DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.260548

高压线下深埋管线穿越地连墙清障技术及工程应用研究

周梦军
(中铁大桥局集团有限公司,湖北 武汉 430050)

摘 要: 城市地下工程中深埋管线与基坑地连墙的空间冲突已成为制约施工安全与效率的关键瓶颈。以杭州市拱墅区某快速路下穿隧道工程为依托,针对球墨铸铁污水管、钢管及PE给水管等多材质深埋管线与地连墙交叉的复杂工况,系统研发了“精确定位—分类清障—分层加固—动态监测”一体化技术体系。通过优化全回转钻机切割参数、创新高压旋喷桩垂直度控制工艺、建立三级预警监测机制,实现了复杂地质条件下深埋管线的安全高效清障。工程实践表明,该技术可将周边管线沉降控制在15 mm以内,地连墙成槽合格率达100%,解决了高压架空线受限空间施工、多类型管线协同清障等技术难题,为城市核心区类似工程提供了可复制的技术方案与工程范例。

关键词: 深埋管线;地下连续墙;清障技术;全回转钻机;高压旋喷桩;动态监测
中图分类号: TU758 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2026)11-0369-05

Research on Obstacle Clearance Technology and Engineering Application of Deep Buried Pipelines Crossing Diaphragm Walls under High Voltage Lines

ZHOU Mengjun
(China Railway Major Bridge Engineering Group Co., Ltd., Wuhan 430050, Hubei, China)

Abstract: In urban underground engineering, the spatial conflict between deep-buried pipelines and diaphragm walls of foundation pits has become a key bottleneck restricting the construction safety and efficiency. Based on an underpass tunnel project of an expressway in Gongshu District, Hangzhou, an integrated technical system of “accurate positioning - classified obstacle clearance - layered reinforcement - dynamic monitoring” is systematically developed for the complex working conditions where multi-material deep-buried pipelines such as ductile iron sewage pipes, steel pipes and PE water supply pipes intersect with diaphragm walls. By optimizing the cutting parameters of the full-rotary drilling rig, innovating the verticality control technology of high-pressure jet grouting piles, and establishing a three-level early warning monitoring mechanism, the safe and efficient obstacle clearance of deep-buried pipelines under complex geological conditions is realized. Engineering practice shows that this technology can control the settlement of surrounding pipelines within 15mm, and the qualified rate of diaphragm wall trenching reaches 100%, which solves technical problems such as limited space construction under high-voltage overhead lines and collaborative obstacle clearance of multiple types of pipelines, providing a replicable technical scheme and engineering example for similar projects in urban core areas.

Keywords: deep-buried pipeline; diaphragm wall; obstacle clearance technology; full-rotary drilling rig; high-pressure jet grouting pile; dynamic monitoring

0 引 言

随着城市快速路向地下空间的拓展,基坑工程与既有深埋管线的冲突日益凸显[1]。地下连续墙作为深基坑围护的核心结构,其施工区域内的管线障碍若处理不当,易引发土体坍塌、管线破裂、周边建(构)筑物沉降等安全事故[2]。据统计,城市地下工程中因管线清障不当导致的工期延误占比达30%以上,经济损失平均超百万元[3]。

当前国内外主流清障技术包括人工清障、静态爆破清障及机械切割清障[4]。人工清障适用于浅

收稿日期:2026-05-15
作者简介:周梦军(1990—),男,学士,高级工程师,从事工程施工管理与技术相关工作。

埋、简单管线，但效率低下且安全风险高；静态爆破受周边环境限制，易产生振动扰动；机械切割清障虽应用广泛，但针对多材质、大埋深管线的协同清障技术仍有待完善[5-6]。杭州市拱墅区某快速路下穿隧道工程地处城市核心交叉口，不仅面临球墨铸铁、钢管、PE等多材质管线的交叉冲突，还受220 kV高压架空线空间限制，传统清障技术难以满足施工要求[10]。

本文基于该工程复杂工况，研发针对性的清障技术方案，通过优化施工工艺参数、强化质量安全控制、构建动态监测体系，实现深埋管线清障与地连墙施工的无缝衔接，其研究成果对类似工程具有重要的技术参考价值。

