

# 基质沥青对花岗岩改性沥青混合料动态模量与相位角的影响

卜力平<sup>1,2</sup>,王家主<sup>3,4</sup>

1. 福建船政交通职业学院 土木工程学院,福建 福州 350007;
2. 福建船政交通职业学院 交通土建智能与绿色建造应用技术协同创新中心,福建 福州 350007;
3. 福建省交通科研院有限公司,福建 福州 350004;
4. 近海公路建设与养护新材料技术应用交通运输行业研发中心,福建 福州 350004

**摘要:**为充分利用福建本地储量丰富的花岗岩,降低工程造价,为沥青路面设计提供动态参数,采用花岗岩改性沥青混合料,选择3种品牌基质沥青与花岗岩骨料分别制作AC-16C改性沥青混合料,进行动态模量和动稳定度试验,分析在不同温度和不同加载频率综合作用下改性沥青混合料的动态模量与相位角的变化规律。试验结果表明:随温度的升高和加载频率的减小,3种品牌基质沥青AC-16C改性沥青混合料的动态模量均逐渐减小;相位角的变化规律随温度变化较复杂,高硫沥青品牌的基质沥青AC-16C改性沥青混合料在高温低频时动态模量相对较大,相位角相对较小。试验结果可用于预测和分析不同温度与加载频率条件下的沥青路面行为特征,为沥青路面设计提供参考。

**关键词:**基质沥青;花岗岩;改性沥青混合料;动态模量;相位角

**中图分类号:**TU528.42;TV431<sup>+</sup>.5

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-0032(2023)01-0052-05

**引用格式:**卜力平,王家主.基质沥青对花岗岩改性沥青混合料动态模量与相位角的影响[J].山东交通学院学报,2023,31(1):52-56.

BU Liping, WANG Jiashu. Effect of matrix asphalt on dynamic modulus and phase angle of granite modified asphalt mixture[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2023, 31(1): 52-56.

## 0 引言

我国东南沿海地区花岗岩储量较丰富,福建省花岗岩占全省岩石储量的70%以上。花岗岩属于酸性石料,与沥青的黏附性较差,花岗岩沥青混合料抵抗沥青路面水损害能力不足,限制了花岗岩在沥青路面工程中的应用。为满足高速公路建设对石料资源的巨大需求,经实践证明采用改性沥青能显著提高花岗岩沥青混合料的水稳定性。高硫沥青源自硫含量较高的原油,沥青中硫含量与原油中硫含量正相关。沥青含硫不影响沥青的使用性能,硫磺通常作为改性沥青的稳定剂,用以改善沥青的高温稳定性和抗水损害性能<sup>[1-3]</sup>。

沥青混凝土路面在受到车辆荷载垂直方向冲击力作用时产生水平方向的推挤,且伴随共振、阻尼和惯性等共同作用,形成沥青路面的复杂受力体系<sup>[4]</sup>。相较于顶面回弹模量,动态模量的变化更能反映路面的实际工作状态,可反映模量对时间和温度的依赖性,沥青路面设计由静态设计转为动态设计方法<sup>[5]</sup>。沥青具有黏弹性特征,在高温和车辆荷载作用下,沥青混合料的动力特性改变,通过动稳定度试验可验证

收稿日期:2022-04-18

基金项目:福建省交通科技项目(201812)

第一作者简介:卜力平(1972—),男,南昌人,教授级高级工程师,主要研究方向为沥青与沥青混凝土材料、工程材料与应用研究等,E-mail:2512365867@qq.com。

沥青混合料动态模量和相位角变化结果的准确性<sup>[6-8]</sup>。本文采用进口高硫原油在国内生产的高硫沥青和非高硫原油生产的普通沥青作为基质沥青,以福建省普通花岗岩石料作为沥青路面的原材料,引进动态参数进行沥青路面结构设计,分析同种集料与不同组分沥青的混合料在不同温度和加载频率综合影响下动态模量和相位角的变化规律,为就地取材、降低工程成本及沥青路面设计提供参考。

