

DOI: 10.20035/j.issn.1671-2668.2023.05.013

抗车辙沥青混合料技术经济评价^{*}

杨晚生¹, 王振², 刘群艳², 许祥云²

(1.江西宜春市政交通建设有限公司, 江西 宜春 336000; 2.江西省宜春市公路事业发展中心, 江西 宜春 336000)

摘要: 为选择满足沥青路面抗车辙要求的沥青混合料, 采用高模量剂、抗车辙剂、30[#] 沥青和 70[#] 沥青设计 AC-25 沥青混合料, 通过高温稳定性、低温抗裂性能与水稳定性试验进行技术性能评价, 通过混合料材料组成进行经济性评价。结果表明, 高模量剂、抗车辙剂沥青混合料与 30[#] 沥青混合料均具有良好的抗车辙能力; 抗车辙剂沥青混合料的低温抗裂性能优于高模量剂沥青混合料; 抗车辙剂、高模量剂沥青混合料的水稳定性优于 30[#]、70[#] 沥青混合料; 30[#] 沥青混合料的材料成本低于高模量剂、抗车辙剂沥青混合料; 抗车辙剂沥青混合料的综合性能最好。

关键词: 公路; 沥青混合料; 高模量剂; 抗车辙剂; 技术性能; 经济性

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2023)05-0058-04

江西省高安市作为中国建筑陶瓷产业基地, 货运量大。该地区夏季高温, 国、省干线公路车辙问题突出。采用 70[#]、50[#] 沥青等修筑的沥青路面, 在重载、高温和渠化交通作用下容易产生车辙病害^[1-2]。通常采用改性沥青或在沥青混合料中掺加抗车辙剂、高模量剂等提高沥青路面的抗车辙能力, 近年来也采用低标号(50[#] 以下)沥青生产的混合料来抵抗路面车辙病害^[3-4]。成高立等认为掺加抗车辙剂可提高沥青混合料的高温稳定性^[5]。张争奇等通过试验分析多种抗车辙剂对沥青混合料高温稳定性的影响, 结果表明掺加抗车辙剂能显著改善沥青混合料的高温稳定性^[6]。苗祺等研究抗车辙剂掺量与沥青混合料路用性能的关系, 推荐抗车辙剂最佳掺量为 0.4%^[7]。王俊杰研究发现在一定范围内增加高模量剂掺量可同时改善沥青混合料的高温稳定性与水稳定性^[8]。郭寅川等发现与普通沥青相比, 低标号沥青的高温抗车辙能力大幅提高, 且无须掺加任何改性剂, 生产成本低^[9]。樊兴华等的试验结果表明 30[#] 沥青混合料的高温性能优于 70[#] 沥青混合料, 与 SBS 改性沥青混合料接近^[10]。彭伟等通过试验模拟不同路面面层结构使用新疆岩沥青或 70[#] 基质沥青时车辙深度, 分析了新疆岩沥青对路面面层抗车辙性能的影响^[11]。目前对不同抗车辙改性技术下沥青路面路用性能与经济效益进行综合研究的文献较少。本文分别采用高模量剂、抗车辙剂、30[#] 沥

