

阴极不同进气对 PEMFC 性能影响的实验研究

闵春华 林 鸿 侯志斌 李增耀 何雅玲 陶文铨

(西安交通大学动力工程多相流国家重点实验室, 陕西 西安 710049)

摘 要 针对阴极通纯氧气或空气两种情况, 实验研究了温度及化学计量比的变化对反应面积为 9 cm^2 、具有平行流场的 PEMFC 性能的影响。结果表明: 升高电池温度可提高 PEMFC 的性能及极限电流密度; 在本实验条件下, 为提高电池性能, 阴极通纯氧时, 阳极化学计量比 / 阴极化学计量比应高于 1.5/3.0, 通空气时, 两者之值应高于 3.0/6.0; 相对于阴极通空气的情况, 阴极通氧气时电池性能显著提高, 故在条件允许的前提下应尽量以纯氧作为氧化气体。

关键词 质子交换膜燃料电池性能; 平行流场; 氧化气体; 化学计量比

中图分类号: TK124 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-231X(2007)03-0496-03

EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF DIFFERENT OXIDANT ON PEMFC PERFORMANCE

MIN Chun-Hua LIN Hong GOU Zhi-Bin LI Zeng-Yao HE Ya-Ling TAO Wen-Quan

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

Abstract The performance of PEMFC with pure oxygen or air as oxidant is experimentally compared. The reaction area of the PEMFC is 9 cm^2 , and the conventional parallel flow field is used. The experimental results show that the performance and limited current density of the PEMFC are enhanced with increasing operational temperature. Under the condition of present experiment, the anode stoichiometry/cathode stoichiometry should be larger than 1.5/3.0 with oxygen as oxidant, and the two parameters should be larger than 3.0/6.0 with air as oxidant. Compared with the condition of air as oxidant, the PEMFC performance can be significant improved with pure oxygen as oxidant. Therefore, it is suggested that the pure oxygen should be the preferred oxidant.

Key words performance of PEMFC; parallel flow field; oxidant; stoichiometry

1 引 言

PEMFC 具有能量转化效率高、环境友好、室温启动速度快、比能量高等优点。因此它是分散电站、可移动动力源及电动车的理想候选电源之一^[1]。正因为如此, 对 PEMFC 的研究引起了越来越多的学者的关注。影响 PEMFC 性能的两个重要因素是电池工作温度及反应气体的流量。对于电池工作温度, 早在 1988 年, Ticianelli 等^[2]就作了详细的研究。对于流量, 不同的研究者得到的结论有一定的差异。如文献 [3,4] 在实验中采用的空气化学计量比分别为 10 及 2.5; 文献 [5] 认为当空气化学计量比大于 3 时, 电池堆的性能基本与化学计量比无关, 而文献 [6] 则认为提高电池工作压力, 化学计量比为 1.0 时电池的性能与足量反应气体的情况性能相当。文献中不同

的数学模型所选择的化学计量比也不一致。对于阴极化学计量比, 其取值主要有 1.8^[7], 2.0^[8], 3.0^[9]等。这些取值是否合适, 如何确定合理的化学计量比, 是一个有待解决的问题。本文采用实验方法针对具有平行流场及有效反应面积为 9 cm^2 的 PEMFC 进行了研究, 给出了化学计量比的有效取值范围, 比较了阴极通空气或氧气时 PEMFC 性能的变化。

2 实验描述

燃料电池实验系统如图 1 所示。膜电极的有效面积是 9 cm^2 , 电解质采用杜邦公司的 Nafion1035, 催化剂采用 Pt/C, Pt 载量为 0.4 mg/cm^2 , 电极以碳纸为支撑体, 碳纸厚度 0.2 mm。极板的材料是石墨。石墨板上刻有平行流场, 流场的宽与深均为 2 mm, 共布置有 10 个平行槽道。

收稿日期: 2007-01-09; 修订日期: 2007-03-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.50236010)