## 1 原材料和矿料级配

### 1.1 原材料

粗、细集料均采用闽清石料场花岗岩碎石,经过颚式、圆锥式和反击式3种破碎方式加工而成<sup>[9-10]</sup>。细集料砂当量为70.6%,粗集料试验结果如表1所示。3种品牌基质沥青苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物(styrene butadiene styrene, SBS)改性后的常规指标检测结果如表2所示。

表1 粗集料试验结果

项目	石料压碎值/%	洛杉矶磨耗值/%	吸水率/%	针片状颗粒质量分数/%	表观相对密度	<0.075 mm 颗粒质量分数/%	对沥青的黏附性 (掺加0.3%AR-I型抗剥落剂)
试验结果	13.3	22.7	0.9	9.2	2.70	0.5	5
技术要求 <sup>[11]</sup>	≤26	≤28	≤2.0	≤15.0	≥2.60	≤1.0	≥5

表2 3种品牌基质沥青 SBS 改性后的常规指标检测结果

基质沥青种类	25℃弹性恢复/%	闪点/℃	储存稳定性/℃	溶解度/%	薄膜加热老化后的残留物		
					质量变化/%	25℃针入度比/%	5℃延度/cm
高硫沥青	94.8	313	1.1	99.89	+0.04	81.6	23.9
A 沥青	95.2	310	1.2	99.83	-0.05	81.0	19.9
B 沥青	95.2	312	0.2	99.87	+0.04	83.0	21.7

注:A 沥青是非高硫原油生产的国产普通沥青,B 沥青是非高硫原油生产的进口普通沥青。

由表2可知:SBS改性后高硫沥青的闪点、溶解度最大,弹性恢复最小,储存稳定性略优于A 沥青,比B 沥青差。3种改性沥青经薄膜加热老化后,残留物的质量变化相差不大。

经检测,全部原材料均符合文献[12]要求。

### 1.2 矿料级配

采用SBS改性沥青混合料AC-16C,油石比为5.1%,其矿料级配如表3所示。

表3 AC-16C 矿料级配

筛孔直径/mm	19.0	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过率/%	100	96.5	85.2	70.4	37.6	25.8	19.5	12.7	9.7	7.1	5.0
级配上限/%	100	100	92	80	62	48	36	26	18	14	8
级配下限/%	100	90	76	60	34	20	13	9	7	5	4

## 2 动态模量试验

### 2.1 试验准备

动态模量试验设备为UTM-25动态伺服液压材料试验机,试验温度分别为-10、5、20、35、50℃。试验频率与行车速度有关,高速公路行车速度为120 km/h,频率约25.0 Hz;在高速公路收费站进出口车辆

速度较慢,对应的试验频率不小于0.1 Hz;车辆行驶速度分别为40、60 km/h,对应的试验频率约为5.0、10.0 Hz。单轴压缩动态模量试验采用的加载频率分别为0.1、0.5、1.0、5.0、10.0、25.0 Hz。

## 2.2 试验结果

3种品牌基质沥青AC-16C改性沥青混合料的动态模量与相位角试验结果如图1、2所示。

动态模量: ■ 0~5 GPa   ■ >5~10 GPa   ▨ >10~15 GPa   ▩ >15~20 GPa   ▪ >20~25 GPa   ▫ >25~30 GPa

