

HXG 再生剂对老化沥青的再生性能影响分析

李海滨¹, 董博¹, 黄建云², 郭平²

(1.西安科技大学 建筑与土木工程学院, 陕西 西安 710054; 2.西安公路研究院)

摘要: 采用 HXG 再生剂对回收老化沥青进行再生,通过接触角分析和红外光谱试验,测定了沥青老化过程的接触角变化和再生沥青的组分变化,分析了再生剂在旧沥青中的作用。综合不同掺量 HXG 再生剂的沥青再生效果,推荐了其适宜掺量,并在相同掺量下与再生剂 A 进行对比试验,分析对室内老化沥青和工程现场旧沥青的软化能力和抗老化能力,然后评价了两种再生剂对旧沥青混合料路用性能的再生效果。结果表明:HXG 再生剂的适宜掺加量为 7%~11%,再生后的老化沥青的软化能力和抗老化能力明显增强,再生沥青混合料的低温性能和水稳定性显著提高,且部分性能优于对比试样(掺再生剂 A),HXG 再生剂在道路再生工程中具有很好的适用性和推广前景。

关键词: 沥青路面; 再生剂; 再生沥青; 接触角分析; 红外光谱图分析

沥青路面在长期使用过程中由于阳光、氧气和雨水等因素发生不可逆的变化称为老化,表现为黏度增大、软化点升高和延度减小。导致其路用性能降低。沥青再生从化学角度看,是老化的逆过程,可以通过添加再生剂调节其化学组分使得性能指标等与原沥青接近,进而恢复沥青混合料的路用性能,对废料的有效利用,保护环境,降低修筑成本有重要意义。

在某一温度范围下,在老化沥青中掺入再生剂,是两者互相渗透、扩散,直至老化沥青的性能逐步得到改善的过程。国外的再生剂产品由于其较好的性能,现阶段在中国路面混合料再生市场有较高的占有率,中国众多高校和科研院所的研究人员在再生剂性能、再生沥青及混合料性能、再生机理、再生设备研究等方面也取得了较多成果,相应开发了诸多再生剂产品陆续应用到现场,但相比国外的再生剂产品,中国大部分产品仍然存在较明显差距。鉴于此,该文以具有自主知识产权的 HXG 再生剂为研究对象,结合对比试样,通过三大指标检测和黏度试验分析再生剂对老化沥青的软化能力,借助车辙试验、冻融劈裂试验、浸水马歇尔试验和低温弯曲试验,检验 HXG 型再生剂对沥青混合料的高、低温稳定性和水稳定性的改善效果,利用接触角分析和红外光谱图分析,从微观角度明确沥青再生后的内部变化,验证该再生剂的可行性,为今后在高

速公路大修养护工程中的推广应用打下基础。

1 再生剂的选择

1.1 对比再生剂试样的选择

为有效对比 HXG 再生剂的再生效果,选用了目前市场上常用的效果较好的 3 种再生剂(分别以 A、B 和 C 命名),在推荐掺量 9%的情况下对比再生后沥青与原老化沥青的性能,选用其中综合性能最优的再生剂作为此研发再生剂的对比试验样品。一般来说,试验室测试 135℃动力黏度反映基质沥青和 SBS 改性沥青的黏稠度,由于 60℃更接近于炎热夏季沥青路面的最高温度,因此,再生沥青除了测试 135℃黏度外,还检测 60℃动力黏度,以期接近道路石油沥青的黏度,更能反映实际路况。3 种再生剂对沥青基本性能的改善结果如表 1 所示。

3 种再生剂的对比试验结果表明:老化沥青再生后的性能均得到不同程度的改善和提高,综合比较而言,3 种再生剂对老化沥青的针入度和软化点的改善幅度相差不大,再生剂 A 对老化沥青延度的改善比再生剂 B 和 C 分别提高了 25.7%和 18.9%,因此,该文选择再生剂 A 作为 HXG 再生剂的对比试样。

收稿日期:2019-04-27

基金项目:陕西省交通科技项目(编号:16-41T,17-12K);陕西省科技计划项目(编号:2018SF-364);青海省科技计划项目(编号:2017-ZJ-763);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(编号:300102218502)

