DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.260760

# EVA/SBS 复合改性沥青及混合料路用性能研究

王　婧[1],张宏伟[2]
(1.宁夏公路管理中心,宁夏 银川 750002; 2.宁夏公路管理中心银川分中心,宁夏 银川 750001)

**摘　要:** 为评价 EVA/SBS 复合改性沥青及混合料的路用性能,以 4%SBS 改性沥青为基准,通过掺加不同含量 EVA,开展了 EVA/SBS 复合改性沥青常规性能、旋转黏度、微观形貌及混合料路用性能试验。结果表明:随着 EVA 掺量增加,改性沥青的软化点、弹性恢复率和黏度提高,针入度与低温延度降低;适量 EVA 可填充并补强 SBS 网络,改善体系结构,但掺量过高时会出现局部团聚;复合改性可显著提高混合料的高温稳定性和水稳定性,但会在一定程度上削弱混合料的低温抗裂性能。综合性能与施工和易性,建议 EVA 掺量为 3% ~ 5%。

**关键词:** EVA;SBS;路用性能;复合改性沥青;沥青混合料
**中图分类号:** U414　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 1009-7716(2026)11-0088-04

# Research on Pavement Performance of EVA/SBS Composite Modified Asphalt and Mixtures

WANG Jing[1], ZHANG Hongwei[2]
(1. Ningxia Highway Management Center, Yinchuan 750002, China; 2. Yinchuan Branch of Ningxia Highway Management Center, Yinchuan 750001, China)

**Abstract:** To evaluate the pavement performance of EVA/SBS composite modified asphalt and mixtures, and based on 4%SBS modified asphalt, tests on the conventional performance, rotational viscosity, microstructure and pavement performance of the mixture of EVA/SBS composite modified asphalt are carried out by adding different contents of EVA. Results show that with the increase of EVA content, the softening point, elastic recovery rate and viscosity of modified asphalt increase, while the penetration and low-temperature ductility decrease. An appropriate amount of EVA can fill and strengthen the SBS network, and improve the architecture, but when the dosage is too high, local agglomeration will occur. The composite modification can markedly improve the high-temperature and moisture stability of mixtures, but will to some extent weaken the low-temperature cracking resistance of the mixture. Considering the comprehensive performance and workability during construction, it is recommended that the EVA dosage be 3% ~ 5%.

**Keywords:** EVA; SBS; pavement performance; composite modified asphalt; asphalt mixture

## 0　引　言

随着道路交通荷载持续增长以及重型车辆占比不断提高,沥青路面在高温环境下更易出现车辙、推移和拥包等永久变形病害,在低温或温度骤变条件下则易产生收缩裂缝和疲劳裂缝[1-2]。基质道路石油沥青虽具有施工性能好、成本低等优点,但温度敏感性较强,难以实现路用性能协调兼顾[3-4]。聚合物改性是改善沥青路用性能的重要途径,其中 SBS 可形成弹性网络结构,提高沥青弹性恢复和抗变形能力[5-6];EVA 具有较好的高温稳定性和成膜特性,可增强沥青黏结性和抗流动变形能力[7-8]。单一 SBS 或 EVA 改性均存在一定局限,将二者复合改性有利于发挥协同作用,提升沥青综合性能。

基于上述分析,本文选用 70 号道路石油沥青,并以 EVA 和 SBS 作为复合改性材料,分析不同改性剂掺量条件下 EVA/SBS 复合改性沥青及其混合料的性能演变特征,以期为该类材料在道路中上面层和重载交通路段中的推广应用提供技术依据。

## 1　材料与试验方法

### 1.1　原材料

试验采用 70 号道路石油沥青、线型 SBS、颗粒状 EVA、石灰岩集料和矿粉,混合料级配为 AC-13。根据改性剂种类及掺量,共设计 7 组试验方案,分别为基质沥青(BA)、4%SBS 改性沥青(S4),以及 SBS 掺量固定为 4%、EVA 掺量分别为 2%、3%、4%、5% 和 6%

收稿日期: 2026-07-12
作者简介: 王婧(1981—), 女, 高级工程师, 从事公路工程设计工作。

的复合改性沥青，依次记为 E2S4、E3S4、E4S4、E5S4 和 E6S4。其中，E 和 S 分别代表 EVA 和 SBS，数字表示改性剂占沥青质量的百分比。

