

# 探究注浆技术在房屋建筑工程施工中的应用

文 / 钟 杰 中国能源建设集团湖南火电建设有限公司

**摘要：**房屋建筑工程施工与渗漏治理中，注浆技术的创新应用可以促使房屋的坚固性更强。基于此，本文就注浆技术体系分类及力学原理进行较为详细的解析，分析典型工程问题中的技术适配性，并提出几项技术优化与应用质量保障建议，旨在推动技术的发展同时促进房屋建筑工程领域高质量发展。

**关键词：**注浆加固；渗透系数；可泵期；二次补浆；工后沉降

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.23.023

## 引言

城市地下空间开发强度持续提高，传统防渗漏技术的应用很难满足 15 米以上深基坑的变形控制要求，尤其在粉质黏土与砂砾互层地质中。注浆技术的扰动小、成本低，逐步从抢险堵漏的辅助手段升级为主体加固工法。对此，本文在强调该技术应用价值、分析技术原理的基础上提出了具体的实施建议，以期助力保障房屋建筑工程的质量，促进技术改进与应用推广。

### 一、注浆技术体系分类及力学原理

#### （一）渗透注浆与劈裂注浆的土体改良差异

从微观土体结构改造的角度来看，渗透注浆主要依赖浆液在颗粒孔隙间的自流动特性实现填充，其作用效果与达西渗透定律高度吻合，适用于级配良好的中粗砂层或砾石层，浆液在重力与压力双重作用下形成的连续渗透网络能够显著提高土体的整体性；而劈裂注浆则通过超过地层初始应力的注浆压力主动撕裂土体结构，形成的放射状浆脉网络不仅具有排水固结功能，其硬化后产生的骨架效应更能改善软弱夹层的承载性能，在处置含水量高的黏性土层时表现出独特优势<sup>[1]</sup>。两种工法的本质区别在于前者属于被动填充式改良，后者属于主动破坏式重构。如，渗透注浆要求浆液粘度控制在 35s 以下以保证流动性，劈裂注浆则要将启裂压力精确控制在土体抗拉强度的 1.2-1.5 倍区间。

#### （二）压密注浆对既有基础的抬升效应

压密注浆强调通过浆泡扩张产生的三维应力场实现对地基的精准调控，当采用水灰比 0.45-0.55 的水泥浆液以 0.6-1.0MPa 的梯度压力注入时浆体在土体中形成类似“液压千斤顶”的力学作用模式。该工艺主要包含两个关键阶段：初始阶段浆液在注浆管末端形成椭球状压缩区，使周围土体产生塑性变形；后续阶段随着浆泡持续扩张，土体颗粒发生定向排列重组，最终形成以注浆点为中心的多层加固圈。通常情况下，针对框架结构独立基础，控制单点注浆速率在 8~12L/min 范围内可以确保建筑物抬升速度不超过 0.2mm/min，既能够避免结构二次损伤又可以有效地消除差异沉降，尤其适用于对沉降敏感的历史建筑修复工程。

#### （三）复合注浆技术的协同作用机理

复合注浆技术强调通过材料组分的优化重组实现性

能互补，当纳米级活性掺合料与传统水泥基材料复合使用时其微观作用机理表现为三个层次：在分子尺度上，纳米颗粒填充水泥水化产物的凝胶孔隙使浆体密实度提高约 15%；在介观尺度上，聚合物乳液形成的柔性网络与刚性水泥石相互缠绕，赋予材料在岩溶裂隙中变形跟随能力；在宏观尺度上，多种外加剂的协同作用使浆液既保持足够的流动性又具有快速建立强度的特性。尤其在处理动水条件下的渗漏问题时复合注浆技术优势体现将更加明显。如，在地下水位波动频繁的区域，采用缓凝型复合浆液可以确保在浆液被地下水稀释前完成关键裂隙的封堵。



