

文章编号:1671-8879(2006)05-0009-04

沥青加铺层抗反射裂缝足尺疲劳试验

廖卫东¹, 王小雄²

(1. 武汉理工大学 材料科学与工程学院, 武汉 湖北 420070;

2. 陕西省高速公路建设集团公司, 陕西 西安 710060)

摘 要:针对水泥混凝土路面加铺改造后容易产生反射裂缝的缺点,采用大型疲劳试验台架进行不同沥青加铺层结构层抗反射裂缝的对比试验,模拟荷载作用下加铺层结构温度型和荷载型反射裂缝的产生和发展过程,评价了不同加铺层方案的防裂效果。结果表明:应力吸收层可有效消解水泥混凝土板块接缝处的应力集中现象,防止水泥混凝土面板由于温缩及荷载作用引起的加铺层反射裂缝;设置玻璃纤维格栅及土工布并不能很好的解决路面的反射裂缝问题。

关键词:道路工程;水泥混凝土路面;沥青加铺层;温度型反射裂缝;荷载型反射裂缝;足尺疲劳试验

中图分类号:U416.217

文献标识码:A

Full-scale-fatigue test on anti-reflective cracking of asphalt overlay

LIAO Wei-dong¹, WANG Xiao-xiong²

(1. School of Materials Science and Engeering, Wuhan University of Tehnology, Wuhan 420070, Hubei, China;

2. Shaanxi Province Expressway Construction Group Company, Xi'an 710060, Shaanxi, China)

Abstract: Reflection cracks often occur in the overlay on old cement concrete pavement. This paper adopted large-scale-fatigue experimental platform for contrastive experiments of different overlay structures to resist reflective cracking, simulated the initiation and extension process of thermal reflective cracking and load reflective cracking of overlay, and tested the anti-cracking effect of different overlays. The results show that stress-absorbing layer can effectively eliminate the stress concentration phenomenon at joints of cement concrete and avoid the reflective cracking of overlay caused by thermal shrinkage of cement concrete slab and load. But setting fibre grids and geotextile cannot solve the reflective cracking of pavement. 4 tabs, 7 figs, 7 refs.

Key words: road engineering; cement concrete pavement; asphalt overlay; thermal reflective cracking; load reflective cracking; full-scale-fatigue experiment

0 引 言

旧水泥混凝土路面沥青加铺层反射裂缝的扩展模式主要有两类^[1-2]:一是在车轮偏荷载作用下接缝

两侧弯沉差过大,引起沥青加铺层的剪切型反射裂缝;二是温度下降使得接缝处沥青加铺层及水泥混凝土路面产生收缩及翘曲,引起水平位移过大,产生张开型反射裂缝。目前国内外许多科研机构进行

收稿日期:2005-09-10

基金项目:国家西部交通建设科技项目(200231800030)

作者简介:廖卫东(1961-),男,湖北荆门人,教授级高级工程师,博士研究生。

了不少针对沥青路面裂缝的室内试验^[3-5],但大多为一些小型试件的试验,不能全面真实地反映加铺层反射裂缝产生的机理,与实际应用尚有较大的差距。本文在室内采用大型反射裂缝疲劳试验台架进行不同加铺层结构的对比试验,模拟温度应力及偏荷载作用下加铺层结构反射裂缝的产生、发展过程;并通过室内试验模拟,评价不同加铺层结构的防裂效果,为水泥混凝土路面的加铺改造提供依据。

1 试验用原材料

试验用沥青混合料为 AC-13I 型。沥青为克拉玛依 AH-90 重交沥青,碎石采用陕西富平产石灰岩碎石,砂为灞河砂。沥青混合料成型后测得其表观密度为 2.415 g/cm³,空隙率为 5.0%,饱和度为 81%,马歇尔稳定度为 9.3 kN,流值为 3.7 mm。土工布采用海川路威 010/140 系列防止路面反射裂缝的专用土工布,土工格栅采用江苏九鼎集团的玻璃纤维格栅。应力吸收层是长安大学为解决水泥混凝土路面的反射裂缝难题而设计的一种结构材料,主要起消减应力和封水的目的。本次试验所用应力吸收层材料由湖北汉宜高速公路沥青加铺指挥部提供。该材料配合比采用 SHRP 沥青混合料体积设计理论,并用旋转压实方法进行体积性能测试。主要性能指标见表 1。

