

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學科

第三名

最佳創意獎

030814

歆氧為錳

-攪拌排氣排水重量縮減自動記錄器之研發應用

學校名稱：彰化縣立大同國民中學

作者： 國二 劉員成 國二 張浚銘	指導老師： 廖宏毅
-------------------------	--------------

關鍵詞：重量縮減裝置、自動記錄、催化劑

摘要

二氧化錳催化雙氧水備製氧氣的實驗中，本組改良傳統排水集氣法，設計重量縮減裝置延伸電子天秤之量取範圍，可每 0.1s 記錄一次數據，突破前人的平均速率測法，進而得以比較催化反應中初始速率之差異。本組經實驗發現 4mL 以內的雙氧水，二氧化錳經實驗結果與人為考量，當用量 3g 時可兼具催化效果及環保減量之目的。而二氧化錳的回收處理以鹼洗的成效最佳，催化劑替代方案則以薑末最佳。

壹、研究動機

鑒於每班完成氧氣製備的實驗後，廢液中往往留有為數可觀的二氧化錳，其中的液體仍不斷分解產生氧氣，大量的廢液不但造成後續回收的困難，更導致藥品的浪費與環境的傷害。因此，本組擬深入研究，設計實驗儀器以記錄氣體產生速率，基於成本考量而尋找催化劑的最佳用量，並以環保觀點尋找二氧化錳的替代方案，茲說明如下：

一、量取體積：

本組透過錄影方式記錄量筒排水體積，透過觀看影片來讀取數據。然而，此法不僅廢時，更因氣泡影響而導致數據的誤判。至此，自動記錄的想法在腦海中孕育滋長。

二、精確再現：

為確實瞭解自製儀器的精確性與再現性，遂於架好器材後進行數次空白實驗，確認儀器之穩定性。

三、最佳用量：

國二上學期的實驗「氧氣的備製-----二氧化錳催化雙氧水製氧」，過程中各組氧氣產生速率不一，且結束後廢液仍持續產生氣體，下個班級如欲達到一定的反應速率，往往需要加入新的雙氧水。然而，課本對催化劑的用量卻未加著墨，幾經閱讀，歷屆科展作品等文獻並未明確指出二氧化錳催化雙氧水所需的用量。因此本組擬透過自製器材，探討二氧化錳與雙氧水對氣體產生速率的影響，試圖尋找催化劑的最佳用量。

四、回收方式：

實驗結束後，廢液仍持續產生氧氣，當反應速率過慢時，老師便要求各組倒入回收瓶，難道用過的催化劑不能重複使用嗎？由文獻可知，催化劑表面往往在催化過程中吸附雜質，產生所謂的中毒現象，倘若直接取回廢液中的二氧化錳，其催化效果將不如往昔。因此，本組擬使用實驗室中常見的酸與鹼洗劑，清除催化劑表面吸附之雜質，試圖恢復其催化效果。

五、替代方案：

基於環保意識抬頭，本組試圖尋找生活中易取得之物質，減少重金屬對環境的傷害。然而，基於安全衛生考量，本組不進行動物類成分如豬肝等催化效果之檢測，僅取用植物類成分進行探討。

貳、研究目的

一、量取體積：

設計量取氣體體積的儀器。

二、精確再現：

確認自製器材之精確性及再現性。

三、最佳用量：

尋找適量雙氧水時所需二氧化錳之最佳用量。

四、回收方式：

尋找二氧化錳回收與並活化的方法。

五、替代方案：

尋找二氧化錳的替代物質。

參、研究設備及器材

量筒 (10mL、50mL、100mL、250mL、500mL)	燒杯 (50mL、100mL、250mL、500mL)
電子天秤 (Max. 1000g, 最小刻度 0.1g)	精密電子天秤 BBH-300 (Max. 300g, 最小刻度 0.01g, RS-232 介面)
RS-232 轉 USB 線材	磁力加熱攪拌器 (僅使用其攪拌功能)
自製緩衝瓶 (改自數學科多面體之教具)	自製重量縮減裝置 (改自自製投石機)
針筒 (10mL、50mL)	橡皮塞 (#09、#10、#11)
廣用試紙	雙氧水 (30%)
鹽酸 (0.5M)	氫氧化鈉 (0.5M)
側管錐形瓶 (250mL、500mL)	透明水箱
橡皮軟管	塑膠硬管
大桌墊	筆記型電腦 (自動記錄器)
滴定管 (25mL、50mL)	底片盒 (儲存使用過的 MnO_2)
酒精燈	酒精
陶瓷纖維網	三腳架
即拋式手套	薊頭漏斗
二氧化錳	止洩帶
錶玻璃	塑膠刮勺
鐵製刮勺	坩鍋夾
滴管	漏斗
鋁箔紙	鑷子
玻璃棒	熱熔槍
熱熔膠條	線鋸
光碟筆	手搖鑽

一、自製實驗器材組：

(一)磁力攪拌器

(理念：攪拌溶液，使二氧化錳能均勻散布)

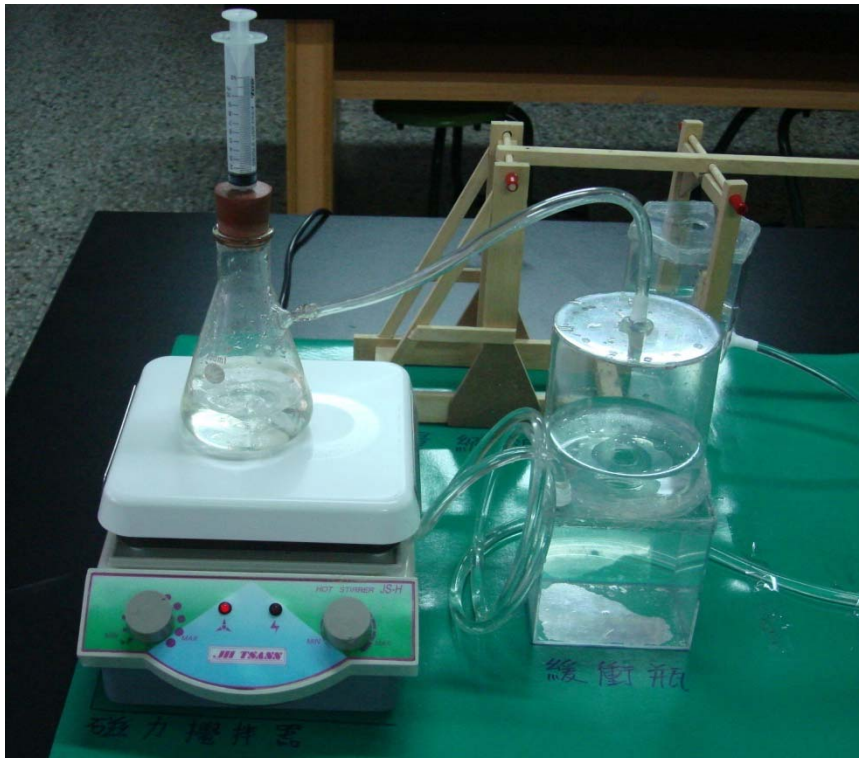


圖 3-1-1 磁力攪拌器

(二)重量縮減裝置

(理念：利用槓桿原理增加電子天秤的測量範圍)

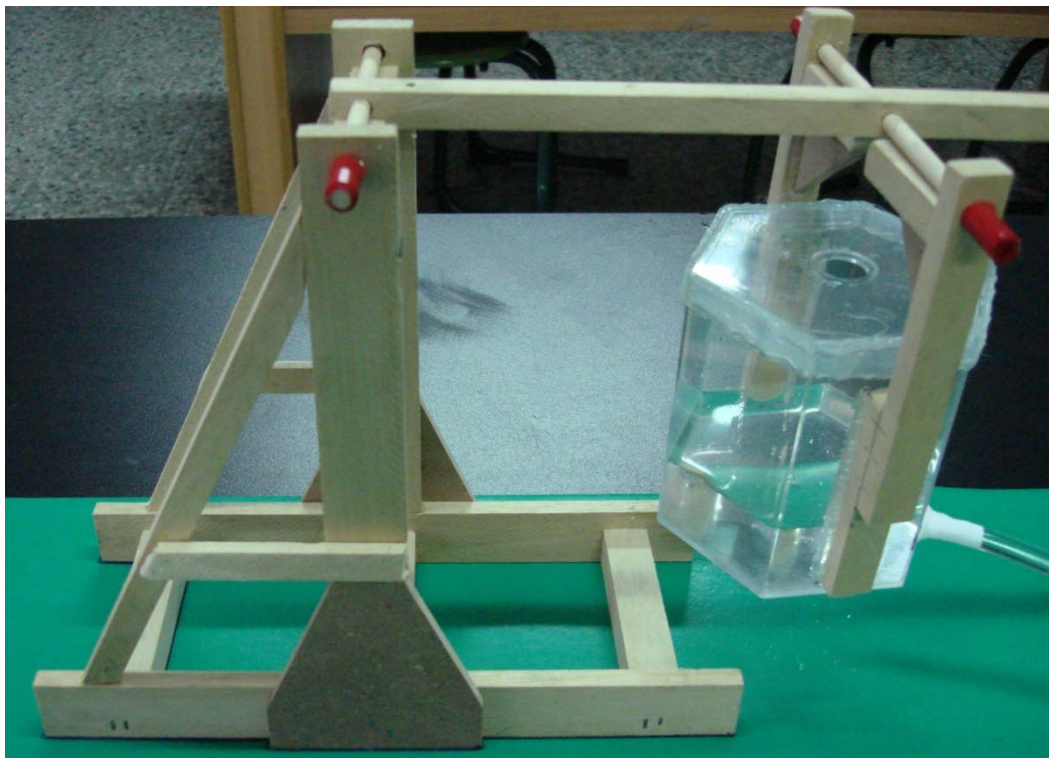


圖 3-1-2 重量縮減裝置

(三)緩衝瓶

(理念：避免排氣管進水，導致體積誤判)

