

TLA+废胶粉复合改性沥青混合料路用性能研究\*

冯新军<sup>1,2</sup>, 李旺<sup>2</sup>, 张喆<sup>2</sup>

(1.长沙理工大学 道路结构与材料交通行业重点实验室, 湖南 长沙 410114;  
2.长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114)

**摘要:**为提高特立尼达湖沥青(TLA)改性沥青混合料的低温抗裂性能,将废胶粉掺入 TLA 改性沥青中制成复合改性沥青,对 TLA+废胶粉复合改性沥青混合料进行配合比设计,并通过试验研究其高稳定性、低温抗裂性、水稳定性和耐疲劳性等路用性能。结果表明,与 TLA 改性沥青混合料相比,TLA+废胶粉复合改性沥青混合料的低温抗裂性和耐疲劳性均明显提高;高温稳定性虽然有所下降,但仍表现优良;水稳定性变化很小且满足规范要求。

**关键词:**公路;特立尼达湖沥青(TLA);废胶粉;改性沥青混合料;路用性能

中图分类号:U416.217      文献标志码:A      文章编号:1671-2668(2020)06-0061-04

特立尼达湖沥青(TLA)是一种高品质天然沥青,将它作为改性剂加入普通道路石油沥青中,能改善普通道路石油沥青的高温稳定性、与集料的黏附性及耐老化性能。但实际工程应用中发现,TLA 对沥青混合料低温抗裂性提高不明显甚至有所降低。

将粒径较细的橡胶粉按一定计量添加到基质沥青中,在高温下进行剪切、搅拌,经过溶胀发育得到废胶粉改性沥青。废胶粉改性沥青的路用性能优于普通沥青混合料,主要表现为其高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性和耐疲劳性明显提高。为提高 TLA 改性沥青混合料的低温抗裂性能,采用废胶粉和 TLA 对基质沥青进行复合改性。

1 试验材料

1.1 沥青

基质沥青采用阿尔法 A 级 70# 道路石油沥青。TLA 改性沥青采用 40%TLA 与基质沥青在 170℃条件下拌和 40 min 制得。TLA+废胶粉复合改性沥青的掺配比例分别为 10%TLA+10%废胶粉和 20%TLA+10%废胶粉。制备工艺为:依次将 TLA 和废胶粉按比例加入基质沥青中混合均匀,在 180℃条件下高速剪切 60 min,然后在 160℃烘箱中发育 60 min。TLA 改性沥青和 TLA+废胶粉复合改性沥青的主要技术性质见表 1。

表 1 3 种改性沥青的技术性质

沥青类型	针入度(25℃,100 g, 5 s)/(0.1 mm)	延度(15℃, 5 cm/min)/cm	软化点/ ℃	弹性恢 复/%	布氏黏度 (135℃)/(Pa·s)
10%TLA+10%废胶粉复合改性沥青	36.2	24.2	57.1	65	2.14
20%TLA+10%废胶粉复合改性沥青	30.7	21.6	59.1	65	2.32
40%TLA 改性沥青	28.2	10.1	57.8	12	0.84

1.2 矿料

粗集料采用玄武岩碎石,细集料采用玄武岩机制砂和石屑,填料为石灰岩磨制而成的矿粉。对矿料技术性质进行测试,结果见表 2~4,均满足规范要求。

1.3 沥青混合料配合比设计

采用马歇尔试验配合比设计方法分别对 10%

表 2 矿粉的技术性质

技术指标	实测值	规范要求	
表观密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	2.673	≥2.50	
含水量/%	0.32	≤1	
亲水系数	0.65	<1	
粒度范围	<0.15 mm	98.3	90~100
	<0.075 mm	86.5	75~100

\* 基金项目:长沙理工大学道路结构与材料交通行业重点实验室开放基金资助项目(kfj160301);长沙理工大学研究生科研创新资助项目(CX2018SS01)

表3 粗集料的技术性质

技术指标	实测值	规范要求
表观相	10~15 mm	2.763
对密度	5~10 mm	2.755
	3~5 mm	2.752
针片状	>9.5 mm	9.5
含量/%	<9.5 mm	10.2
吸水性/%		0.5
磨耗值/%		15.4
压碎值/%		15.6

表4 细集料的技术性质

技术指标	实测值	规范要求
表观相对密度	0~5 mm	2.731
石屑		2.743
砂当量/%	71	≥60
含泥量/%	0.8	≤3

TLA+10%废胶粉复合改性沥青 AC-13 混合料、20%TLA+10%废胶粉复合改性沥青 AC-13 混合料、40%TLA 改性沥青 AC-13 混合料进行配合比设计,结果见表5,均符合规范要求。

