

浸没式 PVDF 超滤膜在大型再生水厂的中试研究

何柳东¹, 林亚凯¹, 闫博¹, 安康¹, Poschmann Tom², Cornelius Jan²

(1. 北京赛诺膜技术有限公司, 北京 100083; 2. Scinor Water America. LLC, 美国)

摘要: 将浸没式 PVDF 超滤膜应用于美国 West Basin 再生水厂的中试系统, 在同一进水水质和运行条件下, 考察其与水厂现有浸没式 PP 超滤膜系统在市政污水处理系统的运行效果和清洗效果。结果表明: 在 9 个月的连续运行过程中, 与水厂现有系统的浸没式 PP 超滤膜相比, 浸没式 PVDF 超滤膜可在原系统 PP 膜组件 2.28 倍运行通量的条件下稳定运行, 跨膜压差稳定在 13.8 ~ 82.7 kPa; 产水水质更好, 产水浊度小于 0.1 NTU, 且运行风险更小; 具有良好的机械性能, 运行 9 个月零断丝或破损。

关键词: 再生水厂; 浸没式超滤膜; PVDF; 浊度; 断丝

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)01-0073-04

Pilot Application of Submerged PVDF Ultrafiltration Membrane in Reclaimed Water Plant

HE Liu-dong¹, LIN Ya-kai¹, YAN Bo¹, AN Kang¹, Poschmann Tom², Cornelius Jan²

(1. Beijing Scinor Membrane Technology Co. Ltd., Beijing 100083, China; 2. Scinor Water America. LLC, USA)

Abstract: Submerged PVDF ultrafiltration membrane was pilot tested in the West Basin Reclaimed Water Plant. Under the same influent quality and operation conditions, the operation and cleaning effects were compared between the submerged PVDF ultrafiltration membrane system and the existing submerged PP ultrafiltration membrane system. The results showed that, compared with the existing submerged PP ultrafiltration membrane system, the submerged PVDF ultrafiltration membrane could operate steadily under the operating flux of 2.28 times of the submerged PP ultrafiltration membrane, and the trans-membrane pressure (TMP) could be maintained at 13.8 – 82.7 kPa in a nine months continuous operation. Submerged PVDF ultrafiltration membrane demonstrated a high efficiency in turbidity removal, and the effluent turbidity was below 0.1 NTU. The PDT test showed good membrane integrity after nine months of continuous operation.

Key words: reclaimed water plant; submerged ultrafiltration membrane; PVDF; turbidity; broken membrane

West Basin 再生水厂是美国最早采用膜法进行污水深度处理的水厂之一, 位于美国加利福尼亚州, 服务于当地超过 100 万人口。该再生水厂总共建设有 5 期, 再生水主要用于园林灌溉、地下水回注、工业冷却水和锅炉补给水等领域。

再生水厂第 4 期工程超滤膜系统采用国际品牌

M 公司的浸没式 PP 超滤膜, 由北美苏伊士公司进行运营管理。该系统共有 6 个膜池, 单个膜池为 416 支超滤膜组件, 总计 2 496 支膜组件, 单套膜池设计产水量为 330 m³/h, 膜组件设计运行通量为 25.55 L/(m² · h)。由于水厂的进水浊度波动大, 水质较为恶劣, 该系统运行很难达到设计产水量, 产

水量不足,目前系统实际运行产水量为 $200 \text{ m}^3/\text{h}$,膜组件实际运行通量为 $15.33 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;同时系统膜组件存在较为严重的断丝,产水浊度严重超标,难以满足实际运行需求,亟待解决。

1 试验部分

1.1 原水水质

中试系统采取再生水厂浸没式超滤系统同一进水,进水水质如下:浊度为 $4 \sim 100 \text{ NTU}$,平均为 10 NTU ;TSS 为 $11 \sim 24 \text{ mg/L}$,平均为 17 mg/L ;电导率为 $1\,569 \sim 1\,856 \text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$,平均为 $1\,742 \text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$;TOC 为 $10 \sim 17 \text{ mg/L}$,平均为 13 mg/L ;BOD₅ 为 $7 \sim 13 \text{ mg/L}$,平均为 10 mg/L ;NH₃-N 为 $29 \sim 44 \text{ mg/L}$,平均为 35 mg/L ;Al³⁺ 为 $265 \sim 321 \text{ mg/L}$,平均为 296 mg/L ;Cl⁻ 为 $202 \sim 273 \text{ mg/L}$,平均为 245 mg/L ;SO₄²⁻ 为 $125 \sim 192 \text{ mg/L}$,平均为 167 mg/L 。

