

# 西南高寒山区高速公路融雪剂适用性试验分析

高建平<sup>1</sup>, 燕南<sup>1</sup>, 李海鹰<sup>2</sup>, 邵东<sup>2</sup>, 车勇<sup>2</sup>

(1. 重庆交通大学 土木建筑学院, 重庆 400074; 2 重庆高速公路集团有限公司, 重庆 401121)

**摘要:** 根据西南山区高速公路冰雪影响路段冬季气候特征, 选用目前市场上常用的氯盐类融雪剂氯化钠、氯化钾和氯化钙以及有机类融雪剂乙酸钾、乙酸钙, 分别在 - 5、- 10 和 - 15℃ 条件下对这些融雪剂的融雪效果进行试验研究。试验结果表明, 在试验温度内, 氯盐类融雪剂的总体效果要稍好于有机类融雪剂; 乙酸钾与氯盐类融雪剂差别不大; 乙酸钙易使冰面出现龟裂和局部松动融化。考虑满足冬季高速公路保通、冰雪影响程度、气温及环保要求, 提出了西南高寒山区高速公路冬季养护的融雪剂选择建议。

**关键词:** 融雪剂; 融冰 (雪) 效能; 应用评价

**中图分类号:** U418.3      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1674- 0696(2010) 04- 0568- 03

## Experimental Analysis of Highway Deicers in the Application of Alpine Areas in Southwest China

GAO Jian-ping<sup>1</sup>, YAN Nan<sup>1</sup>, LI Hai-yong<sup>2</sup>, SHAO Dong<sup>2</sup>, CHE Yong<sup>2</sup>

(1. School of Civil Engineering & Architecture, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China  
2. Chongqing Expressway Group Co., Ltd., Chongqing 401121, China)

**Abstract** According to climate characteristics of alpine areas in southwest China, five deicers including NaCl, CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O, KAc, Ca (Ac)<sub>2</sub> · H<sub>2</sub>O were applied in the ice melting test under the temperature - 5℃, - 10℃ and - 15℃. The result was as follows: chloride deicers generally performed better than acid deicers; there was tiny difference between the melting capacity of the KAc and that of chloride deicers; CaCl<sub>2</sub> can cause ice crack and partial looseness. Taking highway mobility, temperature, environmental requirements and the severity of ice/snow impact into consideration, the deicer in alpine areas in southwest China was proposed in the present paper.

**Key words** deicer; deicer effectiveness; applicability evaluation

20 世纪初, 西方国家经济与交通运输迅速发展, 公路网络化, 城市间的高速公路逐步取代铁路的功能, 成为经济发展的大动脉。于是, 为了保障城市道路与高速公路的交通畅通, 在美国、加拿大及欧洲等国家早在 20 世纪 50 年代就已经开始使用道路融雪剂。随着我国交通事业的发展, 在北方寒冷地区及高寒地段大量使用融雪剂来保证交通的畅通。融雪剂主要有氯盐类及有机类两种, 笔者就西部高寒山区冬季道路养护中融雪剂的融雪 (冰) 效能进行试验对比分析并提出建议。

### 1 国内外融雪剂使用状况

由于氯盐类融雪剂成本较低且融雪效果明显, 因此国内外大量使用氯盐类融雪应用于道路除雪。

据统计, 在美国每年应用于冬季道路养护的融雪剂超过 1 000 万 t (其中约 80% 为氯盐类融雪剂)<sup>[1]</sup>。国外根据不同的路面条件特征制定了融雪剂使用用量标准见表 1<sup>[2]</sup>。目前我国尚未制定融雪剂用量的相关标准。

表 1 国外不同道路条件下融雪剂用量标准

Tab 1 Standard of deicer amount in foreign countries

路面状态	融雪剂类型	用量标准 / (g · m <sup>-2</sup> )
路面结霜	固体融雪剂	5
路面结冰	预湿、液体或固态融雪剂	6 ~ 8
冻雨	预湿或固体融雪剂	8 ~ 15
压实积雪	预湿融雪剂	6 ~ 8
	融雪剂	15 ~ 25

尽管有机类融雪剂已经在机场等区域应用, 但由于其价格较高 (氯化钠约为 800 元 / t; 乙酸钾约

为 12 500 元 / t), 高速公路上仍大面积使用氯盐类融雪剂。表 2 为 2009 年 11 月份西南山区某高速公路融雪剂(主要成分氯化钠)的使用量, 该次降雪共使用工业盐 16 t, 据计算, 融雪剂使用量约为 30 g / m<sup>2</sup>。

