

# 低剂量 SBS 改性沥青的路用性能

袁万杰<sup>1,2</sup>, 陈忠达<sup>1</sup>, 孙长新<sup>2</sup>

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064;

2. 广东华美加工程顾问有限公司, 广东 广州 510627)

**摘要:**为了综合评价低剂量 SBS 改性沥青的路用性能和经济效益,采用沥青加工厂胶体磨研磨技术对不同掺量 SBS 改性沥青进行加工,并对成品改性沥青及其沥青混合料性能进行对比研究。在综合比较路用性能和经济性的基础上,提出了低剂量改性沥青改性剂的经济掺量范围和技术指标评价标准。研究表明:在满足生产要求的合理掺量条件下,低剂量改性沥青混合料的高温稳定性和抗水损坏能力基本可达到普通改性沥青混合料的性能指标,而其经济性能指标则优于普通改性沥青;SBS 掺量的质量分数为 3% 时沥青混合料的经济性能指标最大。

**关键词:**道路工程;SBS 改性沥青;低剂量;沥青混合料;路用性能

**中图分类号:**U414.75

**文献标志码:**A

## Road performance of low dosage SBS modified asphalt

YUAN Wan-jie<sup>1,2</sup>, CHEN Zhong-da<sup>1</sup>, SUN Chang-xin<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an

University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Guangdong CAC Engineering

Consultants Co Ltd, Guangzhou 510627, Guangdong, China)

**Abstract:** In order to evaluate the road performance and economic benefit of SBS modified asphalt, by using the colloid grinding technology in asphalt plant to produce modified asphalt in different SBS contents, and to compare the performances of finished modified asphalt and asphalt mixture, the range of SBS modifier content and the evaluating standards of technical indexes to low dosage modified asphalt were put forward based on the road performance and economical efficiency. The results show that the high temperature stability and water stability of low dosage modified asphalt mixture can basically meet the demands of common SBS modified asphalt mixture when the mixing amount of SBS modifier is reasonable for meeting the production requirement, its economy-performance index is even superior to the common SBS modified asphalt mixture. When the mass ratio of SBS content is 3%, the economy-performance index is the biggest. 6 tabs, 3 figs, 11 refs.

**Key words:** road engineering; SBS modified asphalt; low dosage; asphalt mixture; road performance

# 0 引 言

近年来,随着中国经济的快速发展,公路交通量日益增大,车辆大型化、重载和超载车辆比重的加大,对公路建设提出了更高的要求,沥青混凝土路面正面临着严峻的考验。因此,改性沥青从粘结材料的应用角度出发,以提高抗破损性能为目的,主要通过改善或提高基质沥青的蠕变特性,提高其在使用温度范围内的高温性能和低温性能,降低沥青在使用温度范围内的低温粘度,使混合料的脆化点温度下降,同时改善沥青与骨料的粘附性,提高沥青的粘性和粘结力。尽管改性沥青的使用在一定程度上缓解了沥青路面早期病害的发生,但由于改性沥青价格昂贵,且受初期建设投资的限制,所以改性沥青仅使用于抗滑表层或特殊路段,严重制约了沥青路面其他结构层使用功能的充分发挥。同时,受传统观念的影响和中国现阶段经济发展水平及公路初期建设投资的制约,虽然 3 层式沥青路面的中面层和 2 层式沥青路面的下面层从路面结构层功能要求考虑,需要重点解决沥青混合料的抗永久变形能力<sup>[1-5]</sup>,但实际建设中大多难以承受完全采用改性沥青的投资压力,以至目前仍多以重交普通沥青为主。以《公路沥青路面施工技术规范》<sup>[6]</sup>中气候分区的 1-4 区为例,改性沥青混合料的动稳定度要求不小于 2 800 次/mm,而普通沥青混合料仅要求不小于 1 000 次/mm,以致沥青路面的上面层多采用改性沥青,而中(下)面层仍采用普通沥青,造成抗永久变形

