

# 中華民國第 53 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 物理科

080109

洞燭先機—如何延長瓶中蠟燭的燃燒時間？

學校名稱：金門縣金沙鎮安瀾國民小學

作者：  小五 黃柏瑜 小五 陳彥宇 小五 蔡維哲 小五 劉致翔 小五 陳雨彤	指導老師：  胡淨妮 陳佳瑩
---	-------------------------

關鍵詞：蠟燭、燃燒、煙囪效應

# 洞燭先機

—如何延長瓶中蠟燭的燃燒時間？

## 摘要

蠟燭是清明掃墓時必備的物品之一，但清明節前後天氣常常不穩定。本實驗目的主要是探討如何讓蠟燭在戶外持續燃燒，不受天氣影響。實驗中，我們試圖用挖洞的瓶子蓋住蠟燭，以孔洞的數量、孔洞的位置、孔洞的直徑為變因，經過一連串的實驗與改良後，發現就材質而言，紙盒最能符合需求，而開了上下、左右相對的四個洞，孔洞直徑為1cm時，可以讓整支蠟燭燒完；以電風扇模擬風吹的情形做驗證，盒中蠟燭的燃燒時間可達到預期目標。

## 壹、研究動機

「清明時節雨紛紛……」，今年的清明假期，果然天氣都不太好，和家人一起去掃墓時，蠟燭點燃後，一下子就被風吹熄了，點了幾次後，爸爸就說：「沒關係啦！燭芯有點黑就好了！」我心想：這樣不是太沒誠意了嗎？至少要燒到拜拜結束呀！回到學校後，我和同學討論，發現大家都有相同的經驗。經過一番腦力激盪，我們決定要發明一個器材，可以在天氣不好的時候，保護蠟燭不會被風吹熄，讓戶外的蠟燭能持續燃燒10分鐘以上。

於是，我們上網查資料，找到了「罐子裡的長壽蠟燭」這份研究，知道瓶子挖洞可補充瓶內的氧氣，讓蠟燭持續燃燒。但是，應該用什麼瓶子？挖幾個洞？洞又應該多大呢？一連串的問題，讓我們對蠟燭的燃燒現象有了濃厚的興趣。就此我們展開了一系列的蠟燭燃燒實驗……

## 貳、研究目的

實驗1、探討影響蠟燭燃燒的因素

1-1、燭芯的長度會影響蠟燭的燃燒嗎？

1-2、蠟燭的粗細會影響蠟燭的燃燒嗎？

實驗2、探討孔洞數量對蠟燭燃燒時間的影響

杯罩上的孔洞數量會影響蠟燭的燃燒嗎？

實驗3、探討孔洞位置對蠟燭燃燒時間的影響

3-1、縱列二個洞的分布會影響蠟燭的燃燒嗎？

3-2、橫列二個洞的分布會影響蠟燭的燃燒嗎？

實驗4、探討孔洞直徑對蠟燭燃燒時間的影響

4-1、孔洞的直徑會影響蠟燭的燃燒嗎？(以1,250mL礦泉水瓶鑽孔)

4-2、孔洞的直徑會影響蠟燭的燃燒嗎？(以600mL礦泉水瓶 + 鋁罐鑽孔)

