

全国既有桥梁加固、改造与评价

学术会议论文集

交通部公路科学研究院
东南大学 编



人民交通出版社

China Communications Press

全国既有桥梁加固、改造与评价

Quanguo Jiyou Qiaoliang Jiagu Gaizao yu Pingjia

学术会议论文集

Xueshu Huiyi Lunwenji

交通部公路科学研究院
东 南 大 学 编

人民交通出版社

2008年11月·南京

内 容 提 要

本论文集收录了“全国既有桥梁加固、改造与评价学术交流及技术研讨会”(2008年11月,南京)的全部录用论文72篇。全书共分为四部分:桥梁结构加固设计理论与计算方法;桥梁病害分析、检测、评估理论及方法;桥梁加固材料、施工技术与质量检验评定方法;桥梁拓宽与改造技术、灾变及突发事件下桥梁的修复技术。

本书是国内近年来桥梁加固、改造与评价方面的理论研究及应用技术的一次比较系统、全面的总结,具有一定的学术水平和工程参考价值。书中内容可供从事桥梁加固、改造、评价相关的理论研究人员和工程技术、管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

全国既有桥梁加固、改造与评价学术会议论文集/交通部公路科学研究院,东南大学编. —北京:人民交通出版社,2008. 11

ISBN 978-7-114-07451-6

I. 全… II. ①交…②东… III. ①桥—加固—学术会议—文集②桥—改造—学术会议—文集③桥—评价—学术会议—文集 IV. U445. 7-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 166454 号

书 名:全国既有桥梁加固、改造与评价学术会议论文集

著 作 者:交通部公路科学研究院 东南大学

责任编辑:沈鸿雁 黎小东

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.ccpress.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:北京密东印刷有限公司

开 本:880×1230 1/16

印 张:28.25

字 数:884千

版 次:2008年11月 第1版

印 次:2008年11月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-07451-6

定 价:80.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

全国既有桥梁加固、改造与评价学术交流及技术研讨会

特邀技术顾问

范立础 吕志涛 黄 卫 邵容光 张树仁

学术委员会

主任委员 张劲泉 叶见曙

委 员 (按姓氏拼音排序)

包琦玮	陈艾荣	陈宝春	方 志	符冠华	顾安邦	黄 侨
贺栓海	何玉珊	韩大章	雷俊卿	李 乔	李国平	李传习
刘士林	刘自明	吕建鸣	任宏伟	邱志明	邵长宇	邵旭东
万 水	王国亮	项贻强	肖汝诚	徐 岳	向中富	徐 波
颜东煌	杨耀铨	张喜刚	张建仁	周志祥	朱利明	

组织委员会

主任委员 沈 炯 张劲泉

秘 书 黄 侨 李万恒 刘其伟

委 员 王 炜 叶见曙 任宏伟 杨卫东 王国亮 罗瑞华 许宏元

张宇峰 曹 景 吴文清 安 琳 虞建成

主办单位

交通部公路科学研究院 东南大学

承办单位

东南大学交通学院

协办单位

中交第一公路勘察设计院

江苏省交通规划设计研究院

天津市市政工程设计研究院

江苏省交通科学研究院

中铁大桥(南京)桥隧诊治有限公司

目 录

一、桥梁结构加固设计理论与计算方法

桥梁加固设计理念剖析与商榷	张树仁(3)
基于时变可靠度的横隔板耐用构造设计	徐 岳 郑学忠 唐先习等(12)
预应力混凝土低高度简支箱梁桥的加固设计研究	项贻强 徐建武 王建江等(22)
天津永和大桥合龙段拆除前后全桥整体稳定性分析	李宏江 李万恒 张劲泉等(28)
用体外横张预应力技术适时调控预应力混凝土连续刚构桥后期挠度的构想	周志祥 徐 勇 吴海军(34)
采用七自由度计算方法分析某桥腹板开裂原因	徐 栋 吴佳璞(39)
双曲拱桥的加固及其性能评估	赖宁兴 上官萍(45)
天津永和大桥维修后的动力特性分析	李宏江 方太云 程寿山等(50)
混凝土箱梁顶板纵向裂缝成因分析	李青山 李小红 叶见曙(55)
灌浆空洞对后张预应力结构体系性能的影响研究现状	安 琳 姬旭波(60)
预应力混凝土连续梁桥“恒载零挠度设计”新理念	上官兴 郭圣栋 林继乔等(65)
新老混凝土双 T 形截面组合梁试验研究	王文炜 翁昌年 李淑琴等(73)
实测横向分布系数在桥梁静载试验中的应用初探	廖敬波 唐光武 秦小平等(78)
双曲拱桥的加固及其模型修正	赖宁兴 上官萍(81)
钢筋混凝土矩形梁弯曲裂缝开展高度研究	陈 珏 艾 军 张丽芳(85)
混凝土 T 梁横向连接加固方法研究	李 芳 唐先习 徐 岳等(91)
基于计算可靠度的在役混凝土梁式桥构件安全等级划分研究	姚晓飞 翟敏刚 徐 岳等(96)
连续组合梁桥负弯矩区极限抗弯承载力计算方法研究	吴兴邦 姚晓飞 徐 岳(102)
大跨度提篮式人行拱桥动力性能改造方法研究	赵银飞 孙永明 黄 侨(108)
桥面铺装层结构形式的研讨	罗昊冲 曹 景(114)
桦林反修桥加固方案空间仿真分析	陈宇新 郑一峰 刘志华等(118)
预应力混凝土先简支后连续 T 梁桥受力性能分析与试验研究	李春辉 项贻强 诸葛温君等(123)

二、桥梁病害分析、检测、评估理论及方法

既有预应力混凝土桥梁综合评价方法研究	黄 侨 林阳子 唐海红(131)
旧预应力混凝土箱梁现场解剖调查	叶见曙 雷 笑 张 峰(136)

