

# 影响微生物燃料电池产电性能主要因素分析及其性能测试

安爱民<sup>1</sup>, 张爱华<sup>1</sup>, 张浩琛<sup>1</sup>, 王静<sup>1</sup>, 智勇<sup>2</sup>, 乾维江<sup>2</sup>

(1. 兰州理工大学电信学院, 甘肃, 兰州, 730050;

2. 国网甘肃省电力公司电力科学研究院电网技术中心, 甘肃, 兰州, 730050)

**摘要:** 微生物燃料电池(MFC)是利用微生物作为催化剂直接从可分解的有机物中提取电能的,它具有处置废弃物与发电的双重功效,是未来理想的产电方式和有机废弃物资源化处置工艺。本研究是在分析微生物燃料电池的工作原理基础上,基于微生物燃料电池机理模型,在MATLAB环境下搭建了MFC的Simulink仿真模型,详细分析了有机负载(流入物中醋酸盐的浓度)和电荷负载(外电阻)对MFC产电性能的影响,针对流入物中醋酸盐的浓度和电荷负载对MFC的输出电压、电流以及功率的影响进行了测试和分析。仿真分析得到,当且MFC的外阻与内阻相等时,MFC能产生电能的功率最大。

**关键词:** 微生物燃料电池; 有机负载; 电荷负载; 最大发电功率; 内外电阻匹配

**中图分类号:** TQ015.9; TP391.9; O6-39

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-4160(2014)11-1287-1292

**DOI:** 10.11719/com.app.chem20141102

## 1 引言

能源危机使得世界各国都在致力于寻找开发能替代传统能源的新能源。生物质能是人类赖以生存的重要能源,生物质是指由光合作用而产生的各种有机体。在生物质能转化为电能技术中又包含生物质直接燃烧发电技术、生物质气化发电技术、沼气发电技术以及生物质燃料电池技术。以上几种发电技术,大都需要首先将生物质能转化成为热能,然后通过驱动发电机发电,而生物燃料电池技术是可以直接利用生物质能来发电的<sup>[1]</sup>。

生物燃料电池是一种不经过燃烧直接以电化学反应方式将生物燃料的化学能转变为电能的高效发电装置。理论上讲,只要连续供给燃料,生物燃料电池便能连续发电。由于生物燃料电池直接将生物燃料的化学能转换为电能,中间未经燃烧过程,因此不受卡诺循环限制,可以获得更高的转化效率<sup>[2]</sup>。而且它几乎不排放氮氧化物和硫氧化物,减轻了对大气的污染。生物燃料电池具有发电不需要锅炉、气轮发电机等庞大的成套设备,电池组件化,设计、制造、组装都十分方便的优点<sup>[3]</sup>。

Pinto等对MFC进行激励建模并对发电性能进行了优化<sup>[4-6]</sup>,潘彬等对MFC中阴极长期运行性能分析<sup>[7]</sup>,Woodward等采用实时法对MFC最大功率输出进行了研究<sup>[8]</sup>,Jadhav等对MFC中的pH值、温度、负荷以及基质浓度变化对电池性能的影响<sup>[9]</sup>,孙敏拓展了MFC的应用,以硫化物为电子受体在发电的同时进行脱硫,并将MFC与微生物电解池结合产生氢气<sup>[10]</sup>。张金娜主要分析MFC的阴极特性,研究不同电子受体、催化剂对MFC性能的影响<sup>[11]</sup>。曹效鑫研究了产电菌与电极的作用机制,并首次使用二氧化碳作为电子受体<sup>[12-14]</sup>。对微生物燃料电池中影响产电性能方面因素的研究尚未见道。

本论文在生物燃料电池机理模型的基础上,在MATLAB环境下搭建了MFC的仿真模型,分析了有机负载(流入物中醋酸盐的浓度)和电荷负载(外电阻)对MFC产电性能的影响,针对流入物中醋酸盐的浓度和电荷负载对MFC的输出电压、电流以及功率的影响进行了测试和分析,得到了MFC的外阻与内阻匹配时MFC产生电能功率的特点。

## 2 微生物燃料电池及其发电机理

### 2.1 MFC 基本工作原理

作为一类特殊的生物质燃料电池,微生物燃料电池是利用自然存在的微生物在常温常压条件下将有机/无机物氧化产生电流的装置。MFC除了具有化学燃料电池效率高、无污染等优点外,还具有自身独特的优势。MFC采用微生物取代了化学燃料电池中昂贵的化学催化剂,这样在大大降低成本的同时,MFC可以利用非常复杂的燃料如废水中碳水化合物等发电。加上微生物具有自我繁殖和更新能力,因此可以长期有效地在污水处理过程中实现电力输出。

