5.2 扩展内容	124
5.2.1 影响受弯构件斜截面受剪承载力的主要因素	124
5.2.2 连续梁斜截面的抗剪性能	129
5.2.3 钢筋混凝土梁抗剪计算模型和机理分析	131
5.2.4 一些国外规范的抗剪承载力计算公式	135
5.2.5 梁内钢筋的构造措施	139
5.3 习题	147
5.3.1 选择题	147
5.3.2 判断题	149
5.3.3 思考题	149
5.3.4 计算题	150
5.4 习题参考答案与讲评	152
5.4.1 选择题	152
5.4.2 判断题	152
5.4.3 思考题	153
5.4.4 计算题	155
第6章 受压构件截面承载力	163
6.1 基本内容	163
6.1.1 受压构件的构造要求	163
6.1.2 轴心受压构件正截面受压承载力的计算	164
6.1.3 偏心受压构件的受力性能分析	165
6.1.4 矩形截面偏心受压构件正截面承载力的计算	166
6.1.5 矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算公式的应用	167
6.1.6 矩形截面对称配筋偏心受压构件正截面承载力计算	169
6.1.7 矩形截面承载力 N_u-M_u 相关曲线及其应用	170
6.1.8 I形截面偏心受压构件正截面承载力计算	171
6.1.9 受压构件斜截面受剪承载力计算	171

6.2	扩展内容	171
6.2.1	轴心受压构件的截面应力分析	171
6.2.2	徐变对轴心受压构件的影响	174
6.2.3	受压构件的计算长度	176
6.2.4	均匀配筋的偏心受压构件承载力计算	177
6.2.5	环形截面偏心受压构件承载力计算	179
6.2.6	圆形截面偏心受压构件承载力计算	181
6.2.7	双向偏心受压构件承载力计算	183
6.3	习题	187
6.3.1	选择题	187
6.3.2	判断题	189
6.3.3	思考题	190
6.3.4	计算题	190
6.4	习题参考答案与讲评	192
6.4.1	选择题	192
6.4.2	判断题	192
6.4.3	思考题	193
6.4.4	计算题	197
第7章	受拉构件	209
7.1	基本内容	209
7.1.1	轴心受拉构件	209
7.1.2	大小偏心受拉构件的破坏形态	209
7.1.3	偏心受拉构件承载力计算	209
7.1.4	偏心受拉构件斜截面受剪承载力	210
7.2	扩展内容	210
7.2.1	轴心受拉构件截面应力分析	210
7.2.2	轴心受拉构件最小配筋率	213
7.2.3	受拉钢化效应	214
7.3	习题	215
7.3.1	选择题	215
7.3.2	判断题	217
7.3.3	思考题	217
7.3.4	计算题	218
7.4	习题参考答案与讲评	218
7.4.1	选择题	218
7.4.2	判断题	219
7.4.3	思考题	219
7.4.4	计算题	221

第 8 章 受扭构件承载力计算	224
8.1 基本内容	224
8.1.1 概述	224
8.1.2 纯扭构件受扭承载力计算	224
8.1.3 弯剪扭构件的扭曲截面承载力	226
8.1.4 压弯剪扭构件和拉弯剪扭构件的扭曲截面承载力	228
8.1.5 受扭构件的构造要求	229
8.2 扩展内容	230
8.2.1 协调扭转的设计方法	230
8.2.2 基于变角度空间桁架模型的受扭承载力计算	230
8.2.3 压弯剪扭构件的设计思路	233
8.2.4 T 形截面弯剪扭构件的设计例题	234
8.3 习题	237
8.3.1 选择题	237
8.3.2 判断题	239
8.3.3 思考题	240
8.3.4 计算题	240
8.4 习题参考答案与讲评	241
8.4.1 选择题	241
8.4.2 判断题	242
8.4.3 思考题	243
8.4.4 计算题	244
第 9 章 正常使用极限状态验算	248
9.1 基本内容	248
9.1.1 裂缝宽度验算	248
9.1.2 受弯构件的变形验算	249
9.1.3 耐久性设计	249
9.2 扩展内容	250
9.2.1 常见混凝土裂缝的类型和成因	250
9.2.2 非荷载裂缝的防控措施和处理方法	253
9.2.3 混凝土裂缝的计算理论和模式	255
9.2.4 构件外表面的裂缝宽度计算	255
9.2.5 ϕ 的物理含义	256
9.2.6 受弯构件的长期刚度降低的原因	256
9.2.7 正截面裂缝控制等级	256
9.3 习题	257
9.3.1 选择题	257
9.3.2 判断题	258

