

文章编号:1671-8879(2007)05-0035-05

## 重交通道路沥青老化规律及评价方法

吴传海<sup>1,2</sup>,袁玉卿<sup>3</sup>,王选仓<sup>1</sup>

(1. 长安大学 公路学院,陕西 西安 710064; 2. 广东省交通集团 检测中心,广东 广州 510800;

3. 河南大学 土木建筑学院,河南 开封 475001)

**摘要:**采用薄膜烘箱加热试验方法,对重交通沥青在不同老化时间和老化温度下的性能指标进行测试,分析了时间和温度对沥青老化的影响,并将薄膜烘箱老化试验与美国战略公路研究计划(SHRP)的沥青性能老化评价方法的相关性进行了对比研究。结果表明:重交通道路沥青在老化10 h(163 ℃)或老化温度高于163 ℃时性能变化颇为显著;可采用薄膜烘箱老化试验5 h(163 ℃)老化前后的软化点比、10 h(163 ℃)老化前后的25 ℃针入度比和15 ℃延度比来评价沥青老化后抗车辙能力;可采用薄膜烘箱老化试验10 h(163 ℃)或5 h(180 ℃)老化前后的针入度比和延度比指标来评价沥青老化后的抗疲劳性能;可采用薄膜烘箱老化试验24 h(163 ℃)老化前后的延度比或软化点比指标来评价沥青长期老化后的抗裂性能。

**关键词:**道路工程;重交通;沥青混合料;老化规律;老化性能;评价方法

**中图分类号:**U414.75

**文献标志码:**A

### Rules and evaluation methods of asphalt aging under heavy traffic

WU Chuan-hai<sup>1,2</sup>, YUAN Yu-qing<sup>3</sup>, WANG Xuan-cang<sup>1</sup>

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2. Center of Test, Guangdong Province Communication Group, Guangzhou 510800, Guangdong, China;

3. School of Civil Engineering and Architecture, Henan University, Kaifeng 475001, Henan, China)

**Abstract:** Through the thin-film-oven-test on several types of common-used heavy traffic paving asphalts under different aging time and aging temperature, the influence of aging time and temperature on asphalt performance is analyzed, the testing results by this method are compared with the one of American strategy-highway-research-program. The results show that the asphalt performances have a remarkable change after 10 h aging at 163 ℃, or at higher temperature; the anti-rutting ability can be evaluated by softening points before and after 5 h aging at 163 ℃, the penetration ratio at 25 ℃, and the ductility at 15 ℃ before and after 10 h aging at 163 ℃; the anti-fatigue ability can be evaluated by the penetration ratio at 25 ℃, and the ductility ratio at 15 ℃ before and after 10 h aging at 163 ℃ or 5 h aging at 180 ℃; the anti-cracking ability can be evaluated by the ductility ratio at 15 ℃, the softening point before and after 24 h aging at 163 ℃. 3 tabs, 6 figs, 10 refs.

收稿日期:2006-06-21

基金项目:国家西部交通建设科技项目(200531881213)

作者简介:吴传海(1975-),男,江西安义人,博士研究生,E-mail:whai@tom.com.

