

# 基于原子力显微镜的“活化”工艺对布敦岩 沥青改性沥青性能影响研究

李亚非<sup>1,2</sup>, 方晓坤<sup>3</sup>, 桂启涛<sup>2</sup>

(1. 哈尔滨工业大学, 黑龙江 哈尔滨 150090; 2. 交通运输部科学研究院, 北京市 100029;

3. 新疆生产建设兵团公路科学技术研究所, 新疆 乌鲁木齐 830054)

**摘要:**在利用布敦岩沥青改性沥青的过程中,为了提高布敦岩沥青的利用率,提升改性沥青性能,该文提出对布敦岩沥青进行“活化”处理,即将岩沥青研磨、加热,使天然沥青析出的工艺。室内试验发现:“活化”后的岩沥青改性沥青,与未采用“活化”工艺的改性沥青相比,针入度下降、软化点上升,5℃延度与135℃运动黏度均有提升,且随掺量的增加趋势越来越明显;当“活化”后布敦岩沥青掺量为30%以上时,改性沥青的性能可达到聚合物改性沥青水平。为了从微观层面进一步明确“活化”工艺对岩沥青改性沥青性能的影响,采用原子力显微镜进行微观性能测试,结果表明:“活化”后岩沥青改性沥青DMT模量约为基质沥青的2.5倍,说明“活化”后岩沥青改性沥青黏度大幅提升,改性效果显著。

**关键词:**道路工程;“活化”加工工艺;原子力显微镜;布敦岩沥青改性沥青

**中图分类号:** U414 **文献标志码:** A

布敦岩沥青是古代石油渗透、溢流后经过亿万年的沉积、变化,在热能、压力、氧化、触媒细菌等的综合作用下衍生成的沥青类残余物质。布敦岩沥青通常具有软化点高,黏度大,抗氧化性和水敏感性强、耐候性好、抗微生物腐蚀能力强、不含蜡、分子量大、易储存和

加工、与基质沥青化学结构相近,配伍性好且不离析的特点,将其作为改性剂改性沥青会提高沥青路面性能,尤其是高温稳定性、抗水损坏和耐久性能,社会与经济效益显著<sup>[1-4]</sup>。

布敦岩沥青中的天然沥青含量为20%~30%,大

\*\*\*\*\*

制备涂料时应严格控制质量配比;通过与国内外相关标准进行对比,验证了材料的综合性能,表明该标线材料可以在国内外进行推广应用。

## 参考文献:

- [1] BURGHARDT T E, PASHKEVICH A. Emissions of Volatile Organic Compounds from Road Marking Paints[J]. Atmospheric Environment, 2018, 193: 153-157.
- [2] 尚婷,唐伯明,陶盼盼.公路视错觉减速标线横向宽度及角度与减速效果研究[J].中外公路,2016,36(2):303-306.
- [3] 张帆.突起路标有效性及布设方法的研究[J].中外公路,2015,35(2):277-280.
- [4] 郝晓燕,郭忠印,宋灿灿,等.基于可视性衰减的高速公路标志标线安全养护[J].公路,2019,64(1):271-277.
- [5] 刘英杰,刘闯.道路用涂料耐久性评价指标与方法[J].长安大学学报(自然科学版),2018,38(5):40-48.
- [6] 吴京梅,阎莹,刘兴旺.公路视错觉警示减速标线设计优

- 化研究[J].中外公路,2012,32(6):301-304.
- [7] 朱本成,郭忠印,宋灿灿.透光混凝土基LED主动发光交通标线的光纤设置[J].同济大学学报(自然科学版),2019,47(6):802-809.
- [8] 徐安花.掺废旧陶瓷颗粒的道路标线涂料技术性能[J].武汉理工大学学报,2014,36(6):54-57.
- [9] MULL D M, SITZABEE W E. Paint Pavement Marking Performance Prediction Model[J]. Journal of Transportation Engineering-ASCE, 2012, 138(5): 618-624.
- [10] 李浩,马芳,孙素琴.热熔型反光道路标线涂料的红外光谱三级鉴定[J].光谱学与光谱分析,2015,35(12):3339-3343.
- [11] 陈亚楠,肖久梅.玻璃微珠、橡胶粉末填充聚丙烯复合材料吸能特性[J].工程科学学报,2015,37(11):1498-1503.
- [12] 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,2018,38(3):57-62.

