

基于 Overlay Test 沥青混合料抗反射裂缝性能研究

黄贤顺¹, 冯林²

(1. 中交公路规划设计院有限公司, 北京市 100010; 2. 海南省交通规划勘察设计研究院)

摘要: 为研究沥青罩面的抗反射裂缝性能,通过 Overlay Test 试验的荷载周期数、荷载损失率、临界断裂能和初始周期最大荷载等指标对 SBS、橡胶粉和橡胶粉—PE 3 种改性沥青混合料罩面进行老化前后的抗反射裂缝性能研究。结果表明:荷载周期数和荷载损失率指标可以很好地评价沥青罩面的抗反射裂缝性能,临界断裂能和初始周期最大荷载可以作为辅助评价指标;SBS 改性沥青罩面在老化前后均有良好的抗反射裂缝性能;OT 试验的荷载周期数—最大荷载变化曲线符合幂函数变化规律,幂函数参数 a 可作为评价抗反射裂缝指标。

关键词: 沥青混合料罩面; 改性沥青; 反射裂缝; Overlay test; 长期老化

近年来,对原有的水泥混凝土路面进行升级改造的“白改黑”工程在中国路面改造工程中越来越多。无论是旧路维护还是低等级公路改造升级,在原有路面上加铺新的沥青混合料罩面是常用的工程措施。但是如果只采用传统方式直接在原有旧水泥混凝土路面加铺沥青罩面,则原有旧水泥混凝土路面的纵横向裂缝以及施工缝等将会受到温度和湿度等的影响而产生胀缩,从而向上作用影响到加铺罩面,形成反射裂缝病害。反射裂缝是沥青混合料罩面所面临的重要问题,为了使加铺罩面能够克服反射裂缝病害,拥有良好的路用性能,中国多采用改性沥青作为沥青胶结料,其中 SBS 改性沥青和橡胶改性沥青应用较为广泛且有着不错的效果。该文提出一种橡胶粉—PE 复合改性高黏沥青,并与 SBS、橡胶粉改性沥青进行对比,选用中国国内沥青罩面广泛应用的 SMA—13 级配进行混合料设计,以国外的 Overlay Test 方法为基础,研究 3 种改

性沥青混合料罩面的抗反射裂缝性能。

1 试验材料

1.1 沥青胶结料

在“白改黑”工程中铺设的沥青混合料罩面应该具有良好的黏性和黏附性以及高低温性能,因此多采用改性沥青。该文的研究对象采用了中国沥青罩面实际工程中应用广泛的 SBS 改性沥青、橡胶粉改性沥青和一种高黏性的橡胶粉和塑料(PE)复合改性沥青作为研究对象。其中 SBS 改性沥青为成品 I—D 型改性沥青,橡胶粉改性沥青为 15% 掺量的 50 目橡胶粉与重交 70# 基质沥青制备而成,橡胶粉—PE 复合改性沥青是由 5% 的 PE 和 10% 的 50 目橡胶粉制备而成。3 种改性沥青的基本技术指标如表 1 所示。

表 1 改性沥青基础指标

技术指标	单位	SBS	橡胶粉	橡胶粉—PE	试验方法
针入度(25℃,100 g,5 s)	0.1 mm	53.0	40.1	43.0	T0604
软化点 $T_{R\&B}$	℃	75.2	68.4	72.1	T0606
延度(5℃,5 cm/min)	cm	32.0	8.2	7.8	T0605
运动黏度(135℃)	Pa·s	2.5	3.4	5.5	T0625
弹性恢复(25℃)	%	93.0	78.0	85.0	T0662

1.2 集料

由于“白改黑”工程中的沥青罩面层作为表层,直接承受交通荷载,集料首要满足的是其耐磨性能。集料首选磨耗损失小,质地坚硬,粗糙、有棱角的玄武岩集料,分为 3 个规格:10~15 mm、5~10 mm、3~5 mm。0~3 mm 的石屑采用石灰岩。矿粉则采用石灰岩矿粉,各档集料的密度试验结果如表 2 所示,各档集料的筛分试验结果如表 3 所示。

