

Engineering Practice of Super Large Diameter Power Pipe Jacking with Parallel Double Line

Wuxing Lin

Fuzhou Jiangyin Industrial Zone Development and Construction Co., Ltd., Fuzhou, Fujian, 350309, China

Abstract

During the process of pipe jacking construction, the cutting of soil by the cutterhead of the excavation machine will inevitably cause deformation of the soil in front of the pipeline, thereby affecting the safety of the surrounding environment. This paper takes the DN4000 ultra large diameter, small spacing, and parallel double line reinforced concrete pipe jacking project of the Jiangyin Power Pipe Gallery Tunnel in Fuzhou as an example to introduce a series of technical and safety quality assurance measures for pipe jacking engineering, such as equipment selection, water sealing at the entrance, drag reduction during jacking, mud replacement, measurement correction, and settlement control. Through real-time monitoring of the pipelines on the jacking line, practice has shown that the deformation values of the surrounding environment caused by the construction of the working well and the jacking process are within the control range. The measures adopted are reasonable and effective.

Keywords

super large diameter; parallel double line; pipe-jacking; engineering management

超大直径的平行双线电力顶管的工程实践

林武星

福州市江阴工业区开发建设有限公司, 中国·福建 福州 350309

摘要

顶管施工过程中掘进机刀盘切削土体势必会引起管道前方土体变形, 进而影响周围环境的安全。论文以福州江阴电力管廊隧道项目DN4000超大直径、小间距、平行双线钢筋混凝土顶管为例, 介绍顶管工程的设备选型、洞口止水、顶进减阻、泥浆置换、测量纠偏和沉降控制等一系列技术和安全质量保障措施。通过对顶进线路上的管线进行实时监测, 实践表明在工作井施工和顶管顶进过程中引起的周边环境变形值均在控制范围内, 采用的措施方案是合理有效的。

关键词

超大直径; 平行双线; 顶管; 工程管理

1 引言

顶管施工通过后方的顶力设备对管节提供推力作用, 并配合掘进机前方切削搅拌土体并排出, 从而完成地下管线的暗挖施工^[1]。顶管施工在不影响地面交通的情况下, 具有开挖量小、污染小、降低施工风险等优势, 被广泛应用于电力、市政等项目施工^[2]。现阶段电力顶管施工技术逐渐由埋深浅、断面小向着埋深大、直径大的方向发展, 其中管节结构设计、注浆压力控制、土体变形监测等是影响大直径顶管管节施工的关键因素^[3]。

当顶管掘进机在前方搅拌切削土体并排出的过程中, 容易引起管道周边尤其是上方土体的沉降变形。当土体沉降变形不断加大时, 会影响管道周边道路、管线附加沉降, 甚

至产生严重次生灾害。顶管施工引起土体变形及地面沉降主要受工程地质、水文地质、施工设备、施工阶段的技术控制, 甚至工人的工作状态等因素影响^[4]。论文结合福州江阴港城经济区电力顶管的工程实例, 对超大直径平行双线顶管施工的工程实践进行分析, 提出减少地面及管线沉降的综合技术措施, 为后续类似工程提供借鉴作用。

2 顶管设计方案

2.1 项目概况

该项目为公共高压电力专用管廊, 项目建设地点为福州市江阴港城经济区。为满足江阴工业集中区增量配电区域负荷增长需求, 进一步提高重要电力用户的供电可靠性, 建设东西部片区高压线路通道, 项目的建成对福州南翼临港产业基地建设起到重要作用。

项目起点位于已建 220kV 赤厝变, 终点至已建 220kV 顺宝变, 建设规模为 10 回 220kV 和 8 回 110kV 线路。全线

【作者简介】林武星(1990-), 男, 中国福建福清人, 硕士, 工程师, 从事工程项目与技术管理研究。

新建电缆线路长度约 7km，是架空管廊、明挖隧道和顶管隧道混合建设的大型电力管廊项目，其中顶管隧道长度约 150m，采用内径为 4m 的并行超大直径双顶管施工。顶管路径从兴林路北侧工作井下穿兴林路和钱塘河后接入赤厝变北侧接收井。

顶管平面见图 1。



图 1 顶管平面图

工作井和接收井均采用沉井施工工艺，四周采用双

排 800mm 高压旋喷桩止水帷幕，止水帷幕穿透中砂层。进出洞口采用 800mm 旋喷桩进行洞口加固。工作井和接收井采用矩形双孔工井，平面外尺寸分别为 19m × 12m 和 19m × 10m，壁厚 1.0m，中隔壁壁厚 0.6m，双顶管净间距 5m，基坑开挖深度约 20m，采用五次制作下沉，刃脚位于中砂层。沉井的顶管侧洞口采用后置槽钢加固支撑封堵，隧道侧采用加筋砖砌墙封堵。

