

# 30<sup>#</sup> 沥青 AC-20 混合料动态模量及主曲线试验研究

蔡湘运

(新邵县公路管理局, 湖南 邵阳 422900)

**摘要:** 通过沥青混合料动态模量试验和动态模量主曲线, 并与 50<sup>#</sup> 沥青 AC-20 混合料对比, 评价 30<sup>#</sup> 硬质沥青 AC-20 混合料的高温抗变形能力。结果表明, 与 50<sup>#</sup> 沥青 AC-20 混合料相比, 30<sup>#</sup> 硬质沥青 AC-20 混合料的动态模量较大, 可起到抗车辙的作用; 在低频区段, 30<sup>#</sup> 硬质沥青 AC-20 混合料的动态模量随荷载频率的增大急剧增大, 而在 5 Hz 以上区段动态模量变化趋于稳定; 30<sup>#</sup> 硬质沥青 AC-20 混合料的动态模量主曲线呈 S 形, 在高温低频和低温高频段其动态模量受频率影响较小, 且不同沥青混合料表现出的力学特性和适用范围不同。

**关键词:** 公路; 30<sup>#</sup> 硬质沥青; AC-20 沥青混合料; 动态模量; 动态模量主曲线

中图分类号: U416.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2019)05-0059-03

据统计, 在沥青路面维修养护中车辙病害约占 80%, 远多于裂缝、水损坏等病害。车辙不仅对道路本身的危害巨大, 也影响道路使用者的行车安全与舒适性。针对高等级公路车辙问题的研究证实, 30<sup>#</sup>、50<sup>#</sup> 等低标号硬质沥青用于沥青路面的中下面层可有效提升路面的抗车辙性能, 且可用沥青混合料的 SPT 动态模量试验进行评价。但已有研究的动态模量试验虽考虑了温度、频率及围压的影响, 但没有考虑应变水平的影响, 而沥青混合料的模量是非线性的, 随着应变水平的不同, 动态模量也不同。考虑到 SPT 动态模量试验虽然不能对应变值进行精确控制, 但可对应变范围进行控制, 该文通过选定适宜的应变范围, 考虑应变水平对动态模量的影响。此外, 测定混合料复合动态模量主曲线可预估混合料的高温抗变形能力, 但这一指标与材料的高温稳定性之间的关系有待进一步论证, 故该文采用类似于 DSR 动态剪切模量试验中抗车辙因子  $G^*/\sin\varphi$  的处理方法, 得到动态模量组合参数  $|E^*|/\sin\varphi$ , 参照 AASHTO 2002 设计指南, 用动态模量  $|E^*|$  和动态模量主曲线评价 30<sup>#</sup> 硬质沥青 AC-20 混合料的高温抗变形能力。

## 1 原材料及材料组成设计

### 1.1 原材料

(1) 沥青。基质沥青采用河北省生产的 30<sup>#</sup> 硬沥青, 其技术性能指标(见表 1)均满足 JTG F40—

2004《公路沥青路面施工技术规范》的要求。

表 1 30<sup>#</sup> 沥青的主要技术性能试验结果

试验项目	试验结果
25℃针入度/(0.1 mm)	21.3
软化点/℃	62.5
15℃延度/mm	脆断
密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	1.026 1
135℃粘度/(Pa·s)	1.378 3

(2) 集料。室内试验所用集料均选用河北省的石灰岩石料, 其技术性能指标(见表 2)均符合 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》的要求。

表 2 集料的主要技术性能试验结果

粒径/ mm	表观相 对密度	表干相 对密度	毛体积 相对密度	吸水率/ %
19.000	2.84	—	—	—
13.200	2.84	2.82	2.81	0.37
9.500	2.84	2.81	2.80	0.44
4.750	2.84	2.81	2.80	0.50
2.360	2.84	2.79	2.77	0.76
1.180	2.82	2.76	2.73	1.16
0.600	2.82	2.76	2.73	1.22
0.300	2.82	2.77	2.74	1.03
0.150	2.83	—	—	—
0.075	2.85	—	—	—
技术要求	≥2.60	—	—	≤2.00

