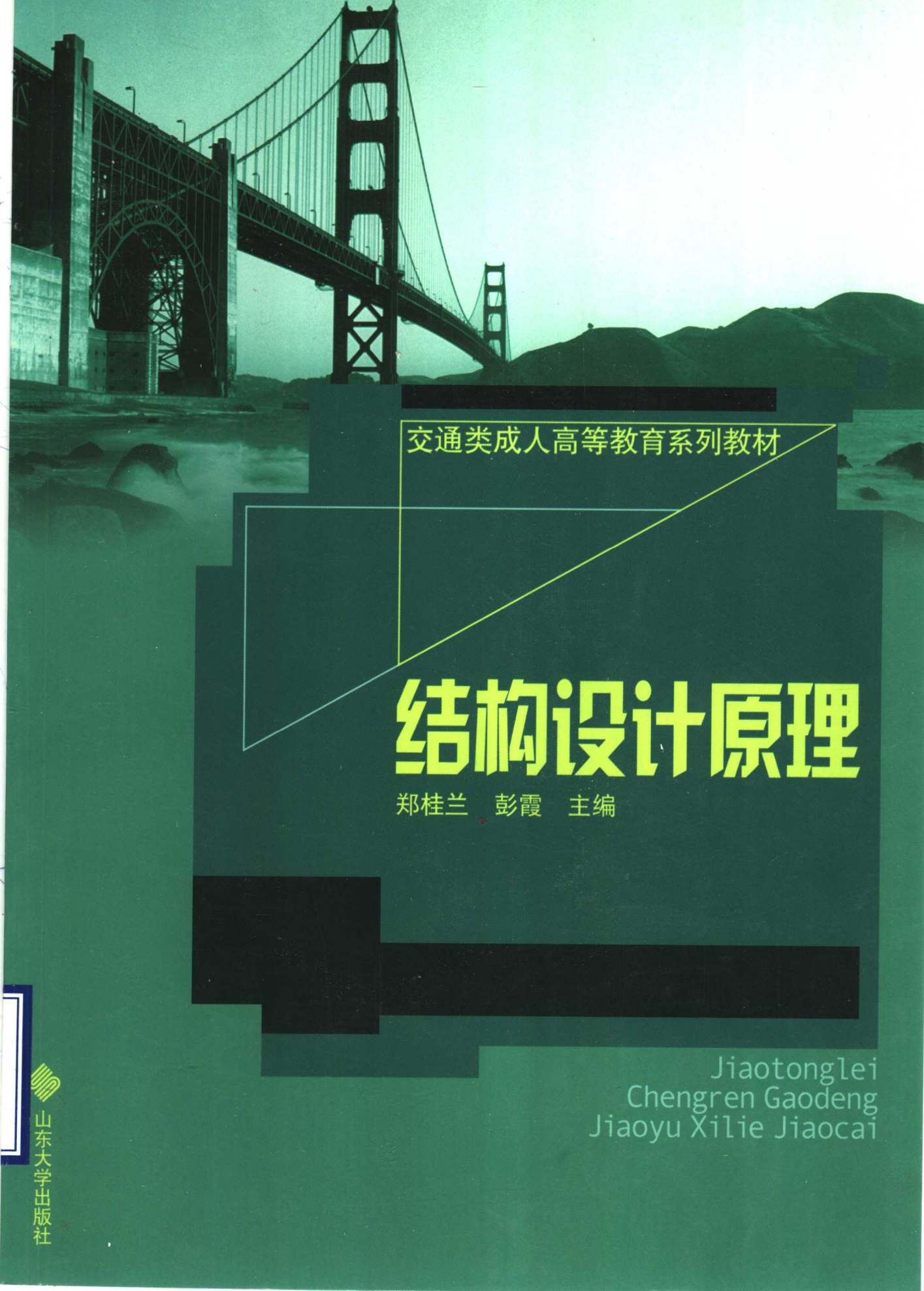


The background of the cover is a photograph of the Golden Gate Bridge in San Francisco, viewed from a low angle looking up at the bridge's towers and cables. The image has a greenish-blue tint. Overlaid on the image are several dark, semi-transparent geometric shapes, including a large rectangle and a triangle, which serve as a design element for the text.

