

文章编号:1674-2974(2016)05-0125-06

欧洲岩沥青改性沥青结合料使用性能试验研究*

曾梦澜^{1†}, 赵宇¹, 潘浩志¹, 孟继军²

(1. 湖南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410082; 2. 天津港保税区鑫鑫和国际贸易有限公司, 天津 300457)

摘要:为探讨欧洲岩沥青改性沥青结合料使用性能的影响,在25%范围内对不同掺量的岩沥青改性沥青结合料进行实验室试验,并通过试验结果分析了基质沥青和改性沥青结合料的针入度、针入度指数、当量软化点、当量脆点、软化点、延度、黏度、RTFOT老化后的质量损失、残留针入度比和沥青老化指数等技术参数。试验结果与分析表明,随着岩沥青掺量的增加,岩沥青改性沥青结合料的高温性能、感温性能、可使用温度范围和抗老化性能得到明显改善。然而,随着岩沥青掺量的增加,岩沥青改性沥青结合料的低温性能与延度有所下降,有必要通过沥青混合料试验进一步评价岩沥青改性沥青的使用性能,尤其是低温特性。

关键词:试验;岩沥青;改性沥青;使用性能

中图分类号:U416.217

文献标识码:A

An Experimental Study on Performance of European Rock Asphalt Modified Asphalt Binder

ZENG Meng-lan^{1†}, ZHAO Yu¹, PAN Hao-zhi¹, MENG Ji-jun²

(1. College of Civil Engineering, Hunan Univ, Changsha, Hunan 410082, China;

2. Tianjin Port Free Trade Zone Shangshun International Trade Co, Ltd, Tianjin 300457, China)

Abstract: In order to explore the performance of European rock asphalt modified asphalt binder, laboratory tests on asphalt binder modified by different contents within 25% of the rock asphalt were carried out. On the basis of the test results, the properties of the modified asphalt binder such as penetration, penetration index, equivalent softening point, equivalent fracture point, softening point, ductility, viscosity, mass loss after RTFOT aging, retained penetration, and aging index were presented and analyzed. The test results and analyses indicated that the high-temperature behavior, temperature susceptibility, applicable temperature range, and aging resistance of rock asphalt modified asphalt binder were improved considerably as the rock asphalt content increased. However, the low temperature behavior and ductility of the rock asphalt modified asphalt binder were deteriorated by the increased rock asphalt content. Therefore, additional tests on the asphalt mixture are needed to evaluate the performance of the rock asphalt modified asphalt binder, particularly for low temperature behavior.

Key words: experiments; rock asphalt; modified asphalt; performance

* 收稿日期:2015-07-22

基金项目:湖南省交通运输厅科技进步与创新计划项目(201110)

作者简介:曾梦澜(1954-),男,湖南汉寿人,湖南大学教授,博士生导师

† 通讯联系人, E-mail: menglanzeng@hnu.edu.cn

随着社会经济的不断发展,道路交通量日益增多,车辆轴载不断加重,对沥青的使用性能要求越来越高.为了改善沥青的使用性能,近些年来天然沥青作为改性剂改性石油沥青受到国内外的广泛重视并得到了一定的推广^[1].目前我国所应用的天然沥青主要有北美岩沥青、特立尼达湖沥青、布敦岩沥青等,国产的天然沥青主要有青川岩沥青等^[2].

欧洲岩沥青是一种天然岩沥青,产自欧洲东南部巴尔干半岛.将其挖掘、机械粉碎后成为较细的颗粒,外观呈黑色;沥青质含量高,达到40%~60%.岩沥青软化点高、含氮量高、抗老化性能强,具有优良的路用性能^[3].欧洲岩沥青在国外应用较为广泛,然而国内对其研究较少,在一定程度上限制了其推广和应用.

为了更好地了解欧洲岩沥青对基质沥青的改性

效果,本文以岩沥青作为改性剂,按不同比例掺入基质沥青中制成岩沥青改性沥青结合料,并对不同掺量的岩沥青改性沥青进行实验室试验,分析不同掺量岩沥青改性沥青的温度敏感性、高温性能和低温性能,为欧洲岩沥青在工程中的应用提供理论依据.

1 试验材料

基质沥青采用70号A级道路石油沥青,基质沥青、岩沥青的技术性能指标^[4-5]和试验结果分别见表1和表2.由于规范中暂无欧洲岩沥青标准,表2中列出了青川岩沥青标准.根据表1和表2中的试验结果,本研究中试验用原材料均满足试验规范的技术要求.

