文章编号:1005-0523(2013)06-0012-07

Evotherm温拌剂对橡胶沥青老化性能的影响研究

陈永云,孙文浩,冯 逸,刘津铭

(河海大学土木与交通学院,江苏 南京 210098)

摘要:橡胶沥青具有高粘度的特点,而温拌剂改善了沥青混合料的施工和易性,实则是降低了沥青混合料的同温度粘度。关于温拌剂的加入是否会对橡胶沥青的老化性能产生影响,目前研究较少。通过室内短期老化模拟、长期老化模拟以及老化性能评价,分析Evotherm温拌剂的掺加及其剂量对橡胶沥青老化后的高温粘度、车辙因子($G^*/\sin\delta$)及蠕变劲度S等性能指标的影响,结果表明:Evotherm温拌剂没有改善橡胶沥青在拌合和施工阶段的抗老化性能的能力;老化指数(AI_{PAV},AI_{RTFO})随Evotherm温拌剂剂量的增加而减少;老化使得添加温拌剂的橡胶沥青的低温抗裂性能有一定程度的提高;综合考虑施工高温下的老化和使用过程中的长期老化,建议选择12%Evotherm的剂量。

关键词:温拌剂;橡胶沥青;老化性能

中图分类号:U414 **文献标志码**:A

橡胶沥青[1]不仅具有优良的性能,而且可以实现废旧轮胎的回收利用,符合循环经济、可持续发展的时代主题,具有广阔的应用前景。然而,橡胶沥青的高粘度带来的高能耗、高排放成为其推广的瓶颈。沥青温拌技术是通过加入温拌剂降低沥青在同温条件下粘度改善沥青混合料的施工和易性,从而达到降低混合料的拌合与施工温度的目的。近年来,国内学术研究者就沥青温拌技术开展了一系列研究并取得了一些成果。王飞等[2]通过研究温拌沥青混合料配合比的设计指出温拌沥青混合料体积参数取决于温拌剂掺量、拌合温度等。夏漾[3]通过研究指出掺入适量的Sasobit可以改善沥青结合料的性能;同时可明显降低其混合料拌合与压实温度。严世祥[4]的研究指出基质沥青中掺入适当掺量的减粘剂,可以有效降低沥青的高温粘度。徐宝车等[5]指出采用温拌沥青混合料代替传统的热拌沥青混合料必将带来巨大的社会经济效益。文思源等[6]通过研究温拌布敦岩沥青混合料路用性能指出布敦岩沥青作为改性剂能明显提高沥青混合料的高温稳定性。杨小娟等[7]指出温拌沥青混合料技术的应用对公路建设的发展具有重要意义。曹少谦[8]则指出:温拌和热拌沥青混合料水稳定性相当,低温抗裂性能则优于热拌沥青混合料。

将温拌技术与橡胶沥青的结合可以发挥彼此的优势,具有广泛的应用前景,但国内在这块研究几乎就是空白,只在2008年5月,在河北省铺设了一条橡胶沥青的温拌试验路。温拌橡胶沥青在贮运、拌合、施工以及使用过程中,由于各种原因会发生不可逆的老化现象。沥青老化速率直接影响路面的使用寿命,因而是影响沥青路面耐久性的主要因素。关于温拌橡胶沥青胶结料老化特性研究未见相关报道。

温拌剂降低了混合料的同温粘度,是否会对橡胶沥青的老化性能有影响,目前的研究还相对较少,为了推广温拌橡胶沥青的应用,分析温拌剂对橡胶沥青老化性能的影响具有实际意义。通过室内短期老化模拟、长期老化模拟以及老化性能评价,研究分析Evotherm温拌剂的掺加及其剂量对橡胶沥青老化后的高

收稿日期:2013-08-31

作者简介:陈永云(1989—),男,硕士研究生,研究方向为道路工程材料及设计研究。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

温粘度、$G^*/\sin\delta$及蠕变劲度S等性能指标的影响，以此为基础提出温拌橡胶沥青的Evotherm的适宜掺量。

1　实验材料及实验方案

1.1　实验材料

1.1.1　基质沥青

采用江阴泰富产AH-70#道路石油沥青，按《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ E20-2011)[8]的要求对基质沥青的各项性能指标进行了测试，试验结果见表1。

表1　70#道路石油沥青性能指标

Tab.1　Properties of 70# road petroleum pitch

测试项目	技术要求	测试结果
针入度(25 ℃，100 g，5 s)/0.1 mm	60~80	70.9
延度(15 ℃，5 cm·min^{-1})/cm	≥40	>58
软化点/℃	≥46	48.1
闪点(开口)/℃	≥230	252
含蜡量/%	≤3	1.85
密度(15 ℃)/(g·cm^{-3})	实测记录	1.034
溶解度(三氯乙烯)/%	≥99.5	99.9
质量损失/%	≤0.8	0.3
针入度比/%	≥58	76
延度(15 ℃)/cm	≥15	36

