

浸没式超滤膜净化西江水中试研究

陈 杰, 黄汝英, 朱春伟, 赵应群, 陈 清
(苏州立升净水科技有限公司, 江苏 苏州 215152)

摘 要: 分析了浸没式超滤膜处理西江水的净水效能及运行稳定性,探讨了超滤膜化学清洗的效果。结果表明,原水分别经过混凝沉淀—超滤和混凝沉淀—砂滤—超滤两种工艺处理后,出水水质均有很大提升,出水平均浊度分别为 0.07、0.06 NTU;中试运行过程中,对 COD_{Mn} 的平均去除率为 20%,略优于常规处理工艺;出水中均未检测到剑水蚤、红虫等微型动物。对超滤膜进行化学清洗后跨膜压差恢复显著,清洗后 $\text{TMP}_{20\text{ }^{\circ}\text{C}}$ 由 33 kPa 降至 16 kPa。两种工艺的 $\text{TMP}_{20\text{ }^{\circ}\text{C}}$ 平均增长速率分别为 0.33、0.10 kPa/d,超滤膜系统的跨膜压差增长缓慢,运行相对稳定。

关键词: 超滤膜; 组合工艺; 净水效能; 跨膜压差; 膜污染

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)03-0046-04

Pilot Study on Application of Immersed Ultrafiltration Membrane to Purify Xijiang Water

CHEN Jie, HUANG Ru-ying, ZHU Chun-wei, ZHAO Ying-qun, CHEN Qing
(Suzhou Litree Purifying Technology Co. Ltd., Suzhou 215152, China)

Abstract: The purification efficiency of the immersed ultrafiltration (UF) membrane used in purifying Xijiang water and its operation stability were analyzed, and the effect of chemical cleaning of UF membrane was investigated. The results showed that coagulation/sedimentation/UF and coagulation/sedimentation/sand filtration/UF, the two combined processes, both could greatly improve water quality, and the effluent turbidity were 0.07 and 0.06 NTU on average. The average removal rate of COD_{Mn} by the two combined processes was 20%, which was slightly better than that by conventional treatment process. Cyclops, red worms and other microfauna were not detected in UF effluent. Chemical cleaning could effectively reduce membrane fouling, $\text{TMP}_{20\text{ }^{\circ}\text{C}}$ was decreased to 16 kPa from 33 kPa after cleaning. $\text{TMP}_{20\text{ }^{\circ}\text{C}}$ growth rates of two combined processes were 0.33 and 0.10 kPa/d, respectively. The transmembrane pressure (TMP) grew slowly, and could effectively ensure the operation stability of UF membrane.

Key words: UF membrane; combined process; purification efficiency; TMP; membrane fouling

超滤对原水的适应能力较强,可有效去除胶体、悬浮物、大分子有机物、细菌、病毒和“两虫”等微生物,目前是保证饮用水微生物安全性的最有效技术之一。另外,超滤可有效截留微生物,进而降低了后续消毒剂的使用量,减少了消毒副产物的产生,提高了饮用水的化学安全性^[1]。因此,超滤膜技术在饮

用水处理中的研究和应用发展非常迅速。与压力式超滤膜相比,浸没式超滤膜与前端工艺衔接更顺畅,运行电耗更低,抗污染能力更强^[2~4]。然而,影响超滤工艺的因素较多,在不同水质和运行工况下其结果往往大不相同,所以非常有必要进行现场中试研究^[5]。

西江是珠江水系干流之一,是华南地区最长的河流,是佛山、广州等城市的重要水源地。笔者以西江水为研究对象,主要从净水效能和膜运行稳定性两方面考察了混凝沉淀—超滤和混凝沉淀—砂滤—超滤两种工艺处理西江水的可行性,以期为西江流域水厂的升级改造提供参考。

1 试验方法

1.1 原水水质

西江水水质主要存在浊度、微生物超标等问题。中试于 2015 年 1 月 16 日—9 月 24 日进行。原水水质如下:水温为 16.3 ~ 30.4 ℃, pH 值为 7.2 ~ 7.5, 浊度为 3.36 ~ 1 125 NTU, COD_{Mn} 为 1.08 ~ 4.67 mg/L, 并含有微量剑水蚤和红虫。