9.3.3 思考题	258
9.3.4 计算题	259
9.4 习题参考答案与讲评	260
9.4.1 选择题	260
9.4.2 判断题	260
9.4.3 思考题	261
9.4.4 计算题	262
第10章 预应力混凝土构件的计算	268
10.1 基本内容	268
10.1.1 预应力混凝土的概念和特点	268
10.1.2 先张法和后张法的传力特点及优缺点比较	268
10.1.3 预应力混凝土构件需采用高强度材料的原因	269
10.1.4 预应力损失值的采用	269
10.1.5 预应力混凝土轴心受拉构件各阶段的应力分析	270
10.1.6 换算截面面积 A_0 与净截面面积 A_n 的应用	270
10.1.7 预应力混凝土轴心受拉构件的设计内容	271
10.1.8 预应力混凝土受弯构件各阶段的应力分析	271
10.1.9 预应力混凝土受弯构件的设计内容	271
10.2 扩展内容	271
10.2.1 部分预应力混凝土的概念	271
10.2.2 无粘结预应力混凝土	272
10.2.3 先张法预应力混凝土构件端部预应力传递长度	273
10.2.4 曲线或折线预应力筋由于锚具变形和预应力筋内缩引起的预应力损失 σ_{l1} ...	273
10.2.5 与时间相关的预应力损失计算	275
10.2.6 非预应力钢筋的作用及其应力取值	277
10.2.7 预应力混凝土受弯构件截面相对受压区高度 ξ_b	277
10.2.8 受压区的预应力钢筋 A_p' 的应力 σ_p' 的计算	278
10.2.9 任意位置处预应力钢筋及非预应力钢筋应力的计算	278
10.3 习题	279
10.3.1 选择题	279
10.3.2 判断题	280
10.3.3 思考题	281
10.3.4 计算题	281
10.4 习题参考答案与讲评	283
10.4.1 选择题	283
10.4.2 判断题	283
10.4.3 思考题	284
10.4.4 计算题	285
主要参考文献	289

第 1 章 绪 论

学习混凝土结构设计原理绪论这一章,主要了解混凝土结构的定义、混凝土结构的特点、混凝土结构的发展以及混凝土结构设计原理课程的主要特点和学习方法,为学习后续章节做准备。应主要理解以下几个问题。

1. 混凝土结构的分类

混凝土结构是以混凝土为主制作的结构。但是它的内涵已经超出了传统的素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构,人们把钢骨(型钢)混凝土结构、钢管混凝土结构和纤维混凝土结构等也称为混凝土结构。钢骨混凝土结构是指配置轧制型钢或焊接型钢和钢筋的结构,具有承载力大、延性好、刚度大等特点,主要应用于多、高层建筑结构的各种体系中。钢管混凝土结构是指钢管中充填混凝土形成的结构,具有承载力高、延性好、抗震性能优越等特点,主要用于以轴心受压和小偏心受压构件为主的高层建筑工程、地铁车站工程和大跨度桥梁工程中。纤维混凝土结构是指以纤维混凝土为主制作的结构,包括无筋纤维混凝土结构、钢纤维混凝土结构和预应力纤维混凝土结构,具有抗拉强度高、抗裂性能好、抗渗性能强、抗磨损和抗冲击等性能,主要应用于建筑楼面、高速公路路面、机场跑道、停车场、贮液池等结构构件中。目前应用最多的是钢筋混凝土结构。

一般混凝土结构教材中只讲授钢筋混凝土结构,钢骨(型钢)混凝土结构、钢管混凝土结构等作为组合结构课程内容讲授或者单独开设课程。但是这些课程的基本理论和基本计算方法仍然沿用混凝土结构的基本理论和计算方法。因此学好混凝土结构基本理论和计算方法对深入的学习这些课程是十分有益的。

2. 钢筋和混凝土共同工作的基础

钢筋和混凝土是两种物理力学性能截然不同的材料,能够有效地结合在一起共同工作、共同变形、有效地抵抗外荷载,其主要原因有:

