

HDPE-橡胶粉复合改性沥青应力吸收层混合料疲劳性能

洪海, 程培峰

(东北林业大学 土木工程学院, 150040 哈尔滨)

摘要: 针对反射裂缝在半刚性基层沥青路面中普遍存在问题, 为延缓半刚性基层沥青路面反射裂缝的产生和扩展, 本文开展了 HDPE-橡胶粉复合改性沥青混合料疲劳性能的研究. 在分析了 HDPE-橡胶粉复合改性沥青性能对应力吸收层疲劳寿命的影响规律的基础上, 通过实体工程的监测开展了 HDPE-橡胶粉复合改性沥青混合料路用性能的研究. 结果表明: HDPE-橡胶粉复合改性沥青的性质对沥青混合料疲劳特性具有显著的影响, 性能良好的沥青使得混合料具有良好的抗疲劳能力, 能有效延缓沥青路面反射裂缝的发生. 经过试验路的应用, 也证明了 HDPE-橡胶粉复合改性沥青混合料作为应力吸收层是沥青路面防止反射裂缝的有效途径之一.

关键词: HDPE; 橡胶粉; 改性沥青; 应力吸收层; 疲劳性能

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2014)12-0125-04

Fatigue performance of stress absorbing layer asphalt combining HDPE and rubber powder

HONG Hai, CHENG Peifeng

(School of Civil Engineering, Northeast Forestry University, 150040 Harbin, China)

Abstract: To reduce the generation and development of reflection cracks of the semi-rigid base asphalt pavement, of which the fatigue performance using the HDPE-rubber powder to modify asphalt composite as a stress absorbing layer was studied. The fatigue test was carried out and the data after choosing proper test method and determining the mixture proportion and final experiment scheme was analyzed. Experimental results showed that asphalt modified by HDPE-rubber powder had excellent anti-fatigue ability and could effectively delay the generation of reflection cracks in asphalt pavement. This was verified by the observation results of indoor asphalt pavement test.

Keywords: HDPE; rubber powder; modified asphalt; stress absorbing layer; fatigue performance

目前, 反射裂缝是半刚性基层沥青路面普遍存在的主要病害之一^[1]. 反射裂缝的出现, 不仅破坏了沥青路面的整体性和连续性, 还削弱了沥青路面的强度和刚度, 而且在行车荷载反复作用和环境温度周期性变化的影响下, 常常迅速向四周扩展, 大大缩短了沥青面层的使用寿命. 因此, 反射裂缝的防治一直是公路行业的热点问题之一, 在诸多防治反射裂缝的措施中, 设置改性沥青混合料应力吸收层是一种有效的措施——美国科

氏公司研发一种 STRATA 的应力吸收系统, 由于它具有弹性高、耐疲劳、抗塑性变形能力强、密实、不透水等特点, 能有效延缓反射裂缝的发生, 从而提高沥青路面的抗水害能力, 延长了沥青路面的使用寿命; 然而, 由于 STRATA 沥青结合料的价格较高, 从而限制了这种措施推广. “八五”国家攻关项目开展了橡胶沥青 SAMI 应力吸收层的探讨, 研究表明, 低温下 SAMI 将变脆, 抵抗拉应变能力下降, 防止反射裂缝的效果有限.

应力吸收层的作用不仅是用来防治反射裂缝, 还需要抗水损坏和粘结作用的特点, HDPE-橡胶粉复合改性沥青除具有以上优点外, 同时制备它的原料—HDPE 和橡胶粉均属于废旧的高分

收稿日期: 2014-05-26.

基金项目: 黑龙江省交通运输厅科技项目 (HJK2012-041).

作者简介: 洪海 (1972—), 男, 博士;

程培峰 (1963—), 男, 教授, 博士生导师.

通信作者: 程培峰, chengpeifeng@126.com.