交通类成人高等教育系列教材

结构设计原理

郑桂兰 彭霞 主编

Jiaotonglei
Chengren Gaodeng
Jiaoyu Xilie Jiaocai



山东大学出版社

交通类成人高等教育系列教材

结构设计原理

按新颁《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62-2004)编写

主 编	郑桂兰	彭 霞
副主编	栾德宇	王立勇
主 审	万德臣	

山东大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

结构设计原理/郑桂兰,彭霞主编. — 济南:山东大学出版社,2005.4
ISBN 7-5607-2954-1

I. 结...

II. ①郑...②彭...

III. 混凝土结构—结构设计

IV. TU370.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 024469 号

山东大学出版社出版发行

(山东省济南市山大南路 27 号 邮政编码:250100)

山东省新华书店经销

济南景升印务有限公司印刷

787×1092 毫米 1/16 18.5 印张 428 千字

2005 年 4 月第 1 版 2005 年 4 月第 1 次印刷

印数:1—4000 册

定价:26.00 元

版权所有,盗印必究

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社营销部负责调换

前言

《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62-2004)于2004年10月1日实施。按《公路工程结构可靠度设计统一标准》(GB/T 50283-1999)的规定,新规范采用了以弹塑性理论为基础的极限状态设计方法,改进了材料强度取值原则,增加了有关结构耐久性的规定,全面改进和补充了各种构件的承载力计算内容,改善了预应力混凝土受弯构件的抗裂限值,裂缝宽度及构件刚度的计算方法,对各种构件的构造要求也作了较全面的补充和完善。

《结构设计原理》是土木工程专业的重要专业基础课,其内容以我国现行桥梁设计规范为依据,反映桥梁及结构工程科研和工程实践的最新成果。为了适应桥梁设计规范的变化,及时地更新教学内容是教学改革的核心。

本书主要面向高等学校土木工程(桥梁工程、渡河工程、公路与城市道路工程及交通土建工程等方面)专业学生,其主要内容是根据《结构设计原理》(钢筋混凝土及预应力混凝土结构部分)课程教学大纲编排的。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。书中结合新规范系统地叙述了钢筋混凝土及预应力混凝土结构设计的基本原理和方法,重点阐述了受弯构件、轴心受压构件、偏心受压构件、偏心受拉构件、受扭及弯扭构件的承载力、抗裂性、裂缝宽度和变形计算的基本原理和方法,并列举了大量的计算实例加以应用说明。本书既可作为高等学校土木工程专业(公路与城市道路方向、桥梁工程方向、交通土建方向)使用教材,也可供公路和城市建设部门从事桥梁设计、研究、施工和管理的技术人员参考。为便于成人教育学员业余学习、复习及应用,本书各章前后分别附有考核要求和复习思考题,书后附有自学进度表。

本书由山东交通学院郑桂兰、彭霞主编,山东交通学院栾德宇、山东省滨州市公路管理局王立勇担任副主编。本书总论、第一章由山东省滨州市公路管理局王立勇编写,第二章、第八章由山东交通学院栾德宇编写,第三至四章、第十三章由山东交通学院郑桂兰编写,第五章由山东交通学院王志辉编写,第六至七章由山东交通学院彭霞编写,第九至十章由山东交通学院王行耐编写,第十一章由山东省临沂市交通工程咨询监理中心邢俊堂编写,第十二章由山东省菏泽市公路管理局许凤莲编写,第十四章由山东省威海市公路管理局宫本辉编写。

本书由山东交通学院万德臣教授主审,在编写过程中对全书提出了很多宝贵意见。在此,编者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,不妥或疏漏之处在所难免,敬请各位读者批评指正。有关意见可反馈至作者,亦可发至 zhengglmbj@tom.com 或 wangxn@sdjtu.edu.cn。

