

Zhongxiao Kuajing

Gonglu Hunningtu Qiaoliang Jishu Zhuangtai Pinggu

中小跨径 公路混凝土桥梁 技术状态评估

胡志坚 胡钊芳 编 著



人民交通出版社
China Communications Press

Zhongxiao Kuajing Gonglu Hunningtu Qiaoliang Jishu

中小跨径公路混凝土桥梁技术

Zhuangtai Pinggu

状态评估

胡志坚 胡钊芳 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书以中小跨径公路混凝土桥梁为研究对象,对桥梁检测、评估与加固工作中所积累的理论经验进行了系统地归纳整理。本书主要内容包括:绪论,中小跨径桥梁缺陷与病害分析,桥梁评估指标体系,评估方法,评估实例和桥梁评估系统研究等。在内容编排上循序渐进,并注重理论联系实际,通过具体实例使读者加深理解。

本书不仅可作为桥梁专业师生教材供课堂使用,亦可供相关桥梁工程人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

中小跨径公路混凝土桥梁技术状态评估 / 胡志坚, 胡
钊芳编著. —北京: 人民交通出版社, 2008. 12
ISBN 978-7-114-07533-9

I. 中… II. ①胡…②胡… III. 公路桥: 钢筋混凝土桥 -
技术评估 IV. U448. 14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 213231 号

书 名: 中小跨径公路混凝土桥梁技术状态评估

著 作 者: 胡志坚 胡钊芳

责任编辑: 周高瞻

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) 59757969, 59757973

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: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 11.5

字 数: 284 千

版 次: 2009 年 1 月 第 1 版

印 次: 2009 年 1 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 114 - 07533 - 9

印 数: 0001 ~ 2000 册

定 价: 30.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

序

我国在 20 世纪 80 年代后修建的大量桥梁(至 2007 年底,公路桥梁总数达 570 016 座),其中混凝土桥梁占 90% 以上。不论是钢筋混凝土桥梁还是预应力混凝土桥梁,钢筋锈蚀与混凝土裂缝病害严重,一些桥梁使用不到 10 年就要维修,更有甚者使用不到 20 年就被拆除了。普遍寿命仅有 30~50 年。我国目前已进入大量混凝土桥梁需要维修加固的阶段,极少量的大桥工程亦危害严重。

随着我国经济建设的迅猛发展,交通量与载重量的急剧增长,桥梁的桥面、伸缩缝、支座的损坏率很高,情况相当严重;追其原因,极为复杂。人为过失常是一个主要原因,特别在我国近 40 年来桥梁大规模建设时期,无论对工程的规划还是设计施工,常处在急功近利的心态上,工程质量缺失严密的管理和科学体系上的保证。

有鉴于此,本书作者基于他们多年来所完成的桥梁状态评估理论研究成果和所积累的工程实践经验,在总结现有研究的基础上,详细地阐述了中小跨径混凝土桥梁的常见病害及成因,构建了不同桥型的状态评估指标体系,论述了各类常用桥梁评估方法的基本原理和应用实例,明确了桥梁状态评估的理论模型和系统研发要求,形成了一套完善的中小跨径混凝土桥梁状态评估理论体系,有很强的针对性和实用性,填补了我国在桥梁状态评估方面亟须这种专著的空缺。本书可供这方面的研究生与工程技术人员阅读和参考,必将有助于促进桥梁状态评估方法和科学技术的发展,最终减少桥梁结构潜在病害的影响,提高结构整体耐久性,提高公路的服务水平。

王 强
08.8.21

前 言

随着时代发展和科技进步,桥梁建设事业也获得了蓬勃发展,新材料、新工艺、新方法和新的设计理念等一大批创新技术被应用于桥梁设计与施工的各个环节,特别是随着计算机技术和有限元方法的发展,人们可以对桥梁结构在设计、施工的各个阶段进行高精度模拟和精细化分析,所建成的桥梁也越来越符合现阶段人们对桥梁安全、美观和舒适的要求。但是,尽管在建设桥梁时采用了当代最先进的材料和技术,并考虑了远景交通发展的需求,建成的新桥在投入使用后仍然会逐步老化失效。

桥梁老化失效的原因是多方面的,在设计时由于设计不合理或施工期间施工质量问题等原因导致结构存在先天缺陷;投入运营使用后又由于超载、地震和洪水等外部环境因素导致结构提早出现安全隐患或被提前终止服役,如2008年5月12日四川省汶川发生的强烈地震导致了震区大量桥梁出现病害或坍塌;另外,由于历史和资金有限等原因,我国大部分20世纪六七十年代甚或五十年代修建的桥梁仍在营运使用,但因其设计荷载标准偏低和服役时间较长等因素,这些桥梁已成为交通运输中的潜在隐患,越来越不能满足现代交通发展的需求。因此,基于现有检测手段,如何对在役桥梁结构状态做出准确评估,不仅是桥梁管理与养护部门进行养护决策的依据,亦是桥梁建设可持续发展的一个重要组成部分和关键技术之一。

我国90%以上桥梁为混凝土桥梁,且中小跨径桥梁占绝对比例。但由于中小跨径桥梁结构形式比较简单,且其规模和重要程度远不如大跨度桥梁,故社会对其关注程度不够。而事实上,由于中小跨径桥梁多采用标准图设计,结构特征等方面存在许多共性,对其进行深入研究能获得很多有代表性和推广价值的研究成果。因此,重视和加强中小跨径混凝土桥梁技术状态评估的理论与实践,为进行桥梁养护决策提供科学依据,必将使全国范围内数以万计的中小跨径混凝土桥梁能更好地服务于我国经济建设事业。

