

文章编号:1005-0574-(2023)02-0022-06

DOI:10.19332/j.cnki.1005-0574.2023.02.005

# 新型环保融雪剂对沥青混合料性能的影响研究

张育斌<sup>1</sup>,吕秀明<sup>2</sup>(1.山西省公路局,山西 太原 030006;  
2.中咨公路养护检测技术有限公司,北京 100089)

**摘要:**传统氯化钠、醋酸钠等融雪剂对沥青混合料性能、路域环境会产生不利影响,且融雪能力不高,针对此等问题,文章提出一种新型环保融雪剂,并通过冻融劈裂试验、车辙试验、小梁弯曲试验对冻融循环及盐侵蚀作用下的沥青混合料水稳定性、高温性能、低温性能进行了研究分析。结果表明:创新环保型融雪剂对沥青混合料的高低温、水稳定性均无不利影响,并且一定程度上有效缓解了冻融循环对沥青混合料的破坏作用。

**关键词:**融雪剂;环保;沥青混合料;冰融速率

**中图分类号:** T003

**文献标识码:** A

**Abstract:** Traditional snow melting agents such as sodium chloride and sodium acetate have adverse effects on the performance of asphalt mixtures and the road environment, and their snow melting ability is not high. In response to these problems, the article proposes a new type of environmentally friendly snow melting agent. The water stability, high temperature performance and low temperature performance of asphalt mixture under freeze-thaw cycle and salt erosion were studied and analyzed by freeze-thaw splitting test, rutting test and beam bending tests. It was found that the innovative environmentally friendly snow melting agent had no adverse effect on the high and low temperature and water stability of the asphalt mixture, and to a certain extent, the destructive effect of the freeze-thaw cycle on the asphalt mixture was alleviated.

**Key words:** snow melting agent, environmental friendly, asphalt mixture, ice melting rate

## 1 引言

经常性、大范围的降雪,会造成沥青路面积雪结冰,严重影响道路的使用性能。为保障交通安全、通畅,必须对路面积雪进行快速清除。相比于机械法与电热法,铺洒除冰盐方法由于其具有融雪快、操作简单、价格低廉等优点而被广泛采用。但是传统除冰盐对路面设施及环境会造成非常严重的影响。所以,探究一种腐蚀性低、对环境污染较小的环保型融雪剂是非常必要的。

早在1980年,USA-DOT公司研究了一种CMA类环保型融雪剂,其原料为纤维素废物及来源于城市垃圾的含碳酸镁的石灰石。虽然CMA具有无污染、毒害小、融雪效果明显等优良性能,但由于CMA价格昂贵,因此无法大范围推广应用<sup>[1]</sup>。之后A. B. Gancy发现了一种限制镁含量的除冰剂,该除冰剂是对CMA的二次开发,但依然摆脱不了造价高昂的问题,故目前CMA的使用仅限于一些对环保要求较高的场合,如机场和高速公路等。

1988年, Terence. Eped发现了一种LMWBL融雪剂,该融雪剂为一种牛皮纸浆生产制得的黑色液体,通过进行相关试验得知,该融雪剂冰点下降程度较大、融冰速率较快、腐蚀性较小。但同时发现,LMWBL融雪剂减轻了造纸工业对环境的污染,具有一定的工业环保性质,但距离工业化大生产尚有一定距离<sup>[2]</sup>。许英梅等<sup>[3]</sup>首次利用生物质废料处理产生的醋酸废液(黑色的木醋液)作为低成本的醋酸来源,与白云石粉为原料,通过转化、脱色、蒸发结晶等过程,制备出近乎白色低成本的醋酸钙镁盐(CMA)类环保型融雪剂,并通过试验得出,由生物质废液生产CMA类环保型融雪剂,不仅可为道路除冰雪提供一种低成本环保型融雪剂,根除氯害,同时可为这类生物质废液的治理提供一个变废为宝的新途径,对生物质资源的有效利用具有重要意义。

