

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.06.014

# 高效澄清池及V型滤池在孟加拉国大型水厂的应用

胡 坤<sup>1</sup>, 李龙伟<sup>1</sup>, 车爱伟<sup>1</sup>, 巨志剑<sup>1</sup>, 唐翀鹏<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(帕德玛)供水工程净水厂一期设计规模为 $45\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ , 针对原水高浊度、水质变化大、含沙量多的水质特点, 以及出水平均浊度值小于1.0 NTU、最高值不超过5.0 NTU的水质目标, 设计采用得利满公司的核心水处理工艺“高效澄清池+V型滤池”。高效澄清池运行调整灵活可靠, 对水质浊度变化有较强的适应性, 可根据水质水量变化自动调节药剂投加量。该工程已于2019年顺利通过竣工验收, 水厂已稳定运行近2年, 出水水质优于孟加拉饮用水标准及世界卫生组织(WHO)饮用水水质标准, 出厂水浊度 $\leq 0.2\text{ NTU}$ 。

**关键词:** 孟加拉; 供水工程; 高效澄清池; V型滤池

**中图分类号:** TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)06-0072-04

## Application of High Efficiency Clarifier and V-type Filter in a Large-scale Water Supply 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>, 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 phase I water purification plant of PADMA water supply project in Bangladesh is  $45\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ . The raw water is characterized by high turbidity, large fluctuation of water quality and high sediment content. In addition, average turbidity of the product water is required to be less than 1.0 NTU, and the maximum turbidity does not exceed 5.0 NTU. High efficiency clarifier and V-type filter, the core water treatment process of Degremont Company, was selected in the design. Operation of the high efficiency clarifier is flexible and reliable. It has strong adaptability to the change of turbidity, and can automatically adjust the dosage of the reagent according to the change of water quality and quantity. The project has successfully passed the completion acceptance in 2019, and the water plant has been operating stably for nearly 2 years. The product water quality is better than the Bangladesh drinking water standard and the World Health Organization (WHO) drinking water quality standard, and turbidity of the product water is no more than 0.2 NTU.

**Key words:** Bangladesh; water supply project; high efficiency clarifier; V-type filter

### 1 工程概况

孟加拉国大部分地区属亚热带季风气候, 湿热多雨, 是世界上雨水最多的国家之一。孟加拉国大多数沿海河流的地表水都含盐, 地下水是居民主要

的饮水水源, 是全世界地下水砷污染问题最严重的国家之一。

孟加拉 PADMA(帕德玛)供水工程远期设计总规模  $90\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ , 一期设计供水规模  $45\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ , 项

项目总投资为2.908亿美元,涵盖了取水、净水、加压、输水四部分工程,是一个饮用水处理系统工程<sup>[1-2]</sup>。本工程已于2019年建成通水,有效缓解了首都及周边地区的用水危机,有助于缓解使用地下水造成的地面沉降问题,对生态环境的保护起到积极的促进作用,该工程入选“一带一路”绿色发展国际联盟《“一带一路”绿色发展案例报告(2020)》。

## 2 工程技术路线

### 2.1 原水水质

该项目的取水水源为Padma河,Padma河由印度的恒河和布河汇流而成,布河发源于中国西藏的喜马拉雅山,中国境内称雅鲁藏布江,经大转弯后进入孟加拉国。根据孟加拉BUET环境工程实验室提供的Padma河水水质分析报告,原水浊度为320~541 NTU,悬浮物为501~865 mg/L,色度<206度,COD为7~17 mg/L,pH值为7.12~8.02,Fe为0.5 mg/L,电导率为122~130  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ,总大肠菌群为350~560 CFU/100 mL,碱度( $\text{CaCO}_3$ )为45 mg/L。在工艺选择上需考虑对浊度适应范围广的技术路线。

### 2.2 水质目标

根据设计合同对出水水质的要求,净水厂出水水质必须满足世界卫生组织(WHO)及孟加拉国饮用水标准,其中单独对浊度提出了要求:出水平均浊度值小于1.0 NTU,最高值不超过5.0 NTU。

### 2.3 工艺流程

针对原水高浊度、水质变化大、含沙量多的水质特点,设计采用得利满的高效澄清池+V型滤池的核心工艺。该工艺具有抗冲击负荷能力强、高效、实用、经济等特点。工艺流程见图1。

