

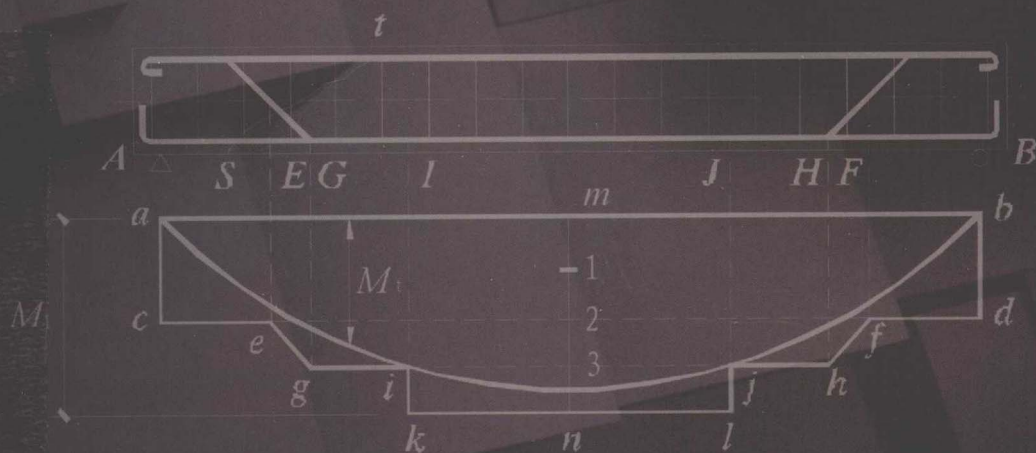
高等学校试用教材

依据最新规范编写

• 《混凝土结构设计规范》
(GB 50010-2010)

混凝土结构 基本原理

主 编 · 郭 靳 时 金 菊 顺 庄 新 玲



武汉理工大学出版社

WUTP Wuhan University of Technology Press

混凝土结构基本原理

主 编 郭新时 金菊顺 庄新玲
副主编 庞 平 刘晓霞 金玉杰 陈敏杰



武汉理工大学出版社
· 武 汉 ·

内 容 简 介

“混凝土结构”是高等学校土建类学科的一门主干专业课程,分为“混凝土结构基本原理”和“混凝土结构设计”两部分。《混凝土结构基本原理》系作者根据国家颁布的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)(2006 版)、《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)、《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50153—2008)等现行规范编写而成的教材。

本书内容共分 10 章,主要包括:钢筋和混凝土的材料性能;钢筋混凝土构件的基本受力性能;结构设计方法;受弯构件的承载力计算;受压构件的承载力计算;受拉构件的承载力计算;受弯构件斜截面承载力计算;受扭构件的承载力计算;正常使用阶段变形和裂缝的验算;钢筋混凝土平面楼盖的设计计算;预应力混凝土构件的原理、受力性能分析和设计计算等。

本书既可作为高等学校土建类及相关专业的本科生教材,也可作为广大土建类科研人员、工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构基本原理/郭新时,金菊顺,庄新玲主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2011.8

ISBN 978-7-5629-3534-6

I. 混… II. ① 郭… ② 金… ③ 庄… III. 混凝土结构-高等学校-教材 IV. TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 166162 号

项目负责人:田道全

责任编辑:田道全 蔡 巍

责任校对:万三宝

装帧设计:吴 极

出版发行:武汉理工大学出版社(武汉市洪山区珞狮路 122 号 邮编:430070)

网 址:<http://www.techbook.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:荆州市今印印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:22.25

字 数:550 千字

版 次:2011 年 8 月第 1 版

印 次:2011 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1~4000 册

定 价:38.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87394412 87383695 87384729 87397097(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

前 言

本书是根据高等学校土木工程专业的培养目标和要求,结合作者多年来的教学实践经验而编写的。该书既可作为高等学校土木工程专业的教材,也可供从事土木工程建设的技术人员学习参考。

“混凝土结构”是高等学校土木工程专业的专业主干课程,分为“混凝土结构基本原理”和“钢筋混凝土结构设计”两部分,其教学指导思想是:注重基本原理及结构构件设计计算方法,使学生能正确理解和掌握混凝土结构构件各种受力形式的设计计算方法以及综合运用知识的能力。注重理论联系实际,培养用工程理念解决实际工程问题的能力和创新能力,培养土木工程师应有的基本素质。

本书内容共分为 10 章,主要包括:钢筋和混凝土材料的基本性能;钢筋混凝土结构的设计方法;钢筋混凝土受弯、受压、受拉、受剪、受扭等基本构件的受力特征、破坏形态、计算方法和构造要求;混凝土构件的变形和裂缝验算;钢筋混凝土楼盖的设计;预应力混凝土的基本概念及其构件的设计计算。

为了便于高等学校学生和广大土建类工程技术人员学习,本书编写时力求内容充实、重点突出,语言通俗、深入浅出,例题完备、注重实用。每章均有例题,每章末有一定数量的思考题和习题,以便通过这些题目进一步消化、理解所学内容,检查学习效果。

