

橡胶颗粒沥青路面除冰效果及影响因素分析

张舒畅¹, 付建峰², 王选仓²

(1. 邯郸市交通运输局, 河北 邯郸 056000; 2. 长安大学 公路学院 陕西 西安 710064)

摘要: 为了深入研究橡胶颗粒沥青路面的除冰雪效果, 本文从橡胶颗粒沥青路面的除冰机理入手, 分析了在车辆荷载作用下路表冰层破碎的原因。借鉴路面破损状况评价指标的计算方法, 提出了冰层破碎率作为评价橡胶颗粒沥青路面除冰能力的定量型指标。以破碎率为基础, 通过室内试验分析了路面层厚度、混合料回弹模量和冰层厚度对除冰能力的影响。为橡胶颗粒除冰雪路面的推广奠定了基础。

关键词: 除冰机理; 破碎率; 影响因素; 橡胶颗粒沥青路面; 评价指标

中图分类号: U416.2

文献标识码: A

Analysis on evaluation index and influencing factors on de - icing effect of granulated crumb rubber asphalt pavement

ZHANG Shu - chang¹, FU Jian - feng², WANG Xuan - Cang²

(1 Department of Transportation of Handan, Hebei Handan 056000, China;

2 School of Highway, Chang'an University, Shanxi Xi'an 710064, China)

Abstract: In order to study the de - icing effect of granulated crumb rubber asphalt pavement, the author analysis the deicing evaluation index and the broken reason of ice which on the surface of road. The author puts forward broken rate which is based on the calculation method of evaluation index of pavement damage as an evaluation index of deicing ability. Through indoor test, the author analysis the influence of deicing ability, laid the foundation for the promotion of granulated crumb rubber asphalt pavement.

Key words: deicing mechanism; ice breaking rate; influence factors; granulated crumb rubber asphalt pavement; evaluation index

橡胶颗粒沥青路面是一种新型的除冰雪路面, 利用加入混合料中的橡胶颗粒来改变路面面层的变形能力和路表的受力状态。大量工程实践表明: 橡胶颗粒沥青路面具有一定的除冰雪能力。但是, 对于橡胶颗粒沥青路面的除冰能力目前仍缺乏定量型的评价指标, 对于橡胶颗粒沥青路面除冰能力的适用情况也缺乏系统地研究。为此, 本文作者从橡胶颗粒沥青路面除冰机理入手, 对其除冰能力评价指标和影响除冰能力的因素进行系统研究。

1 橡胶颗粒沥青路面除冰机理

橡胶颗粒是一种密度小、导热性能差的柔性

材料, 而且其在外界温度较低条件下仍具有较强的柔韧性、高弹性以及变形能力; 冰的物理力学特性与其分子中氢键的脆弱程度、晶格的几何特性等影响因素有关, 在外界荷载的反复作用下, 冰体自身也会发生微小变形。通常条件下, 冰的极限变形能力比橡胶颗粒的极限变形能力小很多。橡胶颗粒的加入大幅度地提高了沥青混合料的变形能力, 在车辆荷载的反复作用下, 路表冰层的形变不断积累, 冰层很容易达到极限形变状态, 从而发生疲劳破碎。橡胶颗粒沥青路面的破冰机理主要表现为应力集中作用、摩擦融化作用和冰的脆韧转化作用。

表1 橡胶颗粒沥青混合料的除冰雪效果评价表

Tab. 1 Deicing evaluation table of granulated crumb rubber asphalt mixture

除冰等级	冰层状况
差	冰层或积雪与混合料表面紧密粘结,表面仅留下车轮走过的痕迹
中	仅有少量横向裂缝或圆形裂缝,长度和宽度都很小,一般裂缝长度不超过10个毫米
良	横向和圆形裂缝遍布整个轮迹宽度范围,甚至超出轮迹宽度范围
优	冰雪层破碎,与表面无粘结或粘结很弱,在外力作用下极易从表面剥离

