文章编号：1002-0268（2005）06-0018-03

硅藻土化学成分对沥青高温性能的影响因素分析

张兴友，谭忆秋，王哲人
（哈尔滨工业大学交通科学与工程学院，黑龙江 哈尔滨 150090）

摘要：硅藻精土作为一种新型沥青改性材料，掺配在沥青混凝土中，可以改善沥青混合料的物理力学性能，提高路面工程质量。本文通过4种不同的硅藻土，进行硅改沥青高温性能研究，并运用灰色系统关联度分析方法，找出硅藻土化学成分影响沥青高温性能的主要因素，从而确定硅藻土作为改性剂的基本化学成分。

关键词：硅藻土；化学成分；沥青高温性能；灰色关联度
中图分类号：U414.1 文献标识码：A

The Effect of Diatomite's Chemical on High Temperature Performance of Asphalt

ZHANG Xing-you, TAN Yi-qiu, WANG Zhe-ren
(School of Science and Engineering on Communication, Harbin Institute of Technology, Heilongjiang Harbin 150090, China)

Abstract: As a new type modified asphalt material, mixed with asphalt concrete, diatomite can improve mechanical performance and enhance the quality of pavement engineering. In this article, four different kinds of diatomite have been selected to study and high temperature performence of diatomite modified asphalt has been investigated. To find out main factors that chemincal components influence on high temperature performance of asphalt by gray correlation analysis method. Thus basic chemical components of diatomite as modifier have been identified.

Key words: Diatomite; Chemical components; High temperature performance of asphalt; Gray correlation

0 前言

近年来，随着高等级公路建设的不断发展，公路上结构破坏的问题也越来越多，主要问题是公路上的车辙越来越严重，造成通行不畅、服务水平降低，车辙成为路面结构破坏的主要形式。特别是在公路上，重载车辆、超载车辆日益增加，在设计上尽管使用了重交通沥青和改性沥青，但车辙仍然存在，因此解决沥青高温性能是当务之急。云南省在高等级公路上使用了大量的硅藻土改性剂[1~3]，提高了沥青的高温性能，吉林省也在进行硅改沥青的研究。究竟什么标准的硅藻土可以做为改性剂，这是影响硅改沥青高温性能的关键因素。

硅藻土是一种生物成因的硅质沉积岩，主要由硅藻(一种单细胞的水生藻类)遗骸和软泥固结而成的沉淀矿。经精选提纯把硅藻富集到92%以上称为精土，其颜色为白色，紧堆密度为0.3~0.4g/cm^3，比表面积50~60m^2/g，微孔体积0.6~0.8cm^3/g，吸水率是自身重量的3~4倍，具有体轻、质软、多孔、耐酸、比表面积大、化学性质稳定、热稳定性和吸附能力强等特性。因此在沥青路面材料中添加一定量的硅藻土可大大改善沥青混合料的性能。由于硅藻土的物理化学性质受原生硅藻的结构和成分决定，其种类也有所不同，形状和粒度也有较大差异，因此并非每一种硅藻土均能用于

收稿日期：2004-05-14
作者简介：张兴友（1965—），男，吉林长春人，博士，从事道路结构与材料工程研究.（1965zxy@163.com）

沥青改性剂，特别是化学成分影响更大。

1　硅藻土的化学成分

硅藻土中各种化合物的组成及它们的含量高低是评价硅藻土矿质量的重要依据之一。通常对硅藻土测定的化学组分有 SiO_2、Al_2O_3、Fe_2O_3、CaO 和 MgO，SiO_2 含量是评价硅藻土原土质量中最重要的一个参数。原土中 SiO_2 含量越高，它的质量就越好。原土中 SiO_2 含量低说明原土中的杂质含量高。SiO_2 一部分存在硅藻土中，另一部分存在杂质中，SiO_2 质量的好坏取决于 SiO_2 的活性，即非晶态的 SiO_2 才具有活性。Al_2O_3 含量与原土中的粘土矿物含量有关。一般原土中 Al_2O_3 含量高，反映这类硅藻土的质量较差。Al_2O_3 含量取决于原土中的褐铁矿、黄铁矿和菱铁矿等含铁矿物的含量。这类物质对硅藻土的任何一种用途来说都是有害的。当其含量超过一定限额，需采用酸洗法或磁选法除去这类杂质。CaO 含量与原土矿物等杂质有关。一般在硅藻土中 CaO 的含量在 1%左右。本文选用吉林省 4 种硅藻土，通过吉林大学测试科学试验中心的检测。硅藻土化学成分分析结果如表 1。

表 **1**　硅藻土化学成分　　%

名称	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	LOS
桦甸 1	84.28	5.99	2.77	0.48	1.33	0.56	4.63
桦甸 2	84.78	5.45	1.90	0.38	0.29	0.49	4.66
露水河 1	78.02	9.74	3.02	0.68	0.65	0.47	5.67
露水河 2	75.50	11.26	3.61	1.08	0.76	0.52	5.79

