

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.12.018

# 宁波市江东水厂超滤膜工艺运行效能分析

刘志刚<sup>1</sup>, 徐巧<sup>1</sup>, 何建荣<sup>1</sup>, 周正协<sup>1</sup>, 王亚超<sup>1</sup>, 苏功建<sup>1</sup>,  
韦学玉<sup>2</sup>

(1. 宁波市水务环境集团有限公司, 浙江 宁波 315041; 2. 安徽工程大学 建筑工程学院, 安徽 芜湖 241000)

**摘要:** 为进一步提升饮用水品质,宁波市江东水厂于2016年完成膜工艺改造,改造工程将原有虹吸滤池改造为浸没式超滤膜池,总规模为 $20\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,改造投产后有效提升了出水水质。根据水厂多年来的实际运行情况,对超滤膜的运行方式包括过滤产水、维护性化学清洗与恢复性化学清洗等过程进行了摸索,优化工艺并确定了合理的运行参数,可为超滤膜工艺应用于老厂改造及运行维护提供借鉴。

**关键词:** 水厂; 虹吸滤池; 超滤膜; 升级改造; 工艺优化

**中图分类号:** TU991.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2023)12-0112-07

## Operation Efficiency Analysis of Ultrafiltration Membrane Process in Ningbo Jiangdong Waterworks

LIU Zhi-gang<sup>1</sup>, XU Qiao<sup>1</sup>, HE Jian-rong<sup>1</sup>, ZHOU Zheng-xie<sup>1</sup>, WANG Ya-chao<sup>1</sup>,  
SU Gong-jian<sup>1</sup>, WEI Xue-yu<sup>2</sup>

(1. Ningbo Water Environment Group Co. Ltd., Ningbo 315041, China; 2. School of Architecture and Civil Engineering, Anhui Polytechnic University, Wuhu 241000, China)

**Abstract:** Ningbo Jiangdong waterworks completed membrane process transformation in 2016 to effectively improve the quality of drinking water. The original siphon filter was transformed into immersed ultrafiltration membrane tank with a total capacity of  $20\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ , which effectively improved the effluent quality and provided a demonstration for the upgrading of the waterworks. According to the actual operation of the waterworks for many years, the operation mode of ultrafiltration membrane, including filtration water production and chemical cleaning for maintenance and recovery were explored. The process was optimized and the reasonable operation parameters were determined, which provides a reference for the application of ultrafiltration membrane technology in the transformation, operation and maintenance of the old waterworks.

**Key words:** waterworks; siphon filter; ultrafiltration membrane; upgrading; process optimization

随着社会经济的迅速发展,城市供水水质保障 已成为关系社会健康发展的重大问题,常规水处理

基金项目: 安徽高校自然科学基金重点项目(2022AH050989); 安徽工程大学自然科学研究项目(Xjky2022170)

通信作者: 韦学玉 E-mail: wxyu1027@126.com

工艺越来越难以保障居民对高品质饮用水的需求<sup>[1]</sup>。因此,以超滤为核心的第三代饮用水净化工艺应运而生<sup>[2-3]</sup>,超滤膜工艺也在国内新建水厂和升级改造过程中得到广泛应用<sup>[4-6]</sup>。

宁波市江东水厂超滤膜改造工程的设计和运行参数优化,以及在运营实践中出现的问题和获得的经验,可为老旧水厂超滤膜改造提供借鉴。

1 江东水厂概况

江东水厂位于宁波市鄞州区,是中心城区主要供水厂之一。水源引自白溪水库以及亭下水库下游地表水<sup>[7]</sup>。原工艺采用折板絮凝+平流沉淀池+虹吸滤池,随着国家饮用水卫生标准和给水设计规范等要求的不断提高,原有的工艺、参数及设备难以满足新标准中对于水质与供水安全性的要求。因此,根据现状条件最终采用浸没式超滤膜工艺替代原虹吸滤池工艺,在保留现状混凝沉淀工艺的基础上,将虹吸滤池土建主体结构进行强化后直接改造为浸没式超滤膜池。该改建工程已于2016年建成投产,出水水质达到浙江省现代化水厂出厂水优质标准。