表1 基质沥青技术指标

Tab.1 Technical properties of asphalt

技术指标	针入度(25℃) /(0.1 mm)	针入度 指数 PI	软化点 /℃	延度(15℃) /cm	闪点 /℃	溶解度 /%	密度(15℃) /(g·cm ⁻³)	RTFO后	
								质量变 化率/%	25℃残留针 入度比/%
试验结果	69.8	-1.10	46.3	>100	262	99.9	1.014	0.07	62.6
技术要求	60~80	-1.5~+1.0	≥46	≥100	≥260	≥99.5	实测	≤±0.8	≥61

表2 岩沥青技术指标

Tab.2 Technical properties of rock asphalt

技术 指标	灰分质量 分数/%	含水率 /%	粒度范围/%		
			4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm
试验结果	9.6	0.42	100	100	86
技术要求	≤15	≤2	100	95~100	>80

2 实验室试验

2.1 改性沥青的制备

将基质沥青加热到150℃,按照预定的掺配比例掺入岩沥青,边加边搅拌,以使岩沥青与基质沥青混合均匀,然后放入150~160℃的烘箱中,发育1h之后取出,在150~160℃的温度下用高速剪切仪以3000 r/min的转速剪切1h.当在搅拌过程中可以观察到沥青质地均匀,冷却后呈光滑的镜面时,即制得岩沥青改性沥青.本研究设定岩沥青掺量为基质沥青的5%,10%,15%,20%和25%.对于基质沥青也采用与改性沥青相同的加工过程,得到零掺量试样.

2.2 改性沥青的性能测试

针入度、软化点、延度、黏度和老化试验按JTGE 20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》进行^[6].其中针入度试验方法采用T 0604—2011“沥青针入度试验”;软化点试验方法采用T 0606—2011“沥青软化点试验(环球法)”;延度试验

方法采用T 0605—2011“沥青延度试验”;黏度试验方法采用T 0625—2011“沥青旋转黏度试验(布洛克菲尔德黏度计法)”;老化试验方法采用T 0610—2011“沥青旋转薄膜加热试验”.

3 试验结果分析

3.1 针入度试验结果

针入度是我国选择沥青标号的重要依据,针入度的大小反映沥青的软硬程度及稠度大小,对沥青路面的高温稳定性、低温抗裂性有重要的影响.不同掺量岩沥青改性基质沥青的针入度见图1.

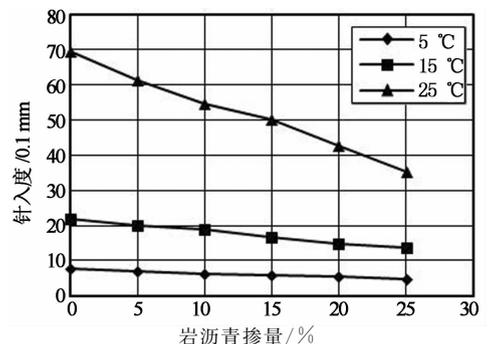


图1 不同温度下岩沥青改性沥青针入度与岩沥青掺量的变化关系

Fig.1 Penetrations of modified asphalt versus rock asphalt content at different temperatures

从图1可以看出,同一温度下,不同掺量岩沥青改性沥青的针入度均低于基质沥青,且沥青材料的针入度随着岩沥青掺量的增加而逐渐减小.以25℃为例进行分析,岩沥青掺量为5%,10%,15%,20%和25%时改性沥青的针入度与基质沥青相比分别下降了12.0%,21.6%,28.1%,38.7%,49.5%.说明岩沥青的掺入提高了基质沥青的稠度,改善了沥青抵抗变形的能力.另外,当岩沥青掺量为25%时,改性沥青针入度为35.3(0.1 mm),其沥青标号为30号.按JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》^[4]要求,30号沥青仅适用于沥青稳定基层.

针入度指数PI值是常用的沥青感温性能评价指标^[7],通常认为,PI值越大,沥青的温度敏感性越低^[8].沥青的针入度指数PI值可按式(1)和式(2)共同确定.将5℃,15℃和25℃3个不同温度下的针入度按式(2)进行直线回归,得到的针入度温度指数 A_{lgPen} ,代入式(1)计算,即可得针入度指数PI的值^[6].

$$PI = \frac{20 - 500 A_{lgPen}}{1 + 50 A_{lgPen}}, \quad (1)$$

$$\lg P = K + A_{lgPen} \times T. \quad (2)$$

式中: $\lg P$ 为不同温度条件下测得的针入度值的对数; T 为试验温度; K 为回归方程的常数项 a ; A_{lgPen} 为回归方程的系数 b .

