

# 岩沥青—丁苯橡胶复合改性沥青路用性能研究

陈凯, 何霁微

(岳阳市公路桥梁基建总公司, 湖南 岳阳 414000)

**摘要:** 为了在不影响岩沥青(BRA)高温性能和抗老化性能的基础上改善其低温性能,该文拟使用丁苯橡胶(SBR)与BRA对基质沥青进行复合改性。通过向BRA改性沥青中添加不同类型(胶粉和胶乳)和掺量(0%、2%、4%、6%、8%)的SBR制备复合改性沥青。采用低温弯曲梁试验(BBR)评价复合改性沥青的低温性能,同时根据TFOT和PAV试验方法对复合改性沥青进行老化处理,并通过对比复合改性沥青老化前后旋转黏度试验(RV)和动态剪切流变试验(DSR)的试验结果揭示两种复合改性沥青的抗老化性能。研究结果表明:就低温性能而言,SBR胶乳的改性效果优于SBR胶粉。BRA改性沥青优异的高温性能几乎不受SBR胶乳的影响,但当其掺量达到或超过6%时表现为抗车辙性能的降低,且降低了沥青胶结料的抗老化性能。综合各项路用性能指标,建议SBR胶乳/胶粉的掺量为4%~6%。

**关键词:** 复合改性沥青; 高温性能; 低温性能; 老化性能; 岩沥青

沥青路面由于使用沥青作为结合料增强矿料间的黏结力,保证了其高性能。但沥青材料的物理力学性质受气候和时间因素的影响很大,近年来气候环境的剧烈变化使沥青混合料的性能加剧恶化,降低了沥青路面的使用性能。同时,随着交通荷载的复杂化,沥青路面承受重载和超载进一步加剧了沥青路面使用性能的衰减速度,基质沥青已经满足不了现代交通的需求。因此,改性沥青广泛应用于道路建筑中以保证沥青路面优良的路用性能和耐久性。

岩沥青是一种天然沥青,主要成分为沥青和灰分,作为改性剂广泛应用于道路材料中。岩沥青与基质沥青的相容性好,能促进基质沥青将岩沥青与集料充分裹覆,起到加强沥青与集料黏附性的效果。且其因储量较为丰富、施工工艺简单、价格低廉等优点受到越来越多的关注。已有研究表明:岩沥青能显著改善沥青混合料的高温性能。另外,岩沥青具有较高的含氮量,在高温时能够抵抗氧化性环境腐蚀作用,以延缓沥青及沥青混凝土材料衰老及老化,从而延长设计年限及使用年限。然而,岩沥青改性沥青的低温性能却随着岩沥青含量的增加而降低。因此采用一种改性剂在保留高温和抗老化性能优越性的同时又能改善岩沥青改性沥青的低温性能很有必要。

丁苯橡胶(SBR)是一种合成橡胶,具有粉末状SBR和乳胶状SBR两种类型。现有研究表明其低温

改性效果较好。ShisongRen等通过BBR试验发现添加SBR胶粉可显著降低岩沥青改性沥青的蠕变刚度值,并提高岩沥青改性沥青的 $m$ 值,表明添加SBR促进了岩沥青改性沥青的柔韧性和抗裂性,提高了岩沥青改性沥青的低温开裂性。同时,SBR作为一种聚合物改性沥青,其老化性能较差,尤其是热氧老化。这与岩沥青刚好形成互补。

基于此,该文采用两种SBR与岩沥青对基质沥青进行改性,拟开发一种兼顾高温性能和低温性能,且抗老化的复合改性沥青。已有研究表明: BRA最佳掺量为15%,该文取5种SBR掺量,分别为0%、2%、4%、6%和8%。通过高速剪切仪制备SBR—BRA复合改性沥青。采用旋转黏度仪、DSR、BBR试验研究TFOT和PAV处理前后改性沥青的性能,以揭示两种SBR对BRA改性沥青高温、低温性能、抗老化性能影响的差别,以及复合改性沥青路用性能随SBR掺量的变化规律,并综合比较得出SBR掺量的建议值。

