

# 市政给排水施工中的非开挖顶管施工技术研究

文 / 符 斌 深圳市市政设计研究院有限公司

**摘要:** 在市政给排水管道施工中, 常规开挖方式易对周边环境、交通及居民生活造成影响。非开挖顶管施工技术以微开挖或不开挖的方式进行, 能有规避上述问题。本研究以某市政排水工程项目为例, 针对非开挖顶管施工关键技术展开探究, 通过非开挖顶管施工技术运用不仅提升了施工效率, 缩短了工期, 而且减少了对地面设施的破坏和对居民生活的干扰, 降低了施工成本。

**关键词:** 市政给排水; 非开挖顶管; 施工技术; 工程案例

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.21.066

## 引言

市政基础设施为城市内部重要基础组成部分, 特别是排水系统对于城市发展和人们生活有极为重要的影响, 且关系到城市化建设的成败。市政给排水管道建设施工以开挖方式为主, 需要将原地面开挖成深沟槽, 再将管道铺设在内部完成施工。然而给排水管道开挖施工方式中, 在面对地下管线复杂、交通繁忙、建筑物密集的情况下, 容易造成现场既有设施和周边环境破坏、成本升高, 也会影响居民的正常生活。在这种背景下, 市政给排水管道施工领域研发出非开挖顶管施工技术, 它采用微开挖或不开挖的方式完成市政给排水管道施工, 能够有效缩短工期、降低成本、提高效率。

## 一、工程概况

某市政给排水管道项目为新建 1200m 排水管道, 其面对周边建筑物密集、交通流量增大、地下管线交错布局的情况, 这导致现场施工难度较高。该项目建设的主要目的是使城市内部排水状况得以改善, 所以, 选择排水管道直径为 DN1500mm 增强区域内的排水能力。结合本项目所在地区周边的交通环境和建筑物状况, 工程单位最终选择使用非开挖顶管施工技术取代传统开挖施工方法, 能够保证市政排水管道顺利建设实施, 且降低对周边环境和建筑物产生的影响。

## 二、非开挖顶管施工技术原理

市政给排水管道采用非开挖顶管施工技术, 以工具管或挖掘机为主要设备, 需要先开挖出工作坑、中继间, 再通过油缸以及多种设备配合提供推力将管道深入到地下。这种方式采用微开发或不开挖方法即可完成市政给排水管道的安装作业, 能够有效降低对地面交通和建筑造成的影响。同时, 本项目采用非开挖施工方式, 其需要通过泥水压力和开挖面土压力共同作用下, 能够保证地下土体平衡, 从而实现开发面稳定性的提升以降低坍塌事故概率。而在市政给排水管道顶进施工环节, 通过刀盘切削土体且和泥水充分混合形成泥浆, 再使用泥浆

泵将泥浆输送到内部以实现管道顶进阻力下降, 并且泥浆能够循环利用达到资源利用率提升的目的<sup>[1]</sup>。

## 三、非开挖顶管施工技术应用

为保障非开挖顶管施工高效推进, 需依据工程实际做好各环节技术应用。以下从材料设备、工作坑等方面具体分析。

### (一) 材料与设备准备

本项目现场施工所选施工材料具备较高的密封性、强度以及耐腐蚀性, 以钢筋混凝土管为主满足市政排水管道的建设和运营需求。在排水管道施工前需要进行尺寸偏差、外观质量是检测, 材料的各项指标合格再开展现场施工作业。同时, 根据本项目施工需求准备主顶油缸、泥浆泵、泥水平衡顶管机、千斤顶、测量仪器、注浆设备等, 能够确保现场顶管和质量检测工作顺利开展。

表 1: 主要施工设备一览表

设备名称	数量	用途
泥水平衡顶管机	1 台	切削土体、顶进管道
主顶油泵	1 台	为千斤顶提供动力
千斤顶	4 台	产生顶进推力
泥浆泵	2 台	输送泥浆
注浆设备	1 套	进行管道减阻注浆
全站仪	1 台	测量管道轴线和高程
水准仪	1 台	测量管道高程

