

水平定向钻工艺在长输天然气管道的应用

何振平（河南省天然气管网有限公司，河南 郑州 450000）

摘要：长输管道工程施工中，水平定向钻技术日趋成熟，并且应用较为广泛，但该技术在遇到软硬不均地质，如果处理不当，会发生回拖阻力大、卡钻、冒浆等问题，导致工期延长，各项费用增加，本文结合项目实际案例，从施工前各项准备，多级扩孔，泥浆配比等方面进行技术分析，有效增加复杂地质情况定向钻回拖成功率。

关键词：不均匀地质；长输管道；泥浆工艺；多级扩孔

随着我国经济快速发展，天然气等能源管道掀起建设高潮。河南天然气管网以“气化河南”为使命，在全省开工建设多条天然气长输管道，在管道建设中，水平定向钻施工技术应用广泛，本文以濮鹤天然气管道建设穿越余洼沟工程实例，总结了面对软硬复杂地质环境下，如何保证定向钻一次回拖成功经验。

1 项目概况

本工程位于鹤壁市浚县白寺乡余洼村，定向钻穿越余洼沟。穿越段钢管采用直缝埋弧焊型钢管，规格为D711*10.3mm L450M，穿越处压力：6.3MPa，防腐措施是3LPE加强级外防腐层。沟底管道穿越埋深11.3m，入土角10°，出土角8°，穿越曲线水平长度685.46m。地质状况为全风化泥质砂岩和中风化泥岩。

2 前期准备

①油气输送管道工程的设计单位根据拟穿越位置水文地质条件，周边环境及水平定向钻穿越设计相关规范要求，确定穿越曲线、出入土点角度，穿越埋深等定向钻设计参数，并对施工单位进行设计交底；

②结合施工图纸现场勘查，了解周边建筑物及地下管道、线缆分布情况，确定钻机、泥浆池、泥浆泵、发电机等配套设施布置位置，审核图纸，根据工程量明确钻机选型、材料种类和用量，编制物资采购计划并编制专项方案；

③按照设计交桩布设坐标控制网，设置合理的坐标控制点，做好控制点的标识与保护，方便定向钻施工期间开展测量工作；

④根据施工图纸测量出主管道焊接预制场地边线，提前进行征地清点工作，预制作业带长度需942m，宽度16m。提前与村委沟通预制管道占用水泥路，请过往行人车辆绕行；

⑤在工程施工前，施工现场应实现道路畅通、通水、通电，并对作业区平整处理。进场便道与公路

平缓接通，承载力强，宽约4m，弯道转弯半径大于18m，修筑后路面能满足大型设备进场要求。出入土点作业区域外围有围栏，设置警示牌及限速牌。

3 施工工艺

3.1 钻机选型

按照油气输送管道工程水平定向钻穿越设计相关规定，穿越管段回拖力按以下公式计算（注：钻机回拖力不小于计算值，安全系数：1.5~3倍）：

$$F_t = \mu_{soil} L \left[\frac{\pi D_s^2}{4} \gamma_{mud} - \gamma \delta \pi D_s - W_p \right] + \pi D_s \mu_{mud} L$$

F_t —穿越管段回拖力（kN）； L —穿越管段长度， $L=687.59m$ ； D_s —穿越管段的钢管外径0.711m； δ —钢管壁厚，10.3mm； γ —钢材密度， $\gamma=78.5kN/m^3$ ； mud —泥浆重度， $mud=12kN/m^3$ ； $soil$ —摩擦系数，取0.3； mud —粘滞系数，取0.175kN/m²； W_p —回拖过程中单位长度配重2.98kN/m。

经计算，本穿越计算回拖力为892.6kN，钻机回拖力取计算回拖力值的3倍，钻机最大回拖力为2677.9kN。为确保定向钻顺利回拖，定向钻型号选用350t土行孙水平定向钻机。

