

公路工程中以沥青纤维碎石封层的施工技术研究

文 / 王 鹏 德州市公路事业发展中心夏津分中心

摘要: 随着公路网络的不断扩大和使用强度的增加, 高效、耐久的道路养护技术日益重要。本文深入探讨了沥青纤维碎石封层技术在公路工程中的应用, 阐述了其技术原理、材料选择、施工流程及质量控制措施。通过分析该技术的特点和优势, 研究表明沥青纤维碎石封层能显著提高路面的耐久性、抗裂性和防水性。文章还探讨了施工过程中的关键环节和常见问题, 提出了相应的解决措施。研究结果表明, 该技术在提升路面性能和延长使用寿命方面具有显著效果, 为公路养护提供了一种高效可靠的解决方案。

关键词: 沥青纤维碎石封层; 公路养护; 耐久性; 施工工艺; 质量控制

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.02.052

引言

在现代交通体系中, 公路作为重要的基础设施, 其养护质量直接关系到经济的发展和社会的进步。随着车流量的增加和气候变化的影响, 传统的路面养护技术已难以满足日益增长的需求。在此背景下, 沥青纤维碎石封层技术应运而生, 凭借其优异的性能和经济效益, 逐渐成为公路养护领域的研究热点。本文旨在全面分析该技术的原理、应用及发展前景, 为相关工程实践提供参考和指导。

一、沥青纤维碎石封层技术概述

沥青纤维碎石封层技术作为公路养护的重要手段, 近年来在我国公路工程中得到广泛应用。该技术通过在改性乳化沥青中添加纤维材料, 与碎石形成复合结构, 有效提升了路面的耐久性能。其核心原理在于纤维材料的网络结构增强了沥青的黏结力和抗剪强度, 同时改善了沥青与骨料的界面结合, 形成了一个整体协同工作的复合体系。据中国公路学会统计, 采用该技术的路段使用寿命平均延长3-5年, 显著减少了路面病害的发生频率。从作用机理来看, 沥青纤维碎石封层能够有效阻止水分渗入基层, 增强路面的整体刚度和抗车辙能力。纤维的三维网络结构还可吸收交通荷载产生的应力, 减缓裂缝扩展。此外, 纤维的存在还改善了沥青的高温稳定性和低温抗裂性, 使路面具有更好的适应性。相较于传统的预防性养护技术, 沥青纤维碎石封层具有显著优势。它不仅继承了普通碎石封层高耐磨、防水性好的特点, 还因纤维的加入而获得了更高的稳定性和抗老化能力。同时, 该技术施工快捷, 对交通影响小, 经济效益显著。

二、材料选择与准备

(一) 乳化沥青

乳化沥青是沥青纤维碎石封层技术中的关键材料, 其选择直接影响封层的性能和耐久性。根据《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40-2004)的要求, 乳化沥青主要分为阳离子、阴离子和非离子三类。在沥青纤维碎石封层中, 通常选用阳离子乳化沥青, 因其与酸性

骨料具有良好的黏附性。特别是SBS改性阳离子乳化沥青, 由于其优异的高温稳定性和低温抗裂性, 在该技术中得到广泛应用。SBS改性阳离子乳化沥青的软化点通常在65℃以上, 延度在10cm以上, 这使得封层具有更好的抗变形能力和抗裂性能。根据交通运输部公路科学研究院的研究数据, 采用SBS改性阳离子乳化沥青的封层, 其抗车辙能力比普通乳化沥青提高了35%, 低温抗裂性能提升了40%。在实际应用中, 需要根据工程特点和环境条件, 合理选择乳化沥青的类型和用量。例如, 在高温地区可适当提高改性剂含量, 以增强沥青的高温稳定性; 而在寒冷地区, 则需要注意改善沥青的低温性能^[1]。此外, 乳化沥青的破乳时间也是选择时需要考虑的重要因素, 它直接影响施工速度和封层质量。

