

文章编号:1671-8879(2005)01-0010-05

## SBS 聚合物改性沥青技术性能

熊 萍<sup>1</sup>, 郝培文<sup>2</sup>, 高传明<sup>3</sup>

(1. 同济大学 交通运输工程学院, 上海 200092; 2. 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; 3. 铜川市公路管理局, 铜川 727000)

**摘 要:**针对不同种类、不同工艺的 SBS 改性沥青,采用试验、理论相结合的方法,包括常规三大指标试验、SHRP 动态剪切流变 DSR 试验、储存稳定性试验等,分析了加工工艺参数对 SBS 改性沥青技术性能以及相容性的影响。结果表明,不同品种的改性剂、不同的制备温度、不同的改性工艺均对改性沥青的性能产生较大影响。相比于其他因素而言,SBS 改性沥青的改性工艺是影响其性能的主导因素;储存稳定性较好的改性沥青,其技术性能也较好;星型 SBS 改性沥青的技术性能优于线型 SBS 改性沥青;基于改性沥青的综合性能考虑,制备温度不宜过低。因此,通过掺配适当的稳定剂和助剂等措施改善改性工艺,是提高 SBS 改性沥青技术性能的最有效途径之一。

**关键词:**道路工程;SBS 聚合物改性沥青;技术性能;加工工艺;动态剪切流变;储存稳定性

**中图分类号:**U414.3

**文献标识码:**A

## Pavement performance of SBS modified asphalt

XIONG Ping<sup>1</sup>, HAO Pei-wei<sup>2</sup>, GAO Chuan-ming<sup>3</sup>

(1. School of Traffic and Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;  
2. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University,  
Xi'an 710064, China; 3. Highway Administration of Tongchuan City, Tongchuan 727000, China)

**Abstract:** The influence of different processing technique parameters and different SBS modifier sorts on the SBS modified asphalts' properties is studied, thus to direct modified asphalt production. Theoretical research combined experimental methods is carried out. The results show that the processing technique is the most important factor for the pavement performance, and the pavement performance is fine while its storage stability show well. Furthermore shearing temperature should not be too low when taking the synthesized performance into account. Therefore improving processing technique through adding proper stabilizer and compatilizer is one of the most effective way to upgrade the pavement performance of SBS modified asphalt.

**Key words:** road engineering; SBS modifier asphalt; pavement performance; processing technique; dynamic shear rheological; storage stability

## 0 引 言

目前国内外从事沥青改性研究工作,主要研究

掺量较低而又符合道路使用要求的聚合物改性沥青。从改性沥青技术看,目前中国采用的改性沥青绝大多数仍属于物理方法改性,一些厂家亦采用物理或化学

收稿日期:2003-12-05

作者简介:熊 萍(1981-),女,湖北孝感人,同济大学博士研究生。

的手段进行稳定性处理,由于采用的方法各异,选用的改性剂又不同,改性沥青产品的性能差异较大<sup>[1,2]</sup>。本文针对 SBS 改性沥青,采用试验、理论相结合的方法,研究加工工艺参数对 SBS 改性沥青技术性能以及相容性的影响,从而指导改性沥青的生产。

1 SBS 聚合物改性沥青的制备

基质沥青为克拉玛依-110# 重交通道路沥青, SBS 改性剂包括国创 4303、道改-2#、LG501、岳化 791,共 4 种,分别制备 15 种改性沥青<sup>[3,4]</sup>。其工艺分为成品工艺和直接剪切工艺。所谓成品工艺是将 SBS 改性沥青经过稳定剂及其他助剂处理的工艺;而直接剪切工艺是将基质沥青与 SBS 改性剂在一定温度下剪切而制得的改性沥青,不对其进行其他处理的工艺。改性沥青的编号见表 1、表 2 所示。

表 1 成品工艺改性沥青编号

基质沥青	克拉玛依-110#				
SBS 改性剂	国创 4303	道改-2#	岳化 791	岳化 791	岳化 791
制备温度/℃	220	220	220	200	180
编 号	K625	K626	K 大样	K627-1	K627-2

表 2 剪切工艺改性沥青编号

基质沥青	SBS 改性剂	制备温度/℃	改性沥青编号
克拉玛依-110#	国创 4303	160	4303-160
		180	4303-180
		200	4303-200
	道改-2#	160	道改 160
		180	道改 180
		200	道改 200
	LG501	160	LG160
		180	LG180
		200	LG200

表 4 剪切工艺 SBS 改性沥青三大指标试验结果

基质沥青	克拉玛依-110#								
改性剂	国创 4303			LG501			道改-2#		
剪切温度/℃	160	180	200	160	180	200	160	180	200
沥青编号	4303-160	4303-180	4303-200	LG160	LG180	LG200	道改 160	道改 180	道改 200
针入度 /0.1 mm	15 ℃	29	33	34	33	32	33	32	34
	25 ℃	64	67	65	69	63	68	71	66
	30 ℃	90	92	94	99	82	97	95	84
相关系数	0.999	0.999	0.999	1.000	0.997	1.000	0.997	0.997	0.997
PI 指数	1.32	2.05	2.17	1.58	2.61	1.72	1.56	2.40	2.00
T <sub>800</sub> /℃	58.6	61.4	61.9	58.5	65.5	59.4	58.6	64.0	60.4
T <sub>1.2</sub> /℃	-27.0	-33.4	-34.5	-30.3	-36.9	-31.1	-29.9	-35.5	-33.7
5 ℃延度/cm	20	33	18	47	60	55	52	66	47
软化点/℃	56.8	64.2	58.5	62.3	62.9	66.0	58.7	64.2	61.2

2 SBS 聚合物改性沥青技术性能

分别将 6 种成品工艺和 9 种剪切工艺的改性沥青试样用常规三大试验——针入度、延度和软化点进行评价及分析,试验结果见表 3、表 4。

表 3 成品工艺 SBS 改性沥青三大指标试验结果

基质沥青	克拉玛依-110#				
改性剂	国创 4303	道改-2#	岳化 791	岳化 791	岳化 791
制备温度/℃	220	220	220	200	180
沥青编号	K625	K626	K 大样	K627-1	K627-2
针入度 /0.1 mm	15 ℃	22	22	48	20
	25 ℃	57	62	113	50
	30 ℃	85	96	166	78
相关系数	0.999	0.999	1.000	1.000	1.000
PI 指数	1.00	-0.48	0.70	0.08	-0.51
T <sub>800</sub> /℃	54.5	51.2	48.8	55.5	52.1
T <sub>1.2</sub> /℃	-17.2	-14.5	-29.5	-16.0	-13.3
5 ℃延度/cm	42	42	95	17	18
软化点/℃	57.8	71.3	76.9	52.4	51.3

将不同改性工艺、制备温度下 SBS 改性沥青的针入度、延度、软化点三大技术指标的试验结果综合分析发现:①不同的改性工艺对技术指标有很大影响。如对于成品试样,K 大样的制备工艺与其他 4 种不同,其三大指标明显优于其他。剪切试样的温度敏感性优于成品工艺试样。②成品工艺试样中,同一改性温度下,K625(国创 4303)的温度敏感性优于 K626(道改-2#),软化点比 K626 高,两者延度相等;对于同一改性剂岳化 791SBS,K627-1(200 ℃)的感温性、软化点均比 K627-2 优,但延度稍低一些。③剪切工艺试样中,国创4303SBS改性沥青的

