

半刚性基层沥青路面纵缝水泥注浆处治研究

王少华¹, 罗雪平², 陈楚鹏², 许新权²

(1. 广东省路桥建设发展有限公司, 广东 广州 510420; 2. 广东华路交通科技有限公司, 广东 广州 510420)

摘要: 依托中江高速公路改扩建工程, 开展了半刚性基层沥青路面纵缝水泥注浆处治试验, 试验了先注纵缝再注缝侧和先注缝侧再注纵缝两种注浆方案, 采用贝克曼梁弯沉试验、钻芯及开挖检测等方式评价了不同注浆方案效果。结果表明: 两种方案均能有效降低路表弯沉, 提高路面结构强度, 但先注缝侧再注纵缝效果更佳; 两种方案均能对下基层及以下结构层脱空、纵缝等有效填充, 填充效果无明显差别, 且裂缝位置下基层芯样强度均值分别为 1.4 MPa 和 1.2 MPa, 底基层芯样强度均值分别为 2.4 MPa 和 2.8 MPa。

关键词: 沥青路面; 水泥注浆; 改扩建; 高速公路; 结构补强; 应用效果

中图分类号: U418.6

文献标识码: A

Research on Cement Grouting Treatment of Longitudinal Joints in Semi-rigid Base Asphalt Pavement

WANG Shaohua¹, LUO Xueping², CHEN Chupeng², XU Xinquan²

(1. Guangdong Road and Bridge Construction Development Co., Ltd., Guangzhou 510420, Guangdong, China;

2. Guangdong Hualu Transportation Technology Co., Ltd., Guangzhou 510420, Guangdong, China)

Abstract: Based on the renovation and expansion project of the Zhongjiang Expressway, cement grouting treatment tests were conducted on the longitudinal joints of semi rigid base asphalt pavement. Two grouting schemes were tested, namely, injecting the longitudinal joint first and then the joint side, and injecting the joint side first and then the longitudinal joint. The effects of different grouting schemes were evaluated using Beckman beam deflection test, core drilling, and excavation detection methods. The results show that both schemes can effectively reduce road surface deflection and improve the structural strength of the road surface, but the effect of first injecting the side joint and then injecting the longitudinal joint is better. Both schemes can effectively fill voids and longitudinal joints in the lower and the following structural layers. There is no significant difference in the filling effect between the two schemes, and the average strength of the base core samples at the crack location is 1.4 MPa and 1.2 MPa, respectively. The average strength of the base core samples is 2.4 MPa and 2.8 MPa, respectively.

Key words: asphalt pavement; cement grouting; reconstruction and expansion; expressway; structural reinforcement; application effect

近年来, 我国高速公路建设事业蓬勃发展, 2024 年高速公路总里程突破 18 万公里, 位居世界前列, 但现阶段高速公路总体通行能力及服务水平仍不能较好满足人民日益增长的交通需求, 高速交通拥堵现象频发。为了切实提高高速路网

通行服务水平, 旧路改建扩容将成为公路建设发展下一阶段的重点工作方向。

早期修建的半刚性基层沥青路面, 建设时为节省工程造价常采用填砂路基, 因填料粘聚力小、路基整体性差, 通车后不久易产生不均匀沉

收稿日期: 2023-09-25

作者简介: 王少华, 高级工程师, 硕士, 研究方向为道路与桥梁工程

基金项目: 广东省省级科技计划项目 (编号: 2021B1111610002)

降从而引起路面纵向裂缝,在行车荷载反复作用下,基层内部将出现脱空、松散、富水等衍生病害,导致路面结构强度及使用性能下降。因此,在高速公路改扩建工程中,为确保扩建后路面的使用性能,提高路面使用寿命,需对路面纵向裂缝病害进行处治,提高路面耐久性。

