

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

國中-應用科學科

科 別：生活與應用科學科

組 別：國中組

作品名稱：火災現場煙囪效應的探討

關鍵詞：空氣、煙、樓梯

編 號：030806

學校名稱：

臺北縣立中和國民中學

作者姓名：

吳依庭、蕭慶瑜、陳彥勳、徐尉書

指導老師：

蔡明珠、祁秀玉



一、摘要：

使用線香製造煙，藉由壓克力所製造公寓大樓房間及樓梯的模型，模擬火災的情形，觀察火源在不同位置，各種窗戶的開法，如何影響到煙運動，及觀察線香的燃燒狀況；觀察次同時開啟兩扇窗戶，煙的運動狀況是否會有不同，線香的燃燒情形是否改變？房間中溫度的改變，是否影響到煙的運動？

二、研究動機：

在理化第一冊第五章第五節提到煙囪的功用，讓我們想到火災頻傳，往往造成生命及財產的重大損失，於是想瞭解：當火災發生時，類似公寓的住宅，何處尚有較多的空氣，可以延長逃命的機會。

三、研究目的：

- (一) 火源在不同樓層時，打開那一層樓的窗戶，可以有較大的逃生空間？
- (二) 火源在四樓，開兩扇窗戶，觀察火的燃燒情形及煙的運動狀況。
- (三) 火源在四樓，開三扇窗戶，觀察火的燃燒情形及煙的運動狀況。
- (四) 火源在四樓，開四扇窗戶，觀察火的燃燒情形及煙的運動狀況。
- (五) 火源分別放置在一、四、六樓，窗戶全部打開，觀察火的燃燒情形及煙的運動狀況。
- (六) 在不同樓層放上冷劑(冰與食鹽的混合)，觀察溫度是否影響煙的運動？

四、研究設備及器材

線香 保力龍 壓克力 溫度計

五、研究過程或方法

- (一) 火源在不同樓層時，打開那一層樓的窗戶，可以有較大的逃生空間？

1. 將壓克力切割，接合如右邊照片。
2. 每支線香剪成約 6 公分長，插在保力龍塊如照片所示，點燃後放置一樓房間。
3. 將房間中的窗戶完全密閉，觀察煙的運動情況。
4. 依順序打開一、六樓窗戶，分別觀察煙的運動情況。
5. 將火源改放在二、六樓，重複步驟 3~4，觀察煙的運動情形。



- (二) 火源在四樓，開兩扇窗戶，觀察火的燃燒情形及煙的運動狀況。

1. 將火源放置四樓房間，同時打開一、六樓窗戶，觀察煙的運動情形。
2. 依(一樓、五樓)、(一樓、四樓)、(一樓、三樓)、(一樓、二樓)、(五樓、六樓)、(二樓、六樓)、(二樓、五樓)、(二樓、四樓)、(二樓、三樓)的組合，打開窗戶，觀察煙的運動情形。

- (三) 火源在四樓，開三扇窗戶，觀察火的燃燒情形及煙的運動狀況。

1. 將火源放置四樓房間，同時打開一、五、六樓窗戶，觀察煙的運動情形。
2. 依(二樓、五樓、六樓)、(四樓、五樓、六樓)的組合打開窗戶，觀察煙的運動情形。

- (四) 火源在四樓，開四扇窗戶，觀察火的燃燒情形及煙的運動狀況。
1. 將火源放置四樓房間，同時打開一、二、五、六樓窗戶，觀察煙的運動情形。
 2. 依(一樓、二樓、三樓、六樓)的組合打開窗戶，觀察煙的運動情形。

(五) 窗戶全開

1. 將火源放置一樓房間，每一層樓的窗戶全部打開，觀察煙的運動情形。
2. 將火源分別改放置四樓、六樓，觀察煙的運動情形。

(六) 在不同樓層放上冷劑(冰與食鹽的混合)，觀察溫度是否影響煙的運動？

1. 將火源放置四樓，在二樓及六樓放置冷劑，打開五、六樓窗戶，觀察煙的運動情形。
2. 將冷劑改放在二樓及五樓，依然打開五樓、六樓窗戶，觀察煙的運動情形。

六、研究結果

(一) 火源在不同樓層時，打開那一層樓的窗戶，可以有較大的逃生空間？

1. 火源在一樓

(1) 火源在一樓，窗戶完全密閉。

- ① 雖然完全密閉，煙仍然會由下而上逐漸進入各樓層的房間中。
- ② 接近安全門的線香，燃燒速度較快。
- ③ 用手觸摸，一樓溫度很高，而二樓直接與一樓接觸，溫度略微上升，三樓以上幾乎是冷的。
- ④ 實驗完成後，桌面上有水氣，懷疑煙中夾帶水蒸氣，遇到桌面的低溫，冷凝而成細小水滴。



靠近安全門的線香燃燒速度較



靠近安全門的線香燃燒速度較

(2) 火源在一樓，打開一樓窗戶。

- ① 因火源在一樓，又開一樓窗戶，煙往上冒的速度非常快，幾乎同時到達上方的五層樓。
- ② 當二至五樓密閉空間中的煙達到某個量值時，大量的煙由一樓窗戶冒出。
- ③ 一樓靠窗及安全門的線香燃燒速率最快。

(3) 火源在一樓，打開二樓窗戶。

- ① 雖然二樓窗戶打開，煙進入二樓的速度並沒有特別快，煙一樣由二樓逐

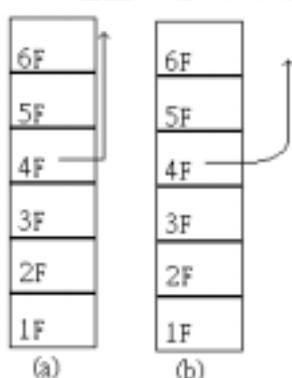
漸向上緩慢進入房間中，且一開始並沒有煙由二樓窗戶冒出。

- ② 一段時間後，開始有大量的空氣進入二樓，房間中的煙快速捲動，其他層樓無此現象。
- ③ 後來有較多的煙由二樓冒出。
- ④ 線香的燃燒情況，與完全密閉時大約相同，仍然是靠近安全門的線香燃燒速度較快。

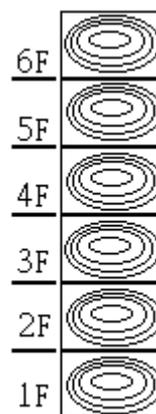
(4) 火源在一樓，打開三樓窗戶。
情況與開二樓窗戶時相同。

(5) 火源在一樓，打開四樓窗戶。

- ① 情況與開二樓窗戶時相同。
- ② 窗口的空氣補充較二、三樓開窗戶時慢。
- ③ 煙冒出窗口時，以較貼近窗戶的方式冒出如圖(a)，而非以圖(b)的方式冒出。
- ④ 在 4 樓的右上角呈現無煙狀態。
- ⑤ 煙並不會將其他層樓的角落填滿。

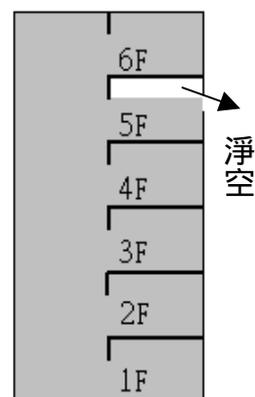
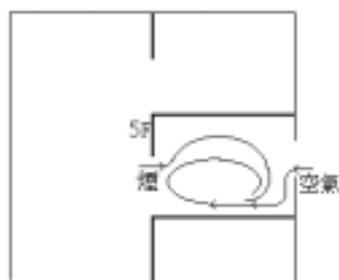


4 樓右上角呈現無煙狀態



(6) 火源在一樓，打開五樓窗戶。

- ① 情況與開四樓窗戶時相似，右上方的角落更清晰，在過久一點，五樓房間上方跟著淨空。
- ② 窗口進來的空氣下沉，和逃生口進來的煙互相捲在一起後，煙被推出窗口。



(7) 火源在一樓，打開六樓窗戶。

- ① 空氣很少補進來，且空氣與煙並無翻攪的現象。
- ② 一樓線香熄滅的速度，較開其他層樓窗戶時還快，可能是六樓補空氣的速度太慢，來不及傳至一樓，以致於一樓的線香很快就熄滅。
- ③ 過了一會兒，六樓的右上方又先行淨空，與打開四樓或五樓窗戶的情況相同，顯示煙的淨空