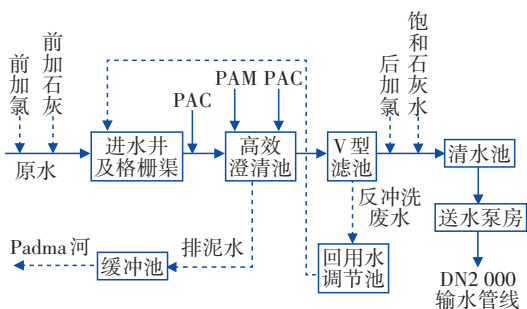


图1 净水工艺流程

Fig.1 Flow chart of water treatment process

## 3 工程设计

### 3.1 总图设计

净水厂总设计规模 $90 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,分两期建设。

一期设计规模 $45 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,并预留二期用地。水厂原地面标高为2~3 m,工程区域最高洪水位7.12 m,考虑厂区防洪,总图竖向设计需将场地抬高至7.5 m左右。场平采用孟加拉当地最常用的吹砂回填方式垫高场地,吹填砂选用中砂或中细砂以上的砂源。具体吹填流程:首先将吹填砂船运至本工程的取水口附近,然后架设吹砂管至净水厂,采用人工水力冲挖的方式,用高压水枪将砂土冲拌成浆液,并用泥浆泵将砂水混合物通过管道输送至水厂,在吹填区域四周挖排水沟进行排水,最后进行机械压实。场地四周采用1:2的放坡,并采用砖砌网格进行护坡,在网格内植草以保障边坡稳定。

总图布置将厂区分分为生活区和生产区,并在两个功能分区设置分隔围墙。生产区采用组团化、集约化的布置方式,以节约占地、减少工程造价。一期总占地面积143 473.52  $\text{m}^2$ ,主要建(构)筑物包括高效澄清池、V型滤池、清水池、送水泵房、加药间、加氯间及石灰室、回用水调节池、缓冲池等。厂区总平面布置见图2,实景见图3。

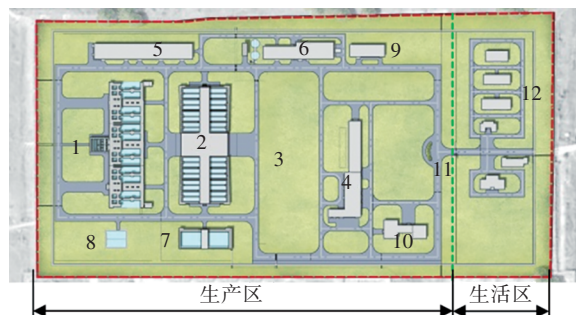


图2 净水厂总平面布置

Fig.2 General layout of water purification plant



图3 净水厂厂区实景

Fig.3 Actual scene of water purification plant

### 3.2 高效澄清池

高效澄清池由进水井、格栅渠、配水渠、混凝

区、絮凝区、沉淀区等组成。原水首先进入进水井及格栅渠,然后通过渠道配水均匀分配至每组高效澄清池。高效澄清池的原理及实景如图4所示,包含混凝区、絮凝区、沉淀区及污泥回流系统,沉淀池出水经出水渠汇流,在出水渠两侧设有后混凝池。污泥循环泵房设置于每两组澄清池中间,泵房内设有用于污泥循环及排放的螺杆泵,提高絮凝区的絮凝效果,抗冲击负荷能力强。进水渠底部、污泥循环泵房、出水渠底部能互连互通,便于日常巡检。

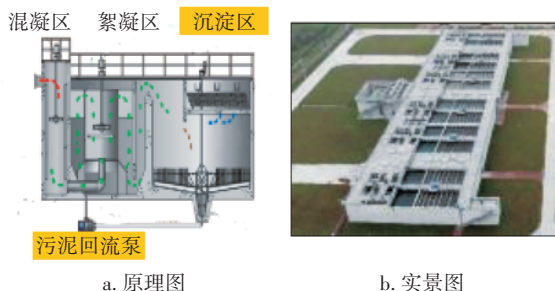


图4 高效澄清池原理图及实景

Fig.4 Principle diagram and real scene of high efficiency clarifier

① 格栅渠:格栅渠共设4组,渠宽2.7 m,有效水深2.0 m,采用循环式齿耙格栅除污机,栅隙5 mm,安装角度75°。每两组格栅配套一台螺旋输送机,在格栅前后设有液位差计,可实现自动/手动控制格栅的启停。