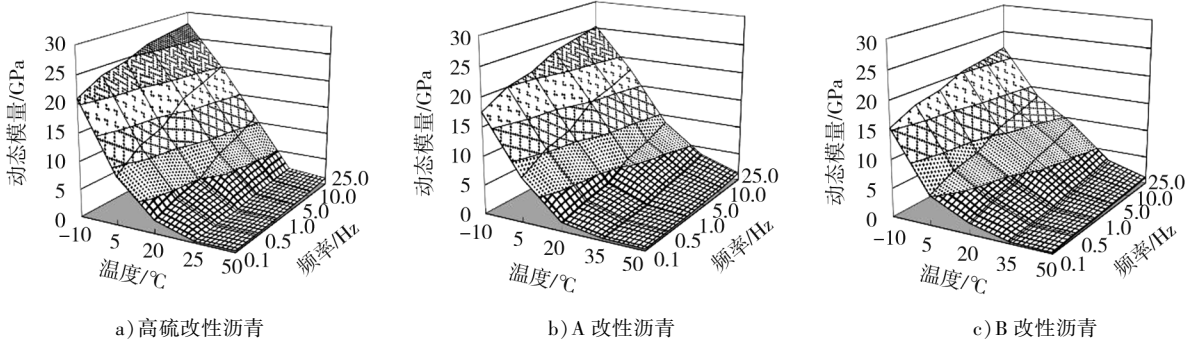


图1 3种品牌基质沥青AC-16C改性沥青混合料的动态模量试验结果

相位角: ■ 0~5°   ▨ >5°~10°   ▩ >10°~15°   ▪ >15°~20°   ▫ >20°~25°   ▬ >25°~30°   ▭ >30°~35°   ▮ >35°~40°

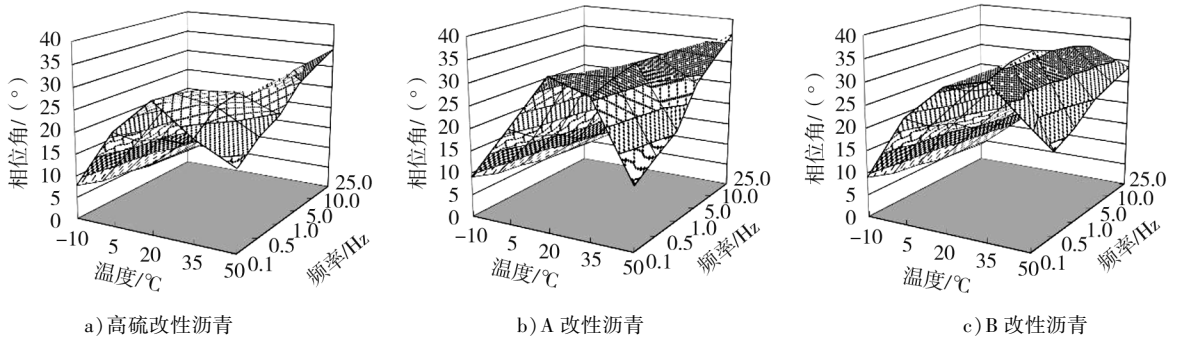


图2 3种品牌基质沥青AC-16C改性沥青混合料的相位角试验结果

由图1可知:随温度的升高和加载频率的减小,3种品牌基质沥青AC-16C改性沥青混合料的动态模量均逐渐减小。温度相同时,频率越小,动态模量越小;频率相同时,温度越低,动态模量越大。高硫改性沥青混合料在高温低频时的动态模量相对较大。

由图2可知:相位角变化情况较复杂,主要原因是沥青属于黏弹性材料,相位角表征沥青黏性和弹性成分相对比例,相位角越大,沥青的黏性越大,弹性越小;相位角越小,沥青的黏性越小,弹性越大。当温度低于20℃时,相位角随加载频率的增大而减小,表明在低温高频作用下,沥青混合料从黏性向弹性转化,矿料骨架沥青胶浆性能对混合料力学特性影响更显著。当温度达到35℃时,相位角随加载频率的减小先增大后明显减小。温度继续升至50℃的过程中,相位角随温度的升高和加载频率的减小而持续减小。这是因为在高温低频作用下,沥青组分中的高分子链段加速移动,混合料的矿料骨架结构开始发挥作用,整体结构强度增大,当温度达到改性沥青的软化点时,矿料骨架的作用已超出改性沥青混合料本身。高硫改性沥青混合料在高温低频时相位角相对较小<sup>[13-16]</sup>。