作者简介:李海滨,男,博士,副教授.E-mail:lihaibin1212@126.com

表 1 不同再生剂的老化沥青再生后的性能指标

再生剂 种类	针入度 (25 ℃)/(0.1 mm)	延度 (10 ℃)/cm	软化点/ ℃	黏度/(Pa·s)	
				60 ℃	135 ℃
无	27.4	4.40	65.1	335.3	1.892
A	44.0	6.60	52.5	180.1	1.118
B	43.2	5.25	54.3	211.5	1.067
C	45.9	5.55	53.4	192.6	1.368

1.2 再生剂性能与成分分析

将 HXG 再生剂与再生剂 A 分别进行性能试验和成分测试,结果如表 2、3 所示。

表 2 不同再生剂性能的对比试验结果

项目	闪点/ ℃	黏度 (25 ℃)/ (Pa·s)	薄膜烘箱试 验前后质 量变化/%	薄膜烘箱 试验黏度 比/%
再生剂 A	225	1.658	1.33	1.09
HXG	230	1.432	1.01	0.87
技术要求	>220	0.01~20	≤3	≤3

表 3 不同再生剂的四组分试验结果

项目	饱和分/ %	芳香分/ %	胶质/ %	沥青质/ %
试样 A	20.7	57.4	24.3	2.4
HXG	21.5	55.8	20.7	2
技术要求	≤30	实测值	—	—

由试验结果分析可知:HXG 再生剂的性能和成分均满足技术标准要求,且相对于再生剂 A 的测试指标更优。薄膜烘箱试验前后的质量变化减小 24%,说明 HXG 再生剂的抗老化性能更好。同时薄膜烘箱试验前后黏度比减小 20%,说明 HXG 再生剂抗高温老化的能力更好,这是由于 HXG 型再生剂轻质油分含量较少,再加上其高温状态下热稳定性较好且不易分解。因此,从再生剂的性能和成分分析,HXG 较再生剂 A 具有更好的再生效果。

2 再生沥青的试验分析

2.1 再生剂对老化沥青的性能影响

(1) 再生剂掺量的影响

在回收的老化沥青中外掺不同剂量的 HXG 型再生剂(以旧沥青质量的百分比计),通过沥青三大指标

试验分析再生剂用量对老化沥青再生性能的影响,试验结果见图 1。

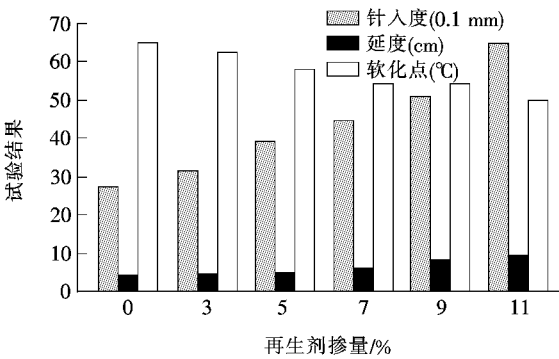


图 1 不同再生剂掺量时老化沥青的性能影响试验结果

从图 1 可以看出:随着再生剂掺量的增加,老化沥青呈现软化的趋势,软化点逐渐降低,其针入度和延度均逐渐增大,沥青三大指标逐渐正常化,说明再生剂发挥了效果。再生剂掺量从 7% 增加到 9% 的过程,针入度和延度继续增大,但软化点变化不明显,直到掺量达到 11%。伴随着沥青性能的进一步改善,软化点重新减小,针入度达到了原沥青针入度的 89% 以上。结合目前现场工程中常用再生剂的掺量,7%~11% 的 HXG 再生剂掺量将对老化沥青产生较明显影响,综合 HXG 再生剂的改善效果和现场工程的常用掺量,选择 9% 掺加量作为该文后续试验的再生剂掺量。

(2) 不同再生剂对老化沥青的性能改善

针对选定的 9% 的再生剂掺加量,分别选用薄膜烘箱老化后的沥青、西安某高速公路现场回收的老化沥青和广东机荷高速公路回收的老化沥青,进行对比试验,进一步分析 HXG 型再生剂的性能,试验结果如图 2 所示。