實驗5、探討孔洞縱列的數目對蠟燭燃燒時間的影響

孔洞縱列的列數會影響蠟燭的燃燒嗎？

實驗6、探討風對瓶中蠟燭燃燒時間的影響

風會影響瓶中蠟燭的燃燒嗎？

### 參、研究設備及器材

蠟燭、打火機、黏土、塑膠瓶、錫箔紙、蓋玻片、玻璃片、培養皿、線香、剪刀、飲料瓶(紙)、飲料罐(鋁)、鋁片、膠帶、磅秤、電子錶、手機、碼錶

### 肆、研究方法、結果與討論

## 實驗 1、探討影響蠟燭燃燒的因素

### 實驗 1-1、燭芯的長度會影響蠟燭的燃燒嗎？

一、操縱變因：燭芯的長度

甲：0.5 cm 乙：1 cm 丙：1.5 cm 丁：2 cm 戊：2.5 cm

應變變因：消耗的蠟燭重量

不變變因：蠟燭的長度(10.5cm)、蠟燭的粗細(直徑 0.7cm)、燃燒時間(20 分鐘)、蠟燭燃燒前重量(4g)。

二、實驗步驟：

(一)將蠟燭燭芯剪裁為 0.5cm 長的規格。

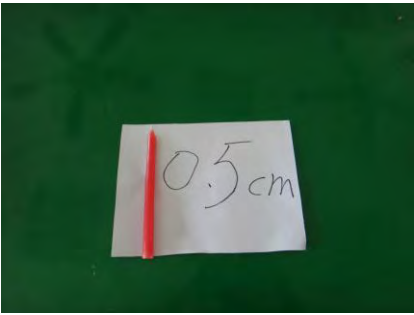

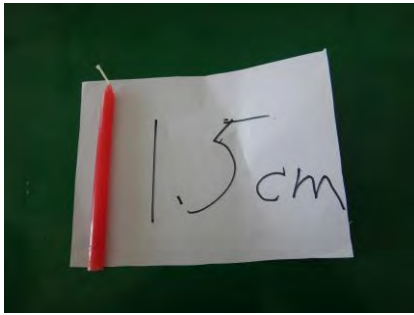


(二)用磅秤秤出蠟燭燃燒前的重量。

(三)將蠟燭固定在玻璃培養皿上。

(四)點燃蠟燭後，持續燃燒 20 分鐘。

(五)吹熄蠟燭後，用磅秤秤出蠟燭燃燒後的重量。

(六)重複以上步驟，分別以燭芯為 1cm、1.5cm、2cm、2.5cm 的蠟燭，依序完成實驗。

		
燭芯長度 0.5cm 的蠟燭	燭芯長度 1cm 的蠟燭	燭芯長度 1.5cm 的蠟燭
		
燭芯長度 2cm 的蠟燭	燭芯長度 2.5cm 的蠟燭	

三、實驗結果：

燭芯長度		0.5cm	1cm	1.5cm	2cm	2.5cm
燃燒前重量		4g±0.4	4g±0.4	4g±0.4	4g±0.4	4g±0.4
燃燒後重量	第一次	2g±0.4	2g±0.4	2g±0.4	點燃後，剩一點點火星，燒到蠟燭頂端就熄了。實驗反覆進行三次，結果皆相同。	
	第二次					
	第三次					
消耗的蠟燭重量	第一次	2g±0.4	2g±0.4	2g±0.4		
	第二次					
	第三次					

四、實驗發現與討論：

- (一)由實驗中發現，燭芯長度為 0.5cm、1cm 及 1.5cm 的蠟燭分別燃燒 20 分鐘後，皆消耗 2g 的蠟，而燭芯長度為 2cm 和 2.5cm 時，蠟燭均無法點燃。
- (二)在燭芯長度不超過 1.5cm 的情況下，燭芯長度不會影響蠟燭的消耗量。而燭芯過長較不容易點燃，於是，接下來的實驗，我們決定以燭芯 0.5cm 的蠟燭為實驗器材。

實驗 1-2、蠟燭的粗細會影響蠟燭的燃燒嗎？

一、操縱變因：蠟燭的粗細

甲：直徑 0.7cm 乙：直徑 1cm 丙：直徑 1.8cm

應變變因：消耗的蠟燭重量

不變變因：蠟燭的長度 (10.5cm)、燭芯的長度 (0.5cm)、蠟燭燃燒前重量(4g)、燃燒時間(20 分鐘)。

二、實驗步驟：

- (一)將直徑 0.7cm 的蠟燭燭芯剪裁為 0.5cm 長的規格。
- (二)用磅秤秤出蠟燭燃燒前的重量。
- (三)將蠟燭固定在玻璃培養皿上。
- (四)點燃蠟燭後，持續燃燒 20 分鐘。
- (五)吹熄蠟燭後，用磅秤秤出蠟燭燃燒後的重量。
- (六)重複以上步驟，分別以直徑為 1cm、1.8cm 的蠟燭，依序完成實驗。

		
直徑 0.7cm 的蠟燭	直徑 1cm 的蠟燭	直徑 1.8cm 的蠟燭

### 三、實驗結果：

蠟燭直徑		0.7cm	1cm	1.8cm
燃燒前重量		4g±0.4	6g±0.4	10g±0.4
燃燒後重量	第一次	2g±0.4	4g±0.4	8g±0.4
	第二次			
	第三次			
消耗的蠟燭重量	第一次	2g±0.4	2g±0.4	2g±0.4
	第二次			
	第三次			

### 四、實驗發現與討論：

- (一)由實驗中發現，直徑為 0.7cm、1cm 及 1.8cm 的蠟燭分別燃燒 20 分鐘後，皆消耗 2g 的蠟。
- (二)長度相同、粗細不同的蠟燭，在一樣的燃燒時間內，消耗的蠟燭量一樣多。所以，蠟燭粗細不會影響蠟燭的消耗量。為了節省實驗成本及時間，接下來的實驗，我們決定以直徑 0.7cm 的蠟燭為實驗器材。

## 實驗 2、探討孔洞數量對蠟燭燃燒時間的影響

### ※杯罩上的孔洞數量會影響蠟燭的燃燒嗎？

#### 一、操縱變因：縱列的洞數





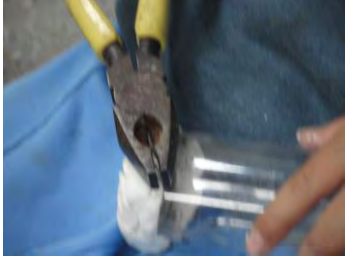



甲：0 個洞 乙：1 個洞 丙：2 個洞

應變變因：蠟燭燃燒時間

不變變因：塑膠瓶的大小(瓶高 22cm、直徑 5.5cm)、蠟燭的長度(10.5cm)、燭芯的長度(0.5cm)、孔洞直徑(0.5cm)

#### 二、實驗步驟：

- (一)將塑膠瓶裁切成 22cm 高。
- (二)用線香在塑膠瓶的側面穿上、中、下三個洞，各洞的距離為 8cm。當蠟燭點燃後，燭火正好在中洞的位置上。
- (三)趁塑膠未冷卻時，用木棍撐出一個直徑 0.5cm 的圓洞。
- (四)將鐵鋁片剪成直徑與塑膠瓶頂部大小相同的圓。
- (五)用線香、鐵釘在頂部和鐵鋁片上各鑽兩個小洞。
- (六)將鐵絲穿過鋁片和頂部邊緣的洞並用老虎鉗轉緊固定。
- (七)頂部外圍及上方用黏土封住，防止空氣進入。
- (八)利用黏土將塑膠瓶的洞全部封住。
- (九)將蠟燭燭芯剪裁為 0.5cm 長的規格。
- (十)將剪裁後的蠟燭固定在玻璃培養皿上。
- (十一)蠟燭點燃後，塑膠瓶迅速蓋上並計時。
- (十二)實驗完後，搖動塑膠瓶二十下，使瓶內的氣體排出。
- (十三)重複步驟(八)~(十二)，孔洞分別只留同一縱列的第一個及第一、兩個洞，依序完成實驗。

