

DOI: 10.20035/j.issn.1671-2668.2024.03.017

引用格式:余万福,曹明明,李绍安,等.沥青路面反射裂缝快速注浆修复的应用效果分析[J].公路与汽运,2024,40(3):81-84+89.

Citation: YU Wanfu, CAO Mingming, LI Shao'an, et al. The analysis of application effect of rapid grouting repair for reflective cracks in asphalt pavement[J]. Highways & Automotive Applications, 2024, 40(3): 81-84+89.

沥青路面反射裂缝快速注浆修复的应用效果分析*

余万福¹, 曹明明², 李绍安¹, 郝作锐³, 兰长军¹, 周凯¹, 符家贤¹, 陶飞¹

(1.四川遂广遂西高速公路有限责任公司, 四川 遂宁 629000; 2.四川省交通勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610041; 3.成都理工大学, 四川 成都 610059)

摘要: 依托四川东部某高速公路沥青路面反射裂缝处置项目,在路面技术状况调查的基础上,优选适宜的注浆材料,通过界面剪切试验、劈裂试验、弯曲试验对注浆材料的黏结性能及与沥青混合料构成的组合体系的路用性能进行室内试验研究,进而进行沥青路面反射裂缝注浆试验段实施,通过落锤式弯沉仪、探地雷达及钻芯取样对反射裂缝修复效果进行评价。结果表明,采用的注浆材料具有较好的黏结性能和封水性能,沥青路面反射裂缝快速注浆修复技术能较好地提高路面的承载能力和整体性,修复效果较好。

关键词: 公路; 沥青路面; 快速注浆修复技术; 反射裂缝; 修复效果

中图分类号: U418.6

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2024)03-0081-04

裂缝作为公路常见病害之一,会极大地降低路面承载力,若不及时处置,裂缝会进一步劣化为龟裂、坑槽等严重病害,极大地缩短路面的使用寿命^[1-3]。目前针对路面裂缝的常见处置措施包括灌封填槽、罩面处置及压力注浆等,其中压力注浆根据材料的不同分为粒状材料和化学材料两种类型^[4]。高聚物材料属于化学材料的一种,主要包括聚氨酯、环氧树脂、改性环氧树脂等,具有耐久性好、强度生成快等特点^[5-6]。已有较多学者对注浆材料性能、现场注浆修复效果进行了试验分析,如余自森通过压缩试验测试注浆材料在不同尺寸及不同加载速率下的力学参数,分析了注浆材料在荷载作用下的微观变形机制^[7]; 庞绮玲、周怀恩对不同聚氨酯预聚体(PU)掺量的注浆材料进行拉伸、弯曲试验,分析了不同 PU 掺量下注浆材料的黏度、力学性能变化规律^[8-9]; 潘友强等通过室内外试验对聚氨酯材料对路面的修复效果进行了评价^[10]; Li S. 等依托新老路基接缝处裂缝空洞修复案例,通过现场试验及数值模拟,分析了聚合物灌浆前后路面结构的力学响应^[11]。已有研究较少涉及注浆修复技术对沥青路面的修复效果分析,也缺乏系统的评价方法。本文

依托四川东部某高速公路裂缝治理项目,对注浆材料及与沥青混合料构成的组合体系的相关性能进行试验研究,并通过落锤式弯沉仪、探地雷达及钻芯取样对修复前后路面性能进行对比分析,评价高聚物注浆修复技术的修复效果。

1 工程概况

四川东部某高速公路于 2015 年底通车,目前整体使用状况良好,2021 年路面技术状况评定结果见表 1。近些年来,由于交通运输需求量增加,加大了路面日常负荷,部分路段出现较多病害。该高速公路路面结构为 4 cm 上面层 SMA-13+6 cm 中面层

表 1 路面技术状况评定结果

评价指标	分数	等级
路面状况损坏指数	94.08	优
路面行驶质量指数	95.67	优
路面车辙深度指数	96.39	优
路面跳车指数	94.12	优
路面磨耗指数	91.95	优
路面结构强度指数	98.40	优

* 基金项目: 四川省科技计划资助项目(2022YFG0048)

