

# 质子交换膜燃料电池动态启动特性的实验研究

卫 星 樊进宣 林 鸿 李增耀 陶文铨

(西安交通大学能源与动力工程学院, 动力工程多相流国家重点实验室, 陕西 西安 710049)

**摘 要** 实际应用时燃料电池的运行条件会随时间不断地变化, 因此是一个非稳态过程。本文研究了在不同的加湿条件以及反应气流量下电池的启动特性。结果表明: 随着气体流量的增大, 电池启动速度加快; 对电池加湿有利于提高电池的启动性能。

**关键词** 质子交换膜燃料电池; 运行条件变化; 启动特性

**中图分类号:** T124 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-231X(2009)09-1555-03

## EXPERIMENTAL STUDY ON THE DYNAMIC START-UP CHARACTERISTICS OF PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELL

WEI Xing FAN Jin-Xuan LIN Hong LI Zeng-Yao TAO Wen-Quan

(The State Key Lab of Multiphase Flow in Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract** As the operating condition often changes with time, the fuel cell experiences an unsteady process during its practical application. The start-up characteristics of fuel cell in different humidifier temperature and gases flux are studied in this paper. The result shows that the gases flux has an important effect on the start-up of fuel cell. Besides, it is also helpful for the start-up of fuel cell to humidify the reactive gases.

**Key words** PEM fuel cell; operating condition change; start-up characteristics

### 0 前 言

燃料电池在实际运行与操作中电池的性能不是稳定不变的, 而是经常随时间不断变化的, 引起变化的原因很多, 主要包括气体浓度, 膜内水含量等随时间的变化, 以及操作条件的改变。下面对作者所检索到的有关文献做一简要综述。Philipps 等研究了电池堆在突变负载时的动态响应<sup>[1]</sup>。Liu Xuan 等对质子交换膜单电池进行了动态性能的研究, 通过可视化实验发现, 如果排水性能不好, 由于液态水堵塞气体通道, 燃料电池的性能会随着时间的推进逐渐变差<sup>[2]</sup>。王诚, 毛宗强通过对 5 kW 燃料电池堆的动态研究, 发现负载突变时电池的电流在 1 s 分辨率下不发生波动, 而大负载突然变为 0 时开路电压会出现波动<sup>[3]</sup>。Shen Q 等研究了在不同的计量比下突变电流时电压的响应<sup>[4]</sup>。本文主要研究了在不同加湿条件以及不同反应气流量下电池的启动特性。

### 1 实验系统及方法介绍

实验中使用的质子交换膜为杜邦公司生产的 nafion1035, 有效面积为 25 cm<sup>2</sup>, 该膜厚度为 89 μm,

催化剂采用 Pt/C, 20 wt%, Pt 的用量是 0.4 mg/cm<sup>2</sup>, 电极以碳纸为支撑体, 碳纸厚度 0.2 mm, 反应气体阴极为氧气, 阳极为氢气, 氢气和氧气都从上往下流动。流场板采用平直型流道, 流道宽 2.5 mm, 长度 50 mm, 深度 1 mm, 10 条流道, 肋宽 2.78 mm。图 1 为该燃料电池实验台的系统示意图。电池通过电子负载进行放电, 瞬态电压通过用吉时利数据采集卡测量电池两个极板之间的电压获得, 而瞬态电流

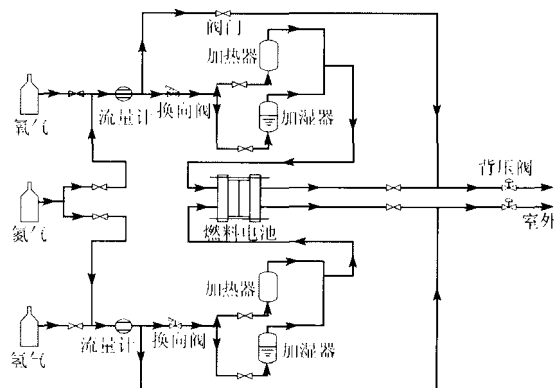


图 1 实验台总体系统图

Fig. 1 Diagram of the fuel cell test rig

收稿日期: 2008-12-31; 修订日期: 2009-07-18

基金项目: 国家自然科学基金 (No.50636050)