综上所述,融雪剂的研究已从单一的氯化钙型发展到现今的非氯盐型、环保型、复合防腐型,寻求无污染、无腐蚀、价廉易得的产品已成为目前融雪剂发展

作者简介:张育斌(1968-),男,山西太原人,高级工程师,研究方向:道路桥梁技术。

的主要趋势。

本文采用融雪试验对新型环保型融雪剂的融雪能力进行了测试,同时采用冻融劈裂试验、车辙试验、小梁弯曲试验对不同冻融循环次数、不同融雪剂浓度下的沥青混合料的水稳定性、高温性能、低温性能进行了研究,分析了三种不同融雪剂对沥青混合料各种性能的影响,为融雪剂的深入研究和推广应用提供参考。

2 试验材料及试验方案

2.1 试验材料

试验中所用融雪剂分别为氯化钠、醋酸钠、新型环保型融雪剂,其中环保型融雪剂的具体制作过程是通过称取一定量的麦、稻秸秆,在自制的焚烧装置中燃烧至尽,待草木灰完全冷却,通过传送装置传送到配有固定浓度体积的碳酸钾溶液中,加入一定量缓蚀剂充分混合搅拌,反应完全后,抽滤、烘干研磨即可制备得到环保型高效融雪剂。

本产品呈固体颗粒状,易潮解,具有一定的稳定土壤、控制尘埃的作用,同时具有融雪速度快、无腐蚀、投加剂量小、经济环保等优点,融化后的产物可促进植物生长,与传统产品比较,对金属和水泥混凝土的腐蚀微小,对桥梁、机场、钢轨、路面、绿化植物及公共设施基本无伤害,最大限度地降低融雪剂对道路及环境的影响和破坏,实现二次利用。

2.2 试件制备

为了确定融雪剂类型、溶液浓度、冻融次数对沥青路面的影响,选择氯化钠、醋酸钠、环保型融雪剂(主要成分草木灰、碳酸钾),分别在溶液浓度为3%、6%、9%时进行不同次数的冻融循环(1次、4次、8次),对融雪能力、水稳定性、高温稳定性、低温抗裂性进行对比分析。按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)对试件进行真空饱水15 min,恢复常压后在水中静置0.5 h;将试件放入塑料袋中,并在-18℃±2℃的恒温冰柜中放置16 h后,除去试件外的塑料袋,将其置于60℃±0.5℃恒温水箱中保温24 h;将试件放入25℃±0.5℃恒温水箱中保温2 h待测。

2.2.1 融雪能力测试

分别测试氯化钠、醋酸钠、环保型融雪剂的融冰情况。方法是在相同的托盘内加入100 mL的水,放入冰柜中冷冻成冰并保持恒温5 h,在冰块表面均匀撒上等量融雪物质,通过测试不同时间出水量,间接表示融雪能力。在积雪厚度为30 mm、20 mm的沥青路面上铺洒

市售融雪剂及环保融雪剂各50 g,观察10 min后路面积雪融化情况。

2.2.2 冻融劈裂试验

本试验参照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)要求,采用马歇尔击实法(双面各击实50次)成型φ101.6 mm×63.5 mm圆柱体试件,将试件分别经过相应试验条件处理并测定孔隙率后,在25℃下,以50 mm/min的加载速率进行加载直至试件破坏,记录破坏荷载(N),并计算劈裂抗拉强度。

2.2.3 车辙试验

通过马歇尔车辙试验,分析冻融循环次数及三种融雪剂对沥青混合料高温性能的影响。本试验参照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)要求,采用轮碾成型机成型长300 mm、宽300 mm、厚50 mm的板块试件,将车辙板经过相应的试验条件处理后,在60℃、780 N荷载的条件下,以42次/min的速度往返碾压。纪录45 min和60 min的车辙变形并计算动稳定度。

2.2.4 小梁弯曲试验

根据小梁弯曲试验,通过最大弯拉应变、弯曲劲度模量、弯曲应变能密度等指标分析胶粉改性沥青混合料在冻融循环作用下的低温性能变化规律。本试验参照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011),将成型后的车辙板用切割机切割成250 mm×30 mm×35 mm的标准小梁试件,在-10℃温度下,采用50 mm/min速率加载至小梁破坏,并根据破坏荷载及位移计算抗弯拉强度 $R_b$ 、最大弯拉应变 $\epsilon_b$ 及弯曲劲度模量。