1.1.2　橡胶粉

胶粉为江苏常州生产的40目(0.45 mm)橡胶粉，是以废旧轮胎为原材料，在常温下经过粉碎、分离、除金属、筛选等活化和脱硫等一系列工序处理制成的黑色粉末状物质。其技术指标见表2。

表2　胶粉物理化学技术指标

Tab.2　Physical indices and chemical indices of rubber powder

检测项目	测试结果	技术要求
相对密度	1.16	1.10~1.30
含水率/%	0.6	<1
金属含量/%	0.01	<0.05
纤维含量/%	0.5	<1
筛余物/%	8.3	<10
灰分/%	7.2	≤8
丙酮抽出物/%	4.9	≤22
碳黑含量/%	31.3	≥28
橡胶烃含量/%	55.2	≥42

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1.1.3 温拌剂

Evotherm是基于乳化平台的一种温拌技术，通过独特的化学表面活性剂，配置成皂液的形式直接加入拌合缸，与沥青、石料进行搅拌，在化学表面活性剂和水膜共同作用下改变了沥青短暂的动力粘度，从而提高了较低温度下的拌和性能。

1.1.4 温拌橡胶沥青的室内制备

橡胶沥青搅拌温度为175℃±5℃，搅拌速率为1 000 r·min^{-1}，搅拌时间为45~60 min，胶粉掺量为外掺18%[9]。在制备温拌橡胶沥青时，采用先拌匀温拌剂与热沥青，再掺拌橡胶粉的方法。

1.2 实验方案

为反映温拌剂剂量对橡胶沥青老化性能的影响，选择18%外掺胶粉，不同剂量的Evotherm温拌剂进行试样制备及试验，具体掺配比例如表3所示。

表3 Evotherm温拌橡胶沥青样品掺配比例

Tab.3 Blending ratio of Evotherm warm rubber modified asphalt sample

温拌剂种类	配比（基质沥青:胶粉掺量:温拌剂掺量）
Evotherm	100:18:8.0
	100:18:10
	100:18:12

拟采用的温拌橡胶沥青胶结料老化性能评价指标如下。

1.2.1 短期老化模拟

短期老化是指沥青在加热拌和、储运及铺筑过程中的老化，现在常用薄膜烘箱试验（TFOT）或旋转薄膜烘箱试验（RTFOT）来模拟。试验根据JTJ052-2000《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中T0610-1993进行。

1.2.2 长期老化模拟

美国SHRP规范推荐使用压力老化试验（PAV）模拟沥青在路面使用服务期间的老化，标准的PAV老化试验可模拟相当于沥青路面使用5~7年的老化程度。

研究采用标准的PAV老化试验，采用压力2.1 MPa、试验温度90 ℃、试验时间20 h的条件进行老化试验。试验步骤根据AASHTOPPI的要求进行。

1.2.3 老化性能评价

目前现有的用来评价沥青老化性能的指标主要是在已有测试手段的基础上对常规指标进行分析，通过老化前后指标值的差别来考察它们评价沥青抗老化性能。在我国现行的规范中，评价沥青抵抗短期老化的指标主要有沥青组分的变化、老化前后质量变化、老化前后25 ℃针入度比、老化前后60 ℃粘度比等。

研究借鉴了Superpave沥青胶结料规范里的指标，通过对老化前后不同温度的布氏粘度值、车辙因子、蠕变劲度评价温拌橡胶沥青老化性能。

2 试验结果与分析

2.1 老化对温拌橡胶沥青高温粘度的影响

沥青老化过程实际上是发生了氧化反应，伴随着化学键的断裂、重组以及聚合的过程，这些变化将会引起粘度的变化。考察沥青老化后粘度的变化，对研究沥青的老化行为具有重要意义。研究选择测试路面极限高温80 ℃时的粘度值来分析短期老化和长期老化对粘度值的影响。温拌橡胶沥青胶结料80 ℃时粘度值如表4所示。

根据表4，随着短期老化和长期老化的进行，温拌橡胶沥青粘度会有较明显的增幅，但不同温拌剂掺量的橡胶沥青的粘度增幅是明显不同的。为了清晰地显示出老化对粘度的增幅效果，定义老化指数$AI_\eta=\eta_{未老化}/\eta_{已老化}$为老化前后粘度的比值，并比较短期老化指数和长期老化指数，以分析不同的老化对粘度的影响效果。表5列出了不同掺量Evotherm温拌橡胶沥青的AI_{RTFO}和AI_{PAV}随温拌剂剂量变化情况。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表4　80℃时温拌橡胶沥青胶结料粘度值

