

引水工程输水管道穿越河流水平定向钻方案设计

韩李明

河北省水利水電勘测设计研究院集团有限公司 天津 300250

摘要: 对于引水工程输水管道穿越障碍物,在不具备明挖埋管施工条件的情况下,采用水平定向钻等非开挖施工方法成为工程实施的最佳选择。本文重点论述了水平定向钻施工的工程布置,地质概况,定向钻轨迹设计,管材选择和管材结构计算等内容。

关键词: 水平定向钻; 穿越河流; 导向孔轨迹; 钢管结构; 方案设计

引言: 输水管道穿越工程系指输水管道与其他工程建筑物、构筑物的交叉,其中包括穿越铁路、高等级公路、国道省道、县级及县级以下一般公路、河流沟渠等。根据确定的某引水工程输水管线走向,设计沿线需穿越河道、排水渠等11条(次):连接渠、韩屯干渠、亭子河、滹沱河故道、滹沱排河、滹沱新河、滹沱河、小平王干渠、滹沱河、贾庄河、滹沱新河滩地引渠^[1]。管道和这些河道、排渠的交叉部位均水面开阔、流量较大,河渠两岸村庄密集,明挖埋管施工不具备导流条件。同时,部分河堤堤顶公路是交通干道,不具备断交施工的条件。为了减少地下管道施工对河道行洪、排淤、交通及市民日常活动的影响,减少工程施工对市容和环境卫生的影响,非开挖施工方法成为本工程实施的最佳选择。

近年来水平定向钻穿越技术越来越广泛地应用在各个领域,尤其是在环保要求越来越高、市政管网改扩建和大中型输水管道穿越江河等障碍物的工程项目上,显示了独有的优势。该技术进行管线穿越施工,是城市建设、输水管道铺设、市政管网新建、改造和穿越大中小型河流、水域及难以搬迁建筑物的较优选择,是不破坏现状地形、地貌和保护环境的理想的施工方法。

水平定向钻穿越施工工艺一般分为2个阶段,第一阶段是通过计算机控制进行导向和探测,按设计曲线先钻出一个导向孔,第二阶段是将导向孔进行扩大,并把输水管线(本工程采用钢管)回拖到扩大的导向孔中,完成管线穿越的施工过程。

1 工程布置

穿越连接渠定向钻工程自南向北穿越河渠,钻机

通讯作者: 韩李明, 出生年月: 1984.04, 民族: 汉, 性别: 男, 籍贯: 河北涉县人, 单位: 河北省水利水電勘测设计研究院集团有限公司, 职称: 高级工程师, 学历: 硕士研究生, 邮编300250, 研究方向: 水利水电工程设计

入土点位于连接渠南岸约205m处,钻机出土点位于连接渠左堤以北约130m处,管线水平投影长度约480m。入土端摆放钻机设备、膨润土、泥浆池等,占地范围45m×45m;出土端摆放泥浆回收系统、回拖设备、泥浆池管道焊接场地占地等,入土端和出土端均有足够空间摆放设备和管道。

本工程输水管道双排敷,管道的直径为DN1000。根据《水平定向钻法管道穿越工程技术规程》^[3],双排管道敷设时,管道外径大于200mm,净距应为最大扩孔直径的2倍以上,本工程管道净距取4m。

2 工程地质概况

工程区地貌为第四系冲洪积平原区,总体地势西高东低,地形平坦开阔,地面高程11.35~14.77m。

根据地质测绘及钻孔揭露的地层岩性主要有:第四系全新统上段冲洪积(Q_4^{3alp})、第四系全新统中段湖沼堆积(Q_4^{2m})、第四系全新统下段冲洪积(Q_4^{1alp}),地表局部被第四系全新统人工堆积(Q^s)覆盖。穿越区域为黏性土多层结构:②₁壤土(Q_4^{3alp}):局部揭露,层厚11.3m,层底高程1.98m;②₃黏土(Q_4^{3alp}):呈层状分布,层厚10.7~12.6m,层底高程0.30~1.98m;③₁壤土(Q_4^{2m}):呈层状分布,层厚1.1~1.3m,层底高程-0.80~0.68m;④₁壤土(Q_4^{1alp}):呈层状分布,揭露层厚6.3~8.0m,钻孔未揭穿该层。

工程区位于一级构造单元的中朝准地台,二级构造单元的华北断拗,三级构造单元的冀中台陷。区域性断裂构造主要有定兴-石家庄深断裂、沧州-大名深断裂、无极-衡水大断裂及邢台-安阳深断裂。