六樓頂淨空

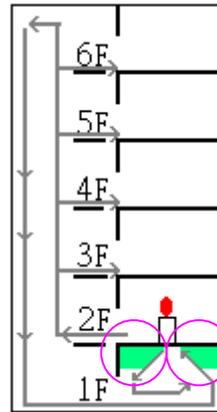
都是由上到下的順序進行。

- ④ 六樓頂端煙剛淨空時，逃生門並不會有煙進入，直到六樓煙較少時，才會有煙進入房間。
- ⑤ 補進來的空氣會上升，不會下沉，有別於其他樓層的狀況。

2.火源在二樓

(1) 火源在二樓，窗戶完全密閉。

- ① 煙由三樓開始進入，後依序進入四、五、六樓，再下沉進入一樓。
- ② 煙在一樓的行進方式為：由低至高，且一樓的左上方及右上方還留有空氣。
- ③ 一樓的溫度比二樓低。



仍留有空氣



左上角及右上角留有空氣

(2) 火源在二樓，打開一樓窗戶。

- ① 燃燒時煙的運動方向同(1)。
- ② 一樓只有一些煙，且煙到一樓的一半就停止進入。

(3) 火源在二樓，打開二樓窗戶。

- ① 一開始就燃燒旺盛。
- ② 煙進入一樓的速率，較其他層樓慢，煙的量較其他層樓少。
- ③ 一樓的右上角及左上角仍留有空氣。
- ④ 靠近窗口的香燃燒速度比靠安全門的香快。



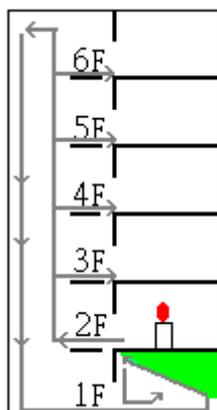
右側靠近窗口的香，燃燒速度較左側靠近安全門的香快。



左上角及右上角仍留有空氣。

(4) 火源在二樓，打開三樓窗戶。

- ① 三樓的煙與窗口的空氣有對流現象。
- ② 一樓的煙仍然由下而上運動，而且沒有完全佈滿。
- ③ 一樓的右上角煙呈對角線傾斜，且斜度逐漸增加，甚至於更清晰。
- ④ 一樓的煙比其他層樓的煙淨空得快。



一樓右上角的空氣傾斜角度變大。



一樓的煙淨空速度比其他樓層快

(5) 火源在二樓，打開四樓窗戶。

- ① 四樓的煙與窗口的空氣有對流現象，但很少。
- ② 最後四樓比其他樓層更清晰，而一樓約只有 $\frac{1}{3}$ 沒煙。



(6) 火源在二樓，打開五樓窗戶。

- ① 五樓的煙與窗口的空氣仍有對流現象。
- ② 剛開始，一樓的右上角及左上角有空氣，之後一樓變得模糊不清。
- ③ 五樓較其他層樓清晰。



(7) 火源在二樓，打開六樓窗戶。

- ① 六樓的煙與窗口的空氣有對流現象。
- ② 最後，一樓比六樓更清晰。



一樓煙的變化情形



六樓煙變化情形。

3. 火源在三樓

(1) 火源在三樓，窗戶完全密閉。

- ① 3樓以上先有煙進入，1、2樓則最慢有煙進入。
- ② 3樓以下的樓層煙都呈斜的狀態，久之煙漸漸停止對流。
- ③ 2樓的煙有明顯變低。
- ④ 1樓的煙比其他樓層的煙還厚。



(2) 火源在三樓，打開一樓窗戶。

- ① 5、6樓的煙比4樓的煙還濃。
- ② 煙進入1樓時是往下貼著地面，有少許的煙往上。
- ③ 2樓的煙比其他樓層的煙還清晰。
- ④ 1樓的煙比其他樓層的煙來的厚。



一、二樓煙的變化情形

- (3) 火源在三樓，打開二樓窗戶。
- ① 1、2 樓的煙都沒完全佈滿。
 - ② 1、2 樓的煙呈平行狀。
 - ③ 2 樓的煙還是比其他的樓層的煙清晰。
 - ④ 1 樓的煙則不是最厚的。
 - ⑤ 當煙慢慢淨空時會先由右邊先淨空。



一、二樓煙的變化情形

- (4) 火源在三樓，打開三樓窗戶。
- ① 三樓的煙燒的很旺。
 - ② 煙進入 2 樓後會先由下往上繞一圈然後部份的煙往逃生口出去。
 - ③ 1 樓的空氣被下方的煙擋到而停留在逃生口上方無法出去。
 - ④ 1 樓的煙比其他樓層的煙厚。



靠近窗口的香燒得快

- (5) 火源在三樓，打開四樓窗戶。
- ① 2 樓的煙沒有 1 樓的煙多而且集中。
 - ② 1 樓上方少量的煙有下降，使原本平行的煙變成中間高兩旁低。
 - ③ 離安全門遠的香燒得快。
 - ④ 2 樓的煙比其他樓層的煙還清晰。



- (6) 火源在三樓，打開五樓窗戶。
- ① 保麗龍上的香，右邊的燒的較快。
 - ② 1 樓的空氣是被煙推上去的。

- ③ 仔細看發現煙是顆粒狀而且有分顆粒大小。
- ④ 5樓的煙比其他樓層的煙清晰。



(7) 火源在三樓，打開六樓窗戶。

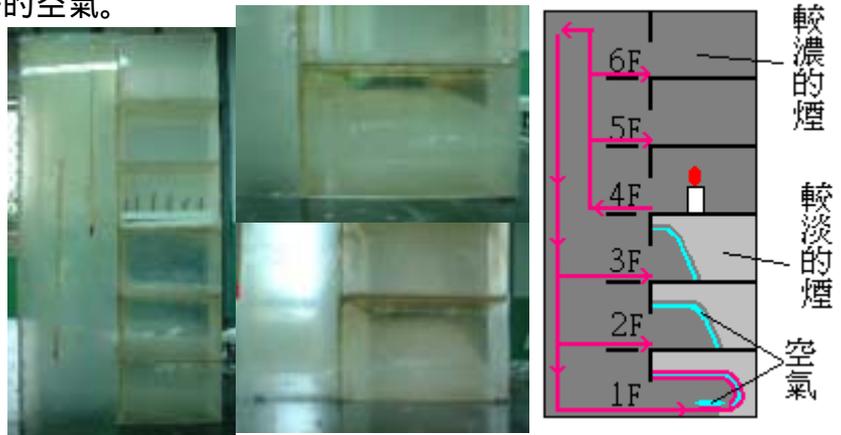
- ① 1樓的煙比逃生口高。
- ② 2樓的右上角空氣和煙相間呈漩渦狀。
- ③ 2樓的中央明顯有一條彎曲的空氣貫穿。
- ④ 3樓的線香處有明顯的空氣分佈在線香上。
- ⑤ 1、2樓比4、5樓更早淨空。



