

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2022.04.020

新型高强沥青 SHRP 试验及混合料 抗水侵蚀性能研究*

陈其龙^{1,2}, 覃峰^{1,2}, 靳卫华³, 唐双美²(1.广西交通职业技术学院, 广西南宁 530216; 2.广西南宁市筑路技术与筑路材料工程技术研究中心, 广西南宁 530000;
3.中远海运国际贸易有限公司, 北京 100029)

摘要: 在 70[#] Esso 重交沥青中掺入高强改性剂、抗车辙剂制成新型高强沥青进行 SHRP 试验及混合料抗水侵蚀性能试验研究。结果表明,与 SBS 改性沥青和 70[#] Esso 重交沥青相比,相同试验条件下新型高强沥青胶结料的抗车辙因子(60 ℃)分别提高 5.4 倍、15.7 倍,布氏黏度(135 ℃)分别提高 1.4 倍、7.1 倍,PG 等级由 70[#] Esso 重交沥青的 PG64-22 提高到 PG82-22;抗水损害性能方面,与 SBS 改性沥青混合料相比,新型高强沥青混合料的浸水马歇尔残留稳定度提高 2%,冻融劈裂强度比提高 2.5%;从经济角度考虑,新型高强沥青较进口高强沥青具有明显的价格优势。

关键词: 公路;新型高强沥青;抗水侵蚀性能;SHRP 试验;性能等级

中图分类号:U418.6

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2022)04-0081-05

SHRP 试验将沥青路面的路用性能与室内研究建立直观联系,将沥青的基本性能与其所处环境相结合,评价沥青路面的综合性能。柳叶芳等在沥青中掺入不同掺量岩沥青制成岩沥青改性沥青进行 SHRP 试验,结果显示在沥青中添加适量岩沥青,沥青胶结料的抗车辙因子、抗疲劳因子及运动黏度显著提高,PG 高温等级提高近 2 个等级,但低温性能有所下降,实际应用中应严格控制岩沥青掺量。赵晓康等对 6 种不同油源及标号的石油沥青进行动态剪切流变试验(DSR),综合评价各沥青结合料的高温性能及抗疲劳性能,并将其与国内常规试验结果进行对比,探究 SHRP 试验指标与国内沥青常规指标之间的关联性,结果表明 SHRP 试验指标可将沥青性质与路用性能结合起来,能更好地反映沥青材料的路用性能。李海军等通过 SHRP 沥青胶结料试验,基于沥青路用性能的流变力学条件,测试不同标号、不同老化程度道路沥青在一定温度范围内的性能,结果表明胶结料高温指标(车辙因子)对不同标号沥青的响应程度比低温指标(劲度模量)大,与针入度试验方法相比,在评定石油沥青低温性能量度方面,SHRP 方法的温度分级量度偏大。本文将

高强改性剂和自行研制的抗车辙剂加入 70[#] Esso 重交基质沥青中得到新型高强改性沥青,并对其进行 SHRP 试验及沥青混合料抗水侵蚀性能研究,评价新型高强沥青胶结料的高温性能、抗疲劳性能及抗水侵蚀性能。

1 试验原料

1.1 基质沥青

基质沥青采用 70[#] Esso 重交沥青,其基本性能指标见表 1。

1.2 高强改性剂

高强改性剂的主要性能指标见表 2。该改性剂最大程度上避免了无效组分的负作用,可大幅改善沥青的高温性能,且对沥青各项性能的改善效果较均衡,还能减轻改性沥青在生产过程中的老化现象。

1.3 自行研制的抗车辙剂

抗车辙剂由多种改性剂复配而成,其性能指标见表 3,具有高软化点、高溶解度、适用性强等特点,与 70[#] Esso 重交沥青具有良好的互溶性。

1.4 集料及填料

粗集料由石灰岩加工而成,分为 15~20 mm、

* 基金项目: 2019 年度广西高校中青年教师科研基础能力提升项目(2019KY1334); 2021 年度兴宁区科学研究与技术开发项目(2021A02); 2020 年度第二批广西交通运输行业重点科技项目(桂交便科[2020]111 号); 2020 年度南宁市科学研究与计划开发项目(南科发[2020]11 号); 国家自然科学基金项目(51768016)

