

花蓮縣第 61 屆國民中小學科學展覽會 作品說明書



科 別：化學科

組 別：國中組

作品名稱：酒精砲開火—探討酒精與揮發性有機溶劑的燃燒反應

關 鍵 詞：電弧點火、燃燒反應、酒精砲

編 號：

（由教育處統一編列）

目錄

摘要.....	1
壹、 研究動機.....	2
貳、 研究目的.....	3
文獻探討.....	4
參、 研究設備及器材.....	5
一、 儀器與裝置.....	5
二、 藥品.....	6
肆、 研究過程或方法.....	7
一、 研究流程架構.....	7
二、 研究方法及步驟.....	8
伍、 研究結果.....	14
陸、 討論.....	25
柒、 結論.....	26
捌、 參考文獻資料.....	27

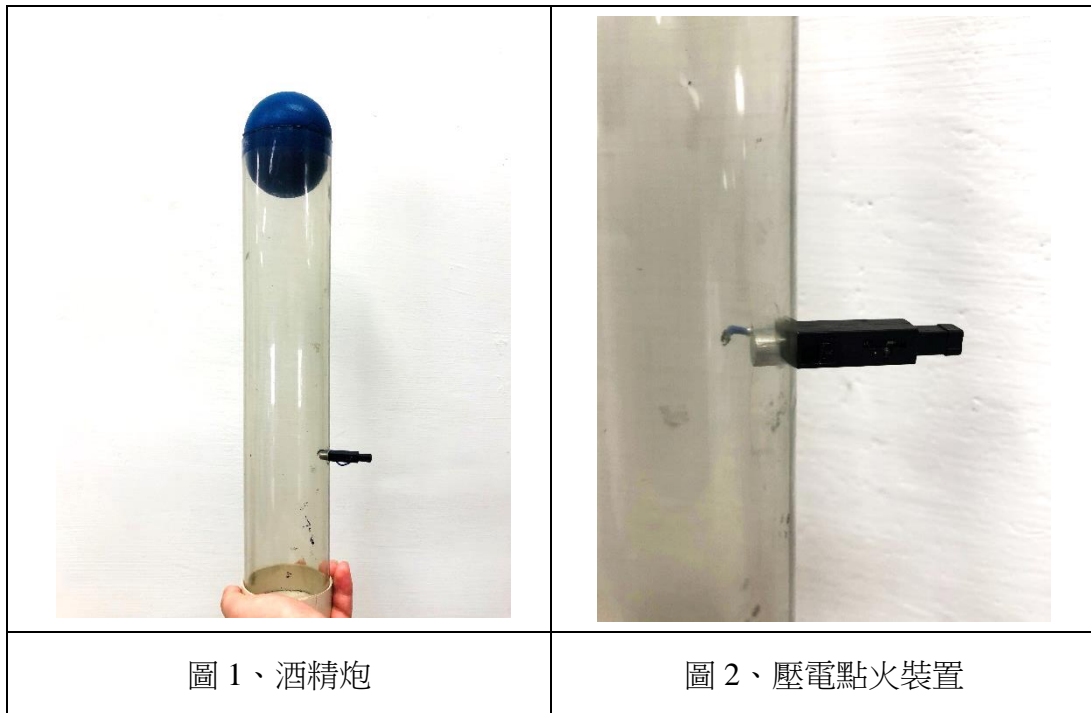
摘要

本篇報告發想於酒精砲，欲探討有哪些因素影響其發生的燃燒反應。首先，透過回收再利用設計出可控制溫度、保溫的實驗裝置，加上廢棄木條及卡榫的使用固定針筒反應腔，可拆裝的電極讓每一次架設實驗裝置更有效率。此外，結合了 Arduino 面板與繼電器控制高壓脈衝電弧放電，作為本此實驗的熱源。經反覆實驗得知影響燃燒反應的因素如下：

- 一、酒精添加量與等待揮發成蒸氣的時間會影響酒精砲的燃燒反應。
- 二、以數種有機溶劑做為燃料，發現分子的極性與分子量會影響揮發速率。比較性質相似的同系物，分子量越大揮發越慢；而分子量相近，極性分子則較非極性分子揮發來得慢。
- 三、其他因素包含溫度、濕度、電弧自然放電次數和氧氣含量，都會對燃燒反應產生影響。

壹、 研究動機

社團課時老師向我們介紹了一種科學玩具—「酒精砲」（圖 1），酒精砲是利用「壓電點火」裝置（圖 2）的電弧點燃酒精，產生推力將海綿球發射出去。操作酒精砲遊戲時，我們發現第一次通電點燃酒精發射後，後續的每一次點火時間會隨著點火次數而增長；並且點燃所產生的推力也逐次減弱，讓海綿球的射程變短。這讓我們想到曾經在社群軟體上看過「酒精砲彈應用於測試手機殼堅固程度」的影片— 影片中酒精砲實驗的結果，與我們的所操作的酒精砲遊戲結果相似；於是我們開始好奇是那些因素影響酒精燃燒，還有將球發射出去的威力有什麼樣的關係。為了想了解壓電點火點燃酒精的反應過程，並且結合實驗室常見的酒精燈燃燒應用，我們設計一連串的實驗，嘗試了解酒精燃燒的條件與限制。



貳、 研究目的

一、探討酒精液體體積及其揮發情形對燃燒的影響

1. 填加酒精液體體積對揮發情形影響
2. 酒精添加量及點火時間對燃燒範圍的探討

二、探討不同的揮發性有機溶劑蒸氣之燃燒情形

1. 探討乙醇的燃燒情形
2. 探討正己烷的燃燒情形
3. 探討正庚烷的燃燒情形
4. 探討 1-戊醇的燃燒情形

三、探討其他外在因素對燃燒的影響

1. 探討空氣中水氣含量對燃燒的影響
2. 探討電弧點火次數對燃燒的影響
3. 探討氧氣含量對燃燒的影響

文獻探討

我們想了解關於酒精燈燃燒的原理，翻閱文獻資料知道酒精燈的燃燒是利用玻璃瓶內盛裝的酒精，藉由燈蕊的毛細作用，將酒精由底部向上吸到達燈蕊頂端。燈蕊頂端的液態酒精揮發成氣態，經由點火酒精的氣體就會被點燃。燃燒的溫度促進酒精的蒸發，而維持繼續燃燒不熄滅。示意圖如圖 3(改編自臺大化學系教學網)。

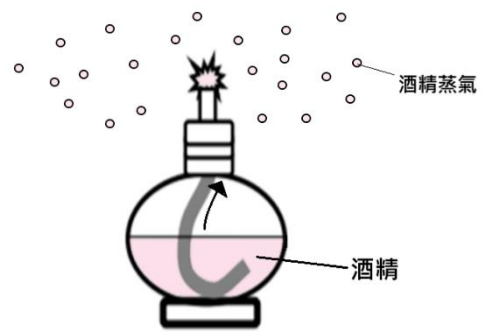


圖 3、酒精燈燃燒示意圖

此外，經由酒精炮的實驗，我們得知酒精炮的原理為在管內噴入少量酒精，並以壓電點火裝置引燃，酒精燃燒的瞬間使氣體受熱膨脹，將槍管前端的泡棉子彈射出，隨即產生巨響。從文獻資料閱讀得知，酒精炮多以乙醇作為燃料；並且在黃佳卿等人(2007)發表「醇醇欲動—乙醇燃料動力車之設計與探討」的作品中，提到乙醇滴入後需要等待 30 秒才有足夠的酒精蒸氣足以使酒精炮爆炸，並且時間超過 2 分鐘後，點燃的爆炸威力並明顯差異；也就是說當乙醇液體已完全蒸發，增加等待時間對燃燒反應並無助益。參考文獻資料我們得知：





1. 等待酒精揮發時間以等待 2 分鐘左右最佳，因此我們的實驗等待時間以 2 分鐘為起點進行燃燒反應的探討。
2. 酒精的添加量有一定的合適範圍，少量不足以引爆，過量的效果並沒有比較好，甚至還會無法引爆。因此我們將酒精量設定為操作變因，進行實驗探討。

最後，為了瞭解電弧作為點火裝置的部分，經查詢有關電弧的文獻後，我們得知電弧產生的原理是利用兩電極間存在電位差，並且兩極距離夠短的時候，存在於電極之間的空氣會被離子化；也就是中性的空氣分子，被電極產生的電場拆解為帶電的離子；經離子化的空氣變成了導體，因此在這一瞬間電流會突然發生即為電弧，而且往往伴隨光和熱的產生。

