

试验研究

# 化学絮凝预处理对 A/O-MBR 处理养猪沼液的影响

冯 亮,赵 明,周礼杰,夏四清,叶 标

(同济大学污染控制与资源化研究国家重点实验室,上海 200092)

**[摘要]** 为探讨化学絮凝预处理对后续 A/O-MBR 工艺处理效果的影响,试验分别采用 A/O-MBR 工艺和化学絮凝—A/O-MBR 工艺处理养猪沼液。试验结果表明:通过化学絮凝预处理,A/O-MBR 工艺的出水平均 COD 从 292 mg/L 下降为 191 mg/L;MLVSS/MLSS 从 0.43 升高至 0.76,污泥活性明显提升。A/O-MBR 工艺膜污染较重,反冲洗效果较差,反应器中溶解性微生物产物(SMP)和胞外聚合物(EPS)的含量均高于化学絮凝—A/O-MBR 工艺。浓差极化阻力和滤饼层阻力是两工艺膜过滤阻力增加的主要因素。

**[关键词]** A/O-MBR;化学絮凝;养猪沼液;膜污染

**[中图分类号]** X703.1;TQ314.253 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-829X(2013)02-0016-04

## Influence of chemical flocculation pretreatment by A/O-MBR on piggery biogas slurry

Feng Liang,Zhao Ming,Zhou Lijie,Xia Siqing,Ye Biao

(State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse,Tongji University,Shanghai 200092,China)

**Abstract:** In order to investigate the influence of chemical flocculation pretreatment on the subsequent A/O-MBR process and chemical flocculation—A/O-MBR process,two processes have been used for treating piggery biogas slurry at the same time. The results show that:the average effluent COD concentration of A/O-MBR decreases from 292 mg/L to 191 mg/L after chemical flocculation pretreatment,and MLSS/MLVSS value increases from 0.43 to 0.76. The activity of sludge can be improved greatly. A/O-MBR process has more severe membrane fouling and poor backwash efficacy,more soluble microbial products (SMP) and higher extracellular polymeric substances (EPS) content than that of chemical flocculation—A/O-MBR process are detected in the reactor. Concentration polarization resistance and cake resistance are the main factors of membrane filtration resistance in these two processes.

**Key words:** A/O-MBR;chemical flocculation;piggery biogas slurry;membrane fouling

随着我国集约化养猪业的发展,养猪废水的污染问题日益凸显。目前,处理养猪废水的常用方法主要是厌氧与好氧联合工艺。但养猪废水经厌氧处理后,产生的养猪沼液 COD 仍达 3 000~5 000 mg/L,且  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  浓度较高,碳氮比较低<sup>[1]</sup>,其中含有丰富的氮、磷等营养元素,经适当处理后可以作为农业灌溉用水。国内外常采用化学方法、兼性塘法、SBR 法<sup>[2-4]</sup>等作为后续处理工艺,而这些工艺出水 COD 等指标难以达到《农田灌溉水质标准》(GB 5084—2005)的要求,无法实现废水的资源化利用。

膜生物反应器(MBR)是一种新型的污水处理装置,具有占地面积小,出水水质好等优点,膜的截

留作用能保持较高的污泥浓度,有效微生物不会流失,使难降解有机物充分降解,硝化菌不易流失可以保证对  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  的高效去除。化学絮凝预处理可以有效地去除污水中的悬浮颗粒物质及胶体,有效地降低有机物的浓度。笔者采用 A/O-MBR 工艺和化学絮凝—A/O-MBR(CF—A/O-MBR)工艺同时处理养猪沼液,探讨化学絮凝预处理对 A/O-MBR 工艺的综合影响,为养猪沼液深度处理的工程实践提供依据。

### 1 试验材料与方法

#### 1.1 试验装置

试验采用两套 A/O-MBR 装置平行运行,装置

**[基金项目]** 上海市曙光跟踪计划课题(10GG12);国家“863”计划课题(2009AA062902)

如图 1 所示。反应器有效水深 150 mm,好氧池和缺氧池的有效容积分别为 4.5 L 和 2.7 L。使用的膜组件为国产聚偏氟乙烯(PDVF)中空纤维膜,膜孔径 0.04 μm,有效膜面积 0.02 m<sup>2</sup>。试验采用间歇出水,抽/停时间为 8 min/2 min,水位由液位计控制。

