

不同融冰剂对低冰点沥青混合料路用性能影响评价

江志刚¹, 王子鹏², 曹志龙³, 余剑英^{3*}

(1. 河北省高速公路延崇筹建处, 河北 张家口 075499; 2. 河北锐驰交通工程咨询有限公司;
3. 武汉理工大学 材料科学与工程学院)

摘要:分别采用传统氯盐类融冰剂、有机包覆氯盐融冰剂和新型氯离子插层镁铝基层状双金属氢氧化物融冰剂替代矿粉,制备3种低冰点沥青混合料,通过短期热老化、长期热老化和紫外光老化试验,研究不同融冰剂对沥青混合料路用性能和耐久性的影响。结果表明:与矿粉填料相比,氯盐类融冰剂对老化前后沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性和水稳定性均有负面影响,有机包覆可有效抑制氯盐类融冰剂对沥青混合料路用性能和耐久性的不利影响,氯离子插层镁铝基层状双金属氢氧化物融冰剂则可提高沥青的抗老化性能,对沥青混合料路用性能和耐久性均有良好的改善作用。

关键词:沥青混合料;融冰剂;老化;路用性能;耐久性

1 前言

道路路面的结冰积雪现象将大大降低道路的防滑能力,导致车辆行驶时容易发生交通事故。传统撒布融雪剂方法费工费时,而且融雪时效性差,近些年来沥青路面自融冰技术越来越受重视。目前应用较多的自融冰技术是用掺加融冰剂的沥青混合料铺筑低冰点路面,在车轮挤压作用下,融冰剂从公路内部迁移至路面,融化表层冰雪,保证车辆安全行驶。在沥青混合料中加入融冰剂虽赋予了路面融化冰雪能力,但融冰剂对沥青混合料路用性能也会造成一定的影响。崔龙锡等研究了融冰剂V-260对沥青混合料路用性能的影响,结果表明V-260会降低沥青混凝土的水稳定性,而对高温和低温性能影响很小;孙嵘蓉研究发现在动水冲刷40 min后,掺加融冰剂的沥青混合料残留强度比逐渐低于普通沥青混合料;孙健等研究表明掺加盐化物的混合料高温性能得到提高,但其低温和抗疲劳性能明显降低。众所周知,沥青混合料受热、氧、紫外光等环境因素作用会发生老化,导致沥青路面出现病害,从而缩短其服役寿命。然而,关于融冰剂对沥青混合料老化性能的影响尚未见研究报道。

随着低冰点沥青混合料的开发与应用,氯盐类融

冰剂也在不断发展。如Wang等对MgO、MgCl₂、NaCl进行煅烧,制备了氯盐类融冰剂;Dubois将亚麻籽油与NaOH、CaCl₂混合,制得表面含有憎水层的氯盐融冰剂;付静宜采用高熔点有机化合物与氯化钠熔融共混,制备了一种核壳结构的有机包覆氯盐融冰剂,可以缓慢释放内部融冰剂;Peng等以镁铝基层状双金属氢氧化物和氯化钠为原料,通过焙烧还原插层组合法制备了新型氯离子插层镁铝基层状双金属氢氧化物融冰剂。

该文选用传统氯盐类融冰剂(简称C-Cl)、有机包覆氯盐融冰剂(简称B-Cl)和氯离子插层层状双羟基复合金属氢氧化物融冰剂(简称LDHs-Cl),制备成不同种类低冰点沥青混合料,分别进行热老化和光老化试验,并研究融冰剂对低冰点混合料路用性能和耐久性的影响。

2 试验部分

2.1 原材料

(1) 融冰剂

传统氯盐类融冰剂的主要成分为氯化钠、氯化钙及其他无机材料。有机包覆氯盐融冰剂是将有机包覆剂和氯盐混合加热至250℃,经搅拌冷却后过筛所制

收稿日期:2021-05-12

基金项目:河北省交通运输厅科技项目(编号:YC-201927)

