



“十二五”江苏省高等学校重点教材 (2014-1-166)

教育部“十三五”规划教材

矿业大学卓越工程师教材

混凝土结构设计原理

第三版

主 编 贾福萍 李富民

副主编 耿 欧 苗生龙 郭育霞 方忠年

Hunningtu
Jiegou SHEJI YUANLI

中国矿业大学出版社



“十二五”江苏省高等学校重点教材 (2014-1-166)
高等教育“十三五”规划教材
中国矿业大学卓越工程师教材

混凝土结构设计原理

第三版

主 编 贾福萍 李富民

副主编 耿 欧 苗生龙 郭育霞 方忠年

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

《混凝土结构设计原理》主要阐述混凝土结构设计的基本理论和方法,为专业基础教材。根据我国《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)(2015 年版)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)、《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50086—2001)、混凝土结构耐久性设计规范(GB/T 50476—2008)等国家标准和作者多年教学经验编写而成。

本书对混凝土结构构件的性能及分析有充分的论述,概念清晰;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工程设计计算方法。每章有本章提要、思考题和练习题等内容;同时书中附有二维码,涉及专业术语、专业内容细则说明、专业知识拓展、思考题参考答案等文本、视频等数字教学资源。

全书共 11 章,分别为:绪论,混凝土结构用材料基本性能,混凝土结构基本设计原则,钢筋混凝土受弯构件正截面、钢筋混凝土受弯构件斜截面、钢筋混凝土受扭构件、钢筋混凝土轴心受力构件正截面、钢筋混凝土偏心受力构件承载力性能分析与设计,钢筋混凝土构件的使用性能,预应力混凝土构件性能分析与设计,混凝土耐久性能。

本书适合高等学校土木工程、工程管理等专业师生使用,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构设计原理 / 贾福萍,李富民主编. —3 版. —徐州:

中国矿业大学出版社, 2018.9

ISBN 978 - 7 - 5646 - 4152 - 8

I. ①混… II. ①贾… ②李… III. ① 混凝土结构—结构设计—教材 IV. ①TU370.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第224776号

书 名 混凝土结构设计原理

主 编 贾福萍 李富民

责任编辑 杨 洋

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 江苏凤凰数码印务有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 22.5 字数 560 千字

版次印次 2018 年 9 月第 3 版 2018 年 9 月第 1 次印刷

定 价 38.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

第三版前言

《混凝土结构设计原理》教材在《结构设计原理》(2009年版)教材基础上,先后于2013年首次出版,2014年对其局部修改后作为高等教育“十二五”规划教材第二版出版。自出版以来已连续五年在中国矿业大学土木工程专业本科生课堂教学中使用,取得良好的效果。该书2016年获中国煤炭行业教学优秀教材二等奖,同年荣获“十二五”江苏省高等学校重点教材、高等教育“十三五”规划教材,2018年荣获中国矿业大学卓越采矿工程师教材立项资助出版第三版。

混凝土结构领域新成果不断在工程中得以应用,基于信息技术和工程教育教学深度融合的教学理念和教学方法不断得到广大师生的认可。为适应学科发展和满足课程教育教学需要,对《混凝土结构设计原理》进行了认真的修改和完善。

总体上,本次修改除对第二版纸质教材内容进行修改和完善外,基于贾福萍负责建设完成的《混凝土结构设计原理》MOOCs慕课相关教学资源,采用二维码扫码技术,实现专业术语、专业内容细则说明、专业知识拓展、思考题参考答案等文本、视频等数字教学资源,实现教材的数字化、实时性和互动性。在细节上,尽量反映混凝土结构的最新研究成果,与最新国家标准协调一致。主要修改内容如下:

