

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.08.017

韶关市第三污水处理厂进厂干管穿越北江段设计优化

周 蓉, 王绍贵, 闫新秀

(广东省冶金建筑设计研究院有限公司, 广东 广州 510080)

摘 要: 韶关市第三污水处理厂进厂干管穿越北江段工程,通过对方案适用性、施工难度及风险、通航、防洪、环境、景观、运行安全、造价等关键影响因素进行全方位的比较和分析,因地制宜地选择顶沉结合的管道过江工艺,即跨堤和过江分段采用顶管和沉管施工,并创新性地提出采用钢围堰井解决顶/沉管接合处管道连接难题,可降低施工风险,确保工程安全实施。总结了顶管、沉管、顶沉结合等实施过程中堤身加固、防渗、顶沉接合处理等技术重点,有针对性地提出了综合性解决措施。设计方案既可满足污水进厂的功能性需要,又能保护大堤结构、北江航运的安全,为污水管道穿越大江大河提供了可借鉴的工程设计经验。

关键词: 北江堤岸; 顶管; 沉管; 钢围堰

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)08-0121-06

Design Optimization of Shaoguan No. 3 Wastewater Treatment Plant Incoming Trunk Main Crossing Beijiang River Section

ZHOU Rong, WANG Shao-gui, YAN Xin-xiu

(Guangdong Metallurgical and Architectural Design Institute Co. Ltd., Guangzhou 510080, China)

Abstract: According to local conditions, a pipe crossing river technology combined with pipe jacking and pipe sinking is selected for trunk main of Shaoguan No. 3 wastewater treatment plant to cross Beijiang River section by comprehensively comparing and analyzing the key influencing factors such as scheme applicability, constructability and risk, shipping, flood control, environmental protection, scenery, operation safety and cost. Pipe jacking and pipe sinking technologies are adopted in the section to cross the levee and the river, and steel cofferdam well is innovatively proposed to solve the pipe connection problem between pipe jacking and pipe sinking, which can reduce the construction risk and ensure the safe implementation of the project. The technical key points of levee reinforcement, anti-seepage and connection of jacking and sinking in the implementation process of pipe jacking, pipe sinking and the combination of pipe jacking and pipe sinking were summarized, and the comprehensive solutions were proposed. The design not only meets the functional needs of sewage entering into the plant, but also protects the levee structure and the shipping safety in Beijiang River, which provides engineering design experience for sewage pipeline crossing great rivers.

Key words: Beijiang River levee; pipe jacking; pipe sinking; steel cofferdam

1 工程概况

位于韶关市武江区河西镇村头村北江百旺大桥下游约900 m河段,处于孟洲坝枢纽库区,穿越处所在韶关市第三污水处理厂进厂干管穿越北江段,

航道规划技术等级为内河Ⅲ级。过江管道实施目的为转输韶关市北江东岸片区污水至韶关市第三污水处理厂($7 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)进行达标处理,保护北江水体水质。过江管道左侧接驳现状北江左岸阀门井,右侧穿越北江右岸大堤后接入污水处理厂,设计过江管道输水规模为 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,为保障管道安全,采用2条DN1 000平行压力输送管,一用一备运行,单根管道长度为450 m。

1.1 工程选址

根据总体布局,过江管道在北江百旺大桥下游约900 m处穿越北江(见图1)。该处位于弯曲河流的顺直段,平均河宽440 m,水流平缓,水深良好,河床宽浅、平坦,未见明显深槽,河床、河势基本稳定,附近未见桥、闸、坝等交通、水利设施,且远离港口作业区和锚地,工程选址符合《内河通航标准》(GB 50139—2014)中穿越航道的水下管道敷设要求。



图1 工程选址

Fig.1 Project site selection

1.2 地形地貌

建设场地为韶关北江河流地貌。河岸右侧陆上地形平坦,标高为57.05 m(1985国家高程基准,下同),堤岸为土质挡墙;左岸陆上地形平坦,标高为55.8 m,堤岸为混凝土直立式挡墙。河床底标高43.75~46.70 m,河床宽浅、平坦,未见明显深槽。