表 2 西部山区某高速公路 2009 年 11 月工业盐用量  
Tab 2 Amount of chloride deicer salts in November 2009 in a highway in western area

月 - 日	时间	地点	用量 / 包	重量 / (kg·包 <sup>-1</sup> )
11- 15	夜间	桥梁等积雪地带	33	50
11- 15	中午	桥梁等积雪地带	41	50
11- 16	19 00—21: 00	桥梁等结冰段	43	50
11- 16	24: 00	桥梁等结冰段	43	50
11- 17	下午	降雪带	36	50
11- 18	上午	桥梁等结冰段	44	50
11- 18	下午	桥梁等结冰段	48	50
11- 18	夜间	桥梁等结冰段	32	50

## 2 氯盐类融雪剂及有机融雪剂融雪(冰)性能评价试验及分析

### 2.1 试验温度

根据对西南山区多条高速公路调查, 西南高寒山区月平均温度最低极限约为 - 10℃, 此次试验选择在 - 5 - 10 - 15℃ 下进行。

### 2.2 试验内容及方法

#### 2.2.1 试验内容

对已确定的试验温度, 选择不同的氯盐类和有机类融雪剂, 并对这些融雪剂的效果进行分析<sup>[2 5- 6]</sup>。

#### 2.2.2 试验仪器及试验材料

试验仪器: 高低温箱、称重天平、注射器、量筒、烧杯、冰盘、手套、秒表。

试验材料: 氯化钠 (NaCl), 氯化钙 (CaCl<sub>2</sub>), 氯化镁 (MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O), 乙酸钙 (Ca(Ac)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O), 乙酸钾 (KAc), 蒸馏水。

#### 2.2.2 试验步骤

1) 试验前需用肥皂与清水洗净烧杯、量筒、冰盘, 并用蒸馏水冲洗, 用量筒量取 200 mL 蒸馏水倒入冰盘中, 并用聚乙烯盖盖严(减少热传递), 若冰盘敞口则冰冻后冰面则不均匀。

2) 把冰盘置于高低温箱内, 控制高低温箱的温度(本次试验温度分别控制在 - 5 - 10 - 15℃ 下进行), 随后把烧杯放置于高低温箱内冷冻 12 h 关紧高低温箱, 防止外界空气影响箱内温度。

3) 用天平称取融雪剂各 10 g 精确到 0.1 g 并均匀撒在冷冻后的冰盘内的试件上, 盖紧盖子, 并用秒表开始计时。

4) 用天平称量出空烧杯质量, 记下读数, 10 min 后用注射器抽出溶解液体倒入烧杯中再次称重, 记下读数, 溶解液体质量为两次读数差值; 把溶解液倒回冰盘, 继续试验, 10 min 后记下读数。