### (二) 工作坑与接收坑施工

(1) 工作坑。本项目顶管施工时采用钢板桩支护结构形式, 其工作坑单根钢板桩长 6m、桩顶宽 40cm、厚 15mm, 从而确保工作坑坑壁的稳定性达到要求。工作坑施工前先使用全站仪测量放线, 通过精准确定工作坑位置, 确保工作坑平面尺寸 8mX5m 并保证轴线偏差不超过 5mm。工作坑测量结束后逐一将钢板桩插入到地下, 其嵌入原状土深度在 2.5m 以上, 并且相邻钢板桩咬合间隙在 3mm 以内。同时, 钢板桩打入完成后确保桩顶的平整度

偏差不得超过 10mm, 从而能够形成封闭的围护结构。工作坑开挖时每层深度 1.2m, 通过分层开挖施工方式单段长度 3m, 并使用型钢支撑固定。而在型钢支撑固定时其横向间距 4m、支撑间距 2m 且挠度在 10mm 以内, 能够避免出现坑壁坍塌事故。

需要注意的是, 工作坑开挖到距离设计标高以上 20cm 位置时, 此时通过人工清理方式将内部土地清理干净, 然后再继续开展施工作业。工作坑底部浇筑厚度 30cm 的 C25 混凝土基础, 通过振捣、养护处理以保证工作坑混凝土强度合格, 且工作坑基础表面平整度偏差在 5mm 内。同时, 工作坑混凝土养护时间 7 天以上, 并检测底部承载力 150kPa 以上, 基坑底部达到平整、坚实后再开展后续顶管机安装与顶进作业。工作坑底部安装的导轨高程偏差 2mm 内, 导轨中心线与管道中心线重合度偏差 3mm 内, 并且导轨按照管道直径设定间距 1.2m、长 4m、坡度偏差 0.5% 以内。而导轨安装后需要将顶管机安装在导轨上并进行系统调试, 能够保证机身和导轨贴合同隙偏差在 5mm 内。同时, 顶管作业前 30min 进行设备试运行确保各管道、线路以及设备运行正常<sup>[1]</sup>。

(2) 接收坑施工。顶管施工中接收坑钢板桩顶宽 40cm、单根钢板桩长 6m、厚 15mm, 从而确保接收坑坑壁稳定性达到要求。接收坑使用全站仪测量放线, 确保接收坑底部平面尺寸 6m×4m、轴线偏差 5mm 内。接收坑钢板桩打入时嵌入原状土深度超过 2.5m, 逐一打入钢板桩并保证相邻钢板桩咬合间隙 3mm 内。同时, 钢板桩插入后需要确保桩顶平整度偏差不得超过 10mm, 从而确保接收坑的封闭效果达到要求。接收坑开挖时每层深度 1.2m、分段长度 3m, 通过分层开挖方式和型钢支撑以确保接收坑稳定性合格。同时, 接收坑支撑时钢板桩横向间距 4m、支撑间距 2m, 确保挠度 10mm 内达到接收坑稳定性要求。接收坑开挖到距离底部标高 20cm 时, 需要转变为人工开挖方式清理。接收坑浇筑厚度 30cm 的 C25 混凝土基础, 并进行振捣处理以保证混凝土密实度合格、平整度偏差 5mm 内。而且接收坑混凝土养护 7 天以上, 确保基础达到平整、坚实以满足接收顶管机的目标。

### (三) 顶管机始发

工作坑洞口临时封堵墙使用厚度 300mm 的 C30 混凝土浇筑, 并确保顶管机安装调试功能合格再开展现场施工作业。同时, 封堵墙拆除时先使用破碎锤在墙体中心开设 500mm×500mm 观察孔, 使洞口外土体稳定性后分三段拆除, 而剩余墙体每次拆除高度为 1.2m、间隔 30min 检查坑壁沉降量。封堵墙体拆除结束后开启顶管机刀盘, 其初始速度 2.5r/min 缓慢切入土体。而在该环节施工

