



交通土建高职高专统编教材

Jiegou
Sheji Yuanli



结构设计原理

(第二版)

孙元桃 主编
叶见曙 [东南大学] 主审



人民交通出版社
China Communications Press

交通土建高职高专统编教材

Jiegou Sheji Yuanli

结构设计原理

(第二版)

孙元桃 主编

叶见曙[东南大学] 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为交通土建高职高专统编教材,以原高职教材为基础,按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)等规范进行了修订。主要介绍了钢筋混凝土、预应力混凝土、圬工结构的设计原理,包括如何合理选择构件截面尺寸及配筋,力学计算图式的拟定,构件承载力、稳定度、刚度和裂缝计算等。

本书可作为高职路桥、监理、检测、养护等专业教材,亦可供中职有关师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

结构设计原理/孙元桃主编. —第二版. —北京:人民交通出版社, 2005.4

ISBN 7-114-05520-X

I.结... II.孙... III.建筑结构-结构设计
IV.TU318

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 029194 号

书 名: 交通土建高职高专统编教材
结构设计原理(第二版)

著 作 者: 孙元桃

责任编辑: 卢仲贤 师 云

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: 北京凯通印刷厂

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 16

字 数: 384 千

版 次: 2002 年 8 月第 1 版

2005 年 5 月第 2 版

印 次: 2005 年 5 月第 2 版第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-114-05520-X

印 数: 23001~28000 册

定 价: 23.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

交通土建高职高专统编教材编审委员会

主任委员 张洪滨(吉林交通职业技术学院)

副主任委员 (按姓氏笔画为序)

田 平(河北交通职业技术学院)

刘建明(青海交通职业技术学院)

张润虎(贵州交通职业技术学院)

李全文(四川交通职业技术学院)

陆春其(南京交通职业技术学院)

俞高明(安徽交通职业技术学院)

钟建民(山西交通职业技术学院)

郭发忠(浙江交通职业技术学院)

彭富强(湖南交通职业技术学院)

程兴新(陕西交通职业技术学院)

谢远光(重庆交通职业技术学院)

委 员 (按姓氏笔画为序)

王 彤(辽宁交通高等专科学校)

王 亮(云南交通职业技术学院)

王连威(吉林交通职业技术学院)

刘 武(江西交通职业技术学院)

孙元桃(宁夏交通职业技术学院)

张世海(甘肃交通职业技术学院)

张保成(内蒙古大学职业技术学院)

张美珍(山西交通职业技术学院)

李仕东(鲁东大学交通学院)

李加林(广东交通职业技术学院)

李绪梅(新疆交通职业技术学院)

杨晓丰(黑龙江工程学院)

邹积君(鲁东大学交通学院)

陈方晔(湖北交通职业技术学院)

周传林(南京交通职业技术学院)

周志坚(福建交通职业技术学院)

金 桃(贵州交通职业技术学院)

姚 丽(辽宁交通高等专科学校)

赵卫平(黑龙江工程学院)

夏连学(河南交通职业技术学院)

曹雪梅(四川交通职业技术学院)

梁金江(广西交通职业技术学院)

薛安顺(陕西交通职业技术学院)

秘 书 长 卢仲贤(人民交通出版社)

总 序

针对高职高专教材建设与发展问题,教育部在《关于加强高职高专教材建设的若干意见》中明确指出:先用2至3年时间,解决好高职高专教材的有无问题。再用2到3年时间,推出一批特色鲜明的高质量的高职高专教育教材,形成一纲多本、优化配套的高职高专教育教材体系。

2001年7月,由人民交通出版社发起组织,15所交通高职院校的路桥系主任或骨干教师相聚昆明,研讨交通土建高职高专教材的建设规划,提出了28种高职高专教材的编写与出版计划。后在交通部科教司路桥工程学科委员会的具体指导下,在人民交通出版社精心安排、精心组织下,于2002年7月前完成了28种路桥专业高职高专教材出版工作。

这套教材的出版发行首先解决了交通高职教育教材的有无问题,有力支持了路桥专业高职教育的顺利发展,也受到了全国各高职院校的普遍欢迎。

随着高职教育教学改革的深入发展、高职教学经验的丰富与积累,以及本行业有关技术标准规范的更新,本套教材在使用了2至3轮的基础上,对教材适时进行修订是十分必要的,时机也是成熟的。

