

复合改性橡胶沥青应力吸收层应用技术研究<sup>\*</sup>李铁成<sup>1</sup>, 胡超峰<sup>1</sup>, 冯明林<sup>2</sup>, 褚付克<sup>2</sup>

(1.河南中原高速公路股份有限公司, 河南 郑州 450016; 2.河南省交通规划设计研究院股份有限公司, 河南 郑州 450000)

**摘要:** 通过室内试验研究复合改性橡胶沥青应力吸收层的性能变化, 结果表明, 复合改性橡胶沥青应力吸收层中碎石 9.5~13.2 mm 的最佳撒布量为 12 kg/m<sup>2</sup>, 沥青最佳洒布量为 2.4 kg/m<sup>2</sup>; 复合改性橡胶沥青应力吸收层的剪切破坏变形是土工格栅的 2 倍多、乳化沥青封层的近 3 倍、聚酯玻纤布的近 1.5 倍。同时通过实体工程应用, 验证了复合改性橡胶沥青应力吸收层良好的抗路面反射裂缝能力。

**关键词:** 公路; 应力吸收层; 橡胶沥青; 反射裂缝; 剪切破坏

**中图分类号:** U416.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2019)01-0072-03

商登(商丘—登封)高速公路郑州段作为环绕郑州大都市“井”字形高速大通道的重要组成部分, 对提升郑州国家中心城市步伐起到重要作用。该项目建设中, 为防止重交通下过早出现路面病害, 采用 3×18 cm 水泥稳定碎石+1.5 cm 应力吸收层+8 cm AC-25C+6 cm AC-20C+4 cm AC-13C 的路面结构形式, 其中应力吸收层采用稳定性和抗老化性等性能优良的复合改性橡胶沥青。该文结合该工程, 对复合改性橡胶沥青应力吸收层的应用技术展开研究。

## 1 原材料

(1) 橡胶粉。采用细度为 40 目的大货车轮胎胶粉, 密度为 1.15 g/cm<sup>3</sup>, 含水率为 0.58%, 筛分结果见表 1。

**表 1 橡胶粉的筛分结果**

筛孔尺寸/mm	通过率/%	技术要求/%
0.600	100.0	100
0.425	91.3	90~100
0.300	42.0	30~75
0.150	1.1	0~2.5

(2) 基质沥青。基质沥青采用 AH-70<sup>#</sup> 沥青, 其技术指标见表 2。

(3) 复合橡胶粉改性沥青。复合改性沥青由 AH-70<sup>#</sup> 沥青、5% SBS、13% 40 目大货车橡胶粉制作而成, 其性能指标见表 3。

(4) 集料。选取粒径为 9.5~13.2 mm 的反击

**表 2 基质沥青的技术性能检测结果**

项目	检测结果	技术要求
针入度(25 ℃, 100 g, 5 s)/(0.1 mm)	67	60~80
延度(5 cm/min, 15 ℃)/cm	>150	≥100
软化点(环球法)/℃	49.3	≥46
闪点(开口)/℃	290	≥230
含蜡量(蒸馏法)/%	1.85	≤2
密度(15 ℃)/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.011	实测记录
溶解度(三氯乙烯)/%	99.90	≥99.5
质量损失/%	-0.035	≤0.6
TOFT(163 ℃, 5 h)后残留物 针入度比/%	67	≥65
延度(15 ℃)/cm	113	≥80

**表 3 复合改性橡胶沥青的技术性能检测结果**

项目	检测结果	技术要求
180 ℃运动粘度/(Pa·s)	1.286	1.0~3.0
针入度(25 ℃, 100 g, 5 s)/(0.1 mm)	42	40~80
延度(5 cm/min, 5 ℃)/cm	39	≥30
软化点/℃	77	≥75
闪点/℃	234	≥230
质量损失/%	-0.378	≤1
TOFT 后 25 ℃针入度比/%	78.0	≥65
残留物 延度(5 ℃)/cm	33	≥25
离析, 软化点差/℃	1.8	≤5
25 ℃弹性恢复/%	89.0	≥80

式破碎机轧制而成的集料, 要求其坚硬、清洁、不含

<sup>\*</sup> 基金项目: 河南省交通运输厅科技项目(2017Z1)

风化颗粒、形状近似立方体结构。集料的主要技术指标见表 4。

表 4 集料的主要技术指标

项目	检测结果	技术要求
石料压碎值/%	19.8	≤26
洛杉矶磨耗损失/%	21.7	≤28
表观相对密度	2.752	≥2.6
<0.075 mm 颗粒含量/%	0.8	≤1
针片状颗粒含量/%	9.1	≤12
坚固性/%	0.5	≤12
吸水率/%	0.5	≤2
软石含量/%	1.2	≤3