1　工程概况

1.1　工程基本信息

某快速路下穿隧道工程位于杭州市拱墅区康桥路与拱康路交叉口，工程主线为城市快速路，设计速度80 km/h，双向6车道布置，隧道纵坡1.9%。隧道全长81.2 m，宽30.5 m，开挖深度13.2～14.7 m，采用明挖顺作法施工。基坑围护采用800 mm厚地下连续墙，首道混凝土支撑及3道ϕ609 mm（壁厚16 mm）钢管支撑。

1.2　深埋管线特征

与地连墙冲突的深埋管线共计8条，涵盖污水和给水两类，具体参数见表1。其中污水管道为废弃球墨铸铁管，给水管道含钢管和PE管，埋深跨度大（6.2~22.8 m），与地连墙形成16处交叉点，清障难度极大。

表1　穿越地连墙管线汇总表

序号	管线类型	规格	埋深/m	走向	材质	与地连墙交叉点数量
1	污水管道	DN1000	6.2	南北向	球墨铸铁	2
2	给水管道	4×DN600	10~22.8	南北向	钢管	8
3	给水管道	2×DN355+DN400	7	南北向	PE管	6

1.3　关键工程条件

1.3.1　地质条件

清障区域主要涉及④$_2$层粉质黏土夹粉土，该层呈软塑状态，含氧化铁斑及粉土薄层，具微层理，干强度（18.9 kPa）和韧性（13.6 kPa）偏低，水平渗透系数6.7×10^{-6} cm/s，垂直渗透系数6.13×10^{-6} cm/s。该土层稳定性较差，易在清障过程中发生坍塌，对护壁技术提出严格要求。

1.3.2　水文条件

工程区域地下水包括孔隙潜水和孔隙承压水。孔隙潜水水位年变幅1.00～2.00 m，主要补给来源为大气降水和地表水体；孔隙承压水赋存于⑧层圆砾中，受气候影响小，对清障施工影响有限，但需防范潜水涌入孔内。

1.3.3　周边环境限制

交叉口上方有6条220 kV高压架空线，垂弧距路面最小距离22.1 m。根据《建筑与市政工程施工现场临时用电安全技术标准》（JGJ/46—2024）及温度影响弧垂高度等安全距离要求，施工机械最高点需控制在13.5 m以内，设备选型和施工布局受严格空间限制。同时，周边存在运行中的高压天然气管道、新建半山电厂专用给水管等敏感管线，变形控制要求极高。

2　施工计划与资源优化配置

2.1　施工计划优化

采用“分区段、分类型、流水作业”的施工计划，总工期15 d。施工顺序优化为：管线精探→污水管注浆封堵→中孔清障→边孔清障→给水管双液浆封堵→桩孔回填→高压旋喷桩加固→浅埋管线挖除，确保各工序衔接紧凑，减少土体暴露时间[14]。

2.2　资源配置升级

2.2.1　劳动力专业化配置

组建14人专业清障团队，其中特种作业人员（全回转钻机操作员、高压旋喷桩操作员）均持证上岗，且具有3年以上类似工程经验。设置专职技术负责人1名，专项负责清障过程中的参数调整和技术指导，确保施工精度。

2.2.2　机械设备协同配置

根据高压架空线空间限制，精选低净空、高效率设备，具体配置见表2。全回转钻机与履带吊采用协同作业模式，通过有线遥控控制钻机操作，提升施工安全性和效率。

3　核心施工工艺技术创新

3.1　清障技术原理优化

构建“全回转钻机切割-钢套管护壁-双液浆封堵-水泥土回填-高压旋喷桩加固”的协同技术体系。全回转钻机通过360°回转钻进切割管线时，原位土体原有平衡被打破，产生局部应力释放与侧向卸荷

