

市政工程中电力隧道顶管施工技术研究

曲兴豪 宋保玉

青岛巨源建工集团有限公司

摘要:在电力隧道的施工过程中,传统的施工模式挖掘难度大,对周围环境破坏程度大,顶管施工技术的应用,能够有效降低工程难度,缩短施工工期,减少施工工程量。为此,本文对顶管施工技术进行研究,分析了顶管技术的工艺原理、工艺类型与施工难点,并阐述了电力隧道顶管施工技术要点,在此基础上,提出了施工控制策略。旨在改善顶管施工技术应用条件,提升市政工程电力隧道施工效率和质量。

关键词:市政工程; 电力隧道; 顶管施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.02.066

引言

在现代市政工程,顶管技术在电力隧道施工领域中得到广泛应用,不干扰地面交通的前提下迅速开挖隧道结构,逐渐取代了传统的明挖施工技术,这对保证作业安全、缩短工期时间、减少造价成本有重要的意义。然而,顶管施工技术复杂、施工难度系数高,为进一步发挥顶管施工技术优势,要规范电力隧道顶管施工作业流程,从各个方面控制好施工质量,从而确保市政工程施工活动顺利进行。

一、顶管施工技术概述

(一) 工艺原理

顶管施工技术简称为顶管法,作为一项新型管道敷设技术,在局部开挖地表的前提下,在地下空间持续顶进预制管节,在预定路线上形成电力隧道结构。顶管法工艺原理在于,选用预制管节作为管材,在预定位置竖向开挖坑槽,坑底安装顶进设备来形成工作井,并施作掘进机头的接收井,后续按照预设轨迹控制顶管机持续顶进管节,顶进期间持续吊进、接驳剩余管节,待机头抵达接收井位置后,把管节顶入洞口,即可完成顶管施工活动^[1]。

(二) 工艺类型

随着时间推移,顶管施工技术体系不断完善,演变形成多种类型的工艺技术,各项技术的操作方法、适用范围略有不同,根据开挖方式、管径类型进行分类。第一,开挖方式。主要采取半机械顶管、机械顶管、手掘顶管、挤压顶管四种开挖方式。半机械顶管是在钢制壳内部放置机械设备,利用机械设备提供顶进力,适用于现场地质条件较佳的市政工程。机械顶管是在顶进管道前后两端的钢制壳内均配备机械设备,有着安全系数高、施工成本高昂的特点。手掘式顶管是施工人员在被顶管道内部人工开展挖土作业,有着成本低廉的

优势,但也存在安全系数低、效率低下的局限性,多用于现场地质条件较佳的小型市政工程。挤压顶管是利用顶管机破碎室持续粉碎加工挤压土体,再把处理完毕的土体排至地表,存在适用范围狭窄的局限性,多用于施工覆土厚度较大、现场分布软基的市政工程。第二,管径类型。具体分为微型顶管、小口径顶管、中型口径顶管、大口径顶管四项工艺。微型顶管是管节管径值不超过400mm,适用于电力隧道埋深较浅的市政工程,施工标准较为严格。小口径顶管是制作管径在600-1200mm的预制管节,具备手掘开挖条件,施工人员可以进入管节内部。中型口径顶管是制作管径在1400-1800mm的预制管节,也是当前最为常用的顶管施工技术,技术标准较高、工艺做法成熟^[2]。大口径顶管是制作管径超过2000mm的预制管节,可用于开挖大型电力隧道,但作业难度与风险系数较高。

(三) 施工难点

电力隧道顶管施工受到多种因素影响,增加了实际作业难度。第一,地质条件复杂。部分市政工程的现场地质条件复杂,存在软基、岩溶等不良地质问题,或是现场富含地下水,在施工期间容易出现预料之外的状况。例如,在工作井施工期间,如果周边地层富含地下水,对井壁支护体系的阻水效果提出严格要求,后续有可能出现井壁坍塌等工程事故。第二,顶管质量不易控制。在预制管节顶进期间,受到土层密度变化、前方遇到孤石等障碍物、掘进头重量、洞口封门凿土量等因素影响,会产生一定程度的偏差量,管节顶进方向偏离规定路线,无法顺利到达接收井。第三,适应交通。市政工程主要分布在公共设施与建筑物密集分布的城市区域,虽然顶管法仅需在局部开挖工作井、接收井,其余顶管作业在地下空间进行,但仍旧需要占用现场地表空间,如果施工单位没有在规定工期时间完成顶管施工活动,则会干扰地面交通,承担相应损失。