改建后的工艺流程如图1所示。

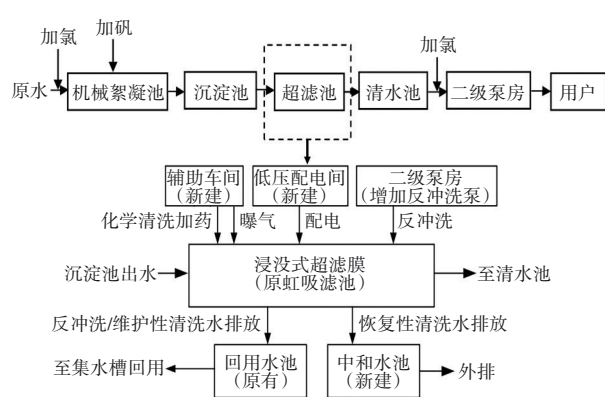


图1 江东水厂超滤膜工艺流程

Fig.1 Flow chart of ultrafiltration membrane process in Jiangdong waterworks

浸没式超滤膜系统设计净水能力20×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,两座膜池共包括24格,每座12格膜池共用一套反洗系统、气洗系统和维护性清洗系统,24格膜池共用恢复性化学清洗系统和气检系统,目前有21格投入使用。每格膜池有36个膜架,每个膜架有9帘膜,每帘膜面积为38 m<sup>2</sup>,单格膜池总膜面积为12 312 m<sup>2</sup>,设计平均膜通量为36 L/(m<sup>2</sup>·h)。

超滤膜工艺系统组成如图2所示。

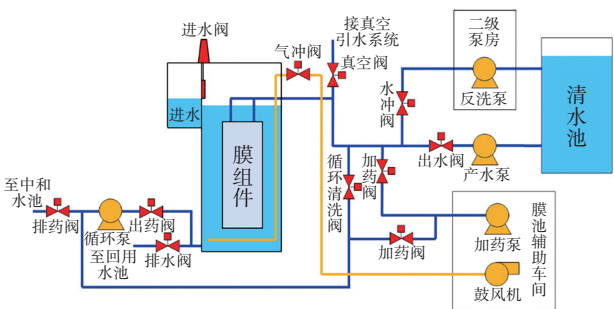


图2 超滤膜工艺系统组成

Fig.2 Ultrafiltration membrane process system

膜组件性能参数见表1。

表1 膜组件性能参数

Tab.1 Performance parameters of ultrafiltration membrane module

项 目	参 数
膜材料形式	外压式中空纤维膜(PVDF)
安装方式	帘式
公称膜孔径/μm	0.05
膜丝内、外径/mm	1.0/1.6
膜面积/m <sup>2</sup>	38
外形尺寸B×L/(mm×mm)	744×2 000
产水浊度/NTU	≤0.1
曝气强度/(m <sup>3</sup> ·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> )	60~90
运行膜通量/(L·m <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> )	10~50
最大抽吸压力/kPa	40(膜池接管点)

2 工艺设计与运行参数优化

江东水厂浸没式超滤膜工艺运行过程中主要包括过滤产水、维护性化学清洗与恢复性化学清洗三个主要流程,根据实际进水水质条件、运行过程等情况分别对三个流程进行了调整与优化。

2.1 过滤周期优化

江东水厂膜池一个过滤周期包含:过滤/中间曝气/过滤/气洗/气水反冲洗/排污6个过程。其中,中间曝气过程是利用曝气抖动膜丝,使膜丝上附着的污染物脱落,中间曝气结束后,膜池直接进入下半个过滤周期。整个过滤周期结束后,依次进行气洗与气水反冲洗以清除膜丝表面截留的污染物。同时,为了保证产水率,在排污过程中每个周期仅排放1/4左右的反冲洗水,每13个周期对膜池彻底排空一次。

