

避免污染的實驗設計

國中組化學科第一名

台南市立後甲國民中學

作者：蘇雅俐、黃嫩淳

張嘉豪、楊育青

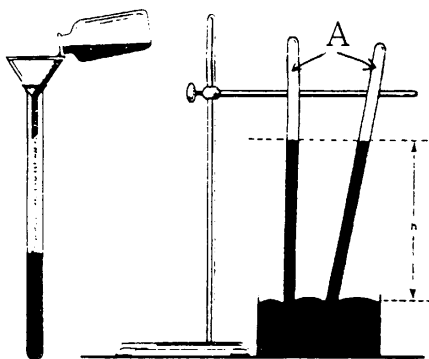
指導教師：林麗華

從實驗室輸出得污染源，已成為環保工作中重要的一環，而有些污染是可以從變更實驗設計來避免的，我們把理化課本中，較易造成污染的兩個實驗，重新設計改良。

一、遠離水銀，零污染氣壓計的創新

(一)研究動機

第一冊理化課本P.77托里切利實驗（如圖一），利用水銀測量大氣壓力，A處易產生水銀蒸氣，當做完實驗，讓管中水銀流出時，有毒的水銀蒸氣會造成污染。實驗操作中，若不小心，讓水銀流失，不易回收，這些水銀若形成各種汞化合物，所造成的環境污染是難以彌補的，所以我們想研究探討：欲測量大氣壓力，能不能捨棄水銀？



圖一 托里切利實驗，需大量水銀

(二)研究目的

希望能設計出不用水銀，改用實驗室內簡單器材即可測量大氣壓力的裝置。

(三)研究器材設備

灰石、鹽酸、NaOH、水玻璃、膠囊、洋菜、玻璃管、玻璃瓶、溫度計、橡皮塞、自製壓克力器材、過濾錐形瓶、薊頭漏斗、注射筒、彈簧秤、比重計、游標尺。

(四)研究過程或方法

問題 1：能否利用注射筒和彈簧秤測量大氣壓力？

1. 實驗步驟：

- (1)在注射筒活塞後端挖洞後掛彈簧秤，先測活塞的摩擦力。
- (2)注射筒尖端用橡皮塞封住後，再用彈簧秤測量拉動活塞，所需的力。
- (3)以游標尺測量注射筒內徑，以便求得截面積。

2. 結果

實驗次數	原來活塞的摩擦力	封住後，拉動所需的力	注射筒截面積	所測得的大氣壓力	平均值	當時台南氣象站測得大氣壓	誤差百分率
1	400gw	3460gw	3.97 cm ²	770.78 gw/cm ²	843.83	1021.0 毫 巴	18.97 %
2	220gw	3800gw	3.97 cm ²	901.76 gw/cm ²	gw/cm ² 即		
3	170gw	3580gw	3.97 cm ²	858.94 gw/cm ²	827.28 毫 巴		

3. 討論：

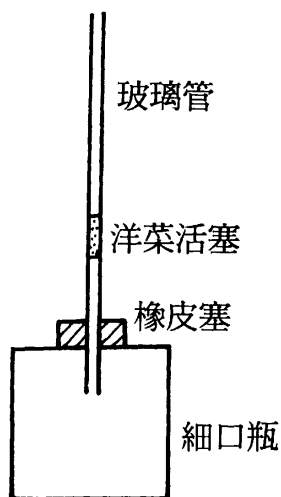
本實驗誤差相當大，其原因為：

- (1)雖然封住注射筒尖端，但尖端內難免有少量空氣，故活塞拉出時，注射筒內並非完全真空。
- (2)用人力去拉彈簧秤再讀出讀數，人為操作的誤差難免較大。

問題 2：上述實驗既然很難達到完全真空，是否乾脆讓容器內有一定量的空氣，再利用波以耳定律求得大氣壓力？

1. 實驗步驟：

- (1)在玻璃管內裝置洋菜活塞（請看參考資料1）裝置如圖二，我們稱他為新型氣壓計。
- (2)若已知1大氣壓時活塞的位置，當活塞位置改變時，即可算出未知的大氣壓力。



