

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

080119

嗨!查理-氣體體積與溫度的關係

學校名稱：臺東縣臺東市東海國民小學

| | |
|-------------------------|--------------|
| 作者： 小六 王建翔 小六 黃雅澤 | 指導老師： 羅敏華 |
|-------------------------|--------------|

關鍵詞：查理定律、熱脹冷縮、絕對零度

摘要

我們利用現有的實驗器材來製作氣體體積與溫度變化觀測工具，測量範圍在 42°C ~ 30°C 之間。我們將觀測的數據，用 Google 試算表做資料分析，發現氫氣、乙炔、二氧化碳、氧氣這四種氣體，和查理定律中「氣體體積與溫度變化呈線性關係」相符。而查理定律中提到，當到達絕對零度(-273.15°C)其物質總體積為零，於是我們推算當氣體體積為零時的溫度，結果發現，當乙炔體積為零時，其溫度是 -279.3°C ，最接近絕對零度。而在應用上有氣體溫度計，氣體溫度計被用在精密的測量上。在這個實驗中，我們學會了利用現有的器材解決問題，並且不斷的改良我們的測量儀器，使其更好操作、精密，並可以利用這種態度去自學，讓學習更深更廣。

壹、研究動機

在我們國小六年級上學期的自然課本中，有教到大部分固體、液體、氣體都有熱脹冷縮的特性，而其中又以氣體的熱脹冷縮最明顯，也因為氣體的變化不容易被觀察，所以我們想要藉由觀察不同氣體的熱脹冷縮情形，來瞭解氣體的體積和溫度究竟有什麼關係？在生活上又有什麼運用？

貳、研究目的

- 一、利用實驗室的器材，設計可測量氣體與溫度變化的裝置。
- 二、去了解各種氣體的定理，以證明我們的實驗正確性。
- 三、觀察不同氣體體積與溫度的關係，將實驗數據進行分析，並與相關定理進行比較。
- 四、思考如何利用空氣熱脹冷縮的特性、功能，運用在生活中。

參、研究設備及器材

本實驗裝置與設備分為：氣體製造與收集的裝置與器材、測量氣體體積與溫度變化之裝置與器材、紀錄氣體體積與溫度變化之裝置與器材，與設備與其他裝置與器材，四個部分：

一、氣體製造與收集的裝置與器材

本實驗製造的氣體有乙炔(C_2H_2)、氧氣(O_2)、二氧化碳(CO_2)與氫氣(H_2)，共四種氣體，氣體製造與收集所使用的設備如下所示：

表一 氣體製造與收集的裝置與器材一覽表

| 圖片編碼 | 設備 | 說明 |
|------|------------|--------------------------|
| 1 | 橡皮塞(大) | 防止空氣外洩。 |
| 2 | 橡皮管 | 先將抽濾瓶內的空氣運出，再把橡皮管插入錐形瓶中。 |
| 3 | 抽濾瓶(250ml) | 製造氣體，並收集氣體 |
| 4 | 小錐形瓶(50ml) | 進行上排空氣法或向下排氣法來收集氣體。 |
| 5 | 橡皮塞(小) | 錐形瓶收集氣體完畢後，用來防止氣體外洩。 |



圖一 氣體製造與收集的裝置與器材圖

二、測量氣體體積與溫度變化之裝置與器材

本實驗測量氣體熱脹冷縮裝置的改善如下表所示，本實驗原本採用升溫法搭配 L 型玻璃測量管進行測量，但氣體體積對於溫度的變化相當明顯，氣體膨脹幅度超過 L 型玻璃測量管可以測量的範圍。

所以我們設法改善，想利用針筒取代 L 型玻璃測量管，我們試過 1ml、5ml、60ml，但是針筒的摩擦力太大，氣體膨脹的壓力推不動針筒的活塞，我們將活塞塗抹凡士林來降低摩擦力，但是結果沒有差別，針筒沒有任何的變化，我們在升溫法中沒辦法解決測量工具的限制。

後來改用降溫法搭配 L 型玻璃測量管測量，先讓裝有氣體的錐形瓶放入熱水中，等待錐形瓶內氣體膨脹穩定後，才在 L 型玻璃測量管上方點上黑色墨水，並觀察溫度與黑色墨水(氣體體積)的變化。

表二 測量氣體體積與溫度變化之裝置與器材改善說明表

| 測量裝置 | 第一代測量裝置 | 第二代測量裝置 | 第三代測量裝置 |
|------|---|--|---|
| 溫度變化 | 升溫法 | 升溫法 | 降溫法 |
| 測量容器 | L 型玻璃測量管 | 針筒(1ml、5ml、60ml) | L 型玻璃測量管 |
| 說明 | 氣體膨脹幅度超過 L 型玻璃測量管可以測量的範圍 | 針筒活塞摩擦力太大，氣體放入水中，針筒活塞沒有變化 | 本實驗經過多次改善後找到的方法 |
| 實驗照片 |  <p>升溫法</p> |  <p>1ml 針筒</p>  <p>60ml 針筒</p> |  <p>降溫法</p> |

本實驗之氣體體積與溫度變化紀錄裝置與器材說明如下：

表三 氣體體積與溫度變化紀錄裝置與器材

| 圖片編碼 | 器材 | 說明 |
|------|-----------|--|
| 1 | 電子溫度計 | 原採用酒精溫度計，但數據讀取的辨識度不高，因此改採用電子溫度計，用於測量瓶內水的溫度 |
| 2 | 長尾夾 | 固定錐形瓶 |
| 3 | 橡皮筋 | 固定錐形瓶 |
| 4 | 錐形瓶(50ml) | 裝氣體的容器 |
| 5 | 橡皮塞(小) | 防止空氣外洩 |
| 6 | 橡皮塞(大) | 把瓶子墊高，防止錐形瓶在水裡漂浮晃動 |
| 7 | 燒杯(500ml) | 裝熱水以加溫錐形瓶，並利用在空氣中慢慢冷卻的特性觀察降溫時氣體的體積變化。 |



圖二 氣體體積與溫度變化紀錄裝置與器材圖

三、紀錄氣體體積與溫度變化之裝置與器材

在實驗記錄上，一開始，我們是用紙筆紀錄，不過紙筆紀錄需要花大量時間，在數據讀取與記錄上會有時間差，後來我們利用資訊設備-手機的錄影功能來記錄，但是，面對較長時間的實驗，手持手機的紀錄方式會有搖晃的情況，一個不小心，測量管或溫度計就會跑出螢幕外，同時，我們也無法專心觀察實驗的變化，為了解決這個問題，我們加入了手機架來固定手機，避免晃動的情況，利用手機與手機架，不僅可以完整的記錄實驗過程，我們也可以專心的觀察氣體膨脹與溫度的變化。



圖三 手機與手機架組

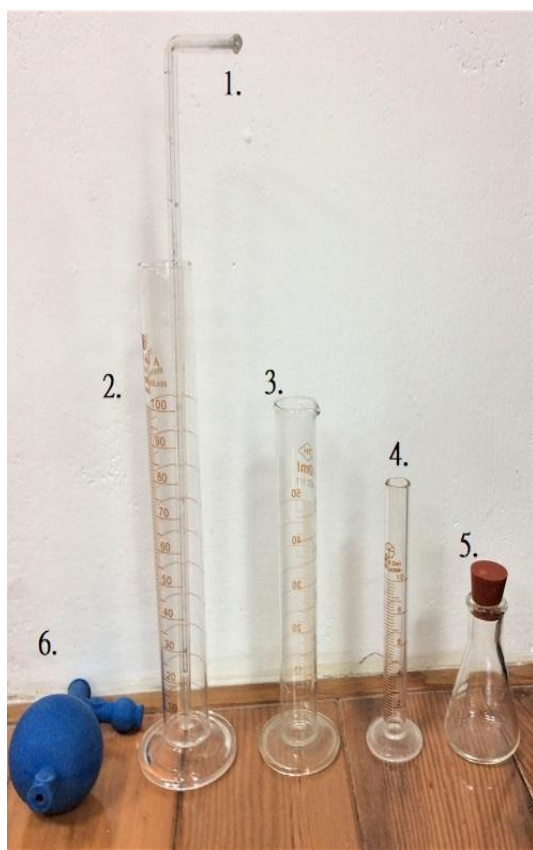
四、其他器材

其他實驗器材將根據圖四之編號依序說明：

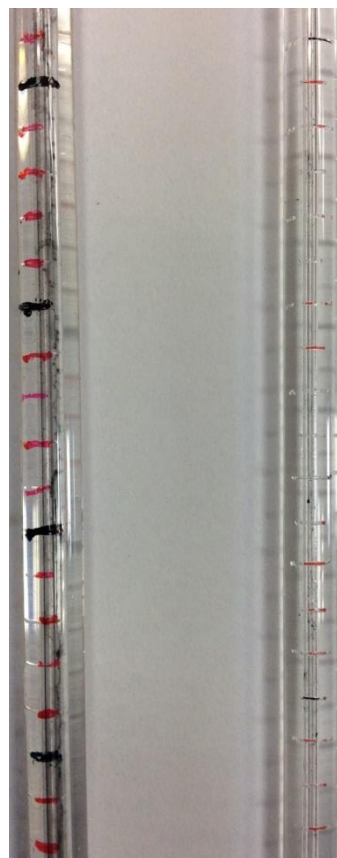
1. L 型玻璃測量管：

為了要了解氣體體積與溫度的關係，我們要用玻璃管上的刻度來紀錄氣體體積的變化，因為一開始在玻璃管上的刻痕不明顯，所以我們在刻度上加畫了不同的刻度與顏色，在玻璃管上每一格畫一個小紅點，每五格畫一條短黑線，每 10 格畫一條長黑線，並且每 10 格刻度標示上數量，以增加數據的可讀性，讓數據的讀取更清楚與方便。圖五為 L 型玻璃測量管改良前後比較圖，左圖是改良前的測量管，右圖是改造後的測量管，可以看得出改良前的和改良後的有明顯的差異。

2. 100mL 量筒：測量用。
3. 50mL 量筒：測量用。
4. 10mL 量筒：協助測量測量管的體積。
5. 錐形瓶(50ml)：我們利用錐形瓶來作為測量氣體的容器，而因為 50ml 的錐形瓶體積很小，很好均勻受熱，所以才使用小型錐形瓶。
6. 安全吸球：我們利用吸球中的空氣來將測量管中殘餘的水排出。



圖四 實驗用的器材

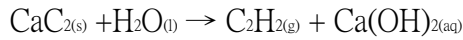


圖五 L 型玻璃測量管改造前後比較圖
(右邊是改良前的測量管，左邊是改造後的測量管)

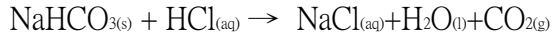
肆、研究過程或方法

一、氣體製造方法

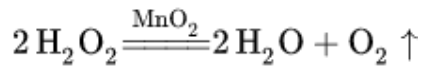
(一) 乙炔 C_2H_2 ：電石+水



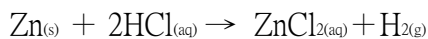
(二) 二氧化碳 CO_2 ：小蘇打粉+鹽酸



(三) 氧氣 O_2 ：二氧化錳+雙氧水



(四) 氫氣 H_2 ：鋅片+鹽酸

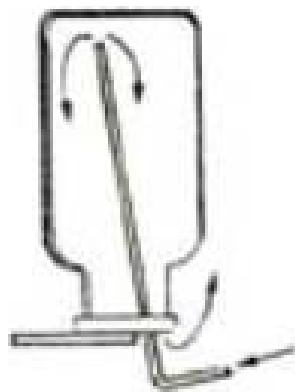


二、氣體收集的方法

我們一開始用排水集氣法來收集氣體，因為排水集氣法可以收集到較純的氣體，但會使錐形瓶中殘留許多水分，而殘留在錐形瓶中的水分會使實驗的誤差增加，所以我們改用向上排氣法和向下排氣法來收集氣體，使收集後水分較少，誤差較小。我們由氣體的分子量和空氣的分子量來決定要用向上排氣法或向下排氣法收集，如果該氣體比空氣重，就要用向上排氣法收集，如果該氣體比空氣輕，就要用向下排氣法收集，但遇到分子量和空氣差不多的氣體時，需要考慮到氣體的純度。

(一) 向上排集氣法：適用於比空氣重的氣體。

(二) 向下排集氣法：適用於比空氣輕的氣體。



圖六 向下排空氣法
(照片出處:維基百科)



圖七 向上排空氣法
(照片出處:維基百科)

三、氣體的特性

(一) 原子與原子量：根據週期表（圖八），可以知道原子的原子量如下表

表四、 原子與原子量

| | | | |
|-----|-------------|-----------|-------------|
| 原子 | 氧原子O | 氫原子H | 碳原子C |
| 原子量 | 15.999 ÷ 16 | 1.008 ÷ 1 | 12.011 ÷ 12 |

Explore **key information** about the chemical elements through this periodic table. See below for the latest on **element 117**.