3 水平定向钻方案设计

本文以输水管道穿越连接渠为例,对水平定向钻穿越河道方案设计进行介绍。

3.1 定向钻导向孔轨迹设计

导向孔的施工是水平定向钻施工的关键因素,决定着

整个水平定向钻施工的成败，同时，导向孔的施工也是后期扩孔和管道敷设工作的决定性因素。为降低工程风险，必须对导向轨迹进行精确设计和控制，有效地绕开地下管道、建（构）筑物等。为提高水平定向钻工程的成功率，平滑的设计轨迹可以减少管道回拖时的阻力^[2]。

定向钻导向孔轨迹一般由直线段和曲线段组成，作为钻孔的一部分，曲线段的设计不仅要保证钢质钻杆在工作中受到复杂应力情况下的安全，还要保证管道在回拖时的结构安全，必须满足规范中要求的管道工作安全要求。根据工程地质情况、施工场地条件、钻杆的曲率半径、管线的允许半径、地下障碍物的位置、穿越河流、堤防、公路等的埋深要求，制定出钻杆轨迹，确定入土角、出土角和管线的曲率半径。

由于本工程穿越连接渠主槽，因此管道穿越深度严格按照规范要求深度进行控制^[5]。穿越点管底标高选在-4.95m处，地层大部分为壤土，穿越长度480m，河底段管道最小埋深10m，河堤堤脚最小埋深12.8m，定向钻入土角8°，出土角6°。

水平定向钻导向轨迹的计算方法很多，本文采用折线角度算法进行设计。折线角度算法是利用折线模型近似模拟导向轨迹的曲线段，将导向轨迹曲线按特定长度划分为若干小段，在单个段内将轨迹曲线视为一条直线段，量出每条直线段的倾角，通过计算得出每条线段的水平距离和垂直深度的变化量，然后计算各直线段的累加变化量，得到导向轨迹各控制点的水平距离和垂直深度参数^[2]。

本文折线角度算法按照每10m将导向轨迹划分为若干段，划分区域长度为 $L = 10m$ ，对于 A_1 点，相对于起点 O ，其水平方向 X 轴增量为： $\Delta X = L$ ，垂直方向 Y 轴增量为： $H_1 = L \times \tan\theta_1$ ，依次可得 A_2 、 A_3 、 A_4 等点的增量坐标。对增量坐标进行累加，即可获得各点的位置坐标。轨迹计算成果表见表1。

表1 定向钻轨迹设计成果表

ΔX	ΔY	角度 (θ_i)	累计坐标 X	累计坐标 Y	轨迹高程 (m)
0	0	0	0	0	10.16
8.811	1.212	7.835	8.811	1.212	8.95
10	1.312	7.472	18.811	2.524	7.64
10	1.243	7.087	28.811	3.767	6.39
10	1.175	6.702	38.811	4.942	5.22
10	1.107	6.317	48.811	6.049	4.11
10	1.039	5.933	58.811	7.089	3.07
10	0.972	5.549	68.811	8.060	2.10
10	0.904	5.165	78.811	8.964	1.20

续表:

ΔX	ΔY	角度 (θ_i)	累计坐标 X	累计坐标 Y	轨迹高程 (m)
10	0.837	4.782	88.811	9.801	0.36
10	0.769	4.398	98.811	10.570	-0.41
10	0.702	4.015	108.811	11.272	-1.11
10	0.635	3.632	118.811	11.906	-1.75
10	0.568	3.25	128.811	12.474	-2.31
10	0.501	2.867	138.811	12.975	-2.81
10	0.434	2.484	148.811	13.409	-3.25
10	0.367	2.102	158.811	13.776	-3.62
10	0.300	1.72	168.811	14.076	-3.92
10	0.233	1.337	178.811	14.309	-4.15
10	0.167	0.955	188.811	14.476	-4.32
10	0.100	0.573	198.811	14.576	-4.42
10	0.033	0.191	208.811	14.610	-4.45
20	0.000	0	228.811	14.610	-4.45
10	0.033	0.191	238.811	14.576	-4.42
10	0.100	0.573	248.811	14.476	-4.32
10	0.167	0.955	258.811	14.309	-4.15
10	0.233	1.337	268.811	14.076	-3.92
10	0.300	1.719	278.811	13.776	-3.62
10	0.367	2.101	288.811	13.409	-3.25
10	0.434	2.483	298.811	12.975	-2.82
10	0.500	2.865	308.811	12.475	-2.32
10	0.567	3.247	318.811	11.908	-1.75
10	0.634	3.63	328.811	11.273	-1.11
10	0.702	4.013	338.811	10.572	-0.41
10	0.769	4.396	348.811	9.803	0.36
10	0.836	4.779	358.811	8.967	1.19
10	0.903	5.162	368.811	8.064	2.10
10	0.971	5.545	378.811	7.093	3.07
6.845	0.704	5.869	385.656	6.389	3.77
61.845	6.500	6	447.501	-0.111	10.27

