

中華民國第四十八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

030807

「碳」危觀止-自製微型化學儀器，檢測空氣中一氧化碳的含量

學校名稱：高雄市立後勁國民中學

| | |
|---------------------------------|----------------------------|
| 作者： 國三 陳苡秭 國二 蕭瑀倫 | 指導老師： 蕭虹 陳佳琪 |
|---------------------------------|----------------------------|

關鍵詞： 一氧化碳、醋酸、自製微型化學儀器

摘要

近年來一氧化碳中毒事件頻傳，此時我們想瞭解是否能有一種有效測出一氧化碳氣體的方法。但據所查的資料顯示，目前市面上的偵測方法不外乎儀器太貴、偵測溫度太高或是鑑別度較低等困擾。因此，我們想要找出有更好偵測一氧化碳的方法，於是我們收集資料，經過詳加比較後發現，CO(羰基)會與過渡金屬離子形成錯合物。根據實驗得知，在稀醋酸及硫酸鎳的溶液下，對偵測 CO 存在有良好的效果。再配合 LED 燈、光敏電阻及三用電錶，自製出「攜帶式微型雙打氣化學儀器」，最後再接上自製電路及蜂鳴器，對偵測空氣是否含有一氧化碳有高的相關性，並能有效的檢測出一氧化碳的含量。本自製微型化學儀器對一氧化碳的檢測分析結果，其 $[CO_{ppm}] = 2 \times 10^7 \times [偵測時間 \times 0.9]^2$ 。

壹、研究動機

每年冬天的氣溫較為寒冷，此時家庭中門窗通常會關較緊密，然而家中的瓦斯爐、熱水器在不通風的情形下，由於氧氣的燃燒不完全，常常會伴隨著一氧化碳的產生，造成死傷的意外事件層出不窮。一氧化碳(CO)為無色、無味且不具刺激性的氣體，人往往不易察覺，而且一氧化碳與血紅素的高親和力，使得血紅素的攜氧能力降低，造成神經、心臟、組織的病變，甚至壞死，嚴重的甚至會致命。學習到二下課本第一章反應速率與化學平衡時，心想：是否能利用 CO 與便宜的化學藥品的反應速率與化學平衡的關係來檢測 CO 含量，並自製微型化學儀器，連接蜂鳴器，偵測其 CO 氣體的存在。

貳、研究目的

- 一、尋找檢測一氧化碳的資料，了解其檢測過程。
- 二、尋找一氧化碳化碳的製作方法，並討論一氧化碳的偵測原理及過程，找出最佳偵測一氧化碳的方法。
- 三、組裝一個微型簡易可攜帶的化學儀器，並配合蜂鳴器有效、精確的來偵測空氣中一氧化碳的含量。

參、研究設備及器材

實驗所需的器材：

| (一)實驗器材 | | | | |
|---------|--------|------|------|------|
| 發光二極體 | 電池(3V) | T 型管 | 電線 | 三用電表 |
| 三通閥 | 拋棄式樣品槽 | 黑色膠帶 | 黑色噴漆 | 針筒 |
| 熱熔膠 | 光敏電阻 | 電路板 | 電晶體 | 電阻 |
| 蜂鳴器 | 電子天平 | 滴管 | 錐形瓶 | 燒杯 |
| 鋼釘 | 軟木塞 | 塑膠杯 | 量筒 | 點滴針頭 |
| (二)實驗藥品 | | | | |
| 硫酸 | 甲酸 | 氯化鋇 | 硫酸鉻 | 硫酸錳 |
| 氯化鐵 | 氯化鈷 | 硫酸鎳 | 硫酸銅 | 氯化鋅 |
| 硫酸鋁 | 乙酸 | 乙醇 | 丙酮 | 乙酸乙酯 |

肆、研究過程或方法

實驗流程：

前言：一般 CO 在市面上的測量方法上，其儀器不是價格太高，不然就是偵測的溫度太高(在 200°C 以上)，或是選擇性較差。因此，我們想要試著找出一種比較簡單且便宜方便的方法來偵測 CO 的存在。

實驗一：找尋 CO 氣體的製作與偵測的方法

實驗二：利用不同的金屬離子來檢驗 CO 氣體的存在，並用自製簡易的比色儀器偵測 CO 濃度。

實驗三：利用有機溶液改善 CO 氣體液體中的溶解度，觀察 CO 與溶液中金屬離子的反應行為。

實驗四：探討 CO 在水溶液與醋酸溶液中反應的差異性，比較在不同 PH 值情形下的 CO 與金屬離子的反應速率。

實驗五：利用發光二極體、光敏電阻與三用電錶，自製一個攜帶式的精確檢測氣體微型化學儀器，並偵測其可行性及製作檢量線。

【實驗五-1】利用自製儀器，測量硫酸鎳溶液濃度，並製作檢量線。

【實驗五-2】利用自製儀器，在 0.1M 硫酸鎳與稀醋酸溶液下，探索反應時間與 CO 氣體濃度的關係。

實驗六：分別在不同地方測量一氧化碳的含量：

- (1) 落葉多的地方(枯葉分解)；
- (2) 通風的點燃熱水器旁；
- (3) 污染的河床(下水溝口)；
- (4) 一般的市區道路。

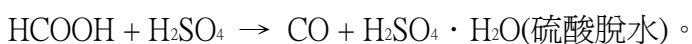
實驗七：將儀器接上蜂鳴器，並當濃度大於危險值時，給予警示。

綜合以上結果，整理並進行討論，同時歸納出結論

【實驗一】 找尋 CO 氣體的製作與偵測的方法

【實驗原理】

利用「硫酸」與「甲酸」在 60-80°C 恆溫下混合產生 CO 氣體，其方程式如下：



【實驗步驟】

- 一、利用隔水加熱法，將水溫度範圍控制在 60-80°C 下，並加入磁石攪拌。
- 二、將硫酸放入錐形瓶(如下圖 1)，並先行加熱至 60-80°C 後，緩緩加入甲酸(此時產生的氣體，前 30 秒不收集(實驗在抽風櫃中進行)。
- 三、利用「飲料的塑膠瓶」及「點滴用的控制流速開關」，裝作排水集氣裝置(如下圖 2)，作為氣體的取得的容器。
- 四、取出的氣體並利用「針筒」、「鋼釘」及「軟木塞」，利用電子天秤測量其重量，並藉此檢測收集氣體的分子量，確保其純度。
 - 1.先測量整個儀器的總重量。
 - 2.利用鋼釘在針頭後方打洞，前方裝置軟木塞堵住開口後，針筒拉開至 50ml 的地方，用鋼釘固定之，此時針頭並無氣體(為真空)，並稱出重量(即在 50mL 的體積下，減輕的重量即為此空氣的浮力)。
 - 3.測量收集 CO 氣體的重量。

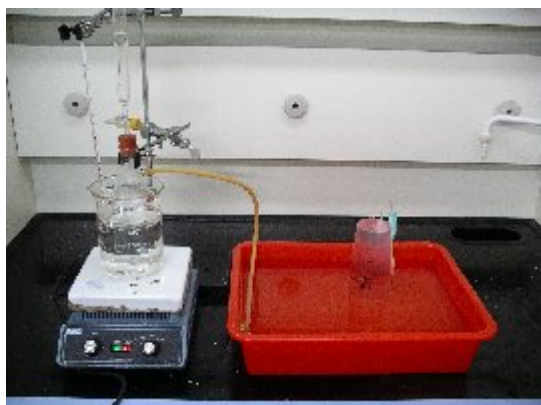


圖 1 一氧化碳製備的實驗裝置

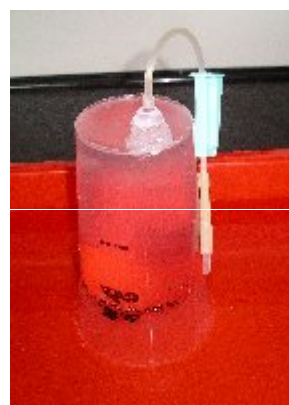


圖 2 收集 CO 氣體裝置



圖 3 硫酸+甲酸的反應情形

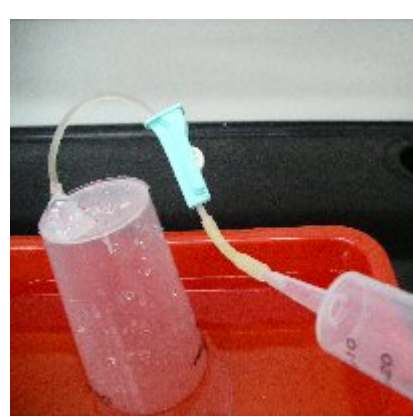


圖 4 利用針筒及開關取出 CO 氣體

【實驗二】利用不同的金屬離子來檢驗 CO 氣體的存在，並用自製簡易的比色儀器觀察電阻值變化。

【實驗原理】

- 1.經資料查證(無機化學)，因金屬離子(通常為過渡金屬)與一些離子或分子(簡稱配位基)會形成錯合物，其配位場強度大小為： $\text{CN}^- > \text{CO} > \text{phen} > \text{NO}_2^- > \text{en} > \text{NH}_3 > \text{H}_2\text{O} > \text{OH}^- > \text{F}^- > \text{Cl}^- > \text{Br}^- > \text{I}^-$ ，
- 2.過渡金屬在水中往往會形成水合化合物，而 CO 氣體的配位場強度大於 H_2O ，所以應該會取代 H_2O 而形成金屬的羰基(CO)化合物。
- 3.過渡金屬在水中通常都有許多顏色，而若金屬在與羰基(CO)形成的化合物有顏色的變化，就可利用顏色的變化來檢測 CO。

