

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.22.017

MBR 系统设备运行维护要点

张万里¹, 胡 邦¹, 周 勇²

(1. 无锡市政设计研究院有限公司, 江苏 无锡 214072; 2. 无锡市高新水务有限公司, 江苏 无锡 214028)

摘 要: 根据无锡市某污水处理厂 MBR 工艺 12 年多的运维情况,在确保出水水质和处理能力的前提下,主要从膜组件正常清洗维护、膜元件接口维护、气动阀门系统以及其他辅助设备维护几个方面,总结了 MBR 系统设备的运行维护以及应对突发状况的处理经验,这些经验对于膜系统的稳定运行以及延长膜组件的使用寿命极为关键,也更有利于发挥 MBR 工艺的优势,可为类似污水处理厂的运行和维护提供参考。

关键词: MBR; 膜组件; 运行维护

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)22-0094-05

Operation and Maintenance Keys of the MBR System Equipment

ZHANG Wan-li¹, HU Bang¹, ZHOU Yong²

(1. Wuxi Municipal Design Institute Co. Ltd., Wuxi 214072, China; 2. Wuxi Hi-Tech Water Co. Ltd., Wuxi 214028, China)

Abstract: According to the MBR process operation of a municipal sewage treatment plant in Wuxi City for over 12 years, the experiences in membrane operation and maintenance as well as dealing with emergencies are summarized on the premise of ensuring the effluent quality and treatment capacity, from several aspects including the normal cleaning and maintenance of membrane modules, interface maintenance of membrane components, the pneumatic valve system and other auxiliary equipment. They are very important for the stable operation of membrane system and prolonging the service life of membrane module to conduct full advantages of MBR process, which can also provide references of operation and maintenance for the similar plants.

Key words: MBR; membrane module; operation and maintenance

以华东地区采用 MBR 工艺的某污水处理厂 12 年多遇到的设备运行管理问题为例,就 MBR 主要设备的维护问题进行分析、探讨、总结,可供类似污水处理厂参考。

1 膜组件的维护

膜污染在 MBR 膜组件运行中出现频率最高,尤其是随着使用时间的增加,膜污染会越来越严重。在运行中主要反映为 MBR 系统跨膜压差(TMP)的增加,而膜污染主要通过清洗来恢复。膜组件采用中空纤维超滤膜,膜系统的清洗分为水反洗和化学

清洗两种,同时伴随膜池的空气擦洗^[1]。化学清洗按清洗频率可分为维护性清洗与恢复性清洗,维护性清洗持续时间较短,采用较低的化学药品浓度,清洗频率较高,其目的在于保持膜的透水性和延长恢复性清洗的周期;按药剂种类可分为酸洗与碱洗两种方式,酸洗能够清除膜丝表面的无机物,碱洗能够灭活膜丝表面微生物。

① 水反洗。虽然化学清洗是恢复膜组件通量的主要手段,膜元件本身也具有较强的化学疲劳强度,但化学药剂总会给膜丝有一定的损伤,频繁或药

剂浓度较高的化学清洗不利于延长膜丝的使用寿命。为此,一般情况下采用水反洗来降低化学清洗的频率。MBR 每个产水周期为 12.5 min,每个产水周期水反洗 1 次,每次持续 0.5 min,反洗强度为 $34 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,反洗频率为 4 次/h^[2]。

② 维护性清洗。维护性清洗的目的主要是延长恢复性清洗的周期,因此化学清洗药剂浓度低、清洗时间较短、频率较高。维护性清洗的频率为 2 次/周,每次清洗时长约 2 h(碱洗、酸洗各 1 h),采用的药剂为 200 mg/L(浓度对应反洗水量)的次氯酸钠、2 000 mg/L(浓度对应反洗水量)的柠檬酸^[3]。

