

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2022.09.064

低黏高弹改性沥青及其混合料性能研究

王 涛¹, 郝增恒², 刘 洋¹, 盛兴跃², 刘 攀², 黄 峰²

(1.重庆交通大学土木工程学院, 重庆市 400074; 2.重庆市智翔铺道技术工程有限公司, 重庆市 401336)

摘 要: 针对目前已有的超薄磨耗层技术, 以保证沥青高温稳定性且大幅提高其低温抗裂性和疲劳性能为目的, 自主研发一种低黏高弹改性沥青, 并对其胶结料及混合料性能进行研究。试验结果表明, 低黏高弹改性沥青具有高软化点、低黏度和高弹性, 施工和易性良好; 该沥青的 PG 分级为 PG76-18, 具有良好的高温流变性能及低温性能; 低黏高弹改性沥青混合料 EMC-10 具有良好的高温稳定性、水稳定性, 同时具有优异的低温抗裂性和疲劳性能, 可用于高弹高强超薄罩面。

关键词: 预防性养护; 高弹高强超薄罩面; 低黏高弹改性沥青; 路用性能; 沥青混合料 EMC-10

中图分类号: U414

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)09-0257-04

0 引 言

随着我国经济快速发展, 我国高速公路建设事业突飞猛进, 高速公路建设技术的进步使得高速公路路面结构的承载力和使用寿命都得到了有效提高^[1]。然而, 由于重载交通和超载现象频发, 沥青路面的使用功能快速下降, 且衰减严重, 对车辆行驶的安全性和舒适性造成极大的影响, 给我国高速公路的养护和管理提出了新挑战。近年来, 一种新的路面养护理念即预防性养护技术被提出, 并在众多项目中得到实施运用。预防性养护对于保持或改进路面功能状况、延缓损坏和延长使用寿命、节约养护维修成本具有重要意义^[2]。

目前, 国内常用的预防性养护技术大致分为雾封层技术、微表处技术和超薄磨耗层技术 3 种^[3]。

雾封层技术造价低、施工快捷、对交通影响小, 但耐磨性、遮盖力不足。微表处技术具有防水、耐磨、价格相对较低等优点, 但存在易开裂、易脱落、行车舒适性差、噪音高等问题。超薄磨耗层技术能够有效修复路面病害, 还能提高路面平整度, 延长路面使用周期, 近年来得到了越来越广泛的应用。

本文对标目前市场上已有的超薄磨耗层技术, 将自主研发的低黏高弹改性沥青用于高弹高强沥青超薄罩面, 旨在提高超薄罩面的高温稳定性, 同时大幅提高其低温抗裂性和疲劳性能, 不仅从路用性能

和舒适性方面满足预养护的需求, 并且降低成本。为此, 本文对低黏高弹改性沥青的性能进行全面测试, 同时对低黏高弹改性沥青混合料 EMC-10 的路用性能进行评价, 为高性能沥青超薄罩面技术开发提供一定的参考。

1 低黏高弹改性沥青胶结料性能测试

1.1 常规指标分析

沥青性质是影响沥青路面服务性能和使用寿命的重要因素^[4]。参照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011), 对低黏高弹改性沥青进行各项常规指标测试, 测试结果见表 1。

表 1 低黏高弹改性沥青各项常规指标

试验项目	测试值	技术要求	试验方法
25℃针入度/(0.1 mm)	85		T0604
5℃延度/cm	71	≥65	T0605
软化点/℃	86	≥75	T0606
135℃布氏黏度/(Pa·s)	1.05	≤1.1	T0625
25℃弹性回复/%	98	≥95	T0662
离析软化点差/℃	0.6	≤2.5	T0661
RTFOT 后残留物	质量损失/%	-1.0~+1.0	T0610
	针入度比/%	≥65	T0604
	5℃延度/cm	≥25	T0605

由表 1 可知, 低黏高弹改性沥青软化点达 86℃, 表明其具有良好的高温稳定性, 有利于提升路面的抗车辙能力。低黏高弹改性沥青的 5℃延度为 71 cm, 经过旋转薄膜烘箱老化后, 低黏高弹改性沥青的延度仍有 37 cm, 表明其具备优异的柔韧性和抵抗低温开裂的能力, 且抗老化性能良好。低黏高弹改性沥青的