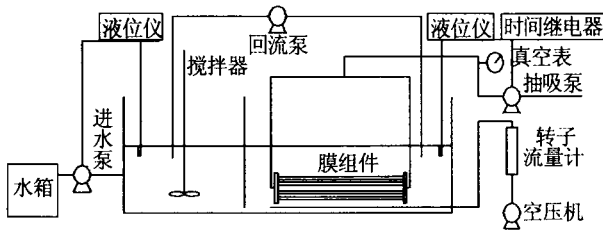


图 1 A/O-MBR 试验装置

### 1.2 进水水质

试验进水采用某养猪场 UASB 工艺出水,具体水质情况如表 1 所示。其中 A 组为均匀混合的养猪沼液,B 组为经化学絮凝处理后的养猪沼液。

表 1 进水水质

序号	COD/ (mg·L <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/ (mg·L <sup>-1</sup> )	TN/ (mg·L <sup>-1</sup> )	TP/ (mg·L <sup>-1</sup> )	pH
A	1 272~3 353	656~1 489	631~1 504	13.8~70.5	7.0~8.4
B	444~909	456~1 339	623~1 485	4.6~40.0	7.4~8.4

### 1.3 试验条件及分析方法

化学絮凝采用聚合氯化铝(PAC)作为絮凝剂,聚丙烯酰胺(PAM)作为助凝剂,用烧杯试验确定合适的投加量。用磁力搅拌器将养猪沼液均匀混合后,分别投加适合的 PAC 和 PAM,快速搅拌 2~3 min,慢速搅拌 10~15 min,然后静置 1.5 h,取上清液进行 MBR 试验研究。

A/O-MBR 工艺的 HRT 为 40 h,好氧池和缺氧池的 DO 分别控制在 4.0 mg/L 和 0.5 mg/L 左右,混合液回流比为 300%,水温 25~30 ℃,pH=7~8。

常规水质指标参照标准方法测定<sup>[5]</sup>:COD 采用 HACH 快速消解法,NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 采用纳氏试剂比色法,TN 采用碱性过硫酸钾紫外分光光度法,NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 采用 N-(1-萘基)-乙二胺光度法,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 采用紫外分光光度法,TP 采用钼酸铵分光光度法,MLSS 及 MLVSS 等采用重量法。

试验中测定了溶解性微生物产物(SMP)和胞外聚合物(EPS)。其提取与测定方法:取 40 mL 活性污泥混合液置于 50 mL 的加盖离心管中,在 6 000 r/min 条件下离心 5 min,取上清液经 0.45 μm 滤膜过滤,测定蛋白质、多糖表征 SMP。将提取过 SMP 之后的浓缩污泥重新悬浮于 40 mL 体积分数为 0.85%

的 NaCl 溶液中,在漩涡振荡器上震荡均匀,然后超声 8 min,80 ℃下水浴 30 min,置于摇床上在 150 r/min 下水水平振荡 10 min,然后在 12 000 r/min 条件下离心 20 min,取上清液测定蛋白质、多糖表征 EPS。蛋白质采用考马斯亮蓝 G-250 法测定,多糖采用蒽酮-硫酸法测定。污泥黏度采用 NDJ-1 型旋转式黏度计测定。

通常采用膜过滤过程中污染阻力来表征膜污染,膜过滤总阻力计算符合达西方程:

$$R_t = \Delta P / (\mu J) \quad (1)$$

式中:  $P$ ——膜两侧的压力差,Pa;

$J$ ——膜通量,L/(m<sup>2</sup>·h);

$\mu$ ——透过液黏度,Pa·s;

$R_t$ ——膜过滤总阻力,m<sup>-1</sup>。

膜过滤总阻力  $R_t$  包括膜固有阻力  $R_m$ 、膜孔堵塞和吸附阻力  $R_i$ 、浓差极化阻力  $R_p$  和滤饼层阻力  $R_c$ 。各部分膜阻力检测方法参照文献[6]。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 对有机物去除效果的影响

