

# 再生胶 SBS 复合改性沥青制备工艺对沥青性能影响

Effect of the preparation process of recycled rubber/SBS composite modified asphalt on asphalt properties

马亮  
MA Liang

(甘肃华灵建设工程有限公司 甘肃 兰州 730030)

(Gansu Hua Gui Construction Engineering Company Limited, Lanzhou, Gansu 730030 China)

**摘要:** 为了探究再生胶/SBS 复合改性沥青制备工艺对其沥青性能影响,通过剪切流变试验对不同配方及工艺下复合改性沥青的全温度域流变特性进行了表征。结果表明:胶粉的脱硫处理能提高改性沥青抵抗瞬时荷载作用下的变形能力,增强沥青高温性能;密炼工艺的采用有利于两种改性剂的协同作用,从而提高沥青中温抵抗疲劳及低温抗裂能力。推荐采用再生胶粉掺量为 20%、密炼时长为 45mins 的再生胶粉/SBS 复合改性沥青为工程运用的制备工艺。

**Abstract:** In order to investigate the influence of the preparation process of reclaimed rubber/SBS composite modified asphalt on its asphalt properties, the full temperature domain rheological properties of recycled rubber powder/SBS composite modified asphalt under different formulations were characterized by dynamic shear test. The results show that the desulphurization of the binder improves the resistance of the modified bitumen to deformation under transient loading and enhances the high temperature performance of the bitumen; the use of the dense refining process facilitates the synergistic effect of the two modifiers, thus improving the fatigue resistance and crack resistance of the bitumen at medium temperature. The use of recycled rubber powder dosing of 20% and dense refining time of 45mins is recommended for the preparation of composite modified asphalt for engineering use.

**关键词:** 胶粉; 复合改性沥青; 流变性能

**Keywords:** Rubber powder; composite modified asphalt; rheological properties.

近年来,交通量的迅猛增加及温室效应进程的深入,使得道路研究者对道路材料不断革新,复合改性沥青作为代表之一,正在国内蓬勃发展,而胶粉/SBS 改性沥青因其优良的性能及经济性备受研究者关注<sup>[1-4]</sup>。Zhang 等<sup>[5]</sup>人研究发现,SBS 作为改性剂运用于橡胶沥青能够有效的改变复合改性沥青的高温稳定性,并且探讨了不同硫化程度对于复合改性沥青耐久性的影响。王仕峰<sup>[6]</sup>认为再生胶粉/SBS 复合改性沥青既采用脱硫技术破坏了常规胶粉的稳定交联网络结构,又根据等密度原理实现 SBS/胶粉的复合,有效解决了胶粉在沥青中难分散、稳定性差的问题。姚鸿儒<sup>[7]</sup>通过密炼技术将 SBS、脱硫胶粉和相容剂共混,进一步加强了复合改性剂与沥青的物理化学结合,利用等密度原理实现 SBS/橡胶的复合,可综合改善胶粉、SBS 与沥青的相容性,并减少橡胶沥青制备工艺中有害气体的排放。

综上所述可知,当前对于再生胶粉/SBS 复合改性沥青路用性能的研究已经深入微观尺度分析其改性机理,但基于等密度原理的制备工艺及制备工艺对沥青性能的研究较少。论文采用对比试验研究的方式,应用流变学测试方法对不同掺量与制备工艺条件下的复合改性沥青的高温稳定性、中温疲劳性及低温抗裂进行研究,为新型改性沥青的设计与应用提供技术支持。

## 1. 材料及试验方法

### 1.1 复合改性沥青的制备

沥青样品为 70# 基质沥青及江苏中宏环保科技有限公司提供的普通轮胎胶粉、再生胶粉/SBS 复合改性粒子以及韩国 LG501 型线性 SBS 改性剂,其中复合改性粒子为再生胶粉与 SBS 改性剂运用密炼技术,将将脱硫处理的再生胶粉分别以 20%、25% 的比例与 4% 的 SBS 改性剂进行不同时间的物理力学作用,制备成的复合改性粒子。为控制制备过程对复合改性沥青的性能影响,制备过程中均以油浴箱将基质沥青加热至 180℃,随后加入改性剂,运用高速剪切机先高速剪切 1.5h,再利用搅拌机搅拌 1h 使其充分溶胀。研究所用的 6 种沥青的改性剂掺量及密炼时长如下表 1 所示。

表 1 沥青样品种类及识别号

沥青编号	具体信息	密炼时间
------	------	------

J-20	4% SBS+ 20% 胶粉	0
M-20	4% SBS+ 20% 脱硫胶粉	30min
M-25	4% SBS+ 25% 脱硫胶粉	30min
M-15MINS	4% SBS+ 20% 脱硫胶粉	15min
M-45MINS	4% SBS+ 20% 脱硫胶粉	45min