		
在塑膠瓶上做記號，讓瓶身高度為蠟燭長度的兩倍	裁切塑膠瓶中	準備用線香穿洞
		
用木棒穿洞	剪出圓形的鋁片	用老虎鉗轉緊鐵絲
		
頂部蓋了鋁片的塑膠瓶	頂端及四周包覆黏土	蠟燭燃燒中…

### 三、實驗結果：

洞口數 \ 次數	0 個洞	1 個洞	2 個洞
一	25 秒	14 秒	23 秒
二	17 秒	21 秒	24 秒
三	21 秒	15 秒	24 秒
平均	21 秒	17 秒	24 秒

### 四、實驗發現與討論：

(一)為了觀察蠟燭在瓶中的燃燒情形，我們思考可以使用的容器有哪些？塑膠瓶、玻璃罐都是透明的，但是考慮穿洞的難易度，我們最後選擇使用塑膠瓶。因為擔心蠟燭燃燒過程中，產生的熱可能會讓塑膠瓶頂部融化，於是，我們裁下塑膠瓶的頂部，用耐熱的鋁片蓋在上方，進行實驗。

(二)記得我們在自然課有學過熱空氣上升、冷空氣下降的原理，相信蠟燭燃燒時也會有此現象，所以我們決定要在瓶子上挖出縱向排列的洞，希望能讓空氣對流。

(三)本次實驗結束後，開始進行下一個實驗，燃燒到3分35秒時，我們發現塑膠瓶頂部凹陷，不久便整個倒塌。推論凹陷的原因，可能是瓶子材質太薄或直徑太小，所以無法耐熱；而我們仔細觀察瓶子，發現頂端的洞有一小塊黏土仍然緊黏沒有掉落，因此，我們認為瓶頂會倒塌的原因可能是我們在瓶子上方覆蓋太多的黏土，重量太重。所以，接下來的實驗我們做了以下的調整：

1. 改用直徑較大的瓶子。

2. 頂部裁掉後覆蓋較有附著性且耐熱的錫箔紙，就不需包覆厚重的黏土了。

(四)本次實驗結果以瓶子縱向挖二個洞時，燃燒時間最長，但這二個洞應該在瓶身縱列的哪個位置，則是我們在往後的實驗必須探討的。

(五)幾次實驗下來，我們發現有時蠟燭沒有立在玻璃培養皿的中央，總擔心瓶子蓋上後會離火太近，所以，我們改用玻璃片，並在上面畫兩條對角線，兩條線交點即為玻璃片的中心。如此一來，我們在固定蠟燭時，就能輕而易舉的將蠟燭立在正中央。

## 實驗 3、探討孔洞位置對蠟燭燃燒時間的影響

### 實驗 3-1：縱列二個洞的分布會影響蠟燭的燃燒嗎？

一、操縱變因：縱列二個洞的分布

甲：上洞+中洞 乙：中洞+下洞 丙：上洞+下洞

應變變因：蠟燭燃燒時間

不變變因：塑膠瓶的大小(瓶高17cm、直徑8.8cm)、蠟燭的長度(8cm)、  
燭芯的長度(0.5cm)、孔洞的直徑(0.5cm)

二、實驗步驟：

(一)將1250ml的塑膠瓶裁切成17cm高。

(二)用線香在塑膠瓶的側面穿上、中、下三個洞，各洞的距離為5.5cm。當蠟燭點燃後，燭火正好在中洞的位置上。

(三)趁塑膠未冷卻時，用木棍撐出一個直徑0.5cm的圓洞。

(四)切掉塑膠瓶頂部，改以錫箔紙封住。

(五)底部邊緣用黏土圍繞，防止塑膠瓶移動並能與桌面緊黏。

(六)留下塑膠瓶的上洞和中洞，利用黏土將下洞封住。

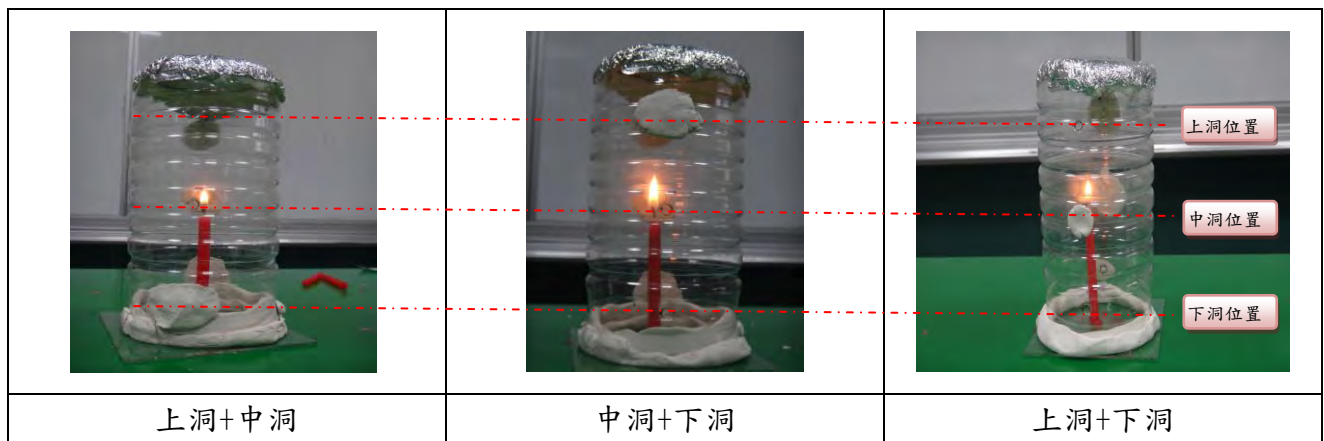
(七)將蠟燭剪裁為8cm長、燭芯0.5cm長的規格。

(八)將剪裁後的蠟燭固定在玻璃片上。

(九)蠟燭點燃後，塑膠瓶迅速蓋上並計時。

(十)實驗完後，搖動塑膠瓶二十下，使瓶內的氣體排出。

(十一)重複步驟(六)~(十)，分別封住上洞、中洞，依序完成實驗。



### 三、實驗結果：

洞的分布 次數	上洞+中洞	中洞+下洞	上洞+下洞
一	27 秒	26 秒	39 秒
二	24 秒	32 秒	36 秒
三	22 秒	21 秒	42 秒
平均	24.3 秒	26.3 秒	39 秒

