

处理过的老龄垃圾渗滤液为阴极液的 微生物燃料电池性能研究

谢 淼, 徐龙君, 程李钰

(重庆大学煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室, 重庆 400044)

摘 要: 处理过的老龄垃圾渗滤液与好氧污泥悬浊液的混合液按不同体积配比(0%、25%、50%、75%和100%), 作为阴极液, 构建生物阴极型微生物燃料电池(MFC), 研究其产电特征以及对阳极底物和阴极液中污染物的处理效果。结果表明, 处理过的老龄垃圾渗滤液作为阴极液时, MFC对化学需氧量(COD)和氨氮的去除率较其作为阳极液时分别提高2.27倍和42%。处理过的老龄垃圾渗滤液与好氧活性污泥悬浊液的混合液作为阴极液可提高MFC的产电性能和对污染物的去除效果。以体积比为75%的处理过的老龄垃圾渗滤液作为阴极液时, 能显著提高MFC产电效果, 输出电压和输出功率密度最大, 分别为498 mV、295.2 mW/m³, 内阻最小为244 Ω, 阳极COD去除率最高为44.81%。

关键词: 微生物燃料电池; 渗滤液处理; 废水处理; 再生能源

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

0 引 言

微生物燃料电池(microbial fuel cell, MFC)是一种通过微生物的代谢作用将有机物中的化学能转换成电能的装置。有机物在阳极微生物作用下分解并释放出电子和质子, 它们分别通过外电路和质子交换膜到达阴极并结合, 完成有机物降解和产电过程。MFC分为非生物阴极型MFC和生物阴极型MFC。与非生物阴极MFC相比, 生物阴极MFC利用微生物催化阴极反应, 具有构建运行成本低、不添加重金属和电子介质、避免二次污染等优点, 成为近年研究热点^[1-4]。阴极液对MFC的运行影响显著, 但目前用于生物阴极型MFC的阴极液主要依赖于实验药品和微生物菌液的配制, 其造价高且种类少, 不利于实际应用^[5-8]。高锰酸钾溶液与铁氰化钾溶液常被作为MFC的阴极液^[9,10], 但高锰酸钾易导致微生物遭受破坏, 铁氰化钾属有毒物质, 会产生二次污染, 两者皆不适合作为生物阴极型MFC的阴极液。

生物阴极型MFC被证实能够在产电的同时有效

去除老龄垃圾渗滤液中的污染物。程李钰等^[11]以老龄垃圾渗滤液作为生物阴极型MFC阳极液, 研究阳极与阴极面积比值对MFC产电和处理效果的影响, COD去除率最高为22.3%; 荆 淇等^[12]研究了生物阴极型MFC处理不同初始浓度垃圾渗滤液COD的去除率最高为34.0%。这些研究均表明, 当老龄垃圾渗滤液作为阳极液时, 生物阴极型MFC通过延长运行时间来提高老龄垃圾渗滤液中污染物去除的效果不够理想。而谢 珊等^[13]与于昌平等^[14]的研究表明, 生物阴极型MFC对阴极液具有脱氮效果, 为提升老龄垃圾渗滤液的处理效果提供新的研究方向。

基于此, 本文研究经MFC阳极室处理过的老龄垃圾渗滤液作为阴极液的生物阴极型MFC的性能, 寻求对MFC处理过的老龄垃圾渗滤液有效再处理的新工艺, 以提高老龄垃圾渗滤液中污染物的去除效率; 同时探索不同浓度处理过的老龄垃圾渗滤液与好氧污泥悬浊液的混合液作为阴极液时, MFC的产电特征和系统去除污染物的特性, 以期获得利于产电和系统污染物去除的廉价生物型阴极液。

收稿日期: 2016-06-07

基金项目: 重庆市基础与前沿研究计划重点项目(CSTC, 2013jjB20001)

通信作者: 徐龙君(1963—), 男, 博士、教授, 主要从事安全科学与工程、环境科学与工程等方面的研究。xulj@cqu.edu.cn

1 实验材料与方法

1.1 MFC的构建

如图 1 所示,MFC 为有机玻璃制双室 H 型反应器,双室有效容积均为 800 mL,两室通过圆柱法兰(长 50 mm、直径 30 mm)连接,以 Nafion 117 质子交换膜(简称 PEM,有效面积为 7.07 cm²,美国杜邦)分隔。阳极与阴极材料均选用碳毡(工作面积 106 cm²,

