



高等职业教育交通土建类专业“十二五”规划教材

钢筋混凝土与 钢结构

主 编 杨维国

副主编 许红叶 刘 娜

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高等职业教育交通土建类专业“十二五”规划教材

钢筋混凝土与钢结构

杨维国 主 编

许红叶 刘 娜 副主编

中国铁道出版社

2015年·北京

内 容 简 介

本书以模块为导向,按混凝土结构、钢结构和组合结构三大块开展情景教学。主要内容包括:混凝土结构概述,材料的物理力学性能,结构设计方法,受弯构件正截面承载力计算,受弯构件斜截面承载力计算,钢筋混凝土轴心拉压构件,钢筋混凝土受弯构件的应力、裂缝和变形计算,预应力混凝土结构;钢结构概述,钢结构材料性能及种类,钢结构的连接,轴心受力构件,受弯构件,钢结构的制造与防护;钢—混凝土组合梁,钢管混凝土构件。

本书为高职高专交通土建类相关专业的教学用书,也可供相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢筋混凝土与钢结构/杨维国主编. —北京:中国铁道出版社,2015.2
高等职业教育交通土建类专业“十二五”规划教材
ISBN 978-7-113-19836-7

I. ①钢… II. ①杨… III. ①钢筋混凝土结构—高等职业教育—教材②钢结构—高等职业教育—教材 IV. ①TU375②TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 033011 号

书 名:钢筋混凝土与钢结构
作 者:杨维国 主编

策划编辑:侯 驰

责任编辑:李丽娟

编辑部电话:(010)51873135

读者热线:400-668-0820

封面设计:王镜夷

责任校对:龚长江

责任印制:李 佳

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.51eds.com>

印 刷:北京市昌平百善印刷厂

版 次:2015年3月第1版 2015年3月第1次印刷

开 本:787mm×1092mm 1/16 印张:11.25 字数:275千

书 号:ISBN 978-7-113-19836-7

定 价:25.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

前 言

钢筋混凝土与钢结构是铁道工程技术、道路桥梁工程技术、城市轨道交通工程技术、高速铁路工程技术、桥隧检测与加固工程技术等专业的一门重要的专业基础课。

本教材内容坚持理论教学以“必须、够用”为度,按照应用型人才培养的要求,针对高职院校注重实践和应用的特点,以掌握概念和结构的基本计算原理为重点,侧重理解及知识应用,重点培养学生的应用知识能力和分析问题、解决问题的能力。

本书以模块为导向,按混凝土结构、钢结构和组合结构开展情景教学,通过 3 个模块 15 个项目的学习和训练,使学生能够掌握基本构件的计算方法,熟悉其原理,从而具备工程技术人员的基本技能。

本书由湖南高速铁路职业技术学院杨维国任主编,许红叶、刘娜任副主编。其中模块 1 由杨维国编写,模块 2 由许红叶编写,模块 3 由刘娜编写,全书由杨维国统稿。

本书在编写过程中,参考了很多专家学者的论著,在此向他们表示衷心的感谢。由于时间仓促,编者水平和经验有限,书中难免有欠妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

2014 年 11 月

目 录

模块 1 混凝土结构

项目 1 混凝土结构概述	1
任务 1.1 熟悉混凝土结构的特点及分类	1
任务 1.2 学法指导	3
【习题】	4
项目 2 材料的物理力学性能	5
任务 2.1 熟悉混凝土的物理力学性能	7
任务 2.2 熟悉钢筋的物理力学性能	12
任务 2.3 理解钢筋与混凝土之间的协同工作	14
【习题】	15
项目 3 结构设计方法	16
任务 3.1 理解结构设计的基本概念	16
任务 3.2 掌握材料强度取值的方法	17
任务 3.3 理解极限状态的设计表达式	19
【习题】	21
项目 4 受弯构件正截面承载力计算	22
任务 4.1 熟悉受弯构件的构造	22
任务 4.2 理解受弯构件正截面各应力阶段及破坏特点	25
任务 4.3 理解受弯构件正截面承载力计算的基本原则	27
任务 4.4 熟练掌握单筋矩形截面正截面承载力计算	29
任务 4.5 掌握双筋矩形截面正截面承载力计算	32
任务 4.6 熟练掌握 T 形截面正截面承载力计算	34
【习题】	38
项目 5 受弯构件斜截面承载力计算	39
任务 5.1 熟悉受弯构件斜截面的受力特点和破坏形态	39
任务 5.2 了解影响受弯构件斜截面抗剪能力的主要因素	42
任务 5.3 熟练掌握受弯构件斜截面抗剪承载力计算	42
任务 5.4 掌握受弯构件斜截面抗弯承载力的计算	45

