

微生物燃料电池在废水处理中的应用

李毅 胡翔 王程远 王瑞林

(北京化工大学化学工程学院, 北京100029)

[摘要]设计了一个经典的双室微生物燃料电池, 并考察了其在接种厌氧污泥条件下对葡萄糖模拟废水的产电性能。试验采用间歇运行的方式, 主要考察了电极材料及初始COD对微生物燃料电池产电性能的影响。结果表明, 当外阻为 100Ω 时, 该电池在初始COD为 1000mg/L , 以石墨为电极的运行条件下产电性能最好, 最大电流密度为 4.4mA/m^2 。另外, 还对以水及好氧污泥作为电池阴极时系统的产电性能进行了对比。通过对两者极化曲线的分析可知, 以好氧污泥作为电池阴极可以大大减小系统的内阻, 从而提高电池的产电性能。

微生物燃料电池(microbial fuel cell, MFC)是一种利用微生物作为催化剂将有机物质及无机物质氧化并产生电能的装置^[1]

。随着环境问题日益严峻以及经济高速发展对能源需求的日益增加, 微生物燃料电池的研究也越来越受到人们的重视。H.Liu等^[2]以城市生活污水为营养物质构成的新型微生物燃料电池, 实现了对污水处理的同时回收电能, 从而在一定程度上降低了污水的处理成本。

然而, 现在国内外大部分关于微生物燃料电池的研究都集中在单容器型的微生物燃料电池方面, 重点都围绕着减少微生物燃料电池的内阻, 从而提高微生物燃料电池的产电性能^[3]

。传统的废水处理工艺中, 生物处理部分主要是由好氧生物处理和厌氧生物处理组成。这与传统的双室微生物燃料电池的构造相匹配。因此, 双室微生物燃料电池是在废水处理过程中, 实现废水处理和能源回收的理想模式。

基于上述观点, 笔者设计了一个双室微生物燃料电池, 利用该电池装置进行产电实验研究, 并通过模拟实际废水处理工程中的具体工艺流程考察了该装置的产电性能。

1.实验部分

1.1双室微生物燃料电池系统的搭建

双室微生物燃料电池系统如图1所示, 该电池由有机玻璃制成, 主要由阴极室和阳极室两部分构成。

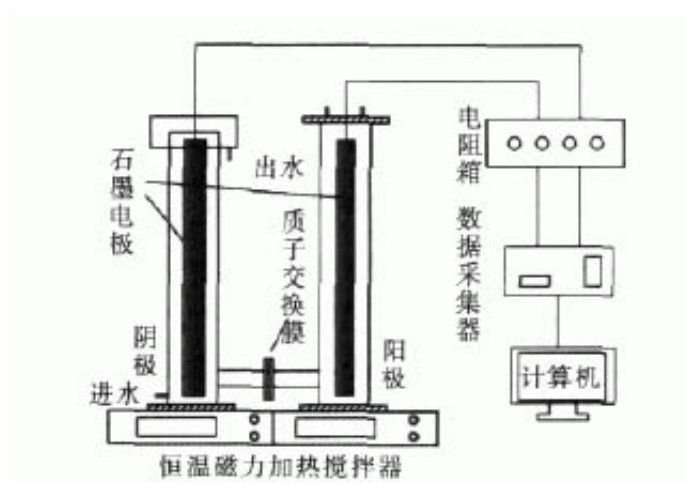


图1 双室微生物燃料电池系统示意图

在该双室微生物燃料电池系统中, 由恒温磁力加热搅拌器对阳极室内的混合液进行连续搅拌, 以保证营养物质和微生物充分混合;阴极室内则由一小型空气泵对内曝气充氧。单室呈圆柱型, 有效容积为 2009mL ($\text{D}80\text{mm} \times 400\text{mm}$),

两电极均由石墨制成，有效面积为 350cm^2

。阴阳两室以质子交换膜(Nafion117，杜邦)连接，其连接处有效面积约为 13cm^2 。外电路负载是一可调电阻箱(ZX97E， $1\sim 1000000\Omega$)。该燃料电池产生的电压信号由外接的数据采集系统(personalDaq/56)自动收集。

1.2实验条件

阳极室中的接种污泥是来自北京市高碑店污水处理厂污泥消化池中的消化污泥。在室温下利用COD约为 200mg/L 的葡萄糖

糖模拟废

水培养7d，以恢复

污泥的活性并富集菌种。基质为葡萄糖

糖配制成的营养储备液，其pH保持在7左右^[4]

，COD约为 1000mg/L 。厌氧泥及基质在进入反应器前，均需通入一定时间的氮气以去除其中的溶解氧。在整个实验过程中保持阳极室中的厌氧状态，当一个产电周期结束后，停止搅拌，待混合液中污泥沉降完全后，弃去上清液，重新添加新的营养物质。整个微生物燃料电池的运行温度基本维持在 35°C 左右[5]。在整个实验过程中，保持外路电阻不变，约为 100Ω 。

