

SBS 和 TLA 改性沥青 AC—13 混合料 动态模量研究

陈向阳, 华勇

(长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410004)

摘要: 采用万能材料试验机(MTS),在不同温度和加载频率下对湖沥青(TLA)改性沥青和 SBS 改性沥青 AC—13 混合料的动态模量进行测试;基于西格蒙德沥青混合料通用方程生成沥青混合料的动态模量主曲线,对 TLA 和 SBS 改性沥青混合料的动态模量的时间—温度效应进行研究。结果表明,沥青混合料的动态模量随着试验温度的提高而降低;随着加载频率的增大,沥青混合料的动态模量增大,且动态模量对温度的依耐性减小;SBS 改性沥青混合料的高温性能优于 TLA 改性沥青混合料,两者的低温性能基本持平;在中等加载频率范围,TLA 改性沥青混合料对温度的敏感性大。

关键词: 公路;SBS 改性沥青;湖沥青(TLA)改性沥青;动态模量;时间—温度等效原理

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

文章编号: 1671—2668(2017)02—0084—04

沥青混合料作为粘弹性材料,其力学性能及技术指标存在时间和温度依赖特性,随着荷载作用时间及环境温度的变化,沥青混合料的响应发生变化。沥青混合料动态模量指标不仅是路面结构设计中的力学验算指标,还能反映沥青混合料的路用性能。然而由于试验条件的限制,很难直接量测全温和全频范围的动态模量指标。该文采用熔融共混的方法制备 25% 掺量的湖沥青(TLA)改性沥青,选取工程中常用的 SBS 改性沥青,对两种改性沥青 AC—13 混合料进行配合比设计,采用万能材料试验机(MTS),分别在 5 种试验温度和 6 种加载频率下对 AC—13 沥青混合料动态模量进行测试,分析 TLA 和 SBS 改性沥青混合料的动态模量时间—温度效应,为类似工程设计提供参考。

1 原材料及配合比设计

将 90# 基质沥青加热至 155 ℃,加入 25% (与基质沥青的质量比) TLA,高速剪切机以 4 000 r/min 的速率剪切 30 min,得到 TLA 改性沥青。TLA 改性沥青的技术指标见表 1。采用实际工程中常用的 SBS 改性沥青,其技术指标见表 2。按照矿料合成配比混合后以 2.36 mm 为关键筛孔将集料分为粗、细集料,并对其技术指标进行检测,结果见表 3。沥青和集料的技术性能均满足现行沥青路面施工技术规范的要求。填料采用石灰岩磨细的矿

粉,无潮湿结团现象。

表 1 25%TLA 改性沥青的技术指标

技术指标	检测结果
针入度(25 ℃,5 s,100 g)/(0.1 mm)	48.9
软化点/℃	59.4
135 ℃粘度/(Pa·s)	0.649
闪点/℃	246
5 ℃延度/cm	15.4
溶解度/%	90.4
灰分/%	9.11
RTFOT 后针入度比/%	73.2

表 2 SBS 改性沥青的技术指标

技术指标	检测结果
针入度(25 ℃,5 s,100 g)/(0.1 mm)	52.1
原样沥青 软化点(环与球)/℃	61.4
5 ℃延度/cm	47.2
密度(15 ℃)/(g·cm ⁻³)	1.02
针入度(25 ℃,5 s,100 g)/(0.1 mm)	27.4
RTFOT 后 软化点(环与球)/℃	71.0
5 ℃延度/cm	26.7
质量变化/%	-0.24

表 3 集料的技术指标

集料类型	技术指标	检测结果
粗集料	石料压碎值/%	14.5
	洛杉矶磨耗损失/%	21.7
	吸水率/%	1.3
	与 SBS 改性沥青粘附性/级	5
	坚固性/%	2.6
	0.075 mm 颗粒含量(水洗法)/%	0.14
	软石含量/%	0.4
	磨光值/BPN	43.9
细集料	石料冲击值/%	15.4
	含泥量/%	0.7
	坚固性/%	14
	砂当量/%	61.2

通过马歇尔试验进行 AC-13 沥青混合料配合比设计,矿料合成级配见表 4。SBS 和 TLA 改性沥青混合料的最佳油石比分别为 5.3%、5.4%,马歇尔试件空隙率平均值分别为 4.4%、4.3%。

表 4 矿料合成级配

筛孔尺寸/mm	通过率/%	筛孔尺寸/mm	通过率/%
16.00	100.0	1.180	26.1
13.20	95.6	0.600	16.8
9.50	81.2	0.300	11.4
4.75	52.7	0.150	8.5
2.36	35.8	0.075	6.1

