

## 硅藻土沥青混凝土流变性和红外光谱

许翊<sup>1</sup>, 张印<sup>2,3</sup>

(1. 内江职业技术学院土木工程系, 四川 内江 641000; 2. 云南设计院集团有限公司, 云南 昆明 650200; 3. 辽宁工程技术大学土木工程学院, 辽宁 阜新 123000)

**摘要:** 这是一篇陶瓷及复合材料领域的论文。为了研究硅藻土掺量对沥青混合料的物理性质、流变性能以及路用性能的影响, 开展了不同硅藻土掺量作用下的沥青混合料基本物理实验、流变实验、高温稳定性和低温抗裂性能实验。结果表明: 在硅藻土掺量为 30% 时, 沥青混合料的软化点、锥入度和延度达到极大值, 以及在硅藻土掺量为 40% 时, 沥青混合料的针入度达到极大值, 而延度的变化规律却呈现出不断增大的趋势。而温度为 170 °C 作为沥青混合料的制备温度以及选取硅藻土掺量为 30% 作为沥青混合料低温抗裂性能较优值。同时, 掺加硅藻土可以有效地提升沥青混合料的高温性能, 但过量掺入硅藻土会弱化其高温性能。随着硅藻土掺量不断增大, 沥青混凝土红外光谱中部分特征峰峰值的变化规律呈现出不断减小的趋势, 且在沥青混凝土老化过程中, 其内部的轻质组分受到高温的影响, 发生了挥发现象, 但是随着硅藻土掺量的不断增大, 沥青混凝土老化后的轻质组分对应的特征峰峰值变化幅度却不大。

**关键词:** 陶瓷及复合材料; 硅藻土掺量; 物理性质; 流变性能; 路用性能; 红外光谱; 特征峰

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2024.02.010

中图分类号: TD985;TU421 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2024) 02-0059-08

**引用格式:** 许翊, 张印. 硅藻土沥青混凝土流变性和红外光谱[J]. 矿产综合利用, 2024, 45(2): 59-66.

XU Yi, ZHANG Yin. Rheology and infrared spectrum of diatomite asphalt concrete[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2024, 45(2): 59-66.

铺设道路常用材料沥青混凝土主要由骨料和胶凝材料(沥青)组成<sup>[1]</sup>。近年来, 随着我国基础设施的日益推进与西部大开发国家战略的实施, 公路里程数大幅增加, 沥青混凝土骨料的消耗也日益增多, 砂石骨料替代材料的研究也成为领域研究热点<sup>[2]</sup>。减缓天然砂石骨料消耗的方法主要有以下两种<sup>[3-4]</sup>: (1) 开采较低品位的砂石料(酸性石料), 通过掺加外加剂来改善石料与沥青接触面之间的粘结作用; (2) 对固体废弃物进行二次利用, 作为骨料掺入到沥青混合料中, 以提升沥青混合料的整体性能。

国内外通过掺加矿物物质来制备沥青混合料的研究较多。其中, 将硅藻土掺入沥青混合料中, 改变材料的孔隙结构, 能较好地提升沥青混合料的性能。例如, CHEN 等<sup>[5]</sup>对硅藻土沥青混凝土的导热系数进行了研究, 并确定了其导热系数

和单位体积热容量与硅藻土含量的变化规律, 发现了硅藻土沥青混凝土具有良好的隔热性能且在硅藻土含量为 25% 时较佳。黄维蓉等<sup>[6]</sup>采用固化剂、沥青和硅藻土来制备沥青混合料, 并对三种不同掺料的沥青混合料开展了路用性能的测定, 发现加入硅藻土沥青混合料的路用性能较好, 完全满足道路使用要求。贾军等<sup>[7]</sup>将废旧沥青路面材料进行破碎后和硅藻土与纤维混合后制备复合沥青混凝土, 分析了硅藻土与纤维对不同掺量废旧沥青路面材料作用下沥青混合料路用性能的影响。

本文采用硅藻土制备沥青混合料, 分析硅藻土改性沥青混合料的物理性质、流变性能和路用性能, 以及硅藻土掺量对沥青混凝土红外光谱的影响, 为后续硅藻土沥青混合料用于道路路面给予指导。

收稿日期: 2022-08-30

作者简介: 许翊(1984-), 男, 副教授, 从事建筑施工技术及建筑材料研究。

# 1 原材料

## 1.1 硅藻土的性质

本文采用的硅藻土比表面积为 495 m<sup>2</sup>/kg、饱和吸水率为 360.0%，外表呈现出灰色粉末状颗粒，呈弱酸性。XRF 衍射测定其主要氧化物为 SiO<sub>2</sub>(90.36%)，Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(3.48%)，Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1.45%)。

## 1.2 其他材料的性质

粗骨料采用石灰岩，其表观密度为 2750 kg/m<sup>3</sup>，极大粒径为 14.25 mm，含水率为 0.37%，压碎指标为 8.84%，吸水率为 1.12%，粗集料针

