



中等职业教育国家规划教材

全国中等职业教育教材审定委员会审定

钢筋混凝土结构

公路与桥梁专业

(第二版)

主编 柴金义



人民交通出版社

China Communications Press

中等职业教育国家规划教材

Gangjin Hunningtu Jiegou

钢筋混凝土结构

(第二版)

(公路与桥梁专业)

主 编 柴金义

人民交通出版社

内 容 提 要

本书是中等职业教育国家规划教材,由交通职业教育教学指导委员会路桥工程专业指导委员会组织编写。主要包括:绪论,混凝土和钢筋材料性能,钢筋混凝土结构设计基本原理,钢筋混凝土受弯构件正截面抗弯承载力计算,钢筋混凝土受弯构件斜截面抗剪承载力计算,钢筋混凝土受弯构件短暂状况应力计算,钢筋混凝土受压构件抗压承载力计算,钢筋混凝土构件持久状况正常使用极限状态计算,预应力混凝土结构的概念及基本计算原理。书后附有本课程教学基本要求,供各校在进行教学安排时参考。

本书作为中等职业学校公路与桥梁专业教学用书,也可供继续教育及职业培训使用,或作为公路工程技术人员的学习参考书。

图书在版编目 (C I P) 数据

钢筋混凝土结构/柴金义主编. —北京:人民交通出版社, 2007.10

ISBN 978-7-114-06735-8

I. 钢… II. 柴… III. 钢筋混凝土结构 IV. TU375

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 121153 号

中等职业教育国家规划教材

书 名: 钢筋混凝土结构 (第二版) (公路与桥梁专业)

著 者: 柴金义

责任编辑: 王文华

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京交通印务实业公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 11

字 数: 272 千

版 次: 2002 年 7 月第 1 版

2007 年 10 月第 2 版

印 次: 2007 年 10 月第 2 版第 1 次印刷总第 4 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-06735-8

印 数: 15001 ~ 20000 册

定 价: 15.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

交通职业教育教学指导委员会

路桥工程专业指导委员会

主 任:柴金义

副主任:金仲秋 夏连学

委 员:(按姓氏笔画排序)

王 彤 王进思 刘创明 刘孟林

孙元桃 孙新军 吴堂林 张洪滨

张美珍 李全文 陈宏志 周传林

周志坚 俞高明 徐国平 梁金江

彭富强 谢远光 戴新忠

秘 书:伍必庆

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神,落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划,根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》(教职成[2001]1 号)的精神,我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写,从 2001 年秋季开学起,国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲(课程教学基本要求)编写,并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想,从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发,注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本,努力为学校选用教材提供比较和选择,满足不同学制、不同专业和不同办学条件的学校的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材,并在使用过程中,注意总结经验,及时提出修改意见和建议,使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇六年六月

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》,落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的“职业教育课程改革和教材建设规划”,教育部全面启动了中等职业教育国家规划教材建设工作。交通职业教育教学指导委员会路桥工程学科委员会组织全国交通职业学校(院)的教师,根据教育部最新颁布的公路与桥梁专业的主干课程教学基本要求,编写了中等职业教育公路与桥梁专业国家规划教材共 8 册,并通过了全国中等职业教育教材审定委员会的审定。

本套教材的编写融入了全国各交通职业学校(院)公路与桥梁专业的教学改革成果,并结合了最新的技术标准、规范以及公路科技进步等情况,具有较强的针对性。新教材较好地贯彻了素质教育的思想,力求体现以人为本的现代理念,从交通行业岗位群的知识和技能要求出发,并结合对培养学生创新能力、职业道德方面的要求,提出教学目标并组织教学内容,在教材的理论体系、组织结构、内容描述上与传统教材有了明显的区别。

《钢筋混凝土结构》是中等职业教育公路与桥梁专业国家规划教材之一,内容包括:绪论,混凝土和钢筋材料性能,极限状态设计法,钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算,钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算,钢筋混凝土受弯构件应力、变形和裂缝宽度计算,钢筋混凝土受压构件承载力计算,预应力混凝土结构设计共 8 章。