## 1 材料与试验

### 1.1 试样制备

研究采用A-70<sup>#</sup>基质沥青。其基本性能指标如表1所示。岩沥青采用新疆岩沥青,其基本性能指标如表2所示。SBR1502胶粉和GM-1040SBR胶乳

均产自天津市。SBR1502 胶粉(以下记为 SBR I)为乳白色颗粒,GM-1040SBR 胶乳(以下记为 SBR II)为淡黄色胶体,分子量为 50 000。两种 BRA-SBR 复合改性沥青采用高速剪切仪制备。

表 1 A-70# 基质沥青基本性能参数

性能指标	单位	试验结果	规范要求
针入度(25℃)	0.1 mm	68.2	60~80
软化点	℃	49.1	≥46
延度(15℃)	cm	>100	>100
质量损伤	%	0.15	≤±0.8
老化后 残留针入度(25℃)	%	64	≥61
残留延度(15℃)	cm	8.1	≥6

表 2 新疆岩沥青基本性能参数

性能指标	单位	试验结果	规范要求
TCE 溶解度	%	25.1	>25
含水率	%	0.5	<1.0
灰分	%	74.9	65~75
密度	g/cm <sup>3</sup>	1.75	>1.6

## 1.2 旋转黏度试验

在旋转黏度试验中,采用 Brookfield Rotational Viscometer 通过测量转子在沥青内旋转所需的黏性力矩来检测沥青的黏度。测量了两种 BRA-SBR 复合改性沥青的旋转黏度以评价沥青结合料的流动特性。试验温度分别为 135、145、165 和 175℃。转速设定为 10 r/min。

## 1.3 动态剪切流变试验

DSR 测试用于评价沥青结合料的高温性能和抗老化性能。采用 AntonPaar 公司的 SmartPave 沥青动态剪切流变仪获得了所有样品未老化和 RTFO 老化后的抗车辙因子。测试程序遵循 JTG E20-2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中的规定。初始记录温度为 46℃或 52℃,每 6℃为一间隔。

## 1.4 小梁弯曲试验

BBR 试验通常用于获得劲度模量( $S$ )和蠕变速率( $m$ )两个指标来评价沥青长期老化后的低温性能优劣。对所有 PAV 老化沥青试样分别进行两种不同温度(-6、-12℃)的 BBR 试验。

## 1.5 老化试验

对沥青样品进行旋转薄膜烘箱(RTFO)和压力老化容器(PAV)试验模拟不同的老化条件,以进一步评

价结合料的流变性能和抗老化性能。根据 T0609-2011 试验规程要求,首先将 50 g 沥青试样放入不锈钢盛样盘( $d \times h = 140 \text{ mm} \times 9.5 \text{ mm}$ )中,在(163±1)℃通风烘箱中以(5.5±1) r/min 的转速旋转,经 5 h 后,测定沥青的各项指标变化。然后将薄膜烘箱试验(TFOT)残留物放入压力容器中处理 20 h 模拟长期老化。压力控制为(2.1±0.1) MPa,温度为 90~110℃。