在实际运行过程中,由于设计及施工等方面因素导致诸多问题,因此,结合膜池实际运行情况对工艺参数进行了调整,过滤产水过程主要运行参数

的设计值与实际运行值如表2所示。

表2 过滤周期运行参数的优化

Tab.2 Optimization of operation parameters for filtration cycle

项 目	设计参数	运行参数
产水时间/min	80	100
曝气时间/s	60	180
气水反冲时间/s	50	50
高液位设置/m	3	4.4

### ① 产水时间优化

受水厂场地条件限制,系统中反冲洗设备如鼓风机、反冲洗水泵均按低标准数量配置。运行过程中,膜池在反冲洗时需按先后顺序依次进入反冲洗队列逐一冲洗,导致运行高峰期时反冲洗队列延长,部分膜池需经过较长时间才能实际进入反洗过程,其过滤时间将远高于设定值。因此,通过优化产水周期(由80 min延长至100 min)有效解决了反冲洗队列延长现象,虽然每个池子的过滤周期增加了20 min,但实际过滤时间反而减少,起到了保护膜丝的作用。

### ② 曝气时间优化

由于曝气管道采用枝状布局,造成膜池在气洗时曝气量分布不均,尤其是位于末端4个边角的曝气量较小。为使气洗效果达到设计要求,保证各部位膜丝充分曝气,经过试验后将曝气时间从60 s延长至180 s。

### ③ 高液位设置优化

在膜池运行初期,每个膜池均设定了最高产水液位,当膜池液位高于该值时,程序会自动关闭进水阀,仅开启抽吸泵,待液位降至设定的最低液位时再开启进水阀,该参数的设置初衷是为了控制每个膜池的负荷,保证其通量在设计范围内变化。但在实际运行过程中,供水高峰期原水流量较大,由于膜池有多个进水阀同时处于关闭状态,其余膜池无法容纳大量进水,导致进水从进水渠道中溢流至回水池,回水池水位迅速升高。此时,不但产水量得不到保证,回水池还会有溢流的风险。因此,通过实际流量测算及模拟将高液位设置调整为4.4 m,有效保证了在产水过程中膜池的进水阀始终处于开启状态,避免了回水池溢流隐患,产水量也得到了保证。

此外,由于水厂昼夜流量变化较大,在夜间低

流量下所有膜池均处于间歇运行的状态,产水泵频繁开启,影响水泵寿命的同时造成整个系统能耗的上升。因此,在夜间低流量下采用选择性停用部分膜池的方法,确保运行中的膜池处于连续运行的状态,既保护了水泵,又有效降低了系统能耗。

## 2.2 维护性化学清洗优化

膜池维护性化学清洗流程包含:反洗/排空/反洗进药/浸泡/排药/反洗/排空7个过程。在进行维护性化学清洗前,为使清洗效果达到最佳,首先对膜丝进行一次完整的反冲洗,去除附着在膜丝表面的松散污染物,随后将次氯酸钠溶液通过反冲洗管加入膜池,将膜丝浸泡在药液中,以达到去除膜丝表面微生物及部分有机污染物的目的。维护性化学清洗主要运行参数如表3所示。

表3 维护性化学清洗运行参数的优化

Tab.3 Optimization of operation parameters for maintenance chemical cleaning

项 目	设计参数	运行参数
浸泡浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	≥200	50~150
浸泡时间/min	60	120
排空方式	一次性排空	分步排空
清洗周期/d	14	30

① 浸泡浓度/时间优化。维护性化学清洗的次氯酸钠设计浓度为200 mg/L以上,浸泡时间为1 h。而在实际运行中发现,浸泡结束后膜池内次氯酸钠浓度变化很小,表明药剂消耗量低并造成了大量浪费。

不同浸泡浓度下膜池的清洗效果对比如表4所示。

表4 不同浓度次氯酸钠清洗前后跨膜压差的变化

Tab.4 Trans-membrane pressure before and after cleaning with different concentration of NaClO

浸泡浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	浸泡时间/min	跨膜压差/kPa		跨膜压差降幅/kPa
		清洗前	清洗后	
228	60	10.79	9.86	0.93
202	120	10.84	9.84	1.00
153	120	11.05	10.10	0.95
108	120	12.85	11.65	1.20
58	120	11.09	9.92	1.17
33	120	9.15	8.48	0.67
10	120	9.09	8.67	0.42