作者简介:江志刚,男,大学本科,工程师。E-mail:791572139@qq.com

*通信作者:余剑英,女,博士,教授,博士生导师。E-mail:jianyingyu@163.com

得。氯离子插层层状双羟基复合金属氢氧化物融冰剂是将层间为 CO_3^{2-} 的镁铝基层状双金属氢氧化物在 $500\text{ }^\circ\text{C}$ 的马弗炉中煅烧 2 h , 然后将焙烧产物加入到 NaCl 溶液中, 使 Cl^- 插入焙烧产物的层间, 过滤分离出的固体产物在 $120\text{ }^\circ\text{C}$ 干燥 2 h 所制得, 其平均粒径为 $2\text{ }\mu\text{m}$ 。

(2) 沥青

SBS 改性沥青。

(3) 集料和矿粉

玄武岩粗集料、石灰岩细集料和石灰石矿粉。

2.2 低冰点沥青混合料制备

沥青混合料选择 AC-13 级配, 各粒径的集料质量组成如表 1 所示。融冰剂采用等质量取代矿粉的方式掺入沥青混合料中, 矿粉和融冰剂的用量均为 5% 。根据马歇尔设计方法, 确定最佳油石比为 4.8% 。将加热至 $170\text{ }^\circ\text{C}$ 的 SBS 改性沥青和集料加入热拌锅中拌和, 然后加入矿粉或融冰剂进行拌和, 即制得低冰点沥青混合料。

表 1 集料的质量组成

筛孔/mm	组成/%	筛孔/mm	组成/%
10~3	7	0~3	44
5~10	42	矿粉	5
3~5	2		

2.3 沥青混合料老化试验

(1) 短期热老化试验。普通和低冰点沥青混合料的短期老化试验按照 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中相关试验方法进行。

(2) 长期热老化试验。依据 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中相关试验方法, 先对普通和低冰点沥青混合料进行短期热老化, 然后进行长期热老化。

(3) 长期紫外光老化试验。首先对普通和低冰点沥青混合料进行短期热老化, 然后成型马歇尔试件和车辙试件, 再将试件放在紫外老化箱中老化 120 h , 控制老化箱内温度为 $50\text{ }^\circ\text{C}$, 紫外线辐照强度为 $2\text{ }000\text{ }\mu\text{W}/\text{cm}^2$, 关闭紫外老化箱, 自然冷却 16 h 后取出试件。

2.4 低冰点沥青混合料路用性能试验

(1) 高温稳定性能。按照 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》测试老化前后低冰点沥青混合料的马歇尔稳定度和动稳定度。

(2) 低温抗裂性能。按照 JTG E20—2011《公路

工程沥青及沥青混合料试验规程》测试老化前后低冰点沥青混合料的低温弯曲断裂强度和低温劈裂强度。

(3) 水稳定性能。按照 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》测试老化前后低冰点沥青混合料的浸水残留稳定性和冻融劈裂强度比, 其中对未老化低冰点沥青混合料进行了 1、2 和 3 次浸水残留稳定度试验和冻融劈裂强度比测试。

