

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

佳作

080116

炎之呼吸-火焰燃燒時間與空間、位置的關聯性
探討

學校名稱：桃園市中壢區中平國民小學

作者： 小五 謝宇欣 小五 張宏源 小五 陳紹恩	指導老師： 湯坤陵 章箬琳
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：火焰燃燒、瓶子形狀、燃燒時間

摘要

在這個實驗中，我們針對火焰在燃燒時，它所在的「空間形狀」與火焰的「位置、高度、長度」，來量測燃燒時間，期待利用量測出來的數據，配合自然課課程中有關「熱的對流」來推論，並找出一個適合燃燒的條件；實驗時，我們選用圓柱、四角柱、圓錐三種形狀的玻璃瓶，搭配五種不同的點火點高度、二種火焰長度來取得數據，其中圓柱、四角柱，除了在「瓶口圓心測量」，另也測量了「偏向瓶口邊緣位置」數據來做比較，圓錐因為瓶口較小，只測了圓心，實驗初期，遭遇到不少問題，如「火點不著」、「火焰變長」和「排除廢氣、冷卻」等問題，經過大家討論後解決，最後依數據來推論「瓶子形狀」與「火焰的高度、位置、長度」，對於「燃燒時間長短」的影響。

壹、研究動機

這次會做到這個實驗，是因為五年級上學期**自然課實驗時**，我們利用廣口瓶來蓋住「燃燒的蠟燭」，但是**每一組的蠟燭「長短不一樣」，且大家「蓋的位置」也不相同，發現「熄滅的時間」也有差異**，所以就想測試看看，不同的蠟燭長度和所在的位置，對燃燒時間有什麼關聯，另外再加入不同形狀的瓶子、長焰長度來嘗試，期待能找出數據間的關聯性，來推論出一個論點來解釋火焰在「不同位置、瓶子、高度、長度」燃燒時間的長短。



貳、研究目的

- 一、利用實驗來量測出「點火點高度」對「燃燒時間長短」的影響。
- 二、利用實驗來量測出「不同的位置」對「燃燒時間長短」的影響。
- 三、利用實驗來量測出「不同形狀的瓶子」對「燃燒時間長短」的影響。
- 四、利用實驗來量測出「不同長度的火焰」對「燃燒時間長短」的影響。
- 五、用全部的實驗結果來推論「點火點高度」、「點火位置」、「不同形狀的瓶子」與「不同長度的火焰」之間的關聯性，並找出一個可讓燃燒時間最長、最有效率的條件。

參、研究設備及器材

- 一、文具類：美工刀、圓規、長尺、記錄本、各式筆類、計算機
- 二、消耗品：A4 影印紙、厚瓦楞紙板、油土、點火器燃料補充瓶

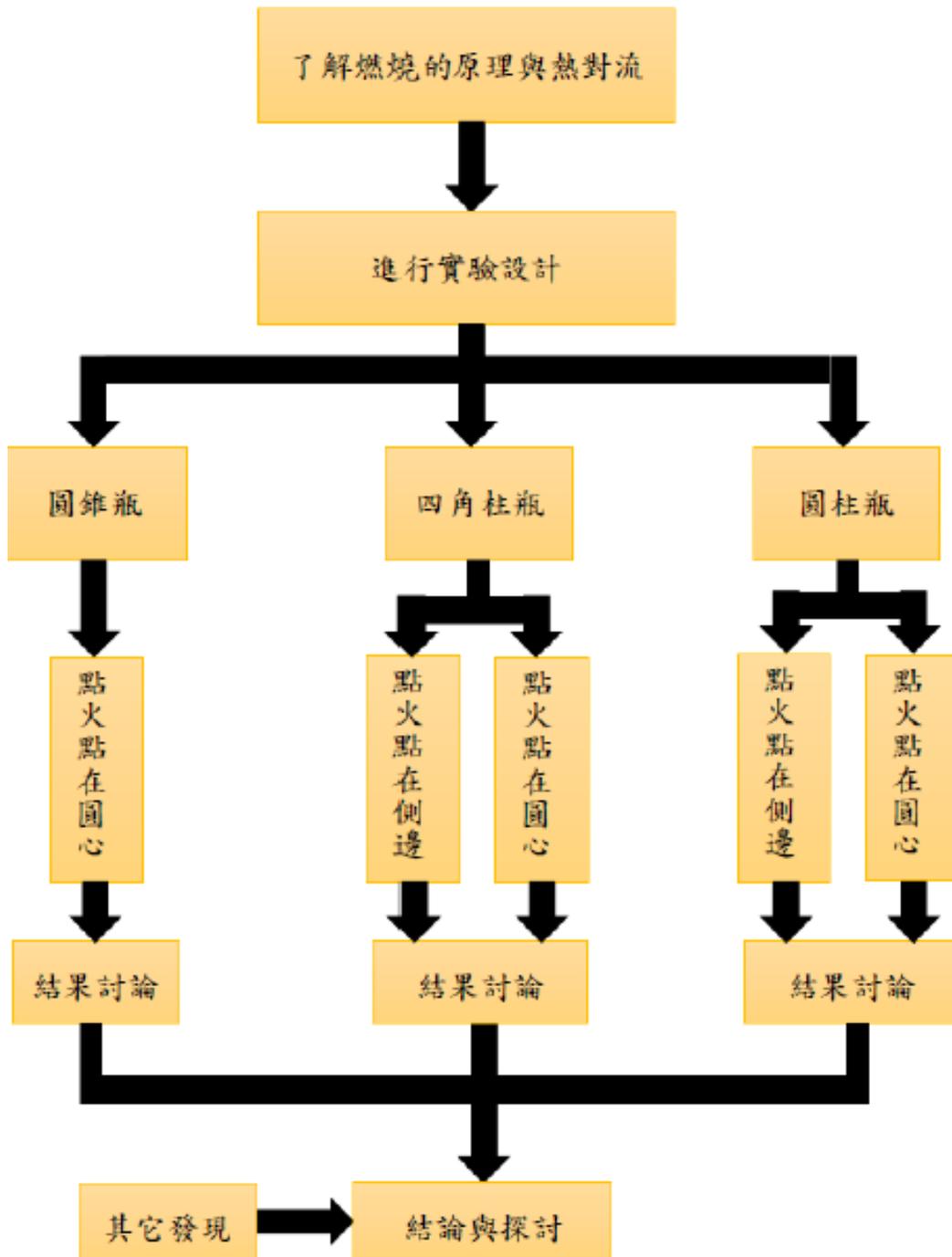
三、 實驗器材：

1. 不同形狀玻璃瓶三個，(圓柱、四角柱、圓錐)。
2. 明火型點火器、計時用碼錶。
3. 四腳板凳、 1.5cm 長方體數個。



肆、 研究過程與方法

一、 研究過程圖：



二、實驗模型設計：

1. 原先實驗設計要使用「蠟燭」來做實驗，但是每一根蠟燭的性質不同，變數多，且在實驗時，會漸漸變短，所以選擇火焰較為穩定的點火器來做實驗，但防風型點火器燃燒較快，造成實驗數據偏小差異不明顯，所以選用「非防風明火型」的點火器來做實驗。
2. 使用中間有孔、高度適合的四腳板凳，於板凳中間放置 1.5cm 的長方體來做高度調整，並利用中間的孔洞來置放點火器。
3. 利用瓦楞紙板剪裁較瓶口略大的圓形，並在圓心部份鑽孔讓點火器穿出，在圓周周圍放置油土，使得瓶子放置時，能夠與外界空氣隔絕。
4. 火焰長度控制在 1cm 及 2cm，點火器點火後，開始計時，直到火焰熄滅為止，並記錄燃燒的時間。
5. 每一次的實驗後，使用電風扇，對瓶口吹風，並將瓶底放置於水中冷卻，以減少因溫度造成瓶內空氣容積的變化。
6. 每一個實驗條件，依上述方式量測得 10 個數據，並記錄於實驗記錄本上，並算出平均值，再將簡圖、折線圖畫出。
7. 改變點火器的高度，再做實驗，取得數據，當高度條件全數完成後，再改變點火器的位置(偏向瓶緣)，並依上述方式量測。



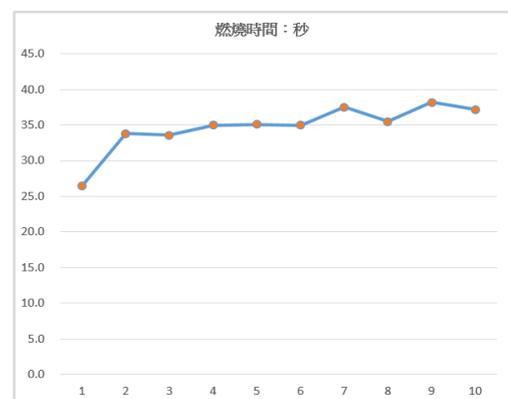
三、實驗過程：火焰長度 1cm

- (一) 實驗一：使用圓柱瓶實驗，點火點在瓶口的中央(圓心的位置)，實驗時調整點火器高度，從 9.5cm 開始，量測 10 個數據後，再降低點火器高度，每次下降 1.5cm，最低高度為 3.5cm，記錄數據後，於記錄本上畫上簡圖和折線圖。



1. 圓柱瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 9.5cm。

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	26.5	33.8	33.6	35.0	35.1	35.0	37.5	35.5	38.2	37.2	34.7



討論：

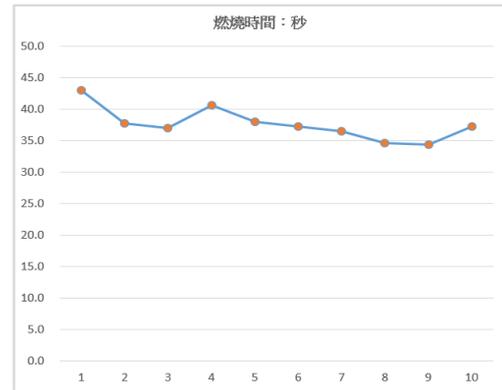
第一個數據，秒數偏低，但後面的九個數據變得較為平穩，在觀察時常被冷凝在瓶身的水氣干擾。

2. 圓柱瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 8.0cm。

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	43.0	37.8	37.0	40.6	38.0	37.3	36.5	34.6	34.4	37.3	37.7

討論：

數據保持穩定，已有出現超過 40 秒的數據，初步顯示，「高度下降時，火焰燃燒的時間會增加」。



3. 圓柱瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 6.5cm。

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	43.3	40.6	42.5	45.0	45.4	41.3	46.5	45.9	41.1	47.4	43.9

討論：

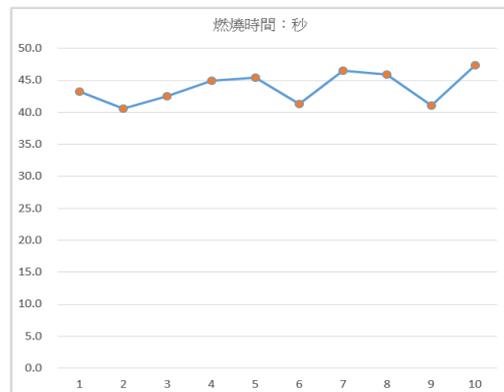
火焰燃燒的秒數明顯的變長，仍維持「高度下降，火焰燃燒的秒數會增加」。

4. 圓柱瓶，點火點在瓶口圓心，點火器高度 5.0cm。

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	51.4	51.0	49.4	46.2	47.8	42.9	42.7	48.2	48.9	49.6	47.8

討論：

持續維持「高度下降，火焰燃燒的秒數會增加」的推論。

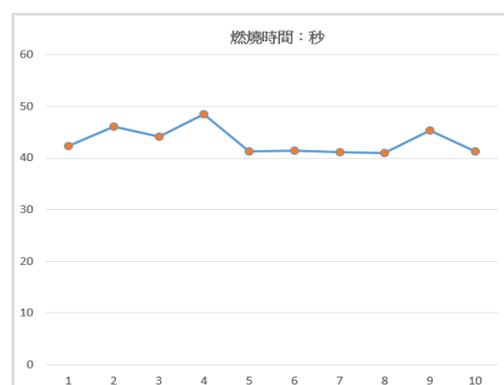


5. 圓柱瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 3.5cm。

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	42.4	46.1	44.2	48.5	41.3	41.5	41.1	41	45.4	41.3	43.28

討論：

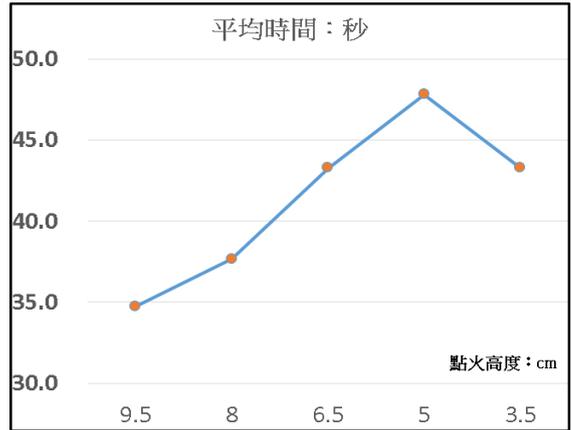
原先推測點火器 3.5cm 的燃燒時間會是最長，但實驗結果呈現秒數下降的情形。



實驗一結果：

點火器高度	9.5	8	6.5	5	3.5	平均
平均時間	34.7	37.7	43.3	47.8	43.3	41.4

討論：原先推測「點火器高度下降，火焰燃燒的時間會增加」，用「熱對流」的理論來推論，當點火器高度下降，在點火器上方有更多的空氣能對流，對氧氣的供應會更充足，但在高度 3.5cm 時，秒數反而減少。



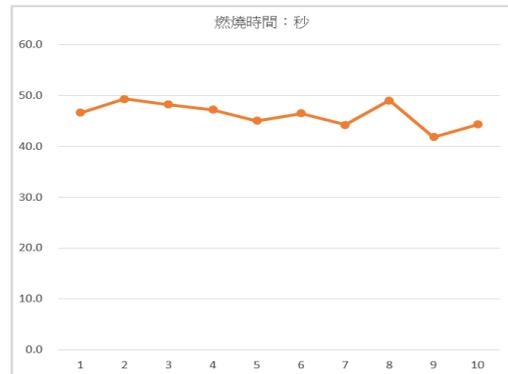
(二)實驗二：圓柱瓶，點火點在離瓶口圓心 2cm

實驗的設計變更了「點火器的位置」，由瓶口的正中央(圓心的位置)，向瓶口邊緣移動了 2.0cm。



1. 圓柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 9.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	46.6	49.3	48.2	47.2	45.0	46.5	44.2	49.0	41.8	44.3	46.2



討論：

量測數據穩定，但和點火點在圓心的數據比較，明顯秒數較長。

2. 圓柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 8.0cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	48.6	48.1	48.8	44.1	46.0	46.0	46.7	50.6	43.6	46.2	46.9



討論：

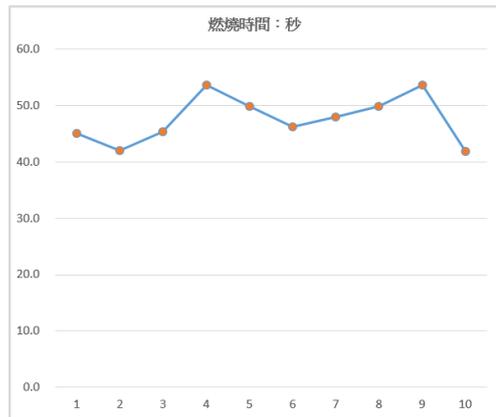
量測數據穩定，而且折線圖的圖形和「高度 9.5cm」的相似，平均秒數增加。

3. 圓柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 6.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	45.0	42.0	45.3	53.6	49.9	46.3	47.9	49.9	53.6	41.8	47.5

