

Study on sealing performance of crack filling material in asphalt pavement under low temperature environment

Yifeng Jiang

Chengde Highway Maintenance Development Center, Chengde, Hebei, 067000, China

Abstract

This study investigates the preservation of sealing performance of crack-filling materials in asphalt pavement under low-temperature conditions. Through experimental verification, factors affecting the sealing performance of crack-filling materials were identified, and effective improvement strategies were proposed. The orthogonal experimental design selected different modifier concentrations as variables to systematically analyze the impacts of material composition, construction techniques, environmental factors, material aging, and crack characteristics on low-temperature performance. Results demonstrate that optimizing material formulations, adopting advanced modification technologies, strictly controlling construction processes, selecting high-quality raw materials, and enhancing anti-aging properties are key to improving low-temperature sealing performance. Experimental data further confirm the superiority of optimized formulations in low-temperature tensile tests, cold tension-heat compression cycles, and low-temperature crack resistance tests, providing a scientific basis for selecting and applying crack-filling materials in road repair projects in cold regions.

Keywords

asphalt pavement; crack filling material; low temperature sealing performance; experimental verification; modification technology

沥青路面裂缝灌缝材料在低温环境下密封性能保持研究

姜屹峰

承德市公路养护事业发展中心, 中国·河北 承德 067000

摘要

本文研究了沥青路面裂缝灌缝材料在低温环境下的密封性能保持问题, 通过实验验证了影响灌缝材料密封性能的因素, 并提出了提升性能的有效路径。实验采用正交试验设计, 选取不同改性剂掺量作为变量, 系统分析了材料组成、施工工艺、环境因素、材料老化和裂缝特性对灌缝材料低温性能的影响。结果表明, 优化材料配方、采用先进改性技术、严格控制施工工艺、选用高质量原材料以及增强抗老化性能是提升灌缝材料低温密封性能的关键。实验数据进一步证实了优化配方在低温拉伸、冷拉热压循环和低温抗裂性试验中的优越性, 为寒冷地区道路裂缝修复材料的选择与应用提供了科学依据。

关键词

沥青路面; 裂缝灌缝材料; 低温密封性能; 实验验证; 改性技术

1 引言

在寒冷地区, 沥青路面裂缝的修复面临着低温环境的严峻挑战。低温条件下, 灌缝材料的柔韧性、粘结性和抗老化性能显著下降, 直接影响裂缝的修复效果和道路的使用寿命。因此, 深入研究灌缝材料在低温环境下的密封性能及其提升路径具有重要的现实意义。通过优化材料配方、改进施工工艺和增强材料性能, 可以有效改善灌缝材料在低温条件下的密封性能, 为寒冷地区道路的维护和修复提供科学指导。

2 低温环境下灌缝材料密封性能的影响因素

2.1 材料组成成分的影响

灌缝材料的组成成分是决定其在低温环境下密封性能的关键因素。传统的灌缝胶主要由基质沥青和聚合物弹性体组成, 聚合物弹性体赋予灌缝胶良好的变形能力, 使其能够适应因温差变化而产生的裂缝宽度变化。然而, 在低温环境下, 灌缝胶的柔韧性会显著降低, 导致其与裂缝壁的黏结强度减弱, 进而影响密封性能。为了改善这一问题, 研究人员通过添加特定的改性剂, 如 SBS、FEO、CR 和 OMMT 等, 来提高灌缝胶的低温柔韧性和抗裂性。这些改性剂能够显著提升灌缝胶在低温条件下的延度和拉伸性能, 从而增强其密封性能。

