

既有道路沉降注浆修复技术应用效果与耐久性研究

李俊章

宜城市康路养建有限责任公司 湖北 宜城 441400

【摘要】：软弱地层道路沉降频发，传统修复工艺扰动较大，本文结合湖北襄阳某学校操场沉降修复工程实践，系统研究道路沉降注浆修复技术的作用机理、关键施工技术及应用效果。渗透固结、挤密填充与劈裂加筋协同作用，明确技术适用条件与优势；细化注浆材料配比、参数设定、设备选型、施工流程要点；沉降监测、承载力检测及耐久性分析，验证技术有效性。该技术可快速实现沉降稳定，提升地基承载力，施工扰动小、工期短、造价低，在软弱地层道路及场地沉降修复中推广价值良好，为同类工程提供技术参考。

【关键词】：道路沉降；注浆修复；软弱地层；地基承载力；施工技术

DOI:10.12417/2811-0536.26.08.023

引言

市政建设推进与道路运营年限增加，素填土、淤泥质土等软弱地层路基，易因地下水流失、回填压实不足引发沉降病害，影响道路通行安全，损害周边场地设施。传统开挖换填工艺施工扰动大、工期长、造价高，无法适配运营中道路、校园场地等不可大规模开挖场景。注浆加固技术属微创修复手段，施工便捷、效果显著，已广泛应用于路基沉降修复。本文结合湖北襄阳某学校操场沉降修复工程，探讨道路沉降注浆修复的作用机理、关键技术及应用效果，为同类软弱地层道路沉降问题提供可行解决方案。

1 道路沉降注浆修复技术作用机理与工程适用性

1.1 注浆加固核心作用机理

道路沉降注浆加固依托渗透固结、挤密填充与劈裂加筋三种核心机制协同作用，不同地层与压力条件下主导作用存在差异^[1]。粉土、黏性土等道路常见软弱地层中，高压注浆时以挤密填充为主，或与渗透扩散、劈裂加筋耦合，浆液注入后填充土体孔隙与路基脱空区域，胶结松散颗粒形成整体固结体，提升土体抗剪强度与结构整体性，阻断地下水渗流路径，恢复水土压力平衡，从根源抑制路基附加沉降与不均匀变形。

1.2 道路沉降注浆技术适用条件与优势

道路沉降注浆技术适配素填土、黏性土、淤泥质土等软弱地层，尤其适用于运营中道路、市政场地等不可大规模开挖换填的场景。可快速处置地下水流失、回填压实不足、基坑施工扰动引发的路基沉降病害，具备显著工程适用性。对比开挖换填、高压旋喷等工艺，无需破坏路面结构、施工扰动小、工期短、造价低，可在道路正常运营状态下实施微创修复。湖北襄阳某学校操场沉降修复工程对应沉降区域、最大沉降

量20cm情况下，注浆施工未影响园区正常使用，7天即实现沉降稳定，充分体现其便捷、经济、高效的综合优势，在道路养护与场地沉降修复中具备不可替代的推广价值。不同修复工艺对比详见下表：

表1 不同道路沉降修复工艺对比表

修复工艺	注浆修复	开挖换填	高压旋喷
施工扰动	小(微创)	大	中
工期	短(7天稳定)	长(15-20天)	中(10-12天)
造价	低	高	中高
路面破坏情况	无破坏	完全破坏	局部破坏
适用场景	运营中道路、市政 场地	非运营道路、大 面积沉降	深层软土地基

2 道路沉降注浆修复关键施工技术

2.1 注浆材料与配合比设计

道路沉降注浆以P·O 42.5级普通硅酸盐水泥为核心固化剂，配合比结合地层特性与加固需求经现场试配确定^[2]。湖北襄阳某学校操场沉降修复工程采用水灰比1:1的水泥浆液，掺入2%水玻璃提升浆液结合率，2%泵送剂优化流动性，10%膨胀剂补偿固化收缩。该配比兼顾浆液渗透性能、固结强度与施工流畅性，适配淤泥质土等低渗透性软弱地层，避免浆液离析、堵管或填充不密实问题。材料选型与掺量均围绕道路路基加固的强度、耐久性与施工适配性设计，保障深层加固效果。

2.2 注浆参数确定

注浆参数依据地层条件、沉降深度与加固目标设定，湖北襄阳某学校操场沉降修复工程注浆深度定为5m，覆盖素填土、黏土及上部淤泥质土软弱层。注浆

压力控制在 0.3-1.0MPa，低压避免路面抬裂，高压保障浆液渗透挤密。布孔采用纵横向间距 1m 的梅花型布置，确保加固区域无死角，钻孔直径 110mm、孔深不小于 5.3m，垂直度偏差控制在 1%以内。参数组合既满足软弱地层填充固结需求，又避免扰动周边结构与地下管线，契合道路修复的安全与精度要求。

2.3 注浆设备选型

道路沉降注浆设备需适配微创施工与压力精准控制需求，成孔采用地质钻机，保障钻孔垂直度与深度达标。注浆核心设备选用液压注浆泵，搭配灰浆搅拌机、高压注浆胶管、注浆花管及储浆池，注浆花管底部 2m 范围设间距 150-200mm、孔径不小于 5mm 的花眼，保障浆液均匀扩散。设备选型兼顾压力稳定性、流量可控性与便携性，满足道路现场狭小空间、快速施工的作业要求。湖北襄阳某学校操场沉降修复工程设备配置实现了高效成孔与连续注浆，有效规避堵管、压力波动等施工难题。