② 混凝池:进水渠道的原水通过6个配水堰被均匀分配进入6组混凝池,混凝池由两个串联的反应室组成,每个反应室安装一台立式快速搅拌机,混凝剂(PAC)投加至混凝池的第一个反应室。混凝池反应时间为2.7 min,速度梯度设为 $250\text{ s}^{-1}$ 。混凝后的原水经一根进水管进入絮凝池。

③ 絮凝池:在中心区域设有导流筒及絮凝搅拌机,使进水在絮凝池内快速絮凝和循环;在周边区域流速较慢,以确保絮凝物增大致密。絮凝剂(PAM)通过环形不锈钢穿孔管投加至中心反应区和通过管道投加至循环污泥管。絮凝搅拌机配有变频器。絮凝池水力停留时间8 min。

④ 沉淀区:絮凝区形成的絮体在进入沉淀区时流速降低,以避免絮体的破碎和旋流的形成,绝大部分絮体在沉淀区得到去除,水中剩余的絮体在斜管区被截留,通过良好的沉淀和斜管沉淀截留,出水经过斜管上方的集水槽收集后汇入出水渠。

污泥在沉淀池内得到浓缩,可减少排泥水量。斜管区的液面负荷为 $18.5\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。

⑤ 后混凝区:出水渠进入两侧的后混凝池,反应时间为30 s,速度梯度 $250\text{ s}^{-1}$ 。后混凝池出水通过2根进水管流入后续V型滤池。

⑥ 污泥循环泵房:每座高效澄清池设3台污泥螺杆泵(2用1备),设计流量为 $150\text{ m}^3/\text{h}$ ,其中1台为循环污泥泵,用于将浓缩区污泥回流至絮凝区进水管;1台污泥外排泵,间歇排泥;1台公共备用泵。其中循环泵和备用泵为变频泵。

### 3.3 V型滤池

Padma河原水浊度为320~541 NTU,雨季浊度变化比较大。V型滤池滤料选用纳污能力强的石英砂,有效粒径 $d_{10}=1.35\text{ mm}$ ,不均匀系数 $K_{80}<1.6$ ,滤料厚度1.2 m。滤池共设有4组,每组4格,共16格,双排布置。采用组团化、集约化设计,滤池与反冲洗泵房、鼓风机房、配电室合建。

① V型滤池:V型滤池为重力下向流,采用均质砂滤床,为保证滤池恒水位运行,随着滤料纳污层不断增加,出水启动调节阀的开度会随之增大。滤池单格尺寸 $11.26\text{ m}\times 17.19\text{ m}$ ,滤速 $7.27\text{ m/h}$ ,强制滤速 $8.31\text{ m/h}$ (1格滤池反冲洗,1格检修),采用整体浇筑滤板。为节约用水,在反冲洗前维持出水气动调节阀的开启状态,关闭进水气动闸阀,待水位降下来后再进行反冲洗,一次反冲洗水量为 $680\text{ m}^3$ ,反冲洗废水排入回用水调节池经过沉淀处理后,上清液回流至进水井、污泥排至缓冲池。

② 反冲洗泵房:反冲洗步骤,先气冲+表面扫洗、再气水联合冲+表面扫洗、最后单独水冲+表面扫洗,冲洗强度分别为气冲 $55\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ,水冲 $7.5$ 及 $15\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ,表面扫洗 $7.12\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ 。反冲洗泵房设有3台反冲洗泵(2用1备), $Q=1\,260\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=80\text{ kPa}$ ;3台鼓风机(2用1备), $Q=4\,614\text{ m}^3/\text{h}$ , $P=40\text{ kPa}$ 。鼓风机房内安装有2台空气压缩机和2个储气罐,为滤池的气动阀提供气源。