2 试验方法及结果分析

2.1 试件制备及试验参数

旋转压实过程采用控制高度模式,通过混合料总质量控制 SBS 改性沥青和 TLA 改性沥青混合料试件空隙率分别为 4.4%、4.3%。由于旋转压实成型试件的空隙率在纵向一般呈 C 形分布,上下两端空隙率大、中部小,为保证试件体积参数的均匀性,依据 AASHTO PP60-09 和 T0738-2011 的方法,采用旋转压实仪成型 150 mm×170mm 圆柱形试件,利用钻芯机钻取直径为 100 mm 的芯样,再采用双面锯将芯样切割成高:直径=150 mm:100 mm 的柱形试件。实测 SBS 和 TLA 改性沥青混合料的空隙率平均值分别为 4.2%、4.1%,满足与设计

空隙率偏差为±0.5%的要求。

采用 MTS 进行动态模量试验,温度为-10~50℃,以 15℃梯级温度间隔,共 5 种温度水平;加载频率为 25、10、5、1、0.5 和 0.1 Hz,施加一半正负波轴向压应力,加载时间 0.1 s、间歇 0.9 s。每组进行 4 次平行试验,取其平均值作为检测结果。为保证试验过程中试件处于弹性变形范围(应力应变呈线性关系),试件轴向累计竖向变形不大于 1 500 με。试验温度扫描按照由低温到高温的顺序,各试验温度下的频率扫描按照频率由高到低的顺序。

2.2 动态模量数据处理方法

采用 AASHTO61-09 的方法对动态模量试验结果进行分析,生成动态模量主曲线。采用 SPSS 软件对式(1)进行西格摩德方程非线性回归,得到回归系数 δ、α、β 和 γ;位移因子 log[α(T)]定义为式(2),对计算出的位移因子进行二次函数修正,修正模型见式(3)。依据修正后的位移因子,将各试验温度下的动态模量平移至参考温度,对平移后动态模量进行西格摩德函数拟合,得到参考温度下的动态模量主曲线;根据位移因子修正二次函数模型计算任意温度下的位移因子,继而通过对参考温度下主曲线的平移得到任意温度下的动态模量主曲线。

log|E*|=δ+α/(1+e^{β+γlogfr}) (1)

log[α(T)]=logfr-logf (2)

log[α(Ti)]=ATi²+BTi+C (3)

式中:|E*|为动态模量(MPa);δ、α、β 和 γ 为回归系数;fr 为参考温度下的加载频率(Hz);log[α(T)]为位移参数;T 为试验温度(℃);f 为试验温度下的加载频率(Hz);Ti 为试验温度(℃);log[α(Ti)]为各试验温度下的位移因子;A、B 和 C 为回归系数。

2.3 动态模量测试结果及分析

按照上述试验方案进行 AC-13 沥青混合料动态模量试验,不同试验温度、不同加载频率下 TLA 和 SBS 改性沥青混合料的动态模量检测结果见表 5。在双对数坐标下,分别将表 5 中 TLA 和 SBS 改性沥青混合料的动态模量检测结果绘制成平滑线散点图,结果见图 1 和图 2。

由图 1 可以看出:随着试验温度的提高,TLA 改性沥青混合料的动态模量降低;随着加载频率的增大,TLA 改性沥青混合料的动态模量增大;温度由 50℃降低至-10℃时,25、10、5、1、0.5 和 0.1 Hz 加载频率下其动态模量分别增大 49.3%、56.9%、

62.9%、77.0%、82.9%和 95.1%，表明随着加载频

表 5 改性沥青混合料动态模量检测结果

沥青种类	试验温度/℃	不同加载频率(Hz)下的动态模量/MPa					
		25	10	5	1	0.5	0.1
TLA	-10	18 542	17 973	17 470	16 030	15 283	13 250
	5	14 736	13 561	12 588	10 119	9 006	6 469
	20	7 833	6 301	5 580	3 940	3 135	2 012
	35	2 722	1 982	1 541	842	649	364
	50	723	515	402	238	194	130
SBS	-10	17 009	16 345	15 780	14 073	13 104	11 552
	5	12 546	11 399	10 490	8 310	7 376	5 333
	20	6 125	5 017	4 252	2 765	2 257	1 368
	35	1 975	1 483	1 186	703	563	344
	50	563	423	344	221	186	131