參、 研究設備及器材

一、儀器與裝置

		
<p>25&50mL 針筒</p>	<p>電弧供應模組</p>	<p>保溫裝置與針筒支架</p>
		
<p>電源供應器</p>	<p>溫度計</p>	<p>微量滴管</p>
		
<p>游標卡尺</p>	<p>碼錶</p>	<p>Arduino 控制面板</p>
		
<p>回收空藥罐</p>	<p>排水集氣法裝置</p>	<p>氧氣注射裝置</p>

			
電子秤	1mL 針筒	計時器	手機

二、藥品

(一) 反應用燃料：

表 1、實驗藥品說明表

藥品	分子式	沸點(°C)	閃燃點(°C)	分子量 (g/mol)	密度(g/mL)
甲醇 (Methanol)	CH ₃ OH	64.7	11.0	32.04	0.7918
乙醇 (Ethanol)	C ₂ H ₅ OH	78.4	13.0	46.07	0.789
1-戊醇 (n-Amyl Alcohol)	C ₅ H ₁₁ OH	137	49.0	88.15	0.8144
正己烷 (n-Hexane)	C ₆ H ₁₄	68.7	-22.3	86.18	0.6548
正庚烷 (n-Heptane)	C ₇ H ₁₆	98.4	-4.0	100.21	0.684

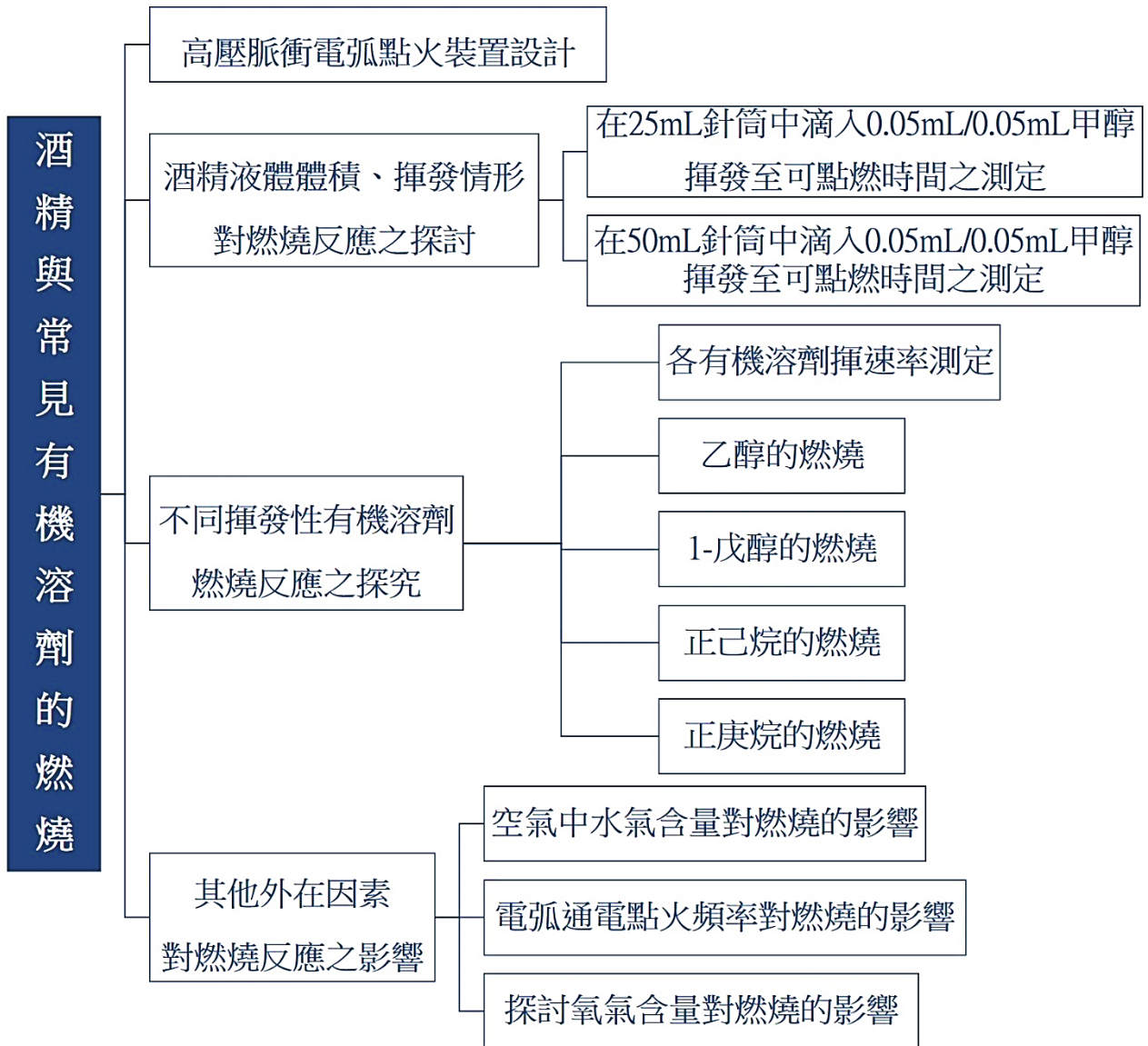
備註：1. 甲醇濃度 99.85%，為實驗室常用之粉紅色工業用酒精，以活性碳除色後使用。

