

市政排水工程顶管顶进测量纠偏技术

——以广州市十涌西路顶管工程为例

钱泽项¹, 李亚², 罗利²

(1. 广东省建筑设计研究院有限公司, 广州 510000;
2. 中国五冶集团有限公司, 成都 610063)

摘要: 结合广州市十涌西路顶管工程设计、施工案例, 介绍市政排水工程顶管顶进施工工艺原理和关键技术点, 包括顶进工艺原理、针对不同土质条件顶进施工的要点、顶管顶进过程中的测量技术、顶管顶进过程中的纠偏方法以及控制要点, 并通过工程实际得出监测结果: 地表沉降最大累计量仅为 6.5 mm, 地表沉降最大速率 1.2 mm/d, 验证了在复杂的地质条件下, 采取相应的措施并严格执行测量纠偏技术, 能够适应地质变化, 确保顶管施工的安全性和可靠性。

关键词: 市政排水工程; 顶管工程; 顶进工艺原理; 顶进测量; 顶进纠偏

中图分类号: TU992 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)02-0263-06

顶管工程作为一种非开挖技术, 在现代城市市政基础设施建设中发挥着日益关键的作用, 特别是在已建成的市区内, 顶管技术的应用有效避免了传统开挖施工带来的交通中断、环境破坏和居民生活干扰等问题。目前, 顶管技术已广泛应用于市政工程建设中, 尤其适合在周围建筑群较多、地质条件复杂或者需要保护现有地下管线的情况, 这项技术能够在不破坏地面设施和环境的情况下, 高效、安全地完成管道铺设工作。它适用于多种地下管道施工, 包括但不限于排水、燃气、供水、供电和通信管道, 也适用于地下隧道、桥梁和人行道等工程。

管道在顶进过程中可能会因为地质条件、施工误差等因素发生偏移或失稳, 测量纠偏能够及时发现并纠正这些偏差, 防止管道失稳、偏向等, 严重时可能影响施工安全以及周边建筑物的稳定。因此, 深入开展顶管法施工测量纠偏的研究具有重要的意义。目前, 国内的专业文献中, 针对顶管施工技术的研究主要包括: 刘成龙^[1]结合太原下穿火车站工程, 介绍了超浅埋顶管的施工工序及纠偏技术, 解决了地下复杂地层障碍物处理这一关键技术难

题; 赵康康等^[2]对影响顶管施工中顶进姿态的因素进行了深入分析, 详细讨论了城市大直径原水管道顶管施工中的质量控制要点, 还全面概述了顶管施工过程中控制与纠偏技术的关键环节; 武志国^[3]介绍了平行偏、前角偏、后角偏 3 种偏差类型的纠偏程序, 总结了能够运用于工程实际的几种纠偏方法; 赵洪岩等^[4]在某再生水及污水管线顶管纠偏施工中, 通过运用一系列关键技术如钢管顶进的纠偏、机头的拉出操作、偏差混凝土管的拆除及重新安装以及间隙的有效封堵等, 实现了管道偏差的高效且安全修正; 罗利等^[5]以什邡市城东片区配套道路排水工程顶管施工为背景, 研究一种地下排水管线顶管穿越动载路面的施工方法, 该方法包含顶进、掘进、线型控制及灌浆系统, 通过顶进前的数值模拟与安全评估, 优化顶进工艺; 陈彬皓^[6]分析了市政道路给排水管道长距离顶管施工的技术要点, 提出了采用优质合金钢耐磨刀具强化刀盘外圈, 并选用了高强度和耐久性、密封性良好且耐腐蚀的钢材作为顶进管材的观点。此外, 众多工程人员也对顶管施工技术进行了大量研究^[7-17], 本文结合广州市十涌

收稿日期: 2024-08-20

基金项目: 中国中冶重大研发项目(中冶科技[2023]5号-5)

