

市政顶管施工沉降控制与监测技术

陈 仟

湖北交投建设集团有限公司市政分公司 湖北 武汉 430000

【摘 要】：为解决市政顶管施工存在的地层土体扰动、施工工艺不规范、监测体系不完善引发的沉降病害问题，本文系统分析顶管施工沉降诱发与监测现存缺陷，阐述全流程沉降防控、标准化点位布设及智能化预警监测核心技术。该成套技术可强化地层变形管控效果，保障周边构筑物与管线安全，有效提升市政顶管非开挖施工的标准化与精细化水平。

【关键词】：市政顶管；沉降控制；土体扰动；智能化监测

DOI:10.12417/2811-0528.26.17.053

引言

市政顶管作为城市地下管网建设的核心非开挖施工工艺，可有效减少路面开挖破坏。复杂地层条件与现场施工管控缺陷，易引发土体扰动、不均匀沉降等病害，威胁周边建构筑物及地下管线的运行安全。依托科学的沉降防控手段与精准监测技术，能够规范顶管施工工况，控制地层变形风险，保障城市市政工程施工的安全与稳定性。

1 市政顶管施工沉降诱发及监测体系现存问题

1.1 地层应力失衡与土体扰动

顶管掘进作业破坏地层原始应力平衡，土舱压力与地层水土压力匹配偏差，引发超挖、土体挤压等不稳定工况。管壁与围岩形成的环形空隙无法自行闭合，土体产生持续性固结变形。富水地层施工中土体细颗粒随渗流水流失，地层孔隙结构持续劣化，滞后沉降病害频发。顶进速度波动、顶力超标及长距离顶管拖拽作用，进一步加剧土体剪切扰动，扩大地层沉降变形范围。

1.2 现场施工工艺管控不规范

施工同步注浆存在时序滞后、注浆量不足、压力参数不合理等缺陷，无法及时填充环形施工空隙。注浆浆液配比未结合现场地层条件动态调整，固结稳定性不足，后期土体收缩变形明显。井体进出洞区域地层预加固、止水封堵施工不到位，易出现涌水涌砂及局部土体亏空^[1]。长距离顶管中继间布设不合理，整体顶力过大，产生背土扰动隐患。

1.3 沉降监测体系布设运行缺陷

监测点位布设密度不足，敏感区域测点覆盖不全，无法完整采集沉降槽变形数据。监测频次未随掘进工况动态调整，关键施工阶段数据采集频次不足。传统人工监测存在数据滞后、测量误差偏大的问题，监测预警联动机制不完善。监测项目维度单一，多仅开展地表沉降监测，缺失深层土体、管节收敛、

水位动态等核心监测内容。

2 市政顶管施工沉降防控与监测关键技术

2.1 全流程地层沉降主动防控技术

施工前期针对软土、富水砂层等不良地质，采用高压旋喷桩、袖阀管注浆技术开展地层预加固作业，在工作井、接收井进出洞位置实施深层止水加固，在临近建构筑物区域布设隔离防护桩体。掘进施工阶段采用土压平衡、泥水平衡掘进控制技术，实时采集地层水土压力参数，动态调节土舱压力，将土舱压力维持在地层静水压力标准区间。严格控制设备出土量，保证出土量与理论开挖方量差值控制在规范允许范围内，全程采用匀速顶进施工模式，稳定设备顶进速率与顶力参数。顶管机头尾部同步开展注浆作业，根据地层土质类型配置差异化膨润土浆液，软土地层采用低比重浆液，砂卵石地层采用高比重浆液，精准控制注浆压力与注浆流量，实时填充管节与围岩环形空隙。管节施工完成后依托预留注浆孔实施二次补偿注浆作业，针对地层微小空隙与土体收缩区域进行补浆填充，匹配地层变形动态调整注浆施工参数。长距离顶管工程按规范间距布设中继间，分段分摊施工顶力，标准化开展管壁润滑泥浆涂抹施工。

2.2 标准化沉降监测点位布设技术

严格按照顶管施工沉降影响范围布设全域监测点位，沿顶管掘进纵向布设轴线监测点，常规施工区段测点间距设置为20m，道路交叉口、老旧建筑、管线密集等敏感区段将测点间距加密至2m至5m。横向布设多组监测断面，单组断面布设不少于6个监测点位，测点布设范围覆盖1.4至2.6倍顶管外径的沉降影响区域。在管顶覆土区域埋设分层沉降测斜管，按0.5m分层间距布设磁环监测元件，固定深层土体分层监测点位。在建筑物基础边角、梁柱节点位置布设竖向沉降测点与裂缝监测点位，在墙体对角位置固定倾角监测设备^[2]。针对燃气、给水、通信等地下管线，采用抱箍式固定方式在管线顶部布设

