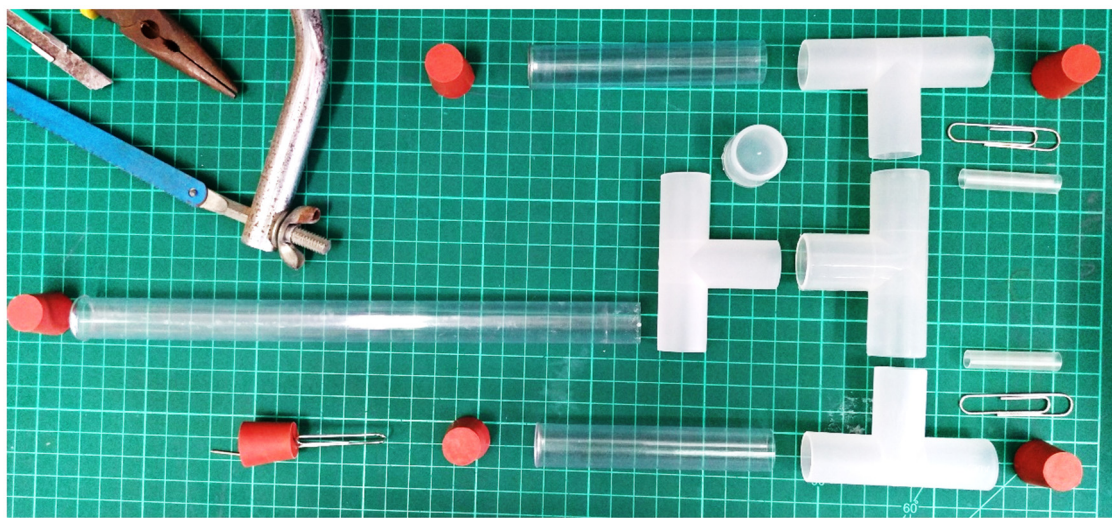


自製低成本自立式霍夫曼電解水器

廖西鎮

雲林縣立麥寮高級中學



電流的化學效應在國中理化課程中，包含了電解與電鍍，其中電解水實驗的部分，可以觀察到電解後氫氣與氧氣的定量體積比，並進一步針對氫氣與氧氣的性質個別驗證，亦可混合氫氣與氧氣進行氫氧焰的燃燒，燃燒過程聲光效果俱佳，相當有趣。目前常見的自製或市售電解器材進行電解水實驗時，經常出現小型器材產氣量過少、取出氣體不易、不易進行後續檢驗、大型器材藥品消耗量大、操作過程容易接觸腐蝕性氫氧化鈉溶液、器材昂貴或自製不易等問題，為解決上述問題，筆者嘗試設計一款造型上接近霍夫曼電量計（維基百科，2020）的低成本電解水器並

投入教學現場供師生使用。

壹、引言

電流的化學效應發生於電解質水溶液導入電流後，在充足電壓作用下，在電極上發生氧化還原的現象。實驗操作多利用試管或滴定管進行排水集氣，以獲得較高純度的氣體產物，操作時須用手指或橡皮塞將裝滿電解質溶液的試管倒置，放進下方裝滿電解質溶液的容器中，並將電極放置於試管開口下方，電解產生的氫氣與氧氣始能順利進入試管中。結束電解後要取出試管時，試管內與試管外圍必然殘留些許溶液，電解水實驗常用的氫氧化鈉溶液

具有一定腐蝕性，帶了手套仍難以避免沾到氫氧化鈉溶液，且需要預留操作空間造成下方容器體積較大而需要耗費較多氫氧化鈉溶液，部分新式設計的水電解器，使用倒置裝置進行填充電解質水溶液的動作，雖可能避免沾染氫氧化鈉溶液並減省氫氧化鈉溶液用量，但反轉裝置回填電解質水溶液過程，又有電解質水溶液因橡皮塞滑脫而濺出的風險，基於上述原因，筆者著手設計一款電解水裝置，預期達到下列目標：

1. 方便進行觀察與檢驗電解水產生的氫氣與氧氣。
2. 操作後能夠以更安全方式回填氫氧化鈉溶液。
3. 使操作者可能接觸之氫氧化鈉溶液量最小化。
4. 能降低氫氧化鈉溶液用量。
5. 能供給多班操作，不須重配氫氧化鈉溶液。
6. 安全穩固，組裝與維修容易。
7. 價格低廉，材料容易取得。