1.2 工艺流程

中试所用混凝剂为聚合氯化铝,组合工艺流程如图 1 所示。

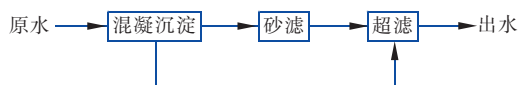


图 1 工艺流程

Fig. 1 Flow chart of pilot test

超滤膜系统处理水量约为 2 m³/h, 原水经混凝、沉淀后进入浸没式超滤装置,即为混凝沉淀—超滤工艺;另一种工艺为原水经混凝、沉淀、砂滤后进入浸没式超滤装置,即为混凝沉淀—砂滤—超滤工艺。中试共进行 192 d, 其中前 76 d 运行混凝沉淀—超滤工艺, 77 ~ 192 d 运行混凝沉淀—砂滤—超滤工艺。为使两种工艺的膜初始状况相同,改变运行工艺后对膜进行了化学清洗。

浸没式超滤装置的主要工艺参数如下:过滤持续时间为 180 min; 清洗方式为先气洗 + 气水洗,再氯洗;气水清洗水流量为 4.8 m³/h, 气流量为 8 m³/h, 清洗持续时间为 1.5 min; 维护性清洗采用浓度为 200 mg/L 的 NaClO, 清洗周期为 3 d。

在瞬时通量为 35 L/(m² · h) 的条件下运行超滤膜, 观察出水水质及运行系统的稳定性。检测超滤膜处理系统的出水指标, 如浊度、 COD_{Mn} 、微生物等; 观察跨膜压差、产水率等的变化情况; 改变工艺流程, 获得不同进水浊度条件下的水质、跨膜压差、产水率等数据, 进而对系统进行初步评价。

1.3 分析方法

COD_{Mn} 采用酸性高锰酸钾滴定法测定; 浊度采

用浊度仪测定; 温度采用水温计测定; 微型动物采用挂袋截留法测定。

2 结果与讨论

2.1 超滤的净水效能

2.1.1 对浊度的去除效果

试验过程中分别检测沉淀池和砂滤池出水作为膜池进水时, 膜系统出水浊度的变化。结果表明, 前 76 d 沉淀池出水浊度为 0.95 ~ 5.32 NTU, 平均为 2.62 NTU, 浊度波动较大; 而经过超滤膜处理后, 膜出水浊度稳定在 0.1 NTU 以下, 平均为 0.07 NTU, 对浊度的去除率为 90.75% ~ 98.68%。第 77 ~ 192 天, 砂滤池出水相比沉淀池而言, 浊度较为稳定, 其值在 0.1 ~ 0.8 NTU, 平均为 0.28 NTU; 而超滤出水浊度仍稳定在 0.1 NTU 以下, 平均为 0.06 NTU。

两种组合工艺运行过程中, 尽管进膜水浊度发生了较大变化, 但超滤膜出水浊度相对稳定, 均在 0.1 NTU 以下, 对浊度的去除效果明显优于常规工艺, 因此超滤膜对浊度具有显著而稳定的去除效果。

2.1.2 对 COD_{Mn} 的去除效果

水中有机物可引起水的色度、臭味变大, 在氯消毒过程中则可能形成对人体有害的副产物, 并可能为微生物提供基质, 从而造成管网中细菌的二次繁殖, 是饮用水处理过程中重要的去除对象。图 2 为浸没式超滤组合工艺对有机物的去除情况。

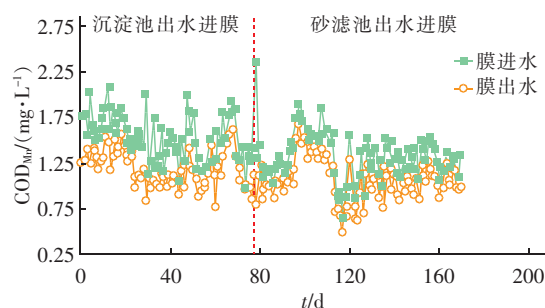


图 2 超滤膜对 COD_{Mn} 的去除效果

Fig. 2 Removal efficiency of COD_{Mn} by ultrafiltration membrane

由图 2 可知, 中试运行过程中, 超滤膜进水 COD_{Mn} 浓度为 0.64 ~ 2.37 mg/L, 平均为 1.40 mg/L; 出水 COD_{Mn} 浓度为 0.48 ~ 1.67 mg/L, 平均为 1.14 mg/L, 对 COD_{Mn} 的平均去除率为 20%。分析原因, 经过沉淀池和砂滤池的出水中 COD_{Mn} 载体几乎完全沉降, 亲水性有机物不易形成较大沉降体, 难以被超滤膜截留下来, 且超滤膜通过膜孔截留无法

