

氢氧燃料电池

型号. **BEX-8601**



Hangzhou Brolight Technology Co., Ltd

1F, Building C, KUNLUN Science Park, No.61 BaiJiaYuan Road, West

Lake District, Hangzhou, China

310023

请在实验作前仔细阅读该手册。

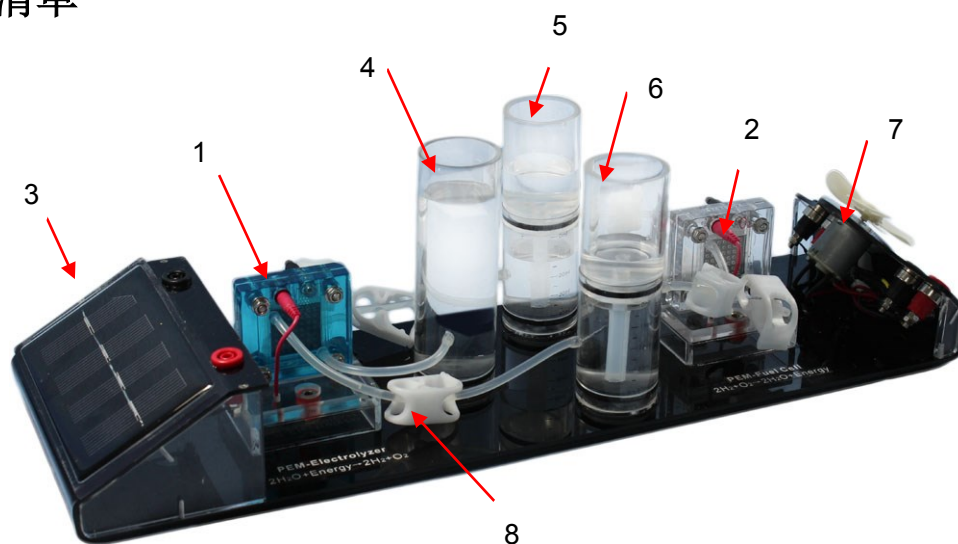
目录

材料清单	2
简介	3
安全防护措施	4
实验原理	5
技术参数	7
维护	8
安装指南	9
实验	12
附录 I 实验结果与分析	16

氢氧燃料电池

型号. **BEX-8601**

材料清单



序号	描述	型号	数量
	氢氧燃料电池基本单元	BEM-5031	1
1	电解槽模块	BC-10029	1
2	燃料电池模块	BC-10030	1
3	底座（含太阳能电池板和负载）	BC-10028	1
4	盛水管	BC-40025	1
5	氢气盛气管	BC-40026	1
6	氧气盛气管	BC-40027	1
7	风扇叶片	BC-40022	1
8	止水夹	BC-40021	8
9	3mm 内径软管	BC-40020	8
10	红色香蕉插头连接导线	BC-10026	2
11	黑色橡胶插头连接导线	BC-10027	2

简介

目前全世界都在倡导节约能源和清洁能源的利用，所以太阳能的利用及氢氧燃料电池的应用具有很大的市场潜力，让学生认知氢能源是重要的。在初中自然科学学习阶段让学生掌握氧气与氢气的制备、氢氧化合以及排水集气法等知识点，在高中物理和化学课程的学习阶段让学生掌握水的电解、氢氧燃料电池的原理及应用、太阳能发电等知识点是非常有必要的。

然而中学教学中通常采用教科书上提到的简易电解水装置，从而导致实验效果不理想，缺点也颇多，如无法准确测量电解水分解得到的氢气和氧气的体积比 2:1，另外由于电解时用的溶液是电解液不是去离子水，所以在收集气体时手容易被电解液腐蚀。该装置中的电解槽模块及燃料电池模块均采用先进的质子交换膜技术，对学生来说操作简便，安全无污染。

这是一个完整的能源系统的模型，因此您可以单独阐述氢能部分是如何工作的，也可以讲解这些组件是如何在整个氢能系统中应用。该产品针对少量的氢气和氧气在给定的时间内发生反应做教学示范。无论您只是想要展示氢氧技术的基本原理，还是对太阳能电池、燃料电池的性能做定量测试，都可以实现。当提供一个直流电压，电解池电解去离子水（电导率 $<2\mu\text{S}/\text{cm}$ ）分解成氧气和氢气，这些气体再通向燃料电池产生水。最后生成水的这一过程中能够产生电能，并可以通过风扇的转动和 LED 灯的闪烁表现出来。

安全防护措施

该实验装置能够产生氢气和氧气。注意：这些气体在操作不当的情况下具有安全隐患。请做好以下几点防护措施：

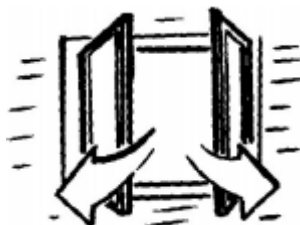
1. 禁止吸烟



2. 禁止明火



3. 保持良好的通风



4.

