

台灣二〇〇五年國際科學展覽會

科 別：化學

作品名稱：產電生氫伏打電池

學 校：高雄縣立鳳西國民中學

作 者：張耿銘

自我介紹

我的名字叫張耿銘，現在就讀高雄縣鳳西國中。我來自一個淳樸的小鎮，從小我就對數學及自然科學有很大的興趣，因此相對的在這方面也獲得了較多的成就感，客廳裡擺滿了我和弟弟南征北討的許多獎盃。

我希望自己長大以後，可以走研究路線。在我的書桌前，我貼著諾貝爾一百年得主全覽，希望有一天我的照片也能出現在上面。

產電生氫伏打電池

中文摘要：

在一次意外的發現中，我觀察到以鱷魚夾夾住的鎂帶在海水中竟然不斷的冒出氣泡，引起了我一探究竟的興趣。經由一系列的探索和實驗，我驗證了此種奇特電化學行為的反應機制，並且藉著此種機制，我嘗試尋找可以產生最大電流、電壓的伏打電池組合，以便製出一個又產電、又生氫的新式伏打電池，一方面可作為直流電的電源，另一方面產生的氫氣又可作為燃料電池的燃料來源。

Summary :

In one accidental discovery, I've observed that there were continuously bubbles coming out when a magnesium stripe was attached by the metal clip in the sea water. This incident aroused my curiosity to find out the reason. Through a series of searching and experiments, I have proved the mechanic reaction of this spectacular electronic chemical behavior. Then I tried to search for a combination which can produce the greatest electronic current and voltage in order to produce a new type of voltage battery that can produce electricity and hydrogen. In one way, it can be the source of producing the direct-current. On the other way, the hydrogen it produced can also be the source of a fuel battery.

產電生氫伏打電池

壹、前言：

一、研究動機:

邁入二十一世紀之後，工業界面臨的最嚴苛的考驗就是石化燃料即將消耗殆盡，能源工業中最可能的接替者—燃料電池即將登上人類社會能源的舞台，它是一種直接將化學能轉變為電能的裝置，其效率比燃料燃燒後用於火力發電高出約 30~40%，其中尤以氫—氧燃料電池最具環保性，因為它的最後產物為水，對環境幾乎沒什麼影響。因此，在一個意外的發現之後，我展開了這次的研究，希望能夠製出一個創新的可以產電生氫的電池，除了本身可產生電流、電壓之外，其產生的氫氣則可做為燃料電池的燃料來源。

二、研究目的:

- 1.研究鎂帶在海水中的特異電化學行為，並探討其可能的化學機制。
- 2.探討鎂帶在海水中產生氫氣的速率，和引發的電流、電壓大小。
- 3.研發一套新式的船用伏打電池。

貳、研究方法或過程:

一、觀察：意外的發現：

由元素的活性表： $K>Na>Ca>Mg>Al>C>Zn>Fe>Pb>Cu>Hg>Ag>Au$ 可知，鎂的活性相當大，可與酸性水溶液起反應，產生氫氣，但是其活性並沒有大到像鹼金族一般「遇水則發」，因此鎂帶遇到水幾乎是不起反應的，那海水呢？海水對金屬的腐蝕性極強，又含有超過 60 種以上的元素，如果鎂能夠與其中的物質發生了電化學行為，產生氫氣，那一定非常具有研究價值，因為氫是燃料電池的最佳選擇，轉換效率高，化學變化之後的產物為水（ H_2O ），對環境也幾乎沒有影響。於是我到海邊去取回一些海水，取出一部分放在塑膠杯裡，然後將鎂帶置於其中。奇怪的事發生了！鎂帶竟然冒出少量氣泡，而更令人驚訝的是，當我用鱷魚夾夾住鎂帶再放回杯中時，鎂帶竟然冒出多量氣泡，尤其鱷魚夾附近更明顯，以伏特計一量，電壓高達 1.6V！

二、理論探討：

看到了這個奇妙的現象之後，我試圖以目前已知的化學知識去解釋它，然而翻閱了國高中、大學的化學教科書之後，卻找不到與此現象有關的單元和敘述，就連老師和大學教授也都沒見過這個奇怪的現象，於是在老師的指導下「大膽假設，小心求證」，嘗試以不同的實驗找出影響此奇妙現象的化學機制。

1.海水成分的探討

以足夠精密的分析程序，就能很容易地從海水中找到自然界所有之各種元素，目前約有 60 種元素在海水中的濃度已經由實驗測出，下表列出其中含量最多 $>200mg/L$ 的 6 種元素的濃度，各元素在一立方呎海水中的含量以及他們在全球海洋中的總含量。不過此表中各元素的濃度仍然不免有若干欠缺或誤差，因為有些數值係由海洋淺處所取得的單一水樣分析而得；一般而言，接近水面的海水比自五千呎深處所取得的水樣代表之水圈特性相差甚多。

元素	濃度 (mg/L)	在海水中的含量 (公噸/立方哩)	全球總含量 (公噸)
氯 (Cl)	190000.0	89500000	293000000000000000
鈉 (Na)	10500.0	49500000	163000000000000000
鎂 (Mg)	1350.0	6400000	21000000000000000
硫 (S)	855.0	4200000	14000000000000000
鈣 (Ca)	400.0	1900000	6000000000000000
鉀 (K)	280.0	1800000	6000000000000000

表一

其實，海水溶解的固體物質中，百分之九十九以上是由九種元素構成。其中以氯和鈉兩種元素最多，佔百分之八十五點二。上述九種元素已有規則的定比存在於海水中，所有鹽中的成分含百分之五十四點八的氯離子，百分之三十點四的鈉離子，百分之七點五的硫酸根離子，百分之三點七的鎂離子，百分之一點二鈣離子，百分之一點一的鉀離子，百分之零點三的碳酸根離子，百分之零點二的溴離子，以及百分之零點零七的硼酸根離子。