任务 5.5 掌握全梁承载力校核及构造要求	47
任务 5.6 熟悉装配式钢筋混凝土简支梁设计例题	49
【习题】	57
项目 6 钢筋混凝土轴心拉压构件	59
任务 6.1 掌握轴心受拉构件承载力计算	59
任务 6.2 掌握轴心受压构件承载力计算	60
【习题】	66
项目 7 钢筋混凝土受弯构件的应力、裂缝和变形计算	67
任务 7.1 理解钢筋混凝土构件的应力计算	67
任务 7.2 理解钢筋混凝土构件裂缝宽度计算	69
任务 7.3 理解钢筋混凝土构件变形计算	70
【习题】	70
项目 8 预应力混凝土结构	71
任务 8.1 熟悉预应力混凝土结构的相关知识	71
任务 8.2 掌握基本概念及材料	74
任务 8.3 熟悉预应力损失的估算及减小损失的措施	76
任务 8.4 熟悉预应力混凝土的施工工艺	78
【习题】	83

模块 2 钢 结 构

项目 9 钢结构概述	84
任务 9.1 熟悉钢结构的特点	85
任务 9.2 掌握钢结构的分类	86
【习题】	87
项目 10 钢结构材料性能及种类	88
任务 10.1 熟悉钢结构对材料的要求	88
任务 10.2 熟悉影响钢材性能的因素	90
任务 10.3 掌握钢材的分类及钢材的选用	92
【习题】	94
项目 11 钢结构的连接	95
任务 11.1 掌握焊缝连接的计算	95
任务 11.2 掌握螺栓连接的计算	107
【习题】	115

项目 12 轴心受力构件	116
任务 12.1 熟悉轴心受力构件的特点和截面形式	116
任务 12.2 掌握轴心受力构件强度和刚度的计算	117
任务 12.3 掌握实腹式轴心受压构件的整体稳定计算	120
任务 12.4 掌握实腹式轴心受压杆件的设计	125
任务 12.5 掌握格构式轴心受压杆件的设计	127
【习题】.....	134
项目 13 受弯构件	135
任务 13.1 掌握梁的强度和刚度计算	135
任务 13.2 掌握梁的整体稳定计算	139
任务 13.3 掌握梁的拼接和主次梁的连接原理	141
【习题】.....	143
项目 14 钢结构的制造与防护	144
任务 14.1 熟悉钢结构制造的主要工序	144
任务 14.2 熟悉钢结构防护知识	146
【习题】.....	149
模块 3 组合结构	
项目 15 钢—混凝土组合梁与钢管混凝土构件	150
任务 15.1 熟悉钢—混凝土组合梁的特点、工作性能及构造要求	150
任务 15.2 熟悉钢管混凝土构件的特点、工作性能及构造要求	153
【习题】.....	156
附 录.....	157
模块 1 附表.....	157
模块 2 附表.....	160
参考文献.....	172

模块 1 混凝土结构

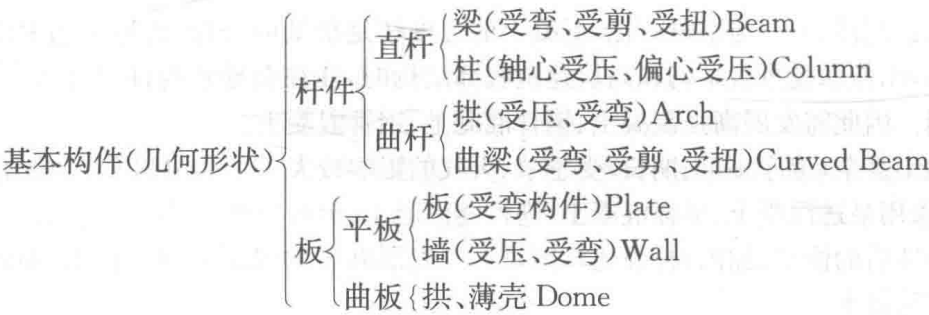
项目 1 混凝土结构概述

主要知识点	结构、构件、混凝土结构的特点及分类
重点及难点	混凝土结构的特点及分类
学习指导	通过本项目的学习,掌握混凝土结构的特点及分类,了解本课程的学习方法

混凝土是当代最主要的土木工程材料之一。混凝土结构 (Concrete Structure)是指以混凝土为主制作的结构,包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构等。

所谓结构,是构造物的承重骨架组成部分的统称。构造物的结构是由若干基本构件连接而成的。如桥梁结构是由桥面板、主梁、横梁、墩台、拱、索等基本构件组成的,其中梁、板、拱、索等即为基本构件。