图 1 地基注浆加固

### 二、典型工程问题中的技术适配性分析

#### （一）地下室渗漏的逆向注浆治理方案

逆向注浆技术在处理地下室渗漏问题时强调通过结构内部钻孔建立逆向压力梯度，使浆液沿渗漏路径反向渗透填充<sup>[2]</sup>。与传统迎水面封堵相比，钻孔定位阶段采用红外热成像与超声探测相结合的复合定位技术，能够准确地捕捉混凝土收缩裂缝的立体分布形态，根据裂缝宽度 0.2~1.5mm 的差异分级选用不同粒径的注浆材料；浆液配比设计时，针对常见的结构渗漏类型，聚氨酯-环氧树脂复合浆液的体积配比通常控制在 3:7 至 4:6 区间，在保留聚氨酯材料的快速膨胀特性同时兼具环氧树脂的长期耐久性；压力控制环节则采用分阶段增压方式，初始注浆压力维持在 0.3-0.5MPa 以确保浆液渗透，待浆液初凝后再逐步提高至 0.8-1.2MPa 实现结构性补强。

#### （二）桩基缺陷的袖阀管修复工艺

袖阀管注浆技术在处理 PHC 管桩桩身缺陷时优势明显，通过预埋分段式袖阀管建立可控注浆通道。实践

中，首先采用声波透射法精确定位桩身离析区三维坐标，根据缺陷体积选用直径 25 ~ 35mm 的 PVC 袖阀管，以 1.0 ~ 1.5m 间距分段设置橡胶止浆塞；注浆前采用 0.3MPa 压力清水循环冲洗离析区以保证浆液与桩体结合面清洁度；正式注浆阶段采用先稀后浓的浆液转换策略，初始注浆使用水灰比 1:1 的水泥净浆充分渗透细微裂隙，后期转换为 0.5:1 的微膨胀砂浆进行结构性补强，全过

程通过埋设在袖阀管内的光纤传感器实时监测浆液充盈状态。通常，当控制注浆压力在 0.8-1.2MPa 范围且注浆速率维持在 10 ~ 15L/min 时，修复后的桩身完整性系数可达 0.92 以上，且桩体竖向承载力恢复系数超过 0.95。与传统桩周土体注浆相比，该工艺可以精确控制浆液在桩身缺陷区的三维分布形态，避免浆液外溢造成的材料浪费，尤其适用于对既有建筑桩基的隐蔽缺陷修复。

