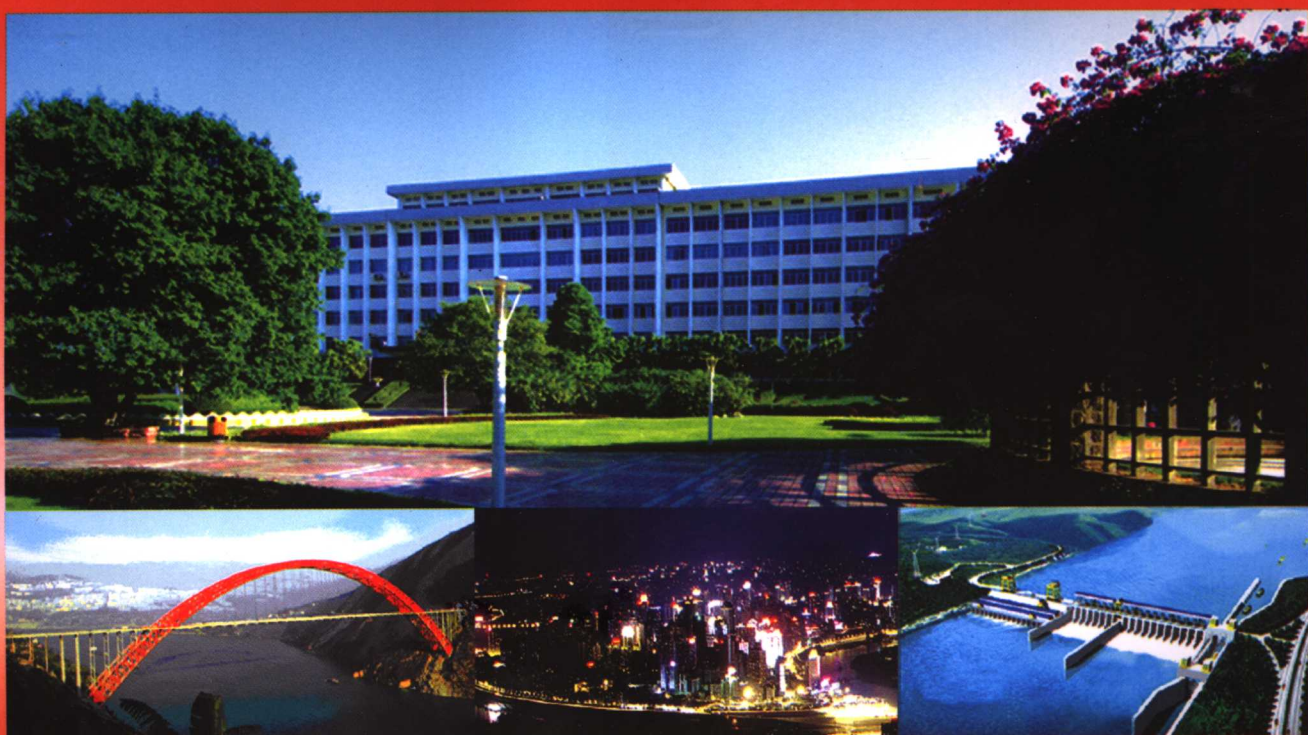


重庆交通大学



55周年校庆论文专辑 (1951—2006)

重庆交通大学 组编



重庆大学出版社
<http://www.cqup.com.cn>

重庆交通大学



55周年校庆论文专辑 (1951—2006)

重庆交通大学 组编



重庆大学出版社

内 容 提 要

为了加快科技成果转化速度,扩大对外科技影响力,我校在 55 周年校庆之际,收集了部分应用前景较好的科研成果,并编辑成书。本论文专辑分 3 部分,共 43 篇文章,内容涉及公路、桥梁、隧道、港航及其他,内容丰富,学术和理论水平较高,可供广大校友和交通战线的同仁参考。

图书在版编目(CIP)数据

重庆交通大学 55 周年校庆论文专辑/重庆交通大学组
编. —重庆:重庆大学出版社,2006. 10
ISBN 7-5624-2855-7

I. 重... II. 重... III. ①道路工程—文集②桥梁
工程—文集③隧道工程—文集④港口工程—文集⑤航道
工程—文集 IV. ①U4-53②U6-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 127793 号

重庆交通大学 55 周年校庆论文专辑

重庆交通大学 组编

责任编辑:刘颖果 宋 坤 版式设计:李长惠 王 勇
责任校对:任卓惠 责任印制:秦 梅

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A 区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址: <http://www.cqup.com.cn>

邮箱: fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆华林天美印务有限公司印刷

*

开本:889×1194 1/16 印张:22.25 字数:598 千 插页:1

2006 年 10 月第 1 版 2006 年 10 月第 1 次印刷

印数:1—5 100

ISBN 7-5624-2855-7 定价:40.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

重庆交通大学 55 周年校庆致辞

沧桑砥砺,春华秋实。2006 年 11 月 7 日,重庆交通大学迎来了 55 周年华诞!