针对上述问题,夏凯^[1]等人系统分析总结了改性沥青灌封、扩槽灌封、铣刨面层基层灌封后重新铺筑等工艺在旧路面改路中的应用情况。黄传武^[2]等人依托佛开改扩建工程,采用高聚物注浆技术对板底脱空和碎石盲沟区域进行处治。结果表明,高聚物注浆技术可有效处治板底脱空病害,提升结构薄弱区域强度,提高路面结构承载力。邓维毅^[3]根据注浆加固室内及施工现场实验,对袖阀管路面水泥注浆加固进行探讨,通过贝克曼梁法对加固案例的路表回弹弯沉进行检测,证明了袖阀管路面水泥注浆技术对公路路基加固的有效性。于博^[4]采用袖阀管注浆加固技术对青岛地铁13号线中地下富水软弱地基进行加固,取得了显著效果。李明^[5]依托山西吉河高速公路路基沉陷压力注浆处治工程,通过室内试验及实体工程应用发现,控制水泥浆液配合比和铝粉掺量,可使压力注浆法在黄土路基沉陷注浆处治工程中达到空洞填充、土体挤密和封闭水流侵蚀通道的目的。

综上所述,目前针对旧路裂缝病害处治的措施较多,主要包括沥青抗裂贴、铣刨重铺、扩槽灌封、水泥注浆、高聚物注浆等。比较而言,水泥注浆对路基路面的补强效果较好,在工程中使用频率较高。但现有研究成果多集中于水泥浆复合材料研究、工艺机理及适用性分析等,对水泥注浆在半刚性基层沥青路面纵缝处治应用,尤其是半刚性基层沥青路面纵向裂缝水泥注浆工艺工序方面还缺乏研究。为了进一步探究水泥注浆在半刚性基层沥青路面纵缝处治应用,确定半刚性基层沥青路面纵向裂缝水泥注浆工序,本研究开展半刚性基层沥青路面纵缝水泥注浆实体工程试验,对比分析了不同注浆工序下注浆前后的弯沉变化,结合钻芯及结构层开挖等直观检测方式综合评价了不同方案效果。研究成果可进一步丰富应用数据,为类似高速公路改扩建旧路病害处治工程提供借鉴和参考。

1 工程概况

1.1 项目基本情况

中江改扩建工程,即深圳至岑溪高速公路中

山新隆至江门龙湾段,施工桩号为K1+400~K40+046,全长38.646 km,原路面为半刚性基层沥青路面,主要结构型式为16 cm 沥青面层+20 cm 水稳上基层+20 cm 水稳下基层+20 cm 水稳底基层,总厚度为76 cm,双向四车道,于2005年建成通车,将按速度120 km/h、双向八车道高速公路标准扩建。中江高速软基路段多,以填砂路基为主,上部覆盖约50~70 cm 包边土,随着运营时间的延长、交通量不断增大及超载重载现象频发,路面超车道、主车道出现了横、纵裂缝等典型路面病害,且以超车道出现的通长纵向裂缝最为严重。

1.2 路面病害特征

以中江高速江门方向K15+756~K23+706路段为例,路表纵向裂缝长度(单车道)为5 019 m,慢车道和超车道纵向裂缝长度分别为839 m和4 180 m,分别占路段路基总长的14.7%和73.3%,根据现场裂缝位置分析,纵向裂缝主要集中于超车道右轮迹带位置,如图1所示。同时根据裂缝处钻芯检测结果表明,裂缝基本为贯穿型裂缝,开裂深度为上基层底及以下,如图2所示。



图1 路面纵缝病害



图2 典型纵缝处芯样,贯穿裂缝

2 注浆方案

2.1 试验设计

通常情况下,水泥注浆处治半刚性基层沥青

路面纵缝病害时，注浆孔布设方案为沿纵缝处及纵缝旁布设若干排注浆孔，根据现场情况，本次方案拟定沿纵缝方向布设三排注浆孔，分别为纵缝处一排、纵缝两侧 0.75 m 各一排，整体按梅花形布设，注浆孔布设示意图如图 3 所示。由于三排注浆孔注浆存在多种注浆顺序，而不同的注浆顺序得到的注浆效果可能存在差异，因此为探究不同注浆顺序的注浆效果，以为实际工程应用提供参考依据，注浆现场根据对裂缝方向三排注浆孔注浆先后顺序的不同分为两种注浆方案，具体实施方案如表 1 所示。