基于桥梁全寿命的养护费用预测分析	项贻强 周 畅 李 毅等(143)
提升桥梁混凝土耐久性的施工技术对策	雷俊卿 马少飞(148)
用电化学方法检测波纹管锈蚀和灌浆饱和度的试验研究	安 琳(152)
既有钢-混组合梁桥常见病害分析及其加固策略	黄 侨 荣学亮 陆 军(159)
大跨度斜拉桥的综合评估理论体系研究	任 远 黄 侨 李 辉(165)
传感器优化配置的一种统一方法	唐光武 廖敬波 刘怀林等(171)
桥梁无线应变静态测试系统的研制与应用	李忠龙 黄 侨 沙学军等(179)
基于静载试验的系杆拱桥承载力评定	陈磊磊 钱振东 张 磊(183)
桥梁状态诊断与评定技术在江苏的研究与应用	符冠华 张宇峰(188)
斜拉索主要病害分析及其养护维修策略	张国林 李 辉 黄 侨(197)
基于曲率模态分析的梁桥损伤识别研究	刘蕾蕾(204)
正交异性桥面板钢箱梁疲劳设计和疲劳评估规范的现状研究	余 波 邱洪兴 张 剑(211)
公路桥梁技术状况评定方法研究	邵永军 张 宏(216)
双曲拱桥上部结构常见病害分析与加固措施	葛万光 安 琳 王 臣(221)
蒙特卡罗数值模拟技术在现役钢筋混凝土梁桥安全性评估中的应用	杜 鑫 罗 韧 杨永刚等(226)
基于 GPS 技术的江阴长江大桥动力特性分析	张宇峰 张传刚 承 宇等(233)
公路桥梁养护管理与技术	李士兵 韩永平(237)
某五跨预应力连续梁桥动载试验分析	丁 勇 艾 军 杨 杰等(248)
基于健康监测实测数据的江阴长江大桥伸缩缝状态分析与评定	张宇峰 承 宇 傅 斌等(253)
津滨轻轨基础托换桩基承载力的自平衡试验	黄思勇 熊 刚 罗昊冲等(259)
失效指标在服役梁桥系统可靠度评估中的应用研究	来猛刚 姚晓飞 徐 岳(264)
基于准静态荷载试验的桥梁状态快速评定	张宇峰 段鸿杰 马志国(268)

三、桥梁加固材料、施工技术与质量检验评定方法

石潭溪钢管混凝土中承式拱桥桥道系加固改造方案研究	陈宝春(275)
某拱桥吊杆更换工程技术研究	刘长喜 周志祥 唐中波(283)
碳纤维体外预应力混凝土梁的试验研究	杜进生 王 晨 赵 磊等(288)
某互通立交 B 匝道桥抗倾覆修改设计与施工组织方案	刘鸿雁(294)
北美地区无筋桥面板在桥梁加固修复工程中的应用	缪文辉 唐先习 王春生等(300)
烟台夹河桥试验检测与维修加固	钟 军 李旺新(307)
天津港东环立交桥加固维修工程设计简介	郑礼伟 王淑训(311)
基于 Web-GIS 的桥梁施工质量验收与决策系统的数据库设计与优化	姜绍飞 齐 璐 张春明(315)
锚喷法加固大跨石拱桥合理工序及其承载能力分析	黄光清(322)
岩溶地区桩基的加固与处理	关丽筠(327)
204 国道张家港大桥扩建设计及施工监控	张 磊 钱振东 刘腾爱等(332)
双曲拱桥结构分析与加固关键技术研究	舒春生 韩友续 樊 江等(338)
淇澳大桥换索施工技术	盛海军 李少芳 晏国泰(343)
基于 Web-GIS 的桥梁施工质量验收与决策系统设计	姜绍飞 王 宇 张春明(353)
江阴长江大桥北引桥加固工程施工技术	盛海军 余升友(361)
液压同步顶升系统在更换桥梁支座施工中的应用	吴俊明 赵东奎(370)

四、桥梁拓宽与改造技术、灾变及突发事件下桥梁的修复技术

预应力混凝土桥梁拓宽的若干问题探讨·····	叶见曙	鞠金荧	吴文清(377)
混凝土桥梁防火减灾机理研究与应用·····	雷俊卿	夏超逸	彭小明(382)
既有桥梁拓宽纵向接缝研究及应用·····	宗周红	夏樟华	(387)
沪宁高速公路扩建桥梁拓宽关键技术研究·····	吴文清	叶见曙	华 斌等(396)
桥墩系梁对高墩大跨预应力混凝土连续刚构地震响应的影响·····	张 峰	叶见曙	李术才等(403)
火灾后混凝土桥梁结构的工程对策研究·····	俞 博	叶见曙	温天宇(409)
斜交空心板连续梁桥拓宽力学性能分析·····	郭岩昕	夏樟华	宗周红(416)
预应力混凝土 T 梁桥拓宽力学性能分析 ·····	罗志文	宗周红	夏樟华(426)
改(扩)建高速公路工程钢筋混凝土梁桥加宽加固改造设计·····	杨宝林	刘金平	李玉平(434)
公路大件运输中桥梁通行安全性评估及临时加固·····	任晓辉	张 宏	(439)

一、桥梁结构加固设计理论与计算方法

桥梁加固设计理念剖析与商榷

张树仁

(哈尔滨工业大学 哈尔滨 150090)