| Group | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|--------------|----------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Period 1 | 1 H 1.008 | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 He 4.0026 |
| Period 2 | 3 Li 6.94 | 4 Be 9.0122 | | | | | | | | | | | 5 B 10.81 | 6 C 12.011 | 7 N 14.007 | 8 O 15.999 | 9 F 18.998 | 10 Ne 20.180 |
| Period 3 | 11 Na 22.990 | 12 Mg 24.305 | | | | | | | | | | | 13 Al 26.982 | 14 Si 28.085 | 15 P 30.974 | 16 S 32.06 | 17 Cl 35.45 | 18 Ar 39.948 |
| Period 4 | 19 K 39.098 | 20 Ca 40.078 | 21 Sc 44.956 | 22 Ti 47.867 | 23 V 50.942 | 24 Cr 51.996 | 25 Mn 54.938 | 26 Fe 55.845 | 27 Co 58.933 | 28 Ni 58.693 | 29 Cu 63.546 | 30 Zn 65.38 | 31 Ga 69.723 | 32 Ge 72.63 | 33 As 74.922 | 34 Se 78.96 | 35 Br 79.904 | 36 Kr 83.798 |
| Period 5 | 37 Rb 85.468 | 38 Sr 87.62 | 39 Y 88.906 | 40 Zr 91.224 | 41 Nb 92.906 | 42 Mo 95.96 | 43 Tc [97.91] | 44 Ru 101.07 | 45 Rh 102.91 | 46 Pd 106.42 | 47 Ag 107.87 | 48 Cd 112.41 | 49 In 114.82 | 50 Sn 118.71 | 51 Sb 121.76 | 52 Te 127.60 | 53 I 126.90 | 54 Xe 131.29 |
| Period 6 | 55 Cs 132.91 | 56 Ba 137.33 | * 71 Lu 174.97 | 72 Hf 178.49 | 73 Ta 180.95 | 74 W 183.84 | 75 Re 186.21 | 76 Os 190.23 | 77 Ir 192.22 | 78 Pt 195.08 | 79 Au 196.97 | 80 Hg 200.59 | 81 Tl 204.38 | 82 Pb 207.2 | 83 Bi 208.98 | 84 Po [208.98] | 85 At [208.98] | 86 Rn [222.02] |
| Period 7 | 87 Fr [223.02] | 88 Ra [226.03] | ** 103 Lr [262.11] | 104 Rf [265.12] | 105 Db [268.13] | 106 Sg [271.13] | 107 Bh [270] | 108 Hs [277.15] | 109 Mt [276.15] | 110 Ds [281.16] | 111 Rg [280.16] | 112 Cn [285.17] | 113 Uut [284.18] | 114 Fl [289.19] | 115 Uup [288.19] | 116 Lv [293] | 117 Uus [294] | 118 Uuo [294] |
| *Lanthanoids | | | * 57 La 138.91 | 58 Ce 140.12 | 59 Pr 140.91 | 60 Nd 144.24 | 61 Pm [144.91] | 62 Sm 150.36 | 63 Eu 151.96 | 64 Gd 157.25 | 65 Tb 158.93 | 66 Dy 162.50 | 67 Ho 164.93 | 68 Er 167.26 | 69 Tm 168.93 | 70 Yb 173.05 | | |
| **Actinoids | | | ** 89 Ac [227.03] | 90 Th 232.04 | 91 Pa 231.04 | 92 U 238.03 | 93 Np [237.05] | 94 Pu [244.06] | 95 Am [243.06] | 96 Cm [247.07] | 97 Bk [247.07] | 98 Cf [251.08] | 99 Es [252.08] | 100 Fm [257.10] | 101 Md [258.10] | 102 No [259.10] | | |

圖八 元素週期表

(二) 空氣分子量

空氣中含有 78%的氮，21%的氧，及其他微量成分如二氧化碳、水汽、氫等所組成，所以空氣分子量為 28.996 ÷ 29。(參考：維基百科)

(三) 氣體分子量

表五、 氣體分子量

| | | | |
|---------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|
| 氧氣(O ₂) | 氫氣(H ₂) | 二氧化碳(CO ₂) | 乙炔(C ₂ H ₂) |
| 32 | 2 | 44 | 26 |

(四) 各氣體採用之集氣法

1. C_2H_2 (乙炔)：因為 C_2H_2 比空氣輕，因此可以運用向下排集氣法來收集氣體。
2. CO_2 (二氧化碳)：因為 CO_2 比空氣重，因此可以運用向上排集氣法來收集氣體。
3. O_2 (氧)：因為 O_2 比空氣重，因此可以運用向上排集氣法來收集氣體。
4. H_2 (氫)：因為 H_2 比空氣輕，因此可以運用向下排集氣法來收集氣體。

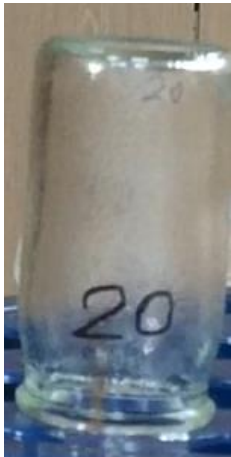
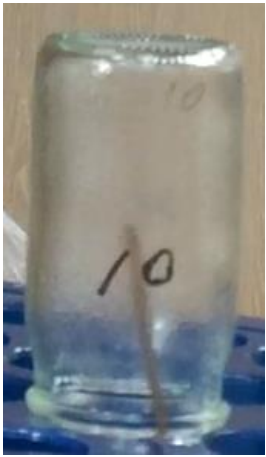

(五) 乙炔濃度實驗和決定收集乙炔的時間

在收集乙炔的過程中，因為乙炔的分子量和空氣的分子量很接近，用向下排氣法收集的乙炔濃度可能受到空氣的影響，為了要了解實驗中乙炔的濃度，我們用高 7.6 公分，底寬 4.4 公分，容量 71ml 的容器進行測試。此外，我們要了解用向下排氣法收集乙炔的時間，是否會影響乙炔的濃度，所以我們改變向下排氣法收集乙炔的時間，分別為 5 秒、10 秒、20 秒，並用點燃的線香深入玻璃瓶，觀察線香燃燒的變化，結果如下表所示：

1. 氣體收集 5 秒時，線香依然在燃燒
2. 氣體收集 10 秒時，線香在離玻璃瓶口 2 公分處熄滅
3. 氣體收集 20 秒時，線香在離玻璃瓶口 0.5 公分處熄滅

根據我們在 Youtube 找到的「化學宅急便:奈米碳尋蹤記」實驗影片中，我們了解當乙炔濃度越低時，瓶中空氣相對越多，燃燒的火越旺盛，乙炔濃度越高時，則空氣較少，燃燒的火越小並且有很多黑煙。本實驗收集乙炔 20 秒時，線香馬上熄滅，收集乙炔 5 秒時，線香的燃燒沒有變化。因此，我們認為用向下排氣法收集乙炔的時間越長，乙炔的濃度越高，空氣越少。利用向下排氣法收集乙炔超過 20 秒以上，可以將瓶中空氣排乾淨，因此在本實驗中，為了要將瓶中空氣排乾淨，我們決定用向下排氣法收集乙炔的時間為 40 秒。

表六、乙炔濃度實驗

| | | | |
|---------|---|--|---|
| 實驗照片 |  |  |  |
| 乙炔的收集時間 | 20 秒 | 10 秒 | 5 秒 |
| 線香燃燒的情況 | 約深入 0.5 公分時熄滅 | 約深入 2 公分時熄滅 | 持續燃燒 |

註：瓶身高 7.6 公分，底寬 4.4 公分，容量 71ml

(七)相關定律

1.亞佛加厥定律:

當溫度、壓力、體積不變時，任何氣體含有相同的分子數（n：莫耳數）。(參考：維基百科)

2.理想氣體方程式:

結合亞佛加厥定律、查理定律和波以耳定律此三定律，可得到理想氣體方程式。理想氣體方程式是指理想氣體的壓力、體積、莫耳數與絕對溫標會滿足下列關係式：(參考：維基百科)

$$PV=nRT$$

P:壓力

V:氣體體積

n:分子數(莫耳數)

R:理想氣體常數

T:絕對溫標

表八、理想氣體與真實氣體的差異

| | |
|-------------------|-------------------|
| 理想氣體 | 真實氣體 |
| 分子本身不佔有體積 | 分子本身佔有體積 |
| 分子間無作用力 | 分子間有作用力 |
| 與器壁或氣體分子間的碰撞無能量損失 | 與器壁或氣體分子間的碰撞有能量損失 |
| 氣體分子只有移動 | 氣體分子有移動、轉動、振動 |
| 符合各種氣體定律 | 不符各種氣體定律 |

出處：理想氣體<http://natural.cmsh.tc.edu.tw/senior/chem/h2text/2-3>

亞佛加厥定律的內容，告訴我們氣體在同溫、同壓、同量時，各個氣體的分子數都相同。因此，我們在實驗時，都盡量讓各個氣體的起始溫度保持在42°C左右，但是因為在等錐形瓶和熱水達到平衡，而錐形瓶因為加溫，所以錐形瓶內氣體壓力提高，要等錐形瓶內氣體壓力與錐形瓶外部氣壓一樣，所以才會有時間差，造成起始溫度的差異。根據理想氣體方程式，我們得知在同壓(P)、同體積(V)時，分子數(n)和絕對溫標(T)有反比關係， $\frac{PV}{R}=nT$ ，在我們的實驗 P、V 都是定值，R 為常數，所以 $nT=定值(K)$ 。我們以 $n=\frac{K}{T}$ ，來求各個氣體與二氧化碳(CO₂)間，分子數(n)的誤差值，分子數誤差值計算公式如下：

$$\frac{n_2 - n_1 - \frac{T_1 - T_2}{T_2} n_1}{n_1}$$

n₁:二氧化碳氣體的分子數

n₂:其他氣體的分子數

T₁:二氧化碳的溫度(絕對溫標)

T₂:其他氣體的溫度(絕對溫標)

表九、各氣體溫度與二氧化碳的誤差值

| 項目 | 乙炔 C ₂ H ₂ | 二氧化碳 CO ₂ | 氫氣 H ₂ | 氧氣 O ₂ |
|----------------------|----------------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| 溫度(攝氏°C) | 40.1 | 35.4 | 35.1 | 34.4 |
| 溫度(絕對溫標) | 313.25 | 308.55 | 308.25 | 307.55 |
| 溫度誤差值 (以二氧化碳當標準) | 1.52% | - | 0.10% | 0.32% |
| 分子數誤差值 (以二氧化碳當標準) | -1.50% | - | 0.10% | 0.33% |

4.查理定律:

1787 年，查理藉由研究氧、氮、氫、二氧化碳以及空氣等在 0°C 與 100°C 間熱膨脹的情形，發現當壓力維持一定時，定量氣體溫度每升高(或降低)1°C，其體積會增加(或減少)其在 0°C 時體積的 1/267，所以氣體體積與溫度呈現線性關係。1847 年法國化學家雷諾將之修正為 1/273.15，當氣體溫度達到-273.15°C，也就是達到絕對零度時，其總體積為零。(參考：維基百科)

5.絕對零度:

是熱力學的最低溫度，是粒子動能低到量子力學最低點時的溫度。絕對零度僅存於理論值，等於攝氏溫標零下 273.15 度（即-273.15°C）。理論上，若粒子動能低到量子力學的最低點時，物質即達到絕對零度，不能再低。因為任何空間必然存有能量和熱量，也不斷進行相互轉換而不消失。所以絕對零度是不存在的。在此一理論中，所有物質完全沒有粒子振動，其總體積並且為零。(參考：維基百科)

實驗中，氧氣、二氧化碳、氫氣、乙炔的壓力都相同，起始的溫度落在 34.4°C~40.1°C 之間，溫度的最大差異值是 1.52%。根據亞佛加厥定律與理想氣體方程式，說明這四種氣體的分子數都很接近，分子數的最大差異值是-1.50%。而我們的玻璃管有和外部相通，所以四種氣體的壓力都是相同的。根據查理定律:氣體在定壓、定量時，體積會和溫度成正比，雖然我們的溫度造成了氣體分子數有些微不一樣，但我們的實驗中各氣體的分子數相當接近，且在同一氣體的實驗中是密閉的，分子數一直保持固定，是符合查理定律的定壓、定量的條件

四、L 型玻璃測量管體積測量

為了獲得測量管每一個刻度的體積，我們把測量管垂直放進一個裝滿水的 100ml 量筒中並按住測量管的上方開口，吸取等高的水，並將管內的水置入 10ml 量筒中，同時記錄測量管的刻度，重複執行 10 次，最後，我們再把 10ml 量筒中所有的水量除以全部的刻度數，就可以算出平均每一個刻度為 0.2mL。在實驗過程中，我們會用抹布擦掉玻璃管旁邊的水，以降低實驗的誤差，實驗數據如下表所示。

表十、玻璃管的體積測量記錄表

| 次數 | 測量管刻度 | 總體積(ml) |
|----------|-------|---------|
| 1 | 47.1 | 9.4 |
| 2 | 45.8 | |
| 3 | 40.4 | |
| 4 | 45.7 | |
| 5 | 45.9 | |
| 6 | 45.0 | |
| 7 | 44.1 | |
| 8 | 43.0 | |
| 9 | 43.0 | |
| 10 | 43.2 | |
| 總格數 | 443.2 | |
| 平均每小格體積: | | 0.02 |

