

质子交换膜燃料电池短时微重力性能实验研究

郭航¹ 赵建福² 刘璿¹ 叶芳¹ 万士昕² 马重芳¹

- (1. 北京工业大学环境与能源工程学院传热强化与过程节能教育部重点实验室, 传热与能源利用北京市重点实验室, 北京 100124;
2. 中国科学院力学研究所国家微重力实验室, 北京 100190)

摘要 利用落塔开展了不同重力情况下质子交换膜燃料电池性能的实验研究。对常重力和微重力条件下质子交换膜燃料电池发电时其阴极蛇形流场内部的两相流动开展了可视化现场观测。对重力因素对质子交换膜燃料电池内部传质过程的影响进行了分析和讨论。实验结果表明: 在常重力环境中, 液态水堆积在竖置流道的底部, 无法有效排出。聚集在流道内的液态水与反应气体在流道内形成气/液两相流动。在微重力环境中, 液态水在气体推动力的作用下从流道的底部上升并沿流道向出口流动。聚集在流道内的液态水排除后, 减小了反应气体(氧气)从流道向催化层的传递阻力, 从而使质子交换膜燃料电池的性能得到提高。

关键词 质子交换膜燃料电池; 微重力; 传质; 两相流; 可视化

中图分类号: TM911.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-231X(2009)08-1376-03

EXPERIMENTAL STUDY OF PERFORMANCE OF PROTON EXCHANGE MEMBRANE FUEL CELLS IN SHORT-TERM MICROGRAVITY CONDITION

GUO Hang¹ ZHAO Jian-Fu² LIU Xuan¹ YE Fang¹ WAN Shi-Xin² MA Chong-Fang¹

- (1. Key Laboratory of Enhanced Heat Transfer and Energy Conservation, Ministry of Education and Key Laboratory of Heat Transfer and Energy Conversion, Beijing Municipality, College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;
2. National Microgravity Laboratory, Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract An experimental investigation of proton exchange membrane fuel cells performance under different gravity conditions has been conducted in a drop tower. An in situ visual observation of two-phase flow inside cathode serpentine flow field of a proton exchange membrane fuel cell in normal gravity and microgravity has been performed, respectively, while the fuel cell generated electric-power. The effect of gravity on mass transfer in proton exchange membrane fuel cells was analyzed and discussed. The experimental results indicate that the liquid water accumulate in the bottom of the vertical flow channels in normal gravity condition and can not discharge effectively. The accumulated liquid water and reactant gas form the gas-liquid two-phase flow in flow channels. In micro gravity condition, however, the accumulated liquid water is pushed by gas and flows from the bottom of the channels to the outlet. Removing accumulated liquid water reduces the transport resistance of reactant gas (oxygen) from channels to catalyst layer, and enhances the performance of proton exchange membrane fuel cells.

Key words proton exchange membrane fuel cells; microgravity; mass transfer; two-phase flow; visualization

0 前 言

燃料电池的能量转换效率高, 环境友好, 比功率高。在一些成本容忍度较大的特殊领域, 如: 航天^[1]、军事等, 一直占有一席之地。

燃料电池与载人航天息息相关, 因为其既能为飞船提供主电源或辅助电源, 其电化学反应的副产品——水又可以为宇航员饮用。航天用燃料电池已经

收稿日期: 2008-12-10; 修订日期: 2009-06-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.50406010)

作者简介: 郭航 (1970-), 男, 北京人, 教授, 博士, 主要从事燃料电池热物理、制冷空调方面的研究。

历经三代, 目前仍在使用的第三代航天用燃料电池—石棉膜型碱性燃料电池最著名的应用是它作为主电源被用于航天飞机上。还有专家指出, 作为寿命一个月左右的航天器主电源, 燃料电池具有传统航天电源无法比拟的优点^[2]。

此前作者开展的直接甲醇燃料电池短时微重力实验结果表明: 空间电源与地面电源在运行环境上的差异主要集中在重力条件方面。而重力环境的差异无疑将改变燃料电池内部的流体分配和温度分布规律, 从而影响电化学反应过程, 进而对燃料电池的性能产生重要影响^[3,4]。本文利用落塔对质子交换膜燃料电池在短时微重力条件下的传质和两相流现象及其对电池输出性能的影响开展了实验研究。

1 实验系统

本文自行设计搭建了微重力落塔实验专用的燃料电池实验系统, 还设计加工了实验用燃料电池。自制的质子交换膜燃料电池采用石墨流场板。阴极和阳极流场板上均加工有蛇形流道。流道宽 2 mm, 深 2 mm, 相邻两条流道之间的脊的宽度为 2 mm。实验过程中燃料电池直立放置, 此时长流道是竖直的。为方便凝水排出, 阳极和阴极均布置成进口在上, 出口在下。阴极端板材料选用透明的聚碳酸酯以方便可视化拍摄。实验电池选用 Nafion 112 膜作固体电解质, 阴极和阴极催化剂均为载量为 1 mg/cm^2 的 Pt, 膜电极组件的有效面积为 25 cm^2 。实验中采用高纯氢气作为阳极燃料, 阴极的氧化剂采用高纯氧气。

