

新型活性橡胶对密级配沥青混合料的影响研究*

于明明¹, 张利鹏²

(1. 苏交科集团股份有限公司, 江苏 南京 211112; 2. 河海大学 力学与材料学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 选取 3 种掺量活性橡胶, 采用沥青胶结料常规性能和 SHRP 评价体系, 分析活性橡胶对沥青胶结料的改性效果, 并在活性橡胶密级配沥青混合料设计方法的基础上进行活性橡胶掺量对密级配混合料 AC 路用性能影响分析。结果表明, 掺加活性橡胶后沥青胶结料的高温稳定性显著提高, 低温抗裂性、抗疲劳能力得到改善; 活性橡胶可替代部分沥青并达到相同的体积指标, 且活性橡胶密级配混合料 AC-20 的动稳定度达到 5 282 次/mm, 综合性能优异; 活性橡胶用于密级配混合料 AC-20 的最佳掺量为 17%。

关键词: 公路; 活性橡胶; 密级配混合料; 沥青胶结料; 路用性能

中图分类号: U416.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)06-0047-04

在基质沥青或沥青混合料中掺加各种有机材料是目前对沥青进行改性或提高路面性能的最常用方式。反应型活性橡胶添加剂(以下简称活性橡胶)是一种新型改性材料, 由基质沥青、橡胶颗粒和有机改性活性矿物(AMBS)按照一定的比例加工而成。活性橡胶技术是橡胶沥青与活性矿物改性技术的优化与发展。

按照层位设计的思想, 中面层是沥青路面产生车辙变形的主要层位。该文选择国内普遍采用的基质沥青密级配混合料, 选择不同活性橡胶掺量, 在胶结料常规性能和 SHRP 性能评价的基础上, 研究活

性橡胶密级配沥青混合料的设计方法, 并进行活性橡胶对密级配沥青混合料路用性能影响分析。

1 活性橡胶改性沥青胶结料性能研究

1.1 活性橡胶对沥青胶结料常规性能的影响

选用 70# 基质沥青, 将 10%、20%、30% 掺量的活性橡胶缓慢倒入 140~160 °C 沥青中搅拌 30 min, 进行沥青常规性能试验, 试验结果见表 1。

从表 1 可看出: 掺入活性橡胶添加剂后, 基质沥青的针入度、延度降低, 不同掺量活性橡胶的针入度、延度变化不大, 其原因可能是随着活性橡胶的掺

表 1 不同掺量活性橡胶改性沥青胶结料的常规性能

项目	70# 基质沥青	70# 基质沥青+10% 活性橡胶	70# 基质沥青+20% 活性橡胶	70# 基质沥青+30% 活性橡胶	技术要求
针入度(25 °C, 100 g, 5 s)/(0.1 mm)	72	55	56	50	60~80
针入度指数	-1.5	-1.03	0.49	-0.28	-1.5~1.0
10 °C 延度/cm	68	10	10	11	≥15
软化点/°C	47	49.5	54	62.5	≥46
溶解度/%	99.8	99.8	99.8	99.8	≥99.5
闪点/°C	354	344	340	350	≥260
60 °C 动力粘度/(Pa·s)	180	350.0	1 690	6 280	≥180
15 °C 密度/(g·cm ⁻³)	1.038	1.047	1.075	1.099	实测记录
RTFOT 质量变化/%	0.06	0.03	-0.02	-0.04	≤±0.8
后残 残留针入度比/%	64.8	76.5	75	83.1	≥61
留物 10 °C 残留延度/cm	8	7	8	10	≥6

* 基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFE0108200); 江苏省交通运输科技与成果转化项目(2016Y03)

入,添加剂中的活性矿物 AMBS、橡胶颗粒与沥青内部反应形成网状结构;软化点和 60 °C 动力粘度增大,且随着活性橡胶掺量的增加,增大程度越明显,说明活性橡胶能显著提高基质沥青的高温性能。