(3) 矿粉。采用南宁生产的矿粉, 其技术性能指标(见表 3)满足规范要求。

表3 矿粉的主要技术性能试验结果

试验项目	试验结果	技术要求
表观密度/( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	2.8	$\geq 2.5$
$< 0.600 \text{ mm}$	100	100
粒度范围/% $< 0.150 \text{ mm}$	98.7	90~100
$< 0.075 \text{ mm}$	84.0	75~100

## 1.2 沥青混合料材料组成设计

结合各档料的筛分结果对试验所用 AC-20 沥青混合料的级配进行合成,确定集料的配合比,并通过调整油石比范围的适当调整确定沥青含量,结果见表4、图1。

表4 AC-20 沥青混合料的合成级配

筛孔尺寸/mm	通过率/%	筛孔尺寸/mm	通过率/%
19.00	100.0	1.180	12.1
13.20	70.2	0.600	10.3
9.50	49.3	0.300	8.5
4.75	25.5	0.150	7.2
2.36	16.0	0.075	5.7

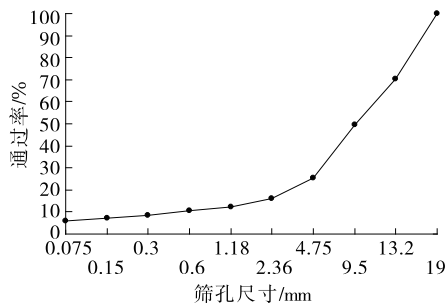


图1 沥青混合料的合成级配曲线

通过马歇尔试验测得 30# 硬质沥青 AC-20 沥青混合料的最佳油石比为 4.60%，毛体积密度为  $2.54 \text{ g/cm}^3$ 。

## 2 动态模量试验研究

为研究在实际车辆荷载及温度作用下沥青路面结构的变化情况,利用简单性能试验机(SPT)对沥青混合料进行动态模量试验,并对试验结果与混合料本身属性及试验温度、加载频率等进行分析。动态模量在 5 和 10 Hz 两种加载频率下可较直观地体现沥青混合料的抗变形能力,且动态模量  $|E^*|$  及  $|E^*|/\sin\varphi$  与车辙动稳定度及车辙相对变形指标有很好的相关性。

### 2.1 动态模量与温度和沥青种类的关系

以 5 Hz 频率时的  $E^*$  和  $E^*/\sin\varphi$  评价沥青混

合料的高温稳定性,并与 50# 沥青 AC-20 混合料的动态模量进行对比,结果见图2。

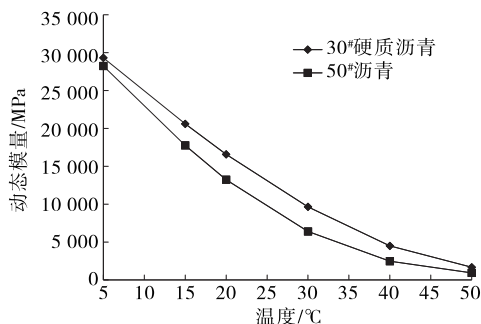


图2 AC-20 沥青混合料动态模量随温度和沥青种类的变化

由图2可知:与 50# 沥青 AC-20 混合料相比, 30# 硬质沥青 AC-20 混合料的动态模量较大,说明采用的沥青标号越小,动态模量越大;5℃时,50# 沥青 AC-20 混合料的动态模量比 30# 沥青 AC-20 混合料降低近 10%;50℃时,50# 沥青 AC-20 混合料的动态模量比 30# 沥青 AC-20 混合料降低 44%,说明高温时低标号沥青混合料的动态模量大于高标号沥青,沥青混合料在高温时动态模量减小,抗车辙性能降低,易产生车辙。