(5) 应力吸收层的级配见表 5。

表 5 应力吸收层的级配

筛孔/mm	质量百分率/%	筛孔/mm	质量百分率/%
13.200	90~100	4.750	0~5
9.500	0~15	0.075	0~0.5

2 应力吸收层室内试验研究

2.1 抗剪试验

抗剪试件由水泥砼板、应力吸收层和沥青面层构成。浇筑 300 mm×300 mm×50 mm 水泥砼板, 养生 28 d 后拉毛并放于 10 cm 加厚车辙试模中, 表面均匀喷洒既定用量沥青, 再均匀撒布水洗后的预热碎石, 之后采用车辙成型仪碾压 2 遍, 最后加铺 5 cm 厚 AC-13C SBS 改性沥青面层, 48 h 后拆模。钻取 10 cm×10 cm 标准芯样进行 60 ℃抗剪强度测试, 试验结果见图 1。

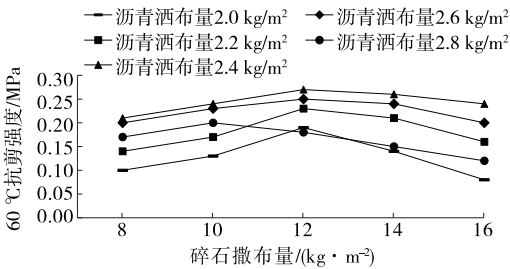


图 1 应力吸收层抗剪强度与沥青和碎石撒布量的关系

由图 1 可知:1) 沥青洒布量一定时,应力吸收层的抗剪强度随着碎石撒布量的增加出现峰值,抗剪强度在碎石撒布量为 12 kg/m<sup>2</sup>左右时最大;2) 碎石撒布量一定时,抗剪强度随着沥青用量的增大出现峰值,在沥青洒布量为 2.4 kg/m<sup>2</sup>时出现拐点。初步确定复合改性橡胶沥青应力吸收层中碎石 9.5~

13.2 mm 最佳撒布量为 12 kg/m<sup>2</sup>、沥青最佳洒布量为 2.4 kg/m<sup>2</sup>。

2.2 剪切破坏变形分析

将橡胶沥青应力吸收层与工程中使用的聚酯玻纤布加层、乳化沥青封层、加铺土工格栅的剪切破坏变形进行对比分析。剪切试件为复合棱柱体试件,下部为水泥稳定碎石(50 mm×50 mm×30 mm),中间为应力吸收层,上部为 30 mm AC-13C 沥青混合料,试件尺寸为 50 mm×50 mm×30 mm×2 层,试验前在试验温度下保温 4 h 以上。

在(30±1) ℃下进行试验,借助已有经验,试件倾角取 40°。将试件放入斜面剪切夹具中,采用 ELE 多极变速加载设备进行加载,加载速率为 10 mm/min。施加竖向定速率荷载  $F$ ,粘结层界面处的剪应力  $\tau$  见式(1)。试验结果见图 2。

$$\tau = \sin 40^\circ \times F / S \tag{1}$$

式中: $S$  为试件剪切截面积。

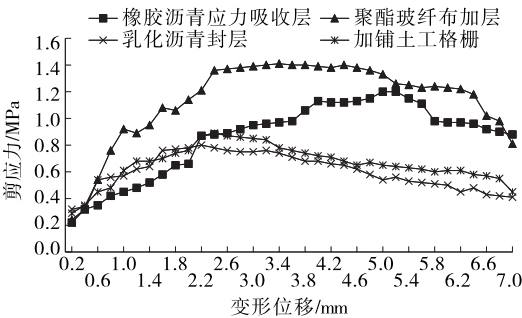


图 2 界面位移与剪应力的关系

从图 2 可看出:层间剪应力随错动变形位移整体上出现峰值。在试件剪切破坏过程中,土工格栅与乳化沥青封层类似于脆性破坏,加铺土工格栅的应力吸收层的破坏剪切力为 0.82 MPa,破坏变形仅 2.3 mm 左右;乳化沥青封层的破坏剪切力更小,为 0.76 MPa,破坏变形在 1.8 mm 左右。相对而言,橡胶沥青应力吸收层和聚酯玻纤布在试件剪切破坏时表现出一定的抵抗变形的能力。橡胶沥青应力吸收层剪切破坏位移在 5 mm 左右,是土工格栅的 2 倍多、乳化沥青封层的近 3 倍,剪切力达到 1.2 MPa。聚酯玻纤布的剪切破坏位移在 3.5 mm 左右,剪切力稍大于橡胶沥青应力吸收层,达到 1.5 MPa。说明橡胶沥青应力吸收层和聚酯玻纤布应力吸收层的抗变形能力较大,从经济和施工方便角度考虑,橡胶沥青应力吸收层在抵抗剪切破坏方面比聚酯玻纤布应力吸收层更具优势。