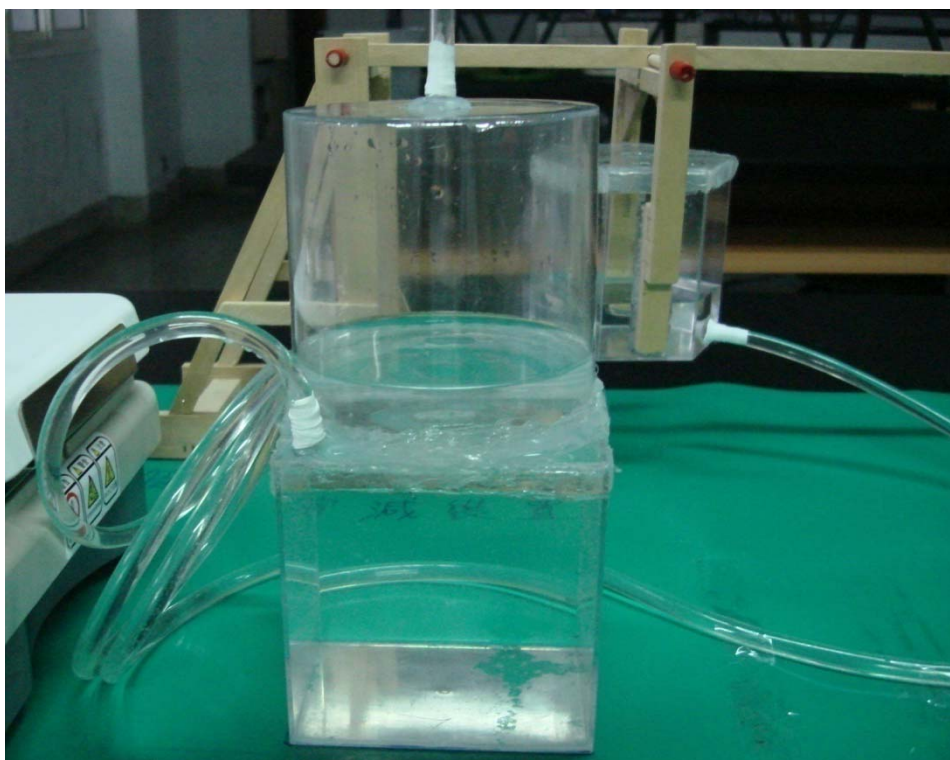


圖 3-1-3 緩衝瓶

(四)待測瓶

(理念：由下方進水，避免管中液體產生的誤差)

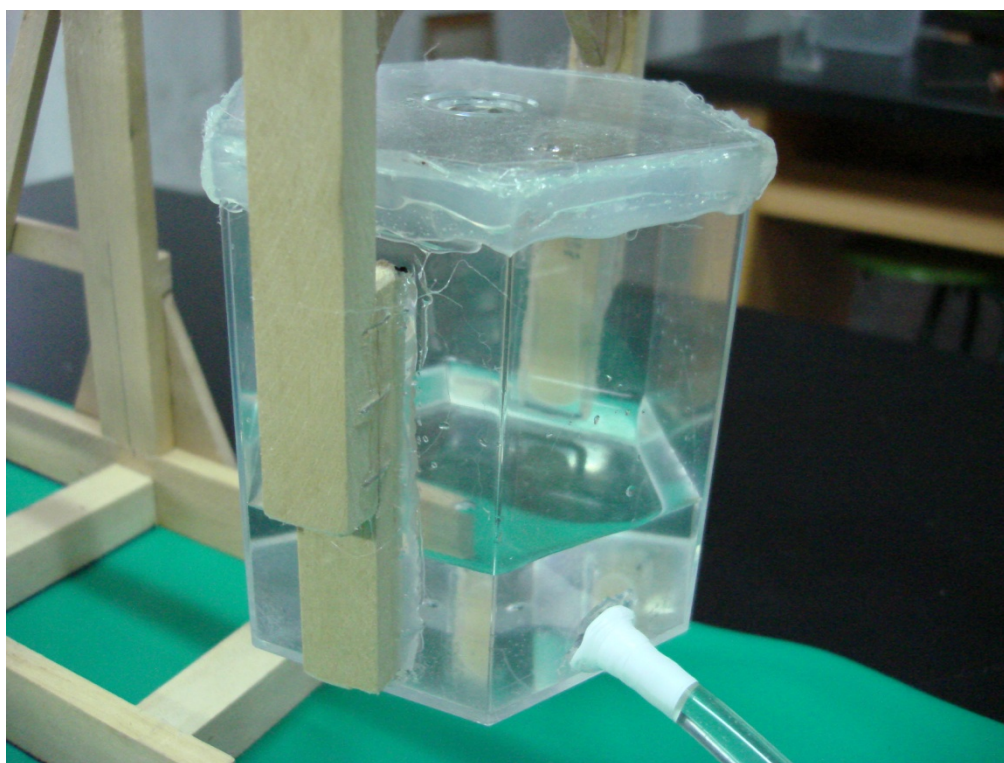


圖 3-1-4 待測瓶

(五)電子天秤與垂直抗力臂

(目的：前者連接電腦；後者使力道垂直作用於天秤之秤盤)

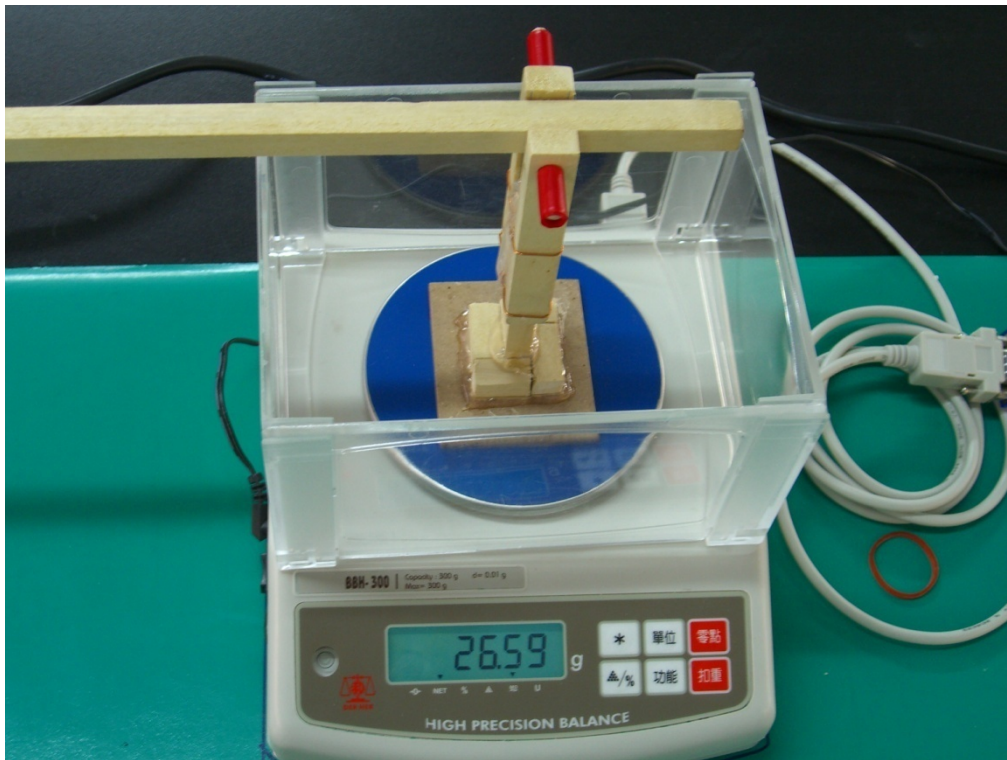


圖 3-1-5 電子天秤與垂直抗力臂

(六)攪拌排氣排水重量縮減自動記錄法演進：第一版 (上下位置代表高度關係)