作者简介: 闵春华 (1974-), 男, 湖北仙桃人, 博士研究生, 主要从事燃料电池及强化传热方面的研究。

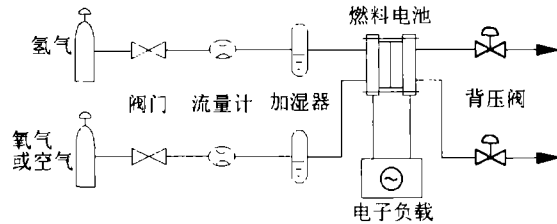


图1 燃料电池实验系统图

实验中, 阳极采用高纯氢气, 阴极分高纯氧或空气两种情况进行, 以期比较阴极两种进气对燃料电池性能的影响。氢气进入燃料电池前, 经过加湿处理, 但不加湿阴极氧化气体。实验选择了三个不同的温度测点 ($T_{\text{cell}}=30^{\circ}\text{C}$ 、 40°C 、 50°C) 并保证阳极与阴极侧工作压力恒定 (1.0×10^5 Pa)。实验时, 氢气的体积流量与氧气的体积流量保持相等。当阴极通氧气时, 氢气与氧气的体积流量变化范围均为 $30\sim 400$ mL/min; 当阴极通空气时, 氢气的体积流量变化范围为 $20\sim 200$ mL/min, 空气的体积流量变化范围为 $95\sim 952$ mL/min。

数据整理时, 以化学计量比 (ζ) 处理反应气体的流量, 其定义式为。

$$\zeta = V_{\text{in}} n F C / (I_{\text{ref}} A_{\text{react}}) \quad (1)$$

式中, V_{in} 为燃料电池进口反应气体的体积流量, m^3/s ; n 为电化学反应电子转移数; F 为 Faraday 常数, 96487 C/mol; C 为氢或氧的摩尔浓度, mol/m^3 ; I_{ref} 为参考电流密度, 取为 1 A/ cm^2 ; A_{react} 为 MEA 的反应面积, cm^2 。通过计算, 可以得到当阴极通纯氧时, 氢气 / 氧气的化学计量比变化范围为 $0.45/0.9\sim 6/12$ 。当阴极通空气时, 氢气 / 空气的化学计量比变化范围为 $0.3/0.6\sim 3/6$ 。

3 结果与讨论

首先分析阴极通氧气时 PEMFC 的性能变化情况。电池温度分别为 30°C 及 50°C 时的燃料电池性能曲线如图 2 所示。由图可知, 电池温度为 50°C 时的性能优于电池温度为 30°C 时的性能。电池温度为 30°C 时, 化学计量比的变化对电池性能影响较小, 而电池温度为 50°C 时化学计量比的变化对电池性能影响较大, 且电池性能得到提高。另外, 当电池温度为 30°C , $\zeta_{\text{a}}/\zeta_{\text{c}} > 1.5/3.0$ 时, 电池性能随化学计量比的变化较小; 而当 $\zeta_{\text{a}}/\zeta_{\text{c}} < 1.5/3.0$ 时, 电池性能随化学计量比的减小有所降低, 极限电流密度随化学计量比的减小而明显减小。其原因是: 电流密度与反应气体的浓度有关, 在其他条件不变的情况下, 较高的反应气体浓度意味着可得到较大的电流密度。对于阴极通纯氧的情况, 电流密度较小时, 催化

内氧气浓度充分, 故不同的化学计量比下, 电池性能变化较小。而随着化学计量比的减小, 通道提供的氧气量也减小, 若此时增大电流密度, 由于氧气供给量突然降低, 使电池电压突然下降, 并导致电池的极限电流密度下降。图中还显示, 当温度升高时, 电池的性能提高, 极限电流密度增大。为更明确说明这一问题, 图 3 显示了在同一电流密度下, 电池电压随 ζ_{c} 的变化情况。电流密度为 0.67 A/ cm^2 , 电池温度分别为 30°C 及 50°C 的两条曲线反映了上面的电池性能的变化规律。电流密度为 1.1 A/ cm^2 , 电池温度为 50°C 的曲线反映了当 $\zeta_{\text{c}} > 6.0$ 时, 电池电压基本不变, 这可能是因为在高化学计量比下, 高速的气流会导致燃料电池进口处膜脱水, 从而使电池性能局部下降。