### 1.2 沥青流变性能试验方法

为了准确表征再生胶粉/SBS 复合改性沥青的流变特性,研究通过不同温度下的试验研究其流变特性:低温域 BBR 试验 (-18℃、-24℃以及-30℃),中温度域采用 LAS 试验 (25℃)、高温域采用 MSCR 试验 (70℃、76℃以及 82℃)。为了保证实验数据的可靠性,所有的流变性试验至少重复三次。

## 2. 结果与讨论

### 2.1 MSCR 试验结果

表 2 显示的是 MSCR 试验获得的各种复合改性沥青在不同试验温度下的不可恢复蠕变柔量平均值 ( $J_{nr}$ ) 及蠕变恢复率 R。由表 1 可知,随着温度的升高,两种应力水平下的复合改性沥青  $J_{nr}$  值均逐渐升高。然而在 3.2 应力水平下,未密炼复合改性沥青的  $J_{nr}$  显著高于 M 系列改性沥青,即再生胶粉/SBS 复合改性沥青在强应力下的蠕变恢复能力强于常规胶粉复合改性沥青,这是因为胶粉的脱硫处理能增强沥青与胶粉的相互作用,协同发挥两者的抗变形能力,在一定程度上提高了沥青的高温稳定性。在相同的 M 系列改性沥青中,其  $J_{nr}$  值在 0.1 应力水平时差异并不明显,但在 3.2kPa<sup>-1</sup> 应力、82℃时, M-25 及 M-45MINS 改性沥青的  $J_{nr}$  值显著偏低,并与其在 0.1 应力水平基本不变,这表明在小应力水平下改性沥青对于温度与胶粉掺量都不敏感,但胶粉掺量的适当增加及密炼时间的增长能显著改善沥青在高温、强应力作用下的抗变形能力。

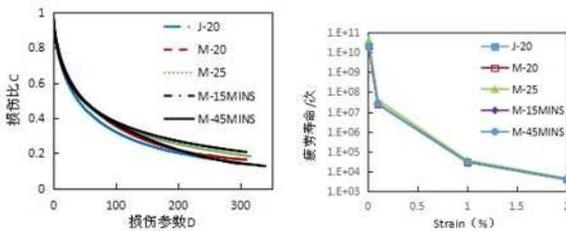
不同试验温度下的蠕变恢复率 (R) 结果表明未密炼的复合改性沥青 (J-20) 与 M 系列改性沥青具有显著差别,并且 R 值较低,  $R_{3.2}$  更为明显。这也说明了胶粉的脱硫处理能在一定程度上提高沥青的高温稳定性。在小应力水平下,温度与胶粉含量的改变对于 M 系列改性沥青的 R 值影响并不明显且数值较大,这也表示在小应力水平下再生胶粉/SBS 改性沥青对于温度

与胶粉含量都不敏感，其高温稳定性优异。而在大应力水平下，温度的升高显著降低了其R值，对于M-15MINS改性沥青表2 MSCR 试验结果

性能指标 沥青种类	J <sub>nr,0.1</sub>			J <sub>nr,3.2</sub>			R <sub>0.1</sub>			R <sub>3.2</sub>		
	70℃	76℃	82℃	70℃	76℃	82℃	70℃	76℃	82℃	70℃	76℃	82℃
J-20	0.013	0.030	0.059	0.102	0.486	2.236	98.5	97.7	96.7	88.4	68.2	28.0
M-20	0.006	0.010	0.028	0.064	0.272	1.562	99.3	99.2	98.5	93.4	83.2	50.0
M-25	0.004	0.006	0.014	0.019	0.041	0.238	99.2	99.2	98.7	96.7	95.1	82.1
M-15min	0.011	0.028	0.057	0.038	0.317	1.490	98.6	97.7	96.6	94.9	75.3	39.2
M-45min	0.004	0.007	0.016	0.024	0.050	0.406	99.0	98.8	97.9	94.6	92.1	64.3

2.2 LAS 试验结果

根据线性幅度扫描试验，经数据处理可得到不同种改性沥青损伤曲线如图1所示。由图3(a)可知当C为0.35时，M-30MINS以及M-45MINS改性沥青的破坏程度相近，但在C>0.35时，任意给定的累积损伤参数D下，M-30MINS改性沥青的完整性优于M-45MINS改性沥青。此外，M-20和M-25改性沥青的损伤曲线下降速率相近，说明了胶粉含量的改变在25℃下对沥青样品疲劳性能的影响较小。由VECD模型推导出5种复合改性沥青的疲劳方程，得到其疲劳寿命曲线如图3(b)所示。可见，沥青的疲劳寿命均随应变水平的提高而降低，但M-45MINS改性沥青的抗疲劳性能始终优于其他改性沥青，甚至在低应变水平下高出J-20改性沥青一个数量级。这或许是因为胶粉的微观结构发生了变化，脱硫打断了胶粉内部的硫键，增加了胶粉活性，更容易吸收沥青轻质组分。而密炼时间的增加可能会促使脱硫胶粉在沥青中释放出更多的橡胶轻分子与SBS重新交联，从而提高其抗疲劳损伤性。



