

花蓮縣第 63 屆國民中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：生活與應用科學科(一)(機電與資訊)

組 別：國中組

作品名稱：駕馭暴躁的氫氣
-控制物體的沉浮

關鍵詞：電解水、控制氫氣燃燒、控制沉浮

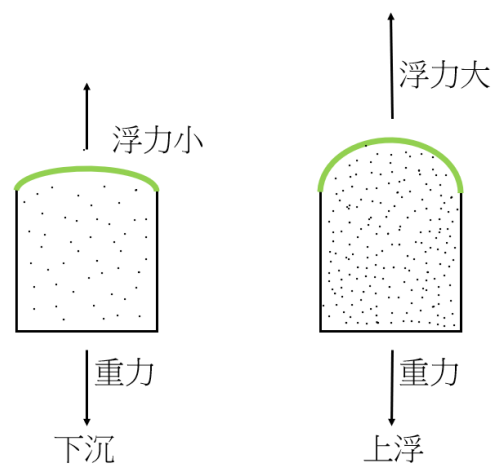
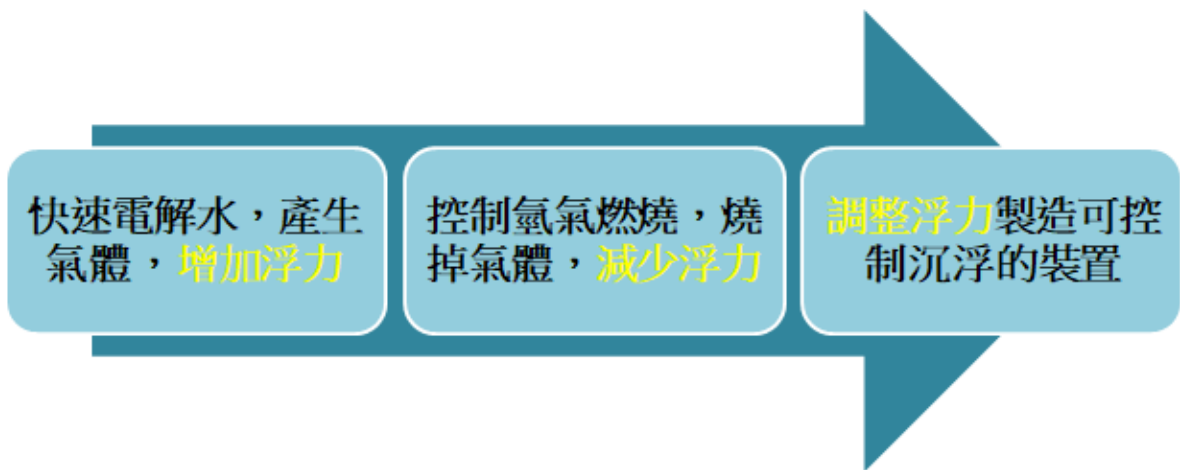
編號:

壹、前言

一、研究動機

在網路上看見了一篇報導說一對夫婦將一個等身大的人偶飄浮在空中，並且沒有人知道是怎麼辦到的，令我們對此產生好奇，我們聯想到了能夠讓一個物體在水中控制升降的方式，利用電解水產生氫氣氧氣增加浮力，燒掉氫氣氧氣減少浮力，這樣就能控制一個物體在水中的沉浮。優點是不需要任何可動設備，所以它自身的重量很輕，於是可以承載很大的重物。於是著手深入的探討電解水和燃燒氫氣的特性，並且希望能夠有效的駕馭氫氣。

本實驗的前置實驗是罩在大壓克力管中進行，且火力小，沒有爆炸的危險。



二、研究目的

(一)、了解產生電解水產生氣體的速率和哪些因素有關？

- 1.電極的材質是否影響電解速率？
- 2.電壓是否會影響電解速率？

- 3.電極上不同位置其電解速率是否相同？
- 4.電極的間距是否影響電解速率？
- 5.電極總長度是否影響電解速率？

(二)、氫氣燃燒的強度和哪些因素有關？

- 1.氫氣燃燒的濃度最低是多少？
- 2.氫氣燃燒之後是否仍然有殘留的氫氣？
- 3.加入銅網後是否會影響氫氣燃燒的比例？

(三)、設計可被控制沉浮的裝置

三、文獻回顧

(一)、電解水

電解水通常是指含電解質的水經過電解之後所生成的產物，將電解液施加外電壓來驅動化學反應，使得正極產生氧氣，陰極則產生氫氣。

負極反應： $4\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2 + 4\text{OH}^-$ ，

正極反應： $4\text{OH}^- \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^-$ ，

全反應： $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$

(二)、浮力和重力的平衡

浮力是指物體在流體中受到的力，方向與其所受重力相反，水中的物體受到向上的浮力等於其排開水的重量。

讓浮力與重力產生平衡就能夠使物體在水中靜止，我們改變浮力使裝置能夠自由的上升與下沉，當產生氫氣氧氣時，球皮會因此而膨脹使得浮力變大而上升，而點火時會因為將氫氣與氧氣化成水蒸氣，球皮消去，浮力減小而下沉。

(三)、氫氣的燃燒

氫氣(H)是一種化學元素，呈無色、無臭、無味非金屬氣體，不具毒性，且高度易燃，只要在空氣中氫氣與空氣混合濃度處於4%至100%，會形成爆炸性混合物，可以經由火花、高溫或陽光點燃，因為極高的溫度，氫氣的燃燒的火焰呈藍色。

氫氣燃燒和電解水是可逆過程，只要電力足夠就能一直進行下去。

(四)、熱脹冷縮及冷卻定律

熱脹冷縮是指物體受熱時會膨脹，愈冷時會收縮。

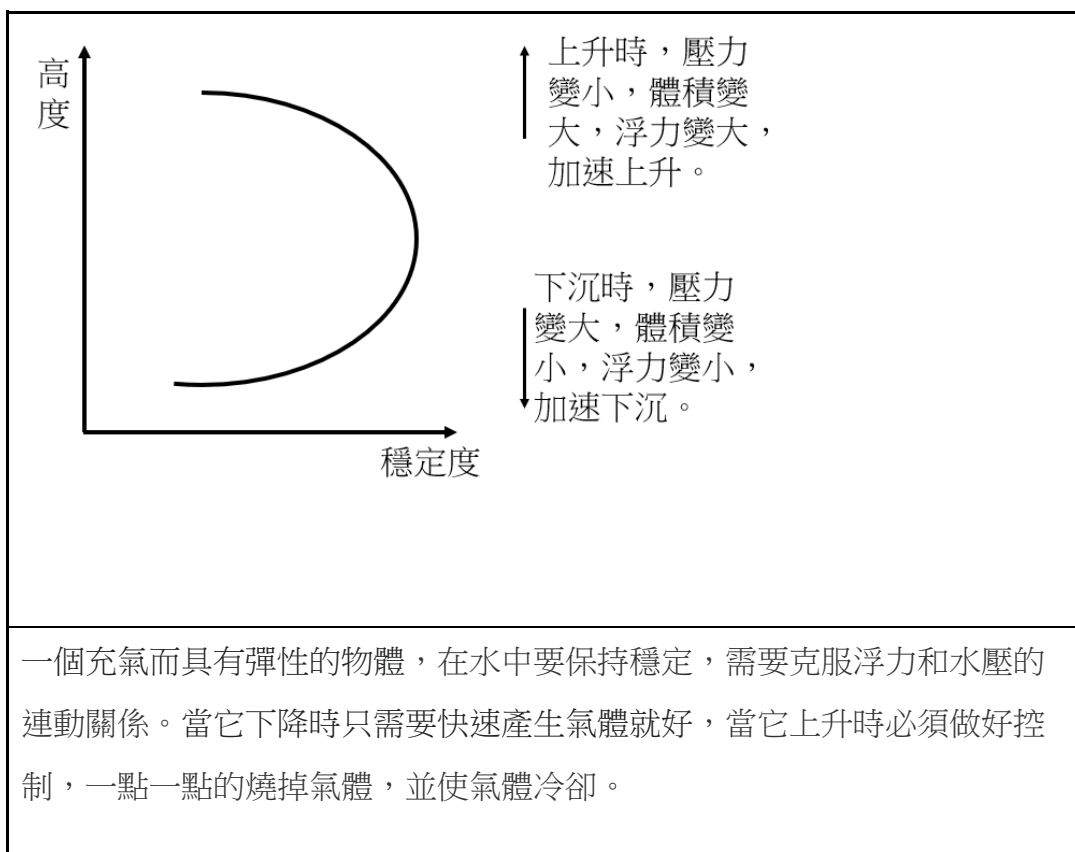
當氫氣被點燃時，氫氣與氧結合變成水，照道理裝置的球皮會因為氣體的燃燒減少而消去下沉，但由於點燃時溫度上升，使得氣體體積變大，因此裝置持續上升，直到罐內氣體溫度下降，使氣體收縮，裝置下降。

(五)、水壓

水壓是會因為深度的加深而增加，只與水的深淺和密度有關係，水越深，水壓越大；密度越大，水壓也會越大，在此，我們的裝置承受的水壓會因為在水中的深度而改變。

當裝置上浮時，水壓也逐漸的減少，導致球皮逐漸膨脹使上浮速度增加，陷入上升時的惡性循環。當裝置下沉時，水壓也逐漸的增加，導致球皮逐漸被壓縮使得體積減少，浮力減少而使下沉加速，陷入下沉時的惡性循環。

解決的方法是當它下沉時，快速電解產生氣體，使球皮膨脹阻止它下沉。當它上升時，控制燃燒氫氣的火力，一點一點燒掉氫氣，使得球皮不會瞬間膨脹而向上暴衝，再使氣體迅速冷卻就能使體積縮小進而有效控制它。



