

申锋,陶静,岑松岭,等. 水厂浸没式超滤膜系统运行参数优化[J]. 净水技术, 2025, 44(2): 79-85.

SHEN F, TAO J, CEN S L, et al. Optimization of operation parameters of immersed UF membrane system in WTPs [J]. Water Purification Technology, 2025, 44(2): 79-85.

## 水厂浸没式超滤膜系统运行参数优化

申 锋\*,陶 静,岑松岭,曹林春

(南通水务集团有限公司,江苏南通 226000)

**摘 要** 【目的】超滤膜技术在水厂升级改造中已经得到广泛应用,其出水水质好,生物安全性高,但也存在运行和维护成本较高的问题亟待解决。【方法】目前,在浸没式超滤膜运行实践方面,可参考实际项目案例经验较少,狼山水厂浸没式超滤膜设计规模为30万 $\text{m}^3/\text{d}$ ,采用与前置上向流臭氧活性炭工艺组合使用的方法。【结果】出水水质安全稳定,浑浊度 $<0.1$  NTU,颗粒数 $<10$  CNT/mL。【结论】在运行管理中,对膜池选择不同运行参数优化分析发现,若采用水温 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 以下维持原过滤周期,而 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 以上延长过滤周期为4h的优化方案,可在原有基础上减少约12%的水耗以及约12%的电耗;延长维护性清洗浸泡时间,每年进行1次恢复性清洗,可保障膜系统运行的稳定性;对恢复性清洗药剂重复利用[以2023年6月恢复洗为例,盐酸质量浓度为 $5\ 000\ \text{mg/L}$ ,回用7次(回用中补充一部分酸),在原有基础上,节省了约48%的药剂剂量],可节约运行费用,对于膜法水厂的降本增效具有一定的参考借鉴意义。

**关键词** 浸没式超滤膜 水厂 参数优化 稳定性 优化

中图分类号: TU991 文献标志码: A 文章编号: 1009-0177(2025)02-0079-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2025.02.009

## Optimization of Operation Parameters of Immersed UF Membrane System in WTPs

SHEN Feng\*, TAO Jing, CEN Songling, CAO Linchun

(Nantong Water Group Co., Ltd., Nantong 226000, China)

**Abstract** [Objective] Ultrafiltration membrane technology has been widely applied in the upgrading and reconstruction of water treatment plants (WTPs), with good finished water quality and high biological safety. However, there are also high operating and maintenance costs that need to be addressed urgently. [Methods] At present, in terms of the operation practice of immersion ultrafiltration membrane, there was less experience in actual project cases. The design scale of the immersion ultrafiltration membrane in Langshan WTP was  $300\ 000\ \text{m}^3/\text{d}$ , combined with the upstream ozone activated carbon process. [Results] The effluent quality was safe and stable, with a turbidity of less than  $0.1$  NTU and a particle count of less than  $10$  CNT/mL. [Conclusions] In operation management, it is found that using an optimization scheme that maintains the original filtration cycle below  $20\text{ }^\circ\text{C}$  and prolongs the filtration cycle for 4 hours above  $20\text{ }^\circ\text{C}$  can reduce water consumption by about 12% and electricity consumption by about 12% on the original basis through optimization analysis of different operating parameters for membrane tanks. Extending the soaking time for maintenance cleaning and conducting a restorative cleaning once a year can ensure the stability of the membrane system operation. Taking the example of resuming washing in June 2023,  $5\ 000\ \text{mg/L}$  hydrochloric acid is reused 7 times (adding some acid during reuse) which saves about 48% of the dosage on the original basis. This indicates that reusing the restorative cleaning agent can save operating consumption. It has certain reference significance for the cost reduction and efficiency increase of membrane WTP.

**Keywords** immersed UF membrane water treatment plant (WTP) parameters optimization stability optimization

近年来,我国水源水受到工业、农业和生活污水不同程度的污染,水厂常规处理工艺(混凝→沉

淀→过滤→消毒)无法对其进行有效净化<sup>[1]</sup>,而超滤膜技术在处理饮用水方面因其出水水质好的优势

[收稿日期] 2023-11-02

[通信作者] 申锋(1985—),硕士,工程师,主要从事水处理工作,E-mail:372821327@qq.com。

开始在国内得到较多的运用,为了应对一些特殊的水质情况,臭氧活性炭和超滤膜组合工艺也开始受到较多关注<sup>[2]</sup>。

目前超滤膜技术因其运行和维护成本较高,造成有些大型水厂不敢投入使用<sup>[3]</sup>,这限制了超滤膜技术在大型水厂升级改造中的推广。如果能够在现有大型超滤膜水厂运行中对运行参数进行合理地优化实践,在不影响产水水质的条件下,最终实现运行成本的有效降低,这对于超滤膜技术在大型水厂升级改造中的普及具有里程碑式的意义,不仅能够让人们喝上优质的饮用水,同时也能够带动整个膜行业的向前发展。

