

工程实例

DOI: 10. 19853/j. zgjsps. 1000-4602. 2024. 24. 012

天津市某常规工艺水厂升级改造实例

陈凯¹, 李荣光², 郑景行³, 周瑶¹, 李志鹏¹, 马斌³

(1. 天津水务集团滨海水务有限公司, 天津 300300; 2. 天津水务集团有限公司, 天津 300042; 3. 天津津港水务有限公司, 天津 300450)

摘要: 天津市某水厂采用常规处理工艺运行超过20年,因工艺设备老旧、自控程度较低,产水量受限,亟需进行升级改造。通过对水厂机械加速澄清池和虹吸滤池进行改造,增加自控系统,提高了水厂智能化水平,且在原水水质波动、供水需求增加的情况下均能有效保障供水安全稳定。改造后,送水泵房综合单耗下降至 $0.20\sim 0.25\text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$,混凝剂投药量明显降低,滤池的浊度去除率提升至 $70\%\sim 80\%$,出厂水压力稳定在 $0.32\sim 0.34\text{ MPa}$ 。在日均供水量不断升高的情况下,各项水质指标均满足标准要求。

关键词: 机械加速澄清池; 虹吸滤池; 自控系统

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)24-0075-06

Upgrading Case of a Conventional Waterworks in Tianjin

CHEN Kai¹, LI Rong-guang², ZHENG Jing-xing³, ZHOU Yao¹, LI Zhi-peng¹,
MA Bin³

(1. Tianjin Water Group Binhai Water Co. Ltd., Tianjin 300300, China; 2. Tianjin Water Group Co. Ltd., Tianjin 300042, China; 3. Tianjin Jingang Water Co. Ltd., Tianjin 300450, China)

Abstract: A waterworks in Tianjin using conventional treatment process for over 20 years is extremely in need of upgrading, due to old process equipment, low degree of self-control and limited water production capacity. It could effectively guarantee the safety and stability of water supply even when the raw water quality fluctuated and the water supply demand increased, through transformation of the mechanical accelerated clarifier and siphon filter, adding the automatic control system, improving the intelligent level of the waterworks. After the renovation, the comprehensive consumption of single water supply pump is reduced to $0.20\sim 0.25\text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$, the dosage of coagulant is significantly reduced, the turbidity removal rate of the filter is increased to $70\%\sim 80\%$, and the outlet water pressure is stable between $0.32\sim 0.34\text{ MPa}$. Under the condition of increasing daily water quantity, all the water quality indexes meet the standard.

Key words: mechanical accelerated clarifier; siphon filter; automatic control system

自来水厂生产系统运行时间较长,易出现设备陈旧、工艺老化现象,造成供水能力下降、制水成本

增加等问题,并存在一定安全风险^[1-2]。天津市某水厂于1995年建成投产,其常规处理工艺已运行20多

年,为提升出水水质、保障运行安全,需对生产工艺设备设施进行全面的升级改造,同时建设自控系统,全面提高水厂智能化水平。

1 项目概况及存在的问题

1.1 项目概况

该水厂采用传统处理工艺,设计处理能力为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,改造前日均供水量约 $1.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。原水为长江水和滦河水双水源,原水水质及出厂水指标分别见表1、2。

表1 长江水、滦河水的水质对比

Tab.1 Comparison of raw water quality between Yangtze River and Luan River

项目	浊度/NTU	氯化物/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	氨氮/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	COD _{Mn} / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
长江水	0.2~8.0	6~16	0.01~0.19	0.4~4.0
滦河水	0.8~4.0	30~42	0.11~0.26	2.3~4.3

表2 出厂水指标与国家、企业标准对比

Tab.2 Comparison of treated water indexes with national and enterprise standards

项目	出厂水	国家标准	企业内控标准
浊度/NTU	0.3~0.9	1	0.3
COD _{Mn} /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1.3~2.9	3	3
色度/度	<5	≤15	≤15
余氯/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.3~0.7	≥0.3	0.6~1.2
铝/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.1~0.2	≤0.2	≤0.15
铁/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	<0.05	≤0.3	≤0.2
锰/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	<0.02	≤0.1	≤0.1
总硬度(以 CaCO_3 计)/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	210~220	≤450	≤450

厂内有储水量 $5\,000 \text{ m}^3$ 的原水池2座、机械加速澄清池2座、虹吸滤池2座、加药间1座,储水量分别为 $2\,500$ 、 $5\,000 \text{ m}^3$ 的清水池各1座。现状工艺流程见图1。