**Key words:** road engineering; heavy traffic; asphalt mixtures; aging rule; anti-aging performance; evaluation method

## 0 引言

自20世纪50年代以来,道路沥青的老化研究受到国内外道路界的普遍关注,并针对沥青的短期热老化、长期热老化以及性能改善进行了相关研究<sup>[1-4]</sup>。然而,沥青老化是一个逐渐发生的过程,其速率直接影响路面的使用寿命,如在冬季气温骤降及反复升温降温环境下易引发沥青路面温缩裂缝;在多雨季节水分渗入沥青与集料的界面上,会使沥青粘附性降低;在荷载作用下,沥青混合料会产生剥离、坑槽等。因此,沥青的抗老化性能是影响沥青混合料耐久性的一个重要因素,如何选择性能优良的沥青是关系到路面使用质量和使用寿命的一个重要问题。虽然中国已先后出台了一系列关于沥青胶结料的性能评价指标和标准,但对沥青性能评价时的试样仅仅停留在沥青原样或5 h(163℃)的薄膜加热试验,只能反映沥青购买时的状态或拌和后刚铺筑的沥青路面条件,这与路面对沥青的长期使用性能要求相脱节。因此,研究重交通道路沥青的老化规律,探索合理的老化性能评价方法和指标仍然是摆在中国道路工作者面前的一项艰巨任务。为此,本文通过对几种常用沥青不同老化时间和老化温度条件下的性能指标的测试,以揭示重交通道路沥青的老化规律,并将国内外普遍采用的沥青老化评价方法——薄膜烘箱老化试验与美国战略公路研究计划(SHRP)沥青性能规范中的老化评价方法进行相关性分析,从而给出适合现阶段中国国情的道路沥青老化性能的评价方法。

## 1 沥青老化规律

沥青的老化与时间和温度存在着密切关系,为了找出重交通道路沥青的路用性能随老化时间和老化温度的变化规律,本文选取了几种常用的 AH-70<sup>#</sup> 沥青,采用文献[5]中薄膜烘箱加热试验方法,对其4个不同老化时间(1、5、10、24 h)及3个不同老化温度(120、163、180℃)条件下老化后的路用性能进行了对比试验<sup>[5-6]</sup>。试验结果如表1所示。

从图1中沥青针入度随老化时间的变化规律曲线可以看出,在163℃薄膜烘箱老化条件下,中国产沥青1<sup>#</sup>老化10 h以前的针入度下降速率大于国外某沥青和中国产沥青2<sup>#</sup>,但老化10 h以后的下降

表1 不同老化时间和温度条件下重交通沥青路用性能试验结果

沥青类型	老化条件	25℃ 针入度/ (0.1 mm)	15℃ 延度/ cm	软化点/ ℃	135℃ 粘度/ (Pa·s)
国外某 沥青 AH-70 <sup>#</sup>	老化前原样沥青	65	>150	48.7	0.76
	5 h 120℃	50	>150	48.5	0.90
	5 h 163℃	41	25.7	53.8	0.94
	5 h 180℃	36	25.0	55.8	1.14
	163℃ 1 h	56	>150	50.5	0.90
	163℃ 5 h	41	25.7	53.8	0.94
	163℃ 10 h	32	9.8	55.0	1.08
	163℃ 24 h	20	4.0	63.5	2.30
中国产 沥青1 <sup>#</sup> AH-70 <sup>#</sup>	老化前原样沥青	70	>150	49.3	0.76
	5 h 120℃	58	>150	52.0	0.91
	5 h 163℃	39	73.0	53.5	1.02
	5 h 180℃	35	10.5	58.5	1.47
	163℃ 1 h	58	>150	49.8	0.92
	163℃ 5 h	39	73.0	53.5	1.02
	163℃ 10 h	27	9.5	59.5	1.70
	163℃ 24 h	19	1.8	68.5	3.47
中国产 沥青2 <sup>#</sup> AH-70 <sup>#</sup>	老化前原样沥青	61	>150	48.6	0.62
	5 h 120℃	63	>150	50.0	0.85
	5 h 163℃	49	>150	54.0	0.97
	5 h 180℃	46	34.0	55.0	1.12
	163℃ 1 h	58	>150	49.8	0.80
	163℃ 5 h	49	>150	54.0	0.97
	163℃ 10 h	41	18.5	55.5	1.08
	163℃ 24 h	28	5.2	62.5	1.77

速率缓于后两者,这说明不同品质沥青的短期老化和长期老化的速率大小并不完全一致。因此,文献[5]<sup>[6]</sup>采用163℃、5 h老化前后的针入度比指标来笼统地评价沥青的老化性能存在一定的局限性。

