

文章编号: 1002-0268 (2009) 06-0008-05

排水性沥青混合料低温性能评价

马翔, 倪富健, 陈荣生, 王艳
(东南大学 交通学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 为了分析排水性沥青混合料低温性能的影响因素及评价方法, 首先对 3 种改性沥青的原样、薄膜老化 (TFOT) 样品、压力老化 (PAV) 样品进行常规指标试验、 $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 弯曲流变仪 (BBR) 试验, 评价沥青胶结料的低温性能; 然后, 对几种沥青成型的排水性沥青混合料进行约束试件温度应力试验 (TSRST), 评价排水性沥青混合料的低温抗裂性能, 并通过与长期老化试件 TSRST 试验结果的对比, 分析老化对排水性沥青混合料低温性能的影响。研究表明: 沥青胶结料 BBR 试验的劲度模量与排水性沥青混合料的 TSRST 试验结果有很好的 一致性; 老化后的排水性沥青混合料冻断温度升高、冻断应力减小, 低温性能降低; 排水性沥青混合料的冻断应力约为密级配沥青混合料的 $1/3$, 冻断温度相近, 2 种类型沥青混合料低温性能相差不明显。

关键词: 道路工程; 排水性沥青混合料; 约束试件温度应力试验; 低温性能; 蠕变劲度

中图分类号: U416.217

文献标识码: A

Evaluation of Low-temperature Performance of Porous Asphalt Mixture

MA Xiang, NI Fujian, CHEN Rongsheng, WANG Yan

(School of Transportation, Southeast University, Nanjing Jiangsu 210096, China)

Abstract: To analyze influencing factors and evaluation method of low-temperature performance of porous asphalt mixture, first, three kinds of modified binder were chosen as original, thin film aging and pressure aging samples for customary index test and bending beam rheometer (BBR) test at $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ to evaluate low-temperature performance of these modified binders. Then, evaluation of the low-temperature anti-cracking performance of different kinds of porous asphalt mixture was made by thermal stress restrained sample test (TSRST). At the same time, the result of abovementioned TSRST were compared with the TSRST result of samples of the porous asphalt mixtures after long-term aging to evaluate the influence of aging on low-temperature performance of porous asphalt mixtures. The result shows that (1) TSRST result of porous asphalt mixtures coincides with creep stiffnesses of BBR test of modified binders; (2) the fracture temperatures of the porous asphalt mixtures increase and their fracture stresses decrease after aging; (3) the fracture stresses of porous asphalt mixtures are just one-third of those of dense-gradation asphalt mixtures while the fracture temperatures almost the same, which indicates that their low-temperature performances are almost the same.

Key words: road engineering; porous asphalt mixture; thermal stress restrained sample test; low-temperature performance; creep stiffness

0 前言

沥青混凝土的低温开裂是沥青路面的主要病害之

一, 沥青混凝土的低温裂缝影响因素很多, 包括材料、环境和路面结构等, 路面的老化是影响沥青路面低温裂缝的环境因素。沥青路面的低温裂缝归功于降

温时在沥青面层底部产生的拉应力,当这种拉应力达到沥青混凝土的强度极限值时,在低温或低温循环作用下,微裂纹出现并扩展。

国内针对沥青混合料低温性能的研究现在重点是沥青胶结料的低温性能评价指标^[1-3],也有针对沥青混合料低温性能评价指标的研究^[4-5],这些研究都是基于密级配沥青混合料而言,表面功能特性良好的排水性沥青路面在我国正在逐步普及,针对排水性沥青混合料低温抗裂性能的研究却很少,文献[6]采用-10℃弯曲试验对不同级配、不同胶结料的排水性沥青混合料的低温性能进行了评价,结果表明:排水性沥青混合料的破坏应变均不能满足我国现行规范对密级配沥青混凝土的要求。小梁试件的低温弯曲试验本身就存在一些缺陷^[7],用于评价排水性沥青混合料的低温性能不一定适用。SHRP研究计划在综合分析了各种沥青混凝土低温开裂的试验方法后,选择了约束试件温度应力试验(TSRST)来评价和预测沥青路面的低温抗裂性能^[8]。因此,本研究在考虑沥青混合料老化的基础上,采用能模拟路面实际降温过程的TSRST试验评价排水性沥青混合料的低温性能,并结合胶结料的低温性能指标,分析了排水性沥青混合料低温性能与胶结料低温性能间的相关性。

