

引用格式:赵晔,文利雄. 蓄盐缓释融雪抑冰材料的制备及性能研究[J]. 北京化工大学学报(自然科学版),2020,47(2):44-50.

ZHAO Ye, WEN LiXiong. Preparation and properties of sustained release deicing salt-storage materials[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology (Natural Science), 2020,47(2):44-50.

蓄盐缓释融雪抑冰材料的制备及性能研究

赵 晔 文利雄*

(北京化工大学 教育部超重力工程研究中心, 北京 100029)

摘 要:通过表面改性试验、溶出试验和溶液电导率测定试验,筛选出可用于蓄盐缓释融雪抑冰材料的载体(载体 A)和表面改性剂(表面改性剂 J),通过优化制备方法和成分配比,开发出具有降低溶液冰点功能和缓释功能的蓄盐缓释融雪抑冰材料。吸附试验和电导率测定试验的结果表明:载体 A 能够吸附的氯化钠含量较高,适合作为材料的载体;采用湿法吸附制备的融雪抑冰材料的缓释性能优于干法吸附制备的材料;随着表面改性剂 J 添加量的增大,融雪抑冰材料的缓释性增强。自制的蓄盐缓释融雪抑冰材料的组成为氯化钠、载体 A、表面改性剂 J,三者的质量分数分别为 57.91%、38.60%、3.49%。溶出试验和溶液冰点测试试验表明自制的蓄盐缓释融雪抑冰材料具有良好的缓释性和降低溶液冰点能力。

关键词:蓄盐缓释融雪抑冰材料;缓释性;冰点;溶出性试验

中图分类号: U414 **DOI:** 10.13543/j.bhxbzr.2020.02.007

引 言

国内外的研究调查表明,路面状况的好坏是影响道路交通安全的重要因素^[1]。在我国北方某些地区,冬季积雪期长达 3~4 个月,道路积雪结冰给车辆和行人带来了严重的安全隐患^[2]。传统的人工撒盐和机械除雪不仅费时费力,而且还会对环境造成污染。为了解决这一问题,主动抑制路面结冰技术^[3]越来越受到世界各国科研人员和交通部门的重视。在主动抑制路面结冰技术中,将蓄盐材料^[4]替代矿粉添加到路面内部,能够起到很好的融化路面积雪的效果。

在主动抑制路面结冰技术研究方面,一些发达国家始终走在国际前列。上世纪 60 年代,瑞士研制生产出了 Verglimit 材料,将该材料替代矿粉添加到沥青路面中,能够将路面的冰点降至 -20℃,从而阻止和延缓路面结冰^[5]。上世纪 70 年代末期,日本

研制生产出了现在仍在使用的 Mafilon 材料,将该材料添加在沥青路面中不仅能起到降低路面冰点的作用,还能使有效除冰雪时长达到 6~10 年^[6],但由于其价格昂贵,在我国尚未得到广泛的推广,只处于铺筑试验路面的初级应用阶段。这些国外研发的融雪抑冰材料因知识产权原因难以查阅到有关资料,而国内也尚无自主研发的融雪抑冰产品。

我国对于主动抑制路面结冰方面的研究还处于起步阶段,目前的重点是针对国外已研发的融雪抑冰材料,主要研究其材料组成、国内工程的适用性及材料的推广应用。黄玮等^[7]对添加了 Mafilon 材料的沥青胶浆进行研究,通过常温浸水试验和低温出水试验考察了该材料的浸水性能及融冰雪性能。崔龙锡^[8]在相关研究的基础上,将 Verglimit-260 材料掺加在沥青混合料中,探究了该材料的作用机理和降低冰点性能。康捷^[9]对凝冰的形成机理和盐的除冰机理进行了分析,并将沸石进行盐化处理后掺入沥青混合料中以验证其除冰雪效果,但其缓释效果还有待进一步研究。冯雷等^[10]对我国近几年铺筑的多条自融雪路面试验路段进行研究,考察了这些路段的耐久性和融雪抑冰实际效果,结果表明某些试验路段的实际融雪效果并没有达到预期目标。张小龙等^[11]通过融冰化雪试验和冰点测试试验研