(理念：使用薊頭漏斗時管內空氣往往隨雙氧水進入氣體發生瓶，導致體積誤判)

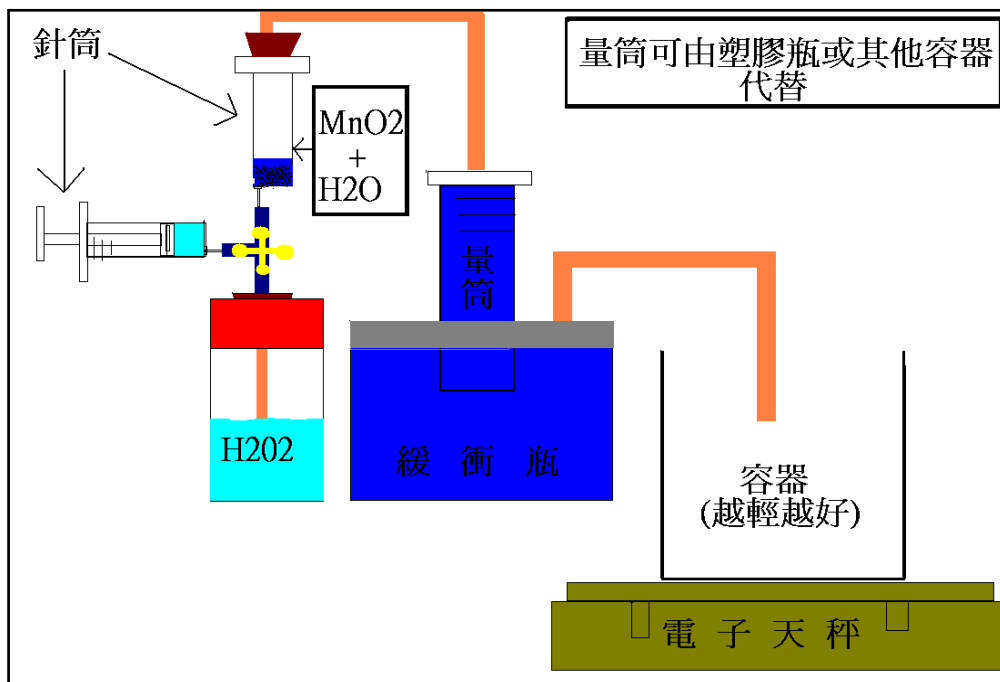


圖 3-1-6-1 攪拌排氣排水重量縮減自動記錄法演進 (第一版)

(六)攪拌排氣排水重量縮減自動記錄法演進：第二版（上下位置代表高度關係）
（理念：由待測瓶下方進水，避免管中液體造成質量的誤差）

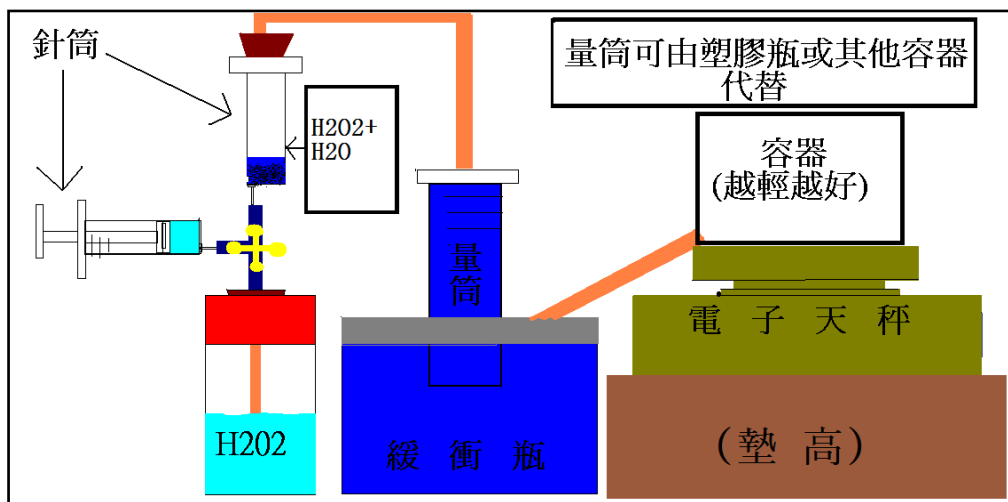


圖 3-1-6-2 攪拌排氣排水重量縮減自動記錄法演進（第二版）

(六)攪拌排氣排水重量縮減自動記錄法演進：第三版
（理念：由待測瓶下方進水，避免管中液體造成質量的誤差）

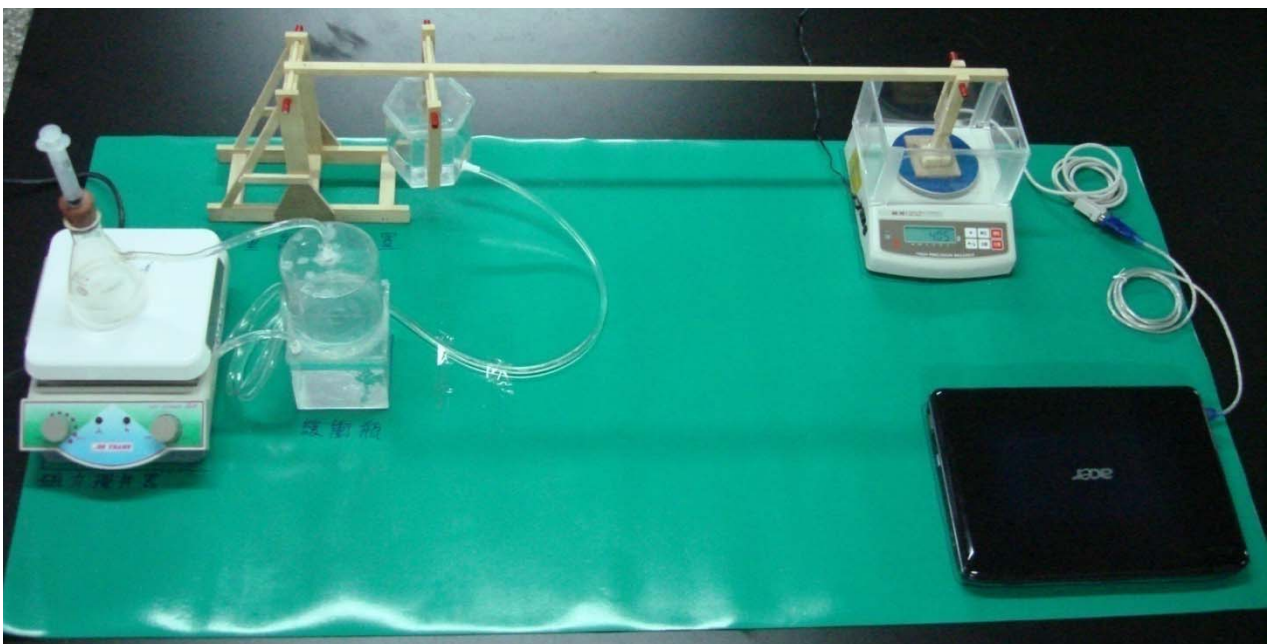


圖 3-1-6-3 攪拌排氣排水重量縮減自動記錄法演進（第三版）

肆、研究方法

一、量取體積：

(一)傳統排水集氣法：

參考課本內容進行實驗。

(二)量筒排水集氣法：

以 500mL 大量筒倒置取代傳統排水法的廣口瓶。

(三)排氣排水重量法：

排氣時推動水，量取其質量。

(四)攪拌排氣排水重量縮減自動記錄法：

同上，但加入自動計時記錄功能以量測瞬時速率。

二、精確再現：

利用滴定管於錐形瓶分次加入 25mL 的水，取得水量與質量之轉換關係。

三、最佳用量：

雙氧水 (1ml、2mL、3mL、4mL) vs. 二氧化錳 (1g、2g、3g、4g、5g)。

四、回收方式：

酸洗、鹼洗、先酸後鹼、先鹼後酸、水 (空白實驗)。

五、替代方案：

馬鈴薯 (末、汁)、紅蘿蔔 (末、汁)、薑 (末、汁)。

伍、研究過程

一、量取體積：

(一)傳統排水集氣法：

- 1.廣口瓶瓶身依據體積畫刻度；
- 2.分別於錐形瓶內放入實驗所需的二氧化錳用量（1g、2g、3g、4g）並加水 50mL；
- 3.薊頭漏斗穿過橡皮塞後塞住錐形瓶，調整漏斗末端未入水面；
- 4.將橡皮軟管的一端連接側管錐形瓶，另一端伸入裝滿水的廣口瓶內；
- 5.以滴管由薊頭漏斗加入實驗所需的雙氧水用量（1mL、2mL、3mL、4mL）；
- 6.由廣口瓶讀取氣體體積；
- 7.清洗錐形瓶，準備下次實驗。



