

Research on the construction technology of municipal road water supply and drainage pipe jacking

Zhiwei Wang

Shanghai Construction Engineering Group Co., Ltd., Shanghai, 201318, China

Abstract

With the continuous progress of science and technology, the road construction industry gradually advances and develops. In order to effectively solve the problem of underground pipeline construction and ensure the construction quality of the project, the importance of the application of pipe jacking construction technology has become increasingly prominent, which has been widely concerned by all walks of life. Based on this, the simple analysis of the basic concept of pipe jacking construction technology, and deeply explore the key points of water supply and drainage pipe jacking construction technology based on municipal roads, specifically involving the working well layout, measurement and lofting, equipment installation, pipe jacking and other contents, for the reference of the industry.

Keywords

municipal road; water supply and drainage construction; pipe jacking technology

市政道路给排水顶管施工技术研究

王志伟

上海建工集团股份有限公司, 中国 · 上海 201318

摘要

随着科学技术的持续进步, 道路施工行业逐渐进步与发展。为有效解决地下管线施工问题, 同时保障项目施工质量, 顶管施工技术应用的重要性日益凸显, 受到社会各界广泛关注。基于此, 简单分析顶管施工技术的基本概念, 并深入探究基于市政道路的给排水顶管施工技术要点, 具体涉及工作井布置、测量放样、设备安装、顶管顶进等内容, 以供业内人士参考。

关键词

市政道路; 给排水施工; 顶管技术

1 引言

市政道路建设往往具有较多特点, 如庞大的工程量以及规模, 涉及范围广等特点。在市政道路建设期间需要进行土方开挖, 既影响了交通秩序, 也会导致城市交通出现较多安全问题。由于城市地下埋设较多的管线, 因此在挖掘施工期间会对其产生损坏。由此可见, 进行相关研究具有较强的现实意义。

2 顶管施工技术的基本概念

顶管施工技术是借助主顶油缸及管道间、中继间等推力, 将工具管或掘进机从工作坑内穿过土层一直推进到接收坑内, 与此同时, 将紧随工具管或掘进机后的管道埋设在两坑之间的预定位置。在推进过程中, 通过控制工具管或掘进机的方向和姿态, 确保管道按照设计的路线和坡度进行铺设^[1]。

3 基于市政道路的给排水顶管施工技术要点

3.1 工作井布置

在长度确定中, 工作井长度 L 需考虑顶管机长度 L_1 以及额外的操作空间余量, 计算公式如下:

$$L=L_1+2\sim 3 \quad (1)$$

其中, L 为工作井长度; L_1 为顶管机长度; $2\sim 3$ 为额外的操作空间余量, 单位: m 。例如, 在沪南公路污水总管施工组织设计 (HNGL-001) 中, 顶管机长度为 $5m$, 那么工作井长度为 $7\sim 8m$ 。这样的长度设定是为了给顶管机的安装、调试、维修以及后续顶进过程中的操作提供足够空间。

工作井宽度取决于顶管机最大外径, 以及两侧所需的操作空间, 计算公式为:

$$W=D+1.5\sim 2 \quad (2)$$

其中, W 为工作井宽度; D 为顶管机最大外径; $1.5\sim 2$ 为两侧所需的操作空间。当顶管机最大外径为 $2m$, 则工作井宽度为 $3.5\sim 4m$ 。此宽度范围能保证顶管机在工作井内顺利就位, 并方便工作人员围绕顶管机进行各类操作。

【作者简介】王志伟 (1984-), 中国上海人, 本科, 工程师, 从事市政工程研究。

工作井高度 H 主要依据地下水位高度和施工排水要求来确定, 一般要求

$$H \geq H_w + 0.5 \sim 1 \quad (3)$$

其中, H 为工作井高度; H_w 为下水位高度。例如, 当地下水位深度为 2m 时, 工作井高度至少应为 $2.5 \sim 3\text{m}$, 以确保在雨季或地下水位变化时, 工作井内不会因积水而影响施工。

在工作井的结构设计中, 主动土压力系数可根据库仑土压力理论或朗肯土压力理论计算。对于无粘性土, 朗肯土压力系数公式为:

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (4)$$

其中, K_a 为主动土压力系数; φ 为土的内摩擦角。

主动土压力强度的计算公式为:

$$(\text{粘性土}) \quad p_a = \gamma h K_a - 2c\sqrt{K_a} \quad (5)$$

$$(\text{无粘性土}) \quad p_a = \gamma h K_a \quad (6)$$

其中, γ 是土的重度; h 是计算点深度; c 是土的粘聚力。

地下水压力与地下水位深度有关, 计算公式为:

$$p_w = \gamma_w h_w \quad (7)$$

其中, p_w 为地下水压力; h_w 为地下水位深度, γ_w 是水的重度, 一般取 9.5kN/m^3 。在确定工作井结构的防水设计和抗浮设计时, 需要准确计算地下水压力。顶管施工中的总顶力的计算公式为:

$$F = \pi D L f + P_0 \quad (8)$$

其中, F 为总顶力; D 是管道外径, L 是顶进长度, f 是管道与周围土体的摩擦系数 (取值根据不同土质和管道材质而定, 例如在粘性土中, 钢筋混凝土管道与土体的摩擦系数约为 $0.3 \sim 0.4$, 是顶管机前端的迎面阻力 (可根据顶管机类型和土质情况估算)。通过计算总顶力, 可确定主顶油缸的数量和规格。例如, 计算得出总顶力为 5000kN , 若单个主顶油缸的额定推力为 1000kN , 则理论上至少需个主顶油缸, 但实际布置时还需考虑油缸的布置方式和同步性等因素, 会增加油缸数量^[2]。

3.2 测量放样

在施工区域附近, 根据现场地形和施工范围, 选取若干稳固、通视良好且不易受施工影响的点作为控制点, 一般不少于 3 个。这些控制点构成控制网, 作为后续测量放样的基准。控制点可采用混凝土桩或钢桩, 桩顶设置标志, 如金属标志或刻划十字线等, 以精确标识点位。然后, 使用全站仪等测量仪器, 采用导线测量、GPS 测量等方法测定控制点的平面坐标 (X 、 Y)。对于高程测量, 可采用水准仪进行水准测量, 按照国家水准测量规范要求施测, 获取控制点的高程。接着, 定期对控制点进行复核测量, 检查其坐标和高程是否发生变化。复核频率根据施工周期和现场情况确定, 通常为 $1 \sim 2$ 周/1 次。平面坐标复核允许误差一般控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内, 高程复核允许误差控制在 $\pm 10\text{mm}$ 以内。

若超过允许误差, 需重新测量并分析原因, 对控制点进行修正或重新布设。接着, 根据设计图纸给定的工作井中心坐标 (X_0 、 Y_0), 使用全站仪极坐标法进行放样。设测站点坐标为 (X_1 、 Y_1), 后视点坐标为 (X_2 、 Y_2), 待放样点 (工作井中心) 坐标为 (X_0 、 Y_0)。首先, 计算方位角 a :

$$\text{后视方位角 } a_{12} = a_{12} = \arctan \frac{(Y_2 - Y_1)}{(X_2 - X_1)} \quad (9)$$

$$\text{放样方位角 } a_{10} = a_{10} = \arctan \frac{(Y_0 - Y_1)}{(X_0 - X_1)} \quad (10)$$

然后, 计算水平距离 D :

$$D_{10} = \sqrt{(X_0 - X_1)^2 + (Y_0 - Y_1)^2} \quad (11)$$

在测站点上架设全站仪, 照准后视点定向, 然后按照计算出的方位角 a_{10} 和水平距离 D_{10} , 定出工作井中心位置, 工作井位置放样允许偏差为 $\pm 50\text{mm}$ 。

在管道中心线放样中, 同样根据设计给定的管道中心线各转折点坐标, 采用上述极坐标法依次放样出各转折点位置。相邻转折点之间的距离可根据设计图纸确定, 一般每隔 $10 \sim 20\text{m}$ 设置一个中线桩, 以控制管道的走向, 管道中心线放样的横向偏差允许值为 $\pm 20\text{mm}$ ^[3]。

对于顶管高程测量放样, 从附近已知的水准点出发, 使用水准仪和水准尺, 按照闭合水准路线或附合水准路线的方法, 将水准点引测至工作井附近, 设置临时水准点。水准测量闭合差或附合差应满足相关规范要求, 对于普通市政工程, 允许闭合差为 $\pm 12\sqrt{L}$ (mm), L 为水准路线长度。

需注意: 测量记录应清晰、准确、完整, 不得随意涂改。如有记错或算错, 应在错误处划斜线, 在旁边填写正确数据, 并注明原因。测量完成后, 及时对测量记录进行整理和计算, 绘制测量成果图, 包括控制点分布图、工作井与管道中心线放样图、高程测量成果图等。并将测量记录、计算成果和测量成果图等资料归档保存, 作为工程施工过程的重要资料, 以备后续查阅和验收使用。

