

长输油气管道曲线顶管隧道技术经济分析

赵霞^{1*}, 贾振发², 张国春¹, 张世梅¹, 邓震海¹, 陈澍²

(1. 中国石油天然气管道工程有限公司, 河北廊坊065000; 2. 中石油北京天然气管道有限公司, 北京100012; 3. 中油管道建设工程有限公司, 河北廊坊065000)

摘要:根据长输油气管道成功应用曲线顶管隧道穿越案例,从技术、经济方面论述曲线顶管隧道和直线顶管隧道的差异分析,得出2种方式的投资差额,进而对曲线顶管隧道和直线顶管隧道的优缺点进行了综合分析。

关键词:曲线顶管隧道; 直线顶管隧道; 费用构成; 投资对比分析

中图分类号: TE832.9

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2017)03-0215-04

DOI: 10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2017.03.053

Economic analysis of curved pipe jacking tunnel technology for long-distance oil and gas pipeline

ZHAO Xia^{1*}, JIA Zhen-fa², ZHANG Guo-chun¹, ZHANG Shi-mei¹, DENG Zhen-hai¹, CHEN Shu²

(1. China petroleum Pipeline Engineering Co., Ltd., Langfang 065000, China;

2. Petrochina Beijing gas pipeline Co., Ltd., Beijing 100012, China;

3. China Petroleum Pipeline Construction Engineering Co., Ltd., Langfang 065000, China)

Abstract: According to the successful application of curve-crossing tunnel in long-distance oil and gas pipeline, the differences between the curve-top pipe tunnel and the straight-pipe tunnel are analyzed from the technical and economic aspects. The investment difference in two ways is also obtained. The advantages and disadvantages of the pipe jacking are further discussed.

Key words: curved pipe jacking; straight pipe jacking; cost composition; investment analysis

顶管施工是继盾构施工之后发展起来的一项地下管道施工技术,在施工作业场地狭小的工况下得到了广泛应用。顶管施工是在不开挖面层、不破坏地表、地貌及周边环境的情况下,实现穿越公路、铁路、河流、地面建筑物及各种地下构筑物的施工方法^[1]。地质条件符合时,顶管隧道与盾构隧道穿越相比,具有单位造价低、工期短的优势。顶管隧道一般有直线顶管和曲线顶管2种施工方式,当隧道埋深较深时,采用直线顶管隧道施工,工作井和接收井深度随之加深,导致穿越地质复杂化、施工难度增加、风险加大、造价偏高。曲线顶管施工技术可以最大限度地调整顶进坡度,大幅度降低接收井的深度,合理规避不利地质,降低掘进难度,从而确保工期,降低工程造价。

近年来,随着油气管道顶管设备和施工技术水平的发展,曲线顶管技术在长输油气管道中刚刚得到应用,并取得了成功经验,卓显出其技术经济优势。本文中以某输气管道工程顶管隧道穿越某运河为例,介绍曲线顶管隧道和直线顶管隧道的差异,根据2种顶管隧道的差异对其投资进行对比分析,为长输油气管道曲线顶管隧道穿越工程提供参考。

1 工程概况

某河为通航河流,河道等级为三级。本次穿越与铁路连穿,两岸有国道和乡间水泥路直达,交通便利。管道穿越段地处平原区,两岸地形平坦。穿越段水面宽度90 m左右,两岸无明显大堤。穿越河段为人工开挖运河,水量固定,河道坡降平缓,流速较低,以淤积作用为主,河道的清淤深度约4 m。20年一遇洪水位基本可以达到满河槽状态,即高程为5 m左右。根据初设阶段钻探成果,运河地层岩性从上到下主要有淤泥质黏土、粉质黏土、砂砾岩。

2 穿越方式确定

目前油气管道过河常用方式有跨越和穿越2种。对于跨越方式,由于运营期需派人值守、日后运营费用偏高等特点,本工程不推荐采用跨越方式。对于穿越方式,目前常用的有开挖、定向钻、顶管隧道、盾构隧道等。本工程所穿河流为通航河流,不允许采用开挖穿越。由于和铁路一并穿越,铁路管理部门不允许采用定向钻穿越。盾构隧道穿越由于工期长、造价高,本项目不予推荐。故本工程推荐采用顶管隧道方式穿越。

根据目前顶管的施工技术水平,存在曲线顶管穿越和直线顶管穿越 2 种方案,下面就这 2 种穿越方案进行技术经济分析,最终确定施工方案。

3 曲线顶管隧道和直线顶管隧道方案设计差异分析

3.1 直线顶管隧道穿越

3.1.1 隧道总体布置

南岸接收井设置距铁路路基约 50 m,北岸始发井选择在离主河槽 50 m 位置处。隧道从北岸始发井出发,以 0.5% 的坡度上行顶进,直至到达接收井,顶管隧道水平长 281.3 m。