收稿日期:2019-11-07

基金项目:国家自然科学基金(21576012)

第一作者:男,1994 年生,硕士生

*通信联系人

E-mail: wenlx@mail.buct.edu.cn

究了自制材料的基本特性,分析了不同降雨条件下材料盐分析出的速率,结果表明材料的融雪持久性有待提高。陈拴发等^[12]对融雪抑冰材料疏水性能的影响因素进行了研究,观察了材料的微观形貌,结果表明疏水剂的添加量和球磨时间会对材料的疏水性和盐分溶出速率产生影响。郭峰^[13]将蓄盐路面和弹力路面融雪除冰技术相结合,开发了高弹蓄盐混合料,但该材料的耐久性有待研究。

综上所述,本文以蓄盐材料能起到融雪抑冰的作用为出发点,在日本、瑞士等国已有的研究应用的基础上,开展代替矿粉的国产蓄盐缓释融雪抑冰材料的研制,主要从载体选择、表面改性、制备方法和成分配比上进行探讨。

1 试验部分

1.1 试剂与仪器

氯化钠、硅藻土、氧化铝,分析纯,福晨化学试剂有限公司;乙二醇、无水乙醇、沸石,分析纯,麦克林化学试剂公司;碳酸钙,二氧化硅,硅烷偶联剂 KH-550、KH-560、KH-570,分析纯,源叶生物有限公司;铝酸酯偶联剂 PN-827,化学纯,南京品宁偶联剂有限公司。

DDSJ-308F 型电导率仪,上海仪电科学仪器有限公司;ZRS-8G 型溶出试验仪,天津精拓仪器科技有限公司;DHJF-4010 型低温恒温反应浴,郑州长城科工贸有限公司;NTY-10A 型数字式千分温度计,南大万和科技有限公司;HJ-3 型磁力搅拌器,荣华仪器有限公司;AX124ZHX 型天平,美国欧豪斯公司;XRF-1800 型 X 射线荧光光谱仪,日本岛津公司;JEOLS-7800 型扫描电子显微镜,日本电子株式会社;ASAP-2010 比表面积分析仪,美国麦克仪器公司;Vario ELIII 型有机元素分析仪,德国 Elementar 公司。

1.2 方法

1.2.1 吸附试验

分别采用湿法吸附和干法吸附^[14]两种方法进行载体吸附氯化钠研究。

干法吸附 将 10 g 载体和 15 g 氯化钠放入研钵中充分磨匀,使氯化钠与载体充分融合,氯化钠填充到载体缝隙中,直至材料能通过 0.075 mm 筛孔,即制得干法吸附氯化钠载体材料。

湿法吸附 将 15 g 氯化钠完全溶解在 200 mL 去离子水中,加入 10 g 载体,于 70 ℃ 条件下恒温搅拌至糊状,于 60 ℃ 烘箱中烘干,在万能粉碎机中粉

碎至能通过 0.075 mm 筛孔,即得湿法制备氯化钠载体材料。

1.2.2 表面改性试验

选择湿法表面改性技术^[15],将氯化钠载体材料放入鼓风干燥箱中干燥 12 h,之后称取 10 g 材料放入 300 mL 烧瓶中,加入 150 mL 无水乙醇,超声分散 30 min。边搅拌边逐滴加入一定量的表面改性剂,将烧瓶放入 60 ℃ 的恒温水浴中机械搅拌 2 h,停止搅拌。然后将所得乳液进行离心分离,利用无水乙醇超声清洗以除去材料表面吸附的其他杂质。最后置于 60 ℃ 干燥箱中干燥 12 h,得到表面改性的材料。

1.2.3 渗水性试验

在透明的一次性塑料杯子底部扎数个小孔,将 20 g 粉体铺平压实在杯底,沿杯壁缓慢倒入 100 mL 去离子水,观察渗透时间和流完时间,对滤液或上清液(对不渗水或难渗水的粉体测量上清液)测试溶液电导率^[16]。

1.2.4 溶出试验

在溶出杯中加入 150 mL 去离子水和 1 g 粉体,设置溶出仪温度为 25 ℃,在 100 r/min 的转速下低速搅拌,用电导率仪连续测量溶液中的电导率变化。

