

“十二五”国家重点图书出版规划项目
交通运输建设科技丛书·公路基础设施建设与养护

Anti-freezing Asphalt Pavement Research and
Applied Technology

抑制冻结沥青路面 研究与应用技术



张洪伟 韩 森 编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

“十二五”国家重点图书出版规划项目

交通运输建设科技丛书·公路基础设施建设与养护

抑制冻结沥青路面研究与应用技术

张洪伟 韩 森 编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书系统总结了抑制冻结沥青路面的结构类型与国内外研究、应用现状,采用离散元理论从细观层次上建立了橡胶颗粒沥青混合料分析模型,并模拟其受力、变形及破坏过程,揭示了混合料的破冰机理。本书重点阐述了盐化物沥青路面融冰雪性能,分析了盐化物沥青混合料融冰雪的耐久性与持久性影响因素,并系统梳理了橡胶颗粒与盐化物沥青混合料级配组成设计与施工工艺。

本书可供大专院校师生、交通行业科研人员及技术人员参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

抑制冻结沥青路面研究与应用技术 / 张洪伟, 韩森
编著. — 北京: 人民交通出版社股份有限公司,
2015. 10

ISBN 978-7-114-12547-8

I. ①抑… II. ①张… ②韩… III. ①沥青路面—道
路工程—研究 IV. ①U416.217.01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 244606 号

“十二五”国家重点图书出版规划项目

交通运输建设科技丛书·公路基础设施建设与养护

书 名: 抑制冻结沥青路面研究与应用技术

著 作 者: 张洪伟 韩 森

责任编辑: 曲 乐 尤 伟

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 13

字 数: 310 千

版 次: 2015 年 11 月 第 1 版

印 次: 2015 年 11 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12547-8

定 价: 50.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

交通运输建设科技丛书编审委员会

主 任：庞 松

副主任：洪晓枫 袁 鹏

委 员：郑代珍 林 强 付光琼 石宝林 张劲泉 赵之忠
费维军 关昌余 张华庆 蒋树屏 沙爱民 郑健龙
唐伯明 孙立军 王 炜 张喜刚 吴 澎 韩 敏

总 序

近年来,交通运输行业认真贯彻落实党中央、国务院“稳增长、促改革、调结构、惠民生”的决策部署,重点改革力度加大,结构调整积极推进,交通运输科技攻关不断取得突破,促进了交通运输持续快速健康发展。目前,我国公路总里程、港口吞吐能力、全社会完成的公路客货运量、水路货运量和周转量等多项指标均居世界第一。交通运输事业的快速发展不仅在应对国际金融危机、保持经济平稳较快发展等方面发挥了重要作用,而且为改善民生、促进社会和谐做出了积极贡献。

长期以来,部党组始终把科技创新作为推进交通运输发展的重要动力,坚持科技工作面向需求,面向世界,面向未来,加大科技投入,强化科技管理,推进产学研相结合,开展重大科技研发和创新能力建设,取得了显著成效。通过广大科技工作者的不懈努力,在多年冻土、沙漠等特殊地质地区公路建设技术,特大跨径桥梁建设技术,特长隧道建设技术,深水航道整治技术和离岸深水筑港技术等方面取得重大突破和创新,获得了一系列具有国际领先水平的重大科技成果,显著提升了行业自主创新能力,有力支撑了重大工程建设,培养和造就了一批高素质的科技人才,为交通运输科学发展奠定了坚实基础。同时,部积极探索科技成果推广的新途径,通过实施科技示范工程,开展材料节约与循环利用专项行动计划,发布科技成果推广目录等多种方式,推动了科技成果更多更快地向现实生产力转化,营造了交通运输发展主动依靠科技创新,科技创新服务交通发展的良好氛围。

组织出版《交通运输建设科技丛书》,是深入实施创新驱动战略和科技强交战略,推进科技成果公开,加强科技成果推广应用的又一重要举措。该丛书分为公路基础设施建设与养护、水运基础设施建设与养护、安全与应急保障、运输服务和绿色交通等领域,将汇集交通运输建设科技项目研究形成的具有较高学术和应用价值的优秀专著。丛书的逐年出版和不断丰富,有助于集中展示和推广交通运输建设重大科技成果,传承科技创新文化,并促进高层次的技术交流、学术传播和专业人才培养。