摘要:本文对目前桥梁加固设计存在的问题进行了研究与剖析,提出了主动加固和被动加固的概念,以及加固设计必须考虑分阶段受力的特点,揭示了加固构件的作用破坏机理,为理顺加固设计思想奠定了基础。文中突出强调了“承载力加固以优先采用预应力主动加固方案为宜”的设计思想;解决后加补强材料应变(应力)滞后,提高其利用效果的根本途径是变被动加固为主动加固,对后加补强材料施加预应力,构成预应力加固体系;提出了采用锚固于被加固梁体上的预应力筋,然后喷注高性能抗拉复合砂浆的有黏结预应力加固体系。该体系以其预应力筋锚固简单、张拉施工方便和结构耐久性高的技术优势,特别适用于中、小跨径钢筋混凝土及预应力混凝土桥的加固。另外本文针对“不分加固性质,盲目乱贴高强复合纤维”的桥梁加固误区,提出“分清加固性质,明确加固目的,在弄清加固作用机理的基础上,有针对性地合理应用高强复合纤维”的新思路。

关键词:桥梁 加固 设计

提高桥梁改造加固设计质量是确保加固工程质量的前提和基础。目前我国桥梁加固设计市场的状况是有实力的大设计院无暇顾及,而技术力量较弱的小设计院又干不了,所以,桥梁加固设计主要由科研单位和各类专业公司来承担。各类专业公司的技术水平差异很大,有些专业公司以销售加固材料为主,业务单一,对桥梁加固设计不熟。

从技术角度分析,目前我国桥梁加固设计存在的主要问题是桥梁加固设计的特殊性认识不足,加固设计理念不清,加固设计思想不明确。有些桥梁加固设计生搬硬套国内外其他行业一般结构的加固设计方法;有些桥梁加固设计机械地套用新建桥梁的设计方法,忽略了桥梁带载加固分阶段受力特点和结构损伤的影响;个别加固设计只作宏观定性分析,缺少科学的定量分析,设计带有很大的随意性。

桥梁加固设计理念是进行桥梁加固设计的基本指导思想,是决定桥梁加固工程质量和工程造价的原则性问题。解决这一问题,必须从加强桥梁加固设计特殊性的认识和加固作用机理分析入手,提高工程技术人员和领导决策层的理论认识水平。有了理性认识才能认清事物的本质,清晰而明确地解决问题的思路是科学决策的基础。

1 从被动加固到主动加固的思考

1.1 桥梁加固设计的特点

桥梁结构自重大,一般均采用带载加固。构件自重及先期恒载产生的内力由原梁承担,活载(车辆荷载)及后加恒载产生的内力由加固后的组合截面承担,加固设计计算必须考虑分阶段受力的影响,这是桥梁加固设计区别于一般结构设计的最大特点。

1.2 被动加固与主动加固的受力分析

加固薄弱构件的方法很多,从工作原理上可划分为被动加固和主动加固两大类。

(1) 直接加筋类被动加固

在被加固构件的受拉区(或抗剪薄弱区)直接增设抗拉(或抗剪)补强材料,例如:补焊钢筋、粘贴钢板、粘

贴高强复合纤维材料(碳纤维、芳纶纤维)等。这种加固方法从作用原理上属于被动加固范畴。后加补强材料被动受力,只承担活载(车辆荷载)和后加恒载引起的内力。

(2) 预应力主动加固

对布置在被加固构件受拉区(或抗剪薄弱区)的后加补强材料施加预应力,形成预应力加固系统。例如:体外预应力加固和采用锚固于被加固梁体上的预应力筋,然后喷注高性能抗拉复合砂浆,将其与被加固梁体黏结为一体的有黏结预应力加固等。从工作原理上讲,预应力加固属于主动加固,后加补强材料主动受力,靠预加力的作用,改善原梁的工作状态,间接达到加固补强的目的。

主动加固和被动加固的概念的提出,揭示了加固构件的作用破坏机理,为理顺加固设计思想奠定了基础。

1.3 后加补强材料应变(应力)滞后

桥梁加固薄弱构件的承载力计算,必须考虑分阶段受力特点。直接加筋类加固构件的受力特点是后加补强材料只承担活载(车辆荷载)及后加恒载产生的内力,与原梁钢筋相比,其应变(应力)相对滞后,一般情况下在极限状态时,其应力是达不到抗拉强度设计值。

极限状态下,后加补强材料的应力发挥程度受原梁的变形限制,与原梁的配筋率有关。计算结果表明,采用直接黏结高强复合纤维的被动加固方案,由于受分阶段受力的影响,后加补强材料应变(应力)滞后,后加补强材料的高抗拉性能很难发挥作用,“大马拉小车”是一种极大的浪费。特别是在倡导建设节约型社会的环境下,这种盲目的浪费值得我们深思。

1.4 解决后加补强材料应变(应力)滞后的根本途径

解决后加补强材料应变(应力)滞后的根本途径是变被动加固为主动加固,对后加补强材料施加预应力,做成预应力加固体系。靠预应力的主动受力,从根本上解决后加补强材料的应变(应力)滞后,提高后加补强材料的利用效益,以最少的成本,创造最佳的加固效果。

2 积极推广预应力主动加固技术是承载力加固的首选方案

对于考虑结构损伤影响和车辆超载作用或因提高桥梁设计荷载标准等因素造成承载力不足的构件进行加固补强,是桥梁加固设计的核心内容。承载力加固是确保结构安全工作的基础,设计时必须考虑桥梁带载加固分阶段受力特点,后加补强材料应变(应力)滞后是影响加固构件工作性能、制约后加补强材料利用效率和控制加固工程成本的瓶颈。

预应力技术是20世纪最具革命性的结构构思,已广泛用于土木工程。针对桥梁带载加固后加补强材料应变(应力)滞后的先天不足,预应力加固技术在桥梁加固中的应用具有更为特殊的意义。预应力加固从根本上解决了后加补强材料应变(应力)滞后问题,可以充分发挥后加补强材料的高抗拉性能,提高材料的利用效率;由于预加力的作用改善了原梁的应力状态,可以提高原梁的承载力和抗裂性能。正截面抗弯加固要加预应力,斜截面抗剪加固也要加预应力。