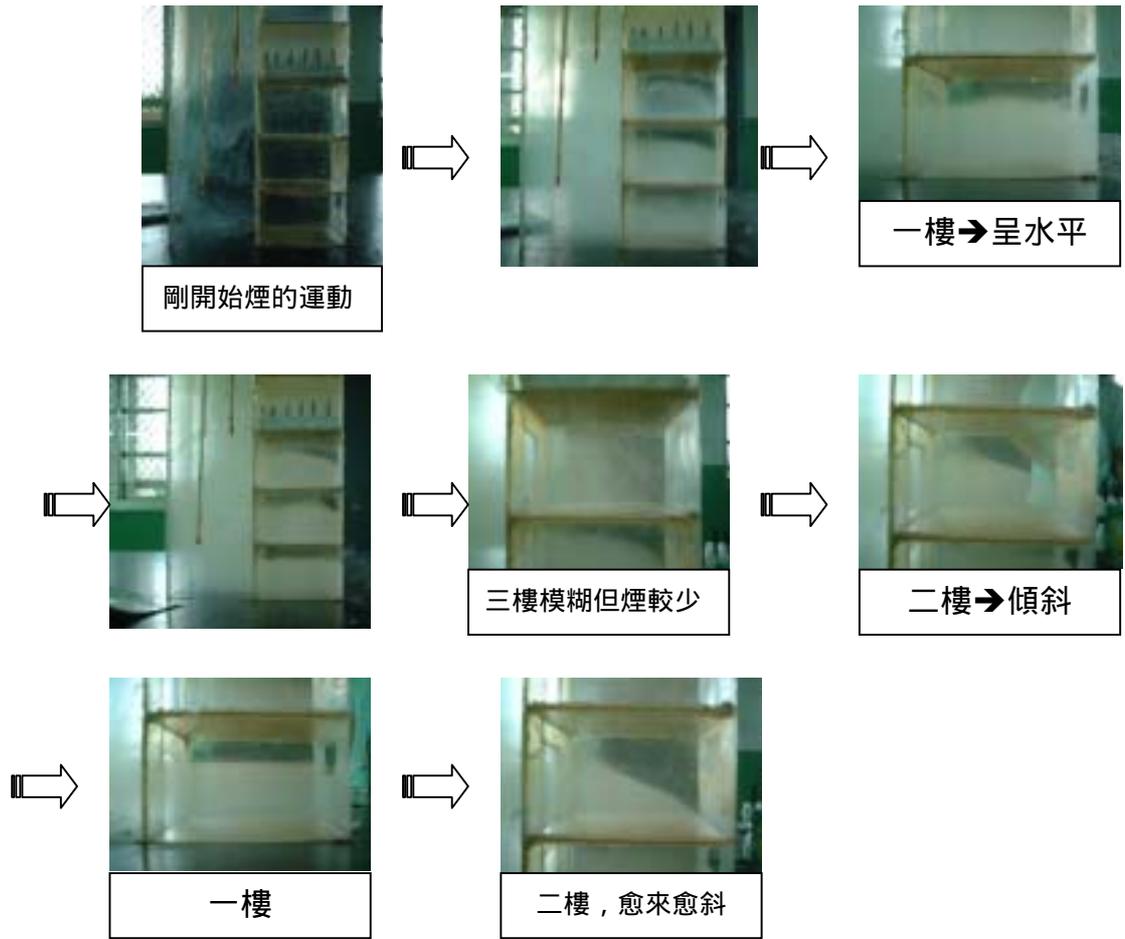
4.火源在四樓

(1) 火源在四樓，窗戶完全密閉。

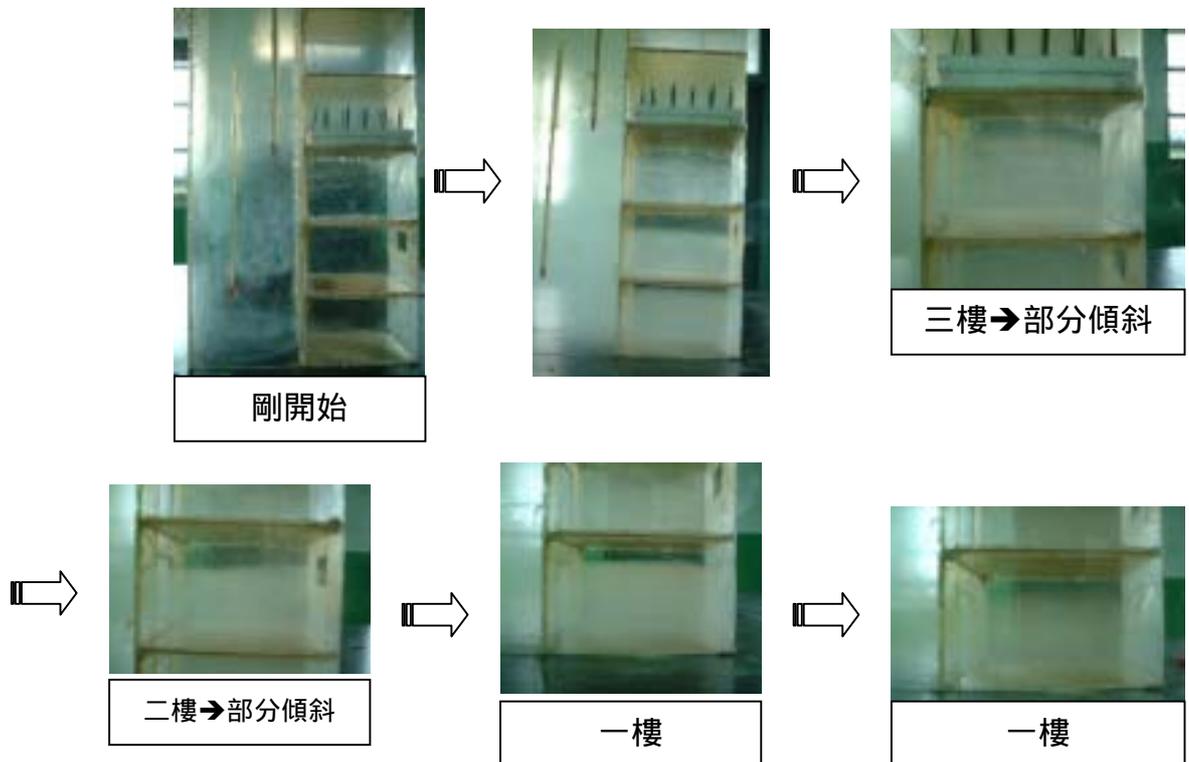
- ① 火源下方的樓層比上方的樓層還清晰。
- ② 1樓的煙和逃生口頂端同高。
- ③ 1樓本來平行的煙，後來右邊一角會有下降。
- ④ 1、2、3樓平行的煙皆為左邊較多，右邊較少，且兩者中間還有空氣介入，像個分界線。
- ⑤ 煙進入的方式是從下方開始然後沿著牆壁往上，此時可看見樓層中間有尚未被推出去空氣。



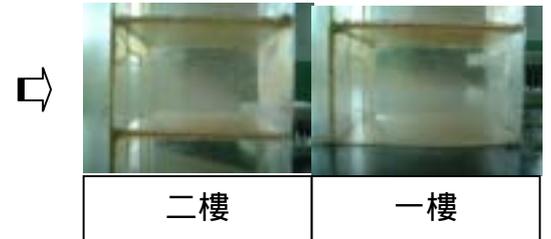
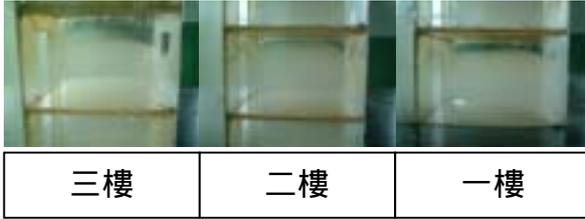
(2) 火源在四樓，打開一樓窗戶。



