

常用融雪剂融雪效果影响因素分析及使用标准研究

屈磊¹ 单晴晴² 廖劲辉¹ 王智豪²

(1.新疆生产建设兵团公路科学技术研究院有限公司,新疆 乌鲁木齐 830000;

2.新疆农业大学交通与物流工程学院,新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要:融雪剂的大量使用,尤其是氯盐类融雪剂的过量使用,将对交通基础设施和路域环境产生损害。以氯化钠、氯化钙、氯化镁、醋酸钾为试剂,分别从温度、融雪剂类型、融雪剂质量、冰层厚度、路面类型、融雪剂颗粒大小、掺加缓蚀剂7个方面探究各个因素与融雪剂融雪速率的关系,确定主导因素为温度、融雪剂用量,基于主导因素绘制融雪剂融雪效果诺谟图,以撒布量为指标,提出融雪剂使用标准。

关键词:融雪性能;融雪剂;影响因素;诺谟图;选用标准

中图分类号:U421.4 **文献标识码:**B **文章编号:**1007-6344(2024)03-0084-06

0 引言

冬季降到路面的雪在行车荷载作用下逐渐融化,在负温度作用下极易形成薄冰,使路面抗滑性能急剧下降。研究表明,15%左右的交通事故与道路冰雪有关,结冰路面的交通事故率最高^[1-2]。融雪剂是一把双刃剑,它在便捷、高效除雪的同时,隐患也随之埋下。融雪剂的大量使用,尤其是氯盐类融雪剂的过量使用,将给交通基础设施和路域环境带来损害。

诸多学者在研究融雪剂的应用中,发现融雪剂的过量使用会对水泥和沥青路面、基础设施、金属构件、路域环境、农作物等带来负面影响。但我国行业标准并未对融雪剂的用量进行合理的规定^[3-4],在地方性规范中对融雪剂使用量上限进行了规定,但缺乏科学的依据。笔者以现有研究为基础,分析市场上常用融雪剂融雪效果影响因素,确定融雪剂的使用标准,以期降低交通事故率和减少交通事故损失,保障人民群众的正常生产和生活,为相关部门提供参考。

1 影响融雪剂融雪效果的因素

研究表明融雪剂自身性能和环境因素对融雪剂融雪效果影响较大。因此,从融雪剂自身和环境两方面考虑,选择融雪剂类型、融雪剂掺量、温度、路面类型、冰层厚度、融雪剂颗粒大小、掺加缓蚀剂作为影响因素展开相关研究,具体情况见表1。

2 融雪剂融雪效果影响因素的具体表现

2.1 温度对融雪剂作用过程的影响

本研究选择了5种温度(-5℃、-10℃、-15℃、-20℃、-25℃)作为融雪环境温度开展试验,对不同温度下路表冰层融化过程进行探究,取一定时间内融雪剂的融冰重量作为评价指标。整理数据得到不同温度条件下,不同融雪剂的融冰重量随时间的变化数据并绘

制成图,如图1所示。

表1 影响因素及其研究对象与范围

影响因素	研究对象和范围	
温度	每5℃为一梯度,-5℃~-25℃	
融雪剂类型	氯化钠、氯化钙、氯化镁、醋酸钾4种	
融雪剂掺量	0.8g~2.0g	
冰层厚度	组号	1 0.5cm 2 1cm
	组号	1 沥青路面,AC-20 2 水泥路面,C30
融雪剂颗粒大小	组号	1 片状氯化钙,颗粒较大 2 粒状氯化钙,颗粒较小
	组号	1 1g融雪剂 2 0.8g融雪剂+0.2g缓蚀剂