太阳能电池板请勿在强光照射下操作。请保持光源与太阳能电池板有合适的距离。

5.

在实验过程中，请确保盛水管始终有足够的蒸馏水，来保持两边压力平衡。请勿用矿物质水或者自来水取代蒸馏水，否则会损坏电解槽。

6.

事先提醒您的学生所有可能存在的隐患。

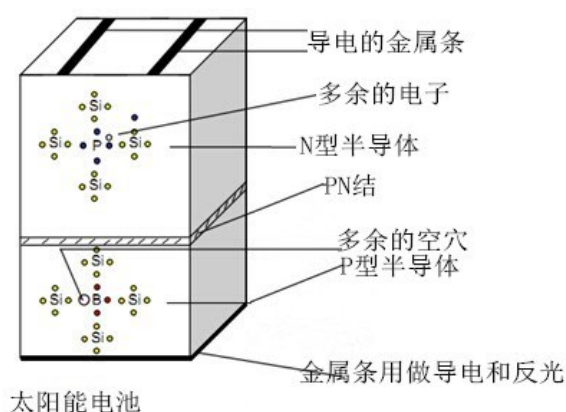
实验原理

系统部件

1. 太阳能电池

太阳能电池能够将光能转化成电能。太阳能电池技术是以半导体晶体材料作为基础的，譬如硅和锗。在纯净的半导体中加入微量的杂质（如磷 **P**、硼 **B**），其导电能力会显著增加。这个过程叫掺杂。掺杂质会导致大量自由载流子的增加，因为掺入杂质的性质不同，杂质半导体分为 **N** 型半导体和 **P** 型半导体。太阳能电池一般是 **N** 型和 **P** 型半导体的综合。

当光照在 **PN** 结附近时，产生自由电子。在 **PN** 结之间的电场导致正负载流子的分离，这使得太阳能电池能够有大约 **0.5V** 的电势差。如果想要更大的电势差，我们可以把多个太阳能电池进行串联。太阳能电池以一种环保的方式发电，然而这并不是它唯一的优势。



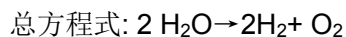
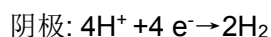
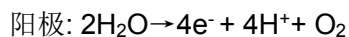
2. 电解槽

电解：来自于希腊语 **lyein** =溶解。在 1795 年英国牛津大学，**Asch** 教授发现了在水中（或相似的物质）电流能够分解化学键。

传统的电解剂使用流体以促进水的分解，然而越来越多的被 **PEM** 技术所取代。

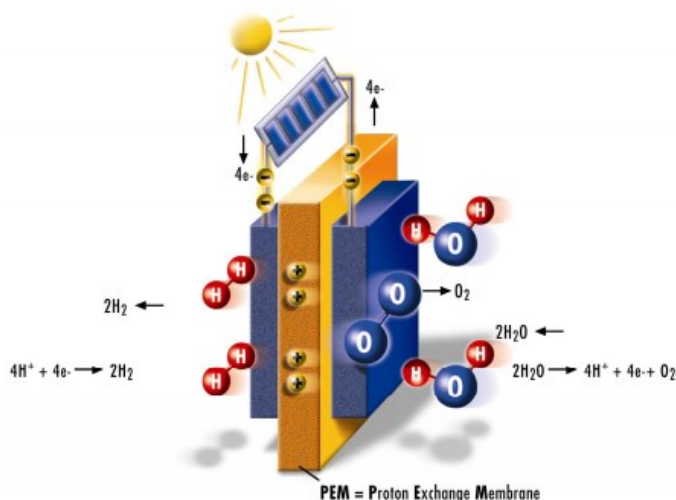
PEM 表示质子交换膜，**PEM** 技术的中央部分是一层质子导电聚合物的薄膜，薄膜两边被一层催化材料所覆盖。这两边构成了电池的阴极和阳极。