编 者
2005 年 1 月

目 录

总 论	(1)
第一章 钢筋混凝土材料的物理力学性能	(6)
第一节 混凝土	(6)
第二节 钢 筋	(17)
第三节 钢筋与混凝土之间的黏结	(23)
习 题	(25)
第二章 钢筋混凝土结构设计基本原理	(27)
第一节 结构的可靠性概念	(27)
第二节 极限状态	(29)
第三节 作用(或荷载)及其组合	(30)
第四节 极限状态的计算原则	(36)
第五节 混凝土结构的耐久性设计	(40)
习 题	(44)
第三章 受弯构件正截面承载力计算	(46)
第一节 受弯构件的截面形式与构造	(46)
第二节 受弯构件正截面受力过程和破坏特征	(52)
第三节 受弯构件正截面承载能力计算的基本原则	(57)
第四节 单筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	(60)
第五节 双筋矩形截面受弯构件正截面承载力计算	(66)
第六节 T形截面受弯构件正截面承载力计算	(70)
习 题	(79)

第四章 受弯构件斜截面承载力计算	(81)
第一节 受弯构件斜截面的受力特点和破坏形态	(81)
第二节 受弯构件斜截面抗剪承载力计算	(84)
第三节 受弯构件斜截面抗弯承载力计算	(89)
第四节 全梁承载力校核及构造要求	(92)
第五节 装配式钢筋混凝土简支 T 形梁设计算例	(95)
习 题	(101)
第五章 受扭及弯扭构件承载力计算	(103)
第一节 概 述	(103)
第二节 钢筋混凝土纯扭构件的承载力计算	(105)
第三节 受弯、剪、扭共同作用的钢筋混凝土矩形截面构件的承载力计算	(113)
习 题	(122)
第六章 轴心受压构件的强度计算	(124)
第一节 普通箍筋柱	(125)
第二节 螺旋箍筋柱	(130)
习 题	(134)
第七章 偏心受压构件的强度计算	(136)
第一节 构造要求	(136)
第二节 偏心受压构件正截面受力特点和破坏形态	(138)
第三节 矩形截面偏心受压构件	(142)
第四节 工字形和 T 形截面偏心受压构件	(154)
第五节 圆形截面偏心受压构件	(159)
习 题	(165)
第八章 受拉构件的强度计算	(167)
第一节 概 述	(167)
第二节 轴心受拉构件	(168)
第三节 偏心受拉构件	(168)
习 题	(170)
第九章 钢筋混凝土结构短暂状况应力验算	(171)
第一节 钢筋混凝土受弯构件短暂状况正截面应力验算	(171)
第二节 钢筋混凝土受弯构件短暂状况斜截面应力验算	(174)
习 题	(179)

第十章 受弯构件裂缝及变形验算	(180)
第一节 受弯构件裂缝及计算	(181)
第二节 受弯构件的变形(挠度)计算	(186)
习 题	(190)
第十一章 深 梁	(191)
第一节 深受弯构件的受力性能	(191)
第二节 深梁的配筋及构造要求	(194)
第三节 深梁的内力计算	(196)
第四节 深受弯构件的承载力计算	(197)
第五节 钢筋混凝土盖梁(短梁)的承载力计算	(198)
习 题	(201)
第十二章 预应力混凝土结构的基本概念	(202)
第一节 概 述	(202)
第二节 预应力混凝土构件施加预应力的方法	(205)
第三节 预应力计算与预应力损失的估算	(211)
习 题	(222)
第十三章 预应力混凝土受弯构件的设计	(224)
第一节 预应力混凝土受弯构件的受力特点	(224)
第二节 预应力混凝土结构设计计算的主要内容	(227)
第三节 预应力混凝土受弯构件持久状况承载能力极限状态计算	(228)
第四节 预应力混凝土受弯构件持久状况正常使用极限状态计算	(233)
第五节 预应力混凝土受弯构件持久状况和短暂状况的应力计算	(240)
第六节 预应力混凝土受弯构件的设计	(246)
第七节 全预应力混凝土简支梁设计算例	(256)
习 题	(275)
第十四章 局部承压计算	(278)
第一节 概 述	(278)
第二节 局部承压的破坏形态和破坏机理	(280)
第三节 混凝土局部承压强度提高系数	(282)
第四节 局部承压区的计算	(284)
习 题	(285)
自学进度表	(286)

