

# 融雪剂对寒冷型灌缝胶的短期劣化机理研究

郭金龙 鲁玉铎 吕晓斌 夏永秀 王振海 闫毓伟 杨芝莲 牙雪琴 王镜宇  
张掖公路事业发展中心  
DOI: 10.12238/jpm.v5i10.7254

**[摘要]** 为研究融雪剂对寒冷型灌缝胶物理性能及力学性能的影响机理, 设置了合理的融雪剂用量、作用时间、温度等参数, 通过对照组试验, 模拟了冬季冻融环境条件, 定期检测了灌缝胶的锥入度、软化点、弹性恢复等物理、力学指标的变化情况。研究表明: 在氯化钙融雪剂溶液的浸泡以及冻融作用下, 寒冷型灌缝胶的软化点提高了 7.1%, 锥入度下降了 15.6%, 弹性恢复率降低了 25.4%, 其物理性质表现为更硬、更稠密, 低温性能呈现降低的趋势。

**[关键词]** 融雪剂; 灌缝胶; 冻融循环; 机理研究

## Study on short-term deterioration mechanism of snowmelt agent on cold filling glue

Guo Jinlong Lu Yuduo Lu Xiaobin Xia Yongxiu Wang Zhenhai Yan Yuwei Yang Zhilian Ya  
Xueqin Wang Jingyu  
Zhangye Highway Development Center

**[Abstract]** for the study of snow melting agent for cold filling mechanism of physical and mechanical properties, set up the reasonable snow melting agent dosage, time, temperature, through the control test, simulated the winter freeze-thaw environmental conditions, regularly tested the filling glue cone degree, softening point, elastic recovery of physical and mechanical indicators. The results showed that under the action of soaking and freezing and thawing of calcium chloride snow melting agent solution, the softening point of cold filling glue increased by 7.1%, the cone entry degree decreased by 15.6%, and the elastic recovery rate was reduced by 25.4%. The physical properties were harder and denser, and the low temperature performance was reduced.

**[Key words]** snow melting agent filling glue freeze and thawing cycle, mechanism research

## 引言

受自然环境和车辆荷载等多重因素的影响, 沥青路面不可避免地会出现裂缝等病害, 这些裂缝导致水分渗入基层, 会加速路面的破损。因此公路养护单位多使用灌缝这一预防性养护措施, 防止水分和其他有害物质侵入路面结构, 能够有效延长路面的使用寿命<sup>[1]</sup>。但是根据路况调查以及跟踪观测记录, 部分路段的灌缝胶在春季出现不同程度粘附性脱落、表面网裂和脱空的现象, 除了行车作用和气候的影响外, 灌缝胶发生以上病害还跟融雪剂的大量撒布有关。

北方地区冬季降雪量较大, 除冰雪时会撒布大量融雪剂, 融雪剂融化冰雪的同时会形成一定浓度的融雪剂溶液, 国内学者通过室内试验研究, 分析了冬季撒布融雪剂对沥青路面产生负面的影响<sup>[2-4]</sup>。而针对灌缝胶这一常用养护材料, 刘汉超等<sup>[5]</sup>采用温度扫描、多级蠕变、应力松弛试验研究了灌缝胶老

化前后的黏弹特性, 利用差示量热扫描、红外光谱、扫描电子显微镜对热力学性质以及结构、形貌变化进行表征和分析, 揭示了改性沥青灌缝胶的短期老化机理。刘忠骥<sup>[6]</sup>结合室内试验分析了灌缝胶的损坏原因与损坏影响, 并建立了灌缝胶的损坏评价模型, 提出了灌缝胶的自愈性评价指标并研究自愈性影响因素, 最终给出了灌缝胶的失效判别方法。Soliman 采用旋转粘度计 (RV)、动态剪切流变仪 (DSR)、BBR 和动态力学分析仪 (DMA) 等流变学方法研究了灌缝胶在施工和使用过程中的流变特性。针对 4 种不同橡胶粉掺量的灌缝胶, 研究了橡胶粉对灌缝胶的改性机理, 发现橡胶粉能够显著提高灌缝胶的软化点, 可以改善灌缝胶的高温性能、抗嵌入异物能力以及回弹能力。

