

# 特殊地质条件下的大口径管道 定向钻穿越施工技术

王海, 刘冬梅, 张兴洲

(中国石油天然气管道局穿越公司, 河北廊坊 065001)

**摘要:** 陕京二线输气管道定向钻穿越永定河工程的特点是, 地层松散, 含水量低, 黏结性差, 定向钻穿越时易冒浆, 不易成孔, 砂层易形成沉砂包钻; 加之穿越管径大, 扩孔级数较多, 对地层的冲击扰动较大, 增加了塌孔的可能性, 施工难度很大。针对这些情况采取了多种措施, 保证了穿越一次成功。文章介绍了这次施工中出现的問題及其应对措施, 总结了特殊地质条件下大口径管道定向钻穿越施工的体会。

**关键词:** 大口径管道; 定向钻; 穿越; 施工技术

**中图分类号:** TE973.4    **文献标识码:** B    **文章编号:** 1001-2206 (2006) 01-0047-03

近年来, 随着天然气工业的发展, 管道建设项目日益增多, 定向钻穿越也越来越多地应用于管道施工中, 但在施工中不可避免地遇到这样那样的问题, 下面以陕京二线永定河定向钻穿越工程为例, 介绍在比较复杂的地质条件下大口径管道定向钻穿越的施工方法。

## 1 工程简介

陕京二线输气管道工程是继西气东输管道工程之后又一条连接我国东西部地区的能源输送大动脉。管道西起长庆气区榆林首站, 东止北京市大兴区末站, 自西向东途经陕、晋、冀、京三省一市。永定河属大型河流, 是陕京二线大型定向钻穿越工程中最长的河流, 穿越水平长度 1 317.8 m, 实长 1 321.4 m, 是迄今为止国内相同管径穿越距离最长的工程; 穿越入土角  $9^\circ$ , 出土角  $5^\circ$ , 曲率半径  $1\,500 D_N$ ; 穿越管道为直缝埋弧焊 (UOE) 钢管, 规格为  $D1\,016\text{ mm} \times 21.0\text{ mm}$ , 材质为 X70。

## 2 穿越地质情况

永定河穿越断面地层情况见表 1。根据上述地质情况分析, 约有 880 m 长的管道位于中砂层中, 同时因河北地区近 20 年来干旱少雨, 形成天然地下漏斗, 含水量低, 地层松散, 地层黏结性差, 定向钻穿越时易冒浆, 不易成孔, 砂层易形成沉砂包钻; 加之穿越管径大, 扩孔级数较多, 对地层的冲击扰动较大, 增加了塌孔的可能性, 施工难度很大。针对这些情况, 我们采取了多种措施, 保证了穿越一次成功。

## 3 施工应对措施

(1) 首先从设备上把关, 对所用施工设备进行全面检修, 同时对所有钻具进行无损探伤检测, 保证钻进过程中设备、机具性能可靠。

(2) 进行方案论证, 根据设计提供的参数和现场踏勘情况, 由技术人员提出具体的实施方案, 经过专家组论证, 决定先按正常方法施工, 并制

到了德国料仓公司代表、业主和监理公司等各方的好评。

**作者简介:** 潘越 (1973-), 男, 江苏沛县人, 工程师, 毕业于西安石油学院机械工程系化工机械专业, 现在秦皇岛项目部担任项目总工程师。

**收稿日期:** 2005-09-19

在料仓基础混凝土浇注完成后, 经过对 840 个预埋螺栓套筒的坐标和标高进行实际测量, 结果除 3 根螺栓套筒坐标偏差为 4 mm 以外, 其他螺栓套筒全部符合设计要求, 标高误差也全部控制在 6 mm 以内。

通过周密的前期策划和精心施工, 预埋螺栓套筒施工达到了预期效果, 满足了设计要求, 得

表 1 穿越地质情况

地层 编号	地质状况	性状描述
1	粉砂	松散, 稍湿
2	粉土	稍密, 稍湿, 土质不均匀, 散粒结构, 局部近粉砂, 韧性低, 干强度低, 摇振反应迅速
3	粉质黏土	可塑, 土质较均匀, 干强度中等, 韧性中等
4	粉土	中密, 稍湿, 土质不太均匀, 散粒结构, 局部近粉砂, 摇振反应迅速
	粉质黏土	可塑, 土质较均匀, 絮状结构, 干强度中等, 韧性中等, 无摇振反应
5	粉质黏土	可塑, 土质较均匀, 絮状结构, 局部近黏土, 韧性较高, 无摇振反应
	粉土	中密, 稍湿, 土质不太均匀, 散粒结构, 局部近粉砂, 摇振反应迅速
	粉土	中密, 湿, 土质不太均匀, 散粒结构, 局部近粉砂, 干强度低, 韧性低, 摇振反应迅速
6	中砂	中密, 湿, 该层上部近细砂