1.2 活性橡胶沥青胶结料 SHRP 性能评价

道路沥青评价的常规指标不能反映沥青的流变学性质,而沥青的流变性直接影响其路用性能。美国战略公路研究计划(Strategic Highway Research Program, SHRP)用流变学指标量化沥青材料的粘

弹性能本质。将不同掺量活性橡胶掺入 70# 基质沥青中,通过动态剪切流变试验(DSR)、弯曲梁蠕变试验(BBR)对活性橡胶沥青胶结料进行性能分级,并进行高温性能、低温性能和疲劳性能评价。

1.2.1 高温性能

通过 DSR 试验测得不同掺量活性橡胶改性沥青的车辙因子 $G^*/\sin\delta$,评价沥青结合料的高温性能。 $G^*/\sin\delta$ 越大,沥青材料的流动变形越小,抗车辙能力越强。

表 2 不同掺量活性橡胶改性沥青胶结料 DSR 试验结果

项目	测试温度/°C	70# 基质沥青	70# 基质沥青+10%活性橡胶	70# 基质沥青+20%活性橡胶	70# 基质沥青+30%活性橡胶	技术要求	
$G^*/\sin\delta$ kPa	64	1.381 2	—	—	—	≥1.0	
	70	0.658 3	1.450 4	—	—		
	76	—	0.774 0	1.216 1	—		
	82	—	—	0.893 1	2.278 6		
	RTFOT	88	—	—	—	1.655 8	≥2.2
		64	2.688 2	4.114 3	—	—	
		70	1.276 0	1.985 2	3.244 9	—	
		76	—	—	1.742 4	—	
82		—	—	—	3.067 3		
88		—	—	—	2.101 8		
PG 等级/°C		64	64	76	82		

从表 2 可看出:不管是老化前还是老化后,掺入活性橡胶后沥青的抗车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 都大幅增大,且随着掺量的增加,抗车辙因子增大,沥青的高温稳定性越好;掺量 20%和 30%活性橡胶改性沥青的 PG 高温等级分别由 64 °C 升高至 76、82 °C,说明掺入活性橡胶可较大程度提高沥青的高温性能。

1.2.2 低温性能

通过 BBR 试验测得不同掺量活性橡胶改性沥

青的蠕变劲度模量 S 和变形速率 m ,评价其抗低温开裂特性。 m 值越大,沥青的应力松弛性能越好,抗裂性能越好。

从表 3 可看出:增加活性橡胶掺量,可减小蠕变劲度模量 S ,增大变形速率 m ;按照 PG 等级技术指标的要求,基质沥青参加 30%活性橡胶后,其低温等级由 -12 °C 升至 -18 °C,提高了一个等级。表明掺入活性橡胶,沥青材料的劲度会有一定程度降低,基质沥青的低温抗裂性能会得到改善。

表 3 不同掺量活性橡胶改性沥青胶结料 BBR 试验结果

项目	测试温度/°C	70# 基质沥青	70# 基质沥青+10%活性橡胶	70# 基质沥青+20%活性橡胶	70# 基质沥青+30%活性橡胶	技术指标
蠕变劲度 模量 S /MPa	-12	159	216	235	—	≤300
	-18	538	378	327	188	
	-24	—	—	—	380	
变形 速率 m	-12	0.372	0.347	0.355	—	≥0.300
	-18	0.244	0.286	0.274	0.314	
	-24	—	—	—	0.255	
PG 等级/°C		-12	-12	-12	-18	

1.2.3 疲劳性能

采用 PAV 长期老化后的活性橡胶沥青在 25℃ 条件下进行 DSR 试验,测得疲劳因子 $G^* \sin \delta$,评价沥青结合料的抗疲劳开裂性能,结果见表 4。

表 4 不同掺量活性橡胶改性沥青胶结料的 $G^* \sin \delta$

沥青类型	$G^* \sin \delta / \text{kPa}$
70# 基质沥青	3 895
70# 基质沥青+10%活性橡胶	3 224
70# 基质沥青+20%活性橡胶	924
70# 基质沥青+30%活性橡胶	1 770
技术指标	$\leq 5\ 000$

