

文章编号:1671-6833(2007)04-0100-05

## 老化对沥青混合料低温抗裂性能的影响研究

齐琳<sup>1</sup>, 张争奇<sup>1</sup>, 杨慧军<sup>2</sup>

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064; 2. 中交通力科技集团有限公司, 陕西 西安 710075)

**摘 要:** 采用劈裂试验方法, 分别对新拌、短期老化和长期老化状态下沥青混合料的低温性能进行了对比研究。试验表明, 未老化的沥青混合料的低温性能不能反映和预测老化后的性能, 并且在评价沥青混合料低温性能时, 短期老化试验比长期老化试验更为敏感, 由此说明在沥青混合料低温性能试验评价过程中充分考虑老化因素的影响是必要的。

**关键词:** 沥青混合料; 低温抗裂; 老化性能

**中图分类号:** U 416.2 **文献标识码:** A

### 0 引言

沥青材料在沥青混合料的拌和、摊铺、碾压过程中及以后沥青路面使用过程中都存在老化现象。老化现象使得沥青胶结料的柔性和粘附性降低, 脆性增加, 低温变形能力降低, 是沥青路面出现开裂的重要影响因素<sup>[1-2]</sup>。

一般地讲, 沥青混合料的老化主要分为两个阶段: 短期老化和长期老化。短期老化表征沥青路面建设期沥青混合料因受热引起的老化, 开始于拌和厂, 终止于沥青路面压实后温度降至自然温度; 长期老化表征沥青路面使用期内沥青混合料因光照、温度、降水和交通荷载的综合作用导致的老化, 开始于路面建成之后, 终止于路面服务性能下降直至不满足行车要求<sup>[3]</sup>。

目前我国现行的《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(2000-10-01 实施) JTJ 052-2000 中规定了评价沥青混合料低温性能的一系列试验, 国内外学者对沥青混合料的低温性能也进行了大量的研究<sup>[4-5]</sup>, 但这些均是使用未老化的沥青混合料进行性能试验, 以此来评价沥青混合料的低温抗裂性能, 而实际施工中, 沥青混合料从拌和、运输到实地铺筑过程中其性质已经发生了改变, 沥青混合料已经发生老化。笔者在评价沥青混合料低温性能时将混合料的老化情况考虑进去, 分析沥青混合料的不同老化状态对沥青混合料低

温性能的影响及其关系。本研究采用烘箱加热法作为短期老化方法, 选择延时烘箱加热法作为长期老化试验方法。

### 1 原材料性质

沥青混合料经过短期老化后, 从成型后试件切开的表面看, 与新拌沥青混合料的试件没有明显区别。这表明短期老化只是部分地改变了原沥青的性质, 从整体上讲, 里面的成分没有发生过大的变化。

由图 1 可以看出, 从外观总体上看, 长期老化后沥青混合料试件表面比未老化状态的试件颜色深得多, 呈暗黑色, 并且可以很清楚地看见沥青进入石料内部孔隙的现象。

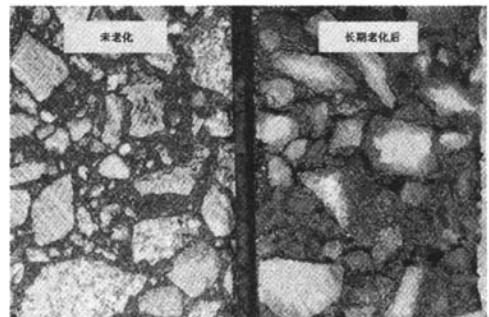


图 1 新拌料与长期老化后试件断面孔隙结构

Fig.1 Pore structure of asphalt mixture for freshly-mixed and long-term aging

收稿日期: 2006-07-31; 修订日期: 2007-10-24

作者简介: 齐琳(1981-), 女, 陕西西安人, 长安大学博士研究生, 主要从事路面工程方面的研究工作. E-mail: ql0211@ yahoo. com. cn

长期老化后的试件表面出现了大量的孔隙,而这种明显的孔隙在新拌混合料和经过短期老化的混合料制作成型的试件中都是看不到的.在长期老化环境下,成型试件内部的沥青结合料中轻质油等成分挥发,形成了孔隙;并且由于处在高温状态下,沥青结合料容易流动,继续向石料内部和混合料内部的孔隙渗透,也造成了外部开口孔隙的出现.由此可以看出老化的过程对试件的影响是相当明显的.

