

普通高等学校教材

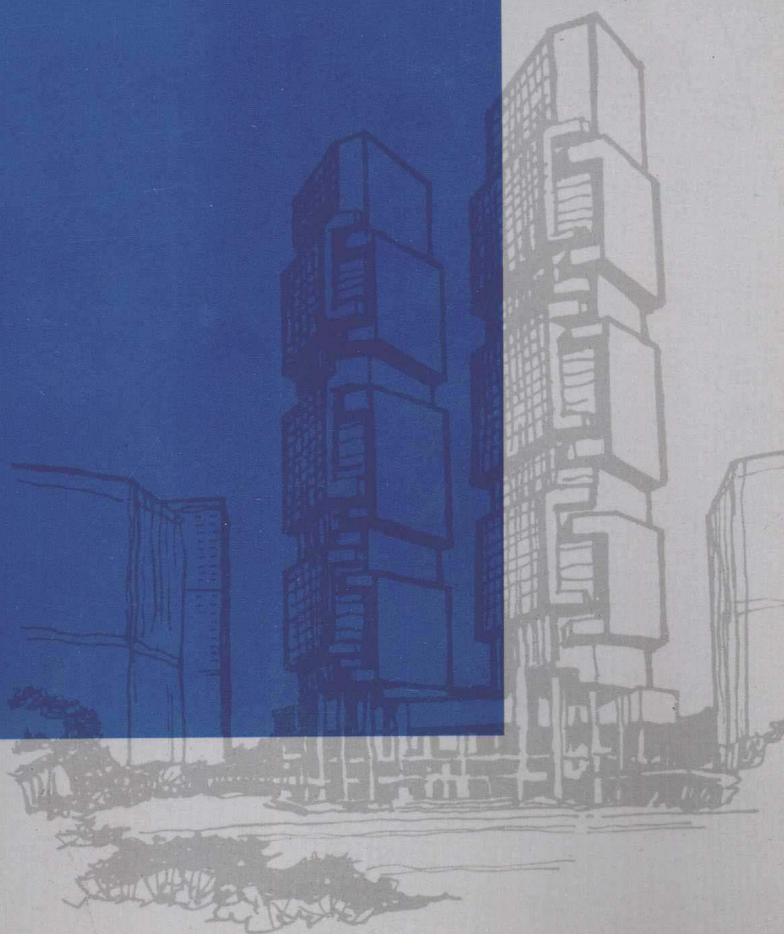
混凝土结构

(第4版)



侯治国 陈伯望 主编

武汉理工大学出版社



普通高等学校教材

混凝土结构

(第4版)

主 编 侯治国 陈伯望
副主编 周庆杰
主 审 滕智明

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

【内容简介】

本书是根据高等学校土建类专业“混凝土结构”课程的教学要求编写的教材,全书共 12 章,主要包括:绪论、钢筋和混凝土材料的力学性能、钢筋混凝土结构的设计方法、受弯构件正截面承载力计算、受弯构件斜截面承载力计算、受扭构件承载力计算、受压构件承载力计算、受拉构件承载力计算、钢筋混凝土构件的变形和裂缝宽度验算、预应力混凝土构件、梁板结构、单层工业厂房。每章正文后均配有思考题和习题。

本书除可作为高等学校土建类专业教材外,还可作为土木建筑工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构/侯治国,陈伯望主编. —4 版. —武汉:武汉理工大学出版社,2011. 12
ISBN 978-7-5629-3676-3

I. ① 混… II. ① 侯… ② 陈… III. ① 混凝土结构-高等教育-教材 IV. ① TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 281004 号

项目负责人:蔡德民 刘永坚 田道全 责任编辑:田道全
责任校对:万三宝 装帧设计:杨 涛
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:武汉理工大印刷厂
开 本:787×1092 1/16
印 张:23
插 页:3
字 数:608 千字
版 次:2011 年 12 月第 4 版
印 次:2011 年 12 月第 1 次印刷 总第 28 次印刷
印 数:223001~228000 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

(第 4 版)

为了满足我国高等学校土建类专业培养应用型人才教学改革的需要,贯彻以应用为主,具有建筑结构设计的基本知识,能够理解设计意图,正确指导现场施工的精神,值本教材出版发行 210000 余册之际,作者在第 3 版的基础上,按我国新修订的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)标准,对部分内容作了修改,以反映我国混凝土结构在土木工程中的新发展。本次修订对基础理论仍以应用为目的,教学内容简明扼要。在修订中除保持原书的特点外,内容上增加了一些工程实例,以便学生走出校门即能开展工作,即所谓“上手要快”、通过理论学习打下一定理论基础,以便学生在工作中不断提高,即所谓“留有后劲”,力求做到学以致用。

