

# MBR 污水厂清洗方式优化及效果分析

沈晓铃

(福建省交通规划设计院, 福建 福州 350004)

**摘要:** 无锡市梅村污水处理厂在 MBR 工艺长期运行中根据膜组件跨膜压差的变化, 分析了 MBR 膜组件的清洗效果, 并在确保 MBR 系统产水能力的前提下, 对清洗方式进行了多方面优化调整, 膜组件实际超期使用了 1 年半, 这为类似污水处理厂 MBR 膜组件的清洗和维护提供了参考。

**关键词:** MBR 膜组件; 清洗方式; 跨膜压差

**中图分类号:** X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)05-0061-04

## Optimization and Effect Analysis of Cleaning Method of MBR in WWTP

SHEN Xiao-ling

(Fujian Communications Planning & Design Institute, Fuzhou 350004, China)

**Abstract:** According to the change of transmembrane pressure (TMP) in long-time operation of MBR process in Meicun WWTP in Wuxi City, the cleaning effect of the membrane modules was analyzed. The cleaning method was optimized with assuring the water production capacity of MBR system. The membrane modules were actually used for one and a half years which was longer than the service life. The results can provide reference for cleaning and maintenance of MBR in similar plants.

**Key words:** MBR module; cleaning method; transmembrane pressure

无锡市梅村污水厂二期工程规模为  $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 采用一体化 MBR 工艺, 是华东地区最早采用 MBR 工艺的市政污水厂。膜组件采用 ZeeWeed@500 II 型中空纤维超滤膜, 设计平均瞬时膜通量为  $22.9 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 膜组件设计使用寿命为 5 年, 膜池分为 4 组, 共计 40 个膜组件。每组膜池有单独的抽吸系统、反洗系统、空气擦洗系统、污泥回流系统, 抽吸的产水管也作为水反洗的进水管。笔者根据梅村污水厂 6 年多来恢复性清洗前后跨膜压差 (TMP) 的变化情况, 对 MBR 膜组件的清洗效果进行了分析, 并对清洗方式进行了优化调整。

### 1 膜污染及膜清洗方式

图 1 为梅村污水厂污堵后的膜组件。可以看出, 随着 MBR 工艺的运行, 膜组件开始出现污堵现象, 膜丝表面污泥不断富集, 尤其是产水抽吸的两端污泥淤积情况严重, 需进行清洗以恢复膜组件产水能力。梅村污水厂膜系统的清洗分为水反洗、化学

清洗两种, 同时伴随着膜池的空气擦洗, 其主要参数和作用见表 1<sup>[1]</sup>。水反洗是系统日常采用的膜污染控制措施, 每个产水周期水反洗一次, 一周周期时长为 12.5 min, 即水反洗 4 次/h, 每次持续 0.5 min, 反洗强度为  $34 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 水反洗能有效延缓 MBR 系统 TMP 的增加, 降低化学清洗频率, 延长膜组件寿命。



a. 膜组件



b. 膜元件

图 1 污堵的膜组件及膜元件

Fig. 1 Fouled membrane cassette and membrane module

表 1 MBR 系统的主要清洗方式

Tab. 1 Main cleaning modes of membrane system

项 目	所需药剂	药剂浓度/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	清洗频率	清洗持续 时间/min
水反洗	—	—	每周期 1 次	0.5
维护性清洗	10% 次氯酸钠	200	每周 2 次	60
	4% ~ 5% 柠檬酸	2 000	每周 2 次	60
恢复性清洗	10% 次氯酸钠	1 000	每年 2 次	360
	4% ~ 5% 柠檬酸	2 000	每年 2 次	360

## 2 膜清洗效果分析

梅村污水处理厂的 MBR 系统采用恒定产水量的方式运行,膜污染监测的主要数据为跨膜压差(TMP)。

图 2 分别显示了 2009 年—2012 年年末的恢复性清洗前后 MBR 系统 1#膜池 TMP 的变化情况(每日的 TMP 为每 5 min 监测值的平均值)。由图 2(a)~(c)可以看出,年中的恢复性清洗后,膜组件表面较为清洁,TMP 很低(约为 10 kPa)。随着膜组件运行时间的增加,TMP 呈逐渐升高的趋势,膜组件运行一段时间后,膜丝表面附着了一定的有机物或者无机物,产水、空气擦洗、水反洗和维护性清洗达到一定的平衡,此时 TMP 初步稳定在 20 kPa 左右。进入 11 月份,随着膜组件运行时间的增加,TMP 逐渐增大,并最终稳定在 40 kPa 左右,到 12 月底已必须再次进行恢复性清洗。但是图 2(d)显示,2012 年末的恢复性清洗后,1#膜池的 TMP 虽然也出现了一定的下降,但是仅为 21 ~ 25 kPa,未能像以前降至 10 kPa 左右,而且 TMP 上升较快,仅半个月就上升至 30 kPa 以上,说明恢复性清洗的目的未能达到,现有清洗方式有待改进。

