

天然气管道穿越河流定向钻施工技术

陈梦佳 (杭州市城乡建设设计院股份有限公司, 浙江 杭州 310000)

摘要: 河流穿越是天然气长输管道建设中的控制性工程, 由于定向钻穿越对河道的影响较小、工期较短且安全性较高, 因此其已经成为穿越河流最常用的工艺方法。文章针对天然气管道穿越河流工程特点展开分析, 归纳定向钻施工技术优势, 同时从轨迹参数、轨迹模拟与校核方面解析定向钻轨迹设计重点, 并且针对定向钻施工技术在天然气管道穿越河流工程的实际要点研究, 以期能为类似水域穿越工程提供参考。

关键词: 天然气管道; 河流穿越; 水平定向钻; 轨迹控制; 泥浆体系

中图分类号: X322; TE832 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 006-0115-03

Directional drilling construction technology for natural gas pipeline crossing the river

Chen Mengjia, (Hangzhou Urban Construction Design Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang 310000, China)

Abstract: River crossing is a controlling project in the construction of long-distance natural gas pipelines. Since directional drilling crossing has less impact on the river channel shorter construction period and higher safety, it has become the most commonly used process method for river crossing. This paper analyzes the engineering characteristics of natural gas pipeline crossing the river, summarizes advantages of directional drilling construction technology, and analyzes the key points of directional drilling trajectory design from the aspects of trajectory parameters, trajectory simulation and verification. In view of the actual points of directional drilling construction technology in the project of natural gas pipeline crossing the river, the research is carried out in the hope of providing reference for similar water crossing projects

Keywords: natural gas pipeline; river crossing; horizontal directional drilling; trajectory control; mud system.

由于我国天然气骨干管网持续推进, 长输管道穿越江河、湖库等天然水体的情况越来越多, 水平定向钻技术因无需阻断河道水流、不影响通航和对岸线生态环境干扰小等优点, 成为目前大中型河流穿越优选施工方法。目前, 该技术在长江、黄河、珠江等多个重要水系工程中得到广泛运用。水平定向钻, 即通过采用定向钻工艺先钻成河床下一定的孔道后, 再把预制管段回拖至孔道内实现隐蔽敷设。由于河流穿越有穿越距离长、埋深大、地层复杂等特殊性的影响, 受河水水位、河床冲淤、汛期流量变化等因素的影响, 施工难度较大, 往往会出现钻进轨迹偏差、孔壁失稳、回拖力过大等问题, 直接关系到穿跨越工程是否能顺利完成。因此, 研究水平定向钻关键技术, 通过掌控好定向钻穿越河流的施工关键点, 这对保证管道安全投运及能源输送具有重要的工程价值^[1]。

1 天然气管道穿越河流工程特点

1.1 穿越距离长、埋深要求大

天然气管道穿越大型河流时, 因河道宽度、通航净空及防洪要求等原因, 水平穿越长度一般不超过300m-1500m, 有的特大江河超过2000m, 管顶埋深应满足高于最大冲刷深度以下不少于3m的要求, 设计埋深一般在6m-15m左右。因此, 对于埋设深度大的地段, 管道穿跨越长度又长的条件下, 会对钻机、钻杆强度以及泥浆性能等提出更高的要求、并且还会由于钻具下入钻孔较长距离后会出现超长钻具挠度累

积, 会造成轨迹跑偏等情况的发生, 此时, 需要采用精准的导向系统与分段纠偏措施来保证成孔的准确性。

1.2 水文地质条件复杂多变

河流穿越的地层多数是多层交错分布的, 如存在黏土、粉砂、细砂、卵砾石或基岩等, 透水性和稳定性的差别很大; 汛期时地下水位较高, 遇到砂层容易流塑、坍塌; 遇到卵砾石层也会使钻头很快磨损、扩孔困难; 河床被流水冲刷形成部分的冲沟、沙丘或沉积凹槽等地形地貌, 造成河床的横向变化幅度很大。在水文方面, 流速变化大, 水位在一年中的不同季节变化也大; 汛期不适宜施工, 只能利用枯水期进行钻孔作业, 而高流速也容易对河床产生下切作用, 从而减少管道埋深的安全余量。