当次氯酸钠浸泡浓度高于50 mg/L时,维护性清洗后跨膜压差降幅均在1 kPa左右,且基本不随



浸泡浓度的上升而增加。这可能是由于水厂原水水质较好,原水中有机物含量较低,通过50 mg/L的次氯酸钠2 h的浸泡可以充分地清除膜丝表面的微生物和有机污染物,此时增加浸泡浓度并不能提高维护性化学清洗的效果。当次氯酸钠浸泡浓度低于50 mg/L时,维护性化学清洗的效果明显下降,表明低浓度次氯酸钠浓度不能有效去除膜表面污染物,导致跨膜压差升高。因此,最终采用低浓度(100~150 mg/L)、长时间(120 min)的方式进行维护性化学清洗,在保证维护性清洗效果的前提下,有效降低了药耗。

② 排空方式优化。维护性化学清洗结束后,浸泡液排入回水池,并由回水泵打回集水槽进行回收利用。在运行中发现,由于排放的浸泡液中次氯酸钠浓度较高,进入集水槽后会使原水中余氯含量大幅升高(最高可达2 mg/L),严重影响后续加氯工艺。因此,采用分步排药的方式,每次只排放一部分药液,并在两次排药之间设置较长的时间间隔,使原水中余氯浓度稳定。但是分步排药会让膜丝长时间暴露在空气中,影响超滤膜的使用寿命。因此,计划对部分管线进行改造,先将浸泡液排入中和水池,再通过小流量回流的方式泵至回水池。

③ 清洗周期优化。根据膜厂家要求,维护性化学清洗的周期应在两周左右,但通过实际运行后发现,在两周内跨膜压差并无明显增长,且维护性化学清洗后跨膜压差下降也不明显。这可能与原水中有机物含量很低、膜丝表面污染较轻有关。因此,通过对清洗周期的不断调整,最终将维护性化学清洗周期从两周延长至一个月左右,并对清洗效果进行追踪分析,发现超滤膜运行状态良好。

④ 浸泡液位优化。实际运行过程中,部分膜池内的产水管由于受到阳光照射易出现藻类滋生的现象。通过调整这些膜池维护性化学清洗的浸泡液位,使其没过产水管,利用高浓度的次氯酸钠浸泡杀灭藻类取得了很好的效果。

### 2.3 恢复性化学清洗优化

随着超滤膜长期运行,膜丝表面附着的污染物会逐渐增多,通过维护性化学清洗已无法有效地降低跨膜压差,此时需要进行恢复性化学清洗对膜丝表面的污染物进行彻底清除。膜池恢复性化学清洗流程包含:反洗/碱洗(进药、循环、气洗、浸泡)/排空/漂洗/酸洗(进药、循环、气洗、浸泡)/排空/漂洗/产

水8个过程。在进行恢复性化学清洗前,首先对膜池进行一次反冲洗,随后向池中加入高浓度次氯酸钠与0.04%的氢氧化钠溶液进行碱洗,碱洗包括化学循环与浸泡两个步骤,保证药剂与膜丝内外表面均能充分接触。碱洗结束后,将药剂排入中和水池,用清水将膜丝进行漂洗后继续加入高浓度柠檬酸进行酸洗,酸洗过程与碱洗相同。

恢复性化学清洗过程主要运行参数的设计值与实际运行值见表5。

表5 恢复性化学清洗运行参数的优化

Tab.5 Parameters optimization of recovery chemical cleaning operation

项 目		设计参数	运行参数
浸泡浓度/ (mg·L <sup>-1</sup> )	酸洗	3 000	2 000~2 500
	碱洗	250	200~250
浸泡时间/h	酸洗	4~6	4~6
	碱洗	4~6	6~12
清洗周期/月		6	12~16(前3年),3(第4年后)

① 浸泡浓度/时间优化。在恢复性化学清洗中,酸洗的柠檬酸设计浓度为3 000 mg/L,碱洗采用0.04%的氢氧化钠与250 mg/L次氯酸钠,浸泡时间均为4~6 h。根据实际清洗效果对比,将酸洗浓度调整为2 000~2 500 mg/L,碱洗取消氢氧化钠投加,次氯酸钠浓度调整为200~250 mg/L,碱洗时间调整为6~12 h。