表1 70# Esso 重交沥青的性能指标

检测项目	技术要求	检测结果
针入度(25℃, 5 s, 100 g)/(0.1 mm)	60~80	62
针入度指数	-1.5~1.0	-1.1
软化点(环球法)/℃	≥46	47
10℃延度(5 cm/min)/cm	≥20	35
15℃延度(5 cm/min)/cm	≥100	>150
60℃动力黏度/(Pa·s)	≥180	192
闪点/℃	≥260	333
溶解度/%	≥99.5	99.9
蜡含量/%	≤2.2	1.1
密度(15℃)/(g·cm ⁻³)	实测记录	1.032
质量变化/%	≤±0.8	-0.06
TFOT后 针入度比(25℃)/%	≥61	67
(163℃, 5 h) 残留延度(10℃)/cm	≥6	7
残留延度(15℃)/cm	≥15	32
SHRP 性能等级	-	PG64-22

表2 高强改性剂的性能指标

检测项目	检测结果
外观	白色或淡黄色固体小颗粒
化学组成	长链脂肪族烷烃
闪点(开口)/℃	290
滴熔点/℃	115

表3 抗车辙剂的性能指标

检测项目	检测结果
软化点(环球法)/℃	120.1
溶解度(三氯乙烯)/%	99.78
闪点(开口)/℃	354.8
脆点/℃	-8.4
灰分含量/%	0.013

10~15 mm、5~10 mm、3~5 mm 4种规格;细集料为由石灰岩加工而成的石屑(0~3 mm);填料采用由石灰岩碎石磨细的矿粉。其性能指标见表4,均符合JTGF40—2004《公路沥青路面施工技术规范》的要求。

2 试样制备

2.1 新型高强沥青试样制备

将70# Esso重交沥青加热到180℃,按比例分别添加高强改性剂和抗车辙剂(添加时间间隔0.5 h,给予沥青充分的发育时间),使用剪切机高速旋转剪切,使高强改性剂和抗车辙剂均匀分散到基质沥青中。各改性剂与添加剂相对于70# Esso重交

沥青的质量比如下:高强改性剂为1.5%~18%;抗车辙剂为1%~10%;稳定剂为0.1%~5%;助溶剂为1%~10%。

表4 矿料的性能指标

材料类别	检测项目	技术要求	检测结果
粗集料	压碎值/%	≤22	21.3
	磨耗损失/%	≤30	28.1
	吸水率/%	≤3.0	2.3
	针片状颗粒含量(>9.5 mm)/%	≤10	6.0
	针片状颗粒含量(<9.5 mm)/%	≤10	8.4
	软弱颗粒含量/%	≤2	0.9
	<0.075 mm 颗粒含量(水洗法)/%	≤0.5	0.4
	表观相对密度	≥2.50	2.687
	坚固性/%	≤12	2
	表观相对密度	≥2.50	2.686
细集料	坚固性(>0.3 mm 部分)/%	≤8	5
	砂当量/%	≥70	76
	亚甲蓝值/(g·kg ⁻¹)	≤25	0.5
	<0.075 mm 颗粒含量/%	≤12	10.0
	棱角性(流动时间)/s	≥30	49.0
	含水量/%	≤1	0.2
	粒度范围/%	<0.6 mm	100
矿粉	<0.15 mm	90~100	99.2
	<0.075 mm	75~100	86.2
	外观	无团粒	无团粒
	表观密度/(t·m ⁻³)	≥2.5	2.713
	亲水系数	≤1	0.5
矿粉	塑性指数/%	<4	2
	加热安定性	实测	无变化

70# Esso重交沥青的价格为3 000元/t,高强改性剂的价格为12 000元/t,自行研制的抗车辙剂的价格为8 000元/t,自行研制的稳定剂的价格为6 900元/t,助溶剂的价格为35 000元/t。根据上述配方,新型高强沥青的价格为5 500元/t,加上人工及运输费用,新型高强沥青的价格为6 000元/t,与进口高强沥青(13 000元/t)相比具有明显优势。

2.2 SHRP 试样制备

按JTGE20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》的要求制作SHRP试样。DSR试样制备:将新型高强沥青在烘箱中加热至流动状态后浇筑至试验板中心处,待高强沥青变硬后将试验板装回流变仪。低温小梁弯曲试验(BBR)试样制备:将新型高强沥青在烘箱中加热至流动状态后浇筑至金