对于微生物燃料电池来说,生物氧化占据了核心地位。其电池的启动来源就是生物氧化。生物氧化的实质是脱氢、失电子或与氧结合,消耗氧生成CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O,与体外有机物的化学氧化(如燃烧)相同,释放总能量都相同。生物氧化的特点是:作用条件温和,通常在常温、常压、近中性PH及有水环境下进行;有酶、辅酶、电子传递体参与,在氧化还原过程中逐步放能;放出能量大多转换为ATP分子中活跃化学能,供生物体利用。

微生物燃料电池的基本原理是打破常规的电子传递链的传递方向,把产生的电子引到外界,从中获取能量。

收稿日期: 2014-09-28; 修回日期: 2014-10-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61064003, 61364004, 51160204); 甘肃省自然科学基金资助项目(145RJZA024, 145RJYA313)

作者简介: 安爱民(1972—), 男, 河北人, 博士, 副教授, 硕士生导师

联系人: 安爱民, E-mail: anaimin11@163.com

从另一角度来说,是把原本的氧化还原反应的发生区域扩展到细胞以外的外界环境,延伸到整个电池结构体系中。典型的微生物燃料电池的工作原理如图1所示。MFC的基本产电原理由5个步骤组成:(1)底物生物氧化:底物于阳极室在微生物作用下被氧化,产生电子、质子及代谢产物;(2)阳极还原:产生的电子从微生物细胞传递至阳极表面,使电极还原;(3)外电路电子传输:电子经由外电路到达阴极;(4)质子迁移:产生的质子从阳极室迁移至阴极室,到达阴极表面;(5)阴极反应:在阴极室中的氧化态物质即电子受体(如氧气等)与阳极传递来的质子和电子于阴极表面发生还原反应,氧化态物质被还原。电子不断产生、传递、流动形成电流,完成产电过程。

若以乙酸钠为底物,氧气为电子受体,MFC工作时,阴阳极室内的电化学反应分别为:

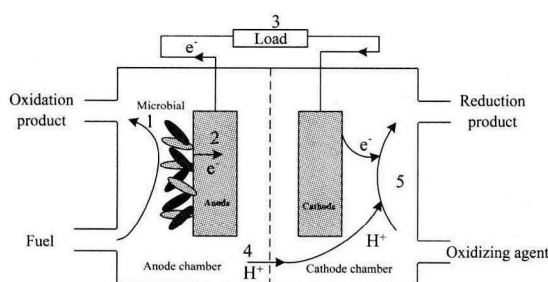
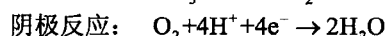
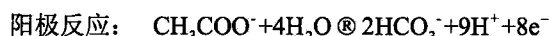


Fig.1 Schematic diagram for the electron transfer in MFC.

图1 微生物燃料电池电子传递步骤

## 2.2 电子转移机制

在MFC中,一些细菌能够向细胞外传递电子,称之为“胞外产电菌(Exoelectrogens)”,这些细菌具有将电子直接转移给化合物或间接电子受体的能力。许多厌氧微生物只能将电子传递给可溶性外源化合物(不是细胞合成的),如硝酸盐或硫酸盐,它们能跨越细胞膜扩散到细胞内部。胞外产电菌因为能将电子传递到细胞外的能力而不同于其他厌氧菌,这种能力可在MFC中起作用。

## 2.3 电池性能评价参数

微生物燃料电池通常能实现的最大工作电压为0.3-0.7 V。电压是外电阻 $R_{ext}$ (或是电路负载)和电流 $I$ 的函数。这几个变量之间的关系如下:

$$E = IR_{ext} \quad (1)$$

如图2所示,MFC的电压降由3个特殊的区域组成:(1)电压随电流的增加而急剧下降(高电阻区);(2)电压呈线性趋势下降;(3)高电流密度区电压第二次急剧下降。在某一固定电流下的电池电压损失被认为是由电极过电势和欧姆损失共同引起。

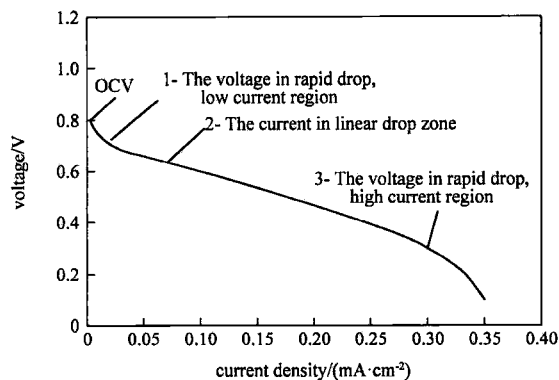


Fig.2 Schematic diagram of polarization curve.