基于上述认识,笔者以中小跨径公路混凝土桥梁为研究对象,根据自身主持和参与的桥梁检测、评估与加固工作中所积累的理论与经验,系统地归纳整理成书,以期抛砖引玉,与同仁们进行交流。本书第一章总结了国内外桥梁状态评估的研究成果;第二章详细阐述并分析了中小跨径混凝土桥梁的常见病害及其成因;第三章则在病害分析的基础上确立中小跨径混凝土桥梁的评价指标体系;第四章阐述各种常用的桥梁评估方法;第五章则是针对各种评估方法所进行的评估实例分析;第六章介绍现有桥梁状态评估系统和进一步的研究。在内容编排上循序渐进,并注重理论联系实际,通过具体实例使读者加深理解。因此,本书不仅可供课堂使用,亦可供相关桥梁工程人员参考。

本书编写中,江西省交通厅对此非常重视并提供大力支持;江西省公路管理局和武汉理工大学等单位的领导、专家和技术人员给予积极帮助与支持;同济大学桥梁工程系的肖汝诚教授

等老师和研究生们给予了具体的修改意见和莫大帮助;人民交通出版社为本书出版提出了具体指导性意见。在此,谨向所有关心、帮助和支持本书编写与出版的有关领导、专家、学者表示衷心感谢。

由于作者业务水平有限,书中不可避免存在不足和纰漏之处,恳请有关专家和读者批评指正。

作者

2008年11月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 桥梁现状	1
第二节 BMS 发展及桥梁技术状态评估	10
第三节 桥梁技术状态评估研究现状	15
第二章 中小跨径桥梁缺陷与病害分析	22
第一节 混凝土病害分析	22
第二节 钢筋混凝土梁(板)桥缺陷与病害分析	36
第三节 预应力混凝土梁(板)桥缺陷与病害分析	64
第四节 钢筋混凝土拱桥	70
第三章 桥梁评估指标体系	75
第一节 中小跨径混凝土桥梁评估指标体系	75
第二节 基于可靠度理论的钢筋混凝土桥梁评估指标体系	81
第三节 桥梁技术状态等级划分	82
第四章 评估方法	86
第一节 桥梁设计与桥梁评估的差异	86
第二节 公路养护规范评估方法	87
第三节 综合评估理论	89
第四节 模糊综合评判法	93
第五节 模糊神经网络方法	98
第六节 基于可靠度理论的方法	107
第五章 评估实例	118
第一节 规范方法评估实例	118
第二节 综合评估理论评估实例	120
第三节 模糊综合评判法评估实例	123
第四节 模糊神经网络方法评估实例	125
第五节 基于可靠度理论的方法评估实例	129
第六章 桥梁评估系统研究	135
第一节 国内外现有桥梁评估系统简介	135
第二节 下一代智能评估系统研究	141
附录 1:模糊理论基本知识	147
附录 2:神经网络基本知识	156
附录 3:可靠度理论基本知识	159
参考文献	167

第一章 绪 论

第一节 桥梁现状

一、在役桥梁

随着经济建设的快速发展,交通已成为衡量国家和地区经济实力和现代化水平的重要标志之一。截至 2007 年底,我国公路总里程已达到 357.3 万 km(图 1-1),其中高速公路通车总里程达到 5.39 万 km(居世界第二),全国有 21 个省区市高速公路里程超过 1 000km。

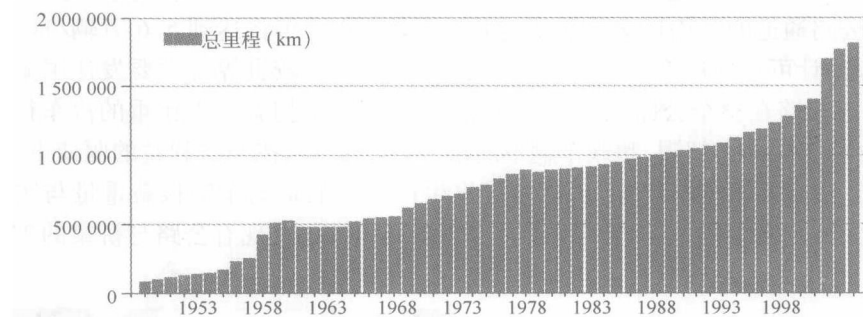


图 1-1 我国公路总里程增长趋势图

2004 年 12 月 17 日,《国家高速公路网规划》由国务院审议通过,我国将用 30 年时间投资两万亿元建成 7 条首都放射线、9 条南北纵向线和 18 条东西横向线,简称“7918 网”,总规模大约为 8.5 万 km。

近十年来,我国桥梁建设有长足的发展,但目前使用中的桥梁大部分还是技术标准较低的旧桥。这些桥梁运营时间不到 40 年,有些还只是建成几年的新建桥梁,由于桥梁建设的初始缺陷、结构损伤的积累、自然条件的老化、桥梁养护管理滞后等原因,已建桥梁不满足现代功能要求的问题已越来越普遍,这已经成为交通运输的瓶颈,制约了我国经济建设的飞速发展。部分桥梁甚至出现恶性事故,如重庆綦江彩虹桥垮塌、广州海印大桥断索、四川宜宾南门大桥断杆等,严重影响到人民生命财产的安全。因此,已建桥梁的科学管理维护成为亟待解决的问题。

已建桥梁状态不良的情况在西方发达国家也普遍存在,而且桥梁建设的规模不断增大,桥梁养护的压力也随之增加:美国联邦公路局(FHWA)1998 年管理的 587 755 座桥梁中,缺陷桥梁占 29.4%,其中结构缺陷桥梁占 15.9%,功能缺陷桥梁占 13.5%。目前,美国每年新建桥梁约 7 000 座,改建约 2 000 座,约占美国全国桥梁总数的 1.5%,与此同时,每年约 5 900 座桥梁出现缺陷,约占美国全国桥梁总数的 1%。英国运输部曾在 1990 年抽样调查过 200 座混凝土公路桥,调查结果表明,大约 30%的桥梁运营条件不良,预计如果对英国运输部拥有的约 6 000 座桥进行维护,10 年的费用约为 6 200 万英镑。