2.1 桥梁结构预应力加固体系

用于桥梁结构加固的预应力体系主要有以下四种。

(1) 体外预应力加固体系

体外预应力加固是把具有防腐保护的预应力筋布置在梁体的外部(或箱内),对梁体施加预加力,靠后增设的转向装置调整体外预应力筋的方向,以适应内力沿梁长方向的变化,以预加力产生的反弯矩抵消部分外荷载产生的内力,达到提高承载力的目的。

体外预应力加固是目前桥梁加固采用较多的方法之一,特别适用于大跨径预应力混凝土连续箱梁和连续T构箱梁桥的加固。其关键技术是体外预应力筋的锚固、转向和防腐保护问题。

(2) 无黏结预应力加固体系

无黏结预应力技术是将具有防腐保护的预应力筋布置在梁体的内部,待混凝土硬化后张拉预应力筋,对

梁体施加预加力。将无黏结预应力技术推广用于桥梁加固,其核心问题是解决为锚固无黏结预应力筋而增设的混凝土支承保护层与被加固梁体的可靠黏结问题。无黏结预应力加固特别适用于中、小跨径钢筋混凝土 T 形梁的加固,其构造简单,施工方便。

(3) 高强复合纤维预应力加固体系

采用锚固、粘贴在梁体外部(或箱内)的高强复合纤维布条(或板条)对梁体施加预加力。这种加固体系目前尚处于试验研究阶段,其关键技术是解决适应于桥梁加固现场施工的预应力纤维布(板)的张拉、锚固和张拉后纤维布条(或板条)与被加固梁体的可靠黏结问题。

(4) 有黏结预应力加固体系

有黏结预应力加固体系是采用锚固于被加固梁体上的高强钢丝、2~3 股钢绞线或小直径粗钢筋,对梁体施加预加力,然后喷注具有较高抗拉强度的复合砂浆,将预应力筋与被加固梁体黏结为一体,构成有黏结预应力加固体系。

韩国 M&S 公司采用的 SRAP 工艺具有黏结预应力加固的特征。预应力筋张拉后喷注的 AP 砂浆具有较高的抗拉强度和黏结强度,收缩性能小,抗碳化能力强。

为适应桥梁加固市场的需求,国内研制开发的高性能抗拉复合砂浆(简称 HTCM 砂浆)已供应市场,其性能与 AP 砂浆相似,为有黏结预应力加固在我国的推广开辟了新的途径。

有黏结预应力加固体系,以其预应力筋锚固简单,张拉施工方便和结构耐久性好的技术优势,受到国内外土木工程界的重视。

2.2 有黏结预应力加固所用材料及构造要点

(1) 预应力钢筋选择、张拉和锚固

用于有黏结预应力加固体系的预应力钢筋,可采用 2 股或 3 股钢绞线、高强螺旋肋钢丝、小直径精轧螺纹钢等国产钢材。由于用于旧桥梁加固的预应力筋应力损失较小,张拉控制应力较低,对某些情况下(例如斜截面加固)甚至可以采用小直径的 HRB400 和 HRB335 热轧钢筋做预应力筋。

小直径精轧螺纹钢采用配套的螺帽锚固,采用测力扳手扭紧螺帽的办法进行张拉。2 股或 3 股钢绞线采用配套的夹片锚具锚固,采用小型千斤顶进行张拉。小直径热轧钢筋采用与固定在被加固梁体上的钢板焊接的方式锚固,采用横向拉紧变形法进行张拉。

预应力筋采用锚固于梁体上的支承角钢(或垫板)固定,支承角钢(或垫板)与被加固梁体的锚固方式因原梁钢筋布置的情况而异,可以采用膨胀螺栓(或植筋),亦可采用膨胀螺栓(或植筋)与胶结(或焊接)相结合的方式。

(2) 高性能抗拉复合砂浆的选择和喷注厚度

有黏结预应力加固体系依靠喷注的高性能抗拉复合砂浆,将预应力筋与被加固梁体黏结为一体,构成有黏结预应力加固系统。后喷的高性能抗拉复合砂浆与原梁混凝土的可靠黏结是保证两者共同工作的基础;复合砂浆的高抗拉性能和抗碳化及有害介质的侵蚀能力是保护钢筋免于锈蚀,提高结构耐久性的前提。

复合砂浆的选择应突出黏结抗剪强度、抗拉强度和收缩等三项主要指标。用于梁底受拉区的复合砂浆的抗拉强度标准值应不低于 6MPa,与原梁混凝土的抗剪黏结强度标准值应不低于 7MPa,复合砂浆硬化后不能出现宽度大于 0.1mm 的收缩裂缝。复合砂浆的主要性能指标应通过试验方法确定。

复合砂浆的保护层厚度(砂浆表面至钢筋表面的距离)应根据材料抗碳化性能和抗化学腐蚀能力,由耐久性要求确定,一般取 10~15mm。复合砂浆的喷注厚度与钢筋布置情况有关,一般为 30~40mm;布置支承锚垫板的梁段的喷注厚度较大,应分层喷注。

2.3 有黏结预应力加固案例分析

(1) 采用有黏结预应力体系对钢筋混凝土 T 形梁进行正截面抗弯加固

图 1 所示为采用有黏结预应力体系对钢筋混凝土 T 形梁正截面抗弯承载力加固补强的构造示意图。在梁肋的底面增设预应力钢筋,其数量由受力要求确定,预应力筋长度,应根据全梁各截面的抗弯承载力要

