

文章编号: 0451-0712(2005)01-0074-05

中图分类号: U416.201

文献标识码: A

特粗粒径沥青碎石裂缝缓解层防裂机理分析

杨 斌^{1,2}, 陈拴发², 马庆雷^{2,3}, 胡长顺²

(1. 广西大学土木建筑工程学院 南宁市 530004; 2. 长安大学公路学院 西安市 710064;
3. 山东省交通厅公路管理局 济南市 250013)

摘 要: 反射裂缝是旧水泥混凝土路面上沥青混凝土加铺层的主要病害之一, 目前尚无理想的解决方法, 针对这一问题, 提出了采用特粗粒径沥青碎石 AM-40 作为裂缝缓解层的方法, 利用特粗粒径沥青碎石的多空隙结构阻断裂缝尖端的扩展路径, 消散及吸收由交通荷载及环境温度变化所产生的应力及应变, 减小接缝处加铺层的应力集中现象。采用三维有限元法对设置普通沥青混凝土与特粗粒径沥青碎石 2 种类型裂缝缓解层的加铺结构进行力学对比分析可知, 后者的荷载应力、温度应力及耦合应力均小于前者的应力值。通过加铺层试验路观测与理论计算分析表明, 特粗粒径沥青碎石裂缝缓解层可有效地防止或减缓水泥混凝土路面上沥青混凝土加铺层的反射裂缝。

关键词: 水泥混凝土路面; 沥青混凝土加铺层; 反射裂缝; 特粗粒径沥青碎石; 三维有限元

反射裂缝是旧水泥混凝土路面上沥青混凝土加铺层的主要病害之一, 目前国内外采用的防裂措施主要有以下几种: 增加沥青混凝土加铺层的厚度, 设置级配碎石中间层, 设置土工布、土工格栅、钢丝网或改性(橡胶)沥青混合料等防裂夹层。这些措施对防止或减缓沥青混凝土加铺层反射裂缝起到了一定的作用, 但效果并不太理想, 国内外对旧水泥混凝土路面加铺改造技术仍处于探索及试验阶段。20 世纪 60、70 年代, 美国田纳西、阿肯色等几个州开始使用升级配沥青碎石混合料用于防止反射裂缝。美国沥青协会建议采用最大粒径分别为 75 mm、63 mm 及 50 mm 的特粗粒径升级配沥青碎石作为裂缝缓解层, 经试验路检测表明, 其防裂效果良好。目前, 特粗粒径沥青碎石裂缝缓解层在我国很少使用, 为了与我国公路沥青混凝土路面设计与施工技术规范相接轨, 便于设计、施工部门的具体操作及该项技术在我

国的推广应用, 本文参照美国经验并结合中国的实际情况, 提出了采用 9 cm 厚 AM-40 特粗粒径沥青碎石作为裂缝缓解层的方法, 并在山东省某地旧水泥混凝土路面改造工程中铺筑了 900 m 长 AM-40 特粗粒径沥青碎石加铺层结构及 1 500 m 长其他几种类型加铺层对比结构的试验段, 经过 1 年多时间的运营使用, 其他几种类型加铺层路段均不同程度出现了反射裂缝, 而设置特粗粒径沥青碎石 AM-40 裂缝缓解层的加铺层结构, 至今仍未出现反射裂缝及其他病害, 表明其具有良好的防裂效果。

1 设置特粗粒径沥青碎石裂缝缓解层的加铺层结构

美国沥青协会建议采用的 3 种特粗粒径沥青碎石混合料中沥青含量为 1.5%~3.0%, 混合料含有 25%~35% 的连通空隙。集料由坚硬、多棱角的碎石、轧制砾石或矿渣组成。3 种集料级配范围见表 1。

