

市政综合管廊矩形顶管工程施工技术的研究

陈刚

合肥市综合管廊投资运营有限公司

摘要：本文首先阐述了市政综合管廊矩形顶管工程相关区域实施的必要性，接着分析了影响市政综合管廊矩形顶管的相关技术控制因素，对市政综合管廊工程前期顶管管片预制、工作井、接收井施工、顶管顶进施工阶段技术管理、质量管理进行了详细的研究与讨论。希望能够为市政综合管廊矩形顶管工程建设相关工作人员提供有益的参考和借鉴。

关键词：市政综合管廊；顶管工程施工；施工管理

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2024.09.010

引言

随着城市的快速发展，市政综合管线地下与架空线敷设数量与日俱增，为确保城市居民居住安全，做到城市中心土地集约化利用，同时给各市政综合管线日常运营带来保障，全国在大力提倡发展、建设城市市政综合管廊工程，考虑到部分城市市政道路空间狭窄，同时确保降低工程建设噪声污染，市政综合管廊矩形顶管这一项新技术应用将解决这一重点难题，如何确保市政综合管廊矩形顶管工程实施能够得到保证，我们有必要对相关施工技术难点及质量管理予以详细探讨与研究。

一、市政综合管廊矩形顶管工程技术研究、推广应用的必要性

市政综合管廊工程建设已在全国各个城市积极稳步推进，为保障一个城市市政公用管道生命线日常安全运维发挥了重要作用，但是因为随城市道路同步建设市政综合管廊工程存在施工工期长、工程造价高、施工能耗较高、施工范围交通导改压力大、施工噪音等问题，放坡开挖、支护桩支护等明挖法施工工艺已不再适用，矩形顶管工程技术研究与应用将是未来市政综合管廊建设一个新的推广方向。

二、影响市政综合管廊矩形顶管工程施工的相关因素

市政综合管廊矩形顶管工程施工主要影响因素有以下几个方面，包括项目前期设计阶段、矩形盾构顶管管片预制阶段、顶管工作井、接收井施工、顶管端头加固、洞门破除、顶管顶进等各项细节控制，通过对这几个方面重点研究、讨论，可为后续市政综合管廊矩形顶管工程建设提供有益的参考和借鉴。

三、研究、讨论市政综合管廊矩形顶管工程实施过程中各环节主要控制措施

（一）项目实施前期设计阶段

市政综合管廊矩形顶管工程实施前，考虑到各工程区域地质水系环境不同，建议实施前由专业勘察设计单位对工程实施区域地质情况、地下水系情况进行详细勘探与调查，不同地质、水系情况，矩形顶管工作井、接收井支护方式、矩形顶管盾构机推进功率要求、机头刀头材质要求有所不同，通过充分勘探与调查得到详细数据后，可为下一步顶管工作井、接收井支护、管片结构设计、矩形顶管机头选型设计，予以充分技术指导。

（二）矩形盾构顶管管片预制

市政综合管廊矩形盾构管片的预制生产可以提高盾构掘进施工的效率，降低成本，保证管廊主体通道的安全性和施工质量。管片预制过程中建议从以下几个方面进行控制，一是原材料配比，通过控制水泥、沙、石子、添加剂配合比，可以得到不同强度等级管片，满足于不同地质、项目要求；二是模具制作，管片模具的制作需要根据实际尺寸需要进行设计和定制，一般情况下，可将矩形顶管管片模具分为上、下两部分，分别为顶模和底模，其中，顶模用于盖住底模，底模用于贴合钢筋，使管片加强，模具制作的关键在于模具的密封性，确保混凝土的浇注和固化质量；三是管片制作，管片的制主要作为混凝土搅拌和浇注两个过程，在搅拌过程中，需将各种原材料按配合比称量、混合。在混凝土浇注过程中，需先将底模放置在专用浇注场所，然后在底模压钢筋后浇注混凝土，并用振动棒振捣混凝土，去除气泡和空隙，保证混凝土密实；四是管片混凝土浇筑完成后拆模养护，管片混凝土养护需要在适宜的湿度环境下进行，通常情况下，经过2-3天的养护后，混凝土成型即可脱模，经过2-3周的自然洒水养护后，通过混凝土强度回弹仪进行检测，强度检测结构如满足设计与使用要求，便可进行后续的加工与运输。

