

工程实例

过河顶管技术在国外大口径输水管线工程的应用

车爱伟¹, 李龙伟¹, 胡坤¹, 李想¹, 巨志剑¹, 唐肿鹏²

(1. 中国市政工程西北设计研究院有限公司, 甘肃 兰州 730000; 2. 中工国际股份有限公司, 北京 100000)

摘要: 孟加拉帕德玛供水厂项目包含 33 km 的 DN2 000 输水管线, 沿线需穿越 Dhaleshawary 河、Burigonga 河。以穿越 Burigonga 河为例, 主要介绍过河顶管技术在穿越地下水位高、粉砂土地质条件下, 面临的顶进阻力大, 易产生流砂、管涌, 易引起地层位移及周边地表沉降等问题的设计方案。该工程采用的沉井设计及泥水平衡顶进法可为类似的工程提供设计经验。

关键词: 过河顶管; 沉井设计; 粉砂土; 泥水平衡法

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)16-0077-05

Application of Pipe-jacking River-crossing Technology in Large-diameter Pipeline Project Abroad

CHE Ai-wei¹, LI Long-wei¹, HU Kun¹, LI Xiang¹, JU Zhi-jian¹, TANG Chong-peng²

(1. CSCEC AECOM Consultants Co. Ltd., Lanzhou 730000, China; 2. China CAMC Engineering Co. Ltd., Beijing 100000, China)

Abstract: The Padma waterworks project in Bangladesh includes a 33 km DN2 000 pipeline that crosses Dhaleshawary and Burigonga rivers. Taking Burigonga river-crossing as an example, the design scheme of pipe-jacking technology to deal with big jacking resistance, tendency of shifting, piping, displacement and surrounding surface subsidence under the silt geological conditions with high underground water level was introduced. The caisson design and the slurry balanced jacking method could provide design experience for similar projects.

Key words: pipe-jacking river-crossing; caisson design; silt; slurry balance

1 工程概况

孟加拉国 97% 的居民饮用水和家庭用水来源于地下水, 地下水受到严重砷污染, 并引发了大量的砷中毒事件, 每年有近 4.3 万人因砷污染死亡。为了解决孟加拉首都达卡及周边地区的用水问题, 孟加拉帕德玛供水厂项目被孟加拉供排水局 (DWASA) 提上日程。

孟加拉帕德玛供水厂项目设计规模为 45×10^4 m^3/d , 包括 1 座 47.25×10^4 m^3/d 取水泵站、1 座 45×10^4 m^3/d 净水厂、1 座加压泵站和 33 km 的

DN2 000 输水管线, 项目资金来源于中国进出口银行贷款, 合同金额为 2.908 亿美元。该工程从 Padma 河取水经过絮凝沉淀、过滤及消毒处理满足 WHO 饮用水水质标准后, 通过 DN2 000 的压力管道输水至末端 Mitford 注水点。

该工程已于 2019 年 2 月顺利通过了 DWASA 的验收并拿到了工程移交证明 (Taking-over Certificate)。主要介绍 $L = 269$ m、DN2 000 钢管穿越 Burigonga 河的顶管设计情况, 可为类似的海外工程提供工程经验。