两种工艺进出水 COD 变化如图 2 所示。

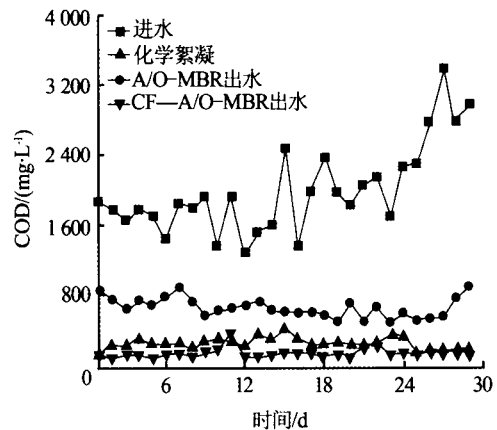


图 2 两种工艺对 COD 的去除效果

由图 2 可见,A/O-MBR 工艺采用养猪沼液均匀混合液进水,出水平均 COD 为 292 mg/L,平均去除率为 84.6%,而 CF-A/O-MBR 工艺经化学絮凝和后续 A/O-MBR 处理后,出水平均 COD 降为 191 mg/L,对 COD 的去除率达到 90.2%。养猪废水成分较为复杂,其中含有纤维素、长链脂肪酸化合物、含氮杂环化合物等典型的难降解有机物质<sup>[7]</sup>,采用化学絮凝处理能有效去除养猪沼液中的胶体和悬浮颗粒物,降低色度,提升其可生化性<sup>[8]</sup>,改善后续生物处理环境,减轻生物处理负荷。

### 2.2 对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 去除效果的影响

在 MBR 反应器中,硝化菌群由于膜的截留作用得以富集,两系统的曝气池均能够实现相当彻底的硝化反应,绝大多数铵态氮都转化为硝态氮,两种工艺对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的去除效果如图 3 所示。

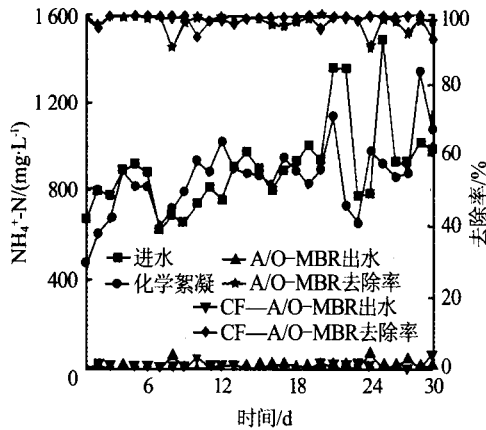


图3 两种工艺对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 的去除效果

由图 3 可见,两种工艺出水 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 分别为 15.0 mg/L 和 11.8 mg/L,对应的去除率为 98.2% 和 98.7%,两系统均表现出良好的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 去除效果。养猪沼液中的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 主要以离子形式存在,化学絮凝对其去除效果并不明显,MBR 系统对硝化细菌的优化富集作用是提高 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 去除效果的关键。

养猪沼液存在易降解基质不足的问题,易降解有机物缺乏导致反硝化电子供体不足,抑制了反硝化菌的反硝化作用<sup>(9)</sup>。两种工艺的进水 COD/TN 分别为 0.93~4.8 和 0.67~1.3,TN 去除率分别为 8.6%~35.3% 和 4.2%~23.6%。过低的反硝化效果,也影响了碱度的回补,因此在运行期间需要投加外源碱调节 pH,以保证两工艺好氧微生物的数量和活性。

### 2.3 对污泥性能的影响

在第 1~22 天的运行过程中,两套工艺都没有排泥。A/O-MBR 工艺的比负荷率从 0.06 kg/(kg·d) 升高至 0.14 kg/(kg·d),CF-A/O-MBR 工艺经化学絮凝处理后,进水 COD 减小,比负荷率从 0.08kg/(kg·d) 下降到 0.04 kg/(kg·d)。有研究认为<sup>(10)</sup>在 MBR 中,当比负荷率低至 0.07~0.1 kg/(kg·d) 时,净污泥产率(污泥产率/污泥浓度)接近于 0。两种工艺的 MLSS 和 MLVSS 变化如图 4 所示。

由图 4 可见,A/O-MBR 工艺的 MLSS 由 8 642 mg/L 增加至 26 410 mg/L,MLVSS/MLSS 从 0.50 增加为 0.59。第 23 天工艺开始排泥,MLSS 浓度下降。而 CF-A/O-MBR 工艺中微生物生长稳定,MLSS 一

直维持在 8 000~10 000 mg/L,MLVSS/MLSS 由 0.43 增加为 0.76,污泥活性比例明显高于 A/O-MBR 工艺,且实现了无污泥排放运行。

