

# 国内除冰雪沥青路面研究现状

易守传, 巨锁基, 白献萍

(长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410004)

**摘要:** 除冰雪沥青路面的研究应用对于保证冬季行车安全、提高公路出行效率具有十分重要的作用。文中从热致融冰路面、蓄盐沥青路面、自应力路面和疏水涂层四方面介绍了目前国内除冰雪沥青路面技术, 分析了各种路面技术的优缺点, 并对除冰雪沥青路面发展方向提出了建议。

**关键词:** 公路; 沥青路面; 除冰雪; 抗滑性能; 蓄盐材料

中图分类号: U418.6

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)04-0085-04

冬季气温过低致使雨水在路表凝结成冰, 积雪亦会在行车作用下被压实覆盖在道路表面, 导致路表摩擦系数降低, 汽车轮胎与路表附着力不足而使车轮容易打滑, 极大影响道路的行车畅通和安全。路面除冰雪问题一直困扰着公路管养部门。传统的除冰雪方法有人工法、机械法和撒布融雪剂。国际上常采用人工或机械除冰雪后再撒布融雪剂的手段清除路面冰雪, 该方法直接作用于路表冰雪, 往往只能在积雪结冰造成实际影响后才实施, 不够及时, 且不具持久性, 整体除冰雪效果不佳。将沥青路面作为功能层使其自身能除冰化雪是近年来广受重视的研究方向。目前, 除冰雪沥青路面主要有热致融冰、蓄盐沥青路面、自应力路面及利用疏水脱粘材料 4 种思路。

## 1 热致融冰雪路面

热致融冰, 即利用热量融冰化雪, 是最“合情合理”的一种方式。按照发热方式的不同, 热致融冰雪路面可分为导电沥青路面、埋置发热装置沥青路面、相变储能沥青路面和微波发热沥青路面。

### 1.1 导电沥青路面

将导电相材料掺入混合料中铺筑导电沥青路面, 采用电-热转换方式融化路表冰雪。常用导电相材料有石墨、碳纤维、炭黑、钢渣等。文献[2]~[4]将长度为 9 mm 的聚丙烯腈(PAN)基碳纤维分别掺入基质沥青和 SBS 改性沥青混合料中, 发现掺量分别为 0.1%、0.4% 时, 其发热功率满足融冰雪要求, 且路用性能较好。文献[5]采用高碳鳞片石墨粉等体积替代 SMA 沥青混合料中的部分矿粉, 发现随着石墨掺量的增加, 沥青混合料的电阻率先缓慢减小, 后急剧下降, 掺量达到 20% 时电阻值趋于平

缓, 为  $57.5 \Omega \cdot m$ 。单掺导电相材料, 其掺量有一个渗滤阈值, 在掺量达到渗滤阈值左右时电阻率会产生突变; 复合添加不同导电材料, 能在保证混合料路用性能的前提下更好地提高混合料的导电性能。文献[6]研究了复掺碳纤维、石墨、炭黑等导电相材料对沥青混合料性能的影响, 发现以石墨为主导导电相材料, 再掺少量碳纤维和炭黑, 可解决单掺石墨引起的混合料路用性能不足的问题。文献[7]采用钢渣和石墨双掺的方式制作导电沥青砼, 试验结果表明, 与单掺石墨相比, 双掺方式可大幅降低混合料的电阻率, 且采用 SMA 级配设计效果更佳。文献[8]、[9]制备导电磨耗层、导电粘层来融冰化雪, 试验证明设计的功能层能满足融冰化雪要求, 且其性质(如抗滑性能、层间抗剪性能、抗拉拔性能等)满足相应层位要求。

导电沥青路面自身亦存在明显缺陷, 如其电阻值会随着温度的升高而增加, 电热转换效率在升温过程中会逐渐降低。另外, 导电沥青路面对混合料整体性能要求较高, 导电相材料在混合料中的不均匀分布及路表出现裂缝时将严重阻碍其导电性能。