討論：

平均值較上個高度長，似乎支持「點火高度下降，燃燒時間增加」。

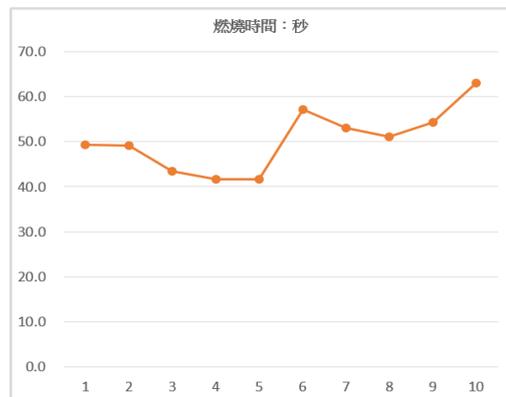


4. 圓柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 5.0cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	49.4	49.1	43.5	41.7	41.7	57.2	53.1	51.1	54.3	63.0	50.4

討論：

這次量測的秒數明顯增加，趨勢和「點火器在圓心」相似。



5. 圓柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 3.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	48.0	44.8	46.2	49.3	44.2	45.9	44.6	42.3	42.5	49.0	45.7

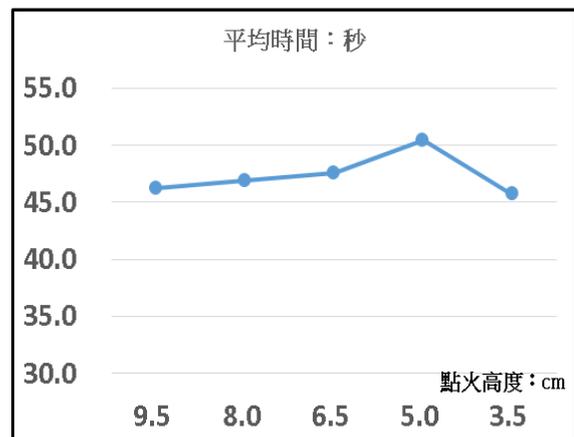
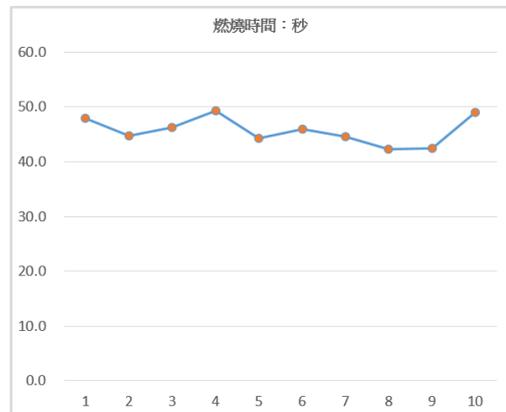
討論：

燃燒的秒數下降，和「點火點在圓心」的情形一樣，在「點火點高度 3.5cm」時，火焰燃燒秒數呈現減少的情形。

實驗二結果：

點火器高度	9.5	8.0	6.5	5.0	3.5	平均
平均時間	46.2	46.9	47.5	50.4	45.7	47.3

討論：從五種點火高度的平均值來看，一開始都是「隨著高度下降，燃燒的秒數增加」，但在最低高度(3.5cm)時，此次實驗的增加幅度較小。



(三)實驗三：四角柱瓶，點火點在瓶口圓心

這個實驗設計，瓶子改為「四角柱瓶」，且瓶口依然是圓形所以其它實驗條件並無改變，實驗時調整點火器高度，從 9.5cm 開始，量測 10 個數據後，再降低點火器高度，每次下降 1.5cm，最低高度為 3.5cm，記錄數據後，於記錄本上畫上簡圖和折線圖。



1. 四角柱瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 9.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	33.4	38.2	35.1	38.2	40	35.4	32.8	39.7	36.5	38.3	36.76

討論：

量測數據穩定，但是秒數並不高，後續的實驗再觀察秒數變化。

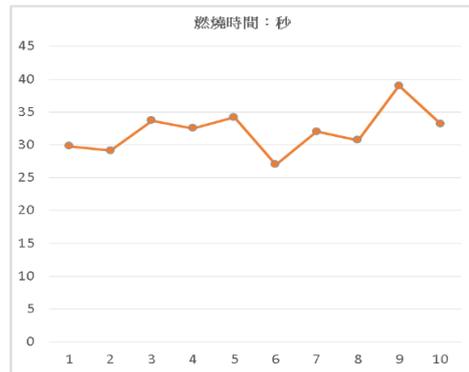


2. 四角柱瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 8.0cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	29.8	29.1	33.7	32.5	34.2	27	32	30.7	39	33.2	32.12

討論：

第 9 次的數據差異較大，數據也有較大的波動，整體平均秒數呈現下降的情形。

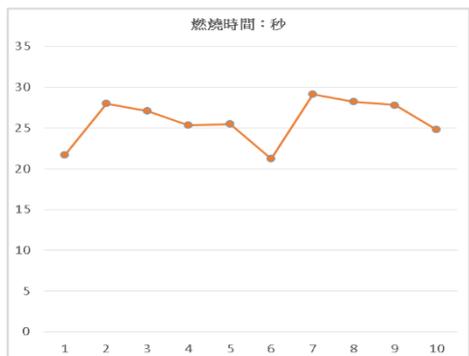


3. 四角柱瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 6.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	21.7	28	27.1	25.3	25.5	21.2	29.1	33.6	37.2	24.8	27.35

討論：

量測數據平均值持續下降，數據波動大。



4. 四角柱瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 5.0cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	35.4	33.2	30.2	32.3	37.4	36.4	32.2	31.3	36.9	33.6	33.89

討論：

量測數值趨於穩定，且平均秒數有上升的趨勢。

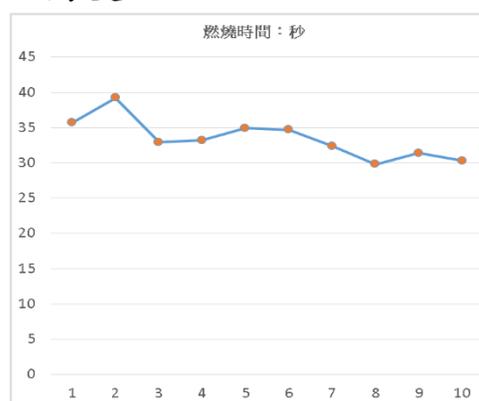


5. 四角柱瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 3.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	35.7	39.2	32.9	33.2	34.9	34.7	32.4	29.8	31.4	30.3	33.45

討論：

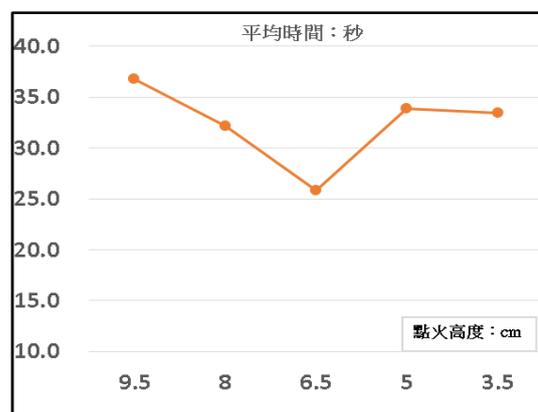
量測數據有漸漸變小的趨勢，每個數據差異不大，但是呈現下降的情形。



實驗三結果：

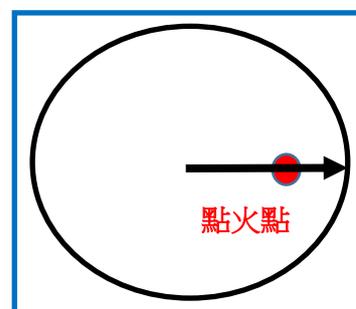
點火器高度	9.5	8	6.5	5	3.5	平均
平均時間	36.8	32.1	25.9	33.9	33.5	32.4

討論：燃燒的時間一開始隨著高度下降而減少，但在高度 5.0cm 時，秒數開始上升，和之前的實驗比較，沒有相同趨勢。



(四) 實驗四：四角柱瓶，點火點在離瓶口圓心 2cm，接近瓶壁(平邊)

將「點火器的位置」，由瓶口的正中央(圓心的位置)，向瓶口邊緣，靠近瓶壁邊長部份(平邊)移動了 2.0cm，量測數據後記錄，並在記錄本上畫上簡圖和折線圖。



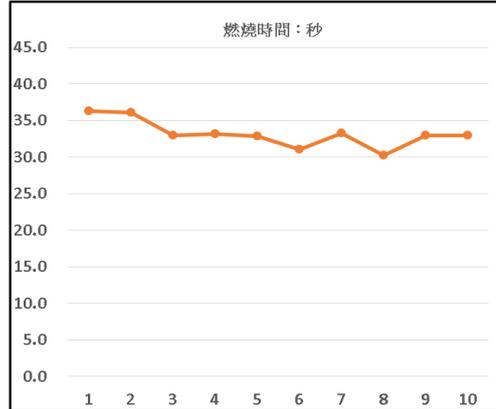
四角柱

1. 四角柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 9.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	36.3	36.1	33.0	33.2	32.9	31.0	33.3	30.2	33.0	33.0	33.2

討論：

整體量測數據有波動但偏穩定，但平均數值偏低。

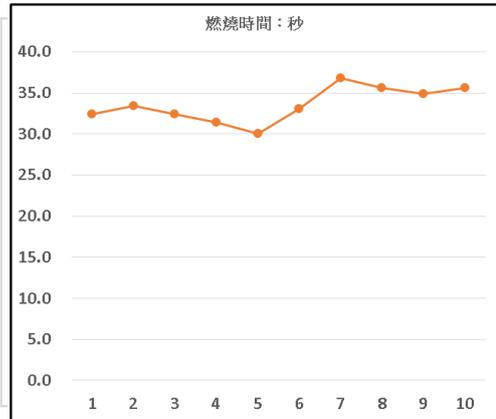


2. 四角柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 8.0cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	32.4	33.4	32.4	31.4	30.0	33.0	36.8	35.6	34.9	35.6	33.6

討論：

量測數據穩定增加中，但第 10 個數據和前一個數據差異突然變大，但和第 1 個數據相比比，差異不大。

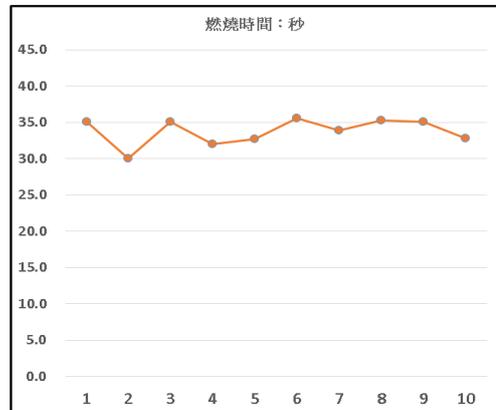


3. 四角柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 6.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	35.1	30.0	35.1	32.0	32.7	35.6	33.9	35.3	35.1	32.8	33.8

討論：

量測數據雖然有波動，但是差異不大，平均數值較前一個實驗微幅減少。

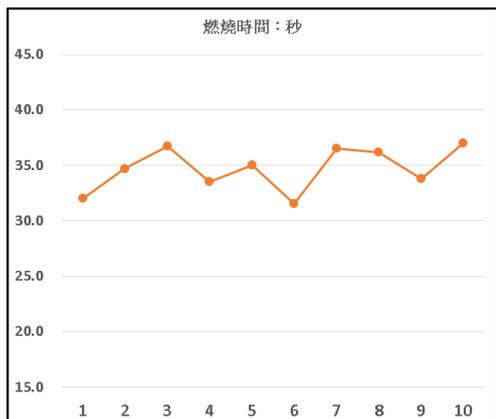


4. 四角柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 5.0cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	32.0	34.7	36.7	33.5	35.0	31.5	36.5	36.2	33.8	37.0	34.7

討論：

量測數據在平均值上下波動，但沒有差異性較大的數據，平均值無較大的變化。

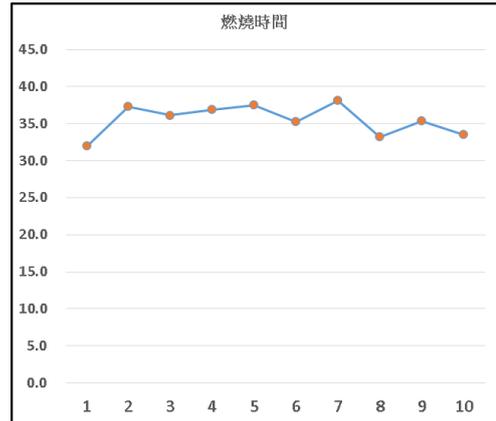


5. 四角柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 3.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	32.0	37.3	36.1	36.9	37.5	35.2	38.1	33.2	35.3	33.5	35.5

討論：

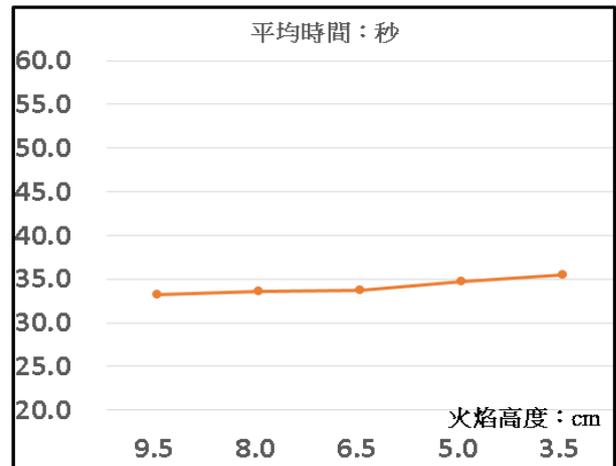
量測數據波動小，平均秒數和前幾次實驗比較，無明顯的變化。



實驗四結果：

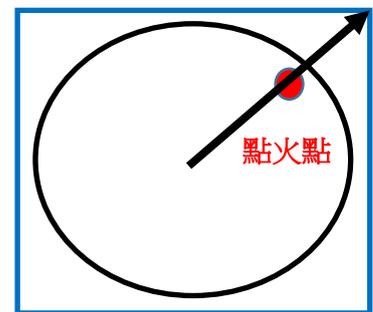
點火器高度	9.5	8.0	6.5	5.0	3.5	平均
平均時間	33.2	33.6	33.8	34.7	35.5	34.1

討論：從實驗結果來看，燃燒的平均秒數差異小，點火點的高度對燃燒的時間，沒有一定的規律性。



(五) 實驗五：四角柱瓶，點火點在離瓶口圓心 2cm，接近瓶角(角邊)

