

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

第二名

最佳創意獎

031627

步步高升 - 證明空氣中氧氣含量及新反應器研
製

學校名稱：臺南市立崇明國民中學

作者： 國一 陳玉樺 國一 王亭懿 國一 戴辰芳	指導老師： 張正國 程旭煬
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：氧氣、氧化、電

步步高升—證明空氣中氧氣含量及新反應器研製~

摘要：

在理化課程提到「空氣中的氧約占空氣的 $1/5$ 」，但老師所提及的各項實驗，我們一一重做一遍，過程中發覺存在不少問題；例如採用悶熄蠟燭的實驗方法，似乎無法驗證這樣的結果；即使改以鋼絲絨生鏽方式驗證，至少也得花費將近一天的時間；因此我們想出新的反應裝置，以鋼絲絨通電使其燃燒的方式，發現可縮短實驗時間並達到準確驗證的目標。

壹、研究動機：

在理化課程中提及「燃燒都需要氧助燃，而空氣中的氧約占空氣的 $1/5$ 」；但我們上實驗課時，經由「悶熄蠟燭」實驗只顯示水位會急速上升，而且每次的誤差都好大；而「鋼絲絨生鏽」實驗則太耗時了。究竟是哪些未曾考慮到的因素所導致的誤差呢？是否有比鋼絲絨生鏽實驗更快的驗證方式呢？這些疑問促使我們想更深入去研究上述兩項實驗，希望進一步能針對實驗缺點加以改良，設計出快速且能驗證「氧氣約占空氣的 $1/5$ 」的實驗方法！

貳、研究目的：

- 一、設計製作驗證「氧氣約占空氣的 $1/5$ 」的實驗裝置
 - 二、測試第二代反應器進行實驗之效能
 - 三、測試第三代反應器進行實驗之效能
- (附錄一)、探討傳統以燃燒蠟燭消耗容器中氧氣的效果
(附錄二)、探討以鋼絲絨氧化反應消耗容器中氧氣的效果

參、研究設備及器材：

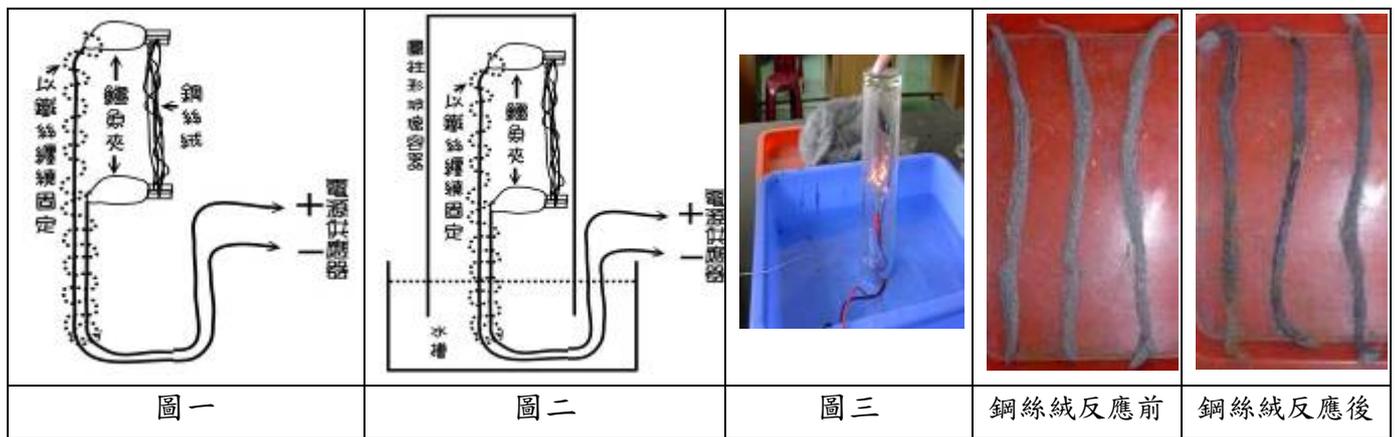
(依次標示1000mL、500mL、250mL)圓柱形玻璃容器、蒸餾水、塑膠水槽、溫度計、蠟燭、尺、鋁塊、酒精燈、美工刀、(100mL、50mL)量筒、鋼絲絨、剪刀、電子秤、6M醋酸、膠帶、脫氧劑、鐵線、鑷子、尖嘴鉗、銅片、鱷魚夾、夾子、鐵架、數位照相機、塑膠杯、9V乾電池、手搖鑽。