专属监测点位。沿顶管纵向每5m至10m设置一处管节结构监测断面，在拱顶、两侧墙体、道床位置布设结构收敛监测点，施工沿线均匀布设地下水位监测孔，形成多维度、全覆盖的标准化监测点位体系。

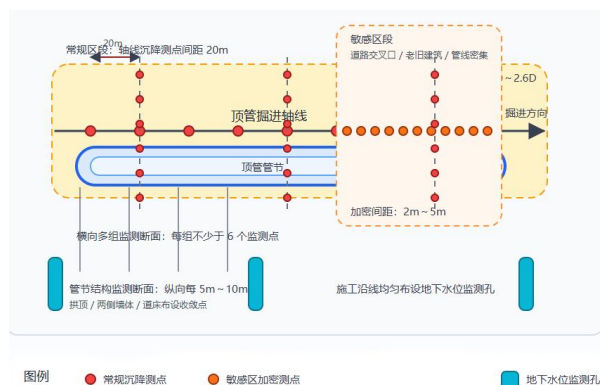


图1 顶管施工标准化沉降监测点位布设示意图

2.3 智能化动态监测与分级预警技术

采用电子水准仪、自动化静力水准、物联网智能测斜仪等高精度监测设备，替代传统人工监测设备，实现沉降数据自动化、连续性采集。搭建顶管施工信息化监测管理平台，接入各类智能监测设备数据端口，实时汇总地表沉降、深层土体变形、管节收敛、地下水位、结构倾角等监测数据，自动生成动态数据台账与变形曲线。实行工况化分级监测频次制度，掘进施工核心阶段采用小时级数据采集模式，机头脱离监测断面后调整为每日两次采集，地层沉降稳定后降低监测频次。

3 市政顶管沉降控制与监测技术的作用

3.1 提升了顶管施工地层变形管控能力

沉降防控技术可实现顶管施工全过程地层扰动管控，平衡开挖面土体应力状态，消除超挖、土体挤压、地下水渗流引发的地层变形问题。同步注浆与二次补浆技术可持续填充管节环形空隙，抑制土体固结收缩与地层孔隙扩张，减少沉降槽发育范围与土体竖向变形量。智能化监测技术可实时捕捉深层土

体、地表土层的微小变形数据，动态识别地层应力波动与土体位移变化情况。通过分级预警机制实现施工参数动态调整，及时纠正顶进施工产生的地层扰动偏差，实现地层沉降变形的量化管控与动态纠偏，降低滞后沉降、不均匀沉降的发生概率，实现岩土体结构稳定性的常态化管控。

3.2 保障了周边构筑物及市政管线运行安全

地层预加固与隔离防护技术可阻断土体变形传递路径，削弱顶管施工扰动对周边土体的传导效应，控制构筑物基础差异化沉降。全方位监测布设体系可实时采集建筑物沉降、倾斜、裂缝及地下管线竖向、水平位移数据，精准掌握周边构筑物与管线的受力变形状态。监测预警机制可提前识别结构变形超限风险，为施工参数调整和应急处置提供数据支撑，规避建筑物结构开裂、基础沉降偏移等结构性病害，杜绝燃气、给水、电力管线变形破损、渗漏、断裂等安全隐患，维持既有市政设施与构筑物的正常运行工况。

3.3 提升了市政非开挖施工标准化精细化水平

成套沉降控制技术统一了顶管注浆、地层加固、顶进参数调控的施工标准，规范了不良地质条件下的施工工艺流程。智能化监测系统固化了测点布设、数据采集、频次管控、预警处置的标准化作业流程，破除传统经验化施工的随意性。监测数据可实现施工参数精准优化，形成数据化施工管控模式，降低施工工艺缺陷与人为操作偏差引发的施工病害。系统化的技术体系可压缩施工隐患处置周期，减少返工整改频次，规范城市顶管工程施工管控流程，提升市政非开挖施工的精细化、规范化、数字化管控水平^[3]。

4 结语

市政顶管施工沉降问题受地层扰动、施工工艺及监测体系多重因素影响。通过落实全流程沉降防控技术与智能化监测手段，可有效改善施工管控短板，精准控制地层变形。切实保障周边构筑物与管线安全，进一步规范市政顶管非开挖施工的精细化作业标准。

参考文献:

- [1] 黄诗东.市政排水管道施工的沉降控制技术研究[J].城市开发,2025,(24):163-165.
- [2] 周菩菩,潘艳萍,潘新锋.沉降控制技术在市政给排水管道施工中运用[J].城市建设,2025,(15):49-51.
- [3] 刘志鹏,李永杰.顶管施工综合管廊下穿市政道路及周边管线变形监测[J].智能建筑与智慧城市,2023,(7):134-137.