由我學到的化學知識來看，氯離子帶負電，非常安定，可是與鎂離子結合成氯化鎂，不容易失去電子，而形成氯分子氣體（除非是由外界提供直流電源）。另外，鈉的活性比鎂還要大，很容易形成鈉離子，安定地存在於自然界中，要用活性比它小的鎂失去電子，將鈉離子還原成鈉原子根本就不可能！而鎂與鎂離子則屬於同一成分，除了有不同的氧化數而發生自身氧化還原，否則無研究價值。

三、海水成份反應測試實驗：

瞭解海水的主要成份之後，我決定由其含量的多寡依序作實驗，試圖找出是否由於海水中的某種成份，而造成這種奇特的電化學反應。由上述海水成份的探討可以知道海水中含量最多的離子是氯離子，約佔百分之五十四點八其次是鈉離子約佔百分之三十點四，而海水的總鹽度平均值約為百分之三點五或千分之三十五，氯離子約佔全部海水的百分之一點九二，鈉離子則佔百分之一點零六。由於氯離子也可與鎂離子形成鹽類氯化鎂，因此我決定取氯化鈉與氯化鎂的水溶液先進行以下的實驗：

實驗一：

1. 實驗目的：測試氯化鈉、氯化鎂水溶液與鎂帶的反應。
2. 實驗器材、藥品：三樑天平、氯化鈉、氯化鎂、鎂帶、鱷魚夾。
3. 實驗步驟：
 - (1) 以天平取 2.70g 的氯化鈉，先以適量的水溶解，再配置成 100g，2.70%氯化鈉水溶液備用，此時鈉離子濃度約為 1.06%，近似於海水。
 - (2) 先以一小段（約 2~3cm）鎂帶置入上述水溶液中觀察鎂帶的變化。
 - (3) 再以鱷魚夾夾住一小段鎂帶置入上述水溶液中觀察鎂帶的變化。
 - (4) 以天平取 0.53g 的氯化鎂，先以適量的水溶解，再配置成 100g，0.53%氯化鎂水溶液備用，此時鎂離子濃度約為 0.14%，近似於海水。
 - (5) 重複步驟 (2)、(3)，並把觀察結果記下來。

結果：經過上述實驗之後，我發現在氯化鈉及氯化鎂水溶液中，置入鎂帶產生的氣泡較少，如果有用鱷魚夾夾住的，則產生較多的氣泡，而且不一定只有在夾住的地方比較多，其他地方也增加許多。但是如果只放在自來水中，只有極微量的氣泡。

四、進階實驗：

實驗二：

爲了研究這個奇妙的現象，我又到海邊取回一桶海水，以便做進一步的測試。

- 1.實驗目的：研究以鱷魚夾夾住的鎂帶，在海水中的電化學之行爲。
- 2.實驗器材、藥品：鎂帶、海水、附鱷魚夾電線數條、伏特計、毫安培計、小塑膠瓶、大塑膠碗、稀鹽酸（2M）1瓶、乳頭滴管、打火機。
- 3.實驗步驟：
 - （1）取2條附鱷魚夾的電線，其中一條電線一端夾住鎂帶，一端連上伏特計之負極，另一條電線一端夾住碳棒，一端連上伏特計的正極。
 - （2）將大塑膠碗裝入三分之一的海水，將步驟（1）的鎂帶和碳棒置入其中，觀察鎂帶變化情形，並測量伏特計電壓及毫安培計電流，紀錄之。
 - （3）以乳頭滴管吸取稀鹽酸，將鹽酸滴入水中，觀察鎂帶、伏特計及毫安培計的變化情形，並將結果紀錄下來。

結果：伏特計及毫安培計的變化情形，如表二、圖二、表三、圖三所示。

做完了以上的比較實驗之後，我已經對鎂帶在海水中的特異行爲有了初步的認識，那就是說：（1）鎂帶在水（自來水）中，幾乎不起反應。（2）鎂帶在1.06%氯化鈉水溶液，0.14%氯化鎂水溶液（模擬海水）中均會產生氣體。（3）鎂帶若以鱷魚夾夾住，則產生氣體的速度更快。

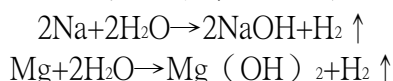
接下來爲了探討鎂帶在海水中，產生的氣體到底是什麼東西，我又進行了底下的實驗。

實驗三：

- 1.實驗目的：確認鎂帶在海水中所產生的氣體成分。
- 2.實驗器材：透明塑膠杯、鎂帶、砂紙、漏斗、小塑膠瓶、海水、打火機。
- 3.實驗步驟：
 - （1）以透明塑膠杯裝海水約全滿。
 - （2）將鎂帶以砂紙磨光，置入透明塑膠杯中，以漏斗蓋住鎂帶。
 - （3）取小塑膠瓶裝滿海水，倒置在透明塑膠杯的海水中，將漏斗頂端小心置入塑膠瓶中，以排水集氣法收集產生的氣體備用。
 - （4）以打火機或點燃的線香檢驗小塑膠瓶中的氣體。

結果：經由以上的實驗中，可以知道原來鎂帶在海水中所產生的氣體是「氫氣」。

換言之，其化學行爲與鈉、鎂置入水中的反應是相似的。即



海水在這裡所扮演的角色相當於「催化劑」，無海水存在時，鎂與水不產生（或非常少）氫氣；有海水存在時，則可以促進Mg與水反應，生成氫氣，爲了驗證這個推測，我繼續進行了以下的實驗。

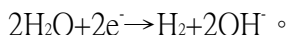
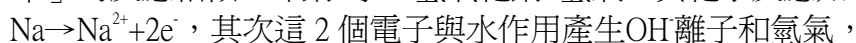
實驗四：