表 2 集料密度试验结果

集料规格/mm	毛体积相对密度	表观相对密度	吸水率/%
10~15 mm	2.69	2.73	0.8
5~10 mm	2.70	2.77	1.1
3~5 mm	2.65	2.69	1.2
0~3 mm	2.62	2.65	1.3
矿粉	2.71	2.71	—

表 3 集料通过百分率试验结果

集料规格/ mm	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
10~15	100	92.1	20.2	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5~10	100	100	98.6	18.6	5.3	2.6	0.5	0.0	0.0	0.0
3~5	100	100	100	98.7	30.5	10.2	7.1	5.5	2.1	1.2
0~3	100	100	100	100	99.5	89.7	53.2	22.4	14.2	4.1
矿粉	100	100	100	100	100	100	100	100	94.3	87.4

2 混合料级配设计

根据中国“白改黑”工程中的实践经验,该文所选取级配为工程中应用较广的 SMA-13,同时依据 JTG F40-2004《公路沥青路面施工技术规范》中关于 SMA-13 级配的范围要求进行混合料的级配设计。选用集料的各档比例为:(0~15 mm):(5~10 mm):(3~5 mm):(0~3 mm):矿粉=38:43:1:7:11。SMA-13 的设计级配如图 1 所示。

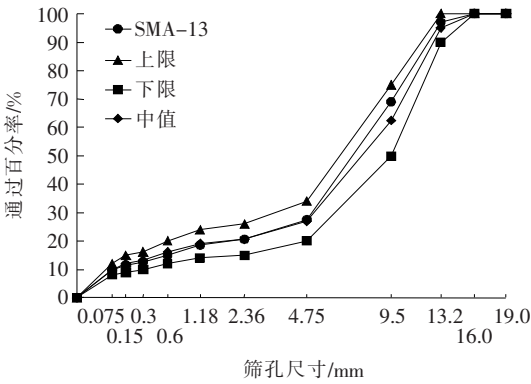


图 1 SMA-13 设计级配曲线

在 SMA-13 级配设计的基础上,对 3 种改性沥青进行混合料配合比设计,其中木质素纤维的掺量确定为 3‰。SBS 改性沥青、橡胶粉改性沥青、橡胶粉-PE 复合改性沥青的最佳油石比分别为 6.2%、5.9%、6.0%。

3 Overlay Test 试验

3.1 试样制备

在 3 种改性沥青的最佳油石比下,在室内搅拌制备沥青混合料,按照美国关于 Overlay Test 的试验规程要求,通过旋转压实试验制备出一个直径为 150 mm、高为(115±5) mm 的圆柱形试件,待冷却脱模后,按照规范要求将试件进行切割,确保切割后试件的密实度达到 93%±1%。试件最长处为 150 mm、宽为 76 mm、高为 38 mm。按照规范要求,同一条件的试样制备 3 个平行试件。

3.2 试验原理

将切割好的试件用 AB 胶黏结在两块拉伸盘上,然后将试件和拉伸盘安装在试验设备上用螺丝紧固。设备上预留一条 2 mm 长的空隙,设备一端固定,一端可以水平移动。

试件受力方式为设备拉动试件产生一个横向的位移来模拟道路反射裂缝对上部沥青罩面的作用,拉力使试件产生 0.635 mm 的裂缝。试验的加载模式为正弦三角波形,一个荷载周期为 10 s(加载 5 s,卸载 5 s)。试验通过多次周期循环的位移变换来模拟反射裂缝随温度和荷载作用而产生的闭合运动。

以试件所能承受的荷载循环次数即荷载周期数来评价抗反射裂缝性能和疲劳性能。美国得克萨斯州规

范规定,当某次循环荷载的大小衰减到初始最大荷载的 7%以下时,认定试件破坏,停止试验。或者当荷载没有衰减至初始荷载的 7%,但是循环次数达到 1 200 次时,亦停止试验。