3.2 测量放线

①根据施工图要求，要确定好入土点、出土点坐标和标高、钻机安装位置线等。了解周边环境，具体分析，排除不利因素，确定将交通便利的西岸作为定向钻入土端；而东岸外侧较为平坦开阔，交通便利，可作为管道布管、组焊、回拖场地，把东岸确定为出土点。因此，入土点选择在距离西岸岸坡135m处，出土点选择在距离东岸坡292m处，穿越水平长度685.46m；

②施工场地平整后，应测量确定穿越出、入土点位置，校定精准度，且满足设计文件和工程测量规范有关规定，出入土点的标高允许偏差±50mm，出入

土点的平面位置允许偏差 $\pm 50\text{mm}$ ；同时应根据导向孔控向需要测量有线控向的调校地点，并应做好相关测量记录。还要对泥浆池、钻机场地等放线和标记；

③根据平面施工图、控制桩，主管预制场地因存在较大角度不能利用原作业带；需提前办理征地手续再行放线扫线。

3.3 场地准备

①在定向钻入土端，要安排钻机设备、钻杆、泥浆池等，钻机安装和钻杆堆放场地，场区临时占地 $50\text{m} \times 50\text{m}$ ，共占地 2500m^2 。出土端安排钻具、管道组装焊接场地、泥浆池等，钻具操作场 $30\text{m} \times 30\text{m}$ ，占地 900m^2 ；

②挖（砌）泥浆池 1 个，排浆池尺寸为 $25\text{m} \times 25\text{m} \times 2.5\text{m}$ ，排浆池内铺三层土工布，泥浆池四周设硬防护，采用 $\Phi 48.3 \times 5\text{mm}$ 钢管制作，围栏高度 1.2m，水平栏杆间距 0.6m，垂直立柱间距 2m，并要悬挂醒目警示标志；

③在穿越管道的中心线上，挖一个地锚坑，作为入钻点，地锚坑尺寸 $5\text{m} \times 3\text{m} \times 1.8\text{m}$ 并要预留足够边坡。位置是在施工钻机后方开挖地锚坑： $5\text{m} \times 3\text{m} \times 1.8\text{m}$ ，主要采用一块长 $6\text{m} \times$ 宽 $4\text{m} \times$ 厚 20mm 钢板、钢丝绳和连接卡；然后根据要求进行钢丝绳引槽开挖埋设，再根据实际情况和注意事项做好后地锚附近排水处理，保证干燥程度；

④最后根据钻机安装位置与施工布置图的详细要求，在预定位置将钻机及其附属配套设备进行锚固，并要注意钻机方向和角度等细节。

3.4 泥浆配制

①泥浆应采用环保泥浆，泥浆的配置、施工和排放应满足当地环保部门的要求。该项工程的定向钻穿越，按照要求泥浆采用流变性良好的环保泥浆，并根据工程实际情况具体明确泥浆配方的相关细节，需要注意的是在泥浆性能稳定后不可再重新更换其他泥浆配方，不能更换其他品牌的膨润土和水。配置泥浆用膨润土应采用高效膨润土，应符合 GB/T 5005-2010 标准检测要求，形成良好的护壁和润滑效果；

②工程配套泥浆混拌系统，每小时混配量 60 立方，泥浆储备由 2 个各自独立泥浆搅拌罐组成，每个泥浆搅拌罐有效容量 $\geq 20\text{m}^3$ 。泥浆输送由一台三缸泥浆泵组成，泥浆输送量调节范围 $300 \sim 1800\text{L}/\text{min}$ 、泥浆输送压力 $0.1 \sim 8\text{MPa}$ ；