③ 恢复性清洗。恢复性清洗持续时间较长,采用化学药剂浓度较高,清洗频率较低,其目的在于恢复膜的透水性^[2]。采用原位清洗的方式,清洗的频率为 2 次/a,每次清洗时长约 12 h(碱洗、酸洗各 6 h),采用的药剂为 1 000 mg/L(浓度对应反洗水量)的次氯酸钠、2 000 mg/L(浓度对应反洗水量)的柠檬酸。

根据该厂的运行经验,在膜组件的正常使用寿命周期内,恢复性清洗后 TMP 恢复到约 10 kPa。

特别需要注意的是,运行前期该厂的化学除磷药剂采用铁盐(价格较低),但由于进水 TP 存在较大的波动,铁盐的过量投加会造成膜的铁污染,柠檬酸清洗效果一般,为此后期均改为投加 PAC。由于膜污染不可逆,随着膜组件使用时间的不断增加,恢复性清洗的难度和频率也会越来越高,该厂和设备厂家共同分析调整了化学清洗方式或药剂种类^[3],有效地延长了膜组件的使用寿命,节省了膜组件的更换成本。

2 膜元件接口的维护

该厂 MBR 采用中空纤维超滤膜(带内衬),运行至今尚未发现膜丝断裂,但在最近两年出现了个别膜元件与膜组件接口松脱的情况(见图 1)。



图 1 膜元件接口密封脱落

Fig. 1 Membrane element interface seal falling off

膜元件与膜组件接口松脱会立即影响 MBR 系统的出水水质,在线浊度仪报警,并停止整组膜池的运行,因此,膜元件接口密封脱落将直接影响产水量和出水水质的稳定达标。该厂针对上述情况立即进行了排查,发现膜元件与膜组件接口松脱主要是密封件的损坏所致。经常损坏的密封件如图 2 所示。

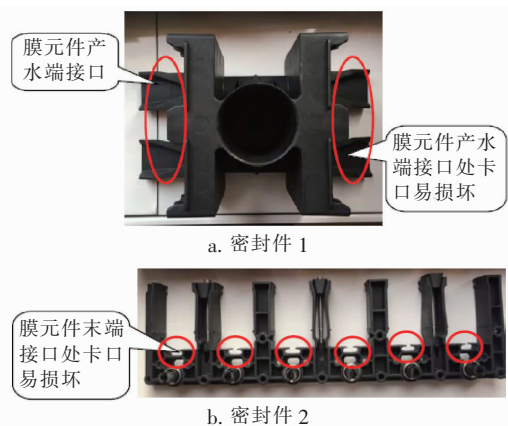


图 2 经常损坏的密封件

Fig. 2 Frequently damaged seals

该厂对此进行了分析与设备厂家及时沟通,得出原因如下:

① 在 MBR 系统运行的后几年,为避免污泥在膜丝上的吸附造成 TMP 上升过快,加大了空气擦洗的风量和时长,使膜元件受气流扰动更加剧烈,对膜元件接口处的冲击较大,尤其是夏季,擦洗空气的温度较高,使得密封件变形脆化,最终出现脱落。

② 由于膜组件长期浸没在膜池内,较高的污泥浓度,脱氮补充的碳源、化学除磷及化学清洗的各种药剂轮流与密封件接触,使得密封件的工作环境更为复杂,易造成密封件的老化。

由于密封件为塑料材质,损坏后无法修补,在备品备件不足时为避免膜元件松脱造成整个膜箱、整组膜池停产,该厂采用“打补丁”的办法对密封件损坏处进行加固,避免膜元件松脱(见图 3)。

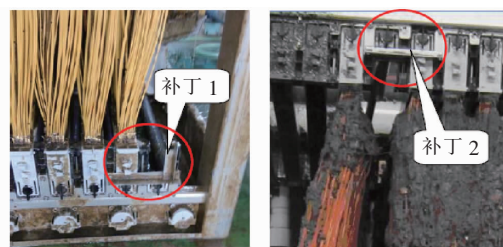


图 3 对密封件损坏处的加固处理

Fig. 3 Reinforcement of damaged seals

根据该厂的运行经验,随着使用时间的增加,大概从第 4 年开始,出现了个别损坏的案例,这时需要将全部膜组件逐一起吊出膜池进行仔细排查,以减少对产水量和出水水质的影响。