2004年8月,人民交通出版社在新疆乌鲁木齐召开了有19所交通高职院校领导、系主任、骨干教师共41人参加的教材修订研讨会。会议商定了本套教材修订的基本原则、方法和具体要求。会议决定本套教材更名为“交通土建高职高专统编教材”,并成立了以吉林交通职业技术学院张洪滨为主任委员的“交通土建高职高专统编教材编审委员会”,全面负责本套教材的修订与后续补充教材的建设工作。

经修订后,本套高职高专教材具有以下特色:

——顺应交通高职院校人才培养模式和教学内容体系改革的要求,按照专业培养目标,进一步加强教材内容的针对性和实用性,适应学制转变,合理精简和完善内容,调整教材体系,贴近模块式教学的要求;

——实施开放式的教材编审模式,聘请高等院校知名教授和生产一线专家直接介入教材的编审工作,更加有利于对教材基本理论的严格把关,有利于反映科研生产一线的最新技术,也使得技能培训与实际密切结合;

——全面反映2003年以来的公路工程行业已颁布实施的新标准规范;

——服务于师生、服务于教学,重点突出,逐章均配有思考题或习题,并给出本教材的参考教学大纲;

——注重学生基本素质、基本能力的培养,教材从内容上、形式上力求更加贴近实际。

本套教材的出版与修订再版始终得到了交通部科教司路桥工程学科委员会和全国交通职教路桥专业委员会的指导与支持,凝聚了交通行业专家、教师群体的智慧和辛勤劳动。

愿我们共同向精品教材的目标持续努力。

向所有关心、支持本套教材编写出版的各级领导、专家、教师、同学和朋友们致以敬意和谢意。

交通土建高职高专统编教材编审委员会

人民交通出版社

2005年5月

第二版前言

随着《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)、《公路圬工桥涵设计规范》(JTG D61—2004)(送审稿)的陆续颁布,以旧规范为标准而编写的原高职教材《结构设计原理》已不适应目前的职业教育需求,本教材即是以最新颁布的《桥规》为主要依据,介绍了钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和圬工结构的设计计算原理。

本书以原高职教材《结构设计原理》为基础,章节顺序基本不变,除了按新《桥规》的要求增加的编写内容外,每章都增附了一定数量的思考题和习题,以利于教师教学或学生自学。

教师在用此书时,可根据具体情况选择教学内容。三年制的高职高专,需要54课时;两年制的高职高专,需要36课时。在本书后附有参考教学大纲。

本书由宁夏交通职业技术学院的孙元桃主编。人民交通出版社交通土建高职高专统编教材编审委员会特邀东南大学教授叶见曙先生担任本书主审。叶先生对本书进行了认真详细的审核,并提出了许多宝贵的修改意见,在此向叶先生深表谢意。

具体编写分工如下:总论、第一章、第二章、第三章、第四章、第九章、第十章、第十一章由宁夏交通职业技术学院孙元桃编写;第五章、第六章、第七章、第八章由鲁东大学交通学院刘智儒编写,第十二章、第十三章、第十四章由山西交通职业技术学院刘三会编写。

由于编者水平有限,加之对2004年新颁布的《桥规》理解不深,教材中难免有不足和欠妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2005年5月

前 言

本教材依据全国“路桥工程学科委员会高职教材建设联络组”2001年昆明会议的决议编写而成。

高等职业教育培养的是一线岗位的应用型技术人才。随着我国社会主义市场经济的飞速发展,培养能很快适应社会需要的理论功底扎实、实践动手能力强、具有较强创新意识的高素质实用型人才是职业技术学院的任务。交通高等职业技术教育路桥专业教学研究与教材建设联络组在2001年7月的昆明会议上,对高职教材提出了具体的要求:(1)针对性与先进性;(2)实用性与可操作性;(3)综合性与科学性。本书由宁夏交通职业技术学院孙元桃主编,新疆交通职业技术学院孙发忠主审。具体编写分工如下:总论、第五章、第六章、第七章、第八章由宁夏交通职业技术学院孙元桃编写;第一章、第二章、第三章、第四章由鲁东大学交通学院刘智儒编写;第九章、第十章由安徽交通职业技术学院李玉红编写;第十一章、第十二章、第十三章由安徽交通职业技术学院吴跃梓编写。