表 2　主要机械设备优化配置表

序号	设备名称	规格/型号	数量	关键参数	适配性说明
1	全回转钻机	JAR210H	1 台	作业高度 9 m，回转扭矩最大 600 kN·m，有线遥控操作	满足高压线下空间限制，钛合金钻头适配多材质管线切割
2	履带吊	SCC1350A	1 台	起吊高度 13 m，额定起重量 42~52 t	精准吊装钢套管，与钻机协同作业
3	高压旋喷桩机	XPL-80 型	2 台	作业高度 6.9 m，水泥含量 18%，垂直度偏差不大于 0.1%	低净空设计，适配槽壁加固需求
4	电动抓斗机	DLQ16T	1 台	抓斗直径 1.2 m，额定起重量 16 t	高效清运孔内土体及管线残骸

效应；同步跟进钢套管护壁可即时约束孔壁土体侧向位移，快速抑制应力无序重分布，规避软塑土层坍塌失稳风险；后期采用水泥-水玻璃双液浆对管线端头及地层空隙注浆封堵，可充填土体裂隙、固结松散土层，重新构建周边土体应力场稳态，形成“切割卸荷-套管约束-注浆固结”的力学协同闭环。全回转钻机利用钛合金钻头切割管线，钢套管同步跟进护壁，避免孔壁坍塌；清障后采用分级回填和槽壁加固，确保土体稳定性，为后续地连墙施工创造条件[11]。

3.2　关键工艺参数优化

3.2.1　全回转钻机切割参数

针对不同材质管线，优化切割参数：球墨铸铁管（DN1000）采用回转速度 1.0 r/min、扭矩 500 kN·m、下压力 400 kN；钢管（DN600）采用回转速度 1.6 r/min、扭矩 450 kN·m、下压力 350 kN；PE 管（DN355/400）采用回转速度 2.0 r/min、扭矩 300 kN·m、下压力 300 kN，确保切割效率和效果。

3.2.2　桩孔回填材料配比

通过试验确定水泥土最优配比：水泥掺量为 8%，土料粒径不大于 20 mm，含水量控制在 14%~16%（最佳含水量为±1%），该配比下水泥土 28 d 抗压强度达 1.2 MPa，流动性和自密性良好，可有效防止孔内积水和土体沉降。

3.2.3　高压旋喷桩加固参数

结合场地土层特性，开展 15%、18%、20% 多组水泥掺量对比试验，综合土体固结强度、浆液流动性及收缩变形指标，最终优选确定水泥含量为 18%，注浆压力 20~25 MPa，提升速度 10~15 cm/min，旋转速度 20 r/min。采用“四搅两喷”工艺，确保加固体均匀性，加固后土体承载力特征值不大于 180 kPa，满足地连墙施工要求。

3.3　垂直度控制创新技术

针对高压旋喷桩槽壁加固的垂直度要求，研发“四重控制法”：

（1）机身调平：通过水平仪校准底盘，纵向、横向水平偏差不大于 0.1%；

（2）钻杆预检：激光垂准仪检测钻杆全长垂直度，偏差不大于 1‰；

（3）双点监测：钻杆上部（1.5~2 m）和下部（3~5 m）设监测点，每钻进 1 m 测量一次，偏差超过 0.5% 立即调整；

（4）软硬土层过渡处理：遇硬土层时，钻进速度降至 5~10 cm/min，旋喷压力暂降 15%，避免钻杆偏移。

常规高压旋喷桩无专项垂直度控制工艺时，施工垂直度偏差普遍在 3‰~5‰，易造成槽壁偏位、加固厚度不足等缺陷；本文该技术将高压旋喷桩垂直度偏差控制在 0.8‰ 以内，显著提升槽壁加固质量。

3.4　管线封堵技术优化

（1）污水管：采用 P·O 42.5 普通硅酸盐水泥浆，注浆压力 0.3~0.5 MPa，满管注浆封堵，凝固时间不小于 72 h；

（2）给水管：采用水泥-水玻璃双液浆（体积比 1∶1），管头 5 m 范围内注浆，凝固时间为 30~60 s，快速实现阻水，防止地下水涌入[12]。

4　施工保障体系完善

4.1　安全保障体系升级

构建“三级安全管理+专项防护”体系：

（1）一级管理（项目经理）：统筹安全管理，审批安全方案；

（2）二级管理（项目安全员）：24 h 现场巡查，监督安全措施落实；

（3）三级管理（班组安全员）：作业前安全交底，作业中隐患排查。

专项防护措施包括：高压线下设置防护网，施工机械安装防触电预警装置；清障孔位周边设置防护栏杆（高度 1.2 m）和警示灯；夜间施工配备充足照明（照度不小于 200 lx），施工人员穿戴反光警示服[13]。