③泥浆混拌系统运抵现场安装结束后要对系统运

行和调试，全方位检测系统工作状态，对相关参数和技术指标予以反馈来辅助穿越泥浆施工，经过验收合格后，确定完全符合开钻条件才可以开始施工；

④针对穿越地层条件，为保证回拖一次成功率，泥浆配制要按事先确定好的泥浆配比，配出符合要求的泥浆。其中泥浆添加剂包括：正电胶、降滤失剂等，符合环保且性能优良。

3.4 钻导向孔

①钻进前对照设计文件确定准确度，确定地面信标磁场位置，定位测量线圈控制桩，如有较大误差应重新复测校正；

②导向孔钻进前要检查钻机、钻具、泥浆泵等设备，确定满足性能与设计的要求。如果使用旧钻杆时，先明确现行行业标准对钻杆检测、标识，并选用一级钻杆；

③管道组焊完成具备开钻条件后，按设计确定控向方案。钻机就位应严格按照设计的出入土角进行，钻机工作角度与出入土角差值应小于 0.5° 。导向孔的偏差应符合：

④导向孔实际曲线与设计曲线偏差，不可大于穿越长度 1%，偏差符合表 1 规定；

表 1 导向孔曲线允许偏差表

导向孔曲线 (m)		出土点 (m)	
横向偏差	上下偏差	横向偏差	纵向偏差
± 3	$+1 \sim -2$	± 3	$+9 \sim -3$

⑤导向孔钻进钻杆折角应满足每根钻杆最大折角不大于 1.1° ，4 根钻杆累加最大折角不大于 3° ；

⑥导向孔钻进应保持钻机扭矩控制在 $3 \times 10^4\text{Nm}$ 之内，泥浆排量： $1 \sim 1.2\text{m}^3/\text{min}$ ，转速控制： $30 \sim 40\text{rpm}$ ，钻压 $\leq 30\text{t}$ 。钻进时确保钻进技术参数均匀，平稳推进导向孔的钻进，这是整个定向钻施工的关键。穿越全过程要准确跟踪定位，一定确保出土位置精准，曲线平滑。导向孔钻进根据设计曲线作业，且随钻随测，并做好记录；

⑦依据图纸绘制设计导向曲线，以此为目标进行施工动态控制。导向施工过程中录入真实导向数据，并与目标数据进行比较分析，出现偏差积极采取措施进行技术纠偏。保证导向孔施工质量在可控范围内；

⑧控向对穿越精度及工程成功至关重要，并直接关联到主管穿越，应认真分析地质资料和各项参数，确定控向方案，重视每个环节，严格按照施工作业指导书和操作规程手册内容施工，实时判断泥浆螺杆马

达扭矩、钻头转进、泥浆压力、流量等细节,这些都是非常重要的,及时做出调整,及时解决问题,实现出土准确和成孔良好,并对所有环节做好记录,全面保证钻导向孔能够一次成功;

3.5 扩孔

①根据地质情况,本次定向钻扩孔采取分级、多次扩孔的方式进行,本工程管径直径为 $\Phi 711\text{mm}$ 管道预扩孔次数初步确定为 6 次,分别为 DN400 扩孔、DN550 扩孔、DN700 扩孔、DN800 扩孔、DN900 扩孔、DN1050 扩孔、DN1100 清孔;

表 2 管道扩孔穿越钻具组合

序号	施工段	钻具组合
1	一次预扩孔	钻杆 + $\Phi 16''$ 牙轮扩孔器 + 5'' 钻杆
2	二次预扩孔	钻杆 + $\Phi 22''$ 牙轮扩孔器 + 5'' 钻杆
3	三次预扩孔	钻杆 + $\Phi 28''$ 牙轮扩孔器 + 5'' 钻杆
4	四次预扩孔	钻杆 + $\Phi 32''$ 牙轮扩孔器 + 5'' 钻杆
5	五次预扩孔	钻杆 + $\Phi 36''$ 牙轮扩孔器 + 5'' 钻杆
6	六次预扩孔	钻杆 + $\Phi 42''$ 牙轮扩孔器 + 5'' 钻杆
6	清孔	钻杆 + $\Phi 44''$ 牙轮扩孔器 + 5'' 钻杆 (根据实际情况确定是否清孔)