全书共分 12 章,主要包括:绪论;钢筋和混凝土材料的力学性能;钢筋混凝土结构的设计方法;受弯构件正截面承载力计算;受弯构件斜截面承载力计算;受扭构件承载力计算;受压构件承载力计算;受拉构件承载力计算;钢筋混凝土构件的变形和裂缝宽度验算;预应力混凝土构件;梁板结构;单层工业厂房。除对基本构件作了较详尽的叙述并配有典型例题和一定数量的思考题、习题外,还配有肋梁楼盖、排架结构实例,以备工程技术人员考注册工程师之用。本书亦可作为相关专业本科教材。

本教材第 4 版由长春工程学院侯治国教授、周庆杰高级工程师主持修订,长春工程学院设计院韩芳高级工程师为本书做了绘图和校对工作。

本书第 3 版由长春工程学院侯治国教授主持修订(2006 年 5 月),湖南城市学院陈伯望教授、吉林建筑工程学院王志先副教授、平顶山工学院李玉副教授、昆明理工大学刘琤副教授、石家庄铁道学院孟丽军副教授、西南科技大学姚勇副教授、孝感学院童友枝副教授、安阳工学院张玲副教授、西华大学伍平讲师等参加了部分章节的修订,并对全书的修订提出了宝贵意见。吉林建筑工程学院建筑装饰学院路立娜为本书做了全面的校对和绘图,参与绘图的还有冯涌、陈岩、袁红等。

本教材第 2 版由长春工程学院侯治国教授修订(2002 年 9 月),太原理工大学阳泉学院郝迎秋、淮南工业学院毛喜芳为本书做了绘图和校对工作。

本教材第 1 版由长春建筑高等专科学校侯治国教授主编(1997 年 9 月),参加编写的有长春建筑高等专科学校侯治国(绪论,第 3、4、5、6、7 章),湖南城建高等专科学校陈伯望(第 1、9 章)、胡乃君(第 10、11 章),福建建筑高等专科学校张小云(第 2、8、12 章)。

本书由清华大学滕智明教授主审。

由于编者水平有限,书中仍难免存在不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2011 年 12 月

目 录

0 绪论	(1)
0.1 钢筋混凝土的一般概念	(1)
0.2 钢筋混凝土的主要优缺点	(2)
0.3 钢筋混凝土的应用和发展简况	(2)
0.4 学习本课程需要注意的问题	(3)
思考题	(4)
1 钢筋和混凝土材料的力学性能	(5)
1.1 混凝土的强度指标	(5)
1.1.1 立方体抗压强度 $f_{cu,k}$ 和强度等级	(5)
1.1.2 轴心抗压强度标准值	(6)
1.1.3 轴心抗拉强度标准值 f_{tk}	(7)
1.1.4 复合应力状态下混凝土的强度	(8)
1.2 混凝土的变形性能	(10)
1.2.1 混凝土在一次短期荷载下的变形	(11)
1.2.2 混凝土在多次重复荷载作用下的变形	(13)
1.2.3 混凝土的弹性模量、变形模量	(14)
1.2.4 混凝土的徐变	(15)
1.2.5 混凝土的收缩与膨胀	(16)
1.3 钢筋	(17)
1.3.1 钢筋的品种与级别	(17)
1.3.2 钢筋的力学性能	(17)
1.4 钢筋与混凝土的粘结	(20)
1.4.1 粘结的作用及产生原因	(20)
1.4.2 粘结强度及影响因素	(21)
1.4.3 保证钢筋和混凝土间的粘结措施	(21)
思考题	(25)
2 钢筋混凝土结构的设计方法	(26)
2.1 结构设计的基本要求	(26)
2.1.1 结构的功能要求	(26)
2.1.2 结构的极限状态	(27)
2.1.3 混凝土结构设计方法	(27)
2.2 结构上的作用、作用效应和结构抗力	(28)
2.2.1 结构上的作用	(28)
2.2.2 作用效应 S	(31)

2.2.3 结构抗力 R	(31)
2.3 概率极限状态设计法	(33)
2.3.1 功能函数与极限状态方程	(33)
2.3.2 结构可靠度与失效概率	(34)
2.3.3 结构构件的可靠指标 β	(34)
2.3.4 目标可靠指标及安全等级	(35)
2.4 极限状态实用设计表达式	(36)
2.4.1 承载力极限状态设计表达式	(36)
2.4.2 正常使用极限状态设计表达式	(38)
2.5 结构耐久性的规定	(38)
思考题	(40)
习题	(40)
3 受弯构件正截面承载力计算	(41)
3.1 受弯构件正截面配筋的基本构造要求	(42)
3.1.1 受弯构件截面的形式和尺寸	(42)
3.1.2 受弯构件的钢筋	(43)
3.1.3 钢筋的保护层	(44)
3.1.4 钢筋的间距	(45)
3.1.5 截面的有效高度	(45)
3.2 梁正截面受弯性能的试验分析	(45)
3.2.1 适筋梁的工作阶段	(46)
3.2.2 受弯构件正截面各阶段应力状态	(47)
3.2.3 钢筋混凝土受弯构件正截面的破坏形式	(48)
3.2.4 适筋梁与超筋梁、少筋梁的界限	(49)
3.3 单筋矩形截面的承载力计算	(53)
3.3.1 基本假定	(53)
3.3.2 基本公式及其适用条件	(54)
3.3.3 截面设计	(55)
3.3.4 截面强度复核	(61)
3.4 双筋矩形截面的承载力计算	(63)
3.4.1 基本计算公式及其适用条件	(63)
3.4.2 截面设计	(64)
3.4.3 截面强度复核	(68)
3.5 单筋 T 形截面的承载力计算	(70)
3.5.1 基本计算公式	(71)
3.5.2 截面设计	(74)
3.5.3 截面强度复核	(76)
思考题	(80)
习题	(82)