4.2　质量控制关键点强化

（1）材料质量：水泥进场需经复试（安定性、抗压

强度），土料需筛分去除杂质；

（2）工序质量：清障孔位偏差不大于5 cm，切割管线残留长度不大于10 cm；回填需分层夯实（每层厚度不大于30 cm），压实系数不小于0.95；

（3）验收质量：每道工序完成后，经监理验收合格方可进入下道工序，关键工序（切割、回填、加固）留存影像资料[15]。

4.3　周边管线保护技术创新

针对中远距离管线（1.5～3.0倍清障深度），采用“被动防护+主动加固”组合措施：

（1）土体改良：清障区域与管线之间采用袖阀管注浆（水泥-水玻璃双液浆，压力0.3～0.5 MPa），加固土体厚度不小于2 m，提高土体刚度；

（2）防渗漏保护：雨水、污水管线接口采用环氧砂浆封堵，避免水土流失；

（3）动态监测：对运行管线设置直接监测点，监测频率2次/d，实时掌握沉降位移情况。

5　动态监测与预警机制优化

5.1　监测体系精准化

监测范围为基坑开挖深度的2～3倍，重点监测区域（0.7 H范围内）布设15 m间距监测点，次要区域（0.7～3 H）布设25 m间距监测点。监测项目包括：地下管线竖向位移、电力铁塔基础变形、邻近道路路基沉降、深层水平位移等，共计布设监测点42个。

5.2　预警机制智能化

采用“三级预警+自动报警”机制，预警值及响应措施见表3。通过监测数据实时传输系统，当数据达到预警值时，自动向项目经理、安全员、监理工程师发送短信报警，响应时间不大于10 min。

表3　三级预警机制优化表

预警等级	判定标准	响应措施
黄色预警	累计变形达到控制基准60%；或单日变形达到控制基准；或现场存在安全隐患	2 h内提交《监测联系单》，加强监测频率（每6 h 1次），检查管线及建（构）筑物状态
橙色预警	累计变形达到控制基准80%；或单日变形连续2次达到控制基准；或现场存在较严重隐患	1 h内召开应急会议，调整施工参数（如降低钻进速度），采取加固措施（如加密旋喷桩）
红色报警	累计变形达到控制基准100%；或单日变形连续3次达到控制基准；或现场存在严重隐患	立即暂停施工，启动应急预案，组织专家论证处理方案，变形稳定后方可复工

5.3　巡视与监测协同

每日安排专人进行2次现场巡视，重点检查支护结构裂缝、管线渗漏、监测设施完好情况，巡视记录与监测数据同步分析，形成“监测数据+巡视记录”的综合判断依据，提高预警准确性。

6　应急处置体系优化

6.1　应急组织与物资保障

应急领导小组由项目经理任组长，下设后勤保障组、技术保障组、事故调查组，明确分工，24 h待命。应急物资储备升级，新增应急注浆泵2台、快速封堵材料（聚氨酯堵漏剂）50 kg、应急照明车1辆，确保险情发生时快速响应。