## 3 动稳定度试验

为验证动态模量与高温稳定性的关系,对3种品牌的基质沥青AC-16C改性沥青混合料进行室内车辙动稳定度试验<sup>[17-18]</sup>。按照文献[12]要求,分别进行60、80℃车辙试验及60℃浸水车辙试验,结果如表4所示。

表4 3种品牌基质沥青 AC-16C 改性沥青混合料动稳定度试验结果

项目	动稳定度/(次·mm <sup>-1</sup> )		
	高硫改性沥青	A 改性沥青	B 改性沥青
60℃车辙试验	8872	7958	7673
60℃浸水车辙试验	3423	3000	3325
80℃车辙试验	663	517	542

由表4可知:同等试验条件下,基质沥青是高硫沥青的 AC-16C 改性沥青混合料动稳定度相对较大。这是因为高硫改性沥青中的硫化物相对较多,增强了沥青的极性,与沥青混合料中骨料的黏结力大幅提高,高硫改性沥青混合料的高温稳定性较好。

## 4 结论

选择3种品牌基质沥青 AC-16C 改性沥青混合料,粗、细集料均采用花岗岩碎石,在不同试验温度和加载频率的条件下进行单轴压缩动态模量试验与动稳定度试验。通过分析动态模量曲线图及相位角曲线图可知在不同温度和加载频率综合作用下改性沥青混合料的动态模量与相位角的变化规律,可用于预测和分析不同温度与加载频率条件下沥青路面的行为特征。

1)高硫改性沥青混合料在高温低频时的动态模量相对较大,且相位角较小。实测的3种改性沥青混合料动态模量可为沥青路面设计提供参考。

2)同等条件下,高硫改性沥青混合料的高温稳定性较好,抗车辙能力较强。

## 参考文献:

- [1]陈杰,周智密,熊剑平,等.花岗岩沥青混合料压实特性分析[J].公路,2019,64(5):30-35.  
CHEN Jie, ZHOU Zhimi, XIONG Jianping, et al. Analysis of compaction characteristic of granite asphalt mixture[J]. Highway, 2019,64(5):30-35.
- [2]韩飞.福建省高速公路沥青面层用石料研究[J].福建交通科技,2013(2):12-15.
- [3]刘初春,董克林,伊力威,等.高硫沥青的硫化氢释放及应对[J].石油化工技术与经济,2022,38(1):21-24.  
LIU Chuchun, DONG Kelin, YI Liwei, et al. Hydrogen sulfide release from high sulfur asphalt and its countermeasures[J]. Technology & Economics in Petrochemicals, 2022,38(1):21-24.
- [4]肖婷婷.沥青混合料动态模量研究[J].资源信息与工程,2016,31(4):158-159.
- [5]中交公路规划设计院.公路沥青路面设计规范:JTG D50—2017[S].北京:人民交通出版社,2017.
- [6]罗鸣,陈超,王涛.3种 AC-20 沥青混合料的动态模量及其主曲线拟合与分析[J].长沙理工大学学报(自然科学版), 2018,15(1):30-35.  
LUO Ming, CHEN Chao, WANG Tao. The dynamic modulus of three kinds of AC-20 asphalt mixture and its main curve fitting and analyses[J]. Journal of Changsha University of Science and Technology (Natural Science), 2018,15(1):30-35.
- [7]赵延庆,潘友强,黄荣华.基于动态模量的沥青路面力学响应分析[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2008,27(1):57-60.  
ZHAO Yanqing, PAN Youqiang, HUANG Ronghua. Analysis of pavement responses based on dynamic modulus[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2008,27(1):57-60.
- [8]王昊鹏,杨军,施晓强,等.高模量沥青混合料动态模量及其主曲线研究[J].公路交通科技,2015,32(8):12-17.  
WANG Haopeng, YANG Jun, SHI Xiaoqiang, et al. Research on dynamic modulus and master curve of high modulus asphalt mixture[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2015,32(8):12-17.
- [9]马昊天,范立嘉,李思童,等.基于2S2P1D模型的沥青混合料老化前后黏弹性参数演变[J].公路交通科技,2020,37(4):24-31.