表1 中试时间和工艺参数

Tab. 1 Pilot test time and process parameters

项 目		运行通量/ ($\text{L} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)	过滤时间/ min	运行工艺
第一阶段	2016年3月23日—30日	21.83	21	反洗:每个运行周期1次,气洗15 s + 气水联合反洗45 s,气洗流量为 $7 \text{ m}^3/\text{h}$ 、反洗水量为 $87.31 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; CIP清洗:1周1次,碱洗和酸洗各1次,其中5月20日前碱洗采用0.2%膜专用清洗剂(NaOH调节pH值=12)于35℃下浸泡360 min,5月20日后碱洗采用5 000 mg/L次氯酸钠(NaOH调节pH值=12)于35℃下浸泡360 min,酸洗采用2%柠檬酸于30℃下浸泡180 min
	2016年3月31日—6月3日	30.56	21	
	2016年6月4日—7月14日	34.92	21	
第二阶段	2016年7月15日—12月23日	43.65	21	反洗:每个运行周期1次,气洗15 s + 气水联合反洗45 s,气洗流量为 $7 \text{ m}^3/\text{h}$ 、反洗水量为 $87.31 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; EFM清洗:每天1次,2 000 mg/L次氯酸钠浸泡60 min; CIP清洗:1~2月1次,其中碱洗采用5 000 mg/L次氯酸钠(氢氧化钠调节pH值=12)于35℃下浸泡360 min,酸洗采用2%柠檬酸于30℃下浸泡180 min

2 结果与分析

2.1 运行效果分析

图1为浸没式PVDF超滤膜在中试运行期间的产水通量随时间的变化。在产水通量恒定的前提下,跨膜压差(TMP)随运行时间的变化可直接反映浸没式超滤膜的使用性能,但原水温度对TMP的影响较大,主要是由于水温变化会引起水的黏度变化,通常水温越低,水的黏度越大,因此TMP也会增高。图2给出了中试期间原水温度随时间的变化。为在相同的基准下考察膜性能的变化,将TMP进行温度校正,一般校正到25℃,称为标准化跨膜压差^[1]。图3给出了标准化跨膜压差随运行时间的变化。

1.2 中试运行条件

中试采用浸没式PVDF超滤膜组件,该超滤膜采用热致相分离法纺丝制备的中空纤维膜,膜分离层为均质海绵体结构,具有强度高、通量大、耐药洗、易清洗恢复等特点,膜组件型号为SMT600-S26、膜组件面积为 26 m^2 ;再生水厂浸没式超滤系统膜组件型号为Memcro S10T、膜组件面积为 31.1 m^2 。

中试系统为单支膜组件运行,分两阶段进行。第一阶段:参照再生水厂浸没式超滤系统的实际运行通量 $[15.33 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$ 和运行工艺,考察PVDF超滤膜在运行通量分别为21.83、30.56、34.92 $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 时的运行效果。第二阶段:在运行通量为43.65 $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 条件下,中试增加EFM工艺,考察PVDF超滤膜在大通量下的最佳运行工艺条件。