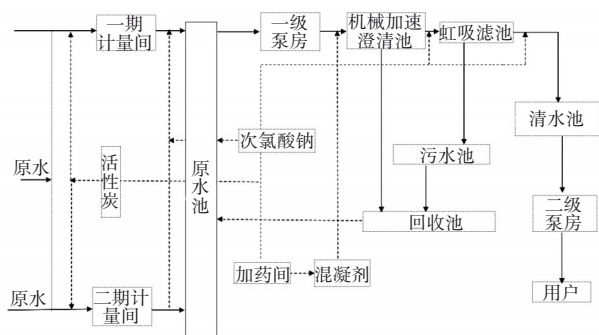


图1 现状水厂工艺流程

Fig.1 Current process flow chart of the waterworks

由表2改造前出厂水指标与国家、企业内控标

准对比可知,浊度、COD_{Mn}、余氯、铝存在一定的超标风险。为保障供水水质指标合格,开展了对该水厂的升级改造工作。

1.2 改造前存在的问题

① 进水泵房设有6台功率15 kW、扬程120 kPa、单泵流量 $260 \text{ m}^3/\text{h}$ 的潜水泵。泵房内线路混乱,管线、阀门锈蚀严重,空间狭小,不利于维护维修,阀门漏水、水泵停坏的现象频发,且进水泵房阀门变径不合理,导致进水泵效率较低。

送水泵房设有6台离心泵,其中4台功率132 kW、扬程660 kPa、单泵流量 $485 \text{ m}^3/\text{h}$,2台功率75 kW、扬程640 kPa、单泵流量 $288 \text{ m}^3/\text{h}$ 。原泵扬程高、流量小、综合单耗高,高峰供水时期水量难以满足需求,且维修维护频繁。

② 加药间设备老化、管线布置凌乱,缺乏准确计量设施。设有8台计量泵用于投加混凝剂,其中5台额定流量 464 L/h ,1台额定流量 334 L/h ,2台额定流量 101 L/h 。设有6台计量泵用于投加次氯酸钠,其中4台额定流量 25 L/h ,2台额定流量 13 L/h 。因水厂实际混凝剂投加量约 10 L/h ,与计量泵额定流量相差较大,无法实现药剂的准确投加。

③ 机械加速澄清池能耗较大,内部器件有腐蚀现象,维修困难。伞形罩锈蚀严重且移位,污泥斗底部焊死,出水水质受水量影响大,运行效果较差,产水量达不到设计值。

④ 虹吸滤池承托层约 300 mm ,滤料层厚度约 600 mm ,石英砂滤料粒径为 $2 \sim 3 \text{ mm}$,部分滤料流失,截污能力变差。

⑤ 两座清水池和回收池存在积泥现象,影响回流水的水质和回收池调蓄能力;回收池内仅有2台排泥泵,排泥面积小、效果差、频率高,导致池内排水量大、排泥量少。此外,汛期厂区内积水易流入回收池,存在水质隐患。

⑥ 水厂的两个主要供水区域为老城区及大学城区域,出厂水经送水泵房由DN400管线向老城区方向DN600管线供水;旁通一根DN300管线,向大学城方向DN500管线供水。这种供水模式造成较大的压力损失且供水量有限,不能满足供水量逐步上升需求。

⑦ 自动化程度低,水厂设备设施老旧,数据采集及操作均需人工现场进行,不能满足生产运行需求,信息化管理水平低。

2 水厂提升改造

针对该水厂存在的问题,为保障出水水质,提高水厂管理水平,制定了改造方案,对进水和送水泵房、机械加速澄清池、虹吸滤池、自控系统等进行升级改造。

2.1 进水和送水泵房改造

对进水泵房内潜水泵进行全面的维修维护,同时加装相同参数变频潜水泵1台。替换下的1台潜水泵作为备用,提高了设备备用率;对所有线缆进行规范布置,阀门和管线进行防腐处理,提高工艺运行稳定性;通过加装变频器,实现对水量的精准控制,达到节能降耗的目的;对进水泵房阀门、单流阀、软连接管进行更换,解决了不合理变径问题。保留送水泵房不同功率的原离心泵各1台,新装4台变频离心泵,其中2台功率75 kW、扬程420 kPa、流量450 m³/h,另外2台功率110 kW、扬程410 kPa、流量750 m³/h。新泵组扬程降低、流量加大,可有效降低综合单耗,同时满足高峰水量需求。

