

# 安装方位对电解电池性能影响的实验研究

彭超 赵建福 杜王芳 李晶

(中国科学院力学研究所微重力重点实验室, 北京 100190)

**摘要** 本文采用缩比的可视化 SPE 电解电池模型, 研究了安装方位对电解电池阴极流道内气液两相流型及其电性能的影响。研究表明: 电解电池处于不同安装方位时, 流道内的气液两相分布状况有明显不同, 但其电性能变化不大; 电解电流的增大会导致阴极流道内气相聚集成条状气团, 但电性能并不显现任何的方位相关性。因此, 实验所研究的 SPE 电解电池在相应运控参数范围内可以实现电性能的重力无关。

**关键词** SPE 电解电池; 安装方位; 气液两相流; 电性能; 重力效应

**中图分类号:** TK123 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-231X(2013)08-1491-03

## Experimental Study of the Orientation Influence on Performance of Electrolytic Cell

PENG Chao ZHAO Jian-Fu DU Wang-Fang LI Jing

(Key Laboratory of Microgravity, Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

**Abstract** A downscaling visible SPE electrolytic cell model is used to study the orientation influence on the two-phase flow patterns inside the cathode flow field and its electrical performance. The results show that the two-phase flow patterns differ obviously with each other at different orientations, but much slight change of the electrical performance is observed. Increasing the electrolytic current will lead to elongated bubbles inside the cathode flow field which are formed by the coalescence of small bubbles. However, the electrical performance doesn't exhibit any dependence on the orientation. Thus, in the studied parameter range, the downscaling visible SPE electrolytic cell model used in the study can realize the gravity-independence of its electrical performance.

**Key words** SPE electrolytic cell; orientation; two-phase gas-liquid flow; electrical performance; gravity influence

## 0 前言

SPE 电解电池 (即固体聚合物电解电池) 因其固有的高效率与安全性, 在中长期载人航天器环控生保系统被广泛用来制取氧气。其工作过程为: 水通过阴极的集电极多孔板、阴极催化层及固态电解质膜渗透至阳极催化层, 在外加电流作用下分解成氢离子和氧气, 失去的电子由外电路吸收, 氧气作为产物经阳极流道排出电解电池供应外界使用, 而氢离子则与水结合形成水合质子, 反向渗透至阳极并接受外电路供应的电子, 生成氢分子, 随之渗透进入阴极流道, 与多余的水形成气液两相混合物并被排出电解电池。

显然, 电解电池的阴极集电极多孔板内的水、气逆向扩散过程决定了原料的供应速率和产物的排出速率, 从而影响电解电池的工作性能。而电解电池阴

极网状多联通流道内的两相介质分布特征 (即流型) 作为集电极多孔板外侧的局部边界条件, 直接影响着集电极内部的传输过程, 进而影响集电极内部传输过程与电解电池的总体工作性能。研究表明, 微重力环境下的气液两相流动与常重力条件下有着明显的区别<sup>[1]</sup>。因此, 重力对电解电池的工作性能可能具有一定的影响。为了保证基于地面常重力环境研制与检测的 SPE 电解电池空间运控中的安全、可靠, 稳妥方法是保证其性能的重力无关。

本文利用自主搭建的可视化 SPE 电解电池性能测试实验系统, 通过地面安装方位的变化, 间接地研究了重力对 SPE 电解电池内部电解制氧过程涉及的多尺度环境中伴有电化学反应过程的气液两相流动及其电性能的影响, 为长期载人航天用电解制氧技

收稿日期: 2012-12-21; 修订日期: 2013-07-23

作者简介: 彭超 (1988-), 男, 硕士研究生, 主要从事微重力多相热流体动力学研究。通信作者: 赵建福 (1967-), 男, 研究员, 博士, E-mail: jfzhao@imech.ac.cn

术的发展服务。

## 1 实验装置与实验流程

实验装置如图 1 所示。供电直流电源可以调控电解电池的电解电流强度。实验装置中采用阀门来调节供液流量，流量计用来监测供液的流量与温度。水电解可视化单电池为缩比的可视化电解电池，阴极流道区直径为 36 mm，其采用透明视窗以观测其内部气液两相流态分布及其在不同安装方位条件下的变化。采用数码摄像机记录实验过程中阴极流道内的气液两相流态变化。实验工质为去离子水。