### 2.2 动态模量与加载频率的关系

采用半正矢波对圆柱体试件施压,加载频率为 0.01~25 Hz,温度为 5、15、20、30、40、50℃,试验在封闭的环境腔内进行,试验结果见图3。

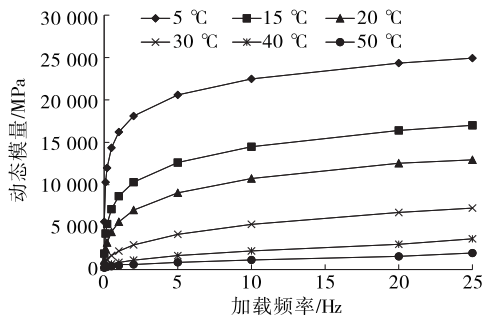


图3 30# 沥青 AC-20 混合料动态模量与试验加载频率的关系

由图3可知:温度和加载频率对 30# 沥青 AC-20 混合料动态模量的影响很大,5℃时动态模量最大,50℃时最小。在同一温度下,沥青混合料的动态模量随加载频率的增大而增大,其中在低频 0.01~2 Hz 区段随荷载频率的增大急剧增大,在 5~25 Hz 区段动态模量变化趋于稳定。

3 动态模量主曲线

沥青混合料的粘弹曲线在不同温度下具有相似的几何形状,选择一个基准温度  $T_0$ ,将其他温度  $T_i$  下的粘弹曲线向右或向左平移一定距离  $\lg a T_i$  使其与基准温度  $T_0$  下的粘弹曲线重合,移动距离  $\lg a T_i$  只与试验温度有关,可反映沥青混合料对温度的敏感性。同理可得到基准频率下的主曲线。不同频率(或温度)下的粘弹曲线经过平移合成的基准频率(或温度)下的粘弹性特征函数曲线称为该频率(或温度)下特征函数的主曲线。

考虑实际行车速度与动态模量试验加载频率的关系,加载频率为 5 Hz 时动态模量指标  $|E^*|$  与车辙动稳定度及车辙相对变形指标的相关性较好,故采用基准频率 5 Hz 或基准温度 20  $^{\circ}\text{C}$ 。在 SPT 推荐的应变(70~110  $\mu\epsilon$ )时平移动态模量曲线,得到动态模量主曲线的参数和平移系数,分析频率及温度对动态模量的影响。30<sup>#</sup> 沥青 AC-20 混合料在基准温度 20  $^{\circ}\text{C}$  下的动态模量主曲线参数和平移系数见表 5,动态模量主曲线见图 4。

由图 4 可知:随荷载频率的增大,30<sup>#</sup> 硬质沥青 AC-20 混合料的动态模量总体呈升高趋势。主曲线拐点的两侧部分,曲线随着频率的降低和升高均趋于平缓,说明在高温低频和低温高频段,混合料动态模

量受频率影响较小;而在曲线中间段,动态模量曲线变化率快,说明在常温区,频率对动态模量影响很大。

表 5 30<sup>#</sup> 沥青 AC-20 混合料的平移系数和动态模量主曲线参数

项目	参数值	项目	参数值
平移系数	5 -2.20	动态模量主曲线参数	$A_1$ 1.34
	15 -0.68		$A_2$ 4.50
	30 1.21		$x_0$ -3.29
	40 2.35		$d_x$ 1.78
	50 3.39		

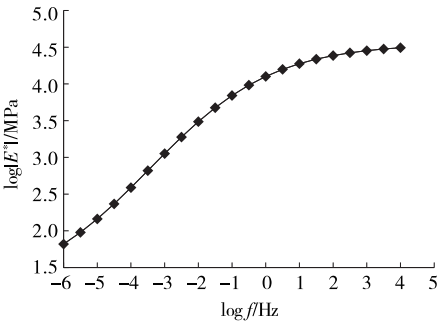


图 4 30<sup>#</sup> 沥青 AC-20 混合料的动态模量主曲线

通过平移动态模量曲线,得到 30<sup>#</sup> 硬质沥青 AC-20 混合料、SBS 改性 70<sup>#</sup> 基质沥青 AC-20 混合料在基准频率 5 Hz 下的动态模量主曲线参数和平移系数(见表 6)及动态模量主曲线(见图 5)。