中按照水: 膨润土: CMC=100:8:0.3 制作泥水, 并注入工作仓内。泥水注入时初始压力为 0.15MPa, 每次推进 10cm 提升 0.02MPa, 直到注入压力达到 0.2~0.3MPa 实现泥水平衡。顶管机始发速度 20~30mm/min, 主顶推油缸推力在 800kN 以内。同时, 顶管环节需要间隔 5min 进行一次刀盘扭矩、进出口压力差、泥水流量检测, 一旦发现油缸扭矩突然增加 30% 立即停机检查。本项目顶管施工中通过 Leica TS60 全站仪间隔 30cm 进行一次管道高程和轴线检测, 顶进初期的 10m 范围内高程偏差 ±2mm 内、轴线偏差 ±3mm 内<sup>[2]</sup>。

### (四) 管道顶进

顶管机始发段施工合格即可开启刀盘切削土体, 确保泥水平衡状态达到要求。而且切削土体后和泥水充分混合形成泥浆, 再通过泥浆泵以及管道将其输送到地面泥浆处理系统完成土渣分离。同时, 管道顶进使用主顶油缸驱动千斤顶提供足够的顶推力, 确保管道沿着预定轨道完成顶进作业。同时, 管道顶进作业环节速度为 50~100mm/min, 并且管道轴线、坡度偏差在合理范围内。而管道顶进作业阶段需要间隔 50cm 进行一次测量和校正, 确保管道高程、轴线偏差符合要求后再继续顶进施工。此外, 管道顶管作业时逐步进行各环节循环施工作业, 能够顺利完成整个管道的铺设施工, 顶管作业阶段施工质量参数执行表 2 要求。

表 2: 顶进过程中部分测量参数

顶进长度 (m)	轴线偏差 (mm)	高程偏差 (mm)
10	+2	+3
20	-1	+2
30	+3	-1

顶管作业通过管道输入触变泥浆, 这样能够使得管道和土体之间的摩擦力减小以降低顶进阻力。而在泥浆注入环节达到饱满、均匀、连续性的要求, 一般泥浆的注入压力为 0.2~0.5MPa, 注浆量按照管道环形间隙 1.2~1.5 倍的体积注入形成完善的润滑体系。

### (五) 顶管机接收

顶管作业持续进行到接收坑前部 5m 左右时, 需要适当的减慢顶进速度, 此时管道顶进速度从原 50~100mm/min 下降到 10~30mm/min。而在该阶段需要增加测量频率, 一般需要顶进 20cm 就要进行一次高程与轴线偏差检测。这时顶管机刀盘前部土体已经进入到接收坑影响范围, 需要实时监测施工参数保证管道高程偏差 ±3mm 内、轴向偏差 ±5mm 内。按本项目设计方案, 接收坑长、宽、深分别为 6m、4m、5m 的钢筋混凝土结构, 底部浇筑厚度 30cm 的 C20 混凝土垫层, 并在接收坑侧壁安装直径 20mm、间隔 200mm 的钢筋网片<sup>[3]</sup>。而在接收坑

的洞口需要使用厚度 8mm 钢板、直径 16mm 膨胀螺栓制作封堵墙，确保在顶进作业环节具备稳定性、可靠性且相邻 24h 内坑体沉降量控制在 2mm 以下。同时，接收坑封堵墙使用液压钳逐一切割钢板，每次切割 50cm 并调整顶管机位置，从而确保刀盘和洞口中心偏差在 10mm 以下。同时，顶管机进入到接收坑内再开启排水系统，使坑内水位低于坑底 30cm 能够有效防止泥水倒灌而造成影响质量。此外，顶管机进入到接收坑内时，使用厚度 20mm 的橡胶垫包裹机头避免机头直接接触坑壁引发位移或损坏。而在接收坑内管道连接选择使用 600mm 直径的钢制承插接头，确保管道接缝间隙 5 ~ 8mm，并通过全站仪校准接口轴线偏差在 3mm 内，最后使用水泥基密封胶填充缝隙达到密封性效果。

## 四、非开挖顶管施工技术控制要点

非开挖顶管施工质量与安全把控关键在于技术要点控制。以下围绕泥水平衡、顶进方向等方面说明控制要点。

### （一）泥水平衡控制

市政给排水管道采用顶管施工技术需要重视泥水平衡控制，这样能够保证顶管作业顺利进行且达到安全性、稳定性。同时，泥水平衡控制需要落实泥水压力监控，这就需要结合地层特性等方面进行调整。如果顶管施工时地质为黏性土层则避免压力过高造成地表隆起，而松散土层需要保证泥水压力达到平衡侧压力的效果，以避免坑壁坍塌。同时，顶管施工中泥浆配制选择适宜的方案，需要根据现场地质条件确定泥浆配比参数，能够保证现场顶管作业顺利开展。而在顶管施工阶段需要间隔规定时间进行泥浆性能参数的检测，一旦泥浆存在黏度下降或含渣量升高则需要对泥浆配合比的调整。由于泥浆泵作为泥水平衡系统的重要设备，其能够使泥浆能迅速循环，并保证顶管作业有效降低阻力，因此，在顶管作业阶段根据现场测量参数调整泥浆配合比以及顶进作业速度，并时刻关注工作仓内压力变化以达到泥水平衡效果<sup>[4]</sup>。

### （二）顶进方向控制

顶管施工需要保证排水性能、管道连接状态合格，这就需要在顶进作业环节进行精准控制。为保证顶管方向控制精度达到要求，需要安装先进检测设备，此时现场使用多套检测设备时刻监测顶管机运行轨迹以免发生沉降或振动。顶进方向控制过程中，需要确保激光导向仪、全站仪测量共同进行顶管作业的复核与检测，并间隔规定距离测量顶管作业的高程和轴线。顶管施工中按照“小幅度、多次数”的方式进行管道纠正，特别是微小偏差只需要利用千斤顶伸缩量进行顶进调整就能达到

顶进精度。由于顶管施工距离较长时误差往往比较大，这需要间隔规定距离进行顶管精度的校核检测。最后，顶管作业施工时对于地质条件较为复杂的区域，需要由技术人员随时进行地质条件勘察以掌握地质条件差异，并采取有效预防应对措施使顶管机沿着设计轴线逐步向前推进<sup>[5]</sup>。

### （三）注浆减阻

市政给排水管道顶管施工时采用注浆减阻措施，能够减小管道摩擦力，尤其在砂性土、黏性土等地质条件施工时能够减小管道顶进阻力以提高顶进效率。注浆减阻需要选择适宜的泥浆材料，能够保证泥浆注入量充足且有效降低摩擦力顺利完成顶进施工。注浆施工中选用合格注浆泵和管道保证泥浆材料能够顺利输送到施工位置，从而在管道环向空间中形成良好的润滑层。同时，注浆施工环节需要避免存在过量注浆或注浆不及时等情况影响注浆施工效果，确保注浆和管道顶进同步进行并随时调整注浆量。顶管施工时注浆作业需要及时进行调整，能够保证泥浆顺利填充管道周围空隙，且避免因注浆压力过大或过小而影响顶管作业顺利开展。而在顶管作业结束后需要及时对封堵处理，这样能够有效避免泥浆外溢到环境中给周边土体和环境造成影响。

## 结语

市政给排水管道施工选用非开挖顶管施工技术比传统开挖方式有明显优势，它能够避免对城市建筑和交通造成影响且提高施工速度、降低施工成本。这一技术应用在复杂的城市环境下优势明显，然而非开挖顶管施工的复杂性较高。这就需要根据非开挖顶管施工需求落实安全与质量管控，通过制定精细化施工策略以保证各项施工任务顺利进行，从而提高市政给排水管道施工水平以满足城市化建设与发展需求。

## 参考文献

- [1] 雷梅. 市政给排水施工中的非开挖顶管施工技术研究[J]. 中国标准化, 2019, (24): 106-107.
- [2] 王梅泰. 市政给排水施工中的非开挖顶管施工技术思考解析[J]. 居业, 2022, (07): 4-6.
- [3] 张楠. 市政给排水施工中的非开挖顶管施工技术要点研究[J]. 水上安全, 2024, (09): 160-162.
- [4] 杨高平. 市政给水施工中的非开挖顶管施工技术[J]. 石材, 2023, (04): 96-98.
- [5] 杨宇. 市政给排水施工中的非开挖顶管施工技术要点研究[J]. 工程建设与设计, 2022, (05): 174-176.

作者简介：符斌，1974年10月，男，汉族，海南儋州，本科，高级工程师，研究方向：市政给排水。