

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2020.02.049

# 阿布森回收 SBS 改性沥青的试验研究

邹桂莲, 秦欢, 吴欣

(华南理工大学 土木与交通学院, 广东 广州 510640)

**摘要:** 客观、准确地评价旧沥青的老化程度是沥青路面再生技术的基础,而正确回收旧沥青是基础中的基础,影响到再生技术方案的决策、新材料的选择、再生混合料设计等。现行阿布森法回收沥青的试验规程(T0726-2011)是根据普通沥青而制定的,并不适用于 SBS 改性沥青。该文以阿布森回收方法为试验基础,通过分子扩散理论与表面张力机理分析,确定试验控制的关键参数。通过空白改性沥青标定试验对关键控制参数进行优化与验证。结果表明:SBS 改性沥青可以采用阿布森法回收,回收的 SBS 改性沥青的三大指标、黏度、弹性恢复与空白沥青基本一致。提出了改性沥青回收的关键步骤,规范了改性沥青回收的溶液浓度、蒸馏温度、CO<sub>2</sub> 通气量以及延迟加热时间等关键控制参数。

**关键词:** SBS 改性沥青; 回收方法; 阿布森; 参数优化; 分子扩散; 表面张力

SBS 改性沥青从 20 世纪 80~90 年代引进中国,因其可显著改善路用性能,广泛应用于中国高等级公路沥青路面。目前 SBS 改性沥青路面已经大面积进入一次或多次大修、重建阶段。据统计,中国每年产生的道路废旧沥青量约 8 000 万 t,其中废旧改性沥青混合料的数量约占 20%以上,对数量庞大的旧 SBS 改性沥青混合料进行循环利用,成为道路行业绿色发展的重要组成部分。

正确评价旧沥青混合料中沥青的老化程度是整个再生过程中的关键环节,也是再生混合料设计等后续工作的前提,而准确、客观地评价旧沥青性能以从旧沥青混合料中正确回收沥青为基础。JTG E20-2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中关于阿布森法回收沥青是根据普通沥青而制定的,已有研究表明:采用该方法回收 SBS 改性沥青存在溶剂残留问题,导致回收沥青各项指标不能真实反映旧沥青性能。该文以阿布森回收方法为试验基础,通过空白沥青标定试验对其试验参数进行优化,并通过试验验证,探讨旧

SBS 改性沥青能否回收,以及适用于 SBS 改性沥青的阿布森回收试验方法。

## 1 原材料

### 1.1 SBS 改性沥青

试验中使用的沥青为中石油公司生产的质量合格的两种改性沥青,关键性能指标如表 1 所示。

### 1.2 回收溶剂

相关研究表明:与甲苯、甲苯与乙醇混合溶液、二氯甲烷、溴丙烷等溶剂相比,三氯乙烯与沥青具有更好的溶解性、低毒性,在蒸馏过程中更容易被蒸发,回收沥青速度较快、更彻底,因此研究采用三氯乙烯作为溶剂。

## 2 试验设备及方案设计

### 2.1 蒸馏装置

阿布森法回收沥青试验装置中采用平底烧瓶为

表 1 SBS 改性沥青指标

SBS 改性沥青	25 ℃ 针入度/(0.1 mm)		5 ℃ 延度/cm		软化点/℃		25 ℃ 弹性恢复/%	
	原沥青	RTFOT 后	原沥青	RTFOT 后	原沥青	RTFOT 后	原沥青	RTFOT 后
1 <sup>#</sup>	53	45	30	20	73.0	83.5	97	91
2 <sup>#</sup>	70	55	41	27	79.0	90.0	95	90

500 mL,但经过试验发现,其容积较小,一次回收沥青数量较少,在蒸馏过程中,溶液容易发生爆沸,因此试验改用 1 000 mL 蒸馏烧瓶,受热面更大,一次回收数量更大、安全性更好。其余部件采用规范所规定的设备。

## 2.2 试验方案设计

阿布森回收试验关键环节多,极易引起试验误差,只有固定各个关键环节才能规范试验方法。研究方案设计如下:

(1) 配制回收沥青溶液,控制溶液浓度。回收沥青溶液浓度与数量影响试验操作与结果的稳定性,为避免试验误差,配制 1:6(沥青质量:三氯乙烯质量)浓度的回收溶液。

(2) 通过空白沥青标定,确定试验操作的关键参数。采用已知性能指标的改性沥青作为空白沥青,通过试验标定,确定蒸馏温度、CO<sub>2</sub> 通气量、持续加热时间等关键参数。

