

文章编号:1671-8879(2006)05-0005-04

# DE 硅改沥青及其混合料的路用性能

姚爱玲<sup>1,2</sup>, 孙治军<sup>3</sup>, 徐德龙<sup>1</sup>

(1. 西安建筑科技大学 材料科学与工程学院, 陕西 西安 710055; 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. 陕西省高速公路工程咨询有限公司, 陕西 西安 710086)

**摘 要:**复合型硅改性剂(DE)是无机沥青改性剂,它具有效果好、使用方便、经济性好等特点。采用实验方法研究了 DE 改性剂的特点、改性沥青的性能及改性沥青混合料的路用性能。结果表明:DE 改性沥青与基质沥青相比,软化点升高,135℃粘度增大,针入度指数增加,当量脆点  $T_{1.2}$  降低,说明改性后高温、低温性能与温度敏感性都有改善;DE 改性沥青混合料与基质沥青混合料相比动稳定度提高了 74%,冻融劈裂比提高了 20%以上,抗疲劳性能也有较大幅度的提高。

**关键词:**道路工程;硅改沥青;硅藻土;沥青混合料;路用性能

**中图分类号:**U414.75 **文献标识码:**A

## DE siliceous modified asphalt and its pavement performance

YAO Ai-ling<sup>1,2</sup>, SUN Zhi-jun<sup>3</sup>, XU De-long<sup>1</sup>

(1. School of Material Science and Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, 710055, Shaanxi, China; 2. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 3. Shaanxi Province Consulting Co Ltd for Expressway Engineering, Xi'an 710086, Shaanxi, China)

**Abstract:** As a kind of inorganic asphalt modifier, DE has the advantages of better performance, greater convenience and more potential in energy saving. This paper studies the features of DE siliceous modified asphalt, and the road performance of DE modified asphalt mixture with experiment. The test results indicate that the soften point, dynamic viscosity at 135℃, and penetration index of DE siliceous modified asphalt become bigger while brittle point  $T_{1.2}$  becomes smaller. The performance of high temperature and low temperature, temperature susceptibility of DE siliceous modified asphalt are improved, its dynamic stability raises 74%, the ratio of freeze-thaw splitting increases 20%, its fatigue resistance is also increased greatly. 5 tabs, 1 fig, 6 refs.

**Key words:** raod engineering; siliceous modified asphalt; siliceous earth; asphalt mixture; pavement performance

## 0 引 言

关于沥青与沥青混合料性能的改善,已引起了

世界各国的极大关注,采用橡胶类、热塑性橡胶类(SBS)和树脂类等各种聚合物的改性沥青性能研究已成为当今沥青路面研究的一个热门课题<sup>[1-3]</sup>。中

国在“八五”期间对聚乙烯(PE)、SBS、以及丁苯橡胶(SBR)等改性技术进行了广泛的试验研究。对于用无机物进行沥青改性,中国的研究非常有限。硅改沥青是美国在 20 世纪 80 年代开发的,曾在美国的卡尔加里、休斯顿、洛杉矶等地进行了两次大规模的应用研究,当时是将精选的硅藻土作为填料使用,路用效果良好。后来,德国在美国研究的基础上作了进一步改善,发现用水洗法提纯的硅藻土,使许多对沥青有害的杂质,如粘土矿物、有机质、黄铁矿、方解石等无法全部除掉,于是发明了“火法”工艺,使硅藻土的提纯、活化、扩容等一次完成。复合型硅改性剂(DE)是以硅酸盐矿物为主要原料,采用德国下萨克森州 V. D. K 公司 20 世纪 90 年代的新技术与云南陆升的专利技术,通过对原料提纯、改性、活化、扩容、复合、偶联等多道工序加工而成的,这已不是纯硅藻土,而是复合型的硅酸盐<sup>[4-5]</sup>。本文就 DE 改性沥青与沥青混合料的路用性能进行了试验研究,并对 DE 改性的机理进行探讨。

