

抗裂型灌浆复合抗车辙半柔性沥青路面技术研究

薛志伟

江苏东交智控科技集团股份有限公司, 江苏 南京 211100

[摘要] 抗裂型灌浆复合抗车辙半柔性沥青路面技术, 有效提高传统灌浆技术路面的抗裂性能、耐磨性能, 抗车辙能力及温度稳定性远超其他类型的沥青路面, 从根本上解决沥青路面车辙病害。

[关键词] 抗裂、耐磨; 半柔性沥青路面

DOI: 10.33142/sca.v8i4.16130

中图分类号: U416.21

文献标识码: A

Research on Crack Resistant Grouting Composite Anti Rutting Semi Flexible Asphalt Pavement Technology

XUE Zhiwei

Jiangsu Easttrans Intelligent Control Technology Group Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 211100, China

Abstract: The crack resistant grouting composite anti rutting semi flexible asphalt pavement technology effectively improves the crack resistance, wear resistance, anti rutting ability, and temperature stability of traditional grouting technology pavement, far exceeding other types of asphalt pavement, fundamentally solving the rutting disease of asphalt pavement.

Keywords: crack resistance, wear resistance; semi flexible asphalt pavement

引言

抗裂型灌浆复合抗车辙半柔性沥青路面属于半柔性沥青面层, 1954年, 法国在科涅雅克(Cognac)航空港喷气式飞机跑道上首次应用了水泥灌浆沥青混凝土, 称为“Salviacim”施工法, 这是灌浆复合沥青路面最早的应用。之后, 各国陆续开展新型抗车辙沥青路面的研究, 在传统沥青柔性路面的基础上, 提出了灌浆复合半柔性沥青路面的新思路。由于传统沥青混合料是一种典型的柔性路面, 沥青在其中起到关键性的作用。同时, 也因为沥青的固有特性, 使得沥青路面的强度和耐久性受环境温度变化的影响较大, 在夏冬季节温差较大的区域, 沥青路面因夏季的高温和冬季的低温, 路面的强度和抗变形能力会出现明显降低, 当受到路面通车社会车辆行驶过程中不同方向力的反复作用, 沥青混合料出现软化, 改变混合料内部各材料间的黏结, 降低路面的使用性能。研究出一种可实现抗裂、耐磨抗车辙的沥青面技术, 贴近工程应用实际需求。

1 传统柔性沥青路面的特点

传统柔性沥青混合料由骨料、矿粉、沥青和因各类不同需求加入的添加剂组成。具有高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性和耐疲劳性; 表面平整、无接缝, 行车舒适平稳, 噪声少; 施工期短, 养护维修简便且可再生利用等优点。夏季过高的环境温度会导致沥青混合料出现软化, 沥青路面的强度降低, 重载交通条件下极易导致沥青路面形变, 发胀为各类高温病害; 冬季温度过低, 沥青路面变脆, 易出现裂缝。沥青路面的设计空隙率对其性能有着很大的影响, 未达到设计压实度的沥青路面经通行车辆的反复碾压, 出现各类路面病害。

随着社会的快速发展, 人民群众增高质量的出行需求与传统沥青路面性能不足的矛盾日益突出; 同时, 沥青路面通行过程中产生的车辙等病害也带来了更多的安全隐患。

2 抗裂型灌浆复合抗车辙半柔性沥青路面技术概述

抗裂型灌浆复合抗车辙半柔性沥青路面技术应用一种结合水泥基材料刚性特点, 在基体沥青路面中, 制备高性能浆体进行灌注, 以基体沥青混合料为骨架, 提供柔性路面的特性; 以固化后的浆体为填充, 引入刚性路面的特性, 同时因采用高兴能浆体, 提高了灌浆复合抗车辙沥青路面自身的抗裂性能。因此, 抗裂型灌浆复合抗车辙半柔性沥青路面技术是一种“刚柔并济”的复合路面技术, 同时兼顾了路面的抗裂性能。

2.1 技术原理

表1 灌浆材料技术要求

序号	试验项目	材料要求	检测方法	
1	外观	黑色粉末	/	
2	流动度	初始: 10~14s; 30min: 14~20s	JT/T 946	
3	凝结时间	初凝时间	≥45min	
		终凝时间	≤2h	
4	成型强度	抗压强度	3h	≥10MPa
			7d	≥20MPa
		抗折强度	3h	≥1.5MPa
			7d	≥5MPa
5	抗收缩性能	3d 干缩率	0~0.3%	JCT 603

在基体沥青路面（空隙率 22%~28%）中，灌入“强度高、收缩小、流动性好”的特殊浆体而形成“刚柔并济”的兼具高强、耐久和抗疲劳特性的抗裂型灌浆复合抗车辙半柔性沥青路面体系。