1.2.5 冰点测试试验

在 3 个试管中各加入 10 mL 去离子水,向水中分别加入自制的蓄盐缓释融雪抑冰材料、Mafilon 材料和矿粉各 2 g,将试管放入低温恒温反应浴中不断降温,用数字式千分温度计测量溶液的冰点。

1.3 分析与表征

编号为 A、B、C、D 和 E 的 5 种载体的 Brunauer-Emmett-Teller (BET) 比表面积采用比表面积分析仪进行分析,通过低温氮吸附法测试得到材料的比表面积和平均孔直径。

载体吸附氯元素的质量分数采用 X 射线荧光光谱仪测试:将 10 g 载体放入 200 mL 饱和氯化钠溶液中,用磁力搅拌器搅拌 3 h 后过滤,在 60 ℃ 条件下烘干滤渣,粉碎后用 X 射线荧光光谱仪进行物质组成分析,测定 5 种载体中的氯元素含量。

未改性和经表面改性剂 J 改性后的氯化钠载体材料的微观形貌采用扫描电子显微镜进行分析,操作电压 5 ~ 20 kV。

2 结果与讨论

2.1 载体的选择

将蓄盐缓释融雪抑冰材料代替矿粉加入沥青混

合料中,由于材料在某种程度上代替了矿粉,所以必须有多孔性物质存在,这样不仅能保证材料与沥青的粘结力和填充孔隙的能力,更重要的是能包裹盐分使其不容易流失。材料均匀分布在沥青混合料中,随着时间推移,材料中的盐分会在毛细管压力和车轮压力作用下不断向路面析出并消耗^[17]。一个好的载体能够最大程度地延缓盐分的析出,提高材料的使用寿命,因此应该选择孔隙多、比表面积大的材料作为载体。本文选择了编号为 A、B、C、D 和 E 的 5 种载体,其中载体 A 和 B 为矿物质,载体 C 为金属氧化物,载体 D 为非金属氧化物,载体 E 为无机化合物,分别测定它们的表面吸附性能,得到 BET 比表面积和平均孔直径。

由图 1 可知,5 种载体按比表面积从大到小排序为 C > A > B > E > D。由图 2 可知,5 种载体的平均孔直径从大到小排序为 D > E > B > C > A。物质的吸附能力与其比表面积和平均孔直径有关,比表面积越大,孔直径越小,则其吸附能力越强。在 5 种载体中,载体 A 的孔直径最小,同时比表面积较大,说明其具有较强的吸附能力,是作为载体的优良选择。

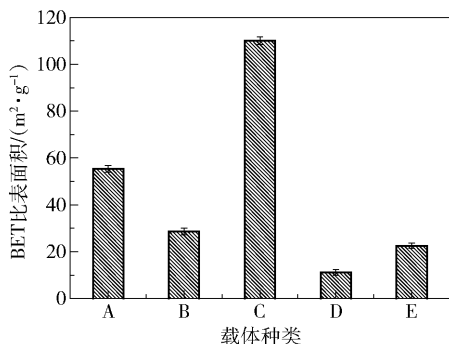


图 1 各种载体的比表面积

Fig. 1 Specific surface area of different carriers

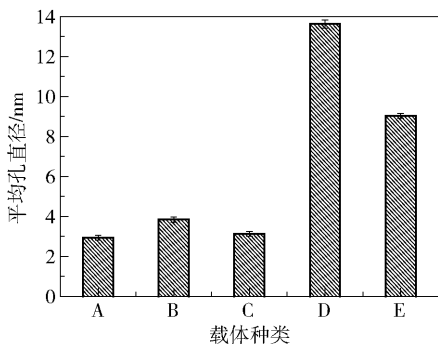


图 2 各种载体的平均孔直径

Fig. 2 Average pore diameter of different carriers

氯化钠目前广泛应用于各类融雪剂中^[18],其降低冰点效果好、价格低廉,因此本文选择氯化钠作为融雪抑冰有效成分吸附于载体中,通过 X 射线荧光光谱仪测试了 5 种载体对氯化钠的吸附能力。由图 3 可知,5 种载体按其吸附氯元素质量分数由大到小的排序为 C > A > B > E > D。