延度最低,软化点也较道改-2<sup>#</sup>、LG501 两者的低,性能不如其余两种改性剂。④对于克拉玛依-110<sup>#</sup>基质沥青,同种工艺下,星型 SBS 改性效果优于线型 SBS,但线型 SBS 若采用较合适的改性工艺,也可获得优于星型 SBS 的改性效果,例如 K 大样。⑤不同的制备温度对技术指标有一定的变化规律:最大延度的改性温度均出现在 180 ℃,最低软化点的改性温度均为 160 ℃;而且对于针入度指数 PI 来说,温度较低时(160 ℃)针入度指数 PI 也最小,因此制备温度也可适当高一些。⑥当量软化点  $T_{800}$  与实测软化点、当量脆点  $T_{1.2}$  与延度的结果不尽一致。其原因可能是由于掺加了 SBS 高聚物后沥青内部组织结构发生了变化,用来评价沥青性能的常规方法不一定适合改性沥青。但究竟哪一个指标对于评价改性沥青不太合理,还需深入研究<sup>[5]</sup>。

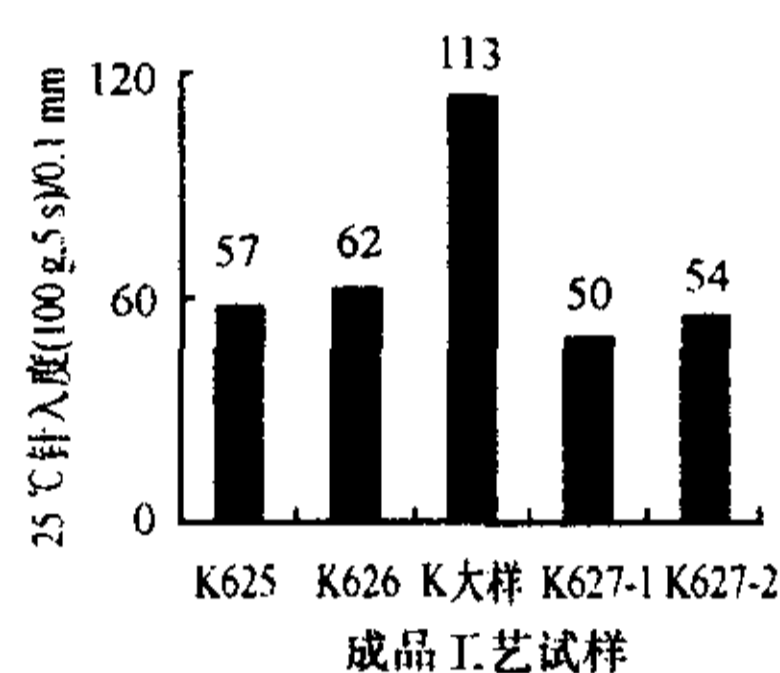


图1 成品改性沥青试样  
25℃针入度比较

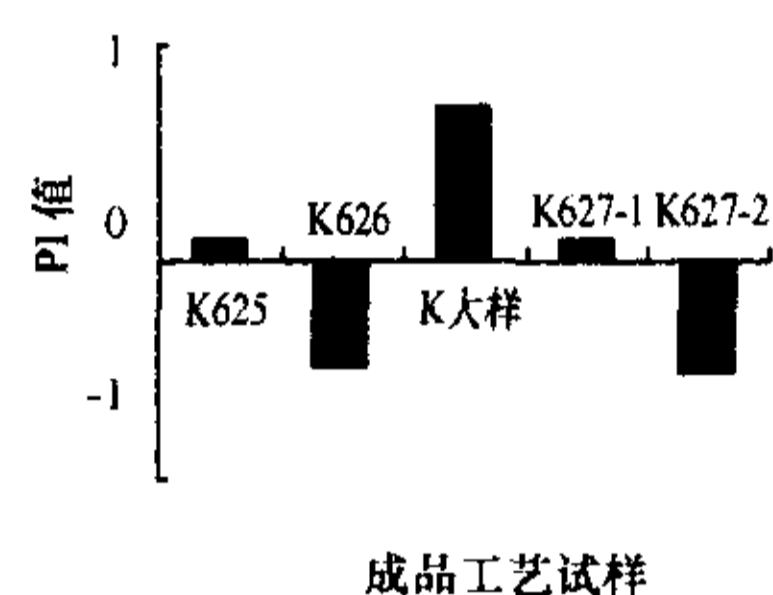


图2 成品改性沥青试  
样 PI 值比较

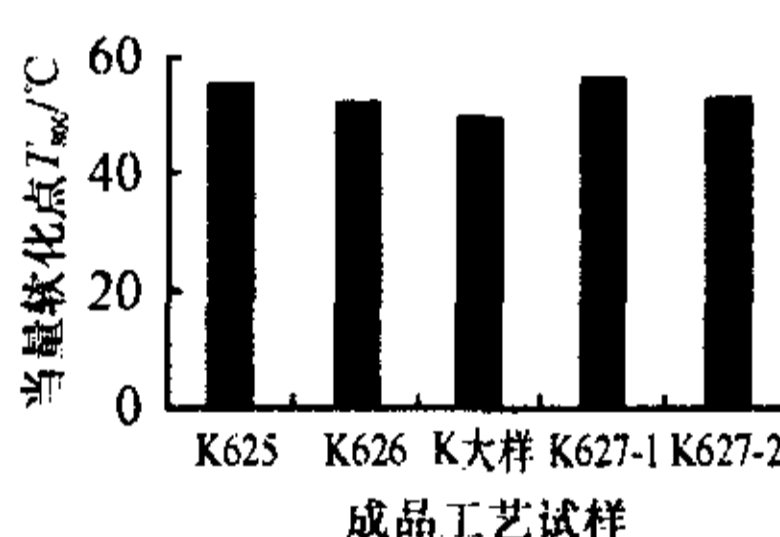


图3 成品改性沥青试样当  
量软化点  $T_{800}$  值比较

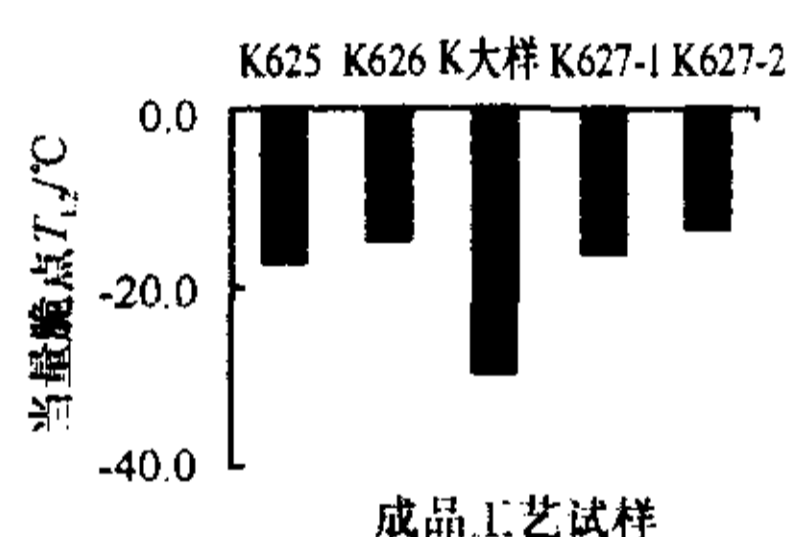


图4 成品改性沥青试样当  
量脆点  $T_{1.2}$  值比较

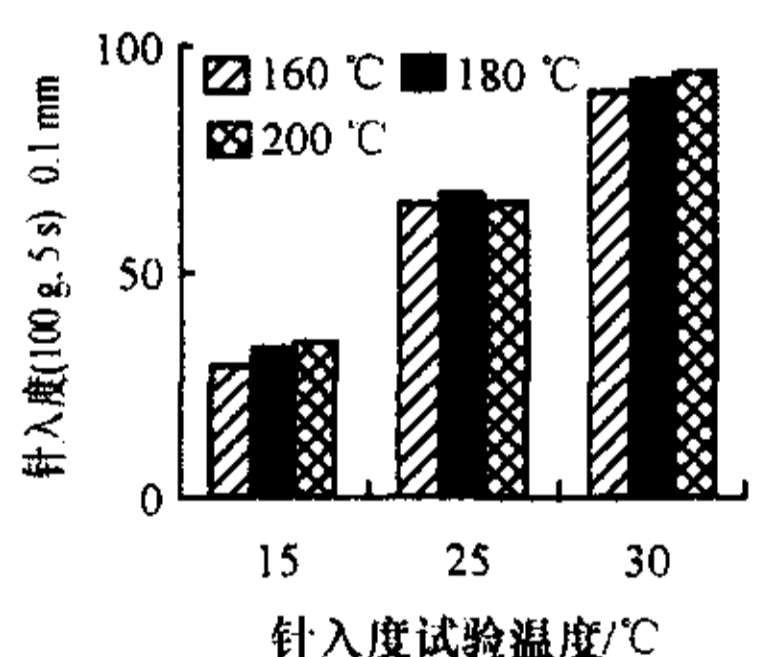


图5 国创 4303 SBS 改性沥  
青剪切温度与针入度青剪

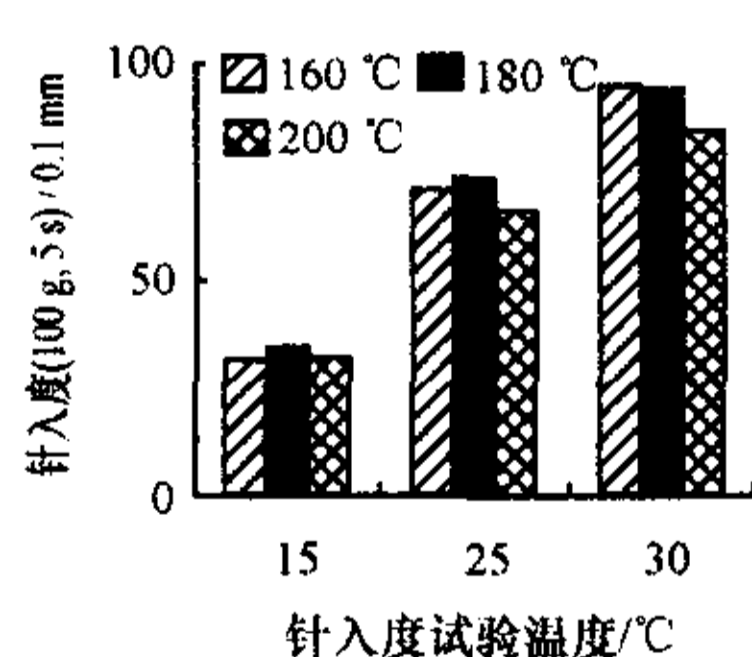


图6 道改 SBS 改性沥青  
剪切温度与针入度

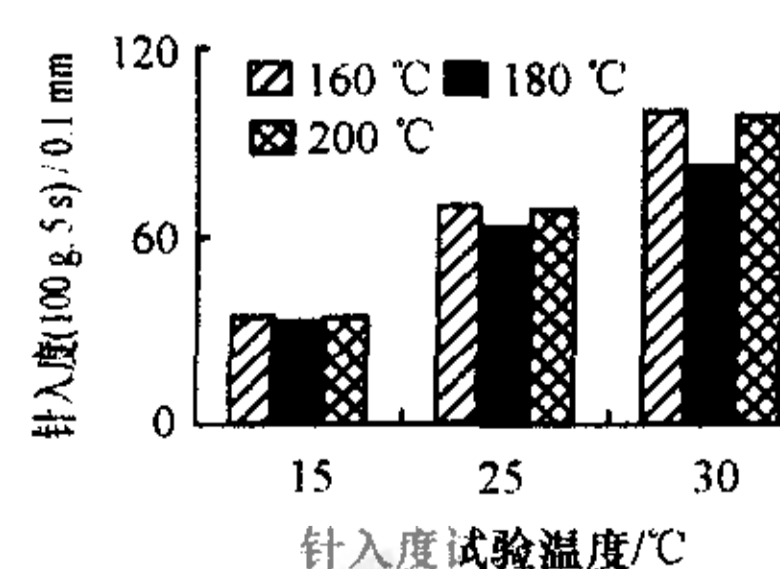


图7 LG SBS 改性沥青剪  
切温度与针入度比较

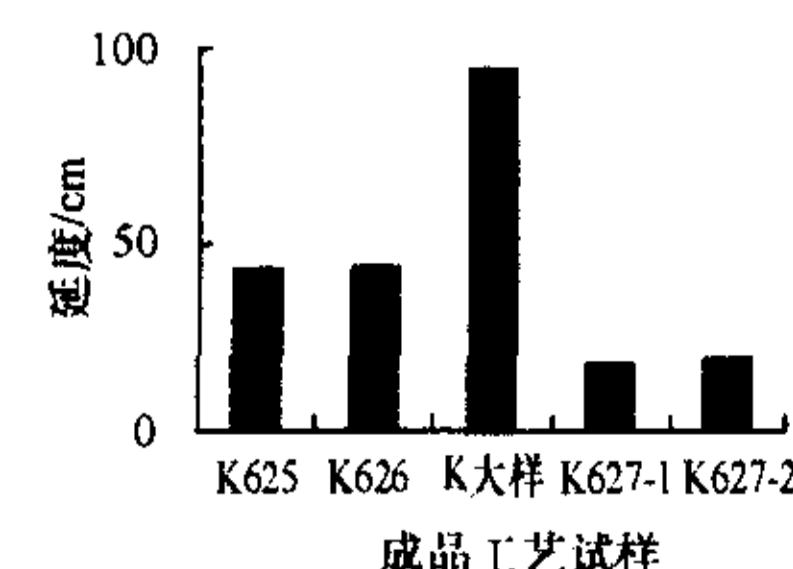