## 2 试验结果及分析

### 2.1 低温性能

采用低温弯曲梁试验评估不同类型 SBR 在不同掺量下对岩沥青改性沥青低温性能的影响,试验结果如图 1 所示。

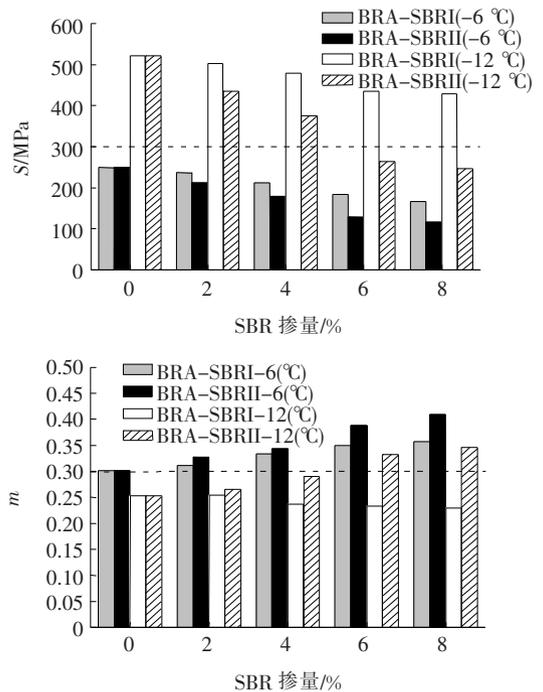


图 1 蠕变劲度模量  $S$  与  $m$  值随 SBR 掺量的变化

根据低温开裂机理,沥青低温流变性是影响沥青路面低温开裂性能最主要的因素。由图 1 可知:复合改性沥青的劲度模量和蠕变速率在 -6℃ 时均满足 SHRP 要求( $S < 300 \text{ MPa}$  且  $m > 0.3$ )。通过对比不同 SBR 类型和掺量下 BRA-SBR 复合改性沥青可发现,BRA-SBR II 复合改性沥青的劲度模量小于 BRA-SBR I 复合改性沥青,蠕变速率大于 BRA-SBR I 复合改性沥青。这表明 SBR 胶乳对 BRA 改性沥青低温下应力松弛性能和柔性的改善效果要优于 SBR 胶

粉。这可能与 SBR 胶粉中高丁二烯含量有关。以 S 值为例,随着胶乳掺量的增大,BRA-SBR II 复合改性沥青在  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  的 S 值较单掺 15% BRA 改性沥青分别降低了 14.5%、27.7%、48.6%、53.4%,表示随着胶乳掺量的增大,BRA-SBR II 复合改性沥青的低温弯曲柔性逐步提高。但在  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$  的低温下不是所有样品的 S 和  $m$  都符合最低规定值。对于 BRA-SBR I 而言,所有掺量均未达到温度为  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$  的最低要求标准,SBR II 在低掺量时也得到同样的结果。但结果表明:当 SBR II 掺量达到 6% 时,S 和  $m$  已均能满足标准要求,这意味着高掺量的 SBR II 能弥补 BRA 改性沥青低温性能不良的缺点,且改善效果明显。

## 2.2 高温性能

通过布氏旋转黏度指标初步评价不同类型 SBR 在不同掺量下对岩沥青改性沥青高温性能的影响,试验结果如图 2、3 所示。

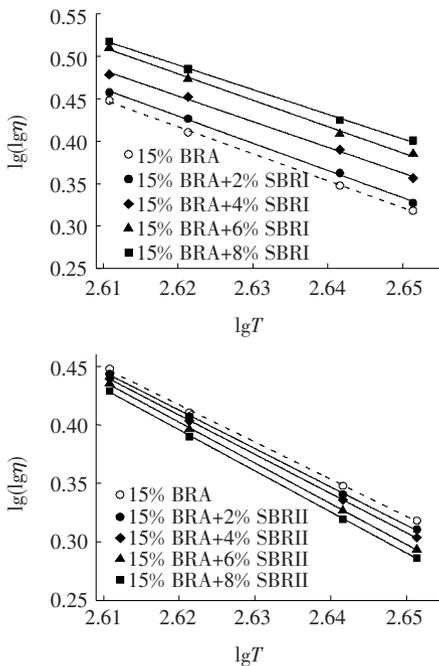


图 2 黏度指标随 SBR 掺量的变化

由图 2 可知:在 4 个试验温度下,BRA-SBR I 复合沥青的布氏旋转黏度相比 BRA 改性沥青都增大,说明 SBR I 的加入使得沥青混合料的抗高温变形能力增强。且随着 SBR 掺量的增加黏度持续增加。其原因之一是 SBR 胶粉吸收沥青中的油分使沥青质间的距离缩小,从而改变了沥青的黏度。

