

Study on the application of long distance pipe jacking technology in municipal water supply and drainage pipeline

Wenhua Chen

Xingtai City Renze District Housing and Urban-Rural Development Bureau, Xingtai, Hebei, 054000, China

Abstract

Municipal engineering is facing urban environmental problems, infrastructure construction challenges, and the construction of water supply and drainage engineering has attracted great attention. Municipal engineering in the traditional ground excavation of water supply and drainage pipeline laying construction method affect the surrounding environment and the construction cycle is longer, and long distance pipe jacking construction technology can make up for the deficiency in the traditional construction, through accurate control jacking parameters, improve the construction accuracy, reduce the influence on the surrounding environment, effectively improve the construction efficiency and construction quality. This paper studies the example of water supply and drainage construction of a municipal engineering, and focuses on the key points of construction operation, focusing on the control of soil pressure balance, the grouting and friction reduction management of pipe jacking engineering, and the setting of relay in pipe jacking engineering. The study shows that the application of long-distance pipe jacking technology effectively reduces the friction rate between the drainage pipe and the soil and improves the jacking speed; the relay construction also improves the jacking force and improves the overall construction efficiency.

Keywords

municipal engineering; water supply and drainage engineering; long distance pipe jacking construction technology; application effect

市政工程给排水管线长距离顶管施工工艺的应用研究

陈文华

邢台市任泽区住房和城乡建设局, 中国 · 河北 邢台 054000

摘 要

市政工程面临着城市环境问题、基础建设挑战等, 给排水工程施工受到极大的关注。市政工程中传统的地面开挖进行给排水管道铺设的施工方法对周围环境影响较大且施工周期较长, 而长距离顶管施工技术则可弥补传统施工中的不足, 通过精确控制顶进参数、提高施工精度, 减少了对周围环境的影响, 有效提高施工效率和施工质量。本文研究以某市政工程的给排水施工举例, 明确施工操作要点的基础上聚焦土压平衡控制、顶管工程注浆减摩管理、顶管工程中继间设置三大关键工艺。研究表明: 长距离顶管施工工艺应用有效减少了给排水管道与土体之间的摩擦率, 提高了顶进速度; 中继间施工也提高了顶进力, 提高了工程整体施工效率。

关键词

市政工程; 给排水工程; 长距离顶管施工工艺; 应用效果

1 引言

长距离顶管施工工艺是一种用于地下管道施工的技术, 通过地下钻井并安装管道, 使管道可以在不损害地面及周围建筑物的情况下完成安装。目前, 市政工程的给排水管线施工中常采取长距离顶管施工工艺, 有效提高了给排水工程的施工质量, 解决了以往开挖地面造成的环境污染、施工周期过长、影响交通的问题。同时, 长距离顶管施工工艺在复杂的地质条件下也有出色的表现, 比如某市水务施工中采用长距离顶管工艺, 面对复杂的岩石地层和高水压环境, 通过技

术攻关解决了一系列技术难题, 促进了工程顺利完工。长距离顶管施工工艺也在不断创新中, 在市政工程给排水工程中应用有效提高了城市基础设施水平, 对促进城市发展有重要意义。本文针对长距离顶管施工工艺在给排水工程中的应用进行分析, 具体研究如下:

2 工程概况

以某市政给排水工程举例, 该工程占地面积为 13 万 m^2 , 给水管网 18.6km, 排石管网 12.3km, 供水规模为 3.5 万 m^3/d , 设计压力为 0.6MPa。所处环境为城市中心, 周围有居民小组、办公楼和学校。工程内容为给排水管道铺设、雨水管道铺设、水表安装、阀门安装等。由于该工程所处环境为城市中心, 场地环境狭小, 施工中需要考虑对周围环境

