



廣西師範大學
GUANGXI NORMAL UNIVERSITY

燃料电池综合特性实验



实验背景

燃料电池以**氢**和**氧**为燃料，通过**电化学反应**直接产生**电力**，能量转换效率高于燃烧燃料的热机。燃料电池的反应生成物为水，**对环境无污染**，单位体积氢的储能密度远高于现有的其它电池。因此它的应用从最早的**宇航**等特殊领域，到现在人们积极研究将其应用到**电动汽车**，**手机电池**等日常生活的各个方面，各国都投入巨资进行研发。





实验背景

1839年，英国人**格罗夫**（W. R . Grove）发明了燃料电池，历经近两百年，在材料，结构，工艺不断改进之后，进入了实用阶段。按燃料电池使用的**电解质或燃料类型**，可将现在和近期可行的燃料电池分为**碱性燃料电池**，**质子交换膜燃料电池**，**直接甲醇燃料电池**，**磷酸燃料电池**，**熔融碳酸盐燃料电池**，**固体氧化物燃料电池**6种主要类型，本实验研究其中的**质子交换膜燃料电池**。

本实验包含**太阳能电池发电**（光能—电能转换），**电解水制取氢气**（电能—氢能转换），**燃料电池发电**（氢能—电能转换）几个环节，形成了完整的能量转换，储存，使用的链条。



一、实验目的

1. 了解燃料电池的工作原理
2. 观察仪器的能量转换过程：
光能→太阳能电池→电能→电解池→氢能(能量储存)→燃料电池→电能
3. 测量燃料电池输出特性，作出所测燃料电池的伏安特性（极化）曲线，电池输出功率随输出电压的变化曲线。计算燃料电池的最大输出功率及效率
4. 测量质子交换膜电解池的特性，验证法拉第电解定律
5. 测量太阳能电池的特性，作出所测太阳能电池的伏安特性曲线，电池输出功率随输出电压的变化曲线。获取太阳能电池的开路电压，短路电流，最大输出功率，填充因子等特性参数



二、实验原理

1. 燃料电池

※ **质子交换膜**为全氟磺酸固体聚合物薄膜，提供**氢离子**（质子）从**阳极**到达**阴极**的通道，而**电子或气体**不能通过。

※ **催化层**是将铂粒子用化学或物理的方法附着在质子交换膜表面，对**阳极氢的氧化**和**阴极氧的还原**起催化作用。

※ 膜两边的**阳极和阴极**由石墨化的**碳纸或碳布**做成，导电性能良好，其上的微孔提供气体进入催化层的通道，又称为**扩散层**。

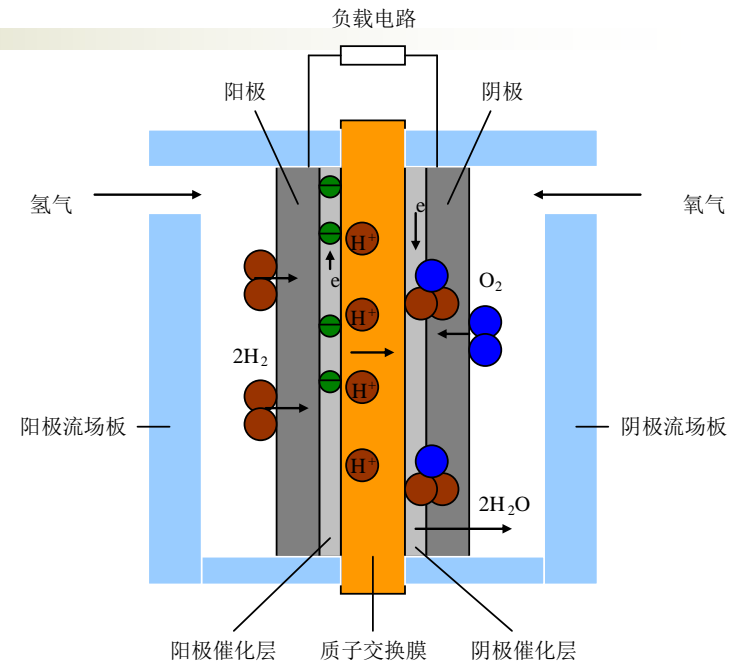


图1 质子交换膜燃料电池结构示意图



二、实验原理

1. 燃料电池

※ 进入阳极的**氢气**通过电极上的扩散层到达质子交换膜。**氢分子**在阳极催化剂的作用下**解离为2个氢离子**，即质子，并释放出**2个电子**，阳极反应为：