作者简介: 钱泽项(1990—), 男, 陕西渭南人, 工程师, 研究方向为市政工程设计施工; 李亚(1990—), 女, 重庆人, 工程师, 研究方向为市政与公路工程施工技术与工程; 通信作者罗利(1978—), 男, 四川宜宾人, 正高级工程师, 研究方向为市政工程施工技术。

西路市政污水管道工程的特征,针对顶管施工工艺和关键技术进行研究,为其技术价值的实现积累经验。

1 工程背景

1.1 项目概况

万顷沙区块企业配套道路项目,位于广州南沙区万顷沙镇红莲路至十一涌之间,共6条规划市政道路,各道路均包含道路工程、排水工程、交通工程、电力管沟工程、照明工程、绿化工程。其中,十涌西路污水管采用顶管施工,北接在建十涌西污水井,南接灵新大道污水井,全长228 m,污水管敷设在十涌西路道路北侧,道路南侧30~40 m处为十涌,现状为废弃房子和草地,地块规划将来为绿地。设计管道起点标高为0.18 m,终点标高为-0.04 m,坡度为0.001,埋深为7.00~8.6 m,管径为DN800 mm。如图1和图2所示。

1.2 地质条件

场地钻孔揭露,上部第四系覆盖土层有人工堆积成因(Q4 ml)的素填土;海陆交互相沉积(Q4 mc)的淤泥、淤泥质土、粉质黏土、粉细砂、中粗砂。如表1所示。

2 顶进工艺原理

在工作井内,利用顶进设备产生的推力,将管道按设计方向和坡度逐步顶入土层中,从而实现地下管道的敷设,主顶油缸是顶管施工中的主要动力来源,通过液压系统产生推力,推动管道前进。主顶油缸的行程和顶力根据管道直径和地质条件进行选择,通过计算,采用2台150 t液压千斤顶。掘进机安装在管道最前端,负责破土、定向、纠偏,并防止塌方和出泥,通过人工出土或使用吸泥排泥设备完成掘进排土,对洞口外侧的土体进行加固,防止洞口漏水漏沙。如图3所示。