【作者简介】陈文华, 男, 中国河北邢台人, 本科, 助理工程师, 从事市政给排水工程研究。

的影响。工程所处区域为平原地貌，整体地势平坦，地面高程在 5.2 ~ 6.8m 之间，地层结构数据见表 1。

表 1 地层结构数据

岩层	层厚（m）	特征描述	承载力（kPa）	渗透系数（cm/s）
素填土	0.5 ~ 2.1	松散，含碎石、建筑垃圾	80	1.2×10^{-3}
粉质黏土	3.0 ~ 5.5	可塑、局部软塑、中等压缩性	120	5.0×10^{-6}
细沙	2.8 ~ 4.2	稍密，饱和，含云母片	150	2.5×10^{-3}
卵石	> 6.0	中密，粒径 20 ~ 60mm，磨圆度好	300	8.0×10^{-3}

3 给排水管线长距离顶管施工工艺流程

3.1 施工准备

对施工现场开展全面勘察，分析地层结构、地下水位等数据，根据施工现场环境制定施工方案，同时也要分析可能存在的施工风险以制定应急预案。

3.2 工作井施工

采用沉井法进行工作井的施工，逐层开挖的同时沉井，确保达到工程要求深度。同时要注意严格控制好沉井的垂直度，通过多点激光垂准仪监测确保垂直度在允许误差内^[1]。

3.3 管节制造和安装

严格控制关节的尺寸、配筋等，确保混凝土质量，按照流程进行操作。

3.4 工作井与接收井

施工完成以后要做好顶管设备的安装和调试，然后进行顶管施工。精准测量顶管轴线，确保安装的准确性；千斤顶是顶管设备施工中关键工具，安装高压油泵、顶铁、排浆设备等，高压油泵由电动机驱动，额定压力为 60Mpa，通过精准控制进入千斤顶；顶铁可以传递、分散顶力，根据不同位置和需求选择横顶铁、顺顶铁等；排浆设备用于排放施工中的泥浆及其他废料，保证工程顺利完成^[2]。

3.5 注浆操作

按照地层的渗透性、孔隙率确定注浆量、调节注浆压力。本工程采用的注浆材料为水泥基浆液，能够提高注浆效果的稳定性。

4 长距离顶管施工工艺核心技术应用

4.1 土压平衡控制技术

土压平衡顶管设备能够调节土舱的压力，可提高对开挖面的支撑，避免出现塌方的情况，土压力控制计算公式为：

$$P_t = \gamma \cdot h + P_w \quad (2)$$

公式中， P_t 表示顶管前土舱的总压力值； γ 表示土的质量； h 表示土的深度； P_w 表示地下水的压力数据。土压平衡要结合地质条件、施工周期的要求，调节管道顶进的速度，因此顶进速度与土压力之间的关系成正比，螺旋输送机排除的土量与土压力关系为反比。给排水管线顶进过程中通过土压力传感器收集数据，以此为依据调节管道顶进速度以及排土量。软土层则要提高土压力并且降低管线顶进的速度，达到理想的支撑效果；硬土层就要减少土压力并且加快

顶进速度^[3]。

本工程为了达到理想的土压平衡的要求，管线顶进过程中使用注浆减摩技术，采用膨润土浆液，泥浆比重在 1.02 ~ 1.05g/cm³ 之间。注浆时，评估地层渗透性控制注浆量并且调节注浆的压力，确保泥浆能够渗透到开挖面与土体的缝隙中，提高整体承载力。

4.2 顶管工程的注浆减摩技术

注浆减摩技术，本工程的顶管管径为 2m，一次性顶进大约 1688m，为大直径超长距离一次性顶进工程。顶管顶进的后期压力较大，具体要根据不同顶进部位采取不同的注浆方案。