② 清洗周期优化。根据膜厂家要求,恢复性化学清洗的周期应在半年左右,但实际运行中由于前期膜污染程度较轻,通过对清洗周期的调整,将恢复性化学清洗周期调整为12~16个月。分析原因,可能是:第一,水厂采用优质的水库水,有机物含量低,因此膜丝表面有机污染程度较轻,通过定期维护性清洗可以较好地恢复膜通量。此外,水厂超滤膜的设计膜通量相对保守,根据国内其他水厂的运行经验,超滤膜在较低通量下可以实现在零污染或微污染的情况下运行,此时跨膜压差在一个较为稳定的范围内波动。第二,水厂采用帘式超滤膜,其在曝气和气水反冲洗阶段膜丝摆动幅度较大,膜丝与气泡之间、膜丝之间能够更加充分地摩擦,清除附着在膜丝表面的污染物。通过观察池内膜丝的颜色,发现经过长时间运行后膜丝表面仅有较轻微的变色,这也从侧面验证了超滤膜的反冲洗效果比较理想。随着膜池的运行,膜丝从第4年开

始膜污染程度加速,此后将恢复性化学清洗周期缩短至3个月。此外,根据膜池的运行情况,合理调节膜池清洗顺序,尽可能在水温较高的夏季进行恢复性清洗,以提高清洗效果。

### 3 膜工艺投产前后净水效能分析

该水厂改建工程已于2016年初建成并投产,因此选取2015年—2019年的进出水浊度、氨氮、亚硝酸盐和耗氧量作为评价指标进行分析。进、出水月平均浓度变化如图3所示。

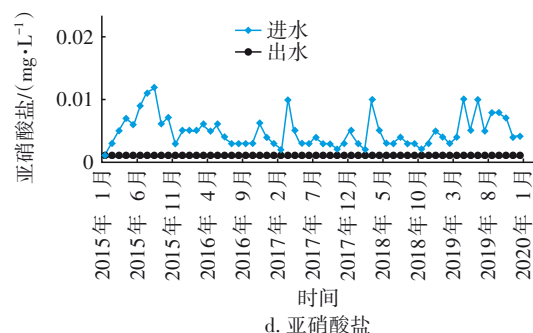
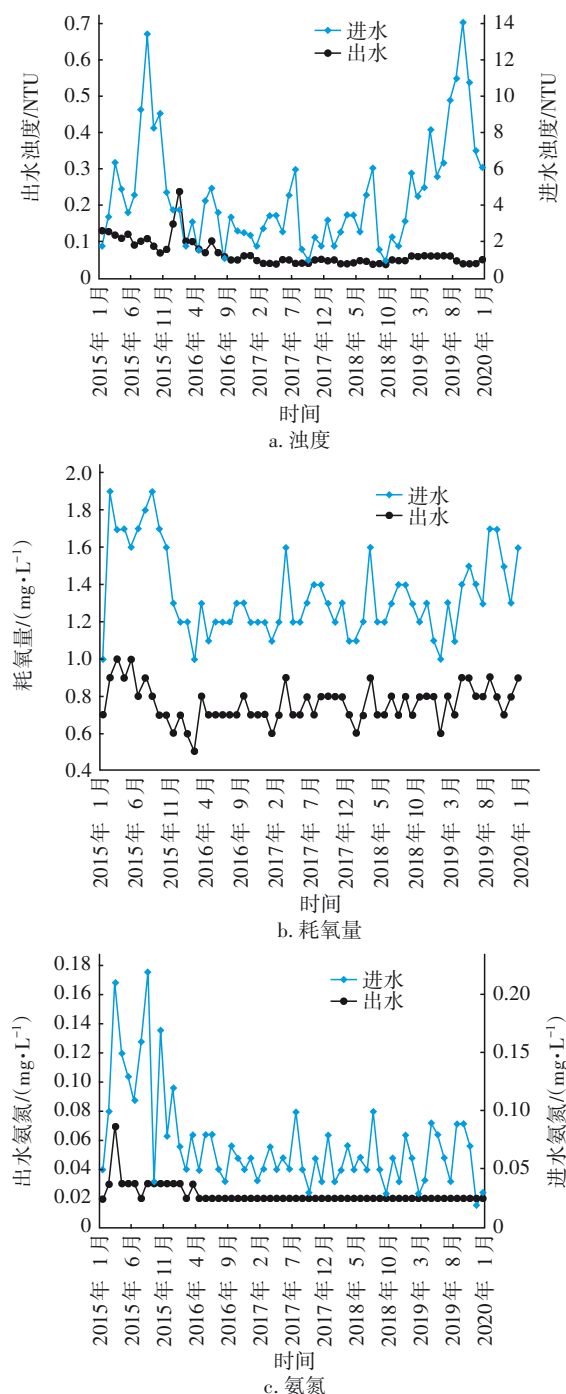


