

# 复合式防水黏结应力吸收层性能试验研究

徐亚林<sup>1</sup>, 张辉<sup>2\*</sup>, 张志祥<sup>2</sup>

(1. 江苏润扬大桥发展有限责任公司, 江苏 南京 210016; 2. 江苏中路工程技术研究院有限公司)

**摘要:** 该文针对沥青路面抗反射裂缝问题, 基于土工布+碎石沥青封层的复合式应力吸收层研究了裂缝预防结构与材料。采用 DSC 差示扫描量热、TG 热重分析、热冲击等试验方法评价了聚丙烯土工布的材料性能, 同时采用德州罩面仪试验方法(Overlay Test)对比研究了橡胶沥青应力吸收层 SAMI-AR 和复合式应力吸收层等不同结构对反射裂缝的抗疲劳性能。结果显示: 聚丙烯土工布熔点约为 166 ℃, 玻璃化转变温度为 -20~-10 ℃, 热分解温度约为 400 ℃, 在 180 ℃ 热冲击条件下仍保持良好的强度和变形能力, 具有较高的热稳定性; 采用复合式应力吸收层相比不采取任何措施的方案可提高铺装结构低温抗反射裂缝能力 5 倍以上, 在变形幅值 2 mm、常温 20 ℃ 条件下的抗反射能力略好于橡胶沥青应力吸收层 SAMI-AR。

**关键词:** 沥青路面; 复合式应力吸收层; 德州罩面仪; 抗反射裂缝

自 20 世纪 30 年代以来国内外就对沥青加铺层反射裂缝问题进行过大量的理论、试验研究及工程实践。常用的防反射裂缝措施主要有橡胶沥青应力吸收层(SAMI)、加铺土工织物或格栅、在面层与基层之间增加级配碎石层 3 种方式。

孙雅珍等通过三点弯曲试验和扩展有限元方法对高黏沥青砂应力吸收层降低铺装底面应力集中的效果进行了研究; 王海朋等通过剪切和拉拔试验确定了 5~10 mm 碎石应力吸收层与沥青混合料的配伍性最好; 王航、孙洁等分别研究了纤维增强乳化沥青碎石封层和 TPS 改性沥青应力吸收层对半刚性基层开裂的延缓作用。随着沥青路面技术的发展, 单纯采用土工材料或者沥青碎石应力封层等单一的应力吸收层技术解决混凝土路面的反射裂缝问题, 具有明显的局限性, 且经济性较差。为提高沥青路面整体性能、延长使用寿命, 该文提出一种土工布+碎石沥青封层的复合式应力吸收层, 针对主要材料开展试验研究, 并对沥青路面组合结构进行疲劳性能试验, 与典型技术方案橡胶沥青应力吸收层 SAMI 进行对比, 以确定其使用性能。

## 1 材料及试验方法

### 1.1 试验材料

采用无纺聚丙烯土工布和橡胶沥青, 土工布厚度为 1.4 mm; 碎石采用 10~13 mm 粒径规格的玄武岩; 封层沥青采用 90# 基质沥青; 沥青混合料采用 AC-16 沥青混合料, 其中, 碎石采用玄武岩、填料采用石灰岩矿粉, 胶结料采用 70# 沥青, 油石比为 4.7%。

### 1.2 试验方法

土工布的基本力学性能试验参照 JTG E50-2006《公路工程土工合成材料试验规程》; 土工布的热行为机理采用 DSC 差示扫描量热、TG 热失重分析等方法进行研究。DSC 试验过程中, 试样温度从室温降低至 -60 ℃, 保持 5 min 后, 升高至 200 ℃, 最后降低至室温, 速率为 10 ℃/min。

为了研究复合式应力吸收层对沥青路面抗反射裂缝能力的影响, 参照美国德州罩面标准方法 TXDOT DESIGNATION: TEX-248-F《Test Procedure for the Overlay Test》, 研究沥青路面结构抗反射裂缝性能。混合料试件为长 150 mm、宽 75 mm、高 50 mm 的长方体, 见图 1。当应力下降到初始值的 7% 或是达