参加本书编写工作的有:内蒙古大学职业技术学院柴金义(编写第一、二、三、四、五、六章)、广西交通职业技术

第一版前言

学院黎群(编写第七章)、云南交通职业技术学院张力孙(编写第八章)。全书由内蒙古大学职业技术学院柴金义担任主编,云南交通职业技术学院张力孙担任责任编委。人民交通出版社聘请湖南交通职业技术学院文德云高级讲师担任本套教材的总统稿人。

本书由长安大学胡大琳教授担任责任主审,长安大学白青侠、郭梅副教授审稿。他们对书稿提出了宝贵意见,在此,表示衷心感谢。

限于编者经历及水平,教材内容很难覆盖全国各地的实际情况,希望各教学单位在积极选用和推广国家规划教材的同时,注意总结经验,及时提出修改意见和建议,以便再版修订时改正。

交通职业教育教学指导委员会

路桥工程学科委员会

二〇〇二年五月

随着公路特别是高速公路建设事业的快速发展,我国在公路与桥梁工程设计理论、公路建设新材料、公路施工新技术和新工艺等方面的研究取得了许多新的成果。为此,近年来中华人民共和国交通部颁布了一些新的行业标准、规程和规范。为紧跟行业新技术的发展步伐,适应新标准和规范的要求,改正第一版教材中与新标准、规程和规范表述不相吻合的内容,也为了弥补第一版教材在使用过程中发现的不足,交通职业教育教学指导委员会路桥工程专业指导委员会研究决定,对2002年出版的中等职业教育国家规划教材按以下原则重新编写。

1. 遵循“去旧补新”的原则。根据国家和行业颁布的最新标准、规程和规范以及行业科技进步需要,对原教材中部分内容进行适当的调整和更新,同时对原教材中的不足和疏忽予以弥补。

2. 突出实践技能的原则。按照教育部对中等职业教育培养目标的定位,吸收近几年职业教育教学改革的经验和成果,力求使新修订的教材更符合中职学生的认知规律、实际应用和职业技能的训练需要,体现“所学即所用,所用即所教”。

本书由内蒙古大学职业技术学院柴金义编写并担任主编,内蒙古大学理工学院赵志蒙对全书的文字、插图和例题进行了校核。

第二版教材增附教育部颁布的《中等职业学校公路与桥梁专业教学指导方案》中对《钢筋混凝土结构》课程的“教学基本要求”,以便于各校组织教学时参考。

交通职业教育教学指导委员会
路桥工程专业指导委员会

二〇〇六年八月

第一章	绪论	1
第一节	钢筋混凝土结构的概念	1
第二节	钢筋混凝土在公路桥涵结构中的应用	2
第三节	公路钢筋混凝土桥梁结构发展简况	2
第四节	钢筋混凝土结构的学习方法	3
	思考题	4
第二章	混凝土和钢筋材料性能	5
第一节	混凝土	5
第二节	钢筋	10
第三节	钢筋与混凝土的黏结作用	18
	思考题	21
第三章	钢筋混凝土结构设计基本原理	22
第一节	极限状态的概念	22
第二节	公路桥梁结构上的作用	26
第三节	概率极限状态设计法	30
第四节	混凝土结构的耐久性设计	36
	思考题	39
第四章	钢筋混凝土受弯构件正截面抗弯承载力计算	40
第一节	钢筋混凝土受弯构件的应用及其构造特点	40
第二节	钢筋混凝土梁的正截面破坏状态	43
第三节	单筋矩形截面正截面抗弯承载力计算	48
第四节	双筋矩形截面正截面抗弯承载力计算	61
第五节	单筋 T 形截面正截面抗弯承载力计算	66
	思考题	73
第五章	钢筋混凝土受弯构件斜截面抗剪承载力计算	74
第一节	概述	74
第二节	斜截面抗剪承载力计算	74
第三节	全梁承载力的校核	86
	思考题	90
第六章	钢筋混凝土受弯构件短暂状况应力计算	91
第一节	正截面应力验算	91