图8 成品改性沥青不同剪  
切温度与延度比较

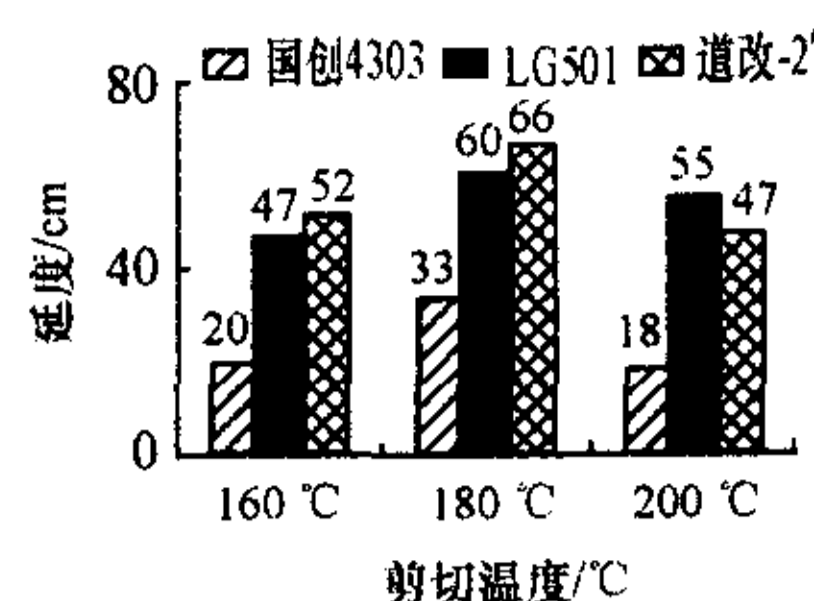


图9 剪切改性沥青不同剪  
切温度与延度比较

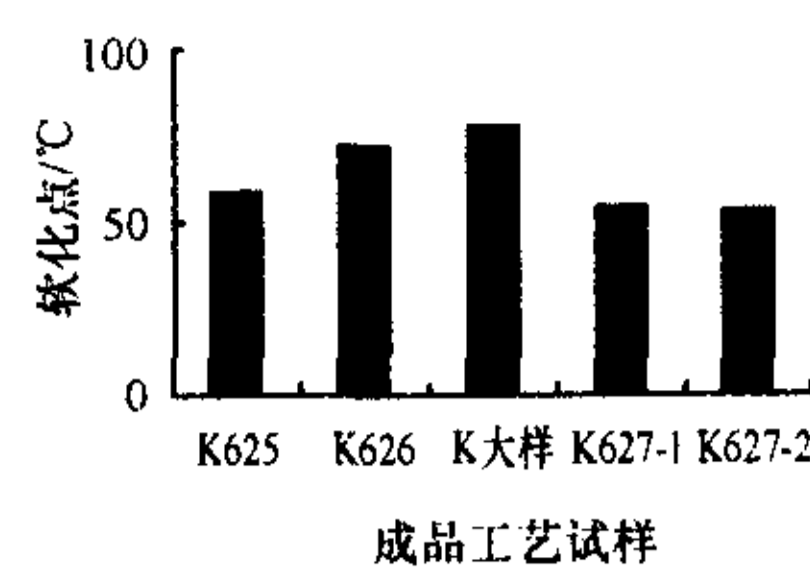


图10 成品改性沥青不同剪  
切温度与软化点比较

### 3 SBS 聚合物改性沥青流变试验

采用 SHRP 规范的动态剪切流变 DSR 试验<sup>[6]</sup>,对成品工艺(岳化 791SBS,180 ℃、200 ℃、220 ℃)试制的 3 个样品、剪切工艺(道改-2<sup>#</sup> SBS,160 ℃、180 ℃、200 ℃)试制的 3 个样品的流变性能进行评价。

DSR 试验仪为美国 PHYSICA 公司的 PHEO-LAB DSR4000 型动态剪切流变仪,采用应变式控制模式,应变值  $\gamma=12\%$ ,试验频率  $\omega=10 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ ,改性沥青试样直径  $\phi=25 \text{ mm}$ , $h=1 \text{ mm}$ 。试验温度采用 25 ℃、45 ℃、60 ℃、80 ℃ 4 种温度,考察动态剪切流变性能随温度变化的关系。

6 种试样的 DSR 结果见表 5。

表5 岳化 791SBS 成品、道改-2<sup>#</sup> SBS  
剪切改性沥青试样的 DSR 试验结果

指标	DSR 试验 温度/℃	K627-2	K627-1	K 大样	道改 160	道改 180	道改 200
$G^*$ /kPa	25	1 370	1 250	203	456	428	451
	45	139	127	44.7	84.6	68.8	102
	60	25	25.2	11.5	16.7	16.5	18.5
	80	2.10	2.35	2.77	2.57	5.03	3.05
$G^* / \sin \delta$ /kPa	25	1 710	1 450	222	542	507	538
	45	157	135	49.6	95.6	79.6	117
	60	26.2	25.7	12.2	17.9	17.5	19.9
