

长距离曲线退管中内置中继间及钢绞线的应用

屈 凯

(上海城建水务工程有限公司, 上海市 200125)

摘 要: 以上海市某排水提标改造工程为例, 以国内顶管退管工程实例及现有设计、施工规范为基础, 提出通过加装内置中继间、钢绞线分丝器及托架等装置, 解决长距离曲线退管中反力提供和曲线段钢绞线布置的技术问题。退管工作的顺利实施, 表明该方法在长距离退管中能提供可靠的回退反力, 可为其他类似长距离曲线退管工程提供技术参考。

关键词: 顶管; 长距离曲线退管; 内置中继间; 钢绞线

中图分类号: TU990.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)08-0257-05

Application of Rear Relay Room and Steel Strand in Long Distance Curve Backpipe

Qu Kai

(Shanghai Urban Construction Water Engineering Co., Ltd., Shanghai 200082, China)

Abstract: Taking a drainage upgrade project in Shanghai as an example, based on domestic pipe jacking and pipe withdrawal project instances and existing design and construction standards, this paper proposes the installation of devices such as built-in relay chambers, steel strand separators, and brackets to address the technical issues of providing reaction force and arranging steel strands in long-distance curved pipe withdrawal. The successful implementation of the pipe withdrawal work indicates that this method can provide reliable retraction reaction force in long-distance pipe withdrawal and serves as a reference for other similar long-distance curved pipe withdrawal projects.

Keywords: top management; long distance curve withdrawal; rear relay room; steel strand

0 引 言

顶管施工线路上对遭遇障碍物的处理方法分为2大类: 避让技术和清除技术^[1]。避让技术主要通过改变原设计线路, 采用曲线顶进技术进行避让; 常规的避让技术适用于顶管设计阶段, 针对已探明的管线、构筑物。当顶管施工顶进过程中遭遇不可清除的障碍物时, 常采用顶管回退技术然后曲线绕开障碍物的方式进行处理。

目前短距离的顶管回退技术在国内有较多成功案例。汤逊湖污水处理厂尾水排江工程项目4#~3#穿湖段隧道全长1 492.65 m, 当顶进20.1 m时遭遇大粒径卵石, 已顶进的管道及机头退出, 更换机头后复顶; 上海市宝山区某道路改建工程配套排水管道顶管, 顶进60.3 m时遭遇8根 $\phi 300$ mm钢混凝土桩, 采用退管技术将已顶进管道及机头退出; 上海市白龙

港片区污水输送干线工程过江顶管全长1 087 m, 顶进至335 m处遭遇某厂区群桩, 拔出95 m, 废弃前方240 m^[2-6]。

长距离退管实施的关键问题主要有: 管道退出后遗留孔洞的填充问题, 周边环境及管线的保护问题, 机头及刀盘在遇障后是否损坏问题及长距离退管反力系统的配置问题。本文主要介绍长距离曲线退管中通过新增中继间解决动力提供的问题, 以及曲线管道中传力系统的布设问题。

1 工程概况

1.1 项目背景

上海市某排水工程顶管共5段, 2#~3#总长307 m。管道采用F型接口钢筋混凝土管, 双道止水橡胶圈, 管道内径2 200 mm, 壁厚220 mm, 管节长2.5 m, 混凝土强度C50。采用大刀盘泥水平衡顶管机, 由2#工作井沿海宁路向3#井顶进, 附土厚度5.8~7.8 m, 主要穿越②₃₋₁粉质黏土、②₃₋₂砂质粉土。2#~3#顶管在顶进239 m时遇到地下障碍物, 经排查发现顶管与设