今后一段时期是加快推进“四个交通”发展的关键时期，深入实施科技强交战略和创新驱动战略，是一项关系全局的基础性、引领性工程。希望广大交通运输科技工作者进一步解放思想、开拓创新，求真务实、奋发进取，以科技创新的新成效推动交通运输科学发展，为加快实现交通运输现代化而努力奋斗！

王昌顺

2014年7月28日

前 言

抑制冻结沥青路面是在沥青路面铺筑过程中掺加物理类、化学类或物理化学类的外加剂,通过材料的物理作用或化学作用使路面具备破冰融雪的作用。抑制冻结沥青路面可以缩短路面的冻结时间,降低交通事故的发生率,减少融雪剂的撒布次数及数量,降低除雪作业次数,降低冬季路面养护成本,这种路面还可以有效改善公路与城市道路陡坡、急弯及桥隧等易积雪结冰路段的行车安全性,技术成果成熟、效果显著,具有良好的应用推广价值,

本书内容依托多个省部级交通建设科技项目的研究成果编写,全书分3篇,共计9章。第1章阐述了抑制冻结沥青路面应用技术的现状与发展趋势;第2章介绍了离散元方法、橡胶颗粒沥青混合料级配二维数值模型及其分形特征;第3章是关于橡胶颗粒沥青混合料劈裂试验与疲劳性能的研究,建立了混合料耗散能、分形维数与疲劳寿命间的对应关系;第4章阐述了橡胶颗粒沥青混合料破冰试验、破冰数值模型及抑制结冰性能的验证;第5章系统梳理了橡胶颗粒沥青混合料级配组成设计与施工工艺;第6章从盐分溶析机理角度探讨了盐化物沥青路面融雪化冰性能;第7章主要针对盐化物沥青混合料的水稳性能、疲劳性能及老化性能等耐久性的3个方面进行研究;第8章分析了空隙率、温度与降雨量对盐化物融雪沥青路面性能持久性的影响;第9章系统总结了盐化物沥青混合料组成设计与施工工艺。

本书由内蒙古自治区交通建设工程质量监督局张洪伟博士、长安大学韩森教授编著统稿,同时凝聚了长安大学新型路面研究所抑制冻结路面研究组部分成员的辛勤劳动成果,张丽娟参与了第6、9章的研究工作;陈杰参与了第7、8章的研究工作,在此一并表示感谢。本书理论与实践并重,旨在通过科研成果的总结与提升,促进抑制冻结沥青路面技术成果的推广与应用,为有效解决我国寒冷地区路面积雪结冰的行车安全性问题提供一种新的思路。

限于编著者水平有限,加之时间仓促,书中不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编著者
2015年8月

目 录

第 1 篇 绪 篇

第 1 章 绪论	3
1.1 研究与应用的意义	3
1.2 国内外研究与应用现状	5
本篇参考文献	19

第 2 篇 橡胶颗粒沥青混合料研究与应用技术篇

第 2 章 橡胶颗粒沥青混合料细观模型与分形特征	23
2.1 离散元方法	23
2.2 橡胶颗粒沥青混合料的单轴压缩试验	34
2.3 基于离散元方法的橡胶颗粒沥青混合料级配数值模型	37
2.4 橡胶颗粒沥青混合料的级配分形特征	42
第 3 章 橡胶颗粒沥青混合料劈裂试验与疲劳性能	52
3.1 劈裂试验的理论模型	52
3.2 橡胶颗粒沥青混合料劈裂试验	55
3.3 基于离散元方法的橡胶颗粒沥青混合料劈裂数值模型	57
3.4 橡胶颗粒沥青混合料疲劳性能	60
第 4 章 橡胶颗粒沥青混合料破冰与抑制结冰试验	71
4.1 橡胶颗粒沥青混合料破冰试验设计	71
4.2 橡胶颗粒沥青混合料破冰试验研究	76
4.3 基于离散元方法的橡胶颗粒沥青混合料破冰数值模型	83
4.4 橡胶颗粒除冰雪沥青路面抑制结冰试验	95
第 5 章 橡胶颗粒沥青混合料级配组成设计与施工工艺	106
5.1 级配组成设计方法	106
5.2 级配组成设计示例	109
5.3 橡胶颗粒沥青混合料施工工艺	111
本篇参考文献	118