### 1.2 埋置发热装置沥青路面

通过向沥青路面结构内部埋设发热装置, 用通电或其他方法使其产生热量, 并经过混合料传递至路表, 使路表升温, 实现融化冰雪。目前常用加热装置有电缆、电热丝、流体管道等。文献[10]对发热电缆用于路面除冰雪进行试验研究, 认为 300 W 左右发热功率可满足北京气象条件下的融冰雪要求。文献[11]对电缆加热融冰雪进行数值模拟, 得出电缆发热功率和导热系数对融冰雪有较大影响。

在路面内部埋置管道, 然后在管道内充入循环流动的热热水, 通过热水所携带的热量来融冰化雪也

是一种可行的方法。这类除冰化雪方法效果较好,但前期投入较高,若出现损坏,养护维修难度大、费用高。此外,由于加热装置工作时路面结构内部与之接触的混合料存在局部过热现象,而越远离加热装置温度越低,尤其是路表,致使路面内部存在较大温度差,会对路面使用性能产生一定负面影响。

通过电热转换来融化冰雪的沥青路面,在设计时还需考虑电位板及供电线路的铺设,会给施工带来极大的麻烦,导致难以大面积推广应用。

### 1.3 相变储能沥青路面

相变材料在进行相态变化时会吸放热,通过向沥青混合料中掺加相变材料,可铺装成相变储能沥青路面。这种路面在白天有阳光照射、路面温度升高时可储热,在夜晚路面温度降低时可放出热量,延缓路面温度降低的速率,起到延缓路面结冰的作用。但这种方法适用条件有限,在连绵阴雨天不能起作用。并且单独掺入相变材料只能延缓路面结冰,无法从根源上阻止路面结冰。大量掺入相变材料还会对道路使用性能产生影响,掺量过小则除冰雪效果难以保证。针对这些问题,有学者对相变材料进行包覆处理,但包覆相变材料的能力有限,且难以解决相变材料的侧漏问题,对相变材料的包覆技术还需进一步完善。文献[12]、[13]提出将相变材料与路面加热系统相结合,如发热电缆沥青路面,利用相变材料的能量缓释效应使路面内部均匀传热,避免出现沥青混合料内部局部过热现象。

### 1.4 吸收微波沥青路面

介质材料中的极性分子在高频交变电磁场(微波)作用下分子间会发生运动和摩擦而产生热量,这是微波发热的原理。材料的电磁特性决定其吸收微波并将微波转化为热能的能力,普通沥青混合料吸收微波的能力不强,直接应用微波加热,融冰雪效率不高。为提高沥青混合料吸收微波的能力,有学者提出向混合料中掺加钢纤维、碳纤维或将石灰岩集料替换成吸收微波能力较强的磁铁矿料等。文献[14]对于磁铁矿料取代石灰岩集料制备吸收微波沥青路面进行研究,认为这种方法可融化路面冰雪。当沥青路面覆盖冰层时,微波可直接穿透冰层作用在路面整体,冰对微波的吸收能力可忽略不计。文献[15]认为沥青路面吸收微波开始发热后,与路表粘结的冰层最先融化为水,因为水也是一种吸收微波能力很强的材料,有水存在的环境下升温速率加快,冻粘界面将加快融化。

但目前的微波发射装置都装载在载具上,同一时间微波只能照射在某一局部地区,且一般需持续照射 30 s 才能达到融冰雪要求,对于冰层较厚区域,若要使冰层完全融化,照射时间还要增加。并且这种加热方法是短暂性的加热,微波发射装置离开后,路面又会重新降温冷却,若这时路表还有水分残留,则又会凝结成冰。因此,今后这种融冰雪方法的重点应是寻找更优质的微波吸收材料,将加热路面的目的从融冰雪转变为使冰层与路面分离,之后再使用其他设备收集碎冰,并注重排干路表水分。另外,沥青路面在短时间内经历急剧加热、降温过程,其性质是否会受到影响还需进一步研究。