	80	2.17	2.35	2.84	2.61	5.15	3.15
$G^* \sin \delta$ /kPa	25	1 176	1 077	183	384	361	378
	45	130	120	41	75	59	89
	60	24.7	24.7	10.9	15.9	15.6	17.2
	80	2.09	2.34	2.70	2.53	4.91	2.95
$\delta / (^\circ)$	25	59.1	59.5	64.3	57.3	57.5	56.9
	45	69.2	70.4	66.1	62.3	59.8	60.6
	60	80.7	78.7	70.7	72.0	70.6	68.5
	80	83.8	85.8	77.4	79.7	77.6	75.6

$G^* / \sin \delta$ 、 $G^* \sin \delta$ 、 $\delta$  与 DSR 试验温度及改性工艺温度的比较见图 11~图 18。由分析可知:

(1)对成品工艺试样,在 DSR 试验温度较低时,K627-2 的  $G^*/\sin\delta$  几乎一直处于三者中最大,K大样最小,随着温度的升高,三者的  $G^*/\sin\delta$  都在衰减,但 K627-2 衰减得也最快,K大样衰减得最慢,当温度达到 80℃时,规律逆转过来,K大样的  $G^*/\sin\delta$  最大,而 K627-2 最小,但三者差别不大。由于  $G^*/\sin\delta$  是作为车辙因子评价沥青在高温下的稳定性能, $G^*/\sin\delta$  越大说明高温稳定性越好,抗车辙能力越强。因此,虽然 K大样在中低温时  $G^*/\sin\delta$  不如其余两者大,但是在 80℃时却显示了最好的稳定性,说明其高温性能是最好的,其次是 K627-1,最差是 K627-2。

(2)比较成品试样  $G^*\sin\delta$  疲劳因子随温度变化的关系可知,与  $G^*/\sin\delta$  有相同的规律:在 25℃、45℃和 60℃时,K627-2 的  $G^*\sin\delta$  最大,K大样最小;80℃时,K大样最大,而 K627-2 最小,但三者差