我们谨向长期以来关心和支持重庆交通大学建设发展的各级领导、各界人士和海内外校友,致以亲切的问候和诚挚的感谢!向辛勤耕耘、无私奉献的一代代交大人致以崇高的敬意!

55 年前,青龙山麓,长江之滨,200 多名师生,胸怀建设新中国、改变西部落后交通面貌的赤子之心,从农村、城市、还有硝烟未尽的战场走来,聚集到两亩半山坡农田和几间平房组成的校园。从此,重庆交大走上了一条始终与祖国同呼吸、与民族共命运的曲折发展道路,走上了一条“源于交通、扎根西部、情系祖国”的艰苦创业之路;从此,一代代交大人的青春与梦想、艰辛与荣光,同蜿蜒浩渺伸入云端的川藏公路紧紧相连,同交通巴山蜀水的桥隧紧紧相连,同治河筑港、三峡建设紧紧相连,同六易校名、三迁校址、多次变更隶属关系的风雨历程紧紧相连,同重庆直辖、西部大开发紧紧相连,同交通大提速、教育大发展紧紧相连……

55 年来,交大人秉承“严谨求实、团结进取”的精神,牢记“空谈误国、实干兴邦”的建校铭志,在人才培养、科学研究、社会服务等方面取得了丰硕成果,为国家输送了数万名技术骨干和管理人才,为祖国交通事业的发展和社会经济的腾飞做出了积极贡献。

物换星移,事业永恒。五十五载清露沁桃李,酬报国壮志;半个世纪智慧献山河,建富民坦途。昔日的奋斗,令人无限感慨;今朝的荣光,令人无比自豪。让我们满怀信心,创造交大明天的辉煌!

党委书记:



校 长:



2006 年 10 月 25 日

目 录

公 路 篇

设置隔离层的水泥混凝土路面——一种新型路面结构的原理及应用	易志坚 崔海琴 杨庆国 马银华(3)
水泥—乳化沥青混合料半柔性路面的应用研究	凌天清 魏建明 董 强(7)
低造价县乡道路修筑技术的研究	黄维蓉 何兆益 唐伯明(11)
半柔性路面高温稳定性试验研究	吴国雄 刘祖国 张 洋 成长庆 张大可 张远航(23)
柔性纤维混凝土性能及其在路面的应用研究	易志坚 董明思 李祖伟 钟 宁 杨庆国(29)
钢纤维沥青混合料路面性能及应用研究	杨锡武 徐基立 韩 均 杨 轶(32)
重载交通柔性基层沥青路面轴载换算方法研究	何兆益 杨 波 钟 宁 韩 均 敬世红 侯岩峰(39)
公路高填方涵洞土压力计算的新方法	杨锡武(47)
万州五桥机场高填方强夯处理技术研究	何兆益 朱洪洲(55)
新型薄层聚合物柔性水泥混凝土透水降噪路面及其在高等级公路中的应用研究	易志坚 赵朝华 李祖伟 张太雄 杨庆国(63)
加筋高路堤陡边坡离心模型试验及应用研究	杨锡武(67)
抗车辙沥青混合料组成设计试验方法研究	魏建明 何兆益 王国清 侯岩峰(73)
镗矿废料混合料作为公路路面基层混合料形式的研究	张祖棠 张维全(79)
道路安全评价中运行车速模型之比较	高建平 范云飞(85)
高速公路线形安全性灰色聚类评价研究	屠书荣 薛 芳(92)
道路互通式立交安全评价	高建平 刘剑峰(98)
高原湖泊软土地基路堤设计与沉降计算	屠书荣 陈怡宏 赵 铨(105)
道路地基防水综合技术的研究	卢 波 彭新国 陈 弩(117)

桥 隧 篇

巫山长江大桥设计、施工关键技术研究	顾安邦 张永水 牟庭敏 张佐安(127)
由立柱竖转形成的预应力混凝土八字形刚架拱桥的探索	周志祥 高燕梅 李祖伟 钟 宁 敬世红(134)
大型桥梁远程健康监测及评价体系研究	周建庭 周志祥 徐 谋 蒋 震 董志清 杨建喜 李红镛(140)
特大跨石拱桥施工全过程试验研究	向中富 顾安邦(147)