- 1.實驗目的：驗證鎂帶在海水環境下的化學反應。
- 2.實驗器材、藥品：透明塑膠杯、鎂帶、砂紙、酚酞指示劑、乳頭滴管、鱷魚夾。
- 3.實驗步驟：
 - （1）取透明塑膠杯裝海水約1/3滿，以乳頭滴管滴入數滴酚酞指示劑。
 - （2）將鎂帶以砂紙磨光，置入上述塑膠杯中，觀察反應和產生氣體情形，並將結果紀

錄下來。

(3) 取鱷魚夾夾住鎂帶，再放回塑膠杯中，比較步驟(2)的氣體產生速率和溶液顏色變化情形，並將結果紀錄下來。

結果：經過一系列的實驗探討之後，我已經可以確認鎂帶在海水中的反應與「鈉置入水中」的反應相似，即鈉+水→氫氧化鈉+氫氣，其化學反應如下：



到目前為止，鎂帶在海水環境中的化學機制已經獲得實驗證實，因此，「生氫」已經不成問題，但是「產電」呢？由前面的例證可發現到「鎂帶與水會在海水環境下，進行氧化還原反應，把釋放出來的電子送給水分子而產生氫氣」，在這種情況下，要構成「伏打電池」產生電流，勢必要有適當的設計，才能達成預定的目標。

實驗五：

在伏打電池中，常以兩種活性不同的金屬做為電極，浸泡於包含該種金屬離子的電解質水溶液中，再以強電解質水溶液做為鹽橋，將整個電路串聯起來而產生電壓、電流，為了尋找最佳的伏打電池組合方式，以得到最大的電流（電壓），我又進行了以下一系列的實驗測試。

1. 實驗目的：找出可以得到最大電流的伏打電池組合。

2. 實驗器材、藥品：毫安培計、碳棒、鎂帶、砂紙、附鱷魚夾的電線、U型管、脫脂棉花、小燒杯 2 個、海水、 $2\text{MHCl}_{(\text{aq})}$ 、 $0.1\text{MMg}(\text{NO}_3)_2$ 、 $4\text{MHCl}_{(\text{aq})}$ 、 $3\text{MHCl}_{(\text{aq})}$ 。

3. 實驗步驟：

(1) 將毫安培計歸零、鎂帶以砂紙磨光備用。

(2) 取一條附鱷魚夾的導線一端夾住鎂帶，另一端連上毫安培計的負極，再取一條附鱷魚夾的導線一端夾住碳棒，另一端連上毫安培計的正極。

(3) 將鎂帶置入裝有約 1/2 海水的右燒杯中，碳棒則置入裝有約 1/2 的 $2\text{MHCl}_{(\text{aq})}$ 的左燒杯中，U型管中裝滿海水後，兩端管口處塞入棉花（注意不要留有氣泡），然後分別置入左、右兩燒杯中。

(4) 每隔一段時間測量毫安培計的讀數變化情形，並紀錄之。

(5) 右燒杯中改放入 $0.1\text{MMg}(\text{NO}_3)_2$ 溶液，其餘不變，重複步驟(3)、(4)。

(6) U型管中改放入 $0.1\text{MMg}(\text{NO}_3)_2$ 溶液，其餘不變，重複步驟(4)、(5)。

(7) U型管中改放入 $2\text{MHCl}_{(\text{aq})}$ ，其餘不變，重複步驟(4)、(5)。

(8) 右燒杯中改放入海水，U型管中仍是 $2\text{MHCl}_{(\text{aq})}$ ，重複步驟(4)。

(9) 左燒杯及U型管中均改放入 $3\text{MHCl}_{(\text{aq})}$ ，右燒杯中仍是海水，重複步驟(4)。

(10) 左燒杯及U型管中均改放入 $4\text{MHCl}_{(\text{aq})}$ ，右燒杯中仍是海水，重複步驟(4)。

結果：

(1) 左燒杯裝 2M 的 HCl、U 型管裝海水、右燒杯裝海水時，電流從 1.5mA 降至 1mA。（如表、圖四）

(2) 左燒杯裝 2M 的 HCl、U 型管裝海水、右燒杯裝 0.1M 的 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 時，電流從 1.4mA 降至 1.1mA。（如表、圖五）

(3) 左燒杯裝 2M 的 HCl、U 型管裝 0.1M 的 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 、右燒杯裝 0.1 的 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 時，電流從 0.3mA 降至 0.1mA。（如表、圖六）

(4) 左燒杯裝 2M 的 HCl、U 型管裝 2M 的 HCl、右燒杯裝 0.1M 的 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 時，電流從 3mA 降至 2.1mA。（如表、圖七）

(5) 左燒杯裝 2M 的 HCl、U 型管裝 2M 的 HCl、右燒杯裝海水時，電流從 3.2mA 降至

3mA。(如表、圖八)

- (6) 左燒杯裝 3M 的 HCl、U 型管裝 3M 的 HCl、右燒杯裝海水時，電流從 7mA 降至 3.5mA。(如表、圖九)
- (7) 左燒杯裝 4M 的 HCl、U 型管裝 4M 的 HCl、右燒杯裝海水時，電流從 10mA 降至 4.5mA。(如表、圖十)
- (8) 左燒杯裝 32% 的 HCl、U 型管裝 32% 的 HCl、右燒杯裝海水時，電流從 41mA 降至 16.5mA。(如表、圖十一)

除此之外，一般的電池用「並聯」加以連接時，電流會變大；而用「串聯」連接時，電壓則會升高，我也很想知道這種新式的伏打電池是否也是如此，因此，我繼續做了底下的一些實驗。