将实验系统放入落塔的吊仓中, 然后封仓并将吊仓提升至 83 m 高度, 稳定后进行一次常重力下的实验。随后释放吊仓, 在吊仓自由下落过程中可获得约 10^{-3} g 的微重力水平, 在整个过程中系统自动进行微重力条件下的实验测试和拍摄。

2 结果与讨论

图 1 是两次微重力实验及其相关常重力实验的结果。两次微重力实验间的不同之处在于燃料电池外电路的电阻负载阻值不同。每次微重力实验, 除重力条件外, 其他运行工况与对应的常重力实验中保持一致。实验过程中阴极氧气进口流量始终保持 60 mL/min , 阳极氢气进口流量为 180 mL/min , 阳极和阴极的出口压力均为 0 kPa (表压), 燃料电池工作温度为 35°C 。

图 1 中的完整极化曲线和功率密度曲线实验是在地面完成的。在 83 m 高度吊仓释放前所做的实验

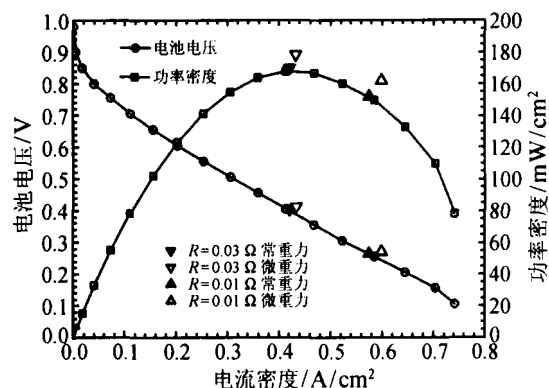
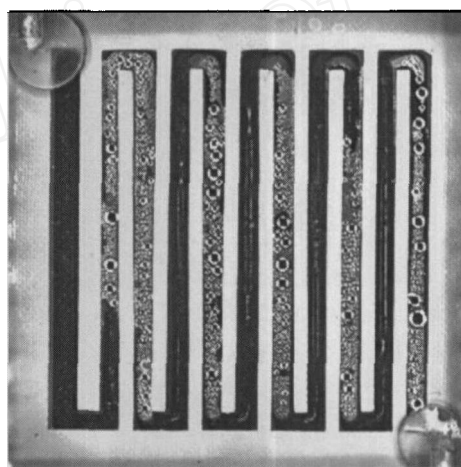
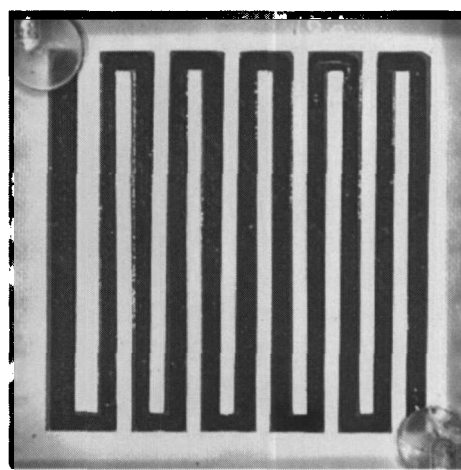


图 1 微重力落塔实验质子交换膜燃料电池性能曲线
Fig. 1 Performance of proton exchange membrane fuel cells in microgravity drop tower experiments



(a) 常重力
(a) Normal gravity



(b) 微重力
(b) Microgravity

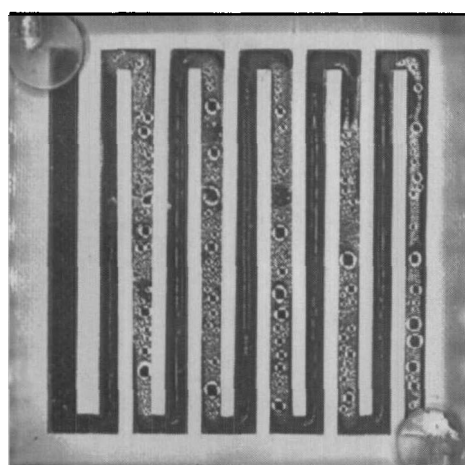
图 2 阴极流场可视化图像 ($R=0.03 \Omega$)

Fig. 2 Images of cathode flow field ($R=0.03 \Omega$)

