

文章编号:1671-1637(2014)04-0007-07

## 氯盐融雪剂对沥青结合料路用性能的影响

魏建国<sup>1</sup>, 傅广文<sup>2</sup>, 付其林<sup>1</sup>

(1. 长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410004; 2. 广东华路交通科技有限公司, 广东 广州 510420)

**摘要:**选取基质沥青和 SBS 改性沥青以及 NaCl、CaCl<sub>2</sub> 融雪剂, 制备了沥青试样, 采用软化点、针入度、延度、粘度和红外光谱等试验方法, 分析了氯盐融雪剂浸泡后的沥青高温性能、低温性能、感温性能、抗老化性能及红外光谱, 揭示了氯盐融雪剂对沥青结合料路用性能的影响及其作用机理。分析结果表明: 融雪剂提高了基质沥青的高温性能, 降低了 SBS 改性沥青的高温性能; 融雪剂降低了基质沥青的感温性能, 增强了 SBS 改性沥青的感温性能; 融雪剂降低了沥青的低温性能, 但提高了沥青的抗老化性能; CaCl<sub>2</sub> 融雪剂对基质沥青路用性能的影响更明显, NaCl 融雪剂对 SBS 改性沥青路用性能的影响更明显; 融雪剂与沥青没有发生化学反应, 融雪剂浸泡不会引起沥青分子结构或官能团的变化。

**关键词:**道路材料; 融雪剂; 氯盐; 沥青结合料; 路用性能; 红外光谱

**中图分类号:** U414.75

**文献标志码:** A

## Influence of chlorine salt snow-melting agent on road performance of asphalt binder

WEI Jian-guo<sup>1</sup>, FU Guang-wen<sup>2</sup>, FU Qi-lin<sup>1</sup>

(1. School of Traffic and Transportation Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410004, Hunan, China; 2. Guangdong Hualu Transprot Technology Co., Ltd., Guangzhou 510420, Guangdong, China)

**Abstract:** The asphalt specimens were made by using base asphalt, SBS modified asphalt, NaCl and CaCl<sub>2</sub> snow-melting agents. The high temperature property, low temperature property, temperature sensitivity, anti-aging property and infrared spectrum of asphalt soaked by chlorine salt snow-melting agent were studied based on the test methods of softening point, penetration, ductility, viscosity and infrared spectrum. The influence of chlorine salt snow-melting agent on asphalt binder road performance and the erosion mechanism were revealed. Analysis result shows that chlorine salt snow-melting agent improves the high temperature property of base asphalt and reduces the high temperature property of SBS modified asphalt; it lowers the temperature sensitivity of base asphalt and enhances the temperature sensitivity of SBS modified asphalt; it reduces the low temperature property of asphalt, but improves the anti-aging property. CaCl<sub>2</sub> snow-melting agent has more significant impact on the road performance of base asphalt, and NaCl snow-melting agent has more significant impact on the road performance of SBS modified asphalt. The snow-melting agent does not react with asphalt, and the molecular structure or functional group of asphalt soaked by snow-melting agent is not changed. 8 tabs, 7 figs, 20 refs.

收稿日期: 2014-02-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(51078045); 特殊环境道路工程湖南省重点实验室开放基金项目(kfj130401); 公路工程教育部重点实验室开放基金项目(kfj110103)

