质子交换膜燃料电池膜电极组件及单电池的制作和运行

孟辉，沈韩，崔新图，沈培康

(中山大学物理科学与工程技术学院，光电材料与技术国家重点实验室，广东广州510275)

摘要：叙述了氢/氧(空)质子交换膜燃料电池(proton exchange membrane fuel cell，PEMFC)关键部件——膜电极组件(membrane electrode assembly，MEA)的制备和单电池组装，并且实际运行了一体化燃料电池发电系统。介绍了燃料电池的工作原理和实验内容。通过实验，使学生全面了解燃料电池的基本原理、制作过程及使用方法。

目前全人类使用的能源主要是石油、煤炭、天然气等矿石燃料，属于非再生能源，储量有限。据统计，能源消耗每隔12a要翻一番。能源短缺，已是世界性问题，预计21世纪中叶，作为主要能源的石油将枯竭。另一方面，燃烧矿石燃料时，直接向大气排放大量的废气，在全球形成严重污染，所产生的温室效应、酸雨、光化学烟雾等已严重威胁着人类的生存环境。所以开发新能源、寻找新材料以求解决上述问题变得日益重要，其中燃料电池被认为是21世纪的能源之星。燃料电池的应用和产业化将从便携式电源系统开始逐步过渡到电动汽车和大型发电站。

目前关于燃料电池的研究是世界上的一大热点，国内外许多大学和研究单位都在积极开展这方面的研究。燃料电池是一个综合多个学科知识的研究领域，除了最核心的电化学外，还涉及流体力学、电子技术、材料科学、化学工程、机械制造等专业知识。所以，非常有必要普及燃料电池的基本知识，培养潜在的研究人员对这个方向的兴趣。本实验面向化学、物理、环境、材料、化工等专业的学生，使之成为大学理科或工科基础实验之一。通过该实验使学生了解燃料电池的工作原理并掌握燃料电池的基本制作工艺，激发学生对新能源领域探索的兴趣，培养学生的综合实验能力。目前国内新能源方向的学生实验还是一个空白，而国外已经发展成比较成熟的实验课程，甚至在高中就开展了新能源方面的实验。本实验的设计考虑了国内普及教育的特点，便于在国内高等院校的实施和推广。

1燃料电池工作原理

燃料电池是一种通过电化学反应直接将化学能转变为低压直流电的装置，即通过燃料和氧化剂发生电化学反应产生直流电和水。燃料电池装置从本质上说是水电解的一个“逆”装置。在电解水过程中，外加电源将水电解，产生氢和氧；而在燃料电池中，则是氢和氧通过电化学反应生成水，并释放出电能。燃料电池单体主要由4部分组成，即阳极、阴极、电解质(质子交换膜)和外电路。阳极为氢电极，阴极为氧电极，阳极和阴极上都含有一定量的催化剂(目的是用来加速电极上发生的电化学反应)，两极之间是电解质。

氢气通过管道或导气板到达阳极，在阳极催化剂的作用下，氢气发生氧化，释放出电子，氢离子穿过电解质到达阴极；而在电池的另一端，氧气(或空气)通过管道或导气板到达阴极，同时，电子通过外电路也到达阴极；在阴极侧，氧气与氢离子和电子在阴极催化剂的作用下反应生成水，与此同时，电子在外电路形成电流，可以向负载输出电能。燃料电池的化学反应见式(1)—式(3)，其中Eo为标准电极电势。

阳极：

$$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^- \qquad E^o = 0.00\ V \qquad (1)$$

阴极半反应：

$$1/2\,O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O \qquad E^o = 1.23\ V \qquad (2)$$

电池总反应：

$$H_2 + 1/2\,O_2 \rightarrow H_2O \qquad E^o_{cell} = 1.23\ V \qquad (3)$$

2实验内容

(1)制备氢氧质子交换膜燃料电池的膜电极组件(MEA)。膜电极组件是燃料电池的核心部分，一般由3部分组成：阳极，阴极和质子交换膜。阳极和阴极主要由纳米铂颗粒负载在高比表面碳粉(即Pt/C催化剂)上构成，分别是氢气发生氧化和氧气(纯氧或者来源于空气中的氧)发生还原的反应场所。质子交换膜是固体电解质，起阴、阳极隔离和质子传导的作用，在燃料电池工作过程中将氢气氧化产生的氢离子传递到阴极参加氧还原反应。本实验采用直接涂刷法制备膜电极，即将已经配好的催化剂浆料均匀涂抹在已处理好的质子交换膜两侧，构成三合一膜电极组件结构。