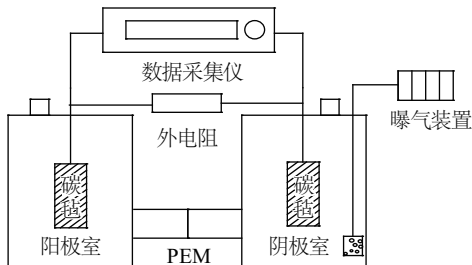


图 1 实验系统示意图
Fig. 1 Schematic diagram of the experimental system

表 1 老龄垃圾渗滤液、处理过的老龄垃圾渗滤液和好氧污泥悬浊液的性质

底物	pH 值	电导率/ ms·cm ⁻¹	COD/ mg·L ⁻¹	氨氮/ mg·L ⁻¹	硝酸盐氮/ mg·L ⁻¹	亚硝酸盐氮/ mg·L ⁻¹
好氧污泥悬浊液	8.50	14.05	3204.00	5.16	284.14	2.06
老龄垃圾渗滤液	8.15	37.50	5784.80	1323.40	225.20	10.10
处理过的老龄垃圾渗滤液	8.98	6.95	2484.10	418.90	170.70	5.65

实验设置 1 个对照组(1#)与 5 个实验组(2#、3#、4#、5#、6#),MFC 阳极液和阴极液组分(各部分液体所占的体积分数)见表 2。实验过程中,不再投

甘肃郝氏)。阳极室呈封闭状态,反应器通过铜丝连接一个 1500 Ω 的外电阻,并与数据采集仪(Agilent 34970A,美国)并联。

1.2 接种与电池的运行

碳毡与质子交换膜的预处理采用文献方法^[15]。取重庆市沙坪坝区井口污水处理厂好氧活性污泥作为阴极室接种污泥。阳极室由泥液比为 1:1 的好氧活性污泥培养的厌氧活性污泥接种。老龄垃圾渗滤液取自重庆市长生桥垃圾填埋场渗滤液集水井,实验室存放 1 a 以上。以厌氧污泥上清液和老龄垃圾渗滤液混合物作为阳极液、好氧污泥悬浊液作为阴极液的 MFC 稳定运行 20 d 后,产电特性与老龄垃圾渗滤液的处理效能明显下降,将此时 MFC 阳极出水作为处理过的老龄垃圾渗滤液。老龄垃圾渗滤液、处理过的老龄垃圾渗滤液和好氧污泥悬浊液的特性见表 1。

加其他药品以避免实验干扰。实验在室温(约 20 ℃)下进行。

表 2 1#~6# MFC 阳极液和阴极液组分

液体	1#	2#	3#	4#	5#	6#
阳极液	T	L	L	L	L	L
阴极液	S	S	75%S+25%T	50%S+50%T	25%S+75%T	T

注:① L:老龄垃圾渗滤液,T:处理过的老龄垃圾渗滤液,S:好氧污泥悬浊液。②组分的组成均为体积分数。

1.3 分析项目及方法

水质指标测定:化学需氧量(COD)、氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮浓度均采用标准方法测定^[16],pH 值采用 pH 计(PHS-3CW,上海般特)测量,电导率采用电导率测量仪(DDS-11C,上海仪电)测量。

电化学特性测定与计算:MFC 输出电压(即输

出电压, U)由数据采集仪测定。装置启动后,数据采集仪每 0.02 s 采集一次数据,并将每 10 秒内的电压平均值导入电脑记录保存。电流(I)由欧姆定律 $I=U/R$ 计算。根据 $I_v=U/V_{an}R$ 和 $P_v=U^2/V_{an}R$ (其中 V_{an} 为有效体积,m³)分别求得电流密度(I_v)和功率密度(P_v)。极化曲线的测定采用文献^[17]方法,电池内阻由极化曲线的斜率确定。

2 结果与讨论

2.1 MFC的产电特性

各 MFC 的输出电压随时间变化曲线见图 2, 功率密度与电流密度的关系见图 3, 极化曲线见图 4。由图 2 可看出, 各组电池电压均在较短时间内升高, 且在较长的时间内维持相对稳定, 1#~6# MFC 的最大输出电压分别为 390、465、480、487、498 和 312 mV。由图 3 可知, 1#~6#MFC 的最大功率密度分别为 100.0、226.2、206.0、229.0、295.2 和 97.4 mW/m^3 ; 由图 4 计算可得, 1#~6#MFC 的内阻分别为 499、295、262、257、244 和 325 Ω 。

