

新时期长距离顶管施工技术在市政给排水工程中的应用研究

文 / 黄宇立 深圳市利源水务设计咨询有限公司

摘要：随着我国城市化进程的不断加快，城市给水排水工程建设面临着越来越严峻的挑战，传统的基坑开挖方法已经很难适应现代化城市建设的需要。长距离顶管施工因其无扰动地表环境等独特优势，已成为解决市政给排水管道施工难题的重要途径。本文探讨了长距离顶管施工技术在城市给排水工程中的应用现状、技术特征及工程应用现状，为相关领域的工程实践与技术创新提供理论支撑与实践指导。

关键词：长距离顶管；施工技术；市政给排水工程

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.23.074

引言

在新时代背景下，顶管在长距离市政给排水工程中的应用逐渐显示出新的特色与优势。顶管施工是一种利用顶管机进行牵引顶进，将管线送入指定位置的施工方法。这些工艺的完善，不仅提高了工程的质量与效率，而且降低了工程造价，降低了工程风险^[1]。因此，对新时期城市给排水工程中长距离顶管施工技术进行深入研究，对提高市政基础设施建设水平，促进城市可持续发展具有重要意义。

一、工程概况

本工程是为市政大管径管道建设工程，总长度为4,126米。本工程采用顶管施工工艺，只在局部地段设置少量的明挖段。该工程全线共设35个竖井，全部采用沉井法施工，以保证施工的顺利进行。结果表明，顶管最大埋深达26.1m，顶管最小埋深9.6m和17.5m。顶管施工中的顶升段分布如表1所示。本项目采用先进顶管施工工艺，可有效降低地表环境扰动，提高施工效率，保障市政公路建设顺利进行。

表1 顶管施工的顶管区间分布情况

顶管区间	01# ~ 02#	02# ~ 03#	03# ~ 04#	05# ~ 06#
顶管距离	166.22m	1214.25	1523.13	1225.36
管径规格	D1000	D1200	D1200	D2000
地层结构	黏性土层无地下水	淤泥质粉质	粉质黏土夹	黏土夹碎石

二、长距离顶管施工技术要点

(一) 管道选择管理

作为顶管施工的核心部件，管线的材质、规格和性能将直接影响顶管工程的顺利实施和后期的使用效果。顶管施工中常用的管材有钢管，混凝土管，塑料管等。每一种材料都有不同的物理性能和应用范围。钢管因其高强度等特点，常作为新建高压压力管的管材使用，但长期服役后易发生腐蚀，故需对其进行防腐处理。混凝土管材由于具有良好的耐久性能、经济性能等优点，在市政给水排水工程中得到了广泛的应用^[2]。以聚氯乙烯

为代表的塑料管道具有耐腐蚀性能好、质量轻等优点，但是它的使用范围及承载能力都比较有限。管道材料的选择要根据具体的工程要求和地质条件来确定，以保证管道在建设和使用期间符合设计要求和使用寿命。

管线规格包括管径、壁厚等参数，对管线承载力及施工难度有较大影响。在长距离顶管施工中，一般要根据输送介质的流量、压力和地质情况来选择管径。管径太小会导致输送能力不足，管径太大会增加建设成本，增加施工难度。另外，在选用管道时，管道的抗腐蚀性也是一个重要因素。城市给排水管道常埋于地下，长期暴露于不同的地下水环境中，其防腐性能是保障工程长期稳定运行的关键。根据不同的地质环境、水质状况，应选用相应的防腐材料。如在强酸、强碱土壤环境中，为了延长管线的使用寿命，必须选用耐腐蚀材料或防腐处理。

(二) 顶管机选型管理

顶管机是完成顶管施工的主要设备，它的工作性能及适应能力直接影响整个顶管工程的顺利进行及工程质量的好坏。选用合适的顶管设备，不仅可以提高施工效率，而且可以有效地控制施工风险，保证工程的顺利实施。不同型号的顶管设备适用于不同的地质条件、施工环境。如软土层、中砂层等软土层，需选用适用于软土层的顶管设备，该设备具有良好的推进能力、稳定性能，可有效解决软土地层施工难题。但对于坚硬岩层和复杂地质条件，需要选用具有较强破岩能力的顶管设备，以克服地质条件所带来的困难^[3]。

顶管机的技术指标主要有：推进力，扭矩，最大钻距等。顶管机的推力决定着其所能克服的土阻力，而扭矩的大小直接影响着其稳定度，也决定着管车的安装精度。而最大钻距则直接影响施工范围及施工难度。根据工程规模、深度及地质情况，选用合适的顶管机规格，才能保证施工的顺利进行，保证工程质量。在施工过程中，

顶管施工要根据地下水位变化和土层不均等不同环境条件进行调整。

(三) 管道偏移的控制

管线偏移是指管线在施工过程中偏离设计轨道的现象,它不仅会导致管线的安装质量达不到设计要求,而且会导致管线在使用过程中产生诸如管线变形、连接不良或渗漏等一系列问题。在施工前,要对工程场地的地质、水文情况和管线设计进行全面的了解。在此基础上,综合分析各种影响因素,制定合理的施工方案,以保证施工期间管线的精确安装。在设计阶段,要明确管线的施工路径,利用模拟、仿真等方法,对管线可能发生的偏差进行预测,以便及早做出调整。