求确定。由于受原梁钢筋骨架的影响,用以固定预应力筋的支承角钢,可采用膨胀螺栓和与原梁主钢筋焊接(或胶接)相结合的方法固定。预应力筋张拉后,在梁底和原梁钢筋骨架高度范围的两侧梁肋喷注 HTCM 砂浆,形成下缘马蹄形截面。底面 HTCM 砂浆保护层将预应力筋与被加固梁体黏结为整体,侧面的 HTCM 砂浆增加了原梁钢筋骨架的保护层厚度,使结构的耐久性提高。

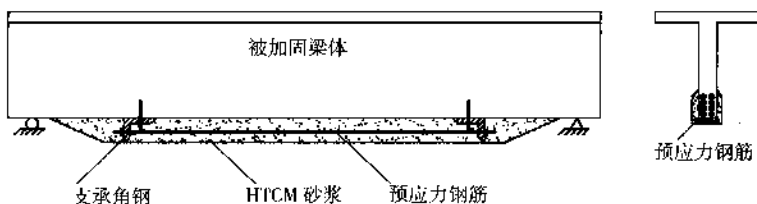


图1 正截面加固示意图

(2) 采用有黏结预应力体系对钢筋混凝土 T 形梁进行斜截面抗剪加固

图2为采用横向拉紧变形法张拉的有黏结预应力斜截面加固示意图。某一钢筋混凝土 T 形梁,在靠近支点的第一个横隔梁区段范围的腹板上出现大量的斜裂缝,裂缝宽度为 $0.1 \sim 0.15\text{mm}$ 。按拟提高后的荷载等级计算,该区段腹板尺寸过小,主拉应力过大,斜截面抗剪承载力不足。采用横向拉紧变形法张拉的有黏结预应力斜截面加固方案。

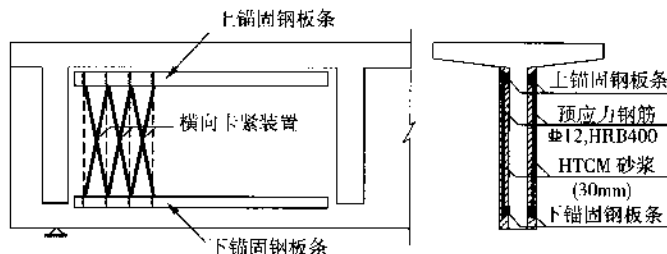


图2 采用横向拉紧变形法张拉的有黏结预应力斜截面加固示意图

注:图中虚线表示张拉前预应力筋的位置,实线表示张拉后预应力筋的折线位置。

在靠边支点的第一个横隔梁区段范围,在腹板两侧增设竖向预应力筋,竖向预应力筋采用直径 12mm 的 HRB400 钢筋,间距为 $200 \sim 400\text{mm}$ (具体间距应根据斜截面抗剪承载力受力要求确定)。预应力筋的两端焊接在固定于腹板上的锚固钢板条上(钢板条的厚度应不小于 5mm)。在预应力筋中部,对相邻两根预应力筋施加横向拉紧力,将预应力筋拉紧呈折线形,然后,在腹板两侧喷注 30mm 厚的高性能抗拉复合砂浆 (HTCM),将预应力筋与腹板黏结为一体,构成有黏结预应力斜截面加固系统。

(3) 采用有黏结预应力体系对空心板梁进行正截面抗弯加固

图3所示为采用横向拉紧变形法张拉预应力对空心板梁桥加固的构造示意图。

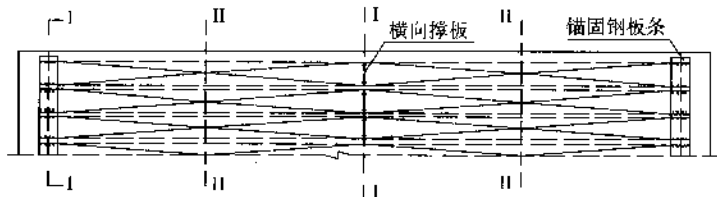


图3 采用横向拉紧变形法张拉预应力对空心板梁桥加固的构造示意图

注:图中虚线为张拉前钢筋位置,实线为张拉后钢筋位置。

在板底增设平行布置的小直径($\phi 12 \sim 16\text{mm}$)普通热轧钢筋(HRB355 或 HRB 400),钢筋间距为 $100 \sim 200\text{mm}$ (具体间距应按正截面抗弯承载力要求确定),钢筋两端焊接在固定于原梁底板两端的锚固钢板条上(锚固钢板条的厚度应不小于 5mm)。在钢筋的中部位置,对相邻两根钢筋施加横向拉紧力,将钢筋拉紧并固定呈折线形。对于较长的钢筋应根据施加预应力的需要(即张拉后折线形预应力筋倾角),在相邻两根钢

筋之间设置若干横向撑板(或锚固钢筋)将钢筋分段,在每段的中部位置,对相邻两根钢筋施加横向拉紧力,将钢筋拉紧并固定为多段折线形。然后,在板的底面喷注 30~40mm 的高性能抗拉复合砂浆(HTCM),将预应力筋与原梁黏结为一体,构成有黏结预应力加固体系。

空心板梁桥的加固亦可采用在板底面增设小直径预应力钢绞线(3 股或 2 股钢绞线),然后喷注高性能抗拉复合砂浆(HTCM)的有黏结预应力加固体系。预应力钢绞线采用小型千斤顶预张拉,用夹片锚固定在锚于原梁底板的支承角钢上下。支承角钢采用植筋技术锚固在混凝土底板上,支承角钢的高度应根据布置锚具和张拉千斤顶的构造要求确定。

