

输电线路沿盾构隧道敷设对既有结构影响研究

张 源¹, 陈喜坤²

(1. 国网江苏省电力有限公司南京供电分公司, 江苏 南京 210019; 2. 苏交科集团股份有限公司, 江苏 南京 210019)

摘 要: 输电线路沿既有盾构隧道敷设需解决隧道局部结构改造与结构安全影响等问题。为此, 以南京秋藤一望江 220 kV 线路工程沿既有南京应天大街长江隧道敷设为例, 采用理论分析、数值仿真模拟和现场监测相结合的方法开展研究, 提出了隧道结构局部改造方法, 给出了输电线路敷设引起的隧道结构变形量计算值, 并结合现场实测数据验证了计算结果; 研究了线路工程敷设局部结构改造方式、结构安全影响等关键技术。结果表明, 输电线路沿既有盾构隧道敷设具有可行性, 结构安全影响在合理范围内。

关键词: 输电线路; 盾构隧道; 工作井; 安全评估; 健康监测

中图分类号: U453.7

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)10-0136-06

Research on Impact of Laying Electric Transmission Lines along Shield Tunnel on Existing Structures

ZHANG Yuan¹, CHEN Xikun²

(1. Nanjing Power Supply Branch of State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd., Nanjing 210019, China; 2. JSTI Group Co., Ltd., Nanjing 210019, China)

Abstract: The laying of electric transmission lines along the existing shield tunnels needs to address issues such as local structural reconstruction of the tunnel and the impact on structural safety. Taking the laying of Nanjing Qiutong - Wangjiang 220 kV Transmission Line Project along the existing Nanjing Yingtian Avenue Yangtze River Tunnel as an example, the combined method of theoretical analysis, numerical simulation and on-site monitoring is used to conduct research. A method of local structural reconstruction of tunnel is proposed. The calculation values of tunnel structural deformation caused by laying the electric transmission lines are given. And combined with the on-site measured data, the calculation results are verified. The key technologies such as local structural reconstruction methods for line engineering laying and structural safety effects are studied. The results show that the laying of electric transmission lines along the existing shield tunnels is feasible, and the structural safety effects are within a reasonable range.

Keywords: electric transmission lines; shield tunnel; work shaft; safety assessment; health monitoring

0 引 言

为平衡水域两岸的电力供应, 输电线路沿既有水下隧道进行敷设成为新的工程需求^[1]。为此, 需解决既有结构改造、水下隧道结构安全保障等问题^[2]。

部分学者开展了输电线路沿既有工程敷设的相关研究。黄定贵^[3]以黄埔有轨电车 2 号线工程为例, 开展了有轨电车与现状高压架空输电线共走廊的相互影响因素分析, 明确了其可行性。冯涛等^[4]在总

结施工经验基础上, 分析了盾构隧道内不同电缆敷设方法的经济和社会效益。但高压输电线路沿既有水下盾构隧道敷设的案例少见报道。

针对施工活动扰动既有盾构隧道工程的研究常见报道。高永等^[5]依托绕城高速公路深基坑上跨运营盾构隧道工程案例, 开展了现场监测、检测和数值模拟, 评估了隧道结构的安全性能和安全冗余储备。潘清^[6]围绕地铁盾构隧道周边基坑开挖所引起的隧道变形开展研究, 采用有限元分析软件 PLAXIS, 分析了不同加固条件下基坑与隧道的变形。张光省等^[7]采用数值模拟软件, 评估了基坑工程施工对扬州瘦西湖隧道主体结构安全性的影响。

以上研究主要针对隧道周边施工活动对隧道的影响, 未见隧道内部施工活动对隧道的研究。

本文提出了高压输电线路沿既有盾构隧道敷设

收稿日期: 2024-10-15

作者简介: 张源(1992—), 男, 硕士, 工程师, 从事工程项目管理工作。

通信作者: 陈喜坤(1989—), 男, 硕士, 工程师, 从事工程项目设计工作。电子信箱: 326259120@qq.com

过程中对既有结构的改造方案,并通过数值模拟和现场监测给出了线路敷设过程中对隧道结构安全的影响,以期为类似工程提供借鉴。

1 工程概况

南京秋藤—望江 220 kV 线路工程起于南京江北 500 kV 秋藤变,止于江南 220 kV 望江变,为架空、电缆混合线路,按照远景 4 回设计,本期敷设 3 回。电缆线路总长约 21.2 km,其中过江段利用既有南京应天大街长江隧道进行穿越。