构件的形式虽然多种多样,但按其受力特点可分为受弯构件(梁、板)、受压构件(柱、拱)、受拉构件(索)和受扭构件(轴)等典型的基本构件。



在实际工程中,结构及基本构件都是由建筑材料制作成的。根据所使用的建筑材料种类,结构一般可分为混凝土结构、钢结构、钢—混凝土组合结构。

《钢筋混凝土与钢结构》课程讨论的是工程结构基本构件的受力性能、计算方法及构造的设计原理,是学习和掌握土木工程结构设计的基础。

任务 1.1 熟悉混凝土结构的特点及分类

1. 混凝土结构的特点

(1)材料利用合理——结构承载力与其刚度比例合适,基本无局部稳定问题,单位面积造价低,对于一般工程结构,经济指标优于钢结构。

(2)可模性好——混凝土可根据需要浇筑成各种形状和尺寸,适用于各种形状复杂的结

构,如空间薄壳、箱形结构。近年来采用高性能混凝土浇筑的清水混凝土,具有特殊的建筑效果。

(3)耐久性和耐火性较好,维护费用低——钢筋与混凝土具有良好的化学相容性,混凝土属碱性性质,会在钢筋表面形成一层氧化膜,钢筋有混凝土作为保护层,一般环境下不会产生锈蚀,而且混凝土的强度随时间的推移而增加。混凝土是不良导热体,使钢筋不致因发生火灾时升温过快而丧失强度,一般 30 mm 厚混凝土保护层,可耐火约 2.5 h;同时,在常温至 300 °C 范围,混凝土的抗压强度基本不降低。

(4)整体性好(对现浇结构),防振和防辐射性能较好——现浇混凝土结构的整体性好,且通过合适的配筋,可获得较好的延展性,适用于抗震、抗爆结构;同时防振性和防辐射性能较好,适用于防护结构。

(5)刚度大、阻尼大——有利于结构的变形控制。

(6)易于就地取材——混凝土所用的大量砂、石,易于就地取材,近年来,已经有工地利用现场工业废料来制造人工骨料,或作为水泥的外加成分,改善混凝土的性能。有利于当地建材的利用和工业废料的再利用。

(7)自重大(对重力坝,自重大是一个优点)——不适用于大跨度、高层结构。因此需发展轻质混凝土、高强混凝土和预应力混凝土。

(8)抗裂性差,影响结构的耐久性——普通钢筋混凝土结构,在正常使用阶段往往是带裂缝工作的。一般情况下,因荷载作用产生的微小裂缝,不会影响混凝土结构的正常使用。但由于开裂,限制了普通钢筋混凝土用于大跨结构,也影响到高强钢筋的应用。此外,在露天、沿海、化学侵蚀等环境较差的情况下,裂缝的存在会影响混凝土结构的耐久性;对防渗、防漏要求较高的结构也不适用。因此,可发展预应力混凝土。

(9)承载力有限——与钢材相比,混凝土的强度还是很低的,因此普通钢筋混凝土构件的承载力有限,用作承受重载结构和高层建筑底部结构时,往往会导致构件尺寸太大,占据较多的使用空间。因此需发展高强混凝土、钢管混凝土、钢管混凝土。

(10)施工复杂,工序多,工期长,受季节、天气的影响较大——利用钢模、飞模、滑模等先进施工技术,采用泵送混凝土、早强混凝土、高性能混凝土、免振自密实混凝土等,提高施工效率。

(11)破坏后的修复、加固、补强比较困难——发展新型的混凝土加固技术,如碳纤维布加固混凝土结构技术。

(12)混凝土结构对资源、环境和生态的不利影响——作为工程结构的主要形式,混凝土结构的原材料——水泥和钢铁都是大量消费资源和高耗能的产品,而砂和石(包括生产水泥的原材料)的大量使用又对环境造成很大影响。

2. 混凝土结构的分类

混凝土结构按照配筋形式可分为:

(1)素混凝土结构——由无筋或不配置受力钢筋的混凝土制成的结构。

(2)钢筋混凝土结构——由配置普通钢筋、钢筋网或钢筋骨架的混凝土制成的结构。

(3)预应力混凝土结构——由配置受力的预应力钢筋通过张拉或其他方法建立预加应力的混凝土制成的结构。

任务1.2 学法指导

通过本课程的学习,应掌握结构基本构件的构造特点、力学特点及分析计算方法。为此,应从以下几个方面予以注意:

(1)逐步培养“土木工程素养”。《钢筋混凝土与钢结构》课程是土木工程专业一门非常重要的专业基础课,是从基础课程(如《数学》、《工程力学》及《工程材料》)到专业课(如《桥梁工程》、《隧道工程》)的关键。在这门课程中,将遇到许多非纯理论性问题,比如某一公式,并非由理论推导而来,而可能是以经验、试验为基础得到的;对某一问题的解答,可能并无唯一性,而只存在合理性、经济性;构造方面可能比理论计算更加重要;设计过程往往是一个多次反复的过程等等。这就是说,专业课、专业基础课与基础课有各自的特点,应该注意融会贯通。

(2)《钢筋混凝土与钢结构》课程的重要内容是结构构件设计。结构设计应遵循技术先进、安全可靠、耐久适用和经济合理的原则,涉及方案比较、材料选择、构件选型及合理布置等多方面,是一个多因素的综合性问题。设计结果是否满足要求,主要是看是否符合设计规范要求,并且满足经济性和施工可行性等。

(3)在学习本课程中要学会应用设计规范。设计规范是国家颁布的关于设计计算和构造要求的技术规定和标准,是具有一定约束性和技术法规性的文件。目前颁布使用的结构设计规范有:《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)、《公路桥涵设计通用规范》(JTG D62—2004)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)等。