3 结果与讨论

3.1 融冰剂对沥青混合料老化前后高温稳定性影响

3.1.1 马歇尔稳定度

图 1 为掺加矿粉和不同融冰剂的沥青混合料老化前后马歇尔稳定度。

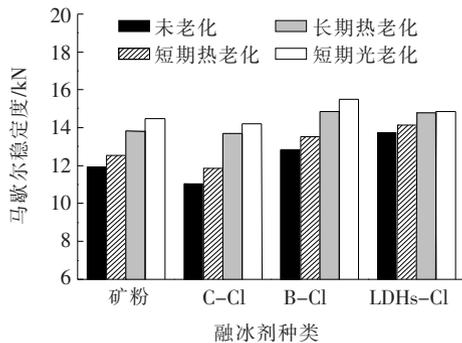


图 1 不同融冰剂对混合料老化前后马歇尔稳定度的影响

从图 1 可以看出: 与矿粉沥青混合料相比, 掺加传统氯盐类融冰剂的沥青混合料马歇尔稳定度有所降低, 而掺加有机包覆氯盐融冰剂和氯离子插层镁铝基层状双金属氢氧化物融冰剂的沥青混合料马歇尔稳定度均增大, 尤其是掺加 LDHs-Cl 融冰剂的沥青混合料马歇尔稳定度增加了 1.83 kN 。分析原因在于: C-Cl 融冰剂中的氯盐为无机晶体材料, 与沥青的相容性较差, 降低了沥青胶浆与集料的黏附性, 导致沥青混合料马歇尔稳定度下降; B-Cl 融冰剂则由于有机包覆提高了氯盐与沥青的相容性, 使其对沥青混合料的马歇尔稳定度影响较小; 而 LDHs-Cl 融冰剂为无机层状结构材料, 与沥青相容性优于氯盐, 且其粒径小于矿粉, 有利于增强沥青胶浆与集料间的黏附性, 使混合料的马歇尔稳定度得到提高。在短期热老化、长期热老化、紫外光老化后, 掺加矿粉和融冰剂的沥青混合料马歇尔稳定度均增大, 但增幅明显不同。与掺加矿粉的沥青混合料相比, 掺加 C-Cl 和 B-Cl 沥青混合料的马歇尔稳定度增幅稍大, 而掺加 LDHs-Cl 的沥青混合料马歇尔稳定度增幅减小。4 种沥青混合料的增大

顺序为:掺加 C-Cl 沥青混合料>掺加 B-Cl 沥青混合料>掺加矿粉沥青混合料>掺加 LDHs-Cl 沥青混合料。由此可见,相比矿粉填料,C-Cl 和 B-Cl 融冰剂加速了沥青混合料的老化,而 LDHs-Cl 融冰剂则抑制了沥青混合料的老化。其原因在于 C-Cl 和 B-Cl 融冰剂与沥青的相容性较差,氧气易于扩散进入沥青胶浆中,会加速沥青的老化,使沥青混合料马歇尔稳定度增加幅度更大,而 LDHs-Cl 为无机层状结构材料,对紫外光、热和氧有很好的阻隔作用,能够更好地抑制沥青的老化,从而使沥青混合料的马歇尔稳定度增加较小。

3.1.2 动稳定度

图 2 为普通和低冰点沥青混合料热老化和光老化前后动稳定度。

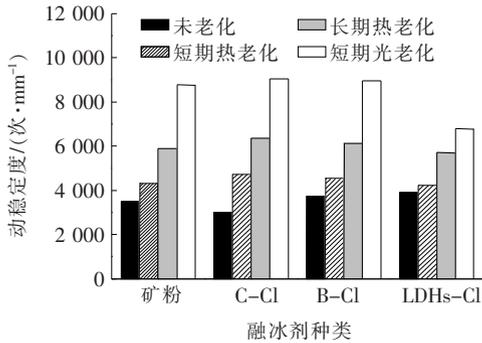


图 2 不同融冰剂对沥青混合料老化前后动稳定度的影响

由图 2 可见:以融冰剂替代矿粉填料后,老化前,掺加 C-Cl 融冰剂的沥青混合料动稳定度明显低于矿粉沥青混合料,即 C-Cl 和 B-Cl 融冰剂降低了沥青混合料的高温稳定性,而 LDHs-Cl 融冰剂则提高了沥青混合料的高温稳定性。经过短期和长期热老化和光老化后,矿粉沥青混合料和融冰剂沥青混合料的稳定度均增大,增大程度依次为:C-Cl>B-Cl>矿粉>LDHs-Cl。这表明 C-Cl 和 B-Cl 对沥青混合料的抗老化性能有不利影响,而 LDHs-Cl 对沥青混合料抗老化性能有改善作用。

3.2 融冰剂对沥青混合料老化前后低温性能的影响

3.2.1 低温劈裂强度

不同融冰剂对混合料低温劈裂强度的影响见图 3。

从图 3 可以看出:相比于矿粉填料,老化前,C-Cl 融冰剂使沥青混合料劈裂强度有所降低,而掺加 B-Cl 和 LDHs-Cl 融冰剂则使沥青混合料的劈裂强度增大,尤其是 LDHs-Cl 融冰剂使混合料的劈裂强

度增加了 0.2 MPa。这也是因为 C-Cl 融冰剂会降低沥青与集料间的黏附性,而 B-Cl 融冰剂和 LDHs-Cl 融冰剂对沥青与集料间的黏附性有一定的改善作用。