2.4 注浆施工工艺流程

道路沉降注浆遵循标准化工艺流程，精准测放孔位，按梅花型均匀布设。地质钻机钻孔，严控垂直度与孔深。埋设底部带花眼的注浆管，孔口 0.5m 范围用水泥、石子、砂混合料捣实封孔。注浆阶段按先外围后内部、跳孔间隔原则施工，缓慢加压并持续搅拌浆液，防止堵管与离析。注浆完成后立即用木塞封管，减少回浆损失，全流程衔接紧密，实现从定位到封孔的闭环施工，保障浆液填充密实、加固均匀，适配道路沉降修复的高效施工需求。

3 道路沉降注浆修复应用效果与耐久性分析

3.1 沉降控制效果监测与分析

沉降监测是评定注浆效果的核心指标湖北襄阳某学校操场沉降修复工程注浆前平均日沉降量达 5mm，沉降速率快且持续发展。注浆施工期为第 11-14 天，初期日沉降量降至 1mm 左右，注浆完成 7 天后沉降基本稳定。28 天监测期内各测点沉降量逐步趋近于 0，累计沉降量控制在规范允许范围内。数据表明注浆快速阻断沉降发展路径，填充土体孔隙与脱空区域，恢复路基结构稳定性，实现道路沉降的长效控制，为类似工程提供量化监测依据。见表 2

表 2 湖北襄阳某学校操场沉降修复工程注浆修复工程沉降监测数据表

监测阶段	监测时间	平均日沉降量 (mm)	累计沉降量 (mm)
注浆前	第 1-10 天	5.0	50.0
注浆施工期	第 11-14 天	1.0	54.0
注浆后	第 15-21 天(7 天)	0.3	56.1
长期监测	第 22-38 天(28 天)	≤0.1	≤56.3

注浆前	第 1-10 天	5.0	50.0
注浆施工期	第 11-14 天	1.0	54.0
注浆后	第 15-21 天(7 天)	0.3	56.1
长期监测	第 22-38 天(28 天)	≤0.1	≤56.3

3.2 地基承载力提升效果评价

注浆通过浆液固结与土体挤密，显著提升道路基层与地基承载性能。湖北襄阳某学校操场沉降修复工程原场地素填土层压实不足，黏土层与淤泥质土地基承载力特征值仅 80kPa、60kPa。经注浆加固后，土体形成水泥土固结体，颗粒胶结紧密，孔隙率大幅降低，地基承载力满足道路与场地使用荷载要求^[3]。路基变形模量显著提升，有效抵御车辆荷载与外部扰动，避免后期反复沉降，承载力提升与变形控制协同作用，保障道路结构长期安全服役。

3.3 长期耐久性影响因素分析

道路注浆修复耐久性受材料、地层、施工与环境多因素耦合影响。水泥基浆液的水化稳定性、外加剂适配性直接决定固结体长期强度，水玻璃、膨胀剂等合理掺量可提升抗渗、抗收缩性能。地层方面，淤泥质土等软土易受地下水侵蚀，注浆需彻底填充孔隙、阻断渗流路径。施工中布孔密度、注浆压力均匀性、浆液充盈度影响加固整体性，漏灌、压力不足会导致局部薄弱区。环境因素中，地下水波动、冻融循环、车辆重复荷载会加速结构劣化，湖北襄阳某学校操场沉降修复工程通过优化配比、严控施工质量、阻断地下水渗流，有效抵御软土与水环境对耐久性的不利影响。

3.4 耐久性综合评定

综合湖北襄阳某学校操场沉降修复工程实践与监测数据，注浆修复后沉降快速稳定、地基承载力达标、路基结构整体性显著增强。28 天监测期内无二次沉降与变形发展，固结体强度与抗渗性能满足长期使用要求。该技术通过材料、工艺与质控的协同优化，有效解决软弱地层道路沉降难题，具备优异的长期耐久性。市政道路、场地地基等沉降修复工程中，可实现一次加固、长效稳定，综合效益优于传统修复工艺，具备广泛推广应用价值。

4 结语

本文结合工程实践，对道路沉降注浆修复技术进行了全面研究，明确了其核心作用机理、适用场景及关键施工要点。通过湖北襄阳某学校操场沉降修复工

程监测数据验证了技术的有效性与耐久性。实践表明,注浆修复技术可通过多机理协同作用,快速填充路基孔隙与脱空区域,显著提升地基承载力,实现沉降长效控制。施工扰动小、工期短、造价经济,适配运营

中道路、校园场地等特殊场景需求。该技术有效解决了软弱地层道路沉降难题,弥补了传统修复工艺的不足。

参考文献:

- [1] 余敏.市政道路中沉降段路基路面施工技术要点分析[J].科技资讯,2025,23(02):163-165.
- [2] 张建礼.道路工程中沉降段路基施工技术分析[J].四川建材,2024,50(11):135-137.
- [3] 赵亚军.道路路基沉降注浆施工技术探讨[J].天津建设科技,2023,33(03):18-20.