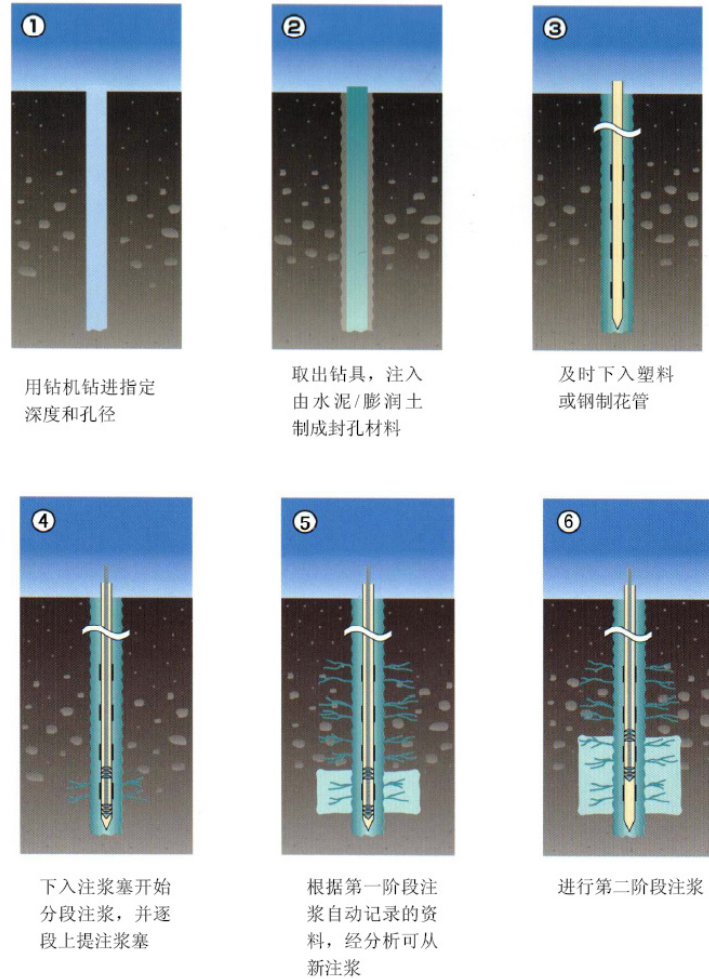


图 2 袖阀管注浆技术施工

### （三）湿陷性黄土的预处理注浆参数

湿陷性黄土预处理注浆技术强调通过浆液与土体的物理化学反应实现双重改良，要求重点把握土体特性识别以及浆液配比优化和注浆参数控制<sup>[3]</sup>。在土体特性识别阶段，基于室内湿陷试验结果将处理区域划分为不同敏感等级，针对湿陷系数在 0.015-0.03 的中等湿陷性土层，采用粉煤灰—水泥二元浆液体系具有最佳经济性；浆液配比优化方面，通过正交试验确定水灰比 0.55-0.65 以及粉煤灰掺量 20% ~ 30% 的配比区间，保证浆液流动性达到 25 ~ 35s 的漏斗粘度要求，确保 28 天无侧限抗压强度不低于 2.5MPa；注浆参数控制环节采用“低压慢渗”的技术路线，将注浆压力控制在 0.3-0.6MPa 范围，注浆速率维持在 5 ~ 8L/min，配合 1.0 ~ 1.5m 的梅花形布孔间距，使浆液在土体中形成连续的加固网络。此外，

在注浆完成后的养护期间，需保持 7 ~ 10 天的间歇性补浆周期以补偿浆液固结收缩造成的微空隙，使处理后的土层不仅湿陷性完全消除，其渗透系数亦可以降低 1 ~ 2 个数量级。一般情况下，采用该技术路线处理的黄土基础，在经历三次完整湿陷循环后仍能保持稳定的承载性能<sup>[4]</sup>。

### 三、技术创新与质量控制要点

#### （一）基于物联网的过程监控系统

构建物联网驱动的注浆过程监控系统过程中，在感知层配置方面建议在每个注浆点位安装 0.5% 精度的压力变送器和 1.0 级精度电磁流量计，同时在钻杆末端集成微型惯性测量单元，以不低于 10Hz 的频率采集浆液压力、流量及钻杆姿态数据；传输层应采用工业级 LoRa 无线组网技术，保证在复杂工地环境下仍能维持 99.9% 以上的数据传输稳定性，尤其针对地下三层以下的作业面，

需通过中继节点实现信号接力传输；应用层开发具有机器学习功能的注浆分析平台，能够自动建立注浆压力—流量—土体变形的三维关联模型，当监测到压力梯度异常或浆液扩散不对称时即时生成包含坐标定位和调整建议的预警报告。此外，建议在典型地质单元设置基准测试区，通过对比人工记录与系统监测的200组以上数据样本，持续优化算法的适应性和准确性。如此一来，可以有效地解决传统注浆施工中“看不见、控不准”的难题，其积累的过程大数据更为后续工程提供宝贵的参数优化依据<sup>[5]</sup>。

## （二）环保型注浆材料的性能优化

在环保型注浆材料的性能优化方面要建立从原材料筛选到施工应用的全流程环保控制体系，针对房屋建筑工程中常见的生态敏感区施工场景推荐采用磷酸镁水泥作为基材，该材料在水化过程中通过形成稳定的鸟粪石晶体结构，不仅可以使浆液pH值控制在8.5~9.0的安全范围，其早期强度发展曲线更能适应不同季节的施工温度波动；在配合比设计阶段，要通过系统的正交试验确定最优材料组合，建议将工业副产硅灰的掺量控制在15%~20%区间，既可以提高浆体的密实度又能有效地利用固体废弃物；施工过程中尤其要注意浆液的工作性能调控，当环境温度处于10~25℃时应将缓凝剂的添加量调整为胶凝材料总量的0.3%~0.5%，以确保浆液在保持30~45分钟可以泵送时间的前提下，仍能在6~8小时内建立足够的初期强度。针对地下水位变动频繁的工程部位，可以考虑在浆液中掺入0.05%~0.1%的疏水型聚合物乳液，使硬化后的注浆体在保持2.0MPa以上抗渗强度的同时具有适应±5mm/m变形的延展性能。此外，材料进场验收时除常规力学指标外，还需重点检测重金属离子析出量和放射性指标，所有检测数据要形成完整的可以追溯档案<sup>[6]</sup>。

