

# 沥青再生剂配制的试验研究

高雪池<sup>1</sup>, 曹卫东<sup>2</sup>, 韩冰<sup>1</sup>, 于得水<sup>2</sup>, 孙辉<sup>1</sup>

(1.齐鲁交通发展集团有限公司, 山东 济南 250101; 2.山东大学 土建与水利学院)

**摘要:**依据旧沥青老化及再生机理,研发了一种沥青再生剂。该再生剂以中黏度芳烃油为基质油,添加 70# 沥青和非胺类沥青抗剥落剂配制而成,采用正交试验方法进行了配方优化设计。通过再生沥青的针入度、软化点、延度及布氏黏度指标确定了再生剂的配方组分为:芳烃油:70# 沥青:非胺类沥青抗剥落剂=15:4:1。再生沥青的性能试验结果表明:研发的再生剂对老化的 70# 沥青和 SBS 改性沥青均有良好的再生效果。

**关键词:**沥青再生剂;正交试验;配方;再生沥青;性能

## 1 前言

废旧沥青路面再生利用是保护环境,节约资源,实现公路建设可持续发展的重要技术措施,符合中国当前的新发展理念。中国规范将沥青路面再生技术分为 4 类:厂拌热再生、就地热再生、厂拌冷再生、就地冷再生。其中厂拌热再生技术发展相对较早也较成熟,是

目前为止应用最为普遍的沥青路面再生利用技术。如何有效地提高废旧沥青混合料的利用率已成为厂拌热再生技术研究的热点与重点问题,采用沥青再生剂是实现高掺量再生沥青混合料的一种技术路径。然而,无论是中国国内还是国外常用的沥青再生剂,大多掺加了价格高昂的改性剂来改善老化沥青低温延展性,从而使再生剂的价格居高不下,大大影响了高掺量再生沥青混合料的推广和应用。

(3) 纤维类型和纤维掺量均显著影响 PPA 改性沥青混合料的低温抗裂性能,其中纤维掺量对其的影响相对较大,掺量为 0.30% 时混合料的低温性能相对最好;掺有 4 种不同纤维的混合料低温性能优劣为:玄武岩纤维>复合纤维>聚酯纤维>木质素纤维,且复合纤维的改善效果略低于玄武岩纤维,复合纤维的使用达到了改善低温性能和降低成本的双重目的。

## 参考文献:

- [1] 曹卫东,刘乐民,刘兆平,等.多聚磷酸改性沥青的试验研究[J].中外公路,2010(3).
- [2] 张恒龙,史才军,余剑英,等.多聚磷酸对不同沥青的改性及改性机理研究[J].建筑材料学报,2013(2).
- [3] 余文科.多聚磷酸改性沥青的研究[D].重庆交通大学硕士学位论文,2011.
- [4] 岳云,霍曼琳,李波,等.基于不同基质沥青的多聚磷酸复配 SBS 改性沥青性能评价[J].硅酸盐通报,2017(2).
- [5] 陈守明,周斌.多聚磷酸改性石油沥青的性能及反应机理

[J].石油沥青,2017(6).

- [6] 刘红瑛,常睿,王春,等.多聚磷酸复合改性沥青混合料的路用性能[J].建筑材料学报,2017(2).
- [7] 刘红瑛,常睿,张铭铭,等.多聚磷酸改性沥青及其混合料低温性能研究[J].湖南大学学报:自然科学版,2017(5).
- [8] 刘建敏.多聚磷酸复配聚合物改性沥青性能研究[J].公路,2015(1).
- [9] 曹晓娟,张振兴,郝培文,等.多聚磷酸对沥青混合料高低温性能影响研究[J].武汉理工大学学报,2014(6).
- [10] 周艳,曹卫东,傅星恺.多聚磷酸复合改性沥青低温性能[J].建筑材料学报,2017(6).
- [11] 游金梅.多聚磷酸以及多聚磷酸与 SBS 复合改性沥青混合料路用性能研究[J].公路工程,2014(6).
- [12] 崔磊.多聚磷酸及其复合改性沥青与沥青混合料抗裂性能评价[J].公路工程,2016(6).
- [13] 郝培文,申艳梅. SBS 与沥青相容性的研究[J].西安公路交通大学学报,2001(2).
- [14] 张海伟,郝培文,梁建军,等.复合纤维组成优化及其混合料性能评价[J].北京工业大学学报,2016(2).