片状含量为 15.25%。沥青混合料不可或缺的矿粉，其主要成分为 SiO<sub>2</sub>(36.58%)、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(23.64%)、CaO(28.12%)、MgO(7.32%)、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2.78%) 和其余少量氧化物 (1.56%)。石灰岩和矿粉粒度组成见表 1、2。沥青采用 90# 国标沥青，技术指标见表 3。

表 1 石灰岩的筛分结果  
Table 1 Limestone screening results

粒径分布/mm	+9.50	-9.50+4.75	-4.75+2.36	-2.36
含量/%	69.40	28.30	1.20	1.10

表 2 矿粉的粒径分布测定结果

Table 2 Measurement results of particle size distribution of mineral powder

粒径分布/μm	+10.5	-10.5+5.23	-5.23+2.61	-2.61+1.31	-1.31+0.65	-0.65+0.33	-0.33
百分比/%	2.91	7.24	29.69	34.96	15.11	7.54	2.55

表 3 沥青的技术指标

Table 3 Technical indicators of asphalt

检测指标	规范要求	实验结果
针入度 (25 °C, 100 g, 5 s) / (0.1 mm)	60~80	67.0
延度 (5 cm/min, 5 °C) /cm	≥30	39.0
软化点/°C	≥55	75.5
180 °C/135 °C 粘度 / (Pa/s)	≤3.0	1.50
TFOT 后残留物 (163 °C, 5 h)	质量变化/%	≤±1.0
	针入度比/%	≥60
	延度(5 °C) /%	≥20

40% 和 50% (此时选定温度为 180 °C)，温度设定为 150、160、170、180、190 和 200 °C (此时选定掺量为 30%)。根据实验结果绘制出不同硅藻土掺量和温度作用下沥青混合料软化点、针入度、锥入度、粘度和延度的变化规律见图 1。

由图 1a~c 可知，随着硅藻土掺量不断增大，沥青混合料的软化点、针入度、锥入度变化规律都呈现出先增大后减小的趋势，且在硅藻土掺量为 30% 时，沥青混合料的软化点、锥入度和延度达到极大值，以及在硅藻土掺量为 40% 时，沥青混合料的针入度达到极大值，而延度的变化规律却呈现出不断增大的趋势。

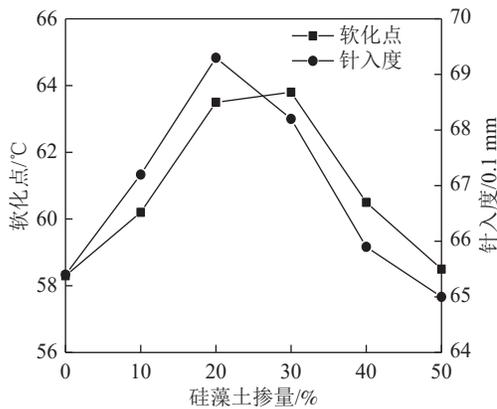
## 2 硅藻土和温度对沥青混合料物理性质的影响

本节主要讨论硅藻土掺量和温度对沥青混合料软化点、针入度、锥入度、粘度和延度变化规律的影响<sup>[8]</sup>。沥青混凝土的软化点一般是指沥青混凝土在特定条件下，可以达到预定沥青黏度的温度值；沥青混凝土的针入度是指在 5 s 内，标准圆锥体沉入沥青混凝土 (需要保持沥青混凝土在恒温 25 °C 的实验条件下) 中的深度；沥青混凝土的锥入度是表征沥青混凝土的稠度和软硬程度的指标，该指标是指在特定的荷载、时间和温度等条件下，标准锥体落入沥青混凝土中的深度。沥青混凝土粘度是评价沥青混凝土高温性能的指标，该指标的数值越大，沥青混凝土的高温性能越好；沥青混凝土延度是指沥青的延展度，该值越大代表了沥青混凝土的塑性越好。

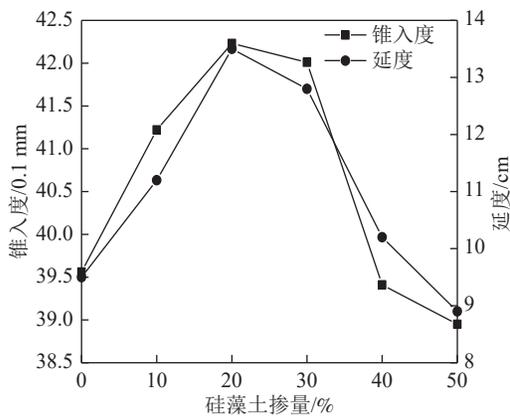
硅藻土掺量设定为 0、10%、20%、30%、

(1) 软化点变化规律的原因<sup>[9]</sup>：硅藻土具有一定的活性，掺入到沥青混合料中可以有效提升骨料与沥青之间的粘结作用，使得沥青混合料抗高温性能有所增大以及提升沥青混合料变软的温度值，但是随着硅藻土持续增大，沥青混合料的中多余的硅藻土会影响沥青混合料颗粒之间的粘结作用，使得沥青混合料的软化点出现下降趋势。(2) 针入度变化规律的原因：由于硅藻土的活性要大于天然砂石材料的活性，在与沥青内部轻质材料发生反应，间接导致沥青混合料内部的沥青质含量增大和针入度的增大，但是随着硅藻土掺量的不断增大，会在沥青混合料中形成难以分解的颗粒团聚现象，在宏观上呈现为在针入度实验中针头难以进入沥青混合料中。(3) 锥入度的增大说明了硅藻土的加入可以有效地提升沥青混合料的柔度。(4) 延度变化规律的原因：适量