實驗六：

1. 實驗目的：測試本電池並聯、串聯時的電流、電壓變化情形。
2. 實驗器材、藥品：毫安培計、伏特計、碳棒、鎂帶、砂紙、U 型管、脫脂棉花、附鱷魚夾的電線、小燒杯 2 個、海水、4MHCl 溶液。
3. 實驗步驟：
 - (1) 將毫安培計及伏特計歸零，鎂帶以砂紙磨光備用。
 - (2) 同上述實驗步驟 (2)。
 - (3) 將鎂帶置入裝有約 1/2 海水的左燒杯中，碳棒則置入裝有約 1/2 的 4MHCl_(aq) 的右燒杯中，U 型管中同樣裝滿 4MHCl_(aq)，兩端管口處塞入棉花(注意不要留有氣泡)，然後分別置入左、右兩燒杯中。
 - (4) 以步驟 3 的方法，另製一套同樣的伏打電池將電池的兩極以並聯方式連上毫安培計的「50mA」的檔位上；正接「+」、負接「-」，測量毫安培計變動情形，並紀錄之。
 - (5) 移開毫安培計，改用伏特計，先將上述的二套伏打電池串聯之後，再連上伏特計的兩極；正接「+」、負接「-」，測量伏特計變動情形，並紀錄之。

結果：

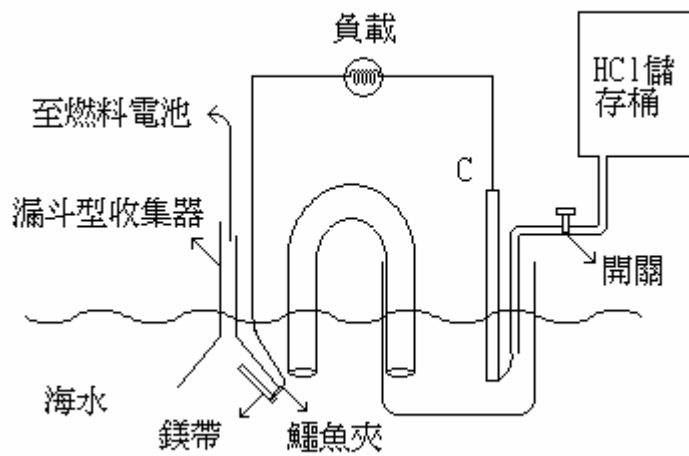
- (1) 一開始不小心把碳棒及鎂帶放錯邊，測出有 18mA。
- (2) 單獨一個伏打電池時，電流是 7mA；並聯後，可達 22~27mA。(表、圖十二)
- (3) 單獨一個伏打電池時，電壓是 1.6V；串聯後，可達 3.1V。

實驗七：

1. 實驗目的：測試鎂帶在海水中生氫的速率。
 2. 實驗器材：海水、鎂帶、鱷魚夾、漏斗、10ml 量筒、大塑膠碗。
 3. 實驗步驟：
 - (1) 在大塑膠碗中裝八分滿的海水，並將鎂帶以砂紙磨光備用。
 - (2) 以鱷魚夾夾住鎂帶放入海水中。
 - (3) 將量筒裝滿海水，將漏斗前端插入量筒，並放入海水中。(蓋在鎂帶上，且量筒口要低於海水面。)
 - (4) 利用排水集氣法可測試氫氣產生的速率，觀察其結果，並紀錄之。
- 結果：由排水集氣法 收集的氫氣，可藉由量筒看出其生成量。(如表、圖十三)

五、建立模型

模型示意圖



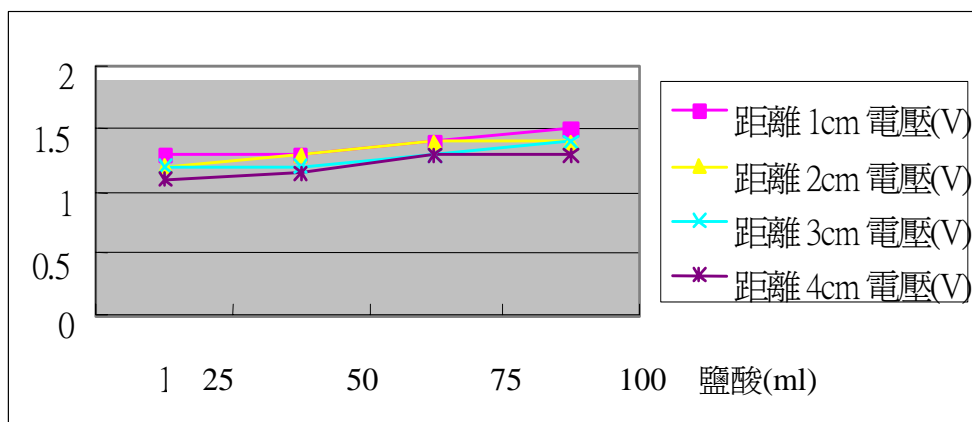
在U型管及燒杯中裝入高濃度HCl (aq)，並將U型管一端浸入無窮無盡的海水中，使這項裝置不斷地產電和生氫，以達到我們的目標。

參、研究結果與討論：

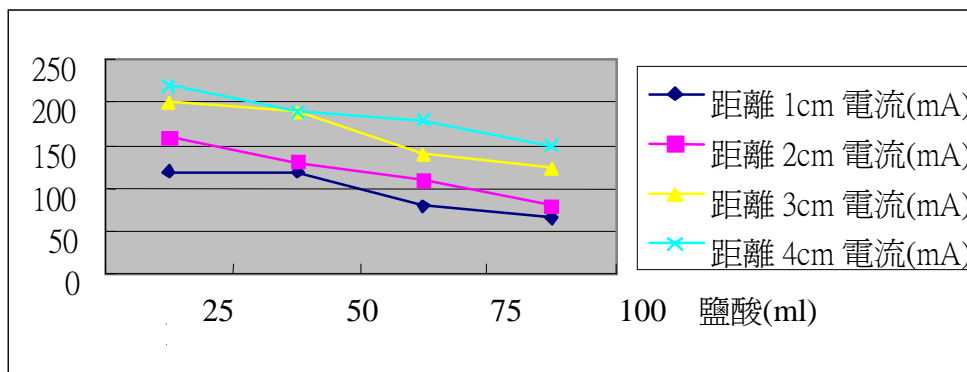
一、結果

距離 鹽 酸	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm
25ml	120mA , 1.3V	120mA , 1.2V	80mA , 1.2V	65mA , 1.1V
50ml	160mA , 1.3V	130mA , 1.3V	110mA , 1.2V	80mA , 1.15V
75ml	200mA , 1.4V	190mA , 1.4V	140mA , 1.3V	125mA , 1.3V
100ml	220mA , 1.5V	190mA , 1.4v	180mA , 1.4V	150mA , 1.3V