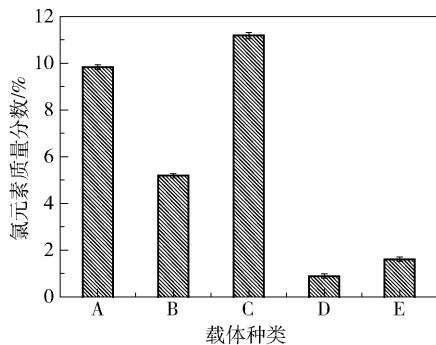


图 3 各种材料吸附氯元素的质量分数

Fig. 3 Chloride concentration (by mass) adsorbed by different carriers

载体 A 和载体 C 都具有较大的比表面积,同时对氯化钠都有很好的吸附能力,但在实际应用中载体 C 不适合作为路面填充材料,同时从经济角度考虑,载体 C 的价格要高于载体 A。所以综合考虑吸附性能、经济性和实际应用价值,选择载体 A 作为自制蓄盐缓释融雪抑冰材料的载体。

2.2 吸附方法的选择

由图 4 可知,由湿法吸附和干法吸附制备的材料中的氯化钠在完全溶出时电导率分别为 8 561 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 和 8 559 $\mu\text{S}/\text{cm}$,电导率基本相同表明两者的含盐量基本相同。电导率不再变化表明材料中的盐分完全溶出,其中干法吸附材料在 4 min 时就将其中的盐分完全溶出,而湿法吸附材料的盐分在 10 min 时才完全溶出,可见湿法制备材料的盐分溶出速率明显比干法制备材料更低,说明采用湿法吸附方式制备的材料吸附氯化钠更为充分,从而降低了氯化钠在溶液中的溶解扩散速率,缓释效果更好。因此采用湿法吸附方式进行载体对氯化钠的吸附。

2.3 改性剂的选择

载体 A 的主要成分为二氧化硅,编号为 H、I、J 的 3 种表面改性剂均为硅烷偶联剂。二氧化硅表面经过硅烷偶联剂修饰后,其表面附着亲油基团,具有很好的疏水性^[19],能够提高材料中盐分的缓释性能。另外,表面改性剂 K 是一种铝酸酯偶联剂,在提高无机物表面疏水性方面也能起到一定作用。因

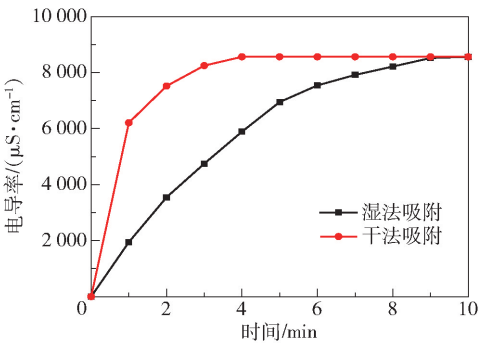


图 4 两种吸附方法的盐分溶出电导率变化
Fig. 4 Conductivity changes of the solutes using two different adsorption methods

此,本文对比研究以上几种不同表面改性剂的改性效果。

由图 5 可知,经表面改性剂 K 改性的材料在 30 min 后电导率不再发生变化,说明其中的盐分完全溶出;而经 H、I、J 3 种表面改性剂改性的材料在 60 min 时电导率仍在增加,说明其中的盐分仍在继续溶出,因此用这 3 种表面改性剂改性的材料的缓释性能优于表面改性剂 K 改性的材料。经表面改性剂 J 和 H 改性的两种材料的电导率变化趋势相似,盐分均在 90 min 左右完全溶出,缓释效果均优于表面改性剂 I 改性的材料,其中表面改性剂 J 改性材料溶出速率略低于表面改性剂 H 改性材料。由上可知,这 4 种改性剂改性后材料的缓释效果排序为 J>H>I>K。所以,J 更适合作为材料的表面改性剂。