部分分布在岩沥青的缝隙中,如果不对其进行处理,直接与基质沥青融合进行改性,能发挥作用的有效沥青少之又少<sup>[5-6]</sup>。为了提高布敦岩沥青的利用率,提升改性沥青性能,该文提出对布敦岩沥青进行“活化”处理,即将岩沥青研磨至一定粒度范围后,经过 150~180 ℃加热,使布敦岩沥青缝隙中的天然沥青析出的工艺,明确“活化”工艺对岩沥青改性沥青性能的影响。

1 布敦岩沥青“活化”工艺

将破碎粒径为 3 mm 以下的岩沥青颗粒,加入到活化设备中,在 150~180 ℃下脱水、搅拌并保持 9 min;将脱水后的岩沥青颗粒的含水率控制在 2% 以下。该工艺使天然岩沥青中的树脂成分激活,被激活的油分包裹着砂粒,将原来岩石状态的沥青转化为胶溶状态的沥青,有利于提高沥青的使用效果<sup>[7]</sup>。通过微观图像表征,活化后的岩沥青表面覆盖了大量的天然沥青,如图 1 所示。

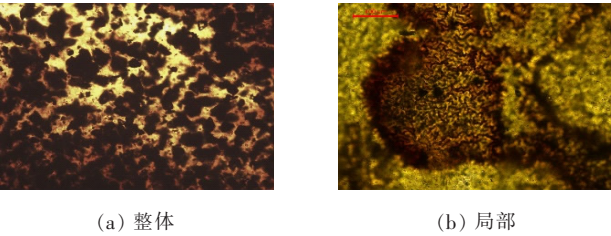


图 1 活化后岩沥青

2 “活化”前后对改性沥青性能的影响

2.1 原材料

布敦岩沥青原材料采用岩沥青干粉,基质沥青采用 70# 道路石油沥青。具体性能指标见表 1、2,由表 1、2 可知:其技术指标均满足规范要求<sup>[8-10]</sup>。

表 1 布敦岩沥青技术指标

检测项目	单位	检测结果	技术指标要求
颜色		褐色粉末	黑色、褐色
灰分	%	73.6	≤80
含水率	%	<0.6	2
沥青含量	%	26.0	—
粒度范围	4.75 mm	%	100
	2.36 mm	%	95.8
	1.18 mm	%	82.8

表 2 70# 道路石油沥青技术指标

检测项目	单位	检测结果	技术指标要求
25 ℃针入度	0.1 mm	73	60~80
软化点	℃	47	>46
15 ℃延度	cm	>100	>100
135 ℃运动黏度	Pa·s	0.45	<3

2.2 试验方案与结果

将未活化与活化后的布敦岩沥青(BRA)分别按照 10%、20%、30%、40% 外掺至 70# 基质沥青中,采用室内小型胶体磨制备不同布敦岩沥青含量的改性沥青。检测改性沥青的 25 ℃针入度、软化点、5 ℃延度与 135 ℃运动黏度,具体检测结果如图 2~5 所示。

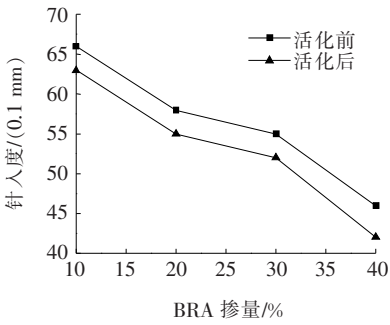


图 2 岩沥青改性沥青针入度随 BRA 掺量变化曲线

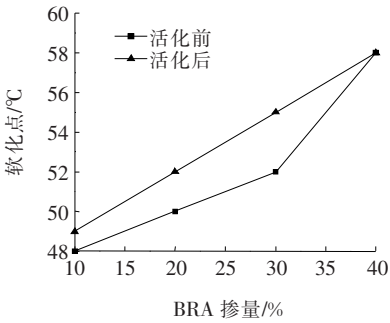


图 3 岩沥青改性沥青软化点随 BRA 掺量变化曲线

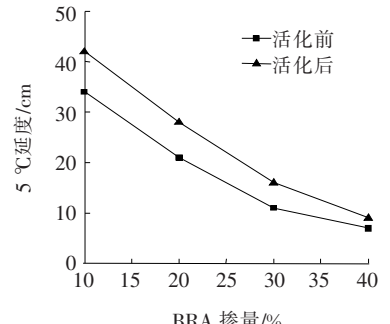


图 4 岩沥青改性沥青延度随 BRA 掺量变化曲线

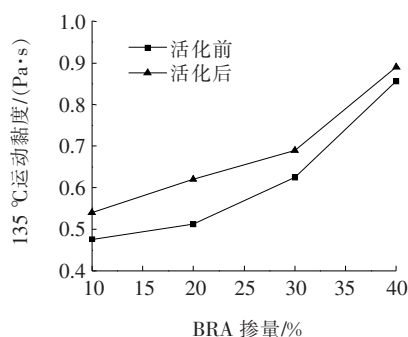


图5 岩沥青改性沥青黏度随BRA掺量变化曲线

由图2~5可知:无论添加活化前的布敦岩沥青还是活化后的布敦岩沥青,改性沥青的针入度与15 °C延度均随着岩沥青掺量的增加而降低,软化点和黏度随着岩沥青掺量的增加而增加,说明沥青的黏度随着岩沥青的增加而提高,有利于提高改性沥青的高温抗变形能力。

