

先导顶拉管工艺在黑臭水体治理项目中的应用

江新耀¹, 张会风²

(1. 北京城建设计发展集团股份有限公司, 北京市 100000; 2. 中国能源建设集团天津电力建设有限公司, 天津市 300000)

摘要:在黑臭水体治理项目中,在人口密集区进行雨污分流改造过程中,针对沿线空间狭窄,地下管线及障碍物复杂,地质条件差,地下水水位高,埋深较深的情况,明挖采用拉森钢板桩进行止水和支护时存在引起房屋开裂和安全隐患,需要大规模铺设长距离小管径污水支干管时。通过前期示范实验后,采用新型先导顶拉管工艺解决埋深较深时基坑抽水困难,减少对周边建(构)筑物影响等问题。在实施过程中管道高程控制精确,连接口密封良好,施工进度大幅提高,水流条件好,取得良好的效果。在含合流管网的污水系统中,顶拉管井直接作为检查井使用,系统调蓄容积减少溢流风险,增加污水管网系统安全韧性。

关键词:黑臭水体;顶拉管工艺;工作井;安全韧性

中图分类号: TU992.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)06-0322-04

Application of Pilot Pipe Jacking Technology in Black and Odorous Water Body Treatment Projects

JIANG Xinyao¹, ZHANG Huifeng²

(1. Beijing Urban Construction Design and Development Group Co., Ltd., Beijing 100000, China; 2. China Energy Engineering Group Tianjin Electric Power Construction Co., Ltd., Tianjin 300000, China)

Abstract: In the black and odorous water body treatment project, during the storm and sewage separation reconstruction in densely populated areas, aiming at the challenges such as narrow space along the route, complex underground pipelines and obstacles, poor geological conditions, high groundwater levels, and deep burial depths, Larsen steel sheet piles are used for the housing cracks and safety hazards caused by the water stopping and support in the excavation during the large-scale installation of long-distance small-diameter sewage branches. After early demonstration experiments, a new pilot pipe jacking process is adopted to solve the difficulties in dewatering foundation pits at greater depths and reduce the impacts on surrounding structures. During implementation, the pipeline elevation is precisely controlled, the connections are well-sealed, the construction progress is significantly accelerated, the hydraulic conditions are good and the excellent effects are achieved. In sewage systems with combined sewer networks, the pipe jacking shafts are directly used as manholes systematically to regulate and store the volume, reduce the overflow risks, and increase the safety and resilience of the sewage pipeline network.

Keywords: black and odorous water body; pipe jacking process; manhole; safety and resilience

0 引言

中山板芙镇河网密布,人们逐水而居,依水建城,形成沿河人口密集聚居区。为减小交通影响,避免开挖造成房屋开裂等问题,管道基坑开挖深度超过2.5 m的管线,一般采取非开挖施工。常用的非开挖施工方式有大口径顶管施工、微型顶管和水平定向钻等工艺。

大口径顶管一般适用于D800管径以上,顶管机

和刀头比较大,需要的顶管井大且荷载承受力要求高,常用在埋深较大的污水主干管上。微型顶管^[1]通过小型化、专业化的设备,可缩减工作井尺寸,填补小口径管道非开挖施工空白,但仍需一定的施工空间,井现场浇筑和桩基处理,施工速度也相对较慢。拖拉管施工工艺一般用在压力流管道,如用在重力流排水管,常因造斜或扩孔而成的环隙和后期浆液收缩,管道沉降形成波浪管^[2-3]。针对项目内房屋密集,道路狭窄,地下水高、地质差的特点,综合现有非开挖工艺的优缺点,本工程对基坑开挖超过2.5 m的中小管采用了先导顶拉管工艺^[4],该工艺具有地质适应广、次生灾害小、施工快、造价低等特点,

收稿日期: 2025-12-02

作者简介: 江新耀(1986—),男,学士,高级工程师,从事市政给排水、水环境、内涝治理方面的设计与研究工作。

又具有标高控制准的优点。

1 导向顶拉管工艺介绍

顶拉管工艺结合了拖拉管和顶管的各自优点,改进刀头在回拖和掘进过程中管道的受力分布。顶拉管采用自密封承插接口短管,将传统的管道回拖改为拉顶工艺,在末端井下安装管节,钻杆穿过管道中心,短杆上安装靠背顶板,顶板顶住管道另一端,刀头承受掘进扭矩和迎面阻力。刀头与管节留有一定空间,起到泥水平衡中继的作用,管道只需承受顶进过程中的摩擦阻力。

顶拉管施工主要根据场地空间需求,有 2 种顶拉形式:一是管的一端有造斜空间,钻机在地面顶拉,这种工艺施工效率较高,见图 1;二是采用坑道钻机在稍大的井内导向钻拉,此种不需要造斜段,但效率比较低,见图 2。钻头与管道链接见图 3。