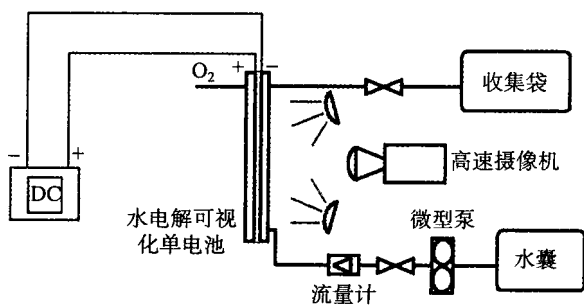


图 1 实验装置简图

Fig. 1 Schematic of test facility

实验平台由上、下两个有机玻璃平板组成，一个平板用来固定数码摄像机，另一个平板用来固定可视化电解电池，两者相对位置固定不变。通过旋转实验平台，来改变电解电池的安装方位。

实验中，考察的安装方位包括电池流道平面水平与垂直安装两大类。水平安装方位中，考查电池流道平面（基于阴极集电极多孔板构成的流道表面）向上和向下两种构型，分别标记为“水平向上”和“水平向下”。垂直安装方位中，考查流动方向（基于进、出口方位）垂直向上、垂直向下及水平三种构型（后者标记为“垂直水平”）。

对于某个确定的电池安装方位，开启微型泵，调节供水流量达到设定数值 (12 mL/min)，待流量稳定后，启动直流电解电源，输出设定的电解电流 (1.5 A、2.0 A、2.5 A)，电解电池工作大约 5 min，即电解电池电压稳定时，用 Agilent 34401A 与 34420A 记录电解电池的电压。改变电解电流设定数值，重复上述测试，直到完成全部设定电流条件下的测试为止。电解电流强度与电解电池电压的不确定度分别为 0.01 A 与 0.01 V。

## 2 实验结果与讨论

对实验系统测试结果表明，在一个较长时间段内，供水流量存在少许的波动，电解电流与供水温度基本不发生变化。这与王伟<sup>[2]</sup>的结论一致，即当实验系统的供水流量远大于电解电池所需要的水量时，供水流量对电解电池的性能没有影响。因此，所搭建的实验系统可以满足较长时间实验的要求。

图 2 显示了五种安装方位下电解电流为 2.0 A 时电解电池阴极流道内的气液两相流态分布图像（图中箭头表示流动方向）。

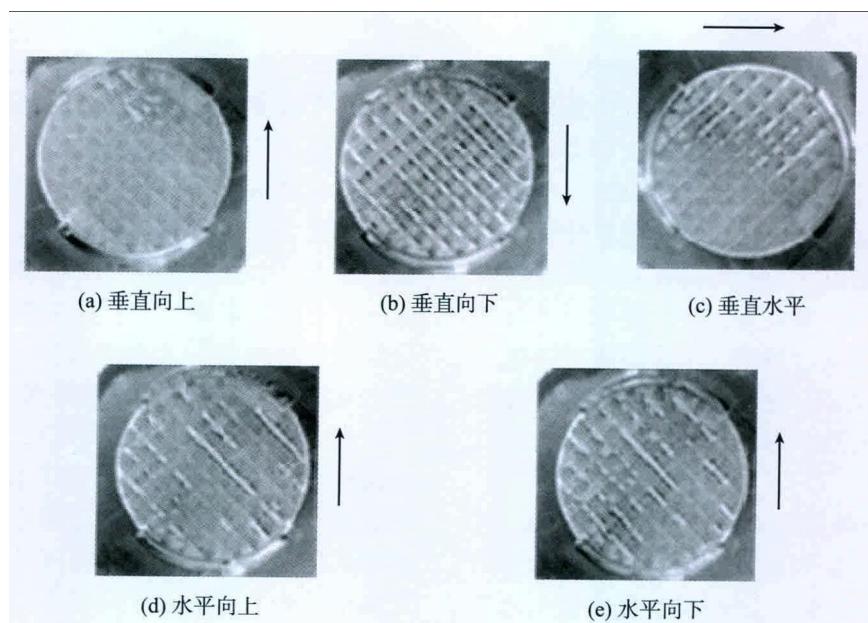


图 2 电解电流 2.0 A 时不同安装方位下的气液两相流态

Fig. 2 Two-phase gas-liquid flow patterns at electrolytic current of 2.0 A under different orientations

可以看出, 电解池处于不同安装方位时, 电池流道内的气液两相流态存在明显的不同: 电解池垂直 (电池方位) 向上 (流动方向) 时, 在浮力与水流的双重作用下, 气泡会被快速排出流道, 流道内气泡数目少且尺寸小; 垂直向下时, 气泡数目多, 散布在整个流道内; 垂直水平时, 在浮力的作用下, 气泡主要分布在流道上半部分; 水平向上和水平向下时, 气泡在流道内分布均匀, 这是由于浮力作用的方向与流动方向垂直, 基本不影响气泡的排出。