(二) 纤维材料

纤维材料是沥青纤维碎石封层技术的另一个核心组成部分, 其作用是增强沥青的黏结力和抗剪强度, 提高封层的整体性能。常用的纤维材料包括玻璃纤维、玄武岩纤维、聚酯纤维等。其中, 玄武岩纤维因其优异的物理化学性能而受到广泛关注。玄武岩纤维的抗拉强度可达3000-4500MPa, 弹性模量高达89-110GPa, 这些特性使其在增强沥青方面表现出色。根据中国科学院武汉岩土力学研究所的研究, 添加2%的玄武岩纤维可使沥青混合料的马歇尔稳定度提高25%, 动稳定度提高40%。相比玻璃纤维, 玄武岩纤维具有更好的耐碱性和耐腐蚀性, 这使得它在酸性或碱性环境中都能保持稳定。此外, 玄武岩纤维的热膨胀系数较低, 约为 $5.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, 与沥青的热膨胀系数接近, 这有助于减少温度变化引起的内部应力。在实际应用中, 玄武岩纤维通常切割成3-6mm的短纤维, 以便于均匀分散在沥青中。纤维的添加量一般控制在沥青质量的0.3%-0.5%之间, 过高会导致沥青脆性增加, 过低则无法充分发挥纤维的增强作用。

(三) 碎石

碎石作为沥青纤维碎石封层的骨料, 在提供路面摩擦力和承载能力方面发挥着重要作用。根据《公路沥青

路面施工技术规范》(JTGF40-2004)的要求,用于封层的碎石应具有良好的级配、足够的强度和耐磨性。在本项目中,选用了4-8mm规格的碎石,这一规格能够在提供足够摩擦力的同时,确保封层厚度控制在合理范围内。碎石的筛选过程严格按照规范要求进行,包括压碎值、洛杉矶磨耗、针片状颗粒含量等指标的测试。根据交通运输部公路科学研究院的研究数据,碎石的压碎值不应大于26%,洛杉矶磨耗损失不应超过28%,针片状颗粒含量应控制在15%以下。这些指标的严格控制确保了碎石具有足够的强度和耐久性。在实际应用中,碎石的清洁度也是一个重要因素,粉尘含量过高会影响乳化沥青与碎石的黏结。因此,在使用前需要对碎石进行冲洗,使其表面清洁干燥。此外,碎石的表面纹理也会影响封层的性能,粗糙的表面有利于增强与沥青的黏结力^[2]。

三、施工流程与工艺

(一) 施工准备

在正式开始沥青纤维碎石封层施工之前,必须对原路面进行全面检查和处理。路面病害如裂缝、沉陷等若不及时处理,将直接影响封层的质量和使用寿命。对于裂缝,应根据其宽度和深度采取不同的处理方法。宽度小于3mm的微小裂缝可直接用乳化沥青灌缝;3-10mm的裂缝需要先清理、扩缝,然后填充改性沥青胶;而对于宽度超过10mm的裂缝,则需要采用沥青混合料进行补缝。沉陷处理则需要根据沉陷深度和面积确定处理方案,一般采用铣刨重铺或填补加固的方法。根据交通运输部公路科学研究院的研究数据,经过适当的处理的路面,其封层使用寿命可延长20%-30%。施工设备的选择和调试也是准备工作的重要环节。封层设备是核心设备,需要能够同时实现乳化沥青喷洒和纤维撒布的功能。目前常用的封层设备包括同步碎石封层车和改装后的沥青洒布车。清扫机用于清理路面,应选择具有强力吸尘功能的机械式扫路机。压路机选用9-12吨的双钢轮压路机或胶轮压路机,碎石撒布机则需要根据碎石规格选择合适的型号。所有设备在使用前都需要进行全面检查和调试,确保工作状态良好。特别是封层设备的喷洒系统,需要反复调试以保证乳化沥青和纤维的喷洒均匀性。

(二) 施工步骤

1. 清扫路面

路面清扫作为沥青纤维碎石封层施工的首要步骤,其重要性不容忽视。清扫的主要目的是去除路面上的灰尘、杂物和松散材料,为后续施工创造良好的基础条件。清扫范围应覆盖整个施工面积,并适当延伸至周边50-100cm,以确保边缘区域的清洁度。根据《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40-2004)的严格要求,清