第 3 篇 盐化物沥青混合料研究与应用技术篇

第 6 章 盐化物沥青混合料融冰雪性能	123
6.1 盐化物沥青混合料盐分溶析机理分析	123

6.2	盐分溶析目标值的确定	125
6.3	盐化物沥青混合料盐分溶析规律	128
6.4	盐化物沥青混合料融冰雪性能评价	133
第7章	盐化物沥青混合料耐久性	139
7.1	盐化物沥青混合料水稳性能	139
7.2	盐化物沥青混合料疲劳性能	144
7.3	盐化物沥青混合料老化性能	151
第8章	盐化物沥青混合料融雪持久性	158
8.1	空隙率对盐化物沥青混合料融雪持久性影响分析	158
8.2	降雨量对盐化物沥青混合料融雪持久性影响分析	165
8.3	温度对盐化物沥青混合料融雪持久性影响分析	168
8.4	不同气候分区下盐化物融雪效能年限分析	170
第9章	盐化物沥青混合料级配组成设计与施工工艺	172
9.1	混合料级配组成设计	172
9.2	填料体积等效置换法研究	175
9.3	盐化物沥青混合料体积指标变化规律	181
9.4	盐化物沥青混合料施工工艺	190
本篇参考文献		196

第1篇

绪 篇

第 1 章 绪 论

1.1 研究与应用的意义

在寒冷的冬季,公路与城市道路经常遭受冰雪的危害,降雪较大时基本呈冰雪路面状态,冰雪使路面附着系数大大降低,导致汽车打滑、制动距离显著延长,甚至紧急制动失灵、方向失控,造成严重的交通事故。这些问题成为道路交通安全和人民生命、财产安全的重大隐患,因此冰雪路面病害问题一直困扰着道路养护部门。冰雪条件下道路的运营状况与危害如图 1-1 所示。