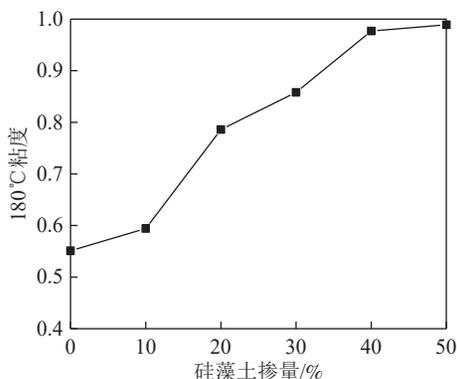
的硅藻土可以提升沥青的低温柔韧性，但是过量的硅藻土会湿度沥青混合料的流动性变差，这是由于硅藻土未被全部溶胀吸收，在沥青混合料中还存在大量的残余硅藻土，这些硅藻土会在沥青混合料中形成颗粒团聚，使得沥青混合料在测力延度变形作用下会产生局部的应力集中现象，导致沥青混合料的延度开始出现下降。(5) 粘度变化规律的原因：硅藻土会吸收沥青中部分轻质沥青且硅藻土自身的溶胀反应能力较差，进而使得沥青混合料的 180 °C 粘度出现了不断增大的变化趋势<sup>[10]</sup>。



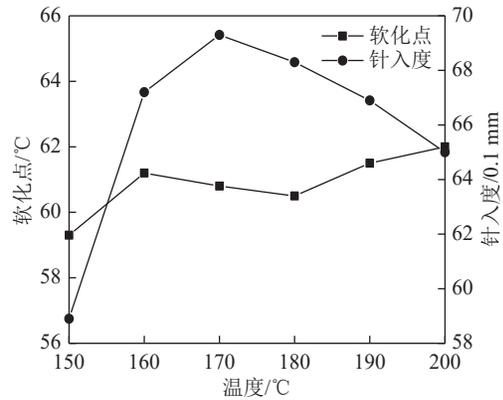
(a) 软化点和针入度 (硅藻土掺量)



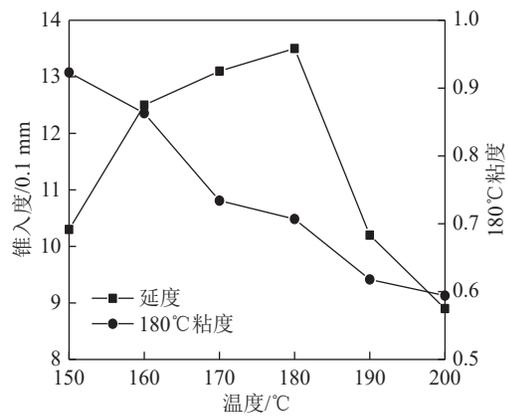
(b) 锥入度和延度 (硅藻土掺量)



(c) 180 °C 粘度 (硅藻土掺量)



(d) 软化点和针入度 (温度)



(e) 粘度和延度 (温度)

图 1 不同硅藻土掺量和温度作用下沥青混合料性能变化规律

Fig.1 Variation of asphalt mixture performance under different diatomite content and temperature

由图 1d~e 可知，随着温度不断增大，沥青混合料软化点的变化规律呈现出增大的趋势，沥青混合料针入度和锥入度的变化规律呈现出先增大后减小的趋势，且在温度为 170 °C 时取得极大值，而延度的变化规律却不断减小。这是由于硅藻土在沥青混合料制备过程中，硅藻土与沥青中轻质物质发生化学反应和产生溶胀现象导致的，但是适当的制备温度可以使得硅藻土在沥青混合料中的溶胀效应更加好，而过高的制备温度有可能导致沥青混合料老化。综上所述，将温度为 170 °C 作为沥青混合料的制备温度。

### 3 沥青混合料的流变性能

#### 3.1 动态剪切流变性能结果分析

沥青路面常年受到车辆动荷载作用，故需要对其开展动态剪切流变实验，即向沥青混合料中掺加硅藻土，相当于对基质沥青进行改性，使得

改性后沥青混合料抵抗变形的能力增强以及削弱其粘性变形, 进而提升沥青混合料的高温性能。动态剪切流变性能的评价主要采用复数剪切模量  $G^*$  (沥青混合料极大剪应力和极大剪应变之间的比值), 相位角  $\delta$  (对沥青混合料施加应力之后, 有应变产生的滞后角), 车辙因子 (复数剪切模量与相位角之间的比值) [11]。一般夏季路面最高温度可达到 70 °C 以上 (甚至局部地区可达到 80 °C), 故本文选择沥青混合料动态剪切流变性能的温度为 50、60、70 和 80 °C, 硅藻土掺量设定为 0、10%、20%、30%、40% 和 50%, 并绘制出不同硅藻土掺量和温度作用下沥青混合料的动态剪切流变性能的变化规律见图 2。