Tab.4　Blinder's viscosity of warm rubber modified asphalt at 80 ℃　　pa.s

温拌剂种类	剂量/%	未老化	短期老化	长期老化
无温拌剂	0	305	608	713
Evotherm温拌剂	8	268	850	1081
	10	246	574	801
	12	226	422	481

根据表5中橡胶沥青短期老化指数及长期老化指数的值，短期老化在胶结料整个老化过程中占60%~90%，即混合料的生产和施工过程是橡胶沥青使用过程老化最严重的过程。对于Evotherm温拌橡胶沥青，橡胶沥青老化指数随剂量的增加而减少，且在12%剂量时达到最小值并小于未添加温拌剂的橡胶沥青老化指数，说明Evotherm温拌橡胶沥青在剂量只有达到12%时才对橡胶沥青抗老化性能有改善作用。

表5　温拌橡胶沥青的短期及长期老化指数

Tab. 5　Short-time aging index and long-time aging index of warm rubber modified asphalt

温拌剂种类	剂量/%	AI_{RTFO}	AI_{PAV}	AI_{RTFO}/ AI_{PAV}/%
无温拌剂	0	1.99	2.34	85.0
Evotherm温拌剂	8	3.17	4.04	78.5
	10	2.33	3.26	71.5
	12	1.87	2.13	87.8

2.2　老化对温拌橡胶沥青车辙因子（$G^*/\sin\delta$）的影响

$G^*/\sin\delta$ 称为车辙因子，其值越大，则结合料高温抗车辙能力越好，PG分级中的级别越高。SHRP结合料规范规定：结合料RTFOT前耐高温性能的等级需满足 $G^*/\sin\delta$ 大于1.0 kPa的规定，RTFOT后需满足 $G^*/\sin\delta$ 大于2.2 kPa的规定。如果 $G^*/\sin\delta$ 值小于规定值时则不满足该等级抗高温的性能要求，需降级使用。

研究不局限于RTFOT后 $G^*/\sin\delta$ 必须大于2.2 kPa的要求，定义老化指数

$$AI_{G^*/\sin\delta}=(G^*/\sin\delta_{未老化})/(G^*/\sin\delta_{已老化})$$

为老化前后车辙因子的比值，用以评价老化对车辙因子的影响。对于Evotherm温拌橡胶沥青不同剂量不同老化情况下的车辙因子测试结果如图1所示。

从图1可以发现，温拌橡胶沥青车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 的增幅主要发生在RTFOT阶段，PAV老化对车辙因子 $G^*/\sin\delta$ 的影响比RTFOT小。

根据图2可以的得出如下结论：橡胶沥青PAV老化指数小于RTFOT老化指数，这是由于道路石油沥青能够在高温时溶胀胶粉，而溶胀后的胶粉会使得沥青塑化，抵消老化过程硬化作用；对于Evotherm温拌橡胶沥青，随着Evotherm剂量的增加，短期老化指数和长期老化指数均逐渐减小；此外，随着温度的降低，短期老化指数和长期老化指数都在减小，长期老化指数逐渐接近短期老化指数数值，且在个别温度上甚至小于短期老化指数，这是因为老化的过程中，胶粉颗粒在老化过程产生溶胀现象，使得沥青塑化降低老化对沥青胶结料的硬化现象，且温度越低塑化越明显。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