目前我国已建桥梁的技术状况不能满足使用功能的情况相当普遍,主要表现在以下几点:

(1)原设计荷载等级偏低,不能满足现有交通荷载要求

我国公路桥梁大部分是在建国以后建成的,桥龄一般在 40 年以上,除按 1972 年交通部颁布的《公路工程技术标准》(试行)和 1982 年以来部颁《公路工程技术标准》(JTJ 1-81)设计建造的桥梁尚能基本满足近期交通要求外,在此之前,特别是 20 世纪 50 年代后期及 60 年代的一些桥梁大都发生承载能力不足、桥面净宽不足等问题。

目前很大一部分中小桥分布在技术标准低、通行能力差的公路上,这些桥设计荷载大多为原汽-13、拖-60 或汽-15、挂-80,还有一部分桥梁的荷载标准仅为原汽-10、原履带-50,甚至低于原汽-10。根据 1982 年的全国桥梁普查结果显示,全国国道、省道和县级公路的永久性大中桥中,设计荷载达到原汽-20 级、原挂-100 标准的仅占总数的 6.53%,原汽-10 级、原履带-50 及其以下荷载标准的占 9.17%,其余 84.3% 的桥梁基本都是原汽-13 和原汽-15 级荷载标准。

(2)交通量增长速度高于交通设施增长速度

2003 年,我国主要公路通道的平均日交通量已达 1.5 万辆(小客车,下同)。预计到 2010 年,我国主要公路通道的平均日交通量将达到 3 万辆,2020 年将达到 5.6 万辆/日,京沪等交通量较大路段预计可达到每天 10 万~13 万辆(图 1-2)。比较世界各主要发达国家路网结构配置,我国高速公路在整个公路网中所占比重很低,但却承担着较大比重的汽车行驶量。再者,车辆大型化趋势加大,超限、超载车辆不断增多(图 1-3)。在经济利益的驱使下,许多货运车辆超载严重,使路网系统不堪重负;许多厂家生产出来的货运车辆核载重量与实载能力之间,保留了极大的超载空间,实际超载系数达 100%~400%,对现有公路与桥梁的破坏呈几何级数增加。

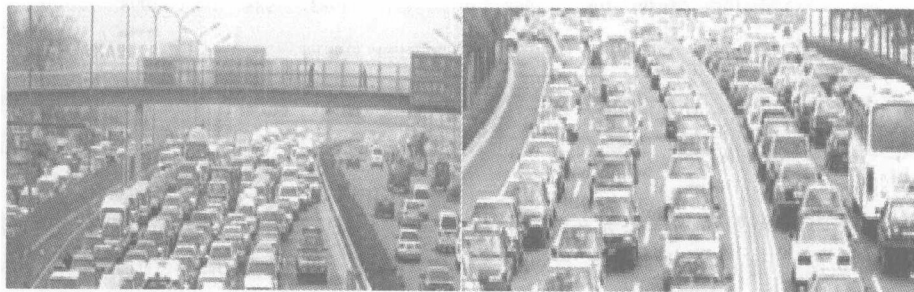


图 1-2 交通拥堵状况

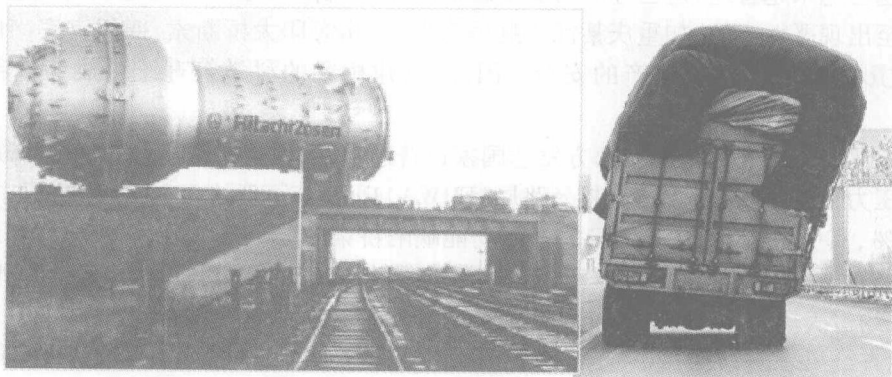


图 1-3 重交通以及超载车辆

(3) 桥梁病害严重

由于腐蚀、撞击、未及时养护等造成的桥梁构件缺损、开裂;再加上建设年代久远,60%的桥梁开始老化;混凝土结构的开裂、使用性能降低、承载力不足、抗震性能不良等诸多问题严重影响了现有路网结构的使用寿命周期和结构安全(图 1-4)。据 1994 年秋统计,我国铁路桥梁共有病害桥 6 137 座,占桥梁总数的 18.8%,其中混凝土桥 2 675 座,占病害桥梁的 43.6%。另据有关资料显示,截至 2006 年底,我国共有公路桥梁(含农村公路桥梁)533 620 座桥梁,其中查出的危桥共 63 094 座。