2. 乙醇為試藥級，濃度 99.5%。

(二) 其他：二氧化錳、35% 過氧化氫水溶液、活性碳顆粒

肆、 研究過程或方法

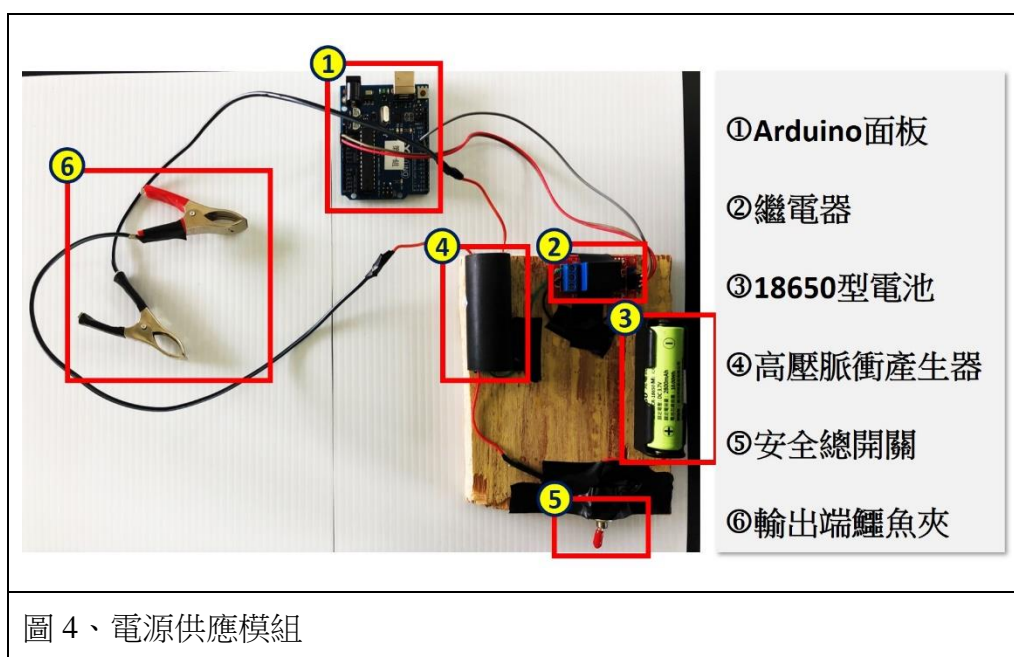
一、 研究流程架構



二、研究方法及步驟

(一) 實驗裝置設計

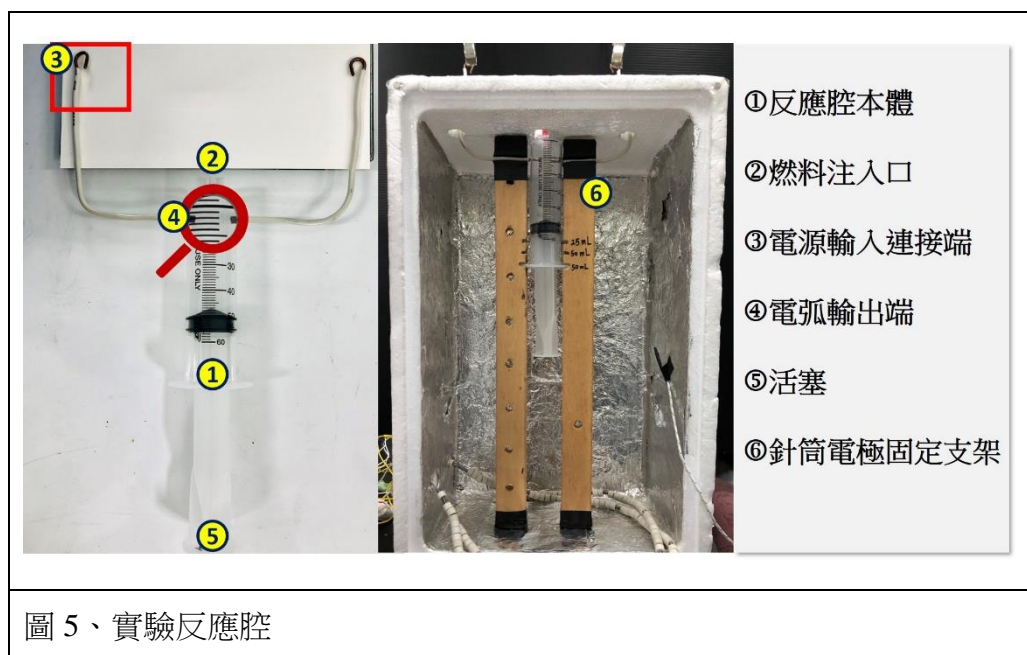
1. 電源供應模組：



實驗裝置設計的最初我們觀察到酒精砲中，壓電陶瓷產生的電弧微弱不穩定。經過和老師討論及上網搜尋資料，找到 Youtuber「胡子」介紹高壓脈衝產生器的影片，內容提及這是一種以特斯拉原理，將電池供應的直流電轉換產生高壓交流電的裝置。胡子運用高壓脈衝產生器作為供電電源，進行了酒精砲的改良。

參考前人的作法，我們實驗裝置設計(如圖 4)以 18650 型 3.7V 的鋰電池連接高壓脈衝產生器，提供 400kV、0.5A 的電弧作為電源。其次，我們原來使用手動開關控制高壓脈衝產生器輸出電弧，但我們發現裝置會受到操作者狀態影響，使每次產生電弧的長短頻率不一；然而燃燒酒精實驗過程中，我們發現通電點火次數會影響酒精的燃燒。為了解決這個問題，我們加裝了 Arduino 面板及繼電器，通過程式碼的調整控制電弧放電次數。並且考量安全性，我們在電路中加裝了一個總電源開關。

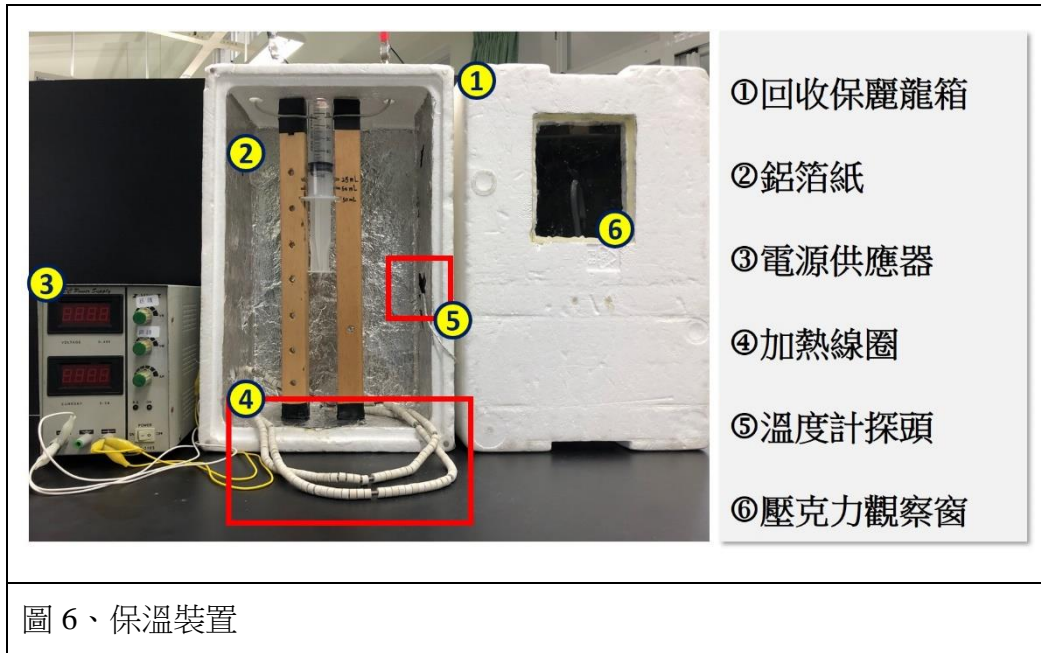
2. 實驗反應腔設計：



如圖 5 所示，為了控制反應空間大小，我們選用便宜、易取得、有刻度方便觀察的 25mL/50mL 塑膠針筒作為反應腔，並透過燃燒反應發生產生的作用力，使活塞移動觀察燃燒程度。在最上端刻度左右兩端鑽孔，以直徑 2mm 的銅線作為電極插入，並利用游標卡尺量得針筒內外徑、計算銅線電極長度，使電極兩端距離固定為 1cm。(我們假設電極距離會對放電次數產生影響，在後續實驗過程中也得到了印證。)

再者，為了避免燃燒時針筒內氣體膨脹產生的作用力，讓針筒或電極位置移動而影響點火位置，於是我們嘗試用竹筷及長尾夾固定針筒及電極的位子，後來再幾經改良選用在廢棄木棒上設計卡榫作為針筒固定支架。

3. 保溫裝置：



由於實驗期程從 12 月橫跨到隔年 3 月，天氣變化劇烈環境溫差大，為了避免溫度對氣體揮發及燃燒反應的影響，我們以溫度計監控每一次保溫裝置內部的溫度，並維持反應溫度在 $25^{\circ}\text{C}\sim 25.5^{\circ}\text{C}$ 之間。透過閱讀八年級上學期理化課本第五章中熱量的傳播模式，選用廢棄回收的保麗龍盒搭配鋁箔紙，避免熱量以傳導、輻射等形式進出；並根據天氣變化，天冷時使用電源供應器搭配加熱線圈，提升保溫裝置溫度；天氣炎熱時，在保溫裝置中放置冰塊降低溫度。(如圖 6 所示)

(二) 實驗一、探討酒精液體體積對燃燒反應的影響

1. 25ml 針筒內添加不同體積酒精液體之燃燒情形比較

- (1) 以微量滴管於針筒內分別添加 0.05mL 、 0.03mL 甲醇。
- (2) 利用繼電器搭配 Arduino 面板，控制高壓脈衝電弧通電時間。
- (3) 以慢動作錄影紀錄該反應狀態下，酒精揮發之最佳點火燃燒時間。
- (4) 點燃針筒內酒精蒸氣，並觀察其燃燒範圍差異。
- (5) 重覆實驗至少 5 次。

2. 50ml 針筒內添加不同體積酒精液體之燃燒情形比較

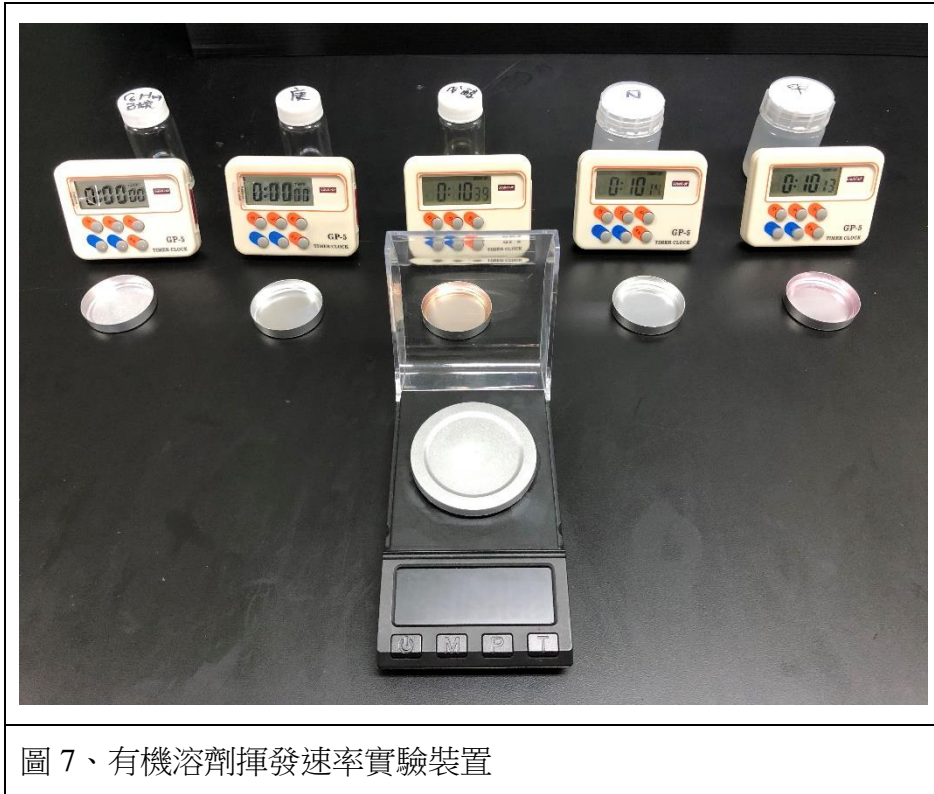
- (1) 以微量滴管於針筒內分別添加 0.05mL、0.03mL 甲醇。
- (2) 利用繼電器搭配 Arduino 面板，控制高壓脈衝電弧通電時間。
- (3) 以慢動作錄影紀錄該反應狀態下，酒精揮發之最佳點火燃燒時間。
- (4) 點燃針筒內酒精蒸氣，並觀察其燃燒範圍差異。
- (5) 重覆實驗至少 5 次。