## 1 超滤膜工艺工程简介及运行分析

### 1.1 工程概况

狼山水厂位于南通狼山西北角,始建于1987年,占地面积为205.8亩(1亩 $\approx$ 666.67 m<sup>2</sup>)。水厂原水为长江水,水源水质基本符合《地表水环境质量标准》

(GB 3838—2002)Ⅱ类水标准。水厂于1990年、1994年建设形成了处理规模为30万 m<sup>3</sup>/d的斜管沉淀+移动罩滤池工艺,2007年扩建了处理规模为30万 m<sup>3</sup>/d的平流沉淀+V型滤池工艺,总供水规模达到60万 m<sup>3</sup>/d,主要满足南通市主城区用水需求。

为了加强饮用水的品质,实现“合格水质”到“优质水质”的升级,狼山水厂于2020年完成深度处理改造工程。在厂区无新征用地的条件下集约组合化布置新建净水构筑物,对规模为30万 m<sup>3</sup>/d老系统的斜管沉淀+移动罩滤池净水系统进行拆除,腾出用地后新建规模为30万 m<sup>3</sup>/d平流沉淀+超滤膜净水工艺,并新建规模为60万 m<sup>3</sup>/d臭氧上向流生物活性炭工艺,形成前置上向流臭氧生物活性炭+超滤膜的组合工艺和前置上向流臭氧活性炭+V型滤池的组合工艺,以后适当时机再将现状规模为30万 m<sup>3</sup>/d的砂滤池改造成浸没式超滤膜池<sup>[4]</sup>,工艺流程如图1所示。

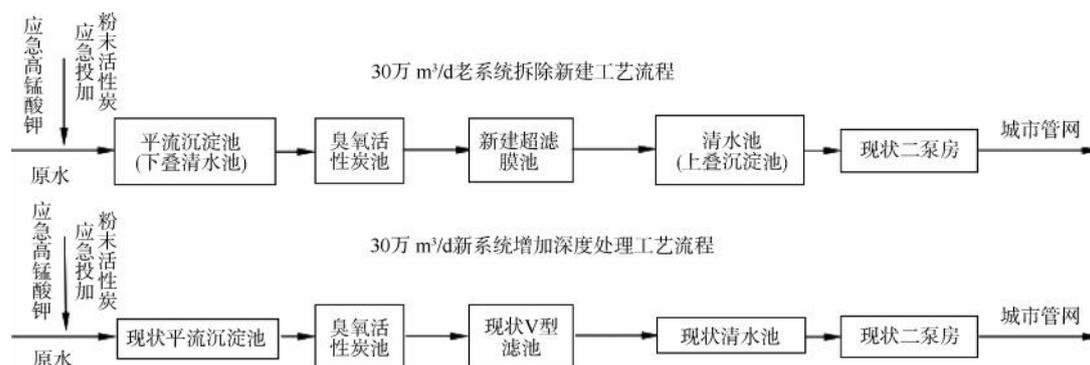


图1 规模为60万 m<sup>3</sup>/d的狼山水厂工艺流程

Fig. 1 Process Flow of Langshan WTP with Capacity of 0.6 Million m<sup>3</sup>/d

上向流臭氧活性炭和超滤膜组合工艺相比常规工艺大大提升了对出水有机物、浊度、微生物的去除效果<sup>[5]</sup>,确保了水厂实现优质水供应的目标。通过对组合工艺的探索和经验总结,对长江水流域规模水厂处理工艺的标准模式的形成具有较强的示范意义<sup>[6]</sup>。同时,对膜运行工艺进行分析和优化,提升了超滤膜池运行管理的水平,节约了运行能耗,对于膜法水厂的运营具有参考作用。