- (1) 第2章内容全部重新进行编撰;
- (2) 第4章修改了有关构造方面的表述;
- (3) 对第7章前三节的内容重新进行了组织;
- (4) 遵循讲清基本概念和理解计算方法的原则,对第8章的内容重新进行了梳理与组织,将原偏心距增大系数改为考虑 $P-\Delta$ 效应的弯矩增大系数;
- (5) 增加了混凝土结构耐久性能内容;
- (6) 重新组织课后习题,并关联慕课平台教学资源;
- (7) 每章均附有二维码,实现教材的数字化、实时性和互动性;
- (8) 为适应双语教学的需要,书中给出了部分专业术语的英文表达;
- (9) 基于国家规范的修订,重新梳理修订教材相关章节内容。

全书共11章。参加编写工作的人员包括贾福萍、李富民、耿欧、郭育霞、苗生龙、方忠年、胡应诚和徐维林。

为保证教材的系统性和章节之间的连贯性,所有修改工作由贾福萍负责完

成。耿欧完成了第 11 章的写作,苗生龙协助完成了第 7 章的修改,李富民协助完成了第 9 章、第 10 章的修改,方忠年、胡应诚和徐维林协助完成第 2 章、第 4 章和第 8 章的部分写作与修改。中国矿业大学力学与土木工程学院所有《结构设计原理(1)》课程的授课教师和部分本科生根据教学过程中的实际情况,提出了修改意见,对教材的再版工作起到积极作用。在此,向他们表示衷心的感谢!感谢本教材第一版的所有作者!感谢中国矿业大学出版社的大力支持和帮助!

限于编者的学识,书中定有不当或错误之处,请扫描微信公众号反映,以便日后更正。

作 者
2018 年 6 月

第二版前言

国家标准《混凝土结构设计规范》于 2010 年修订,为适应国家标准,本书在《结构设计原理》教材基础上,对混凝土结构设计原理部分进行修订,形成此书主干内容。

本书以阐述混凝土结构的基本设计原理为重点,结合新版《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)的修订内容和《混凝土结构耐久性设计规范》(GB/T 50476—2008),着重阐述了混凝土材料物理力学性能、钢筋混凝土受弯构件、受扭构件、轴心受力构件、偏心受力构件和预应力构件的基本设计原理。在编写第 4 章、第 5 章例题时,尽可能还原工程实际背景,在此方面做了一些尝试。

参加本书编写的人员有:中国矿业大学贾福萍(第 1、3、4、6 章,附录)、李富民(第 8、9、10 章)、尹世平(第 2 章)、苗生龙(第 7 章),太原理工大学郭育霞(第 5 章)。全书由贾福萍统稿。

本书编写过程中得到了中国矿业大学出版社的大力支持和帮助,对此表示衷心感谢。

作 者

2012 年 10 月

目 录

1 绪论	1
1.1 工程结构的组成和分类	1
1.1.1 工程结构的组成	1
1.1.2 工程结构的分类	1
1.2 混凝土结构	2
1.2.1 混凝土结构的类型	2
1.2.2 钢筋混凝土结构的特点	3
1.2.3 混凝土结构的发展历程与应用	4
1.3 本课程的特点和学习方法	5
2 混凝土结构用材料基本性能	7
2.1 钢筋	7
2.1.1 钢筋的种类	7
2.1.2 单调荷载下钢筋的强度和变形	10
2.1.3 钢筋应力—应变关系的理论模型	15
2.1.4 钢筋的徐变和松弛	16
2.1.5 重复和反复荷载下钢筋的强度和变形	17
2.1.6 钢筋的选用	18
2.2 混凝土	19
2.2.1 混凝土的种类	19
2.2.2 混凝土的强度	19
2.2.3 一次短期加载作用下混凝土的变形	26
2.2.4 重复荷载作用下混凝土的变形	32
2.2.5 长期荷载作用下的混凝土的变形	34
2.2.6 混凝土收缩、膨胀与温度变形	35
2.2.7 混凝土的选用	36
2.3 钢筋与混凝土的黏结	37
2.3.1 黏结应力的概念	37
2.3.2 黏结破坏机理	38
2.3.3 影响黏结强度的因素	41
2.3.4 保证可靠黏结的构造措施	42