五、數據收集方法

本研究將收集完氣體的錐形瓶放入裝有熱水的大燒杯中加熱，等氣體與熱水達到相同溫度後，氣體隨著熱水開始緩慢降溫，這個時候我們會在 L 型玻璃測量管上方點入黑色墨水，並開始利用降溫法來觀察與記錄溫度與氣體體積的變化，我們利用錄影的方式，把每個溫度降低 0.1℃ 時的氣體體積藉由影片中，L 型玻璃測量管的刻度讀取出來，此方法可以準確觀察到溫度與體積細微的變化，而且由圖十一的線性方程式可以觀察到，在攝氏 35~40 度之間，氣體的體積變化非常規律，每上升 0.1 度，都可以量測到體積的差異。實驗之後，我們在根據錄影影片，進行資料數據的整理，刻度與體積的轉換如下

$$\text{氣體體積} = \text{錐形瓶體積} + [(60 - \text{讀取刻度})] \times \text{刻度單位體積}$$

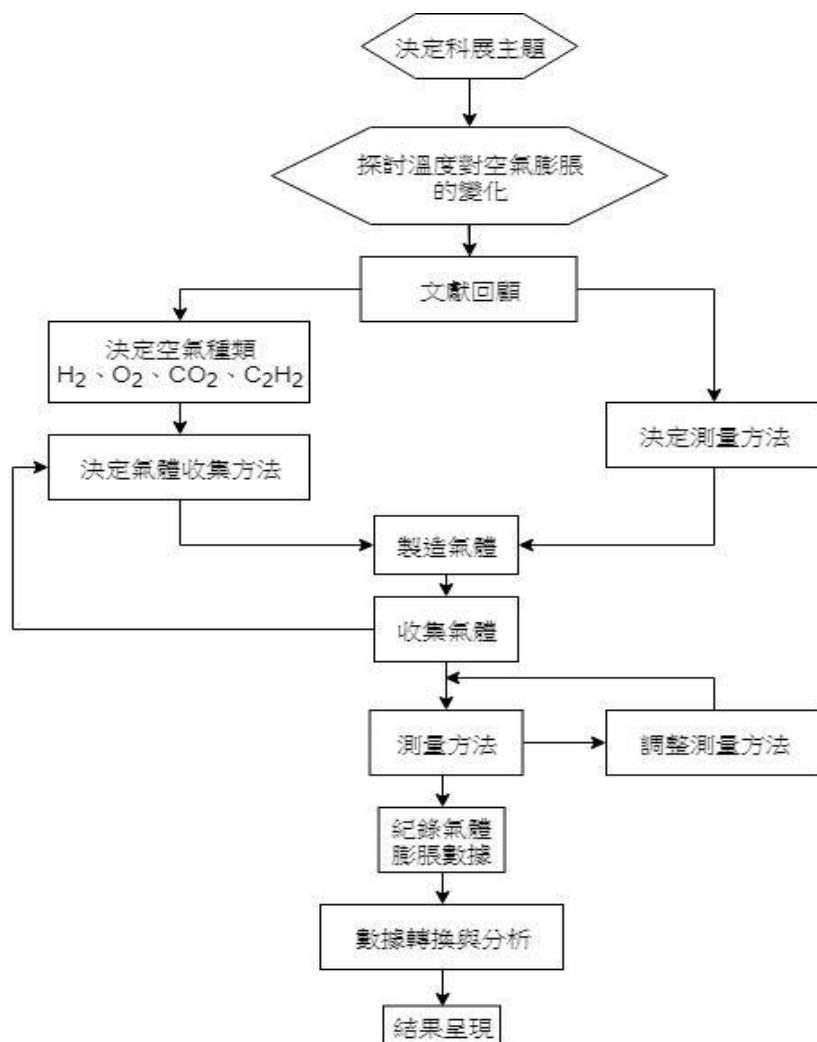
註 1：L 型玻璃測量管總刻度為 60

註 2：L 型玻璃測量管刻度為由上而下遞增

註 3：刻度單位體積為 0.02ml

註 4：錐形瓶體積為 57.5ml

六、實驗流程



圖九 氣體膨脹實驗流程圖

伍、實驗結果

一、實驗數據

本實驗測量了乙炔(C₂H₂)、氧氣(O₂)、二氧化碳(CO₂)與氫氣(H₂)，共四種氣體，以下是各氣體體積與溫度變化的測量數據：

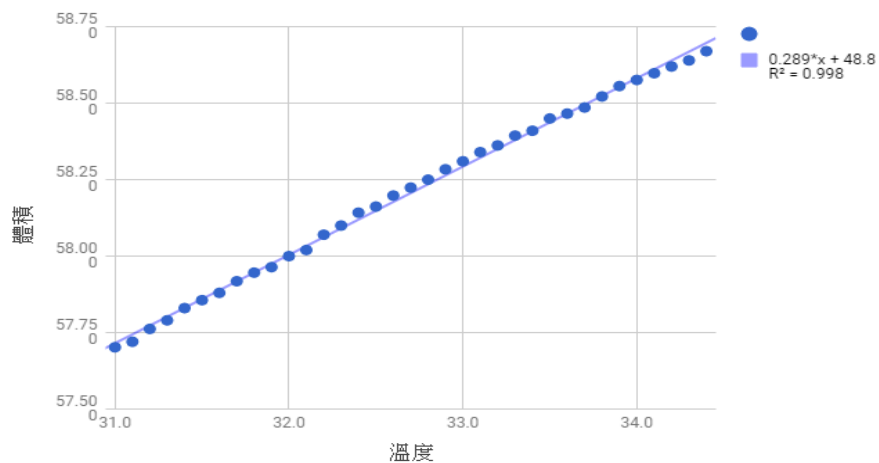
表十一、氣體體積與溫度變化的測量數據表

| CO ₂ | | | C ₂ H ₂ | | | H ₂ | | | O ₂ | | |
|-----------------|------|------------|-------------------------------|------|------------|----------------|------|------------|----------------|------|------------|
| 溫度 (°C) | 刻度 | 體積 (mL) | 溫度 (°C) | 刻度 | 體積 (mL) | 溫度 (°C) | 刻度 | 體積 (mL) | 溫度 (°C) | 刻度 | 體積 (mL) |
| 35.4 | 1.2 | 58.676 | 40.1 | 1.0 | 58.680 | 34.9 | 1.2 | 58.676 | 34.4 | 1.5 | 58.670 |
| 35.3 | 2.8 | 58.644 | 40.0 | 1.0 | 58.680 | 35.1 | 2.7 | 58.646 | 34.3 | 3.0 | 58.640 |
| 35.2 | 3.8 | 58.624 | 39.9 | 2.0 | 58.660 | 35.0 | 4.0 | 58.620 | 34.2 | 4.0 | 58.620 |
| 35.1 | 4.6 | 58.608 | 39.8 | 2.0 | 58.660 | 34.9 | 5.6 | 58.588 | 34.1 | 5.1 | 58.598 |
| 35.0 | 5.4 | 58.592 | 39.7 | 2.9 | 58.642 | 34.8 | 7.0 | 58.560 | 34.0 | 6.2 | 58.576 |
| 34.9 | 6.9 | 58.562 | 39.6 | 3.5 | 58.630 | 34.7 | 8.9 | 58.522 | 33.9 | 7.2 | 58.556 |
| 34.8 | 8.8 | 58.524 | 39.5 | 3.9 | 58.622 | 34.6 | 11.0 | 58.480 | 33.8 | 8.9 | 58.522 |
| 34.7 | 10.5 | 58.490 | 39.4 | 4.2 | 58.616 | 34.5 | 12.0 | 58.460 | 33.7 | 10.7 | 58.486 |
| 34.6 | 11.0 | 58.480 | 39.3 | 5.1 | 58.598 | 34.4 | 13.9 | 58.422 | 33.6 | 11.7 | 58.466 |
| 34.5 | 12.2 | 58.456 | 39.2 | 5.5 | 58.590 | 34.3 | 15.0 | 58.400 | 33.5 | 12.5 | 58.450 |
| 34.4 | 15.3 | 58.394 | 39.1 | 6.5 | 58.570 | 34.2 | 17.1 | 58.358 | 33.4 | 14.5 | 58.410 |
| 34.3 | 16.5 | 58.370 | 39.0 | 7.1 | 58.558 | 34.1 | 19.0 | 58.320 | 33.3 | 15.3 | 58.394 |
| 34.2 | 18.0 | 58.340 | 38.9 | 8.8 | 58.524 | 34.0 | 21.0 | 58.280 | 33.2 | 16.9 | 58.362 |
| 34.1 | 19.8 | 58.304 | 38.8 | 9.2 | 58.516 | 33.9 | 22.9 | 58.242 | 33.1 | 18.0 | 58.340 |
| 34.0 | 21.0 | 58.280 | 38.7 | 9.4 | 58.512 | 33.8 | 24.9 | 58.202 | 33.0 | 19.5 | 58.310 |
| 33.9 | 22.0 | 58.260 | 38.6 | 10.7 | 58.486 | 33.7 | 26.5 | 58.170 | 32.9 | 20.8 | 58.284 |
| 33.8 | 23.5 | 58.230 | 38.5 | 11.9 | 58.462 | 33.6 | 28.1 | 58.138 | 32.8 | 22.5 | 58.250 |
| 33.7 | 25.1 | 58.198 | 38.4 | 12.0 | 58.460 | 33.5 | 29.5 | 58.110 | 32.7 | 23.8 | 58.224 |
| 33.6 | 26.3 | 58.174 | 38.3 | 12.1 | 58.458 | 33.4 | 32.0 | 58.060 | 32.6 | 25.1 | 58.198 |
| 33.5 | 27.1 | 58.158 | 38.2 | 13.2 | 58.436 | 33.3 | 34.0 | 58.020 | 32.5 | 26.9 | 58.162 |
| 33.4 | 27.9 | 58.142 | 38.1 | 14.6 | 58.408 | 33.2 | 39.0 | 57.920 | 32.4 | 27.9 | 58.142 |
| 33.3 | 29.5 | 58.110 | 38.0 | 14.9 | 58.402 | 33.1 | 39.5 | 57.910 | 32.3 | 30.0 | 58.100 |
| 33.2 | 31.1 | 58.078 | 37.9 | 15.5 | 58.390 | 33.0 | 40.9 | 57.882 | 32.2 | 31.5 | 58.070 |
| 33.1 | 33.5 | 58.030 | 37.8 | 16.7 | 58.366 | 32.9 | 41.5 | 57.870 | 32.1 | 34.0 | 58.020 |
| 33.0 | 35.0 | 58.000 | 37.7 | 17.9 | 58.342 | 32.8 | 44.5 | 57.810 | 32.0 | 35.0 | 58.000 |
| 32.9 | 38.9 | 57.922 | 37.6 | 19.0 | 58.320 | 32.7 | 46.0 | 57.780 | 31.9 | 36.8 | 57.964 |
| 32.8 | 40.8 | 57.884 | 37.5 | 19.6 | 58.308 | 32.6 | 48.5 | 57.730 | 31.8 | 37.7 | 57.946 |
| 32.7 | 42.1 | 57.858 | 37.4 | 20.1 | 58.298 | 32.5 | 51.3 | 57.674 | 31.7 | 39.1 | 57.918 |
| 32.6 | 44.9 | 57.802 | 37.3 | 22.0 | 58.260 | 32.4 | | | 31.6 | 41.0 | 57.880 |
| | | | 37.2 | 22.6 | 58.248 | | | | 31.5 | 42.2 | 57.856 |
| | | | 37.1 | 23.3 | 58.234 | | | | 31.4 | 43.5 | 57.830 |

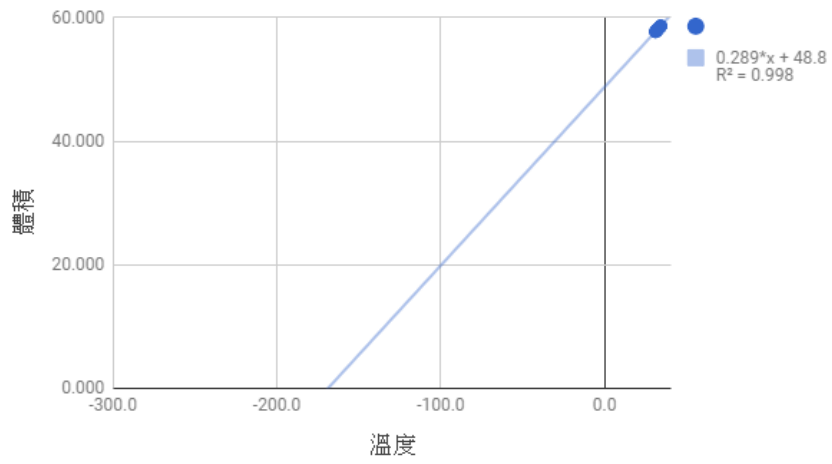
| | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|------|------|--------|--|--|--|------|------|--------|
| | | | 37.0 | 24.4 | 58.212 | | | | 31.3 | 45.5 | 57.790 |
| | | | 36.9 | 26.0 | 58.180 | | | | 31.2 | 46.9 | 57.762 |
| | | | 36.8 | 27.0 | 58.160 | | | | 31.1 | 49.0 | 57.720 |
| | | | 36.7 | 28.0 | 58.140 | | | | 31.0 | 49.9 | 57.702 |
| | | | 36.6 | 28.5 | 58.130 | | | | | | |
| | | | 36.5 | 29.6 | 58.108 | | | | | | |
| | | | 36.4 | 31.1 | 58.078 | | | | | | |
| | | | 36.3 | 32.2 | 58.056 | | | | | | |
| | | | 36.2 | 33.1 | 58.038 | | | | | | |
| | | | 36.1 | 35.8 | 57.984 | | | | | | |
| | | | 36.0 | 37.7 | 57.946 | | | | | | |
| | | | 35.9 | 38.9 | 57.922 | | | | | | |
| | | | 35.8 | 39.2 | 57.916 | | | | | | |
| | | | 35.7 | 40.5 | 57.890 | | | | | | |
| | | | 35.6 | 41.1 | 57.878 | | | | | | |
| | | | 35.5 | 41.6 | 57.868 | | | | | | |
| | | | 35.4 | 42.7 | 57.846 | | | | | | |

二、CO₂、C₂H₂、H₂、O₂ 溫度影響氣體體積之實驗數據散佈情形

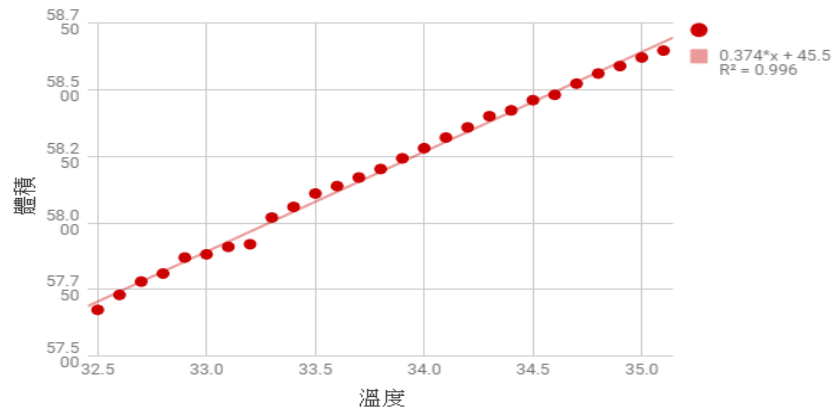
我們將上表各氣體體積與溫度的關係作圖，並且利用 google 試算表軟體進行線性回歸的分析，加上趨勢線，計算出氣體體積隨溫度變化的線性方程式，如下圖所示，從下圖可以看出每一個氣體方程式的 X 軸每升高或降低攝氏一度，體積的變化，並且根據查理定律，由方程式去推算，當氣體收縮到體積等於零時的溫度。