收稿日期: 2022-01-03

作者简介: 王涛(1997—), 男, 硕士在读, 从事道路方面研究工作。

弹性回复率达到 98%,表明其具有高弹性。另外,低黏高弹改性沥青的 135 ℃布氏旋转黏度仅为 1.05 Pa·s,施工和易性良好。

1.2 高温性能测试

动态剪切流变试验是评价沥青流变性能最常用的试验方法^[5]。参照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》,对低黏高弹改性沥青进行温度扫描试验。分别选取原样沥青和老化沥青,应变控制为 12%,频率为 10 rad/s,温度 46~82 ℃(梯度为 6 ℃)。沥青试样见图 1,试验操作界面见图 2,老化前后低黏高弹改性沥青的动态剪切流变试验结果见图 3。



图 1 沥青试样

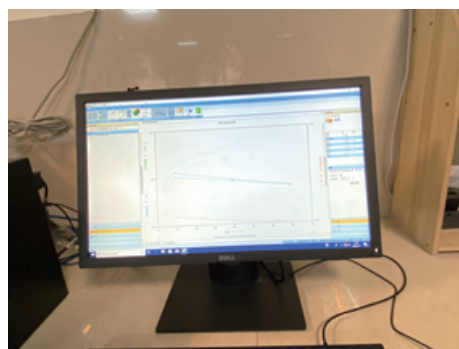
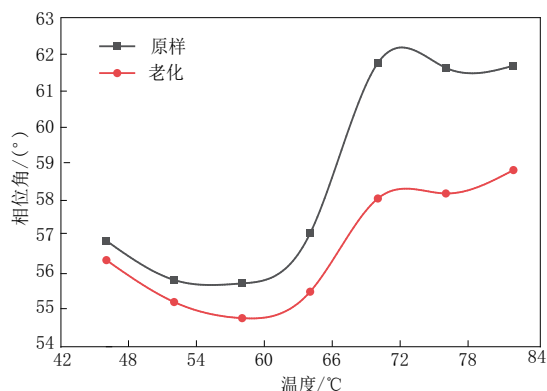
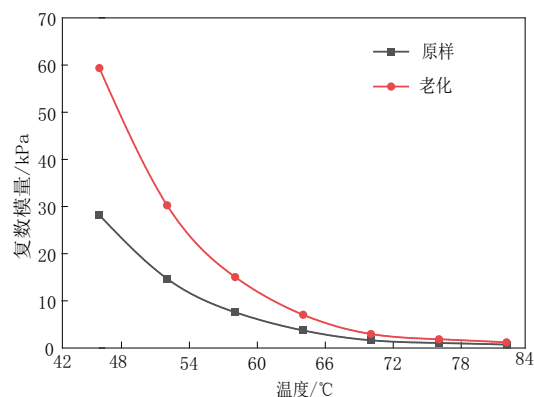


图 2 试验操作界面

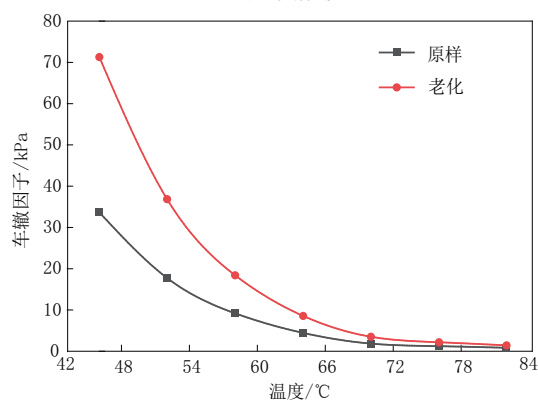
由图 3 可见,随着温度的升高,原样沥青、老化沥青的复数模量和车辙因子均急速下降,之后逐渐趋于平缓,这表明温度越高对沥青的高温抗车辙性能越不利。经过短期老化后,低黏高弹改性沥青的复数模量和车辙因子均明显增大,说明老化后沥青中的轻质组分向重组分转变,流动性有所降低,沥青变硬,高温抗变形能力增强^[6]。但在老化前后,复数模量和车辙因子随温度的变化规律基本保持一致。相位角随着温度的升高呈现先略微减小随后增大的趋势,这是由于随着温度的升高,沥青中的弹性部分更多地转化为黏性部分,应力应变滞后效应也随之变得更加明显,并且随着温度的升高而达到最大值。在整个温度变化范围内,低黏高弹改性沥青的相位角相对较小且变化范围不大。



(a) 相位角



(b) 复数模量



(c) 车辙因子

图 3 老化前后低黏高弹改性沥青动态剪切流变试验结果

在 76 ℃时,原样沥青和老化沥青的车辙因子分别为 1.2 kPa 和 2.2 kPa,参照美国 Superpave 沥青结合料规范^[7],该低黏高弹改性沥青的分级为 PG76,表明其具有良好的高温流变性能。我国夏季炎热时的高温范围大部分在 40~70 ℃,该沥青高温等级能够满足高温性能的需要^[8]。