有效去除水中的溶解性有机物^[6]。

2.1.3 对微型动物的去除效果

试验过程中,超滤膜出水中未检测到剑水蚤、红虫等微型动物的存在。

2.2 超滤系统运行稳定性分析

2.2.1 跨膜压差的变化

图3为水温和跨膜压差的变化情况。

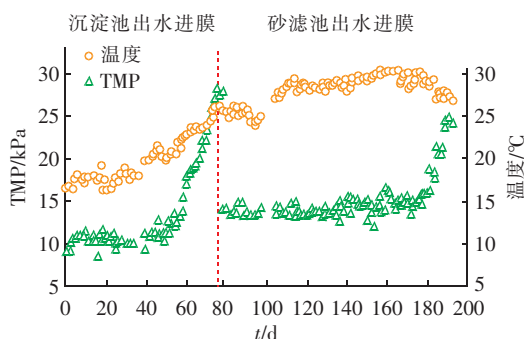


图3 水温和跨膜压差的变化情况

Fig. 3 Variations of TMP and water temperature

由图3可以看出,随着运行时间的延长,水温呈上升趋势,浮动范围为15~30℃。不同进水条件下,超滤膜系统跨膜压差的增长情况不同。前60d运行相对稳定,跨膜压差在15kPa以内,随后跨膜压差增长非常快,15d内跨膜压差就由15kPa上升至28kPa,增加了近一倍。分析原因,一方面是由沉淀池出水浊度波动大引起的,另一方面是由超滤膜运行较长时间其表面积累了较多污染物所导致的。改变运行工艺,同时进行化学清洗后,跨膜压差则由28kPa降至14kPa,但未恢复至膜初始运行压力。当膜进水为砂滤池出水时,进水水质较好,超滤膜系统的跨膜压差较为平稳,增长相对缓慢。该工艺运行80d内跨膜压差一直稳定在16kPa内,试验后期跨膜压差上升较快,这是由于系统运行了很长时间膜污染较为严重导致的。

2.2.2 产水率的变化

对比了两种工艺条件下,超滤膜系统产水率的变化情况。结果表明,不同进水条件对超滤膜系统的产水率影响不大,整个试验期间产水率均在90%以上,平均为98.83%。改变运行工艺后由于进行了化学清洗,消耗了部分产水,从而导致产水率略有下降。

2.3 化学清洗效果分析

膜污染是阻碍膜技术大规模应用的主要问题之一^[7],同时也是膜分离工艺中不可避免的问题。而

膜污染速率直接影响膜工艺的运行费用和折旧费用。

因膜通量为固定值,随着系统的运行膜污染不断加剧,导致膜两侧的压力不断增大。中试过程中由于水温变化较大(15~30℃),需要将跨膜压差 TMP_t 校正到同一温度后进行比较。 TMP_t 的温度校正见式(1)、(2)^[8]。

当 $t \geq 20$ ℃时:

$$TMP_{20^\circ\text{C}} = TMP_t \times e^{0.0239(t-20)} \quad (1)$$

当 $t < 20$ ℃时:

$$TMP_{20^\circ\text{C}} = TMP_t \times e^{0.021(t-20)} \quad (2)$$

式中, $TMP_{20^\circ\text{C}}$ 是水温为20℃时的跨膜压差,kPa; TMP_t 是水温为 t 时的跨膜压差,kPa; t 为水温,℃。

试验期间水温及TMP的变化情况如图4所示。

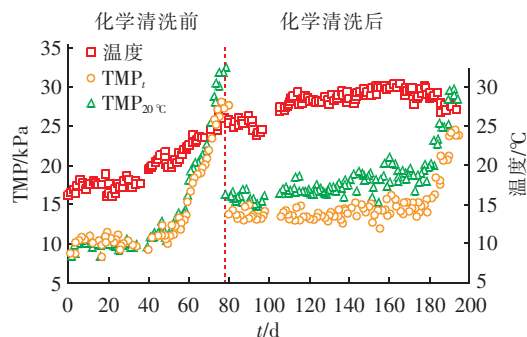


图4 化学清洗前后TMP及水温的变化

Fig. 4 Variations of TMP and water temperature before and after cleaning in place (CIP)

