

旧道路裂缝注浆修补施工质量控制研究

许少俯 苏 鹏 苏小春

福建兴睿隆建设工程有限公司 福建 泉州 362200

【摘 要】：随着泉州市城市交通流量持续增长，早期建成的市政道路普遍出现裂缝、唧泥、板底脱空等病害，严重影响行车安全与道路使用寿命。注浆修补技术因具有微创、高效、对交通干扰小等优势，已成为旧道路裂缝处治的主流技术手段。本文以泉州市某市政道路改造工程为依托，系统分析旧道路裂缝的成因类型，阐述注浆修补施工工艺流程，从原材料、钻孔、注浆、封孔养护等关键环节构建全流程质量控制体系，并制定量化的质量检验标准。研究表明，通过严格的过程管控与参数优化，注浆修补后道路弯沉值降幅可达15%以上，裂缝填充饱满度超过95%，有效恢复路面结构整体性，可为闽南地区同类工程提供技术参考。

【关键词】：旧道路；裂缝注浆；施工工艺；质量控制；泉州市政

DOI:10.12417/2811-0528.26.19.082

引言

泉州是福建省的经济中心，城市道路网创建于20世纪90年代，经过三十多年重载交通以及自然环境的影响，大量水泥混凝土路面产生了不同程度的裂缝病害。根据泉州市市政工程管理处统计，市区建成区超过40%的主干道存在横向裂缝、纵向裂缝和网状裂缝的问题，有些路段还会出现板底脱空、基层唧泥的情况，如果不及及时处理，很容易发展成结构性损坏，大大增加养护成本。

传统的路面铣刨重铺工艺工期长、造价高，施工期间要全封闭交通，对城市运行影响大。注浆修补技术通过钻孔向裂缝和脱空区域注入高强注浆材料，填充内部空隙，恢复层间粘结，属于微创修复，单条裂缝处理只需数小时，养护24小时就可以开放交通，适合城市建成区道路养护作业。但是注浆施工属于隐蔽工程，施工质量受材料性能、参数控制、操作规范等多方面的影响，如果控制不好容易出现注浆不饱满、浆液流失、面板抬升过高等质量缺陷。

本文根据泉州市宝洲街道道路改造工程实践，结合闽南地区高温多雨、地下水丰富等气候地质特点，对旧道路裂缝注浆修补施工工艺及质量控制方法进行研究，建立可以量化的质控指标体系，为提高市政道路养护工程质量提供技术支持。

1 工程概况与裂缝成因分析

1.1 工程概况

泉州市宝洲街位于丰泽区，全长2.8km，双向六车道城市主干道，路面结构为24cm厚C30水泥混凝土面板、18cm厚水泥稳定碎石基层、20cm厚级配碎石底基层。该道路建成于2005年，主要担负市区东西向过境交通，重载货车较多。经现场检测全路段共有横向裂缝127条，纵向裂缝43条，裂缝宽度0.3~8mm不等，有19条裂缝伴有板底脱空，最大脱空深度

为5cm^[1]。

项目位于亚热带海洋性季风气候区，年平均降雨量1200~1600mm，雨季为5~9月，地下水位较高，基层易受雨水冲刷而产生唧泥；夏季极端最高气温可达39℃，混凝土面板温度应力大，裂缝扩展快。根据以上特点，本项目采用高聚物注浆技术对裂缝进行处治，注浆孔间距为35cm，注浆压力为0.3~0.5MPa，弯沉值降幅不小于10%。

1.2 裂缝成因分析

按照泉州地区道路病害的特点，旧道路裂缝可以分为以下三类。

(1) 荷载型裂缝是由于车辆超载反复作用而引起的，板底弯拉应力大于混凝土的抗拉强度，出现横向开裂。宝洲街货运车辆占总数量的28%，路段轴载超过设计值很多，属于造成裂缝的主要外部原因^[2]。

(2) 温度型裂缝是水泥混凝土热胀冷缩产生的温度应力大于材料抗拉强度时，形成的横向裂缝。泉州夏季昼夜温差大，相差10℃以上，冬季寒潮降温幅度大，温度疲劳效应明显。

(3) 水损害型裂缝，雨水通过裂缝渗透到基层，在行车荷载的作用下产生动水压力，冲刷基层材料形成唧泥，使板底脱空，裂缝扩大。闽南地区雨季长、雨量大，该类病害发展速度比北方地区快。

2 注浆修补施工工艺流程

2.1 施工准备阶段

施工前用三维探地雷达对整个路段进行扫描，准确找到裂缝走向、深度和板底脱空的范围，建立病害电子档案。根据检测结果绘制注浆孔位布置图，横向裂缝用“一字型”布孔，孔间距35±5cm；网状裂缝区用梅花形布孔，孔间距40cm。注