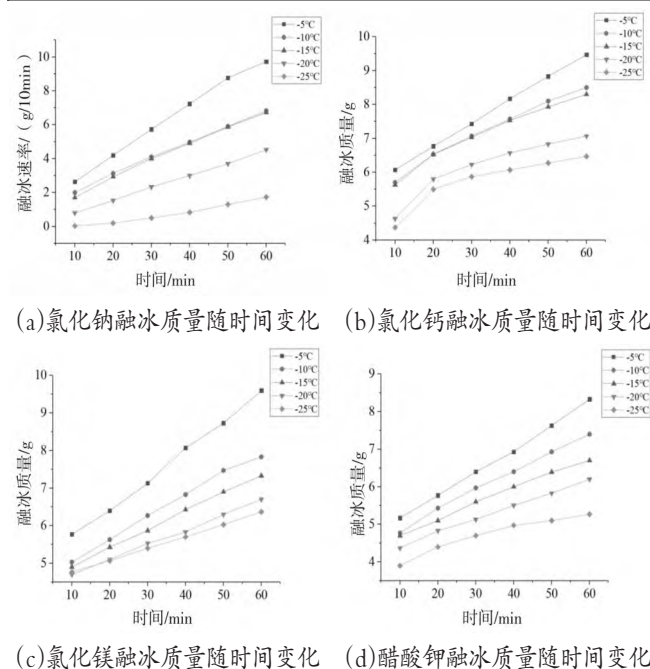


图1 4种融雪剂融冰质量随时间变化

图1中不同温度条件下4种融雪剂的融冰质量表

基金项目:兵团重点领域科技攻关计划项目(项目编号:2021AB025)

作者简介:屈磊(1980-),男,汉族,新疆乌鲁木齐,硕士,高级工程师,研究方向:公路与桥梁。

明,在代表5个不同环境温度的曲线中,代表-5℃的曲线处于最高位置,向下依次为-10℃、-15℃、-20℃和-25℃。随着温度的升高,融雪剂的融冰速率均有所提高。如在-25℃下,氯化镁的融冰速率为6.37g/h,在-5℃下氯化镁融冰速率提升至9.37g/h,提升幅度为47.1%。氯化钠、氯化钙和醋酸钾的-5℃下融冰速率对-25℃的融冰速率提升幅度分别为462.4%、46.4%和58.1%。因此可以得出结论,融雪剂的融雪能力随着环境温度的升高而升高,随着温度的降低而降低。

另一方面,如图1所示,不同融雪剂对温度的敏感性也有所不同。氯化钠在-5℃的融冰质量曲线与在-25℃下的融冰质量曲线之间的高度相差很大,但醋酸钾各温度所代表的曲线高度相差不大。在-5℃时,氯化钠与氯化镁的1h融冰质量均在9g以上,但在-25℃时,氯化钠1h融冰质量仅为1.73g,而氯化镁1h融冰质量为6.37g。因此可以得出结论:不同融雪剂融雪能力对温度敏感性不同,氯化钠对温度敏感性较高,其余3种融雪剂对温度敏感性不高。

2.2 融雪剂类型对融化过程的影响

本研究选择了氯化钠、氯化钙、氯化镁、醋酸钾4种不同的融雪剂,对不同种融雪剂作用下路表冰层的融化过程进行探究。试验取融雪剂的融冰速率作为评价指标,单位为g/h。研究取融雪剂2g均匀撒布在冰块表面,分析不同融雪剂作用下融冰质量的差异,将得到的结果汇总得到表2;并根据表2数据绘制出4种融雪剂融雪速率随温度变化的图表,如图2所示。

表2 不同融雪剂融冰质量

融雪剂种类	融雪剂质量/g	融冰质量/(g/h)				
		-5℃	-10℃	-15℃	-20℃	-25℃
氯化钠	2	9.73	6.83	6.73	4.53	1.73
氯化钙	2	9.47	8.50	8.30	7.07	6.47
氯化镁	2	9.60	7.80	7.30	6.70	6.37
醋酸钾	2	8.33	7.40	6.70	6.20	5.27