(2)制作燃料电池。对于一个完整的燃料电池来讲，除了膜电极之外还有气体扩散层/碳纸，集流板，密封垫和端板等。气体扩散层的作用是使阳极的氢气和阴极的氧气均匀分散到阳极和阴极，从而得到均匀分布的电流，排出反应生成的水。气体扩散层一般由合适比例的聚四氟乙烯制备在导电的碳纸或碳布上，形成憎水层，亦可在上面再施加整平层。本实验采用已做好气体扩散层的碳纸，省略了整平层。集流板起收集电流的作用，与外电路连接。本实验使用不锈钢片作为集流板，连接负载构成回路。因为在本实验中的反应物均为气体，所以在电池安装中需要加密封垫以防气体泄漏。端板起固定电池的作用，同时也为气体的导入和产物排放提供通道(流场)。

(3)安装一体化燃料电池发电系统，即制氢、电池和负载三合一的系统。在此一体化发电系统中采用先进的水活化制氢技术，现场制氢供给燃料电池发电，其中的燃料电池即为上步制作的燃料电池单堆，带动小型电风扇负载转动。这种水活化制氢技术安全、简便，只需将一定量复合材料倒入水中，马上产生氢气，供给本实验所制备的燃料电池单堆发电，并驱动风扇转动。