作者简介: 魏建国(1972-), 男, 河南信阳人, 长沙理工大学副教授, 工学博士, 从事路面结构与材料研究。

**Key words:** road material; snow-melting agent; chlorine salt; asphalt binder; road performance; infrared spectrum

**Author resume:** WEI Jian-guo (1972-), male, associate professor, PhD, +86-731-82309573, jianguowei9969@126.com.

## 0 引 言

近年来中国快速发展的公路建设,便捷了物资流动,推动了经济发展。但是冬季降雪为公路正常运营带来了严重影响,因而冬季路面除冰雪是道路养护工作者的难题。目前路面积雪较厚时,通常采用机械铲除的方式除冰雪,然而,机械法除冰雪效率较低,道路养护工作者逐渐对路面自融雪技术进行了研究<sup>[1]</sup>。郭德栋等研究了微波与磁铁耦合发热技术,并将该技术用于路面融雪<sup>[2]</sup>;为了提高导电丝的强度,冯新军等制备了碳纤维导电沥青混合料<sup>[3]</sup>;李福普等采用室内试验的方法证实了自融雪沥青混合料具有良好的路用性能<sup>[4]</sup>;丁庆军等对自融雪路面结构进行了受力分析,提出了自融雪路面结构设计方法<sup>[5]</sup>,但由于自融雪沥青混凝土路面造价过高,使得其难以在工程中推广。撒布融雪剂用于路面融雪具有效率高、造价低等优势,得到了道路养护工作者的广泛关注。张洪伟等研究表明,盐化物具有较好的抑制结冰与融雪作用<sup>[6]</sup>;查旭东等对氯盐沥青混合料进行了组成设计,并研究了其路用性能<sup>[7]</sup>;Schäffet 研究表明,融雪剂造成了混凝土桥面的开裂、松散和剥落<sup>[8]</sup>;申艳军等研究了氯盐对水泥混凝土的破坏机理,提出了基于可靠度分析的极限状态评价模型,得到了氯盐对混凝土的腐蚀破坏随时间与空间变化的动态规律<sup>[9]</sup>;Pan 等证明了氯盐能直接影响沥青路面完整性,可进入沥青与集料接触面,并引起沥青乳化<sup>[10]</sup>;Ozgan 等研究表明,NaCl 和 CaCl<sub>2</sub> 对沥青混合料路用性能有不利影响,提出了减少氯盐对路面破坏的预防措施<sup>[11-12]</sup>。可见,目前学者们对氯盐融雪剂对沥青混合料性能影响进行了较为广泛的研究,而对氯盐融雪剂对沥青结合料性能的影响研究不足。本文分析了融雪剂作用后沥青高温、低温和感温性能的变化,探索了融雪剂对沥青作用的机理,研究了其对沥青路用性能的影响,为融雪剂的使用和路面养护提供了理论支持。

## 1 原材料及试样制备方法

### 1.1 原材料

试验采用中海泰州 A 级 70 号基质沥青和壳牌

成品 SBS 改性沥青,其主要技术指标分别见表 1、2。试验采用的融雪剂为氯化钠(NaCl)和氯化钙(CaCl<sub>2</sub>)两种。

表 1 基质沥青的技术指标

Tab. 1 Technical indexes of base asphalt

试验项目	技术标准	试验结果
针入度(25 ℃,100 g,5 s)/0.1 mm	60~80	60
延度(5 cm·min <sup>-1</sup> ,15 ℃)/cm	≥100	118
软化点(R&B)/℃	≥46	49.4
闪点(COC)/℃	≥260	314
溶解度/%	≥99	99.7
密度(15 ℃)/(g·cm <sup>-3</sup> )	—	1.034
TFOT(163 ℃,5 h)质量损失/%	-0.8~0.8	0.108

表 2 SBS 改性沥青的技术指标

Tab. 2 Technical indexes of SBS modified asphalt

试验项目	技术标准	试验结果
针入度(25 ℃,100 g,5 s)/0.1 mm	40~60	57.7
针入度指数	≥0	0.51
延度(5 cm·min <sup>-1</sup> ,5 ℃)/cm	≥20	30.3
软化点(R&B)/℃	≥60	82.3
闪点(COC)/℃	≥230	316
溶解度/%	≥99	99.8
弹性恢复(25 ℃)/%	≥75	94
贮存稳定性离析,48 h 软化点差/℃	≤2.5	1.0
TFOT(163 ℃,5 h)质量损失/%	-1.0~1.0	0.491

### 1.2 试样制备

#### 1.2.1 融雪剂质量浓度的确定

融雪剂质量浓度的确定步骤如下:将 2 个相同的瓷蒸发皿(100 mL)中各加入 50 mL 纯净水,在 -10 ℃温度下放置 12 h,制成冰块;将融雪剂 NaCl 和 CaCl<sub>2</sub> 分别溶解在纯净水中,制成 0.05、0.10、0.15、0.20、0.25、0.30 g·mL<sup>-1</sup> 质量浓度的融雪剂溶液;将 6 mL 的融雪剂溶液置于制备的冰块上,-10 ℃温度下放置 30 min 后测液体的总体积,液体的总体积减去融雪剂溶液体积即为融化冰的体积,用融化冰的体积评价融雪能力;融雪剂 NaCl、CaCl<sub>2</sub> 不同质量浓度下的融雪能力试验结果见图 1。

从图 1 可以看出,随着融雪剂质量浓度的增大,NaCl 的融雪能力呈先增大后减小趋势,当质量浓度

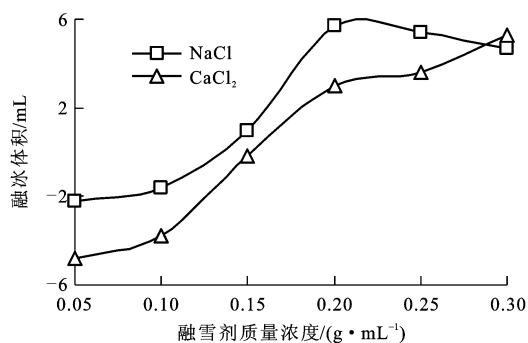


图1 融雪能力与融雪剂质量浓度的关系

Fig. 1 Relationship between snow-melting capacity and mass concentration of snow-melting agent