## 2 蓄盐沥青路面

蓄盐路面是在路面材料中加入融雪剂,如蓄盐沥青混合料、蓄盐涂层等,利用缓慢释放的融雪剂降低冰雪融点,使其融化。

### 2.1 蓄盐沥青混合料

早在 20 世纪 60 年代,欧洲便开始进行路面蓄盐除冰雪技术研究。70 年代日本开始引进这项技术,并在近十几年得到大面积推广。蓄盐沥青路面融冰雪技术的机理与撒布融雪剂一样,通过将含有盐分的载体直接掺入混合料中,载体释放盐分至路面,降低冰雪融点。蓄盐路面中“盐”是指具有融冰雪效果的一大类物质,即融雪剂,只不过常用的融雪剂是氯化钠等盐类物质,所以习惯性称其为蓄盐路面,下面的蓄盐涂层类似。

中国对蓄盐沥青路面的研究起步较晚。文献[18]通过将含盐载体取代普通沥青混合料中一部分矿料制得蓄盐沥青混合料,并对其进行融冰雪效果试验,发现随含盐载体掺量的增加,融冰雪效果逐渐增强。文献[19]认为蓄盐路面的除冰效果并不彻底,在低温条件下,在雪层或冰层较厚时,仅能使冰雪与路表面脱离,还需配套使用除冰车才可将道路表面冰雪除去。

另外,除冰雪只是季节性的要求,而沥青路面铺装成功后需经历四季变换,相关研究表明,夏季高温多雨是导致蓄盐沥青路面盐分损失的主要因素。为此,文献[20]提出应用药物缓释原理,使用高分子纤维素膜将蓄盐载体的孔道封闭,使融雪物质能缓慢释放出来,以延长路面融冰雪时间。但这势必会使路面盐分浓度达到有效融冰雪浓度的时间增加,反而降低路面除冰雪效率。今后在蓄盐沥青路面研究

中应注重融冰雪有效盐分浓度和盐析出速率二者之间的平衡,特别是低温下盐析出速率的问题。

目前,蓄盐载体中所含盐分一般是氯化钠等,这类物质具有很强的吸湿性,使蓄盐沥青路面无论是在正常使用条件还是在有效成分析出时均处于高浓度盐分环境中。盐溶液会显著降低集料与沥青之间产生的化学吸附层的稳定性,导致沥青与集料的粘附性变差,宏观上表现为沥青混合料的高温稳定性和水稳定性受到较大影响。且含氯溶液会腐蚀道路及其附属构造物,污染生态环境。因此,今后应研究对沥青路面及道路附属结构物无害且可添加到蓄盐载体中的环保型融雪剂。

目前常用目测路表面裸露率、摆式摩擦仪测量摩擦系数等方法评价蓄盐沥青路面融冰雪效果,其评价结果不够准确,且缺乏长期融冰雪效果数据。文献[22]研究发现蓄盐沥青混合料能有效降低混合料与冰之间的粘结力,开发了一种冰膜与沥青混合料表面粘结力测试系统,提出采用极限破坏拉力和破坏界面等级综合评价混合料与冰的粘结能力,并以此作为蓄盐沥青路面融冰雪的间接评价指标。

## 2.2 蓄盐涂层

将融雪剂添加到涂层材料中可制得融雪除冰类涂层。文献[23]将胶粘材料、融雪剂和其他材料拌和均匀制得具有除冰功能的涂层,试验证明该涂层具有良好的除冰性能、抗滑性能和耐磨耗性能。文献[24]用阳离子乳化剂沥青作载体、氯化钠等作融雪剂制备蓄盐涂层,用电导率试验表示其有效物质析出量,试验结果表明,涂层有效成分都是在第一次溶解时析出量最大,之后析出量迅速下降,表明其长期除冰雪能力显著降低。与蓄盐沥青路面相比,蓄盐涂层的融雪剂总体携带量较少,其长期析出能力不足。但蓄盐涂层具有施工方便简单、灵活性高的优势。因此,若能研究一种造价低、施工方便且短期融冰雪效果好的涂层,则可根据当地天气预报对一些易凝冰路段进行突击喷洒处理;还可根据历年统计资料分路段、分区域决定涂层中融雪剂含量,以便将薄冰、小雪直接融化,使厚冰积雪与路面相分离,方便其后的人工或机械作业;也可将其与预防性养护如雾封层等相结合,融雪除冰的同时对路面起到封水、填补细微裂缝的作用。