复数剪切模量值越大,表明沥青的劲度模量越大,因此其抵抗变形的能力越强。由图 3 可得:当温度升高时,沥青的剪切模量都呈现迅速下降的趋势。这是

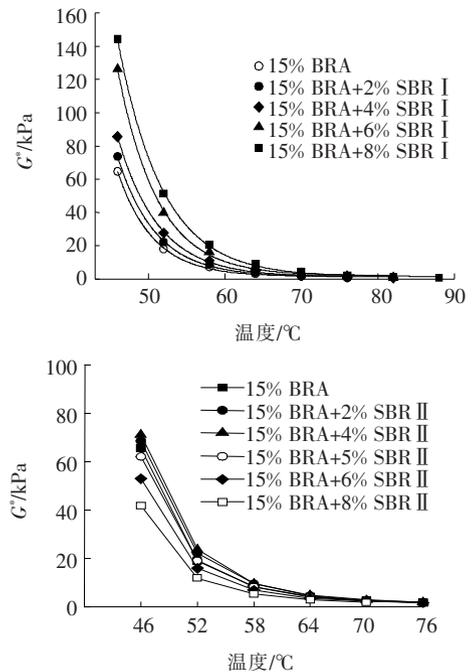


图 3 复数剪切模量随 SBR 掺量的变化

沥青从低温的高弹态向高温的黏流态逐渐转化的过程,说明在温度较高的情况下沥青的抗永久变形能力变差。因此,高温条件下沥青路面更易发生车辙现象。而在相同温度下,两种复合改性沥青呈现出不同的变化趋势。BRA-SBR I 复合改性沥青的剪切复数模量总体均大幅提高,如在  $64\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,当 SBR 胶粉掺量达到 6% 时,其复数模量有了明显的增大,当掺量为 8% 时其甚至提高至 BRA 改性沥青的 2~3 倍,说明其高温性能显著提高。

## 2.3 抗老化性能

所有沥青样品老化前后的抗车辙因子如图 4 所示。

由图 4 可知:

(1) 短期老化后复合改性沥青的  $G^*/\sin\delta$  比 BAR 沥青大。表明即使在短期老化后,抗车辙性能依旧得到显著改善。而 BRA-SBR II 复合改性沥青的变化规律先增加后减小,且增减幅度较小。说明 SBR II 的加入对 BRA 改性沥青的高温性能影响不大,但掺量过高时会略微降低 BRA 改性沥青的高温抗变形能力。

(2) 复合改性沥青的车辙因子随着温度的增加而减小,温度为  $52\sim 64\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,复合改性沥青的车辙因子下降较快,随着温度继续增加,不同掺量的差异减小,表明在高于  $64\text{ }^{\circ}\text{C}$  后沥青车辙因子受温度影响减小。与复数剪切模量的变化一致,在相同温度下,掺量越大