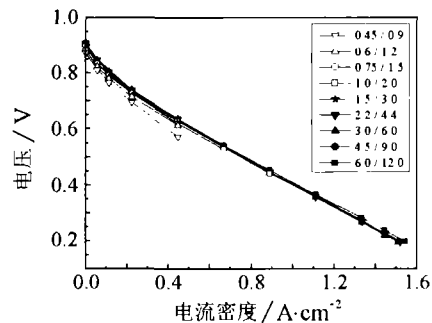
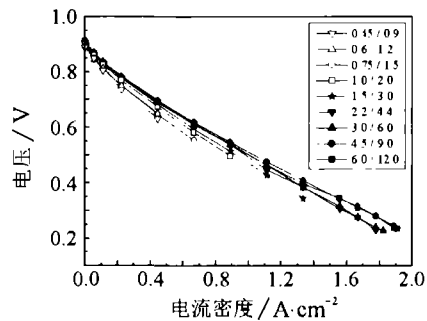
(a) $T_{\text{cell}}=30^{\circ}\text{C}$ (b) $T_{\text{cell}}=50^{\circ}\text{C}$

图2 阴极通氧气时燃料电池的性能

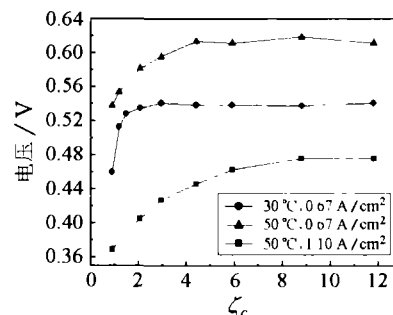


图3 化学计量比的变化

现在讨论燃料电池阴极通空气时的情况。图4显示了阴极通空气时不同温度下不同化学计量比时的燃料电池性能曲线。结果表明,随着温度升高,电池性能提高,这与阴极通氧气时的结果一致。在实验范围内 ζ_a/ζ_c 的变化对电池性能影响较大,这是因为 ζ_a/ζ_c 的变化导致催化剂层氧的浓度不同。

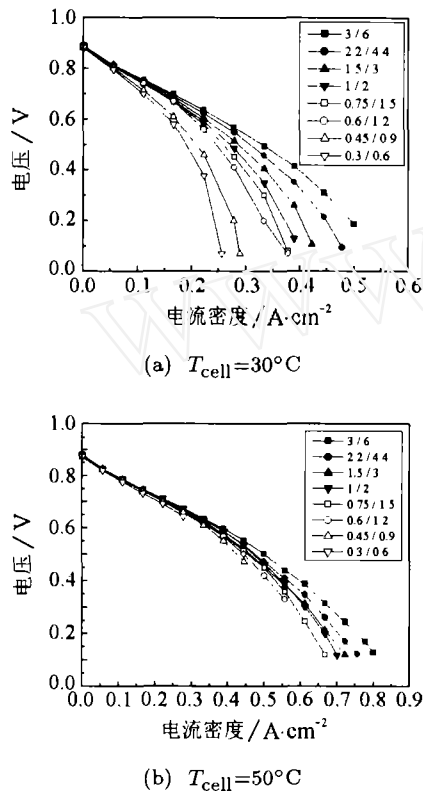


图4 阴极通空气时燃料电池性能

以上分析表明,在本实验条件下,阴极通氧气、低温且 $\zeta_c > 3$ 时,化学计量比的变化对燃料电池性能影响较小,高温时化学计量比对燃料电池性能的影响增强;阴极通空气时,化学计量比在本实验范围内变化时对燃料电池性能均有明显影响。由此可见,当阴极通纯氧时, ζ_a/ζ_c 应高于1.5/3.0,阴极通空气时, ζ_a/ζ_c 应高于3.0/6.0。