3.3 试验方案

采用 SBS 改性沥青、橡胶粉改性沥青和橡胶粉—PE 改性沥青 3 种沥青制备 SMA—13 沥青罩面混合料,试验温度选取 25 ℃,除进行标准状况下的试验外,对 3 种改性沥青混合料进行试验室加速老化试验,先对混合料进行短期老化,然后将试件成型切割,将切割好的试件置于 85 ℃ 的烘箱中,在强制通风条件下连续加热 5 d。待试件冷却,进行 Overlay Test 试验。

4 试验结果分析

通过 Overlay Test 试验可以得到试件的荷载循环次数、荷载损失率、拉伸荷载、位移和温度等试验结果,当荷载损失率达到 93%(即某一周期的荷载/初始最大荷载=7%),或者试验周期次数达到 1 200 次时,试验结束。试验采用荷载周期数、荷载损失率、临界断裂能和初始周期最大荷载来评价 3 种沥青罩面的抗裂性能。

其中荷载周期数为试验停止时试件所受的荷载循环次数。荷载损失率=1-(某一周期的荷载/初始最大荷载)×100。临界断裂能为试件在初始产生裂缝时所需要的能量。

得到常规条件下和老化后的 OT 试验结果如表 4 所示。图 2 为 3 种改性沥青混合料在常规和老化后的最大荷载—荷载周期曲线变化图。

表 4 Overlay Test 试验结果

条件	沥青类型	荷载周 期数/ 次	荷载 损失 率/%	临界断裂 能/(J· m ⁻²)	初始周 期最大 荷载/kN
常规	橡胶粉—PE	1 200	81.6	2.21	3.65
	橡胶粉	1 200	85.4	1.62	2.99
	SBS	1 200	73.3	1.11	1.63
老化	橡胶粉—PE	861	93.0	2.23	3.49
	橡胶粉	670	93.0	1.88	2.94
	SBS	1 200	75.5	1.59	2.14

由表 4 可知:在 25 ℃ 的常规条件下,3 种改性沥青混合料罩面均表现出了良好的抗反射裂缝性能,荷载周期数在达到 1 200 次时,荷载损失率均在 93%以

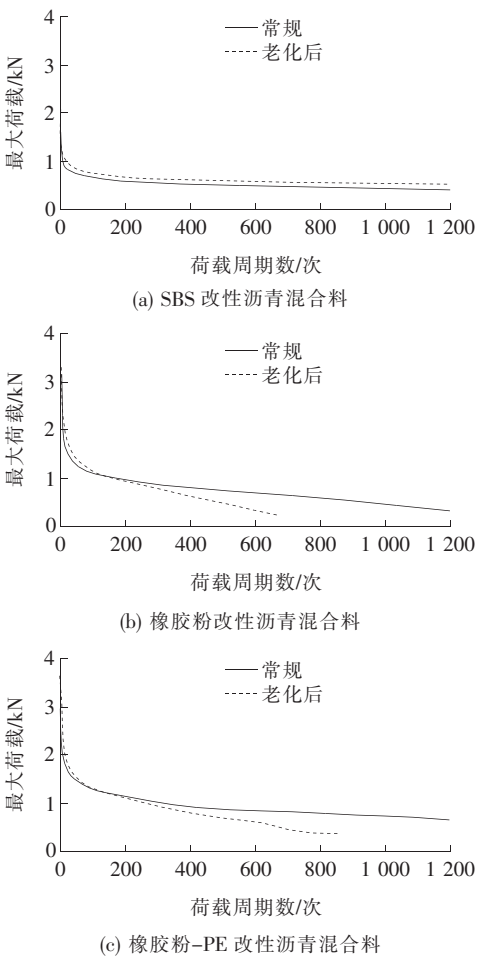
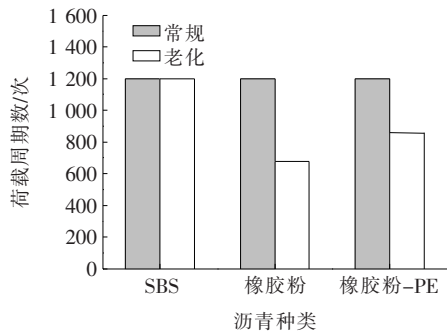