(三) 實驗二、比較不同揮發性有機溶劑之燃燒反應

表 2、實驗藥品選用說明表

溶劑	選用原因
甲醇	實驗室常見的有機溶劑，是酒精燈的主要燃料，屬於極性分子。
乙醇	實驗室常見的醇類，日常生活多用於消毒；蒸發速度快，便宜易取得。
1-戊醇	實驗室藥品櫃尋得之醇類，欲探討分子量對醇類燃燒反應之影響。
正己烷	實驗室常見的烷類，易燃、便宜易取得，屬於非極性分子；分子量與 1-戊醇相近，欲探討相近分子量的烷類與醇類燃燒反應之差異。
正庚烷	實驗室藥品櫃內尋得之烷類，比正己烷多一個碳，想探討碳數變化對烷類燃燒反應的影響。

1. 不同有機溶劑揮發速率之比較



- (1) 實驗作法如圖 7，在五個相同大小的鋁盒中，分別添加 1mL 的甲醇、乙醇、1-戊醇、正己烷、正庚烷，並使溶劑平鋪充滿鋁盒底部。(統一揮發表面積)
- (2) 每 60 秒為間隔，以電子秤稱量，監測前述五種有機溶劑之質量變化(含鋁盒重)，直到 600 秒為止。
- (3) 裡用 Excel 作圖分析各有機溶劑質量變化，比較其揮發速率。

2. 探討各有機溶劑的燃燒反應差異

- (1) 分別於 25mL 針筒中，以微量吸管添加 0.03mL 乙醇、1-戊醇、正己烷、正庚烷
- (2) 以甲醇可以點火燃燒的時間為基準，調整通電點火時間進行燃燒反應。
- (3) 慢動作攝影紀錄，比較各有機溶劑揮發與燃燒反應之差異。
- (4) 重覆實驗至少 5 次。

(四) 實驗三、探討其他外在因素對燃燒反應之影響

1. 探討水氣含量對燃燒的影響

- (1) 使針筒內充滿水霧
- (2) 於 50mL 針筒中以微量吸管加入 0.05mL 甲醇
- (3) 比較有無水霧之間的差異
- (4) 重覆實驗至少 5 次

2. 探討電弧點火對燃燒的影響

- (1) 使用 Arduino 面板控制繼電器，使電弧於 90 毫秒內連續放電二次
- (2) 以微量吸管分別於 50mL 針筒添加 0.05mL 甲醇
- (3) 慢動作攝影紀錄，比較通電次數對酒精燃燒的影響

3. 探討氧氣含量對燃燒的影響

- (1) 將雙氧水加入裝有二氧化錳的錐形瓶中，以排水集氣法收集產生的氧氣。
- (2) 在 25mL 針筒內注入 0.05mL 甲醇/1-戊醇，等待 100 秒。
- (3) 以單向閥組裝成的針筒裝置(如圖 8)，吸取定量氧氣注入反應腔。
- (4) 比較相同實驗條件下，添加氧氣量對燃燒反應的影響
- (5) 重複實驗至少 5 次

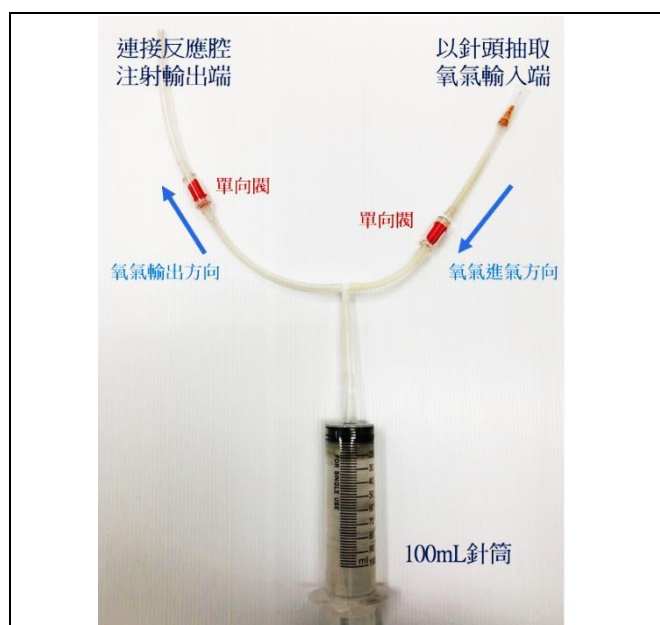


圖 8、添加氧氣裝置圖

伍、 研究結果

一、 燃燒反應等級定義（以甲醇燃燒為例）

第一級：由於有機溶劑蒸氣量不足，只能在電弧通過處附近之蒸氣發生燃燒反應，產生微小火花。(如圖 9)



圖 9、第一級燃燒範圍示意圖

第二級：當有機溶劑需求量提升，且能量足以影響鄰近蒸氣分子，則發生燃燒反應範圍充滿針筒反應腔，火焰推力未使活塞被推出僅有氣體噴發聲響。(如圖 10)

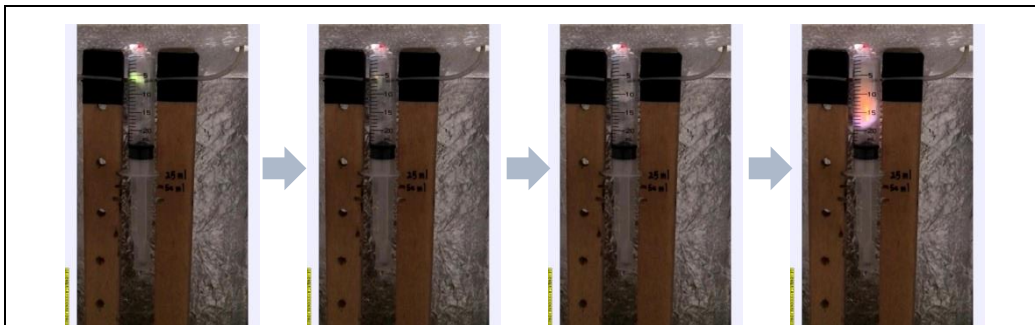


圖 10、第二級燃燒範圍示意圖

第三級：有機溶劑蒸氣量充足，具有足夠能量使反應腔內所有蒸氣發生燃燒反應，範圍充滿針筒反應腔，火焰推力使活塞被噴出，產生爆炸聲響。(如圖 11)



圖 11、第三級燃燒範圍示意圖

二、實驗一、探討酒精液體體積對燃燒反應的影響

(一) 25ml 針筒內添加不同體積甲醇液體之燃燒情形比較

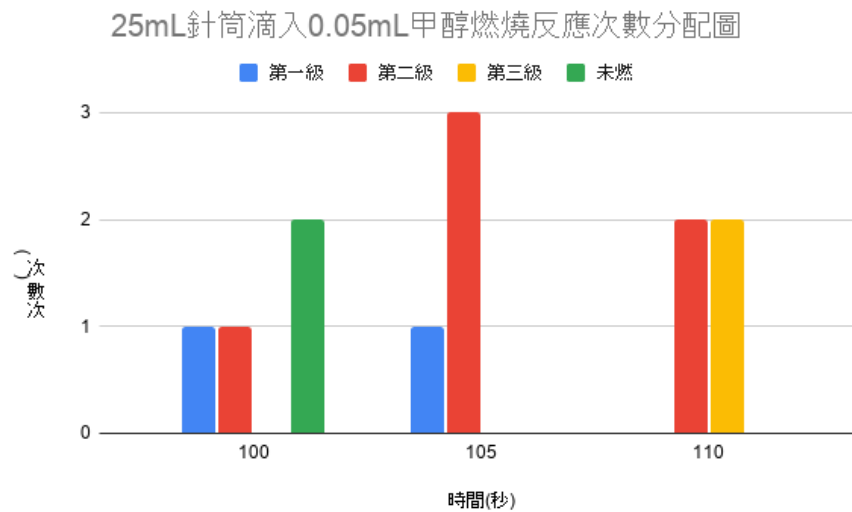


圖 12、25mL 針筒滴入 0.05mL 甲醇燃燒反應次數分配圖

如圖 12 所示，本實驗中酒精揮發成蒸氣的時間，自等待 100 秒後點火開始，根據實驗結果發生燃燒的機率很低，四次實驗中有兩次沒有反應，最好的一次也僅有第二級的燃燒；當我們在新一次實驗中揮發時間延長至 105 秒，仍然無法產生第三級燃燒反應將活塞噴射出去，但發現第二級燃燒的機率有大幅提升。直到將實驗條件的揮發時間延長至 110 秒，才終於成功使反應腔產生第三級燃燒。