从表 4 可看出:掺加活性橡胶后,沥青的疲劳因子减小,说明掺入活性橡胶可改善沥青胶结料的抗疲劳性能;活性橡胶掺量为 20% 左右时沥青胶结料的抗疲劳性能最好。

2 活性橡胶密级配 AC 混合料设计方法研究

选用 15%、17%、20% 活性橡胶掺量进行密级配混合料 AC-20 设计,研究不同剂量活性橡胶替代部分沥青对密级配混合料 AC-20 体积指标的影响,试验结果见表 5。

表 5 不同活性橡胶掺量下 AC-20 混合料的体积指标

沥青类型	油石比/ %	毛体积 相对密度	理论最大 相对密度	空隙率/ %	矿料 间隙率/%	沥青 饱和度/%
70# 基质沥青	4.5	2.409	2.517	4.3	13.40	68.0
70# 基质沥青+15%活性橡胶	4.5	2.420	2.524	4.1	13.11	68.6
70# 基质沥青+17%活性橡胶	4.5	2.415	2.524	4.3	13.30	67.5
70# 基质沥青+20%活性橡胶	4.5	2.406	2.524	4.7	13.61	65.7
技术要求	—	—	—	3~6		65~75

注:要求空隙率 3%、4%、5%、6% 所对应的矿料间隙率最小值分别为 12%、13%、14%、15%,空隙率不是整数时采用内插法确定矿料间隙率最小值。

从表 5 可看出:活性橡胶掺量对沥青混合料 AC-20 空隙率的影响较大,掺量越大,空隙率越大。但掺加 20% 活性橡胶的 AC-20 的矿料间隙率为 13.61%,不满足设计要求(空隙率 4.7% 时,要求矿料间隙率 $\geq 13.7\%$)。按照最大比例利用活性橡胶的原则,推荐试验用活性橡胶添加剂掺量为 17%。级配和油石比相同的情况下,常规 AC-20 和添加 17% 活性橡胶的 AC-20 的其他体积指标基本相同,但去除这 17% 的活性橡胶,其实际基质沥青的油石比仅 3.8%,说明活性橡胶可替代部分沥青并达到相同的体积指标。

3 活性橡胶密级配沥青混合料性能研究

为研究活性橡胶替代部分沥青对密级配 AC 型混合料路用性能的影响,采用相同的级配及油石比,进行 70# 基质沥青常规 AC-20 和添加活性橡胶混合料 AC-20 的性能试验。

3.1 高温性能

车辙试验能较好地反映高温季节沥青路面在车轮疲劳荷载作用下发生不可恢复的永久变形的过程。在 $(60 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、 $(0.7 \pm 0.05) \text{MPa}$ 条件下进行普通沥青 AC-20 和添加活性橡胶的 AC-20 车辙

试验,检验沥青混合料的高温稳定性。试验结果显示:掺入活性橡胶后,密级配混合料 AC-20 的车辙稳定度达到 5 282 次/mm,比常规 AC-20 (2 321 次/mm) 提高 127%,说明掺入活性橡胶可大幅度提高沥青混合料的高温稳定性。这是由于掺入活性橡胶后,活性橡胶与基质沥青发生反应,其高分子链条有很好的“桥梁”和“加筋”作用,使混合料的高温稳定性增强;橡胶颗粒的弹性可增大混合料的恢复能力,延缓混合料的流动变形。

3.2 低温性能

低温弯曲试验用于测定沥青混合料在规定温度和加载速率下弯曲破坏的力学性质,评价沥青混合料的低温抗裂性。在 -10°C 、50 mm/min 条件下进行低温弯曲试验,评价活性橡胶沥青混合料的低温性能,结果见表 6。

从表 6 可看出:掺入活性橡胶后,密级配混合料 AC-20 的抗弯拉强度、劲度模量和破坏应变等指标都有一定提高。这是由于掺入活性橡胶后,橡胶的存在使材料的弹性增强,活性橡胶和沥青填充到集料空隙中形成网状结构,集料之间的粘结力增强,分担了部分应力,使混合料的垂直变形能力提高。