注：LOS 为烧失量。

从表 1 我们可以看出，硅藻土的主要成分为 SiO_2，其次为 Al_2O_3、Fe_2O_3、CaO、MgO。单从二氧化硅含量比较，桦甸硅藻土的质量好于露水河，可以说桦甸硅藻土是 1 级土，露水河硅藻土是 2 级土。为分析硅藻土的晶体结构，我们做了 *X* 射线矿物衍射分析，见图 1，结果如表 2。从表 2 可以看出，硅藻土的结构主要是非晶质的，非晶质含量在 70%以上。单从硅藻土的晶体结构看，桦甸硅藻土的质量要好于露水河。

表 **2**　*X* 射线矿物衍射分析测试报告

名称	S	I	K	Q	F_S	PI	C_C	NC
桦甸 1	4	3	1	4	1	1		86
桦甸 2	4	3	1	5	1	1		85
露水河 1	12	4		7	2	2	1	72
露水河 2	10	4		7	2	2		75

注：PI-方解石；Q-石英；F_S-碱性长石；I-伊利石；K-高岭石；S-蒙脱石；C_C-方解石；NC-非晶态物质

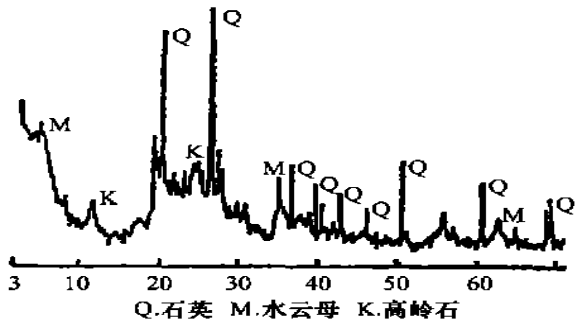

图 **1**　硅藻土 *X* 射线衍射图

2　基质沥青和硅改沥青的高温性能实验

本文选用的沥青为盘锦 90 #沥青，选用的硅藻土分别来自吉林省的桦甸和露水河，硅藻土经提纯加工，细度达到 200 目，先将硅藻土在 150℃下烘干后备用。将沥青加热到 160℃，按比例投入硅藻土，以 3 600 转/min 的转速高速剪切，持续搅拌 20min，使硅藻土均匀分散在沥青中，然后浇注沥青试模，进行硅改沥青的 3 大指标试验。由于硅藻土经高速剪切，可以均匀分布在沥青中，不产生沉淀现象。因此在施工中，采取人工投硅藻土或配备送料器，可以避免硅藻土在管道中的沉淀，即采用干法施工。

根据大量的实验结果，本文选用硅藻土掺配比例为沥青质量的 12%，基质沥青试验如表 3，硅改沥青试验如表 4。

表 **3**　基质沥青试验结果

试验项目		90#沥青
针入度/0.1mm	15℃（100g，5s）	36
	25℃（100g，5s）	92
	30℃（100g，5s）	134
延度（5cm/min，15℃）/cm		＞100
延度（5cm/min，5℃）/cm		39.66
软化点/℃		49
针入度指数		0.40

表 **4**　硅改沥青实验结果

针入度/0.1mm			针入度指数	软化点/℃	延度/cm（5cm/min，5℃）	延度/cm（5cm/min，15℃）	备注
15℃	25℃	30℃					
38	86	119	1.22	55.0	24.5	26.5	桦甸 1
26	64	97	0.30	55.0	11.6	32.3	桦甸 2
40	77	116	1.88	52.0	20.0	39.9	露水河 1
32	72	98	1.37	51.0	18.2	46.4	露水河 2

3　影响硅改沥青高温性能因素分析

3.1　灰色系统理论简介

部分信息已知、部分信息未知的系统称为灰色系

统。黑色系统是表示系统内部结构、参数、特征等一无所知，只能从系统的外部来研究的一类系统。相反，一个系统的内部全部确知则为白色系统，而灰色系统是介于白色系统与黑色系统之间。区别白色系统和黑色系统的关键是看系统各因素间是否有确定的关系。白色系统的因素之间存在确定的映射关系；自然界中存在许多复杂的系统，虽然知道影响系统的某些因素，但不能确定因素间的映射关系，这就是灰色系统。灰色系统理论提出了一种新的分析方法，称为关联度分析方法，这就是根据因素之间发展态势的相似或相异程度，来衡量因素间关联程度的方法。