1 DE 及 DE 改性沥青

1.1 DE 的物性及特点

DE 改性沥青分为 I、II、III 型,I 型用于碱性沥青混合料改性;II 型用于基质沥青改性;III 型适用于酸性集料改性。本文所采用的 DE-II 型改性剂,即用于基质沥青改性,有如下特点:①呈粉红色粉末状,无辐射、无毒、无味、无腐蚀,堆积密度小,比表面积大,约为 20~30 m<sup>2</sup>/g,无团粒、不结块、活性好;②吸附性好,在搅拌沥青混合料时,能吸收沥青散发出来的酚、萘、蒽、氰化物等致癌的有毒气体,减轻了对人体健康的危害和环境污染;③复合、偶联了多种 R<sup>4+</sup>、R<sup>3+</sup>、R<sup>2+</sup> 硅酸盐功能材料,既有活性好、吸附性强的非晶体 SiO<sub>2</sub>,还有活性好、有红外光阻隔作用 and 高温抗蠕变、抗热震、耐腐蚀的硅酸盐;④使用非常方便,即拌即用,将沥青加热到 160 ℃,掺入一定剂量的 DE 改性剂,搅拌均匀即成 DE 改性沥青。

1.2 DE 改性沥青

在广东茂名重交通道路石油沥青 AH-90 中加入 10%DE 改性剂,改性沥青与基质沥青的试验结果比较见表 1。

从表 1 测定的各项数据可以看出:DE 改性沥青与基质沥青相比:①针入度下降,软化点升高,在 135 ℃粘度增大,说明高温稳定性有了改善;②当量软化点  $T_{800}$  升高,当量脆点  $T_{1.2}$  降低,说明高温与低温性能都有改善;③针入度指数增加,说明对温度敏

表 1 DE 改性沥青试验结果

试验内容		基质沥青	10%DE 改性沥青
针入度 (100 g,5 s)/ 0.1 mm	30 ℃	165.0	118.8
	25 ℃	95.8	61.8
	15 ℃	26.5	21.8
针入度指数		-1.83	-1.25
当量软化点 $T_{800}/\text{℃}$		42.6	52.2
当量脆点 $T_{1.2}/\text{℃}$		-10.3	-19.5
软化点/ $\text{℃}$		46.3	50.0
延度/cm	15 ℃	>150.0	49.5
	10 ℃	108.3	37.6
	5 ℃	14.5	6.0
运动粘度(135 ℃)/(Pa·s)		0.28	0.62
薄膜加热试验 (163 ℃,5 h)	质量损失/%	0.037	0.072
	针入度比/%	67.9	68.6
	5 ℃延度/cm	8.8	1.0

感性降低;④薄膜加热试验的针入度比升高,说明抗老化性能有所改善。

2 DE 改性沥青混合料配合比设计

用与沥青混合料配合比设计相同的方法——马歇尔设计法确定出集料的合理级配与最佳油石比,然后再以最佳油石比±0.3%作为沥青用量,以经验为依据改变 DE 的掺加量(8%~12%),制作马歇尔试件,测出相应的物理与力学指标,确定出最佳沥青改性剂 DE 的掺加量。如用克拉玛依重交沥青 AH-70,配制出 AC-25I 玄武岩沥青混合料,先确定出在不加 DE 时的最佳用油量为 4.5%,然后再以 4.5±0.3%作为沥青用量,根据表 2 确定出 DE 改性剂的掺加量。从表 2 可以看出,油石比取 4.2%时比较合适,而 DE 掺加量的影响不太明显,结合以往经验,取 DE 掺加量为 10%。表 2 中空隙率普遍偏小,这与计算时采用的矿料密度与沥青混合料试件的密度测试方法有关,本次试件密度测试方法采用“水中

表 2 最佳 DE 改性剂掺加量的确定

编号	油石比/%	DE 用量/%	表观密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	空隙率/%	饱和度/%	稳定度/kN	流值/0.1mm	残留稳定度/%
1	4.2	8	2.453	3.0	77.5	10.6	24.3	95.3
2		10	2.459	2.8	79.0	11.0	24.0	96.4
3		12	2.459	2.8	78.9	11.0	20.9	99.1
1	4.5	8	2.461	2.3	83.3	10.9	28.0	95.4
2		10	2.458	2.4	82.6	11.5	24.0	97.4
3		12	2.456	2.5	82.1	10.8	29.3	91.7
1	4.8	8	2.450	2.2	84.7	9.8	39.7	95.9
2		10	2.447	2.3	83.6	9.3	37.3	91.4
3		12	2.452	2.1	84.4	9.2	29.7	96.7

重法”,矿料密度采用了表观密度。所以推荐最佳油石比为 4.2%,DE 掺加量为 10%。

3 DE 改性沥青混合料的路用性能

对于 AC-20I 型 DE(试验时 DE 掺量为 10%)改性沥青混合料,本文综合研究了其高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性、疲劳耐久性,并与基质沥青混合料进行比较,以检验其路用性能,为进一步应用奠定基础。结合工程实际,试验时采用了不同产地与标号的沥青。