本书于2002年5月下旬在宁夏银川审稿会上审定,参加审稿会的有人民交通出版社卢仲贤,新疆交通职业技术学院郭发忠,宁夏交通职业技术学院孙元桃、李艳东,鲁东大学交通学院刘智儒,甘肃交通职业技术学院陈彪来等6人。

本教材在编写过程中,力求符合“路桥专业高职教材编审原则”规定,体现高职教材的特点;采用国家及行业最新技术标准和技术规范,选编最新材料、工艺;理论部分以“必需、够用”为原则,注重讲清概念、基本原理和基本方法。理论内容的深度和广度高于中等职业教育的水平,但又不同于本科教材。全书在讲清基本概念和基本原理的基础上,介绍了工程设计中实用的计算方法,并列举了较多的计算实例。编写内容密切结合我国的工程实际和研究成果,力求文字简练、深入浅出以及理论联系实际。

本书在编写过程中,得到了人民交通出版社卢仲贤、甘肃交通职业技术学院陈彪来、宁夏交通职业技术学院李艳东、王家桂、牛永彪的指导和帮助,及附于书末的参考文献作者们对本书的完成给予了巨大的支持,在此一并衷心致谢。

鉴于编者的水平及能力有限,书中错误和不足在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2005年元月

目 录

CONTENTS

总论	1
第一章 钢筋混凝土结构的基本概念及材料的物理力学性能	4
第一节 钢筋混凝土结构的基本概念	4
第二节 混凝土	5
第三节 钢筋	11
第四节 钢筋与混凝土之间的粘结	19
思考题	21
第二章 结构按极限状态法设计的原则	22
第一节 作用(荷载)与作用(荷载)效应组合	22
第二节 极限状态法设计的基本概念	24
第三节 我国公路桥涵设计规范规定的计算原则	26
思考题	30
第三章 受弯构件正截面承载力计算	32
第一节 钢筋混凝土受弯构件的构造要求	32
第二节 受弯构件正截面受力全过程和破坏特征	36
第三节 单筋矩形截面受弯构件计算	40
第四节 双筋矩形截面受弯构件计算	50
第五节 单筋 T 形截面受弯构件计算	55
思考题	63
习题	64
第四章 受弯构件斜截面承载力计算	65
第一节 受弯构件斜截面的受力特点及破坏形态	65
第二节 受弯构件斜截面抗剪承载力计算	67
第三节 受弯构件斜截面抗弯承载力计算	73
第四节 全梁承载力校核与构造要求	74
思考题	85
习题	86

第五章 钢筋混凝土受弯构件在施工阶段的应力计算	87
第一节 换算截面	87
第二节 受弯构件在施工阶段的应力计算	92
思考题	98
习题	98
第六章 钢筋混凝土受弯构件变形和裂缝宽度计算	99
第一节 受弯构件的变形(挠度)计算	99
第二节 受弯构件的裂缝宽度计算	103
思考题	106
习题	106
第七章 轴心受压构件承载力计算	107
第一节 概述	107
第二节 配有纵向受力钢筋和普通箍筋的轴心受压构件	107
第三节 配有纵向受力钢筋和螺旋箍筋的轴心受压构件	113
思考题	116
习题	116
第八章 偏心受压构件承载力计算	118
第一节 偏心受压构件正截面受力特点和破坏形态	119
第二节 偏心受压构件的纵向弯曲	123
第三节 矩形截面偏心受压构件	127
第四节 圆形截面偏心受压构件	141
思考题	148
习题	149
第九章 预应力混凝土结构的基本概念及材料	150
第一节 概述	150
第二节 部分预应力混凝土与无粘结预应力混凝土	152
第三节 预加应力的方法与设备	157
第四节 预应力混凝土结构的材料	163
思考题	164
第十章 预应力混凝土受弯构件按承载能力极限状态设计计算	166
第一节 概述	166
第二节 预加力的计算与预应力损失的估算	168
第三节 预应力混凝土受弯构件的承载力计算	175
思考题	182
第十一章 预应力混凝土受弯构件按正常使用极限状态设计计算	183
第一节 预应力混凝土受弯构件的应力计算	183
第二节 端部锚固区计算	190
第三节 使用阶段正截面和斜截面抗裂验算	194
第四节 变形计算	196
思考题	199