2.2 施工工艺的影响

施工工艺对灌缝材料的密封性能也有重要影响。灌缝胶的短期老化是指在施工过程中, 灌缝胶经历的短期高温热

【作者简介】姜屹峰(1982-), 男, 满族, 中国河北承德人, 本科, 工程师, 从事公路工程与养护研究。

氧老化,这一过程会影响其性能。研究表明,灌缝胶的综合性能并非随短期老化温度的上升而线性降低,而是受到黏结力、模量的综合作用。因此,在施工时,合理控制施工温度和时间至关重要。例如,160℃制样、老化的灌缝胶直到老化12小时其伸长率才出现一定的降低,而200℃、220℃下制样、老化的灌缝胶则在加热3小时后即出现了伸长率的显著降低。此外,采用加热设备或预热工艺,提高施工环境温度,可以辅助灌缝胶达到理想的施工状态,保证材料性能的发挥。

2.3 环境因素的影响

低温环境对灌缝材料的物理特性有着显著且多方面的影响。当温度降低时,灌缝胶内部的分子运动速度变慢,这使得材料整体的柔韧性和延展性大打折扣,变得更为刚硬和脆弱,极易出现开裂的情况。这种物理状态的改变直接导致灌缝胶在低温条件下难以适应裂缝的微小变形,无法有效填补裂缝,从而降低了其密封性能。此外,低温还会对灌缝胶的粘结性能产生负面影响,使其与裂缝边缘的附着力减弱,难以牢固地黏附在裂缝壁上,进而影响裂缝的修复效果和道路的整体性能。与此同时,温度的降低还会延长灌缝胶的固化时间,这不仅限制了施工的效率,还增加了施工的难度和成本,给道路维修工作带来了诸多不便。为了有效应对这些由低温环境引发的不利影响,研究人员致力于通过引入具有低温柔性的材料以及优化配方来提升灌缝胶的性能。通过添加特定的改性剂,如纳米材料、橡胶粉等,可以显著提高灌缝胶在低温条件下的柔韧性和延展性,使其能够更好地适应裂缝的变形。

2.4 材料老化的影响

灌缝材料的老化是影响其长期密封性能的重要因素。在低温环境下,灌缝胶的老化过程会加速,导致其性能逐渐下降。老化后的灌缝胶在低温拉伸性能上表现出复杂的变化规律,不同老化温度和时间下,灌缝胶的性能差异明显。例如,160℃制样、老化的灌缝胶直到老化12小时其伸长率才出现一定的降低,而200℃、220℃下制样、老化的灌缝胶则在加热3小时后即出现了伸长率的显著降低。因此,研究灌缝胶的老化规律,对于优化材料配方和施工工艺具有重要意义。

2.5 裂缝特性的影响

裂缝的特性,包括其宽度、深度、形状以及变形规律,对灌缝材料的密封性能有着重要的影响。在低温环境下,裂缝的变形规律对灌缝材料的性能提出了更高的要求。裂缝的宽度和深度决定了灌缝材料需要填充的体积和厚度,而裂缝的形状则影响材料在裂缝中的分布和附着效果。例如,裂缝如果较宽且较深,灌缝材料需要具备良好的流动性和填充性能,以确保能够完全填满裂缝;而裂缝如果较为细长或形状不规则,则对材料的柔韧性和附着力提出了更高的要求。在低温条件下,裂缝的变形规律尤为关键。低温环境下,沥青

路面的脆性增加,裂缝在温度变化和交通荷载的作用下更容易发生变形。吉林省裂缝的变形规律调查表明,低温破坏应变标准值取为150%,这意味着灌缝材料需要具备足够的弹性来适应裂缝的变形。因此,灌缝材料的低温破坏应变是衡量其低温性能的重要指标,对于确保裂缝修复效果具有重要意义。如果灌缝材料的低温破坏应变低于这一标准值,裂缝在低温条件下可能会再次开裂,导致修复失败。此外,裂缝的形状也会影响灌缝材料的密封性能。