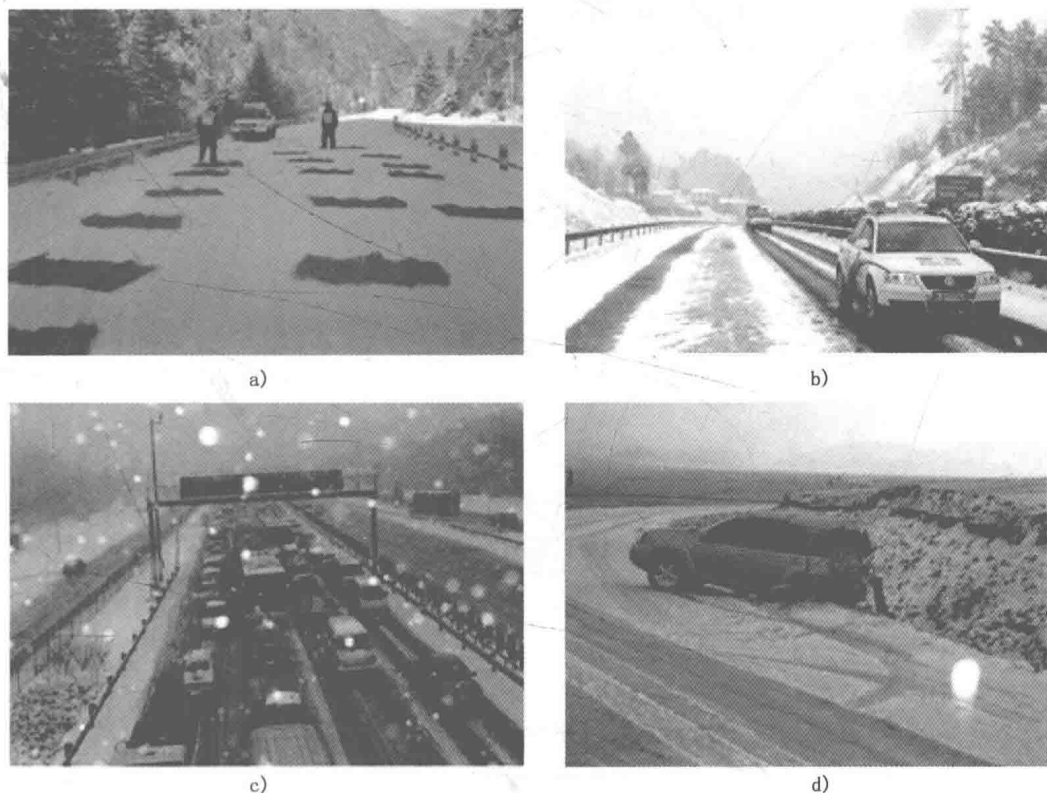


图 1-1 冰雪条件下道路的运营状况与危害

为了消除冻结条件下路面的安全隐患,道路养护部门也常常采取多种措施清除路面冰雪。常用的路面抗冻结的方法是在路面上撒布醇类或盐类融雪剂使冰雪融化,但是醇类融雪剂的抗冻结效果受环境温度影响较大,并具有反结冰现象,即一旦环境温度下降,被融化的积雪会再冻结成冰,使路面更滑,交通事故率更高。绝大多数的盐类融雪剂产品都存在腐蚀性,易腐



蚀破坏道路结构和机动车辆,还会对土壤、水体和大气等造成污染,破坏生态环境。另外,融雪剂撒布受养路工人的作业时间与空间限制较大,不能在降雪的第一时间融雪。

在其他抗冻结方法中,人工清除法效率低,费用高,作业时影响车辆通行及行车安全;机械除雪适用于未经碾压且厚度较薄的路面积雪,通常适用于机场等便于管理的较小范围的除雪;热力融冰雪方法造价较高且技术并不成熟。

为了保障道路畅通和行车安全,避免交通事故的发生,研究既有效又环保的路面抗冻结方法已经刻不容缓。2002 年国际道路协会(PIARC)在日本举办了国际冰雪道路技术大会,会议将抑制冻结沥青路面作为冰雪道路主要的研究方向。

抑制冻结沥青路面是在沥青路面铺筑过程中掺加物理类、化学类或物理化学类的外加剂,通过材料的物理作用或化学作用使路面具备破冰与抑制压实雪板的功能。抑制冻结沥青路面可以缩短路面的冻结时间,降低交通事故的发生率,确保交通安全;还可以减少融雪剂的撒布次数及数量,保护沿线的环境,降低除雪作业次数,提高除雪作业效率,降低冬季路面养护成本。

抑制冻结沥青路面常铺筑在公路急转弯处、陡坡路段、隧道的出入口处、互通匝道上、桥面以及山涧的背阴路段等极易积雪结冰的路段,可有效防止路面积雪结冰。另外,在城市道路的十字路口、公铁交叉口等也可以铺筑抑制冻结沥青路面,防止车辆在下雪天紧急制动发生打滑。抑制冻结沥青路面的应用范围如图 1-2 所示。