表5 3种改性沥青 AC-13 混合料配合比设计

混合料类型	最佳油石比/%	毛体积密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	理论最大密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	空隙率/%	矿料间隙率/%	沥青饱和度/%	稳定度/kN	流值/mm
10%TLA+10%废胶粉复合改性沥青混合料	5.4	2.374	2.473	4.1	15.3	72.2	10.8	3.22
20%TLA+10%废胶粉复合改性沥青混合料	5.8	2.463	2.359	4.3	16.8	72.8	12.5	3.13
40%TLA 改性沥青混合料	5.1	2.412	2.486	4.0	14.5	74.6	11.7	2.33
技术要求	—	—	—	4~6	≥14	65~75	≥8	1.5~4

## 2 改性沥青混合料路用性能研究

### 2.1 高温稳定性

通过车辙试验评价 10%TLA+10%废胶粉复合改性沥青 AC-13 混合料、20%TLA+10%废胶粉复合改性沥青 AC-13 混合料、40%TLA 改性沥青 AC-13 混合料的高温稳定性,试验结果见图1。

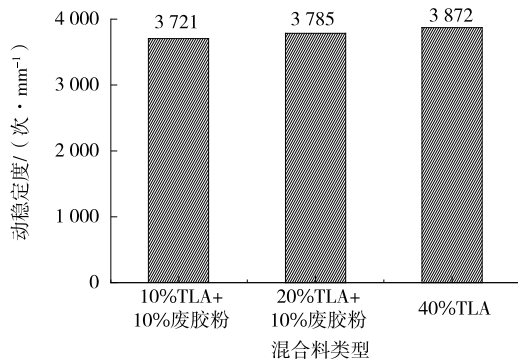


图1 3种改性沥青混合料车辙试验结果

由图1可知:3种改性沥青混合料的动稳定度均高于规范要求(2800次/mm),高温稳定性良好;动稳定度大小为40%TLA改性沥青混合料>20%TLA+10%废胶粉复合改性沥青混合料>10%TLA+10%废胶粉复合改性沥青混合料,但相差不大,40%TLA改性沥青混合料的动稳定度仅比

20%TLA+10%废胶粉复合改性沥青混合料高4.8%,表明3种改性沥青混合料的高温稳定性差异较小。

再次采用汉堡车辙试验评价3种沥青混合料的高温稳定性。在60℃空气浴中,通过对钢轮施加恒定的力完成对试件的反复加载,直至试件产生20mm变形或钢轮往返20000次时试验终止。试验结果见图2。

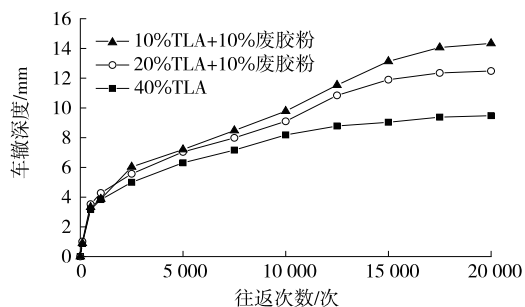


图2 3种改性沥青混合料汉堡车辙试验结果

由图2可知:经过20000次往返荷载作用后,3种改性沥青混合料的车辙深度均在20mm以内,其高温稳定性均满足要求。荷载作用10000次之前,3种沥青混合料的车辙深度相差很小;作用10000次之后,40%TLA改性沥青混合料的车辙深度增长变缓,而2种TLA+废胶粉复合改性沥青混合料的车辙深度仍然平稳增长。在相同往返荷载作用次数

下,3 种混合料的车辙深度大小为 10% TLA+10% 废胶粉复合改性沥青混合料>20% TLA+10% 废胶粉复合改性沥青混合料>40% TLA 改性沥青混合料,40% TLA 改性沥青混合料的高温稳定性最好,其次是 20% TLA+10% 废胶粉复合改性沥青混合料,10% TLA+10% 废胶粉复合改性沥青混合料的高温稳定性最差,与常规车辙试验评价结果相同。但与常规车辙试验所得动稳定度相比,汉堡车辙试验获得的 3 种沥青混合料的车辙深度差异更明显,更能准确区分其高温稳定性。

2.2 低温抗裂性

通过低温弯曲试验评价 3 种改性沥青混合料的低温抗裂性,试验结果见表 6。

表 6 3 种改性沥青混合料低温弯曲试验结果

混合料类型	抗弯拉强度/MPa	最大弯拉应变/ $\mu\epsilon$	劲度模量/MPa
10% TLA+10% 废胶粉复合改性沥青混合料	10.45	3 352.2	3 117.3
20% TLA+10% 废胶粉复合改性沥青混合料	10.82	3 238.4	3 341.1
40% TLA 改性沥青混合料	12.45	2 683.5	4 639.4
技术要求	—	$\geq 2\ 500$	—