1.3 地质条件

根据地质勘查报告,过江管道沿线地质按成因类型及岩土工程特性划分为3个主要单元层,其野外特征如下:①第四系全新统人工填土层,主要为粉质黏土,层厚1.6~7.6 m。②第四系全新统冲击层,主要为粉质黏土,层厚2.5~5.5 m;淤泥质土,层厚2.0~3.3 m;粉砂,层厚2.3~4.7 m;卵石,粒径2~10 cm,层厚7.0~11.2 m。③石炭系下统石磴子组属灰岩,中风化,主要矿物成分为方解石,属较软岩。过江管道沿线土层地质概况见表1。

表1 沿线土层地质概况

Tab.1 Geological overview of soil layer along the line m

顶管段		沉管段	
土层	层顶/底标高	土层	层顶/底标高
①素填土	57.0~49.4	①素填土	
②粉质黏土、淤泥质土、粉砂	52.9~45.2	②粉质黏土、淤泥质土、粉砂	
③卵石	47.05~41.2	③卵石	45.0~37.0
④灰岩	42.0及以下	④灰岩	40.8及以下

可见,顶管段大部分处于灰岩层中,局部处于卵石与灰岩交界处;沉管段处于卵石、灰岩和卵石灰岩交界层中。土层岩土力学强度满足拟建管线要求,可作为天然地基或桩基础持力层。

1.4 北江大堤(右岸)堤基及堤身结构

管道穿越北江大堤(右岸)处桩号为K6+650,现状为土堤,顶高程为57.0 m,不满足北江堤防规划标准57.181 m的要求。因年代久远,右岸土堤的典型断面已无法查询。

根据2019年北江断面测量地形图,推断拟建管道上下游附近的土堤曾进行护脚加固,护脚底坐落在卵石层上,高程为47.05 m。分析确定北江右岸K6+650的断面见图2。

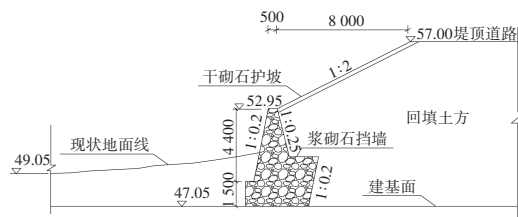


图2 北江大堤(右岸)K6+650处断面

Fig.2 Cross section at K6+650 of Beijiang River levee

1.5 场地稳定性评价

建设场地建筑抗震设防烈度为6度,土类型为中硬土,场地类别为Ⅱ类,勘察工程于钻探深度内未发现断层活动等构造痕迹,未见滑坡、危岩、崩塌、泥石流、采空区及断裂、地面沉降等不良地质作用,区域构造稳定性好。

1.6 通航要求

建设场地航道等级为内河Ⅲ级。根据孟洲坝枢纽调度和设计流量计算,此处最低通航水位为50.05 m,河床规划最低高程为46.05 m,管顶覆盖不得小于2 m,管顶高程不得大于41.75 m。

1.7 防洪要求

韶关市城市防洪等级为Ⅲ级,属中等城市,堤防工程级别为2级,堤防设计标准为按20年一遇,规划堤顶标高为57.181 m,库堤结合后达到100年一遇防洪标准。过江管道施工及运行期间,不降低所在河段防洪标准。

2 方案比选与确定

穿越河道是市政给排水管线设计中经常遇到的情况,其难点在于分析河床水位、地质情况,并综合考虑防洪、通航及城市景观交通的要求,确定合适的工艺设计和施工方案。设计方案需及时与航道、交通、水利、规划等部门沟通协调,在确保工程总体安全和满足管线日常维护要求的前提下做到不影响河道通航、河堤防洪,并尽量节省投资^[1]。

2.1 方案选择原则

① 穿堤方案必须确保管道施工期和运营期

北江大堤的结构安全,不得降低城市防洪标准。

② 过江方案应综合考虑河床地形、地貌、地质条件、通航、防洪、城市交通景观及周边建构筑物等影响因素,采用适宜工艺。

③ 应尽量采用工期短、施工难度低、技术成熟、经济合理的管道穿越工艺。

④ 设计方案应充分考虑施工单位技术管理水平、风险应对能力、施工设备、材料采购等因素。

2.2 方案比选

我国长距离过江管的设计方案主要为牵引、顶管、沉管和桥架,考虑到本项目工程场地地质情况复杂,牵引法对地质条件要求较苛刻,存在较大施工风险;桥架方式对河道通航、城市景观、道路交通影响大,这两个方案均不适宜在本项目中使用。故重点比较顶管、沉管和顶沉结合三种工艺,具体如表2所示。