1.1 南京应天大街长江隧道

南京应天大街长江隧道是连接南京市浦口区的一条快速通道,该区段为双线盾构隧道,全长约 3 km,隧道结构外径 14.5 m,环宽 2 m,壁厚 0.6 m。隧道按双向 6 车道快速通道标准建设,设计时速 80 km/h。

隧道内部构造呈对称布置。长江隧道左线、右线建设时均预留了单回路 220 kV 电缆敷设空间。隧道横断面由车道板分为上下 2 层,上层为行车道层;下层为服务层,分为电缆通道、救援通道和逃生通道 3 部分^[8]。

应天大街长江隧道段横断面布置图见图 1。

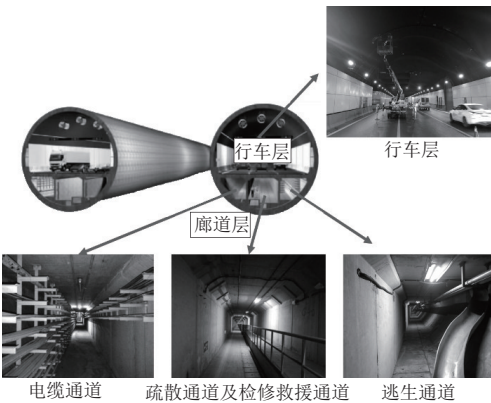


图 1 应天大街长江隧道段横断面布置图

1.2 线路工程涉应天大街长江隧道情况

该线路工程自浦口长江隧道工作井、梅子州长江隧道工作井电缆隧道引下,经 2 道电缆竖井至负 4 层,通过高压电缆通道至工作井负 3 层,沿负 3 层长江隧道 2 条电缆沟隧道敷设,每条隧道 2 回电缆。

1.2.1 江心洲段梅子洲工作井影响情况

江心洲段 220 kV 线路工程自长江隧道江心洲盾构终点工作井(风井)引出,向西南走线后折向西。其中 K0+000 ~ K0+082、K0+000 ~ K0+260 段明挖电缆隧道位于隧道上方垂直区域及隧道区间西侧 200 m

保护线范围内^[8]。

电缆隧道与长江隧道位置关系见图 2。

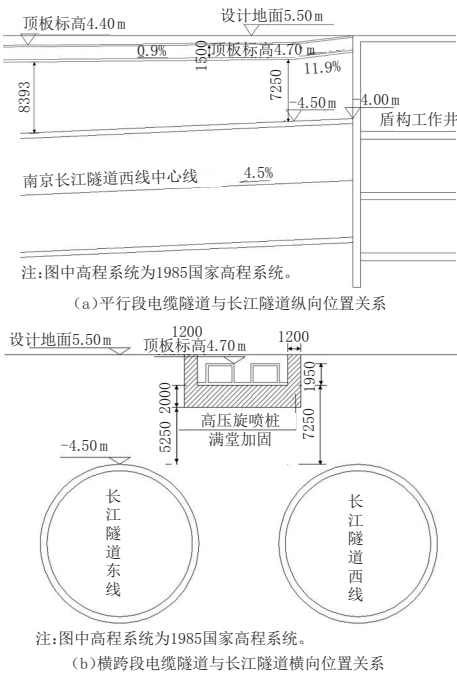


图 2 电缆隧道与长江隧道位置关系(单位:mm)

1.2.2 浦口工作井影响情况

电缆从工作井内预留通道出地后,上跨应天大街长江隧道盾构段结构,之后再折返,与隧道明挖段结构并行向浦口侧延伸。该区段已完成电缆隧道施工,不再讨论。

1.2.3 盾构隧道区间段影响情况

该项目于应天大街长江隧道电瓶车通道内预制电缆沟进行纵向敷设,电缆下井后沿隧道在新建电缆井内敷设。

2 局部结构改造方案研究

2.1 梅子洲工作井结构改造方案研究

在工作井处原有设计为预埋 3 ϕ 300 钢管,埋深距地面下 0.8 m,但钢管尺寸无法满足 2 回 220 kV 电缆敷设要求。2 回电缆需进入室外盾构井预留高压电缆井,而现有结构无预留孔。此外,浦口盾构井预留高压电缆井洞口尺寸不足。因此,以上 3 处均需对现有结构进行改造。