貳、內文

常見的電解水實驗器材如圖 1，電解前需將滴定管或試管裝滿氫氧化鈉溶液後，以特殊器具（圖 1 箭頭處）或戴上手套後用手指封閉管口，再將滴定管或試管倒置，管口浸入下方容器的電解質溶液液面下（圖 1 紅線處），管口下方即為電極所在，通電電解後氫氣或氧氣氣泡上升至管內，用排水法蒐集氣體。此器材對於電

解質溶液量需求較大，單組器材需要 650 毫升以上的用量，學生裝填滴定管的氫氧化鈉溶液以及取出滴定管進行氫氣、氧氣檢驗時，容易接觸到氫氧化鈉溶液。

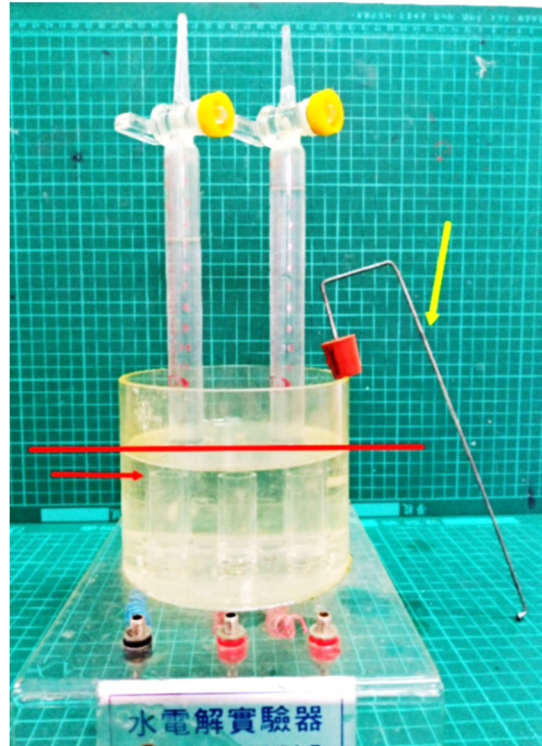


圖 1

較新型的電解水器材如圖 2 與圖 3，亦使用排水集氣蒐集氫氣與氧氣，過程如圖 2 A 與圖 3 A，優點有電解質溶液用量較低、方便填充集氣試管的電解質溶液、用量減少到約 160 毫升。圖 2 器材操作上的問題在氫氧化鈉溶液電解後，欲檢驗氫氣、氧氣時需拔出試管，拔出時試管時，管口必會高於下方液面，造成試管內混入其他空氣的問題，換言之無法取出純的氫氣或氧氣進行檢驗。圖 3 器材氫氧化鈉溶液用量約為 150 毫升，但管徑較小，蒐集

氣體較少。圖 2 與圖 3 的器材充填電解質溶液時，需倒轉裝置排出集氣試管的空氣如圖 2 B 與圖 3 B，翻轉過程中需留意試管與器材密合度或是橡皮塞緊密程度，氫氧化鈉溶液在操作過程中漏出或噴濺風險較高。

為解決前述三種類型電解水器材的問題，筆者利用一般五金賣場即可取得的材料，加工組裝出一款類似霍夫曼電量計之水電解器，能自立不需鐵架輔助，利用管狀結構形成電解質溶液通路以降低電解質水溶液用量、以及利用連通管壓力差固定各管液面高度保存氫氣與氧氣能於管中不被推出，以利直接於管口以火焰檢驗氫氣，或利用燃燒餘燼檢驗氧氣，檢驗結束後利用液壓使氫氧化鈉溶液回復原本液面高度。