二、市政工程中电力隧道顶管施工技术要点

(一) 始发井施工

在始发井施工环节,重点掌握井壁支护、井身开挖、内衬结构施工、基础设施安装四道步骤的技术操作要点。第一,井壁支护。为维持井壁结构完好状态,避免在水土压力作用下出现井壁坍塌问题,需要搭设支护体系,可采取钢板桩、高压旋喷桩等支护形式。以钢板桩支护为例,在现场参照施工图弹放井身开挖边线与施工控制轴线,现场安装导向架,架体由多块钢板焊接连接形成,要求导梁处在施工轴线位置,根据现场情

况来确定导梁与钢板桩施工高度,调整复位导梁。随后,把导向桩插入土层,通过挂绳进行导向,按顺序施打各根钢板桩,重点控制桩位偏差、相邻桩距和桩体高程差值,把相邻钢板桩联结形成整体支护结构,对锁口部位进行封堵止水处理^[3]。第二,井身开挖。检查支护结构抗压强度是否达标,按照从上到下顺序开挖井身,率先采取机械开挖方式,开挖面抵达垫层上方0.3m后,切换为人工开挖模式,对井底进行平整处理,封堵缺口缝隙,尽量缩短井身暴露时间。第三,内衬结构施工。在井内绑扎钢筋与支设模板结构,分层浇筑混凝土,在底板上方0.3m预留施工缝,保持表面湿润状态与凿毛处理,涂刷水泥砂浆,以此来改善新旧混凝土结合效果。最后,等待混凝土强度超过0.5MPa、完全达到设计强度后,拆除模板,在井身周边形成稳固的混凝土内衬结构。第四,基础设施安装。在井底均匀铺设碎石与埋设方木,方木上部安装导轨,要求方木长度略超过导轨外缘,方木高程低于管外壁高程,精细调整导轨水平位置。随后,使用级配碎石或是浇筑混凝土形成后背墙,墙体平面和管道中心线相互垂直,等距埋设多根立铁,把顶管机、首段预制管节摆放就位。

(二) 顶管出洞

在顶管出洞环节,重点掌握出洞段顶进、轴线和地面沉降控制、管节减阻、管节止退、穿墙管止水五道步骤的技术操作要点。第一,出洞段顶进。调试检查顶进设备,切除井壁洞口部位内衬结构,设置止水装置。待洞圈墙壁全部破除后,着手顶进机头,尽量降低顶进速度,注入适量清水软化水泥土,直到顶管机全部进入原状土后,逐步加快顶进速度。第二,轴线与地面沉降控制。顶进期间,定期测量轴线偏斜量与地表沉降量,及时调整机头姿态和顶进速度,必要时采取反转刀盘、加设压铁、控制出土量等措施,避免轴线偏差超标与出现地面沉降现象。以轴线偏差控制为例,正常情况下,轴线在高程、水平方向上的最大偏差值不得超过 $\pm 50\text{mm}$ 。第三,管节减阻。为避免因过大摩擦阻力而放缓顶进速度、导致预制管节破损,提前使用膨润土、砂等原材料制备水泥浆,顶管期间持续灌注水泥浆,在管节周边形成泥浆套,起到减小顶管阻力、保护管节的作用。第四,管节止退。在配备矩形顶管掘进机,在单次管节顶进长度较大的情况下,各次管节拼装期间,受到主顶油缸回缩因素影响,机头、管节出现后退现象,后退距离在0.2-0.3m不等^[4]。为解决此项问题,施工人员额外安装止退装置,这有利于控制上方路面与管线的沉降量。第五,穿墙管止水。可采取橡胶穿墙止水方式,工作井内衬墙上埋设预埋钢环,在预埋钢环上设置可调压板与橡胶止水环,起到堵水防渗作用。