圖 5-1 傳統排水集氣法

(二)量筒排水集氣法：

傳統排水集氣法不易量取氣體體積，且現有廣口瓶之容積不足以收集 4mL 雙氧水之產量，本組改以量筒進行測量：



圖 5-1-2 量筒排水集氣法

- 1.水槽裝水約八分滿，再將 500mL 量筒裝滿水，倒扣置入水槽中；
- 2.分別於錐形瓶內放入實驗所需的二氧化錳用量（1g、2g、3g、4g）並加水 50mL；
- 3.薊頭漏斗穿過橡皮塞後塞住錐形瓶，調整漏斗末端入水面；
- 4.將橡皮軟管的一端連接錐形瓶側管，另一端伸入裝滿水的量筒內；
- 5.架設攝影機，全程記錄反應經過；
- 6.以滴管由薊頭漏斗加入實驗所需的雙氧水用量（1mL、2mL、3mL、4mL）；
- 7.反應結束後關閉攝影機，清洗錐形瓶準備下次實驗；
- 8.將錄影檔案透過 TMPG Enc 4.0 XPress 讀出每十秒產生的氣體體積，繪製曲線圖。

(三)排氣排水重量法：

上述量筒排水集氣法即使借助影片判讀刻度，卻因些許氣泡未上浮至水面，易使體積判讀有所誤差，遂設計排氣排水重量法：

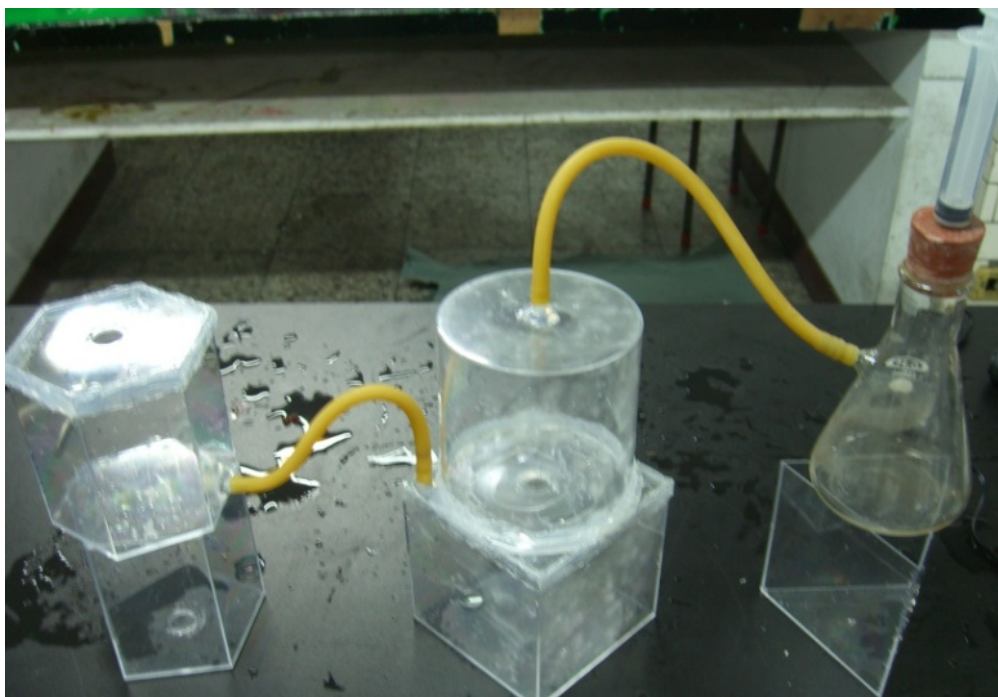


圖 5-1-3 排氣排水重量法

- 1.取用數學科多面體教具，設計緩衝瓶等實驗裝置；
- 2.分別於錐形瓶內放入實驗所需的二氧化錳用量（1g、2g、3g、4g）並加水 50mL；
- 3.將橡皮軟管的一端接上錐形瓶側邊的出口，另一端接上緩衝瓶上方的出口；
- 4.再將另一條橡皮軟管一端接上緩衝瓶下端出口，另一端接至天秤上的容器；
- 5.量取所需的雙氧水用量（1mL、2mL、3mL、4mL）倒入針筒，插入錐形瓶上的橡皮塞；
- 6.架好攝影機，全程記錄電子天秤數字變化；
- 7.將針筒與攝影機同步打入與拍攝；
- 8.實驗結束後洗滌錐形瓶，準備下次實驗；
- 9.取出影片並利用 TMPG Enc 4.0 XPress 讀取結果。

(四)攪拌排氣排水重量縮減自動記錄法：

實驗過程中發現上述方法會有二氧化錳沉澱於錐形瓶，且受限於電子天秤最大乘載量，以及未能即時讀取數據等問題，遂採電磁攪拌器解決二氧化錳的沉澱問題，設計重量縮減裝置解決天秤最大負荷量之限制，更透過電腦自動記錄，提供即時記錄之方案。

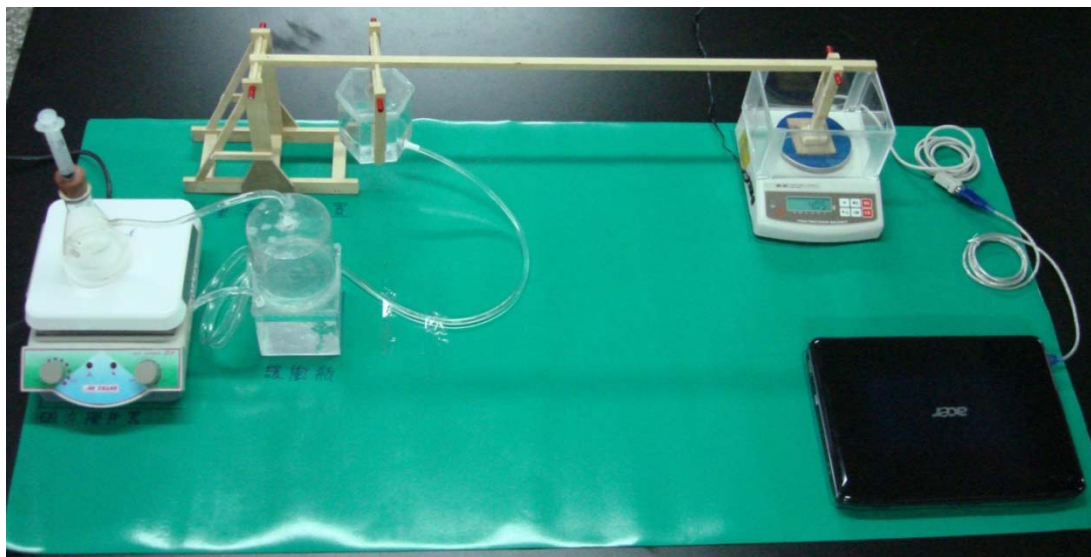


圖 5-1-4 攪拌排氣排水重量縮減自動記錄法

- 1.緩衝瓶裝滿水；
- 2.分別於錐形瓶內放入實驗所需的二氧化錳用量（1g、2g、3g、4g、5g）並加水 50mL；
- 3.透明塑膠硬管一端接上錐形瓶側管，另一端接上緩衝瓶上方出口；
- 4.將另一條塑膠硬管一端接上緩衝瓶下端出口，另一端接至待測瓶；
- 5.量取所需的雙氧水量（1mL、2mL、3mL、4mL）倒入針筒，再將針筒插入錐形瓶上的橡皮塞；
- 6.針筒推動與電腦計時器由同一組員操作，於壓下的瞬間開始記錄數據；
- 7.實驗結束後洗滌錐形瓶，準備下次實驗；
- 8.讀取電腦的記錄製成曲線圖。

二、精確再現：

- (一)將自製緩衝瓶裝滿水；
- (二)將滴定管接上 500mL 側管錐形瓶並裝水至 50mL；
- (三)塑膠硬管一端接上錐形瓶側管，另一端接上緩衝瓶上方出口；
- (四)將另一條塑膠硬管一端接上緩衝瓶下端出口，另一端接至重量縮減裝置上的待測瓶；
- (五)持續滴入 25mL 的水至錐形瓶，並於每次滴定 25mL 後從電子天秤讀取數據；
- (六)將數據紀錄於電腦中。