一种新型的复合钢筋混凝土结构及其优良的阻裂增强性能	易志坚	李建伟	杨庆国	何小兵(156)
大跨径混凝土斜拉桥的线性与非线性稳定性研究	顾安邦	向中富	徐君兰	孙淑红(161)
横张预应力混凝土梁及其构造	周志祥	徐勇	张太雄	李祖伟(169)
截面转换加固增强 T 型梁桥技术研究	周建庭	冉仕平	田金昌	王世槐
混凝土桥梁工程控制、抗震能力和承载力测评方法研究	顾安邦	张永水	刘健新	李传习(185)
钢筋混凝土套箍封闭主拱圈加固拱桥技术	周建庭	乔墩	郝祎	沈小俊
基于神经网络方法的桥梁承载力评估研究	韩西	杜晓燕	钟厉	(203)
温度循环效应对斜拉桥高塔的影响分析	肖盛燮	郝艳广	姜友生	国祥明(208)
大跨斜拉桥非对称悬臂施工稳定性研究	肖光宏	张秋陵	(216)	
纵向送排式公路隧道通风中升压动量系数的探讨	王晓雯	杨秀军	陈建忠	(221)

港航及其他篇

三峡工程施工期明渠导流及通航研究与运行实践	赵世强	舒荣龙	(229)
三峡水库回水变动区重庆河段泥沙淤积问题研究	张绪进	母德伟	赵世强(238)
内河大水位差架空立式集装箱码头结构型式研究	王多垠	田建柱	何光春
长江三峡两坝间河段汛期通航试验研究	舒荣龙	王召兵	(255)
闸底长廊道顶缝出水输水系统研究	王召兵	蒋江松	缪吉伦(263)
三峡库区危岩防治技术	陈洪凯	唐红梅	祝辉
一般灾害链结构理论及其动态特性研究	肖盛燮	范海军	国祥明(277)
危岩支撑及支撑—锚固联合计算方法研究	陈洪凯	唐红梅	叶四桥
中国公路泥石流研究	陈洪凯	唐红梅	陈野鹰
《公路泥石流防治工程设计、施工指南》梗概	陈洪凯	唐红梅	陈野鹰
某微型客车转向回正性能研究	邵毅明	潘益威	甘守武
不同 CO ₂ 溶气浓度发动机燃烧的数值研究	邵毅明	张敏	廖水容
水下开采提升气举技术及应用	杨林	宋军	彭中波
专业设施重建项目管理系统	陈松	曹建秋	汪达成
信息存储安全防护系统设计	林鹰	苏日娜	田军
基于工作流的办公自动化技术与实施策略	张华	吴成国	(345)

公路篇

设置隔离层的水泥混凝土路面 ——一种新型路面结构的原理及应用*

易志坚** 崔海琴 杨庆国 马银华

(重庆交通大学,重庆 400074)

摘 要:设置隔离层的水泥混凝土路面是在基层和面层之间设置薄层隔离层的一种路面新结构,该路面结构能消除层间“过渡层”和“3种基本破坏形式”发生,具有抗裂性能好、适应变形能力强、承载力高、实际使用寿命长等特点。本文介绍了这种水泥混凝土路面新结构的原理、力学性能以及应用情况。

关键词:水泥混凝土路面;破坏;过渡层;隔离层

Principle and Its Application of a New Pavement ——Cement Concrete Pavement with the Intermediate Layer Set

Yi Zhijian Cui Haiqin Yang Qingguo Ma Yinhua

(Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074)

Abstract: Cement concrete pavement, which sets thin intermediate layer between the surface course and the base course, is a new pavement. It can eliminate the transition layer between the surface course and the base course, and avoid three basic failure types. This paper presented principle, mechanical performance and application of the new pavement construction.

Key words: cement concrete pavement; failure; transition layer; intermediate layer

1 引 言

水泥混凝土路面是高等级公路最主要的结构形式之一,在我国的应用十分广泛。但是,水泥混凝土路面的早期破坏十分严重,设计年限为20~30年的道路,往往3~5年即严重破坏,难以满足基本的行车要求。同时,水泥混凝土路面一次性投资巨大,维修养护困难,路面破坏不仅造成巨大损失,而且带来诸多社会问题和不良影响。

水泥混凝土路面的破坏,涉及的影响因素多,牵涉的科学问题复杂,但路面的破坏,归根结底应从破坏机理上找出原因,从设计理论上寻求解决。

文献[1],[2],[3]在传统水泥混凝土路面设计理论的基础上,引入断裂力学原理和方法,基于水泥混凝土路面“过渡层”的全新概念,深入分析水泥混凝土路面的层间破坏过程,提出了具有自主知识

* 基金项目:重庆市重大科技专项(7194)资助。

** 易志坚(1963—),男,重庆人,教授、博导,国家百千万人才工程第一、二层次人选,国家级有突出贡献的中青年专家,从事道路、桥梁、力学研究。

产权的设置隔离层的水泥混凝土路面新结构,初步形成这种新结构的设计理论和施工方法。

设置隔离层的水泥混凝土路面新结构能有效地防止混凝土路面的早期破坏及其引起的相关病害,提高混凝土路面的承载力,延长路面实际使用寿命。

2 设置隔离层的水泥混凝土路面结构的提出

2.1 “过渡层”的发现及其对路面破坏的影响

“过渡层”是指存在于面层与基层之间的(如图1所示),因面层混凝土浇注过程中水泥浆渗入基层后形成的具有一定深度的,力学性质介于面层与基层之间的一个中间层。水泥混凝土路面与基层分离后,“过渡层”或其一部分将附着在路面板的底面。相对于面层而言,附着于路面底面的“过渡层”具有明显的薄弱性质。但是,现行路面传统理论忽略了过渡层的影响。

