

半柔性大孔隙抗车辙沥青混凝土与抗凝冰沥青混凝土相结合的应用

祖源博, 江其昕, 范耘赫, 代明鑫, 于淼*
沈阳工学院, 辽宁 沈阳 113122

摘要： 随着交通量的不断增加和车辆轴载的日益加重, 传统的沥青混凝土路面面临着严重的车辙和开裂问题。为了应对这些挑战, 半柔性大孔隙抗车辙沥青混凝土应运而生。本文将深入探讨半柔性大孔隙抗车辙沥青混凝土与抗凝冰剂相结合的研究, 包括灌浆料的性质、试验数据、应用价值, 以及抗凝冰剂的数据及应用价值。通过理论分析、数值模拟和实地试验, 本文旨在为半柔性大孔隙抗车辙沥青混凝土与抗凝冰剂的结合应用提供理论依据和技术支持。

关键词： 半柔性路面; 大孔隙; 抗车辙; 灌浆料; 抗凝冰剂

Application of Semi-Flexible Large Pore Anti-Rutting Asphalt Concrete Combined with Anti-Freezing Asphalt Concrete

Zu Yuanbo, Jiang Qixin, Fan Yunhe, Dai Mingxin, Yu Miao*
Shenyang Institute of Technology, Shenyang, Liaoning 113122

Abstract: With the increasing traffic volume and the increasing axle load of vehicles, the traditional asphalt concrete pavement is faced with serious problems of rutting and cracking. In order to cope with these challenges, semi-flexible asphalt concrete with large pore resistance to rutting came into being. This paper will deeply discuss the research on the combination of semi-flexible large pore anti-rutting asphalt concrete and anticoagulant, including the properties of grouting material, test data, application value, and data and application value of anticoagulant. Through theoretical analysis, numerical simulation and field test, this paper aims to provide theoretical basis and technical support for the combined application of semi-flexible large pore rut-resistant asphalt concrete and anticoagulant.

Keywords: semi-flexible pavement; large pores; rutting resistance; grout material; anticoagulant

引言

随着城市化进程的加速和交通量的不断增加, 对高性能路面的需求也越来越高。半柔性抗车辙沥青混凝土路面与融雪凝冰路面相结合项目能够满足市场对高性能、环保型路面的需求, 具有广阔的应用前景。路面材料的研发和应用是当前科技发展的趋势之一。半柔性抗车辙沥青混凝土路面与融雪凝冰路面相结合项目顺应了这一趋势, 将两种优秀的路面材料相结合, 提高了道路的性能和环保性能, 符合未来道路发展的趋势。政府对于环保、节能减排、科技创新等方面的政策支持也是该项目立项的重要依据。半柔性抗车辙沥青混凝土路面与融雪凝冰路面相结合项目符合政府的相关政策, 有望获得政策支持和资金扶持。该项目经过国内外相关领域专家的论证和推荐, 认为该项目在材料研发、施工工艺、环保性能等方面具有创新性和实用性, 具有良好的市场前景和应用价值。半柔性抗车辙沥青混凝土路面与融雪凝冰路面相结合项目的研发和应用需要具备相应的技术实力和条件。通过技术可行性的分析和验证, 证明了该项目在技术上的可行性和实施的可能性。在我国, 这种结合的应用还处于起步阶段。但是, 随着交通量的不断增加和冬季气候的日益严寒, 对于提高道路使用性能和安全性的需求也越来越迫切。因此, 这种结合的应用将成为未来道路建设的重要方向之一。