貳、研究設備及器材

			
500毫升密封罐	氫氧化鈉	80目紅銅網	銅絲團
			
1mm不鏽鋼線	18650電池	電蚊拍升壓模組	橡皮手套
			
3.6W整流變壓器	電流鉤錶	電解槽	水槽

參、研究過程或方法

一、了解產生電解水產生氣體的速率和哪些因素有關？

當我們的裝置下沉時，需要盡快電解產生氣體使得橡皮球皮膨脹而增加向上的浮力。所謂的裝置就只是一個小罐子而已，想要在罐子底部繞電解水的正負極，空間有限，

想要快速產生氣體又須避免正負極接觸造成短路，我們就必須先了解電解水的特性並在空間的安排上做取捨。

研究（一）-1電解電極的材質是否影響電解速率？

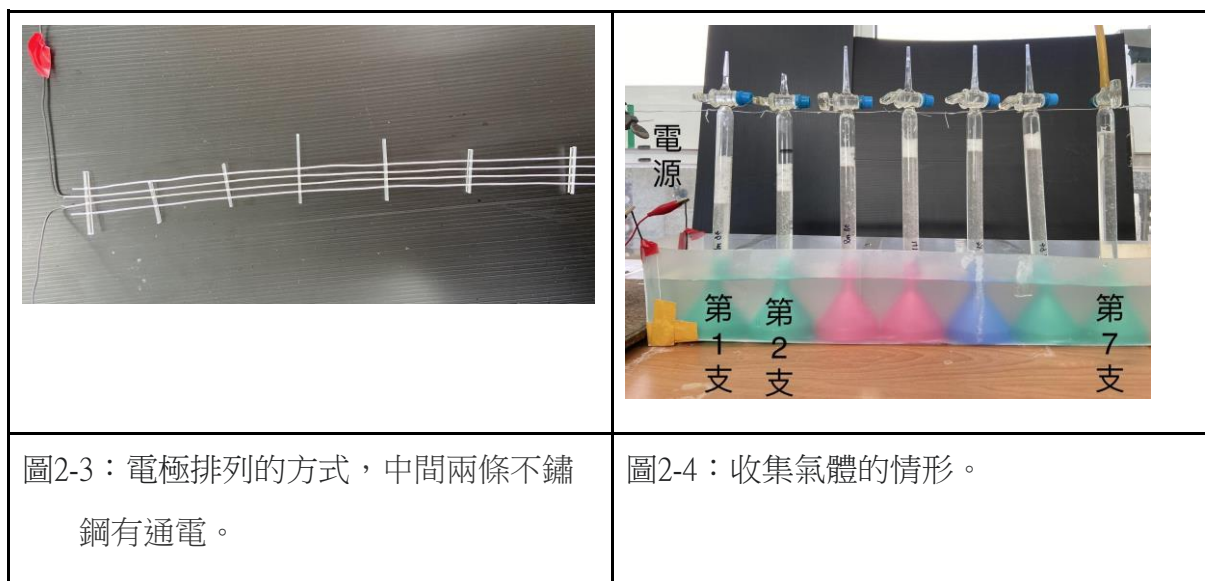
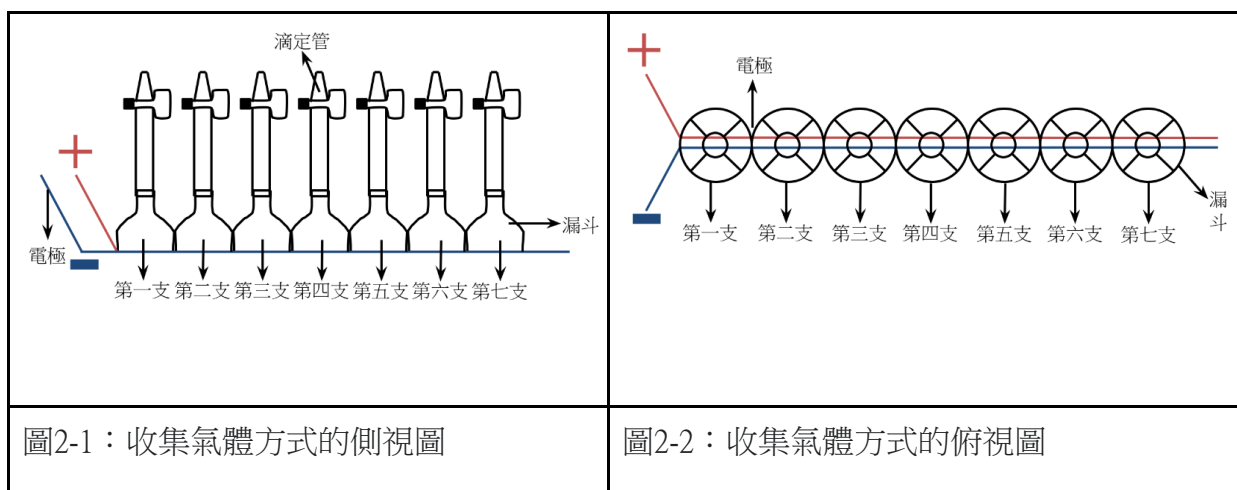
我們分別使用不鏽鋼線和銀線的電極來進行實驗，使用學校實驗用的電解槽，分別把不鏽鋼線或銀線插在同一個橡皮塞，兩電極相距0.6cm，並用滴定管倒扣在上面，如圖1。用注射針筒抽出滴定管的空氣，溶液裝滿整支滴定管後，使用整流變壓器接上電極並開始電解，等到溶液的液面降到底部時停止計時，兩者分別重複做18次後比較數據。

	
圖1-1：電解水的電極，放在一起，正負極長度6cm，間距0.6cm。	圖1-2：電解水裝置，集氣管中同時收集氫氣氧氣。

研究（一）-2電壓是否會影響電解速率？

用壓克力片鑽4個孔，孔間距為0.4cm，製作8片，四條不鏽鋼線分別穿過小孔，每隔一個小漏斗直徑（7.8cm）放置一個壓克力片，這樣可以固定電極間距為0.4cm，4條不鏽鋼線中間2條通電，旁邊2條不鏽鋼線沒有通電（如圖2-1和2-2，圖示中未畫出兩旁沒有通電的不鏽鋼線），因為我們猜測前置實驗中並排的不鏽鋼線之間有氣泡黏在金屬線上，不容易向上逸出，所以小心模擬並排的不鏽鋼線（如圖2-3）。分別用1顆和2顆18650電池進行電解，電壓為4伏特和8伏特，每電解2次就更換電池，實驗重複三次。電解液為0.5M氫氧化鈉4公升倒入自製的長方型塑膠盆中（圖2-1的的圖示中未畫出塑膠盆），電極上方用7個小漏斗，套上33ml滴定管，用注射針筒把滴定管內空氣抽出後鎖住，在滴定管中收集到氫氣和氧氣混和氣體（如圖2-4）。小漏斗頸上方的滴定管能收集33ml

的氣體，分別測量每一支滴定管收集產生33ml氣體所需的時間就能知道總量的氣體產生的速率。（小心別漏氣）



研究（一）-3電極上不同位置其電解速率是否相同？

實驗的方法同研究一，改變電極之間的距離，新增0.3cm、0.6cm分別測量出每一支集氣管收集氣體的時間，就可以知道在這7個位置產生氣體的快慢有何差異。

研究（一）-4電極間距是否影響電解速率？

實驗的方法同研究一，改變電極之間的距離，分別為0.3cm、0.4cm、0.6cm，分別計算出每分鐘收集氣體的量，就可以比較這3種不同的電極間距產生氣體的快慢有何差異。

研究（一）-5電極總長度是否影響電解速率？

在研究一的實驗方法中，把電極後端3個漏斗長度的電極用1號熱縮套套住，並使用強力膠封好，使它不能接觸到電解液，不產生氣體，只留前段4個漏斗和滴定管收集氣體，和7支滴定管收集氣體的速率做比較。

二、氫氣燃燒的強度和哪些因素有關？

研究（二）-1氫氣燃燒的濃度最低是多少？

資料呈現要將氫氣燃燒需要一個最低門檻的濃度，我們嘗試找出以我們的裝置來說至少需要多少濃度才可以點燃，以免裝置在水中開始上升時點火點不了，它就一直上升了。

作法是使用我們自製第二代的罐子，使用3.6W的整流變壓器電解水產生氣體，電極長度50cm，間距0.3cm。開始電解就計時。等一段時間後，使用電蚊拍升壓模組將3伏特轉成6000伏特電弧放電將裝置產生氣體點燃，兩放電電極距離0.3cm，其電路如圖3所示。每一次點燃之後都將裝置蓋子打開搨風，確定裝置內沒有殘留的氫氣，使得下一次實驗不會被上次產生的氣體影響，並且逐次減少點燃的時間，使用10秒10秒跳的方式逐漸減少時間直到無法被點燃，抓到可點燃的最少時間之後進行微調找出真正可點燃的濃度，點火過程中仔細觀察是否有點燃或球皮是否有起伏變化來判斷是否有成功引燃氫氣。

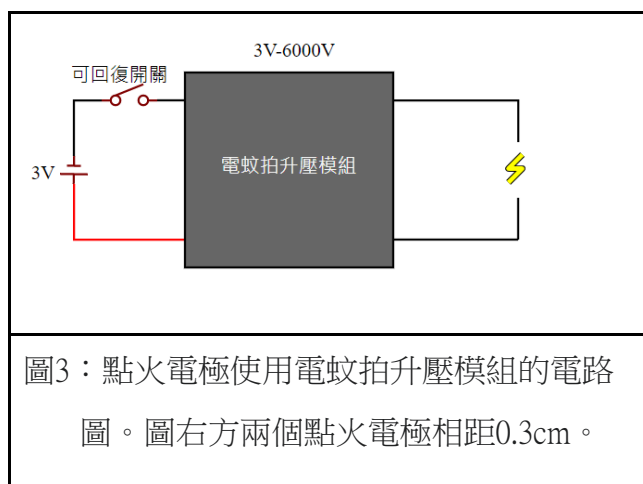


圖3：點火電極使用電蚊拍升壓模組的電路圖。圖右方兩個點火電極相距0.3cm。

研究（二）-2氫氣燃燒之後是否仍然有殘留的氫氣？

因為多次實驗中觀察到氫氣燃燒時產生的火焰是紅色的，並不像資料呈現的是藍色火焰，所以我們懷疑氫氣燃燒的溫度不高，因此不會燒完所有的氫氣，如果能了解它一次燃燒會燒掉多少氫氣，將有助於我們控制氫氣燃燒，蓋子包覆的橡皮才不會一下子暴脹，橡皮暴脹的話，裝置會猛然向上衝，很難控制。

做法是將裝置產生的氣體點燃進行第一次點火燒掉一些氣體，在繼續電解產氣的狀況下測試可再次進行第二次點火所需的最短時間。如果第二次點火所需的等待時間和第一次點火等待的時間相同，代表第一次點火已將氫氣燃燒殆盡；如果第二次點火等待時間很短，就代表第一次燃燒只燒掉一小部分，氫氣很快就可以重新補充回來而重新被點燃。所以第二次點燃所需的等待時間將代表第一次點燃時氫氣被燒掉的比例是多少。

研究（二）-3加入銅網後是否會影響氫氣燃燒的比例？

因為知道金屬導熱良好，能夠將燃燒時產生的熱量導引向別的地方而使火焰燒到的地方迅速降溫，我們期望這樣就能有效控制燃燒火力，不會在燃燒氫氣時產生突然的體積膨脹使浮力大增。如果點火時浮力大增的話，裝置不但不會下降反而會向上猛衝。

做法是在塑膠片的底部管子周圍黏上銅網，並且在銅網與銅網縫隙中塞入銅絲，將其塞滿，裝置如圖4所示。其餘作法如研究二-2（研究二-2並未加裝銅網和銅絲），加裝銅網的燃燒結果和沒有加裝銅網的比較就能得知金屬網對阻止燃燒範圍擴大是否有功效。

		
<p>圖4-1：未加裝銅網，此實驗以下文中的第二代裝置進行實驗。</p>	<p>圖4-2：加裝銅網，放置時從上向下跨過點火電極，所以中間必須留缺口，這缺口可能降低銅網保護力。</p>	<p>圖4-3：加裝銅網，銅網下方的樣子。</p>

因為顧慮加裝銅網和銅絲後會妨礙電解產生的氫氣氧氣能自由到達點火電弧處，所以實驗前已經比照研究一的做法測試過最低的點火時間，結果證明銅網和銅絲會影響氫氣氧氣流到點火電極處的時間，使點火電極處的氫氣累積達到最低可燃濃度所需的時間變慢，110秒的時間大約會慢10秒。