作者简介: 卫 星 (1981-), 男, 江苏苏州人, 硕士, 主要从事质子交换膜燃料电池的研究。

则是在电路上串联一个固定电阻  $R$ ，通过数据采集卡测量电阻两端的电压获得。图 2 为燃料电池启动特性线路示意图。

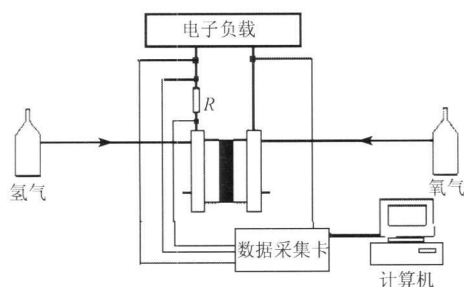


图 2 燃料电池启动特性线路示意图  
Fig. 2 Schematic for dynamic response measurement

## 2 实验结果及分析

### 2.1 电池的启动特性

燃料电池的启动，可分为冷启动和热启动两种。冷启动是指当系统待机时，通过开关电路控制阀门，使气体停留在进气口，系统工作时电路控制阀门打开，气体由进气口处进入 PEMFC。热启动是指即使当系统待机时也将氢气注入 PEMFC 的阳极和阴极<sup>[5]</sup>。冷启动时，系统待机时气体未进入电池，不会发生燃料泄漏，系统能更加安全的工作；缺点是整个系统的滞后时间会延长<sup>[6,7]</sup>。热启动的优点是系统的启动更快（毫秒级别），而且滞后时间会有有效的缩短，缺点是容易造成气体的泄露。对本实验中的单电池，两种启动方式下电压响应曲线如图 3 所示。

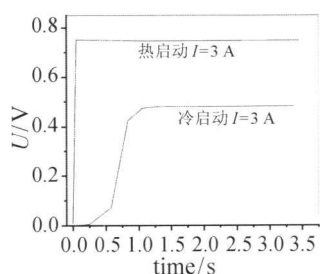


图 3 不同启动方式响应时间比较  
Fig. 3 Comparison of response time at different start-up way

鉴于冷启动方式的响应速度远比热启动要慢，热启动时响应速度很快，以致超出了实验中数据采集卡的最小分辨时间。为保证时间测定的准确度，本文中着重研究冷启动方式，启动时设定电子负载为定电流工作模式，观察电压随时间的变化。

### 2.2 不加湿时电池启动响应

图 4 是不加湿时候小流量下 (0.12 L/min) 不同电流下的电池启动响应。从图中可以看到，在流量较小时，电池从开始通气到达到正常运行状态需要

很长的一段时间，因为电池启动后流道内气体的浓度是逐渐升高的，大电流下电压从 0 时刻开始到达稳定的时间比小电流下要长，因为电流越大，单位时间内到达催化层的反应物就越多，需要的气体量也越大。3 A 时在 100 s 左右，7 A 时候在 130 s 左右电压已经基本不变化，但是在 13 A 下到了 170 s 电压还在不断上升。在小电流下电压上升过程中有很大的波动，这可能是由于小电流下水分不足，导致膜的导电性能变差的缘故，而大电流下电压上升的过程则比较平稳。

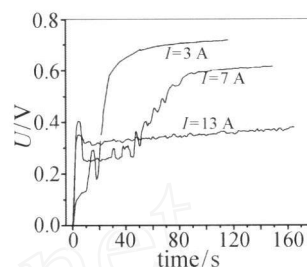


图 4 不加湿小流量下  
Fig. 4 Un-humidify and low gases flux

图 5 是大流量下 (0.4 L/min) 不加湿时电池启动响应。从图中可以发现，当流量提高时电池的启动响应时间极大的缩短，比流量为 0.12 L/min 时提高了两个数量级，电压基本在 1 s 左右就达到了稳定值。在大电流下达到稳定的时间较小电流下要长一些，原因上面已经提到，电流越大，就需要有更多的电荷转移到双电荷层，建立稳态下的电压所需的时间也就越长<sup>[5]</sup>。13 A 下达到稳定的时间大约比 3 A 下电压达到稳定值要长 0.5 s 左右。

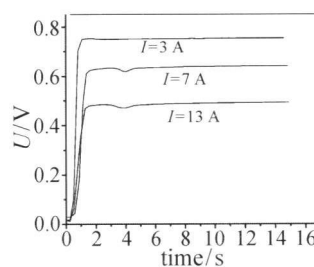


图 5 不加湿大流量下  
Fig. 5 Humidify and large gases flux

### 2.3 加湿时电池启动响应

图 6 是加湿温度为 30°C 时小流量 (0.12 L/min) 下电池在不同电流下的启动响应，与图 4 相比，在小流量下，燃料气体加湿时电池的启动响应比不加湿时快得多，上升过程也比不加湿时更加平稳。电压在 3 s 内上升到一个距离平衡电压比较接近的值，在随后的几十秒内电压缓慢上升然后趋于恒定，没

有很大的波动,这是由于在加湿条件下气体进入电池时膜能得到较好的润湿,使其导电性保持在一个比较高的水平。电流越大,电压达到稳态值的时间就越长。这和前面不加湿小流量下的情况一致。

图 7 是加湿温度为 30°C 时大流量 (0.4 L/min) 下电池启动的动态响应,和加湿小流量下相比,响应更加快速,在不到 1 s 内电压上升到最高点以后基本维持在一个定值;和不加湿大流量下相比两者差别不是很大,前者比后者大约快 0.5 s 左右。