青、70[#] 沥青设计 AC-25 沥青混合料, 对其路用性能和材料成本进行对比分析, 为重载交通地区抗车辙技术选择提供参考。

1 试验方案

江西省高安市某国道大修项目, 重载车辆多, 车流量大, 在自然环境和行车荷载作用下车辙病害严重。原设计沥青路面结构为 5 cm 厚 SBS 改性 AC-16 上面层+7 cm 厚 70[#] AC-25 下面层。已有研究表明, 对于两层结构的沥青路面, 车辙主要发生在沥青混凝土面层结构下面层^[12]。以原设计路面结构组合为基础, 采用高模量剂、抗车辙剂、30[#] 沥青、70[#] 沥青设计 3 种面层结构组合, 对比分析重载交通下不同添加剂与低标号沥青抵抗车辙病害的能力。3 种面层结构组合分别为 5 cm 厚 SBS 改性 AC-16 上面层+7 cm 厚抗车辙剂 AC-25 下面层、5 cm 厚 SBS 改性 AC-16 上面层+7 cm 厚高模量剂 AC-25 下面层、5 cm 厚 SBS 改性 AC-16 上面层+7 cm 厚低标号沥青(30[#] 沥青)AC-25 下面层, 其中高模量剂及抗车辙剂掺量为 0.4%, 采用自动添加设备投放。按照 GB/T 29050-2012《道路用抗车辙剂沥青混凝土》的要求, 抗车辙沥青混合料的动稳定度不小于 4 800 次/mm。设计高模量剂 AC-25 沥青混合料、抗车辙剂 AC-25 沥青混合料和 30[#]、70[#] 沥青 AC-25 沥青混合料, 对其高温

^{*} 基金项目: 江西省交通运输厅科技项目(2021H0019)

稳定性、低温抗裂性能与水稳定性进行对比,并分析其材料成本。

2 原材料性能检测

2.1 沥青

采用山东中海 70[#] 沥青与 30[#] 沥青,其技术指标见表 1,均符合 JTGF40—2004《公路沥青路面施

工技术规范》的要求。

2.2 添加剂

高模量剂、抗车辙剂均为国产品牌,根据生产厂家提供的技术资料,两种添加剂均能显著提高沥青混合料的劲度模量、高温抗车辙性能和抗疲劳性能。添加剂掺量为沥青混合料用量的 0.4%。采用干法技术^[13]制备改性 AC—25 混合料。

表 1 沥青的技术指标检测结果

沥青种类	25℃针入度/ (0.1 mm)	软化点/ ℃	15℃延度/ cm	闪点/ ℃	RTFOT 后质 量变化/%	针入度 比/%	15℃残留延 度/cm	蜡含量/ %
30 [#] 沥青	26	58	52	288	—0.046	72.5	—	1.12
70 [#] 沥青	64	48	>100	268	—0.354	66.8	26	0.84
技术 30 [#] 沥青	20~40	≥55	≥50	≥260	±0.8	≥65	—	≤2.2
要求 70 [#] 沥青	60~80	≥46	≥100	≥260	±0.8	≥61	≥15	≤2.2

2.3 集料

集料采用石灰岩,规格为 0.00~4.75 mm(1[#])、4.75~9.50 mm(2[#])、9.50~19.00 mm(3[#])、19.00~31.50 mm(4[#]),其技术指标检测结果见表 2~4,筛分结果见表 5。

表 2 粗集料的技术指标检测结果

集料规格/mm	毛体积密度/ (g·cm ⁻³)	表观密度/ (g·cm ⁻³)	针片状颗 粒含量/%	压碎 值/%	黏附 等级
4.75~9.50	2.629	2.724	8.2	—	5
9.50~19.00	2.678	2.715	11.6	20.9	5
19.00~31.5	2.682	2.719	10.4	—	5

表 3 细集料的技术指标检测结果

检测项目	检测结果
毛体积密度/(g·cm ⁻³)	2.512
表观密度/(g·cm ⁻³)	2.602
砂当量/%	63

表 4 矿粉的技术指标检测结果

检测项目	检测结果
密度/(g·cm ⁻³)	2.704
亲水系数	0.6
加热安定性	颜色无明显变化
塑性指数	3

表 5 集料筛分结果

集料规格	通过下列筛孔(mm)的百分率/%												
	31.500	26.500	19.000	16.000	13.200	9.500	4.750	2.360	1.180	0.600	0.300	0.150	0.075
19.00~31.50	100.0	79.8	3.4	1.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9.50~19.00	100.0	100.0	82.8	60.5	39.1	1.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.75~9.50	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.2	1.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
0.00~4.75	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	82.3	62.5	55.2	35.9	22.7	13.9	8.9
矿粉	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.8	99.8	99.6	93.2