图 2 最大荷载—荷载周期数变化曲线

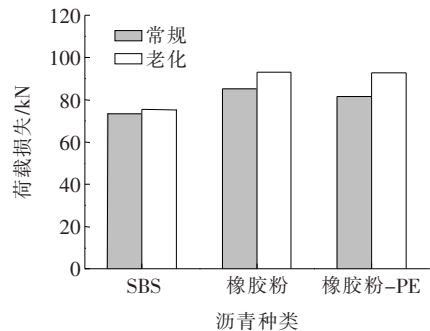
下。这与 3 种改性沥青拥有较强的黏度以及弹性恢复有着重要的关系,同时合适的级配选择也是其良好抗裂性能的保证。而在长期老化之后,可以发现 SBS 改性沥青罩面的荷载周期数依旧达到了 1 200 次,保持了良好的抗反射裂缝性能。橡胶粉和橡胶粉—PE 的荷载周期数分别为 670 次和 861 次,抗反射裂缝的性能因为长期老化而出现了衰减。

从图 2 可以看出:① 3 种沥青混合料罩面的最大荷载随着循环次数的增加总体的变化趋势较为一致,即在开始阶段所需荷载较大,但是荷载衰减很快,而后进入稳定下降状态,这是在初始裂缝形成后随着裂缝扩展阶段而反映出来的现象,直至裂缝扩大至试件顶端使试件彻底破坏;② 在常规条件下 SBS 的荷载随着周期增加下降得最为缓慢,橡胶粉—PE 次之,而橡胶粉改性沥青混合料的下降趋势最明显;③ 经过长期老化之后,SBS 的最大荷载—荷载周期变化曲线的变化规律是保持一致的,而橡胶粉和橡胶粉—PE 均为在初期阶段保持一致,而后迅速下降,从而达到破坏,表明

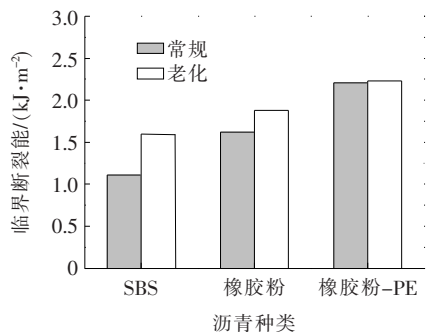
受到长期老化的影响,这两种材料的沥青罩面出现裂缝后迅速扩展开来而失效破坏。



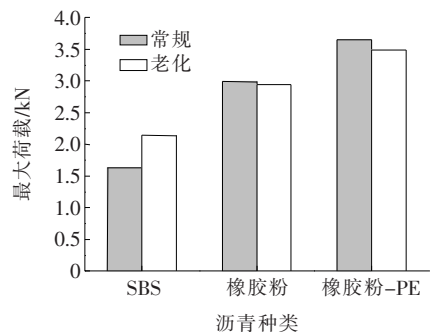
(a) 荷载周期数



(b) 荷载损失



(c) 临界断裂能



(d) 初始周期最大荷载

图 3 老化对沥青罩面抗反射裂缝性能的影响

由图 3 可知:由于受到老化作用的影响,除 SBS 外混合料罩面的荷载周期数减小,3 种混合料的荷载损失率均增加,开裂所需的临界断裂能也都出现了增加,SBS 的初始最大荷载受老化影响增加而另外两种略有减小。老化前三者均有较好的抗裂性,同时 SBS 的荷载损失最小,橡胶粉-PE 次之。3 种改性沥青混合料产生裂缝所需要的荷载和断裂能从大到小依次为:橡胶粉-PE>橡胶粉>SBS。