顶管工井尺寸见表 1。

表 1 顶管工井尺寸

井	尺寸 (m) (长 × 宽 × 高)	标高 (m)			井深 (m)
		自然地面	刃脚底	井顶	
工作井	19 × 12 × 18.7	4.0	-16.8	1.9	20.8
接收井	19 × 10 × 18	3.8	-16.2	1.8	20.0

DN4000 双顶管隧道布置见图 2。

2.2 工程地质

场地现状主要为道路、荒地、工业园区、河道等。场地地貌类型属滨海相冲淤积平原地貌。勘察期间稳定水位埋深约 1.0m。场地周边土层如下：①素填土；②淤泥质土；③粉质粘土；④中砂等。

顶管顶进断面见图 3。

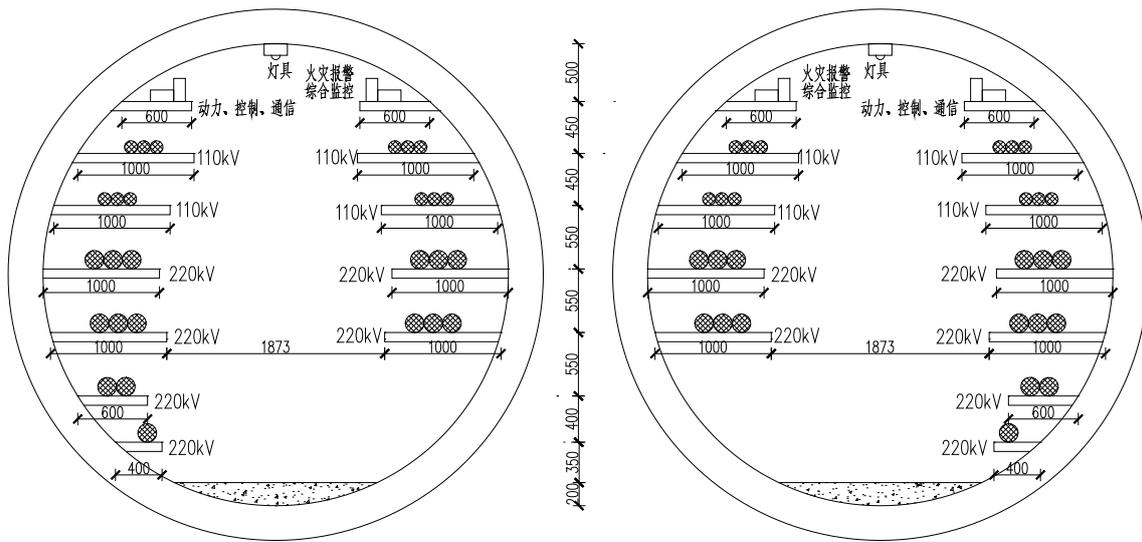


图 2 DN4000 双顶管隧道布置图

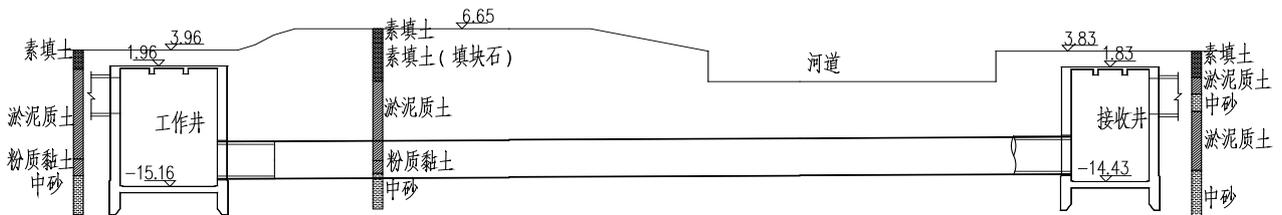


图 3 顶管顶进断面图

2.3 工程特点

本项目属电力超大口径顶管工程,受钱塘江河底高程影响,顶管埋设深度较深,道路上方覆土超过10m。施工难度大,工井下沉深度达到20m。虽然线路路径较短,但外部环境较为复杂,顶进过程需穿越道路、蒸汽管、雨水管、电力排管、通信电缆、燃气管、河道等,施工过程中应增大测量密度,通过严格控制顶进速度,避免道路沉降和蒸汽管道泄漏等问题出现。

3 顶管施工方案

3.1 地下管线探测

根据行业标准CJJ61—2017《城市地下管线探测技术规程》中规定,地下管线探测应包括敷设在地下的给排水、燃气、热力、电力和电信等各种管道,并调查地下管线的平面位置、走向、埋深、规格、材质等。本项目顶管路径除受地表蒸汽管道影响外,还受12孔10kV的MPP电力拉管的影响,经过施工探管复测,电力拉管的底面距顶管顶面距离大于4m,满足顶管施工的安全距离要求。