第十二章 预应力混凝土简支梁设计	200
第一节 预应力混凝土受弯构件的基本构造	200
第二节 预应力混凝土简支梁设计计算示例	206
思考题	214
第十三章 圬工结构的基本概念与材料	215
第一节 概述	215
第二节 圬工结构的材料	215
第三节 砌体的强度与变形	219
思考题	226
第十四章 圬工结构的承载力计算	227
第一节 设计原则	227
第二节 圬工受压构件正截面承载力计算	227
思考题	235
习题	235
附:参考教学大纲	236
主要参考文献	240

总 论

一、本课程的任务及与其他课程的关系

《结构设计原理》主要是研究钢筋混凝土、预应力混凝土、石材及混凝土(通称圬工)结构构件的设计原理。其主要内容包括如何合理选择构件截面尺寸及其联结方式,并根据承受作用的情况验算构件的承载力、稳定性、刚度和裂缝等问题,且为今后学习桥梁工程和其他道路人工构造物的设计计算奠定理论基础。本课程是属“介于基础课和专业课之间的技术基础课”。

各种桥梁结构都是由桥面板、横梁、主梁、桥墩(台)、拱、索等基本构件所组成。桥梁或道路人工构造物都要受到各种外力,例如车辆荷载、人群荷载、风荷载以及桥跨结构各部分自重等的作用。建筑物中承受作用和传递作用的各个部件的总和统称为结构,因而结构是由若干基本构件,如以上所述的板、梁、拱圈等所组成。由这些基本构件可以组合成各种各样的桥梁及道路人工构造物。《结构设计原理》课程就是以这些基本构件为主要研究对象的一门学科。

根据构件受力特点,可将基本构件归纳为:受拉构件、受压构件、受弯构件和受扭构件等几种最基本的受力图式。在工程实际中,有些构件的受力和变形比较简单,但有些构件的受力和变形则比较复杂,常有可能是几种受力状态的组合。

在外荷载作用下,构件有可能由于承载力不足而破坏或变形过大而不能正常使用。因而,在设计基本构件时,要求构件本身必须具有一定的抵抗破坏和抵抗变形等的的能力,即“承载能力”。构件承载能力的大小与构件的材料性质、几何形状、截面尺寸、受力特点、工作条件、构造特点以及施工质量等因素有关。当其他条件已经确定,如果构件的尺寸过小,则结构将有可能因产生过大的变形而不能正常使用,或因材料强度不够而导致结构的破坏。为此,如何正确地处理好作用与承载能力之间的关系,就是本课程所讨论的主要内容。

《结构设计原理》是一门重要的技术基础课。它是在学习《材料力学》、《道路建筑材料》等先修课程的基础上,结合桥梁工程中实际构件的工作特点来研究结构构件设计的一门学科。

本教材的主要内容取材于我国现行的《公路桥涵设计通用规范》(JTJ D60—2004)、《公路圬工桥涵设计规范》(JTG D61—2004)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)。这些设计规范是我国公路桥涵结构物设计的主要依据。在学习过程中,应熟悉上述规范。只有对上述规范条文的概念、实质有了正确的理解,才能确切地应用规范的公式和条文,以充分发挥设计者的主动性和创造性。

在学习本课程时,应着重了解构件的受力特点和变形特点,以及在此基础上建立起来的符合实际受力情况的力学计算图式。由于本课程与建筑材料的实际材性有着紧密的关系,而各种建筑材料(钢、木、混凝土、石材等)的材性是各不相同的,故本课程往往要依赖于科学实验的

结果。因此,在进行理论推导时,经常地要在计算公式中引进一些半理论半经验的修正系数。此外,学习本课程的另一特点是设计的多方案性。只要在保证结构设计要求的前提下,答案常常不是惟一的,而且,设计计算工作也不是一次就可以获得成功的。以上这些特点,都是同学们在已学课程中所未曾遇到过的问题,因此必须很好地认识它,并通过不断实践才能较好地掌握本课程的内容。

根据所选用材料的不同,结构可分为:钢筋混凝土结构;预应力混凝土结构;石材及混凝土结构(圬工结构);钢结构和木结构等。当然,也可以是采用各种材料所组成的组合结构。本书主要介绍钢筋混凝土、预应力混凝土、石材及混凝土结构的材料特点及基本构件受力性能、设计计算方法和构造。