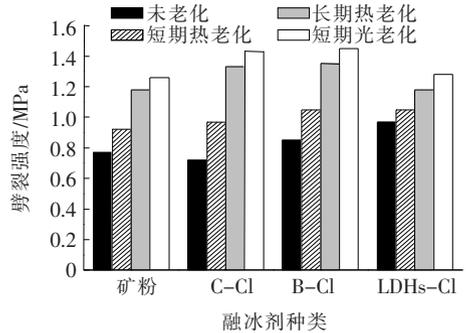


图 3 不同融冰剂对混合料老化前后低温劈裂强度的影响

3.2.2 低温弯曲断裂强度

图 4 为掺加矿粉和融冰剂混合料短期及长期热老化和光老化前后低温弯曲断裂强度的影响。

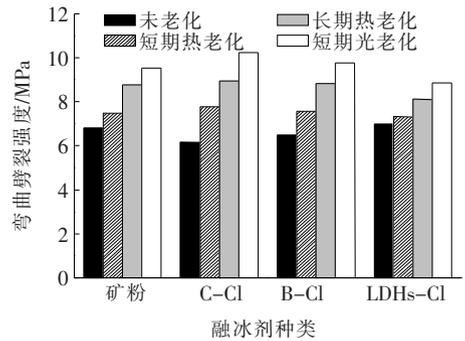


图 4 融冰剂对混合料老化前后低温弯曲断裂强度的影响

从图 4 可见:相比于矿粉沥青混合料,老化前,掺加 C-Cl 和 B-Cl 融冰剂的沥青混合料低温弯曲断裂强度均有所降低,而掺加 LDHs-Cl 的低冰点沥青混合料的低温弯曲断裂强度则稍有提高。这是因为 C-Cl 融冰剂主要为无机晶体材料,增加了沥青的低温脆性,使混合料低温弯曲断裂强度降低;通过有机包覆减轻了氯盐对沥青低温脆性的影响,使 B-Cl 融冰剂对沥青混合料低温弯曲断裂强度的降低幅度减小;而 LDHs-Cl 融冰剂粒径很小,对沥青有增韧作用,一定程度上提高了沥青混合料低温弯曲断裂强度。在短期及长期热老化和光老化后,以矿粉和融冰剂为填料的混合料低温弯曲断裂强度均增大,其增大幅度依次为:C-Cl>B-Cl>矿粉>LDHs-Cl。同样是因为 C-Cl 和 B-Cl 加快了混合料的老化,而 LDHs-Cl 则使混合料抗老化性能得到提高。

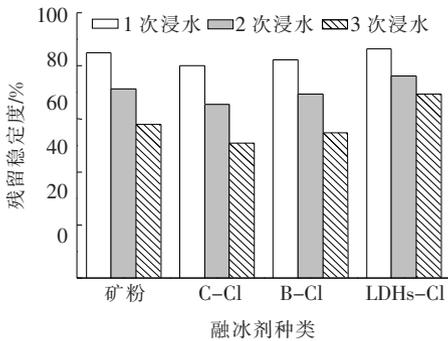


图 5 不同融冰剂对混合料多次浸水残留稳定度的影响

3.3 融冰剂对沥青混合料老化前后水稳定性能的影响

3.3.1 浸水残留稳定度

图 5 为掺加矿粉和不同融冰剂的沥青混合料多次浸水残留稳定度。

由图 5 可见:随着浸泡次数的增加,沥青混合料的残留稳定度逐渐降低,但不同融冰剂对沥青混合料浸水残留稳定度影响程度有很大差异。如经过 3 次浸水试验后,掺加矿粉、C-Cl、B-Cl 和 LDHs-Cl 融冰剂的沥青混合料残留稳定度分别为 58.0%、51.0%、54.7% 和 69.4%。相比矿粉,C-Cl 和 B-Cl 融冰剂对沥青混合料的水稳定性能均产生了负面影响,而 LDHs-Cl 融冰剂则使混合料的水稳定性能得到提高。其原因在于:在水浸泡过程中,C-Cl 中氯盐易被水溶解析出,导致沥青混合料的马歇尔稳定度降低,有机包覆抑制了氯盐的溶解,使沥青混合料的马歇尔稳定度降低较少,而 LDHs-Cl 不仅不溶于水,而且其比表面积很大,增强了沥青胶浆的抗水渗透性,从而提高了沥青混合料的浸水马歇尔稳定度。

