

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.02.013

## 孟加拉国PADMA水厂取水工程设计

胡 坤<sup>1</sup>, 李龙伟<sup>1</sup>, 车爱伟<sup>1</sup>, 巨志剑<sup>1</sup>, 白凯国<sup>1</sup>, 唐肿鹏<sup>2</sup>

(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PADMA水厂取水工程设计取水规模 $47.25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 工程前期对多条河流进行多维度比选, 最终确定Padma河为理想的水源。该河道属于游荡性河道, 存在雨季含沙量大(最大值为 $2.43 \text{ kg}/\text{m}^3$ )、河床冲刷淤积严重等问题。针对Padma河游荡性河道的特点, 通过分析近40年的Padma河航道变迁图确定合理的取水点位置, 并通过模型试验优化取水渠道为Y型明渠, 且采用对水体扰动最小的耙吸式挖泥船解决明渠淤积的风险。护岸采用坡式护岸, 上部采用混凝土块护砌, 护脚采用抛石的做法防止河道浪蚀和水流冲刷。取水泵房内设置叠梁闸、格栅、重锤式液控阀等设施, 阻挡雨季高水位运行工况下明渠底部的泥沙进入取水泵房, 以达到分层、安全、高效取水的目的。取水工程建成至今运行良好, 验证了该工程的安全可靠性。

**关键词:** 孟加拉国; 游荡性河道; 取水工程; 模型试验; Y型渠道

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)02-0073-06

## Design of Water Intake Project for PADMA Water Plant in Bangladesh

HU Kun<sup>1</sup>, LI Long-wei<sup>1</sup>, CHE Ai-wei<sup>1</sup>, JU Zhi-jian<sup>1</sup>, BAI Kai-guo<sup>1</sup>,

TANG Chong-peng<sup>2</sup>

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

**Abstract:** The design scale of PADMA Water Plant water intake project in Bangladesh is  $47.25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ . In the early stage of the project, Padma River was selected as the ideal water source by multi-dimensional comparison. The river is a wandering river channel and is characterized by high sediment concentration (the maximum value is  $2.43 \text{ kg}/\text{m}^3$ ) in rainy season and serious erosion and silting of the riverbed. According to the characteristics of the Padma River, reasonable water intake points were determined by analyzing the channel change map of the Padma River in the past nearly 40 years, and the water intake channel was optimized to be a Y-shaped open channel through model simulation. In addition, a trailing suction dredger with minimum disturbance to water body was applied to solve the risk of open channel silt. Slope revetment was selected in the project, its upper part was protected by concrete block, and riprap was adopted by the foot revetment to prevent wave erosion and current erosion. The water intake pump room was equipped with a stoplog gate, a grid, a heavy hammer hydraulic control valve and other facilities to prevent the sediment at the bottom of the open channel entering the water intake pump room under the operating condition of high water level in the rainy season, so as to achieve the purpose of layered, safe and efficient water intake. The water intake project has hitherto run well, which verifies the safety and reliability of the project.

**Key words:** Bangladesh; wandering river; water intake project; model simulation; Y-shaped open channel

## 1 项目背景

孟加拉国达卡市居民饮用水水源以深井地下水为主,地下水的过度开采导致地下水位下降严重,以2~3 m/a的速度下降;除此之外,地下水砷污染问题也日趋严重<sup>[1]</sup>,医学期刊《柳叶刀》报道称“研究人员对孟加拉国首都达卡 Arai-hazar 区近1.2万人的跟踪调查发现,20%以上的死亡者可能都是由被砷污染的井水引起的”。为解决孟加拉国达卡市的饮用水问题,达卡市供排水局(DWASA)计划至2035年新建4座大型地表水厂来逐渐替代地下水供水的格局,其中孟加拉PADMA水厂也在计划之内。该水厂的供水主要服务于达卡市的西北部区域,远期设计总规模 $90 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,一期设计供水规模 $45 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,建设内容包括 $95 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 取水明渠、1座 $47.25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 取水泵站、1座 $45 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 净水厂、1座加压泵站和32.5 km DN2 000压力输水管线,涵盖了取水、净水、加压、输水工程,是一个给水系统工程<sup>[2]</sup>。项目建成后将解决达卡地区超过400万民众的安全饮水问题,有效缓解该地区地下水开采压力。