表 1 不同注浆实施方案

注浆方案	试验长度/m	注浆顺序
方案一	100	先注裂缝处 1 排（序号 2），再注裂缝两侧 2 排（序号 1 和序号 3）
方案二	100	先注裂缝两侧 2 排（序号 1 和序号 3），再注裂缝处 1 排（序号 2）

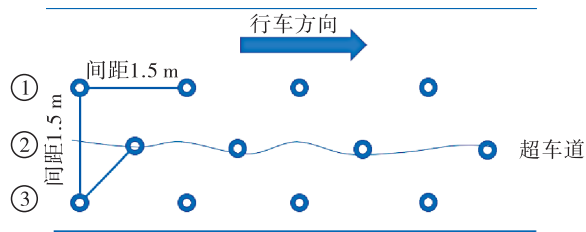


图 3 注浆孔布设

2.2 材料要求

注浆材料选用 42.5 R 早强型普通硅酸盐水泥，其主要技术指标要求如表 2 所示。

表 2 注浆材料技术指标要求

试验项目	检测结果	规范值	结果判定
标准稠度用水量/%	26.9	不宜>28.0	合格
初凝时间/min	281	>180	合格
终凝时间/min	391	大于360，<600	合格
安定性[雷士法]/mm	1.0	≤5.0	合格
3天抗折	5.3	≥3.5	合格
胶浆强度/3天抗压	31.6	≥17	合格
MPa28天抗折	—	≥6.5	合格
28天抗压	—	≥42.5	合格

2.3 注浆工艺

(1) 布孔：本次注浆现场沿纵缝方向布设三排注浆孔，即纵缝上一排、纵缝两侧 0.75 m 各一排，整体按梅花形布设，注浆孔布设示意图如图 3 所示。

(2) 钻孔：采用大型冲击钻对标记点进行干钻成孔，避免对结构层造成二次水损害，成孔直

径为 75 mm，钻孔深度为 1.0 m。

(3) 注浆管安装：注浆管采用 50 mm 的 PVC 花管，花管出浆孔从底部开始按 20 cm × 4 排 × 4 孔形式布置。另外，为提高注浆施工的安全性及辅助性控制注浆压力，选择在花管上安装注浆接头及注浆阀门开关。对钻孔进行清理后，进行注浆管安装并采用专用套壳料封口。

(4) 制备浆液：根据室内试验及现场试验结果表明，按水灰比 1：2 调配的水泥浆液能较好满足现场施工要求。

(5) 注浆工序：按照试验设计方案注浆，采用常用注浆设备，将注浆压力大致控制在 0.4 ~ 0.5 MPa 进行注浆。注浆时，当邻近裂缝隙冒出浓浆、邻近管孔冒出浓浆时，关闭邻孔阀门、继续稳压 60 s 以上，确保孔内压浆密实饱满。

(6) 封孔及开放交通：注浆完成后，及时封孔，清扫路面，封闭交通；养生至少 24 h，开放交通。

3 注浆效果评估

3.1 检测方案

弯沉检测：采用贝克曼梁测试路基路面回弹弯沉方法，测试水泥注浆前后路表回弹弯沉，评价水泥注浆前后路面结构承载力的改善效果。为了对比分析水泥注浆对纵缝及附近位置的弯沉降低效果差异性，测试位置分为骑缝位置与缝侧 80 cm，检测前按 5 m/点对测点位置进行标计，测试过程中保证贝克曼梁测点位于标记点，位置偏差在 5 cm 范围内。

钻芯检测及芯样强度测试：采用路面取芯机对注浆后裂缝位置进行钻芯，共钻芯 24 个，每种方案 12 个，包括上基层 4 个，下基层 4 个，底基层 4 个。分析两种注浆方案下芯样的完整性及水泥浆对裂缝的填充效果。同时选取较完整的芯样，切割制件进行室内无侧限抗压强度试验，评价注浆后裂缝位置的芯样强度。