### 四、實驗發現與討論：

- (一)由實驗中發現，塑膠瓶洞口分布位置在「上洞+下洞」時，燃燒時間最長。
- (二)蠟燭在瓶中燃燒時間平均可達到 39 秒，雖是本實驗中最佳的實驗結果，但對我們的實驗目標來說，蠟燭燃燒 39 秒的時間在拜拜時仍明顯不夠，所以我們決定將瓶子上的孔洞改為橫向排列，嘗試這樣是不是能讓瓶中蠟燭的燃燒時間更長。

### 實驗 3-2：橫列二個洞的分布會影響蠟燭的燃燒嗎？

#### 一、操縱變因：橫列二個洞的分布

甲：右上洞+左上洞 乙：右中洞+左中洞 丙：右下洞+左下洞

應變變因：蠟燭燃燒時間

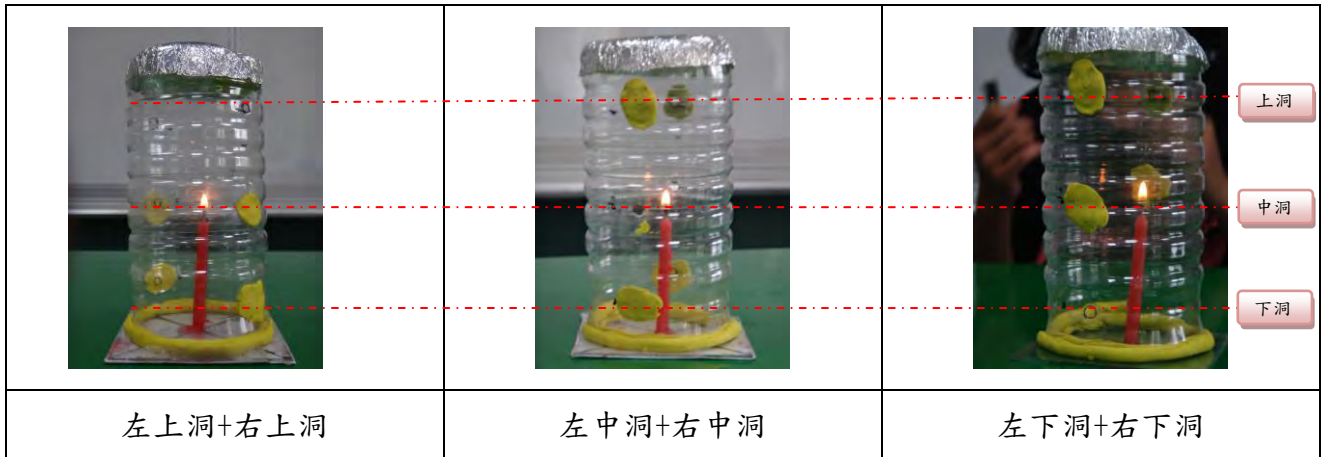
不變變因：塑膠瓶的大小(瓶高 17cm、直徑 8.8cm)、蠟燭的長度 (8cm)、  
燭芯的長度 (0.5cm)、孔洞的直徑(0.5cm)

#### 二、實驗步驟：

- (一)將 1250ml 的塑膠瓶裁切成 17cm 高。
- (二)用線香在塑膠瓶的兩側各穿上、中、下三個洞，各洞的距離為 5.5cm，共六個洞。當蠟燭點燃後，燭火正好在中洞的位置上。
- (三)趁塑膠未冷卻時，用木棍撐出一個直徑 0.5cm 的圓洞。
- (四)切掉塑膠瓶頂部，改以鋁箔紙封住。
- (五)塑膠瓶底部邊緣用黏土圍繞，防止塑膠瓶移動並能與桌面緊黏。



- (六)留下塑膠瓶兩側的上洞，利用黏土將兩側的中洞和下洞封住。
- (七)將蠟燭剪裁為 8cm 長、燭芯 0.5cm 長的規格。
- (八)將剪裁後的蠟燭固定在玻璃片上。
- (九)蠟燭點燃後，塑膠瓶迅速蓋上並計時。
- (十)實驗完後，搖動塑膠瓶二十下，使瓶內的氣體排出。
- (十一)重複步驟(六)~ (十)，分別留下兩側的中洞、下洞，依序完成實驗。



三、實驗結果：

洞的分布 次數	右上洞+左上洞	右中洞+左中洞	右下洞+左下洞
一	41 秒	22 秒	30 秒
二	35 秒	27 秒	25 秒
三	31 秒	20 秒	27 秒
平均	35.6 秒	23 秒	27.3 秒