3 提升灌缝材料低温密封性能的路径

3.1 优化材料配方

优化灌缝材料的配方是提升其低温密封性能的重要途径。通过调整材料的组成成分,可以显著改善灌缝材料在低温环境下的柔韧性、粘结性和抗老化性能。例如,采用SBS(苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物)与废旧橡胶粉复合改性是加热型灌缝胶的主要研究方向。研究表明,通过添加适量的SBS、橡胶粉、增塑剂和矿粉等成分,可以制备出性能优良的灌缝材料。这种复合改性方法不仅提升了灌缝材料的低温性能,还有效降低了生产成本,同时实现了废旧资源的再利用,具有显著的经济和环境效益。此外,采用丙烯酸酯改性环氧树脂灌缝胶,能够显著提升灌缝胶的低温渗透性和快速固化性能。丙烯酸酯的引入改善了环氧树脂的柔韧性和低温延展性,使其在低温条件下仍能保持良好的密封和防水性能。这种改性方法特别适用于寒冷地区,能够有效防止水分和空气通过裂缝侵入路面结构,从而延长道路的使用寿命。

3.2 采用先进的改性技术

先进的改性技术能够有效提升灌缝材料的低温性能。通过增塑剂和增粘剂的协同作用,可以显著增强灌缝材料的低温性能和长期塑性。例如,研究发现,超耐低温增塑剂SDL-406与其他助剂,能够显著提高材料在极寒条件下的柔韧性和机械性能。这种协同效应不仅提升了材料的耐低温性能,还延长了其使用寿命。此外,采用高温熔融共混技术是确保灌缝材料性能均匀性和稳定性的关键。该技术通过在高温熔融状态下充分混合各种成分,形成稳定的胶体结构,从而提高灌缝胶的弹性和耐久性。这种技术能够有效避免材料在混合过程中出现的不均匀现象,确保各成分在微观层面充分融合,从而提升材料的整体性能。同时,利用纳米材料进行改性也是提升灌缝材料低温性能的重要手段。

3.3 严格控制施工工艺

施工工艺的精细控制对灌缝材料的低温密封性能至关重要。在施工过程中,严格控制灌缝材料的加热温度和时间是确保其性能的关键。过高的温度可能导致灌缝胶烧焦并降低其弹性,而过低的温度则可能影响其流动性和填充效果。此外,在灌缝前对裂缝壁及其两侧路面进行充分加热,能够提高灌缝材料与裂缝壁的粘结效果。同时,合理控制灌缝速度和压力,确保材料均匀、流畅地填充整个裂缝,避免出现空洞、气泡或材料溢出等情况。

3.4 选用高质量原材料

选用高质量的原材料是提升灌缝材料低温密封性能的基础。高质量的沥青基材是灌缝胶的核心成分，其性能直接影响灌缝材料的粘附性和耐久性。优质的沥青基材能够在低温环境下保持良好的柔韧性和粘结力，从而确保灌缝胶与裂缝壁的紧密结合，有效防止水分和空气的侵入。同时，选用环保型添加剂，如废轮胎橡胶粉等，不仅能显著提升灌缝材料的弹性恢复性能，还能在降低成本的同时减少对环境的影响。废轮胎橡胶粉作为一种可再生资源，具有良好的弹性和耐磨性，能够显著提高灌缝材料的低温性能和抗老化能力。

3.5 增强材料的抗老化性能

灌缝材料的老化是影响其长期密封性能的重要因素。老化过程会导致材料性能的显著下降，如柔韧性降低、粘结力减弱以及弹性恢复能力变差，从而缩短其使用寿命。为了有效提升灌缝材料的抗老化性能，研究人员采取了多种方法。通过添加抗老化剂和抗氧化剂，可以显著增强灌缝材料的抗老化能力。例如，采用液体丁腈橡胶、SBS和胶粉复合改性沥青制备灌缝胶，能够显著提高其抗老化性能和低温性能。这种复合改性方法通过多种材料的协同作用，优化了灌缝胶的微观结构，使其在高温、紫外线和雨水等复杂环境条件下仍能保持良好的性能。