化学方程式如下：



氢离子（也就是质子）通过质子交换膜到阴极，和电路中的电子结合并生成氢气。

PEM电解槽的基本原理



3 燃料电池

燃料电池是一种电化学的电力来源。产生电能是电解的一个逆向过程。质子交换膜中的催化材料铂有以下两个用途：

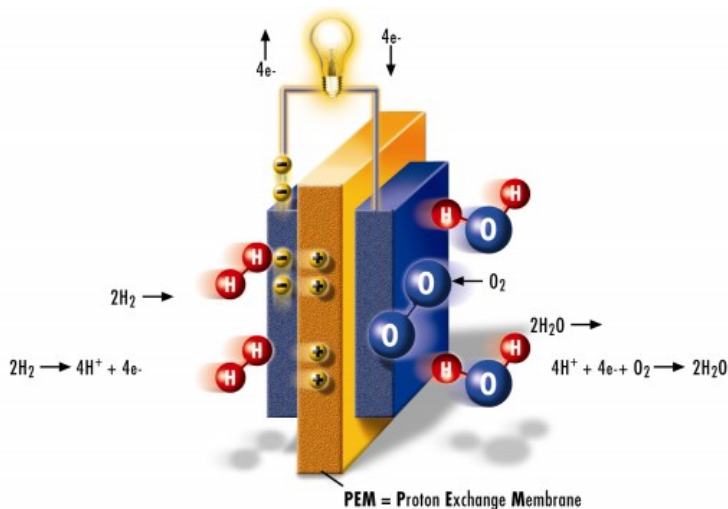
- 分离氢原子产生氢离子（质子）和电子。
- 分裂和电离氧气。这样便会在两电极之间产生电压。

当电路连通后，会发生以下两个过程：

- 电子穿过电路到达阴极后使氧气电离。
- 氢离子（质子）穿过质子交换膜也到达负极，质子和氧离子反应产生水。

单个电池能够产生1V左右的电压。通过堆叠电池以及将其串联，能够获得高达200V的电压。燃料电池的电效率大约为50%，并且当氢气发生反应时不会产生任何污染物。

PEM燃料电池的基本原理：



此反应的化学反应方程式如下：

正极： $2\text{H}_2 \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ （氧化反应）

负极： $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ （还原反应）

反应方程式： $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

技术参数

1.太阳能电池板

电压：2.5V

电流：300mA

尺寸：135 (L) ×70 (W)×3.5 (H) mm

2.PEM 电解槽

输入电压：1.5V~3V DC

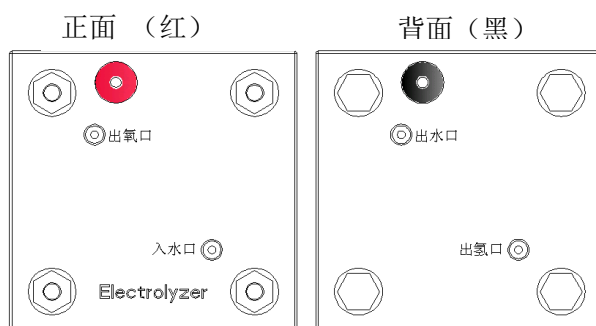
输入电流：700mA

体积(w×h×d)：54*54*15mm

氢气产生率：7mL/min（电流为 1A 时）

氧气产生率：3.5mL/min（电流为 1A 时）

颜色：蓝色



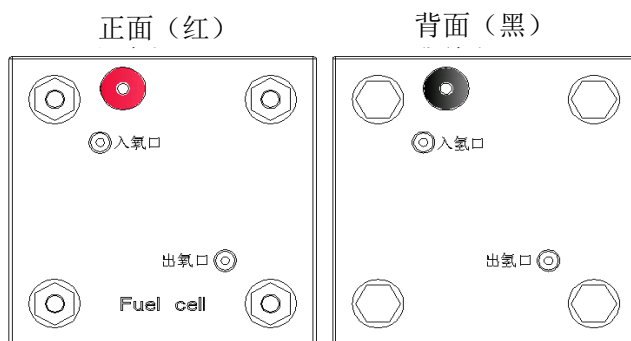
3.PEM 燃料电池

输出电压：0.6V DC

输出电流：360mA

体积(w×h×d)：54*54*15mm

颜色：透明



4 氢气/氧气储气罐

容量：40ml

5.风扇

功率：20mW

工作电压：0.5-1V DC

6. LED 灯

工作电压：1.7V DC

工作电流：20mA

外形尺寸：∅ 5mm

维护

PEM 电解槽

电解槽并不需要特殊的维护。但是，请注意以下几点：

- 错误的极性将会损坏电解槽。请确保正确的连接，红（黑）色导线对红（黑）色接线柱。
- 请勿在电压 $>3.0V$ 的操作环境下使用电解槽。
- 请使用新鲜的去离子水或蒸馏水（导电性 $<2\mu S/cm$ ）。
- 电解槽中的薄膜只有在其湿润的条件下使用。注意只能向电解槽的正极（氧气出口）注入水，为保持其完全湿润，请至少浸泡保持三分钟。如果薄膜在干燥的情况下连接太阳能板或者电源，会造成不可挽回的损坏。