图2 极化曲线

## 2.4 MFC 电流的限制因素

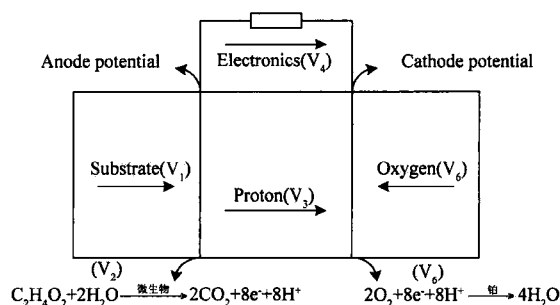


Fig.3 Power production procedure in MFC.

图3 MFC 产电过程

MFC的产电过程涉及到6个环节(图3):(1)底物在阳极液中的质量传输;(2)产电微生物在阳极电极表面对底物的分解;(3)质子透过质子交换膜的质量传输;(4)电子通过外电路的质量传输;(5)氧气在阴极电极表面的还原反应;(6)电子受体在阴极液中的质量传输。所以影响MFC的电流的因素有6个:(1)底物的质量传输速率( $V_1$ );(2)阳极电化学反应速率( $V_2$ );(3)质子的质量传输速率( $V_3$ );(4)电子的质量传输速率( $V_4$ );(5)阴极电化学反应速率( $V_5$ );(6)电子受体的质量传输速率( $V_6$ )。电子的质量传输速率比质子的质量传输速率要快的多。质子的质量传输受浓度驱动力和电荷驱动力共同驱动;底物的质量传输速率和电子受体的质量传输速率分为扩散传输和对流传输,当前主要是扩散传输;阳极电化学反应速率主要受微生物种类和数量的限制;阴极电化学反应速率受阴极面积的限制。

## 3 MFC 模型

本论文研究的模型来自于文献<sup>[5]</sup>,该模型用于对微生物种群的描述和相应发生在阳极室中的电化学反应,同时假定阴极反应速率不受限制。碳源到阳极的电荷转移机制涉及胞内介体,该介体同时以还原形式和氧化形式存在(例如NADH或NAD<sup>+</sup>)。此外,假定胞外电子通过纳米线或直接接触进行传递。该模型考虑了产电菌和产甲烷菌的存在,且将醋酸盐作为唯一的碳源。该概念模型如下图4所示,其中 $M_{red}$ 和 $M_{ox}$ 分别表示胞内介体的还原形式和氧化形式。

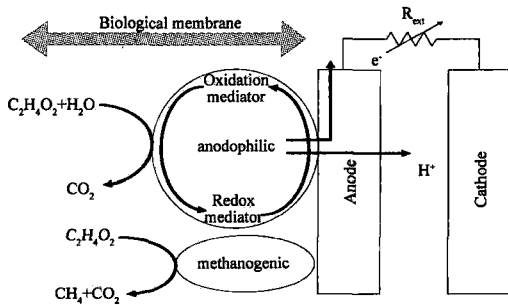


Fig.4 Conceptual model of MFC.  
图 4 MFC 概念模型

3.1 阳极室物料平衡

对于有生物膜保留的连续流动的 MFC, 流入物和流出物的流速相同, 底物和微生物的物料平衡如下所示:

$$Q_{CH_4, A} = Y_{CH_4} q_m x_m V \quad (2)$$

$$\frac{dx_e}{dt} = -\mu_e x_e - K_{d,e} x_e + \alpha D x_e \quad (3)$$

$$\frac{dM_{ox}}{dt} = -Y_M q_e + \frac{\gamma}{VmF} \frac{I_{MFC}}{x_e} \quad (4)$$

$$\alpha = \left( \frac{1 + \tanh[K_x(x_e + x_m - X_{max})]}{2} \right) \quad (5)$$

3.2 细胞内物质平衡

细胞内的介体有氧化和减少 2 种存在形式, 且假定单位产电菌对应的介体量恒为常数, 物质平衡如下式所示:

$$M_{Total} = M_{red} + M_{ox} \quad (6)$$

$$\frac{dM_{ox}}{dt} = -Y_M q_e + \frac{\gamma}{VmF} \frac{I_{MFC}}{x_e} \quad (7)$$

