

顶管技术在市政给排水管道施工中的应用分析

赵永利

(内蒙古青城投资运营管理有限公司, 内蒙古 呼和浩特 010100)

摘 要 为解决市政给排水管道在场地受限条件下施工困难的问题, 本文对顶管技术应用优势展开了论述, 并结合市政工程实例对顶管施工工艺进行了分析, 探讨了顶管技术应用要点。结果表明, 在给排水管道顶管施工实践中, 通过做好顶管材料、机械设备等施工准备, 准确把握测量放样、作业井挖掘、顶进施工、管道安装、压浆作业等技术环节, 能够保证工程施工活动高效、高质量开展。

关键词 市政工程; 给排水管道; 顶管施工

中图分类号: TU99

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.04.019

0 引言

市政给排水管道施工过程中, 在敷设管道区域大面积进行土方挖掘作业将破坏原本道路结构, 面临施工作业内容多、周围环境复杂、建设周期长等问题, 致使施工过程中存在一定的质量和安全隐患。顶管技术属于非开挖施工方法, 具有高效、稳定、可靠等特点, 应用于给排水管道施工拥有诸多优势, 应加强该技术在工程施工中的应用研究, 从而提升市政工程建设水平。

1 顶管技术优势分析

顶管技术可通过工作井和顶进设备将管道顶进至指定位置, 具有施工效率高、道路影响小、节能环保等优势。首先, 顶管施工不受天气、周围环境等因素影响, 在开挖工作井后可借助设备持续提供顶进力, 使管道迅速到达预设位置, 能够提高施工效率和缩短工期^[1]。其次, 作为非开挖施工技术, 顶管技术的应用无需破坏周围道路, 仅在工作井周围设置施工带和布置防护阻隔设施即可完成地下管网铺设和更换, 避免工程施工给市政交通带来过大影响, 可以保证城市正常运转。最后, 顶管技术应用规避了大规模土方开挖作业, 可以防止大量扬尘引发的空气质量下降问题, 同时也能减少施工垃圾、噪声等污染产生, 并减少地下水资源受到的侵害。此外, 顶管技术应用可以减少土石方挖掘、运输等过程机械设备产生的能量消耗, 有效节约施工成本。

2 市政给排水管道施工中顶管技术的应用

2.1 工程概况

某市政给排水工程管道路线由南向北延伸, 总长约 857 m, 沿线道路较窄, 同时地上建筑物密集, 导致

施工空间较小。为保证工程施工安全, 决定采用顶管技术施工技术, 在非开挖条件下完成给排水管道铺设, 减少工程给周围环境带来的影响。

2.2 施工工艺

1. 施工准备。在施工准备阶段, 通过勘察施工区域地质情况、现场环境等, 确定采用泥水平衡顶管施工工艺。顶管施工需做好各种材料、机械设备和人员准备, 主要使用的材料为顶进管道, 使用硅钢加固材质的同时, 应合理确定管道口径大小。根据工程施工要求, 顶管选用长 3 m、直径 1 500 mm 的钢筋混凝土管, 配备 200 t 液压千斤顶、DN1500 顶管机、主顶泵和直径 1 500 mm 环顶铁作业, 现场利用 25 t 汽车起重机吊装。工程测量放样采用全站仪, 并使用 70 cm 卷尺等工具辅助测量管径。

2. 作业井布置。在项目施工期间, 需设置 15 座工作井和 15 座接收井。其中, 工作井空间用于布置各种顶进设备, 包含主顶千斤顶、导向槽、照明排水设施等。工作井结构应发挥抵抗掘进机推力的作用, 开展下管节、管道吊装等作业。而接收井位于管道施工另一端, 接收各种施工工具和设备, 结构相对简单。在作业井施工阶段, 交替布置工作井和接收井, 先按照预设间距挖掘工作井, 按照矩形平面图开挖, 长边确认与管道铺设方向保持平行。为保证作业井结构安全, 采用钢板桩施工, 在坑壁位置设置结构支撑体系^[2]。在工程竣工后, 直接利用钢筋混凝土结构沉箱进行沉井作业, 将工作井改造为检查井。在接受井施工阶段, 从与工作井相对另一端开挖, 平面同样呈矩形, 且长边与管道方向平行, 长度足以支撑顶管机头被取出,

并利用钢板桩进行结构支撑施工。

3. 测量放样。在给排水管道施工前,采用顶管技术应做好测量放样,精准确定管道坐标、走向等。使用全站仪等设备按照规划图标定,确定管道始发位和终点位,并做好管道核心轴线和倾斜度规划,能够根据测线数据、测点垂直高差等数据调节管路顶进方位,保证管道达到指定位置。在工程施工实践中,利用作业井两侧水泥护壁定位,在与给排水管道轴线平行的位置进行标高测量。经过校验后,在工作井中设置基准点,确定管道中心高度,保证顶管轴线正确。将作业井进洞口和出洞口点引入工作井,指导顶进方向的同时,在沉井时辅助确定作业井的坐标和标高,能够根据管线标高测量确定工作井底标高和管道标高。在规划顶进导向轨迹时,确定顶管水平范围在 $\pm 12^\circ$ 范围内,通过精细化调整将水平精度控制在 $\pm 30''$ 。在顶管机作业期间,则向设备输入工作井参考点坐标,实现顶管头定位,确认能够达到顶管施工高精度控制要求。

4. 设备安装。在作业井施工结束后,设置顶管后靠背,采用#字型,由双层 200×240 mm道木、铁道钢、厚50 mm钢板和C30混凝土块($4 \times 0.5 \times 2$ m)构成,并在墙壁和靠背间填充混凝土。在顶管机和坑壁墙之间,使用50 mm厚钢板和商品混凝土施工,确定后靠背结构厚度在40 cm以上,作为靠背和顶缸之间的缓冲结构。制作墙附加层,应确定工作面垂直管线,附加层宽达到主顶油缸发射长度。主顶装置应安装在主控棚内,利用油泵控制主顶的推进和回缩,将整套操控装备布置在控制柜内。后靠背安装完毕后,要进行稳定性验算,以方形工作井为例。如图1所示,对工作井受力情况展开分析,可知侧壁受力可视作静止土压力,前壁受力视作主动土压力,后壁受力视作被动土压力。

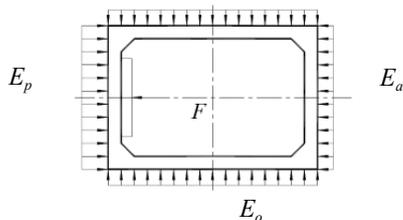


图1 工作井结构受力平面示意图

静止土压力:

$$E_{oi} = K_{oi} \sum_{k=1}^i \gamma_{sk} h_k \quad (1)$$

在结构受力计算阶段,通过现场试验确定静止土压力系数 K_{oi} 。在缺少试验条件时,按照正常固结土取值,确定 $K_{oi} = 1 - \sin \phi'$,超固结土则为 $K_{oi} = \sqrt{1 - \sin \phi'}$, ϕ' 为有效内摩擦角。

主动土压力:

$$E_{ai} = K_{ai} \sum_{k=1}^{i-1} \gamma_{sk} h_k + K_{ai} \gamma_{si} (z_i - \sum_{k=1}^{i-1} h_k) \quad (2)$$

被动土压力:

$$E_{pi} = K_{pi} \sum_{k=1}^{i-1} \gamma_{sk} h_k + K_{pi} \gamma_{si} (z_i - \sum_{k=1}^{i-1} h_k) \quad (3)$$

在洞内安装引导性轨道,确认井架横梁、吊挂点等结构稳固,同时轨道保持平行的直线状态。施工导轨采用型钢、钢板等材料焊接,包含两道平行钢轨,确保管道推进过程中导向稳定,利用托架保护顶铁等部件。在基坑底板面测放顶进轴线,调整导轨中线,确定对准顶进轴线,然后对照图纸调整导轨高度,将导轨和底板钢筋焊接牢固,位置偏差控制在2 mm内,使用混凝土填实空隙。

安装千斤顶时,将设备锁定在专门的支承架上,确认与给排水系统中心竖直线对齐,从而对准竖直方向产生协同力。检查确定千斤顶和连接构件无晃动等情况,可以安装顶管设备。在钢结构机身托架安装阶段,应先进进行顶管轴线测量,确认导轨中心线偏差不超3 mm,高差在0~3 mm之间,两轨内距误差不超 ± 2 mm。在设备安装调平阶段,将刀头布置在导轨上后,安装铁盖连接系统,检查刀头平面和竖直高度符合要求。

5. 顶管施工。工程应用顶管技术施工,使用对等钢板桩控制顶管设备作业方向,确保设备在进出作业井期间沿着敷设线路行进,管线中线始终与周围建筑保持安全距离,以免引发地面开裂、不均匀沉降等不良。首先,应做好顶管设备机头设置,合理设定作业方向、角度等参数后挖掘。发挥机头纠偏作用,可以防止管道前方土壤塌陷。在顶管机正式作业前,应开展试顶作业,确定水平设备标高、位置等符合要求,然后顶进工具头和布置管节试顶。在启动设备前,确定全部按钮开关断开,设备启动后确认指示灯全部点亮,确定监视系统正常连接,测斜仪达到归零状态,然后启动泥泵^[3]。启动液压设备将泥浆送入掘进机,检查确定泥浆压力稳定后,启动刀盘,将土压调至规定范围。确认各项数据无误后,将顶管机推入洞口,在距离井壁0.1 m位置停下,检查设备姿态符合要求,同时中心偏差小于3 mm,高程偏差在0~3 mm之间,可以开始作业。其次,在顶管穿墙阶段,将穿墙门板打开后,受管推工具作用,设备将推出至接收井外。为避免发生渗漏,应在穿墙前利用水泥混凝土等材料加固外部结构,并安装止水装置。最后,在顶管出洞阶段,应在工具管下方设置千斤顶提供有效支撑,避免出现推进偏位情况。出洞后则应立即将转封门、钢板桩等结构拆除,防止顶管及顶管机同时倒退。

在顶管施工期间,管节在机头带动下向前顶进过

程中容易出现脱离预设轨道的情况，因此需随时监测管线中线方向、高程和坡度，发现管节位置偏差则立即纠偏。在井口测量顶管高程，设置临时水准点，并做好四等水准线布置。从工作井开始测定，确定管道中心点后进行标志，保证作业井间的线路管径符合要求，按照表 1 要求加强施工误差控制。按照 1 m/次频率探测，发现顶管路径出现偏差后，遵循缓慢、多次原则纠偏，多次小幅度调整顶进方向，在保证作业精度的同时，使管节处于稳固状态^[4]。采用动态纠偏方法，可以利用工具头前方千斤顶改变工具头方向。在顶管穿墙阶段，穿墙管长 30~40 m 间的顶管状态最为关键，在工具头自重较大时可能出现向下偏的问题，应利用工具头和千斤顶同时纠偏，分多次有序调整，每次纠偏量不超 5 mm，每次纠偏再次顶进 1 m。反复多次纠偏后依然存在偏差，需增加纠偏力度，直至偏位趋势减小可保持原本纠偏力度，经过纠偏和顶进多次交替后将偏差控制在允许范围。在接近接收井 30 m 范围内，每项进 300 mm 重新测量，发现偏差及时纠偏^[5]。在整个顶管段施工结束后，针对各管节测量，确定接口水平轴线和高程符合要求，发现错口及时记录和修正。

表 1 顶管施工误差控制要求 (mm)

序号	项目	允许误差
1	横向贯通偏差	±100
2	高程贯通偏差	±50
3	地面隆起最大极限	+30
4	地面沉降最大极限	-30

6. 管道安装。在顶管施工的同时安装管道，在施工前应对管道进行多次试吊，将吊索绑扎牢固，并缓慢上升确保各吊点受力均匀。在管节吊装就位后，应朝向水流方向放置插口管材。管材安装前，做好表面清洁，并利用橡皮圈固定。使用起重机安装管材，利用机头将管节带至指定位置，应确保与后续管节连接良好，以免出现管道漏水等问题。工程采用的管节均为钢筋混凝土结构，管口为凸口状，在一节管道顶进后，下一节吊装至作业井时应确认管道管口严整对齐。在每个管节施工结束后，及时将垫铁等支撑结构去除，检查管节质量合格后，在管道前端放置楔形橡胶圈，并涂抹硅油减少摩擦，确定管节与管接头中央对齐后缓慢推动接头，确保完全接触衬垫^[6]。检查确认不存在橡胶圈扭转、倒置等问题，可以保证管道安装质量。管节内部使用金属内胀圈处理接口，可以降低错口概率。在管节顶进完成后，切除内胀圈，并添加水泥砂浆磨平内壁，实现接口连接位置密封处理。

7. 压浆施工。在顶管施工期间，为减小顶管阻力，

采用管道压浆技术保证顶管路径精度和提高顶管速度，通过多点对称同步注浆严密填充管节外壁及土体空隙，减弱外壁与土体间的摩擦力，使管道顺利顶进至指定位置^[7]。在管道外壁涂抹润滑泥浆，遵循先压后顶原则压浆，注浆压力应在 0.1~0.125 MPa 之间。按照施工要求埋设灌浆孔，孔内安装止回阀防止泥浆倒流至管道外壁，在顶进首个管节时应将正面土压调至最优，防止泥浆套筒在结束压浆时出现压力迅速下降问题。压浆与顶管作业同时进行，对顶管机、管接头等位置连续注浆，能够在管线周围形成稳定膨润土浆层。从顶管机顶部到管道末端，每 2 m 布置一根注浆管，连接 1 m 球阀，通过橡皮管与注浆导管连接。压浆主管道为 2 m 长镀锌钢管，连接注浆泵。工程按照膨润土：砂：水=1:1:0.3 质量比拌制泥浆，通过注浆泵与储浆池连接，并对储浆池浆液进行间歇性搅拌，确保浆液保持稳定黏性^[8]。在整条管线顶进施工后，利用水泥浆液代替润滑泥浆，确保管线获得足够支撑力，保证顶管施工质量。

3 结束语

在市政给排水管道施工期间，应用顶管技术减少土地扰动，能够缩短工程施工周期，减少周围道路、环境受到的影响。为保证工程建设质量，应结合工程施工需求做好材料、设备等各方面准备，并做好施工作业井布置和测量放样，把握顶管施工、管道安装等步骤的施工方法及要点，从而使工程施工取得理想成效。

参考文献：

[1] 李永岗. 关于非开挖顶管技术在市政给排水管道施工中的应用分析[J]. 城市建设理论研究: 电子版, 2024(31): 180-182.
 [2] 李晓虎. 非开挖顶管技术在市政给排水管道施工中的应用[J]. 石材, 2023(11):71-73.
 [3] 王志富. 顶管技术在市政给排水管道施工中的应用分析[J]. 住宅与房地产, 2023(05):232-234.
 [4] 陈玉叶. 顶管技术在市政给排水管道施工中的运用分析[J]. 工程建设和设计, 2022(15):187-189.
 [5] 尹莎莎. 市政雨污分流工程项目中的顶管施工工艺[J]. 四川建材, 2023,49(04):247-249.
 [6] 段李浩. 管道排水工程建设中的非开挖顶管施工技术[J]. 交通世界, 2023(Z1):188-190.
 [7] 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.
 [8] 张雪芬. 市政给排水工程中顶管施工技术的应用[J]. 中国新技术新产品, 2023(23):72-74.