(4)利用世界大学城网络资源学习。2009年世界大学城网站诞生。世界大学城是一座网络虚拟城市,它是以运用 Web2.0、Sns、Blog、Tag、Rss、Wiki 等为核心,依据六度分隔理论、XML、Ajax 等理论和技术设计并以网络交互远程教育为核心,综合了远程教学、网络办公、及时通讯、商务管理、全民媒体、个性化数字图书馆等功能的一座既虚拟又真实的大学社区平台。通过这一平台学生既可以更好地学习《钢筋混凝土与钢结构》,也可以拓宽自己的知识面。

网址:

<http://www.worlduc.com/blog2012.aspx?bid=24195135>

二维码:

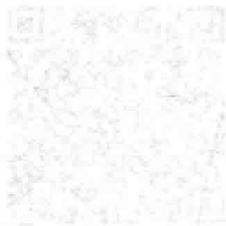


(5)利用好微课和慕课资源。“微课”是指以视频为主要载体,记录教师在课堂内外教育教学过程中围绕某个知识点(重点、难点及疑点)或教学环节而开展的精彩教与学活动全过程。慕课,简称“MOOC”,是新近涌现出来的一种在线课程开发模式,慕课的范围不仅覆盖了广泛的科技学科,比如数学、工程学、计算机科学和自然科学,也包括了社会科学和人文学科。慕课

课程绝大多数都是免费的。我们除了在课堂上学习,也可以课后利用移动终端(如智能手机、笔记本、平板电脑及车载电脑等)进行实时学习,非常便利。

?【习题】

1. 什么是结构? 什么是构件?
2. 学习本课程应注意哪些问题?
3. 本课程涉及的主要设计规范有哪些?



项目2 材料的物理力学性能

主要知识点	混凝土和钢筋的协同工作机理、混凝土的强度和变形、钢筋的强度和变形
重点及难点	混凝土的强度和变形
学习指导	通过本项目的学习,掌握混凝土的强度和变形;掌握钢筋的强度和变形;熟悉混凝土和钢筋协同工作的机理

钢筋混凝土结构是指用钢筋增强的混凝土结构。

混凝土是一种人造石材,其抗压强度较高而抗拉强度很低(为抗压强度的 $1/18 \sim 1/8$)。采用素混凝土(Plain Concrete)制成的构件(指无筋或不配置受力钢筋的混凝土构件),例如,素混凝土简支梁(以下简称素混凝土梁),当其承受竖向荷载作用时[图 2-1(a)],在梁垂直于梁轴线的截面(正截面)上受到弯矩作用,截面中和轴以上受压,以下受拉。当荷载达到某一数值 F_c 时,受拉边缘混凝土的拉应变达到极限拉应变,随即出现竖向弯曲裂缝。这时,裂缝处截面的受拉区混凝土退出工作,该截面处受压高度随之减小,即使荷载不增加,竖向弯曲裂缝也会急速向上发展,导致梁突然断裂[图 2-1(b)]。这种破坏是没有先兆的。 F_c 为素混凝土梁受拉区出现裂缝的荷载,一般称为素混凝土梁的破坏荷载。由此可见,素混凝土梁的承载能力是由混凝土的抗拉强度控制的,而受压区混凝土的抗压强度远未被充分利用。在制造混凝土梁时,倘若在梁的受拉区配置适量的纵向(梁长方向)受力钢筋,就构成钢筋混凝土梁。试验表明,和素混凝土梁有相同截面尺寸的钢筋混凝土梁承受竖向荷载作用时,荷载略大于 F_c 时的受拉区混凝土仍会出现裂缝。在出现裂缝的截面处,受拉区混凝土虽退出工作,但配置在受拉区的钢筋将可承担几乎全部的拉力。这时,钢筋混凝土梁不会像素混凝土梁那样立即断裂,而能继续承受荷载作用[图 2-1(c)],直至受拉钢筋的应力达到屈服强度,继而截面受压区的混凝土也被压碎,梁才破坏。因此,混凝土的抗压强度和钢筋的抗拉强度都能得到充分的利用,钢筋混凝土梁的承载能力可较素混凝土梁提高很多。