1.3分析项目与方法

COD的测定:按照GB/T11914-1989规定的方法测定。

电化学性质的确定:电池的输出电压 U 由数据采集系统自动记录，电路中的电流 $I=U/R_w$ ，其中 R_w 为外阻。电流密度 $\rho(I)=I/A$ ，其中 A 为电极的有效面积。功率密度 $\rho(P)=\rho(I)\times U$ 。

2.试验结果

2.1电极材料对微生物燃料电池产电性能的影响

对于微生物燃料电池而言，电极材料直接关系到该电池的电子传输速率以及其内阻大小，对其产电性能有着显著的影响。本试验主要考察了两种电极材料。一种是成本较低、机械强度较好的石墨。由于石墨电极的反应表面为平面，故选用碳纤维纸(简称为碳纸，GEFC-GDL3，北京金能)作为对比的电极材料。同传统的石墨电极相比，碳纸具有体积小、质量轻、孔隙率高等优点。两电极材料的对比实验都是在COD为 1000mg/L 、外阻为 100Ω 的条件下进行的。两者产电性能的比较如图2所示。

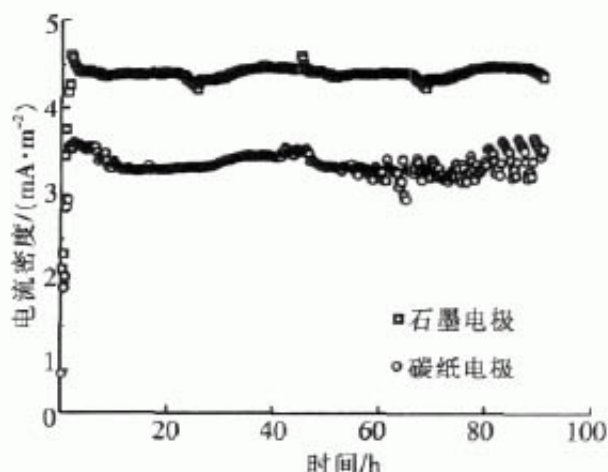


图2 电极材料对微生物燃料电池产电性能的影响

从图2可知，石墨电极产电的稳定性优于碳纸电极，在其后期该趋势显得更加明显，石墨电极外路的平均电流密度比碳纸电极高出30%，达到 4mA/m^2 。

2.2 COD对微生物燃料电池产电性能的影响

试验研究了在城市污水处理过程中COD对微生物燃料电池产电性能的影响。依据城市污水中COD的范围，主要考察了微生物燃料电池在不同初始COD条件下的产电性能。COD对微生物燃料电池外路电流密度的影响如图3所示。

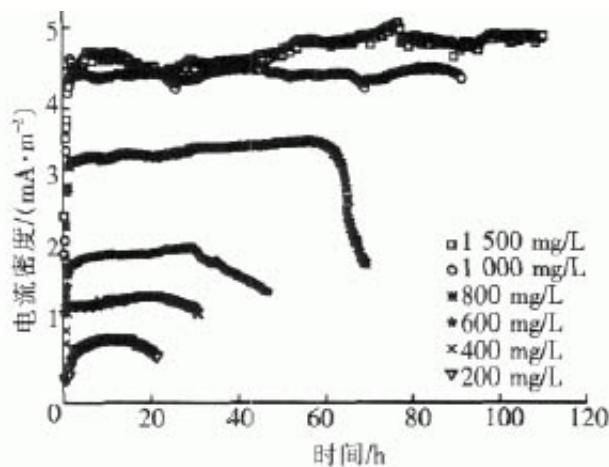


图3 COD对微生物燃料电池电流密度的影响

由图3可以看出，在COD为200mg/L时，电池的电流密度随着运行时间的增加而增大，在运行9h后出现产电高峰，电流密度约为1.1mA/m²

。该产电高峰持续6h后开始逐渐下降，在运行时间为24h左右时降为初始水平。随着COD的增加，电池的稳态产电时间及电流密度呈现出明显的上升趋势。当COD为1500mg/L时，该电池的电流密度与COD为1000mg/L时无明显的差异，稳定在4.4mA/m²左右，稳态产电时间约为90h。在整个实验过程中，该电池对COD的去除率都稳定在70%左右。

2.3好氧污泥作为阴极的产电规律

为了模拟微生物燃料电池在废水处理过程的实际应用，笔者在电池装置的阴极(好氧端)接种1000mL好氧污泥，该污泥取自北京市北小河污水处理厂的污泥回流池，污泥沉降性好，生物相丰富，MLSS为5.87g/L。曝气24h恢复活性后投加1000mL葡萄糖模拟废水，COD约为500mg/L。阴极内采用间歇式反应，HRT控制在12h左右。好氧污泥作为阴极后微生物燃料电池的产电性能如图4所示。