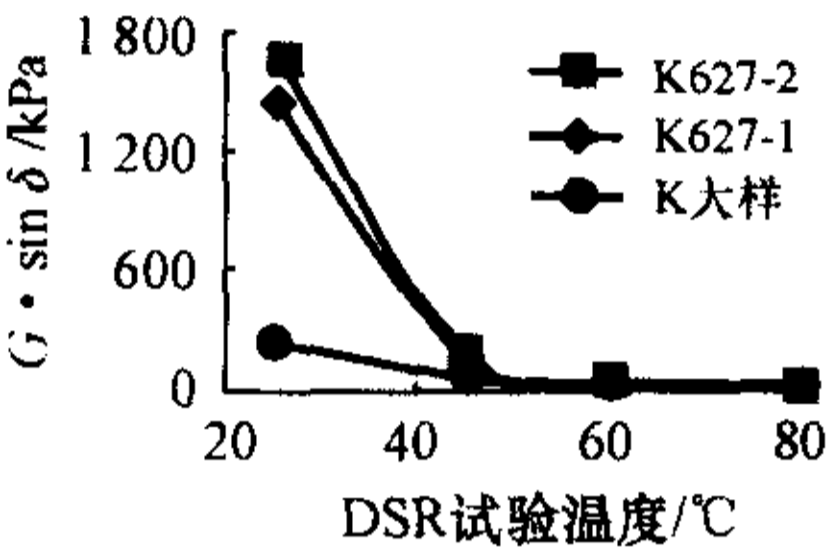


图11 岳化 791SBS 成品试样  $G^*/\sin\delta$  与试验温度关系

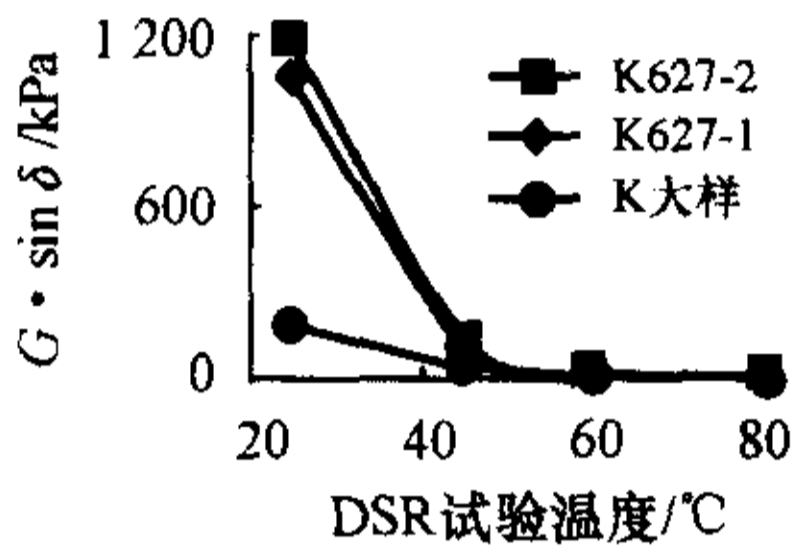


图12 岳化 791SBS 成品试样  $G^*\sin\delta$  与试验温度关系

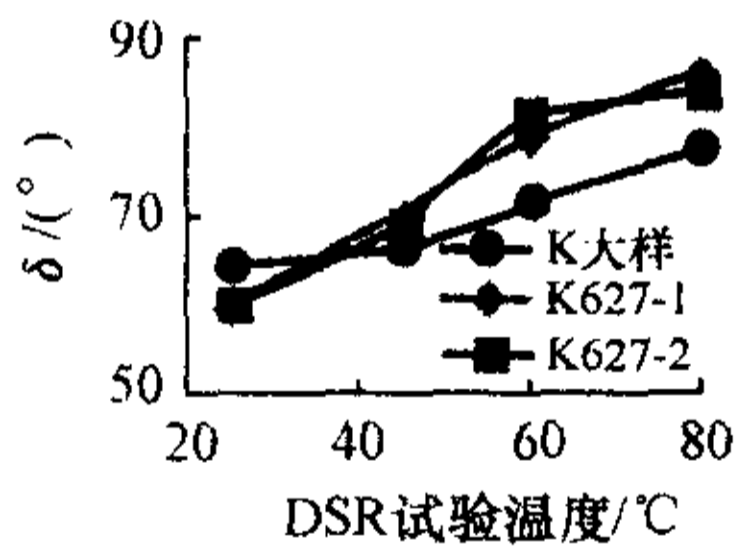


图13 岳化 791SBS 成品试样  $\delta$  与 DSR 试验温度关系图

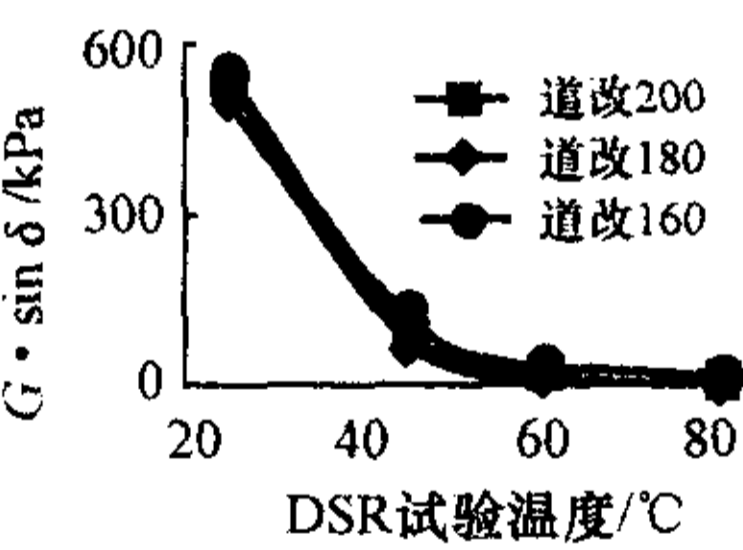


图14 道改 SBS 剪切试样  $G^*/\sin\delta$  与试验温度关系图

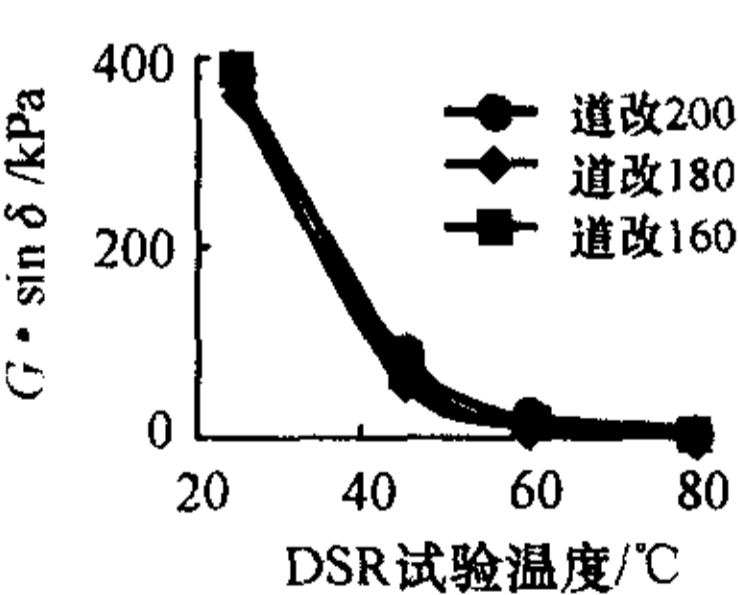


图15 道改 SBS 剪切试样  $G^*\sin\delta$  与试验温度关系

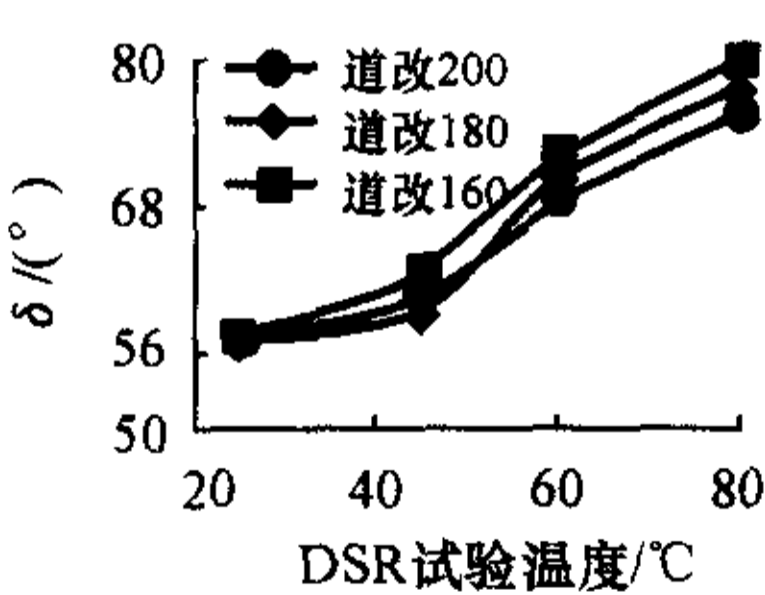