3 气动阀门系统的维护

MBR 系统管路复杂,相应的阀门种类、数量也较多,其中最为重要的就是启闭频繁、快速切换实现 MBR 系统自动运行的气动阀。气动阀门系统直接关系到 MBR 系统的稳定运行,因此阀门系统的正常运行极为重要。气动阀门系统主要由压缩空气系统和气动阀门组成,气动阀门系统的维护应重点关注以下几点:

① 空压机、冷干机的定期维护和合理备用^[4]

该厂 MBR 系统的空压机和冷干机各 2 台,1 用 1 备,一起接入气压罐,有效地保障了生产安全,提高了设备故障时的使用效率。空压机的定期维护主要保养内容:吹扫油冷却器,清洗机组内的疏水阀,清理机组内部灰尘,并保障机组的运行环境质量,到期及时更换空滤、油滤、润滑油等。

② 管道、配件、气动执行机构质量可靠

该厂的压缩空气管道及配件采用 SS304 材质,采用进口气动执行机构。根据长期的使用经验,能够较好地适应 MBR 系统的使用要求,但在 2013 年 6 月还是出现了气动执行机构磨损严重而造成阀门不动作的情况。

气动执行机构的磨损如图 4 所示。



图 4 气动执行机构的磨损

Fig. 4 Wear of pneumatic actuator

气动执行机构应保持洁净,润滑油应及时补充,当出现阀门不动作等异常情况后,应停止使用,立即排查故障,必要时及时更换气动执行机构,避免整组膜池停产,从而造成产水量下降。

该厂针对压缩空气管道及配件每年均会进行一次气密性排查,以减少空压机的使用时长,延长空压机的使用寿命,也能节省一定的能耗。

③ 提高压缩空气的空气质量

高质量的压缩空气对于 MBR 系统的稳定运行非常有利,高质量主要是指压缩空气中灰尘、水汽、油含量少。压缩空气中的灰尘会加大压缩空气流经管道、气动执行机构的摩擦,造成管道、气动元件的磨损,在与油气混合时还会堵塞管道,缩短气动元件的使用寿命;水汽会锈蚀金属元件,低温时会凝结成冰,极易损坏管道及附件;油易被氧化成有机酸,腐蚀设备,加速元件的老化。根据该厂的经验,要提高压缩空气的质量,需要从以下几点着手:a. 压缩空气系统的设备所处的环境尽量洁净、干燥,从源头上避免灰尘、水汽等进入;b. 根据采用的气动阀门对油分的要求,MBR 系统的空压机采用无油型,以减少压缩空气系统的设备数量,减轻系统维护工作量,当采用微油型空压机时,应强化出口气体的处理;c. 强化压缩空气系统的过滤,采用主、精、高精三级过滤,保证压缩空气的洁净;d. 定期清洗过滤器和冷干机的疏水器,避免冷干机和滤芯积水;e. 根据过滤器的使用要求,定期更换失效的过滤器。

由此可见,气动阀门系统的稳定运行极为关键,除了造成减产、能耗增加等不利影响,严重时还会造成较大的生产事故。而膜池与膜设备车间共处于同一车间内,车间内的湿度较高,因此,针对气动阀门系统制定了详细的检修维护制度:a. 每 3 个月检查气动执行器,更换破损零部件、加注润滑脂、清除污物水渍等。b. 每 3 个月对电磁阀进行检查保养,检查阀芯活动是否自如、电磁阀有无污物等。c. 每 3 个月检查阀体外观是否完好,安装法兰有无泄漏。如果有必要,还应检查阀体密封是否良好,阀板运转是否灵活等^[5]。