为  $0.20 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$  时融雪能力最大,这说明除冰雪时 NaCl 的质量浓度宜为  $0.20 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ;随着融雪剂质量浓度的增大,  $\text{CaCl}_2$  的融雪能力呈逐渐增大趋势,且当质量浓度超过  $0.20 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$  时融雪能力增幅较小,这说明质量浓度  $0.20 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$  是融雪能力的变缓点,除冰雪时  $\text{CaCl}_2$  的质量浓度宜为  $0.20 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,因此,在本文试验过程中,融雪剂 NaCl、 $\text{CaCl}_2$  的质量浓度均取  $0.20 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。

### 1.2.2 制备方法

由于试验方案分为常规和微观试验,不同的试验其试样及沥青用量不同,因此,本文试样制备方法分为2种。

(1)常规试验沥青试样制备方法。本试样用于高温性能、低温性能、抗老化性能、感温性能和热重试验,具体制作步骤如下:先准备一个口径为 60 cm 的敞口锅,配制质量浓度为  $0.20 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$  的 NaCl、 $\text{CaCl}_2$  溶液,分别将水、NaCl 溶液和  $\text{CaCl}_2$  溶液倒入敞口锅内,并加热煮沸;将基质沥青加热至  $150^\circ\text{C}$ 、SBS 改性沥青加热至  $165^\circ\text{C}$ ,分别加入到煮沸的溶液中煮沸 3 min;将煮沸过的沥青加热保持  $120^\circ\text{C}$  脱水以备。

(2)微观试验沥青试样制备方法。本试样用于红外光谱试验,具体制作步骤如下:先准备一个直径为 90 mm 的培养皿,将基质沥青加热至  $150^\circ\text{C}$ 、SBS 改性沥青加热至  $165^\circ\text{C}$ ,分别取 0.2 g 沥青均匀平铺在培养皿底面上;配制质量浓度为  $0.20 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$  的 NaCl、 $\text{CaCl}_2$  溶液,分别将 NaCl 溶液和  $\text{CaCl}_2$  溶液倒入培养皿内,用保鲜膜密封静置一个月;将培养皿取出并清洗,并使沥青风干以备。

## 2 融雪剂对沥青高温性能的影响

本文采用软化点和布氏粘度作为沥青高温性能

评价指标,测试原样沥青、水、NaCl 溶液和  $\text{CaCl}_2$  溶液作用后不同试样的性能,测试结果见表 3。表 3 中,水、NaCl、 $\text{CaCl}_2$  分别指水、NaCl 溶液和  $\text{CaCl}_2$  溶液作用后的试样,下同。

表3 融雪剂对沥青高温性能的影响

Tab. 3 Influence of snow-melting agent on high temperature property of asphalt

指标	沥青类型	原样	水	NaCl	$\text{CaCl}_2$
软化点/ $^\circ\text{C}$	基质沥青	49.4	50.9	51.3	53.4
	SBS 改性沥青	82.3	75.2	69.8	73.6
布氏粘度(135 $^\circ\text{C}$ )/ (Pa · s)	基质沥青	0.554	0.603	0.620	0.733
	SBS 改性沥青	2.297	2.132	1.635	1.985

由表 3 可以发现,经过水煮后,基质沥青高温性能得到增强,而 SBS 改性沥青则降低。对于基质沥青,因为煮沸造成沥青中软质组分发生溶解或乳化,即减少了沥青中的软质组分含量,从而改善了沥青的高温性能。但对于 SBS 改性沥青,基质沥青性质的改变影响了 SBS 颗粒分布状态,可能造成其空间网络的部分破坏<sup>[13]</sup>,而空间网络是改善沥青抗变形等能力的关键,这将削弱 SBS 对沥青性能的改善幅度,当这方面影响超过基质沥青的硬化后,总体上表现出沥青高温性能的劣化。

由于试样制备时采用水煮法,煮沸过程中水和融雪剂两类材料均可能对沥青性能产生影响,分析融雪剂作用程度时,应扣除水的作用。为扣除水的影响,首先计算水作用后与原样沥青性能(软化点和粘度)的差值,即水影响数值,然后以融雪剂溶液作用后沥青性能数值与水影响数值的差值,作为融雪剂单独的影响值,结果见图 2、3。

由图 2、3 可知,NaCl 使基质沥青软化点提高了 0.8%,粘度增加了 3.6%; $\text{CaCl}_2$  使基质沥青软化点提高了 5.1%,粘度增加了 23.6%。结果表明,