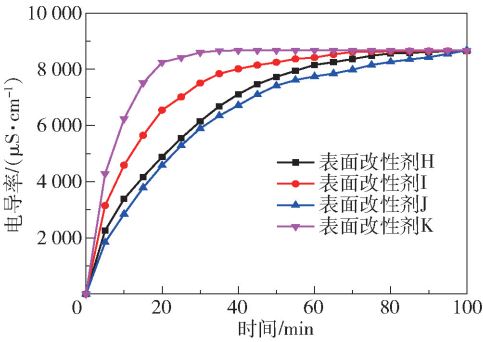


图 5 不同改性剂改性材料的盐分溶出电导率变化
Fig. 5 Conductivity changes of the solutes modified with different agents

Mafilon 材料作为一种技术已经比较成熟的产品,在路面实际应用中的除雪效果明显,同时其使用寿命能长达 6~10 年之久,说明其含盐量适当,缓释性能优秀。因此,以 Mafilon 材料作为对照,评价本文所制备的蓄盐缓释融雪抑冰材料性能。作为对比

所制备的改性材料具体方法为:载体采用湿法吸附方式吸附氯化钠,表面改性采用湿法表面改性技术,氯化钠、载体 A 和表面改性剂 J 的配比为 15 g: 10 g: 15 mL。

由表 1 所示的渗水性试验结果可知,由于氯化钠是极易溶于水的物质,水瞬间就能渗透,在很短时间从杯底流出;而湿法吸附制备的氯化钠载体材料由于载体吸附了部分氯化钠,渗透时间延长到 40 s,渗水性明显降低,说明湿法吸附提高了材料盐分的缓释能力。由于表面改性剂的作用,改性材料的渗透时间从湿法吸附的 40 s 延长到了 2 d,流完时间从 5 h 延长到 7 d,说明水分很难渗透材料,表面改性使得材料的疏水性能有了极大提高,缓释性能有了明显增强。同时对比 Mafilon 材料可以看出,改性材料的渗透时间和 Mafilon 渗透时间一致,但流完时间高于 Mafilon 材料,说明改性材料的缓释性能优于 Mafilon 材料。

表 1 各种材料的渗水性试验结果

Table 1 Experimental permeability results for different materials

材料	渗透时间	流完时间	氯化钠浓度/ (mol·L ⁻¹)
氯化钠	5 s	15 s	1. 15
氯化钠载体	40 s	5 h	0. 946
表面改性氯化钠载体	2 d	7 d	0. 213
Mafilon	2 d	5 d	0. 299

由图 6 可以看出,表面改性剂 J 改性后材料的盐分溶出速率比未改性材料小很多,说明改性剂起到了增强材料疏水性的效果,极大提高了其缓释能力。通过对比 Mafilon 材料的电导率变化,发现本文制备的改性材料的盐分溶出更为缓慢,在含盐量相同的情况下,缓释效果优于 Mafilon 材料,并有望在

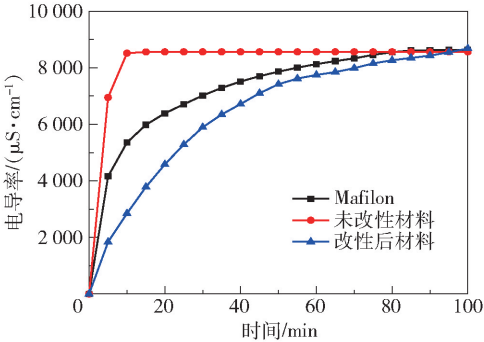
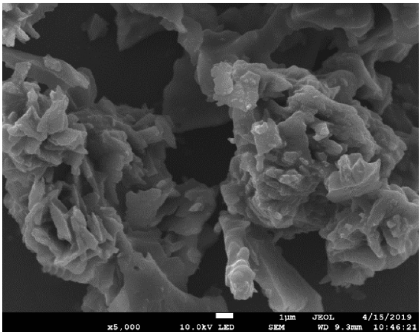


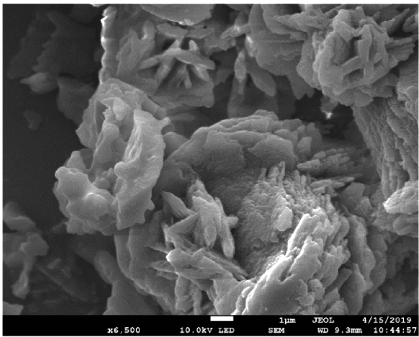
图 6 各种材料盐分溶出电导率变化
Fig. 6 Conductivity changes of the different solutes