收稿日期: 2024-11-19

作者简介: 屈凯(1987—), 男, 本科, 工程师, 从事市政工程管理工。

计轴线偏差较大,机头与海宁路-吴淞路东南侧人行天桥 $\phi 800$ mm 桩基冲突,相对位置示意图如图1所示。

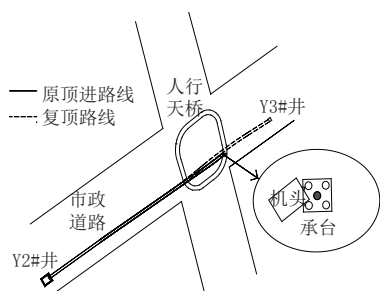


图1 顶管线路及障碍物示意图

1.2 退管方式选择

长距离顶管在遇障后,退管可采取2种方式:局部退管和整体退管。局部退管退出井口至前进方向的一部分,剩下部分待管道及机头封闭后遗弃地下;整体退管是利用中继间及后期加装的反力系统将管道向工作井退出一段距离后,重新进行顶进,通过曲线顶进绕过障碍物^[7]。

局部退管已实施的工程案例多,退出的管道距离短,对周边环境的影响较小。局部退管的缺点也比较明显,即遗弃地下的管道及机头永久占用地下规划空间,对后期的工程规划建设带来严重影响;遗弃机头及管道经济损失较大;退管后重新始发,需对洞口进行重新加固,工期较长。

遇障管道采用整体退管技术退出一段距离后,重新进行复顶能解决局部退管所带来的不利影响。

1.3 拟解决的问题

根据现场条件选择整体退管方案。因原顶管未设置中继间,为解决长距离曲线退管中的反力提供问题,需增设内置中继间^[8],采用“拨算珠式”退管;已顶进的管道曲率半径小,传力钢绞线在受力后会摩擦曲线内侧的管壁,需采用特制分丝器及钢绞线托架调整传力钢绞线的线形。

1.4 分段退管原理

短距离退管系统主要由反顶油缸、井内反力架、传力系统(钢绞线或精轧螺纹钢)、机头反力架组成^[9](见图2)。

其中反力系统的具体组成主要根据退管所需的总顶管力进行配置。2#~3#顶管已顶进239 m,退管需要的总顶力见公式(1):

$$F = \pi D L f_k - F_0 \quad (1)$$

式中: F 为退管所需反顶力; D 为管道外径,2 640 mm; L 为退管长度(含机头),239 m; f_k 为管道外壁与土的

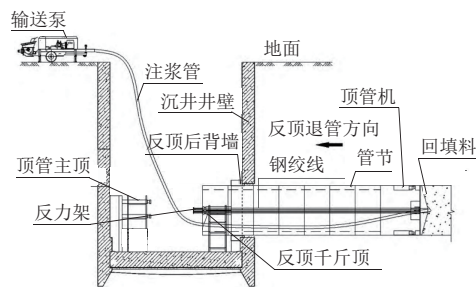


图2 常规退管系统示意图

摩阻力,因顶管施工停滞时间较长,周围土体与管道固结,根据经验取 20 kN/m^2 ; F_0 为刀盘前方注土压力,按最不利情况取0。

计算可知,整体退管反顶力为39 624 kN。

退管总反顶力已超过管道的允许顶力^[10];如需满足39 624 kN顶力,井内横梁、机内反力架需配置的尺寸较大,顶管机及工作井内空间狭小。受以上条件限制,提出分管退管的方法。

在已顶进的管道内增设4组内置中继间,每个中继间配置16只800 kN油缸共12 800 kN;传力系统选择 $\phi 15.2-7$ 钢绞线,钢绞线左右对称布置,单侧28根,共计56根,井内布置 $4 \times 2\,000 \text{ kN} = 8\,000 \text{ kN}$ 反顶油缸。将管道整体分5段进行退管,具体布置如图3所示。A段、B段、C段、D段依靠钢绞线及后方的管节的摩阻力作为反力,采用中继间油缸作为动力进行退管,E段管道及机头靠钢绞线提供的张拉力向洞口方向运动,直至①号中继间行程闭合。具体工艺流程图如图3所示。