3 试验结果分析

3.1 融雪能力对比分析

不同类型融雪剂融冰雪能力检测结果见表1。由表1中不同时间的出水量可知,相同融冰时间下醋酸钠的出水量最小,融冰能力最差,而本试验所用环保型融雪剂的出水量最大,融冰雪能力最好。

表1 融雪物质-10℃融冰雪能力数据

名称	不同时间(min)出水量(mL)					
	15	30	45	60	90	120
醋酸钠	4.1	6.9	9.7	15.9	20.5	32.7
氯化钠	5.4	10.8	15.1	19.7	27.3	33.7
环保型融雪剂	7.2	14.3	18.5	22.6	30.7	36.9

3.2 冻融劈裂试验结果对比

劈裂抗拉强度随融雪剂浓度和冻融循环次数的变化规律如图1、图2所示。

由图可知,①相同冻融循环次数下,环保型融雪剂溶液中沥青混合料的劈裂抗拉强度最大,醋酸钠溶液次之,氯化钠溶液最小。随着浓度的增加,环保型融雪剂的劈裂抗拉强度趋于稳定,无明显下降趋势,这说明环保型融雪剂的加入多少并不会加剧冻融循环对混合料的破坏作用。

②相同浓度下,随着冻融循环次数的增加,沥青混合料的劈裂抗拉强度逐渐降低,这是由于在重复冻融循环作用下,沥青混合料经历溶液冻胀作用,使得材料内部孔隙逐渐增加,导致更多的溶液侵入到孔隙中,产生更多的冻胀力,使得沥青混合料的劈裂抗拉强度急剧下降。