將「點火器的位置」，由瓶口的正中央(圓心的位置)，向瓶口邊緣，靠近瓶子角落部份(角邊)移動了 2.0cm，量測數據後記錄，並在記錄本上畫上簡圖和折線圖。



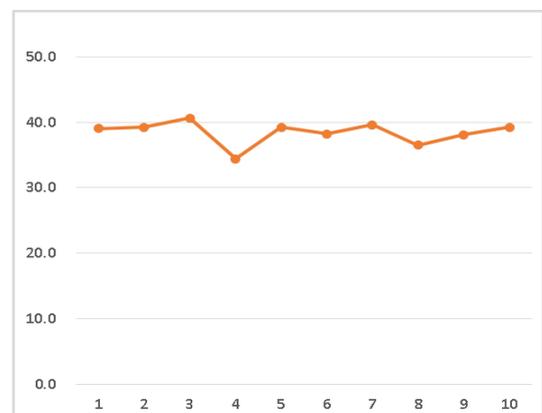
四角柱

1. 四角柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 9.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間：秒	39.0	39.2	40.6	34.4	39.2	38.2	39.6	36.5	38.1	39.2	38.4

討論：

量測數據平穩且波動不大。



2. 四角柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 8.0cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間：秒	37.0	40.8	38.2	42.0	37.9	35.5	35.8	37.3	40.6	35.6	38.1

討論：

量測數據平穩且波動不大，和前面高度的平均值接近。

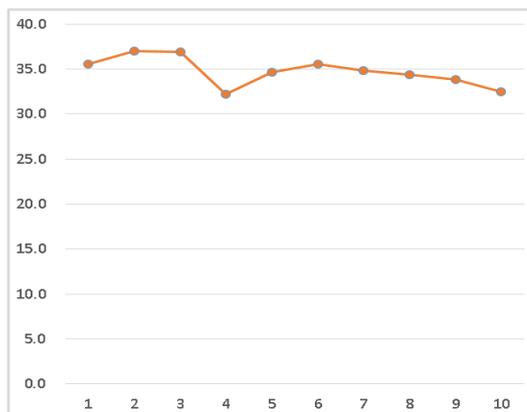


3. 四角柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 6.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間：秒	35.5	37.0	36.9	32.2	34.6	35.5	34.8	34.4	33.8	32.5	34.7

討論：

量測數據平穩且波動不大，但平均值已有明顯的下降。



4. 四角柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 5.0cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間：秒	40.2	38.9	41.2	35.0	37.8	34.3	38.0	40.5	33.9	37.2	37.7

討論：

量測數據的平均值，較高度 6.5cm 為高，有反轉的情形。

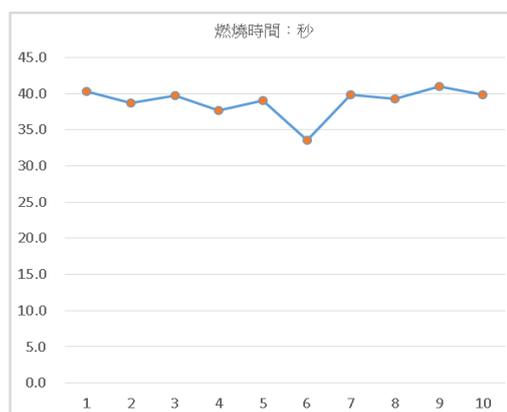


5. 四角柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 3.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間：秒	40.3	38.7	39.7	37.7	39.0	33.5	39.8	39.3	41.0	39.8	38.9

討論：

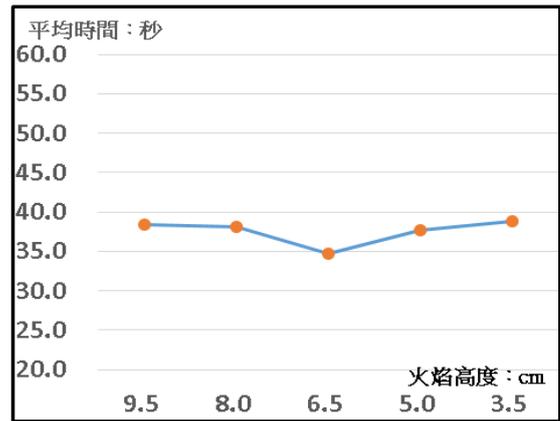
量測數據波動小，平均秒數又有增加的情形。



實驗五結果：

點火器高度	9.5	8.0	6.5	5.0	3.5	平均
平均時間	38.4	38.1	34.7	37.7	38.9	37.6

討論：圖形在趨勢上，和點火點在四角柱圓心的有點相似，都是呈現一個「V」字型，但秒數差異並不大。



(六)實驗六：圓錐瓶，點火點在瓶口圓心

這個實驗設計使用「圓錐瓶」，因圓錐瓶的瓶口較小，所以只實驗「點火點在瓶口圓心」，而燃燒後產生的二氧化碳和水氣，因瓶口小無法在短時間內排除，所以使用了一個專用的排氣設計，除了節省時間，也讓瓶內的二氧化碳和水氣能確實排除。



1. 圓錐瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 9.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	37.8	28.5	27.0	34.5	26.9	20.3	20.8	31.5	33.1	34.1	29.5

討論：

量測數據波動較大，平均秒數明顯偏低。

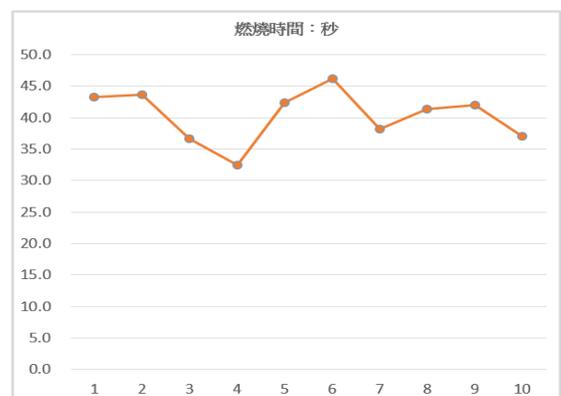


2. 圓錐瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 8.0cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	43.2	43.6	36.6	32.4	42.3	46.2	38.1	41.3	42.0	37.0	40.3

討論：

仍然有數據波動較大的情形，但和高 9.5 cm 比較，已經有漸漸穩定的情形。

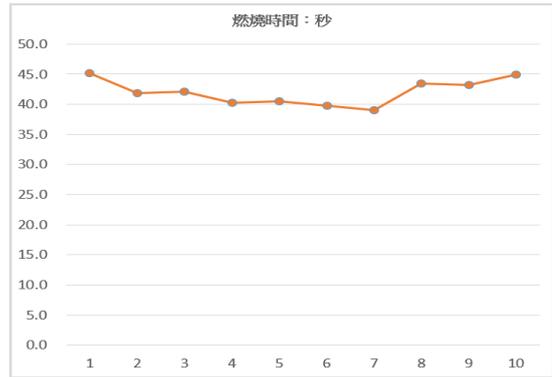


3. 圓錐瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 6.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	45.2	41.9	42.1	40.2	40.5	39.8	39.0	43.5	43.2	44.9	42.0

討論：

量測數據變得穩定，燃燒的平均秒數也漸漸變高。

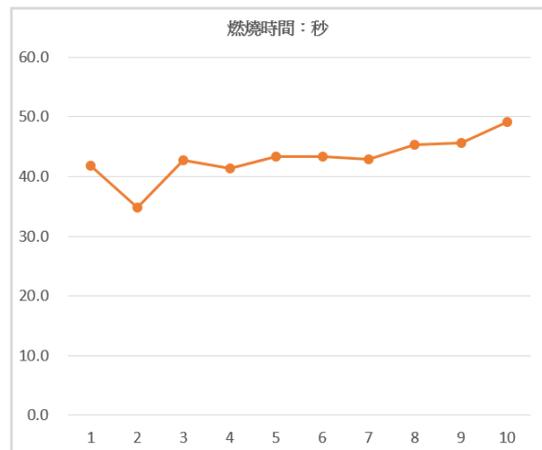


4. 圓錐瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 5.0cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	41.8	34.8	42.8	41.3	43.4	43.3	42.9	45.4	45.6	49.2	43.1

討論：

量測數據穩定，燃燒的平均秒數再次變高。



5. 圓錐瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 3.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	34.8	37.4	37.5	34.4	32.7	40.1	39.0	37.6	36.2	38.8	36.9

討論：

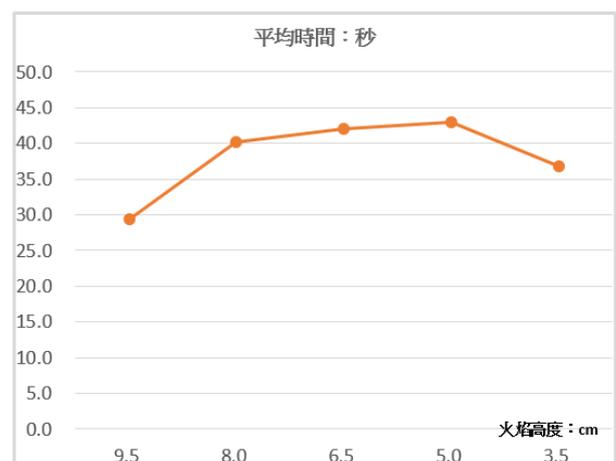
量測數據很穩定，但平均秒數出現明顯下降的情形。



實驗六結果：

點火器高度	9.5	8.0	6.5	5.0	3.5	平均
平均時間	29.5	40.3	42.0	43.1	36.9	38.3

討論：當點火器高度下降時，燃燒的平均秒數開始增加，但在高度 3.5cm 時，燃燒的平均秒數卻出現下降的情形，和圓柱瓶很相似。



四、實驗過程：火焰長度 2cm

實驗時調整火焰長度為 2cm，從 9.5cm 開始，量測 10 個數據後，再降低點火器高度，每次下降 1.5cm，最低高度為 3.5cm，記錄數據後，於記錄本上畫上簡圖和折線圖。



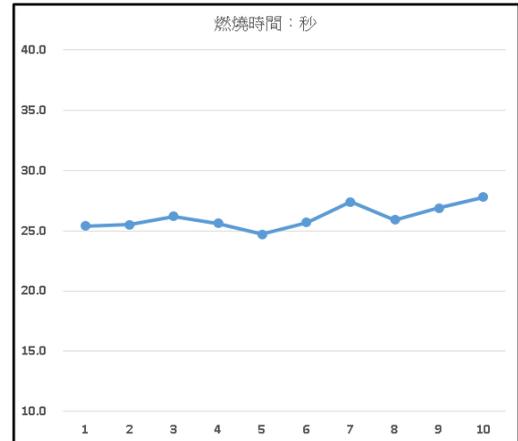
(一)實驗一：使用圓柱瓶實驗，點火點在瓶口的中央，火焰長度 2cm

1. 圓柱瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 9.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	25.4	25.5	26.2	25.6	24.7	25.7	27.4	25.9	26.9	27.8	26.1

討論：

燃燒秒數明顯下降許多，實驗數據差異不大。

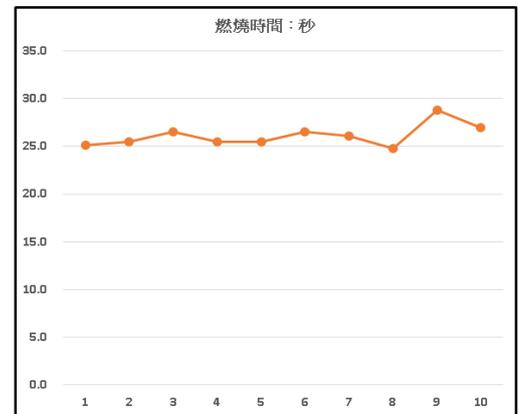


2. 圓柱瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 8.0cm。

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	25.1	25.5	26.5	25.5	25.5	26.5	26.1	24.8	28.8	27.0	26.1

討論：

數據保持穩定，秒數明顯下降，平均值無變化。

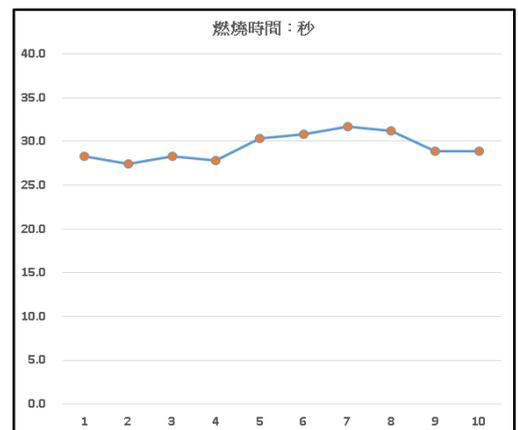


3. 圓柱瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 6.5cm。

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	28.3	27.4	28.3	27.8	30.3	30.8	31.7	31.2	28.9	28.9	29.4

討論：

火焰燃燒的秒數有變長的情形。

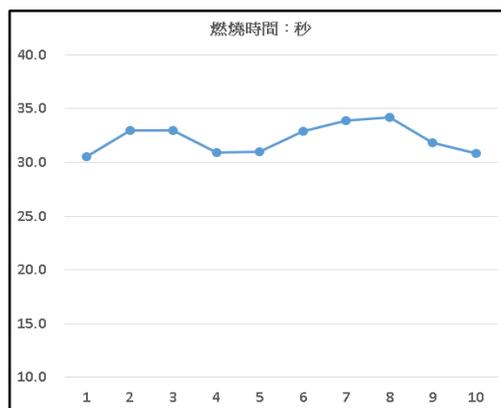


4. 圓柱瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 5.0cm。

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	30.5	33.0	33.0	30.9	31.0	32.9	33.9	34.2	31.8	30.8	32.2

討論：

持續維持「高度下降，火焰燃燒的秒數會增加」的推論。



5. 圓柱瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 3.5cm。

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	27.8	31.0	30.4	29.2	29.3	28.5	28.7	28.5	27.9	28.6	29.0

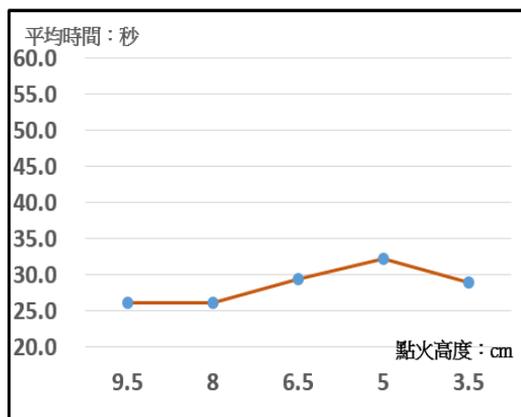
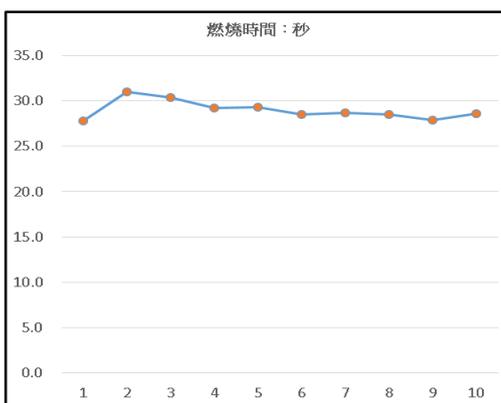
討論：

在點火點高度 3.5cm 的時候，結果呈現秒數下降的情形。

實驗一結果：

點火器高度	9.5	8.0	6.5	5.0	3.5	平均
平均時間	26.1	26.1	29.4	32.2	29.0	28.6

討論：當點火器高度下降，燃燒秒數呈現上升的情形，但在最低點出現反轉，且全部的平均秒數都明顯下降。

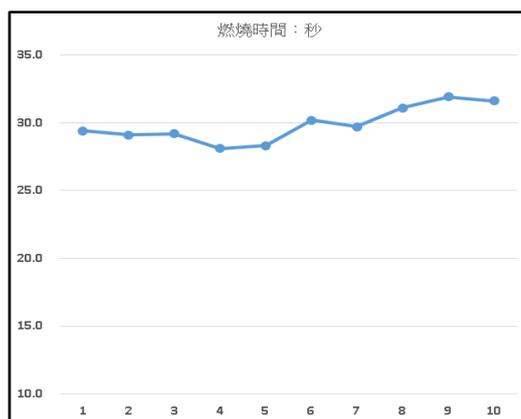


(二) 實驗二：圓柱瓶，點火點在偏離瓶口圓心 2cm，火焰長度設定為 2cm。

1. 圓柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 9.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	29.4	29.1	29.2	28.1	28.3	30.2	29.7	31.1	31.9	31.6	29.9