## 3 自应力路面

自应力沥青路面除冰雪技术利用混合料中部分

弹性材料变形性能较大的特性,使冰层在行车荷载作用下产生自应力,当拉压强度或拉压应变超过冰层所能承受的最大值时,冰层将产生破碎剥离。最常见的弹性材料为橡胶颗粒。橡胶颗粒粒径为1~4 mm时,文献[25]认为应采用骨架密实结构,基于主骨料嵌挤原则的体积设计法,采用间断级配进行配合比设计;文献[26]则认为应采用主骨料空隙填充法,使橡胶颗粒与沥青结合料充分填充骨架空隙。这两种设计方法都能保证橡胶颗粒有足够的变形空间,同时粗骨料相互嵌挤,保证混合料强度。后续对路面进行的除冰雪性能检测结果表明这种路面具有良好的抑制结冰与破冰能力。

文献[27]采用有限元方法研究橡胶沥青路面的冰层破坏过程,提出以冰层底最大压应变作为破坏控制指标。文献[28]认为冰层的断裂主要由弯拉变形引起,建议用弯拉应变作为评价冰层破坏的指标。文献[29]、[30]认为传统的脆性材料破坏强度理论在这种情况下并不适用,应采用断裂力学中应变能密度因子理论来研究冰层破坏,用应变能密度因子作为控制指标。综上,目前对于路表冰层的分析缺乏统一的理论,也没有统一的表征冰层破坏的指标。

橡胶沥青混合料室内除冰雪效果评价指标有定性型和定量型两种,分别通过人工观察冰层表面裂纹发展情况计算裂纹面积及轮载作用前后冰层表面摆值变化评价除冰雪效果。但这两种评价方法误差较大,无法准确反映冰层破坏状况。这种除冰雪方法只适合于长期结冰的低速道路,也只能起到破冰作用,冰雪堆积达到一定厚度后将失去作用。

## 4 疏水涂层

在沥青路面上利用疏水脱粘材料,可减少水分在路面上的留存时间,还可降低冰层与路面之间的粘附性,使冰层在荷载作用下发生碎裂。文献[31]利用有机硅橡胶制备疏水涂层,试验证实其可大大降低路表与冰层的冻粘强度,使冰层吸收更多的冲击荷载。也有学者将疏水涂层与蓄盐涂层相结合制成疏水抑冰涂层,文献[32]利用ABAQUS软件对喷洒了疏水抑冰涂层材料的路表冰层进行模拟分析,发现这种冰层在荷载作用下更易破坏。若将疏水涂层与蓄盐沥青路面结合起来使用,还可改善蓄盐沥青路面因夏季多雨造成的有效成分损失。但目前的涂层研究还只是将疏水性和除冰性等同起来,没有开发出针对路表与冰层实际粘结情况的脱粘涂

层。今后应将疏水与脱粘分开,进行更细致的研究;还可将疏水涂层技术与其他除冰雪技术结合起来使其协同作用,发挥最佳除冰雪性能。

## 5 结语

目前还没有长期有效的除冰雪沥青路面技术,除冰雪新材料的种类也不够丰富。根据中国除冰雪沥青路面技术现状,提出以下建议:1) 大力发展、研究环保无害型融冰雪材料,减少融雪剂使用造成的危害。2) 研究蓄盐材料盐析出可控技术,从温度方面着手,实现夏天不析出盐分、冬天则加快析出速度,兼顾融冰雪效率和长期使用性能之间的平衡。3) 将研究重点从完全除冰雪转向减弱冰层与路表面之间的粘结作用,并开发具有碎冰层收集、路面干燥等复合功能的机械,快速处理已与路面分离的冰层,蒸发路表残余水分,加快除冰雪效率并防止路面再次结冰。4) 重点研究涂层类除冰雪技术,并与预防性养护技术相结合,根据其施工灵活、方便的特质,对有结冰隐患的路段实现精准的预先喷洒。