在实际施工中,管线偏移控制对设备及工艺要求很高。顶管机推进系统必须具有精确控制、实时监控管线运行状态的能力。现代顶管机装备有先进的激光定位系统、地质探测仪等设备,可对管线进行实时定位,及时修正偏差。采用高精度定位监测技术,可有效降低管线偏移,提高施工精度与可靠性。

三、长距离顶管施工难点分析

(一) 管道线形纠偏困难

长距离顶管施工中,管线线形控制对保证施工质量、稳定至关重要。但地下环境复杂,给管线线形纠偏带来了困难。尤其是长距离顶管过程中,地下障碍物、硬土层及复杂地层等因素都将严重影响管线的线形控制,影响施工进度与质量。

在长距离顶管施工中,管线线形控制的效果对铺设质量有很大的影响。从理论上讲,管线的直线度可以用下面的公式表示:

$$\Delta L = \sqrt{(L_{\text{实际}} - L_{\text{设计}})^2 + (H_{\text{实际}} - H_{\text{设计}})^2}$$

这里, ΔL 表示管线的实际偏移量, $L_{\text{实际}}$ 和 $H_{\text{实际}}$ 作为实际轴线与设计轴线的垂直距离。

在长距离顶管施工过程中,由于铺设管线较长,可能遭遇地下障碍物或硬土层等,造成管段偏移,对接头位置及顶管方向产生较大影响。特别是当顶管施工过程中遇到粉质粘土、粉质粘土夹杂淤泥、粘土夹碎石等复杂地层时,管线线形的纠偏难度大大增加。这些复杂的地层不仅增加了施工难度,而且可能造成管线倾斜角偏大,导致实际轴线偏离设计轴线。在长距离顶管施工过程中,应加强地下环境调查与分析,并应用高精度监测设备对管线偏移进行实时跟踪,及时发现并纠正偏差,保证施工质量及工程稳定。

(二) 地表沉降控制问题

与一般的地下工程一样,顶管施工也会引起土体的扰动,尤其是在软弱松散的土层上进行顶管施工。但是,

如果顶管施工所涉及的土层中存在空洞,就有可能引起地面塌陷,从而增加施工风险。

地表沉降主要是由地下工程引起的,同时也是土体应力再分布的结果。对于顶管施工来说,地面沉降的计算一般都是以地基沉降理论为基础。通常的地面沉降计算公式是这样的:

$$S = \frac{q * L}{E * I} * (1 - \frac{z}{H})$$

其中, S 表示地表沉降, q 表示单位面积土的荷载, L 是管顶施工对地基沉降的影响范围, E 是土的弹性模量, I 是地基沉降影响系数。

随着土体荷载的增大及顶管施工影响范围的增大,地表沉降也随之增大。其中,土的弹性模量、沉降影响系数是反映土体特性的重要参数,其变化将直接影响地表沉降计算结果。沉降点与施工区的垂向距离对沉降影响较大。

四、市政给排水工程顶管施工技术的应用

(一) 非开挖式顶管施工技术

非开挖顶管是一项先进的地下管线施工技术,在市政给排水工程中得到了广泛的应用。该方法仅需开挖少量竖井,采用顶管机在地下铺设管线,可有效避免传统开挖方式对地表环境造成的破坏。采用非开挖顶管施工方法,既可减少交通干扰,又可提高施工效率,缩短工期。管壳式换热器的截面面积决定了管壳式换热器的推力分配,管壳式换热器实际运行时的能量转换效率。该公式可用于计算实际推进力,从而保证了顶管施工过程中不同土质条件下的土抗力。

管涌压力的变化直接影响管线的稳定性,准确计算管涌压力的变化可为管涌施工人员调整管涌参数、保证管涌稳定运行提供依据。为了确保施工质量,保证管线的使用寿命,必须严格控制管线的变形^[4]。

将非开挖顶管技术应用于市政给排水工程,可有效解决施工中的关键技术难题,包括受力计算、土压力变化分析和管线变形控制。采用科学的计算方法及施工管理措施,能为非开挖顶管施工的顺利实施提供了保障。

(二) 顶管施工中测量与纠偏技术

在长距离顶管施工中,为了保证管线的准确安装,测量和纠偏技术显得尤为重要。由于施工环境复杂、施工距离远,对管线进行实时监控与精确纠偏成为施工的关键。采用先进的检测和纠偏技术对管线线形进行有效控制,能确保了施工质量,同时降低了施工风险。

在顶管施工过程中,常需实时监控管线的位置与设计位置的偏差。在顶管施工过程中,为纠正管线偏斜,必须采用激光扫描、地质雷达等精密测量设备。该装置能实时提供管线的位置信息,并可根据偏差值进行调整。