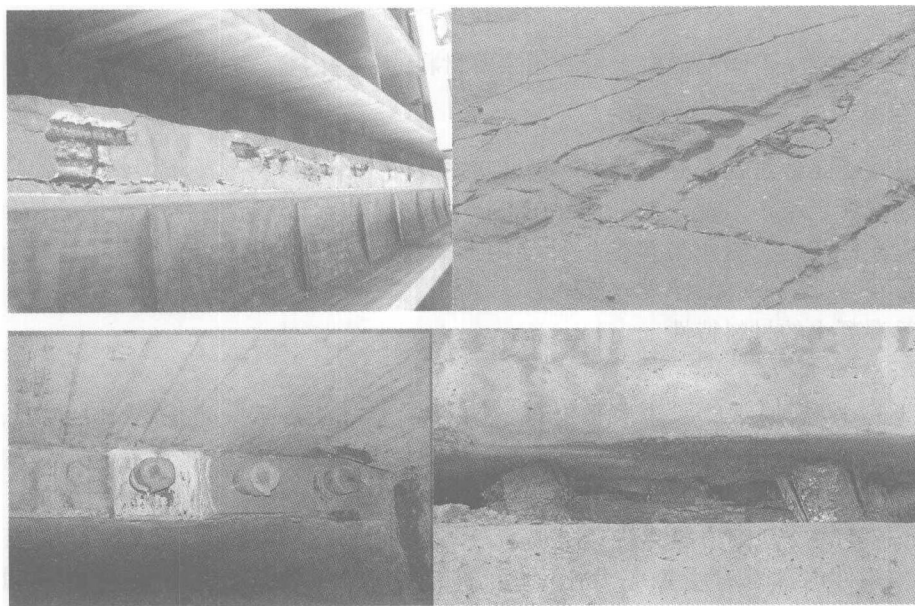


图 1-4 桥梁典型病害示例

(4) 桥梁管养力度不够

桥梁管理水平不足,难以修理。与此同时,大部分桥梁养护管理部门并未进行有效的桥梁管理,管理模式单一,管理手段匮乏,具体表现为以下三对矛盾:一是落后的管理方法、管理设备与飞速发展的现代桥梁结构理论、计算机信息技术之间的矛盾;二是大量桥梁养护需求与有限的桥梁维修养护费用之间的矛盾;三是传统桥梁养护被动修补的方法与桥梁管理系统化、规范化、科学化的主动管理、主动预测之间的矛盾。为了解决以上矛盾,避免桥梁管理的盲目性,有必要对桥梁管理模式进行系统、规范、科学地研究,从而建立一整套完备适用的桥梁管理系统,以代替传统落后的管理手段。

因而,加强技术投入,实施对现有结构的安全性能评判和实时监控,利用现代结构诊断手段对营运中的桥梁结构进行有效检测、结构评价和投资决策管理,在现阶段显得尤为必要。

二、混凝土桥梁结构^[142]

从 1873 年建成了世界上第一座钢筋混凝土桥梁,迄至目前,钢筋混凝土桥梁已有一百多年的历史。我国从 1924 年开始建设钢筋混凝土桥梁,不过由于当时是初次尝试,仅做了短跨径的板桥和小跨径拱桥。1949 年解放后,我国建造了不少钢筋混凝土及预应力混凝土桥梁,

为了节约钢材,在公路上修建钢桥还比较少,而修建石拱桥费工又费时,还要受到桥位处地形地质的限制;因此,在公路建设中,得到最为广泛推广的要算是钢筋混凝土和预应力混凝土结构。特别是在公路跨越较多中小河流时,需要建造大量的中小跨径的钢筋混凝土及预应力混凝土桥梁。

一) 钢筋混凝土桥梁结构及其材料特性

钢筋混凝土桥是以钢筋混凝土结构作为主要承重构件的桥梁,主要用于跨度不大的梁式桥和拱桥。

以下详细介绍一下钢筋混凝土桥所用主要材料的一些内容,为以后的病害分析奠定基础。

(一) 钢筋混凝土

钢筋混凝土是通过在混凝土中加入钢筋与之共同工作来改善混凝土力学性质的一种组合材料。钢筋混凝土结构出现于 1848 年,在 1900 年之后才在工程界有了大规模的使用。目前在中国,钢筋混凝土为应用最多的一种结构形式,同时也是世界上使用钢筋混凝土最多的地区。

1. 钢筋混凝土的材料特性

1) 混凝土

混凝土是水泥(通常硅酸盐水泥)与集料的混合物。当加入一定量水分的时候,水泥水化形成微观不透明晶格结构从而包裹和结合集料成为整体结构。通常混凝土结构拥有较强的抗压强度(35MPa 以上)。但是混凝土的抗拉强度较低,通常只有抗压强度的十分之一左右,任何显著的拉弯作用都会使其微观晶格结构开裂和分离从而导致结构的破坏。而绝大多数结构构件内部都有受拉应力作用的需求,故未加钢筋的混凝土极少被单独使用于工程。

混凝土的种类很多,分类方法也很多,按表观密度分,可分为重混凝土和普通混凝土。重混凝土是表观密度大于 2 600kg/m³ 的混凝土,常由重晶石和铁矿石配制而成。普通混凝土是表观密度为 1 950 ~ 2 500kg/m³ 的混凝土,它是水泥为胶凝材料,砂子和石子为集料,经加水搅拌、浇筑成型、凝结固化成具有一定强度的“人工石材”,即水泥混凝土,它是目前工程上大量使用的混凝土品种。

(1) 单轴受力状态下混凝土的抗压及抗拉强度(图 1-5、图 1-6)