思考题	42
3 混凝土结构基本设计原则	44
3.1 概述	44
3.2 结构的功能要求	45
3.2.1 结构上的作用	45
3.2.2 结构的功能要求	46
3.2.3 结构的可靠性与安全等级	46
3.3 结构极限状态	47
3.3.1 结构上的作用和结构抗力	47
3.3.2 极限状态方程	47
3.3.3 承载能力极限状态计算	48
3.3.4 正常使用极限状态计算	50
3.4 耐久性设计的相关规范	52
3.4.1 环境类别	52
3.4.2 混凝土材料的耐久性基本要求	52
3.4.3 混凝土保护层厚度	53
3.4.4 混凝土耐久性技术措施	53
3.4.5 混凝土检测与维护	53
思考题	53
4 钢筋混凝土受弯构件正截面承载力性能分析与设计	55
4.1 概述	55
4.2 试验研究	56
4.2.1 配筋率对构件破坏特征的影响	56
4.2.2 适筋受弯构件截面受力过程	57
4.3 单筋矩形截面受弯构件正截面受力分析	59
4.4 单筋矩形截面受弯构件承载力分析	61
4.4.1 计算简图	61
4.4.2 计算公式	62
4.4.3 适用条件	63
4.4.4 公式应用	66
4.5 双筋矩形截面受弯构件承载力分析	72
4.5.1 计算公式	75
4.5.2 适用条件	76
4.5.3 公式应用	76
4.6 T形截面受弯构件承载力分析	81
4.6.1 计算公式	83
4.6.2 公式应用	86

4.7	构造要求	89
4.7.1	受弯构件截面的形式与尺寸	89
4.7.2	板、梁构造要求	90
4.7.3	混凝土最小保护层厚度	93
4.7.4	纵向受力钢筋的最小配筋率	94
	思考题	94
	练习题	95
5	钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力性能分析与设计	98
5.1	概述	98
5.2	试验研究	98
5.2.1	无腹筋梁的试验研究	99
5.2.2	有腹筋梁的试验研究	104
5.3	承载力分析	107
5.3.1	影响斜截面抗剪承载力的主要因素	107
5.3.2	斜截面抗剪承载力计算公式	108
5.3.3	斜截面抗剪承载力设计	111
5.4	构造要求	111
5.4.1	箍筋	111
5.4.2	纵筋的锚固	113
5.4.3	纵筋的连接	117
5.4.4	纵筋的弯起	118
5.4.5	纵筋的截断	122
5.5	实例分析	123
	思考题	131
	练习题	132
6	钢筋混凝土受扭构件承载力性能分析与设计	135
6.1	概述	135
6.2	受扭构件试验研究	135
6.3	开裂扭矩的计算	138
6.3.1	矩形截面构件的开裂扭矩	138
6.3.2	T、I形截面构件的开裂扭矩	140
6.4	纯受扭构件的受扭承载力分析	141
6.4.1	矩形截面纯扭构件承载力	141
6.4.2	T形和I形截面钢筋混凝土纯扭构件的受扭承载力	142
6.5	弯剪扭构件的承载力分析	142
6.5.1	剪扭构件承载力	142
6.5.2	弯、剪、扭构件承载力	143