三、最佳用量：

- (一)進行三次空白實驗，確認器材的穩定性；
- (二)量取雙氧水：量取實驗所需的雙氧水（1mL、2mL、3mL、4mL）；
- (三)量取二氧化錳：以電子天秤秤取實驗所需的二氧化錳（1g、2g、3g、4g、5g）；
- (四)於錐形瓶內置入二氧化錳、50mL 水，而雙氧水則與電腦計時器由同一人同時按下；
- (五)實驗結束後洗滌錐形瓶，準備下次實驗；
- (六)於 Excel 中繪製時間對體積作圖；
- (七)反覆三次，取其平均。

四、回收方式：酸洗、鹼洗、先酸後鹼、先鹼後酸、水（空白實驗）

- (一)進行三次空白實驗，確認器材的穩定性；
- (二)攪拌廢液，分別加入常見洗劑（鹽酸、氫氧化鈉、水...等）後加熱攪拌 30 分鐘；
- (三)繼續加水加熱至廣用試紙呈綠色；
- (四)過濾取得二氧化錳粉末 3g 進行三次實驗，取其平均；
- (五)於 Excel 中繪製時間對體積作圖比對酸洗、鹼洗、先酸後鹼、先鹼後酸、水（空白實驗）之氣體產生速率。

五、替代方案：

- (一)進行三次空白實驗，確認器材的穩定性；
- (二)吸取雙氧水 3mL 於量筒；
- (三)錐形瓶倒入 3g 薑末與水 50mL；
- (四)雙氧水與電腦計時器由同一人同時按下；
- (五)實驗結束後洗滌錐形瓶，準備下次實驗；
- (六)於 Excel 中繪製時間對體積作圖；
- (七)反覆(一)至(四)三次，取其平均；
- (八)改變錐形瓶內物質，進行(一)至(四)，找出最佳替代方案。

陸、研究結果

一、量取體積：

本組參考課本說明，改良了傳統排水集氣法，進而研發出量筒排水集氣法、排氣排水重量法，最後更開發「攪拌排氣排水重量縮減自動記錄儀」，藉由磁力攪拌器、緩衝瓶、待測瓶、重量縮減裝置、精密電子天秤及後續的電腦自動記錄等元件，達成即時記錄體積之任務。

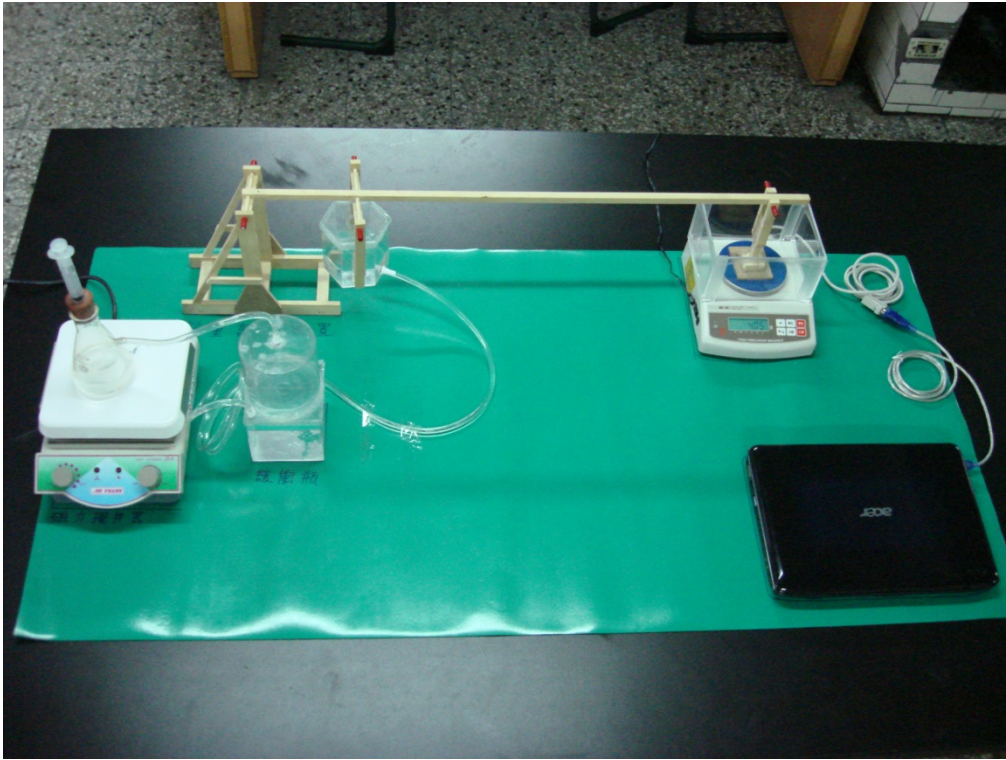


圖 6-1 攪拌排氣排水重量縮減自動記錄儀

二、精確再現：重量縮減對應關係，如下圖 6-2 所示。

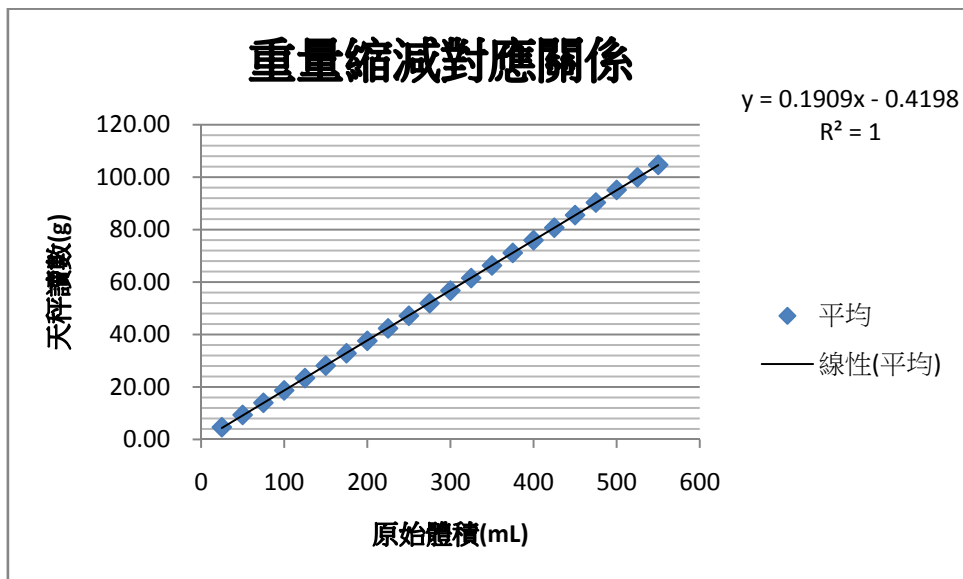


圖 6-2 重量縮減關係對應圖

三、最佳用量：

(一)不同質量的二氧化錳對 1mL 雙氧水產生氣體體積的影響，如下圖 6-3-1 所示。

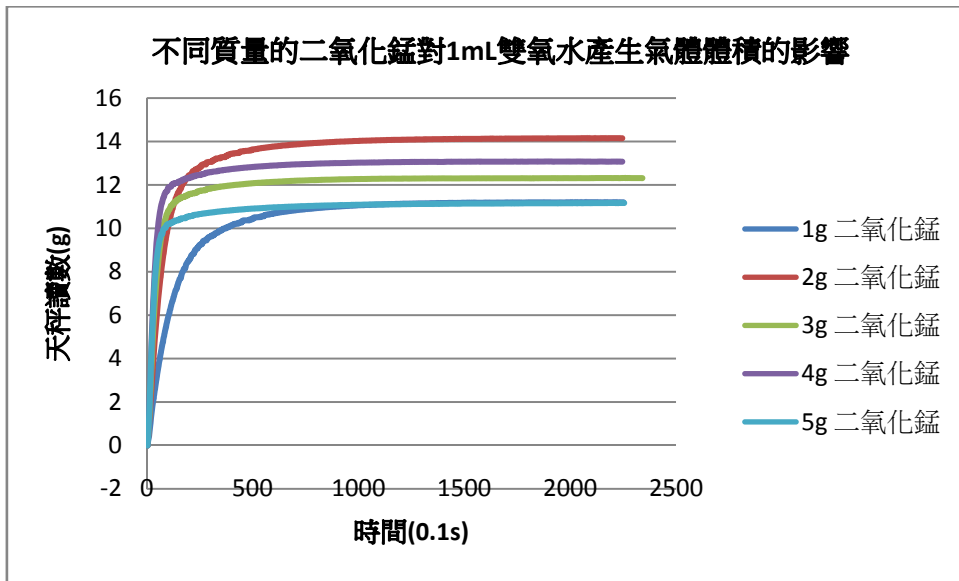


圖 6-3-1 不同質量的二氧化錳對 1mL 雙氧水產生氣體體積的影響
(縱軸為氣體體積，放大約五倍才為實際值)

