

渗透型再生剂对老化沥青性能的影响分析

赵新宇, 刘雪婷

(中交一公局 厦门工程有限公司, 福建 厦门 361021)

摘要:以废机油作为基础油分、邻苯二甲酸二丁酯作为辅助成分制备配方比例不同的渗透型再生剂,根据再生沥青的针入度、软化点、老化沥青转移率及动态剪切流变试验结果分析渗透型再生剂对老化沥青性能的改善效果。结果表明,与普通再生剂相比,渗透型再生剂对老化沥青的改善效果更好,当废机油与邻苯二甲酸二丁酯的比例为 7:3 时,再生沥青的性能基本恢复至基质沥青;渗透型再生剂能有效渗透进入旧集料表面包裹的老化沥青薄膜中改善老化沥青的性能。

关键词:公路;渗透型再生剂;老化沥青;改善效果

中图分类号:U416.2

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2017)03-0076-04

沥青路面在运营过程中受到氧、紫外光照射、雨水冲刷等自然因素和行车荷载的综合作用,沥青材料逐渐老化,路用性能明显降低,在未达到设计使用年限时就需对沥青路面进行大规模养护和维修,老化沥青的回收再生成为一大难题。

与新沥青相比,老化沥青组分中的芳香分减少、胶质和沥青质增加,表现为粘度增大、软化点升高、针入度和延度降低。在老化沥青中掺入再生剂可有针对性地补充老化沥青缺失的组分,还原其性能,使其达到施工和路用性能要求。但由于施工拌和时间较短,老化沥青和再生剂难以完全混合均匀,再生剂无法有效发挥其应有作用,严重影响了再生沥青混合料的路用性能。为使短时间内再生剂和老化沥青作用完全,再生剂必须具有良好的渗透性。该文基于组分调节理论和溶解渗透原理,采用废机油作为沥青组分调节剂、增塑剂作为溶解渗透剂制备渗透型再生剂,并将其用于老化沥青的再生,通过再生沥青的针入度、软化点、动态剪切试验及老化沥青转移率分析不同配方渗透型再生剂对老化沥青再生性能的影响。

1 材料的制备及性能检测

1.1 渗透型再生剂的制备

以废机油作为基础油分、邻苯二甲酸二丁酯作

为辅助成分,在室温下先后将其加入容器中,用速率为 6 000 r/min 的高剪切分散乳化机剪切搅拌 10 min,制备不同配方的渗透型再生剂(见表 1)。选取普通再生剂 E 进行比较,其主要性能指标见表 2。

表 1 渗透型再生剂的配方 %

再生剂编号	废机油	邻苯二甲酸二丁酯
配方 A	100	—
配方 B	90	10
配方 C	80	20
配方 D	70	30

表 2 普通再生剂 E 的性能指标

性能指标	检测结果
60 °C 粘度/(Pa · s)	0.48
芳香分含量/%	40.5
饱和分含量/%	24.6
密度/(g · cm ⁻³)	0.876
闪点/°C	240

1.2 新旧沥青性能检测

在室内利用 Infratest20-1120 型沥青自动抽提仪对试验路的老化沥青路面材料(RAP)进行抽提试验,然后采用阿布森法从抽提液中回收老化沥青,并对其性能进行检验。同时对同类型 A-70[#]道路石油沥青进行性能检测。新旧沥青性能检测结果见表 3。

表 3 新旧沥青性能检验结果

沥青类型	四组分含量/%				25 °C 针入度/ (0.1 mm)	软化点/°C	15 °C 延度/ cm	15 °C 密度/ (g · cm ⁻³)
	饱和酚	芳香分	胶质	沥青质				
老化沥青	18.0	24.5	38.8	18.7	26.7	60.6	6.5	1.081
新沥青	19.3	32.9	33.7	14.1	67.7	49.5	>100.0	1.023

从表 3 可以看出:与新沥青相比,老化沥青中芳香分含量降低 8.4%,胶质和沥青质的总含量提高 9.7%,导致其针入度降低 60.6%、软化点升高 22.4%、延度显著降低。虽然旧沥青的老化程度较严重,但其针入度大于 20 (0.1 mm),满足热再生要求。

2 渗透型再生剂对老化沥青性能的影响

为了比较不同配方再生剂对老化沥青性能的影响,将表 1 所示 4 种配方再生剂和普通再生剂 E 分别掺入老化沥青中,掺配比例为 2%、4%、6%、8%、10%(以老化沥青质量为基准)。

2.1 针入度

采用 SD-0604 型沥青针入度实验仪,按照 JTG E20-2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》进行测试,测试温度为(25±0.1)℃,标准针的贯入时间为 5 s。不同配方再生剂对再生沥青针入度的影响见图 1。