(3) 火源在四樓，打開二樓窗戶。



(4) 火源在四樓，打開三樓窗戶。



(5) 火源在四樓，打開四樓窗戶。

- ① 1 樓的煙和窗口同高。
- ② 2.3 樓的煙一樣 但沒 1 樓的煙清楚。
- ③ 3 樓後來煙的走向跟剛開始 1 樓煙的走向一樣。



- ① 2 樓的煙從剛開始的混雜變得集中在下面。
- ② 2 樓左上角出現一條三角形的空氣。

(6) 火源在四樓，打開五樓窗戶。



1 樓的煙與逃生口同高。

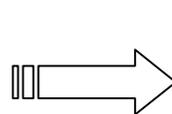


2 樓的煙剛開始為模糊，接著便煙中間高兩旁低。



3 樓的煙以逃生口為限呈垂直狀右邊也是清晰的。

⇒ 接著 2 樓也和 3 樓一樣呈垂直。



⇒ 但是到了最後 3 樓 2 樓 1 樓 都變成模糊。

在過一會兒 1 樓也呈垂直了。

(7) 火源在四樓，打開六樓窗戶。



2 樓上下方有煙，中間清晰，上方有煙的範圍較小。



3 樓的煙前面是平行的高於逃生口 但後面的煙右邊有一角下降 前後不同。



2 樓的煙變得和 3 樓一樣。



1 樓的煙與逃生口平行。



3 樓後面的煙有下降。



3 樓的煙右邊變得清晰 逃生口以上則只有左邊小範圍有煙 右邊



2 樓煙的高度前後不一樣 前高後低。



2 樓的前面的煙變得與逃生口平行 後面的煙為逃生口一半 兩者右邊的一角都有下降。



1 樓的煙持續下降且角度變斜。



- ①3 樓變得清晰。
- ②2 樓煙的高度下降 右邊一角也下降 但煙的高度還是維持前高後低。
- ③窗戶開上方時 空氣並不是很容易補進 且不是往火源的樓層補。

5.火源在五樓

(1) 火源在五樓，窗戶完全密閉。

當六樓已是濃煙時 一.二.三.四樓仍不是有很多煙 四樓留有最多 3/4 的空氣。



四樓的煙也分兩部份，前高後低。



一樓的煙與逃生口平行
二三樓的煙呈模糊。



四樓的煙右邊清空 接著煙的範圍逐漸縮小。



一樓的煙還是與逃生口平行，但右邊有變低。

①二三樓還是模糊 四樓也變模糊。
②六樓的煙最濃 且都沒變化。

(2) 火源在五樓，打開一樓窗戶。



一樓此時已有 3/4 的煙。



接著四樓的煙右邊和上方右邊有空氣 且範圍逐漸擴大。

①二.三樓呈模糊。
②二樓比三樓較容易有空氣進入。



一樓的煙則持續下降。



二樓的煙分兩部份
上部較濃 下部較淡。



二樓右邊的煙是清空的
上方的煙也逐漸散去。

(3) 火源在五樓，打開二樓窗戶。



四樓的煙集中在下方。



二、三樓則不規律 且
三樓的煙較二樓少。



- ①一樓則已有 3/4 的煙集中
集中在下方。
- ②四樓的煙變高。
- ③三樓的煙已完全分布
但有空氣夾雜其中。
- ④二樓的煙也集中於下
方 高度在逃生口的一
半。



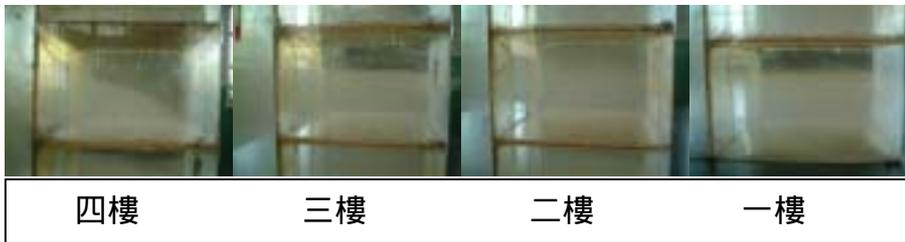
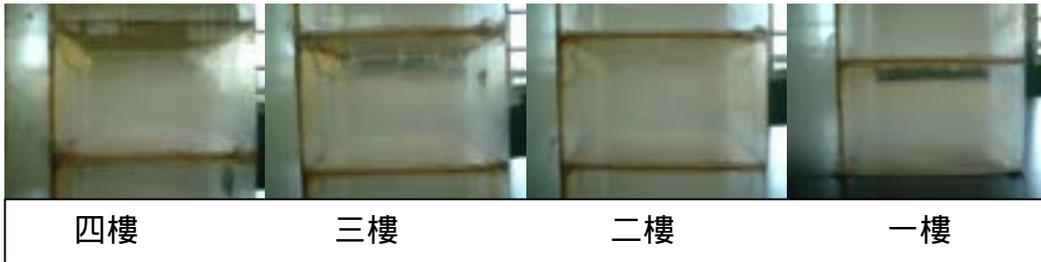
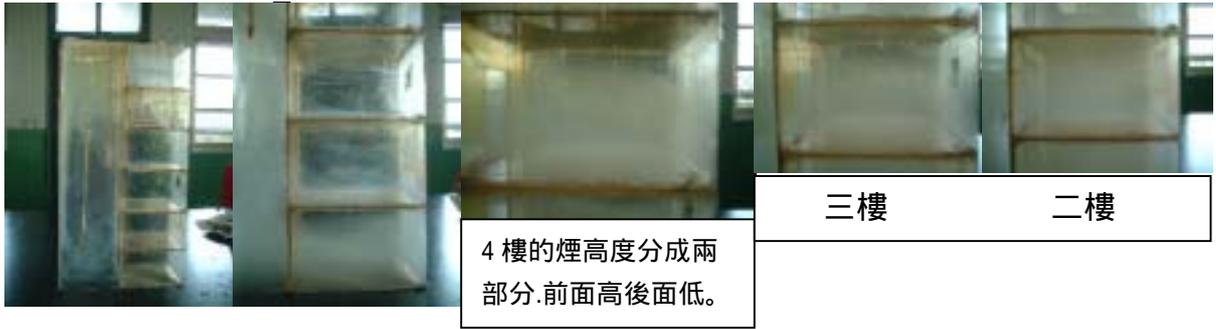
一樓的煙則與逃生口平行，後來右邊有一
角下降，且持續。



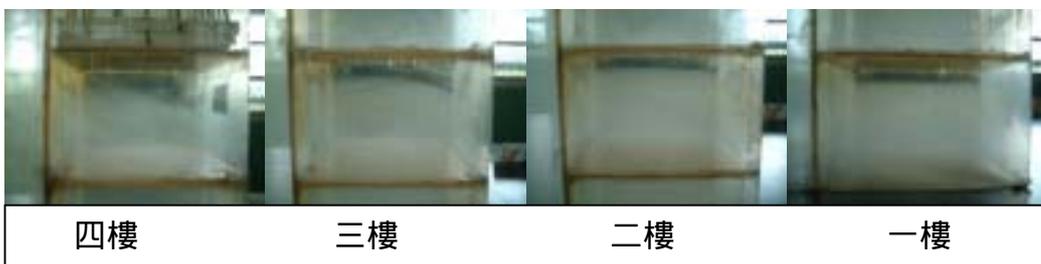
四樓的煙又和之前一樣，右邊清
空，上方右邊也清空。

(4) 火源在五樓，打開三樓窗戶。

- ① 3樓並無看見有空氣進入，空氣並無下降，但有上升，因為顆粒大小的不同，所以下沉的都是顆粒較大的，所以煙進入時，會從底部進入。而顆粒小的在上面比較容易瀰漫。
- ② 我們判斷4樓的空氣，應該是從上方而來的，而不是直接從3樓進來的，因為如果空氣從3樓來。那麼應該直接就在4樓逃生口的下方進入，但我們觀察時，並無看見，而是看到空氣從逃生口上方進入再往下沉，由此可知。空氣應該是從3樓上到頂樓在下降的，這樣我們也可以解釋之前為何有樓層煙和煙之中有空氣存在。



(5) 火源在五樓，打開四樓窗戶。

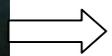




六樓 四樓 三樓 二樓 一樓



六樓 四樓 三樓 二樓 一樓



由香的燃燒角度可知：空氣是由左上方補進來的。

(6) 火源在**五樓**，打開**五樓**窗戶。



香的中間凹陷，可見空氣是由左上方補進來



六樓 四樓 三樓 二樓 一樓



六樓 四樓 三樓 二樓 一樓

(7) 火源在五樓，打開六樓窗戶。

① 煙下降時，是貼牆兩旁走的，而由煙行進的角度決定進那層樓。



六樓 四樓 三樓 二樓 一樓



六樓 四樓 三樓 二樓 一樓



由香燃燒情形可知，空氣是由左上方補進來



三樓 二樓 一樓

6.火源在六樓

(1) 火源在六樓，窗戶完全密閉。

- ① 由安全門補進的空氣為下沉的空氣。
- ② 煙的捲動情形，由較高樓層先出現，慢慢地，下方樓層逐漸出現煙的捲動現象 4 樓靠窗的煙有捲動現象。



煙有捲動現象



五樓

四樓

三樓

二樓

一樓



四樓

三樓

二樓

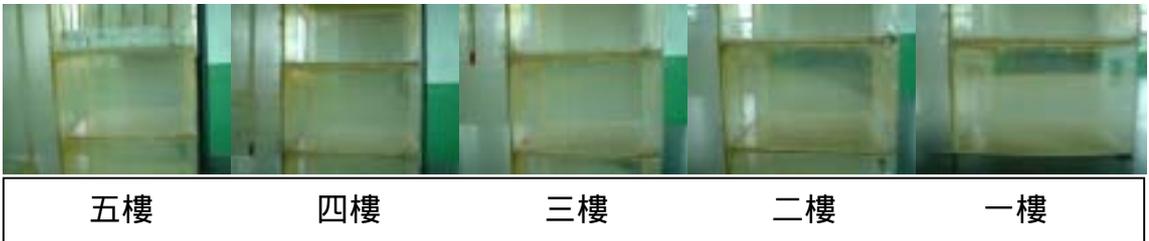
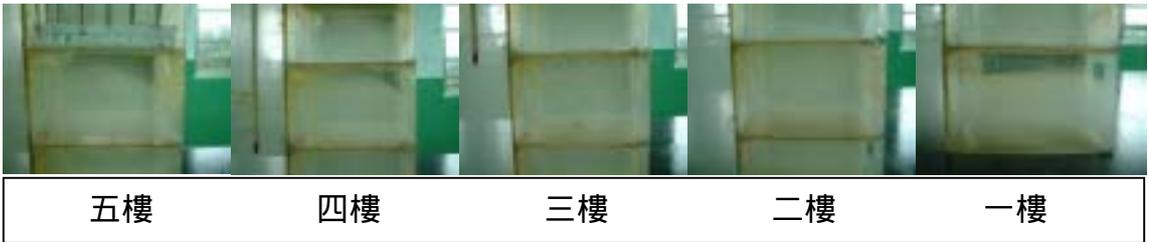
一樓