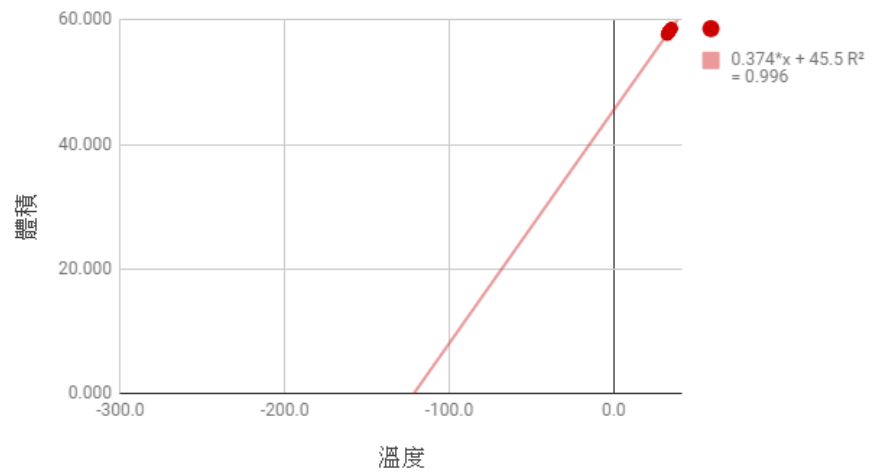
圖十 (a)、O₂ 體積與溫度之關係



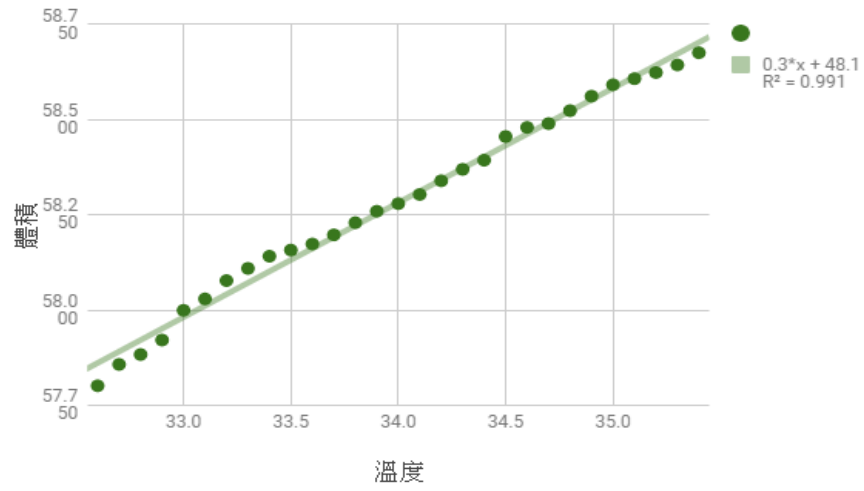
圖十 (b)、O₂ 體積與溫度關係趨勢圖



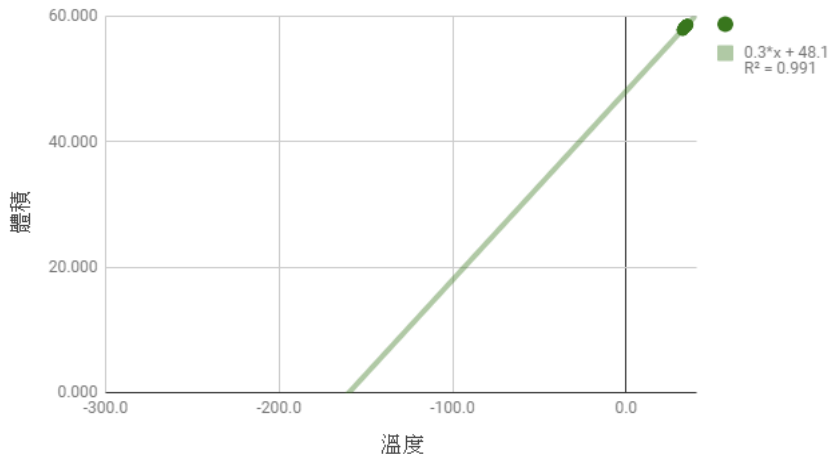
圖十一 (a)、H₂ 體積與溫度之關係



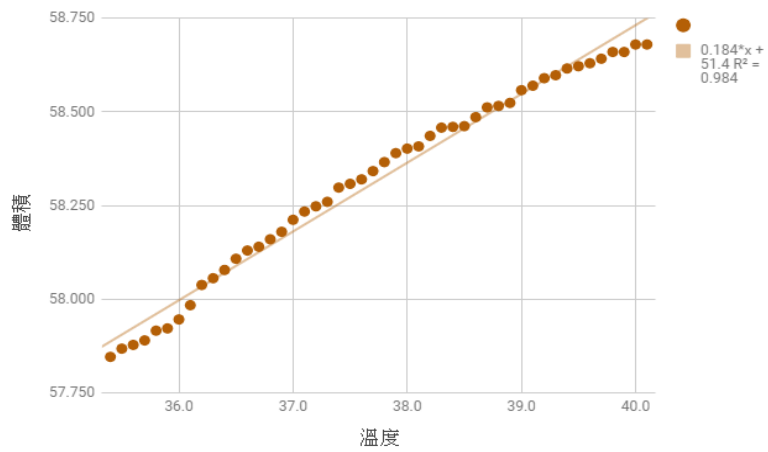
圖十一 (b)、H₂ 體積與溫度關係趨勢圖



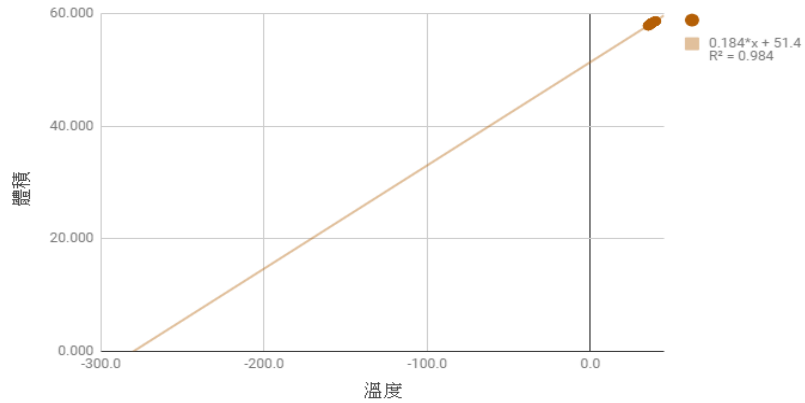
圖十二 (a)、CO₂體積與溫度之關係



圖十二 (b)、CO₂體積與溫度關係趨勢圖



圖十三 (a)、C₂H₂體積與溫度之關係



圖十三 (b)、C₂H₂ 體積與溫度關係趨勢圖

陸、討論

本實驗為氣體體積與溫度變化之關係研究，在這裡我們將分為三個部分進行討論：

一、查理定律

(一)本研究將實驗數據利用 Google 試算表進行線性迴歸分析，發現 CO₂ 的相關係數(R²) 為 0.991、C₂H₂ 為 0.984、H₂ 為 0.996、O₂ 為 0.998，四種氣體的相關係數都非常接近 1，顯示四種氣體都很接近其線性方程式，如下表所示，也就是這四種氣體體積與溫度成線性關係。

根據查理定律「氣體體積與溫度成線性關係」，所以我們的實驗結果與查理定律吻合。

表十二、各氣體的體積溫度變化之線性方程式

| 氣體 | 方程式 | 斜率(ml/°C) | 相關係數(R ²) |
|-------------------------------|----------------|-----------|-----------------------|
| CO ₂ | V=0.3*T+48.1 | 0.3 | 0.991 |
| C ₂ H ₂ | V=0.184*T+51.4 | 0.184 | 0.984 |
| H ₂ | V=0.374*T+45.5 | 0.374 | 0.996 |
| O ₂ | V=0.289*T+48.8 | 0.289 | 0.998 |

註：V 代表體積；T 代表溫度

(二)因為查理定律「氣體體積與溫度成線性關係」，而且本實驗與查理定律結果相吻合。所以我們將趨勢線延伸，將氣體體積假設為零，並求出其溫度，如下表所示。氧氣的溫度為-168.9°C、氫氣為 121.7°C、二氧化碳為 160.3°C、乙炔為 279.3°C，發現本研究之乙炔在體積等於零時，相當接近絕對零度-273.15°C，誤差為 2.25%。

表十三、各氣體在體積為零時的溫度

| 氧氣(O ₂) | 氫氣(H ₂) | 二氧化碳(CO ₂) | 乙炔(C ₂ H ₂) |
|---------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|
| -168.9°C | -121.7°C | -160.3°C | -279.3°C |

(三)氧氣(O₂)、氫氣(H₂)、二氧化碳(CO₂)、乙炔(C₂H₂)這四個氣體中，乙炔在體積為零時，所推算的溫度為-279.3°C，最接近理論值-273.15°C，乙炔也是變化最緩和的氣體(斜率只有 0.184mL/°C)，相對的，與絕對零度落差最大的氣體是氫(-121.7°C)，也是變化最劇烈的氣體，而氧氣和二氧化碳的斜率是處於乙炔及氫氣的中間。

二、氣體分子量、沸點、分子引力的比較

我們想了解造成不同氣體在體積為零時的溫積差異，所以進行了比較，如下表所示。我們在分子量中，找不到規則，在沸點上，我們發現，沸點越高，氣體在體積為零時的溫度越低，沸點與分子間的引力有關係，沸點越高，分子間引力越大，所以，分子之間的吸引力大，氣體在體積為零時的溫度越低。

表十四、各氣體分子形狀與沸點

| 氣體 | 氧氣(O ₂) | 氫氣(H ₂) | 二氧化碳(CO ₂) | 乙炔(C ₂ H ₂) |
|-------------|---------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|
| 分子量 | 32 | 2 | 44 | 26 |
| 沸點 | -183°C | -253°C | 無 | -84°C |
| 氣體在體積為零時的溫積 | -168.9°C | -121.7°C | -160.3°C | -279.3°C |

三、比較與改善

邱智宏(2002)文獻和本實驗非常相近，所以我們根據這篇文獻進行比較，以作為以後本實驗改善的方向。

本實驗利用熱水升溫，再用降溫法搭配 L 型玻璃管，來測量氣體體積與溫度的關係。而文獻的研究是利用加熱板加溫並記錄氣體體積的變化，再讓氣體降溫並紀錄氣體體積的變化，文獻中測量兩種氣體，並重新測量數據三次。

表十五、本研究與文獻研究的差異

| | 本研究 | 文獻 |
|------|-----------------------|-----------------------|
| 溫度變化 | 降溫法 | 升溫法後降溫法 |
| 起始溫度 | 室溫升到 42°C 再降到 30°C 左右 | 室溫升到 80°C 再降到 25°C 左右 |
| 加熱工具 | 熱水 | 加熱板 |
| 氣體種類 | 1.氫氣 | 1.氫氣 |
| | 2.乙炔 | 2.空氣 |
| | 3.氧氣 | |
| | 4.二氧化碳 | |

四、解決問題

本研究經過幾次嘗試與調整，最後採用降溫法來觀察氣體體積的變化，因為大燒杯中的溫水溫度下降較緩慢又均勻，錐形瓶中的氣體比較容易跟溫水達到相同的溫度，緩慢下降。

在記錄數據方面，我們的氣體測量組一開始必須用手固定錐形瓶並且用紙筆紀錄，發現這樣觀察不清楚，還有容易晃動，可能造成誤差，所以我們把氣體測量組改良，用橡皮塞、長尾夾、橡皮筋來固定氣體測量組。

在測量方面，我們本來用針筒進行測量，不過因為針筒的摩擦力太大，就算我們塗凡士林在針筒活塞上，也無法改善，於是最終改為 L 型玻璃管搭配降溫法進行測量。並且由本來的紙筆紀錄改為錄影，降低了實驗的誤差。

五、氣體熱脹冷縮的運用

氣體溫度計是利用定量的氣體來做為工作物質的溫度計，氣體溫度計的精確性很高，多用於精密測量。氣體溫度計中的氣體是氫氣或氮氣，之所以使用這兩種氣體，是因為這兩種氣體的液化溫度很低，很接近絕對零度。

柒、結論

一、實驗數據分析

我們利用實驗室內現有的器材，製作了可觀察氣體體積與溫度關係的裝置，測量氫氣、氧氣、乙炔、二氧化碳四種氣體體積與溫度的變化，並利用 Google 試算表進行實驗數據分析，結果發現四種氣體的體積與溫度變化呈線性關係，而且在四種氣體中，乙炔在體積為零時，其溫度是 -279.3°C ，接近絕對零度 -273.15°C 。我們利用這個實驗驗證查理定律氣體體積與溫度呈線性關係，並且本實驗乙炔當體積為零時，其溫度接近絕對零度。