圖二 無水銀新型氣壓計的初步構想

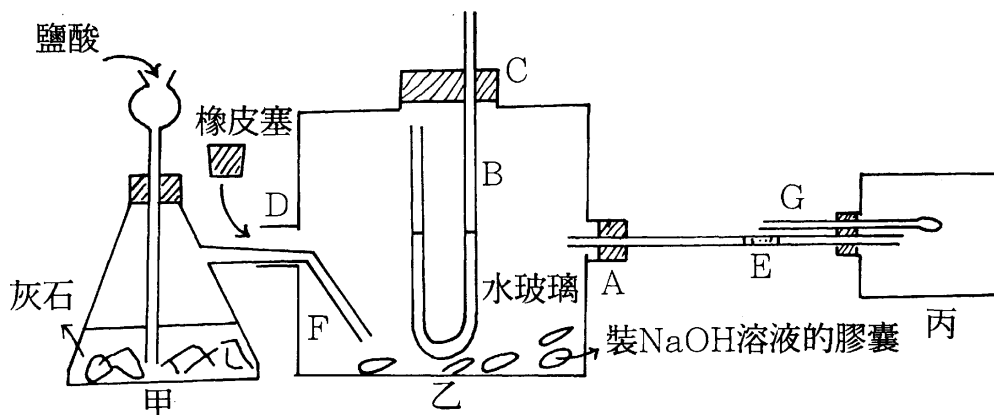
2. 結果及討論：

我們並不知道當時實驗室內的氣壓若干？所以此實驗成為紙上談兵，除非，能先有水銀氣壓計來標定它之後，才能使用，而本校沒有水銀氣壓計，據說水銀氣壓計價格約臺幣數萬，更何況我們希望不要用水銀即可測得大氣壓力。

問題 3：不用水銀氣壓計，改用別的方法來標定圖二的氣壓計，可能嗎？

1. 實驗步驟：

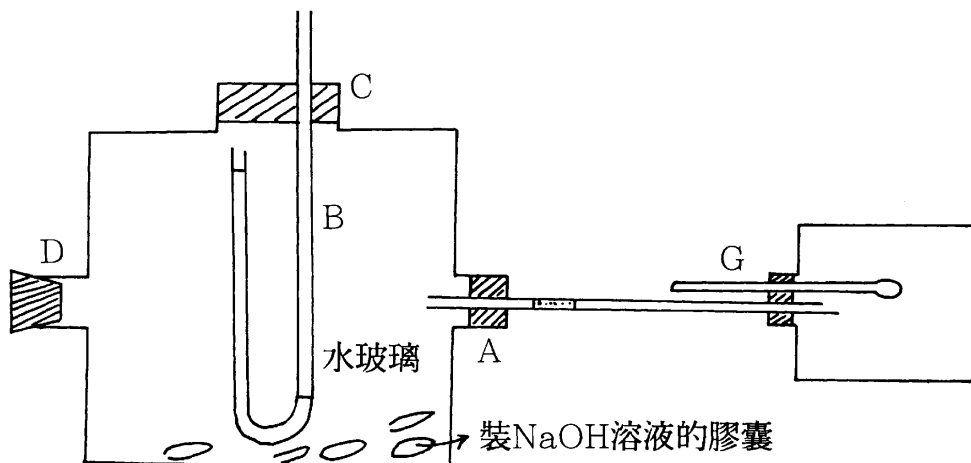
- (1)把圖二的新型氣壓計水平置放，當平衡，內外壓力相等時，記下洋菜活塞的刻度。並由溫度計G記下當時的氣溫。並設當時的大氣壓力為x。
- (2)裝置如圖三，整個裝置分為甲、乙、丙三部分，甲是製造CO₂的裝置，乙是氣壓標定計，丙是新型氣壓計。
- (3)在甲中放入灰石，並倒入鹽酸，讓CO₂進入乙中。



圖三 新型氣壓計的標定裝置圖 (CO₂充填中)

- (4)把新型氣壓計，用橡皮塞固定在A處。
- (5)配製6M的NaOH溶液，分裝在數粒膠囊中，把這些膠囊，放在乙的底部(乙的底部可先倒入一些水)。
- (6)配製水玻璃溶液，並用比重計測量此溶液的密度。
- (7)把上述溶液倒入有刻度的U型管中，見左右兩管液面等高。
- (8)把橡皮塞C塞緊，把CO₂的導管F拿出後，在D處塞緊橡皮塞如圖四，當NaOH吸收CO₂，與CO₂起如下反應： $2\text{NaOH} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ，則見B的左管液面較右管高，同時洋菜活塞E向左移，待E不再移動，即乙與丙的壓力達平衡時，記下B的左右兩管液面高度差及活塞E的刻度。

(9)由E的刻度測量出新型氣壓計內空氣的體積。



圖四 新型氣壓計的標定裝置圖 (抽氣標定中)