四、實驗發現與討論：

- (一)從實驗 3-1 和 3-2 發現，當瓶子上的二個洞為縱向排列時，「上洞+下洞」燃燒時間最長；橫向排列時，「右上洞+左上洞」燃燒時間最長。
- (二)所有實驗組燃燒時間都不超過一分鐘，時間仍然太短，所以我們決定挖大孔洞的直徑為 1cm，嘗試是否能延長蠟燭的燃燒時間。
- (三)「上洞+下洞」平均燃燒時間為 39 秒，「右上洞+左上洞」平均燃燒時間為 35.6 秒，所以，下個實驗我們仍以「上洞+下洞」為不變變因來進行實驗。

## 實驗 4、探討孔洞直徑對蠟燭燃燒時間的影響

### 實驗 4-1：孔洞的直徑會影響蠟燭的燃燒嗎？(以 1250ml 礦水瓶鑽孔)

一、操縱變因：洞的直徑

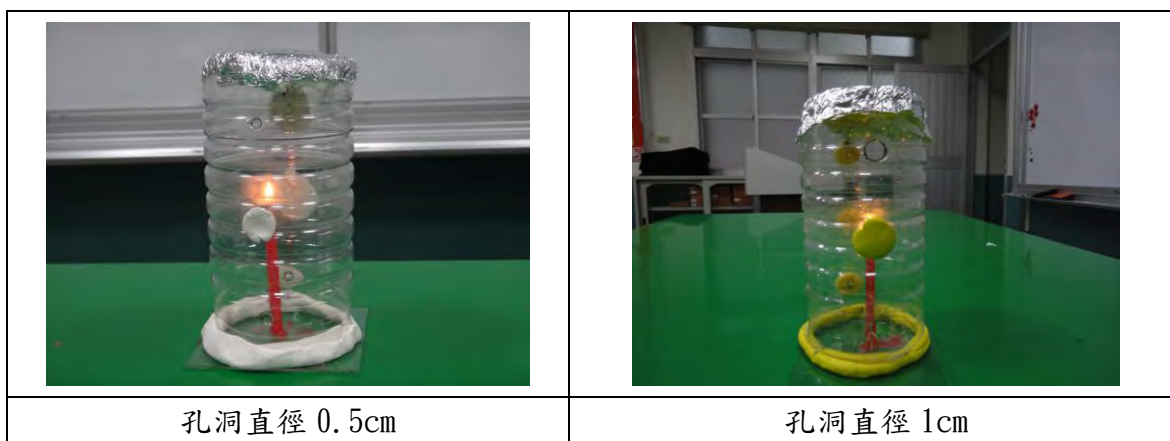
甲：0.5cm 乙：1cm

應變變因：蠟燭燃燒時間

不變變因：塑膠瓶的大小(瓶高 17cm、直徑 8.8cm)、蠟燭的長度 (8cm)、  
燭芯的長度 (0.5cm)、孔洞的分布 (上洞+下洞)

## 二、實驗步驟：

- (一)將 1250ml 的塑膠瓶裁切成 17cm 高。
- (二)用線香在塑膠瓶側面穿上、下兩個洞，洞距離頂端和底端皆為 2.5cm，點燃後燭火的位置在瓶高的一半。
- (三)切掉塑膠瓶頂部，改以鋁箔紙封住。
- (四)底部邊緣用黏土圍繞，防止塑膠瓶移動並能與桌面緊黏。
- (五)趁塑膠未冷卻時，用木棍撐出一個直徑 0.5cm 的圓洞。
- (六)將蠟燭剪裁為 8cm 長、燭芯 0.5cm 長的規格。
- (七)將剪裁後的蠟燭固定在玻璃片上。
- (八)蠟燭點燃後，塑膠瓶迅速蓋上並計時。
- (九)實驗完後，搖動塑膠瓶二十下，使瓶內的氣體排出。
- (十)重複步驟(五)~(九)，將塑膠瓶上的洞孔直徑改為 1cm，依序完成實驗。



## 三、實驗結果：

洞的直徑	0.5cm	1cm
次數		
一	39 秒	燃燒四分多鐘，我們發現瓶子頂部變形內凹。為了不影響實驗結果，於是我們主動把蠟燭吹熄，沒有得到實驗數據。
二	36 秒	
三	42 秒	
平均	39 秒	

## 四、實驗發現與討論：

當洞的直徑為 1cm 時，燃燒時間可超過一分鐘，但持續觀察卻發現塑膠瓶頂部變形，從「上洞」的地方內凹(如右圖)，於是，我們決定改變瓶子頂部(含「上洞」部分)的材質，選擇較能耐熱的鋁罐。



實驗 4-2：孔洞的直徑會影響蠟燭的燃燒嗎？(以 600ml 礦泉水瓶+鋁罐鑽孔)

一、操縱變因：孔洞的直徑

甲：0.5cm 乙：1cm

應變變因：蠟燭燃燒時間

不變變因：塑膠瓶的大小(瓶高 17cm、直徑 6cm)、蠟燭的長度 (8cm)、  
燭芯的長度 (0.5cm)、孔洞的分布 (上洞+下洞)