图 6 为不同融冰剂对沥青混合料短期热老化、长期热老化和光老化后浸水残留稳定度的影响。

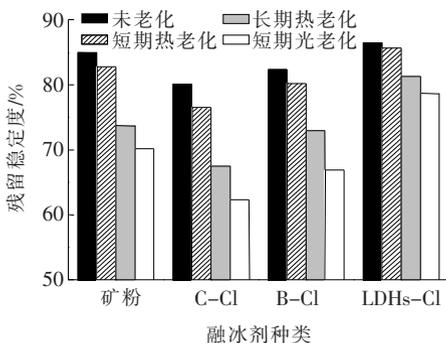


图 6 不同融冰剂对沥青混合料老化前后残留稳定度的影响

从图 6 可以发现:与未老化的混合料相比,短期及长期热老化和光老化后的混合料残留稳定度均有一定程度的降低,但与掺矿粉的混合料相比,掺加 LDHs-

Cl 能显著提高混合料的残留稳定度,尤其是光老化后,增加程度最大;而掺加 C-Cl 和 B-Cl 融冰剂沥青混合料残留稳定度均小于掺加矿粉沥青混合料,其中掺加 C-Cl 融冰剂的沥青混合料残留稳定度均最小。显然,这是因为 LDHs-Cl 融冰剂具有屏蔽紫外光和隔绝氧气的作用,改善了沥青的抗热老化和光老化性能,从而提高了沥青混合料老化后的抗水损害性能,而 C-Cl 和 B-Cl 融冰剂则一定程度上加快了沥青混合料的老化,降低了沥青混合料老化后的水稳定性能。

3.3.2 冻融劈裂强度比

图 7 为矿粉混合料和不同融冰剂混合料的第一、第二和第三次冻融劈裂强度比。结果表明:混合料的劈裂强度比和其冻融次数成反比。3 次冻融循环后,矿粉、C-Cl、B-Cl 和 LDHs-Cl 沥青混凝土的劈裂强度比分别为 67.19%、60.36%、63.85% 和 74.85%。与矿粉相比,C-Cl 和 B-Cl 融冰剂使混合料的冻融劈裂强度比有所降低,而 LDHs-Cl 则使混合料的冻融劈裂强度比有较大幅度提高。这也是因为 C-Cl 中的氯盐易被水溶解析出,导致沥青混合料的劈裂强度降低,有机包覆抑制了氯盐的溶解,使沥青混合料的劈裂强度降低较少,而 LDHs-Cl 提高了沥青胶浆的抗水渗透性,从而提高了沥青混合料的劈裂强度。

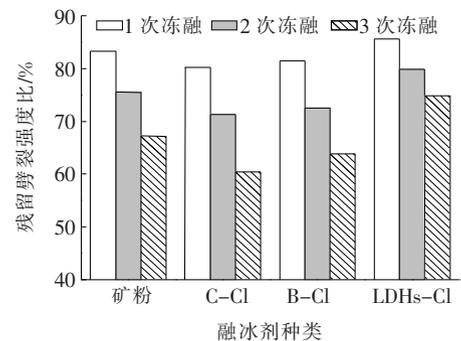


图 7 不同融冰剂对混合料冻融劈裂强度比的影响

不同融冰剂对沥青混凝土短期和长期热老化和光老化后冻融劈裂强度比的影响如图 8 所示。

从图 8 可见:与矿粉沥青混合料相比,掺加 B-Cl 和 LDHs-Cl 融冰剂的沥青混合料在短期及长期热老化和光老化后的冻融劈裂强度比均升高,尤其是掺加 LDHs-Cl 融冰剂的沥青混合料冻融劈裂强度比升高程度最大,而掺加 C-Cl 的混合料老化后冻融劈裂强度比出现了明显的降低。如在光老化后,掺矿粉、C-Cl、B-Cl 和 LDHs-Cl 融冰剂的沥青混合料冻融劈裂强度比分别为 70.1%、67.0%、74.8% 和 77.7%。

同样是因为 LDHs-Cl 对沥青的老化有很好的抑制作用,并可增强沥青与集料间的黏附,从而能够提高沥青混合料的水稳定性,而 C-Cl 既降低了沥青与集料间的黏附性,又在水浸泡下氯盐会溶解析出,使混合料的水稳定性能下降,B-Cl 则因有机包覆作用,对沥青与集料间的黏附性影响很小,并可减少沥青胶浆的吸水能力,同时也对混合料的水稳定性有一定的提高。