综上所述, 目前融雪剂对沥青路面的研究已形成了一套非常完备的体系, 而国内外对灌缝胶的研究主要集中在修补技术、自然老化和材料研发等领域, 但对于融雪剂侵蚀灌缝胶的

劣化研究却鲜有涉及。因此，针对该课题，模拟冬季冻融环境，合理设置试验条件，研究氯化钙环保型融雪剂对寒冷型灌缝胶物理性能和力学性质的劣化影响，具有较好的工程实践价值，同时能够为公路养护材料的优化、改良提供理论基础。

表1 灌缝胶性能指标检测结果

试验项目	规范值	实测值
锥入度 (0.1mm)	90-150	136.3
流动值 (mm)	≤5	1
软化点/℃	≥80	91
弹性恢复 (%)	30-70	43.2

注：因低温拉伸性能所占整体性能指标的比重较小，且试验结果为“通过”或“不通过”，无法用数据量化表现，因此本研究未检测灌缝胶的低温拉伸指标。

表3 不同浓度融雪剂溶液浸泡及10次冻融循环作用后各指标变化

序号	试验项目	规范值	初始值	30%融雪剂溶液	40%融雪剂溶液	50%融雪剂溶液	60%融雪剂溶液	70%融雪剂溶液
1	锥入度 (0.1mm)	90-150	136.3	127.6	123.1	117	115.3	103.5
2	流动值 (mm)	≤5	1	1	1	0.5	0.5	0
3	软化点/℃	≥80	91	93.8	94	96.8	97.8	98.6
4	弹性恢复率 (%)	30-70	43.2	39.6	37.5	35.2	33.5	28.7

分析上表各试件的指标变化情况可知，30%和40%浓度融雪剂溶液浸泡后的试件各项指标变化幅度相近，60%和70%浓度溶液浸泡后的试件各指标变化幅度较大，且后者弹性恢复率已经小于30%，判定为弹性恢复性能失效。综合分析以上五组灌缝胶试件指标数值的变化情况，应当选取40%~60%区间内的浓度作为本次研究的融雪剂浓度。因此针对本次研究所选用的50%浓度的融雪剂溶液较为合理，可以较为清晰地反映各项指标的变化规律。试验过程主要步骤如下：

(1) 根据软化点、锥入度、弹性恢复和流动值试验模具计算每个试件所需的灌缝胶的数量，加热融化，平铺在30cm×40cm的不锈钢盘中，静置冷却至室温，制得灌缝胶试件，共制备10组。

(2) 灌缝胶试件在融雪剂溶液或纯净水中浸泡24h，取出试件后擦干放入-25℃低温恒温箱中12h，取出试件置于35℃恒温烘箱中解冻12小时，至此完成一个冻融循环。

(3) 所有试件同时开始做冻融循环，1组试件第三次冻融循环后测试灌缝胶各项物理力学指标，2组试件第六次冻融循环后测试灌缝胶各项物理力学指标，以此类推，5组试件第十五次冻融循环后测试灌缝胶各项物理力学指标，同时设置对照组，浸泡环境为纯净水。

## 2 试验结果分析与讨论

### 2.1 锥入度

灌缝胶的锥入度指标引申于沥青针入度，反映了灌缝胶的粘滞性。锥入度越高，粘滞性越小，更适应环境温度低的地区，而锥入度越低，灌缝胶更硬更易脆裂，低温性能更差。

经历15次冻融循环以后，该灌缝胶的锥入度均有不同程度的下降。其中50%融雪剂溶液浸泡的灌缝胶试件锥入度下降

## 1 材料与试验方法

### 1.1 原材料

#### 1.1.1 灌缝胶

灌缝胶选用某品牌寒冷型灌缝胶，根据规范《路面加热型密封胶》(JT/T 740-2015)对其重点性能指标进行检测，结果见表1。

### 1.2 试验方案

根据查阅相关文献中氯化钙融雪剂的融雪效率，以及撒布量与降雪量的对应关系<sup>[12]</sup>，结合本地区的冬季降雪频率、平均降雪量以及养护单位融雪剂撒布量，确定本次研究选用50%浓度的融雪剂溶液。为了验证本次研究所选取的50%融雪剂溶液浓度是否合理，分别以30%、40%、50%、60%以及70%浓度的融雪剂溶液浸泡灌缝胶试件，同时进行10次冻融循环，将各指标整理如下表3所示。