3 AC—25 沥青混合料配合比设计

采用 AC—25 型级配,根据 JTGF40—2004《公路沥青路面施工技术规范》推荐的级配范围,通过马歇尔试验进行混合料配合比设计,各档集料比例为 $m(1^{\#}):m(2^{\#}):m(3^{\#}):m(4^{\#}):m(\text{矿粉})=$

44:12:26:16:2,合成级配见表 6。

通过马歇尔击实试验进行高模量剂 AC—25 沥青混合料、抗车辙剂 AC—25 沥青混合料(基质沥青均为 70[#] 沥青)及 30[#]、70[#] AC—25 沥青混合料配合比设计,由混合料力学指标与体积指标综合得出其最佳油石比分别为 4.1%、4.1%、4.1%、4.0%。

表 6 AC—25 沥青混合料的合成级配

筛孔尺寸/ mm	通过百分 率/%	筛孔尺寸/ mm	通过百分 率/%
31.500	100.0	2.360	29.5
26.500	96.8	1.180	26.3
19.000	80.1	0.600	17.8
16.000	74.0	0.300	12.0
13.200	68.2	0.150	8.1
9.500	58.2	0.075	5.8
4.750	38.3		

4 路用性能对比分析

4.1 沥青混合料的高温稳定性

采用轮碾成型机分别成型高模量剂 AC—25 沥青混合料、抗车辙剂 AC—25 沥青混合料、30[#] 和 70[#] 沥青 AC—25 沥青混合料板块试件进行车辙试验,试件尺寸为 300 mm×300 mm×50 mm,试验温度为 60 ℃,轮压为 0.7 MPa。取轮作用 45 min、60 min 时的车辙变形计算动稳定度,评价混合料的高温性能。试验结果见表 7。

表 7 4 种 AC—25 沥青混合料车辙试验结果

沥青混合料类型	油石比/%	动稳定度/(次·mm ⁻¹)				变异系数/%
		各试件试验结果			平均值	
		1	2	3		
30# 沥青混合料	4.1	3 620	3 026	3 218	3 288	9.2
70# 沥青混合料	4.0	1 362	1 240	1 442	1 348	7.5
高模量剂沥青混合料	4.1	7 000	7 326	6 848	7 058	3.4
抗车辙剂沥青混合料	4.1	5 425	6 010	5 632	5 689	5.2

从表 7 可以看出:4 种沥青混合料在 60 ℃下的动稳定度大小排序为高模量剂沥青混合料>抗车辙剂沥青混合料>30[#] 沥青混合料>70[#] 沥青混合料,高模量剂、抗车辙剂沥青混合料的动稳定度均大于 4 800 次/mm,满足 GB/T 29050—2012《道路用抗车辙剂沥青混凝土》对抗车辙沥青混合料 1—4 区的要求。与 70[#] 沥青混合料相比,高模量剂、抗车辙剂

沥青混合料及 30[#] 沥青混合料的动稳定度分别提高 423.6%、322%、143.9%,高模量剂、抗车辙剂沥青混合料的高温性能远优于 70[#] 沥青混合料。沥青标号越低,针入度越小,软化点越高,高温稳定性越好,抗车辙能力越强,但 30[#] 沥青混合料的动稳定度没有达到 GB/T 29050—2012 对抗车辙沥青混合料的要求(≥4 800 次/mm)。

4.2 沥青混合料的低温抗裂性能

通过低温弯曲试验评价沥青混合料的低温抗裂性能,试件尺寸为 250 mm×30 mm×35 mm,试验加载速率为 50 mm/min,试验温度为-10 ℃。试验结果见表 8。

表 8 4 种 AC—25 沥青混合料的低温弯曲试验结果

沥青混合料类型	抗弯拉强度/MPa	最大弯拉应变/10 ⁻⁶	弯曲劲度模量/MPa
30 [#] 沥青混合料	6.238	2 198.4	2 838
70 [#] 沥青混合料	8.258	2 321.4	3 557
高模量剂沥青混合料	11.624	2 426.6	4 790
抗车辙剂沥青混合料	10.038	2 562.3	3 918