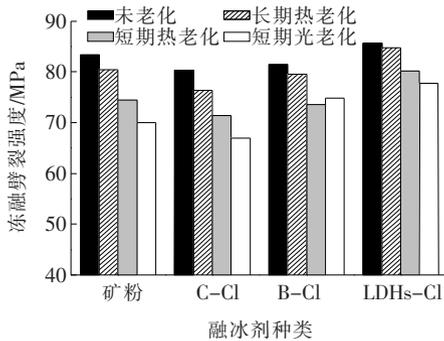


图8 不同融冰剂对沥青混合料老化前后冻融劈裂强度比的影响

4 结论

(1) 与矿粉沥青混合料相比,C-Cl 融冰剂明显降低了沥青混合料的高温稳定性、低温抗裂性和水稳定性;B-Cl 融冰剂对沥青混合料的马歇尔稳定度和低温劈裂强度有改善作用,但降低了沥青混合料的动稳定度、低温弯曲断裂强度和水稳定性;而 LDHs-Cl 融冰剂对混合料的高低温性能及水稳定性均具有较好的改善效果。

(2) C-Cl 和 B-Cl 融冰剂降低了沥青路面抗短期和长期热老化和光老化性能,而 LDHs-Cl 融冰剂可有效提高沥青路面的短期和长期抗热老化和光老化性能。

(3) 3 种融冰剂对沥青混合料路用性能和耐久性的不同影响归因于:C-Cl 融冰剂中的氯盐为无机晶体材料,与沥青相容性差,降低了沥青胶浆与集料的黏附性,并且自身遇水易溶解析出;B-Cl 融冰剂通过有机包覆抑制了氯盐对沥青胶浆与集料黏附性的不利影

响,并延缓了氯盐的溶解性;LDHs-Cl 融冰剂具有屏蔽紫外光和隔绝氧气的作用,使沥青的抗老化性能得到提升,并增强了沥青胶浆与集料间的黏附性,从而可明显提高沥青路面的耐久性。

参考文献:

- [1] 关永胜,张志祥,黄子杰,等. 不同融雪物质的化冰性能及评价方法研究[J]. 中外公路,2020(2).
- [2] 李荣清,王超,朱耀庭,等. 碳纤维发热线桥面铺装融雪化冰试验研究[J]. 中外公路,2019(6).
- [3] 王腾,郭德栋,周小鹏,等. 道路融雪剂融冰能力试验方法的改进研究[J]. 中外公路,2020(2).
- [4] 邵明玉. 除冰雪蓄盐沥青混合料的制备与性能研究[D]. 长安大学硕士学位论文,2015.
- [5] 崔龙锡. 蓄盐类沥青混合料研究[D]. 重庆交通大学硕士学位论文,2010.
- [6] 孙嵘蓉. 缓释蓄盐沥青混合料的研发及性能的评价[D]. 哈尔滨工业大学硕士学位论文,2012.
- [7] 孙健,钱振东,罗桑. 融冰化雪型沥青混合料路用性能的试验评价[J]. 公路,2013(12).
- [8] Wang Z, Zhang T, Shao M, et al. Investigation on Snow-Melting Performance of Asphalt Mixtures Incorporating with Salt-Storage Aggregates[J]. Construction & Building Materials, 2017, 142:187-198.
- [9] Dubois R. Road-Surface Additive for Preventing Ice and Melting Snow:U. S. Patent,4094686[P]. 1978-6-13.
- [10] 付靖宜. 包覆氯盐融冰剂对沥青混凝土融冰和路用性能的影响研究[D]. 武汉理工大学硕士学位论文,2015.
- [11] Peng Chao, Zhao Zhijie, Yu Jianying. Synthesis and Properties of a Clean and Sustainable Deicing Additive for Asphalt Mixture [J]. Plos One, 2015, 10(1): e0115721.
- [12] Zhang Canlin, Yu Jianying, Feng Kai, et al. Synthesis and Characterization of Triethoxyvinylsilane Surface Modified Layered Double Hydroxides and Application in Improving UV Aging Resistance of Bitumen[J]. Applied Clay Science,2016,120:1-8.
- [13] Cao Zhilong, Xue Lihui, Wu Min, et al. Effect of Etched Layered Double Hydroxides on Anti-Ultraviolet Aging Properties of Bitumen [J]. Construction and Building Materials, 2018, 178:42-50.