2.4 有黏结预应力加固效果分析

有黏结预应力加固体系,以其预应力筋锚固简单、张拉施工方便和结构耐久性好的技术优势,受到国内外土木工程界的重视。有黏结预应力加固体系特别适用于中、小跨径的钢筋混凝土 T 形梁和空心板梁的加固,尤其是对高速公路和城市立交工程中大量采用的中等跨径的钢筋混凝土及预应力混凝土连续箱梁桥,由于受箱梁高度限制,在箱内布置体外预应力筋有困难的情况下,采用在箱梁底部增设预应力筋,然后喷注高性能抗拉复合砂浆的有黏结预应力加固体系是理想的加固方案之一。

理论分析和工程实践表明,采用有黏结预应力加固体系对 T 形梁、空心板及箱形梁桥的正截面进行加固,可以根据结构受力要求,较大幅度地提高梁的正截面抗弯承载力;在梁底喷注的复合砂浆,可以保护后加预应力筋免于锈蚀,在腹板两侧喷注的复合砂浆增加了混凝土保护层的厚度,提高了原梁混凝土抗碳化和抗有害介质侵蚀能力,减缓原梁钢筋的腐蚀速度,提高了整个结构的耐久性。此外,后喷注的复合砂浆层加大了原梁的截面尺寸,提高了结构的抗弯刚度,对解决活载变形或振动过大问题也是有利的。

采用横向拉紧变形法张拉的有黏结预应力斜截面加固方法,构造简单,施工方便,可以有效地提高加固材料利用效率,提高斜截面抗剪承载力,两侧喷注的复合砂浆,加大了腹板厚度,既可减少主拉应力,又可保护钢筋免于腐蚀,提高了结构的耐久性。

综上所述,采用有黏结预应力加固体系,可以达到承载力加固和耐久性加固的双重目的,既可提高结构承载力,以满足提载加固的受力要求,又可全面提高原梁的耐久性,延长结构的使用年限。同时对解决结构变形和振动问题也会有所帮助。

3 高强复合纤维的材料在桥梁加固中的合理应用

20 世纪 90 年代以来,高强复合纤维加固技术在我国发展很快,在构件的受拉(或受剪)薄弱区段直接粘贴高强纤维布(或板)的加固方法在桥梁加固中盛行一时。采用缠绕粘贴高强复合纤维对墩柱包裹的约束加固也有所应用。高强复合纤维预应力加固尚处于试验研究阶段,实际应用不多。

3.1 粘贴高强复合纤维加固机理和加固效果分析

粘贴高强复合纤维加固法是采用环氧树脂胶(或其他建筑结构胶),将高强复合纤维布(或板)直接粘贴在被加固构件的受拉(或受剪)薄弱部位,与被加固结构形成整体,共同受力,以提高结构的抗弯(或抗剪)承载力。

前已指出,在受拉区(或受剪)薄弱部位直接粘贴高强复合纤维材料的加固方法,从作用原理上属于被动加固范畴,后加补强材料只承载活载产生的内力,与原梁钢筋相比,其应变(应力)相对滞后,一般情况下在极限状态时其应力达不到抗拉强度设计值,由此后加补强材料的高抗拉性能很难发挥作用。

采用粘贴高强复合纤维加固,对结构的刚度提高不大。因此,对于以控制结构变形为主要目的的使用功能加固是不适宜的。

后粘贴的高强复合纤维层可以制约裂缝的发展,间接地提高了结构的抗裂能力;后粘贴的含有多层树脂胶和防护罩面胶的高强复合纤维层,可以提高混凝土的抗腐蚀和碳化能力。因此,对于以延长结构使用年限为主要目的的耐久性加固,采用粘贴高强复合纤维加固法还是有一定效果的。

但是,应该指出粘贴高强复合纤维可以提高结构耐久性的实质,是黏结树脂胶层和防护罩面胶层自身具

有一定的抗腐蚀能力的作用结果,复合纤维层本身对提高结构耐久性的贡献是有限的,其作用是维护胶层完整性的保护层。因此,单纯为了提高耐久性的目的采用价格昂贵的碳纤维作黏结胶层的保护层的做法是不适宜的。

3.2 缠绕粘贴高强复合纤维约束加固

采用缠绕粘贴高强复合纤维对轴向受压构件进行加固,可以明显地提高柱的承载力,其工作原理与钢管混凝土相似。由于高强复合纤维层的约束作用,在纵向力的作用下,混凝土处于三向受压状态,可以较大幅度地提高结构的抗压承载力。采用缠绕粘贴高强复合纤维对钢筋混凝土柱体(特别是圆柱)进行加固,从工作原理上讲是约束加固,加固效果显著,有着广泛的应用前景。

另外,采用高强纤维复合纤维缠绕法粘贴或包裹的钢筋混凝土结构(特别是柱的节点),可明显地提高结构的抗震性能,广泛用于抗震加固。

3.3 分清加固性质,明确作用机理,合理选择加固材料

高强复合纤维的出现是材料工业的一大进步,但是这高强材料在土木工程中的应用,特别是在加固工程中的合理应用还是一个值得商榷的问题。分析认为,应分清加固性质,明确加固目的,在弄清加固作用机理的基础上,有针对性地合理应用这种新材料,充分发挥材料的高抗拉性能,最大限度地提高加固效益。

4 积极推广水泥基渗透结晶型防水材料是提高混凝土结构耐久性的重要措施

4.1 水泥基渗透结晶型防水材料的作用机理

水泥基渗透结晶型防水材料(简称 CCCW)是以硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥、精细石英砂(或硅砂)等为基材,掺入活性化学物质(催化剂)及其他辅料组成的一种新型刚性防水材料。其工作机理是:与水作用后,材料中含有的活性化学物质,以水为载体,向混凝土微孔及毛细管中渗透,催化混凝土内未完全水化的成分,再次发生水化作用,形成不溶于水的枝蔓状结晶,堵塞混凝土的微孔及毛细管道,使混凝土致密,达到长久性防水、保护钢筋和增强混凝土强度的效果。