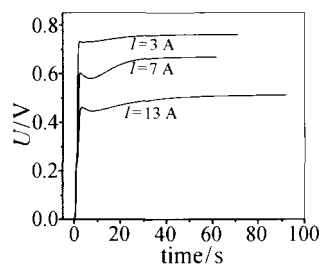


图 6 加湿温度为 30°C 时小流量下启动特性

Fig. 6 Start-up process at 30°C humidifier temperature and low gases flux

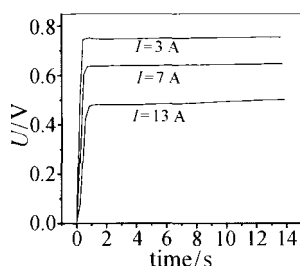


图 7 加湿温度为 30°C 时大流量下启动特性

Fig. 7 Start-up process at 30°C humidifier temperature and low gases flux

图 8 是加湿温度为 60°C 时小流量下电池的启动响应,和加湿温度为 30°C 时的小流量下相比,电池电压到达稳态的速度有明显加快,说明高的加湿温度使电池启动时增强了膜的导电性,以及增强了催化剂的活性,因此启动更快。电池达到基本平衡点的时间在 1 s 以内,之后有很小的变化。

图 9 是大流量加湿温度为 60°C 时电池启动响应,和小流量 60°C 下相比,大流量下电压突然上升到达相对平衡点的时间和小流量下没有很大的差别,这说明在加湿温度为 60°C 时小流量和大流量下电池的启动速度没有明显的差别,只是小流量下电池达到基本平衡点之后的几十秒内电池的电压有略微的变化,而大流量下基本维持不变。

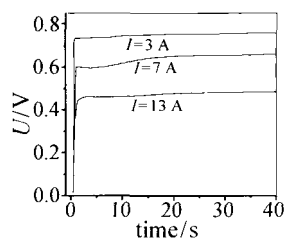


图 8 加湿温度为 60°C 时小流量下启动特性

Fig. 8 Star-up process at 60°C humidifier temperature and low gases flux

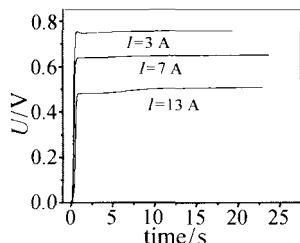


图 9 加湿温度为 60°C 时大流量下启动特性

Fig. 9 Star-up process at 60°C humidifier temperature and low gases flux

图 10 是将图 9 在时间坐标上局部放大,观察加湿温度为 60°C 时大流量下不同电流下电池启动时间的比较。可以看到,在该条件下不同电流下电池启动时电压达到相对稳定值的时间都在 0.75 s 以内,同时电流越小,启动时电压随时间变化的斜率越大,说明在小电流下电池的启动速度比大电流下要快。

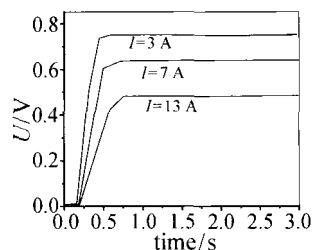


图 10 在 3 s 内加湿温度为 60°C 时大流量下启动特性  
Fig. 10 The start-up of fuel cell at 60°C humidifier temperature and large gases flux in 3 seconds

### 3 结 论

(1) 大流量下电池启动速度比小流量下电池启动速度明显加快。

(2) 在小流量下燃料气体加湿时电池启动响应速度比不加湿状态下要快得多,在大流量下加湿和不加湿启动速度没有多大差别。

### 参 考 文 献

- [1] Philipps F, Simons G, Schiefer K. Dynamic Investigation of PEFC Stacks in Interaction with the Air Supply System. *Journal of Power Sources*, 2006, 154: 412-419
- [2] LIU X, Guo H, YE F, et al. Flow Dynamic Characteristics in Flow Field of Proton Exchange Membrane Fuel Cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2008, 33: 1040-1051
- [3] 王诚, 毛宗强, 谢晓峰, 等. PEM 燃料电池堆动态特性研究. *化工学报*, 2004, 55: 234-237  
WANG Cheng, MAO Zong-Qiang, XIE Xiao-Feng, et al. Study on the Dynamic Characteristics of PEM Fuel Stack. *Journal of Chemical Industry*, 2004, 55: 234-237
- [4] SHEN Q, HOU M, YAN X Q, et al. The Voltage Characteristics of Proton Exchange Membrane Fuel Cell Under Steady and Transient States. *Journal of Power Sources*, 2008, 179: 292-296
- [5] 李奇, 湛耀添, 区永江, 等. 质子交换膜燃料电池的电响应研究. *电池*, 2006, 36: 359-361  
LI Qi, ZHAN Yao-Tian, QU Yong-Jiang, et al. Study on the Electrical Response of PEMFC. Cell, 2006, 36: 359-361
- [6] James L, Andrew D. *Fuel Cell Systems Explained*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2003
- [7] Pathapati P R, Xue X, Tang J. A New Dynamic Model for Predicting Transient Phenomena in PEM Fuel Cell System. *Renewable Energy*, 2005, 30(1): 1-221