本书的作者编写分工如下:郭靳时、金玉杰(第 1 章);郭靳时(第 6 章、第 7 章);金菊顺(第 2 章、第 3 章);金菊顺、刘晓霞(第 9 章);庄新玲(绪论、第 4 章、第 5 章);陈敏杰(第 8 章);庞平(第 10 章);刘晓霞(附录)。参加编写工作的还有谢新颖、张塞北等,他们绘制了本书的部分插图,参加了部分书稿的整理工作。本书由郭靳时、金菊顺、庄新玲担任主编,庞平、刘晓霞、金玉杰、陈敏杰担任副主编(排名不分先后)。

本书在编写过程中参考了大量的文献,引用了一些学者的资料,在本书末的参考文献中已予列出。

由于编者的水平有限,对新修订的规范学习理解不够,书中难免出现不妥和疏漏之处,敬请读者给予批评和指正,以便及时修正。

编 者

2009 年 5 月

目 录

0 绪论	(1)
0.1 混凝土结构的一般概念	(1)
0.2 混凝土结构的发展简况	(3)
0.2.1 混凝土结构的发展过程	(3)
0.2.2 材料	(3)
0.2.3 结构	(4)
0.3 本课程的特点及其学习中应注意的问题	(5)
1 材料的力学性能	(7)
1.1 钢筋	(7)
1.1.1 钢筋的品种和级别	(7)
1.1.2 钢筋的应力-应变曲线及塑性性能	(9)
1.1.3 钢筋的冷加工	(12)
1.1.4 钢筋在重复荷载下的力学性能	(13)
1.1.5 钢筋混凝土结构对钢筋性能的要求	(14)
1.2 混凝土	(15)
1.2.1 混凝土的强度	(15)
1.2.2 混凝土的变形	(20)
1.3 钢筋和混凝土之间的黏结(握裹)力	(29)
1.3.1 概述	(29)
1.3.2 黏结力的性能	(31)
思考题	(33)
2 混凝土结构的设计方法	(34)
2.1 结构设计的要求和设计一般规定	(34)
2.1.1 结构的功能要求	(34)
2.1.2 结构的极限状态	(35)
2.1.3 结构的设计使用年限	(35)
2.1.4 结构方案	(36)
2.2 结构的作用、作用效应和结构抗力	(37)
2.2.1 结构的作用和环境影响	(37)
2.2.2 结构的作用效应	(39)
2.2.3 结构抗力	(40)
2.3 结构按概率极限状态设计	(42)
2.3.1 可靠度、失效概率及可靠指标	(42)
2.3.2 建筑结构的安全等级及目标可靠指标	(44)
2.4 按承载能力极限状态计算	(45)
2.4.1 承载能力极限状态计算内容	(45)

2.4.2	承载能力极限状态设计表达式	(45)
2.4.3	作用(荷载)效应组合	(46)
2.5	按正常使用极限状态验算	(48)
2.5.1	正常使用极限状态验算规定	(48)
2.5.2	正常使用极限状态设计表达式	(48)
2.5.3	作用(荷载)效应组合	(49)
2.6	混凝土结构的耐久性设计	(50)
2.6.1	结构的耐久性	(50)
2.6.2	混凝土结构耐久性设计内容	(51)
2.6.3	设计使用年限为 100 年的混凝土结构的耐久性要求	(51)
2.6.4	影响材料耐久性的因素	(52)
2.7	混凝土结构设计原则	(52)
2.7.1	混凝土结构设计内容	(52)
2.7.2	防连续倒塌设计原则	(53)
2.7.3	既有结构设计原则	(53)
	思考题	(54)
3	受弯构件正截面受弯承载力	(55)
3.1	概述	(55)
3.2	受弯构件一般构造要求	(56)
3.2.1	板的一般构造要求	(56)
3.2.2	梁的一般构造要求	(59)
3.3	受弯构件正截面的试验研究	(61)
3.3.1	钢筋混凝土梁正截面工作的三个阶段	(61)
3.3.2	钢筋混凝土梁正截面的破坏形式	(63)
3.4	正截面受弯承载力计算的一般规定	(65)
3.4.1	基本假设	(65)
3.4.2	受压区混凝土的等效应力图	(66)
3.4.3	界限相对受压区高度及梁的配筋率	(67)
3.5	单筋矩形截面梁正截面承载力计算	(69)
3.5.1	基本计算公式	(69)
3.5.2	计算方法	(70)
3.6	双筋矩形截面梁正截面承载力计算	(76)
3.6.1	概述	(76)
3.6.2	计算公式与适用条件	(77)
3.6.3	计算方法	(78)
3.7	T 形截面梁正截面承载力计算	(83)
3.7.1	概述	(83)
3.7.2	基本计算公式	(84)
3.7.3	计算方法	(87)
	思考题	(91)
	习题	(92)