浆材料选用耐水型高聚物注浆料，5分钟初凝、30分钟达到设计强度70%，适应南方潮湿环境下快速施工需要^[3]。

设备进场前进行全面调试，主要设备有集成式注浆泵、金刚石钻机、高压空气压缩机和智能监测系统，注浆泵最大压力不小于10MPa，配有流量和压力实时传感器，施工数据自动上传到云端存储在全国团体标准中。

2.2 钻孔与清孔

用 $\phi 50\text{mm}$ 金刚石钻头垂直钻孔，钻孔深度穿过混凝土面板到基层下5cm，保证浆液能完全填充板底脱空处。钻孔过程中实时记录土层变化，遇脱空区域做好标记。钻孔之后用0.5MPa高压空气将孔内碎屑和浮尘吹干净，保证孔壁干净、孔道畅通。对裂缝宽度大于3mm的路段，钻孔后用0.1MPa清水冲洗裂缝内壁，清除泥土杂质，提高浆液粘结效果。

2.3 压力注浆施工

注浆顺序按照“由低到高、由外围向中心”的原则进行，先注周边孔，待相邻孔冒浆后再切换到下一个孔，防止浆液沿裂缝外溢。初始注浆压力控制在0.3MPa，逐步提升至0.4~0.6MPa，最大压力不超过1.0MPa。注浆过程中用水准仪实时观测面板抬升量，当抬升量达到1~2mm或者注浆量达到理论计算值的1.2倍时，立即停止注浆并持压3~5分钟，保证浆液充分渗透扩散^[4]。

根据泉州地区地下水位高这一特点，使用膨胀型高聚物注浆材料，浆液遇水后产生微膨胀反应，可以有效地封堵地下水通道，防止后期水损害的再次发生。单孔注浆完成后马上用止浆塞封堵孔口，防止浆液反流，待浆液初凝后拔出止浆塞。

2.4 封孔与养护

注浆24小时后进行封孔，清除孔口残浆，孔壁预湿后用无收缩水泥灌浆料分层捣实填充，表面用聚合物砂浆找平，与原路面齐平。水泥混凝土路面封孔之后再进行洒水养护三天，每天两次，防止表面干缩开裂。养护期间在施工范围内设警告标志，严禁重车通过，轻车速度 $\leq 20\text{km/h}$ ，待强度满足要求后开放正常交通。

3 施工质量控制要点

3.1 原材料质量控制

注浆材料进场时必须有出厂合格证和性能检测报告，每批抽取4个试件做抗压强度、凝结时间、流动度、膨胀率四项主要试验。高聚物注浆料7天抗压强度不小于25MPa，初凝时间不大于10分钟，流动度为15~25s，膨胀率1%~3%。水泥采用P·O42.5级普通硅酸盐水泥，进场后按每200t为一批次检验强度、安定性和凝结时间。施工用水为市政自来水，其pH

值和杂质含量均符合GB5749的要求。

材料储存设专用防潮仓库，水泥堆放垫高30cm以上，不同批次分开存放；高聚物材料密封保存，防止受潮失效。严禁使用过期、结块或者性能不合格的原材料。

3.2 施工过程质量控制

钻孔阶段主要控制孔位偏差、孔径、孔深和垂直度。孔位偏差不大于 $\pm 20\text{mm}$ ，孔径偏差 $\leq 5\text{mm}$ ，孔深偏差 $\leq$ 设计值的 $\pm 5\%$ ，钻孔垂直度偏差 $\leq 1\%$ 。每天开工前对钻机进行校准，施工中每10孔抽检2孔，不合格孔重新钻设。

注浆阶段是质量控制的难点阶段，全过程旁站监理，对每孔注浆的压力、注浆量、注浆时间、面板抬升量等做详细的记录。压力波动范围控制在设计值的 $\pm 10\%$ 以内，严禁超压注浆造成面板开裂。出现串浆现象时立即封堵串浆孔，改间隔跳注；压力突然上升时停止运转检查管路，排除堵塞后再继续施工；压力一直不升时减慢注浆速度用间歇注浆法，待浆液初凝后再复注^[5]。

3.3 质量控制指标表

为实现量化管控，本项目建立施工质量检验评定标准，如表1所示。

表1 旧道路裂缝注浆修补施工质量控制指标表

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检验频率	检验方法	质量等级
1	注浆材料抗压强度(MPa)	≥ 25 (7d)	每批次 ≥ 2 组	室内取样试验	主控项目
2	注浆材料初凝时间(min)	5~10	每批次 ≥ 2 组	室内取样试验	主控项目
3	注浆孔位偏差(mm)	$\leq \pm 20$	抽检30%	钢卷尺量测	一般项目
4	注浆孔深度偏差	$\leq$ 设计值 $\pm 5\%$	抽检30%	钢卷尺量测	一般项目
5	注浆压力偏差	$\leq$ 设计值 $\pm 10\%$	100%检查	查施工记录表	主控项目
6	面板抬升量(mm)	≤ 2	100%检查	水准仪监测	主控项目