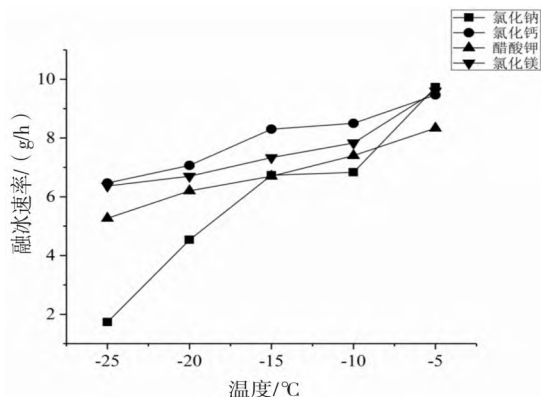


图2 不同融雪剂融雪融冰质量曲线

从图2融冰速率随温度的变化规律表明,整体上

看,在代表4种融雪剂的曲线中,氯化钙代表的曲线高度最高,其次为氯化镁,再次为醋酸钾,氯化钠所代表的曲线高度最低。在温度为-5℃时,4种融雪剂均具有较高的融冰速率;但在其他温度条件下,如-20℃时,4种融雪剂融冰速率排行为氯化钙>氯化镁>醋酸钾>氯化钠,融冰速率分别为7.07g/h、6.70g/h、6.20g/h和4.53g/h。因此可以得出结论:融雪剂种类不同,融冰速率则不同。整体来看,氯化钙作用下的融冰速率最快,其次为氯化镁,再次为醋酸钾,最后为氯化钠。

另一方面,从图2中可以看出,不同融雪剂融冰速率对温度敏感性也有所不同。在4条曲线中,氯化钠代表的曲线的高度变化最大,其余3条曲线高度变化不大。取-5℃下融冰速率对比-25℃下融冰速率的提升幅度,发现氯化钠提升幅度高达462.4%,氯化钙、氯化镁和醋酸钾的提升幅度分别为46.4%、47.1%和58.1%。因此可以得出结论:4种融雪剂中,氯化钠融雪能力对温度敏感性最大,其次为醋酸钾,再次为氯化镁,氯化钙融雪能力对温度敏感性最小。

2.3 用量对融雪剂作用过程的影响

对不同融雪剂质量下路表冰层融化过程进行探究,试验取融雪剂融冰速率作为评价指标,单位g/20min。分别取0.8g、1.2g、1.6g与1g、1.5g、2g融雪剂均匀撒布在相同厚度的冰块表面,分析不同融雪剂质量下融冰速率的差异。为保证试验结果的可靠性,设平行试验5组。整理数据得到不同质量融雪剂的融冰速率,统计结果于表3;根据表3的数据汇总,绘制出融雪剂融冰速率随融雪剂质量的变化曲线,如图3所示。

表3 不同质量融雪剂融冰速率

融雪剂种类	温度/℃	撒布质量/g	融冰速率/(g/20min)
醋酸钾	-10	0.80	2.58
醋酸钾	-10	1.00	3.20
醋酸钾	-10	1.20	3.44
醋酸钾	-10	1.50	4.28
醋酸钾	-10	1.60	4.42
醋酸钾	-10	2.00	5.44

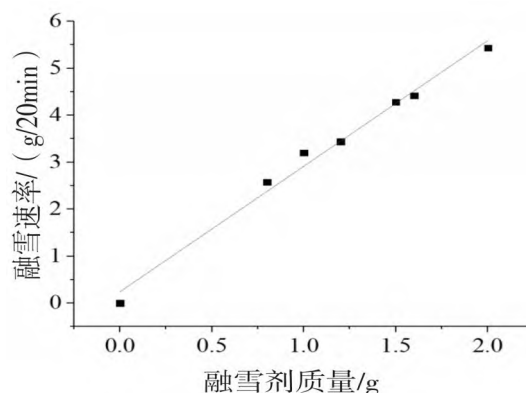


图3 融雪速率随融雪剂质量变化曲线

从表3和图3中可以看出,融雪剂的融冰速率随融雪剂质量的增加而加快。通过函数拟合,发现20min的融雪剂融冰速率与融雪剂质量呈正线性相关。因此可以得出结论:随着融雪剂用量的增多,融雪剂融冰速率加快,并且固体融雪阶段的融冰速率与融雪剂质量成正比。

