

# 道路融雪剂融冰能力试验方法的改进研究

王腾<sup>1,2</sup>, 郭德栋<sup>1\*</sup>, 周小鹏<sup>2</sup>, 李晋<sup>1</sup>, 孙大志<sup>1</sup>

(1. 山东交通学院 山东省道路交通应急与保障技术工程实验室, 山东 济南 250357;

2. 山东交通学院 交通土建工程学院)

**摘要:**为准确测定道路融雪剂的融冰能力,对融冰能力的试验检测方法进行了分析和改进。该文首先分析了国内外常规测试方法存在的问题,测定了倾倒时间和测试温度等条件不同引起的试验误差;然后提出了新的融冰能力测试方法的试验原理与操作步骤;最后应用改进的测试方法检测和分析了不同因素对融冰能力的影响。结果表明:原有测试方法存在较大缺陷,容易引起误差,改进后的试验方法较为合理,能够准确测定和有效区分融雪剂的融冰能力;浓度、接触面积、环境温度是影响融雪剂融冰能力的主要因素。

**关键词:** 道路工程; 融雪剂; 融冰能力; 测试方法; 试验改进

为保证冬季道路的安全和畅通,全世界范围内采用最多的融雪除冰方式是撒布融雪剂,据不完全统计,全球每年大约使用3 000万t融雪剂,而融雪剂用量还呈现逐渐增加的趋势。融雪剂的大量使用在提高了融雪除冰效率的同时,也给工程构造物与周边环境造成严重破坏,该问题越来越多地引起世界各国的重视。因此,迫切需要在保证融雪除冰效果的同时,降低使用量,即提高融雪剂的融雪化冰能力;另一方面,现阶段中国国内使用的融雪剂种类较多,差异较大,准确地测定或评价道路除冰融雪剂的融雪化冰能力既可以在众多产品中优选出融雪效果突出的融雪剂,又可以根据实际降雪量确定合理的融雪剂用量,避免过多撒布融雪剂对工程构造物与周边环境造成的不利影响。

国内外针对测定道路融雪剂融雪化冰能力的试验方法很多,国外主要是参照固体及液体融雪剂的融冰试验(SHRP H-205.1、SHRP H-205.2),中国国内的试验方法主要包括GB/T 23851-2017《融雪剂》的融雪化冰能力试验、DB13/T 1411-2017《公路融雪剂》中的融冰能力试验,以上试验方法测试原理和实际测试结果各不相同,给融雪剂融冰能力的准确测定及工程实际应用带来困难。该文主要通过室内试验和理论分析等手段,分析上述试验方法存在的不足,在此基础上,提出改进的道路融雪剂融冰能力试验方法,对试验误差进行分析,通过该试验分析和研究影响融雪剂

融冰能力的各个因素与影响规律。

## 1 现有试验方法

### 1.1 国外现有试验方法

国外主要参照固体及液体融雪剂的融冰试验(SHRP H-205.1、SHRP H-205.2),首先利用蒸馏水在标准规格尺寸的容器中冻制冰块,再将一定数量的固体颗粒或液体融雪剂均匀洒布在冰块表面,这与降雪结冰再撒(洒)布融雪剂的实际融冰过程相似,每间隔一定时间测定融化产生的盐水混合物的体积,上述操作都在规定的环境温度下进行。

通过大量室内试验,分析上述试验方法主要存在以下不足之处:

(1) 该试验过程虽然与工程实践中的降雪结冰后再撒(洒)布融雪剂的融冰过程相似,但利用注射器抽取的盐水混合物中含有融化的冰和溶解的固体融雪剂,仅测定混合物的体积无法反映冰融化的多少,也就无法准确比较和判定固体融雪剂的融冰能力。

(2) 混入了不同种类和浓度融雪剂溶液的密度存在较大差异,同时密度也受温度的影响,通常都大于水的密度,因此混合物体积的测定存在较大的误差。

(3) 固体融雪剂的融冰过程主要是在溶解后进行,试验中将盐水混合物抽出,会直接影响下一时间段

收稿日期:2018-11-09(修改稿)

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:51208287);山东省优秀中青年科学家奖励基金资助项目(编号:BS2012NJ009)

作者简介:王腾,男,硕士研究生。E-mail:739950861@qq.com

\* 通信作者:郭德栋,男,博士,教授。E-mail:andymaker@qq.com

的融冰质量。

1.2 中国国内现有试验方法

中国现行融雪剂融雪化冰能力的测试方法见 GB/T 23851—2017《融雪剂》。具体试验步骤为：①配置标准浓度的氯化钠溶液与待测定的融雪剂溶液；②在 150 mL 容积的相同直径和高度的两个瓷坩埚中分别加入 100 mL 水，置于 $(-10\pm1)$ ℃的恒温箱中至结冰，并称重；③将 $(-10\pm1)$ ℃的氯化钠溶液和融雪剂溶液分别倒入瓷坩埚中，在恒温箱中放置 0.5 h；④倾倒入瓷坩埚中的液体，称量瓷坩埚和剩余冰块的质量；⑤整理计算得到融雪剂相较于标准浓度氯化钠溶液的融雪化冰能力，数值以“%”表示。