在老化之后,SBS 改性沥青混合料受到的影响最小,其抗反射裂缝性能最好且荷载损失最小,老化前后的荷载周期数均达到了 1 200 次,而荷载损失只增加了 2.2%,但临界断裂能和初始最大荷载均有所增加,这是由于老化后沥青混合料变硬的结果,使产生裂缝所需要的荷载增加。橡胶粉沥青罩面受到老化作用的影响最为明显,荷载周期数为 670 次时试件便已失效,而橡胶粉-PE 也受到了老化的影响,荷载周期数下降到了 861 次。因此 SBS 改性沥青罩面的耐久性更佳。

4.2 沥青种类对抗反射裂缝性能的影响

沥青种类对抗反射裂缝性能的影响见图 4。
由图 4 可知:在未老化时,3 种改性沥青混合料均有着良好的抗反射裂缝性能,三者根据荷载损失排序

4.1 老化对抗反射裂缝性能的影响

老化对沥青罩面抗反射裂缝性能的影响见图 3。

为:橡胶粉>橡胶粉-PE>SBS,根据临界断裂能和初始最大荷载排序为:橡胶粉-PE>橡胶粉>SBS,因此综合来说在未老化时,3 种材料抗反射裂缝性能的排序应为橡胶粉-PE>SBS>橡胶粉。

在老化之后,橡胶粉和橡胶粉-PE 的荷载周期数都有不同程度的降低,而 SBS 的荷载周期数仍然达到了 1 200 次而荷载损失率增量较小。老化后三者的抗反射裂缝性能:SBS>橡胶粉-PE>橡胶粉。但是临界断裂能和初始最大荷载的变化规律仍然和老化前一致。因此不建议将断裂能和最大荷载作为评价抗反射裂缝性能的主要指标。

4.3 OT 曲线拟合

通过对图 2 中的荷载周期-最大荷载曲线关系图进行拟合,发现曲线均按照幂函数规律 $y = bx^a$ 变化,其中 a 、 b 为参数。曲线拟合结果如表 5 所示。通过表 5 可以发现:除了老化后荷载周期次数不足 1 200 次的橡胶粉和橡胶粉-PE 外,其余达到 1 200 次的曲线回归方程的 R^2 均在 0.90 以上。这表明幂函数可以很好地反映沥青罩面的 OT 试验开裂规律。其中幂函数的系数 a 表征了曲线下落的速率, a 值越大曲线的下降速率越快,混合料破坏的速度越快,抗反射裂缝性能