2. 結果：

實驗次數	溫度 (°C)	B 左右兩管液面高度差 h (cm)	水玻璃密度 dg/cm^3	當時的大氣壓力 $P_1 gw/cm^2$	實驗後乙或丙內部氣體的壓力 $P_2 gw/cm^2$ $P_2 = x - hd$	丙內部原來氣體體積 $V_1 cm^3$
1	22.0	16.16	1.50	x	$x - 24.24$	493.14
2	22.0	14.53	1.50	x	$x - 21.80$	493.18
3	22.4	14.56	1.50	x	$x - 21.84$	493.66

丙內部後來氣體體積 $V_2 cm^3$	測定出來的大氣壓力 (利用 $P_1 V_1 = P_2 V_2$ 求出 X)		當時台南氣象站測得的大氣壓力 (mb)	誤差百分率	平均誤差百分率
	gw/cm ²	mb			
504.48	1078.36	1057.2	1017.9	3.86 %	2.50 %
503.37	1072.68	1051.6	1017.3	3.37 %	
504.26	1039.00	1018.6	1015.8	0.28 %	

3. 討論：

- (1)利用新型氣壓計與標定裝置可測出當時的大氣壓力，我們向臺南氣象站索取實驗當天每小時的氣壓紀錄，（請看參考資料2），比較結果，誤差很小。
- (2)新型氣壓計標定後，即可直接用來測量，不同地點或不同時間，未知的大氣壓力。若要測量某高地的氣壓，以第三次實驗的數據舉例說明如下：

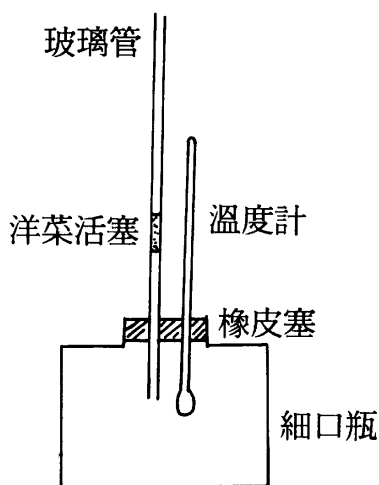
設某高地的氣溫為 10.0°C ，氣壓計內的氣體體積為 510.0cm^3 ，某高地的氣壓為 z ，利用波以耳查理定律推算

$$1018.6 \times 493.66 / (22.4 + 272.84) = z \times 510.0 / (10.0 + 272.84)$$

$$z = 943.09 \text{ 毫巴}$$

註：因氣壓計內裝的是空氣，不是理想氣體，故換算溫度時+272.84而不是273（請看參考資料3）

- (3)圖五，就是新型氣壓計的整體，構造簡單，人人會做，要注意的是標定後，橡皮塞不要打開，這樣才能保持瓶內氣體分子數一定，才能利用波以耳或波以耳查理定律。



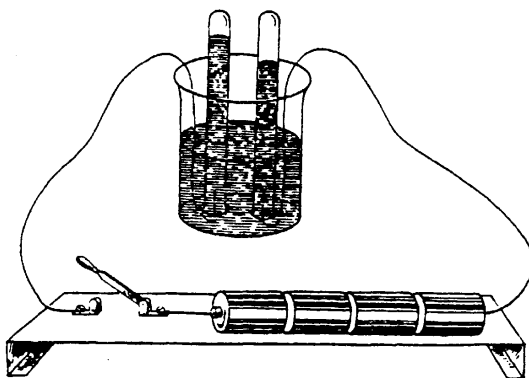
圖五 完整的新型氣壓計

- (4)圖三，B管內若裝水，因B管高度有限，實驗前後所能造成的壓力差太小，易造成較大誤差，故改用密度較大的水玻璃溶液。
- (5)本新型氣壓計同時可用來當壓力計，測量密閉容器內氣體的壓力。
- (6)因細口瓶體積大而玻璃管管徑小，所以瓶內氣體體積的變化量在活塞的移動上，可以很明顯的表現出來，靈敏度相當高。

二、水電解與合成裝置的改良

(一)研究動機

第一冊理化課本P.59水的電解（如圖六）。實驗過程中要用橡膠手套，否則手必需三番兩次浸到NaOH溶液，而且實驗中所需的NaOH溶液量多，不但浪費藥品且倒掉後造成環境污染，所以我們希望能有手不必碰觸NaOH溶液，且只要使用少量NaOH溶液即可做實驗的裝置及方法。我們找尋各種資料，發現日本教師曾設計一種水電解與合成裝置，（請看參考資料4），此後第22屆全國科展化學科高中教師組第二名的老師曾再加以改良，第25屆全國科展化學國中教師組第二名的老師又再加以改良，但仍各有不同的缺點，所以我們想再加改良。