二、解決問題

- (一)本研究經過幾次嘗試與調整，最後採用降溫法來觀察氣體體積的變化，因為大燒杯中的溫水溫度下降較緩慢又均勻，錐形瓶中的氣體比較容易跟溫水達到相同的溫度，緩慢下降。
- (二)在記錄數據方面，我們的氣體測量組一開始必須用手固定錐形瓶並且用紙筆紀錄，發現這樣觀察不清楚，還有容易晃動，可能造成誤差，所以我們把氣體測量組改良，用橡皮塞、長尾夾、橡皮筋來固定氣體測量組。
- (三)在測量方面，我們本來用針筒進行測量，不過因為針筒的摩擦力太大，就算我們塗凡士林在針筒壁面上，也無法改善，於是最終改為 L 型玻璃管搭配降溫法進行測量。並且由本來的紙筆紀錄改為錄影，降低了實驗的誤差。
- (四)在 L 型玻璃管方面我們也做了改善，本來不易讀取的刻度，畫上記號後，就變成易讀、清楚的裝置。
- (五)因為乙炔的分子量和空氣的分子量相近，所以利用向下排氣法，會有濃度的疑慮，所以我們利用觀察線香的燃燒情況後，發現只要收集時間越久，瓶子裡乙炔的濃度就越高，所以我們利用增長收集乙炔的時間，來提高乙炔的濃度。

三、我們發現四種實驗氣體中，氫氣的體積受溫度影響的變化最大，可以偵測的靈敏度也最高，但是由於氫氣易燃的特性，所以不能被廣泛使用，或者在使用上要非常小心，不過也可以利用靈敏度第二高的二氧化碳來製作偵測的氣體。

四、我們嘗試了許多次製造氣體、收集氣體的方法，並遇到許多測量體積的困難，在研究過程中，我們學會了探究問題，尋找方法與解決問題的能力，也感謝老師的協助與指導。

五、這次研發出來的氣體體積-溫度觀測裝置，是低成本並且可行的裝置，適合用在國高、中、小學的實驗室，可以用較少的金錢來做驗證查理定律的實驗。

六、由於本實驗乙炔的結果很接近絕對溫度，但是另外三種氣體的實驗結果和絕對溫度有一些差距。而我們與文獻進行了比較，發現未來可以改善實驗裝置的方法：

(一)實驗的溫度範圍可以加大(20°C~80°C)

(二)我們的加熱方式可以改進

(三)在高溫下，要考慮水蒸氣所占的體積

(四)測量氣體的體積可以減少，使熱平衡更快速

(五)考量溫度計校正與測量誤差

七、氣體的熱脹冷縮有被運用在氣體溫度計中，氣體溫度計內的氣體有含我們的實驗氣體「氫氣」，而其原因是氫氣的液化溫度很低，測量範圍廣、且精密，被運用在測量低溫的物質。

八、我們在這個實驗中，在探究中認識了查理定律，並學會了實驗驗證、問題解決的態度，未來我們可以利用這個態度進行自主學習，讓學習更深、更廣。

捌、參考資料及其他

1. 維基百科:<https://goo.gl/QDYV97>(元素週期表)
2. 國小教科書:<https://goo.gl/ldWWeo>(氣體收集方法)
3. 百度百科:<https://goo.gl/7Mk79W>(小蘇打粉加鹽酸反應式)
4. 中學化學示範實驗 <https://goo.gl/UsWF86>(恆春出火---電石與水的化學反應)
5. 認識化學反應 <https://goo.gl/DNeLER>
6. 維基百科 <https://goo.gl/FD41P2>(氧氣)
7. 科學小玩意 <https://goo.gl/NtVTLk>(幾個好用的線上元素週期表)
8. 維基百科 <https://goo.gl/J8V9BS>(空氣)
9. 維基百科 <https://goo.gl/mmoX7h>(查理定律)
10. 維基百科 <https://goo.gl/o8pGv8>(絕對零度)
11. 維基百科 <https://goo.gl/uGnCoq>(亞佛加厥定律)
12. <https://goo.gl/F8z2qC>(理想氣體)
13. 邱智宏(2002)·絕對零度的簡易求法·*科學教育月刊*，252，30-34。
14. 102 年度教學資源研發推廣小組差異化教學示例影片 <https://goo.gl/rCe8UJ>(奈米碳尋蹤記)
15. 百度百科
<https://baike.baidu.com/item/%E6%B0%94%E4%BD%93%E6%B8%A9%E5%BA%A6%E8%AE%A1>(氣體溫度計)
16. 乾淨空氣 http://lain.atm.ncu.edu.tw/libary/lain_4/encyclopaedia/lainbook/Ch1/1-3p0.htm
17. 理想氣體 <http://natural.cmsh.tc.edu.tw/senior/chem/h2text/2-3>

【評語】 080119

本研究藉由觀察不同氣體的熱脹冷縮來瞭解氣體的體積和溫度間的關係，利用排水集氣法收集使用的氣體。參與此工作的同學們對研究的對象做了相當不錯的事前調查和了解，是很好的研究態度；並以親手實做的方式，配合實驗的分析技術來體會經典的物理原理。美中不足的一點是這個工作與教科書上的內容太過相近，如果能夠有些新的概念或是想法會更好。

摘要

我們利用現有的實驗器材來製作氣體體積與溫度變化觀測工具，我們將實驗數據進行分析，發現氫氣、乙炔、二氧化碳、氧氣這四種氣體，和查理定律中「氣體體積與溫度變化呈線性關係」相符。而查理定律中提到，當到達絕對零度(-273.15°C)時其物質總體積為零，於是我們推算當氣體體積為零時的溫度，結果發現，當乙炔體積為零時，其溫度是-279.3°C，最接近絕對零度。而氣體熱脹冷縮的特性在實務上，可以被做成精密的溫度計。在這個實驗中，我們學會了利用現有的器材解決問題，並且不斷的改良我們的測量儀器，使其更好操作、精密，並可以利用這種態度去自學，讓學習更深更廣。

壹、研究動機

在我們國小六年級上學期的自然課本中，有教到大部分固體、液體、氣體都有熱脹冷縮的特性，而其中又以氣體的熱脹冷縮最明顯，也因為氣體的變化不容易被觀察，所以我們想要瞭解不同氣體的體積和溫度究竟有什麼關係？在生活上又有什麼運用？

貳、研究目的

- 一、利用實驗室的器材，設計可測量氣體與溫度變化的裝置。
- 二、了解各種有關氣體的定理，以證明我們的實驗正確性。
- 三、將實驗數據進行分析，並與相關定理進行比較。
- 四、思考如何利用氣體熱脹冷縮的特性、功能，運用在生活中。

參、研究設備及器材

本實驗裝置與設備分為：氣體製造與收集的裝置與器材、測量氣體體積與溫度變化之裝置與器材、紀錄氣體體積與溫度變化之裝置與器材，與設備與其他裝置與器材，四個部分：

一、氣體製造與收集的裝置與器材

本實驗製造的氣體有乙炔、氧氣、二氧化碳與氫氣，共四種氣體，氣體製造與收集所使用的設備如下所示：



圖一 氣體製造與收集的裝置與器材圖

二、測量氣體體積與溫度變化之裝置與器材

本實驗測量氣體熱脹冷縮裝置經過三代的改善，第一代採用升溫法搭配L型玻璃測量管進行測量，但氣體膨脹幅度超過L型玻璃測量管可以測量的範圍。所以我們設法改善，第二代利用針筒取代L型玻璃測量管，但是針筒的摩擦力太大，實驗裝置仍然失敗。第三代我們改用降溫法搭配L型玻璃測量管測量，才能夠順利進行氣體體積與溫度變化的實驗，我們改善過程如下表所示

表一、測量氣體體積與溫度變化之裝置與器材改善說明表

| 測量裝置 | 第一代測量裝置 | 第二代測量裝置 | 第三代測量裝置 |
|------|------------------------|----------------------------|------------------|
| 溫度變化 | 升溫法 | 升溫法 | 降溫法 |
| 測量容器 | L型玻璃測量管 | 針筒 (1ml、5ml、60ml) | L型玻璃測量管 |
| 說明 | 氣體膨脹幅度超過L型玻璃測量管可以測量的範圍 | 針筒活塞摩擦力太大，氣體放入水中，針筒活塞沒有變化 | 溫度緩慢下降，可清楚觀測實驗變化 |
| 實驗照片 | <p>升溫法</p> | <p>1ml針筒</p> <p>60ml針筒</p> | <p>降溫法</p> |

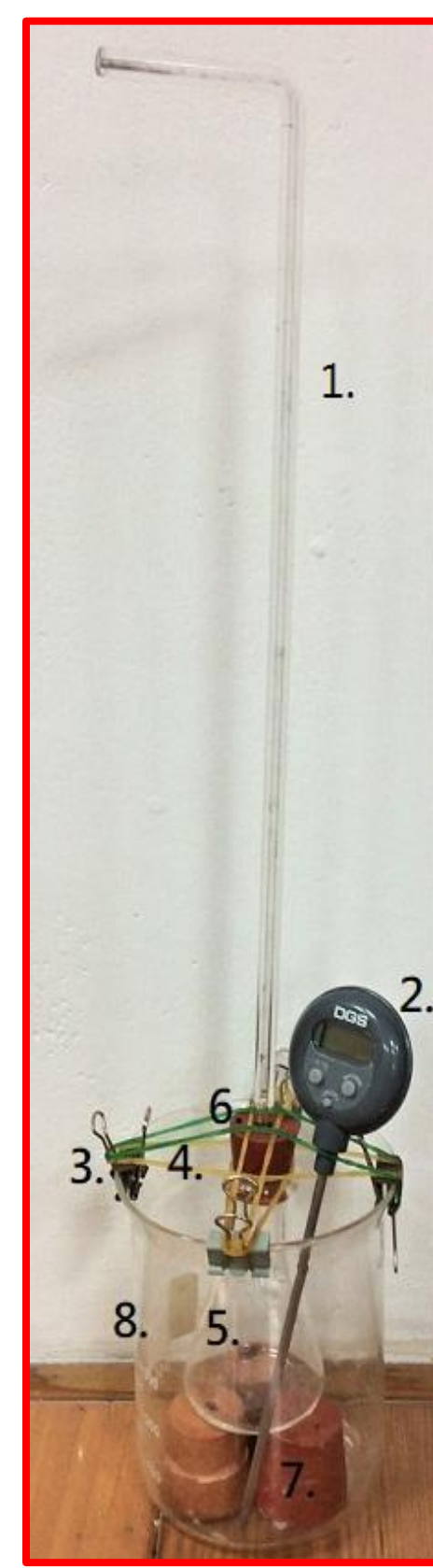
本實驗最終之氣體體積與溫度變化紀錄裝置如下圖：

三、紀錄氣體體積與溫度變化之裝置與器材

在實驗記錄上，一開始，我們是用紙筆紀錄，不過紙筆紀錄需要花費大量時間，在數據讀取與記錄上會有時間差，後來我們利用資訊設備-手機的錄影功能搭配手機架來進行實驗記錄。



圖三 手機與手機架組



圖二 最終版之氣體體積與溫度變化裝置

四、其他器材

其他實驗器材將根據圖四之編號依序說明：

1. L型玻璃測量管：

L型玻璃管上雖然有刻度，但是刻痕不明顯，所以我們在刻度上加畫了不同的刻度與顏色，讓數據的讀取更清楚與方便。圖五為L型玻璃測量管改良前後比較圖，左圖是改良前的測量管，右圖是改造後的測量管，可以看得出改良前的和改良後的有明顯的差異。