图16 道改 SBS 剪切试样  $\delta$  与 DSR 试验温度关系

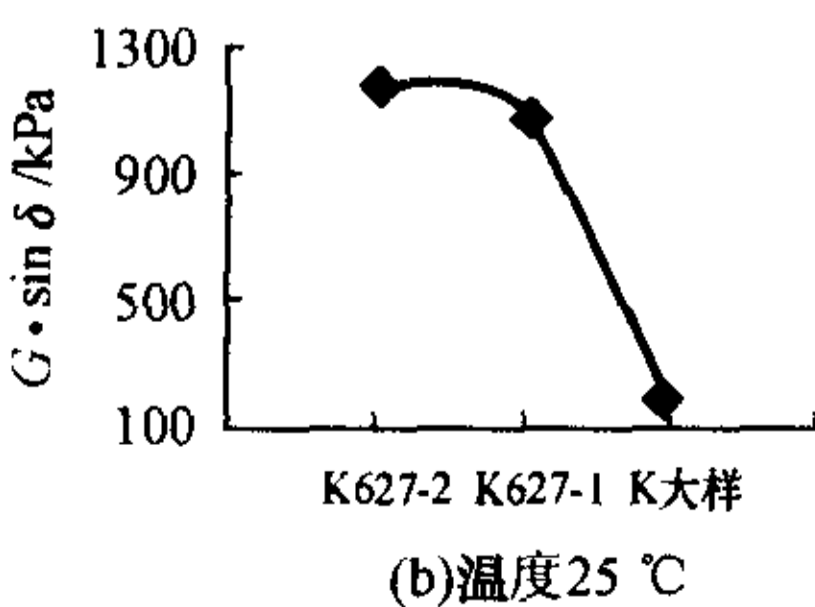
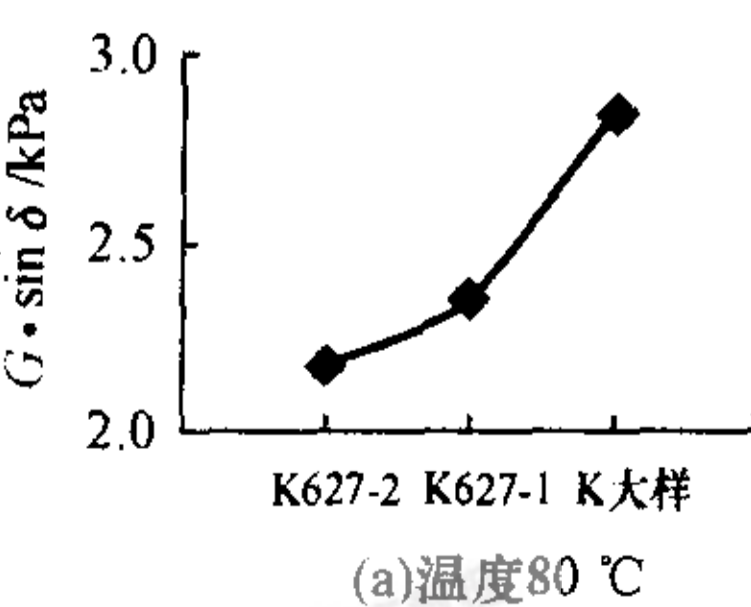


图17 成品工艺岳化 791SBS 改性沥青的 DSR 结果比较

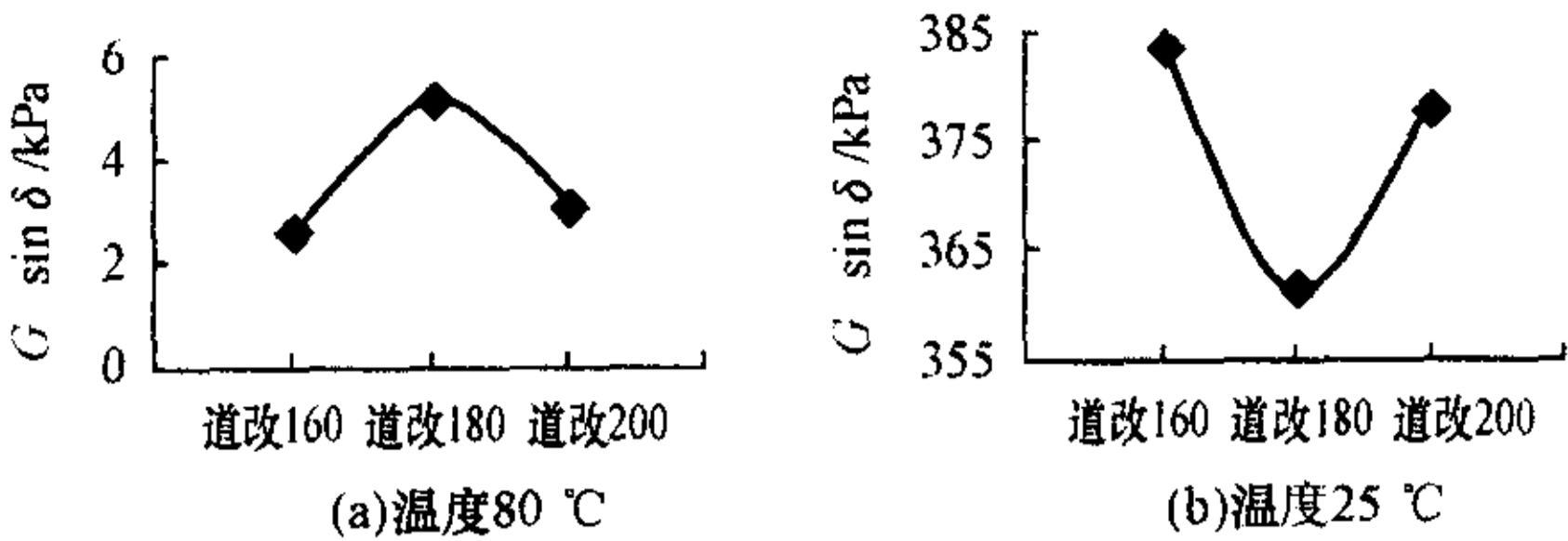


图 18 剪切工艺道改-2# SBS 改性沥青的 DSR 结果比较  
别不大。这说明 K627-2 的抗疲劳性能最差,K大样的抗疲劳性能最好。

(3)对剪切工艺试样,道改-2# SBS 在 3 个改性温度下,道改 180 在 25℃时的  $G^*/\sin\delta$  最小,道改 160 的最大;随着 DSR 测试温度的升高,道改 180 与其余两者的差距逐渐缩小,至高温 80℃时,道改 180 的  $G^*/\sin\delta$  变为最大, $G^*/\sin\delta$  仍达 5.15 kPa,而此时道改 160 的最小,因此说明道改 180 的高温性能是三者中最好的,道改 160 是最差的。