【實驗步驟】

- 一、分別配製下列離子的濃度： CrSO_4 、 MnSO_4 、 FeSO_4 、 FeCl_3 、 CoCl_2 、 $\text{Co}(\text{SCN})_2$ 、 NiSO_4 、 CuSO_4 、 CuCl_2 、 ZnCl_2 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 BaCl_2 ，各配製 0.1M 備用。
- 二、利用針筒抽出 CO 氣體 20ml 後，再分別實驗各離子 20ml 與 CO 充分搖晃後靜置，並觀察其結果。
- 三、製作簡易的比色儀器，取代肉眼來觀察顏色是否有變化。
 - 1.利用自製簡易的比色儀器(下圖)，利用不同的 LED 燈來測試。
 - 2.先偵測各金屬離子溶液在不同的 LED 燈下的電阻值。
 - 3.通入 CO 氣體 20mL 後，取出適量的溶液，加入各金屬離子溶液中，並在不同顏色的 LED 燈下偵測電阻值的變化，並作比較。

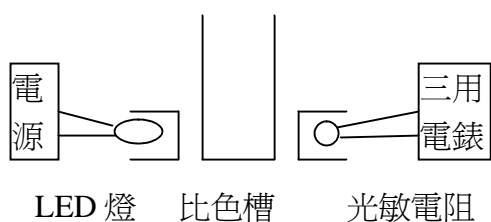


圖 5 自製簡易儀器的示意圖

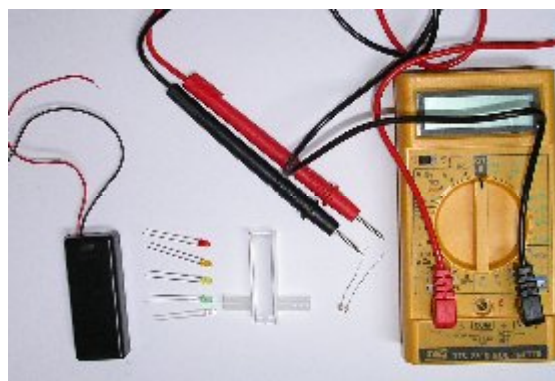


圖 6 儀器零件示意圖

1. 利用 3V 的電池座當作 LED 燈的電源並接上不同的顏色的 LED 燈。
2. 利用「分光光度計的拋棄式反應槽」當作比色槽，並在下方等高處接上兩個中空的塑膠管，左邊放 LED 燈，右邊放光敏電阻，光敏電阻再接上三用電錶。
3. 最後將「塑膠 cell」及「兩個中空的塑膠管」用塗上黑漆，並固定「塑膠 cell」在桌面，並將整個儀器再加蓋黑色的大塑膠盒在外面，並測試光敏電阻直到不透光為止。

【實驗三】 利用有機水溶液改善 CO 氣體在液體中之溶解度，觀察溶液中金屬離子與 CO 的反應

【實驗原理】

根據環保署的物質安全資料表，發現 CO 氣體溶解度較大的溶液有：乙酸乙酯、氯仿、冰醋酸、丙酮，也微溶於甲醇、乙醇，但對水的溶解度較低。由於甲醇、氯仿等溶劑毒性較強，因此本實驗採用冰醋酸、乙醇、丙酮來作為 CO 溶解的試劑。

【實驗步驟】

- 一、利用針筒抽出 CO 氣體 20ml 注入上述所用的溶劑 10ml 後，充分搖晃後靜置備用。
- 二、在試管中分別加入 0.1M 的各離子溶液後，再加入「步驟一」溶液 10ml，充分搖晃靜置，並作觀察。
- 三、利用自製儀器，以電阻值變化偵測羰基金屬濃度變化。
- 四、由於實驗發現硫酸鎳溶液比其他金屬有較明顯的電阻值變化，故利用硫酸鎳溶液，配製不同的「水/乙醇」、「水/醋酸」與「水/丙酮」比例，並討論在不同混合的溶液比例對吸附 CO 氣體及其電阻值變化的影響。

【實驗四】 探討不同酸源對 CO 與金屬離子反應性的影響。

【實驗原理】

我們查尋歷屆科展作品，發現在 45 屆全國科展國中組理化科作品：「簡易去味法第二部曲」中的內容提到，利用一氧化碳偵測器偵測 CO 在醋酸中的溶解度，發現到 CO 在越稀的醋酸中，其溶解度越好。根據實驗三，我們也同樣發現 CO 在稀醋酸中的反應性較濃醋酸好，但 45 屆作品中並沒有進一步說明原因為何，而也沒有其他的相關資料。因此，我們想要了解除了溶解度外，pH 值是否為主要影響的因素。

【實驗步驟】

- 一、分別取不同硫酸體積裝入不同試管中，並分別加水至 5ml 後備用。
- 二、分別取不同硫酸體積裝入不同試管中，並加水至 5ml、4ml、3ml 後，再分別添加醋酸 0mL、1mL、2mL 備用。
- 三、將上述混合後的液體冷卻後(因為加硫酸會產生大量的熱)，各取 5mL 並通入 CO 氣體作吸附後，再加入 0.1M 硫酸鎳 5ml，均勻混合後，並用紅色的 LED 燈為光源以觀敏電阻變化來偵測羰基金屬濃度。

【實驗五】利用發光二極體、光敏電阻與三用電錶，自製一個精確攜帶式的檢測氣體微型化學儀器，並偵測其可行性及製作檢量線。

【實驗原理】

- 1.利用養魚的打氣裝置來抽取空氣樣品，並測量其中的 CO 含量。
- 2.利用比色法($A = \epsilon b c$)作為 CO 與金屬反應的偵測。LED 燈為一窄波長的光源，其穩定性較佳，光敏電阻會隨著光的強度增強，電阻值減弱，即 CO 濃度越高，與金屬反應越多，溶液中金屬水合錯合物濃度越低，透光性越佳，電阻值越小。

【實驗步驟】

- 1.用養魚的打氣裝置製作打氣幫浦，並接上電池。
- 2.利用兩個 cell 製作打氣管，並作為實驗誤差之測定，並接上打氣管(附開關)。
- 3.光敏電阻與 LED 燈作為偵測溶液變化的儀器。
- 4.製作可移動式的打氣槽，方便作比色的測定。