能力不足,出现了大量的车辙病害。低剂量 SBS 改性沥青不但能在一定程度上达到普通改性沥青的性能要求,而且由于改性剂用量的减少而使其价格大幅降低。因此,低剂量 SBS 改性沥青的使用,既可显著改善沥青混合料的路用性能,满足不同结构层的使用要求,也可在较大程度上降低公路建设的初期投资,为解决改性沥青的使用问题,从技术和经济的角度提供了可能。鉴于 SBS 改性剂具有改善柔性、增强抵抗永久变形能力和减小温度敏感性,且 SBS 改性沥青兼具耐高温、抗低温的良好综合性能,使 SBS 改性沥青在沥青路面上得到了广泛应用<sup>[7-10]</sup>。本文通过掺加不同剂量 SBS 改性剂,用实际改性沥青加工生产设备进行沥青改性,通过对不同剂量 SBS 改性沥青和沥青混合料性能的研究,全面考察低剂量 SBS 改性沥青的加工性能和路用性能,并提出 SBS 改性剂的合理掺量和低剂量 SBS 改性沥青的评价标准。

## 1 低剂量 SBS 改性沥青性能

### 1.1 改性沥青技术指标

改性沥青采用生产用普通重交沥青(壳牌 AH-70<sup>#</sup>),改性剂采用 SBS 星型改性剂,改性剂的掺量分别为沥青质量的 2%、3%、4%、5%、6%,生产加工采用加工厂胶体磨研磨技术。不同掺量 SBS 改性沥青、现行规范<sup>[6]</sup>中 AH-70<sup>#</sup> 道路石油沥青和 SBS 类 I-D 型改性沥青的主要技术指标试验结果如表 1 所示。

表 1 试验沥青样品技术指标检测结果

项 目		试验结果						规范标准	
		AH-70 <sup>#</sup>	2%掺量	3%掺量	4%掺量	5%掺量	6%掺量	AH-70 <sup>#</sup>	SBS 类 I-D
针入度(25 ℃)/0.1 mm		66.0	63.4	58.0	55.0	51.0	52.0	60.0~80.0	40.0~60.0
延度(5 cm/min, 5 ℃)/cm			25.0	31.0	32.0	33.0	34.1		≥20.0
延度(5 cm/min, 10 ℃)/cm		19		60				≥15	
软化点/℃		46.9	51.3	64.0	83.0	89.0	85.3	≥46.0	≥60.0
弹性恢复(25 ℃)/mm			75	82	85	92	98		≥75
运动粘度(135 ℃)/(Pa·s)		0.449	0.933	1.280	1.950	2.360	3.240		≧3.000
旋转薄膜 加热试验 (163 ℃, 5 h)	质量损失/%	0.17		0.10			0.07	≧±0.80	≧±1.00
	针入度比/%	61.0		69.0	75.0	78.0	87.4	≥61.0	≥65.0
	延度(5 cm/min, 5 ℃)/cm			13.0	16.0	19.0	22.4		≥15.0
	延度(5 cm/min, 10 ℃)/cm	10						≥6	

注:本研究采用的沥青等级适于按气候分区的 1-4 区和 A 级标准。

### 1.2 低剂量 SBS 改性剂合理掺量

一般认为<sup>[11]</sup>,SBS 改性沥青的改性剂适宜掺量为 3%~6%,通常采用 3%~4%,要求高时采用 5%~6%。

图 1(见下页)是不同的 SBS 改性剂掺量时改性沥青软化点的变化趋势。从图 1、表 1 中的试验结果可以看到,改性剂掺量为 5%时,改性沥青的软化点达到峰值,之后随着改性剂掺量的增加,其软化点

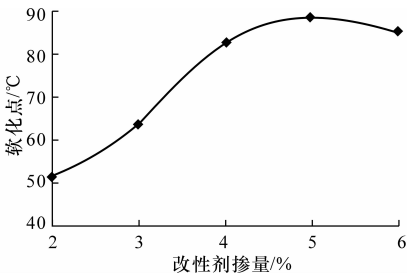


图 1 不同 SBS 改性剂掺量时改性沥青软化点的变化趋势

开始呈减小趋势,说明改性剂掺量达到 5%后,继续增加改性剂掺量已不能进一步提高改性沥青的高温性能,但其低温性能和粘弹性则随改性剂掺量的增加继续增大。因此,综合考虑对 SBS 改性沥青的高温性能要求,采用 5%~6%的掺量是合理的;而采用 3%~4%掺量时,各指标实测结果也基本可满足规范对 SBS 类 I-D 的技术要求。由于 SBS 改性沥青的加工生产目前仍多采用胶体磨研磨技术,因此当改性剂掺量小于 2%时,已不能对改性剂进行充分研磨、分散。由图 1 可以看出,改性剂掺量 2%~3%时的斜率是12.7;掺量为 3%~4%时的斜率是 19;掺量为 4%~5%时的斜率是 6.0。由此说明,改性剂掺量为 3%~4% 时对沥青的性能改善效果最大,此时的经济性能指标最优;掺量为 4%~5%时对沥青的性能改善效果较低,尽管仍有一定的提高,但其经济性能指标较差;而掺量为 2%~3%时对沥青的性能也有较大改善。此外,由于 AH-70<sup>#</sup> 沥青的软化点最大要求为 46℃~54℃,即掺量为 2%的改性沥青软化点为 51.3℃时仍表现为普通重交沥青的属性。采用内插法,改性剂掺量为2.5%

