

抗车辙剂对沥青混合料的性能影响及改性机理研究

周 玥^{1,2}, 曹亚东^{1,2}, 李 健^{1,2}, 乐海淳^{1,2}, 牛晓伟^{1,2}, 王 强^{1,2}

(1.上海公路桥梁(集团)有限公司,上海市 200433; 2.上海绿色路面材料工程技术研究中心,上海市 200433)

摘 要:为研究抗车辙剂对 SBS 改性沥青混合料性能的影响,通过车辙试验、浸水马歇尔试验、冻融劈裂试验、肯塔堡飞散试验和沥青三大指标试验对比了两种不同厂家的抗车辙剂。通过傅里叶红外光谱分析(FTIR)和差示扫描量热分析(DSC)对抗车辙剂的增强改性机理进行了进一步地分析。试验结果表明:虽然两种抗车辙剂均能提高沥青混合料的高温稳定性,但增强作用机理不同。通过 FTIR 分析发现,抗车辙剂 A 与 SBS 改性沥青以物理共混为主,抗车辙剂起到加筋填充作用;而抗车辙剂 B 与 SBS 改性沥青发生了化学反应,导致沥青质含量的增加。DSC 结果显示,抗车辙剂 B+SBS 复合改性沥青相比抗车辙剂 A+SBS 复合改性沥青、SBS 改性沥青热稳定性更差。

关键词:道路工程;抗车辙剂;沥青混合料;傅里叶红外光谱分析;差示扫描量热分析

中图分类号: U414

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2020)11-0153-04

0 引 言

随着我国公路建设规模不断扩大,公路交通流量以及交通荷载激增,导致沥青路面出现了各种早期损坏,其中主要病害之一是车辙问题,严重影响了路面行车的舒适性和安全性。虽然市场上抗车辙剂品种繁多,但是组成成分和作用机理各不相同。本文除了对两种不同厂家的抗车辙剂进行高温稳定性试验,还对沥青混合料的其他路用性能进行对比试验,并尝试通过材料热分析的方法揭示抗车辙剂的增强作用机理,为实际工程的应用提供科学的评价方法。

1 试验原材料和级配

本试验 SMA-13 采用的粗集料为玄武岩,细集料为石灰岩,沥青选用 SBS 改性沥青;矿粉是由石灰岩磨细而成,表面干燥洁净;纤维选用絮状的聚酯纤维;抗车辙剂 A、B 分别来自两个不同的厂家。本试验所采用的沥青、集料、填料均符合规范要求^[1]。本试验 SMA-13 混合料的矿料合成级配见表 1。

2 高温稳定性试验

评价沥青混合料的高温稳定性的典型试验为车辙试验。用轮碾法成型 300 mm × 300 mm × 50 mm 的车辙板,随后在 60 ℃ 温度和 0.7 MPa 荷

载下反复碾压,得出在一定时间内的动稳定度,具体结果见表 2。试验结果表明,加入两种抗车辙剂均能明显提高沥青混合料的高温抗车辙性能。其中,与常规的沥青混合料相比,加入 0.4% A、0.4% B 抗车辙剂的沥青混合料动稳定度分别较提高了 1.09 倍、0.44 倍。

3 水稳定性试验

常用评价沥青混合料耐久性的一个指标即为水稳定性。本试验采用 48 h 浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验来分析沥青混合料的水稳定性,具体结果见表 3、表 4。试验结果表明,两种抗车辙剂的加入均能提高沥青混合料浸水 48 h 前后的马歇尔稳定度和冻融前后的劈裂抗拉强度,浸水残留稳定度和冻融劈裂强度比均比常规沥青混合料有所下降,但符合规范要求。其中,与常规沥青混合料相比,加入 0.4% A 抗车辙剂的浸水残留稳定度下降了 16%,冻融劈裂强度比下降了 2%;而加入 0.4% B 抗车辙剂的浸水残留稳定度下降了 2%,冻融劈裂强度比下降了 5%。