2 除冰效果室内试验评价指标

在车辆荷载的反复作用下,橡胶颗粒沥青路面表面的冰层的破坏形式主要表现为开裂、破碎和剥离三种情况。因此,可以用路表冰层的开裂和破碎程度作为评价橡胶颗粒量路面除冰能力的标准。

与实际道路的交通条件相比,室内试验具有模拟时间段、交通量小等特点,因此室内试验中很难出现大面积冰层的破碎和剥落,为了更加准确地评价基于室内试验的除冰雪效果,提出定性型和定量型两种评价方法。

①定性型:当试验温度、荷载大小及荷载作用次数一定时,通过对试件表面冰层的破碎状况进行观察,根据裂缝状况和冰层与混合料的粘结程度定性评价混合料的除冰效果。除冰效果评价分级见表1。

②定量型:根据室内模拟试验冰层破坏的基本情况,全面考虑裂缝的形式、长度等因素提出冰层破碎率的计算方法,并以此为基础定量地评价橡胶颗粒沥青混合料的除冰效果。破碎率计算公式如下:

$$R_c = \frac{C_A + \lambda \times L}{A} \quad (1)$$

式中 R_c - 破碎率,%; C_A - 龟裂及块裂的总面积,单位: cm^2 ; L - 单根裂纹总长度,单位: cm ; λ - 将单根裂纹长度换算成面积的影响系数,一般取0.3; A - 测试总面积,单位: cm^2 。

龟裂及块裂的总面积可以在试验结束后通过测量得到,对于单根裂纹,以0.3作为裂纹的宽度于测得的实际长度相乘换算成面积。破碎率的计算综合考虑了冰层裂纹的开展形式、裂缝长度等因素,能够客观准确地描述冰层的破碎程度。

3 除冰效果影响因素分析

橡胶颗粒沥青路面的除冰能力主要来自于车辆荷载作用下的应力集中现象,同时,路面面层厚

度、混合料回弹模量和路面表层冰层厚度均影响着应力集中大小。本节以走行试验为基础分别分析三种影响因素对橡胶颗粒沥青路面除冰能力的影响。

3.1 面层厚度对除冰效果影响

为了研究不同路面面层厚度对除冰效果的影响,本文以车辙试件为基础设置了三组室内试验,试件厚度分别为4、5、6 cm ,混合料中橡胶颗粒掺量为3%,环境温度设置为 $-5 \sim 0^\circ\text{C}$ 。冰层制作过程中会有水分蒸发、下渗等现象发生,同时水深的控制难度大,不易得到厚度均匀的冰层,因此冰层的厚度以平均厚度为标准,本部分试验取冰层厚度为5 mm 。试验结束后,观察试件表面冰层的破损程度,量取龟裂、块裂面积以及单跟裂缝的长度,并计算出各自的破冰率,试验结果如表2。

表2 不同面层厚度破冰率试验结果

Tab. 2 Ice broken rate of different surface layer thickness

面层厚度/ cm	4	5	6
破冰率 $R_c/\%$	25	30	39

由上述试验结果可知:随着面层厚度的增加,破冰率也逐渐增加,可见增加面层厚度可以提高橡胶颗粒沥青路面的除冰雪能力。面层厚度从4 cm 增加到6 cm 过程中,破冰率分别增加了5%、9%,可视为面层厚度每增加1 cm ,破冰率提高7%;在试验过程中还发现,面层厚度越厚,冰层开裂地越早,冰层的破碎程度越严重。由此可知,在满足路用性能和经济效益的情况下,适当地提高路面面层厚度可以有效地提高橡胶颗粒沥青路面的除冰能力。

3.2 混合料回弹模量对除冰效果影响

橡胶颗粒的掺量影响着混合料的回弹模量,为了研究橡胶颗粒沥青混合料回弹模量对路面除冰效果的影响,本部分以车辙试件为基础设置了四组试验,四组试件的橡胶颗粒掺量分别为3%、

4%、5%和6% 环境温度设置为 $-5\sim 0^{\circ}\text{C}$, 试件厚度均取为5 cm, 冰层厚度的平均值为5 mm。计算得到不同橡胶颗粒掺量条件下的破冰率如表3。