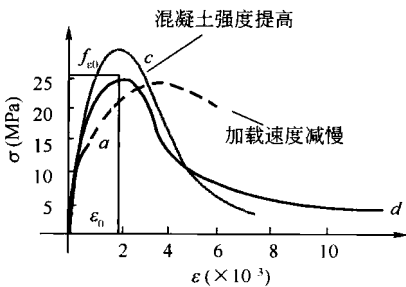


图 1-5 单轴受压时的应力-应变关系

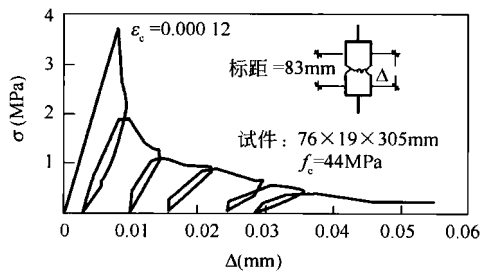


图 1-6 轴向受拉时混凝土的应力-应变关系

我国规范把立方体抗压强度(设计值及标准值见规范)作为区分混凝土强度等级的指标,混凝土的强度等级有:C15、C20、C25、C30、C35、C40、C45、C50、C55、C60、C65、C70、C75、C80。

(2) 复合受力状态下混凝土的强度曲线(图 1-7、图 1-8)

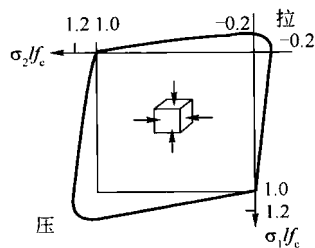


图 1-7 双向正应力下的强度曲线

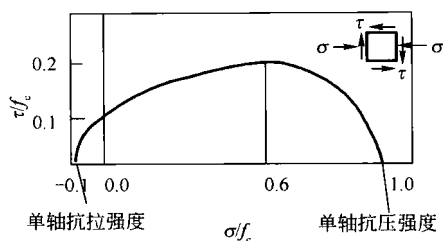


图 1-8 法向应力和剪应力下的强度曲线

(3) 混凝土的疲劳强度

f'_e 的确定原则: 100mm × 100mm × 300mm 或 150mm × 150mm × 450mm 的棱柱体试块承受 200 万次(或以上)循环荷载时发生破坏的最大压应力值(图 1-9)。

(4) 侧向受约束时混凝土的变形, 如图 1-10 所示。

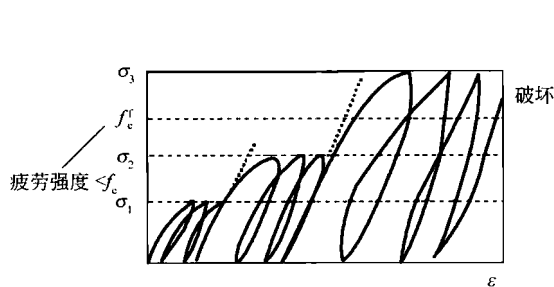


图 1-9 重复荷载下的应力—应变曲线

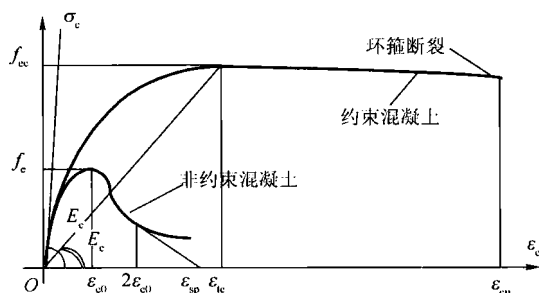


图 1-10 侧向受约束时混凝土的变形特点

(5) 混凝土徐变及影响徐变的因素

混凝土徐变是在应力不变的情况下, 随着时间的增长应变继续增加, 其影响因素如下(图 1-11):

① 应力: $\sigma_c < 0.5f_c$, 徐变变形与应力成正比——线性徐变; $0.5f_c < \sigma_c < 0.8f_c$, 非线性徐变; $\sigma_c > 0.8f_c$, 造成混凝土破坏, 不稳定。

② 加荷时混凝土的龄期越早, 徐变越大。

③ 水泥用量越多, 水灰比越大, 徐变越大。

④ 集料越硬, 徐变越小。

(6) 混凝土的收缩

混凝土的收缩即结硬过程中混凝土体积缩小的性质。影响混凝土收缩的因素如下。

① 水泥品种: 等级越高, 收缩越大。

② 水泥用量: 水泥用量越多, 水灰比越大, 收缩越大。

③ 集料: 集料越硬, 收缩越小。

④ 养护条件、制作方法、使用环境、体积与表面积的值等。

(7) 普通混凝土的主要优缺点

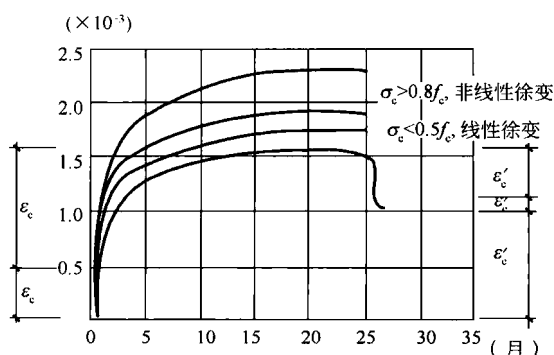


图 1-11 长期荷载作用下混凝土的变形性能——徐变

①普通混凝土的主要优点

a) 原材料来源丰富。混凝土中约 70% 以上的材料是砂石料,属地方性材料,可就地取材,避免远距离运输,因而价格低廉。

b) 施工方便。混凝土拌和物具有良好的流动性和可塑性,可根据工程需要浇筑成各种形状尺寸的构件及构筑物,既可现场浇筑成型,也可预制。

c) 性能可根据需要设计调整。通过调整各组成材料的品种和数量,特别是掺入不同外加剂和掺和料,可获得不同施工和易性、强度、耐久性或具有特殊性能的混凝土,满足工程上的不同要求。