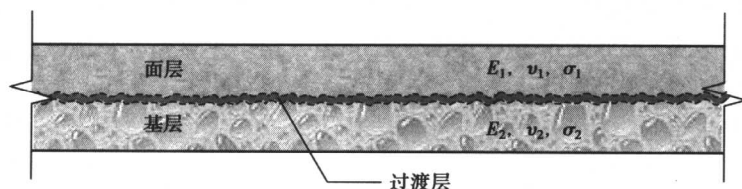


图1 过渡层的形成

过渡层的存在使得路面和基层之间并不是传统理论的光滑接触,过渡层的固有缺陷将导致面层和基层的破坏。疲劳试验表明,“过渡层”的存在将使水泥混凝土面层的疲劳寿命呈数量级降低^[3]。

2.2 层间破坏形式的揭示及其对破坏的影响

文献[2]深入分析了水泥混凝土路面结构在荷载、环境因素作用、收缩及内部组构变化下的破坏过程,首次提出了水泥混凝土路面层间破坏的“3种基本破坏形式”(如图2所示),论证了“3种基本破坏形式”发生的必然性,分析了3种基本破坏形式的发展与演变,揭示了水泥混凝土路面层间破坏的基本规律及其影响,并通过广泛的试验调查与大量的钻芯取样验证了3种基本破坏形式发生的必然性和真实性。

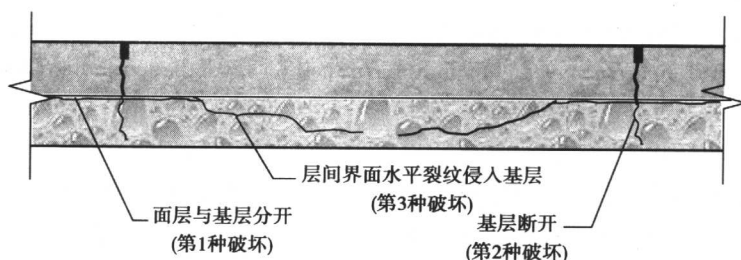


图2 由割缝引起的3种基本破坏形式

研究表明,“过渡层”的形成直接导致层间“3种基本破坏形式”的产生,3种基本破坏形式发生后,层间将出现“非均匀脱空”、“层间松散层”、“层间弹性平台地基”、“层间连续性丧失”等破坏,使得混凝土面板的承载力成倍降低。“3种基本破坏形式”引起的面层结构性能的降低已远远超过了“过渡层”对面层材料性能的影响,“3种基本破坏形式”及其发展演变直接导致路面各种破坏形式发生。

2.3 设置隔离层的水泥混凝土路面结构的提出

基于断裂力学原理的机理分析和“过渡层”、“3种基本破坏形式”对路面结构破坏的影响分析,作者揭示了导致水泥混凝土路面早期破坏的关键问题所在——路面实际层间状况与路面设计的理论基础(现行的路面计算模型)显著不符。研究表明:过渡层和3种基本破坏形式的影响,导致现行路面的

实际层间状况与路面计算模型之间发生了质的改变,现行路面的计算模型高估了路面板的实际承载力,难以避免实际路面在低应力水平下的破坏发生。

基于对路面破坏过程的分析,作者提出了具有自主知识产权的设置隔离层的新型路面结构。

设置隔离层的水泥混凝土路面结构是在面层与基层之间设置一足够薄、能够阻止水泥浆进入基层且不与基层粘结的薄膜层的路面结构形式,如图3所示。其施工方法是在找平的基层表面,人工或机械铺设薄膜状隔离层,然后再浇筑混凝土面层。

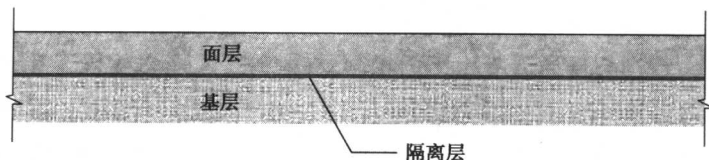


图3 设置隔离层的路面结构

设置隔离层的新型路面结构能够避免“过渡层”的形成与“3种基本破坏形式”的发生,消除路面实际层间结构与理想模型之间的差异,大幅度提高路面承载力和使用寿命。

3 设置隔离层的水泥混凝土路面结构的优良力学性能

隔离层的设置,阻止了过渡层的产生,进而避免了3种破坏形式的发生:由于隔离层阻止水泥浆进入基层,消除“过渡层”的出现;由于隔离层材料的分离性,使得面层与基层之间相互破坏不会发生;由于隔离层材料足够薄,对路面结构仅起分离界面作用,可以保持界面的光滑,使路面实际受力状况回归到传统路面计算假设模型,提高了现行路面设计计算的可靠度,改善层间支承状况。