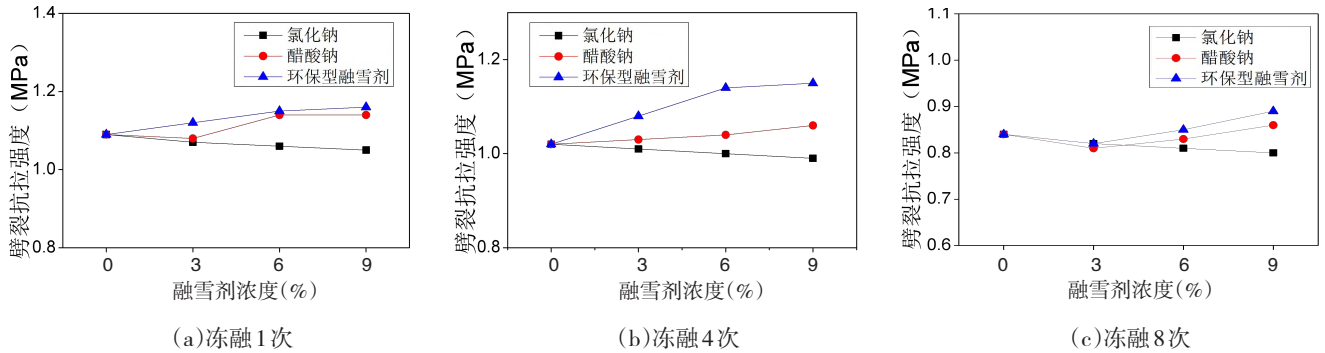


图1 抗拉强度随浓度变化规律

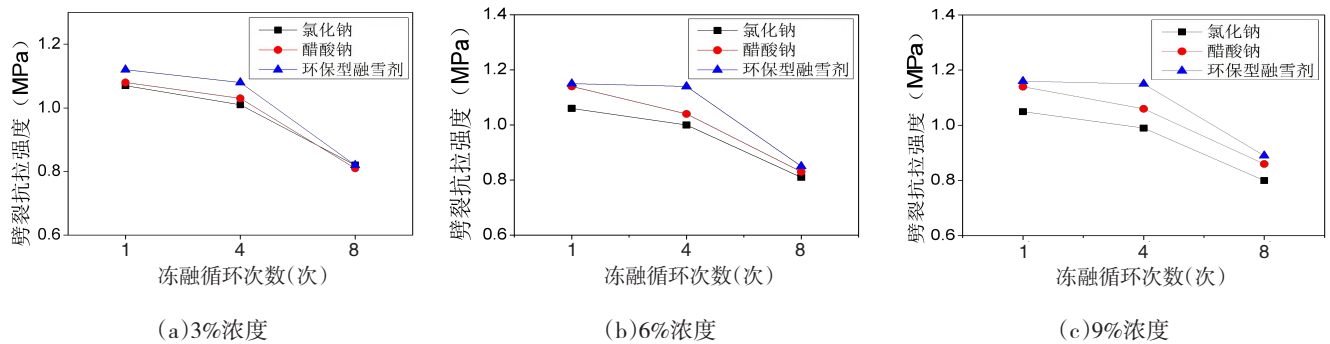


图2 抗拉强度随冻融循环次数变化规律

当融雪剂加入后,降低了水溶液所产生的冻胀力,从而减小了冻胀力对混合料的破坏作用<sup>[4]</sup>。而环保型融雪剂是由草木灰制作而成,相比于醋酸钠、氯化钠,其化学腐蚀性较小,对沥青与集料之间的粘附性影响

较小。环保型融雪剂成分较为复杂,结晶能力要低于单一晶体结构的醋酸钠、氯化钠,使得结晶压力较小,对沥青混合料的破坏作用较小,从而对沥青混合料的抗拉强度影响较小<sup>[5]</sup>。

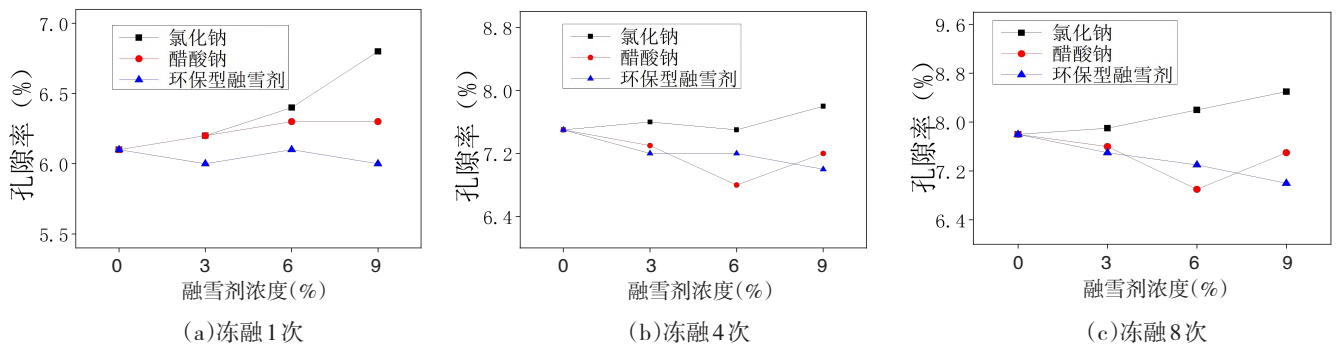


图3 孔隙率随融雪剂浓度变化规律

由图3沥青混合料的孔隙率随融雪剂浓度的变化规律可知,随着氯化钠浓度的增加,孔隙率显著逐渐增加;而环保型融雪剂、醋酸钠溶液的加入对孔隙率影响

并不明显,但醋酸钠溶液浓度为6%时,孔隙率出现波动情况。

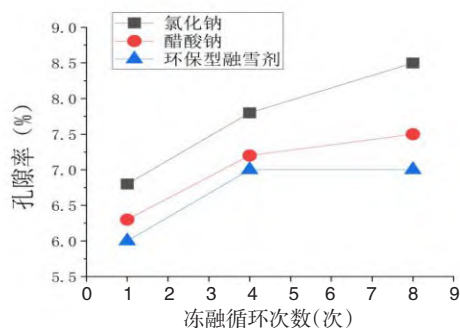


图4 9%浓度下孔隙率随冻融循环次数变化规律

由图4可知,在浓度均为9%的情况下,随着冻融循环次数增多,孔隙率增加的越明显,但环保型融雪剂在

经过8次冻融循环作用后,孔隙率反而增加最小,这说明环保型融雪剂的加入可以有效减小冻融循环过程中冻胀力对材料内部的损伤,从而保证了沥青混合料的使用性能<sup>[6]</sup>。