按国家标准《水泥基渗透结晶型防水材料》(GB 8445—2001)规定,水泥基渗透结晶型防水材料可分为两类产品:一是 C 型防水涂料;二是 A 型防水剂。

C 型防水涂料(又称为涂抹型水泥基渗透结晶防水材料)是刷涂在混凝土表面的浆料,依靠活性化学物质渗透作用,形成不溶于水的结晶体,堵塞毛细孔道,使混凝土致密。同时,涂层与基层形成一个整体,达到抗渗、防水的目的。

A 型防水剂(又称掺和型水泥基渗透结晶防水材料)是直接掺入混凝土配料时使用干粉外加剂。水泥基渗透结晶型防水剂掺入混凝土内,可以减少用水量,并有微胀作用,可提高混凝土的密实度和抗压强度,达到抗渗、防水的目的。

根据国家标准的分类,各生产厂家均有自己的产品分类,名称与形式多种多样。例如,目前国内采用较多的水泥基渗透结晶型防水材料 XYPEX(赛柏斯)的系列产品有:

(1) XYPEX(赛柏斯)浓缩剂

浓缩剂的化学活性最强,外观呈浅灰色粉末状,加水调和成浆状,可涂刷在混凝土表面,主要用于防水、防渗、防潮、防腐、补强、防裂等。还可将此产品调成半干状料团,用于嵌缝、修补结构缺陷、堵漏等。

(2) XYPEX(赛柏斯)增效剂

增效剂外观呈浅灰色粉末状,用于浓缩剂涂层的表面涂层,可在浓缩剂涂层上形成坚硬的表层,增强浓缩剂的渗透效果。

(3) XYPEX(赛柏斯)堵漏剂

堵漏剂外观呈浅灰色粉末状,用于混凝土结构的带水堵漏治理。它是一种速凝、不收缩、高黏结强度的粉状材料,能快速阻断混凝土中的渗漏水通道,快速封闭裂缝、堵塞漏洞和修补混凝土的缺陷。

(4) XYPEX(赛柏斯)掺和剂

掺和剂外观呈浅灰色粉末状,是具有独特结晶作用的干粉外加剂;加入到混凝土配料中使用,可提高混凝土的密实度和抗压强度,达到抗渗、防水的目的。

4.2 水泥基渗透结晶型防水材料的性能特点

水泥基渗透结晶型防水材料的主要特征是渗透结晶。它与传统的表面物理防水相比,其主要性能特点如下。

(1)具有双重整体防水性能

水泥基渗透结晶型防水材料所产生的渗透结晶能深入到混凝土内部填塞结构的微细裂缝和毛细孔,在结构内部起到防水作用;同时,涂刷在混凝土结构基面的涂层具有微膨胀性能,能起到补偿收缩的作用,使施工后的结构基面同样具有很好的抗裂抗渗作用。

(2)具有独特的自我修复能力

水泥基渗透结晶型防水材料与水泥石物的反应只有在溶液中才能进行,水的存在是渗透结晶的必要条件。在干燥环境下,水泥基渗透结晶型防水材料处于“休眠”状态,一旦混凝土结构出现微细裂缝,水的渗入使水泥矿物、水化物及水泥基渗透结晶型防水材料重新呈离子状态,恢复活性,发生反应并生成结晶,使已出现的微细裂缝(宽度小于0.4mm)会自动闭合,完成自我修复过程。

(3)具有防腐蚀、耐老化和保护钢筋的作用

混凝土的化学侵蚀和钢筋锈蚀与水分和氯离子渗入有关。水泥基渗透结晶型防水材料的渗透结晶和自我修复能力使混凝土结构密实,从而最大程度地降低了有害化学物和氯离子的侵入,保护钢筋免于锈蚀。同时,用水泥基渗透结晶型防水材料处理过的混凝土还能有效防止冻融所造成的混凝土表层剥落破坏,对抑制碱集料反应的发展也有一定的作用。

(4)具有对混凝土结构的补强作用

用水泥基渗透结晶型防水材料处理后的混凝土结构,遇水后未水化的水泥矿物被激活,增加了密实度,使混凝土的抗压强度有所提高(一般能提高20%~30%),对结构起到了补强作用。

(5)具有长久性的防水作用

水泥基渗透结晶型防水材料是无机材料,所形成的结晶体不会老化。水泥基渗透结晶型防水材料与水泥石物的所产生的物化反应最初是在工作面表层和临近部位进行,随着时间的推移,逐步向混凝土结构内部渗透(渗透深度为10~30cm)。在通常情况下,所形成的结晶体不会被损坏,且性能稳定,防水涂层即使遭到破坏或被刮掉,也不会影响防水效果,因为其有效成分已深入渗透到混凝土结构内部,其防水作用是长久性的。

(6)施工工艺简单、综合费用较低

水泥基渗透结晶型防水材料施工工艺简单。对基面处理要求不高,一般不作凿毛处理,不设找平层。对渗水和泛潮的基面可随时施工。对新建或正在施工的混凝土基面,在养护期间水分未完全挥发时即可开始防水涂层施工,可缩短工期。与传统防水材料相比,采用水泥基渗透结晶型防水材料的工程综合费用较低。水泥基渗透结晶型防水材料的应用,解决了传统防水材料难以解决的施工工艺问题,提高了防水工程的工作效率,降低了防水工程的综合成本,在经济上也是有竞争力的。