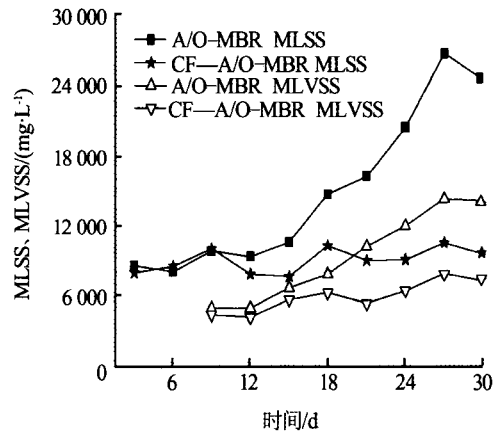


图4 两种工艺的 MLSS 和 MLVSS 变化

为延缓膜污染,两套系统均保持较高的曝气量,因而由曝气产生的剧烈扰动作用,导致较大的污泥絮体难以形成。在试验的运行过程中,A/O-MBR 工艺的 SV 由 82% 升高至 98%,SVI 由 95 mL/g 降低至 36 mL/g,污泥的沉降性能和活性均大幅下降。CF-A/O-MBR 工艺的 SV 由 84% 下降至 60%,SVI 由 94 mL/g 下降至 57 mL/g,污泥性能保持在较好的范围内。

### 2.4 对膜污染的影响

试验中采用恒流出水,当跨膜压差(TMP)达到 40 kPa 时开始对膜进行反冲洗。试验期间监测了两套系统的膜污染情况,两种工艺的 TMP 变化如图 5 所示。

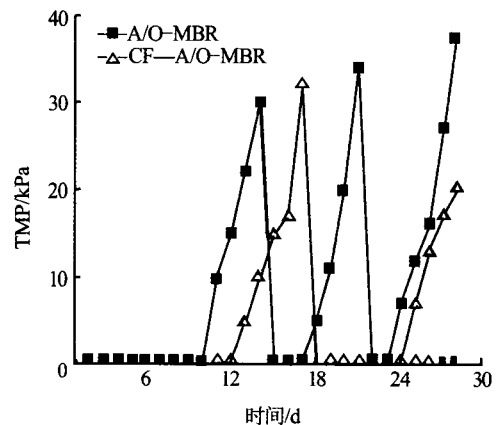


图5 两种工艺的 TMP 变化

由图 5 可见,两套系统分别在第 10 天和第 12 天出现了膜污染。在第一次反冲洗维护前,两系统的 TMP 增长速率分别为 2.1 kPa/d 和 1.9 kPa/d。之后,

A/O-MBR 工艺的 TMP 增长速率加快,升高至 4.8 kPa/d。相比较之下,经过反冲洗维护清洗后,CF-A/O-MBR 工艺仍稳定运行,TMP 增长速率基本保持为 1.8 kPa/d。

由图 4、图 5 可见,随着 MLSS 的增加,A/O-MBR 工艺反冲洗的效果变差,TMP 增长速率加快。MLSS 浓度和污泥黏度对膜污染有重要影响<sup>[11-12]</sup>,污泥浓度很高时,污泥更容易在膜表面沉积,膜污染速率加快,过滤阻力增加,从而使膜通量降低。在试验后期两种工艺好氧池中污泥的黏度分别达到  $1.38 \times 10^{-2} \text{ Pa}\cdot\text{s}$  和  $3.9 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 。混合液黏度增加,根据达西方程,在同样的膜通量下,TMP 的增长速率加快。CF-A/O-MBR 工艺中污泥浓度与黏度较低,膜污染速率较慢,反冲洗效果好。因此,采用化学絮凝预处理能有效地减缓膜污染,试验结果与文献[13]的研究结论相一致。

SMP 和 EPS 已经被很多研究者认为对膜污染有很大影响<sup>[14-15]</sup>。SMP 主要是微生物代谢或者衰亡过程中释放到溶液中的有机物质,在 MBR 中其主要成分是碳水化合物。EPS 主要是由细胞分泌的、从细胞表面脱落的或细胞衰亡产生的不溶物质,其主要成分是碳水化合物、蛋白质、核酸等。试验中采用蛋白质和多糖的含量来表征 SMP 和 EPS 的含量,A/O-MBR 工艺的 SMP 中蛋白质和多糖的含量分别是 CF-A/O-MBR 工艺的 1.55 倍和 1.40 倍,A/O-MBR 工艺的 EPS 中蛋白质和多糖的含量分别是 CF-A/O-MBR 工艺的 0.95 倍和 2.85 倍。因此,A/O-MBR 工艺比 CF-A/O-MBR 工艺更容易发生膜污染。