（三）顶管工作井、接收井施工

顶管工作井、接收井一般情况下设计埋深较深，工作机、接收井井身土方开挖及结构施工风险系数极高、难度极大，所以施工过程技术指导、质量控制工作尤为重要，主要从以下几个方面进行研究与探讨：一是基坑开挖前周边支护，为保证顶管工作井、接收井深基坑施工安全性，建议设计单位根据不同地质、水系情况，工作井和接收井四周采用钢板咬合桩或者钻孔咬合桩进行

支护，通过这两种支护方式，既增加现场施工效率，同时增强基坑支护强度，保证工作井、接收井主体结构建设安全；二是基坑开挖过程中支护，基坑土方开挖前，需施工上部混凝土冠梁、挡土墙及第一道钢筋混凝土支撑，待混凝土冠梁、挡墙强度满足要求后，开始进行土方开挖，要求分段、分层开挖基坑至各道钢支撑设计标高下部50cm后停止开挖，同时架设第二道钢支撑，如若基坑较深，可遵循上述要求依次开挖，架设后续钢支撑，最终挖至设计标高，完成顶管工作井、接收井土方开挖及支护工作；三是顶管工作井、接收井井身结构施工，施工前，须在基坑底部浇筑20cm厚混凝土垫层，实施结构防水层，完成后依次绑扎结构底板及侧墙结构钢筋，浇筑底板和侧墙混凝土，待混凝土强度达到设计强度后，实施侧墙间永久支撑，待支撑强度达到设计强度后，同时拆除上部一道钢支撑，往上实施侧墙防水层，完成后绑扎墙身结构钢筋，浇筑墙身混凝土，建议每层侧墙混凝土浇筑高度不超过3m层高，通过遵循上述要求，浇筑侧墙至顶板位置，浇筑环梁及主梁，待混凝土强度达到设计要求，继续浇筑混凝土至地面标高，待混凝土达到设计强度后拆除第一道支撑，最终顺利完成顶管工作井、接收井结构施工。

（四）顶管端头加固

顶管端头起始端位置，通常是顶进过程中最易塌方位置，所以在工作井结构施工完成后，建议在顶管井端头区域进行专项加固施工，确保满足顶管始发端洞口止水、防坍塌需求。端头加固一般采用搅拌桩+旋喷桩进行，长度通常为顶管机长度+2~3节管节长度，约10~12m，以确保顶管机械始发安全。

（五）顶管始发工作准备

顶管始发前期准备工作通常包括：场地布置、水管路布置、顶管机组装调试、端头加固、后背加固施工等。顶管机组装建议可根据机组厂家出具的组装方案进行，包括安装基座导轨（后靠）、前下壳体、前上壳体、后下壳体、后上壳体、螺旋机、刀盘、油缸系统及顶铁等设备。各项设备安装完成后进行启动调试，待调试合格后即可启动顶进工作。

（六）顶进前洞门破除

顶管机械定金前需对洞门进行破除，施工前，要求顶管机组装过程中需将机头位置安置距结构侧墙2m左右，同时必须在洞门位置搭建施工平台，包括设置扣件式脚手架，平台上部外侧设置防护杆，扣件式脚手架及平台搭设前需满足受力检算要求。脚手架搭设时，按照结构检算要求分别设置立杆纵向间距，立杆横向间距与水平杆布距。施工过程中，在进行凿除作业前需对工作