(3) 试验验证。

## 3 溶剂回收的机理与试验控制的关键参数

### 3.1 溶剂回收的机理

不论是阿布森法还是旋转蒸发器回收沥青的试验方法,都是利用有机溶剂将旧沥青从集料上溶解下来,形成溶液,然后再用蒸馏装置,将有机溶剂从溶剂中蒸发出去,冷凝成有机溶液,而将旧沥青留存下来。试验的目标是将有机溶剂彻底、快速地蒸馏出去,同时不改变旧沥青的性质。

回收过程可用动力学流动效应及界面力学分析。蒸馏温度一般为 155~165 ℃,远高于三氯乙烯沸点 86.7 ℃,此时,在不可压缩的混合溶液中,三氯乙烯分子穿过溶液时,运动所需要的力  $F$  和速度  $v$ 、摩擦系数  $\mu_f$  的关系如式(1)所示。

$$\mu_f = \frac{F}{v} \quad (1)$$

摩擦系数可由斯托克方程计算:

$$\mu_f = 6\pi R\eta \quad (2)$$

式中: $R$  为混合溶液表面张力; $\eta$  为液体黏度。

分子的扩散系数  $D_0$  可由爱因斯坦方程计算:

$$D_0 = \frac{kT}{\mu_f} \quad (3)$$

式中: $k$  为常数; $T$  为热力学温度(K)。

结合以上两式可得到液体介质中粒子的扩散

方程:

$$D_0 = \frac{kT}{6\pi\eta R} \quad (4)$$

由式(4)可知:分子的扩散与溶液的黏度成反比,溶液浓度越大,黏度越高,因此为规范回收过程,沥青与三氯乙烯的回收溶液浓度应该相对固定。众所周知,改性沥青的黏度高于普通沥青黏度,因此三氯乙烯分子在改性沥青溶液中运动更困难,回收难度更大。

另外,当三氯乙烯运动到溶液表面,最终脱离溶液蒸发出去,需要突破表面张力,在理想体系中,两相溶液的表面张力可用式(5)表示:

$$\sigma_{\text{mix}} = \sigma_1 X + \sigma_2 (1 - X) \quad (5)$$

式中: $\sigma_{\text{mix}}$  为混合溶液表面张力; $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$  为相应组分的表面张力; $X$  为混合物中组分 1 的摩尔分量。

表面张力是动态变化的,随着蒸馏过程延续,沥青组分逐渐增加,表面张力逐渐提高,三氯乙烯越来越难以蒸馏出去。改性沥青的表面张力高于普通沥青的表面张力,因此也导致改性沥青的回收溶液回收难度大。

### 3.2 试验控制的关键参数

由机理分析可知:为了快速、彻底地从改性沥青回收溶液中蒸馏出三氯乙烯,试验控制的关键参数与可采取的措施如下:

(1) 控制溶液浓度与回收数量。溶液浓度越大,黏度越高,分子的扩散速度越慢,为规范回收过程,控制沥青与三氯乙烯的回收溶液浓度为 1:6,且每次回收出来的 SBS 改性沥青数量为 100~120 g,以此为基础,试验过程的其他参数才能固定下来。

(2) 蒸馏温度。式(4)表明:分子的扩散与温度成正比,温度越高,扩散速度越快。有关表面张力的相关文献也表明:温度升高,表面张力下降,表面迁移性增大。但蒸馏温度不宜过高,否则 SBS 改性剂将发生裂解,回收的沥青将无法真实反映 SBS 改性沥青的特性。综合考虑,阿布森法的恒温油浴初始设定温度由规范中推荐的 155~165 ℃(适用于普通沥青)提高至 170~175 ℃,此时实测溶液内部温度稳定在 165~170 ℃之间。

(3) CO<sub>2</sub> 通气量。试验过程中通入的 CO<sub>2</sub> 气体可以使溶液持续翻腾,有助于三氯乙烯分子的扩散与表面迁移,防止蒸发出去的三氯乙烯倒流回烧瓶,另外也有助于阻止改性沥青的氧化。

与普通沥青相比,SBS 改性沥青是一个更复杂的体系,分散相 SBS 改性剂与连续相沥青形成了共混复相结构体系,SBS 改性沥青含有大量大分子组分,具有

更高的内聚强度与黏度,内部分子的扩散以及表面迁移更难。随着蒸馏过程的持续,溶液浓度逐渐增高,溶液黏度与表面张力增大,普通沥青回收试验的通气量 $[ (1\,400\pm 50)\,\text{mL}/\text{min}]$ 不能维持溶液充分翻腾的状态,不利于彻底地回收三氯乙烯。因此,适度提高 $\text{CO}_2$ 通气量,保持溶液的翻腾状态,促使溶剂的彻底回收,加速回收过程,避免沥青老化。