3.3 设备安装

第一, 导轨安装。导轨一般选用重型工字钢或槽钢, 其规格应根据顶管机的重量、尺寸以及顶进过程中的荷载来确定。例如, 对于管径较小、顶进距离较短的顶管工程, 可选用 $[20]$ 槽钢; 对于大型顶管工程, 可能需要采用 $I32$ 工字钢。导轨安装在工作井底部的基础上, 其中心线应与顶管设计轴线重合, 允许偏差控制在 $\pm 5\text{mm}$ 以内。导轨间距 S 需根据顶管机底部支撑结构的尺寸确定, 一般略大于顶管机底部支撑轮或滑板的间距, 如下:

$$S = D_0 + 0.2 \sim 0.3 \quad (12)$$

其中, D_0 为顶管机底部支撑结构的最大宽度。例如, 顶管机底部支撑结构宽度为 1.5m , 则导轨间距为 $1.7 \sim 1.8\text{m}$ 。导轨安装坡度应与顶管设计坡度一致, 误差控制在 $\pm 0.1\%$ 以内。例如, 顶管设计坡度为 0.3% , 则导轨安装坡度应在 $0.2 \sim 0.4$ 之间, 可通过水准仪测量和调整导轨坡度。

第二,主顶油缸安装。主顶油缸的选型需根据顶管施工所需的总顶力来确定。总顶力的计算公式为:

$$F = \pi DLf + P_0 \quad (13)$$

其中, F 为总顶力; D 是管道外径 (m); L 是顶进长度; P_0 为顶管机前端的迎面阻力 (可根据顶管机类型和土质情况估算); f 是管道与周围土体的摩擦系数,其取值可根据不同土质和管道材质而定,如在粘性土中,钢筋混凝土管道与土体的摩擦系数为 0.3~0.5。在确定总顶力后,根据单个主顶油缸的额定推力 F_1 , 计算所需油缸数量 n , 公式为:

$$n = \times (1.1 \sim 1.2) \sigma_{allow} \quad (14)$$

其中, 1.1~1.2 是考虑到油缸同步性等因素的安全系数。例如, 计算得出总顶力为 6000kN, 单个主顶油缸额定推力为 1000kN, 则所需油缸数量为: $n=6000/1000 \times 1.1=6.6$, 向上取整为 7 个。其次, 主顶油缸应对称布置在工作井的后壁, 油缸的轴线应与顶管的轴线重合, 偏差不超过 $\pm 5\text{mm}$ 。通过预埋件或特制的油缸支架将主顶油缸牢固固定在工作井后壁上, 确保油缸在顶进过程中不会发生位移或晃动。

第三, 油泵站安装。应根据主顶油缸的数量、额定推力, 以及顶进速度要求选择合适的油泵站。油泵站的额定压力应略大于主顶油缸工作时所需的最大压力, 一般要求油泵站额定压力为油缸最大工作压力的 1.2~1.3 倍。油泵站的流量应满足主顶油缸快速推进和慢速顶进的要求, 可根据油缸的活塞面积和顶进速度计算所需流量。例如, 已知主顶油缸活塞面积为 A (m^2), 快速推进速度为 v_1 (m/min), 则油泵站最小流量 Q_1 为 (单位: m^3/min):

$$Q_1 = A \times v_1 \quad (15)$$

慢速顶进速度为 v_2 , 则油泵站最小流量 Q_2 为:

$$Q_2 = A \times v_2 \quad (16)$$

油泵站应安装在靠近主顶油缸且便于操作和维护的位置, 一般安装在工作井旁边的操作平台上。然后, 用高压油管将油泵站与主顶油缸连接起来, 油管的管径应根据油泵站的流量和工作压力选择, 确保油管能够承受系统压力且无泄漏。连接完成后, 应进行压力测试, 测试压力为油泵站额定压力的 1.5 倍, 稳压 10~15min, 检查油管连接处有无渗漏现象。

3.4 顶管顶进

顶进速度应根据地质条件、管材强度、顶管机性能以及泥浆护壁效果等因素合理确定。在一般的软土地层中, 顶进速度通常控制为 20~50cm/h; 在硬土层或岩石层中, 顶进速度会降低至 10~20cm/h。在此过程中, 顶进速度过快会导致土体扰动过大、管道接口受损等问题; 速度过慢则会影响施工效率。