收稿日期: 2020-01-20(修改稿)

基金项目: 江苏省自然科学基金青年基金资助项目(编号: BK20180113); 江苏省自然科学基金资助项目(编号: BK20181112)

作者简介: 徐亚林, 男, 大学本科, 高级工程师, E-mail: zml@sinoroad.com

\* 通信作者: 张辉, 男, 硕士, 高级工程师, E-mail: zh@sinoroad.com

到设定的循环次数 1 000 时试验结束。

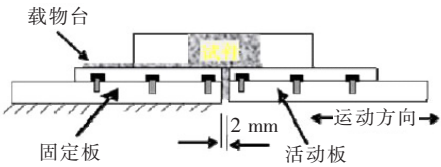


图 1 德州罩面试件结构图

对比复合式应力吸收层、橡胶沥青 SAMI 应力吸收层和空白试件的各项性能。试验温度分别为 5、13 和 20 ℃,加载频率均为 0.1 Hz,变形控制为 1、2 mm。复合式应力吸收层沥青路面结构为:复合式应力吸收层(普通沥青洒布量 1.5 kg/m<sup>2</sup>)+5 cm 厚 AC-16 沥青混凝土;橡胶沥青应力吸收层沥青路面结构为:2.5 cm 厚 AC-10 细粒式混合料+SAMi(橡胶沥青洒布量 1.5 kg/m<sup>2</sup>)+2.5 cm 厚 AC-16 沥青混凝土。空白试件路面结构不含应力吸收层。

2 结果和分析

2.1 基本力学性能试验

聚苯烯土工布基本力学性能试验结果如表 1 所示。

表 1 土工布基本力学性能试验结果

指标	单位	平均值
厚度	mm	1.39
CBR 顶破强力	N	1 818.8
刺破强力	N	467.8
纵向拉伸强度	kN/m	13.6
横向拉伸强度	kN/m	14.9

2.2 温度敏感性能试验

(1) 空气热冲击

将土工布试件放入烘箱进行热冲击烘烤,以探索沥青封层洒布和沥青混合料摊铺时带来的高温热冲击对材料性能的影响,结果如图 2、3 所示。由图 2、3 可知:热冲击后土工布性能没有产生大幅变化,其中顶破强力在 1 800~2 200 N 范围内波动,刺破强力在 430~470 N 范围内波动。

(2) 沥青热冲击

分别采用 70# 道路石油热沥青(145 ℃)、SBS 改性沥青(175 ℃)浸渍土工布,再进行力学性能试验,以模拟土工布材料在上层沥青碎石封层热冲击下的材料性能变化,结果如图 4、5 所示。由图 4、5 可知:土工布

