

市政给排水施工中顶管技术的应用

王玉龙

温州公用事业发展集团龙港水务有限公司 浙江 温州 325802

【摘要】：城市建成区路网、构筑物分布密集，传统明挖铺设给排水管道，易破坏表层岩土结构、阻碍道路交通，还会触发地层失稳类地质隐患。本文研究非开挖顶管技术，解析液压顶推、地下密闭掘进的技术内核，整理配套设备与标准化施工步骤，依托市政实际项目，对比该项技术在地表防护、工期管控、风险抵御、复杂场地适配的应用长处。总结管道对接、壁后注浆、管体顶进、洞口止水四项现场管控要点，依托原材料核验、工序管控、设备管护、竣工验收完善质量保障方案。研究显示，适配现场工况的顶管施工，可用于老旧城区、山地、临湖市政场地，减少地层扰动，匹配城市存量管网改造需求。

【关键词】：顶管技术；市政给排水；非开挖施工；地层沉降；施工质量管控

DOI:10.12417/2811-0722.26.07.080

引言

国内城镇化进入存量更新阶段，老城区雨污分流、给排水管网改造工程量持续上涨。城市核心路段车流密集，浅层地下管线排布杂乱，区域多分布软土、粉砂等不良土层。明挖开槽施工易引发路面破损、道路阻断、沟槽坍塌、原有管线损坏，施工衍生扰民问题与安全事故时有发生。非开挖顶管凭借低土体扰动、机械化作业的优势，逐步应用于市政地下管线铺设。围绕施工参数管控混乱、进出洞渗水、长距离顶进阻力过大等现场问题，本文结合多地给排水顶管案例，梳理施工要点与质量管控方案，为同类管网改造项目提供参考。

1 顶管技术基本概述

1.1 技术原理介绍

顶管属于市政给排水主流非开挖施工技术，常应用于给水、雨污水管道敷设及更换作业。设备布设至工作井后输出液压推力，推动预制管道沿预设地下轴线前移，同步开展掌子面土方清运、洞周土体支护及管侧土体加固，不会大面积破除地表面层^[1]。地表监测设备实时调控管道倾角、顶进荷载、地表沉降指标，弱化明挖作业带来的地层波动，适配路网、建筑密集区域的地下管线施工。一处主干道下穿污水管改造项目依托这套施工逻辑，保持主干道双向通行不间断，借助液压推送、洞内临时支护体系，完成大口径污水管道地下顶进施工。

1.2 主要施工设备

顶管施工依托液压结构提供动力，全套主力机具都收纳于工作井内部，各装置职能相互独立。掘进机置于机具最前端，切削前路原状土体。预制管道顺着掘进机尾部依次排布，长距离施工加装中继间分散轴向压力，规避管材挤压形变。井内导轨约束管道行进轨迹，主顶油缸搭配顶铁输出均衡推力，后靠背抵消油缸反向作用力，稳固井壁承载结构。汽车吊承担场外管材吊运任务，井内爬梯满足人员上下通行需求，注浆泵与管路配合向管外填充浆液，削减管壁外侧土体摩擦力。机具组合可结合管径规格、推进长度、土层属性灵活调配，适配软土、

砂质地层施工条件。

1.3 整体施工流程

顶管施工依托连贯工序推进，分为场地筹备、管道顶进、竣工核验三个环节。筹备阶段勘察现场岩土条件，划定围挡边界，清理地表杂物，标定井位并浇筑两座功能井，同步完成管材预制、接缝密封及质量复检。吊车下放管材至井内导轨，启动主顶油缸分段顶推，同步开展土体开挖、管壁注浆、轨迹校正与管材拼接。管道接入接收井后，拆除井内临时机具，封堵井壁预留孔洞。随后检测管道闭水、通水通量并复测管线位置。城区长距离雨水管项目采用该工序，搭配平行作业，压缩18%施工工期。