2.2 加药间改造

因三氯化铁、聚合氯化铝溶液的投加量约10 L/h,次氯酸钠溶液的投加量约25 L/h,将原有的投药泵改为9台流量为30 L/h的数字计量泵,其中用于三氯化铁、聚合氯化铝投加的各2台,用于次氯酸钠投加的4台,1台备用,使药剂投加更加精准。通过在加药点安装静态混合器,改善了药剂混合不均的问题,进一步提高了机械加速澄清池的混凝效果,降低了滤前浊度。图2为混凝剂、次氯酸钠加药点及静态混合器位置。

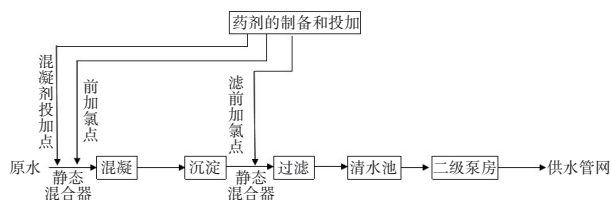


图2 加药点和静态混合器位置

Fig.2 Dosing points and location of static mixers

次氯酸钠投加量依据原水池水量进行自动调节,增加预加氯共计0.7 mg/L。根据水厂取样点设置情况,调整滤后加氯点至滤前,加氯量为1.2~2.0 mg/L;对加药管沟、管线和盖板进行了维修和更换,对加药管线进行保温处理,实现了出厂水余氯稳定合格,提高了水质保障能力。

2.3 机械加速澄清池改造

将2座澄清池加装金属结构支架和斜管,增加了沉淀面积,提高了对水中颗粒物的去除率;更换了滤池内伞形罩,对污泥斗进行了维修;改造排泥管,解决了管道角度不合理、排泥不畅的问题。因排泥管效果良好,将每小时排泥6 min缩短为1 min,产生排泥水量由720 m³/d降为120 m³/d。

2.4 虹吸滤池改造

将原滤池上层300 mm的滤料由原来的粒径2~3 mm调整为0.8~1.2 mm,增强了滤池截污能力,滤后浊度明显降低,且滤速满足设计规范要求;针对滤池排水槽水泥脱落破损,排水大虹吸管、清水堰卡槽锈蚀严重,清水堰板缺失等情况及时进行维修维护,并安装滤池控制阀,全面保障滤池处理能力。

2.5 清水池清洗和排水系统改造

通过对2座清水池和回收池进行清洗,增加了调蓄能力和水质保障能力,其中回收池在回流水水质提升的同时增加65%的蓄水量,为高峰供水奠定良好基础;回收池吸泥桁车加装6台绞吸泵,排泥周期由每天1次调整为每周1次,极大提高了排泥效率,减少了水量损失。经计算,产生排泥水量由920 m³/d降至148.6 m³/d,结合日均供水量的增长,水损率由原来的8.36%降至0.57%。同时,对排污泵房和回收泵房潜水泵耦合口进行更换,解决了潜水泵启动后耦合口漏水造成安全隐患、增加用电成本等问题,设备运行更加稳定。

为解决汛期厂区积水流入回收池的问题,生产区新建了350 m长排水沟和16座排水井,同时通过厂区大门安装防汛挡水板、设置2座集水井固定安装排水泵、与主雨排管连接部位安装防倒灌鸭嘴阀等措施,保障了汛期生产和水质安全。

2.6 供水模式调整

供水管线改造如图3所示。

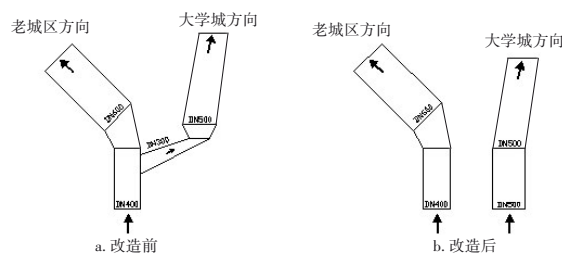


图3 供水管线改造示意

Fig.3 Renovation diagram of water supply pipeline

拆除原DN300旁通管线,新增DN500供水管线与大学城方向DN500管线连接,将原出厂水DN400管线直接与老城区方向DN600管线连接供水,实现大学城与老城区两大供水区域分压供水,在分别保障管网末梢压力合格的情况下有效降低供水压力,提升供水能力。