d) 抗压强度高。混凝土的抗压强度一般为 $7.5 \sim 60\text{MPa}$ 。当掺入高效减水剂和掺和料时,强度可达 100MPa 以上。而且,混凝土与钢筋具有良好的匹配性,浇筑成钢筋混凝土后,可以有效地改善混凝土抗拉强度低的缺陷,使混凝土能够应用于各种结构部位。

e) 耐久性好。原材料选择正确、配比合理、施工养护良好的混凝土具有优异的抗渗性、抗冻性和耐腐蚀性能,且对钢筋有保护作用,可保持混凝土结构长期使用性能稳定。

混凝土的这些优点,加上我国现有国情,混凝土结构仍是我国桥梁工程主要形式。

②普通混凝土存在的主要缺点

a) 自重大。 1m^3 混凝土重约 2400kg ,故结构物自重较大,导致地基处理费用增加。

b) 抗拉强度低,抗裂性差。混凝土的抗拉强度一般只有抗压强度的 $1/10 \sim 1/20$,易开裂。

c) 收缩变形大。水泥水化凝结硬化引起的自身收缩和干燥收缩达 $500 \times 10^{-6}\text{m/m}$ 以上,易产生混凝土收缩裂缝。

2) 钢筋

钢筋混凝土中的钢筋特别是受力筋含量通常很少,从占构件截面面积的 1% (多见于梁板)至 6% (多见于柱)不等。相较混凝土而言,钢筋抗拉强度非常高,一般在 200MPa 以上,故通常人们在混凝土中加入钢筋等加劲材料与之共同工作,由钢筋承担其中的拉力,混凝土承担压应力部分。在一些小截面构件里,除了承受拉力之外,钢筋同样可用于承受压力。钢筋混凝土构件截面可以根据工程需要制成不同的形状和大小。

(1) 钢筋的成分及品种

①按化学成分划分,可分为碳素钢和普通低合金钢。

②按加工工艺可分为钢筋和钢丝。

③根据钢筋的形状可分为光面钢筋和变形钢筋。

④根据使用范围,钢筋可分为非预应力钢筋和预应力钢筋。

⑤根据钢筋的直径($3 \sim 40\text{mm}$)划分 19 等。

(2) 钢筋的强度和变形

①强度指标

明显流幅的钢筋[图 1-12a]):下屈服点对应的强度作为设计强度的依据,因为,钢筋屈服后会产生大的塑性变形,钢筋混凝土构件会产生不可恢复的变形和不可闭合的裂缝,以至不能使用;无明显流幅的钢筋:残余应变为 0.2% 时所对应的应力作为条件屈服强度[图 1-12b)]。

②变形指标

伸长率:钢筋拉断后的伸长和原长之比。

冷弯性能:将直径为 d 的钢筋绕直径为 D 的钢棍弯成一定角度而不发生断裂。

(3) 钢筋的徐变和松弛

钢筋的徐变是指在钢筋应力不变的情况下,随着时间的增长钢筋应变继续增加;钢筋的松弛是指在钢筋长度不变的情况下,随着时间的增长钢筋应力降低。对于结构,尤其是预应力结构而言,徐变和松弛将产生不利的影响,需采取必要的措施。

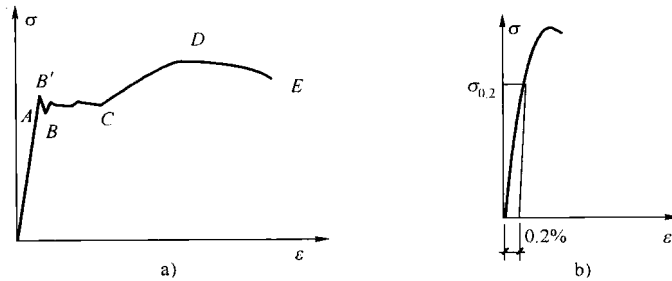


图 1-12 钢筋的应力—应变曲线
a) 明显流幅的钢筋;b) 无明显流幅的钢筋

(4) 钢筋的疲劳

钢筋在重复荷载作用下(规定的应力幅度内),经一定次数的重复荷载后,发生疲劳破坏的最大应力值称为疲劳强度。对钢筋用疲劳应力幅来表示其疲劳强度,钢筋疲劳破坏时的强度小于静载作用下的强度。

(5) 混凝土结构对钢筋的要求

- ①强度要求:屈服强度和极限强度,抗震设计时还要求有一定的屈强比。
- ②塑性要求:伸长率和冷弯要求。
- ③可焊性。
- ④与混凝土的黏结性。

3) 钢筋混凝土的工作原理

钢筋与混凝土之所以可以共同工作是由它们自身的材料性质决定的。首先钢筋与混凝土有着近似相同的温度线膨胀系数,不会由环境不同产生过大的温度应力破坏两者的黏结力。其次钢筋与混凝土之间有良好的黏结力,有时钢筋的表面也被加工成有间隔的肋条(称为变形钢筋)来提高混凝土与钢筋之间的机械咬合,当此仍不足以传递钢筋与混凝土之间的拉力时,通常将钢筋的端部弯起 180° 弯钩。此外,混凝土中的氢氧化钙提供的碱性环境,在钢筋表面形成了一层钝化保护膜,使钢筋相对于中性与酸性环境下更不易腐蚀。

同普通混凝土一样,钢筋混凝土在 28d 后达到设计强度。

(二) 钢筋混凝土结构

钢筋混凝土结构即用钢筋混凝土制成的结构。

1. 基本原理

由于混凝土的抗拉强度远低于抗压强度,因而素混凝土结构不能用于受有拉应力的梁和板。如果在混凝土梁、板的受拉区内配置钢筋,则混凝土开裂后的拉力由钢筋承担,这样就可充分发挥混凝土抗压强度较高和钢筋抗拉强度较高的优势,共同抵抗外力的作用,提高混凝土梁、板的承载能力(图 1-13)。