4.3 水泥基渗透结晶型防水材料在桥梁加固工程中的应用

(1)水泥基渗透结晶型防水材料的应用为桥面铺装层防水设计提供了新思路

桥面铺装层是抵御桥梁结构钢筋腐蚀破坏,提高结构耐久性的第一道防线,加强桥面铺层的防水设计是桥梁结构耐久性设计的重要内容。

目前,我国桥面铺装层防水设计的通常作法是将桥面铺装层作为找平层,在其上直接铺设柔性防水层(防水涂料、胶体或卷材)。从作用原理讲,这种方法属于物性防水,靠防水层的物理作用,隔断水分。防水层的局部破损和老化,都会影响防水效果。很多中、小桥桥面铺装层采用防水混凝土,不另设防水层,但对防水混凝土的配合比和性能要求没有明确的严格规定,实际上根本起不到防水的作用。

桥面铺装层直接承受车辆荷载的冲击作用,处于抵御外界环境腐蚀的第一线,工作条件十分不利。车辆荷载冲击作用引起的桥面铺装层混凝土的开裂和局部破损,混凝土的收缩裂缝的出现,都会不同程度地造成防水层的破坏和铺装层防水功能的降低。铰接空心板(或T形梁)桥面铺装层出现纵向裂缝,水分沿铰缝下流,造成周边钢筋腐蚀,混凝土局部破损的典型病害带有一定的普遍性。北方寒冷地区撒盐除冰,造成的桥面铺装混凝土盐冻破坏,使混凝土表层剥落,强度降低,严重者会造成防水层和铺装层的全部破坏。

桥面铺装层既是找平层,还是桥面板的保护层,无论其上是否设置防水层,都必须采用具有良好防水性能和抗有害介质腐蚀能力的高密实度混凝土。对比分析现有提高混凝土密实度和抗裂能力的各种技术措施可以看出,水泥基渗透结晶型防水材料以其卓越的“渗透结晶”防水功能和独特的“自我修复”能力,特别适用于桥面铺装防水。

对于新建桥梁和原桥面破损严重需要重新浇筑混凝土铺装层的情况,宜采用掺和型水泥基渗透结晶防水材料(A型防水剂),将掺和剂干粉直接加入混凝土配料中使用。浇筑掺有水泥基渗透结晶防水材料的混凝土时,应特别注意混凝土的养护,混凝土浇筑完后,应及时喷洒雾状水养护,并采用具有透气性的温草袋覆盖,但要避免表层积水,以保证混凝土的“呼吸”及通风。喷雾养护时间一般不少于3d。

对于原桥面铺装层基本完好的情况,宜采用涂抹型水泥基渗透结晶型防水涂料(C型防水涂料),在清除局部破损混凝土后,采用含有水泥基渗透结晶型防水材料的半干料团,填满缺陷空穴区,然后再涂刷两遍水泥基渗透结晶型防水涂料。

(2)水泥基渗透结晶型防水涂料是混凝土结构耐久性加固最佳选择

耐久性加固是对结构损伤部位进行修复和补强,以阻止结构损伤部分的性能继续恶化,消除损伤隐患,提高结构的可靠性和使用功能,延长结构使用寿命。钢筋混凝土结构的使用寿命主要是依据钢筋腐蚀情况来评定的。工程实践表明,造成钢筋腐蚀的主要原因是早期修建的桥梁混凝土强度等级低,密实度差,混凝土碳化严重,海滨环境和北方寒冷地区撒盐除冰,导致混凝土受氯离子侵蚀严重。混凝土结构裂缝的存在,会对结构的耐久性造成严重的影响。混凝土开裂后,钢筋的腐蚀速度将大大加快。钢筋腐蚀后生成腐蚀物体积膨胀,产生顺筋裂缝。裂缝的进一步扩展,提供了使腐蚀破坏作用逐步升级,混凝土耐久性不断下降的渠道,形成导致混凝土结构耐久性进一步退化的恶性循环。

因此,混凝土结构的耐久性加固必须从封堵裂缝,修补结构破损和提高混凝土的密实度入手,恢复结构的完整性,恢复和增强混凝土的抗碳化能力,提高混凝土的抗氯离子和其他有害介质侵蚀能力。

与传统的耐久性加固方法(例:化学注浆封堵裂缝、涂刷防腐蚀保护层、粘贴复合纤维布等)相比,采用水泥基渗透结晶型防水涂料进行耐久性加固的特点是:采取主动措施,从恢复和提高混凝土自身抗破损能力出发,从根本上解决结构耐久性问题。依靠涂料中含有化学活性物质的“渗透结晶”作用,在混凝土表层10~30cm的范围内形成自密防水层,恢复和提高了混凝土抗碳化和有害介质侵蚀能力。水泥基渗透结晶型防水材料所有的独特“自我修复”能力,可以保证其防腐蚀作用的长期性。

采用水泥基渗透结晶型防水材料进行结构耐久性加固,应根据结构的破损情况选择不同的施工方法:

①对宽度大于0.4mm的裂缝和局部破损,宜采用含有水泥基渗透结晶型防水材料的半干料团(可添加适当的粒料)填满裂缝和局部缺陷空穴区,然后再在其上涂刷一遍防水涂料。

②对于裂缝宽度小于0.4mm的裂缝,可采用局部涂刷水泥基渗透结晶型防水涂料的办法进行封堵。

③对混凝土碳化严重的情况,可采用在整个表面涂刷水泥基渗透结晶型防水材料进行加固,靠涂料中的化学活性物质的“结晶渗透”作用,恢复和增加混凝土的抗碳化能力。

5 结论

(1)桥梁结构自重大,一般采用带载加固,加固设计必须考虑分阶段受力特点。

(2)主动加固和被动加固的概念,揭示了加固构件的作用破坏机理,为理顺加固设计思想奠定了基础。

(3)突出强调了“承载力加固以优先采用预应力主动加固方案为宜”的设计思想。桥梁带载加固,后加补强材料应变(应力)滞后,是制约后加强材料利用效率,控制加固工程成本的瓶颈。解决后加补强材料应变