4.2.1 触变泥浆制作工艺

在管线中设置的钻孔，将触变性泥浆压进管线与土体的空隙中，并持续向四周扩展，在水平方向和垂直方向上连接在一起，形成了一个包围着钢管的泥套。泥浆套管起到了隔离管壁和土壤的作用，减少了地层的摩阻。由于钻井液与管道壁的摩阻系数远低于钻井液与管道壁间的摩阻，故在钻井液中生成钻井液层并确保钻井液有效是降低摩阻的关键。本工程采用膨润土，按照 1:50 质量比进行配置，根据穿越土层的不同可适当进行调整：注浆管道越长浆液越稀，砂性土质要比淤泥质土更浓。往搅拌机里灌入清水，搅拌水一定要经过监控，然后才能使用，以免造成泥浆的损坏。启动搅拌装置，将膨润土持续地灌入，持续地搅拌 20-30 分钟，然后将其投入到发酵罐中，在此期间，发酵的时间不能少于 8 小时。触变泥浆制作流程图见图 1。

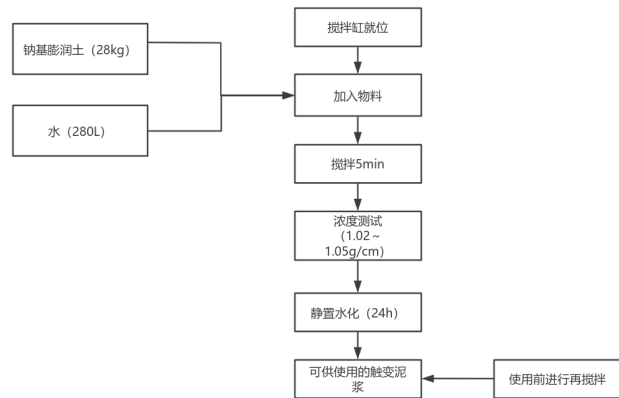


图 1 触变泥浆制作工艺流程图

4.2.2 注浆孔制作

注浆钻孔沿管线 120 度均匀分布, 每个管线设 3 个孔, 每个孔的长度为 6 米。钢管的壁厚为 26 mm, 在钻完螺纹后, 将 DN25mm 的带单向阀的短节拧进钻孔内, 然后进行注浆管及阀门的安装, 每孔都要设有独立的阀门, 以改善灌浆效果^[4]。

4.2.3 注浆施工工艺

在管线的顶管施工中, 灌浆分为盾尾灌浆和补浆灌浆两个阶段。在盾尾 10-20 米的范围内, 因为机头的直径与管线的直径相近, 所以要对其进行注浆, 既能起到润滑作用, 又能填满间隙。当机头向前推进时, 预先灌注的泥浆会被管线或地下水带走, 所以必须持续补充泥浆以确保套管的耐久性。顶管施工时, 注浆量是孔隙体积的 4 ~ 5 倍, 本次设计的管端外径为 2142mm, 管径为 2100mm, 所以注浆量约为 4.26-4.84m³。在管线顶进后, 用水泥浆代替泥浆套, 因为不能用机头将水泥浆压紧, 防止后期泄漏。

4.3 中继间施工工艺

中继间包括前壳体、千斤顶、后壳体三部分构成, 前壳体与前接管连接, 后壳体与后接管连接, 承插式的连接方法在前后壳体间设置橡胶止水带, 提高密封效果, 避免管道外的水土和浆液逆流入管道内部。千斤顶被固定在壳体上, 配备独立的气体与液压系统。壳身的结构强度需要满足实际顶力的要求, 周围千斤顶的分布要遵循下半部间距较小、上半部间距较大的原则。中继间的安装数量和位置要根据顶力计算来确定, 通常设备顶力设计值在 70 ~ 80% 之间, 顶力计算公式为:

$$F_0 = \pi D_1 L f_k + N_F \quad (1)$$

公式中 F_0 为管道总压力, 单位为 KN; D_1 为管道的直径, 单位为 m; L 为管道顶进总长度, 单位为 m; f_k 表示管道与土层之间的平均摩擦力, 单位为 kPa; N_F 表示顶管机的端阻力。

