

紫外光吸收剂插层蒙脱土改性沥青的流变性能

许 军¹, 李永东¹, 孙思敖², 王 壮², 冯振刚²

¹山西省公路局, 山西 太原

²长安大学公路学院, 陕西 西安

收稿日期: 2022年10月21日; 录用日期: 2022年11月20日; 发布日期: 2022年11月28日

摘 要

本文通过对钠基蒙脱土(Na-MMT)进行处理得到有机蒙脱土(OMMT); 选用不同紫外光吸收剂(UV326、UV328、UV531和UV770), 采用插层复合的方法制备得到紫外光吸收剂插层有机蒙脱土(UVA/OMMT); 以UVA/OMMT为改性剂对沥青进行改性, 并评价了UVA/OMMT改性沥青的动态剪切流变性能。结果表明, 不同类型UVA/OMMT的加入均使沥青的复数剪切模量(G^*)和车辙因子增大, 而相位角(δ)减小。UVA/OMMT可显著提高沥青抵抗高温变形的能力。

关键词

沥青, 有机蒙脱土, 紫外光吸收剂, 流变性能, 插层改性

Rheological Properties of Ultraviolet Absorber Intercalated Montmorillonite Modified Asphalt

Jun Xu¹, Yongdong Li¹, Si'ao Sun², Zhuang Wang², Zhengang Feng²

¹Highway Bureau of Shanxi Province, Taiyuan Shanxi

²School of Highway, Chang'an University, Xi'an Shaanxi

Received: Oct. 21st, 2022; accepted: Nov. 20th, 2022; published: Nov. 28th, 2022

Abstract

The organic montmorillonite (OMMT) was prepared by intercalation of Na-montmorillonite (Na-MMT) and organic intercalator. Then the ultraviolet absorber (UVA) intercalated organic montmorillonite (UVA/OMMT) was designed with different UVAs (UV326, UV328, UV531 and UV770) and OMMT. The UVA/OMMT modified asphalt was then prepared via melt blending. The rheological properties of different UVA/OMMT modified asphalt were studied by the dynamic

shear rheometer (DSR). Results show that the complex shear modulus and the rutting factor of asphalt were increased, while the phase angle was decreased with the addition of UVA/OMMT. The high temperature stability of asphalt was improved by adding different types of UVA/OMMT.

Keywords

Asphalt, Organic Montmorillonite, Ultraviolet Absorber, Rheological Properties, Intercalated Modification

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

作为沥青混合料的结合料, 沥青的流变性能与路面的使用性能关系密切[1] [2]。在沥青路面施工与服役过程中, 沥青会发生不可逆的热氧与光氧老化, 老化沥青的性能劣化, 进而会导致沥青路面出现裂缝、剥落和坑槽等一系列病害, 缩短沥青路面的使用年限[3] [4] [5]。

紫外光吸收剂(UVA)是一种性能优越的有机抗光氧化剂, 与沥青混合具有良好的相容性, 加入沥青等材料中可以赋予被改性材料良好的抗光氧化性能[6] [7] [8]。然而, UVA 在受热时稳定性不佳, 容易分解失效, 甚至会起到加速沥青老化的负面作用[6] [9]。有机蒙脱土(OMMT)是一种有机化改性的片层材料, 可改善沥青的抗热氧老化性能, 但 OMMT 的加入会导致沥青的低温性能(如延度等)下降[10] [11] [12] [13]。同时, OMMT 的片层结构对于热和氧具有较好的阻隔能力, 耐热性优越。当有机改性剂插层进入 OMMT 层间后, 可以有效提高其热稳定性[14] [15]。研究表明, 结合 UVA 和 OMMT 的各自优势, 设计 UVA 插层 OMMT(UVA/OMMT)材料, 不仅能够有效改善沥青的耐老化性能, 还能提高沥青的部分流变性能[16]。沥青作为一种粘弹性材料, 其粘弹特性与流变性能对于沥青路面的使用性能具有至关重要的影响, 因此研究 UVA/OMMT 对沥青流变特性的影响对于其工程应用具有重要的实际意义。