一、半柔性大孔隙抗车辙沥青混凝土与抗凝冰沥青混凝土的工艺原理

(一) 半柔性大孔隙抗车辙沥青混凝土

半柔性路面是水泥砂浆填充在沥青混合料内部的孔隙中, 密实-骨架型结构, 刚柔相济的新型路面, 兼具有沥青路面抗裂

能力强、无接缝+水泥混凝土路面刚性大、承载能力强、抗车辙性能好的优点, 超强抗剪切性能, 抗车辙能力是普通沥青路面的5-10倍^[1]。

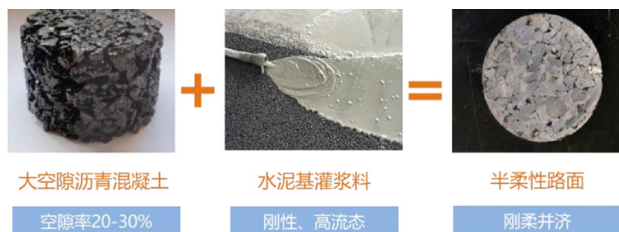
上世纪50年代在欧洲发明并应用, 后续日本、美国及我国也有, 通常用于机场、收费站、停车场、加油站、爬坡路段、交叉口、公交专用道, 抗车辙的处理效果明显。相较于普通路面增加

作者简介: 祖源博: (2004.09-), 男, 汉族, 沈阳工学院道路桥梁与渡河工程专业学生, 主要参与老师进行沥青混凝土以及外加剂的各种试验。

通讯作者: 于淼: (1987.12-), 女, 汉族, 吉林省松原人, 毕业于辽宁工程技术大学桥梁与隧道专业, 硕士研究生, 副教授, 沈阳工学院讲授《土木工程材料》等主干课程, 长期致力于建筑以及道桥新材料的研究。

100元/m²。

其作用机理如图1所示。



> 图1 半柔性大孔隙抗车辙沥青混凝土组成图

（二）抗凝冰沥青混凝土

抗凝冰剂在半柔性大孔隙抗车辙沥青混凝土中的应用方式主要有两种：一种是直接添加到沥青混合料中；另一种是在路面表面喷洒或涂刷。直接添加的方式可以使得抗凝冰剂与沥青混合料充分混合均匀，从而提高路面的整体抗凝冰性能。而喷洒或涂刷的方式则主要适用于已建成的路面改造和维修工程^[2]。

在实际应用中，抗凝冰剂的用量需要根据当地的气候条件、交通流量和路面类型等因素进行综合考虑。一般来说，在寒冷地区或冬季气温较低的地区，需要适当增加抗凝冰剂的用量以提高路面的抗凝冰性能。同时，还需要注意抗凝冰剂与沥青混合料之间的相容性和稳定性问题，以确保路面的整体性能和安全性。

（三）灌浆料的性质

灌浆料是半柔性路面的重要组成部分，其性能直接影响半柔性路面的整体性能。半柔性路面所用的灌浆料主要由水泥、聚合物改性剂和填料等组成，通过科学配比和现代化生产工艺制成。其中，水泥是灌浆料的主要成分，提供硬化后的强度；聚合物改性剂用于改善灌浆料的流动性和粘结性；填料则用于调节灌浆料的稠度和增加其强度。^[3] 这些成分通过科学配比和现代化生产工艺混合均匀，形成具有优异性能的灌浆料。灌浆料具有核-壳结构，将氯盐吸附于多孔材料中，并且表面采用聚合物进行裹覆。这种结构使得灌浆料具有一定的弹性，能够抵抗较大的变形，从而提高沥青胶浆的抗车辙变形能力。同时，盐化物材料呈弱碱性，在酸性石油沥青表面形成的吸附熔化膜，能够有效提升与沥青之间的交互作用，从而增加沥青混合料抗剪强度。

灌浆料的物理力学性能包括强度、流动性、凝结时间等。其中，强度是灌浆料最重要的性能指标之一，它决定了半柔性路面的承载能力和耐久性。流动性则影响灌浆料在沥青混合料中的渗透和填充效果。凝结时间则决定了灌浆料的硬化速度和施工效率。

通过试验测试，我们发现灌浆料具有较高的强度和优异的流动性。在标准条件下，灌浆料的抗压强度可达30MPa以上，抗折强度可达5MPa以上。同时，灌浆料的流动性良好，能够充分渗透到沥青混合料中的空隙中，形成密实的结构。此外，灌浆料的凝结时间适中，能够满足施工要求。