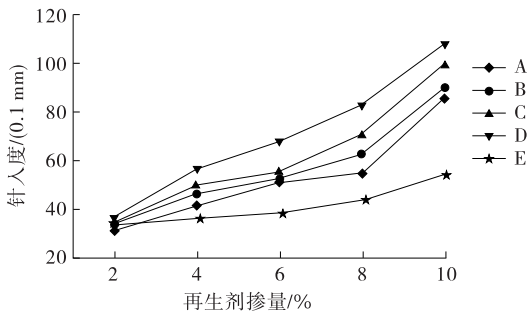


图 1 再生沥青 25℃ 针入度随不同再生剂及掺量的变化

从图 1 可看出:1) 再生沥青的针入度随再生剂掺量的增加而不断增加,其中配方 D 再生剂在掺量为 6%时对老化沥青针入度的改善效果最好,最接近于新沥青的针入度。但当渗透型再生剂的掺量超过 8%甚至 10%时,再生沥青的针入度值超过新沥青的针入度值,此时的针入度值在某种程度上并不能说明渗透型再生剂的再生效果,而是更多地反映渗透型再生剂自身的粘性。2) 再生沥青的针入度随渗透型再生剂掺量增大而增加的速度明显大于其随普通再生剂 E 掺量增大而增加的速度,表明渗透型再生剂对再生沥青针入度的改善效果强于普通再生剂。这是因为渗透型再生剂中含有的基础组分废机油具有较高的芳香分含量,可实现对老化沥青基本组分的调和,且废机油中的油分对老化沥青具有较好的渗透性和润滑性,有利于大分子间的相互作用,从而增加沥青的塑性;渗透型再生剂中的辅助成

分邻苯二甲酸二丁酯所具有的极性基团可通过与老化沥青中的沥青质发生化学反应降低沥青质分子之间的相互吸引力,使沥青质更均匀地分散在沥青胶体溶液中,对老化沥青胶体结构具有较好的恢复作用。3) 随着邻苯二甲酸二丁酯比例的增加,再生沥青的针入度增大,老化沥青的软化效果越好。

2.2 软化点

根据 JTG E20-2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》,利用 SD-0606T 型自动沥青软化点实验器测定掺入 6%不同再生剂的老化沥青的软化点。试验中起始加热温度为(5±1)℃,升温速率为 5℃/min。每个沥青试样同时测 2 组,取平均值作为测试结果(见表 4)。

表 4 再生剂掺量为 6%时再生沥青软化点测试结果

再生剂编号	软化点/℃	再生剂编号	软化点/℃
A	48.1	D	47.6
B	48.3	E	54.0
C	48.6		

由表 4 可知:当再生剂掺量为 6%时,不同配方再生剂在一定程度上均能降低老化沥青的软化点,其中渗透型再生剂的降低效果比普通再生剂更显著。渗透型再生剂不仅可有效溶解分散沥青质,还可通过极性基团与沥青质发生化学反应降低沥青质分子之间的相互吸引力,使其更均匀地分散在沥青胶体溶液中,降低沥青质空间网络对沥青分子运动的阻碍,增大老化沥青的流动性,因而软化点减小。

2.3 老化沥青的转移率

以往大量研究证实,RAP 中几乎每一颗粒都是由集料、填料、沥青或填料、沥青组成的混合物,而非单一颗粒(如砂砾或碎石)。再生沥青混合料中的 RAP 料主要包括旧集料和旧沥青两部分,老化后的旧沥青紧紧裹覆在旧集料表面。进行再生时,在 RAP 料中滴入再生剂,再加入新集料和新沥青进行拌和,由于再生剂与旧沥青混合料作用时间很短,再生剂的渗透性格外重要。若再生剂不能很好地渗透进入包裹在旧集料表面的老化沥青薄膜,则这层老化沥青性能得不到改善,沥青在新旧集料表面上分布不均匀,且旧集料无法与新沥青、新集料直接作用,再生沥青混合料的粘结力将减小。

进行旧集料表层老化沥青转移的模拟试验,以旧集料上的老化沥青在新集料上的转移率表征不同配方再生剂对老化沥青的渗透效果。试验中以 2.36

~4.75 mm 集料与适量老化沥青拌和模拟面层回收料(油石比为 4.12%),在其中加入不同配方再生剂,与 9.5~13.2 mm 新集料拌和后分离称重新料,再称量转移到新集料上的老化沥青质量。再生剂掺量为老化沥青质量的 6%,沥青转移量 T 及转移率 P 分