通过大量室内试验，分析上述试验方法存在以下不足：①在瓷坩埚中冻制的冰形状不统一、不规则，倒入 25 mL 融雪剂后，与冰块不能完全接触，而且不同冰块形状下，接触面积也不同，会直接影响该试验的精度，在实际操作中，相同融雪剂平行试验结果差值较大；②倒出瓷坩埚中的液体以及称重的操作，一般只能拿出恒温箱，在室温环境下进行，而且倾倒液体的时间没有具体规定，在实际操作中，倾倒时间不同，对试验结果影响较大。

为分析倾倒温度和倾倒时间对融雪化冰能力的影响，按照国标中的试验方法对融雪剂 A 的融雪化冰能力进行了测试。在试验过程中分别选择 3、5、7、9、11 s 的倾倒时间，倾倒温度分别为 $-10$ 、 $0$ 、 $10$ 、 $20$ 、 $30$ ℃。标准浓度的氯化钠溶液倾倒温度为 $20$ ℃，倾倒时间为 $5$  s 时，融雪化冰质量为 $1.87$  g，作为计算融雪化冰能力的依据。不同倾倒时间和倾倒温度条件下，融雪剂 A 的融冰质量和融雪化冰能力试验结果见表 1、2。

表 1 不同倾倒时间时的融雪化冰能力

倾倒时 间/s	融冰质 量/g	融雪化冰 能力/%	倾倒时 间/s	融冰质 量/g	融雪化冰 能力/%
3	10.28	550	9	13.02	696
5	11.51	616	11	13.57	726
7	12.66	677			

表 2 不同倾倒温度时的融雪化冰能力

倾倒温 度/℃	融冰质 量/g	融雪化冰 能力/%	倾倒温 度/℃	融冰质 量/g	融雪化冰 能力/%
$-10$	9.55	511	20	10.61	567
0	9.93	531	30	11.01	589
10	10.35	553			

由表 1、2 可知：在不同倾倒时间时，即使同一种融雪剂，无论融冰质量还是融雪化冰能力都有较大差异，随着倾倒时间的增加融冰质量和融雪化冰能力都随之增大；倾倒时的环境温度越高，则融冰质量和融冰能力就越大。因此，由于国标中融雪化冰能力试验中未限定倾倒时间与倾倒温度，在实际操作过程中可能引起较大的试验误差，影响试验结果的可信度。

2 试验方法的改进

综合分析国内外融冰能力试验方法可知：要精确地测定不同种类融雪剂的融冰能力，需要解决以下问题：①环境温度对测试结果影响较大，整个试验过程需要在环境箱中进行；②冰块应该统一规格，且完全与融雪剂接触，避免接触面积不同带来的影响；③要通过优化试验操作保证融冰质量的测试精度。

为解决上述问题，该文在大量室内试验的基础上，提出了对现有融冰能力试验的改进方案：

(1) 采用规格和尺寸统一的制冰模具，在低温环境箱中冻制冰块，避免冰块尺寸不一或出现裂缝对试验精度造成影响。

(2) 由于冰块的密度小于融雪剂溶液，为保证冰块与融雪剂溶液的充分接触，将冰块放入融冰网篮中，使之沉入融雪剂溶液中，充分浸没。

(3) 通过称量融冰前后冰块质量的变化，计算得出规定时间内的融冰量，以融冰量作为判断融雪剂融冰能力大小的指标。

(4) 上述操作都在环境箱中进行。

具体操作步骤如下：

(1) 利用规格为 $5\text{ cm}\times5\text{ cm}\times5\text{ cm}$ 的冰格在 $(-10\pm1)$ ℃的低温环境箱中冻制冰块若干，备用。

(2) 按照国标的要求浓度配制融雪剂溶液 $2\ 000$  mL，并置于 $(-10\pm1)$ ℃的低温环境箱中，备用。

(3) 将制备的冰块从模具中拿出，在低温环境箱中迅速称量冰块的质量 $m_0$ ，精确至 $0.01$  g。

(4) 将冰块放入融冰网篮中，然后把融冰网篮放入盛有融雪剂溶液的烧杯中，使融冰网篮完全浸没，持续 $30\text{ min}$ 。

(5) 在环境箱中，将网篮中的冰块倒在干毛巾上，迅速用毛巾轻轻擦去冰块表面液体，直至表面看不到发亮的液体痕迹，然后快速称取剩余冰块的质量 $m_1$ ，上述操作须在 $30\text{ s}$ 内完成。