实验还发现, 固定安装方位时, 随着电解电流的增大, 电解池流道内的气泡明显增多, 这与电化学反应强度增加而导致氢气产率的增大相一致。此时, 电解池阴极流道内的气泡更容易地聚集成条形的大气泡, 填充于岛状障碍物之间的多连通网状通道内, 并在水流驱动下向出口移动。

图 3 显示了电解池处于不同安装方位时的平均电性能。可以看出, 各数据曲线之间的误差带互相重叠, 可认为安装方位的变化对电解池的电性能没有明显影响。结合上面对每种安装方位下电解池阴极流道内气液两相分布状态的差异的分析, 出现这种现象的主要原因, 在于电解池的电解电流密度较低, 反应物的供应充足, 传质问题不是影响电解池电性能的主导因素, 电池本身的电性能基本不受重力 (安装方位) 的影响。

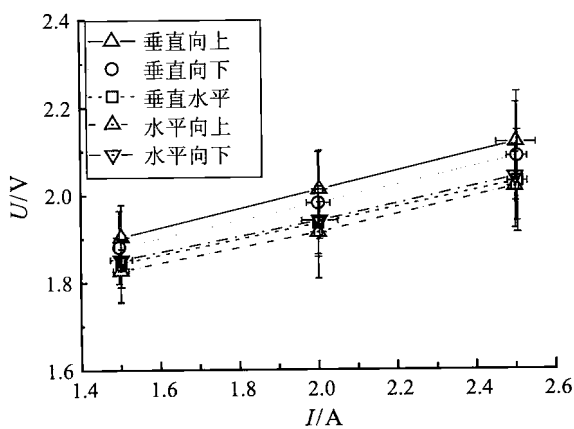


图 3 不同安装方位的电解池平均电性能

Fig. 3 Average electrical performance of the electrolytic cell under different orientations

此外, 由于质子交换膜内质子的传输是通过膜内离子簇与水分子构成的通道传输的, 当膜中的含水量下降时, 团簇收缩, 通道减少, 膜的电导率显著下降, 直至成为绝缘体<sup>[3]</sup>。在前期实验中, 电解池曾因电流过大造成性能局部退化, 质子交换膜的含水量急剧下降。虽经热水循环后有所恢复, 但膜的蓄水能力变差, 造成膜的含水率波动幅度较大, 从而使膜的质子传输能力呈现波动变化, 导致在固定电解电流条件下, 电解池两端电压波动较大。但这种波动对本文研究结论没有影响。

### 3 结 论

本文利用搭建的实验平台, 对五种安装方位下的 SPE 电解池的电性能和阴极流道内气液两相流态进行了实验研究, 并对实验结果进行了分析, 得到如下结论:

1) 随着电解电流的增大, 流道内气泡增多, 尺寸变大, 气泡更易聚集成更大气泡。对于 5 种不同的安装方位, 气泡在流道内的分布状况有明显不同, 显示了重力对流道内气液两相分布具有明显影响。

2) 对比 5 种不同安装方位下电解池的极化曲线, 数值均落在误差范围之内, 即在实验工况涉及的参数范围内, 安装方位 (即重力作用方向) 的变化, 对电解池电性能基本没有影响。这表明所设计的 SPE 电解池流道结构在相应运控参数范围内可以实现电性能的重力无关。

### 参 考 文 献

- [1] ZHAO Jianfu, XIE jingchang, LIN Hai, et al. Experimental Study on Two-Phase Gas-Liquid Flow Patterns at Normal and Reduced Gravity Conditions [J]. *Sci China E*, 2001, 44(5): 553-560
- [2] 王伟. 固体聚合物电解质水电解池膜电极的研究 [D]. 天津: 天津大学, 2007  
WANG Wei. Study of Membrane Electrode of Solid Polymer Electrolyte Water Electrolytic Cell [D]. Tianjin: Tianjin University, 2007
- [3] 张华民, 邢丹敏, 衣宝廉. 燃料电池用质子交换膜的研究开发 [J]. *功能材料*, 2004, 35(增 1): 1782-1787  
ZHANG Huanmin, XING Danmin, YI Baolian. Study and Development of the Proton Exchange Membranes for Fuel Cells [J]. *J. Functional Materials*, 2004, 35(z1): 1782-1787