圖六 課本中水電解裝置圖，需大量NaOH溶液

(二)研究目的

希望能研究出操作方便、安全，避免污染的實驗裝置。

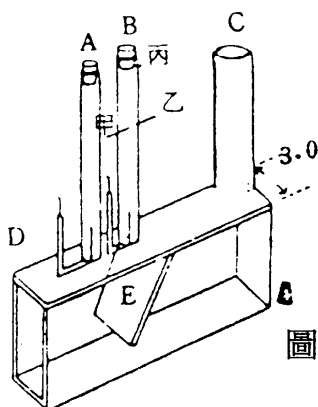
(三)研究器材設備

氫氧化鈉溶液、鉑絲、導線、銅片、電池、電子發火座、壓克力、氯仿、橡皮塞、迴紋針。

(四)研究過程或方法

1. 說明：(1)日本教師發明展得獎作品「水的電解與合成」的實驗裝置如圖七，缺點為：

- ①欲把A、B管中的氫、氧混合，A管中的氣體不一定能順利進進入B管，A管的氣體常卡在斜板E上端的銳角處。



圖七 日本教師發明展得獎作品，
水電解與合成裝置

- ②當氫氧混合氣點燃時，斜板E常被震掉或震鬆。斜板E在電解槽裡面，若欲修護，還需拆掉電解槽底面，相當麻煩。

(2)第22屆全國科展化學高中教師組第二名老師的作品，缺點為製造困難不易推廣。

(3)第25屆全國科展化學科國中教師組第二名老師的作品

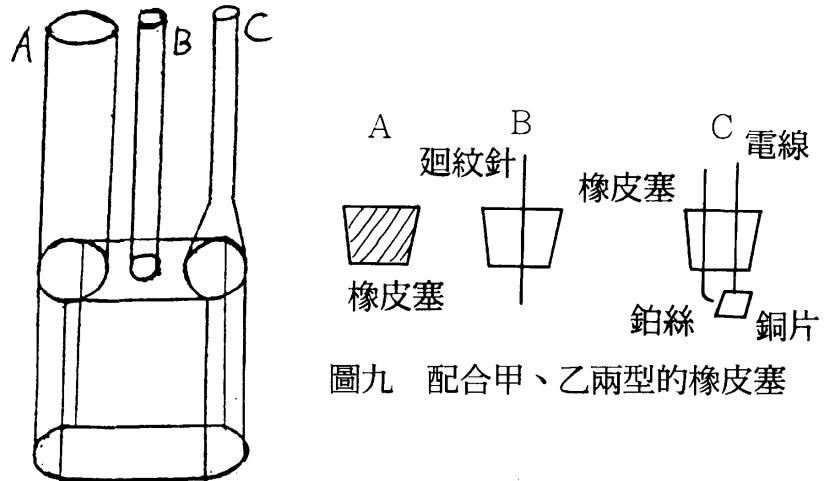
，缺點為需使用多量的NaOH溶液，浪費且易造成環境污染。

2. 問題：為了改進上述作品的缺點，能不能製作出構造簡單、節約藥品、避免污染，且操作方便的裝置？

3. 製作過程及使用方法：

(1)把圖七的斜板拿掉，改為圖八（甲型）的構造。

①NaOH溶液倒入容器中，不必倒滿，把A、B、C三個管子用圖九的橡皮塞塞緊，倒置傾斜此容器，空氣可輕易被移向A管，正立時，B、C管已充滿溶液，拿掉A管的橡皮塞後，圖九B的迴紋針接負極，C的鉑絲接正極，可開始做水的電解。

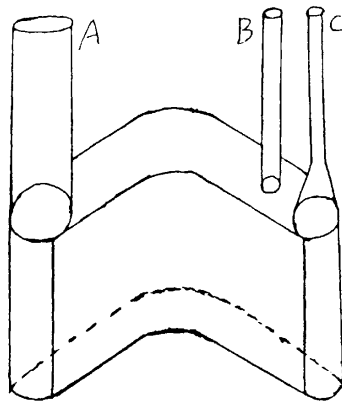


圖九 配合甲、乙兩型的橡皮塞

圖八 我們設計的水電解與合成裝置

②電解後，把A管加水到滿，用橡皮塞塞住A管，同時整個裝置向左傾斜，則B管內的氣體將移向C管，接著可把圖九C管橡皮塞的鉑絲和銅片分別接電子發火花座，拿掉A管的橡皮塞後，可做水的合成實驗。