PEM 燃料电池

燃料电池并不需要特别的维护。不过，请注意以下几点：

- 请不要直接给燃料电池提供电源供应！这可能会直接损坏燃料电池。

如果燃料电池没有正常工作或者运行缓慢，可能存在以下几种原因：

- 薄膜已经干透。
正常情况下，薄膜在运行过程中会自行浸湿。另外，也可以用针注射蒸馏水使其浸润。
- 薄膜受到了空气中微粒的污染。
在燃料电池上的止水夹开启的短暂时间内，薄膜将会受到氢气与氧气的冲洗。

实验结束后

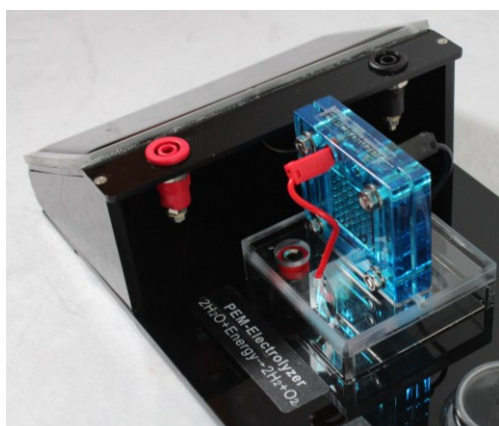
- 氢气储气罐以及盛水管中的蒸馏水需要全部取出，保持储气罐及盛水管清洁。
- 底板应该保持干燥、清洁，避免留下水渍。