AC-20C+6 cm 下面层 AC-20C+25 cm 水泥稳定碎石基层+25 cm 水泥稳定碎石底基层+15 cm 级配碎石垫层。

根据该高速公路历年路面定期检测报告和现场病害调查结果,路面裂缝以横向裂缝为主,并存在纵向裂缝和少量坑洞。2017 年裂缝长度为 887.60 m,2019 年裂缝长度为 1 896.50 m,2020 年裂缝长度为 5 450.10 m。2021 年上半年排查 67 km,共发现并处置裂缝长度 7 289.16 m;年底排查裂缝 2 116 条,总长度 14 889.75 m,裂纹平均间距 31 m,下半年新增裂缝数量是上半年的 2 倍。可见,该高速公路裂缝发展至路表的趋势正在急速增长,若不对裂缝病害进行有效处置,在雨水等自然因素和交通荷载反复作用下,伴随裂缝出现的唧浆、松散、沉陷等病害将大幅度增加。根据路面破损程度,选取上行 K25+972—K26+940 作为试验路段进行高聚物高压注浆技术修复沥青路面反射裂缝应用研究。

2 室内试验

2.1 原材料

2.1.1 注浆材料

分别选择来自河南、江苏、安徽三地不同生产厂家的双组分注浆材料(以下分别称为河南注浆材料、江苏注浆材料、安徽注浆材料),均分为 A 组份(主剂)和 B 组份(固化剂),它们都是以聚氨酯为主要成分的高聚物,主剂的主要成分包括多元醇和助剂,助剂包括增韧剂、催化剂、发泡剂等。两组分混合后发现江苏、河南注浆材料为不发泡型,属于改性环氧树脂类;安徽注浆材料为发泡型,属于聚氨酯类。注浆材料的相关物理参数见表 2。

表 2 注浆材料的物理参数

材料类别	材料组分	旋转黏度/ (mPa·s)	反应时 间/s	完全固化时 间/min
河南注 浆材料	A 组分	542.7	70	3
	B 组分	639.7		
江苏注 浆材料	A 组分	6 227.3	63	5
	B 组分	638.7		
安徽注 浆材料	A 组分	683.3	43	3
	B 组分	645.7		

旋转黏度表征液体的流动性(流动性对于注浆材料在路面内部的填充至关重要),双组分反应时间决定浆液是否有充足的时间在路面内部进行填充,

完全固化时间决定注浆材料是否能快速凝固定型,这些指标是注浆修复效果好坏的决定性因素。材料发泡与否决定材料的适用场景。由表 2 可知:安徽注浆材料的反应时间最快,河南和江苏注浆材料的反应时间相近,安徽注浆材料的反应时间过快,不利于注浆液体的流动扩散;江苏注浆材料的黏度过大,流动性较差,不利于材料在细小裂缝内部的扩散。整体而言,聚氨酯高聚物注浆材料的膨胀率高、耐水性好,但抗压、抗拉强度差,耐久性不好,主要适用于沥青层底存在脱空等病害的情况及须立即开放交通的非重载公路,尤其适用于积水严重路段;改性环氧聚合物(又称环氧改性聚氨酯)材料基本不膨胀,其强度高,黏结性能、封水性能、耐久性好,主要适用于沥青面层存在反射裂缝的情况。

2.1.2 沥青混合料

根据该项目路面结构,选用 SMA-13 级配类型开展沥青混合料界面黏结强度及组合体系力学性能试验研究。集料级配见表 3,通过马歇尔试验确定其最佳油石比为 5.9%。

表 3 集料的合成级配

筛孔尺寸/ mm	通过百分率/ %	筛孔尺寸/ mm	通过百分率/ %
26.500	100.0	2.360	23.6
19.000	100.0	1.180	19.0
16.000	100.0	0.600	16.1
13.200	91.0	0.300	14.1
9.500	60.7	0.150	12.4
4.750	28.9	0.075	10.3

2.2 试验方法

2.2.1 界面黏结强度试验

根据 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》成型马歇尔试件进行界面黏结强度试验,测试不同温度、不同时间下试件的黏结强度,试验温度为 15℃、25℃(室温)、40℃、60℃,每个温度进行 4 次平行试验。待试件完全固化后保温 4 h,固化时间为 5 min、15 min、30 min、60 min、90 min,温度控制在 25℃(室温),利用 JHY-A 结构层材料剪切仪对达到试验条件的试件进行剪切,测试试件的剪切黏结强度。

2.2.2 组合体系性能试验

考虑到组合试件主要依靠注浆材料黏结性来形成一个整体,采用劈裂试验及-10℃低温弯曲试验

对力学相容性、抗裂性能进行测试,并对修复效果进行评价。根据 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》成型马歇尔试件和小梁试件(尺寸为 250 mm×35 mm×30 mm),将其切割后再进行修补,修补后的组合试件见图 1。