(三) 管道进洞段施工

在管道进洞段施工环节,重点掌握准备接收井、复

核顶管机姿态位置、减慢顶进速度、顶管出洞、注浆填充五道步骤的技术操作要点。第一,准备接收井。管道顶进期间,施工人员参照图纸,在工程现场测量标记洞口位置,根据标高情况搭设顶管机接收架,破除井体洞口部位的内衬钢筋混凝土结构。上述准备工作必须在管道进洞前完成,并在管道进洞段施工前完成接收井施工作业。第二,复核顶管机姿态位置。为避免产生明显轴线偏差,确保顶管机可以顺利、精准落到基座上方。待顶管机头和接收井间隔距离达到一定标准后,酌情提高测量频率,重复多次核对调整顶管机的位置与进洞姿态,调节完毕后,再控制顶管机顺利进入接收井洞口,完成顶管贯通作业。第三,减慢顶进速度。根据施工情况来看,接收井洞口、预制管节间普遍存在间隙,间隙宽度在15cm左右,如果直接控制顶管机头进洞,难免出现水土流失问题,严重时还会损坏顶管设备、破坏洞口结构。施工人员需要提前降低顶进速度,在低速模式下把顶管机切口进入洞口加固区域,同步调整出土量,避免顶管机头承受过大正面土压力。第四,顶管出洞。待洞门全部开启后,率先开展探孔作业,探查洞口周边是否出现渗水问题,确定土体结构完整、无渗水问题后,操控顶管机匀速、缓慢向前顶进,直至首节管道进入接收井内衬结构0.4m处,停止顶管机,从机体上拆除管节,着手封堵洞口。如果存在洞门渗水问题,则采取降水井降水等处理方法,直至水位恢复到安全值,再组织开展顶管出洞作业。第五,注浆填充。直至洞门彻底封堵后,为确保地面洞口周边区域不会出现过度沉降现象,解决水土流失问题,提前制备水泥浆,浆液中掺加适量粉煤灰材料,以洞口空隙作为封堵部位,开展注浆作业,实际注浆量超过理论值,按照现场情况来确定具体注浆量。

(四) 顶管接收井施工

在顶管接收井施工环节,主要采取明挖法施作井体,率先设置止水帷幕,以高压旋喷桩作为帷幕形式,进行开挖土方与浇筑护壁结构,形成稳定、牢固的井身结构,重点掌握旋喷桩施工、土方开挖、护壁浇筑技术操作要点。第一,旋喷桩施工。现场标记各处桩位,把桩机竖直、平稳摆放在首个桩位,制备水泥浆,钻设桩孔,孔底放置注浆管,按照从下到上顺序开展旋喷作业,提管速度保持在0.1-0.2m/min,管口到达孔底后原位旋喷10s以上,再连续开展旋喷提升作业,停喷位置原位旋喷30s以上,重复上述过程,完成全部桩孔高压旋喷作业。最后,静置一段时间,等待旋喷完毕28d后,采取钻芯法、超声检测、探地雷达等检测技术,判断桩身无侧限抗压强度是否达标,正常情况下,要求无侧限抗压强度超过1.8MPa。第二,土方开挖。提前对现场场地进行平整处理,按照施工图纸,标记接收井中心点位与高程基准点,接收井周边使用石灰材料圆圈标记

开挖范围。随后,以接收井中间部位作为起始点,向四周延伸开挖,以从上到下作为开挖顺序,分层开挖土方,单层开挖厚度不超过1.0m^[5]。第三,护壁浇筑。土方开挖完毕后,检查开挖范围、底部标高与平整度是否达标,确定无误后,安装模板结构,立即开展混凝土浇筑作业,模板端头设置圆弧形内侧支撑,护壁顶部标高略超过地坪标高,并把护壁结构厚度控制在0.4m及以上。此外,把护壁混凝土强度等级控制在C30以上,分段支护、浇筑护壁结构。

三、市政工程中电力隧道顶管施工技术的应用策略

(一) 顶管方向纠偏控制

在电力隧道顶管施工期间,顶进方向偏离是最为常见的施工问题,有着形成原因众多、不易发现的特征。对此,施工人员必须做好顶管纠偏控制工作,根据工程情况、建设标准来确定顶进方向允许偏差值,在顶管机上安装激光装置,采取放缓顶进速度、跟踪监控顶管机实时姿态位置、闷顶纠偏等预防措施,尽量预防顶管偏斜问题发生。正常情况下,把顶进方向允许偏差值设定为±3mm/m,纠偏角度控制在0.5°以内^[6]。如果仍旧发生顶管偏斜问题,则根据现场情况来采取挖土法、千斤顶法等纠偏方法。挖土法是通过调整预制管节两侧土体高度差来调节位置,施工人员在管节偏斜侧垫设土料,或是在管节正常侧开展挖土作业,挖土量根据偏斜程度来定,利用重力作用驱使管节复位归零。千斤顶法是在预制管节偏斜段两侧或是一侧方向安装千斤顶,测量管节偏斜方向与偏斜量,控制千斤顶提供顶升力,把管节复位归零,如果偏斜量较大,必须分多次进行纠偏调整,避免因单次调整量超标而引发全新施工问题。