(6) 按照式(1)计算融雪剂的融冰能力 $K$ 。

$$K=m_0-m_1 \tag{1}$$

3 融雪剂融冰能力的影响因素分析

通过优化改进后的融冰能力试验方法,重点分析影响融雪剂融冰能力的主要因素以及影响规律,试验选择接触面积、环境温度以及融雪剂种类 3 种影响因素,设置不同的因素水平,其中,环境温度分别为-5、-10、-15 ℃;融雪剂分别为某氯盐类融雪剂 A、某醋酸盐类融雪剂 B、某多元醇类融雪剂 C;接触面积通过冻制相同质量、不同数量的冰块实现,其中,冻制尺寸为 5 cm×5 cm×5 cm 冰块 1 块,质量约为 100 g,接触面积为 150 cm<sup>2</sup>,冻制尺寸为 2.5 cm×2.5 cm×2.5 cm 的冰块 8 块,质量约为 100 g,接触面积为 300 cm<sup>2</sup>,冻制尺寸为 1 cm×1 cm×1 cm 的冰块 125 块,总质量约为 100 g,总的接触面积为 750 cm<sup>2</sup>。具体试验影响因素与水平设置见表 3。

表 3 试验影响因素与水平设置

水平	环境温度/℃	接触面积/cm <sup>2</sup>	融雪剂种类
1	-5	150	A
2	-10	300	B
3	-15	750	C

3.1 环境温度对融冰能力的影响

相同接触面积(750 cm<sup>2</sup>),-5、-10 及 -15 ℃ 环境温度条件下,3 种不同融雪剂的融冰能力见图 1。

图 1 表明:在相同的接触面积下,环境(使用)温度对融雪剂的融冰能力影响较大,随着环境温度的升高,3 种融雪剂的融冰能力都随之提高。

3.2 接触面积对融冰能力的影响

相同环境温度(-5 ℃),不同接触面积(150、300、

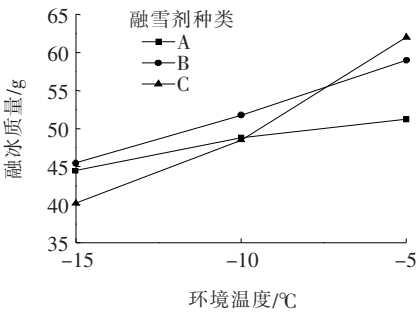


图 1 环境温度对融雪剂融冰能力的影响

750 cm<sup>2</sup>)下,3 种不同融雪剂的融冰能力如图 2 所示。

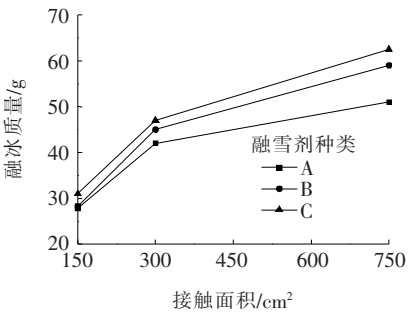


图 2 接触面积对融雪剂融冰能力的影响

图 2 表明:在相同的环境温度条件下,接触面积对融雪剂的融冰能力有着重要影响,3 种融雪剂的融冰能力都随着接触面积的增大而不断变大。

试验采用的 3 种不同种类的融雪剂,虽然种类不同,在配制过程中,选择的冰点都为-20 ℃。从以上试验结果可以看出:相同冰点的不同种类融雪剂,其融冰能力差异不大。

3.3 不同影响因素的方差分析

依据试验数据,利用统计软件 SPSS 分析环境温度、接触面积及融雪剂种类等因素对融雪剂融冰能力影响的重要程度,分析结果见表 4。

表 4 各因素对融雪剂融冰能力影响的方差分析(因变量:融冰能力)

源	Ⅲ型平方和	df	均方	F	Sig.
校正模型	3 773.259 <sup>*</sup>	6	628.876	74.078	0.000
截距	19 125.260	1	19 125.260	2 252.858	0.000
接触面积	3 136.249	2	1 568.125	184.717	0.000
环境温度	465.048	2	232.524	27.390	0.000
融雪剂种类	28.384	2	14.192	1.672	0.223
误差	118.851	14	8.489		
总计	34 758.110	21			
校正的总计	3 892.110	20			

注:\*,R<sup>2</sup>=0.969(调整 R<sup>2</sup>=0.956)。

由表 4 可知:融雪剂种类对应  $F$  值的显著性概率 (Sig.) 为 0.223, 大于 0.05, 说明该因素对融冰能力的影响不显著, 而接触面积以及环境温度在一定范围内对融雪剂的融冰能力有着十分显著的影响。