②转速和工作钻压应符合钻具使用技术参数要求;启动时旋转、回拉速度应缓慢;旋转和行进速度应均匀。

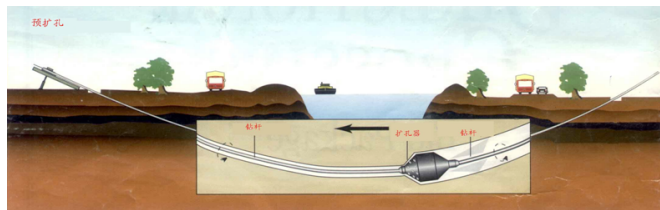


图 1 扩孔施工示意图

3.6 管线回拖

3.6.1 管道试回拖

根据现场实际石质地质,在正式回拖前增加试回拖环节。第三边扩孔后增加一遍洗孔,并焊接 D406mm $\times$ 12mm 钢管 26m 进行试回拖验证孔洞成孔情况。在六级扩孔后焊接 D711mm $\times$ 9mm 钢管 36m 进行试回拖验证最终孔洞成孔情况,以规避回拖风险。

3.6.2 管道回拖

回拖采用的钻具组合为:钻机 + 钻杆 + 扩孔器 + 旋转接头 + U 型环 + 拖拉头 + 回拖管段。回拖采用发送沟 + 水道方式发送。发送沟根据地形、出土角确定开挖深度和宽度,发送沟沟底宽为管径 + 500mm,深度为 1.5m。为了确保管道顺利平稳入洞关键工序的实

施,管道入洞采取 8 台 25t 吊车机配合吊篮的方案。

3.6.3 管道回拖保护措施

①施工监测:管道组装焊接要确保外防腐层不被破坏,管道回拖前使用电火花检漏仪,对管道采取 100% 的检测,必须修补全部发现的漏点,确定都合格才可以回拖作业;

②泥浆配比:定向钻钻进、扩孔和回拖阶段均应选择合理的泥浆配比,管道回拖过程中是不旋转的,管壁四周和孔洞之间由合理配比的泥浆润滑,扩好的孔中充满泥浆,在扩好的孔中管道处于悬浮状态,这可减少回拖阻力保护管道外防腐层;

③回拖时增加高润滑泥浆附着于管道防腐层,起到保护作用。回拖中准备好补口、补伤材料和器具及检漏仪,安排专人巡视管线。扩孔回拖时扭矩控制合理,如扭矩过大,会导致断杆,保证扩孔回拖顺利。回拖前应清除发送沟内异物,防止划伤防腐层;

④回拖后要检测管道出土端管段防腐及防护层,防止有贯穿损伤。回拖后管段防腐层应进行馈电测试,馈电测试方法应按照相关规范,防腐层标称电导率 λ 不大于 $200\mu\text{S}/\text{m}^2$ 、防腐层绝缘电阻 R 不小于 $5000\Omega/\text{m}^2$ 为合格;

⑤在整个回拖过程中,吊管机和吊车应全程配合,直到回拖完毕。

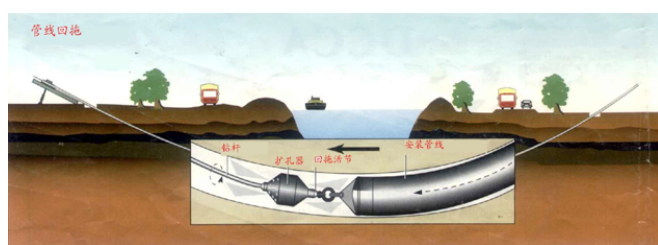


图 2 管线回拖钻孔成功

4 结语

通过对定向钻钻机合理选型,加大合理泥浆配制,多级扩孔及管道试回拖等环节的质量控制,结合地质情况提前充分考虑突发事件的影响,确保了定向钻一次回拖成功。本条定向钻的成功经验在工程后续的 8 条定向钻施工中得了充分验证和推广,对缩短施工周期,降低施工成本,环境保护等方面都有积极意义。

参考文献:

- [1] GB50424-2015. 油气输送管道穿越工程施工规范 [S]. 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2016.