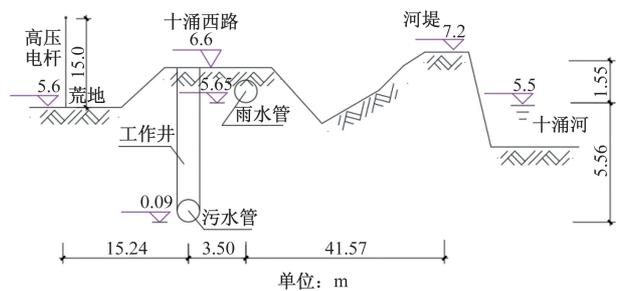
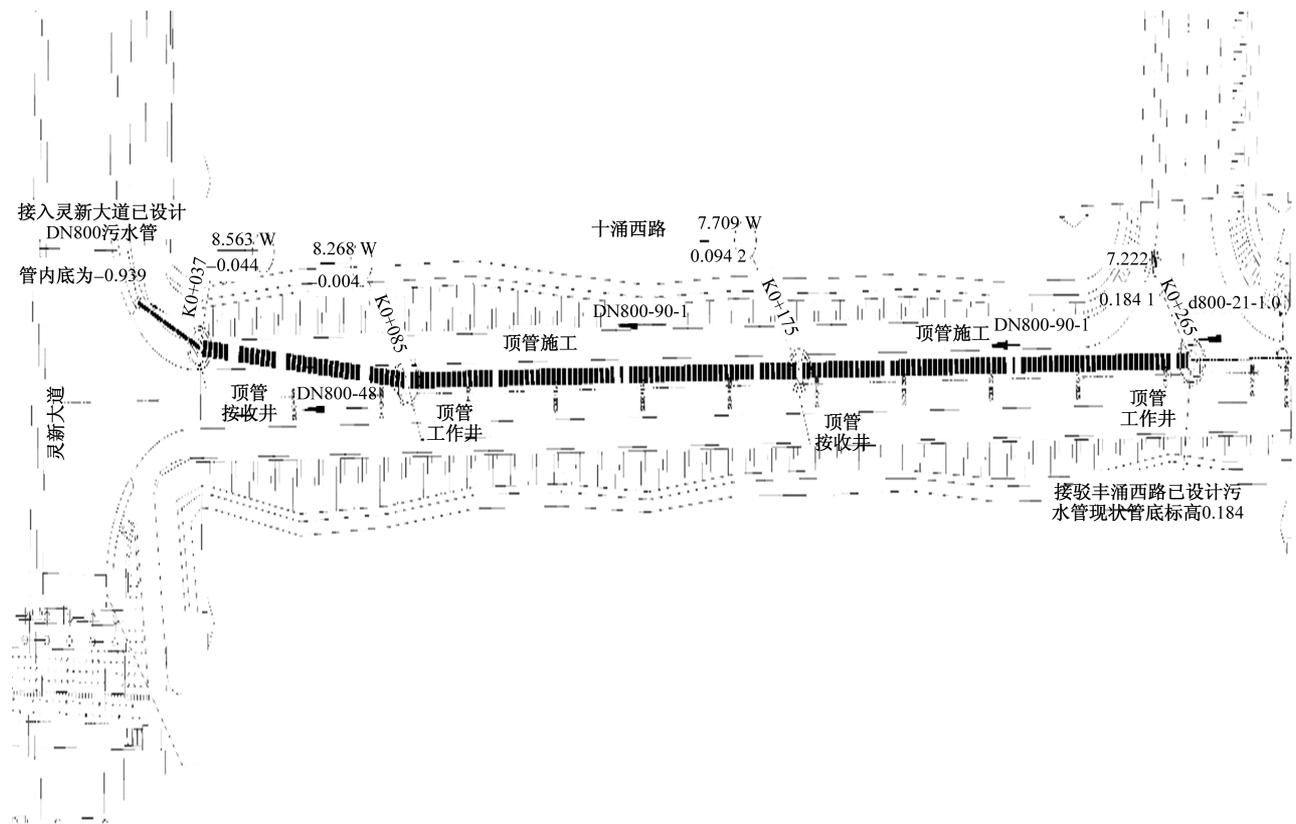


图2 顶管工程横断面示意图



十涌西路污水管北接在建十涌西污水井,南接灵新大道污水井,全长228 m, DN800 mm, 坡度1%;
尺寸均以m为单位, 比例为1:500; 坐标系统采用广州2000坐标系统, 高程系统采用广州城建高程系统

图1 广州市十涌西路顶管工程平面布置

表 1 各岩土层岩土参数值

土层名称	地基承载力特征值 f_{a0}/kPa	天然密度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	黏聚力 C/kPa	内摩擦角/ $(^\circ)$	土对混凝土结构的摩擦系数(μ)	负摩阻力系数 $K_0 \tan\theta$	渗透系数/ $(\text{m}\cdot\text{d})$
素填土(1)	60	18.5	10.0	10.0	0.45	0.45	2~3
淤泥(2-1A)	50	16.0	8.0	5.0	0.14	0.24	0.001
淤泥质土(2-1B)	60	17.0	10.0	6.0	0.16	0.24	0.001
粉细砂(2-2)	100	18.0	2.0	16.0	0.23	0.48	2~3
中粗砂(2-3)	160	19.5	0	25.0	0.42	0.48	8~10
粉质黏土(2-4)	160	19.5	22	15.0	0.28	0.38	/