订应急措施。

(3) 为了降低穿越过程中大部分管道经过 800 余米砂层带来的塌孔、冒浆、包钻的风险, 我们在满足穿越埋深的前提下, 提出施工变更, 经设计单位、业主同意后将穿越深度抬高了 8.8 m; 变更后穿越经过的地层主要为粉土、粉质黏土, 但管道仍要经过长约 300 m 的中砂层。

(4) 针对砂质较细、易出现沉砂包钻问题, 以及土质松软易使地层裂纹增大、冒浆量增多等问题, 采取了以下措施:

a、对原扩孔器的切削刀头进行改进, 提高其切削性能, 减小泥浆喷出压力, 使其更加有利于扩孔器前后部位喷出泥浆的流动。

b、减少扩孔次数, 增加扩孔级差, 以减小扩孔过程中泥浆和扩孔器对地层的扰动, 又可保证扩孔半径, 为后续的回拖作好准备; 增加一次洗孔, 洗出钻屑, 使孔壁顺畅; 同时利用泥浆的护壁性能, 避免钻孔塌陷, 包住钻杆。

c、根据地层调整扩孔速度, 适度降低泥浆的黏度, 避免冒浆再度增加。

4 几点体会

4.1 充分的前期准备

定向钻施工是一个连续作业的过程, 如果设备出现问题将导致施工停顿, 其风险不可预见, 对施工设备进行彻底检修, 保证设备性能可靠十分必要; 钻具性能要求严格, 施工前应对钻具(钻杆、短节、扩孔器等)进行严格探伤检验, 不

得抱侥幸心理, 保证钻进过程中机具性能可靠。场地布置应井然有序, 科学合理, 以保证施工中车辆进出方便, 材料供应及时, 人员视野清晰, 信号传递畅通。作业人员应全面系统地了解施工工艺, 尤其关键岗位人员对工程的地质情况、相关工序衔接要了如指掌, 作到心中有数, 才能在实际发生紧急情况时从容应对。

4.2 科学、合理地变更工程设计, 是避开穿越风险的可行措施

变更工程设计要科学、合理、不影响工程质量并符合管道的各项技术质量要求, 这样既可以减小施工风险, 又能节约施工成本, 对建设方和施工方是双赢之举。在永定河施工中, 穿越曲线经过黏土、粉质黏土、粉土、中砂层, 其中原设计曲线有 880 多米经过中砂层, 管线水平段地下埋深平均为 25.5 m, 而中砂层到管底设计标高厚度在 6.5~9.5 m, 经过变更将最大埋深提高 8 m, 使得管道在中砂层的长度减少到约 300 m, 既保证了管道在河底埋深超过 10 m 的要求, 又降低了施工风险。但是因为河北近 20 年来一直干旱, 形成天然漏斗, 地层严重缺水, 土质比较松散, 渗透性增强, 同时因为粉土、粉质黏土本身可塑性差, 在施工中因泥浆压力冲击, 容易冒浆, 又给施工带来另外一个难题。经比较两者的可操作性, 变更设计的优点相对较多, 我们首选变更设计。

4.3 在长距离、大口径管道定向钻穿越中, 尽量减小地磁等外界干扰

因穿越距离较长, 开始时微小的误差将会造成最终较大的偏差, 使得工程质量不能保证。所以导向孔开始钻进时控向参数的调整十分重要。如果管道中心线附近有大型光缆、电缆、钢铁构筑物、并行管道、连续车流等易产生磁场的设施, 都将会造成地磁偏角测量不准, 反馈信号产生误差, 甚至失真, 影响施工质量。将这些外界干扰减到最小甚至消除, 对控向参数的设定十分关键。目前最好的方法是在穿越中心线附近布置线圈, 形成人工磁场。线圈通电后形成稳定的磁场, 可相对减弱外界磁场的干扰; 如果现场条件不允许, 可以先试钻一段距离, 在埋深不大的情况下, 通过地面的振动测定反馈数据和实际结果的偏差, 从而计算出每根钻杆的偏差量, 在实际施工中随时校正, 以保证施工质量, 提高一次穿越成功的