1 试验方案

本研究的主要目的是研究排水性沥青混合料的低温性能,与此同时考虑老化对排水性沥青混合料低温性能的影响。胶结料是排水性沥青混合料性能最关键的^[6]影响因素,而SHRP研究成果以及国内外相关研究表明:沥青直接拉伸试验(DTT)结果与弯曲流变仪(BBR)试验结果与沥青混合料的低温性能有很好的相关性,有研究表明这2种试验有很好的相关性,没有必要同时进行^[9],为了分析排水性沥青混合料低温性能的影响因素,需要评价胶结料的低温性能指标。

为此,首先对3种改性沥青(高粘度改性沥青、高粘度改性沥青+改性剂、SBS改性沥青)的原样、薄膜老化样品(163℃,5h)、压力老化样品(100℃,20h,2.1MPa)进行常规试验,-12℃弯曲流变仪(BBR)试验。然后在确定排水性沥青混合料的最佳油石比的基础上,成型车辙板切割成200mm×30mm×35mm的小梁试件,误差超过2mm的试件废除,对需要老化的试件按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052-2000) T 0734-2000的方法进行长期老化。此外,为了对比排水性沥青混合料与密

级配沥青混合料的低温抗裂性能,研究过程中选择SBS改性沥青成型的AC-13密级配沥青混合料与PAC-13沥青混合料进行对比研究。试件准备好后,测试小梁试件的空隙率,然后进行TSRST,结合沥青胶结料的试验结果,分析排水性沥青混合料低温性能,并与密级配沥青混合料低温性能进行对比分析。

2 沥青试验

2.1 常规试验

我国现行规范对于改性沥青采用针入度指数、5℃延度评价沥青的低温抗裂性能,而采用TFOT老化后沥青材料的质量损失、25℃针入度比、5℃延度比来评价沥青材料的抗老化性能,因此,研究过程中首先分别对3种改性沥青的原样、经过薄膜老化(TFOT)后样品、压力老化(PAV)后样品进行了3大指标的试验,试验结果见表1。

表1 不同沥青常规指标试验结果

Tab 1 Result of customary indexes test of different kinds of bitumen

沥青类型及试验结果	原样	TFOT(5 h)		PAV		
		试验值	比率*	试验值	比率*	
高粘 沥青	25℃针入度/(×0.1 mm)	51	41	0.80	36	0.71
	软化点/℃	94.8	82.0	0.86	80.8	0.85
	延度(5℃)/cm	38.4	28.5	0.74	1.0	0.03
高粘沥青 + 添加剂	25℃针入度/(×0.1 mm)	42	38	0.90	28	0.67
	软化点/℃	97.5	100.0	1.03	94.2	0.97
	延度(5℃)	22.6	18.5	0.82	1.0	0.04
SBS 改性 沥青	25℃针入度/(×0.1 mm)	54	43	0.80	36	0.67
	软化点/℃	62.5	68.0	1.09	64.4	1.03
	延度(5℃)/cm	35.0	23.0	0.66	1.0	0.03