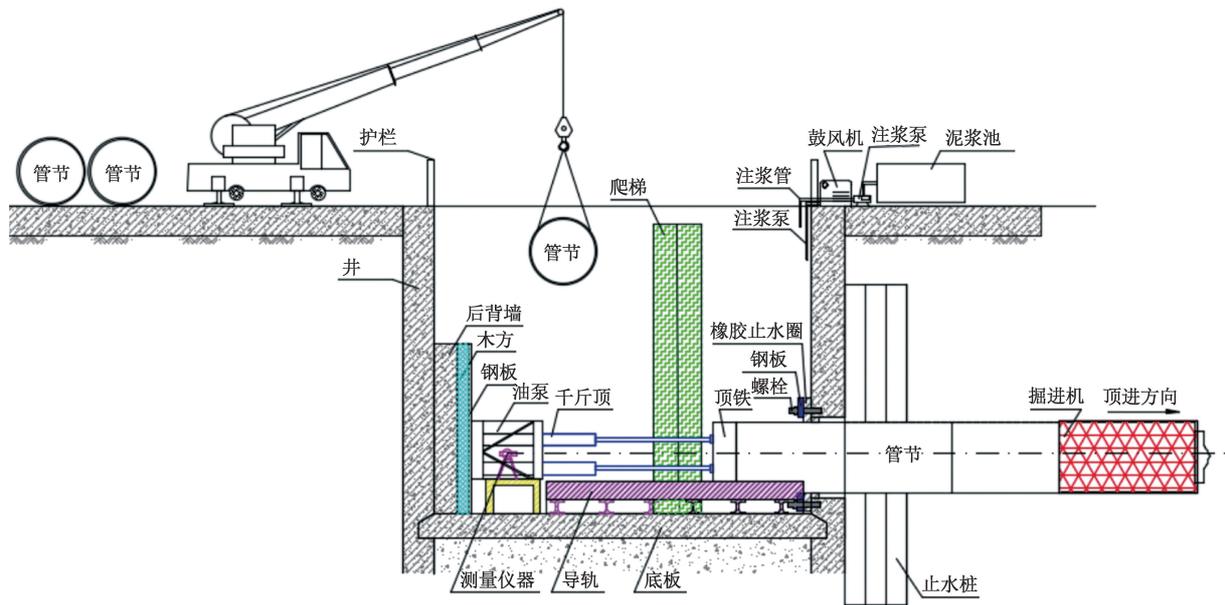


图 3 顶管顶进工艺原理

3 针对不同土质条件顶进施工的要点

在顶管施工过程中,通过对十涌西路沿线土质条件进行充分了解和细致分析,针对沿线分布的砂质土层、淤泥质土层、粉质黏土层的特性,顶进过程中分别采取以下施工措施。

3.1 砂质土层

在砂质土壤中进行顶管施工时,由于土层对刀盘的切削阻力较小,管道的堵塞现象也相对较少,这使得顶进速度得以加快。对于采用泥水平衡技术的顶管工程而言,砂质土层是较为理想的地质条件。依据流体力学的原理,当含沙水流通过一定的截面积时,如果流速增加,那么水流能够携带的沙量也会相应增加。因此,在砂质土层中施工时,推荐使用较大的水流流量来实现快速顶进。但在实际操作中仍需谨慎控制流量,避免因水流过大而将机头下方的泥沙冲走,这可能会导致机头下沉,影响施工安全和效率。

3.2 淤泥质土层

淤泥土因其细小的颗粒、高水分含量和丰富的有机质,容易在水中形成悬浊液。这种特性使得在顶管施工过程中,管道堵塞的可能性降低,刀盘所受的切削阻力也相对较轻。在适当的流量条件下,顶进速度可以相当快。但淤泥质土在水流作用下容易流失,机头前方的土体可能会被冲空,这也可能导致机头下沉。为了避免这种情况,在不进行顶进作业时,避免开启工作阀以防止水流冲刷机头。同时,通过控制顶进速度和注浆量,可以有效防止地面发生过度沉降,确保施工过程的稳定性和安全性。

3.3 粉质黏土层

在粉质黏土层中,由于其具有较高的黏结性,当其与泥水管的内壁接触时,易于聚集并形成泥团,进而导致管道发生堵塞。因此,需持续监控流量的变化,若观察到显著的流量变化,则可能是出现水流的反向冲刷。在这种情况下,需适当减少刀