由图 2a 可知, 随着温度不断增大, 沥青混合料的复数剪切模量不断减小, 这是由于在较低温度时沥青混合料的粘性较大, 使得动态剪切流变实验中的震荡盘在剪切时受到的阻力较大, 但是随着温度的不断升高, 沥青混合料的流动性逐渐增强, 使得沥青混合料的抗剪切能力开始下降, 进而导致复数剪切模量也下降。

随着硅藻土掺量不断增大, 沥青混合料的复数剪切模量也不断增大, 这是由于具有活性的硅藻土与沥青相互作用更充分, 使得沥青混合料的性能也得到了增强, 但是过量掺加硅藻土后复数模型的增大幅度却呈现出减小的趋势, 这也说明了过量硅藻土的掺入有可能对沥青混合料抗流变性能产生不利的影响。

由图 2b 可知, 随着温度不断增大, 沥青混合料的相位角不断增大, 这是由于随着温度的升高, 沥青混合料的弹性部分减少而粘性部分却增加, 使得沥青混合料流动性更好。随着硅藻土掺量不断增大, 沥青混合料的相位角先减小后增大, 这是由于在较低温度时, 沥青混合料在动态剪切流变实验中的震荡盘在剪切时受到的阻力较大, 进而阻碍了施加在沥青试样上剪切应力的作用, 最终导致试样的应变变形滞后于应力 [12]。

由图 2c 可知, 随着温度不断增大, 沥青混合料的车辙因子不断增大, 随着硅藻土掺量不断增大, 沥青混合料的车辙因子也不断增大, 这说明了掺加硅藻土可以有效地提升沥青混合料的高温性能, 但过量掺入硅藻土也会对其高温性能产生不利的影响。

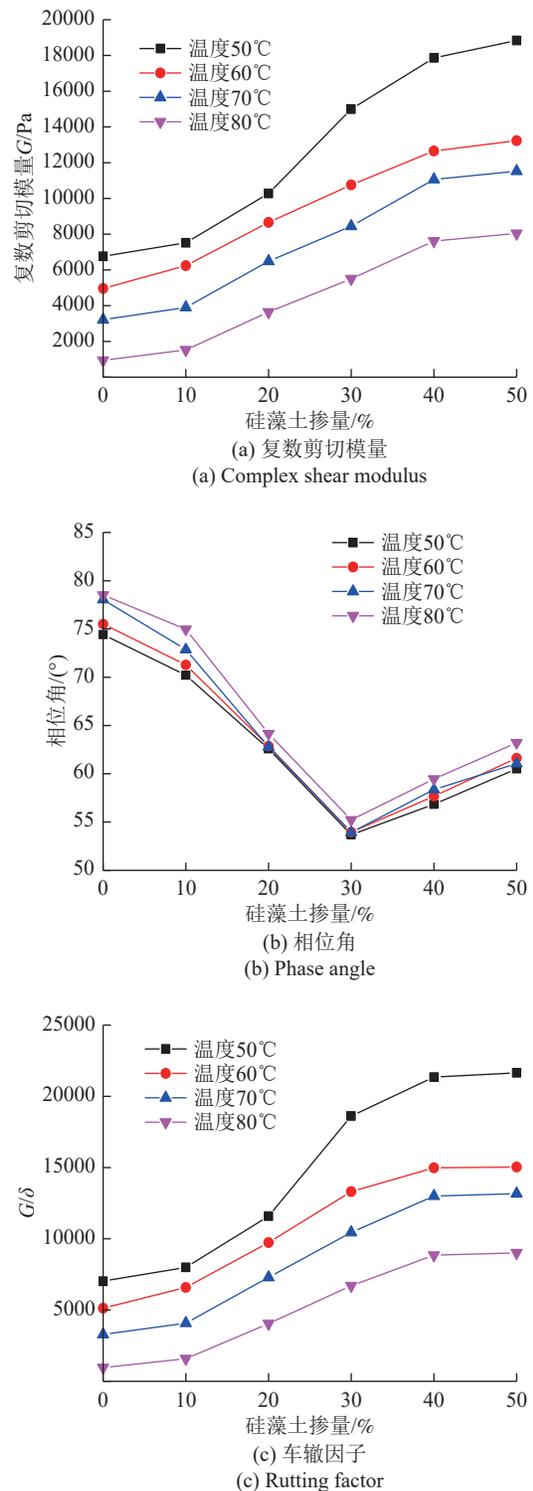


图 2 动态剪切流变性能的变化规律

Fig.2 Variation law of dynamic shear rheological properties

### 3.2 低温流变性能结果分析

低温流变性能实验的考查指标是弯曲蠕变劲度模量。一般冬季路面最低温度可达到 -20 °C 以上 (甚至局部地区可达到 -35 °C 以上), 故本文选择沥青混合料动态剪切流变性能的温度为 -10、-20、