属试模中,冷却至室温后切掉高出模具顶端的部分,得到 BBR 试样。将新型高强沥青加热至 203 ℃ 并保持 40 min,制得旋转黏度试验试样。

2.3 混合料试样制备

根据 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》,将配置好的新型高强沥青混合料以旋转压实的方式成型试样,再以 4.30% 的油石比制备浸水马歇尔试样、冻融劈裂试样、浸水车辙试样。

3 沥青 SHRP 试验结果与分析

3.1 DSR 试验分析

通过 DSR 试验测试新型高强沥青胶结料的流变性能。先将原样新型高强沥青、SBS 改性沥青、70[#] Esso 重交沥青进行 DSR 试验,试验板板径为 25 mm,试验间隙为 1 mm,试验频率为 10 rad/s,应变为 12%,试验结果见图 1、图 2;然后对新型高强沥青 RTFOT 试验后的残留物进行 DSR 试验,试验板板径为 25 mm,试验间隙为 1 mm,试验频率为 10 rad/s,应变为 10%,试验结果见图 3;最后将 RTFOT 试验后残留物经 PAV 老化后进行 DSR 试验,试验板板径为 8 mm,试验间隙为 2 mm,试验频率为 10 rad/s,应变为 1%,试验结果见表 5。表 6 为不同类型沥青的 PG 高温等级。

由图 1~3、表 5~6 可知:1) 相同试验温度(50 ℃ 或 60 ℃)下,新型高强沥青的抗车辙因子高于 SBS 改性沥青和 70[#] Esso 重交沥青,其高温性能和

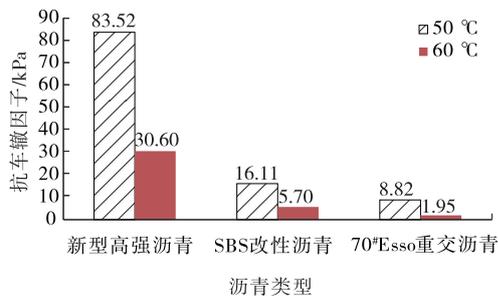


图 1 不同类型原样沥青的抗车辙因子

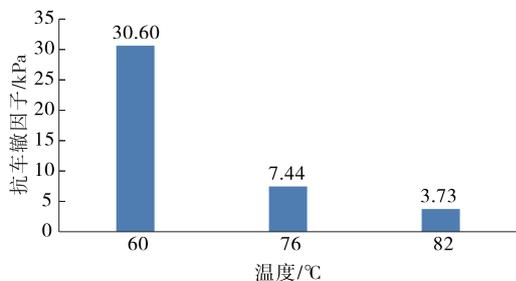


图 2 原样新型高强沥青不同温度下的抗车辙因子

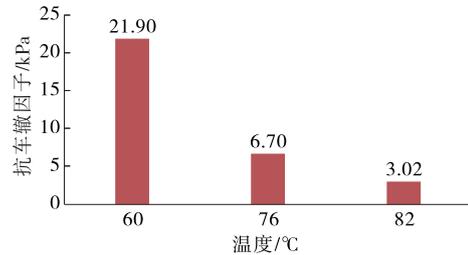


图 3 新型高强沥青 RTFOT 后残留物的抗车辙因子

表 5 PAV 残留物 DSR 试验结果

项目	试验温度/°C	试验结果
复合模量/kPa	34	1 510
	31	4 523
	28	5 596
相位角/(°)	34	53.50
	31	50.08
	28	47.84
抗疲劳因子/kPa	34	1 214
	31	3 469
	28	4 148

表 6 不同类型沥青的 PG 高温等级

沥青类型	PG 高温等级/°C
70 [#] Esso 重交沥青	64
SBS 改性沥青	70
新型高强沥青	82

流变性能更优,更适用于中国南方高温地区。2) 原样高强沥青在 60 ℃ 下的抗车辙因子是试验温度 76 ℃ 下抗车辙因子的 4.11 倍,而试验温度 82 ℃ 下抗车辙因子仅为 60 ℃ 下抗车辙因子的 12.19%,说明高强沥青的温感性能较强,其弹性恢复能力随着试验温度的升高而降低。3) 同一温度等级下,原样高强沥青和 RTFOT 老化后高强沥青的抗车辙因子都随着温度的上升而下降,且 RTFOT 老化后高强沥青的抗车辙因子比原样高强沥青的小,说明 RTFOT 老化后高强沥青的弹性恢复能力不断减小,抗车辙能力不断弱化。4) 温度下降时,高强沥青的复合模数上升,相位角下降,且抗疲劳因子小于 5 000 kPa,说明高强沥青的疲劳损伤发展缓慢,其抗疲劳性能优异。5) 高强沥青的 PG 高温等级比 SBS 改性沥青提高 2 个等级,比 70[#] Esso 重交沥青提高 3 个等级,其高温性能优异。