中试运行时间和工艺参数如表1所示。

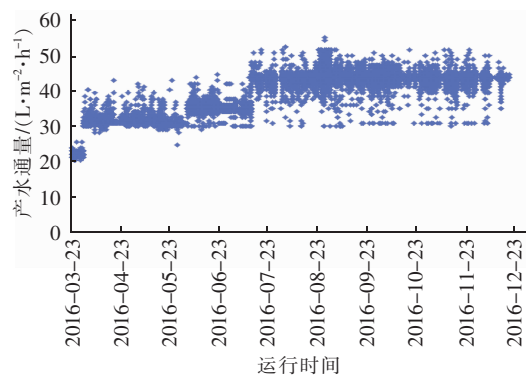


图1 中试期间膜组件瞬时产水量随运行时间的变化

Fig. 1 Change of operating flux with operation time

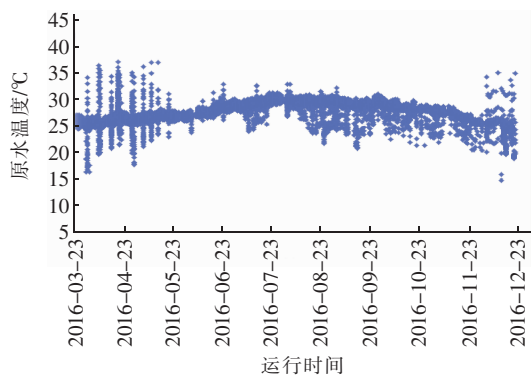


图2 原水温度随运行时间的变化

Fig. 2 Change of influent temperature with operation time

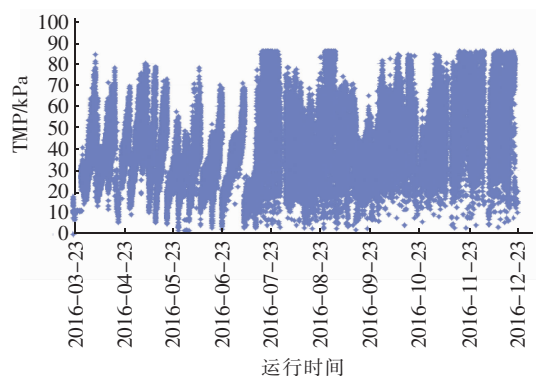


图3 标准化跨膜压差随运行时间的变化

Fig. 3 Change of normalized TMP with operation time

在第1阶段近4个月的连续运行过程中,去除温度影响以后的TMP稳定在13.8~82.7 kPa, PVDF超滤膜在与再生水厂浸没式PP超滤膜同等运行条件下,能以最高约2.28倍的运行通量良好地稳定运行。而在第2阶段4个多月的连续运行过程中,采用EFM清洗工艺, PVDF超滤膜也能在将近2.85倍的运行通量下较好地稳定运行。

通常超滤膜产水通量下降是由于膜污染^[2]。为更好地评判超滤膜污染通过EFM/CIP清洗周期后的恢复效果,在每次膜系统CIP后进行纯水通量测试,通过不同阶段的产水渗透率确定每次清洗的恢复效果^[3-4]。图4给出了浸没式PVDF超滤膜在每次CIP清洗后的产水渗透率随运行时间的变化,其中7月15日后,除8月4日、9月8日、10月21日和12月21日为CIP清洗数据外,其他均为EFM清洗数据。测试数据显示,Memclean专用膜清洗剂对PVDF超滤膜污染的清洗恢复效果不佳,产水渗透率远低于初始基准值;在5月20日后,采用常规

的次氯酸钠溶液进行清洗, PVDF超滤膜污染的清洗恢复效果良好,产水渗透率基本稳定在初始基准值。说明PVDF超滤膜污染采用常规的次氯酸钠和柠檬酸进行清洗基本上可以恢复到初始水平,具有良好的污染清洗恢复性。

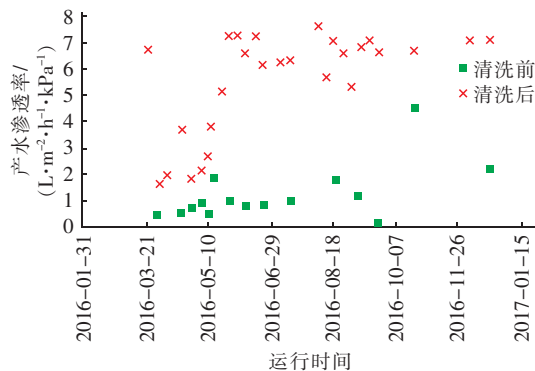


图4 产水渗透率随运行时间的变化关系

Fig. 4 Change of water production permeability with operation time

2.2 产水水质分析

中试期间,浸没式PVDF超滤膜的产水浊度基本上低于0.1 NTU,而在进水浊度大幅度波动甚至高达100 NTU的情况下,浸没式PVDF超滤膜的产水浊度也低于0.1 NTU,说明浸没式PVDF超滤膜对浊度具有良好的去除效果。

