

微电解/曝气生物流化床工艺处理高盐废水的研究

王忠泉

(煤科集团杭州环保研究院有限公司, 浙江 杭州 311201)

摘要: 采用微电解/曝气生物流化床(ABFT)组合工艺处理高盐化工废水,考察高盐条件下ABFT系统内污泥浓度和生物群落的变化以及对COD和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除效果。试验结果表明,高盐(盐度为2%)化工废水经预处理后,40 d可完成ABFT系统的生物驯化培养,污泥中耐盐生物菌群数量增多,出水COD和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 分别稳定在300和15 mg/L以下,对COD和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率分别为81.5%和92%。

关键词: 高盐化工废水; 曝气生物流化床(ABFT); 微电解; 耐盐菌

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)07-0081-05

Treating High Salt Wastewater by Combined Process of Micro-electrolysis and Aerobic Biological Fluidized Tank

WANG Zhong-quan

(Hangzhou Environmental Protection Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group, Hangzhou 311201, China)

Abstract: High salt chemical wastewater was treated by combined process of micro-electrolysis and aerobic biological fluidized tank (ABFT), and sludge concentration changes and biological community of ABFT system and the removal effects of COD and $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ under high salinity conditions were investigated. The results showed that the domestication of the ABFT system could be completed within 40 days after pretreatment of the chemical wastewater with high salinity (salinity of 2%), where the number of halotolerant bacteria in the sludge increased. Effluent COD and $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ were always less than 300 mg/L and 15 mg/L, and the removal rates of COD and $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ were 81.5% and 92%, respectively.

Key words: high salt chemical wastewater; aerobic biological fluidized tank (ABFT); micro-electrolysis; halotolerant bacteria

化工企业在生产过程中会伴随着大量废水的排放,该类废水如果不经有效处理或者处理不达标就排入环境中,势必会对生态环境造成恶劣的影响,甚至会严重危害人类的健康。该类废水含有大量的毒性污染物,而且种类繁多,往往是多环多烃、不能生物降解或生物难降解的污染物质,如何对其进行处理已被视为公认的难题^[1]。

目前,处理化工废水的方法较多,主要有物理法、化学法、生物法以及联合处理法等。其中,由于生物法的投资和运行成本低、处理效果好,且具有无二次污染的特点,是当前理想和值得推广的方法^[2]。但由于化工废水中含有大量杂环、多烃等生物难降解和抑制微生物生长的污染物,如果直接采用生物法处理往往存在效率低、运行不稳定等问题。

为有效提高生物处理效率,一般采用稀释进水以降低进水中污染物浓度或延长停留时间等措施,但这种措施的投资较大,且毒性物质得不到有效降解,所以工程上常以生物处理法为主体工艺,采用物理法和化学法作为预处理或深度处理的组合工艺,亦可采取一些生物强化手段来提高生物处理阶段的效率,以使化工废水达标排放。生物强化手段主要是提高微生物的浓度,浓度越大其处理效果越好。因此,笔者采用微电解预处理与生物强化技术相结合的组合工艺——微电解/曝气生物流化床(ABFT)组合工艺来处理高氨含盐有机化工废水,考察该组合工艺对污染物的去除效果。

1 试验材料与方法

1.1 试验用水

试验用水取自于浙江某化工企业原污水处理站的调节池,该调节池废水为生产车间各股废水收集后的混合水。具体水质:pH 值为 6~7, COD、氨氮、盐度分别为 $(3\,410 \pm 507)$ 、 (326 ± 48) 、 $(19\,731 \pm 3\,902)$ mg/L, B/C 值为 0.12 ± 0.05 。

1.2 试验装置

微电解/ABFT 组合工艺的流程如图 1 所示。

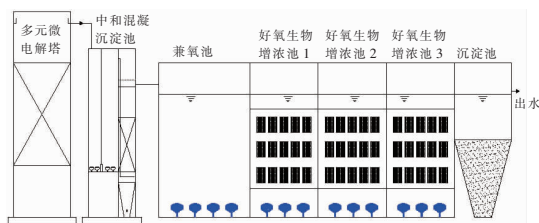


图 1 工艺流程

Fig. 1 Flow chart of process

曝气生物流化床^[3-4]为聚丙烯材质的长方体容器,有效容积为 400 L,内含 MKNC-5ppi 网状颗粒态载体填料、提升泵、回流泵、曝气泵、恒温加热棒等。其中生物载体填料为多相高聚体材质,填充率为 40%,填料空隙率达 97%,适用温度为 12~40℃,比表面积为 2.5×10^4 m²/m³,池内呈流化状态。