## 2 水源确定

为选择合适的水源,对孟加拉国达卡市及周边4条主要河流(Padma、Dhaleshawary、Burigonga、Taltola Khal河),分别从水质、水量、取水安全及便利性、水源及水厂的位置、原水输送成本、扩建的可能性、厂址及土地价格等方面进行综合比选,最终

确定Padma河为水源,水源比选见表1。

表1 水源比选

Tab.1 Comparison and selection of water sources

项目	Padma	Dhaleshawary	Burigonga	Taltola Khal
水质	8	5	5	7
水量	9	8	8	8
安全	7	6	6	8
成本	8	7	6	8
厂址	8	7	7	7
扩建	8	8	8	8
地价	9	6	6	7
平均	8.14	6.71	6.57	7.57

注: 各项目比选采用10分制。

Padma河是由印度的恒河和布拉马普特拉河汇流而成,位置及实景见图1。Padma河取水口附近多年平均流量为 $38\ 180 \text{ m}^3/\text{s}$ ,设计最低水位为0.65 m(枯水位的保证率为97%),设计常水位为3.2 m(年平均水位),设计洪水位为7.12 m(百年一遇洪水位),主槽最大水深约44 m,河道最大宽度能达到10 km。该水源的主要优势为水量充沛、水质好,是相对理想的水源。

Padma河原水存在雨季原水浊度高(最高为541 NTU)、含沙量大(最大为 $2.43 \text{ kg}/\text{m}^3$ )、浊度变化范围大的水质特点。除个别指标外,其余各项指标均满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) II类水体的要求,是供水的优质地表水水源<sup>[2]</sup>。

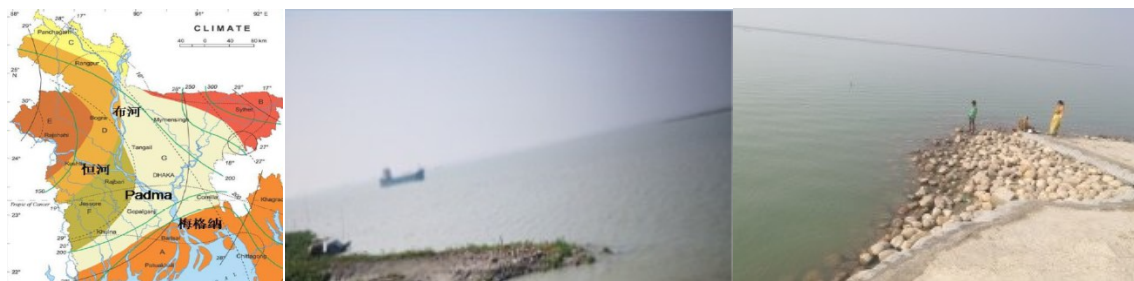


图1 Padma河位置及现场实景

Fig.1 Location and scene map of the Padma River

## 3 取水口位置选择

取水构筑物位置的选择是否恰当直接影响取水水质、水量、安全、投资、施工、运行管理及水资源

的综合利用。工程设计应当通过现场调查研究,全面掌握河流的特性,并根据河段的水文、地形、地质、环境卫生等条件全面分析,综合研究确定。在

条件复杂时,应考虑辅以水工模型试验,择优确定取水方案<sup>[3]</sup>。

Padma 河的河床实际宽度远大于稳定宽度,该河道长期处于严重淤积冲刷状态,其水流散乱,主流位置迁徙不定,河道内沙洲变化频繁,属于游荡性河道。

取水构筑物的选择应深入分析河床演变规律及变迁趋势,了解设计年限内河床淤积或冲刷的变化情况。不合理的选址可能会造成严重的淤积情况,甚至导致取水工程报废。游荡性河道的特性对取水点位置的选择提出了较大的挑战。

工程前期通过深入的实地调研,并与孟方业主充分沟通了解到,位于拟建的 Padma 大桥上下游的左岸相对稳定,可考虑将取水口的位置设在此区域内。该区域内 1973 年—2009 年近 40 年的航道平面图见图 2。