6.6 受扭构件计算公式的适用条件及构造要求	144
6.6.1 截面限制条件	144
6.6.2 构造钢筋	144
6.6.3 钢筋的构造要求	145
思考题	150
练习题	150
7 钢筋混凝土轴心受力构件正截面承载力性能分析与设计	152
7.1 概述	152
7.2 试验研究	153
7.2.1 配有普通箍筋的轴心受压构件	153
7.2.2 配有螺旋箍筋的轴心受压构件	156
7.2.3 轴心受拉构件	157
7.3 轴心受压构件承载力分析	157
7.3.1 配有普通箍筋的柱正截面承载力	157
7.3.2 配有螺旋箍筋的柱正截面承载力	158
7.4 轴心受拉构件承载力分析	159
7.5 构造要求	159
7.6 实例分析	160
练习题	165
8 钢筋混凝土偏心受力构件承载力性能分析与设计	167
8.1 概述	167
8.2 偏心受压构件试验研究	167
8.2.1 正截面受力过程及破坏形态	167
8.2.2 纵向弯曲影响与控制截面弯矩取值	170
8.3 不对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面承载力分析	173
8.3.1 基本公式	173
8.3.2 不对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面承载力	176
8.4 对称配筋矩形截面偏心受压构件正截面承载力分析	182
8.4.1 受压类别的判断	182
8.4.2 大偏压构件的设计与校核	182
8.4.3 小偏压构件的设计与校核	182
8.5 I形截面偏心受压构件正截面承载力分析	186
8.5.1 不对称配筋 I形截面柱	186
8.5.2 对称配筋 I形截面柱	188
8.6 正截面承载力的 N_u-M_u 相关曲线	193
8.7 双向偏心受压构件正截面承载力分析	194
8.8 偏心受压构件斜截面受剪承载力分析	198

8.9 偏心受拉构件正截面承载力分析	199
8.9.1 大偏心受拉构件正截面承载力	199
8.9.2 小偏心受拉构件正截面承载力	201
8.10 偏心受拉构件斜截面承载力分析	203
8.11 钢筋混凝土双筋构件正截面适筋设计中 x 的取值讨论	203
8.11.1 S 与 x 的关系	204
8.11.2 按界限截面设计的可靠度问题	205
8.12 构造要求	205
思考题	206
练习题	207
9 钢筋混凝土构件的使用性能	210
9.1 概述	210
9.2 裂缝控制验算	210
9.2.1 裂缝产生的原因及危害	210
9.2.2 裂缝控制的目标及要求	212
9.2.3 裂缝宽度计算	213
9.3 受弯构件的挠度验算	221
9.3.1 短期刚度计算	223
9.3.2 长期刚度计算	224
9.3.3 最小刚度原则与挠度验算	225
思考题	228
练习题	228
10 预应力混凝土构件性能分析与设计	231
10.1 预应力混凝土的基本概念	231
10.1.1 预应力混凝土的基本思想	232
10.1.2 预应力混凝土的基本施工工艺	234
10.1.3 预应力混凝土材料	236
10.1.4 预应力锚固体系	241
10.2 预应力混凝土构件设计基础	244
10.2.1 预应力张拉控制应力	244
10.2.2 预应力损失	245
10.2.3 先张法构件中预应力钢筋的预应力传递长度	255
10.2.4 后张法构件端部锚固区的局部受压验算	256
10.2.5 预应力混凝土构件的构造要求	259
10.3 预应力混凝土轴心受拉构件设计	264
10.3.1 轴心受拉构件的应力分析	264
10.3.2 轴心受拉构件设计	271

10.3.3 轴心受拉构件设计步骤及示例	273
10.4 预应力混凝土受弯构件设计	277
10.4.1 受弯构件的应力分析	278
10.4.2 受弯构件正截面抗弯承载力计算	284
10.4.3 受弯构件斜截面抗剪及抗弯承载力计算	288
10.4.4 受弯构件使用阶段裂缝控制及挠度验算	291
10.4.5 受弯构件施工阶段验算	296
10.4.6 受弯构件设计步骤及示例	298
思考题	308
第 11 章 混凝土耐久性	309
11.1 混凝土耐久性概念及其劣化的主要原因	309
11.1.1 混凝土结构耐久性定义	309
11.1.2 混凝土结构耐久性问题严峻性	309
11.1.3 混凝土结构耐久性劣化的主要原因	310
11.2 混凝土中钢筋的锈蚀	318
11.2.1 钢筋锈蚀原理	318
11.2.2 钢筋的锈蚀发展	321
11.3 混凝土结构耐久性的工程设计	322
11.3.1 混凝土结构耐久性设计原则	322
11.3.2 现行规范关于混凝土结构耐久性设计的基本规定	324
11.3.3 基于可靠性的混凝土结构耐久性设计	333
练习题	335
附表	337
参考文献	348