### 3 应力吸收层施工技术研究

#### 3.1 施工工艺

(1) 旧水泥砼路面的处理。对于旧水泥路面,重点是处理好裂缝、坑洞和错台等病害。裂缝是后期反射裂缝形成的病患,采用高粘度沥青进行灌缝处理,沥青用量不可过多,以防后期出现泛油;坑洞采用沥青混合料填补,防止该部位出现压实度不足的现象,避免橡胶沥青和碎石在坑洞处无法实现均匀洒布、难以起到分散应力的作用;错台易出现剪应力集中,严重时进行铣刨处理。

(2) 复合改性橡胶沥青的生产。复合改性橡胶沥青的生产需经过胶体磨和高速剪切两次剪切过程(见图3):1) 胶体磨。将 70# 基质沥青快速加热到 180℃ 后,先加 SBS、增塑剂适当搅拌,再加橡胶粉、综合稳定剂搅拌 20~30 min。2) 高速剪切。将经过胶体磨剪切后的复合沥青进行回灌搅拌,加入交联剂,经高速剪切机剪切后输送至反应罐并升温到 190℃,进行 30 min 溶胀反应,完成整个复合改性橡胶沥青的生产过程。

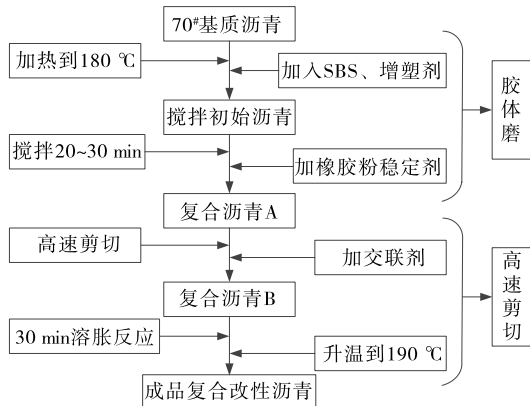


图3 复合改性橡胶沥青的生产工艺流程

(3) 应力吸收层的洒布。采用同步碎石封层车进行复合改性橡胶沥青喷洒和碎石撒布。施工前集料用 120℃ 以上的沥青进行预裹附,油石比控制在 0.4%~0.6%。沥青洒布温度控制在 190~200℃。洒布完成后扫除局部重叠、多余石料,不足时进行人工补料。为减少偶然误差,洒布前对各洒布量进行标定。

(4) 应力吸收层的碾压。应力吸收层洒布后,立即采用 2 台 25 t 以上胶轮压路机同时进行碾压,碾压 2~3 遍。应力吸收层洒布后路面温度在 40℃ 以上时,碾压完成时间控制在 20 min 以内;否则,碾

压完成时间控制在 10 min 以内。

#### 3.2 应力吸收层性能检测

##### 3.2.1 刹车试验

试验路铺筑完成 7 d 后,采用 BZZ-60 标准汽车以 50 km/h 的速度急刹车,分析急刹时吸收层矿料的粘结效果,试验结果见图 4。

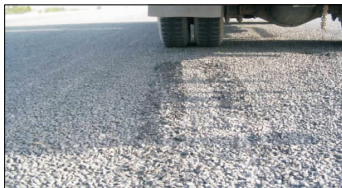


图4 刹车试验结果

由图 4 可知:急速刹车时,撒布的碎石几乎无脱落,橡胶沥青应力吸收层基本完好,沥青不破裂。说明复合改性橡胶沥青应力吸收层与砼板之间的抗剪切能力较强,验证了室内试验结论。

##### 3.2.2 剪切试验

沥青面层摊铺完成后钻芯取样,进行 60℃ 抗剪性能试验,结果见图 5,剪切破坏后芯样见图 6。

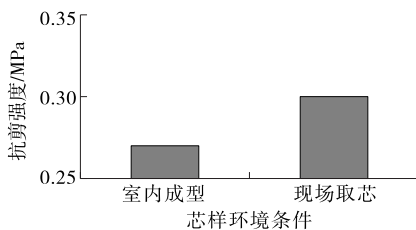


图5 芯样剪切试验结果



图6 剪切破坏后芯样

由图 5 可知:与室内成型相比,现场取芯的橡胶沥青应力吸收层 60℃ 高温抗剪强度略高。由图 6 可知:砼层与应力吸收层接触面没有明显错动,破坏部位主要在沥青层内部,表明试件的破坏并不完全是应力吸收层与砼层的层间剪切破坏,还与面层沥青强度有关。

