

水平定向钻施工工艺要点与现场应用效果探究

唐鑫

江苏中天科技股份有限公司 江苏 南通 226000

【摘要】 水平定向钻(HDD)作为主流非开挖施工技术,可在不大面积开挖地表的前提下完成地下管线铺设,适配城市密集城区、道路穿越、河道跨越等复杂施工场景,具备施工扰动小、工期短、安全性高、环境友好等突出优势,现已广泛应用于市政给排水、电力通信、油气管道等工程领域。为明确水平定向钻标准化施工流程,掌握核心工艺控制要点,量化现场实际应用成效,本文结合市政管线穿越工程实例,系统梳理施工准备、导向孔钻进、分级扩孔、管道回拖、泥浆护壁、竣工验收全流程工艺要点,总结施工过程中的常见难点与质控对策,通过现场实测数据对比分析其与传统明挖施工的综合效益差异。结果表明:水平定向钻施工可大幅降低地表破坏、交通阻断与生态扰动,施工工期较明挖工艺缩短40%以上,综合施工成本降低15%左右,管线铺设精度与后期运行稳定性显著提升。该技术适配城市精细化施工需求,推广应用价值极高,可为同类非开挖管线工程施工提供工艺参考与实践依据。

【关键词】 水平定向钻; 非开挖施工; 工艺要点; 质量控制; 现场应用; 效益分析

1 引言

随着城市基础设施建设不断升级,地下管网布局日趋密集,传统明挖施工模式存在路面开挖面积大、交通干扰严重、绿化破坏率高、扬尘噪声污染突出、老旧城区施工受限等诸多弊端,难以适配现代城市精细化、绿色化施工要求。水平定向钻施工技术是一种现代化非开挖管线铺设工艺,依托高精度导向钻进系统,按照预设轨迹完成地下钻孔、扩孔与管道回拖作业,无需大面积破除路面与地表植被,可有效规避传统施工的各类短板,是城市地下管线更新、新建、改造工程的核心优选技术。

水平定向钻施工流程复杂,工艺关联性强,导向轨迹控制、扩孔参数匹配、泥浆配比、管道回拖防护等核心工序直接决定工程质量与施工安全。现阶段部分施工现场存在工艺把控不规范、参数设置随意、风险防控不到位等问题,易出现轨迹偏移、塌孔、管道划伤、回拖卡阻等质量隐患,影响工程施工效果与管线使用寿命。为规范现场施工流程,明确各工序核心技术要点,充分发挥水平定向钻的施工优势,本文结合实际市政穿越工程,系统探究全流程施工工艺关键控制点,对比分析现场应用效果与综合效益,旨在为同类工程标准化施工、质量管控与工艺优化提供支撑。

2 水平定向钻施工核心原理与工艺特点

2.1 施工原理

水平定向钻施工依托专用定向钻机与随钻导向监测系统,根据工程设计管线走向、埋深及穿越范围,规划最优地下钻进轨迹。首先钻进小直径导向孔,精准还原设计路径,再通过分级回扩方式扩大孔径至管道铺设标准尺寸,最后利用钻机回拖装置将预制管道平稳拖入孔内,完成地下管线无创铺设。全过

程依托泥浆护壁技术保障孔壁稳定,规避塌孔、渗土等病害,实现地下管线精准、安全、高效施工。

2.2 工艺优势特点

相较于传统明挖施工,水平定向钻工艺优势显著:一是绿色环保,无需大面积开挖,地表植被、路面、构筑物破坏极小,无大量扬尘与渣土外运;二是适应性强,可穿越市政道路、河道、绿化带、密集建筑群等复杂场景,施工不受地形地貌限制;三是施工效率高,工序紧凑,无需长时间交通围挡,对城市运行干扰小;四是工程质量稳定,管线埋深均匀、走向规整,防腐层不易破损,后期运维成本低;五是安全性高,规避深基坑开挖坍塌、积水浸泡等安全风险,施工隐患大幅减少。