(4) 延时加热时间。延时加热时间指的是溶剂停止下滴后维持加热并持续通入 $\text{CO}_2$ 气体的时间。大量文献试验显示,即使是少量的三氯乙烯也会对沥青的各项指标产生较大的影响。当残留有0.5%的溶剂,回收沥青的黏度就会降低50%。

4 空白改性沥青标定与关键参数确定

采用已知性能指标的沥青作为空白沥青,配制1:

6浓度的回收溶液,改变回收试验的关键控制参数,检测回收沥青的关键性能指标,以快速、彻底回收溶剂,最大程度维持改性沥青关键指标为标准,确定控制参数。

4.1 按现行试验规程回收空白改性沥青

按照现行的阿布森法试验规程中的控制参数回收SBS改性沥青,采用SBS改性沥青1#原样样品作为空白沥青,试验控制参数与试验结果如表2所示。回收试验结果表明:回收沥青针入度过大,软化点过小,延度增大,黏度下降、弹性恢复略有增大,说明按照现行的阿布森法试验规程中的控制参数回收SBS改性沥青溶剂残留较多,控制参数需要优化。

4.2 关键控制参数优化

按照前文所述,改变关键控制参数,优化改性沥青回收过程。首先将改性沥青回收的恒温油浴设定温度提高至 $170\sim 175\text{ }^\circ\text{C}$ ;其次,改变 $\text{CO}_2$ 通气量、延长延迟加热时间,试验结果如表3、4所示。

表2 按现行规程回收空白改性沥青的试验结果

沥青	针入度(25℃)/ (0.1 mm)	软化点/ ℃	延度 (5℃)/cm	黏度(135℃)/ (Pa·s)	弹性恢复 (25℃)/%
空白沥青	53	73.0	30	1.90	97
回收沥青	94	50.5	45	1.54	98

注:回收试验控制参数为:油浴温度:160℃;通气量:1 400 mL/min;延迟加热时间:5 min。

表3 CO<sub>2</sub> 通气量对回收改性沥青性能的影响

沥青种类		CO <sub>2</sub> 气流量/ (mL · min <sup>-1</sup> )	延时加热 时间/min	25 ℃ 针入度/ (0.1 mm)	软化点/ ℃	5 ℃ 延度/cm	弹性恢 复/%
空白沥青		—	—	53	73.0	30	97
回收 沥青	组 1	1 400/1 600	40	55	63.0	36	98
	组 2	1 400/1 700	40	52	72.5	29	96
	组 3	1 400/1 800	40	49	76.0	22	92

注:1 400/1 600(mL/min)表示起始通气量设置为 $[ (1\,400\pm 50)\,\text{mL}/\text{min}]$ ,当三氯乙烯蒸发量减少且稳定地以滴状蒸馏时,将气流量设置为 $[ (1\,600\pm 50)\,\text{mL}/\text{min}]$ ,以此类推。

由表3可知:当 $\text{CO}_2$ 气流量为1 400 mL/min,三氯乙烯基本停止下滴时,调大通气流量,三氯乙烯继续蒸馏出来。从表3试验结果可以看出:通气流量越大,三氯乙烯蒸馏越彻底,延时加热40 min, $\text{CO}_2$ 气流量调至1 600 mL/min所得回收沥青与空白沥青相比针入度、延度偏大,软化点偏小,表明溶剂仍有少量残留; $\text{CO}_2$ 气流量调至1 700 mL/min组回收沥青与空白沥青指标基本一致,而第3组通气条件下,回收沥青有轻微老化现象,且通气流量过大,操作控制难度增大。综合确定, $\text{CO}_2$ 气流量1 400 mL/min条件下,三氯乙烯基本停止下滴时(过早调大至1 700 mL/min易引起

爆沸),调大通气流量至1 700 mL/min,继续蒸馏至三氯乙烯停止下滴后,持续按1 700 mL/min吹入 $\text{CO}_2$ ,进入延时加热阶段。

由表4可知:延时加热时间越长,溶剂回收越彻底,延时加热时间过长,沥青呈现老化。延时加热40 min时,回收沥青与空白沥青性能基本一致,而只要减少延时加热15 min,针入度、软化点、延度的试验结果就出现显著偏差。而增加延时加热20 min,虽然呈现老化,针入度偏小、软化点增大,但相比延时加热偏短,溶剂略有残留相比,三大指标变化偏小,但弹性恢复下降较快。