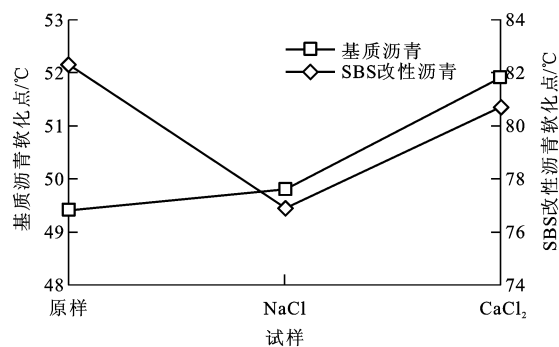


图2 融雪剂对沥青软化点的影响

Fig. 2 Influence of snow-melting agent on softening point of asphalt

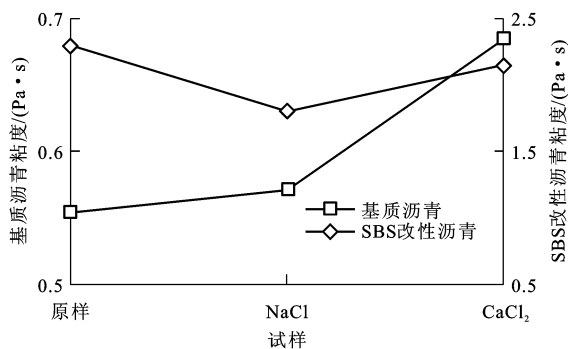


图3 融雪剂对沥青粘度的影响

Fig. 3 Influence of snow-melting agent on viscosity of asphalt

融雪剂提高了基质沥青的高温性能,其中 NaCl 提高的幅度较小,  $\text{CaCl}_2$  提高的幅度较大。究其原因,氯盐可能会加速基质沥青的老化,融雪剂浸泡也可能使部分氯盐颗粒残留在沥青中,以上都有可能造成基质沥青高温性能的改善。NaCl 使 SBS 改性沥青软化点降低了 6.5%,粘度降低了 19.8%;  $\text{CaCl}_2$  使 SBS 改性沥青软化点降低了 2.0%,粘度降低了 6.4%。结果表明,融雪剂降低了 SBS 改性沥青的高温性能,其中 NaCl 降低的幅度较大,  $\text{CaCl}_2$  降低的幅度较小。究其原因,氯盐损害了 SBS 空间网络稳定性,造成其高温性能下降。

融雪剂对沥青高温性能有显著影响,融雪剂作用后,提高了基质沥青高温性能,但降低了 SBS 改性沥青高温性能;2 种融雪剂对沥青高温性能影响程度不一致,其中  $\text{CaCl}_2$  对基质沥青高温性能的影响较大,而 NaCl 对 SBS 改性沥青高温性能的影响较大。

### 3 融雪剂对沥青低温性能的影响

本文采用低温延度作为沥青低温性能评价指标,测试原样沥青、水、NaCl 溶液和  $\text{CaCl}_2$  溶液作用后不同试样的性能,测试结果见图 4、5,图 4 中,原样基质沥青在 15 °C 的延度为 118.03 cm,图中未标出。

由图 4、5 可知,随着温度的升高,各沥青试样的延度均增大,但增大程度并不相同,说明各沥青试样对温度敏感性是不同的。同时,除 5 °C 基质沥青之外,沥青试样的延度排序一致,因此,综合性能排序稳定性和性能差异程度两方面因素,下文采用 10 °C 延度数据进行分析。