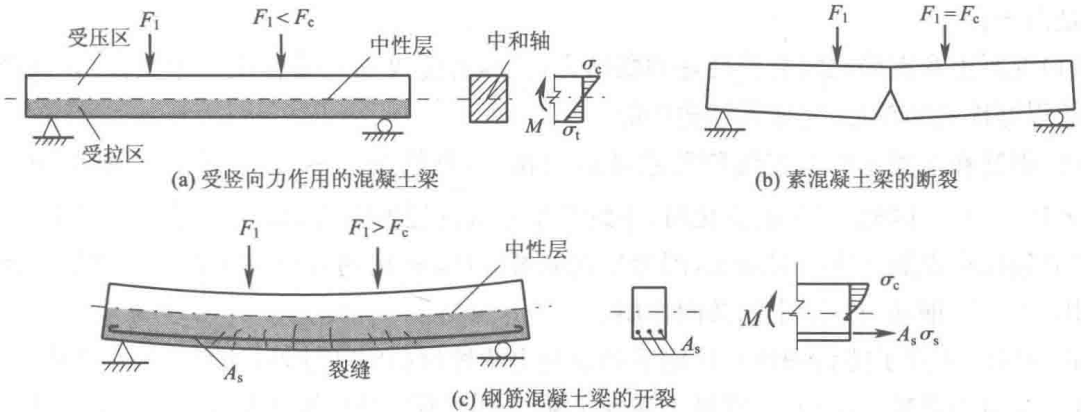


图 2-1 素混凝土梁和钢筋混凝土梁

对素混凝土梁和钢筋混凝土梁进行荷载试验对比,取跨度均为 4 m 的简支素混凝土梁和简支钢筋混凝土梁,混凝土强度等级为 C20,跨中作用集中荷载 P ,梁截面尺寸为 200 mm×300 mm,试验结果表明:

(1)素混凝土梁的极限荷载 $P=8$ kN,由混凝土抗拉强度控制,破坏形态为脆性;

(2)钢筋混凝土梁的极限荷载 $P=36$ kN,由钢筋受拉、混凝土受压而破坏,破坏形态为延性。

由此得出钢筋和混凝土结合的有效性:既可以大大提高结构的承载力,又可以使结构的受力性能得到改善。

混凝土的抗压强度较高,常用于受压构件(如柱)。试验表明,相同尺寸的钢筋混凝土受压构件与素混凝土受压构件相比较,不仅承载能力大为提高,而且受力性能得到改善(图 2-2)。在这种情况下,钢筋的主要作用是协助混凝土共同承受压力。

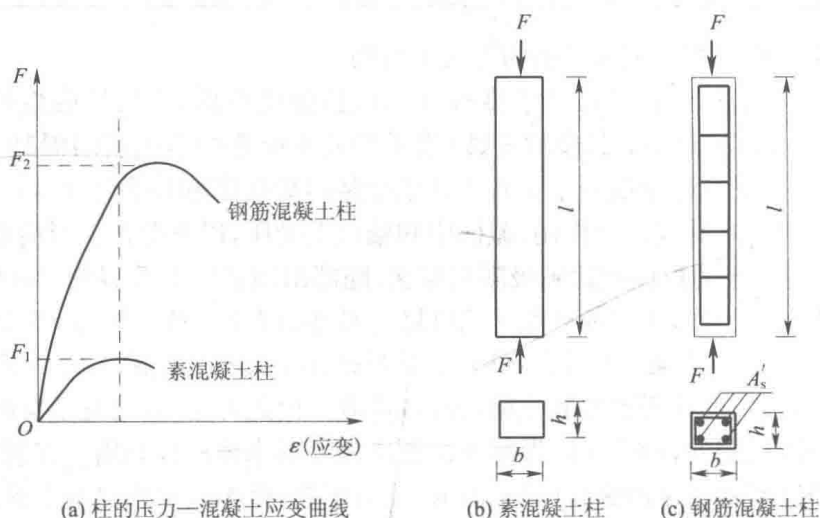


图 2-2 素混凝土和钢筋混凝土轴心受压构件的受力性能比较

综上所述,根据构件受力状况配置钢筋构成钢筋混凝土构件,可以充分利用钢筋和混凝土各自的材料特点,把它们有机地结合在一起共同工作,从而提高构件的承载能力、改善构件的受力性能。钢筋的作用是代替混凝土受拉(如梁)或协助混凝土受压(如柱)。

钢筋和混凝土这两种受力学性能不同的材料之所以能有效的结合在一起而协同工作,主要是由于:

(1)混凝土和钢筋之间有着良好的黏结力,使两者能可靠地结合成一个整体,在荷载作用下能够很好地共同变形,完成其结构功能。

(2)钢筋和混凝土的温度线膨胀系数较为接近,钢筋为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 。因此,当温度变化时,不致产生较大的温度应力而破坏两者之间的黏结。

(3)包围在钢筋外围的混凝土,因为呈现弱碱性(氢氧化钙),所以起着保护钢筋免遭锈蚀的作用,保证了钢筋与混凝土的共同作用。

钢筋混凝土除了能合理地利用钢筋和混凝土两种材料的特性外,还有下述一些优点。

(1)在钢筋混凝土结构中,混凝土强度是随时间而不断增长的,同时,钢筋被混凝土所包裹而不易锈蚀,所以,钢筋混凝土结构的耐久性 is 较好的。钢筋混凝土结构的刚度较大,在荷载

作用下的变形较小,故可有效地用于对变形有要求的工程结构中。

(2)钢筋混凝土结构既可以整体现浇,也可以预制装配,并且可以根据需要浇制成各种构件形状和截面尺寸。

(3)钢筋混凝土结构所用的原材料中,砂、石所占的比重较大,而砂、石易于就地取材,故可以降低工程造价。

钢筋混凝土结构也存在以下缺点:

(1)钢筋混凝土构件的截面尺寸一般较大,因而自重较大, $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$,这对于大跨度结构是不利的,可以发展轻质高强混凝土。

