

研究报告

在氧化沟中构建微生物燃料电池

孙永军¹, 连 静², 吕光辉¹, 刘俊新², 肖本益²

(1. 中国矿业大学(北京) 化学与环境工程学院, 北京 100083;

2. 中国科学院 生态环境研究中心, 北京 100085)

[摘要] 在氧化沟中构建了微生物燃料电池, 经测定微生物燃料电池电压为0.24~0.39 V, 均值为0.29 V。经计算该微生物燃料电池的产电功率为0.05~0.15 mW, 均值为0.08 mW。构建了微生物燃料电池的氧化沟COD去除率为75%~90%, TN去除率为5%~38%; 无微生物燃料电池的氧化沟COD去除率为77%~89%, TN去除率为5%~23%。构建微生物燃料电池后能减少氧化沟内外沟中污泥的增加量, 约减少15%。

[关键词] 微生物燃料电池; 氧化沟; 产电; 废水处理

[中图分类号] X71 [文献标识码] A [文章编号] 1006-1878(2012)02-0105-04

Construction of Microbial Fuel Cell in Oxidation Ditch

Sun Yongjun¹, Lian Jing², Lü Guanghui¹, Liu Junxin², Xiao Benyi²

(1. School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining Technology, Beijing 100083, China;

2. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: A microbial fuel cell (MFC) was constructed in the oxidation ditch. The determination results show that the voltage produced by the MFC is 0.24–0.39 V with the mean value of 0.29 V. According to calculation results, the power produced by the MFC is 0.05–0.15 mW with the mean value of 0.08 mW. The removal rates of COD and TN in the oxidation ditch with MFC are 75%–95% and 5%–38% respectively, while those in the oxidation ditch without MFC are 77%–89% and 5%–23% respectively. Additionally, the construction of MFC in the oxidation ditch can reduce the increase of sludge in the internal and external ditch by 15%.

Key words: microbial fuel cell; oxidation ditch; power generation; wastewater treatment

氧化沟是一种由连续环式反应池构成的简易废水处理设施, 是活性污泥法生化池的一种变型^[1-2]。其特点是废水在沟内不断地循环流动, 在沟内不同阶段形成厌氧、缺氧和好氧段。氧化沟结构简单、运行管理简便、费用低, 因此氧化沟废水处理技术应用广泛。微生物燃料电池技术是一种利用微生物将有机物中的化学能直接转化成电能的技术^[3-6], 反应装置的阳极区为厌氧环境, 阴极区为好氧环境。近年来, 应用微生物燃料电池技术去除废水中有机污染物和产生电能的研究成为水污染控制领域的热点之一^[4-6]。目前, 微生物燃料电池的构型可分为双室式、上流式、平板式、单室式和电池组式。

氧化沟能够同时提供微生物燃料电池技术所需要的好氧和厌氧环境, 因此, 可将微生物燃料电池技术应用于氧化沟废水处理工艺, 目前尚未见这方面的研究报道。本工作在氧化沟中构建了微生物燃料电池, 并进行了废水处理效果的研究。

[收稿日期] 2011-11-03; [修订日期] 2011-12-05。

[作者简介] 孙永军(1974—), 男, 河北省保定市人, 硕士, 讲师, 主要从事清洁化工方面的研究。电话 13683294544, 电邮 sunyongjun1974@163.com。联系人: 肖本益, 电话 010-62923543, 电邮 byxiao@rcees.ac.cn。

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(51008296); 中央高校基本科研业务费资助项目(2009QH06)。

1 实验部分

1.1 实验装置

实验装置为双沟环一体化氧化沟，其结构示意图见图1。氧化沟的总有效体积为240 L，其中外沟（好氧区）为140 L，内沟（厌氧区）为100 L，在内外沟隔板上固定了一块面积为175 cm²的质子交换膜，质子交换膜两侧分别固定阴阳电极，两电极间距为3 cm。氧化沟的外沟以转刷推动，内沟以水下搅拌器推动。

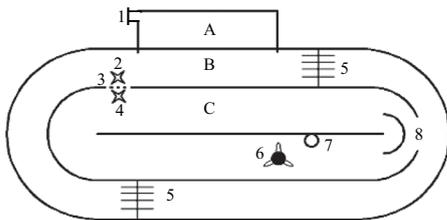


图1 氧化沟的结构示意

A区：沉淀区；B区：外沟；C区：内沟

- 1 排水口；2 阴极电极；3 质子交换膜；4 阳极电极；
5 转刷；6 搅拌器；7 进水口；8 内外沟隔板开口

1.2 实验方法

将6片尺寸为4 cm × 4 cm × 0.5 cm的碳毡以1.5 cm的间距固定在石墨棒上，制成电极。碳毡的碳含量为0.15 g/m³。用铜电线将两电极与一个500 Ω的固定电阻连接。