收稿日期:2018-11-26

基金项目:齐鲁交通发展集团科技项目(编号:2016B20)

作者简介:高雪池,男,博士,研究员.E-mail:gaoxc@sina.com

沥青再生剂可以通过调节旧沥青组分来改善其性能,这是根据生产调和沥青的原理,通过加入低黏度油料或者标号较高的新沥青进行调配,使调配后的再生沥青达到所需要性能,从而满足工程使用的要求。但这样制得的再生沥青混合料旧料掺量不高且水稳性能和低温稳定性较差,再生剂中还需要添加适量的添加剂。该文提出一种沥青再生剂配制的思路:选用适宜黏度的芳烃油作基础油,添加适量的新沥青为再生剂提供沥青组分,然后加入非胺类沥青抗剥落剂作为功能助剂来增强再生剂与废料的黏附性及耐老化性。

2 试验材料与性能

2.1 原样沥青及老化沥青

新沥青对旧沥青有一定的调和效果,同时能够调节沥青四组分之间的比例。原样沥青选用 70# 沥青,经薄膜烘箱老化试验模拟沥青短期老化,然后采用烘箱加热进行长期老化获得老化沥青。烘箱温度设定为 135 ℃,沥青每日取出匀速搅拌 2 h 以保证受热均匀,持续 5 d,从而制得老化沥青。两种沥青的基本性能指标见表 1。

表 1 沥青的性能指标

沥青种类	针入度 (25 ℃)/ (0.1 mm)	软化点/ ℃	15 ℃ 延度/ cm	旋转黏度 (135 ℃)/ (Pa·s)
原样沥青	62.8	51.2	>100	0.518
老化沥青	26.6	61.3	17.2	0.770

2.2 再生剂组分

2.2.1 原料油

芳烃油的加入主要是为了分散溶解老化沥青中的沥青质,同时也可作为老化沥青补充减少的芳香分,它与新沥青都可起到调整沥青各组分间比例的效果。选用与沥青黏度较为接近的中等黏度芳烃油,其技术性能指标见表 2。

表 2 芳烃油技术指标

性能指标	单位	测试值	试验方法
运动黏度(100 ℃)	mm <sup>2</sup> /s	18	GB/T 265—1988
开口闪点	℃	218	GB/T 3536—2008
凝点	℃	15	ASTM—D3535
灰分	%	0.01	GB/T 508—1985
密度(25 ℃)	g/cm <sup>3</sup>	1.071	GB/T 1884—2000
苯胺点	℃	<30	ASTM—D93D

2.2.2 沥青抗剥落剂

该文选用的磷羟基有机物的非胺类沥青抗剥落剂技术指标见表 3。满足相关规范要求。

表 3 非胺类沥青抗剥落剂技术指标

密度/ (25 ℃)/ (g·cm <sup>-3</sup> )	失效 温度/ ℃	添加抗剥落剂后沥青混合料			
		残留稳定度/%		冻融劈裂强度比/%	
		普通沥青	改性沥青	普通沥青	改性沥青
0.997	300	87.0	89.6	85.6	89.4

常用的沥青抗剥落剂有胺类抗剥落剂和非胺类抗剥落剂两种,胺类抗剥落剂受热易挥发有毒气体,且其与沥青表面仅发生物理吸附,热稳定性较差,长期性能不良。非胺类抗剥落剂的热稳定性和耐久性优良,与沥青发生的吸附大多为化学吸附。非胺类沥青抗剥落剂一般用于提高酸性石料的沥青混合料水稳定性,它作为再生剂的一种组分,主要作用有:① 老化沥青与石料的黏附性较差,添加适当的抗剥落剂可以提高老化沥青黏附性,增强再生沥青混合料的水稳定性;② 加强再生剂与旧料的黏附性,这是因为抗剥落剂的主要成分含磷羟基类有机物是两性表面活性剂,具有优良的增溶和乳化效果,且热稳定性优于一般表面活性剂。

2.3 再生剂的制备

再生剂的配制流程如下:将称量好的芳烃油在 135 ℃下预热 10 min,匀速搅拌 10 min;将预热好的沥青加入到芳烃油中,共同加热到 135 ℃后进行匀速剪切或机械搅拌 30 min,随后添加抗剥落剂,继续匀速搅拌 20 min 后制得再生剂。