1 绪 论

本章提要:本章主要介绍一般混凝土结构的组成和分类。通过本章内容的学习,应掌握混凝土结构的一般概念和特点,了解混凝土结构在国内外的应用和发展概况,掌握本课程的特点和学习方法。



慕课平台



本章介绍

1.1 工程结构的组成和分类

1.1.1 工程结构的组成

工程结构的基本构件有板、梁、柱、墙、杆、拱、索和基础等。板为房屋、桥梁等建筑物提供直接承受活荷载和永久荷载的平面,并将这些荷载传递到梁或墙等支承构件上,其主要内力是弯矩和剪力,是受弯构件;梁是板的支承构件,承受板传来的荷载并将其传递到柱、墙或主梁上,它的主要内力是弯矩和剪力,有时也承受扭矩,属受弯构件;柱和墙的作用是支撑楼面体系(梁、板),其主要内力是轴向压力、弯矩和剪力等,是受压构件;杆的用途很多,如组成屋架或其他空间构件的弦杆、结构的支撑杆等,其内力主要是轴向拉力或压力,是轴向受力构件;拱是工程结构特别是地下结构中的一种主要受力构件,是受压构件,可以通过调整拱的形体来改变构件的内力;索是悬挂构件或结构体系的主要传力单元,一端固定在被悬挂的构件上,另一端固定于其他结构体系上,主要承受拉力,是受拉构件;基础是将柱及墙等传来的上部结构荷载传递至地基的下部结构。



微信公众号



课程介绍

1.1.2 工程结构的分类

结构有多种分类方法,一般可以按照结构所用的材料或结构受力体系、使用功能、外形特点以及施工方法等进行分类。各种结构有其一定的适用范围,应根据结构功能、材料性能、不同结构型式的特点和使用要求以及施工和环境条件等合理选用。

按照所采用的材料分类,工程结构的类型主要有混凝土结构、钢结构、砌体结构和木结构等。混凝土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、纤维筋混凝土结构和其他各种形式的加筋混凝土结构。砌体结构包括砖石砌体结构、砌块砌体结构。这些结构材料可以在同一结构体系中混合使用,形成混合结构,如屋盖和楼盖采用混凝土结构,墙体采用砌体,基础采用砖石砌体或钢筋混凝土,就形成了砖混结构。这些结构材料也可以在同一构件中混合

工程结构
类别

使用,形成组合构件,如屋架上弦采用钢筋混凝土,下弦采用钢拉杆,就形成了钢—混凝土组合柱。

按照结构的受力体系分类,工程结构的类型主要有框架结构、剪力墙结构、筒体结构、塔式结构、桅式结构、悬索结构、悬吊结构、壳体结构、网架结构、板柱结构、墙板结构、折板结构、充气结构、膜结构等。框架结构的竖向受力体系主要由梁和柱组成;剪力墙结构的竖向受力体系主要由钢筋混凝土墙组成;筒体结构是在高层建筑中利用电梯井、楼梯间或管道井等四周封闭的墙形成内筒,也可以利用外墙或密排的柱作为外筒,或两者共同形成筒中筒结构,框架、剪力墙和筒体也可以组合形成框架剪力墙结构、框架筒体结构等结构体系;塔式结构是下端固定、上端自由的高耸构筑物;桅式结构是由一根下端为铰接或刚接的竖立细长桅杆和若干层纤绳所组成的构筑物;悬索结构的承重部分由柔性拉索及其边缘构件组成,索可以采用钢丝束、钢丝绳、钢绞线、圆钢、纤维复合材料以及其他受拉性能良好线材;楼面荷载通过吊索或吊杆传递到固定在筒体或柱子上的水平悬吊梁或桁架上,并通过筒体或柱子传递到基础的结构体系称为悬吊结构;壳体结构是由曲面面板与边缘构件(梁、拱或桁架等)组成的空间结构;网架结构是由多根杆件按照一定的网格形式,通过节点连接而形成的空间结构;仅由楼板和柱组成承重体系的结构称为板柱结构;仅由楼板和墙组成承重体系的结构则称为墙板结构;由多块条形平板组合而成的空间结构统称为折板结构;充气结构是用薄膜材料制成的构件充入气体后而形成的结构;用柔性拉索和薄膜材料及边缘构件组成的结构称为膜结构。