为了进一步研究不同老化状态下沥青混合料低温性能的不同,本文采用克拉玛依沥青,矿料级配借鉴 SHRP 级配思想,并参考中国现行规范中的级配 AC-13,表示为 S-12.5,对沥青混合料在新拌、短期老化和长期老化状态下进行劈裂试

验,测定其破坏应力、破坏应变和破坏劲度模量数据,试验温度为 5, - 5, - 10,加载速率为 1, 3, 5 mm/min.

其中 SUP 表示新拌克拉玛依沥青混合料,SKD 表示短期老化克拉玛依沥青混合料,SKC 表示长期老化克拉玛依沥青混合料.

按马歇尔法求得各沥青混合料的最佳沥青用量,并测得相关的马歇尔指标,见表 1、表 2.

2 沥青混合料劈裂试验

根据试验数据绘出沥青混合料的试验温度与破坏应力、破坏应变和破坏劲度的关系曲线图,如图 2~图 10 所示.

表 1 级配表  
Tab. 1 Asphalt mixture gradation

级配	不同筛孔通过率/%									
编号	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
S-12.5	100.0	90.5	79.6	54.1	33.8	22.7	17.2	11.9	8.6	5.5

表 2 沥青混合料马歇尔试验结果  
Tab. 2 Marshall test result of asphalt mixture

级配	沥青用	密度/	理论密度/	空隙	矿料	沥青	稳定度	流值	残留
编号	量/%	(g·cm <sup>-3</sup> )	(g·cm <sup>-3</sup> )	率/%	间隙	饱和度/%	/kN	/0.1mm	稳定度/%
S-12.5	5.3	2.406	2.504	4.0	15.3	73.7	9.29	3.11	3.08

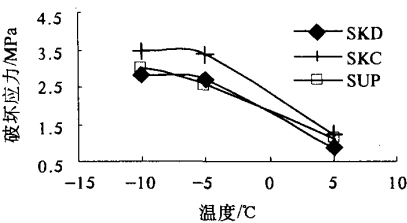


图 2 1 mm/min 温度 - 破坏应力关系图  
Fig. 2 Figure of temperature - failure stress at 1 mm/min

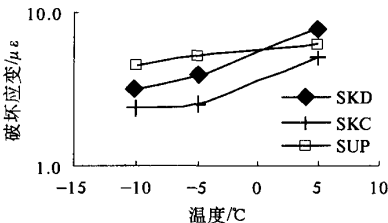


图 3 1 mm/min 温度 - 破坏应变关系图  
Fig. 3 Figure of temperature - failure strain at 1 mm/min

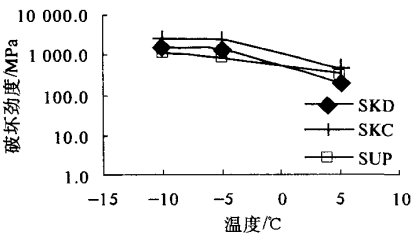


图 4 1 mm/min 温度 - 破坏劲度关系图  
Fig. 4 Figure of temperature - failure stiffness at 1 mm/min

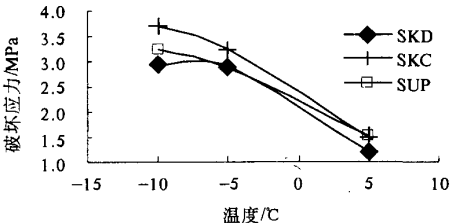


图 5 3 mm/min 温度 - 破坏应力关系图  
Fig. 5 Figure of temperature - failure stress at 3 mm/min