从表 8 可以看出:以最大弯拉应变为评价指标时,4 种沥青混合料的低温性能优劣排序为抗车辙剂沥青混合料>高模量剂沥青混合料>70[#] 沥青混合料>30[#] 沥青混合料。外加剂的加入可以提高沥青混合料的低温性能,与 70[#] 沥青混合料相比,高模量剂、抗车辙剂沥青混合料的弯拉应变分别提高 4.5%、10.4%,30[#] 沥青混合料的弯拉应变降低 5.3%。这是由于沥青标号越高,黏塑性成分越多,低温抗裂性能越好。在江西地区,改性沥青混合料的弯拉应变应不小于 2 500×10⁻⁶,基质沥青混合料的弯拉应变应不小于 2 000×10⁻⁶,高模量剂沥青混合料的低温破坏应变不满足要求。

4.3 沥青混合料的水稳定性

通过冻融劈裂试验和马歇尔残留稳定度试验对 4 种沥青混合料的水稳定性进行评价,试验结果见表 9。

从表 9 可以看出:4 种沥青混合料的水稳定性均满足 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》的要求,残留稳定度大小排序为高模量剂沥青混合料>抗车辙剂沥青混合料>30[#] 沥青混合料>70[#] 沥青混合料,冻融劈裂强度比大小排序为高模量剂沥青混合料>抗车辙剂沥青混合料>70[#] 沥青

表 9 4 种 AC-25 沥青混合料的浸水马歇尔与冻融劈裂试验结果

沥青混合料类型	残留稳定度/%	冻融劈裂强度比/%
30 [#] 沥青混合料	91.7	82.9
70 [#] 沥青混合料	89.6	84.2
高模量剂沥青混合料	93.2	86.7
抗车辙剂沥青混合料	92.9	86.2

混合料>30[#] 沥青混合料。由于高模量剂与抗车辙剂的加入起到了增强沥青黏度的作用,沥青能更好地黏附在集料表面,相比 70[#] 沥青混合料,其水稳定性更优。

4.4 技术性能评价

4 种沥青混合料的动稳定度大小排序为高模量剂沥青混合料>抗车辙剂沥青混合料>30[#] 沥青混合料>70[#] 沥青混合料,均满足 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》的要求;低温性能优劣排序为抗车辙剂沥青混合料>高模量剂沥青混合料>70[#] 沥青混合料>30[#] 沥青混合料,高模量剂沥青混合料的低温破坏应变不满足 JTG F40—2004 的要求;残留稳定度大小排序为高模量剂沥青混合料>抗车辙剂沥青混合料>30[#] 沥青混合料>70[#] 沥青混合料,冻融劈裂强度比大小排序为高模量剂沥青混合料>抗车辙剂沥青混合料>70[#] 沥青混合料>30[#] 沥青混合料,均满足 JTG F40—2004 的要求。综合比较,高温稳定性、低温抗裂性能与水稳定性均满足规范要求的为抗车辙剂沥青混合料。高温稳定性和抗水破坏能力最好的为高模量剂沥青混合料,但其低温破坏应变偏小,不满足规范要求。70[#] 沥青混合料的各项性能均满足普通沥青路面的技术要求,但不适应于抗车辙性能要求高的沥青路面。

5 抗车辙 AC-25 沥青混合料的材料成本

以生产 1 t 沥青混合料为例,对高模量剂沥青混合料、抗车辙剂沥青混合料、低标号(30[#])沥青混合料进行材料成本对比,计算结果见表 10。

由表 10 可知:高模量剂 AC-25 沥青混合料的材料成本最高,抗车辙剂 AC-25 沥青混合料次之,30[#] 沥青混合料的材料成本最低。对于重载高温地区,减少车辙的产生是延长道路使用寿命的重要保证,推荐采用综合性能满足改性沥青混合料要求、动稳定度达到 GB/T 29050—2012《道路用抗车辙剂