肆、研究結果

研究一-1電解電極的材質是否影響電解速率？

實驗結果由圖5所示：

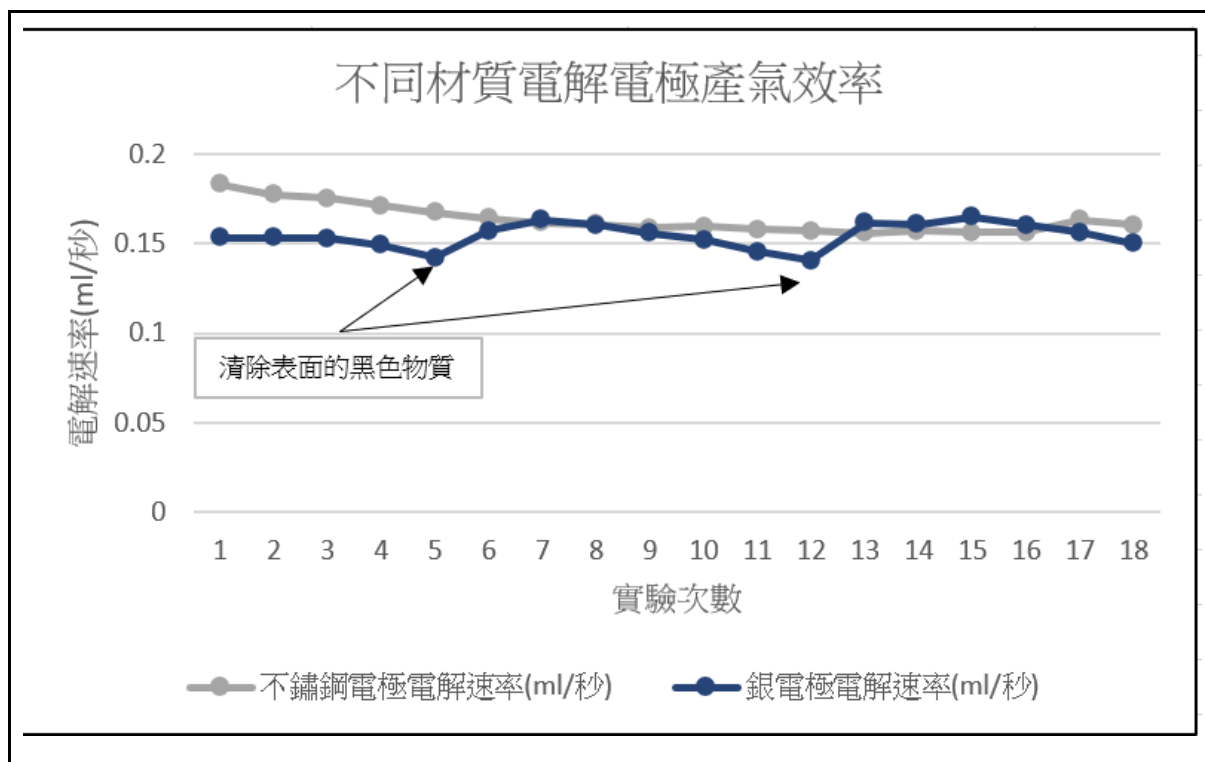
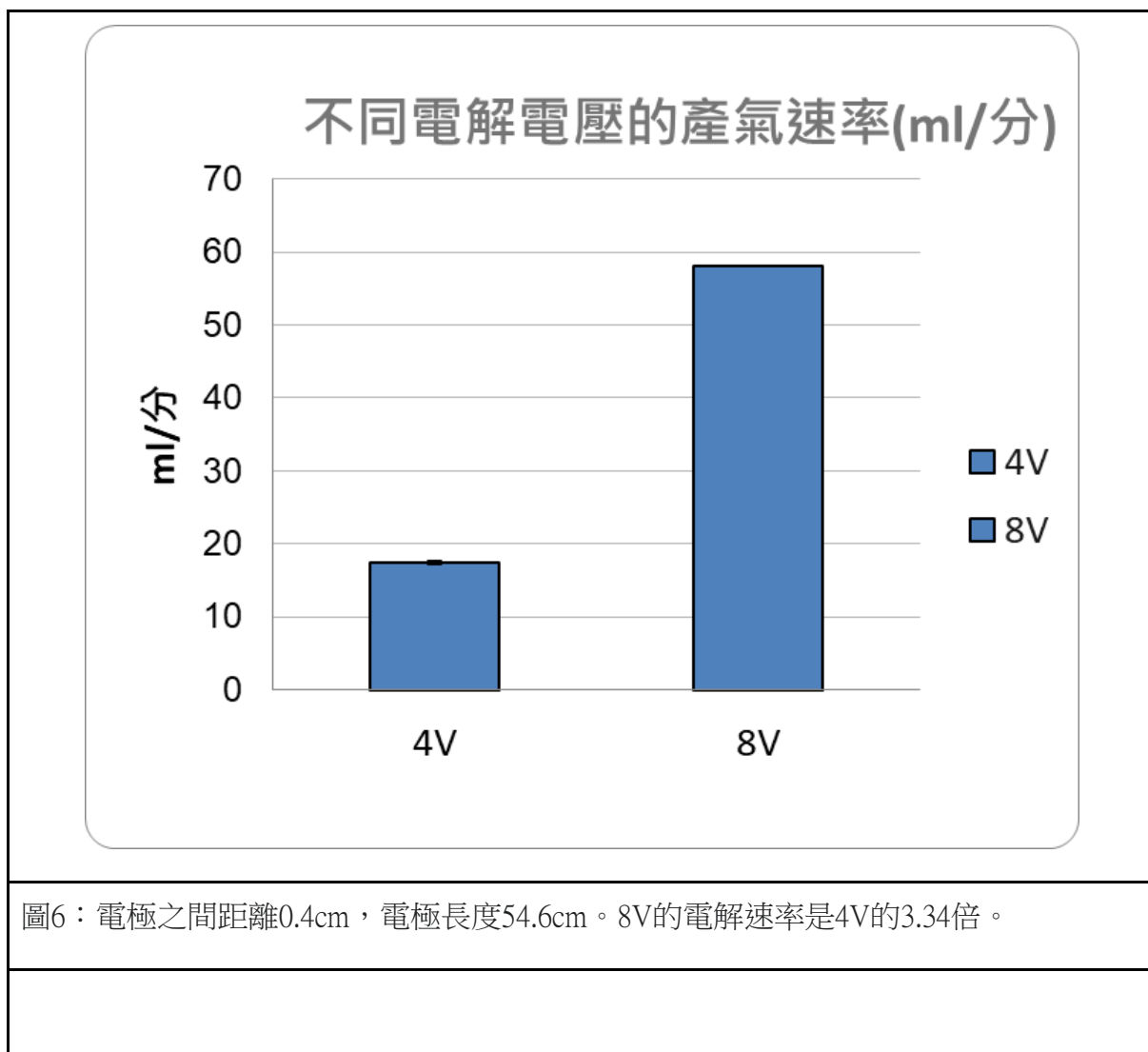


圖5：測試不同電極材料的穩定性，橫座標是收集氣體의次數。銀表面會很快產生黑色的物質，導致電解速率下降，需要每6次實驗就擦掉它，然後可恢復電解速率。

由圖5實驗結果可知，銀電極很不穩定，表面產生黑色物質後電解速率就降低，此黑色物質可輕易擦掉，但是確實不適合用來作為電解裝置的電極。不鏽鋼電極也會在實驗過程中降低反應速率，但是大約電解12次以後就趨於穩定，所以後續就以不鏽鋼作為電解電極的材料。

研究一-2電壓是否會影響電解速率？

實驗結果如圖6所示：



由圖可知想要增加電解產生氣體的速率，增加電解水的電壓是很有效果的方法。

研究一-3.電極上不同位置其電解速率是否相同？

實驗結果如圖7所示：

電極上不同位置電解水的速率(ml/分)

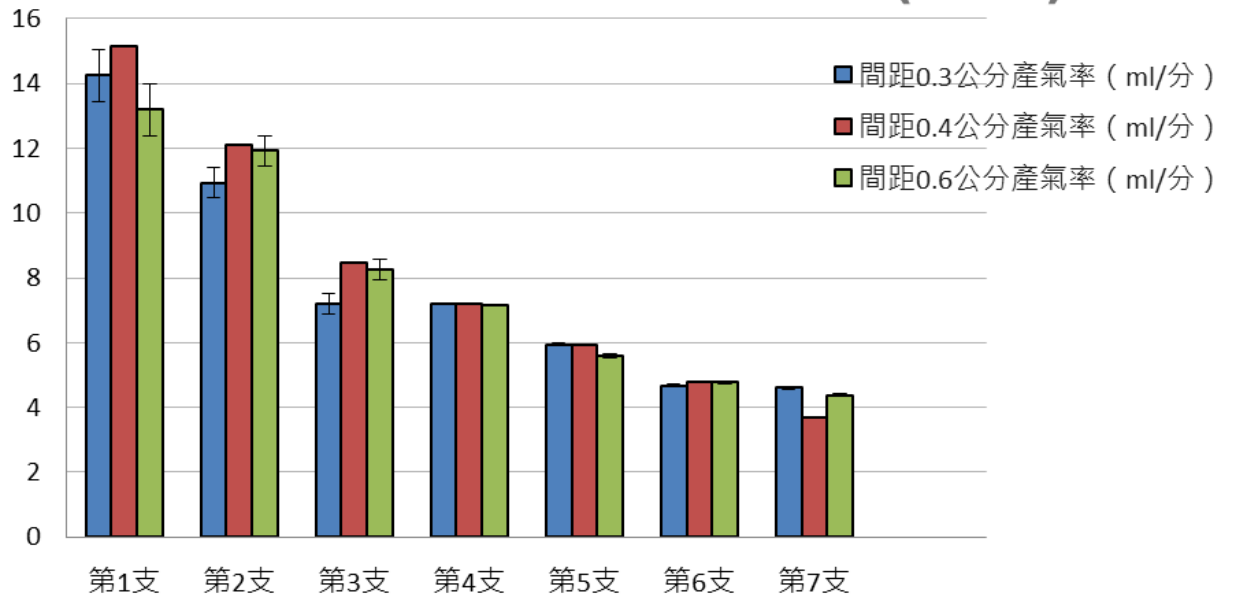
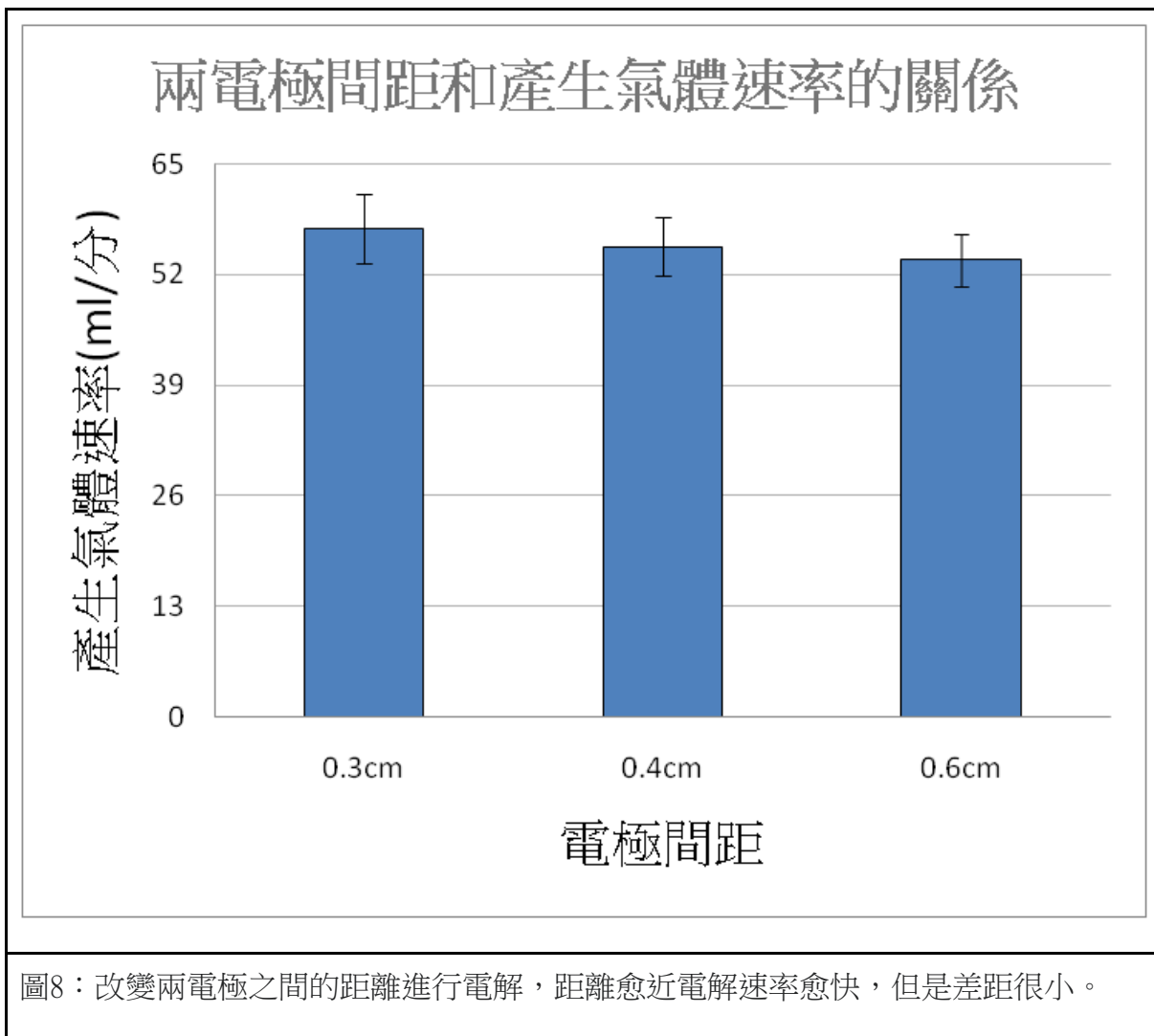


圖 7：第一支集氣管的位置最靠近電源，所以電極上距離電源愈近的位置，電解速率愈快。

第1支集氣管最靠近電源，電解產生氫氣氧氣速率最快，離電源愈遠的位置則產生氣體愈慢。而且看起來因距離而減少產生氣體的速率會逐漸趨於穩定，速率慢慢減小但不會變成零。

研究一-4.電極間距是否影響電解速率？

實驗結果如圖8所示：



由圖8可以得知，電解時，兩電極之間的距離加大，產生氣體的速率會稍微變慢一點點，電極間距變大2倍，電解速率減少為93.55%。如果想要快速產生氣體，縮短兩電極的間隔距離有一點效果，但是作用不大。