1.3 分析项目及测定方法

COD 采用国标法测定,氨氮采用纳氏试剂分光光度法测定,pH 值采用雷磁 PHS-3C 数显台式酸度计测定,总含盐量采用称量法测定。

2 结果与讨论

2.1 微电解预处理效果

微电解预处理的填料采用多孔结构的多元合

金。根据相关文献结论^[5-8],并结合前期大量试验结果,确定该试验微电解预处理的最佳参数如下:充氧曝气条件下,调节进水 pH 值为 3,微电解反应时间为 60 min,填充率为 1:1。在该运行参数下,微电解出水经中和混凝沉淀后 pH 值为 8.0~8.5, COD 浓度为 $(1\,823 \pm 322)$ mg/L, NH₄⁺-N 浓度为 (361 ± 27) mg/L,盐度为 $(22\,069 \pm 2\,409)$ mg/L, B/C 值为 0.27 ± 0.09 。经微电解和中和混凝沉淀预处理后,对 COD 的平均去除率为 40%,去除效果良好,且 B/C 值升高约 2 倍。

2.2 ABFT 启动完成后污泥浓度分析

ABFT 好氧系统生化污泥取自附近某化工厂区污水处理站好氧池混合液沉淀后的污泥。进水前经过 2 周的配水调试以及菌种的活化培养,使 ABFT 成功挂膜。

试验启动初期,通过盐度的缓步提升(浓度梯度设置为 0.5%、1.0%、1.5%、2.0%)来培养驯化耐盐生物菌种,以强化耐盐生物种群并达到增浓的效果。

试验结果表明,当盐分从 0.5% 升高至 2.0% 时,总污泥浓度从 18.3 g/L 下降至 10.6 g/L。分析认为,这是由于废水中盐分的增加,导致液体黏度增大,生物膜中微生物之间的黏性力降低,并引发脱落;同时废水中正、负粒子浓度增加,容易破坏微生物间的电子吸引力,导致生物膜脱落。

表 1 为 ABFT 系统启动前后的水质变化。可知,ABFT 系统启动完成后盐分达到 18 000 mg/L 以上,好氧池内的总污泥浓度从 4.4 g/L 提升至 11.7 g/L,悬浮态污泥量减少,污泥大部分固化到填料内部并保持较高的活性,出水水质良好。

表 1 ABFT 系统启动前后的水质变化

Tab. 1 Change of water quality before and after ABFT system startup

项 目	启动初期 (4 d)	启动完成 (40 d)
进水盐分/(mg · L ⁻¹)	12 033	18 127
进水 COD/(mg · L ⁻¹)	2 000	2 000
出水 COD/(mg · L ⁻¹)	207 ± 23	116 ± 11
进水氨氮/(mg · L ⁻¹)	200	200
出水氨氮/(mg · L ⁻¹)	58 ± 17	11.3 ± 2.2
好氧池内总污泥浓度/ (g · L ⁻¹)	4.4 ± 0.8	11.7 ± 1.3
悬浮态污泥浓度/(g · L ⁻¹)	4.2 ± 0.3	3.3 ± 0.4

2.3 ABFT 系统内微生物群落分析

ABFT 系统启动成功后,污泥浓度趋于稳定。为探究微生物菌落情况,对系统内污泥进行基因测序,结果见图2(AN:厌氧池内菌种,AE-SM:好氧池悬浮污泥中菌种,AE-FM:好氧池填料上菌种)。可以看出,ABFT 系统中的细菌主要以索氏菌属(*Thauera*)占主导地位,其次为亚硝化细菌以及部分具有好氧反硝化功能的副球菌属(*Paracoccus*)。好氧条件下,索氏菌利用分子氧为辅助底物,先将芳香族化合物羟化,然后在单加氧酶和双加氧酶的作用下断裂芳香环;厌氧条件下,则由还原剂先破坏化合物的芳香结构,再开环,以达到去除污染物的目的。