表 1 应力吸收层材料性能指标

试验项目	试验结果	试验项目	试验结果
沥青胶结材料用量(油石比)/%	9.5	压实温度/℃	140
理论密度/(g·cm ⁻³)	2.354	旋转次数/次	50
表观密度/(g·cm ⁻³)	2.318	60℃维姆稳定度/kN	20
空隙率/%	1.5	弯曲疲劳次数/次	>200 000
拌和温度/℃	175		

2 试验方案

根据典型的旧水泥混凝土路面沥青加铺层结构方案,本文共设计了 4 种沥青加铺层结构进行室内大型反射裂缝疲劳试验,其类型见表 2。

2.1 温度型疲劳足尺试验

试验在反射裂缝疲劳试验台架上进行,试验台架由动力系统和实验系统两部分组成,其构造如图 1 所示。图中 A、B 两块板是 C30 水泥混凝土板,其中 A 板为固定板,B 板可沿水平方向作往复移动。

表 2 沥青加铺层大型疲劳试验结构类型

试验方案编号	加铺层路面结构类型(由下至上)	加铺层总厚度/cm
I	水泥混凝土板+7 cm 沥青混凝土 AC-16 I	7
II	水泥混凝土板+玻璃纤维格栅+7 cm 沥青混凝土 AC-16 I	7
III	水泥混凝土板+土工布+7 cm 沥青混凝土 AC-16 I	7
IV	水泥混凝土板+2 cm 应力吸收层+5 cm 沥青混凝土 AC-16 I	7

两板间的缝隙用来模拟水泥混凝土路面的缩缝。试验时,动力系统在 B 板上施加水平的等幅交变荷载 P,使 A、B 两板间的缝隙按一定的频率和一定的相对位移张开和闭合,以模拟水泥混凝土路面由于温度变化引起伸缩产生的水平相对位移。施加的等幅交变荷载如图 2 所示。

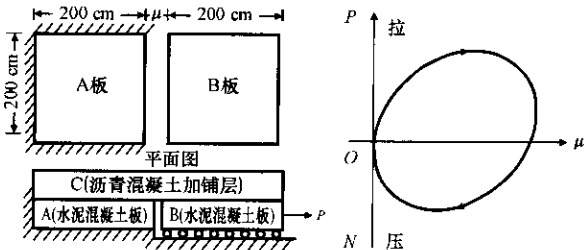


图 1 疲劳试验台架示意图 图 2 等幅交变荷载示意图

为模拟一定温度条件下路面结构的工作环境,疲劳试验台备有降温设备。可使疲劳试验台架的环境温度降到-20℃。试验时,将其罩在疲劳试验台架上,使各结构的环境温度降到要求的低温状态,以获取低温下沥青混凝土加铺层疲劳特性的数据。

2.2 荷载型疲劳足尺试验

沥青加铺层反射裂缝大型试验台架如图 3、图 4 所示。疲劳试验中的动态加荷使用脉动疲劳试验机,最大的加载能力为 500 kN,加载频率为 60~540 次/min。施加荷载大小可按需要调整,数字显示,加载次数自动显示并记录。疲劳试验机由主机、控制柜和施力锤三部分组成。附属设备有反力架、承载板等。