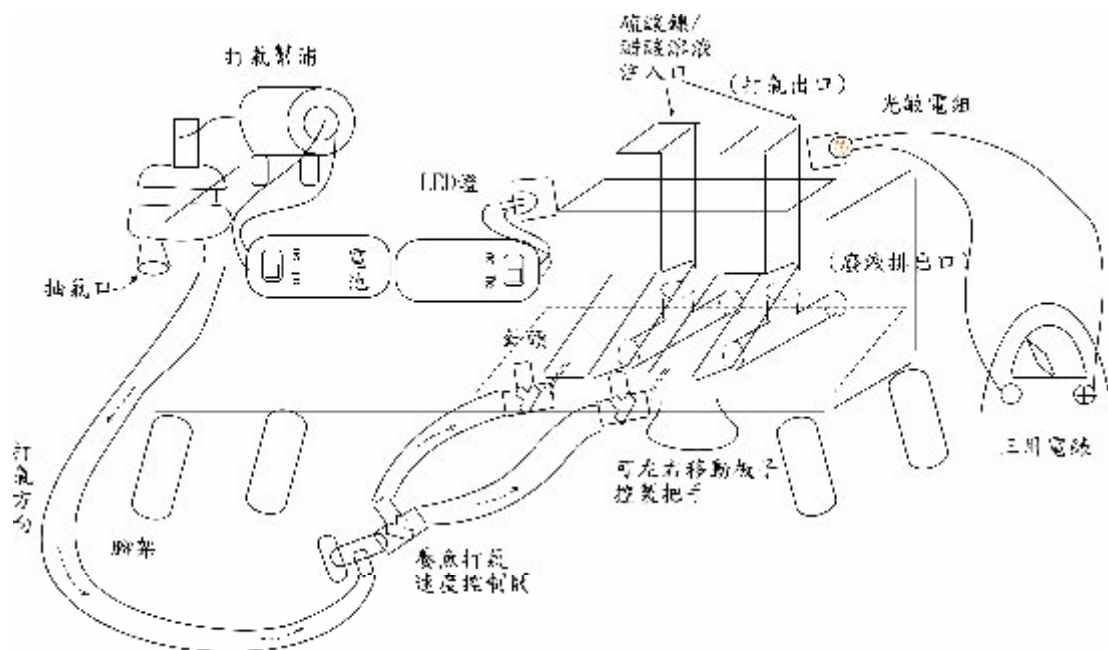


圖 7 儀器改良設計圖

【實驗五-1】利用自製儀器，測量不同硫酸鎳溶液濃度，並製作檢量線。

【實驗步驟】

- 一、配製不同濃度的硫酸鎳，並用自製儀器偵測其電阻值，製作檢量線。
- 二、配製「0.1M 硫酸鎳」及「醋酸：水 = 1：9 的醋酸水溶液」(0.5ml 醋酸加水 4.5mL 的溶液) 備用。
- 三、利用純的CO，先配製成 1600ppm，並用氮氣再依次稀釋到各濃度(ppm) (一般而言 CO 的濃度到達 1600ppm 以上時，人在 2 小時左右會死亡；200ppm 以上表示過量，而一般人可以長時間接觸的濃度為 35ppm 以下，故本實驗只作到 1600ppm，並在抽風櫃進行實驗)。
- 四、控制流速 25mL/min，並將各濃度的 CO 氣體 100mL，分別打入不同濃度硫酸鎳溶液中(不作空白的打氣實驗，即單管打氣)，以電阻值變化檢測硫酸鎳濃度。

【實驗五-2】利用自製儀器，在含硫酸鎳的稀醋酸溶液下，探索反應時間與 CO 氣體濃度的關係。

【實驗步驟】

- 一、按照「實驗 5-1」的實驗步驟，配製不同濃度的 CO 至 1 升。
- 二、利用單管打氣，打氣速度 25mL/min，分別將不同濃度 1 升的氣體打入 0.1M 硫酸鎳與稀醋酸溶液中，並探測電阻值變化，以及反應到電阻值 5.0 所需時間(1 升氣體最多可打至 2400 秒)。

【實驗六】分別在不同地方測量一氧化碳的含量：(1)落葉多的地方(枯葉分解)；
(2)通風的點燃熱水器旁；(3)污染的河床(下水溝口)； (4)一般的市區道路。

【實驗步驟】

- 一、利用自製儀器，分別以打氣速度為 25mL/min，一直打氣直到電阻值為 5.0 時，並偵測其打氣所發的時間。
- 二、檢測上述四個地點的一氧化碳含量並相互比較。



圖 8 落葉多的地方 (A 區)



圖 9 通風室內點燃熱水器旁(B 區)



圖 10 污染的河床(下水溝口)(C 區)



圖 11 一般的市區道路(D 區)

【實驗七】將儀器接上蜂鳴器，並當濃度大於危險值時，給予警示。

【實驗原理】

1. 利用電晶體當作電流控制器，並作為開關。
2. 光敏電阻受到光的刺激，電阻值變小， I_B 電流就會變大， I_C 電流也會變大， I_C 電流大到足以啟動蜂鳴器鳴叫，即表示 CO 濃度大於危險值。

【實驗步驟】

1. 先準備小型電路板，如下圖 13 所示。
2. 根據電路圖，利用焊錫，將電池、可變電阻、電晶體、蜂鳴器、光敏電阻，依序焊在電路板上(如圖 13 所示)。
3. 為了改進效果，增加了集電器、反向器以增強電流效果。

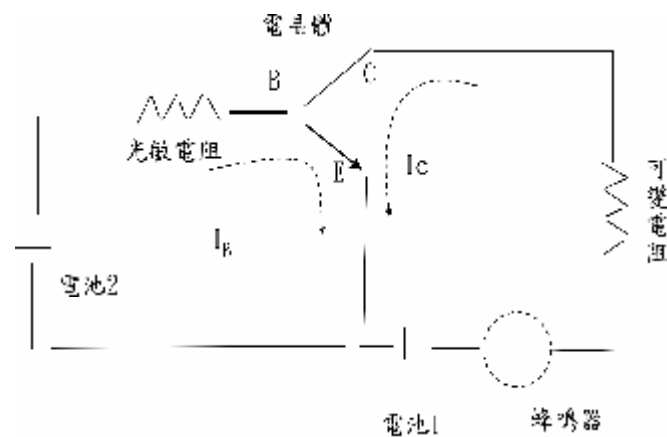


圖 12 電路示意圖

伍、研究結果與討論

【實驗一】 找尋 CO 氣體的製作與偵測的方法

1. 空氣的浮力為 $= 42.91 - 42.85 = 0.06 \text{ g}$ (在 50ml 下)
2. CO 氣體的分子量 $= 0.06 \times 24000 / 50 = 28.8 \text{ g / mole}$ (註：因為實驗刻度無法到下一位，假設純 CO 的分子量應為 28 時，其質量差為 0.0583g(其數值接近 0.06，即稱出的重量理想值應為 $0.0583 + 42.85 = 42.9083$ 接近 42.91)，故所得到的 CO 應該可視為純 CO (註：20°C 時水的飽和蒸氣壓為 $= 17.5 \text{ mmHg}$ ，故水的量可以忽略；另為排水集氣法也排除了硫酸(分子量 $= 98$)及甲酸(分子量 $= 46$)的氣體，也沒有影響 CO 的收集)
3. 實驗誤差：假設電子天稱稱出來的重量為 42.91 時，其可能的數值為 42.9149~42.905，換算成分子量大概為 26.4 到 31.15 之間。



- 圖 13 儀器的總重(氣溫 20°C) 圖 14 內部為真空時的重量 圖 15 裝入 CO 氣體下的重量
4. 我們利用甲酸與硫酸所產生的 CO 的純度，故我們利用 CO 鋼瓶抽出氣體，並與我們所製所的 CO 作比較，其實驗結果差異不大，故實驗所產生的 CO 可視為純 CO 來進行以下實驗。