二、各种材料结构的特点及使用范围

目前国内外桥梁的发展总趋势是:轻型化、标准化和机械化。因而,对于基本构件的设计也应符合上述要求。

(一)各种材料结构的特点

1. 结构质量

为了达到增大结构跨径的目的,应力求使构件能做成薄壁、轻型和高强。钢材的单位体积质量(容重)虽大,但其强度却很高;木材的强度虽很低,但其容重却很小。如果以材料容重 γ 与容许应力 $[\sigma]$ 之比(以 $\gamma/[\sigma]$)作为比较标准,且以钢结构质量为 1.0,则其他结构的相对质量 $[\sigma]/\gamma$ 大致为,受压构件:木—1.5~2.4;钢筋混凝土—3.8~11;砖石—9.2~28。受弯构件:木—1.5~2.4;钢筋混凝土—3~10;预应力混凝土—2~3。从以上比较可以看出,在跨径较大的永久性桥梁结构中,采用预应力混凝土结构是十分合理和经济的。

2. 使用性能

从结构抗变形的能力(即刚度)、结构的延性、耐久性和耐火性等方面来说,则以钢筋混凝土结构和圬工结构较好;钢结构和木结构则都需采取适当的防护措施和定期进行保养维修。预应力混凝土结构的耐久性比钢筋混凝土结构更好,但其延性则不如钢筋混凝土结构好。

3. 建筑速度

石材及混凝土结构和钢筋混凝土结构较易就地取材;钢、木结构则易于快速施工。由于混凝土工程需要有一段时间的结硬过程,因而施工工期一般较长。尽管装配式钢筋混凝土结构可以在预制工场进行工业化成批生产,但建筑工期稍比钢、木结构要长。

(二)各种结构的使用范围

1. 钢筋混凝土结构

钢筋混凝土是由钢筋和混凝土两种材料组成的,具有易于就地取材、耐久性好、刚度大、可模性(亦即可以根据工程需要浇筑成各种几何形状)好等优点。钢筋混凝土结构的应用范围非常广泛,如各种桥梁、涵洞、挡土墙、路面、水工结构和房屋建筑等。当采用标准化、装配化的预制构件,更能保证工程质量和加快施工进度。相对于预应力混凝土结构而言,钢筋混凝土结构具有较好的延性,对抗震结构更为有利。但是,钢筋混凝土结构也有自重较大、抗裂性能差、修补困难等缺点。

2. 预应力混凝土结构

构件在承受作用之前预先对混凝土受拉区施以适当压应力的结构称为“预应力混凝土结构”,因而在正常使用条件下,可以人为地控制截面上只出现很小的拉应力或不出现拉应力,从而延缓了裂缝的发生和发展,且可使高强度钢材和高等级混凝土的“高强”在结构中得到充分利用,降低了结构的自重,增大了跨越能力。目前,预应力混凝土结构在国内外得到了迅速发展,是现今桥梁工程中应用较广泛的一种结构。近年来,部分预应力混凝土结构也正在快速的发展。它是介于普通钢筋混凝土结构与全预应力混凝土结构之间的一种中间状态的混凝土结构。它可以人为地根据结构的使用要求,控制混凝土裂缝的开裂程度和拉应力大小。

3. 石材及混凝土结构(圬工结构)

用胶结材料将天然石料、混凝土预制块等块材按一定规则砌筑而成的整体结构。石材及混凝土结构在我国使用甚广,常用于拱圈、墩台、基础和挡土墙等结构中。

因本书主要讲述的是钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、石材及混凝土结构,故对钢结构、木结构的使用特性不作介绍。

三、工程结构设计的基本要求

公路桥梁应根据所在公路的使用任务、性质和将来的发展需要,按照适用、经济、安全和美观的原则进行设计,也需要根据因地制宜、就地取材、便于施工和养护的原则,合理地选用适当结构形式,同时,应尽可能地节省木材、钢材和水泥的用量,其中尤应注意贯彻节省木材的精神。

在设计结构物时,应全面地进行综合考虑,严格地遵照有关的技术标准和设计规范(包括各种技术标准和技术规范的附录条文)进行设计。但对于一些特殊结构或创新结构,则可参照国家批准的专门规范或有关的先进技术资料进行设计,同时,还应进行必要的科学实验。