研究一-5電極總長度是否影響電解速率？

實驗結果如圖9所示：

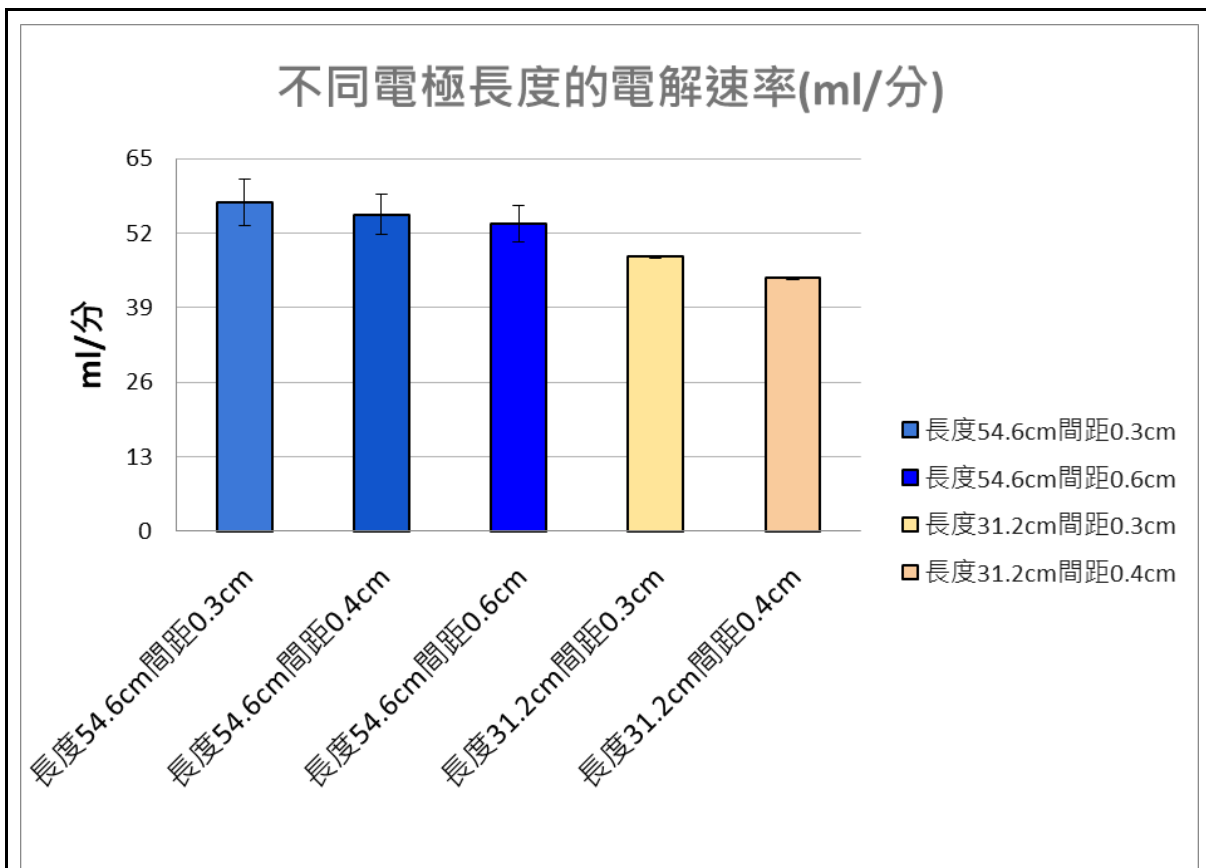


圖9：電解水的速率和電極長度不是成正比關係。電極長度54.6cm放置了7支集氣管收集氣體，31.2cm的 放置了4支集氣管收集氣體，長度比較短。

由圖9得知，縮短電解電極的長度會讓電解速率降低，但是並不是成正比。電極長度減為57.14%，電解速率還有83.37%。如果想要增加電解速率，可以增加電極長度，但是影響不是呈正比關係。

研究二-1氫氣燃燒的濃度最低是多少？

電解水的總產生氣體速率：10ml/分，其中有6.6ml是氫氣。

裝置內空氣體積：196立方公分

在裝置二中進行最低可燃濃度試驗，1分50秒電解時間產生的氣體達到可以燃燒的最低濃度，燃燒時沒有火焰，只是橡皮稍微鼓動一下。此時氫氣在罐子裡的體積約佔6.2%。

研究二-2氫氣燃燒之後是否仍然有殘留的氫氣？

因為電解時間愈久，產生的氫氣愈多，氫氣的濃度愈大。這裡我們在安全的條件下把可以點燃的氫氣濃度分三級（濃度太高的話擔心它會炸開），點燃的時間分別是110秒、130秒和150秒。整理如表一：

表一：不同濃度的氫氣燃燒後再補充氣體至可燃燒所需的時間：

	第一次點火時間（秒）	第二次可再點燃所需時間（秒）
低濃度氫氣	110	11
中濃度氫氣	130	13
高濃度氫氣	150	60

注意：第一次點火時的氫氣濃度各自不同，但是第二次點火的氫氣濃度相同，都算是能夠再次點火燃燒的最低濃度。

可以看出氫氣低濃度時點火燃燒只燒掉一點點，再11秒就可以補充回來而再燒一次。高濃度的氫氣燃燒會出現紅色火焰，球皮鼓脹程度最大，氫氣需要再60秒才能再被補充回來再燒一次。

研究二-3加入銅網後是否會影響氫氣燃燒的比例？


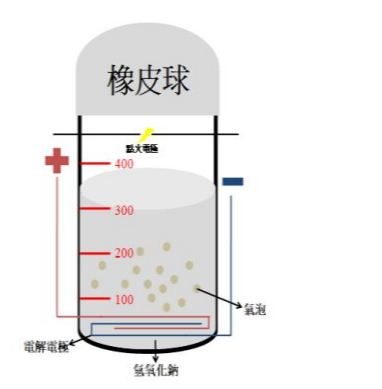
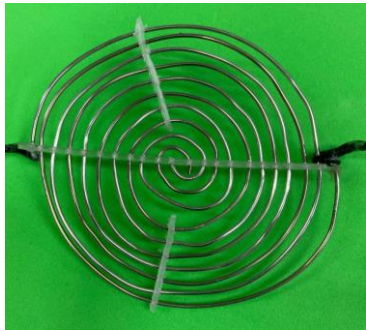
表二：是否加裝銅網對氫氣燃燒後再補充氣體至可燃燒所需的時間比較：

	第一次點火時間 （秒）	未裝銅網第二次可再 點燃所需時間 （秒）	加裝銅網第二次可再 點燃所需時間 （秒）
低濃度氫氣	110	11	5
中濃度氫氣	130	13	9
高濃度氫氣	150	60	66

由實驗結果可知，氫氣濃度低的時候點火燒掉的氣體少，裝設銅網使燃燒掉的氣體更少，算是具有保護力。但是氫氣濃度增加後銅網保護力降低，高濃度時竟然出現反轉，這留在討論時說明。

研究(三)

1.第一代裝置

		
<p>圖10-1:第一代裝置照片。蓋子有鑽孔，膨脹的氣體可以從孔進入把橡皮撐開。</p>	<p>圖10-2:第一代裝置示意圖。</p>	<p>圖10-3電解水的電極。</p>

用密封罐設計可在水中沉浮的裝置（以下簡稱裝置），裝置如圖10所示。在裝置內加入0.5M氫氧化鈉，使得到達300ml的刻度線，並且在蓋子且凹槽處塗上凡士林，旋緊蓋子，並投入水中，使用3.6W整流變壓器為電極供電接上電源，電壓為16.6V並且開始電解，上升時將電解水的電極關閉且點火電極點火嘗試讓裝置下降，下降時則開始電解，讓裝置上浮，嘗試控制在水槽中小幅度的上下移動。

電解水的總產生氣體速率：10ml/分，其中有6.6ml是氫氣。

裝置內空氣體積：300立方公分

重量：278.9公克

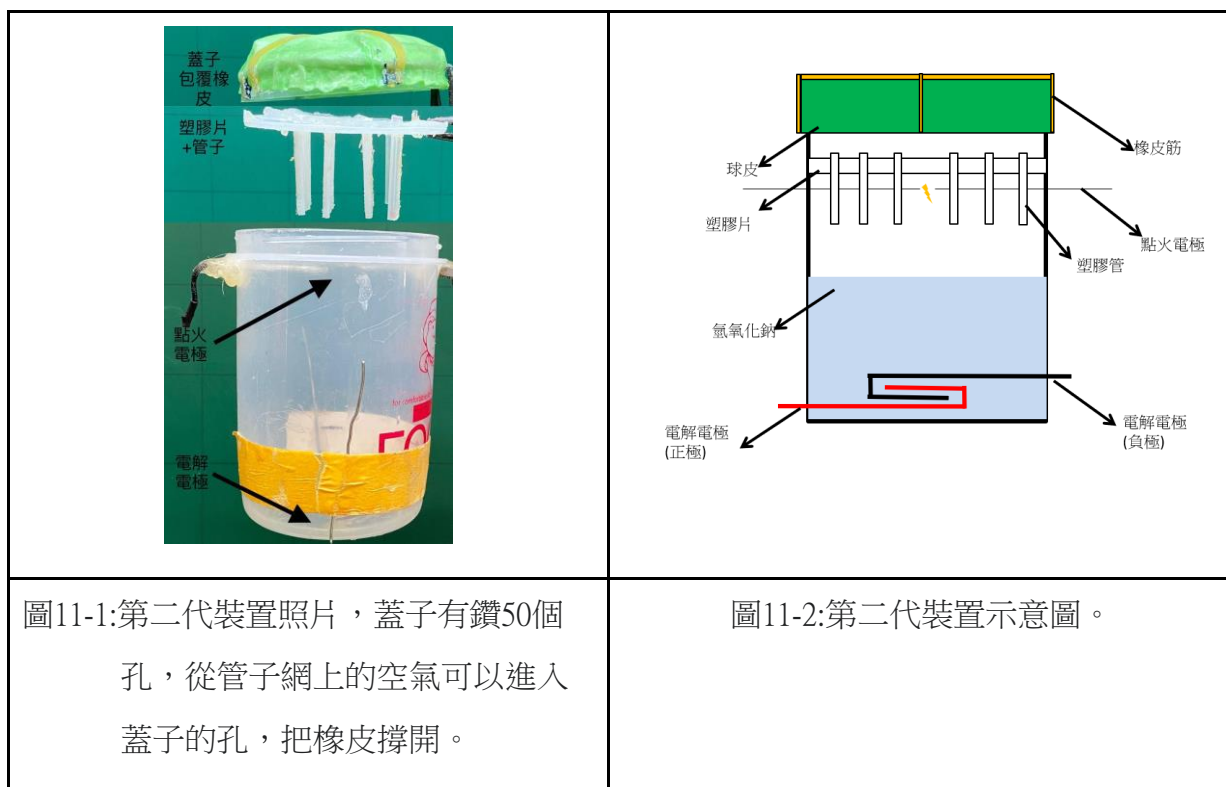
最低可燃濃度：約6.6%

結果：第一代裝置燃燒氣體時，球皮鼓脹很大，所以點火燒掉氣體時並沒有阻止裝置向上衝。

2.第二代裝置

檢討第一代裝置在水中不易被控制的原因，可能是裝置內空氣體積太大，氫氣不容易達到可燃濃度，需要較長的電解時間。所以燃燒時會燒掉較多氫氣而產生較多的熱量使球皮膨脹。所以能在較短的時間使氫氣累積達到可燃濃度是下一代裝置要改進的方向。除了準備方

法如同第一代，但旋緊蓋子前，另加入充滿管子的塑膠片。氫氣是最輕的氣體，向上流動的傾向最大。我們希望氫氣向上流動只到塑膠片下方為止，那裏剛好是點火電極，所以點火的位置剛好是氫氣最容易聚集的地方，應該能夠更快達到可燃濃度，就不會燒掉太多的氫氣。點火時膨脹的空氣也需要經由管子才能向上流到球皮處，這樣應該可以抑制球皮猛然膨脹。並在球皮黏上幾條橡皮筋使得點火使得能夠控制球皮的膨脹，並不會自由的膨脹。結構如圖11所示:



裝置內空氣體積：196立方公分

重量：392g

最低可燃濃度：約6.2%

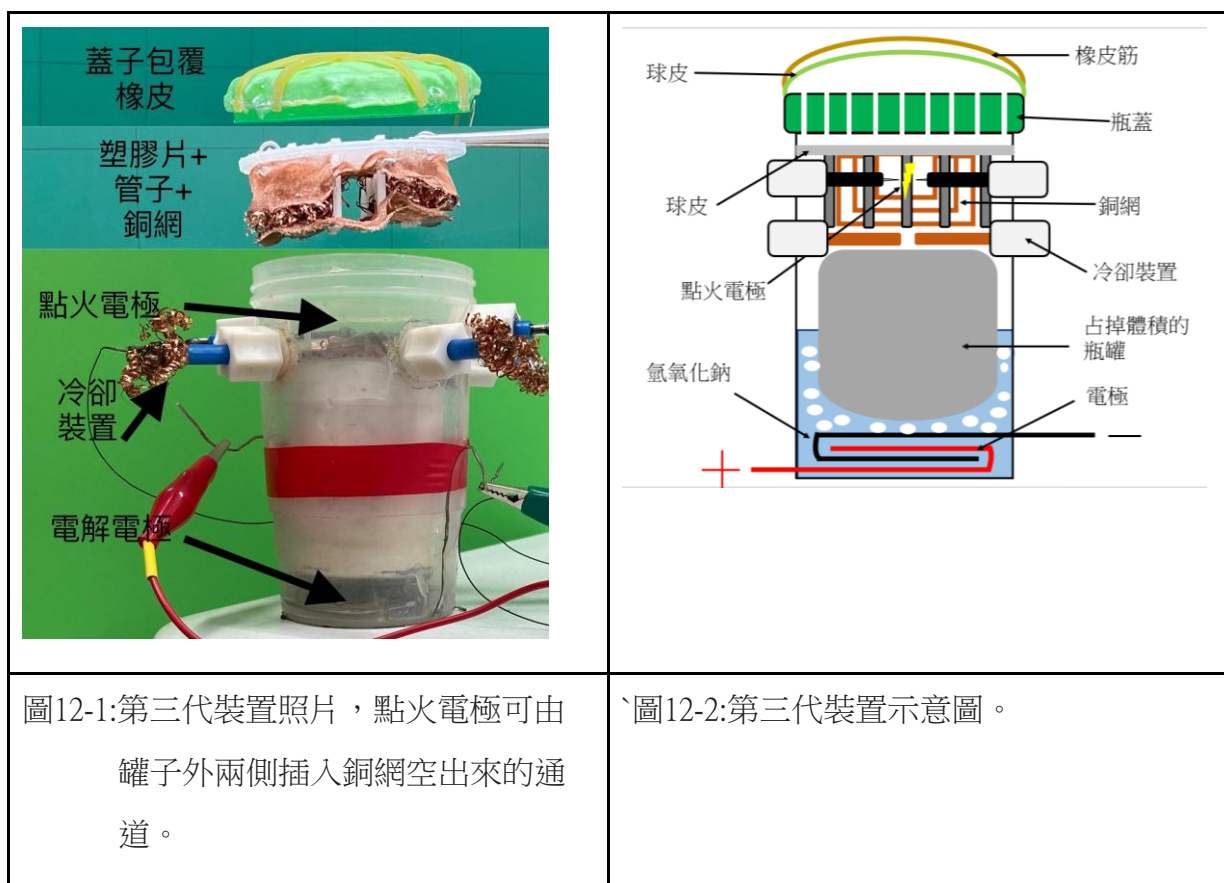
結果：改善了暴衝的情況，上衝的速度變小，但是它還是會上升到水面。還有，下沉到水槽底部，表示產氣不夠快，3.6W的整流變壓器不夠力。

3. 第三代裝置

檢討第二代裝置的缺失，我們認為燃燒火力還是太大，而且球皮處氣體降溫速度不夠快，等它降溫體積縮小前，它早已經升到水面上。

這次在裝置內放入一個200CC的小密封罐占掉空氣的體積，接著在裝置內塑膠片下方裝上許多銅網並盡量塞入銅絲，以控制氫氣燃燒的範圍。接著依序加入電極，並且都塗上凡士

林以免漏氣，在蓋子螺旋處纏繞止水帶且鎖上蓋子。為了在燃燒時能讓內部的氣體降溫以減少體積，加入4個由內到外的銅絲和銅線，希望由外面的水幫助罐子裡的氣體冷卻。結構如圖12所示：



這次電解水的電源改成18650電池，能在裝置下沉時快速產生氣體，使橡皮膨脹而上升。投入水中後用電解使得裝置上升，點火使得裝置下降，控制它在水中小幅度的上下移動，每電解兩次更換一次電池確保實驗的準確性。實驗成功。

重量：569g

伍、討論

研究一：電解速率

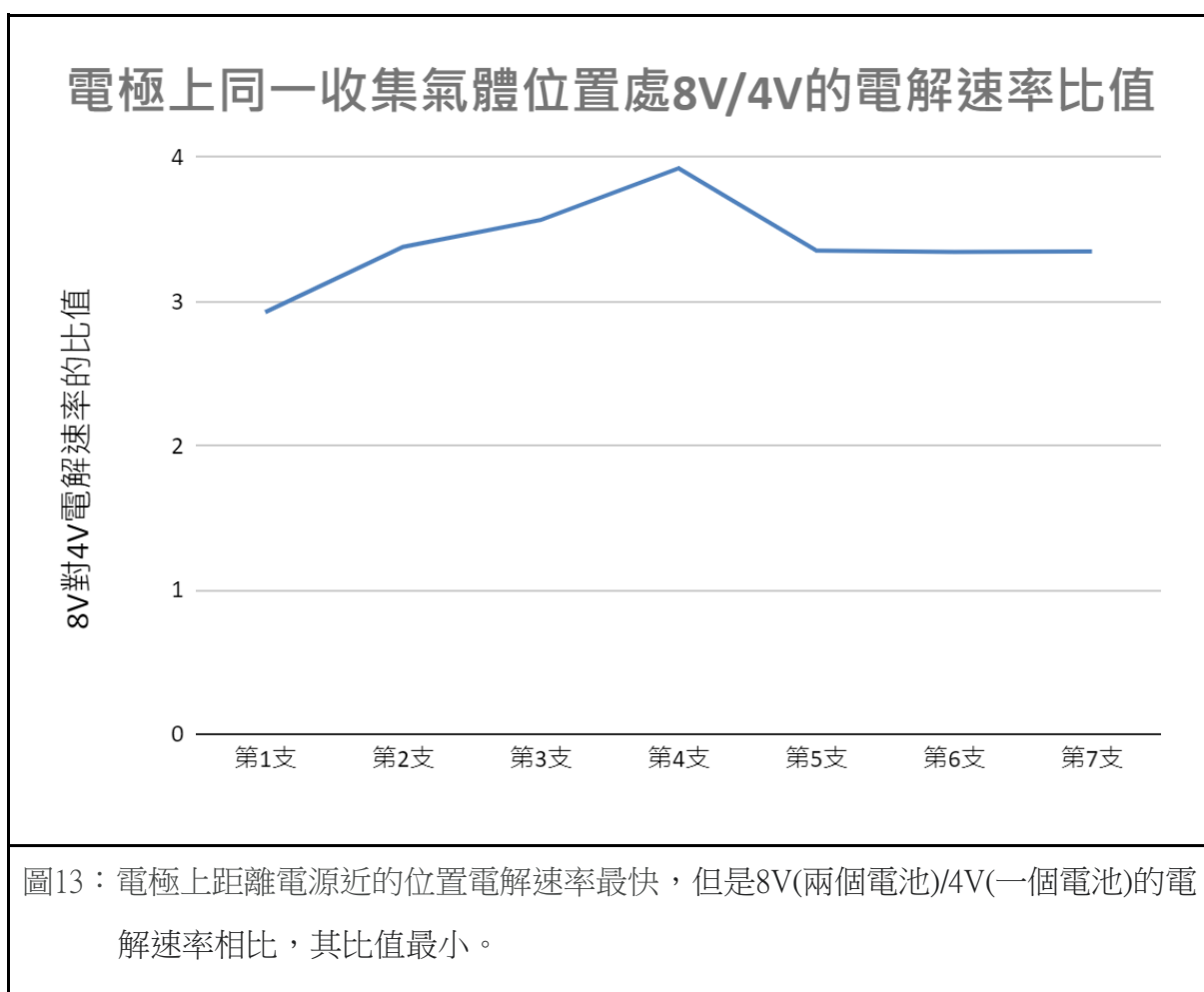
第一支電極無法有效地提升電解效率，經由推論原因以參考研究一-2的數據可能跟電極上的氣泡有關，當進行電解反應時，電極上會產生氣體並以氣泡的形式在電極上集結最後浮出水面，電解速率越快，產生的氣泡越多，因為氣泡是絕緣體，導致氣泡越多，因產生氣體愈多就會愈大的程度妨礙水爭搶到電子的機會，因此第一管反應速率受到影響最大。

一開始我們使用3.6W的整流變壓器電解水產生氣體，想說使用插座供電會有比較大的供電效能和產氣率。經過測試大約每分鐘有10ml的產氣率，我們把它用來進行裝置水中測試時

發現，當裝置下沉時，產生氣體速率太慢，來不及阻止它下沉。後來改用18650電池進行測試，發現產氣速率變大4~5倍，這讓我們喜出望外，我們有望解決它下沉時的問題-產氣太慢。想想看，如果能瞬間大量產生氣體就能立刻阻止它下沉。

產生氣體的速率涉及電源供電的功率，一顆18650電池號稱能提供10A的電流。根據公式 $P=IV=10*4=40W$ ，那將是整流變壓器的11倍。可是先擱置電解時電池盒過熱冒煙的缺失不說，電解速率就是沒有理論那麼快。

根據電功率的另一個公式 $P=V^2/R$ ，檢查研究一的結果：8V和4V的電解速率相比，只有3.34倍，不是理論預估的4倍。這必定存在一個因素使得電解速率快的時候電解速率會被抑制。我們再檢查8V和4V的每個電極位置收集到氣體的電解速率，得到下圖13：



我們發現第一支管子的電解速率最快，但是產氣速率比值卻是最低。表示第一支管子8V的電解速率很難再提升。我們再縮短電極間距想提高理論預估的電解速率，或是縮短電極長度讓電荷分布更集中，當第2、3、4支管子產氣速率都增加，我們對第一支管子產氣的速率就是沒辦法有效提升，如下圖14所示：