肆、研究步驟與結果：

(研究一)：設計製作驗證「氧氣約占空氣的 $1/5$ 」的實驗裝置

一、實驗步驟

- (一) 如下(圖1)，利用鐵絲將兩條鱷魚夾固定在一起，並上下留一段距離以方便夾鋼絲絨。
- (二) 在電路上接上安培計與伏特計，以監測電路上之電壓及電流值。
- (三) 第一次測試→取少量鋼絲絨夾於兩條鱷魚夾之間，並接上電源供應器，在電路正常情況下即可看見火苗由鋼絲絨中竄出，接著便可看見鋼絲絨燃燒。
- (四) 分別取1g、1.5g、2g鋼絲絨裁成長條狀，以鱷魚夾夾緊後。
- (五) 接上12V直流電源後，便會出現如圖三的情形，每隔10秒記下水位上升高度。



二、實驗結果：

控制變因：250mL圓柱形玻璃容器，調整水位從0刻度開始（空氣柱總高度19cm）

時間(秒)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
<1g鋼絲絨>水位上升高度	-1.0	-1.7	-2.3	-0.6	+0.5	+2	+2.1	+2.1	+2.1	+2.2	+2.2	+2.2
(水上升的高度÷空氣柱總高度)×100%	×	×	×	×	2.6	10.5	11.1	11.1	11.1	11.6	11.6	11.6
<1.5g鋼絲絨>水位上升高度	-1.7	-2.4	-1.2	-0.5	-0.2	+2.5	+2.6	+2.6	+2.7	+2.7	+2.7	+2.8
(水上升的高度÷總容器總高度)×100%	×	×	×	×	×	13.2	13.7	13.7	14.2	14.2	14.2	14.7
<2g鋼絲絨>水位上升高度	-1.2	-2.1	-2.4	-1.5	-1.0	-0.5	+2.1	+2.6	+2.8	+2.8	+2.9	+2.9
(水上升的高度÷總容器總高度)×100%	×	×	×	×	×	×	11.1	13.7	14.7	14.7	15.3	15.3