2 技术路线

项目设计技术路线见图1。

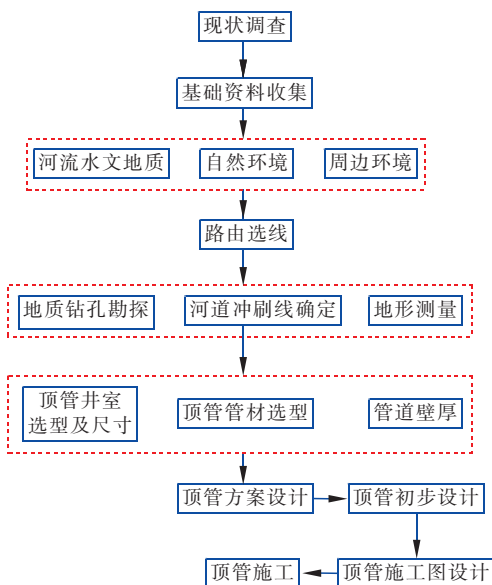


图1 项目设计技术路线

Fig. 1 Technical roadmap for project design

针对该项目的特点,设计执行前制定合理有效的技术路线可保证设计工作顺利开展。

3 顶管工艺设计

3.1 路由选线

顶管路由的选择应遵循如下原则:避开地震断裂带、沉陷等不良地质条件地段、高腐蚀性土壤地区;减少对现状建(构)筑物的影响;减少拆迁;施工交通便捷等。经过多次现场勘察调研,为最大限度地降低顶管施工对河道护岸的影响,减少拆迁的工作量(孟加拉国土地属于私有制,政府在土地征用和管理方面的执行能力较弱),最终确定工作井位于距离左侧护岸约30 m的位置,接收井位于距离右侧护岸约20 m现状泵房的位置。顶管路由见图2。



图2 顶管路由

Fig. 2 Schematic diagram of pipe-jacking routing

3.2 冲刷深度确定

顶管穿越河道时的埋置深度应位于河床的冲刷线以下,并满足管道抗浮的要求^[1-2]。由于孟加拉国对于河道管理制度的欠缺,工程无法获得Burigonga河确切的水文资料来计算河道的冲刷深度。根据收集到的Burigonga河不同断面的河床深度推测顶管的最大冲刷深度。根据不同断面的坐标可知,过河顶管位于Burigonga河RMBAG05和RMBAG04断面之间(在RMBAG05断面下游约300 m处,在RMBAG04断面上游约3 km处)。

断面RMBAG06、05、04历年河床数据见图3。

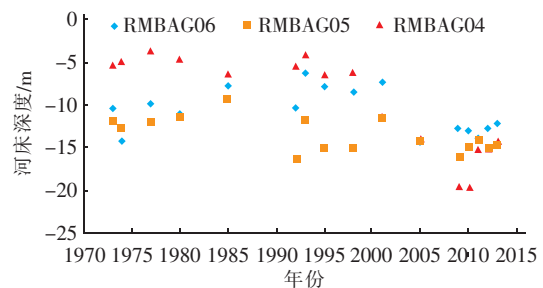


图3 断面RMBAG06、05、04历年河床数据

Fig. 3 River bed data of RMBAG06, 05, 04 over the years

由图3可知:RMBAG05断面历年河床最低点标高为-16.43 ~ -9.43 m;RMBAG04断面历年河床最低点标高为-19.48 ~ -3.66 m。过河顶管位置距离RMBAG05断面较近,设计假定过河顶管处的冲刷深度的标高不超过-16.43 m,但基于设计的安全考虑,顶管过河断面处最大冲刷深度的标高最后确定为-19.48 m。

3.3 顶管井结构形式选择

顶管井结构形式可采用钢板桩、灌注桩、SMW工法、地下连续墙或沉井^[3],不同结构形式的优缺点及适用范围见表1^[4]。

根据过Burigonga河顶管沿线的地质详勘报告可知,场地地下水在现状地面以下0.5 m,水位较高。除此之外,河岸两侧建筑物比较密集,工程施工受周围建(构)筑物限制。考虑选用地下连续墙和沉井两种顶管井形式。