-30 和 -40 °C，硅藻土掺量设定 30%，并绘制出不同硅藻土掺量和温度作用下沥青混合料的低温流变性能的变化规律见图 3。

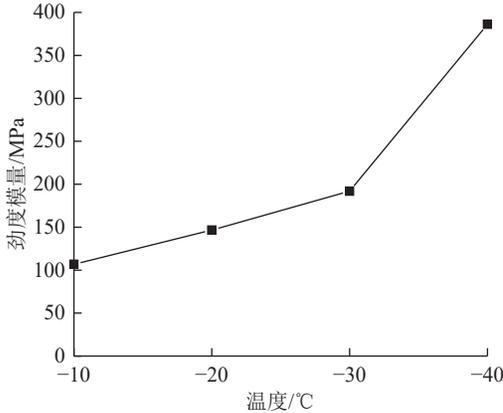


图 3 沥青混合料的低温流变性能的变化规律  
Fig.3 Variation law of asphalt mixture's rheological properties at low temperature

由图 3 可知，随着实验温度不断降低，沥青混合料的弯曲蠕变劲度模量的变化规律呈现出不断增大的趋势，这是由于在温度越低沥青混合料的粘性减小，使得动态剪切流变实验中的震荡盘在剪切时受到的阻力也减小，进而沥青混合料抗变形的能力越强。

## 4 沥青混合料的路用性能

### 4.1 高温稳定性实验

对于沥青材料而言，测试其高温稳定性就是测定其抗车辙能力<sup>[13]</sup>，采用动稳定度来描述沥青材料抗车辙能力。绘制出不同硅藻土掺量作用下沥青混合料的动稳定度的变化规律见图 4。

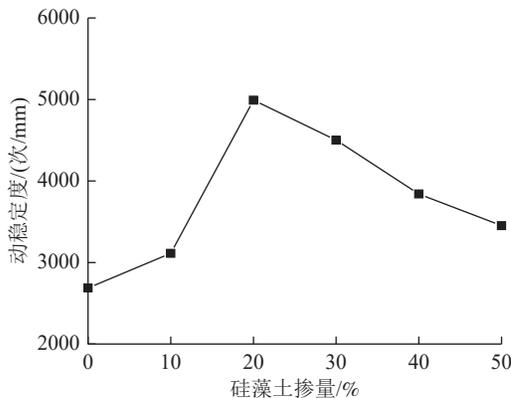


图 4 不同硅藻土掺量作用下沥青混合料的动稳定度的变化规律

Fig.4 Variation law of dynamic stability of asphalt mixture under different diatomite content

由图 4 可知，随着硅藻土掺量的不断增大，

沥青混合料的动稳定度的变化规律也呈现出先增大后减小的趋势，且在硅藻土掺量为 20% 时取得极大值。这是由于具有活性的硅藻土可以提升骨料与沥青之间的粘结力，使得沥青混合料可以更好地抵抗外界荷载作用下的变形，但是过量的硅藻土会在沥青混合料中可能会产生颗粒团聚的现象，使得沥青混合料抵抗外界变形的能力下降，进而导致沥青混合料的动稳定度也开始下降。

### 4.2 低温抗裂性能研究

一般可以采用极大弯曲应变和抗弯强度两个指标来描述沥青混合料在低温作用下抗裂性能<sup>[14]</sup>。绘制出不同硅藻土掺量作用下沥青混合料的极大弯曲应变和抗弯强度的变化规律见图 5。

由图 5 可知，随着硅藻土掺量的不断增大，沥青混合料的极大弯应变的变化规律呈现出先减小后增大的趋势，且在硅藻土掺量为 30% 时，沥青混合料的极大弯应变取得极小值，而随着硅藻土掺量的不断增大，沥青混合料的抗弯强度的变化规律却呈现出先不断增大后趋于稳定的趋势，这说明了硅藻土的掺入可以有效地提升沥青混合料的抗弯强度，但是过量掺加硅藻土不仅不会对沥青混合料的抗弯强度有提升，故可以选取硅藻土掺量为 30% 作为沥青混合料低温抗裂性能较优值。

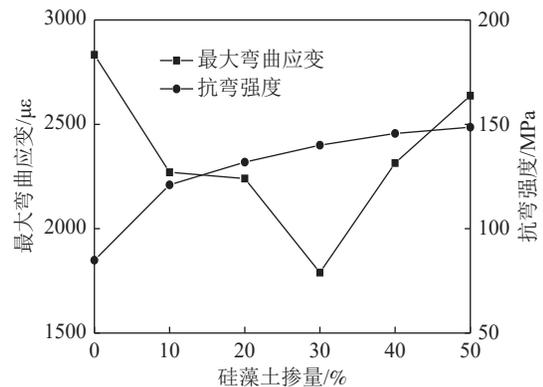


图 5 不同硅藻土掺量作用下沥青混合料的极大弯曲应变和抗弯强度的变化规律

Fig.5 Variation law of maximum bending strain and bending strength of asphalt mixture under different diatomite content