不同掺量岩沥青改性沥青的针入度指数PI值见图2.从图中可以看出,岩沥青改性沥青的PI值均高于基质沥青,且随着岩沥青掺量的增加,PI整体呈增加的趋势.当岩沥青掺量从0%增加到25%时,PI值由-1.10增加到-0.64,且当掺量大于10%时,PI值增量明显.说明岩沥青的掺入减小了改性沥青的温度敏感性,也就是说温度对改性沥青性能的影响减小,改性沥青的感温性能得到显著改善.

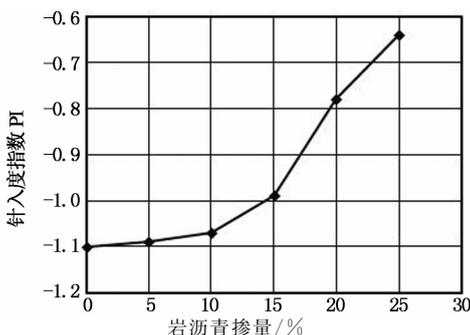


图2 不同掺量岩沥青改性沥青的PI值
Fig.2 Penetration index of rock asphalt modified asphalt in different content

当量软化点 T_{800} 是沥青的针入度为800(0.1 mm)时所对应的温度,可用来表示沥青的高温性能.当量软化点 T_{800} 可按式(3)进行计算,其中 A_{lgPen} 和 K 分别为式(2)回归得到的参数^[6].

$$T_{800} = \frac{\lg 800 - K}{A_{lgPen}} = \frac{2.9031 - K}{A_{lgPen}}. \quad (3)$$

不同掺量岩沥青改性沥青的当量软化点 T_{800} 见图3.从图3可以看出,岩沥青改性沥青当量软化点 T_{800} 的值呈上升趋势,且当岩沥青掺量大于10%时,当量软化点增加的幅度不断增大.这说明岩沥青的掺入可以改善基质沥青的高温性能,且随着岩沥青掺量的增加,高温性能的改善更加显著.

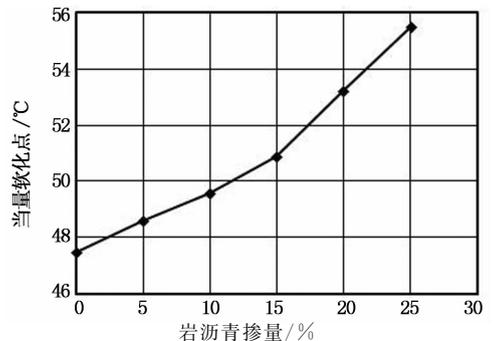


图3 不同掺量岩沥青改性沥青的当量软化点
Fig.3 Equivalent softening point of rock asphalt modified asphalt in different content

沥青在低温条件下容易产生脆性破坏,当量脆点 $T_{1.2}$ 是针入度为1.2(0.1 mm)时所对应的温度,可作为沥青结合料的低温抗开裂性能评价指标.当量脆点 $T_{1.2}$ 按式(4)进行计算,其中 A_{lgPen} 和 K 分别为式(2)回归得到的参数^[6].

$$T_{1.2} = \frac{\lg 1.2 - K}{A_{lgPen}} = \frac{0.0792 - K}{A_{lgPen}}. \quad (4)$$

不同掺量岩沥青改性沥青的当量脆点 $T_{1.2}$ 见图4.从图4可以看出,随岩沥青的掺量增加,岩沥青改性沥青当量脆点 $T_{1.2}$ 增大,这说明岩沥青改性沥青的低温性能有所下降.另外,当岩沥青掺量在0%~10%范围内时,岩沥青掺量每增加5%, $T_{1.2}$ 平均升高0.9℃;当岩沥青掺量在10%~20%范围内时,岩沥青掺量每增加5%, $T_{1.2}$ 平均升高0.4℃;当岩沥青掺量在20%~25%范围内时, $T_{1.2}$ 升高0.8℃.说明当掺量为10%~20%时,岩沥青对基质沥青低温性能的影响相对较小.