### 3.4 其他建(构)筑物设计

① 加药间:混凝剂为PAC,分别投加至前混凝池和后混凝池,前混凝最大和平均投药量分别为40、20 mg/L,后混凝最大和平均投药量分别为4、2 mg/L。药液采用计量泵投加,前混凝剂投加泵设7台(6用1备),后混凝剂投加泵设3台(2用1备),每台泵泵送能力可以通过变频器根据进水流量等比



例调节。絮凝剂为PAM,投加至絮凝池及循环污泥管,最大、平均投药量分别为0.4、0.2 mg/L,采用螺杆泵投加,共7台(6用1备),每台泵泵送能力可以通过变频器根据进水流量等比例调节。

② 石灰间:根据原水的碱度和出厂水的pH值,分别在水厂的进水管和清水池内投加石灰乳和饱和石灰水,最大投加量[以 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 计]分别为10、15 mg/L,采用螺杆泵投加,后加石灰在进入石灰饱和器后重力流入清水池,杂质在饱和器中沉淀后通过电动阀间歇排放至灰渣池。

③ 加氯间:消毒剂采用液氯,前加氯最大投加量为4 mg/L,采用流量比例控制,后加氯最大投加量为2 mg/L,采用余氯反馈控制。在加氯间设有氯气检测报警仪,氯库设有探头和氯瓶自动切换装置,同时配备有漏氯吸收装置。

④ 清水池:2座,总有效容积20 000  $\text{m}^3$ ,调节容积为4.4%。与国内清水池调节容积(一般为最高日设计水量的10%~20%)相差较大,主要考虑孟加拉当地电力供应紧张,经常停电停水,用户一般通过自建地下水池及高位水箱来保证用水需求。因此,清水池设计尽可能减少调蓄容积,仅考虑加氯消毒的接触时间及水厂与加压泵站水量的平衡,在保障供水安全的前提下,进一步降低工程造价。

⑤ 送水泵房:泵房内共设置卧式离心泵6台(4用2备),其中2台变频, $Q=4\ 760\ \text{m}^3/\text{h}$ , $H=380\ \text{kPa}$ , $N=710\ \text{kW}$ ,采用6.6 kV的高压电机,水泵出口设置液控蝶阀。

### 3.5 工程特点

① 构(建)筑物组团化、集约化布置。进水井、格栅渠与高效澄清池合建,V型滤池、反冲洗泵房与配电室合建,节约占地,方便管理,并能减少构筑物之间的水头损失;由于厂区地质存在液化的情况,组团化设计大大减少了厂区地基处理费用。

② 水处理工艺先进、实用、经济。采用高效澄清池及V型滤池的核心水处理工艺,其中,高效澄清池运行调整灵活可靠,对水质浊度变化有较强的适应性,药剂投加可根据水质水量变化进行自动调节,高效澄清池单格沉淀区面积为289  $\text{m}^2$ 、V型滤池单格面积为167.8  $\text{m}^2$ ,在国内外应用案例均较少。

③ 按照现代化水厂的理念进行设计,核心水处理工艺及泵房均可以一键启动,自动化程度高。

### 4 运行效果

该项目于2019年完成调试运行,同年2月,顺利通过工程验收,并收到DWASA颁发的工程移交证明(Taking-over Certificate),2020年6月收到DWASA提供的履约证书(Performance Certificate)。截至目前,净水厂已稳定运行近2年,出水水质优于孟加拉饮用水标准及世界卫生组织(WHO)饮用水水质标准,出厂水浊度 $\leq 0.2\ \text{NTU}$ 。水厂单位制水成本为1.21元/ $\text{m}^3$ ,年经营成本为0.85元/ $\text{m}^3$ 。

### 5 结语

采用得利满公司的核心水处理工艺“高效澄清池+V型滤池”处理Padma河高浊度原水,并采用组团化、集约化布置,节约工程造价,便于后续运营管理。工程建成后,水厂出水平均浊度不大于0.2 NTU,出水水质优于孟加拉及世界卫生组织(WHO)饮用水水质标准,完全满足要求。

### 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).

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(给排水),主要从事市政给排水工程设计与研究工作。

E-mail:278464994@qq.com

收稿日期:2021-03-03

修回日期:2021-03-19

(编辑:孔红春)