

输水管道水平定向钻长距离穿越设计

袁建新 张 晴

中水北方勘测设计研究有限责任公司 天津 300222

摘 要: 某工程输水管道需要穿越上海路及居民区, 穿越距离约877m, 属长距离穿越, 型式采用水平定向钻。通过对该工程的水平定向钻穿越轨迹、回拖力计算以及扩孔设计等进行相关阐述, 为类似工程设计提供参考。

关键词: 公路穿越; 水平定向钻; 大直径; 长距离

Water pipeline horizontal directional drilling long distance crossing design

Jianxin Yuan, Qing Zhang

China Water Resources Bei Fang investigation Design & Research CO.LTD, Tianjin, 300222, China

Abstract: The water pipeline of a project needs to cross Shanghai Road and residential areas, and the crossing distance is about 877m. It is a long-distance crossing, and the type of horizontal directional drilling is adopted. Through the horizontal directional drilling traversal track, drag force calculation and reaming design of this project are expounded, which can provide a reference for similar engineering designs.

Keywords: Highway crossing; Horizontal directional drilling; A large diameter; Long distance

前言:

小直径管道穿越公路、铁路、河道时, 采用水平定向钻的型式已经逐渐成为一种较成熟的施工方案。常规的管道直径一般小于800mm, 穿越长度在300 ~ 500m左右。泗阳县城城乡水环境巩固提升工程中输水管道直径为1016mm, 穿越长度约877m, 属大直径长距离穿越。本次管道水平定向钻设计, 希望对其他类似工程设计能够提供借鉴作用。

一、工程概况

本文主要是对输水干管穿越现状上海路及居民区进行专项设计, 穿越方式采用水平定向钻型式。

作者简介:

袁建新(1980-), 男(汉族), 天津, 高级工程师, 本科, 主要从事水利水电工程施工组织设计研究。E-mail: 33593974@qq.com

张晴(1990~), 女(汉族), 吉林, 工程师, 主要从事水利水电工程施工组织设计研究。E-mail: 546443734@qq.com

通信作者简介: 袁建新(1980-), 高级工程师。E-mail: 33593974@qq.com

上海路及周边穿越位置路面高程13.2 ~ 15.40m, 上海路路面宽度约10m, 两侧居民区穿越范围分别约430m和355m。

工程区域地质构造较稳定, 场地内土体分布较为稳定, 地层主要以杂填土、粉土和粉质黏土为主。地下水埋深约1.0 ~ 1.5m。

二、设计依据

(1)《水平定向钻法管道穿越工程技术规程》(CECS 382: 2014);

(2)《水平定向钻进管线铺设工程技术规程》(DBJ13-102-2008);

(3)《管线定向钻进技术规范》(DGTJ08-2075-2010);

(4)《给水排水工程埋地钢管管道结构设计规程》(CECS141: 2002);

(6)《给水排水工程管道结构设计规范》(GB 50332-2002);

(7)《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB 50268-2008)。

三、水平定向钻设计

3.1 主要设计参数

- (1) 管道材质: Q345 钢管;
- (2) 管道外径: 1016mm;
- (3) 管道壁厚: 14mm;
- (4) 曲率半径: 1270m;
- (5) 管线与道路的夹角: 90° 。

3.2 穿越轨迹设计

本工程管道穿越地层为粉土、粉质粘土, 适用于水平定向钻穿越轨迹布置。依据《水平定向钻法管道穿越工程技术规范》CECS 382-2014, 水平定向钻穿越公路时最小覆土厚度应符合各自行业标准的要求; 当本行业无特殊要求时, 最小覆土厚度应符合表1的规定。

表1 最小覆土厚度

序号	项目	最小覆土厚度
1	城市道路	与路面垂直净距大于1.5m
2	公路	与路面垂直净距大于1.8m, 路基坡角地面以下大于1.2m。
3	高等级公路	与路面垂直净距大于2.5m, 路基坡角地面以下大于1.5m。

水平定向钻先导孔轨迹设计应按照下列公式计算:

$$a_2 = R \sin \alpha \quad (1)$$

$$b_2 = R(1 - \cos \alpha) \quad (2)$$

$$b_1 = h_1 - b_2 \quad (3)$$

$$a_1 = b_1 / \tan \alpha \quad (4)$$

$$c_1 = R \sin \beta \quad (5)$$

$$d_2 = R(1 - \cos \beta) \quad (6)$$

$$d_1 = h_2 - d_2 \quad (7)$$

$$c_2 = d_1 / \tan \beta \quad (8)$$

$$L_0 = L - a_1 - a_2 - c_1 - c_2 \quad (9)$$

式中:

- a_2 —入土端曲线的水平长度 (m);
 R —曲率半径 (m), 宜大于1500D, 且不小于1200D;
 α —入土角 ($^\circ$);
 b_2 —入土端曲线的高度 (m);
 b_1 —入土端直线段的高度 (m);
 h_1 —入土端地面与底部直线段的高度 (m);
 a_1 —入土端直线段的水平长度 (m);
 c_1 —出土端曲线的水平长度 (m);
 β —出土角 ($^\circ$);
 d_2 —出土端曲线的高度 (m);
 d_1 —出土端直线段的高度 (m);
 h_2 —出土端地面与底部直线段的高度 (m);

c_2 —出土端直线段的水平长度 (m);

L_0 —底部直线段的长度 (m);

L —穿越长度 (m)。

经计算, 水平定向钻管道敷设水平投影长度为877.0m, 入土角为 8° , 出入角为 6° , 入土端标高为14.20m, 出土端标高为14.20m, 管道敷设轨迹最低点管顶标高为0.00m。本工程管道穿越道路位置的覆土厚度为10.5m, 满足规范要求。

3.3 回拖力计算

本工程敷设管道为钢管, 回拖力应按照下列公式计算:

$$T = L f_h \left[\frac{\pi D_1^2 \gamma_m}{4} - \left(\frac{D_1 + D}{2} \right) \pi t \gamma_p - w_w \right] + \pi D_1 L K \quad (10)$$

式中:

T —穿越管段所受回拖力 (kN);

f_h —穿越钢管管段与钻孔孔壁之间的摩擦系数, 一般取0.1 ~ 0.3;

γ_m —钻孔泥浆的重度 (kN/m³);

γ_p —管材的重度 (kN/m³), 钢管取78.0 kN/m³;

w_w —进行浮力控制时单位长度管道的配重量 (kN/m);

K —泥浆的黏滞系数 (kN/m²), 取0.15 ~ 0.35。

经计算, 本工程钢管的设计回拖力为2635.0kN, 施工所用水水平定向钻机额定回拖力可按设计回拖力计算值的1.5 ~ 3.0倍进行选取。

3.4 管道回拖在泥浆压力作用下的径向截面稳定计算

钢管 (空管) 回拖在泥浆压力作用下的径向截面稳定应按照下列公式计算:

$$P_m \leq F_d \cdot P_{yp} \quad (11)$$

$$P_{yp}^2 - \left[\frac{\sigma}{m} + (+6mn)P_{cr} \right] P_{yp} + \frac{\sigma P_{cr}}{m} = 0 \quad (12)$$

$$m = \frac{D_1}{2t} \quad (13)$$

$$n = \frac{L_0}{2} \quad (14)$$

$$P_{cr} = \frac{2E_p \left(\frac{t}{D_1} \right)^2}{1 - \mu^2} \quad (15)$$

式中:

P_m —泥浆压力, 可按1.5倍泥浆静压力或回拖施工时的实际动压力选取 (MPa);

F_d —穿越管段设计系数, 按0.6选取;

P_{yp} —穿越管段所能承受的极限外压力 (MPa);

σ —管材的屈服强度 (MPa);

P_{cr} —钢管弹性变形临界压力 (MPa);

D_1 —钢管外径 (mm);

t —钢管壁厚 (mm);

f_0 —钢管椭圆度 (%);

E_p —管材弹性模量, 钢管取 2.0×10^5 (MPa);

μ —钢管泊松比, 取 0.3。

经计算, 泥浆压力 $P_m=0.26$, 小于穿越管段承受的设计外压力, 满足要求。

3.5 管材承受的最大回拖力计算

管道在回拖施工时, 管材所能承受的最大回拖力可按式计算:

$$F = \sigma \times \frac{\pi(D_1^2 - D^2)}{4N} \quad (16)$$

式中:

F —管道能承受的最大回拖力 (N);

D —管道内径 (mm);

N —安全系数, 给水、排水、通信、电力管道等低压管道取 2.0, 燃气等高压管道取 3.0。

经计算, 管材所能承受的最大回拖力为 5178kN, 满足要求。

3.6 扩孔设计

穿越管道所需的钻孔最终扩孔直径应根据敷设管道直径按表 2 进行确定。

表 2 穿越管道所需的钻孔最终扩孔直径

序号	管道外径 D_1 (mm)	最终扩孔直径 (mm)
1	< 200	D_1+100
2	200 ~ 600	$D_1 \times (1.2 \sim 1.5)$
3	> 600	$D_1 + (300 \sim 400)$