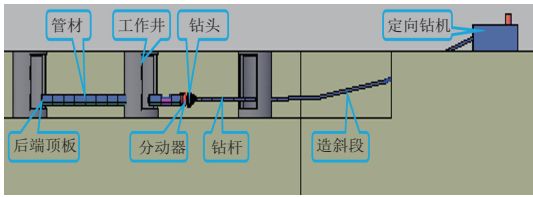


图 1 定向钻机地面顶拉工艺示意图

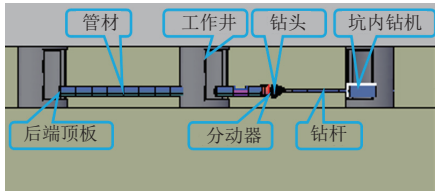


图 2 坑式井内顶拉工艺示意图

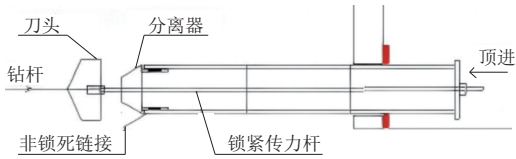


图 3 钻头和分离器构造图

施工顺序需先实施井,后实施导向孔,再回扩掘进,顶拉管的工艺受井孔标高控制,管道在每座检查井的管口标高精度要求控制在 $-30 \sim 20 \text{ mm}$ 之间,标高需控制精准。刀头外径不超所顶管道的外径 40 mm ,一次顶拉管道的距离不宜超过 80 m ,最长一般不超 120 m ,常规污水管道的检查井设计井距均满足该要求。顶拉过程中允许泥浆进入管道内部,起到配重降浮减阻的效果,终孔孔径与管道外径比较接近,环隙很小。管道施工后结合 CCTV 检测,采用内渗法或者闭水实验对管道的密闭性进行检查。

2 工程实例

2.1 项目概况

中山市某黑臭水体综合整治项目总体包含控源截污工程、污水处理厂扩建工程、河道整治工程、管道清淤及修复工程、活水循环工程、智慧水务工程、水环境提升工程等。其中控源截污采用全面雨污分流进行改造,新建污水管线约 216 km ,其中采用顶拉管长度约 90 km ,管径为 $\text{DN}300 \sim \text{DN}600$ 。

选取其中一个流域进行比选,设计 $\text{DN}300 \sim \text{DN}500$ 市政污水管道 $6\,662 \text{ m}$,流域污水管网末端出口设计 1 座一体化自动提升泵站,加压排入下游 $\text{DN}600$ 污水主干管,设 1 用 1 备共 2 台潜污泵,单台流量 $Q=360 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程 $H=8 \text{ m}$,功率 $P=15 \text{ kW}$ 。

其中埋深较深区域需采用非开挖工艺,总长 1.63 km ,最小埋深 2.4 m ,最大埋深 4.4 m ,对工法比选见表 1,考虑到本次施工区域地下水高,施工空间狭小,离房屋近,道路为交通通行主路,管道埋深位置的土层为淤泥质土,经综合比选后,推荐选用方案二顶拉管施工工法。

2.2 施工工艺流程

现场根据环境制订施工方案,定好钻机位置,装管井位,施工工艺流程见图 4。

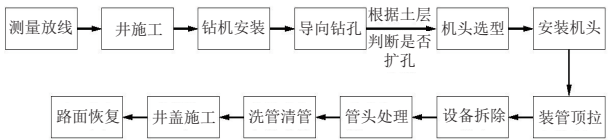


图 4 顶拉管施工工艺流程图

2.2.1 回托力计算

管道回拉阻力按照下式计算:

$$P_t = P_y + P_f;$$

$$P_y = \pi D_k^2 r H / 4;$$

$$P_f = f_h \pi D_i L$$

式中: P_t 为回拉力, kN ; P_y 扩孔钻头迎面阻力, kN ; P_f 为管道摩阻力, kN ; D_k 扩孔钻头外径; r 为土的天然重度(取 16 kN/m^3); H 为管埋深, m ; f_h 为塑料管道与孔壁的摩擦系数,取 4 kN/m^2 ; D_i 为管道外径, m ; f_L 为顶拉管道长度, 4 m 。