### 1.2　复合改性沥青制备

将基质沥青加热至 170 ℃左右，使其充分流动；随后加入 SBS 改性剂，在高速剪切条件下剪切 40 min，使 SBS 逐渐溶胀并均匀分散；再加入 EVA 颗粒，继续剪切 30 min。剪切完成后，在 160 ℃条件下低速搅拌 30 min，制得 EVA/SBS 复合改性沥青。

### 1.3　复合改性沥青混合料配合比设计

#### 1.3.1　矿料级配设计

依据《公路沥青路面施工技术规范》（JTG F40—2004）规定的 AC-13 型沥青混合料级配范围，结合粗集料、细集料及矿粉的筛分结果，通过调整各档矿料的质量比例，确定混合料的矿料组成，其合成级配曲线见图 1。

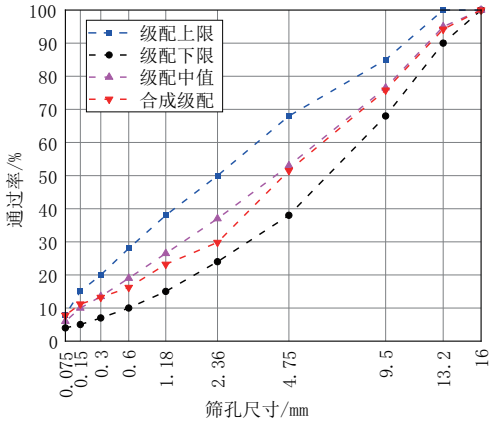



图 1　合成级配曲线

#### 1.3.2　配合比设计

按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》（JTG 3410—2025），通过马歇尔试验完成 AC-13 型沥青混合料配合比设计，确定其最佳油石比，结果见表 1。

表 1　AC-13 型沥青混合料马歇尔配合比设计

| 类型 | 油石比/% | 矿料间隙率/% | 沥青饱和度/% | 空隙率/% | 毛体积密度/（g·cm$^{-3}$） | 稳定度/kN | 流值/（0.1 mm） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BA | 4.82 | 14.3 | 70.6 | 4.2 | 2.428 | 9.3 | 31.2 |
| S4 | 4.96 | 14.5 | 72.4 | 4.0 | 2.421 | 12.6 | 28.6 |
| E2S4 | 5.02 | 14.6 | 72.6 | 4.0 | 2.417 | 13.4 | 27.4 |
| E3S4 | 5.08 | 14.7 | 72.1 | 4.1 | 2.413 | 14.2 | 26.9 |
| E4S4 | 5.13 | 14.9 | 72.5 | 4.1 | 2.408 | 15.0 | 24.6 |
| E5S4 | 5.27 | 15.1 | 71.5 | 4.3 | 2.401 | 15.6 | 23.8 |
| E6S4 | 5.34 | 15.4 | 70.1 | 4.6 | 2.393 | 15.1 | 22.7 |
| 规范规定 | | ≥14 | 65~75 | 3~6 | | ≥8 | 15~40 |

### 1.4　试验方法

#### 1.4.1　布氏旋转黏度

采用旋转黏度计测定各组沥青试样在 135、155、175 ℃下的旋转黏度，以评价复合改性沥青的高温流动性能及施工和易性。

#### 1.4.2　扫描电子显微镜

为深入探究 EVA/SBS 复合改性沥青的显微结构和微观形貌，采用扫描电镜（SEM）对不同 EVA 掺量下改性沥青的微观结构特征进行观察。

#### 1.4.3　路用性能试验

对不同类型的 AC-13 型沥青混合料开展马歇尔、车辙、低温弯曲、浸水马歇尔及冻融劈裂试验，以综合评价其路用性能。

## 2　试验结果与讨论

### 2.1　常规性能分析

#### 2.1.1　三大技术指标分析

不同改性方案下各组沥青的基本性能试验结果见表 2。

由表 2 可知，在基质沥青中掺加 4%SBS 后，针入度由 68.4 mm 降至 52.7 mm，延度由 31.5 cm 降至 28.6 cm。原因在于 SBS 吸收轻质组分后溶胀并形成弹性网络，能够限制沥青的高温黏性流动并增强其变形恢复能力[9-10]。掺加 EVA 后，软化点由 71.4 ℃升至 81.2 ℃，弹性恢复率由 84.6% 增至 88.0%。这是由于 EVA 中的聚乙烯链段形成刚性微区，对 SBS 网络产生填充和结构补强作用，而醋酸乙烯酯基团增强