### 3.3 车辙试验结果对比

由图5动稳定度随除冰盐浓度的变化规律可以看出,随着氯化钠溶液浓度的增加,沥青混合料的动稳定度显著降低<sup>[7]</sup>,醋酸钠溶液中沥青混合料的动稳定度降低幅度较小,而环保型融雪剂对沥青混合料的动稳定度影响最小,说明环保型融雪剂对沥青混合料的高温性能影响较小,而氯化钠溶液对其影响较大。

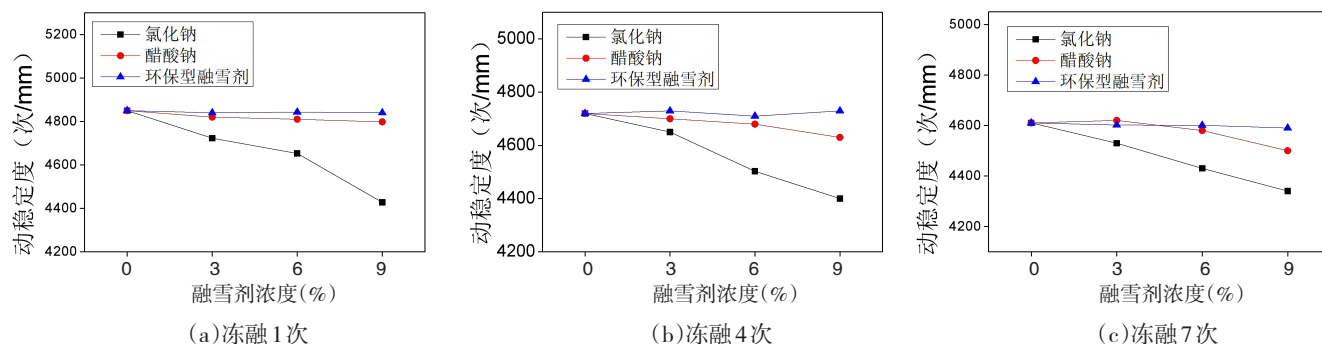


图5 动稳定度随除冰盐浓度变化规律

### 3.4 小梁弯曲试验结果对比

通过小梁弯曲试验,测定不同融雪剂浓度、不同冻

融循环次数下的抗弯拉强度,得出抗弯拉强度随融雪剂浓度变化规律图,如图6、图7所示。

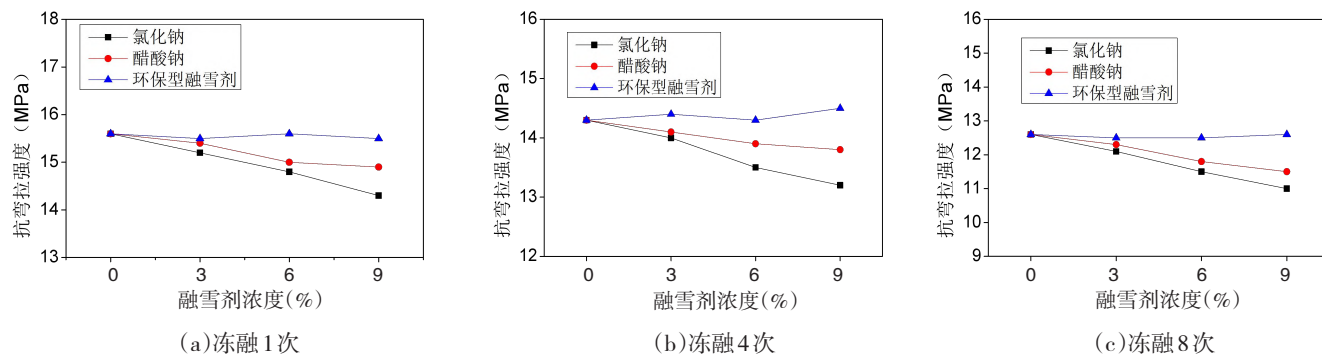


图6 抗弯拉强度随融雪剂浓度变化规律

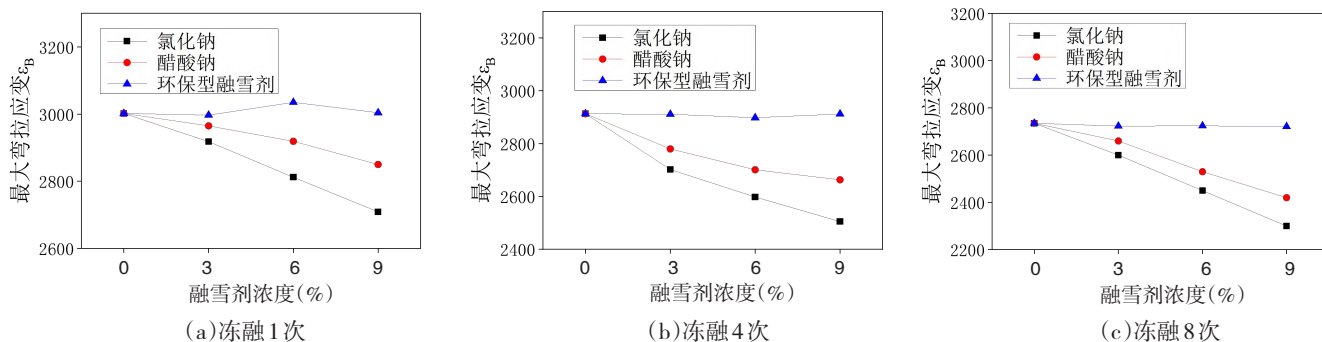