安装指南

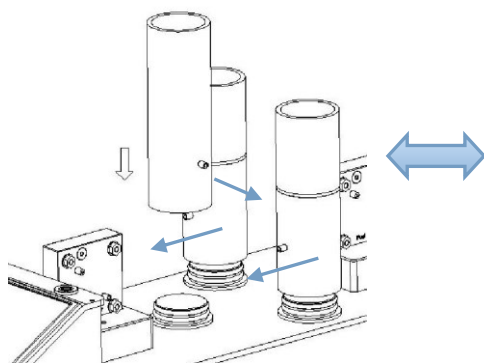
1. 电解槽与燃料电池的安装

警告： 电解槽与燃料电池必须严格按照下图中指示方法安装，避免造成不必要的损坏。

- 将模块垂直插入卡槽内，确保其在正确的位置。
- 将底板上红色/黑色插头插入相应的红色/黑色接线柱内。

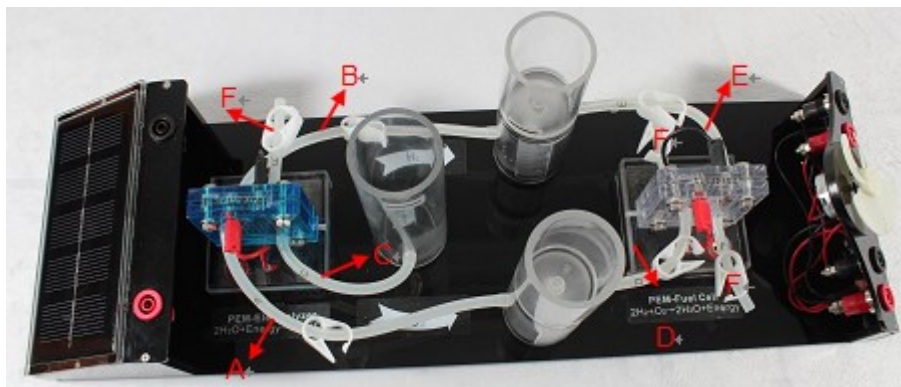


2. 盛水管和盛气管的安装



- 注意密封O型圈需要完全贴合盛水管内壁。
- 注意出水口以及进气口的方向。

3. 按下图所示，依次连接软管及止水夹。



4. 向盛水管及储气管注入蒸馏水。请不要使用自来水。



➤ 缓慢地向盛水管中注入蒸馏水。

➤ 拔掉上半节储气管，关闭止水夹 D 和 E。



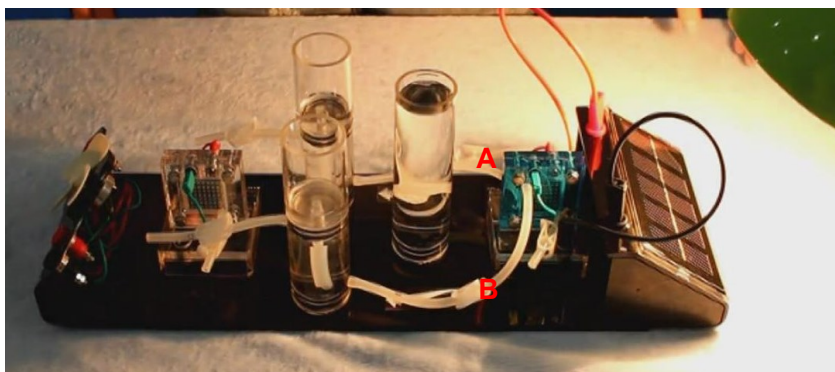
➤ 缓慢地向储气管 (H_2 / O_2) 注入蒸馏水。



➤ 将上半节储气管重新装回。

➤ 确保储气管中没有多余气体残留。

5. 气体采集



- 用红/黑导线连接太阳能电池板以及电解槽，请确保正确的极性！
- 打开止水夹A和B，关闭止水夹D和E。
- 为达到该实验要求，可用使用灯泡（大约100瓦）来代替太阳光。太阳能电池与灯泡之间的距离应该保持在20cm左右。打开电解槽与盛气管之间的止水夹A、B，然后点亮灯泡。等待一段时间之后，就能够收集到一定容量的气体。收集到预定容量的气体后，关闭灯泡与止水夹，停止收集。

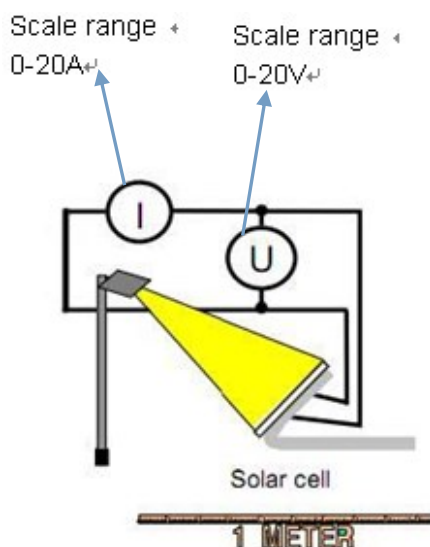
6. 排杂气



- 用软管将储气管与燃料电池连接。
- 开启止水夹D和止水夹E，使气体流向燃料电池。轻轻地开启氢气入口一侧的止水夹F。当氢气盛气管的水位线开始上升，要立即关闭氢气入口处的止水夹。
- 用相同的方法排除模块另一边的杂气。到此为止，所有的准备工作已经全部完成。

实验

实验1:根据光源和太阳能电池的距离以及入射光角度的变化测量太阳能电池的光电流和短路电压。

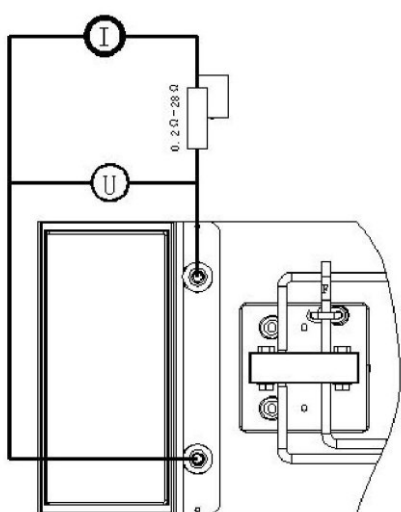


实验安装与步骤:

- 1 根据左图所示设置实验。我们使用100W的灯泡来代替太阳光。
- 2 均匀地照亮太阳能电池大约5分钟，以避免温度变化造成的影响，测量光电流和短路电压。
- 3 把灯泡放离太阳能电池20cm处，再次测电流和电压
- 4 改变灯泡和太阳能电池的距离（比如每次变化20cm）再在下表中记录相应的电流和电压
- 5 描绘数据图并分析结果。

距离 cm	20	30	50	60	70	80	90	100
电流 mA								
电压 V								

实验 2 :太阳能电池的电流-电压特性



太阳能电池的电流-电压特性能够反应太阳能电池的性能。且它能决定最大功率点。

实验设置与步骤:

- 1 按左图连接实验。
- 2 在测量之前需要把太阳能电池照亮5分钟，这样能够使太阳能电池受热均匀。
- 3 慢慢地改变电阻值（最开始应把电阻调至最大），并记录相应的电压和电流值。
- 4 伏安特性曲线能够看出太阳能电池的性能，并且能够算出电池的最大功率点
- 5 依照伏安特性曲线，画出功率-电压曲线。

R in Ω								
I in mA								
U in V								

实验3: 电解槽产生氢气

法拉第第一定律和电解槽效率

法拉第第一定律描述了电解槽的电流和气体产生量之间的关系。电解槽的效率为实际产生气体量与理论产生气体量的比值。

法拉第第一定律:

$$V = \frac{R \cdot I \cdot T \cdot t}{F \cdot p \cdot z}$$

V=产生气体体积 m³

R=通用气体常数=8.314 J/mol.k

T=环境温度

I=电流 A

t= 时间 s

P=环境气压

F = 法拉第常数= 96485 C/mol

Z= 所带电荷数(比如 Z(H₂)=2,Z(O₂)=4))