通过理论分析与路面板试验,结合试验路应用情况,表明:设置隔离层的水泥混凝土路面结构具有抗裂性能好、适应变形能力强、承载力高和实际使用寿命长等优良的力学性能。

值得注意的是,隔离层必须完全阻断水泥浆进入基层,否则起不到隔离效果,因此,一般土木织物均不能作为隔离层。

3.1 抗裂性能好

隔离层的设置消除了层间过渡层,阻止了层间的相互作用,使得面层裂缝不能向基层继续扩展,更不会在面层形成反射裂缝,避免3种基本破坏形式的发生,混凝土路面的各种破坏得到了有效的控制。

3.2 承载力高

隔离层的设置,使得普通混凝土路面的面层与基层之间的实际状态与经典路面计算模型的理想光滑接触假设基本相同,使路面实际受力状况回归到现行路面计算假设模型,提高了现行路面设计计算的可靠度。由于面板的支撑状况得到了显著改善,从而使得其面板承载力相对于现行非均匀支撑路面板大大提高。

作者历时4年,对60多块设置隔离层的路面板进行了试验研究(在国内外文献报道中尚未见对单项研究进行如此数量与规模的试验研究),并与普通混凝土路面结构进行了对比。大量试验表明:在路基和基层满足设计要求的同等情况下,层间设置合理选型的隔离层的路面较层间分离的普通路面的承载力提高100%~400%。

3.3 实际使用寿命长

设置隔离层的路面结构能够避免水泥混凝土路面在低应力水平下产生静力破坏,能够提高路面材料的疲劳寿命,防止混凝土路面的静力破坏和早期疲劳破坏,延长了路面的实际使用寿命。

作者进行了大量试验(静力试验数千个、疲劳试验上百个),表明“过渡层”的形成与路面结构破坏

之间存在因果关系。3 次对比疲劳试验表明:过渡层对混凝土疲劳寿命的影响虽然不及表面劣化对金属疲劳寿命的影响严重,但在同等应力水平下,“过渡层”的存在,混凝土的疲劳寿命仍呈数量级降低。

4 设置隔离层的新型水泥混凝土路面的应用情况

设置隔离层的水泥混凝土路面在重庆、广西等地推广应用长度总计 31.8 km,面积约 58 万 m^2 ,并进行了跟踪观察,表明:设置隔离层的路面性能明显优于现行普通水泥混凝土路面,且能节约一次性投资,经济效益显著。

4.1 设置隔离层的路面结构与普通混凝土路面相同面板厚度下,基本上没有出现破坏现象

重庆刘伏路、广西南坛路和水南路中,22.8 km 长(面积约 48.7 万 m^2)的试验路应用情况表明,在同等面板厚度下,以上各试验路中的普通路面结构对比路段,在短期内(1~2 年)即发生了较普遍的断板、唧泥和错台现象,且刘伏路和南坛路的部分路段破坏程度较严重;而设置隔离层的水泥混凝土路面结构(除广西水南路高填石路堤本身破坏引起的部分路面破坏外)至今没有断板破坏发生,使用性能优良。

对比结果表明,相同面板厚度下的设置隔离层的水泥混凝土路面结构与普通路面结构相比,具有十分优良的抗裂性能,使用寿命大幅提高。

4.2 设置隔离层的路面结构在减薄面板厚度 12%~20% (相对于正常厚度的普通水泥混凝土路面结构)的情况下,其路用性能仍然很好

重庆渝合路盐井收费站广场及连接线、重庆武合路云门收费站广场及连接线和重庆吴平路中,9 km 长(面积约 9.3 万 m^2)的试验路应用情况表明,面板厚度减薄 12%~20% 的设置隔离层的水泥混凝土路面结构与正常面板厚度的普通路面结构相比,具有十分优良的使用性能,在前 3 年无任何断板现象发生,而普通水泥混凝土路面(未减薄)在短期内(3 个月~1 年)即出现了严重的断板、唧泥现象(其中,武合路云门收费站广场及连接线由于属新建公路,通车时间较短,故尚未发现断板现象,但通过钻芯取样发现基层已发生 3 种基本破坏形式)。

对比结果表明,设置隔离层的水泥混凝土路面结构减薄厚度后,其路用性能仍显著优于正常面板厚度下的普通水泥混凝土路面结构。

5 结 论

项目提出、研究的具有自主产权的设置隔离层的水泥混凝土路面结构,在不增大施工难度的前提下,可以延长路面的使用寿命,大幅减少水泥混凝土路面的维修、重建,无疑将会减少能源消耗、减少社会劳动浪费、较少环境的破坏,从而产生良好的、显著的社会效益和环境效益;而在适当减薄厚度的情况下,与正常厚度的普通路面结构相比,路面破坏难以发生,具有明显的经济效益。