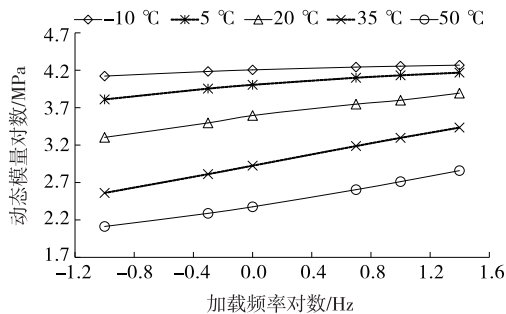


图 1 TLA 改性沥青混合料的动态模量

表 6 位移因子及模型回归系数

沥青种类	位移因子修正值					回归系数			
	-10 °C	5 °C	20 °C	35 °C	50 °C	A	B	C	R ²
SBS	4.484 2	2.345 20	0.071 2	-2.337 8	-4.881 8	-0.000 30	-0.144 1	3.073 2	0.996 5
TLA	3.614 3	1.782 05	-0.018 7	-1.788 0	-3.525 7	0.000 07	-0.121 8	2.389 3	0.993 1

态模量数据平移至参考温度(20 °C),得到 20 °C 温度下沥青混合料的动态模量主曲线;然后依据表 6 所示位移因子的相反数,将 20 °C 温度下沥青混合料的动态模量主曲线平移至各试验温度,得到所有温度条件下的动态模量主曲线簇(见图 3 和图 4)。

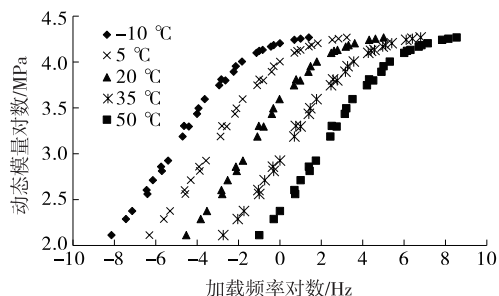


图 3 TLA 改性沥青混合料的动态模量主曲线簇

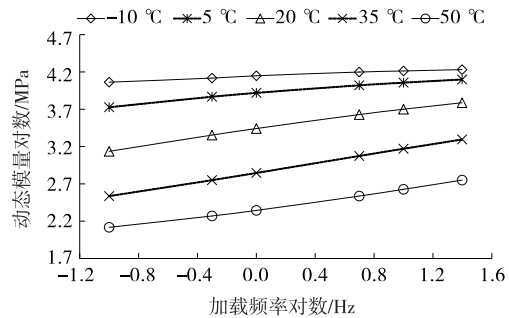


图 2 SBS 改性沥青混合料的动态模量

率的增大,温度对 TLA 改性沥青混合料动态模量的影响减小,即加载频率增大则混合料动态模量对温度的依耐性减小。

由图 2 可知:SBS 改性沥青混合料动态模量变化趋势与 TLA 改性沥青混合料动态模量相似,随着加载频率的增大,动态模量对温度的敏感性降低。

根据式(1)、式(2)计算各试验温度下动态模量平移至参考温度(20 °C)的位移因子,为了对位移因子进行修正,同时按式(3)进行 $\log[\alpha(T)]$ 和 T 的二次函数拟合,得到模型回归系数(见表 6)。TLA 与 SBS 改性沥青混合料动态模量位移因子、相关系数均在 0.99 以上,表明采用二次函数模型能良好地预估不同温度至参考温度的位移因子。

依据表 6 所示位移因子,将各试验温度下的动

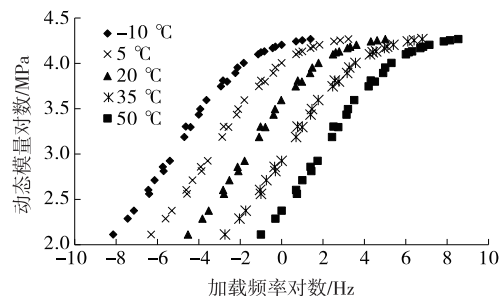


图 4 SBS 改性沥青混合料的动态模量主曲线簇

由图 3 和图 4 可知:1) 根据表 6 所示位移因子将试验温度下动态模量平移而生成的沥青混合料主曲线线形走势平滑,表明经二次函数模型修正后的位移因子精度高,采用修正的位移因子平移方法得

到主曲线走势图是可行的;也表明沥青混合料具有高频率(或低温时)荷载短作用时间可得到低频率(或高温时)荷载长作用时间相同响应的温度—等效特性。2) TLA与SBS改性沥青混合料动态模量主曲线走势均呈逼近—递增—逼近趋势,即两端逼近,说明存在模量最大值和最小值。当加载频率由低到高(加载时间由长到短)变化时,主曲线的斜率先增大后减小,表明在极高频(短时加载)段和极低频(长时加载)段,随加载频率的变化沥青混合料动态模量变化不大;而在中等频率范围(随着温度的升高,该频率范围右移),加载频率对混合料动态模量的影响较大。