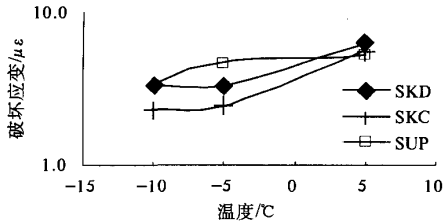


图6 3 mm/min 温度 - 破坏应变关系图

Fig.6 Figure of temperature - failure strain at 3 mm/min

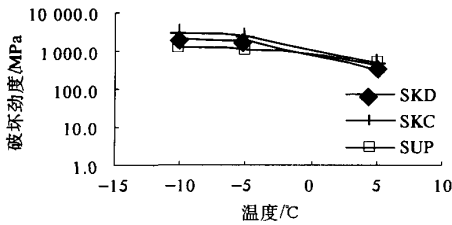


图7 3 mm/min 温度 - 破坏刚度关系图

Fig.7 Figure of temperature - failure stiffness at 3 mm/min

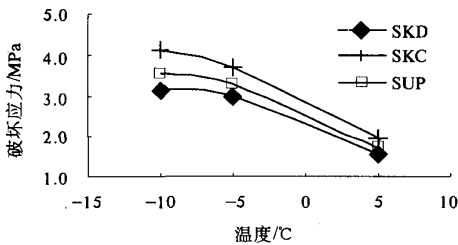


图8 5 mm/min 温度 - 破坏应力关系图

Fig.8 Figure of temperature - failure stress at 5 mm/min

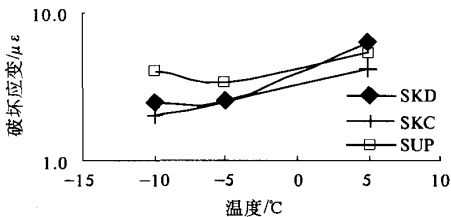


图9 5 mm/min 温度 - 破坏应变关系图

Fig.9 Figure of temperature - failure strain at 5 mm/min

(1) 沥青混合料的劈裂破坏强度与温度的关系曲线,根据大量的试验资料<sup>[5]</sup>得知,此曲线呈山峰状,峰值的温度称为沥青混合料的脆化点,在高于脆化点温度区,破坏强度随温度的降低迅速增加,低于脆化点温度后,破坏强度的变化变缓。由图中曲线的发展趋势判断,脆化点就在 $-10^{\circ}\text{C}$ 附近。由图2、图5、图8可以看出,未老化的沥青混合料的关系曲线与其他两个老化状态曲线变化万方数据

规律不尽相同,有交叉现象,可见,老化对沥青混合料的性能是有影响的;短期老化后的沥青混合料和长期老化后的沥青混合料的劈裂破坏强度与温度的关系曲线几乎呈平行状态,而且长期老化后的沥青混合料劈裂强度要大于短期老化后的劈裂强度,这一点与实际情况符合。

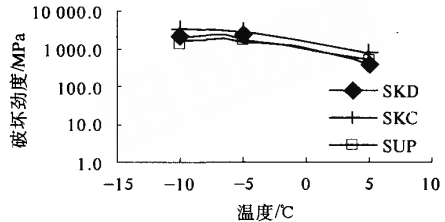


图10 5 mm/min 温度 - 破坏刚度关系图

Fig.10 Figure of temperature - failure stiffness at 5 mm/min

(2) 从破坏应变与温度的关系曲线看,沥青混合料的破坏应变随温度升高而逐渐增大,对应于劈裂强度的转折点,破坏应变曲线也存在拐点,在拐点附近,破坏应变的变化大些。由图3、图6、图9可看出,未老化的沥青混合料的破坏应变曲线与其他两个老化状态的曲线有明显的不同,短期老化后和长期老化后的劈裂破坏应变与温度的关系曲线趋势几乎相同,只是图9中采用 $5\text{ mm/min}$ 加载速率加载的试验时,两种状态在 $-5^{\circ}\text{C}$ 时的破坏应变几乎重合,这可能是试验误差造成的。其余的试验结果规律性相对明显,而且短期老化后沥青混合料的破坏应变要大于长期老化后的破坏应变。

