

模拟沥青加铺层反射裂缝扩展的 MTS 疲劳试验

杨 斌¹, 陈拴发², 王秉纲², 李祖仲²

(1. 广西大学土木建筑工程学院 南宁市 530004; 2. 长安大学特殊地区公路工程教育部重点实验室 西安市 710064)

摘要: 目前国内国外道路工程界对于防止旧水泥混凝土路面沥青加铺层反射裂缝结构和材料的研究仍处于探索与试验阶段。本文采用MTS模拟水泥混凝土板沥青加铺层弯拉型和剪切型反射裂缝扩展过程, 评价不同断裂材料的阻裂效果, 为优选沥青加铺层结构提供依据。

关键词: 水泥混凝土路面; 沥青加铺层; 反射裂缝; MTS 疲劳试验

目前, 国内外许多学者进行了不少沥青路面裂缝方面的室内试验, 如直接拉伸疲劳试验、劈裂试验、弯曲拉伸疲劳试验等, 但多为针对沥青材料或沥青混合料本身的试验, 不能全面真实地反映沥青加铺层反射裂缝产生的机理。而大尺寸板反射裂缝疲劳试验台架虽然可较好地模拟沥青加铺层反射裂缝的产生、发展过程, 但大型疲劳试验耗材料多、费用高、试验周期长, 对同一种结构不可能做多组平行试验, 这就有可能造成试验结论的偏差。因此, 本文采用万能材料试验机(MTS)进行水泥混凝土板沥青加铺层弯拉型和剪切型反射裂缝扩展过程的模拟

试验, 比较不同沥青加铺层结构和材料抗反射裂缝的能力, 为优选最佳沥青加铺层结构提供依据。

1 试验模型的建立

为了模拟水泥混凝土路面沥青加铺层弯拉型和剪切型反射裂缝, 拟采用两种试验模型, 如图1所示。试件长度为51.5 cm, 宽度为10 cm, 水泥混凝土垫块厚度为5 cm, 两块混凝土垫块之间留0.5 cm宽的缝隙, 加载时下垫3 cm厚的橡胶或钢板垫层。加铺层采用5种结构类型, 如表1所示。

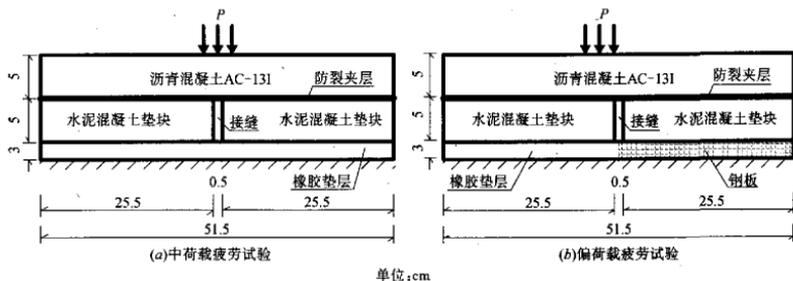


图1 加铺层反射裂缝MTS疲劳试验模型

2 试件的制备和材料的技术参数

浇筑混凝土强度等级为C30的试块, 上表面进行刷毛处理, 养生28 d, 在混凝土垫块上洒布沥青粘

层油, 土工格栅粘层油用量为 $0.4 \sim 0.6 \text{ kg/m}^2$, 土工布粘层油用量为 $0.3 \sim 0.4 \text{ kg/m}^2$ 。然后铺筑混凝土垫块上的土工合成材料及沥青层。

表1 加铺层反射裂缝MTS疲劳试验结构类型

| 序号 | 加铺层试验类型 | 厚度/cm |
|----|-------------------------------------|-------|
| A | 沥青混凝土AC-13 I | 5 |
| B | 玻纤格栅+沥青混凝土AC-13 I | 5 |
| C | 土工布+沥青混凝土AC-13 I | 5 |
| D | 纤维沥青混凝土AC-13 I | 5 |
| E | 2 cm STRATA 应力吸收层+3 cm 沥青混凝土AC-13 I | 5 |

土工布采用海川路威010/140系列用于路面防止反射裂缝的专用土工布,质量为200 g/m²,厚度为

表2 沥青混合料主要技术指标

| 种类 | 表观密度/(g/cm ³) | 空隙率/% | 矿料空隙率/% | 沥青饱和度/% | 稳定度/kN | 流值/0.1 mm |
|------|---------------------------|-------|---------|---------|--------|-----------|
| 不加纤维 | 2.411 | 4.34 | 15.6 | 72.3 | 9.8 | 3.1 |
| 加纤维 | 2.395 | 4.78 | 16.1 | 74.6 | 12.7 | 3.8 |