明显，呈现先快后慢逐渐趋于稳定的趋势，而纯净水浸泡的试件锥入度下降幅度较小。通过对比可知融雪剂较冻融循环作用对灌缝胶的劣化影响更明显。融雪剂溶于水后，释放大量的热量，同时溶液呈酸性，会与灌缝胶发生化学反应，进而影响灌缝胶的粘滞性，导致其低温性能降低。

### 2.2 软化点

灌缝胶的软化点按照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20-2011)中的T0606沥青软化点试验进行，该指标反映了灌缝胶的高温稳定性和温度敏感性，软化点越高，灌缝胶的抗软化能力和高温稳定性越好。

随着冻融循环次数的增加，该灌缝胶的软化点呈现越来越高的趋势。融雪剂溶液浸泡的灌缝胶试件，在第六次冻融循环后明显升高，达到95.6摄氏度，变化幅度为3.6%，在第九次冻融循环后升高幅度较小。相比之下，纯净水浸泡的试件在冻融循环作用下软化点没有特别明显的变化，经历15次冻融循环后变化幅度仅为0.65%。造成这种差异的原因可能是融雪剂溶液对灌缝胶中的聚合物产生溶解或反应，可能改变其分子链的排列或交联程度，影响其物理性质和结构，导致灌缝胶变硬，软化点升高明显。但软化点过高虽使灌缝胶的高温稳定性更好，在夏季高温影响和行车作用下更不易变形，但是灌缝胶相应的自愈合能力却越来越差，夏季雨水更容易从灌缝胶的表面裂缝渗入路面结构中。

### 2.3 流动值

灌缝胶的流动值是对软化点指标的补充，表示特定条件下灌缝胶的流淌长度，也可间接反映灌缝胶的高温稳定性。流动值越大，表示灌缝胶的流动性越好，在实际灌缝作业中更容易填充和密闭缝隙。

表5 灌缝胶流动值随冻融循环次数变化表

冻融循环次数/ 溶液类型	初始值 (mm)	第三次 冻融循环	第六次 冻融循环	第九次 冻融循环	第十二次 冻融循环	第十五次 冻融循环	备注
50%融雪剂溶液浸泡	1.5	1	1	0.8	0.5	0.5	
纯净水浸泡	1.5	1.5	1.2	1.2	1.2	1.1	

由上表5可知,灌缝胶流动值在冻融循环影响下呈现逐渐降低的趋势,融雪剂溶液浸泡后的灌缝胶流动值变化幅度较纯净水浸泡后更为明显,物理性质表现为越来越粘稠和硬化。该灌缝胶出现这样的变化可能与溶液中的化学成分、渗透作用以及冻融作用有关。这些因素共同作用,导致灌缝胶流动性变差。

#### 2.4 弹性恢复率

弹性恢复率指标是指灌缝胶在规定条件下的可恢复变形前尺寸的百分率,是评判灌缝胶柔性和复原能力的重要指标。弹性恢复率越高,则车轮碾压后灌缝胶经历压扁恢复原样的形变越大,也越容易随着裂缝的变化而灵活形变,反之则还原的形变越小,在路面开裂越来越严重时灌缝胶可能无法与裂缝宽度一起变化,就会出现材料内部开裂或者结合面开裂现象,灌缝胶密封防水效果就会越来越差。灌缝胶在融雪剂溶液浸泡以及冻融循环作用下,弹性恢复率明显降低,在第六次冻融循环后下降幅度最明显,在第15次冻融循环后,弹性恢复率已接近规范值的下限(30%),反观纯净水浸泡的灌缝胶试样,弹性恢复率下降较为缓慢。造成这种区别的原因可能融雪剂溶液浸泡对灌缝胶的交联密度和分子链的柔顺性产生负面影响:交联密度的降低可能导致灌缝胶的强度和弹性下降,而分子链柔顺性的改变也可能影响其弹性恢复性能。同时反复的冻融过程中溶液可能渗透或扩散进入灌缝胶的内部,加剧内部结构的破