二、實驗步驟：

(一)將 250ml 鋁罐的頂部及 600ml 塑膠瓶的頂部和底部裁掉。

(二)將裁切後的鋁罐蓋在塑膠瓶上，使結合後的瓶身高度為 17cm。

(三)分別用鐵釘和線香在瓶子同一側的上面(鋁罐部分)和下面(塑膠瓶部分)各穿一個洞，洞  
距離頂端和底端皆為 2.5cm，點燃後燭火的位置在瓶高的一半。

(四)趁塑膠未冷卻時，用木棍撐出一個直徑 0.5cm 的圓洞。

(五)塑膠瓶底部邊緣用黏土圍繞，防止瓶子移動並能與桌面緊黏。






(六)將蠟燭剪裁為 8cm 長、燭芯 0.5cm 長的規格。

(七)將剪裁後的蠟燭固定在玻璃片上。

(八)蠟燭點燃後，瓶子迅速蓋上並計時。

(九)實驗完後，搖動瓶子二十下，使瓶內的氣體排出。

(十)重複步驟(三)~(九)，將瓶子上的孔洞直徑改為 1cm，依序完成實驗。

		
<p>裁切飲料鋁罐</p>	<p>套上裁切過的塑膠瓶即完成</p>	<p>將蠟油滴在玻璃片中央</p>
		
<p>孔洞直徑 0.5cm</p>		<p>孔洞直徑 1cm</p>

三、實驗結果：

洞的直徑		0.5cm	1cm
次數			
一		17 秒	1. 燃燒時間超過 6 分鐘，我們發現塑膠瓶和鋁罐連結的部分明顯內凹。為了不影響實驗結果，於是我們主動把蠟燭吹熄，沒有得到實驗數據。 2. 我們做了第二次實驗，發現燃燒時間超過 1 分多鐘，塑膠已開始變形。為了不影響實驗結果，於是我們主動把蠟燭吹熄，沒有得到實驗數據。
二		17 秒	
三		20 秒	
平均		18 秒	

四、實驗發現與討論：

(一)由實驗 4-1 和實驗 4-2 的結果發現，塑膠材質遇熱都會變形。於是，我們開始思考遇熱不會變形又容易穿洞的材質是什麼？記得我們曾經看過紙做的燈籠，於是，我們決定用飲料紙盒試看看。

(二)為了驗證改用紙盒之後，是否和實驗 3-1 結果相符，我們又做了同樣步驟的實驗。但是，我們發現孔洞直徑 0.5cm 時，燃燒時間都不超過一分鐘，所以，我們將該實驗的不變變因直徑 0.5cm 改為 1cm，發現以下結果：

洞的分布		上洞+中洞	中洞+下洞	上洞+下洞
次數				
一		28 秒	31 秒	34 秒
二		34 秒	31 秒	43 秒
三		35 秒	29 秒	54 秒
平均		32.3 秒	30.3 秒	43.6 秒

操縱變因：縱列二個洞的分布(上洞+中洞、中洞+下洞、上洞+下洞)

應變變因：蠟燭燃燒時間

不變變因：飲料紙盒的大小(盒高 15cm、底面積 7cm 見方)、蠟燭的長度 (7.5cm)、燭芯的長度 (0.5cm)、孔洞直徑(1cm)



上洞+中洞



中洞+下洞



上洞+下洞

(三)由以上實驗結果發現，洞口分布在「上洞+下洞」的位置時，蠟燭燃燒時間最長，由此可知，塑膠瓶改為紙盒後的實驗結果相同。

## 實驗 5、探討孔洞縱列的數目對蠟燭燃燒時間的影響

### ※孔洞縱列的列數會影響蠟燭的燃燒嗎？

#### 一、操縱變因：縱列的列數

甲：一列(右上洞+右下洞) 乙：兩列(右上洞+右下洞，左上洞+左下洞)

應變變因：蠟燭燃燒時間

不變變因：飲料紙盒的大小(盒高 15cm、底面積 7cm 見方)、蠟燭的長度 (7.5cm)、燭芯的長度 (0.5cm)、孔洞的直徑(1cm)

#### 二、實驗步驟：

(一)將 650ml 飲料紙盒的頂部裁切掉，裁切後的瓶身為 15cm 高。

(二)利用錫箔紙將盒子的四面包起來，以達到美觀效果。

(三)在包了錫箔紙的紙盒兩側各割出上、下兩個洞，洞距離頂端和底端皆為 2.5cm，共四個洞，點燃後燭火的位置在盒高的一半。

(四)利用黏土將紙盒其中一縱列的洞封住，只留一列(右上洞+右下洞)。

(五)底部邊緣用黏土圍繞，防止紙盒移動並能與桌面緊黏。



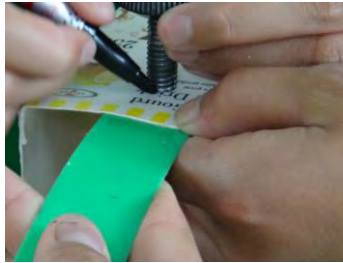

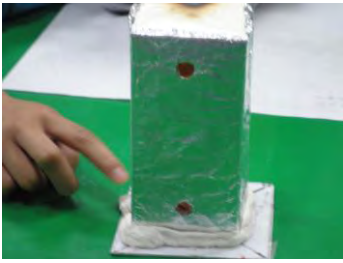

(六)將蠟燭剪裁為 7.5cm 長、燭芯 0.5cm 長的規格。

(七)將剪裁後的蠟燭固定在玻璃片上。

(八)蠟燭點燃後，盒子迅速蓋上並計時。

(九)實驗完後，搖動盒子二十下，使盒內的氣體排出。

(十)重複步驟(四)~(九)，將兩縱列 4 個孔洞全開，依序完成實驗。

		
<p>切割飲料瓶頂部</p>	<p>包上錫箔紙</p>	<p>畫記號準備打洞</p>
		
<p>底部邊緣用黏土圍繞，防止紙盒移動並能與桌面緊黏</p>	<p>實驗時，仔細觀察燭火變化</p>	<p>完成實驗後搖瓶子二十下，反覆實驗三次</p>

### 三、實驗結果：

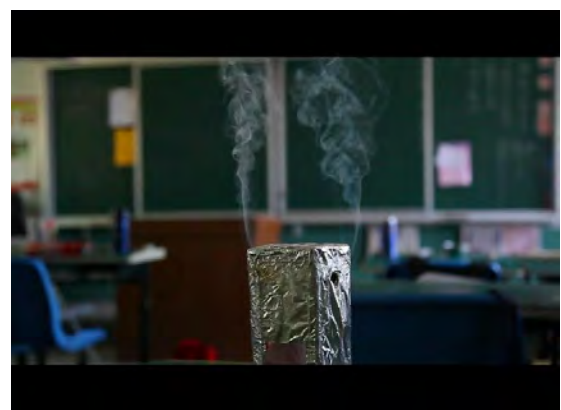
縱列列數 次數	一列(右上+右下)	兩列(右上+右下, 左上+左下)
一	34 秒	39 分 46 秒
二	43 秒	32 分 59 秒
三	54 秒	31 分 26 秒
實驗結果	皆未超過一分鐘	均超過三十分鐘，已達實驗目標