(1) 钢筋和混凝土之间存在良好的粘结力,在外荷载作用下,两者之间能有效地进行力和变形的传递。

(2) 钢筋和混凝土两种材料的线膨胀系数接近。钢筋的线膨胀系数为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,混凝土的线膨胀系数为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,因此当温度变化时,钢筋和混凝土的粘结力不会因两者之间产生较大的相对变形而破坏。

此外,钢筋埋在混凝土中,边缘混凝土作为钢筋的保护层,使钢筋不易锈蚀,并能提高钢筋的耐火性能。

3. 钢筋混凝土结构的特点

钢筋混凝土结构的优点:①易于就地取材;②材料利用合理;③耐久性和耐火性好;④可模性和整体性好。

在了解钢筋混凝土结构优点的同时,应重点了解钢筋混凝土结构的缺点,其目的是更好地研究克服混凝土结构缺点的方法和措施,扩大混凝土结构的应用范围,推动混凝土结构的不断发展。钢筋混凝土结构的缺点如下:

(1) 自重大。普通混凝土($2400\text{kg}/\text{m}^3$)、钢筋混凝土($2500\text{kg}/\text{m}^3$)和钢结构相比自重大,对建造大跨、高层结构不利。因此需要研究和发展轻质高强混凝土和预应力混凝土来克服混凝土自重大的缺点。

(2) 抗裂性差。由于混凝土的抗拉强度低,极限拉应变小,钢筋混凝土受拉、受弯和大偏心受压构件在正常使用阶段往往是带裂缝工作的,影响混凝土结构的耐久性,限制了混凝土在防渗、防漏要求较高的结构中的应用。采用预应力可有效地解决混凝土的开裂问题;在混凝土中掺入适量纤维,也可提高混凝土的抗拉强度,增强混凝土的抗裂能力。

(3) 施工复杂。混凝土的施工具有工序多、工期长,受季节和天气影响大等缺点。利用预制混凝土构件,采用装配式或装配整体式混凝土结构,施工采用大模板、滑模、飞模、爬模等先进模板技术,混凝土采用泵送混凝土、自密实混凝土等高性能混凝土,可大大提高混凝土的施工效率。

(4) 补强修复困难。混凝土一旦被破坏,其修复、加固、补强较困难。采用植筋、粘贴钢板、粘贴碳纤维布、外包钢等加固技术,可以较好地对发生损坏的混凝土结构或构件进行修复和加固。

4. 混凝土结构的发展简况

混凝土结构发展到今天已有 160 多年的历史。一般认为,混凝土结构的发展经历了三个阶段,学习时应重点了解各阶段的发展背景,主要学术成就和代表工程等。

第一阶段是从钢筋混凝土发明至 20 世纪初。

对混凝土发明的最早时间,目前没有权威结论。

1978 年发掘的甘肃秦安县大地湾新石器时代仰韶文化遗址中,发现了目前已知中国最古老的混凝土,距今已有 5000 年的历史。这种混凝土和现代混凝土具有相同的基本属性,它是以人工烧制的黏土陶粒为骨料,以黄土层中经溶淀积形成的钙质结核(俗称姜石)煅烧的熟料水泥为胶结材料拌和浇注而成,其强度可达到 11MPa 。

古代罗马人就知道用水硬石灰或火山灰水泥作为胶结料制备混凝土。罗马混凝土的应用开始于公元前 273 年,用得最多的地方是堤坝、水库、港口和水渠等。古罗马著名建筑万神殿的 6m 厚的墙体即为混凝土的。分析表明,罗马时代所用混凝土的抗压强度在 5MPa 和 40MPa 之间。

混凝土的应用是在波特兰水泥发明以后,并取得了突飞猛进的发展。有明确记录的混凝土结构发展中的主要事件有:

1824 年 10 月 21 日,英国利兹城(Leeds City)的泥水匠阿斯谱丁(J. Aspdin)获得英

国第 5022 号的“波特兰水泥”专利证书,从而一举成为流芳百世的波特兰水泥发明人。这一发明推动了混凝土结构的新发展。

1850 年,法国人郎波(L. Lanmbot)用水泥砂浆涂抹在钢丝网两面做成的小船,出现了最早期的钢筋混凝土结构。

1854 年英国人威尔金森(W. B. Wilkinson)获得真正的一种钢筋混凝土楼板的专利权。

1861 年法国花匠约瑟夫·莫尼埃(Joseph Monier)(图 1.1)用水泥砂浆制造花盆,在其中增加钢丝网以提高花盆的强度。一般认为他是钢筋混凝土结构最早的发明者和使用者,他于 1867 年申请了专利,并在当年巴黎世博会上展出了钢筋混凝土制作的花盆(图 1.2),而后又获得制造其他钢筋混凝土构件(梁、板及管等)的专利。1875 年,在一些设计师的帮助下,莫尼埃主持建造了巴黎第一座钢筋混凝土大桥,也是世界上第一座钢筋混凝土大桥,这座桥长 16m、宽 4m,是座人行的拱式桥(图 1.3)。当时,人们还不明白钢筋在混凝土中的作用和钢筋混凝土受力后的物理力学性能,因此,桥梁的钢筋配置全是按照体型构造进行,在拱式构件的截面中和轴上也配置了钢筋。



图 1.1 法国花匠约瑟夫·莫尼埃(图片来自网络)

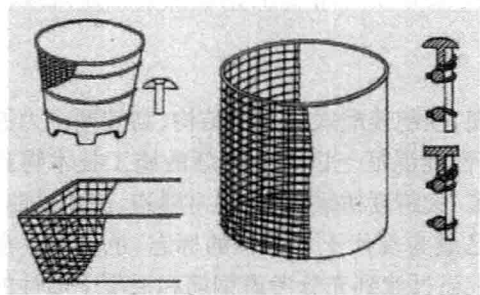


图 1.2 钢筋混凝土花盆的设计图纸
(图片来自网络)



图 1.3 约瑟夫·莫尼埃主持建造的首座
钢筋混凝土桥(图片来自网络)

1861 年柯勒特(F. Coignet)发表了钢筋混凝土原理。

1872 年美国沃德(W. E. Ward)在纽约建造了第一幢钢筋混凝土构件的房屋,从此钢筋混凝土小构件进入工程实用阶段。

1877 年哈特(T. Haytt)发表了钢筋混凝土梁的试验结果。

1906 年特奈(C. A. P Turner)发明了无梁楼盖。

1913 年美国首先发明了用回转窑烧制页岩陶粒轻集料,为克服混凝土自重大的缺点迈出了可喜的一步。

这一阶段所采用的钢筋和混凝土的强度都比较低,混凝土结构主要用来建造中小型

楼板、梁、拱和基础等构件,计算理论套用弹性理论,设计方法采用容许应力法。

第二阶段是从 20 世纪初到第二次世界大战前后。

此阶段开始进行混凝土结构的试验研究,在计算理论上已开始按破损阶段计算结构的破坏承载力,对某些结构也开始考虑材料的塑性发展。第二次世界大战后,由于钢材的短缺,混凝土结构建筑未得到大规模的应用。

1921 年丹麦工程师殷捷尔斯列夫(A. Ingersler)根据双向板“屈服线”上极限弯矩为常数的假定,最早提出了塑性理论解。1931 年后丹麦工程师约翰逊(K. W. Johanson)进一步发展了塑性理论。

1922 年英国人狄森(Dyson)对受弯构件提出了按破坏阶段计算的方法和计算公式。

1925 年德国建造了第一个大型折板煤仓,一年后又建造了圆筒形长薄壳,此后双曲线扁壳、双曲抛物面扭壳等相继问世。

1928 年法国工程师弗列西涅(E. Freyssinet)利用高强钢丝及高标号混凝土来制造预应力混凝土构件,从而克服了钢筋混凝土结构在所有荷载作用下出现裂缝的缺点。其实早在 1888 年德国工程师道伦(W. Doehring)就提出了预应力的概念,但因当时钢材强度不高,未获得实际结果。