桥涵结构在设计基准期内应有一定的可靠度,这就要求桥涵结构的整体及其各个组成部分的构件在使用荷载作用下具有足够的承载力、稳定性、刚度和耐久性。承载力要求是指桥涵结构物在设计基准期内,它的各个部件及其联结的各个细部都符合规定的要求或具有足够的安全储备。稳定要求是指整个结构物及其各个部件在计算荷载作用下都处于稳定的平衡状态。桥涵结构物的刚度要求是指在计算荷载作用下,桥涵结构物的变形必须控制在容许范围以内。桥涵结构物的耐久性是指桥涵结构物在设计基准期内不得过早地发生破坏而影响正常使用。值得注意的是,不可片面地强调结构的经济指标而降低对结构物耐久性的要求,从而影响桥涵结构物的使用寿命或过多地增加桥涵及道路人工构造物的维修、养护、加固的费用。

因此,桥涵结构物的所有构件和联结细部都必须进行设计和验算。同时,每个工程技术人员都必须清楚地懂得,正确地处理好结构构造问题是十分重要的,这与处理好计算问题是同等地重要。因而,在进行结构设计时,首先应根据材料的性质、受力特点、使用条件和施工要求等情况,慎重地进行综合性分析,尔后采取合理的构造措施,确定构件的几何形状和各部尺寸,并进行验算和修正。

另外,每个结构构件除应满足使用期间的承载力、刚度和稳定性要求外,还应满足制造、运输和安装过程中的承载力、刚度和稳定性要求。桥涵结构物的结构形式必须受力明确、构造简单、施工方便和易于养护等,设计时必须充分考虑当时当地的施工条件和施工可能性。设计时应充分注意我国的国情,应尽可能地采用适合当时当地情况的新材料、新工艺和新技术。



第一章 钢筋混凝土结构的基本概念及材料的物理力学性能

第一节 钢筋混凝土结构的基本概念

钢筋混凝土是由钢筋和混凝土这两种力学性能不同的材料结合成整体,共同承受作用的一种建筑材料。

混凝土是一种人造石料,其抗压强度很高,而抗拉强度很低(约为抗压强度的 $1/18 \sim 1/8$)。采用素混凝土做成的构件,例如素混凝土梁,当它承受竖向作用时,在梁的垂直截面(正截面)上将产生弯矩,中性轴以上受压,以下受拉。当作用达到某一数值 P 时,梁的受拉区边缘混凝土的拉应变达到极限拉应变,即出现竖向弯曲裂缝,这时,裂缝截面处的受拉区混凝土退出工作,该截面处的受压区高度减小,即使作用不增加,竖向弯曲裂缝也会急速向上发展,导致梁骤然断裂。这种破坏是很突然的,也就是说,当作用达到 P 的瞬间,梁立即发生破坏。 P 为素混凝土梁受拉区出现裂缝时的作用(荷载),一般称为素混凝土梁的抗裂荷载,也是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抗拉强度高的纵向钢筋,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作用时,作用略大于 P 时梁的受拉区仍会出现裂缝。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几乎承担了全部的拉力。这时,钢筋混凝土梁不会像素混凝土梁那样立即断裂,仍能继续工作,直至受拉钢筋的应力达到屈服强度,继而受压区的混凝土也被压碎,梁才被破坏。因此,钢筋混凝土梁中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,承载能力可较素混凝土梁提高很多。

混凝土的抗压强度高,常用于受压构件。若在构件中配置抗压强度高的钢筋来构成钢筋混凝土受压构件,试验表明,和素混凝土受压构件截面尺寸及长细比相同的钢筋混凝土受压构件,不仅承载能力大为提高,而且受力性能得到改善。在这种情况下,钢筋主要是协助混凝土来共同承受压力。

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后,可以充分发挥钢筋和混凝土各自的材料力学特性,把它们有机地结合在一起共同工作,提高了构件的承载能力,改善了构件的受力性能。钢筋用来代替混凝土受拉(受拉区混凝土出现裂缝后)或协助混凝土受压。

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地结合在一起共同工作,主要机理是:

(1)混凝土和钢筋之间有良好的粘结力,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也较为接近(钢筋为 $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$,混凝土为 $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.5 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$),因此,当温度变化时,不致产生较大的温度应力而破坏两者之间的粘结。

(3)混凝土包裹在钢筋的外围,可以防止钢筋的锈蚀,保证了钢筋与混凝土的共同工作。

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,混凝土的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致锈蚀,所以,钢筋混凝土结构的耐久性是较好的。钢筋混凝土结构的刚度较大,在使用荷载作用下的变形较小,故可有效地用于对变形要求较严格的建筑物中。