在顶进过程中, 实际顶力应控制在管材允许顶力和设备额定顶力范围内。管材允许顶力可根据管材的材质、壁厚、管径等参数通过相关规范计算得出。例如, 对于钢筋混凝土

管, 其允许顶力的计算公式为:

$$F_{allow} = \sigma_{allow} \times A \quad (17)$$

其中, F_{allow} 为允许顶力; σ_{allow} 是管材的允许抗压应力 (MPa), 可从管材产品标准中获取; A 是管材的承压面积 (m^2)。以圆形管道为例:

$$A = \pi \times (D_0^2 - D_1^2) / 4 \quad (18)$$

其中, D_0 为管道外径, D_1 为管道内径。

此外, 在顶进过程中, 必须进行实时测量, 以监控顶管的位置和姿态。一般每顶进 0.5~1m 就要进行一次测量, 特殊地段 (如穿越建筑物、地下管线等) 加密测量, 每 0.2~0.3m 测量一次。在测量结果中, 平面位置测量误差控制在 $\pm 50\text{mm}$ 以内, 高程测量误差控制在 $\pm 20\text{mm}$ 以内。当测量发现顶管偏差超出允许范围时, 需要进行纠偏。纠偏角度可根据偏差值 Δx (平面偏差) 或 Δy (高程偏差) 和顶管机长度计算:

$$\text{平面纠偏角度 } \theta_x = \Delta x / L_m \quad (19)$$

$$\text{高程纠偏角度 } \theta_y = \Delta y / L_m \quad (20)$$

纠偏操作可通过调整顶管机的纠偏千斤顶来实现, 在纠偏时, 应缓慢进行, 避免过度纠偏造成“蛇形”轨迹。每次纠偏角度不宜过大, 一般控制在 $10' \sim 20'$ (角度单位, $1^\circ = 60'$) 之间。

在压浆中, 泥浆一般由膨润土、水和添加剂组成。常见的泥浆配合比为膨润土: 水 = 1:61:8 (重量比), 添加剂 (如纯碱、CMC 等) 的用量根据实际情况确定, 一般为膨润土重量的 0.5%~2%, 如表 1。泥浆的性能指标包括比重、粘度、含砂量等, 比重一般控制在 1.05~1.20g/cm³, 粘度控制在 20~30s (漏斗粘度计测量), 含砂量不超过 5%。泥浆注入量 Q 应根据管道外径 D 、顶进长度 L 和土体孔隙率 n 等因素确定, 公式为:

$$Q = k \times \pi \times D \times L \times n \quad (21)$$

其中, k 为系数, 一般取 1.2~1.5。泥浆注入压力应略大于地下水压力和土体侧压力之和。例如, 在软土地层中, 注入压力一般控制在 0.1~0.3MPa; 在砂性土地层中, 压力可适当提高至 0.3~0.5MPa。在此基础上, 泥浆搅拌设备的搅拌能力应根据顶管施工进度和泥浆用量确定。一般每小时搅拌量需满足:

$$Q \geq \frac{V}{t} \quad (22)$$

其中, Q 为小时搅拌量; V 是每段顶进长度所需的泥浆量; t 为该段顶进预计时间。例如, 上述项目的某段顶进长度为 100M, 预计 8h 完成顶进, 经计算该段所需泥浆量为 40m³, 则泥浆搅拌设备每小时搅拌量为 $Q \geq \frac{40}{8} \geq 5\text{m}^3$ 。同时, 注浆压力一般根据管道材质、土层性质和注浆目的确定, 在砂性土中, 注浆压力通常控制在 0.2~0.5MPa; 在粘性土中,

注浆压力可适当降低至 0.1~0.3MPa。

表 1 配比参数

序号	参数项	参数值
1	混凝土强度等级	C30
2	水灰比	1:0.55
3	水泥用量 / (kg · m ⁻³)	350
4	细骨料用量 / (kg · m ⁻³)	680
5	粗骨料用量 / (kg · m ⁻³)	1100
6	高效减水剂用量 /%	1.0

此外,给排水顶管常用的管材有钢筋混凝土管、钢管等。钢筋混凝土管一般采用橡胶圈密封的承插式连接,橡胶圈的压缩率应控制为 35%~45%,以确保密封效果;钢管常采用焊接连接,焊接质量应符合相关标准,焊缝的探伤检测比例根据设计要求确定,一般不低于 20%。同时,相邻管材之间的顶进衔接长度一般不小于 100mm,以保证连接的可靠性;管材与顶管机之间应预留 20~50mm,以适应顶管过程

中的微小偏差和变形。

4 结语

展望未来,随着科学技术的进步、计算机模拟技术的提升和大数据分析技术的应用,基于市政道路的给排水顶管施工技术应用更加高效、切合实际。特别是在智能化、自动化技术的加持下,未来的给排水顶管施工方法将更加依赖于精细化管理和智能化决策,由此开展的相关理论研究和实践探索必须得到大力支持。

参考文献

- [1] 沈青松,彭赵,朱文灿,等.大直径平行顶管施工顺序对地表沉降的影响研究[J].石家庄铁道大学学报(自然科学版),2025,38(01):29-34.
- [2] 周火凯.市政道路排水工程顶管施工的关键技术分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(06):139-141.
- [3] 罗复彩.智能建筑给排水系统节能环保问题与改进对策[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(06):71-73.