参考文献

- [1] 易志坚,吴国雄,周志祥,等.基于断裂力学原理的水泥混凝土路面破坏过程分析及路面设计新构想[J].重庆交通学院学报,2001,20(1):1-5.
- [2] 易志坚,唐伯明,李祖伟,等.水泥混凝土路面面层与基层相互作用引起的基本破坏形式及重要影响[J].重庆交通学院学报,2001,(S):34-38.
- [3] Yi Zhijian, Yang Qingguo, et al, A fundamental understanding to the failure of cement concrete pavement based on the concept of fracture mechanics [J]. International Journal of Road Materials and Pavement Design, 2002,3(3):261-280.

水泥—乳化沥青混合料半柔性路面的应用研究*

凌天清** 魏建明 董 强

(重庆交通大学,土木建筑学院,重庆 400074)

摘 要:本文在室内试验研究的基础上,总结了水泥—乳化沥青混合料半柔性路面混合料的配合比设计方法、力学强度与收缩性能、强度形成机理和工程应用。水泥—乳化沥青混合料半柔性路面混合料是一种强度发展快、稳定性好,且有一定抗变形性能的新型路面材料。工程实践表明,试验路效果较好。

关键词:半柔性路面;配合比设计;强度形成机理;经济分析

the Application Research on Semi-Flexible Pavement Made of Cement-Emulsified Asphalt Mixture

Ling Tianqing Wei Jianming Dong Qiang

(College of Civil Engineering and Architecture, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074)

Abstract: This paper summarizes the mix ratio design methods, mechanical strength, constriction performance, the strength formation mechanism and the application in practice based on the experience in lab about cement-emulsified asphalt mixture applying semi-flexible pavement. Semi-flexible pavement mixture is a sort of new material used on pavement that has good strength in no time, fine stability and considerable anti-distortion performance. The test road indicates that the application in practice is fine.

Key words: semi-flexible pavement; mix ratio design; strength formation mechanism; analysis of economy

1 概 论

我国公路路面以半刚性基层沥青路面为主,这类路面结构形式在国民经济建设中发挥了重大作用。近几年来,由于重型交通的作用,该类路面却显得不尽人意。因此,研究新型的路面结构材料与结构类型势在必行。

在沥青混凝土中以不同方式加入水泥以改善其温度稳定性的做法最早出现在法国。在开级配沥

* 本项目研究成果获重庆市 2005 年度科技进步三等奖。

** 凌天清,重庆交通大学教授、博士生导师,交通部新世纪十百千人才工程第一层次人选,重庆市首届学术技术带头人,中国公路学会道路工程分会理事,重庆市材料学会理事,重庆市市政工程协会理事。通讯地址:重庆市学府大道 66 号;Tel:023-62652625/62652702;E-mail:lingtq@163.com。

青混凝土的空隙部分灌入水泥浆,作为耐热性道路路面用于科涅雅克机场喷气式飞机跑道上。科威特曾经在湿润的集料中加入水泥,并湿养 2 d,再按常规的沥青混凝土施工方法在沥青拌和厂将集料和沥青拌和、摊铺,大大提高了沥青混凝土路面的高温稳定性和抗水剥落性,特别适用于热带地区。1962 年,该技术传入了日本,其施工方法为灌水泥浆开级配沥青混凝土路面,根据不同的施工方式修筑了大量的试验路面,其性能均表现良好。英国、美国等国家都对这种材料都做了不同程度的研究,反应均较好。然而,由于这种材料发展期尚短,人们对其性质认识不深,加上试验方法与条件各异,使各国的研究结果有很大的差异。但是掺加水泥对沥青混凝土性能有所改善是各国所公认的。

我国对水泥—沥青混合料的研究是 20 世纪 80 年代才开始的。湖北宜昌公路总段在热拌沥青混合料中添加水泥,提高其热稳定性;西安公路交通大学、东南大学等单位对乳化沥青水泥砂浆混合料做过一些研究,取得了一定成果。对水泥—乳化沥青混凝土各种性能开展的研究却比较缺乏。

本研究首先总结前人经验,根据水泥—乳化沥青混合料自身的特殊性质确定水泥—乳化沥青混合料的马歇尔试验方法,提出合理的配合比设计方法,并在最佳配合比下研究水泥—乳化沥青混合料的各项基本物理力学参数。根据对其物理力学参数的进一步分析,我们于 1996 年在国内率先指出该类混合料修筑的路面应该称为“半柔性路面”^[1,2](传统的称谓为“半刚性路面”^[3])。课题还研究普通乳化沥青混合料与半柔性路面混合料在相同条件下的收缩特性,以考察水泥对该混合料柔性性质的影响。同时,还在微观分析的基础上对半柔性路面混合料的强度发展机理做了理论分析。