(二)不同質量的二氧化錳對 2mL 雙氧水產生氣體體積的影響，如下圖 6-3-2 所示。

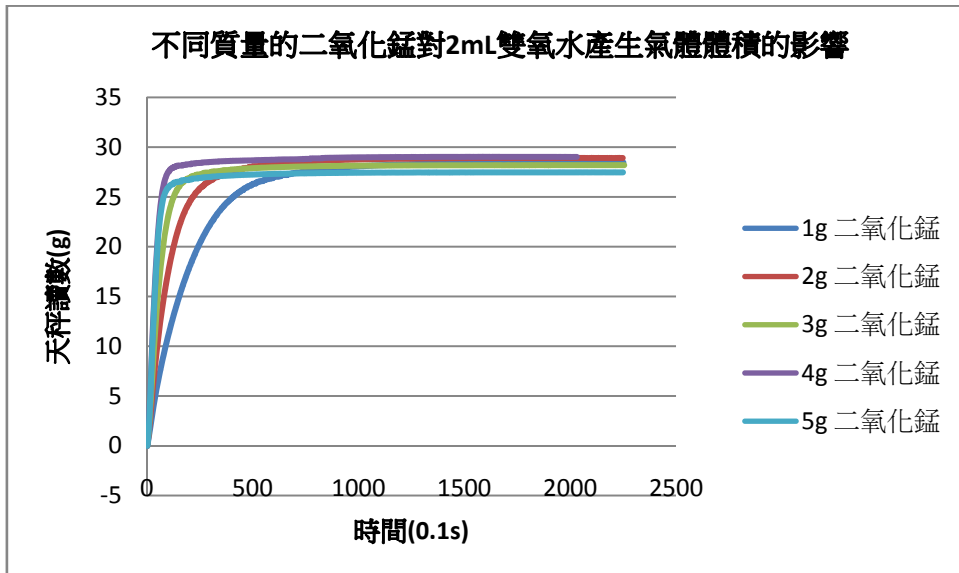


圖 6-3-2 不同質量的二氧化錳對 2mL 雙氧水產生氣體體積的影響
(縱軸為氣體體積，放大約五倍才為實際值)

(三)不同質量的二氧化錳對 3mL 雙氧水產生氣體體積的影響，如下圖 6-3-3 所示。

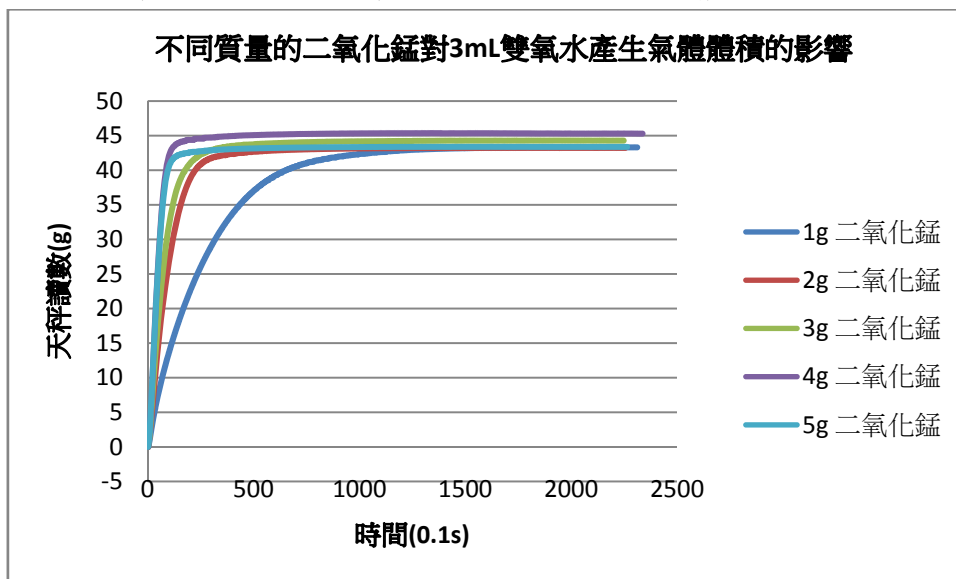


圖 6-3-3 不同質量的二氧化錳對 3mL 雙氧水產生氣體體積的影響
(縱軸為氣體體積，放大約五倍才為實際值)

(四)不同質量的二氧化錳對 4mL 雙氧水產生氣體體積的影響，如下圖 6-3-4 所示。

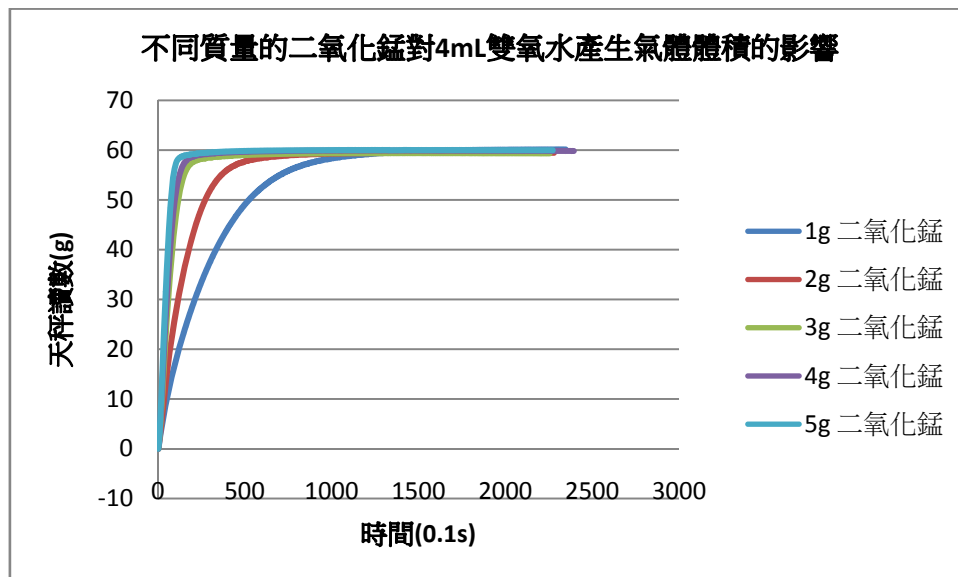


圖 6-3-4 不同質量的二氧化錳對 4mL 雙氧水產生氣體體積的影響
(縱軸為氣體體積，放大約五倍才為實際值)

四、回收方式：不同方式回收二氧化錳對 3mL 雙氧水產生氣體體積的影響，如下圖 6-4 所示。

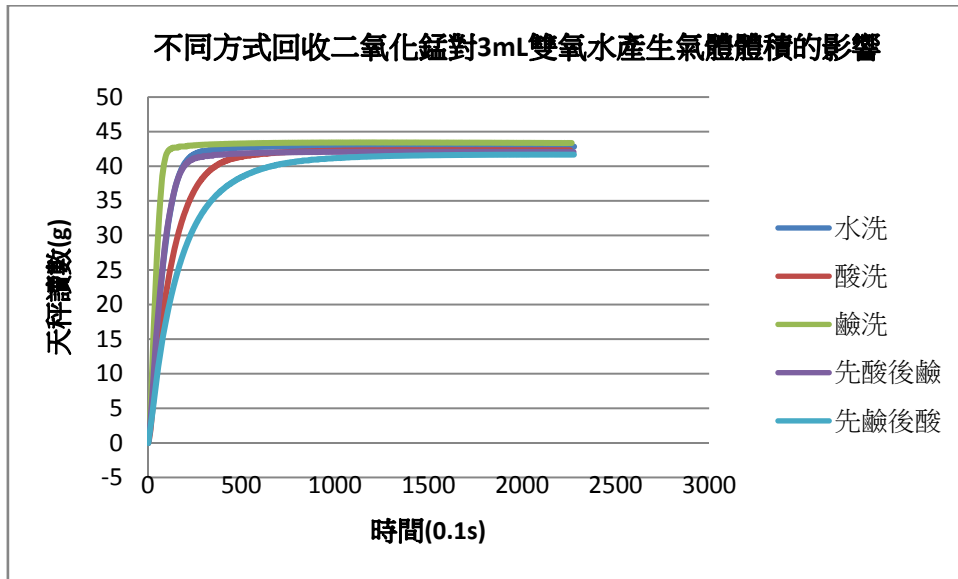


圖 6-4 不同方式回收二氧化錳對 3mL 雙氧水產生氣體體積的影響
(縱軸為氣體體積，放大約五倍才為實際值)