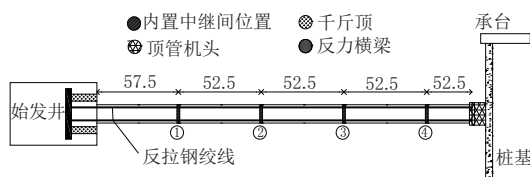


图3 分段退管示意图(单位:m)

2 内置中继间

为满足退管反力要求,按照图4所示位置在 $\phi 2200$ mm管内增设4组内置中继间。每组内置中继间由4环钢构件及各辅助件组成:前撑环、内撑环、外密封环、后撑环、O形橡胶圈、止水压板、连接螺栓组成,具体如图5所示。中继间采用QB355厚度35 mm钢板制作,为保证加工精度及安装要求,每环制作时采用3块组合金加工而成,先整体加工,后按照图纸尺寸分割为3块,以便安装。每块在管道内拼装完成后,进行焊接,焊缝打磨平整。每环间采用8.8 s M22高强螺栓连接,终拧扭矩165 kN。前撑环

和后撑环采用 M24 化学锚栓固定于管道。中继间靠外密封环与内撑环形成活塞腔,最大行程 10 cm。

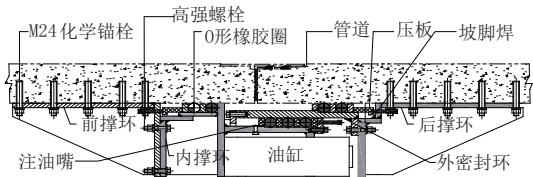


图 4 内置中继间安装图

2.1 中继间的加工及安装

2.1.1 保证钢构件精度的各项措施

为保证中继间的顺利安装,在工厂加工前须对拟安装位置的管道进行精确的尺寸测量,并按照测量尺寸对各组中继间加工图纸进行二次修改。内径的精确测量可使用千分尺法。千分尺法通过螺旋传动,将被测物体的尺寸转化为丝杆的轴向位移和微分筒的圆周位移,将螺距放大并细化,计量具体刻度从而测量物体尺寸^[11]。

中继间各环应整体加工,各部分加工完成后,先采用刚性固定法采用刚度较高的拉筋对各分块进行临时拉结。在拉结完成后再按图分块切割。切割完成后需在厂内进行预拼装(见图 5),无问题后方可出厂。



图 5 中继间预拼装

2.1.2 中继间止水措施

中继间开合时,管道承插口处橡胶止水环容易失效甚至破坏,中继间的止水措施分为 3 部分:(1)内撑环、外密封环与管壁接触位置的 4 道 $\phi 52-6500$ mm O 形橡胶圈;(2)内撑环与外密封环之间的 3 道 $\phi 52-6000$ mm O 形橡胶圈;(3)通过注油嘴向内撑环、外密封环之间的腔体内压注黄油进行止水。

橡胶 O 形圈是用于往复运动液压油缸中活塞密封的设备,由聚氨酯 TPU、CPU、橡胶制成。橡胶 O 形圈密封性能优良,工作寿命高,动态压力密封工作寿命比常规橡胶密封制品高 5~10 倍,最高可达数十倍,在某些条件下可与密封基体同寿命^[12]。本次选用的橡胶圈为丁腈橡胶,具有抗油、抗水、压缩性好、

耐磨等特点。该工程退管工作完成后,拆除中继间对每条橡胶圈进行外观检查,均未出现损坏。

另在管道摩阻力降低以后可根据情况减少中继间的使用,避免管道原止水橡胶条因重复开合而损坏。在中继间出现渗漏现象时,也可减少中间的行程,将原 100 mm 行程降低至 50 mm。经实际施工验证,在退管各系统紧密配合下,减少中继间行程并不会大幅降低整体退管的工作效率。