另外,本研究采用当量软化点 T_{800} 与当量脆点 $T_{1.2}$ 的差值,即 $T_{800} - T_{1.2}$ 的值来评价改性沥青的可使用温度范围与岩沥青掺量的关系.分析结果见图5.从图5中可以看出,改性沥青的可使用温度范围

随岩沥青掺量的增加呈增大趋势,这说明与对高温性能的改善相比,岩沥青的掺入对沥青低温性能不利影响相对较小;也说明与基质沥青相比,岩沥青改性沥青的可使用温度范围有所扩大。

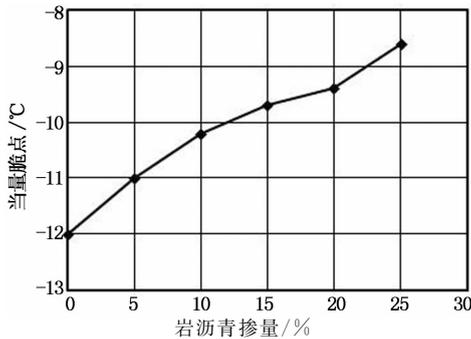


图4 不同掺量岩沥青改性沥青的当量脆点
Fig. 4 Equivalent fracture point of rock asphalt modified asphalt in different content

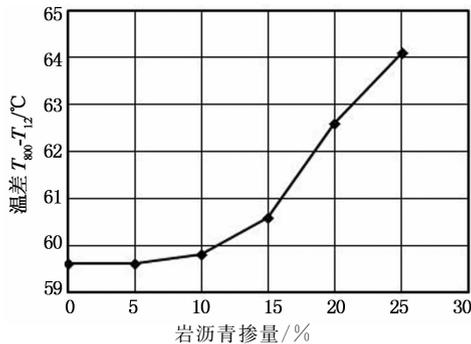


图5 岩沥青改性沥青可使用温度范围
Fig. 5 Service temperature range of rock asphalt modified asphalt

3.2 软化点试验结果

不同掺量岩沥青对基质沥青软化点的影响见图6.从图6中可以看出,岩沥青的掺入可显著地提高基质沥青的软化点,软化点随着岩沥青掺量的增加而不断增大,且软化点的变化规律和当量软化点 T_{800} 类似.这说明岩沥青的掺入提高了基质沥青的高温抗变形能力,改善了基质沥青的高温稳定性,且岩沥青改性沥青的高温性能随岩沥青掺量的增加而不断增强,当岩沥青掺量大于10%时其对基质沥青的改善效果更为明显;另外,软化点和当量软化点 T_{800} 这两个指标的相关性较好,两者均可以反映岩沥青改性沥青的高温性能,且对沥青性能的评价结果一致。

3.3 延度试验结果

本研究中,对岩沥青改性沥青进行15℃和10℃两种温度的延度试验.其中,基质沥青在15℃和10℃时延度值均超过100cm,而掺量为5%~25%的岩沥青改性沥青试验结果见图7.从图7可以看

出,岩沥青的掺入使沥青的延度大幅下降,且延度随着岩沥青掺量的增加而降低.当岩沥青掺量较小时,延度下降速度较快,当掺量超过10%时,下降速度趋于平缓.这说明岩沥青掺量的增加使改性沥青的低温性能逐渐降低,而当掺量超过10%时岩沥青的掺量对沥青低温性能的影响较小。

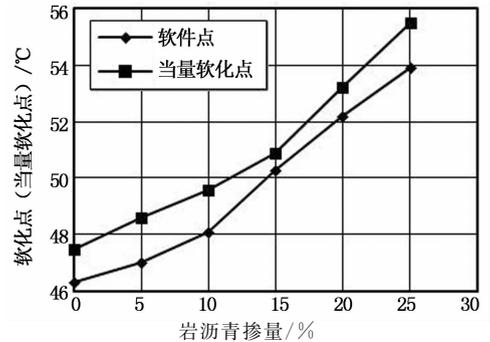


图6 不同掺量岩沥青改性沥青的软化点和当量软化点
Fig. 6 Softening point and equivalent softening point of rock asphalt modified asphalt in different content

另外,本研究中延度下降的一个主要原因是岩沥青中含有大量的矿物质颗粒,当试件被拉伸到一定的长度时,矿物质颗粒会产生应力集中的现象,直接影响试验结果.故沥青低温性能不能仅通过延度试验进行评价,本研究推荐结合改性沥青混合料的性能试验对沥青低温性能进行综合评价^[9]。