1928 年德国工程师季辛格尔(F. Dischinger)获得制造有拉杆预应力钢筋混凝土拱的专利;1934 年又获得预应力梁的专利。

1938 年苏联制定的按破坏阶段计算的规范开始在工业和民用建筑设计中采用,这标志着混凝土结构的发展上了一个新台阶。

1941 年美国混凝土学会(American Concrete Institute, ACI)的钢筋混凝土建筑规范中对板考虑了塑性变形引起的内力重分布。

第三阶段是从第二次世界大战以后至今。

这一阶段随着高强混凝土和高强钢筋的出现,预制装配式混凝土结构、高效预应力混凝土结构、钢—混凝土组合结构、泵送混凝土、高性能混凝土以及各种新的施工技术得到了发展和应用。世界上建造了一大批超高层建筑、大跨度桥梁、特长跨海隧道、高速铁路、城市地铁、高耸结构等大型结构工程,这些工程已成为现代土木工程的标志,也说明了混凝土结构正逐步走向完善和成熟。在计算理论上已过渡到充分考虑钢筋和混凝土塑性的极限状态设计理论,在设计方法上已过渡到以概率理论为基础的多系数表达的设计公式。现代计算机技术的发展、计算机辅助设计的程序化,大大提高了设计质量和设计速度;混凝土强度理论和本构关系的深入研究,使人们可以利用非线性分析方法对各种复杂混凝土结构进行全过程受力模拟;而新型钢筋和高性能混凝土材料以及复合(组合)结构的出现,又不断提出新的课题,并不断促进混凝土结构的发展。

5. 我国《混凝土结构设计规范》的演变

钢筋混凝土技术应用到中国,最早在 20 世纪初的广州和上海。

1905 年建造的清代岭南大学马丁堂(图 1.4),位于广州新港路中山大学校园内,该堂是目前国内最早的钢筋混凝土建筑。

19 世纪末,上海的建筑包括租界内的楼房绝大多数都是砖木或砖混结构。直到 20 世

纪初,外滩的亚细亚大楼、上海总会、东风饭店、江海关大楼等建筑才开始整体或部分使用了钢筋混凝土结构。亚细亚大楼建成于1916年,占地面积 $1\,739\text{m}^2$,建筑面积 $11\,984\text{m}^2$,为钢筋混凝土框架结构(图1.5)。江海关大楼,主楼共有9层,加上塔楼总高度约 79.25m ,是当时上海外滩最高的建筑物,于1925年第三次重建时采取了钢结构与钢筋混凝土结构混合结构(图1.6)。



图 1.4 岭南大学马丁堂(图片来自网络)



图 1.5 亚细亚大楼(图片来自网络)



图 1.6 江海关大楼

中华人民共和国成立前我国混凝土结构几乎是空白。中华人民共和国成立后经过几代人的不懈努力,我国混凝土结构的发展取得了举世瞩目的成就。作为反映我国混凝土结构学科水平的《混凝土结构设计规范》也随着工程建设经验的积累、科研工作的成果和世界范围技术的进步而不断改进。中华人民共和国成立后,我国《混凝土结构设计规范》的演变过程如下:

1952年东北地区首先颁布了《建筑物结构设计暂行标准》。

1955年制定的《钢筋混凝土结构设计暂行规范》(结规6—55),采用了苏联规范中的按破坏阶段设计法。

1966年颁布了我国第一本《钢筋混凝土结构设计规范》(BJG21—66),采用了当时较为先进的以多系数表达的极限状态设计法,考虑了构件工作条件系数、材料强度系数和超载系数。这种设计方法简称为三系数设计法。66规范也是参照苏联《混凝土及钢筋混凝土结构设计标准及技术规范》编写而成,这种设计方法的材料用量较少,但安全度较低。

1974年颁布实施的《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ10—74),是采用单一安全系数表达的极限状态设计法的。BJG21—66中的三系数在TJ10—74中为单系数,即安全系数,也称为单一安全系数法。BJG21—66和TJ10—74的颁布标志着我国钢筋混凝土结构设计

规范步入了从无到有、由低向高发展的阶段。

1984 年颁布的《建筑结构设计统一标准》(GBJ68—84)规定我国各种建筑结构设计规范均统一采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,其特点是以结构功能的失效概率作为结构可靠度的量度,由定值的极限状态概念转变到非定值的极限状态概念上,从而把我国结构可靠度设计方法提高到当时的国际水平,对提高结构设计的合理性具有深刻意义。

1989 年颁布的《混凝土结构设计规范》(GBJ10—89)参考欧洲和美国相应规范,采用《建筑结构设计统一标准》(GBJ68—84)规定的以概率理论为基础的极限状态设计方法,以可靠指标度量结构构件的可靠度,采用分项系数的设计表达式进行设计。GBJ10—89 对结构的安全度有较大幅度的提高,材料用量也相应地增加,使我国《混凝土结构设计规范》提高到了一个新的水平。

2002 年颁布的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)仍然采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,以可靠指标度量结构构件的可靠度,采用分项系数的设计表达式进行设计,但内容上更加完善,安全度进一步提高,明确了工程设计人员必须遵守的强制性条文。