与 1#MFC 相比, 以 100%处理过的老龄垃圾渗滤液作为阴极液的 6#MFC 对提高 MFC 输出电压和功率密度无益, 甚至更低。原因有: 1) 在无媒介体 MFC 中, 微生物主要依靠其细胞膜上的细胞色素向电极表面传递电子^[18], 因此电极表面微生物的数量和代谢反应速率直接影响 MFC 的产电性能。6#MFC 阴极为 100%垃圾渗滤液, 缺少好氧污泥提

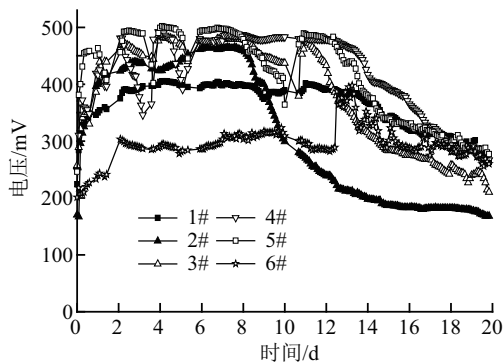


图2 MFC的输出电压随时间的变化

Fig. 2 Voltages changing of MFCs with time

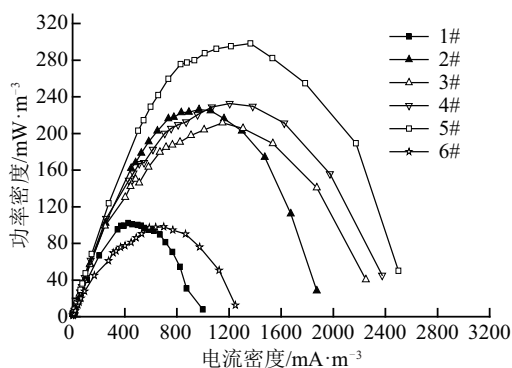


图3 MFC的功率密度和电流密度关系

Fig. 3 Relation between power density and current density

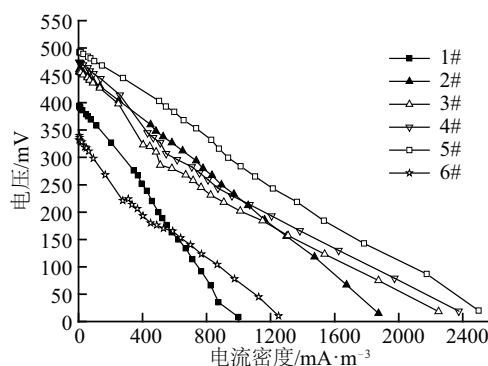


图4 MFC的极化曲线

Fig. 4 Polarization curves of MFCs

供的催化微生物, 且阴极室垃圾渗滤液中高浓度且复杂的组分不利于 MFC 阴极上微生物的生存。2) 老龄垃圾渗滤液经 MFC 阳极室处理 20 d, 其中的有机底物在厌氧微生物氧化分解作用下失去电子, 因此 100%处理过的老龄垃圾渗滤液中含有高浓度的正价离子, 抑制了阳极室 H^+ 向阴极室的迁移^[19]。

与 1#MFC 相比, 2#~5#MFC 以处理过的老龄垃圾渗滤液与好氧污泥悬浊液的混合液作为阴极液, MFC 的输出电压和功率密度显著提高。原因如下: 1) 阳极室未处理过的老龄垃圾渗滤液为阳极产电菌提供了丰富的营养物质, 使产电菌繁殖和代谢速率加快, 利于产电。2) 微生物燃料电池的输出电压随时间出现类似于微生物驯化引起的波动, 表明混合液中多种微生物的竞争与协同作用对 MFC 的产电起促进作用^[20]。3) 处理过的老龄垃圾渗滤液中含有的正价离子少量存在于阴极室时, 可作为电子受体与电子结合, 利于输出电压提高。4) 阴极室的好氧污泥悬浊液为阴极提供了催化微生物, 处理过的老龄垃圾渗滤液提供阴极催化微生物代谢活动所需的营养物质, 且营养物质浓度增加, 阴极催化微生物代谢反应的速率增大。随着阴极液中处理过的老龄垃圾渗滤液比例增大, 阴极液中正价离子的含量增大, 因而当处理过的老龄垃圾渗滤液占混合液体积的 75% 时, MFC 的输出电压最高、功率密度最大。