4 肯塔堡飞散试验

飞散率是用来评价荷载作用下沥青混合料的抗磨耗性。本试验采用肯塔堡飞散试验来评价分析评价沥青混合料的黏结性,具体结果见表 5。试验结果表明,两种抗车辙剂的加入均能提高沥青与集料的黏结性。其中,与常规沥青混合料相比,加入 0.4% A 抗车辙剂的飞散损失率下降了 32%,加入 0.4% B 抗车辙剂的飞散损失率下降了 49%,远低于规范要求的 15%。

收稿日期: 2020-09-01

基金项目: 上海市经信委企业技术创新能力提升项目(沪 J-2018-29)

作者简介: 周玥(1985—),女,硕士,高级工程师,从事道路材料研发工作。

表 1 SMA-13 合成级配

筛孔尺寸/mm	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
合成级配	100	95.7	71.4	33.4	22.3	18.9	17.5	14.1	12.9	10.0

表 2 不同抗车辙剂对 SMA-13 混合料的车辙试验结果

沥青种类	SBS	SBS+0.4%A	SBS+0.4%B
动稳定度/(次·mm)	6 064.86	12 685.37	8 746.67

表 3 SMA-13 混合料浸水马歇尔试验结果

沥青种类	稳定度/kN		浸水残留稳定度/%	规范要求/%
	40 min	48 h		
SBS	14.21	14.6	100	
SBS+A	17.74	14.71	83.98	≥80
SBS+B	16.34	15.98	97.81	

表 4 SMA-13 混合料冻融劈裂试验结果

沥青种类	劈裂抗拉强度/MPa		冻融劈裂强度比/%	规范要求/%
	未冻融	冻融后		
SBS	10.31	9.3	90.18	
SBS+A	10.97	9.68	88.22	≥80
SBS+B	11.83	10.14	85.74	

表 5 SMA-13 混合料浸水飞散试验结果

沥青种类	飞散损失/%	规范要求/%
SBS	5.17	
SBS+A	2.62	≤15
SBS+B	3.49	

5 复合改性沥青的三大指标试验

为研究抗车辙剂对 SBS 改性沥青的性能影响,本试验采用沥青三大指标来提高 SBS 改性沥青和抗车辙剂的相容性,采用高剪切搅拌工艺。将 SBS 改性沥青加热至热熔并启动高速剪切机,然后按照一定的比例分别加入两种抗车辙剂 A、B,开始以低速 1 000 r/min 混合搅拌 20 min,升温至 175 ℃后以高速 3 000 r/min 搅拌 1 h 制得 SBS+抗车辙剂复合改性沥青。与此同时,将未加入抗车辙剂的 SBS 改性沥青作为空白组进行对比试验,具体结果见表 6。

表 6 抗车辙剂对 SBS 沥青改性后的三大指标试验结果

试验项目	SBS	SBS+A	SBS+B
针入度/0.01 cm	51.1	19.6	20.4
软化点/℃	83	69	90
5 ℃延度/cm	33	0.8	0.1

针入度试验表明,加入抗车辙剂 A、B 后,复合沥青的针入度值分别下降 62%、60%。说明这两种抗车辙剂的加入均能提高沥青的粘滞性。

软化点试验表明,加入 A 抗车辙剂后的复合沥青软化点下降 17%,加入 B 抗车辙剂后的复合沥青软化点提高 8%。说明两种加入抗车辙剂均对复合沥青的高温稳定性产生影响。

延度试验表明,加入抗车辙剂的复合改性沥青延度大幅下降,远低于 SBS 改性沥青,说明抗车辙剂对复合沥青的可塑性影响很大。

6 傅里叶红外光谱分析

红外吸收光谱法是在石油沥青及聚合物化学结构分析研究中最常用的方法之一。对于沥青的红外光谱分析,一般将中红外波段 600~4 000 cm⁻¹ 范围划分为 4 000~1 300 cm⁻¹ 官能团区和 1 300~600 cm⁻¹ 指纹区两个区域进行分析。本试验利用德国布鲁克光谱公司的 EQUINOXSS/HYPER 型傅里叶红外光谱仪对抗车辙剂/SBS 改性复合沥青进行 FTIR 分析,具体结果见图 1~图 3。