討論：量測數據穩定，但和點火點在圓心的數據比較，明顯秒數較長。

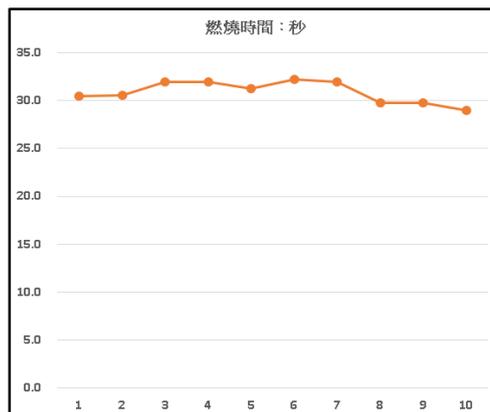


2. 圓柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 8.0cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	30.5	30.6	32.0	32.0	31.3	32.2	32.0	29.8	29.8	29.0	30.9

討論：

量測數據穩定，而且折線圖的圖形和「高度 9.5cm」的相似，平均秒數增加。

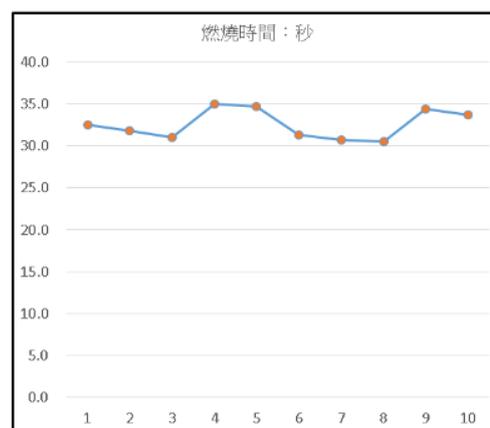


3. 圓柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 6.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	32.5	31.8	31.0	35.0	34.7	31.3	30.7	30.5	34.4	33.7	32.6

討論：

平均值有增加的情形，似乎支持「點火高度下降，燃燒時間增加」的論點。

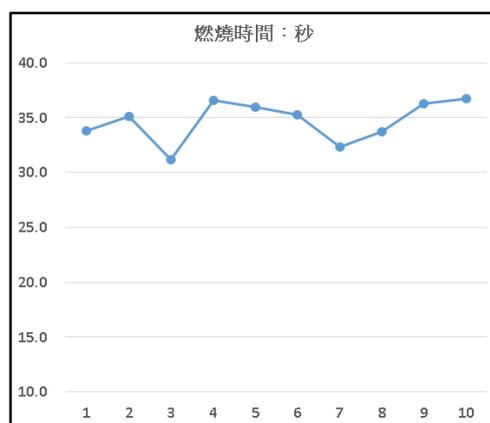


4. 圓柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 5.0cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	33.8	35.1	31.2	36.6	36.0	35.3	32.3	33.7	36.3	36.7	34.7

討論：

這次量測的秒數又是增加，趨勢和「點火器在圓心」相似。

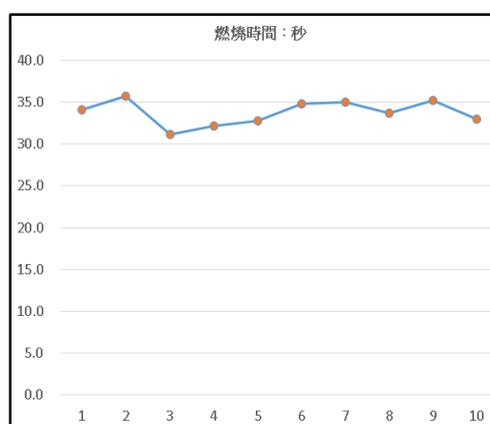


5. 圓柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 3.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	34.1	35.7	31.1	32.2	32.8	34.8	35.0	33.7	35.2	33.0	33.8

討論：

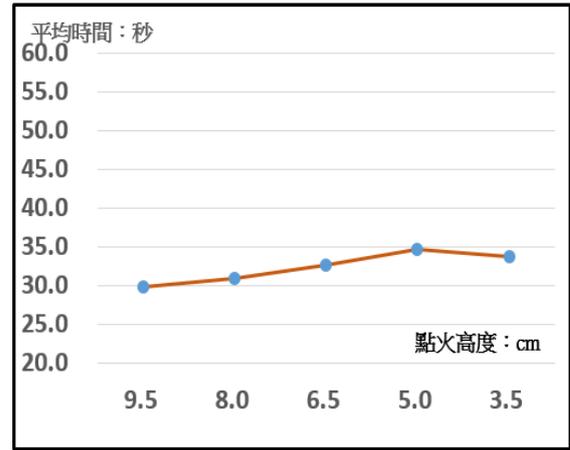
燃燒的秒數略為下降，和「點火點在圓心」的情形一樣。



實驗二結果：

點火器高度	9.5	8.0	6.5	5.0	3.5	平均
平均時間	29.9	30.9	32.6	34.7	33.8	32.4

討論：一開始都是「隨著高度下降，燃燒的秒數增加」，但在最低高度(3.5cm)時，此次實驗的增加幅度較小，總體秒數也是偏短。



(三)實驗三：四角柱瓶，點火點在瓶口圓心，火焰長度 2cm

這個實驗設計，瓶子改為「四角柱瓶」，且瓶口是圓形，火焰長度改為 2cm，所以其它實驗條件並無改變，實驗時調整點火器高度，從 9.5cm 開始，量測 10 個數據後，再降低點火器高度，每次下降 1.5cm，最低高度為 3.5cm，記錄數據後，於記錄本上畫上簡圖和折線圖。

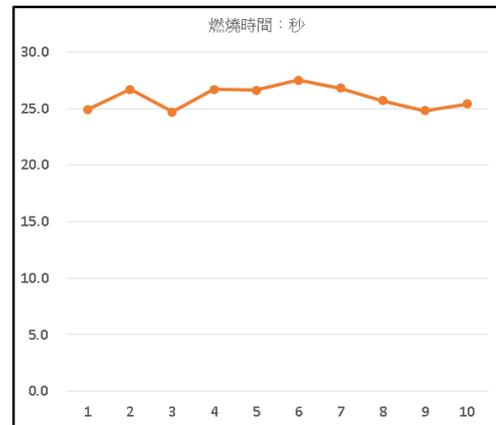


1. 四角柱瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 9.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	24.9	26.7	24.7	26.7	26.6	27.5	26.8	25.7	24.8	25.4	26.0

討論：

量測數據穩定，但是秒數並不高，後續的實驗再觀察秒數變化。

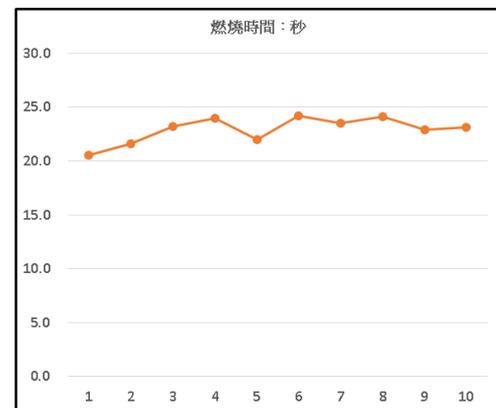


2. 四角柱瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 8.0cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	20.5	21.6	23.2	24.0	22.0	24.2	23.5	24.1	22.9	23.1	22.9

討論：

實驗數據穩定，平均秒數偏低。

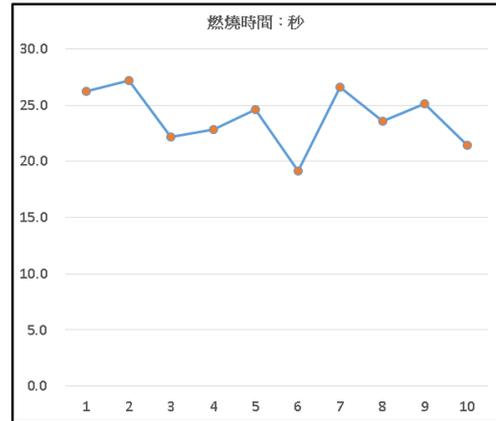


3. 四角柱瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 6.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	26.2	27.2	22.2	22.8	24.6	19.1	26.6	23.6	25.1	21.4	23.9

討論：

量測數據波動較大，但平均燃燒秒數上升。

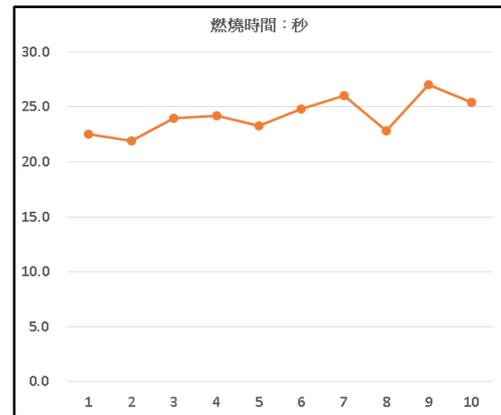


4. 四角柱瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 5.0cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	22.5	21.9	24.0	24.2	23.3	24.8	26.0	22.8	27.0	25.4	24.2

討論：

量測數值趨於穩定，且平均秒數有略為上升的趨勢。

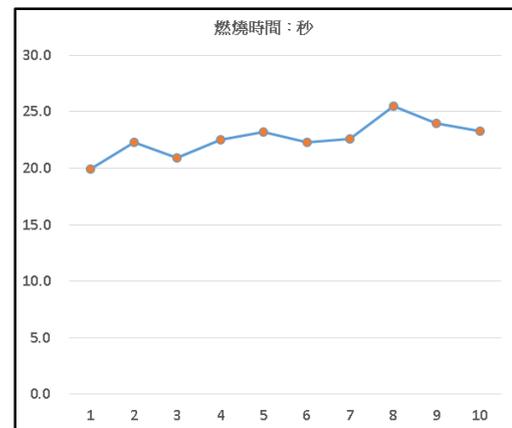


5. 四角柱瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 3.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	19.9	22.3	20.9	22.5	23.2	22.3	22.6	25.5	24.0	23.3	22.7

討論：

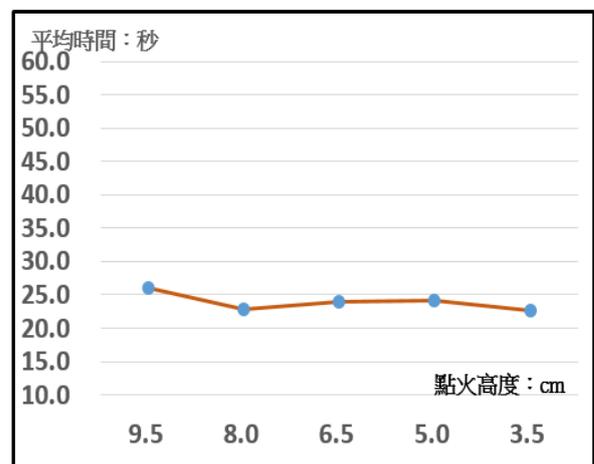
量測數據有漸漸變小的趨勢，每個數據差異不大，但是呈現下降的情形。



實驗三結果：

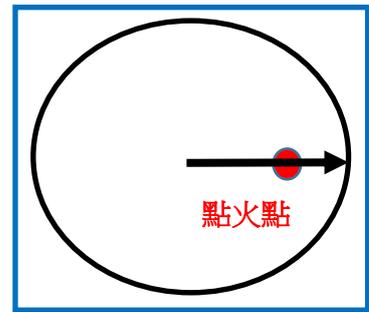
點火器高度	9.5	8.0	6.5	5.0	3.5	平均
平均時間	26.0	22.9	23.9	24.2	22.7	23.9

討論：燃燒的秒數一開始隨著高度下降而減少，但隨後的高度下降時，秒數沒有明顯的上升或下降，趨勢穩定。



(四)實驗四：四角柱瓶，點火點在離瓶口圓心 2cm，接近瓶壁(平邊)，火焰長度 2cm

將「點火器的位置」，由瓶口的正中央(圓心的位置)，向瓶口邊緣，靠近瓶壁邊長部份(平邊)移動了 2.0cm，量測數據後記錄，並在記錄本上畫上簡圖和折線圖。



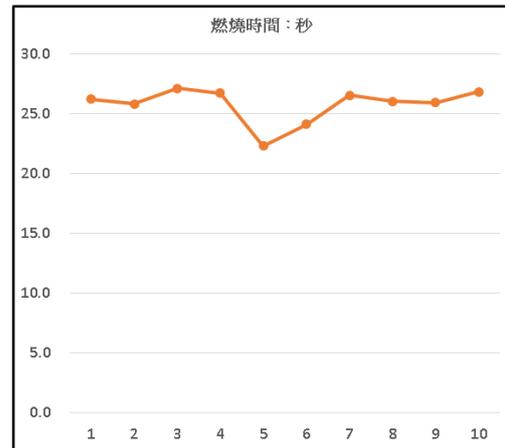
四角柱

1. 四角柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 9.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	26.2	25.8	27.1	26.7	22.3	24.1	26.5	26.0	25.9	26.8	25.7

討論：

整體量測數據有波動但偏穩定，但平均數值偏低。

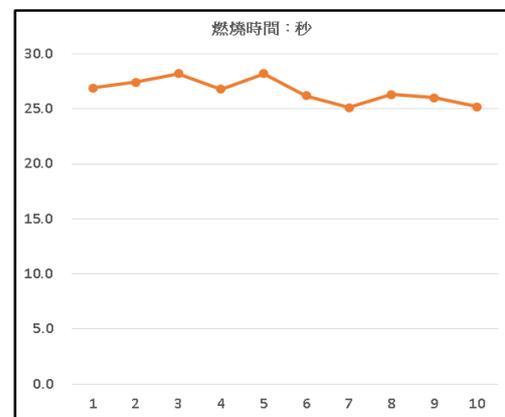


2. 四角柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 8.0cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	26.9	27.4	28.2	26.8	28.2	26.2	25.1	26.3	26.0	25.2	26.6

討論：

量測數據穩定，平均值有略為上升。

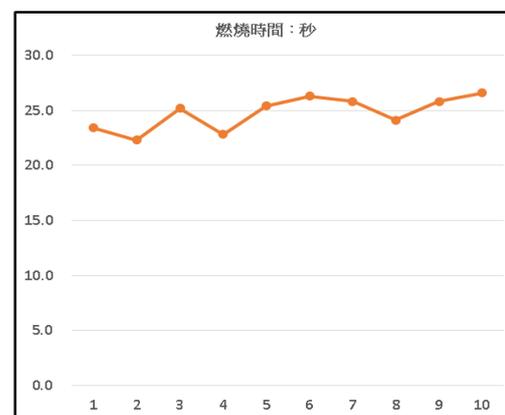


3. 四角柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 6.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	23.4	22.3	25.2	22.8	25.4	26.3	25.8	24.1	25.8	26.6	24.8