第二节 斜截面应力验算	94
思考题	97
第七章 钢筋混凝土受压构件抗压承载力计算	98
第一节 概述	98
第二节 轴心受压构件正截面抗压承载力计算	101
第三节 矩形截面偏心受压构件正截面抗压承载力计算	107
第四节 圆形截面偏心受压构件正截面抗压承载力计算	114
思考题	120
第八章 钢筋混凝土构件持久状况正常使用极限状态计算	121
第一节 钢筋混凝土构件裂缝宽度计算	121
第二节 钢筋混凝土受弯构件变形计算	123
思考题	125
第九章 预应力混凝土结构的概念及基本计算原理	126
第一节 预应力混凝土的基本概念	126
第二节 预应力钢筋的锚固	129
第三节 预应力损失计算	132
第四节 预应力混凝土梁的受力阶段分析	143
第五节 预应力混凝土梁的构造要求	144
第六节 预应力混凝土受弯构件计算	147
思考题	160
附录 《钢筋混凝土结构》教学基本要求	161
参考文献	164

第一章 绪 论

第一节 钢筋混凝土结构的概念

将水泥、集料(砂、砾石、碎石)和水按适当的比例拌和在一起,结硬后可获得坚固的类似岩石的块材,称为混凝土。混凝土的密度取决于形成混凝土的各种材料,普通混凝土的重度约为 24kN/m^3 。在混凝土的组成中,粗、细集料占总体积的 $60\% \sim 80\%$,细集料由天然砂或成品砂组成,粗集料由碎石、砾石或铁矿渣构成。

混凝土的抗压强度很高,但抗拉强度很低。为此,若要混凝土构件承受拉应力,就需要用抗拉强度很高的材料予以“加强”。通常的做法是在构件受拉部位放置适量的钢筋。在构件里设置钢筋的主要目的是加强构件的抗拉能力。此外,钢筋也可以用来加强混凝土构件受压区的抗压能力。因此,钢筋混凝土具备了既受压又受拉的性能,因而成为工程上广泛应用的建筑材料。

以混凝土材料为主制成的结构,称为混凝土结构。其中包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构。混凝土结构中不配置钢筋或根据某些规定配置构造钢筋的混凝土结构称为素混凝土结构。根据受力要求把钢筋以合理的形式浇筑在混凝土中而形成的混凝土结构称为钢筋混凝土结构。如果在混凝土结构中,通过张拉钢筋而对混凝土施加预压应力,就形成了预应力混凝土结构。混凝土的预压应力用以抵消荷载引起的拉应力,从而提高了结构的抗裂性。

钢筋和混凝土组成的材料在受到各种作用效应时具有两种材料的特点。例如,在钢筋混凝土受弯构件(梁、板)中,可以用钢筋来承受弯矩引起的全部拉应力,而受压区的混凝土承受压应力。在受拉为主的构件中,可以用钢筋来承受全部拉力,混凝土则对钢筋起保护作用,使钢筋免受腐蚀。在受压为主的构件中,为减小构件截面尺寸和改善构件的受力性能,可以配置一定数量的钢筋来分担构件所承受的压力。

钢筋和混凝土两种材料能够共同工作的原因是:

(1) 钢筋与混凝土之间的黏结面具有可靠的黏结力。混凝土的凝结作用、混凝土与表面粗糙或表面带肋纹的钢筋之间的机械咬合作用在界面处形成了一定程度的黏结力,从而使钢筋和混凝土之间的黏结面具有一定的受剪承载力。这种黏结作用能够保证钢筋和混凝土协调变形、共同工作,直至破坏。