3.2 管材选择

定向钻拉管段管道工作压力为0.45MPa，设计压力0.95MPa，试验压力选用1.0MPa。穿越管道采用DN1000涂塑钢管，壁厚15mm。钢管采用Q345C，涂热熔结环氧树脂粉末，外防腐采用外热涂聚乙烯（简称内EP外PE）。

3.3 钢管结构设计

3.3.1 根据《水平定向钻法管道穿越工程技术规程》规定，穿越钢管在回拖时，应满足空管在泥浆压力作用下的径向截面稳定，可按下列公式进行核算^[1]：

$$P_m \leq F_d \cdot P_{yp}$$

$$P_{yp}^2 - \left[\frac{\sigma}{m} + (1 + 6mn)P_{cr} \right] P_{yp} + \frac{\sigma P_{cr}}{m} = 0$$

$$m = \frac{D_1}{2t}$$

$$n = \frac{f_0}{2}$$

$$P_{cr} = \frac{2E_p \left(\frac{t}{D_1} \right)^3}{1 - \mu^2}$$

3.3.2 管道在回拖施工时, 管材所能承受的最大回拖力可按下式计算:

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

3.3.3 当敷设管道为钢管时, 回拖力应按式进行计算:

$$T = Lf_h \left| \frac{\pi D_1^2 \gamma_m}{4} - \left(\frac{D_1 + D}{2} \right) \pi t \gamma_p - \omega_w \right| + \pi D_1 LK$$

3.3.4 根据《油气输送管道穿越工程设计规范》穿越管段的强度应分别计算轴向应力、环向应力和弯曲应力, 根据作用组合计算出的各单项应力之和均小于或等于相应的钢管应力^[4]。

3.4 定向钻钢管计算成果

连接渠定向钻钢管采用Q345C级钢材, 管壁计算厚度13mm, 考虑2mm厚锈蚀余量, 管壁厚度选用15mm。经试算穿越管段所能承受的极限外压力 $P_{yp} = 0.57\text{MPa}$, 泥浆压力 $P_s = 0.306\text{MPa}$, $0.6P_{yp} = 0.342\text{MPa}$, 大于泥浆压力值, 因此钢管在回拖时径向截面稳定满足要求。

计算穿越段回拖力时管内充水配重不考虑, 计算所得穿越段所受回拖力 $T = 1258\text{kN}$, 管材所能承受的回拖力为6102kN, 回拖力满足要求。穿越连接渠钢管强度计算成果表见表2。

表2 穿越连接渠钢管强度计算成果表

计算项目	单位	许用应力	计算值	结论
1.最大环向应力叠加验算值 σ_h	MPa	147.5	38.46	满足要求
2.回拖时最大轴向应力叠加验算值 σ_a	MPa	147.5	130.81	满足要求
3.运用时最大轴向应力叠加验算值 σ_a	MPa	147.5	119.34	满足要求

管道最大工作压力为0.45MPa, 根据选定钢管管材、壁厚以及计算所得回拖力, 对管道的强度进行复核算, 钢管回拖和正常运用时管道强度均满足规范要求。

结语

(1) 水平定向钻施工方案不阻断交通, 不破坏绿地、植被, 不影响附近居民的正常生产和生活秩序, 解决了传统开挖施工方案对日常生产和生活的干扰, 避免了对交通、环境、周边建筑物产生破坏和造成不良影响。

(2) 随着水平定向钻的穿越设备的现代化发展, 结合新技术手段, 使得定向钻穿越精度高, 调整管道敷设方向和埋深更加便利。管线敷设设计弧形距离长, 可以满足设计不同要求的埋深, 可以使敷设管线绕过地下的障碍物更加及时、准确、安全。

(3) 本文介绍了定向钻轨迹设计的折线角度算法, 根据工程实践, 该方法计算的结果精度可以满足施工要求, 为水平定向钻施工减少干扰, 及时指导工程施工, 提供了便利。

参考文献:

- [1]河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司. 献县城乡一体化新建开发区水厂及输水管道工程初步设计报告[R], 2022年10月。
- [2]刘杰. 水平定向钻导向轨迹设计算法讨论(J). 地质设备, 2014年2月。
- [3]CECS 382: 2014, 水平定线钻法管道穿越工程技术规程[S].
- [4]GB 50423-2013, 油气输送管道穿越工程设计规范[S].
- [5]GB 50423-2015, 油气输送管道穿越工程施工规范[S].