表二



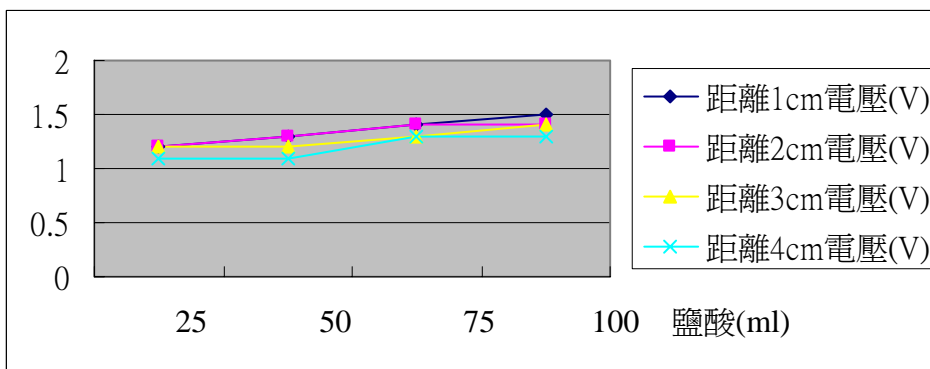
圖二~1



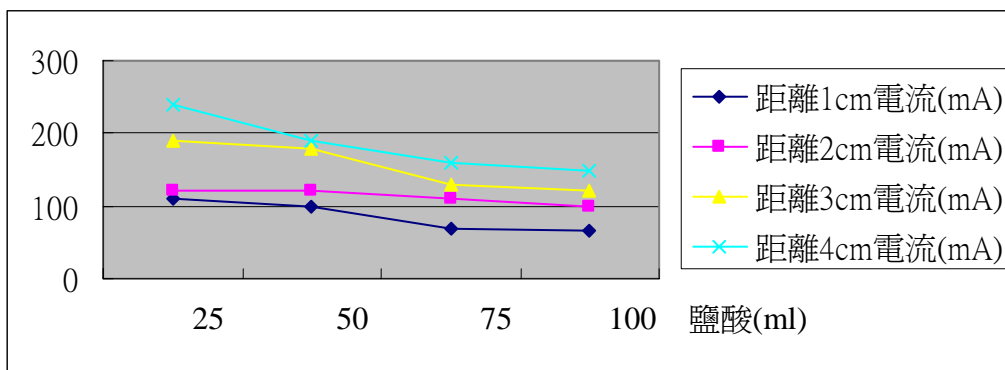
圖二~2

距離 鹽酸	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm
25ml	110mA , 1.2V	100mA , 1.2V	70mA , 1.2V	65mA , 1.1V
50ml	120mA , 1.3V	120mA , 1.3V	110mA , 1.2V	100mA , 1.1V
75ml	190mA , 1.4V	180mA , 1.4V	130mA , 1.3V	120mA , 1.3V
100ml	240mA , 1.5V	190mA , 1.4v	160mA , 1.4V	150mA , 1.3V

表三



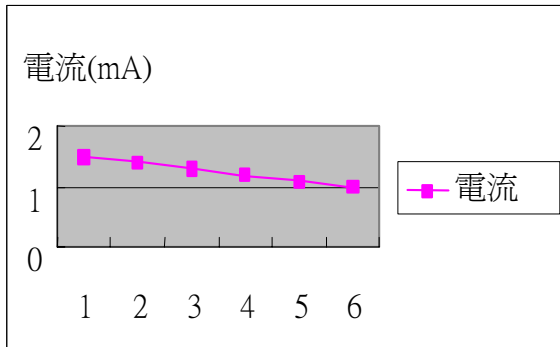
圖三~1



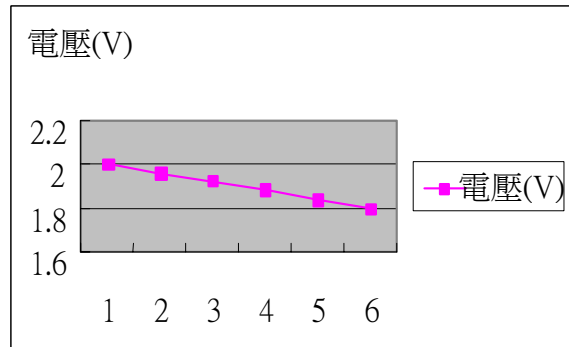
圖三~2

時間	0 分鐘	1 分鐘	2 分鐘	3 分鐘	4 分鐘	5 分鐘
電流	1.5mA	1.4mA	1.3mA	1.2mA	1.1mA	1mA
電壓	2V	1.96V	1.93V	1.88V	1.84V	1.8V