五、替代方案：不同替代物 3g 對 3mL 雙氧水產生氣體體積的影響，如下圖 6-5 所示。

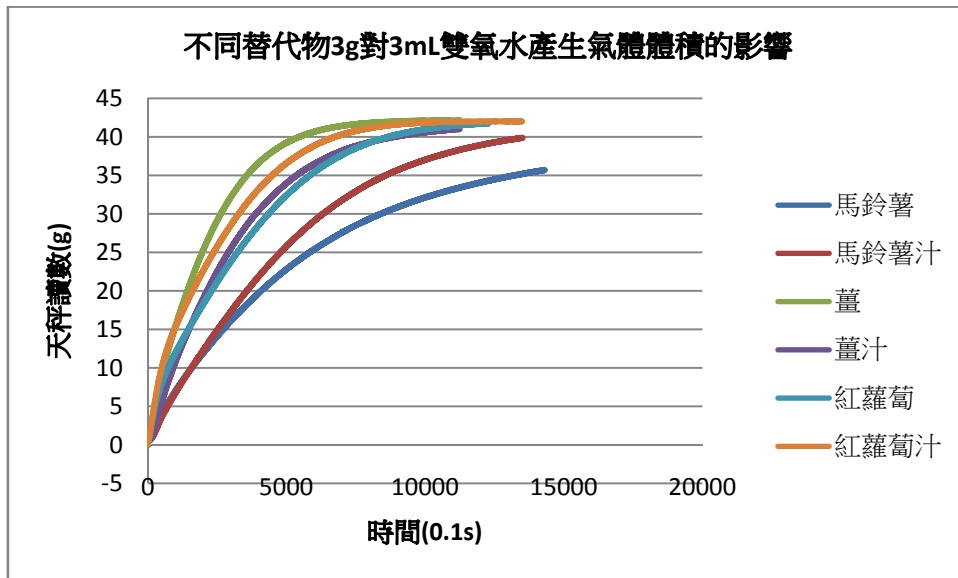


圖 6-5 不同替代物對 3mL 雙氧水產生氣體體積的影響
(縱軸為氣體體積，放大約五倍才為實際值)

柒、討論

回想二上的實驗課程，當各班雙氧水製備氧氣的實驗結束後，廢液桶中往往仍繼續產生氧氣，加上二氧化錳對環境有潛在的傷害，必須加以回收，故討論如下。

一、量取體積：

本組量取雙氧水的質量對體積關係圖，求得雙氧水密度 $d_{\text{雙氧水}} = 1.0363 \text{ g/cm}^3$ ：

表 7-1 雙氧水的體積及其對應的質量

體積 (cm ³)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
質量 (g)	1.12	2.16	3.13	4.22	5.30	6.34	7.37	8.34	9.41	10.43

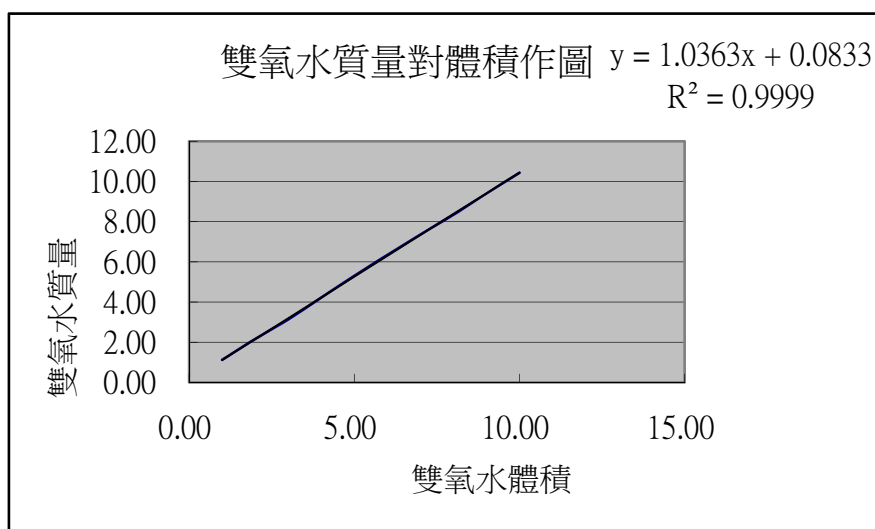


圖 7-1 雙氧水質量對體積作圖

利用**理想氣體方程式**預估氧氣產量，作為集氣瓶大小的選用標準。

$$\therefore PV = nRT \quad \therefore 1 \times V_{\text{氧}} = \frac{V_{\text{雙氧水}} \times d_{\text{雙氧水}} \times C_{\text{雙氧水濃度}}}{34} \times 0.0821 \times \text{室溫}$$

又實驗過程中外界壓力約為 1atm，待測瓶與緩衝瓶水位差最大約 5cm，經壓力校正可忽略，室溫約 20°C，得氧氣體積約 659.8722mL，數次實驗均發現，氣體產量僅達理論值的六至八成左右，亦即 395.9234mL 至 527.8978mL，故選用 500mL 量筒作為集氣瓶。

(一)傳統排水法：

雙氧水由薊頭漏斗倒下時往往帶入外界氣體。

(二)量筒排水法：

承上，且即使錄影仍不易判讀量筒刻度。

(三)排氣排水重量法：

解決傳統排水法、量筒排水法問題，但限於電子天秤承載量 300g 且無計時記錄。

(四)攪拌排氣排水重量縮減自動記錄法：

解決傳統排水法、量筒排水法、排氣排水重量法問題，透過天秤改變排水質量，進而於電子天秤上進行計時記錄。

二、精確再現：

經數次空白實驗得知，本器材之精確性與再現性均達一定水準，但為確認儀器是否擺設恰當，每次架好重量縮減裝置需進行三次空白實驗，確認器材達到穩定後方可使用。為避免移動到重量縮減裝置，本組建議，當待測瓶容量接近全滿時，僅需移動緩衝瓶，透過連通管原理讓水流回緩衝瓶中。此外，本組亦發現每次空白實驗所得轉換值未必均相同，但若只比較同次校正後的數值便無需轉換，僅跨不同校正之數值比較才予以修正。

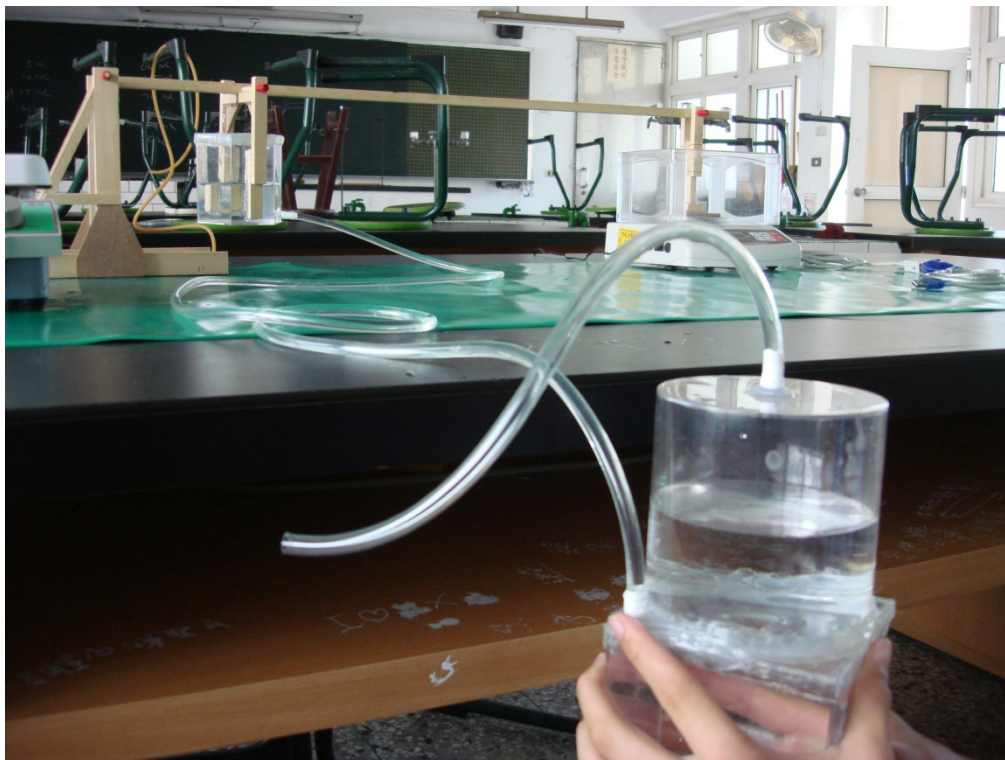


圖 7-2 待測瓶重置方式

三、最佳用量：

比對實驗圖形與人為判斷，可知 4mL 以內的雙氧水，以 3g 二氧化錳催化效果最佳。反覆操作實驗並分析實驗數據，本組發現，針筒前端雖留有少量雙氧水，即使每次殘留數量不盡相同，卻僅導致最終產量的差異，但不致影響反應前期的催化效果，故無須對此加以改進。