灰色系统用关联度分析方法来作系统分析，关联度是表征两个事物的关联程度。关联度分析事实上是动态过程发展态势的量化比较分析，是基于几何范畴的。它根据因素之间发展态势的相似或相异程度来衡量因素间接近的程度。由于关联度分析是按发展趋势作分析，因此对样本量的多少没有过分要求，也不需要典型的分布规律，计算量小，且不致出现关联度的量化结果与定性分析不一致的情况。灰色关联分析是寻求系统中各因素间的主要关系，找出影响目标值的重要因素，从而掌握事物的主要特征，促进系统迅速而有效地发展。

由灰色关联分析理论知，关联分析首先要指定参考数列和被比较数列。参考数列记为 $X_0=\{X_0(1), X_0(2), \cdots, X_0(n)\}$；比较数列记为 $X_i=\{X_i(1), X_i(2), \cdots, X_i(n)\}$。则比较曲线与参考曲线在 K 时刻的关联系数为

$$\zeta_i(k)=\frac{\min\limits_i\min\limits_k|x_0(k)-x_i(k)|+\zeta\max\limits_i\max\limits_k|x_0(k)-x_i(k)|}{|x_0(k)-x_i(k)|+\zeta\max\limits_i\max\limits_k|x_0(k)-x_i(k)|} \tag{1}$$

式中，ζ 为分辨系数，其值在 0～1 之间，一般取 0.5；$\min\limits_i\min\limits_k|x_0(k)-x_i(k)|$ 称为两级（两个层次）的最小差；$\max\limits_i\max\limits_k|x_0(k)-x_i(k)|$ 称为两级（两个层次）的最大差。

关联度的表达式为

$$\gamma_i=\frac{1}{n}\sum_i^k\zeta_i(k) \tag{2}$$

式中，γ_i 是曲线 x_i 对参考曲线 x_0 的关联度。

3.2 硅藻土的化学成分与沥青高温稳定的关联分析

本研究的参考数列选用反映沥青高温性能的指标软化点，比较数列为硅藻土的化学成分，用于反映硅藻土的品质，见表 5。

表 5 关联分析原始数据

软化点	SiO_2 含量	Al_2O_3 含量	Fe_2O_3 含量	CaO 含量
55.0	84.28	5.99	2.77	0.48
55.0	84.78	5.45	1.90	0.38
52.0	78.02	9.74	3.02	0.68
51.0	75.50	11.26	3.61	1.08

经均值化处理，其关联序列结果和关联度分别为

$\zeta_1=(1.045\ \ 1.051\ \ 0.967\ \ 0.936)$

$\zeta_2=(0.738\ \ 0.672\ \ 1.201\ \ 1.388)$

$\zeta_3=(0.981\ \ 0.673\ \ 1.069\ \ 1.278)$

$\zeta_4=(0.733\ \ 0.580\ \ 1.038\ \ 1.649)$

$\gamma_1=0.964$（SiO_2 含量对沥青高温稳定性的关联度）

$\gamma_2=0.527$（Al_2O_3 含量对沥青高温稳定性的关联度）

$\gamma_3=0.673$（Fe_2O_3 含量对沥青高温稳定性的关联度）

$\gamma_4=0.543$（CaO 含量对沥青高温稳定性的关联度）

关联序列为 $\gamma_1>\gamma_3>\gamma_4>\gamma_2$

从关联度上看出，SiO_2 含量对改性沥青高温性能影响最大。从硅藻土结构看，SiO_2 大量存在硅藻中，而且以非晶体形式存在，同时硅藻土中存在粘土及高岭石，它们中仍存在大量的 SiO_2 和各种杂质，高岭石中的 SiO_2 多数为晶体结构，只有非晶体结构才具有较强的活性。

4 结论

（1）硅藻土的化学成分主要是 SiO_2、Al_2O_3、Fe_2O_3、CaO 和 MgO，其形态结构为非晶体，含量在 70%以上。

（2）硅藻土加入沥青后，软化点较基质沥青提高了 4～5℃，说明沥青高温稳定性有显著的提高。

（3）通过灰色关联度分析，影响沥青高温稳定性主要因素是 SiO_2 的含量，为提高沥青的高温稳定性，必需使用 SiO_2 含量大于 80%的硅藻土，同时形态结构必需为非晶体，因为非晶体结构具有强的活性。

参考文献：

[1] 刘远才，等. 硅改沥青在云南省高等级公路中的应用 [J]. 公路，2003（9）.

[2] 吴肖石，等. 硅改沥青的应用研究 [J]. 公路，2000（7）.

[3] 郭天龙，等. 硅藻土改性沥青混凝土在大保高速公路沥青路面工程中的推广运用 [J]. 云南交通科技，2002-10.

[4] JTJ 036-98，公路改性沥青路面施工技术规范 [S].

[5] 邵显智，基于微观结构沥青胶浆路用性能的研究 [D]. 哈尔滨工业大学硕士论文，2002.

[6] 邓聚龙，灰色系统基本方法 [M]. 华中理工大学出版社，1987.