討論：

量測數據雖然有波動，但偏向穩定，平均值有下降的情形。

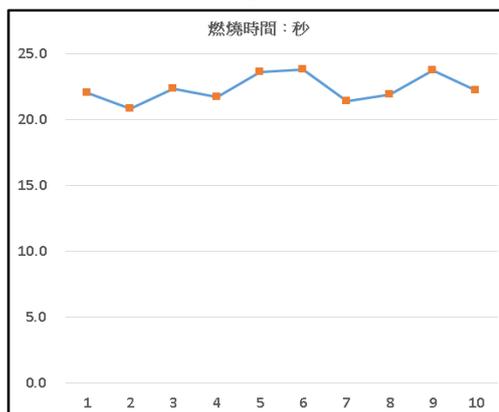


4. 四角柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 5.0cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	22.0	20.8	22.3	21.7	23.6	23.8	21.4	21.9	23.7	22.2	22.3

討論：

量測數據沒有差異性較大的數據，平均值又呈現下降的情形。

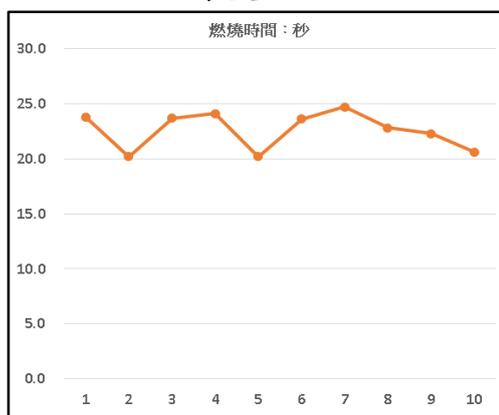


5. 四角柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 3.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	23.8	20.2	23.7	24.1	20.2	23.6	24.7	22.8	22.3	20.6	22.6

討論：

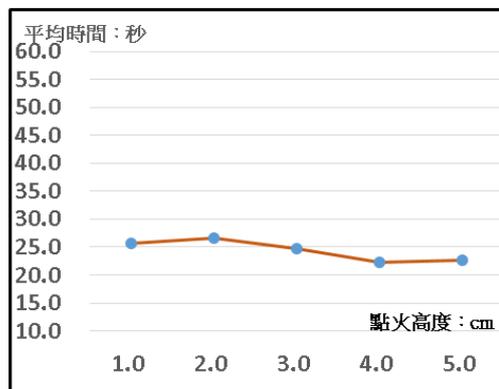
平均秒數變動不大，但秒數偏短。



實驗四結果：

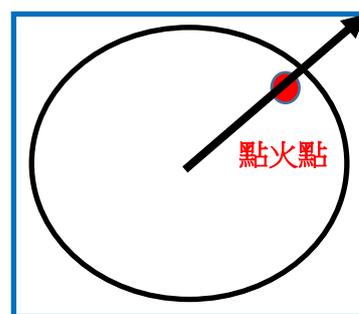
點火器高度	9.5	8.0	6.5	5.0	3.5	平均
平均時間	25.7	26.6	24.8	22.3	22.6	24.4

討論：從實驗結果來看，燃燒的平均秒數差異小，點火點的高度對燃燒的時間的影響，沒有特別的規律性。



(五) 實驗五：四角柱瓶，點火點在離瓶口圓心 2cm，接近瓶角(角邊)，火焰長度 2cm

將「點火器的位置」，由瓶口的正中央(圓心的位置)，向瓶口邊緣，靠近瓶子角落部份(角邊)移動了 2.0cm，量測數據後記錄，並在記錄本上畫上簡圖和折線圖。



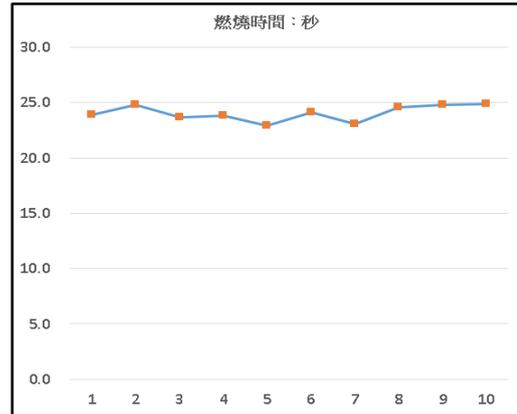
四角柱

1. 四角柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 9.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	23.9	24.8	23.7	23.8	22.9	24.1	23.1	24.6	24.8	24.9	24.1

討論：

量測數據平穩，且波動不大。

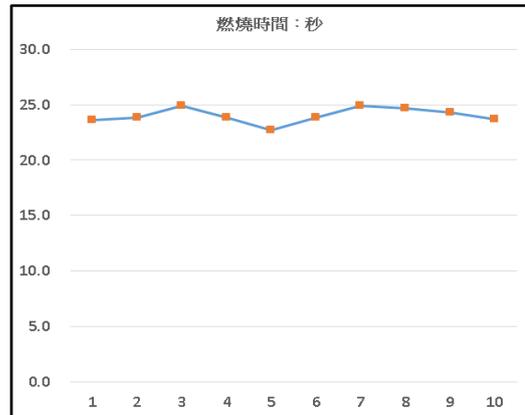


2. 四角柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 8.0cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	23.6	23.8	24.9	23.8	22.7	23.8	24.9	24.7	24.3	23.7	24.0

討論：

量測數據平穩且波動不大，和前面高度的平均值也很接近。

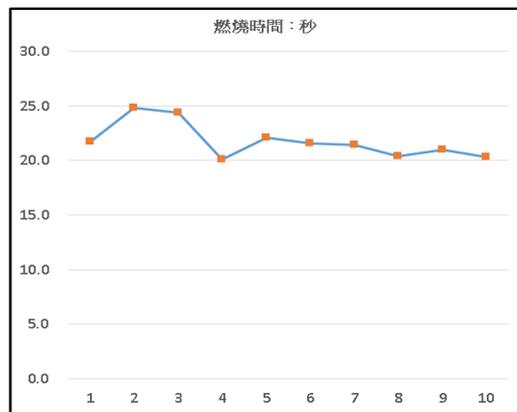


3. 四角柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 6.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	21.7	24.8	24.4	20.1	22.1	21.6	21.4	20.4	21.0	20.3	21.8

討論：

數據一開始有波動，但後面平穩，平均值已有明顯的下降。

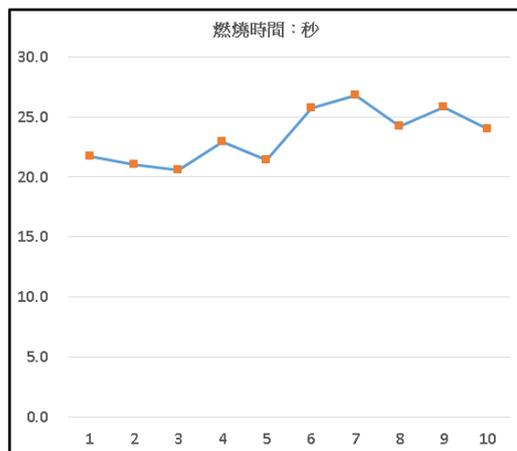


4. 四角柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 5.0cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	21.7	21.0	20.6	22.9	21.4	25.7	26.8	24.2	25.8	24.0	23.4

討論：

量測數據的平均值，較高度 6.5cm 為高，燃燒秒數有反轉的情形。



5. 四角柱瓶，點火點離瓶口圓心 2.0cm，點火點高度 3.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	22.0	23.8	23.1	20.8	22.8	21.1	22.1	21.9	23.0	23.0	22.4

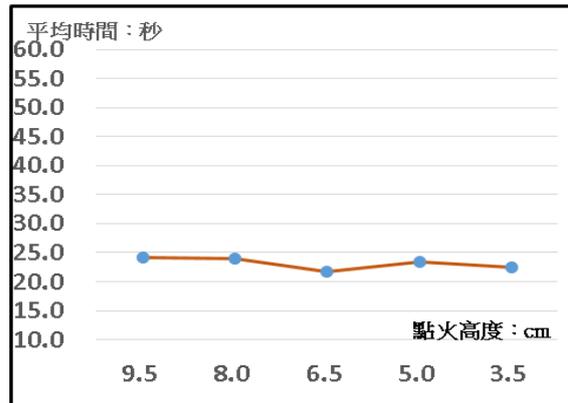
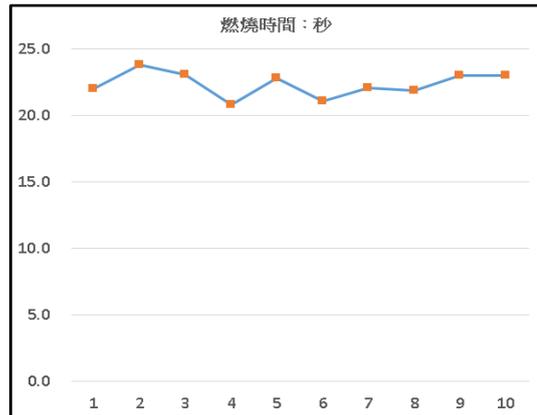
討論：

量測數據波動小，平均秒數卻有下降的情形。

實驗五結果：

點火器高度	9.5	8.0	6.5	5.0	3.5	平均
平均時間	24.1	24.0	21.8	23.4	22.4	23.1

討論：圖形趨勢平穩，平均秒數短，圖形略呈「V」字形，但不是很明顯。



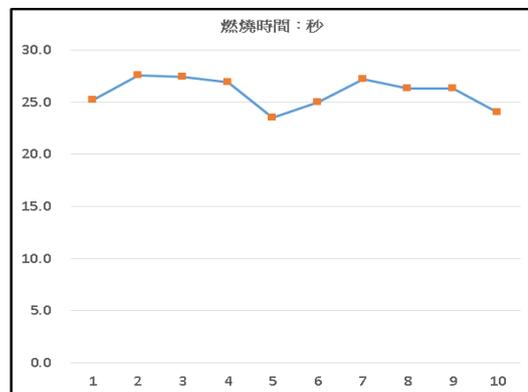
(六)實驗六：圓錐瓶，點火點在瓶口圓心，火焰長度 2cm

1. 圓錐瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 9.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	25.2	27.6	27.4	26.9	23.5	25.0	27.2	26.3	26.3	24.0	25.9

討論：

量測數據有出現波動，平均秒數偏低。

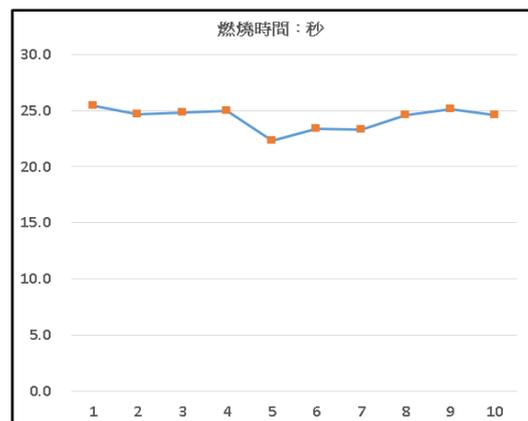


2. 圓錐瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 8.0cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	25.4	24.7	24.8	25.0	22.3	23.4	23.3	24.6	25.1	24.6	24.3

討論：

數據波動的情形穩定，平均數值變小但差異小。

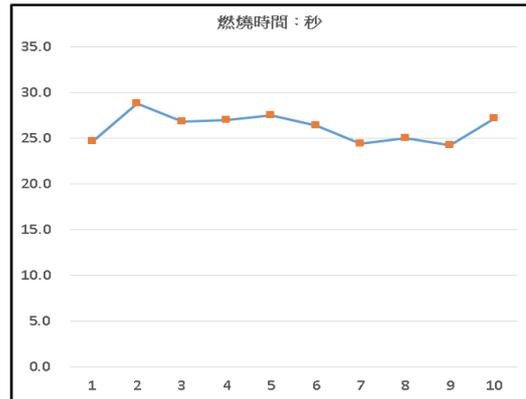


3. 圓錐瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 6.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	24.7	28.8	26.8	27.0	27.5	26.4	24.4	25.0	24.2	27.2	26.2

討論：

燃燒的平均秒數有開始增加的趨勢。

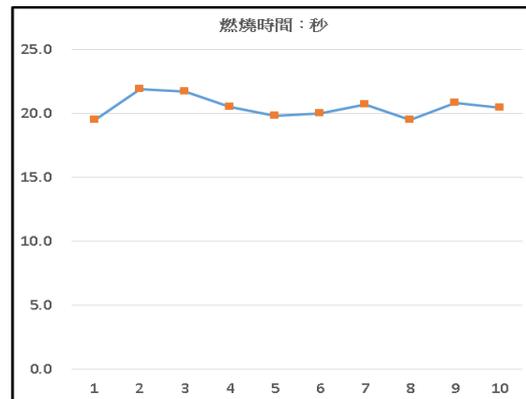


4. 圓錐瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 5.0cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	19.5	21.9	21.7	20.5	19.8	20.0	20.7	19.5	20.8	20.4	20.5

討論：

量測數據穩定，但平均燃燒的秒數有明顯下降的情形。

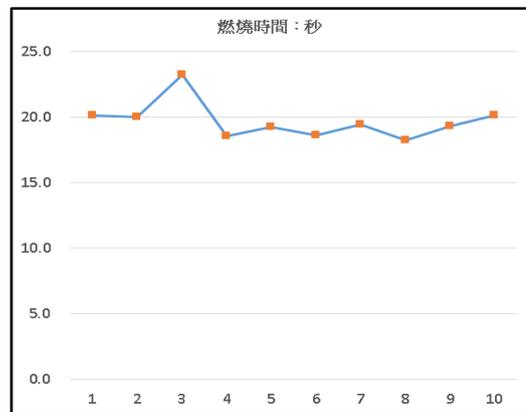


5. 圓錐瓶，點火點在瓶口圓心，點火點高度 3.5cm

次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
燃燒時間	20.1	20.0	23.2	18.5	19.2	18.6	19.4	18.2	19.3	20.1	19.7