(1)针对预埋钢管尺寸不足问题,提出的改造方案是在该处盾构井侧墙开洞,开洞尺寸为 2 100 mm(宽) $\times$ 700 mm(高);同时,为满足承载力要求,对洞口采取加固处理,利用后浇圈梁进行加固。

(2)针对高压电缆井无预留孔的问题,提出的改造方案是凿除盾构井地面层原混凝土电缆井壁,并

新建1座通风口,在工作井顶板上开洞,尺寸为2 100 mm(长)×1 300 mm(宽),开洞边线紧贴原有结构梁。

(3)针对浦口盾构井预留高压电缆井洞口尺寸不足的问题,采用的改造方案是破除既有楼板,且不做加固处理。

2.2 线路沿盾构区间段敷设方案研究

电缆在盾构廊道层沿既有电瓶车通道进行敷设。需解决盾构隧道与工作井接口狭窄且电缆沟侧壁无预留孔洞问题。

本研究提出的改造方案是利用预留高压电缆通道敷设一段距离后再穿越电缆沟侧壁引入新建电缆通道。穿越时对电缆沟侧壁进行开洞处理,较好地满足了敷设需求。

救援通道入口敷设路由图见图3。

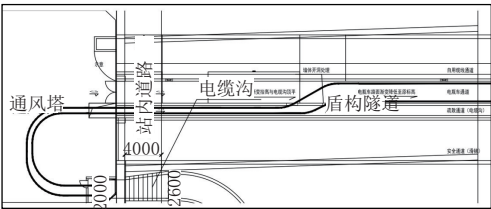


图3 救援通道入口敷设路由图(单位:mm)

3 线路敷设涉盾构隧道结构安全评估

南京秋藤一望江220 kV线路工程(江心洲段)K0+000~K0+082、K0+000~K0+260段明挖电缆隧道位于隧道上方垂直区域及隧道区间西侧200 m保护线范围内。需对该段落地基处理、土方开挖、围护桩及支撑施工、基坑降水、基坑监测等对长江隧道结构安全的影响进行评估。

3.1 计算范围

本项目三维有限元模型尺寸为220 m×200 m×40 m,总计251 229个单元,46 010个节点。上表面为自由面,四周边界面约束法向位移,底部约束竖向位移。岩土体物理力学计算参数见表1。

表1 岩土体物理力学计算参数

地层代号	岩土层名称	重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	直剪固快	
			C/kPa	$\varphi/(^{\circ})$
1	素填土	19.0	10	15.0
2	淤泥质粉质黏土	17.6	9	11.9
3	淤泥质粉质黏土夹粉土	17.5	11	12.9
4	粉砂夹粉土	18.8	5	27.8
5	粉细砂	19.0	5	28.6

3.2 模型参数

土体、加固土采用三维实体单元;新建电缆隧

道、围护桩采用板单元,冠梁、支撑采用梁单元;已建长江隧道工作井、长江隧道采用板单元;工作井结构梁采用梁单元。

模型材料参数见表2。

表2 模型材料参数

项目名称	材料	弹性模量 E/GPa	泊松比	密度 $\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$
电缆隧道结构、围护桩、冠梁、混凝土支撑	C30混凝土	30.0	0.20	2 500
长江隧道结构、长江隧道工作井结构	C40混凝土	32.5	0.20	2 500
钢支撑、钢围檩	钢材	206.0	0.25	7 860

3.3 计算模型

根据支护设计工况,在本模型中制定了13个有限元计算步骤(见表3),三维整体计算模型见图4。

表3 有限元计算步骤

计算步骤	计算内容
1	重力场初始化(地应力平衡)
2	长江隧道工作井施工
3	长江隧道施工
4	围护桩施工、土体加固
5	位移清零
6	涉长江隧道段开挖
7	开挖第1层土方+第1层支撑体系施工
8	开挖第2层土方+第2层支撑体系施工
9	开挖土方至坑底
10	涉隧道段电缆隧道施工+肥槽回填
11	电缆隧道施工+肥槽回填+拆撑第2层支撑体系
12	肥槽回填+拆撑第1层支撑体系
13	回填土方至地面