### 四、實驗發現與討論：

- (一)從以上實驗發現，當兩列四個洞的排列為右上洞、右下洞、左上洞、左下洞時，三次實驗的燃燒時間皆超過三十分鐘，且瓶子並沒有出現凹陷或縫隙，已達實驗目標。
- (二)用開四個洞的紙盒做實驗，燃燒到一分多鐘時，我們觀察到上方兩側的洞有白煙冒出。
- (三)我們推論蠟燭燃燒後的熱空氣，上升後由兩側的「上洞」出去，所以造成冒煙的現象；而外部的氧氣則由「下洞」補充進來，此即為「煙囪效應」。為了驗證這個論點，我們又進行了一個小實驗，發現結果如下：
1. 點燃線香靠近「下洞」，發現少許線香的煙會由孔洞進入紙盒中。
  2. 當我們將線香移開後，煙會垂直上升。
  3. 由此可證，線香的煙會隨著氧氣一起被氣流帶進紙盒中。



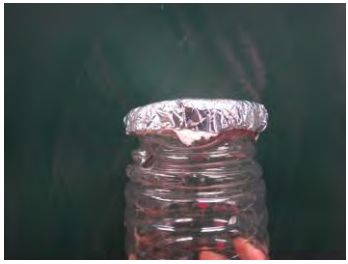


發現線香的煙由下洞進入紙盒內



白煙由上洞冒出

- (四)由此實驗發現，當瓶身的孔洞開在上下、左右相對的四個位置時，可延長瓶中蠟燭的燃燒時間。為了檢驗實驗 4 的塑膠瓶在相同條件下，是否能成功，我們將兩種瓶子重新拿來做實驗，發現結果如下：

1. 分別以「1250ml 礦泉水瓶」及「600ml 礦泉水瓶+鋁罐」這兩種瓶子蓋住蠟燭，燃燒一分多鐘後，上洞皆有白煙冒出。
2. 但燃燒時間拉長後，塑膠材質無法承受瓶內的熱度，大瓶子的上洞部分和小瓶子連結鋁罐的塑膠頂端，皆變形內凹。我們把蠟燭放在瓶子頂部，發現蠟燭立刻融化，可見瓶身的熱度非常的高。

		
1250ml 礦泉水瓶	600ml 礦泉水瓶+鋁罐	蠟燭放在瓶子頂部立刻融化

(五)為了驗證此實驗器材是否能在清明掃墓時使用，在下個實驗中，我們將用電風扇模擬戶外的風，測試挖了洞的紙盒是否能保護燭火持續燃燒。

## 實驗 6、探討風對瓶中蠟燭燃燒時間的影響

### ※風會影響瓶中蠟燭的燃燒嗎？

#### 一、操縱變因：風

甲：沒吹電風扇 乙：有吹電風扇(三段速-低)

應變變因：蠟燭燃燒時間

不變變因：飲料紙盒的大小(盒高 15.5cm、底面積 7cm 見方)、蠟燭的長度 (7.5cm)、燭芯的長度 (0.5cm)、洞的位置(右上洞+右下洞，左上洞+左下洞)、洞的直徑(1cm)

#### 二、實驗步驟：

(一)將 650ml 飲料紙盒的頂部裁切掉，裁切後的瓶身為 15cm 高。

(二)利用錫箔紙將盒子的四面及頂部包起來，以達到美觀效果。

(三)在包了錫箔紙的紙盒兩側各割出上、下兩個洞，洞距離頂端和底端皆為 2.5cm，共四個洞，點燃後燭火的位置在盒高的一半。




(四)底部邊緣用黏土圍繞，防止紙盒移動並能與桌面緊黏。

(五)將蠟燭剪裁為 7.5cm 長、燭芯 0.5cm 長的規格。固定在玻璃片上。

(六)蠟燭點燃後，盒子迅速蓋上並計時。

(七)實驗完後，搖動盒子二十下，使盒內的氣體排出。

(八)重複步驟(五)~(七)，拿出一台電風扇放在距離蠟燭 30cm 的地方，點燃蠟燭並蓋上紙盒後，立刻打開電風扇調至低速段，直到實驗結束。

		
洗電風扇	電風扇距離蠟燭 30cm	都準備好了就開始計時

### 三、實驗結果：

有沒有風 次數	沒吹電風扇(密閉空間)	有吹電風扇(三段速-低)
一	39分46秒	10分42秒
二	32分59秒	7分22秒
三	61分37秒	12分36秒

### 四、實驗發現與討論：

- (一)當電風扇開啟後，紙盒內燭火左右搖曳不定，有時還會忽大忽小。由此可知，風會干擾紙盒內的空氣對流，讓蠟燭燃燒不穩定。
- (二)雖然有了風，會讓蠟燭燃燒時較不穩定，甚至還沒整支燒完就熄滅了。但有了紙盒保護的蠟燭，至少可以持續燃燒5分鐘以上，三次實驗中，有兩次燃燒超過10分鐘。可見，此實驗器材，有助於我們實驗目標的達成。