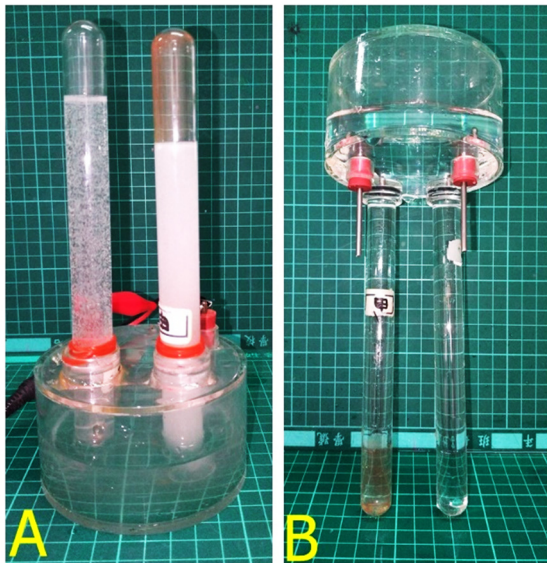


圖 2

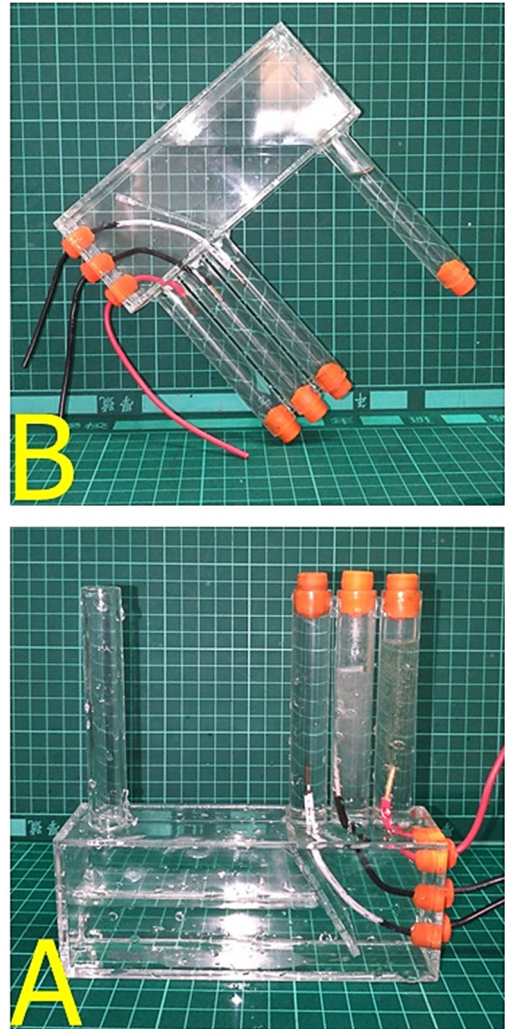


圖 3

本電解水器之設計具有電解質溶液減量與循環使用、減少操作時接觸電解質溶液、結構穩固、易於取樣與檢驗高純度氫氣與氧氣、易於重新充填電解質溶液等目標。材料採用五金賣場即能取得的物品，包含 3 分 PVC 管、3 分 T 型接頭、4 分 T 型接頭、4 分管帽、5 號橡皮塞、大型迴紋針等物品，製作此學生用低成本自立式霍夫曼電解水器。

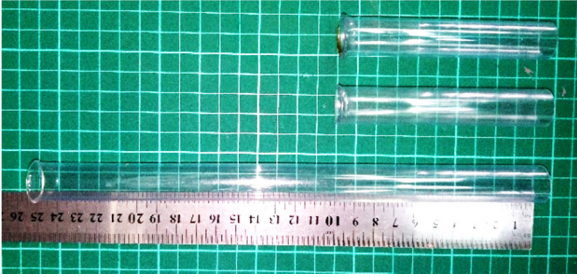
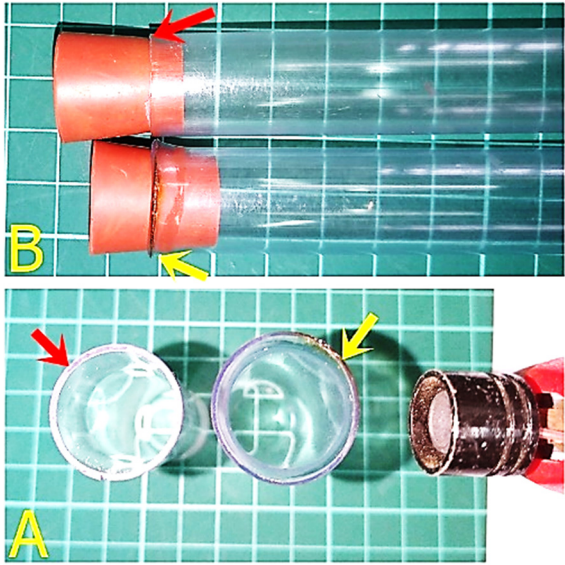
參、製作材料與製作過程

