

定向钻双曲线技术在施工中的应用

吕旭鹏 何 银 刘孔忠

中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200335

摘 要:城市管网建设过程中遇到的障碍物越来越多,造成管线铺设的空间越来越紧张。为了解决此难题,以中国海洋石油丽水气田陆管 36-1 管道瓯江路穿越项目为例,通过采用水平定向钻双曲线(叠加曲线)施工技术,实现了有限空间多次水平转角的施工,并分析了施工关键技术点和风险,提出了应对方案。

关键词:倾斜角;水平方位角;导向孔;扩孔;回拖

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2017.03.003

Application of Directional Drilling Hyperbolic Technology to Construction

Lü Xupeng, He Yin, Liu Kongzhong

CNOOC (China) Shanghai Company, Shanghai, 200335, China

Abstract: As the city pipeline network encounters more obstacles during construction phase, pipeline laying is inadequate of space. To resolve the above problem, in which case of Oujiang Road crossing project of CNOOC Lishui 36-1 Gas Field Land Pipeline was illustrated, horizontal azimuth angle was repeatedly constructed in confined space by using hyperbola construction technique (superimposed curve) of horizontal directional drilling. This paper proposes the solutions and provides new idea of pipeline laying under limited site condition.

Keywords: Inclination angle; Horizontal azimuth angle; Pilot hole; Reaming; Pull-back

0 前言

随着我国城市建设的不断完善,城市管网建设环境日趋复杂。规范要求城市管线应与建筑物、构筑物、铁路、公路、航道、港口、市政设施、军事设施、电缆、光缆等保持一定的安全距离,这使城市管网铺设作业空间越来越小,深入研究和探讨管道在有限空间内的铺设技术有重要意义。20 世纪 80 年代,在管道施工领域作为非开挖施工技术佼佼者的水平定向钻传到了中国^[1-3]。90 年代后期开始,定向钻技术在中国得到了突飞猛进的发

展^[4],多种类型的管线在穿越各种形式的障碍物时都采用了水平定向钻技术,定向钻技术在城市管网安装工程中也得到越来越多的应用^[5]。本文结合中国海洋石油丽水气田陆管 36-1 管道瓯江路穿越工程实例,从施工角度介绍了受场地和管位规划限制条件下的定向钻双曲线施工技术,该施工技术可供类似工程借鉴参考。

1 定向钻双曲线技术施工种类

定向钻双曲线技术即定向钻立体穿越技术。一般的定向钻施工是在确定一个水平方位角的前提下,通过

收稿日期:2016-12-08

基金项目:中国海洋石油“丽水 36-1 气田开发工程陆地 3 公里站外管道铺设”(CCL-2014-LSPS-0086-PMT)

作者简介:吕旭鹏(1980-),男,山东阳谷人,高级工程师,工程硕士,主要从事海洋工程及管道铺设等方面的工作。

对一定曲率半径倾斜角的调整过程来完成穿越施工。但在一些特定的条件下,穿越中心线不是一条直线,即水平方位角是不确定的或一个穿越需要至少两个水平方位角,在这种情况下进行穿越不仅要对倾斜角进行调整,还要时刻关注水平方位角的变化,这就是定向钻双曲线施工技术。定向钻双曲线施工技术主要应用在出现水平方位角调整的穿越施工中,具体有以下几种情况:

1) 整个穿越主要有一个方位。在整个穿越的某一段进行双曲线施工,对水平方位角进行调整,在双曲线段的尾部,再将水平方位角调回到中心线方位角。主要适合穿越中间需要绕开一个或多个障碍物时的情况,见图1。

2) 整个穿越主要有两个或多个方位。这种情况需要在两个或多个方位角之间进行转换,即在穿越的某一段进行双曲线施工,将水平方位角调整为另一个数值,双曲线段施工过程中,不再将水平方位角调回到原有数值。主要适合于穿越中心线上不可避免地出现转点时的情况,见图2。

3) 整个穿越无固定方位。由于线路规划的限制,管线以弧线形式穿越障碍物,即穿越的水平方位角是不固定的,这里的弧线必须满足管线的曲率半径,见图3。随着城市建设的不断发展,此类双曲线穿越施工越来越多地出现在管道建设工程中。