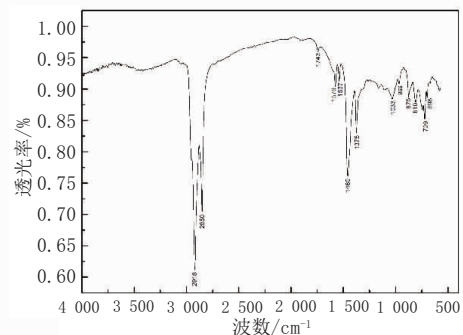


图 1 SBS 改性沥青红外光谱

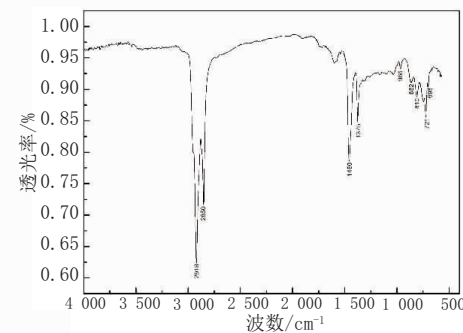


图 2 抗车辙剂 A+SBS 复合改性沥青红外光谱

从图 1 可以看出,在 SBS 改性沥青在官能团区最大吸收峰峰值均出现在 2 918 cm⁻¹、2 850 cm⁻¹

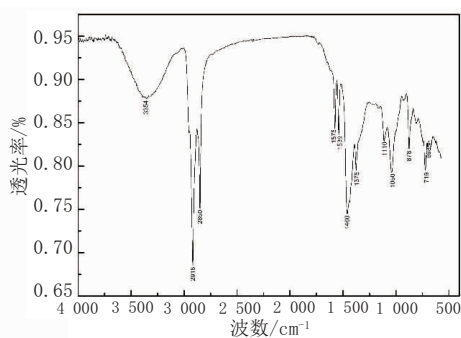


图3 抗车辙剂B+SBS复合改性沥青红外光谱

和 1460 cm^{-1} 、 1375 cm^{-1} 左右处。其中,以 2918 cm^{-1} 、 2850 cm^{-1} 处的吸收峰最强,这是长链烷基化合物中饱和烃 $-\text{CH}_2$ 的反对称和对称伸缩振动。 1460 cm^{-1} 、 1375 cm^{-1} 这两个吸收峰是正己烷 $-\text{CH}_3$ 不对称变角振动和对角振动的结果,一般是基质沥青的特征吸收峰,说明 SBS 改性沥青是基质沥青和 SBS 改性剂以物理共混为主。而在指纹区 699 cm^{-1} 、 966 cm^{-1} 是特征官能团苯乙烯中苯环上 C-H 面外摇摆振动、丁二烯中反式 $=\text{CH}$ 面外摇摆振动的特征峰,这是 SBS 改性沥青的特征吸收峰。 1743 cm^{-1} 是酯羰基 $\text{C}=\text{O}$ 伸缩振动吸收峰, 1579 cm^{-1} 是苯环 $-\text{C}=\text{C}-$ 弯曲振动吸收峰, 1537 cm^{-1} 是芳环 $\text{C}=\text{C}$ 伸缩振动吸收峰, 810 cm^{-1} 、 729 cm^{-1} 、 673 cm^{-1} 是不同取代位置的苯环上 $=\text{C}-\text{H}$ 面外弯曲振动吸收峰^[2]。