(2) 钢筋和混凝土的温度线膨胀系数很接近(钢材为 $1.2 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$,混凝土为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$)。因此,当外部温度发生变化时,在两种材料内不会因为收缩或膨胀而破坏两种材料之间的黏结强度。

(3) 钢筋外面的混凝土(指由钢筋表面到构件表面的混凝土保护层)的碱性性质对钢筋起到长期保护作用,使钢筋免遭腐蚀。

第二节 钢筋混凝土在公路桥涵结构中的应用

钢筋混凝土在公路工程中的应用非常广泛,用来建造公路桥梁的结构构件,包括受弯构件、轴心受力(受压和受拉)构件、偏心受力(受压和受拉)构件以及受扭构件等。板和梁作为受弯构件,柱式桥墩台、钻孔灌注桩作为偏心受压构件,桁架桥中的拉杆和系杆拱桥中的系杆作为偏心受拉构件,均是桥梁工程中应用很广的钢筋混凝土构件。

钢筋混凝土如此广泛的应用在于其具备下列主要优点:

- (1)强度高。混凝土的抗压强度很高,适合制作各类承重构件。
- (2)耐久性好。混凝土的强度是随时间增长而增长的,同时钢筋混凝土对于遭受自然气候的干湿和冷热变化以及化学侵蚀等均具有较强的抵抗力,又包住钢筋不使其生锈。
- (3)抗震性能好。钢筋混凝土结构因为整体性较好,具有一定的延性,故具有较好的抗震性能。
- (4)耐热性好。与钢结构相比,钢筋混凝土结构具有较好的耐火性。
- (5)可塑性好。可根据需要,浇筑成各种形状和尺寸的结构构件。
- (6)可就地取材。钢筋混凝土结构构件所用的材料中,砂石材料所占比重较大,易于就地取材。

钢筋混凝土结构也存在一些缺点,如结构自重重大,施工质量不易控制,抗裂性能较差等,从而使其应用范围受到一定限制。然而,随着生产和科技进步,钢筋混凝土的缺点已经或正在得以逐步克服。例如:采用轻质集料代替天然集料;大力发展装配式结构和预应力结构;改进结构形式等。

第三节 公路钢筋混凝土桥梁结构发展简况

自古希腊和古罗马时代以来,混凝土及其胶结材料(如火山灰等)就一直在应用。19世纪中叶到20世纪初期是钢筋混凝土结构发展的初期,那时已有一些简单的钢筋混凝土板、梁、柱、桁架和拱构件应用。1867年 Monier 开创了钢筋混凝土的应用。1866年 Wass 和 Koenen 对钢筋混凝土梁进行了一系列试验研究。1871年 Adir 在英国的 Homersfield 镇跨 Waveney 河上修建了世界上第一座15m跨径的混凝土桥。1901年 Robert Maillart 在瑞士的 Tavano 修建了一座跨 Rhine 河的实腹式箱形三铰拱桥,该桥成为以后40年中同类桥梁结构的典范。1905年 Hennebique 在比利时列日(liege)建造了一座55m的单跨桥。1906年 C. A. P. Turner 研制了第一块无梁混凝土板。钢筋混凝土在任何建筑形式上的适应性以及随着混凝土施工效率的提高,使其广泛应用于桥梁建筑上。

1886年 Koenen 公布了混凝土结构理论与设计的第一份手稿。之后,1910年德国钢筋混凝土委员会、奥地利混凝土委员会、美国混凝土学会在这一领域里的研究取得了相当的进展。到1920年,已修建了许多钢筋混凝土结构物,其中包括钢筋混凝土桥梁。1938年在前苏联,1956年在英国和美国,有人提出了极限强度理论,大大推动了钢筋混凝土结构设计理论及其应用技术的发展。

在19世纪末期,Jackson 和 Doehring(于1886年和1888年)正式提出了预应力混凝土的概念,但是,由于混凝土收缩和徐变引起的预应力损失很大,其应用没有获得成功。直到