子材料,具有良好的弹性与抗疲劳能力,获得途径广泛. 因此若可以将 HDPE-橡胶粉复合改性沥青混合料作为应力吸收层材料^[2],不仅可以有效的防治反射裂缝的产生和发展. 而且起到变废为宝的作用.

1 确定疲劳试验方法

沥青混合料疲劳试验方法大致可以分为 4 类:第一类是实际路面在真实汽车荷载作用下的疲劳试验破坏. 第二类是足尺路面结构在模拟汽车荷载作用下的疲劳试验研究,包括环道试验和加速加载试验. 第三类是试板试验法,主要是通过轮辙试验以模拟车轮在路面上的作用,了解裂缝产生和扩展形式. 第四类是实验室小型的疲劳试验研究. 前三类耗资大、周期长、开展得并不普遍. 因此,大量采用的还是周期短、费用小的室内小型疲劳试验方法. 室内小型疲劳试验常采用简单弯曲试验,其中又有中点加载或三分点加载、旋转悬臂梁和梯形悬臂梁 3 种试验方式. 此外还有劈裂试验、弹性基础梁弯曲试验、二轴压力试验等.

本文试验采用实验室小型疲劳试验研究,先将沥青混合料制作一定形状的试件,然后按某种方式模拟沥青路面的受力状态进行疲劳试验. 此试验方法的特点在于沥青混合料制备比较方便,试件尺寸小,试验周期短,温度、荷载等因素易于控制,便于进行大量试验,可排除其他影响因素得出沥青混合料的疲劳规律^[3]. 本次试验考虑到我国标准车辙板为 300 mm×300 mm,高 50 mm,同时缺少大型车辙板碾压成型装置,所以采用三分点加载弯曲试验试件和成型方法. 小梁尺寸为 50 mm×50 mm×240 mm,根据小梁尺寸设计工具尺寸,两端支点中心间距(小梁的跨径)为 210 mm 分点处加载,中间纯弯段长 70 mm,具体尺寸见图 1 所示.

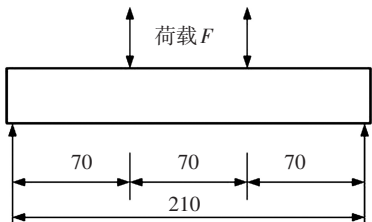


图 1 试件尺寸(mm)

试验在 MTS(material test system)-810 试验机上进行. 试验采用 MTS 材料试验机控制加载,力传感器精确到 1 N,位移控制精确到 0.001 mm,温度采用环境箱进行控制,精确到 0.1 ℃,夹具的 2 个加载点和反力点都可以夹紧

小梁,并且可以自由平移和旋转. 在每个荷载作用周期结束时,夹具将试件拉回初始位置,满足小梁试验的基本精度要求. 夹具主要分为底座、外框、侧板 3 个部分,由特制螺栓连接,接头处设计成球座,能够保证外框自由转动,同时在外框与底座之间能够很好的传递荷载.

应变控制荷载模式能够更好的反映沥青混合料在路面中受行车荷载作用的疲劳特性^[4],更接近于路面结构中沥青混合料的应力应变状态,疲劳试验结果更便于应用. 因此,本次试验使用应变控制荷载模式进行了疲劳试验,选择小梁加载 100 次时的劲度模量作为初始劲度,以混合料的劲度下降到初始劲度的一半时作为破坏标准.

沥青混合料是一种粘弹性材料,疲劳性能随温度变化,在夏季高温时,疲劳损耗会有很大的恢复. 所以不考虑 20 ℃ 以上的疲劳破坏. 根据哈尔滨工业大学研究成果^[5],认为全国各地气温变化较大,对于沥青混合料,其疲劳破坏主要集中在 13~15 ℃,恰好是北方春融期温度,在此季节路面结构强度有较明显削弱,是路面结构抗疲劳性能的最不利时期. 我国“公路沥青路面的设计规范”中容许拉应力指标采用的是 15 ℃ 的参考值,本次小梁弯曲疲劳试验采用 15 ℃ 作为试验温度.