圖 16 一氧化碳鋼瓶

【實驗二】利用不同的金屬離子來檢驗 CO 氣體的存在，並用自製簡易的比色儀器以電阻值變化來觀察羰基金屬濃度。

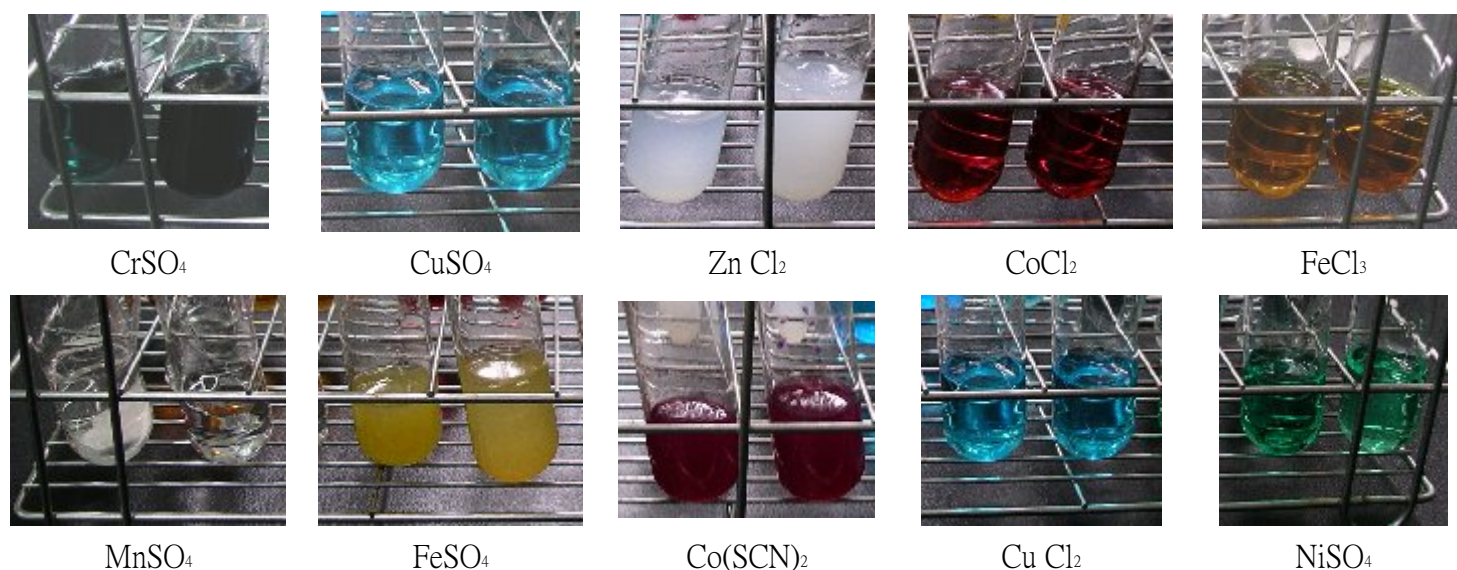


圖 17 各離子溶液通入 CO 氣體前後顏色比較
(左邊為原溶液，右邊為通入 CO 後的溶液)。

表 1：各金屬離子對於不同顏色的 LED 燈其電阻值的大小

| LED 燈顏色 | 電阻值(×1Ω) | | | | | | | | | |
|----------------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 紅 | | 橙 | | 黃 | | 綠 | | 藍 | |
| 通入 CO | 前 | 後 | 前 | 後 | 前 | 後 | 前 | 後 | 前 | 後 |
| ZnCl ₂ | 2.0 | 2.0 | 2.5 | 2.5 | 8.7 | 8.9 | 4.5 | 4.5 | 28.5 | 28.6 |
| CrSO ₄ | 70.1 | 70.2 | 160 | 161 | 185 | 183 | 73.3 | 73.3 | 83.1 | 83.2 |
| MnSO ₄ | 2.3 | 2.3 | 4.2 | 4.2 | 9.6 | 9.7 | 11.3 | 11.3 | 30.2 | 30.3 |
| CoCl ₂ | 35.3 | 35.3 | 48.2 | 48.4 | 10.1 | 10.1 | 68.7 | 68.8 | 45.3 | 45.3 |
| Co(SCN) ⁺ | 46.3 | 46.3 | 50.7 | 50.6 | 11.2 | 11.2 | 105 | 105 | 60.2 | 60.3 |
| CuCl ₂ | 98.2 | 98.3 | 30.1 | 30.3 | 16.3 | 16.2 | 8.7 | 8.8 | 29.9 | 29.9 |
| CuSO ₄ | 95.6 | 95.5 | 30.6 | 30.6 | 17.1 | 17.1 | 8.8 | 8.8 | 30.1 | 30.0 |
| NiSO ₄ | 8.7 | 8.2 | 12.8 | 12.5 | 11.2 | 11.0 | 23.8 | 23.3 | 33.5 | 33.5 |
| FeCl ₃ | 3.2 | 3.0 | 5.7 | 5.5 | 8.8 | 8.5 | 6.7 | 6.6 | 70.2 | 67.2 |

1. MnSO₄、ZnCl₂、Al₂(SO₄)₃、BaCl₂ 等溶液反應前後仍為透明無色，故偵測結果電阻值仍相同。
2. CrSO₄、CoCl₂、CuCl₂、CuSO₄ 等溶液，反應前後，偵測結果電阻值仍相同。
3. Co(SCN)₂ 易與水反應，顏色差異會隨著水量不同而有所變化，故不適用。

- 其中 FeCl_3 與 NiSO_4 的電阻值有些許變化，故本實驗採用的金屬離子溶液為 FeCl_3 與 NiSO_4 。
- 根據環保署的物質安全資料表資料顯示，CO 氣體在常溫常壓下對水的溶解度甚小，猜想是否因為 CO 本身是氣體，與溶於水中的金屬離子的反應性較差，因此猜想更換另一種溶液，讓 CO 氣體溶解性增，是否可以增加 CO 氣體對金屬離子的反應性。

【實驗三】利用有機溶液溶解 CO 氣體，並與水溶液中金屬離子的反應

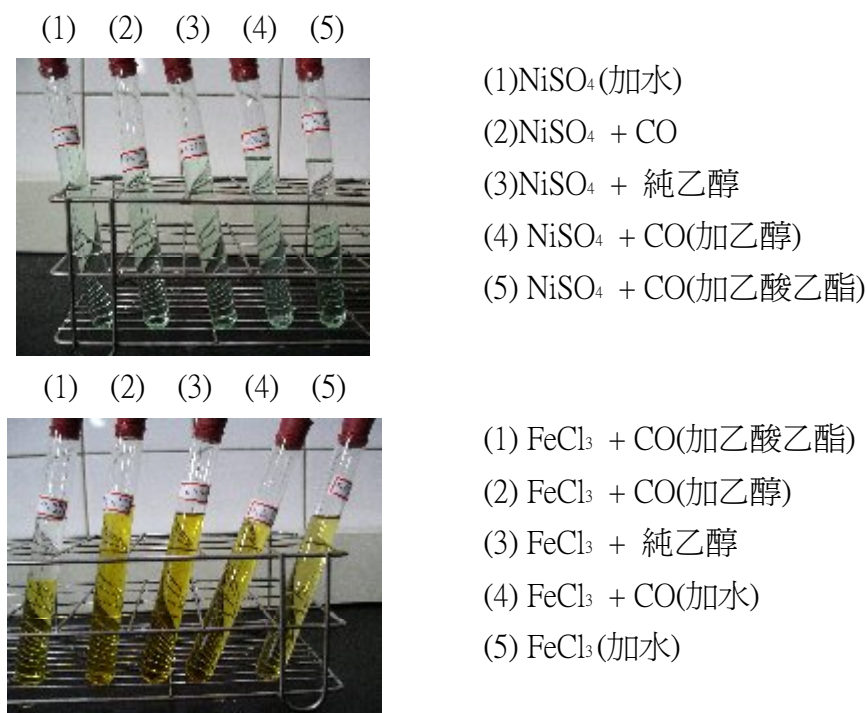


圖 18 NiSO_4 及 FeCl_3 水溶劑加入溶有 CO 的酒精及乙酸乙酯溶液下顏色變化

註：

- NiSO_4 加入醋酸與丙酮(見下圖 19)，故上圖不再重覆。
- 在 FeCl_3 以醋酸與丙酮當溶劑下，其吸附後的電阻值經測定，與實驗二是相同的結果，意即改變溶劑對 CO 的反應性影響不大，故只選擇硫酸鎳做下列實驗。
- 由於乙酸乙酯與水不互溶，故本實驗不採用。(見圖 18 中 NiSO_4 的(5)號及 FeCl_3 的(1)號)。
- 實驗發現，在 NiSO_4 溶液中，分別加入乙醇、丙酮、醋酸當溶劑(不加 CO 情形下)，其測量電阻值並不改變，意即不論加入上述溶劑那一種，並不影響電阻值的測量。
- CO 通入在各溶劑後，乙醇溶劑對於 CO 氣體反應後測得的電阻值與只用純水當溶劑時，幾乎相同(如下表 2)，故不採用乙醇當溶劑。
- 丙酮或醋酸當溶劑下溶 CO，再加入 NiSO_4 溶液後，經測定發現其電阻值有明顯降低，這表示 NiSO_4 在這個種溶液下，對 CO 的反應性較好。以紅光測量時電阻值明顯下降，推測可形成的金屬錯合物是不吸收紅光的。

表 2 在各溶劑下對 CO 反應，並於不同顏色的 LED 燈下，其電阻值的大小變化

| NiSO ₄ (0.1M) | | 電阻值(×1kΩ) | | | | |
|--------------------------|-----------------------------|-----------|------|------|------|------|
| 編號 | LED 燈顏色 | 紅 | 橙 | 黃 | 綠 | 藍 |
| (1) | 純溶液 | 8.7 | 12.8 | 11.2 | 23.8 | 33.5 |
| (2) | NiSO ₄ + CO(加水) | 8.2 | 12.5 | 11.0 | 23.3 | 33.5 |
| (3) | NiSO ₄ + 酒精 | 8.7 | 12.8 | 11.1 | 23.8 | 33.3 |
| (4) | NiSO ₄ + CO(加酒精) | 7.8 | 12.1 | 10.9 | 23.1 | 32.8 |
| (5) | NiSO ₄ + CO(加醋酸) | 4.2 | 9.2 | 10.2 | 21.7 | 30.5 |
| (6) | NiSO ₄ + CO(加丙酮) | 5.7 | 10.5 | 10.5 | 22.1 | 31.1 |