观察破冰效果图可知, 随着橡胶颗粒掺量增加, 试件表面冰层的破碎程度逐渐增加。当橡胶颗粒掺量为3%、4%时, 仅在轮迹周围出现了较为明显的裂缝, 此时除冰等级可以评价为良。当橡胶颗粒掺量为5%、6%时, 裂缝遍布整个冰层, 且块状裂缝面积较大, 此时除冰等级可以评价为优。

表3 不同橡胶颗粒掺量破冰率试验结果

Tab. 3 Ice broken rate of asphalt mixture with different rubber particles content

橡胶颗粒掺量 / %	3	4	5	6
破冰率 R_c / %	30	34	40	45

分析表3中的数据可知, 随着橡胶颗粒掺量增加, 破冰率呈线性增长趋势, 橡胶颗粒掺量从3%增加到6%的过程中, 掺量每增加1%, 破冰率提高约5%左右, 可见增加橡胶颗粒掺量能显著提高橡胶颗粒沥青路面的除冰能力。为了进一步研究混合料回弹模量对除冰效果的影响, 本文根据橡胶颗粒掺量与回弹模量的关系通过回归的方法得到了混合料回弹模量与破冰率的关系, 如图1所示。

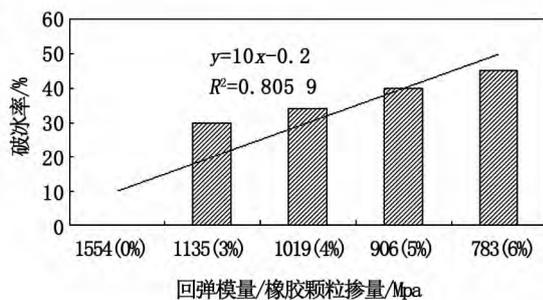


图1 回弹模量与破冰率关系

Fig. 1 The relation of ice breaking rate and modulus of resilience

分析图1中的数据可知: 随着混合料回弹模量降低, 破冰率呈线性增长趋势; 未掺加橡胶颗粒的沥青混合料回弹模量为1554 MPa, 此时沥青路面不具备除冰能力; 当混合料回弹模量降低到1135 MPa(橡胶颗粒掺量为3%时), 沥青路面开始具备一定的破冰能力, 且随着混合料回弹模量的降低, 除冰能力直线增加; 可见混合料的回弹模量对其除冰能力有显著影响。

3.3 冰层厚度对除冰效果影响

为了研究路面表层冰层厚度对路面除冰能力

的影响, 本部分设置了5组室内试验, 试验中所选的冰层厚度分别为3、4、6、8、10 mm, 各组试件的橡胶颗粒掺量均为3%, 车辙试件厚度为5 cm, 环境温度设置为 $5\sim 0^{\circ}\text{C}$ 。观察试验结果后各组试件表面冰层破损状况可知: 冰层厚度越厚, 其破损状况越好。当冰层厚度为2 mm和4 mm时, 冰层的龟裂、块裂面积较大, 且单根裂缝较多, 此时混合料具备较强的除冰能力, 其除冰等级评定为优; 当冰层厚度为6 mm时, 冰层只有少量裂缝, 此时除冰等级评定为中; 当冰层厚度达到8 mm时, 冰层中只有极少裂缝出现, 当冰层厚度达到10 mm时, 冰层中几乎无裂缝出现, 此时可认为混合料不具备除冰能力, 除冰等级评定为差。

计算得到不同冰层厚度条件下的破冰率, 结果如表4所示。

表4 不同冰层厚度破冰率试验结果

Tab. 4 The ice broken rate of different ice thickness

冰层厚度 / mm	2	4	6	8	10
破冰率 R_c / %	42	36	20	4	0

分析表4中的数据可知: 随着冰层厚度增加, 路面的破冰率逐渐降低, 直至丧失除冰能力, 当冰层厚度小于5 mm时, 路面的破冰率均大于30%, 此时路面结构具有较强的除冰能力, 路表的冰层可在短时间内被清除; 当冰层厚度达到6 mm及以上时, 路面的破冰率显著降低, 超过8 mm后混合料几乎丧失了除冰能力。可见, 橡胶颗粒沥青路面能有效地清除小于5 mm的路表冰层。