实验废水为中国科学院生态环境研究中心园区内的生活污水。在氧化沟的内沟和外沟均接种取自北京市某污水处理厂的回流污泥。废水自进水口进入氧化沟的内沟，进水流量为17.5 L/h，然后在搅拌器的推动作用下一部分在内沟内循环，另一部分从内外沟隔板开口进入外沟，在转刷的推动下在外沟流动，从沉淀区的排水口排出，沉淀区沉淀下来的污泥回流到内沟。内沟的DO为0.1 ~ 0.5 mg/L，外沟的DO为1.3 ~ 1.8 mg/L。实验装置运行了37 d，运行过程中不排泥。有微生物燃料电池的氧化沟称为产电系统，用于对比的无微生物燃料电池的氧化沟称为对照系统。实验分两批进行，两批实验的温度基本相同，在第一批实验结束后，取下两电极，更换接种污泥进行第二批实验，即对照实验。

由于两电极分别置于氧化沟的内沟和外沟，而内沟和外沟的DO不同，所以形成了一个微生物燃料电池。采用万用表测定两电极所形成电池的电压。电池的产电功率(P , mW)按式(1)计算。

$$P=UI=U^2/R_{ex} \quad (1)$$

式中： U 为电池电压，V； I 为外电路的电流，mA； R_{ex} 为外电路电阻，kΩ。

1.3 分析方法

采用文献[7]的方法测定废水COD和TN。

2 结果与讨论

2.1 微生物燃料电池的产电性能

氧化沟中微生物燃料电池的产电电压见图2。由图2可见：开始阶段(0~4 d)微生物燃料电池产生的电压明显增加，这个阶段属于电池的驯化启动期；实验装置运行阶段，微生物燃料电池产生的电压为0.24 ~ 0.39 V，均值为0.29 V。

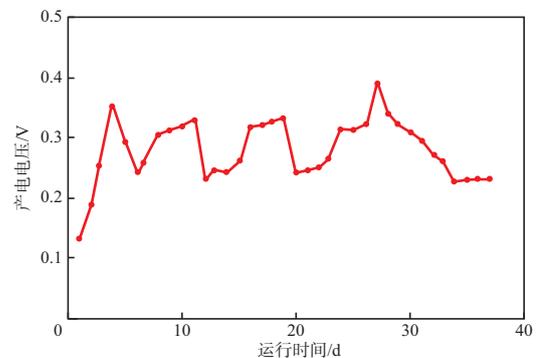


图2 氧化沟中微生物燃料电池的产电电压

尽管阴极上没有载铂，但通过微生物的作用，可以实现阴极上的氧化还原^[8]，但与载铂阴极相比，氧化沟中微生物燃料电池阴极上的氧化还原作用较弱。通过式(1)计算得到氧化沟中微生物燃料电池的产电功率，见图3。

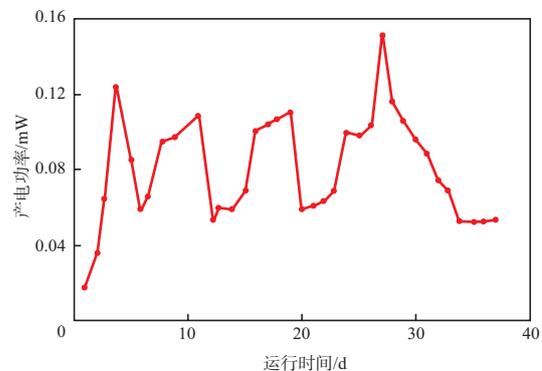


图3 氧化沟中微生物燃料电池的产电功率

由图3可见，装置稳定运行期间该微生物燃料电池的产电功率为0.05 ~ 0.15 mW，均值为0.08 mW。与文献[9-12]报道的单室空气阴极微生物

燃料电池处理生活污水稳定期产生的电压为0.43 ~ 0.44 V相比, 本实验氧化沟中微生物燃料电池产生的电压和产电功率均较低, 且波动较大。这是因为氧化沟中微生物燃料电池采用生物阴极, 阴极上的氧化还原作用较弱^[8-9]。另外, 本研究采用的氧化沟为开放系统, 内沟和外沟的环流作用会影响微生物燃料电池上产电微生物的生长^[1-2], 导致产电微生物生长、富集较慢, 而且会影响两电极间的物质传递, 从而影响微生物燃料电池的产电电压和产电功率。