3实验

3.1膜电极制备

(1)清洗涂膜夹具，用脱脂棉蘸无水乙醇将夹具及垫圈(见图1(a))清洗干净。

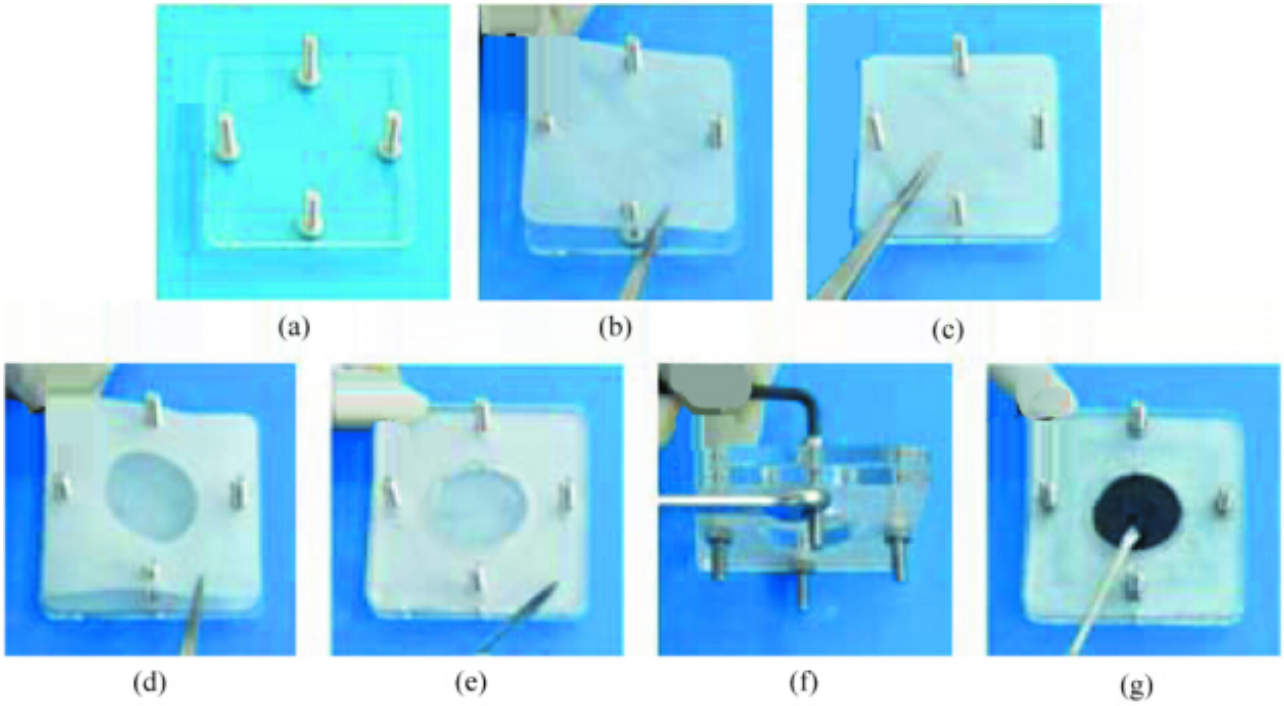

图1 膜电极制备流程图

(2)将质子交换膜装于夹具上，在底座上放上一块密封垫，见图1(b)；然后放上质子交换膜，见图1(c)；再放上一块圆孔密封垫，见图1(d)。

(3)将夹具面板盖上，见图1(e)；然后用螺丝将膜夹紧，见图1(f)；将配好的催化剂浆料均匀涂在膜上(此时膜会发生卷曲，属正常现象)，用电吹风吹干，见图1(g)。