图7 抗弯拉应变随融雪剂浓度变化规律



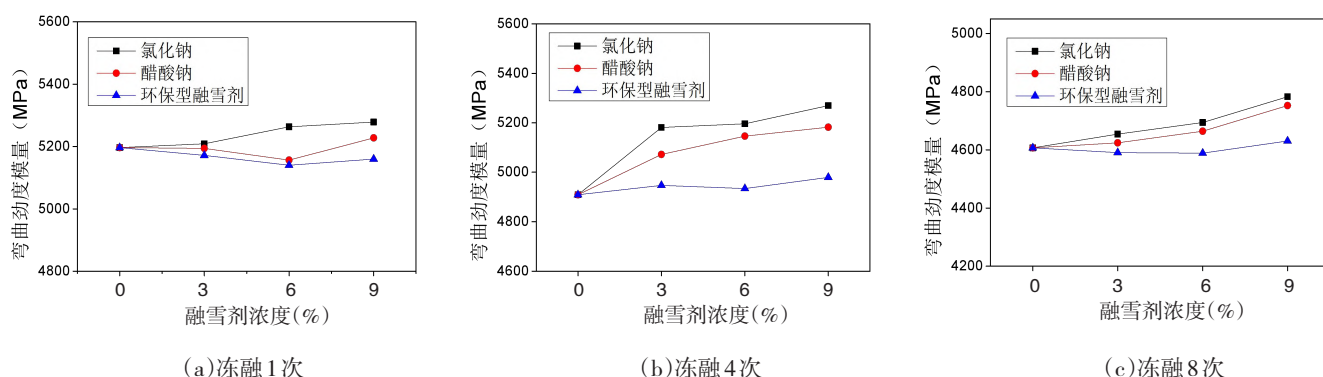


图8 弯曲劲度模量随融雪剂浓度变化规律

由图6可知,相同冻融循环次数下,随着氯化钠、醋酸钠浓度的增加,抗弯拉强度  $R_b$  逐渐降低,但前者下降幅度较为明显,而随着环保型融雪剂浓度增加,  $R_b$  基本保持稳定,无明显下降,说明环保型融雪剂对沥青混合料的抗弯拉强度  $R_b$  影响最小,醋酸钠溶液次之,氯化钠溶液影响最严重<sup>[8]</sup>。

由图7最大弯拉应变随浓度的变化规律可知,环保型融雪剂的加入对混合料的最大弯拉应变影响较小,随着浓度的增加最大弯拉应变基本保持不变。而随着氯化钠、醋酸钠浓度的增加,沥青混合料的最大弯拉应变逐渐减小,这与前面所说在冻融循环作用下冻胀力及结晶压力对沥青混合料破坏作用相符合。说明环保型融雪剂对沥青混合料的低温性能无明显影响,而氯化钠、醋酸钠溶液会对其产生不利影响。