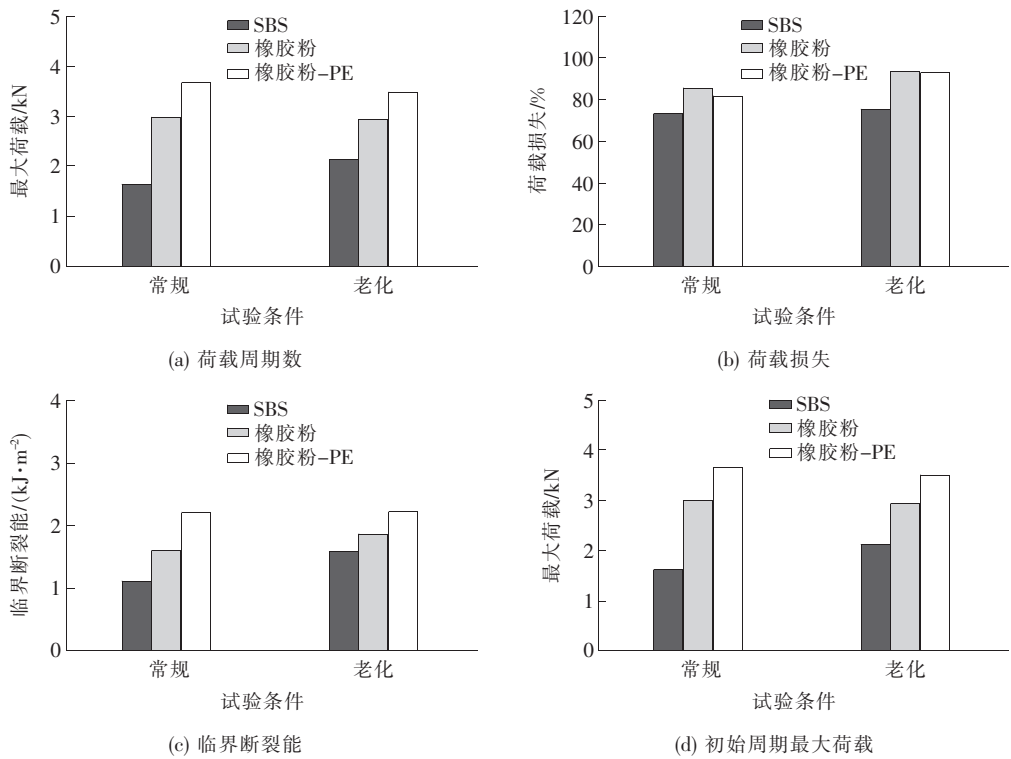


图 4 沥青种类对沥青罩面抗反射裂缝性能的影响

表 5 OT 试验周期—最大荷载曲线拟合结果

条件	沥青类型	拟合公式	R^2
常规	橡胶粉—PE	$y=4.109\ 6x^{-0.251}$	0.994
	橡胶粉	$y=5.450\ 7x^{-0.34}$	0.935
	SBS	$y=1.458\ 9x^{-0.168}$	0.991
老化	橡胶粉—PE	$y=8.089\ 1x^{-0.413}$	0.810
	橡胶粉	$y=9.651x^{-0.482}$	0.790
	SBS	$y=1.521\ 9x^{-0.151}$	0.987

越差。可以发现老化和沥青类型对参数 a 影响均较为明显, a 值大小的变化规律与前述指标的规律也基本一致。

5 结论

- (1) Overlay Test 试验可以用于评价沥青罩面的抗反射裂缝性能,试验发现荷载周期数和荷载损失率可以很好地评价混合料的抗反射裂缝性能,而临界断裂能和初始最大荷载不建议作为评价的主要指标。
- (2) 3 种改性沥青罩面在常规 25 ℃ 条件下均有较好地抗反射裂缝性能,但老化后 SBS 改性沥青罩面的抗反射裂缝性能较好,有较好的耐久性。

(3) 研究发现 3 种材料的荷载周期—最大荷载曲线的变化规律为幂函数变化且幂函数参数 a 可以作为评价抗反射裂缝性能指标, a 值越大抗反射裂缝性能越差。

参考文献:

[1] 刘浙湘. 旧水泥混凝土路面沥青罩面技术研究[J]. 中外公路, 2009(1).

[2] 李淑明, 蔡喜棉, 许志鸿. 防止反射裂缝的沥青加铺层设计方法[J]. 华东公路, 2001(4).

[3] 杜宇兵, 邹晓翎, 阮鹿鸣, 等. 基于灰色关联理论的沥青薄层罩面层间剪应力影响因素研究[J]. 中外公路, 2018(3).

[4] 郭贺贺, 沙海洋, 仇云强, 等. 旧水泥路沥青加铺层反射裂缝影响区域分析及加固方法[J]. 中外公路, 2018(4).

[5] 翟瑞鑫, 陈永满, 余清华, 等. 基于 overlay tester 评价大粒径透水沥青混合料抗反射开裂性能[J]. 功能材料, 2017(9).

[6] 李兴海, 周绪利, 张涛, 等. 基于 Overlay Tester 试验评价沥青混合料抗反射裂缝的能力[J]. 中外公路, 2015(3).

[7] TEX-248-F. Overlay Test[M]. Construction Division, Texas Department of Transportation, 2009.

[8] 郝晓红. 基于抗裂性能的橡胶沥青应力吸收层混合料关键指标研究[J]. 中外公路, 2016(5).