在试验结束后,两种工艺的 TMP 达到相同的值(20 kPa)时,分别测量了膜阻力。根据膜阻力分布分析,如表 2 所示。

表 2 膜过滤阻力分布

项目	A/O-MBR		CF-A/O-MBR	
	数值/ $\text{m}^{-1}$	比例/%	数值/ $\text{m}^{-1}$	比例/%
$R_i$	11.5	100	22.8	100
$R_p$	10.6	92.2	16.0	70.1
$R_c$	0.56	4.9	6.22	27.3
$R_f$	0.07	0.6	0.23	1.0
$R_m$	0.28	2.4	0.28	1.2

注:表中数值数量级均为  $10^{12} \text{ m}^{-1}$ 。

由表 2 可见, $R_p$  和  $R_c$  是造成膜过滤阻力增加的主要因素。随 MLSS 浓度增加,膜表面溶质浓度相应提高,根据薄膜理论,浓差极化阻力也相应增大。浓差极化会增加膜表面截留溶质的浓度,加剧难溶性

大分子组分在膜表面的沉积作用,更易造成膜污染。

浓差极化层和滤饼层的形成,使得混合液中的溶解性和胶体物质以及小颗粒难以进入到膜孔中,膜内部阻力较小。 $R_m$  和  $R_f$  之和分别占 3.0% 和 2.2%。因此,浓差极化层和滤饼层的形成在一定程度上可以减小不可逆污染的产生。所以,通过优化工况,合理控制滤饼层的形成,降低浓差极化层阻力,对延缓膜污染速率具有重要意义。

### 3 结论

通过化学絮凝预处理,A/O-MBR 工艺平均出水 COD 从 292 mg/L 降低至 191 mg/L,为该难处理废水的达标处理提供了前期研究成果。两种工艺对  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的去除率都达到了 98% 以上,进一步证明了 MBR 系统对硝化细菌的优化富集作用是提高  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  去除效果的关键,但两者的 COD/TN 很低,TN 去除率均不是很理想,有待进一步优化研究。

CF-A/O-MBR 工艺进水比负荷率较低,SVI 保持在 50~120 mL/g 的范围内,污泥的活性及沉降性能较好,系统中的 MLSS 浓度、污泥黏度、SMP 和 EPS 含量较低,膜污染速率明显低于 A/O-MBR 工艺。两系统膜过滤阻力主要是  $R_p$  和  $R_c$ 。

#### 参考文献

- [1] 吴海珍,夏芳,韦朝海,等. 养殖污水生物处理的新型流态化技术原理及其应用案例[J]. 环境工程学报,2012,6(1):15-20.
- [2] 颜智勇,吴根义,刘宇曠,等. UASB/SBR/化学混凝工艺处理养猪废水[J]. 中国给水排水,2007,23(14):66-68.
- [3] 朱乐辉,孙娟,龚良启,等. 升流厌氧污泥床/生物滴滤池/兼性塘处理养猪废水[J]. 水处理技术,2010,36(7):126-128.
- [4] Obaja D, Mace S, Costa J, et al. Nitrification, denitrification and biological phosphorus removal in piggery wastewater using a sequencing batch reactor[J]. Bioresource Technology,2003,87(1):103-111.
- [5] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社,2002:235-285.
- [6] 王志伟,吴志超,顾国维,等. 厌氧膜生物反应器膜污染特性研究[J]. 膜科学与技术,2006,26(1):11-14.
- [7] 童蕾. 养猪废水及其处理系统中有机污染物的分布与去除[D]. 武汉:中国地质大学,2010.
- [8] Lee S H, lamchaturapatr J, Polprasert C, et al. Application of chemical precipitation for piggery wastewater treatment[J]. Water Science and Technology,2004,49(5/6):381-388.
- [9] 段妮娜,董滨,何群彪,等. 规模化养猪废水处理模式现状和发展趋势[J]. 净水技术,2008,27(4):9-15.
- [10] Rosenberger S, Krüger U, Witzig R, et al. Performance of a bio-