灌浆料的耐久性和稳定性对于半柔性路面的长期性能至关重要。耐久性包括抗疲劳性能、抗老化性能等，它决定了灌浆料在长期使用过程中的性能保持能力。稳定性则包括化学稳定性和热稳定性等，它决定了灌浆料在不同环境下的性能稳定性^[4]。

通过长期试验和观察，我们发现灌浆料具有优异的耐久性和稳定性。在模拟重载交通和恶劣气候条件的试验中，灌浆料表现出良好的抗疲劳性能和抗老化性能。同时，灌浆料在不同温度和湿度条件下均能保持稳定的性能，不会出现明显的性能下降或失效现象^[5]。

（四）试验过程

为了验证半柔性大孔隙抗车辙沥青混凝土与抗凝冰剂相结合的性能，我们进行了多项试验。以下是对试验数据的详细分析。

1. 原材料性能测试

首先，我们对灌浆料和抗凝冰剂的原材料进行了性能测试。测试内容包括水泥的抗压强度、抗折强度、凝结时间等；聚合物改性剂的流动性、粘结性等；填料的粒度分布、含水量等；以及抗凝冰剂的冰点降低值、渗透性、附着性等。测试结果表明，所有原材料均符合相关标准和要求，可以用于制备半柔性大孔隙抗车辙沥青混凝土和抗凝冰剂^[6]。

2. 混合料配合比设计

接下来，我们进行了混合料配合比设计。通过调整灌浆料、沥青混合料和抗凝冰剂的用量比例，我们制备了不同配合比的半柔性大孔隙抗车辙沥青混凝土试件。同时，我们还设置了对照组试件，用于比较不同配合比下的性能差异。

3. 车辙试验

车辙试验是评估路面材料抗车辙性能的重要方法。我们采用轮碾成型机制备了车辙试验试件，并在模拟重载交通条件下进行了车辙试验。试验结果表明，半柔性大孔隙抗车辙沥青混凝土试件的车辙深度明显小于对照组试件，且随着灌浆料用量的增加，车辙深度进一步减小。这说明灌浆料对于提高沥青混凝土的抗车辙性能具有显著作用。

4. 低温弯曲试验

低温弯曲试验是评估路面材料低温抗裂性能的方法。我们采用低温弯曲试验机对试件进行了测试。试验结果表明，半柔性大孔隙抗车辙沥青混凝土试件的低温弯曲破坏应变明显大于对照组试件，且随着抗凝冰剂用量的增加，低温弯曲破坏应变进一步增大。这说明抗凝冰剂对于提高沥青混凝土的低温抗裂性能具有积极作用。

5. 抗凝冰性能试验

为了评估抗凝冰剂对于半柔性大孔隙抗车辙沥青混凝土的抗凝冰性能的影响，我们进行了抗凝冰性能试验。试验结果表明，在相同条件下，添加了抗凝冰剂的试件表面结冰速度明显慢于对照组试件，且冰层厚度也更薄。这说明抗凝冰剂能够显著降低路面的冰点温度，提高路面的抗凝冰性能。

二、半柔性大孔隙抗车辙沥青混凝土与抗凝冰剂的应用价值

（一）提高路面抗车辙性能

半柔性大孔隙抗车辙沥青混凝土通过引入灌浆料和抗凝冰剂，显著提高了路面的抗车辙性能。在重载交通和恶劣气候条件

下，路面能够保持平整和稳定，减少了车辙的产生和扩展。这有助于提高路面的使用寿命和行车安全性。

（二）提高路面抗凝冰性能

抗凝冰剂的加入使得半柔性大孔隙抗车辙沥青混凝土具有优异的抗凝冰性能。在低温条件下，路面能够迅速融化冰雪，减少冰雪对路面的影响。这有助于提高路面的抗滑性能和行车安全性，特别是在冬季和雨雪天气条件下^[7]。