表2 方案比选

Tab.2 Scheme comparison and selection

项目		方案一(全程顶管)	方案二(沉管+跨堤架管)	方案三(沉管+顶管)
适用性	水域条件	不受水面及流速影响	对水面相对平静、流速较小的水域较为适用	对水面相对平静、流速较小的水域较为适用
	河床地形	不受地形影响	适用于平缓、起伏不大的河底	适用于平缓、起伏不大的河底
	地质条件	对泥质、砂质、岩石地质均适用,不适用于地质变化大、溶洞发育等特殊地质区域	适用范围广,受地质条件影响小	适用范围广,受地质条件影响小
过江方式		管道敷设于河床下,管顶高程低于规划河床3 m	管道敷设于河床底沟槽中,管顶高程低于规划河床2 m	管道敷设于河床底沟槽中,管顶高程低于规划河床2 m
过堤方式		管道在右岸堤防基础以下基岩层通过	以水平段跨过现状堤顶,管底高程高于20年一遇设计洪水位	管道在右岸堤防基础下基岩层通过
施工	施工设备	千斤顶、工具管、中继环等中小型专业设备	爆破船、挖泥船、运输船、起重船等大型设备	同时具备沉管和顶管两种施工设备
	施工难度	中长距离顶管、管径大,要求顶力大,地质条件复杂,变化大,施工不确定因素多	水深大、涉及水下爆破、水下开挖、基坑成形困难,但施工不确定因素少	采用两种工艺,对施工技术力量、管理水平、工具设备要求高。但不涉及长距离顶管,顶管施工难度降低
	实施风险	北江河床地质条件复杂,孤石、溶洞等特殊地质存在的可能性较大,施工风险高	对地质条件的适应性良好,且北江河床地形相对平坦,实施风险小	短距离顶管实施风险小
对航道的影响		施工期间不影响通航;管廊保护区需设置禁锚标志	施工期间需封航;管廊保护区需设置禁锚标志	施工期间需封航;管廊保护区需设置禁锚标志
对防洪的影响		管道在右岸堤防基础以下基岩层通过,对堤防结构安全影响小,对防洪影响小	管道跨越现状堤顶,且高于规划防洪水位,不破坏堤防结构,但对未来堤防达标加固影响较大	管道在右岸堤防基础以下基岩层通过,对堤防结构安全影响小,对防洪影响小
对周边环境与景观的影响		无影响	管道架于堤顶,对交通及城市景观影响较大,与区域规划有冲突	无影响
运行安全		安全可靠	管道受洪水、冲撞、地震等影响大	安全可靠
投资	单价/(万元·m ⁻¹)	4.50(含破岩)	2.44(含爆破)	约3.55(含破岩+爆破)
	总投资/万元	4 000	2 200	3 200

2.2.1 方案一:全程顶管

方案一为全程顶管,顶管工作井布设于北江大堤(右岸)堤外,顶管从右岸大堤基础下部持力层穿越,进入北江主河床,接收井设于北江大堤(左岸)内侧的漫滩下,管道出接收井后接入左岸现状阀门井,与左岸现状城市污水收集主管衔接。

2.2.2 方案二:沉管+跨堤架管

方案二为沉管结合跨堤架管。管道采用沉管方式穿越主河床,在左岸与现状堤内阀门井衔接;右岸管道以1:1.5的坡比沿迎水坡布置至堤顶,以水平段跨过现状堤顶,管底高程高于20年一遇设计洪水位,以1:2的坡比沿背水坡布置至堤脚后,再开挖埋管接入污水处理厂。

2.2.3 方案三:沉管+顶管

方案三采用顶沉结合方式。管道穿越右岸大堤以局部顶管方式从堤防基础下部穿越,堤外穿越北江主航道以沉管方式,沉管和顶管的接口需在河道内进行焊接,采用水中双壁钢围堰进行施工,双壁钢围堰同时兼作顶管接收井。此方案既可以减小堤防安全影响,又可以有效地避免复杂地质条件带来的施工风险。此方案在管道跨越大江大河工程中也有成功实施案例^[2-3]。

2.3 工艺确定

根据勘察资料,过江段北江水地质极为复杂,场地岩溶强烈发育,管道铺设高程处以砂、卵石层及中风化或者微风化的灰岩岩层为主,局部存在溶洞,给顶管施工带来诸多不可预见的不利因素,而且现有顶管机械难于长距离顶进 500 m 河道,方案一实施风险大,因此不予推荐。方案二由于对城市交通和景观影响大,且不利于未来堤防达标加固工程,因此也不予推荐。