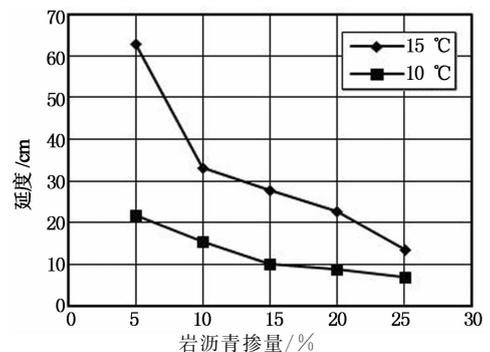


图7 不同掺量岩沥青改性沥青的延度
Fig. 7 Ductility of rock asphalt modified asphalt in different content

3.4 黏度试验结果

沥青的黏性是沥青在荷载的作用下抵抗流动变形的能力,其大小通常用黏度表示^[10],沥青的黏度可较真实地反映路面在高温条件下的使用情况^[11].沥青黏度越大,其在荷载作用下产生的剪切变形越小,弹性恢复能力越好,残留的永久性塑性变形越小,说明抵抗车辙的能力越强^[12-13].另外,JTG F 40-2004《公路沥青路面施工技术规范》^[4]要求,在温度为135℃时改性沥青的黏度不能超过3 Pa·s.试

验结果见图 8。

从图 8 可以看出,当试验温度相同时,岩沥青改性沥青的黏度随岩沥青掺量的增加而增大,当掺量大于 10% 时增幅较大.以 135 °C 黏度为例,岩沥青掺量为 10%,15%,20% 和 25% 的改性沥青,其黏度分别为基质沥青的 174%,199%,234%,298%.试验结果表明,岩沥青改性沥青在荷载作用下产生的剪切变形小,弹性恢复能力好,抗车辙能力强.同时,5%~25% 掺量的岩沥青改性沥青的 135 °C 黏度值均未超过 3 Pa·s,满足《公路沥青路面施工技术规范》的要求。

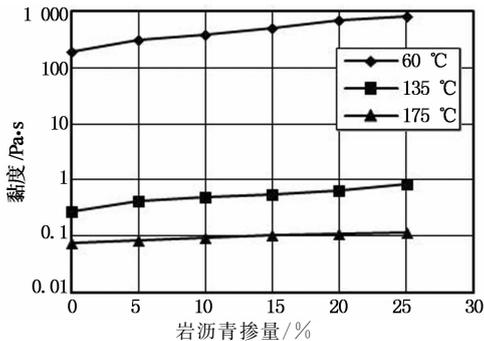


图 8 不同掺量岩沥青改性沥青黏度

Fig. 8 Viscosity of rock asphalt modified asphalt in different content

3.5 老化试验结果

RTFOT 老化是一种短期老化方式,反映了沥青在拌合装置中的性质变化.本研究通过比较沥青 RTFOT 老化前后物理性能的变化,对岩沥青改性沥青的抗老化性能进行分析和评价。

RTFO 试验后改性沥青的质量变化见图 9.从图 9 可以看出,岩沥青掺量越大,沥青的质量损失越大.然而,由于岩沥青中含有大量的矿物质成分和挥发性物质,这是造成质量损失的关键因素,直接影响试验的结果^[14].所以当岩沥青掺量增加时,沥青的质量损失增大并不能表明沥青的抗老化性能降低。

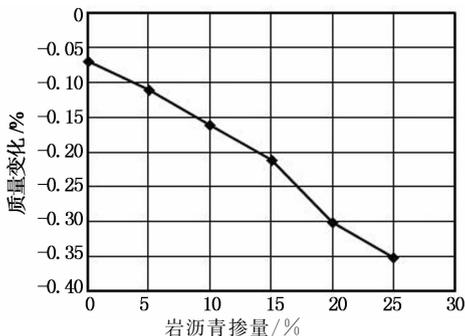


图 9 岩沥青改性沥青 RTFO 试验后的质量变化率

Fig. 9 Mass change after RTFO test of rock asphalt modified asphalt

岩沥青改性沥青 25 °C 时的残留针入度比见图 10.从图 10 可以看出,岩沥青掺量越大,沥青的残留针入度比越大.这说明随着岩沥青掺量的增加,沥青的抗老化性能得到了不断改善^[6].当岩沥青掺量超过 10% 时,残留针入度比的增量明显,岩沥青对基质沥青抗老化性能的改善更为显著。