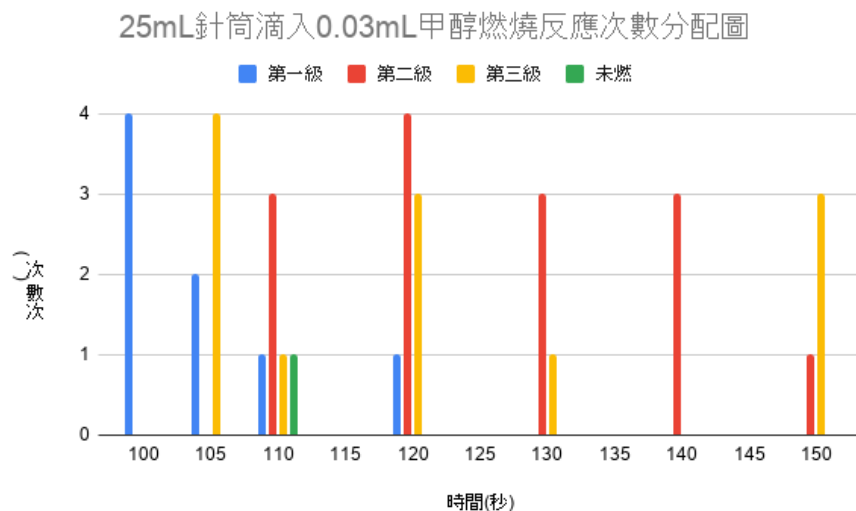


圖 13、25mL 針筒滴入 0.03mL 甲醇燃燒反應次數分配圖

如圖 13 所示，本實驗中酒精揮發成蒸氣的時間，自等待 150 秒後點火開始，根據實驗結果發現該反應條件能夠使酒精蒸氣產生第三級燃燒。為了找到最短能完全燃燒的時間，我們以每 10 秒遞減的時間間距進行測試。當時間遞減至 105 秒時，是穩定發生第三級燃燒的最短時間。若 100 秒以下，根據結果顯示揮發時間不足，僅能生成第一級燃燒。

《結果分析》

根據數據顯示，在 25mL 針筒中加入 0.05mL 甲醇比起滴入 0.03mL 甲醇時，需要耗費更長的時間才能穩定產生第三級燃燒。而且當加入 0.05mL 甲醇的實驗時，燃燒後的反應腔仍有含水的甲醇殘留，於是我們推論在此反應條件下 0.05mL 甲醇在 25mL 針筒中已超過反應需求量。

(二) 50ml 針筒內添加不同體積甲醇液體之燃燒情形比較

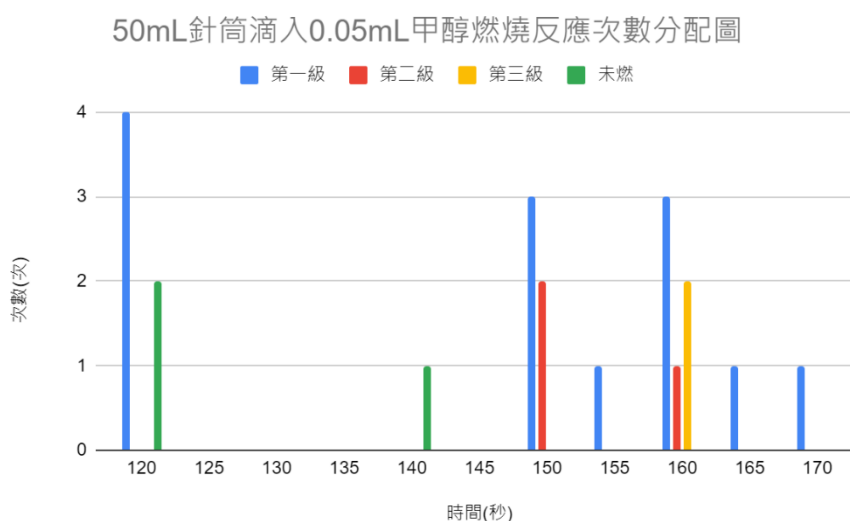


圖 14、50mL 針筒滴入 0.05mL 甲醇燃燒反應次數分配圖

如圖 14 所示，本實驗中酒精揮發成蒸氣的時間，自等待 120 秒後點火開始，根據實驗結果發現在 120 秒時無法出現第二、三級燃燒；於是在新一次實驗中將揮發時間延長 20 秒，然而在 140 秒時並未觀察到燃燒現象。經反覆實驗發現在 160 秒為最佳反應條件，最容易使酒精蒸氣產生第三級燃燒。

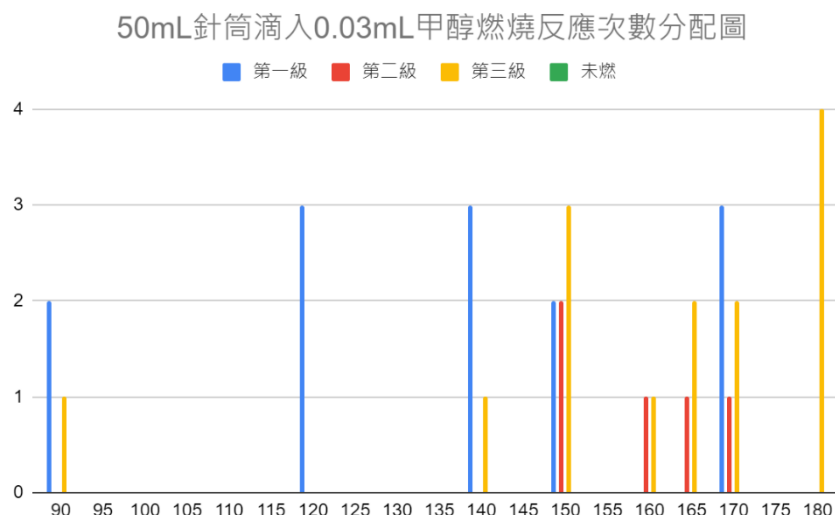


圖 15、50mL 針筒滴入 0.03mL 甲醇燃燒反應次數分配圖

如圖 15 所示，本實驗中酒精揮發成蒸氣的時間，自等待 90 秒後點火開始，根據實驗結果發現在 90 秒時雖能產生第三級燃燒現象，但再現性不穩定；於是在新一次實驗中將揮發時間延長為 120 秒，然而在 120 秒時僅能觀察到第一級燃燒現象。經反覆實驗發現在 165 秒為最佳反應條件，最容易使酒精蒸氣產生第三級燃燒。

《結果分析》

1. 根據數據顯示，在 50mL 針筒中加入 0.05mL 甲醇比起滴入 0.03mL 甲醇時，用較短的時間即能穩定產生第三級燃燒。相較於實驗(一)在 25mL 針筒反應腔，50mL 針筒反應腔較大，加入 0.03mL 甲醇並不足以生成最佳燃燒反應的酒精蒸氣需求量，加入 0.05mL 甲醇最剛好。於是我們推論在此反應條件下，50mL 針筒中加入 0.05mL 甲醇恰能達到反應需求量。
2. 參考酒精砲影片發現酒精蒸氣可能殘留在反應腔內，故在實驗中我們嘗試不清洗針筒，試圖探究甲醇蒸氣殘留對燃燒實驗結果的影響。實驗結果顯示當酒精殘留影響反應腔的酒精蒸氣濃度，使得當次實驗在揮發時間 90 秒時，就產生第三級燃燒；亦即在較短時間就達到第三級燃燒需要的酒精蒸氣濃度，而造成實驗誤差。故在後續的實驗中，每一次反應後將反應腔更測底清洗，並放置通風處一小時以上再使用。