我国现行的《公路工程技术标准》规定高等级公路计算行车速度范围为 60~120 km/h,可见选择 10 Hz 作为荷载频率较为合理,本次试验选用 10 Hz 的加载频率.

在进行疲劳试验时采用较多的应力或应变波谱是单向作用的矩形波、三角形波和交变的正弦波,材料疲劳寿命与加载波形之间有一定的关系见图 2. 本次试验选用的波形为偏正弦波,不设间歇时间.

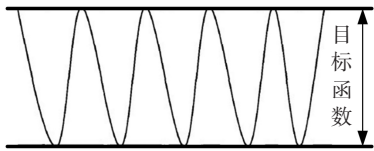


图 2 疲劳寿命与加载波形关系

2 混合料和实验方案的选择

为选出最佳 HDPE-橡胶粉改性沥青应力吸收层混合料,在 4%、5% 和 6% 的 HDPE 改性沥青中分别掺入 5%、10% 和 15% 的 40 目橡胶粉进行复合掺配^[6],采用湿法进行制备,制成 HDPE-橡胶粉复合改性沥青. 用于应力吸收层的改性沥青材料一般要求软化点指标 $\geq 75\text{ }^{\circ}\text{C}$, 5 ℃ 延度 $\geq$

20 cm, 25 ℃ 弹性恢复指标 $\geq 65\%$, 135 ℃ 旋转粘度指标 $\leq 3.5 \text{ Pa} \cdot \text{s}$. 将上述试验指标与应力吸收层技术要求对比可知, 采用掺量配比 I (4% 的 HDPE+15% 的橡胶粉)、掺量配比 II (5% 的 HDPE+10% 的橡胶粉) 和掺量配比 III (6% 的 HDPE+5% 的橡胶粉) 制备的 HDPE-橡胶粉复合改性沥青符合应力吸收层沥青材料的技术要求. 3 种掺量配复合改性沥青指标试验结果见表 1. AC-5 矿料合成级配见表 2.

本文试验方案见表 4 采用控制应变的三分点加载小梁弯曲疲劳试验, 试验中需要针对不同的材料选择合适的应变水平. 应变水平大小直接反映试件发生弯曲变形的程度. 而对于实际应力层

表 2 AC-5 矿料合成级配表

矿料	比例/%	筛孔尺寸/mm							
		9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
3~5	25	25.00	17.83	0	0	0	0	0	0
0~3	64	64.00	64.00	53.76	39.42	25.54	13.38	7.23	4.03
矿粉	11	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	10.63	9.65
合成级配/%		100	92.83	64.76	50.42	36.54	24.38	17.86	13.68
目标级配范围/%		100	80~100	60~85	40~70	25~55	15~35	8~20	6~14

表 3 HDPE-橡胶粉复合改性沥青混合料体积参数

方案	相对密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	空隙率/%	矿料间隙率/%	沥青饱和度/%
掺量配比 I	2.426	2.4	18.9	92.3
掺量配比 II	2.405	1.9	19.6	92.6
掺量配比 III	2.421	1.4	20.1	92.7
技术要求	—	0.8~2.5	>18.0	>90

实验室内疲劳试验应变水平在一定程度上代表实际应力层所承受的车辆荷载作用大小程度. 在沥青混合料疲劳试验过程中, 应变水平的大小应控制在一个合理的范围内. 应变水平过大则会导致疲劳寿命过短, 与实际应力层的疲劳破坏行为不相符; 而应变水平过小, 则会使得试验周期过长甚至出现无法达到疲劳破坏点的现象. 本次研究中, 所有试验的应变水平调节均将试件疲劳寿命控制在 $1 \times 10^3 \sim 1 \times 10^5$ 次, 这样既保证了准确性又缩短了试验时间.