3.3 动力学方程

对于产电菌来说, 其生长速率受底物浓度和氧化形式介体浓度的限制, 对于产甲烷菌来说, 其生长速率只受底物浓度的限制。此外, 每种微生物消耗底物的速率与相应的菌种增长速率成正比。使用乘法莫诺动力学可列出如下公式:

$$\mu_e = \mu_{max,e} \frac{A}{K_{A,e} + A} \frac{M_{ox}}{K_M + M_{ox}}$$

$$\mu_m = \mu_{max,m} \frac{A}{K_{A,m} + A}$$

$$q_e = q_{max,e} \frac{A}{K_{A,e} + A} \frac{M_{ox}}{K_M + M_{ox}}$$

$$q_m = q_{max,m} \frac{A}{K_{A,m} + A}$$

3.4 电化学方程

MFC 电压可通过电极电位的理论值减去欧姆损失、活化损失以及浓度损失计算出来。应用欧姆定律可计算出 MFC 电流和欧姆损失 ( $\eta_{conc} = I_{MFC} R_{int}$ ), 电化学平衡的表达式如下所示:

$$E_{output} = I_{MFC} R_{ext} = E_{thermo} - I_{MFC} R_{int} - \eta_{conc} - \eta_{act}$$

$$\Omega \eta_{conc} = \frac{RT}{mF} \ln \left( \frac{M_{red}^{Reference}}{M_{red}} \right) = \frac{RT}{mF} \ln \left( \frac{M_{total}}{M_{red}} \right)$$

$$\eta_{act} = \frac{2RT}{mF} \sinh^{-1} \left( \frac{I_{MFC}}{2 A_{sur} i_0} \right)$$

$$I_{MFC} = \frac{E_{OCP} - \frac{RT}{mF} \ln \left( \frac{M_{Total}}{M_{red}} \right) - \frac{2RT}{mF} \sinh^{-1} \left( \frac{I_{MFC}}{2 A_{sur} i_0} \right)}{(R_{ext} + R_{int})} \frac{M_{red}}{\epsilon + M_{red}}$$

$$I_{MFC} = \frac{E_{OCP} - \frac{RT}{mF} \ln \left( \frac{M_{Total}}{M_{red}} \right)}{(R_{ext} + R_{int})} \frac{M_{red}}{\epsilon + M_{red}}$$

4 外电阻对 MFC 性能的影响

设输入物中醋酸盐的浓度为 10 mg/L, 当外电阻从 0 增加到 10 kΩ, 输出电流、电压和功率的变化曲线如图 5~图 7 所示。MFC 的电流功率曲线如图 8 所示。