(4)比较剪切试样  $G^*\sin\delta$  疲劳因子随温度变化的关系可知,在 25℃、45℃、60℃时道改 180  $G^*\sin\delta$  最小,道改 160 和道改 200 相差不大;80℃时,道改 180 最大,道改 160 最小,但三者差别不大。这说明道改 180 的抗疲劳性能最好,道改 160 和道改 200 的抗疲劳性能较差。

(5)从相位角  $\delta$  分析, $\delta$  越大,表示材料的粘性越大而弹性越小,对于沥青材料,一般希望在较高温度时具有足够的弹性,以利于形变恢复,反之在中、低温时为避免疲劳开裂,希望沥青具有足够的粘性。由此,K大样在 25℃时  $\delta$  为三者中最大,其粘性较好,而在高温 80℃时,K大样的  $\delta$  最小,说明此时弹性最大,抵抗高温变形能力最强,K627-2 的变化趋势则与 K大样相反,低温时粘性小,耐疲劳性能差,高温时弹性小,抗车辙能力差。对剪切改性沥青,25℃时,道改 200 的  $\delta$  最小,道改 180 最大,但三者相差不大;45℃、60℃、80℃时都是道改 160 的  $\delta$  最大,60℃和 80℃下道改 200 的  $\delta$  最小。但单独用  $\delta$  不足以描绘沥青性能,还需要考虑  $G^*$  值,即  $G^*/\sin\delta$ 、 $G^*\sin\delta$  值。

从上述的分析可知,K大样、道改 180 均为同类改性剂中高温(80℃)条件下, $G^*/\sin\delta$  最大即高温稳定性性能最好的试样。它们有一个共同的特点,即在中低温时两者的  $G^*/\sin\delta$  值均是同类改性剂中最小,而高温的稳定性是最好的。同时,K大样和道改 180 的抗疲劳性能也最好。这说明了两者的  $G^*/\sin\delta$  值( $G^*$ )随温度变化的速度最慢,也即材料的性能变化受温度影响最小,或者说感温性最小,这与针入度指数 PI 得到的结论是一致的。<sup>[7]</sup>

4 储存稳定性试验分析

储存稳定性采用离析试验评价,测定试样在 163℃下储存 48 h 后,上部 1/3 和下部 1/3 样品的软化点之差,结果见表 6。

表 6 SBS 改性沥青成品和剪切试样储存稳定性试验结果

沥青编号	储存稳定性试验		
	$T_{R\&B上}/^{\circ}C$	$T_{R\&B下}/^{\circ}C$	$\Delta T_{R\&B下}/^{\circ}C$
国创 4303-160	103.0	56.2	46.8
国创 4303-180	102.0	59.1	42.9
国创 4303-200	105.7	58.2	47.5
LG160	97.5	59.6	37.9
LG180	93.8	57.6	36.2
LG200	93.7	57.8	35.9
道改 160	89.6	52.2	37.4
道改 180	89.7	54	35.7
道改 200	90.8	53.6	37.2
K625	92.6	51	41.6
K626	97.8	51.5	46.3
K 大样	69.5	69.3	0.2
K627-1	103.7	52.1	51.6
K627-2	107.2	51.8	55.4

从表 6 以及图 19、图 20 的结果分析可知,成品改性沥青中,仅有 K 大样满足规范上稳定性的要求,K625 等其余 4 种试样均发生了较为严重的离析(图 19)。试验时明显发现 K625 等样品上部严重交联,SBS 成丝状胶聚成团;而 K 大样上下仍均匀一体,具有良好的流动性。剪切工艺各试样均发生了严重的离析,上、下部软化点之差在 40℃左右,尤其是国创 4303 SBS 改性沥青,离析最为严重,这也说明了按照普通的剪切工艺改性的沥青一般储存稳定性都不能达到要求。

将储存稳定性结果与三大指标结果对比,可发现稳定性差的试样其技术性能也较差,稳定性好的

试样其技术性能也好。如用线型岳化 791SBS 改性的 K627-1、K627-2 与 K625、K626 相比,其延度和软化点均很低,相应的储存稳定性也比 K625、K626 差;K627-1 要稍好于 K627-2,储存稳定性好的 K 大样其延度延度、软化点、 $80^{\circ}C G^*/\sin\delta$  等均最大。如 4303-180 的离析软化点差为 4303-160、4303-200 三者中最小的,其延度、软化点、 $80^{\circ}C G^*/\sin\delta$  是三者中最高的;LG-160、道改-2# 也有类似规律。

由此可见,SBS 改性沥青的储存稳定性不仅是使用的基本要求,而且也与其技术性能直接相关,储存稳定性好的改性效果也好,储存稳定性差使用性能也较差。因此,要保证 SBS 改性沥青优良性能的发挥,必须统筹考虑其储存稳定性。

5 结 语

(1)在同一温度 220℃下,采用不同的成品工艺制得的 3 种样品,K 大样的温度敏感性、延度、软化点远较其余两者优,且 K 大样在高温时(80℃)的抗车辙能力最好,抗疲劳性能也较优,储存稳定性满足《公路改性沥青路面施工技术规范》的要求。

(2)星型 SBS 改性沥青的技术性能优于线型 SBS 改性沥青。对于岳化 791SBS 在不同温度下制得的试样,K627-1(200℃)的高温性能、抗疲劳性能、感温性均优于 K627-2(180℃)。对于在同一温度 220℃下不同 SBS 制得的试样,K625(国创 4303SBS)的感温性优于 K626,软化点低于 K626,两者延度相同。

(3)剪切工艺试样中,最大延度的改性温度均出现在 180℃,最低软化点的改性温度均为 160℃。对于道改-2# SBS 的 3 种剪切工艺试样,由动态剪切 DSR 流变性能试验可知,180℃制得的试样高温抗车辙能力最好,中低温时抗疲劳性能最好;160℃下制得的试样高温性能最差。基于改性沥青的综合性考虑,制备温度不宜过低,而应视具体情况,适当提高。

(4)储存稳定性较好的改性沥青,其技术性能也较好,反之亦然。

(5)相对于改性剂、制备温度等因素,SBS 改性沥青的改性工艺是影响其性能的主导因素,掺入合适的外掺剂,使用适当的改性工艺,可以得到很好的改性效果,如线型岳化 791SBS 在 220℃下,采用某种成品工艺制得的 K 大样。

(下转 19 页)