从图 2 可以看出:试验室自制的薄膜烘箱老化沥青在加入 HXG 再生剂后,其针入度、延度大幅提高,软化点和黏度改善明显,对老化沥青的硬度和低温性能提高非常显著;对于工程现场抽提回收的两种老化沥青,加入 HXG 再生剂后,各方面性能均得到明显提

高,其中,对回收的广东机荷高速公路老化沥青的再生性能指标与 A-50# 的技术要求进行比较,可以满足 A-50# 沥青的技术要求,实现了废旧沥青重新利用的目标,但是由于西安某高速公路的沥青路面老化严重,

9%的掺加量并不能很好地达到再生效果,表明再生剂的掺加量与旧路面的老化程度密切相关,同样掺加量下,再生剂对老化程度轻的沥青路面的再生效果明显,但对老化情况严重的沥青路面,并不能达到预期目标。

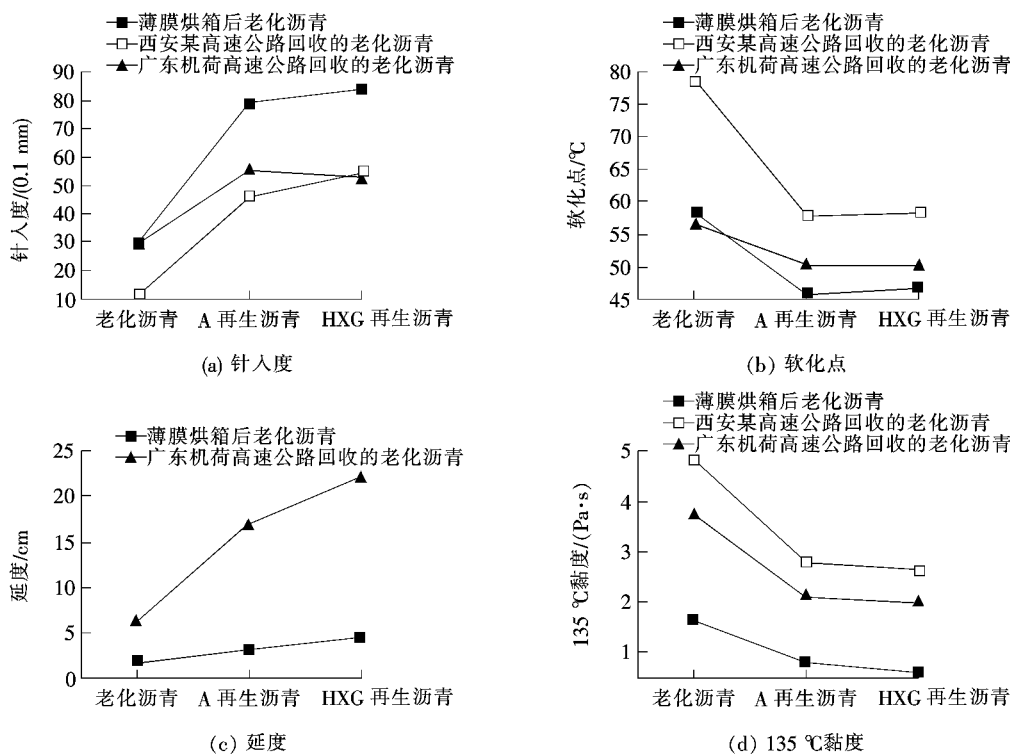


图2 不同老化沥青的再生性能对比

3种老化沥青在添加 HXG 再生剂后,软化点的改善效果并不明显,针入度、延度和 135℃黏度虽然都有提高,但提高的幅度不同。HXG 再生剂对不同老化沥青的针入度、延度、135℃黏度方面改善效果优于目前市场上的 A 再生剂。因此,在选择再生剂时,需要根据沥青的老化程度,有针对性地进行类型和添加量的确定,不能因某再生剂在某个工程使用成功,就直接应用在另一工程上。在工程应用阶段,应以回收沥青的再生性能试验结果为标准,薄膜老化试验一定程度上可以模拟实体工程的老化沥青,但与实际工程情况的差异较大,其结果仅可作为参考,不能作为选定再生剂型号和掺加量的最终依据。