3.2 BBR 试验分析

沥青在低温环境下表现为弹性体,如果沥青的蠕变劲度很大,沥青会呈现脆性状态,沥青路面容易

开裂。为防止沥青路面开裂破坏,需限制沥青的蠕变劲度。参照 Superpave 规范,分别对原样新型高强沥青、RTFOT 老化后高强沥青及 PAV 老化后高强沥青进行 BBR 试验,试验结果见表 7。

表 7 新型高强沥青 BBR 试验结果

沥青状态	试验温度/℃	项目	试验结果	PG 低温等级/℃
原样新型高强沥青	-12	蠕变劲度/MPa	51.6	-22
		M 值	0.419	
RTFOT 老化后高强沥青	-18	蠕变劲度/MPa	248.1	-28
		M 值	0.266	
PAV 老化后高强沥青	-12	蠕变劲度/MPa	59.6	-22
		M 值	0.434	
PAV 老化后高强沥青	-18	蠕变劲度/MPa	268.3	-28
		M 值	0.274	
PAV 老化后高强沥青	-12	蠕变劲度/MPa	137	-22
		M 值	0.352	
PAV 老化后高强沥青	-18	蠕变劲度/MPa	273	-28
		M 值	0.298	

从表 7 可看出:1)原样、RTFOT 老化和 PAV 老化后新型高强沥青在试验温度 -12℃ 时的 M 值均符合规范要求(≥ 0.3),但试验温度为 -18℃ 时 3 种状态沥青的 M 值均不满足要求,说明经过老化后高强沥青的低温性能变化幅度不大。2) -12℃ 时,原样、RTFOT 老化后和 PAV 老化后新型高强沥青的 PG 低温等级均为 -22℃,没有变化。

3.3 旋转黏度试验分析

参照 AASHTO-T316 方法对 3 种沥青进行布洛克菲尔德旋转黏度试验,试验结果见表 8。

表 10 沥青混合料马歇尔试验结果

混合料类型	最佳油石比/%	毛体积相对密度	最大理论相对密度	空隙率 VV/%	矿料间隙率/%	沥青饱和度/%	稳定度/kN	流值/mm
新型高强沥青混合料	4.30	2.443	2.544	4.0	13.3	70.0	16.38	3.56
SBS 改性沥青混合料	4.30	2.443	2.539	3.8	12.8	70.5	14.54	3.40
技术要求				3~6	$\geq(VV+9)$	65~75	≥ 8	1.5~4.0

由表 10 可知:新型高强沥青混合料的稳定度高于 SBS 改性沥青混合料。稳定度是反映混合料力学性能的重要指标,表征混合料抵抗破坏的能力,也是沥青混合料高温稳定性评价指标。新型高强沥青混合料的稳定度提高,表明添加高强改性剂和抗车辙剂可在一定程度上提高混合料的高温性能。

表 8 不同类型沥青的旋转黏度试验结果

沥青类型	试验温度/℃	黏度/(Pa·s)
70# Esso 重交沥青	135	0.419
SBS 改性沥青	135	2.100
原样新型高强沥青	135	2.980

从表 8 可以看出:不同品种沥青在试验温度 135℃ 下的布氏黏度均小于 3 Pa·s,符合规范要求;高强沥青的布氏黏度为 2.980 Pa·s,高于其他 2 种沥青,在 70# Esso 重交沥青中加入高强改性剂和抗车辙剂会大大增强其黏性。