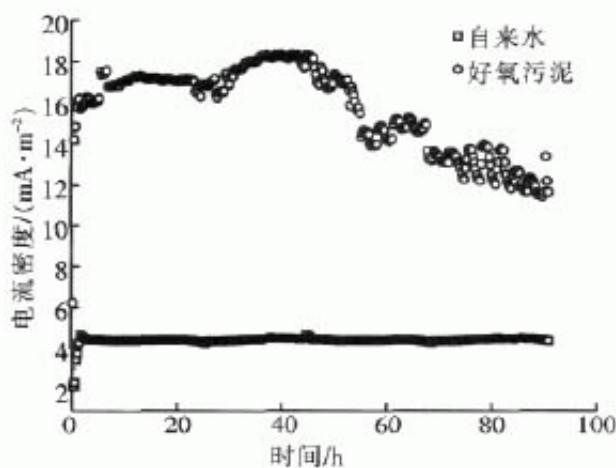


图4 好氧污泥为阴极时的电流密度

由图4可知，以好氧污泥反应器作为阴极后微生物燃料电池的稳定产电时间，约为40h左右，稳定状态下的输出电流密度为17.3mA/m²

左右，是以水作为阴极时的4倍。好氧端对COD的去除率为82%，实现了对废水处理的同时进行电能的回收。

2.4好氧污泥作为阴极时产电性能提高的机理

从上面的实验可以看出，当好氧污泥作为阴极时，微生物燃料电池的产电性能有了显著的提高，而产电性能的提高

主要是由于好氧污泥的加入改变了电池系统内阻的大小。为了考察两种不同阴极条件下微生物燃料电池内阻的大小, 分别对两者做了极化曲线分析。由欧姆定律可知, 当外路电阻与电池系统内阻相等时, 该电池的输出功率最大。通过逐渐增加外路电阻的大小, 可以得到该电池系统的极化曲线, 不同阴极条件下系统的极化曲线如图5所示。

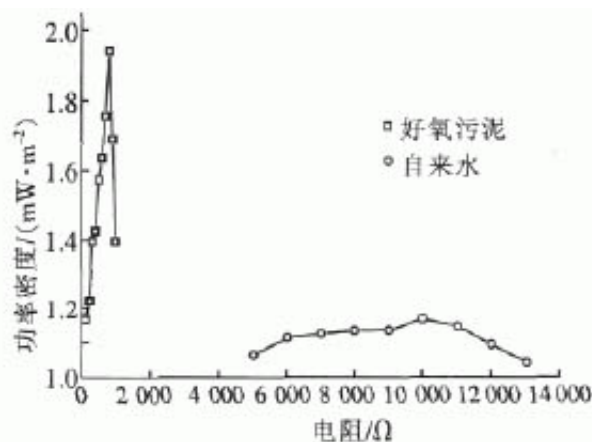


图5 好氧污泥为阴极时的极化曲线

从图5可知, 单纯以水作为阴极时系统的内阻约为10000Ω, 该值远远大于以好氧污泥作为阴极时的内阻(约为900Ω)。分析其中原因, 一方面是由于阴极加入好氧污泥及模拟废水后, 该部分的离子浓度有了一定程度的提高, 有利于质子传递到石墨电极上;另一方面是由于好氧污泥的微生物群落中存在着可以直接传递质子的微生物, 这也大大提高了质子的传递效率。

3.结论

(1)双室微生物燃料电池通过一定时间的驯化培养后可以获得较稳定的输出电流, 该生物燃料电池最佳的初始COD为1000mg/L时, 在外阻为100Ω的条件下, 输出电流密度为4.4mA/m², 且对COD有较高的去除率, 约为70%。

(2)对于石墨和碳纸两种电极材料而言, 石墨电极的产电性能以及机械强度较好, 更适合于实际的工程应用。

(3)使用好氧污泥作为微生物燃料电池的阴极可大大减小电池系统的内阻, 从而提高了电池的产电性能, 该状态下电池的最大输出功率为1.94mW/m², 实现了对废水处理的同时回收电能。

[参考文献]

[1]Logan B E,Hamelers B,Rozendal R,et al.Microbial fuel cells:methodology and technology[J].Environmental Science Technology,2006,40(17):5181-5192.

[2]Liu H,Ramnarayanan R,Logan B E.Production of electricity during wastewater treatment using a single chamber microbial fuel cell[J].Environmental Science Technology,2004,38(7):2281-2285.

[3]曹效鑫,梁鹏,黄霞.“三合一”微生物燃料电池的产电特性研究[J].环境科学学报,2006,26(8):1252-1257.

[4]Gil G C,Chang I S,Kim B H,et al.Operational parameters affecting the performance of a mediator-less microbial fuel cell[J].Biosensors and Bioelectronics,2003,18(4):327-334.

[5]Moon H,Chang I S,Kim B H.Continuous electricity production from artificial wastewater using a mediator-less microbial fuel cell[J]. Bioresource Technology,2006,97(4):621-627.

原文地址: <http://www.china-nengyuan.com/tech/98738.html>