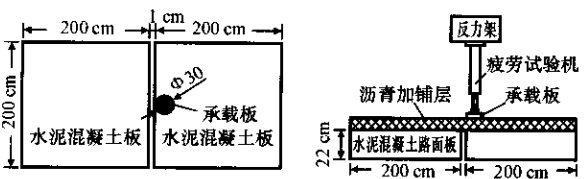


图 3 试验台平面示意图 图 4 试验台立面示意图

2.3 试验实施

对于温度型疲劳足尺试验,首先将 A、B 两块板的表面清洗干净,晾干后洒布乳化沥青作为粘层油,

之后分别按方案 I、II、IV 3 种结构形式进行铺筑,即直接加铺热沥青混合料,并用 10 t 光轮压路机进行碾压。粘层油采用稀释沥青,涂刷厚度约 0.5 mm。为便于观察裂缝的扩展情况,铺筑完混合料后,在水泥混凝土板块接缝上方的加铺层表面左右各 50 cm 的范围内以及两侧面涂刷白色涂料,并在涂料表面画出 10 cm×10 cm 的方格网,以便观察记录。试验时,随时将出现裂缝时的荷载疲劳作用次数标绘在裂缝扩展的位置上。接缝的水平位移通过架设在沥青混凝土两侧面的百分表测得。准备工作进行完毕之后,在试验块上罩上降温设备,开动降温设施,当路面结构表面温度降到规定试验温度后,即可开始水平加载,进行疲劳试验。

荷载型疲劳足尺试验是在 6 m×18 m 的大型试槽内进行。为了保证板边各结构层的厚度与压实度,摊铺材料前在四周用钢板支挡好。压实成型二灰碎石基层(厚度 15 cm)后,一次浇筑两组(一组 2 块)共 4 块混凝土板,板厚 22 cm,平面尺寸为 200 cm×200 cm,接缝处完全切断。试验前首先将混凝土板表面清洗干净,对接缝处要认真清理,防止石子等杂物落入,记录好板缝位置,然后洒布热沥青作为粘层油,并铺设玻璃纤维格栅及土工布。然后铺筑应力吸收层及沥青混合料,并用 10 t 压路机前轮稳压 6~8 遍。在沥青加铺层表面水泥混凝土板接缝两侧各 50 cm 的范围内涂刷白色涂料,并绘制 10 cm×10 cm 的网格,以便观测反射裂缝的扩展情况。

3 试验结果及分析

3.1 温度疲劳足尺试验

对于温度型的疲劳足尺试验仅采用了试验方案 I、II、IV 3 种结构类型。试验时采用的疲劳开裂荷载频率为 4 次/min,接缝水平位移初始值为 1 mm,试验温度为 5℃±0.5℃。

试验结果表明,随着疲劳次数的持续增加,首先在加铺层的某些薄弱部位出现相互独立的裂缝,最后裂缝相互连接并贯通。为研究裂缝的出现、发展和裂缝的扩展情况,在裂缝出现部位标绘对应的加载次数,完全贯通时记录最终加载次数。3 种路面结构的足尺疲劳试验结果见表 3。

另外,试验中发现,方案 I 的结构形式,加载 11 次后在 A、B 两块板的接缝处可发现沥青混凝土有细微裂缝出现;在 44 次时裂缝延伸至沥青混凝土上表面;到 72 次时裂缝逐渐变宽并向内延伸;当加载 178 次时整个裂缝贯通。图 5 为水泥混凝土面板上

表 3 3 种加铺结构类型的足尺疲劳试验结果

试验方案编号	I	II	IV
疲劳荷载作用次数/次	178	603	794

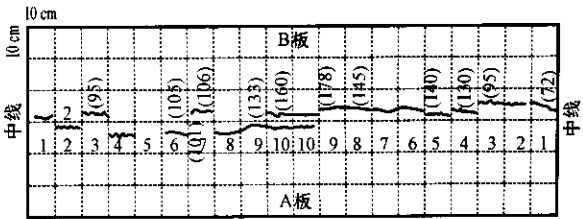


图 5 直接加铺沥青混凝土裂缝扩展图

直接加铺沥青混凝土的裂缝扩展示意图,括弧内的数字为裂缝扩展到此时的疲劳荷载作用次数。

对于设置玻璃纤维土工格栅+沥青混凝土的方案 II,在加载 56 次时在沥青混凝土底部约 2 cm 处出现细微裂缝;在 135 次时裂缝穿透沥青层到达表面;然后在 178 次才出现另一条裂缝;随试验的不断进行,裂缝在不断的扩展,最后在 603 次时全断面被裂缝贯通。同样,该结构的裂缝基本集中在水泥混凝土板块的接缝处。图 6 反映了方案 II 的足尺疲劳裂缝扩展状况。