时的软化点约为 57℃,已超出普通重交沥青的范畴;而改性剂掺量为 2.5%~3%时改性沥青的其他技术指标除 5℃延度较低外,均已达到改性沥青的技术要求。因此,低剂量改性沥青的改性剂合理掺量可确定为 2.5%~3%。而低剂量 SBS 改性沥青多适用于中下面层,低温对其性能影响较小,延度指标可适度降低,由此提出低剂量 SBS 改性沥青的技术指标要求如表 2 所示。

表 2 低剂量 SBS 改性沥青技术指标要求

项 目		技术指标要求范围	试验依据
针入度(25℃,100 g,5 s)/0.1 mm		≥65	T0604-2000
延度(5 cm/min,5℃)/cm		≥15	T0605-1993
软化点/℃		≥55	T0606-2000
运动粘度(135℃)/(Pa·s)		≥3	T0625-2000
弹性恢复(25℃)/%		≥75	T0662-2000
旋转薄膜	质量损失/%	≥±0.8	T0610-1993
加热试验	残留针入度比/%	≥65	T0604-2000
(163℃,5 h)	残留延度(5 cm/min,5℃)/cm	≥10	T0605-1993

注:试验依据 T0604-2000 表示文献[6]中的试验编号;其他编号以此类推。

## 2 低剂量 SBS 改性沥青混合料性能

### 2.1 马歇尔试验结果的比较

根据文献[6]规定的 AC-25 型级配范围,并结合矿料的生产规格,采用表 3 中的设计矿料级配进行比较。试验采用普通重交沥青、低剂量 SBS 改性沥青(掺量 2%和 3%)和普通 SBS 改性沥青(掺量 6%),沥青技术指标试验结果如表 1 所示。

表 3 沥青混合料矿料级配的组成

级配类型	下列筛孔(mm)的通过率/%												
	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
设计级配	100	98.3	84.4	79.1	69.2	57.5	31.7	22.9	15.6	11.8	9.3	7.8	5.2
规范上限	100	100	90	83	76	65	52	42	33	24	17	13	7
规范下限	100	90	75	65	57	45	24	16	12	8	5	4	3

为了便于比较 3 种沥青对沥青混合料体积指标和路用性能指标的影响,试验采用同一级配曲线,目标空隙率设计为 4%,试验结果如下页表 4 所示。

根据表 4 中的试验结果,在空隙率基本一致的情况下,2%掺量改性沥青与普通沥青混合料的最佳油石比均为 3.7%,仍表现为普通沥青的属性;而 3%掺量改性沥青则与普通改性沥青(6%掺量)混合料的最佳油石比基本一致,较普通沥青混合料油石比增加 1%,表现出了改性沥青的属性。马歇尔试验

结果也表明,至少掺加 2.5%~3%SBS 改性剂时,加工沥青才具有改性沥青的属性,这也说明 2.5%~3%掺量作为低剂量改性沥青的用量范围,从对沥青性能指标的改善效果方面考虑也是合理的。

### 2.2 沥青混合料性能指标的比较

4 种沥青混合料的 60℃车辙试验、冻融劈裂试验和残留稳定度试验结果如下页表 5、图 2 和图 3 所示。

根据表 5 的试验结果,尽管 SBS 改性剂掺量达

表 4 沥青混合料马歇尔试验结果

项 目		油石 比/ %	试件毛 体积相 对密度	空隙 率/ %	矿料间 隙率/ %	沥青饱 和度/ %	稳定 度/ kN	流值/ 0.1 mm
沥青 类型	普通沥青	3.7	2.491	4.0	12.1	70.0	8.8	28.0
	2% SBS 改性沥青	3.7	2.497	3.9	12.1	68.2	10.1	31.9
	3% SBS 改性沥青	3.8	2.493	3.9	12.3	68.6	10.5	28.4
	6% SBS 改性沥青	3.8	2.491	4.0	12.4	67.8	11.6	30.5
技术要求				3~6	≥8+e	55~70	≥8	15~40