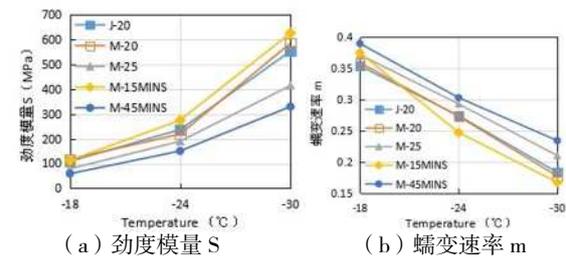
(a) 损伤特性曲线图 (b) 结构应变-沥青疲劳寿命关系图 1 复合改性沥青 LAS 试验结果

2.3 BBR 试验

图2是5种样品的低温蠕变试验结果。可以看出，随着试验温度的不断降低，5种改性沥青的劲度模量S值均逐渐增大，蠕变速率m逐渐减小，而在-30℃时达到破坏。这说明随着温度的下降，沥青中的弹性成分逐渐增多使得沥青逐渐硬化变脆，低温松弛能力降低，-30℃时已经低于其能承受的低温柔性极限。值得注意的是M-25及M-45MINS系列复合改性沥青的S和m值显著优于其它改性沥青，也就是说这两种改性沥青所展现的低温柔性更优越。但试验数据却出现在某个测试温度下样品的S值不高于300MPa，但m值却低于0.3的现象，可见仅采用S和m指标所得到的结论不具有足够的说服力。论文进一步通过在半对数坐标系和算术坐标系下拟合S和m数据得到了改性沥青的低温柔性等级温度T<sub>LG</sub>表2所示。首先可见，表中所有沥青的T<sub>LG</sub>均>-30℃，这与在测试的温度范围内，所有沥青样品在-30℃时失效相吻合，也表明BBR试验采用低温柔性等级温度评价再生胶粉/SBS复合改性沥青的低温柔性抗裂性是合适的；5种沥青的T<sub>LG</sub>排序为：M-45MINS改性沥青<M-25改性沥青<M-20改性沥青<J-20改性沥青<M-15MINS改性沥青。低温柔性等级温度越低表明沥青的抗低温开裂性越强，这表明在一定范围内，脱硫处理的再生胶粉、胶粉掺量的增加以及密炼技术的应用都能提高改性

甚至降低了50%，这可能是由于强应力和高温的综合作用使得改性沥青的粘性成分增多，抗变形能力减弱了。

沥青的低温柔性。



(a) 劲度模量 S (b) 蠕变速率 m 图2 复合改性沥青 BBR 试验结果

表2 低温柔性等级温度

样品	J-20	M-20	M-25	M-15MINS	M-45MINS
T <sub>L,s</sub>	-25.58	-24.73	-24.32	-24.77	-25.43
T <sub>L,m</sub>	-21.44	-21.49	-22.84	-21.23	-23.97
T <sub>LG</sub>	-21.44	-21.49	-22.84	-21.23	-23.97

3. 结论

本文基于流变试验对再生胶粉/SBS复合改性沥青的流变特性进行了探究，可得出以下结论：

- (1)再生胶粉/SBS复合改性沥青制备工艺对其流变性能影响显著，密炼工艺后两种改性剂协同效益增强，展现出良好的路用性能；
- (2)再生胶粉赋予了复合改性沥青的弹性，有利于提高蠕变恢复能力，密炼后高温抗变形能力最佳。
- (3)复合改性沥青的制备工艺对疲劳寿命具有显著影响，同掺量下密炼后疲劳寿命提升10倍，但胶粉掺量影响不显著。

参考文献：

[1]蔡斌,王佳,相宏伟,焦依坤.超高掺量胶粉改性沥青性能评价及机理研究[J].公路交通科技,2022,39(09):16-22+109.  
 [2]王笑风,吕小武,褚付克,等.不同类型橡胶粉与SBS复合改性沥青的性能特征分析[J].硅酸盐通报,2019,38(11):3695-3702.  
 [3]石小培,翟佳,王译民,等.SBS复合改性低掺量橡胶沥青路用性能研究[J].市政技术,2022,40(06):180-187.  
 [4]毛三鹏,何炎衡,郝亚革,等.胶粉对高掺量SBS改性沥青性能的影响研究[J].新型建筑材料,2022,49(05):129-132+136.  
 [5]Feng Zhang, Hu Changbin. The research for structural characteristics and modification mechanism of crumb rubber compound modified asphalts. Construction & Building Materials, 2015,76(76): 330-342.  
 [6]王仕峰,吴晓羽,杨思远,姚鸿儒.嵌入式胶粉复合SBS改性沥青的结构与性能[J].建筑材料学报,2016,19(03):534-538.  
 [7]姚鸿儒,王仕峰,张勇.SBS/胶粉复合改性中海沥青的热储存稳定性[J].高分子材料科学与工程,2015,31(06):102-106+111.