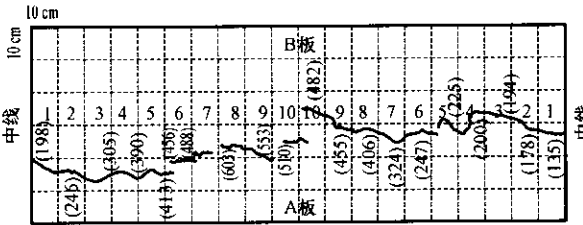


图 6 设置玻璃纤维土工格栅裂缝+沥青混凝土裂缝扩展图

对于采用应力吸收层+沥青混凝土的路面结构方案 IV 而言,当加载到 198 次时才首次在应力吸收层出现细微裂缝,并在沥青混凝土底部也开始出现细微裂缝;当加载 256 次时裂缝上升到沥青混凝土顶部,并在加载 794 次时裂缝贯通全试验断面。图 7 为方案 IV 的裂缝扩展示意图。与在水泥混凝土面板上直接加铺沥青混凝土的结构相比,该结构裂纹发展缓慢,裂缝分散并且不规则。从图 5、图 7 可以发现,图 5 中的裂缝主要集中在水泥混凝土板块的接缝处,图 7 中的裂缝没有集中的主裂缝,而是分布在距离水泥混凝土板缝较远的一个范围内^[6]。

从以上分析可以看出,应力吸收层+沥青混凝土的路面结构形式方案 IV 具有较好的抗裂能力,尽管在试验中考虑了结构层厚度对试验结果的影响而将该结构中的沥青混凝土设置为 5.0 cm,使得与其他两种结构层的总厚度相同,但试验结果表明,不管是从最初出现细微裂缝的疲劳作用次数(198 次)还

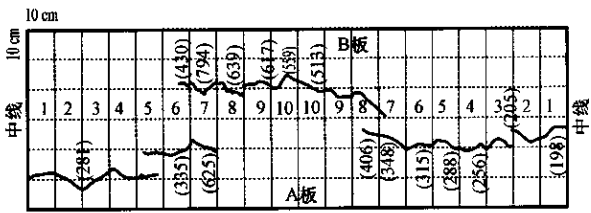


图7 应力吸收层+沥青混凝土的路面结构裂缝扩展图

是裂缝贯通整个试验段面的疲劳作用次数(794次),方案Ⅳ结构形式的抗裂能力都远高于其他两种结构形式。同时通过分析比较可以发现,3种结构贯通裂缝的位置明显不同,方案Ⅳ使接缝处的水平位移在比较宽的范围内分散,而方案Ⅰ则主要集中在接缝处,这说明应力吸收层能有效地降低加铺层下表面接近接缝处的应力集中现象,可大大提高沥青加铺层结构的抗温度型疲劳破坏能力^[7]。

3.2 荷载型疲劳足尺试验

试验时,在水泥混凝土板接缝中心一侧的沥青加铺层上放置直径为30 cm的刚性承载板,调整好反力架和疲劳试验机的位置,并将疲劳试验机的频率设定为60次/min。设置荷载最大值为50 kN,最小值为11 kN,疲劳加载直到裂缝贯穿沥青加铺层为止。各试验方案最终的疲劳试验作用次数见表4。