※ 氢离子以**水合质子 H^+ ($n\text{H}_2\text{O}$)**的形式，在质子交换膜中从一个磺酸基转移到另一个磺酸基，最后到达阴极，实现质子导电，质子的这种转移导致**阳极带负电**。

※ 氧气或空气通过阴极扩散层到达阴极催化层，在阴极催化层的作用下，氧与氢离子和电子反应生成水，**阴极反应为： $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- = 2\text{H}_2\text{O}$**

※ **阴极**反应使阴极**缺少电子而带正电**，结果在阴阳极间产生电压，在阴阳极间接通外电路，就可以向负载输出**电能**。总的化学反应如下：

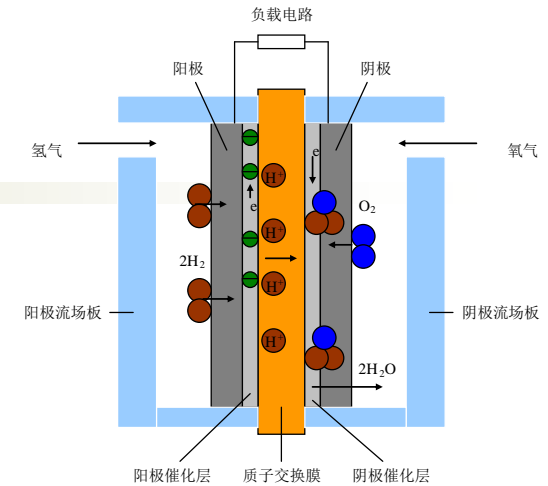


图1 质子交换膜燃料电池结构示意图



二、实验原理

2、水的电解

- 水电解装置同样因**电解质**的不同而各异，**碱性溶液和质子交换膜**是最好的电解质。若以**质子交换膜**为电解质，可在右图**右边电极**接电源**正极**形成**电解的阳极**，在其上产生**氧化反应** $2\text{H}_2\text{O} = \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ 。**左边电极**接电源**负极**形成**电解的阴极**，阳极产生的**氢离子**通过**质子交换膜**到达阴极后，产生**还原反应** $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2$ 。即在右边电极析出氧，左边电极析出氢。