4 受压构件正截面承载力	(93)
4.1 概述.....	(93)
4.2 受压构件的构造要求.....	(93)
4.2.1 材料强度.....	(93)
4.2.2 截面形状和尺寸.....	(94)
4.2.3 纵向钢筋.....	(94)
4.2.4 箍筋.....	(94)
4.3 轴心受压构件正截面承载力计算.....	(95)
4.3.1 配有纵筋和普通箍筋柱.....	(96)
4.3.2 配有纵筋和螺旋式(或焊接环式)间接钢筋柱.....	(99)
4.4 偏心受压构件正截面承载力计算.....	(102)
4.4.1 偏心受压构件的破坏形态.....	(102)
4.4.2 偏心受压构件的受力特点分类及弯矩计算方法.....	(103)
4.4.3 矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算.....	(107)
4.4.4 I形截面偏心受压构件正截面承载力计算.....	(128)
4.4.5 正截面承载力 N_u-M_u 的相关曲线.....	(133)
4.5 双向偏心受压构件正截面承载力计算.....	(134)
思考题.....	(135)
习题.....	(136)
5 受拉构件正截面承载力	(137)
5.1 概述.....	(137)
5.2 轴心受拉构件正截面承载力计算.....	(137)
5.3 大偏心受拉构件正截面承载力计算.....	(137)
5.4 小偏心受拉构件正截面承载力计算.....	(138)
思考题.....	(140)
习题.....	(141)
6 受弯和偏心受力构件斜截面承载力	(142)
6.1 概述.....	(142)
6.2 无腹筋梁的斜截面受剪承载力计算.....	(144)
6.2.1 斜裂缝对梁受力状态的影响.....	(144)
6.2.2 剪力传递机构.....	(144)
6.2.3 无腹筋梁的剪切破坏状态.....	(145)
6.2.4 影响受剪承载力的因素.....	(147)
6.2.5 无腹筋梁受剪承载力的计算.....	(148)
6.2.6 无腹筋单向板的受剪承载力.....	(148)
6.2.7 无腹筋梁的构造配筋.....	(149)
6.3 有腹筋梁的斜截面受剪承载力计算.....	(149)
6.3.1 有腹筋梁的受力模型.....	(149)
6.3.2 有腹筋梁的破坏形态.....	(150)
6.3.3 仅配箍筋梁的斜截面受剪承载力计算公式.....	(151)
6.3.4 配有箍筋和弯起钢筋时梁的斜截面受剪承载力计算公式.....	(152)

6.3.5	计算公式的适用范围	(152)
6.3.6	斜截面受剪承载力计算	(153)
6.4	连续梁斜截面受剪承载力计算	(159)
6.4.1	集中荷载作用下连续梁的受剪承载力计算	(159)
6.4.2	均布荷载作用下连续梁的受剪承载力计算	(161)
6.4.3	连续梁受剪承载力计算	(161)
6.5	斜截面受弯承载力的构造措施	(161)
6.5.1	抵抗弯矩图	(161)
6.5.2	钢筋的弯起	(162)
6.5.3	纵向钢筋的截断	(165)
6.5.4	钢筋细部尺寸	(166)
6.6	钢筋的构造要求	(171)
6.6.1	钢筋的锚固长度	(171)
6.6.2	钢筋在支座处的锚固	(173)
6.6.3	钢筋的连接	(174)
6.6.4	钢筋骨架的构造	(176)
6.7	偏心受力构件斜截面受剪承载力计算	(177)
6.7.1	偏心受压构件	(177)
6.7.2	偏心受拉构件	(179)
	思考题	(181)
	习题	(181)
7	受扭构件扭曲截面承载力	(183)
7.1	概述	(183)
7.2	纯扭构件承载力计算	(184)
7.2.1	试验研究分析	(184)
7.2.2	矩形截面纯扭构件承载力计算	(187)
7.2.3	T形、I形截面受扭承载力计算	(192)
7.3	复合受扭构件的承载力计算	(194)
7.3.1	扭矩对受弯受剪承载力的影响	(194)
7.3.2	《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)弯剪扭构件承载力 计算方法	(194)
7.3.3	T形、I形截面弯剪扭构件承载力计算	(197)
7.4	框架边梁协调性扭转设计	(200)
	思考题	(201)
	习题	(201)
8	钢筋混凝土构件裂缝与变形的验算	(202)
8.1	概述	(202)
8.2	裂缝宽度的验算	(203)
8.2.1	裂缝计算理论	(203)
8.2.2	裂缝开展及其分布	(203)
8.2.3	平均裂缝间距 l_{cr}	(204)