1.3 低温性能测试

延度试验反映的是沥青胶结料在某一特定温度下的柔性,并不能真实反映路面实际使用时沥青胶结料的低温特性^[9],因此参照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》,对低黏高弹改性沥青进行弯曲梁流变试验,以便进一步评价其低温性能。同样选取原样沥青和老化沥青进行试验。弯曲梁流变试验过程

见图 4, 低黏高弹改性沥青的弯曲梁流变试验结果(蠕变劲度模量 S 、蠕变速率 m 值)见表 2。

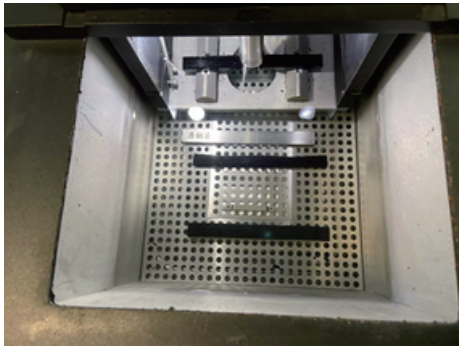


图 4 弯曲梁流变试验

表 2 低黏高弹改性沥青弯曲梁流变试验结果

温度 /℃	原样沥青		老化沥青	
	S/MPa	m 值	S/MPa	m 值
-12	37.3	0.472	77.6	0.376
-18	126.9	0.384	143.5	0.305

由表 2 可知,老化前后,低黏高弹改性沥青的蠕变劲度模量均随着温度的降低而增大,蠕变速率 m 值随着温度的降低而减小。沥青的蠕变劲度模量增大,蠕变速率减小,表明沥青的低温性能降低,老化过程中的物化反映削弱了改性沥青的低温抗裂性能^[9]。依据 SHRP 计划中 PG 分级的标准^[7],老化前后低黏高弹改性沥青的低温温度都达到 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$,表明改性沥青的低温抗裂性能优良,其 PG 分级为 PG76-18。

表 3 EMC-10 合成级配

单位: %

级配	筛孔尺寸 /mm								
	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
上限	100	100	44	33	26	22	18	16	10
中值	100	95	38	28	21	17	13	11	8
下限	100	90	32	23	16	12	8	6	6
合成	100	99	42	33	24	19	15	11	9

由表 4 可知,相应于稳定度最大值、密度最大值、目标空隙率的油石比分别为 5.3%、5.5%和 5.3%,取三者均值,得到最佳油石比 $\text{OAC}_1=5.4\%$ 。其中 $\text{OAC}_{\min}=5.2\%$, $\text{OAC}_{\max}=5.5\%$,从而得到 $\text{OAC}_2=5.4\%$ 。最终得到低黏高弹改性沥青混合料 EMC-10 的最佳油石比 $\text{OAC}=5.4\%$ 。

2.3 低黏高弹改性沥青混合料路用性能测试

为测试低黏高弹改性沥青混合料 EMC-10 的路用性能,采用上述确定的级配和最佳油石比成型沥青混合料,参照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》进行马歇尔试验、车辙试验、低温弯曲试验、冻融

2 低黏高弹改性沥青混合料组成设计与性能评价

为验证低黏高弹改性沥青混合料的路用性能,采用一种易密实级配(简称 EMC-10)成型沥青混合料,进行沥青混合料组成设计,并评价低黏高弹改性沥青混合料的路用性能。

2.1 原材料

集料采用 5~10 mm、3~5 mm、0~3 mm 3 档玄武岩碎石,填料采用石灰石磨细的矿粉。集料与矿粉性质均符合《公路工程沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)要求。

2.2 级配和最佳油石比设计

EMC-10 合成级配见表 3。采用 0.3%间隔变化,分别选择油石比 4.6%、4.9%、5.2%、5.5%、5.8%成型 5 组沥青混合料,测试各组沥青混合料试件的毛体积密度、空隙率、矿料间隙率、有效沥青饱和度、稳定度及流值,试验结果见表 4。

表 4 低黏高弹改性沥青混合料 EMC-10 马歇尔试验设计参数

技术指标	油石比 /%				
	4.6	4.9	5.2	5.5	5.8
毛体积密度 $\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	2.31	2.33	2.42	2.53	2.45
空隙率 $VV/\%$	5.67	5.33	4.22	3.72	3.36
矿料间隙率 $VMA/\%$	17.63	16.80	16.07	17.00	17.15
有效沥青饱和度 $VFA/\%$	67.83	68.27	73.73	78.11	80.40
稳定度 /kN	6.45	6.89	7.54	7.45	6.51
流值 /mm	3.17	3.65	3.72	3.94	4.38