本文通过对钠基蒙脱土(Na-MMT)进行处理得到有机蒙脱土(OMMT); 选用不同紫外光吸收剂(UV326、UV328、UV531 和 UV770), 采用插层复合的方法制备得到紫外光吸收剂插层有机蒙脱土(UVA/OMMT); 以 UVA/OMMT 为改性剂对沥青进行改性, 并通过动态剪切流变仪(DSR)评价了 UVA/OMMT 改性沥青的动态剪切流变性能。

2. 试验部分

2.1. 原材料

基质沥青: 壳牌 90#沥青, 物理性能如表 1 所示。

Table 1. Physical properties of the Shell 90# asphalt

表 1. 壳牌 90#沥青的物理性能

物理性能	测试结果	试验方法
针入度(25°C, 5 s, 100 g)/0.1mm	90	JTG E20-2011 T0604
延度(5 cm/min, 15°C)/cm	>100	JTG E20-2011 T0605
软化点(环球法)/°C	45.9	JTG E20-2011 T0606

蒙脱土：Na-MMT，物理性能如表 2 所示。

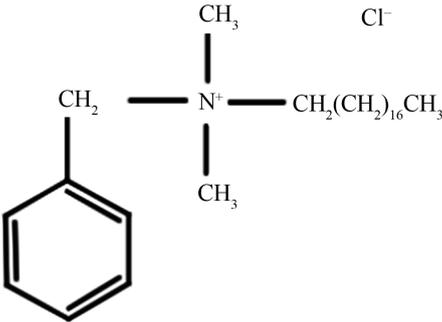
Table 2. Physical properties of the Na-MMT
表 2. Na-MMT 的物理性能

类别	指标
型号	SM-P 水性蒙脱土
颜色	米白色
粒度/目	200
蒙脱石含量/%	≥95
阳离子交换量/mmol/100g	90
平均晶片厚度/nm	25
密度/g/cm ³	1.9
表观黏度/mPa·s	5000
pH 值	8.0
白度	75

有机化插层剂：十八烷基二甲基苄基氯化铵，物理性能如表 3 所示。

Table 3. The properties of the octadecyl benzyl dimethyl ammonium chloride

表 3. 十八烷基二甲基苄基氯化铵的性能

类别	指标
外观(25℃)	无色至淡黄色透明液体
分子结构式	
分子量	424.15
纯度/%	50
CAS 号	122-19-0
活性物含量/%	50 ± 1
游离胺含量/%	≤2.0
pH 值(25℃, 1%)	6.0~8.0

紫外光吸收剂：UV326、UV328、UV531、UV770，物理性能如表 4 所示。

Table 4. Physical properties of the four UVAs
表 4. 4 种 UVA 的物理性能

UVA 名称	外观	熔点/°C	透光率/%	
			450 nm	500 nm
UV326	淡黄色结晶粉末	70~72	≥97	≥98
UV328	淡黄色粉末	≥81	≥97	≥98
UV531	淡黄色针状粉末	47~49	≥90	≥95
UV770	无色或微黄色结晶粉末	≥141	≥98	≥99

2.2. UVA 插层 OMMT 的制备

将 Na-MMT 与蒸馏水混合后在室温下搅拌 1 h, 搅拌速度为 1200 r/min; 随后将有机插层剂加入 Na-MMT 悬浮液中, 并继续搅拌 2 h; 然后将 UVA 加至该悬浮液中, 继续反应 2 h, 温度控制在 80°C; 自然冷却至室温后反复洗涤沉淀物, 并在 105°C 下干燥至恒重, 再研磨制成 UVA/OMMT 粉末。

2.3. UVA/OMMT 改性沥青的制备

首先将基质沥青加热至 150°C, 将占沥青质量分数 3% 的改性剂分别加入沥青中, 在 150°C、1800 r/min 的条件下高速剪切 0.5 h 制得 OMMT 改性沥青和 UVA/OMMT 改性沥青。基质沥青也同样处理, 便于与 UVA/OMMT 改性沥青进行比较。

2.4. 动态剪切流变(DSR)试验

采用动态剪切流变仪对 UVA/OMMT 改性沥青进行温度扫描试验(控制应变模式下进行), 扫描频率定为 10 rad/s, 温度扫描区间为 5°C~60°C, 升温速率为 2°C/min。