(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形状和截面尺寸的构件。

(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,可以降低工程造价。

当然,钢筋混凝土结构也存在一些缺点,如:钢筋混凝土结构的截面尺寸一般较相应的钢结构大,因而自重较大,这对于大跨度结构是不利的;抗裂性能较差,在正常使用时往往是带裂缝工作的;施工受气候条件影响较大,并且施工中需耗用较多木材;修补或拆除较困难等。

钢筋混凝土结构虽有缺点,但毕竟有其独特的优点,所以广泛应用于桥梁工程、隧道工程、房屋建筑、铁路工程以及水工结构工程、海洋结构工程等。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。

第二节 混 凝 土

钢筋混凝土是由钢筋和混凝土这两种力学性能不同的材料所组成。为了正确合理地进行钢筋混凝土结构的设计,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。而对于混凝土和钢筋材料的物理力学性能(强度和变形的变化规律)的了解,则是掌握钢筋混凝土结构的构件性能、分析和设计的基础。

一、混凝土的强度

1. 混凝土的立方体强度

混凝土的立方体抗压强度是一种在规定的统一试验方法下衡量混凝土强度的基本指标。我国标准试件取用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《桥规》(JTG D62—2004)规定以每边边长为 150mm 的立方体试件,在标准养护条件下养护 28d,依照标准试验方法测得的具有 95% 保证率的抗压强度值(以 MPa 计)作为混凝土的立方体抗压强度标准值($f_{\text{cu,k}}$),同时用此值来表示混凝土的强度等级,并冠以“C”。如 C30,则表示为 30 级混凝土,“30”表示该级混凝土立方体抗压强度的标准值为 30MPa。

混凝土立方体抗压强度与试验方法有密切关系。在通常情况下,试验机承压板与试件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。



如果在承压板与试件之间涂油脂润滑剂,则实验加压时摩阻力将大为减小。规范上规定采用的是不加润滑剂的试验方法。

混凝土的立方体抗压强度还与试件尺寸有关。试验表明,立方体试件尺寸愈小,摩阻力的影响愈大,测得的强度也愈高。在实际工程中也有采用边长为 200mm 和边长为 100mm 的混凝土立方体试件,则所测得的立方体强度应分别乘以换算系数 1.05 和 0.95 来折算成边长为 150mm 的混凝土立方体抗压强度。

混凝土的立方体抗压强度的标准值又被称为混凝土的强度等级。用于公路桥梁承重部分的混凝土强度等级有 C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75 和 C80 等。钢筋混凝土构件的混凝土强度等级不宜低于 C20;当采用 HRB400、KL400 级钢筋时,混凝土强度等级不宜低于 C25;预应力混凝土构件不应低于 C40。

2. 混凝土轴心抗压强度(棱柱体抗压强度)

通常钢筋混凝土构件的长度比它的截面边长要大得多,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。工程中通常用高宽比为 3~4 的棱柱体,按照与立方体试件相同条件下制作和试验方法测得的具有 95% 保证率的棱柱体试件的极限抗压强度值,作为混凝土轴心抗压强度,用 f_{ck} 表示。

试验表明,棱柱体试件的抗压强度较立方体试块的抗压强度低。混凝土的轴心抗压强度试验以 150mm × 150mm × 450mm 的试件为标准试件。

通过大量棱柱体抗压实验结果发现, f_{ck} 与 $f_{cu,k}$ 的关系大致呈一直线,见图 1-1。

3. 混凝土的轴心抗拉强度 f_{tk}

混凝土的抗拉强度和抗压强度一样,都是混凝土的基本强度指标。但是混凝土的轴心抗拉强度很低,一般约为立方体强度的 1/18~1/8。为此,在进行钢筋混凝土结构强度计算时,总是考虑受拉区混凝土开裂后退出工作,拉应力全部由钢筋来承受,这时,混凝土的抗拉强度没有实际意义。但是,对于不容许出现裂缝的结构,就应考虑混凝土的抗拉能力,并以混凝土的轴心抗拉极限强度作为混凝土抗裂强度的重要指标。

