

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.10.012

短流程超滤膜工艺在凌庄水厂的应用

赵新娟, 刘伯一

(天津市华森给排水研究设计院有限公司, 天津 300190)

摘要: 天津市凌庄水厂现有净水系统设计规模为 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 处理工艺为反应沉淀 + 普通快滤池, 为了达到出厂水量和水质要求, 亟需改造。通过对各种沉淀澄清池进行技术经济比较, 对国内外大型水厂膜组合工艺进行分析对比, 以及邀请多家超滤膜公司进行中试, 确定了凌庄水厂新建净水系统 ($30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) 采用预处理、PULSAZUR[®] 上向流炭吸附反应澄清池与压力式超滤膜短流程处理工艺。该工艺可有效应对以南水北调中线原水为主水源、引滦原水为备用水源的原水水质。该净水系统较国内已建成压力式超滤膜工艺缩短了工艺流程、降低了建设投资, 且可根据原水水质确定预氧化剂和粉末活性炭的投加, 从而降低运行成本。实际运行表明, 该工艺可以保证出厂水浊度 $< 0.1 \text{ NTU}$, 耗氧量 $< 2 \text{ mg/L}$, 有效保障了出厂水的化学安全性和生物安全性。

关键词: 自来水厂; 压力式膜处理工艺; 上向流炭吸附反应澄清池

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)10-0071-04

Application of Short Process Ultrafiltration Membrane in Lingzhuang Waterworks

ZHAO Xin-juan, LIU Bo-yi

(Tianjin Huamiao Water & Wastewater Research & Design Institute Co. Ltd., Tianjin 300190, China)

Abstract: The present treatment capacity of Tianjin Lingzhuang waterworks is $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, and the treatment process includes reactive precipitation and conventional rapid filter. In order to meet the requirements of quantity and quality of product water, Lingzhuang waterworks is in urgent need of renovation. Through technical and economic comparison of various sedimentation tanks and clarifiers, analysis and comparison of combined membrane processes in large waterworks at home and abroad, and pilot tests carried out by many ultrafiltration (UF) membrane companies, the process of pretreatment, PULSAZUR[®] and pressure short process UF membrane was determined to be the newly-built purification system ($30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$) in Lingzhuang waterworks. This process could effectively deal with the raw water from Middle Route of the South-to-North Water Diversion as the main water source and the raw water from Luanhe River as the alternate water source. Compared with the existing domestic pressure ultrafiltration membrane waterworks, the new system shortened the process flow and reduced the construction investment. In addition, the combined process could determine the dosage of pre-oxidant and powder activated carbon (PAC) by analyzing the raw water quality, which could significantly decrease the operational cost. According to the practical operation data, turbidity and COD_{Mn} in product water of the combined process were always less than 0.1 NTU and 2 mg/L , respectively, indicating that the combined process can effectively ensure the chemical and biological safety of the product water.

Key words: waterworks; pressure membrane process; PULSAZUR[®]

1 工程背景

天津凌庄水厂为天津市中心城区四大水厂之一,水厂现有净水系统的设计规模为 $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,分三期建设完成,这三期工程均在 1985 年以前立项开工,为了满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和天津水务集团出厂水水质目标要求,水厂只能通过降低产水量的方式提高出厂水水质。随着供水区域需水量的日益增长,凌庄水厂通过改造提升水量的要求迫在眉睫。为了保证凌庄水厂在改造期间正常供水,改造工程确定在北部预留用地(总占地面积 $30\,337 \text{ m}^2$)建设 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 净水系统。

2 设计进、出水水质

凌庄水厂目前水源以南水北调中线来水为主,引滦原水为补充备用。南水北调中线来水水质优良,主要指标满足地表水环境质量标准 II 类要求,浊度低,有机物含量低,硬度低^[1]。其中浊度 $\leq 3 \text{ NTU}$,最低达到 0.13 NTU ;耗氧量均小于 3 mg/L ,最低 1.4 mg/L ;藻类计数值在高发期超过 $1\,000 \times 10^4$ 个/L,低于 $2\,000 \times 10^4$ 个/L。引滦原水浊度在 20 NTU 以下,耗氧量在 $3 \sim 6 \text{ mg/L}$ 之间,每年 6 月份之后会出现土臭素和二甲基异茛菪醇臭味问题,同时春夏季藻类暴发,引滦原水设置了预处理设施,预处理后进入水厂原水的藻类计数将低于 $7\,000 \times 10^4$ 个/L。