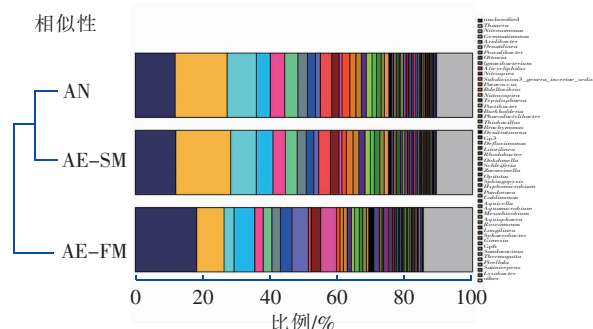


图2 ABFT 系统内的细菌菌落

Fig.2 Aacterial colonies in ABFT

图3为ABFT系统内的古菌菌落。可知,ABFT系统内已有部分佩斯古菌门(*Pacearchaeota*)产生,该菌为典型的耐盐古细菌,但整体上系统内的菌落还是以产甲烷菌(*Methanogenus*)为主,且产甲烷菌的丰度由大到小依次为:AE-FM > AN > AE-SM。AE-FM由于具有较厚的生物膜,内部更容易形成厌氧条件,对于产甲烷菌的生长更有利。AE-FM中的产甲烷菌更为丰富,产甲烷菌能够进一步分解AE-SM无法降解的污染物。

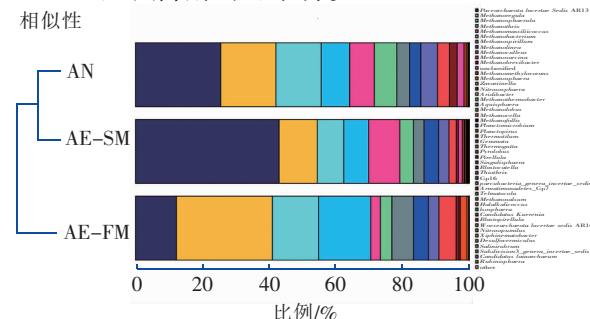
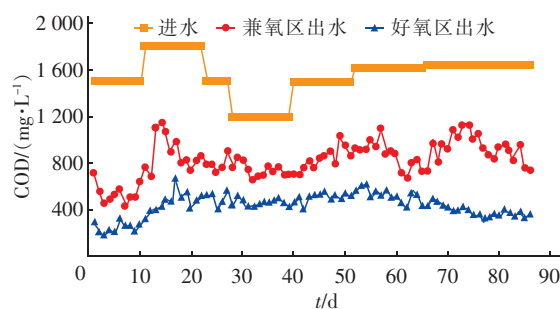


图3 ABFT 系统内的古菌菌落

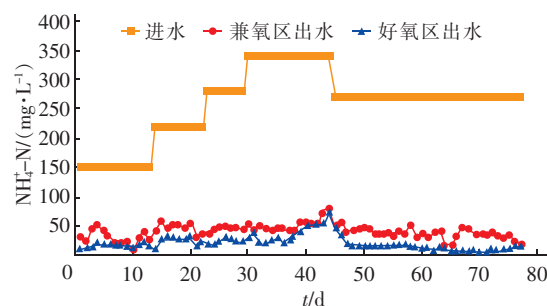
Fig.3 Archaea colonies in ABFT

2.4 对高氨含盐化工废水的处理效果

ABFT 系统启动完成后,开始连续进水运行,对COD和氨氮的去除效果如图4所示。由图4(a)可以看出,兼氧区出水COD在400~1200 mg/L之间波动,53 d后最终出水COD逐渐趋于300 mg/L,并于67 d后稳定在300 mg/L以内。由图4(b)可以看出,兼氧区出水氨氮在25~80 mg/L之间,48 d后出水氨氮浓度稳定保持在15 mg/L以下。经过3个月的连续运行,对于微电解预处理后的高氨含盐化工废水,ABFT对COD和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的平均去除率分别为81.5%和92%。



a. 对COD的去除效果



b. 对氨氮的去除效果

图4 ABFT 系统对COD和氨氮的去除效果

Fig.4 Removal effect of COD and $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ by ABFT

Hamoda等^[9]认为,高盐条件不会对微生物产生抑制作用,反而能够促进部分嗜盐菌的生长,使系统内参与反应的菌种浓度大大增加,从而有效降低污染负荷。本试验未达到去除污染物的期望效果,这是由于试验中直接采用生产性废水,其含有的盐分种类、毒性物质以及中间产物繁多,对微生物的抑制作用较强,耐盐菌驯化适应期也更长。