坏,导致灌缝胶弹性恢复性能的衰退,碾压恢复能力降低。

#### 2.5 延度

规范《路面加热型密封胶》(JT/T 740-2015)未要求灌缝胶延度试验,本次研究参照《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20-2011)中的T0605改性沥青延度试验,间接评价灌缝胶在低温环境下的抗裂性和抗变形能力以及粘结能力。但在实际操作过程中发现,延度仪匀速拉伸过程中,融雪剂溶液浸泡后的试件约在拉伸至230mm时出现脱模,在360mm处三个试件全部脱模,未拉伸至断裂状态。而纯净水浸泡后的试件在350mm处才开始脱模,在495mm处全部脱模,常温放置的试件在526mm处开始脱模,在614mm处完全断裂。因融雪剂溶液浸泡的试件较早脱模,无法通过灌缝胶的断裂延度判断其抗裂性和抗变形能力,只能通过脱模情况分析粘结能力的差异。通过分析原因可知,融雪剂浸泡的灌缝胶试件较早脱模既有可能是低温下粘结能力下降,导致与模具粘附力降低,也有可能是灌缝胶变硬变粘稠,导致内部应力大于模具的粘接力,从而造成较早脱模。无论是哪种原因,灌缝胶在50%融雪剂浸泡后低温性能已明显下降是显而易见的。

#### 2.6 表观质量对比

15次冻融循环作用后,观察灌缝胶试件的表观质量,如下图所示。



表观质量对比

(左图为融雪剂溶液浸泡的试件,中图为纯净水浸泡的试件,右图为常温放置的试件)

由图可知,融雪剂溶液浸泡后的试件表面变得粗糙,且形成了许多细小的裂缝,且疏水能力明显降低。而纯净水浸泡的试件表面与常温放置试件相比基本无明显变化,疏水能力良好。

### 3 结论与展望

#### 3.1 结论

通过50%的氯化钙类融雪剂溶液冻融循环作用下寒冷型灌缝胶物理性质和力学性能的试验研究与分析,主要结论如下:

(1) 50%的氯化钙类融雪剂溶液浸泡的试件在冻融循环作用下各项指标中除流动值外均呈现明显的变化,对比纯净水浸泡的影响,融雪剂溶液对灌缝胶的侵蚀和劣化作用更剧烈,呈现前期快,后期慢,并逐渐平稳的趋势。灌缝胶的粘滞性和表面裂缝的自愈能力越来越差,粘结力降低,流动性下降,物理性质表现为更硬、更稠密。总体来看,融雪剂的侵蚀使得灌缝

胶的低温性能和路用性能下降显著,密封防水功能逐渐失效。

(2) 随着冻融循环次数的增加,纯净水浸泡的试件表观质量和疏水性良好,但灌缝胶的锥入度、流动值和弹性恢复率均有不同程度的降低,说明该地区冬季较大的昼夜温差对灌缝胶的性能也存在一定的负面影响。

#### [参考文献]

- [1]廖斌斌.沥青路面灌缝技术研究及效果验证分析[J].交通世界,2022(24):124-126.
- [2]王轩.融雪剂对沥青混合料力学性能劣化影响研究[J].交通世界,2024(Z2):26-28.D0I:10.16248/j.cnki.11-3723/u.2024.z2.033.
- [3]张羽,陈晓冬,单丽岩.氯盐类融雪剂对沥青混合料水稳定性的影响分析[J].公路,2016,61(06):203-207.