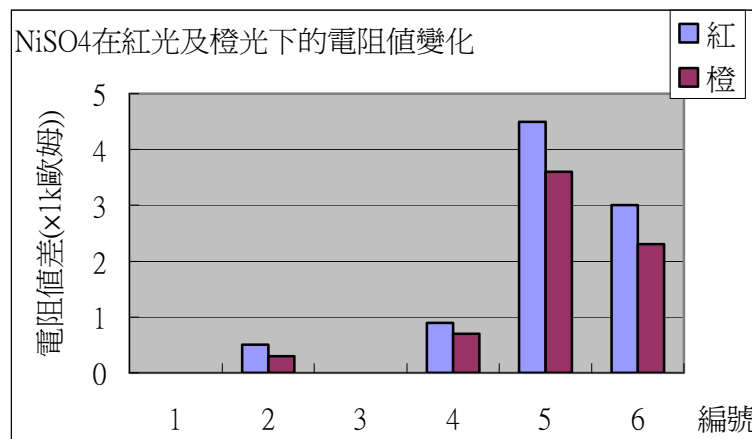


圖 19 NiSO₄在各溶劑下對 CO 反應，並於紅色與橙色的 LED 燈下，偵測其電阻值變化

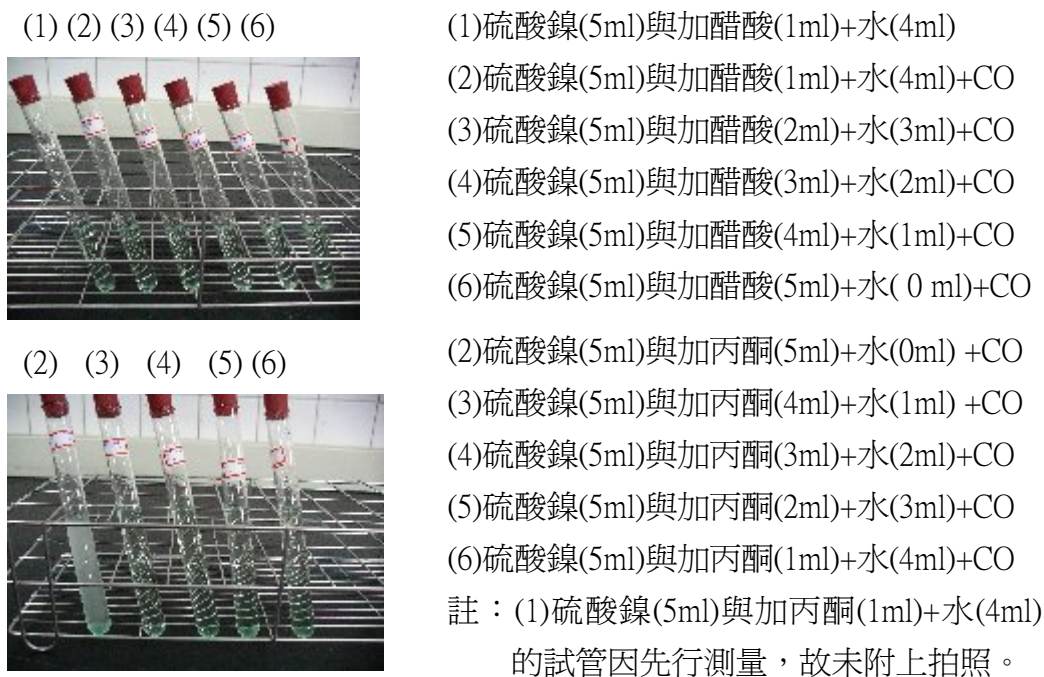


圖 20 NiSO₄溶液在不同比例的「水/醋酸」與「水/丙酮」下，對吸附 CO 氣體後的情形

表 3 在醋酸溶液中硫酸鎳對 CO 反應，並於各顏色的 LED 燈下，光敏電阻值的大小變化

| 次數 | LED 燈顏色 | | | 紅 | 橙 | 黃 | 綠 | 藍 |
|------|----------|----|---|-----------|------|------|------|------|
| | 溶液體積(mL) | | | | | | | |
| | 硫酸鎳 | 醋酸 | 水 | 電阻值(×1kΩ) | | | | |
| (0)* | 5 | 0 | 5 | 8.7 | 12.8 | 11.2 | 23.8 | 33.5 |
| (1)* | 5 | 1 | 4 | 8.7 | 12.7 | 11.2 | 23.8 | 33.1 |
| (1) | 5 | 1 | 4 | 3.9 | 6.9 | 9.2 | 20.3 | 30.5 |
| (2) | 5 | 2 | 3 | 4.9 | 8.3 | 9.7 | 21.1 | 31.2 |
| (3) | 5 | 3 | 2 | 6.5 | 9.6 | 10.0 | 22.3 | 31.8 |
| (4) | 5 | 4 | 1 | 7.7 | 11.5 | 10.3 | 22.7 | 32.4 |
| (5) | 5 | 5 | 0 | 8.4 | 12.5 | 10.9 | 23.3 | 33.1 |

表 4 NiSO₄在丙酮溶液下對 CO 反應，並於各顏色的 LED 燈下，其電阻值的大小變化

| 次數 | LED 燈顏色 | | | 紅 | 橙 | 黃 | 綠 | 藍 |
|-----|----------|----|---|-----------|------|------|------|------|
| | 溶液體積(mL) | | | | | | | |
| | 硫酸鎳 | 丙酮 | 水 | 電阻值(×1KΩ) | | | | |
| (1) | 5 | 1 | 4 | 4.9 | 6.9 | 9.2 | 20.3 | 30.5 |
| (2) | 5 | 2 | 3 | 6.3 | 8.3 | 9.7 | 21.1 | 31.2 |
| (3) | 5 | 3 | 2 | 7.9 | 9.6 | 10.0 | 22.3 | 31.8 |
| (4) | 5 | 4 | 1 | 8.7 | 11.5 | 10.3 | 22.7 | 32.4 |
| (5) | 5 | 5 | 0 | - | - | - | - | - |

註：*代表該實驗下沒有通入 CO 氣體；「-」代表測不到

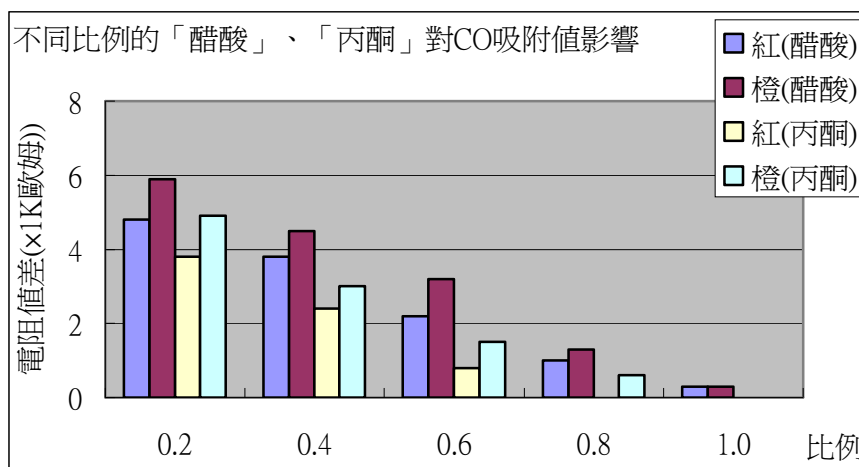


圖 21 NiSO₄在不同比例醋酸與丙酮溶液對 CO 反應，並在紅色及橙色的 LED 燈下，偵測其電阻值變化

1. 由於只有 NiSO₄在實驗過程中，其電阻值變化比較明顯，且較有線性關係，故本實驗最後

採用 NiSO_4 作為本實驗主要偵測 CO 的金屬離子。

2. 本實驗所採用的溶劑：乙酸乙酯與水不互溶；乙醇溶 CO 氣體後的電阻值與水溶 CO 氣體後的電阻值相差不多，故不考慮作為本實驗的試劑。
3. 丙酮或醋酸當溶劑下溶 CO，再加入 NiSO_4 溶液後，經測定發現其電阻值有明顯降低，而且醋酸的效果比丙酮好。即實驗的結果得知，在有機溶劑中硫酸鎳與 CO 的反應來說，其效果：醋酸 > 丙酮 > 乙醇 > 水，而 CO 對各溶液的溶解度也是醋酸 > 丙酮 > 乙醇 > 水，由資料顯示，CO 的溶解性大小也會影響反應的進行。
4. 在濃度的測定方面，其中當有機溶劑與水的比例在一定的比例下，則溶液會產生濁度現象，意即產生硫酸鎳的再結晶，但醋酸則沒有上述情形，所以醋酸不會有濁度影響實驗的偵測，故本實驗中醋酸是較好的偵測吸附液。
5. 實驗結果發現，當醋酸的溶液濃度越稀，電阻值下降越多。這代表醋酸在稀濃度下，對 CO 的其反應性較好，為了瞭解這個原因，我們將於下個實驗探討 pH 值是否會影響實驗的結果。
6. 不論是丙酮或是醋酸吸附 CO 後與硫酸鎳的混合液，其吸收度會有下降的趨勢，其中以紅、橙色的 LED 燈的變化最為明顯，但橙色的 LED 其數據在三用電錶的讀數，有較大的跳動(可能跟 LED 燈有關)，故本實驗最後採用紅色 LED 燈。
7. 本實驗意外發現，丙酮溶劑的 1 號試管，除了濁度外(本實驗其他的溶質的濁度是沒有此現象)，在底部出現了另一種與水不互溶的液體，如右圖 22 所示。經查資料顯示， $\text{Ni}(\text{CO})_4$ 為一液體化合物，比重為 1.318，幾乎不溶於水，而且為一無色液體。因此本實驗過程中，對 CO 的反應會產生電阻值明顯下降的原因，推測 Ni^{2+} 所形成的金屬錯合物是不具顏色的，造成溶液的濃度變淡。