同时,该厂还针对气动阀门系统维修经验,结合上级水务公司的备品备件库建设要求,通过加大常用备件存量等办法有效实现了气动阀门系统的高效、稳定运行。

4 其他辅助设备的维护

MBR 系统辅助设备众多,除了膜组件、气动阀门系统外,还有产水抽吸泵、污泥回流泵、反冲洗水泵、剩余污泥泵、化学药剂投加泵、膜车间的排水泵等。辅助设备的配置见表 1。

表 1 辅助设备的配置

Tab.1 Configuration of auxiliary equipment

项 目	泵的种类	安装方式	数量
污泥回流泵	潜水离心泵	干式安装	4 用 1 冷备
产水抽吸泵	卧式离心泵	干式安装	4 用 1 冷备
反冲洗水泵	卧式离心泵	干式安装	1 用 1 备
剩余污泥泵	潜水离心泵	湿式安装	1 用 1 备
次氯酸钠投加泵	气动隔膜泵	干式安装	1 用 1 备
柠檬酸投加泵	气动隔膜泵	干式安装	1 用 1 备
膜车间排水泵	潜水离心泵	湿式安装	1 用 1 备

主要维护工作如下:

① 污泥回流泵采用潜水泵干式安装,每组膜池对应 1 台污泥回流泵(见图 5),设有 1 台冷备^[6]。

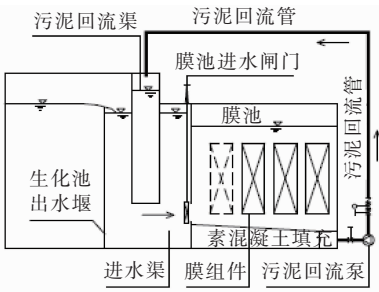


图 5 MBR 系统污泥回流方式

Fig.5 Schematic diagram of sludge return mode of MBR

由于输送的介质为膜池混合液,在日常的生产运行中较易出现机械密封损坏、叶轮磨损严重等现象,需要经常检查并定期更换。图 6 为污泥回流泵叶轮磨损情况。



图 6 污泥回流泵叶轮磨损

Fig.6 Wear of sludge return pump impeller

由于污泥回流泵与膜池一一对应,如污泥回流泵及管路系统出现故障,就会引起整组膜池停产,造成污水厂减产。2013 年 4 月 2#膜池污泥回流泵流量出现异常降低,膜池液位迅速上升,由于及时关闭了 2#膜池的进水闸门,避免了一次生产事故。排查检修时发现,由于叶轮磨损后叶片变薄、损坏造成水

泵停机。因此,日常维护中污泥回流泵的养护极为重要,当回流量(回流泵出水管设置电磁流量计)出现异常时应及时检修。

② 产水抽吸泵、自动清洗泵的输送介质为清水,基本上很少出现堵塞、叶轮磨损严重等现象,主要维护重点是经常检查有无泄漏、噪声、振动等,并定期更换轴承等。

③ 剩余污泥泵由于安装在膜池混合液中,工作环境差、输送介质具有较强的腐蚀性,常出现叶轮腐蚀及磨损、油室进水损坏等现象,设备寿命短。图 7 为剩余污泥泵损坏情况。



图 7 剩余污泥泵的损坏

Fig.7 Damage of excess sludge pump

在实际生产过程中,为保障冬季时出水水质稳定,常需提高系统的污泥浓度,但过高的污泥浓度需要提高清洗的频率,不利于延长膜组件的使用寿命,因此在春季气温回升时为避免污泥繁殖过度,造成膜池污泥浓度过高引起 TMP 迅速上升,春季前应做好剩余污泥泵的养护工作,确保剩余污泥的正常排放。该厂每年 3 月对剩余污泥泵进行检修维护,必要时及时更换。

④ 化学药剂投加泵主要输送 MBR 系统化学清洗药剂,主要问题有:a. 因药剂纯度不高,会出现堵塞管道的情况,造成隔膜泵的空转或半空转,损坏隔膜泵的膜片。隔膜泵膜片损坏如图 8 所示。b. 隔膜泵运行时不停往复运动会拉伸管道及接口,易出现接口松脱不密封、药剂泄漏。c. 过滤器堵塞。因此在日常维护中需要重视堵塞和泄漏情况,及时清洗堵塞的管道和过滤器,避免造成隔膜的损坏,同时要立即处理接口松脱问题,避免污染整个车间。d. 化学药剂具有一定的腐蚀性,如发生泄漏会对膜车间的工艺及电气设备、管道、墙体等造成不利的影响。该厂针对化学清洗系统要求每周巡检一次,对