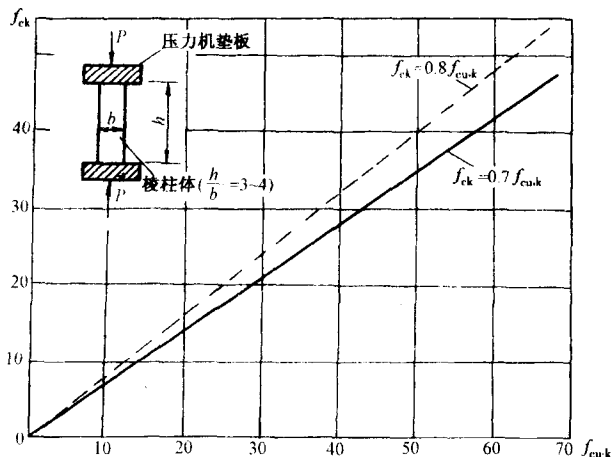


图 1-1 混凝土棱柱体抗压强度 f_{ck} 与立方体抗压强度 $f_{cu,k}$ 的关系

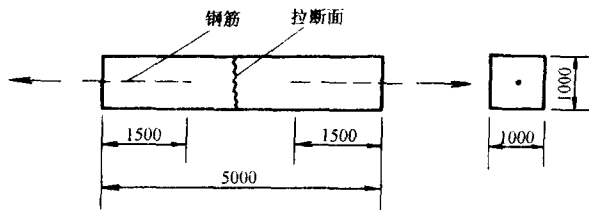


图 1-2 混凝土轴心抗拉强度直接测试件(尺寸单位:mm)



测定混凝土轴心抗拉强度的方法有两种：一种是直接测试方法，如图 1-2 所示，对两端预埋钢筋的长方体试件（钢筋位于试件轴线上）施加拉力，试件破坏时的平均拉应力，即为混凝土的轴心抗拉强度。这种测试对试件尺寸及钢筋位置要求较严。

另一种为间接测试方法，如劈裂试验（图 1-3），试件采用立方体或圆柱体，试件平放在压力机上，通过垫条施加线集中力 P ，试件破坏时，在破裂面上产生与该面垂直且均匀分布的拉应力，当拉应力达到混凝土的抗拉强度时，试件即被劈裂成两半。

4. 混凝土轴心抗压（拉）强度标准值与设计值

材料强度标准值是考虑到同一批材料实际强度有时大有时小的这种离散性，为了统一材料质量要求而规定的材料极限强度的标准值。在分析大量试验结果的基础上，通过数理统计，根据结构的安全和经济条件，选取某一个具有 95% 保证率的强度值，作为混凝土强度的标准值。《桥规》（JTG D62—2004）推荐的混凝土强度标准值与混凝土立方体抗压强度标准值存在着一定的折算关系。

混凝土强度设计值主要用于承载能力极限状态设计的计算。概率极限状态设计方法规定强度设计值应用标准值除以材料分项系数而得。混凝土的材料分项系数 $\gamma_c = 1.4$ 。

不同强度等级混凝土强度设计值与强度标准值见表 1-1。

混凝土强度设计值和标准值 (MPa)

表 1-1

强度种类		符号	混 凝 土 强 度 等 级													
			C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80
设计值	强度 轴心抗压	f_{cd}	6.9	9.2	11.5	13.8	16.1	18.4	20.5	22.4	24.4	26.5	28.5	30.5	32.4	34.6
	轴心抗拉	f_{td}	0.88	1.06	1.23	1.39	1.52	1.65	1.74	1.83	1.89	1.96	2.02	2.07	2.10	2.14
标准值	强度 轴心抗压	f_{ck}	10.0	13.4	16.7	20.1	23.4	26.8	29.6	32.4	35.5	38.5	41.5	44.5	47.4	50.2
	轴心抗拉	f_{tk}	1.27	1.54	1.78	2.01	2.20	2.40	2.51	2.65	2.74	2.85	2.93	3.00	3.05	3.10

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。

二、混凝土的变形

钢筋混凝土结构的计算理论与混凝土的变形性能相关，所以研究混凝土的变形，对于掌握钢筋混凝土结构设计计算方法是重要的。

混凝土的变形可分为混凝土的受力变形与混凝土的体积变形。

(一)混凝土的受力变形

1. 混凝土在一次短期荷载作用下的变形

研究混凝土在一次短期加荷时的变形性能，也就是要研究混凝土受压时的应力—应变曲线形状、曲线中的最大应力值及其对应的应变值和破坏时的极限应变值。