- MA Haotian, FAN Lijia, LI Sitong, et al. Evolution of viscoelastic parameters of asphalt mixture before and after aging based on 2S2P1D model[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2020,37(4):24-31.
- [10] 王立志, 王鹏, 徐强, 等. 添加剂型高模量沥青混合物作用机理[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2015,35(6):42-48.  
WANG Lizhi, WANG Peng, XU Qiang, et al. Mechanism research on additives of high modulus asphalt mixtures[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2015,35(6):42-48.
- [11] 交通部公路科学研究所. 公路沥青路面施工技术规范: JTG F40—2004[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [12] 交通运输部公路科学研究院. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程: JTG E20—2011[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [13] 詹军, 李剑新, 王家主, 等. 高硫高沥青质含量国产沥青技术研究[Z]. 福州: 福建省交通科学技术研究所, 2016.
- [14] 王家主. 高硫高沥青质沥青混合料的单轴压缩动态模量研究[J]. 公路, 2015,60(9):232-235.  
WANG Jiazhu. Research on dynamic modulus of uniaxial compression of asphalt mixture with high sulfur and asphaltene content[J]. Highway, 2015,60(9):232-235.
- [15] 叶长全. 高硫高沥青质沥青混合物常规路用性能研究[J]. 福建交通科技, 2014(3):4-6.
- [16] 吴森. 花岗岩沥青混合物路用性能研究[J]. 山东交通科技, 2016(2):57-60.
- [17] 闫翔鹏, 芦子朝, 安平, 等. 高模量沥青混合物黏聚力与相位角关系研究[J]. 山东交通科技, 2021(3):4-6.  
YAN Xiangpeng, LU Zichao, AN Ping, et al. Study on the relationship between cohesion and phase angle of high modulus asphalt mixture[J]. Shandong Jiaotong Keji, 2021(3):4-6.
- [18] 张争奇, 崔文社, 马良, 等. SBS改性沥青软化点试验特性[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2007,27(6):6-10.  
ZHANG Zhengqi, CUI Wenshe, MA Liang, et al. Experimental feature of softening point of SBS modified asphalt[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2007,27(6):6-10.

## Effect of matrix asphalt on dynamic modulus and phase angle of granite modified asphalt mixture

BU Liping<sup>1,2</sup>, WANG Jiazhu<sup>3,4</sup>

1. College of Civil Engineering, Fujian Chuanzheng Communications College, Fuzhou 350007, China;

2. Collaborative Innovation Center of Intelligent and Green Construction Application Technology of Transportation Civil Construction, Fuzhou 350007, China; 3. Fujian Provincial Transportation Research Institute Co., Ltd., Fuzhou 350004, China;

4. Research and Development Center of Transport Industry of New Materials, Technologies Application for Highway Construction and Maintenance of Offshore Areas, Ministry of Transport, PRC, Fuzhou 350004, China

**Abstract:** In order to make full use of the abundant granite in Fujian and reduce the project cost, the granite modified asphalt mixture is used to provide dynamic parameters for the design of asphalt pavement. Three kinds of brand of asphalt and granite aggregate are selected to make AC-16C modified asphalt mixture, and dynamic modulus and dynamic stability test are carried out to analyze the change law of dynamic modulus and phase angle of the modified asphalt mixture under the combined effect of temperature and frequency. The results show that with the increase of temperature and the decrease of loading frequency, the dynamic modulus of 3 brands of asphalt AC-16C modified asphalt mixture gradually decreases, and the change of phase angle with temperature is more complicated. The dynamic modulus of the asphalt AC-16C modified asphalt mixture of high-sulfur asphalt is relatively larger, and the phase angle is relatively small at high temperature and low frequency. The test results can be used to predict and analyze the behavior characteristics of asphalt pavement under different temperatures and loading frequencies, and provide reference for asphalt pavement design.

**Keywords:** matrix asphalt; granite; modified asphalt mixture; dynamic modulus; phase angle

(责任编辑:王惠)