圖 22 高濃度比例的丙酮與硫酸鎳及 CO 反應情形

【實驗四】比較不同的 pH 值情形下，探討水溶液與醋酸溶液對於 CO 氣體的反應的差異性，並觀察其電阻值變化。

1. 實驗結果發現，在硫酸的體積越多(即pH 值越小時)對 CO 的吸附情形成變得較差。
2. 如只有添加醋酸溶液的情形下，其吸收度明顯下降，可是只要有混到硫酸時，其吸收度會變得比純水還差(因為醋酸+硫酸的酸性也較強，所以吸收會更加不好)。
3. 實驗結果意外發現，在弱酸性的水溶液下，對 CO 的吸收度也會降低，效果雖然沒有稀醋酸好。如考慮實驗的安全性考量，此時可以避免使用像醋酸等有機溶劑，因為有揮發性(醋酸有臭味)。所以本實驗的溶劑也可以改為 5ml 的硫酸+4.5mL 的水來作為 CO 的吸附劑。
4. 由於本實驗中，CO 是有毒氣體，因此濃度不宜製備太高，但考慮低濃度的 CO 要有好的吸附效果，與實驗的偵測極限的考量，(故重新實驗了 CO 對於 0.5ml 醋酸加水 4.5mL 的吸附，並加硫酸後測其電阻值。結果發現，0.5ml 醋酸加水 4.5mL 對於 CO 的吸附比 1ml 醋酸加水 4mL 的吸附好，其電阻值偵測為 3.4kΩ(如下表 5)。

表 5 利用紅色的 LED 燈來偵測，不同體積醋酸在不同體積硫酸下對 CO 的吸附情形

| 次數 | 硫酸體積 | | 0mL | 0.5mL | 1mL | 1.5mL | 2mL |
|-----|--------|--------|-----------|-------|-----|-------|-----|
| | 吸附液比例 | | 電阻值(×1KΩ) | | | | |
| | 醋酸 | 水(+硫酸) | | | | | |
| (1) | 0 mL | 5 mL | 8.7 | 5.5 | 6.1 | 6.9 | 7.7 |
| (2) | 0.5 mL | 4.5 mL | 3.4 | 6.2 | 7.1 | 7.8 | 8.1 |
| (3) | 1 mL | 4 mL | 3.9 | 6.4 | 7.2 | 7.8 | 8.1 |
| (4) | 2 mL | 3 mL | 4.9 | 7.3 | 7.8 | 8.6 | 8.7 |

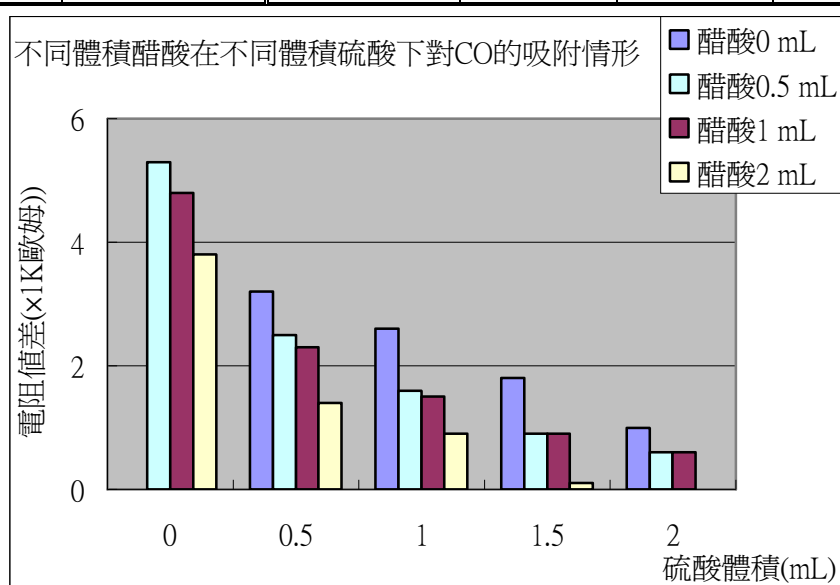


圖 23 利用紅色的 LED 燈來偵測，不同體積醋酸在不同體積硫酸下對 CO 的吸附情形

【實驗五】利用發光二極體、光敏電阻與三用電錶，自製一個微型、精確攜帶式的檢測氣體
微型化學儀器，並偵測其可行性及製作檢量線。

儀器改良與設計：

1. 利用「抽氣馬達」、「針頭」、「養魚用的打氣開關閥」設計一個可以控制流速的打氣開關，並製作「雙打氣裝置」，一個 cell 放純水、另一溶液放硫酸鎳+硫酸。
⇒在測量電阻值方面，可以用純水 cell 校正空氣背景信號。而關閉一個打氣管時，也可以當作「單打氣裝置」。
2. 在兩個打氣管的下方，製作一個可左右移動的裝置，並使兩個打氣管能共用 1 組 LED 燈及光敏電阻，並固定 LED 燈及光敏電阻的方向及距離。
⇒如用兩個 LED 燈及兩個光敏電阻測量兩個 cell 時，因每個 LED 燈強度不同，且光敏電阻的測量並非線性，故不同的光敏電阻及 LED 燈都會造成實驗相當大的誤差，除了固定光敏電阻及 LED 燈外，另外找兩個透光度相同的 cell，這樣一來能有效的減少實驗的誤差。
3. 打氣用針頭可以避免打氣的氣泡太大而易使溶液噴出。
4. 爲了打氣能更加吸收，打氣口的 cell 一個做傾斜一定的角度，增加 CO 的吸收。
5. 在打氣 cell 下方，裝入三通閥，以方便排出廢液。
6. 爲增加使用便利，我們在下方加裝腳架，供偵測時固定站立。



圖 24 打氣 cell 的裝置



圖 25 可左右移動的裝置控制鈕



圖 26 同一組 LED 燈及光敏電阻的位置

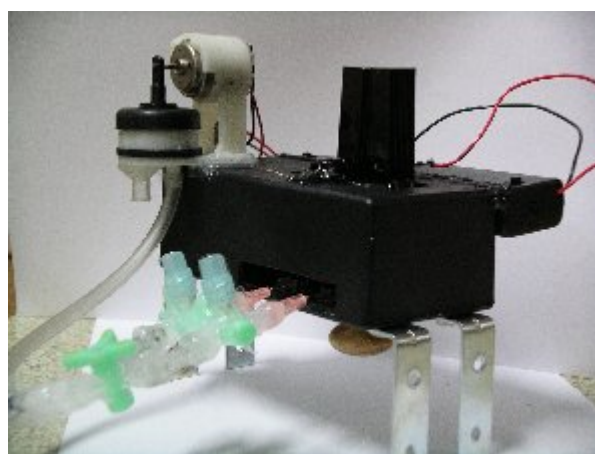


圖 27 雙打氣儀器的全貌

【實驗五-1】利用自製儀器，測量不同硫酸鎳溶液濃度，並製作檢量線。

表 6 不同濃度的硫酸鎳在紅色 LED 燈下的其電阻值

| | | | | | | |
|--------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 硫酸鎳的濃度(M) | 0.2 | 0.1 | 0.08 | 0.06 | 0.04 | 0.02 |
| 電阻值($\times 1K\Omega$) | 16.1 | 8.7 | 7.4 | 6.0 | 4.8 | 4.0 |
| 硫酸鎳的濃度(M) | 0.01 | 0.008 | 0.006 | 0.004 | 0.002 | 0.001 |
| 電阻值($\times 1K\Omega$) | 3.6 | 3.4 | 3.3 | 3 | 2.9 | 2.8 |