三、實驗二、比較不同揮發性有機溶劑之燃燒反應

(一) 不同有機溶劑揮發速率之比較

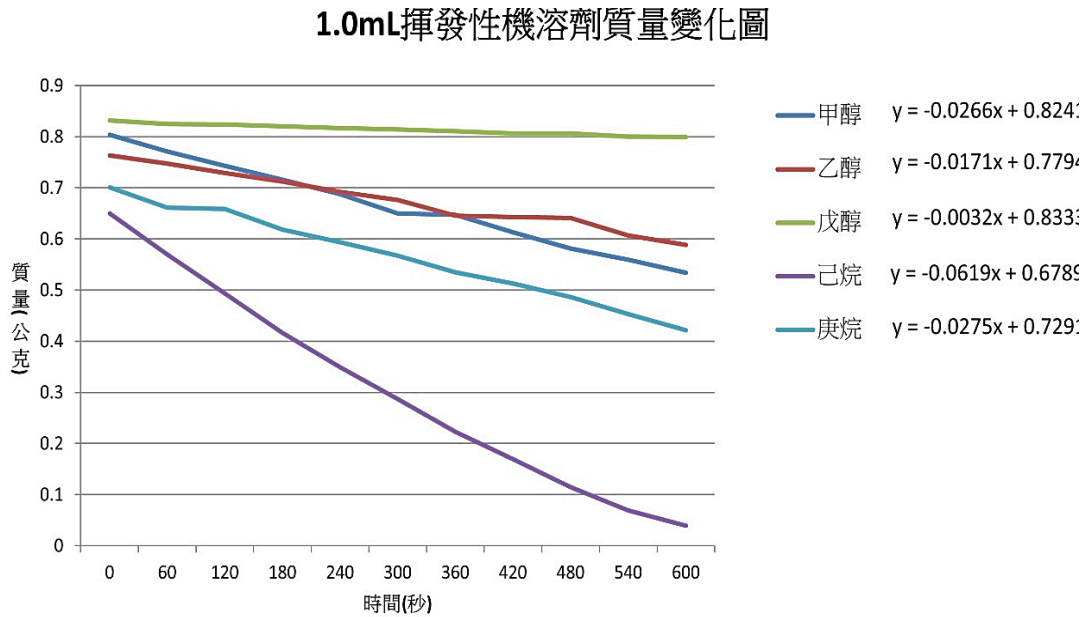


圖 16、1.0 mL 揮發性有機溶劑質量變化

如圖 16 中可以觀察各溶劑從第 0 秒到 600 秒的質量變化，用 Excel 處理實驗數據並製作圖表，從中得知各溶劑的趨勢線及其公式。趨勢線傾斜程度(斜率)可由公式得知，當斜率越大表示該溶劑質量下降越明顯，揮發速率越快。斜率大小推得揮發速率：己烷>庚烷>甲醇>乙醇>戊醇。

《結果分析》

根據數據得知烷類的揮發速率會比醇類的還要快，推測是與分子極性有關，非極性的烷類比極性的醇類更易揮發。此外當相同類型有機溶劑相比時，得知醇類揮發速率甲醇>乙醇>1-戊醇，烷類正己烷>正庚烷；所以我們推論分子量越大，揮發速率越慢。

(二) 探討各有機溶劑的燃燒反應差異

1. 乙醇的燃燒情形

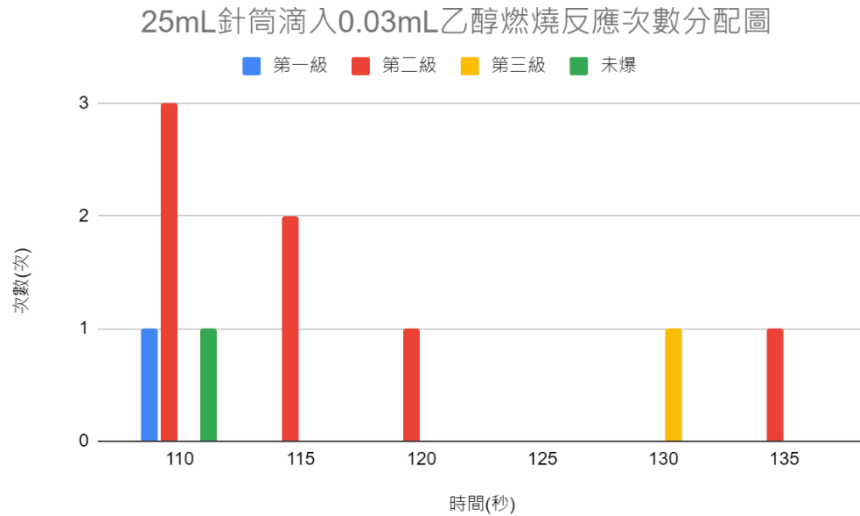


圖 17、25mL 針筒滴入 0.03mL 乙醇燃燒反應次數分配圖

如圖 17 所示，本實驗中乙醇揮發成蒸氣的時間，自等待 110 秒後點火開始，根據實驗結果發現在 110 秒時能產生第二級燃燒現象但機率不高，仍有無法燃燒或第一級燃燒的情形發生；於是在後續實驗中經反覆實驗調整，找到在揮發時間 115 秒時能穩定生成第二級燃燒，而揮發時間調整至 130 秒時便可產生第三級燃燒。

2. 1-戊醇的燃燒情形

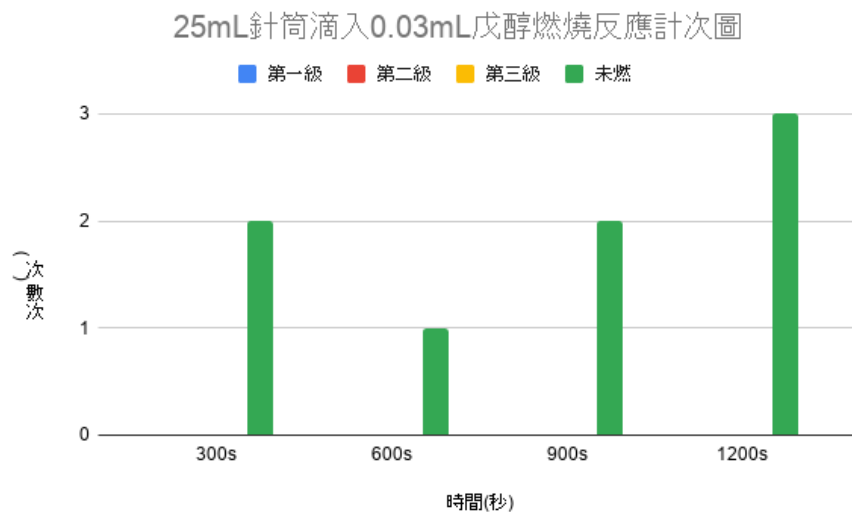


圖 18、25mL 針筒滴入 0.03mL 戊醇燃燒反應計次圖

如圖 18 所示，本實驗中 1-戊醇揮發成蒸氣的時間，自等待 300 秒後點火開始，然而數次實驗結果顯示，無論將揮發時間調整為 600 秒、900 秒、1200 秒，都未能觀察到燃燒現象。

3. 正己烷的燃燒情形

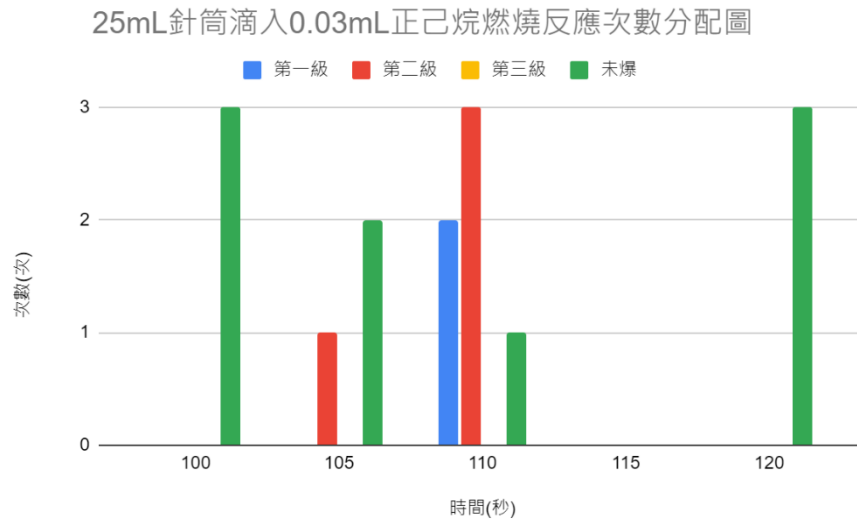


圖 19、25mL 針筒滴入 0.03mL 正己烷燃燒反應次數分配圖

如圖 19 所示，本實驗中正己烷揮發成蒸氣的時間，自等待 100 秒後點火開始，根據實驗結果發現在 100 秒時未能產生燃燒現象；將揮發時間調整為 105 秒時雖能產生第二級燃燒現象，但也有很高的機率無法燃燒。經反覆實驗延長揮發時間為 110 秒時，能有效降低無法燃燒的情況。