本项目顶拉管最大回拉阻力经计算为 975.40 kN ,钻机的回拖力按照计算拖拉阻力 $1.5 \sim 2.0$ 倍选型。

2.2.2 施工准备

管线施工以市政道路及村路为主,同时包括部分工业用地以及未开发区域,主要路段人流、车流量

表1 微型顶管、顶拉管和支护开挖方案对比表

方案	方案一微型顶管	方案二顶拉管	方案三明开挖
方案简介	微型顶管技术亦称二次顶管法,首先利用液压装置将导向管按照设计轨迹推进贯通,然后通过前导管(出土螺旋管)作为导体,在前导管(出土螺旋管)末端连接扩孔切削头并将拟铺设的管道同时顶进,最终完成管道铺设的施工工艺	顶拉管采用定向钻进先导顶拉的工艺步骤;做井—导向—掘进顶拉。该工艺配合自密封承插接口短管,将传统的管道回拖改为拉顶工艺,在末端井下安装管节,利用钻杆穿过管道中心,在管道尾端拉顶管道	采用明开挖,采用钢板桩+内支撑的支护型式,开挖深度主要在2.5~4.7 m
适用范围	DN300~DN600	DN300~DN600	各类管径
管材	Ⅲ级钢筋混凝土管	聚乙烯实壁缠绕管	钢筋混凝土管
单节管长	1 m(本次采用1 m)	1 m(本次采用1 m)	2.5 m
工作井	内径2.6 m圆形沉井	内径2.0 m圆形沉井,无空间可采用内径1.8 m×1.4 m方井	普通检查井
优点	铺设数度较快,管道铺设精度高,工作坑占地面积小,不破坏道路,对周边建筑物影响小。工程造价中等	铺设数度最快,铺设精度较高,工作坑占地面积最小,不破坏道路,对周边建筑物影响小。管道采用自锁口,不易引起错口渗透,造价低	明开挖为常规工法,施工简单。能对管道地基进行处理,管道基础采用混凝土基础,接口少
缺点	在地下管线局部复杂区域,需要局部开天窗避免碰撞较多。接口多,容易因管道沉降引起错口渗漏。顶管井维护结构造价高	在地下管线局部复杂区域,需要少量局部开天窗避免碰撞。管道有轻微沉降	钢板桩对周边建筑物及道路影响较大,狭窄地方需要房屋保护桩进行隔离。拔桩处理不当容易造成管道起伏。施工速度相对要慢一些。路面恢复工程量大
工程造价/万元	904	593	1 149
推荐	备选	推荐	不推荐

密集,且管线较多,顶拉管施工前需要做好周边管线复查及交底。调查清楚周边主要的构筑物 and 电力、燃气、高压等管线,同时应勘察清楚顶拉管穿越的地质情况是否存在危化地带,国防光纤或其他重点保护区域应确保顶拉施工安全。并与有一定影响的部分居民作相应协调,解决用水及相关设备,渣土临时存放问题。

2.2.3 管材选择

管材选用自锁承插接口的柔性密封实壁管,管道轻便,采用的是缠绕工艺,管道抗撕裂强度高,不易撕裂。单节长度有500 mm,1 000 mm等,方便在小空间井内安装。接口在顶拉过程中自动锁住,见图5,抗拉抗剪强,管道连接后整体具有一定柔韧性,可以适应轻微的不均匀沉降,管道环刚度不小于12.5 kN/m²。

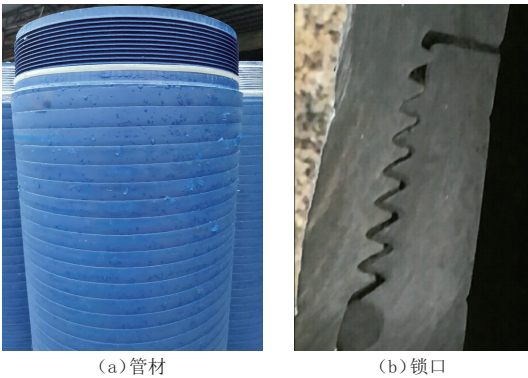


图5 柔性密封自锁承插接口构造图

2.2.4 井位制作及地基处理

工作井分两种情况,坑式设备工作井(无需地面造斜段)内径2.8 m×2.0 m,使用地面钻机(需造斜段)施工则井位相对缩小,可采用内径2 m预制拼装圆井,局部困难地方可采用内径1.8 m×1.4 m方井。本工程常规地方采用1 m高一节预制^[5]拼装井节,井节之间设置两圈密封圈井,并预留注浆孔。施工工法一般采用逆做法、沉井法。

依据勘察报告,管线顶拉所在高程周边的土层为淤泥质土,考虑到顶拉管无地基处理后期有一定沉降,井下部地基采用桩径120 mm、长4 m、间距0.5 m的松木桩复合地基,见图6。可保持与管道同步轻微沉降的能力,避免管道与井之间接口受不均匀沉降而拉裂。本次主要采用沉井工法且淤泥质土具有不透水的特点,井周边不设高压旋喷桩进行止水和保护;顶拉管刀头小、洞口小,且刀头有钻杆支撑,不会出现顶管工法易在洞口塌陷造成灾害,因此洞口也不设高压旋喷桩。

2.2.5 导向钻孔及安装管

钻机设备安装好导向,入钻方向在第一个井位的中心开小洞或安装定位轮,实现在顶拉过程中精确控制管道的走向。周边应布置若干标高控制点,导向钻孔时在井内测量钻杆的标高,并比对其误差值,修正数据后继续导向钻孔至下一个井。复测导