一、單組電解水器製作材料與工具

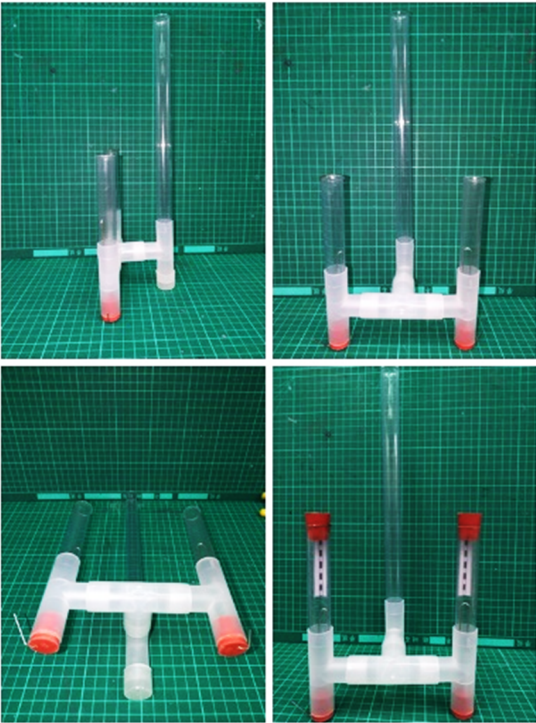
製作材料包含 3 分 PVC 管× 1、3 分 T 型接頭× 3、4 分 T 型接頭× 1、4 分管帽×