开挖检测：采用探坑法对注浆后裂缝位置进行台阶式逐层开挖检测，开挖宽度为一个车道范围，开挖长度约 20 m，开挖深度为按结构层分层铣刨至土基顶面，共探坑测试 2 处，每种方案各 1 处。分析两种注浆方案下各结构层裂缝及脱空等病害的填充效果。

3.2 弯沉检测

试验段注浆养生 7 d 后，对路表弯沉进行测试，测试位置与注浆前测试位置一致，整理测试

结果, 并与注浆前弯沉进行对比分析。统计结果如表 3 所示。

表 3 注浆试验段注浆前后弯沉降低百分比				
测试位置	方案	注浆前后	代表值/ 0.01mm	注浆后弯沉降 低百分比/%
骑缝	方案一	注浆前	34.3	68.2
		注浆后	10.9	
	方案二	注浆前	35.8	82.7
		注浆后	6.2	
缝侧	方案一	注浆前	11.0	18.2
		注浆后	9.0	
	方案二	注浆前	22.7	55.5
		注浆后	10.1	

从试验段注浆前后弯沉降低百分比可以看出:

(1) 水泥注浆能有效降低路表弯沉, 提高路面结构强度。

(2) 两种注浆方案下, 不论骑缝位置亦或缝侧位置, 水泥注浆均能较好降低路表弯沉, 但方案二的降低效果明显优于方案一。分析主要原因可能为, 先对缝两侧管同时注浆施工能较好地从两侧对裂缝产生聚拢的推挤压力, 从而对裂缝进

行挤密填充; 随后再进行中部裂缝处注浆, 再次填充加密, 使注浆效果更好。

(3) 水泥注浆对纵缝处的弯沉降低效果较缝侧处更明显。其中, 方案一骑缝及缝侧位置弯沉降低百分比分别在 68.2% 和 18.2%, 方案二骑缝及缝侧位置弯沉降低百分比分别在 82.7% 和 55.5%。

3.3 钻芯检测

注浆后路面芯样情况如表 4、图 4 和图 5 所示, 芯样无侧限抗压强度测试过程如图 6 所示, 其芯样测试统计结果如表 5 所示。

表 4 注浆后芯样情况描述			
方案	结构层		
	上基层	下基层	底基层
方案一	芯样欠完整, 水泥浆填充饱满	芯样完整, 水泥浆填充饱满	芯样完整, 水泥浆填充饱满
方案二	芯样欠完整, 水泥浆填充饱满	芯样完整, 水泥浆填充饱满	芯样完整, 水泥浆填充饱满

通过分析不同注浆方案下路面纵缝位置的芯样情况可知:



图 4 纵缝位置芯样欠完整代表图



图 5 纵缝位置芯样完整代表图



图 6 无侧限抗压强度测试过程

表 5 芯样无侧限抗压强度测试结果				
单位: MPa				
方案	结构层			
	下基层强度	强度均值	底基层强度	强度均值
方案一	1.9	1.4	2.4	2.4
	1.1		2.3	
	0.9		2.3	
	1.8		2.5	
	0.9		3.0	
方案二	1.2	1.2	2.6	2.8
	1.5		3.1	
	1.3		2.5	

(1) 总体来看, 两种处治方案下, 水泥浆基本均能对各结构层芯样裂缝进行填充, 且结构层

越靠下, 填充效果越好。另外, 除上基层芯样欠完整外, 下基层及底基层芯样均较完整, 水泥浆对裂缝处的松散颗粒有一定的固结效果。分析原因, 花管下部注浆压力较大, 水泥浆对缝隙填充的同时, 也能对裂缝两侧松散颗粒产生较好的挤密夯实、固结作用。

(2) 根据室内无侧限抗压强度测试结果, 两种注浆方案下, 裂缝位置下基层芯样强度均值分别为 1.4 MPa 和 1.2 MPa, 底基层芯样强度均值分别为 2.4 MPa 和 2.8 MPa。