4 受弯构件斜截面承载力计算	(84)
4.1 无腹筋梁的受剪性能	(84)
4.1.1 斜裂缝引起的梁受力状态的变化	(84)
4.1.2 斜截面的破坏形态	(86)
4.1.3 影响无腹筋梁受剪承载力的因素	(87)
4.1.4 无腹筋梁斜截面受剪承载力计算	(88)
4.2 有腹筋梁斜截面受剪承载力计算	(89)
4.2.1 腹筋的作用	(89)
4.2.2 有腹筋梁的破坏形态	(90)
4.2.3 斜截面抗剪承载力计算公式	(90)
4.2.4 斜截面受剪承载力计算方法和步骤	(95)
4.3 保证斜截面受弯承载力的构造要求	(103)
4.3.1 抵抗弯矩图	(104)
4.3.2 弯起钢筋的弯起点	(105)
4.3.3 纵向受拉钢筋截断时的延伸长度	(106)
4.3.4 纵向钢筋在支座处的锚固	(107)
4.3.5 箍筋及弯起钢筋的构造	(111)
4.3.6 钢筋细部尺寸	(112)
思考题	(117)
习题	(118)
5 受扭构件承载力计算	(120)
5.1 纯扭构件承载力计算	(120)
5.1.1 开裂扭矩	(120)
5.1.2 矩形截面纯扭构件配筋计算	(122)
5.1.3 T形、I形截面纯扭构件配筋计算	(125)
5.2 弯、剪、扭构件的承载力计算	(126)
5.2.1 扭矩对受弯、受剪承载力的影响	(126)
5.2.2 弯、剪、扭构件承载力的计算公式	(126)
5.2.3 弯、剪、扭计算公式的适用条件	(127)
思考题	(131)
习题	(131)
6 受压构件承载力计算	(132)
6.1 轴心受压构件承载力计算	(133)
6.1.1 纵向钢筋及普通箍筋柱	(133)
6.1.2 配有纵筋及螺旋箍筋柱	(139)
6.2 偏心受压构件正截面承载力计算	(142)
6.2.1 偏心受压构件的破坏特征	(142)
6.2.2 附加偏心距	(143)
6.2.3 偏心距增大系数	(144)

6.2.4	矩形截面偏心受压构件正截面承载力计算	(147)
6.2.5	I形截面偏心受压构件的正截面承载力计算	(164)
6.2.6	截面承载能力 N 与 M 的相关曲线	(169)
6.3	偏心受压构件斜截面受剪承载力计算	(171)
6.4	偏心受压构件构造要求	(171)
	思考题	(173)
	习题	(174)
7	受拉构件承载力计算	(175)
7.1	轴心受拉构件正截面承载力计算	(175)
7.2	偏心受拉构件正截面承载力计算	(175)
7.2.1	计算公式	(175)
7.2.2	截面设计	(177)
7.3	偏心受拉构件斜截面承载力计算	(180)
	思考题	(180)
	习题	(181)
8	钢筋混凝土构件的变形和裂缝宽度验算	(182)
8.1	概述	(182)
8.2	受弯构件的挠度验算	(183)
8.2.1	基本知识	(183)
8.2.2	荷载效应标准组合作用下受弯构件的短期刚度 B_s	(184)
8.2.3	矩形、T形、倒T形和I形截面受弯构件的长期刚度 B	(187)
8.2.4	受弯构件挠度验算	(188)
8.3	裂缝宽度验算	(191)
8.3.1	裂缝间距	(192)
8.3.2	平均裂缝宽度 w_m	(194)
8.3.3	最大裂缝宽度 w_{max}	(195)
8.4	钢筋的代换	(196)
8.4.1	代换原则	(196)
8.4.2	钢筋代换应注意的事项	(197)
	思考题	(198)
	习题	(198)
9	预应力混凝土构件	(199)
9.1	预应力混凝土的基本概念	(199)
9.1.1	概述	(199)
9.1.2	预应力混凝土的基本概念	(199)
9.1.3	预应力混凝土结构的优缺点	(200)
9.1.4	全预应力和部分预应力混凝土	(201)
9.1.5	预应力混凝土结构的应用	(201)
9.2	施加预应力的方法和锚具	(201)