討論：

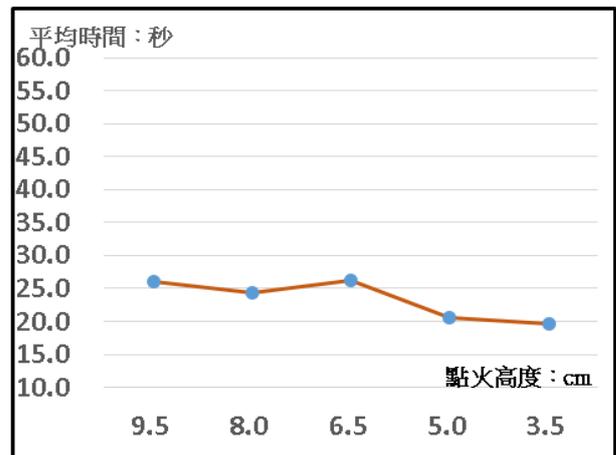
量測數據很穩定，但平均秒數出現下降的情形。



實驗五結果：

點火器高度	9.5	8.0	6.5	5.0	3.5	平均
平均時間	25.9	24.3	26.2	20.5	19.7	23.3

討論：和火焰長度 1cm 比較，燃燒的平均秒數明顯下降，而且點火點高度愈低，數值都呈現向下降的情形。

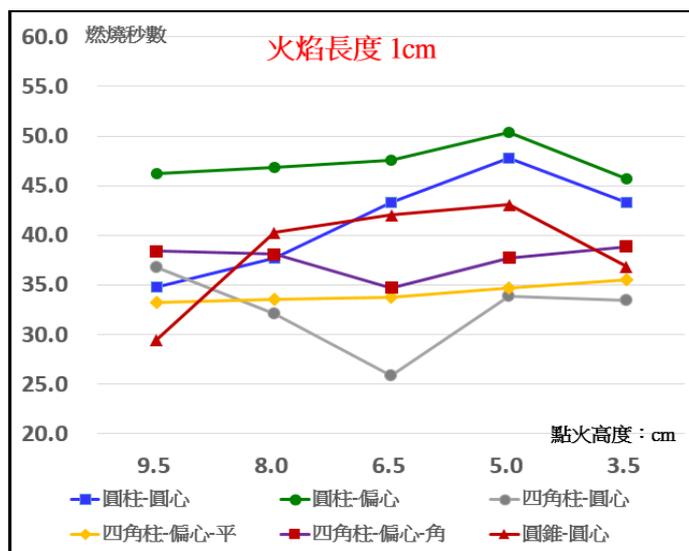


伍、研究結果與討論

一、研究結果：火焰長度 1cm

各個實驗平均值比較表(火焰長度 1cm) 單位：秒

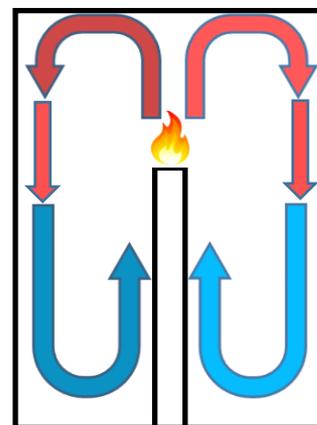
點火器高度	9.5	8.0	6.5	5.0	3.5	平均值
圓柱-圓心	34.7	37.7	43.3	47.8	43.3	41.4
圓柱-偏心	46.2	46.9	47.5	50.4	45.7	47.3
四角柱-圓心	36.8	32.1	25.9	33.9	33.5	32.4
四角柱-偏心-平	33.2	33.6	33.8	34.7	35.5	34.1
四角柱-偏心-角	38.4	38.1	34.7	37.7	38.9	37.6
圓錐-圓心	29.5	40.3	42.0	43.1	36.9	38.3



二、討論：火焰長度 1cm

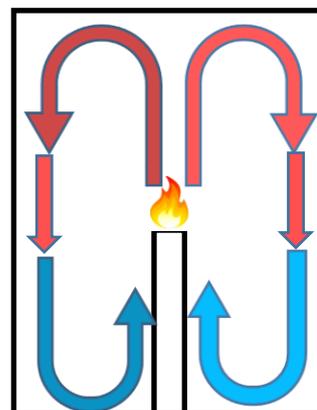
1. 圓柱瓶時，點火點是在圓心或是偏離圓心，都有相同的趨勢，「點火器高度下降時，燃燒的秒數會增加」，但在「點火器高度 3.5cm 時」時，底部的冷空氣較少，且上方的冷空氣會先和「熱空氣」混合再進入循環中，所以無法立即供應燃燒所需足夠氧氣，平均秒數呈現減少的情形，所以我們利用自然課程中所教到的「熱對流循環」、「氧氣助燃」來解說。

(1) 當火焰所在的「位置高」，並接近瓶頂(其實是瓶頂，但是為瓶子倒置，所以在上方)，依圖(一)所示，熱對流，無法使得最下方的冷空氣(較重、含有氧氣)立刻進入「熱對流循環」，使得「氧氣供給」會出現減少的情形，所以燃燒秒數較短。



(圖一)

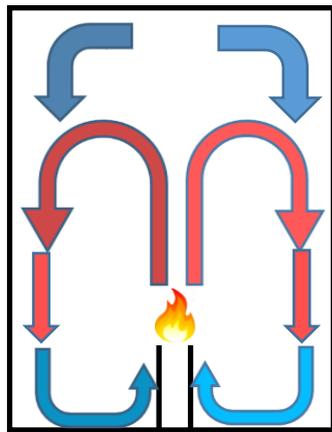
(2) 依圖(二)當點火器的高度下降時，熱空氣和冷空氣的對流較為平順，所以燃燒的平均秒數會隨著「點火點高度下降」而慢慢增加，所以推測在「點火器高度 5.0cm」時，呈現最佳的「熱對流循環」，所以燃燒的平均秒數最長。



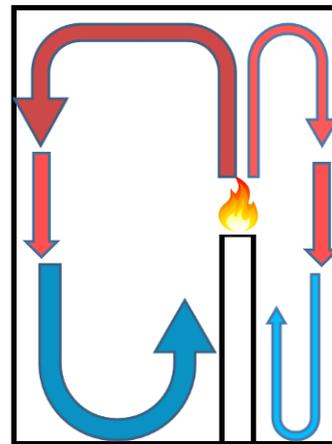
(圖二)

(3)依圖(三)所示，推測「點火點高度 3.5cm」時，底部的冷空氣較少，且上方的冷空氣會先行進入「熱空氣」的循環中，所以無法立即供應燃燒所需，平均秒數呈現減少的情形。

(4)如圖(四)所示，我們推測，當點火點偏離圓心時，雖然靠近瓶壁的對流範圍變小，但另一邊仍可進行大範圍的對流，且不會影響氧氣的供應，從另一個觀點來思考，當氧氣供給「適量」，讓火焰保持「小火」燃燒，反而讓燃燒的時間變長，所以我們推論「點火點偏離圓心，小火焰在適量氧氣供給下，會有較長的燃燒秒數」。



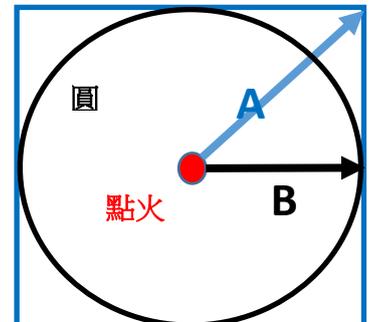
(圖三)



(圖四)

2. 如圖(五)，當瓶子為四角柱時，點火點在圓心時，平均燃燒時間的圖形呈現「V」字形。

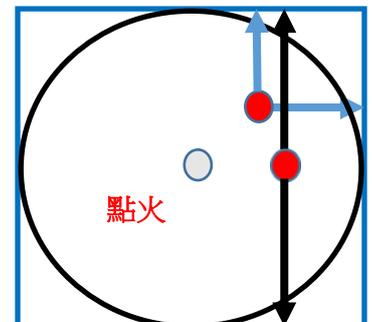
(1)我們推論這個實驗雖然熱對流的情形應和圓柱瓶相似，但因為瓶身是呈現四角形，瓶壁到點火點的距離不相同 ($A > B$)，所以熱對流時，熱空氣和冷空氣的流動並不平順 (Not smooth)，所以燃燒的平均秒數都小於圓柱瓶，甚至只有一個平均秒數大於圓錐瓶。



(圖五) 四角柱瓶

(2)因為(1)的原因，我們推測當火點高度最高、最低時，熱對流的循環因為速度慢，反而較慢「混亂」，氧氣供給穩定，而居中的高度，因為熱對流的快速，反而使得氧氣供給混亂，造成火焰容易熄滅。

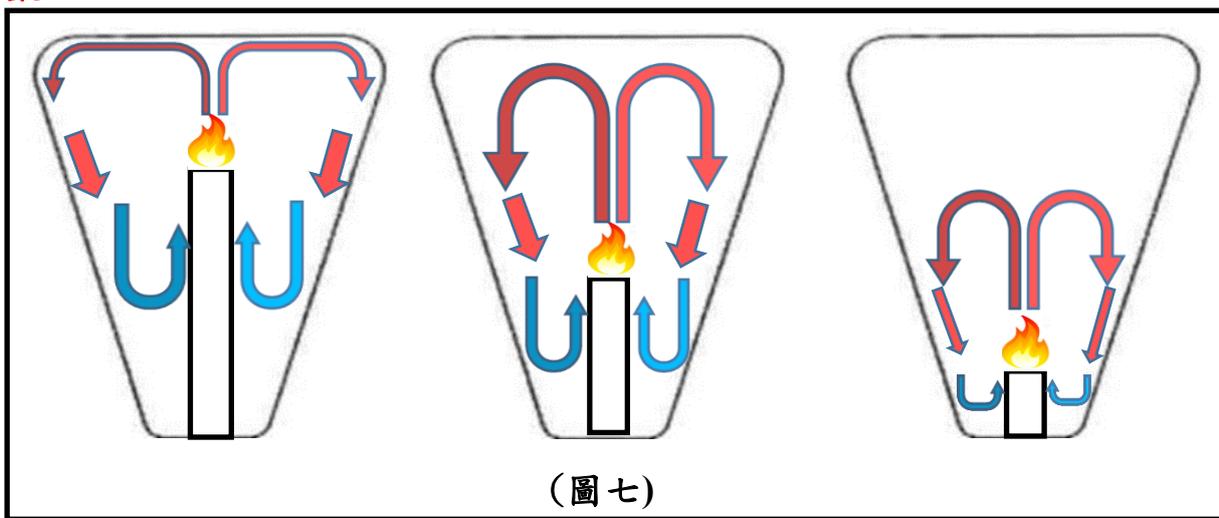
(3)四角柱偏心平邊的熱對流範圍大且平順，所以燃燒時間穩定，而四角柱角邊的熱對流範圍雖然也大，但是點火點到瓶壁的距離較短，所以熱對流平順度較四角柱偏心平邊，在圖形上同時具有四角柱圓心、四角柱偏心平邊的特質，呈現小「V」字型。



(圖六) 四角柱瓶

3. 當瓶子為圓錐瓶時，因瓶口較小，只做了點火點在圓心的實驗，實驗的結果和圓柱瓶相似，都是「當點火點下降時，燃燒的時間會增加，但是在最低的高度時，燃燒的時間會減少」，比較二種瓶子，解釋如下：

(1) 圓心軸離瓶壁的距離都是相等，但是如圖(七)所示，圓錐瓶愈接近瓶口(在實驗中是點火點高度下降)，瓶壁愈接近點火點，四周的空間小，可做熱對流循環的空間也會變小，所以當點火點太低時，熱對流循環範圍變小，無法順利供給氧氣，造成燃燒的時間變短；而同樣的高度，比較點火點四周的空間，圓柱瓶大於圓錐瓶，所以點火點高度低時，圓柱瓶的燃燒平均秒數會大於圓錐瓶的燃燒平均秒數。

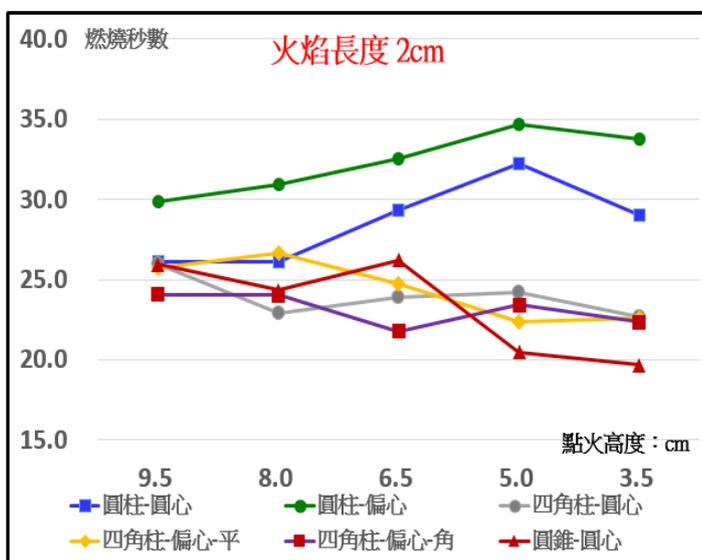


(圖七)

三、研究結果：火焰長度 2cm

各個實驗平均值比較表(火焰長度 2cm) 單位：秒

點火器高度	9.5	8.0	6.5	5.0	3.5	平均值
圓柱-圓心	26.1	26.1	29.4	32.2	29.0	28.6
圓柱-偏心	29.9	30.9	32.6	34.7	33.8	32.4
四角柱-圓心	26.0	22.9	23.9	24.2	22.7	23.9
四角柱-偏心-平	25.7	26.6	24.8	22.3	22.6	24.4
四角柱-偏心-角	24.1	24.0	21.8	23.4	22.4	23.1
圓錐-圓心	25.9	24.3	26.2	20.5	19.7	23.3



四、討論：火焰長度 2cm

1. 圓柱瓶時和火焰長度 1cm 時，有一樣的趨勢，但燃燒秒數明顯減少。
2. 四角柱圓心、四角柱偏心-角邊的數據有略呈「V」字型，但四角柱瓶的各個實驗的平均燃燒秒數都有明顯減少、趨勢呈現向下的情形。
3. 圓錐瓶的折線圖在點火點高度 6cm 之後，呈現向下的情形，和火焰長度 1cm 時有明顯不同，推測應是火焰長度長，燃燒快速，氧氣供給不及所造成。

陸、其它發現與問題解決

- 一、在實驗的過程中，我們雖然固定了火焰一開始點燃的長度，但在計時後約 5-7 秒，**火焰的長度開始出現「變長」的情形**，經過討論後，**推測是因為產生的「熱對流循環」**，對流的氣體由下方向上移動，**造成火焰的長度增加，尤其在圓柱瓶時更是明顯**，但這種情形在四角柱瓶時，出現的次數卻很少，所以會推測**四角柱瓶的熱對流循環並不像圓柱瓶和圓錐瓶平順，造成火焰燃燒時間不穩定且較小。**
- 二、在一開始實驗時，一直發生火點不著的情形，經過逐一條件變更與測試，找出了原因，當瓶子蓋住後，點火器要點火，需要可燃物(瓦斯燃料)，但為了避免外界空氣進入瓶中，我們用油土封住，而瓶中充滿了空氣，點火時，點火器中的燃料由從底部需經過長長的導管才能到達點火器前端點燃，**但瓶中空氣已滿，使得燃料無法到達**，所以一直點不著，**所以我們就利用粗吸管做一導管做「洩壓」**，讓燃料能順利到達點火器前端燃燒，再馬上用油土封住。
- 三、圓錐瓶的瓶口太小，在排除燃燒造成的二氧化碳和水氣時，我們**利用空氣循環的原理設計了一個小裝置**，一方面直接吹氣到瓶中，再利用「**空氣佔有體積**」、「**伯努力效應**」的原理將裡面的二氧化碳加速排出，裝置前面的紙板是為了擋住電風扇的風，讓瓶中的二氧化碳和水氣順利排出。



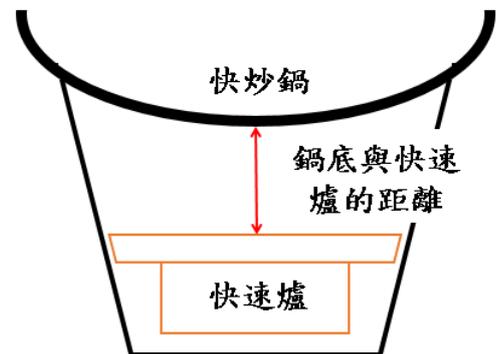
柒、總結論

1. 圓柱形的瓶子的「熱對流循環」最好、最平順，無論火焰長度多少，火焰燃燒平均時間最長。
2. 點火點四周的空間會影響「熱對流循環」的平順度，所以當空間愈大，熱對流愈平順。
3. 當點火點過低時，底部冷空氣少，造成「熱對流循環」的中氧氣供給慢，會使得火焰燃燒時間減少。
4. 火焰長度較長時，燃燒的速度會加快，熱對流的速度也加快，燃燒秒數明顯變短。
5. 綜合上述，火焰燃燒的時間，和「瓶子的形狀、點火點的高度」有一定的關聯性，但不是成正比關係，而且要配合「熱對流循環」的平順度、空間大小、火焰的長度，才能有最佳的燃燒條件，達到最長的燃燒秒數。