最后来比较阴极通氧气或空气时燃料电池的性能的区别。图5给出了电池温度为50°C时 $\zeta_a/\zeta_c = 0.45/0.9$ 及3/6时燃料电池性能曲线。可以看出,阴极通氧气时燃料电池性能明显优于阴极通空气时燃料电池的性能,且反应气体充足时,前者极限电流密度几乎为后者的两倍。图中还显示,当化学计量比减小时,阴极通氧气时燃料电池的极限电流密度的减小程度要明显高于阴极通空气时燃料电池极限电流密度的减小程度。但是,阴极通氧气时电池的性能始终高于阴极通空气时电池的性能。

另外考虑到氧气比氢气更易获得,故本文建议,在条件允许的前提下应尽量以纯氧作为氧化气体。

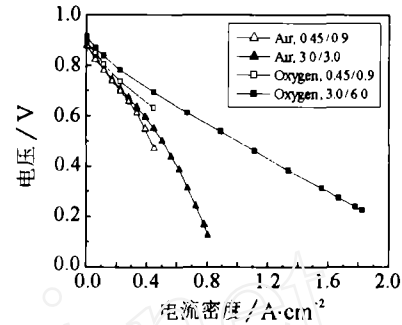


图5 阴极通氧气或空气的对比 ($T_{cell} = 50^\circ\text{C}$)

4 结论

(1) 提高电池温度可以提高 PEMFC 的性能,且对于阴极通氧气的情况,温度升高还有利于增大 PEMFC 的极限电流密度。

(2) 当阴极通纯氧时,阳极化学计量比/阴极化学计量比应高于1.5/3.0,通空气时,阳极化学计量比/阴极化学计量比应高于3.0/6.0。

(3) 阴极通氧气时的电池性能明显高于通空气时的性能,因此建议在条件允许的条件下应尽量以纯氧作为氧化剂。

参 考 文 献

- [1] 衣宝廉, 著. 燃料电池—原理技术应用. 北京: 化学工业出版社, 2003
- [2] Ticianelli E A, Derouin C R, Sromovasam S. Localization of Platinum in Low Catalyst Loading Electrodes to Attain High Power Densities in SPE Fuel Cells. *J. Electroanal Chem.*, 1988, 251(2): 275-295
- [3] Qi Z, Kaufman A. Activation of Low Temperature PEM Fuel Cells. *J. Power Sources*, 2002, 111(1): 181-184
- [4] Menzer R, Höhle B. Analysis of Energy and Water Management in Terms of Fuel-Cell Electricity Generation. *J. Power Sources*, 1998, 71(1-2): 294-301
- [5] 秦敬玉, 毛宗强, 徐景明, 等. 过量空气系数对燃料电池发动机输出特性的影响. *汽车工程*, 2004, 26(4): 379-381
- [6] 刘璋, 郭航, 马重芳. 质子交换膜燃料电池低化学计量比的性能研究. *工程热物理学报*, 2005, 26(6): 1025-1027
- [7] Um S, Wang C Y. Three-Dimensional Analysis of Transport and Electrochemical Reactions in Polymer Electrolyte Fuel Cells. *J. Power Sources*, 2004, 125(1): 40-51
- [8] Picot D, Metkemeijer R, Bezia J J, et al. Impact of the Water Symmetry Factor on Humidification and Cooling Strategies for PEM Fuel Cell Stacks. *J. Power Sources*, 1998, 75(2): 251-260
- [9] Bernardi D M. Water-Balance Calculations for Solid-Polymer-Electrolyte Fuel Cells. *J. Electrochem Soc.*, 1990, 137(11): 3344-3350