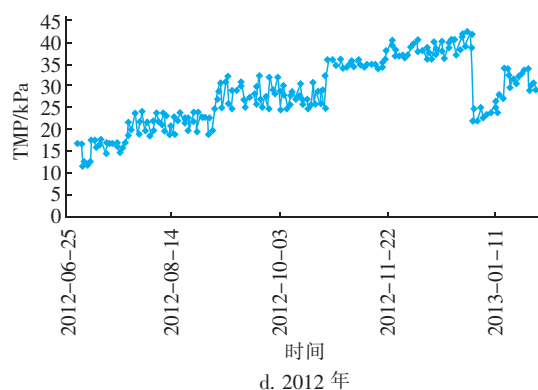
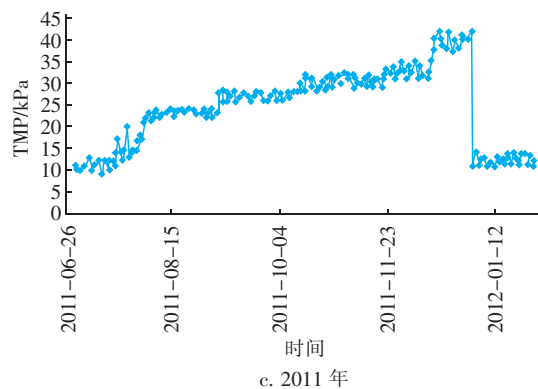
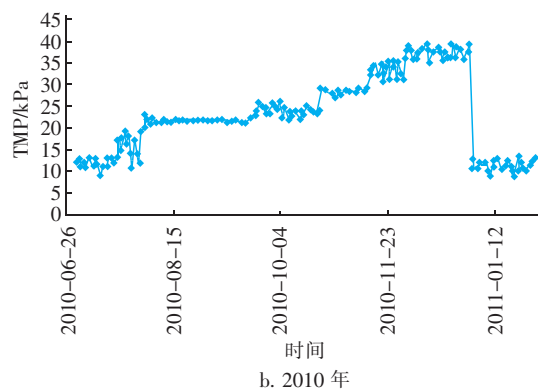
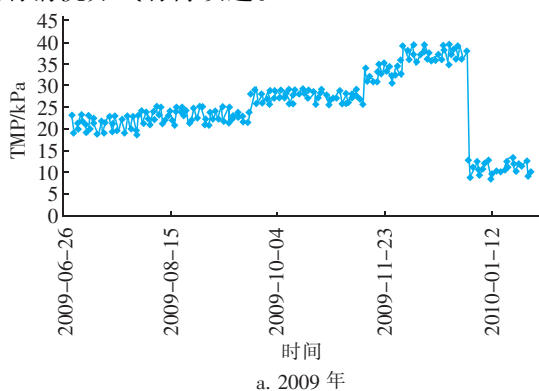


图 2 2009 年—2012 年恢复性清洗前后 TMP 的变化情况  
Fig. 2 Change of TMP before and after recovering cleaning  
from 2009 to 2012

## 3 化学药剂的调整

梅村污水厂 2013 年初也曾延长恢复性清洗时长至 8 ~ 10 h,但效果一般<sup>[2]</sup>,为此对膜丝取样进行电镜分析及膜丝外表面元素分析,结果见图 3。由图 3 可知,5  $\mu\text{m}$  的照片上,清洗前覆盖的污垢明显,基本无法看到膜孔,元素分析后发现铁的称重比例占到 34.35%,而柠檬酸清洗对金属的去除效果不甚理想。为此,梅村污水厂 2013 年年初对几种有效酸(柠檬酸、盐酸、草酸)分别进行恢复性清洗试验,

恢复性清洗后的 TMP 变化情况见表 2。

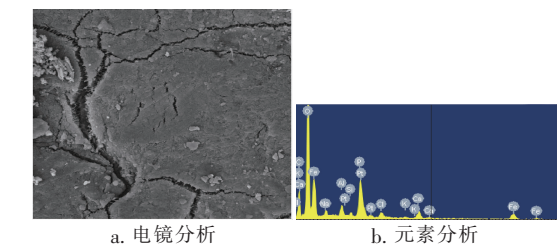


图 3 污堵后的膜丝外表面电镜分析和元素分析结果

Fig.3 Electron microscopy and elemental analysis of fouled outer surface of membrane module