3. 结果与讨论

3.1. 不同类型 UVA/OMMT 对沥青复数模量(G^*)的影响

UVA/OMMT 对沥青复数模量(G^*)的影响见图 1。从图 1 可以看出, 在 5°C~60°C 范围内, OMMT 改性沥青和 UVA/OMMT 改性沥青的 G^* 曲线与基质沥青的 G^* 曲线变化规律基本一致, 即温度升高, 复数模量不断减小。在 5°C~25°C 时, 所有沥青试样的 G^* 减小速度较快; 随着温度升高至 25°C~60°C, G^* 减小速度趋于平缓。归其原因为: 温度较低时, 沥青弹性特征显著, 而黏性流动能力较弱; 温度升高, 热能转化为沥青分子的动能, 沥青的黏性流动能力增强, 黏弹特性变化显著, 复数模量变化显著; 当沥青的黏弹特征达到某一状态时, 沥青的黏弹成分比例趋于平衡, 复数模量变化幅度减缓。

对比不同沥青的复数模量发现, 基质沥青的复数模量值最小, OMMT 改性沥青的复数模量最大, 不同类型 UVA/OMMT 改性沥青的 G^* 较为接近且相互之间有所交叉。不同沥青的 G^* 规律如下: $G^*_{\text{OMMT}} > G^*_{\text{UV531/OMMT}} > G^*_{\text{UV328/OMMT}} > G^*_{\text{UV326/OMMT}} > G^*_{\text{UV770/OMMT}} > G^*_{\text{基质沥青}}$, 表明沥青的复数模量由于 UVA/OMMT 的加入有所增大, 沥青的抗变形能力有所提高, 但是 UVA/OMMT 对沥青抗变形能力的改善作用弱于 OMMT。

3.2. 不同类型的 UVA/OMMT 对沥青相位角(δ)的影响

图 2 为不同类型 UVA/OMMT 对沥青相位角(δ)的影响。从图 2 可以看出, 所有沥青试样的相位角均随温度的升高而不断增大。不同改性沥青的相位角表现出明显区别, 基质沥青的相位角最大, 其次分别为不同类型的 UVA/OMMT 改性沥青, OMMT 改性沥青的相位角最小。沥青的 δ 越小, 表明沥青的弹性