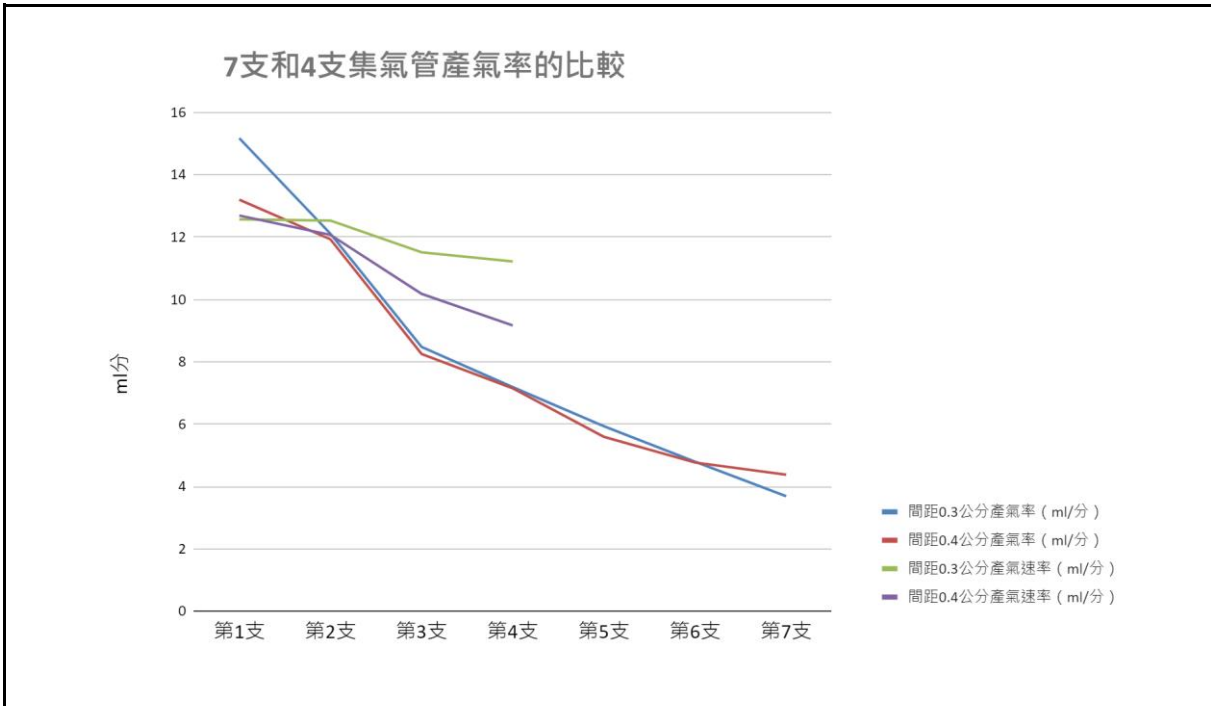
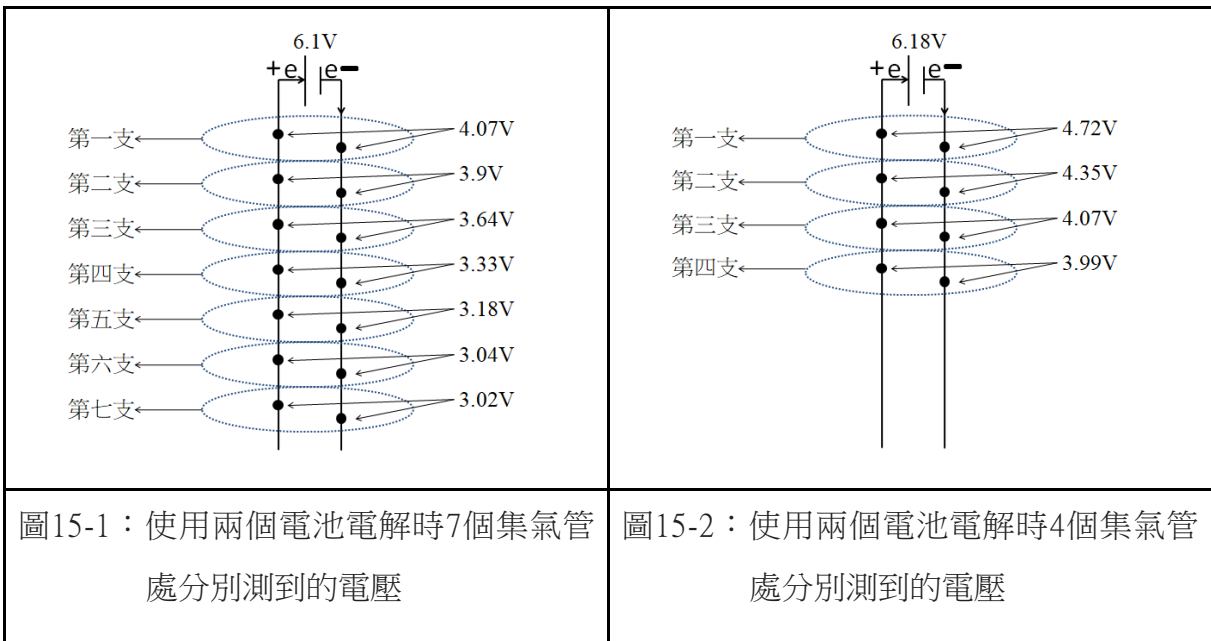


圖14：距離電源愈遠，電解速率就愈慢。當電極距離縮短，從排列7支集氣管減為4支集氣管，除了第1管靠近電源的位置之外，其他管的電解速率都有提高。

我們猜測可能是因為第一支集氣管電極上產生氣體最多，氣泡覆蓋住電極阻止電極上進行電解水取得電子，因此阻礙了電解速率的提升。

分別測量電解水時收集氣體處的電壓，測量的位置圖是如圖15，其測量結果如圖16：



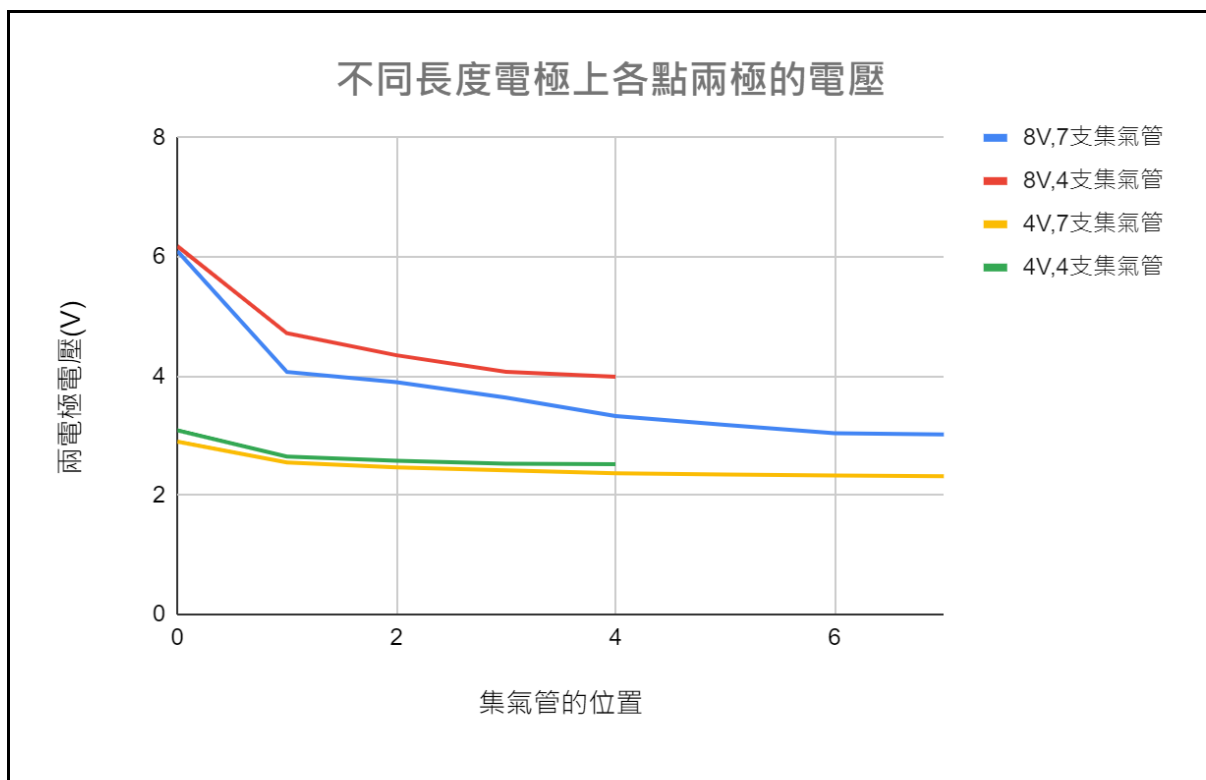


圖16：圖中0的位置表示18650電源開始電解水時電壓，1~7不同位置分別代表收集氣體時漏斗和集氣管的位置。電極距離電源由近到遠相同距離分7段不同的位置，1~4集氣管的電極較短。開路電壓8.23V，閉路電壓約6.14V。

電極一產生氣體，兩極之間的電壓立即從6.1V降到剩下4.07V然後到末端再降1V。電流一進入電解槽中，兩極的電壓立刻下降，產氣率愈快則電壓下降愈多，和圖14的趨勢有點相像。表示電子一進入氫氧化鈉溶液中，水立刻被分解，然後電子被負離子氫氧根帶走，電解速率愈快則電子流失愈快，電子密度減少導致電壓減小。圖示如圖17所示：

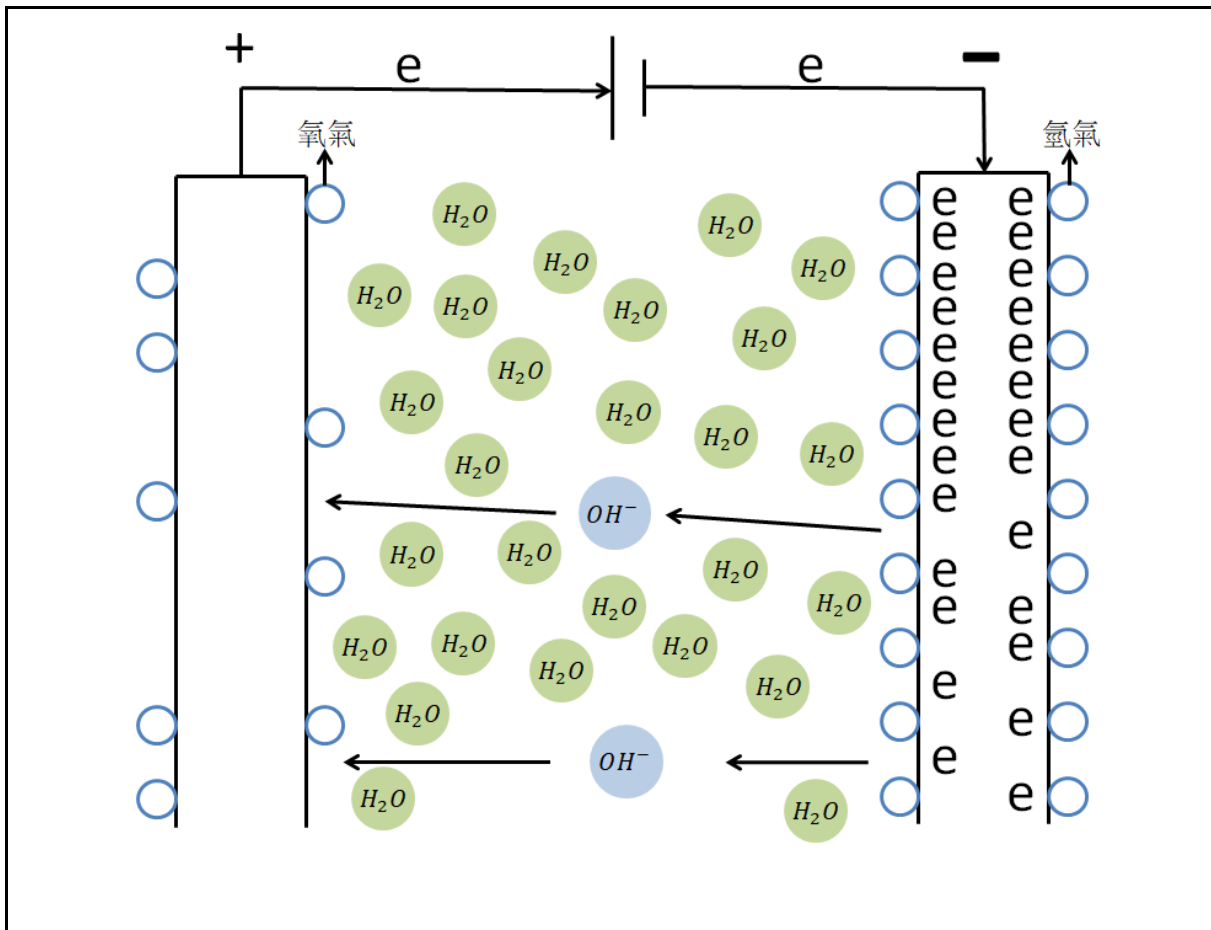


圖17：電解水時電極上交換電子的模式示意圖。氣體覆蓋在電極表面會影響電解液的電子交換機會，氣體產生愈快的位置，會相對減少交換電子的機會。

因為氫氣本身即代表能量，所以氫氣產生愈快，代表能量產生愈快，就是功率愈大。功率 $P=V^2/R$ ，如果電阻 R 不變，電解功率應該跟電解的電壓平方成正比，也就是電壓變2倍，功率應該是4倍。圖13顯示電極上各收集氣體位置的產氣速率相比，8V和4V相比都未達到4倍。其中第一支集氣管最靠近電源，產生氣體速率愈快。氣體覆蓋住電極的機會最大，阻礙電解的進行，所以它偏離理論值愈多。