别按式(1)、式(2)计算,结果见表 5。

$$T = M_4 - M_3 \quad (1)$$

$$P = T/M_1 \quad (2)$$

式中: M_3 和 M_4 分别为拌和前、后 9.5~13.2 mm 集料质量; M_1 为老化沥青质量。

表 5 老化沥青转移率试验结果

再生剂编号	2.36~4.75 mm	9.5~13.2 mm 集料质量/g		老化沥青 质量 M_1 /g	相容渗透剂 质量/g	转移率/%
	集料 M_2 /g	拌和前 M_3	拌和后 M_4			
A	194.67	48.72	48.87	8.02	0.48	1.81
B	187.62	53.74	53.88	7.73	0.46	1.82
C	213.59	56.48	56.80	8.80	0.53	3.64
D	198.78	49.06	49.50	8.19	0.49	5.43
E	189.32	50.71	51.04	7.80	0.47	4.26
未加再生剂	176.45	60.71	60.81	7.27	0.44	1.50

由表 5 可知:加入再生剂的老化沥青的转移率比未加再生剂的转移率大,说明各配方再生剂对老化沥青均有一定的渗透性;渗透型再生剂配方 D 的渗透效果比普通再生剂 E 的好。

2.4 动态剪切流变性能

沥青是一种粘弹性材料,同时具有粘性流动和弹性变形的特征,其流变行为随温度和荷载的变化较明显,与沥青路面的路用性能紧密相关。由于采用常规的软化点、针入度、延度和粘度等性能指标难以有效评价沥青材料的流变行为,SHRP 沥青性能评价体系中通过测定沥青的复数模量 G^* 、相位角 δ 来表征沥青胶结料的粘性和弹性;采用车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 表征沥青路面的高温抗车辙能力,其值越大,则沥青路面的抗车辙能力越强;采用疲劳因子 $G^*\sin\delta$ 表征沥青路面的低温抗裂能力,其值越小,则沥青路面的低温抗裂能力越强。

采用 MCR-101 型动态剪切流变仪测试沥青再生前后的动态剪切流变性能,不同再生剂的掺量均为 6%,测试结果见图 2~5,其中 F 表示基质沥青,G 表示未掺再生剂的老化沥青。

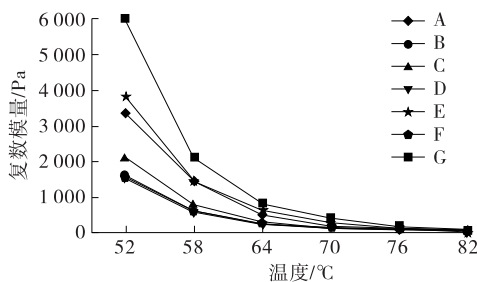


图 2 再生剂掺量为 6%时再生沥青复数模量的变化

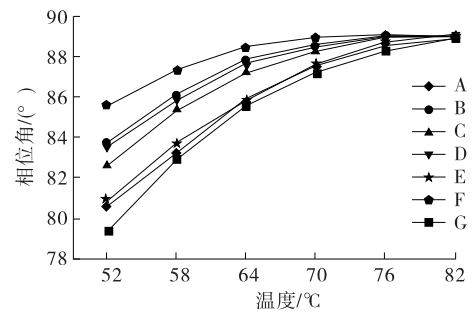


图 3 再生剂掺量为 6%时再生沥青相位角的变化

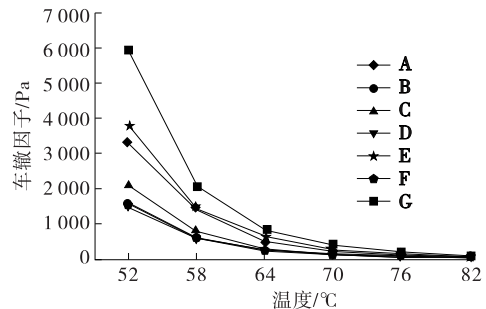


图 4 再生剂掺量为 6%时再生沥青车辙因子的变化

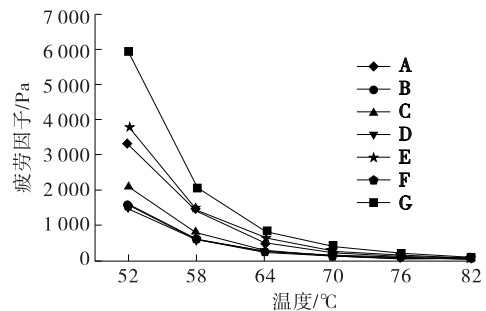


图 5 再生剂掺量为 6%时再生沥青疲劳因子的变化

对于沥青这样的粘弹性材料,如果弹性比例增大,则其相位角 δ 减小、复数模量 G^* 增大。由图2、图3可知:与老化沥青相比,当再生剂掺量为6%时,掺入不同配方再生剂的再生沥青的复数模量 G^* 均不同程度地降低,相位角 δ 均不同程度地增大;掺入再生剂B和D的再生沥青的这两个指标较接近于基质沥青,说明再生剂B和D对老化沥青的粘性恢复效果较好。