新建净水系统出水水质需满足并优于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006),同时考虑到未来标准的提高,与国内国际高标准水厂接轨等方面,在浊度指标上提出了更高的要求,新建净水系统出水浊度在 95% 保证率(每月)时,不大于 0.1 NTU ,最高不超过 0.2 NTU 。浊度对给水处理来说是一个至关重要的水质质保^[2],研究表明,当浊度控制在 0.1 NTU 以下时,贾第鞭毛虫、隐孢子虫去除率均达到

99.9% 以上,可大大提高出水的生物安全性。

3 工艺设计

根据出水水质目标(尤其是浊度 $\leq 0.1 \text{ NTU}$),新建净水系统拟采用膜处理技术。饮用水处理中超滤膜需与其他处理技术进行有效组合,以提高处理效果^[3]。国内大型压力式膜处理厂主工艺流程一般采用预氧化混凝沉淀+炭砂滤池+压力式超滤膜或预氧化+混凝沉淀+砂滤池+臭氧活性炭滤池+压力式超滤膜工艺。但本工程可用地面积紧张,无法采用这种长流程处理工艺,因此在方案论证阶段,收集、整理、归纳了规模 $> 10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的 11 座国内外大型膜处理水厂应用实例,最终确定采用预处理+PULSAZUR[®]上向流炭吸附澄清池+压力式超滤膜的短工艺流程。为印证短流程工艺选择的合理性并确定膜运行通量,方案阶段邀请 6 家膜技术公司,利用水厂沉后水,在 $40、60$ 和 $80 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 膜通量下进行了中试,结果表明在低通量下,沉后水经过超滤膜处理后,出水水质能满足要求。

3.1 平面布置及工艺流程

新建净水系统平面布置见图 1。预氧化+PULSAZUR[®]上向流炭吸附澄清池+压力式超滤膜工艺流程见图 2。



图 1 新建净水系统平面布置

Fig. 1 Plane layout of newly-built water purification system

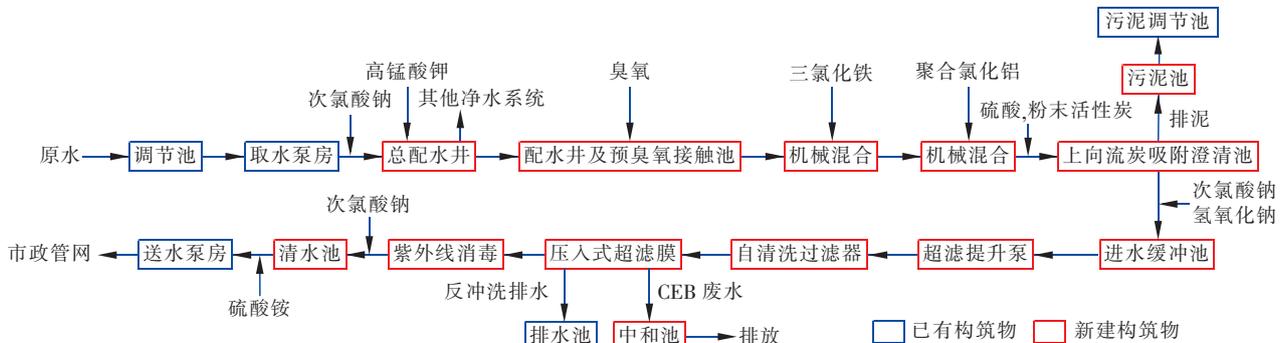


图 2 新建净水系统工艺流程

Fig. 2 Flow chart of newly-built water purification system

3.2 预处理工艺

新建净水系统设置了多种预氧化剂投加系统,包括臭氧、高锰酸钾复合盐和次氯酸钠。可根据不同原水水质投加不同预氧化剂。若原水有机物较高且有臭味和藻类问题时,可投加臭氧;若原水有机物低且存在藻类问题时,可投加次氯酸钠;若原水存在溴酸盐问题还需要投加预氧化剂时,可投加高锰酸钾复合盐。

考虑使用备用水源引滦原水时的有机物和臭味问题,配合澄清池工艺设置了粉末活性炭投加系统,用于吸附氧化后的有机物和臭味。

新建预臭氧接触池1座,分成2格,预臭氧最大投加量为1.5 mg/L,有效接触时间3 min,采用水射器加扩散器的投加方式。臭氧发生器间1座,安装2台臭氧发生器,单台产量15 kg/h,预留3台臭氧发生器位置。新建综合车间的加药间内设置了次氯酸钠、高锰酸钾和粉末活性炭存储及投加设施,次氯酸钠预氧化最大投加量为3 mg/L,高锰酸钾复合盐最大投加量为1.0 mg/L。