经沥青热冲击后,形成类似于“油毛毡”的复合材料,顶破和刺破强力都出现明显增长,尤其是洒布改性沥青后,强度得到提高,且未发生明显的融化现象。

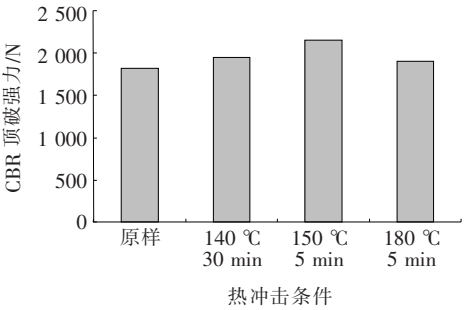


图 2 热冲击对顶破强力的影响规律

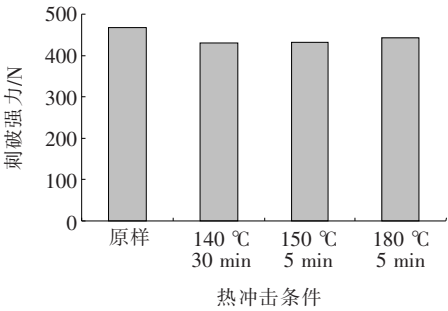


图 3 热冲击对刺破强力的影响规律

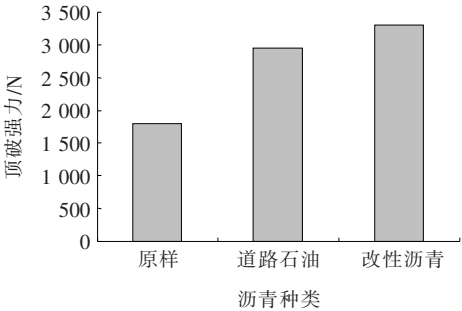


图 4 不同沥青浸渍后土工布顶破强力试验结果

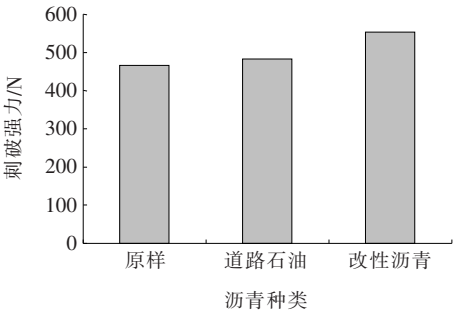


图 5 不同沥青浸渍后土工布刺破强力试验结果

2.3 热行为性能机理研究

(1) DSC 差示扫描量热

采用 DSC 差示扫描量热仪对聚丙烯土工布热行

为机理进行试验,获得的熔融温度可以反映防裂基布的耐热性能,而玻璃化转变温度可以反映脆化温度。试验结果如图 6 所示。由图 6 可知:当温度从-60℃上升至-20℃~-10℃区间时,有一段复杂的放热峰,是其玻璃化转变温度;当温度上升至 166℃时,该聚丙烯土工布出现了吸热峰,即熔融峰显示其熔点约为 166℃,说明该材料在普通沥青洒布工艺中不会产生熔融现象,而采用改性沥青可以起到熔融作用,使沥青和土工布形成整体。

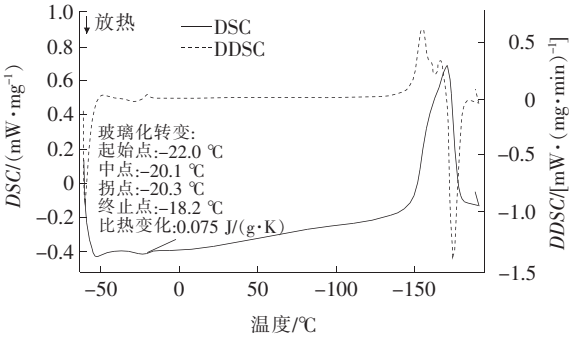


图 6 土工布 DSC 曲线

(2) TG 热失重分析

采用 TG 热失重方法进一步分析土工布热行为机理。如图 7 所示,当温度从 0℃升温至 400℃时,基布质量几乎处于一个稳定值;而升高至 400℃左右时,基布质量开始出现大幅减小,说明有成分受热气化挥发;至 500℃时,质量减小幅度减缓,基本处于一个稳定值,为残留物。进一步说明了在温度上升至 166℃时会造成材料熔融,但不会导致材料成分分解,降温后,土工布和沥青封层熔融一体形成复合式应力吸收层。

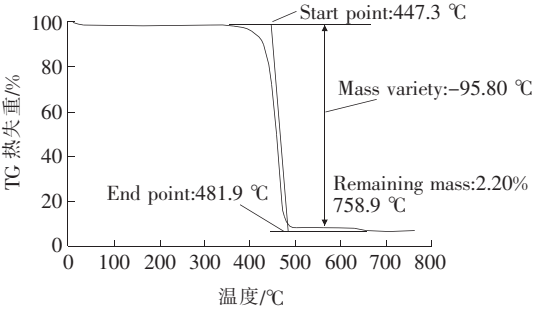


图 7 TG 热失重曲线

2.4 抗疲劳性能研究

(1) 与空白试件对比

分别采用 5、13℃试验温度对比了复合式应力吸收层和空白试件的抗疲劳性能(图 8、9)。由图 8 可知:在变形幅值 1 mm 条件下,试件初始加载为 10 kN

左右;随着循环次数的提高,空白试件应力下降陡增,达到约 70 次循环时铺装开裂;而复合式应力吸收层试件应力下降的速率明显较缓,循环次数达到约 1 000 次时,荷载达到初始值的 7%,其低温抗反射裂缝疲劳寿命是空白试件的 10 余倍。