### 1.2 超滤膜池系统设计

狼山水厂浸没式超滤膜系统设计产水能力为30万 m<sup>3</sup>/d,共分16格膜池,每格膜池内设12个膜组,膜丝材料选用聚偏氟乙烯(PVDF),超滤膜名义膜通量为23.48 L/(m<sup>2</sup>·h),1格化学清洗,1格反冲洗时,强制通量为27.65 L/(m<sup>2</sup>·h)。膜池出水采用

虹吸产水进入产水渠的方式,最大液位差为3 m,产水渠内清水自流进入清水池。

膜系统过滤周期为3 h,物理反洗采用气水联合反洗,循环8次物理反洗后排空膜池。维护性清洗周期设置为30 d,采用200 mg/L的次氯酸钠溶液浸泡1 h后排空。物理反洗和维护性清洗的排水回用至沉淀池。恢复性清洗采用在线清洗方式,分为次氯酸钠清洗和盐酸清洗,排放废液进行脱氯和中和后,达标接管市政污水。膜系统自2020年7月开始运行,至今运行稳定。

### 1.3 超滤膜池净水效能

#### 1.3.1 对浊度去除效果

浊度不仅可以表示水中悬浮物质的多少来直观显示水质好坏,还可以用作反映水中病原微

生物情况。研究<sup>[7]</sup>表明,过高的滤后水浑浊度可能伴随致病微生物的泄漏。自 2020 年 7 月—2023 年 6 月,水厂原水、膜池进水和膜池出水浑浊度的变化如图 2 所示。

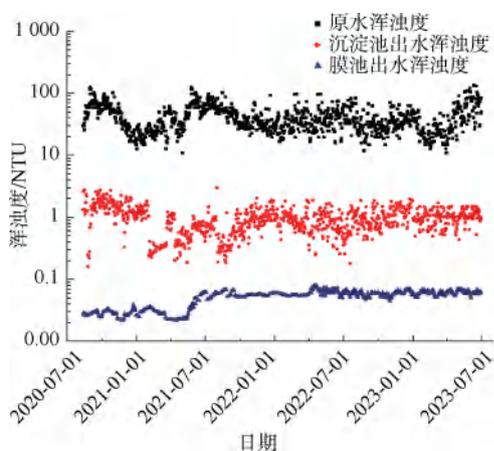


图 2 浸没式超滤膜对浑浊度的去除效果

Fig. 2 Effect of Immersed UF Membrane on Turbidity Removal

由图 2 可知,原水浑浊度为 10~140 NTU,有较大波动,受其影响,即使经过前工艺段处理,超滤膜池进水浑浊度也有 0.2~3.0 NTU,而超滤膜池出水浑浊度仅为 0.02~0.08 NTU,出水浑浊度始终稳定在 0.1 NTU 以下,远远低于现有《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)限值 1 NTU,与上向流臭氧活性炭+V 型滤池的组合工艺出水浑浊度 0.1~0.3 NTU 相比,也具有明显的优越性,这说明采用平均孔径为 20 nm 的浸没式超滤膜系统,能够有效去除水中的悬浮物、胶体、细菌、两虫等微生物和大分子有机物等杂质,大大降低了病原微生物的风险,同时系统具有较高的稳定性,为超滤膜技术在水厂升级改造中表现此方面的优势提供了现实依据。

### 1.3.2 对 COD<sub>Mn</sub> 的去除效果

2020 年 7 月—2023 年 6 月,水厂原水和膜池出水 COD<sub>Mn</sub> 的变化趋势如图 3 所示。

由图 3 可知,水厂原水水质较好,原水 COD<sub>Mn</sub> 质量浓度为 1.28~3.72 mg/L,平均质量浓度为 2.19 mg/L,而出厂水 COD<sub>Mn</sub> 质量浓度为 0.30~1.41 mg/L,平均质量浓度为 0.78 mg/L, COD<sub>Mn</sub> 平均去除率达到 64.4%,出水 COD<sub>Mn</sub> < 1.5 mg/L,不仅满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022),还满足《江苏省城市自来水厂关键水质指标控制标准》(DB32/T 3701—2019)的控制要求。以上数据