盘每转动一圈时切削的泥土厚度,同时适当增加进水量,以防止泥团的形成和堵塞。

4 顶管顶进过程中的测量

在顶管施工过程中,精确的测量工作是至关重要的。其主要任务是确保管线按照设计的中线方向、高程和坡度正确铺设。将激光经纬仪安装在观测台或三脚架上,其发出的激光束作为顶管管道的中心线导向的基本参照,需与设计坡度一致。在施工启动阶段,顶管机的接收靶中心需要与激光斑点的中心对齐,如果过程中顶管机头发生偏位,激光斑点会相对于靶中心发生偏移,偏移的靶图像通过视频传输显示在操作台的监控器上,使操作者能够观察到激光斑点与靶中心的偏离情况,此时需结合纠偏措施,确保顶管机沿着正确的激光束方向持续前进。

根据十涌西路顶管施工的特性,在顶管工程的正常推进阶段,每推进 0.5~1 m 进行一次测量;在纠偏阶段,为了更精确的控制,每推进 0.1~0.3 m 进行一次测量。部分顶管操作需要在初始井内完成,因此起始点和后视点可能在顶管过程中产生位移,为确保施工的精准性,这些关键点位需每周进行检查与校准,如果检测到超出容许范围的位移,需迅速识别原因并进行相应的调整。另外,每当一段顶进工作完成后,需要测量复核管道的中心线和高程,以确保顶进的准确无误。

5 顶进过程中的纠偏

在顶管施工的整个过程中,纠偏是一项全过程持续的工作。考虑十涌西路位于市政道路行车道下方,顶进施工期间需对顶管的偏位情况进行严密的监控,并在偏差初现时迅速采取措施。纠偏操作需以温和的方式进行,避免进行太过强硬的调整,以确保管节能够平稳地回到预定位置。

5.1 纠偏方法

纠偏操作是根据激光经纬仪发射的激光束照射在钻掘系统中的光靶上的偏位情况,测量得到偏斜数据,而后操作液压纠偏系统,由专门的纠偏千斤顶来执行,配备的四台纠偏千斤顶能够在上下左右四个方向上进行全方位的纠偏调整,使掘进机前端的铰接机头产生适当的摆动,确保顶管工程能按预定轨迹准确进行。纠偏过程具体分为四个步骤,操作方法附图 4 所示。通常情况下,每次纠偏的角度不超过 0.5° ,通过适当的曲率半径,逐渐引导管道回到预定轴线。