- ① 線香熄滅時，線香的長度仍然很長。
- ② 由線香的凹陷情況，推測空氣是由左上方補進來的

(2) 火源在六樓，打開一樓窗戶。

- ① 3 樓安全門補進的空氣為下沉的空氣。
- ② 5 樓有捲動的空氣，1 樓窗口冒出的煙大部分為下沉。
- ③ 1 樓、2 樓上方的空氣較其他樓淡。



(3) 火源在六樓，打開二樓窗戶。

- ①煙的產生的速率緩慢。
- ②大部分的煙進入房間是由下往上。
- ③二樓窗口空氣補充緩慢，大部分往安全門上方補充。
- ④線香熄滅後，長度仍然很長。





五樓 四樓 三樓 二樓 一樓



五樓 四樓 三樓 二樓 一樓



五樓 四樓 三樓 二樓 一樓



(4) 火源在六樓，打開三樓窗戶。



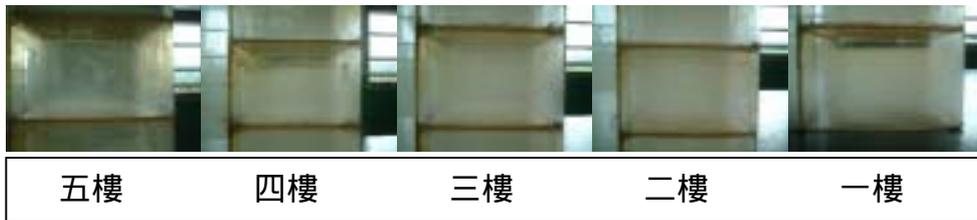
五樓 四樓 三樓 二樓 一樓



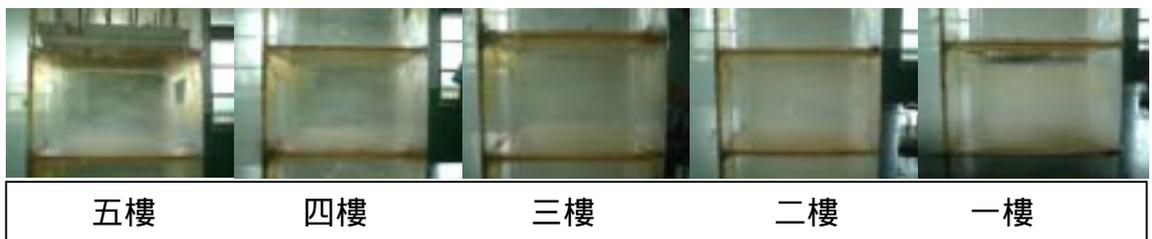
四樓 三樓 二樓 一樓

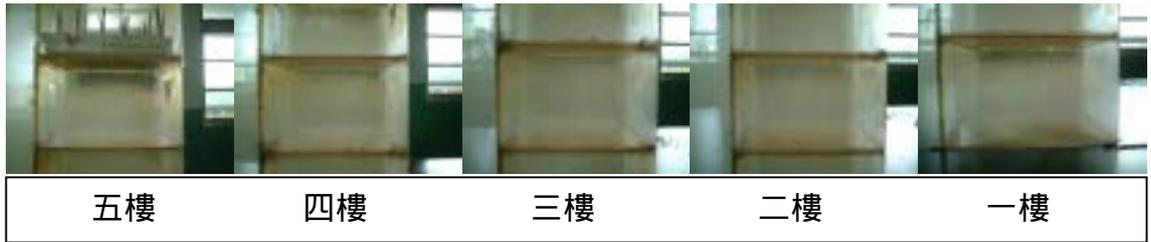


(5) 火源在六樓，打開四樓窗戶。



(6) 火源在六樓，打開五樓窗戶。





(7) 火源在六樓，打開六樓窗戶。



(二)火源在四樓，開兩扇窗戶，火的燃燒情形及煙的運動狀況。

1. 開一樓、六樓窗戶



2. 開一樓、五樓窗戶



3. 開一樓、四樓窗戶



4. 開一樓、三樓窗戶



5. 開一樓、二樓窗戶



三樓

二樓

一樓



二樓煙的變化情形

6. 開五樓、六樓窗戶



7. 開二樓、六樓窗戶

① 一樓留有極少量的煙。

②

樓層	一樓	二樓	三樓	四樓	五樓	六樓
廣用試紙的顏色	綠	綠	綠	黃	黃	黃



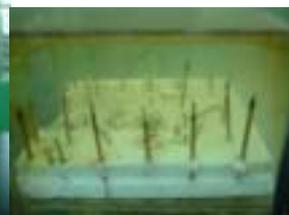
8. 開二樓、五樓窗戶

① 一樓留有少量空氣，二樓幾乎沒有煙。

② 靠近安全門的線香，燃燒速度較快。

③

樓層	一樓	二樓	三樓	四樓	五樓	六樓
廣用試紙的顏色	綠	綠	綠	黃	黃	黃



9. 開二樓、四樓窗戶

- ①煙無法進入二樓。
- ②窗口的香燃燒速度較快。
- ③一樓的煙較三樓多。
- ④

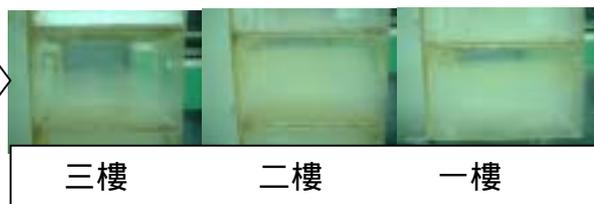
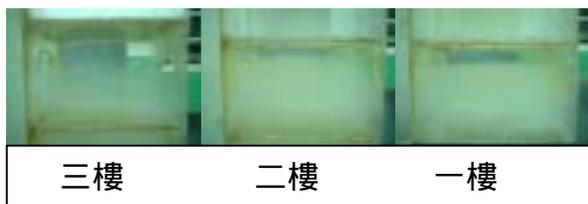
樓層	一樓	二樓	三樓	四樓	五樓	六樓
廣用試紙的顏色	綠	綠	綠	黃	黃	黃

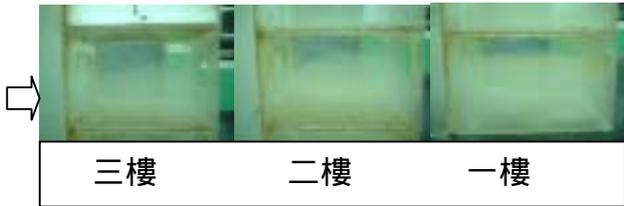


10. 開二樓、三樓窗戶

- ①一樓的煙較三樓多，可能因為三樓有開窗。
- ②二、三樓有少量的煙冒出。
- ③三樓窗口上方的空氣，以潮濕的廣用試紙檢驗，試紙仍為綠色，並未變色。
- ④開(二樓、六樓)窗戶時，由上方窗口冒出的煙，較開(二樓、五樓)、(二樓、四樓)、(二樓、三樓)窗戶時強許多。
- ⑤