3.2 顶管掘进机选型

根据地质资料,本项目顶管在顶进路径中需要穿越②层淤泥质土和③层粉质粘土,顶进过程中无孤石等特殊情况。根据地质条件及安全考虑,本项目采用Φ4000mm口径的泥水平衡顶管掘进机,掘进机安装了6台45KW减速机组,扭矩达到了1580kN/M。

3.3 管材选型

本项目选用“F”承插型钢筋混凝土管,管道内径为4m,壁厚为0.4m,单个管节长度为2.5m。顶管管节的混凝土强度等级为C50,抗渗等级为P8,外环及内环钢筋为φ^R12@50。接口采用双胶圈钢承口,端口采用钢套环,接口密封圈采用楔形橡胶圈,管材上配置4个注浆孔。

3.4 顶力计算

本项目采用泥水平衡顶管工艺,管材采用内径Φ4000mm钢筋混凝土管,壁厚400mm,外径为Φ4800mm,顶力计算依据《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB 50268)的要求,参照本工程设计参数及地质钻探资料,计算公式如下:

$$FP = \pi D_0 L f_k + NF$$

$$NF = \pi / 4 (D_g^2 P)$$

$$FP = 3.14 \times 4.8 \times 150 \times 5 + 3.14 / 4 \times (4.86 \times 4.86 \times 111) \\ = 11304 + 2058 = 13362 \text{ kN}$$

式中:FP——顶进阻力(kN);

D₀——管节外径,取4.8m;

L——顶管施工长度,取150m;

f_k——管节外壁与土体的单位平均侧摩阻力(kN/m²),当采用触变泥浆减阻时,管外壁能形成和保持稳定、连续的泥浆套时,本项目f_k取5kN/m²;

NF——掘进机的迎面阻力(kN);

D_g——掘进机外径取4.86m;

P——计算土压力。

具体的计算公式为:

$$P = K_0 \times P_0 = 0.6 \times 185 = 111 \text{ N/m}^2$$

式中:K₀——静土压系数,一般取0.6;

P₀——静止土压力(kPa),P₀=γ×h=18.5×10=185kN;

Γ——土的容量:当为淤泥质土和粉质粘土时,取18.5kN/m³;

H——覆土深度平均取10m。

3.5 施工工艺流程

3.5.1 施工系统

①主顶和掘进系统。主顶系统采用后座垫铁、导轨、千斤顶及千斤顶支架等组成,其作用是对顶管掘进机提供推力。顶管掘进机的作用是切削土体并搅拌均匀和控制顶进的方向。

②穿墙止水环。为防止土体、地下水和触变泥浆从管节与止水环之间的间隙流到工作井,在工作井预留洞口处需要设置穿墙止水环,止水环由中间夹装两道20mm厚的橡胶钢法兰加压板组成。通过管道顶进推力带动橡胶板形成逆向止水效果,安装固定好后,混凝土墙面与预埋钢环板接触面处采用水泥砂浆堵缝止水。

3.5.2 触变泥浆

为减少顶进过程中的管节与土体的摩阻力应在施工中对管节周边注入触变泥浆^[9],设计的压浆量为管道外围环形孔隙的1.5倍,注浆压力通过管顶所受压力控制。在顶管掘进机的后面5节管每节管都设置触变泥浆管,之后的管节间隔2节管设置一道,通过注浆在管节的外壁形成完整的泥浆套,降低顶进阻力。在每节管节的前端按90°布设触变泥浆注浆孔。

3.5.3 测量与纠偏

顶管机推进方向的控制,是通过安放在纠偏千斤顶上的位移传感器来实现的。顶管在管道顶进过程中应不间断的测量管道的垂直高程和侧向位置的偏移情况。掘进机在顶进的10m范围内的允许控制偏差:轴线侧向方向50mm,垂直高程方向30mm;当出现超过允许偏差时,应采取措施缓慢的进行纠偏,使顶管管节逐渐恢复正确位置。当顶管即将进入接收井时,受掘进机头的重量大和近出洞口扰动土体的影响,导致机头向下偏移,为此,应采用机头向上和调整千斤顶合力点来联合控制机头的掘进方向。

3.5.4 出土方案

为防止顶管刀盘在出洞位置突沉,在工作井和接收井下沉到位后,将先前支护用的高压旋喷桩与顶管外壁之间1m范围内,采用高压旋喷桩灌浆充填,提高洞口土体强度。泥水平衡的顶管工艺,将刀盘切削的土体用通过送水泵将泥