表四



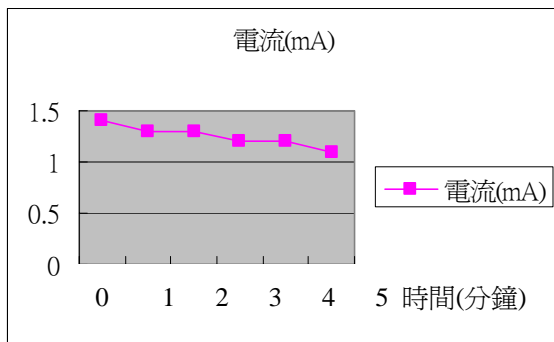
圖四~1



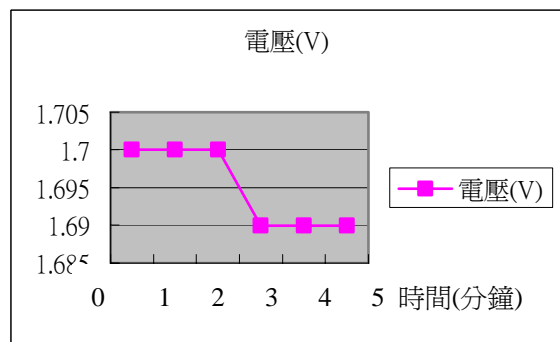
圖四~2

時間	0 分鐘	1 分鐘	2 分鐘	3 分鐘	4 分鐘	5 分鐘
電流	1.4mA	1.3mA	1.3mA	1.2mA	1.2mA	1.1mA
電壓	1.7V	1.7V	1.7V	1.69V	1.69V	1.69V

表五



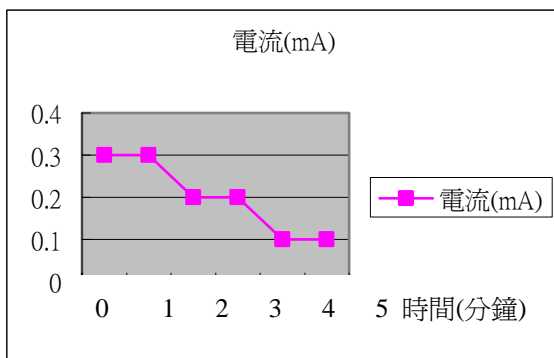
圖五~1



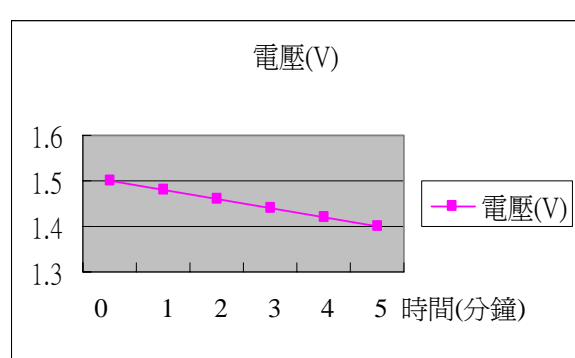
圖五~2

時間	0 分鐘	1 分鐘	2 分鐘	3 分鐘	4 分鐘	5 分鐘
電流	0.3mA	0.3mA	0.2mA	0.2mA	0.1mA	0.1mA
電壓	1.5V	1.48V	1.46V	1.44V	1.42V	1.4V

表六



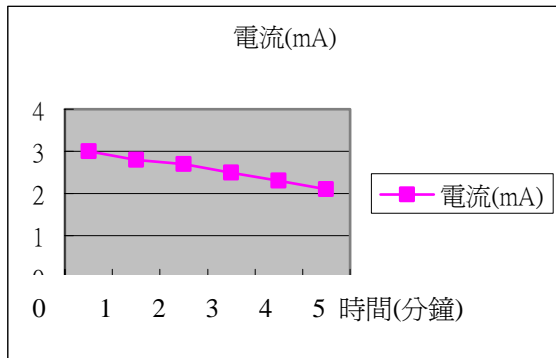
圖六~1



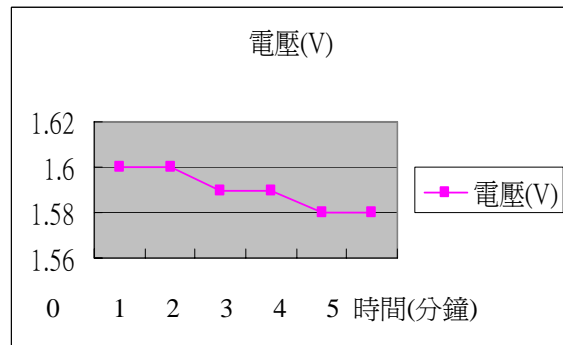
圖六~2

時間	0 分鐘	1 分鐘	2 分鐘	3 分鐘	4 分鐘	5 分鐘
電流	3mA	2.8mA	2.7mA	2.5mA	2.3mA	2.1mA
電壓	1.6V	1.6V	1.59V	1.59V	1.58V	1.58V

表七



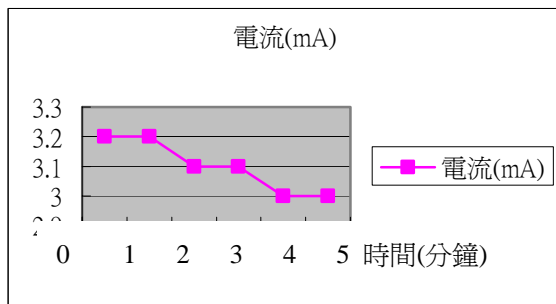
圖七~1



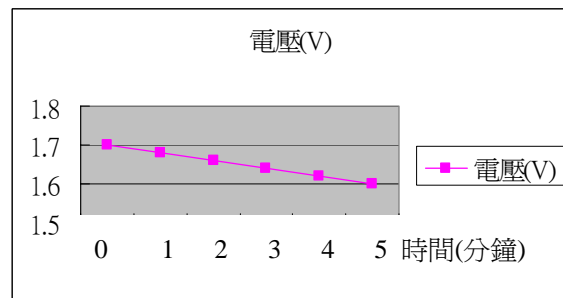
圖七~2

時間	0 分鐘	1 分鐘	2 分鐘	3 分鐘	4 分鐘	5 分鐘
電流	3.2mA	3.2mA	3.1mA	3.1mA	3mA	3mA
電壓	1.7V	1.68V	1.66V	1.64V	1.62V	1.6V