4 灌缝材料低温密封性能的实验验证

4.1 实验设计与方法

为了验证灌缝材料在低温环境下的密封性能，实验设计需综合考虑多种因素。实验采用正交试验设计，选取FEO、CR和OMMT掺量作为影响因素，设计三因素三水平的正交试验方案，研究各因素对灌缝胶性能的影响。通过这种设计，可以系统地分析不同配方对灌缝材料低温性能的影响，从而确定最佳配合比。同时，实验还参考了民用机场水泥混凝土道面接缝材料应用技术规范中的测试方法，确保实验结果的科学性和可靠性。

4.2 低温拉伸试验

低温拉伸试验是验证灌缝材料低温密封性能的关键环节。实验中，将试件在规定的低温条件下保温不少于4小时，然后在拉伸试验机上以100mm/h的速度拉伸试件，记录拉力及位移。通过计算破坏应变，可以评估灌缝材料在低温条件下的柔韧性和抗裂性。实验结果表明，不同配方的灌缝材料在低温下的拉伸性能存在显著差异，这为优化材料配方提供了重要依据。

4.3 冷拉热压循环试验

冷拉热压循环试验用于模拟灌缝材料在实际使用过程

中可能经历的温度变化。实验中，试件在低温装置内放置3小时后进行拉伸试验，随后在干燥箱内放置3小时进行压缩试验，重复多次循环。通过这种循环试验，可以评估灌缝材料在反复温度变化下的性能稳定性。实验结果表明，经过冷拉热压循环后，灌缝材料的拉伸强度损失率是衡量其性能的重要指标，而优化配方可以显著降低这一损失率。

4.4 低温抗裂性试验

低温抗裂性试验用于评估灌缝材料在极端低温条件下的抗裂性能。实验中，将试件在低温环境箱中存放一定时间后，绕圆棒弯曲，检查试件是否存在开裂、分层或粘附性失效等现象。实验结果表明，不同配方的灌缝材料在低温下的抗裂性能存在明显差异，通过添加特定的改性剂，如OMMT，可以显著提高灌缝材料的低温抗裂性。

4.5 实验数据分析与结果

实验数据分析是验证灌缝材料低温密封性能的重要环节。通过对实验数据的统计分析，可以得出不同配方对灌缝材料低温性能的影响规律。例如，实验结果表明，CR的加入可以提高灌缝胶的弹性恢复和黏度，显著改善其高温稳定性；而FEO的加入则直接影响了灌缝胶的低温延度和低温拉伸性能。此外，OMMT的加入能够显著提高灌缝胶的抗老化性能。通过综合分析实验数据，可以确定灌缝材料的最佳配方，从而为实际工程应用提供科学依据。

5 结语

通过对灌缝材料在低温环境下的密封性能进行系统研究，明确了材料组成、施工工艺、环境因素、材料老化和裂缝特性对密封性能的影响规律，并提出了相应的优化路径。实验结果表明，通过合理调整材料配方、采用先进改性技术和严格控制施工工艺，可以显著提升灌缝材料的低温密封性能。这些研究成果不仅为寒冷地区沥青路面裂缝修复提供了科学依据，也为未来相关材料的研发和应用指明了方向。未来，应进一步探索新型改性剂和复合材料的应用，以满足更严苛的低温环境需求，推动道路工程材料技术。

参考文献

- [1] 王伟. 沥青路面裂缝灌缝材料低温性能研究[J]. 道路工程, 2022, 45(3): 45-50.
- [2] 李敏. 灌缝材料低温密封性能实验方法与分析[J]. 建筑材料学报, 2023, 26(2): 110-116.
- [3] 韦慧, 张虎. 沥青路面低温型灌缝胶制备及性能研究[J]. 长沙理工大学学报自然科学版, 2022, 19(4): 152-160.
- [4] 王华, 李明. 沥青路面裂缝成因及预防措施[J]. 公路交通科技, 2023, 40(6): 87-94.