

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.04.019

# DN3 000钢管顶管用于引水工程检修应急通道

王美凤<sup>1</sup>, 渠元闯<sup>2</sup>, 沈振锁<sup>1</sup>, 王 灿<sup>2</sup>

(1. 浙江珊溪水利水电开发股份有限公司, 浙江 温州 325000; 2. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300074)

**摘 要:** 赵山渡引水工程沙门段检修应急通道采用了DN3 000大直径钢管顶管技术,顶管全程位于深厚淤泥层,是温州市目前正在运行的最大钢管顶管输水工程。通过沉井结构应用、沉井外围高压旋喷桩帷幕、管道环氧玻璃鳞片外防腐、穿河低厚度覆土段压载等措施,成功解决了顶管施工对周边环境的不利影响、管道耐久性和低厚度覆土顶管穿越可能产生的土体失稳等突出问题。2021年10月,该工程顺利完工并通水。

**关键词:** 顶管; 沉井; 高压旋喷桩

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)04-0108-04

## Application of DN3 000 Steel Pipe Jacking in Emergency Access of Zhaoshandu Water Diversion Project

WANG Mei-feng<sup>1</sup>, QU Yuan-chuang<sup>2</sup>, SHEN Zhen-suo<sup>1</sup>, WANG Can<sup>2</sup>

(1. Zhejiang Shanxi Water Resources and Hydropower Development Co. Ltd., Wenzhou 325000, China; 2. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300074, China)

**Abstract:** The application of DN3 000 large diameter steel pipe jacking wholly located in deep silt layer in Shamen Emergency Access of Zhaoshandu Water Diversion Project is the largest steel pipe jacking water conveyance project in Wenzhou at present. The problems of surrounding environment impact of pipe jacking, durability of the pipeline and the soil instability caused low thickness are successfully solved by application of caisson structure, high-pressure jet grouting pile curtain, external corrosion prevention of epoxy glass flake and ballast on low thickness soil of river crossing pipeline. The project was successfully completed and began supplying water in October 2021.

**Key words:** pipe jacking; sinking well; high-pressure jet grouting pile

顶管是以非开挖方式穿越道路、河流等障碍的一种重要的管道施工方法,应用广泛,具有对地面影响小、施工速度快、方便和相对安全等特点。大直径顶管工程在设计、施工等方面相对更复杂。温州市赵山渡引水工程沙门段检修应急通道DN3 000钢管顶管工程的施工经验,可供其他类似工程参考。

### 1 工程概况

赵山渡引水工程是珊溪水利枢纽的主要组成部

分,属于大(Ⅱ)型水利工程,目前是温州市城市供水的主要水源,约占城区供水总量的80%。输水渠系由渠首进水闸、总干渠、北干渠、南干渠、温州分渠、瑞北分渠等6部分组成,主要建筑物有隧洞、渡槽、倒虹吸、暗渠、节制闸等。其中,沙门段渡槽位于输水渠系的北干渠上,于2001年建成通水,是单线输水建筑物,长期以来缺少停水检修的条件。沙门段检修应急通道是在北干渠沙门段渡槽旁侧新建的输

水通道,与沙门段渡槽形成双通道并联关系,主要作用是为沙门段渡槽提供停水检修条件,保障停水检修期间城区不间断供水。沙门段检修应急通道设计流量 $10.5\text{ m}^3/\text{s}$ ,总长度约600 m,管道为DN3 000钢管,其中顶管段长度426 m,其余为开挖直埋段,前后两端与渡槽上下游输水隧洞相连接。

## 2 工程地质

拟建场地属山前冲海积地貌单元,地形整体较为平坦,局部存在一定起伏,地面高程为3.11~10.68 m,沿程大部分为农田,并分布有2条河流,宽度为7.5~16.5 m,河底标高为2.6 m。地下水水位埋深较浅,稳定水位埋深为0.1~3.5 m。项目区地质自上而下依次为:①粉质黏土,②淤泥,④<sub>3</sub>圆砾,④<sub>3a</sub>粉质黏土,④<sub>3</sub>圆砾。其中②淤泥层较为深厚(9~13 m),分布相对均匀,适宜顶管,但是含有含水量高、孔隙比高、灵敏度高、压缩性高、抗剪强度低的软土,承载力特征值只有50 kPa,明挖时需进行地基处理和基坑支护,沉井施工时易发生突沉或倾斜。