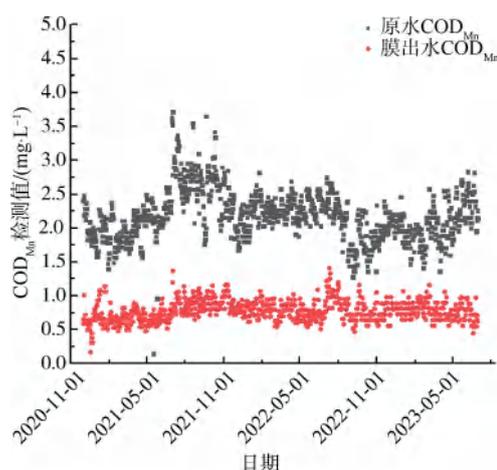


图 3 浸没式超滤膜对 COD<sub>Mn</sub> 的去除效果

Fig. 3 Effect of Immersed UF Membrane on COD<sub>Mn</sub> Removal

表明,采用前置上向流臭氧活性炭与超滤膜技术联用工艺,能强化 COD<sub>Mn</sub> 的去除,对于 COD<sub>Mn</sub> 的去除效果稳定,出水水质良好。此组合联用工艺充分使用了臭氧的氧化作用,活性炭的吸附和生物降解能力,能有效降低 COD<sub>Mn</sub>,且效果稳定,为上向流臭氧活性炭与超滤膜技术联用工艺在水厂的推广提供了工程参考经验。

为了对比臭氧活性炭与超滤膜技术联用工艺和臭氧活性炭+V 型滤池组合工艺对出水 COD<sub>Mn</sub> 的去除效果,选取了运行周期中的一段时间进行人工采样进行同步对比,结果如表 1 所示。

在同步深度处理试验期间,超滤膜池对水中 COD<sub>Mn</sub> 平均去除率为 29.82%,V 型滤池对水中 COD<sub>Mn</sub> 平均去除率为 28.72%,由表 1 可知,超滤膜池对水中 COD<sub>Mn</sub> 的去除率略高一些,但两者差异不明显,出水水质均能达到所要求。

### 1.3.3 对颗粒数的去除效果

自 2020 年 7 月—2023 年 6 月,超滤膜池出水中颗粒数的变化如图 4 所示。

研究<sup>[8]</sup>表明,当粒径 ≥ 2 μm 的颗粒物质量低于 50 CNT/mL 时,水中的病原体特别是贾第虫和隐孢子虫较少,而当粒径 ≥ 2 μm 的水中颗粒物质量大于 100 CNT/mL 时,水中存在两虫的几率增加,正是因为水中两虫数量与颗粒数指标存在一定的相关性,饮用水颗粒数检测现已成为很多水厂水质检测的重要项目。由图 4 可知,在进水水质波动的情况下,超滤膜出水颗粒物(粒径 ≥ 2 μm)平均颗粒数始终稳定在 10 CNT/mL 以下(现场由于产水渠、管道等元

表 1 同步深度处理下超滤膜池和砂滤池去除 COD<sub>Mn</sub> 能力对比  
Tab. 1 Comparison of COD<sub>Mn</sub> Removal Capacity between UF Membrane Filter and Sand Filter under Synchronous Advanced Treatment

项目	超滤膜池			V 型滤池		
	进水 COD <sub>Mn</sub> / (mg·L <sup>-1</sup> )	出水 COD <sub>Mn</sub> / (mg·L <sup>-1</sup> )	去除率	进水 COD <sub>Mn</sub> / (mg·L <sup>-1</sup> )	出水 COD <sub>Mn</sub> / (mg·L <sup>-1</sup> )	去除率
2020-12-21	1.03	0.74	28.16%	1.03	0.81	21.36%
2020-12-22	1.08	0.73	32.41%	1.08	0.81	25.00%
2020-12-23	1.14	0.81	28.95%	1.14	0.73	35.96%
2020-12-24	1.13	0.81	28.32%	1.13	0.73	35.40%
2020-12-25	1.03	0.44	57.28%	1.03	0.81	21.36%
2020-12-28	1.64	0.93	43.29%	1.64	1.01	38.41%
2020-12-29	0.91	0.75	17.58%	0.91	0.64	29.67%
2020-12-30	0.91	0.80	12.09%	0.91	0.72	20.88%
2020-12-31	1.53	0.81	47.06%	1.53	0.80	47.71%
2021-01-01	1.21	0.68	43.80%	1.21	0.76	37.19%
2021-01-04	0.88	0.63	28.41%	0.88	0.56	36.36%
2021-01-05	0.70	0.63	10.00%	0.70	0.63	10.00%
2021-01-06	0.78	0.70	10.26%	0.78	0.67	14.10%
平均值	1.07	0.73	29.82%	1.07	0.74	28.72%