2010 年颁布的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)(以下简称《规范》)依然采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,以可靠指标度量结构构件的可靠度,采用分项系数的设计表达式进行设计。《规范》根据近 10 年来在工程建设中的新经验和混凝土结构学科新的科研成果,并总结了《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)应用情况和存在的问题,贯彻落实“节能、降耗、减排、环保”可持续发展的基本国策,对部分内容进行了修订。《规范》从原来以构件设计为主适当扩展到整体结构的设计,增加了结构设计方案、结构抗倒塌设计和既有结构设计的内容,完善了耐久性设计方法。在材料方面将混凝土强度等级提高为 C20~C80,混凝土结构中的非预应力钢筋以 400MPa 级和 500MPa 级作为主导钢筋,预应力钢筋以钢绞线和高强钢丝作为主导预应力筋。此外,还对结构和构件极限状态设计方法、各类构件的构造措施等进行了修订、补充和完善。

《混凝土结构设计规范》只是一定时期内和一定阶段上对混凝土的科研成果、技术发展和工程经验的总结。随着工程建设领域新材料和新技术的不断涌现,混凝土结构学科的研究成果的不断取得,随着人民对建筑结构安全性、适用性、耐久性以及抵御各种灾害的要求也进一步提高,《混凝土结构设计规范》也将不断发展。因此,《混凝土结构设计规范》也将不断修订。

6. 混凝土结构的发展展望

混凝土是现代工程结构的主要材料,2011 年中国商品混凝土总产量达到了 14.2 亿 m^3 ,约占世界混凝土用量的 50% 以上,钢筋用量约 3000 万 t,规模之大,耗资之巨,居世界前列。可以预见,混凝土仍将是中国在今后相当长时期内的一种重要的土木工程结构材料,并将在材料、结构、计算理论和设计方法、施工技术、试验技术、耐久性和可持续发展等方面得到进一步发展。

在材料方面,混凝土正朝着高性能、轻质、耐久、易施工、绿色环保的方向发展,钢材主要向高强和耐腐蚀方向发展。

在结构方面,混凝土结构主要向预应力混凝土结构、钢-混凝土组合结构和新型混合结构体系方面发展。

在计算理论方面,混凝土结构主要向复杂受力及重复或反复荷载作用下的强度和变形计算理论、钢筋混凝土结构的有限元分析、混凝土损伤与断裂研究,以及混凝土结构可靠度和耐久性方面发展。

7. 混凝土结构的工程应用

混凝土结构在土木工程中的应用范围极广,各种工程结构都可采用混凝土建造,主要应用的领域有工业和民用建筑工程、道路与桥梁工程、水利水电工程、隧道与地下工程及其他工程。

8. 本课程的特点

1) 组成材料的特殊性

钢筋是较理想的弹塑性材料,而混凝土是非均匀、非连续、非弹性的材料,因此这两种材料在数量和强度上存在一个合理搭配的问题。钢筋与混凝土在数量和强度的不同搭配,不仅影响构件截面的承载能力,还影响到构件的受力性能和破坏形态,这也直接导致构件截面承载力计算方法的不同,这是单一材料构件所没有的特点。

2) 计算理论的经验性

由于材料的复杂性,在研究钢筋混凝土构件破坏机理、受力性能、建立其计算理论和计算方法时,都离不开大量的试验研究和对试验结果的分析。结构构件计算的很多公式都是在理论分析的基础上,结合试验研究成果和工程实践,提出的半理论半经验公式。这些公式的推导并不像数学公式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,满足工程设计要求。

3) 设计问题的综合性

混凝土结构的设计是一个综合问题,包括整体方案确定、材料和截面形式选择、配筋计算和构造措施等。结构设计要求考虑结构上的安全性、技术上的先进性、经济上的合理性、使用上的舒适性以及好的耐久性等。因此,同一构件即使是在相同的荷载作用下,也可以有不同的截面形式、尺寸、配筋方法及配筋数量等,设计时需要进行综合分析,结合工程具体情况确定最佳方案,以获得良好的技术经济效益。

9. 学习本课程应注意的问题

学习本课程应注意的问题如下:

- (1) 与材料力学的联系和区别。
- (2) 加强试验和实践性教学环节的学习。
- (3) 重视基本概念的学习,熟练掌握设计计算的基本公式,切忌死记硬背。
- (4) 多做习题。
- (5) 重视构造措施。
- (6) 学习运用设计规范。