2.2 再生沥青抗老化性能分析

老化沥青经过再生后重新应用在工程中,必须具有一定的抗老化性能,否则,沥青再生后的功能仅能维持较短时间,与进行老化沥青再生的初衷不符,因此,需要检验再生沥青的抗老化性能。

此次试验的回收老化沥青取自广东机荷高速公路现场,通过对原沥青和再生沥青按照规范要求进行薄

膜烘箱加热的方式进行再次老化,对比基本性能的差别,以此说明不同再生剂对再生沥青的抗老化效果,试验结果如图3所示。

由图3可知:老化沥青再生后,运营过程中受到荷载、气候等诸多因素影响将会再次老化,出现不同程度的性能衰减,但 HXG 再生剂对老化沥青的再生效果和抗老化效果均优于再生剂 A,说明两种再生剂用于道路再生工程时,再生剂 HXG 的使用效果要好于再生剂 A,在路面再生工程中应优先选用。同时,与原沥青相比,通过再生剂 HXG 再生后的沥青,其针入度和软化点与原沥青基本一致,说明老化沥青的性能基本得到恢复,且再次老化后的性能优于原沥青和再生剂 A 再生的沥青,再次说明再生剂 HXG 对再生老化沥青的有效性。

2.3 再生剂对老化沥青混合料性能的影响

按照广东机荷高速公路现场复拌型再生混合料的试验段配合比,即:旧沥青路面材料+9%再生剂(以旧沥青质量的百分比计)+30%新沥青混合料(按旧沥青混合料的质量百分比计)+0.2%新沥青(按总矿料质

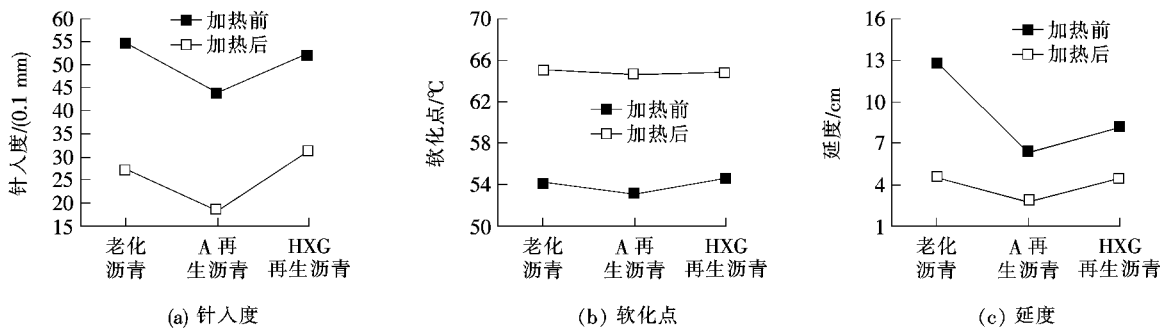


图 3 老化沥青再生后的薄膜加热试验性能对比

量的百分比计),拌和再生混合料并制备试件。分别进行相关试验,结果如表 4 所示。

表 4 不同再生沥青混合料路用性能试验结果

再生沥青 混合料	残留稳 定度/%	冻融劈裂 强度比/%	动稳定度/ (次·mm ⁻¹)	最大弯拉应 变 $\epsilon_B/\mu\epsilon$
再生剂 A	92.3	90.5	6 875	2 030.7
再生剂 HXG	99.6	96.1	6 578	2 444.8
规范要求	>80	>75	$\geq 1\,000$	$\geq 2\,000$

由表 4 可知,掺加 HXG 再生剂的沥青混合料比 A 再生剂的沥青混合料的水稳性能更好,高温稳定性相差不大,但低温性能更优。说明在高温地区采用 HXG 再生剂并不能显示出其优势,但是在低温多雨地区,采用 HXG 再生剂的再生沥青路面将体现出其明显优势,老化沥青混合料低温性能和水稳性会得到明显提高。

3 微观对比分析

3.1 接触角数据分析

为进一步研究再生剂的再生效果,该文采用 OCA-20 视频光学接触角测量仪对基质沥青、老化沥青和再生沥青测定其接触角,通过接触角测定进一步分析老化沥青老化前后组分中极性成分的变化,当沥青材料的接触角变大时,即就是老化的特征,测试得到接触角如图 4 所示。