注:  $e$  为设计空隙率。

表 5 沥青混合料性能指标的比较

项 目		油石 比/%	动稳定度/ (次·mm <sup>-1</sup> )	冻融劈裂强 度比/%	残留稳定 度/%
沥青 类型	普通沥青	3.7	1 734	77.7	86.3
	2% SBS 改性沥青	3.7	3 053	89.2	94.5
	3% SBS 改性沥青	3.8	7 138	92.1	97.1
	6% SBS 改性沥青	3.8	7 473	96.1	98.0
技术 要求	普通沥青		≥1 000	≥75	≥80
	改性沥青		≥2 800	≥80	≥85

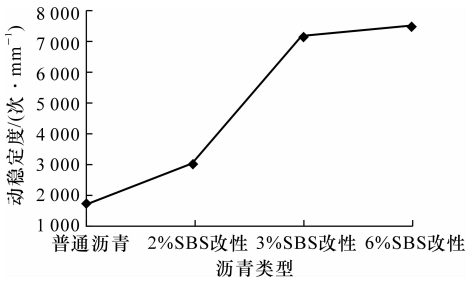


图 2 动稳定度变化趋势

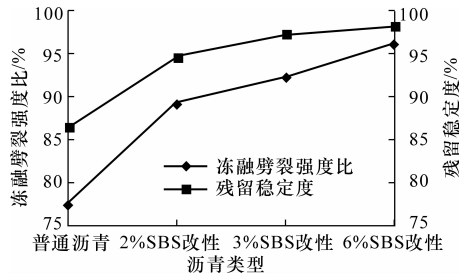


图 3 水稳定性变化趋势

到 2% 时沥青混合料的各性能指标均已满足规范要求,但从图 2 沥青混合料的性能指标变化趋势来看,动稳定度的增长规律与沥青改性后软化点的变化趋势基本一致。普通沥青掺加 2% 改性剂时,动稳定度提高了 76%,而掺加 3% 改性剂时则提高了 311.6%;改性剂的掺量由 3% 增加到 6%,其动稳定度仅提高了 4.7%。因此,低剂量 SBS 改性剂的掺量在 2%~3% 之间时可有效改善沥青混合料的高

温稳定性。图 3 中沥青混合料的水稳定性(冻融劈裂强度比、残留稳定度)变化趋势表明,普通沥青掺加 2% 改性剂时,由于沥青粘度的增大,其水稳定性能提高最快;随着改性剂掺量的继续增加,沥青粘度的增大对混合料水稳定性能的影响逐渐趋于稳定,其水稳定性能的提高逐渐趋于缓和。

综合考虑沥青混合料的高温稳定性和水稳定性能要求,采用 2.5%~3% 掺量作为低剂量改性沥青的用量范围,既能有效改善沥青混合料的高温稳定性能,又可保证对沥青混合料的水稳定性要求。

3 低剂量 SBS 改性沥青的经济性能

沥青材料的经济性能比按式(1)计算,其计算结果如表 6 所示。

$$E=P/C$$
 (1)

式中:  $E$  为经济性能比;  $P$  为路面使用性能(高温稳定性、水稳定性);  $C$  为每公里路面沥青的投资。

表 6 沥青材料经济性能的比较

沥青类型		普通 沥青	3% SBS 改性沥青	6% SBS 改性沥青
单价/(元·t <sup>-1</sup> ) <sup>①</sup>		4 000	4 500	5 300
每公里路面沥青投资 $C$ /(万元·km <sup>-1</sup> ) <sup>②</sup>		47.5	54.8	64.6
技术性 能指标	高温稳定性/(次·mm <sup>-1</sup> )	1 734	7 138	7 473
	水稳定性/%	77.7	92.1	96.1
经济性 能指标	高温稳定性	36.5	130.3	115.7
	水稳定性	1.64	1.68	1.49

注:①沥青单价为 2007 年 12 月报价;②沥青混合料为 3 207 t/km。

表 6 中经济性能指标的高温稳定性、水稳定性分别为技术性能指标的高温稳定性和水稳定性除以对应的每公里路面沥青投资  $C$ ,其中水稳定性采用冻融劈裂强度比的值计算。

表 6 的计算结果表明,掺加改性剂增加的费用与沥青混合料性能的改善之间存在经济性能最优组合,即经济性能指标存在最大值,表现为单位投资获得最优的沥青混合料性能改善效果。根据计算结果,3% SBS 改性剂掺量时沥青混合料的经济性能指标最大,这也再次说明,采用低剂量改性沥青既能有效改善沥青路面的路用性能,基本达到普通改性沥青的使用效果,又能有效地节约建设投资。