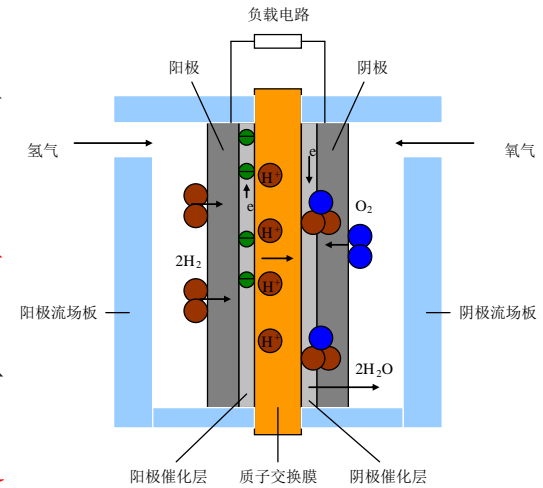


图1 质子交换膜燃料电池结构示意图



二、实验原理

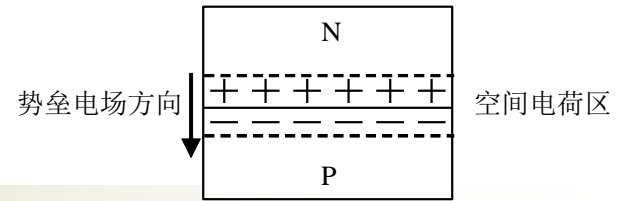


图2 半导体P-N结示意图

3、太阳能电池

- **P型半导体**中有相当数量的**空穴**，几乎没有自由电子。**N型半导体**中有相当数量的**自由电子**，几乎没有空穴。当两种半导体结合在一起形成P-N结时，**N区的电子（带负电）向P区扩散**，**P区的空穴（带正电）向N区扩散**，在P-N结附近形成**空间电荷区与势垒电场**。**势垒电场**会使**载流子**向扩散的**反方向作漂移运动**，最终**扩散与漂移达到平衡**，使流过P-N结的净电流为零。在空间电荷区内，**P区的空穴被来自N区的电子复合**，**N区的电子被来自P区的空穴复合**，使该区内几乎没有能导电的载流子，又称为**结区或耗尽区**。
- 当**光电池受光照射时**，部分**电子被激发而产生电子-空穴对**，在**结区**激发的电子和空穴分别被**势垒电场推向N区和P区**，使**N区有过量的电子而带负电**，**P区有过量的空穴而带正电**，**P-N结两端形成电压**，这就是**光伏效应**，若将P-N结两端接入外电路，就可向负载输出电能。



三、实验装置图



2020-7-4



四. 实验步骤

$$\eta_{\text{电解}} = \frac{1.48}{U_{\text{输入}}} \times 100\%$$

1、质子交换膜电解池的特性测量

$$V_{\text{氢气}} = \frac{273.16 + T}{273.16} \cdot \frac{P_0}{P} \cdot \frac{It}{2F} \times 22.4 \text{升}$$

确认气水塔水位在水位上限与下限之间。

将测试仪的电压源输出端串连电流表后接入电解池，将电压表并联到电解池两端。

将气水塔输气管止水夹关闭，调节恒流源输出到最大，让电解池迅速的产生气体。当气水塔下层的气体低于最低刻度线的时候，打开气水塔输气管止水夹，排出气水塔下层的空气。根据表1中的电解池输入电流大小，调节恒流源的输出电流，待电解池输出气体稳定后（约1分钟），关闭气水塔输气管。测量输入电流，电压及产生一定体积的气体的时间，记入表1中。

表1 电解池的特性测量

输入电流 I (A)	输入电压 (V)	时间 t (秒)	电量 It (库仑)	氢气产生量 测量值 (升)	氢气产生量 理论值
0.10					
0.20					
0.30					



四. 实验步骤

2. 燃料电池输出特性的测量

理论分析表明，如果燃料的所有能量都被转换成电能，则理想电动势为1.48伏。

电化学极化区：随着电流从零增大，输出电压有一段下降较快，主要是因为电极表面的反应速度有限，有电流输出时，电极表面的带电状态改变，驱动电子输出阳极或输入阴极时，产生的部分电压会被损耗掉。

欧姆极化区：输出电压的线性下降区的电压降，主要是电子通过电极材料及各种连接部件，离子通过电解质的阻力引起的，这种电压降与电流成比例。

浓差极化区：输出电流过大时，燃料供应不足，电极表面的反应物浓度下降，使输出电压迅速降低，而输出电流基本不再增加

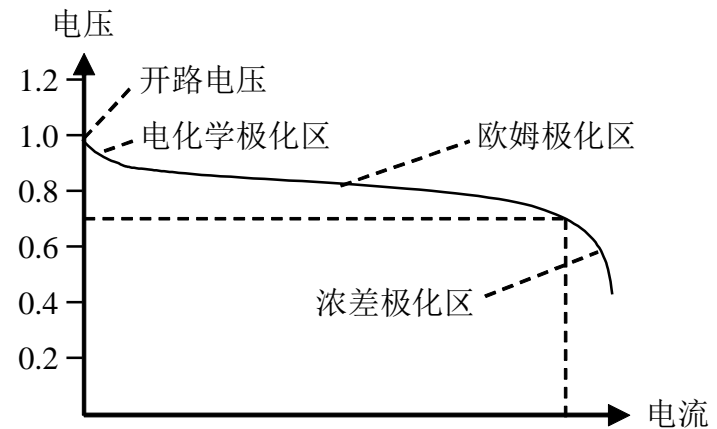


图5 燃料电池的极化特性曲线



四. 实验步骤

2. 燃料电池输出特性的测量

综合考虑燃料的利用率（恒流供应燃料时可表示为燃料电池电流与电解电流之比）及输出电压与理想电动势的差异，燃料电池的效率为：

$$\eta_{\text{电池}} = \frac{I_{\text{电池}}}{I_{\text{电解}}} \cdot \frac{U_{\text{输出}}}{1.48} \times 100\% = \frac{P_{\text{输出}}}{1.48 \times I_{\text{电解}}} \times 100\%$$