半柔性路面研究的成功,不仅解决了农村二级地方公路利用乳化沥青修筑沥青混凝土路面的技术问题,还可以推广应用到高速公路沥青路面冷再生技术之中。

2 室内试验技术方案与主要成果

①通过室内试拌与实验的对比分析,结合水泥在混合料中的作用原理,研究适合半柔性路面混合料的马歇尔试验方法与路面现场施工混合料拌和方法;为使水泥在混合料中分布更均匀,更好地发挥作用,加水泥到混合料中时,应首先把水泥与矿粉拌和,拌和物在乳化沥青前或后加入骨料中,可视施工方式而定^[1]。

②在考虑了水泥水化及乳化沥青破乳、复原过程的基础上,制订出了适用于半柔性路面混合料的进一步修正的马歇尔试验方法^[4,5]。

③半柔性路面混合料与普通乳化沥青修正马歇尔试验结果相比,早期及后期稳定度都明显增加,流值略有下降,但仍符合规范要求。这说明加入水泥后可显著改善混合料的早期强度和高温稳定性,且混合料仍保持其柔性性质^[1]。

根据试验结果,添加 1% 的水泥比未加水泥对乳化沥青混合料早期强度提高 3.36 倍,稳定性提高 1.67 倍。在最佳水泥含量 3% 的情况下,与未加水泥相比,混合料早期强度提高 8.25 倍,高温稳定性提高了 3.67 倍。这说明由于水泥水化作用和填料作用,促使乳液尽快破乳,有效提高了乳化沥青混合料的早期强度。这对提早开放交通具有深远意义,尤其在交通繁忙、交通控制困难的路段(比如高速公路)更是如此。水泥添加到乳化沥青中,降低了沥青混合料对温度的敏感性,使其在 60℃ 高温时仍具有足够的强度抵抗外力及变形。在此意义上,可以推测半柔性路面可大大减少路面车辙的数量,因而尤其适应交通量大,重载多及收费站、停车场交叉口等经常刹车制动的路段。

④本研究认为,半柔性路面混合料中的水泥存在最佳用量,以占骨料质量的 3% 左右为宜,最佳沥青用量为 3%~3.5%,矿料级配见表 1。

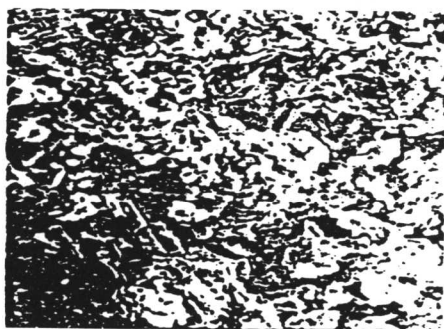
⑤半柔性路面混合料抗压强度和抗压模量都随龄期的发展而有所增长,尤其是 28 d 龄期比 7 d 龄期抗压强度增长 35%,模量增长 53%。而 90 d 龄期与 28 d 龄期相比,无多大变化,抗压强度增长 23%,抗压模量增长 17%,远小于 28 d 龄期对 7 d 龄期的增长率。故 28 d 龄期可以作为设计参数测

试期限。

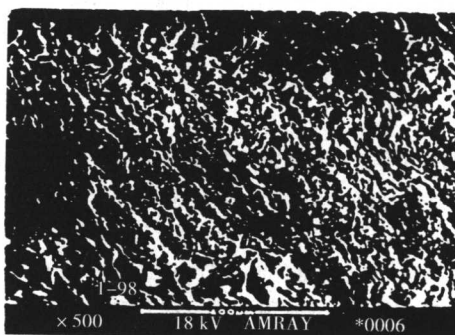
表1 半柔性路面混合料的级配要求

筛孔直径/mm	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
各筛孔通过率/%	97.5	—	75	57.5	42.5	32.5	24	17	11.5	5

⑥通过扫描电子显微镜对半柔性路面混合料微观结构进行观察,发现并证实了混合料中水泥水化物与沥青膜形成立体网络结构,如图1所示。



(a) 普通乳化沥青混合料的微观结构



(b) 半柔性路面材料90 d龄期的微观结构

图1 半柔性路面的微观结构

⑦半柔性路面混合料强度改善机理主要是:一部分水泥水化生成的凝胶物与沥青膜相互渗透,包裹在骨料周围,共同起粘结剂作用;另一部分水泥作为活性矿粉,使沥青膜的分布更广、更薄,与骨料粘结力也更强。