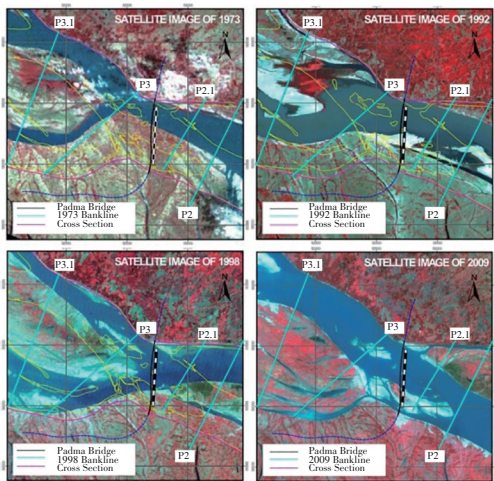


图2 Padma 河典型年航道图

Fig.2 Typical annual channel map of Padma River

从图 2 可以看出,P2. 1 断面及 P3. 1 断面的左岸在个别年份出现淤积严重的情况,P3 断面左岸相对稳定。Padma 大桥上下游一定距离范围内正在开展护岸工程的建设,P3 断面距离拟建 Padma 桥上游距离最近,约为 3 000 m,护岸工程的建设更有利于 P3 断面左岸的稳定。

利用收集的 P3 断面历年的河床数据,绘制 P3 断面的河床演变图(见图 3)。由图 3 可知,P3 断面左岸相对稳定,且此处河岸较陡,取水条件相对较好,利于设置取水构筑物,是比较合理的取水点位置。

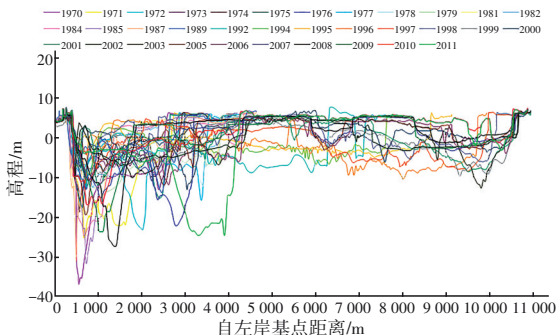


图3 P3 断面河床演变图(1970 年—2011 年)

Fig.3 River bed evolution map of P3 section(1970—2011)

4 取水型式的选择

4.1 取水型式的比选

考虑 P3 断面处河流的水文特性、水质特点、河床以及地质情况,设计提出渠道取水、精准闸取水及自流管式取水 3 种方案,具体比选见表 2。

表 2 取水型式方案比选

Tab.2 Comparison and selection of water intake schemes

项目	渠道取水	精准闸取水	自流管式取水
取水条件	经渠道沉淀,进入泵房的水质较好,但渠道存在淤积风险	可通过精准闸取到含沙量较低的表层水	可在取水头部设置多层进水孔,实现分层取水
抗冲刷	泵房位于护岸内,距离护岸约 200 m,比较安全	精准闸临河岸布置,抗冲刷能力一般	取水头部及自流管临河岸布置,抗冲刷能力一般
防淤积	可采用挖泥船清淤,较方便	精准闸附近可能会存在淤积,清淤较方便	取水头部附近会存在淤积,取水头部和自流管内的清淤则相对困难
运行管理	运行管理较方便,但须对取水口和渠道进行清淤	精准闸运行管理要求高,但沉砂池运行不便	运行管理不便,头部及管道内的淤积清理不便,沉砂池运行不便
维护便利	维护较方便	精准闸维护费用高	头部和自流管维护相对较困难
施工难度	施工较为简单,围堰工程量较小	施工复杂,围堰工程量较大	头部和管道施工复杂,围堰工程量大
总投资	低	较高	高
注: 由于 Padma 河雨季含沙量较大,取水方案需考虑沉沙设施,由于渠道取水方案中的渠道具有沉沙功能,可不用再设置沉砂池。			



结合业主的意见及当地的运行管理条件,考虑投资、施工及技术可行性,具有预沉效果的渠道取水具有明显优势。

## 4.2 引水明渠的设计

引水明渠的初始设计方案:明渠起点与主河道以大喇叭口形式衔接,并以 $72^\circ$ 的夹角相交。明渠进口底板高程为 $-1.15$  m,主河道设计高程为 $-2.50$  m,拦沙坎高度为 $1.35$  m。渠道断面形式为梯形断面,渠道底宽 $16$  m(见图4)。