5) 上述试验过程时间间隔为 10 min, 试验过程总时间为 60 min。

6) 每种融雪剂测试均遵守此过程。

## 2.3 试验结果

### 2.3.1 氯化物不同温度条件下融雪效果比较

试验选用的氯盐类融雪剂为氯化钠、氯化钙、氯化镁 3 种融雪剂, 试验效果如图 1。

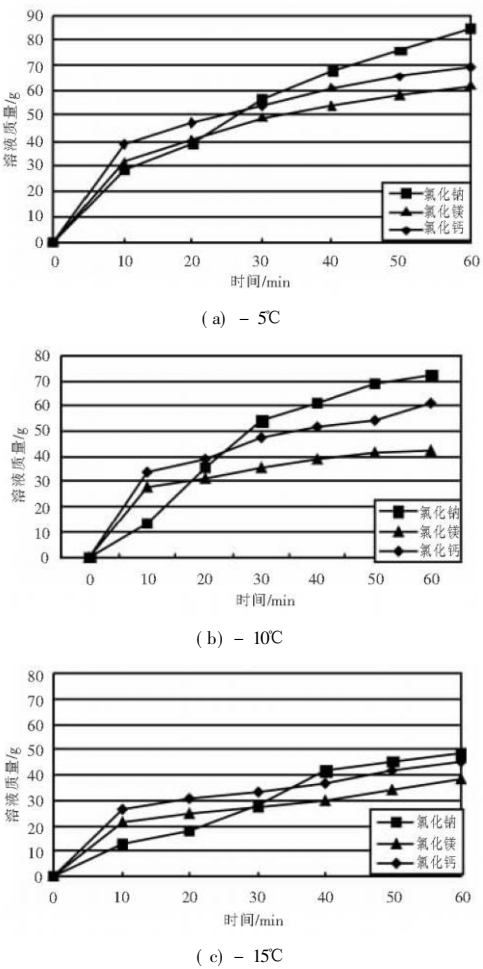


图 1 不同温度下氯化钠、氯化钙、氯化镁融雪效果对比

Fig 1 Ice melted vs time of chloride deicers at different temperatures

从图 1 可以看出: ① 3 种融雪剂随时间变化融解液增多, 温度越低融解能力也逐步降低; ② 3 种氯化物融雪剂在 - 5 - 10 和 - 15℃ 3 种不同温度下在 1 h 时是氯化钠比氯化钙融雪能力强, 氯化钙比氯化镁融雪能力强; ③ 在前 30 min 内融雪效果明显, 且氯化钙 > 氯化镁 > 氯化钠。随后氯化钠融雪能力迅速增强超过其余两种融雪剂的融雪能力。

3 2 2 有机融雪剂试验效果对比

两种有机融雪剂乙酸钙 ( $\text{Ca}(\text{Ac})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ )与乙酸钾 ( $\text{KA c}$ )的试验结果如图 2

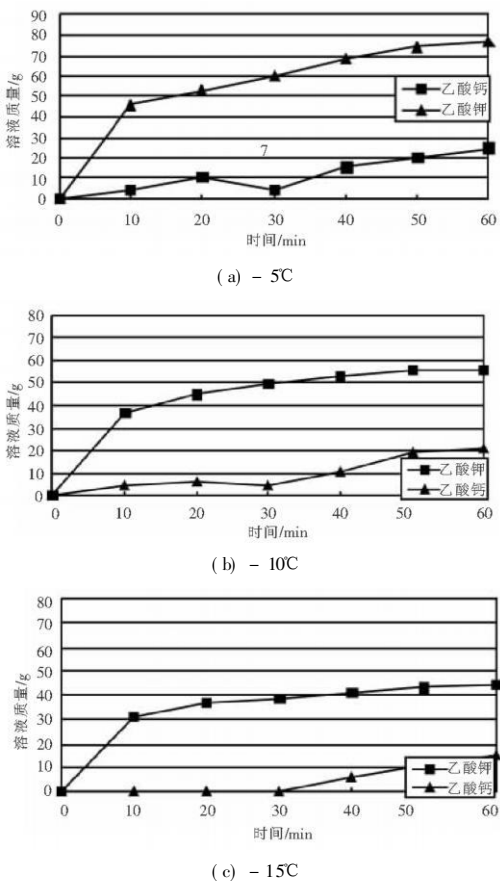


图 2 不同温度下乙酸钙、乙酸钾融雪效果对比  
Fig 2 Ice melted vs time of acetic acid deicers at different temperatures

从图 2 可以看出: ①乙酸钾是一种适用性能较好的融雪剂, 效果较明显, 随温度降低乙酸钾的融雪能力降低; ②乙酸钙随温度变化在融雪过程中融解液质量与乙酸钾差别较大。

在试验过程中还发现, 乙酸钙试验时间为 30 min 时, 冰面出现裂痕形成龟裂, 局部出现松动融化。乙酸钙吸附性能使之融除冰效能比较明显, 适宜用于冻雨或雨夹雪路面, 图 3 为乙酸钙融雪效果图。

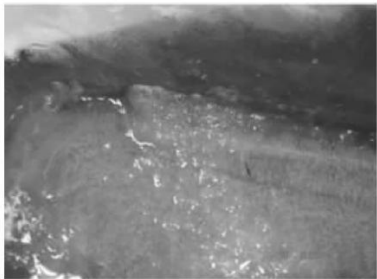


图 3 乙酸钙融雪效果图

Fig 3 Ice melting capabilities of  $\text{Ca}(\text{Ac})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

3 融雪剂适应性评价及选择

3 1 氯盐类融雪剂适用性能对比分析

氯盐类融雪剂具有融雪效果较好, 但在融化冰雪的同时, 给道路、设施带来巨大的负面影响, 主要体现在其腐蚀危害 (对基础设施、桥梁、车辆等)、冻融破坏 (对混凝土等) 和环境污染 (植被、地下水等)。