我們進一步把圖16中，電解進行時電極上收集氣體處的兩電極電壓平方相比，其結果如圖18所示，結果它不但和圖13電解速率的比值關係不同，比值更偏離4，小了更多。

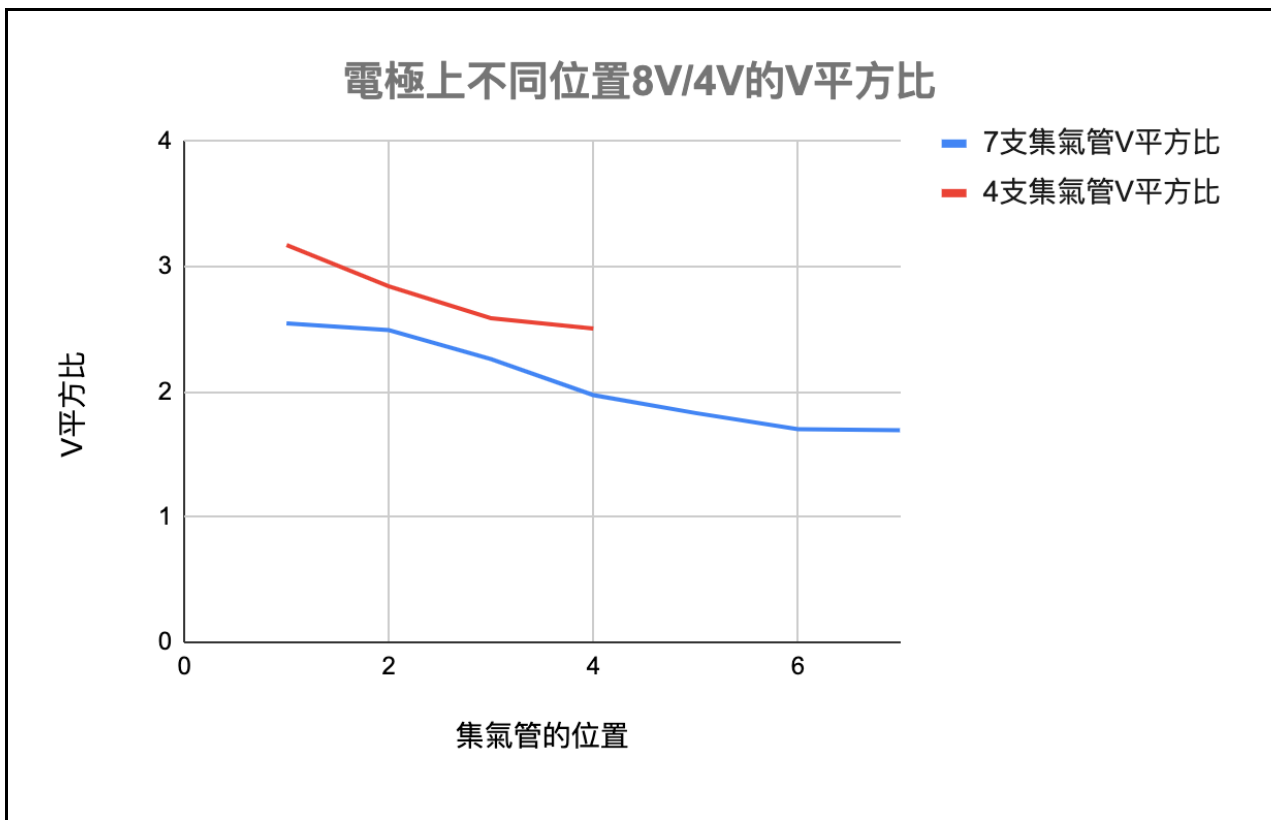
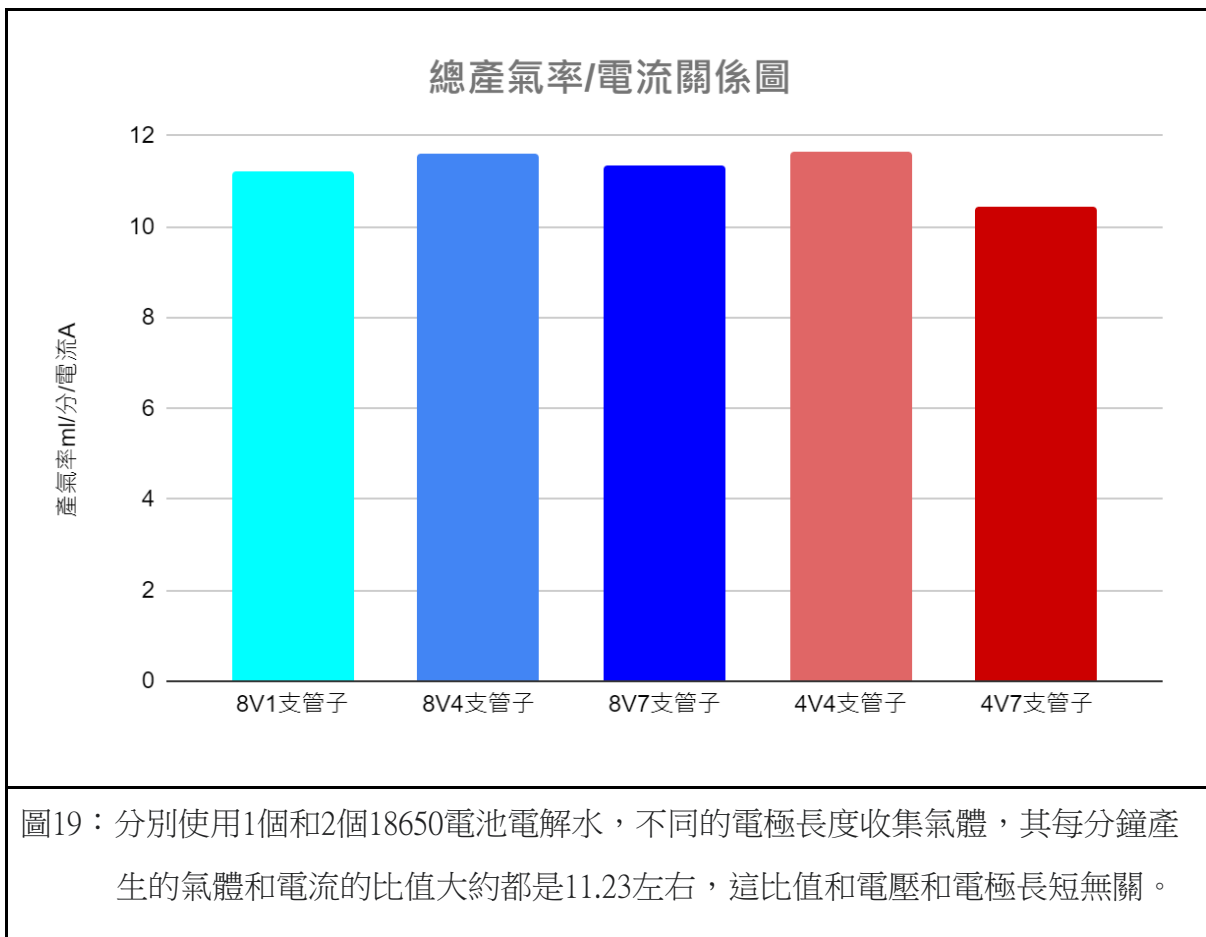


圖18：分別使用2個和1個電池進行電解，同一集氣管的位置測到的電壓平方相比，跟產氣率相比的結果不一致。

現在我們知道電解時電壓愈大的位置，電解速率愈快，但是電解功率跟電解電壓的關係目前找不到什麼數學關聯，先擱置電壓V對電解速率的探討。於是我們再試試觀察電流I，我們只能用電流鉤錶測到電解時的總電流，結果如圖19所示:



這個結果很合理，需要有電子交換才能產生氣體，氣體產生愈快則電子流走的就愈多，電流就愈大。所以以後不管用什麼條件進行電解，我們可以用鉤錶測量電流大小，然後就可以用11.23這常數大概推算一下產氣率，然後再以電解進行的時間，就可以知道氫氣產量。

這裡不可否認的一個可能性就是18650電池可能還未到達功率的極限，我們沒有使用電源供應器去嘗試實驗，電源供應器不能送進我們的裝置裡面。我們解決電解水產生氣體速率太慢的問題，並試圖用氣體覆蓋電極影響電子交換的模式去解釋其他作品電解速率達到臨界值的原因（註：48屆科展）。

研究二：控制燃燒氫氣

維基百科寫氫氣燃燒時發出紫外光，跟空氣混合燃燒火焰呈藍色，極危險，可是我們觀察到的火焰卻是紅色的。推論原因，可能是我們燃燒時因為氫氣濃度太低，燃燒溫度不高。我們實驗的可燃氫氣最低濃度約是6.2~6.6%。在此濃度下，氫氣燃燒火力小，無法看見火焰，只有球皮微微鼓起且此時只有燒掉約10%的氫氣量，只有點火電極附近的氫氣被燒掉。如果在點火電極附近加裝銅網銅絲，那麼燒掉的氫氣比例更降低至4.54%。這濃度的氫氣燃燒很容易被控制，不危險。

繼續增加氫氣濃度（從110秒變130秒），球皮鼓脹程度加大，仍然看不見火焰。因為110秒產生的氫氣量是最低可燃的氫氣，第130秒點火燃燒後再等13秒就可以再燃燒，第二次點火燃燒也是最低可燃的氫氣量。計算第一次燒掉的氫氣量的方法如下：

假設每秒產生的氫氣量是x，130秒點火燃燒掉的氫氣量是y，補回至最低可燃濃度需要13秒，

$$\text{則： } 130x - y + 13x = 110x$$

$$y = 33x$$

也就是說130秒時第一次點火燒掉33秒產生的氫氣量，燒掉的比例達25.4%。同理計算，加裝銅網銅絲後燃燒掉29秒產生的氫氣量，燃燒掉22.3%的氫氣。兩者很接近，也就是說氫氣在較高濃度時燃燒，銅網銅絲的保護力降低。燒掉的氫氣比例如圖20所示：

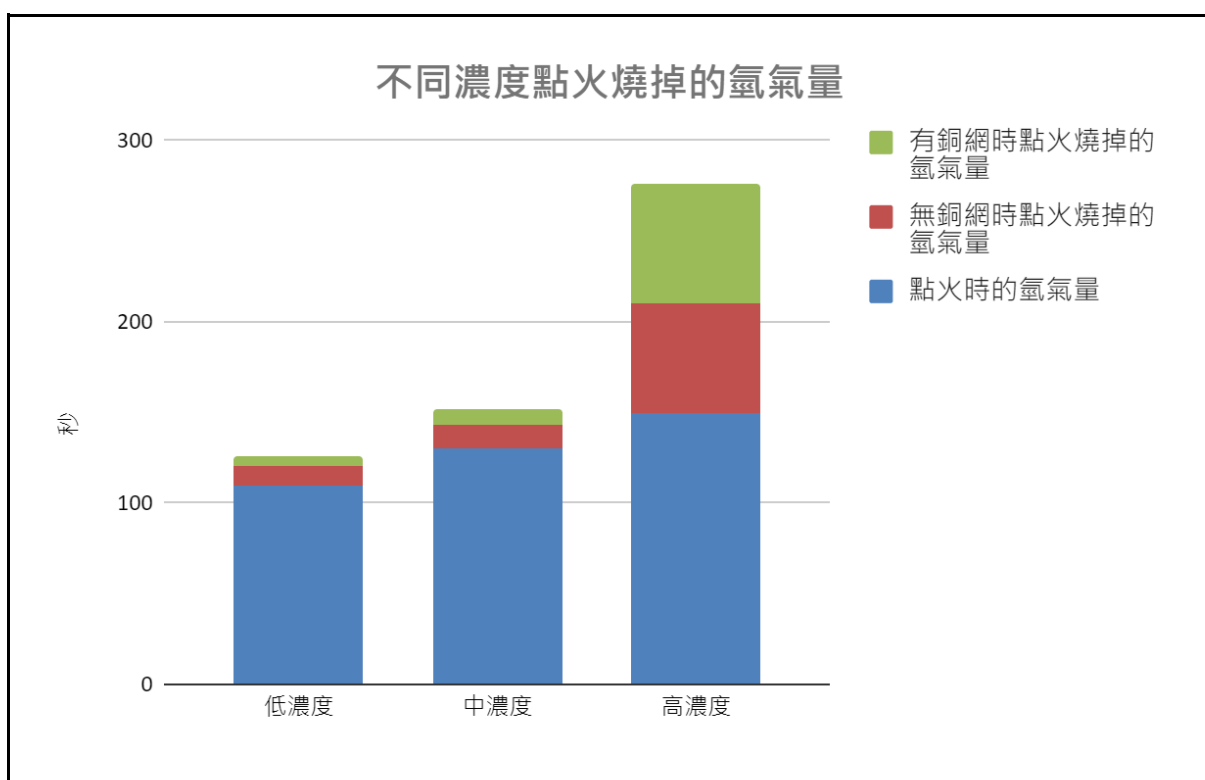


圖20：不同的氫氣濃度被點燃時不同的氫氣濃度被點燃時，燃燒掉的氫氣比例不一樣。濃度愈高時被燃燒掉的氫氣愈多，加裝銅網阻止燃燒的效果也愈小。

更高濃度，150秒，需要60秒才可以補回來再燒一次，算是燒掉100秒產生的氫氣量，相當於燒掉2/3。這種濃度燃燒時有紅色火焰，球皮膨脹量更大。奇特的是加裝銅網後需要補回氫氣的時間達66秒，這應該解釋為加裝銅網會使氫氣花較多的時間才能抵達點火電極處，而不是加了銅網後增加氫氣燃燒的量。證據是，在最低濃度時燃燒，雖然時間是110秒，但是如