2.7 自控改造

图4为水厂网络拓扑图。

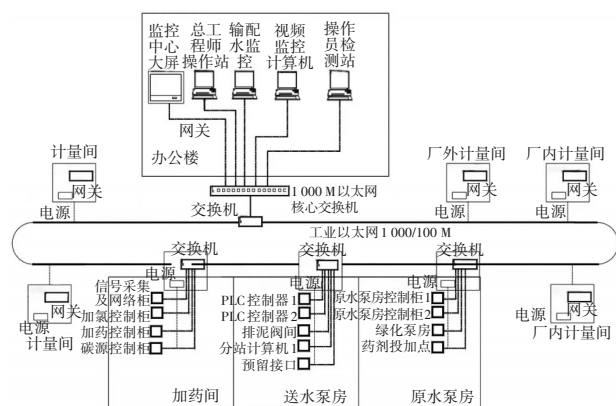


图4 水厂网络拓扑图

Fig.4 Network topology of the waterworks

在送水泵房离心泵出口加装压力在线仪表,准确掌握泵出口压力、计算离心泵效率,科学合理调整运行状态;通过加装回流水流量及水质在线浊度仪,可实时对回流水的水量和水质进行监控。在机械加速澄清池和虹吸滤池处各加装2台浊度仪和余氯仪;在进水和送水泵房处加装电导率分析仪、pH分析仪各1台,实现水质信息的过程监控。构建由工业计算机和PLC组成的集散型自控系统,对各工艺环节进行生产设备的分散控制^[3]。其中进水泵房利用变频器将泵组运行转变为一拖多的变频控制模式,对出水瞬时流量和累积流量进行采集,利用数据远传功能,将运行数据、故障信息传送至监控中心。同时,系统可根据设定流量自动控制水泵的运行,实现自动加泵减泵、故障自动切换、定时轮换、分时段控制等功能;加药间可通过进水流量自动匹配投药量,对瞬时流量和累积流量进行数据采集和储存;机械加速澄清池实现了对搅拌器的变频控制和远程排泥控制;虹吸滤池增加了反冲洗的远程控制;实现了鼓风机曝气量的可控调节,解决了因选型较大初曝气时滤料流失的问题;送水泵房除利用通信柜进行流量数据采集外,通过安装电力仪

表,实现了各单体和主要设备的电量采集。此外,计量间均实现了流量数据的采集和传输。自控系统的改造实现了水厂对生产数据的积累和分析,利用自动加药、恒压供水、故障处理、数据采集等功能,降低了人力成本和处突时间,大大提高了水质保障和应急处理能力,全面提高了水厂智能化水平^[4]。

3 改造成效

3.1 泵房综合单耗

经改造,进水泵房综合单耗平均值由原来的76.73 kW·h/10³ m³降至73.59 kW·h/10³ m³,综合单耗降幅约4.1%。图5为送水泵房改造前后综合单耗对比。

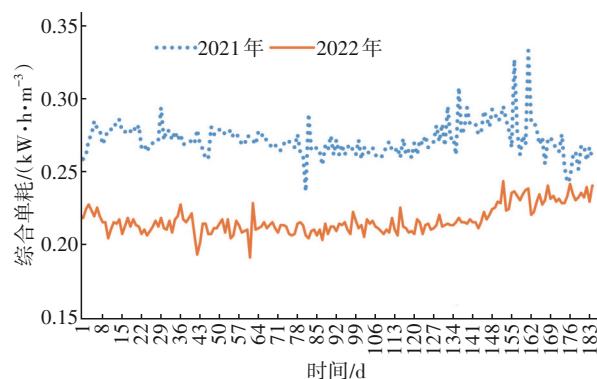


图5 2021年和2022年送水泵房综合单耗对比

Fig.5 Comparison of water supply pump comprehensive single consumption in 2021 and 2022

由图5可以看出,综合单耗由2021年的0.25~0.30 kW·h/m³降至2022年的0.20~0.25 kW·h/m³,水泵运行效率为70%~84%,泵房改造在推进水厂节能降耗方面取得显著效果。