表八



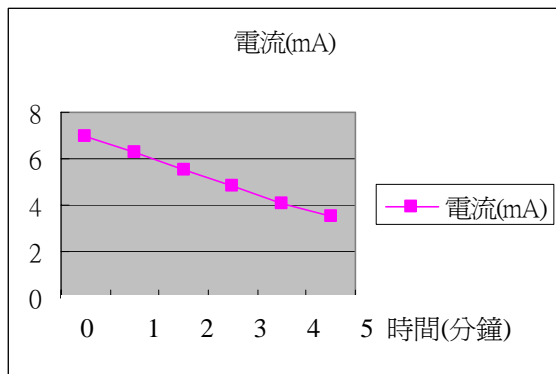
圖八~1



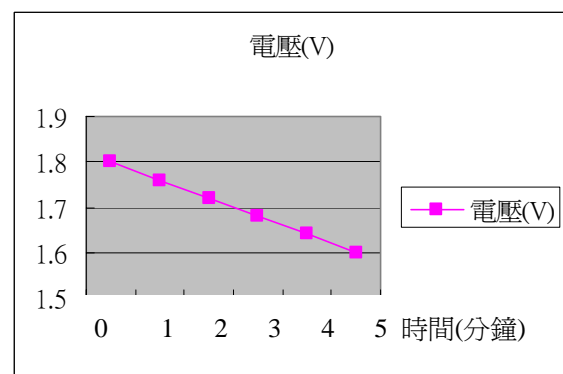
圖八~2

時間	0 分鐘	1 分鐘	2 分鐘	3 分鐘	4 分鐘	5 分鐘
電流	7mA	6.3mA	5.5mA	4.8mA	4.1mA	3.5mA
電壓	1.8V	1.76V	1.72V	1.68V	1.64V	1.6V

表九



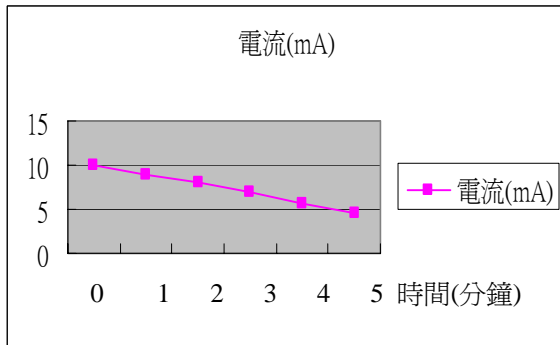
圖九~1



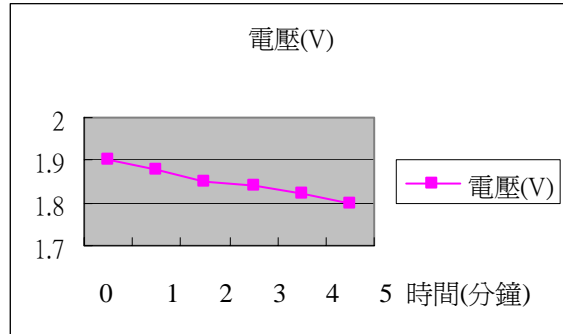
圖九~2

時間	0 分鐘	1 分鐘	2 分鐘	3 分鐘	4 分鐘	5 分鐘
電流	10mA	8.9mA	8mA	6.9mA	5.7mA	4.5mA
電壓	1.9V	1.88V	1.85V	1.84V	1.82V	1.8V

表十



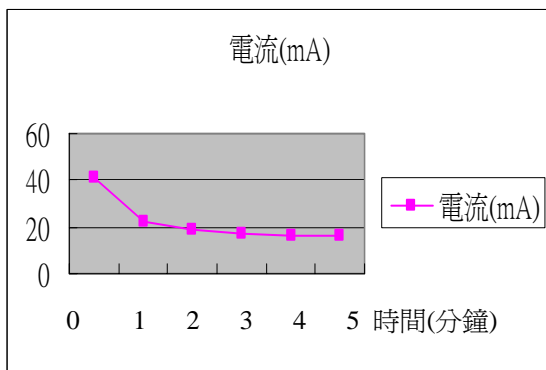
圖十~1



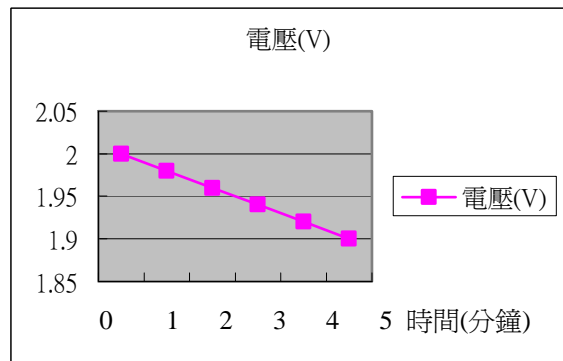
圖十~2

時間	0 分鐘	30 秒	1 分鐘	1 分 30 秒	2 分鐘	2 分 30 秒
電流	41mA	22mA	19mA	17.5mA	16.5mA	16mA
電壓	2V	1.98V	1.96V	1.94V	1.92V	1.9V