## （三）注浆效果的无损检测新技术

在注浆效果的无损检测技术领域，要建立多物理场协同的立体化检测体系，采用800MHz~1.2GHz高频地质雷达阵列进行浅层扫描，配合20Hz~100Hz低频面波测试获取深层数据，两种方法的检测网格间距控制在0.3m×0.3m时可以实现地下0.5m×0.5m以上未充盈区的精准识别。数据处理环节要开发专用的图像融合算法，将电磁波反射系数与剪切波速建立关联模型，当发现某区域波速异常下降15%以上或介电常数突增20%时系统自动标记为可疑缺陷区。此外，建议在每个检测单元设置3个不同方向的交叉测线，通过对比各向异性参数的变化规律来区分真实缺陷与仪器误差。考虑到房屋建筑基础的特殊性，检测设备的移动平台要具有适应狭窄空间作业的能力，建议选用重量不超过15kg的便携式主机配合可以伸缩天线阵列，在保证检测精度的前提下实现单人操作<sup>[7]</sup>。不仅如此，还可以选取总测点数的3%~5%进行微创验证，采用直径8mm的微型取芯器获取样本，既能确认检测效果又可以避免对建筑结构造成二次损伤。

## （四）施工组织中的风险防控措施

在施工组织风险防控体系的构建过程中，要建立从参数监测到应急响应的全过程管控机制，重点配置三组关键监测参数：第一组为浆液状态参数，包括压力传感器0.5%精度范围内的实时压力波动以及电磁流量计记录的每分钟流量变化、温度传感器监测的浆液稠化曲线；第二组为地层响应参数，涵盖布置在注浆点周边2m范围内的倾角仪读数以及埋深3m处孔隙水压力计数据、地表沉降观测点的毫米级位移变化；第三组为环境参数，主要涉及地下水位监测井的水位波动和周边建筑物裂缝观测点的宽度变化。当上述任意参数组合出现异常时系统要根据预设的17项关联规则自动触发分级响应。如，当注浆压力骤降20%伴随流量突增15%时立即启动二级响应程序，先将注浆速率降至原设计值的30%~50%，同时通过备用注浆管注入水灰比0.8:1的稀释浆液进行应急填充，若10分钟内参数仍未回归正常区间，则需启动钻孔内窥镜对可疑区段进行视频验证。此外，建议在每个作业面配置独立的应急决策模块，集成地质雷达扫描数据以及施工图纸和实时监测数据，通过三维可视化界面直观显示风险演变趋势，使技术人员能够基于0.5m×0.5m网格精度的风险评估结果，快速判断是否要调整注浆孔位间距或改变浆液配比方案。尤其针对房屋建筑密集区的施工项目，还需建立注浆影响半径与邻近建筑物安全距离的动态计算模型，当监测到某方向的地表隆起速率超过0.15mm/min时系统自动生成包含注浆参数调整建议 and 支护加固方案的应急处置预案以保证周边建筑结构的安全稳定。

## 结语

综上所述，注浆技术从经验导向型工艺向数据驱动型工法转变，对房屋建筑工程质量的保障更进一层。在今后的技术应用实践中，还需重点攻克智能注浆装备的微型化难题，建立区域性地质参数数据库，持续提高技术适用性。

## 参考文献

- [1] 姜海. 房屋建筑土木工程施工中的注浆技术分析[J]. 水泥, 2025, (07): 130-132.
- [2] 刘刚. 房屋墙体砌筑施工技术及要点探讨[J]. 建材发展导向, 2025, (09): 85-87.
- [3] 胡文东. 房屋建筑土木工程施工中注浆技术分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (08): 115-117.
- [4] 李强. 注浆技术在房屋建筑工程施工中的应用[J]. 四川建材, 2024, 50(04): 167-169.
- [5] 李明. 房屋建筑土木工程施工中注浆技术研究[J]. 新城建科技, 2023, 32(23): 115-117.
- [6] 张晓龙. 浅谈注浆技术在房屋建筑工程施工中的应用[J]. 建设监理, 2023, (07): 110-112.
- [7] 王庆鑫. 浅谈房屋建筑土木工程施工中的注浆技术分析[J]. 砖瓦, 2022, (09): 150-152.