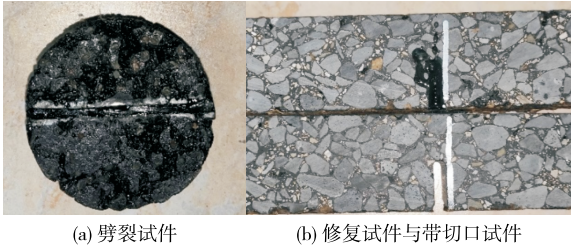


图 1 组合体系试件

3 界面黏结强度试验结果分析

3 种注浆材料在灌浆后不同时间时的黏结强度见图 2。从图 2 可以看出:河南、江苏注浆材料的强度生成规律大体一致,在前 60 min 黏结强度增长最快,达 2 MPa 左右,此时黏结强度占最终强度的 90%;60~90 min 时黏结强度基本成型,成型较快,可以保证快速开放交通,由于其发泡率低,更适宜于路面反射裂缝的注浆修复。安徽注浆材料具有较高的膨胀率和发泡率,导致注浆材料与沥青混凝土界面接触有限,其黏结强度明显低于另外 2 种材料,鉴于其高膨胀性的特点,更适用于路面脱空的填充。

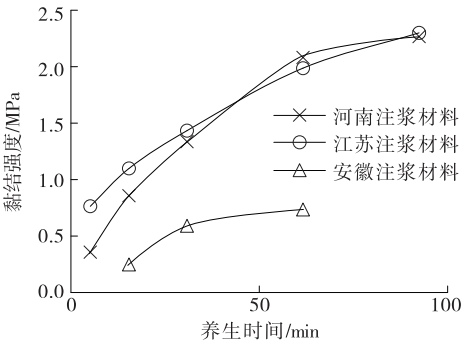


图 2 不同养生时间对材料黏结性能的影响

对适宜于路面反射裂缝注浆修复的江苏、河南注浆材料在不同温度下的黏结强度进行测试,结果见图 3。由图 3 可知:2 种注浆材料的黏结强度均随着温度的升高而降低,这是由于在高温环境下聚氨酯高聚物中异氰酸酯单体可能发生水解反应^[12],黏结强度下降,其自身强度也降低,但其整体黏结强度仍高于沥青材料,高温破坏并不会发生在注浆体内部或界面。

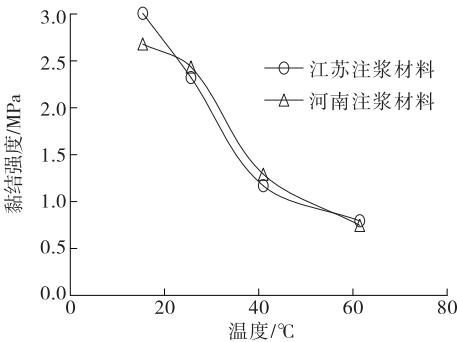


图 3 不同养生温度对注浆材料黏结性能的影响

4 组合体系力学性能试验结果分析

根据不同工况下层间剪切试验结果,采用河南注浆材料进行该项目路面反射裂缝注浆修复,并通过劈裂强度试验和三点弯曲试验分析注浆修复后组合体系的路用性能,评价注浆修复后路面的力学性能。劈裂强度试验结果见表 4,三点弯曲试验结果见表 5。

表 4 注浆修复前后试件的劈裂强度

试件类型	荷载最大值/kN	劈裂强度/MPa	
		试验值	平均值
修复前试件	10.91	1.09	1.14
	12.38	1.22	
	11.38	1.12	
修复后试件	15.24	1.50	1.67
	19.92	1.97	
	15.49	1.54	

表 5 注浆修复前后试件的低温弯曲试验结果

试件类型	抗弯拉强度/MPa		最大弯拉应变/ $\times 10^{-6}$		弯曲劲度模量/MPa	
	试验值	平均值	试验值	平均值	试验值	平均值
修复前试件	11.37	10.74	3 060.75	3 333.75	3 715.24	3 462.42
	11.54		3 333.75		3 462.42	
	9.32		4 704.00		1 981.81	
修复后试件	9.11	10.20	4 305.00	3 249.75	2 116.19	2 960.36
	10.56		3 249.75		3 247.97	
	10.93		3 108.00		3 516.93	

由表 4 可知:注浆修复前试件的劈裂强度为 1.14 MPa,注浆修复后形成的组合体系试件的劈裂强度为 1.67 MPa,强度提高 46.49%。劈裂试验又

称为间接拉伸试验,当圆柱形试件受到荷载作用时,会在试件垂直方向的中部产生水平方向拉应力,当该拉应力超过试件自身强度时会出现开裂,试件发生破坏而失效。组合体系试件具有较好的力学相容性及抗裂性能,由于其特殊构造,试件受到荷载作用时应力传递路径发生变化,在修复位置发生应力集中,高聚物承受大部分荷载,整体上起到一定加筋作用。