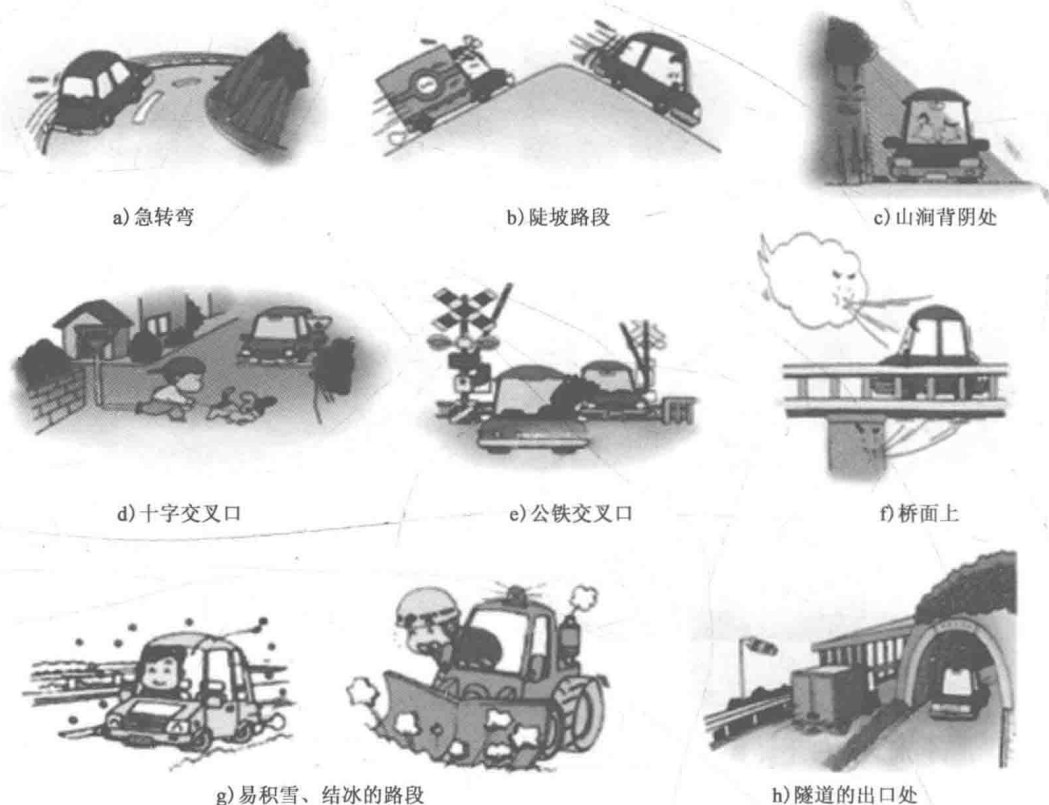


图 1-2 抑制冻结沥青路面的应用范围

1.2 国内外研究与应用现状

1.2.1 国外研究现状

国外在抑制冻结路面技术方面的研究起步较早,理论也比较成熟,值得我们进行全面而深入的学习。本书选取日本、美国及欧洲等抑制冻结路面应用较广泛的国家与地区进行资料的分析整理,为抑制冻结沥青路面在我国的研究与应用提供一定的参考。

1) 日本

日本在地理纬度、气候等方面与我国北方相似,也是受冰雪危害较严重的国家,日本的道路部门早已把研究重点从机械除冰办法转移至铺筑防冻结路面为主的防治措施上。抑制冻结路面提高了寒冷地区积雪路面的行车安全性,提高了除雪作业效率且效果显著,主要应用于寒冷积雪地区坡度较大路段、道路交叉口等区域。抑制冻结路面分为物理类、化学类及物理化学类3种形式,具体分类如图1-3所示。

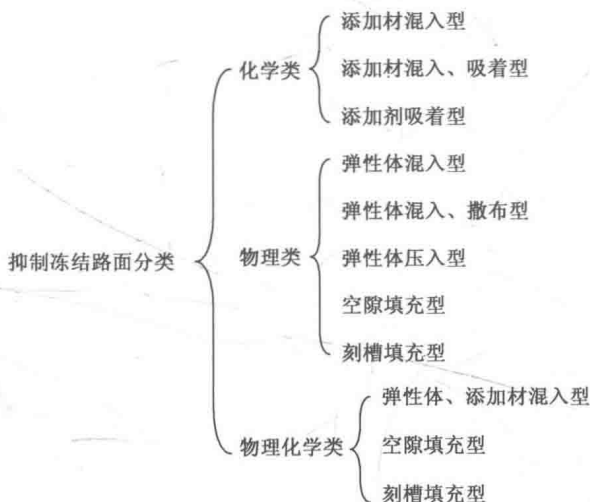


图 1-3 抑制冻结路面的分类

在世界范围内,日本在抑制冻结沥青路面方面的研究成果与应用范围均处于领先水平。截至2002年3月底,日本已经累计铺筑了超过520万 m^2 的抑制冻结路面,其中化学类抑制冻结路面铺筑面积达到390万 m^2 ,物理类抑制冻结路面铺筑面积超过130万 m^2 ,日本在1990年颁布了防止带钉轮胎产生粉尘的法律及在1993年禁止了带钉轮胎的使用,客观上均促进了抑制冻结路面在日本的应用,如图1-4所示。