图1 一个方位穿越示意图



图2 两个方位或多个方位穿越示意图

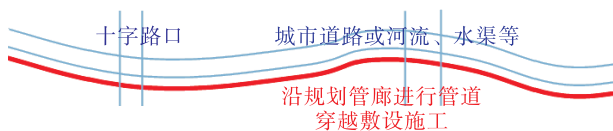


图3 无固定方位穿越示意图

2 定向钻双曲线技术的施工方法

定向钻双曲线施工技术与一般的定向钻穿越技术相比,施工难度显著增加。一般的定向钻穿越施工,在进行倾斜角调整的同时仅是对水平方位角进行微调,使穿越不致偏离中心线;而进行双曲线施工作业时,在对倾斜角进行调整的同时,还要依据曲率半径进行水平方位角的数值调整,倾斜角和方位角处于同等地位,任何一个角度的调整达不到要求,就无法完成穿越施工。定

向钻双曲线技术施工一般采用以下方法:

1) 转化为单曲线的施工方法。一般定向钻施工垂直方向曲线由入土侧斜线段、中间水平直线段和出土侧斜线段组成^[6]。双曲线施工难度较大,在实际操作时可将方位角的调整曲线安排到中间水平直线段进行,即在倾斜角不进行调整的施工阶段来完成方位角的调整,从而把双曲线的施工作业转化为单曲线的施工。根据施工的特点和实际施工经验,把双曲线转化为单曲线首先考虑中间水平直线段,其次是出土端斜线段,最后是入土端斜线段。例如在图2所示的情况下,为了减小方位角变化引起的水平位移偏移,首先应考虑出土端斜线段,其次是中间水平段和入土端斜线段。

2) 对于无法在穿越直线段完成双曲线施工的定向钻作业,在进行角度调整时,一般也倾向于单角度调整,即在某一段(如1/3钻杆长度)进行倾斜角的调整,而在紧连的下一段进行方位角的调整。只有经验丰富的穿越工程师才可以同时进行两个角度的调整,两个角度同时调整时,调整量的立体叠加即综合调整量应满足原穿越曲线曲率半径的1.2倍以上,以保证穿越曲线的平滑,成功地进行穿越施工^[7-9]。

每根钻杆调整角度公式为:

$$\alpha = \frac{L \times 180}{\pi R} \quad (1)$$

式中: α 为每根钻杆调整角度, $^{\circ}$; L 为每根钻杆长度,m; R 为曲率半径,m。

3 定向钻双曲线施工注意事项

定向钻双曲线施工技术能够解决管道在有限空间绕行障碍物的铺设难题,但不同管径、不同调整量的双曲线施工都会有不同的风险,一些风险很大的工程不宜采用定向钻双曲线技术进行施工。比如穿越长度不能满足双曲线曲率半径要求的,应该增加穿越长度后再进行施工或改变管位进行施工。另外在施工时还需注意:

1) 进行定向钻双曲线施工时首先要注意满足曲率半径的要求,尤其在进行大口径管线穿越施工时,不符合曲率半径的穿越会给施工造成意想不到的损失^[10-12]。

2) 进行定向钻双曲线施工时还要注意双曲线的负面效果,即水平位移偏差,要在施工前认真计算各个阶段的角度变化所引起的位移偏移量和偏移方向^[13-15],要保证出土时的水平偏移量符合要求。

3) 定向钻双曲线施工不同于单曲线施工,双曲线一旦完成便很难进行二次调整,因此在进行双曲线施工时要考虑余量,为各项数据的调整预留空间,以消除不同的地质情况或一些突发事件对施工造成的不利影响^[16-19]。