## 3 沙门段检修应急通道施工方案选择

从空间上看,沙门段检修应急通道有地上架空和地下敷设两种形式。地上架空方式主要有架空管道和架空渡槽,地下敷设方式主要有开挖直埋、顶管及盾构等。地上架空方式工程造价相对较低,但是对地面交通、已建高压供电线路及地上基本农田等影响较大,政策处理费用高,难度大,实施困难。地下敷设采用开挖直埋方式时,管道全部位于淤泥层,一般开挖深度为6 m,穿河段最大开挖深度达12 m,管道的地基处理和深基坑支护问题突出,施工安全不易保证,总体造价相对较高,因此,采用非开挖方式的顶管或盾构是更加合理的选择。从地质条件分析,盾构管片衬护对软弱淤泥层的适应性并不好,容易在不均匀沉降时发生开裂等问题,需要内衬钢管才能保证输水的安全性,因此,盾构方案的总体造价偏高。综合以上因素,考虑到当地在深厚淤泥层中的顶管施工具有长期的工程经验,沙门段检修应急通道采用了顶管方案。

## 4 项目难点分析

根据项目区周边环境条件、地质情况等因素,采用顶管方案主要存在以下难点:

① 顶管对周边环境的影响。顶管路线与沙门渡槽及已建的10 kV高压线平行,并受外侧已建

建筑物、道路条件限制,距离沙门渡槽及10 kV高压线较近,如何确保渡槽及高压线在施工期间的安全是关键。

② 顶管井和接收井的结构形式选择。顶管井和接收井的深度达14 m,且地质条件上存在深厚淤泥层软土,如何在保证安全的条件下,选择合适的结构形式并尽量节约投资需要重点考虑。顶管管径大、长度长,顶管井靠背需要提供的顶力达4 000 kN,顶管井靠背的加强处理也需重点考虑<sup>[1]</sup>。

③ 管材及防腐材料选择。从工程地质条件看,管道全程位于淤泥层,因此要充分考虑管材对地质条件的适应性。长距离顶管易对管道外防腐造成损伤,需要选择合适的管道外防腐材料,来保证顶管施工不对管道的耐久性产生大的影响。

④ 顶管段局部覆土较浅的处理。顶管沿线穿越两条河道,上部最小覆土厚度只有5 m,需要采取措施防止顶管过程中发生土体失稳等事故。

## 5 顶管设计

### 5.1 平面布置

顶管的平面布置如图1所示。

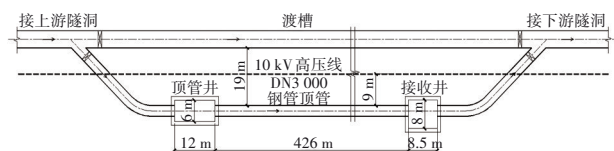


图1 顶管平面布置

Fig.1 Plane layout of steel pipe jacking

在平面布置上,主要考虑顶管沿线邻近已建建筑物的安全,该顶管沿线主要是旁侧已建的渡槽及10 kV高压线。渡槽承担着城市供水的重要任务,需不间断运行,因此,顶管与已建渡槽的间距要尽量拉开。10 kV高压线也是正在运行的重要供电线路,需要保持一定的安全距离。综合考虑项目用地及上下游衔接等条件,确定顶管在平面布置上,与渡槽净距为19 m,与高压线轴线间距为9 m。

### 5.2 顶管高程

顶管高程的选定,主要考虑3个因素:①选择适合顶管施工的土层;②满足最小覆土深度要求;③沿程没有影响顶管施工的地下障碍物。根据项目区的地质纵剖面,该段适合顶管的淤泥层标高为-7.08~-1.82 m,根据《给水排水工程顶管技术规范》(CECS 246:2008),顶管最小覆土厚度为4.5 m。

综合两个方面的因素,选定顶管的管道中心高程为-4.0 m,管道一般段埋深为7.5~9.5 m,两处穿河段最小埋深5 m。考虑穿越两条河道位置的上部覆土厚度已接近最小覆土厚度要求,且河底存在约1 m厚的松散砂夹淤泥层,顶管在穿越河道施工过程中,于河道内采取临时压载措施,以确保顶管穿越河道段的施工安全。压载采用袋装黏土,厚度不小于1 m,宽度范围上宽出管道外径不小于3 m。对顶管沿线进行了物探,结果显示顶管高程范围内不存在影响顶管施工的孤石、交叉管线等地下障碍物。