（三）延长路面使用寿命

半柔性大孔隙抗车辙沥青混凝土与抗凝冰剂相结合的应用能够显著延长路面的使用寿命。通过提高路面的抗车辙性能和抗凝冰性能，减少了路面的维修频次和成本。同时，半柔性路面的耐久性和稳定性也较好，能够长期保持优良的性能。

（四）降低施工成本

半柔性大孔隙抗车辙沥青混凝土与抗凝冰剂相结合的应用还能够降低施工成本。由于半柔性路面的施工效率较高，且不需要特殊的施工设备和工艺，因此可以节省施工时间和人力成本。同时，抗凝冰剂的加入也减少了融雪剂的使用量，进一步降低了施工成本。

三、半柔性大孔隙抗车辙沥青混凝土与抗凝冰沥青混凝土的应用场景及施工技术

抗车辙沥青灌浆料广泛应用于高速公路、城市主干道等重载交通道路。在这些场景中，它能够快速修复车辙病害，恢复路面平整度，提高行车舒适度和安全性。此外，它还可以用于飞机跑道、停车场等需要承受重载和快速行车的场所。

抗车辙沥青灌浆料的施工技术主要包括以下几个步骤：

- 表面处理：清理原路面表面的杂物和污物，确保干净整洁。
- 灌浆材料制取：按照设计配比，将沥青、矿物材料和添加剂混合均匀，制备成灌浆材料。
- 注浆：将制备好的灌浆材料注入到车辙病害部位，确保填充密实。
- 压实：采用合适的压实设备，对注浆后的路面进行压实处理，确保灌浆材料与原路面紧密结合。

抗凝冰沥青混凝土路面广泛应用于冬季易结冰的路段，特别是靠湖临河、背阴路段、隧道进出口、桥梁涵洞以及长大纵坡等地。这些路段在冬季容易结冰，给行车带来极大的安全隐患。使用抗凝冰沥青混凝土路面可以有效减少路面结冰，提高道路的安全性和通行效率^[8]。

抗凝冰沥青混凝土路面的工作原理主要基于降低水的冰点。通过添加特殊的抗凝冰剂，如盐类或醇类物质，这些物质可以与水分子发生作用，从而降低水的冰点。在低温条件下，路面上的水分不易结冰，从而保持路面的通行能力^[9]。

施工技术方面，抗凝冰沥青混凝土路面的施工与普通沥青混凝土路面相似，但需要注意以下几点：

- 材料准备：确保抗凝冰改性剂的质量符合要求，并按照设

计配比与沥青混合料混合均匀。

- 温度控制：在施工过程中，要严格控制沥青混合料的拌合温度和摊铺温度，确保材料性能的稳定。

- 压实工艺：采用合适的压实设备和工艺，确保抗凝冰沥青混凝土路面与原路面紧密结合，达到良好的密实度和平整度。

四、半柔性大孔隙抗车辙沥青混凝土与抗凝冰沥青混凝土的应用优势及面临挑战

将抗车辙沥青混凝土路面灌浆料与抗凝冰沥青混凝土路面相结合使用，可以充分发挥两者的优势，提高路面的整体性能和使用寿命。具体优势包括：

- 提高路面抗车辙能力：抗车辙沥青灌浆料能够有效抵抗车轮荷载作用下的变形，延长路面的使用寿命。
- 防止路面结冰：抗凝冰沥青混凝土路面在低温环境下能够保持良好的通行条件，有效防止或减少路面结冰，提高道路的安全性和通行效率^[10]。
- 降低维护成本：结合使用这两种材料可以减少路面的病害发生频率，降低维护成本。
- 提高道路服务水平：良好的路面性能可以提高行车舒适度和安全性，提升道路的服务水平。