文献 [ 1, 3] 表明, 由氯盐类融雪剂引起的桥梁设施维护费用增加在 15 a 内为其建设费用的 1.6 倍, 30 a 内将达到建设费用 6 倍。

文献 [ 4] 指出每年由于使用融雪剂对水体、植被、车辆、基础设施等造成的损害所带来的经济损失是购买应用融雪剂价格的 14 倍。

通过本试验可以发现, 氯化钙及氯化镁较氯化钠溶解迅速。从经济性及环保方面考虑氯化镁及氯化钙成本较氯化钠高, 且氯化钙的腐蚀性较强。氯化钙、氯化镁与氯化钠融雪经济性能与环境性能比较分析见表 3<sup>[8]</sup>。

表 3 氯化钙、氯化镁与氯化钠融雪剂优缺点对比

Tah 3 Advantages and disadvantages of chloride deicers

优点 (与氯化钠比较)	缺点 (与氯化钠比较)
能在较低温度下发挥效用 ( - 25℃ ); 对金属建筑物的腐蚀性小; 能够提高公路周围土壤的特性; $\text{MgCl}_2$ 的腐蚀性较小; $\text{MgCl}_2$ 对植被的危害较小; 溶解迅速; 无氟化物添加剂	价格较贵 (约为 $\text{NaCl}$ 价格的 7 倍 ); $\text{CaCl}_2$ 的腐蚀性较强

由于西部高寒山区高速公路温度最低能达到 - 10℃ 以下, 且考虑到融雪剂成本问题, 在选择氯盐类融雪剂时优先选用氯化钠。

3 2 有机融雪剂与氯盐类融雪剂

试验还发现, 有机融雪剂 (乙酸钾) 与氯盐类融雪剂融雪 (冰) 能力差别不大, 某些温度下有机融雪剂融雪 (冰) 能力还要明显, 从环保性及长远经济性考虑, 有机融雪剂适用性较强。与氯盐类融雪剂相比, 有机融雪剂适用性如表 4<sup>[9]</sup>。因此, 对环保要求较高地段 (如大桥、水源地等) 推荐选用有机融雪剂。

表 4 有机融雪剂适应性对比

Tah 4 Adaptability study of chloride deicer & acetic acid deicer

有机融雪剂优点	有机融雪剂缺点
较小的植被破坏率;	价格较高 (约为 $\text{NaCl}$ 的 20 倍 );
改善土壤的机构与渗透性;	对附近水域的潜在氧耗尽;
对金属构造物较小的腐蚀;	- 5℃ 以下效果不明显;
对公路两侧水域水生生物毒性较小;	风吹易移动;
可以直接生物降解;	较氯盐类约需增加 20% 储存空间;
无氟化物添加剂;	发挥效用时间较长 (约 15 ~ 30 min );
无需增设新的撒播设备;	撒播车需增设遮盖以防结块;
路面吸附能力强;	在冻雨及较小交通量下效用较小
水土流失较小, 无地下水源污染	

(下转第 603 页)

行速度较快, 令人鼓舞的是, 程序能产生稳定解。结果表明, 在设计的网络上由运输产生的风险远低于无管制情况下的风险, 并接近于最小风险, 使风险能得到明显的降低, 这可以认为结果接近于最优双层网络。与预期的一样, 风险降低的同时成本有一定程度的增加。

为实现遗传算法求解危险品运输网络双层设计问题, 结合基本遗传算法和双层规划的求解方法设计了相应的算法流程, 并编写的相应的应用程序。为提高遗传算法的全局搜索能力和防止过早收敛, 设计了适合本问题的遗传算法的编码方法、适应度评价方法及遗传算子。在程序调试中, 为获得较高的运行效率和良好的运行结果, 对相关运行参数进行了相关调整。结果表明, 用遗传算法求解危险品网络设计问题能得到稳定的最优解, 是一种求解危险品网络设计问题的良好方法。采用了新的软件组合, 丰富了求解危险品道路运输网络设计问题的有效途径。

参考文献:

[ 1 ] 中国化学品安全协会秘书处. 中国化学品安全通讯 [ EB/OL]. 中国化学品安全协会网 ( 2008- 02- 03) [ 2010- 04- 01]. <http://www.chemicalsafety.org.cn/constructionnews/view.asp?id=3057>