表 1 美国沥青协会升级配特粗粒径沥青碎石裂缝缓解层集料级配建议范围

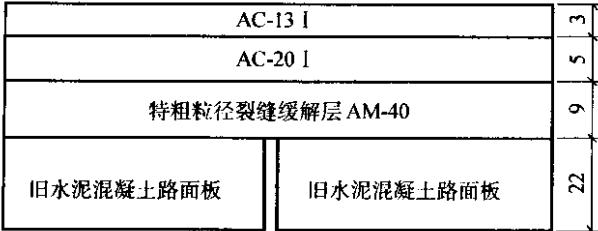
类别	通过下列筛孔(mm)的百分率/%									
	75	63	50	37.5	19.0	9.5	4.75	2.36	0.15	0.075
A	100	95~100	—	30~70	320	0~5	—	—	—	—
B	—	100	—	35~70	5~20	—	—	0~5	—	0~3
C	—	—	100	75~90	50~70	—	8~20	—	0~5	—

本文推荐采用的特粗粒径沥青碎石混合料 AM — 40 级配范围见表 2。

表 2 特粗粒径沥青碎石混合料 AM — 40 集料级配建议范围

类别	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%															沥青用量/%
	53.0	37.5	31.5	26.5	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
AM — 40	100	90~100	50~80	40~65	30~54	25~50	20~45	13~38	5~25	2~15	0~10	0~8	0~6	0~5	0~4	2.5~4.0

特粗粒径沥青碎石混合料的配合比设计根据实践经验和马歇尔试验的结果,经过试拌及试铺论证确定。本文加铺层试验路的特粗粒径沥青碎石混合料中的沥青采用日本加德士 AH — 70 重交通道路石油沥青。沥青碎石混合料目标配合比为:20 mm ~ 40 mm 的集料为 56%,10 mm ~ 20 mm 集料为 16%,5 mm ~ 10 mm 集料为 12%,河砂为 4%,0 ~ 5 mm 集料为 12%。最佳油石比为 3.13%。试验路加铺层结构如图 1 所示。



单位:cm

图 1 设置特粗粒径沥青碎石裂缝缓解层的加铺层结构

2 特粗粒径沥青碎石裂缝缓解层防裂的基本原理

特粗粒径沥青碎石裂缝缓解层能够有效防止和减缓旧水泥混凝土路面上沥青混凝土加铺层反射裂缝的原因主要有 3 点。

(1)特粗粒径沥青碎石混合料中大粒径矿料多、沥青含量少及空隙率大,这种多空隙结构可有效地阻断裂缝尖端的扩展路径,削弱拉应力和拉应变的传递能力,并且能消散和吸收由交通荷载及环境温度变化所产生的荷载应力和温度应力。此外,特粗粒径沥青碎石混合料收缩系数较小,其大粒径和多空隙结构具有较大的塑性变形能力,可充分吸收接缝释放的应变能,减小接缝处加铺层的应力集中现象,从而延缓反射裂缝向上扩展的速度。

(2)温度应力是引起沥青混凝土加铺层反射裂缝的主要原因之一,由于特粗粒径沥青碎石裂缝缓解层的厚度一般为 8 ~ 12 cm,该结构的隔离作用大大改善了旧水泥混凝土路面的温度状况,减少了降温及温度梯度对水泥混凝土路面及加铺层的影响程

度,使水泥混凝土路面板的翘曲程度及接缝的张开位移量均有大幅度的降低,因而可使沥青混凝土加铺层在温度作用下的受力状况得以改善。

(3)交通荷载是引起沥青混凝土加铺层反射裂缝的另一个主要因素,加铺层设置特粗粒径沥青碎石裂缝缓解层后,路面结构的整体强度有所提高,可有效地减小沥青混凝土加铺层的荷载应力及接缝两侧的弯沉与弯沉差,延缓沥青混凝土加铺层荷载型反射裂缝的产生与扩展速度。