2.5 ABFT 系统生物强化效果分析

为进一步验证ABFT工艺的生物强化效果,试验采用普通活性污泥法同步进行对照试验,结果如图5所示。可知,ABFT系统中污泥浓度较普通活

性污泥法的污泥浓度明显增加。

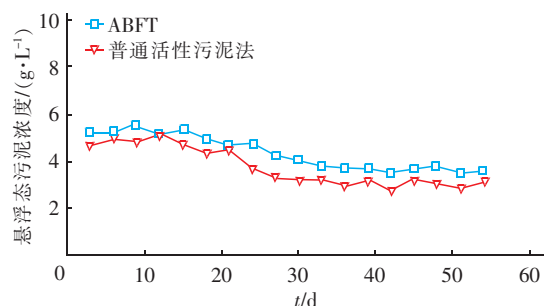
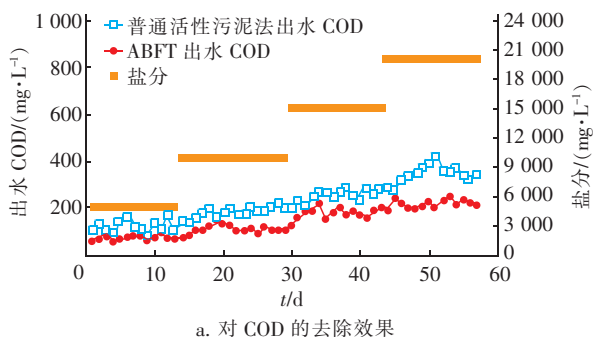


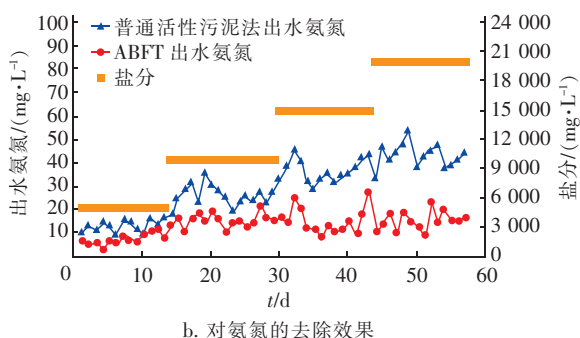
图5 ABFT系统与普通活性污泥法的污泥浓度对照

Fig. 5 Comparison of sludge concentration between ABFT and normal activated sludge process

试验采用经微电解预处理后 COD 浓度为 2 000 mg/L、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度为 100 mg/L 的废水作为进水,连续考察 2 个月 ABFT 系统和普通活性污泥法工艺对 COD 和氨氮的去除效果,结果如图 6 所示。可以看出,ABFT 系统和普通活性污泥法的平均出水 COD 分别为 200 和 290 mg/L,平均去除率分别为 90% 和 85%;平均出水氨氮分别为 15 和 33 mg/L,平均去除率分别为 85% 和 67%。可见,ABFT 系统对污染物的去除效果优势明显。



a. 对 COD 的去除效果



b. 对氨氮的去除效果

图6 ABFT系统与普通活性污泥法对 COD 和氨氮的去除效果对照

Fig. 6 Comparison of COD and $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ removal between ABFT and normal activated sludge process

3 结论

通过微电解预处理能够有效降解 COD,去除率可达 40% 以上,同时能降低废水的毒性,可使 B/C 值提升约 2 倍;ABFT 系统能在 40 d 内完成启动,使出水 COD 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 稳定在 300 mg/L 和 15 mg/L 以下,且对 COD 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的去除率分别为 81.5% 和 92%。可见,微电解/ABFT 组合工艺对高盐化工废水具有良好的处理效果。

参考文献:

- [1] 赵月龙,祁佩时,杨云龙. 高浓度难降解有机废水处理技术综述[J]. 四川环境,2006,25(4):98-103.
Zhao Yuelong, Qi Peishi, Yang Yunlong. Treatment technologies of non-degradable organic wastewater [J]. Sichuan Environment, 2006, 25 (4): 98 - 103 (in Chinese).
- [2] 卢晓君,林海. 难降解高含盐化工污水处理技术研究[J]. 广州化工,2010,38(2):157-162.
Lu Xiaojun, Lin Hai. Study on treatment of hard-biodegradable hypersaline wastewater from chemical industry [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2010, 38 (2): 157 - 162 (in Chinese).
- [3] 梁康强,杨健,朱民,等. 曝气生物流化床处理含酚废水研究[J]. 环境科学与技术,2013,36(11):158-162.
Liang Kangqiang, Yang Jian, Zhu Min, et al. Phenol wastewater treated by aeration biological fluidized tank [J]. Environmental Science & Technology, 2013, 36 (11): 158 - 162 (in Chinese).
- [4] 美国水环境联合会. 生物膜反应器设计与运行手册[M]. 曹相生,译. 北京:中国建筑工业出版社,2013.
Water Environment Federation. Biofilm Reactors [M]. Cao Xiangsheng Translated. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013 (in Chinese).
- [5] 秦树林. 多元微电解技术对高浓度化学清洗废水预处理的影响[J]. 环境工程学报,2012,6(10):3563-3567.
Qin Shulin. Effect of multiple microelectrolysis process on pretreatment of high concentration chemical cleaning wastewater [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2012, 6 (10): 3563 - 3567 (in Chinese).
- [6] 秦树林,王忠泉,钱建英. 多元微电解耦合催化氧化制药废水的影响研究[J]. 环境科学与技术,2015,38(6P):168-171.
Qin Shulin, Wang Zhongquan, Qian Jianying. Study on

the effect of pharmaceutical wastewater by coupling of micro-electrolysis – catalytic oxidation [J]. Environmental Science & Technology, 2015, 38 (6P): 168 – 171 (in Chinese).