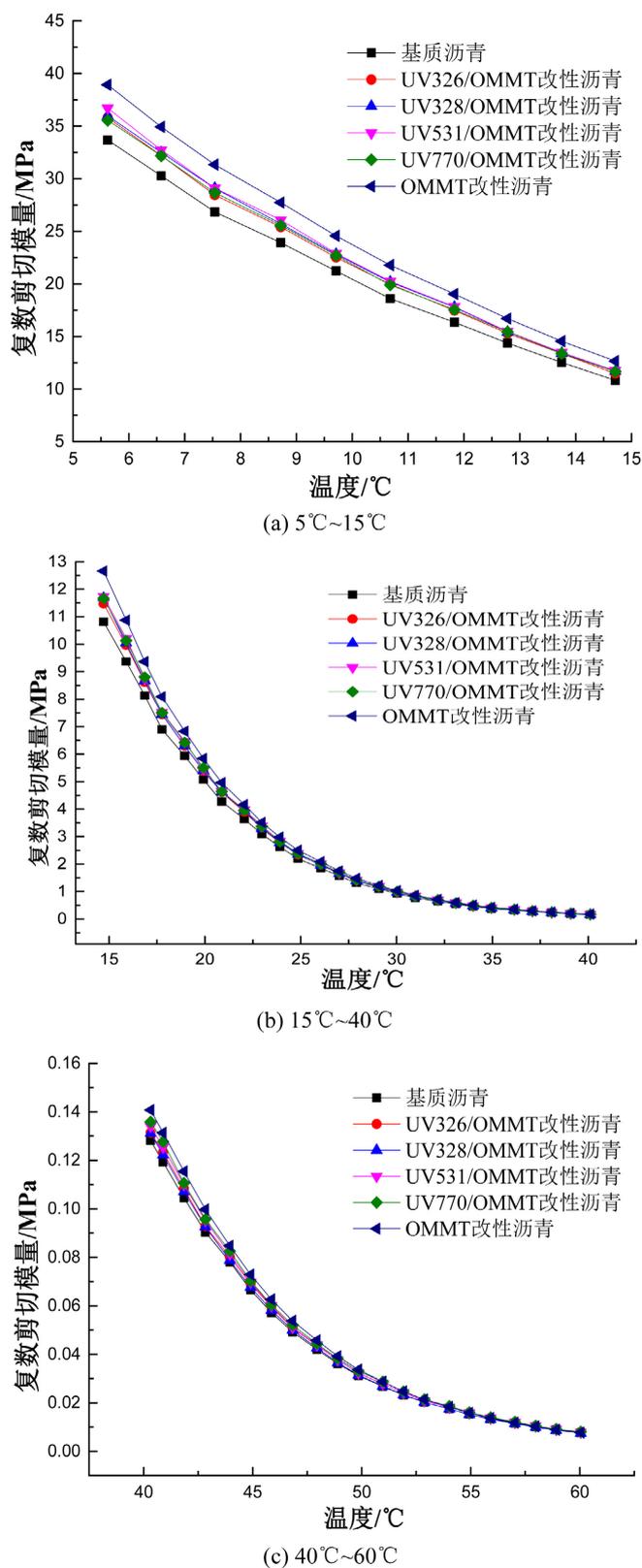
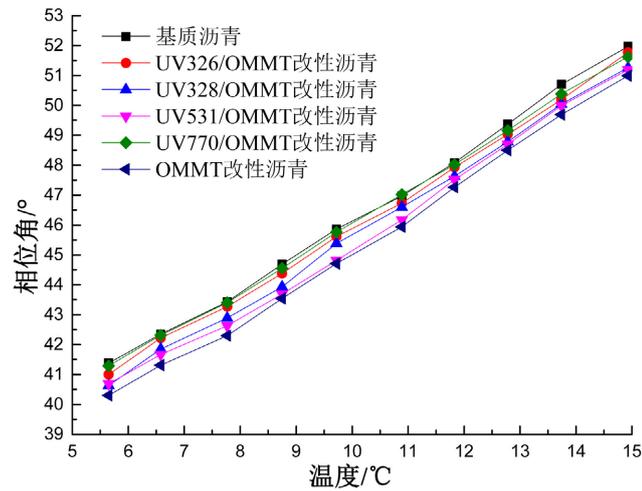
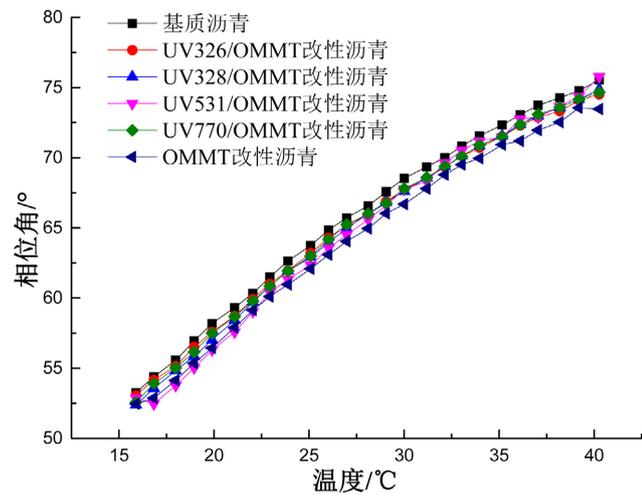


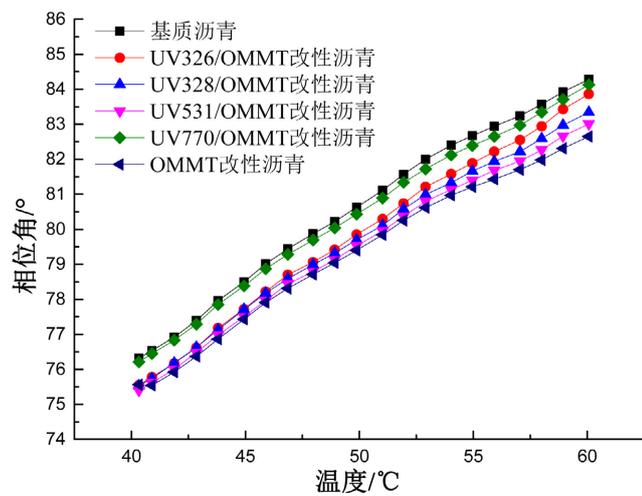
Figure 1. The G^* of different UVA/OMMT modified asphalt
图 1. 不同类型 UVA/OMMT 改性沥青的 G^*