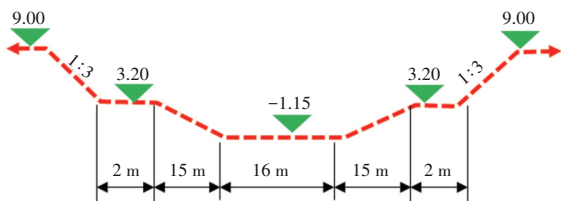


图4 梯形引水明渠横断面图

Fig.4 Cross section of trapezoidal open diversion channel

为进一步验证该取水型式的可行性,项目组委托国内某高校开展渠道取水的模型试验,引水明渠平面流场概化示意图见图5。试验模拟引水明渠在枯水位、常水位及洪水位等条件下的运行工况。在最不利工况下(最高水位 $7.12$  m,最大含沙量 $2.43$   $\text{kg}/\text{m}^3$ ),模型试验运行 $86$  h后,明渠前端淤积情况明显,淤积情况见图6。

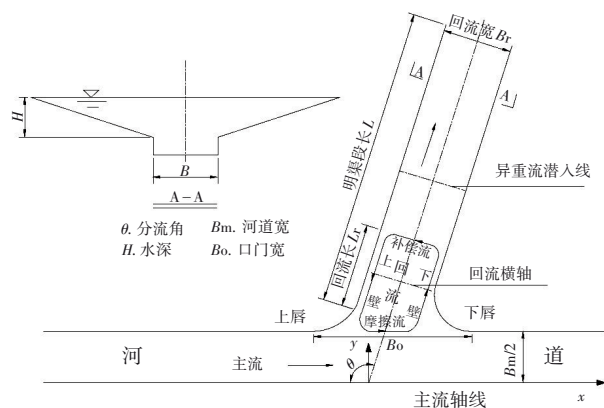


图5 引水明渠平面流场概化示意

Fig.5 Sketch of plane flow field in open diversion channel

为解决引水明渠前端的泥沙淤积问题,采用如下两种途径优化设计:

① 调整明渠与河道的衔接喇叭口,减小口门宽度以减少掺混扩散面积。

② 调整明渠断面形式及尺寸(明渠底宽由 $16$  m变为 $10$  m,明渠断面形式由梯形复式断面优化为

Y型复式断面,即常水位 $3.2$  m水位以下为矩形断面,以上为梯形断面),从而强化明渠水流的边界约束,增加渠道主流速破坏盲肠回流结构,减少回流泥沙淤积。

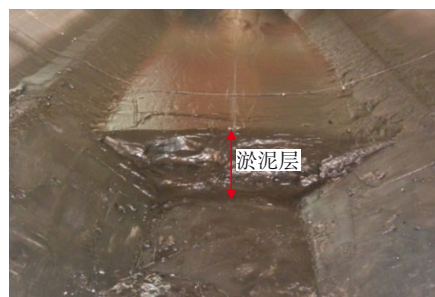


图6 梯形明渠水力模型淤积情况

Fig.6 Sedimentation of hydraulic model in trapezoidal open channel

引水明渠优化设计横断面形式见图7。梯形明渠在最不利工况下,渠道的淤积情况见图8。典型工况的浑水试验结果表明,优化方案对于改善明渠段及口门前的泥沙淤积有显著效果,渠道淤积厚度明显减小。该取水方式在运行过程中还是存在淤积风险,需考虑清淤措施。根据模型试验计算的淤积量,设计提出采用挖泥船来解决渠道淤积的风险。

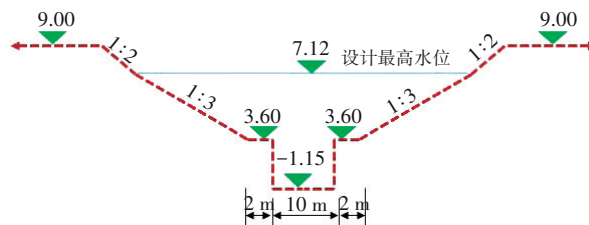


图7 Y型引水明渠横断面示意

Fig.7 Cross section of Y-shaped open diversion channel



图8 Y型明渠水力模型淤积情况

Fig.8 Sedimentation of hydraulic model in Y-shaped open channel

## 4.3 挖泥船选型

为确定挖泥船的能力,对渠道的淤积情况进行

分析,以 2001 年—2012 年所观测的含沙量资料为基础依据,概化形成了反映含沙量年度内变化的典型年。

根据水沙过程概化分析结果,典型年内 11 月—次年 5 月,河道水位低且含沙量均小于  $0.1 \text{ kg/m}^3$ ,不会存在泥沙淤积问题;6 月及 10 月,河道含沙量开始增加,由于水位低,明渠流速较大及挟沙力大于河道含沙量,也不产生淤积问题;7 月—9 月,在河道水位上涨的同时,河道含沙量也逐渐增加,产生淤积问题的概率明显增加,是防淤积的关键时期。