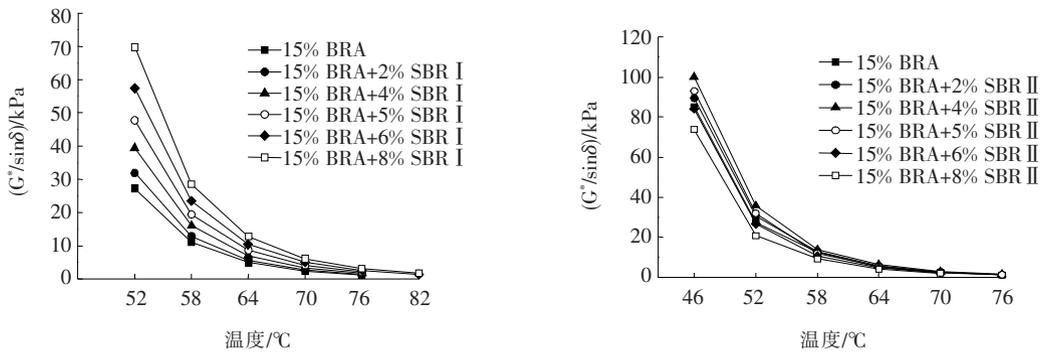


图4 老化前后 BRA 试验结果

的 SBR I 具有更大的车辙因子,表明其具有更好的高温性能。当试验温度为 76 °C 时, BRA 改性沥青的车辙因子为 0.78 kPa, 已低于规范中规定的 1.0 kPa 的要求。而当 SBR 胶粉掺量达到 8% 时, BRA-SBR I 复合改性沥青在 82 °C 时的车辙因子仍略高于 1.0 kPa, 表明复合改性沥青具有更好的高温性能。而 BRA-SBR II 车辙因子与复数剪切模量变化一致。表明 SBR II 的加入仅能保持岩沥青改性沥青优良的高温性能, 且掺量较大时会略微降低其高温抗变形能力。

沥青结合料短期老化后的性能决定了沥青混合料在路面中的性能。老化机制倾向于改变沥青的物理和化学性质, 这反映在其流变性质的变化上。经 RTFO 老化后, 添加不同 SBR 掺量的复合改性沥青的  $G^*/\sin\delta$  较 BRA 改性沥青增大了, 这与老化期间发生硬化现象有关。老化前 BRA-SBR I、掺量复合改性沥青在 SBR I 为 2%、4%、6%、8% 时, 64 °C 车辙因子相比 BRA 改性沥青分别增加 21.2%、52.3%、122.2%、179.4%。老化后 BRA-SBR I 复合改性沥青车辙因子相比 BRA 改性沥青分别增加 15.7%、44.3%、112.7%、160.2%。增幅较老化处理前有所下降, 表明老化过程降低了沥青黏合剂的高温性能。

### 3 结论

针对岩沥青改性沥青低温抗裂性能的不足, 采用 SBR 与岩沥青对基质沥青进行复合改性。通过开展改性沥青的高温性能、低温性能及抗老化性能的研究, 得到如下结论:

(1) SBR 胶粉的加入显著提高了 BRA 改性沥青的高温抗车辙性能。短期老化复合改性沥青的高温等级依旧可以提高一个级别。低掺量的 SBR 胶乳对

BRA 改性沥青的高温性能无明显影响, 但掺量超过 4% 后会导致高温性能的降低。

(2) SBR 胶粉对 BRA 改性沥青的低温性能等级无明显提升。而 SBR 胶乳可显著提高 BRA 改性沥青的低温性能。考虑长期老化效应后, 6% 和 8% 掺量 SBR 胶乳的 BRA 改性沥青满足 Superpave 沥青结合料规范对沥青在 -12 °C 的性能要求。

(3) 根据 TFOT 老化后的动态剪切流变试验结果, SBR 胶粉可提高 BRA 改性沥青的抗老化性能, 且掺量越高改善效果越好。而复合改性沥青的抗老化性能随着 SBR 胶乳掺量的增加逐渐降低。

(4) SBR I、SBR II 两种复合改性沥青的综合路用性能较 BRA 改性沥青更优。为同时获得高温性能、低温性能和抗老化性能良好的 BRA-SBR 复合改性沥青, 建议 SBR 胶粉的掺量为 8%, SBR 胶乳的掺量为 4%~6%。

### 参考文献:

- [1] 弓锐, 郭彦强, 徐鹏. SBS/SBR 复合改性乳化沥青的性能研究[J]. 中外公路, 2019(1).
- [2] 刘向东. 活化橡胶改性沥青混合料路用性能研究[J]. 中外公路, 2019(2).
- [3] H. Yao, Q. Dai, Z. You. Fourier Transform Infrared Spectroscopy Characterization of Aging-Related Properties of Original and Nano-Modified Asphalt Binders[J]. Construction and Building Materials, 2015, 101: 1 078-1 087.
- [4] L. Han, M. Zheng, J. Li, et al. Effect of Nano Silica and Pretreated Rubber on the Properties of Terminal Blend Crumb Rubber Modified Asphalt [J]. Construction and Building Materials, 2017, 157: 277-291.
- [5] 唐博, 蒋送军, 刘宁. 岩沥青-SBR 复合改性乳化沥青制备工艺与性能研究[J]. 中外公路, 2018(5).