表4 荷载型试验疲劳开裂作用次数

试验方案编号		I	II	III	IV
荷载作用 次数/万次	初裂次数	10.86	12.11	11.36	12.74
	终裂次数	12.43	14.56	13.25	15.63

对于方案Ⅰ,当加载到10.86万次时,承载板附近接缝处开始出现初始裂缝,在荷载附近的一定范围内,初始裂缝沿接缝向两侧扩展,在这一阶段,裂缝从下向上的反射规律并不明显。在距荷载较远的板缝附近裂缝发展缓慢,但在荷载作用了一段时间后,裂缝迅速扩展,加载到12.43万次时裂缝到达板的边缘处,整个加铺层裂缝贯通,此时加铺层裂缝多而密,有网裂现象,裂缝宽度较大,最大为3.4 mm。

方案Ⅱ的裂缝发展规律与方案Ⅰ从结构方面来看基本相似,当加载到12.11万次时在承载板附近开始出现首条裂缝,而加载到14.56万次时整个加铺层裂缝贯通。从现场试验结果来看,与方案Ⅰ相比,裂缝分布较疏,裂缝宽度也较小,最大为1.6 mm,一般多为1 mm以下,说明玻璃纤维格栅起到了吸收、减小、扩散荷载应力的作用。

当方案Ⅲ加载到11.36万次时,在承载板附近出现了第一条裂缝,随后裂缝向两侧扩展,加载到

13.25万次时整个加铺层裂缝贯通,裂缝分布规律与方案Ⅱ类似,裂缝分布较方案Ⅰ稀疏,且宽度较小,最大裂缝宽度为1.8 mm。从初裂次数及终裂次数来看,土工布对防止剪切型反射裂缝的效果并不明显,而方案Ⅲ在防止剪切型反射裂缝的能力方面仅比方案Ⅰ略强一些。

在荷载作用下,方案Ⅳ的裂缝发展规律与方案Ⅱ基本相似。加载到12.74万次时在承载板附近开始出现首条裂缝;加载到15.63万次时整个加铺层裂缝贯通,裂缝分布较疏且细,裂缝宽度也较小,最大为1.2 mm,一般多为1 mm以下,说明应力吸收层起到了吸收、减缓应力的作用。

从初裂及终裂受荷次数来看,方案Ⅰ在4种加铺层结构中抗剪切型反射裂缝的能力最差,而方案Ⅳ在4种加铺层中其抗反射裂缝的效果最佳。

4 结 语

(1)应力吸收层具有良好的消解水泥混凝土板块接缝处的应力集中现象,可有效地防止水泥混凝土面板由于温缩及荷载引起的加铺层反射裂缝。其良好的弹性和抗疲劳性能可使水平位移在较宽的范围内分散,降低加铺层内裂缝尖端的应力强度因子幅值,使裂缝不会很快失稳扩展,延缓裂缝反射的速度。

(2)设置玻璃纤维格栅防裂层后,由于格栅的各向同性,反射裂缝可在一定宽度范围内分散,在一定程度上降低了接缝处的应力集中现象,使疲劳荷载作用次数比水泥混凝土面板上直接加铺沥青混合料有所提高。但设置玻璃纤维格栅及土工布并不能很好的解决路面的反射裂缝。

参考文献:

References:

[1] Pineau. Dynamic crack propagation and crack arrest investigated with a new specimen geometry: Part I: Experimental and numerical calculations[J]. Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures, 1996,19(11): 1 357-1 367.

[2] 顾强康,冷培义. 水泥混凝土道面上沥青加铺层反射裂缝试验研究[J]. 中国公路学报,1999,12(1):21-27.

GU Qiang-kang, LENG Pei-yi. Experimental research on reflection cracking of bituminous overlay on old concrete pavement[J]. China Journal of Highway and Transport, 1999, 12(1): 21-27.

参考文献:

References:

[1] 岳鹏飞. 桥涵台后沉降病害防治技术研究[D]. 西安: 长安大学, 2003.
YUE Peng-fei. Research on prevention techniques for the settlement of bridge back[D]. Xi'an: Chang'an University, 2003.