3.3 混凝澄清及加药系统

根据原水水质特点,混凝剂采用三氯化铁和聚合氯化铝联合投加方式,既可以防止夏季高藻期碱度较低时,随着三氯化铁投加量的增大pH值迅速下降,影响混凝效果,又可在低温低浊期,减少铝盐的投加量,保证出厂水的铝含量达标。

新建加药间内还包括混凝剂、pH调制剂和粉末活性炭储存及投加系统。其中聚合氯化铝原液($\text{Al}_2\text{O}_3 > 10\%$)最大投加量为80 mg/L,三氯化铁原液(浓度40%)最大投加量为50 mg/L,氢氧化钠原液(浓度47%)最大投加量为30 mg/L,浓硫酸(浓度96%) 在投加粉末活性炭时投加,最大投加量为0.5 mg/L。

结合该工程水质情况,沉淀澄清工艺选择苏伊士专有技术PULSAZUR®上向流炭吸附澄清池。澄清池包括真空室、污泥层、澄清区、污泥浓缩区,在澄清区上部设置斜管强化澄清效果。其进水采用脉冲配水方式,按一定周期充水和放水,使斜管区下方悬浮泥层交替膨胀和收缩,增加原水颗粒与泥层的碰撞和接触,增强吸附和澄清效果,从而强化浊度去除。悬浮污泥层的厚度受临近污泥浓缩区隔墙高度的限制,过剩的污泥会通过隔墙顶部溢流至污泥浓缩区,浓缩区底部设有泥斗,并由装有自动阀的管道

间断性排出,悬浮层内污泥停留时间约为3~5 d。该澄清池在原水耗氧量 < 4.5 mg/L时不投加粉末活性炭,在投加粉末活性炭时,斜管下的悬浮泥层变为悬浮炭泥层,使原水中的有机物被炭泥层中的粉末活性炭吸附,粉末活性炭停留时间也可达3~5 d,相较于其他沉淀澄清池型增加了粉末活性炭的利用率,粉末活性炭设计最大投加量为30 mg/L,投加粉末活性炭后该池型对有机物的去除率可以达到30%~40%。由于本工程长期使用南水北调中线原水,引滦原水仅为补充备用水源,因此PULSAZUR®上向流炭吸附澄清池可替代臭氧活性炭深度处理工艺,从而降低了工程投资和运行成本。

新建PULSAZUR®上向流炭吸附澄清池共6座,分为两个系列。每个系列前端采用两级机械混合,单级混合时间60 s。每座澄清池泥层面积442.2 m^2 ,泥床负荷5.2 m/h,斜管面积458.48 m^2 ,斜管区上升流速4.99 m/h。每座澄清池还配有一台真空室引风机,平均流量1326 m^3/h ,压力5.5 kPa。澄清池排泥浓度4~5 g/L(未投粉末活性炭时),排泥量6600~5300 m^3/d ,排至现有污泥处理系统。

综合车间包括澄清池车间和加药间,平面尺寸分别为96 m \times 63 m、96 m \times 14 m。

3.4 超滤膜系统

膜技术是保证出水低浊度的经济、可靠屏障,也是保障饮用水微生物安全性最有效的技术之一^[4]。使用超滤膜技术在保证低浊度、高生物安全性的同时也提高了对藻类的去除效果。PULSAZUR®上向流炭吸附澄清池出水浊度低于1 NTU,满足压力式超滤膜进水要求。在方案阶段针对不同水温不同膜通量进行了压力式超滤膜中试。原水温度2.5~6.4 $^{\circ}\text{C}$,沉淀出水浊度为1.0~1.9 NTU,膜通量为40 $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时,超滤膜出水浊度均在0.055 NTU以下。原水温度8.4~14.6 $^{\circ}\text{C}$,沉淀出水浊度为1.0~1.9 NTU,膜通量为60 $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时,超滤膜出水浊度均在0.055 NTU以下。原水温度19.2~19.8 $^{\circ}\text{C}$,沉淀出水浊度1.0~1.9 NTU,膜通量为80 $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时,超滤膜出水浊度增长较多,在6次水质抽样检测中,虽多数均在0.1 NTU以下,但三家膜均出现一次出水浊度超过0.1 NTU,而一家膜则有两次出水浊度超过0.1 NTU。根据超滤膜中试结果以及天津地区冬季水温低于5 $^{\circ}\text{C}$ 的情况,确定设计膜通量不超过40 $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