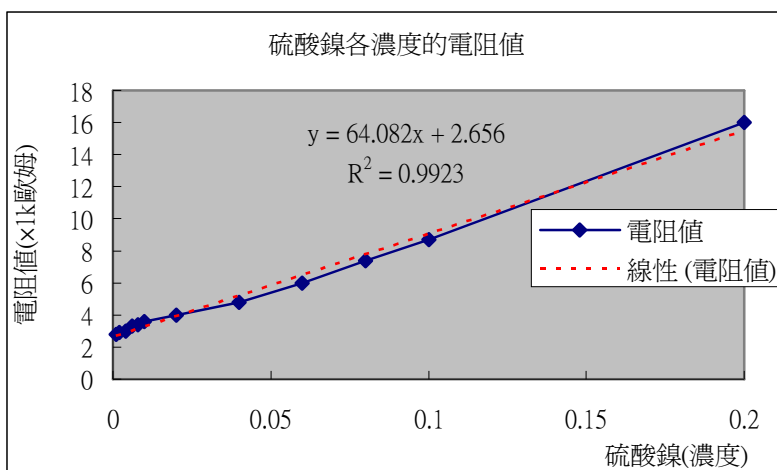


圖 28 不同濃度的硫酸鎳與紅色 LED 所偵測電阻值的關係

表 7 打入不同濃度的 CO 氣體對 0.1M 硫酸鎳的吸附情形

| CO 濃度(ppm) | 電阻值($\times 1k\Omega$) | | | | | | | | |
|------------|--------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 打氣時間(秒) | 0 秒 | 30 秒 | 60 秒 | 90 秒 | 120 秒 | 150 秒 | 180 秒 | 210 秒 | 240 秒 |
| 1600 ppm | 8.7 | 7.8 | 6.8 | 5.9 | 5.0 | 4.0 | 3.1 | 2.8 | 2.8 |
| 800 ppm | 8.7 | 8.0 | 7.4 | 6.7 | 6.1 | 5.4 | 4.8 | 4.3 | 3.9 |
| 400 ppm | 8.7 | 8.2 | 7.8 | 7.3 | 6.8 | 6.4 | 5.9 | 5.4 | 5.1 |
| 200 ppm | 8.7 | 8.4 | 8.0 | 7.7 | 7.4 | 7.1 | 6.7 | 6.4 | 6.1 |
| 100 ppm | 8.7 | 8.5 | 8.2 | 8.0 | 7.8 | 7.5 | 7.3 | 7.1 | 6.8 |
| 50 ppm | 8.7 | 8.5 | 8.4 | 8.2 | 8.0 | 7.9 | 7.7 | 7.6 | 7.4 |
| 25 ppm | 8.7 | 8.6 | 8.5 | 8.3 | 8.2 | 8.1 | 8.0 | 7.9 | 7.8 |

註：0.1M 硫酸鎳的電阻值為 8.7 k Ω

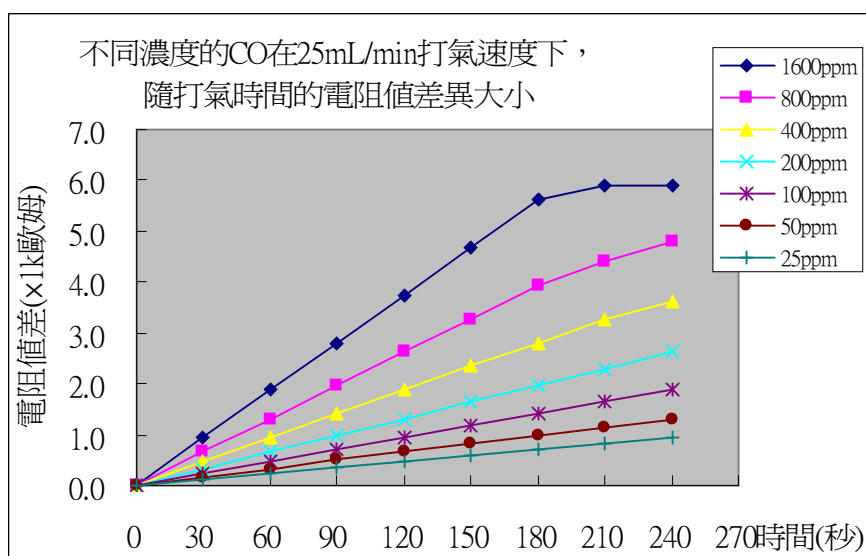


圖 29 打入不同濃度的 CO 氣體對 0.1M 硫酸鎳的吸附情形

1. 本實驗打氣液體容器為 9mL，故稀醋酸溶液取 4.5mL 再加上硫酸鎳 4.5 mL.
2. 1600ppm 的配製法：1 升的空氣(20°C)大約為 1.2g，CO 分子量與空氣相近，故重量相近(1 升=1.16g)，所以設取 CO 氣體 a 毫克，因此 $a \text{ (mg)} / 1.2 \times 10^{-3} \text{ (kg)} = 1600\text{ppm} = 1.92\text{(mg)}$ 。此時，取 CO 的氣體體積為 $(1.92 / 28) \times 24 = 1.65 \text{ mL}$ ，並配製到 1 升氣體。其他氣體依次配製。
3. 硫酸鎳的濃度較線性的濃度範圍在 0.06 到 0.2 M 之間，其相關性為：電阻值 = $64.82 \times [\text{硫酸鎳濃度}] + 2.656$ ，線性關係為 $R^2 = 0.9923$ 。
4. 根據打氣 25mL/min，打氣 100mL 情形下，我們發現到，在打氣的 3 鐘內，打氣時間越長，則電阻值越小，而且打氣 CO 的濃度越大，其電阻值下降也比較明顯，而所有濃度均呈線性關係。因此我們猜想是否能控制電阻值下降到一定固定值時，測得其時間的反應，用來換算 CO 氣體的濃度。

【實驗五-2】 利用自製儀器，在 0.1M 硫酸鎳與稀醋酸溶液下，探索反應時間與 CO 氣體濃度的關係。

表 8 打入不同濃度的 CO 氣體 1 升其反應至電阻值為 5.0 時所需時間

| | | | | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 打氣時間(秒) | 120 | 170 | 250 | 340 | 490 | 710 | 980 |
| 簡化 Excel 公式 計算出來的時間 | 112 | 158 | 224 | 316 | 447 | 633 | 894 |
| 簡化 / 實際時間 | 0.933 | 0.929 | 0.896 | 0.929 | 0.912 | 0.892 | 0.912 |
| CO 濃度(ppm) | 1600 | 800 | 400 | 200 | 100 | 50 | 25 |

註：簡化公式為 $[\text{CO 濃度}] = 2 \times 10^7 \times [\text{時間}]^{-2}$ ；修正後公式： $[\text{CO 濃度}] = 2 \times 10^7 \times [\text{時間} \times 0.9]^{-2}$

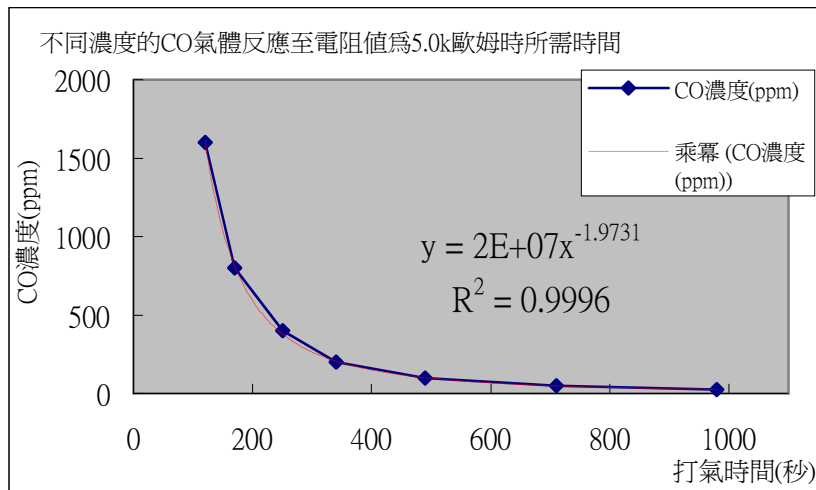
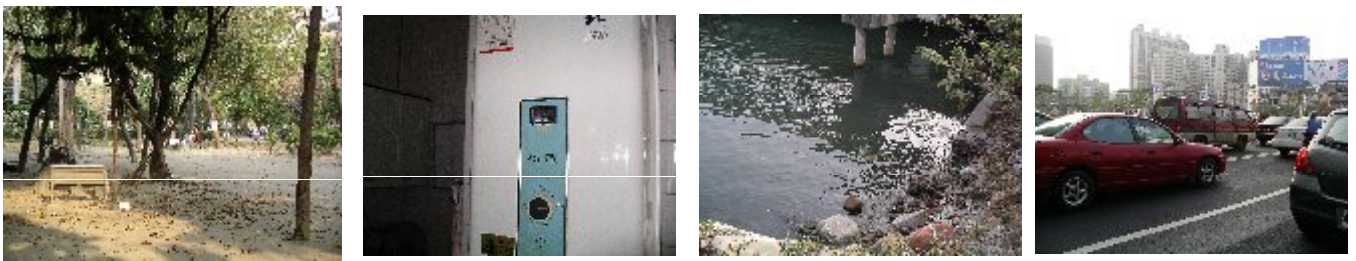