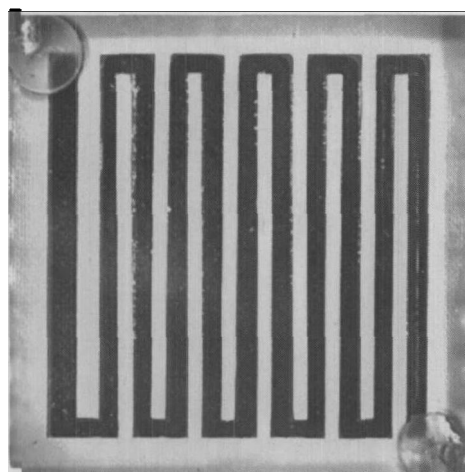
点(图 1 中的实心点)与地面的极化曲线及功率密度曲线吻合很好, 说明实验的复现性是有保证的。吊仓释放后, 尽管微重力时间只有 3.6 s, 但是已经使

燃料电池性能受到了明显的影响。在燃料电池外电路电阻不变的情况下, 电流密度和功率密度的上升比电池输出电压的上升更为明显。

同步进行的质子交换膜燃料电池阴极流道内两相流动的可视化拍摄有助于我们对重力因素的影响机理做更深入的分析。图 1 中外电路电阻为 0.03Ω 时的数据对应的阴极可视化图片如图 2 所示。而图 3 中的阴极可视化图片则是图 1 中外电路电阻为 0.01Ω 时的实验数据所对应的图像。



(a) 常重力
(a) Normal gravity



(b) 微重力
(b) Microgravity

图 3 阴极流场可视化图像 ($R=0.01 \Omega$)
Fig. 3 Photos of cathode flow field $R=0.01 \Omega$

现场可视化观测结果表明, 质子交换膜燃料电池在运行过程中阴极产生的水进入流道。在常重力环境中, 液态水受重力作用, 堆积在竖置流道的底部, 无法有效排出。聚集在流道内的液态水与反应气体在流道内形成气-液两相流动, 其中液相由于受到流道表面张力的影响而贴近流道壁面, 中间则

为气相核心区 (图 2(a))。在微重力环境中, 重力影响基本消失, 液态水在气相惯性力的推动下从流道的底部上升并沿流道向出口流动。聚集在流道内的液态水排除后, 原先被水淹没的扩散层暴露出来 (图 2(b)), 减小了反应气体 (氧气) 从流道向催化层的传质阻力, 从而使质子交换膜燃料电池的性能得到提高 (图 1)。

对比不同外电路负载的实验结果可以发现, 当外电路电阻小、电流密度大时 (图 3(a)) 阴极流道内的凝水多于外电路电阻大、电流密度小时 (图 2(a)) 的。在微重力条件下, 流道凝水排出的通畅 (图 3(b)) 使得大电流密度下燃料电池性能提高幅度大于小电流密度下的 (图 1)。

3 结 论

(1) 本文利用短时微重力落塔, 开展了重力因素对采用全氟磺酸膜的质子交换膜燃料电池性能影响的实验研究。对常重力和微重力条件下燃料电池发电时其内部阴极蛇形流道的气/液两相流动开展了可视化现场观测。

(2) 重力因素对本文电池流道内凝水的排除影响较大。在微重力下, 竖直通道的底部积存的液态水更容易排出, 使得反应气体传质阻力减小, 提高了燃料电池的性能。

(3) 在微重力条件下, 流道凝水的及时排除对大电流密度下燃料电池性能提高的促进作用比小电流密度下的明显。

参 考 文 献

- [1] 吴峰, 叶芳, 郭航, 等. 燃料电池在航天中的应用. 电池, 2007, 37(3): 238-240
WU Feng, YE Fang, GUO Hang, et al. The Application of Fuel Cells in Aerospace. Battery Bimonthly, 2007, 37(3): 238-240
- [2] 李国欣. 20 世纪上海航天器电源技术的进展. 上海航天, 2002, (3): 42-48
LI Guo-Xin. The Progress of Shanghai Spacecraft EPS Technology in the 20th Century. Aerospace Shanghai, 2002, (3): 42-48
- [3] 郭航, 赵建福, 律翠萍, 等. 短时微重力条件下燃料电池性能研究. 工程热物理学报, 2008, 29(5): 865-867
GUO Hang, ZHAO Jian-Fu, YE Fang, et al. Experimental Study of Fuel Cells Performance in Short Term Microgravity Condition. Journal of Engineering Thermophysics, 2008, 29(5): 865-867
- [4] GUO Hang, ZHAO Jian-Fu, YE Fang, et al. Two-Phase Flow in Fuel Cells in Short-Term Microgravity Condition. Microgravity Science and Technology, 2008, 20(3-4): 265-269