一般认为弯曲劲度模量越小,越容易发生应力松弛,在低温下不易开裂<sup>[9]</sup>。由图8可以看出,随着融雪剂浓度的增加,沥青混合料的劲度模量均逐渐增加,但相比于氯化钠、醋酸钠溶液,环保型融雪剂劲度模量增加幅度较小,甚至个别浓度下劲度模量有所降低,这说明氯化钠溶液对沥青混合料的低温性能影响最严重,醋酸钠次之,环保型融雪剂对低温性能无不利影响。这主要是由于环保型融雪剂是由草木灰制成,相比于氯化钠、醋酸钠,其对沥青混合料的腐蚀性较小,而融雪剂的加入又降低了冻胀力、结晶压力对混合料的破坏作用,从而在保证其融雪效果的同时,又不会对沥青混合料的低温性能产生较为严重的影响。

### 3.5 弯曲应变能密度试验结果及分析

本文从能量的角度出发,引入应变能密度临界值研究小梁破坏的全过程<sup>[10]</sup>。根据材料损伤准则,材料损伤包括三个阶段,即裂缝的引发、亚临界状态增大、最

终破坏。假定材料破坏形式与单位体积内的能量状态相对应,那么材料损伤就可以用应变能密度  $dw/dv$  表示<sup>[11]</sup>:

$$w_f = \frac{dw}{dv} = \int_0^{\varepsilon_B} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon \quad (1)$$

式中,  $w_f$  为应变能密度函数;  $dw$  为材料应变能微分;  $dv$  为材料体积微分;  $\sigma(\varepsilon)$  为应力-应变曲线函数;  $\varepsilon_B$  为最大弯拉应变;  $d\varepsilon$  为应变微分。

小梁弯曲试验下的应力-应变曲线( $\sigma$ - $\varepsilon$ )满足式(2)的三次多项式:

$$\sigma(\varepsilon) = a \cdot \varepsilon^3 + b \cdot \varepsilon^2 + c \cdot \varepsilon + d \quad (2)$$

式中,  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  为通过对  $\sigma$ - $\varepsilon$  曲线回归拟合得到的无实际意义的材料参数。将式(2)带入式(1)即可得到应变能密度,即:

$$w_f = \frac{dw}{dv} = \frac{1}{4} a \cdot \varepsilon_B^4 + \frac{1}{3} b \cdot \varepsilon_B^3 + \frac{1}{2} c \cdot \varepsilon_B^2 + d \cdot \varepsilon_B \quad (3)$$

具体的试验参数及试验结果见表2。

由表2弯曲应变能密度计算结果可知,随着冻融循环次数增加,应变能密度逐渐减小,说明冻融循环过程中消耗了材料本身的储存能量,从而降低了沥青混合料的低温抗开裂能力<sup>[12]</sup>。这是由于冻融过程中,内部水分产生的冻胀力使得沥青与集料间的粘结界面发生破坏,产生裂缝<sup>[13]</sup>,当沥青混合料内部产生应力时,沥青与集料之间对力的传递能力及变形能力降低,致使材料本身弹性应变能减小,抗开裂能力变差。

相同冻融循环次数下,随着氯化钠、醋酸钠浓度的增加,弯曲应变能密度逐渐减小<sup>[14]</sup>,这说明醋酸钠、氯化钠这两种融雪剂会对沥青混合料产生一定的损伤,导致沥青混合料本身所储存的弹性应变能有所降低,使得沥青混合料的低温性能变差,而环保型融雪剂随着

表2 弯曲应变能密度

除冰盐 浓度 (%)	冻融循环次数 (次)	应变能密度 (kJ/m <sup>3</sup> )		
		氯化钠	醋酸钠	环保型融雪剂
0	1	19.848	19.848	19.848
0	4	15.807	15.807	15.807
0	8	13.293	13.093	13.293
3	1	19.418	19.624	19.788
3	4	15.419	16.537	18.789
3	8	12.603	14.249	17.548
6	1	19.054	19.275	19.763
6	4	14.892	15.976	18.785
6	8	11.121	14.121	17.499
9	1	18.201	18.989	19.842
9	4	14.311	15.584	18.791
9	8	10.871	13.574	17.504