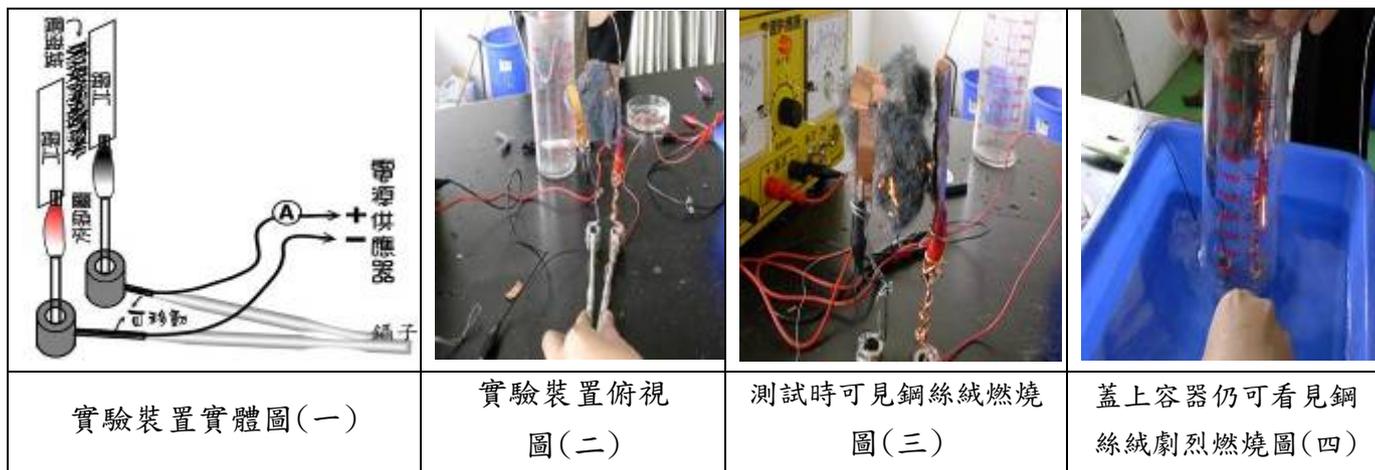
三、研究分析與討論：

- (一)本實驗設計主要是利用通電方式加速鐵的氧化；一開始通電時會產生熱效應，所以需調整一定高度的水位，以免因為熱效應造成容器內氣體受熱膨脹而跑掉；所以上表出現負值，即是因為氣體受熱膨脹導致水位下降。
- (二)但最終實驗結果是失敗的，因為鋼絲絨的量很難控制，鋼絲絨太少無法將容器內的氧氣全部耗盡；鋼絲絨若過多，電阻過大，將產生大量的熱，此時氧化耗掉氧氣的速度根本比不上氣體熱膨脹的速度，容器底部將不斷地湧出氣泡，氣體大量往外跑，即使等容器內氣體冷卻後，水位所達到的高度並不是真正氧氣反應消耗的量，所以得重新改良該反應裝置。

(研究二)：測試第二代反應器進行實驗之效能

一、實驗步驟

- (一)利用鐵線將兩條鱷魚夾固定兩個鐵座上，鐵座則以膠帶與鑷子捆綁緊。
- (二)一端鱷魚夾夾銅片，另一端鱷魚夾夾鋼絲絨，並保持一段距離。
- (三)在電路上接上安培計與伏特計，以測量電路上之電壓及電流值。
- (四)第一次測試→以鱷魚夾分別取少量鋼絲絨及銅片，並接上電源，當銅片一靠近鋼絲絨，鋼絲絨立即燃燒，如下圖(三)。
- (五)分別取3.0g、3.5g、4.0g鋼絲絨拉成片狀，以鱷魚夾及銅片夾緊後，蓋上1000mL、500mL不同體積的圓柱形玻璃容器。
- (六)接上電源後，便會出現如圖(四)的劇烈燃燒情形，每隔1分鐘記下水位上升高度。



二、實驗結果：

(一)控制變因：1000mL圓柱形玻璃容器，調整水位從0刻度開始(空氣柱總高度18.0cm)

時間(分鐘)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	15
3.0g水位上升高度	-1.2	-1.0	-0.7	-0.3	-0.4	-0.5	0.4	1.2	1.3	2.5
(水上升的高度÷總容器總高度)×100%	×	×	×	×	×	×	×	6.6	7.2	13.8
3.5g水位上升高度	-1.3	-1.4	-1.2	-0.6	-0.2	-0.1	0	1.3	1.6	3.2
(水上升的高度÷總容器總高度)×100%	×	×	×	×	×	×	×	7.2	8.8	17.8
4.0g水位上升高度	-1.9	-2.1	-1.2	-0.9	-1.1	-0.2	0.2	1.4	1.5	3.3
(水上升的高度÷總容器總高度)×100%	×	×	×	×	×	×	×	7.7	8.3	18.3

(二)控制變因：500mL圓柱形玻璃容器，調整水位從0刻度開始(空氣柱總高度14.2cm)

時間(秒)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	15
3.0g水位上升高度	-1.7	-1.2	-0.6	-0.3	-0.2	0.1	0.2	1.1	1.2	2.5
(水上升的高度÷總容器總高度)×100%	×	×	×	×	×	×	×	7.7	8.5	17.6
3.5g水位上升高度	-2.0	-1.6	-1.0	-0.6	-0.3	0.2	0.5	1.4	1.8	2.6
(水上升的高度÷總容器總高度)×100%	×	×	×	×	×	×	3.5	9.9	12.7	18.3
4.0g水位上升高度	-2.1	-2.0	-1.6	-1.0	-0.4	-0.3	0.3	1.4	1.6	2.8
(水上升的高度÷總容器總高度)×100%	×	×	×	×	×	×	×	9.9	11.3	19.7

三、研究分析與討論：

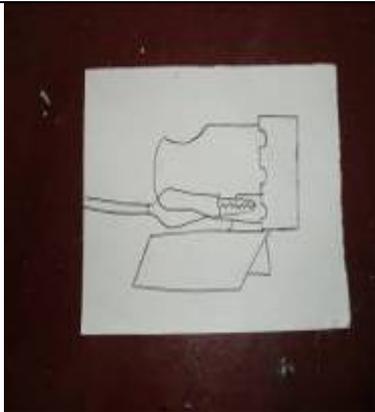
(一)說明：本實驗設計以銅片與鋼絲絨之接點處，在電路接通瞬間產生火花使鋼絲絨燃燒。以通電方式加速鋼絲絨的氧化反應；上表出現負值，即是因為氣體受熱膨脹，導致水位比起始刻度略低；但等到鋼絲絨反應完，澆水冷卻後即可看見水位明顯上升。