3.1 高温稳定性

用车辙试验所测的动稳定度来反映沥青混合料的高温稳定性。通过用克拉玛依 AH-70 对 AC-20I 沥青混合料试验发现,其基质沥青混合料动稳定度为 1 300~1 600 次/mm,而 DE 改性沥青混合料的动稳定度提高为 2 423~2 625 次/mm,增长幅度为 74%,说明了 DE 改性沥青混合料高温稳定性得到显著提高。

3.2 水稳定性

用残留稳定度以及冻融劈裂比来评价 DE 改性沥青混合料的水稳定性。残留稳定度试验结果可以参照表 2,基质沥青混合料的残留稳定度为 88.9%(表 2 未列出)。可以看出,DE 改性沥青混合料有着良好的水稳定性。另外,在长安大学大型设备 MTS——材料试验系统上进行了冻融劈裂试验。试验用沥青混合料类型为 AC-20 I,从表 3 中可以看出,虽然冻融前劈裂强度相当,但掺加 DE 改性后对冻融劈裂比有明显的提高,两种沥青改性后均提高了 20%以上。

表 3 冻融劈裂试验结果

试验内容	基质沥青混合料		DE 改性沥青混合料(10%掺加量)	
	埃索 AH-90	茂名 AH-90	埃索 AH-90 改性	茂名 AH-90 改性
冻融前强度/MPa	0.91	0.90	0.91	0.89
冻融后强度/MPa	0.56	0.71	0.69	0.84
冻融劈裂比/%	62.2	78.8	75.6	94.6

3.3 低温抗裂性能

按照《公路工程沥青与沥青混合料试验规程》(JTJ052-2000),对沥青混合料用低温弯曲应变来反映其低温抗裂性能。试验在-10℃,以 50 mm/min 的加载速率将 40 mm×40 mm×250 mm 的弯曲小梁破坏,计算出破坏时的最大弯拉应变、强度与劲度

模量。试验时,沥青为埃索 AH-90,混合料为 AC-20I,比较加与不加 DE 改性剂两种沥青混合料的低温性能,见表 4。

从表 4 可以看出,DE 改性沥青与基质沥青混合料的低温性能在同一水平且略有下降。

表 4 低温弯曲试验结果

混合料 类型	强度/MPa		弯拉应变(με)		劲度模量/MPa	
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
DE 改性 沥青(10% 掺加量)	9.98	1.47	2 275	236.868 1	4 407	980.685 1
基质沥青	10.26	0.70	2 382	232.572 3	4 395	318.132 3

3.4 疲劳耐久性

为了便于比较,对加与不加改性剂两种沥青混合料采用相同的应力水平进行疲劳试验。试验时,沥青为埃索 AH-90,混合料为 AC-20 I。加载波形:半正弦波;频率:10 Hz;试件尺寸:50 mm×50 mm×250 mm 的弯曲小梁。试验结果见表 5。对表 5 试验结果用疲劳标准方程  $N_f=k(1/\sigma)^n$  对曲线回归,回归方程见图 1,用双对数坐标进行回归可以得到一直线。

表 5 疲劳试验结果

应力水平/MPa	疲劳破坏次数/次	
	基质沥青混合料	DE 改性沥青混合料
0.42	21308	55000
0.56	8504	17049
0.70	6359	10853
0.84	3577	4811
0.98	2628	3362

从表 5 可看出,在相同的应力下,改性沥青混合料的疲劳寿命有一定的提高,尤其是在低应力水平下,提高幅度显著。从图 1 可看出,改性沥青混合

料的线位高于基质沥青混合料,即疲劳回归方程中  $k$  值增大,抗疲劳性能提高,但  $n$  值也相应增大,即曲线陡于基质沥青混合料,说明疲劳寿命对应力水平的变化也较敏感。

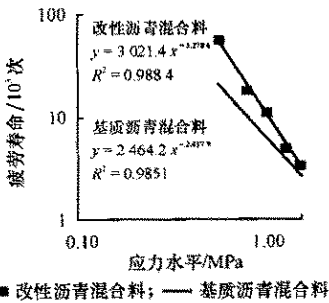


图 1 疲劳曲线图

## 4 DE 改性机理

### 4.1 物理吸附作用

DE 改性剂中,含有 60% 以上的非晶质  $\text{SiO}_2$ ,它具有大量有序排列的纳米微孔,比表面积  $20 \sim 30 \text{ m}^2/\text{g}$ 。它对沥青中的油分有很强的吸附能力,能吸收自身质量 1.3 倍的油分,储存于纳米微孔中。沥青中通常含有 40%~60% 的油分。沥青与改性剂混合后,便有一部分油分被吸收到改性剂的纳米微孔中,这样沥青的 4 大组分比例关系发生了变化,对温度敏感的饱和分减少,对改善高温稳定性有贡献的沥青质增加,沥青的粘度、软化点提高,针入度下降,流动性降低,所以高温不会泛油。由于这种吸附属于物理吸附,所以是可逆的。一旦集料表面沥青膜中的油分逐渐减少,它又会解吸,释放出油分,所以能有效延长路面服务质量<sup>[6]</sup>。