3 不同类型裂缝缓解层的加铺层结构力学分析

3.1 计算参数

为定量分析特粗粒径沥青碎石裂缝缓解层在加铺层结构中所起的作用,采用三维有限元法对同等厚度的普通沥青混凝土裂缝缓解层与特粗粒径沥青碎石裂缝缓解层进行荷载应力、温度应力及耦合应力的对比分析。视路面结构为弹性层状体系,研究对象是由沥青混凝土加铺层、裂缝缓解层、带有裂缝或接缝的水泥混凝土路面和地基组成,建立空间三维模型。为反映半无限大空间地基的特性,地基采用扩大尺寸来模拟。对各结构层做如下假定:(1)各结构层为均匀、连续、各向同性的连续弹性体;(2)各层层间竖向、水平位移均连续;(3)地基地面各向位移为零,地基侧面水平方向位移为零;(4)不计路面结构的自重影响;(5)旧水泥混凝土路面接缝宽度假设为 1 cm,且接缝处无传荷能力。

根据山东省加铺层试验路调查资料,拟定计算基本参数为:水泥混凝土路面板长为 5 m,宽为 4.25 m,厚度为 22 cm。经过提取地基不同尺寸计算误差分析,地基扩大基础尺寸拟定为 16.01 m × 14.5 m × 9 m(长 × 宽 × 高),长度方向为 x 轴,宽度方向为 y 轴,深度方向为 z 轴。车辆荷载采用标准轴载 BZZ — 100,路表降温幅度为 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。特粗粒径沥青碎石裂缝缓解层的模量为 600 MPa,厚度为 9 cm;对比结构普通沥青混凝土裂缝缓解层的模量为 1 200 MPa,厚度为 9 cm。主要计算参数见表 3。

表 3 主要计算参数

结构层	厚度/cm	弹性模量 E/MPa	泊松比 μ	导热系数 $/(W/(mK))$	线膨胀系数 $/K^{-1}$
沥青混凝土加铺层	8	1 200	0.25	1.1	2.1×10^{-5}
特粗粒径沥青碎石裂缝缓解层	9	600	0.25	1.3	2.1×10^{-5}
普通沥青混凝土裂缝缓解层	9	1 200	0.25	1.1	2.1×10^{-5}
旧水泥混凝土路面	22	30 000	0.15	1.5	1.0×10^{-5}
基 础	—	100	0.35	1.0	0.5×10^{-5}

3.2 荷载应力分析

交通荷载主要引起加铺层的剪切型反射裂缝,在车轮偏荷载的作用下,若加铺层的荷载应力及接缝两侧的弯沉差过大会引起沥青混凝土加铺层的剪切破坏。以下对设置特粗粒径沥青碎石裂缝缓解层

与普通沥青混凝土裂缝缓解层的 2 种加铺层结构,在偏荷载 BZZ—100 作用下的应力状况进行对比分析。水泥混凝土路面接缝处裂缝缓解层底部的最大主应力 σ_1 、等效应力 σ_e 及最大剪应力 τ_{\max} 计算结果见表 4 及图 2。

表 4 荷载、温度作用下裂缝缓解层应力

裂缝缓解层类型	荷载类型	应力/MPa										
		σ_x	σ_y	σ_z	τ_{xy}	τ_{yz}	τ_{xz}	σ_1	σ_2	σ_3	σ_e	τ_{\max}
普通沥青混凝土	荷载	-0.089	-0.026	-0.102	0.110	0.015	-0.109	0.078	-0.051	-0.243	0.279	0.161
	温度	0.749	0.551	0.485	-0.013	-0.051	0.018	0.752	0.577	0.457	0.257	0.148
	耦合	0.664	0.527	0.385	0.098	-0.036	-0.092	0.742	0.477	0.358	0.340	0.192
特粗粒径沥青碎石	荷载	-0.098	-0.014	-0.085	0.059	0.014	-0.086	0.028	-0.031	-0.194	0.199	0.111
	温度	0.578	0.379	0.345	-0.006	-0.036	0.014	0.589	0.401	0.321	0.237	0.134
	耦合	0.496	0.368	0.264	0.053	-0.023	-0.072	0.536	0.349	0.243	0.257	0.147