(a) 5°C~15°C



(b) 15°C~40°C



(c) 40°C~60°C

Figure 2. The δ of different UVA/OMMT modified asphalt
图 2. 不同类型 UVA/OMMT 改性沥青的 δ

效应越显著而黏性效应较弱。沥青的弹性效应由于 OMMT 和 UVA/OMMT 的加入而增强, 而粘性特征下降。4 种不同的 UVA/OMMT 相比, UV531/OMMT 改性沥青的弹性效应最为明显, 其次为 UV328/OMMT 改性沥青或 UV326/OMMT 改性沥青, UV770/OMMT 改性沥青的弹性效应相对较弱。

3.3. 不同类型 UVA/OMMT 对沥青车辙因子的影响

沥青在高温条件下抵抗永久变形的能力可通过车辙因子($G^*/\sin\delta$)评价。车辙因子大意味着沥青的高温抗变形能力较强。UVA/OMMT 对沥青高温条件(45℃~60℃)下车辙因子的影响见图 3。由图 3 可知, 随着温度的升高, 所有试样的 $G^*/\sin\delta$ 均不断减小, 表明所有沥青试样的高温抗变形能力均随温度升高而逐渐降低。与基质沥青相比, 改性沥青的 $G^*/\sin\delta$ 均有所增大, 表明 OMMT 和 UVA/OMMT 均可改善沥青的高温抗变形能力。与 OMMT 相比, 不同 UVA/OMMT 对沥青高温性能的改善效果相对略弱。

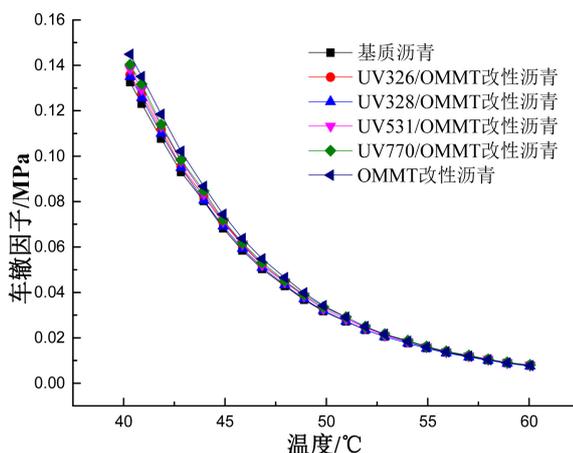


Figure 3. The rutting factor of different UVA/OMMT modified asphalt
图 3. 不同类型 UVA/OMMT 改性沥青的车辙因子

3.4. 不同类型 UVA/OMMT 对沥青疲劳因子的影响

沥青的低温抗开裂能力可通过疲劳因子($G^*\sin\delta$)评价。疲劳因子越小, 意味着沥青的低温抗开裂能力越强。UVA/OMMT 对沥青低温条件(5℃~15℃)下疲劳因子的影响见图 4。与基质沥青相比, 所有改性

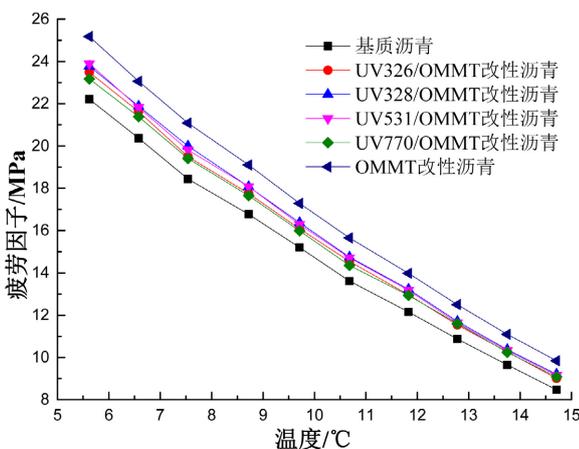


Figure 4. The fatigue factor of different UVA/OMMT modified asphalt
图 4. 不同类型 UVA/OMMT 改性沥青的疲劳因子