捌、研究成果的生活應用

1. 快速爐的設計應用：

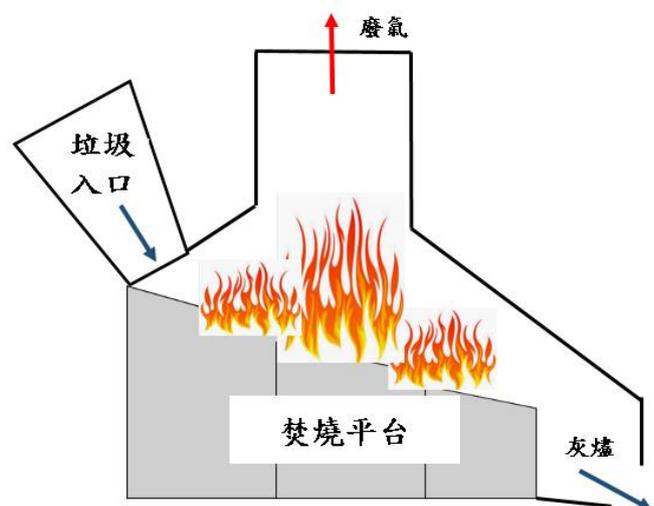
由實驗結果推論，點火點高度過高或過低，都會造成燃燒時間變短，所以在設計快速爐(圓形)時，可從計算炒鍋鍋底到點火點之間的距離，來實驗燃燒效率，達到短時間快速加熱的效果，也能節省瓦斯的使用量，達到節能省成本，減少溫室氣體的環保目的。



1. 快速爐的設計

2. 焚化爐的設計應用(更大火焰)：

國內常見的「混燒式焚化爐」，焚燒平台的高度、位置，會直接影響到焚燒的效率，若能將實驗結論應用在焚化爐的設計，可以改善燃燒的效率，進而減少空氣污染源，也能達到節能減碳的環保目的。



2. 混燒式焚化爐的設計

玖、參考資料

1. 南一版本五年級上學期自然課本、教師手冊。
2. 翰林版本五年級上學期自然課本、教師手冊。
3. 維基百科-燃燒：<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%87%83%E7%83%A7>
4. 福德坑焚化廠資料：
<http://library.taiwanschoolnet.org/cyberfair2012/beautyinside/homepage/Beauty%20inside07-3.html>

【評語】 080116

本作品探討的蠟燭火焰燃燒時間在不同形狀的燃燒瓶之中，隨著火焰的「位置、高度、長度」的變化，並依據課文「熱的對流」推論，尋求適合燃燒的條件，屬於課程主題的延伸探究。因為火焰本身是動態燃燒的呈現，故其位置與形狀亦為動態，定量測量值的測量與數據分析仍有調整的空間。

作品名稱

炎之呼吸-火焰燃燒時間與空間、位置的關聯性探討

內容摘要

在這一次的實驗中，我們針對火焰在燃燒時，它所在的「空間形狀」與火焰的「位置、高度、長度」，來量測燃燒時間，期待利用量測出來的數據，配合自然課課程中有關「熱的對流」來推論，並找出一個適合燃燒的條件；實驗時，我們選用圓柱、四角柱、圓錐三種形狀的玻璃瓶，搭配五種不同的點火點高度、二種火焰長度來取得數據，其中圓柱、四角柱，除了在「瓶口圓心測量」，另也測量了「偏向瓶口邊緣位置」數據來做比較，圓錐因為瓶口較小，只測了圓心，實驗初期，遭遇到「火點不著」的困擾，也觀察到「火焰長度的變化」，為了「短時間排除燃燒時產生的二氧化碳和水氣」，設計加速排出系統，最後依數據來推論「瓶子形狀」與「火焰的高度、位置、長度」，對於「燃燒時間長短」的影響。

壹、研究動機

五年級上學期自然課實驗時，我們利用廣口瓶來蓋住「燃燒的蠟燭」，但是每一組的蠟燭「長短不一樣」，且大家「蓋的位置」也不同，而發現「熄滅的時間」也有差異，所以就想測試看看，不同的蠟燭長度和所在的位置，對燃燒時間有什麼關聯，另外再加入不同形狀的瓶子來嘗試，期待能找出數據間的關聯性，來推論出一個論點來解釋火焰在「不同位置、瓶子、高度」燃燒時間的長短。

貳、研究目的

- 一、利用實驗來量測出「點火點高度」對「燃燒時間長短」的影響。
- 二、利用實驗來量測出「不同的位置」對「燃燒時間長短」的影響。
- 三、利用實驗來量測出「不同形狀的瓶子」對「燃燒時間長短」的影響。
- 四、利用實驗來量測出「不同長度的火焰」對「燃燒時間長短」的影響。
- 五、用所有的實驗結果來推論「點火點高度」、「點火位置」、「不同形狀的瓶子」、「不同長度的火焰」之間的關聯性，並找出一個可讓燃燒時間最長、效率最佳的條件。

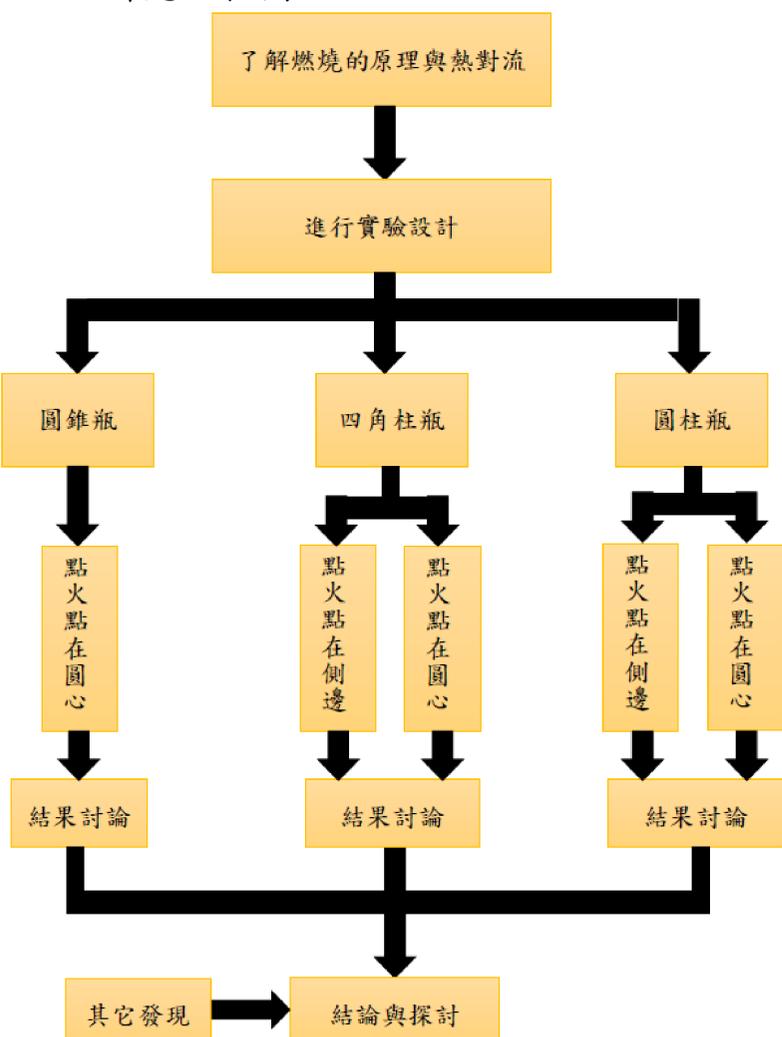
參、研究設備及器材

- 一、文具類：美工刀、圓規、長尺、記錄本、各式筆類、計算機
- 二、消耗品：A4影印紙、厚瓦楞紙板、油土、點火器燃料補充瓶
- 三、實驗器材：

1. 不同形狀玻璃瓶三個，(圓柱 1100ml、四角柱 1050ml、圓錐 1050ml)。
2. 長型明火點火器、計時用碼錶。
3. 四腳板凳、1.5cm長方體數個。

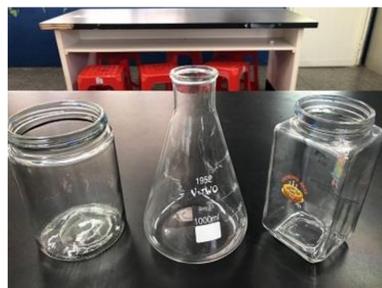
肆、研究過程與方法

一、研究流程圖：



二、實驗模型設計：

1. 原先實驗設計要使用蠟燭來做實驗，但是每一根蠟燭的性質不同，變數多，且在實驗時，會漸漸變短，所以選擇火焰較為穩定的明火型點火器來做實驗。
2. 使用中間有孔、高度適合的四腳板凳，於板凳中間放置1.5cm的長方體來做高度調整，並利用中間的孔洞來置放點火器。
3. 利用瓦楞紙板剪裁較瓶口略大的圓形，並在圓心鑽孔讓點火器穿出，並用油土隔絕外界空氣。
4. 測量火焰高度，點火器點火後開始計時，直到火焰熄滅為止，並記錄燃燒的時間；每一次的實驗後，使用電風扇，對瓶口吹風，並將瓶底放置於水中加速冷卻。
6. 每一個實驗條件，依上述方式量測得10個數據，並記錄於實驗記錄本上，並算出平均值，再將簡圖、折線圖畫出。
7. 改變點火器的高度，再做實驗，取得數據，當高度條件全數完成後，再改變點火器的位置(偏向瓶緣)，並依上述方式量測。



三、實驗過程：

火焰高度 1cm

(一)實驗一：圓柱圓心

點火點在瓶口的中央

(圓心的位置)。

實驗一結論：秒數隨著

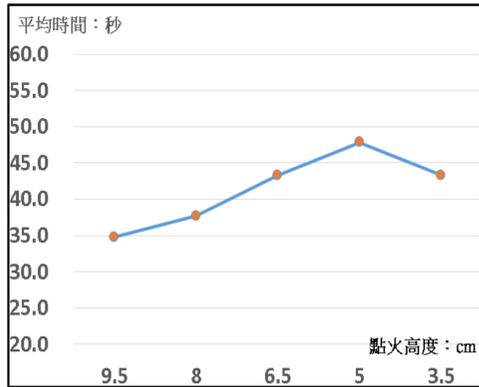
高度下降而增加，

但在高度 3.5cm

時，秒數是減少



點火器高度	9.5	8	6.5	5	3.5	平均
平均時間	34.7	37.7	43.3	47.8	43.3	41.4



(三)實驗三：四角柱圓心

在這個實驗設計中，瓶

子改為「四角柱瓶」，

且瓶口是圓形，

點火點在圓心。

實驗三結論：

燃燒秒數在點

火點高度 6.5cm

時最短，圖形呈現「V」

字型。

(五)實驗四：四角柱

偏心-角邊

將「點火器的位置」，

由瓶口的正中央(圓心

的位置)，向瓶子角落

(角邊)移動了 2.0cm。

實驗五結論：

燃燒秒數較為穩定，

圖形也出現「V」字型

的情形。

四、實驗過程：

火焰高度 2cm

(一)實驗一：圓柱圓心

點火點在瓶口的中央

實驗一結論：秒數隨

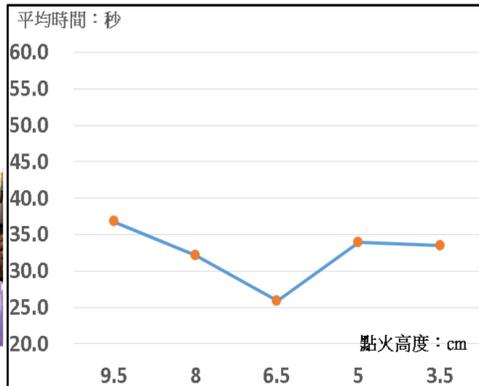
著高度下降而增加，

但在高度 3.5cm時，

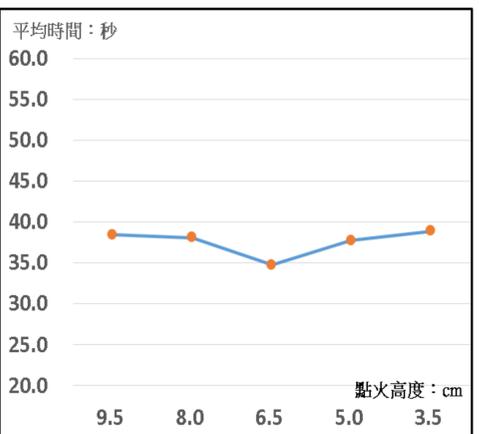
秒數是減少的，且秒

數都偏低。

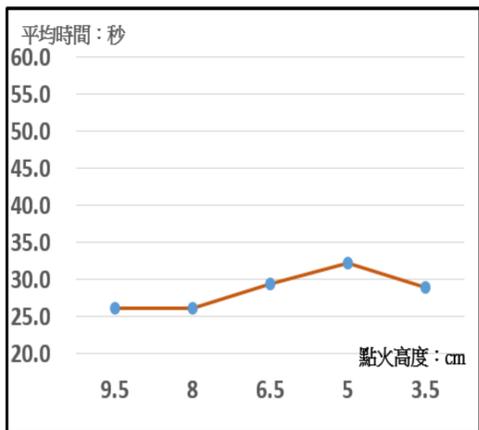
點火器高度	9.5	8	6.5	5	3.5	平均
平均時間	36.8	32.1	25.9	33.9	33.5	32.4



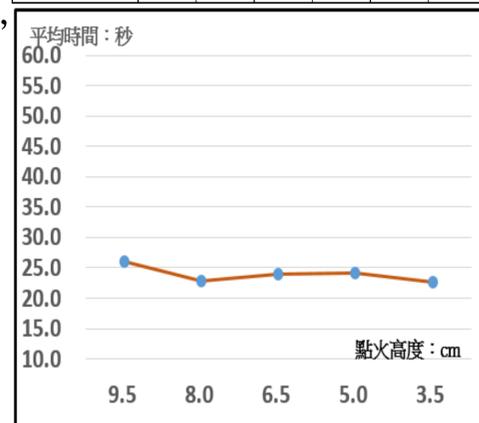
點火器高度	9.5	8.0	6.5	5.0	3.5	平均
平均時間	38.4	38.1	34.7	37.7	38.9	37.6