(3) 由沥青混合料与温度的关系曲线看出,沥青混合料的破坏刚度模量随着温度的提高而逐渐降低,成肩膀的形状。由图4、图7、图10可看出,短期老化后和长期老化后沥青混合料的劈裂破坏刚度与温度的关系曲线趋势几乎相同,而且长期老化后沥青混合料的破坏刚度要大于短期老化后的破坏刚度。

通过上述分析可知,温度、老化状态、加载速率均对试验参数有影响。温度对试验的影响是毋庸置疑的,而经过分析发现老化对试验的影响也很显著,所以在进行沥青混合料低温性能评价时考虑老化对其性能的影响十分必要。

### 3 不同老化状态对沥青混合料低温性能的影响分析

笔者在国内外对于不同老化状态对沥青混合

料的路用性能影响大量研究<sup>[6]</sup>的基础上,针对不同老化状态下的沥青混合料的低温性能进行对比研究,分析未老化、短期老化状态和长期老化状态下沥青混合料低温性能的改变有没有相关的关系。

以 1 mm/min 加载速率下不同老化状态的关系曲线做分析,见图 2~图 4,对未老化、短期老化和长期老化的试验曲线添加趋势线,具体的趋势线公式和 R 平方值如表 3。

表 3 不同老化条件下试验数据关系曲线趋势线分析表  
Tab.3 Trend line analysis of test data under different aging condition

试验参数	老化状态	趋势线公式	R 平方值	二次	一次	常数
劈裂强度 /MPa	未老化	$y = -0.004 1x^2 - 0.147 9x + 1.969 1$	1	2.41	1.23	1.03
	短期老化	$y = -0.009 9x^2 - 0.181 8x + 2.032 6$	1	1.34	1.17	1.29
	长期老化	$y = -0.013x^2 - 0.212 9x + 2.624 8$	1			
破坏应变 /με	未老化	$y = -0.002 7x^2 + 0.095x + 5.747 8$	1	6.70	42.22	0.94
	短期老化	$y = 0.018 1x^2 + 0.401 1x + 5.399 8$	1	0.81	0.63	0.63
	长期老化	$y = 0.014 6x^2 + 0.252 3x + 3.415 9$	1			
破坏劲度 /MPa	未老化	$y = 0.299 1x^2 - 53.784x + 584.68$	1	31.70	3.48	2.74
	短期老化	$y = -9.481 6x^2 - 187.36x + 1604.9$	1	0.25	0.55	0.48
	长期老化	$y = -2.348 6x^2 - 102.37x + 764.51$	1			

对于未老化状态和短期老化状态下的关系曲线,由图中可以看出两者的曲线不是平行变化的,并且在有些温度段内还出现两者曲线交叉的现象.由两者关系曲线的趋势线公式,可以很明显地看出,两者公式二次项、一次项和常数项系数的比值相差较大,两个趋势线无法以一定比例相互简化重合,未老化状态下沥青混合料的低温性能不能用来定性地代替评价短期老化状态下混合料的性能,这就说明规范中单纯采用未老化状态的沥青混合料作为评价其低温性能的试件是不太合理的,应在低温性能试验过程中考虑老化对沥青混合料性能的影响。

对于两种老化状态下关系曲线所得到的趋势线公式中,短期老化与长期老化状态下的趋势线较为接近,两者公式二次项、一项和常数项系数的

比值均较接近,这说明可以用短期老化状态下的趋势线按一定比例放大或缩小来近似代替长期老化状态下的趋势线.这进一步验证了前面所做的分析,也就是说可以用短期老化状态下沥青混合料的低温性能的好坏定性地评价长期老化状态下沥青混合料的性能。

对沥青混合料不同老化状态下各个试验数据相对于原样沥青混合料数据的对比分析结果汇总于表 4。

由表中可以看出,对于破坏应变的变化程度,短期老化状态下与原样沥青混合料的试验数据的比值,大于长期老化状态下与原样沥青混合料的试验数据的比值,由此我们得出,短期老化状态下的沥青混合料对于低温性能的敏感程度高于长期老化状态下的。

表 4 不同老化条件下试验数据对比表  
Tab.4 Comparison of test data under different aging condition