注: * 比率表示该样品试验值与原样试验值的比值。

从表1的试验数据可以看出:添加剂可以明显增加高粘度改性沥青的软化点,却降低了其5℃的延度。从不同老化状态下的3大指标值的比率可以看出:随着老化程度增加,25℃针入度逐渐减小,5℃延度逐渐减小,软化点变化无统一规律,老化后SBS改性沥青软化点增加,却与老化程度没有统一规律性,高粘沥青随着老化程度的不同先减小再增加,高粘沥青+添加剂沥青却先增加再减小。由此可见,软化点并不能作为改性沥青抗老化性能的评价指标。此外,3种沥青经过PAV老化后的5℃延度均接近于0,试验结果没有可比性,因此,建议对于PAV老化后延度评价温度定为10℃。

2.2 弯曲梁流变试验

美国SHRP计划研究成果提出的沥青标准中,规定了沥青低温性能指标采用弯曲梁流变仪(BBR)进

行小梁弯曲蠕变试验,测定劲度模量 S 、劲度曲线斜率 m 值,并规定经 PAV 老化后的沥青样品在试验温度 60 s 处的蠕变劲度值不大于 300 MPa, m 值不小于 0.3。分别对几种沥青进行 BBR 试验,试验结果如表 2 所示。

表 2 BBR 试验结果

Tab 2 Result of bending beam rheometer test

沥青状态	高粘沥青		高粘沥青+ 添加剂		SBS 改性沥青	
	m 值	劲度/MPa	m 值	劲度/MPa	m 值	劲度/MPa
原样	0.450	51.1	0.398	66.9	0.442	73.8
TFOT(5 h)	0.447	60.5	0.357	75.0	0.418	76.8
PAV	0.375	76.7	0.333	94.1	0.388	108.5

从表 2 中 3 种沥青的试验结果可以看出, BBR 试验结果评价沥青低温性能的 2 个指标之间并没有太好的一致性,尤其是经过 PAV 老化后的沥青材料,高粘度沥青劲度明显小于 SBS 改性沥青,而其 m 值却也较小。可见,2 种指标并不能同时评价沥青的低温性能,需要结合沥青混合料的试验结果综合评价。

3 沥青混合料组成设计

研究中所采用的排水性沥青混合料 (PAC-13) 目标空隙率为 20%,参考已有的研究成果^[6],采用表 3 中的目标级配,AC-13 级配采用规范中值。

表 3 沥青混合料级配

Tab 3 Gradation of asphalt mixtures

筛孔尺寸/mm	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.075	0.015	0.075
PAC-13 通过率/%	100	94.0	77.6	20.6	13.4	11.9	10.4	8.9	7.5	6.1	
AC-13 通过率/%	100	95.0	76.5	53.0	37.0	26.5	19.0	13.5	10.0	6.0	

研究过程中确定排水性沥青混合料的最佳油石比时首先进行析漏试验、飞散试验和马歇尔稳定度试验;然后根据析漏试验及飞散试验确定的沥青用量范围,并参照马歇尔稳定度试验的结果,最终确定几种排水性沥青混合料的最佳沥青用量,根据各试验结果综合考虑,本研究中几种沥青混合料采用相同油石比,马歇尔试验结果见表 4。

表 4 不同沥青材料组成混合料试验指标

Tab 4 Experimental indexes of asphalt mixtures made of different kinds of bitumen

沥青类型	油石比/ %	空隙率/ %	稳定度/ kN	析漏损 失/%	飞散损 失/%
高粘沥青	4.8	19.7	5.78	0.18	9.3
高粘沥青+ 添加剂	4.8	19.2	6.22	0.25	10.2
SBS 改性沥青	4.8	20.3	5.31	0.22	12.9
AC-13 沥青混合料	4.8	4.4	15.7	-	-

4 约束试件温度应力试验

4.1 试验简介

约束试件温度应力试验 (TSRST) 方法最早是 Monismith 等提出的^[10]。试验过程中,将事先准备好的小梁试件用 AB 胶与夹具粘合,常温下放置 24 h 后装配入环境箱。试验开始前设定初始温度和降温速率等参数,试验开始后设备采用向环境箱内喷射液氮的方法实现快速降温,TSRST 共有 5 个温度传感器,其中 4 个温度传感器用以测定试件表面温度,另 1 个温度传感器测定环境箱的温度。当试件在降温过程中产生收缩时,TSRST 装置中由计算机控制的步进马达拉伸试件,使其恢复到初始的长度。