⑧对比湿养及空气中养生、含水泥与不含水泥的乳化沥青混合料收缩应变特性,说明了加入水泥不会使乳化沥青混合料出现过分收缩,因此正常情况下半柔性路面不会出现裂缝。

综上所述,半柔性路面混合料是一种强度发展快、稳定性好且有一定抗变形性能的新型半柔性路面材料。该新材料改变了乳化沥青早期强度低、高温稳定性差的状况,适用于作高等级道路路面面层。

9

3 工程实践与经济分析

为了验证半柔性路面的使用性能,我们于1998年7月在重庆永川市茶山竹海旅游公路建设中修筑了1 km的试验工程,对比分析普通乳化沥青混合料路面与半柔性路面的路用性能。5 cm厚的半柔性路面使用寿命达到8年(混合交通换算成BZZ—100为 $n_b = 75$ 轴次/d),其造价分析见表2。

表2 原材料造价对比表

材料名称	单位	工地材料单价	普通乳化沥青混合料			半柔性路面混合料			差额/元
			数量/t	金额/元	总金额/元	数量/t	金额/元	总金额/元	
沥青	t	2 300	18	41 400	55 004	11	25 300	42 038	12 966
水泥	t	240	—	—		11	2 640		
碎石	t	38	358	13 604		371	14 098		

从表 2 可以看出,虽然半柔性路面混合料中增加 3% 的水泥,但沥青用量降低 2%。由于沥青价格比水泥贵得多,所以混合料的整体价格还是降低了。每千米半柔性路面混合料比普通乳化沥青混合料节约原材料投资 12 966 元,占原造价的 23.6%,经济价值非常可观的。如果考虑沥青可能的涨价因素,其经济价值将更为可观。

4 结束语

上述研究表明,半柔性路面原材料投资少,路面耐久性、稳定性好,养护费及营运费低,具有良好的经济效益。不仅可以解决农村地方二级、三级公路建设修筑沥青路面的技术问题,还可以推广应用到高速公路沥青路面冷再生技术之中。

参考文献

- [1] 重庆市中青年专家基金资助项目. 水泥—乳化沥青混合料的力学性能及其应用研究. 重庆交通学院,1996.
- [2] Ling Tianqing. Microstructure Analysis and Strength Mechanism of Semi-Flexible Pavement Material. 4rd International Conference on Road & Airfield Pavement Technology. 2002. 4.
- [3] 林绣贤. 柔性路面结构设计方法[M]. 北京:人民交通出版社,1988.
- [4] 高英,凌天清. 水泥乳化沥青混合料实验方法的研究[J]. 华东公路,1998(2).
- [5] 高英,凌天清,等. 水泥—乳化沥青混合料配合比设计[J]. 同济大学学报,1998(6).
- [6] 高英,凌天清,等. 水泥—乳化沥青混合料性能测试方法研究[J]. 重庆交通学院学报,1999(2).

低造价县乡道路修筑技术的研究^{*}

黄维蓉^{**} 何兆益 唐伯明

(重庆交通大学, 重庆 400074)

摘要: 本文依据广泛的调研, 对我国西部县乡道路的技术现状、交通现状、轴载适应性及存在问题进行了分析论证, 在此基础上进行了适应小交通量的路基路面材料和结构型式、路基路面设计方法和路面施工工艺等几方面的研究。研究提出了以西部二级自然区划(组合)为分区、以交通量分级和路基强度分级为主要参数的路面典型结构, 提出了数种地方材料在路面基层中的应用方法, 提出了简单实用的路面设计方法, 以及包括沥青表处、碎石封层、薄层沥青铺面和乳化沥青稀浆封层在内的沥青面层施工工艺。

关键词: 县乡道路; 典型结构; 设计方法; 沥青面层; 地方材料

Research on Low Cost Inter-Township and Rural Road Construction Techniques

Huang Weirong He Zhaoyi Tang Boming

(Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074)

Abstract: Based on the extensive investigation, the present technical status of inter-township and rural roads including pavement situation, traffic volume, axle load and the suitability of pavement structure to the traffic load is analyzed in this paper. The research includes the followings: a) the pavement material and structure suitable to low volume roads; b) the pavement design method for low volume roads; c) the pavement construction technique of low volume roads. As the results of the research, the typical structure pattern for the combinations of Natural Zone Level 2 in Western China using traffic classification and subgrade strength classification as primary parameters is put forward. The methods of several local materials applied in base course are also put forward in the paper. Furthermore, the simple and practical pavement design method for low volume roads or inter-township and rural roads as well as the asphalt layer construction techniques including surface treatment, chip seal, thin asphalt concrete layer and emulsified asphalt slurry seal are proposed.

Key words: county town road; typical structure; design method; pitch facing; land square material

1 研究背景

西部的公路建设是我国西部开发战略实施的重要组成部分。虽然高速公路网和国道主干线会在

^{*} 项目基金:交通部西部科技项目(2001 318 000 45)。

^{**} 黄维蓉(1970—),女,重庆人,副教授,硕士,长期从事路基路面材料和建筑材料方面教学与研究。