将 TMP_t 统一校正为20℃条件下的 $TMP_{20^\circ\text{C}}$ 分析化学清洗效果。由图4可以看出,在混凝沉淀—超滤工艺运行条件下, $TMP_{20^\circ\text{C}}$ 由最初的8kPa上升至33kPa,平均增长速率为0.33kPa/d。在混凝沉淀—砂滤—超滤工艺运行条件下, $TMP_{20^\circ\text{C}}$ 增速有所减缓,试验过程中 $TMP_{20^\circ\text{C}}$ 升高了12kPa,平均增长速率为0.10kPa/d。与混凝沉淀—超滤工艺相比,混凝沉淀—砂滤—超滤工艺可能由于砂滤池去除了水中大部分无机和有机胶体以及部分溶解性有机物,有效减缓了膜污染。

改变运行工艺后,对超滤膜系统进行化学清洗,清洗后 $TMP_{20^\circ\text{C}}$ 由33kPa降至16kPa,跨膜压差恢复良好,即化学清洗效果显著。因此,为保证超滤膜长时间稳定运行,建议定期进行化学清洗,缓解膜污染。

3 结论

① 混凝沉淀—超滤和混凝沉淀—砂滤—超滤两种工艺的出水水质相差不大,出水浊度均稳定在 0.1 NTU 以下。中试运行过程中,对 COD_{Mn} 的平均去除率为 20%,且出水中未检测到剑水蚤、红虫等微型动物存在。

② 超滤膜系统的跨膜压差较为平稳,增长率相对缓慢,两种组合工艺运行前期,跨膜压差一直稳定在 16 kPa 内,产水率稳定在较高水平,平均为 98.83%。

③ 超滤膜进行化学清洗后 $\text{TMP}_{20\text{ }^{\circ}\text{C}}$ 由 33 kPa 降至 16 kPa,化学清洗效果显著。混凝沉淀—超滤工艺和混凝沉淀—砂滤—超滤工艺的 $\text{TMP}_{20\text{ }^{\circ}\text{C}}$ 平均增长率分别为 0.33、0.10 kPa/d,系统运行稳定。

参考文献:

- [1] 李圭白,杨艳玲. 第三代城市饮用水净化工艺——超滤为核心技术的组合工艺[J]. 给水排水,2007,33(4):1.
- [2] Tian J Y,Xu Y P,Chen Z L,*et al.* Air bubbling for alleviating membrane fouling of immersed hollow-fiber membrane for ultrafiltration of river water[J]. Desalination, 2010,260(1/3):225–230.
- [3] Huang H O,Schwab K,Jacangelo J G. Pretreatment for low pressure membranes in water treatment;a review[J]. Environ Sci Technol,2009,43(9):3011–3019.
- [4] 夏圣骥,李圭白,张军,等. 混凝/超滤去除地表水中颗粒特性[J]. 哈尔滨工业大学学报,2008,40(10):1657–1660.
- [5] 沈裘昌. 谈以超滤技术为核心的组合处理工艺[J]. 给水排水,2010,36(3):1.
- [6] 杨玉楠,李文兰,吴舜泽,等. 膜法处理工艺去除微污染有机物的对比研究[J]. 哈尔滨工业大学学报,2002,34(6):780–783.
- [7] Huang H O,Young T A,Jacangelo J G. Unified membrane fouling index for low pressure membrane filtration of natural waters:principles and methodology[J]. Environ Sci Technol,2008,42(3):714–720.
- [8] Liang H,Yang Y L,Gong W J,*et al.* Effect of pretreatment by permanganate/chlorine on algae fouling control for ultrafiltration(UF) membrane system[J]. Desalination,2008,222(1/3):74–80.



作者简介:陈杰(1978—),男,安徽界首人,博士,高级工程师,主要研究方向为饮用水安全保障技术、膜法处理工艺的研发与工程化应用。

E-mail:hitchenjie@163.com

收稿日期:2016–10–12