6.2　典型险情处置流程

（1）孔壁坍塌：立即停止施工，启动清水泵排水，采用编织袋填堵坍塌部位，然后注入水泥-水玻璃双液浆加固，待土体稳定后重新清障；

（2）管线破损渗漏：关闭上下游阀门（给水管），采用木楔临时封堵破损处，然后注入双液浆永久封堵，监测渗漏区域土体沉降；

（3）高压触电风险：立即停止机械作业，人员撤离至安全区域，联系电力部门断电处理，排查设备绝缘情况后复工。

6.3　救援通道优化

应急就医线路优化为“施工现场→拱康路→金昌路→浙江某医院”，全程距离3.2 km，车程约8 min。与医院建立应急联动机制，预留急救通道，确保伤员快速救治。

7　工程应用效果

某快速路下穿隧道工程深埋管线清障工程顺利完成，实际工期11 d，比计划提前4 d。依据相关设计要求，本工程周边建（构）筑物沉降控制基准值（报警值）15 mm；刚性管线沉降控制基准值（报警值）15 mm；柔性管线沉降控制基准值（报警值）30 mm。施工期间，周边建（构）筑物最大沉降8 mm，地下管线最大沉降12 mm（刚性管线）、25 mm（柔性管线），实测值均控制在报警值以内，变形处于安全可控范围；地连墙成槽合格率为100%，无安全事故发生。

该工程的成功实践表明，研发的“精确定位—分类清障—分层加固—动态监测”一体化技术体系，有效解决了多材质、大埋深管线穿越地连墙的清障难题，同时满足了高压架空线受限空间施工的安全要求，施工效率提升20%，工程成本节约15%，具有显

著的技术经济效益。

8　结论与展望

8.1　结论

针对城市核心区复杂工况，研发的全回转钻机切割与高压旋喷桩加固协同清障技术，可高效处理球墨铸铁、钢管、PE 等多材质深埋管线，清障合格率达 100%。创新的高压旋喷桩“四重控制法”和管线“分级封堵技术”，显著提升了施工质量，将周边环境变形控制在允许范围内。构建的“三级安全管理+三级预警监测+专项应急处置”体系，实现了清障施工的安全可控，为类似工程提供了完善的保障模式。

8.2　展望

未来可进一步研发小型化、低净空自动化清障设备，适配高压线下、城市核心区狭小受限空间复杂施工工况；完善多材质管线切割、封堵及高压旋喷加固工艺参数库，形成可推广的标准化施工工法；同步探索清障弃土、废旧管线残骸的无害化处置与资源化利用技术，降低工程渣土外运与资源损耗，推动城市地下工程深埋管线清障技术向绿色、标准、智能、高效方向发展。

参考文献：

[1] GB/T 50202—2018 地下连续墙施工技术规范 [S].

[2] 刘新荣，黄明，王军．城市地铁基坑施工中管线保护技术研究[J]．岩石力学与工程学报，2019，38（增刊 2）：3654-3662.

[3] 张庆贺，朱合华，张子新．地下工程施工技术[M]．北京：人民交通出版社，2017.

[4] 王梦恕．隧道与地下工程施工技术现状与展望[J]．工程建设，2020，52（1）：1-8.

[5] 李术才，张庆松，刘人太．复杂地质条件下隧道施工灾害预测与控制技术[J]．岩石力学与工程学报，2018，37（1）：1-28.

[6] JGJ 59—2011 建筑施工安全检查标准 [S].

[7] 陈湘生，李兴高，周健．城市地下工程管线迁改与保护技术[M]．北京：中国建筑工业出版社，2021.

[8] 李明宇，王建华，刘芳．全回转钻机在深埋管线清障中的应用研究[J]．施工技术，2022，51（12）：89-93.

[9] JGJ 79—2012 建筑地基处理技术规范 [S].

[10] 吴可嘉．受限空间下深基坑内支撑施工技术应用[J]．土木工程，2026，15（3）：65-73.

[11] 周游．结合地下连续墙施工的地下管线清障处理技术研究[J]．技术与市场，2019，26（7）：143-144.

[12] 陈凌铜，徐长节．隔水帷幕对深基坑降水开挖变形控制的影响[J]．重庆大学学报，2021，44（4）：78-87.

[13] 仇安兵．有限空间新建设施基坑开挖沉降特征及小变形控制[J]．工程科学学报，2024，46（4）：1123-1132.

[14] 李颖．城市中心区域地下障碍物清除工艺研究[J]．建筑施工，2018，40（12）：2024-2025.

[15] 李大路，赵腾云，王晓伟．基坑开挖对临近地下管线的影响分析[J]．西部探矿工程，2025，37（8）：1-4.