9.2.1	先张法	(201)
9.2.2	后张法	(202)
9.2.3	夹具和锚具	(203)
9.2.4	制孔器和灌浆	(206)
9.3	预应力混凝土材料	(207)
9.3.1	预应力钢筋	(207)
9.3.2	混凝土	(208)
9.4	张拉控制应力和预应力损失	(208)
9.4.1	张拉控制应力 σ_{con}	(208)
9.4.2	预应力损失	(209)
9.4.3	预应力损失值组合	(213)
9.5	预应力混凝土轴心受拉构件	(213)
9.5.1	轴心受拉构件应力分析	(213)
9.5.2	预应力混凝土轴心受拉构件的计算	(218)
9.5.3	设计例题	(222)
	思考题	(226)
	习题	(226)
10	梁板结构	(228)
10.1	概述	(228)
10.2	整体现浇式单向板肋梁楼盖	(230)
10.2.1	单、双向板的划分	(230)
10.2.2	楼盖的结构布置	(231)
10.2.3	单向板肋梁楼盖的计算简图	(233)
10.2.4	单向板楼盖的内力计算——弹性算法	(236)
10.2.5	单向板楼盖的内力计算——塑性算法	(239)
10.2.6	连续板的截面计算与构造	(243)
10.2.7	次梁计算与构造要求	(246)
10.2.8	主梁的计算与构造要求	(247)
10.2.9	单向板肋形楼盖设计例题	(249)
10.3	双向板肋梁楼盖	(257)
10.3.1	概述	(257)
10.3.2	双向板的计算	(257)
10.3.3	双向板的构造	(262)
10.3.4	双向板支承梁的计算特点	(264)
10.4	楼梯	(267)
10.4.1	概述	(267)
10.4.2	现浇板式楼梯的计算与构造	(267)
10.4.3	现浇梁式楼梯的计算与构造	(272)
10.4.4	折线形楼梯计算与构造	(273)

思考题	(275)
习题	(276)
11 单层工业厂房	(288)
11.1 单层工业厂房的结构组成与受力特点	(288)
11.1.1 结构组成	(288)
11.1.2 受力特点	(290)
11.2 单层工业厂房的结构布置与支撑布置	(291)
11.2.1 结构布置	(291)
11.2.2 支撑布置	(293)
11.2.3 抗风柱布置	(297)
11.2.4 圈梁、连系梁、过梁和基础梁的布置	(298)
11.3 单层工业厂房铰接排架的内力分析与组合	(299)
11.3.1 排架计算简图	(299)
11.3.2 排架荷载计算	(303)
11.3.3 排架内力分析	(307)
11.3.4 排架内力组合	(310)
11.4 单层工业厂房排架柱设计	(312)
11.4.1 单层工业厂房排架柱的计算长度	(312)
11.4.2 柱的吊装验算	(313)
11.5 牛腿设计	(314)
11.5.1 短牛腿的受力特点、破坏形态与计算简图	(314)
11.5.2 牛腿尺寸的确定	(315)
11.5.3 牛腿的配筋计算与构造要求	(316)
11.6 柱下单独基础设计	(318)
11.6.1 基础底面尺寸的确定	(318)
11.6.2 基础高度的确定	(320)
11.6.3 基础底板配筋计算	(320)
11.6.4 基础的构造要求	(323)
11.7 单层工业厂房设计实例	(325)
思考题	(351)
习题	(351)
参考文献	(358)

0 绪 论

0.1 钢筋混凝土的一般概念

钢筋混凝土是由钢筋和混凝土两种力学性能不同的材料所组成。混凝土抗压强度较高,抗拉强度却很低;钢筋的抗拉和抗压强度均很高。因此,将两种材料合理地组合在一起,混凝土主要承受压力,钢筋主要承受拉力,这样,两种材料可以各自发挥其优势,成为具有良好工作性能的钢筋混凝土构件或结构。