(2)抗裂性能较差,在正常使用时往往是带裂缝工作的,可以施加预应力来解决。

(3)施工受气候条件影响较大,修补或拆除较困难,可以在工厂预制构件。

(4)隔热、隔声性能较差,可以发展保温或隔热砂浆。

随着钢筋混凝土结构的不断发展,上述缺点已经或正在逐步加以改善。

任务 2.1 熟悉混凝土的物理力学性能

钢筋混凝土由钢筋和混凝土这两种力学性能不同的材料所组成。为正确合理地进行钢筋混凝土结构设计,必须深入了解钢筋混凝土结构及其构件的受力性能和特点。

2.1.1 混凝土的强度

1. 混凝土立方体抗压强度 f_{cu}

混凝土的立方体抗压强度是由规定的标准试件和标准试验方法得到的,是混凝土强度基本代表值。我国取用的标准试件为边长相等的混凝土立方体。这种试件的制作和试验均比较简便,而且离散性较小。

我国国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2002)规定以每边边长为 150 mm 的立方体为标准试件,在 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的温度和相对湿度在 95% 以上的潮湿空气中养护 28 天,依照标准试验方法测得的抗压强度值(以 N/mm^2 , 即 MPa 为单位)作为混凝土的立方体抗压强度,用符号 f_{cu} 表示。按这样的规定,就可以排除不同制作方法、养护环境等因素对混凝土立方体强度的影响。

混凝土立方体抗压强度与试验方法有着密切的关系。在通常情况下,试件的上、下表面与试验机承压板之间将产生阻止试件向外自由变形的摩阻力,阻滞了裂缝的发展,从而提高了试块的抗压强度。破坏时,远离承压板的试件中部混凝土所受的约束最少,混凝土也剥落得最多,形成两个对顶叠置的截头方锥体[图 2-3(a)]。在承压板和试件上下表面之间涂以油脂润滑剂(如黄油),则试验加压时摩擦力将大为减少,所测得的抗压强度较低,其破坏形态如图 2-3(b)所示。规范采用的方法是不加油脂润滑剂的试验方法。

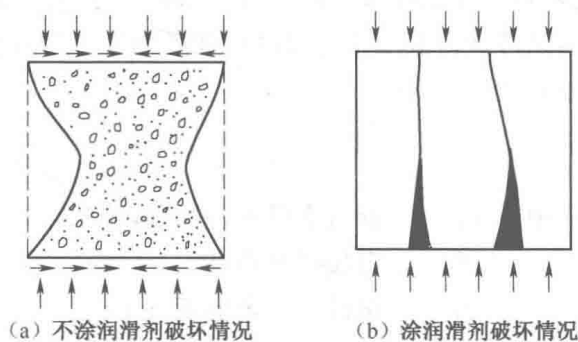


图 2-3 立方体抗压强度试件

我国规范规定的混凝土强度等级,是按立方体抗压强度标准值确定的,用符号 C 表示,共有 14 个等级,即: C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75、C80。其中, C50 级及以下为普通强度混凝土, C50 级以上为高强度混凝土。字母 C 后面的数字表示以 N/mm^2 (MPa) 为单位的立方体抗压强度标准值。例如, 强度等级为 C30 的混凝土是指 $30 \text{ MPa} \leq f_{\text{cu},k} < 35 \text{ MPa}$ 。

2. 混凝土轴心抗压强度(棱柱体抗压强度) f_c

通常钢筋混凝土构件的长度比截面边长要大得多,因此,棱柱体试件(高度大于截面边长的试件)的受力状态更接近于实际构件中混凝土的受力情况。按照与立方体试件相同条件制作和试验方法所得的棱柱体试件的抗压强度值,称为混凝土轴心抗压强度,用符号 f_c 表示。棱柱体抗压试验如图 2-4 所示。

我国国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2002)规定,混凝土的轴心抗压强度试验以 $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$ 的试件为标准试件。

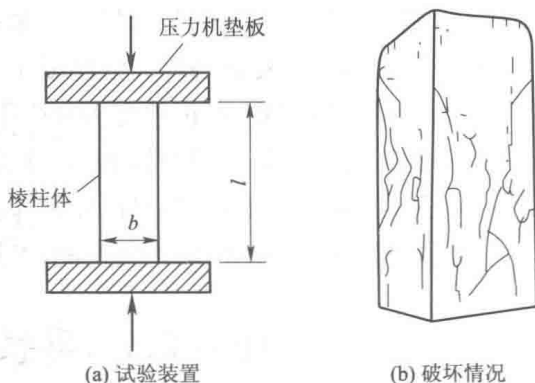


图 2-4 混凝土棱柱体抗压试验和破坏情况

3. 混凝土抗拉强度 f_t

混凝土抗拉强度和抗压强度一样,都是混凝土的基本强度指标。但是混凝土的抗拉强度比抗压强度低得多,它与同龄期混凝土抗压强度的比值大约在 $1/18 \sim 1/8$ 。这项比值随混凝土抗压强度等级的增大而减少,即混凝土抗拉强度的增加慢于抗压强度的增加。