表 10 生产 1 t 不同抗车辙 AC-25 沥青混合料的材料成本

沥青混合料类型	原材料	用量/ t	价格/ (元·t ⁻¹)	成本/ 元	总成本/ 元
高模量剂沥青混合料	70 [#] 沥青	0.039	3 200	124.8	318.7
	高模量剂	0.004	22 000	88.0	
	粗集料	0.519	115	59.7	
	细集料	0.423	102	43.1	
抗车辙剂沥青混合料	矿粉	0.019	163	3.1	286.7
	70 [#] 沥青	0.039	3 200	124.8	
	抗车辙剂	0.004	14 000	56.0	
	粗集料	0.519	115	59.7	
30 [#] 沥青混合料	细集料	0.423	102	43.1	242.4
	矿粉	0.019	163	3.1	
	30 [#] 沥青	0.039	3 500	136.5	
	粗集料	0.519	115	59.7	
	细集料	0.423	102	43.1	
	矿粉	0.019	163	3.1	

沥青混凝土》中抗车辙沥青混合料 1—4 区要求的抗车辙剂 AC-25 沥青混合料。30[#] 沥青混合料的高温性能满足 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》对改性沥青混合料高温性能的要求,且其材料成本低于高模量剂、抗车辙剂改性沥青混合料,能降低道路建设成本,可用于一般抗车辙沥青路面。

6 结论

(1) 高模量剂、抗车辙剂沥青混合料均满足抗车辙沥青路面的技术要求;30[#] 沥青混合料的动稳定度达到改性沥青混合料的技术要求,满足改性沥青路面的要求。

(2) 抗车辙剂沥青混合料的综合性能最佳,高模量剂沥青混合料的低温弯拉应变稍低于改性沥青混合料的要求;30[#] 沥青混合料的高温性能达到改性沥青的技术要求,但其低温和抗水破坏性能只满足普通沥青的技术要求。

(3) 高模量剂改性沥青混合料的材料成本最高,30[#] 沥青混合料的材料成本最低。

(4) 建议高抗车辙沥青路面采用抗车辙剂沥青混合料,一般抗车辙沥青路面采用 30[#] 沥青混合料。

(下转第 67 页)

5 结论

(1) 掺入 0.4% 玄武岩纤维后, 沥青混合料的动稳定度增大, 为不掺纤维沥青混合料的 2.7 倍, 玄武岩纤维能显著提升沥青混合料的高温稳定性。

(2) 掺入玄武岩纤维后, 沥青混合料的冻融劈裂抗拉强度比增大为 80.1%, 玄武岩纤维的加入能改善沥青混合料的水稳定性。

(3) 在新疆乌鲁木齐试验路工程应用中, 玄武岩纤维沥青路面的裂缝率为普通沥青路面的 81%, 摩擦摆值、渗水系数均符合要求, 玄武岩纤维沥青路面的破损状况、抗滑性能与抗渗性能均优于普通沥青路面。玄武岩纤维沥青混合料能应用于干旱荒漠地区。

参考文献:

- [1] 周志刚, 蔡扬发, 谭军. 聚酯纤维对橡胶改性沥青混凝土性能的影响[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2021, 18(2): 1-8.
- [2] 刘昶江, 全晓聪, 刘忠, 等. 玄武岩纤维原料特征分析[J]. 硅酸盐通报, 2020, 39(12): 3858-3865.
- [3] 白劭. 玄武岩纤维对高模量沥青混合料路用性能影响研究[J]. 公路与汽运, 2022(1): 57-60.
- [4] 郭寅川, 李震南, 申爱琴, 等. 玄武岩纤维沥青胶浆优化设计及机理分析[J]. 建筑材料学报, 2018, 21(1): 47-53.