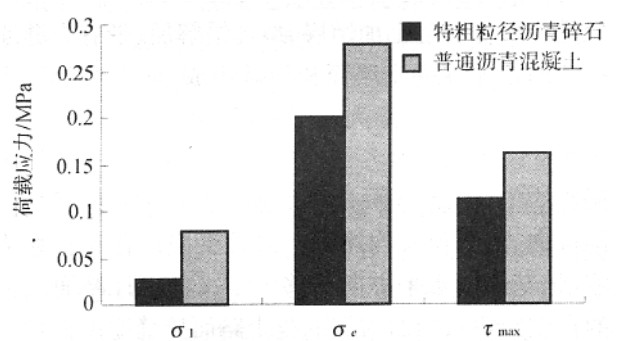


图 2 不同类型裂缝缓解层荷载应力对比

由图 2 可以看出,接缝处普通沥青混凝土裂缝缓解层的最大主应力 σ_1 、等效应力 σ_e 及最大剪应力 τ_{\max} 分别为 0.078 MPa、0.279 MPa 及 0.161 MPa;当取厚度同为 9 cm 的特粗粒径沥青碎石裂缝缓解层代替普通沥青混凝土裂缝缓解层时,在相同车辆荷载的作用下,特粗粒径沥青碎石裂缝缓解层的最大主应力 σ_1 、等效应力 σ_e 及最大剪应力 τ_{\max} 分别为 0.028 MPa、0.199 MPa 及 0.111 MPa。后者比前者分别减小了 64.1%、28.7% 及 31.1%,说明特粗粒径沥青碎石混合料减小加铺层结构荷载应力的效果要

明显好于普通沥青混凝土。

3.3 温度应力分析

温度变化主要引起加铺层的张开型反射裂缝,加铺层产生的温度应力主要来源于 2 个部分:一部分是由于气温降低使路面结构产生收缩变形,加铺层受层间及边界等约束使变形受阻而产生的温度应力;另一部分是由于昼夜温差使加铺层及水泥混凝土路面板内存在温度梯度,造成各结构层的翘曲变形而产生的温度应力。根据气象资料,山东省加铺层试验路所在地区 1 月份的月平均气温最低,为 0℃ 左右,因此在温度应力计算时,近似地取最不利的低温 0℃ 作为参考温度,路面结构在此参考温度的基础上进行升温及降温,考虑到山东省各地区最大日温差不超过 20℃,即以日平均气温为参考温度,每日的升温及降温幅度分别为 10℃ 及 -10℃。计算路面结构温度应力时,温度变化在 -10℃~10℃ 之间,其中 0℃→-10℃ 为降温阶段,0℃→10℃ 为升温阶段。由于负温差对路面结构的影响更为不利,因此,按路表降温 -10℃ 来计算温度应力。接缝处裂缝缓解层底部的最大主应力 σ_1 、等效应力 σ_e 及最大剪应力 τ_{\max} 计

算结果见表 4 及图 3。

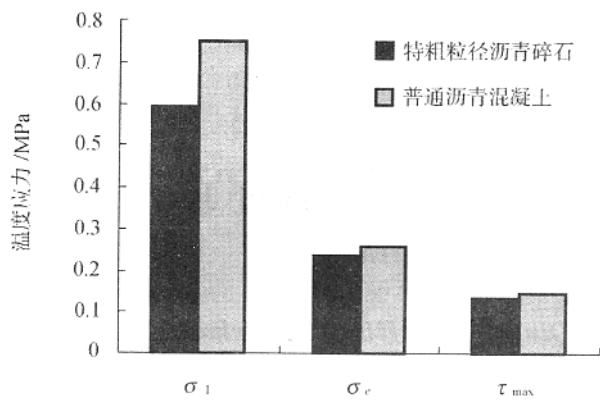


图 3 不同类型裂缝缓解层温度应力对比

由图 3 可以看出,当路表降温 -10°C 时,接缝处普通沥青混凝土裂缝缓解层的最大主应力 σ_1 、等效应力 σ_e 及最大剪应力 τ_{max} 分别为 0.752 MPa、0.257 MPa 及 0.148 MPa;当取厚度同为 9 cm 的特粗粒径沥青碎石裂缝缓解层代替普通沥青混凝土裂缝缓解层时,特粗粒径沥青碎石裂缝缓解层的最大主应力 σ_1 、等效应力 σ_e 及最大剪应力 τ_{max} 分别为 0.589 MPa、0.237 MPa 及 0.134 MPa。后者比前者分别减小了 21.7%、7.8% 及 9.5%,说明特粗粒径沥青碎石减小温度应力的效果也要优于普通沥青混凝土。