(下转第 82 页)

### 4 技术经济分析

工程总投资 67.55 万元,其中设备、设计与安装投资 45.43 万元,土建投资 22.12 万元。电费以 0.6 元/(kW·h)计,每日耗电 91.72 kW·h,需要电费 55 元/d,一人兼职管理该设施运行的情况下,不计人工费,药剂费 40 元/d,每天处理 10 t 水,污水处理费合计为 9.5 元/t。

### 5 结论

采用 ABR/缺氧/好氧为主体的生化工艺处理养猪场废水,目前运行效果良好,出水达到《畜禽养殖业水污染物排放标准》(征求意见稿),适合在畜禽养殖业的废水处理中进行推广。

#### 参考文献

[1] 颜智勇,吴根义,刘宇曠,等. UASB/SBR/化学混凝工艺处理养猪

废水[J]. 中国给水排水,2007,23(14):66-68.

[2] 段金明,方宏达,林锦美,等. 沸石吸附氨氮辅助鸟粪石法去除养猪废水营养物质[J]. 环境科学与技术,2011,34(12):181-184.  
[3] Suzuki K,Tanaka Y,Kuroda K, et al. The technology of phosphorous removal and recovery from swine wastewater by struvite crystallization reaction[J]. Japan Arricultural Research Quarterly, 2006, 40 (4): 341-349.  
[4] 胡晓莲,王西峰,杨民. 改良式两段内循环厌氧反应器处理养猪废水[J]. 中国给水排水,2010,26(14):71-77.  
[5] 秦德韬,徐勳,潘寻,等. 优化控制 SBR 工艺处理养猪废水中试研究[J]. 环境工程学报,2012,6(2):361-365.  
[6] GB 18596—2001 畜禽养殖业水污染物排放标准(征求意见稿)[S].

[作者简介] 詹旭(1981—),博士,副教授。E-mail:zhanxu\_010@163.com。

[收稿日期] 2012-11-23(修改稿)

.....  
(上接第 19 页)

reactor with submerged membranes for aerobic treatment of municipal waste water[J]. Water Res.,2002,36(2):413-420.

[11] Rosenberger S,Evenblij H,Poele S T,et al. The importance of liquid phase analyses to understand fouling in membrane assisted activated sludge processes—six case studies of different European research groups[J]. Membrane Sci.,2005,263(1/2):113-126.  
[12] Meng F,Shi B,Zhang H. Effect of hydraulic retention time on membrane fouling and biomass charac teristics in submerged membrane bioreactors[J]. Biopro. Biosyst. Eng.,2007,30(5):359-367.  
[13] 王小佳,李继香,夏四清. 化学絮凝预处理对膜生物反应器膜污染的影响[J]. 中国给水排水,2010,26(3):18-21.

[14] Rosenberger S, Laabs C,Lesjean B,et al. Impact of colloidal and soluble organic material on membrane performance in membrane bioreactors for municipal wastewater treatment[J]. Water Research, 2006,40(4):710-720.  
[15] Meng Fan' gang,Chae S R,Drews A, et al. Recent advances in membrane bioreactors (MBRs):Membrane fouling and membrane material [J]. Water Research,2009,43(6):1489-1512.

[作者简介] 冯亮(1988—),硕士。E-mail:fenglianghle@163.com。通讯联系人:夏四清,教授。E-mail:siqingxia@tongji.edu.cn。

[收稿日期] 2012-10-31(修改稿)

.....

## ·水处理知识讲座·

### 冷却水循环后易带来什么问题?

冷却水在循环使用中,水在冷却塔内和空气充分接触,使水中的溶解氧得到补充,所以循环水中溶解氧总是饱和的,水中溶解氧是造成金属电化学腐蚀的主要原因,这是冷却水循环后易带来的问题之一。

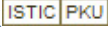
水在冷却塔中蒸发,使循环水中含盐量逐渐增加,加上水中二氧化碳在塔中解析逸散,使水中碳酸钙在传热面上结垢析出的倾向增加,这是问题之二。

冷却水和空气接触,吸收了空气中大量的灰尘、泥沙、微生物及其孢子,使系统的污泥增加。冷却塔内的光照、适宜的温度、充足的氧和养分都有利于细菌和藻类的生长,从而使系统黏泥增加,在换热器内沉积下来,造成了黏泥的危害,这