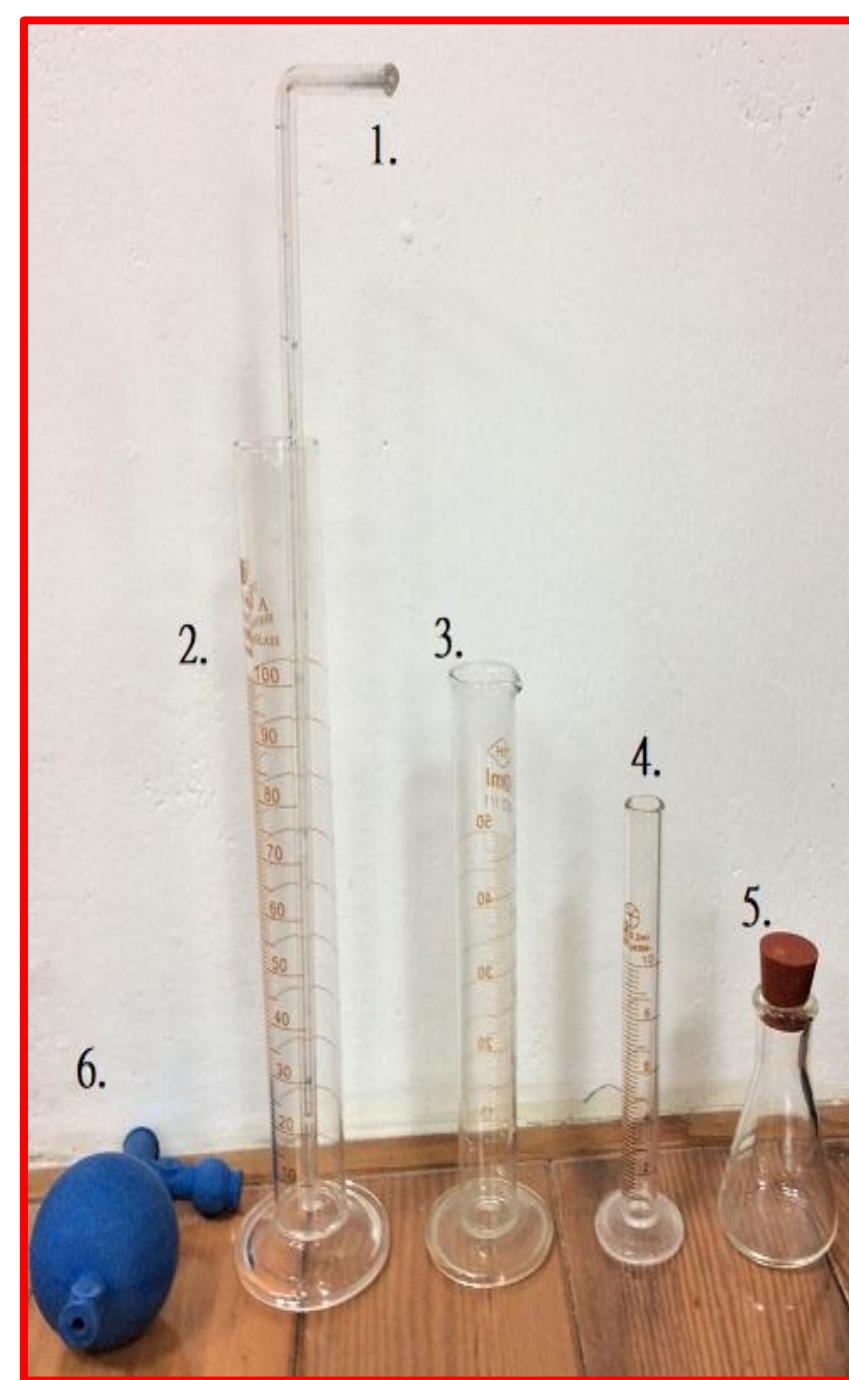
2. 100mL量筒：測量用。

3. 50mL量筒：測量用。

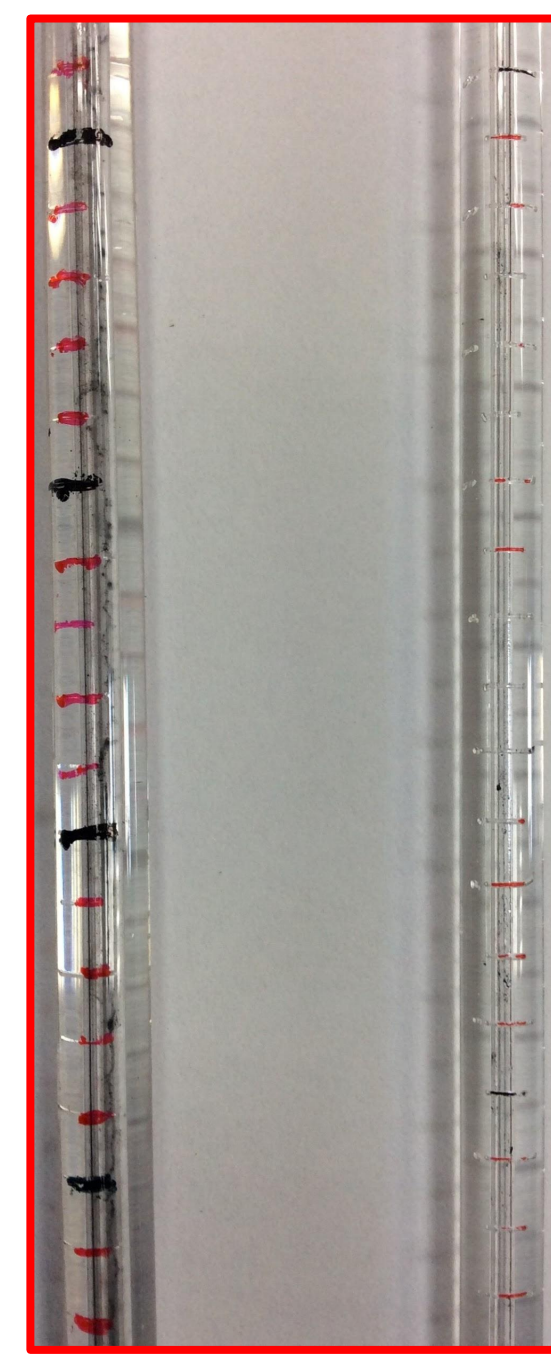
4. 10mL量筒：協助測量測量管的體積。

5. 錐形瓶(50ml)：因為50ml的錐形瓶比較好均勻受熱，所以才使用50ml錐形瓶，進行氣體膨脹實驗。

6.安全吸球：我們利用吸球中的空氣來將測量管中殘餘的水排出。



圖四 實驗用的器材

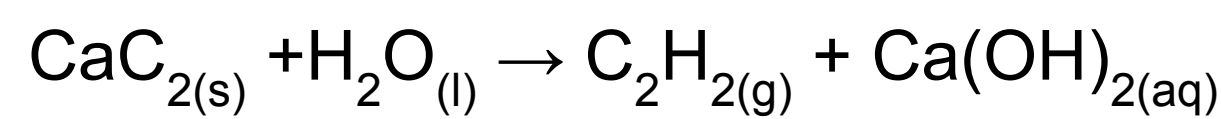


圖五 L型玻璃測量管改造前後比較圖
(右邊是改良前的測量管，左邊是改造後的測量管)

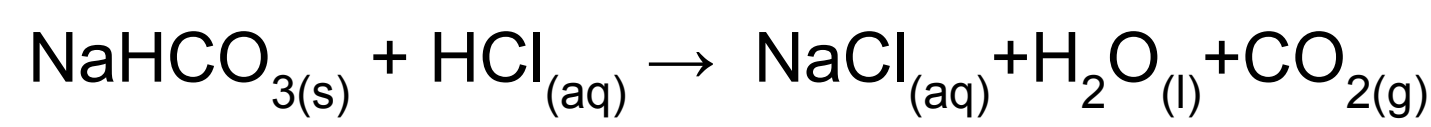
肆、研究過程或方法

一、氣體製造方法

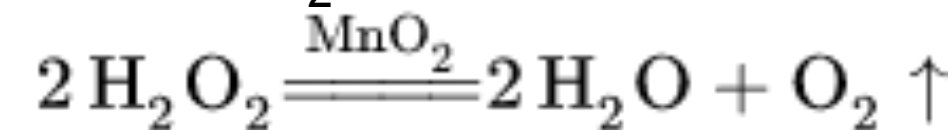
(一) 乙炔C₂H₂：電石+水



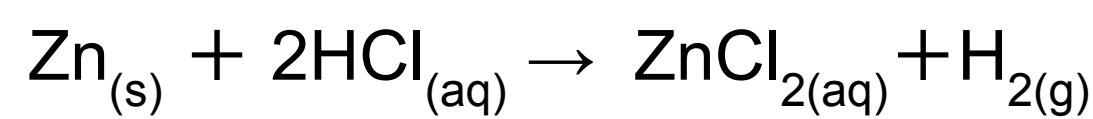
(二) 二氧化碳CO₂：小蘇打粉+鹽酸



(三) 氧氣O₂：二氧化錳+雙氧水



(四) 氫氣H₂：鋅片+鹽酸



二、氣體收集的方法

我們一開始用排水集氣法來收集氣體，因為排水集氣法可以收集到較純的氣體，但會使錐形瓶中殘留許多水分與水氣，使實驗的誤差增加，所以我們改用向上排氣法或向下排氣法來收集氣體，但遇到分子量和空氣差不多的氣體時，需要考慮到收集氣體的純度。



圖六 向下排氣法
(照片出處:維基百科)



圖七 向上排氣法
(照片出處:維基百科)

(一)向上排氣法：適用於比空氣重的氣體。

(二)向下排氣法：適用於比空氣輕的氣體。

三、氣體的特性

(一)原子與原子量：根據週期表，可以知道原子的原子量如下表：

表二、原子與原子量

| 原子 | 氧原子O | 氫原子H | 碳原子C |
|-----|-------------|-----------|-------------|
| 原子量 | 15.999 ≈ 16 | 1.008 ≈ 1 | 12.011 ≈ 12 |

(二) 空氣分子量

空氣中含78%的氮，21%的氧，及其他微量成分如二氧化碳、水汽、氫等，所以空氣分子量為28.996 ≈ 29。(參考:維基百科)

(三)氣體分子量

表三、氣體分子量

| 氣體種類 | 氧氣(O ₂) | 氫氣(H ₂) | 二氧化碳(CO ₂) | 乙炔(C ₂ H ₂) |
|------|---------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|
| 分子量 | 32 | 2 | 44 | 26 |

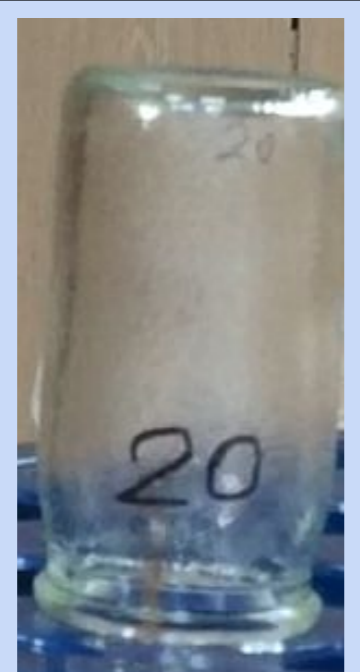
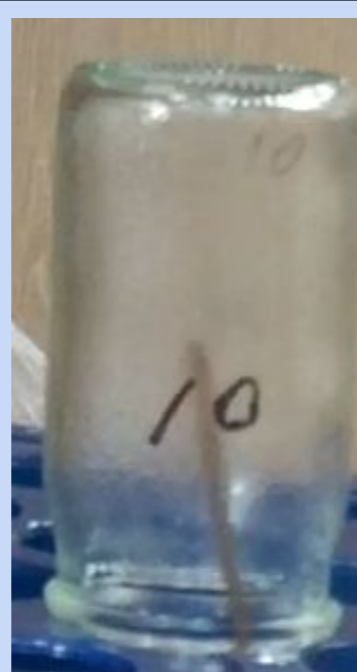

(四) 各氣體採用之集氣法

- 1.C₂H₂(乙炔):因為C₂H₂比空氣輕,因此採用向下排集氣法。
- 2.CO₂(二氧化碳):因為CO₂比空氣重,因此採用向上排集氣法。
3. O₂(氧):因為O₂比空氣重,因此採用向上排集氣法。
4. H₂(氫):因為H₂比空氣輕,因此採用向下排集氣法。

(五)乙炔濃度實驗和決定收集乙炔的時間

在收集乙炔的過程中,因為乙炔的分子量和空氣的分子量很接近,用向下排氣法收集的乙炔濃度可能受到空氣的影響,為了要了解實驗中乙炔的濃度,我們進行了以下的實驗,我們改變乙炔收集的時間,分別為5秒、10秒、20秒,並用點燃的線香深入玻璃瓶,觀察線香燃燒的變化,來判定乙炔的濃度,結果如下表所示:

表四、乙炔濃度實驗

| 實驗照片 |  |  |  |
|---------|--|--|--|
| 乙炔的收集時間 | 20秒 | 10秒 | 5秒 |
| 線香燃燒的情況 | 約深入0.5公分時熄滅 | 約深入2公分時熄滅 | 持續燃燒 |

註:瓶身高7.6公分,底寬4.4公分,容量71ml

實驗結果在氣體收集5秒時,線香依然在燃燒,氣體收集10秒時,線香在離玻璃瓶口2公分處熄滅,氣體收集20秒時,線香在離玻璃瓶口0.5公分處熄滅。

根據我們在Youtube找到的「化學宅急便:奈米碳尋蹤記」實驗影片中,我們了解當乙炔濃度越低時,瓶中空氣相對越多,燃燒的火越旺盛;乙炔濃度越高時,則空氣較少,燃燒的火越小並且有很多黑煙。因此,我們認為用向下排氣法收集乙炔的時間越長,乙炔的濃度越高,空氣越少。利用向下排氣法收集乙炔超過20秒以上,可以將瓶中空氣排乾淨,因此在本實驗中,為了要將瓶中空氣排乾淨,我們決定用向下排氣法收集乙炔的時間為40秒。

(六)相關定律

1.亞佛加厥定律:

同溫度、同壓力、同體積時,任何氣體含有相同的分子數(n:莫耳數)。

(參考:維基百科)

2.理想氣體方程式:

結合亞佛加厥定律、查理定律和波以耳定律此三定律,可得到理想氣體方程式。理想氣體方程式是指理想氣體的壓力、體積、莫耳數與絕對溫標會滿足下列關係式:(參考:維基百科)

PV=nRT

P:壓力

V:氣體體積

n:分子數(莫耳數)

R:理想氣體常數

T:絕對溫標

表五、理想氣體與真實氣體的差異

| 理想氣體 | 真實氣體 |
|-------------------|-------------------|
| 分子本身不佔有體積 | 分子本身佔有體積 |
| 分子間無作用力 | 分子間有作用力 |
| 與器壁或氣體分子間的碰撞無能量損失 | 與器壁或氣體分子間的碰撞有能量損失 |
| 氣體分子只有移動 | 氣體分子有移動、轉動、振動 |
| 符合各種氣體定律 | 不符各種氣體定律 |

出處:理想氣體http://natural.cmsh.tc.edu.tw/senior/chem/h2text/2-3

亞佛加厥定律的內容,告訴我們,氣體在同溫、同壓、同量時,各個氣體的分子數都相同。因此,我們在實驗時,都盡量讓各個氣體的起始溫度保持在42°C左右,但是因為要等待錐形瓶內氣體溫度和熱水達到平衡時,會有時間差異,而造成起始溫度的不同。同時,我們又根據理想氣體方程式,得知在同壓(P)、同體積(V)時,分子數(n)和絕對溫標(T)有反比關係,在我們的實驗P、V都相同,R為常數,所以nT=定值(K)。我們以nT=K,來求各個氣體與二氧化碳(CO₂)間,分子數(n)的誤差值,其結果如下表所示。