3 水平定向钻全流程施工工艺要点

3.1 施工前期准备要点

前期准备是保障施工顺利开展的基础,核心包含现场勘察、轨迹设计、设备调试、泥浆配比四大关键环节。首先开展现场精细化勘察,探明施工区域地下管线、线缆、构筑物分布,排查地质土层结构,规避地下障碍物,结合现场工况优化钻进轨迹,确保轨迹满足埋深、坡度、穿越安全距离等设计要求。其次完成设备选型与调试,根据管道直径、穿越长度、地质条件匹配钻机功率、扩孔器规格、钻杆型号,提前校准导向监测系统,保障定位精准。最后根据土质条件配制专用泥浆,黏土区域选用常规膨润土泥浆,沙土、流沙地层添加护壁助剂,提升泥浆黏度与护壁性能,防止塌孔。

3.2 导向孔钻进工艺要点

导向孔钻进是决定管线铺设精度的核心工序,也是整个施工过程的关键控制点。施工中依托随钻监测系统实时采集钻头



位置、埋深、倾角、方位角等数据，动态调整钻进参数，严格控制轨迹偏差，水平与垂直偏差均需控制在±50 mm 以内。钻进过程遵循“低速稳进、实时纠偏”原则，严禁大幅调整角度，避免轨迹突变造成孔壁扰动。遇到硬质土层或局部障碍物时，降低钻进速度，增加泥浆流量，通过泥浆润滑破碎土体，防止钻杆卡顿、钻头偏移，保障导向孔轨迹平滑规整，为后续扩孔、回拖作业奠定基础。

3.3 分级扩孔施工工艺要点

导向孔成型后需进行分级扩孔，根据管道外径确定最终扩孔孔径，常规扩孔孔径比管道外径大 1.2~1.5 倍，预留充足泥浆缓冲空间，避免管道回拖磨损。扩孔遵循“由小到大、分级递进”原则，严禁一次性超大孔径扩孔，防止孔壁受力不均引发塌孔。软土、沙土地层适当增加扩孔分级次数，降低单次扩孔切削量；密实土层可适度提升单次扩孔尺寸。扩孔过程持续循环泥浆，保持孔内泥浆压力稳定，及时带出孔内渣土，清理孔壁松散土体，每级扩孔完成后检查孔道通畅性，确认无塌孔、缩孔问题后进入下一级施工。

3.4 管道回拖施工工艺要点

管道回拖直接决定成品工程质量，是保障管线完好的关键工序。回拖前完成管道预制、接口检测、防腐检查，在管道前端安装旋转接头、缓冲护头，避免回拖过程中管道扭转、摩擦破损。回拖作业保持匀速缓慢推进，拉力均匀稳定，严禁急拉、骤停，实时监测回拖拉力变化，若出现拉力骤增，立即停机排查，排查渣土堆积、孔道缩径等问题，处理完成后继续施工。同时全程保持泥浆循环，利用泥浆润滑孔壁与管道，降低摩擦阻力，保护管道防腐层与管材结构完整性。

3.5 泥浆护壁与收尾工艺要点

泥浆是维持孔壁稳定的核心介质，施工全过程需动态调控泥浆黏度、比重与流量，根据地质变化实时调整配比，规避塌孔、渗浆、缩孔等病害。施工完成后及时清理孔内残余渣土与废浆，对管道周边空隙进行注浆填充，提升管线埋设稳定性。最后进行管线定位、高程复测、密封性检测，确认管线位置、埋深、接口质量符合设计标准，清理施工现场，恢复地表绿化与路面原貌，完成竣工验收。

4 工程实例与现场应用效果分析

4.1 工程概况

本次试验依托某市城区市政污水管道穿越工程，施工区域为城市主干道，车流、人流密集，地下管线错综复杂，路面禁止大面积开挖。工程采用水平定向钻非开挖施工，铺设 HDPE 污

水管道，管径 630 mm，单次穿越长度 180 m，施工土层以粉质黏土、细沙土为主，施工要求零路面破除、低环境扰动、工期短、质量达标。以同路段同等工程量的传统明挖施工为对照，对比分析两种施工工艺的现场应用效果与综合效益。

4.2 施工质量效果对比

由表 1 可知，水平定向钻施工在施工精度、结构完整性、病害发生率等方面均优于传统明挖施工。定向钻施工管线轨迹偏差小、埋深均匀，管道防腐层无破损，后期渗漏、移位风险极低；明挖施工受基坑回填、土体沉降影响，易出现管线偏移、接口松动等问题，施工质量稳定性较差。