點火器高度	9.5	8.0	6.5	5.0	3.5	平均
平均時間	26.1	26.1	29.4	32.2	29.0	28.6



點火器高度	9.5	8.0	6.5	5.0	3.5	平均
平均時間	26.0	22.9	23.9	24.2	22.7	23.9



(三)實驗三：四角柱圓心

瓶子改為「四角柱瓶」，

且瓶口是圓形，點火點

在圓心

實驗三結論：

秒數明顯偏短，但數

值變化不大。

(二)實驗二：圓柱偏心

這個實驗的設計，我們

變更了「點火器的位

置」，由圓心的位置，

向瓶口邊緣移動了2.0cm

實驗二結論：

秒數隨高度下降而增加，

但在高度 3.5cm也出現

秒數下降的情形，較圓

柱圓心穩定。

(四)實驗四：四角柱偏心-

平邊

將「點火器的位置」，由

瓶口的正中央(圓心的位

置)，向瓶口邊緣(平邊)移

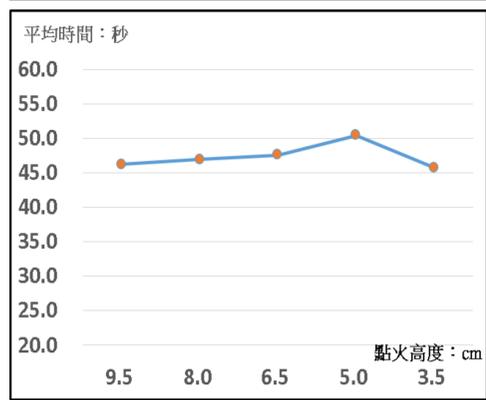
動了 2.0cm。

實驗四結論：

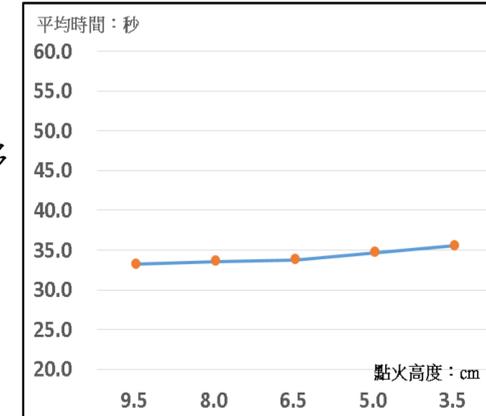
燃燒秒數較為穩定，沒有

很大的變化。

點火器高度	9.5	8.0	6.5	5.0	3.5	平均
平均時間	46.2	46.9	47.5	50.4	45.7	47.3



點火器高度	9.5	8.0	6.5	5.0	3.5	平均
平均時間	33.2	33.6	33.8	34.7	35.5	34.1



(六)實驗六：圓錐圓心

「點火點在瓶口圓心」。



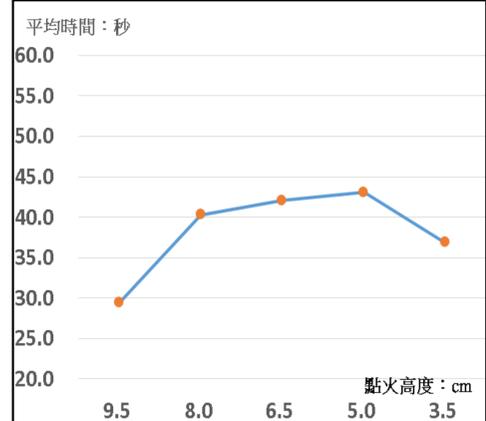
實驗六結論：

燃燒秒數也會隨著點火

點高度下降而增加，但

在最低點秒數呈現減少。

點火器高度	9.5	8.0	6.5	5.0	3.5	平均
平均時間	29.5	40.3	42.0	43.1	36.9	38.3



(二)實驗二：圓柱偏心

「點火器的位置」，由圓

心的位置，向瓶口邊緣移

動了2.0cm。

實驗二結論：

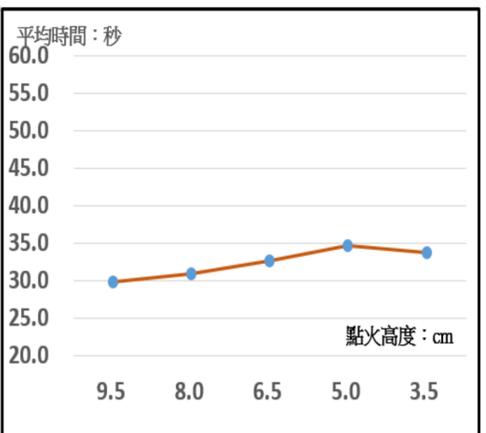
秒數隨高度下降而增加，

但在高度 3.5cm也出現

秒數下降的情形，較圓

柱圓心穩定。

點火器高度	9.5	8.0	6.5	5.0	3.5	平均
平均時間	29.9	30.9	32.6	34.7	33.8	32.4



(四)實驗四：四角柱偏

心-平邊

將「點火器的位置」，

由瓶口的正中央(圓心的

位置)，向瓶口邊緣(平

邊)移動了 2.0cm，靠近

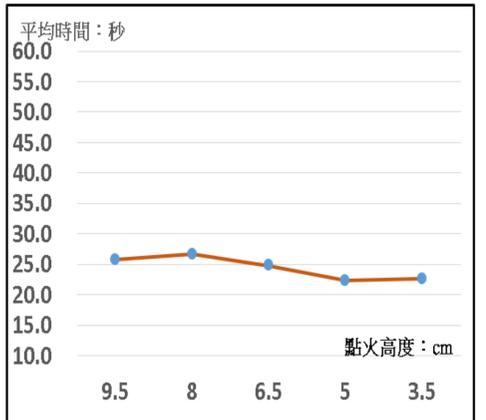
平邊。

實驗四結論：

燃燒秒數偏短、穩定，

沒有很大的變化。

點火器高度	9.5	8.0	6.5	5.0	3.5	平均
平均時間	25.7	26.6	24.8	22.3	22.6	24.4



(五)實驗五：四角柱

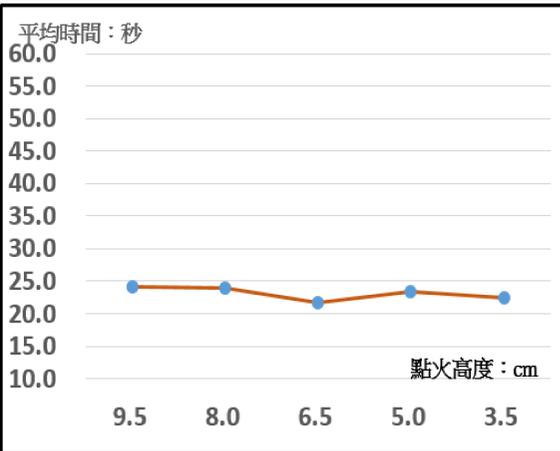
偏心-角邊

將「點火器的位置」向瓶子角落(角邊)移動了 2.0cm。

實驗五結論：

燃燒秒數短、穩定，圖形也出現小型的「V」字。

點火器高度	9.5	8.0	6.5	5.0	3.5	平均
平均時間	24.1	24.0	21.8	23.4	22.4	23.1

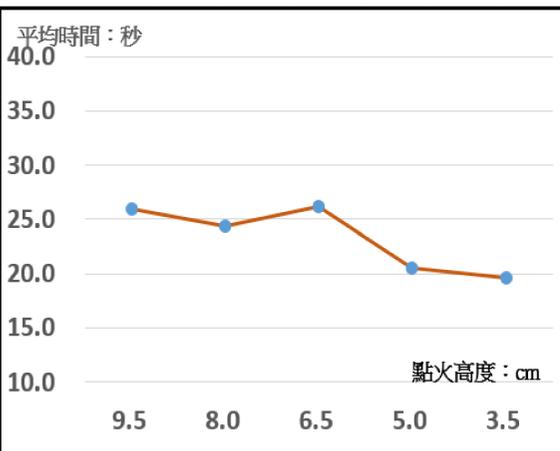


(六)實驗六：圓錐

圓心

「點火點在圓心」實驗六結論：燃燒秒數也會隨著點火點高度下降而出現減少的情形，尤其在低於 6.5cm 之後。

點火器高度	9.5	8.0	6.5	5.0	3.5	平均
平均時間	25.9	24.3	26.2	20.5	19.7	23.3

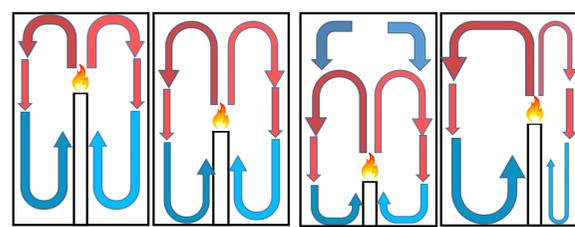
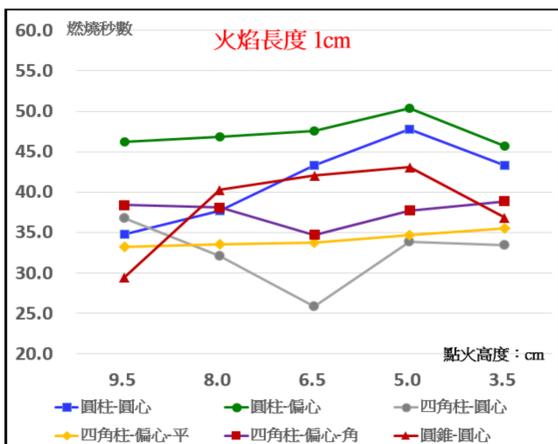


伍、研究結果與討論

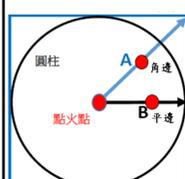
一、研究結果：火焰長度 1cm

各個實驗平均值比較表(火焰長度 1cm) 單位：秒

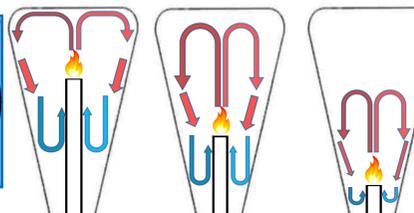
點火器高度	9.5	8.0	6.5	5.0	3.5	平均值
圓柱-圓心	34.7	37.7	43.3	47.8	43.3	41.4
圓柱-偏心	46.2	46.9	47.5	50.4	45.7	47.3
四角柱-圓心	36.8	32.1	25.9	33.9	33.5	32.4
四角柱-偏心-平	33.2	33.6	33.8	34.7	35.5	34.1
四角柱-偏心-角	38.4	38.1	34.7	37.7	38.9	37.6
圓錐-圓心	29.5	40.3	42.0	43.1	36.9	38.3



圓柱瓶的對流情形



四角柱瓶



圓錐瓶的對流情形

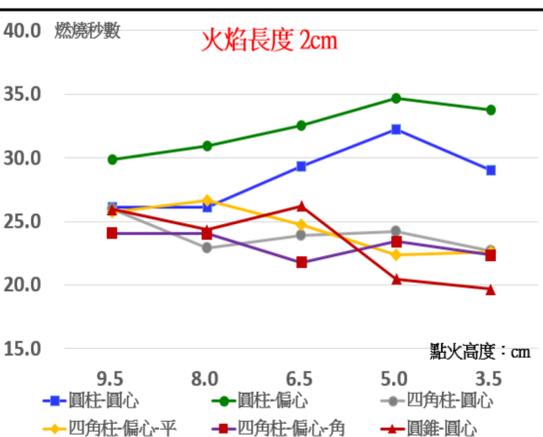
二、討論：火焰長度 1cm

- 圓柱瓶時，點火點在圓心或偏離圓心，都有相同的趨勢，「點火器高度下降時，燃燒的秒數會增加」，但在「點火器高度 3.5cm 時」時，底部的冷空氣較少，且上方的冷空氣會先和「熱空氣」混合再進入循環中，所以無法立即供應燃燒所需足夠氧氣，平均秒數呈現減少的情形。
- 當點火點偏離圓心時，雖然靠近瓶壁的對流範圍變小，但另一邊仍可進行大範圍的對流，讓氧氣的供應順利。
- 當瓶子為四角柱瓶時，點火點在圓心時，平均燃燒時間的圖形呈現「V」字形，我們推論瓶身是四角形，瓶壁到點火點的距離不相同(A>B)，所以熱對流時，熱空氣和冷空氣的流動並不平順，燃燒的平均秒數都小於圓柱瓶。
- 當瓶子為圓錐瓶時，實驗的結果和圓柱瓶相似，但是圓錐瓶愈接近瓶口，瓶壁愈接近點火點，四周的空間小，可做熱對流循環的空間也會變小，而無法順利供給氧氣，造成燃燒的時間變短；而同樣的點火點高度，「圓柱瓶」的燃燒平均秒數會大於「圓錐瓶」的燃燒平均秒數。

三、研究結果：火焰長度 2cm

各個實驗平均值比較表(火焰長度 2cm) 單位：秒

點火器高度	9.5	8.0	6.5	5.0	3.5	平均值
圓柱-圓心	26.1	26.1	29.4	32.2	29.0	28.6
圓柱-偏心	29.9	30.9	32.6	34.7	33.8	32.4
四角柱-圓心	26.0	22.9	23.9	24.2	22.7	23.9
四角柱-偏心-平	25.7	26.6	24.8	22.3	22.6	24.4
四角柱-偏心-角	24.1	24.0	21.8	23.4	22.4	23.1
圓錐-圓心	25.9	24.3	26.2	20.5	19.7	23.3



四、討論：火焰長度 2cm

- 圓柱瓶時和火焰長度 1cm 時，有一樣的趨勢，但燃燒秒數明顯減少。
- 四角柱圓心、四角柱偏心-角邊的數據有略呈「V」字型，但四角柱瓶的數據變化都不大。
- 圓錐瓶的折線圖在點火點高度 6cm 之後，呈現向下情形，推測應是火焰長度長，燃燒快速，氧氣供給不及所造成。

陸、其它發現與問題解決

- 火焰的長度開始出現「變長」的情形：推測是因為產生的「熱對流循環」，氧氣供給量增加，所以火焰的長度也增加。
- 火點不著：點火器中的燃料由從底部需經過長長的導管才能到達點火器前端點燃，但瓶中空氣已滿，使得燃料無法到達，所以一直點不著，所以我們就利用粗吸管做一導管做「洩壓」，讓燃料能順利到達點火器前端燃燒，再馬上用油土封住。
- 圓錐瓶瓶口太小，無法快速排除的二氧化碳和水氣，我們利用空氣循環原理設計了一個小裝置，一方面直接吹氣到瓶中，再利用「空氣佔有體積」、「伯努力效應」將裡面的二氧化碳加速排出。



柒、總結論

- 圓柱形的瓶子的「熱對流循環」最好，無論火焰長度多少，火焰燃燒平均時間最長。
- 點火點四周的空間會影響「熱對流循環」的平順度，所以當空間愈大，熱對流愈平順。
- 相對於離瓶頂的高度，當點火點過低造成「熱對流循環」的空氣量少，會使的火焰燃燒時間減少。
- 火焰長度較長時，燃燒的速度會加快，熱對流的速度也加快，燃燒秒數明顯變短。
- 綜合上述，火焰燃燒的時間，和「瓶子的形狀、點火點的高度」有一定的關聯性，但不是成正比關係，而且要配合「熱對流循環」的平順度、空間大小、火焰的長度，才能有最佳的燃燒條件，達到最長的燃燒秒數。

捌、研究成果的生活應用

- 快速爐的設計應用：由實驗結果推論，點火點高度過高或過低，都會造成燃燒時間變短所以在設計快速爐(圓形)時，可從計算炒鍋鍋底到點火點之間的距離，來實驗燃燒效率，達到短時間快速加熱的效果，一方面也能節省瓦斯的使用量，達到節能省成本，減少溫室氣體的環保目的。
- 焚化爐的設計應用(更大火焰)：國內常見的「混燒式焚化爐」，焚燒平台的高度、位置，會直接影響到焚燒的效率，若能將實驗結論應用在焚化爐的設計，可以改善燃燒的效率，進而減少空氣汙染源，也能達到節能減碳的環保目的。