2.2 技术路线

基体沥青配合比设计需要考虑沥青混合料的孔隙率、水泥浆的流动性、强度以及两者的结合性能。具体设计如下：

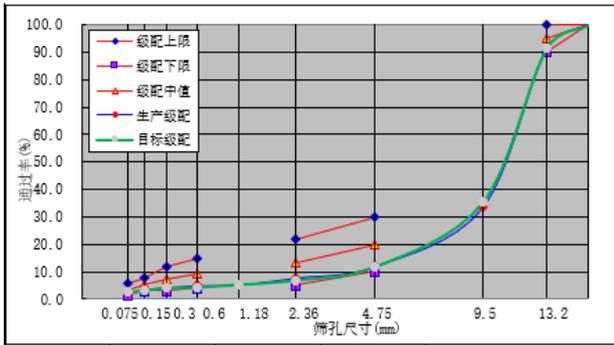


图1 筛孔尺寸

基体沥青混合料的空隙率需要满足一定的要求，要保证足够的开口连通空隙，同时减少闭口空隙。因此，沥青用量及细集料的用量显得尤为重要。采用马歇尔击实试验进行沥青混合料的力学性能评估和最佳沥青用量确定。

通过控制体积参数、验证抗裂型灌浆复合抗车辙半柔性沥青路面结构设计的合理性，实现抗车辙能力提升 50% 以上（对比常规沥青路面）、反射裂缝抑制效果显著（灌浆层模量达 15~20GPa）、寿命周期成本降低（设计寿命可达 20 年），从而确保沥青路面的性能和使用寿命。

2.3 性能验证

抗裂性能将从混合料性能（低温弯拉应变试验、劈裂强度试验、间接拉伸试验、热应力约束试验、蠕变试验、断裂韧性试验、动态力学分析、低温收缩试验）等方面综合控制。

2.3.1 低温弯曲试验

温度敏感是沥青混合料的重要特征，基体沥青的力学性能会随着温度的变化出现增强和减弱。基体沥青温度收缩应力会随着温度的降低而产生，温度降幅越大，温度收缩应力越集中，基体沥青表现出脆性，路面刚性增大，形变能力减弱。随着应力达到基体沥青阈值，裂缝随之产生。

表2 小梁弯曲试验数据结果（不同结构类型）

混合料类型	破坏应变 (μ ε)	刚度模量 (MPa)	抗弯拉强度 (MPa)	灌浆饱满度 (%)	最大荷载 (kN)
改性沥青混合料	2633	4411	8.90	/	1.04
传统型灌浆混合料	2587	4210	9.54	96.2	1.23
抗裂型灌浆混合料	2533	3411	10.78	97.3	1.32

试验结果分析可知：

(1) 抗裂型灌浆混合料抗裂型弯拉强度最高，表明抗裂型灌浆复合抗车辙半柔性沥青路面在低温条件下的抗裂性能最好。

(2) 抗裂型灌浆混合料弯拉应变最大，表明抗裂型灌浆复合抗车辙半柔性沥青路面在低温条件下的变形能力最强，抗裂性能最好。

(3) 抗裂型灌浆混合料曲刚度模量最小，表明沥青混合料在低温条件下的柔韧性最佳，抗裂性能最佳。

2.2.2 冻融循环试验

冻融循环试验通过模拟自然环境中的冻融过程，从而评估其抗冻融性能。将试件在低温冻结和常温（或水）融化的条件下反复循环，测定试件在冻融前后的性能变化（如强度、质量损失、体积变化等）。

表3 冻融劈裂试验结果（不同结构类型）

混合料类型	劈裂强度比 (%)	冻融后劈裂强度 (MPa)	未冻融劈裂强度 (MPa)	质量损失率 (%)
改性沥青混合料	87.2	0.5628	0.6449	4.5
传统型灌浆混合料	85.8	0.8612	1.0033	4.1
抗裂型灌浆混合料	87.4	0.8865	1.0138	3.7

通过模拟冻融循环，评估抗裂型灌浆混合料在水和低温共同作用下的抗水损害能力。分析沥青混合料在冻融循环作用下的性能衰减规律，评估其长期耐久性。

试验结果分析可知：

(1) 质量损失率越小，说明试件在冻融循环中的损伤越小。抗裂型灌浆混合料质量损失率小于改性沥青混合料及传统型沥青混合料。

(2) 强度损失率越小，说明试件在冻融循环中的力学性能衰减越小。抗裂型灌浆混合料强度损失率小于改性沥青混合料及传统型沥青混合料。

通过分析各指标的变化趋势，判断混合料的抗冻融性能是否随循环次数增加而显著下降。

冻融循环试验数据分析是评估沥青混合料抗冻融性能的关键步骤。通过计算质量损失率、强度损失率、相对动弹性模量等指标，并结合趋势分析、对比分析和规范对比，可以全面评估抗裂型灌浆混合料的抗冻融性能。