图3 膜工艺投产前后进、出水水质

Fig.3 Influent and effluent quality before and after membrane process put into operation

由图3可知,原水为水质较好的水库水,进水浊度较低,基本维持在15 NTU以下,均值为4.53 NTU。出水浊度在膜工艺投产前后存在一定差异,常规过滤工艺出水浊度基本维持在0.1 NTU以上,均值为0.12 NTU;2016年初膜工艺投产后,除调试阶段出水浊度存在明显上升外,膜池稳定运行后出水浊度维持在0.1 NTU以下,均值为0.05 NTU,总体浊度去除率为98.81%。对浊度的高效去除,不仅提高了出水水质,也降低了“两虫”带来的危害。膜工艺使用前后对进水氨氮和亚硝酸盐的去除没有明显提升作用,由此可见上述两个指标主要是通过前端常规工艺去除。在耗氧量指标方面,常规工艺出水耗氧量均值为0.82 mg/L,采用膜工艺后出水均值为0.73 mg/L。综上所述,与常规滤池工艺相比,膜工艺在出水浊度和耗氧量上存在一定优势。

### 4 膜性能分析

跨膜压差是表征超滤膜运行状态的一个重要参数。跨膜压差越低,说明超滤膜受污染程度越轻,透水能力越强。水厂正常运行时跨膜压差一般在30 kPa以下,当跨膜压差过高时,需考虑对膜进行维护性化学清洗或恢复性化学清洗。在实际运行过程中,由于出水量随着用户用水量波动,跨膜压差难以反映不同流量下的膜污染情况,因此通过膜比通量的变化来评价膜的透水性能。以运行较为稳定的2#膜池为例,2019年—2021年膜池比通量变化如图4所示。

对3年内超滤膜比通量分布进行分析:2019年比通量超过3 L/(m<sup>2</sup>·h·kPa)的占比为15.11%,比通量为2~3 L/(m<sup>2</sup>·h·kPa)的占比为31.05%,比通量<1 L/(m<sup>2</sup>·h·kPa)的占比为13.46%;2020年比通量超过3 L/(m<sup>2</sup>·h·kPa)的占比为0.27%,比通量为2~3

$\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{kPa})$ 的占比为18.35%,比通量 $<1 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{kPa})$ 的占比为26.30%;2021年比通量为 $2 \sim 3 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{kPa})$ 的占比为9.98%,比通量 $<1 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{kPa})$ 的占比为52.63%。可以看到,随着超滤膜运行时间的延长,比通量的分布明显减少,比通量上限值也逐渐降低,表明膜表面的不可逆污染也同步加剧。

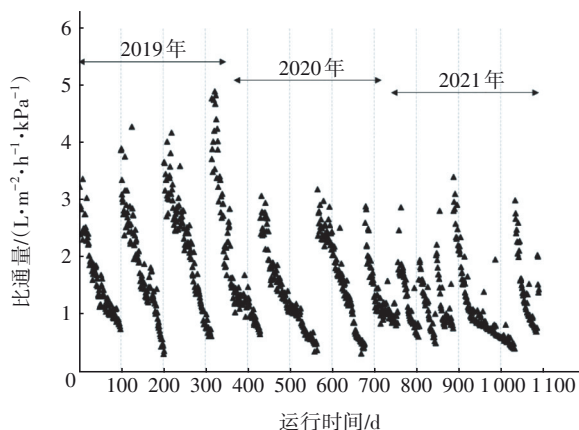


图4 膜池比通量变化

Fig.4 Changes of specific flux with operating time in membrane tank

综上所述,膜池运行前期通过周期性的化学清洗能够有效改善膜表面污染情况,恢复膜通量;随着运行时间的延长,受不可逆膜污染的影响,即使通过化学清洗也难以将膜通量恢复至较好水平,且运行过程中膜污染加剧速度明显加快。