推荐工艺为方案三。基于方案三编制的项目通航条件影响评价和防洪影响评价已取得广东省交通运输厅及广东省水利厅批复,同意实施。

3 工艺设计

3.1 平面设计

采用“顶管+沉管”结合方式穿越北江河床和右岸堤防。管道跨江长度为489.6 m,其中顶管段101.8 m,沉管段387.8 m。采用两条D1 020 mm钢管,平行设置。管道起点位于北江左岸堤防桩号K6+500处,顺接现状预留阀门井,避免穿堤,后采用

沉管方式横过北江。过江管道在右岸桩号 K6+650 处采用顶管方式穿越右岸堤防,顶管工作井位于右岸陆域河道管理范围外,顶管接收井位于河道内,距迎水侧河道堤顶边线 38 m。接收井采用双壁钢围堰施工,顶管和沉管接口在钢围堰井内焊接。

3.2 高程设计

管道左岸起点为现状阀门井,水平延伸2.9 m后下弯沿堤防岸坡线接至河岸底部,靠堤脚管道采用水下混凝土浇筑固定。过江沉管段管顶覆土不小于2 m,单管长度387.8 m,管顶高程不高于40.80 m,沉管段纵坡为0.58%,由左岸坡向右岸。顶管段起点为右岸堤防外工作井,终点为河道内双壁钢围堰接收井,单管长度为101.8 m。顶管从现状右岸土堤基础以下的基岩层穿过,穿堤处管顶标高41.25 m,堤基础底标高47.05 m,堤顶标高57.00 m,穿堤处管道埋深16.75 m。顶管和沉管接口在钢围堰井内焊接。钢围堰井处水深约为10 m,井筒高18.5 m,河床以下部分高度为7.9 m,河床以上部分高度为10.6 m。井底部采用C25水下混凝土封底,厚度3 m。施工结束后,钢围堰井河床以上部分全部拆除。

3.3 横断面设计及沉管沟槽开挖与回填

顶/沉管均为双管平行敷设,管道中心间距设计为3 m,管壁间距约2 m。水下沟槽底部宽度设计为5 m,灰岩层采用1:1边坡,卵石层采用1:3边坡,沟槽底超挖深度为700 mm。沟槽底至回填面依次采用如下方式回填(见图3):400 mm厚30~70 mm碎石垫层,300 mm预制混凝土垫块,每隔15 m设置一个,管周及管道以上400 mm中粗砂作为管道埋设保护层,回填600 mm厚30~70 mm碎石保护层,抛填1 000 mm厚度的200~300 mm块石作为覆盖层,其上回填河床原土至自然河床。

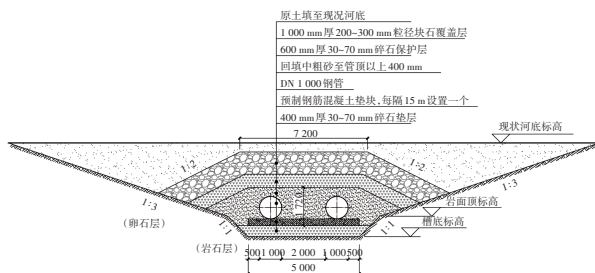


图3 横断面设计

Fig.3 Cross section design

3.4 管材与防腐

管材选用焊接钢管,压力等级为1.0 MPa,壁厚为14 mm,钢管及附件连接采用焊接。钢管内防腐采用机械喷涂水泥砂浆,外防腐采用环氧煤沥青六油二布,接头防腐采用聚乙烯防腐胶带,防腐等级为特加强级。

4 技术重点

4.1 方案比选与确定

管道跨越大江大河,施工和运营期对堤坝结构安全、通航、防洪、交通和景观均有不同程度的影响,经考察类似工程建设经验,结合地形地貌、地质条件、水文气象等具体条件,经过充分的技术经济比较确定设计方案,形成项目通航影响评价报告和防洪影响评价报告,上报规划、航道、交通、水利等部门,按批复要求实施。