4 国内外试验方法与改进试验方法的对比

分别按照前述国内外及改进后的试验方法对上述 A、B、C 共 3 种融雪剂进行融冰能力试验, 为进行对比分析, 3 种试验方法的融冰、量测等操作步骤均在  $-10$

$^{\circ}\text{C}$  下的环境箱中进行。其中, SHRP 融冰试验方法中的融冰时间为 30 min; 国标中融冰试验方法的倾倒时间设为 5 s; 而改进后的试验方法中, 冰块의 接触面积为  $150\text{ cm}^2$ 。3 种试验方法的融冰试验结果见表 5。

由表 5 可知: 由于 3 种试验方法采用的冰块规格、评定方法等均在较大差异, 得出的试验结果无法直接进行对比; 尽管统一了环境温度、倾倒时间等试验条件, 但 SHRP 和国标试验方法的平行试验误差仍较大, 改进后的试验方法在测试精度和稳定性方面具有一定优势。

表 5 3 种融冰试验方法的结果对比

融雪剂 类型	SHRP 试验方法/mL			国标试验方法/g			改进试验方法/g		
	第一组	第二组	差值	第一组	第二组	差值	第一组	第二组	差值
A	5.4	4.7	0.7	9.5	8.6	0.9	21.8	21.6	0.2
B	6.2	7.5	1.3	10.2	11.3	1.1	22.3	22.5	0.2
C	9.4	7.4	2.0	15.4	13.6	1.8	26.3	26.6	0.3

5 结论

通过对国内外融雪剂融冰能力相关试验方法的分析, 提出了改进的试验方法, 并利用该试验方法研究了影响融雪剂融冰能力的多个因素, 得出以下结论:

(1) 国内外对融雪剂融冰能力的测试方法并不统一, 存在较大差异; 国标中的试验方法在实际操作中受到环境温度、倾倒时间及接触面积等因素的影响, 导致试验误差较大, 另外, 试验中冰块的冻制方法、融冰能力指标等存在一定的不足, 需要改进。

(2) 通过 3 种试验方法对不同融雪剂的融冰能力进行了测试, 结果表明: 从冰块规格、接触面积及融冰能力指标 3 方面改进后的融冰能力试验方法, 提高了试验的精度和稳定性。

(3) 通过改进的试验方法分析影响融雪剂融冰能力的因素, 得出环境温度和接触面积对融冰能力有着显著影响, 融冰能力随着环境温度的升高、接触面积的增大而提高; 在工程实际中, 液体融雪剂相比固体融雪剂在融冰雪过程中具有更大的接触面积, 融冰能力更为突出。

参考文献:

[1] 李长雨. 氯盐融雪剂对沥青混合料路用性能影响研究

[J]. 中外公路, 2016(2).  
[2] 查湘义. CMA 融雪剂的制备及效益分析[J]. 中外公路, 2014(6).  
[3] 周斌, 刘嵩, 孙劲晖, 刘宝奎. 融雪剂的融雪性能评价方法综述[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2017(5).  
[4] 李悦, 李铁山, 徐玉峰, 等. 多功能自融雪沥青路面的研究与应用[J]. 中外公路, 2012(6).  
[5] 刘涛. 融雪剂及其替代材料的优缺点对比[J]. 中国公路, 2018(3).  
[6] 张营, 李法云, 范志平, 等. 化学融雪剂 NaCl 和 KCOOH 对城市街道绿化土壤中重金属 Pb 和 Cu 迁移行为的影响[J]. 环境科学学报, 2015(5).  
[7] 魏建国, 傅广文, 付其林. 氯盐融雪剂对沥青结合料路用性能的影响[J]. 交通运输工程学报, 2014(4).  
[8] 彭子馨, 郝培文. 醋酸盐融雪剂对机场沥青混凝土道面损坏机理研究[J]. 中外公路, 2012(5).  
[9] Handbook of Test Methods for Evaluating Chemical Deicers (SHRP-H-332)[R]. Strategic Highway Research Program, National Research Council, National Academy of Sciences, Washington D. C., 1992.  
[10] GB/T 23851-2017 融雪剂[S].  
[11] DB13/T 1411-2017 公路融雪剂[S].  
[12] 曾忠民, 刘志启, 李丽娟, 等. 盐湖氯化镁融雪剂融冰效果的研究[J]. 盐湖研究, 2016(4).  
[13] 许英梅, 王丽萍, 祁恩云, 等. 复合 CMA 环保型融雪剂的融冰能力研究[J]. 化学世界, 2011(7).