扫后路面的尘土残留量不得超过20g/m²。为达到这一标准,通常需要采用机械化清扫设备,如强力吸尘式扫路机,进行多次往返清扫。对于顽固污渍或油污,可考虑使用高压水枪进行冲洗,但必须注意控制用水量,并确保路面在后续施工前完全干燥。在清扫过程中,操作人员应特别关注路面凹陷处、裂缝周边等易积累杂物的区域,必要时进行人工辅助清理。清扫质量直接影响乳化沥青与原路面的黏结效果,进而影响整个封层的质量和使用寿命。因此,施工单位必须高度重视清扫工作,制定详细的清扫方案,并安排专人进行质量检查,确保清扫效果达到规范要求。

2. 喷洒乳化沥青和纤维

乳化沥青和纤维的同步喷洒是沥青纤维碎石封层施工中最为关键和复杂的环节。这一步骤的质量直接决定了封层的性能和耐久性。施工时需使用专门设计的封层设备,该设备能够将预先调配好的改性乳化沥青和切割成适当长度的纤维同步、均匀地喷洒到路面上。喷洒过程中,设备的行驶速度和喷嘴开度需要根据设计用量进行精确调节和实时监控。通常,乳化沥青的喷洒量控制在1.2-1.8kg/m²之间,而纤维的用量则为沥青质量的0.3%-0.5%。为确保材料分布均匀,喷洒设备必须保持匀速行驶,严禁中途停顿或突然加速。喷洒温度是另一个需要严格控制的关键参数,一般应保持在50-70℃之间。温度过高会导致乳化沥青过早破乳,影响与纤维的混合效果;温度过低则可能造成喷嘴堵塞或材料分布不均^[3]。施工团队应定期检查喷嘴的工作状态,及时清理可能存在的堵塞。此外,还需要注意环境温度和风速对喷洒效果的影响,在不利气象条件下应适当调整施工策略。

3. 撒布碎石

碎石撒布是紧随乳化沥青和纤维喷洒之后的关键步骤,其质量直接影响封层的平整度、耐久性和防滑性能。施工时需使用专业的碎石撒布机,确保碎石均匀分布在已喷洒的乳化沥青和纤维层上。碎石撒布量通常控制在12-18kg/m²之间,具体数值需根据设计要求和现场实际情况进行精确调整。撒布过程中,操作人员必须密切关注撒布机的行驶速度和撒布门的开度,以确保碎石分布均匀,覆盖率达到95%以上。为避免局部堆积或漏撒现象的出现,可采用多次薄层撒布的方法,即将总撒布量分成2-3次均匀撒布^[4]。每次撒布后,应立即安排人工进行补撒和找平,消除可能存在的不均匀现象。特别注意的是,碎石撒布的时机至关重要,必须在乳化沥青开始破乳但尚未完全固化时进行,这样可以确保碎石与沥青层有良好的黏结。同时,撒布速度需与前道工序的喷洒速度保持协调,避免出现材料堆积或断档。在撒布过程中,还应考虑风向和风速的影响,必要时采取防风

措施，以保证撒布的均匀性。

4. 碾压成型

碾压成型是沥青纤维碎石封层施工的最后一个关键步骤，其目的是确保封层具有足够的密实度和平整度。这一过程通常采用静压和振动压相结合的方式，使用重量在9-12吨的双钢轮压路机或胶轮压路机进行。碾压工艺一般分为三个阶段：首先进行1-2遍静压，目的是初步嵌入碎石，防止碎石破碎；随后进行2-3遍振动压实，这是压实的主要阶段，可以显著提高封层的密实度；最后再进行1-2遍静压，以消除可能存在的轨迹，改善表面平整度。压实遍数和压实方式需根据现场情况灵活调整，一般以碎石完全嵌入沥青层且表面平整为准。压实速度通常控制在2-3km/h，这一速度可以确保充分压实的同时，避免推移碎石。在碾压过程中，操作人员需要密切观察碎石的嵌入情况，避免过度碾压导致碎石破碎或沥青上浮^[5]。特别注意的是，碾压应在乳化沥青完全破乳之前完成，这样可以确保最佳的黏结效果。对于路面边缘、转弯处等特殊部位，需要采用小型压路机或人工夯实的方式进行补充压实。