5.2 纠偏控制要点

为尽量减小十涌西路顶管施工对上部道路及周边构筑物的影响,制定以下纠偏控制要点。

(1) 遵循勤测量、微纠偏、勤纠偏的原则,绘制顶管姿态变化的图表,包括高程和水平方向的变化曲线,并在曲线图表上标注控制线,有助于迅速识别并响应任何异常状况。

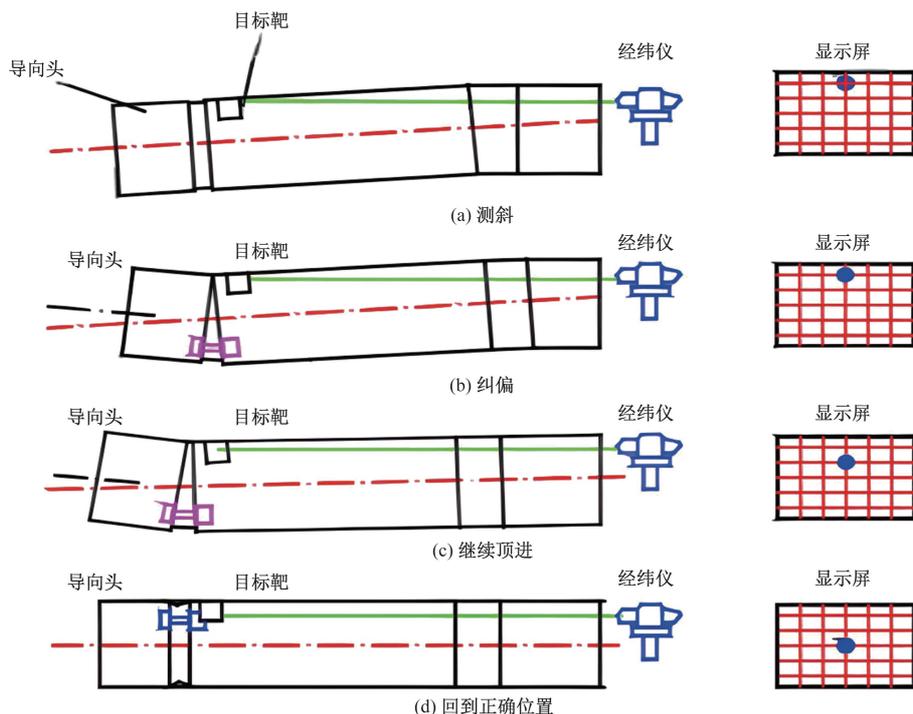


图 4 顶管纠偏步骤

(2)在顶管纠偏过程中,由于惯性作用,当千斤顶复位至零点后,机头会保持其在千斤顶复位瞬间的角度继续偏移,故如果机头在复位前已经位于设计路线上,过早的复位将导致“超调”现象的出现。因此,纠偏操作中,当偏差降至一个适宜的水平时,应立即将千斤顶回零,这一适宜的水平通常被称作“纠偏停止值”。在施工前,应根据过往经验预先设定这一值,并在实际施工过程中根据现场情况对其进行验证和调整。

(3)顶管出洞是决定整个顶管段偏差的关键因素。在出洞过程中,由于洞口泥水的流失,土体容易受到扰动,这可能导致顶管机因机头过重而下磕。在这种情况下,需要综合运用机头的自身纠偏能力和调整千斤顶作用力的合力中心,来控制顶管的行进方向。一种有效的方法是将机头垫高约5 mm,以确保顶管机在出洞时保持向上的走向趋势。同时,需密切监控顶管机的状态,一旦发现有下磕的趋势,应立即使用后座千斤顶进行及时纠偏。

(4)在顶管施工中,如果同时出现高程偏差和中心线偏差,应优先处理偏差较大的。在纠正高程偏差的过程中,如果中心线偏差超出了预设的“偏差控制范围”,则立即暂停高程的纠正工作,转而首先处理中心线的偏差。同理,如果正在纠正中心线偏差时,高程偏差超出了控制范围,也应停止中心线的纠正,先解决高程偏差问题。

6 结论

当前,采用顶管法设计施工已经越来越多地应用于市政雨污水排水工程中,相对于较大深度开挖埋置管线的方案,顶管技术对埋置深度较深、地质条件较差、周边环境复杂的情况具有更强的适用性。本文结合广州市十涌西路市政污水管道工程,研究顶管施工技术的应用,根据实际监测结果显示,顶管法施工产生的地表沉降最大累计量仅为6.5 mm,约为报警值的16.25%,地表沉降最大速率1.2 mm/d,约为报警值的40%,表明在水文和地质条件明确的情况下,制定科学合理的顶进方案,施工过程对地层扰动较小,可以有效地控制地表沉降,保证上部道路路面的稳定性;根据施工现场实际情况,对管道进行准确测量和及时纠偏,并制定一系列纠偏控制要点,减少因管道偏移导致的返工