水送至开挖面，并借助刀盘的搅拌作用后，用泥浆泵将搅拌后的泥水抽排送至地面泥浆池进行二次分离。

3.5.5 泥浆置换

为满足道路和管线的变形控制要求，在顶管顶进结束后应采用措施对管周边土体进行密实，采用做法是采用水泥浆置换工艺把顶进过程注入的触变泥浆置换出来，置换材料采用水灰比 1 : 1 的水泥浆，水泥采用 325 号普通硅酸盐水泥，根据需求加入适量速凝剂三乙醇胺；置换范围为管周与土体的间隙空间，注浆压力为 1~2MPa。

顶管完成后对管道内接口进行密封处理，管节与管节的内接口采用单组份聚氨酯密封胶进行密封止水处理。

3.5.6 沉降控制措施

在顶管掘进机前方开挖面的土体是通过掘进机压力仓平衡水土压力来实现的。顶管顶进过程要控制好泥水压力，尤其是控制好顶进速度、顶进推力和渣土出土量等参数，为控制顶管机前方的地面变形量应适时调整和保持压力仓的土水压力值。结合本项目的工程特点，地面变形量应控制在

30mm 以内，顶进过程的地面或管线变形监测数据要防止变形滞后等假象，同时还应防止顶进过程因覆土不足而产生的管节隆起现象。

图4为顶管隧道施工过程中蒸汽管线的沉降监测结果，监测点布设间距为 10m，测点布设在蒸汽管道基础顶面。以顶管开始顶进为计时零点。从图中可以看出，在顶管单洞顶进初始阶段因未涉及到蒸汽管线影响区域，蒸汽管线变形较小；当顶进至蒸汽管线前后 10m 范围，蒸汽管线基础开始产生较大沉降，随着顶进继续，管线变形趋于稳定；当另一洞顶进施工过程中，又重新对蒸汽管道产生附加沉降。从图中可以看出，工程实施期间蒸汽管线累计最大沉降量为 25mm，虽然超过 GB50497《建筑基坑工程监测技术标准》对刚性压力管道的变形 20mm 的预警值要求，但未发生蒸汽漏气事故，管道沉降处于可控状态。实践表明，本项目的沉降控制措施是合适的，施工中未对其它周边环境造成较大影响。

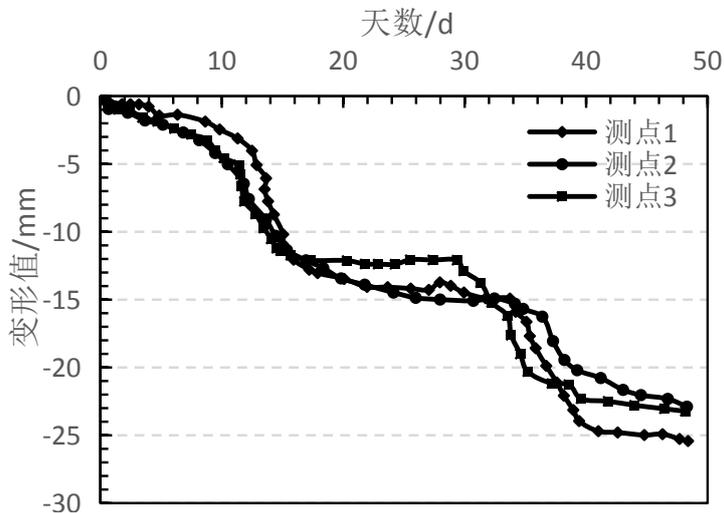


图4 临近蒸汽管的沉降监测值

4 结语

平行双线顶管施工方案有别于单线顶管，施工过程中应密切关注周边环境变化，以更好地控制和指导顶管施工，要控制好开挖面的土压力、及时注浆和泥浆置换、做好洞口止水等，防止地表变形过大，施工过程中采用信息化施工，动态调整施工参数。实践表明，本项目在工作井施工和顶管顶进过程中引起的管线位移值均在控制范围内，周边环境亦处于安全状态，这说明本项目的设计施工方案是成功的，可为后续类似的超大直径的双顶管的工程提供借鉴。

参考文献

[1] 顾杨,李耀良.超大直径钢筋混凝土顶管设计与施工技术及应用

[M].北京:中国建筑工业出版社,2021.

- [2] 葛金科,沈水龙,许焯霜.现代顶管施工技术及其工程实例[M].北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [3] 牛国伦,马保松,张鹏,等.大直径顶管施工管土相互作用实测分析:以佛山市电力隧道顶管工程为例[J].隧道建设(中英文),2021,41(8):1353-1360.
- [4] 苏鼎国.超大直径平行双线顶管施工引起的地表变形分析[J].城市道桥与防洪,2017(4):158-161.
- [5] 毅.浅谈减阻泥浆对大直径混凝土顶管顶推力的影响[J].福建建筑,2010,143(5):104-106.