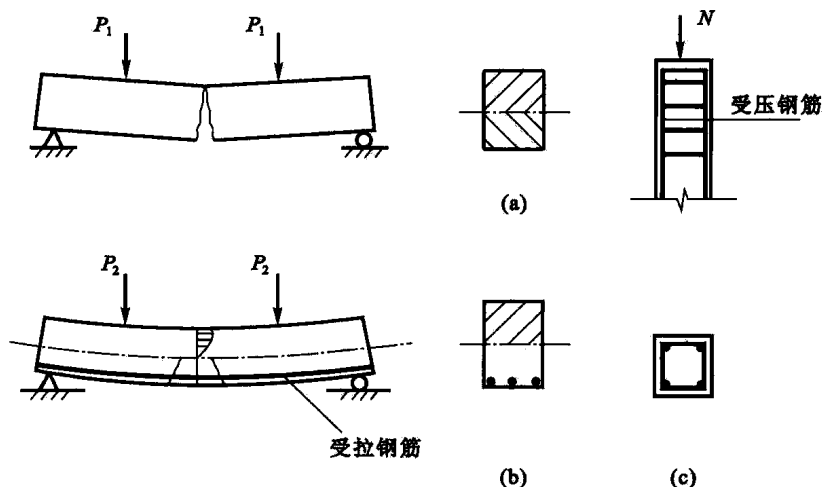


图 0.1 简支梁

图 0.1(a)、(b)所示为两根截面尺寸、跨度、混凝土强度皆相同的简支梁。一根为素混凝土梁;另一根则在梁的受拉区配有适量钢筋。由试验知:两者的承载力和破坏形式有很大差别。素混凝土梁由于混凝土抗拉能力低,在荷载作用下,梁将由于受拉区混凝土断裂而被破坏(图 0.1(a))。这时,受压区混凝土的抗压强度却远远没有得到利用。如果在梁的底部受拉区配置适量的钢筋,构成钢筋混凝土梁,在荷载作用下,受拉区混凝土仍将开裂,但钢筋的存在可以代替开裂的混凝土承受拉力,因而梁可以继续增加荷载,直到钢筋到达其屈服强度,梁才达到破坏荷载。钢筋混凝土梁的承载力比素混凝土梁有很大提高,破坏时,钢筋的抗拉强度和混凝土的抗压强度均得到了充分的利用。

又如图 0.1(c)所示的受压柱中,通常也配置钢筋,以协助混凝土承受压力,从而减少柱的截面尺寸,提高柱的承载能力,同时还增加柱的延性。

钢筋与混凝土这两种力学性能不同的材料之所以能结合在一起有效地共同工作,主要原因是:首先,由于混凝土硬化后钢筋与混凝土的接触面上存在有粘结强度,使两者牢固地粘结在一起,相互间不致滑动而能整体工作;其次,钢筋与混凝土两种材料的温度线膨胀系数非常接近,钢筋为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,当温度变化时,两者间不会因温

度变化产生较大的相对变形而破坏它们之间的结合;最后,钢筋至构件边缘间的混凝土保护层起着防止钢筋锈蚀的作用,当混凝土保护层具有足够的密实性和厚度时,能够保证结构的耐久性,使钢筋与混凝土长期可靠地共同工作。

0.2 钢筋混凝土的主要优缺点

钢筋混凝土除了能合理利用钢筋和混凝土两种材料的性能外,尚有下列优点:

(1) 耐久性。在钢筋混凝土结构中,混凝土的强度随时间的增长而有所增长,且钢筋受到混凝土的保护而不锈蚀,所以钢筋混凝土的耐久性很好。处于侵蚀性介质或受海水浸泡的钢筋混凝土结构,经过合理的设计以及采取特殊的措施,一般也能满足工程需要。

(2) 耐火性。混凝土是不良导热体,遭火灾时,钢筋因有混凝土包裹而不致很快升温到失去承载力的程度,因而比钢、木结构耐火性能好。

(3) 整体性。钢筋混凝土结构特别是现浇的钢筋混凝土结构,由于其整体性好,又具有较好的延性,有利于抗震、抗爆。

(4) 可模性。混凝土可根据设计需要浇筑成各种形状和尺寸的结构,适用于形状较复杂的结构,如带肋的屋面板、空心板以及空间壳体等。

(5) 就地取材。混凝土中占比例较大的砂、石等材料,产地普遍,就地取材比较容易。由于钢筋混凝土结构构件合理地利用了钢筋和混凝土这两种材料的受力特点,在一定条件下可代替钢结构,因而能节约钢材,降低造价。

由于钢筋混凝土具有上述一系列优点,因而在国内外的工程建设中得到了广泛的应用。

然而,钢筋混凝土结构也存在一些主要缺点:

(1) 自重大。普通钢筋混凝土结构的自重比钢结构的大。过大的自重,不仅对于设计大跨度结构、高层建筑以及结构抗震均很不利,而且在施工中也会增加材料的运输费用,并使构件吊装、连接都很不便。

(2) 费工大、模板用料多、施工周期长。建造整体式的钢筋混凝土结构比较费工,同时又需模板和支撑,且混凝土需在模板内进行一段时间的养护,致使工期延长,同时施工还受到气候的限制。

此外,钢筋混凝土隔热、隔音的性能较差,加固或拆修也较困难,而且,混凝土还存在着抗拉强度低、抗裂性能差的缺陷。

0.3 钢筋混凝土的应用和发展简况

钢筋混凝土结构在建筑工程中的应用,已约有 150 多年的历史。早期混凝土结构所用的混凝土强度和钢筋强度都很低,只能用作小型钢筋混凝土梁、板、柱、拱和基础等构件。20 世纪 20 年代以后,出现了预应力混凝土结构、装配式钢筋混凝土结构和薄壁空间结构,混凝土结构有了很大发展。

在计算理论方面,从 20 世纪 40 年代到 50 年代中期,钢筋混凝土结构构件的计算方法已有了很大改进,从开始采用考虑混凝土塑性性能的破坏阶段设计方法到采用更为合理的极限状态设计方法。目前,在建筑结构中已采用了以概率理论为基础的可靠理论,使极限状态设计