1.3 施工风险高、环保要求严

河流穿越属于高危作业, 极易出现钻孔坍塌、卡钻、回拖中断, 容易造成钻机、钻具及其他材料的损坏和项目延期, 甚至会造成泥浆泄露、管体破损污染河道水体, 破坏河水或者生态敏感区域水质。所以整个过程要严格按照泥浆配比返排、控制不冒浆进入河内; 回拖一次成功, 不可因回拖不成功而导致二次堵孔。施工行为应满足水利、航道、环保等部门的管理规定: 避免鱼汛开钻、严格执行堤线封闭的施工时间要求、不得非法破口开挖、严禁夜间施工, 并且需要采取抑尘降噪措施, 并且不能向河中废弃船舶和建筑

垃圾。从这方面看来,在高风险度和严监管的双重约束下,需要有完善的应急预案,以及绿色环保的施工方法。

2 天然气管道穿越河流定向钻施工技术优势

2.1 河道扰动小

水平定向钻施工全过程在河床下方完成,无需围堰、导流或开挖河床,不破坏原有水流状态。水面无施工平台、栈桥或大型机具,不影响自然水文过程。岸坡植被与河岸结构保持完整,避免因土方开挖引发水土流失或岸线侵蚀。对水生生物栖息环境干扰极低,适用于生态敏感区、水源保护区及鱼类洄游通道等特殊水域,满足现代工程对生态保护的严格要求。

2.2 通航影响低

施工期间河道水面不得出现临时构筑物和作业船舶长期占用,不能影响正常通航。由于无需长时间封航,避免了向海事及航道管理部门申请封航审批,也省去了封航期间布设大量导标等繁琐措施,显著减少了与相关管理部门的协调工作量。施工方可根据实际需求,自主选择合理的作业时段,尽量避开通航高峰期;必要时可安排在夜间短时封航作业,最大限度维持航道通航秩序和运输效率^[3]。

2.3 施工周期短

定向钻作业高度机械化、流程化,从导向孔钻进到管道回拖可连续实施。在地质条件适配情况下,单次穿越通常3至7天内完成,远快于沉管、顶管等工法。场地布置简单,仅需入土点与出土点作业区,无需大规模临建设施。受天气和水位波动影响较小,枯水期与平水期均可高效推进,有利于整体工程进度控制与资源统筹。

3 定向钻轨迹设计

3.1 轨迹参数确定

定向钻穿越轨迹主要取决于入土角、出土角、曲率半径、管顶埋深4个主要参数:入土角取值范围一般为 $8^{\circ} \sim 18^{\circ}$,既要保证钻孔的深度又要保证钻孔水平方向距离;出土角取值范围一般为 $6^{\circ} \sim 12^{\circ}$,避免让管道在出土段太弯曲;曲率半径应大于等于1200倍管外径,如外径1016mm的管道,设计曲率半径不得小于1219m。同时保证管顶埋深符合相关规范要求:一般情况下不应小于管径的1.5倍且不宜小于6m,大于最小冲刷线以下不少于3m,以防出现管道被流水冲出或悬空等情况,以免造成管道失效情况。

3.2 轨迹模拟与校核

轨迹设计利用专业软件建立三维空间模型,将实际地质剖面、管道规格、施工约束条件作为输入,最终形成一条完整无误的钻进路径。模拟计算重点核

查:第一,轨迹各段曲率半径是否满足管道弹性敷设的要求;第二,管道在回拖和运行状态下,其环向应力和轴向应力是否小于材料允许应力;第三,钻杆在导向和扩孔时所受的拉力和扭矩是否小于设备允许的载荷。另外基于孔壁摩擦系数、泥浆浮力、管道重量计算理论的最大回拖力,验证钻机吨位是否足够。同时为避免实际钻进过程中地层的偏移或者导向定位误差,预留0.5m~1m垂向和水平的纠偏调整余量,在现场留有纠偏的空间^[4]。