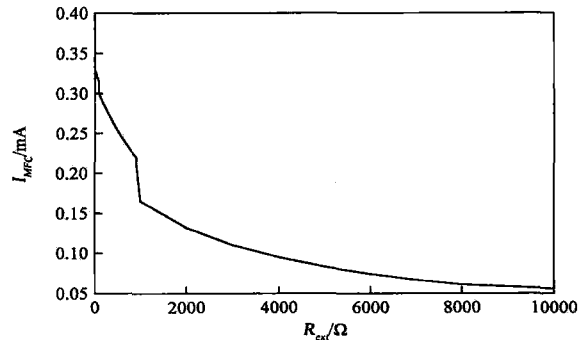


Fig.5 External electrical resistances-current curve.  
图 5 外电阻—电流曲线

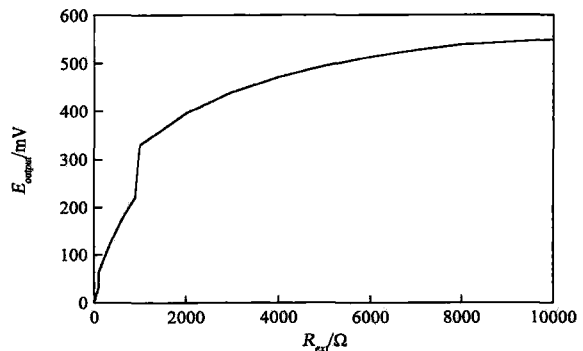


Fig.6 External electrical resistances-voltage curve.  
图 6 外电阻—电压曲线

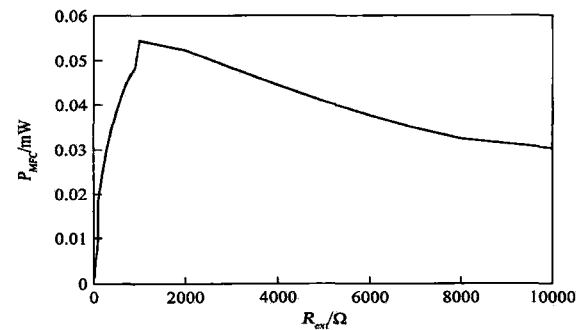


Fig.7 External electrical resistances-power curve.  
图 7 外电阻—功率曲线

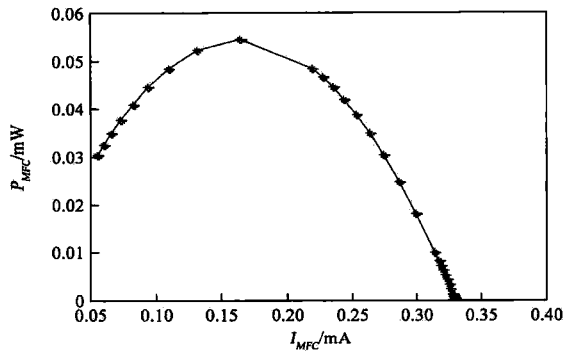


Fig.8 Current-current curve.  
图 8 电流—功率曲线

由上述图中可以看出,随着外电阻的增加,MFC 电流逐渐减小,电压逐渐增大,功率先增大后减小,且当外电阻在 1000 Ω 左右时,MFC 功率达到最大值。此结论从电流功率曲线中也可以看出。由图 6 可知,MFC 的开路电压约为 0.55 V。由图 8 可知,MFC 的最大输出功率约为 0.54 mW。由于 MFC 产电机制与产电微生物以及产甲烷微生物的浓度和反应速率、底物消耗速率等有直接关系,这些因素使得 MFC 产生的电流和功率数量级很小,对仿真精确度的要求较高。

这里需要说明一点:模型的精确性以及仿真软件的限制性可能导致仿真结果与实验数据之间存在较大偏差。但输出波形曲线与电池的欧姆定律、电流功率关系等理论基本相符。

### 5 醋酸盐浓度对 MFC 性能的影响

根据文献<sup>[5]</sup>,含有营养物和碳源(乙酸乙酯或合成废水)的稀释水通过输液泵(型号为 PHD2000,哈佛仪器)送入 MFC 反应器中,入口流量设为(2.5~7) mL/d,且始终保持 MFC 外电阻比内电阻大 50 Ω。醋酸盐浓度影响仿真分析中设入口流量  $F_{in}=2.5$  mL/d,改变输入信号:MFC 流入物中醋酸盐的浓度,其变化情况如图 9 所示。

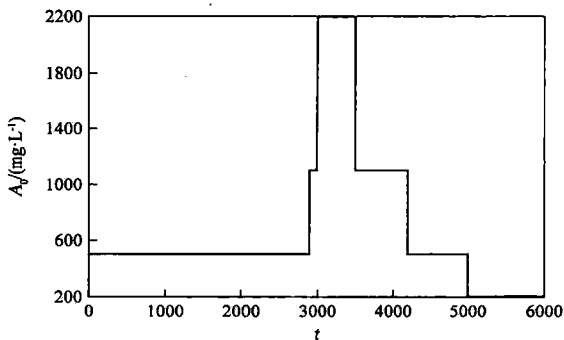


Fig.9 Setpoint of acetate concentration in the inflow.  
图 9 流入物中醋酸盐浓度的给定值

运行仿真得出流出物中醋酸盐的浓度、MFC 输出电流、电压以及功率的响应曲线,如图 10~图 13 所示。

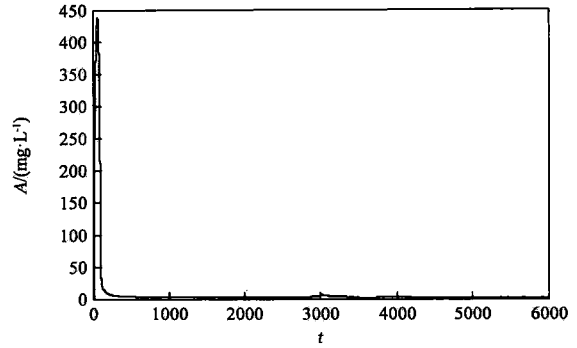


Fig.10 Variation curve of acetate concentration in the effluent.  
图 10 流出物中醋酸盐的浓度变化曲线