几率。地面信标系统已经在导向孔钻进中普遍应用，与人工磁场有机结合大大提高了控向精度，永定河穿越施工就成功地应用了这两者的结合。

4.4 导向孔钻进是定向钻穿越能否成功的关键工序

因为穿越管道距离较长（1 321.4 m），管径大（D1 016 mm），管壁厚（21 mm/26.2 mm），焊接成型之后重量很大，要使它沿着一定的曲线移动而又不损坏外防腐层，导向孔成孔必须光滑，过渡圆整。这就要求在钻进过程中严格控制每根钻杆的弯曲角度（在钻头入土角确定的情况下，此角度由设计提供），使每根钻杆弯曲角度均匀，保证曲线的曲率半径大于 1 500D，至少应大于 1 200D，永定河穿越要求曲率半径为 1 500D。只有这样才能保证成品管道回拖时挠曲均匀，周向剪切力较小，减小连接元件被剪断的可能性。

此过程泥浆的主要功能是降低钻头温度（在岩石地层钻进中这一点尤为重要，否则易引起卡钻、包钻事故）、润滑钻头、带走切削岩屑（在黏土、粉质黏土等地层中此功能削弱），所以要求泥浆的流动、润滑性能良好。在土质地层中泥浆的回收利用率很低，大部分泥浆都流入地层中，在岩石地层泥浆的回收率则相当高。这个过程要求控向技术人员严密注视仪表反馈参数，根据不同的地层对钻进速度和钻头角度作出调整，泥浆工程师根据不同的地层对泥浆的用量、压力、性能进行合理供给。永定河穿越中，曲线水平段基本沿着粉质黏土和中砂界面前行，因为中砂位于下层，加上泥浆的合理使用，导向孔钻进比较成功。

4.5 预扩孔作业是管道能否成功回拖的关键工序

导向孔钻进成功后，开始逐级扩孔，根据不同的地层选择合理的扩孔器十分重要。对永定河穿越而言，因中砂不易成孔，易塌陷包钻，所以我们使用切削半径较大的扩孔器，以利用泥浆的冲刷、固壁、润滑及扩孔器后部对孔壁的挤压作用使孔径比较稳固。但是在实际施工中，二级扩孔之后还是出现了钻机扭矩突然增大的情况，我们根据返浆情况判断，是由塌陷包钻所致，为此我们又采取了小一级扩孔器洗孔的措施，以增加孔壁稳固性，及时缓解了钻机扭矩较大的问题，扩孔顺利进行。随着扩孔直径增大，经过 3 级扩孔、2 级洗孔后，部分地段冒浆严重，为解决这个问题，我们分析了图 1 所示两种扩孔器的利弊，

认为：一型扩孔器切削半径小，切削刀头周围泥浆喷嘴类似高压喷头，喷出的泥浆压力大，在这种特殊的松软地层中冒浆量较大；二型扩孔器切削半径大，切削刀头后部喷出的泥浆压力小，主要作用是润滑固壁，采用这种扩孔器应该能够缓解冒浆现象。我们及时换用了二型扩孔器，果然达到了预期的效果，减少了冒浆量。因为扩出孔径较大，距离长，如果搁置时间长，塌孔可能性会增大，必须缩短施工周期，所以我们采取了增大扩孔器级差，减少扩孔次数的措施，由预计 7 级扩孔减为 5 级。顺利完成了扩孔作业。

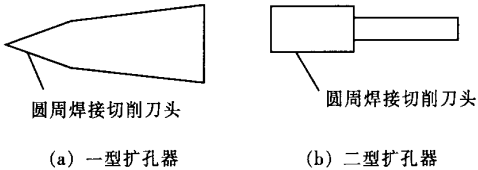


图 1 扩孔器

4.6 管道回拖是衡量工程能否成功的惟一指标

扩孔作业完成后开始挂管回拖，回拖前和回拖过程中要严格检查管道的外防腐层，保证质量良好；同时检查各个连接部位是否牢固可靠，旋转部件是否灵活，发现问题及时处理。大口径管道多采用漂管回拖，造成管子浮力超过自重，产生切向应力，此时可向管中注适量水或其他无腐蚀性溶剂，以平衡浮力，减少切向应力。回拖过程中钻机行进速度应均匀，尤其前期应缓慢，到达水平段后可根据设备参数适当加快，减少施工风险。

5 结束语

经过紧张而科学地施工，永定河穿越一举成功，创造了当时国内同等管径穿越长度最长的先例，为以后的施工积累了经验。同时也说明在大口径、长距离的定向钻穿越中工艺的运用至关重要，科学的方案、合理的施工安排、严谨的现场管理，都是取得成功的重要保障。

参考文献：

[1] 吴益泉.定向穿越中回拖管线的力学分析[J].非开挖技术,2004,21(1):19-21.

作者简介:王海 (1963-), 男, 河北廊坊人, 高级工程师, 1983 年毕业于太原重型机械学院工程机械专业, 工程硕士, 现从事非开挖专业施工管理工作。  
收稿日期: 2005-12-06