总 论

一、钢筋混凝土结构的基本概念

钢筋混凝土是由两种力学性能不同的材料——钢筋和混凝土结合成整体,共同发挥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(一般为抗压强度的 $1/8 \sim 1/18$)。采用素混凝土做成的构件,例如素混凝土梁,当它承受竖向荷载作用时如图 0.1 所示,在梁的垂直截面(正截面)上受到弯矩作用,中性轴以上受压,以下受拉。当荷载达到某一数值 P_c 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,即使荷载不增加,竖向弯曲裂缝也会急速向上发展,导致梁骤然断裂,如图 0.1a 所示。这种破坏是很突然的。也就是说,当荷载达到 P_c 的瞬间,梁立即发生破坏。 P_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。

在制作混凝土梁时,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荷载作用时,荷载略大于 P_c 时梁的受拉区仍会出现裂缝。在出现裂缝的截面处,受拉区混凝土退出工作,而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裂断,而能继续承受荷载作用,如图 0.1b 所示,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。

由于混凝土的抗拉强度较低,受弯构件在承受荷载较小时,受拉区即会出现裂缝,为了提高构件的抗裂性,可对混凝土梁施加预压应力,形成预应力混凝土梁,如图 0.2 所示。受拉区混凝土储备一定的压应力,用以抵消或减小外荷载产生的拉应力。

图 0.2 所示混凝土梁,在荷载作用之前对混凝土梁的受拉区施加一预压力 N_p ,使得混凝土获得一定的预压应力 σ_p ,在外荷载作用下,梁的下部将产生拉应力 σ_t ,上部将产生

压应力 σ_c 。于是,梁内任意一点的合成应力为:

$$\sigma_{\alpha} = \sigma_{pc} - \sigma_t \text{ 或 } \sigma_{\alpha} = \sigma_{pc} - \sigma_c$$