和延误,保证周边构筑物的安全性。最终十涌西路顶管施工项目既保证了较高的施工效率,又确保顶管的安全贯通,可为未来同类顶管工程提供参考和指导。

参考文献

- [1] 刘成龙. 敞开式顶管机新管幕法施工顶进工序及纠偏技术[J]. 江西建材, 2022(5): 198-200.
- [2] 赵康康, 廖志兴, 陈磊. 大直径原水管迁改顶管施工控制及纠偏技术[J]. 云南水力发电, 2021, 37(12): 218-220.
- [3] 武志国. 机械顶管纠偏方法的探索[J]. 市政技术, 2013, 31(3): 114-116.
- [4] 赵洪岩, 王浩, 姜阳, 等. 逆套管法在大偏位机械顶管纠偏施工中的应用[J]. 建筑技术, 2019, 50(11): 1352-1354.
- [5] 罗利, 刘卫华, 童龙伟, 等. 排水管道顶管下穿城市轨道道路施工技术探讨——以什邡地区工程为例[J]. 科技和产业, 2024, 24(13): 265-270.
- [6] 陈彬皓. 市政道路给排水管道长距离顶管施工技术研究[J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(4): 133-135.
- [7] 许国平. 针对顶管工程施工测量及其纠偏[J]. 四川水泥, 2020(2): 248.
- [8] 肖斌. 顶管施工技术在市政雨水管道工程中的应用研究[J]. 工程技术研究, 2024, 9(12): 90-92.
- [9] 陈兵. 长距离顶管施工技术在市政给排水管网建设中的应用[J]. 散装水泥, 2024(2): 141-143.
- [10] 龚尚龙, 杨转运, 陈思甜. 采用随机介质理论分析超浅层曲线顶管施工引起的地表沉降[J]. 重庆交通学院学报, 2005(6): 95-98.
- [11] 赵康康, 廖志兴, 陈磊. 大直径原水管迁改顶管施工控制及纠偏技术[J]. 云南水力发电, 2021, 37(12): 218-220.
- [12] 杨益平, 王威, 陈丽波. 基于BP神经网络算法的矩形顶管施工地表沉降预测研究[J]. 城市道桥与防洪, 2019(11): 204-207.
- [13] 武志国. 机械顶管纠偏方法的探索[J]. 市政技术, 2013, 31(3): 114-116.
- [14] 李晓龙, 栗鹏超, 刘小锋, 等. 富水粉细砂层联络通道顶管法施工地表沉降分析[J/OL]. 郑州大学学报(工学版), 1-8. [2024-08-20]. <http://doi.org/10.13705/j.issn.1671-6833.2025.01.009>.
- [15] 毛陈军. 富水地层大直径顶管穿江过堤三维模拟及实测变形分析[J]. 工程建设与设计, 2024(9): 91-93.
- [16] 邓文杰, 曹广勇, 程桦, 等. 顶管施工模型试验系统研发与应用[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(7): 2929-2936.
- [17] 陈国瑞, 段中星, 王卫锋. 顶管应力监测与分析方法[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(14): 3515-3519.

Municipal Drainage Engineering Pipe Jacking Measurement and Correction Technology: Taking the Guangzhou Shiyong West Road Pipe Jacking Project as an Example

QIAN Zexu¹, LI Ya², LUO Li²

(1. Guangdong Architectural Design & Research Institute Co. Ltd., Guangzhou 510000, China;

2. China MCC5 Group Corp. Ltd., Chengdu 610063, China)

Abstract: Combining the design and construction case of the Guangzhou Shiyongxi Road Pipe Jacking Project, the principle and key technical points of the municipal drainage engineering pipe jacking construction process were introduced, including the principle of the jacking process, the essentials of jacking construction under different soil conditions, measurement techniques during the pipe jacking process, correction methods during the pipe jacking process, and control points. The monitoring results from the actual project indicate that the maximum cumulative surface settlement is only 6.5 mm, with a maximum rate of surface settlement at 1.2 mm/d. This verifies that by adopting corresponding measures and strictly implementing measurement and correction techniques, it is possible to adapt to geological changes, ensuring the safety and reliability of pipe jacking construction under complex geological conditions.

Keywords: municipal drainage engineering; pipe jacking project; jacking process principle; jacking measurement; jacking correction