3.1.2 隧道内径

顶管隧道内需布设一条 D813 mm 输气管道,根据顶管隧道施工、管道组装焊接、安装等施工工艺,顶管隧道采用内径 D2.2 m 钢筋混凝土管。

3.1.3 隧道埋深

《油气输送管道工程水域顶管法隧道穿越设计规范》SY/T 7022—2014 要求,隧道上部所需覆土层的最小厚度应大于 2 倍隧道外径,且设计洪水冲刷线下 1.5 倍隧道外径,并符合隧道抗浮要求^[2]。根据勘察资料,河床最低点处清淤后高程为 -3.19 m,该点隧道中心高程为 -8.47 m,故隧道埋深为清淤线下 3.96 m。

3.1.4 始发井、接收井

始发井主要用于下放顶管设备及输气管道、光缆、排渣出口、运送顶进管及上下人员之用,选择始发井内径为 12 m。接收井需满足顶管设备撤离的需求,选择接收基坑内径为 8 m^[1]。

根据隧道埋深的要求,始发井深度为 18.8 m;接收井深度为 16.6 m。

始发井、接收井均采用沉井法施工。

3.1.5 中继间设置

中继站的设置应符合下列要求:对于顶管长度大于 100 m 的穿越工程,宜增设中继站,以降低施工风险。应根据估算分段总顶力、管材允许顶力、工作基坑允许顶力和主顶千斤顶的顶力四者比较确定,应取最小值作为中继站控制顶力;第一道中继站离顶管机机头的距离不宜大于 30 m;中继站顶力裕量不宜小于 40%。中继站结构应符合顶进的刚度要求和密封要求。中继站拆除后应将间体复原成隧道,原中继站处的管强度和防腐性能应符合隧道原设计功能要求。长距离顶管的中继站应采取措施联动控制。本方案设置 3 个中继间。

3.1.6 穿越地层

地层从上到下分别为淤泥质黏土、粉质黏土、砂砾岩。顶管隧道在接收井一侧需要穿越砂砾岩,顶管隧道穿越纵断设计见图 1。

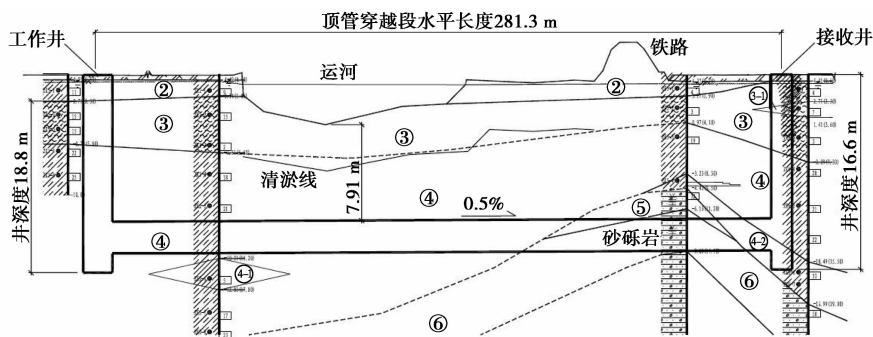


图 1 直线顶管隧道穿越纵断面图

(上接第 214 页)

对油罐区数据通信传输模块进行重点设计必不可少,只有保证监测数据的真实性才可保证消防系统应急预案的合理性。

3 结语

前些年,我国在秦皇岛、锦西等地都发生了大型火灾爆炸事故,对社会造成了不可估量的损失。在近几年的努力下,油罐区安全事故已大幅度减少,但还是偶有发生。因此,油罐区消防安全监控系统的

合理设计仍是重中之重。在油罐区消防安全监控系统中,应保证数据的准确性,才可保证消防安全应急预案的合理性。只有这样,才能降低油罐区发生安全事故的可能性。

参考文献

- [1] 陈南. 石油化工储罐区火灾探测报警及远程灭火联动控制系统研究[J]. 消防科学与技术, 2004, 23(1): 80-82.
- [2] 方奎. 化学事故及其预防[J]. 华北科技学院学报, 2001, (3): 24-26. ■