主顶油缸的推力达到中继间设计推力的 40 ~ 60% 的时候, 设置第一级中继间; 随着主顶油缸推力的增加, 推力达到中继间设计推力的 70 ~ 80% 的时候, 再放置一级中继间。当主顶油缸的推力接近或达到中继间油缸的 80% 设计推力时, 启动中继间的工作。

5 工程长距离顶管施工核心工艺应用效果

5.1 技术难点

由于本文研究的给排水工程的管线顶进距离均在 1km 以上, 因此面临着后期顶力不足、顶管过程中摩擦系数过大的情况。长距离顶管要求顶进过程中要保持均匀的推动力和土压力, 因此需要采取有效的有效减少管道与土地的摩擦系数, 以确保顶管顺利。

同时, 该工程所处环境的地下水位较高, 对长距离顶管施工也带来了一定的安全隐患, 也给土压平衡控制带来了一定的难度, 设备防水等也面临不小的困难。顶管施工阶段,

受到土体、土压力的影响, 地面沉降问题不可避免的出现, 沉降问题的控制是该工程施工的难点之一。

5.2 解决对策

要解决长距离顶管中后期出现的顶力不足的情况, 本工程的中继间采用 Putzmeister SP11TMR 注浆泵以及高压油泵, 为顶管机提供了顶力, 确保了顶管顺利推进。地下水位问题采用了多给排水系统, 设备采用了防水密封处理, 避免地下水对施工带来的影响。地面沉降通过土压平衡控制工艺提高了土压的均匀度, 同时采用膨润土浆液灌注保证了土层的稳定性, 也减少了顶管过程中的摩擦力。

5.3 施工质量分析

在本市政给排水工程项目施工阶段, 管道的轴线偏差稳定在 $\pm 8\text{mm}$ 以内, 符合工程要求。对管道接口进行气密性和水密性实验, 均无泄漏, 因此管道连接质量过关。膨润土泥浆的灌注, 使管道与土体之间形成了均匀的润滑层, 减少了顶管过程中的摩擦力, 同时土层稳定性也得到提升, 沉降率得到有效的控制, 沉降误差在 $\pm 5\text{mm}$ 以内。具体评估项目为: (1) 管道轴线偏差。施工要求为 $\pm 15\text{mm}$, 工程实测值为 $\pm 8\text{mm}$ 。(2) 注浆泥浆比重。工程要求标准值为 1.02 ~ 1.05g/cm³, 实测值在 1.02 ~ 1.03g/cm³ 之间, 符合设计要求。(3) 地面沉降值。工程要求土层沉降值需控制在 $\pm 10\text{mm}$ 以内, 该工程的沉降值在 $\pm 5\text{mm}$ 以内。由此可知, 本工程采取土压平衡控制技术、顶管工程的注浆减摩技术、中继间施工工艺有效提高了工程质量, 确保给排水工程的各项参数符合设计要求。

6 结语

随着长距离顶管施工工艺的不断发展, 该技术在市政给排水工程中应用也处于不断创新的过程中, 有效提高了给排水工程的施工质量, 解决了长距离顶管中面临的摩擦力大、土层不稳、顶力不足等问题, 施工环节严格的按照操作流程进行, 同时采取严格的工程质量管理对策, 确保管道轴线、管道接口、注浆质量等符合设计要求, 不仅有效提高市政给排水工程的整体水平, 同时对促进城市基础设施建设、推动经济发展也有很重要意义。长距离顶管施工工艺作为新型工艺, 弥补了传统开挖工艺的不足, 有重要的应用价值, 未来还需要进一步优化施工工艺, 为促进建筑行业发展奠定基础。

参考文献

- [1] 张顺波. 市政工程给排水管线长距离顶管施工技术创新[J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(01): 139-141.
- [2] 周军恒. 市政给排水施工中长距离顶管施工技术研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024, (23): 107-109.
- [3] 米鑫. 市政给排水施工中长距离顶管技术研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023, (05): 123-125.
- [4] 许永峰. 市政工程中给排水长距离顶管施工工艺[J]. 中国高新技术, 2021, (18): 81-82.