路面实际融雪抑冰中也能发挥良好的作用。

图 7(a)和(b)分别为未改性和经表面改性剂 J 改性后的氯化钠载体材料的扫描电镜图像。从图 7(a)可以看出,未改性的材料表面凹凸不平,只有载体和其中吸附的氯化钠,而图 7(b)中改性后材料的形貌与改性前略有不同,表面更加光滑,可能是由于表面改性剂 J 的作用,使载体表面及吸附的盐分被包裹起来,从而起到降低盐分溶出速率的效果。同时在试验中发现,经表面改性剂 J 改性后的粉体很容易粉碎,不易结块,干燥不易潮解,说明改性剂 J 起到了有效的表面疏水作用。



(a) 未改性材料



(b) 表面改性剂 J 改性后材料

图 7 氯化钠载体材料 SEM 图

Fig. 7 SEM images of NaCl-carrier materials

2.4 改性剂的配比

由图 8 可知,随着表面改性剂 J 用量的增加,材料的盐分溶出速率减小,表明随着改性剂添加量的提高,材料表面覆盖的憎水基团增多,其与水分子之间的排斥力增大,疏水性和缓释能力相应提高。但当加入量为 15 mL 时,盐分溶出速率与加入 20 mL 和 25 mL 基本相同,表明加入过多的表面改性剂对缓释效果不会起到显著的改善作用。因此,确定制备过程中氯化钠载体材料与表面改性剂 J 添加比例为 10 g : 15 mL。用有机元素分析仪对试验制得的材料进行元素分析,可得材料中碳元素的质量分数为 1.69%,由于载体 A 和氯化钠中均不含碳元素,通

过计算可得含碳元素的表面改性剂 J 的含量(质量分数,下同)约为 3.49%。又由于材料中只含有载体 A、氯化钠和表面改性剂 J,所以载体 A 和氯化钠的总含量为 96.51%。湿法吸附制备时载体 A 和氯化钠的配比为 1 : 1.5,可得载体 A 和氯化钠的含量分别为 38.60% 和 57.91%,因此材料组成(氯化钠、载体 A 和表面改性剂 J)的质量比约为 57.91% : 38.60% : 3.49%。

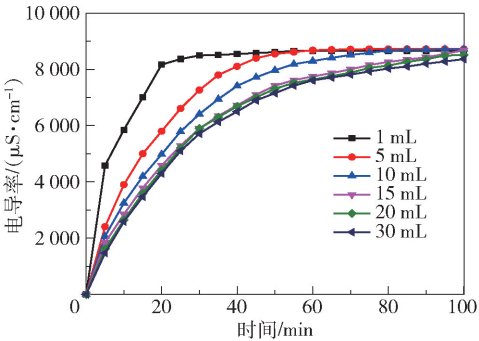


图 8 不同配比表面改性剂 J 的盐分溶出电导率变化

Fig. 8 Conductivity changes of different materials with different ratios of surface modifier J

2.5 降低冰点能力

由表 2 可以看出,不添加任何物质的去离子水的冰点为 0℃,添加矿粉后去离子水冰点仅下降至 -0.45℃,基本不能使水的冰点降低,说明添加矿粉不能起到降低路面冰点的作用。而添加自制的蓄盐缓释融雪抑冰材料后,溶液的冰点降低至 -6.04℃,说明该材料有效降低了溶液的冰点。冬天路面遇到降雪时,道路中的蓄盐缓释融雪抑冰材料释放的盐分能够降低路面的冰点,从而可抑制道路表面的积雪结冰,起到融化积雪的作用。添加相同比例 Mafilon 材料的溶液冰点为 -5.89℃,略高于添加自制的融雪抑冰材料的冰点,说明本文制备的蓄盐融雪抑冰材料的降低冰点能力略强于 Mafilon 材料。由于试验条件所限,本文未能对所研制的蓄盐缓释融雪抑冰材料进行路面试验。但是参考技术已经相对成熟的 Mafilon 材料(添加该材料的沥青路面能将路面冰点