为了更好地对比TLA与SBS改性沥青混合料动态模量主曲线发展态势,对20℃温度下混合料动态模量主曲线进行西格摩德模型非线性回归,回归系数见表7。

表7 20℃下混合料动态模量主曲线
西格摩德方程回归系数

沥青种类	20℃下主曲线西格摩德方程回归系数				
	δ	α	β	γ	R^2
SBS	1.701	2.713	-0.605	-0.365	0.998
TLA	1.666	2.673	-0.92	-0.554	0.999

根据表7,相关系数 R^2 均在0.99以上,相关性很好。采用EXCLE绘制20℃温度线全频率沥青混合料动态模量主曲线,结果见图5。

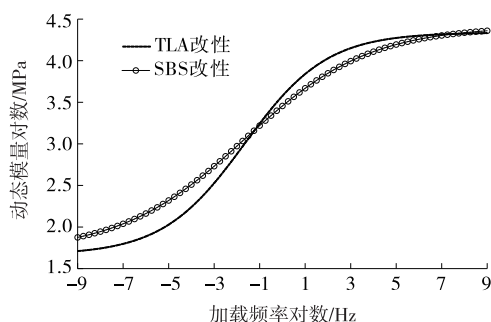


图5 20℃温度下SBS与TLA改性沥青混合料的
动态模量主曲线

由图5可知:在全频率范围,TLA改性沥青混合料与SBS改性沥青混合料的动态模量主曲线有2个交叉点,交叉点加载频率分别为 $10^{-1.25}$ 和 $10^{7.5}$ Hz。沥青为粘弹性材料,表现为低温脆硬、高温软化。而作为路面材料,期望沥青混合料高温时刚度大,具有好的抗车辙性能;低温时柔性好,具有好的抗温缩开裂性能。当加载频率小于 $10^{-1.25}$ Hz时,

SBS改性沥青混合料的动态模量大于TLA改性沥青混合料,TLA和SBS改性沥青混合料的动态模量对数最小值分别为1.71、1.88 MPa,SBS改性沥青混合料的高温(低加载频率)性能优于TLA改性沥青混合料约10%;在 $10^{-1.25} \sim 10^{7.5}$ Hz频率时,TLA改性沥青混合料的动态模量大于SBS改性沥青混合料,表明在中等加载频率范围,TLA改性沥青混合料对加载频率(温度)的敏感性大;频率大于 $10^{7.5}$ Hz时,SBS改性沥青混合料的动态模量略大于TLA改性沥青混合料,TLA和SBS改性沥青混合料的动态模量对数最大值分别为4.33、4.36 MPa,仅相差0.7%,表明两者低温(高加载频率)性能基本持平。

3 结论

(1) 随着试验温度的提高,沥青混合料的动态模量降低;随着加载频率的增大,沥青混合料的动态模量增大,且动态模量对温度的依耐性减小。

(2) TLA和SBS改性沥青混合料的动态模量对数最小值分别为1.71、1.88 MPa,SBS改性沥青混合料的高温(低加载频率)性能优于TLA改性沥青混合料,提高大约10%。

(3) 在中等加载频率范围,TLA改性沥青混合料对加载频率(温度)的敏感性大。

(4) TLA和SBS改性沥青混合料的动态模量对数最大值分别为4.33、4.36 MPa,仅相差0.7%,两者的低温(高加载频率)性能基本持平。

参考文献:

- [1] 王阳,吴正新,赵乾文.TLA复合改性沥青混合料SMA-13在快速路中的应用[J].公路与汽运,2016(4).
- [2] 植豪文.不同掺量TLA改性沥青及其混合料路用性能研究[J].公路与汽运,2016(4).
- [3] 刘福明.沥青混合料动态模量预估方程的验证分析[J].中外公路,2012,32(1).
- [4] 杨娥,张肖宁.TLA改性沥青的动态剪切模量及主曲线分析[J].武汉理工大学学报,2012,34(2).
- [5] 徐志荣,常艳婷,陈忠达,等.沥青混合料动态模量试验标准研究[J].交通运输工程学报,2015,15(3).
- [6] AASHTO PP60-09;2011,Preparation of cylindrical performance test specimens using the superpave gyratory compactor(SGC)[S].
- [7] 陈磊磊,钱振东.基于简单性能试验的环氧沥青混合料

(下转第92页)

表 11 不同复配比例 SMA—13 沥青混合料
低温弯曲试验结果

复配比例	抗弯拉强度/MPa	最大弯拉应变/ $\mu\epsilon$	弯曲劲度模量/MPa
0 : 4	11.43	3 380.4	3 381.9
1 : 3	10.31	3 502.1	2 942.9
1 : 1	10.28	3 557.6	2 889.1
3 : 1	10.16	3 569.4	2 845.4
4 : 0	9.78	3 634.2	2 691.1