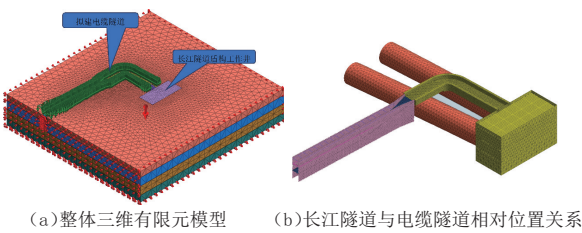


图4 三维整体计算模型

3.4 计算结果

3.4.1 地表沉降

地表沉降计算云图见图5。

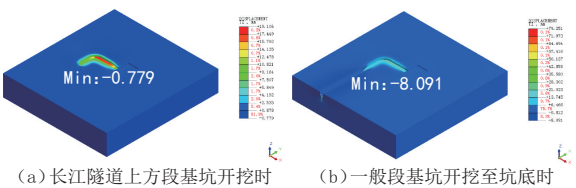


图5 地表沉降计算云图(单位:mm)

由图5可知,长江隧道上方段电缆隧道基坑开挖时,坑边土体沉降变形最大值为0.779 mm;一般

段基坑开挖至坑底时,坑边土体沉降变形最大值为 8.091 mm。

3.4.2 长江隧道盾构工作井水平变形

盾构工作井水平变形计算云图见图 6。

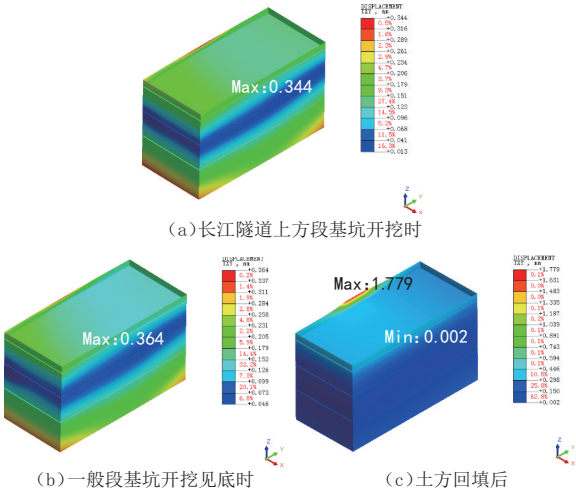


图 6 盾构工作井水平变形计算云图(单位:mm)

由图 6 可知,长江隧道上方段基坑开挖时,工作井水平变形最大值约为 0.344 mm;一般段基坑开挖至坑底时,工作井水平变形最大值约为 0.364 mm;电缆隧道全部施工完成,回填土方至地面后,工作井水平变形最大值约为 1.779 mm。

3.4.3 应天大街长江隧道变形

盾构隧道区间段应天大街长江隧道水平变形计算云图见图 7。盾构隧道区间段应天大街长江隧道沉降变形计算云图见图 8。

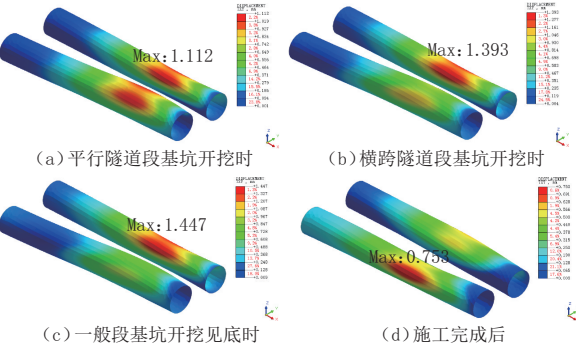


图 7 盾构隧道区间段应天大街长江隧道水平变形计算云图(单位:mm)

由图 7 可见,平行隧道段基坑开挖时,长江隧道水平变形最大值约为 1.112 mm;横跨隧道段基坑开挖时,长江隧道水平变形最大值约为 1.393 mm;一般段基坑开挖至坑底时,长江隧道水平变形最大值约为 1.447 mm;电缆隧道全部施工完成,回填土方至地面后,长江隧道水平变形最大值约为 0.753 mm。

由图 8 可见,平行隧道段基坑开挖时,长江隧道沉降最大值约为 0.034 mm,隆起最大值约为 1.453 mm;