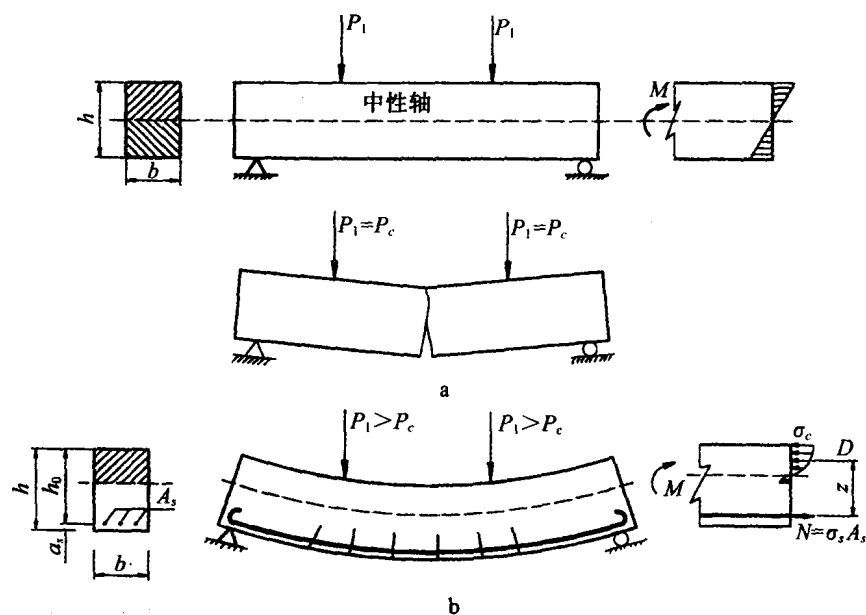


图 0.1 素混凝土梁和钢筋混凝土梁的受力性能比较

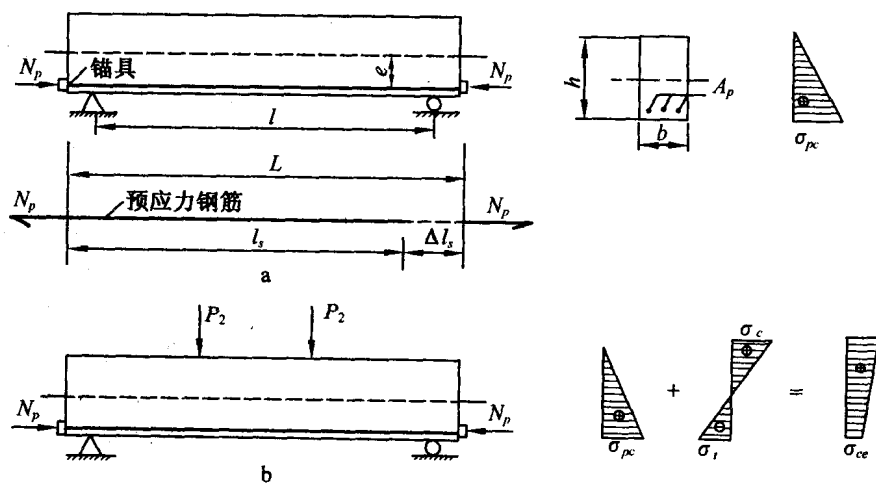


图 0.2 预应力混凝土工作原理

如果预先储备的预压应力 σ_{pc} , 足够抵消外荷载产生的拉应力 σ_t , 即控制受拉边缘的合成应力满足下列条件:

$$\sigma_{\alpha} = \sigma_{pc} - \sigma_t \geq 0$$

此时,在荷载作用下,梁的下缘就不会出现拉应力,全梁均处于受压状态。

工程上通常是采用张拉钢筋的办法对混凝土施加预压力。从施工工艺上分为先张法和后张法。

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,钢筋的作用主要是协助混凝土共同承受压力。

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,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(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力学性能不同的材料之所以能有效地结合在一起而共同工作,主要是由于:

(1)混凝土和钢筋之间有着良好的黏结力(也称握裹力),使钢筋和混凝土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 1.2×10^{-5} ,混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}$],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)混凝土包围在钢筋的外围,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。

二、钢筋混凝土结构的优、缺点

1. 优点

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)经济性

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,可以降低建筑成本。

(2)耐久性

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很小,故可有效地用于对变形要求较严格的建筑物中。

(3)整体性

钢筋混凝土结构,特别是整体浇筑的结构,构件之间是通过钢筋和混凝土的一次性浇筑联结为整体的,其整体性好,对于结构的空间受力、抵抗风荷载、地震及强烈冲击作用都具有较好的工作性能。

(4)可模性

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。特别适用于形状复杂或对建筑造型有较高要求的建筑物。

(5)耐火性

混凝土热惰性大,传热慢,对包围在其中的钢筋具有保护作用。实践表明,具有足够厚度混凝土保护层的钢筋混凝土结构,火灾持续时间不长时,不会因钢筋受热软化而造成结构的整体坍塌破坏。

2. 缺点

同时也应看到,钢筋混凝土结构也存在一些缺点:

(1) 自重较大

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。

(2) 抗裂性差

混凝土的抗拉强度低,钢筋混凝土结构容易出现裂缝,在正常使用时往往是带裂缝工作的。

(3) 施工受季节影响大

在冬季和雨季现场就地浇筑混凝土时,须采取必要的防护措施,增加了施工费用。

钢筋混凝土结构虽有缺点,但毕竟有其独特的优点,所以,它的应用极为广泛,无论是桥梁工程、隧道工程、房屋建筑、铁路工程,还是水工结构工程、海洋结构工程等都已广泛采用。特别是预应力混凝土结构解决了普通钢筋混凝土结构抗裂性差的缺点,成为近期迅速发展起来的新型结构,其主要优点有:

(1) 提高了构件的抗裂度和刚度。对构件施加预应力,大大推迟了裂缝的出现,在使用荷载作用下,构件可不出现裂缝,或使裂缝推迟出现,因而也提高了构件的刚度,增加了结构的耐久性。

(2) 可以节省材料,减轻自重。预应力混凝土由于采用高强度材料,因而可以减少钢筋用量和减少构件截面尺寸,节省钢材和混凝土,降低结构物自重。这对于自重所占比例很大的大跨径公路桥梁来说,有着显著的优越性。

(3) 可以减小梁的竖向剪力和主拉应力。预应力混凝土梁的曲线钢筋,可使梁中支座附近的竖向剪力减小,又由于混凝土截面上预压应力的存在,使荷载作用下的主拉应力也相应减小。