2 顶管技术在市政给排水施工中的应用优势

2.1 减少地面结构破坏

传统给排水明挖施工需大面积土体开槽，易损毁车行路面、人行步道与沿线绿化，也会割裂浅层电力、通信管线，后期地面复原、植被补植花销较大。顶管作业只开挖两处小型竖井，地表扰动面积可降低九成以上。老城区道路通行空间有限，临街商铺、绿化设施分布集中，明挖作业会占用步行通路，破坏原有绿化风貌。顶管不会改动原生地表结构，完工后地表复原工作量偏少，能保全城区地面配套设施与绿化风貌，规避浅层管线误损风险，适配建成区存量管网改造作业。

2.2 加快整体施工进度

明挖施工流程繁琐，包含沟槽开挖、边坡防护、管线铺设、土方回填、道路复原多项步骤，多工种同步配合时易出现作业冲突，还会因道路管控、渣土转运制约暂停施工^[2]。顶管可同步开展土体开挖、管道顶进、注浆降阻作业，工序衔接紧密，外界路面车流、气象条件不会干扰现场进度。一处980米跨城区给水主管改造工程，明挖方案需占用半幅行车道路，计划工期122天，车流疏导还会打断正常施工。泥水平衡顶管仅占用竖井周边围挡范围，无需长期道路管控，依托全天候机械推进，45天完成全线施工，缩减工期的同时弱化对市民出行的影响

(见图1)。

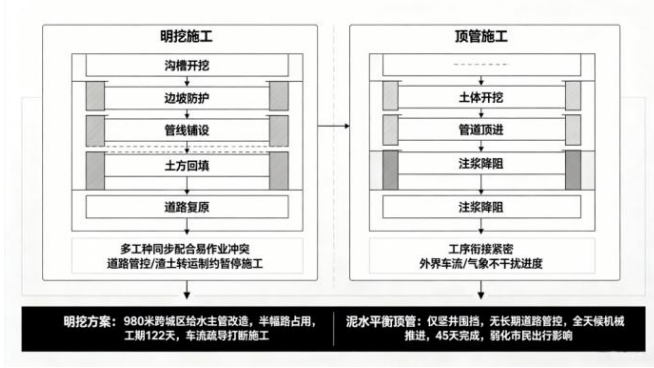


图1 加快整体施工进度

2.3 降低现场施工风险

城市建成区常存在软土、粉砂、流沙等不良地质，地下水位整体偏高。深沟槽明挖易引发边坡滑移、槽内涌水坍塌，土体侧压还会导致周边预埋管线渗漏、断裂。顶管开挖作业在井下密闭开展，掘进机舱体可阻隔地下水，依托同步注浆、管周加固稳定地层。临河雨污分流项目地处饱和粉砂地层，地下水压力大，明挖沟槽涌水塌方风险突出。项目采用泥水平衡顶管，以舱内泥水平衡外部水压，固定掌子面松散土体，施工未发生沉降、涌水险情，规避既有管线挤压破损问题，保障现场人机施工安全。

2.4 工程适配性较强

顶管技术可灵活适配复杂场地与多样地质条件，应用场景覆盖面极广。除常规城市主干道、居民区地下管网施工外，该工艺还可应用于山地地形、河湖沿岸、交通枢纽、建构筑物密集区等受限场地。针对黏土、砂土、卵石层、岩溶地层等不同地质，可通过更换掘进机型、调整注浆配比、增设土体加固工艺等方式适配施工。同时面对下穿公路、河道、铁路等特殊工况，顶管无需大面积开挖，能最大程度保留原有构筑物功能。在城市老旧管网更新、新建给排水干线、雨污分流改造等不同类型工程中，均可根据管径大小、顶进距离灵活调整施工方案，综合适配能力远优于传统明挖工法。