按照建筑物、构筑物或结构的使用功能分类,工程结构可以分为:建筑结构,如住宅、公共建筑、工业建筑等;特种结构,如水池、水塔、筒仓、储藏罐、挡土墙等;桥梁结构,如公路铁路桥、立交桥、人行天桥等;地下结构,如隧道、涵洞、人防工事、地下建筑等。

按照建筑物的外形特点不同,工程结构可以分为单层结构、多层结构、高层结构、大跨结构和高耸结构(如电视塔等)。

按照结构的施工方法不同,工程结构可以分成现浇结构、预制装配结构和预制与现浇相结合的装配整体式结构。另外,按照结构使用前是否预先施加应力,还可分为预应力结构和非预应力结构等。

1.2 混凝土结构

1.2.1 混凝土结构的类型

混凝土结构是以混凝土为主要材料的结构,包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、钢管混凝土结构、型钢混凝土结构等。

素混凝土是指不配任何钢材的混凝土结构,一般常用于路面和非承重结构;钢筋混凝土结构由钢筋和混凝土组成,按照结构构件的型式和受力特点,主要在受拉部位和受压部位配置一定型式和数量的钢筋;预应力混凝土是在结构或构件中配置预应力钢筋并施加预应力的混凝土结构;钢管混凝土是指在钢管内浇

筑混凝土而形成的结构;型钢混凝土又称为钢骨混凝土,把型钢或用钢板焊接成钢骨架作为配筋的混凝土结构。

1.2.2 钢筋混凝土结构的特点

钢筋混凝土结构由一系列受力类型不同的构件组成。钢筋混凝土构件有受弯构件、受拉构件、受扭构件、受压构件和上述复合受力状态下的构件。

钢筋与混凝土材料有不同的物理性能和力学性能。钢筋抗拉性能和抗压性能均好,混凝土的抗压性能强但抗拉性能较弱。将这两种性能不同的材料结合在一起共同工作,使其发挥各自抗拉强度、抗压强度的特长,将会使构件具有较高的承载力和较好的经济效益。两种不同性能的材料能够结合在一起共同工作的基础为以下两点:

① 钢筋和混凝土两种材料的线膨胀系数相近。钢材为 1.2×10^{-5} ,混凝土为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}$ 。当温度变化时,两种材料不会因产生较大的相对变形而使两种材料之间的黏结应力受到破坏。

② 钢筋混凝土结构中钢筋和混凝土之间存在黏结力,由于黏结力的存在使两者结为整体,在荷载的作用下能共同工作、协调变形。

钢筋混凝土结构除了比素混凝土结构具有更高的承载力和更好的受力性能以外,与其他结构相比具有如下较明显的优点:

① 合理用材。钢筋混凝土结构合理利用钢筋和混凝土两种不同材料的受力性能,使混凝土和钢筋的强度得到了充分发挥,特别是现代预应力钢筋混凝土的应用,在更大的范围内取代了钢结构,降低了工程造价。