(二)討論：就實驗數據結果分析，1000mL 容器中鋼絲絨以 4.0g 的量反應效果較佳，500mL 容器中鋼絲絨以 3.5~4 g 的量反應效果最好，但是水位的高度沒有到達期待的 21%；經過探討之後，我們發現氧氣的密度比氮氣大，所以氧氣會沉在容器底部，而這實驗器材只能消耗掉鋼絲絨週圍的氧氣，因此沉在容器底部的氧氣無法消耗完全。於是我們就想到利用強力磁鐵從容器外部操控，使整個反應器能在瓶中上、下移動，進而消耗容器中的氧氣。

(研究三)：測試第三代反應器進行實驗之效能

一、實驗步驟

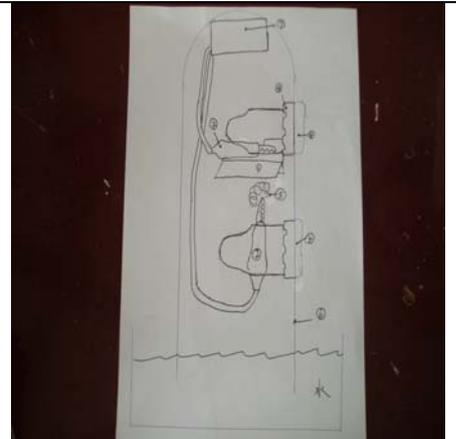
- (一)我們所使用的容器是能以旋轉方式打開瓶蓋，並在瓶蓋上左右兩端鑽孔，大小正好能使鱷魚夾穿過。
- (二)串聯3個9V的電池並用鱷魚夾連接。
- (三)一條鱷魚夾連接銅片，另一條連接鋼絲絨，兩條鱷魚夾上接用長尾夾固定以便用強力磁鐵從外部操控。
- (四)將鱷魚夾穿過瓶蓋上的兩孔，再將瓶蓋鎖緊；並以三秒膠加以密封。
- (五)分別取3.0g、3.5g、4.0g鋼絲絨拉成片狀，以鱷魚夾及銅片夾緊後，蓋上1000mL、500mL不同體積的圓柱形玻璃容器。