钢筋与混凝土两种不同性质的材料能有效地共同工作,是由于混凝土硬化后混凝土与钢筋之间产生了黏结力。它由分子力(胶合力)、摩阻力和机械咬合力三部分组成,其中起决定性作用的是机械咬合力,约占总黏结力的一半以上。将光面钢筋的端部做成弯钩,将钢筋焊接

成钢筋骨架和网片,均可增强钢筋与混凝土之间的黏结力。为保证钢筋与混凝土之间的可靠黏结和防止钢筋被锈蚀,钢筋周围须具有 15 ~ 30mm 厚的混凝土保护层。若结构处于有侵蚀性介质的环境,保护层厚度还要加大。

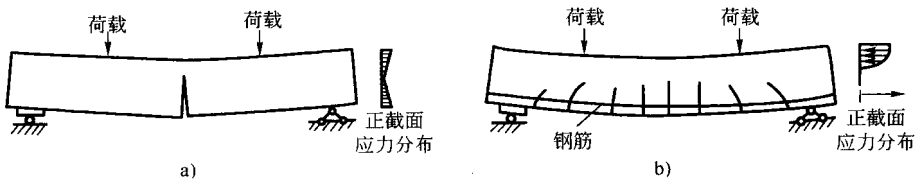


图 1-13 两种梁受力情况图
a) 素混凝土梁;b) 钢筋混凝土梁

2. 基本特性

由于钢筋会阻碍混凝土硬化时的自由收缩,从而在混凝土中会引起拉应力,在钢筋中会产生压应力;而混凝土的徐变会在受压构件中引起钢筋与混凝土之间的应力重分配,在受弯构件中引起挠度增大,在超静定结构中引起内力重分布等。因此,混凝土的收缩和徐变(蠕变)对钢筋混凝土结构具有重要意义。

由于混凝土的极限拉应变值较低(约为 0.15mm/m)和混凝土的收缩,导致在使用荷载条件下构件的受拉区容易出现裂缝。为避免混凝土开裂和减小裂缝宽度,可采用预加应力的方法,对混凝土预先施加压力(见预应力混凝土结构)。实践证明,在正常条件下,宽度在 0.3mm 以内的裂缝不会降低钢筋混凝土的承载能力和耐久性。

在从 -40 ~ 60℃ 的温度范围内,混凝土和钢筋的物理力学性能都不会有明显的改变,因此,钢筋混凝土结构可以在各种气候条件下应用。当温度高于 60℃ 时,混凝土材料的内部结构会遭到损坏,其强度会有明显降低;当温度达到 200℃ 时,混凝土强度降低 30% ~ 40%。因此,钢筋混凝土结构不宜在温度高于 200℃ 的条件下应用;当温度超过 200℃ 时,必须采用耐热混凝土。

3. 应用范围

钢筋混凝土结构在桥梁工程中的应用范围极广,几乎各种结构都可采用钢筋混凝土。

二) 预应力混凝土桥梁结构及其材料特性

预应力混凝土桥是以预应力混凝土作为主要承重构件的桥梁。现已在中、小跨度范围内占绝对优势,在大跨度范围内正在同钢桥展开激烈竞争。其横截面形式:小跨度预应力混凝土桥梁的横截面宜取板状或 T 形;跨度较大时,则宜取箱形。

以下详细介绍一下预应力混凝土桥所用主要材料的一些内容,为以后的病害分析奠定基础。

(一) 预应力混凝土

用于预应力构件的混凝土叫预应力混凝土,是在混凝土构件承受使用荷载前的制作阶段,预先对使用阶段的受拉区施加压应力,造成一种人为的应力状态。

预应力混凝土是在第二次世界大战后迫切要求恢复战争创伤,从西欧迅速发展起来的。半个多世纪以来,从理论、材料、工艺到土建工程中的应用,都取得了巨大的成就。尤其是随着部分预应力概念的逐步成熟,突破了混凝土不能受拉与开裂的约束,大大扩展了它的应用范围。目前,预应力混凝土已成为国内外土建工程最主要的一种结构材料,而且预应力技术已扩大应用到型钢、砖、石、木等各种结构材料,并用以处理结构设计、施工中用常规技术难以解决

的各种疑难问题。我国预应力混凝土的起步比西欧大约晚 10 年,但发展迅速,应用数量庞大。我国近年来在混凝土工程技术,尤其是预应力技术应用方面取得了巨大进步。近二三十年来,我国的不少预应力混凝土桥梁的修建技术已达到国际先进水平。

1. 预应力混凝土的基本原理

为了避免钢筋混凝土结构的裂缝过早出现,充分利用高强度钢筋及高强度混凝土,可以设法在结构构件承受使用荷载前,预先对受拉区的混凝土施加压力,使它产生预压应力来减小或抵消荷载所引起的混凝土拉应力,从而将结构构件的拉应力控制在较小范围,甚至处于受压状态,以推迟混凝土裂缝的出现和开展,从而提高构件的抗裂性能和刚度。

2. 预应力混凝土的材料特性

1) 预应力钢筋

目前,使用的预应力钢材主要有高强钢丝、钢绞线及高强度粗钢筋三大类,预应力钢筋要强度高、与混凝土间有足够的黏结力、有良好的加工性能和一定的可塑性能。值得注意的是:处于侵蚀介质中的预应力混凝土构件,不宜采用热处理钢筋、碳素钢丝、刻痕钢丝、钢绞线等作为预应力钢筋,对直接承受动荷载的预应力混凝土构件,不得采用有焊接接头的冷拉钢筋。