3 正交试验与分析

3.1 正交试验设计

参照已有的研究经验初步确定再生剂中各组分的比例为:芳烃油 70%~80%,70# 沥青 10%~20%,抗剥落剂 4%~6%。取再生剂在旧沥青中的掺量为 8%,则再生剂中各组分占旧沥青的比例分别为:芳烃油 5.6%~6.4%,70# 沥青 0.8%~1.6%,抗剥落剂 0.32%~0.48%。各因素水平取范围的端值和中值,如表 4 所示。设计的 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)正交试验表见表 5。

制备表 5 中的 9 种不同质量比例的再生剂,然后分别按照 8%的掺量加入到老化沥青中,按照试验规程进行再生沥青的针入度、软化点、延度及黏度试验。

表 4 试验因素水平表

水平	因素 A: 芳烃油/%	因素 B: 70 <sup>#</sup> 沥青/%	因素 C: 抗剥落剂/%
1	5.6	0.8	0.32
2	6.0	1.2	0.40
3	6.4	1.6	0.48

黏度试验采用美国 RVDV2T 型 BrooKfield 旋转黏度计测定,选用 27 号转子,试验温度 135 ℃。各组试验结果见表 5。

3.2 直观分析(极差分析)

为评价影响因素对各指标的影响程度,对表 5 中各试验指标进行直观分析,结果见表 6。

表 5 再生剂配方正交试验方案及结果

试验号	A:芳烃油/%	B:70 <sup>#</sup> 沥青/%	C:抗剥落剂/%	针入度 (25 ℃)/ (0.1 mm)	软化点/ ℃	延度 (15 ℃)/ cm	旋转黏度 (135 ℃)/ (Pa·s)
1	6.4	1.2	0.48	40.7	55.3	25.2	0.588
2	5.6	1.6	0.48	40.8	56.1	39.9	0.580
3	6.0	1.2	0.32	60.5	55.6	27.6	0.505
4	6.0	1.6	0.4	52.2	52.0	67.8	0.530
5	5.6	1.2	0.4	43.4	54.5	55.2	0.528
6	6.4	0.8	0.4	46.7	54.9	29.3	0.525
7	6.0	0.8	0.48	48.6	54.4	70.9	0.520
8	6.4	1.6	0.32	57.6	56.0	32.0	0.590
9	5.6	0.8	0.32	53.4	54.8	25.7	0.550

表 6 试验结果直观分析(极差分析)

因素	针入度/ (0.1 mm)	软化点/ ℃	延度/ cm	旋转黏度/ (Pa·s)
A	7.85	1.40	26.60	0.049
B	2.02	0.43	10.57	0.035
C	13.82	1.67	22.33	0.035

根据表 6 中的参数得到各因素对试验指标影响的大小顺序,见表 7。

根据表 7 每个指标影响因素排序进行比选,可以综合选出该再生剂最优的组合为 A2B3C2,即再生剂各组分比例为:芳烃油:70<sup>#</sup> 沥青:非胺类沥青抗

剥落剂=15:4:1。

表 7 试验直观分析结果

指标	因素排序	最优条件
针入度	C>A>B	C1A2B3
软化点	C>A>B	C2A2B1 或 C2A2B3
延度	A>C>B	A2C2B3
旋转粘度	A>B=C	A2B1C2

3.3 方差分析

直观分析不能区分某因素下各水平对应的试验结果间的差异是由于因素不同水平所引起的还是由于试验误差造成。为此,采用方差分析对各因素进行显著性分析,显著性水平取  $\alpha=0.05$ ,方差分析结果见表 8。

表 8 试验结果方差分析

指标	A	B	C	临界值	显著性
针入度	51.794	3.399	161.717	$F_{0.05}(2,2)=19$	A、C 显著
软化点	1.394	0.158	2.090	$F_{0.05}(2,6)=5.14$	否
延度	2.632	0.415	2.005	$F_{0.05}(2,4)=6.94$	否
旋转黏度	6.909	3.637	3.373	$F_{0.05}(2,2)=19$	否