MFC 的内阻由阳极内阻、阴极内阻、膜内阻和电解液内阻组成^[21], 反应器相同时, 膜内阻的影响可以忽略。未处理过的老龄垃圾渗滤液具有很高的离子浓度和电导率。因此, 相比于已处理过的老龄垃圾渗滤液作为阳极液的 1#MFC, 以 2#~6#MFC

以未处理过的老龄垃圾渗滤液作为阳极液,促进阳极表面的生物电化学反应和反应物在阳极液中的迁移,有利于减小电池阳极内阻和电解液内阻。而2#~6#MFC随阴极液中处理过的老龄垃圾渗滤液体积分数提高,内阻先减小后增大,这是由于适当体积分数处理过的老龄垃圾渗滤液有利于阴极表面氧的还原反应,减小电池阴极内阻。但当阴极液为100%垃圾渗滤液时,MFC不仅缺少好氧活性污泥提供的催化微生物,而且高浓度的垃圾渗滤液会抑制阴极表面的微生物,导致内阻增大。

2.2 MFC去除主要污染物的效果

2.2.1 COD的去除效果

1#~6#MFC阳极液与阴极液的COD去除率见表3。1#MFC阳极液和6#MFC阴极液均为处理过的老龄垃圾渗滤液,由表3可知,1#MFC阳极液COD去除率为14.8%,6#MFC阴极液COD去除率为48.6%,COD去除率提高2.27倍。生物阴极型MFC阴阳极均以微生物作为催化剂,微生物生长情况会影响MFC性能。底物中营养物质的浓度则会影响微生物生长速率和菌体的数量。老龄垃圾渗滤液在MFC阳极室中经20 d处理后,MFC产电性能和污染物处理性能明显下降,可推断处理过的老龄垃圾渗滤液中可供产电细菌利用的营养物质浓度较低,微生物代谢速率降低,因而1#MFC对COD的去除率较低。6#MFC阴极液COD去除率提高的原因可能有以下3点:1)6#MFC阳极未处理过的垃圾渗滤液含有丰富的营养物质,提高了产电细菌的代谢速率;2)阴极好氧微生物利用处理过的老龄垃圾渗滤液中碳源、氮源等;3)阴极好氧曝气过程有利于COD的去除。

表3 MFCs COD去除率
Table 3 COD removal of MFCs

液体	COD去除率/%					
	1#	2#	3#	4#	5#	6#
阳极液	14.8	35.2	42.2	34.7	44.8	37.4
阴极液	78.1	79.6	73.1	72.4	58.5	48.6

由表3可知,3#、5#、6#MFC阳极液COD的去除率均大于2#MFC、4#MFC阳极液COD去除率与2#MFC相近,这表明当阳极液相同时,阴极液中加入老龄垃圾渗滤液有利于提高MFC阳极液COD的去除率,证明了处理过的老龄垃圾渗滤液与好氧污

泥悬浊液的混合液作为阴极液的可行性。由2#、6#MFC阴极液COD去除率可知,好氧活性污泥本身比处理过的老龄垃圾渗滤液更易于处理。因此,随着2#~6#MFC阴极液好氧活性污泥比例减小,阴极液COD去除率逐渐降低。

由上述分析可认为:1)处理过的老龄垃圾渗滤液作为阴极液较其作为阳极液时COD的去除率提高;2)好氧污泥悬浊液与处理过的老龄垃圾渗滤液作为阴极液时,MFC阳极液COD去除率提高。这表明,处理过的老龄垃圾渗滤液作为MFC阴极液在污染物去除方面可行,且更利于老龄垃圾渗滤液的再处理。

2.2.2 氨氮、硝酸盐氮和亚硝酸盐氮的去除效果

1#MFC的阳极液和6#MFC的阴极液均是处理过的老龄垃圾渗滤液,图5为1#MFC阳极和6#MFC阴极垃圾渗滤液氨氮、硝酸盐氮和亚硝酸盐氮去除率随时间的变化,其中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2\text{-N}$ 分别表示氨氮、硝酸盐氮和亚硝酸盐氮。