添加活化后的岩沥青改性沥青与添加活化前的岩沥青改性沥青相比,整体而言,改性沥青的针入度下降、软化点上升,5 °C延度与135 °C运动黏度均有提升,且随掺量的增加趋势越发明显,说明活化工艺进一步增强了岩沥青改性沥青的黏度。具体而言,在活化后布敦岩沥青掺量为30%以上时,改性沥青的性能可达到聚合物改性沥青水平,但延度指标衰减较为严重,这是由于岩沥青改性沥青中含有岩沥青的灰分,在进行延度试验时,易在灰分颗粒处产生应力集中,造成延度指标偏低,因此该试验方法不适用于评价岩沥青改性沥青。

### 3 “活化”前后岩沥青改性沥青微观性能研究

#### 3.1 纳观形貌

为了从微观角度研究活化工艺对岩沥青改性沥青性能的影响,该文采用原子力显微镜分别观测了基质沥青、外掺30%活化前及活化后的岩沥青改性沥青纳观形貌<sup>[11]</sup>,结果如图6~8所示。

图6~8表明:添加岩沥青后改性沥青的纳观形貌与70#道路石油沥青的纳观形貌并未发生太大变化。

#### 3.2 纳观黏附力

鉴于纳观形貌上岩沥青改性沥青与70#道路石油沥青未有大的差别,采用原子力显微镜DMT模式对沥青样品的表面纳观黏附力进行了表征<sup>[12]</sup>,典型结果如图9~11所示。