② 耐久性和耐火性。与钢结构相比钢筋混凝土结构有较好的耐久性,它不需要经常的保养和维护。在钢筋混凝土结构中,钢筋被混凝土包裹而不致锈蚀,另外混凝土的强度还会随时间增长而略有提高,故钢筋混凝土有较好的耐久性。对于在有侵蚀介质环境中的钢筋混凝土结构,根据侵蚀的性质合理选用不同品种的水泥,可达到提高耐久性的目的。例如:火山灰水泥和矿渣水泥抗硫酸盐侵蚀的能力很强,可在有硫酸盐腐蚀的环境中使用;矿渣水泥抗碱腐蚀的能力也很强,也可用于碱腐蚀的环境中,由于钢筋包裹在混凝土里面而受到保护,火灾时钢筋不至于很快达到流塑状态而使结构整体破坏。

③ 整体性好。现浇混凝土结构的整体性好,刚度大。通过合适的配筋,可获得较好的延性,适用于抗震、抗爆结构,同时防震性和防辐射性能较好,适用于防护结构。

④ 可模性好。混凝土可根据实际需要浇筑成各种形状和尺寸的结构,适用于各种形状复杂的结构,如空间薄壳、箱形结构等。

钢筋混凝土结构也有下列缺点:

① 结构自重。钢筋混凝土结构自重一般为 25 kN/m^3 ,大于砌体和木材的自重。尽管比钢材的自重小,但由于钢筋混凝土结构截面尺寸较大,所以自重远远大于相同跨度或高度的钢结构。对于大跨度结构、高层抗震结构,采用钢筋混凝土均存在需减小自重的问题。

② 抗裂性能差。混凝土抗拉强度很低,一般构件都有拉应力存在,配置钢

筋以后虽然可以提高构件的承载力,但抗裂能力提高很少,因此在使用阶段构件一般是带裂缝工作,影响结构的耐久性。当裂缝只能开较宽时,还将给使用者造成不安全感。

③ 费时费模。现浇的钢筋混凝土结构施工工期相对较长,且施工受季节气候条件的影响和限制;同时,混凝土工程模板耗费量大。

1.2.3 混凝土结构的发展历程与应用

(1) 混凝土结构的发展

混凝土结构的发展,大体可分为三个阶段。

① 第一阶段——从钢筋混凝土的发明至 20 世纪初。这一阶段采用的钢筋和混凝土的强度比较低,主要用于建造中小型楼板、梁、柱、拱和基础等构件。结构内力和构件截面计算均套用弹性理论,采用容许应力设计方法。

② 第二阶段——从 20 世纪 20 年代到第二次世界大战前。随着混凝土和钢筋强度的不断提高,1928 年法国杰出的土木工程师 E. Freyssinet(弗雷西奈)发明了预应力混凝土,使得混凝土结构可以用来建造大跨度结构。在计算理论上,苏联著名的混凝土结构专家格沃兹捷夫开始考虑混凝土塑性性能的破损阶段设计法,在 20 世纪 50 年代又提出更为合理的极限状态设计法,奠定了现代钢筋混凝土结构的基本计算理论。

③ 第三阶段——二战以后到现在。随着建设速度的加快,对材料性能和施工技术提出更高的要求,出现了装配式钢筋混凝土结构、泵送商品混凝土等工业化生产的混凝土结构。高强混凝土和高强钢筋的发展、计算机技术的采用和先进施工机械设备的发明,建造了一大批超高层建筑、大跨度桥梁、特长跨海隧道、高耸结构等大型结构工程,成为现代土木工程的标志。在设计计算理论方面,已发展到以概率理论为基础的极限状态设计方法,钢筋混凝土结构的基础理论问题也大多数得到解决。而新型混凝土材料及其复合结构型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。

我国在 20 世纪 50 年代初期,钢筋混凝土的计算理论由按弹性方法的允许应力的算法过渡到考虑材料塑性的按破损阶段设计的方法。随着科学研究的深入和经验的积累,我国于 1966 年颁布了按多系数极限状态设计法,并于 1974 年正式颁布了《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10—74);1989 年我国颁布了全面修订的《混凝土结构设计规范》(GBJ 10—89),采用了以概率论为基础的极限状态设计法;2002 年颁布了全面修订的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002);2010 年颁布了全面修订的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010);2015 年颁布了《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)(2015 年版)。