# 土样的不同制备方法对其性质的影响分析

邹洪宝

(中铁十六局集团北京轨道交通工程建设有限公司,北京市 101100)

**摘要:**岩土材料具有典型的结构性,土工试验是研究土体各种性质的一个重要手段。该文以从广州南沙地区钻取的原状软土和采用击样法以及预压固结法制备的重塑软土为研究对象,分别进行了压汞试验、渗透试验以及直剪快剪试验。试验结果表明:原状土的小孔数量占比较大、渗透系数最小、抗剪强度最大;击样法制得土样中大孔占比较大、渗透系数最大、抗剪强度最小;而采用预压固结法制得的土体试样的以上性质介于原状土和击样法制得土样之间。这是由于不同的制样方法制得土样的结构性不同所引起的。

**关键词:**土工试验;结构性;重塑土;孔隙分布;渗透性

土工试验是土力学中的基本内容,试验土力学是土力学的一个重要分支。广义的土工试验包括室内试验、原位试验、模型试验和原型监测等。由于土体具有结构性,因此土体的原位取样和测试极其重要,如何在原位测试以及取样运输过程中尽可能地保持原状土的结构性是岩土界的一个难题,也是国内外学者们不懈的追求目标。原状土的取样和运输过程需要人力物力

多方面的保证,对于需要大量土样的试验,完全使用原状土是不经济的。而制备重塑土样能重复使用土体,因此能够满足大量土样需求,并且简单经济,所以目前很多研究都是在试验室的重塑土上进行的。

土体材料与其他材料不同,它由固体、液体和气体三相物质组成,具有明显的结构性。因此试验室制备重塑土样时需要尽量还原原状土的结构形式,以获得

- \*\*\*\*\*
- [6] X. Shi, L. Cai, W. Xu, et al. Effects of Nano-Silica and Rock Asphalt on Rheological Properties of Modified Bitumen[J]. Construction and Building Materials, 2018, 161: 705-714.
  - [7] A. Behnood, M. Modiri Gharehveran, Morphology, Rheology, and Physical Properties of Polymer-Modified Asphalt Binders[J]. European Polymer Journal, 2019, 112: 766-791.
  - [8] R. Li, P. Karki, P. Hao, et al. Rheological and Low Temperature Properties of Asphalt Composites Containing Rock Asphalts[J]. Construction and Building Materials, 2015, 96: 47-54.
  - [9] R. Li, P. Wang, B. Xue, et al. Experimental Study on aging Properties and Modification Mechanism of Trinidad Lake Asphalt Modified Bitumen[J]. Construction and Building Materials, 2015, 101: 878-883.
  - [10] S. Liu, W. Cao, X. Li, Z. Li, C. Sun, Principle Analysis of Mix Design and Performance Evaluation on Superpave Mixture Modified with Buton Rock Asphalt [J]. Construction and Building Materials, 2018, 176: 549-555.
  - [11] S. Ren, M. Liang, W. Fan, et al. Investigating the Effects of SBR on the Properties of Gilsonite Modified Asphalt[J]. Construction and Building Materials, 2018, 190: 1103-1116.
  - [12] L. Y. Ming, C. P. Feng, E. A. A. Siddig. Effect of Phenolic Resin on the Performance of the Styrene-Butadiene Rubber Modified Asphalt[J]. Construction and Building Materials, 2018, 181: 465-473.
  - [13] P. Liang, M. Liang, W. Fan, et al. Improving Thermo-Rheological Behavior and Compatibility of SBR Modified Asphalt by Addition of Polyphosphoric Acid (PPA)[J]. Construction and Building Materials, 2017, 139: 183-192.
  - [14] M. Pszczoła, M. Jacewski, C. Szydłowski, J. Judycycki, B. Dożycki. Evaluation of Low Temperature Properties of Rubberized Asphalt Mixtures[J]. Procedia Engineering, 2017, 172: 897-904.