8.2.4	平均裂缝宽度 ω_m	(206)
8.2.5	最大裂缝宽度 $\omega_{\max}$	(208)
8.2.6	影响裂缝宽度的因素及控制荷载裂缝的措施	(209)
8.3	受弯构件变形的验算	(210)
8.3.1	概述	(210)
8.3.2	钢筋混凝土受弯构件短期刚度 B_s	(211)
8.3.3	钢筋混凝土受弯构件考虑荷载长期作用影响时的刚度 B	(214)
8.3.4	受弯构件挠度计算	(214)
8.3.5	减小挠度的主要措施	(215)
	思考题	(217)
	习题	(217)
9	钢筋混凝土平面楼盖	(218)
9.1	概述	(218)
9.1.1	楼盖类型	(219)
9.1.2	单向板和双向板	(220)
9.2	整体式单向板肋梁楼盖	(221)
9.2.1	结构平面布置	(221)
9.2.2	计算简图	(222)
9.2.3	连续梁、板按弹性理论方法的内力计算	(225)
9.2.4	连续梁、板按塑性理论方法的内力计算	(228)
9.2.5	单向板肋梁楼盖的截面设计与构造要求	(235)
9.2.6	整体式单向板肋梁楼盖设计例题	(241)
9.3	整体式双向板肋梁楼盖	(253)
9.3.1	双向板的受力和试验结果	(254)
9.3.2	双向板按弹性理论方法进行内力计算	(256)
9.3.3	双向板按塑性理论方法进行内力计算	(258)
9.3.4	双向板的截面设计与构造要求	(262)
9.3.5	双向板支承梁的设计	(263)
9.3.6	现浇双向板肋梁楼盖板设计实例	(264)
9.4	无梁楼盖	(270)
9.4.1	概述	(270)
9.4.2	无梁楼盖的内力计算	(271)
9.4.3	无梁楼盖的板柱节点设计	(274)
9.4.4	无梁楼盖的配筋和构造	(276)
9.5	装配式混凝土楼盖	(276)
9.5.1	预制铺板的形式、特点及其适用范围	(276)
9.5.2	楼盖梁	(278)
9.5.3	装配式构件的计算要点	(278)
9.5.4	装配式混凝土楼盖的连接构造	(279)
9.6	楼梯设计计算与构造	(280)
9.6.1	楼梯的分类及结构设计内容	(280)

9.6.2	现浇板式楼梯的计算与构造	(281)
9.6.3	现浇梁式楼梯的计算与构造	(283)
9.6.4	楼梯设计例题	(285)
	思考题	(290)
	习题	(290)
10	预应力混凝土结构构件的计算	(292)
10.1	概述	(292)
10.1.1	预应力混凝土的基本概念	(292)
10.1.2	预应力混凝土的特点	(293)
10.2	预应力的施加方法	(293)
10.2.1	先张法	(293)
10.2.2	后张法	(294)
10.3	预应力混凝土的材料	(295)
10.3.1	混凝土	(295)
10.3.2	钢筋	(295)
10.4	张拉控制应力与预应力损失值	(296)
10.4.1	预应力钢筋的张拉控制应力值	(296)
10.4.2	预应力损失值 σ_l	(296)
10.4.3	预应力损失的组合	(301)
10.4.4	减小各项预应力损失的措施	(301)
10.5	预应力混凝土轴心受拉构件各阶段的应力分析	(302)
10.5.1	后张法轴心受拉构件	(302)
10.5.2	先张法轴心受拉构件	(304)
10.5.3	轴心受拉构件的应力比较	(306)
10.6	预应力混凝土轴心受拉构件计算	(307)
10.6.1	使用阶段	(307)
10.6.2	施工阶段	(308)
10.7	预应力混凝土受弯构件各阶段应力分析	(314)
10.7.1	施工阶段	(314)
10.7.2	使用阶段	(315)
10.7.3	受弯构件当其正截面混凝土法向应力为零时,预应力钢筋中的应力为 $\sigma_{p0}(\sigma'_{p0})$ 及合力 N_{p0} 的计算	(316)
10.7.4	使用阶段裂缝控制的验算	(316)
	思考题	(319)
	习题	(319)
	附录 各种计算附表	(321)
	参考文献	(345)

0 绪 论

0.1 混凝土结构的一般概念

以混凝土材料为主,根据需要配置钢筋或钢骨作为主要承重材料的结构,均可称为混凝土结构。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、钢骨混凝土结构等。

混凝土的抗压强度较高,但抗拉强度很低,很容易开裂,且具有明显的脆性,因此,素混凝土构件常用于非承重结构和道路表面。钢筋抗拉和抗压强度都很高,且具有良好的延性,但容易压屈失稳,强度得不到充分利用。钢筋混凝土结构将这两种材料有机结合起来,取长补短,充分发挥两种材料的性能,下面通过对比实验来说明。

如图 0.1 所示,图 0.1(a)中试验梁截面为 $200\text{ mm}\times 300\text{ mm}$,跨度为 2.5 m ,采用 C20 混凝土做成的素混凝土简支梁,跨中作用集中力 P ,由于混凝土的抗拉强度较低,当 $P=12.5\text{ kN}$ 时,梁下混凝土开裂,即产生脆性断裂,梁的破坏荷载等于开裂荷载,梁的承载力取决于混凝土的抗拉强度。