2.3 完整性分析

膜的完整性测试是保障产水水质的有力措施,是低压膜系统不可缺少的重要环节。美国对超/微滤膜有严格的完整性检测,本试验采用美国联邦环保署推荐的检测方法——气压衰减方法(PDT),通过定期的完整性检测来确保膜的完整性,判断膜组件是否出现断丝或者破损。试验期间多次检测结果均表明,至中试结束超滤膜零断丝,表现出良好的机械强度性能,完全满足再生水厂运行需求。

3 结论

① 浸没式PVDF超滤膜可在再生水厂稳定运行,与PP超滤膜相比,在同等运行条件、运行通量最大约2.28倍的情况下仍能稳定运行,跨膜压差稳定在13.8~82.7 kPa。

② 浸没式PVDF超滤膜具有良好的污染清洗恢复性,膜污染可采用常规化学药剂清洗,基本能恢复至初始水平。

③ 浸没式PVDF超滤膜对浊度具有良好的去

除效果,出水浊度达到 0.1 NTU 以下,出水水质稳定可靠。

④ 浸没式 PVDF 超滤膜具有良好的机械强度性能,运行 9 个月零断丝或破损。

参考文献:

- [1] 齐鲁. 浸没式超滤膜处理地表水的性能及膜污染控制研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.
Qi Lu. Performance of Immersed Ultrafiltration Membrane for Surface Water Treatment and Technology of Fouling Control [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2010(in Chinese).
- [2] 张吉库,明月. 陶瓷平板膜处理采油废水过程中的膜污染及清洗研究[J]. 水处理技术,2015,41(8):76-80.
Zhang Jiku, Ming Yue. The pollution and cleaning of plate ceramic membranes in oil extraction wastewater treatment [J]. Technology of Water Treatment, 2015, 41(8):76-80(in Chinese).
- [3] 倪明,马克,朱新民,等. 浸没式超滤膜清洗工程案例分析[J]. 膜科学与技术,2010,30(5):64-66.
Ni Ming, Ma Ke, Zhu Xinmin, et al. A case analysis on chemical cleaning of submerged ultra-filtration membrane [J]. Membrane Science and Technology, 2010, 30(5):

64-66(in Chinese).

- [4] 黄明珠,曹国栋,李冬梅,等. 浸没式超滤膜污染监测与清洗效果分析[J]. 给水排水,2009,35(7):9-13.
Huang Mingzhu, Cao Guodong, Li Dongmei, et al. Discussion on fouling monitoring and cleaning effect of submerged UF membrane [J]. Water & Wastewater Engineering, 2009, 35(7):9-13(in Chinese).



作者简介:何柳东(1982-),男,湖北通城人,硕士,高工,研究方向为高分子材料、水处理超滤膜技术。

E-mail: he.liudong@scinormem.com

收稿日期:2018-07-17

(上接第72页)

- [13] 刘奕伶,葛继稳,李艳元,等. 古夫河着生藻类优势种体积与水质因子的相关性研究[J]. 中国环境科学, 2015, 35(7):2182-2191.
Liu Yiling, Ge Jiwen, Li Yanyuan, et al. Correlations between the volume of dominant periphytic algae species and the water quality parameters in Gufu River [J]. China Environmental Science, 2015, 35(7):2182-2191 (in Chinese).
- [14] 王爱爱,冯佳,谢树莲. 汾河中下游浮游藻类群落特征及水质分析[J]. 环境科学, 2014, 35(3):915-923.
Wang Aiai, Feng Jia, Xie Shulian. Phytoplankton community structure and assessment of water quality in the middle and lower reaches of Fenhe River [J]. Environmental Science, 2014, 35(3):915-923 (in Chinese).
- [15] 王书航,姜霞,金相灿. 巢湖水环境因子的时空变化及对水华发生的影响[J]. 湖泊科学, 2011, 23(6):873-880.
Wang Shuhang, Jiang Xia, Jin Xiangcan. Spatial-temporal

variations of aquatic environmental factors and their influences to algal blooming in Lake Chaohu [J]. Journal of Lake Sciences, 2011, 23(6):873-880(in Chinese).



作者简介:付保荣(1965-),女,辽宁沈阳人,教授,硕士生导师,主要从事环境生物学与污染生态方面的研究。

E-mail: fubaorong@yahoo.com.cn

收稿日期:2018-05-23