表 2　不同改性方案下各组沥青的基本性能试验结果

| 类型 | 针入度/（0.1 mm） | 软化点/℃ | 5 ℃延度/cm | 弹性恢复率/% |
|---|---|---|---|---|
| BA | 68.4 | 47.6 | 31.5 | — |
| S4 | 52.7 | 67.8 | 28.6 | 82.4 |
| E2S4 | 49.9 | 71.4 | 27.5 | 84.6 |
| E3S4 | 48.5 | 73.2 | 26.9 | 85.7 |
| E4S4 | 46.3 | 75.9 | 25.2 | 86.5 |
| E5S4 | 44.1 | 78.6 | 23.4 | 87.2 |
| E6S4 | 42.0 | 81.2 | 21.7 | 88.0 |

注：基质沥青未进行弹性恢复试验，‘—’表示未测（不适用），并非试件拉断无法读取。

了聚合物相与沥青极性组分之间的界面作用。较高EVA掺量会增加结晶微区比例、减小分子链段自由活动空间，并延缓低温应力松弛。过量时还可能引起局部富集或团聚，导致应力集中[11-12]。

### 2.1.2　黏度随温度变化规律

各组沥青的黏度曲线见图2。

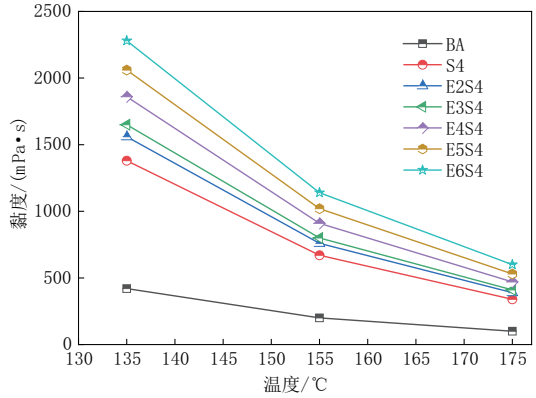
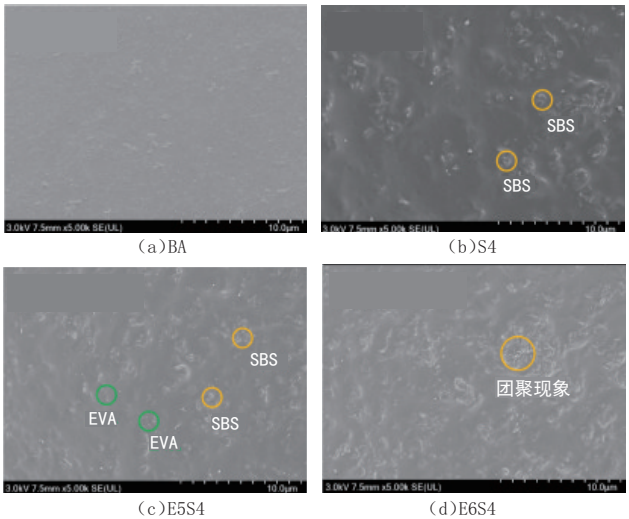



图2　沥青黏度曲线

由图2可知，随着试验温度的升高，各组沥青的黏度均呈逐渐下降趋势。其中135～155 ℃阶段降幅较大，155～175 ℃后逐渐趋缓，表现出明显的温度敏感性。同一温度下，基质沥青黏度最低，掺加SBS后显著增大，且在SBS掺量固定为4%时，黏度随EVA掺量增加而持续提高。原因是SBS吸收轻质组分溶胀后，通过链段缠结和物理交联形成空间网络，EVA则进一步增强聚合物相与沥青组分间的界面作用，使网络结构更加致密[13]。较高黏度有利于改善沥青的高温稳定性，但EVA掺量过大会提高拌和与压实温度要求，掺量在3%~5%时较合适。

## 2.2　微观形貌分析

各组沥青的SEM微观表面形貌结构演变见图3。




(a)BA　(b)S4　(c)E5S4　(d)E6S4

图3　SEM微观表面形貌结构演变

由图3可见：BA表面较为光滑，掺入SBS后出现絮状和条带状结构，表明SBS吸收轻质组分后溶胀并形成弹性网络；该网络中，苯乙烯端段可作为较硬的物理交联节点，丁二烯中段则提供柔性变形能力。进一步掺加5%EVA时，聚合物相分散均匀且未见明显界面分离，说明EVA并非简单独立填充，而是嵌入SBS网络并与沥青基体形成多相协同结构：乙烯链段提供局部刚性约束，醋酸乙烯酯基团的极性有利于改善聚合物相与沥青中极性组分的界面亲和。