表 2 各种材料的冰点

Table 2 Freezing point of different materials

材料种类	冰点/℃
纯水	0
矿粉	-0.45
Mafilon	-5.89
自制蓄盐缓释融雪抑冰材料	-6.04

降至 -10°C), 可以推测本文所研制的蓄盐缓释融雪抑冰材料添加至路面后有望具备较好的降低冰点能力。

3 结论

(1) 湿法吸附能够更充分地将氯化钠吸附于载体的孔隙中, 防止氯化钠溶出过快; 采用湿法改性技术对融雪抑冰材料进行表面改性能够提高材料的缓释性能, 且随着表面改性剂掺加量的增大, 材料的缓释性能增强。

(2) 制备的蓄盐缓释融雪抑冰材料具有优良的缓释性能和降低冰点能力, 材料的盐分缓释时间可以达到 90 min, 能使溶液冰点降低至 -6.04°C , 均优于进口的 Mafilon 材料, 有望在路面实际应用中发挥良好的作用。

(3) 制备的蓄盐缓释融雪抑冰材料的组成为氯化钠、载体 A、表面改性剂 J, 三者的质量比为 57.91%: 38.60%: 3.49%。

参考文献:

- [1] QI H L, TIAN W P, ZHAO F. Risk assessment of snow disaster for trunk highway transportation in Shaanxi, China[J]. Natural Hazards, 2017, 85(1): 523-536.
- [2] 徐海波. 北方冬季公路风积雪成因及防治措施[J]. 黑龙江交通科技, 2016, 39(3): 25-26.
- [3] XU H B. Controlling measures of highway snowdrift in northern winter[J]. Communications Science and Technology Heilongjiang, 2016, 39(3): 25-26. (in Chinese)
- [4] 苗广营, 沈建青, 仲玮年. 沥青路面除冰雪技术研究进展[J]. 筑路机械与施工机械化, 2019, 36(9): 18-22.
- [5] MIAO G Y, SHEN J Q, ZHONG W N. Progress of research on deicing and snow removal technology for asphalt pavement[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2019, 36(9): 18-22. (in Chinese)
- [6] 张争奇, 罗要飞, 赵富强. 储盐类融雪抑冰材料对沥青混合料性能影响研究进展[J]. 化工进展, 2018, 37(6): 2282-2294.
- [7] ZHANG Z Q, LUO Y F, ZHAO F Q. Review of research on the effect of salt storage deicing material on the performance of asphalt mixture[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2018, 37(6): 2282-2294. (in Chinese)
- [8] 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: 哈尔滨工业大学, 2012.
- [9] SUN R R. Develop and performance evaluate of sustained-release mixture include salt[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2012. (in Chinese)
- [10] ZHONG K, SUN M Z, CHANG R H. Performance evaluation of high-elastic/salt-storage asphalt mixture modified with Mafilon and rubber particles[J]. Construction and Building Materials, 2018, 193: 153-161.
- [11] 黄玮, 杨贺群, 丛玉凤, 等. 沥青路面用融雪抑冰材料性能的研究[J]. 应用化工, 2016, 45(7): 1215-1219.
- [12] HUANG W, YANG H Q, CONG Y F, et al. Research on the performance of the de-ice materials used in asphalt pavement[J]. Applied Chemical Industry, 2016, 45(7): 1215-1219. (in Chinese)
- [13] 崔龙锡. 蓄盐类沥青混合料研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2010.
- [14] CUI L X. The research on asphalt mixture include salt[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2010. (in Chinese)
- [15] 康捷. 抗凝冰沥青混合料技术研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2011.
- [16] KANG J. The research on anticoagulant mixture of ice[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2011. (in Chinese)
- [17] 冯雷, 赵鹏. 一种路用缓释蓄盐材料的制备及应用[J]. 筑路机械与施工机械化, 2017, 34(8): 76-80.
- [18] FENG L, ZHAO P. Preparation and application of sustained-release salt-storage material for road[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2017, 34(8): 76-80. (in Chinese)
- [19] 张小龙, 马晓燕, 魏永峰, 等. 融雪抑冰材料的性能研究[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2015, 11(5): 134-136.
- [20] ZHANG X L, MA X Y, WEI Y F, et al. Research on the properties of snow melting and ice suppression materials[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development (Application Technology), 2015, 11(5): 134-136. (in Chinese)
- [21] 陈拴发, 刘状壮, 邢明亮, 等. 融雪抑冰材料疏水性影响因素研究[J]. 建筑材料学报, 2013, 16(6): 1053-1057, 1071.
- [22] CHEN S F, LIU Z Z, XING M L, et al. Research on the factors influencing hydrophobic properties of anti-freezing material[J]. Journal of Building Materials, 2013, 16(6): 1053-1057, 1071. (in Chinese)
- [23] 郭峰. 高弹蓄盐沥青混合料材料开发及性能研究