## 5 硅藻土沥青混凝土的微观性能分析

采用红外光谱实验来分析掺加不同掺量硅藻土对沥青混凝土微观性能的影响以及对不同掺量硅藻土对沥青混凝土的老化机理。

### 5.1 硅藻土对沥青混凝土微观性能的影响

采用 Nicolet is5 傅里叶变换红外光谱仪对掺加

不同掺量硅藻土的沥青混凝土进行了红外光谱实验，绘制出不同掺量硅藻土作用下沥青混凝土的红外光谱见图 6。

由图 6 可知，不同掺量硅藻土作用下沥青混凝土的红外光谱图并未出现大的特征峰，但是局部也出现了一些新的、较为明显的特征峰，这说明了硅藻土掺入到沥青混凝土中，与沥青混凝土内部的物质发生了化学反应；同时，新吸收峰的出现也可能是掺入硅藻土，由硅藻土自身和其内部矿物成分造成的。随着硅藻土掺量不断增大，沥青混凝土红外光谱中部分特征峰峰值的变化规律呈现出不断减小的趋势，这是由于硅藻土自身具有一定的孔隙，在与沥青混凝土进行混合时会吸收一部分物质，进而导致了沥青混凝土中的轻质组分含量减少。

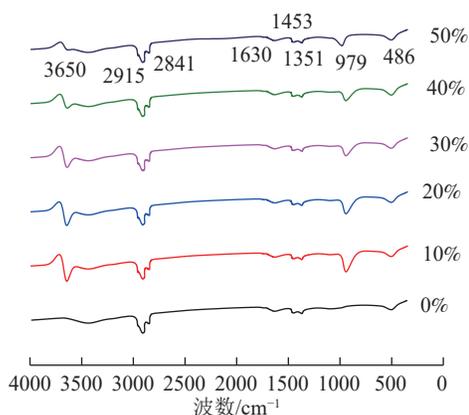


图 6 不同掺量硅藻土作用下沥青混凝土的红外光谱  
Fig.6 Infrared spectra of asphalt concrete under the action of diatomite with different content

在波数为  $3650\text{ cm}^{-1}$  处出现特征峰，可能是由于 O-H 振动引起的，在波数为  $2915\text{ cm}^{-1}$  处出现特征峰，可能是由于 C-H 的反对称伸缩振动引起的，在波数为  $2841\text{ cm}^{-1}$  处出现特征峰，可能是由于 C-H 的对称伸缩振动引起的，在波数为  $1630\text{ cm}^{-1}$  处出现特征峰，可能是由于 C-H 面内弯曲振动引起的，在波数为  $1453\text{ cm}^{-1}$  处出现特征峰，可能是由于 C-H 面内弯曲振动引起的，在波数为  $1351\text{ cm}^{-1}$  处出现特征峰，可能是由于共轭双键 (C=C) 伸缩振动引起的，在波数为  $979\text{ cm}^{-1}$  处出现特征峰，可能是由于 C-O 和亚砷基 (S=O) 伸缩振动引起的，在波数为  $486\text{ cm}^{-1}$  处出现特征峰，可能是由于 C-H (=C-H) 面外弯曲振动引起的<sup>[15]</sup>。

### 5.2 不同掺量硅藻土对沥青混凝土的老化机理

为了进一步揭示硅藻土对沥青混凝土性能的影响，采用 Nicolet is5 傅里叶变换红外光谱仪对不

同硅藻土掺量作用下沥青混凝土老化机理进行研究，绘制出不同硅藻土掺量作用下沥青混凝土老化后的红外光谱见图 7。

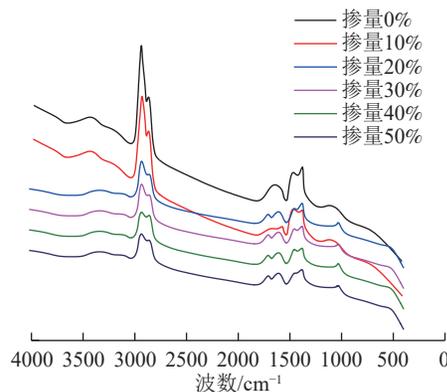


图 7 沥青混凝土老化后的红外光谱

Fig.7 Infrared spectrum of asphalt after coagulation and aging

由图 7 可知，在沥青混凝土老化过程中，其内部的轻质组分受到高温的影响，发生了挥发现象，但是随着硅藻土掺量的不断增大，沥青混凝土老化后的轻质组分对应的特征峰峰值变化幅度却不大，这是由于硅藻土自身就具有孔隙，在沥青混凝土老化过程中这些孔隙犹如微毛细管一样，在沥青混凝土内部会产生一定的毛细作用，进而增强了沥青混凝土与硅藻土之间的作用力，进而阻碍了沥青混凝土内部轻质组分的挥发。

为了进一步研究沥青混凝土老化过程，对老化的官能团羰基和亚砷基生成量与硅藻土掺量之间的关系进行分析<sup>[15]</sup>，绘制出不同硅藻土掺量作用下官能团羰基和亚砷基生成量与硅藻土掺量之间的关系见图 8。