表 4 延迟加热时间对回收改性沥青性能的影响

沥青种类	延时加热 时间/min	CO <sub>2</sub> 气流量/ (mL · min <sup>-1</sup> )	25 ℃ 针入度/ (0.1 mm)	软化点/ ℃	5 ℃ 延度/cm	弹性恢 复/%
空白沥青	—	—	53	73.0	30	97
回收 沥青	组 1	25	1 400/1 700	79	58.0	37
	组 2	40	1 400/1 700	52	72.5	29
	组 3	60	1 400/1 700	44	79.5	28

4.3 试验验证

试验采用优化后的试验条件参数(通气量 1 400/1 700 mL/min,延时加热 40 min)进行试验验证,验证采用 RTFOT 后的 SBS 改性沥青 1<sup>#</sup>、SBS 改性沥青 2<sup>#</sup> 分别作为空白沥青 1<sup>#</sup> 与空白沥青 2<sup>#</sup>,验证结果如

表 5 所示。回收的 SBS 改性沥青的三大指标与特征性流变指标弹性恢复与黏度均与空白沥青基本一致,一方面说明 SBS 改性沥青可以采用阿布森方法回收;另一方面说明优化后的条件参数是合适的。

表 5 SBS 改性沥青回收验证试验结果

沥青	针入度/ (0.1 mm)	软化点/ ℃	5 ℃ 延度/cm	135 ℃黏度/ (Pa · s)	弹性恢 复/%	回收试验控制参数
空白沥青 1 <sup>#</sup>	45	83.5	20	2.25	91	油浴温度:170~175 ℃; 通气量:1 400/1 700 mL/min; 延迟加热时间:40 min
1 <sup>#</sup> 回收试验结果	44	85.0	18	2.27	90	
空白沥青 2 <sup>#</sup>	55	90.0	27	1.84	90	
2 <sup>#</sup> 回收试验结果	53	88.5	26	1.88	90	

5 结论

通过阿布森法 SBS 改性沥青回收机理分析与试验控制参数的调整、验证,可以得出以下主要结论:

(1) SBS 改性沥青可以采用阿布森法回收,只要试验控制参数设定适当,回收过程基本不改变改性沥青的技术指标与流变特性。

(2) 由回收机理分析可知:回收溶液浓度与数量、加热温度、CO<sub>2</sub> 通气量、延迟加热时间为关键控制参数。

(3) 改性沥青回收溶液浓度宜控制为 1 : 6,每次回收沥青数量 100~120 g,油浴加热温度提高至 170~175 ℃,当三氯乙烯基本停止下滴时,将 CO<sub>2</sub> 通气流量由 1 400 mL/min 调大至 1 700 mL/min,该文试验确定延迟加热时间为 40 min 是适宜的。

(4) 沥青黏度影响扩散速度、表面迁移性,该文采用的改性沥青 135 ℃黏度为 2 Pa · s 左右,当旧改性沥青黏度变化较大,更换回收装置、更换回收试剂时,需要重新进行空白沥青标定,以确定回收沥青时的关键控制参数。

(5) 溶剂略有残留相比略有老化对回收沥青指标影响更显著,因此延迟加热时间宁长勿短。

参考文献:

[1] 鄢然. SBS 改性沥青多次再生性能与机理研究[D]. 华南理工大学硕士学位论文,2018.

[2] 林翔,张金喜,苗英豪,等. 再生沥青混合料配合比设计影响因素试验研究[J]. 公路交通科技,2011(2).

[3] 樊亮,李永振,林江涛. 旋转蒸发器法回收沥青空白试验研究[J]. 公路,2013(10).

[4] 邹桂莲,虞将苗. 阿布森回收沥青方法的试验研究[J]. 科学技术与工程,2010(10).

[5] 何文峰,王欣,刘先森. 阿布森法沥青回收试验探讨[J]. 公路工程,2005(3).

[6] 马涛,张道义,黄晓明. SBS 改性沥青抽提回收影响因素及改进方案[J]. 东南大学学报(自然科学版),2008(5).

[7] Drew Myers, 著. 表面、界面和胶体——原理及应用[M]. 吴大诚,朱谱新,等,译. 北京:化学工业出版社,2005.

[8] 黄雪征,张磊. 溶液表面张力与浓度关系模型的计算与研究[J]. 计算机与应用化学,2012(8).

[9] 刘延军,张玉贞. 不同类型沥青与集料润湿性能及其黏附功[J]. 石油化工高等学校学报,2017(6).