新建压力式超滤膜系统包括进水系统、超滤膜组、反冲洗系统、化学清洗系统等。超滤膜系统分为4个系列,每个系列5个机台,每个机台设置210支超滤膜组件;膜型号UOF-4F,8英寸(20.32 cm)外压式中空纤维超滤膜。超滤膜运行通量(瞬时通量)为 $39.4 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;平均通量(净通量) $37.2 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。运行过程:60 min运行制水,2.5 min在线反洗,在线反洗包括曝气、反冲洗、排放、正冲进水四个步骤,反冲洗排水至现有污泥处理系统进行处理。维护性清洗周期为1次/周,每次清洗持续时间为30~60 min,加药量为次氯酸钠500 mg/L、柠檬酸600 mg/L,两种药剂清洗交替进行。恢复性清洗周期为6~12个月一次,每次清洗持续时间为4~8 h,加药量为柠檬酸2 500 mg/L或次氯酸钠2 000 mg/L+氢氧化钠2 500 mg/L。超滤膜出水还预留了紫外线消毒设备位置。

超滤膜车间平面尺寸为 $72 \text{ m} \times 69 \text{ m}$,包括缓冲水池、进水泵房、反冲洗泵房、鼓风机房、中和设备间、加药间、化学清洗间、紫外线消毒间、仪表间和配电控制室等。

4 运行效果

滦庄水厂新建净水系统已于2020年9月运行通水,原水为南水北调中线来水,经短流程超滤膜工艺处理后,出厂水水质符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)。

经运行验证,本工艺对浊度和有机物都有很好的去除效果,澄清池出水浊度稳定在0.3 NTU以下,超滤膜出水浊度在0.05 NTU以下。出厂水浊度 $<0.1 \text{ NTU}$,耗氧量 $<2 \text{ mg/L}$ 。

5 技术经济分析

新建净水系统设计规模 $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,工程概算为38 200万元,折合吨水投资约为 $1 280 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

根据往年原水水质情况,并预估一年有10%的天数使用引滦原水,核算混凝剂、臭氧、粉末活性炭和消毒剂投加量,以及膜化学清洗药剂用量,测算药剂费用约为 $0.11 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。根据工艺流程内用电设备运行情况测算净水系统(不包括进、送水泵)动力费约为 $0.074 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

6 结语

采用预处理、PULSAZUR®上向流炭吸附澄清池

与压力式超滤膜短流程工艺可有效应对南水北调中线主水源、引滦水备用水源的水质,满足出水水质要求,确保出厂水浊度 $<0.1 \text{ NTU}$,耗氧量 $<2 \text{ mg/L}$,有效保证了出厂水的化学安全性和生物安全性。

参考文献:

- [1] 林明利,张全,李宗来,等. 南水北调中线输水水质水量变化特征及城市供水应对措施建议[J]. 给水排水, 2016,42(4):9-13.
LIN Mingli, ZHANG Quan, LI Zonglai, *et al.* Characteristics of the variance of the water quality and quantity in the middle route of South-to-North Water Diversion Project and corresponding measures for urban water supply [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016,42(4):9-13(in Chinese).
- [2] 王全勇,彭锦玉,KODI Webb,等. 中美给水常规工艺对比分析[J]. 中国给水排水,2018,34(24):8-13.
WANG Quanyong, PENG Jinyu, KODI Webb, *et al.* Comparative analysis of conventional water treatment processes between China and the United States [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(24):8-13(in Chinese).
- [3] 芮旻,曹德意,刘勇,等. 微/超滤膜组合应用水处理技术及工程应用[J]. 中国给水排水,2010,26(8):15-19.
RUI Min, CAO Deyi, LIU Yong, *et al.* Microfiltration or ultrafiltration membrane-based drinking water treatment and applications [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(8):15-19(in Chinese).
- [4] 钟燕敏,郑国兴. 超滤膜组合工艺在青浦第三水厂设计中的应用[J]. 中国给水排水,2013,29(18):60-63.
ZHONG Yanmin, ZHENG Guoxing. Application of ultrafiltration membrane combined process in Qingpu third waterworks [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(18):60-63(in Chinese).

作者简介:赵新娟(1978-),女,天津人,本科,高级工程师,所总工,主要从事市政给排水工程设计工作。

E-mail:hmrbgd@126.com

收稿日期:2020-10-29

修回日期:2020-12-22

(编辑:孔红春)