1926~1928年当 Freyssenet 用高强钢材解决了预应力损失问题,人们才认为预加应力法是可行的。二次大战后,由于钢材的短缺,预应力混凝土成为大跨径桥梁结构最流行的选择方案。如今,先张法和后张法预应力混凝土结构构件成功地应用于大型桥梁建筑上。

随着生产力水平的提高,试验技术、计算理论研究、材料工艺的发展以及新型结构的开发应用,使钢筋混凝土成为现代工程中应用最广泛的建筑材料。目前,我国常用的混凝土强度已达到 20~50MPa,国外常用的混凝土抗压强度已达到 80MPa 以上。在 20 世纪 90 年代初,美国联邦公路管理局(FHWA)开始了高性能混凝土(HPC)在公路桥梁上的应用试验研究。高性能混凝土是指能满足各种特殊性能要求而采用非常规成分经拌和、浇筑和养护而成的混凝土。其突出的特性是高强度、低渗透性,比普通混凝土更耐久和强度更高。

近 30 年来,我国在钢筋混凝土基本理论与计算方法、可靠度与作用分析、检测技术以及电子技术在钢筋混凝土结构中的应用等方面取得了很多成果,为制定和修订有关规范、规程提供了大量的数据和科学依据。

我国的公路钢筋混凝土桥梁结构理论和对混凝土变形性能分析研究进步很快。在结构可靠度方面,从单一安全系数法过渡到概率极限状态法的应用。国家先后颁布了《公路工程结构可靠度设计统一标准》(GB/T 50283—1999)和新的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)。2004 年交通部颁布了《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)和《公路钢筋混凝土和预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)等行业规范。这些规范必将促进公路桥涵混凝土结构设计的技术应用。

第四节 钢筋混凝土结构的学习方法

本课程是公路与桥梁专业的主干课程之一,课程主要学习桥梁规范规定的钢筋混凝土结构构件承载力计算的基本原理,其中包括构件的受力性能、承载力和变形计算方法等。这是以后学习钢筋混凝土桥梁和涵洞等构造物的基础知识。

(1)在学习钢筋混凝土结构时,要着重从它与力学不同的方面来掌握钢筋混凝土的特点。由于混凝土是非匀质、非连续、非弹性的材料,钢筋混凝土结构构件的受力性能与力学中所讨论的材料不同,因此,力学中计算公式可直接应用的情况不多,但是,在学习钢筋混凝土结构时可借鉴力学中解决问题的一般方法,如通过几何、物理和平衡关系建立基本方程的途径,只要在每一种关系的具体内容上考虑钢筋混凝土性能上的特点即可。由于钢筋混凝土构件是由钢筋和混凝土两种性能很不相同的材料所组成的,二者之间在受力和变形上存在着相互协调、相互制约的问题。这是钢筋混凝土结构的一个比较基本而又具有实际意义的问题。既然钢筋混凝土是由两种材料组成的,则两种材料在强度和数量上存在一个配比的问题。如果材料强度的搭配或配筋的比值超过了一定的范围和界限,就会引起构件受力性能的改变,这是钢筋混凝土构件的特点,是匀质材料构件所没有的。

(2)在学习和运用钢筋混凝土构件的计算公式时,要特别注意它的适用范围和条件。钢筋混凝土构件的计算方法是建立在试验基础上的。由于混凝土受力性能的复杂性,又没有非常完善的强度理论,有关混凝土的强度和变形规律在很大程度上是根据试验资料的统计分析结果给出的经验关系。

(3)在学习本课程时,要注意学习对多种因素进行综合分析的方法。力学课程侧重于构件的应力分析和变形计算,其解答往往是唯一的。钢筋混凝土结构课程所要解决的问题不仅

仅是承载力和变形问题,而主要的问题是结构构件的设计,包括方案、截面形式和材料的选择以及配筋构造等。结构设计是一个综合性问题,需要考虑安全、适用、经济和施工的可行性各个方面的因素。同一个构件在给定的作用条件下,可以有不同的截面形式、尺寸、配筋数量等多种答案,往往需要进行适用、材料用量、造价、施工等各项指标的综合分析比较才能合理地选择。