2.4 冰层厚度对融化过程影响分析

选择了0.5cm和1cm两种不同厚度的冰层,对融雪剂在不同冰层厚度下冰层的融化过程进行探究。试验取融雪剂的融冰速率作为评价指标,单位为g/0.5h。研究取1g氯化镁融雪剂均匀撒布在冰块表面,分析不同冰层厚度下融冰速率的差异。汇总数据见表4。

表4 不同冰层厚度下融雪速率

融雪剂种类	温度/℃	质量/g	冰层厚度/cm	融冰速率/(g/0.5h)
氯化镁	-10	1	0.5	6.20
氯化镁	-10	1	0.5cm	6.00
氯化镁	-10	1	0.5cm	6.00
氯化镁	-10	1	0.5cm	5.90
氯化镁	-10	1	0.5cm	6.10
氯化镁	-10	1	1cm	6.10
氯化镁	-10	1	1cm	6.10
氯化镁	-10	1	1cm	5.90
氯化镁	-10	1	1cm	6.00
氯化镁	-10	1	1cm	6.00

从表4中的融雪剂融冰速率可以看出,在冰层厚度不同的情况下,融雪剂的融冰速率之间差别不大。在冰层厚度为0.5cm时,氯化镁的平均融冰速率为6.04g/0.5h,而在冰层厚度为1cm时,氯化镁的平均融冰速率为6.02g/0.5h,二者之间仅相差0.3%。因此可以得出结论:冰层厚度对融雪剂融冰过程无影响。

2.5 路面类型对融化过程的影响

本研究选择了AC-20沥青混凝土和C30水泥混凝土来模拟沥青路面和水泥路面的环境,对不同路面类型下路表冰层的融化过程进行探究。试验取融雪剂一定时间内的融冰质量作为评价指标,单位为g。研究取融雪剂1g均匀撒布在AC-20试件和C30试件表面,设每20min为一试验阶段,在上面放置冰块,同时设置对照组,分析不同路面种类上融雪剂融冰质量随时间的变化,汇总得到表5。根据表5数据绘制出3种路面上融雪剂融雪速率随时间变化的图表,如图4所示。

从图4中可以看出,在3个时间段内,作用在水泥路面与沥青路面上的融雪剂融冰质量,与对照组融雪剂融冰质量相当。在1h的时间内,水泥路面上融雪剂总融冰质量为2.95g,沥青路面和对照组总融冰质量为2.90g,二者仅相差1.7%。因此可以得出结论:路面类型对融雪剂融冰速率没有影响。

表5 路面类型对融雪能力影响

融雪剂种类	温度/℃	路面类型	融冰质量/g		
			1	2	3
醋酸钾	-15	水泥混凝土	1.70	2.40	2.90
醋酸钾	-15	水泥混凝土	1.80	2.40	3.00
醋酸钾	-15	AC-20	1.80	2.30	2.90
醋酸钾	-15	AC-20	1.80	2.40	2.90
醋酸钾	-15	空白	1.90	2.40	2.90

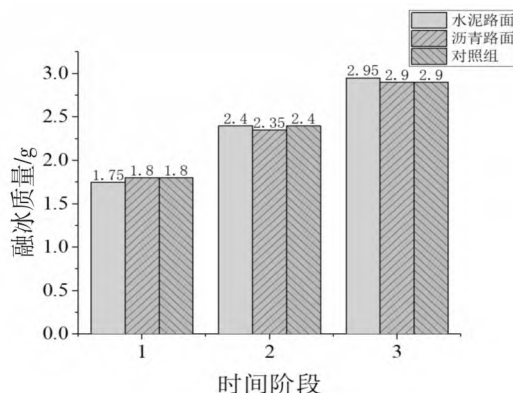
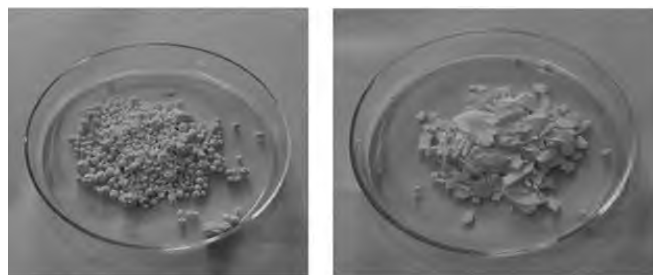