3.4 开挖检测

注浆后现场开挖检测情况如表 6、图 7、图 8 和图 9 所示。

表 6 注浆后各结构层填充效果描述

方案	结构层			
	上基层	下基层	底基层	土基顶面
方案一	裂缝处水泥浆填充效果 欠佳	裂缝处及层间脱空位置 水泥浆填充饱满	裂缝处水泥浆填充饱满	裂缝处水泥浆填充饱满
方案二	裂缝处水泥浆填充效果 欠佳	裂缝处及层间脱空位置 水泥浆填充饱满	裂缝处水泥浆填充饱满	裂缝处水泥浆填充饱满



图 7 上基层顶面裂缝位置
水泥浆填充效果欠佳



图 8 上、下基层层间脱空位置
水泥浆填充效果

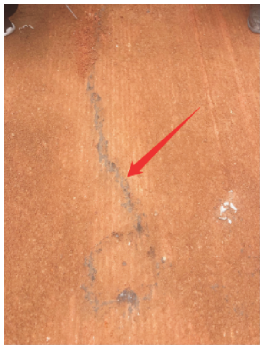


图 9 路基顶面裂缝位置
水泥浆填充效果

从注浆试验段铣刨后各结构层表面裂缝水泥浆填充情况来看：

（1）两种注浆方案下，水泥浆基本均能较好地填充挤密各结构层的裂缝间隙和层间脱空位置，且两种注浆方案下水泥浆对裂缝的填充效果未见明显差异。

（2）两种注浆方案下，上基层均存在局部裂缝位置水泥浆填充效果欠佳，缝隙周围混合料松散的现象（见图7）。分析原因可能为，局部路段花管上部注浆压力不足，水泥浆未能有效流动填充邻近缝隙。建议在注浆施工过程中，当邻近裂缝冒出浓浆、邻近管孔冒出浓浆，关闭阀门、继续稳压 60 ~ 120 s，提高各结构层缝隙填充饱满度。

（3）结构层位越靠下，水泥浆对裂缝的填充效果越好。可能原因有两点：①由于底部注浆压力明显高于上部的注浆压力；②在注浆停止后，水泥浆在初凝期间仍存在继续下渗的现象，使下部位置水泥浆填充更饱满。

4 结论

依托中江改扩建半刚性基层沥青路面纵向裂缝水泥注浆处治试验，取得了以下结论：水泥注浆可适用于半刚性基层沥青路面纵缝处治，并具

有较好的处治效果。先注纵缝后注缝侧和先注缝侧再注纵缝两种注浆方案均能有效降低路表弯沉，提高路面结构强度，但先注缝侧再注纵缝效果更佳，建议半刚性基层沥青路面纵向裂缝采用先注缝侧再注纵缝方式。水泥注浆对半刚性基层沥青路面纵缝处弯沉降低效果明显，注浆后弯沉代表值可降低 82.7%。水泥浆对下基层及以下结构层裂缝、脱空等病害具有良好的填充作用。水泥注浆后，两种方案下裂缝位置下基层芯样强度均值分别为 1.4 MPa 和 1.2 MPa，底基层芯样强度均值分别为 2.4 MPa 和 2.8 MPa。

参考文献：

[1] 夏凯,兰布尔. 高速公路改扩建施工既有路面病害处治施工技术[J]. 公路交通科技(应用技术版),2019,15(6):62-65.

[2] 黄传武,李善强,吕锡平,等. 高聚物注浆在旧路处治中的应用效果研究[J]. 湖南交通科技,2020,46(3):35-39.

[3] 邓维毅. 袖阀管水泥注浆公路路基加固技术及有效性研究[J]. 湖南交通科技,2019,45(2):62-64,122.

[4] 于博. 不良地质段地表袖阀管注浆加固技术的应用[J]. 公路,2017,62(10):66-69.

[5] 李明. 铝粉水泥浆在黄土路基沉陷注浆处治工程中的应用[J]. 中外公路,2019,39(3):26-29.