3 市政给排水顶管施工核心应用要点

3.1 管道安装规范

管道安装是顶管施工的基础工序，安装质量直接影响管线密封性、结构稳定性与服役寿命，是防范后期渗漏、管线破损的关键。管材下井前要逐根开展进场检验，排查外壁裂纹、接口破损、管径偏差等质量缺陷，不合格管材直接清场，不得用于施工。管材吊装需采用宽度不小于50mm的柔性吊带，严禁用钢丝绳直接捆绑管材、用铁棍撬动管节，吊装时做到稳起稳放，避免管材磕碰磨损。管道落至导轨后，需校核管节中心线与顶进轨迹，保证接口对齐、缝隙均匀。某大口径污水顶管项目严格遵照以上要求施工，规范开展吊装与管节对位，严控拼

接间隙，有效避免了后期接口渗漏、地下水倒灌问题。

3.2 注浆施工管控

注浆是顶管施工减阻、固土、防渗漏的核心配套工序，注浆质量决定顶进效率与周边土体安全。施工泥浆需充分搅拌并静置后灌注，注浆前需检查注浆泵、管路并空载试运行，排除设备故障^[3]。施工时依据土质、覆土深度动态调控注浆流量与压力，确保注浆压力高于泥仓压力，按照顶进同步注浆、沿线按需补浆要求，一比一布设注浆管。同步注浆量需不低于刀盘超挖量1.5倍，依托外壁完整泥浆套减小顶进摩擦、固结松散土体。某长距离曲线顶管排水工程，针对粉质黏土、卵石层分段微调注浆参数，持续补浆保全泥浆套，有效解决了长距离顶进阻力过大的难题。

3.3 管道顶进作业

管道顶进作业需落实前期筹备工作。布设导轨前，需结合管径、设计顶进轴线、现场地面坡度及地下管线分布综合定位，将导轨配套坑道深度控制在30-50cm。顶进施工严守先挖后顶、随挖随顶准则，安排专人全程监测掘进设备工况、围岩土体形变、管道轴线姿态，出现轴线偏移、土体沉降渗水等异常，即刻停工排查整改。对于软土、高地下水路段，提前实施土体预加固，配套布设止水构件防范涌水。顶进井优先采用受力稳定性更强的圆形井体，按需选用单孔或单排井结构，保障顶进反力均匀，维持管节匀速顶进。某下穿公路给水顶管工程，通过严控坑道尺寸、顶进速率及软基加固，将管道轴线偏差稳定控制在规范限值内。

3.4 止水与进出洞施工

洞口止水是顶管防水防砂的核心要点，主要针对工作井进出洞位置施工。施工前按设计预留洞口，配备合规钢法兰与封堵钢板，法兰厚度最小为16mm，先焊接钢板与洞口井壁，再通过钢杆固定橡胶法兰，依靠双层钢胶密封抑制渗漏。同时依据公式核算井内长宽尺寸，预留充足空间满足管道下井、设备拆装需求，优化井体细部构造，规避泥沙入洞污染、堵塞管线。进出洞穿墙作业时，采用水泥黏土混合物料配比回填压实穿墙间隙，强化阻水阻土性能，全程监测穿墙墙板形变，避免土体扰动诱发塌方。粉质黏土、高水位场地还需对洞周土体开展二次加固。某临湖排水顶管工程，通过洞口多重密封+洞周旋喷加固组合工艺，顺利完成进出洞施工，全程无渗水、土体塌方问题。

4 提升顶管施工质量的保障措施

4.1 严控原材料质量

原材料质量是给排水顶管工程质量的源头根基，管材、注浆料、密封件、洞口钢材等核心主材需落实全流程质量管控^[4]。采购环节择优选择资质完备、质控体系成熟的供应商，核验供货业绩与行业信用，签订采购合同时细化材料技术指标与追责

条款。所有材料进场后必须抽样复检,管材核验外观、尺寸、抗压及密封性能,注浆材料核查配比参数与初凝、终凝指标,密封构件、法兰钢材核查壁厚与表面缺陷,不合格材料直接清退出场。现场设置分区隔离堆放区,做好管材防磕碰、注浆料防潮、橡胶密封件防老化防护,同步归档每批次材料资质、检测报告、领用台账,实现全流程质量追溯。某城区雨水管网扩建顶管工程,依托全链条原材料管控,杜绝劣质主材投入施工,从源头保障整体工程施工质量。