樓層	一樓	二樓	三樓	四樓	五樓	六樓
廣用試紙的顏色	綠	綠	綠	黃	黃	黃





(三) 火源在四樓，開三扇窗戶，觀察火的燃燒情形及煙的運動狀況。

1. 火源放置四樓房間，打開一樓、五樓、六樓窗戶

- ①一開始，煙從六樓窗口冒出。
- ②煙通過安全門後，先向上運動，再貼著樓梯的左側下降。
- ③樓梯間的煙集中在四樓逃生門以上。
- ④一、二、三樓幾乎沒有煙進入。
- ⑤五樓的窗口有極少量的空氣補進，大部分的空氣由一樓補進來。
- ⑥靠近窗口的香仍然很長。
- ⑦

樓層	一樓	二樓	三樓	四樓	五樓	六樓
廣用試紙的顏色	綠	綠	綠	黃	黃	黃



2. 火源放置四樓房間，打開二樓、五樓、六樓窗戶

- ①四樓的煙會先冒到五、六樓，再由五、六樓的窗口冒出。
- ②由四樓安全門冒到樓梯的煙，會下降到二、三樓，並進入二、三樓房間，最後，進入二、三樓房間的煙會再回到樓梯。
- ③一、二、三樓房間很清晰，大部分的煙集中在四樓安全門以上。
- ④空氣由二樓窗口補進來，五樓有少量的空氣補進來，但也有煙由窗口冒出，由六樓窗口冒出的煙較五樓冒出的煙多。
- ⑤四樓的煙大部分往六樓冒出。
- ⑥靠近窗口四周的線香較長。
- ⑦

樓層	一樓	二樓	三樓	四樓	五樓	六樓
廣用試紙的顏色	綠	綠	綠	黃	黃	黃



3. 火源放置四樓房間，打開四樓、五樓、六樓窗戶

- ①四樓的煙往上進入六樓後，由六樓窗口冒出。
- ②樓梯間的煙上到六樓頂後，再由左側下降後進入一、二、三樓，且接由房間的地板進入。
- ③樓梯間的煙好像靜止不動。
- ④六樓房間的煙很濃。
- ⑤煙沒有從五樓窗口冒出，而由四樓窗口冒出的煙，有部分會上升到五樓，由五樓窗口進入房間。
- ⑥一樓的煙向右傾斜。
- ⑦三樓的煙有捲動的現象，可能因四樓有補進空氣。
- ⑧二樓有少量的煙瀰漫。
- ⑨一樓上方空氣層很明顯。

⑩

樓層	一樓	二樓	三樓	四樓	五樓	六樓
廣用試紙的顏色	綠	綠	綠	黃	黃綠	黃



(四) 火源在四樓，開四扇窗戶，觀察火的燃燒情形及煙的運動狀況。

1. 火源放置四樓房間，打開一樓、二樓、五樓、六樓窗戶

- ①四樓的煙上升的五、六樓，由五、六樓的窗口冒出。
- ②四樓線香靠近保力龍處有一層空氣，且由靠近安全門的線香燃燒較快的情形判斷，空氣應該是由下方樓層進入。

- ③

樓層	一樓	二樓	三樓	四樓	五樓	六樓
廣用試紙的顏色	綠	綠	綠	黃	黃	黃



2. 火源放置四樓房間，打開一樓、二樓、三樓、六樓窗戶

- ①五樓沒有開窗，樓梯間的煙也幾乎沒有進入五樓房間。
- ②樓梯間的煙，大部分集中在四樓安全門以上，只有少部分下降。
- ③一、二、三樓沒有煙進入，六樓的煙最濃。
- ④樓梯間下降的煙，被一、二、三樓房間進入樓梯的空氣往上推，所以煙無法進入一、二、三樓。
- ⑤線香接近保力龍處有一層空氣，所以空氣應是由安全門的下方進入。
- ⑥煙從六樓冒出。
- ⑦靠近安全門的線香燃燒較旺盛。
- ⑧

樓層	一樓	二樓	三樓	四樓	五樓	六樓
廣用試紙的顏色	綠	綠	綠	黃	黃	黃

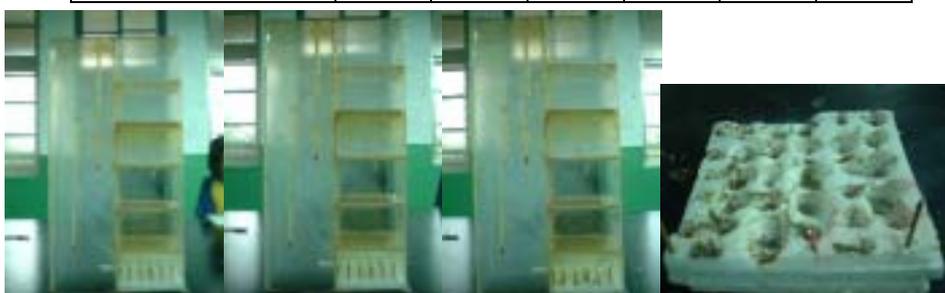


(五) 窗戶全開

1. 火源放置一樓房間，窗戶全部打開

- ①四、五、六樓煙較多，二、三樓煙較少。
- ②一樓的煙激烈地往上冒。
- ③三樓窗口有空氣向下補進。
- ④一樓窗口有空氣補進，導致煙往反方向，從逃生門進入樓梯間。
- ⑤二、三樓逃生樓有明顯空氣。
- ⑥

樓層	一樓	二樓	三樓	四樓	五樓	六樓
廣用試紙的顏色	黃	綠	綠	黃	黃	黃



2. 火源放置四樓房間，窗戶全部打開

- ①樓梯間的煙往上再下降，五、六樓房間的煙密佈。
- ②濃煙大部分在火源以上，不會下降。
- ③一、二、三樓很乾淨。
- ④一、二、三樓沒有煙冒出，煙都從四、五、六樓冒出。
- ⑤靠近安全門的線香燃燒較旺盛。

⑥

樓層	一樓	二樓	三樓	四樓	五樓	六樓
廣用試紙的顏色	青綠	青藍	青藍	黃	青綠	青綠



3.火源放置六樓房間，窗戶全部打開

- ①煙直接由六樓窗口冒出。
- ②樓梯間的煙由從頂部逐漸下降，六樓頂的煙最濃。
- ③四、五、六樓的煙最多，一、二、三樓的煙很少由樓梯間進入。
- ④煙由四、五、六樓的窗口冒出，以六樓最多。
- ⑤最後，煙大部分集中在六樓逃生口處。
- ⑥一樓應該有空氣進入。
- ⑦四、五樓的煙慢慢減少。
- ⑧靠近逃生口的線香燃燒較快，大致來說，都很激烈。
- ⑨

樓層	一樓	二樓	三樓	四樓	五樓	六樓
廣用試紙的顏色	綠	綠	綠	青綠	青綠	黃



(六) 在不同樓層放上冷劑(冰與食鹽的混合), 觀察溫度是否影響煙的運動？

1. 火源在四樓, 開五樓、六樓窗戶, 冷劑放在二樓、六樓



2. 火源在四樓, 開五樓、六樓窗戶, 冷劑放在二樓、五樓



(七) 在樓頂放置冷劑, 觀察溫度是否會影響煙的運動？

1. 火源在一樓, 開六樓窗戶, 冷劑放六樓頂



七、討論

(一) 火源在不同樓層時, 打開那一層樓的窗戶, 可以有較大的逃生空間？

1. 火源所在的樓層, 溫度最高, 火源的上一層樓, 因與火源直接接觸, 溫度略升, 再往上一層樓, 溫度幾乎不變, 原理類似保溫瓶, 空氣若沒有流通, 就不會有傳熱的現象。
2. 當窗戶完全密閉時, 若火源在較高樓層如五、六樓, 空氣會由安全門上方往下補進, 推測: 樓梯間的空氣, 會先上到頂部天花板, 碰撞到天花板再下沉補進具有火源的房間。