### 4.2 化学吸附作用

除了物理吸附外,DE 改性剂与沥青也存在着化学吸附。在普通沥青混合料中,凝胶材料通常是“沥青+矿粉”的混合物,而矿粉细度远远小于 DE 粉,所以与沥青的粘附性能要差得多。当油石比较高时,沥青表面的沥青膜偏厚(大于  $8 \sim 11 \mu\text{m}$ )时,会出现较多的自由沥青,成为集料产生相对位移的润滑剂,路面会产生推移、拥包等病害。加入 DE 后,由于其独特的微孔结构,能够与沥青结合形成结构沥青膜,而不是像与矿粉结合形成的粉胶沥青膜,即使有富余沥青,也不是自由沥青,而是微粒结构沥青,使沥青与 DE 之间进行了化学吸附。微粒结构沥青,润滑性不好,流动性差,这样就不容易产生高温下的推移、拥包等病害。

从上述机理分析可以看出,DE 改性剂能有效改善沥青混合料的高温性能,如要改善低温性能还有待于进一步研究,这与本项试验结果是吻合的。

## 5 结 语

(1)DE 硅改沥青与基质沥青相比,针入度下降,软化点升高,135℃粘度增大,同时,当量软化点  $T_{800}$  升高,当量脆点  $T_{1.2}$  降低,针入度指数增加,说明高温、低温性能与温度敏感性都有改善;薄膜加热试验的针入度比升高,说明 DE 硅改沥青抗老化性能有所提高。

(2)DE 改性剂中有 60% 以上的非晶质  $\text{SiO}_2$ ,它具有大量有序排列的纳米微孔,与沥青中的油分通

过有效地物理吸附与化学吸附作用,可改善沥青的高温性能。

(3)DE 改性沥青混合料能明显改善基质沥青混合料的高温抗车辙、水稳定性、疲劳耐久性,对于炎热地区路面用材是一种较为理想的新型的无机改性沥青混合料。

### 参考文献:

### References:

- [1] 刘大梁,罗立武,岳爱军. 纳米碳酸钙改性沥青研究[J]. 公路,2005,(6):145-148.  
LIU Da-liang, LUO Li-wu, YUE Ai-jun. A study on nano calcium carbonate modified asphalt[J]. Highways, 2005,(6):145-148.
- [2] 刘 丽,李 剑,郝培文,等. 硅藻土改性沥青胶浆技术性能的评价方法[J]. 长安大学学报:自然科学版,2005,25(3):23-27.  
LIU Li, LI Jian, HAO Pei-wen, et al. Evaluation method for property of modified asphalt mortar with diatomite[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005,25(3):23-27.
- [3] 刘清华. 硅藻土改性沥青及其混合料性能与应用[J]. 公路与汽运,2005,(1):61-63.  
LIU Qing-hua. The road performance and application of siliceous modeified asphalt and its mixtures[J]. Highways and Automotive Applications, 2005,(1):61-63.
- [4] 陈佩茹,孙立军. 常规沥青的针入度等级和 PG 高温等级间的关系[J]. 中国公路学报,2003,16(3):15-17.  
CHEN Pei-ru, SUN Li-jun. Relationship between penetration grade and performance high temperature grade conventional asphalt binder[J]. China Journal of Highway and Transport, 2003, 16(3): 15-17.
- [5] 田小革,郑健龙,张起森. 老化对沥青结合料粘弹性的影响[J]. 交通运输工程学报,2004,4(1):3-6.  
TIAN Xiao-ge, ZHENG Jian-long, ZHANG Qi-sen. Effect of aging on viscoelastic performance of asphalt binder[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(1): 3-6.
- [6] 熊四华,范草原. 硅藻土改性沥青混合料设计与路面施工技术[J]. 重庆交通学院学报,2003,22(3):28-32.  
XIONG Si-hua, FAN Cao-yuan. Design and construction technology of pavement about diatomite modified asphalt mixture[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2003,22(3):28-32.