4. 正庚烷的燃燒情形

25mL針筒滴入0.03mL正庚烷燃燒反應次數分配圖

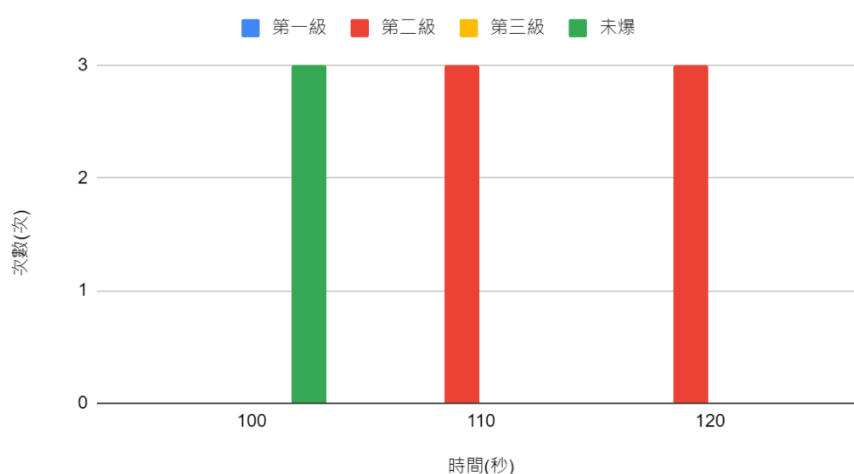


圖 20、25mL 針筒滴入 0.03mL 正庚烷燃燒反應次數分配圖

如圖 20 所示，本實驗中正庚烷揮發成蒸氣的時間，自等待 100 秒後點火開始，根據實驗結果發現在 100 秒時未能產生燃燒現象；後續實驗將揮發時間延長為 110 秒、120 秒時，結果顯示只能穩定生成第二級燃燒現象，具有高度再現性。但以正庚烷為燃料的反應，未有第三級燃燒現象發生。

《結果分析》從表 1 中可見各溶劑的分子量、揮發速率、閃燃點，從各方向分析我們推測如下：

- (1). 乙醇(130秒)相較於甲醇(105秒)，耗費更長的時間才觀察到第三級燃燒，可能是因為乙醇的分子量較大，所以乙醇揮發的蒸氣擴散到整個針筒的過程較慢，達到需要燃燒濃度也因此需要較長的時間。
- (2). 正己烷可觀察到第二級燃燒的發生，未曾出現第三級燃燒；且無法燃燒的機率很高。推測影響因素是正己烷揮發成蒸氣的速度很快，並且從表 1 可見閃燃點低，較易達成蒸氣燃燒的條件；然而其分子量大，蒸氣向上擴散速率受到影響，在電極周圍達到燃燒條件的分子與分子間碰撞機率較低，能達到二級燃燒，未能達到三級燃燒。
- (3). 正庚烷總是只有第二級的燃燒，可能是因為分子量最大，可燃物(蒸氣)不容易飄到上面，所以無法達到第三級的燃燒，但因為閃燃點低，所以

相較於醇類更容易發生燃燒。

- (4). 我們嘗試了很多次發現 1-戊醇都無法觀察到燃燒反應，推測是因為 1-戊醇需要揮發的時間很長，且其閃燃點是五種溶劑中最高的，蒸氣接觸火源發生燃燒現象需要的溫度須達 49°C。再者，1-戊醇分子量大(MW=100)易集中在針筒底部，揮發成蒸氣向上擴散的過程中，可能將上方空氣擠出；因此，我們在後續實驗四中，設計在通電點火前在反應腔內注入氧氣，希望能印證我們的想法。
- (5). 比較醇類及烷類之間的差異發現，同為極性分子的甲醇、乙醇及 1-戊醇，分子量越大需要等待的揮發時間越久；而非極性的正己烷及正庚烷，也有相同的趨勢。
- (6). 比較分子量接近的 1-戊醇與正己烷，屬於極性分子的 1-戊醇類揮發速率慢，而屬於非極性的正己烷揮發速率快，兩者需要等待的時間差異很大，對燃燒反應的效果因此造成影響，使得 1-戊醇難以觀察到燃燒反應，而正己烷可以穩定生成第二級燃燒反應。

四、實驗三、探討其他外在因素對燃燒反應之影響

(一) 探討水氣含量對燃燒的影響

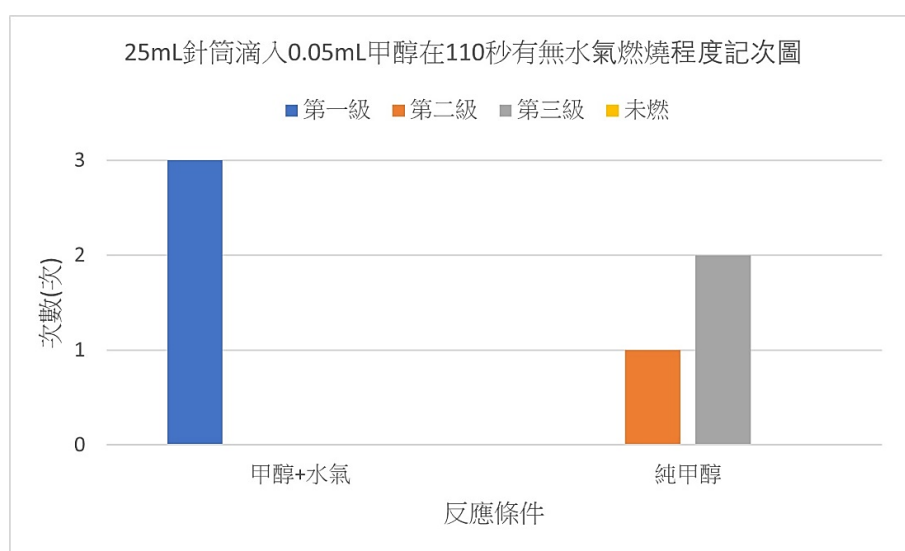


圖 21、25mL 針筒滴入 0.05mL 甲醇在 110 秒有無水氣燃燒反應次數分配

如圖 21 所示，當實驗在反應腔中額外添加水氣，固定揮發時間達 110 秒點火；根據實驗數據顯示在相同反應狀態、揮發時間，原先無添加水氣的實驗能觀察到第二級、第三級燃燒現象，在添加水氣的狀態下，僅能觀察到第一級燃燒現象。

《結果分析》

實驗中甲醇揮發成蒸氣的時間，自等待 110 秒後點火開始，原先相同條件可以生成第二級或第三級燃燒，但是加水氣後就會變成一級燃燒。推測是因為當加入水氣，酒精蒸氣在向上擴散時，就會受到水氣吸引，而影響了酒精蒸氣向上飄的時間，使得能達到反應條件的蒸氣量降低，不足以生成第二、第三級的燃燒反應。

(二) 探討電弧點火對燃燒的影響

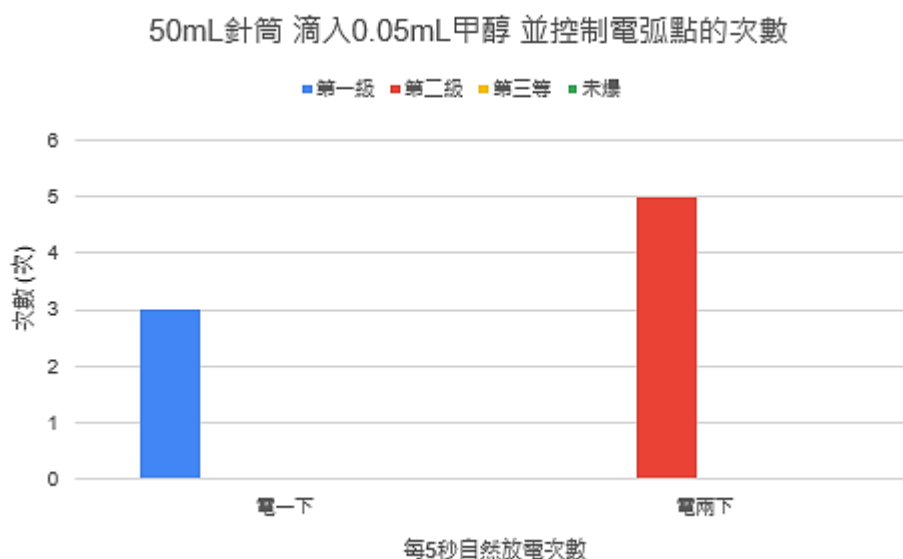


圖 22、50mL 針筒滴入 0.05mL 甲醇並改變電弧放電次數

如圖 22 所示，實驗改變電弧點的次數(使用 Arduino 控制放電時間)，固定揮發時間達 120 秒點火；根據實驗數據顯示在相同反應狀態、揮發時間，原先實驗中，電弧放電一次僅能觀察到第一級燃燒現象；而電弧放電兩次(以 3Hz 頻率之時間間隔)則能觀察到第二級燃燒現象。