表 6 AC-20 混合料的动态模量主曲线参数和平移系数

混合料类型	主曲线参数				平移系数								
	$A_1$	$A_2$	$x_0$	$d_x$	25	20	10	2	1	0.5	0.2	0.1	0.01
30 <sup>#</sup> 硬质沥青 AC-20	4.58	1.37	54.88	16.02	6.44	5.78	2.99	-4.19	-7.26	-9.91	-13.53	-16.04	-24.04
SBS 改性 70 <sup>#</sup> 沥青 AC-20	4.54	2.13	38.56	15.26	8.03	6.56	3.42	-3.52	-7.05	-9.42	-13.54	-16.41	-24.85

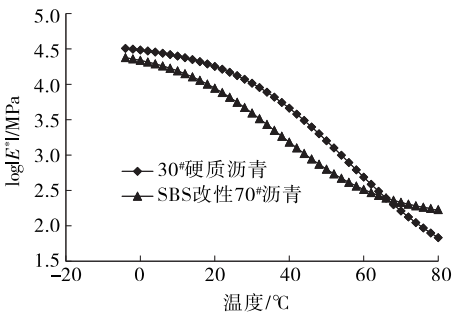


图 5 5 Hz 下 AC-20 沥青混合料的动态模量主曲线

由图 5 可知:2 种 AC-20 沥青混合料的动态模量主曲线均呈 S 形,低温和高温时均出现主曲线

相交情况,说明沥青材料、混合料级配及粗集料含量不同,沥青混合料表现出的力学特性不同,适用范围也不同。

4 结论

(1) 30<sup>#</sup> 硬质沥青 AC-20 混合料的最佳油石比为 4.6%,毛体积密度为 2.54 g/cm<sup>3</sup>。

(2) 与 50<sup>#</sup> 沥青 AC-20 混合料相比,30<sup>#</sup> 硬质沥青 AC-20 混合料的动态模量较大,50  $^{\circ}\text{C}$  时 50<sup>#</sup> 沥青的动态模量比 30<sup>#</sup> 沥青降低 44%,低标号沥青

(下转第 151 页)

- [10] 杨明举,黄景林.隧道衬砌开裂探析及处治措施[J].公路,2014(8).
- [11] 张素磊,丰权章,应国刚,等.公路隧道渗漏水成因及新型排水材料现场试验研究[J].公路交通科技,2013,30(10).
- [12] 高菊如,张博,袁玮,等.既有线铁路隧道病害综合整治技术与设备配套研究[J].现代隧道技术,2013,50(6).
- [13] 黄宏伟,刘德军,薛亚东,等.基于扩展有限元的隧道衬砌裂缝开裂数值分析[J].岩土工程学报,2013,35(2).
- [14] 叶飞,何川,夏永旭.公路隧道衬砌裂缝的跟踪监测与分析研究[J].土木工程学报,2010,43(7).
- [15] 刘德军,黄宏伟,薛亚东.基于灰色关联的隧道衬砌裂缝致灾通道分析[J].同济大学学报:自然科学版,2013,41(11).
- [16] 姚正中,杨春平.高速公路现役营运隧道渗漏水病害整治措施[J].交通科技,2014(2).
- [17] 王平让.隧道病害快速检测技术现状及分析比较[J].公路与汽运,2016(3).
- [18] 张腾飞,刘伟华.东马各庄隧道运营安全仿真评价分析[J].公路与汽运,2018(6).
- [19] 哈元元.跨省界公路隧道管理运营模式及救援预案研究与设计[D].西安:长安大学,2017.
- [20] 杨明举.公路隧道事故及安全规范初探[A].运营安全与节能环保的隧道及地下空间暨交通基础设施建设第四届全国学术研讨会论文集[C].2013.
- [21] 张建华.公路隧道运营管理中的几个问题[J].海峡科技与产业,2017(9).
- [22] 孔祥凯.滑坡引起隧道病害的机理分析与整治[D].石家庄:石家庄铁道大学,2017.
- [23] 林亮伦,杜清超,徐志武.重庆某隧道病害调查分析与治理对策[J].重庆建筑,2018,17(8).
- [24] 张仁立.山区高速公路隧道病害分析与处治[J].四川建材,2017,43(5).
- [25] 孟宪会.高速公路隧道病害统计及成因分析[J].中外企业家,2018(31).
- [26] 魏龙海,刘继国,李波,等.山西某既有高速公路隧道病害综合治理技术研究[J].公路,2015(4).
- [27] 张龙.浅谈隧道病害研究发展现状及展望[J].四川水泥,2016(8).
- [28] 杨树.高速公路隧道病害成因机理及防治方案[J].工程技术研究,2019(2).
- [29] 周翔.山岭隧道质量无损检测及缺陷力学特性研究[D].成都:西南交通大学,2005.