3 加载方式

在沥青加铺层顶部沿宽度方向加条形荷载,加载面积为0.1 m×0.05 m,试验温度为(15±1)°C。首先测定普通沥青混凝土加铺层结构(A型)在中荷载及偏荷载作用下的极限破坏荷载,然后按0.4的应力水平加载测定各加铺试件疲劳破坏次数,荷载比为0.1。加载的波形为半正弦波,加载频率为10 Hz,加载值见表3。

表3 普通沥青混凝土加铺层结构中荷载及偏荷载作用下最大及最小加载值 kN

| 荷载类型 | 极限破坏荷载 | 加载值 | |
|------|--------|------|-------|
| | | 最大 | 最小 |
| 中荷载 | 7.93 | 3.17 | 0.317 |
| 偏荷载 | 8.20 | 3.28 | 0.328 |

在中荷载及偏荷载的作用下,分别观测各种加铺结构反射裂缝的初裂、扩展到1 cm、2 cm、3 cm及终裂时的疲劳荷载作用次数。裂缝观测刻度如图2所示。

4 弯拉型MTS疲劳试验结果

弯拉型MTS疲劳试验结果见表4,弯拉型MTS疲劳试验荷载作用次数对比见图3。

通过弯拉型(中荷载)MTS疲劳试验结果可以看出以下几点。

(1)沥青混凝土AC-13 I (A型)。在中荷载的作用下,裂缝沿水泥混凝土接缝处由下至上逐渐扩展,裂缝无明显分叉现象,基本上沿垂直方向向上延

3 mm,抗拉强度为18.2 kN/m。土工格栅采用江苏九鼎集团的玻璃纤维格栅,厚度为3 mm,纵横向抗拉强度为80 kN/m,最大负荷延伸率为3%,网孔尺寸为12.7 mm×12.7 mm。

纤维沥青混凝土中的纤维采用海川 Dolanit AS 有机合成聚丙烯腈纤维。主要技术指标:直径13 μm,切断长度6 mm,织物数870 000根/g,抗拉强度>910 MPa,最大拉伸率8%~12%。按混合料总重的0.3%加纤维,每g 沥青分散7 000~8 000根纤维。

沥青为欢喜岭90号沥青,沥青混合料为AC-13 I,集料均为玄武岩。主要技术指标见表2。

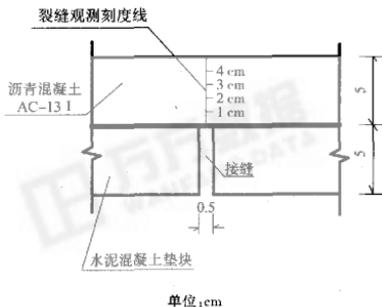


图2 沥青加铺层反射裂缝观测刻度

表4 弯拉型MTS疲劳试验结果

| 序号 | 加铺层试验类型 | 裂缝扩展到不同刻度时的疲劳次数/次 | | | | |
|----|---|-------------------|-------|--------|-------|-------|
| | | 初裂 | 1 cm | 2 cm | 3 cm | 终裂 |
| A | 5 cm 厚沥青混凝土 AC-13 I | 450 | 1 080 | 1 750 | 2 650 | 3 950 |
| B | 玻纤格栅+5 cm 厚沥青混凝土 AC-13 I | 780 | 1 800 | 4 140 | 8 240 | 9 350 |
| C | 土工布+5 cm 厚沥青混凝土 AC-13 I | 700 | 2 290 | 3 800 | 6 540 | 7 800 |
| D | 5 cm 厚纤维沥青混凝土 AC-13 I | 500 | 1 300 | 4 000 | 5 220 | 6 840 |
| E | 2 cm 厚 STRATA 应力吸收层+3 cm 厚沥青混凝土 AC-13 I | — | — | 750 | 1 200 | 9 600 |
| | STRATA | 1 080 | 2 520 | 15 860 | — | — |