(2)我們改良後的甲型已把前述三作品的缺點去除，但實驗過程中操作步驟略多，所以我們想再改良，我們設計出乙型（圖十），我們把甲型底座改成彎曲形，可使操作步驟非常簡單，其使用方法如下：



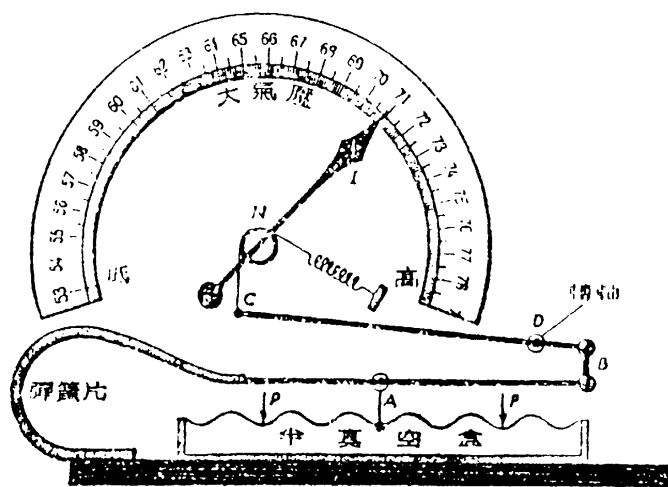
圖十 我們設計的水電解與合成裝置，乙型

- ①把NaOH溶液倒入容器中，不必倒滿，把A、B、C管子用圖九的A、B、C橡皮塞塞住，將此容器傾斜，空氣可輕易移向A管而使B、C管充滿溶液，拿掉A管橡皮塞，可開始做水的電解。
 - ②電解後，將此容器傾斜，B管的氣體可輕易移向C管，可做水的合成實驗。
- 註：上述甲、乙兩型水電解與合成裝置，我們已提出專利申請。

三、總結論及總討論

1. 我們設計的無水銀、零污染的新型氣壓計靈敏度高、誤差小，構造簡單，使用的器材便宜且易取得，同學們很輕易的就可自製一個。
2. 我們在參考資料5中，看到無液氣壓計，如圖十一，雖然沒有直接用到水銀，但這種無液氣壓計需用水銀氣壓計來校正，並且使用一段時間後，還需校正，才會正確。
3. 無液氣壓計除了上述缺點之外，構造較複雜，同學們很難自己製造；況且，無液氣壓計只能用來測量大氣壓力，不能用來測量密閉容器內氣體的壓力。

4. 我們設計出的新型氣壓計可用來測大氣壓力，也可用來測密閉容器內氣體的壓力，一計兩用。
5. 綜合以上所述，新型氣壓計零污染、靈敏度高、誤差小，價格低廉，製造容易，安全、方便、實用，值得推廣。
6. 我們所設計的甲、乙兩型水電解與合成裝置，其中乙型更有簡化操作步驟的優點。
7. 圖六，理化課本的實驗，需NaOH溶液1000~2000ml，我們製作的甲、乙兩型的展示模型，甲型只需125ml溶液，乙型只需210ml溶液，用原來1/10量的溶液即可做水電解與合成實驗。
8. 若只要做水電解實驗，我們製作一個小的甲型，只需20ml溶液，也就是用原來百分之一量的溶液即可做水電解實驗。
9. 甲、乙兩型水電解與合成的裝置，都是用少量藥品即可做實驗，可避免環境污染，並且手不會接觸到藥品。它們構造簡單、操作方便、安全、實用，非常值得推廣。



圖十一 需用水銀氣壓計校正的無液氣壓計

四、參考資料

1. 第27屆全國科展優勝作品專輯。
2. 台南氣象站氣壓紀錄表。
3. 科學教育月刊第98期。
4. 科學教育雙月刊第39期。
5. 國中物理課本第二冊。

評語

本研究分為兩部分：

以簡便器材測量大氣壓力及密閉容器之壓力而避免使用水銀，所得數據之精確度甚高。具有創意。

對於水電解實驗之設計也屬簡便易做。

研究者對實驗設計原理及操作充分瞭解值得鼓勵。