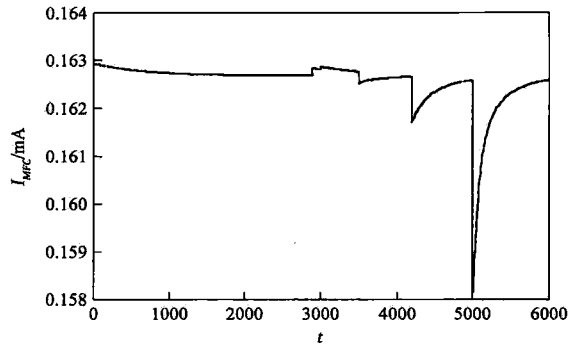


Fig.11 Output current variation curve of MFC.  
图 11 MFC 输出电流变化曲线

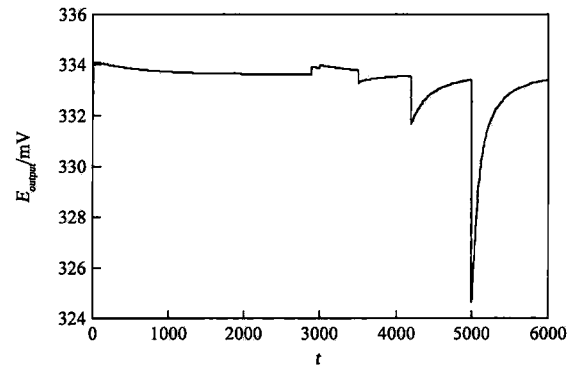


Fig.12 Output voltage variation curve of MFC.  
图 12 MFC 输出电压变化曲线

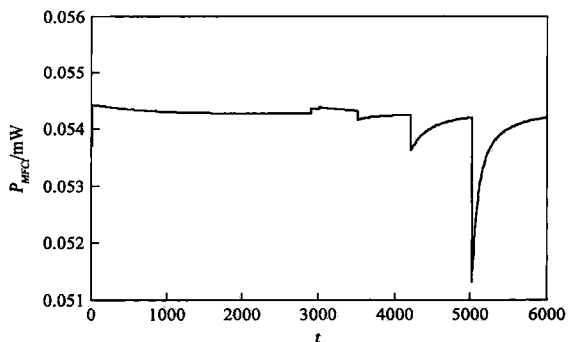


Fig.13 Output power variation curve of MFC.  
图 13 MFC 输出功率变化曲线

初始时刻流入物中醋酸盐浓度  $A_0$  为 500 mg/L,在仿

真时间  $t=2900$  时,  $A_0$  变为  $1100 \text{ mg/L}$ 。在  $t=3000$  时,  $A_0$  增加到  $2200 \text{ mg/L}$ 。在  $t=3500$  时,  $A_0$  又下降到  $1100 \text{ mg/L}$ 。 $t=4200$  时,  $A_0$  下降到  $500 \text{ mg/L}$ 。 $t=5000$  时,  $A_0$  又降至  $0$ , 之后保持不变。

由上述图中可知, 输入物中醋酸盐浓度的变化会影响 MFC 输出电流、电压和功率。当输入发生阶跃变化时输出电压、电流、功率的波形都会出现正负脉冲, 系统表现为非线性且稳定性较差。阶跃幅值越大, 脉冲幅度越大。但电流、电压以及功率数量级较小, 仅在小范围内变化, 而流出物中醋酸盐的浓度变化较明显。

### 6 最大功率条件下醋酸盐对 MFC 性能的影响

当外电阻为  $1000 \Omega$  时, MFC 的功率最大, 此时可对比流入物分别为  $10 \text{ mg/L}$ 、 $50 \text{ mg/L}$ 、 $100 \text{ mg/L}$ 、 $500 \text{ mg/L}$ 、 $800 \text{ mg/L}$ 、 $1000 \text{ mg/L}$  时, 流出物中醋酸盐的浓度、MFC 电流、电压、功率各自的变化情况。仿真图如图 14 所示。

在 MFC 启动阶段, 电流、电压、功率在不同的  $A_0$  条件下, 响应不同, 启动阶段的变化情况如图 15~图 17 所示。

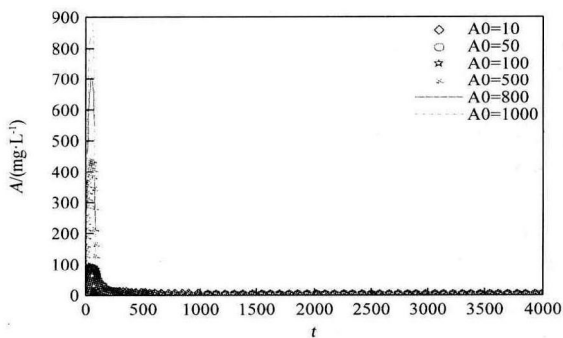


Fig.14 Comparison curve of acetate concentration in the effluent for different  $A_0$ .

图 14 不同  $A_0$  流出物中醋酸盐浓度比较曲线

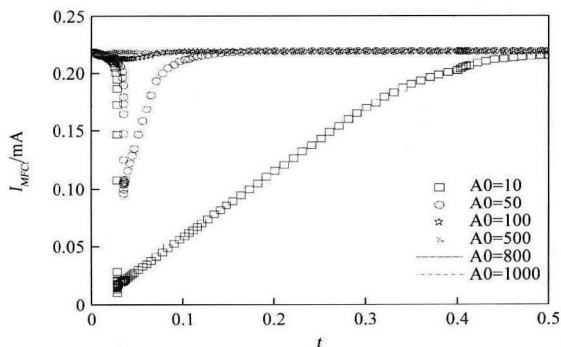


Fig.15 Current curve for different  $A_0$  at start stage.