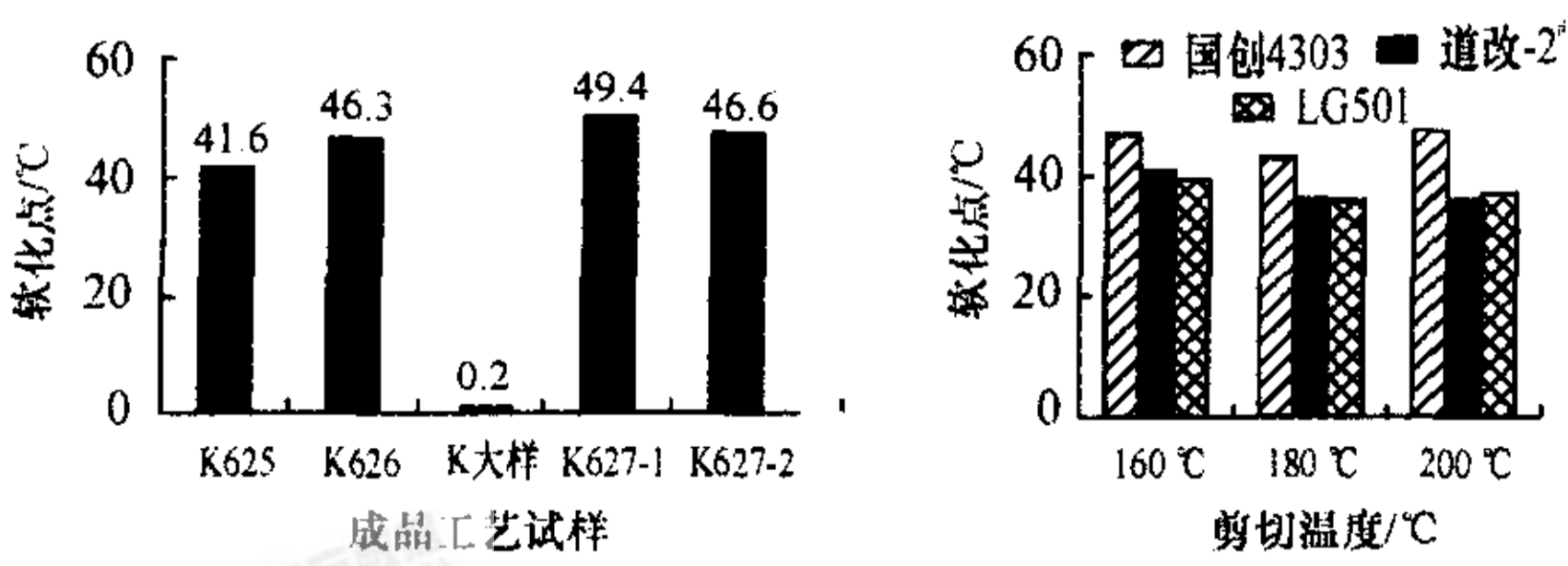


图 19 成品工艺试样离析试验结果比较

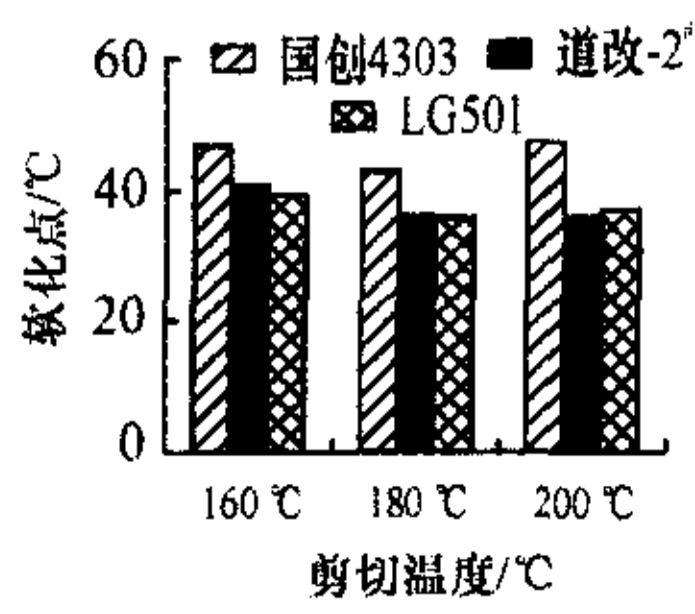


图 20 剪切工艺试样离析试验结果比较

第 32 组土样的中等胀缩性和弱胀缩性的聚类系数的数值非常接近,分别为 0.800 和 0.805、0.763 和 0.774,所以这两组土样究竟该判为中等胀缩性土还是弱(低)膨胀性土还有待商榷。同时,分类结果不同的 3 组土样中主要就包括了这两组。

3 结 语

本文主要基于膨胀土“胀缩性高低”划分属于模糊概念这一特性,将模糊信息优化处理方法中的有关理论应用于膨胀土分类,从而解决了以往用模糊方法判定膨胀土类别时需要人为规定隶属函数的问题,并通过该方法在应用于工程实例过程中与其他分类方法的对比,证明该方法分类效果良好,精度较高,可以为膨胀土的分类及其工程治理设计提供一种更加快速和准确的分类方法。此外,还可以将粘粒含量、自由膨胀率、胀缩总率等影响因素加以考虑,进行多因素综合评价以提高其分类精度。

参考文献:

References:

[1] 杨和平,郑健龙. 云南楚大公路膨胀土的土性试验研究[J]. 中国公路学报,2002,15(1):10-14.  
YANG He-ping, ZHENG Jian-long. Experimental research on properties of expansive soil on Chu-da expressway in Yunnan[J]. China Journal of Highway and

Transport, 2002,15(1):10-14.

[2] 李生林. 中国膨胀土工程地质研究[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1992.  
LI Sheng-lin. Engineering geological research for expansive soil of China[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1992.  
[3] 肖荣久. 陕南膨胀土及其灾害地质研究[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1995.  
XIAO Rong-jiu. Research for expansive soil and its hazard geology of south Shaanxi[M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1995.  
[4] 陈守煜. 模糊判定模型及其在膨胀土等级判定中的应用[J]. 工程勘察,1993,(6):13-17.  
CHEN Shou-yu. Fuzzy model and its application in grade determination of expansive soil[J]. Geotechnical Investigation and Surveying, 1993, (6):13-17.  
[5] 高志亮. 基于 MATLAB 神经网络对膨胀土潜势的分类和判别[J]. 工程地质学报,2002,(增刊):482-484.  
GAO Zhi-liang. Estimate and classification which are based on matlab natural network toolbox to the potential of expansive soil[J]. Journal of Engineering Geology, 2002, (Sup.):482-484.  
[6] 郭志勇. 膨胀土改性试验及动力特性[J]. 长安大学学报(自然科学版),2003,23(4):18-21.  
GUO Zhi-yong. Experiment and dynamic properties of improved expansive soil[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2003,23(4):18-21.

(上接 14 页)

参考文献:

References:

[1] 交通部重庆公路科学研究所. 美国公路战略研究计划(SHRP)沥青研究项目[Z]. 重庆:交通部重庆公路科学研究所,1995.  
Dept of Communication, American Strategic Highway Research Planning (SHRP), Asphalt Research Project [Z]. Chongqing:Chongqing Highway Science Research Institute,1995.  
[2] 石油化工科学研究院. 道路沥青聚合物改性技术文献汇编(下册)[Z]. 北京:石油化工科学研究院,1993.  
Oil Chemical Technology Science Institute. Compilation of road asphalt polymer modified technique (Volume 2) [Z]. Beijing: Oil Chemical Technology Science,1993.  
[3] JTJ032-98. 公路改性沥青路面施工技术规范[S]. 1999.

JTJ032-98. Construction technology specifications of modified asphalt highway surface[S]. 1999.  
[4] JTJ052-2000. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S]. 2000.  
JTJ052-2000. Test specifications of asphalt and butimen in highway engineering[S]. 2000.  
[5] Xiaohu Lu, Ulf I, Jonas E. Phase separation of styrene-butadiene-styrene polymer modified bitumens [J]. Journal of Materials in Civil Engineering,1999,(1):51-57.  
[6] 梁乃兴,李明国. SBS 改性沥青路用性能及机理研究[J]. 长安大学学报(自然科学版),2002,22(2):17-20.  
LIANG Nai-xing, LI Ming-guo. Performance and mechanism of modified asphalt with SBS[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2002, 22(2):17-20.  
[7] Yvonne B, Maryro P M, Yajaira R. Polymer modified asphalt[J]. Vision Tecnologica, 2001, 9(1):39-50.