从图2可以看出,抗车辙剂A+SBS复合改性沥青的红外光谱图与SBS改性沥青很相似,主要吸收峰的位置也基本一致。在整个官能团区没有出现新的吸收峰,仅吸收峰的强度略有变化,说明抗车辙剂A与SBS改性沥青基本属于物理共混。但在官能区 1743 cm^{-1} 消失, $1579\sim 1537\text{ cm}^{-1}$ 吸收峰变宽,且在指纹区苯环 $=\text{CH}$ 面外弯曲振动频率 $860\sim 670\text{ cm}^{-1}$ 范围内出现吸收峰的位置变化,即苯环取代基位置发生变化。说明抗车辙剂A有部分高分子聚合物和SBS改性沥青发生了化学反应,导致饱和分减少、芳香分增加,最终与沥青质、胶质胶结在一起形成空间网络结构,引起复合沥青的粘度提高、针入度降低、软化点也下降^[3]。

从图3可以看出,抗车辙剂B+SBS复合改性沥青的红外光谱图中丁二烯中反式 $=\text{CH}$ 面外摇摆振动的特征峰消失了。而在官能区出现的 3354 cm^{-1} 是醇酚羟基的 $\text{O}-\text{H}$ 伸缩振动吸收峰,且在指纹区出现伯醇 1050 cm^{-1} 、仲醇 1100 cm^{-1} 的特征吸收峰,苯环取代区的峰值面积也较图1、图2有所增加。说明抗车辙剂中的聚合物B与SBS改性沥青中的丁二烯发生了明显的化学反

应,低分子转向高分子、含强极性的芳香环物质增多导致沥青质含量增加、沥青粘度提高、针入度降低、软化点上升。

7 差示扫描量热法试验

差示扫描量热法也是一种热分析技术,通过DSC可以确定试样在升温过程中释放或吸收的热量,从能量变化角度反映沥青在温度变化过程中化学组成与结构的热稳定性。本试验利用德国耐驰DSC 214 Polyma仪器对抗车辙剂+SBS复合改性沥青进行DSC分析,具体结果见图4~图6。

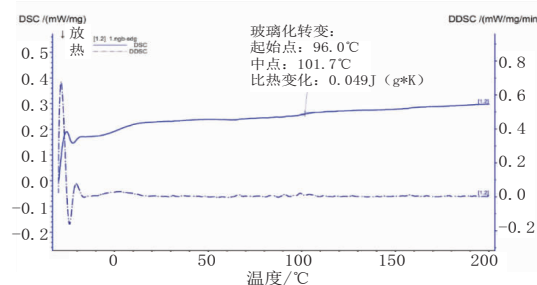


图4 SBS改性沥青的DSC曲线

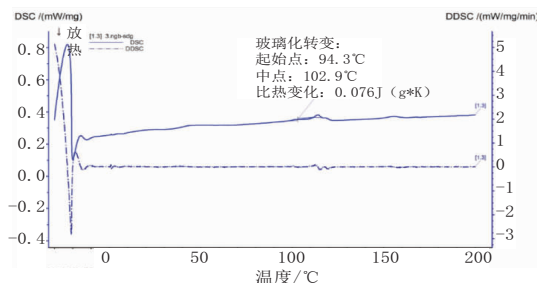


图5 抗车辙剂A+SBS复合改性沥青的DSC曲线

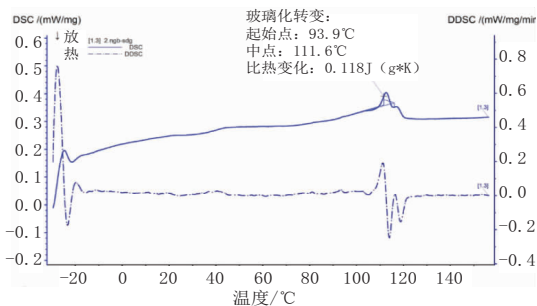


图6 抗车辙剂B+SBS复合改性沥青的DSC曲线

从图4~图6可以看出,由于沥青的组成成分复杂,DSC图中的吸热峰是由不同组分的相变峰集合形成的宽形峰,在 $90\sim 110^\circ\text{C}$ 区间三种沥青均有明显的吸热峰出现。其中,抗车辙剂A+SBS复合改性沥青的DSC曲线和SBS改性沥青类似,整体曲线都比较平坦,玻璃化转变温度范围也接近,加抗车辙剂A的吸热峰面积略高于SBS改性沥青,说明抗车辙剂A和SBS改性沥青没有形成很多化学组分,热稳定性较好,这也与红外分析的结