1、5 號橡皮塞× 6、大型迴紋針× 2。使用工具則包含鋸子、防風打火機、小刀、砂紙等，備妥以上材料與工具，即可進行此自立式霍夫曼電解水器的製作。

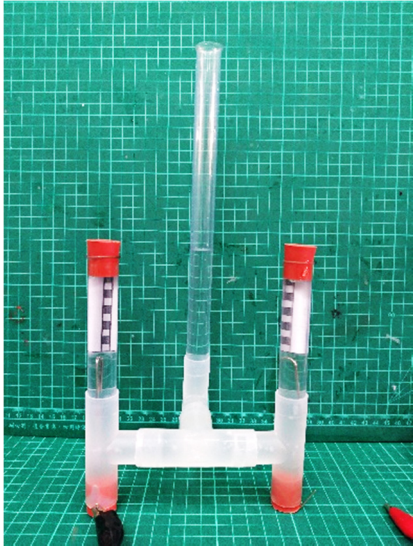
二、製作步驟

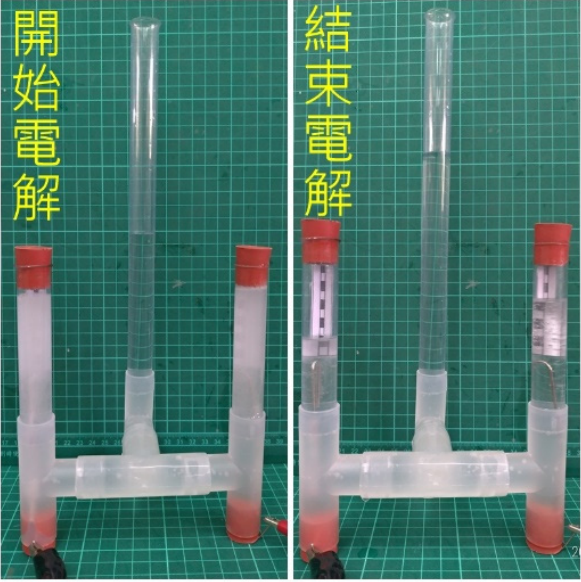
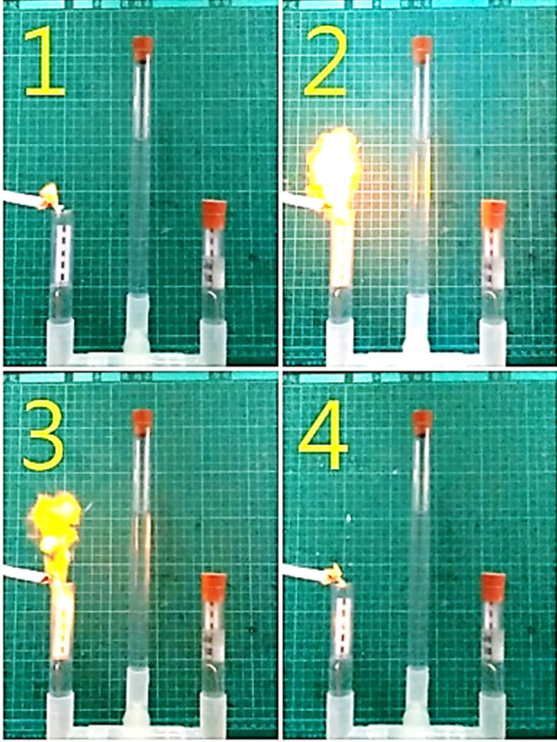
說明與製作步驟	圖例
<p>1. 裁切 3 分 PVC 管：PVC 管單根為 90 公分，單組電解水器使用 45 公分即可，剪裁 PVC 管 為 10 公分短管兩根，25 公分長管 一根如圖 4。長度設定乃依據電解時氫氧體積比為 2：1，因此中央長管的長度與短管長度比比值需要大於或等於 2.5。</p> <p>利用小刀、砂紙，移除裁斷處的殘留塑膠碎屑，提高連接 T 型管時的密合度。</p>	 <p>圖 4</p>
<p>2. PVC 管擴孔：PVC 管有一端需要連接橡皮塞，開口需要略為擴孔，以避免操作時橡皮塞被管口割傷。利用防風打火機火焰集中的特性，對管口約 2mm 位置進行烘烤（圖 5A 黃色箭頭處），邊烤邊旋轉，烘烤時管口會自行擴張外翻，看到管口外翻即可停止加熱，圖 5 紅色箭頭處為管口未烘烤擴孔，黃色箭頭處的管口已烘烤擴孔，擴孔後，除了能讓橡皮塞更深入 PVC 管外，也能減少壓入橡皮塞時被管口割壞的情形。</p>	 <p>圖 5</p>

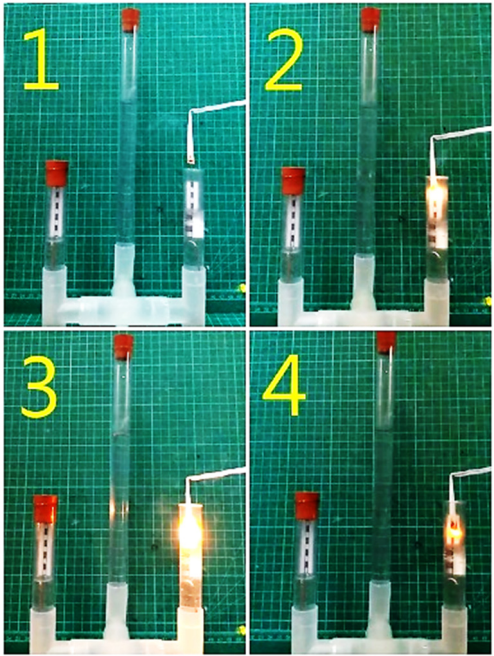
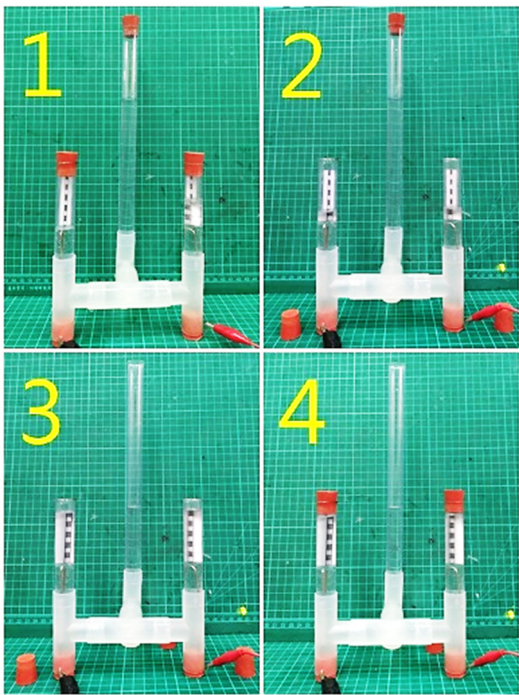
說明與製作步驟	圖例
<p>3. 組裝 T 型底座：3 分 T 型管外有模具造成的細微突起線條(圖 6C 紅色箭頭處)，用小刀刮除或用細砂紙磨除此突起線後(圖 6C 黃色箭頭處)，能確保連接 4 分 T 型管或 4 分管蓋時的密合，連接得宜的話，不需上膠，內部裝填的溶液亦不會滲漏。連接方式是將圖 6B 中的 3 個 3 分 T 型管，裝入中間的 4 分 T 型管，左右交替施力塞入約 1 公分並略為壓緊如圖 6B，即完成此 T 型底座(圖 6A)，在圖 6B 中的 5 號橡皮塞，中間具有小孔，塞入連接中央長管的 3 分 T 型管，可減緩電解後氫氧化鈉溶液回填速度，增加操作安全性。</p>	 <p style="text-align: center;">圖 6</p>
<p>4. 製作電極：將大型迴紋針一端拉直刺過橡皮塞約 1.5 公分，然後將刺穿過去的迴紋針末端向上折，組裝過程如圖 7，以利連接鱷魚夾。額外在電極下方加入約 2 公分的吸管或熱縮管並固定，此管作用是控制電解自動停止的液面高度。</p>	 <p style="text-align: center;">圖 7</p>