4 结 语

(1)计算结果表明,3% SBS 掺量时沥青混合料的经济性能指标最大,表现为该条件下的单位投资可获得最优的沥青混合料性能改善效果;建议 SBS 掺量为 2.5%~3% 作为低剂量改性沥青的适宜掺

量范围。

(2)结合低剂量 SBS 改性剂合理掺量范围内改性沥青的性能改善结果,提出了低剂量 SBS 改性沥青的技术指标要求范围,以指导低剂量 SBS 改性沥青的生产加工和质量评定。

(3)马歇尔试验结果表明,2% SBS 掺量时沥青仍表现为普通沥青的属性;2.5%~3% SBS 掺量时沥青开始具有改性沥青的属性。

(4)沥青混合料动稳定度的增长规律与沥青改性后软化点的变化趋势基本一致,掺加 2% 改性剂时动稳定度可提高 76%,掺加 3% 改性剂时动稳定度可提高 311.6%;而改性剂掺量由 3% 增加到 6%,其动稳定度仅提高了 4.7%,说明低剂量 SBS 改性剂的掺量在 2%~3% 之间时对沥青混合料的高温稳定性改善最为显著。

(5)掺加 2% 改性剂对沥青混合料的水稳定性改善最显著;随着改性剂掺量的继续增加,对水稳定性的提高逐渐趋缓。

#### 参考文献:

#### References:

- [1] 陈忠达,袁万杰,薛航,等. 沥青混合料高温性能评价指标[J]. 长安大学学报:自然科学版,2006,26(5):1-4.  
CHEN Zhong-da, YUAN Wan-jie, XUE Hang, et al. High temperature stability index of hot mixed asphalt[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006, 26(5): 1-4.
- [2] 吕文江. 沥青路面结构与材料设计一体化研究[D]. 西安:长安大学,2006.
- [3] 杜顺成,戴经梁. 沥青混合料永久变形评价指标[J]. 中国公路学报,2006,19(5):18-22.  
DU Shun-cheng, DAI Jing-liang. Permanent deformation evaluation index of asphalt mixture[J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(5): 18-22.
- [4] 马沉重. 天然岩沥青改性沥青混合料的性能研究[J]. 筑路机械与施工机械化,2007,24(3):22-24.  
MA Chen-zhong. Performance research of modified asphalt mixture with natural rock[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2007, 24(3): 22-24.
- [5] 赵永祯,鲁荣彦,李彦伟. 界面法改性沥青混合料路用性能分析与应用[J]. 筑路机械与施工机械化,2007,24(4):17-19.  
ZHAO Yong-zhen, LU Rong-yan, LI Yan-wei. Analysis and application of boundary surface method on pavement performance of modified asphalt mixture[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2007, 24(4): 17-19.
- [6] JTG F40—2004,公路沥青路面施工技术规范[S].
- [7] 余剑英,罗小锋,吴少鹏,等. 阻燃 SBS 改性沥青的制备及性能[J]. 中国公路学报,2007,20(2):35-39.  
YU Jian-ying, LUO Xiao-feng, WU Shao-peng, et al. Preparation and properties of flame-retarded SBS modified asphalt[J]. China Journal of Highway and Transport, 2007, 20(2): 35-39.
- [8] 周庆华,沙爱民. 沥青高温流变评价指标对比[J]. 交通运输工程学报,2008,8(1):27-30,35.  
ZHOU Qing-hua, SHA Ai-min. Comparison of high-temperature rheological evaluation indices for bitumen[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2008, 8(1): 27-30, 35.
- [9] 袁万杰,彭波,陈忠达. 不同类型 SBS 改性剂适用气候分区研究[J]. 公路交通科技,2005,22(1):17-21.  
YUAN Wan-jie, PENG Bo, CHEN Zhong-da. Study on climate zone for different kinds of SBS modifiers[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(1): 17-21.
- [10] 冯新军,郝培文,查旭东. 路用改性沥青 AC-13 混合料的级配优化[J]. 长安大学学报:自然科学版,2007,27(3):20-24,30.  
FENG Xin-jun, HAO Pei-wen, ZHA Xu-dong. Optimization of aggregate gradations for modified asphalt AC-13 mixture in pavement[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2007, 27(3): 20-24, 30.
- [11] 沈金安. 改性沥青与 SMA 路面[M]. 北京:人民交通出版社,1999.