挖泥船的选型通过典型年淤积量计算确定。典型年最大淤积总量为  $16\,595.63 \text{ m}^3$ ,明渠设计清淤时长 45 d,挖泥船工作时间为  $8 \text{ h/d}$ ,最终计算挖泥船挖泥量为  $50 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

通过对绞吸式挖泥船、气力泵式挖泥船、耙吸式挖泥船等多种形式的挖泥船进行比选及实地考察,最终选择运行过程中对水体扰动最小的耙吸式挖泥船。

## 5 工程设计

取水明渠按照水厂的远期设计规模  $95 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  (考虑 5% 的自用水系数)一次性建成,取水泵房按照一期设计规模  $47.25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  建设。

Padma 河水通过取水明渠自流入取水泵房进水流道。

整个取水工程包含了护岸及取水渠道、取水泵房、变配电室及综合办公用房,取水泵站航拍图见图 9。

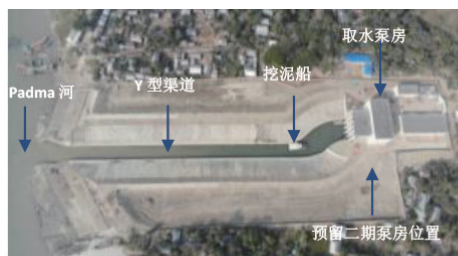


图 9 取水工程航拍图

Fig.9 Aerial photo of water intake project

### 5.1 护岸及取水渠道设计

孟加拉国无系统的河道堤防工程,雨季大部分区域(低洼地区)处于一片汪洋之中。考虑厂区的防洪防涝,工程设计将取水泵站范围内的地面标高吹填至最高洪水位  $7.12 \text{ m}$  以上,并设置护岸以保护

取水头部。

护岸设计采用坡式护岸,以  $4 \text{ m}$  高程为界分为上部护岸和下部护脚两部分。上部护岸主要采用混凝土块护砌,以防止浪蚀和水流冲刷;护脚主要采用抛石的做法保护堤脚,以确保护岸及防洪堤的安全。

引水明渠按照水厂的远期处理规模一次性建成,设计引水流量  $11.0 \text{ m}^3/\text{s}$ ,将 Padma 河水通过自流引入取水泵房的进水流道。渠道设计长度  $200 \text{ m}$ ,与主河道夹角约  $72^\circ$ ,始端与主河道采用小喇叭口衔接,与河道衔接处设拦沙坎阻挡河道推移质泥沙,末端与泵站流道顺接。综合考虑二期取水泵房的建设,渠道末端分为两支,中间设分流墩,二期取水泵房建设时可采用临时围堰围挡后施工。

考虑河道的最高水位、最低水位及多年平均水位、设计取水量等多种因素,渠道顶部设计高程为  $9.0 \text{ m}$ ,渠道进口处底板高程为  $-1.15 \text{ m}$ ,渠道末端(泵站流道进口处)高程为  $-2.0 \text{ m}$ ,设计纵坡  $0.425\%$ 。渠道采用 Y 型断面,  $3.6 \text{ m}$  高程处设  $2 \text{ m}$  宽马道,以下为底宽  $10 \text{ m}$  的矩形断面,以上至堤顶  $9.0 \text{ m}$  为梯形断面。渠岸迎水侧  $3.6 \text{ m}$  至渠道设计最高水位  $7.12 \text{ m}$  设计坡比  $1:3$ ,渠道设计最高水位  $7.12 \text{ m}$  至堤顶  $9 \text{ m}$  设计坡比  $1:2$ ,渠岸背水侧设计坡比  $1:2$ 。

### 5.2 取水泵房设计

一期取水泵房设置 5 台取水泵,为保证进水流道水流均匀,每台主泵单独设置流道,单格流道净宽为  $2.4 \text{ m}$ ,在每格流道顺水流方向设置叠梁闸、格栅、取水泵。叠梁闸不仅可以用于设备检修,而且在雨季高水位的工况下,可以根据情况放置部分闸板用以阻挡渠道底部的泥沙进入取水泵房,达到尽量取到渠道内水质较好表层水的目的。