由表 8 可以得出:在影响针入度的因素中,芳烃油和非胺类沥青抗剥落剂对其有高度显著的影响,而针

入度以外的其他指标,各因素的改变对这些指标没有显著的影响。3 种原材料中,沥青抗剥落剂价格相对

较高,芳烃油价格和沥青相差不大,因此在兼顾各部分指标和费用的基础上,最终确定再生剂的配方为:芳烃油:70# 沥青:非胺类沥青抗剥落剂=15:4:1。

4 再生剂性能验证

制备的沥青再生剂常温下外观为黑褐色的黏稠状液体,表面均匀无分层现象,再生剂的基本指标参数如表 9 所示。

表 9 再生剂的基本指标

指标	单位	测试值
25℃密度	g/cm <sup>3</sup>	1.057
闪点	℃	230
饱和分含量	%	21.2
RTFOT 质量变化	%	2.3

其基本指标满足 JTG F41—2008《公路沥青路面再生技术规范》中对热拌沥青混合料再生剂的技术要求。

4.1 再生剂对 70# 沥青的再生效果

在老化的 70# 沥青中分别添加沥青质量 8%、10% 掺量的再生剂,采用沥青的三大基本性能指标与黏度指标评价沥青再生的效果,试验结果如表 10 所示。

表 10 70# 沥青老化后的再生效果

沥青种类	针入度 (25℃)/ (0.1 mm)	软化 点/ ℃	延度 (15℃)/ cm	旋转黏度 (135℃)/ (Pa·s)
老化沥青	26.6	61.3	17.2	0.77
掺加 8% 再生剂	52.2	52.0	67.8	0.53
掺加 10% 再生剂	64.5	48.6	84.7	0.52

由表 10 可知:当在老化的 70# 沥青中添加 10% 掺量的再生剂时,再生沥青的针入度与软化点均恢复到原样沥青水平,其低温延度虽未恢复到原水平,但仍有较大的恢复程度,总体效果良好。

4.2 再生剂对 SBS 改性沥青的再生结果

将 SBS 改性沥青按旋转薄膜烘箱短期老化后加烘箱长期老化 5 d 的方式制备老化的改性沥青,然后按 8% 的掺量添加再生剂,再生沥青的性能试验结果

如表 11 所示。

表 11 SBS 改性沥青老化后再生效果

沥青种类	针入度 (25℃)/ (0.1 mm)	软化 点/ ℃	延度 (15℃)/ cm	旋转黏度 (135℃)/ (Pa·s)
SBS 改性沥青	43.1	68.6	30.8	2.158
老化 SBS 改性沥青	38.7	70.3	10.7	2.671
掺加 8% 再生剂	60.3	65.8	23.1	2.226

由表 11 可知:该再生剂对老化 SBS 改性沥青的针入度影响极为显著,对软化点、低温延度和旋转黏度均有一定程度上的恢复效果。

5 结论

(1) 提出了一种沥青再生剂配方组分,确定了沥青再生剂的最优配方,即芳烃油:70# 沥青:非胺类沥青抗剥落剂=15:4:1。

(2) 再生沥青的性能试验结果表明,再生剂对老化的 70# 沥青及 SBS 改性沥青均有较好的再生效果。

参考文献:

[1] JTG F41—2008 公路沥青路面再生技术规范[S].  
[2] 王凤楼,沈本贤,凌昊.新型老化道路沥青再生剂[J].石化技术与应用,2011(6).  
[3] 吕伟民.沥青再生原理与再生剂的技术要求[J].石油沥青,2007(6).  
[4] 吴佩尊,等.石油沥青调和用芳烃油的质量及指标探讨[J].石油沥青,2009(2).  
[5] 冯新军,张喆,赵梦龙,等.一种掺再生剂和 RAP 的沥青混合料配合比设计新方法[J].中外公路,2018(2).  
[6] 赵晶,于连成.抗剥落剂的温度稳定性研究[J].低温建筑技术,2006(6).  
[7] 王延海.三种沥青抗剥落剂的性能对比研究[J].公路工程,2011(3).  
[8] 王军,等.特种表面活性剂[M].北京:中国纺织出版社,2007.  
[9] JT/T 860.4—2014 沥青混合料改性添加剂 第四部分:抗剥落剂[S].  
[10] JTG E20—2011 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].