表 4 3 种混合料的试验方案

方案	级配类型	试验温度/ ℃	加载波形	试验频率/ Hz	平行试验 次数
I	AC-5	15	偏正旋波	10	3
II	AC-5	15	偏正旋波	10	3
III	AC-5	15	偏正旋波	10	3

3 试验数据分析

掺量配比不同的 3 种沥青混合料在应变控制下的三分点弯曲疲劳试验结果见表 5. 不同沥青用量下疲劳寿命试验结果见表 6, 不同橡胶粉掺

而言, 混合料的变形程度反映了车轮荷载作用力大小, 混合料受车载作用的变形程度的大小直接影响到实际应力层的疲劳寿命.

表 1 HDPE-橡胶粉复合改性沥青试验结果

方案	软化点/℃	延度/cm	旋转粘度/($\text{Pa} \cdot \text{s}$)	弹性恢复/%
掺量配比 I	79.1	36.5	2.885	77
掺量配比 II	77.4	30.2	2.954	80
掺量配比 III	77.6	20.2	3.268	72
技术要求	≥ 75	≥ 20	≤ 3.5	≥ 70

一般要求应用于应力吸收层的改性沥青混合料空隙率在 0.8%~2.5%, 矿料间隙率 >18%, 沥青饱和度在 90% 以上, 由表 3 中体积参数可看出 3 种 HDPE-橡胶粉复合改性沥青混合料的空隙率、矿料间隙率均符合应力吸收层沥青混合料技术要求.

量下疲劳寿命试验结果见表 7.

表 5 混合料疲劳试验结果

混合料类型	应变/ 10^{-6}	疲劳寿命/ 次	有效试件数/ 个
I	750	163 000	4
	1 000	61 900	4
	1 250	20 600	4
II	750	950 000	4
	1 000	210 000	4
	1 250	53 900	4
III	750	173 000	4
	1 000	51 000	4
	1 250	23 100	4

将 3 种沥青混合料的疲劳数据放在一起比较, 如表 5 所示, 沥青性质对沥青混合料疲劳寿命存在显著的影响——随着 HDPE 增加与橡胶粉掺量的减少, 沥青混合料疲劳寿命呈现先增大后减小的变化趋势, 说明 HDPE 与橡胶粉间的比例是沥青混合料疲劳性能的主要影响因素, 存在最佳掺配比例.

掺量配比 I 的改性沥青混合料与掺量配比 III 的改性沥青混合料之间数据差别较小. 试验结果表明, 掺量配比 II 的改性沥青混合料数据要远大于另外两种改性沥青混合料.

试验结果表明: 在同一级配、同一 HDPE-橡胶粉改性沥青、同一应变水平下, 沥青混合料的最大疲劳寿命存在着一个最佳的沥青用量, 沥青用量太少或太多都会降低混合料的疲劳性能.

表 6 不同沥青用量下疲劳寿命试验结果

级配类型	油石比	应变/ 10 ⁻⁶	疲劳寿命 平均值/次	有效试件 数/个
AC—5	7.3	1 250	28 344	3
AC—5	8.1	1 250	46 588	3
AC—5	8.4	1 250	71 246	3
AC—5	8.7	1 250	124 010	3
AC—5	9.3	1 250	95 447	3

表 7 不同橡胶粉掺量下疲劳寿命试验结果

级配类型	橡胶粉 掺量/%	应变/ 10 ⁻⁶	疲劳寿命 平均值/次	有效试件 数/个
AC—5	5	1 250	24 797	3
AC—5	10	1 250	46 909	3
AC—5	15	1 250	29 840	3

试验结果表明:橡胶粉掺量从 5%增加到 10%时疲劳寿命有大幅增加,当从 10%增加到 15%时疲劳寿命反而下降,可见橡胶粉掺量不是越多越好,对于疲劳性能来说需要控制合适的范围中。

4 试验路验证

试验路选在黑龙江省佳木斯市宏胜至富锦公路,收缩裂缝是该地区半刚性基层沥青路面主要病害之一. 该段公路为省道,公路等级为一般二级公路,全长 89 km,路基宽为 12 m,路面宽为9 m。