从表 6 可看出:3 种改性沥青混合料的最大弯拉应变均满足规范要求。TLA+废胶粉复合改性沥青混合料的最大弯拉应变比 TLA 改性沥青混合料的大,而劲度模量更小,表明掺入废胶粉能增大沥青混合料在低温时的韧性。3 种混合料的最大弯拉应变大小为 10% TLA+10% 废胶粉复合改性沥青混合料>20% TLA+10% 废胶粉复合改性沥青混合料>40% TLA 改性沥青混合料,10% TLA+10% 废胶粉复合改性沥青混合料的低温抗裂性最好,其次是 20% TLA+10% 废胶粉复合改性沥青混合料,40% TLA 改性沥青混合料的低温抗裂性最差。与 40% TLA 改性沥青混合料相比,10% TLA+10% 废胶粉、20% TLA+10% 废胶粉复合改性沥青混合料的低温抗裂性分别提高 24.9%和 20.7%。

2.3 水稳定性

通过浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验评价 3 种改性沥青混合料的水稳定性,试验结果见表 7、表 8。

从表 7 可看出:3 种改性沥青混合料的残留稳定度都满足规范要求,其水稳定性均良好;且其残留稳定度相差很小,水稳定性接近。

从表 8 可看出:3 种改性沥青混合料的残留强

表 7 3 种改性沥青混合料浸水马歇尔试验结果

混合料类型	马歇尔稳定度/kN		残留稳定度/%
	浸水前	浸水后	
10% TLA+10% 废胶粉复合改性沥青混合料	11.2	9.8	87.6
20% TLA+10% 废胶粉复合改性沥青混合料	13.2	11.6	88.2
40% TLA 改性沥青混合料	11.9	10.3	87.1
技术要求	—	—	$\geq 85$

表 8 3 种改性沥青混合料冻融劈裂试验结果

混合料类型	未冻融劈裂强度/MPa	冻融劈裂强度/MPa	残留强度比/%
	强度/MPa	强度/MPa	比/%
10% TLA+10% 废胶粉复合改性沥青混合料	0.58	0.47	80.7
20% TLA+10% 废胶粉复合改性沥青混合料	0.56	0.47	84.1
40% TLA 改性沥青混合料	0.67	0.55	82.3
技术要求	—	—	$\geq 80$

度比都满足规范要求,其水稳定性均良好。残留强度比大小为 20% TLA+10% 废胶粉复合改性沥青混合料>40% TLA 改性沥青混合料>10% TLA+10% 废胶粉复合改性沥青混合料,20% TLA+10% 废胶粉复合改性沥青混合料的水稳定性最好,其次是 40% TLA 改性沥青混合料,10% TLA+10% 废胶粉复合改性沥青混合料的水稳定性最差。

2.4 耐疲劳性

通过四点弯曲疲劳寿命试验评价 3 种改性沥青混合料的耐疲劳性。采用应变控制模式,应变水平分别为 450、550 和 650  $\mu\epsilon$ ,试验温度为 15  $^{\circ}\text{C}$ 。试验结果见图 3。

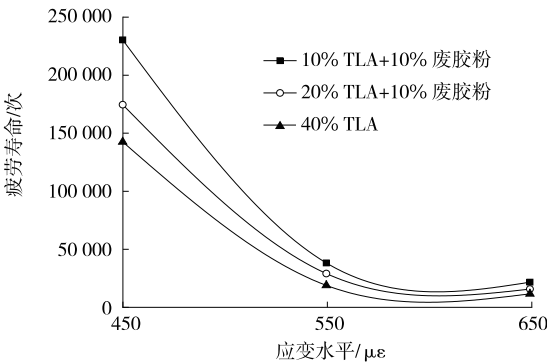


图 3 3 种改性沥青混合料疲劳寿命曲线

由图 3 可知:3 种改性沥青混合料的疲劳寿命随应变水平的增大逐渐减少。同一应变水平下,3

种混合料的疲劳寿命大小为 10% TLA+10% 废胶粉复合改性沥青混合料 > 20% TLA+10% 废胶粉复合改性沥青混合料 > 40% TLA 改性沥青混合料, 10% TLA+10% 废胶粉复合改性沥青混合料的耐疲劳性最好, 其次是 20% TLA+10% 废胶粉复合改性沥青混合料, 40% TLA 改性沥青混合料的耐疲劳性最差。这可能是由于废胶粉的掺入增强了混合料的弹性, 从而提高了沥青混合料的耐疲劳性。