3. 當火源在一樓，同時打開一樓窗戶時，煙同時向窗口及其它樓層冒出，窗外的空氣馬上補進房間，而同時煙到達其它層樓時，將其內空氣先趕出到一樓，幫助線香燃燒，造成逃生口及窗口的線香燒得快。
4. 火源在一樓，打開其它層樓窗戶時，其它樓層的空氣並未因窗戶打開，而有急速進入房間的現象，所以當線香燃燒時，先用掉的空氣，應是大樓內因煙進入房間而被趕出的空氣，後來才使用二樓窗口補進的空氣。
5. 當窗口離火源愈遠時，空氣補充得慢，火源就會熄滅得快。
6. 當火源在一樓，較高層樓若開窗，窗口上方將慢慢會有較多的空氣。
7. 不管火源在那一個樓層，煙總是先上升到頂端，在逐漸下沉，部分的煙會貼著牆壁向下運動，一般下降到最下層的煙，顆粒最大，故下降以後的煙進入房間總是貼著地板進入，碰到內部牆壁才向上運動；且由安全門或窗口補進房間的空氣，大部分往天花板處補進。
8. 由安全門進入房間的煙，有將混在煙中的空氣逐漸往右上角推動的現象，所以樓層的淨空大部分由房間的右上角開始。
9. 當只開一扇窗時，最先補到火源的空氣，大部分應為樓層內部原有的空氣，後來才逐漸有窗口補進空氣。
10. 若一樓的窗戶打開，火源在二樓以上，則由窗戶補進的空氣大部分是往一樓天花板運動，此因一樓的煙顆粒較大，不易上升。
11. 當火源在五樓，打開三樓窗戶時，發現四樓安全門的空氣是下沉的，所以判斷四樓的空氣並非三樓的窗戶補進來，而是由上到頂端的空氣，下降後補到四樓房間的。
12. 當火源在五樓，窗戶開在六樓，因上到六樓得煙顆粒很小，所以由六樓窗口補進來的空氣大部分在窗口附近就下沉，與房間內的煙產生翻攪的現象。

(二)火源在四樓，開兩扇窗戶，火的燃燒情形及煙的運動狀況。

1. 開（一、六）、（一、五）、（一、四）、（二、六）、（二、五）、（二、四）樓窗戶時，煙幾乎都集中在三樓以上，只有少量的煙由樓梯運動到底層，產生激烈的捲動現象後，慢慢進入一~三樓，且煙的含量很少。
2. 開（一、三）樓時，三樓的窗口有較多的空氣，一樓接近天花板處，有較少的空氣；開（一、二）樓時，三至一樓空氣的含量逐漸減少，但二樓的空氣含量變化較大；開（二、三）樓時，三樓房間留有大量空氣，而二樓剛開始只有少量空氣，後來有較多的空氣。
3. 窗戶開（五、六）樓時，三樓及五樓的煙含量最少，而二樓有一半的空間含有空氣。
4. 開二扇窗戶有助於空氣對流，線香的燃燒速度很快。

(三) 火源在四樓，開三扇窗戶，觀察火的燃燒情形及煙的運動狀況。

1. 當所開窗戶，二扇在火源上方，一扇在火源下方時，樓梯間的煙分佈在四樓(火源處)的安全門以上，五、六樓的房間瀰漫著煙，而火源下方一、二、三樓的房間幾乎沒有煙，可能是因為火源上方開二扇窗，造成樓梯間的煙及氣體容易冒出，火源下方的二樓補空氣的速度較快，樓梯間的煙被補進的空氣往上抬升。
2. 當所開的窗戶在火源處及火源上方，則樓梯間充滿煙，且有靜止不動的現象，煙大部分從六樓及四樓冒出，五樓雖然開窗，由安全門進入五樓的煙非常少，推測：一般熱空氣會上升，順便將煙往上帶，若頂樓開窗，一定有大量煙冒出，又四樓

有火源溫度較窗外的冷空氣高許多，因此四樓的煙往外冒出，樓層中的熱空氣帶著煙冒出後，造成樓梯間氣壓變小，只有由僅剩的一扇窗補進空氣，因此五樓負責補進空氣，由於補進空氣的速度很快，樓梯間的煙比較沒有機會進五樓。

3. 為了瞭解樓層中氣體層是否為二氧化碳，於是在每一層樓的窗口上方貼有潮濕廣用試紙，發現有大煙經過的地方，廣用試紙變成黃色，顯示含有大量的酸性氣體。少量煙通過處，試紙呈現黃綠色，幾乎沒有煙通過處，試紙呈現綠色；因時間關係，尚未檢測潮濕的廣用試紙在純二氧化碳中顏色的變化，且線香的燃燒產生焦油，附著在壓克力內層，影響顏色的判斷，所以仍無法斷定試紙呈現綠色是否含有大量二氧化碳，但可以肯定大量的煙中應有大量二氧化碳。

(四) 火源在四樓，開四扇窗戶，觀察火的燃燒情形及煙的運動狀況。

1. 樓梯間的煙幾乎集中在四樓頂以上，對流現象較開三扇窗時明顯許多，不管五樓是否開窗，火源以上的五、六樓房間瀰漫著煙，火源下方的一、三樓房間幾乎沒有煙，顯示空氣由一、三樓補進來，煙由火源上方的窗口冒出。

(五) 窗戶全開

1. 若火源在最低處，較高樓層的四、五、六樓瀰漫著煙，推論：熱空氣上到較高樓層，由窗口冒出，造成大樓中的氣壓變小，需由低樓層的一樓(火源處)、二樓、三樓補進空氣。
2. 若火源在大樓中間樓層，樓梯間在火源以上聚有大量的煙，火源以上的房間也瀰漫著煙，較高樓層的四樓(火源所在處)、五樓、六樓皆有煙由窗口冒出，而由低樓層的一、二、三樓補進空氣。
3. 若火源在最高樓層時，樓梯間會有煙下到一樓，後來才聚集在四樓以上，房間中的煙以六樓(火源處)最濃，四、五樓的房間有少量的煙，煙大部分由四、六樓的窗口冒出，一、三樓應有補進大量空氣，造成樓梯間的煙，幾乎不會進入一、三樓。

(六) 在不同樓層放上冷劑(冰與食鹽的混合)，是否影響煙的運動？

1. 一般的觀念認為低溫可以使得煙的運動緩慢，實驗結果證明，在火源下層非窗口處若溫度下降，會招致大量煙，此現象可能是因為，二樓溫度較低，造成此處的空氣體積收縮，而引進更大量的煙。
2. 而火源上方，不管是否在窗口，低溫對煙的運動路徑影響不大。
3. 未擺放冷劑前，四樓火源處的線香，靠近安全門處較長，顯然空氣是由安全門上方補進來，擺放冷劑後，四樓火源處的線香，接近安全門的線香較短，顯然空氣是由安全門下方補進。
4. 實驗證實，屋中若在緊急狀態下打開斷電後的冰箱，想藉由殘留冰箱中的低溫來增加逃生時間，可能會有反效果。

(七)將以上現象整理如下:

1.未開窗

完全密閉	香的燃燒情形	靠近安全門的香燃燒速度較快
	樓梯間煙如何運動？	火源在一樓以上時，樓梯間的煙，會先上到樓頂再下沈，逐漸由下而上進入火源下方的樓層。且進入一樓的煙顆粒較大。
	火源上方房間情況	各房間皆濃煙密佈
	火源下方房間情況	房間接近天花板處皆留有空氣
	空氣如何補進？	當火源所在的樓層為較低樓層時，空氣由安全門的中下方補進，若火源在叫高樓層如五、六樓，煙是由安全門的上方往下補進。

2.開一扇窗

窗口打開的樓層與火源同層	香的燃燒情形	接近安全門及窗口的香燃燒速度最快，且燃燒速度比窗口完全密閉時燃燒速度快很多。	
	煙如何運動？	窗口	開始燃燒，窗口就有大量的煙往外冒出
		樓梯間	一開始就有大量的煙冒出，當火源在一樓以上時，煙依然相向上運動，碰到頂部天花板後在下沈，並依序由下往上，進入火源下方的房間。
	火源上方房間情況	每個房間皆煙霧瀰漫。	
	火源下方房間情況	一開始只有一樓接近天花板處留有空氣，其它樓層幾乎佈滿煙，但後來每一層樓接近天花板處皆有空氣，且愈接近火源的樓層留的空氣愈多。	
窗口開在火源上方樓層	香的燃燒情形	接近安全門的香燃燒速度較快	
	煙如何運動？	窗口	一開始沒有煙冒出，一段時間後才冒出。
		樓梯間	依然先上升到樓頂在下沈到火源以下的房間，依序由下而上進入火源以下各樓層。
	火源上方房間情況	未開窗的房間煙霧瀰漫，有開窗的房間，在窗口上方接近天花板處，留有大量的空氣。	
	火源下方房間情況	一開始只有一樓接近天花板處留有空氣，其它樓層幾乎佈滿煙，但後來每一層樓接近天花板處皆有空氣，且愈接近火源的樓層留的空氣愈多。	
空氣如何補進？	一開始空氣是由安全門處補進，而非由窗口補進，待大樓內空氣差不多用完時，才由窗口補進空氣；窗戶開在較高樓層時，由窗口補進的空氣大部分會下沈，而有激烈的擾動現象。		
方樓層 窗口開在火源下	香的燃燒情形	接近安全門的香燃燒速度較快	
	煙如何運動？	窗口	一開始沒有煙冒出，一段時間後才冒出。
		樓梯間	依然先上升到樓頂在下沈到火源以下的房間，依序由下而上進入火源以下各樓層。
火源上方房間情況	煙霧瀰漫		