4) 注意经验的积累。不同的地质、现场条件、偏移

量等,施工方法也不同^[20-22],但随着实践经验的增加,运用定向钻双曲线施工技术进行穿越会更加得心应手,同时也会给工程带来事半功倍的效果。

4 工程实例

中国海洋石油丽水气田陆管 36-1 管道瓯江路穿越是 2014 年 4 月至 6 月在浙江省温州市完成的一项高难度的定向钻双曲线穿越工程,穿越管线规格为 $\phi 323.9 \text{ mm} \times 12.7 \text{ mm} \times 65$ 直缝电阻焊钢管,采用加强级 3 LPE 防腐,穿越位于温州市龙湾区,穿越实长 2 324 m,入土角 14° ,出土角 10° ,穿越曲率半径 486 m,穿越工程的地质为淤泥质土和黏土,地层极其松软,而且出土侧有 8 m 厚的流砂层,这种地质情况极易引发缩孔和塌孔,同时在导向孔钻进过程中还会发生无法抬头和控制方向的风险。

4.1 工程难点

1) 穿越距离长。瓯江路穿越工程长度达到 2 324 m,长距离穿越钻杆推力传递困难,且采用普通的泥浆马达和无磁钻铤很难完成导向孔倾角 INC 角度的抬升作业,因此需要改进泥浆马达和无磁钻铤进行导向孔作业,避免钻进过程中倾角 INC 角度的自然降低,保证 INC 角度和方位角度 AZ 的调整。

2) 导向孔的精度要求非常高。瓯江路穿越管线两侧厂房林立,障碍物众多,城市轨道 S 1 线、沈海高速、瓯江路等都制约着导向孔的位置。导向孔施工期间要穿越沈海高速公路和城市轨道 S 1 线的 4 座桥墩,其精度要求不仅需考虑障碍物的躲避和绕行,还需考虑先穿工程为后穿工程预留空间,而且需要把偏差控制在干扰范围内,因此导向孔施工精度要求非常高,细微的偏差都会造成灾难性后果,这一穿越工程的复杂程度和难度已经超出了原有定向钻技术的覆盖范围,施工难度非常大。

3) 基准方位角定位困难。定向钻双曲线穿越施工由于水平转角不断变化,造成确定基准方位角困难,基准方位角是钻头前进的水平方位角,依靠地磁工作,受现场磁场影响大,如果无法准确确定基准方位角就很难确保导向孔的精度。瓯江路穿越工程共进行了 8 次转角,总角度达到了 48° ,陆管 36-1 管道瓯江路定向钻双曲线施工示意图见图 4。

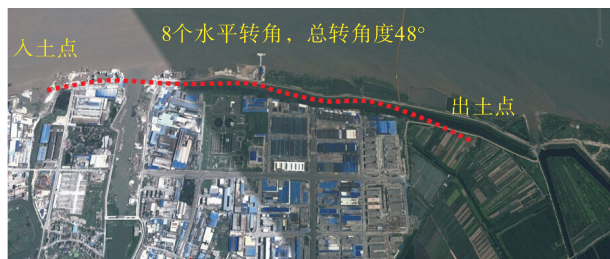


图4 陆管 36-1 管道瓯江路定向钻双曲线施工示意图

4) 交叉施工多,数据测量干扰大。导向孔作业时钻头的前进方向主要是由 INC 角和 AZ 角决定的,INC 角是钻头前进的倾斜角不受磁场影响,AZ 角是钻头前进的水平方位角,依靠地磁工作,陆管 36-1 管道瓯江路穿越工程的 AZ 角度受到周边正在施工的城市轨道 S 1 线、过江大桥等工程的强烈干扰,容易造成数据误差。

4.2 施工过程

本次穿越工程长度 2 324 m,总角度达到 48° 、共 8 次水平转角,施工难度极大。 48° 水平转角造成导向孔对接、扩孔和回拖作业困难。为解决 48° 角的水平曲线,关键是确定基准方位角,在该陆管 36-1 管道瓯江路穿越工程中采用了一种基准角简化方法,确定了一个综合偏移量最小的基准角,基准角确定信息参考数据见表 1。