銅片裝置圖



鋼絲絨裝置圖



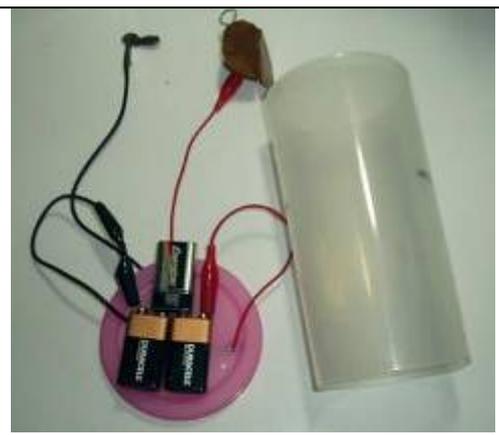
組裝圖



電池和電線組裝圖



瓶蓋和裝置組裝圖

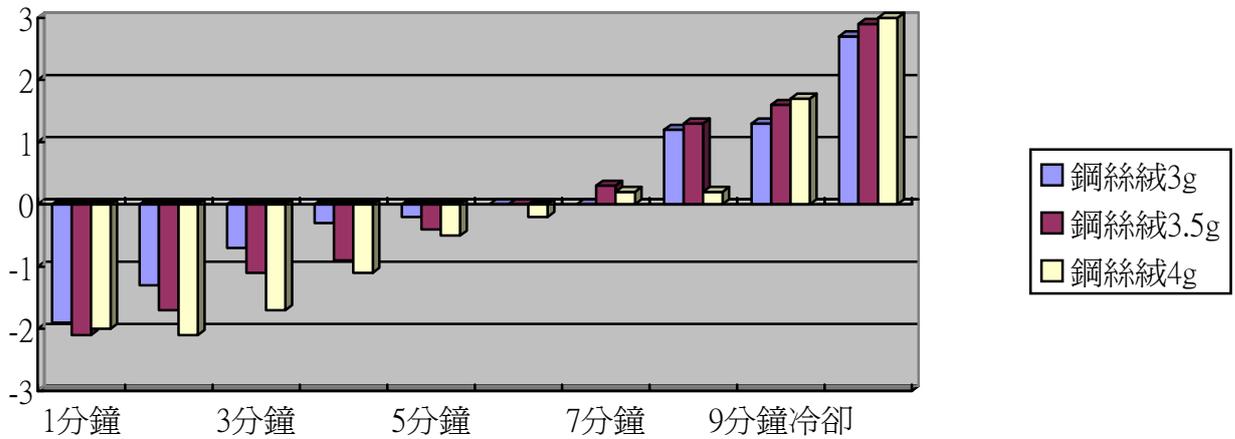


容器裝製圖

二、實驗結果：

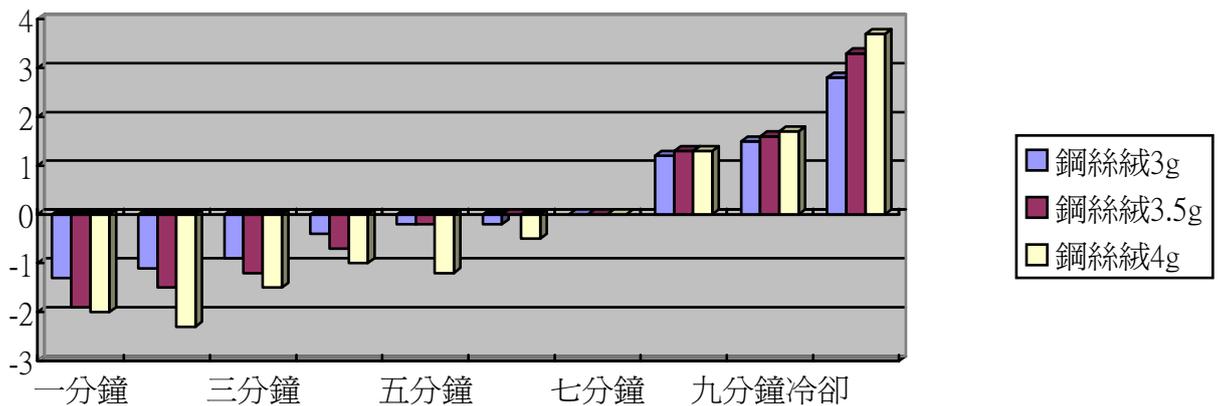
(一)控制變因：1000mL圓柱形玻璃容器，調整水位從0刻度開始(空氣柱總高度18.0cm)

時間(分鐘)	1	2	3	4	5	6	7	8	9 加水 冷卻	15 加水 冷卻
3.0g水位上升高度	-1.3	-1.1	-0.9	-0.4	-0.2	-0.2	0	1.2	1.5	2.8
(水上升的高度÷總容器總高度)×100%	×	×	×	×	×	×	×	6.7	8.3	15.6
3.5g水位上升高度	-1.9	-1.5	-1.2	-0.7	-0.2	0	0	1.3	1.6	3.3
(水上升的高度÷總容器總高度)×100%	×	×	×	×	×	×	×	7.2	8.9	18.3
4.0g水位上升高度	-2.0	-2.3	-1.5	-1.0	-1.2	-0.5	0	1.3	1.7	3.7
(水上升的高度÷總容器總高度)×100%	×	×	×	×	×	×	×	7.2	9.4	20.5



(二)控制變因：500mL圓柱形玻璃容器，調整水位從0刻度開始(空氣柱總高度14.2cm)