(4)要学会运用规范。本课程在很多方面与规范有关。为了贯彻国家的技术经济政策,保证设计与施工质量,达到设计方法上的统一化、标准化,国家颁布了钢筋混凝土结构的设计规范,这是工程技术人员必须遵守的规定,应该熟悉其内容并学会运用。

思 考 题

1. 什么是钢筋混凝土结构?
2. 为什么钢筋和混凝土两种性质不同的材料能够有效地共同作用?
3. 钢筋混凝土结构的优缺点是什么?

第二章 混凝土和钢筋材料性能

第一节 混 凝 土

一、混凝土的强度

强度是混凝土最重要的力学性质,这是因为任何混凝土结构物主要是用以承受荷载或抵抗各种作用力的。在一定情况下,在工程上还要求混凝土具有其他性能,如不透水性、抗冻性等。但是,这些性质与混凝土强度之间存在着密切的联系。一般说来,混凝土的强度愈高,其刚性、不透水性、抵抗风化和某些侵蚀介质的能力愈高。另一方面,强度愈高,往往干缩也较大,同时较脆易裂。因此,通常用混凝土强度来作为评定和控制混凝土的质量以及评价各种因素(如原材料、配合比、制造方法和养护条件等)影响程度的指标。

1. 混凝土的抗压强度

在钢筋混凝土结构中,混凝土主要用于承受压力,因而研究其抗压强度是十分必要的。试验表明,混凝土的抗压强度除受组成材料的性质、配合比、养护环境、施工方法等影响外,还与试验方法及试件尺寸、形状有关。

混凝土抗压强度的表示方法如下。

1) 混凝土的强度等级 $f_{cu,k}$

混凝土的强度等级应按立方体抗压强度标准值来划分。按照标准制作养护方法,以边长为 150mm 的立方体尺寸标准试件[图 2-1a)] 养护至 28d 龄期,以标准试验方法测得的具有 95% 保证率的抗压强度值,单位以 MPa 计,称为混凝土的强度等级。混凝土强度等级采用符号 C 与立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$ 表示。例如,强度等级 C20 指立方体抗压强度标准值为 20MPa。

$$f_{cu,k} = \mu_{f150}^s - 1.645\sigma_{f150} = \mu_{f150}^s (1 - 1.645\delta_{f150}) \tag{2-1}$$

式中: $f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值 (MPa);

μ_{f150}^s ——混凝土立方体抗压强度平均值 (MPa);

σ_{f150} ——混凝土立方体抗压强度标准差 (MPa);

δ_{f150} ——混凝土立方体抗压强度的变异系数, $\delta_{f150} = \sigma_{f150} / \mu_{f150}^s$, 其值可按表 2-1 采用。

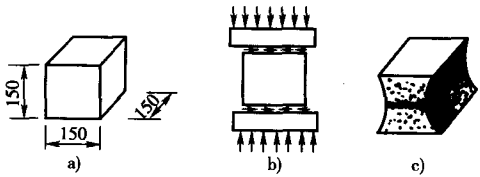


图 2-1 混凝土的抗压强度试验(尺寸单位:mm)

混凝土立方体抗压强度的变异系数

表 2-1

混凝土的强度等级	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60
变异系数 δ_{f150}	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10

注:混凝土强度等级大于 C60 时,均取 $\delta_{f150} = 0.10$ 。

《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)[以下简称《桥规》(JTG D62)]规定,混凝土按强度等级可分为 C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75 和 C80 共十四个等级。中间以 5MPa 进级。C50 以下为普通混凝土,C50 及以上为高强混凝土。公路桥涵钢筋混凝土受力构件的混凝土强度等级不应低于 C20;当采用 HRB400、KL400 钢筋时,混凝土强度等级不应低于 C25。预应力混凝土构件的混凝土强度等级不应低于 C40。