四、回收方式：

實驗室中常見酸鹼洗劑的選用原則，酸的部分醋酸則有其特殊味道、硫酸則因腐蝕性與脫水性、硝酸則恐產生氮氧化物，均不選用；鹼的部分則選用最常見的氫氧化鈉為洗劑。實驗結果說明先鹼後酸的處理能恢復其催化效果，本組認為應當是鹼洗去催化劑表面的油污後，再由酸洗去表面的金屬氧化雜質，因而有效恢復其催化效果。

五、替代方案：

分別比較 3g 馬鈴薯、薑與紅蘿蔔之**末與汁**對 3mL 雙氧水作用，發現氣體產生速率以薑末的催化效果較佳。

捌、結論

一、量取體積：

(一) 傳統排水集氣法：

體積無法隨時間準確定量，故不採用，另謀替代方案。

(二) 量筒排水集氣法：

壓力修正後可定量體積，但不易即時判讀體積，另謀替代方案。

(三) 排氣排水重量法：

解決傳統排水法、量筒排水法問題，但礙於電子天秤上限 300g 且無計時記錄，另謀替代方案。

(四) 攪拌排氣排水重量縮減自動記錄法：

解決傳統排水法、量筒排水法、排氣排水重量法問題，加入槓桿改變排水重量，進而於電子天秤上進行計時記錄，雖針筒留有部分雙氧水，但不影響記錄功能，選為實驗器材。

無論何種測量法，即使使用新拆封的雙氧水，氧氣產量卻僅達理論計算的六至八成，本組推測應當是雙氧水在儲存過程中已逐漸分解，致使有效濃度下降，已非瓶身所載的濃度數值。

二、精確再現：

本目的已確認器材的精確性及再現性，擺設好器材僅需進行三次空白實驗，確認器材確實達到穩定即可使用。

三、最佳用量：

由實驗結果的分析得知，4mL 以內的雙氧水，以 3g 的二氧化錳催化效果最佳；為達實驗之要求，每次測量均重複三次，然而，過程中本組發現，以相同體積的雙氧水進行實驗，雖然產量曲線斜率相近，最終體積卻存有將近 3 個單位的差異。幾經測試，推測應當是殘留在針筒前端的雙氧水 ($V_{\text{雙氧水}} \approx 0.3\text{mL}$) 所致，預估如下：

預估產量：

利用**理想氣體方程式** $PV = nRT$ ，故 $1 \times V_{\text{氧}} = \frac{V_{\text{雙氧水}} \times d_{\text{雙氧水}} \times C_{\text{雙氧水濃度}}}{34} \times 0.0821 \times \text{室溫}$

實驗過程中壓力為 1atm，室溫約 20°C， $d_{\text{雙氧水}} = 1.0363$ ， $V_{\text{雙氧水}} = 0.3\text{mL}$ ，代入計算，可得理論產量 $V_{\text{氧}} = 65.9872\text{mL}$ ，經質量縮減裝置縮小五分之一，理應測得質量 13.1974g，

考量實際產率約六至八成，得其數值 7.9184g 至 10.5579g。分析多次實驗數據如下頁圖 8-3，同體積雙氧水對不同質量二氧化錳之最終產量差異 3 個單位，均位於殘餘雙氧水的影響範圍內。然而，本實驗僅關心相同質量二氧化錳的初始催化效用，不致影響學校實際操作對用量的選用。此差值可做為針頭注射技巧之訓練，抑或採用移液管 (pipet)。

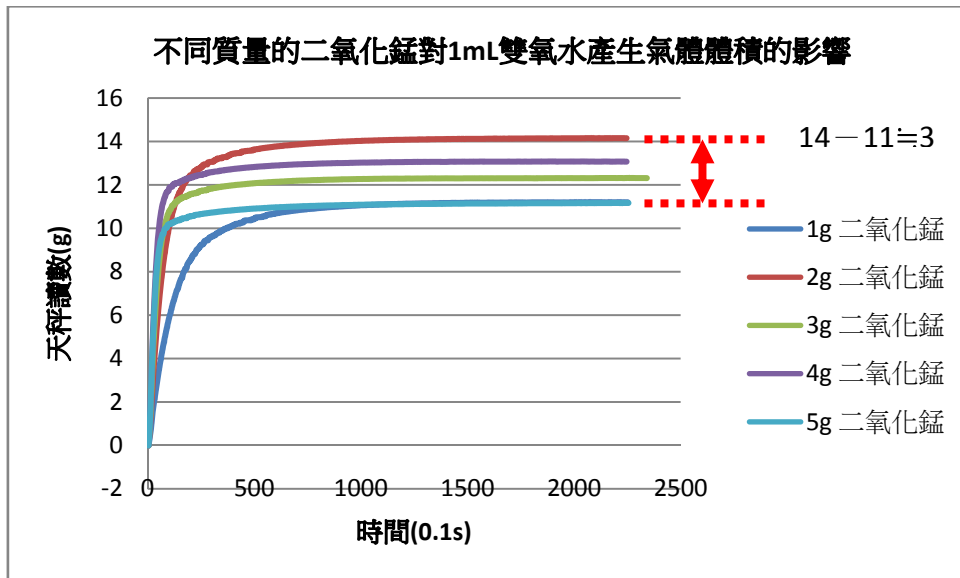


圖 8-3 相同體積雙氧水對不同質量二氧化錳之作圖

四、回收方式：

實驗分析得知，以鹼洗處理後效果最佳。

五、替代方案：

實驗分析得知，催化效果以薑末最佳。

玖、總結

透過自行研發的自動量測氧氣體積的記錄器材，於每次實驗前進行三次空白實驗，確認了本組實驗器材及數據的穩定性。使本組得以準確研究氧氣製備時二氧化錳的最佳用量，並透過先鹼後酸的方式再生催化劑，進而透過該儀器研究生活中可用的催化劑，減少對環境的傷害。本實驗之器材可供氣體體積量取之用，最佳用量則可供各校準備藥品時之參考，更提供教師多樣的催化劑選擇，也透過實驗讓本組瞭解儀器組裝與定量實驗的操作技巧。

拾、延伸

一、量取體積：

本組設計之「攪拌排氣排水重量縮減自動記錄儀」中，待測瓶與緩衝瓶之水位差多在 5cm 以內，且因當時水分蒸發未導致天平讀數改變，故本組予以忽略。然而，當氣溫與氣壓有明顯變動時，宜使用恆溫裝置並進行排水法所需的壓力校正，進而取得較為準確的氣體體積。

二、精確再現：

改良校正方法，使之更簡便快速。

三、最佳用量：

尋找可行的雙氧水注射方式，以減少殘餘雙氧水對最終產量的影響。

四、回收方式：

尋找簡易的加熱方式，以減少催化劑隨回收液沸騰而噴灑所造成的損失。

五、替代方案：

除了尋找更多唾手可得的催化劑，亦可進一步探討抑制劑。

拾壹、參考資料及其他

- 一、尤丁玫（2007）：國民中學自然與生活科技，第三冊、康軒版 2-3：氧氣的製備及性質
- 二、陳美名（2000）：「催化劑下的反應速率」，第四十屆全國中小學科展國中組（化學科第三名）。
- 三、孫煒斯（2005）：「植物酵素的有氧運動」，第四十五屆全國中小學科展國小組（生活與應用科學科）。
- 四、黃胤哲（2005）：「救命元氣」，第四十五屆全國中小學科展國中組（化學科）。
- 五、張兆綸（2002）：「揭開催化劑的神秘面紗-由過氧化氫分解製氧反應談起」，第四十二屆全國中小學科展國中組（化學科）。
- 六、吳婷雅（2005）：「不要把我丟掉」，第四十五屆全國中小學科展高職組（化工、衛工及環工科佳作）。
- 七、朱語雯（2006）：「有氧運動-由自製反應器探討過氧化氫分解速率」，第四十六屆全國中小學科展國中組（理化科佳作）。
- 八、劉榕芝（2001）：「二氧化錳催化角色的探討」，第四十一屆全國中小學科展高職組（化學科第三名）。
- 九、李世泉（1984）：「利用微量天秤測定氣體分子量」，第二十四屆全國中小學科展高中組（物理科特別獎）。
- 十、網頁及其他資料：
 - （一）國立台灣科學教育館 歷屆優勝作品 <http://www.ntsec.gov.tw/m1.aspx?sNo=0000263>

【評語】 030814

1. 本作品改良傳統排水集氣法，設計出重量縮減裝置並配合電子秤聯結筆記型電腦，能更有效率獲取實驗數據和分析結果。
2. 本作品突破以往的方法，具有極佳之創新概念在機構設計和電腦應用結合上很有實用性和創意性。
3. 可再進一步改良機構之材料，以提升其精確度。