由图5可知,1#MFC阳极室和6#MFC阴极室对处理过的老龄垃圾渗滤液中氨氮的去除率分别为51.9%和73.8%,氨氮去除率提高42%。而6#MFC阴极室的硝酸盐氮和亚硝酸盐氮去除率低于1#。这是由于在阴极的好氧条件下,更有利于硝化反应的进行,氨氮在自养好氧硝化菌的作用下被氧化成亚硝酸盐和硝酸盐^[22],从而提高氨氮的去除率。

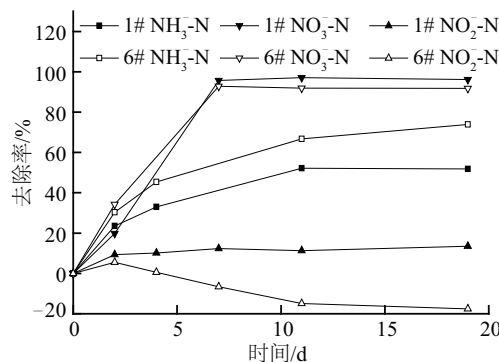


图5 1# MFC阳极液与6# MFC阴极液氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮的去除率

Fig. 5 Ammonia, nitrate and nitrite removal rate of 1# MFC anolyte and 6# MFC catholyte

1#~6#MFC阳极液与阴极液的氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮去除效果见表4。由表4可知,2#~6#MFC阳极液的氨氮、硝酸盐氮和亚硝酸盐氮去除率相近,这表明当其他实验条件相同时,以处理过

的老龄垃圾渗滤液与好氧污泥悬浊液的混合液作为阴极液对 MFC 阳极液的氨氮、硝酸盐氮和亚硝酸盐氮的去除影响小。

但 2#~6#MFC 阴极液氨氮及硝酸盐氮的去除率相差较大,且 3#~6#MFC 去除率均大于 2#MFC,这表明处理过的老龄垃圾渗滤液与好氧污泥悬浊液的混合液作为阴极液可显著提高 MFC 对阴极液氨氮及硝酸盐氮等污染物的去除能力,有利于处理过的老龄垃圾渗滤液的再处理。这是由于实验充

分利用双室 MFC 阳极室和阴极室均具有脱氮功能的优点,提高对垃圾渗滤液的脱氮效率。在阴极好氧条件和催化微生物的作用下,氨氮被氧化成亚硝酸盐氮和硝酸盐氮或变为气体排出,去除率增加。硝酸盐可作为电子受体通过阴极反应完成电子的传递过程^[23],从而增加硝酸盐的消耗量,提高硝酸盐的去除率。氨氮被氧化为亚硝酸盐氮造成亚硝酸盐的累积,因此 2#~6#MFC 阴极液亚硝酸盐氮含量增加,去除率为负。

表 4 1#~6# MFC 氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮进水、出水浓度及去除率

Table 4 Summary of influent, effluent, and percent difference values for ammonia, nitrate and nitrite of 1#~6# MFC systems

MFC	氨氮/mg·L ⁻¹			硝酸盐氮/mg·L ⁻¹			亚硝酸盐氮/mg·L ⁻¹		
	进水	出水	去除率/%	进水	出水	去除率/%	进水	出水	去除率/%
1#阳极	418.90	201.60	51.9	170.7	6.50	96.2	5.65	4.89	13.4
1#阴极	5.16	15.20	-195.2	284.1	151.50	46.7	2.06	0.40	80.6
2#阳极	1323.40	1009.30	23.7	255.2	6.50	97.4	10.10	0.95	90.6
2#阴极	5.16	14.60	-183.3	284.1	116.60	59.0	2.06	0.40	80.6
3#阳极	1323.40	1021.70	22.8	255.2	8.56	96.6	10.10	0.76	92.4
3#阴极	165.8	75.90	54.2	252.2	94.90	62.4	5.17	5.04	2.51
4#阳极	1323.40	1015.20	23.3	255.2	9.24	96.4	10.10	0.71	92.9
4#阴极	267.90	57.60	78.6	224.1	27.50	87.7	4.64	11.11	-140.1
5#阳极	1323.40	1018.50	23.1	255.2	9.47	96.3	10.10	0.75	92.5
5#阴极	365.80	69.40	81.1	203.1	13.00	93.6	5.25	5.91	-12.6
6#阳极	1323.40	1035.40	21.8	242.2	10.40	95.7	10.10	0.71	92.9
6#阴极	418.90	109.50	73.8	170.7	14.00	91.8	5.65	6.64	-17.5