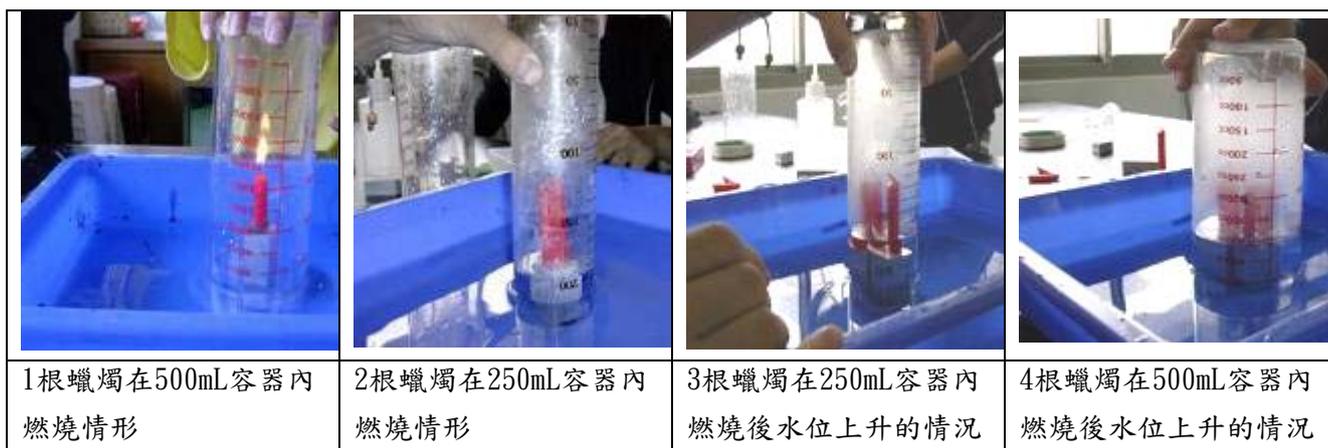
時間(秒)	1	2	3	4	5	6	7	8	9 加水 冷卻	15 加水 冷卻
3.0g水位上升高度	-1.9	-1.3	-0.7	-0.3	-0.2	0	0	1.2	1.3	2.7
(水上升的高度÷總容器總高度)×100%	×	×	×	×	×	×	×	8.5	9.1	19.0
3.5g水位上升高度	-2.1	-1.7	-1.1	-0.9	-0.4	0	0.3	1.3	1.6	2.9
(水上升的高度÷總容器總高度)×100%	×	×	×	×	×	×	2.1	9.2	11.3	20.4
4.0g水位上升高度	-2.0	-2.1	-1.7	-1.1	-0.5	-0.2	0.2	1.3	1.7	3.0
(水上升的高度÷總容器總高度)×100%	×	×	×	×	×	×	1.4	9.2	12.0	21.1



(附錄一)：探討傳統以燃燒蠟燭消耗容器中氧氣的效果

一、實驗步驟：

- (一) 水槽裝約5cm水位高度蠟燭高度設定為容器的1/2高，並利用雙面膠及3秒膠將蠟燭固定在鋁塊上。(鋁塊：作為底座且可方便調整高度及更換蠟燭數量)
- (二) 蠟燭根數依次點燃1根、2根、3根、4根。
- (三) 分別以1000mL、500mL、250mL(實際容量依次為1050 mL、500 mL、260 mL) 圓柱形玻璃容器悶熄點燃的蠟燭。
- (四) 紀錄四次水位上升高度，並求其平均值。



二、實驗結果：

- (一)控制變因：悶熄點燃的容器皆以標示1000mL圓柱形玻璃容器【實際容量1050mL】(容器空氣柱總高度20.0cm)

蠟燭根數	1根	2根	3根	4根
四次水上升平均高度(cm) 【已扣除(蠟燭+鋁塊)所占之體積占容器的0.4cm高度】	2.8	3.5	3.8	6.5
(水上升的高度÷總容器總高度)×100%	14.0%	17.5%	19.0%	32.5%

- (二)控制變因：悶熄點燃的容器皆以標示500mL圓柱形玻璃容器【實際容量500mL】(容器空氣柱總高度19.5cm)

蠟燭根數	1根	2根	3根	4根
四次水上升平均高度(cm) 【已扣除(蠟燭+鋁塊)所占之體積占容器的0.8cm高度】	2.9	4.5	5.6	6.9
(水上升的高度÷總容器總高度)×100%	14.9%	23.1%	28.7%	35.4%

- (三)控制變因：悶熄點燃的容器皆以標示250mL圓柱形玻璃容器【實際容量260mL】(容器空氣柱總高度18.5cm)

蠟燭根數	1根	2根	3根	4根
四次水上升平均高度(cm) 【已扣除(蠟燭+鋁塊)所占之體積占容器的1.4cm高度】	3.5	5.6	6.2	7.1
(水上升的高度÷總容器總高度)×100%	18.9%	30.3%	33.5%	38.4%