表六、各氣體溫度與二氧化碳的誤差值

| 項目 | 乙炔C ₂ H ₂ | 二氧化碳CO ₂ | 氫氣H ₂ | 氧氣O ₂ |
|----------------------|---------------------------------|---------------------|------------------|------------------|
| 溫度(攝氏°C) | 40.1 | 35.4 | 35.1 | 34.4 |
| 溫度(絕對溫標) | 313.25 | 308.55 | 308.25 | 307.55 |
| 溫度誤差值 (以二氧化碳當標準) | 1.52% | - | 0.10% | 0.32% |
| 分子數誤差值 (以二氧化碳當標準) | -1.50% | - | 0.10% | 0.33% |

3.查理定律:

1787年,查理藉由研究氧、氮、氫、二氧化碳以及空氣等在0°C與100°C間熱膨脹的情形,發現當壓力維持一定時,定量氣體溫度每升高(或降低)1°C,其體積會增加(或減少)其在0°C時體積的1/267,所以氣體體積與溫度呈現線性關係。1847年法國化學家雷諾將之修正為1/273.15,當氣體溫度達到-273.15°C,也就是達到絕對零度時,其總體積為零。(參考:維基百科)

4.絕對零度:

是熱力學的最高溫度,是粒子動能低到量子力學最低點時的溫度。絕對零度僅存於理論值,等於攝氏溫標零下273.15度(即-273.15°C)。理論上,若粒子動能低到量子力學的最高點時,物質即達到絕對零度,不能再低。因為任何空間必然存有能量和熱量,也不斷進行相互轉換而不消失。所以絕對零度是不存在的。在此一理論中,所有物質完全沒有粒子振動,其總體積並且為零。(參考:維基百科)

在本實驗中,氧氣、二氧化碳、氫氣、乙炔的壓力都相同,起始的溫度落在34.4°C~40.1°C之間,溫度的最大差異值是1.52%。根據亞佛加厥定律與理想氣體方程式,說明這四種氣體的分子數都很接近,分子數的最大差異值是-1.50%。根據查理定律:氣體在定壓、定量時,體積會和溫度成正比,雖然我們的測量起始溫度造成了氣體分子數有些微不一樣,但我們的實驗中各氣體的分子數相當接近,且在同一氣體的實驗中是密閉的,分子數一直保持固定不變,符合查理定律的定壓、定量的條件。

表七、玻璃管的體積測量記錄表

| 次數 | 測量管 刻度 | 總體積(ml) |
|----------|-----------|---------|
| 1 | 47.1 | 9.4 |
| 2 | 45.8 | |
| 3 | 40.4 | |
| 4 | 45.7 | |
| 5 | 45.9 | |
| 6 | 45.0 | |
| 7 | 44.1 | |
| 8 | 43.0 | |
| 9 | 43.0 | |
| 10 | 43.2 | |
| 總格數 | 443.2 | |
| 平均每小格體積: | | 0.02 |

四、L型玻璃測量管體積測量

為了獲得測量管每一個刻度的體積,我們把測量管垂直放進一個裝滿水的100ml量筒中並按住測量管的上方開口,吸取等高的水,並將管內的水置入10ml量筒中,同時記錄測量管的刻度,重複執行10次,最後,我們再把10ml量筒中所有的水量除以全部的刻度數,就可以算出平均每一個刻度為0.2mL。在實驗過程中,我們會用抹布擦掉玻璃管旁邊的水,以降低實驗的誤差,實驗數據如下表所示。

五、數據收集方法

本研究將收集完氣體的錐形瓶放入裝有熱水的大燒杯中加熱,等氣體與熱水達到相同溫度後,氣體會隨著熱水開始緩慢降溫,這個時候我們會在L型玻璃測量管上方點入黑色墨水,並利用錄影的方式記錄溫度與氣體體積的變化。實驗完成後,我們根據實驗紀錄影片,讀取並紀錄溫度每降低0.1°C時,L型玻璃管的刻度,直到無法讀取刻度為止,最後再將刻度,根據下面方程式,轉換成氣體體積。

氣體體積=錐形瓶體積+[(60-讀取刻度)]×刻度單位體積

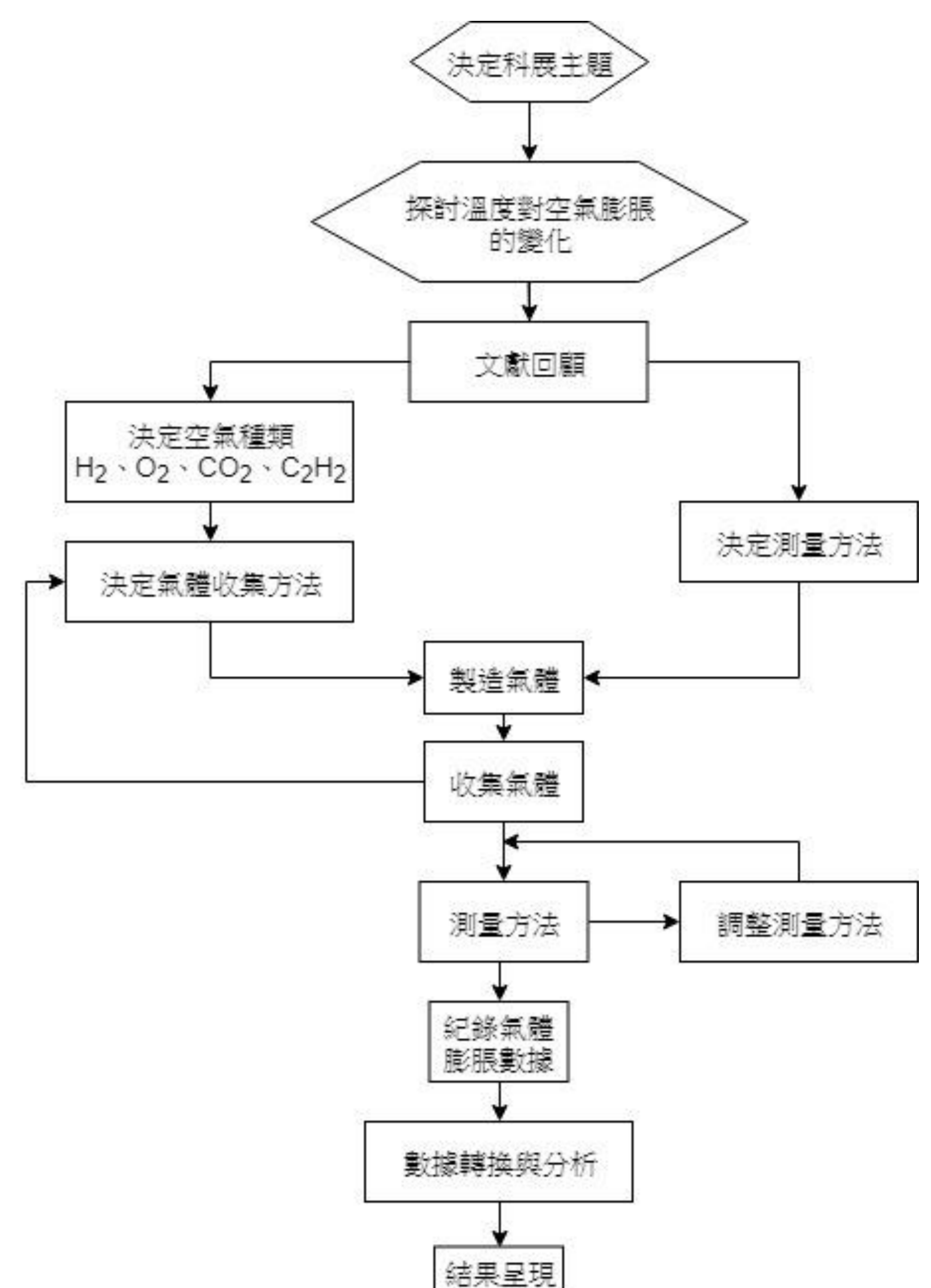
註1:L型玻璃測量管總刻度為60

註2:L型玻璃測量管刻度為由上而下遞增

註3:刻度單位體積為0.02ml

註4:錐形瓶體積為57.5ml

六、實驗流程

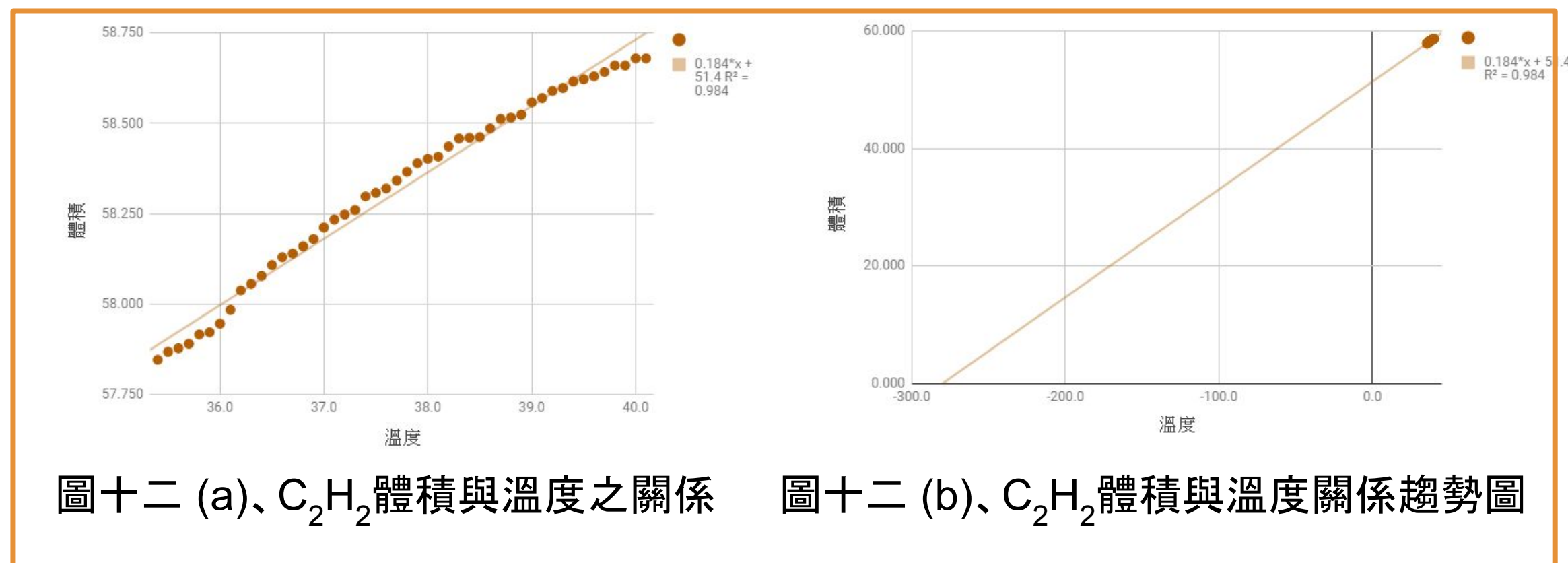
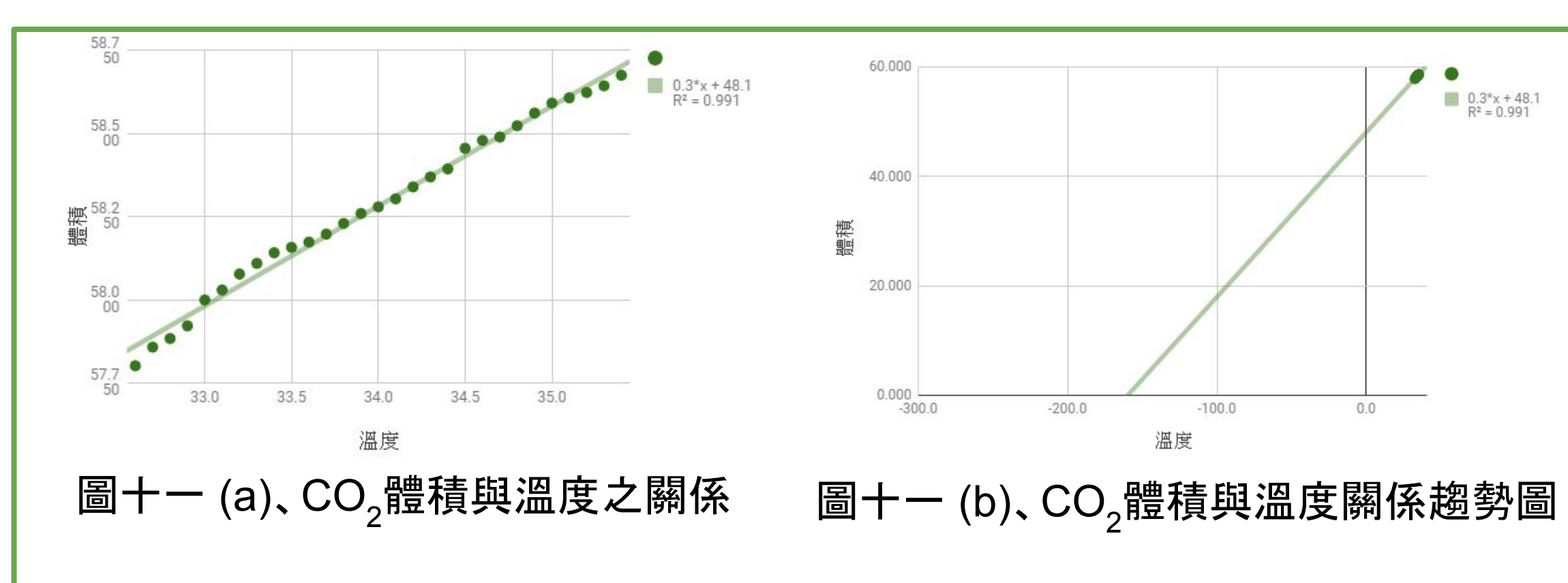
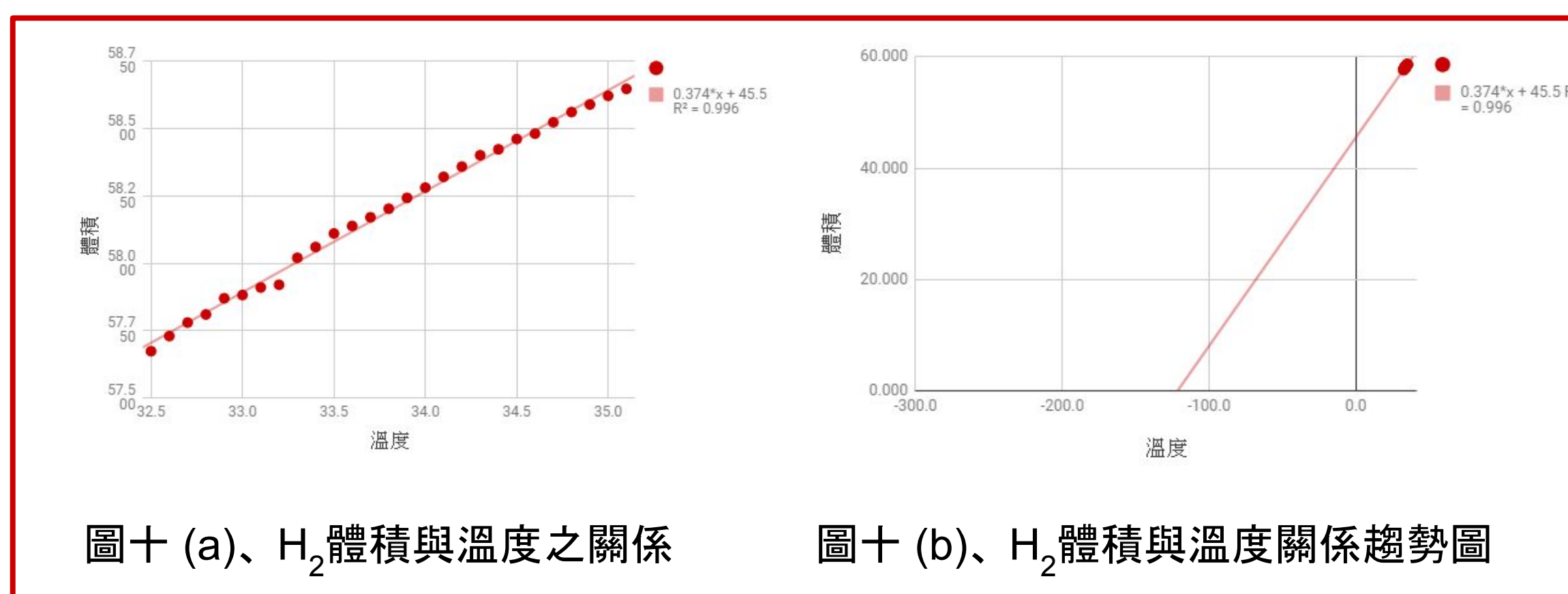
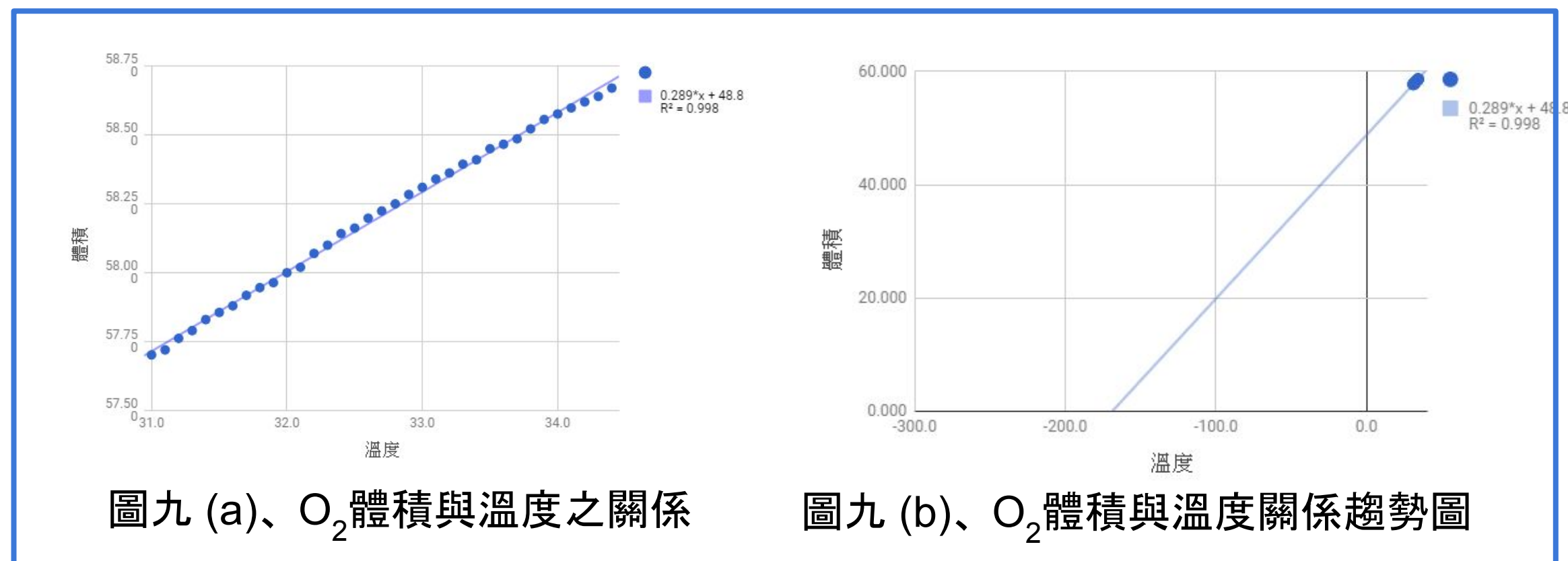