图4 路面类型对融冰质量影响

2.6 融雪剂颗粒大小对融化过程的影响

本研究选择了片状氯化钙和粒状氯化钙两种不同颗粒大小的融雪剂,对不同颗粒大小的融雪剂作用下路表冰层的融化过程进行探究。如图5所示,粒状氯化钙外观呈小圆球状,直径较小,分布于1mm至5mm之间;片状氯化钙外观呈不规则的片状,大小不一,整体尺寸较大,长边分布于5~8mm之间。



(a) 粒状氯化钙

(b) 片状氯化钙

图5 不同颗粒的氯化钙

试验取融雪剂一定时间内的融冰质量作为评价指标,单位为g。研究取融雪剂1g均匀撒布在冰块表面,设每20min为一试验阶段,分析不同颗粒大小融雪剂融冰速率随时间的变化。汇总得到表6;根据表6数据绘制出两种颗粒大小融雪剂平均融冰质量随时间变化的图表,如图6所示。

从图6中可以看出,粒状氯化钙的曲线位于片状氯化钙的曲线上方。对比片状氯化钙,粒状氯化钙20min、40min、60min的融冰质量分别比片状氯化钙高11.3%、12.4%、11.9%,这说明颗粒较小的氯化钙比颗粒较大的氯化钙融雪效果更好。因此可以得出结论:融雪剂颗粒大小会对融雪剂融冰雪效果产生影响,融雪剂颗粒越小,融雪效果越好。

表6 融雪剂颗粒对融雪能力影响

融雪剂种类	温度/℃	质量/g	融冰质量/g		
			20min	40min	60min
粒状氯化钙	-10	1	4.10	4.90	5.50
粒状氯化钙	-10	1	4.50	5.30	5.90
粒状氯化钙	-10	1	4.50	5.20	5.70
粒状氯化钙	-10	1	4.20	4.90	5.40
粒状氯化钙	-10	1	4.20	5.00	5.60
片状氯化钙	-10	1	4.10	4.70	5.20
片状氯化钙	-10	1	4.20	4.80	5.30
片状氯化钙	-10	1	3.80	4.40	4.90
片状氯化钙	-10	1	3.50	4.20	4.70
片状氯化钙	-10	1	3.70	4.40	5.00

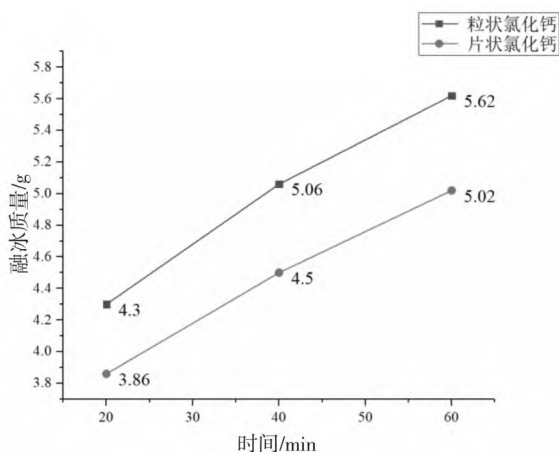


图6 不同颗粒大小融雪剂融冰能力

2.7 掺加缓蚀剂对融化过程影响分析

本研究选择了两种不同配比的融雪剂,对不同路面类型下路表冰层的融化过程进行探究。试验取融雪剂一定时间内的融冰质量作为评价指标,单位为g。研究取融雪剂1g均匀撒布在冰块试件1表面,设每20min为一试验阶段,分析不同质量配比的融雪剂融冰质量随时间的变化。汇总试验数据如表7所示。