水煮后沥青试样低温性能均出现衰减,且基质沥青低温性能衰减程度高于 SBS 改性沥青。除去水的影响,融雪剂对沥青低温性能的影响见图 6。

由图 6 可知, NaCl 使基质沥青延度降低了

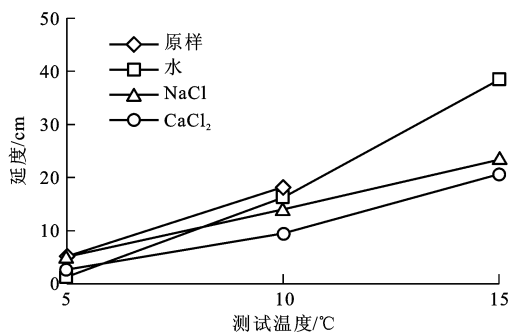


图4 基质沥青延度

Fig. 4 Ductility of base asphalt

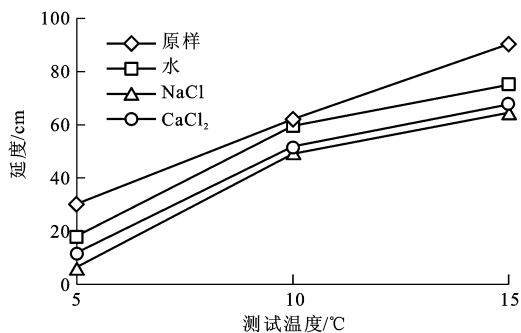


图5 SBS改性沥青延度

Fig. 5 Ductility of SBS modified asphalt

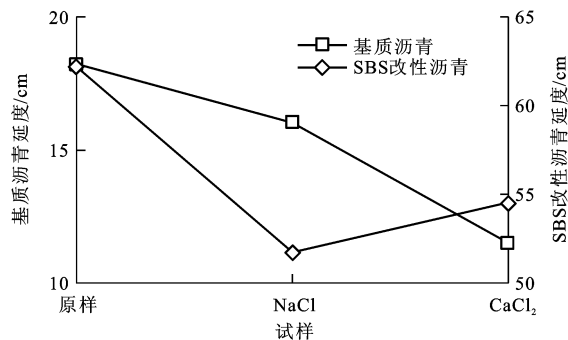


图6 融雪剂对沥青延度的影响

Fig. 6 Influence of snow-melting agent on ductility of asphalt

12.1%,  $\text{CaCl}_2$  使基质沥青延度降低了 36.1%,融雪剂显著降低了基质沥青的低温性能,其中 NaCl 降低的幅度较小,  $\text{CaCl}_2$  降低的幅度较大。NaCl 使 SBS 改性沥青延度降低了 16.8%,  $\text{CaCl}_2$  使其降低了 12.3%,融雪剂显著降低了 SBS 改性沥青的低温性能,其中 NaCl 降低的幅度较大,  $\text{CaCl}_2$  降低的幅度较小。这主要是因为融雪剂使基质沥青中软组分硬化,使改性沥青中 SBS 颗粒分布网格部分破坏,表现为沥青低温性能下降。

融雪剂使基质沥青和 SBS 改性沥青低温性能劣化,且 2 种融雪剂对沥青低温性能影响程度不一致,其中  $\text{CaCl}_2$  对基质沥青低温性能的影响较大,而 NaCl 对 SBS 改性沥青低温性能的影响较大。

4 融雪剂对沥青感温性能的影响

本文通过测试沥青试样在 5、25、30 ℃ 三个温度的针入度,计算其针入度指数  $P_1$ ,以此评价沥青感温性能,不同试样计算结果见表 4。

表 4 融雪剂对沥青  $P_1$  影响

Tab. 4 Influence of snow-melting agent on $P_1$ of asphalt				
沥青类型	原样	水	NaCl	CaCl <sub>2</sub>
基质沥青	-1.78	-1.80	-1.70	-1.16
SBS 改性沥青	0.51	0.00	-0.63	-0.28

由表 4 可知,水煮后基质沥青  $P_1$  基本未发生变化,但 SBS 改性沥青  $P_1$  却明显减小,这说明水煮对基质沥青感温性能的影响相对较小,对 SBS 改性沥青感温性能的影响相对较大。除去水的影响,融雪剂对沥青  $P_1$  影响见图 7。

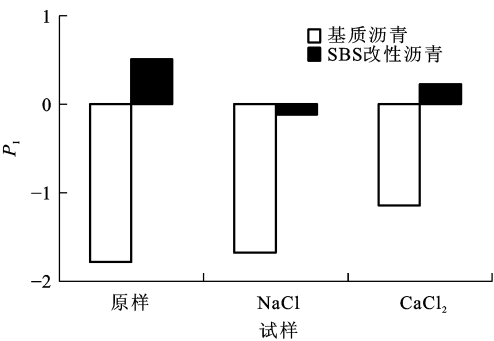


图 7 除去水的影响后融雪剂对沥青  $P_1$  影响  
Fig. 7 Influence of snow-melting agent on  $P_1$  of asphalt after removing water influence

由图 7 可知,NaCl 使基质沥青感温性能降低了 5.6%,CaCl<sub>2</sub> 使其降低了 36.0%,结果表明,融雪剂显著降低了基质沥青的感温性能,其中 NaCl 降低的幅度较小,CaCl<sub>2</sub> 降低的幅度较大。NaCl 使 SBS 改性沥青感温性能提高了 123.5%,CaCl<sub>2</sub> 使其提高了 54.9%,结果表明,融雪剂显著提高了 SBS 改性沥青的感温性能,其中 NaCl 提高的幅度相对较大,CaCl<sub>2</sub> 提高的幅度相对较小。这是因为融雪剂导致基质沥青发生了硬化,改性沥青 SBS 颗粒的分布发生了变化。