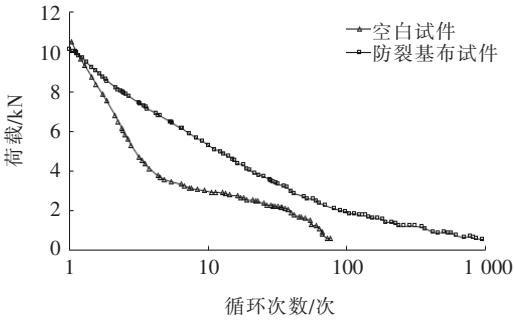


图 8 5℃、1 mm 变形时疲劳试验结果

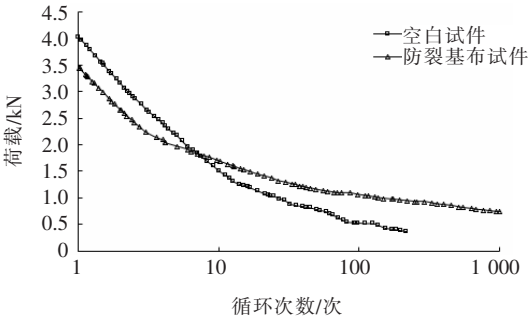


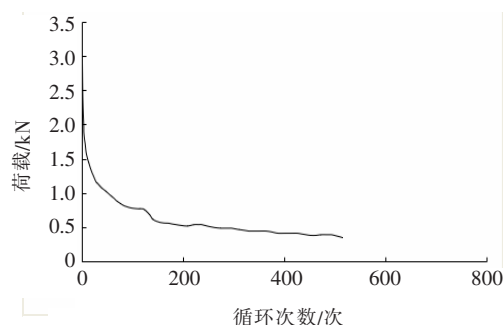
图 9 13℃、1 mm 变形时疲劳试验结果

由图 9 可知:在变形幅值 1 mm 条件下,试件初始加载分别为 3.5 和 4 kN(相对于图 8 来说小些,是温度升高模量下降的缘故)。当达到 220 次循环时,空白试件荷载降低到初始值的 7%,而复合式应力吸收层试件达到 1 000 次循环时仍未达到初始值的 7%。一方面说明随着温度的提高,沥青路面模量降低,抗疲劳反射裂缝能力均有不同程度的提高;另一方面说明应力吸收层试件在常低温状态仍有很好的增强效果。

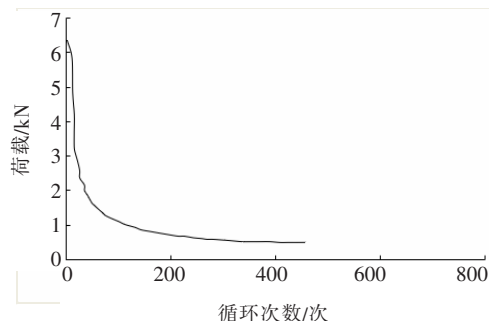
(2) 与 SAMI 应力吸收层试件对比

对复合式应力吸收层试件和 SAMI 应力吸收层试件专门进行了 20℃条件下的 Overlay Test 试验,考虑到随着温度的提高,沥青混合料变形能力增加,将施加的变形幅值提高到 2 mm。

复合式应力吸收层试件的初始荷载为 3 kN,橡胶沥青 SAMI 试件为 6 kN。初始荷载有区别主要是因为复合式应力吸收层试件是底部土工布固定在试验板上而承受水平拉伸作用,而橡胶沥青 SAMI 试件实际为 AC-10 调平层固定于底板并承受主要荷载,其模量较土工布大。试验结果如图 10 所示。



(a) 复合式应力吸收层



(b) 橡胶沥青 SAMI 应力吸收层

图 10 不同应力吸收层试件 Texas Overlay  
试验结果(20℃、2 mm 变形)