方法更趋完善。由于计算机和有限元计算方法的广泛采用,以及混凝土和钢筋混凝土弹塑性变形性能的深入研究、现代测试技术的发展,钢筋混凝土结构的计算理论和设计方法将会向更高阶段发展。

在材料方面,过去一般采用抗压强度低于 20N/mm^2 的低强度混凝土,现在已发展到采用 $20\sim 50\text{N/mm}^2$ 中等强度混凝土和 50N/mm^2 以上的高强混凝土。近年来,国内外在混凝土中采用掺加减水剂的方法,已制造出强度为 100N/mm^2 的高强混凝土,为混凝土在超高层建筑、大跨度桥梁等方面的应用创造了条件。各种低合金钢筋和高强度钢筋与钢丝也广泛地用于混凝土结构中。为了减轻结构自重,国内外都在发展轻质、高强混凝土,如陶粒混凝土、浮石混凝土、加气混凝土,其自重为 $14\sim 18\text{kN/m}^3$,强度可达 50N/mm^2 ,与普通混凝土相比,自重可平均减少约 30%。

在混凝土结构应用方面,由于轻质、高强混凝土材料的发展以及结构设计理论水平的提高,使得钢筋混凝土的应用跨度和高度都在不断增加。例如:1995 年建成的朝鲜平壤柳京大旅馆,105 层,高达 300m;1996 年建成的广州中天大厦,80 层,高达 322m;1998 年建成的上海金茂大厦,88 层,高 421m;全部轻混凝土结构的高层建筑是美国休斯敦贝壳广场大厦,52 层,高 215m;预应力轻骨料混凝土建造的飞机库屋盖(德国),结构跨度达 90m;预应力混凝土箱形截面桥梁(日本浜各大桥)跨度已达 240m 以上;我国于 1993 年建成通车的上海杨浦大桥是目前世界上跨度最大的斜拉桥,全长 1172m,主跨 602m;前苏联及加拿大分别建成了 533m 及 549m 高的预应力混凝土电视塔;我国的北京中央电视塔、天津电视塔,高度均为 400m 以上。

所有这些都显示了近代钢筋混凝土结构设计和施工水平在日新月异地迅速发展。

0.4 学习本课程需要注意的问题

本课程研究的是由钢筋和混凝土两种材料所组成的构件,而且混凝土是非均匀、非连接、非弹性材料。由于钢筋混凝土是由两种力学性能不同的材料所组成,如果两种材料在强度搭配和数量比值上的变化超过一定界限,会引起受力性能的改变,这是钢筋混凝土构件所具有的特点,学习时应加以注意。

本课程不仅要解决强度和变形的计算问题,而且要进一步解决构件的设计问题,包括结构方案、构件选型、材料选择和构造要求等,这是一个综合性问题。对同一问题,往往有多种可能的解决办法。因此,在学习本课程时,要注意培养对多种因素进行综合分析和综合应用的能力。

与其他学科一样,钢筋混凝土构件的计算方法是建立在科学实验基础上的。但由于混凝土材料的物理力学性能比较复杂,目前还没有建立起比较完善而又实用的强度理论,本学科对实验的依赖性更强。因此,在学习过程中要重视构件的实验研究结果,了解实验中的规律性现象,正确理解建立公式时所采用的基本假定的实验依据,应用公式时要注意适用范围和限制条件。

构造处理和有关规定,是长期科学实验和工程实践经验的总结,是对计算必不可少的补充。在设计结构和构件时,计算与构造是同等重要的。学习时要防止重理论轻实践、重计算轻构造的思想,要充分重视对构造规定和要求的理解,并明白其中的道理。

钢筋混凝土结构是一门实践性很强的课程,在学习一中一方面要通过课堂教学和教学中的

各个实践性环节,学会运用本课程的基本知识和基本理论进行结构设计,解决设计中的构造问题;另一方面要有计划、有针对性的到施工现场、预制构件厂去参观,留心观察已有建筑物的结构布置、受力体系、截面尺寸、配筋构造和施工工艺,积累感性知识,增加工程经验。

本课程还要学习有关规范。例如,《混凝土结构设计规范》(GB 50010)(以下简称《规范》)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009)(以下简称《荷载规范》),这是在力学课中不曾遇到的问题。设计规范是国家颁布的关于结构设计计算和构造要求的技术规定和标准,是具有约束性和立法性的文件;是贯彻国家的技术经济政策,保证设计质量、设计方法和审批工程的统一依据;是工程设计人员必须遵守的规定。我国新修订的设计规范反映了我国近 40 年来在结构工程方面的科学技术水平和工程经验的总结,同时也吸取了有关国际标准的先进成果。在学习过程中要理解它、熟悉它和应用它。

思 考 题

- 0.1 钢筋混凝土结构有哪些优、缺点?
- 0.2 钢筋与混凝土两种物理力学性能不同的材料,为何能共同工作?
- 0.3 学习本课程应注意哪些问题?