表 1 不同施工工艺质量效果对比

检测指标	水平定向钻施工	传统明挖施工
管线轨迹偏差/mm	≤±50	≤±150
管道破损率/%	0	3.2
后期渗漏风险率/%	1.1	6.8
施工成型合格率/%	100	95.4

4.3 综合效益对比分析

由表 2 综合效益数据可知，水平定向钻施工综合优势突出。工期方面，无需基坑开挖、支护、回填等繁琐工序，施工周期大幅缩短；成本方面，规避路面修复、绿化补种、渣土外运、交通疏导等额外费用，综合造价更低；环境与社会效益方面，无大面积地表破坏，扬尘、噪声污染极小，不阻断交通，对市民生活与城市运行影响极低。

表 2 两种施工工艺综合效益对比（180 m 管道工程）

效益指标	水平定向钻施工	传统明挖施工	优化效果
施工工期/d	8	14	缩短 42.9%
地表破坏面积/m²	≤30	≥850	大幅降低
综合施工成本/万元	28.6	33.8	降低 15.4%
交通影响时长/d	3	14	缩减 78.6%

5 施工常见难点与质控对策

5.1 轨迹偏移问题及对策

复杂地层与磁场干扰区域易出现导向轨迹偏移，导致管线埋深、走向不达标。施工中需全程实时监测数据，小幅高频纠偏，避免角度大幅调整；磁场干扰区域采用双系统导向校准，提升定位精度；提前优化轨迹曲线，减少急弯、陡坡设计，保障钻进平稳性。

5.2 塌孔缩孔病害及对策

沙土、流沙、松散土层易发生塌孔、缩孔病害，影响扩孔与回拖施工。需优化泥浆配比，增加护壁、堵漏助剂，提升泥浆黏度与保水性；缩短单段扩孔间隔时间，快速完成成型与回

拖作业；严控孔内泥浆压力，保持孔壁受力稳定，规避土体坍塌。

5.3 管道回拖破损问题及对策

回拖过程易因摩擦、卡顿造成管道防腐层划伤、管材变形。施工前做好管道防护，加装缓冲护具；保持匀速回拖，严控拉力参数；全程泥浆润滑降温，降低摩擦阻力；遇到阻力异常立即停机排查，禁止强行拖拽，保障管道完好性。

6 结论

水平定向钻非开挖施工技术适配现代城市精细化施工需求，相较于传统明挖工艺，具备施工精度高、质量稳定、工期短、成本低、环境扰动小、社会效益显著等综合优势，可有效解决城市密集区域、道路河道穿越等复杂场景的管线施工难题。其

施工质量与应用效果取决于前期勘察、轨迹设计、导向钻进、分级扩孔、管道回拖、泥浆管控全流程的标准化把控，各工序紧密关联、相互影响，需严格遵循“精准定位、分级施工、稳钻稳拖、全程护孔”的工艺原则。

工程实例应用表明，规范把控水平定向钻核心工艺要点，可有效规避轨迹偏移、塌孔、管道破损等常见病害，大幅提升管线施工质量与后期运行稳定性，同时显著降低施工对城市交通、生态环境、市民生活的干扰，综合经济效益与社会效益突出。未来可结合不同地质条件、施工场景持续优化工艺参数与泥浆配比，完善标准化施工体系，进一步拓展该技术在市政、电力、油气等各类地下管线工程中的推广应用范围。

参考文献：

- [1] 孙平贺, 刘伟胜, 杨涵涵. 中国非开挖水平定向钻进装备与技术研究应用进展[J]. 工程科学学报, 2022, 44(01):122-130.
- [2] 吴馨怡. MPP 电缆管水平定向钻施工技术应用[J]. 人民珠江, 2025, 46(S2):112-115.
- [3] 李洋. 市政工程中水平定向钻非开挖施工技术应用[J]. 华北交通工程, 2025(07):67-70.
- [4] 王浩, 张建军. 复杂地层水平定向钻扩孔施工工艺优化研究[J]. 工程技术研究, 2024, 9(12):89-91.
- [5] 陈宇. 长距离水平定向钻施工精度控制与质量保障措施[J]. 城市道桥与防洪, 2024(05):201-203.
- [6] 赵鑫. 水平定向钻施工常见病害及防控对策[J]. 工程机械与维修, 2023(08):134-136.
- [7] 周明辉. 城市地下管线非开挖施工综合效益分析[J]. 市政技术, 2023, 41(03):156-159.