化学类抑制冻结路面是将含有如氯化钠或氯化钙的抑制冻结材料加入沥青混合料中,使路面具备抗冻结功能,其特点是盐分析出至路表后降低路面的冰点,抑制路面的冻结。物理类抑制冻结路面是在路表或路面内部添加弹性材料,通过过往车辆荷载使路面产生应力,促使路面结冰破碎及路面出露,采用的弹性材料是橡胶颗粒或聚氨酯树脂等。物理化学类抑制冻结路面是物理作用与化学作用的组合。

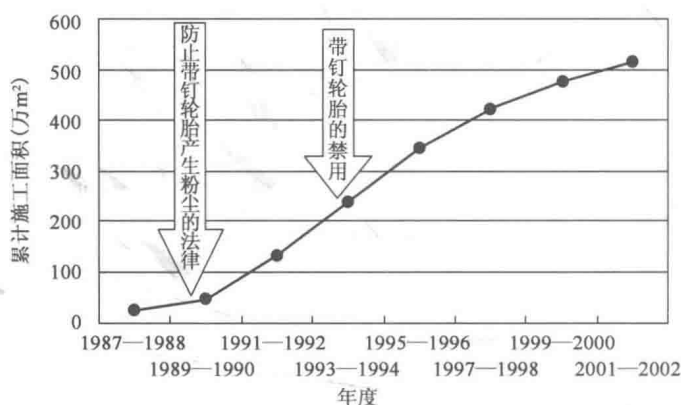


图 1-4 日本抑制冻结路面累计施工面积 (截至 2002 年 3 月)

(1) 化学类抑制冻结路面

化学类抑制冻结路面起源于 20 世纪 60 年代的欧洲,在瑞士、德国等国家有所应用,日本从 20 世纪 70 年代末期开始引进该种路面形式,于 90 年代初期进行了成功推广。

化学类抑制冻结铺装技术的有效抗冻成分为盐化物,盐化物替代混合料中的部分矿质材料,所形成的沥青混合料可以统称为盐化物沥青混合料,所铺筑的路面称为盐化物融雪路面。日本常用的化学类抑制冻结铺装技术如下:

① 添加材混入型

将含有如氯化钠或氯化钙的抑制冻结材料加入沥青混合料中,通过路面中混入的抑制冻结材料的有效成分析出降低水的冰点,使路面具备抗冻结功能。添加材混入型抑制冻结材料包括水泥固化型、表面裹油型及粉末型。

a. 水泥固化型。盐分以水泥固化成粒状、圆球状物体,添加量约 8%,应用时置换混合料中的粗、细集料。铺筑后混合料中的盐化物慢慢溶解出来,起到抑制冻结的效果,如图 1-5a) 所示。

b. 表面裹油型。盐分以颗粒形式表面裹油后置换混合料中 10mm 以下的集料,添加量约 5%,铺筑后混合料中的盐化物慢慢溶解出来,起到抑制冻结的效果,可以耐高温,适用于改性沥青混合料,如图 1-5b) 所示。

c. 粉末型。盐化物附着于多孔岩浆岩的多孔结构中,以粉体形式置换混合料中的石粉,添加量为 6% ~ 8%,铺筑后混合料中的盐化物慢慢溶解出来,起到抑制冻结的效果,如图 1-5c) 所示。