法拉第效率可以由下式得到:

$$\eta_{\text{法拉第}} = \frac{V_{H_2}(\text{实际产生})}{V_{H_2}(\text{理论产生})}$$

能量效率可以定义为可用能量与消耗能量的比值,也就是说产生氢气中的储存热能和用于产生氢气的消耗电能的比值。一部分产生的气体没有离开燃料电池,因此损失了这部分能量。可使用的能量由全部氢气产生的热能提供,消耗的能量是由电能用于产生氢气。

$$\eta_{\text{energetic}} = \frac{E_{\text{hydrogen}}}{E_{\text{electric}}} = \frac{V_{H_2} \cdot H_o}{U \cdot I \cdot t}$$

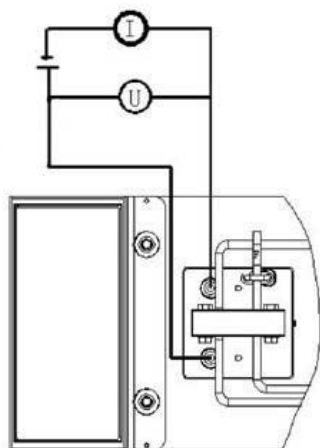
V_{H2} =实验产生氢气体积 cm³

H_o =总热值¹⁾= 12745 KJ/m³ U=电压 V

I=电流 A

T=时间 s

¹⁾总热值包括氢气中全部能量(包括水蒸气的冷凝能量),纯发热能量H_u=10,800 KJ/m³更常用,因为这是内燃机和燃料电池的直接对照。



实验安装和步骤

- 1 根据左边的图解示意图,完成该实验的安装。
- 2 在实验开始前,电解槽需要在0.6A恒定电流和低于1.6V电压的工作环境下运行至少10分钟。
- 3 关闭电流,检查收集气体前的准备工作是否完成。
注意:止水夹D和E一定要处于关闭状态。
- 4 准备工作之后,打开电流(0.6A),开始记录时间。每隔一定的体积(比如5mL)记录下所用时间,电流和电压在下表中。

V _{H2} /mL	t / s	U / V	I / A	P/W
5	0			
10				
15				
20				
25				
30				

5. 计算电解槽功率和理论产生气体的体积，代入实际产生气体体积和理论产生气体体积，求得法拉第效率。也可以通过算可用能量与消耗能量的比值，求得能量效率。

实验4: 法拉第第一定律和燃料电池效率

与上一次电解槽效率实验步骤相类似，我们能够使用法拉第第一定律来获得燃料电池效率。以下为法拉第第一定律计算燃料电池的理论消耗值的公式：

$$V = \frac{R \cdot I \cdot T \cdot t}{F \cdot p \cdot z}$$

法拉第效率可以通过实际消耗值与理论消耗值的比值而获得。

$$\eta_{\text{Faraday}} = \frac{V_{\text{H}_2} \text{ (calculated consumption)}}{V_{\text{H}_2} \text{ (real consumption)}}$$

由于燃料电池内部的扩散过程，实验中使用的气体体积会稍稍大于理论体积。（类似于电解槽）

燃料电池效率（类似于电解电池效率）极大的取决于功率。负载越接近于燃料电池的有效功率，效率也就越高，尽管燃料电池会在它潜在功率下运行。

$$\eta_{\text{energetic}} = \frac{E_{\text{electric}}}{E_{\text{hydrogen}}} = \frac{U \cdot I \cdot t}{V_{\text{H}_2} \cdot H_u}$$

V_{H2}=消耗氢气体积 cm³

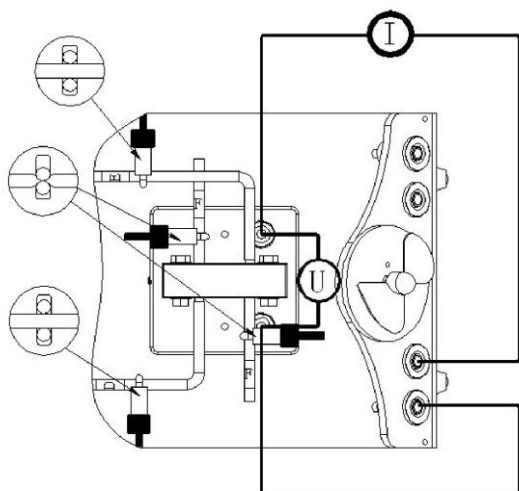
H_u=氢气净发热= 10800 KJ/m³

U =电压 V

I =电流 A

t =时间 s

实验安装与实验步骤:



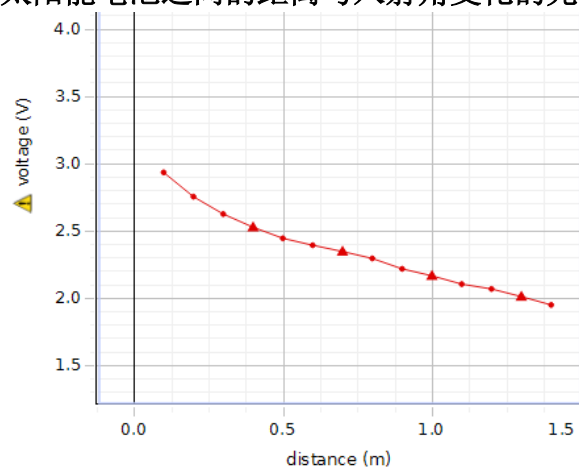
1. 确保两极的正确性！
2. 当氢气盛气管加满时，关闭电解槽的A/B 止水夹。
3. 打开D/E止水夹，使气流流通。
4. 如果风扇没有旋转，我们需要再排出混杂的气体直到风扇开始旋转。
5. 检查氢气储气罐的液面有5mL。如果低于5mL，打开燃料电池F止水夹H₂入口，直到液面到5mL，然后关掉F止水夹和A、B止水夹。如果超过5mL，继续收集H₂直到液面到5mL,再关掉A、B止水夹。
6. 开始记录时间，和测量电流、电压、体积。
7. 我们建议电流，电压以及运行时间的测量以

恒定体积的间隔的方式进行。（例如：每20ml测量一组数据）

时间(min)									
电流 (A)									
电压 (V)									
功率 (W)									