当采用非标准试件时,应将其抗压强度折算为标准试件抗压强度。对边长为 100mm 和 200mm 的立方体试件,折算系数分别采用 0.95 和 1.05。

需要指出,立方体的受力情况并不能代表混凝土构件中的受力情况,它只是作为一种在给定的统一试验方法下衡量混凝土强度的基本方法。因为这种试件的制作和试验均比较简便,而且离散性较小。

2) 轴心抗压强度

用高宽比 $h/b \geq 3$ 的柱体试件所测得的抗压强度,称为轴心抗压强度(或称为柱体抗压强度)。我国采用 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 450\text{mm}$ 柱体作为混凝土轴心抗压试验的标准试件进行试验,柱体强度试验统计平均值 μ_{fc}^s 与立方体抗压强度试验统计平均值 $\mu_{f_{150}}^s$ 呈线性关系,即:

$$\mu_{fc}^s = \alpha \mu_{f_{150}}^s \quad (2-2)$$

式中: α ——柱体强度与立方体强度之比值:对于 C50 及以下混凝土,取 $\alpha = 0.76$;对 C55 ~ C80 混凝土,取 $\alpha = 0.77 \sim 0.82$ 。

考虑到构件中混凝土与试件混凝土因品质、制作工艺、养护条件、受荷情况和环境条件等不同而存在差异,按《公路工程结构可靠度设计统一标准》(GB/T 50283—1999)[以下简称《可靠度统一标准》(GB/T 50283)]条文说明,对试件混凝土强度修正系数取为 0.88。这样,构件混凝土柱体抗压强度 f_c 的平均值为:

$$\mu_{fc}^s = 0.88 \alpha \mu_{f_{150}}^s \quad (2-3)$$

轴心抗压强度 f_c 是混凝土结构最基本的强度指标。在实际工程结构中,绝大多数受压构件其高度比其支承面的边长要大得多,所以用柱体强度比立方体强度能更好地反映混凝土的实际抗压能力。

2. 混凝土的抗拉强度

混凝土的抗拉强度很小,一般约为其抗压强度的 $1/18 \sim 1/8$ 。在钢筋混凝土结构构件的承载力计算中一般不考虑混凝土承受拉力,因而用不到这个强度指标。只有当验算钢筋混凝土结构的抗裂性、抗剪、抗扭承载力等时,抗拉强度才是起控制作用的强度指标。

混凝土抗拉强度常用的测试方法如图 2-2 所示。用钢模浇筑成型的 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 500\text{mm}$ 的柱体试件,通过预埋在试件轴线两端的肋纹钢筋(埋入长度为 150mm),对试件施加拉力,试件破坏时的平均应力即为混凝土的轴心抗拉强度 f_t^s 。

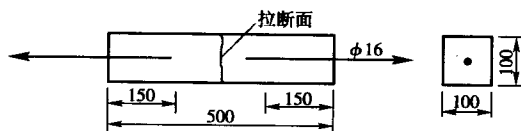


图 2-2 混凝土轴心抗拉强度试验(尺寸单位:mm)

根据混凝土直接受拉试验结果,混凝土轴心抗拉强度的统计平均值 μ_{ft}^s 与立方体抗压强度试验统计平均值 $\mu_{f_{150}}^s$ 之间的关系为:

$$\mu_{ft}^s = 0.395 (\mu_{f_{150}}^s)^{0.55} \quad (2-4)$$

构件混凝土轴心抗拉强度的平均值为:

$$\mu_{\mu}^s = 0.88 \times 0.395 (\mu_{\mu 150}^s)^{0.55} \quad (2-5)$$

3. 强度标准值和强度设计值

按照极限状态设计时,材料强度的取值是在数理统计的基础上,根据结构的安全和经济条件,选取某一个具有保证率的强度值作为设计指标。在分析大量试验结果的基础上,认为混凝土在各种受力状态下(立方体受压、棱柱体受压及轴心受拉)的强度变化规律均符合正态分布。