(4) 结构质量安全可靠。施加预应力时,预应力钢筋与混凝土都经受了一次强度检验。如果在钢筋张拉时表现质量良好,那么,在使用时也可以认为是安全可靠的。因此有人称预应力混凝土结构是预先检验过的结构。

(5) 预应力可作为结构构件连接的手段,促进了桥梁结构新体系与施工方法的发展。

三、学习本课程应注意的问题

《结构设计原理》课程的任务,是按照公路与城市道路专业、桥梁工程专业的要求介绍钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构的基本构件设计计算原理、方法以及构造。要求通过本课程的学习,将具备工程结构设计的基本知识,掌握各种基本构件的受力性能及其强度、变形的规律,并能根据有关设计规范和资料进行构件的设计。

(1)《结构设计原理》课程是一门重要的专业技术基础课,其主要先修课程有材料力学、结构力学和建筑材料,并为学习《桥梁工程》、《基础工程》课程奠定基础。

《结构设计原理》在性质上与材料力学有不少相似之处,但也有很多不同的地方。材料力学主要研究单一、匀质、连续、弹性(或理想弹塑性)材料的构件,而《结构设计原理》研究的是工程结构的构件。组成工程结构的某些材料(如混凝土)不一定是匀质、弹性和连续的材料,因此,不能直接使用材料力学公式。但是,材料力学通过几何条件、物理条件和平衡关系建立基本方程的方法,对《结构设计原理》是普遍适用的,因此,在进行结构设计时,应充分考虑工程结构材料的性能特点。

(2)由于工程结构的材料受力性能各异,材料本身的物理力学性能就复杂,加之还有其他很多影响因素,目前还没有建立起比较完整的强度理论,因此,关于一些材料的强度和变形规律,在很大程度上是依靠试验资料分析给出的经验关系。这样,在《结构设计原理》中,构件的某些计算公式是根据试验研究及理论分析得到的半经验半理论公式。在学习和运用这些公式时,要正确理解公式的本质,特别注意公式的使用条件及适用范围。

(3)《结构设计原理》课程的重要内容是结构构件设计。结构设计应遵循适用、经济、安全和美观的原则。它涉及方案比较、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。对于构件设计,不仅仅是构件强度和变形的计算,同一构件在给定的材料和同样的荷载作用下,即使截面形式相同,而截面尺寸和截面布置也不是唯一的。设计结果是否满足要求主要看是否符合设计规范要求,是否满足经济性和施工可行性要求。

(4)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法规性的文件。它是贯彻国家的技术经济政策,保证设计质量,达到设计方法上必要的统一和标准,也是校核工程结构设计的依据。我国交通部颁布的公路桥涵设计规范有:《公路桥涵通用规范》(JTG D60-2004)、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62-2004)等。本课程中关于基本构件的设计原则、计算公式、计算方法及构造要求均以上述设计规范为依据。为了表达方便,在本书中将上述设计规范统称为《公路桥规》,而对引用的其他设计规范、标准和规程等,将给以全称,以免混淆。

第一章

钢筋混凝土材料的物理力学性能

考核要点

1. 钢筋混凝土结构的概念。
2. 混凝土的强度指标及变形性能。
3. 钢筋的强度指标及变形性能。
4. 钢筋与混凝土的黏结性能。

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),从而为钢筋混凝土结构构件性能分析和设计奠定基础。

第一节 混凝土

一、混凝土的强度

混凝土的强度是混凝土的重要力学性能,是设计钢筋混凝土结构的重要依据,它直接影响结构的安全和耐久性。

混凝土的强度是指混凝土抵抗外力产生的某种应力的能力,即混凝土材料达到破坏或开裂极限状态时所能承受的应力。混凝土的强度受材料组成、养护条件、龄期及受力状态等多方面因素影响。

1. 混凝土的立方体抗压强度标准值($f_{cu,k}$)

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。

《公路桥规》规定以边长为 150mm 的立方体试件,在 $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ 的温度和相对湿度在 90% 以上的潮湿空气中养护 28 天,依照标准制作方法和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,用符号 $f_{cu,k}$ 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擦阻力,阻滞了裂缝的发展,如图 1.1.1a 所示,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,如图 1.1.1b 所示。