表7 掺加缓蚀剂对融雪能力影响

融雪剂类型	温度	质量配比	截至不同时间融冰质量/g		
			20min	40min	60min
氯化钠	-10℃	1g氯化钠	2.75	4.45	5.25
氯化钠	-10℃	0.8g氯化钠+0.2g缓蚀剂	2.15	3.30	4.20
氯化镁	-10℃	1g氯化镁	3.55	4.30	4.90
氯化镁	-10℃	0.8g氯化镁+0.2g缓蚀剂	2.60	3.25	3.90

从表7中可以看出,由于所掺加的缓蚀剂并没有融雪能力,掺加20%缓蚀剂的复配融雪剂融雪能力低于不掺加缓蚀剂的融雪剂。以1h时间来看,掺加20%缓蚀剂的氯化钠对比单一氯化钠融雪质量降低20%,

掺加20%缓蚀剂的氯化镁对比单一氯化镁融冰质量降低20.4%,降低幅度与掺加缓蚀剂的量基本一致。因此可以得出结论:掺加缓蚀剂会降低融雪剂的融雪效果,降低幅度与掺加比例保持一致。在考虑环保的前提下,为保证融雪剂的融雪能力,复配融雪剂中掺加缓蚀剂的量应适当,不宜过高。

3 基于不同影响因素的融雪剂使用标准分析

融雪剂的大量使用,尤其是氯盐类融雪剂的过量使用,会对交通基础设施和路域环境产生损害。在前文研究的基础上,提取影响融雪剂融冰雪过程的主导因素,基于主导因素绘制融雪剂融雪效果诺谟图,以撒布量为指标,提出融雪剂选用标准。

3.1 主导因素分析

前文分析的7个影响因素中,路面类型、冰层厚度对融雪剂融冰雪过程无影响;掺加缓蚀剂所带来的融雪能力的降低也可归结为融雪剂质量减少所带来的影响。其余4种影响因素中,融雪剂质量与融雪剂融冰速率成正比;温度对融雪剂融冰速率影响最高达400%以上;融雪剂类型对融雪剂融冰速率最高影响达300%以上;融雪剂颗粒大小对融雪剂融冰速率影响在10%左右。因此通过数理分析法可以得出,对4种融雪剂融冰雪过程产生影响的主导因素为融雪剂用量和温度。基于这两个主导因素将进行进一步的研究,从而绘制不同种类融雪剂的融雪效果诺谟图。

3.2 融雪剂融雪效果诺谟图的绘制

本文采用诺谟图做出4种融雪剂融冰雪能力与温度、融雪剂质量之间的关系图,以便在日常生活中对应不同的降雪量或积雪厚度选取相应的融雪剂撒布量,达到优化的效果。

基于前文,做出了氯化钠、氯化钙、氯化镁、醋酸钾4种融雪剂以平方米为单位的固体融雪阶段融雪能力诺谟图,如图7所示。其中,由于氯化钠溶液冰点一般高于-20℃,且在试验数据中氯化钠在-20℃和-25℃时融雪能力下降很多,融雪能力很弱,因此只在温度在-15℃之上时考虑使用氯化钠做融雪剂。

诺谟图的绘制过程为:首先根据前文的试验数据与融雪剂质量与融冰速率的线性关系,确定融雪剂在5种温度下,10g、20g、60g和100g用量下的融冰质量。然后,先确定融雪剂质量,向正下方做一条垂线,与5种温度代表的斜线相交;过交点做出横向平行线,该线即代表了特定的温度和融雪剂质量。再根据上文数据确定这一温度和融雪剂质量下的融冰质量,在下方坐标轴找到该值;然后向正上方做一条垂线,与代表温度和融雪剂质量的横线相交,即可确定一个代表融雪剂类型的点。做出代表融雪剂类型的16个点后,将其连接,适当调整,得到代表一种融雪剂融雪能力的诺谟图。

诺谟图的应用方式为:首先找到实际情况所需要的融冰雪质量,向上方做一条垂线,与融雪剂曲线相交;过交点做横向的平行线,与所对应的温度相交;过交点再向上做一条垂线,即可确定所需的融雪剂用量。