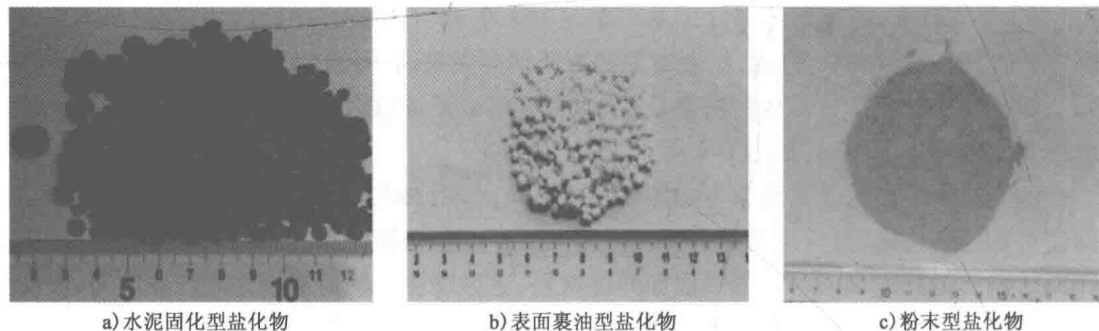


图 1-5 添加材混入型抑制冻结材料

粉末型盐化物(MFL)是外观类似于矿粉的粉末状物质,密度为 $2.25 \sim 2.35 \text{g/cm}^3$,其主要化学成分包括二氧化硅、氯化钠、氧化镁、氧化钙等,其中有效冻结抑制成分为氯化钠,占55%左右。

添加材混入型的主要特点是:析出的盐分使路面水的冰点降低,从而抑制路面的冻结;使压实积雪的清除变得更容易,提高除雪效率,即使降雪量较大,清除时也相对容易;盐化物沥青混合料使凝固点降低 $3 \sim 5^\circ\text{C}$;将路面的结冰温度降低 $3 \sim 5^\circ\text{C}$;在行车荷载的碾压及摩擦作用下,抑制冻结材料从结构的毛细管中析出。该工法减少了除冰盐的撒布,是一种环保型路面结构;对产生冻结的路面来说,也是一种融冰方法。

②添加材混入、吸着型

半柔性路面中吸附水泥固化的氯化物乳液,吸附的抑制材料慢慢从路面中析出,降低路面水的冰点。化学类抑制冻结路面(添加剂吸附型)抑制冻结性能不可逆,吸附的抑制材料由水泥氯化物粉末及聚合物组成。该工法面层空隙率为 $20\% \sim 25\%$,水泥固化的氯化物乳液浸透、凝固在路面空隙中,典型结构如图1-6所示。

添加材混入、吸着型的主要特点是:析出的盐分使路面水的冰点降低,从而抑制路面的冻结;使压实积雪的清除变得更容易,提高除雪效率;抑制路面变形,提高路面的抗车辙性能;抑制冻结材料可以着色,进行安全性提示。

③添加剂吸着型

在开级配沥青混合料空隙中填充高聚物盐类(如醋酸钾)等抑制冻结的材料,达到抑制冰雪的目的,路面结构如图1-7所示。

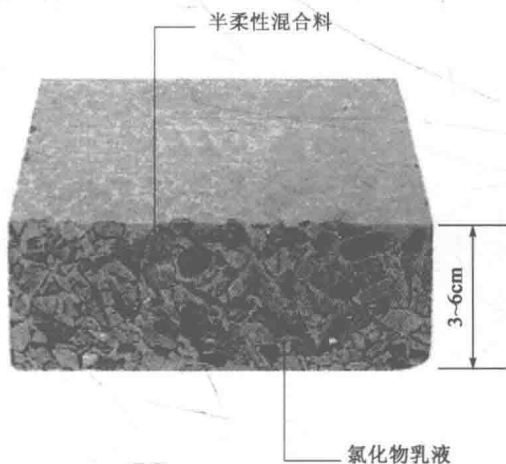


图 1-6 添加材混入、吸着型路面

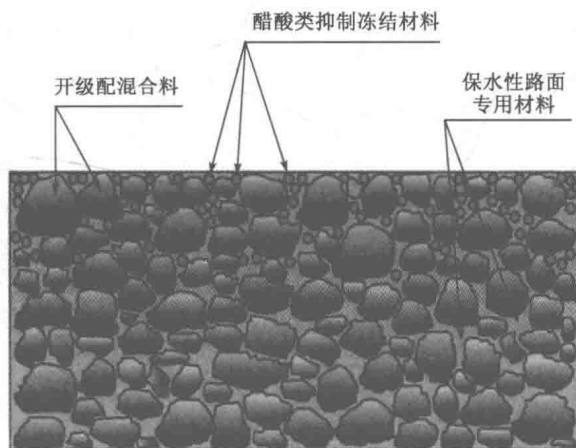


图 1-7 添加剂吸着型路面

(2) 物理类抑制冻结路面

日本从20世纪70年代末期开始进行物理类防冻路面的研究开发,最初是参考瑞典等国家的研究资料,采用日本本国的沥青混合料试验方法进行室内试验,从1979年开始物理类抑制冻结路面逐渐开始有所应用。