4.2 顶管

顶管从北江右岸现状土堤基础以下穿越,如顶力过大会使堤基隆起;顶管出土速度过快或工具头前方土体出现超挖现象,会导致堤防下沉。

为确保顶进过程中堤防地基安全,采取以下措施:①加大勘察钻孔密度,孔距为5~10 m,确保地质资料的详细和精确;②顶管施工前对影响范围内的堤身进行灌浆加固,8排,每排12个,共96个灌注孔,梅花型布置,灌浆深度8 m;③采用带气压舱,可更换刀盘的破岩顶管机头;④沿途设置沉降观测点和横断面观察点,按规范要求观测堤防和岸坡位移及沉降,按数据调整顶进参数;⑤顶进过程中严格控制泥浆浓度和泥浆压力稳定性,防止塌孔造成的危害。

防止施工造成河堤渗漏也是本项目的难点之一,设计考虑了以下防渗措施:

① 顶管施工前,在管道穿堤处迎水坡面,沿堤顶道路布设 $\phi 600@350$ 高压旋喷桩,共63根桩,单桩长度17 m,形成总长度为20.8 m的防渗墙;

② 顶管贯通后,立即采用水泥砂浆、粉煤灰水泥砂浆等置换泥浆,以填充管外侧超挖、塌落等造成的空隙,保证管外壁与周围土体之间紧密接触,截断集中渗流通道;

③ 在穿越管道两端设置防渗止水环,防止渗水点。

堤身加固及防渗设计见图4。

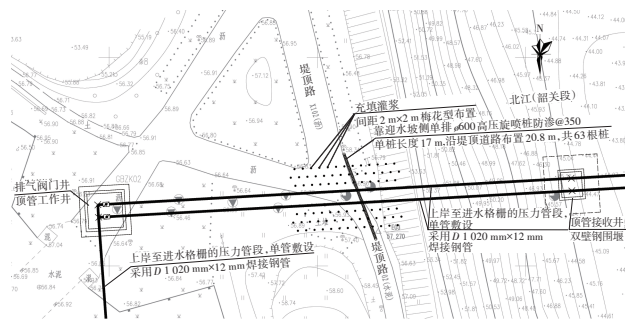


图4 堤身加固及防渗设计

Fig.4 Levee reinforcement and anti-seepage design

4.3 沉管

沉管作业涉及水下爆破、水下管槽开挖、基础处理和回填、水下管道定位、水压试验;岸上管节制作、焊接、防腐;水上管道吊装、下沉。均为水上水下作业,专业性强、风险大,工时与施工场地均受限制。对此须配有经验的施工员、潜水员,采用大型高精度的爆破船、挖泥船、起重船、方驳、浮吊及精确定位等施工设备。同时要及时清运和妥善处置挖槽余泥,避免污染河道。

沉管施工现场见图5。

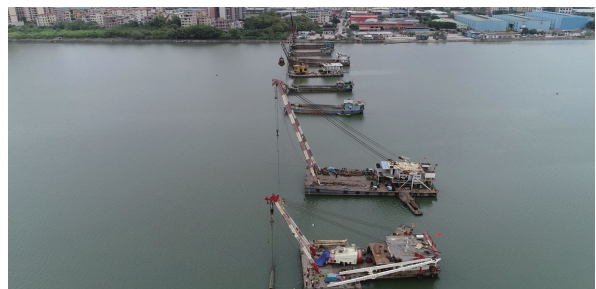


图5 沉管施工现场

Fig.5 Pipe sinking construction

4.4 顶沉接合

顶/沉管接合处常年水位不低于10 m,水下切割打捞顶管机头、水下实现顶沉管段的连接难度高、风险大。基于上述原因,在接头处需将水下施工变成干施工,采用钢围堰是比较安全可靠的方法^[4]。

双壁钢围堰示意图6。

钢围堰采用双壁钢结构,平面尺寸为7.2 m×6.2 m,高度为17.35 m,分三节制作安装。钢围堰内设水平横撑,内部最大净尺寸为6.0 m×5.0 m,满足起吊顶管机头空间。钢围堰在顶、沉管段进出口处预留洞口,并用钢板封堵,在顶、沉管段到位前,抽干围堰内水,创造干式作业空间,实施管口封堵拆卸、机头起吊、管口止水环安装、管段对接等作

业。施工工序为水下基槽开挖、分段沉放堰体、水下混凝土封底、堰体内混凝土浇筑、基槽回填、围堰内抽水、顶管机头切割与打捞、顶/沉管焊接。对接完成后,管道以上钢围堰全部拆除。