(4)将膜从夹具上取下反转，重复涂覆催化剂步骤。

3.2燃料电池组装

(1)将4个螺丝装在有机玻璃的氧气侧端板上，见图2(a)。

(2)装上一块集流板，见图2(b)。

(3)装上一片密封垫，见图2(c)。

(4)将一碳纸放在中间部位，见图2(d)。

(5)将制备好的膜电极放在碳纸上，催化剂部分与碳纸覆盖，见图2(e)。

(6)装上另一片密封垫，见图2(f)。

(7)装上另外一片碳纸，使催化剂部分与碳纸覆盖，见图2(g)。

(8)装上另一块集流板，见图2(h)。注意此集流板的极耳和上一个集流板不在同一方向。

(9)再装上一片密封垫，见图2(i)。

(10)装上氢气端板，见图2(j)。

(11)用螺丝将电池锁紧，见图2(k)。

(12)装上电极接头，见图2(l)。

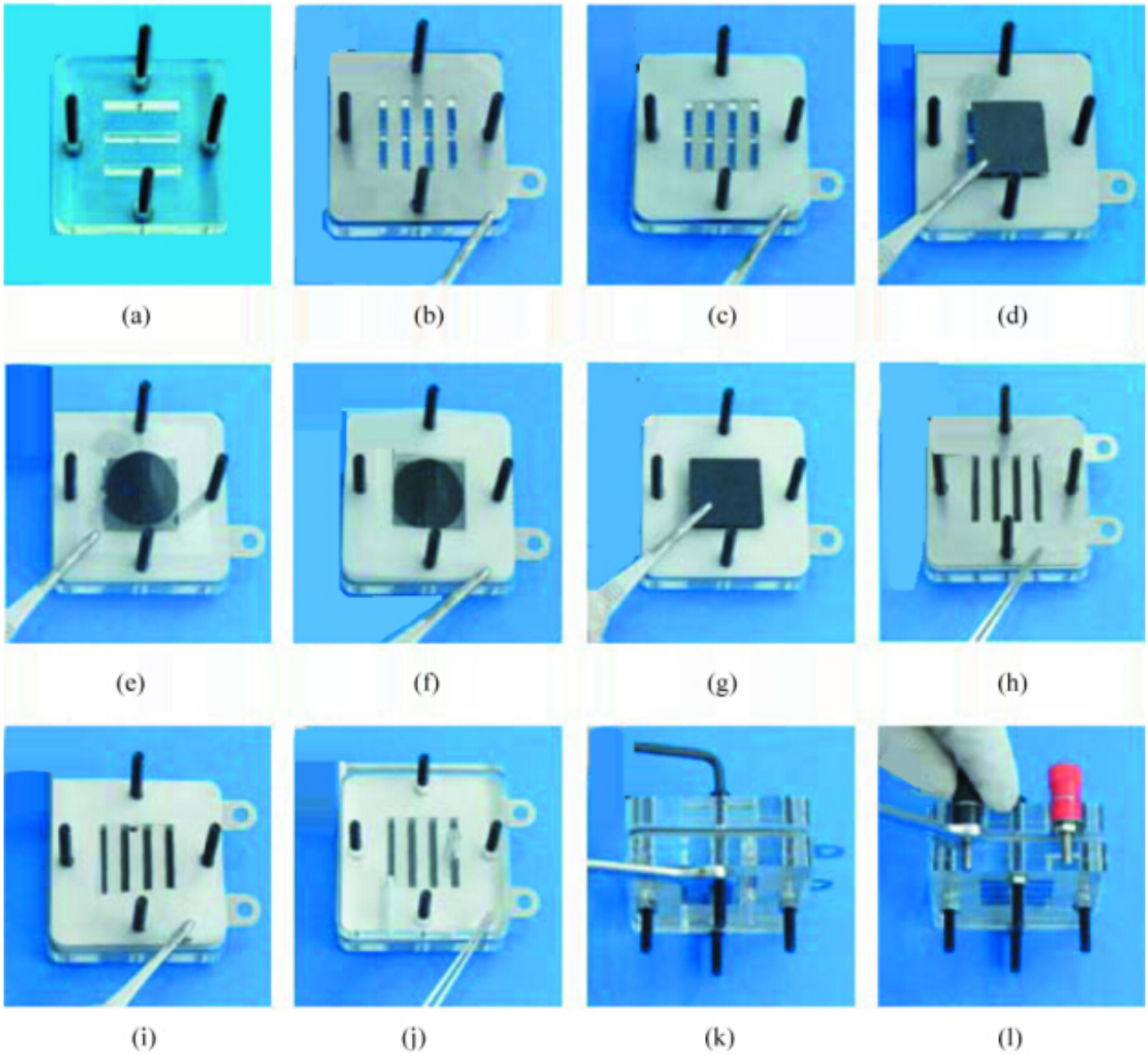

图 2　燃料电池组装流程图

3.3一体化燃料电池发电系统安装实验

(1)将组装好的燃料电池按图3所示放入发电装置中，并与电机连接。

(2)在制氢瓶中加入复合含氢材料，加入去离子水至瓶盖并充分溶解复合含氢材料，然后加盖旋紧。

(3)将制氢瓶按图3所示，将氢气导管连到燃料电池的阳极(氢电极)。

(4)此时氢气产生，经导管进入燃料电池，燃料电池开始工作，可见小风扇转动。

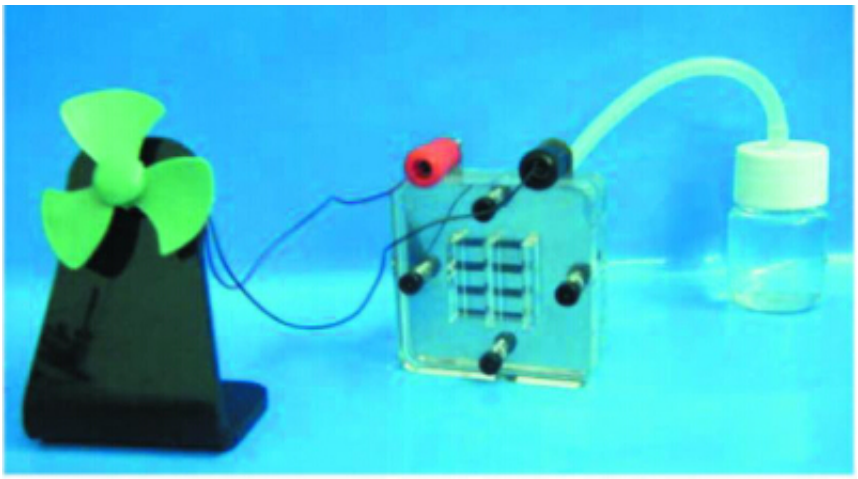

图 3　一体化燃料电池发电系统

3.4实验观察和测试

(1)用万用表检查燃料电池接触是否完好(不允许短路)。

(2)观察复合含氢材料溶解时的现象。

(3)风扇转动后测量燃料电池的电压、电流。

4结束语

本实验高度综合了物理、化学和工程技术知识。作为一个知识高度综合的实验，本实验设计合理，便于实施。通过技术与趣味相结合的实验，激发学生对于科学研究的兴趣。本实验填补了国内新能源技术学生实验方面的空白，可以在国内推广使用。

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/102291.html