此外,从图1~图3中3组曲线的整体变化趋势来看,各种沥青的25℃针入度、软化点、135℃运动粘度随老化时间变化的曲线在10 h的位置均出现了一个拐点,且在10 h的位置各沥青的性能指标差别颇为明显,而在5 h以前,各种沥青的性能指标相差很小。这表明,采用5 h(163℃)作为老化时间条件来模拟沥青的现场老化,以期评价沥青耐老化性能是不足取的,它往往会造成不同性能的沥青良莠不分。相反,采用10 h(163℃)作为标准老化条件,能更好地区分不同沥青的路用性能优劣,为选用优质沥青提供参考。

从图4~图6可以看出,在固定时间为5 h的薄

膜烘箱老化条件下,各沥青针入度、软化点与老化温度近似成线性关系,但不同沥青的变化斜率并不相同,说明不同品质沥青经受高温老化考验的能力有较大区别,这从各沥青在 120℃ 和 163℃ 老化条件下,135℃ 粘度相差并不明显,但 180℃ 老化条件下粘度相差悬殊的现象可以得到证实。此外,从图 6 还可看出,沥青在温度小于 163℃ 条件下老化非常缓慢,但超过 163℃ 后性能急剧变化,可见沥青路面施工过程中控制沥青加热温度非常重要。

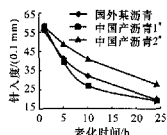


图1 沥青针入度-老化时间关系曲线

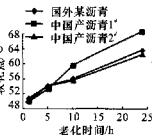


图2 沥青软化点-老化时间关系曲线

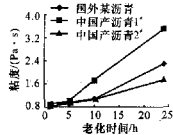


图3 沥青135℃粘度-老化时间关系曲线

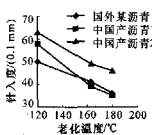


图4 沥青针入度-老化温度关系曲线

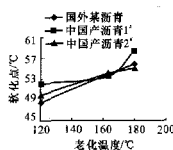


图5 沥青软化点-老化温度关系曲线

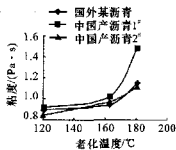


图6 沥青135℃粘度-老化温度关系曲线

## 2 沥青老化评价方法

道路沥青的老化一般可分为短期老化(拌和、运输和摊铺阶段)和长期老化(道路使用阶段)。随着道路沥青的老化,沥青混合料的低温抗裂、耐疲劳和抗剥落等路用性能将迅速下降。目前中国“重交通道路石油沥青技术要求”中仅采用了薄膜加热试验 5 h (163℃)或旋转薄膜加热试验 85 min (163℃)前后沥青性质的变化程度(质量损失、残留针入度和延度)来评价沥青的抗老化性能,有的标准还列有软化点和 60℃ 粘度变化,这只能反映施工过程中的热老化,即短期老化,尚不能模拟路面长期使用性能的老化。

美国 SHRP 对沥青结合料的老化采用了一套

全新的思想,它不象传统的评价方法那样,通过测定沥青从生产到路面使用过程中各个阶段沥青性质发生变化的程度来直接描述沥青的老化性能。SHRP 评价沥青结合料的老化性能,主要是确定一个模拟实践状态的老化条件,使沥青混合料经受模拟生产过程的短期老化和模拟使用过程的长期老化,然后采用不同老化程度的沥青结合料进行试验。考虑到沥青路面的车辙永久变形主要发生在沥青路面铺筑的初期,所以采用原样沥青和经过旋转薄膜烘箱加热试验(RTFOT)后的沥青结合料的两次动态剪切试验(DSR)的复数劲度模量来评价;而沥青路面的低温开裂和疲劳开裂主要发生在沥青路面已经老化的后期,所以采用经过旋转薄膜烘箱加热试验和压力老化(PAV)后的沥青结合料,通过动态剪切试验、弯曲蠕变试验(BBR)和直接拉伸试验(DDT)等各种指标来评价<sup>[7]</sup>。