此外,在超滤膜车间每相邻3格膜池配备一台在线颗粒计数仪,通过监测出水的颗粒数来判断膜池运行情况。在实际运行过程中,当超滤膜正常产水时,膜池出水颗粒数通常低于5 CNT/mL;当有膜池处于反冲洗阶段时,由于反冲洗水采用清水池中的水,颗粒数比超滤膜出水略高,因此检测到的出水颗粒数也会略有上升,一般为10~100 CNT/mL;当膜池发生断丝现象或膜组件其他部位出现渗漏时,出水颗粒数会显著升高,最高可达2 000 CNT/mL以上,此时应及时排查造成颗粒数上升的原因,必要时进行一次完整性检测。

## 5 运行管理经验

超滤膜工艺投入运行后,对水厂的运行管理水平提出了更高的要求,从制度、工艺、设备三个方面阐述江东水厂摸索出的运行管理方法与经验。

① 在制度管理上,建立了浸没式超滤膜工艺

安全操作规程。操作规程优先考虑可操作性,对超滤膜工艺各环节流程的操作方法进行说明,并注明各环节流程的注意事项,确保简洁明了。同时,针对超滤膜运行过程中发现的问题建立了详尽的应急处置预案,并定期进行演练,以保证当意外发生时能够迅速处置,尽量避免或减少对供水的影响。

② 在工艺管理上,加强对沉淀池出水浊度的检测与分析。沉淀池出水浊度较高会导致污染物快速聚集在膜丝表面,造成跨膜压差急剧上升,产水能耗增加并最终影响膜丝的寿命。因此,建议水厂严格控制沉淀池的出水浊度,一般宜控制在2 NTU以下,当原水水质较差时也尽量控制在3 NTU以下,以达到保护膜丝、保障系统长期稳定运行的目的。此外,要做好运行工艺的动态调整,应根据水厂近期的供水量、原水水质、跨膜压差、化学清洗效果等不断地进行调整优化。当发现原水水质较差,沉淀池出水浊度较高导致跨膜压差上升时,可以通过缩短过滤周期、增加排污量等方法调整工艺,保证超滤膜处于最佳的工作状态。

③ 在设备管理上,要做好设备巡检,超滤膜工艺涉及大量的设备,任何一个设备的故障都会导致一格甚至整组膜池的停用。为能及时发现并排除隐患,水厂应加强设备巡检力度,发现问题第一时间汇报,并通知相关人员进行处理。同时,超滤膜设备的维护保养工作也尤为重要,由于设备种类繁多,每种设备维护保养的要求均不同,因此应建立完善的维护保养制度,并及时做好台账。

## 6 经济分析

该水厂改造完成后产水量为 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,工程概算投资为18 666.79万元。运行费用主要包含电费及药剂费,与原有虹吸滤池工艺相比,超滤膜工艺由于依赖产水泵抽吸产水,且配备有鼓风机、反冲洗泵等一系列附属设施,电耗明显上升。通过测算,超滤膜产水量的电耗约为 $0.025 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ 。在药耗方面,浸没式超滤膜在进行化学清洗时需消耗大量化学药剂。当浸泡浓度为100~150 mg/L时,每格膜池进行一次维护性化学清洗大约需要10%的次氯酸钠溶液170 kg,以每个月进行一轮维护性清洗计算,每月约需10%的次氯酸钠溶液3.6 t,氯耗约为 $1.07 \text{ g}/\text{m}^3$ ;恢复性清洗柠檬酸消耗量约 $0.5 \text{ g}/\text{m}^3$ ,次氯酸钠消耗量约为 $0.01 \text{ g}/\text{m}^3$ 。



此外,在产水率方面,水厂原有的虹吸滤池工艺产水率约为91%,超滤膜工艺投产后,产水率可达到97%。虽然超滤膜冲洗周期短,但反冲洗以气洗为主且用水量较小,每13个周期才排空一次,因此有较高的产水效率;虹吸滤池冲洗周期较长,但由于冲洗水头小,每次需冲洗较长时间以保证冲洗效果,耗水量大,因此产水率远低于超滤膜工艺。