融雪剂降低了基质沥青的感温性能,提高了 SBS 改性沥青的感温性能,且 2 种融雪剂对沥青感温性能影响程度不一致,其中 CaCl<sub>2</sub> 对基质沥青感温性能的影响较大,而 NaCl 对 SBS 改性沥青感温性能的影响较大。

5 融雪剂对沥青抗老化性能的影响

为了分析融雪剂对沥青抗老化性能的影响,本文

测试了老化前后不同沥青试样的针入度和延度,其中老化采用旋转薄膜烘箱进行,试验结果见表 5、6。

表 5 不同老化状态沥青针入度

Tab. 5 Asphalt penetrations of different age conditions 0.1 mm						
状态	沥青种类	试验温度/℃	原样	水	NaCl	CaCl <sub>2</sub>
老化前	基质沥青	25	60.0	55.7	52.0	44.3
	SBS 改性沥青	25	57.7	59.3	68.0	63.7
短期老化后	基质沥青	25	40.3	39.7	38.0	35.0
	SBS 改性沥青	25	38.0	39.0	45.0	43.5

表 6 不同老化状态沥青延度

Tab. 6 Asphalt ductilities of different age conditions cm						
状态	沥青种类	试验温度/℃	原样	水	NaCl	CaCl <sub>2</sub>
老化前	基质沥青	10	18.23	16.23	14.03	9.50
	SBS 改性沥青	5	30.27	18.27	6.53	11.93
短期老化后	基质沥青	10	6.67	6.10	5.77	5.17
	SBS 改性沥青	5	17.90	10.17	7.70	8.80

由表 5、6 可知,基质沥青和 SBS 改性沥青短期老化后针入度和延度均减小,其中延度减小更为明显,例如对于原样基质沥青,短期老化前后延度比达到 36.6%,这是由于老化后沥青组分发生移行,芳香份和饱和份等软质组分逐渐向胶质和沥青质转移,沥青凝胶状更为明显,因而造成沥青的硬化。

目前国内外多采用老化前后指标比来表征沥青抗老化性能,但计算该指标时仍存在水对沥青性能的影响,需扣除该部分才能得到融雪剂的单独影响,为此除去水的影响,得到老化前后融雪剂单独影响,再计算老化前后指标比,结果见表 7。

表 7 沥青抗老化能力

Tab. 7 Anti-aging property of asphalt %				
指标	沥青类型	原样沥青	NaCl	CaCl <sub>2</sub>
针入度比	基质沥青	67.2	68.6	73.3
	SBS 改性沥青	65.9	66.3	68.4
延度比	基质沥青	36.6	39.6	49.9
	SBS 改性沥青	59.1	83.3	69.1

由表 7 可知,NaCl 使基质沥青针入度比增大了 1.4%,延度比增大了 3.0%;CaCl<sub>2</sub> 使基质沥青针入度比增大了 6.1%,延度比增大了 13.3%。结果表明,融雪剂提高了基质沥青的抗老化性能,其中 NaCl 提高的幅度较小,CaCl<sub>2</sub> 提高的幅度较大。NaCl 使 SBS 改性沥青针入度比增大了 0.4%,延度比增大了 24.2%;CaCl<sub>2</sub> 使 SBS 改性沥青针入度比增大了 2.5%,延度比增大了 10.0%。结果表明,融雪剂提高了 SBS 改性沥青的抗老化性能,其中 NaCl 提高的幅度较大,CaCl<sub>2</sub> 提高的幅度较小。融

雪剂作用后,沥青的抗老化能力增强。

## 6 融雪剂对沥青影响的红外光谱测试

物质的分子结构或官能团不同,其红外光谱不同,因此,红外光谱是测定物质分子结构或官能团变化的常用手段之一<sup>[14-20]</sup>。为了分析融雪剂与沥青是否发生化学反应,本文采用红外光谱扫描试验,对融雪剂作用后基质沥青试样进行测试,结果见表 8。

表 8 基质沥青红外吸收波峰位置

Tab. 8 Infrared absorption peak positions of base asphalt

分区	原样	NaCl 浸泡	CaCl <sub>2</sub> 浸泡
第一峰区(4 000~2 500)/ cm <sup>-1</sup>	2 955.48	2 956.14	2 954.81
	2 868.58	2 868.37	2 868.64
	2 838.16	2 838.16	2 838.16
第二峰区(2 500~1 800)/ cm <sup>-1</sup>	—	—	—
第三峰区(1 500~600)/ cm <sup>-1</sup>	1 601.79	1 601.20	1 601.14
	—	—	1 540.93
	1 462.82	1 462.94	1 462.78
	1 435.84	1 436.08	1 435.98
	1 376.11	1 376.10	1 376.03
	—	1 226.65	1 227.44
	1 156.50	1 058.02	1 058.00
	1 027.74	1 026.25	1 025.14
	976.17	—	998.55
	877.52	877.84	877.41
	811.22	810.90	812.02
	743.36	744.59	744.15
	722.68	722.79	723.12