地下连续墙施工需要较多的专业设备(孟加拉国大型机械主要依靠进口,缺少专业的技术人员),且废泥浆泥水难以分解,外运处理困难。综合考虑,顶管井结构形式考虑采用沉井。

工作井和接收井穿过的土层为3层粉土夹粉砂及4层粉砂,且紧邻河流,水源补给丰富。为避免产

生流砂、涌水现象带来的地面下沉、开裂等问题,最终确定采用不排水法沉井施工方案。

表 1 各种工作井结构形式的比较

Tab. 1 Comparison of different starting shaft structures

项目	钢板桩	灌注桩	SMW 工作法	地下连续墙	沉井
优点	施工简单,施工速度快	灌注桩不受地层变化限制,适应能力强,受力相对较稳,抗压又抗拔,振动小、噪声小	墙体刚度大、防渗性能好;对周围环境影响小;造价和工期适中	施工振动小,对周围建筑物影响小;墙体刚度大、防渗性能好	整体性强、稳定性好,能承受较大的垂直荷载和水平荷载
缺点	刚度小,变形大,对周围环境影响大,基坑止水比较困难,安全系数低	灌注桩造价大,工艺复杂,工期相对长,基础和上部结构施工有时有间断	需要专用大型设备,对施工场地要求高	工程造价高,工期长	工程造价高,工期较长;施工中易发生沉井倾斜等问题
适用范围	适用于埋置深度较浅、地下水位较低、顶力较小的普通顶管	适用于地下水位较低或无地下水的地区	适用于工作井埋深较浅、地下水位较低、顶进距离较短的工况	适用于顶管埋置较深、顶管定力较大的软土地区	适用于埋置深度较深、顶力较大,松散土层或饱和土层内,有流砂且地下水又比较丰富的情况

3.4 顶管钢管壁厚计算

顶管钢管设计壁厚 $t = 22\text{ mm}$,地下水对混凝土及钢筋均具有微腐蚀性,考虑 2 mm 的腐蚀量,钢管计算壁厚为 20 mm 。根据《给排水工程结构设计手册》(第 2 版),通过荷载计算、强度计算并进行管壁截面稳定验算、变形计算,钢管设计壁厚 $t = 22\text{ mm}$ 满足计算要求。

3.5 顶管工艺设计

顶管穿越江河水底时,覆盖层厚度最小不宜小于外径的 1.5 倍,且不宜小于 2.5 m 。顶管过河断面处最大冲刷深度的标高为 -19.48 m ,在最大冲刷深度下,管顶覆土厚度按照最小 1.5 m 控制,顶管的管中心设计标高为 -22.00 m 。顶管两端设置阀门井、排气阀井,接收井兼作泄水和检修井。

过河顶管工艺设计见图 4。

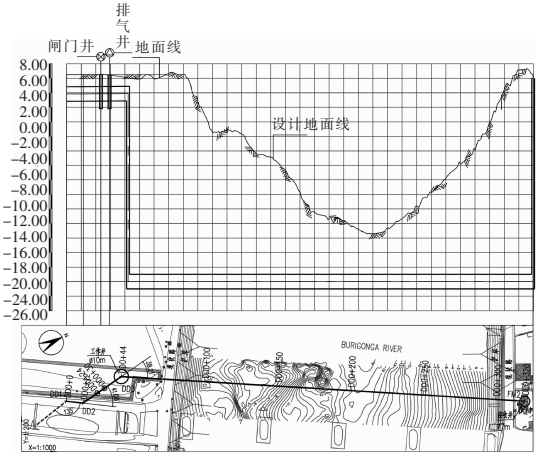


图 4 过河顶管工艺设计

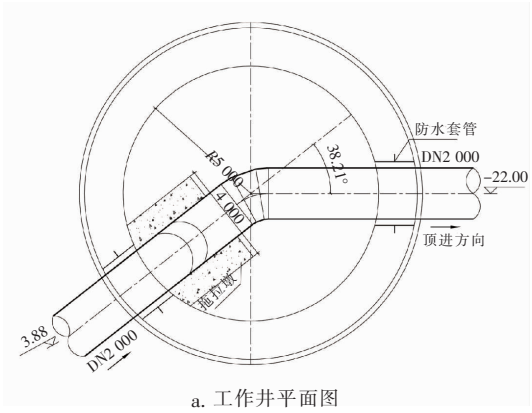
Fig. 4 Process design of pipe-jacking river-crossing