是水循环使用后易带来的问题之三。

冷却水的循环使用对换热器带来的腐蚀、结垢和黏泥问题要比使用直流水严重一些或严重得多。因此,循环冷却水如果不加以处理,则以上问题的发生将使换热设备的水流阻力加大,水泵的电耗增加,传热效率降低,并使生产工艺条件处于不正常状况。现代的一些工厂,为了提高传热效率的需要,换热器的管壁很薄,并且严格控制污垢的厚度,换热器一旦发生腐蚀或结垢,尤其是局部腐蚀的发生,将使换热系统必须综合解决腐蚀、结垢和黏泥(微生物)三个问题。

(摘自《工业水处理技术问答及常用数据》)

作者: [冯亮](#), [赵明](#), [周礼杰](#), [夏四清](#), [叶标](#), [Feng Liang](#), [Zhao Ming](#), [Zhou Lijie](#), [Xia Siqing](#),  
[Ye Biao](#)  
作者单位: [同济大学污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海, 200092](#)  
刊名: [工业水处理](#)   
英文刊名: [Industrial Water Treatment](#)  
年, 卷(期): 2013, 33(2)  
被引用次数: 1次

## 参考文献(15条)

1. [吴海珍; 夏芳; 韦朝海](#) 养殖污水生物处理的新型流态化技术原理及其应用案例[期刊论文]-[环境工程学报](#) 2012(01)
2. [颜智勇; 吴根义; 刘宇曠](#) UASB/SBR/化学混凝工艺处理养猪废水[期刊论文]-[中国给水排水](#) 2007(14)
3. [朱乐辉; 孙娟; 龚良启](#) 升流厌氧污泥床/生物滴滤池/兼性塘处理养猪废水[期刊论文]-[水处理技术](#) 2010(07)
4. [Obaja D; Mace S; Costa J](#) Nitrification, denitrification and biological phosphorus removal in piggery wastewater using a sequencing batch reactor[外文期刊] 2003(01)
5. 国家环境保护总局 [水和废水监测分析方法](#) 2002
6. [王志伟; 吴志超; 顾国维](#) 厌氧膜生物反应器膜污染特性研究[期刊论文]-[膜科学与技术](#) 2006(01)
7. [童蕾](#) 养猪废水及其处理系统中有机污染物的分布与去除 2010
8. [Lee S H; Iamchaturapatr J; Polprasert C](#) Application of chemical precipitation for piggery wastewater treatment 2004(5/6)
9. [段妮娜; 董滨; 何群彪](#) 规模化养猪废水处理模式现状和发展趋势[期刊论文]-[净水技术](#) 2008(04)
10. [Rosenberger S; Krüger U; Witzig R](#) Performance of a bioreactor with submerged membranes for aerobic treatment of municipal waste water[外文期刊] 2002(02)
11. [Rosenberger S; Evenblij H; Poele S T](#) The importance of liquid phase analyses to understand fouling in membrane assisted activated sludge processes—six case studies of different European research groups[外文期刊] 2005(1/2)
12. [Meng F; Shi B; Zhang H](#) Effect of hydraulic retention time on membrane fouling and biomass characteristics in submerged membrane bioreactors[外文期刊] 2007(05)
13. [王小佳; 李继香; 夏四清](#) 化学絮凝预处理对膜生物反应器膜污染的影响[期刊论文]-[中国给水排水](#) 2010(03)
14. [Rosenberger S; Laabs C; Lesjean B](#) Impact of colloidal and soluble organic material on membrane performance in membrane bioreactors for municipal wastewater treatment[外文期刊] 2006(04)
15. [Meng Fan' gang; Chae S R; Drews A](#) Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): Membrane fouling and membrane material[外文期刊] 2009(06)

## 引证文献(1条)

1. [付丽丽; 周思彤; 祝雷](#) 微电解-絮凝预处理含油乳化废水的实验研究[期刊论文]-[工业水处理](#) 2014(4)

引用本文格式: [冯亮](#), [赵明](#), [周礼杰](#), [夏四清](#), [叶标](#), [Feng Liang](#), [Zhao Ming](#), [Zhou Lijie](#), [Xia Siqing](#), [Ye Biao](#) 化学絮凝预处理对A/O-MBR处理养猪沼液的影响[期刊论文]-[工业水处理](#) 2013(2)