混凝土立方体强度的标准值相当于立方体抗压强度的统计平均值减去 1.645 倍均方差,即具有 95% 保证率的立方体抗压强度。与这个值相对应的各项强度指标(如轴心抗压强度、轴心抗拉强度等)就称为混凝土的各项“强度标准值”,记为 $f_{cu,k}$ 。

不同强度等级混凝土的轴心抗压强度标准值和轴心抗拉强度标准值是由立方体抗压强度标准值推算出来的,其中假定混凝土的各种强度的概率分布具有相同的变异系数 $\delta_{\mu 150}$ (表 2-1)。

1) 混凝土的轴心抗压强度标准值 f_{ck}

$$f_{ck} = \mu_{fc} (1 - 1.645\delta_{fc}) = 0.88\alpha\mu_{\mu 150}^s (1 - 1.645\delta_{\mu 150}) = 0.88\alpha f_{cu,k} \quad (2-6)$$

对于 C25 混凝土, $f_{ck} = 0.88 \times 0.76 \times 25 \approx 16.7$ (MPa)。

2) 混凝土的轴心抗拉强度标准值 f_{tk}

$$f_{tk} = \mu_{\mu} (1 - 1.645\delta_{\mu}) = 0.88 \times 0.395 (\mu_{\mu 150}^s)^{0.55} (1 - 1.645\delta_{\mu 150})$$

将式(2-1)变为 $\mu_{\mu 150}^s = \frac{f_{cu,k}}{1 - 1.645\delta_{\mu 150}}$ 代入上式,则得:

$$f_{tk} = 0.88 \times 0.395 f_{cu,k}^{0.55} (1 - 1.645\delta_{\mu 150})^{0.45} \quad (2-7)$$

对于 C25 混凝土, $f_{tk} = 0.88 \times 0.395 \times 25^{0.55} \times (1 - 1.645 \times 0.16)^{0.45} \approx 1.78$ (MPa)。

混凝土强度标准值列入表 2-2 中。

混凝土强度标准值(单位:MPa)

表 2-2

强度种类	符号	混凝土强度等级								
		C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60
轴心抗压	f_{ck}	13.4	16.7	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4	35.5	38.5
抗 拉	f_{tk}	1.54	1.78	2.01	2.20	2.40	2.51	2.65	2.74	2.85

3) 混凝土强度的设计值

混凝土抗压强度设计值 f_{cd} 和抗拉强度设计值 f_{td} 与其对应的标准值的关系为:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (2-8)$$

$$f_{td} = \frac{f_{tk}}{\gamma_c} \quad (2-9)$$

式中: γ_c ——混凝土材料性能的分项系数,公路桥涵工程按照可靠度分析方法确定出的各级混凝土的强度分项系数均为 $\gamma_c = 1.45$ 。

用表 2-2 中混凝土强度标准值依次除以混凝土强度分项系数($\gamma_c = 1.45$)即可求得各级混凝土的强度设计值,如表 2-3 所列。

混凝土强度设计值(单位:MPa)

表 2-3

强度种类	符号	混凝土强度等级								
		C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60
轴心抗压	f_{cd}	9.2	11.5	13.8	16.1	18.4	20.5	22.4	24.4	26.5
轴心抗拉	f_{td}	1.06	1.23	1.39	1.52	1.65	1.74	1.83	1.89	1.96

注:计算现浇钢筋混凝土轴心受压和偏心受压构件时,如截面的长边或直径小于 300mm,表中数值应乘以系数 0.8;当构件质量(混凝土成型、截面和轴线尺寸等)确有保证时,可不受此限制。