1 钢筋和混凝土材料的力学性能

本章提要

(1) 掌握混凝土在单向应力作用下的强度及其标准值(立方体抗压强度、轴心抗压和轴心抗拉强度),理解复合应力作用下的强度以及混凝土的变形(一次短期荷载作用和多次重复荷载作用的变形、徐变变形等)。根据混凝土的应力、应变关系,确定混凝土的弹性模量、变形模量。

(2) 充分认识钢筋的品种与级别,钢筋的力学性能及其强度标准值。

(3) 根据钢筋与混凝土的相互作用确定钢筋的最小锚固长度,逐步理解钢筋的连接及其基本构造要求。

钢筋混凝土结构是由钢筋和混凝土两种材料组成的,而钢筋混凝土结构构件的受力性能与钢筋和混凝土的力学性能(包括强度和变形)密切相关。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的设计与构造,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。

1.1 混凝土的强度指标

混凝土是由水泥、砂、石和水按一定比例配合而成。混凝土强度的大小不仅与组成材料的质量和配合比有关,而且与混凝土的硬化条件、龄期、受力情况以及测定其强度时所采用的试件形状、尺寸和试验方法等也有密切的关系。

1.1.1 立方体抗压强度 $f_{cu,k}$ 和强度等级

由于混凝土抗压强度受许多因素影响,因此必须有一个标准的强度测定方法和相应的强度评定标准。

我国《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)采用按标准方法制作养护的边长为150mm的立方体试件,在28d龄期,用标准试验方法(试件的承压面不涂滑润剂,加荷速度约每秒0.15~0.3N/mm²)测得的具有95%保证率的抗压强度极限值作为立方体抗压标准强度值,以 $f_{cu,k}$ 表示,并以此作为混凝土强度等级(混凝土强度等级用符号C表示)。由于这种试件的强度比较稳定,制作与试验比较方便,因此《规范》把它作为在统一试验方法下度量混凝土强度的基本指标,也是衡量混凝土各种力学指标的代表值。我国混凝土强度等级从C15直至C80共分14个级别,素混凝土结构的强度等级不应低于C15,钢筋混凝土结构混凝土的强度等级不应低于C20。

图 1.1(a)为立方体试件的受力状态,由于混凝土试件的刚度比试验机承压钢板的刚度小得多,而混凝土的横向变形系数大于钢板的横向变形系数,因而试件受压时,其横向变形受到承压面上摩擦阻力的约束,垫板就像“箍”一样把试件的上、下端箍住,最后导致试件形成两个对顶的锥形破坏面,见图 1.1(b)。

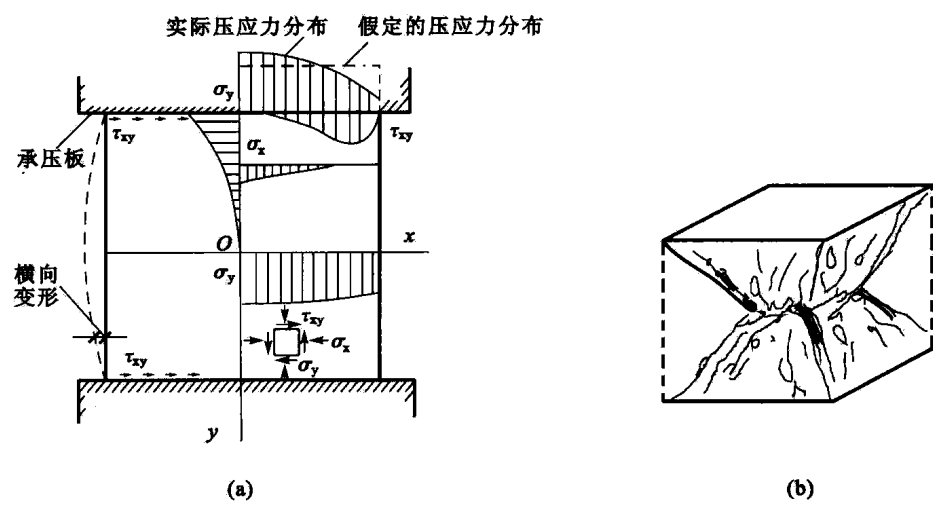


图 1.1 立方体试件抗压强度测试
(a) 立方体试件的受力状态;(b) 破坏形态

由于试件的尺寸效应,当采用边长为 200mm 或边长为 100mm 的立方体试件时,须将其抗压强度实测值乘以换算系数转换成标准试件(150mm 边长的立方体)的立方体抗压强度标准值,其换算关系为

$$f_{cu,k}(150) = 0.95 f_{cu,k}(100) \tag{1.1}$$

$$f_{cu,k}(150) = 1.05 f_{cu,k}(200) \tag{1.2}$$

某些国家如美国、日本和欧洲混凝土协会采用直径为 150mm,高度为 300mm 圆柱体抗压强度作为确定混凝土强度等级的标准,其抗压强度 f_{ck} 与我国标准试件的抗压强度的换算关系为

$$f_{ck} = 0.79 f_{cu,k} \tag{1.3}$$

1.1.2 轴心抗压强度标准值

用棱柱体试件做轴压试验测得的抗压强度称为棱柱体抗压强度或轴心抗压强度。试验时,通常棱柱体的高宽比 h/b 取 3~4,常用的试件尺寸为 100mm×100mm×300mm,150mm×150mm×450mm。