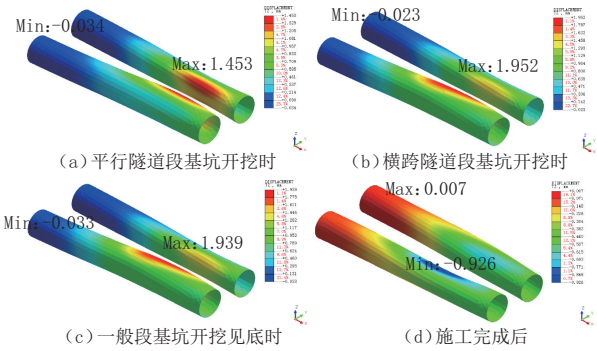


图 8 盾构隧道区间段应天大街长江隧道沉降变形计算云图(单位:mm)

横跨隧道段基坑开挖时,长江隧道沉降最大值约为 0.023 mm,隆起最大值约为 1.952 mm;一般段基坑开挖至坑底时,长江隧道沉降最大值约为 0.033 mm,隆起最大值约为 1.939 mm;电缆隧道全部施工完成,回填土方至地面后,长江隧道沉降最大值约为 0.926 mm,隆起最大值约为 0.007 mm。

根据三维有限元计算结果,拟建电缆隧道工程基坑开挖时,长江隧道盾构段最大水平变形为 1.447 mm,最大竖向变形为 1.939 mm;盾构工作井最大水平变形为 1.779 mm,均满足《盾构法隧道工程施工及验收规范》(GB 50446—2017)相关要求,因此电缆隧道基坑开挖对长江隧道结构安全影响较小。

4 盾构隧道变形监测数据分析

4.1 监测方案

施工过程中,采用自动化监测、人工测量、人工巡检 3 种手段开展施工扰动影响分析。其中自动化监测考虑倾斜(2 处测点)、应变(18 处测点)、裂缝张开(12 处测点)3 个项目(合计 32 处测点);人工测量考虑地表沉降、内部收敛;人工巡检考虑渗漏水、衬砌破损等。

自动化监测测点布置示意图和人工测量测点布置图见图 9、图 10。

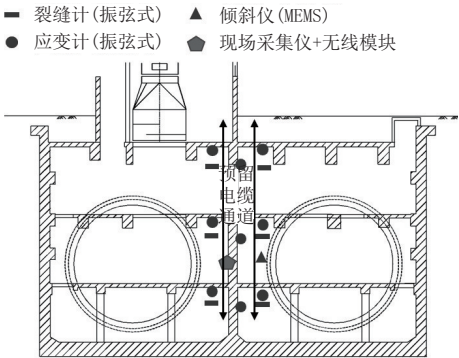


图 9 自动化监测测点布置示意图

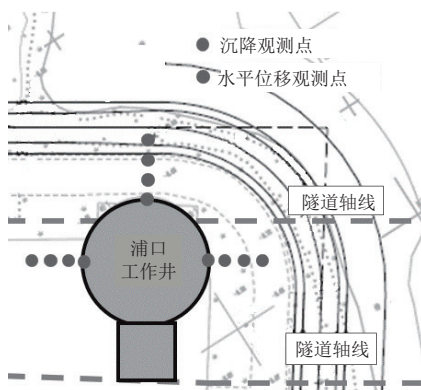


图10 人工测量测点布置图

4.2 主要监测结果分析

现场施工已完成工作井和部分电缆敷设,扰动最大工序已完成,结合历史数据进行监测结果分析。

4.2.1 自动化监测结果

梅子洲工作井整体倾斜变形变化曲线、工作井混凝土应变变化曲线、工作井接缝伸缩量变化曲线见图11至图13。浦口竖井整体倾斜变形变化曲线、工作井混凝土应变变化曲线和工作井接缝伸缩量变化曲线见图14至图16。