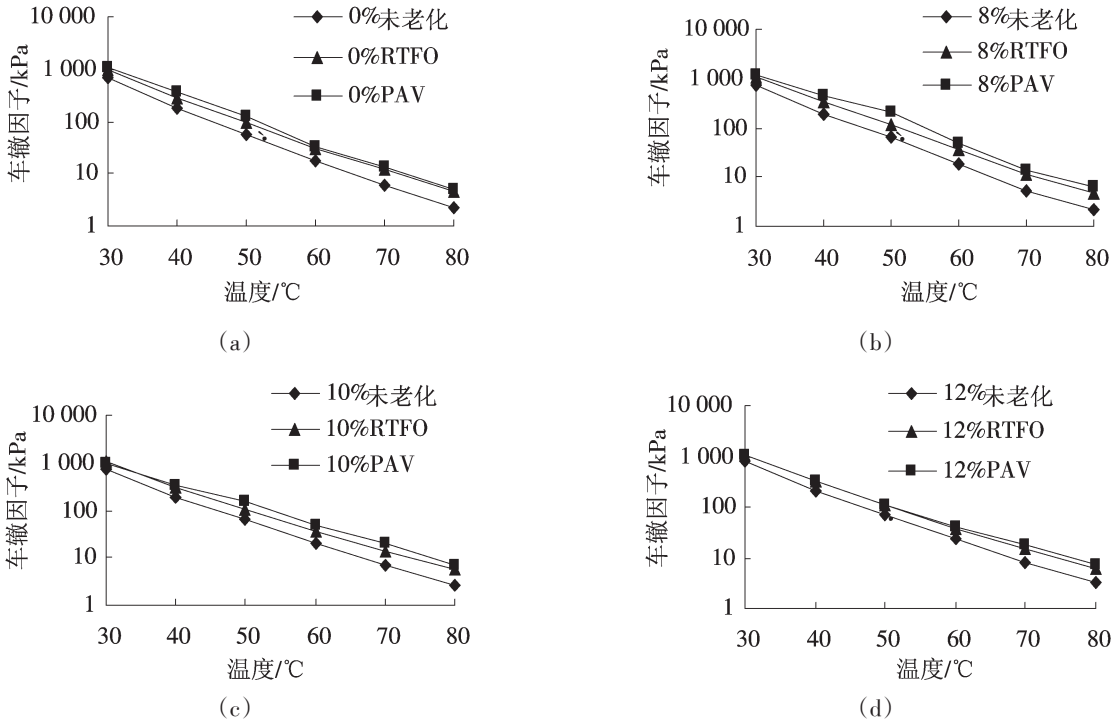

图1 Evotherm温拌橡胶沥青车辙因子值

Fig.1 $G^*/\sin\delta$ of Evotherm rubber modified asphalt

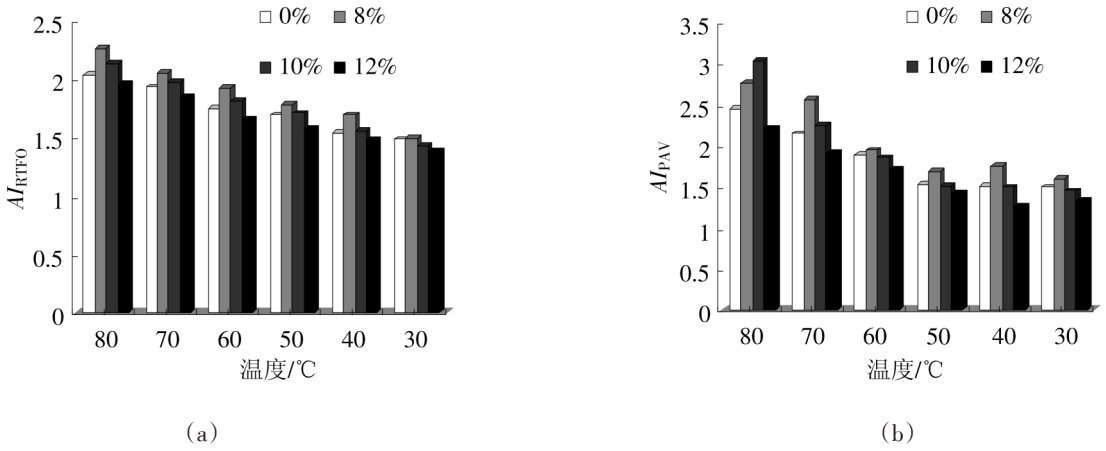

图2 Evotherm温拌橡胶沥青老化指数

Fig.2 Aging index of Evotherm warm rubber modified asphalt

2.3 老化对温拌橡胶沥青蠕变劲度S的影响

通过弯曲梁流变试验测定沥青胶结料的劲度模量S、劲度模量曲线斜率m值来评价沥青结合料的低温性能。研究测定不同老化程度沥青在-12℃,-18℃,-24℃时的S(60 s)和m(60 s)值,结果如表6所示。

由表6可以看出,添加了Evotherm温拌剂的橡胶沥青的劲度模量S值随着短期老化和长期老化的进行而减少。这说明老化反而使得添加了温拌剂的橡胶沥青的低温抗裂性能有一定程度的提高。这是由于胶粉颗粒在老化过程产生溶胀现象,使得沥青塑化降低老化对沥青胶结料的硬化现象,这种在低温中尤其明显。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表6　Evotherm温拌橡胶沥青BBR试验结果