說明與製作步驟	圖例
<p>5. 完成裝置組裝：將三個 3 分 T 型管連接 PVC 管與電極，T 型底座中央連接 25 公分 PVC 管，下方用 4 分管蓋封閉；兩側連接 10 公分 PVC 管，下方塞入含電極的橡皮塞，左右兩側短管儘量使其高度相同，裝置組裝完成如圖 8，調整 3 分 T 型管角度，使裝置能穩定站立。為便於觀察可在短 PVC 管後方貼上可協助判讀的比例尺，再貼上一層透明膠帶作為防水之用，圖 8 中後方比例尺每格高 0.5 公分，比例尺檔案如附件，可直接列印使用。</p>	 <p style="text-align: center;">圖 8</p>

三、操作步驟

操作步驟說明	圖例
<p>1. 加入氫氧化鈉溶液，通電進行電解：移除上方三個橡皮塞後，添加 2 M 氫氧化鈉溶液約 150ml 至 10 公分 PVC 管內液面接近管口，然後將兩根 10 公分 PVC 管上方塞上橡皮塞如圖 9，即可開始電解。</p> <p>教師要提示並確認學生進行電解前，中央 25 公分長管上方如圖 9 一樣，沒有塞上橡皮塞，若三個管子上方都被塞子封閉，電解水產生的氣壓會將短管橡皮塞推出去。</p>	 <p style="text-align: center;">圖 9</p>

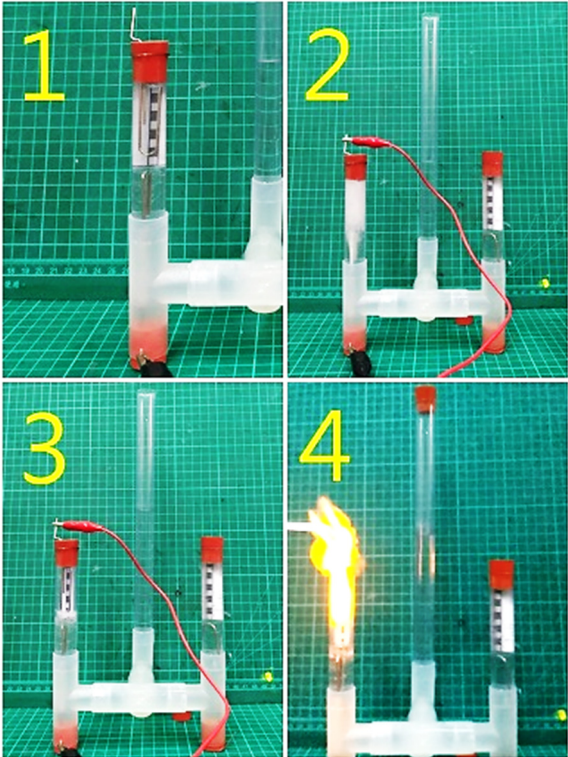
操作步驟說明	圖例
<p>2. 氫氣與氧氣蒐集：在 5V 條件下電解，約 8 到 10 分鐘後斷電停止電解，可獲得氫氣約 12 到 15ml 如圖 10。可在 PVC 短管後方外側貼上刻度，以利推估左方氫氣與右方氧氣生成量體積比，本裝置可隨時停止電解進行氣體檢驗，唯氣體過少時檢驗效果不佳，圖 10 中右方氧氣管中氣體約為 5ml，管內氣柱高度約為 2cm。</p> <p>若未在電極加上吸管設定電解自動停止液面，就需留意中間 25cm 長管液面高度，不要讓電解質水溶液溢出。</p>	 <p style="text-align: center;">圖 10</p>
<p>3. 檢驗氫氣：先將中央 25 公分長管上方塞上橡皮塞，進行檢驗前先鬆動氫氣管上方的橡皮塞，點燃線香或是將紙捲成桿狀後點燃紙張，將仍有火焰的線香或紙捲靠近管口再拔除橡皮塞，即可觀察到氫氣的燃燒現象（圖 11），觀察後塞回橡皮塞，回復氣密狀態。</p> <p>因連通管原理，中央 25 公分長管與右方氧氣管上方皆已塞上橡皮塞保持氣密，拔除氫氣管上方橡皮塞時，氫氣管內水位不會上升而排出氫氣。</p>	 <p style="text-align: center;">圖 11</p>