从表 8 可以看出,经融雪剂 NaCl 和 CaCl<sub>2</sub> 浸泡一月后,第一峰区基质沥青吸收峰位置基本都没有发生变化,第三峰区基质沥青吸收峰位置变化很小。结果表明,常温下融雪剂与沥青接触,沥青分子结构或官能团不会发生变化,融雪剂与沥青没有发生化学反应。通常进行红外光谱扫描试验时,需要均匀性和透明性较好的溴化钾作背景。由于溴化钾造价相对较高,人们常常采用造价低廉且均匀性和透明性较好的 NaCl 作背景。在进行试验时分析软件会自动消除背景的干扰,本试验采用溴化钾作背景,而测定的沥青试样被融雪剂浸泡过比较长的一段时间,虽然经过水洗,也不可避免地有部分融雪剂残留在沥青试样中,融雪剂对光谱图的影响没有被扣除,因此,引起沥青吸收峰位置发生一定的变化。

## 7 结 语

(1)融雪剂提高了基质沥青的高温性能,降低了 SBS 改性沥青的高温性能;融雪剂降低了基质沥青和 SBS 改性沥青的低温性能;CaCl<sub>2</sub> 对基质沥青高温性能和低温性能的影响更明显,NaCl 对 SBS 改性沥青高温性能和低温性能的影响更明显。

(2)融雪剂降低了基质沥青的感温性能,增强了 SBS 改性沥青的感温性能,且 CaCl<sub>2</sub> 对基质沥青感温性能影响更明显,NaCl 对 SBS 改性沥青影响更明显;融雪剂提高了基质沥青和 SBS 改性沥青的抗老化性能。

(3)融雪剂与沥青没有发生化学反应,融雪剂浸泡沥青不会引起沥青分子结构或官能团发生变化。

(4)本文研究结论是建立在室内试验的基础上,由于沥青种类和试验条件有限,结论与普遍值可能存在一定的差异;应推广融雪剂对不同油源、不同种类沥青性能影响的研究,以使研究成果具有普遍性。

### 参 考 文 献 :

### References :

- [1] TRUSCHKE C, PETERSON K, VAN DAM T, et al. Investigation of Portland cement concrete exposed to automated deicing solutions on Colorado's bridge decks[J]. Transportation Research Record, 2011(2220): 1-11.
- [2] 郭德栋,沙爱民. 基于微波与磁铁耦合发热效应的融雪除冰技术[J]. 山东大学学报:工学版,2012,42(4):92-97.  
GUO De-dong, SHA Ai-min. Techniques for snow-melting and deiced based on microwave and magnet coupling effect[J]. Journal of Shandong University: Engineering Science, 2012, 42(4): 92-97. (in Chinese)
- [3] 冯新军,查旭东,程 景. PAN 基碳纤维导电沥青混凝土的制备及性能[J]. 中国公路学报,2012,25(2):27-32.  
FENG Xin-jun, ZHA Xu-dong, CHENG Jing. Preparation and performance of PAN-based carbon fiber conductive asphalt concrete[J]. China Journal of Highway and Transport, 2012, 25(2): 27-32. (in Chinese)
- [4] 李福普,王志军. 长效型主动融雪沥青混合料路用性能试验[J]. 公路交通科技,2012,29(3):7-11,21.  
LI Fu-pu, WANG Zhi-jun. Experiment of road performance of asphalt mixture with automatic long-term snowmelt agent[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2012, 29(3): 7-11, 21. (in Chinese)
- [5] 丁庆军,彭馨彦,姜友生,等. 环保多功能沥青除冰路面一体化设计研究[J]. 安全与环境学报,2012,12(2):223-227.  
DING Qing-jun, PENG Xin-yan, JIANG You-sheng, et al. Environment-friendly multi-function asphalt pavement de-icing design and mechanism[J]. Journal of Safety and Environment, 2012, 12(2): 223-227. (in Chinese)