尽管结合使用抗车辙沥青混凝土路面灌浆料与抗凝冰沥青混凝土路面具有诸多优势，但在实际应用中 also 面临一些挑战。主要包括：

- 材料相容性问题：抗车辙沥青灌浆料和抗凝冰沥青混凝土路面可能因材料成分和改性剂的不同而存在相容性问题。为解决这一问题，需要在施工前进行充分的试验和验证，确保两种材料的相容性。
- 施工工艺复杂：结合使用这两种材料需要更加精细的施工工艺和控制措施。为确保施工质量，需要加强对施工人员的培训和管理，确保各项施工参数符合设计要求。
- 成本问题：虽然结合使用这两种材料可以提高路面的性能和使用寿命，但也会增加施工成本。为降低成本，可以优化材料配比和施工工艺，提高施工效率和质量。

五、结语

通过对半柔性大孔隙抗车辙沥青混凝土的研究与应用进行了深入探讨和分析。研究表明，半柔性大孔隙抗车辙沥青混凝土具有优异的抗车辙性能、高温稳定性和耐久性等特点，在重载交通、长大纵坡路段、城市道路交叉口等场所具有广泛的应用价值。同时，通过在半柔性路面中添加抗凝冰剂，能够进一步提高路面的抗冰雪性能和行车安全性。抗车辙沥青混凝土路面灌浆料与抗凝冰沥青混凝土路面的结合应用为解决道路车辙和冬季结冰问题提供了一种有效的解决方案。通过充分发挥两者的优势，可以提高路面的整体性能和使用寿命，降低维护成本，提高道路服务水平。然而，在实际应用中也需要关注材料相容性、施工工艺

和成本等问题。未来，随着新材料和新技术的不断涌现，我们可以期待更加高效、环保、经济的解决方案的出现，为道路交通的可持续发展做出更大的贡献。

在未来的研究中，可以进一步探索抗车辙与抗凝冰材料的改性技术和施工工艺的优化方法，以提高材料的性能和施工效率。

同时，还可以加强对路面病害的监测和预警技术的研究，及时发现并处理路面病害，延长路面的使用寿命。此外，还可以考虑将智能感知和大数据技术应用于路面管理中，实现对路面性能的实时监测和智能预警，提高道路管理的科学性和精准性。

参考文献

- [1] 赵世豪，半柔性抗车辙路面施工技术研究 [J]. 交通世界 .2023 年 32 期。
- [2] 周庆月，管鑫，上海奉贤典型半柔性路段路用性能研究 [J]. 上海公路 .2023 年 01 期。
- [3] 孙宇，乔俊，罗望群，邓文杰，刘斌，孙大权，灌注式半柔性路面研究进展 (3)——铺装结构及施工技术 [J]. 石油沥青 .2023 年 01 期。
- [4] 牟长江，程凯，刘瑞，贾恩达，孙浩；牛腾，卢晓磊，杜鹏，叶正茂，半柔性路面用水泥基灌浆材料的矿物掺合料协同优化研究 [J]. 硅酸盐通报 .2022 年 03 期。
- [5] 谭建军，邓松，龚明辉，丁千宁，熊子佳，吴文超，半柔性路面在市政道路车辙处治工程中的应用研究 [J]. 中国市政工程 .2021 年 03 期。
- [6] 李源渊，孙建勇，宋晓燕，不同类型沥青混凝土低温施工应用研究 [J]. 公路交通技术 .2020 年 01 期。
- [7] 王斌，李自齐，融冰雪相变材料对沥青混合料性能的影响 [J]. 兰州工业学院学报 .2021 年 01 期。
- [8] 孟勇军，零立山，赵启雄，卢祖标，覃鹏飞，抗凝冰微表处路用性能及抗凝冰效果试验分析 [J]. 科学技术与工程 .2021 年 07 期。
- [9] 张争奇，强亚奎，张世豪，王东，赵富强，沥青路面超疏水抗凝冰涂层设计及性能 [J]. 材料导报 .2021 年 10 期。
- [10] 高建清，融雪剂盐冻侵蚀作用对沥青混合料性能影响及劣化机理研究 [J]. 新型建筑材料 .2019 年 12 期。