3.6 顶管井设计

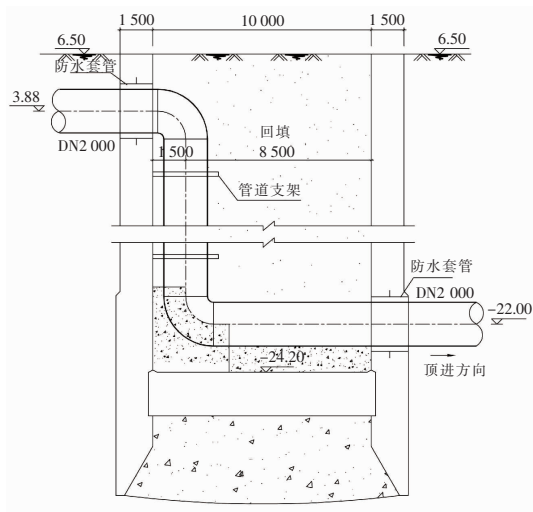
采用圆形沉井,适用于覆土较深的工作井,具有良好的受力性能,在水土压力作用下,井壁受压,钢筋用量比较少。依据《给水排水工程顶管技术规程》(CECS 246:2008)第 10.4 条:当按照顶管机长度确定时,工作井最小内净长度 $L \geq 9.6\text{ m}$ ($< \text{DN } 1\,000$ 的小直径顶管机长度为 3.5 m ;大中直径顶管机长度 $\geq 5.5\text{ m}$);当按下井管节长度确定时,工作井的内净长度 $L \geq 10.6\text{ m}$ 。两种方法计算结果取大值,工作井的内净长度 $L \geq 10.6\text{ m}$ 。

接收井的净宽应能满足顶管机在井内拆除和吊装的需要,并满足工艺管道的布置要求。接收井内净最小宽度 $B = D_1 + 2 \times 1\,000$ (其中 D_1 为顶管机外径)。根据施工单位提供的顶管机的实际长度为 4.2 m ,考虑一定的设计余量,工作井直径为 10 m ,接收井直径为 7 m ,管底至沉井底的操作空间 $\geq 800\text{ mm}$ 。

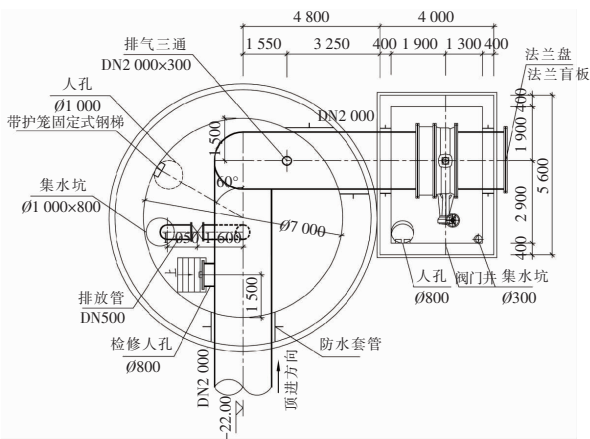
工作井和接收井工艺布置见图 5。



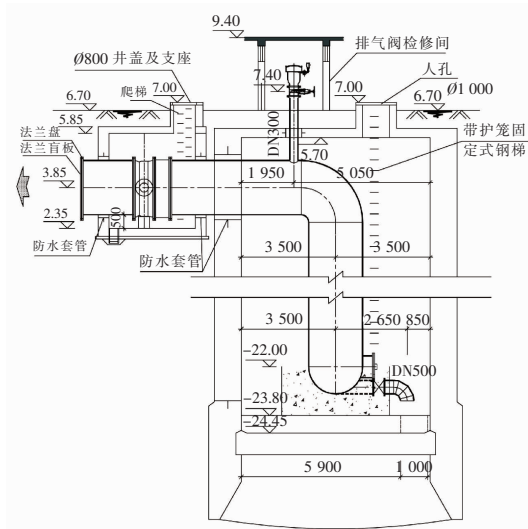
a. 工作井平面图



b. 工作井剖面图



c. 接收井平面图



d. 接收井剖面图

图5 工作井和接收井工艺布置

Fig. 5 Process layout of working shaft and arriving shaft

工作井作为临时井,施工完成后原土回填。为改善管道受力的状态,垂直管道设置水平支架,弯头

设置拖拉墩改善管道的受力状态。接收井作为永久井,兼具放空与检修的功能。由于接收井场地受限,无法在接收井外同时设置排气井与阀门井,考虑将排气三通设置于接收井内,排气阀安装于地面上并设置排气阀检修间用于操作检修。

3.7 顶管防腐选择

管道外防腐材料的选择与管材的使用寿命息息相关,大口径顶管施工的钢管外防腐一般采用静电喷涂环氧粉末或高压无气热喷涂无溶剂聚氨酯涂料。通过对比两种涂料的主要性能指标及成本^[5](具体见表2),最终选择技术可行、经济合理的管道防腐方式。