3.2 曲线顶管隧道穿越

曲线顶管隧道穿越时,始发井、接收井的位置和内径以及隧道内径与直线顶管隧道相同,并有以下不同。

3.2.1 隧道总体布置

隧道从北岸始发井出发,以10%的坡度下行顶进,在河床底达到最低高程,然后以10%的坡度上行顶进,直至到达接收井,顶管隧道水平长281.3 m。

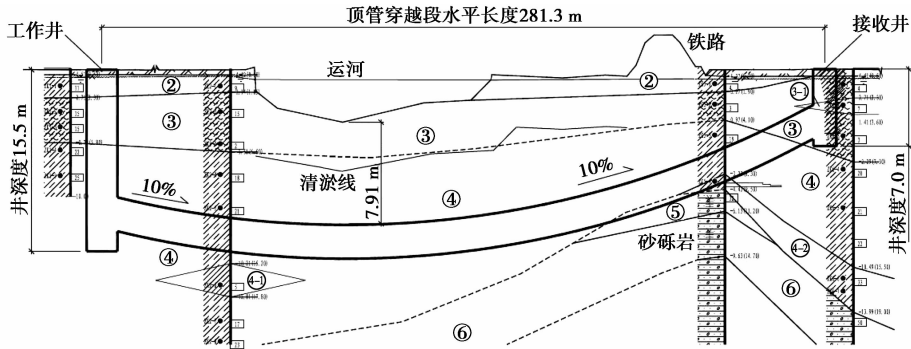


图2 曲线顶管隧道穿越纵断面图

将曲线顶管隧道穿越设计方案和直线顶管隧道穿越设计方案进行对比,见表1。

表1 曲线顶管隧道与直线顶管隧道差异分析对比表

| 设计内容 | 具体指标 | 曲线顶管隧道 | 直线顶管隧道 |
|---------|-----------------|---------|---------|
| 工作井 | 直径 | 12 m | 12 m |
| | 深度 | 15.5 m | 18.8 m |
| 接收井 | 直径 | 8 m | 8 m |
| | 深度 | 7.0 m | 16.60 m |
| 穿越地层 | | 黏土层 | 黏土层和砾砂岩 |
| 顶管掘进 | 封闭式顶进坡度 | 10% | 0.50% |
| | 封闭式顶进长度 | 281.7 m | 281.3 m |
| | 中继间数量 | 4个 | 3个 |
| 管材及防腐保温 | 管段长度 | 312.3 m | 321.3 m |
| | 热煨弯头数量 | 2个 | 4个 |
| 管道安装 | 热煨弯头运输 | 2个 | 4个 |
| | 热煨弯头安装 | 2个 | 4个 |
| | 隧道垂直段组装 焊接长度 | 22.5 m | 34.6 m |

通过2种穿越设计方案对比可以看出:曲线顶管隧道工作井的深度比直线顶管隧道的浅3.3 m,接收井的深度浅9.6 m;曲线顶管隧道穿越地层均为黏土层,全部避开了砾砂岩,直线顶管隧道穿越地层还存在砾砂岩;曲线顶管隧道穿越封闭式顶进由

3.2.2 工作井、接收井

根据隧道内管道安装要求,隧道曲率半径为1 800 m,隧道穿越实长为281.7 m。根据隧道埋深的要求,始发井深度为15.5 m;接收井深度为7.0 m。

3.2.3 中继间设置

本方案设置4个中继间。

3.2.4 穿越地层

顶管隧道全部在黏土层穿越,曲线顶管隧道纵断面设计方案见图2。

于10%的坡度,长度比直线顶管隧道长0.4 m;曲线顶管隧道穿越由于接收井浅、坡度缓,比直线顶管隧道减少2个热煨弯头;曲线顶管隧道工作井、接收井深度变浅,需垂直组装焊接的长度减少12.1 m。

4 曲线顶管隧道和直线顶管隧道方案投资对比分析

顶管隧道穿越费用由工作井(始发井)、接收井、顶管掘进、管材及防腐保温费、管道安装6大部分构成。

工作井(始发井)费用包含基坑开挖回填、钢筋混凝土井筒、钢筋混凝土底板、素混凝土封底、止水措施、钢梯制作安装。

接收井费用包含基坑开挖回填、钢筋混凝土井筒、钢筋混凝土底板、素混凝土封底、止水措施、钢梯制作安装。

顶管掘进费用包含封闭式顶进、中继间安拆、管道滚轮支座安拆、大型机械进出场费。

管材及防腐保温费包含直管段管材费、热煨弯头管材费。

管道安装包含管段运输、管段组装焊接、管道清管试压、干燥及氮气置换、线路附属工程、无损检测。

根据曲线顶管隧道与直线顶管隧道差异分析,通过计算得出投资对比表,见表2。

表 2 曲线顶管隧道与直线顶管隧道投资对比表

| 差异内容 | 曲线顶管隧道/ 万元 | 直线顶管隧道/ 万元 | 差额(曲线-直线)/ 万元 | 差额百分比/ % |
|---------|---------------|---------------|------------------|-------------|
| 工作井 | 232.50 | 282.00 | -49.50 | -17.55 |
| 接收井 | 77.00 | 182.60 | -105.60 | -57.83 |
| 顶管掘进 | 928.15 | 962.24 | -34.09 | -3.54 |
| 管材及防腐保温 | 63.87 | 67.98 | -4.11 | -6.05 |
| 管道安装 | 108.81 | 123.69 | -14.88 | -12.03 |
| 合计 | 1410.33 | 1618.51 | -208.18 | -12.86 |