3.2 混凝药剂投加

图6为混凝剂投加情况的同期对比。

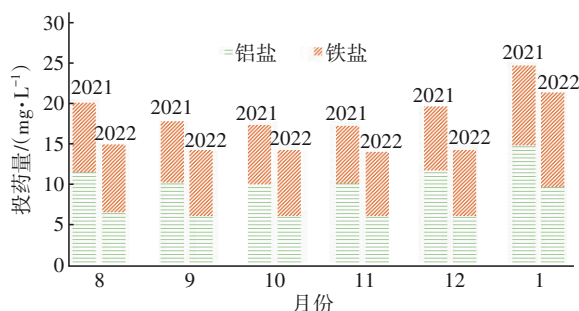


图6 混凝剂投加情况的同期对比

Fig.6 Comparison of coagulant dosage in the same period

选取改造前后水厂混凝剂投加数据,依据数字计量泵精准投加,在保障水质稳定的前提下,投药量明显降低。

3.3 滤池的浊度去除率

选取滤池改造前后的浊度去除率进行对比,结果见图7。

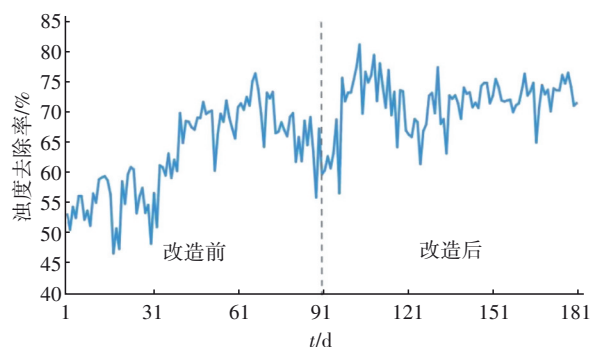


图7 改造前后滤池浊度去除率对比

Fig.7 Comparison of turbidity removal rate of filter before and after reconstruction

滤池改造期间日均供水量约 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 滤前浊度约 0.4 NTU, 滤速为 10 m/h。由图7可以看出, 未进行滤料更换时滤池的浊度去除率约 50%~70%。在水温由 30 °C 降至接近 0 °C 且水量基本持平的情况下, 更换滤料后, 滤池浊度去除率维持在 70%~80%, 过滤效果良好。

3.4 出厂水水质、水量

该水厂经过全面改造, 在原水为长江水和滦水时期出厂水水质均十分稳定。

整体改造前后水厂全年供水量对比如图8所示, 整体改造前后出厂水浊度、余氯浓度变化如图9所示, 夏季和冬季出厂水 24 h 余氯变化如图10所示。

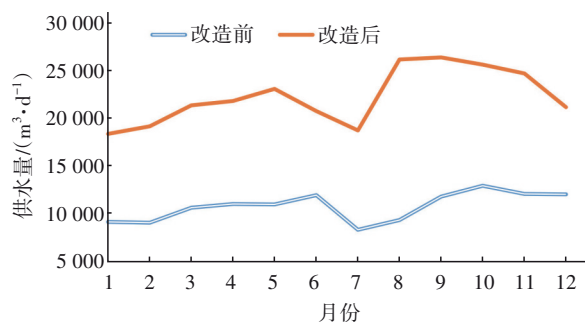
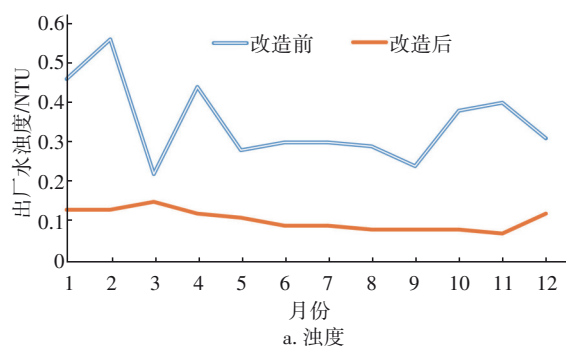
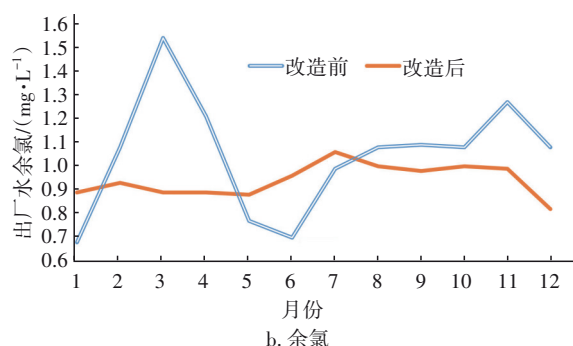


图8 改造前后全年供水量对比

Fig.8 Comparison of annual water supply before and after reconstruction



a. 浊度



b. 余氯

图9 改造前后全年出厂水浊度、余氯对比

Fig.9 Comparison of turbidity and residual chlorine before and after reconstruction for annual treated water