均高于只掺玄武岩纤维的沥青混合料,其低温抗裂性优于玄武岩纤维 SMA 沥青混合料。

4 结论

(1) 玄武岩纤维对 SMA 沥青混合料高温稳定性的提升比木质素纤维更明显;随着混合料中木质素纤维所占比例的增大,混合料的高温稳定性呈现下降趋势,复合纤维 SMA 沥青混合料的高温性能优于木质素纤维 SMA 沥青混合料。

(2) 当木质素纤维和玄武岩纤维以 1 : 1 的复配比例掺入 SMA 沥青混合料中时,混合料的水稳定性最强。

(3) 随着木质素纤维在混合料中所占比例的增大,混合料的低温抗裂性逐渐增强,复合纤维 SMA 沥青混合料的低温抗裂性优于玄武岩纤维 SMA 沥青混合料。

(4) 木质素纤维和玄武岩纤维的复配比例为 1 : 1 时,复合纤维 SMA 沥青混合料的路用性能最佳,能有效提高 SMA 路面的使用性能。

参考文献:

- [1] 黄卫.大跨径钢桥面铺装设计理论与方法[M].北京:中国建筑工业出版社,2006.

- [2] 肖鹏,吴帮伟,徐亚,等.使用不同纤维的 SMA 路用性能试验研究[J].中外公路,2014,34(2).
- [3] 王安.玄武岩纤维 SMA—13 的路用性能研究与应用[D].长沙:长沙理工大学,2013.
- [4] 杨洋,马宝国,韩森.沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA)的组成及路用性能分析[J].公路交通科技,2012,8(5).
- [5] E R Erbrown, J E Haddock, R B Mallick, et al. Development of a mixture design procedure for stone matrix asphalt(SMA)[R]. NCAT Report No97—3, 1997.
- [6] Fitzgerald R L. Novel applications of carbon fiber for hot mix asphalt reinforcement and carbon-carbon performs[D]. Michigan: Michigan Technological University, 2000.
- [7] 杨红辉,袁宏伟,郝培文,等.木质素纤维沥青混合料路用性能研究[J].公路交通科技,2003,20(4).
- [8] 韩伟华.复合改性纤维沥青混合料路用性能研究[D].西安:长安大学,2007.
- [9] 陈明星,张俊,郝培文.复合纤维沥青胶浆性能与混合料高温性能研究[J].公路工程,2014,39(3).
- [10] 赵丽华.玄武岩纤维对沥青混合料影响机理的研究[D].大连:大连理工大学,2013.
- [11] 赵丽华,徐刚.矿物纤维对沥青混合料路用性能影响及机理分析[J].公路工程,2013,38(1).
- [12] 刘福军.玄武岩纤维沥青混合料路用性能研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.
- [13] 樊江涛.长陡坡路段复合纤维 SMA 沥青混合料路用性能研究[D].重庆:重庆交通大学,2014.
- [15] 向宇,刘朝晖,柳力.偶联改性玄武岩纤维细观特性及性能研究[J].公路与汽运,2016(1).
- [16] 付智.玄武岩纤维和外加剂在我国长寿命公路混凝土路面工程中应用新技术[A].第二届公路工程混凝土与外加剂应用技术研讨会报告集[C].2015.
- [17] 王明林.浅谈木质素纤维与聚酯纤维对 SMA 路用性能影响的试验[J].黑龙江交通科技,2009(9).

收稿日期:2016—10—17

(上接第 87 页)

- 动态模量研究[J].建筑材料学报,2013,16(2).
- [8] JTG E20—2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].
- [9] Witczak M W, Bari J. Development of a master curve (E^*) database for lime modified asphaltic mixtures [R]. Arizona State University, 2004.
- [10] Medani T O, Huerman M, Molenaar A A A. On the computation of master curves for bituminous mixes [A]. 3rd Euro Bitumen Congress[C]. 2004.

- [11] 林志坤.TLA 改性沥青应用研究及路面性能预估分析[J].公路与汽运,2015(4).
- [12] 王伟.TLA/SBS 复合改性沥青胶结料的抗老化性能[J].交通科学与工程,2013,29(4).
- [13] 谭敬敏.TLA 改性沥青在广肇高速公路中的应用研究[J].公路与汽运,2011(5).
- [14] 曹贵.SBS 改性沥青质量控制技术及应用研究[D].西安:长安大学,2015.

收稿日期:2016—09—27