附录 I 实验结果与分析

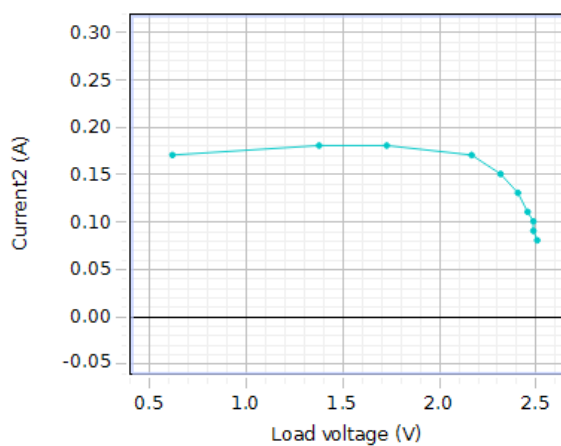
实验1: 光源与太阳能电池之间的距离与入射角变化的光电流和空载电压的函数



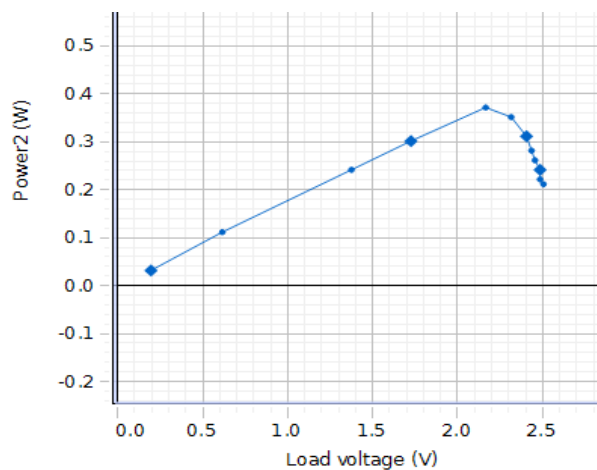
分析 : 太阳能电池板的空载电压与电流随着距离的增加而减小。

实验 2 : 太阳能电池的电流-电压特性与功率-电压特性

太阳能电池的电流-电压特性



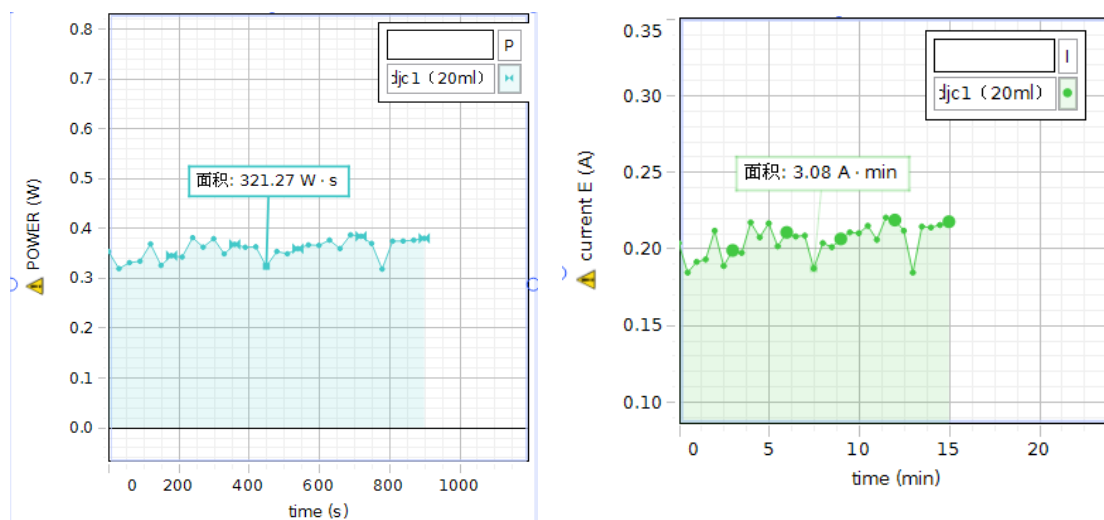
太阳能电池的功率特性



分析:

最大功率点就是电压电流值最大的那个点。可以由两种不同的方法判定：在I-U特性表与P-U表格中，面积最大的矩形（MPP~0.37W）。负载功率应该总是接近MPP。

实验3: 电解槽产生氢气



分析：

实际氢气产生量: $V=20\text{ml}$

理论氢气值：

$$V = \frac{R \cdot I \cdot T \cdot t}{F \cdot P \cdot Z} = \frac{8.314 \cdot 3.08 \text{ A} \cdot \text{min} \cdot 290 \text{ K}}{1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot (96485 \text{ C/mol}) \cdot 2} = 22.793$$

所以，法拉第效率值为：

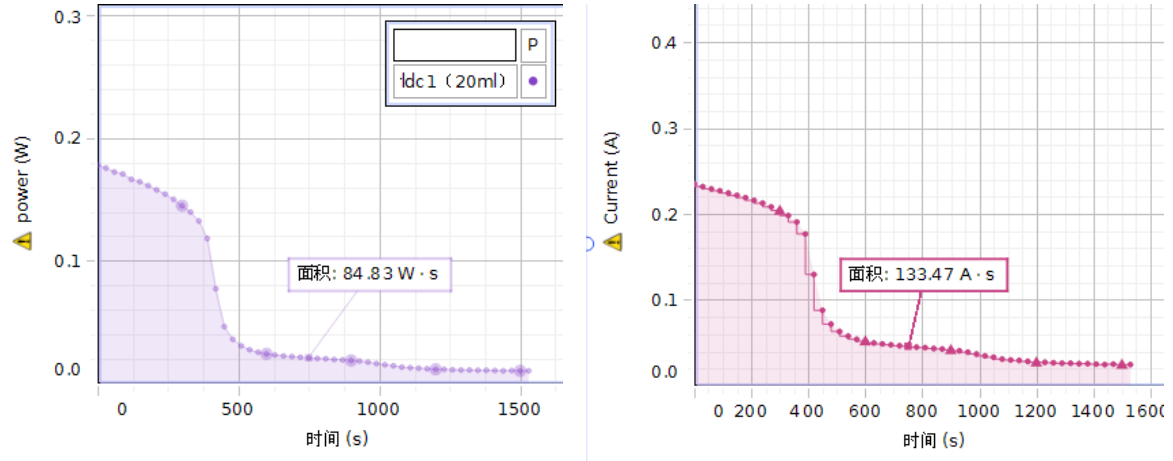
$$\eta_{\text{Farady}} = \frac{V_{H_2}(\text{experimental})}{V_{H_2}(\text{Theoretical})} = \frac{20 \text{ ml}}{22.793 \text{ ml}} \approx 0.877$$

能量效率值

为：

$$\eta_{\text{energetic}} = \frac{E_{\text{hydrogen}}}{E_{\text{electric}}} = \frac{V_{H_2} \cdot H_0}{U \cdot I \cdot t} = \frac{20 \text{ ml} \cdot 12745 \text{ KJ/mol}}{321.27 \text{ W}} \approx 0.793$$

实验4：法拉第第一定律氢氧燃料电池效能



分析：

在该实验中氢气实际消耗率为： $V=20ml$

理论氢气消耗值：

$$V = \frac{R * I * T * t}{F * P * Z} = \frac{8.314 * 133.47 A * S * 293 K}{1.013 * 10^5 Pa * (96485 C/mol) * 2} = 16.63 ml$$

法拉第效率为：

$$\eta_{Faraday} = \frac{V_{H_2}(theoretical)}{V_{H_2}(consumed)} = \frac{16.63 ml}{20 ml} = 0.83$$

能量效率值为：

$$\eta_{energetic} = \frac{E_{electric}}{E_{hydrogen}} = \frac{U * I * t}{V_{H_2} * H_U} = \frac{84.84 W}{20 ml * 10800 * 10^3 J / m^3} = 0.393$$