由表 5 可知:注浆修复前试件与组合体系试件的抗弯拉强度、最大弯拉应变及弯曲劲度模量接近,组合体系试件的抗弯拉强度、最大弯拉应变及弯曲劲度模量与修复前试件对应参数的比值均达 0.95。根据低温弯曲试验试件的受力特点,小梁主要是上部受压、下部受拉,由于材料特性通常是拉应力先超出材料的抗拉强度而致使试件失效破坏,修复小梁试件黏结处的抗拉强度接近于试件本身的抗拉强度,修复后试件具有较好的力学相容性及低温抗裂性能。

5 现场注浆修复效果评价

基于室内试验对注浆材料修复效果的评价,采用河南注浆材料对试验路段沥青路面进行反射裂缝快速注浆修复技术应用,并通过落锤式弯沉仪、探地雷达及钻芯取样对注浆效果进行评价。

沥青路面反射裂缝快速注浆修复技术实施前后采用落锤式弯沉仪 FWD 对弯沉值进行测试,测试结果见图 4。由图 4 可知:注浆修复后路面弯沉下降,平均下降 13.86%,最大下降 58.31%,整体来看,沥青路面反射裂缝快速注浆修复技术可以有效改善沥青路面的承载能力,延长路面使用寿命。

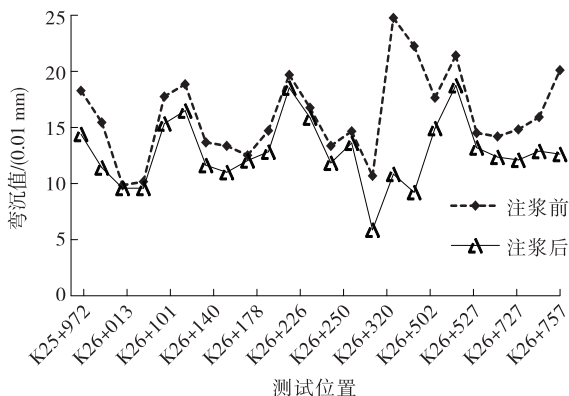


图 4 注浆修复技术对裂缝处弯沉的改善效果

图 5 为部分探地雷达的扫描图像。由图 5 可知:相比注浆修复前,注浆修复后雷达扫描图谱中介电常数差异变小,显示的强反射面数量有所减少,各

层界线变得更加清晰。表明注浆后路面内部存在的空间缺陷被填充,路面结构更密实。

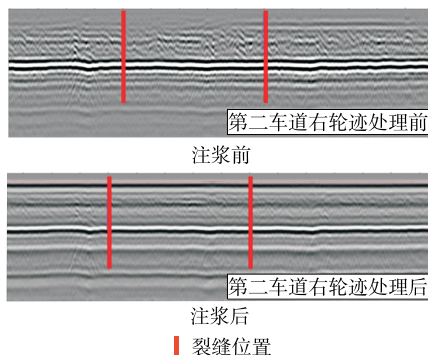


图 5 行车道 K26+232-262 段的雷达扫描图像(裂缝位置 K26+240、K26+250)

图 6 为注浆修复后钻取的芯样。由图 6 可知:注浆修复后,开裂的芯样四周得到较饱满的填充,注浆修复效果较好,完全黏结和填充了裂缝,提高了芯样的完整性。



图 6 芯样填充效果图

6 结论

(1) 注浆材料与沥青混合料之间具有良好的黏结性能,强度成型速度较快,用于沥青路面裂缝修复可以做到快速开放交通,但较快的反应时间不利于材料的流动扩散。注浆材料的黏结强度受温度影响较大,随温度降低界面剪切强度逐渐增加,但试验温度在 60℃ 时界面剪切强度仍大于 0.5 MPa,黏结强度较高,能保证注浆修复组合体的黏结性能。

(2) 注浆修复试件的劈裂强度高于修复前试件,虽然其弯拉应变略低于修复前试件,但仍大于 2.5×10^{-3} ,沥青路面反射裂缝快速注浆修复技术具有较好的修复效果,可提高沥青路面的完整性,组合体系具有较好的力学相容性及抗开裂性能,其路用性能良好。

(3) 通过弯沉测量、雷达扫描及钻芯取样对路面注浆修复效果进行评价,沥青路面反射裂缝快速注浆修复技术对路面结构完整程度及路面承载力具有明显的改善作用,可有效延长路面的使用寿命。

(下转第 89 页)