# 不同温拌剂对于沥青性能改性效果的流变分析

邱延峻<sup>1,2</sup>, 罗浩原<sup>1,2\*</sup>, 欧阳铨霏<sup>1,2</sup>, 王世法<sup>3</sup>, 闫红光<sup>3</sup>, 阳恩慧<sup>1,2</sup>

(1. 西南交通大学 土木工程学院, 四川 成都 610031; 2. 道路工程四川省重点实验室; 3. 四川雅康高速公路有限责任公司)

**摘要:**采用中海 110<sup>#</sup> 沥青,并选取 Sasobit<sup>®</sup> 和 External<sup>®</sup> ET-3100 两种温拌剂,分别在 3 个掺量水平下调配温拌沥青。通过旋转黏度试验,观察温拌剂的降黏、降温效果,同时从物理化学机理上分析温拌剂的降黏原理。进一步地,采用流变学测试方法考评温拌剂对沥青结合料高温抗车辙、中温抗疲劳、低温抗开裂性能的影响。研究表明:Sasobit<sup>®</sup> 通过自身熔化起到物理降黏作用;ET-3100 温拌剂通过与沥青中含有羧基(-COOH)的有机物发生酯化反应降黏,两者均起到了较好的降黏降温效果;Sasobit<sup>®</sup> 可显著提高沥青的高温抗车辙性能,但降低了沥青的中温抗疲劳性能和低温抗裂性能;ET-3100 温拌剂对沥青的高温性能无明显影响,对中温性能有轻微降低,但提高了其低温抗裂性能。实例证明:将基于流变学的测试方法应用于温拌沥青性能比选是全面可行的。

**关键词:** 道路工程; 温拌沥青; 流变学; 沥青性能; PG 分级

## 1 前言

温拌沥青技术是一项追求在较低温度下施工且要求性能不低于热拌沥青的路面施工技术。沥青中掺加温拌剂可以在不损害沥青路用性能的同时,获得良好的施工和易性,有效地降低施工时的拌和与压实温度。相较于热拌沥青技术而言,温拌沥青技术具有施工温度低、节能环保、工艺简单、耐久耐老化性能好的优点,但是与此同时也伴随着水稳性差、经济成本较高等缺点。中国对温拌沥青技术的研究起步于 2005 年,温拌沥青的实际路用性能得到众多工程技术学者的关注和

重视。现阶段,国际上广泛应用于实际工程的温拌剂可按降黏机理主要分为两类:① 有机降黏型温拌剂,最具代表性的是 Sasobit<sup>®</sup> 和 EC-120;② 表面活性型温拌剂,其代表产品有 Evotherm<sup>®</sup> 系列温拌剂。中国学者对 Sasobit<sup>®</sup> 在温拌沥青上的应用进行了大量的研究分析后发现:Sasobit<sup>®</sup> 能够显著改善沥青的高温性能和老化性能,但是对于低温性能有一定的负面影响,另外,沥青的长期水稳性也会有所劣化。为了探寻这种影响规律是 Sasobit<sup>®</sup> 温拌剂独有的,亦或是有机降黏型温拌剂的共性,陈开国开始利用动态剪切流变仪对添加有机温拌剂 EC-120 的橡胶改性沥青进行研究,发现 EC-120 也存在降低沥青低温抗裂性的问

- \*\*\*\*\*
- [10] 甘新立,郑南翔,丛卓红. 基于浸润参数和表面能理论的沥青与集料黏附性分析[J]. 北京工业大学学报,2017(9).
- [11] 黄卫东,孙立军. SBS 改性沥青的混合原理与过程[J]. 同济大学学报(自然科学版),2002(2).
- [12] 高晓燕,李德超. 阿布森沥青回收试验方法探讨[J]. 河南科学,2008(7).
- [13] 周水,张晓华,张蓉,等. 老化沥青抽提回收研究进展[J]. 筑路机械与施工机械化,2017(10).
- [14] 熊出华,张永兴,凌天清. 沥青抽提和回收用替代溶剂适用性评价[J]. 重庆建筑大学学报,2007(4).
- [15] 胡旭东. 旧沥青路面材料的回收与再生研究[D]. 长沙理工大学硕士学位论文,2007.
- [16] 张陈. SBS 改性沥青多次再生性能研究[D]. 华南理工大学硕士学位论文,2016.
- [17] 李文娟,邹桂莲. 再生剂掺量与老化沥青的再生性能研究[J]. 低温建筑技术,2014(4).
- [18] 邹桂莲,鄢然,张陈. 基于 SBS 改性沥青特征指标的多次再生评价[J]. 筑路机械与施工机械化,2017(9).

收稿日期:2019-05-30

基金项目:四川省雅康高速公路有限责任公司合作项目(编号:YK20171108517)

作者简介:邱延峻,男,博士,教授. yjqiu@home.swjtu.edu.cn

\* 通信作者:罗浩原,男,硕士研究生. E-mail:lhy19940517@vip.qq.com