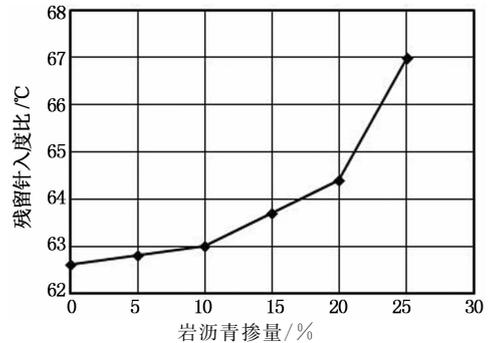


图 10 岩沥青改性沥青 25 °C 时的残留针入度比
Fig. 10 Penetration ratio of rock asphalt modified asphalt at 25 °C

沥青老化前后黏度的变化可以反映沥青的抗老化性能,通常用沥青老化指数 C 表示.故沥青的老化指数 C 可以作为其抗老化性能的指标,其计算公式见式(5)^[6].

$$C = \lg \lg(\eta_2 \times 10^3) - \lg \lg(\eta_1 \times 10^3). \quad (5)$$

式中: η_1 和 η_2 分别代表老化前后的 60 °C 黏度。

岩沥青改性沥青的沥青老化指数见图 11.从图 11 可以看出,岩沥青掺量越大,沥青的沥青老化指数越小.这说明随着岩沥青掺量的增加,沥青的抗老化性能得到改善。

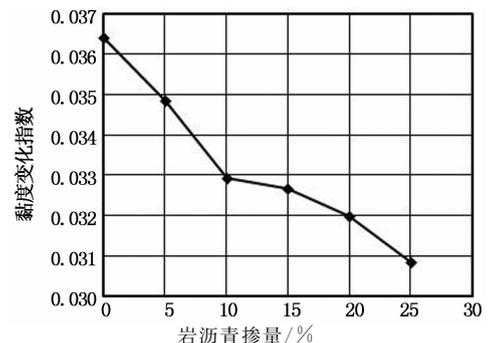


图 11 岩沥青改性沥青的沥青老化指数
Fig. 11 Asphalt aging index of rock asphalt modified asphalt

4 结论

本研究通过实验室沥青针入度试验、软化点试验、延度试验、黏度试验和 RTFO 老化试验,采用针入度、针入度指数、当量软化点、当量脆点、软化点、

延度、黏度、老化后的质量损失、残留针入度比和沥青老化指数作为指标,在25%掺量范围内,评价了不同掺量的欧洲岩沥青改性沥青结合料的高温性能、低温性能、感温性能和老化性能.试验结果和分析可以得出以下结论:

1)岩沥青改性沥青的针入度随着岩沥青掺量的增加而降低,而软化点和当量软化点 T_{800} 则随岩沥青掺量的增加而升高.说明岩沥青的掺入可以提高基质沥青的高温稳定性及抗变形能力,即岩沥青可以改善基质沥青的高温性能.

2)岩沥青改性沥青的延度随着岩沥青掺量的增加而降低,而当量脆点 $T_{1.2}$ 则随岩沥青掺量的增加而升高.说明岩沥青的掺入使基质沥青的低温抗裂性能有所减弱,即岩沥青对基质沥青的低温性能存在不利影响.然而,改性沥青的可使用温度范围随岩沥青掺量的增加呈增大趋势.说明与对高温性能的改善相比,岩沥青的掺入对沥青低温性能的不利影响相对较小.

3)针入度指数PI值随着岩沥青掺量的增加而增大,说明岩沥青改性沥青的温度敏感性较基质沥青小,且随岩沥青掺量的增加,改性沥青的温度敏感性逐渐减小,即岩沥青可显著地改善基质沥青的感温性能.

4)沥青黏度随着岩沥青掺量的增加而增大,说明随着岩沥青掺量的增加,改性沥青在荷载作用下产生的剪切变形减小,弹性恢复能力变好,抗车辙能力增强.135℃黏度值满足Superpave沥青结合料规范不大于 $3\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 的要求.

5)随着岩沥青掺量的增加,改性沥青老化前后的残留针入度比不断增大,沥青老化指数减小.说明岩沥青的掺入可改善基质沥青的抗老化性能.

参考文献

- [1] 马峰,傅珍,梁媛媛.国产天然沥青对基质沥青路用性能的影响[J].广西大学学报:自然科学版,2015,40(1):171-177.
MA Feng, FU Zhen, LIUAN Yuan-yuan. The effects on pavement performance of matrix asphalt modified with domestic natural rock asphalt[J]. Journal of Guangxi University: Natural Science, 2015, 40(1): 171-177. (In Chinese)
- [2] 季根忠,朱红旗,何宁德,等.国产天然沥青改性剂的开发[J].公路交通科技,2002,19(6):25-27.
JI Gen-zhong, ZHU Hong-qi, HE Ning-de, *et al.* Development of home-made natural asphalt modifier [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2002, 19(6): 25-27. (In Chinese)
- [3] 杨念君,胡方,宋小金.阿尔巴尼亚天然沥青(SLN120)改性

- 沥青混合料路用性能研究[J].湖南交通科技,2014,40(3):26-28.
- YANG Nian-jun, HU Fang, SONG Xiao-jin. Research on performance of Albania natural asphalt(SLN120) modified asphalt mixture[J]. Hunan Communication Science and Technology, 2014, 40(3): 26-28. (In Chinese)
- [4] JTG F40-2004 公路沥青路面施工技术规范[S].北京:人民交通出版社,2004:9-10.
JTG F40-2004 Technical specifications for construction of highway asphalt pavements[S]. Beijing: China Communications Press, 2004: 9-10. (In Chinese)
- [5] JT/T 860.5-2014 沥青混合料改性添加剂第5部分:天然沥青[S].北京:人民交通出版社,2014:1-2.
JT/T 860.5-2014 Modifier for asphalt mixture — Part 5: Natural asphalt [S]. Beijing: China Communications Press, 2014: 1-2. (In Chinese)
- [6] JTG E20-2011 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].北京:人民交通出版社,2011:10-109.
JTG E20-2011 Standard test methods of bitumen and bituminous mixtures for highway engineering [S]. Beijing: China Communications Press, 2011: 10-109. (In Chinese)
- [7] HADIWARDYO S P, SINAGA E S, FIKRI H. The influence of Buton asphalt additive on skid resistance based on penetration index and temperature[J]. Construction and Building Materials, 2013, 42(9):5-10.
- [8] 沈金安.沥青及沥青混合料路用性能[M].北京:人民交通出版社,2001:80-102.
SHEN Jin-an. Performance of asphalt and asphalt mixture [M]. Beijing: China Communications Press, 2001: 80-102. (In Chinese)
- [9] YILMAZ M, ÇELOGLU M E. Effects of SBS and different natural asphalts on the properties of bituminous binders and mixtures [J]. Construction and Building Materials, 2013, 44(3):533-540.
- [10] 汪海年,高俊锋,赵欣,等.基于DSR和RV的生物沥青结合料流变特性研究[J].湖南大学学报:自然科学版,2015,42(6):26-33.
WANG Hai-nian, GAO Jun-feng, ZHAO Xin, *et al.* Rheological properties on bio-binder based on DSR and RV [J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 2015, 42(6): 26-33. (In Chinese)
- [11] 吴超凡,曾梦澜,王茂文,等.添加Sasobit温拌沥青混合料的拌合与压实温度确定[J].湖南大学学报:自然科学版,2010,37(8):1-5.
WU Chao-fan, ZENG Meng-lan, WANG Mao-wen, *et al.* Determination of the mixing and compaction temperatures for warm mix asphalt with Sasobit [J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 2010, 37(8): 1-5. (In Chinese)
- [12] AMERI M, MANSOURIAN A, ASHANI S S, *et al.* Technical study on the iranian gilsonite as an additive for modification of asphalt binders used in pavement construction [J]. Construction and Building Materials, 2011, 25(3): 1379-1387.
- [13] KÖK B V, YILMAZ M, GULER M. Evaluation of high temperature performance of SBS + Gilsonite modified binder [J]. Fuel, 2011, 90(10):3093-3099.
- [14] 李瑞霞.BRA岩沥青及其混合料技术特性研究[D].西安:长安大学公路学院,2010:75-78.
LI Rui-xia. Research on the technical characteristic of the Buton rock asphalt and asphalt mixture [D]. Xi'an: School of Highway, Chang'an University, 2010: 75-78. (In Chinese)