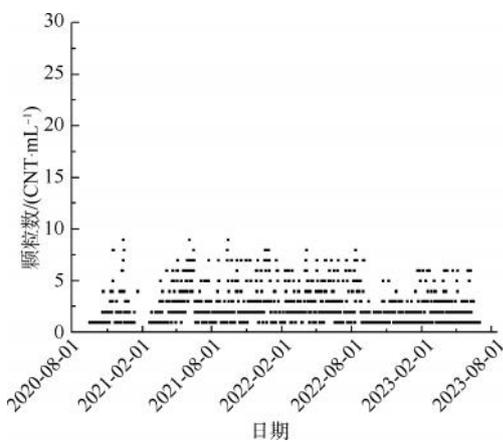


图 4 浸没式超滤膜出水颗粒物含量

Fig. 4 Content of Particulate Matter in Treated Water of Immersed UF Membrane

件未能保证完全清洁,超滤膜池出水会带有少量颗粒物)。这说明使用超滤膜技术,出水颗粒物( $\geq 2 \mu\text{m}$ )平均颗粒数能稳定在 10 CNT/mL 以下,水中的两虫风险可以得到控制,这也充分表明超滤膜产水具有较高的生物安全性。

为了对比臭氧活性炭与超滤膜技术联用工艺和臭氧活性炭+V 型滤池组合工艺对出水颗粒数的去除效果,选取了运行周期中的一段时间进行采样进

行同步对比,膜池仪表间设有在线颗粒物检测仪,砂滤池通过人工取样使用台式颗粒检测仪检测,结果如表 2 所示。

以上试验数据表明,超滤膜池出水颗粒物含量很少,正常运行状态下,试验期间均值为 2 个/mL;而砂滤池出水颗粒物质量浓度较高,试验期间数据波动很大,均值为 690 mg/L。这表明超滤膜池在颗粒物去除上体现了非常高的优势,结合水中两虫数量与颗粒数指标存在一定的相关性,超滤膜池较砂滤池有更高的生物安全性,为其他同类水厂的升级改造提供了数据支撑。

#### 1.3.4 工艺运行耗用

本项目超滤膜池吨水电耗成本约为 0.000 35 元,吨水药耗成本约为 0.000 52 元,总计运行成本约为 0.000 87 元;砂滤池吨水电耗成本约为 0.001 05 元,吨水药耗成本无,总计吨水运行成本约为 0.001 05 元,在此项目的超滤膜池运行成本与砂滤池相当,另外考虑到活性炭使用周期的延长和运行费用的节省,原水水质较好时使用臭氧活性炭与超滤膜技术联用工艺可让前处理水超越臭氧活性炭工艺直接过膜,稳定性高。在此情况下,臭氧活性炭与超滤膜技术联用工艺相比于臭氧活性炭+V 型滤池

表2 同步深度处理下超滤膜池和砂滤池去除颗粒数能力对比  
Tab. 2 Comparison of Content of Particulate Matter Removal Capacity between UF Membrane Filter and Sand Filter under Synchronous Advanced Treatment

日期	膜池出水颗粒物/ (CNT·mL <sup>-1</sup> )	砂滤池出水颗粒物/ (CNT·mL <sup>-1</sup> )	日期	膜池出水颗粒物/ (CNT·mL <sup>-1</sup> )	砂滤池出水颗粒物/ (CNT·mL <sup>-1</sup> )
2020-12-10	2	1 123	2020-12-24	0	405
2020-12-11	0	526	2020-12-25	0	574
2020-12-14	0	1 081	2020-12-28	1	506
2020-12-15	1	923	2020-12-29	1	517
2020-12-16	1	901	2020-12-30	1	628
2020-12-17	1	900	2020-12-31	2	452
2020-12-18	5	1 003	2021-01-01	0	322
2020-12-21	1	584	2021-01-04	0	335
2020-12-22	1	611	2021-01-05	0	1 602
2020-12-23	3	602	2021-01-06	0	206