3.4 耦合应力分析

在实际的交通及气候条件下,沥青混凝土加铺层往往处于车辆荷载与温度的共同作用之下,因此在前面应力分析的基础之上,有必要对车辆荷载与温度耦合作用下的 2 种不同类型裂缝缓解层的加铺层结构进行对比分析。路面结构参考温度为 0°C ,沥青混凝土加铺层表面降温幅度为 -10°C ,车辆荷载为 BZZ-100。荷载、温度单独作用及它们共同作用所产生的荷载应力、温度应力及耦合应力计算结果见表 4 和图 4。

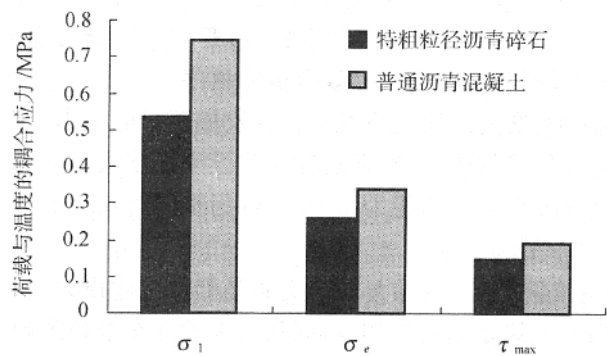


图 4 不同类型裂缝缓解层耦合应力对比

由表 4 可知,当路表降温 -10°C 时,特粗粒径沥青碎石裂缝缓解层的最大主应力 σ_1 、等效应力 σ_e 及最大剪应力 τ_{max} 分别为 0.589 MPa、0.237 MPa 及 0.134 MPa,而在车辆荷载与温度共同作用下, σ_1 、 σ_e 及 τ_{max} 分别为 0.536 MPa、0.257 MPa 及 0.147 MPa,耦合应力与温度应力值非常接近,说明在荷载与温度的共同作用时,温度所起的作用是主要的(未考虑温度应力松弛效应)。由表 4 及图 4 可知,在荷载与温度的共同作用下,特粗粒径沥青碎石裂缝缓解层的最大主应力 σ_1 、等效应力 σ_e 及最大剪应力 τ_{max} 分别比普通沥青混凝土裂缝缓解层减小了 27.8%、24.4% 及 23.4%,说明特粗粒径沥青碎石裂缝缓解层的耦合应力值小于同厚度的普通沥青混凝土裂缝缓解层的应力值。

4 结语

通过试验路观测与理论计算分析表明,设置特粗粒径沥青碎石裂缝缓解层是一种防止水泥混凝土路面上沥青混凝土加铺层反射裂缝的行之有效的方法。

(1)特粗粒径沥青碎石混合料的多空隙结构可有效地阻断裂缝尖端的扩展路径,消散及吸收由交通荷载及环境温度变化所产生的应力及应变,减小接缝处加铺层的应力集中现象,延缓接缝处反射裂缝向上扩展的速度。

(2)通过对相同厚度的普通沥青混凝土裂缝缓解层与特粗粒径沥青碎石裂缝缓解层 2 种加铺层结构的力学对比分析可知,后者的荷载应力、温度应力及耦合应力均要小于前者的应力值。

参考文献:

[1] 姚祖康. 路面[M]. 人民交通出版社,1999.
[2] Bozkurt D Y. Three Dimensional Finite Element Analysis to Evaluate Reflective Cracking Potential in Asphalt Concrete Overlays [D]. University of Illinois, PHD.
[3] Eltahan Ahmed Abdelazim. A Mechanistic-empirical Approach to the Development of a Stochastic Reflection Crack Prediction Model for Flexible Pavement Overlays [D]. Texas A&M University, PHD. December 1996.
[4] Cho, Y Ho, Liu C, Dossey T, McCullough B F. Asphalt Overlay Design Methods for Rigid Pavements Considered Ruting, Reflection Cracking, and Fatigue Cracking[R]. Research Report 987-9, The

University of Texas at Austin, October 1998.