表 2 不同酸洗药剂恢复性清洗前后的 TMP 比较  
Tab.2 Comparison of TMP before and after recovering cleaning by different acid chemicals kPa

项 目	清洗前	柠檬酸清洗后	盐酸清洗后	草酸清洗后
1#膜池	42	22	20	10
2#膜池	43	25	21	11
3#膜池	38	21	20	11
4#膜池	36	22	19	10

由表 2 可知,草酸的清洗效果最佳,能够有效降低膜的无机污染,随即将柠檬酸更换成草酸,采用 NaClO + 草酸进行化学清洗。再次对清洗后的膜丝取样进行电镜及膜丝外表面元素分析,结果见图 4。

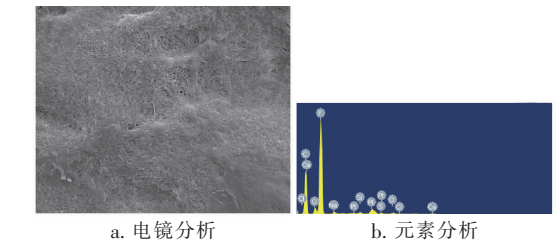


图 4 清洗后的膜丝外表面电镜分析和元素分析  
Fig.4 Electron microscopy and elemental analysis of cleaned outer surface of membrane module

采用 NaClO + 草酸进行化学清洗后的 5 μm 照片上,可以看到很明显的均匀分布排列的膜孔,另外元素分析发现铁元素已完全消失。根据清洗效果分析如下:①柠檬酸酸性较弱,pH 值一般为 4 ~ 5,因此对于吸附在膜丝表面的铁离子清洗效果一般;②盐酸虽然酸性强,pH 值可达 1 左右,但属于无机酸,无法有效进入吸附在膜丝表面的污泥层中,因此清洗效果一般;③草酸酸性强于柠檬酸而弱于盐酸,pH 值一般在 2 以下,而且属于有机酸,能够进入膜丝表面的污泥中,进而溶解铁离子,清洗效果较好。