### 5.3 管材选择

沙门段检修应急通道顶管管径达3 m,对于中、大口径的输水管道,可选管材包括钢管、预应力钢筒混凝土管、球墨铸铁管及玻璃钢夹砂管等。球墨铸铁管及玻璃钢夹砂管目前国内尚不具备生产DN3 000以上口径的能力,因此,沙门段顶管管材主要考虑在钢管和预应力钢筒混凝土管中选取。沙门段淤泥层具有压缩性高、灵敏度高的特点,后期极易发生不均匀沉降,考虑预应力钢筒混凝土管管材自身质量较大,接口类型为承插口,在发生不均匀沉降后容易出现脱口等问题,且对顶管管道进行地基处理的难度很大,费用也比较高,因此,不宜采用预应力钢筒混凝土管。钢管是连续性管道,特别是长距离钢管整体的柔性更好,适应地基变形的能力比较强,从温州市已经实施的类似工程经验看,钢管顶管穿越淤泥层均不需要进行地基处理。综合以上分析,并考虑赵山渡引水工程的城市主要供水功能,工程重要等级高,沙门段检修应急通道顶管管材选择钢管,以更好地保障供水安全。管道钢材型号为Q235B,顶管段钢管壁厚34 mm,管节间采用焊接连接。在接口的坡口形式选择上,由于大直径钢管顶管管节间承受的顶力大,常用的“X”型坡口容易在顶管过程中产生卷边,因此坡口采用上半圆外开口“V”型、下半圆内开口“V”型。

### 5.4 管材防腐

一般情况下,对顶管管道外防腐涂料的要求包括:具有良好稳定的电绝缘性能、与金属表面有较强的黏结力、耐腐蚀性能好、抗剥离强度高、便于现场补口等。按照上述条件,可供选择的防腐形式有环氧煤沥青、环氧玻璃鳞片、环氧树脂玻璃布及聚氨酯等,相关的试验数据表明,同样条件下,上述4种防腐形式中,环氧玻璃鳞片防腐层质量磨损量、

质量磨损率和防腐层剥落面积均最小,整体抗磨损性能最优<sup>[2]</sup>。因此,本工程顶管段钢管外防腐采用耐磨性能好、补口方便、造价相对不高的环氧玻璃鳞片防腐方式。具体做法:对管道外表面进行喷砂除锈,处理效果达到Sa2.5级,然后涂环氧富锌底漆二道,干膜厚度不少于70 μm,上部涂环氧玻璃鳞片重防腐涂料三道,干膜厚度不少于450 μm。

### 5.5 顶管井与接收井

根据顶管机头长度、单节管段长度、千斤顶长度等条件,确定顶管井平面内尺寸12 m×6 m,井深14 m,接收井平面内尺寸8.5 m×8 m(兼作检修及排泥井),井深14.4 m。顶管井和接收井的结构形式,可选择深基坑支护、沉井等方式。若采用深基坑支护方案,支护深度达14 m,属超深基坑,钢板桩支护无法满足要求,需要采用排桩支护方式,桩基长约25 m,由于底部存在深厚卵石层,桩基进入卵石层深度达10 m以上,钻孔灌注桩需要采用冲击成孔,在施工难度大、工程造价高的同时,也会对周边建筑物产生一定影响,支护的内撑也不便于顶管机头及管道的安装。沉井具有整体性强、安全性好、施工方便、占用场地小、投资省等优点,井壁刚度大,顶管时可提供的顶力大,井内无内撑,便于井内施工,但也存在对施工技术要求高,施工中较易发生倾斜、突沉,井内开挖对周围具有一定影响的缺点。沙门段顶管井和接收井深度大,需要确保施工安全和不对周边产生大的影响,同时接收井还要兼作检修及排泥井。从安全和投资两个主要方面分析,采用沉井方案可以较好地保障施工期人员安全,较基坑支护方案可节约投资约25%,因此,选择沉井方案更为合理。同时,需采取克服沉井缺点的相应工程措施:在沉井外围设置高压旋喷桩帷幕,帷幕与沉井井壁净距不小于1 m,避免对沉井下沉造成影响,高压旋喷桩直径0.8 m,间距0.6 m,咬合0.2 m,深度上至沉井刃脚底高程,沉井采用不排水下沉,水下封底,减小沉井施工过程对周围的影响;沉井刃脚底部布设双排咬合高压旋喷桩,桩底至卵石层顶部,防止沉井下沉接近设计标高时发生突沉;在接近顶管井靠背位置设置厚度4 m的梯形密排高压旋喷桩,确保顶管井靠背侧在顶管施工时能够提供需要的顶力;顶管进出口设置3 m宽高压旋喷桩,以保护顶管机头在进出口位置顶进施工的安全。