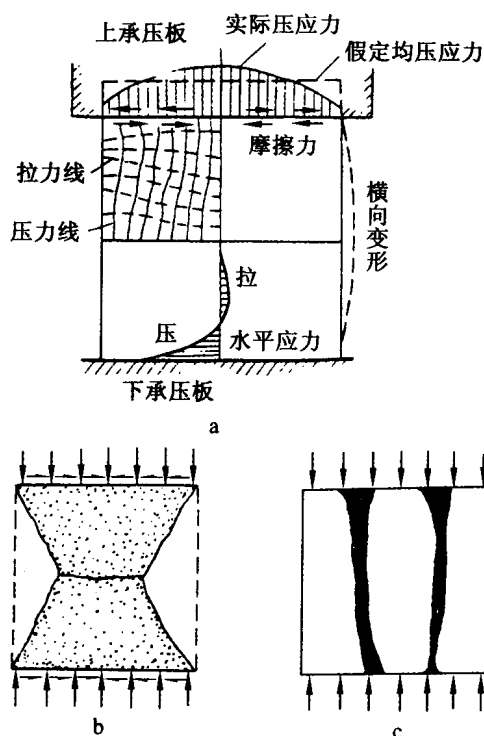


图 1.1.1 立方体抗压强度试验

《公路桥规》规定:混凝土的强度等级按边长 150mm 的立方体抗压强度标准值确定,并冠以 C 表示,如 C30 表示 30 级混凝土。

实验结果表明,试件尺寸对受压强度有一定的影响。试件尺寸越大,实测强度越低,这种现象称为尺寸效应。因此,如果采用边长为 200mm 的立方体试件,实测的强度应乘以尺寸修正系数 1.05 作为立方体抗压强度标准值;如果采用边长为 100mm 的立方体试件,实测的强度应乘以尺寸修正系数 0.95 作为立方体抗压强度标准值。

《公路桥规》中规定用于公路桥梁承重部分的混凝土可采用 C20~C80,中间以 5MPa 进级。C50 以下为普通混凝土,C50 及以上为高强度混凝土。

公路桥涵混凝土强度等级的选择可按下列规定采用:

钢筋混凝土构件不宜低于 C20;当采用 HRB400, KL400 级钢筋时,不宜低于 C25;在

预应力混凝土构件中,不宜低于 C40。

2. 柱体混凝土抗压强度标准值(f_{ck})

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的受力情况。按照与立方体试件相同条件下制作和试验方法测得的棱柱体试件的极限抗压强度值,称为柱体混凝土轴心抗压强度,用符号 f_{ck} 表示。

试验表明,棱柱体试件的抗压强度较立方体试件的抗压强度低。棱柱体试件高度 h 与边长 b 之比愈大,则强度愈低。当 h/b 由 1 增至 2 时,混凝土强度降低很快。但是当 h/b 由 2 增至 4 时,其抗压强度变化不大。这是因为在此范围内,既可消除垫板与试件接触面间摩阻力对抗压强度的影响,又可避免试件因纵向初弯曲而产生的附加偏心距对抗压强度的影响,故所测得的棱柱体抗压强度较稳定。因此,我国采用 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 450\text{mm}$ 的试件为标准试件。

试验结果表明,柱体混凝土轴心抗压强度 f_{ck} 与立方体抗压强度 $f_{cu,k}$ 之间有如下近似关系:

$$f_{ck} = 0.88\alpha f_{cu,k} \quad (1.1.1)$$

式中: α 为与混凝土强度等级有关的系数, C50 及以下混凝土,取 $\alpha = 0.76$; C55~C80 混凝土,取 $\alpha = 0.77 \sim 0.82$ 。

另外,考虑到 C40 以上混凝土具有脆性,因此,按公式(1.1.1)计算的柱体抗压强度标准值应乘以混凝土脆性折减系数 β , C40 及以下混凝土,取 $\beta = 1.0$; C40~C80 混凝土,取 $\beta = 1.0 \sim 0.87$,中间值按线性插入求得。

3. 混凝土抗拉强度标准值(f_{tk})