(四)數據歸納：

	1根	2根	3根	4根
1000cc容器水上升的高度佔容器總高度百分比%	14.0%	17.5%	19.0%	32.5%
500cc容器水上升的高度佔容器總高度百分比%	14.9%	23.1%	28.7%	35.4%
250cc容器水上升的高度佔容器總高度百分比%	18.9%	30.3%	33.5%	38.4%

三、研究分析與討論：

- (一)由結果發現當蠟燭數目增加時，水上升的高度隨之增加。但未必每次都上升至1/5，而且上升後的水位將因點燃的蠟燭數量而有所不同。
- (二)假若瓶內氧氣量是固定的，點燃較多蠟燭應該只是較快用盡容器內的氧氣，並不會影響水面上升高度的比例，但由數據歸納得知並不符合。
- (三)燃燒蠟燭時以圓柱形玻璃容器蓋上，可發現底部瓶口馬上產生氣泡往外跑出，可見早已有部份氣體因受熱膨脹而跑出瓶外。
- (四)若點燃的蠟燭數量增加，將使更多空氣被擠出瓶外；蠟燭熄滅，瓶內空氣冷卻後收縮，將使水位上升的比例大幅度增加。
- (五)由以上討論可知採用「悶熄蠟燭」以證明氧氣占空氣的1/5的實驗方法，影響的因素太多且誤差相當大，可見這實驗用來驗證「氧氣約占空氣的1/5」並不恰當。

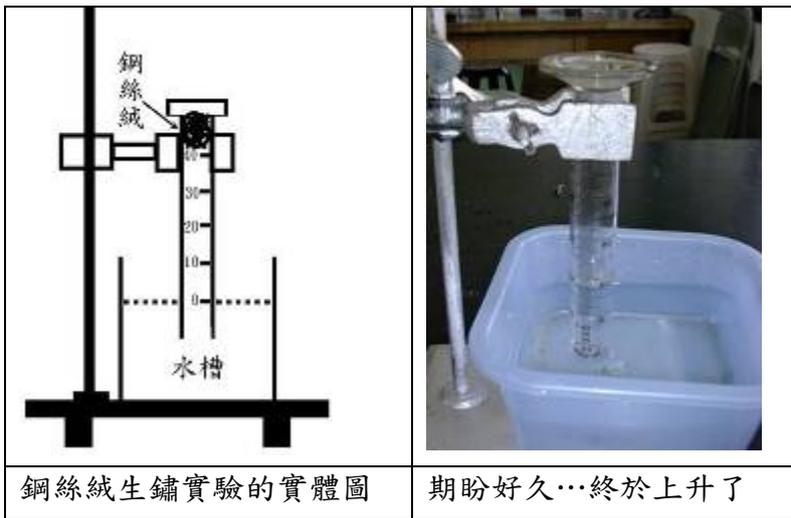
(附錄二)：探討以鋼絲絨氧化反應消耗容器中氧氣的效果

說明：

1. 本研究目的在找出能在短時間內，快速且能驗證氧氣占空氣的21%的實驗方法；考量覆蓋的容器若過大，則要以鋼絲絨生鏽方式消耗完氧氣需較長時間，故改以50mL的量筒作為覆蓋的容器。
2. 只塞入鋼絲絨，在量筒內需一天時間才能觀測到水位有明顯上升；經查閱相關書籍得知鐵在酸性或與活性較小的金屬接觸環境中較易生鏽，所以本實驗以實驗室現有且較無危險性的醋酸來當作浸泡液。

一、實驗步驟：

- (一)分別秤取0.5g、1.0g、1.5g、2.0g的鋼絲絨置入50ml的量筒內，倒入6M的醋酸浸泡2分鐘，再以蒸餾水沖洗過。
- (二)沖洗過的鋼絲絨置在量筒底部，然後用手封住量筒開口，倒置於的水槽中；調整鐵夾的高度，使量筒內的水停於刻度0的地方，並以奇異筆作一標示。
- (三)每隔1小時記錄一次水位，並檢視量筒外面的水位是否在起始刻度，否則須再添加水，直到6小時結束記錄。



鋼絲絨生鏽實驗的實體圖

期盼好久…終於上升了

二、實驗結果：

控制變因：50mL 量筒(容器中空氣柱原始高度為 15cm)