伸,裂缝到2 cm 刻度时扩展迅速。初裂次数及终裂次数分别为450次、3 950次,在5种加铺层结构中承受中荷载疲劳作用次数的能力为最差。

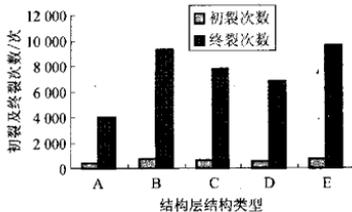


图3 弯拉型MTS疲劳试验荷载作用次数对比

(2)玻纤格栅+沥青混凝土AC-13 I (B型)。裂缝在整个扩展过程都较为缓慢,裂缝较细,终裂时接缝处玻纤格栅有被拉长的现象,但拉伸幅度较土工布小,玻纤格栅与水泥混凝土板粘结良好,未出现过大的滑移现象。初裂次数及终裂次数分别为780次及9 350次,在5种结构中防裂效果仅次于E型结构。

(3)土工布+沥青混凝土AC-13 I (C型)。裂缝扩展规律与A型基本相同,裂缝由下至上扩展到2 cm刻度时有“停滞”现象,裂缝扩展速度缓慢。终裂时,接缝处土工布拉伸较长,土工布与水泥混凝土板粘结良好,未出现过大的层间滑移现象。初裂次数及终裂次数分别为700次及7 800次,防裂效果处于第3位。

(4)纤维沥青混凝土AC-13 I (D型)。裂缝呈“摆动”状态由下至上延伸,裂缝扩展速度较A型缓慢,且裂缝宽度也稍小。初裂及终裂次数分别为500次及6 840次,防裂效果处于第4位,略差于土工布。

(5)STRATA 应力吸收层+沥青混凝土加铺层AC-13 I (E型)。疲劳荷载作用600次后,在2 cm刻度的STRATA层与AC-13 I层界面处出现初裂,并迅速往上延伸,作用次数1 200时裂缝扩展到3 cm处,以后裂缝扩展速度缓慢。作用次数为1 080次时STRATA 应力吸收层底部出现裂缝,2 500次时裂缝扩展到1 cm高度,以后延伸非常缓慢,9 600次时AC-13 I终裂,15 860次时STRATA 应力吸收层裂缝扩展到2 cm处。裂缝基本上从两侧开始扩展,STRATA 应力吸收层与AC-13 I层粘附较好。E型结构在5种结构中防裂效果最好。

5 剪切型MTS疲劳试验结果

剪切型MTS疲劳试验结果见表5,剪切型MTS疲劳试验荷载作用次数对比见图4。

表5 剪切型MTS疲劳试验结果

| 序号 | 加铺层试验类型 | 裂缝扩展到不同刻度时的疲劳次数/次 | | | | |
|----|------------------------------------|-------------------|-------|--------|--------|--------|
| | | 初裂 | 1 cm | 2 cm | 3 cm | 终裂 |
| A | 5 cm厚沥青混凝土AC-13 I | 1 200 | 3 650 | 7 400 | 11 820 | 13 950 |
| B | 玻纤格栅+5 cm厚沥青混凝土AC-13 I | 1 980 | 4 600 | 7 980 | 13 500 | 19 010 |
| C | 土工布+5 cm厚沥青混凝土AC-13 I | 1 650 | 4 450 | 8 100 | 13 290 | 15 360 |
| D | 5 cm厚纤维沥青混凝土AC-13 I | 2 240 | 5 890 | 9 210 | 14 200 | 17 500 |
| E | 2 cm厚STRATA应力吸收层+3 cm厚沥青混凝土AC-13 I | AC-13 I | — | 2 010 | 14 760 | 20 640 |
| | | STRATA | 3 800 | 11 500 | 3 500 | — |

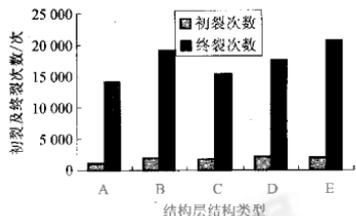


图4 剪切型MTS疲劳试验荷载作用次数对比

通过剪切(偏荷载)MTS疲劳试验结果可以看出以下几点。

(1)沥青混凝土AC-13 I (A型)。当偏荷载作用次数达到1 200次时,裂缝沿水泥混凝土接缝处由下至上逐渐扩展,裂缝基本上沿垂直方向向上延伸,但也有一些小裂缝向两侧斜向发展,裂缝扩展到3 cm刻度时发展迅速,荷载作用次数达到13 950次时,加铺层全部断裂。从初裂和终裂次数来看,A型加铺层承受偏荷载疲劳作用次数最少。

(2)玻纤格栅+沥青混凝土AC-13 I (B型)。裂缝发展规律与A型相似,当偏荷载作用次数为1 980次时加铺层底部开始出现微小裂缝,裂缝向荷载一侧斜向发展,扩展过程较为缓慢,当荷载作用次数达到19 010时,加铺层完全断裂,此时接缝处受荷载一侧玻纤格栅与混凝土板有1 cm长度的脱开现象。