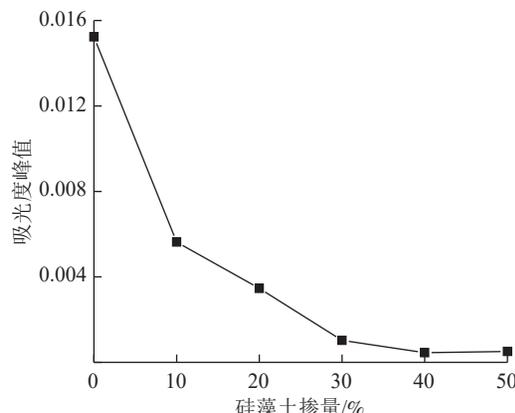


图 8 官能团羰基和亚砷基生成量与硅藻土掺量之间的关系

Fig.8 Relationship between the amount of functional group carbonyl and sulfoxide group generated and the amount of diatomite

由图8可知,随着硅藻土掺量的不断增大,沥青混凝土内部官能团羰基和亚砷基生成量的变化规律却呈现出不断减小的趋势,这是由于硅藻土自身就具有孔隙,可以有效地减少沥青混凝土内部轻质组分与外界空气的接触,使得沥青混凝土老化过程中的氧化还原反应也减少,进而可以有效地减少官能团羰基和亚砷基生成量<sup>[16]</sup>;这也说明了掺加硅藻土可以有效地抑制沥青混凝土的老化。

## 6 结 论

(1) 随着硅藻土掺量不断增大,沥青混合料的软化点、针入度、锥入度变化规律都呈现出先增大后减小的趋势,且在硅藻土掺量为30%时,沥青混合料的软化点、锥入度和延度达到极大值,以及在硅藻土掺量为40%时,沥青混合料的针入度达到极大值,而延度的变化规律却呈现出不断增大的趋势。

(2) 随着温度不断增大,沥青混合料软化点的变化规律呈现出增大的趋势,沥青混合料针入度和锥入度的变化规律呈现出先增大后减小的趋势,且在温度为170℃时取得极大值,而延度的变化规律却呈现出不断减小的趋势。

(3) 掺加硅藻土可以有效地提升沥青混合料的高温性能,但过量掺入硅藻土也会对其高温性能产生不利的影响。而随着实验温度不断降低,沥青混合料的弯曲蠕变劲度模量的变化规律呈现出不断增大的趋势。

(4) 随着硅藻土掺量的不断增大,沥青混合料的动稳定度的变化规律也呈现出先增大后减小的趋势,且在硅藻土掺量为30%时取得极大值。而随着硅藻土掺量的不断增大,沥青混合料的极大弯应变的变化规律呈现出先减小后增大的趋势,且在硅藻土掺量为30%时,沥青混合料的极大弯应变取得极小值,而随着硅藻土掺量的不断增大,沥青混合料的抗弯强度的变化规律却呈现出先不断增大后趋于稳定的趋势。

(5) 不同掺量硅藻土作用下沥青混凝土的红外光谱图并未出现大的特征峰,但是局部也出现了一些新的、较为明显的特征峰,这说明了硅藻土掺入到沥青混凝土中,与沥青混凝土内部的物质发生了化学反应。随着硅藻土掺量不断增大,沥青混凝土红外光谱中部分特征峰峰值的变化规律呈现出不断减小的趋势。

(6) 在沥青混凝土老化过程中,其内部的轻

质组分受到高温的影响,发生了挥发现象,但是随着硅藻土掺量的不断增大,沥青混凝土老化后的轻质组分对应的特征峰峰值变化幅度却不大。

## 参考文献:

- [1] 胡超,包惠明,迟恩涛,等.高岭土尾矿沥青混合料抗腐蚀性实验与机理研究[J].矿产综合利用,2020(5):161-168.
- [2] 赵连平,郝绍菊,马竞.铁尾矿沥青混合料基本性能及老化耐久性研究[J].矿产综合利用,2022(4):111-118.
- [3] 王冬冬,付善春.磷渣改性沥青混合料的综合利用研究[J].矿产综合利用,2022(4):169-174.
- [4] 毛三鹏,黄宏海,薄鹏,等.基于流变性能的抗油蚀改性沥青高温特性[J].科学技术与工程,2021,21(13):5518-5523.
- [5] 王冬冬,付善春.磷渣改性沥青混合料的综合利用研究[J].矿产综合利用,2022(4):169-174.
- [6] 毛三鹏,黄宏海,薄鹏,等.基于流变性能的抗油蚀改性沥青高温特性[J].科学技术与工程,2021,21(13):5518-5523.
- [7] 贾军.硅藻土与纤维复合添加剂对高比例RAP掺量热再生混合料耐久性能的增强作用[J].公路,2018,63(1):183-190.
- [8] 李灿华,向晓东,周溪滢,等.硅藻土微表处混合料的制备及性能研究[J].矿产综合利用,2013(6):59-62.
- [9] 王冬冬,付善春.磷渣改性沥青混合料的综合利用研究[J].矿产综合利用,2022(4):169-174.
- [10] 王冬冬,付善春.磷渣改性沥青混合料的综合利用研究[J].矿产综合利用,2022(4):169-174.
- [11] 王冬冬,付善春.磷渣改性沥青混合料的综合利用研究[J].矿产综合利用,2022(4):169-174.
- [12] 王冬冬,付善春.磷渣改性沥青混合料的综合利用研究[J].矿产综合利用,2022(4):169-174.
- [13] 王冬冬,付善春.磷渣改性沥青混合料的综合利用研究[J].矿产综合利用,2022(4):169-174.
- [14] 王冬冬,付善春.磷渣改性沥青混合料的综合利用研究[J].矿产综合利用,2022(4):169-174.
- [15] 王冬冬,付善春.磷渣改性沥青混合料的综合利用研究[J].矿产综合利用,2022(4):169-174.
- [16] 王冬冬,付善春.磷渣改性沥青混合料的综合利用研究[J].矿产综合利用,2022(4):169-174.