2.1.3 内置中继间的安装

内置中继间通过前撑环、后撑环设置的 360 根 M24 化学锚栓锚固于混凝土管道上。按照《混凝土结构后锚固技术规程》(JGJ 145—2013)条文说明 5.3.1 内容进行简化计算,单根锚栓抗剪值为:中继间总推力 $12\ 800\text{ kN}/180\text{ 根}=71.1\text{ kN}$ 。目前各厂家同型号化学锚栓的抗剪能力差异较大,在选取时主要参考各厂家的推荐数值。严格按照厂家的安装说明进行施工,在中继间安装前进行现场工艺试验,并进行抗拉拔及抗剪试验。

内置中继间安装时,按照后撑环→O 形橡胶圈→外密封环→O 形橡胶圈→内撑环→O 形橡胶圈→前撑环→化学锚栓安装的顺序进行施工。每环分块焊接时,为避免破坏 O 形橡胶圈,每条焊缝在焊接时须安装陶瓷垫片隔热。

2.1.4 内置中继间的拆除

管道复顶贯通后,待管壁浆套固化完成,开始拆除中继间。采用气割割除中继间的结构,并将化学锚栓切割到与中继间外撑环钢板平齐。管缝处采用聚氨酯密封膏填实,随后焊接奥氏体 S3 1603 不锈钢。不锈钢板预留 3.3 cm 注浆孔,钢板与管壁空隙采用环氧树脂填充。不锈钢板外侧施做一层 2 cm 铝酸盐无机防腐砂浆。具体做法如图 6 所示。

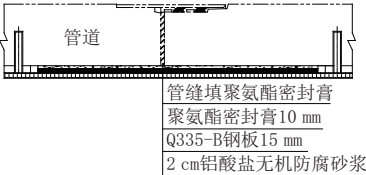


图 6 内置中继间拆除施工图

2.2 中继间油缸配置及运用效果

因顶管施工停滞时间较长后,减摩浆液流失导致周围土体对管道产生抱死效应。中继间油缸按照最不利条件进行配置,混凝土顶管的摩阻力取 20 kN/m^2 。根据过往经验,通过补注减摩浆液,可有效减少摩阻力,并逐步恢复至正常范围值内^[13-16]。根据该工程

对实际退管过程中的顶力记录并进行汇总对比,表明通过补注膨润土浆液,管道摩阻力逐步下降。油缸的总顶力按照最不利情况下总摩阻力的1.3倍进行配置,能满足退管需求。

3 传力系统

传力系统由 $4 \times 2\,000$ kN油缸、井内横梁、机头反力架、钢绞线组成,形式同先张法预制梁板类似(见图7)。反顶油缸可提供 $P=8\,000$ kN顶力,E段摩阻力 $P_1=3\,979$ kN,D段摩阻力 $P_2=8\,289.6$ kN。 $P>P_1$, $P>(P_2-P_1)$,井内布置 $4 \times 2\,000$ kN油缸能满足顶力需求。钢绞线使用时需提供的最大反力为: $P_2-P_1=4\,310.6$ kN。机内横梁按照1.2倍的理论拉力进行设计(2束钢绞线合力为 $5\,200$ kN)。

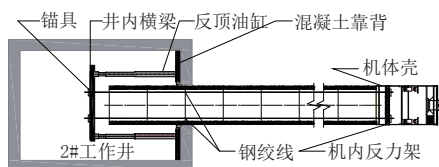


图7 传力系统示意图

3.1 井内横梁、机头反力架

井内横梁、机头反力架采用双轴对称焊接工字形形式,钢材采用Q355-B。具体横截面尺寸根据《钢结构设计标准》(GB 50017—2017)第6.1.1条、第6.1.3条进行验算后选取,焊缝按照该规范第11.2.2条进行验算。

3.2 钢绞线

传力结构采用28根 $\phi 15.2-1\,860$ MPa钢绞线,钢绞线进场后按照规范要求进行送检,对钢绞线的抗拉强度、最大伸长量、弹性模量进行检测。考虑管道部分段落为圆弧形,采用加设分丝器限位架来减少钢绞线圆弧处夹角,布置图如图8所示。单根钢绞线最大拉力 $=1\,860\text{ MPa} \times 140\text{ mm}^2=260.4$ kN。全部钢绞线最大拉力 $=260.4 \times 56=14\,582.4$ kN。钢绞线使用时按照控制拉力 $5\,200$ kN。安全系数为 $14\,582.4/5\,200=2.8$ 。