2) 混凝土

我国现行规范规定,对一般的预应力混凝土构件混凝土强度等级不应低于 C30,采用热处理钢筋、碳素钢丝、刻痕钢丝、钢绞线的预应力混凝土构件不低于 C40,对公路桥涵的预应力受力构件不应低于 C40[具体参照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)]。

目前,从我国已建成的预应力混凝土桥梁来看,大多都采用 C40 ~ C50 混凝土。随着桥梁跨度的增加,为减少桥梁结构的自重,混凝土逐渐向高强、轻质方向发展。

3. 预应力混凝土的特点

与钢筋混凝土相比,预应力混凝土具有以下特点:

①构件的抗裂性能较好。

②构件的刚度较大。由于预应力混凝土能延迟裂缝的出现和开展,并且受弯构件要产生反拱,因而可以减小受弯构件在荷载作用下的挠度。

③构件的耐久性较好。由于预应力混凝土能使构件不出现裂缝或减小裂缝宽度,因而可以减少大气或侵蚀性介质对钢筋的侵蚀,从而延长构件的使用期限。

④工序较多,施工较复杂,且需要张拉设备和锚具等设施。

值得注意的是:预应力混凝土不能提高构件的承载能力;也就是说,当截面和材料相同时,预应力混凝土与普通钢筋混凝土受弯构件的承载能力相同,与受拉区钢筋是否施加预应力无关。

(二) 预应力混凝土结构

预应力混凝土结构是以预应力混凝土制成的结构。

1. 基本原理

理论上讲,提高材料强度可以提高构件的承载力,从而达到节省材料和减轻构件自重的目的。但在普通钢筋混凝土构件中,提高钢筋强度却难以收到预期的效果。这是因为,对配置高强度钢筋的钢筋混凝土构件而言,承载力可能已不是控制条件,起控制作用的因素可能是裂缝宽度或构件的挠度。当钢筋应力达到 $500 \sim 1\,000\text{MPa}$ 时,裂缝宽度将很大,无法满足使用要求;因而,钢筋混凝土结构中采用高强度钢筋是不能充分发挥其作用的。而提高混凝土强度等级对提高构件的抗裂性能和控制裂缝宽度的作用也极其有限,混凝土抗拉强度及极限拉应变

值都很低,其抗拉强度只有抗压强度的 $1/10 \sim 1/18$,极限拉应变仅为 $0.0001 \sim 0.00015$,即每米只能拉长 $0.1 \sim 0.15\text{mm}$,超过后就会出现裂缝。而钢筋达到屈服强度时的应变却要大得多,约为 $0.0005 \sim 0.0015$,如 HPB235 级钢筋就达 1×10^{-3} 。对使用上不允许开裂的构件,受拉钢筋的应力只能用到 $20 \sim 30\text{MPa}$,不能充分利用其强度。对于允许开裂的构件,当受拉钢筋应力达到 250MPa 时,裂缝宽度已达 $0.2 \sim 0.3\text{mm}$ 。

2. 分类及应用范围

1) 先张法和后张法

根据预应力混凝土的制作方法可分为先张法和后张法。先张法是先张拉钢筋后灌注混凝土的方法;后张法是先浇筑混凝土后张拉钢筋的方法。

2) 有黏结和无黏结预应力混凝土

根据钢筋和混凝土的黏结方式可分为有黏结和无黏结预应力混凝土。有黏结混凝土是先张法生产的预应力混凝土构件以及后张法张拉钢筋在孔道中灌浆所生产的预应力混凝土构件,其特点是受力性能好,裂缝分布均匀且裂缝宽度较小。无黏结预应力混凝土是后张法张拉钢筋后不在孔道中灌浆所生产的预应力混凝土构件,其特点是造价低,便于以后再次张拉或更换预应力钢筋。

3) 全预应力和部分预应力混凝土

全预应力是在使用荷载下不出现拉应力或裂缝的混凝土构件;部分预应力是在使用荷载下允许混凝土受拉区产生宽度不大的裂缝的混凝土构件。与普通混凝土结构相比,预应力混凝土结构不仅提高了结构刚度和抗裂度,减轻了结构自重,节省了材料,还能提高梁的抗扭、抗剪能力和抗疲劳承载力,保护钢筋免受大气腐蚀。不过,预应力混凝土不能提高梁的抗弯承载力。

3. 应用范围

预应力混凝土结构的出现扩大了混凝土结构在桥梁中的应用范围,适用于建造大、中跨度的桥梁结构。

第二节 BMS 发展及桥梁技术状态评估

一、桥梁管理系统的概念

在桥梁结构理论、计算机科学技术、地理信息技术、系统科学等工程科学技术飞速发展的今天,利用科学手段进行桥梁资产管理已经成为现实。桥梁管理系统(Bridge Management System)是近十年来桥梁工程界涌现的一个新领域,它涉及桥梁工程、系统工程、管理工程、统计分析、计算机工程等学科,是跨学科、跨领域的综合系统。

桥梁管理系统是为桥梁管理部门的桥梁管理活动服务的。桥梁管理活动主要指桥梁管理部门所管辖的已建桥梁结构维护、使用功能改进以及重建加固决策。桥梁管理对象就是可供使用的管理资金和已建桥梁本身。桥梁管理的目的是合理使用桥梁管理资金,对已建桥梁的安全性、适用性进行调整,达到利益收效的最大化。

桥梁管理系统的概念最早出现在美国。1967 年美国 Silver Bridge 在交通高峰时由于关键部位翼缘板的螺栓孔脆性断裂而倒塌,导致 40 多人丧生,此事件引起了美国社会的普遍关注,从那时起人们开始意识到有必要对桥梁进行仔细的监测,系统地掌握桥梁的健康状态。在此