(上接第 61 页)

参考文献:

- [1] 朱逸凡. 高温重载下沥青混合料高温稳定性能研究及应用[D]. 南京: 东南大学, 2019.
- [2] 刘和能, 刘海鹏, 陶张志, 等. 西南地区重交通中面层抗车辙剂技术应用[J]. 公路, 2018, 63(10): 80-85.
- [3] 李闯民, 李元元. 30 号沥青 AC-20 混合料面层施工性能[J]. 公路, 2015, 60(7): 47-53.
- [4] 潘学峰. 抗车辙剂在沥青路面施工中的应用[J]. 交通标准化, 2014, 42(10): 77-79.
- [5] 成高立, 李卓琳, 罗要飞. 抗车辙剂对沥青混合料高温性能的影响分析[J]. 中外公路, 2018, 38(2): 203-207.
- [6] 张争奇, 罗要飞, 张苛. 不同抗车辙剂对沥青混合料高温性能影响研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2017, 14(5): 964-970.
- [7] 苗祺, 刘德仁, 杨成, 等. 抗车辙剂掺量对 AC-16 沥青混合料路用性能的影响[J]. 硅酸盐通报, 2015,

- [5] 马峰, 王雨函, 傅珍, 等. 玄武岩纤维沥青胶浆高低温性能影响因素探究[J]. 化工新型材料, 2022, 50(6): 258-262.
- [6] 邱国洲, 房建宏, 徐安花, 等. 玄武岩纤维沥青混凝土高温性能研究[J]. 硅酸盐通报, 2019, 38(12): 3890-3896.
- [7] 郭振华, 尚德库, 郭翠莲, 等. 海泡石/玄武岩纤维复合沥青混合料性能研究[J]. 河北工业大学学报, 2005, 34(1): 5-10.
- [8] 雷江, 罗友鸿, 裴鑫雨. 玄武岩纤维提升温拌再生混合料路用性能研究[J]. 公路与汽运, 2021(6): 92-94.
- [9] DAVAR A, TANZADEH J, FADAEE O. Experimental evaluation of the basalt fibers and diatomite powder compound on enhanced fatigue life and tensile strength of hot mix asphalt at low temperatures[J]. Construction and Building Materials, 2017, 153: 238-246.
- [10] 文月皎. 玄武岩纤维沥青混合料增强机理及路用性能研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017.
- [11] 覃潇, 申爱琴, 郭寅川. 基于关联性的玄武岩纤维沥青胶浆及其混合料性能研究[J]. 材料导报, 2016, 30(12): 124-128+152.
- [12] 韦佑坡, 张争奇, 司伟, 等. 玄武岩纤维在沥青混合料中的作用机理[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2012, 32(2): 39-44.
- [13] 陈华鑫. 纤维沥青混凝土路面研究[D]. 西安: 长安大学, 2002.

收稿日期: 2022-07-21

- [8] 王俊杰. 高模量剂对沥青及其混合料性能的影响研究[J]. 中外公路, 2015, 35(3): 263-267.
- [9] 郭寅川, 陈乔森, 申爱琴, 等. 低标号沥青在新疆高温抗车辙地区的应用研究[J]. 硅酸盐通报, 2018, 37(10): 3042-3048.
- [10] 樊兴华, 薛振华. 大温差地区掺玄武岩纤维低标号沥青混合料路用性能研究[J]. 中外公路, 2020, 40(5): 286-291.
- [11] 彭伟, 彭红. 新疆岩沥青对高速公路面层抗车辙性能影响研究[J]. 公路与汽运, 2020(1): 55-58.
- [12] 周义生, 吴草森, 司徒丽新, 等. 抗车辙剂改性沥青混合料路用性能研究[J]. 公路, 2015, 60(1): 178-180.
- [13] 李闯民, 彭博, 甘新众, 等. 干法和湿法制备 TPCB 改性沥青混合料的路用性能室内试验研究[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2022, 19(2): 49-60.

收稿日期: 2022-12-02