表1 基准角确定信息参考数据

钻杆 序号	单根长 度/m	累计长 度/m	倾斜 角/(°)	方位 角/(°)	水平长 度/m	水平偏 差/m	标高/ m
83	9.58	856.02	90.81	136.64	838.98	-144.63	-51.64
84	9.52	865.54	91.29	137.13	848.48	-144.64	-51.58
85	9.57	875.11	91.01	137.20	858.04	-144.53	-51.58
86	9.55	884.66	90.85	137.49	867.58	-144.62	-51.66
87	9.54	894.20	90.53	138.06	877.11	-144.70	-51.76
88	9.60	903.80	89.84	138.30	886.70	-144.75	-51.84
89	9.56	913.36	89.52	139.13	896.26	-144.50	-51.86
90	9.53	922.89	89.27	139.96	905.79	-144.26	-51.84
91	9.53	932.42	89.07	140.42	915.32	-143.49	-51.50
92	9.50	941.92	89.18	141.14	924.82	-142.91	-51.44
93	9.50	951.42	89.96	141.89	934.31	-142.31	-51.31
94	9.48	960.90	89.79	142.45	943.79	-141.53	-51.13
95	9.96	970.86	89.39	143.00	953.73	-140.91	-50.97
96	9.47	980.33	90.36	143.45	963.19	-140.09	-50.69
97	9.53	989.86	90.20	144.62	972.69	-139.47	-50.62
98	9.55	999.41	89.35	145.05	982.21	-139.01	-50.51

计算可知,依据钻机就位角度作为基准方位角,按照实际的角度 48° 进行水平偏移计算,出土点的水平偏差高达 467 m,这个偏移量会给实际控向工作造成极大困难。因此在进行实际作业时进行了综合考虑,确定了一个可接受的基准方位角:根据这个基准角计算的最大水平偏移为 145 m,极大地减小了施工难度,降低了施工风险。基准方位角确定示意图,见图 5。

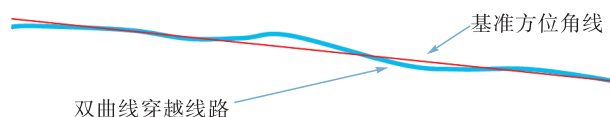


图5 基准方位角确定示意图

该穿越工程从2014年4月16日开钻,采用了定向钻双曲线施工技术和对接穿越技术,同时应用了导向孔认孔器和高精度的地面信标测量技术,解决穿越过程中各种高难度的技术问题,2014年5月9日导向孔施工一次成功,2014年5月23日管道回拖一次成功。施工曲线与设计曲线最大误差1.9 m,符合规范要求。

5 定向钻双曲线施工技术的关键技术点

中国海洋石油丽水气田陆管36-1管道瓯江路穿越工程的成功实施进一步拓展了定向钻双曲线施工技术的应用范围,为城市管网在有限空间内绕行障碍物的铺设作业提供了宝贵的施工经验,根据定向钻双曲线穿越技术在施工过程中的实际应用,总结出以下关键技术点:

1) 障碍物资料的准确性。定向钻双曲线施工技术难度大,需要绕行诸多障碍物,因此障碍物位置的准确性非常重要,没有详尽和准确的障碍物资料就进行此类施工是非常危险和不负责任的。

2) 精确的测量成果。由于无法采用通常的单方位角进行定向钻穿越施工,在穿越前就需要进行精确的测量工作,确定每个中间点的施工坐标和每个水平转角的起点、终点,精确的测量成果决定着穿越的施工质量,甚至关系到整个工程的成败。

3) 控向技术非常关键。由于存在叠加角度,定向钻双曲线穿越过程中控向技术就非常关键,控向工程师要有预判力,要预判钻进过程中钻头的前进趋势,从而在控向作业时预先动作,减轻钻头前进趋势对控向角度的影响。

4) 扩孔和管道回拖需要注意的问题。定向钻双曲线施工中会形成一条具有一个或多个水平弧线的导向孔,水平弧线会使扩孔作业产生一定的反向位移,同时管道回拖阻力也有所增加,管道在回拖过程中就会产生更大幅度的自转。因此在进行导向孔钻进作业时要充分考虑到扩孔过程中的孔洞位移,并在钻孔时预留位移空间;同时对于穿越管道回拖作业,除了采用回拖力更大的钻机设备外,还要采取稳妥的技术措施,防止管道自转幅度加大造成管道防腐层的损坏。