混凝土抗拉强度(用符号 f_{tk} 表示)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 $1/8 \sim 1/18$ 。这项比值随混凝土的标号的增大而减少,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的试件可采用在两端预埋钢筋的混凝土棱柱体,如图 1.1.2 所示。试验时用试验机的夹具夹紧试件两端外伸的钢筋施加拉力,破坏时试件在没有钢筋的中部截面被拉断,其平均拉应力即为混凝土的轴心抗拉强度,用符号 f_{tk} 表示。

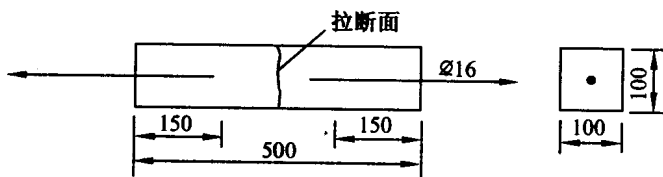


图 1.1.2 混凝土轴心受拉试验

由于混凝土内部结构不均匀,钢筋的预埋和试件的安装都难以对中,而偏心又对抗拉强度测试有很大的干扰,因此,目前国内外常采用立方体或圆柱体的劈裂试件来测定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)试件与压力机压板之间放置钢垫条及三合板(或纤维板)垫层,如图 1.1.3 所示,用压力机通过垫条对试件中心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,它的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。

混凝土劈裂抗拉强度 f_t 可按式计算

$$f_t = \frac{2P}{\pi dl} \quad (1.1.2)$$

式中: P 为劈裂破坏时的荷载值; d 为圆柱体试件的直径或立方体试件的边长; l 为试件的长度。

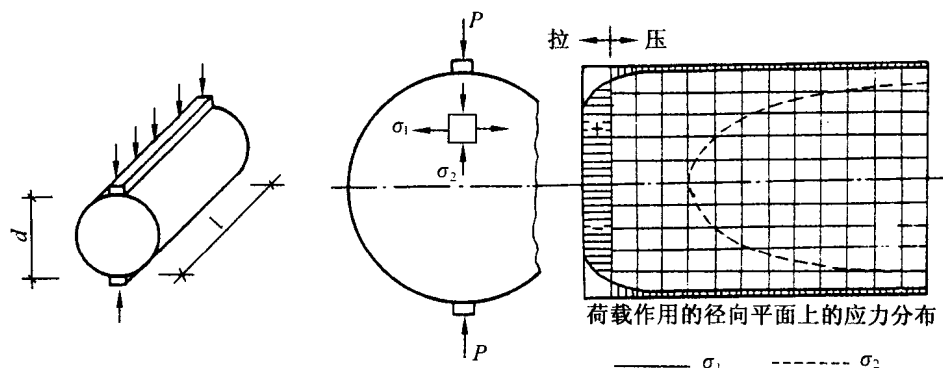


图 1.1.3 劈裂试验

我国的实验结果表明,混凝土的轴心抗拉强度略高于劈裂强度,鉴于我国还未建立混凝土劈裂试验的统一标准,通常认为混凝土的轴心抗拉强度与劈裂强度基本相同。

4. 复合应力状态下的混凝土强度

在钢筋混凝土结构中,构件通常受到轴力、弯矩、剪力及扭矩等不同组合情况的作用,因此,混凝土更多的是处于双向或三向受力状态。在复合应力状态下,混凝土的强度有明显变化。

(1) 对于双向应力状态,如果在两个互相垂直的平面上,作用着法向应力 σ_1 和 σ_2 ,第三个平面上应力为零,双向应力状态下混凝土强度的变化曲线如图 1.1.4 所示,其强度变化特点如下:

① 当双向受压时(图 1.1.4 中第三象限),一向的混凝土强度随着另一向压应力的增加而增加,当 σ_1/σ_2 约等于 2 或 0.5 时,其强度比单向抗压强度增加为 25% 左右,而在 $\sigma_1/\sigma_2=1$ 时,其强度增加仅为 16% 左右。

② 当双向受拉时(图 1.1.4 中第一象限),无论应力比值 σ_1/σ_2 如何,实测破坏强度基本不变,双向受拉强度均接近于单向抗拉强度。

③ 当一向受拉、一向受压时(图 1.1.4 中第二、四象限),混凝土的强度均低于单向受力(压或拉)的强度。