TSRST 试验测得的典型试验曲线如图 1 所示,随着温度的降低,温度应力逐步增加,直到试件断裂。在断裂温度,温度应力达到最大值,也就是试件的断裂强度。应力-温度曲线的斜率 dS/dT 逐步增加,直到最大值,然后 dS/dT 保持为一个常量,这时应力-温度关系近似于直线。转化温度将应力-温度曲线分为有松弛和无松弛 2 个部分,当温度达到转化点温度时,试件变硬,低于这个温度时,试件不会有松弛应力存在。在试件接近破坏时,斜率可能有减小的趋势,这与试件模量的变化或微裂纹发展有关。转化温度和斜率 dS/dT 可能在评价沥青混合料在低温时的流变行为时起重要作用^[11]。所以,SHRP 提出采用以下 4 个指标来评价沥青混合料的低温抗裂性能:转化温度、斜率、断裂温度、断裂强度。

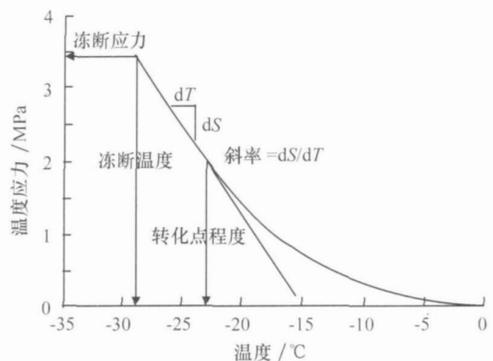


图 1 TSRST 试验典型结果曲线

Fig 1 Typical curve of TSRST

4.2 试验结果

为了尽量减弱试件成型对试验结果的影响,试验开始之前测量试件的空隙率,选择空隙率接近的试件进行试验,老化后排水性沥青混合料的空隙率有所增加,因此所选择试件的空隙率略大于原样试件的空隙

率。试验结果初步分析表明: 试件的非均质性和降温速率的非完全匀速导致本试验的转化点温度并不明确, 因此, 本研究主要通过冻断温度和冻断应力来评价几种沥青混合料的低温性能, 试验结果见表 5、图 2~ 图 5。

表 5 各种沥青混合料 TSRST 试验结果

Tab 5 Results of TSRST of different kinds of asphalt mixture

混合料级配	沥青类型	试件是否老化	试件空隙率/%	冻断温度/℃	冻断应力/MPa
PAC-13	高粘度沥青	否	18.4	-30.38	7.07
PAC-13	高粘度沥青	是	19.3	-25.30	6.40
PAC-13	高粘度沥青+ 添加剂	否	18.3	-24.24	3.24
PAC-13	高粘度沥青+ 添加剂	是	19.6	-21.63	3.14
PAC-13	SBS 改性沥青	否	18.6	-22.36	2.03
PAC-13	SBS 改性沥青	是	19.5	-19.64	1.90
AC-13	SBS 改性沥青	否	3.8	-22.82	8.06
					(5.76)*

注: * 冻断点温度应力出现突变, 括号内为突变临近点的温度应力值。

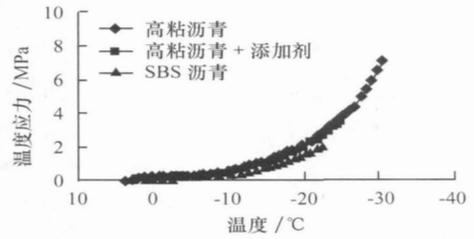


图 2 3 种原样排水性沥青混合料温度-应力曲线
Fig 2 Temperature-stress curves of three kinds of original porous asphalt mixture

试验结果分析:

(1) 对比 3 种不同沥青成型的排水性沥青混合料试验结果 (图 2) 可以看出: 3 种沥青混合料低温抗裂性能排序为: 高粘沥青混合料 > 高粘沥青+ 添加剂沥青混合料 > SBS 改性沥青混合料。高粘沥青混合料与高粘沥青+ 添加剂沥青混合料的温度-应力曲线基本重合, 这种添加剂没有明显改变沥青混合料的温度-应力关系, 而降低了排水性沥青混合料的冻断强度,

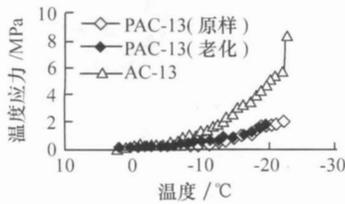


图 3 SBS 改性沥青混合料
温度-应力曲线

Fig 3 Temperature-stress curves of SBS modified asphalts

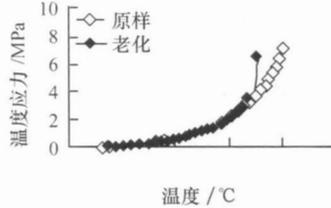


图 4 高粘度性沥青混合料
温度-应力曲线

Fig 4 Temperature-stress curves of high viscosity asphalt mixtures

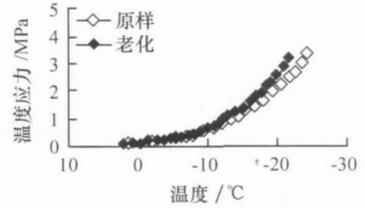


图 5 高粘度+ 添加剂沥青
混合料温度-应力曲线

Fig 5 Temperature-stress curves of high viscosity and additive asphalt mixtures

这在沥青 5℃延度试验和粘韧性试验中有所反映 (延度和粘韧性试验掺加添加剂的沥青都表现为脆断, 粘韧性要小), 这种添加剂降低了高粘沥青排水性沥青混合料的低温性能。

(2) 3 种沥青混合料老化后的低温抗裂性能排序与原样沥青混合料相同, 老化后排水性沥青混合料的冻断温度上升, 而冻断应力减小, 可见, 老化明显降低排水性沥青混合料的低温性能。从图 3~ 图 5 可以看出, 相同降温幅度下, 老化后沥青混合料的温度应力要略大于原样沥青混合料, 主要是因为老化增加了排水性沥青混合料的劲度模量。

(3) 将 TSRST 试验结果与表 1、表 2 中的沥青指标对照可以看出, 无论是 TFOT 老化后沥青指标还是 PAV 老化后沥青指标的延度、延度比率以及 BBR 试验的 m 值来评价沥青胶结料的低温性能都与 TSRST 试验结果不完全一致, 而 BBR 试验结果的蠕变劲度模量却能很好地评价老化排水性沥青混合料的低温性

能, 原样排水性沥青混合料有相同一致性, 因此, BBR 试验的蠕变劲度是评价沥青胶结料低温性能最合理的评价指标。

(4) 从图 3 中可以明显看出, 在相近的降温幅度下, 密级配沥青混合料的温度应力约为排水性沥青混合料温度应力的 3 倍, 而 2 种沥青混合料的冻断温度却相差不大。按照 Hills 和 Brien 提出的沥青混凝土温缩应力计算方程^[10], 可以解释为一方面是因为排水性沥青混合料空隙率大, 有更小的线胀系数; 另一方面是因为排水性沥青混合料有更小的低温劲度模量, 虽然排水性沥青混合料强度低, 但其产生的温缩应力也小。所以, 相同胶结料组成的排水性沥青混合料低温抗裂性能并不劣于密级配沥青混合料。

5 结论

本文在考虑沥青及沥青混合料老化的基础上, 通过采用 TSRST 试验评价了排水性沥青混合料的低温

性能, 并与沥青低温评价指标对比分析, 得到如下几点结论:

(1) 相同沥青胶结料组成的排水性沥青混合料低温抗裂性能与密级配沥青混合料相当, 采用高粘度沥青成型的排水性沥青混合料低温抗裂性能明显优于 SBS 改性沥青密级配沥青混合料;

(2) 老化后排水性沥青混合料劲度模量增加, 产生更大的温度应力, 使得冻断温度升高, 而冻断应力减小;

(3) 常用的沥青胶结料低温性能评价指标中, BBR 试验的蠕变劲度模量与排水性沥青混合料的 TSRST 试验结果有很好的一致性;

(4) 排水性沥青混合料冻断温度与 BBR 试验结果的定量关系有待于进一步研究确定。

参考文献:

References:

- [1] 汪双杰, 台电仓. 改性沥青结合料低温性能评价指标 [J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2007, 27 (3): 25-30.
WANG Shuangjie, TAI Diancang. Evaluating Indices for Low-temperature Performance of Modified Asphalt Binder [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2007, 27 (3): 25-30.
- [2] 曹丽萍, 谭忆秋, 董泽蛟, 等. 应用玻璃化转变温度评价 SBS 改性沥青低温性能 [J]. 中国公路学报, 2006, 19 (2): 1-6.
CAO Liping, TAN Yiqiu, DONG Zejiao, et al. Evaluation for Low Temperature Performance of SBS Modified Asphalt Using Glass Transition Temperature [J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19 (2): 1-6.
- [3] 孙大权, 吕伟民. 用测力延度试验评定聚合物改性沥青低温性能 [J]. 建筑材料学报, 2007, 10 (1): 37-41.
SUN Daquan LV Weimin. Evaluation of Low Temperature Performance of Polymer Modified Asphalt by Force-ductility Test [J]. Journal of Building Materials, 2007, 10 (1): 37-41.
- [4] 张宏. 沥青混合料低温抗裂性能评价方法 [J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2002, 22 (4): 5-8.
ZHANG Hong. Evaluation Methods of Asphalt-mixture's Anti-cracking Performance at Low Temperature [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2002, 22 (4): 5-8.
- [5] 田小革, 应荣华, 郑健龙. 沥青混凝土温度应力试验及其计算方法研究 [J]. 中国公路学报, 2001, 14 (4): 14-18.
TIAN Xiaoge, YING Ronghua, ZHENG Jianlong. Tests on Thermal Stress in Asphalt Cement Sample and Its Calculation [J]. China Journal of Highway and Transport, 2001, 14 (4): 14-18.
- [6] 徐皓. 排水性沥青混合料性能及设计方法研究 [D]. 南京: 东南大学, 2006.
XU Hao. Research on Performance and Design Method of Porous Asphalt Mixture [D]. Nanjing: Southeast University, 2006.
- [7] 马翔. 高速公路修复工程中多种类型沥青混合料性能对比研究 [D]. 南京: 东南大学, 2005.
MA Xiang. Contrast and Research on Performance of Kinds of Asphalt Mixtures Used in Rehabilitation Project of Freeway [D]. Nanjing: Southeast University, 2005.
- [8] KANERVA H K, VINSON T S, ZENG H. Low-temperature Cracking: Field Validation of the Thermal Stress Restrained Specimen Test [R]. Washington D C: Strategic Highway Research Program National Research Council, 1994.
- [9] SEBAALY P E, LAKE A, EPPS J. Evaluation of Low-temperature Properties of HMA Mixtures [J]. Transportation Engineering, 2002, 128 (6): 578-586.
- [10] KLIEWER J E, ZENG HUAYANG, VINSON T S. Aging and Low-temperature Cracking of Asphalt Concrete Mixture [J]. Journal of Cold Regions Engineering, 1996, 10 (3): 134-148.
- [11] AASHTO Provisional Standard. Standard Test Method for Thermal Stress Restrained Specimen Tensile Strength [S]. Washington D C: AASHTO Designation: TP10-93, 1996.