当EVA掺量增至6%时，出现了较大的颗粒状富集区和局部团聚，说明其超过了体系有效分散容量，聚合物富集相粗化并削弱了SBS网络连续性；局部模量差异和界面缺陷易造成应力集中，同时链段活动空间减小，因而在沥青高温刚度继续提高的同时，其低温变形能力和相态稳定性会受到不利影响[14-15]。因此，高掺量EVA虽可增强体系刚度和高温抗流动能力，但也可能增大沥青黏度、限制低温链段运动，并提高储存相分离风险。

## 2.3　沥青混合料路用性能分析

### 2.3.1　高温稳定性分析

不同类型沥青混合料的车辙试验结果见图4。

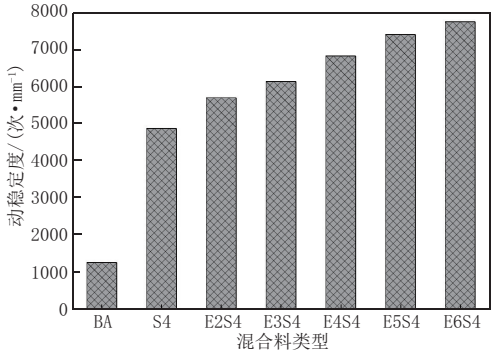



图4　不同类型沥青混合料车辙试验结果

由图4可知：基质沥青混合料的动稳定度为1 260次/mm；掺加4%SBS后，混合料动稳定度提高至4 860次/mm，增幅为285.7%，表明SBS可显著增强沥青胶结料的弹性恢复能力和高温黏结性能，从而改善混合料抗车辙能力。在此基础上掺加2%和6%EVA后，由于EVA形成的刚性或结晶微区对SBS弹性网络产生结构补强作用，限制沥青分子链段滑移，从而形成兼具弹性恢复与高温增刚作用的复合网络，进一步提高混合料的抗车辙能力，因而其动稳定度分别达到了5 685、7 723次/mm，较S4改性沥青混合料分别提高约17.0%和58.9%。

### 2.3.2　低温抗裂性能分析

不同类型沥青混合料的低温弯曲试验结果见图5。

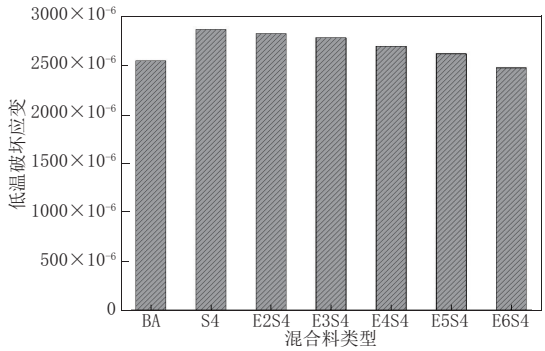



**图 5　不同类型沥青混合料低温弯曲试验结果**

由图 5 可知，基质沥青混合料的低温破坏应变为 2 540×10⁻⁶；掺加 4%SBS 后提高至 2 860×10⁻⁶，增幅约 12.6%。表明 SBS 形成的弹性网络可增强胶结料的柔韧性和应力松弛能力，改善其低温变形协调性。进一步掺加 EVA 后，混合料的低温破坏应变随着 EVA 掺量增加而下降，其中 E2S4 和 E6S4 混合料分别为 2 823×10⁻⁶ 和 2 414×10⁻⁶，较 S4 混合料分别降低约 1.3% 和 15.6%。这是由于 EVA 形成的刚性或结晶微区限制了低温下分子链段运动和应力释放；当 EVA 掺量较高时，还可能出现局部富集并引起应力集中，从而削弱混合料低温抗裂性能。因此，复合改性沥青混合料存在明显的高低温性能平衡，EVA 掺量需小于 6%。