综上所述,美国 SHRP 的沥青结合料老化评价方法显然比传统的老化评价方法更具合理性,它不但可以反映沥青拌和、运输和摊铺过程的短期老化,还能够模拟沥青使用过程中的长期老化。但是,由于美国 SHRP 沥青结合料老化评价试验方法较为复杂,试验仪器、设备非常昂贵,在中国目前的技术水平和经济条件下,大规模地推广这种评价方法显然是不现实的<sup>[8-10]</sup>。因此,对大多数生产单位来说,采用符合中国国情的老化试验评价方法仍然是重要的。可以通过改变薄膜烘箱老化条件、评价标准等对道路沥青进行老化试验研究,并与美国 SHRP 沥青结合料老化评价结果进行对比分析(表 2),找出两种评价方法之间的对应关系,为沥青的老化提供一种适合中国国情的评价方法。

从表 2 可以看出,按传统的薄膜加热试验评价方法,不同时间、温度老化条件下,沥青老化前后的 25℃ 针入度、软化点变化规律性较强,而 15℃ 延度和 135℃ 粘度变化规律相对较差,但总体上均呈现出沥青随着老化时间的延长或老化温度的提高各项性能指标变差的趋势;从美国 SHRP 的沥青老化评价方法来看,虽然所选 3 种沥青的性能等级均为 PG64-22,但不同沥青 RTFOT 老化后残留物 64℃ 的动态剪切  $G^* / \sin \delta$  指标、RTFOT 及 PAV 老化后残留物 -12℃ 的蠕变劲度  $S$  指标相差较为明显,RTFOT 及 PAV 老化后残留物 19℃ 的动态剪切  $G^* \sin \delta$  指标相差较小。此外,从各种沥青不同时间和温度条件下的老化效果来看,沥青在 10 h (163℃)条件下的老化程度与 5 h (180℃)条件下的

表 2 沥青老化性能的不同评价方法试验结果

沥青类型	沥青老化的传统评价指标					沥青老化的美国 SHRP 评价指标		
	老化条件	老化后沥青与原样沥青指标比值				RTFOT 后残留物	RTFOT 及 PAV 后残留物	
		25 °C 针入度比	15 °C 延度比	软化点比	135 °C 粘度比	64 °C 动态剪切 $G^* / \sin \delta$ / kPa	19 °C 动态剪切 $G^* \sin \delta$ / MPa	-12 °C 蠕变劲度 $S$ / MPa
国外 某沥青 (AH-70#)	163 °C, 5 h	0.63	0.17	1.10	1.24	4.414	4.72	196
	163 °C, 10 h	0.49	0.07	1.15	1.42			
	163 °C, 24 h	0.31	0.03	1.30	3.03			
	180 °C, 5 h	0.55	0.17	1.15	1.50			
中国产 沥青 1# (AH-70#)	163 °C, 5 h	0.56	0.49	1.09	1.34	6.102	4.93	246
	163 °C, 10 h	0.39	0.06	1.21	2.24			
	163 °C, 24 h	0.27	0.01	1.39	4.57			
	180 °C, 5 h	0.50	0.07	1.19	1.93			
中国产 沥青 2# (AH-70#)	163 °C, 5 h	0.80	1.00	1.11	1.56	3.099	4.46	215
	163 °C, 10 h	0.67	0.12	1.14	1.74			
	163 °C, 24 h	0.46	0.03	1.29	2.85			
	180 °C, 5 h	0.75	0.36	1.13	1.81			

注:按美国 SHRP 沥青胶结料规范评价,所选 3 种沥青的路用性能等级均为 PG-64-22;各种沥青老化前后 15 °C 延度比计算时,当其延度大于 150 cm 时均假定其等于 150 cm;  $G^* / \sin \delta$ 、 $G^* \sin \delta$  和蠕变劲度  $S$  分别采用美国 SHRP 短期和长期老化后沥青抗车辙、抗疲劳和低温抗裂性能的评价方法。

老化程度相当,即沥青在两个不同条件下的 25 °C 针入度、15 °C 延度、软化点、135 °C 粘度指标的线性相关系数分别为 0.925、0.910、0.989、0.997。