泵房室内地面  $\pm 0.00 \text{ m}$  标高为  $9.0 \text{ m}$  (PWD 标高系统,考虑百年一遇洪水位  $7.12 \text{ m}$  预留部分富余量防止浪爬高)。泵房的阀门检修层设置在常水位  $3.2 \text{ m}$  以上,极大地降低取水泵房的高度,节省土建投资。取水泵采用立式混流泵,单泵  $Q=4\,922 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H=170 \text{ kPa}$ ,  $N=350 \text{ kW}$ ,采用  $6.6 \text{ kV}$  高压电机,水泵出口设置重锤式液控阀。为满足泵房内设备安装和检修,在室内设置一套桥式起重机,起吊质量为  $10 \text{ t}$ 。

建成后的取水渠道及取水泵房见图 10。



a. 取水渠道

b. 泵房

图10 取水渠道及泵房实景

Fig.10 Scenery of water intake channel and pump room

## 6 投资及运行效果

取水工程包含取水渠道及护岸、取水泵房、变配电室及综合办公用房,总投资约为1 495万美元。

运行水量:由于城区配套管网工程还未完善,供水项目目前还无法满负荷运行,在工程验收前的管道冲洗及72 h性能考核时(运行供水量为 $45 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ),在设计输水管线末端设置临时管道,将水排入Burigonga河,此时开启水泵台数为4台。实际运行的两年时间里,运行水量为 $(10 \sim 25) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,通过减少运行水泵数量及变频运行来满足用水需求,开启水泵台数最多为2台。

运行水位:取水渠道在2年内实际运行水位范围为1.25~6.70 m,其中每年水位超过5 m(该标高为水泵检修层的标高)的时间不超过15 d。设计时考虑了检修层顶板承压设计,以及立式混流泵与检修层的严格密封,防止水位超过5 m时河水渗入泵房,经过两个雨季的考验,检修层平台并未出现渗水的情况,从而验证了设计效果。

清淤:每年的清淤时间主要在洪水期间,由于其运行水量不大,每年的实际清淤时间在10 d内,通过耙吸式挖泥船及其配套的浮管将渠道底部沉积的泥沙排入Padma河随主流带走。

取水工程已经过2个雨季的考验,无论是旱季低水位还是雨季高水位、高浊度的工况,其运行效果均较好,完全满足设计要求。

## 7 结语

针对孟加拉国Padma河雨季泥沙含量大、冲淤

严重的游荡性河道,通过分析大量的河道历史水文资料,了解河床的演变规律及变迁趋势,正确选择取水位置,合理提出渠道取水的设计方案,并通过水力模型进行验证和优化渠道取水形式;护岸的设计减轻河道冲刷对取水口的影响;耙吸式挖泥船及叠梁闸的设计可减少泥沙进入取水泵房,提高了取水效率及取水设备的寿命,满足了本项目的高效、安全、经济的取水要求。本项目的成功实施及良好的运行效果,对类似的取水工程具有一定的参考价值。

## 参考文献:

- [1] 车爱伟,李龙伟,胡坤,等. 过河顶管技术在国外大口径输水管线工程的应用[J]. 中国给水排水,2019,35(16):77-81.  
CHE Aiwei, LI Longwei, HU Kun, et al. Application of pipe-jacking river-crossing technology in large-diameter pipeline project abroad [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(16): 77-81 (in Chinese).
- [2] 车爱伟,胡坤,李龙伟,等. 孟加拉国大型供水工程设计实例[J]. 中国给水排水,2020,36(16):74-80.  
CHE Aiwei, HU Kun, LI Longwei, et al. Design case of large-scale water supply project in Bangladesh [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(16): 74-80 (in Chinese).
- [3] 严煦世,范瑾初. 给水工程[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.  
YAN Xushi, FAN Jinchu. Water Supply Engineering [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1999 (in Chinese).

作者简介:胡坤(1983-),男,湖北石首人,硕士,高级工程师,注册公用设备工程师(给水排水),主要从事市政给排水的设计及研究工作。

E-mail:278464994@qq.com

收稿日期:2020-12-29

修回日期:2021-01-14

(编辑:孔红春)