平台满铺走道板，以确保洞门凿除人员作业安全。洞门破除采用人工风镐或机械破除机械按纵向上分段进行，竖向上自上而下分层进行的原则进行破除作业，总计分为三个阶段：第一阶段由破除人员对需要破除范围自上而下凿除混凝土支护桩表层100-150mm混凝土，并割除表层钢筋，破除宽度不小于洞门钢环尺寸。第二阶段由破除人员自上而下分层凿除支护桩内层混凝土，直到露出里层迎土层钢筋，破除宽度不小于洞门钢环尺寸，并及时清理移走破除后的混凝土碎块。第三阶段先将迎土侧钢筋割除，再自上而下凿除外保护层混凝土，破除宽度不小于洞门钢环尺寸，并及时清理破除后的砼块和断钢筋，洞门破除是顶管机组能够顺利顶进的前提保障。

（七）顶管始发

1. 空推顶进环节

顶管机机组在组装完成以后，需要对全套机组顶进设备做一次全方位系统联调联试工作，需要特别注意顶管机头最前部刀头在穿越加固层时的切土削土性能。在确定所有顶进设备系统调试稳定，机组运转情况良好后，把顶管机组机头缓慢顶进洞圈内距加固层10-20cm左右。通常要注意以下几个方面：1、要求在机组机头底部始发基座轨道及延长轨道上部需涂抹少量润滑油，以便减小机组滑行阻力，2、缓慢、对称启动、展开机头内上下左右四个方向千斤顶，确保初始受力均匀，3、要求机组刀头顶推距离土体10~20cm后启动刀头旋转系统，防止破坏洞门防水结构以及其他重要结构。

2. 加固区顶进环节

由于顶进首次接触面为已二次加固土体结构，为保护机组刀盘顶进过程中免于损坏，推进顶进过程中建议速度适当放缓，使机组刀盘能对已加固土体进行彻底切削，另外由于此范围土体因进行二次加固导致土体过硬，顶进机组出土时可加入适量清水来软化和润滑土体，同时也要注意以下几个方面：1、当顶管机壳体完全压住两道钢丝刷后，开始注入洞门油脂，保证油压，2、对向启动机组刀头各个刀盘过程中，及时注入渣土专用改良泥浆，确保顶进过程中土体泥浆浆液混合物逐步充灌满整个土体仓室，同时启动上下左右四个方向千斤顶，保证顶管顶进过程中的顶推速度控制及正面土压力。3、当顶部土体压力建立平衡后，可逐步进行出运渣土作业，最开始出运渣土运输速度要求缓慢，待机组顶进与出运渣土达到平衡后，渣土性状具有良好的塑性、流动性和止水性后，便可分阶段逐步提升出运渣土速度。

3. 刀盘出加固区环节

刀盘进入原状土体后,根据螺机出渣性状及时调整渣土改良浆液配比和注入量,开始同步注入触变泥浆。由于土压平衡矩形顶管机组在线路顶进过程中机组机头前端阻力压力很大,即便顶管顶进了较长长度以后,在每次拼装顶管混凝土管节时,机头处主顶油缸一回缩,机组机头将会会同混凝土管节一起后退20~30cm,机组机头和前方土体间的土压平衡同时受到破坏,土体也就得不到稳定的支撑,最后引起机组机头前方区域的土体坍塌。因此,在机组机头前部基座上安装一套止回退设备装置,将管节和机头一起稳固固定住,从而防止顶管前部土方坍塌,最终传到地面,使得地面沉降量明显减少,同时,管节与管节之间采用大螺杆纵向连接成一个整体,避免接头松弛破坏防水。