劈裂试验、摆值试验和疲劳试验等,测试结果见表 5。

表 5 低黏高弹改性沥青混合料 EMC-10 的技术指标

技术指标	测试值	技术要求	试验方法
马歇尔稳定度 /kN	7.6	≥ 7	T0709
60℃动稳定度 $/(次\cdot\text{mm}^{-1})$	4 544	$\geq 3\ 000$	T0719
残留稳定度 /%	91.9	≥ 85	T0709
冻融劈裂强度比 /%	92.1	≥ 80	T0729
-10℃小梁弯曲极限应变 $/(μ\text{m}\cdot\text{m}^{-1})$	3 573	≥ 500	T0715
20℃摆值 /BPN	75	≥ 45	
四点弯曲疲劳次数(标载)/万次	≥ 100		T0739

由表5可知,低黏高弹改性沥青混合料 EMC-10 的马歇尔稳定度达到 7.6 kN,表明其具有较好的承受荷载能力。同时,EMC-10 的动稳定度达到 4 544 次/mm,表明其具有一定的抗高温车辙能力,可满足夏季炎热地区路面使用所需的技术要求。EMC-10 的残留马歇尔稳定度和冻融劈裂强度比分别为 91.9%和 92.1%,水稳定性良好。EMC-10 的最大弯拉应变达到了 3 573 $\mu\text{m}/\text{m}$,具备优异的低温抗裂性能,可适用于寒冷地区。EMC-10 的摆值达到 75,抗滑性能优异。标载下,EMC-10 的四点弯曲疲劳次数大于 100 万次,具有极为优异的疲劳性能。

3 结 语

(1)低黏高弹改性沥青具有高软化点、高弹性、高延性、低黏度,其中软化点达到 86 $^{\circ}\text{C}$,弹性恢复达到 98%,5 $^{\circ}\text{C}$ 延度达到 71 cm,135 $^{\circ}\text{C}$ 布氏旋转黏度仅为 1.05 $\text{Pa}\cdot\text{s}$,具有良好的高温稳定性及抵抗低温开裂的能力,同时具有良好的施工和易性。动态剪切流变试验和弯曲梁流变试验表明,低黏高弹改性沥青的 PG 分级为 PG76-18,完全能够满足高温性能和低温性能的需要。

(2)低黏高弹改性沥青混合料 EMC-10 的动稳定度达到 4 544 次/mm,残留马歇尔稳定度和冻融劈裂强度比均大于 90%,摆值达到 75,具有良好的高温稳定性、水稳定性及抗滑性能。其中,EMC-10 的最

大弯拉应变达到 3 573 $\mu\text{m}/\text{m}$,在标载下的四点弯曲疲劳次数大于 100 万次,具有优异的低温抗裂性和疲劳性能。

(3)高弹高强超薄罩面路面舒适,耐久性更优,成本相对较低,推广应用前景良好,可适用于养护资金缺乏的二级及以下公路,以及气候寒冷地区和需要冬季施工的地区。

参考文献:

- [1] 王海燕,王芳珍.公路养护中的沥青路面预防性养护技术应用分析[J].价值工程,2021,40(4):161-162.
- [2] 施彦,凌天清,崔立龙,等.沥青路面预防性养护评价标准及决策优化研究[J].公路交通科技,2020,37(10):25-34,56.
- [3] 蒋明举.公路养护中的沥青路面预防性养护技术研究[J].黑龙江交通科技,2021,44(5):205-206.
- [4] 雷勇,夏强斌,孙大权,等.中海高粘高弹 1-D 改性沥青性能研究[J].石油沥青,2014,28(3):12-14.
- [5] 李祖仲,李斌,张亚云,等.纳米硫 SBS 复合改性沥青的流变性质与微表构造[J].材料科学与工程学报,2020,38(3):425-430.
- [6] 周志刚,陈功鸿,张红波,等.橡胶粉/SBS 与高黏剂复合改性沥青的制备及性能研究[J].材料导报,2021,35(6):6093-6099.
- [7] Standard Method of Test for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR):AASH-T O T 315-2004[S].
- [8] 高俊锋,汪海年,尤占平,等.基于 MSCR 试验的生物沥青高温性能评价[J].华南理工大学学报(自然科学版),2017,45(11):24-30.
- [9] 史思强,杨玉晶,高林.高弹改性沥青的流变性响应[J].公路交通科技,2013,30(2):14-18,54.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com