图8 分丝器限位安装效果图

钢绞线穿束前,应根据其预定线路进行托架安装。每节管道退管完成需将钢绞线放张后切割,以便吊出管道。托架安装完成后能减少钢绞线的下坠,提高再次穿束及初张的工作效率。托架采用扁铁+钢筋焊接形式,间距为 $2\,000$ mm。具体布置形式如图9所示。

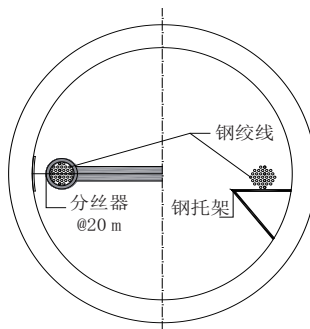


图9 钢绞线托架细部图

在穿束前应对钢绞线进行编号,防止因钢绞线缠绕而产生的应力损失。钢绞线穿束完成后,须对其进行单根预紧。预紧采用自锚式嵌卡千斤顶,单根预紧 30 kN,为确保整个反退系统的稳定,预紧须左右对称进行。初张完成后,主顶油缸启动,第一次顶力上升至 $2\,600$ kN时,液压站停止泵油。将当前压力稳定 2 min,并通过远程控制系统观察反力系统各部位情况。如无异常,将主顶顶力上升至 $3\,900$ kN;重复上述动作,直至钢绞线拉力升至 $5\,200$ kN(退管系统初次启动时)。

4 结 语

该工程长距离退管的成功实施及复顶贯通表明:通过安装内置中继间采用“化整为零,分段退管”的技术措施能够解决长距离大口径曲线推进中的动力问题,为后续的长距离顶管遇障后的处理提供技术借鉴。从结果看,顶管整体回退方案为项目节约大量工期,并改变以往工程局部退管所带来的占用地下空间等问题^[17]。

针对退管过程中发现的问题,须重视以下几个方面:

(1)按照常规要求,钢绞线在张拉完成后需等待 8 h才可保证其安全,人员才可以进出工作。为保证退管工作的持续性,具体措施为:一是在需人员操作部位安装由钢筋焊接而成的防护屋;二是将各工作的操控系统集成操作至井上操作室,并安装远程视频监控,所有操控工作在操作室进行。

(2)应注重合理的施工组织。退管工程是各复

杂工作的集合,包括:注土系统、传力系统、中继间系统、通风系统等。合理的施工组织能够安全、高效地完成退管工作。

(3)注重地面的监控测量,在城市市政范围内的顶管,其范围内管线众多、地面沉降敏感,需增加监控测量的频率,以为退管工作提供有效数据支撑^[18-20]。

(4)退管工作同正常顶进相同,摩阻力的大小与补浆工作的好坏有较大关系。

(5)加强对内置中继间各部位的巡查、保养,在退管工作持续一段时间后,须对固定前撑环、后撑环的螺栓进行重新紧固。

参考文献:

[1] 屈勇,胡小萌,赵阳森等.顶管施工障碍物处理技术综述[J].人民长江,2018,49(21):77-83.
[2] 杨睿,曾德星,崔旭辉.大直径穿湖顶管回退施工关键技术研究[J].中国给水排水,2024,40(6):126-131.
[3] 马敬豹,苏现月.混凝土排水管道退管施工工艺[J].施工技术,2016,45(增刊1):530-532.
[4] 马敬豹,苏现月.钢绞线在大口径长距离故障顶管退管施工中的应用[J].特种结构,2019,36(1):87-94.
[5] 王冬兵,陈枫.超大直径顶管施工遇障技术应用[J].中国港湾建设,2023,43(12):75-80.
[6] 赵宁.大直径顶管近穿既有运行箱涵加固及清障施工技术[J].中国市政工程,2024(3):72-76;156.