(二) 施工监测

在市政工程电力隧道顶管施工工期时间长、现场环境复杂、影响因素多,受种种因素影响,容易出现预料之外的突发状况,包括地表沉降、工作井与接收井沉降位移等,严重时会引起工程事故、威胁临近建筑物与构筑物使用安全。对此,施工单位必须同步开展施工监测作业,以井体竖向沉降、井体水平位移、地下水位、管节沉降、周边建筑物竖向沉降等作为监测内容,全程监控现场施工情况,及时发现异常问题、采取解决措施。在顶管施工监测期间,在工程现场挑选多处代表性位置,布设监测点,测点处安装监测设备,包括全站仪、精密水准仪、激光传感器等,调试检查仪器设备的检测精度是否达标,如要求水平位移监测误差不超过±3mm、裂缝监测误差不超过±1mm、垂直位移监测误差不超过±3mm。随后,根据工程情况来设定监测频率、监测预警值。例如,在工作井、接收井的土方开挖阶段,开挖深度不足5m时,监测人员每两天开展一次监测作业;开挖深度在5-10m时,每天最少开展一次监测作业。

(三) 顶管机选型改造

顶管机设备型号多,设备类型包括泥水式、气压平衡式、土压式等,各类顶管机在不同市政工程中的应用表现情况不尽相同,错误选择顶管机,无疑会增加施工难度系数,还会形成安全隐患。对此,施工单位必须提前掌握工程资料信息,以地质条件、施工要求作为顶管机设备的选型依据。例如,现场具备土体坍塌、隆起等风险隐患时,配备土压式顶管机,利用刀盘切削作用力强制搅拌管节前方土体,将土料向外排出。而在现场存在淤泥质黏土层等特殊地层时,配备泥水式顶管机,持续向土体掺加泥水形成保护泥膜,避免发生土体压缩变形现象。随后,根据所掌握信息,参考同类工程施工案例,对顶管机设备的适用性进行评价打分,也可运用BIM技术开展模拟施工试验,如果顶管机无法完全适应现场复杂环境,提前对顶管机进行优化改造,避免设备老化磨损速度加快、干扰顶管施工过程。以某市政工程为例,现场配备土压式顶管机,由于顶管路线穿越粒径在100-300mm不等的碎石层,为避免顶管机刀盘受损,于刀头外圈更换合金钢材质耐磨刀具,焊接连接耐磨工具和刀头指尖,取代落后的螺栓连接方式。

结语

综上所述,顶管施工技术的应用,能够有效降低了工程难度,缩短了施工工期,减少了施工工程量,在当前市政工程电力隧道的施工过程中得到广泛应用。顶管施工技术是市政工程电力隧道施工的关键,施工人员要重视顶管施工技术,掌握关键施工操作方法,严格把控在始发井施工、顶管出洞、管道进洞段施工、接收井施工等重要工序环节的现场作业质量,落实顶管纠偏控制、施工监测、顶管机选型改造等关键策略,切实改善顶管施工技术应用条件,建设高质量的市政工程项目。

参考文献

- [1]李明杰,刘晓.市政电力隧道顶管施工技术[J].智能城市,2020,6(21):106-107.
- [2]牛凯.市政工程中电力隧道顶管施工技术研究[J].住宅与房地产,2021(19):235-236.
- [3]许建文.基于复杂环境管线迁改项目的顶管法施工技术研究[D].安徽理工大学,2020.
- [4]刘健.城市复杂环境下电力隧道施工技术研究[D].石家庄铁道大学,2020.
- [5]郭文峰.城市110kV电力隧道顶管施工技术研究[J].河南科技,2020(22):82-84.
- [6]李淑琳.市政工程中电力隧道顶管施工技术初探[J].决策探索(中),2020(05):81.

作者简介:曲兴豪(1989.07-),男,汉族,山东省青岛市,工程师,本科,研究方向:市政工程。