浓度的增加,应变能密度基本与水溶液下的应变能密度相同,说明环保型融雪剂对沥青混合料的低温性能无不利影响。

同时对比冻融循环从 1 次~8 次,水溶液(即 0 浓度)、氯化钠、醋酸钠、环保型融雪剂下弯曲应变能密度的下降程度,可以看出在环保型融雪剂作用下沥青混合料的弯曲应变能密度下降幅度较小,这说明环保型融雪剂对沥青混合料的冻融破坏有一定的缓和作用,能降低冻融循环对沥青混合料的破坏作用。

4 结语

①通过对比不同融雪剂的融雪效果可以看出,环保型融雪剂的出水量最大,融雪效果最好,氯化钠型融雪剂次之,醋酸钠最差。

②由不同冻融循环次数、融雪剂类型、溶液浓度下的冻融劈裂强度及空隙率变化可知,环保型融雪剂的加入对沥青混合料的劈裂强度及孔隙率影响较小,而氯化钠、醋酸钠溶液则会对沥青混合料的孔隙率及劈裂强度产生不利影响。

③根据马歇尔车辙高温性能试验可以看出,随着冻融循环次数增加,三种混合料的高温性能均逐渐降低,但相同冻融循环次数下,随着氯化钠、醋酸钠浓度的增加,沥青混合料的高温性能逐渐降低,而环保型融雪剂对沥青混合料的高温性能无不利影响。

④根据小梁弯曲低温性能试验可以看出,随着氯化钠、醋酸钠浓度增加,沥青混合料的应变能密度逐渐减小,混合料本身储存的弹性应变能减小,低温抗开裂能力逐渐降低;而随着环保型融雪剂浓度的增加,应变

能密度变化并不明显,说明环保型融雪剂对沥青混合料的抗开裂能力无明显不利影响。

参考文献

[1]王明铭,安晓雯,王维,等.复合 CMA 环保型融雪剂对碳钢的腐蚀率研究[J].化学世界,2018(01):24-27.

[2]李华芳.环保型融雪剂的研究新进展[J].中国科技信息,2008(14):27-28.

[3]许英梅,张秋英,姜慧明,等.由木醋液制醋酸钙镁盐类环保融雪剂研究[D].大连:大连理工大学,2007.

[4]赵立东.沥青路面凝冰损坏影响因素及细观机理研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012.

[5]王宇.冻融循环及盐侵蚀下沥青混合料界面损伤特性试验研究[D].呼和浩特:内蒙古工业大学,2015.

[6]陈瑞明,崔云玲.混凝土冻融循环后的力学性能研究[J].建筑安全,2018,33(04):70-73.

[7]宗赵男.除冰盐对改性沥青及其混合料性能影响研究[D].重庆:重庆交通大学,2020.

[8]郑存华,朱小康.环保型融雪剂对沥青混合料的侵蚀研究[J].运输经理世界,2021(21):148-150.

[9]卢铁瑞.道路沥青混合料低温性能评价指标的研究[J].石油沥青,1998(01):20-32.

[10]常睿,郝培文.盐冻融循环对沥青混合料低温性能的影响[J].建筑材料学报,2017,20(3):481-488.

[11]葛折圣,黄晓明,许国光.用应变能密度方法评价沥青混合料的低温抗裂性能[J].东南大学学报(自然科学版),2002,32(4):653-655.

[12]李智文.盐-冻融循环作用下废旧轮胎橡胶粉改性沥青混合料性能研究[J].中外公路,2021,41(3):327-332.

[13]褚召阳,郭乃胜,房辰泽,等.氯盐环境下沥青与沥青混合料性能及劣化机理研究进展[J/OL].材料导报,2023(15):1-21.

[14]王岚,郭志祥,张宝鑫,等.盐冻融循环下温/热拌胶粉改性沥青混合料高低温性能研究[J].硅酸盐通报,2021,40(4):1395-1404.

收稿日期:2023-03-23