混凝土材料主要朝着高强、轻质、耐久、提高抗裂性和易于成型的方向发展。工程上已大量使用强度等级 C80~C100 的混凝土,实验室研制出强度高于 300 MPa 的混凝土。在地震区采用轻质混凝土结构,如加气混凝土,陶粒混凝土等可有效减小地震损伤、节约材料、降低成本。为改善和提高混凝土耐久性,对聚合物混凝土、树脂混凝土、浸渍混凝土等材料进行的一系列研究表明,经改性的混凝土不仅抗压性能、抗拉性能好,而且耐磨、抗渗、抗冲击和耐冻。

钢筋主要向强度高、延性好和黏结性能好的方向发展。用于普通混凝土结构的钢筋强度达到 435 MPa, 在中等跨度的预应力构件采用 800~1 370 MPa 的高强钢丝和钢绞线, 均具有高强度、延性好、锚固性能好的特点。为提高钢筋的耐腐蚀性能, 带有环氧树脂涂层的热轧钢筋在有特殊防腐要求的工程中得到应用。近期国内学者在使用 FRP 钢筋部分或全部替代传统钢筋的研究取得了一定的进展。

(2) 混凝土结构的应用

随着人们对混凝土的深入研究, 钢筋混凝土结构在土木工程领域中取得了更广泛的应用。普通钢筋混凝土、预应力混凝土、钢和混凝土组合结构的应用进一步拓展了混凝土的使用范围。根据美国混凝土学会预言, 在混凝土的性能将获得显著提高, 把混凝土的拉、压强度比从目前的 1/10 提高到 1/2, 并且具有早强、收缩徐变小的特性; 未来将会建造高度达 600~900 m 的钢筋混凝土建筑, 跨度达 500~600 m 的钢筋混凝土桥梁, 以及钢筋混凝土海上浮动城市、海底城市、地下城市等。

1.3 本课程的特点和学习方法

在本课程的学习中, 应注意以下特点:

① 学习本门课程前应修完工程力学、结构力学、土木工程材料等课程。这些课程与本课程有必然的联系但又有很大的不同。

② 由于混凝土受力的复杂性, 目前还没有建立起比较完整的混凝土强度理论。钢筋混凝土构件或者结构是由两种材料组合而成, 其受力性能受材料内部组成和外部因素(荷载、环境等)影响, 因此钢筋混凝土构件的计算理论和计算公式有很多是根据实验研究得出的半理论半经验公式, 初学者往往不易接受, 不像数学、工程力学、结构力学等的计算原理和计算公式是根据较系统而严密的逻辑运算推导而得的, 因此学习时要特别注意。由于钢筋混凝土构件的计算公式是建立在实验的基础上, 故应注意它们的适用范围和条件。

③ 钢筋混凝土构件是由混凝土和钢筋两种力学性质相差很大的材料所组成, 因此存在选定两种材料的不同强度等级和两种材料所用数量多少的配比问题, 而这种配比可由设计者自行确定。因此对相同荷载、同一构件, 可以设计出多个均能满足使用要求的解答, 即问题的解答不是唯一的。这和数学、力学习题的解答不相同。正是由于材料的配比具有选择性, 因此当比值超过了一定的范围就会引起构件受力性能的改变。为了防止构件出现非预期的破坏状态, 往往对钢筋混凝土构件的计算公式规定其适用条件, 有时还规定某些构造措施来保证。故在学习时不能忽视这些规定。

④ 注重实践锻炼。混凝土原理是一门综合性的应用学科, 需要满足安全、适用、经济以及施工方便等方面的要求。这些要求一方面可通过分析技术来满足, 另一方面还应通过各种构造要求来保证。这些构造措施或是计算模型误差的修正, 或是实验研究的成果, 或是长期工程实践经验的总结, 它们和分析计算