图 5 显示了 2013 年、2014 年年末以及 2015 年年中采用 NaClO + 草酸进行恢复性清洗后 TMP 的变化情况。

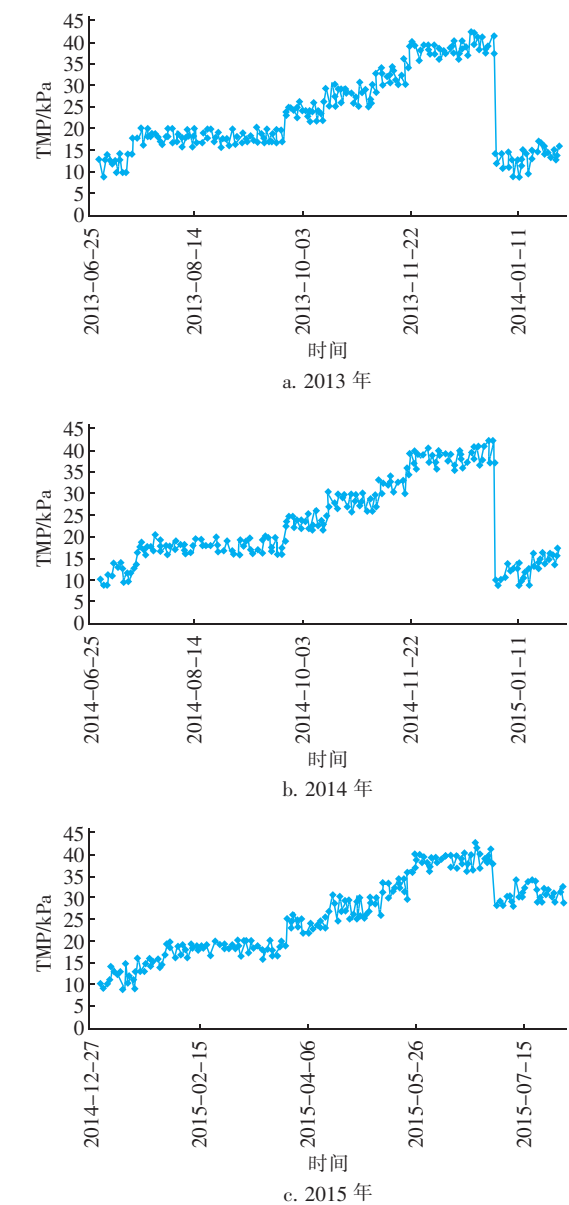


图 5 2013 年—2015 年恢复性清洗前后 TMP 的变化情况

Fig.5 Change of TMP before and after recovering cleaning from 2013 to 2015

由图 5 可以看出,2013 年、2014 年采用 NaClO + 草酸进行恢复性清洗后,TMP 能够正常恢复至 10 kPa 左右,且清洗后的 TMP 变化基本与前几年一致,说明草酸对于铁离子具有较好的去除效果。但 2015 年上半年的恢复性清洗效果明显较 2013 年和 2014 年差,TMP 仅能恢复到 30 kPa 左右。由于梅

村污水厂的膜组件已使用6年多,超过了合同规定的5年使用寿命。为此,梅村污水厂于2015年7月逐步更换膜组件。

#### 4 气擦洗方式的调整

空气擦洗膜丝是利用气泡的摩擦与膜丝的振动来破坏膜丝表面的浓差极化现象,达到清洗膜丝的目的。梅村污水厂膜池的气擦洗采用脉冲曝气的方式,膜擦洗风机共3台,2用1备,单台风量为 $165\text{ m}^3/\text{min}$ ,有“10/30”和“10/10”两种运行模式(分别代表停10 s、开30 s,停10 s、开10 s),这也是Zee-Weed@500 II型中空纤维超滤膜从节能降耗和膜组件本身运行角度出发采用的运行模式。

在2009年2月MBR系统刚投运时,由于是新的膜组件,一直采用“10/30”模式运行,风机只运行1台,2009年2月—10月的TMP基本维持在25 kPa以下,进入冬季后TMP上升较快,且维护性清洗效果一般,将擦洗风机开启了2台,并开始采用“10/10”模式进行空气擦洗。这主要因为MBR工艺的污泥浓度较高,水温较低时,其粘滞系数也较大,为保证膜组件不被污堵,冬季膜擦洗风机一般需开启2台,且运行模式需按“10/10”模式运行。

但随着MBR系统运行时间的增加,膜组件自身也出现一定的老化,同时恢复性清洗难以去除的膜污染也越来越严重。从MBR系统稳定运行、保障处理能力、减少恢复性清洗频率、延长膜组件使用寿命的角度出发,对膜擦洗方式和擦洗风量也进行了一定的调整。表3列出了2010年—2015年上半年(2015年下半年梅村污水厂对膜组件进行了更换)膜擦洗风机开启台数及擦洗方式。

表3 膜擦洗运行方式

Tab.3 Membrane air scouring mode

项 目	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年
6月—10月	1台 10/30	1台 10/30	1台 10/30	2台 10/10	2台 10/10	2台 10/10
其余月份	2台 10/10	2台 10/10	2台 10/10	2台 10/10	2台 10/10	2台 10/10

2013年后膜擦洗风量和擦洗时长较前几年变大,相应的膜擦洗能耗增加。

同时,随着膜组件自身的老化,膜组件的通量呈现逐渐下降的趋势,整个系统的产水能力受到了削弱,2009年—2015年每年6月—10月的实际平均产水量分别为 $350$ 、 $350$ 、 $330$ 、 $330$ 、 $300$ 、 $290$ 、 $290\text{ m}^3/\text{h}$ ,每年其余月份的实际平均产水量分别为 $320$ 、 $320$ 、 $310$ 、 $310$ 、 $260$ 、 $250$ 、 $250\text{ m}^3/\text{h}$ 。

#### 5 结论

与传统水处理工艺相比,MBR工艺最大的缺点是膜更换成本比较高,因此如何延长膜组件的使用寿命是MBR工艺污水处理厂在实际运行中最需要面对的难题。无锡市梅村污水处理厂在确保MBR系统产水能力的前提下,多方面优化改进MBR系统的清洗方式,膜组件实际超期使用了1年半,可为类似污水处理厂MBR膜组件的清洗维护提供参考和借鉴。

#### 参考文献:

- [1] 蒋岚岚,张万里,胡邦. MBR工艺水质净化效果的季节变化特性调研[J]. 中国给水排水,2015,31(7):39-41.
- [2] 邹琳,李臻,笪跃武,等. 超滤膜工艺优化与运行维护管理[J]. 中国给水排水,2015,31(24):116-122.



作者简介:沈晓铃(1979—),男,福建福安人,本科,高级工程师,注册公用设备工程师(给水排水),主要从事市政给排水设计研究工作。

E-mail:zhangwl@wxmedi.com

收稿日期:2016-08-12