圖八 氣體膨脹實驗流程圖

伍、實驗結果

CO₂、C₂H₂、H₂、O₂ 溫度影響氣體體積之實驗數據散佈情形

我們將上表各氣體體積與溫度的關係作圖，並且利用google試算表軟體進行線性回歸的分析，加上趨勢線，計算出氣體體積隨溫度變化的線性方程式，如下圖所示，從下圖可以看出每一個氣體方程式的X軸每升高或降低攝氏一度，體積的變化，並且根據查理定律，由方程式去推算，當氣體收縮到體積等於零時的溫度。



陸、討論

本實驗為氣體體積與溫度變化之關係研究，在這裡我們將分為三個部分進行討論：

一、查理定律

(一)本研究將實驗數據利用Google試算表進行線性迴歸分析，發現CO₂的相關係數(R²)為0.991、C₂H₂為0.984、H₂為0.996、O₂為0.998，四種氣體的相關係數都非常接近1，顯示四種氣體都很接近其線性方程式，如下表所示，也就是這四種氣體體積與溫度成線性關係。

根據查理定律「氣體體積與溫度成線性關係」，所以我們的實驗結果與查理定律吻合。

表八、各氣體的體積溫度變化之線性方程式

| 氣體 | 方程式 | 斜率(ml/°C) | 相關係數(R ²) |
|-------------------------------|----------------|-----------|-----------------------|
| CO ₂ | V=0.3*T+48.1 | 0.3 | 0.991 |
| C ₂ H ₂ | V=0.184*T+51.4 | 0.184 | 0.984 |
| H ₂ | V=0.374*T+45.5 | 0.374 | 0.996 |
| O ₂ | V=0.289*T+48.8 | 0.289 | 0.998 |

註：V代表體積；T代表溫度

(二)因為查理定律「氣體體積與溫度成線性關係」，而且本實驗與查理定律結果相吻合。所以我們將趨勢線延伸，將氣體體積假設為零，並推算其溫度，如下表所示。氧氣的溫度為-168.9°C、氫氣為-121.7°C、二氧化碳為-160.3°C、乙炔為-279.3°C，發現本研究之乙炔在體積等於零時，相當接近絕對零度-273.15°C，誤差為2.25%。

表九、各氣體在體積為零時的溫度

| 氣體種類 | 氧氣(O ₂) | 氫氣(H ₂) | 二氧化碳(CO ₂) | 乙炔(C ₂ H ₂) |
|----------|---------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|
| 體積為零時的溫度 | -168.9°C | -121.7°C | -160.3°C | -279.3°C |

(三)氧氣(O₂)、氫氣(H₂)、二氧化碳(CO₂)、乙炔(C₂H₂)這四個氣體中，乙炔在體積為零時，所推算的溫度為-279.3°C，最接近理論值-273.15°C，乙炔也是變化最緩和的氣體(斜率只有0.184mL/°C)，相對的，與絕對零度落差最大的氣體是氫(-121.7°C)，也是變化最劇烈的氣體，而氧氣和二氧化碳的斜率是處於乙炔及氫氣的中間。

二、比較與改善

邱智宏(2002)文獻和本實驗非常相近，所以我們根據這篇文獻進行比較，以作為以後本實驗改善的方向。

本實驗利用熱水升溫，再用降溫法搭配L型玻璃管，來測量氣體體積與溫度的關係。而文獻的研究是利用加熱板加溫並記錄氣體體積的變化，再讓氣體降溫並紀錄氣體體積的變化，文獻中測量兩種氣體，並重新測量數據三次。

表十、本研究與文獻研究的差異

| 項目 | 本研究 | 文獻 |
|--------|-------------------|-------------------|
| 溫度變化 | 降溫法 | 升溫法後降溫法 |
| 起始溫度 | 室溫升到42°C再降到30°C左右 | 室溫升到80°C再降到25°C左右 |
| 裝置氣體容器 | 錐形瓶(50ml) | 量筒(10ml) |
| 加熱工具 | 熱水 | 加熱板 |
| 氣體種類 | 1.氫氣 | 1.氫氣 |
| | 2.乙炔 | 2.空氣 |
| | 3.氧氣 | - |
| | 4.二氧化碳 | - |

三、氣體熱脹冷縮的運用

氣體熱脹冷縮的特性，被用來做成氣體溫度計，氣體溫度計的精確性很高，多用於精密測量。氣體溫度計中的氣體是氫氣或氫氣。

柒、結論

一、實驗數據分析

我們利用實驗室內現有的器材，製作了可觀察氣體體積與溫度關係的裝置，測量氫氣、氧氣、乙炔、二氧化碳四種氣體體積與溫度的變化，並利用Google試算表進行實驗數據分析，結果發現四種氣體的體積與溫度變化呈線性關係，而且在四種氣體中，乙炔在體積為零時，其溫度是-279.3°C，接近絕對零度-273.15°C。我們利用這個實驗驗證查理定律氣體體積與溫度呈線性關係。

二、與文獻比較

我們與文獻進行了比較，發現未來可以改善實驗裝置的方法

- (一)實驗的溫度範圍可以加大(25°C~80°C)
- (二)我們的加熱方式可以改進
- (三)在高溫下，要考慮水蒸氣所占的體積
- (四)測量氣體的體積與形狀可以再改善，使熱平衡更快速
- (五)考量溫度計校正與測量誤差
- (六)加入空氣的實驗

三、解決問題

本研究經過幾次嘗試與調整，進行了下列改善

- (一)L型玻璃管搭配降溫法進行測量來觀察氣體體積的變化。
- (二)用橡皮塞、長尾夾、橡皮筋來固定氣體測量組，並用手機與手機架紀錄。
- (三)在L型玻璃管方面，我們畫上記號後，就變成易讀取的裝置。
- (四)利用增長收集乙炔的時間，來提高乙炔的濃度。

四、低成本設備

這次研發出來的氣體體積-溫度觀測裝置，是低成本並且可行的裝置，適合用在國高、中、小學的實驗室，可以用較少的金錢來做驗證查理定律的實驗。

五、實務應用

氣體的熱脹冷縮有被運用在氣體溫度計中，測量範圍廣、且精密，被運用在測量低溫的物質。

六、收穫與感謝

我們在這個實驗中，在探究中認識了許多氣體相關定律，並學會了實驗驗證、問題解決的態度，未來我們可以利用這個態度進行自主學習，讓學習更深、更廣，感謝在這次研究中，協助我們的所有老師。

捌、參考文獻

- 1.維基百科:<https://goo.gl/QDYV97>(元素週期表)
- 2.國小教科書:<https://goo.gl/1dWWeo>(氣體收集方法)
- 3.百度百科:<https://goo.gl/7Mk79W>(小蘇打粉加鹽酸反應式)
- 4.中學化學示範實驗<https://goo.gl/UsWF86>(恆春出火---電石與水的化學反應)
- 5.認識化學反應<https://goo.gl/DNeLER>
- 6.維基百科<https://goo.gl/FD41P2>(氧氣)
- 7.科學小玩意<https://goo.gl/NtVTLk>(幾個好用的線上元素週期表)
- 8.維基百科<https://goo.gl/J8V9BS>(空氣)
- 9.維基百科<https://goo.gl/mmoX7h>(查理定律)
- 10.維基百科<https://goo.gl/o8pGv8>(絕對零度)
- 11.維基百科<https://goo.gl/uGnCoq>(亞佛加厥定律)
- 12.<https://goo.gl/F8z2qC>(理想氣體)
- 13.邱智宏(2002). 絕對零度的簡易求法. 科學教育月刊, 252, 30-34.
- 14.102年度教學資源研發推廣小組差異化教學示例影片 <https://goo.gl/rCe8UJ>(奈米碳尋蹤記)
- 15.百度百科 <https://baike.baidu.com/item/%E6%B0%94%E4%BD%93%E6%B8%A9%E5%BA%A6%E8%AE%A1>(氣體溫度計)
- 16.乾淨空氣 http://lain.atm.ncu.edu.tw/library/lain_4/encyclopaedia/lainbook/Ch1/1-3p0.htm
- 17.理想氣體<http://natural.cmsh.tc.edu.tw/senior/chem/h2text/2-3>