*Multipurpose Utilization of Mineral Resources*, 2013(6):59-62.

[9] 黄建平. 硅藻土粉沥青胶浆及混合料性能研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013.

HUANG J P. Research on the performance of diatomite powder asphalt mortar and mixture [D]. Changchun: Jilin University, 2013.

[10] 张旭. 硅藻土的矿物学特征及改性沥青中的应用[D]. 长春: 吉林大学, 2004.

ZHANG X. Mineralogical characterization of diatomaceous earth and its application in modified asphalt[D]. Changchun: Jilin University, 2004.

[11] 安静. 桥面铺装环氧沥青混合料拌和流变特性研究[J]. 新型建筑材料, 2019, 46(5):29-32.

AN J. Research on the mixing and rheological characteristics of epoxy asphalt mixtures for bridge deck paving[J]. *New Construction Materials*, 2019, 46(5):29-32.

[12] 朱春风. 硅藻土-玄武岩纤维复合改性沥青混合料路用性能及力学特性研究[D]. 长春: 吉林大学, 2018.

ZHU C F. Research on road performance and mechanical properties of diatomite-basalt fiber composite modified asphalt mixtures [D]. Changchun: Jilin University, 2018.

[13] 迟凤霞, 王洋洋, 严守靖, 等. 纳米 TiO<sub>2</sub> 负载方式对半柔性路面的路用性能影响研究[J]. *中外公路*, 2020, 40(6):58-61.

CHI F X, WANG Y Y, YAN S J, et al. Study on the effect of nano TiO<sub>2</sub> loading mode on the road performance of semi-flexible pavements[J]. *Chinese and Foreign Highway*, 2020, 40(6):58-61.

[14] Ren H , Huang W , Yang D . Design and performance investigation of drainage ultra-thin wearing course based on diatomite-supported epoxy-modified asphalt mixture[J]. *Journal of Testing and Evaluation*, 2021, 49(4): 20180491.

[15] 王叶丹. 硅藻土沥青胶浆抗老化微观机理及砂浆力学性能研究[D]. 长春: 吉林大学, 2015.

WANG Y D. Research on anti-aging micro-mechanism of diatomaceous earth asphalt mortar and mechanical properties of mortar [D]. Changchun: Jilin University, 2015.

[16] 张葆琳. 基于红外光谱的沥青结构表征研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2014.

ZHANG B L. Research on structural characterization of asphalt based on infrared spectroscopy[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2014.

## Rheology and Infrared Spectrum of Diatomite Asphalt Concrete

XU Yi<sup>1</sup>, ZHANG Yin<sup>2,3</sup>

(1.Department of Civil Engineering, Neijiang Vocational & Technical College, Neijiang 641000, Sichuan, China; 2.Yunnan Design Institute Group Co., Ltd., Kunming 650200, Yunnan, China; 3.School of Civil Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning, China)

**Abstract:** This is an article in the field of ceramics and composites. In order to study the influence of diatomite content on the physical properties, rheological properties and road performance of asphalt mixtures, the basic physical tests, rheological tests, high temperature stability and low temperature crack resistance tests were carried out on asphalt mixtures under different diatomite content. The results show that when the diatomite content is 30%, the softening point, cone penetration and ductility of the asphalt mixture reach the maximum. When the diatomite content is 40%, the penetration of the asphalt mixture reaches the maximum. The law of change in ductility shows an increasing trend. The temperature is 170 °C as the preparation temperature of the asphalt mixture. The 30% diatomite content can be selected as the optimal value of low temperature crack resistance of asphalt mixture. At the same time, adding diatomite can effectively improve the high temperature performance of the asphalt mixture, but excessive incorporation of diatomaceous earth will weaken its high temperature performance. As the content of diatomite continues to increase, the variation of some characteristic peaks in the infrared spectrum of asphalt concrete shows a decreasing trend. During the aging process of asphalt concrete, its internal light components are affected by high temperature, and volatilization occurs. However, as the content of diatomite continues to increase, the characteristic peak-to-peak value of the light component of asphalt concrete after aging has not changed much.

**Keywords:** Ceramics and composites; Diatomite content; Physical properties; Rheological properties; Road performance; Infrared spectrum; Characteristic peak