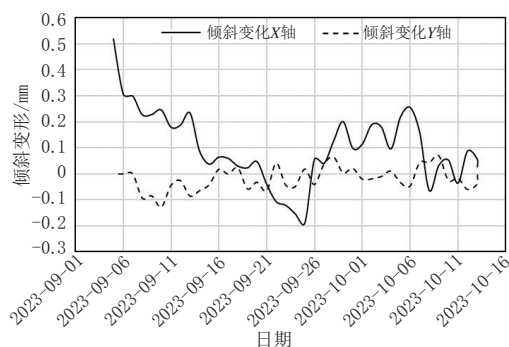


图11 梅子洲工作井整体倾斜变形变化曲线

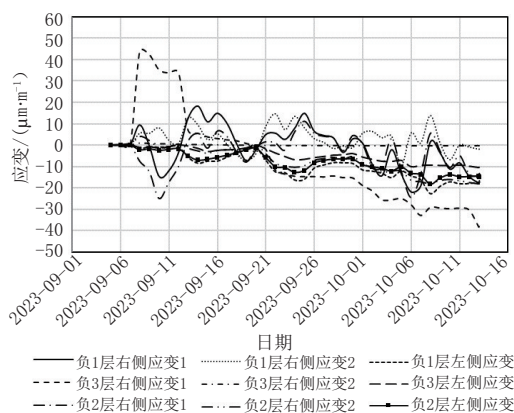


图12 梅子洲工作井混凝土应变变化曲线

由图11至图13可见,梅子洲工作井结构变形较稳定,未见超限变形情况,施工影响位置整体倾斜变形量在 $-0.5\sim 0.5$ mm之间变化,混凝土应变在 $-40\sim 40$ $\mu\text{m}/\text{m}$ 之间变化,接缝伸缩量变化均低于 ± 2 mm。

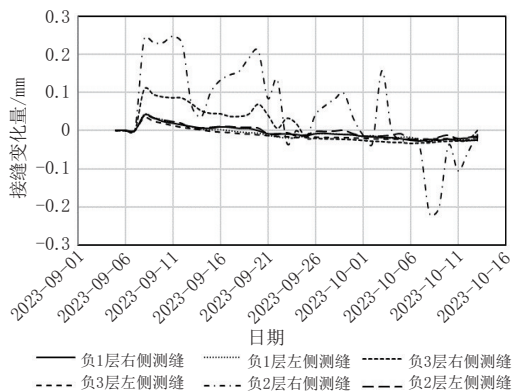


图13 梅子洲工作井接缝伸缩量变化曲线

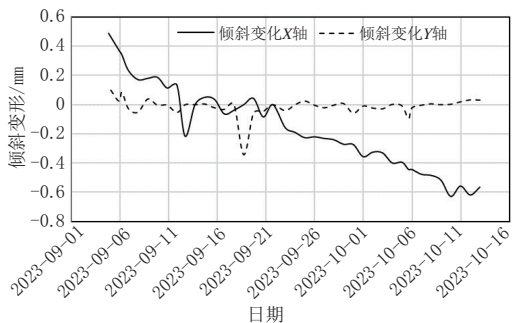


图14 浦口竖井整体倾斜变形变化曲线

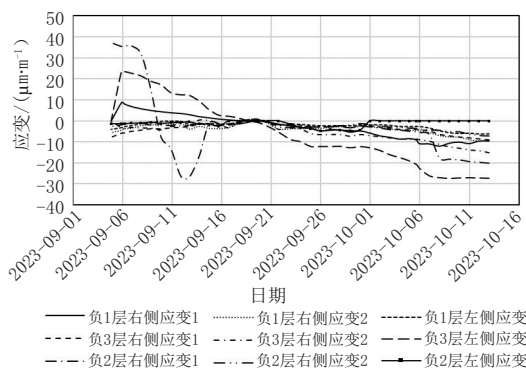


图15 浦口工作井混凝土应变变化曲线

上述数据均小于《盾构法隧道施工与验收规范》(GB 50446—2008)允许值,与计算结果相符。

由图14至图16可见,浦口工作井结构变形较稳定,未见超限变形情况,施工影响位置整体倾斜变形量在 $-0.6\sim 0.6$ mm之间变化,混凝土应变在 $-30\sim 40$ $\mu\text{m}/\text{m}$ 之间变化,接缝伸缩量变化均低于 ± 2 mm。上述数据均小于《盾构法隧道施工与验收规范》(GB 50446—2008)允许值。