《結果分析》

根據實驗結果，我們推測因為電弧放電兩次相較於電弧放電一次能提供較多的能量供蒸氣燃燒，使反應腔內蒸氣分子由第一級燃燒變為第二級燃燒。

(三) 探討氧氣含量對燃燒的影響

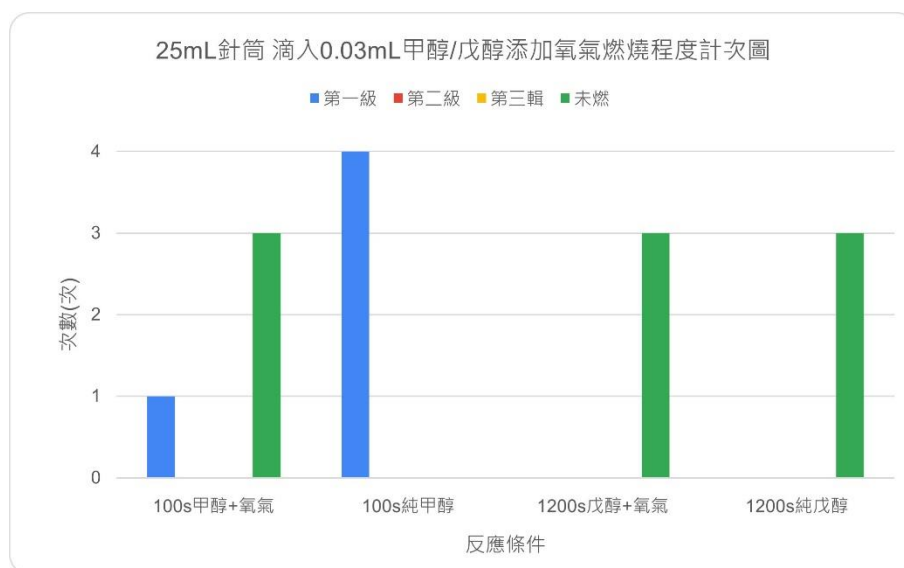


圖 23、25mL 針筒 滴入 0.03mL 甲醇添加氧氣燃燒程度計次圖

《結果分析》

如圖 23 所示，根據數據可發現氧氣的添加對燃燒反應的結果有負面影響。添加氧氣的實驗使原先可以燃燒的時間變成無法燃燒，推測是因為氧氣分子將甲醇/戊醇分子擠壓到針筒的下方，導致針筒上方都只有氧氣分子，沒有燃料可燃燒，因此我們預計在往後的實驗中將電極的位置向下移，企圖觀察氧氣分子與燃料蒸氣分子在反應腔中的分布情形。

陸、 討論

- 一、在 Youtuber「胡子」所操作的酒精砲實驗中發現，如若做完實驗沒有清洗，會使新一次的發射距離變短(威力變小)。因此我們進行了實驗，證實酒精蒸氣的殘存對後續燃燒反應確實會產生影響。為了避免造成誤差，本實驗採用多個塑膠針筒輪流使用，並於每一次完成測試後進行徹底清洗針筒反應腔，並於通風處晾乾閒置一小時以上，才會進行新一次實驗。
- 二、原定實驗條件將溫度設定在 25~26°C 間，然而甲醇的燃燒實驗結果呈現，在相同時間、固定體積的針筒反應腔中，溫差 0.4°C，就會改變燃燒反應的等級。因此，在未來的實驗中可將溫度納入操作變因進行探究。
- 三、我們使用電擊一段時間後，電弧就會無法產生。我們發現原本是紅銅色具光澤的電線會變成咖啡色，經過與老師討論發現這是因為電弧放電產生燃燒會與氧氣發生化學變化，亦即產生氧化反應。未避免電極氧化影響實驗產生誤差，本實驗採用砂紙將氧化的部位磨除；在未來的實驗則預計改以不易氧化的金屬(例如銀線)作為電極。
- 四、本實驗採用直徑 2 毫米銅線作為電弧放電電極，且將兩極距離設定為 1 公分。在後續實驗中還想探討電極距離、電極粗細對燃燒反應的影響。
- 五、高壓脈衝產生器雖然可以穩定提供高壓電弧作為熱源，然而我們發現進行實驗一段時間後電弧強度變小，有使用壽命短暫的限制。因此未來想尋找穩定供電且不易壞的供電裝置取代之。

柒、 結論

- 一、**探討酒精液體體積及其揮發情形對燃燒的影響**：實驗中我們分別以加入了0.01mL、0.03mL、0.05mL三種體積的酒精作為變因進行實驗。當添加0.01mL酒精到25mL針筒中，時間等到10分鐘，均沒有觀察到燃燒現象；而添加0.05mL酒精，實驗後反應腔內有殘餘的酒精液體，因此加入0.03mL的酒精進行實驗最佳。當反應腔改變為50mL針筒時，則需加入0.05mL酒精才足以提供最佳酒精蒸氣濃度。
- 二、**探討不同的揮發性有機溶劑蒸氣之燃燒情形**：實驗中針對各揮發性有機溶劑蒸氣，我們預做了揮發速率實驗，並根據實驗結果得知揮發難易程度為正己烷>正庚烷>甲醇>乙醇>1-戊醇。進一步將這些溶劑進行燃燒反應時，正己烷和正庚烷需要等待揮發成蒸氣的時間較短，可觀察到穩定的燃燒現象；甲醇、乙醇、1-戊醇的揮發性較差，在燃燒實驗中需要較長的揮發時間，甚至1-戊醇無法觀察到燃燒現象。
- 三、**探討其他外在因素對燃燒的影響**：實驗中水氣存在的實驗結果顯示在相同揮發時間，反應腔中水氣的增加，會使原先可觀察到燃燒反應變成無法燃燒。因此空間內濕度會影響燃燒反應的發生；以及電弧次數的實驗結果顯示在相同揮發時間，電弧產生次數多，會使原先無法觀察到燃燒反應變成可以燃燒。因此電弧點的次數會影響燃燒反應的產生；添加氧氣的實驗結果顯示，在原先可以穩定發生第一級燃燒的時間，在針筒內加入氧氣後發生第一級燃燒次數變少，甚至無法燃燒，所以在針筒內加入氧氣，並不會使燃燒結果更劇烈。

捌、 參考文獻資料

一、書籍、報章雜誌及科展論文

1. 黃佳卿、黃兆椿、郭宛婷、黎瑋欣(2007年)·醇醇欲動—乙醇燃料動力車之設計與探討·中華民國第四十七屆中小學科學展覽會作品說明書·取自
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/47/high/030808.pdf>
2. 陳乃銘、黃信叡(2016年)·酒精槍·2016 全國科學探究競賽-這樣教我就懂·取自
<http://sciexplore2016.colife.org.tw/%5CUpload%5C%E9%85%92%E7%B2%BE%E6%A7%8D-8aa68e3f-09f7-4f43-89ba-c62a2ba70774.pdf>
3. 臺大化學系教學網·實驗技能名稱·取自
https://teaching.ch.ntu.edu.tw/gclab/doc/tech-basic/alcohol_lamp.pdf
4. 翰林版八年級上學期理化課本第五章第四節—熱的傳播方式

二、網路資源

1. 胡子 Huzi(2019年)·史上最狂！用酒精發射器二代把 iPhone 11 射到三層樓高！·取自
<https://youtu.be/tospYeHFTI>
2. 林杰成品自然實驗教室(2019年3月18日)·小小神射手-多多砲彈·取自
<https://www.facebook.com/watch/?v=600852680417793>
3. 廖旭茂、楊水平(2013年10月15日)·化學示範實驗：製作大型酒精槍並示範爆炸·科學 Online 高瞻自然科學教育資源網·取自
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=45423>
4. 陸冠輝、楊水平(2011年1月19日)·化學示範實驗：保特瓶大炮·科學 Online 高瞻自然科學教育資源網·取自 <https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=19876>
5. News 新知報：閃電！世界上最大的電弧效應！·取自
http://www.chwa.com.tw/his/zipUp/phPublication/ph_new_11_201804.pdf