图 0.1(b)中试验梁的截面尺寸、跨度和混凝土材料与图 0.1(a)中试验梁完全相同,只是在受拉区中配置了 2 根直径为 20 mm 的 HRB335 级钢筋,制成钢筋混凝土梁。当 $P=12.5\text{ kN}$ 时,梁的受拉区混凝土开裂,但由混凝土承担的拉力转由钢筋承担,梁可以继续承受荷载,该梁在破坏时能承受 $P=76\text{ kN}$ 的集中力。这就说明,如果在混凝土构件的受拉区配置一定数量的钢筋,上述混凝土开裂后,由钢筋代替混凝土承受拉力,梁可以带裂缝工作,构件的承载力就会大大提高。试验表明,与素混凝土梁比较,同样截面形状和尺寸的钢筋混凝土梁可承受大得多的外部荷载,而且变形能力也有很大提高。

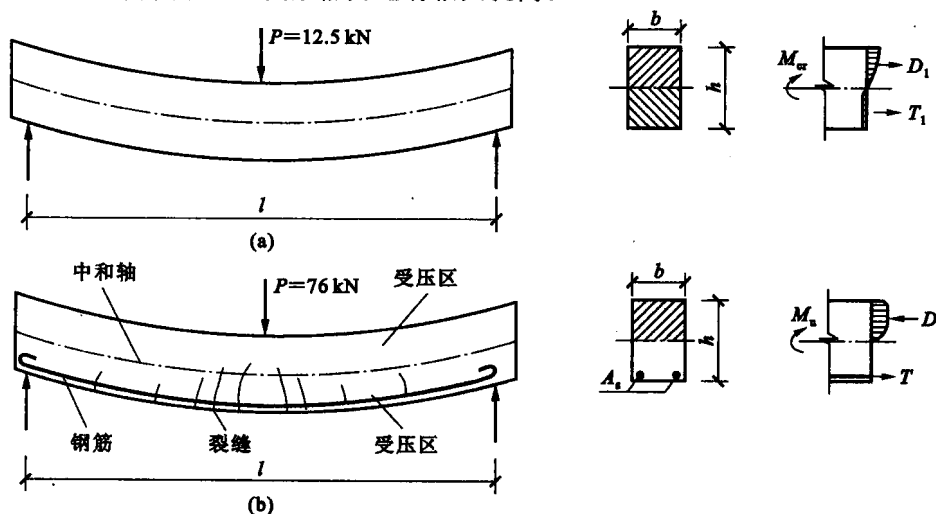


图 0.1 素混凝土及钢筋混凝土简支梁的承载力

(a) 素混凝土梁; (b) 钢筋混凝土梁

钢筋混凝土结构是由钢筋和混凝土两种材料组成的共同受力结构,除了以受压为主的构件外,通常是以混凝土承担压力,钢筋承担拉力。因此,钢筋混凝土结构能比较充分地利用混凝土和钢筋这两种材料的力学性能。

钢筋和混凝土两种物理力学性能不同的材料能结合在一起受力,主要是由于:① 钢筋和混凝土间有良好的黏结力,能牢固地黏结成整体,在外部荷载作用下,钢筋和混凝土具有相同变形,共同受力;② 钢筋与混凝土的温度线膨胀系数较接近[钢筋为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,混凝土为 $(1.0 \sim 1.2) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$],当温度变化时,不至于产生相对的温度变形而破坏它们之间的黏结力。

钢筋混凝土结构在土建工程中应用广泛,主要有下列优点:

(1) 合理地利用两种材料的性能

钢筋和混凝土材料强度得到充分发挥,结构的承载力和刚度比例合适,基本无稳定问题,而且经济指标一般优于钢结构。

(2) 耐久性好

处于良好环境的钢筋混凝土结构,混凝土的强度随时间的增加而不断增长,钢筋受混凝土保护而不易锈蚀,所以钢筋混凝土结构的耐久性好,不像钢结构那样需要定期维修。

(3) 耐火性好

由传热性差的混凝土作钢筋的保护层,钢筋不至于因升温过快而丧失强度,一般 30 mm 厚混凝土保护层可耐火 2.5 h,在常温到 300 $^{\circ}\text{C}$ 的范围内,混凝土的抗压强度基本不降低。

(4) 整体性好

现浇整体式钢筋混凝土结构,整体性好,因而有利于抗震及防爆。

(5) 刚性好

钢筋混凝土结构的刚性大,在正常使用荷载下仅产生较小的变形,故广泛地用于对变形要求较严格的各种建筑物。

(6) 可模性好

钢筋混凝土可根据设计需要,浇制成各种形状和尺寸的结构,特别适宜于建造外形复杂的大体积结构及空间薄壁结构。

(7) 就地取材

钢筋混凝土中所用的砂、石材料,一般可以就地、就近取材,还可以利用工业废料制成人工骨料,有利于环保。

但是,钢筋混凝土也有一些缺点:

(1) 自重比较大

不利于建造大跨度结构及超高层建筑。

(2) 施工比较复杂,工序多

建造期一般较长,受季节和天气影响,不宜在冬季和雨天施工。

(3) 抗裂性差

普通钢筋混凝土结构在正常使用阶段一般都是带缝工作,影响结构的刚度,限制了普通钢筋混凝土结构用于大跨度结构,影响高强度钢筋的应用,裂缝的存在也影响结构的耐久性。

(4) 补强维修工作比较困难

随着钢筋混凝土结构的不断发展,以上缺点已经或正在逐步得到克服。例如,发展和利用

高性能混凝土,减轻自重;采用预应力混凝土结构,提高结构的抗裂性和刚度;采用先进的结构形式和施工技术,加快施工速度。

0.2 混凝土结构的发展简况

从 1850 年法国人朗波制造的第一艘钢筋混凝土小船开始,混凝土结构的应用距今只有约 160 年的历史,但它比砖石、钢木结构具有更多的优点。混凝土结构发展迅速,目前所有的现代化基础工程和土建工程都会用到混凝土结构,而且各种高性能混凝土材料和新型结构形式不断涌现,可以预见,混凝土将是我国今后相当长时期内一种重要的工程结构材料。

0.2.1 混凝土结构的发展过程

混凝土结构的发展大致经过三个阶段:

第一阶段:从混凝土发明到 20 世纪初,是混凝土结构发展的初级阶段。混凝土和钢筋的强度都很低,主要用于建造梁、板、柱、基础等简单构件,钢筋混凝土计算理论尚未建立,套用弹性理论,采用允许应力设计方法。

第二阶段:从 20 世纪初到第二次世界大战。随着混凝土强度的提高,发明了预应力混凝土,钢筋混凝土被用于建造大跨度结构。计算理论开始考虑材料的塑性性能,提出极限状态设计法。

第三阶段:第二次世界大战后。随着高强度混凝土和高强度钢筋的广泛应用,以及计算机技术和施工机械的发展,大型的钢筋混凝土结构,如超高层建筑、大跨度桥梁、高耸结构等不断涌现。设计理论已充分考虑材料的塑性性能,发展了以概率理论为基础的极限状态设计法。

用钢筋混凝土建造具有代表性的工程有:马来西亚吉隆坡 88 层的石油双塔楼,高 450 m;上海金茂大厦 88 层,高 420 m,主体为钢筋混凝土结构,其中部分柱配置了钢骨;加拿大多伦多电视塔高度 549 m,采用预应力混凝土;上海东方明珠电视塔高度 415 m,采用了形式独特的空间框架结构;意大利都灵展览馆,拱顶由装配式构件组成,跨度达 95 m;美国西雅图金群体育馆,薄壳结构,屋顶为圆球壳,跨度达 202 m;挪威特隆赫姆 Ska rnsund 预应力混凝土斜拉桥,跨度达 530 m;上海青浦大桥为斜拉桥,主跨为 602 m;英国北海石油开采平台 24 个预应力混凝土储油罐的海下深度达 216 m,油罐直径 28 m,底板毛面积为 16000 m²;长江三峡水利枢纽工程,大坝高 186 m,坝体混凝土用量达 1527×10^4 m³,是目前世界上最大的水利工程。

0.2.2 材料

(1) 高性能混凝土

所谓高性能混凝土是指混凝土具有高强度、高耐久性、高流动性等多方面优越性能的混凝土,它是近年来混凝土材料发展的一个主要方面,提高混凝土的强度是发展高层建筑、高耸结构、大跨度结构的重要措施。采用高强混凝土可以减小构件截面尺寸,减轻自重,同时结构具有良好的耐久性。目前国际上混凝土已达到很高的强度。美国已制成 C200 的混凝土,我国已制成 C100 的混凝土。预计到将来,特种混凝土的抗压强度可达 400 N/mm²,相当于现在所用的 HRB400 级钢筋的抗压屈服强度。高强混凝土的主要缺点是延性差。

(2) 纤维混凝土

为了改善混凝土抗拉性能,提高延性而制成的纤维混凝土,在研究、应用领域发展得相当迅速。采用耐碱玻璃纤维和低碱度水泥相配合而制成的纤维水泥制品,可以大幅度提高混凝土抗拉强度,提高纤维抗碱化能力,构件预期寿命可在 50 年以上。钢纤维混凝土就是在混凝土中掺入钢纤维,可以大大提高混凝土的抗拉、抗弯、抗剪、耐磨、抗疲劳、延性及韧性的各项指标,工程应用较广泛的钢纤维混凝土体积率一般为 $0.6\% \sim 2.0\%$,最高达 27% ,其抗压强度可达 $100 \sim 200 \text{ N/mm}^2$,但施工工艺复杂,造价较高。

0.2.3 结构

混凝土结构使用至今虽只有 100 多年的历史,但与钢、木和砌体结构相比,由于它在物理力学性能和材料来源等方面有许多优点,所以发展迅速,应用广泛。已从工业与民用建筑、交通设施、水利水电工程和基础工程扩大到近海工程、海底工程、地下工程以及核电工程。我国是使用混凝土结构最多的国家,在高层建筑和多层房屋中大多采用混凝土结构。随着轻质高强材料的使用,以及高层建筑、超高层建筑和大跨度结构的大量涌现,钢-钢筋混凝土组合结构和预应力混凝土结构的应用将越来越广泛。