4.2.2 人工测量、巡检结果

人工测量地表沉降量累计最大变形为 $+2.21$ mm,变化速率最大值为 0.23 mm/d。工作井内楼板垂直位移变形最大值位于浦口负1层,变形量为 -1.4 mm;水平位移变形最大值位于浦口工作井负1层,变形量为 3.2 mm。收敛变形最大值位于负3层,最大变形量为 1.68 mm。上述数据均小于监测控制值。

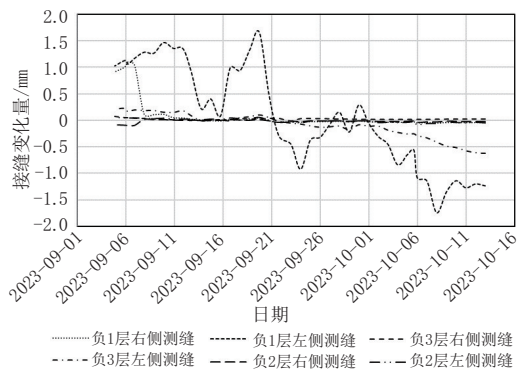


图 16 浦口工作井接缝伸缩量变化曲线

人工巡检过程中未发现结构新增裂缝、渗漏水、缺损掉块等病害。

4.2.3 计算值与监测值对比分析

取工作井倾斜和地表沉降变形为代表,进行计算值与监测值的对比分析。工作井倾斜变形计算值与自动化监测值的对比、地表沉降变形计算值与人工测量值的对比见表4、表5。

表 4 工作井倾斜变形计算值与自动化监测值对比

工作井倾斜变形	计算值/mm	自动化监测值/mm	备注
隧道上方开挖	0.344	0.2	计算取监测点 代表值
开挖至坑底	0.364	0.4	
土方回填后	1.779	1.4	

表 5 地表沉降变形计算值与监测对比

地表沉降变形	计算值/mm	人工测量值/mm	备注
隧道上方开挖	0.878	0.735	计算取沉降观测 点代表值
基坑开挖见底时	1.374	1.210	

由表4可见,工作井倾斜变形计算值比自动化监测值稍大,但变化趋势具有一致性,监测结果和计算结果均符合《盾构法隧道施工与验收规范》(GB 50446—2008)的变形要求。

由表5可见,地表沉降人工测量值与计算值变化

趋势一致,二者数据较为接近,也证明了本次模型计算结果的合理性。

5 结 语

(1)采用局部开洞再加固等手段,能够较好地满足输电线路沿既有盾构隧道敷设相关需求,过程中应加强监测措施。

(2)220 kV 输电线路敷设后,盾构隧道计算变形结果显示其最大水平变形为 1.447 mm,最大竖向变形为 1.939 mm,工作井最大水平变形为 1.779 mm,均满足盾构相关规范要求。

(3)根据自动化监测、人工测量和人工巡检结果,本次线路敷设过程中,盾构隧道工作井倾斜变形在-0.6~0.6 mm 之间,混凝土应变在-30~40 $\mu\text{m}/\text{m}$ 之间,接缝伸缩量变化均低于 ± 2 mm,小于规范允许值。

参考文献:

[1] 周远翔,赵健康,刘睿,等.高压/超高压电力电缆关键技术分析及展望[J].高电压技术,2014,40(9):2593-2612.
[2] 熊晓勇.重庆龙溪输变电工程的盾构技术应用与综合监测系统计[D].重庆:重庆大学,2014.
[3] 黄定贵.有轨电车与现状高压架空输电线共走廊设计研究——以黄埔有轨电车2号线工程为例[J].工程技术研究,2022,7(18):197-200.
[4] 冯涛,张涛,江行飞.典型盾构隧道内大线径电缆敷设方法探讨和应用[J].筑路机械与施工机械化,2016,33(7):79-83;88.
[5] 高永,赖衍鹏.基坑上跨盾构隧道实测数据分析及保护研究[J].城市道桥与防洪,2022(1):158-162.
[6] 潘清.基坑贴近地铁盾构隧道的实施方案研究及变形影响分析[J].城市道桥与防洪,2020(1):191-195.
[7] 张光省,王燕平,张磊,等.邻近既有盾构隧道基坑工程施工安全影响评估[J].现代交通技术,2022,19(5):59-64.
[8] 肖明清.大型水下盾构隧道结构设计关键问题研究[D].成都:西南交通大学,2013.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: roadbridgeflood@163.com