- [D]. 北京: 北京建筑大学, 2017.
- GUO F. Study on development and performance of high elasticity salt-containing asphalt mixture [D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2017. (in Chinese)
- [14] 李文靖. 融雪抑冰复合填料的制备及其路用性能研究 [D]. 西安: 长安大学, 2012.
- LI W J. The study of manufacture and road performance on snowmelt anti-freezing composite filler [D]. Xi'an: Chang'an University, 2012. (in Chinese)
- [15] ZHONG B C, ZENG X Q, CHEN W J, et al. Nonsolvent-assisted surface modification of silica by silane and antioxidant for rubber reinforcement [J]. *Polymer Testing*, 2019, 78: 105949.
- [16] 谭忆秋, 侯明昊, 单丽岩, 等. 蓄盐沥青路面缓释络合盐填料的研制 [J]. *建筑材料学报*, 2014, 17(2): 256–260.
- TAN Y Q, HOU M H, SHAN L Y, et al. Development of sustained release complex salt filler for asphalt pavement included salt [J]. *Journal of Building Materials*, 2014, 17(2): 256–260. (in Chinese)
- [17] 资葵. 高速公路结冰监测预警与抑冰材料应用研究 [D]. 长沙: 长沙理工大学, 2016.
- ZI K. Application of icing monitoring and early warning and anti-icing materials for expressway [D]. Changsha: Changsha University of Science & Technology, 2016. (in Chinese)
- [18] 朱焱, 陈宝敏, 沈菊男. 融雪剂对沥青路面的影响研究进展 [J]. *山西建筑*, 2019, 45(22): 111–113.
- ZHU Y, CHEN B M, SHEN J N. Research progress on the effect of snow melting agent on asphalt pavement [J]. *Shanxi Architecture*, 2019, 45(22): 111–113. (in Chinese)
- [19] 乔冰, 高晗, 王亭杰, 等. 二氧化硅表面修饰硅烷偶联剂 APTS 的过程和机制 [J]. *化工学报*, 2014, 65(7): 2629–2637.
- QIAO B, GAO H, WANG T J, et al. Process and mechanism of surface modification of silica with silane coupling agent APTS [J]. *CIESC Journal*, 2014, 65(7): 2629–2637. (in Chinese)

Preparation and properties of sustained release deicing salt-storage materials

ZHAO Ye WEN LiXiong*

(Research Center of the Ministry of Education for High Gravity Engineering and Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: Incorporating sustained release deicing salt-storage materials (SRDSSM) in an asphalt pavement can reduce the freezing point of the pavement and help melt snow even at temperatures below 0 °C, hence greatly improving transportation safety in winter. However the currently used materials are mostly imported and expensive. In this work, carrier materials and surface modifiers for developing new SRDSSM were studied by surface modification tests, dissolution tests and conductivity tests. An effective SRDSSM with excellent properties of reducing freezing point and slow-release was developed by optimizing the preparation method and material composition. The results indicated that the amount of NaCl absorbed by carrier A was greater than other carriers and the slow-release performance of the materials prepared by wet adsorption was better than dry adsorption. With increasing amount of surface modifier, the slow-release performance of the materials was further enhanced. The optimum materials contained NaCl, carrier A, and surface modifier J in a mass ratio of 57.91%, 38.60% and 3.49%. Dissolution and freezing point tests demonstrated that the prepared SRDSSM had better slow-release performance and deicing effects than imported Mafilon material.

Key words: sustained release deicing salt-storage materials; slow-release performance; freezing point; dissolution test