成熟的室内研究为大面积的推广奠定了坚实的基础,日本常用的物理类抑制冻结铺装技术如下:

①弹性体混入型

汽车荷载作用在路表及路面内部掺加弹性材料的路面结构上,具有使路表冰雪破碎、加快



路面出露的性能;弹性材料以废旧橡胶颗粒、聚氨酯树脂为主。在积雪寒冷地区,与普通路面相比,该路面与冰面的黏结强度较小,抑制冻结的效果优异。与化学类抑制冻结路面相比,抑制冻结过程中材料无损耗,抑制冻结效果持续时间长。弹性体混入型分为橡胶颗粒沥青混合料类与橡胶沥青类两种。

a. 橡胶颗粒沥青混合料类

橡胶颗粒沥青混合料是将废旧橡胶轮胎破碎成一定形状和粒径的颗粒,以集料的形式直接添加于沥青混合料中,用以代替部分集料而形成的新型的沥青混合料,橡胶颗粒沥青路面破冰断面及破冰外观如图 1-8、图 1-9 所示。

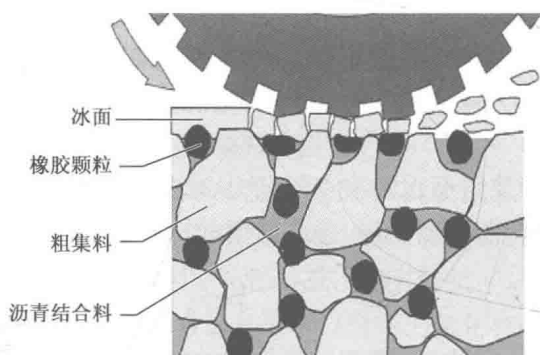


图 1-8 橡胶颗粒沥青混合料破冰断面

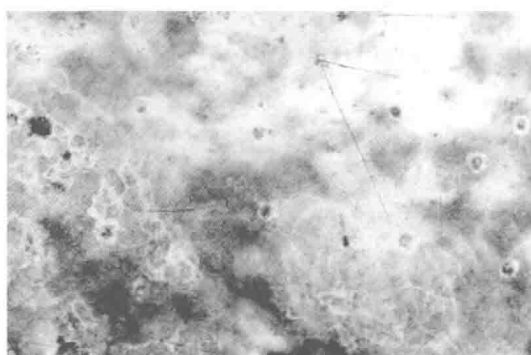
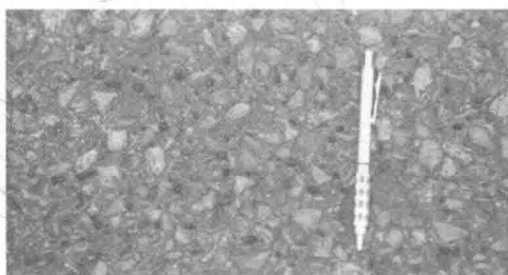


图 1-9 橡胶颗粒沥青混合料破冰外观

在行车荷载的作用下,路表突出的橡胶颗粒破碎冰层,具有抑制冻结的效果;粗集料的增多使混合料耐磨耗性能有所提高;具有降低噪声的功能;与化学类抑制冻结路面相比,该路面将一直保持抑制结冰的作用;抗车辙性能优于普通沥青路面。图 1-10、图 1-11 为日本铺筑多年的橡胶颗粒沥青路面现状。



a)

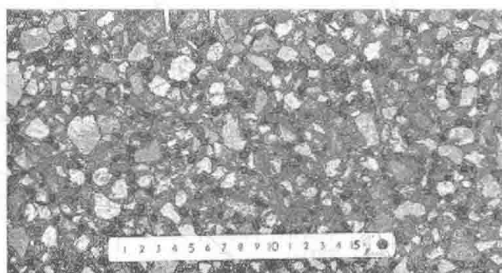


b)

图 1-10 日本东北地区国道,交通量分区 N7,铺筑 14 年后



a)



b)

图 1-11 日本北陆地区国道,交通量分区 N5,铺筑 7 年后