从图 4 可知:基质沥青接触角平均值约为 98.8°,由于基质沥青老化后的饱和油分大部分分解或者挥发使沥青中极性成分相对减少,致使老化沥青接触角增大至 112.6°,向老化沥青中添加 HXG 型再生剂后,沥青接触角减小为 107.2°。接触角的变化说明老化沥青在添加再生剂后,老化沥青成分中丢失的极性组分得到补充,进而让其性能得到有效恢复和改善。

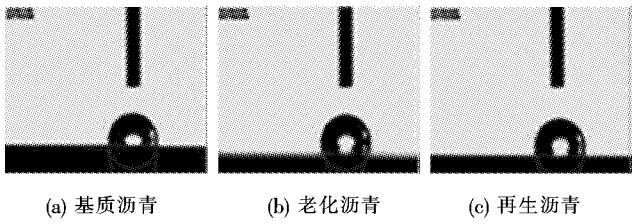


图 4 接触角图像分析

3.2 红外光谱图分析

沥青产生老化的原因很多,目前一般认为沥青氧化是沥青老化的主要原因。红外光谱法通常是作为分析各种高聚物材料最佳选择的技术,随着仪器的不断完善和发展,傅立叶红外光谱(FTIR)法成为高聚物定性、定量分析的有力工具和常用手段。该文采用分辨率为 4 cm⁻¹,扫描次数为 32 次,测试范围为 400~4 000 cm⁻¹的美国 Avatar 360 FTIR 红外光谱仪,对基质沥青、老化沥青和再生沥青进行试验,红外吸收光谱如图 5 所示,图 5 中截取 1 600~1 900 cm⁻¹ 的峰并将其放大得到图 6。

从图 5 中可看出:基质沥青与老化沥青在 2 800~3 000 cm⁻¹和 1 300~1 500cm⁻¹之间的红外光谱出现吸收峰,这些很强的吸收峰是环烷烃和烷烃的 C-H 振动的结果,其中以 -CH₂- 的吸收最强,两个突出的吸收峰可以认为是一 -CH₂- 伸缩振动的结果;1 300~1 500 cm⁻¹ 的吸收峰为苯核的振动和 C-CH₃ 和 -CH₂- 中 C-H 面内伸缩振动形成的吸收峰,一部分是由共轭双键 C=C(苯环骨架振动)引起;另一部分是由 C=O 吸收引起。因此,老化沥青和再生沥青红外吸收峰的位置基本相同,说明其组成的成分大致相同,主要由芳香族以及杂原子衍生物、烷烃和环烷烃等构成,而各区间峰值的强度差异不大也说明了各成分间的相对含量相差不大。

伴随着沥青老化,沥青中的羰基伸缩振动吸收峰在红外光谱中很有特征,基本在 1 650~1 900 cm⁻¹

(主要是在 $1\,700\text{ cm}^{-1}$ 左右)范围内,很少受其他基团的干扰。因此,分析羰基的吸收峰可以说明老化沥青的性能如何得以改善, $1\,693\text{ cm}^{-1}$ 为老化沥青中 $\text{C}=\text{O}$ 吸收峰, $1\,024\text{ cm}^{-1}$ 为老化沥青中亚砷的吸收峰。在 $700\sim 800\text{ cm}^{-1}$ 之间,老化沥青和再生沥青均存在一个较宽的吸收峰带,两种沥青的吸收峰位置基本相同,说明再生沥青中有再生剂存在,且可认为再生剂与旧沥青没有化学反应,仅仅与原老化沥青发生了物理共融,在老化沥青中起到了增容作用。

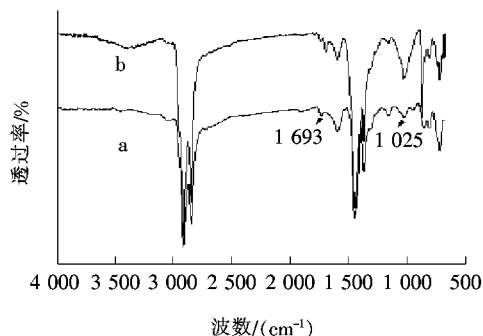


图5 沥青红外光谱(a:再生沥青;b:老化沥青)