(3)土工布+沥青混凝土AC-13 I (C型)。当偏荷载作用次数达到1 650次时开始出现初裂,随后均匀发展,裂缝扩展到3 cm刻度时发展迅速,当荷载作用次数达到15 360时,加铺层完全断裂。终裂时,接缝处土工布拉伸较长,土工布与水泥混凝土板有0.5 cm长分离现象。该结构初裂及终裂次数比未采用任何防

裂措施的A型结构次数稍多,但差别不大,说明土工布对防止偏荷载引起的反射裂缝效果不甚明显。

(4)纤维沥青混凝土AC-13 I (D型)。当偏荷载作用次数达到2 246次时产生首条裂缝,裂缝宽度较小,裂缝数量较多,当荷载作用次数达到17 500次时,加铺层裂缝贯穿。该结构初裂缝次数比A型、C型结构要多,终裂次数比B型、E型结构略低。

(5)STRATA 应力吸收层+沥青混凝土加铺层AC-13 I (E型)。疲劳荷载作用2 010次后,在2 cm处STRATA与AC-13 I界面处出现初裂,并缓慢往上延伸,作用14 760次时疲劳裂缝扩展到3 cm处,以后裂缝扩展缓慢。作用3 800次时STRATA应力吸收层底部出现裂缝,11 500次时裂缝扩展到1 cm高度,以后延伸非常缓慢,20 640次时AC-13 I终裂,23 500次时STRATA应力吸收层中裂缝扩展到2 cm处。裂缝分别从两处扩展,STRATA应力吸收层与AC-13 I粘附较好,E型结构在5种结构中防裂效果最好。

6 结语

通过加铺层反射裂缝MTS疲劳试验可以看出以下2点。

(1)在中荷载作用下,裂缝沿水泥混凝土接缝处沥青加铺层底部由下至上逐渐扩展,裂缝基本上沿垂直方向向上延伸,各加铺层抗弯拉型(中荷载)反射裂缝能力由高到低依次为:STRATA应力吸收层加铺层结构、玻纤格栅加铺层结构、土工布加铺层结

构、纤维沥青混凝土加铺层结构及普通沥青混凝土加铺层结构。

(2)在偏荷载作用下,主裂缝沿水泥混凝土接缝处由下至上逐渐扩展,也有一些小裂缝向两侧斜向发展,以各加铺层最终疲劳破坏作用次数作为评价标准,抗剪切型(偏荷载)反射裂缝能力由高到低依次为:STRATA应力吸收层加铺层结构、玻纤格栅加铺层结构、纤维沥青混凝土加铺层结构、土工布加铺层结构及普通沥青混凝土加铺层结构。

参考文献:

- [1] Sousa J B, Pais J C, Stubstad R N. Comparison of laboratory test performance between asphalt-rubber hot mix and dense graded asphalt concrete[R]. 4th International RILEM Conference on Reflective Cracking in Pavements Research in Practice, Ottawa, Ontario, Canada, 2000.
- [2] Hughes J J, Somers E. Geogrid Mesh for Reflective Crack Control in Bituminous Concrete Overlays[R]. Pennsylvania Dept of Transportation, Harrisburg, Bureau of Construction and Materials. Report: PA-2000-013-86-001. 2000.
- [3] 黄岩,郭忠印,黄彭,等.织物加筋沥青混凝土的疲劳性能[J].公路交通科技,1999,(12).
- [4] 叶国铮.防治沥青路面反射裂缝的试验方法[J].中南公路工程,1997,(12).
- [5] 胡长顺,曹东伟,等.土工织物在PCC-AC结构中应用的理论与实践[J].公路,2000,(9).

MTS Fatigue Experiments of Simulating Propagating Process of Reflective Cracking in Asphalt Concrete Overlays

YANG Bin¹, CHEN Shuang-fa², WANG Bing-gang², LI Zu-zhong²

(1. College of Civil and Architectural Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China;

2. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: Currently, the researches of road engineering on the structures and materials of anti-reflective cracking of asphalt concrete overlays on concrete pavement are still in an early stage of explorations and trials. The MTS is applied to simulate the propagating process of reflective cracking of bending and shearing styles in asphalt overlays, the anti-cracking effects of different kinds of anti-cracking materials are evaluated, the experiments offer a basis to choose the optimal overlay structures.

Key words: cement concrete pavement; asphalt concrete overlays; reflective cracking; MTS fatigue experiments