果加裝銅網的狀況是，在110秒停止產生氣體，但是必須在120秒時才能點燃。如果沒有加裝銅網則不必多等10秒鐘。

我們得到的結論是：在氫氣濃度更高時，加裝銅網但是銅網下方有缺口，如圖4-3，銅網將對氫氣燃燒產生不了保護作用，所以建議在點火電極附近的銅網銅絲應該放置更加密集，盡量不要留下任何缺口。所以點火電極放置進入裝置的方法必須改變。

因為氫氣是最輕的氣體，容易往上跑，但他只會跑到圖21中的塑膠板位置就無法上升，空氣先被往下趕然後從管子向上進到蓋子和橡皮處，把橡皮撐開。這樣氫氣容易累積在點火電極處，較短的時間達到最低可燃濃度，燃燒時氫氣量較少，火力較小，較好控制。加上使用銅網控制燃燒區域。根據計算，在低濃度和中濃度時氫氣燃燒，都沒有燒出銅網的保護區域，如圖21所示。此時氫氣濃度大約介於6.2~7.3%之間，我們認定此濃度內氫氣燃燒最好被控制。

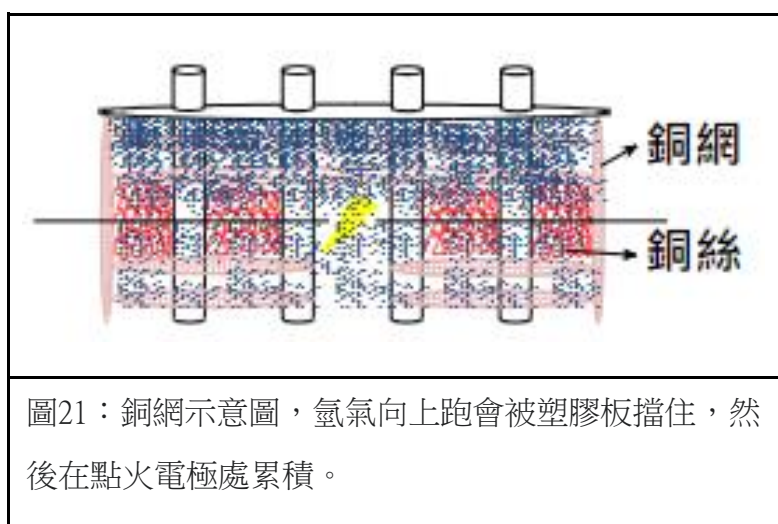


圖21：銅網示意圖，氫氣向上跑會被塑膠板擋住，然後在點火電極處累積。

研究三、設計可被控制沉浮的裝置

第三代裝置是經過多次改良後得到的成功結果。目前還是只能讓人用電線控制沉浮，但是在水中確實很穩定，如圖22。我們把它在水中浮沉的狀況攝影，然後用軟體Tracker去追蹤它的軌跡，結果如圖23所示：

先前失敗很多次，現在對電解和控制燃燒氫氣有更多了解之後，現在我們可以穩定控制它10分鐘以上，圖中只顯示一部分，否則Tracker讀起檔案來需要很久的時間。

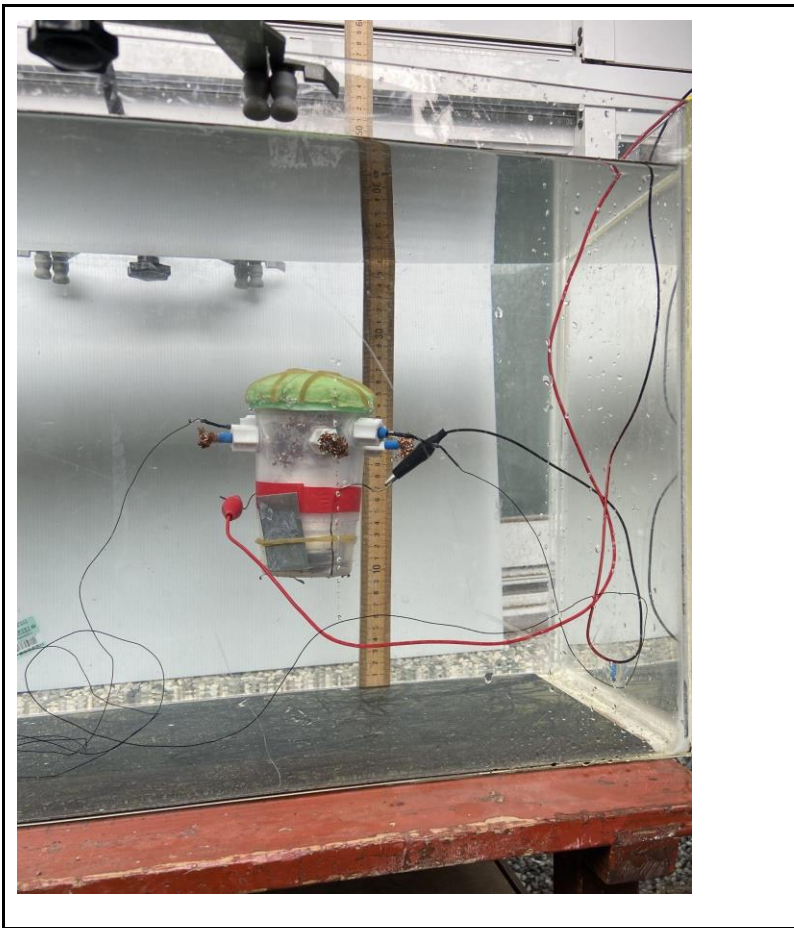


圖22:第三代裝置在水中。

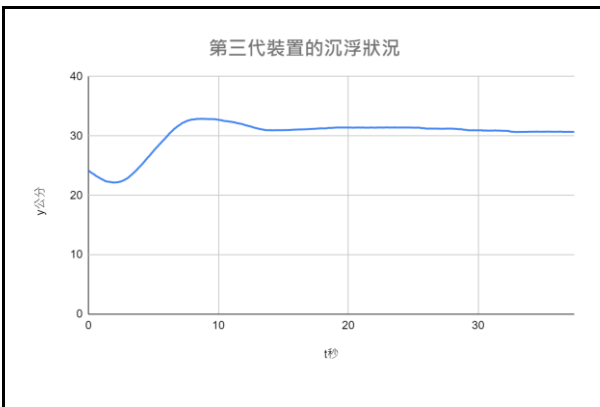


圖23-1:某些時間很穩定。

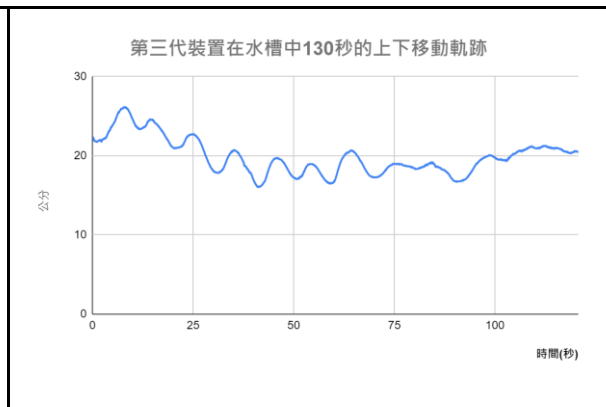


圖23-2:某些時間上下起伏10cm左右。

我們無法知道電線的存在是否會產生影響，已經盡量讓電線保持在水平方向，不要影響垂直方向的運動，正在朝向寫程式自動控制進行，目前原型裝置已經做好，還在試驗中。希望很快能看到它在水中由程式控制沉浮。此裝置很能載重，且能在水中懸浮，有潛力能成為良好的水雷載具，協助守護台灣海峽。

陸、結論

- 一.電解水使用0.5M氫氧化鈉水溶液當電解液，當電壓變2倍時電解速率變3.34倍，不是理論預測的4倍。在最靠近電源處甚至只有2.92倍，偏離理論值最多，可能是最靠近電源處產生氣體的速率最快，而氣體覆蓋電極阻礙與電解液進行電子交換。
- 二.加長電解水的電極長度會使反應速率增大，但沒有等比例增大，因為電極後段產生氣體速率很慢。最靠近電源處產生氣泡最快，但是達到極限值。電極後段電子少，所以產生氣泡的速率最慢。
- 三.電解時縮短兩電極之間的距離，理論上增加電極對電解液離子的吸引力，但是對電解的速率增加的影響極小。可能還是跟電極上布滿的氣泡有關。離子被電極吸引過來但是仍然沒有機會接觸到電極。
- 四.電解時用鉤錶測量電流，測到的電流安培數乘以11.23約略等於每分鐘產氣總量。這個結果和電解電壓，電極長短等因素無關。
- 五.氫氣和空氣混和時，氫氣濃度至少要6.2~6.6%才達到最低可燃燒的濃度，此時點火燃燒不會看見火焰，只看到燃燒引起的氣體膨脹導致球皮稍膨脹而已，因為火力小，只燃燒掉10%的氫氣，如果再點火電極處加裝銅網吸收燃燒的熱，則可進一步減少氫氣燃燒的量到4.54%。想要一點一點燃燒氫氣的話，最好濃度剛達可燃燒的最低濃度6.2%就好，而且最好加裝銅網吸收燃燒的熱，就可以控制氫氣燃燒的範圍。
- 六.增加氫氣的濃度再點火。會燃燒掉更多的氫氣，銅網吸收燃燒的熱而保護氫氣的能力減弱。濃度更高時銅網更會失去保護力。最好的控制範圍在氫氣濃度6.2~7.3%之間。裝置在水中升起時的氫氣濃度最好是落在這範圍之間，濃度太低會燒不起來，濃度太高會向上暴衝。
- 七.製造可控制水中沉浮裝置成功的祕訣:
 - 1.裝置裡存在的空氣愈少愈好。
 - 2.在不造成短路的前提下，加長電解水的電極長度，並增加電解電壓，讓它快速產氣，以免下沉。
 - 3.用塑膠片侷限氫氣累積的位置，讓它盡可能累積在點火電極處。
 - 4.裝置在水中浮起時氫氣的濃度最好在6.2~7.3%之間。太早浮起來，氫氣濃度不夠，會燒不掉氫氣，就一直上浮。太晚浮起來的話，氫氣濃度過高，點火時火力太大會向上暴衝。
 - 5.使用銅網侷限氫氣燃燒的範圍。否則火力太大也會向上暴衝。
 - 6.加裝冷卻裝置，讓氫氣燃燒時產生的熱膨脹愈小愈好，否則它也會不受控的往上衝。

7.穿過塑膠片的管子和蓋子鑽的孔在可承受壓力的限度內盡可能少一點，這樣燃燒瞬間的熱膨脹比較不容易向上衝到橡皮的位置導致它脹起來，浮力變大的結果也是向上暴衝。

柒、參考文獻資料

一、百度百科：浮力

<https://baike.baidu.com/item/%E6%B5%AE%E5%8A%9B/1535715>

二、維基百科：水雷

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B0%B4%E9%9B%B7>

三、維基百科：浮力

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B5%AE%E5%8A%9B>

四、楊斯羽，李致穎，張茂澤，電解水實驗的深入探。中華民國第48屆科展 <https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=45&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=3505>

<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=45&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=3505>

五、潛艇是如何控制上浮和下淺的，裡面的氧氣又怎麼來？

<https://www.163.com/dy/article/FPDA8C7A0511A9LA.html>

六、維基百科：氫氣

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B0%AB%E6%B0%A3>

八、黃佳弘，楊皓晴，李明之。氫氣效速。中華民國第48屆科展。 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/48/high/031624.pdf>

<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/48/high/031624.pdf>

九、康軒版國中第四冊課本：3-2檢驗氫氣