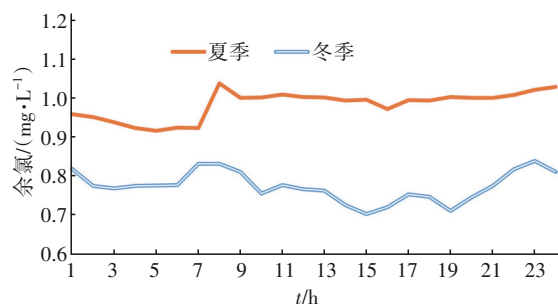


图10 夏季和冬季出厂水24 h余氯变化

Fig.10 Change of treated water residual chlorine for 24 hours in summer and winter

据统计, 改造前水厂日均供水量约 $1.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 改造后当年日均水量增至 $2.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 第二年同期日均供水量升至 $2.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 最高日供水量达到 $2.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 在日均供水量不断提高的情况下, 滤前浊度均可维持在 0.4 NTU 以下, 全年出厂水浊度均在 0.2 NTU 以下; 根据要求, 控制余氯在夏季 0.8~1.2 mg/L 和冬季 0.6~1.0 mg/L 范围内, 其余水质指标也均满足更为严格的企业标准, 在水量增长的同时保证了水质稳定。

3.5 出厂水压

通过送水泵房泵组更换和供水管线切改等一系列措施, 出厂供水压力较改造前明显降低并更趋

稳定。图11为改造前后同期出厂水压力对比,原出厂水压力为0.30~0.42 MPa,改造后出厂水压力稳定在0.32~0.34 MPa。

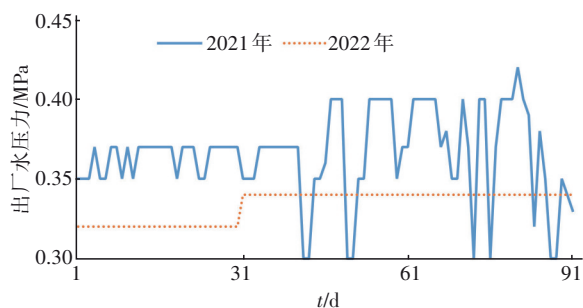


图11 2021年和2022年出厂水压力对比

Fig.11 Comparison of outlet water pressure in 2021 and 2022

4 结论

原水厂设备老旧,水质不稳定,通过对机械加速澄清池加装斜管、更换虹吸滤池滤料等方式,增强了工艺处理能力,提高了出水水质;根据实际需求,通过优化更换泵组、安装数字计量泵、优化排泥装置等措施,降低了水厂能耗及药剂使用量,在水质稳定的基础上做到节能降耗;结合实际情况进行供水管线改造、加装在线仪表及自控系统,全面提升了水厂管理水平。改造后,在供水量超过 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 设计流量的高峰供水期间、原水切换为滦河水、进厂水质较差时期,各项水质指标均能满足企业内控水质标准,有力保障了供水水质稳定及供水安全。

参考文献:

[1] 贾柏樱,李广生,胡建昆.天津市杨柳青水厂升级改造

方案研究[J]. 中国给水排水,2014,30(6):17-20.

JIA Baiying, LI Guangsheng, HU Jiankun. Study on upgrading and reconstruction scheme of Yangliuqing waterworks [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(6):17-20 (in Chinese).

[2] 王如华. 现有城镇水厂技术升级改造面临的主要问题及对策[J]. 净水技术,2012,31(4):4-6,83.

WANG Ruhua. Main problems and solutions of technical upgrading and rehabilitation for existing urban water treatment plant [J]. Water Purification Technology, 2012, 31(4):4-6,83 (in Chinese).

[3] 尹德斌,朱庆明. 水行业自控系统选型分析[J]. 中国给水排水,2010,26(12):12-15.

YIN Debin, ZHU Qingming. Selection analysis of automatic control system used in water industry [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(12):12-15 (in Chinese).

[4] 范骏,邓晓,任九天,等. 扬州第四水厂自动控制系统改造及优化运行[J]. 中国给水排水,2017,33(22):98-101.

FAN Jun, DENG Xiao, REN Jiutian, et al. Transformation and optimal operation of automatic control system of Yangzhou Fourth Waterworks [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(22):98-101 (in Chinese).

作者简介:陈凯(1977-),男,天津人,硕士,高级工程师,主要研究方向为水处理技术。

E-mail:879753858@qq.com

收稿日期:2023-09-26

修回日期:2024-01-22

(编辑:衣春敏)

贯彻绿色发展理念

推进美丽中国建设