如发现某段管线出现横向偏斜时,应调整顶管机的导向角及推力,对管线的线形进行修正。在校正过程中,调节量的确定一般采用下列公式:

$$\theta_{\text{调整}} = \arctan(-)$$

其中, $\theta_{\text{调整}}$ 表示调整角度, d 表示实际偏移量, L 表示管线推进长度。这个公式用来计算需要的调整角来校正管线的偏差,使之回到设计位置。此外,不同土质对管线位移及变形的影响也不一样。在软弱土层中,土体的沉降变形会引起管线的进一步移位。在这种情况下,为确保施工稳定,需结合实时监测数据对顶管施工进行动态调整。施工小组需要不断地监测土压力的变化,并按以下公式进行计算:

$$\Delta P = \frac{F_{\pm} * L}{A_{\pm}}$$

其中, ΔP 表示土压力的变化量, F_{\pm} 表示土体所承受的压力, L 表示管的长度, A_{\pm} 表示土的截面积。在此基础上,提出了优化顶管施工方案,减小了对土体的扰动,实现了管线偏移的控制。

(三) 通风技术

由于顶管施工需要在地下进行长距离的掘进,施工区域多处于地下空间,通风问题尤为突出。有效的通风技术,不仅可以为施工提供必要的新鲜空气,而且可以排除有害气体,避免施工过程中发生事故,保证施工人员的身体健康与安全。

通风系统一般包括主风道、辅风道和通风机。主通风井负责把新鲜空气导入地下施工场地,同时辅助通风井加强空气流通,保证地下施工场地所有区域都能得到充分的通风。风机系统的选择与布置直接影响通风效果,一般应根据建筑面积、深度及所需风量来确定。风机分为轴流式风机与离心式风机两种,轴流式风机适用于长距离通风,而离心式风机适用于高压环境。顶管施工过程中,必须对施工现场空气质量进行实时监测,尤其是对 CO_2 、 O_2 等有害气体的含量进行监测。为了保证空气中有害气体的浓度不超过安全限值,通常采用气体传感器对其进行实时监测^[5]。当探测到不正常的气体浓度时,通风系统会自动调节空气流速或者开启备用风扇来保证空气的新鲜与安全。

采用抽气系统对施工现场的湿度进行控制,是另一项重要的通风技术。在顶管施工中,高湿度会造成设备的腐蚀,影响施工质量。因此,通风系统不应只考虑气流,而应采取适当的湿度控制措施,如安装除湿机或使用干燥剂等。另外,在深水井地区,通风技术面临的挑战更大。在深井排瓦斯和送风时,必须考虑瓦斯流动规律及气体

密度的变化。因此,为保证矿井通风系统的正常运行,必须设计合理的通风通路,采用高效的通风系统。

(四) 水平螺旋钻进技术

水平螺旋钻进工艺是一种高效的地下长距离施工方法,在市政给排水工程中得到了广泛的应用。该技术具有施工效率高、操作灵活等优点,在复杂地质条件下施工效果显著,为长距离顶管施工提供了有力支撑。

水平螺旋钻进工艺的核心是采用特殊的钻进设备及施工工艺。水平螺旋钻机是利用螺旋钻头及钻杆的旋转,对土体进行深挖,逐级推进,将开挖后的土通过螺旋输送机输送至地表。该工艺采用螺旋形钻头,可有效地切削土壤,提高钻井效率。螺旋钻头配合钻杆,使其能在长距离施工过程中稳定地进行挖土、铺设管线。

水平螺旋钻井施工过程中,要考虑地层的稳定问题。在施工过程中,必须充分考虑到土层的粘性、湿度和有无杂物等因素,才能保证钻孔的顺利进行。针对软弱、失稳土层,施工团队需采取注浆加固、支护结构等技术措施,避免地层坍塌、孔壁坍塌,确保工程稳定与安全。

水平螺旋钻进工艺中,不仅要严格控制钻进角度,而且还要控制好螺旋钻进的速度和扭矩。通过这些参数的调整,可以有效地应对各种地质条件,保证了管线在施工期间的线性满足设计要求。在施工过程中,为了保证施工质量,往往采用高精度的测量仪器对钻孔参数进行实时监测。

结语

展望未来,长距离顶管施工仍将是市政给水排水工程的重要组成施工工艺,随着技术进步与应用范围的扩大,将会有新的发展。随着施工工艺的不断创新,需进一步优化非开挖顶管及水平螺旋钻进工艺,使其适应复杂地质条件、长距离施工挑战。

参考文献

- [1] 邵阳,程鹏,付增,等.顶管法施工技术长距离联络通道中的应用研究[J].工程技术研究,2023,8(04):78-81+148.
- [2] 邓章铁,杨圣虎,吏细歌,等.超深长距离顶管对接施工关键技术研究与应用[J].中国给水排水,2023,39(02):125-132.
- [3] 艾慧,颜肃,柯宇琪,等.全断面中砂层长距离顶管顶力计算与实测鼎力分析[J].水利科技,2022,(04):68-71.
- [4] 孙胜杰,张赞.基于FLAC3D的市政给排水长距离顶管顶推力计算方法及质量控制要点[J].工程技术研究,2022,7(22):85-87.
- [5] 劳维挺.市政给排水工程中的长距离顶管施工技术的应用分析[J].工程与建设,2022,36(05):1424-1426+1467.