4 沥青混合料抗水侵蚀性能试验研究

4.1 级配设计

结合工程实际进行沥青混合料级配设计,结果见表 9。

表 9 AC-20 沥青混合料级配设计

筛孔尺寸/mm	通过率/%	规范要求/%	筛孔尺寸/mm	通过率/%	规范要求/%
26.50	100.0	100	2.360	23.9	16~44
19.00	96.7	90~100	1.180	18.8	12~33
16.00	82.3	78~92	0.600	13.3	8~24
13.20	70.6	62~80	0.300	9.4	5~17
9.50	51.5	50~72	0.150	7.0	4~13
4.75	31.9	26~56	0.075	4.8	3~7

4.2 马歇尔试验分析

采用旋转压实仪分别成型新型高强沥青、SBS 改性沥青混合料试件,试样冷却 24 h 后进行马歇尔试验,试验结果见表 10。

4.3 浸水马歇尔试验分析

依据 JTG E20-2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》分别成型 2 种沥青混合料马歇尔试件,冷却 24 h 后脱模,在 60℃ \pm 0.5℃ 恒温水浴中浸泡 48 h 后进行浸水马歇尔试验,测定其稳定度,试验结果见表 11。

表 11 沥青混合料浸水马歇尔试验结果

混合料类型	标准马歇尔稳定度/kN	浸水马歇尔稳定度/kN	浸水马歇尔残留稳定度/%	
			试验结果	规范要求
新型高强沥青混合料	16.38	16.12	98.4	≥85
SBS 改性沥青混合料	14.54	14.01	96.5	

由表 11 可知:新型高强沥青混合料的浸水马歇尔残留稳定度是 SBS 改性沥青混合料的 1.02 倍,说明加入高强改性剂能提高混合料的力学性能。

4.4 冻融劈裂试验分析

依据 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》分别成型 2 种沥青混合料冻融劈裂试件,每种混合料采用 8 个试样,随机分成 2 组。第一组室温下保存,第二组进行真空饱水后放入—18

℃±2℃冰箱中冷冻 16 h±1 h 后再放入 60℃±0.5℃恒温水箱中保温 24 h,最后将 2 组试样一起放入 25℃±0.5℃恒温水槽中不少于 2 h,然后进行冻融劈裂试验,测试其抗拉劈裂强度,试验结果见表 12。

由表 12 可知:冻融前后新型高强沥青混合料的劈裂强度均比 SBS 改性沥青大,说明加入高强改性剂可有效提高混合料的劈裂强度。

表 12 沥青混合料冻融劈裂试验结果

混合料类型	未冻融循环试件的劈裂强度/MPa	冻融循环试件的劈裂强度/MPa	冻融循环劈裂强度比/%	
			试验结果	规范要求
新型高强沥青混合料	1.032	0.914	88.6	≥80
SBS 改性沥青混合料	0.974	0.842	86.4	

4.5 高温稳定性试验分析

进行不浸水车辙试验,试验温度(60±1)℃,荷

载轮压(0.7±0.05)MPa,作用时间 60 min,试验结果见表 13。

表 13 沥青混合料高温稳定性试验结果

混合料类型	试件编号	理论最大相对密度	动稳定度/(次·mm ⁻¹)		偏差系数/%
			试验值	平均值	
新型高强沥青混合料	1	2.544	12 236	12 912	9.3
	2		13 378		
	3		13 124		
SBS 改性沥青混合料	1	2.542	6 890	6 854	4.5
	2		6 549		
	3		7 123		
技术要求			≥4 000	≤20	

由表 13 可知:新型高强沥青混合料的动稳定度高于 SBS 改性沥青混合料,其高温稳定性优于 SBS 改性沥青混合料。

5 结论

(1) 原样新型高强沥青在试验温度 60℃下的抗车辙因子是试验温度 76℃下抗车辙因子的 4.11 倍,而试验温度 82℃下抗车辙因子仅为试验温度 60℃下抗车辙因子的 12.19%,说明新型高强沥青的温感性能较强,其弹性恢复能力随着试验温度的

升高而降低。

(2) 温度下降时,新型高强沥青的复合模数上升,相位角下降,且抗疲劳因子均小于 5 000 kPa,说明新型高强沥青的疲劳损伤发展缓慢,其抗疲劳性能优异。

(3) 新型高强沥青的 PG 高温等级比 SBS 改性沥青提高 2 个等级,比 70# Esso 重交沥青提高 3 个等级;其 PG 低温等级均为—22℃,没有变化。

(4) 新型高强沥青的布氏黏度为 2.980 Pa·s,

(下转第 124 页)