3 结 论

本文研究不同体积比的处理过的老龄垃圾渗滤液与好氧污泥悬浊液的混合液作为阴极液的生物阴极型 MFC 的产电特性和对系统中污染物的处理效果,得到以下结论:

- 1)以 100%处理过的老龄垃圾渗滤液作为阴极液对提升 MFC 的产电性能无益,但能有效提高处理过的老龄垃圾渗滤液的 COD 和氨氮去除率,分别为 48.6%和 73.8%,与 1#MFC 相比分别提高 2.27 倍和 42%。
- 2)以处理过的老龄垃圾渗滤液与好氧活性污泥悬浊液的混合液作为阴极液有利于提高 MFC 的产电性能、阳极液 COD 去除率以及阴极液氨氮、硝酸盐氮的去除率。以体积比为 75%的处理

过的老龄垃圾渗滤液作为阴极液的 5#MFC 产电效果最佳,其输出电压为 498 mV,输出功率密度为 295.24 mW/m³,内阻为 244 Ω,对阳极液 COD 去除率最佳,去除率为 44.81%。

[参考文献]

- [1] Sevda S, Benetton X D, Vanbroekhoven K, et al. High strength wastewater treatment accompanied by power generation using air cathode microbial fuel cell[J]. Applied Energy, 2013, 105: 194—206.
- [2] Wang Haiping, Jiang S C, Wang Yun, et al. Substrate removal and electricity generation in a membrane-less microbial fuel cell for biological treatment of wastewater [J]. Bioresource Technology, 2013, 138: 109—116.
- [3] Mansoorian H J, Mahvi A H, Jafari J A, et al. Bioelectricity generation using two chamber microbial

- fuel cell treating wastewater from food processing [J]. *Enzyme Microbial Technology*, 2013, 52 (6-7): 352—357.
- [4] Kim J, Kim B, Kim H, et al. Effects of ammonium ions from the anolyte within bio-cathode microbial fuel cells on nitrate reduction and current density [J]. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 2014, 95 (Part A): 122—126.
- [5] 毛艳萍, 蔡兰坤, 张乐华, 等. 生物阴极微生物燃料电池[J]. *化学进展*, 2009, 21(Z2): 1672—1677.
- [5] Mao Yanping, Cai Lankun, Zhang Lehua, et al. Biocathodes in microbial fuel cells [J]. *Progress in Chemistry*, 2009, 21(Z2): 1672—1677.
- [6] 潘 彬, 孙 丹, 叶遥立, 等. 微生物燃料电池中阴极长期运行的性能分析[J]. *化工学报*, 2014, 65(9): 3694—3699.
- [6] Pan Bin, Sun Dan, Ye Yaoli, et al. Cathode performance in long-term operation of microbial fuel cells [J]. *Journal of Chemical Industry and Engineering*, 2014, 65(9): 3694—3699.
- [7] Janicek A, Fan Yanzhen, Liu Hong. Performance and stability of different cathode base materials for use in microbial fuel cells[J]. *Journal of Power Sources*, 2015, 280: 159—165.
- [8] Mao Yanping, Zhang Lehua, Li Dongmei, et al. Power generation from a biocathode microbial fuel cell biocatalyzed by ferro manganese oxidizing bacteria [J]. *Electrochimica Acta*, 2010, 55(27): 7804—7808.
- [9] Pandit S, Sengupta A, Kale S, et al. Performance of electron acceptors in catholyte of a two-chambered microbial fuel cell using anion exchange membrane[J]. *Bioresource Technology*, 2011, 102(3): 2736—2744.
- [10] Wei Liling, Han Hongliang, Shen Jianquan. Effects of cathodic electron acceptors and potassium ferricyanide concentrations on the performance of microbial fuel cell [J]. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2012, 37 (17): 12980—12986.
- [11] 程李钰, 徐龙君. 电极面积对老龄垃圾渗滤液为底物的微生物燃料电池性能影响[J]. *燃料化学学报*, 2015, 43(8): 1011—1017.
- [11] Cheng Liyu, Xu Longjun. Effects of electrode surface area on the performance of microbial fuel cells with the aging landfill leachate as substrate [J]. *Journal of Fuel Chemistry and Technology*, 2015, 43(8): 1011—1017.
- [12] 荆 淇. 生物阴极微生物燃料电池处理垃圾渗滤液及产电性能研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2014.
- [12] Jing Qi. Treatment of landfill leachate by biocathode microbial fuel cell[D]. Chongqing: Chongqing University, 2014.
- [13] Xie Shan, Liang Peng, Chen Yang, et al. Simultaneous carbon and nitrogen removal using an oxic/anoxic biocathode microbial fuel cells coupled system[J]. *Bioresource Technology*, 2010, 102(1): 348—354.
- [14] Yu Changping, Liang Zhihua, Das Atreyee, et al. Nitrogen removal from wastewater using membrane aerated microbial fuel cell techniques [J]. *Water Research*, 2010, 45(3): 1157—1164.
- [15] 樊立萍, 苗晓慧. 微生物燃料电池处理餐饮废水及同步发电性能研究[J]. *燃料化学学报*, 2014, 42(12): 1506—1512.
- [15] Fan Liping, Miao Xiaohui. Study on the performance of microbial fuel cell for restaurant wastewater treatment and simultaneous electricity generation [J]. *Journal of Fuel Chemistry and Technology*, 2014, 42 (12) : 1506—1512.
- [16] 国家环保总局. 水和废水监测分析方法(第四版) [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.
- [16] State Environmental Protection Administration. Determination methods for examination of water and wastewater (4th ed.) [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2012.
- [17] 曹 琳, 雍晓雨, 周 俊, 等. 以沼液为原料的微生物燃料电池产电降解特性[J]. *化工学报*, 2014, 65 (5): 1900—1905.
- [17] Cao Lin, Yong Xiaoyu, Zhou Jun. Electrical and degradation characteristics of microbial fuel cell using biogas slurry as substrate [J]. *Journal of Chemical Industry and Engineering*, 2014, 65(5): 1900—1905.
- [18] Logan B E. Microbial fuel cells [M]. Hoboken New Jersey: John Wiley & Sons, 2008.
- [19] Zhang Fei, Jacobson K S, Torres Paolo, et al. Effects of anolyte recirculation rates and catholytes on electricity generation in a litre-scale upflow microbial fuel cell [J]. *Energy and Environmental Science*, 2010, 3 (9) : 1347—1352.
- [20] Wetser K, Sudirjo E, Buisman C-J N, et al. Electricity generation by a plant microbial fuel cell with an integrated oxygen reducing biocathode [J]. *Applied Energy*, 2015, 137: 151—157.
- [21] Fan Yanzhen, Sharbrough E, Liu Hong. Quantification of the internal resistance distribution of microbial fuel cells [J]. *Environmental Science and Technology*, 2008, 42(21): 8101—8107.