## 7 结论

宁波市江东水厂浸没式超滤膜工艺充分利用原有虹吸滤池的主体结构进行改造,出厂水水质良好,优于《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)和《城市供水水质标准》(CJ/T 206—2005),超滤膜对浊度与耗氧量有优异的去除能力,出水浊度稳定维持在0.1 NTU以下,耗氧量维持在1 mg/L以下,出水颗粒数在10 CNT/mL以下且具有良好的抗冲击负荷能力。

① 超滤膜工艺运行时,其运行工况与设计工况可能存在较大差异,应根据水厂的实际情况对各项工艺和参数进行适当调整,可从制度管理、设备管理、工艺管理及人员培训等方面入手,保证系统稳定运行。

② 当原水水质较好时,通过控制超滤膜的通量、设定合理的运行参数以及适当的维护性化学清洗,可实现超滤膜的长期稳定运行;但膜池运行后期(5年)受不可逆膜污染的影响,膜污染速度加剧且通过化学清洗难以将膜通量恢复。维护性化学清洗后的排放液中含有高浓度的次氯酸钠,在回用时会导致净水工艺头部余氯含量过高,对水厂的正常加氯工艺影响较大,建议通过设置中间排药池的方式减少排放液对出水余氯的影响。

③ 江东水厂超滤膜改造工程的实施,是对超滤膜技术深度处理工艺的又一次成功探索,水厂日常运行管理等方面积累的经验,可为国内水厂的超滤膜工艺升级改造及运行提供参考。

## 参考文献:

- [1] 李圭白,杨艳玲. 超滤——第三代城市饮用水净化工艺的核心技术[J]. 供水技术, 2007(1): 1-3.  
LI Guibai, YANG Yanling. Ultrafiltration—the 3<sup>rd</sup> generation key water purification technology for city [J]. Water Technology, 2007(1): 1-3 (in Chinese).
- [2] 李圭白,田家宇,齐鲁. 第三代城市饮用水净化工艺及超滤的零污染通量[J]. 给水排水, 2010, 36(8): 11-15.  
LI Guibai, TIAN Jiayu, QI Lu. The third generation of urban drinking water treatment process and zero-membrane fouling flux of ultrafiltration [J]. Water & Wastewater Engineering, 2010, 36(8): 11-15 (in Chinese).
- [3] 赵峰,齐晓辉. 环境工程水处理中超滤膜技术的应用分析[J]. 环境与发展, 2020, 32(10): 92-94.  
ZHAO Feng, QI Xiaohui. Application of ultrafiltration membrane technology in water treatment of environmental engineering [J]. Environment & Development, 2020, 32(10): 92-94 (in Chinese).
- [4] 赵新娟,刘伯一. 短流程超滤膜工艺在凌庄水厂的应用[J]. 中国给水排水, 2021, 37(10): 71-74.  
ZHAO Xinjuan, LIU Boyi. Application of short process ultrafiltration membrane in Lingzhuang waterworks [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(10): 71-74 (in Chinese).
- [5] 李丰庆. 我国超大超滤水厂——广州北部水厂工艺设计[J]. 中国给水排水, 2021, 37(10): 66-70.  
LI Fengqing. Process design of the super large ultrafiltration waterworks in China: Guangzhou Beibu waterworks [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(10): 66-70 (in Chinese).
- [6] 郁振标,袁宵,陈清. 超滤膜技术在南通狼山水厂升级改造中的应用[J]. 膜科学与技术, 2021, 41(1): 112-115, 122.  
YU Zhenbiao, YUAN Xiao, CHEN Qing. Application of ultrafiltration membrane technology in upgrading of Nantong Langshan plant [J]. Membrane Science and Technology, 2021, 41(1): 112-115, 122 (in Chinese).
- [7] 王秀芳. 超滤膜技术在宁波市江东水厂升级改造中的应用[J]. 中国给水排水, 2016, 32(18): 77-79.  
WANG Xiufang. Application of UF membrane technology to upgrading of Ningbo Jiangdong waterworks [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(18): 77-79 (in Chinese).

作者简介: 刘志刚(1986—),男,安徽安庆人,博士,高级工程师,主要从事饮用水安全保障工作。

E-mail: zcigmondloiu@126.com

收稿日期: 2022-02-17

修回日期: 2022-09-27

(编辑: 衣春敏)