表2 不同涂层主要性能指标^[5]

Tab. 2 Characteristic parameters of different coating layer

项目	熔融结合环氧粉末	无溶剂聚氨酯
抗冲击性(常湿)/J	>11	>5
抗弯曲性/级	1	1
耐磨性/mg	≤20	≤100
附着力(拉开法)/MPa	≥19.6	
附着力(撬剥法)/级	1~3	2
粘结强度/MPa	30	12
电气强度/(MV·m ⁻¹)	≥30	≥20
体积电阻率/(Ω·m)	≥1×10 ¹³	≥1×10 ¹³
阴极剥离(65℃,48h)/mm	≤8	≤12
断面孔隙率/级	1~4	
界面孔隙率/级	1~4	
盐雾试验(1 000 h)	合格	合格
耐化学腐蚀	合格	合格
涂料单价/(万元·t ⁻¹)	2.5	8
1 000 μm 涂层单价/(元·m ⁻²)	110	226

熔融结合环氧粉末涂层的抗冲击、耐磨、耐阴极剥离性能较好,且成本较低,可作为最优的钢管顶管外防腐涂料。外防腐采用单层环氧粉末涂层(加强级),涂层厚度≥400 μm。

3.8 顶管机选型

顶管穿越河流及构筑物,对周边环境及地表沉降要求高,顶管设备在顶进过程中应能精确控制开挖面的平衡,才能避免坍塌、地表沉降大、冒顶等问题的出现。泥水平衡顶管工法具有工艺成熟且顶距长、能很好控制地面隆沉等特点,可适用于各类复杂地质条件。因此,选用更能精确控制开挖面水土压力的泥水平衡顶管机。

Burigonga 河的工作井顶管施工见图6。



图6 工作井顶管施工

Fig.6 Pipe-jacking construction site of working shaft

4 结论

① 大口径钢管顶管外防腐采用熔融结合环氧粉末涂层,作为最优的钢管顶管外防腐涂料。外防腐采用单层环氧粉末涂层(加强级),涂层厚度 $\geq 400 \mu\text{m}$ 。

② 穿越地下水位高、粉砂土地质条件下,易产生流砂、管涌等情况,宜采用不排水法沉井施工。

③ 顶管穿越河流及构筑物,为避免坍方、地表沉降大、冒顶等问题,顶管机宜采用泥水平衡顶管工法。

参考文献:

- [1] CECS 246;2008,给水排水工程顶管技术规程[S]. 北京:中国计划出版社,2008.
CECS 246;2008,Technical Specification for Pipe Jacking of Water Supply and Sewerage Engineering[S]. Beijing: China Planning Press,2008(in Chinese).
- [2] 陈希. 浅谈西江引水工程的顶管设计与施工[J]. 中国给水排水,2011,27(14):1-4.
Chen Xi. Discussion on design and construction of pipe jacking in Xijiang River water diversion project[J].

China Water & Wastewater, 2011, 27(14): 1-4 (in Chinese).

- [3] 葛春辉. 顶管工程设计与施工[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2011.
Ge Chunhui. Design and Construction of Pipe Jacking Project[M]. Beijing: China Architecture & Building Press,2011(in Chinese).
- [4] 滕俊刚. 顶管工作井的结构选型与应用[J]. 市政技术,2009,27(S1):112-115.
Teng Jungang. Structure option and application of pipe jacking well[J]. Municipal Engineering Technology, 2009,27(S1):112-115(in Chinese).
- [5] 阎秋霞. 两种大管径钢管顶管防腐涂层材料的应用分析[J]. 吉林水利,2012(4):60-62.
Yan Qiuxia. The analysis of the application of external anti-corrosion coating material jacking construction on two kind of large-diameter steel pipelines[J]. Jilin Water Resources,2012(4):60-62(in Chinese).



作者简介:车爱伟(1974-),女,黑龙江绥化人,大学本科,高级工程师,从事市政给排水设计管理工作。

E-mail:37621370@qq.com

收稿日期:2019-03-10