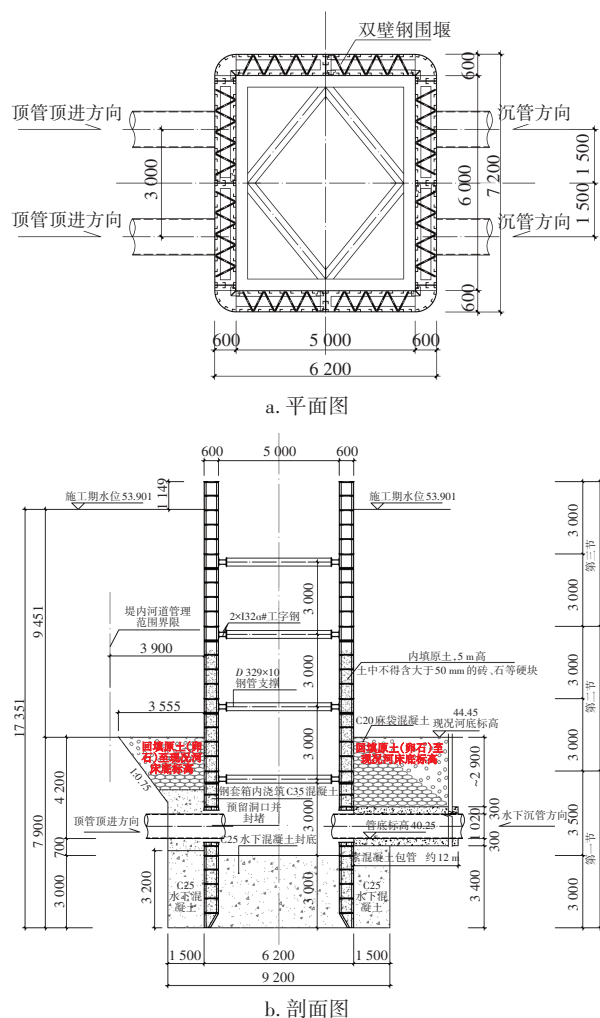


图6 双壁钢围堰示意

Fig.6 Schematic diagram of double wall steel cofferdam

5 结语

韶关第三污水厂进厂干管(DN1 000压力污水管)穿越北江大堤和北江航道工程在综合分析现行顶管、沉管、顶/沉结合法等管道过江穿堤方案适用性的前提下,确定采用顶/沉结合法施工。目前工程已经完工,过江管道运行良好,解决了韶关市北江东岸片区生活污水转输入厂问题。

污水处理厂服务范围通常以行政区划、大江大河、大型基础设施(如高铁)为分界线,因此污水干管穿越大江大河的案例较少,本项目的实施将为大型污水管道穿越大江大河提供可借鉴的工程设计与施工经验。

参考文献:

- [1] 黄昱,李瑞华,蒋林涛. 八尺江大桥污水管道连通工程设计与施工[J]. 给水排水,2018,44(4):99-102.
HUANG Yu, LI Ruihua, JIANG Lintao. Design and construction of the sewage pipeline linking project of Bachi River Bridge [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(4): 99-102 (in Chinese).
- [2] 胡晓园,牛博骞,曾建明,等. 昆山长江引水工程顶管沉管连贯施工技术[J]. 给水排水,2011,37(9):97-101.
HU Xiaoyuan, NIU Boqian, ZENG Jianming, et al. Continuous immersed tube construction method for Yangtze River water diversion project in Kunshan [J]. Water & Wastewater Engineering, 2011, 37(9): 97-101 (in Chinese).
- [3] 陆纳新,牛博骞. 无锡市锡澄供水工程取水管道施工技术介绍[J]. 给水排水,2012,38(8):107-112.
LU Naxin, NIU Boqian. Introduction of water-intaking pipe construction technology of the Xicheng water supply engineering [J]. Water & Wastewater Engineering, 2012, 38(8): 107-112 (in Chinese).
- [4] 赵新详. 长江江底沉管与顶管对接施工技术[J]. 科学与财富,2016(8):595-596.
ZHAO Xinxiang. Construction technologies of pipe sinking and pipe jacking connection on the bottom of the Yangtze River [J]. Science & Wealth, 2016(8): 595-596 (in Chinese).

作者简介:周蓉(1969—),女,江西南昌人,工程硕士,高级工程师,副总经理兼总工程师,主要从事水污染控制工程设计及研究工作。

E-mail:zhourong2000@126.com

收稿日期:2021-06-02

修回日期:2021-07-14

(编辑:孔红春)