为了进一步分析美国 SHRP 的沥青老化评价方法、指标与传统的薄膜加热试验评价方法的对应关系,找出适合中国国情,但又能真实反映沥青老化性能(短

期和长期老化)的沥青评价方法,对不同沥青的美国 SHRP 老化评价指标(RTFOT 老化后残留物的动态剪切  $G^* / \sin \delta$ 、RTFOT 及 PAV 老化后残留物的动态剪切  $G^* \sin \delta$  和 -12 °C 的蠕变劲度  $S$  指标)与不同时间、温度老化条件下的传统评价指标(针入度比、延度比、软化点比、粘度比)进行了线性回归,结果列于表 3。

表 3 沥青老化的不同评价指标的线性相关系数

美国 SHRP 评价指标	沥青老化的传统评价指标															
	25 °C 针入度比				15 °C 延度比				软化点比				135 °C 粘度比			
	5 h	10 h	24 h	180 °C	5 h	10 h	24 h	180 °C	5 h	10 h	24 h	180 °C	5 h	10 h	24 h	180 °C
$G^* / \sin \delta$	0.997	0.998	0.989	0.982	0.272	0.985	0.828	0.945	0.997	0.895	0.875	0.966	0.724	0.548	0.877	0.200
$G^* \sin \delta$	0.996	0.999	0.988	0.980	0.262	0.984	0.834	0.949	0.998	0.899	0.880	0.969	0.715	0.555	0.882	0.211
蠕变劲度 $S$	0.491	0.601	0.428	0.390	0.649	0.406	0.926	0.797	0.614	0.869	0.888	0.752	0.172	1.000	0.886	0.926

注:5、10、24 h、180 °C 分别采用原样沥青的各指标(针入度、延度、软化点、粘度)与 163 °C (5、10、24 h) 和 180 °C、5 h 老化条件下的各指标比值的传统老化评价方法;数值为美国 SHRP 老化评价指标与各传统老化评价指标间的线性回归相关系数。

从表 3 可以看出,美国 SHRP 沥青胶结料性能规范中用于反映沥青老化后抗车辙能力和抗疲劳能力的动态剪切  $G^* / \sin \delta$ 、 $G^* \sin \delta$  评价指标与传统的薄膜烘箱老化试验前后的 25 °C 针入度比指标相关性较大,与老化前后软化点比和 15 °C 延度比指标的相关性次之,而与老化前后 135 °C 粘度比指标的相关性较差。美国 SHRP 沥青胶结料性能规范中动态剪切  $G^* / \sin \delta$ 、 $G^* \sin \delta$  指标与薄膜烘箱老化试验前后的针入度比和延度比指标的相关性,以 10 h (163 °C) 老化条件下的相关性最大,线性相关系数均在 0.98 以上,而与其 5 h (163 °C) 老化条件下的

延度比指标相关性仅为 0.272 和 0.262。由此可见,采用 5 h (163 °C) 老化条件下的延度比作为沥青老化性能评价指标是不合理的,而以 10 h (163 °C) 作为老化条件来评价沥青的抗老化性能最为合理,这也与前面沥青老化规律的分析结果相吻合。

美国 SHRP 沥青胶结料性能规范中用于反映沥青老化后抗裂性能的蠕变劲度  $S$  评价指标与传统的薄膜老化试验前后的 135 °C 粘度比指标相关性较大,特别是与长时间 (163 °C, 10 h 或 24 h) 或高温 (180 °C、5 h) 老化条件下粘度比相关性较大,与老化前后软化点比和 15 °C 延度比指标的相关性次之,

而与老化前后 25℃ 针入度比指标的相关性较差<sup>[7]</sup>。

美国 SHRP 沥青规范中蠕变劲度  $S$  指标与薄膜烘箱老化试验前后的 135℃ 粘度比指标的相关性中,以 10 h(163℃)老化条件下的相关性最大;而蠕变劲度  $S$  指标与老化前后软化点比和延度比指标的相关性中,均以 24 h(163℃)老化条件下的相关性为最大;此外,反映沥青长期老化后抗裂性能的蠕变劲度  $S$  指标与 5 h(163℃)条件下老化前后各指标(针入度比、延度比、软化点比、粘度比)的相关性均较小。从整体相关性来看,美国 SHRP 沥青胶结料性能规范中用于评价沥青抗老化性能的各项指标与传统的薄膜烘箱老化试验前后 25℃ 针入度比和软化点比指标的相关性较好,而与老化前后的 15℃ 延度比和 135℃ 粘度比的相关性较差。