采用曲线顶管隧道节省投资如下:工作井深度减少 3.3 m,节省投资 49.50 万元;接收井深度减少 9.6 m,节省投资 105.60 万元;顶管掘进由于全部避开砾砂岩,机具磨损、顶进费用降低,节省投资 34.09 万元;管材及防腐保温由于减少 2 个热煨弯头,投资减少 4.11 万元;管道安装由于垂直段组装焊接减少 12.1 m、热煨弯头减少 2 个,节省投资 14.88 万元。

本工程采用曲线顶管隧道比采用直线顶管隧道节省投资 208.18 万元,占投资比例的 12.86%。

本工程采用曲线顶管隧道穿越更经济,故推荐使用曲线顶管隧道穿越。

5 曲线顶管隧道方案施工难度

曲线顶管隧道施工难度在于纠正钢管在地下顶进时的偏差,顶进中的测量控制是曲线顶管的关键技术问题。故曲线顶管隧道对前期的勘察测量、顶管机械操作人员专业水平、顶进轨迹监控、动态纠偏的要求,远高于直线顶管隧道。

目前,长输油气管道中曲线顶管的技术难关已被攻破,并为后续类似工程积累了大量经验。

6 曲线顶管隧道和直线顶管隧道方案优缺点比较

根据以上分析对比,对曲线顶管隧道方案和直线顶管隧道方案综合比较见表 3。

通过比较可以看出,本工程采用曲线顶管隧道比采用直线顶管隧道节省投资 208.18 万元。

工作井、接收井深度减少,工期缩短 0.5 个月;成功规避砾砂岩,顶管掘进难度降低,工期缩短 1.5 个月。共节省工期 2 个月。

表 3 穿越方案综合比较表

| 项目 | 曲线顶管方案 | 直线顶管方案 |
|------|--|--|
| 工程概况 | 工作井深 15.5 m,接收井深 7.0 m,盾顶管隧道水平长 281.3 m,实长 281.7 m | 工作井深 18.8 m,接收井深 16.6 m,盾顶管隧道水平长 281.3 m,实长 281.3 m |
| 施工难度 | 曲线顶管测量控制是关键技术,施工技术要求较高 本工程如采用曲线顶管,穿越地层几乎从黏土层通过,施工难度较小 | 直线顶管在油气管道行业应用较多,施工技术成熟 本工程如采用直线顶管,穿越地层将通过黏土层和砾砂岩,顶管将穿越软硬交接地层,施工难度稍大 |
| 环境影响 | 采用非开挖施工,对地表及河道影响小 | 采用非开挖施工,对地表及河道影响小 |
| 运营维护 | 管道安装完成后,隧道及竖井回填,管道运营期免维护 | 管道安装完成后,隧道及竖井回填,管道运营期免维护 |
| 工期 | 8 个月 | 10 个月 |
| 造价 | 1410.33 万元 | 1618.51 万元 |

本工程推荐采用曲线顶管隧道穿越方式。

7 结论

综上所述,曲线顶管隧道和直线顶管隧道对环境的影响及运营维护等方面差别不大,但曲线顶管隧道在施工工程量、掘进工效、节约工期等方面优势明显。通过案例可以看出,直线顶管隧道接收井较深、难以避开砾砂层。而曲线顶管隧道在顶进至河床底最低高程后,以 10% 的坡度上行顶进,接收井深度降低的同时,还可以避开砾砂岩,几乎全部从黏土层通过,投资节省了 12.86%。并且,随着顶进长度越长、隧道埋深深度越深,节省投资的比例越明显。

可见,在顶管隧道的设计与施工过程中,在地质状况、埋深要求、施工技术及管线弹性敷设弯曲曲率允许的情况下,采用曲线顶管隧道更加经济适用。

参考文献

[1] 何利民,高祁.大型油气储运设施施工[M].北京:中国石油大学出版社,2007:348-378.
 [2] 中华人民共和国石油天然气行业标准.SY/T 7022—2014.油气输送管道工程水域顶管法隧道穿越设计规范[S].北京:石油工业出版社,2014.
 [3] 中华人民共和国石油天然气行业标准.SY/T 6884—2012.油气管道穿越工程竖井设计规范[S].北京:石油工业出版社,2013. ■