6 结论

通过中国海洋石油丽水陆管36-1管道瓯江路穿越工程对定向钻双曲线施工技术的实际应用效果来看,施工最大误差为1.9 m,完全满足规范要求。定向钻双曲线技术在高难度定向钻施工中的成功运用,将进一步完善和提升定向钻的施工工艺,定向钻双曲线施工技术必将在实际工程中得到广泛的应用。

参考文献:

- [1] 曾强,陈杰,亢会明,等.油气管道定向钻穿越勘察设计和施工中存在的问题及对策[J].石油工程建设,2012,38(1):29-32.
Zeng Qiang, Chen Jie, Kang Huiming, et al. The Existing Problems and Countermeasures in Oil-Gas Pipeline Directional Drilling Crossing Survey Design and Construction [J]. Petroleum Engineering Construction, 2012, 38 (1): 29-32.
- [2] 王玉洲.大口径长输管道定向钻穿越可能诱发的主要环境岩土工程问题[J].工程地质学报,2004,12(增刊1):418-420.
Wang Yuzhou. Big Caliber Pipeline Drilled through by the Direction Drill Conduces to the Main Environmental Geotechnics Problems [J]. Journal of Engineering Geology, 2004, 12 (Suppl 1): 418-420.
- [3] 陈德兴.燃气管道定向钻穿越卵石层等复杂地层的实践[J].煤气与热力,2012,32(7):25-31.
Chen Dexing. The Practice of Gas Pipeline Directional Drilling Crossing in Pebble Bed of Complex Stratum [J]. Gas & Heat, 2012, 32 (7): 25-31.
- [4] 许瑞,李永仓.浅谈非开挖定向钻技术在管道施工中的应用[J].中华民居(下旬刊),2012,(11):85-86.
Xu Rui, Li Yongcang. Introduction of Trenchless Directional Drilling Technology in the Application of Pipeline Construction [J]. China Homes, 2012, (11): 85-86.
- [5] 尚艳伟.浅析水平定向钻技术在城市管网施工中的应用及方法[J].建筑工程技术与设计,2015,(5):678.
Shang Yanwei. Analysis of Horizontal Directional Drilling Technology in the Application of City Pipe Network Construction and Method [J]. Architectural Engineering Technology and Design, 2015, (5): 678.
- [6] 刘玉宝,刘海山.油气管道连续穿越多种轨道交通线路研究[J].天然气与石油,2015,33(4):17-20.
Liu Yubao, Liu Haishan. Research of Oil & Gas Pipelines through A Variety of Rail Transit Route [J]. Natural Gas and Oil, 2015, 33 (4): 17-20.
- [7] 王勃,孙洪波,朱国承,等.PE管穿越曲率半径及长度的选择[J].天然气与石油,2012,30(2):23-26.
Wang Bo, Sun Hongbo, Zhu Guocheng, et al. Selection of the Radius of Curvature and Length in PE Crossing [J]. Natural Gas and Oil, 2012, 30 (2): 23-26.
- [8] 蔡亮学,何利民,吕宇玲,等.水平定向钻穿越方案设计方法研究[J].石油工程建设,2010,36(2):1-4.
Cai Liangxue, He Limin, Lv Yuling, et al. Research on Design Methods for Pipeline Crossing with Horizontal Directional Drilling [J]. Petroleum Engineering Construction,