(八) 顶管顶进施工

顶管顶进过程中,主要从顶进速度、注浆系统、施工轴线控制、顶管顶进纠偏等几个环节重点研究、把控。

其中顶进速度在始发接收阶段,不宜太快,一般将顶进速度控制在3~10mm/min之间,正常顶进施工阶段速度宜控制在8~15mm/min之间。注浆系统包括渣土改良,渣土改良分为泡沫改良和膨润土改良,设备设计了膨润土浆液注入口,同时每个刀盘设计了单管单泵的泡沫改良系统。渣土一般使用膨润土进行改良,膨润土的改良方法是采用一级钠基膨润土,该膨润土的特点是具有起浆快、滤失低、造浆高、润滑好等特点。顶进时必须遵循“先压浆后顶进、随时顶进随时压浆、过程中及时补充压浆”的原则。管节上设置专项压浆孔专供补充压浆使用,补充压浆的次数及压浆量需根据顶进施工时具体情况而定,具体情况具体对待。机组机头顶进施工中,泥浆的用量多少主要由管道周围间隙的大小及周围土层的特性决定,由于泥浆的流失及地下水等其他多重外部作用,泥浆的实际用量一般为理论计算值的2~3倍,在顶管顶进施工过程中还需根据现场土质情况、顶进状况及地面沉降等多项环境因素确定,要根据现场顶进情况及时对压浆数量做出适当的调整。

施工轴控制是为了确保顶管顶进线性、高程满足设计图纸要求,顶管顶进推进过程中线性与高程控制与调整可采取以下几种手段和方式:第一种为推进过程中配备自动导向系统和人工测量辅助进行矩形顶管线性与高程姿态全过程监测。该系统配置了自动定位、导向、显示器等,能够全天候全过程在矩形顶管顶进主控室动态显示矩形顶管机组当前位置与隧道设计中心轴线高程的

偏差。如发现顶进过程中存在较大数据差别,需及时调整顶管机组推进方向与高程,使其始终保持在设计图纸线性与高程允许的偏差范围内。(二)通过利用激光引导制导的方法进行顶管顶进导向引导。该系统是在顶进洞口始发并处设置激光引导仪,安装激光靶。激光仪安装在顶管工作井后背稳定的位置,调整好激光束的位置和方向,发射可见的激光束,使激光束与管道的中心线平行,并且符合设计坡度。当顶进一段距离后,量测激光束打在矩形顶管上目标靶上的偏移量来测出施工中管道的高程及中心偏差。同时矩形顶管控制人员也可以根据激光投射在靶面上的光斑的位置,直接判断矩形顶管的姿态。为保证机组推进方向的准确可靠,要求顶管顶进每3m左右即进行人工测量复核,通过校核测量数据并复核矩形顶管的位置、姿态与设计高程、线性情况进行对比,如超过误差允许值需及时对顶管顶进高程、线性进行调整。

(九) 顶管接收

当顶管机组进入顶进接收区段后,建议立即采用探杆对接收区洞门范围内进行探水作业,防止如遇涌水等突发情况,造成洞门上部地址结构坍塌,同时损害顶管机械。待探孔无问题后方可按照原工作井顶进洞口破除方式,破除接收井洞门围护结构。管廊矩形顶管顶进施工完成后,为避免因顶进过程中存在较大缝隙,导致后期发生土体沉降、地表沉降等问题发生,同时加强管廊矩形隧道结构整体防水性能,建议加注一定配合比水泥浆用于填充顶管管片与原状土之间缝隙。在选用一定比例的水泥浆液后,通过注浆孔压浆灌入,确保所有管片与原状土之间缝隙填满,最终形成合格的市政综合管廊矩形顶管工程。

结束语

市政综合管廊矩形顶管工程的研究与推广应用极大的减少城市市政综合管廊工程建设造价投资,降低工程建设期对城市道路占道、封道的交通影响,缩短施工总工期。矩形顶管工程技术与应用将是未来市政综合管廊建设一个重要的发展方向。

参考文献

- [1]CECS标准《矩形顶管工程技术规程》关键技术解析[J].安关峰、张蓉、王谭.特种结构,2021,(3)
- [2]大截面长距离泥水平衡矩形顶管施工技术研究[J].胡小冲、张国强、叶建荣.施工技术,2021,50(1)

作者简介:陈刚(1991.10-),男,汉族,安徽肥西人,本科,中级工程师,研究方向:市政道桥。