4 结论

1) 橡胶颗粒沥青路面的除冰能力主要来自于车辆荷载作用下的应力集中现象和摩擦熔化作用。

2) 提出破冰率的计算方法, 并以此为指标评价橡胶颗粒沥青路面的除冰能力。

3) 随铺路面面层厚度增加, 试验结束后试件表面冰层破损状况越严重, 破冰率线性增长, 面层厚度从4 cm增加到6 cm过程中, 破冰率分别增加了5%、9%。

4) 随着混合料回弹模量降低, 破冰率呈线性增长趋势, 当回弹模量为1135 MPa(橡胶颗粒掺量为3%时)混合料开始具备除冰能力, 回弹模量达到905 MPa(橡胶颗粒掺量为5%)及以下(以上)时混合料的除冰能力可评定为优。

5) 橡胶颗粒沥青路面能有效清除厚度为

5 mm的路表冰层 随着冰层厚度增加 路面结构的除冰能力逐渐降低 超过 8 mm 后几乎丧失了除冰能力。

参考文献:

- [1]曹高尚. 橡胶颗粒沥青混合料桥面铺装破冰技术研究[D]. 西安: 长安大学, 2012.
- [2]YAO LILI, WANG XUANCANG, ZHANG CONG, et al. The application of TPS modified asphalts in granulated crumb rubber asphalt mixture [C]//2011 2nd International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering, MACE, 2011.
- [3]刘凯, 王选仓, 王芳. 中外高速公路融雪化形技术和方法[J]. 交通企业管理, 2009(8): 73-74.
- [4]马晓宁. 橡胶颗粒弹性路面除冰效果评价[J]. 筑路机械与施工机械化, 2013, 30(1): 35-40.
- [5]姚莉莉. 橡胶颗粒弹性除冰路面关键技术研究[D]. 西安: 长安大学, 2012.

(上接第7页)

力水平满足材料本身的强度要求,同时也证明了该方法对结构防风设计具有更直接的指导意义。

参考文献:

- [1]国家减灾中心灾害信息部. 全国灾情月报 2009 年 9 月[J]. 中国减灾, 2009(12): 58-62.
- [2]GB50011-2001 建筑抗震设计规范[S].

- [6]JASON FLEMING CHIPPS. The Industrial Manufacture of tire rubber modified asphalts with enhanced rheological performance and improved longevity [D]. Texas: Philosophy for A&M University, 2010.
- [7]陈渊召, 李振霞. 橡胶颗粒沥青路面的除冰机理[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2013(5): 2073-2081.
- [8]姚莉莉, 王选仓. 无网格法在沥青路面瞬态温度场分析中的应用[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2011(4): 7-11.
- [9]王选仓, 张聪, 林荣安, 等. 绿色太阳能融雪化冰水泥路面关键技术研究[J]. 筑路机械与施工机械化, 2010(12): 28-31.
- [10]EGGENL G, VANGSNES G. Heat pump for district cooling and heating at OSLO airport gardermoen [C]//The IEA8th Heat Pump Conf Las Vegas, USA, 2006.
- [11]JTJ E20-2011 公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].

(责任编辑 王利君)

- [3]戴益民, 李秋胜, 李正农. 低矮房屋屋面风压的实测及分析[J]. 建筑结构, 2009, 39(7): 88-90.
- [4]侯爱波. 建筑数值风洞的基础研究及其应用[D]. 北京: 北京工业大学, 2006.
- [5]赵磊磊. 数值模拟低矮房屋结构对风荷载的响应[J]. 山东科技大学学报, 2011(2): 16-18.
- [6]GB50009-2001 建筑结构荷载规范[S].

(责任编辑 王利君)