[7] 黎东辉,钟显奇.小曲率顶管施工技术在广州电力隧道的施工应用[J].广东土木与建筑,2017,24(2):64-66.
[8] 陈铭辉.顶管工程之退管施工技术研究[J].建筑科技,2023,7(6):65-70.
[9] 李亦平.退管法工艺在顶管线形调整中的应用[J].建筑施工,2023,45(7):1433-1439.
[10] 李成花,王庆凯,冯灿.泥水平衡顶管技术在隧洞工程中的应用[J].治淮,2024(4):55-57.
[11] 闫志云,王艳.内径千分尺测量误差的影响因素分析[J].轻工标准与质量,2018(2):51-55.
[12] 徐刚.龙滩水电站调速器两段关闭装置漏油缺陷及改进[J].电力安全技术,2013,15(9):42-44.
[13] 葛春辉.顶管工程设计与施工[M].北京:中国建筑工业出版社,2012.
[14] 王双,夏才初,葛金科.考虑泥浆套不同形态的顶管管壁摩阻力计算公式[J].岩土力学,2014,35(1):159-166;174.
[15] 张鹏,谈力昕,马保松.考虑泥浆触变性和管土接触特性的顶管摩阻力公式[J].岩土工程学报,2017,39(11):2043-2049.
[16] 宣锋,叶源新,钟俊彬.预应力钢筒混凝土顶管顶力试验研究[J].特种结构,2018,35(1):21-27.
[17] 吴永华.退管法在原水工程钢顶管施工中的应用[J].城市道桥与防洪,2023(11):168-171.
[18] 甄亮.顶管工程中的退管法施工对环境影响的研究[J].建筑施工,2018,40(6):989-991.
[19] 张勇军.顶管技术在城市地下管网施工中的应用与挑战[J].水利技术监督,2024(12):327-331.
[20] 魏纲,徐日庆,屠玮.顶管施工引起的土体扰动理论分析及试验研究[J].岩石力学与工程学报,2004(3):476-482.

(上接第243页)

[8] 李春良,王国强,赵凯军,等.地面荷载作用盾构隧道纵向力学行为[J].吉林大学学报(工学版),2011,41(增刊2):180-184.
[9] 璩继立,潘荣,唐瑞东.基于双面弹性地基梁的隧道纵向变形研究[J].水资源与水工程学报,2016,27(1):190-194.
[10] 梁荣柱,王理想,李忠超,等.地表堆载对既有盾构隧道纵向变形影响[J].建筑科学与工程学报,2023,40(3):130-141.
[11] 张斌,唐琳鸿.圆形超深竖井基坑逆作法施工全过程内外衬协同作用分析[J].建筑施工,2024,46(3):418-422.
[12] 王博文,夏晨,王子安,等.小应变硬化模型在南京漫滩区深大基坑中的应用研究[J].北京建筑大学学报,2024,40(3):127-136.

[13] DG/TJ 08-61—2018,基坑工程技术标准[S].
[14] 贾丁,程可缘,但昭旺,等.曲线盾构隧道长距离下穿既有隧道变形影响分析[J].现代城市轨道交通,2023(4):63-68.
[15] CJJ/T 202—2013,城市轨道交通结构安全保护技术规范[S].
[16] 戴宏伟,陈仁朋,陈云敏.地面新施工荷载对邻近地铁隧道纵向变形的影响分析研究[J].岩土工程学报,2006(3):312-316.
[17] 余占奎,黄宏伟,娄宇,等.局部均布荷载作用下软土盾构隧道结构分析[J].特种结构,2006(4):75-77.
[18] 吴庆,杜守继.地面堆载对既有盾构隧道结构影响的试验研究[J].地下空间与工程学报,2014,10(1):57-66.