4 天然气管道穿越河流定向钻施工关键技术分析

4.1.1 钻机就位与基准校准

天然气管道穿越河流项目建设阶段,钻机就位与基准校准属于前期工序的重点内容。一般来说,在入土点作业区域先进行钻机安装,而钻机的地面采用混凝土进行硬化,以保证钻机设备在施工时不会形成位移或是产生沉降的情况。而在导向系统选择中多以陀螺仪或有线随钻测斜仪为测量方式,需要注意的是在穿越密集钢筋位置或是金属管线位置区域时,避免磁性探头受干扰。首根钻杆下钻时严格按设计入土角控制,误差不超过 $\pm 0.5^{\circ}$,作为后续钻进的初始基准。

4.1.2 导向孔钻进

导向孔钻进采用“钻进→测量→纠偏”的循环作业模式^[5]。每进尺2~3m停泥浆泵1次,使用导向孔探测器(包括深度探头、倾角和方位角探头)测量上一次钻孔钻进后的顶驱下端距离,然后根据测量数据与设计轨迹的偏差值判断是否要纠偏,如需纠偏,则通过更改钻头工具面向角度纠偏,调整角度范围小于 2° ,以防轨迹突变,形成不可挽回的不良后果。对于砂层或者软土层应降低钻进速度至1~2m/min,若是排屑不畅会容易造成超挖或者塌孔,在卵砾石层或者硬土层则降低转速加大钻压力,以减小钻头冲击磨损程度。

4.1.3 泥浆性能控制

天然气管道穿越河流施工时,泥浆的配置是让定向钻得到软化的基础材料。所以,在河流穿越段的泥浆要保持高造壁性、低滤失量、大悬浮能力。一般而言,泥浆的基础配比按照表1的要求进行。

表1 泥浆材料配比

材料名称	掺量(占水比例)
聚合物(PHPPA)	0.3%-0.5%
钠基膨润土	2%-4%
降滤失剂	0.1%-0.2%

值得注意的是在天然气管道穿越河流施工中,须

安排专门的工作人员做好不同类型指标的控制,确保泥浆马氏漏斗粘度为 45 ~ 60s, API 滤失量 < 15mL/(30min), 保持孔道洁净稳定。

4.2 扩孔作业

4.2.1 扩孔级数与钻具选择

扩孔级数根据管道外径和地层条件确定,一般选择逐级扩大的方法,一般不宜一次扩度过大而导致孔壁失稳。D1016mm 管道一般为五级扩孔,各级扩孔器的尺寸分别为 $\Phi 311\text{mm}$ 、 $\Phi 445\text{mm}$ 、 $\Phi 660\text{mm}$ 、 $\Phi 813\text{mm}$ 和 $\Phi 914\text{mm}$ 。首级扩孔的扩孔器多为桶式扩孔器,这种扩孔器的优点是结构简单,导向性好,适用于首次成孔;以后各级可根据地层情况进行换钻,在硬岩或卵石层采用镶齿牙轮扩孔器,耐磨、破岩能力强;在黏土、粉质土等软土地层中可采用流线型飞旋式扩孔器,减小切削阻力,防止泥包,同时各扩孔器上都安装有保径条,以保证孔径均匀,防止缩颈。

4.2.2 扩孔参数控制

钻扩孔时控制好钻进速度和泥浆泵量,在钻扩过程将钻进速度控制在 2 ~ 5m/min 之间,过快会破坏孔壁稳定,过慢也影响进度。泥浆泵量按环空返速不小于 0.8m/s 进行配比,以保证岩屑得到良好的携带。完成一级扩孔后,使用洗孔作业,循环泥浆至返出岩屑颗粒 $\leq 2\text{mm}$ 后证明孔内沉渣已清干净;根据施工过程中实时监控到的扭矩和泵压的变化值判断是否出现扩孔施工异常现象:如果扭矩突然变大或者泵压发生剧烈变化,则说明可能存在孔壁塌陷、掉块等情况,应立即停机扩孔,注入高粘度泥浆(马氏漏斗粘度大于 80s)封堵和护壁。最后一级扩孔完成后需要按照“清孔”要求,使用高排量泥浆进行长时间循环清孔,目的是清理孔底沉渣,保证管道回拖有一个干净、稳定孔道。