的组合工艺,可以削减臭氧活性炭工艺部分的成本,可操作性较高,便于上向流臭氧活性炭与超滤膜技术联用工艺在国内其余类似净水厂的推广使用。

## 2 超滤膜运行参数优化

### 2.1 过滤周期优化

膜池物理反洗有助于去除膜表面的污染物,采用气洗(30 s)+气水混洗(30 s)的模式,气冲强度为2 m<sup>3</sup>·支膜/h,水冲强度为30 L/(m<sup>2</sup>·h)。当膜池运行时间达到过滤周期时,自动进行物理反洗。物理反洗次数达到排空循环次数时,物理反洗结束后将排空膜池。为了研究过滤周期对跨膜压差的影响,调整2#膜池过滤周期和物理反洗排空循环次数设定,与3#膜池进行对比试验,调整后物理反洗参数如表3所示。

表3 2#、3#膜池物理反洗参数

Tab. 3 Physical Backwashing Parameters of Membrane Filter Grids of 2 # and 3 #

项目	2#	3#
过滤周期/h	4	3
物理反洗排空循环次数/次	6	8

2022年6月20日—2023年6月6日进行对比试验,超滤池日均产水量为20.5万m<sup>3</sup>,负荷率为68%,在此期间,2#、3#水温和膜池跨膜压差变化趋势如图5所示。

由图5可知,2022年6月20日—2023年6月6日水厂所处地水温为5~35℃,冬季明显有一段时

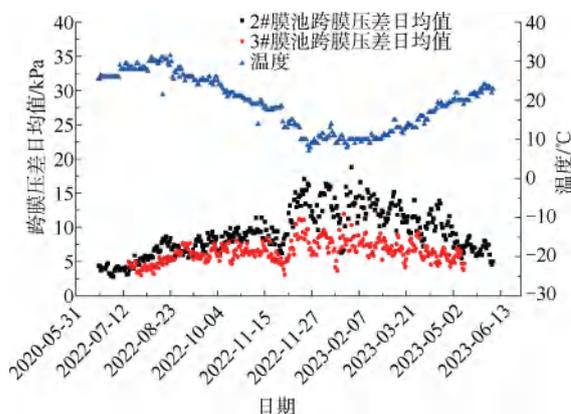


图5 2022年6月20日—2023年6月6日的水温和跨膜压差变化趋势

Fig. 5 Changes of Water Temperature Trend and Transmembrane Pressure Trend from June 20, 2022 to June 6, 2023

差的影响显著,当水温低于20℃时,跨膜压差有明显的增加,而且随着水温越低,跨膜压差增加幅度越大。

水温低于20℃时,2#膜池的跨膜压差比3#膜池增加明显,这表明,此种情况下延长过滤周期会使跨膜压差增加,应维持原过滤周期。当水温高于20℃时,2#膜池的跨膜压差与3#膜池相近,增加过滤周期对跨膜压差增幅影响较小,这种条件下可适当增加过滤周期,节约物理反洗水耗和电耗。以图中2022年6月20日—2023年6月6日这段时间为例,若采用20℃以下维持原过滤周期而20℃以上延长过滤周期为4h的优化方案,可在原有基础上

减少约 12% 的水耗以及约 12% 的电耗,对于超滤膜水厂的运行成本优化具有指导的意义。

## 2.2 维护性清洗浸泡时间优化

维护性清洗能减缓膜表面的污染情况,有助于延长恢复性清洗的周期,为研究维护性清洗浸泡时间对跨膜压差的影响,采用 200 mg/L 的次氯酸钠水溶液浸泡 1 h,维护性清洗周期为 30 d。同时调整 11#膜池维护性清洗浸泡时间为 2 h,与 3#膜池开展对比试验。

2020 年 6 月 20 日—2023 年 6 月 6 日进行对比试验,超滤池日均产水量为 20.5 万 m<sup>3</sup>,负荷率为 68%,在此期间 3#、11#膜池跨膜压差变化趋势如图 6 所示。

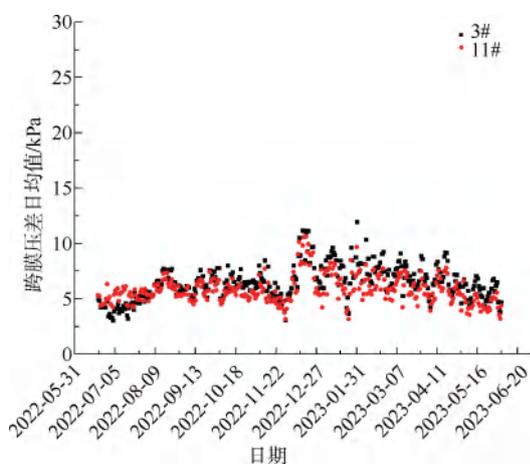


图 6 2022 年 6 月 20 日—2023 年 6 月 6 日 3#、11#膜池跨膜压差变化趋势

Fig. 6 Changes of Transmembrane Pressure Trend in Membrane Tanks of 3 # and 11 # from June 20, 2022 to June 6, 2023