在水泥稳定砂砾基层上加铺 2 cm 厚 AC—5HDPE-胶粉改性沥青混合料应力吸收层+5 cm 厚 AC-25 粗粒式沥青混凝土底面层+4 cm 厚 AC-20 中粒式沥青混凝土中面层+4 cm 厚 AC-13 细粒式沥青混凝土上面层. 试验路起点桩号为 K88+700,终点桩号为 K89+000,试验路段长度为 300 m,试验路段 HDPE-胶粉改性沥青应力吸收层总铺筑面积 2 700 m²。

2013 年 8 月初施工结束时间后对试验路进行观测,铺筑 HDPE-橡胶粉复合改性沥青混合料应力吸收层的路段路况良好,路表没有任何变形、裂缝,没有加铺沥青应力吸收层的路段则出现一些且有一定宽度裂缝,说明应力吸收层在道路建成初期具有很好防止反射裂缝发生的功效见图 3。



图 3 现场试验路

经过一个冻融,2014 年 4 月初再次对试验路进行了路况调查. 为反映 HDPE-橡胶粉复合改性沥青混合料应力吸收层防治反射裂缝的效果,调查包括了试验路段、试验路相邻路段及远离试验路段,

调查结果显示,铺筑 HDPE-橡胶粉改性沥青混合料应力吸收层的路段在经过近一年运营之后没有出现裂缝,其他两个对比路段出现了一些裂缝. 由此可见,沥青应力吸收层预防反射裂缝的效果非常显著. 此外,试验路段无泛油等其他病害,见图 4。

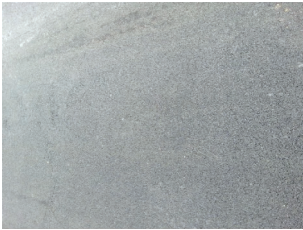


图 4 现场试验路

5 结 论

1)HDPE 与橡胶粉间的比例是沥青混合料疲劳性能的主要影响因素,存在最佳掺配比例. 在应变控制下的三分点弯曲疲劳试验中掺量Ⅱ的 HDPE-橡胶粉复合改性沥青混合料应力吸收层的抗疲劳性能好于掺量配比Ⅰ、Ⅲ的 HDPE-橡胶粉复合改性沥青混合料应力吸收层。

2)HDPE-橡胶粉复合改性沥青混合料应力吸收层具有良好的抗疲劳性能,混合料级配是悬浮密实结构也是其抗疲劳性能优良的条件之一。

3)不同的沥青用量和橡胶粉掺量对 HDPE-橡胶粉复合改性沥青混合料应力吸收层疲劳性能有很大影响。

4)经过试验路的应用,证明了 HDPE-橡胶粉复合改性沥青混合料作为应力吸收层是沥青路面防止反射裂缝的有效途径之一。

参考文献

[1] 谭忆秋,昆磊,王佳妮,等.沥青性质对应力吸收层沥青混合料性能影响的研究[J].公路交通科技,2006,26(2): 13-17.

[2] 王玮,高建华,季节,等.改性沥青混合料应力吸收层的材料组成与性能评价[J].公路,2005(12): 125-127.

[3] 周燕.应力吸收层结合料性能及其关键评价指标研究[D].西安:长安大学,2010: 13-19.

[4] 李祖仲.应力吸收层沥青混合料路用性能研究[D].西安:长安大学,2005.

[5] 石昆磊.高粘性沥青应力吸收层防治沥青路面反射裂缝的研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006.

[6] 程培峰,史书铨,洪海. HDPE-橡胶粉复合改性沥青及其应力吸收层混合料性能[J].公路交通科技,2014(2): 32-36.

[7] 王朝辉,王选仓.基于沥青加铺层结构疲劳寿命的夹层位置确定[J].中国公路学报,2008(21): 29-34.

(编辑 苗秀芝)