收稿日期:2019-03-05

\*\*\*\*\*

(上接第61页)

混合料的动态模量大,可起到抗车辙的作用。

(3) 在同一温度下,30<sup>#</sup>硬质沥青 AC-20 混合料的动态模量随频率的增大而增大,低频区段的动态模量随荷载频率的增大急剧增大,在 5 Hz 以上区段则趋于稳定。

(4) 随荷载频率的增大,30<sup>#</sup>硬质沥青 AC-20 混合料的动态模量主曲线呈 S 形,主曲线拐点的两侧部分,曲线随着频率的降低和升高均趋于平缓,说明在高温低频和低温高频段,混合料动态模量受频率影响较小,且不同沥青混合料表现出的力学特性和适用范围不同。

#### 参考文献:

- [1] 沈金安,李福普,陈景.高速公路沥青路面早期损坏与防治对策[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [2] 魏建明,侯岩峰,王国清.基于动态剪切流变试验的沥青高温性能研究[J].公路与汽运,2007(5).
- [3] 陈胜军,马瑞.天然岩沥青改性沥青混合料路用性能研究[J].公路交通科技:应用技术版,2015(10).
- [4] 胡朋,张小宁.基于双轴加速加载试验的沥青路面车辙预

测模型[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2017,36(7).

- [5] 交通运输部公路科学研究院.宽刚度域长寿命沥青路面协调设计模型的研究总报告[R].北京:交通运输部公路科学研究院,2016.
- [6] 杨洋,李玉鑫,张争奇,等.沥青混合料 SPT 简单性能试验及参数评价[J].中外公路,2013,33(1).
- [7] 王振华,田卫群,严世祥.采用 SPT 试验研究改性沥青混合料的高温性能[J].公路交通技术,2010(6).
- [8] 钟远帆.沥青混合料高温稳定性试验评价[D].长沙:长沙理工大学,2016.
- [9] 石宁,陈佩茹,周富杰.沥青混合料永久变形特性简单性能试验的初步验证[J].公路,2003(6).
- [10] John M Samuels, E Dean Carlson, Rebert E Skinner, et al. Simple performance test for superpave mix design[R]. NCHRP Report 465, 2002.
- [11] 包桂钰.沥青稳定碎石的动态模量及其影响因素研究[J].公路交通科技:应用技术版,2010(3).
- [12] 罗桑,钱振东, HARVEY J. 环氧沥青混合料动态模量及其主曲线研究[J].中国公路学报,2010,23(6).
- [13] 宋鑫,方鑫,孙凯,等.沥青混合料动态模量试验研究[J].科技促进发展,2009(12).

收稿日期:2019-06-23