论一致。而抗车辙剂 B+SBS 复合改性沥青的整体曲线稍陡,吸热峰面积也明显增加,玻璃化转变温度的中点也提高了,说明沥青在这个区间发生变化的组分较多、热稳定性较差,这也与动稳定度试验和红外分析的结果一致。

8 结 论

(1)两种抗车辙剂均能提高 SMA-13 的高温稳定性。抗车辙剂 A 提高幅度较为明显,高达 109%,抗车辙剂 B 提高动稳定度 44%。

(2)两种抗车辙剂的加入均会降低 SMA-13 的水稳定性能。虽然加入两种抗车辙剂的沥青混合料在冻融前后和浸水前后的力学性能均得到提高,但是浸水残留稳定性和冻融劈裂强度比均有不同程度地降低。加入抗车辙剂 A、B 的 SMA-13 浸水残留稳定度分别下降了 16%、2%,冻融劈裂强度比下降了 2%、5%。

(3)两种抗车辙剂的加入均能提高 SMA-13 的抗磨耗性。加入抗车辙剂 A、B 的 SMA-13 飞散损失率分别下降了 32%、49%。

(4)两种抗车辙剂的加入均降低了复合改性

沥青的软化点和延度,但是加入抗车辙剂 A 的复合沥青的软化点下降,加入抗车辙剂 B 的复合沥青的软化点上升。根据 FTIR 分析结果可知,抗车辙剂 A 和 SBS 改性沥青主要是物理共混作用,抗车辙剂里的聚合物和沥青交接嵌挤形成立体网络结构,最终对沥青混合料起到加筋作用。而抗车辙剂 B 和 SBS 改性沥青发生化学反应,含强极性的芳香环物质增多导致沥青质含量增加,沥青粘度提高,高温稳定性提高。从 DSC 图谱中也可以看出,抗车辙剂 A+SBS 复合改性沥青的曲线和 SBS 改性沥青基本一致,吸热峰面积稍有增多,而抗车辙剂 B+SBS 复合改性沥青的曲线比较陡,吸热峰面积明显增大,说明复合沥青的组分变多,热稳定性没有加入抗车辙剂 A 的沥青混合料高,这也与之前的试验结论一致。

参考文献:

- [1] JTG F40—2004,公路沥青路面施工技术规范[S].
- [2] 瓮诗甫.傅里叶变换红外光谱分析(第二版)[M].北京:化学工业出版社,2010.
- [3] 杜海.基于微观分析方法的沥青混合料抗车辙剂应用机理研究[J].黑龙江交通科技,2018(1):11-13.

(上接第 129 页)



图 9 TRD 取芯芯样

土搅拌墙的成墙质量和防渗效果比较好,取得了预期的效果。

7 结 语

针对复杂地质条件下 62 m 超深 TRD 水泥土搅拌墙施工过程中的重难点,本文提出了一整套

有关抓切结合的 TRD 施工工艺流程及关键性施工技术,希望能对同类型其他工程提供一定的借鉴作用。

参考文献:

- [1] 冯春强. TRD 工法在基坑围护工程中的应用[J].建设监理,2013(4):61-63.
- [2] 李星,谢兆良,李进军,等. TRD 工法及其在深基坑工程中的应用[J].地下空间与工程学报,2011,5(5):26-28.
- [3] 陈冬瑞. TRD 工法在深基坑止水帷幕中的应用.钱江新城实证[J].浙江树人大学学报,2012,2(2):35-37.
- [4] 王刚,张少钦,张慧华,等. TRD 围护结构深基坑施工监测及结果分析[J].施工技术,2012,24:120-123.
- [5] 王卫东,邸国恩. TRD 工法等厚度水泥土搅拌墙技术与工程实践[J].岩土工程学报,2012(S1):168-171.