### 2.3.3　水稳定性分析

不同类型沥青混合料浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验结果见图 6。

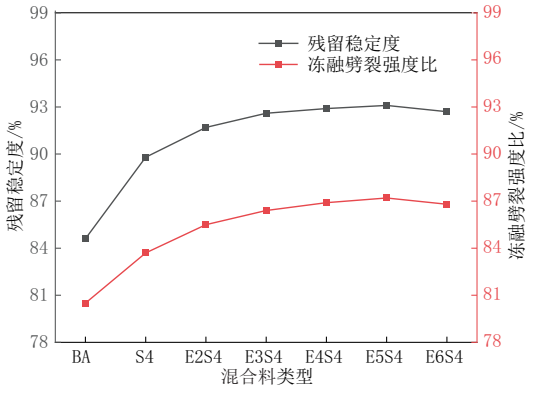



**图 6　不同类型沥青混合料浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验结果**

由图 6 可见，基质沥青混合料的残留稳定度和冻融劈裂强度比分别为 84.6% 和 78.5%；加入 4%SBS 后，混合料 2 项指标分别增至 89.8% 和 83.7%。进一步掺加 2% 和 6%EVA 后，混合料残留稳定度分别达到 91.7% 和 92.7%，冻融劈裂强度比分别达到 85.5% 和 86.8%。原因在于，EVA 对 SBS 网络具有结构补强作用，可提高胶结料的黏结强度和膜层稳定性，并增强沥青对集料表面的包裹与封闭作用，从而抑制水分沿沥青-集料界面渗入及冻融循环引起的剥离破坏。

## 3　结　语

（1）随着 EVA 掺量提高，SBS 改性沥青的针入度和延度呈下降趋势，软化点和弹性恢复率升高，表明 EVA 可增强沥青高温抗变形能力，但会削弱其低温变形性能。

（2）各组沥青黏度均随温度升高而降低，并随 EVA 掺量增加而增大。适量 EVA 可填充和补强 SBS 网络；当掺量达到 6% 时出现局部富集与团聚，不利于体系相容性、施工和易性。

（3）EVA/SBS 复合改性可显著提高 AC-13 型混合料的高温稳定性和水稳定性；但掺量过高会降低混合料低温破坏应变。综合路用性能、微观相容性及施工性能，建议 EVA 掺量控制在 3% ~ 5%。

**参考文献：**

[1] 谈小云. 高速公路路面病害检测及预防养护探究[J]. 工程抗震与加固改造，2025，47(4)：196.

[2] 门光誉，陈维斌，徐腾飞，等. 路面结构病害三维探地雷达图谱特征研究[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版)，2025，44(2)：129-137.

[3] 聂云靖，刘芳，刘云江，等. 基质沥青与SBS改性沥青热氧老化两阶段动力学机制的对比研究[J/OL]. 中南大学学报(自然科学版)，1-19[2026-07-15].

[4] 杨正源，纪伦，刘济玮，等. 多源沥青基因特征及其性能构效机制分析[J]. 哈尔滨工业大学学报，2025，57(12)：325-336.

[5] 赖洨，徐安花，熊锐，等. 黏土矿物/SBS复合改性沥青VOCs释放特性研究[J/OL]. 公路，2026(7)：388-397[2026-07-09].

[6] 郑健龙，梁波. 聚合物改性沥青的技术演进与展望[J]. 中国公路学报，2026，39(5)：20-36.

[7] 孙吉书，王鑫垚，肖田，等. 分子模拟引导的TPU/EVA复合改性沥青制备及多尺度性能研究[J]. 塑料科技，2026，54(4)：163-169.

[8] 颜可珍，李慧丽，洪哲，等.LDPE/EVA复合改性沥青的流变性能[J]. 建筑材料学报，2022，25(4)：408-414.

[9] 余小晴，曹林辉，万晓云，等.SBS改性沥青湿热复合老化特征及再生机理[J]. 塑料科技，2026，54(3)：104-110.

[10] 刘红林，宋二龙.TPS/SBS复合改性高黏沥青及混合料路用性能研究[J]. 合成材料老化与应用，2026，55(3)：77-80；47.

[11] 张磊，朱迎龙，林梅，等. 环保温拌SBS改性沥青的制备及其流变特性[J]. 兰州理工大学学报，2026，52(2)：22-30.

[12] 王强，柴冲冲，张云霞，等. 生物油组分对高含量SBS改性沥青流变性能的影响[J]. 化工新型材料，2026，54(增刊1)：258-264；276.

[13] 李包，董夫强. 低温沥青添加剂对SBS改性沥青流变性能的影响[J/OL]. 中外公路，1-7[2026-08-03].

[14] 韩义哲，曹卫东，王升旭，等. 煤气化渣粉沥青胶浆的流变特性及微观机理[J]. 新型建筑材料，2026，53(6)：60-65.

[15] 杨硕，解长渊，聂佳佳. 钢纤维掺量对钢渣沥青混合料路用性能影响研究[J]. 公路工程，2019，44(6)：223-227.