

泡沫沥青冷再生技术在旧路改造中的应用效果分析

李俊章

宜城市康路养建有限责任公司 湖北 宜城 441400

【摘要】：解决旧路改造资源浪费、能耗较高问题，本文阐述泡沫沥青冷再生技术的作用机理、路用性能及旧路改造应用效果。泡沫沥青发泡生成与混合料粘结成型的核心机制，结合近年试验数据说明关键技术参数。强度模量、抗车辙、抗疲劳、温度稳定性及水稳定性五个维度，可总结该混合料的路用特性及相关试验结论。根据 G207 湖北襄阳段智慧绿色养护工程实例，能验证技术在路面受力优化、重载适配及寿命延长方面的成效。

【关键词】：泡沫沥青冷再生；路用性能；旧路改造；发泡机理；重载适配

DOI:10.12417/2811-0528.26.14.044

引言

公路运营年限增长，大量旧路面出现龟裂、车辙等病害，传统改造技术存在旧料废弃、高温施工能耗高、碳排放量大等弊端，不符合绿色交通发展理念。泡沫沥青冷再生技术常温施工、旧料原位循环利用，是旧路改造的优选技术。该技术在 G207 湖北襄阳段智慧绿色养护工程广泛应用，相关研究持续推进，在发泡技术优化、混合料性能提升等方面成效显著。结合近年来试验数据与工程实例，本文梳理该技术的作用机理、路用性能及应用效果，为其进一步推广应用提供理论与实践参考。

1 泡沫沥青冷再生技术作用机理

1.1 泡沫沥青发泡生成原理

泡沫沥青向 150 - 160℃ 热沥青中注入占沥青用量 2.5% - 3.0% 的冷水，专用发泡设备内借助水压与气压瞬时汽化膨胀，沥青体积急剧扩张形成大量细密泡沫，核心控制指标为膨胀率与半衰期。膨胀率表征沥青发泡后的体积扩张程度，半衰期决定泡沫有效工作时长。以 G207 湖北襄阳段智慧绿色养护工程为依托，试验显示发泡温度 155℃、发泡用水量 3.0% 时，沥青发泡效果最佳，膨胀率与半衰期均达最优，可确保沥青常温下快速降粘并具备优异裹覆能力，为后续与旧料集料高效结合奠定基础。新型发泡技术可将泡沫沥青半衰期延长至 1 - 2 分钟，泡沫直径缩小至 50 微米，每平方米毫米泡沫焊点数量较传统技术提升 20 倍，进一步提升沥青与集料的裹覆效率见表 1。

表 1 泡沫沥青发泡关键参数及效果对比

参数类型	传统发泡技术	新型发泡技术	最优工况 (G207 绿色智慧养护工程)
发泡温度 (°C)	150 - 160	150 - 155	155
发泡用水量 (%)	2.5 - 3.0	2.8 - 3.2	3.0
半衰期	8 - 20 秒	60 - 120 秒	45 秒

泡沫直径(微米)	200 - 500	50 - 100	80
焊点数量(个/mm ²)	5 - 10	100 - 200	150

(注：续表 1)

1.2 泡沫沥青混合料粘结成型机理

发泡后沥青粘度显著下降，常温高速搅拌下可优先裹覆再生集料细颗粒，形成高粘度沥青胶浆。胶浆经碾压包裹粗集料并填充骨架间隙，依托胶浆粘聚力与集料间内摩擦力形成结构强度^[1]。实际工程中外掺 1% - 2% 水泥辅助提升早期强度，成型无需高温加热，旧路面铣刨料可 100% 原位循环利用。压实与常温养生协同作用，快速形成稳定柔性基层结构，实现旧料再生与结构成型一体化。

2 泡沫沥青冷再生混合料路用性能

2.1 强度与模量特性

泡沫沥青冷再生混合料间接抗拉强度 0.50 - 0.65MPa，G207 绿色智慧养护工程 8 个试验路段 100% 旧料利用时劈裂强度达 0.6MPa。抗压回弹模量 800 - 1400MPa，G207 湖北襄阳段智慧绿色养护工程试验显示最佳沥青用量 2.7% 时性能最优。报告显示，混合料最大干密度 2.21g/cm³，最佳沥青含量 3% 见表 2。

表 2 泡沫沥青冷再生混合料强度与模量核心指标

性能指标	数值范围	最优参数
间接抗拉强度 (MPa)	0.50 - 0.65	0.6
抗压回弹模量 (MPa)	800 - 1400	1200
最大干密度 (g/cm ³)	2.17 - 2.21	2.21
最佳沥青用量 (%)	2.7 - 3.0	2.7、3.0
水泥掺量 (%)	1.0 - 2.0	1.5

2.2 抗车辙性能

泡沫沥青冷再生混合料抗车辙性能,依托充分养生形成内部结构。G207湖北襄阳段智慧绿色养护工程重载路段试验显示,其60℃动稳定度超5500次/mm,远高于设计标准。G207湖北襄阳段智慧绿色养护工程应用该新型技术后,性能进一步提升,满足重载路面规范要求,可抵御荷载反复作用引发的永久变形。养生后集料骨架嵌锁与沥青胶浆粘结协同增效,适配重载路况,大幅降低车辙病害发生率。