化学药剂投加系统的管道和接口进行详细检查,并每两周清洗加药泵进口的过滤器。



图8 气动隔膜泵膜片的损坏

Fig. 8 Damaged diaphragm of pneumatic diaphragm pump

⑤ 膜车间排水泵主要用于膜车间管沟、排水沟集水坑的排水,使用频率较低,但发生事故或泵和管道检修时,需要及时排除车间内的积水。排水泵一般由浮球液位计控制,特殊情况下手动控制。由于膜车间环境潮湿,浮球液位计的触点易腐蚀造成接触不良或者导线老化、发硬、翻转不灵活,因此主要维护重点是经常检查浮球液位计的触点吸合和导线翻转情况,当出现异常时及时更换。

5 结论

MBR工艺能够发挥其高效、稳定的去除效果,膜组件固然是关键,但气动阀门系统以及其他辅助设备的有效、稳定运行也是必要条件。该厂MBR系统至今已正常运行超过12年,在此过程中积累了很多保障MBR系统正常运维和应对突发状况的处理经验,并针对自身MBR系统的特点制定了有效的排查、维护、检修制度,同时合理增加备用设施、加大备品备件库建设,以期实现系统全部子单元有效组合、高效稳定运行,更好地发挥MBR工艺的优势。

参考文献:

- [1] 华伟,张万里,蒋岚岚,等. 一体化MBR工艺运行及清洗效果分析[J]. 中国给水排水,2012,28(2):39-41.

HUA Wei,ZHANG Wanli,JIANG Lanlan,et al. Analysis on operation and cleaning effect of integrative MBR process[J]. China Water & Wastewater,2012,28(2):39-41(in Chinese).

- [2] 沈晓铃. MBR污水厂清洗方式优化及效果分析[J]. 中国给水排水,2017,33(5):61-64.
SHEN Xiaoling. Optimization and effect analysis of cleaning method of MBR in WWTP[J]. China Water & Wastewater,2017,33(5):61-64(in Chinese).
- [3] 聂新宇,罗敏,刘慰,等. 无锡梅村污水处理厂MBR工艺多年运行效果分析[J]. 给水排水,2017,43(1):25-27.
NIE Xinyu,LUO Min,LIU Wei,et al. Analysis on long-term operational performance of a MBR process of Meicun wastewater treatment plant in Wuxi City[J]. Water & Wastewater Engineering, 2017, 43(1): 25-27(in Chinese).
- [4] 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.
ZOU Lin, LI Zhen, DA Yuewu, et al. Technique optimization and operational maintenance of ultrafiltration membrane process [J]. China Water & Wastewater, 2015,31(24):116-122(in Chinese).
- [5] 赵宇,常华. V型滤池运行过程中故障问题的研究[J]. 绿色科技,2016(2):78-79.
ZHAO Yu, CHANG Hua. Research on the problems occurring in the process of V-type filter operation [J]. Journal of Green Science and Technology,2016(2):78-79(in Chinese).
- [6] 蒋岚岚,胡邦,张万里. 膜生物反应器工艺设计及工程案例[M]. 南京:河海大学出版社,2015.
JIANG Lanlan,HU Bang,ZHANG Wanli. Process Design and Engineering Case of Membrane Bioreactor [M]. Nanjing:Hohai University Press,2015(in Chinese).

作者简介:张万里(1983-),男,江苏泗阳人,硕士,高级工程师,主要从事给排水设计工作。

E-mail:zhangwl@wxmedi.com

收稿日期:2020-07-02

修回日期:2021-05-28

(编辑:衣春敏)