## 伍、結論與建議

### 一、結論：

- (一)相同燃燒時間內，蠟燭的粗細與燭芯的長短，不會影響蠟燭的消耗量。
- (二)用不同材質的瓶子做實驗後，我們發現紙盒挖洞既能保護燭火繼續燃燒，又不會遇熱融化，是非常理想的材質。
- (三)紙盒的孔洞直徑為1cm，且開在上下、左右相對的四個位置時，可使蠟燭維持最長的燃燒時間——超過30分鐘。
- (四)在有風的情況下(以電風扇模擬)，瓶中蠟燭的燃燒時間仍可達到我們預期的目標。

### 二、建議：

- (一)直徑0.7cm、長度7.5cm的蠟燭，在模擬風吹的情況下，可持續燃燒將近10分鐘。建議清明節掃墓時可選擇最細的小蠟燭，可兼顧慎終追遠與節省成本，真是兩全其美呀！
- (二)因為紙盒為不透明的容器，拜拜時無法看到燭火，為了表示對祖先的尊敬，我們將紙盒沒有洞的兩側裁掉局部，貼上玻璃片(如下圖)，發現燃燒時間仍超過30分鐘。建議清明節掃墓時，可採用此器材，既可保護燭火不受天氣影響，又能遵循祭拜祖先的傳統禮俗！

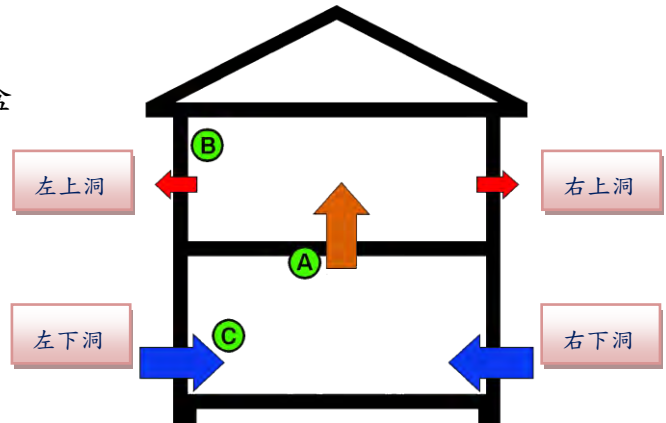




## 陸、原理探索

### 煙囪效應

1. 紙盒兩側開上下左右四個孔洞，蠟燭可在盒內持續燃燒，正是所謂的「煙囪效應」。
2. 由右圖中可見到空氣流動的方向：  
A：蠟燭燃燒後產生的熱空氣向上升。  
B：上升的熱空氣在頂部兩側離開。因為煙囪中的熱空氣散溢而造成一個牽引的氣流。  
C：牽引的氣流將戶外的空氣由下方孔洞抽入填補，讓火可以不斷燃燒。



## 柒、生活應用

### 一、新聞事件：

從此次一連串的實驗中，我們也意外的瞭解了新聞事件常說的，高樓發生火災難以撲救的原因。在高樓大廈的環境內，煙囪效應可以是令火災猛烈加劇的原因。在低層發生的火災造成的熱空氣，因為密度較輕，經電梯槽或走火通道內得以往上流動，使高熱氣體不斷在通道的頂部積聚，結果是使火勢透過這種空氣的對流在大廈的頂層製造另一個火場。不單使撲救變得更困難，更會危及前往天台逃生者的生命安全。(圖片翻攝自網路)



### 二、房屋氣窗：



金門的閩南式建築在房屋頂部開口及現代的氣窗，都是利用煙囪效應讓房內的空氣產生循環，解決屋內空氣不流通的問題。(圖片翻攝自網路)

## 捌、參考資料

- 一、康軒版自然與生活科技第五冊第三單元「空氣與燃燒」
- 二、康軒版自然與生活科技第六冊第三單元「熱的傳播與保溫」

## 玖、後記

- A 同學：在實驗剛開始時，瓶子一個個融化，我們的心情非常難過，但我發現這時我們應該更加合作，不應該各自為政，一直到試著用紙盒做實驗，我們竟然成功了，大家高興地跳了起來。而在這次科展，我也學到過程中要積極的做實驗、討論等等，要很有責任感才行。
- B 同學：在實驗的過程中，我們雖然遇到了許多的瓶頸，不過正因為這樣，所以我們才可以在過程中一步一步尋找真相，過程中學到了團隊合作，在其中也得到了做實驗的樂趣。
- C 同學：我覺得這一個實驗可以讓我們學習到蠟燭的特性，也見證到熱空氣會往上升、冷空氣會下降的原理，而且我現在也知道火不可以亂玩，否則後果會不堪設想的！
- D 同學：我覺得這次科展的實驗很有趣，也學習到一個團隊要互相合作，但是一開始我還有參加合唱團和拔河比賽，常常要花時間去練習，沒有辦法整個實驗都全程參與，所以覺得有一點點對不起我的夥伴，這是一個小小的缺憾。
- E 同學：我覺得參與這個活動雖然很辛苦，但也讓我學到了很多以前我不知道的事物，例如：做實驗要有團隊精神、怎麼延長瓶中蠟燭的燃燒時間等等，讓我獲益匪淺，下次如果還有機會，我們也應該這麼努力，為自己爭取至上的榮譽。

## 【評語】 080109

對於戶外燃燒蠟燭時間的延長，進行嘗試與探究，探究的變因從蕊心、本體、外罩構造以及孔洞的大小與分布，實驗用心認真。相較於其他作品而言，對於變因與觀測量的界定可更明確嚴謹。