商登高速公路郑州段通车运行后,将应力吸收层试验路段与未实施路段进行路面病害对比,结果

(下转第 164 页)

边坡施工期的稳定性,需重点关注坡形坡率、地下水和工程措施等靠前的可变影响因子。刷坡时无法改变边坡高度,但可减少边坡每级高度和放缓坡率;修建排水设施时,可因地制宜地采用不同排水结构物降低地下水分布高度;在工程措施方面,尽量选择施工难度小且对边坡扰动较小的防护工程。通过采取以上措施,增加边坡的稳定性,从而降低其安全风险等级。

## 5 结论

(1) 张桑高速公路顺倾层状边坡风险评估因子中坡体结构所占权重最大,为 0.154 87,是影响边坡稳定性的首要因素;其次是坡形坡率、工程措施、地下水、边坡高度、地层岩性;周边环境所占权重最小,为 0.116 39,稳定性影响作用最小。

(2) 张桑高速公路顺倾层状边坡施工期应优先关注排序靠前的可变因子,如坡形坡率,设计时考虑适当放缓,边坡处治方案比选时采取对边坡稳定性影响最小的措施。

## 参考文献:

- [1] 屠义伟.复杂地质条件下山区公路边坡稳定性评价及加固方法设计[J].公路工程,2018,43(1).
- [2] 黄润秋,赵建军,巨能攀,等.汤屯高速公路顺层岩质边坡变形机制分析及治理对策研究[J].岩石力学与工程学报,2007,26(2).
- [3] 李炜.边坡稳定可靠性研究[D].大连:大连理工大学,2009.
- [4] 陈建宏,郑荣凯,陈浩.基于 PCA 和 BP 神经网络边坡稳定性分析[J].中国安全生产科学技术,2014,10(5).
- [5] 黄有堂.基于模糊综合评价法的高陡边坡稳定性研究[D].大连:大连理工大学,2014.
- [6] 郑长安,吴尚.层状岩土质混合高边坡施工的影响因素及其稳定数值分析[J].公路工程,2013,38(6).
- [7] 曾昆,曾晟.灰色加权关联分析在公路网评价中的应用[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2012,31(3).
- [8] 刘珂珂.中缓倾角顺层岩质边坡灾变机理及风险评估[D].重庆:重庆交通大学,2015.

收稿日期:2018-07-12

\*\*\*\*\*  
(上接第 74 页)

见图 7。从图 7 可见:橡胶沥青应力吸收层路段的裂缝较少,而未实施橡胶沥青应力吸收层的路段存在明显的有规则的纵横向裂缝等病害,证明橡胶沥青应力吸收层具有良好的抗剪切作用。



(a) 未实施应力吸收层路段 (b) 实施应力吸收层路段

图 7 应力吸收层实施前后效果对比

## 4 结语

该文借助商登高速公路郑州段橡胶沥青应力吸收层实体工程,开展橡胶沥青应力吸收层应用技术研究,分析复合改性橡胶沥青应力吸收层的最佳沥青洒布量、最佳碎石撒布量及剪切破坏变形,结合实际应用效果得出:复合改性橡胶沥青应力吸收层中碎石 9.5~13.2 mm 的最佳洒布量为 12 kg/m<sup>2</sup>,沥青最佳洒布量为 2.4 kg/m<sup>2</sup>;复合改性橡胶沥青应力吸收层的剪切破坏变形具有明显优势,剪切破坏

位移为 5 mm 左右,是土工格栅的 2 倍多、乳化沥青封层的近 3 倍、聚酯玻纤布的近 1.5 倍,复合改性橡胶沥青应力吸收层的使用效果良好。

## 参考文献:

- [1] 尚同羊,张苛,高涛涛,等.橡胶沥青应力吸收层设计方法探讨[J].郑州大学学报:工学版,2013,34(3).
- [2] 吕伟民.废胎胶粉改性沥青路面技术[M].北京:人民交通出版社,2011.
- [3] 陈骁,金雷,吴至奇.SBS 改性沥青应力吸收层性能研究[J].中外公路,2005,25(6).
- [4] 曹荣吉,白启峰.橡胶沥青应力吸收层在盐通高速公路的应用研究[J].公路交通科技:应用技术版,2006(10).
- [5] 沈金安.沥青及沥青混合料路用性能[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [6] 张晨晨,王旭东,黄英强,等.沥青混合料生产配合比均衡设计方法[J].中外公路,2013,33(1).
- [7] 广州市市政工程维修处,华南理工大学.广州市城市道路路面预防性养护成套技术研究[R].广州:华南理工大学,2007.
- [8] 李福建,王旭东,周兴业,等.基于路用性能的应力吸收层最佳油石比设计方法研究[J].公路与汽运,2011(3).

收稿日期:2018-05-17