### 3 结论

(1) 与 40% TLA 改性沥青混合料相比, 20% TLA+10% 废胶粉、10% TLA+10% 废胶粉改性沥青混合料的高温稳定性有所降低, 但仍然表现优良。

(2) 与 40% TLA 改性沥青混合料相比, 20% TLA+10% 废胶粉、10% TLA+10% 废胶粉改性沥青混合料的低温抗裂性和耐疲劳性均明显提高。

(3) 与 40% TLA 改性沥青混合料相比, 20% TLA+10% 废胶粉改性沥青混合料的水稳定性略有提高, 而 10% TLA+10% 废胶粉改性沥青混合料的水稳定性略有下降, 但都满足规范要求。

### 参考文献:

- [1] 冯新军, 郝培文, 查旭东. TLA 改性沥青及混合料的路用性能研究[J]. 公路, 2007(5): 161—166.
- [2] 王琛艳. TLA 改性沥青评价指标试验对比分析[J]. 中

外公路, 2016, 36(3): 325—327.

- [3] 梁星敏, 黄康旭, 朱林. TLA 掺量对湖沥青改性沥青高低温性能的影响[J]. 材料科学与工程学报, 2016, 34(4): 614—618.
- [4] 欧阳君, 陈春羽, 张垒. 天然湖沥青复配 SBS 改性沥青混合料性能研究[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2018(2): 40—42.
- [5] 杨昆, 刘栋. 天然湖沥青+SBS 复合改性沥青混合料性能研究[J]. 公路交通科技, 2015, 32(7): 28—32.
- [6] 田迎春, 韩森. RET 复配胶粉改性沥青混合料路用性能与耐久性研究[J]. 公路工程, 2019, 44(1): 171—178.
- [7] 刘向东. 活化橡胶改性沥青混合料路用性能研究[J]. 中外公路, 2019, 39(2): 255—259.
- [8] 交通部公路科学研究所. 公路工程集料试验规程: JTG E42—2005[S]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- [9] 交通部公路科学研究所. 公路沥青路面施工技术规范: JTG F40—2004[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [10] 交通运输部公路科学研究院. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程: JTG E20—2011[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [11] 张争奇, 罗要飞, 张奇. 沥青混合料汉堡车辙试验评价研究综述[J]. 材料导报, 2017, 31(3): 96—105.
- [12] 郭寅川, 赵宾, 申爱琴, 等. 基于正交设计法的橡胶沥青性能试验研究[J]. 公路交通科技, 2017, 34(2): 7—14.

收稿日期: 2019—12—18

(上接第 48 页)

- [2] 李健, 白晓昀, 任正中, 等. 2011—2013 年我国危险化学品事故统计分析及其对策研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2014, 10(6): 142—147.
- [3] 陈晓, 丁光. 基于 N-K 模型的危化品道路运输安全风险因素耦合研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2019, 50(4): 709—714.
- [4] 赵江平, 刘小龙. 基于系统动力学的危化品物流企业安全管理策略仿真研究[J]. 物流科技, 2019(12): 30—35.
- [5] LIST G F, MIRCHANDANI P B, TURNQUIST M A, et al. Modeling and analysis for hazardous materials transportation: Risk analysis, routing/scheduling and facility location[J]. Transportation Science, 1991, 25(2): 100—114.
- [6] RHYNE W R. Hazardous materials transportation: Quantitative approach for truck and train [M]. Van Nostrand Rein hold, 1994.
- [7] ROBERTO Bubbico, GIUSEPPE Mashie, BARBARA Mazzarotta, et al. Risk management of road and rail

transport of hazardous materials in sicily[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2006(19): 32—38.

- [8] 杨强, 李延来. 基于质量功能配置法的危险品运输风险分析[J]. 中国安全科学学报, 2017, 27(3): 65—70.
- [9] 贾红梅, 米雪玉, 段满珍. 危险品道路运输定量风险分析研究[J]. 河北理工大学学报(自然科学版), 2011, 33(2): 188—192.
- [10] 郭健, 陶行行, 赵钦, 等. 危险品公路运输安全保障技术的评估方法[J]. 公路交通科技, 2017, 34(增刊 2): 1—7.
- [11] 王其藩. 系统动力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.
- [12] 黄合来, 罗启章, 彭韵颖, 等. 山区高速公路隧道群路段危化品运输风险评价体系研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2018, 49(8): 2107—2114.

收稿日期: 2020—05—08