圖 30 打入不同濃度的 CO 氣體反應至電阻值為 5.0 kΩ時所需時間

1. 由實驗結果顯示，在打氣的過程中，電阻值由 8.7kΩ降低 5.0 kΩ所需的時間，會隨著 CO 濃度增加而減少，其關係式可以用內插法得知，但誤差較大。但由 Excel 所計算出來的乘冪(即數字的乘方)得到， $[CO \text{ 濃度}] = 2 \times 10^7 \times [\text{時間}]^{-1.9731}$ ，其相關係數為 0.9996，所以相當精準，但因為數字不方便運算，故簡化公式為 $[CO \text{ 濃度}] = 2 \times 10^7 \times [\text{時間}]^{-2}$ ，再予以較正。
2. 當 CO 氣體濃度大於 200ppm 時，表示此時氣體的濃度是過量的，根據上述的公式得知： $200(\text{ppm}) = 2 \times 10^7 \times [\text{時間}]^{-2}$ ，經換算得到 316 秒。
3. 由上述資料得知，簡化/實際時間約為 0.9，所以實際 = 簡化時間 / 0.9，即可將上面乘冪公式簡化成： $[CO \text{ 濃度}] = 2 \times 10^7 \times [\text{時間} \times 0.9]^{-2}$ ，即可算出正確的[CO 濃度]值。

【實驗六】 分別在不同地方測量一氧化碳的含量：(1)落葉多的地方(枯葉分解)；
(2)通風的點燃熱水器旁；(3)汙染的河床(下水溝口)； (4)一般的市區道路。



落葉多的地方(A 區)

室內熱水器旁(B 區)

下水溝口 (C 區)

市區道路(D 區)

圖 31 各測量地區的照片

表 9 各地區所測量出來的一氧化碳濃度值

| 地區 | A | B | C | D |
|------------|------|------|------|------|
| 時間(秒) | 1250 | 630 | 1000 | 715 |
| CO 濃度(ppm) | 15.8 | 62.2 | 24.7 | 48.3 |

1. 根據實驗五的公式 $[CO \text{ 濃度}] = 2 \times 10^7 \times [\text{時間} \times 0.9]^{-2}$ ，將上述四個地區由測得的時間換算出來 CO 的濃度，發現其濃度均不高，原因應該在通風良好的地方，或是沒有燃燒物品的地方，會較少 CO 氣體的存在。
2. 查證的資料顯示，枯葉分解雖然是地球上 CO 產生的主要來源，但樹木較多的地方所測出來的 CO 值，反而比較低。

【實驗七】 將儀器接上蜂鳴器，並當濃度大於危險值時，給予警示。

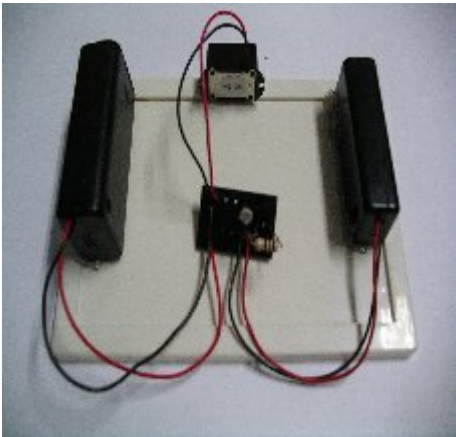


圖 32 警報器完成圖

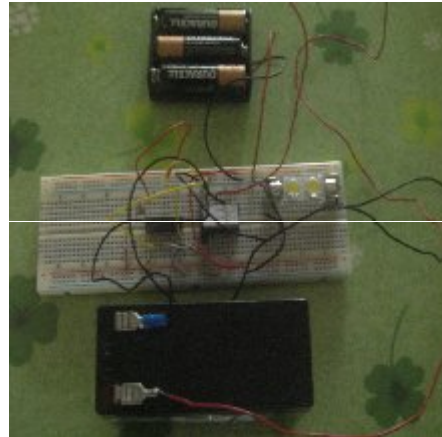


圖 33 加集電器及反向器的完成圖



圖 34 測試圖

1. 經實驗發現，當可變電阻為 20Ω 時，蜂鳴器即可發出聲響。但當可變電阻為 50Ω 以上時，雖然仍有電流通過，但由於電流太小，蜂鳴器有聲響，但聲音會隨著使用的電阻值越大而變小。
2. 光敏電阻在不透光時，電阻值很大，此時 I_c 即無法順利通過電晶體，而造成斷路，即蜂鳴器不作聲響。
3. 由於 CO 氣體會造成硫酸鎳的濃度降低，此時較多光可以通過溶液。光敏電阻受光後，其電阻值變小，當電阻值小於 50Ω 時(本實驗所要測量的電阻值為 $5k\Omega$)，則此時 I_c 即能順利通過電晶體，而造成通路，即蜂鳴器立即作聲響。
4. 測量 CO 的過程中，由打氣開始計算時間，當蜂鳴器作響時，即為反應時間。本儀器所測得的反應時間如少於 316 秒，相當於 5 分鐘時(濃度 $> 200\text{ppm}$)，則表示此處的 CO 濃度太高，應立即開窗或迅速離開到通風良好處。
5. 未來在電路的部分可以接手機，改為波號，以縮短救援所需的時間。

陸、結 論

1. 由於目前市面上所有偵測 CO 氣體的儀器，不是儀器價格太貴，就是測量溫度較高(200°C 以上)，不然就是選擇性低(電化學法，如 NO、CO₂、H₂O 等…干擾物)，而本實驗所利用的方法不但價格便宜，而且在硫酸鎳與稀醋酸水溶液下，透過自製儀器對 CO 氣體有相當效果的偵測。
2. 本實驗的儀器為「雙打氣裝置」，可以透過空白實驗校正樣品氣體的背景氣體影響，使測量上更加準確。
3. 本實驗發現在對 CO 溶解性較好的溶液中(如醋酸)，CO 與金屬鎳離子形成錯離子反應較好。由於本實驗過程中發現，當 CO 氣體濃度越大，與硫酸鎳反應後會讓硫酸鎳的濃度越來越小，意即其反應的產生為無色的化合物，經資料查證，其可能為無色 Ni(CO)₄。
4. 溶液的 pH 值會影響 CO 氣體對於硫酸鎳的反應。當酸性越強時，CO 氣體對於硫酸鎳的反應越差，因此醋酸濃度較稀時，反應效果最好(與水的比例為 1:9 最好)。如考慮醋酸有臭味的考量時，也可以用稀硫酸溶液，缺點是反應效果較差。
5. 利用本實驗的儀器在測量 CO 氣體濃度時，發現當 CO 氣體濃度越大，則電阻值下降越快。因此，本實驗利用時間的變化來有效的預測 CO 氣體的濃度，並配合 Excel 的圖表計算出乘冪公式，並用比例原則來簡化公式，得到[CO 濃度] = $2 \times 10^7 \times [\text{時間} \times 0.9]^2$ ，經測量固定電阻值變化量所需要的時間，即可算出當時空氣中的[CO 氣體]的濃度值。
6. 為了確保測量的方便，本實驗加裝了電路板，利用電晶體及蜂鳴器有效的製作一個警報器，當光敏電阻測量到達特定的電阻值時(如 5KΩ)，蜂鳴器會立即作響。在本儀器的測量中，高濃度(1600ppm)的 CO 氣體偵測設定在 2 分內，而低濃度的有危害值的 CO 氣體濃度(200ppm)也只需 5 分鐘左右就可以偵測。

柒、參考資料

- 一、方金祥 (民 87)。微型化學實驗之設計與製作。高雄市：復文書局。
- 二、行政院環境保護署環檢所。物質安全資料表，編號: HSN-1663：一氧化碳。
- 三、Douglas. B. E. 著無，張天授譯(民 87)。無機化學觀念與模型(第三版)。六合出版社印行。
- 四、藤原修著，白中和譯(民 96)。圖解介面電子電路入門(改訂 2 版)。建興文化事業有限公司。
- 五、第 47 屆全國科展國中組生活與應用科學科說明書 (民 96)。「硫」來「硫」去-「硫」成愁—自製微型化學儀器，檢測空氣中硫化氫含量。
- 六、網路資料關鍵字：一氧化碳、警報器。(資料整理於實驗日誌中)

【評語】 030807

整體實驗規劃完整，以多種自行設計儀器進行各項實驗，值得嘉許。

建議以標準儀器進行量測，建立對照組，以驗證自行開發儀器之準確度。