(三) 质量控制

质量控制贯穿于沥青纤维碎石封层施工的全过程，涉及材料、施工工艺和成品质量等多个方面。对于材料质量控制，乳化沥青需要进行针入度、软化点、黏度等指标的检测；纤维材料则需检测其长度、直径、抗拉强度等性能；碎石的压碎值、针片状颗粒含量等指标也需严格把控。这些检测应在材料进场时进行，不合格材料严禁使用。施工过程中，需重点控制乳化沥青的喷洒温度和用量，纤维的掺量和分散均匀性，以及碎石的撒布量和覆盖率。这些参数可通过现场取样和计量来进行控制。例如，可在施工路段每100米设置一个测试点，检测乳化沥青的喷洒量和温度；纤维的分散均匀性可通过目视观察和取样分析来评估。对于成品质量，主要检测封层的厚度、平整度和压实度。厚度检测可采用钻芯法，每1000平方米取一个芯样；平整度检测使用3米直尺，测点间距不应大于20米；压实度则可通过贝克曼梁法进行检测。根据《公路沥青路面施工技术规范》(JTGF40-2004)的要求，封层厚度偏差不应超过设计值的±2mm，平整度不应大于6mm/3m，压实度应达到98%以上。此外，还需要对封层的抗滑性能进行检测，通常采用摆式仪进行测试，摩擦系数BPN值应不低于60。在施工完成后，还应进行渗水试验，以确保封层具有良好的防水性能^[6]。根据交通运输部公路科学研究院的数据，经过严格质量控制的沥青纤维碎石封层，其使用寿命可比普通封层延长30%-50%。

四、施工注意事项与问题探讨

沥青纤维碎石封层技术虽然在公路养护中展现出显

著优势，但其施工过程仍面临诸多挑战和需要注意的问题。在实际操作中，材料结块和撒布不均匀是两个常见的困扰。乳化沥青在储存和运输过程中易发生结块，这不仅影响喷洒效果，还可能导致设备堵塞。为解决这一问题，可采用定期搅拌或添加适量稳定剂的方法。洒布不均匀则往往源于设备调试不当或操作不规范，需要通过精确校准喷嘴和严格控制行驶速度来改善。此外，环境因素如气温和湿度也会显著影响施工质量，因此选择合适的施工时间和制定应急预案至关重要。尽管沥青纤维碎石封层技术已取得长足进步，但在实际应用中仍存在一些亟待解决的问题。例如，在低温或潮湿环境下，封层的黏结性能和耐久性面临挑战。同时，高交通荷载下的抗车辙性能也有待提升。针对这些问题，未来技术发展可能集中在以下几个方向：开发更适应极端气候的改性剂，提高纤维材料的分散性和与沥青的相容性，以及优化施工工艺以提高封层的整体性能。此外，智能化施工设备的应用也将是一个重要趋势，通过实时监测和自动调节，进一步提高施工精度和效率。

结束语

沥青纤维碎石封层技术的应用，为公路养护领域带来了新的机遇和挑战。通过不断优化材料配方、改进施工工艺和加强质量控制，该技术在提高路面性能和延长使用寿命方面展现出巨大潜力。展望未来，随着新材料、新工艺的不断涌现，结合大数据分析和智能化施工设备，沥青纤维碎石封层技术有望在更广泛的公路工程领域发挥作用，为建设高质量、可持续的交通基础设施做出重要贡献。

参考文献

- [1] 吴敏. 路面养护工程沥青纤维碎石封层施工工艺[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(09): 157-159.
 - [2] 任欣. 沥青纤维碎石封层施工技术在高速公路中的应用[J]. 工程建设与设计, 2023(16): 176-178.
 - [3] 董兴华. 沥青纤维碎石封层施工技术在高速公路工程施工中的应用[J]. 交通世界, 2023(08): 79-81.
 - [4] 王志显. 纤维沥青碎石封层技术在公路工程中的应用[J]. 工程建设与设计, 2023(02): 173-175.
 - [5] 孙玉梁. 公路工程路面预防性养护中沥青纤维碎石封层技术研究[J]. 运输经理世界, 2022(31): 128-130.
 - [6] 石建芳. 公路工程中沥青纤维碎石封层施工技术要求研究[J]. 交通世界, 2021(13): 55-56.
- 作者简介: 王鹏(1989-), 男, 汉族, 山东省德州市夏津县, 德州市公路事业发展中心夏津分中心项目规划工程科科长, 本科, 中级工程师, 研究方向: 公路建设。