### 参考文献:

- [1] 邵明玉.除冰雪蓄盐沥青混合料的制备与性能研究[D].西安:长安大学,2015.
- [2] 曹艳霞.碳纤维导电改性沥青混合料性能试验研究[D].长沙:长沙理工大学,2013.
- [3] 查旭东,蔡良,曹艳霞.碳纤维导电 SBS 改性沥青混合料性能试验[J].长沙理工大学学报:自然科学版,2014,11(1).
- [4] 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).
- [5] 叶家军,吴学伟,丁庆军,等.导电沥青混合料导电机理及电热性能研究[J].武汉理工大学学报,2009,31(9).
- [6] 磨炼同.导电沥青混凝土的制备与研究[D].武汉:武汉理工大学,2004.
- [7] 敖灶鑫.钢渣石墨导电沥青混凝土的研究[D].武汉:武汉理工大学,2009.
- [8] 孙大权,孙国强,刘富良.导电超薄抗滑磨耗层长期性能试验研究[J].建筑材料学报,2017,20(6).
- [9] 黎明,吴文杰.电热沥青膜材料开发及其性能研究[J].大连理工大学学报,2017,57(4).
- [10] 李炎锋,胡世阳,武海琴,等.发热电缆用于路面融雪化冰的模型[J].北京工业大学学报,2008,34(12).
- [11] 管数园.电缆加热系统进行融雪的数值分析研究[D].上海:上海交通大学,2008.
- [12] 霍曼琳,马保国,魏建强,等.相变储能路面发热融雪材料体系的试验研究[J].武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2010,34(6).
- [13] 马磊,王晓曼,李超,等.相变材料在沥青混凝土路面中的应用前景分析[J].公路,2009(12).
- [14] 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).
- [15] 高杰,张正伟,韩振强,等.电磁波吸收材料用于微波融冰雪路面的研究进展[J].材料导报,2016,30(23).
- [16] 孙玉齐.盐化物自融雪沥青路面性能研究[D].西安:长安大学,2011.
- [17] 吴淑娟.盐化物沥青混合料融冰雪性能及适应性气候分区研究[D].西安:长安大学,2012.
- [18] 崔龙锡.蓄盐类沥青混合料研究[D].重庆:重庆交通大学,2010.
- [19] 王锋,韩森,张丽娟,等.融冰雪沥青混合料盐分溶析试验[J].长安大学学报:自然科学版,2010,30(6).
- [20] 蒋松利.环保型沥青路面融冰雪涂层研究[D].西安:长安大学,2012.
- [21] 徐鸥明,韩森.盐分对储盐沥青混合料性能的影响[J].长安大学学报:自然科学版,2015,35(4).
- [22] 谭忆秋,孙嵘蓉,郭猛,等.蓄盐沥青混合料除冰雪性能研究[J].中国公路学报,2013,26(1).
- [23] 穆勇,廖洪波,郑飞军.低表面能缓释型除冰涂层抗凝冻效果评价[J].公路,2017(11).
- [24] 程维.桂北地区抑冰融雪涂层的制备及其性能研究[D].南宁:广西大学,2016.
- [25] 孙宝锋.橡胶颗粒除冰雪沥青混合料设计与施工工艺研究[D].西安:长安大学,2011.
- [26] 彭永恒,刘艳,王庆,等.橡胶颗粒沥青路面路用与除冰雪性能研究[J].大连民族学院学报,2013,25(3).
- [27] 丁京,罗桑.高弹改性沥青路面除冰雪仿真分析[J].交通运输工程与信息学报,2016,14(4).
- [28] 肖庆一,刘美彤,王玉宝,等.聚氨酯稳定橡胶颗粒新型路面材料除冰雪机理分析[J].中外公路,2015,35(4).
- [29] 胡一舟.抗凝冰橡胶颗粒沥青混合料性能研究[D].重庆:重庆交通大学,2014.
- [30] 姚莉莉.基于断裂力学的橡胶颗粒弹性路面除冰能力分析[J].交通标准化,2013(21).
- [31] Du Y, Li F, Wang S, et al. Inhibition and removal of thin ice on the surface of asphalt pavements by hydrophobic method[J]. Journal of Testing & Evaluation, 2016,44(2).
- [32] 张业茂.沥青路面脱粘抑冰材料研发及工程应用技术研究[D].西安:长安大学,2016.