由图 10 可知:由于变形值的提高,随着循环荷载次数的增加,试件加载均呈现快速下降趋势,当达到 50 次循环时下降速率趋缓;当达到 510 次循环时,复合式应力吸收层试件的荷载下降至初始值的 7%,试件底部出现细小裂缝。而橡胶沥青 SAMI 试件达到 477 次循环时荷载下降至初始值的 7%。说明复合式应力吸收层方案的抗裂性能略好于典型橡胶沥青 SAMI 方案。

### 3 结论

针对沥青路面抗反射裂缝问题,提出了聚丙烯土工布+沥青碎石封层的复合式应力吸收层方案,并对关键材料的力学性能进行了试验,探讨了沥青封层和沥青混合料施工过程中热冲击对土工布材料性能的影响规律和机理,对比试验了不同典型组合结构方案的抗反射裂缝能力,得到如下主要结论:

(1) 采用的聚丙烯土工布顶破、刺破、拉伸强度相对较大,且具有较高的热稳定性,在 140~180℃、5~30 min 等不同温度和时间冲击下,仍然可以保持稳定的力学性能,说明采用的复合应力方案吸收层可以很

好地抵抗上层沥青碎石和沥青混合料施工期间热冲击的影响。

(2) 采用 DSC 差示量热扫描和 TG 热失重进行热行为机理试验,发现该聚丙烯材料玻璃化转变温度范围为-20~-10℃,熔点约为 166℃,热分解温度约为 400℃。说明当热沥青油接触防裂基布,温度超过 166℃时,会使材料熔融与上层形成整体,但不会导致材料成分分解,降温后材料物化性能会恢复。

(3) 采用德州罩面试验评价复合式应力吸收层对沥青路面抗反射裂缝的能力,显示在 5℃和 13℃、1 mm 变形量条件下,相比不采用任何措施的沥青铺装可提高 5 倍以上的抗疲劳性能;在常温 20℃、2 mm 变形量的条件下,复合式应力吸收层沥青路面结构抗疲劳能力达 510 次,略高于橡胶沥青应力吸收层 SAMI 的 477 次。

### 参考文献:

- [1] 郑健龙,周志刚,等. 沥青路面抗裂设计理论与方法[M]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [2] Chuangmin L I, Gao Z, Ding Y, et al. The Anti-Reflection Crack Test and Evaluation of Crack Alleviating Mixture (CAM)[C]. 国际测试技术研讨会,2009.
- [3] 周富杰,胡圣. 反射裂缝产生和发展的机理[J]. 中外公路,1997(2).
- [4] 杨党旗. 橡胶沥青薄膜及其在防止反射裂缝方面的应用研究[J]. 公路工程,1996(21).
- [5] 陈峙峰. 旧水泥混凝土路面沥青加铺层设计及其应用技术研究[D]. 大连理工大学硕士学位论文,2003.
- [6] 李淑明,许志鸿. 防止反射裂缝的沥青加铺层设计方法[J]. 华东公路,2001(4).
- [7] Shone S, Mace B, Waters T. Estimation of Reflection and Transmission Coefficients Using the Spectral Element Method: Application to Crack Modelling in Beams[J]. Noise Engineering Vibration Engineering, 2004, 26.
- [8] 孙雅珍,孙晓芳,房辰泽,等. 基于三点弯曲试验的高黏沥青砂应力吸收层的裂缝扩展过程研究[J]. 中外公路,2019(2).
- [9] 王海朋,张蓉,张晓华,等. 同步碎石集料粒径与沥青混合料配伍性研究[J]. 中外公路,2019(1).
- [10] 王航,徐安,骆钊,等. 纤维增强乳化沥青碎石封层抗裂性能研究[J]. 中外公路,2019(2).
- [11] 孙洁. 基于 TPS 改性沥青应力吸收层材料性能研究[J]. 中外公路,2017(3).
- [12] 原宝盛,安会善. 花岗岩沥青面层在旧水泥混凝土路面加铺改造中的应用研究[J]. 中外公路,2017(2).