2.2.3 热应力约束试件试验

热应力约束试件试验通过模拟沥青路面在低温环境下的温度应力变化，测定混合料在约束条件下的开裂温度、热应力发展规律等参数，从而评估其低温抗裂性能，是一种用于评估沥青混合料在温度变化下抗裂性能的试验方法。

通过观察试件开裂瞬间的温度数据确定开裂温度 (T_c)，从热应力-温度曲线中提取最大值得到最大热应力 (σ_{max})，绘制热应力 (σ) 随温度 (T) 变化的曲线，分析曲线的斜率、拐点等特征，通过温度应力曲线的斜率计算得出应力速率 (dσ/dT)。

对两种沥青混合料 (A 和 B) 进行 TSRST 试验，得到

以下数据:

表4 两种沥青混合料(A和B)进行TSRST试验数据

温度 (°C)	传统型灌浆混合料A热应力 (MPa)	抗裂型灌浆混合料B热应力 (MPa)
20	0	0
10	1.2	0.8
0	2.5	1.5
-10	4.0	2.2
-20	5.8	3.0
-30	7.5 (开裂)	4.5
-40	—	6.0 (开裂)

试验结果分析可知:

(1) 传统型灌浆混合料开裂温度为 -30°C , 抗裂型混合料B的开裂温度为 -40°C ; 开裂温度越低, 表明混合料在低温环境下越不易开裂。

(2) 传统型灌浆混合料最大热应力为7.5MPa, 抗裂型混合料B的最大热应力为6.0MPa; 传统型灌浆混合料低温性能较差。

(3) 计算两种混合料的应力速率($d\sigma/dT$), 传统型灌浆混合料的应力速率较高, 表明其对温度变化更敏感。

热应力约束试件试验(TSRST)数据分析通过评估应力速率、温度应力曲线、最大热应力和开裂温度等参数, 全面反映沥青混合料的低温抗裂性能。通过对比分析不同混合料的试验结果, 可以进一步优化抗裂型灌浆混合料配合比设计, 提高混合料的低温抗裂性能, 从而延长路面的使用寿命。

2.2.4 蠕变试验

蠕变试验是评估长期荷载作用下沥青混合料在变形特性的重要方法。本文研究抗裂型灌浆混合料于传统型灌浆混合料的流变性能、抗车辙能力及长期耐久性。该试验模拟了路面在车辆荷载长期作用下的变形行为, 为沥青混合料设计、性能评价提供关键数据。

对沥青混合料试件在恒定温度和恒定荷载条件下施加持续压力, 测量其随时间变化应变的变化规律。由于沥青混合料是典型的黏弹性材料, 其变形包括: 黏性流动变形(不可恢复的永久变形)、延迟弹性变形(随时间逐渐恢复的变形)、瞬时弹性变形(加载瞬间的可恢复变形)。

沥青混合料的蠕变曲线可分为三个阶段:

(1) 瞬时弹性阶段(0~10s): 加载瞬间的弹性变形。

(2) 延迟弹性阶段(10~100s): 变形速率逐渐减缓。

(3) 稳态流动阶段(100~3600s): 变形趋于稳定, 应变与时间呈线性关系。

对两种沥青混合料(A和B)进行蠕变试验, 得到以下数据:

表5 对两种沥青混合料(A和B)进行蠕变试验

传统型灌浆混合料A		抗裂型灌浆混合料B	
时间(s)	应变($\mu\epsilon$)	时间(s)	应变($\mu\epsilon$)
1	520	1	490
10	1850	10	1620
100	4250	100	3950
1000	8650	1000	6580
3600	12500	3600	9100

根据稳态蠕变速率评估抗车辙能力:

优: $<1.0 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

良: $1.0-3.0 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

差: $>3.0 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

试验结果分析可知:

蠕变试验是评价沥青混合料稳定性的核心方法, 通过分析应变-时间曲线、计算蠕变参数, 可有效预测路面车辙发展, 指导材料优化设计。结合时温等效原理(WLF方程), 抗裂型灌浆混合料抗变形性能优于传统型灌浆混合料。

3 结语

抗裂型灌浆复合抗车辙半柔性沥青路面技术在满足现有规范要求的同时, 相较于其他技术相似技术, 在抗车辙性能不变的基础上, 通过各项性能验证, 具备更强的抗裂性能, 对建设长寿命路面具有重要意义。

[参考文献]

[1]Wang, L., & Li, J. Durability and crack resistance of grouted composite asphalt pavement under freeze-thaw cycles[J]. Cold Regions Science and Technology, 2019(158): 1-9.

[2]Liu, Z., & Zhang, Y. Fatigue performance of grouted composite asphalt pavement under repeated loading[J]. International Journal of Pavement Engineering, 2020, 21(5): 567-576.

作者简介: 薛志伟(1990.9—), 男, 单位名称: 江苏东交智控科技股份有限公司; 毕业学校和专业: 淮阴工学院; 交通工程。