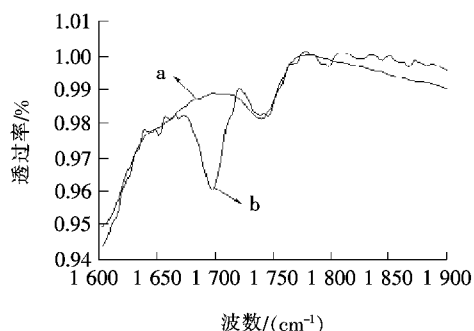


图6 沥青红外光谱图(a:老化沥青;b:再生沥青)

由图5、6可知:老化沥青中羰基峰($1\,693\text{ cm}^{-1}$)和亚砷($1\,023\text{ cm}^{-1}$)的吸收峰增强,表明沥青老化后有较多的羰基化合物和亚砷生成。添加再生剂后得到的再生沥青的红外光谱曲线中羰基化合物和亚砷吸收峰强度明显减弱,说明再生剂补充了老化沥青中丢失的组分物质,将恢复老化沥青的部分性能。因此,老化沥青在参加再生剂后,老化沥青的黏度显著降低,两者充分相融合,老化沥青的组分组成得到补充和调整,让处于凝胶状态的沥青质重新分散,达到重塑沥青胶体结构和改善老化沥青性能的目的。

4 结论

(1) HXG再生剂相对现阶段常用的再生剂,对改

善老化沥青流变性能更明显,针入度和延度随掺量的增加敏感性增大,软化点的敏感性逐渐变低;结合工程中常用再生剂的掺量, $7\%\sim 11\%$ 的HXG再生剂掺量将对老化沥青性能产生明显影响。

(2) 同样掺量下, HXG再生剂对老化程度轻的沥青路面的再生效果显著,但对老化情况严重的沥青路面并不明显,需要提高掺量。在工程应用阶段,沥青薄膜老化试验结果仅可作为参考,不能作为选定再生剂类型和参加量的最终依据。

(3) 不同再生沥青混合料的高温稳定性相差不大,在低温多雨地区, HXG再生沥青混合料低温性能和水稳定性得到明显改善,在道路再生工程中具有很好的适用性和推广前景。

(4) 接触角分析和红外光谱图分析说明老化沥青在添加 HXG再生剂后,旧沥青的组分得到调节,油分含量提高,补充了极性组分,再生剂与旧沥青没有发生化学反应,而是与旧沥青发生物理共融,在旧沥青中起到增容作用。

参考文献:

- [1] 周志刚,杨银培,张清平,等.再生剂对旧沥青的再生行为[J].交通运输工程学报,2011(6).
- [2] 聂忆华,刘苹,周志刚,等.再生剂对沥青再生机理的影响研究[J].公路工程,2012(6).
- [3] 姚家鑫.沥青再生剂的研制[D].重庆交通大学硕士学位论文,2008.
- [4] 耿九光.沥青老化机理及再生技术研究[D].长安大学博士学位论文,2009.
- [5] 况栋梁,王志群,等.复合再生剂对老化SBS改性沥青性能和结构的影响研究[J].中外公路,2014(4).
- [6] 侯月琴,许辉,纪小平.温拌再生沥青混合料的温度控制方法及路用性能[J].长安大学学报(自然科学版),2014(2).
- [7] KUPOLATI W K. Characterization of Bitumen Extracted from Used Asphalt Pavement[J]. European Journal of Scientific Research,2009,25(2):226—233.
- [8] 张泽鹏,王钊.高温多雨地区橡胶沥青粘度技术指标的试验研究[J].公路交通科技,2010(6).
- [9] JTG F41—2008 公路沥青路面再生技术规范[S].
- [10] JTG F40—2004 公路沥青路面施工技术规范[S].
- [11] WU Shaopeng, ZHU Guojun, LIU Gang, et al. Laboratory Research on Thermal Behavior and Characterization of the Ultraviolet Aged Asphalt Binder[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2009, 95 (2): 595—599.