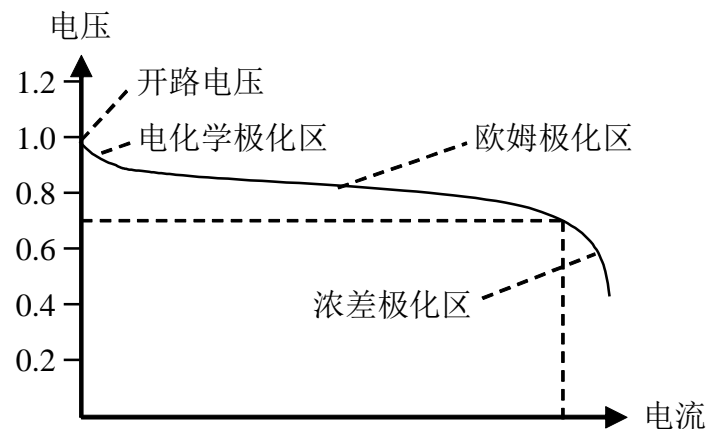


图 5 燃料电池的极化特性曲线

表 2 燃料电池输出特性的测量

电解电流 = mA ↕

输出电压 U (V) ↕	↕	0.90 ↕	0.85 ↕	0.80 ↕	0.75 ↕	0.70 ↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕
输出电流 I (mA) ↕	0 ↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕
功率 P=U×I (mW) ↕	0 ↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕	↕



四. 实验步骤

3. 太阳能电池的特性测量

U_{oc} 代表开路电压， I_{sc} 代表短路电流，图6中虚线围出的面积为太阳能电池的输出功率。与最大功率对应的电压称为最大工作电压 U_m ，对应的电流称为最大工作电流 I_m 。

表征太阳能电池特性的基本参数还包括光谱响应特性，光电转换效率，填充因子等。

填充因子**FF**定义为：
$$FF = \frac{U_m I_m}{U_{oc} I_{sc}}$$

它是评价太阳能电池输出特性好坏的一个重要参数，它的值**越高**，表明太阳能电池输出特性**越趋近于矩形**，电池的**光电转换效率越高**。

表3 太阳能电池输出特性的测量

输出电压 U (V)	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻
输出电流 I (mA)	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻
功率 P=U×I (mW)	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻	↻

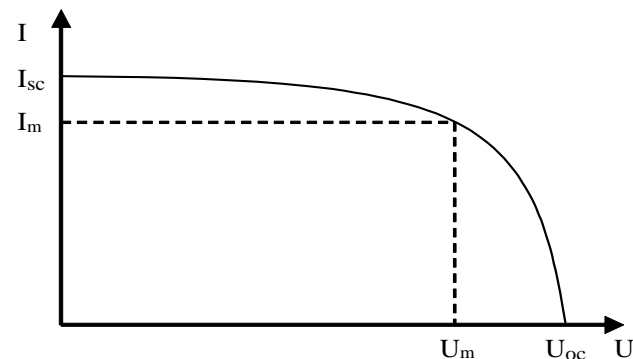


图6 太阳能电池的伏安特性曲线



五. 注意事项

1. 该实验系统必须使用去离子水或二次蒸馏水，容器必须清洁干净，否则将损坏系统。
2. PEM电解池的最高工作电压为6V，最大输入电流为1000mA，否则将极大地伤害PEM电解池。
3. 绝不允许将任何电源加于PEM燃料电池输出端，否则将损坏燃料电池。
4. 气水塔中所加入的水面高度必须在上水位线与下水位线之间，以保证PEM燃料电池正常工作。
5. 太阳能电池板和配套光源在工作时温度很高，切不可用手触摸，以免被烫伤。
6. 绝不允许用水打湿太阳能电池板和配套光源，以免触电和损坏该部件。
7. 配套“可变负载”所能承受的最大功率是1W，只能使用于该实验系统中。
8. 电流表的输入电流不得超过2A，否则将烧毁电流表。
9. 电压表的最高输入电压不得超过25V，否则将烧毁电压表。
10. 实验时必须关闭两个气水塔之间的连通管。



作业布置

- 根据实验要求完成相应的实验报告撰写。