4.3 管道回拖

4.3.1 管道预制

穿越管段的设置主要是在出土侧施工区域的空顶进行预制,预制阶段中一般选择使用自动焊接或者手动焊接的互补工艺实现对接。当防腐层位置完成施工以后,则进行电火花检漏,避免出现孔缺陷。为控制管道在孔道中的位置,避免因浮力作用上浮贴附孔顶造成回拖阻力剧增,回拖前向管内注入清水进行配重。注水量根据泥浆密度计算,使管道整体平均密度控制在 1.1 至 1.2g/cm³ 之间,略高于孔内泥浆密度,实现中性偏负浮力状态。管端安装锥形回拖头,其前端设牵引耳板,内部集成橡胶密封塞,防止回拖过程中泥浆渗入管腔,污染内壁或增加清管难度。

4.3.2 回拖施工

天然气管道穿越河流工程施工阶段,回拖施工属

于重点工序,在回拖施工时宜采用连续匀速的方法进行施工,回拖速度控制在 0.5 m/min ~ 1.5m/min 之间。值得注意的是不能采用

时启时停的方式,以免产生冲击载荷,影响摩阻数据准确性。回托施工时安排施工人员采用施工中的钻机扭矩、泥浆返出流量、泵压、回拖位移等相关施工参数,并且记录到信息系统当中,以便在后续工程需要进行参数核对时能够及时对应。天然气管道穿越河流施工阶段,当回拖施工进入到关键时间点,此时可通过监测系统观察拖力短时间,若监测系统提示回拖力短时间内突增超过计算值的 1.2 倍时,需要马上停止牵引作业,启动钻机反向低速旋转,并加大泥浆泵排量将孔内泥浆排放出去,利用“送泥→旋转→轻拉”的组合动作将卡阻的岩屑或局部缩颈松动。在回拖力回落到合理范围后缓缓回复牵引。针对穿越长度大于 800m 的穿越长距离工程,在入土端开口挖设发送沟,沟底按照管子曲率半径做,沟内每 3~5m 设置一组弧形滚轮支架。

5 结语

天然气管道穿越河流工程建设过程中,定向钻施工是技术集成度高、控制要求严格的大工程。天然气管道穿越河流定向钻施工的成败,取决于是否能够正确掌握河道水文地质情况、合理确定穿越轨迹、选择合理的扩孔级数及钻具配套等关键参数。从现有工程实践来看,只有在导向钻进、多级扩孔和管道回拖过程中,严格遵守相关技术参数,加强检测,及时纠偏,才能保证长距离、大埋深穿越的安全顺利完工。

参考文献:

- [1] 王杉. 天然气长输管道河流穿越设计要点分析 [J]. 化学工程与装备, 2020,(07):41-42.
- [2] 黄梅丹, 于彬. 城镇天然气管道水平定向钻穿越河流施工要点 [J]. 煤气与热力, 2019,39(02):20-22+46.
- [3] 易明慧. 长输天然气管道在沉管穿越施工中的安全管控分析 [J]. 天然气与石油, 2020,38(01):108-112.
- [4] 詹泽丞, 杨梦颖, 马坤, 等. 浅谈天然气管道河流水平定向钻穿越施工技术 [J]. 石油工程建设, 2022,44(03):98-103.
- [5] 彭方超, 王晨之. 天然气管道河流穿越方案的设计研究 [J]. 石化技术, 2022,29(12):97-99.
- [6] 刘岩松, 梁丹丹. 浅析天然气管道穿越中小型河流设计方案及防洪评价 [J]. 治淮, 2024,(12):77-78.

作者简介:

陈梦佳 (1998-), 女, 汉族, 浙江诸暨人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 天然气管道设计。