在图 1.2(a)所示 $h/b=3$ 的棱柱体轴心受压试件中,虽然试件承压面上的摩擦阻力仍然存在,但摩擦阻力对横向变形的约束作用将仅限于试件两端的局部范围内。试件中间约 1/3 区段的横向变形不受约束(σ_x 为拉应力),基本上处于全截面单向均匀受压的应力状态。试件破坏是由于中间区段竖向裂缝的发展,导致混凝土被压酥,因而其抗压强度 f_c 低于立方体抗压强度 f_{cu} ,两者强度标准值的平均关系为

$$f_{ck} = 0.88 \alpha_{c1} \alpha_{c2} f_{cu,k} \tag{1.4}$$

式中 α_{c1} ——棱柱强度与立方强度之比,对 C50 及以下取 $\alpha_{c2}=0.76$,对高强混凝土 C80 取 $\alpha_{c1}=0.82$,中间按线性规律变化插值;

α_{c2} ——考虑 C40 以上混凝土脆性的折减系数,对 C40 以下取 $\alpha_{c2} = 1.0$,对高强混凝土 C80 取 $\alpha_{c2} = 0.87$,中间按线性规律变化插值。

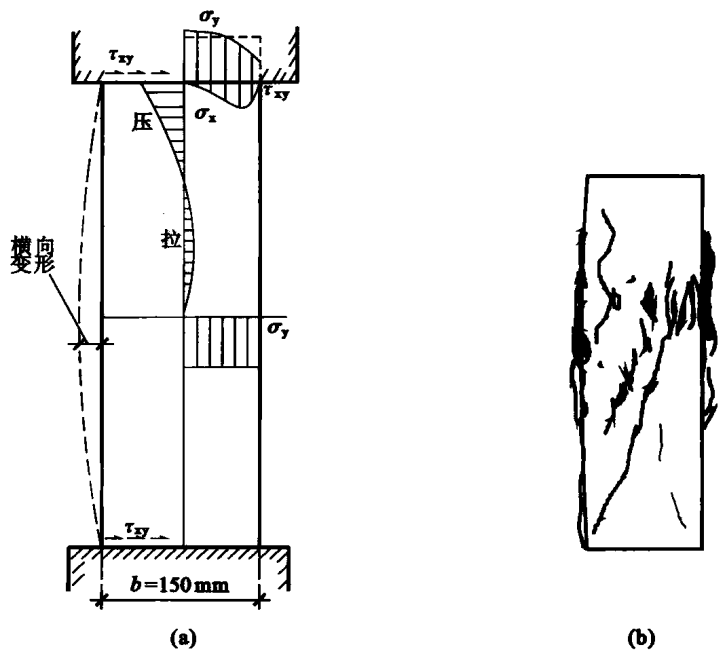


图 1.2 棱柱体抗压强度测试

(a) 棱柱体受压试件的受力状态;(b) 破坏形态

考虑到结构构件与试件制作及养护条件的差异,尺寸效应及加荷速度等影响,参照过去的设计经验,对构件中的混凝土强度与立方体抗压强度平均值之间的关系,取为 0.88。

1.1.3 轴心抗拉强度标准值 f_t

混凝土试件的轴心抗拉强度是确定混凝土抗裂度的重要指标。

混凝土的抗拉强度比抗压强度小得多,一般只有抗压强度的 5%~10%,而且不与立方体抗压强度成正比, f_{cu} 越大,比值 f_t/f_{cu} 越小。

测定混凝土抗拉强度的方法分两种——直接测试法和间接测试法。直接测试法见图 1.3(a),是将 100mm×100mm×500mm 的柱体,在其中心线两端埋设长为 150mm 的变形钢筋,试验机夹住两端伸出的钢筋使试件受拉,破坏时试件中部产生横向裂缝,其平均应力即为混凝土的轴心抗拉强度 f_t 。直接测试法因对中比较困难,且离散性大,故国内外多采用立方体或圆柱体试件的劈拉试验来间接测定混凝土的抗拉强度,见图 1.3(b)。劈拉试验对立方体或圆柱体施加线荷载。试件破坏时在破裂面上产生与该面垂直且基本均匀分布的拉应力,其劈拉强度为

$$f_t = \frac{2p}{\pi dl} \tag{1.5}$$

式中 p ——破坏荷载;
 d ——圆柱体直径或立方体边长;
 l ——圆柱体长度或立方体边长。

混凝土轴心抗拉强度标准值,据数理统计分析,可按下式计算: