

布敦岩沥青湿法工艺掺量对 改性沥青混合料性能的影响

曾梦澜[†], 陈伟, 朱艳贵, 梁衡国

(湖南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410082)

摘要:为研究采用湿法工艺布敦岩沥青掺量对改性沥青混合料使用性能的影响,采用70号A级道路石油沥青作为基质沥青,制备了最大掺量为基质沥青40%的布敦岩沥青改性沥青.进而采用石灰岩集料,对不同掺量改性沥青进行了AC-20C的沥青混合料马歇尔配合比设计.通过实验室试验,确定了不同掺量布敦岩沥青改性沥青混合料的车辙试验动稳定度、浸水马歇尔试验残留稳定度与冻融劈裂试验残留强度比、弯曲试验破坏应变、渗水系数,还有20℃、15℃抗压回弹模量、15℃劈裂抗拉强度.试验结果与结果分析表明,随着布敦岩沥青掺量的增加,改性沥青混合料的高温稳定性、水稳定性、抗渗性、刚度和强度均不同程度逐渐得到提高.随着布敦岩沥青掺量的增加,改性沥青混合料的低温抗裂性先提高至一峰值,然后略有回落.对于路用沥青混合料,推荐的布敦岩沥青掺量上限为基质沥青的30%.

关键词:沥青混合料;改性沥青;布敦岩沥青;湿法工艺;使用性能

中图分类号:U416.217

文献标志码:A

Effects of Proportion of Buton Rock Asphalt on Performance of Modified Asphalt Mixture with Wet Method

ZENG Menglan[†], CHEN Wei, ZHU Yangui, LIANG Hengguo

(College of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: In order to investigate the effect of proportion of buton rock asphalt on the performance of modified asphalt mixture with wet method, Penetration 70 Grade A petroleum asphalt was used as base asphalt for preparing the modified asphalt binder containing rock asphalt up to 40% of the base asphalt. Limestone aggregate was used in designing the AC-20C asphalt mixture of various percentages of rock asphalt by using Marshall method. Laboratory tests were carried out to determine the properties of the asphalt mixture modified with Buton rock asphalt. These properties include dynamic stability from rutting test, retained Marshall stability from immersion Marshall test, tensile strength ratio from freeze-thaw indirect tension test, failure strain from low temperature flexural test, water permeability coefficient from permeability test, compressive resilient moduli from compression tests at 20 °C and 15 °C, and tensile strength from indirect tension test at 15 °C. The test results and analyses indicate that with the increase of rock asphalt percentage, the high temperature rutting resistance, moisture damage resistance, permeability resis-

* 收稿日期:2017-12-24

基金项目:湖南省交通运输厅科技进步与创新计划项目(201110), Advance and Innovation Project in Science and Technology of Hunan Department of Transportation(201110)

作者简介:曾梦澜(1954—),男,湖南汉寿人,湖南大学教授,博士

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

tance, stiffness, and strength of the modified asphalt mixture improve gradually to varying degrees. On the other hand, with the increase of rock asphalt percentage, the low temperature cracking resistance of the modified asphalt mixture improves to a peak value and then falls back slightly. The recommended maximum percentage of Buton rock asphalt for paving asphalt mixture is 30% of the base asphalt.

Key words: asphalt mixture; modified asphalt; Buton rock asphalt; wet method; performance

近年来,城市道路与高速公路交通量大和车辆轴载重是普遍存在的现象.为了适应这一现象,减少沥青路面的早期损坏,提高其长期稳定性和耐久性,实际工程中常常采用经过改性的高性能沥青混合料,道路科技研究者为此在改性沥青方面作了相当多的研究.目前,在国内外工程中应用较多的是 SBS、SBR、EVA、PE 等聚合物改性沥青.各种改性沥青在改性方面都有其优缺点.当实际工程要求较高的沥青混合料使用性能时,可以采用复合改性沥青,即用 2 种或者 2 种以上改性剂对基质沥青进行改性,最常用的方式是 SBS 与其他改性剂复合^[1-2].除了聚合物,天然沥青也常被用作改性剂.天然沥青包括岩沥青、湖沥青、海底沥青,由于天然沥青与基质沥青都是石油的衍生物,故能很好地与基质沥青相融合并能有效改善沥青混合料的使用性能^[3-9].在岩沥青中,最具代表性的有北美岩沥青和布敦岩沥青.

本文采用的改性剂为布敦岩沥青.布敦岩沥青是一种产自印度尼西亚布敦岛的天然沥青,沥青含量达 20%~30%,其余的部分均为石灰岩矿物质.布敦岩沥青具有软化点高、不含蜡、含氮量高、抗老化性能强、化学性质较稳定等优点.由于布敦岩沥青中沥青含量较低,故布敦岩沥青不宜直接作为沥青混合料的结合料使用.为了使布敦岩沥青的优良技术性能在沥青混合料中得到较好的发挥,可将其作为改性剂少量掺加到基质沥青中制成改性沥青.布敦岩改性沥青能有效改善路面的使用性能,而且还具有施工工艺简便以及价格经济合理等优点,因而近些年来在工程实践中受到了人们的广泛关注.

为了更加深入研究布敦岩沥青掺量对沥青混合料使用性能的影响,本文拟通过实验室试验,采用湿法工艺,先将不同掺量布敦岩沥青加入基质沥青中制备出改性沥青,再利用改性沥青制作改性沥青混合料试样,然后对各掺量改性沥青混合料进行各使用性能试验并分析其试验结果,确定布敦岩沥

青掺量对改性沥青混合料使用性能的影响,最后推荐布敦岩沥青的合适掺量,为布敦岩改性沥青混合料的工程应用提供指导.

1 试验材料

1.1 原材料

实验室试验采用的基质沥青是 70 号 A 级道路石油沥青,改性剂是产自印尼的布敦岩沥青.表 1 为 70 号基质沥青在实验室试验得出的主要技术指标的结果,可以看出通过实验室试验得到的 70 号沥青主要技术指标的结果均满足 JTG F40-2004《公路沥青路面施工技术规范》的技术要求^[10].表 2 为布敦岩沥青在实验室试验得出的主要技术指标的结果,可以看出通过实验室试验得到的布敦岩沥青主要技术指标的结果均满足 JT/T 860.5-2014《沥青混合料改性添加剂第 5 部分:天然沥青》的技术要求^[11].

制作沥青混合料试样采用的粗、细集料均为石灰岩,填料为石灰岩矿粉,其通过实验室试验得到的主要技术指标的结果均满足 JTG F40-2004《公路沥青路面施工技术规范》^[10]的技术要求.

表 1 基质石油沥青技术指标

Tab.1 Technical properties of base petroleum asphalt

技术指标	技术要求	试验结果
针入度(25 °C, 5 s, 100 g)/(0.1 mm)	60~80	69.2
针入度指数 PI	-1.5~+1.0	-1.10
软化点/°C	≥46	47.0
延度(15 °C)/cm	≥100	>100
闪点/°C	≥260	264
溶解度/%	≥99.5	99.9
密度(15 °C)/(g·cm ⁻³)	实测	1.043
质量损失/%	≤±0.8	0.06
RTFOT 后 残留针入度比(25 °C)/%	≥61	88.7

表2 布敦岩沥青技术指标

Tab.2 Technical properties of Buton rock asphalt

技术指标	技术要求	试验结果
沥青含量/%	≥18	25.3
三氯乙烯溶解度/%	≥18	25.3
密度/(g·cm ⁻³)	≤1.9	1.7
含水量/%	≤2.0	<1.0
矿物最大颗粒/mm	≤2.0	1.18

制作沥青混合料试样采用的粗、细集料均为石灰岩,填料为石灰岩矿粉,其通过实验室试验得到的主要技术指标的结果均满足 JTG F40-2004《公路沥青路面施工技术规范》^[10]的技术要求。

1.2 改性沥青的制备

为将岩沥青均匀有效地掺入沥青混合料中,常用的方法有干法和湿法两种.干法的具体步骤是先将加热至规定温度的粗细集料放入拌合机中,然后加入准备好的一定质量的布敦岩沥青粉末拌合 90 s,再加入基质沥青拌合 90 s,最后将加热好的矿粉加入拌合机中再拌合 120 s,即得到布敦岩改性沥青混合料.湿法的具体步骤是先将布敦岩沥青加入基质沥青得到布敦岩改性沥青,然后将加热至规定温度的布敦岩改性沥青和粗细集料放入拌合机中拌合 90 s,最后将加热好的矿粉加入进拌合机中再拌合 120 s^[12].本实验室试验采用的方法是湿法^[12].

采用湿法制备布敦岩改性沥青的具体步骤是先将 70 号沥青放入烘箱加热至 150℃左右,然后将计算好的一定质量的布敦岩沥青粉末慢慢加入基质沥青中并且边加边搅拌,使得两种沥青能够较好地混合均匀,将混合好的沥青放入温度为 155℃左右的烘箱中 1 h 后取出来,最后用高速剪切仪以 3 000 r/min 的转速在 155℃左右的油浴温度下搅拌 1 h 后即制得布敦岩改性沥青.本研究采用的布敦岩沥青掺量分别为基质沥青质量的 0%、10%、20%、30%和 40%。

2 混合料设计

沥青混合料的配合比设计采用 JTG F40-2004《公路沥青路面施工技术规范》中的马歇尔试验设计方法^[10].沥青混合料采用公称粒径为 20 mm 的粗型密级配沥青混凝土混合料,即 AC-20C 沥青混合料.先将 5 种不同掺量的布敦岩改性沥青掺入基质沥青中制成改性沥青结合料,再与相同级配的集料混合制备成改性沥青混合料 AC-20C,表 3 为集料级配组成。

表3 AC-20C 沥青混合料的集料级配

Tab.3 Gradation of AC-20C asphalt mixture aggregate

筛孔尺寸/mm	通过不同尺寸筛孔的质量百分率/%		
	级配上限	级配下限	合成级配
26.5	100	100	100.0
19.0	100	90	95.0
16.0	92	78	83.0
13.2	80	62	68.0
9.50	72	50	58.0
4.75	56	26	37.0
2.36	44	16	24.0
1.18	33	12	18.8
0.60	24	8	13.8
0.30	17	5	10.4
0.15	13	4	8.1
0.075	7	3	5.3

为了确定不同掺量布敦岩改性沥青混合料拌合和压实温度,测定了 5 种不同掺量布敦岩改性沥青不同温度的黏度并绘制了黏温曲线,采用等黏度原则确定不同掺量布敦岩改性沥青混合料的拌和与压实温度^[13].为确定不同掺量布敦岩改性沥青混合料最佳油石比,制作了不同布敦岩沥青掺量不同油石比的马歇尔试件.根据马歇尔混合料设计方法及试验结果分析得到布敦岩沥青掺量为 0%、10%、20%、30%和 40%的沥青混合料的最佳油石比分别为 4.7%、5.2%、5.4%、5.6%和 5.6%.随后用作使用性能试验的试样,均以相应最佳油石比制作。

3 试验结果与分析

3.1 高温稳定性

沥青混合料是一种典型的黏弹性材料,由于沥青具有流变特性,故在高温条件下承受荷载作用后会产生一定的永久变形.沥青路面形成的车辙、搓板、拥包、泛油、推移等现象是沥青混合料高温稳定性较差导致的结果^[14].本研究对不同布敦岩沥青掺量制作的沥青混合料试件进行了车辙试验,以检验其高温稳定性.试验采用的方法为 JTG E20-2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中 T0719-2011“沥青混合料车辙试验”方法^[15].

图 1 为不同掺量布敦岩改性沥青混合料的室内车辙试验的动稳定度.图 1 显示,沥青混合料的动稳定度随着布敦岩沥青掺量的增加而逐渐增

大.掺量为 0%、10%、20%、30%、40%时,沥青混合料的动稳定度分别为 1 390 次/mm、1 672 次/mm、2 437 次/mm、2 946 次/mm、3 258 次/mm. 基质沥青混合料与布敦岩改性沥青混合料相比较可见,掺 10%、20%、30%、40%岩沥青的改性沥青混合料的动稳定度分别提高了 20%、75%、112%、134%. 由此可以看出,布敦岩沥青的掺入显著提高了混合料在高温条件下抗车辙能力. 布敦岩沥青之所以能提高沥青混合料的高温稳定性,其原因是布敦岩沥青软化点高,制备出的改性沥青的软化点同样也得到了提高,从而提高了沥青混合料的抵抗永久变形的能力^[7].

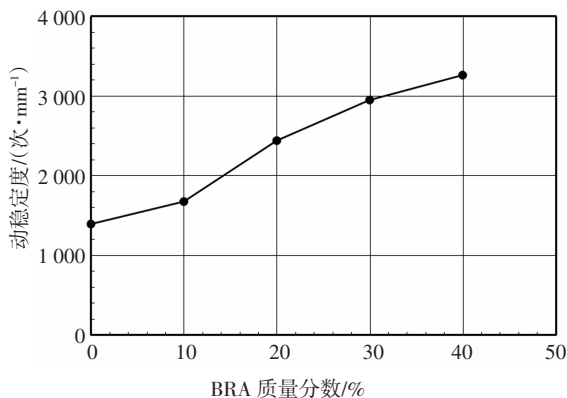


图 1 布敦岩沥青改性沥青混合料的动稳定度
Fig.1 Dynamic stabilities of Buton rock asphalt modified asphalt mixture

图 2 为不同布敦岩沥青掺量最佳油石比下马歇尔试件的稳定度、流值及马歇尔模数.图 2 显示,沥青混合料的稳定度和马歇尔模数随着布敦岩沥青掺量的增加而逐渐增大,而沥青混合料的流值随着布敦岩沥青掺量的增加而逐渐减小.掺量为 0%、10%、20%、30%、40%时,沥青混合料的稳定度分别为 9.23 kN、9.67 kN、9.81 kN、10.83 kN、11.30 kN. 基质沥青混合料与布敦岩改性沥青混合料相比较可见,掺 10%、20%、30%、40%岩沥青的改性沥青混合料的稳定度分别提高了 4.0%、6.3%、17.3%、22.4%. 掺量为 0%、10%、20%、30%、40%时,沥青混合料的流值分别为 3.31 mm、3.24 mm、2.85 mm、2.57 mm、2.35 mm.基质沥青混合料与布敦岩改性沥青混合料相比较可见,掺 10%、20%、30%、40%岩沥青的改性沥青混合料的流值分别降低了 2.1%、13.9%、22.4%、29.0%. 掺量为 0%、10%、20%、30%、40%时,沥青混合料的马歇尔模数分别为 2.79 kN/mm、2.98 kN/mm、3.44 kN/mm、4.21 kN/mm、4.81 kN/mm. 基质

沥青混合料与布敦岩改性沥青混合料相比较可见,掺 10%、20%、30%、40%岩沥青的改性沥青混合料的马歇尔模数分别提高了 7.0%、23.4%、51.1%、72.4%.从以上数据可以看出,布敦岩沥青的掺入使得沥青混合料的高温承载能力以及高温抗变形能力都得到了有效的提高.

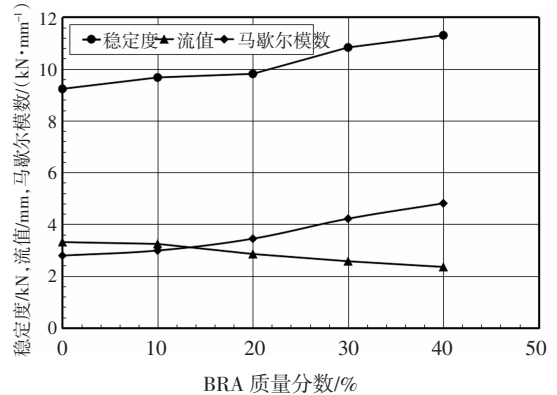


图 2 布敦岩沥青改性沥青混合料的马歇尔试验指标
Fig.2 Marshall properties of Buton rock asphalt modified mixture

3.2 水稳定性

水损害是指沥青路面在存在水分的条件下,进入路面孔隙中的水经过车辆荷载的反复作用产生动水压力和循环真空负压抽吸,集料和沥青的接触面上逐渐被水侵入,使得集料之间的黏结力丧失,导致沥青混合料产生松散和掉粒,沥青路面产生坑槽的损坏现象^[14].本研究对不同布敦岩沥青掺量制作的沥青混合料试件进行了浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验,以检验其水稳定性.试验采用的方法分别为 JTG E20-2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中 T0709-2011“沥青混合料马歇尔稳定度试验”方法和 T0729-2000“沥青混合料冻融劈裂试验”方法^[15].

图 3 为不同掺量布敦岩沥青改性沥青混合料的室内浸水马歇尔试验与冻融劈裂试验结果.图 3 显示,随着布敦岩沥青掺量的增大,掺量为 0%、10%、20%、30%、40%时,沥青混合料的残留稳定度分别为 86.6%、88.6%、92.3%、95.8%、97.1%,残留强度比分别为 84.2%、85.4%、87.3%、90.3%、91.7%.与基质沥青混合料相比,掺 10%、20%、30%、40%沥青的改性沥青混合料的残留稳定度分别提高了 2.0%、5.7%、9.2%、10.6%,残留强度比分别提高了 1.2%、3.1%、6.1%、7.5%.由此可以看出,布敦岩沥青的掺入有效地改善了混合料的水稳定性. 布敦岩改性沥

青之所以能提高沥青混合料的水稳定性,其原因是布敦岩沥青含氮量高,且都是以官能团的形式存在^[7].

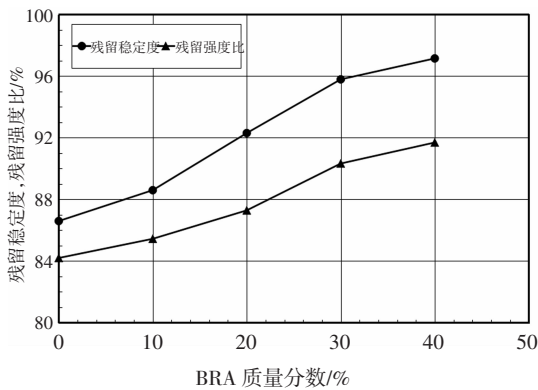


图3 布敦岩沥青改性沥青混合料的浸水马歇尔残留稳定度与冻融劈裂残留强度比

Fig.3 Retained Marshall stabilities and indirect tensile strength ratios of Buton rock asphalt modified asphalt mixture

3.3 低温抗裂性

沥青是一种感温性材料,温度的变化会使其力学性能发生很大的变化.在气温较低时沥青混合料内部产生的温度应力若大于其抗拉强度则会导致沥青混合料低温开裂^[14].本研究对不同布敦岩沥青掺量制作的沥青混合料试件进行了低温弯曲试验,以检验其低温抗裂性.试验采用的方法为 JTG E20-2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中 T0715-2011“沥青混合料弯曲试验”方法^[15].

图4为不同掺量布敦岩沥青改性沥青混合料的室内低温弯曲试验结果.图4显示,低温弯曲试验破坏应变随着布敦岩沥青的掺量的增加先增大后减小.布敦岩沥青掺量为10%、20%、30%时,沥青混合料的低温弯曲试验破坏应变从基质沥青混合料的 $2\ 114\ \mu\epsilon$ 增大到 $2\ 310\ \mu\epsilon$ 、 $2\ 581\ \mu\epsilon$ 、 $2\ 652\ \mu\epsilon$,当布敦岩沥青掺量继续增加到40%时,低温弯曲试验破坏应变又减小为 $2\ 540\ \mu\epsilon$,基质沥青混合料与布敦岩改性沥青混合料相比较可见,掺10%、20%、30%、40%岩沥青的改性沥青混合料的破坏应变分别提高了9.3%、22.1%、25.4%、20.1%.由此可以看出,在一定掺量范围内,布敦岩沥青掺量的增加能逐渐改善沥青混合料的低温抗裂性能,超过一定掺量后,其低温抗裂性能的改善又略微有所下降.图4还显示,沥青混合料的低温弯曲劲度模量随布敦岩沥青的掺量的增加而增大.说明布敦岩沥青掺量越高,沥青混合料低温的刚度越大,抵抗荷载的能力越强.

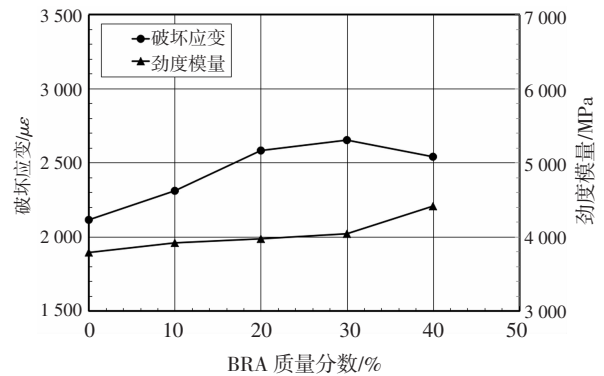


图4 布敦岩沥青改性沥青混合料的低温弯曲破坏应变与劲度模量

Fig.4 Low temperature flexural failure strains and stiffness moduli of Buton rock asphalt modified asphalt mixture

3.4 抗渗性

渗水是沥青路面早期破坏的主要原因之一,水通过路面渗透进入路基,渗入水的路基经过车辆荷载的反复作用会被掏空,丧失其承载能力,从而最终导致路面破坏.本研究对不同布敦岩沥青掺量制作的沥青混合料试件进行了渗水试验,以检验其抗渗性.试验采用的方法为 JTG E20-2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中 T0730-2011“沥青混合料渗水试验”方法^[15].

不同掺量布敦岩沥青改性沥青混合料的渗水试验结果见图5.图5显示,渗水系数随岩沥青掺量增加而减小.掺量为0%、10%、20%、30%、40%的沥青混合料的渗水系数分别为 $65.2\ \text{mL}/\text{min}$ 、 $60.0\ \text{mL}/\text{min}$ 、 $54.5\ \text{mL}/\text{min}$ 、 $50.4\ \text{mL}/\text{min}$ 、 $48.3\ \text{mL}/\text{min}$.与基质沥青混合料相比,掺10%、20%、30%、40%岩沥青的改性沥青混合料的渗水系数分别降低了8.0%、16.4%、22.7%、25.9%.由此可以看出,布敦岩沥青的掺入有效地提高了沥青混合料的抗渗性,且布敦岩沥青掺量越高,沥青混合料的抗渗性越好.

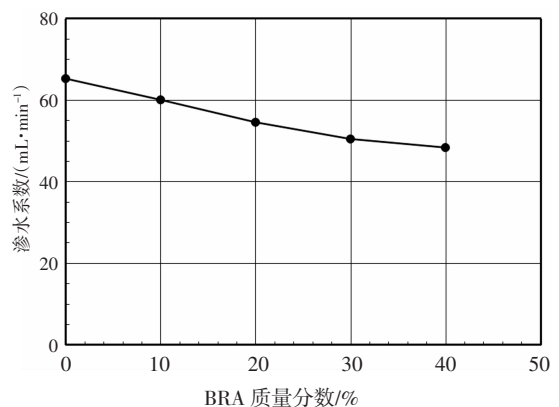


图5 布敦岩沥青改性沥青混合料的渗水系数
Fig.5 Water permeability coefficients of Buton rock asphalt modified asphalt mixture

3.5 路面设计参数

我国现行沥青路面结构设计方法使用的理论是双圆垂直均布荷载作用下的弹性层状连续体系,路面结构层厚度设计采用的设计指标为沥青混合料面层和半刚性基层材料层底拉应力以及路表面的回弹弯沉值^[16].用沥青混合料抗压回弹模量作为设计参数来计算路面回弹弯沉值指标时,沥青混合料的室内试验温度采用 20 ℃;用沥青混合料抗压回弹模量与劈裂强度作为设计参数来计算路面沥青混合料材料层底拉应力指标时,沥青混合料的室内试验温度采用 15 ℃.因此,抗压回弹模量和劈裂强度既是材料的使用性能,同时也是路面结构设计必需的材料参数.

本研究对不同布敦岩沥青掺量制作的沥青混合料试件进行了单轴压缩试验,以测定其抗压回弹模量.试验采用 JTG E20-2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中 T0713-2000“沥青混合料单轴压缩试验(圆柱体法)”方法进行^[15].不同掺量布敦岩沥青改性沥青混合料 20 ℃与 15 ℃的室内单轴压缩试验结果分别见图 6 与图 7.图 6 与图 7 显示,沥青混合料的 20 ℃与 15 ℃的抗压强度与抗压回弹模量均随着布敦岩沥青掺量的增加而增大.以图 6 中 20 ℃时保证率为 95%的沥青混合料抗压回弹模量为例,基质沥青混合料与布敦岩改性沥青混合料相比较可见,掺 10%、20%、30%、40%岩沥青的改性沥青混合料的抗压回弹模量分别提高了 15.9%、24.8%、32.2%、38.2%.由此可以看出,在沥青混合料中掺入布敦岩沥青有效地提高了其刚度,增强了其抵抗变形的能力.当以回弹弯沉值作为设计指标时,采用布敦岩沥青改性沥青混合料,路面可以承担更多的车辆荷载,从而可延长道路的使用寿命.

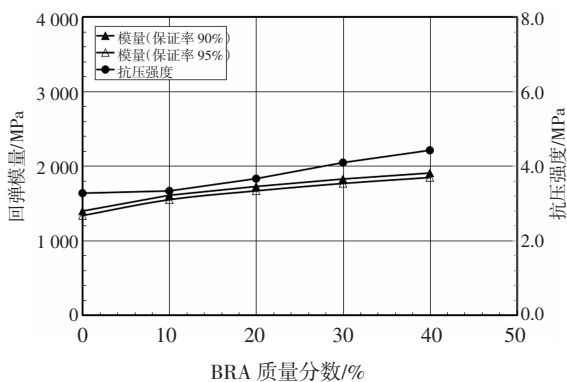


图 6 布敦岩沥青改性沥青混合料 20 ℃单轴压缩试验结果

Fig.6 Results of compression tests at 20 °C for Buton rock asphalt modified asphalt mixture

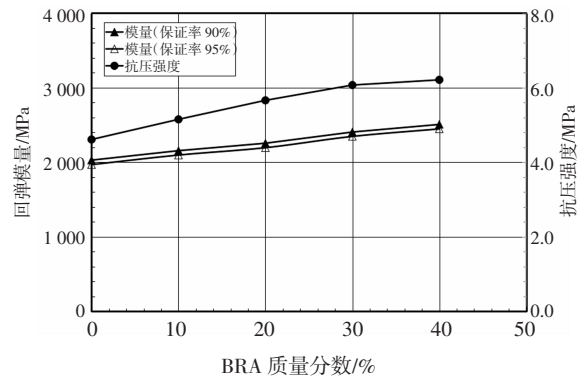


图 7 布敦岩沥青改性沥青混合料 15 ℃单轴压缩试验结果

Fig.7 Results of compression tests at 15 °C for Buton rock asphalt modified asphalt mixture

此外,本研究还对不同布敦岩沥青掺量制作的沥青混合料试件进行了劈裂试验,以测定其劈裂抗拉强度.试验采用 JTG E20-2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中 T0716-2011“沥青混合料劈裂试验”方法进行^[15].图 8 为不同掺量布敦岩沥青改性沥青混合料的室内劈裂试验结果.图 8 显示,沥青混合料的 15 ℃劈裂试验的劈裂抗拉强度随着布敦岩沥青掺量的增加逐渐增大.掺量为 0%、10%、20%、30%、40%时,沥青混合料的抗拉强度分别为 1.54 MPa、1.56 MPa、1.61 MPa、1.68 MPa、1.72 MPa.基质沥青混合料与布敦岩改性沥青混合料相比较可见,掺 10%、20%、30%、40%岩沥青的改性沥青混合料的抗拉强度分别提高了 1.4%、4.8%、8.9%、12.0%.由此可以看出,布敦岩沥青的掺入有效地提高了沥青混合料的抗拉强度,增强了其抵抗荷载的能力.当以层底拉应力作为设计指标时,采用布敦岩沥青改性沥青混合料,路面可以承受更大的车辆荷载,从而提高道路的服务水平.

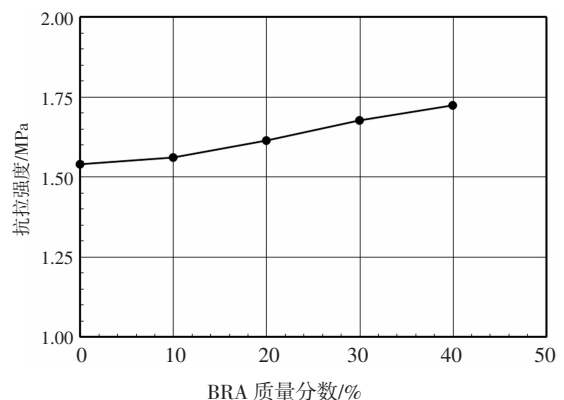


图 8 布敦岩沥青改性沥青混合料 15 ℃劈裂试验结果

Fig.8 Results of indirect tensile tests at 15 °C for Buton rock asphalt modified asphalt mixture

3.6 布敦岩沥青推荐掺量

实验室试验结果显示,在基质沥青的40%范围内,布敦岩沥青的掺加可以不同程度提高沥青混合料的高温稳定性、水稳定性、低温抗裂性、抗渗透性,提高沥青混合料的抗压回弹模量及劈裂抗拉强度。需要指出的是,布敦岩沥青的掺入将使沥青结合料的稠度增加。沥青结合料稠度的增加可能导致混合料低温抗裂性的降低,由图3可见,当布敦岩沥青的掺量超过30%以后,低温弯曲试验破坏应变开始下降。沥青结合料稠度的增加还可能导致混合料和易性的损失,使得沥青混和料的生产与施工变得困难。因此,本文推荐布敦岩沥青掺量上限为30%,取得经验后掺量上限可适当提高。

本研究假定将夏炎热冬温潮湿区作为布敦岩沥青改性沥青混合料的使用区域。根据JTG F40-2004《公路沥青路面施工技术规范》的要求,在夏炎热冬温潮湿区,改性沥青混合料要求车辙试验动稳定度、浸水马歇尔试验残留稳定度、冻融劈裂试验残留强度比、低温弯曲试验破坏应变分别不小于2800次/mm、85%、80%、2500 $\mu\epsilon$,渗水系数不大于120 mL/min^[9]。当布敦岩沥青掺量为推荐上限30%时,沥青混合料实际车辙试验动稳定度为2946次/mm,浸水马歇尔试验残留稳定度为95.8%,冻融劈裂试验残留强度比为90.3%,低温弯曲试验破坏应变为2652 $\mu\epsilon$,渗水系数为50.4 mL/min,全部满足要求。

4 结论

为了研究布敦岩沥青掺量对改性沥青混合料使用性能的影响,采用70号A级道路石油沥青作为基质沥青,首先用湿法工艺制备了不同掺量的布敦岩沥青改性沥青,最大掺量达基质沥青质量的40%。进而采用石灰岩粗细集料及矿粉,对不同掺量改性沥青AC-20C混合料进行了马歇尔配合比设计,确定了不同布敦岩沥青掺量的沥青混合料的最佳油石比。根据不同掺量最佳油石比制作试件,在室内对各个试件进行了沥青混合料不同使用性能的试验,分析了不同掺量布敦岩改性沥青混合料的车辙试验动稳定度、浸水马歇尔试验残留稳定度、冻融劈裂试验残留强度比、弯曲试验破坏应变、渗水系数、20℃和15℃抗压回弹模量、15℃劈裂抗拉强

度等技术参数。最后,评价了布敦岩沥青改性沥青混合料的高温稳定性、水稳定性、低温抗裂性、抗渗性、刚度和强度,并推荐了布敦岩沥青的最佳掺量。试验结果与分析表明:

1) 布敦岩沥青可以显著提高沥青混合料的高温稳定性,沥青混合料的车辙试验动稳定度随着岩沥青掺量的增加而增大;当岩沥青掺量为40%时,动稳定度可以增加134%。

2) 布敦岩沥青可以有效提高沥青混合料的水稳定性,沥青混合料的浸水马歇尔试验残留稳定度与冻融劈裂试验残留强度比均随着岩沥青掺量的增加而增大;当岩沥青掺量为40%时,残留稳定度与残留强度比可以分别增加10.6%与7.5%。

3) 布敦岩沥青可以提高沥青混合料的低温抗裂性,沥青混合料的低温弯曲试验破坏应变先随着岩沥青掺量的增加而增大,然后有所回落;当岩沥青掺量为30%时,破坏应变可以增加至最大的25.9%。

4) 布敦岩沥青可以改善沥青混合料的抗渗性,沥青混合料的渗水系数随着岩沥青掺量的增加而减小;当岩沥青掺量为40%时,渗水系数可以减少22.7%。

5) 布敦岩沥青可以明显提高沥青混合料的刚度与强度,沥青混合料的抗压回弹模量与劈裂抗拉强度均随着岩沥青掺量的增加而增大;当岩沥青掺量为40%时,20℃回弹模量可以增加38.2%,15℃抗拉强度可以增加12.0%。

6) 考虑到路用沥青混和料的低温使用性能与高温施工性能,本文推荐的布敦岩沥青掺量上限为基质沥青的30%。

参考文献

- [1] 《中国公路学报》编辑部.中国道路工程学术研究综述·2013[J].中国公路学报,2013,26(3):7—10.
Editorial department of China journal of highway and transport. Review on China's road engineering research:2013 [J].China Journal of Highway and Transport, 2013, 26(3):7—10. (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 G Z, ZHU H Q, HE N D, 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] 查旭东,童恋.印尼布敦岩沥青改性沥青性能研究[J].长沙交通

- 学院学报,2007,23(4):28—32.
- ZHA X D,TONG L.Research on properties of Buton rock asphalt modified asphalt[J]. Journal of Changsha Communications University,2010,23(4):28—32.(In Chinese)
- [4] SUO Z,WONG W G.Analysis of fatigue crack growth behavior in asphalt concrete materials in wearing course [J]. Construction and Building Materials,2009,23(1):462—468.
- [5] AFLAKI S,TABATABAEE N.Proposals for modification of Iranian bitumen to meet the climatic requirements of Iran[J].Construction and Building Materials,2009,23(6):2141—2150.
- [6] 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.
- [7] 朱桃.布敦岩沥青(BRA)改性沥青结合料使用性能研究[D].长沙:湖南大学土木工程学院,2014:9—12.
- ZHU T. Evaluating performance of Buton rock asphalt modified asphalt binder [D]. Changsha: College of Civil Engineering, Hunan University,2014:9—12.(In Chinese)
- [8] 曾梦澜,朱艳贵,田伟,等.欧洲岩沥青改性沥青混合料使用性能试验研究 [J]. 湖南大学学报(自然科学版),2017,44(7):156—161.
- ZENG M L,ZHU Y G,TIAN W,*et al.*Experimental study on performance of European rock asphalt modified asphalt mixture [J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences),2017,44(7):156—161.(In Chinese)
- [9] 曾梦澜,赵宇,潘浩志,等.欧洲岩沥青改性沥青结合料使用性能试验研究 [J]. 湖南大学学报(自然科学版),2016,43(5):125—130.
- ZENG M L,ZHAO Y,PAN H Z,*et al.*An experimental study on performance of European rock asphalt modified asphalt binder[J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences),2016,43(5):125—130.(In Chinese)
- [10] 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,2004:8—31.
- JTG F40—2004 Technical specifications for construction of highway asphalt pavements [S]. Beijing: China Communications Press,2004:8—31.(In Chinese)
- [11] 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)
- [12] 黄文通.北美岩沥青及其混合料特性研究[D].广州:华南理工大学土木与交通学院,2014:76—78.
- HUANG W T. Research on characteristic behavior for North American rock asphalt and asphalt mixtures [D]. Guangzhou: School of Civil Engineering and Transportation, South China University of Technology,2014:76—78.(In Chinese)
- [13] 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 C F,ZENG M L,WANG M W,*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)
- [14] 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,2001:414—453.
- SHEN J A. Performance of asphalt and asphalt mixture [M]. Beijing: China Communications Press,2001:414—453.(In Chinese)
- [15] 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,2011:186—301.
- JTG E20—2011 Standard test methods of bitumen and bituminous mixtures for highway engineering [S]. Beijing: China Communications Press,2011:186—301.(In Chinese)
- [16] 黄晓明.路基路面工程[M].4版.北京:人民交通出版社,2014:310—400.
- HUANG X M.Road subgrade and pavement engineering:[M]. 4th ed. Beijing:China Communications Press,2014:310—400.(In Chinese)