3.3 融雪剂选用及撒布量确定方法

融雪剂的实际应用过程中,和实际降雪量联系紧密。降雪量是从天空中降落到地面上的固态

水,未经蒸发、渗透、流失,融化后在水平面上积聚的厚度以毫米为单位。我国根据24h降雪量的大小将雪量等级分为数档,本文选取部分雪量等级见表8。

表8 部分雪量等级表

24h降雪量/mm	>0.1	0.1~2.4	2.5~4.9	5.0~9.9
雪量等级	零星小雪	小雪	中雪	大雪

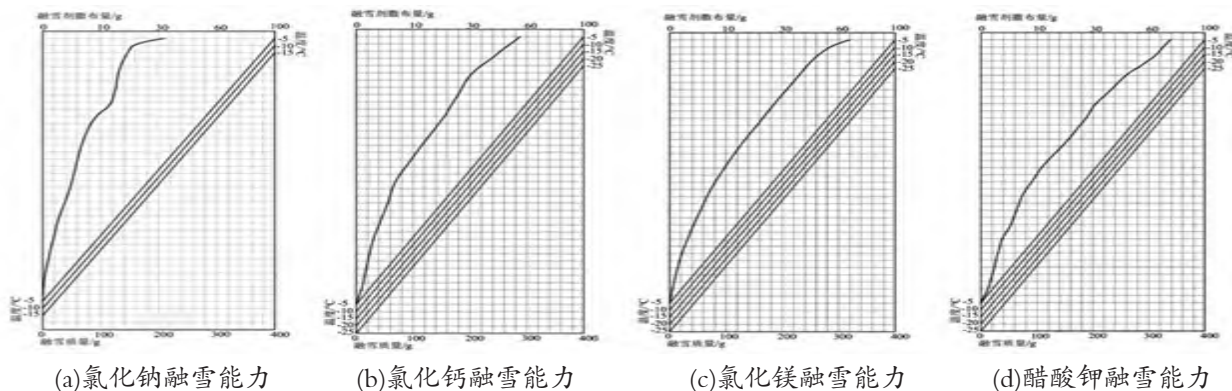


图7 四种融雪剂融雪能力诺谟图

经计算,24h降雪量为2.4mm的小雪,每小时降于1m²的路面的雪量为100g。将融雪剂融冰雪质量换算为降雪量,以1h为单位,可以得到融雪剂类型与降雪量的对应关系图,如图8所示。

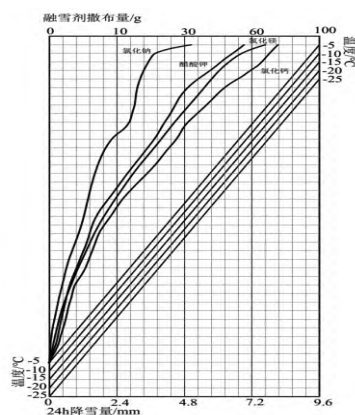


图8 融雪剂类型与降雪量关系图

在融雪剂融雪效果诺谟图中,采用的融雪能力为融雪剂固体阶段的融冰质量,即1h中前20min的融雪能力,不能完整替代整个融雪过程。因此,结合前文中的试验数据,将不同种类融雪剂20min融冰质量和1h融冰质量进行比较。经计算,同种融雪剂20min融冰质量和1h融冰质量比值较为接近,上下浮动不超过10%。因此取其比值的均值作为折减系数,即在图8中确定的融雪剂质量乘以对应的折减系数,即为实际所需的融雪剂撒布量。4种融雪剂的折减系数见表9所示。实际撒布量上限应以规范和地方性文件为标准。

分析试验数据发现,温度越高,20min融冰质量占比越小,这说明盐溶液融雪阶段融雪能力较强。因此在实际应用过程中,若是温度相对较高,可以适当减少融雪剂用量,即减小折减系数;反之,温度相对较低时也可适

当增大折减系数,减小和增大幅度应在0.05之内。除了融雪能力的考量,经济性也是实际应用中的一个重要因素。查阅相关网站后,得到了本试验采用的4种融雪剂的价格,见表9所示。