沥青的疲劳因子均有所增大,即 OMMT 和 UVA/OMMT 对沥青的低温抗开裂性能具有一定的负面影响,会降低沥青的低温抗开裂能力。UVA/OMMT 改性沥青的疲劳因子相比于 OMMT 改性沥青较小,表明 UVA/OMMT 改性沥青的低温抗开裂性能优于 OMMT 改性沥青。

4. 结论

- 1) UVA/OMMT 增大了沥青的复数剪切模量和车辙因子,使得沥青的抗高温变形能力提高。
- 2) UVA/OMMT 降低了沥青的相位角,改性沥青的弹性效应增强,而粘性特征下降。
- 3) 与 OMMT 改性沥青相比,不同类型 UVA/OMMT 改性沥青的疲劳因子较小,表明 UVA/OMMT 改性沥青的低温抗开裂性能优于 OMMT 改性沥青。
- 4) 4 种不同的 UVA/OMMT 相比,UV531/OMMT 改性沥青的弹性效应最为明显,其次为 UV328/OMMT 改性沥青或 UV326/OMMT 改性沥青,UV770/OMMT 改性沥青的弹性效应相对较弱。

基金项目

山西省交通运输厅科技项目(2019-1-2)。

参考文献

- [1] 栗培龙,张争奇,王秉纲. 沥青紫外光老化特性及机理探讨[J]. 郑州大学学报(工学版), 2018, 29(4): 96-100.
- [2] Yu, J.Y., Liang, Y.S. and Feng, Z.G. (2011) Investigation of Ultraviolet Aging on Rheological Characteristics of Bitumen. *Applied Mechanics and Materials*, **71-78**, 1954-1957. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.71-78.1954>
- [3] 栗培龙. 道路沥青老化行为与机理研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2007.
- [4] 曾文博. 沥青紫外老化机理及其表征方法研究[D]: [博士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2017.
- [5] 万淼. 沥青老化及基于组分调和的再生机制研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2017.
- [6] 冯振刚. 紫外光吸收剂对沥青性能的影响及其作用机理研究[D]: [博士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2013.
- [7] 时敬涛,王子立,李永振,等. 紫外光吸收剂对苯乙烯-丁二烯-苯乙烯三嵌段共聚物改性沥青光老化的影响[J]. 化工新型材料, 2018, 46(5): 148-150+153.
- [8] 洪岭岭,刘朝晖,冯国杰,等. 紫外光吸收剂对不同嵌段比 SBS 改性沥青性能的影响[J]. 武汉理工大学学报, 2017, 39(1): 28-36.
- [9] 化高伟. 抗紫外光添加剂对改善沥青及沥青混合料路用性能的对比研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安建筑科技大学, 2015.
- [10] Zhang, Z.P., Jia, M., Jiao, W.X., et al. (2018) Physical Properties and Microstructures of Organic Rectorites and Their Modified Asphalts. *Construction and Building Materials*, **171**, 33-43. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.163>
- [11] Vargas, M.A., Moreno, L., Montiel, R., et al. (2017) Effects of Montmorillonite (Mt) and Two Different Organo-Mt Additives on the Performance of Asphalt. *Applied Clay Science*, **139**, 20-27. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.01.009>
- [12] 刘涛. 纳米蒙脱土改性沥青老化自愈合性能及机理研究[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古工业大学, 2018.
- [13] 肖新颜,张登科. 异佛尔酮二异氰酸酯改性蒙脱土改性沥青的性能[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2017, 45(2): 116-121.
- [14] 朱明广,王迎春,李志文,等. 有机蒙脱土对沥青抗紫外光老化性能影响的研究[J]. 中国建筑防水, 2017, 33(1): 6-9.
- [15] 王华才. 沥青/有机化蒙脱土复合材料的结构及紫外老化研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2010.
- [16] 冯振刚,张沛,孙思敖,等. 紫外光吸收剂插层蒙脱土对沥青老化性能的影响[J]. 建筑材料学报, 2020, 22(5): 1-7+12.