- [22] 张小燕. 微生物燃料电池去除废水中的氨氮及下流式微生物燃料电池的扩大化研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2013.
- [22] Zhang Xiaoyan. Ammonia nitrogen removal from wastewater using an aerobic cathode microbial fuel cell and scale-up of the down-flow microbial fuel cell [D]. Suzhou: Soochow University, 2013.
- [23] 覃 彪, 支银芳, 周 华, 等. 微生物燃料电池在脱氮方面的研究进展[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(1): 111—114.
- [23] Qin Biao, Zhi Yinfang, Zhou Hua, et al. Research progress in microbial fuel cell for nitrogen removal in WWTP [J]. Environmental Science and Technology, 2012, 35(1): 111—114.

RESEARCH OF MICROBIAL FUEL CELL'S PERFORMANCE WITH TREATED-AGING LANDFILL LEACHATE AS CATHOLYTE

Xie Miao, Xu Longjun, Cheng Liyu

(State Key Laboratory of Coal Mine Disaster Dynamics and Control, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Bio-cathode microbial fuel cells (MFCs) using the mixture of different volume ratios (0%, 25%, 50%, 75%, 100%) treated-aging landfill leachate and aerobic sludge suspension as catholyte were constructed to investigate their electricity production and treatment performance. The results showed that the removal rates of chemical oxygen demand (COD) and ammonia improve respectively 2.27 times and 42% when the volume fraction of treated-aging leachate in catholyte is 100%, compared with the MFC which treated-aging leachate as anolyte. The performance of MFCs with the mixture of aerobic sludge and treated-aging landfill leachate as catholyte are significantly improved in power generation and contamination removal, especially the MFC of 75% treated-aging leachate. The maximum voltage and power density are respectively 498 mV and 295.2 mW/m³, respectively. The minimum internal resistance is 244 Ω , and the COD removal of anode is 44.81%.

Keywords: microbial fuel cells; leachate treatment; waste water treatment; sustainable energy