7	弯沉值降幅	≥10%	每车道 20m 一点	落锤式 弯沉仪	主控 项目
8	芯样填充饱满 度	≥95%	每 200m 裂 缝 1 个芯	钻孔取 芯观察	主控 项目
9	封孔外观	与路面平齐, 无空鼓	全数检查	目测+ 敲击	一般 项目
10	路面新增裂缝	无	全数检查	目测	一般 项目

3.4 泉州地区特殊环境质控措施

根据泉州高温多雨的气候特点，制定专项质控措施，雨季施工时钻孔后立即注浆，防止雨水灌入孔内稀释浆液；注浆作业面设防雨棚，保证浆液固化前不被雨水冲刷。二是夏季高温时段（气温大于 35℃）改变作业时间，避开正午高温，缩短浆液拌合后停放时间，防止浆液过早凝固。第三种情况是地下水位较高的路段，注浆前进行降水处理或者采用抗水型注浆材料，保证浆液在有水的情况下正常凝结硬化。

4 质量检测与效果评价

4.1 外观检测

施工结束后全面检查路面外观，注浆孔封堵平整，与原路面衔接平顺，无明显高差和松散现象；路面无新裂缝、无浆液渗漏；原裂缝处无唧泥、沉降等病害复发。本项目外观检查共抽样 326 个注浆孔，合格率为 98.5%，只有 5 个孔口有轻微不平整，打磨修补后合格。

4.2 性能检测

用落锤式弯沉仪（FWD）对注浆前后的弯沉值进行对比检测。检测结果表明，注浆前裂缝区平均弯沉值为 32.4(0.01mm)，注浆后为 26.8（0.01mm），平均下降幅度达到 17.3%，远高于

设计规定的 10%下降率标准，路面承载能力得到明显改善。

钻孔取芯检测每 200m 裂缝长度取一个芯样，全路段共取芯 14 个。根据芯样观察可知，在裂缝处注浆材料饱满和原混凝土粘结牢固，无空隙、无松散，填充饱满度均大于 95%。探地雷达复测结果表明，原板底脱空处的反射波形消失了，基层的密实度大大提高了。

4.3 经济效益评价

注浆修补工艺比传统的铣刨重铺方案每平方米造价低 35%，工期缩短 70%以上，不需要全封闭交通，社会效益明显。本项目裂缝注浆处治总面积约为 1860 m²，直接工程费约为 52 万元，比铣刨重铺方案节省投资约 97 万元，施工期间只占用单车道，对市民出行影响降到最低。

5 结论

本文以泉州市宝洲街道路改造工程为依托，对闽南地区旧道路裂缝病害的注浆修补施工质量进行研究。闽南地区高温多雨、重载交通密集，旧路裂缝以荷载型和水损害型为主，雨水沿裂缝下渗容易造成唧泥、板底脱空，加快病害恶性循环。传统的铣刨重铺工艺工期长、交通影响大，微创高效注浆修补技术更适合城市建成区道路养护需求。

研究从原材料性能检验、钻孔位置及精度控制、注浆压力和流量动态调节、封孔作业和养护验收四个方面来构建起一个全流程闭环的质量控制体系，建立有 10 个关键检验项目量化质控指标，对各个项目的检验频率、检测方法、合格标准进行明确，使注浆施工由经验型作业转变为标准化作业。

工程实践证明，严格按照质量控制体系进行施工，注浆路段路面弯沉值降低 17.3%，钻孔芯样裂缝填充饱满度大于 95%，路面承载能力和结构整体性明显改善，处治效果达到设计要求，具有较好的经济效益和社会效益。该体系适应东南沿海多雨地区气候地质特点，可以给同类工程提供标准化的质控标准。将物联网技术同智能注浆监测系统相结合，达到施工参数实时预警、自动调节的目的，促使道路养护迈向智能化进程。

参考文献：

[1] 郭馨婷.沥青路面水泥稳定碎石基层注浆补强要点[J].交通世界,2026,(14):20-22.
[2] 王博.隧道衬砌裂缝注浆加固技术效果分析[J].科学技术创新,2026,(8):159-162.
[3] 王韬.沥青路面反射裂缝的快速注浆修复技术[J].交通科技与管理,2026,7(6):79-81.
[4] 姚成.市政道路裂缝加固处理技术探究[J].新城建科技,2026,35(1):128-130.
[5] 李久伟.半刚性基层裂缝注浆修复技术研究[J].交通世界,2025,(31):46-48.