氧化沟中微生物燃料电池的参数见表1。由表1可见, 随装置运行时间延长, 氧化沟中微生物燃料电池的开路电压和最大产电功率均增大, 但内阻减小。说明随着装置的运行, 产电微生物会逐渐得到驯化, 并富集在处于氧化沟内沟的阳极上, 使得电池的产电性能逐渐提高。与相关文献[13]相比, 该电池的开路电压较低, 内阻较大, 这可能与装置的结构和电极性质有关。

表1 氧化沟中微生物燃料电池的参数

运行时间/d	开路电压/V	最大产电功率/mW	内阻/ Ω
13	0.23	0.06	186
23	0.32	0.10	158
33	0.34	0.11	151

2.2 氧化沟的废水处理效果

产电系统和对照系统的COD去除情况见图4。

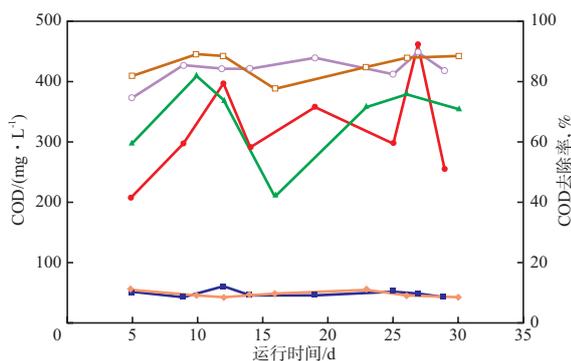


图4 产电系统和对照系统的COD去除情况
 ● 产电系统进水COD; ■ 产电系统出水COD;
 ▲ 对照系统进水COD; ◆ 对照系统出水COD;
 ○ 产电系统COD去除率; □ 对照系统COD去除率

由图4可见: 产电系统氧化沟进水的COD为210 ~ 460 mg/L, 出水的COD为41 ~ 62 mg/L, COD去除率为75% ~ 90%; 对照系统氧化沟进水的COD为208 ~ 408 mg/L, 出水的COD为41 ~ 55 mg/L,

COD去除率为77% ~ 89%, 两者之间差异不大。

产电系统和对照系统的TN去除情况见图5。由图5可见: 产电系统氧化沟进水TN为39 ~ 95 mg/L, 出水TN为25 ~ 68 mg/L, 初期TN去除率较低, 仅为5% ~ 7%, 随运行时间延长, 后期达到22% ~ 38%, 后期TN的总去除量为17 ~ 36 mg/L; 对照系统氧化沟进水的TN为54 ~ 114 mg/L, 出水TN为52 ~ 86 mg/L, 初期TN去除率仅为5% ~ 6%, 后期达到17% ~ 23%, 后期TN的总去除量为17 ~ 22 mg/L。可见构建微生物燃料电池后TN去除率和TN总去除量均比对照系统略有提高。

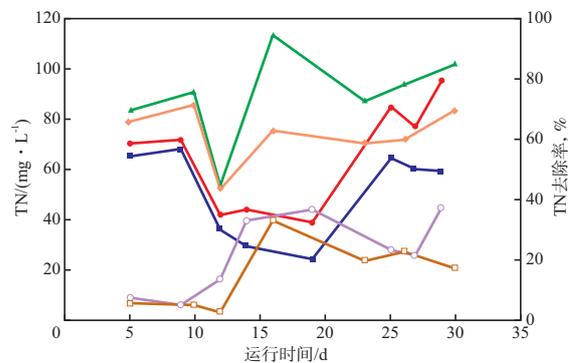


图5 产电系统和对照系统的TN去除情况
 ● 产电系统进水TN; ■ 产电系统出水TN;
 ▲ 对照系统进水TN; ◆ 对照系统出水TN;
 ○ 产电系统TN去除率; □ 对照系统TN去除率

从以上结果可以看出, 在氧化沟中构建微生物燃料电池后, 废水的COD去除率和TN去除率没有明显变化。这可能是因为本研究所构建的微生物燃料电池的体积占整个氧化沟体积的比例很小, 导致构建该微生物燃料电池产电后对整个氧化沟的废水处理效果影响不显著。另外, 是否构建微生物燃料电池对氧化沟废水的TN去除率都很低, 这可能与实验采用的氧化沟仅为双沟结构有关。