[ 2 ] Wu Zongzhi Sun Meng Statistic analysis and counte measure study on 200 road transportation accidents of dangerous chemicals [ J]. Journal of Safety Science and Technology, 2006, 2(2): 3-8

[ 3 ] Zhang Jianghua Zhu DaoLi Review on risk analysis of dangerous chemical transportation[ J]. China Safety Science Journal 2007, 17(3): 136- 141

[ 4 ] Erkut E, Alp O. Designing a road network for hazardous materials shipments[ J]. Computer & Operations Research, 2007, 34(5): 1389- 1405

[ 5 ] Kara BY, VerterV. Designing a road network for hazardous materials transportation [ J]. Transportation Science, 2004, 38(2): 188- 196

[ 6 ] Erkut E, Gzara F. Solving the hazardous transport network design problem[ J]. Computers & Operations Research, 2008, 35: 2234- 2247.

[ 7 ] Gao Ziyou Zhang Haozhi Sun Huijun Bi level programming models approaches and applications in urban transportation network design problems [ J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2004, 4(1): 35- 44

[ 8 ] Jeorstone R G. The polynomial hierarchy and simple model for competitive analysis[ J]. Mathematical Programming, 1985, 32: 146- 164

[ 9 ] 合肥市规划局, 合肥市规划设计研究院. 合肥市城市综合交通规划: 2007—2020[ R]. 合肥: 合肥市规划设计研究, 2007.

[ 10 ] 任长兴. 基于风险分析的危险品道路运输路径优化方法研究 [ D]. 天津: 南开大学, 2007.

(上接第 570 页)

4 结 语

针对西南山区的气候特点, 在 - 5 - 10 和 - 15℃ 温度下完成了高速公路常用融雪剂的适应性试验研究。试验表明, 氯盐类融雪剂和有机类融雪剂都能取得较好的融雪 (冰) 效果。氯盐类融雪剂中, 前 30 min 内, 氯化钠的融雪 (冰) 能力稍弱于氯化钙和氯化镁, 但之后氯化钠要强于后两者, 并持续。有机类融雪剂中, 乙酸钾要好于乙酸钙, 但乙酸钙具有较好的吸附性而使冰面出现龟裂和松动, 除冰效果较好。

总体上, 有机类融雪剂和氯盐类融雪剂的融雪能力相差不多, 因此, 考虑经济、环保、基础设施安全等要求, 对于环保要求较高的路段推荐选用有机类融雪剂, 一般路段可选用氯盐类融雪剂。

参考文献:

[ 1 ] 洪耐丰. 氯盐类融雪剂的腐蚀危害与试验方法的讨论 [ J]. 工业建筑, 2006, 36(10): 61- 63

[ 2 ] Mangold T. Road salt use for winter maintenance[ R]. USA: Irrigator Lorin Hatch, 2000.

[ 3 ] 程刚, 杜素军, 郑美君. 道路融雪剂的研究 [ J]. 山西交通科技,

2008(2): 34- 37.

[ 4 ] 任妍妍. 高速公路融雪剂技术标准探讨 [ J]. 公路交通科技: 应用技术版, 2007(9): 185- 188

[ 5 ] Chappelow C C, McElroy D, Blackburn R. Handbook of test methods for evaluating chemical deicers[M]. Washington D. C.: Strategic Highway Research Program, National Research Council, 1992: 89- 114

[ 6 ] Wilfrid A, Ju Q, Lin Q, et al. Ice melting performance for ice control chemicals[ R]. Washington D. C.: TRB Annual Meeting, 2005.

[ 7 ] Norman W, Nikolaos P, Luo Jianhui. A portable method to determine chloride concentration on roadway pavements[ R]. Connecticut University of Connecticut Dept of Civil & Environment Engineering, 2002

[ 8 ] Salt Institute. Highway salt and our environment[M]. Alexandria Virginia: Salt Institute, 2004.

[ 9 ] Ketchum S, Minsk L, Blackburn R, et al. Manual of practice for an effective anti icing program: a guide for highway winter maintenance personnel[ R]. Washington D. C.: U. S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, 1996.

[ 10 ] Shao Dong, GAO Jianping, Yan Nan, et al. Impact of snow and ice weather on freeway operation improvement countermeasure studies of South China[ C] // TRB 88<sup>th</sup> Annual Meeting, Washington D. C.: TRB, 2009