由图 6 可知,在 2022 年 6 月 20 日—2023 年 6 月 6 日,11#膜池和 3#膜池的跨膜压差变化趋势基本一致,随着 11#膜池维护性清洗浸泡时间增加,其跨膜压差低于 3#膜池,这说明在同等维护洗药剂浓度条件下,延长维护性清洗的浸泡时间,对跨膜压差增长趋势有一定延缓作用。因此,可根据现场具体条件,适当延长维护性清洗浸泡时间。

## 2.3 恢复性清洗周期优化

狼山水厂浸没式超滤膜池自 2020 年 7 月投入运行,运行满 1 年时,由于当时水温较高,跨膜压差为 6~12 kPa,考虑到跨膜压差并不高,而未进行恢复性清洗。进入冬季后,随着水温下降和膜污染的加重,跨膜压差快速上升,至 2021 年 12 月时跨膜压

差已达到 20~30 kPa。

2022 年 3 月首次进行恢复性清洗时,膜池已运行 20 个月,本次恢复性清洗使跨膜压差由 21~32 kPa 降低至 4~10 kPa。第 2 次恢复清洗选在 2023 年 6 月进行,距上次恢复性清洗间隔 15 个月,本次恢复性清洗使跨膜压差由 5~11 kPa 降低至 2~5 kPa。

由图 5 可知,水温明显降低时,跨膜压差升高变快。从前 2 次恢复性清洗周期来看,恢复性清洗周期不能跨过 2 个冬季,否则膜污染会加重,会大大降低第 2 个冬季产水通量。因此,每年应进行 1 次恢复性清洗,以保证低温时跨膜压差仍满足制水要求。结合现场条件,建议将恢复性清洗时间放在 5 月或 10 月,在供水高峰期前后均可,此时水温较高,恢复性清洗的效果较好。

## 2.4 清洗药剂浓度优化

狼山水厂恢复性清洗,次氯酸钠清洗质量浓度设置为 1 200 mg/L,盐酸清洗质量浓度设置为 5 000 mg/L。狼山水厂共进行过 2 次恢复性清洗,第 1 次恢复性清洗,次氯酸钠清洗使跨膜压差降低了 8~14 kPa,盐酸清洗使跨膜压差降低了 4~12 kPa。第 2 次恢复性清洗,次氯酸钠清洗使跨膜压差降低了 2~4 kPa,盐酸清洗使跨膜压差降低了 0.5~2.0 kPa。综合以上 2 次清洗数据来看,次氯酸钠清洗使跨膜压差降低幅度相对较大,这是由于膜污染中有机物污染占比较高,因此次氯酸钠清洗的浓度不可降低。而盐酸清洗使跨膜压差降低幅度相对较小,这是因为膜污染中无机物污染占比较少,所以盐酸清洗浓度可适当降低,具体可根据膜池跨膜压差及其增长趋势来评判,可回用于其他膜池的酸洗浸泡,节约药剂成本。以 2023 年 6 月清洗为例,盐酸质量浓度为 5 000 mg/L,回用 7 次(回用中补充一部分酸),在原有基础上,节省了约 48% 的药剂用量,同时用于中和的氢氧化钠也同步减少了约 48% 的药剂用量,大大降低了超滤膜恢复洗的药剂成本,对于膜法水厂恢复洗成本的控制具有重要的意义。

## 3 结论

狼山水厂浸没式超滤膜池运行状态良好,出水浑浊度稳定保持在 0.1 NTU 以下,颗粒数(粒径 ≥ 2 μm)为 10 CNT/mL 以下,具有较高的生物安全性,与前置上向流臭氧活性炭工艺组合时,出水