- [7] 李天鹏,荆国华,周作明. 微电解技术处理工业废水的研究进展及应用[J]. 工业水处理, 2009, 29 (10): 9 – 13.

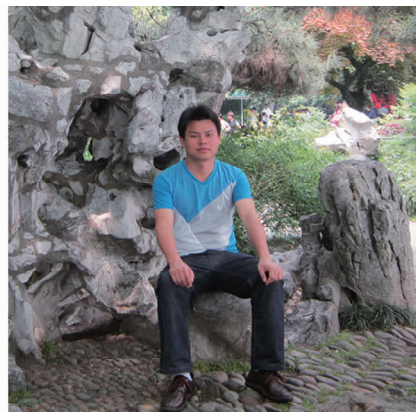
Li Tianpeng, Jing Guohua, Zhou Zuoming. Research on micro-electrolysis technology and its application to industrial wastewater treatment [J]. Industrial Water Treatment, 2009, 29 (10): 9 – 13 (in Chinese).

- [8] 陈晓刚,黄志佩. Fenton 高级氧化 – 铁碳微电解处理难降解有机废水的研究[J]. 广东化工, 2013, 40 (14): 244 – 245, 241.

Chen Xiaogang, Huang Zhipei. Study of Fenton advanced oxidation and ferric-carbon micro electrolysis for refractory organic wastewater [J]. Guangdong Chemical Industry, 2013, 40 (14): 244 – 245, 241 (in Chinese).

- [9] Hamoda M F, Al-Attar I M S. Effects of high sodium chloride

concentrations on activated sludge treatment [J]. Water Sci Technol, 1995, 31 (9): 61 – 72.



作者简介:王忠泉(1985 –),男,安徽池州人,本科,助理研究员,主要研究方向为化工废水处理技术及工程应用。

E – mail: wzhquan@126.com

收稿日期:2018 – 10 – 12

(上接第 80 页)

参考文献:

- [1] 李勇,张晓健,陈超. 我国饮用水中嗅味问题及其研究进展[J]. 环境科学, 2009, 30 (2): 583 – 588.

Li Yong, Zhang Xiaojian, Chen Chao. Review on the tastes and odors compounds in drinking water of China [J]. Environmental Science, 2009, 30 (2): 583 – 588 (in Chinese).

- [2] 周洋,代嫣然,钟非,等. 合肥塘西河异味物质及异味影响因子研究[J]. 湖泊科学, 2016, 28 (2): 312 – 318.

Zhou Yang, Dai Yanran, Zhong Fei, et al. Odor compounds and the related impact factors in Tangxi River, Hefei [J]. Journal of Lake Sciences, 2016, 28 (2): 312 – 318 (in Chinese).

- [3] Callejón R M, Ubeda C, Rios-Reina R, et al. Recent developments in the analysis of musty odour compounds in water and wine: A review [J]. J Chromatogr A, 2016, 1428: 72 – 85.

- [4] 张婷. 产土霉异味蓝藻的生态学调查及其生理学特性的研究[D]. 武汉:中国科学院水生生物研究所, 2008.

Zhang Ting. Ecological Investigation and Physiological Characteristics of Earthy-musty Odor Producing Cyanobacteria [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2008 (in Chinese).

- [5] Reynolds C S, Oliver R L, Walsby A E. Cyanobacterial

dominance: The role of buoyancy regulation in dynamic lake environments [J]. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 1987, 21 (3): 379 – 390.

- [6] Zhang T, Li L, Song L R, et al. Effects of temperature and light on the growth and geosmin production of *Lyngbya kuetzingii* (Cyanophyta) [J]. Journal of Applied Phycology, 2009, 21 (3): 279 – 285.



作者简介:朱厚亚(1987 –),女,河南商丘人,硕士,助理工程师,主要研究方向为环境因子对藻生长及产嗅特征的影响。

E – mail: houya99@163.com

收稿日期:2018 – 10 – 15