图 15 启动阶段不同  $A_0$  MFC 电流曲线

由图 15 可知, 在 MFC 启动阶段, 电流先减小后增大, 且随着流入物中醋酸盐浓度的增加, 电流变化越小, 变化速率也越慢。

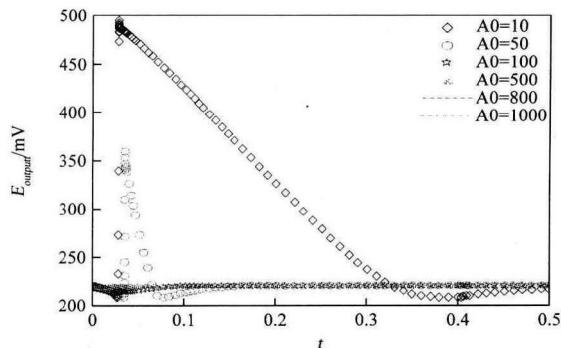


Fig.16 Voltage curve for different  $A_0$  at start stage.

图 16 启动阶段不同  $A_0$  MFC 电压曲线

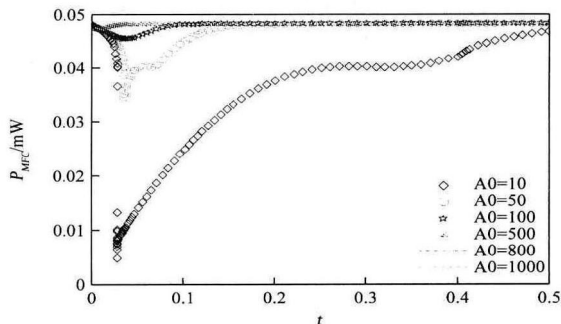


Fig.17 Power curve for different  $A_0$  at start stage.

图 17 启动阶段不同  $A_0$  MFC 功率曲线

由图 16、图 17 可知, 流入物中醋酸盐的浓度越大, 醋酸盐的消耗速率越大, MFC 电流、电压、功率变化速率也越大。当醋酸盐浓度较小时, MFC 电流、电压、功率的波动明显。浓度越大, 启动阶段的波动越小。因此流入物中醋酸盐的浓度不仅影响 MFC 的反应速率, 同时也对系统的稳定性有很大影响。

### 7 结果与讨论

本论文在分析微生物燃料电池的基本结构及工作原理的基础上, 根据微生物燃料电池反应器的氧化还原反应和物料平衡方程, 在 MATLAB 环境下建立了微生物燃料电池的 Simulink 仿真模型。对微生物燃料电池的产电机理和电流、功率的影响因素进行了分析。通过对该模型的分析, 得出影响微生物燃料电池的电流、电压和功率的限制因素。在今后的研究中, 将设计微生物燃料电池电流和功率的控制算法, 以达到地较好控制微生物燃料电池电流和功率的目的。

#### 符号说明

$A_0$	流入物中醋酸盐的浓度, $\text{mg-AL}^{-1}$
$A$	流出物中醋酸盐的浓度, $\text{mg-AL}^{-1}$
$A_{sur}$	阳极表面积, $\text{m}^2$
$D$	稀释速率, $\text{Ld}^{-1}$
$E_{thermo}$	MFC 热力学最大电势, V
$F$	法拉第常数 (每摩尔电子所带的电荷量), $\text{Admole}^{-1}$

$F_{in}$	输入流量, $Ld^{-1}$
$i_0$	参考状态下介体氧化的转换电流密度, $Am^{-2}$
$I_{MFC}$	MFC 电流, A
$K$	莫诺(半速率)常数
$K_d$	衰减速率, $d^{-1}$
$m$	每摩尔介体转移的电子数, $mol-e \cdot mol_{med}^{-1}$
$M_{ox}$	单位产电菌氧化的介体值, $mg-Mmg \cdot x^{-1}$
$M_{red}$	单位产电菌减少的介体值, $mg-Mmg \cdot x^{-1}$
$M_{Total}$	单位菌种的总介体量, $mg-Mmg \cdot x^{-1}$
$q_e$	产电微生物消耗底物的速率, $mg-Amg \cdot x^{-1}L^{-1}$
$q_m$	产甲烷微生物消耗底物的速率, $mg-Amg \cdot x^{-1}L^{-1}$
$q_{max,e}$	产电菌消耗底物最大速率, $mg-Amg \cdot x^{-1}d^{-1}$
$q_{max,m}$	产甲烷菌消耗底物最大速率, $mg-Amg \cdot x^{-1}d^{-1}$
$R_{ext}$	外电阻, $\Omega$
$R_{int}$	内电阻, $\Omega$
$R$	理想气体常量, $JK^{-1}mol^{-1}$
$t$	时间, d
$T$	MFC 的温度, K
$V$	阳极室容积, L
$x_e$	产电微生物的浓度, $mg \cdot xL^{-1}$
$x_m$	产甲烷微生物的浓度, $mg \cdot xL^{-1}$
$Y_M$	中介体产量, $mg-Mmg \cdot A^{-1}$
$\mu_e, \mu_m$	增长速率, $d^{-1}$
$\alpha_e, \alpha_m$	无量纲的生物膜保留常数
$\gamma$	介体摩尔质量, $mol-Mmol_{med}^{-1}$
$\mu_{max,e}$	产电菌最大生长率, $d^{-1}$
$\mu_{max,m}$	产甲烷菌最大生长率, $d^{-1}$
$\eta_{act}$	活化过电势, V
$\eta_{conc}$	浓度过电势, V