2.3 抗疲劳性能

泡沫沥青混合料疲劳性能优于乳化沥青处治集料与常规半刚性材料,低于热拌沥青混合料^[2]。四点弯曲疲劳试验得出其疲劳极限应变为100 μ ε,此水平下可满足长寿命路面设计要求,应变由150 μ ε提升至200 μ ε时疲劳寿命降幅接近90%,对低应变水平适应性良好。疲劳性能优于半刚性材料,旧路改造中作为基层可有效缓解半刚性基层易出现的疲劳开裂问题,延长结构疲劳寿命,适配长期循环交通荷载作用场景。

2.4 温度稳定性

泡沫沥青混合料温度稳定性略低于常规热拌沥青混合料,2023年相关核心期刊综述研究指出,30℃条件下经21d常温养生的混合料模量高于同级配热拌料,粗集料表面沥青膜较薄,高温下仍能保持集料间内摩阻力。持续高温会导致沥青胶浆粘度下降,引发强度小幅损失,实际应用中优化级配、控制沥青用量并搭配密级配面层覆盖,可抵消高温对结构稳定性的不利影响,保障不同温度环境下结构性能稳定。

2.5 水稳定性

该混合料沥青用量偏少、孔隙率偏高,水稳性对配合比敏感,提升水稳性需优化沥青用量,增加细料裹覆沥青量以提高密实度。以G207湖北襄阳段智慧绿色养护工程为依托,试验测得泡沫沥青冷再生混合料冻融劈裂强度比达到85%,满足路面基层水稳性规范要求,优化配合比设计、控制最佳沥青用量(2.7%)及水泥掺量(1.5%),有效提升混合料水稳性。合理控制泡沫沥青掺量可显著提升混合料水稳性,减少雨水侵入与冻融循环引发的结构松散、强度衰减等病害,为旧路改造中水稳性控制提供可靠数据支撑。

参考文献

- [1] 钟勇,陈毅博,刘春梅,等.泡沫沥青冷再生混合料加速养生方法研究[J].价值工程,2025,44(15):10-14.
- [2] 康峰沂,商健林,杜仲宝,等.泡沫沥青二次冷再生混合料级配优化及路用性能研究[J].北方交通,2024,(12):34-38.
- [3] 黄骆莹,孙晨浩.泡沫沥青冷再生路面性能衰减规律[J].路基工程,2025,(01):102-107.

3 泡沫沥青冷再生旧路改造应用效果

3.1 路面结构受力优化效果

2024年G207湖北襄阳段智慧绿色养护工程为一级公路,原路面出现严重龟裂、车辙等病害,原结构为沥青面层+水稳基层,该路段采用泡沫沥青就地冷再生技术改造后,形成新的路面基层并加铺8cmAC-20沥青混凝土下面层和4cmAC-13沥青混凝土上面层。监测数据显示,改造后路表最大弯沉值从原有路面的75(0.01mm)降至33(0.01mm),承载能力和整体稳定性显著提升,路面结构受力状态得到优化,基层底部拉应力较原结构大幅降低,有效减少基层开裂风险,与研究中“泡沫沥青掺入可显著优化路面受力、减少变形”的结论一致。

3.2 重载交通适应性提升效果

该技术改造后路面结构对重载交通敏感性大幅降低,2024年G207湖北襄阳段智慧绿色养护工程表明,泡沫沥青柔性基层可有效缓冲重型车辆冲击荷载,避免半刚性基层易出现的反射裂缝与断裂破坏。G207湖北襄阳段智慧绿色养护工程测得60℃动稳定度>5500次/mm;试验路段100%旧料利用情况下仍能满足重载路面规范要求,长期运营后路面平整度、结构完整性保持良好,相比传统半刚性基层路面,病害发生率下降40%以上,显著提升重载道路的通行可靠性和耐久性。

3.3 路面使用寿命延长效果

受力优化与路用性能提升协同延长路面使用寿命 G207湖北襄阳段智慧绿色养护工程实践验证,泡沫沥青冷再生基层路面较传统半刚性基层路面使用寿命延长1.5-2倍,养护周期显著延长,养护频次与维修成本降低。原路面材料100%循环利用,避免旧料废弃与新材料开采消耗,减少加热施工能耗与碳排放,兼顾结构耐久性与绿色低碳效益,为旧路长寿命化改造提供可靠技术路径。

4 结语

泡沫沥青冷再生技术合理控制发泡参数,可实现旧路面铣刨料100%循环利用,其混合料具备良好强度、抗车辙、抗疲劳等路用性能,能有效优化路面结构受力,提升重载交通适应性,延长路面使用寿命。施工能耗与碳排放大幅降低,契合绿色低碳交通发展需求。G207湖北襄阳段智慧绿色养护工程实践表明,该技术应用成效显著,破解传统旧路改造诸多痛点。未来可进一步优化发泡技术与配合比设计,完善施工工艺,推动其在更多重载、老旧公路改造工程中发挥更大作用。