混凝土轴心受拉试验有两种。一种是直接试验,这种试验对于对中的准确性非常敏感,对试验尺寸要求严格,由于混凝土内部的不均匀性,加之安装试件的偏差等原因,准确测定抗拉强度是比较困难的;另一种就是劈裂试验,可间接地测试混凝土的轴心抗拉强度。

劈裂试验是在卧置的立方体(或圆柱体)试件与万能试验机(图 2-5)压板之间放置钢垫条及三合板(或纤维板)垫层(图 2-6),万能试验机通过垫条对试件中心纵向对称面施加均匀的条形分布荷载。这样,除垫条附近外,在试件中间垂直面上就产生了拉应力,方向与加载方向垂直,并且基本上是均匀的。当拉应力达到混凝土的抗拉强度时,试件即被劈裂成两半。我国《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG E 30—2005)规定,采用 150 mm 立方块作为标准试件进行混凝土劈裂抗拉强度测定,按照规定的试验方法操作,则混凝土劈裂抗拉强度 f_{ts} 按式(2-1)计算:

$$f_{\text{ts}} = \frac{2F}{\pi A} \quad (2-1)$$

式中 f_{ts} ——混凝土劈裂抗拉强度(MPa);

F ——劈裂破坏荷载;

A ——试件劈裂面面积(mm^2)。

采用上述试验方法测得的混凝土劈裂抗拉强度值在换算成轴心抗拉强度时,应乘以换算系数 0.9,即 $f_t = 0.9 f_{\text{ts}}$ 。

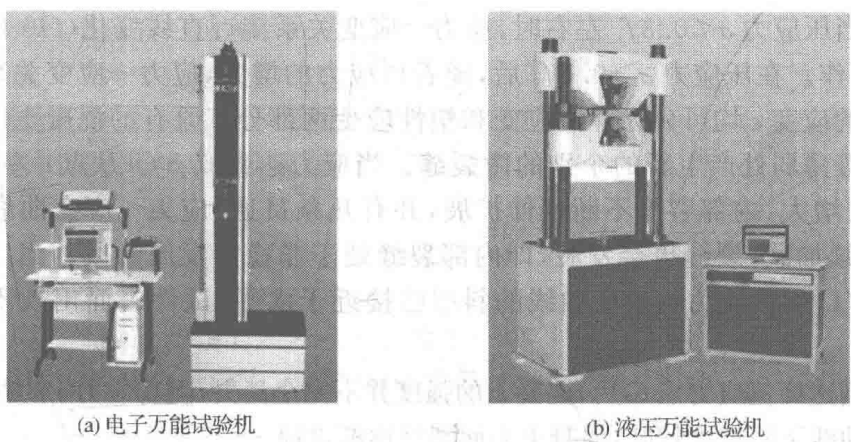


图 2-5 万能试验机

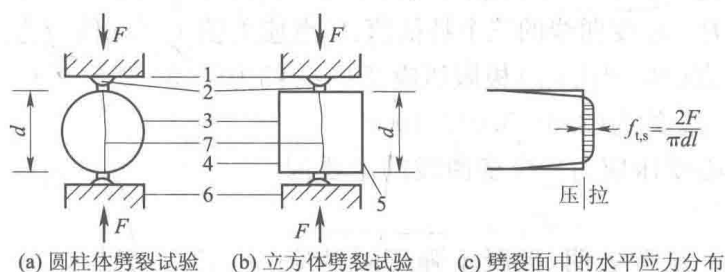


图 2-6 劈裂试验

1—压力机上压板;2—弧形垫条和垫层;3—试件;4—浇模顶面;
5—浇模底面;6—压力机下压板;7—试件破裂线

2.1.2 混凝土的变形

混凝土的变形可分为两类。一类是受力变形,如单调短期加载的变形或荷载长期作用下的变形以及多次重复加载的变形。另一类是体积变形,如混凝土收缩以及温度变化引起的变形。

1. 混凝土在单调、短期加载作用下的变形性能

(1) 混凝土的轴心受压应力—应变曲线

混凝土的轴心受压应力—应变关系是混凝土力学性能的一个重要方面,是研究钢筋混凝土构件的截面应力分布,建立承载能力和变形计算理论所必不可少的依据。

在试验时,需使用刚度较大的试验机,或者在试验中用控制应变速度的特殊装置来等应变速度地加载,或者在普通压力机上用高强弹簧(或油压千斤顶)与试件共同受压,测得混凝土试件受压时典型的应力—应变曲线(图 2-7)。