## 6 顶管施工

顶管施工涉及高压旋喷桩施打、沉井浇筑、下沉、封底、顶管机头安装、顶进、焊接等,需要科学安排才能保证施工的顺利进行。在施工顺序上,首先是沉井周围高压旋喷桩的施工,高压旋喷桩分两次施打,一次施打是帷幕及外侧部分,二次施打是沉井下沉完成后帷幕内侧靠近井壁的部分,主要考虑靠近井壁的高压旋喷桩在沉井下沉之前施工会对沉井下沉造成影响,容易导致沉井两侧摩阻力差异而致使下沉过程产生倾斜。高压旋喷桩成桩28 d后,采用钻孔取芯的方法进行完整性、均匀程度、成桩长度及桩身强度检测,满足设计要求后进行沉井施工。沉井分两节进行制作,高度分别为7.5 m和6.5 m,两次下沉,第一节混凝土强度须达到100%后开始下沉,第二节混凝土强度达到70%后开始下沉。下沉时结合井内挖土厚度及对应的下沉速率进行控制,在接近设计标高时,严格控制挖土速度,一次挖土层厚不大于0.5 m,并观察2 d后,循环进行开挖下沉,直至下沉到设计标高,最后及时进行封底。顶管施工采用泥水平衡法,中间设置一处中继间,根据靠背顶力监测数据,顶管最大顶力3 200 kN,小于顶管井设计可提供顶力。顶管期间对地面及沿线建(构)筑物进行严密监测,并结合监测结果动态调整泥浆压力,确保顶管施工不对地面产生大的影响。整个顶管工程总工期约1年,其中顶管部分自开始顶进至贯通用时约1个月,日平均进尺约12 m。在沉井施工过程中,对顶管井及接收井外围地面沉降进行了监测,监测最大沉降量25 mm,旁侧道路未发生开裂等现象,沉井施工没有对周围产生明显影响,表明采取的高压旋喷桩帷幕及不排水下沉措施是有效的。在顶进线路上每隔50 m左右设置沉降观测点,监测最大沉降量为17 mm,未发现地面明显局部下沉、开裂等现象,高压线线杆未发生沉降和倾斜,表明顶管施工未对地表产生大的影响,两处穿河段也未发生土体失稳、沉陷等现象。从终端进入接收井的部分管道外表看,外防腐材料基本完好,没有发现大的损伤。整个顶进过程较为顺利,表明工程设计和施工方案是合理的。

## 7 运行效果

沙门段检修应急通道于2021年10月通水运

行,是目前温州市正在运行的最大钢管顶管工程,从运行流量看,达到了设计要求的 $10.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ;从运行安全看,运行至今,顶管沿线的沉降监测数据基本稳定,整体运行稳定安全可靠。该应急通道工程为沙门段渡槽提供了可定期进行检修的条件,实现了渡槽检修期间不间断供水的预期目标,保障了城区供水安全,取得了较好的工程运行效果。

## 8 结论

① 大直径顶管工程一般重要性等级较高,要综合考虑周边环境和地质情况等因素,合理选择顶管路由、高程和管材,在淤泥等软弱地基中的大直径顶管,要优先选择整体柔性相对较好、对不均匀沉降适应能力强的钢管。

② 沉井是解决超深基坑支护问题和节约投资的重要方法之一,条件允许时可优先选用沉井方案,在沉井外围设置高压旋喷桩帷幕能够减少沉井下沉对周边地面的影响。

③ 大直径钢管顶管的管道外防腐可选择耐腐蚀性、黏结性和耐磨性较好的环氧玻璃鳞片防腐形式。顶管沿线局部段覆土厚度偏小时,可以采取临时压载措施,以保证顶管施工的顺利穿越。

## 参考文献:

- [1] 宣锋,许大鹏,钟俊彬. 黄浦江上游水源地工程钢管管的实测研究[J]. 特种结构,2018,35(1):45-49,55.  
XUAN Feng, XU Dapeng, ZHONG Junbin. Case study: steel pipe jacking construction at water sources area of Huangpu River upstream[J]. Special Structures, 2018, 35(1):45-49,55(in Chinese).
- [2] 史喜珍,汤胜旗,甘甜,等. 钢顶管外防腐层真实抗磨损特性室内模型试验研究[J]. 涂料工业,2020,50(6):54-61.  
SHI Xizhen, TANG Shengqi, GAN Tian, et al. Laboratory model test on wear resistance of exterior anticorrosive coatings for steel pipe jacks [J]. Paint & Coatings Industry, 2020, 50(6):54-61(in Chinese).

作者简介:王美凤(1971- ),女,浙江绍兴人,本科,工程师,从事水利、市政设施运营管理工作。

E-mail:646652045@qq.com

收稿日期:2022-06-01

修回日期:2022-06-21

(编辑:衣春敏)