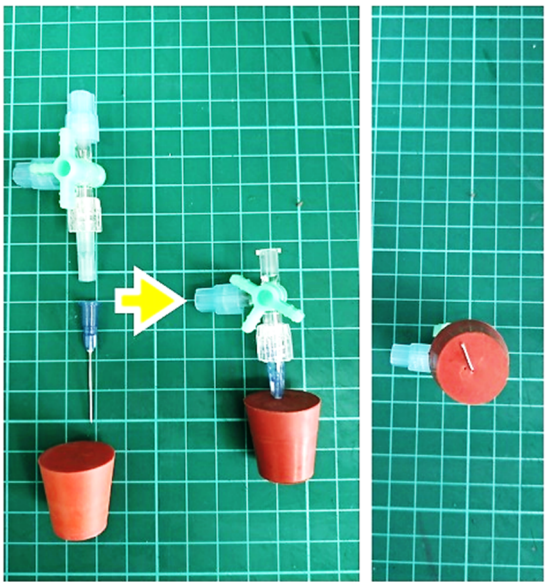
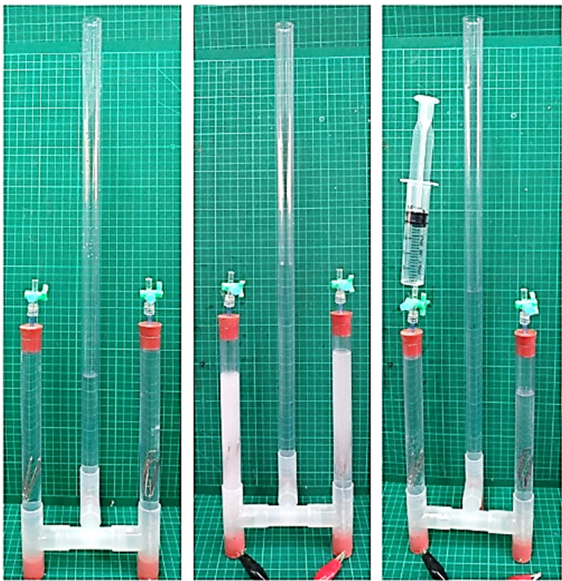
操作步驟說明	圖例
<p>4. 檢驗氧氣：確認中央長管與左方氫氣管的橡皮塞要塞好，鬆動右方氧氣管上方的橡皮塞，點燃線香或是紙捲後減去火焰，以餘燼靠近管口，再拔除橡皮塞，將餘燼伸入管內即可觀察到氧氣的助燃效果，餘燼會出現復燃現象（圖 12）。</p>	 <p style="text-align: center;">圖 12</p>
<p>5. 電解質溶液復位，進行下次電解：先移除兩邊短管上的橡皮塞，使兩側短管液面等高，再慢慢轉鬆長管上方橡皮塞，利用連通管原理，可讓電解質溶液回復原來液面位置，即可再塞回兩側短管上的橡皮塞，進行下一次的實驗，過程可參考圖 13。需留意回復液面時，讓中央長管緩慢進氣，以防短管水位上升過快而溢出。回復液面高度時，若有安裝圖 6B 中的回填減速橡皮塞，可防止短管水位上升過快，若無安裝減速橡皮塞，則要慢慢讓中央長管進氣，防止短管水位上升過快而溢出。</p>	 <p style="text-align: center;">圖 13</p>