(1) 钢-钢筋混凝土组合结构

钢-钢筋混凝土组合结构是近年来高层建筑、超高层建筑领域发展起来的一种新型混合结构形式,既具有钢结构自重轻材料强度高、延性好、施工速度快及建筑内部净空尺寸大等优点,又有混凝土结构侧移刚度和剪切承载力高,耐火性能好的优点。这种钢结构和混凝土结构共同组成的混合结构利用混凝土结构提供侧移刚度和水平承载力,利用钢结构承担竖向荷载,可充分发挥两种结构各自的优点。钢-钢筋混凝土组合结构中的构件,根据其承载力要求,分别采用钢构件、型钢混凝土构件、钢筋混凝土构件。统计分析表明,如果高层建筑采用钢-钢筋混凝土组合结构,其用钢量约为纯钢结构的 70% ,而施工速度与全钢结构相当。在 30~60 层的高层建筑和超高层建筑中综合考虑施工周期、结构抗侧力性能及房屋使用面积之后,钢-钢筋混凝土组合结构的大部分技术经济指标都优于全钢结构和混凝土结构。

(2) 预应力混凝土结构

预应力混凝土结构克服了普通钢筋混凝土结构抗裂性差、自重大的缺点。在施加预应力后可延缓裂缝的出现,减小裂缝宽度,截面刚度显著增加,可以建造大跨度结构。水平构件采用预应力混凝土构件,可减小构件截面尺寸、减轻自重、增加建筑内部净空尺寸、降低综合造价。预应力混凝土具有结构使用性能好、不开裂或裂缝宽度小、刚度大、耐久性好及较好的经济指标等优点,已经成为土木工程中的主要结构材料,在特定环境下已成为其他结构无法替代的形式,如核电站安全壳,直径达数十米,壁厚达几十厘米,如果采用厚钢板,则无法将如此厚度的钢板弯成圆弧形;如果采用薄钢板焊接,焊缝问题难以解决;采用钢筋混凝土,则裂缝问题无法满足要求。只有采用预应力混凝土,可以使施工和使用均得到满足。此外,体外张拉的预应力索已在桥梁工程的修建、补强加固中使用。

(3) 计算理论

目前在建筑结构中已开始应用基于概率论和数理统计分析的可靠度理论,发展混凝土结构的极限状态设计方法。混凝土基本理论、结构可靠度与荷载分析、结构抗震与有限元分析、计算机在混凝土结构中的应用以及现代化实验技术等方面的研究,人们可以利用非线性的分

析方法对各种复杂混凝土结构进行全过程受力模拟,使钢筋混凝土结构的设计和研究向着更完善、更科学的方向发展。

钢筋混凝土非线性的分析方法是研究混凝土随着荷载的增加,由弹性状态到塑性状态,最后到破坏全过程中,内力和变形发展的弹塑性分析法。这种方法可以给出结构内力和变形的全过程,包括裂缝的形成和扩展,结构破坏过程及破坏形态,显示出结构的薄弱部位,给出结构极限承载能力等。

0.3 本课程的特点及其学习中应注意的问题

本课程包括混凝土基本理论和组成建筑结构的基本构件的知识。学习本课程的主要目的是:掌握混凝土结构基本构件设计计算的基本理论和构造知识,为今后能顺利地从事结构设计打下牢固的基础。混凝土结构的基本构件包括受弯构件、受压构件、受扭构件、受拉构件。构件截面基本受力形态有正截面受力(受拉、受压、受弯)、斜截面受力(受剪、受弯)、扭曲截面受扭。基本构件的受力往往是这些基本受力形态的复合。

本课程的学习过程为:首先学习和掌握基本构件的受力性能;然后根据力学理论对各种受力性能进行分析,建立有关计算方法,对基本构件进行设计;最后对由基本构件组成的结构体系进行设计。受力性能和理论分析构成了基本理论,是混凝土结构的基础知识;构件设计直至结构设计是将基本理论应用于解决实际问题,两者既有密切的联系又有层次上的不同。

本课程是一门综合性很强的应用学科,需要结合数学、力学、材料学及施工实践等知识,系统地学习领会其基本知识和设计理论构成,并应注意以下问题:

(1) 混凝土基本理论主要是研究由钢筋和混凝土组成的结构构件的特殊材料力学

由于材料的力学性能(尤其是混凝土材料)的复杂性,不仅使构件的受力性能变得复杂,也使材料力学的公式不能直接应用。材料力学研究的是单一、均匀、连续、弹性材料组成的构件,而混凝土基本理论则以由钢筋和混凝土两种非均匀、非连续、非弹性的材料组成的构件为研究对象。但材料力学分析问题的基本思路,即材料的物理变形的几何关系和受力的平衡关系建立的理论分析方法,同样适用于混凝土材料。由于混凝土构件是由两种材料组成的复合材料构件,钢筋和混凝土两种材料在数量和强度的配比就成了一个值得重视的问题。如果两种材料在面积和强度的配比超过一定界限,则会引起构件受力性能的改变。这是混凝土构件区别于单一材料构件基本而且具有实际意义的问题。另外,由于混凝土材料物理力学性能的复杂性,还没有建立完善的理论体系,其强度和变形规律在很大程度上依赖于实验分析或直接依赖实验结果建立经验计算公式,因此,在学习时要重视构件的实验,学会根据实验中规律性现象,分析其受力性能,建立理论分析模型和计算公式,并注意计算公式的适用范围和限制条件。

(2) 混凝土构件和结构设计是一门综合性学科

设计过程包括结构方案、材料选择、配筋构造、施工方案等,同时还要考虑安全适用和经济合理。设计中许多数据可能有许多选择方案,因此,设计结果并不是唯一的,最终设计结果应经过比较,综合考虑各项指标的可行性和经济性后确定。工程项目的建设是涉及人们生命安全、国家经济发展和社会影响的重要工作,必须依照国家颁布的法规进行。我国现行的标准规范分为技术法规和技术标准,技术法规涉及工程安全、环境保护、人体健康、公共利益和市场秩序等方面的问题,是工程项目建设必须遵守的。技术标准则是针对各种具体工程技术问题给

出的最低限度要求,工程技术人员可根据实际需要采用更高的标准。目前各类结构规范中列出强制性条文是必须遵守的法规条文,其他条文则可作为技术标准规定。本书以混凝土基本理论为主,结合主要用于建筑结构工程的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)学习。

设计工作是一项创造性工作,具有较强的实践性,一方面在设计工作中必须遵守规范,另一方面只有深刻的理解规范,才能更好地应用规范,掌握对各种错综复杂因素的综合分析能力,充分发挥设计者的主动性和创造性。在学习中应注意到现场参观,了解实际工程的结构布置、配筋构造和施工技术,进行必要的结构试验,加深对基础知识的理解。

1 材料的力学性能

钢筋混凝土结构是由钢筋和混凝土两种材料所组成的,而钢筋混凝土结构的受力性能与钢筋和混凝土两种材料的力学性能是密切相关的。因此,为了更好地掌握钢筋混凝土构件的受力性能,正确地进行钢筋混凝土结构设计,必须对钢筋和混凝土的力学性能及其相互作用有较深入的了解。有关钢筋混凝土结构的一切计算、设计和构造问题,归根结底均来源于材料性能的特点。

1.1 钢 筋

1.1.1 钢筋的品种和级别

我国在钢筋混凝土结构中目前通用的为普通钢筋,它分为热轧碳素钢和普通低合金钢两种,二者的区别主要在于化学成分不同。

热轧碳素钢中铁元素是主要成分,此外还含有少量的碳、硅、锰、硫、磷等元素。其力学性能与含碳量有关:碳素钢可分为低碳钢(含碳量少于0.25%)、中碳钢(含碳量0.25%~0.6%)和高碳钢(含碳量0.6%~1.4%)。含碳量高,强度高,质地硬,但塑性和可焊性降低。

普通低合金钢的成分,除含有热轧碳素钢的元素外,再加入微量的合金元素,如硅、锰、钒、钛、铌等即制成低合金钢,这些合金元素虽然含量不多,但是可提高钢材的强度,并改善钢材的塑性性能。

由于我国钢材的产量和用量巨大,近年来已造成钒、钛等低合金资源紧张,对热轧钢筋的生产和应用带来不利影响。为节约低合金资源,我国冶金行业研究开发出了新型细晶粒带肋钢筋,这种钢筋在生产过程中不需要添加或只添加很少的钒、钛等合金元素,通过控制轧钢的温度形成细晶粒的金相组织,其外形与普通热轧带肋钢筋外形相同,其强度和延性完全满足混凝土结构对钢筋性能的要求。

按照我国《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)的规定,在钢筋混凝土结构中所用的国产普通钢筋有以下五种级别:

- ① HPB300,即热轧光面钢筋 300 级;
- ② HRB335、HRBF335,即热轧带肋钢筋和细晶粒带肋钢筋 335 级;
- ③ HRB400、HRBF400,即热轧带肋钢筋和细晶粒带肋钢筋 400 级;
- ④ RRB400,即余热处理钢筋 400 级;
- ⑤ HRB500、HRBF500,即热轧带肋钢筋和细晶粒带肋钢筋 500 级。

目前我国生产的上述普通钢筋,其性能和使用特点如下:

(1) HPB300 级钢筋

HPB300 级钢筋是由碳素钢经热轧而成的光面圆钢筋。它是一种低碳钢,具有质量稳定、塑性好、易焊接、易加工成型的优点,以直条或盘圆交货,大量用于钢筋混凝土板和小型构件的