Technical Bulletin No. 4 ASPHALT magazine, 1998.

[5] Guide for Design of Pavement Structures [M]. AASHTO, 1986.

[7] 美国 ANSYS 公司. ANSYS 应用手册[M]. 1998.

[6] Portland cement concrete rehabilitation—crack relief layer incorporated into asphalt concrete overlay[J].

[8] 吴赣昌, 凌天清. 半刚性基层温缩裂缝的扩展机理分析[J]. 中国公路学报, 1998, (1).

Anti-Cracking Mechanism Analysis of Cracking Relief Layer of Extra Coarse Asphalt Macadam

YANG Bin^{1,2}, CHEN Shuang-fa², MA Qing-lei^{2,3}, HU Chang-shun²

(1. School of Civil and Architectural Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China; 2. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 3. Shandong Highway Administration Bureau of Communication Department, Jinan 250013, China)

Abstract: The reflective cracking is one of the main damages of asphalt overlay on the old concrete pavements, there is no ideal method to solve it still now, aiming at this problem, a method of using the extra Coarse asphalt macadam as cracking relief layer is proposed, a great deal of void in the extra coarse asphalt macadam can obstruct the extending path of crack tip, dissipate or absorb stresses and strain of vehicle load and environmental temperature variety, reduce the stress centralization of asphalt overlay at joints of cement concrete pavement. The 3-D finite element method is used to analyze the cracking relief layer of asphalt concrete and extra coarse asphalt macadam, load stress, thermal stress and coupling stress of the latter are less than the former. The investigations of testing highway and results of theoretic calculation indicate that the extra coarse asphalt macadam layer can prevent asphalt concrete overlay from cracking effectively.

Key words: cement concrete pavement; asphalt concrete overlay; reflective cracking; extra coarse asphalt macadam; 3-D finite element method

全国交通工作会议隆重召开

2004 年 12 月 26 日召开的全国交通工作会议上, 中共中央政治局常委、国务院副总理黄菊在讲话中强调, 交通部门要认真学习 and 贯彻落实中央经济工作会议精神, 按照科学发展观的要求, 紧密结合交通工作实际, 创新工作思路, 加大改革力度, 扩大对外开放, 加快运力建设, 优化运力配置, 为经济社会发展提供有力保障, 为人民群众出行提供更好服务, 在全面建设小康社会中作出积极贡献。

黄菊对 2005 年交通工作重要指示要点: 一要更加重视运输能力建设, 缓解运能不足的突出矛盾; 二要优化运力配置, 挖掘运输潜力; 三要进一步做好交通安全工作, 防止发生重特大安全事故; 四要加大改革力度, 加快推进交通系统和运输企业体制机制创新; 五要继续治理车辆超载超限, 大力规范运输秩序。

交通部部长张春贤指出交通部门要着力提高五个方面能力: 交通运输适应经济社会发展要求的能力; 交通运输统筹规划和协调发展的能力; 交通运输公共服务和组织保障的能力; 交通运输和建设市场依法监管的能力; 交通安全管理和重大突发事件应急处置的能力。提高这五个方面的能力, 是交通部门贯彻落实党的十六届四中全会精神、全面履行政府职能、提高行政能力的总体部署和要求。

2005 年交通工作八项基本任务: 高度重视和切实做好运输保障工作; 加大公路交通基础设施建设力度; 进一步推进水运交通基础设施建设; 组织完成“十一五”交通发展规划编制工作; 巩固和扩大治理车辆超限超载运输成果; 进一步加强对交通安全监管和应急救援; 推进交通法制建设和改革开放; 加强行业文明建设和反腐败工作。