Tab.6　BBR Test result of Evotherm warm rubber modified asphalt

Evotherm温拌剂含量/%	温度/℃	未老化		RTFO老化		PAV老化	
		S	*m*	*S*	*m*	*S*	*m*
0	−12	122	0.304	124	0.325	128	0.325
	−18	170	0.294	138	0.314	168	0.307
	−24	337	0.22	250	0.182	317	0.247
8	−12	70.4	0.379	71.9	0.357	91.5	0.348
	−18	115	0.286	178	0.269	201	0.255
	−24	339	0.192	364	0.211	405	0.201
10	−12	125	0.341	121	0.316	104	0.338
	−18	268	0.276	213	0.302	190	0.277
	−24	419	0.234	322	0.248	302	0.248
12	−12	115	0.323	109	0.327	79.1	0.351
	−18	215	0.315	196	0.277	168	0.314
	−24	419	0.198	380	0.22	351	0.222

3　结论

通过RTFO试验和PAV试验，模拟了温拌橡胶沥青的短期老化和长期老化过程，并结合老化性能评价，就温拌橡胶沥青老化后的性能进行了分析和探讨，得出的结论如下：

1）采用RTFOT及PAV来模拟短期老化和长期老化，其粘度试验结果显示，沥青混合料在生产和施工过程是整个温拌橡胶沥青使用过程老化最严重的过程；

2）Evotherm温拌剂没有改善橡胶沥青在拌合和施工阶段的抗老化能力；

3）老化指数（AI_{PAV}，AI_{RTFO}）随温拌剂剂量的增加而减少，Evotherm掺量≥10%时，温拌橡胶沥青老化指数小于未添加温拌剂和温拌剂掺量较小时的温拌橡胶沥青，这说明，Evotherm掺量≥10%时，温拌剂能够改善橡胶沥青的抗老化能力；

4）通过弯曲梁流变试验发现，添加了Evotherm温拌剂的橡胶沥青的劲度模量*S*值随着短期老化和长期老化的进行，劲度模量*S*值反而减少，这说明老化反而使得添加Evotherm温拌剂的橡胶沥青的低温抗裂性能有一定程度的提高；

5）综合考虑施工高温下的老化和使用过程中的长期老化，建议选择12%Evotherm的剂量。

参考文献：

[1] 黄文元. 轮胎橡胶沥青路用性能及应用研究[D]. 上海：同济大学，2004.

[2] 王飞，李立寒. 温拌沥青混合料配合比设计中若干问题的试验探究[J]. 华东交通大学学报，2010，27(4)：22-25.

[3] 夏漾. Sasobit温拌沥青混合料设计与使用性能[D]. 长沙：湖南大学，2009.

[4] 严世祥. 温拌沥青混合料的应用技术研究[D]. 重庆：重庆大学，2007.

[5] 文思源，苏明，叶奋. 温拌布敦岩沥青混合料路用性能研究[J]. 华东交通大学学报，2011，28(1)：47-51.

[6] 杨小娟，李淑明，史保华. 温拌沥青混合料的技术与应用分析[J]. 石油沥青，2007，21(4)：58-61.

[7] 徐宝军，冯建宗，董晓梅. 温拌沥青混合料在公路路面中的应用[J]. 公路与汽运，2010(5)：77-78.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[8] 曹少谦. 热拌与温拌沥青混合料性能对比试验研究[J]. 山西交通科技,2011(2):3-5.
[10] 张争奇,梁晓莉,李平. 沥青老化性能评价方法[J]. 交通运输工程学报,2005,5(1):1-5.

Influence of Evotherm Warm Asphalt Additive on the Aging of Rubber Modified Asphalt

Chen Yongyun, Sun Wenhao, Feng Yi, Liu Jinming

(College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Rubber modified asphalt has a high viscosity, and with warm asphalt additives the rubber asphalt mixture viscosity can be reduced at the same temperature, which is of great help for improving the workability of asphalt mixtures. There are limited studies on the influence of warm asphalt additives on the aging properties of the rubber modified asphalt. In this study, rubber modified asphalt samples containing different contents of Evotherm are aged through short-term aging, long-term aging simulation in the lab. And the high temperature viscosity, $G^*/\sin\delta$ and creep stiffness S of these specimens are tested after aging simulation. The results show: Evotherm can not improve rubber modified asphalt's anti-aging properties in the mixing and construction phases; aging index (AI_{PAV}, AI_{RTFO}) decreases with increasing Evotherm content; the rubber modified asphalt's low temperature crack resistance improve when mixed with Evotherm after aging; considering the high temperature construction aging and long-term aging of pavement operation, a mixing content of 12% Evotherm is recommended.

Key words: warm asphalt additives; rubber asphalt; aging properties

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net