## References:

- 1 Logan B E, Regan J M. Microbial fuel cells challenges and applications. *Environmental Science and Technology*, 2006, 40: 5172-5180.
- 2 Harmand J, Rapaport A, Dochain D, Lobry C. Microbial ecology

- and bioprocess control: opportunities and challenges. *Journal of Process Control*, 2008, 18:865-875.
- 4 Pinto R P, Srinivasan B, Manuel M F, Tarako Vsky B. A two-population bioelectrochemical model of a microbial fuel cell. *Bioresource Technology*, 2010, 101:5256-5265.
- 5 Pinto R P, Tartakovsky B, Srinivasan B. Optimizing energy productivity of microbial electro-chemical cells. *Journal of Process Control*, 2012, 22:1079-1086.
- 6 Pinto R P, Srinivasan B, Escapa A, Tartakovsky B. A multi-population model of a Microbial electrolysis cell. *Environmental Science and Technology*, 2011, 45:5039-5046.
- 8 Woodward L, Perrier M, Srinivasan B, Pinto R P, Tarakovsky B. Comparison of real time methods for maximizing power output in microbial fuel cells. *AIChE Journal*, 2010, 56:2742-2750.
- 9 Jadhav G S, Ghangrekar M M. Performance of microbial fuel cell subjected to variation in pH, temperature, external load and substrate concentration. *Bioresource Technology*, 2009, 100: 717-723.
- 15 Shimoyama T, Komukai S, Yamazawa A, Ueno Y, Logan B E, Watanabe K. Electricity generation from model organic wastewater in a cassette-electrodemicrobial fuel cell. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2008, 80:325-330.
- 16 Logan B E. Scaling up microbial fuel cells and other bioelectrochemical systems. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2010, 85:1665-1671.

## 中文参考文献

- 3 连静, 冯雅丽, 李浩然, 等. 微生物燃料电池的研究进展[J]. *过程工程学报*, 2005, 6(2):334-338.
- 7 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):3694-3899.
- 10 孙敏. 微生物燃料电池的功能拓展和机理解析[D]. 合肥:中国科学技术大学, 2009.
- 11 张金娜, 赵庆良, 尤世界. 生物阴极微生物燃料电池不同阴极材料产电特性[J]. *高等学校化学学报*, 2010, 31(1):162-166.
- 12 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*, 26(8):1252-1257.
- 13 曹效鑫. 微生物燃料电池中产电菌与电极的作用机制及其应用[D]. 北京:清华大学, 2009.
- 14 梁鹏, 范明志, 曹效鑫, 等. 微生物燃料电池表现内阻的构成和测量[J]. *环境科学*, 2007, 28(8):1894-1898.

## Analysis of main factors of the effects microbial fuel cell on performances of electricity production and performance test

An Aimin<sup>1</sup>, Zhang Aihua<sup>1</sup>, Zhang Haochen<sup>1</sup>, Wang Jing<sup>1</sup>, Zhi Yong<sup>2</sup> and Qian Weijiang<sup>2</sup>

(1. College of Electrical and Information Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, Gansu Province, China)  
(2. Institute of Electrical and Information Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, Gansu Province, China)

**Abstract:** Microbial fuel cell (MFC) Simulink model was built in the environment of MATLAB based on the mechanism model of the MFC in this work, the main factors effecting the performance of MFC organic load (concentration of acetate inflow in charge) and load (resistance) are analyzed in detail, the effects of concentration and acetate inflow in charge the load on the MFC output voltage, current and power are tested and analyzed, simulated on MFC, and, when the external resistance and resistance is equal, MFC can produce maximum power.

**Keywords:** microbial fuel cell; organic load; charge load; maximum power generation; internal and external resistor matching

(Received: 2014-09-28; Revised: 2014-10-11)