[2] 成辉平. 高等级公路非饱和路堤沉降研究[D]. 西安: 长安大学, 1997.
CHENG Hui-ping. Research on settlement of high-grade highway unsaturated embankment[D]. Xi'an: Chang'an University, 1997.

[3] 沈珠江. 计算土力学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1990.
SHEN Zhu-jiang. Computation of soil mechanics[M]. Shanghai: Shanghai Sci-Tech Press, 1990.

[4] 张兴强, 闫澎旺, 赵成刚. 台背填土受交通荷载反复作用和桥台影响分析[J]. 公路, 2002, (5): 31-35.
ZHANG Xing-qiang, YAN Peng-wang, ZHAO Cheng-gang. Analysis of soil deformation due to bridge abutment under automobile loading[J]. Highway,

2002(5): 31-35.

[5] 曾卫兵, 张毅, 何挺继. 公路桥背回填压实试验[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2004, 24(1): 65-68.
ZENG Wei-bing, ZHANG Yi, HE Ting-ji. Test of backfill compacting on highway bridge back[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(1): 65-68.

[6] 高燕希, 张军, 张起森. 软弱地基桥台台背填筑 EPS 的结构分析[J]. 中国公路学报, 2003, 16(3): 27-30.
GAO Yan-xi, ZHANG Jun, ZHANG Qi-sen. Structure analysis of filling at bridge abutment back on soft foundation by using EPS[J]. China Journal of Highway and Transport, 2003, 16(3): 27-30.

[7] 刘萌成, 黄晓明, 陶向华. 桥台后高填方路堤工后沉降影响因素分析[J]. 交通运输工程学报, 2005, 5(3): 36-40.
LIU Meng-cheng, HUANG Xiao-ming, TAO Xiang-hua. Influence factors on post-construction settlement of high backfills adjacent to abutment[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2005, 5(3): 36-40.

~~~~~  
(上接 12 页)

[3] 苏新国, 倪富健, 赖用满. 旧水泥砼路面沥青加铺层反射裂缝试验研究[J]. 重庆交通学院学报, 2005, 24(2): 46-49.  
SU Xin-guo, NI Fu-jian, LAI Yong-man. Experimental research on reflection cracking of asphalt overlay on old concrete pavement[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2005, 24(2): 46-49.

[4] 武贤慧, 张登良, 李德超. 沥青路面反射裂缝足尺试验[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2003, 23(6): 4-6.  
WU Xian-hui, ZHANG Deng-liang, LI De-chao. Full-scale test of asphalt pavement reflection cracking[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2003, 23(6): 4-6.

[5] 史保华, 蔡良才, 王声, 等. APP 改性油毡作为沥青道面防裂层铺贴宽度与防裂效果试验研究. 中国公路学报, 2003, 16(2): 5-9.  
SHI Bao-hua, CAI Liang-cai, WANG Sheng, et al. Experimental research on the relationship between lay

width and splitproof effect about APP modified felt as asphalt pavement splitproof layer[J]. China Journal of Highway and Transport, 2003, 16(2): 5-9.

[6] 陈拴发, 郑木莲, 杨斌, 等. 破裂水泥混凝土路面板沥青加铺层温度应力影响因素[J]. 交通运输工程学报, 2005, 5(3): 25-30.  
CHEN Shuan-fa, ZHENG Mu-lian, YANG Bin, et al. Thermal stress influence factors of asphalt overlay on cement concrete pavement cracking slab[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2005, 5(3): 25-30.

[7] Aysar NAJD, 郑传超, 郭进英. 纤维加筋沥青混凝土断裂性能试验[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2005, 25(3): 28-32.  
Aysar NAJD, ZHENG Chuan-chao, GUO Jin-ying. Experiments of fracture behavior of glass fiber reinforced asphalt concrete[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(3): 28-32.