- [6] 张洪伟,韩森,张丽娟,等.盐化物沥青混凝土抑制结冰与融雪试验[J].长安大学学报:自然科学版,2011,31(2):17-20.  
ZHANG Hong-wei, HAN Sen, ZHANG Li-juan, et al. Antifreezing and snow melting of MFL modified asphalt concrete[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2011, 31(2): 17-20. (in Chinese)
- [7] 查旭东,任旭,傅广文.氯盐融雪剂对SBS改性沥青混合料路用性能的影响分析[J].交通科学与工程,2012,28(1):6-9,20.  
ZHA Xu-dong, REN Xu, FU Guang-wen. Influence of chlorine salt as a snowmelt agent on pavement performances for SBS modified asphalt mixtures[J]. Journal of Transport Science and Engineering, 2012, 28(1): 6-9, 20. (in Chinese)
- [8] SCHÄFFET P. Influence of various de-icing agents on the durability of concrete products[J]. Betonwerk und Fertigteil-Technik/Concrete Plant and Precast Technology, 2013, 79(2): 40-41.
- [9] 申艳军,徐光黎,彭小勇.氯盐对水泥混凝土路面腐蚀破坏模型研究[J].公路交通科技,2009,26(4):18-21,28.  
SHEN Yan-jun, XU Guang-li, PENG Xiao-yong. Study on corrosion model of cement concrete road in chloride environment[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 26(4): 18-21, 28. (in Chinese)
- [10] PAN Tong-yan, HE Xiao-dong, SHI Xian-ming. Laboratory investigation of acetate-based deicing/anti-icing agents deteriorating airfield asphalt concrete[C]// Association of Asphalt Paving Technologists. Asphalt Paving Technology: Association of Asphalt Paving Technologists-Proceedings of the Technical Sessions. Philadelphia: Association of Asphalt Paving Technologists, 2008: 773-793.
- [11] OZGAN E, SERIN S, GERENGI H, et al. Multi-faceted investigation of the effect of de-icer chemicals on the engineering properties of asphalt concrete[J]. Cold Regions Science and Technology, 2013, 87: 59-67.
- [12] STARCK P, LÖFGREN B. Influence of de-icing agents on the viscoelastic properties of asphalt mastics[J]. Journal of Materials Science, 2007, 42(2): 676-685.
- [13] 李平,张争奇,孙鸿伟,等.沥青胶浆粘度特性研究[J].交通运输工程学报,2008,8(2):49-52,64.  
LI Ping, ZHANG Zheng-qi, SUN Hong-wei, et al. Research on viscosity property of asphalt mortar[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2008, 8(2): 49-52, 64. (in Chinese)
- [14] 谭忆秋,王佳妮,冯中良,等.沥青结合料紫外老化机理[J].中国公路学报,2008,21(1):19-24.  
TAN Yi-qiu, WANG Jia-ni, FENG Zhong-liang, et al. Ultraviolet aging mechanism of asphalt binder[J]. China Journal of Highway and Transport, 2008, 21(1): 19-24. (in Chinese)
- [15] 陈华鑫,陈拴发,王秉纲.基质沥青老化行为与老化机理[J].山东大学学报:工学版,2009,39(2):125-130.  
CHEN Hua-xin, CHEN Shuan-fa, WANG Bing-gang. The aging behavior and mechanism of base asphalts[J]. Journal of Shandong University: Engineering Science, 2009, 39(2): 125-130. (in Chinese)
- [16] 汪水银,郭朝阳,彭锋.废胎胶粉沥青的改性机理[J].长安大学学报:自然科学版,2010,30(4):34-38.  
WANG Shui-yin, GUO Chao-yang, PENG Feng. Research on modified mechanism of asphalt with crumb tire rubber[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2010, 30(4): 34-38. (in Chinese)
- [17] 季节,索智,许鹰,等.SMA温拌再生沥青混合料性能试验[J].中国公路学报,2013,26(5):28-33.  
JI Jie, SUO Zhi, XU Ying, et al. Experimental research on performance of warm-recycled mixture asphalt with SMA[J]. China Journal of Highway and Transport, 2013, 26(5): 28-33. (in Chinese)
- [18] 姚运仕,陈团结,向豪,等.环保型长效自融冰雪路面涂层试验[J].交通运输工程学报,2013,13(4):8-15.  
YAO Yun-shi, CHEN Tuan-jie, XIANG Hao, et al. Experiment of active deicing and snow melting pavement coating with environmental friendly and long-term action[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2013, 13(4): 8-15. (in Chinese)
- [19] WANG Hai-nian, HUANG Zhi-han, LI Lei, et al. Three-dimensional modeling and simulation of asphalt concrete mixtures based on X-ray CT microstructure images[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering: English Edition, 2014, 1(1): 55-61.
- [20] 彭建新,王华,张建仁,等.氯盐侵蚀下钢筋混凝土氯离子扩散系数试验及其概率分析[J].中国公路学报,2014,27(6):77-83.  
PENG Jian-xin, WANG Hua, ZHANG Jian-ren, et al. Experimental study on chloride ion diffusion coefficient in concrete and probabilistic analysis of its influence on deterioration performance of RC structures[J]. China Journal of Highway and Transport, 2014, 27(6): 77-83. (in Chinese)