水位上升高度(cm)		時間記錄(小時)							消耗空氣百分比 【 $\frac{\text{水位上升高度}}{\text{原始空氣柱高度}} \times 100\%$ 】
		0	1	2	3	4	5	6	
鋼絲絨質量	0.5 g	0	0.2	0.9	1.5	1.8	1.9	2.1	14.0%
	1.0 g	0	0.4	1.1	1.7	2.1	2.5	2.8	18.7%
	1.5 g	0	0.6	1.3	1.9	2.3	2.8	3.1	20.7%
	2.0 g	0	0.7	1.3	1.8	2.5	3.0	3.2	21.3%

三、研究分析與討論：

- (一) 由實驗結果得知：50ml 的空氣與 1.5g~2.0g 的鋼絲絨反應最佳，若鋼絲絨小於 1.0 克時，會造成氧化反應時間過長。
- (二) 採用鋼絲絨氧化消耗氧氣，鋼絲絨數量只要足夠氧化掉氧氣，就可測得氧氣含量；且氧化反應過程較緩和，不用擔心過熱造成氣體外溢。當全部耗掉氧氣時，測得氧氣含量較為穩定且接近 21%，誤差較少；缺點則是較耗費時間。

伍、實驗總結論：

- 一、我們一開始設計製作驗證「氧氣約占空氣的 21%」的實驗裝置，因為鋼絲絨量很難控制，鋼絲絨太少無法將容器內的氧氣全部耗盡，根本無法達到 21% 的目標；鋼絲絨太多，則電阻過大，將產生大量的熱，此時氧化的速度根本比不上氣體熱膨脹的速度，容器底部將不斷地湧出氣泡，氣體大量往外跑，即使等容器內氣體冷卻後，水位所達到的高度並不是真正氧氣反應實際消耗的量，所以得重新改良重新設計後而有第二代反應裝置的誕生。
- 二、經測試第二代反應器進行實驗之效能，就實驗數據結果分析，鋼絲絨以 4 g 的量反應效果最好，但水位上升高度仍無法達到空氣柱的 21% 的目標。

- 三、為了改進第二代反應器的缺點，我們就想到利用強力磁鐵從容器外部操控，使整個反應器能在瓶中上下移動，進而消耗容器中的氧氣。而第三代反應器最後的確達到我們所預期的目標。
- 四、由(附錄一)探討傳統以燃燒蠟燭消耗容器中氧氣的效果，可知採用「悶熄蠟燭」以證明氧氣占空氣的 21% 的實驗方法，影響的因素太多(熱效應造成氣體受熱外溢、產生額外的二氧化碳)且誤差相當大，可見這實驗用來驗證「氧氣約占空氣的 21%」並不恰當。
- 五、在(附錄二)探討以鋼絲絨氧化反應消耗容器中氧氣的效果，鋼絲絨數量只要足夠氧化掉氧氣，就可測得氧氣含量；且氧化反應過程較緩和，不用擔心過熱造成氣體外溢。但是水位的高度沒有到達期待的 21%；經過探討之後，我們發現氧的密度比氮氣大，所以氧會沉在容器底部，而這實驗器材只能消耗掉器材週圍的氧氣，縱使容器內氣體會對流，但氣體對流速度很慢，因此沉在容器底部的氧氣無法消耗完全。於是我們就想到利用強力磁鐵從容器外部操控，使整個反應器能在瓶中上下移動，進而消耗容器中的氧氣。
- 六、在測試的過程中，經歷許多挫折與失敗，雙手也因不斷的碰觸水而變得粗糙不堪；但不起眼的水位高度一旦有了小幅度增加，就足已令我們興奮了半天；而一次又一次的改良，終於讓實驗效率提高了，我們的努力總算沒有白費！

陸、參考文獻：

- 一、國中自然與生活科技(第一冊第 2 章孕育生命的搖籃)。南一版(民 94)
- 二、國中自然與生活科技(第三冊)。南一版(民 94)
- 三、國中自然與生活科技(第六冊第一章電的應用)。康軒版(民 94)

評 語

031627 步步高升-證明空氣中氧氣含量及新反應器研製
利用電流讓鋼絲絨燃燒消耗空氣中氧氣改善傳統蠟燭燃燒
的方法，且設計一實用性實驗裝置，富創意與完整性，實驗
結果與討論分析周延是一件優秀的作品。