### 3 结 语

(1)重交通道路沥青经不同时间(1、5、10、24 h)薄膜烘箱老化试验(TFOT)后的 25℃ 针入度、软化点、135℃ 运动粘度变化曲线均在 10 h 的位置出现了一个拐点,且在 10 h 的位置各沥青的性能指标差别颇为明显;而在 5 h 以前,各种沥青的性能指标相差很小。因此,采用 5 h(163℃)的老化时间模拟沥青的现场老化,评价沥青耐老化性能是不足取的,它往往会造成不同性能沥青的良莠不分。

(2)美国 SHRP 沥青胶结料性能规范中用于反映沥青老化后抗车辙能力的动态剪切  $G^*/\sin\delta$  指标与传统的薄膜烘箱老化试验 5 h(163℃)老化前后的软化点比指标,以及 10 h(163℃)老化前后 25℃ 针入度比和 15℃ 延度比均有较好的相关性。

(3)采用薄膜烘箱老化试验 10 h(163℃)或 5 h(180℃)老化前后的针入度比和延度比指标来评价沥青老化后的抗疲劳性能可以得到与美国 SHRP 沥青结合料老化性能评价方法相似的结论。

(4)采用薄膜烘箱老化试验 24 h(163℃)老化前后的延度比或软化点比指标,可以代替旋转薄膜烘箱老化(RTFOT)及压力老化(PAV)后的沥青蠕变劲度  $S$  指标来评价沥青长期老化后的抗裂性能。

#### 参考文献:

#### References:

[1] 申爱琴,蒋庆华. 沥青混合料低温抗裂性能评价及影响因素[J]. 长安大学学报:自然科学版,2004,24(5):

1-6.  
SHEN Ai-qin, JIANG Qing-hua. Influencing factor and appraising on anti-cracking of asphalt mixture at low temperature[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004,24(5):1-6.

[2] 原健安,周吉萍,李玉珍. SBS 与沥青的相互作用性分析[J]. 中国公路学报,2005,18(4):21-26.

YUAN Jian-an, ZHOU Ji-ping, LI Yu-zhen. Analysis of interaction between SBS and asphalt[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005,18(4):21-26.

[3] 沈金安. 沥青及沥青混合料路用性能[M]. 北京:人民交通出版社,2001.

[4] 陈华鑫,李宇利,张争奇,等. 沥青材料的感温性分析[J]. 长安大学学报:自然科学版,2006,26(1):8-11.

CHEN Hua-xin, LI Ning-li, ZHANG Zheng-qi, et al. Temperature susceptibility analysis of asphalt binders[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006,26(1):8-11.

[5] JTJ 052-2000. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].

[6] JTG F40-2004. 公路沥青路面施工技术规范[S].

[7] 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.

ZHANG Zheng-qi, LIANG Xiao-li, LI Ping. Evaluation method of asphalt aging properties[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2005,5(1):1-5.

[8] 刘丽,李剑,郝培文,等. 硅藻土改性沥青胶浆技术性能的评价方法[J]. 长安大学学报:自然科学版,2005,25(3):23-27.

LIU Li, LI Jian, HAO Pei-wen, et al. Evaluation method for property of modified asphalt mortar with diatomite[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005,25(3):23-27.

[9] 田小草,郑健龙,张起森. 老化对沥青结合料粘弹性的影响[J]. 交通运输工程学报,2004,4(1):3-6.

TIAN Xiao-ge, ZHENG Jian-long, ZHANG Qi-sen. Effect of aging on viscoelastic performance of asphalt binder[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004,4(1):3-6.

[10] 杜顺成,戴经梁. 沥青混合料永久变形评价指标[J]. 中国公路学报,2006,19(5):18-22.

DU Shun-cheng, DAI Jing-liang. Permanent deformation evaluation index of asphalt mixture[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006,19(5):18-22.