沥青老化后,车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 增大,意味着抗车辙能力增强,但并不表示老化后沥青路面的整体性能变好。老化沥青处于较低温度时,其柔性和韧性会降低,在车辆载荷作用下其比基质沥青更容易开裂。由图4可知:掺入不同再生剂的再生沥青的车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 比老化沥青的小,抗车辙能力有所减弱,但从另一个角度来说,再生沥青的粘度增大,不再像老化沥青那样硬脆。

由图5可知:掺入不同再生剂的再生沥青的疲劳因子 $G^*\sin\delta$ 比老化沥青的小,说明再生沥青的耐疲劳性能更好,低温下不易开裂。

综合分析,掺入再生剂B和D的再生沥青的4个动态剪切流变性能指标与基质沥青非常接近,再生效果最好。

3 结论

(1) 掺入渗透型再生剂的再生沥青的各项指标都优于老化沥青及掺入普通再生剂的再生沥青,渗透型再生剂能有效渗透进入旧集料表面包裹的老化沥青薄膜中改善老化沥青的性能。

(2) 再生剂使旧沥青由凝胶状态向溶胶状态转变,弹性程度增大,抗低温开裂能力提高,且当废机油与邻苯二甲酸二丁酯的比例为7:3时,对老化沥青的综合改善效果较好。

(3) 当渗透型再生剂中加入邻苯二甲酸二丁酯时,对老化沥青的改善效果比纯废机油好,可能是因

为邻苯二甲酸二丁酯分子分散到沥青质之间,其极性基团与极性沥青质团有相互吸引的作用,将网状结构上的大分子极性基团遮盖起来,削弱了沥青质之间的作用力,使聚结的沥青质分散开来;其次,由于邻苯二甲酸二丁酯小分子具有良好的流动性,增大了沥青质间的距离,一定的油分得以进入沥青质大分子之间,提高了沥青质分子间的流动性能,进而恢复沥青的塑性。

参考文献:

- [1] 魏荣梅.道路沥青的老化与再生研究[D].武汉:武汉理工大学,2006.
- [2] 耿九光.沥青老化机理及再生技术研究[D].西安:长安大学,2009.
- [3] 查旭东,杨胜丰,侯英,等.再生剂选择及其对旧沥青性能影响分析[J].公路与汽运,2013(3).
- [4] 况栋梁.渗透型再生剂的制备及其对再生沥青及混合料性能的影响[D].武汉:武汉理工大学,2012.
- [5] JTG E20—2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [6] 丁录玲,黄晓明.沥青再生剂扩散机理与扩散模拟试验研究[J].交通科技,2009(5).
- [7] 周庆华,沙爱民.沥青高温流变评价指标对比[J].交通运输工程学报,2008,8(1).
- [8] Karlsson R, Isacsson U, Ekblad J. Rheological characterisation of bitumen diffusion[J]. Journal of Materials Science, 2007, 42(1).
- [9] 蹇金桥,徐燕.就地热再生沥青混合料SYS再生剂最佳掺量确定[J].公路与汽运,2015(2).
- [10] 吴桂金.厂拌热再生沥青混合料马歇尔配合比设计方法探讨[J].公路,2011(5).
- [11] 王海燕,王延海.沥青及沥青混合料的二次再生性能研究[J].公路与汽运,2016(5).
- [12] 于玲,刁家栋,杨彦海,等.沥青路面厂拌热再生技术的使用性能评价与研究[J].中外公路,2014,34(2).

收稿日期:2016-10-25

(上接第75页)

- [9] 李天祥.沥青路面抗滑性能衰减试验研究[D].西安:长安大学,2009.
- [10] 张璐军.GAC-13与AC-13沥青混合料抗滑性能对比分析[J].公路与汽运,2015(5).
- [11] 舒春建.基于胎一路相互作用的沥青道路表面纹理损伤研究[D].南京:东南大学,2015.
- [12] 文斌,曹东伟.高速公路路面抗滑力与交通事故的统

计分析[J].公路交通科技,2006,23(8).

- [13] 亚森·肉孜,陈光亮.环保安全型沥青路面的抗滑性能分析[J].公路与汽运,2015(4).
- [14] 马旭,李植淮,杨涛,等.ASPS对AC-13沥青混合料抗滑性能的影响[J].交通科学与工程,2015,31(4).

收稿日期:2017-02-10