$COD_{Mn} < 1.5 \text{ mg/L}$ ,有效保障了出厂水的水质稳定性。通过对超滤膜运行参数优化,可得如下结论。

(1)水温低于  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  时,跨膜压差会出现明显增加,水温越低,跨膜压差增加幅度越大。当水温低于  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  时,应维持原过滤周期。当水温高于  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  时,适当增加过滤周期,对跨膜压差增幅影响较小,可节约物理反洗水耗电耗。以 2022 年 6 月 20 日—2023 年 6 月 6 日为例,若采用  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  以下维持原过滤周期而  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  以上延长过滤周期为 4 h 的优化方案,可在原有基础上减少约 12% 的水耗以及约 12% 的电耗,对于超滤膜水厂的运行成本优化具有指导的意义。

(2)维护性清洗时,延长膜的浸泡时间,对跨膜压差增长趋势有一定延缓作用。

(3)每年应进行 1 次恢复性清洗,保证低温时跨膜压差仍满足制水要求。建议将恢复性清洗时间放在 5 月或 10 月,在供水高峰期前后均可,此时水温较高,恢复性清洗效果较好。

(4)恢复性清洗采用次氯酸钠清洗质量浓度为  $1\ 200 \text{ mg/L}$ ,盐酸清洗质量浓度为  $5\ 000 \text{ mg/L}$ ,清洗效果良好。膜污染中有机物污染占比较高,次氯酸钠清洗浓度不可降低。膜污染中无机物污染占比较低,盐酸清洗浓度可适当降低,可回用于其他膜池的酸洗浸泡,节约药剂成本。以 2023 年 6 月清洗为例,盐酸质量浓度为  $5\ 000 \text{ mg/L}$ ,回用 7 次(回用中补充一部分酸),在原有基础上,节省了约 48% 的药剂剂量,同时用于中和的氢氧化钠也同步减少了约 48% 的药剂剂量,大大降低了超滤膜恢复洗的药剂成本,对于膜法水厂恢复洗成本的控制具有重要的意义。

### 参考文献

- [ 1 ] 吴俊业,陈皓坤,沈恺乐,等. BPAC-UF 组合工艺对微污染原水处理效果及膜污染控制[J]. 净水技术, 2020, 39(1): 86-93.  
WU J Y, CHEN H S, SHEN K Y, et al. Effect of combined process of BPAC-UF on micro-pollutedraw water treatment and control of membrane fouling[J]. Water Purification Technology, 2020, 39(1): 86-93.
- [ 2 ] 徐俊,邬亦俊,马永恒,等. 常规处理-臭氧活性炭-超滤膜净水工艺的工程应用[J]. 给水排水, 2016, 42(4): 18-21.  
XU J, WU Y J, MA Y H, et al. Engineering application of conventional treatment ozone activated carbon ultrafiltration membrane water purification process[J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(4): 18-21.
- [ 3 ] 蔡璇. 饮用水深度处理技术研究进展及应用现状[J]. 净水技术, 2015, 34(s1): 44-47.  
CAI X. Research and application of advanced treatment process in drinking water treatment[J]. Water Purification Technology, 2015, 34(s1): 44-47.
- [ 4 ] 曹林春,郁振标,李波,等. 南通市狼山水厂深度处理改造工程方案[J]. 给水排水, 2021, 47(1): 24-27.  
CAO L C, YU Z B, LI B, et al. The design of Nantong Langshan waterworks advanced treatment reconstruction [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(1): 24-27.
- [ 5 ] 朱建文. 杭州主城区饮用水深度处理的发展与实践[J]. 净水技术, 2022, 41(2): 168-173.  
ZHU J W. Development and practice of advanced treatment for drinking water in main urban area of Hangzhou [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(2): 168-173.
- [ 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): 124-127.  
YU Z B, YUAN X, CHEN Q. Application of ultrafiltration membrane technology in upgrading of Langshan water treatment plant in Nantong[J]. Membrane Science and Technology, 2021, 41(1): 124-127.
- [ 7 ] 范志强,窦茵,陈洪斌. 生物活性炭砂垫层对饮用水生物安全性控制的研究与应用[J]. 净水技术, 2022, 41(2): 16-23.  
FAN Z Q, DOU Y, CHEN H B. Research and application of biological activated carbon-sand bed in biosafety control for drinking water [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(2): 16-23.
- [ 8 ] 周薇薇,李家爱,苗丛瑶,等. 自来水厂活性炭池生物泄漏的评价方法及控制措施[J]. 净水技术, 2019, 38(3): 63-69.  
ZHOU W W, LI J A, MIAO C Y, et al. Evaluation method and control measure of biological leakage in activated carbon tank [J]. Water Purification Technology, 2019, 38(3): 63-69.