本工程敷设钢管外径为 1016mm, 经计算, 最终扩孔直径约为 1400mm, 穿越管径大于 250mm, 宜进行多级扩孔, 具体操作还应视现场地勘情况而定。

3.7 主要施工方案

水平定向钻的基本原理: 按预先设定的地下铺管轨迹钻一个小口径先导孔, 随后在先导孔出口端的钻杆头部安装扩孔器回拉扩孔, 当扩孔至尺寸要求后, 在扩孔器的后端连接旋转接头、拉管头和管线, 回拉铺设地下管线。

① 配制泥浆

根据地层条件, 管径及长度确定合理的泥浆体系。泥浆密度控制在 $1.02 \sim 1.25 \text{g/cm}^3$, 钻孔泥浆的滤失量宜控制在 15ml/30min 之内, 水敏性、易坍塌和松散地层滤失量 10ml/30min 以内, 经泥浆净化设备处理后的钻孔泥浆的含砂率应小于 0.5%, 钻孔泥浆的 pH 值应控制在

9 ~ 11 的范围之内。当钻进过程需要长时间中断时, 应向孔内定时补充新泥浆并活动钻具, 以补偿泥浆漏失及防止卡钻事故的发生。施工中遇到不同地层时, 应及时调整钻液的性能以适应工程要求。

② 钻导向孔

要根据不同的地质条件以及工程的具体情况, 选择合适的钻机、钻具和钻进方法完成导向孔的钻进。

钻机与钻具的选择: 钻孔主要靠钻机产生的推力、旋转扭矩以及所提供的钻液的流量、压力来完成施工。特别是长距离穿越, 由于管线及钻杆自重较重, 钻杆与地层之间产生的摩擦阻力较大, 因此, 钻机的回拉力及扭矩必须足够大。另外, 钻机长时间连续运转, 就要求钻机必须具有良好的性能。在松散的土质地层中施工, 可选用普通钻机和可造斜的钻头, 在硬岩或含卵砾石的地层中施工, 应选用带破岩功能的钻机和钻头。

③ 回拉扩孔

在回拉扩孔铺管施工中的关键技术是根据不同的土层、地下水位以及最终成孔直径正确地选择回扩钻具和每次的进刀量, 正确的选配钻液和确定钻液的流量。

扩孔器类型有桶式、飞旋式、刮刀式等: 穿越淤泥黏土等松软地层时, 选择桶式扩孔器较适宜, 扩孔器通过旋转, 将淤泥挤压到孔壁四周, 起到很好的固孔作用; 当地层较硬时, 选择飞旋或刮刀式扩孔器成孔较好。一般要求选择的最大扩孔器尺寸为铺设管径的 1.2 ~ 1.5 倍, 这样能够保持泥浆流动畅通, 保证管线能安全、顺利的拖入孔中。

④ 管道回拖

管道回拖施工应连续进行, 除发生不可抗拒的原因外, 严禁在施工中无故停拖。在回拖时进行连续作业, 避免因停工造成阻力增大。回拖过程中, 认真观察浆液运行情况, 动用泥浆制浆系统、泥浆循环处理系统和利用泥浆回收坑和泥浆处理坑尽力分离、除砂泥浆、回收泥浆残物, 尽量减少环境污染。

施工所用水平定向钻机额定回拖力可按设计回拖力计算值的 1.5 ~ 3.0 倍进行选取。

⑤ 钢管焊接及防腐

钢管应采用内外壁单侧焊接, 焊接质量必须满足《现场设备、工业管道焊接工程施工规范》(GBJ50236), 《工业金属管道工程施工规范》(GB50235), 钢管现场焊接检验标准: 超声波探伤 100% 焊缝。

钢管安装前应进行内外防腐处理, 并在入土坑、出土坑采取阴极保护措施。

参考文献:

- [1]查湘义.水平定向钻在给水管道施工中的应用.科技风,2018年6月.
- [2]董智杰.复杂地层下水平定向钻施工技术.水科学与工程技术.2019年第1期.
- [3]郭冠花.大直径截污管道水平定向穿越施工技术的应用.山西建筑.2019年45期.
- [4]王洪培.超大口径水平定向钻在南水北调配套工程输水管线穿越中的应用研究.施工技术.2018年47期.
- [5]《水平定向钻法管道穿越工程技术规程》(CECS 382:2014).
- [6]《水平定向钻进管线铺设工程技术规程》(DBJ13-102-2008).
- [7]《管线定向钻进技术规范》(DGTJ08-2075-2010).
- [8]《给水排水工程埋地钢管管道结构设计规程》(CECS141:2002).
- [9]《给水排水工程管道结构设计规范》(GB 50332-2002).
- [10]《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB 50268-2008).