完整的混凝土轴心受压应力—应变曲线由上升段 OC、下降段 CD 和收敛段 DE 三个阶段组成。

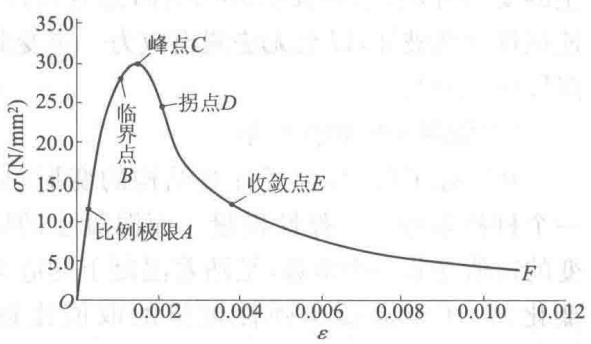


图 2-7 混凝土受压时应力—应变曲线

上升段:当压应力 $\sigma < 0.3f_c$ 左右时,应力—应变关系接近直线变化(OA段),混凝土处于弹性阶段工作。在压应力 $\sigma \geq 0.3f_c$ 后,随着压应力的增大,应力—应变关系愈来愈偏离直线,任一点的应变 ϵ 均可分为弹性应变和塑性应变两部分。原有的混凝土内部微裂缝发展,并在孔隙等薄弱处产生新的个别的微裂缝。当应力达到 $0.8f_c$ (B点) 左右后,混凝土塑性变形显著增大,内部裂缝不断延伸扩展,并有几条贯通,应力—应变曲线斜率急剧减小,如果不继续加载,裂缝也会发展,即内部裂缝处于非稳定发展阶段。当应力达到最大应力 $\sigma = f_c$ 时(C点),应力—应变曲线的斜率已接近于水平,试件表面出现不连续的可见裂缝。

下降段:到达峰值应力点C后,混凝土的强度并不完全消失,随着应力 σ 的减少(卸载),应变仍然增加,曲线下降坡度较陡,混凝土表面裂缝逐渐贯通。

收敛段:在拐点D之后,应力下降的速率减慢,趋于稳定的残余应力。表面纵向裂缝把混凝土棱柱体分成若干个小柱,外加荷载由裂缝处的摩擦咬合力及小柱体的残余强度所承受。

混凝土受压应力—应变曲线的三个特征值:C点应力值 f_c (峰值应力)、C点的应变值 ϵ_{c0} (峰值应变)以及D点的应变值 ϵ_{cu} (极限压应变)。 ϵ_{c0} 约为 $(1.5 \sim 2.5) \times 10^{-3}$,通常取其平均值为 $\epsilon_{c0} = 2.0 \times 10^{-3}$, ϵ_{cu} 约为 $(3.0 \sim 5.0) \times 10^{-3}$ 。

影响混凝土轴心受压应力—应变曲线的主要因素有:

①混凝土强度。试验表明,混凝土强度对其应力—应变曲线有一定影响,如图2-8所示。对于上升段,混凝土强度的影响较小。对于下降段,混凝土强度则有较大影响。混凝土强度愈高,应力—应变曲线下降愈剧烈,延性就愈差(延性是材料在受力而产生破坏之前的塑性变形能力)。

②应变速度。应变速度小,峰值应力 f_c 降低, ϵ_{c0} 增大,下降段曲线坡度显著地减缓。

③测试技术和试验条件。应该采用等应变加载。如果采用等应力加载,则很难测得下降段曲线。压力机的刚度对下降段的影响很大。如果压力机的刚度不足,在加载过程中积蓄在压力机内的应变能立即释放所产生的压缩量,当其大于试件可能产生的变形时,结果形成压力机的回弹对试件的冲击,使试件突然破坏,以至无法测出应力—应变曲线的下降段(图2-9)。

(2)混凝土的弹性模量

在实际工程中,为了计算结构的变形,必须要求一个材料常数——弹性模量。而混凝土的应力—应变的比值并非一个常数,是随着混凝土的应力变化而变化的,所以混凝土弹性模量的取值比钢材复杂得多。

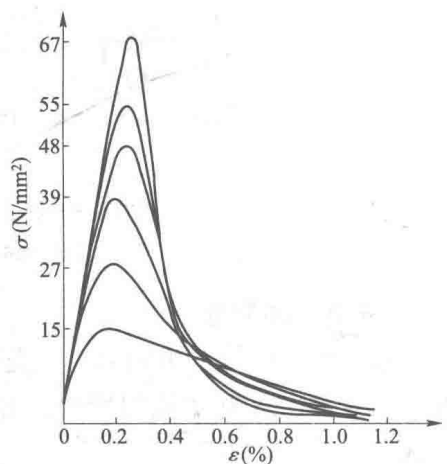


图 2-8 强度等级不同的混凝土应力—应变曲线

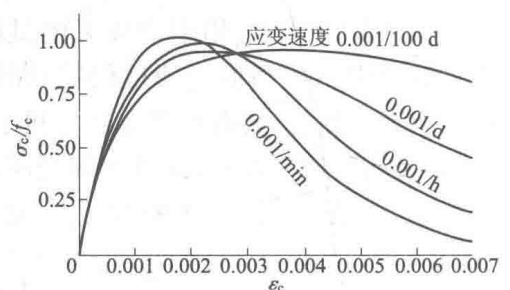


图 2-9 应变速度不同的混凝土应力—应变曲线