4.2 优化施工技术工艺

施工前期需依托地质勘察报告、管线施工图纸及场地周边环境,编制工序细化型顶管专项施工方案,梳理全流程施工逻辑,优化工序衔接顺序,削减工序空档与交叉作业干扰。针对曲线顶进、长距离顶进、岩溶地层掘进等重难点工况,组织内部技术研讨,参考同类项目成熟工艺完善处置预案。同步开展一线人员岗前技术及安全培训,重点讲解管道纠偏、注浆参数调控、顶管设备实操等核心技能。此外搭建信息化施工监测平台,实时采集轴线偏差、顶进速率、注浆压力、地表沉降等动态数据,按需动态调整施工参数。某岩溶地层排水顶管项目,通过前置工艺优化+数字化实时监测,动态修正施工方案,顺利化解复杂地质施工隐患。

4.3 更新升级施工设备

现场施工设备需落实常态化全周期管控。定期对顶管掘进机、液压顶进系统、注浆设备、监测仪器开展性能核验,排查零件磨损、动力衰减、线路老化等隐患,按需制定维保、替换方案,淘汰低效老旧设备。结合施工需求适时引进自动化掘进机、激光高精度纠偏仪、智能泥浆循环系统等新型装备,提升施工精准度与作业效率。新设备进场后必须完成安装调试与空

载试运行,同步开展操作人员专项交底,掌握设备操作、日常保养要点。同时落实每日班前班后巡检制度,定期更换易损配件,保障设备连续稳定作业。某大管径下穿铁路雨污水顶管工程,采用可视化纠偏岩石顶管设备,精准控制顶进轴线,零影响完成铁路下穿施工。

4.4 落实施工验收管理

顶管施工验收覆盖施工后期全作业环节。验收人员比对施工图纸、设计规范和现场施工状态,核验现场作业贴合既定设计标准^[5]。人员对敷设完工管道开展外观及结构核验,观察管道外壁、接缝点位的形变与破损痕迹,校验管道平直度、表面平整度合规性,核验阀门、法兰、支架构件的安装点位与连接紧实度。管道密闭核验与通水测试为验收核心,依据行业规范实施水压检测与通水试运行,排查管线渗漏、水流不畅等现场隐患。人员归集施工、设备、注浆台账及检测表单等成套档案,留存原始有效数据并补齐档案缺项。管线验收办结后,向运维承接方移交全套管线档案,说明管线冲刷、防腐、防结垢的实操养护方式。城市给排水顶管管线按统一范式完成核验,整改微小结构隐患,管线投用后输水平稳,运维管控有序推进。

5 结语

顶管技术对比明挖施工,在地表防护、工期调配、地质灾害应对、场地兼容层面优势突出,可适配城市建成区、山地、临湖地带各类给排水受限施工场景。现场作业管控管材拼装、同步注浆、动态顶推、洞口防水四道核心工序,通过原料信息核验、线上数据监测、施工机具更新、全流程验收管控填补质量漏洞。市政给排水后续作业参照曲线顶管、岩溶地层特殊工况微调工艺参数,更新顶管智能配套机具,弱化地下施工对土层的干扰,支撑城市地下管网低碳安全的改造作业落地。

参考文献:

- [1] 李黎.市政给排水施工中长距离顶管施工技术的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(20):107-109.
- [2] 陆凯杰.顶管技术在市政给排水施工中的应用探讨[J].工程技术研究,2024,9(24):51-53.
- [3] 蔡栋梁.市政给排水施工中顶管技术的运用分析[J].中华建设,2024,(12):169-171.
- [4] 丁志.市政给排水施工中长距离顶管施工技术的应用研究[J].水上安全,2024,(22):178-180.
- [5] 谭海龙.市政给排水项目施工长距离顶管施工技术的应用[J].工程机械与维修,2024,(11):138-141.