加载速率/ (mm·min <sup>-1</sup> )	状态 力学指标	试验数据			SKD/SUP	SKC/SUP
		SUP	SKD	SKC		
1	劈裂强度/MPa	1.126	0.877	1.236	77.822	109.752
	破坏应变/με	6.156	7.857	5.043	127.635	81.910
	破坏劲度/MPa	323.235	193.938	431.014	59.999	133.344
3	劈裂强度/MPa	1.539	1.227	1.513	79.747	98.355
	破坏应变/με	5.278	6.266	5.531	118.730	104.795
	破坏劲度/MPa	521.894	338.960	482.623	64.948	92.475
5	劈裂强度/MPa	1.747	1.552	1.950	88.871	111.628
	破坏应变/με	5.341	6.283	4.239	117.640	79.380
	破坏劲度/MPa	526.944	425.653	800.273	80.778	151.871

低温开裂多发生在沥青路面铺筑一段时期后,此时沥青混合料已经发生了老化,所以用未老化的沥青混合料评价其低温性能是不合适的,上述的分析也证明了未老化状态和老化状态下的试验数据没有很好的相关性,故在评价沥青混合料低温性能时应将老化状态考虑进去。

长期老化试件的置备过程周期长,程序烦杂,用长期老化后的沥青混合料评价其性能的可执行性低,过程长,不利于推广。由上述分析可以看出,短期老化和长期老化状态下的试验数据有很好的相关性,说明虽然短期老化不能全面反映沥青混合料的抗老化特性,但在目前情况下作为沥青混合料的优选方法是可行的。即对短期老化状态下的沥青混合料进行低温性能评价可以基本预测长期老化后沥青混合料的开裂情况。

#### 4 结论

(1)不同的沥青混合料老化模拟试验方法对沥青胶结料具有显著的老化影响,在沥青混合料的性能评价试验过程中,充分考虑沥青混合料的老化特性是必要的,建议在沥青混合料性能评价试验过程中,应采取相应的沥青混合料老化模拟试验方法,以提高实验室内沥青混合料性能评价的准确性和针对性。

(2)短期老化不能全面反映沥青混合料的抗老化特性,但在目前情况下作为沥青混合料的优

选方法是可行的。即对短期老化状态下的沥青混合料进行低温性能评价可以基本判断沥青混合料的开裂情况。

(3)沥青混合料老化模拟试验效果可能会因为沥青膜厚以及混合料级配特性等因素的不同而有所差异,本文着重于对老化模拟程度对沥青混合料低温性能的影响进行定性的研究,对于上述因素变化引起的差异,尚需进行全面的试验研究。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 田小革,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, 25(2): 121-123.
- [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: 480-495.
- [4] 郝培文,张登良. 沥青混合料低温抗裂性能评价指标的研究[J]. 公路, 2000, (5): 63-67.
- [5] WEN H. Fatigue performance evaluation of wetTrack asphalt mixtures based on viscoelastic analysis of indirect tensile test [D]. North Carolina State; North Carolina State University, 2001: 81-86.
- [6] 虞将苗,邹桂莲,胡学斌,等. 沥青混合料老化模拟试验方法与验证研究[J]. 公路交通科技, 2005, 22(10): 14-17.

### Influence of Different Aging State on the Performance of Asphalt Mixtures at Low-Temperature

QI Lin<sup>1</sup>, ZHANG Zheng-qi<sup>1</sup>, YANG Hui-jun<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. China Transportation Tong-Li Highway Survey & Design Engineering Company, Xi'an 710075, China)

**Abstract:** The Indirect Tensile Test was used to evaluate the performance of asphalt mixtures at low-temperature under different aging states. Through the comparison of the results from original asphalt mixtures, STOA asphalt mixtures and LTOA asphalt mixtures, tests show that the original asphalt mixture can not reflect the real performance of the asphalt mixture in the spot. And the short-term aging specimens are more sensitive than long-term aging specimens in appraising the performance of the asphalt mixture at low-temperature. The results indicate that the consideration of aging during the asphalt mixture performance evaluations is necessary.

**Key words:** asphalt mixture; cracking at low-temperature; aging