表9 不同融雪剂实际应用折减系数

融雪剂种类	折减系数	融雪剂价格/(元/t)
氯化钠	0.442	400
氯化钙	0.789	780
醋酸钾	0.779	9000
氯化镁	0.737	900

根据图8中4种融雪剂曲线可以看出,从融雪能力上看,效果最好的是氯化钙,其次是氯化镁、醋酸钾,氯化钠效果较差。并且氯化钠在-15℃以下时融雪能力下降严重,在应对低温度的降雪时也不宜采用氯化钠做融雪剂。因此可以得出结论:应用效果排行为氯化钙>氯化镁>醋酸钾>氯化钠。

从经济性上看,氯化钠作为应用最为广泛的融雪剂,其价格最为低廉;氯化镁、氯化钙价格较为接近,而醋酸钾价格十分昂贵。因此,在成本允许的情况下,优先选择融雪能力好的氯化钙和氯化镁。在机场等要求较高的路面上可以使用醋酸钾。

从环保性上看,学者对几种常见融雪剂对路面的影响进行了探究,发现对水泥路面的负面影响排行为氯化钠>氯化钙>氯化镁;对沥青混凝土路面稳定性的影响程度排行为醋酸钾>氯化钙>氯化钠;对环境影响最小的为醋酸系融雪剂。同时,可以在融雪剂中复配适宜比例的缓蚀剂,防止融雪剂对路面、金属构件等的腐蚀。撒布融雪剂前可以通过研磨将融雪剂颗粒的尺

(下转第92页)

[4]徐秀凤,孔子昂,任传尧,等.某超限框架剪力墙结构抗震性能分析[J].工程抗震与加固改造,2021,43(1):12-18.

[5]沈萍,唐兴荣,皮淑萍.混凝土砌体填充墙钢筋混凝土框架结构抗震性能试验研究[J].工程抗震与加固改造,2021,43(5):18-28.

[6]董尧,吕大刚.RC框架-剪力墙结构的一致倒塌

风险决策分析[J].工程力学,2022,39(S1):71-77.

[7]邱森,吴荣兴,李晓东,等.部分包覆组合剪力墙结构弹塑性时程分析[J].工程抗震与加固改造,2021,43(4):37-43.

[8]陈招智,陈颖,李盛勇,等.已建超高层建筑拆除剪力墙的施工分析[J].建筑结构,2021,51(20):50-54+59.

(上接第88页)

寸减小,也可适当降低融雪剂的用量。

因此综合以上因素的考量,在路域应用中,最优应用为适当掺加缓蚀剂的复配小颗粒氯化镁融雪剂。当需要较高融雪能力时,可采用氯化钙融雪剂;当融雪经费极为有限时,可采用氯化钠融雪剂。

4 结束语

通过研究得出以下结论:融雪剂的融雪能力随着环境温度的升高而升高,随着温度的降低而降低;随着融雪剂用量的增多,融雪剂融冰速率加快,并且固体融雪阶段的融冰速率与融雪剂质量成正比;冰层厚度对融雪剂融冰雪过程无影响。相同时间内,氯化钙融冰深度最大,区域最广,融雪效果好;氯化镁次之;氯化钠与醋酸钾融雪效果相对较差。在路域应用中,最优应用为适当掺加缓蚀剂的复配小颗粒氯化镁融雪剂;当

需要较高融雪能力时,可采用氯化钙融雪剂;当融雪经费极为有限时,可采用氯化钠融雪剂。

参考文献

[1]中华人民共和国交通运输部.公路工程沥青及沥青混合料试验规程:JTG E20-2011[S].北京:人民交通出版社,2011.

[2]中华人民共和国交通运输部.公路工程水泥及水泥混凝土试验规程:JTG 3420-2020[S].北京:人民交通出版社,2020.

[3]中华人民共和国交通运输部.公路工程集料试验规程:JTG E42-2005[S].北京:人民交通出版社,2005.

[4]中华人民共和国交通运输部.公路土工试验规程:JTG 3430-2020[S].北京:人民交通出版社,2020.