表十一



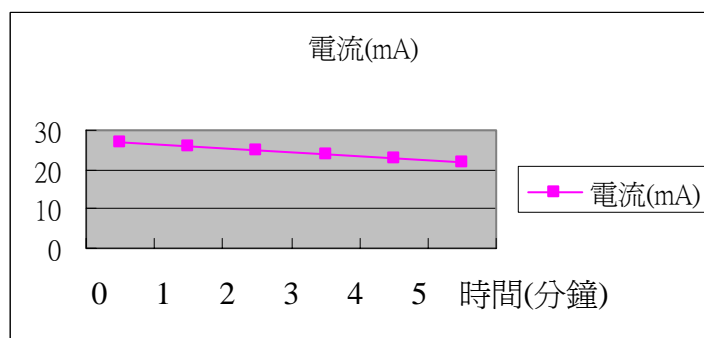
圖十一~1



圖十一~2

時間	0 分鐘	1 分鐘	2 分鐘	3 分鐘	4 分鐘	5 分鐘
電流	27mA	26mA	25mA	24mA	23mA	22mA

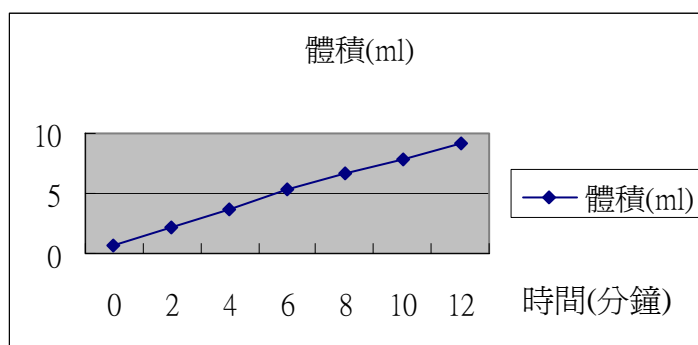
表十二



圖十二

時間	0 分鐘	2 分鐘	4 分鐘	6 分鐘	8 分鐘	10 分鐘	12 分鐘
體積	0.7ml	2.2ml	3.7ml	5.3ml	6.6ml	7.9ml	9.2ml

表十三



圖十三

二、討論：

討論 1：此電池的陽極、陰極的反應情形如何？

按照一般理論，當伏打電池開始放電時，兩極應當都會有化學變化發生。可是在進行實驗時，我發現本電池的陽極反應相當明顯，鱷魚夾夾住鎂帶後，放入海水中即不斷放出電子產生氫氣；但另一邊的陰極反應則不明顯，看起來沒什麼反應，似乎與傳統理論不太一樣。然而毫安培計指針確實有偏轉，顯示有電流流過，為何會如此，值得以後再進一步加以探討。

討論 2：為何有夾上鱷魚夾的鎂帶產生氣泡會較快？

我初步推測這可能與下列兩種原因有關：(1) 表面積變大：鱷魚夾夾住鎂帶之後，由於鱷魚夾尖端的巨大壓力，導致鎂帶表面變形，增大表面積，因而使得氣泡產生較快。(2) 類壓電效應：鎂帶受壓之後，促使其中的電子發生移動現象。

討論 3：本伏打電池有無電壓、電流逐漸下降的情形？

一般的伏打電池在反應過程中，濃度會逐漸降低，導致電流、電壓跟著下降。與一般伏打電池類似，本電池在初步實驗中亦有電壓、電流逐漸下降的情形發生，但在模型示意圖中，鎂帶直接浸泡在無窮無盡的海水中，不會有濃度下降的情形發生，而 HCl 溶液則藉著儲存桶不斷地補充進來，再利用 U 型管的虹吸作用不斷地滲入海水，所以濃度亦不會下降。因此，在實際的情形下，應不會發生電壓、電流下降的情形。(此點有待實驗進一步驗證)

討論 4：本伏打電池串、並聯時，電壓、電流變動情形如何？

由表十二、圖十二可知，串聯兩個伏打電池時，電壓從 1.6V 升至 3.1V，約為兩倍的關係，與理論值相當接近；但是將兩個伏打電池並聯時電流卻從 7mA 跳升至 22~27mA，約成 3~4 倍的關係，推測可能是內電阻改變造成的，或是儀器誤差所導致。

討論 5：哪種組合可產生最大電流和電壓？

由實驗五可知，電流大小與 HCl_(aq) 濃度關係密切，而電壓則否。當鎂帶置於海水中，碳棒置於 4MHCl_(aq)，U 型管中亦為 4MHCl_(aq) 時，在本實驗中可產生最大電流 (41mA)、

最大電壓 (2V)，吾人亦可預測當 $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ 濃度更高時，將會產生更大的電流，但電壓則維持在 2V 左右。此與鎂的氧化電位有關。

討論 6：零件銹蝕問題？

本系統比較會產生銹蝕的問題的地方應為鱷魚夾，必須特別防銹處理，其他地方則較無此問題。

三、結論與應用：

結論 1：由於本系統的鎂是浸泡在海水中而產電生氫的，因此較適用於海上工程、船舶、潛水…等與海洋有關的場所中。

結論 2：將鎂帶置入海水，碳棒與U型管裝入高濃度 $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ ，電壓無太大變化，一個電池單元約維持 2V左右，但電流強度則變動甚大，且與 $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ 的濃度成正相關。因此若要達到商業化應用的目標，必須並聯多個電池單元以強大電流，串聯多個電池單位以強大電壓。

結論 3：本系統的藥品如 $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ 、Mg，反應之後，Mg將變為 Mg^{2+} 原為海水成分之一， H^+ 則產生氫氣 H_2 ，Cl亦為海水成分之一，因此對環境幾乎沒有任何衝擊。

結論 4：本系統所產生的氫氣可外接至燃料電池系統，作為燃料電池系統的燃料來源，另外產生多餘的電力，可與伏打電池產生的電力合併使用，而其最終產物為水對環境幾乎沒有影響。

結論 5：鎂帶在海水中的特異化學行為，與海水環境的存在有關，亦與反應物的鎂受壓有關，海水在這裡扮演的角色類似催化劑。

肆、參考文獻：

- 一、Keenan.Wood.Kleinfelter 著 (陶雨台譯) 『大學普通化學』修訂五版 台北市 曉園出版社 p.242~247、257~260 1976 年
- 二、吳振成等六人著 『普通化學』下冊 台北市 歐亞書局 p.526~555
- 三、賴耿陽著 『燃料電池與電力貯存系統』再刷版 台南市 復漢出版社 p.91~103 民 87 二月
- 四、國立台灣師範大學科學教育中心 『高中地球科學試用教材』第三冊教學指引 台北市 國立台灣師範大學科學教育中心 p.8~10 民 73
- 五、黃文良等二人著 『能源應用』 台北市 東華書局 p213 民 75 八月