- 2010, 36 (2): 1-4.
- [9] 叶文建. 水平定向钻穿越施工中的定向控制技术[J]. 非开挖技术, 2007, 24(2): 45-50.
- Ye Wenjian. Directional Control Technology in Horizontal Directional Drilling Crossing Construction [J]. Trenchless Technology, 2007, 24 (2): 45-50.
- [10] 谢剑利, 柴铁骑, 杜卫兵. 浅析带水平调整角度定向钻施工[J]. 科技通报, 2012, 28(9): 165-168.
- Xie Jianli, Chai Tieqi, Du Weibing. Analysis on Directional Drilling Construction with Horizontal Adjust Angle [J]. Bulletin of Science and Technology, 2012, 28 (9): 165-168.
- [11] 闫相祯, 丁鹏, 杨秀娟, 等. 长距离复杂地层水平定向钻穿越管道施工技术[J]. 油气储运, 2007, 26(2): 55-58.
- Yan Xiangzhen, Ding Peng, Yang Xiujuan, et al. Technology of Long Complex Stratum Horizontal Directional Drilling Crossing Pipeline Construction [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2007, 26 (2): 55-58.
- [12] 江文, 蒋宏业, 姚安林. 水平定向钻穿越施工的失效可能性研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2015, (5): 111-116.
- Jiang Wen, Jiang Hongye, Yao Anlin. Research of Failure Possibility in Horizontal Directional Drilling Crossing Construction [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2015, (5): 111-116.
- [13] 侯学瑞. 洛阳-驻马店成品油管道黄河定向钻穿越技术[J]. 天然气与石油, 2010, 28(1): 1-3.
- Hou Xuerui. Directional Drilling Technology of Luoyang-Zhumadian Products Pipeline Crossing the Yellow River [J]. Natural Gas and Oil, 2010, 28 (1): 1-3.
- [14] 王艳红. 水平定向钻穿越中减少曲线偏差的方法[J]. 江汉石油职工大学学报, 2010, 23(4): 36-38.
- Wang Yanhong. Ways to Reduce the Curve Deviation during Horizontally Directional Drilling for Pipeline Crossing [J]. Journal of Jiangnan Petroleum University of Staff and Workers, 2010, 23 (4): 36-38.
- [15] 李勤学. 定向钻穿越施工中的模糊导向技术[J]. 石油工程建设, 2001, 27(5): 21-23.
- Li Qinxue. Fuzzy Direction Control Technology of Directional Drilling Crossing Construction [J]. Petroleum Engineering Construction, 2001, 27 (5): 21-23.
- [16] 刘盛兵, 向启贵, 刘坤. 水平定向钻穿越施工及其风险控制措施探讨[J]. 石油与天然气化工, 2008, 37(4): 353-356.
- Liu Shengbing, Xiang Qigui, Liu Kun. Discussion of Horizontal Directional Drilling Crossing Construction and Risk Control Measures [J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2008, 37 (4): 353-356.
- [17] 卢垠, 骆福全. 水平定向钻穿越工程过程控制[J]. 煤气与热力, 2012, 32(2): 36-39.
- Lu Yin, Luo Fuquan. The Process Control of Horizontal Directional Drilling Crossing Engineering [J]. Gas & Heat, 2012, 32 (2): 36-39.
- [18] 尹祥, 肖炜. 空间曲线的定向钻穿越工程施工经验[J]. 煤气与热力, 2008, 28(2): 58-60.
- Yin Xiang, Xiao Wei. Experience of Directional Drilling Crossing Engineering Construction by Space Curve. [J]. Gas & Heat, 2008, 28 (2): 58-60.
- [19] 屠言辉, 苗冀清, 徐树枫. 水平定向钻穿越施工中的对接技术[J]. 石油工程建设, 2011, 37(5): 26-30.
- Tu Yanhui, Miao Jiqing, Xu Shufeng. Docking Technology in Horizontal Directional Drilling Crossing Construction [J]. Petroleum Engineering Construction, 2011, 37 (5): 26-30.
- [20] 王瑞, 王伯雄, 康健, 等. 水平定向对接穿越及导向技术研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(9): 69-71.
- Wang Rui, Wang Boxiong, Kang Jian, et al. Research on Horizontal Directional Docking and Guidance Technology [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2009, 36 (9): 69-71.
- [21] 田清泽, 明鹏, 班意. 定向钻导向孔对接技术[J]. 管道技术与设备, 2014, (3): 31-33.
- Tian Qingze, Ming Peng, Ban Yi. The Guide Hole Docking Technology of Horizontally Directional Drilling [J]. Pipeline Technique and Equipment, 2014, (3): 31-33.
- [22] 陈翔. 定向穿越控向理论与实践[J]. 中小企业管理与科技旬刊, 2016, (16): 80-81.
- Chen Xiang. Theory and Practice of Horizontal Directional Drilling Crossing Control [J]. Management & Technology of SME, 2016, (16): 80-81.