氧化沟中污泥浓度的变化见图6。由图6可见, 由于实验过程中没有排泥, 氧化沟中内外两沟中的污泥浓度均随运行时间的延长而增加。产电系统的氧化沟中内外沟污泥浓度分别从2.42 mg/L和2.52 mg/L增加到3.53 mg/L和3.40 mg/L; 对照系统的氧化沟中内外沟污泥浓度分别从2.44 mg/L和2.46 mg/L增加到3.69 mg/L和3.52 mg/L。由此可见, 构建微生物燃料电池后能减少氧化沟内外沟中污泥的增加量, 约减少15%, 该结果与文献[6-7]的报道相近。这是因为在氧化沟中构建微生物燃料电池后, 可将废水中的部分COD转化为电能, 从而减

少了污泥的产生。

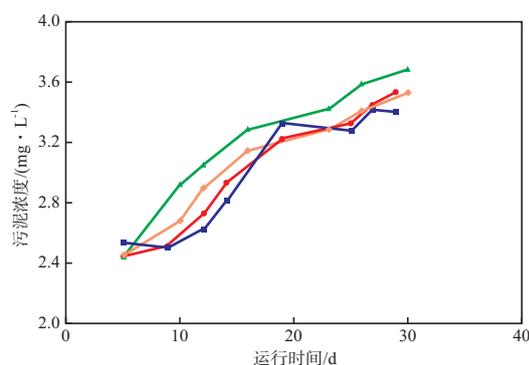


图6 氧化沟中污泥浓度的变化
● 内沟(产电系统); ■ 外沟(产电系统);
▲ 内沟(对照系统); ◆ 外沟(对照系统)

3 结论

a) 在氧化沟中构建了微生物燃料电池。实验运行阶段, 微生物燃料电池产生的电压稳定在0.24~0.39 V, 均值为0.29 V。该微生物燃料电池的产电功率为0.05~0.15 mW, 均值为0.08 mW。

b) 产电系统氧化沟COD去除率为75%~90%, TN去除率为5%~38%; 对照系统氧化沟COD去除率为77%~89%, TN去除率为5%~23%。

c) 构建微生物燃料电池后约能减少15%的氧化沟内外沟中污泥增加量。

参 考 文 献

- [1] Mandt G, Bell A. 废水处理的氧化沟技术[M]. 袁懋梓译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988: 3-6.
- [2] Petersen G, Eldin H N, Bundgaard E. Second generation oxidation ditches: Advanced technology in simple design[J]. Water Sci Technol, 1993, 27(9): 105-113.
- [3] Logan B E, Regan J M. Microbial fuel cells—Challenges and applications[J]. Environ Sci Technol, 2006, 40: 5172-5180.
- [4] Du Z, Li H, Gu T. A state of the art review on microbial fuel cells—A promising technology for wastewater treatment and bioenergy[J]. Biotechnol Adv, 2007, 25: 464-482.
- [5] Rozendal R A, Hamelers H V M, Rabaey K, et al. Towards practical implementation of bioelectrochemical wastewater treatment[J]. Trends Biotechnol, 2008, 26: 450-459.
- [6] 付宁, 黄丽萍, 葛林科, 等. 微生物燃料电池在废水处理中的研究进展[J]. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7(12): 10-14.
- [7] 原国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 第4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 105-107, 210-223, 254-258.
- [8] Xiao B Y, Yang F, Liu J X. Enhancing simultaneous electricity production and reduction of sewage sludge in two-chamber MFC by aerobic sludge digestion and sludge pretreatments[J]. J Hazard Mater, 2011, 189: 444-449.
- [9] He Z, Angenert L T. Application of bacterial biocathodes in microbial fuel cells[J]. Electroanalysis, 2006, 18: 2009-2015.
- [10] Ahn Y, Logan B E. Effectiveness of domestic wastewater treatment using microbial fuel cells at ambient and mesophilic temperatures[J]. Bioresource Technol, 2010, 101: 469-475.
- [11] Hays S, Zhang F, Logan B E. Performance of two different types of anodes in membrane electrode assembly microbial fuel cells for power generation from domestic wastewater[J]. J Power Sources, 2011, 196: 8293-8300.
- [12] Liu G, Yates M D, Cheng S, et al. Examination of microbial fuel cell start-up times with domestic wastewater and additional amendments[J]. Bioresource Technol, 2011, 102: 7301-7306.
- [13] 杨芳, 李兆华, 肖本益. 微生物燃料电池内阻及其影响因素分析[J]. 微生物学通报, 2011, 38(7): 1098-1005.

(编辑 祖国红)

《化工环保》收稿邮箱更换启事

《化工环保》编辑部现将收稿邮箱更改为 hghb_bjhy@sinopec.com, 原收稿邮箱停止使用。敬请广大作者投稿时采用新邮箱。由此对您工作造成不便, 本刊编辑部深表歉意。