表6 沥青混合料小梁弯曲试验结果

混合料类型	最大荷载/ kN	跨中挠度/ mm	抗弯拉强度/ MPa	劲度模量/ MPa	破坏应变/ $\mu\epsilon$	
					试验值	技术要求
70# 基质沥青 AC-20	1.067	0.481	8.72	3 457.6	2 521.2	$\geq 2\ 000$
活性橡胶 AC-20	1.199	0.508	10.07	3 792.8	2 654.7	

3.3 水稳性能

采用浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验检验活性

橡胶密级配沥青混合料的水稳性能,试验结果见表7、表8。

表7 沥青混合料浸水马歇尔试验结果

混合料类型	非条件(0.5 h)下的试验结果		条件(48 h)下的试验结果		残留稳定度/%	
	稳定度/kN	流值/(0.1 mm)	稳定度/kN	流值/(0.1 mm)	试验值	技术要求
70# 基质沥青 AC-20	11.74	39.2	9.94	42.50	84.70	≥ 80
活性橡胶 AC-20	13.28	34.7	11.96	38.83	90.06	

表8 沥青混合料冻融劈裂试验结果

混合料类型	非条件下劈裂强度/MPa	条件下劈裂强度/MPa	冻融劈裂强度比/%	
			试验值	技术要求
70# 基质沥青 AC-20	0.894 8	0.724 8	81.0	≥ 75
活性橡胶 AC-20	1.095 4	0.977 2	89.2	

从表7和表8可以看出:1)无论是浸水前还是浸水后,添加活性橡胶的密级配AC-20具有更好的稳定度和较低的流值,其残留稳定度由84.7%提升至90.06%。2)随着活性橡胶的掺入,混合料冻融前后的劈裂强度均得到提高,且冻融劈裂强度比由81.0%提高到89.2%。说明掺入活性橡胶可改善沥青混合料的抗水损害性能。这是由于活性橡胶具有活性,能改善沥青与集料的粘附性并加大二者之间的界面作用力,且活性橡胶良好的分散作用可提高沥青结合料的粉胶比,增强沥青混合料的抗水损害性能。

4 结论

(1)活性橡胶掺入普通沥青胶结料中,可提高沥青胶结料的高温性能和抗疲劳性能,改善其低温抗裂性能;掺量20%左右时沥青胶结料的抗疲劳性能最好。

(2)活性橡胶采用直投方式添加到沥青混合料中,其用于密级配混合料AC-20的最佳掺量为17%;其可替代部分沥青,具有良好的经济效益。

(3)活性橡胶密级配混合料AC-20的车辙稳定度为5 282次/mm,达到SBS改性沥青混合料的效果,掺入活性橡胶可大幅度提高密级配混合料的高温稳定性。

参考文献:

- [1] 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,2003.
- [2] 杨志峰,李美江,王旭东.废旧橡胶粉在道路工程中应用的历史和现状[J].公路交通科技,2005,22(7).
- [3] JTG F40-2004,公路沥青路面施工技术规范[S].
- [4] JTG E20-2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [5] 周和胜,郭静.沥青混合料低温性能影响因素分析[J].城市道桥与防洪,2010(6).
- [6] 丁红霞,程国香,张建峰.SHRP评价改性沥青的性能研究[J].石油沥青,2012,26(4).
- [7] 高腾,张航.沥青高温性能评价指标研究[J].公路交通技术,2015(4).
- [8] 罗万洪.沥青混合料配合比设计探讨[J].福建建材,2010(6).
- [9] 刘爱华,李爱芳,吴春颖,等.有机改性活性矿物的微观结构分析[J].现代交通技术,2013,10(5).
- [10] 王高峰,马平均.沥青混合料水损害性的评价方法[J].中国新技术新产品,2010(7).
- [11] 丁然.沥青混合料的抗水害性能研究[J].交通世界:建养.机械,2009(7).