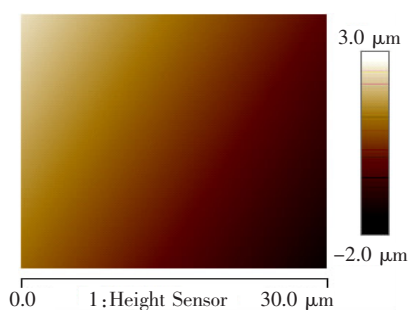


图6 70#基质沥青纳观形貌

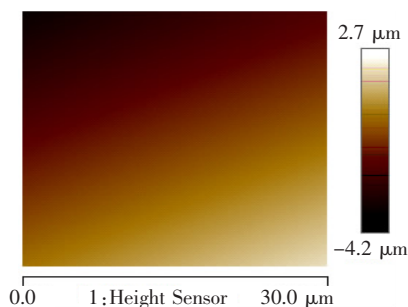


图7 70#基质沥青+30%活化前岩粉纳观形貌

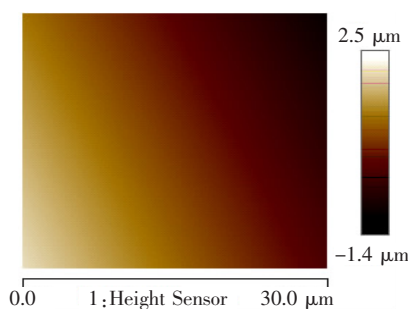


图8 70#基质沥青+30%活化后岩粉纳观形貌

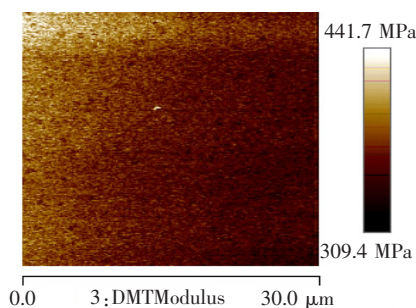


图9 70#基质沥青DMT模量图

由图9~11可以看出:添加30%活化前岩粉会使基质沥青的表面DMT模量略微降低,而添加30%活化后的岩粉可显著提高基质沥青的表面DMT模量。

为了研究不同改性作用对沥青的整体规律,对30 μm×30 μm面积上全部样品的纳观黏附力取平均值,得到活化工艺对岩沥青改性沥青DMT模量均值的影响如图12所示。

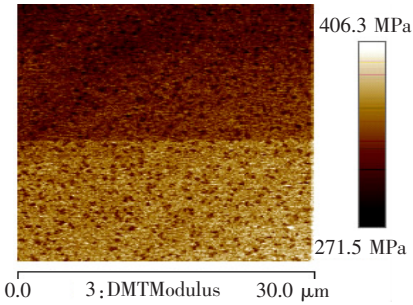


图 10 70# 基质沥青+30%活化前岩粉 DMT 模量图

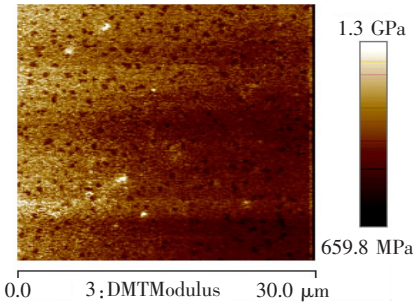


图 11 70# 基质沥青+30%活化后岩粉 DMT 模量图

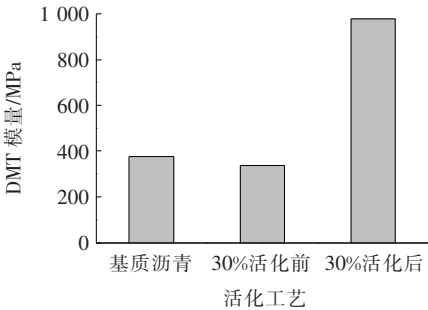


图 12 活化工艺对岩沥青改性沥青 DMT 模量均值的影响

从图 12 可以看出:30%活化前岩粉略微降低了沥青的 DMT 模量,30%活化后岩粉则显著提高了沥青的 DMT 模量,且活化后岩沥青改性沥青 DMT 模量约为基质沥青的 2.5 倍,说明添加活化后岩沥青可使改性沥青的黏度大幅提升,印证了宏观试验结果。

4 结论

- (1) “活化”工艺使天然岩沥青中的树脂成分激活,被激活的油分包裹着砂粒,将原来岩石状态的沥青转化为胶溶状态的沥青,有利于提高沥青的使用效果。
- (2) 室内试验表明:采用“活化”后的岩沥青改性沥青,与未采用“活化”工艺的改性沥青相比,改性沥青

的针入度下降、软化点上升,5℃延度与 135℃运动黏度提升,且随掺量的增加趋势越发明显。

(3) 在“活化”后布敦岩沥青掺量为 30%以上时,改性沥青的性能可达到聚合物改性沥青水平。

(4) 采用原子力显微镜对“活化”前后的布敦岩沥青改性沥青进行微观性能测试发现,“活化”后的改性沥青 DMT 模量约为基质沥青的 2.5 倍,说明添加“活化”后岩沥青的改性沥青黏度大幅提升,改性效果显著。

参考文献:

- [1] 李瑞霞. BRA 沥青岩沥青及其混合料技术特性研究[D]. 西安:长安大学,2010.
- [2] 周国强. 布敦岩沥青及混合料路用性能的试验和研究[J]. 石油沥青,2011,25(4):40—44.
- [3] 樊亮,申全军,张燕燕. 天然岩沥青改性对沥青路面性能的影响[J]. 建筑材料学报,2007,10(6):740—744.
- [4] 李林萍,程龙,于江,等. 岩沥青改性沥青研究分析[J]. 中外公路,2018,38(6):197—203.
- [5] ZHONG L C, ZHANG Y S, WANG T, et al. Optimized Methods for Preparing Activated Carbon from Rock Asphalt Using Orthogonal Experimental Design[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry,2019,136(5):1 989—1 999.
- [6] LI Y F, CHEN J, YAN J, et al. Influence of Buton Rock Asphalt on the Physical and Mechanical Properties of Asphalt Binder and Asphalt Mixture[J]. Advances in Materials Science and Engineering,2018,2 018(1):1—7.
- [7] 黄文通,徐国元. 布敦岩沥青混合料路用性能的试验研究[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2012,40(2):87—91.
- [8] 交通部公路科学研究院. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程:JTG E20—2011[S]. 北京:人民交通出版社,2011.
- [9] 交通部公路科学研究院. 公路沥青路面施工技术规范:JTG F40—2004[S]. 北京:人民交通出版社,2004.
- [10] 交通运输部公路科学研究院. 沥青混合料改性添加剂第 5 部分:天然沥青:JT/T 860.5—2014[S]. 北京:人民交通出版社,2014.
- [11] 杨军,龚明辉,PAULI Troy,等. 基于原子力显微镜的沥青微观结构研究[J]. 石油学报(石油加工),2015,31(4):959—965.
- [12] 孙国强,庞琦,孙大权. 基于 AFM 的沥青微观结构研究进展[J]. 石油沥青,2016,30(4):18—24.