同一批電解質溶液配置後，可以讓全部班級進行實驗操作後再棄置，唯多次電解後液體會減少，任課教師於實驗前須對各組裝置補充少量水。多班操作時，建議將此裝置置放於塑膠淺盆內，以利氫氧化鈉微量滲漏時的後續處理，實驗後建議先

將所有橡皮塞塞回，可避免鹼性電解質溶液吸收二氧化碳而變質，且塞回橡皮塞後因管內氣密，能讓管內氫氧化鈉溶液更不易因壓力差滲漏。可使用碳酸鈉取代氫氧化鈉，但碳酸鈉鹼性較弱，電解速度較慢。

四、進階操作

操作步驟說明	圖例
<p>1. 氫氧混合氣體：額外準備橡皮塞迴紋針電極一個，替換其中一個短管上方電極如圖 14 所示，需注意上方電極長度，避免兩電極接觸短路，兩電極最好保持 1 公分以上距離。將電源改夾至此管上下方電極，即能獲得氫氧混合氣體。檢驗方式與檢驗氫氣或氧氣相同，因氫氧混合氣體燃燒較劇烈，請勿讓學生燃燒太大量（大於 10ml）的氫氧混合氣體或在密閉容器內點燃氫氧焰，圖 14 中氫氧混和氣體約為 10ml。</p>	 <p style="text-align: center;">圖 14</p>

操作步驟說明	圖例
<p>2. 添加氣體抽取裝置：可在上方橡皮塞加上針頭與三通如圖 15，配合針筒可在電解後，抽取定量氣體進行後續操作，抽出氣體後會因連通管壓力差，使得電解質水溶液回補。</p>	 <p style="text-align: center;">圖 15</p>
<p>3. 教師演示用電解器：利用 4 分三通管 3 個、3 分三通管 1 個、6 號橡皮塞 6 個、醫療用點滴三通 2 個、針頭兩個、4 分 PVC 管一根，可製作較大型的教師用電解水演示裝置如圖 16，PVC 管裁切為 20cm、20cm、50cm，操作時只需打開兩短管三通，由長管填入電解質水溶液至三管水位達到短管三分之二高度後，由短管上方抽除氣體形成負壓，即可使短管填滿電解質水溶液，此法既可減少電解質溶液用量，又可降低上方橡皮塞承受壓力。配合 19V 電源與 2M 氫氧化鈉溶液，每分鐘可電解獲得氫氣 8ml，約 5 分鐘即可獲得一整管約 40ml 的純氫氣，適於教師課堂演示使用。</p>	 <p style="text-align: center;">圖 16</p>

肆、結語

此自立式霍夫曼電解水器具備操作安全性高、製作成本低、藥品減量、堅固耐用、維修簡易等優點，製作器材容易取得且價格低廉，本文中學生用器材單組成本低於 100 元，此裝置每組僅需使用 12 克氫氧化鈉，配置成 150ml 濃度 2M 的氫氧化鈉溶液，即可以讓多班重複使用，進行氫氣、氧氣、氫氧混合氣體的製備；藉由連通管原理與壓力差控制各管管中水位高度，在實驗中能以簡便方式進行電解氣體的檢驗或抽取電解氣體，實驗後用長管水壓排除氣體回復水位，進而重複實驗，過程中學生幾乎不需接觸具腐蝕性的氫氧化

鈉。若進一步配合安培計與通電時間，可以再深入討論電量與氣體產量關係。此電解水裝置耐用且好用，相信對於電解水實驗而言是個相當有幫助的得力器材。

伍、參考資料

霍夫曼電量計. (2020, March 31). Retrieved from 維基百科,自由的百科全書：
<https://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E9%9C%8D%E5%A4%B%E6%9B%BC%E9%9B%BB%E9%87%8F%E8%A8%88&oldid=58895397>

致謝

感謝麥寮高中提供各項開發協助的夥伴。

附件：氫氧體積比例尺，每格高度 0.5cm