	火源下方房間情況	有開窗的窗口，在接近天花板處，留有大量的空氣，沒有開窗的樓層，在接近天花板處，皆留有少量空氣，但後來空氣層愈來愈寬。
	空氣如何補進？	一開始空氣是由安全門處補進，而非由窗口補進，待大樓內空氣差不多用完時，才由窗口補進空氣；窗戶開在一樓層時，由窗口補進的空氣大部分會上升，直接補到天花板處。

3.開兩扇窗，火源在四樓

兩扇窗皆在火源上方開 五、六樓	香的燃燒情形	線香燃燒速度非常快，幾乎在短時間內線香即完全燃燒完。	
	煙如何運動？	窗口	五樓沒有煙冒出，六樓的煙冒出的濃度逐漸增加。
		樓梯間	皆煙霧瀰漫
	火源上方房間情況	六樓煙霧瀰漫，五樓接近地面處留有大量的空氣。	
	火源下方房間情況	皆留有大量空氣，且愈接近火源的樓層，留有愈多的空氣。	
	空氣如何補進？	由五樓補進大量空氣，一部份的空氣往四樓火源處經安全門上方由上往下補進，一部份的空氣往六樓補充。	
一扇窗在火源上方 另一扇窗在火源下方	香的燃燒情形	線香燃燒速度非常快，幾乎在短時間內線香即完全燃燒完。	
	煙如何運動？	窗口	火源下方的窗口沒有煙冒出，而火源上方的窗口有大量的煙冒出。
		樓梯間	幾乎聚集在火源的上方，極少量的煙會下到火源以下。
	火源上方房間情況	煙霧瀰漫	
	火源下方房間情況	只有極少量的煙進入房間，火源下方每間房間煙的分佈情形大至相同。	
	空氣如何補進？	空氣由火源下方樓層打開的窗戶補進來，四樓火源處，空氣是經安全門由下往上補進。	
兩扇窗皆在火源下方	香的燃燒情形	線香燃燒速度非常快，房間內靠牆處的線香仍然很長。	
	煙如何運動？	窗口	煙大量由一樓窗口接近地面處逐漸滲出
		樓梯間	煙霧瀰漫
	火源上方房間情況	煙霧瀰漫	
	火源下方房間情況	有開窗的樓層皆有大量空氣。	
	空氣如何補進？	由較上方的窗口補進。	

4.開三扇窗，火源在四樓

三扇窗皆在火源及火源上方 方開四 五、六樓	香的燃燒情形		線香燃燒速度非常快，幾乎在短時間內線香即完全燃燒完。
	煙如何運動？	窗口	五樓沒有煙冒出，四、六樓的煙冒出的濃度逐漸增加。
		樓梯間	皆煙霧瀰漫
	火源上方房間情況		六樓煙霧瀰漫，五樓幾乎沒有煙。
	火源下方房間情況		皆留有大量空氣，且愈接近火源的樓層，留有愈多的空氣。
空氣如何補進？		由五樓補進大量空氣，一部份的空氣往四樓火源處經安全門上方由上往下補進，一部份的空氣往六樓補充。	
二扇窗在火源上方，另一扇窗在火源下方	香的燃燒情形		線香燃燒速度非常快，靠近安全門部分的線香比靠近未打開的窗口部分的線香燃燒速度快很多。
	煙如何運動？	窗口	火源下方的窗口沒有煙冒出，而火源上方的窗口有大量的煙冒出。
		樓梯間	幾乎聚集在火源的上方，極少量的煙會下到火源以下。
	火源上方房間情況		煙霧瀰漫
	火源下方房間情況		只有極少量的煙進入房間，火源下方每間房間煙的分佈情形大至相同。
空氣如何補進？		空氣由火源下方樓層的窗戶補進來，四樓火源處，空氣是經安全門由下往上補進。	

5.開四扇窗，火源在四樓

一扇窗在火源上方，二扇窗在火源下方	香的燃燒情形		線香燃燒速度非常快，幾乎在短時間內線香即完全燃燒完。
	煙如何運動？	窗口	六樓的煙大量冒出。
		樓梯間	集中在火源上方
	火源上方房間情況		煙霧瀰漫。
	火源下方房間情況		幾乎沒有煙進入。
空氣如何補進？		由火源下方一、三樓的窗口補進來，由線香的燃燒情形可知，空氣由安全門下方補進四樓。	
二扇窗在火源上方，二扇窗在火源下方	香的燃燒情形		線香燃燒速度非常快，靠近安全門部分的線香比靠近未打開的窗口部分的線香燃燒速度快很多。
	煙如何運動？	窗口	火源下方的窗口沒有煙冒出，而火源上方的窗口有大量的煙冒出。
		樓梯間	幾乎聚集在火源樓層頂的上方，極少量的煙會下到火源以下。
	火源上方房間情況		煙霧瀰漫
	火源下方房間情況		只有極少量的煙進入房間，火源下方每間房間煙的分佈情形大至相同。
空氣如何補進？		空氣由火源下方樓層的窗戶補進來，四樓火源處，空氣是經安全門由下往上補進。	

6.窗戶全開

火源依序放置一樓、四樓、六樓	香的燃燒情形		線香燃燒速度非常快，靠近安全門的線香燃燒速度較快。
	煙如何運動？	窗口	不管火源在那一層樓，煙皆由四、五、六樓的窗戶冒出，尤其六樓冒出的煙最多。
		樓梯間	若火源在一樓，則煙霧瀰漫；若火源在四樓，煙集中在火源以上的樓層集中在火源上方；若火源在六樓，煙會一部份下降，後來
	火源上方房間情況		若火源在一樓，則二、三樓仍有大量空氣，若火源在四樓，則煙霧瀰漫。
	火源下方房間情況		有極少量的煙進入。
空氣如何補進？		不管火源在那一層樓，空氣由一、三樓的窗口補進來，由線香的燃燒情形可知，空氣由安全門下方補進四樓。	

7.火源在四樓，打開五、六樓窗戶

冷劑放在二樓或一樓、五樓、六樓	香的燃燒情形		四樓火源處的空氣經安全門由下往上補進。
	煙如何運動？	窗口	五樓沒有煙冒出，六樓窗口有大量的煙冒出
		樓梯間	煙霧瀰漫
	火源上方房間情況		六樓煙霧瀰漫，五樓接近地面處留有大量空氣。
	火源下方房間情況		二樓放置冷劑處具有大量的煙。
空氣如何補進？		由五樓窗口進入，六樓出窗口。	

八、結論

- (一) 若大家在驚慌之中皆未打開窗戶，則著火點的樓層愈高，其下方樓層中，有較多的樓層可延長逃生時間，且愈接近火源的住戶，逃生機會愈大。
- (二) 若只有一戶住家記得開窗，所開的窗戶又是在火源所在樓層，火源處住家火燒得更旺盛，上方樓層住家煙霧瀰漫，應該會嗆死，下方住家雖然後來會有少許空氣，但之前充滿煙，可能被嗆死後才有空氣補進來。
- (三) 若有兩戶住家記得開窗，一扇開在火源上方，另一扇開在火源下方，則火源上方不管有沒有開窗的住家，將會煙霧瀰漫，容易被嗆死，火源下方不管有沒有開窗，皆有很大的逃生機會，且可由樓梯間往下逃生；若兩扇窗皆開在火源上方，則上層開窗住家會被嗆死，下層開窗住家及火源下方靠近火源未開窗樓層的住家，有較多的逃生機會，但不要往樓梯間逃生，因為樓梯間充滿煙，會被嗆死；若兩扇窗皆開在火源下方，上層開窗住戶較下層開窗住戶有較多逃收機會，其它樓層的住戶容易被嗆死，此時樓梯間充滿了煙，不太有逃生機會。
- (四) 在火源下方開窗住戶愈多，火源下方住戶愈有利於從窗口或樓梯間逃生，火源上方的住戶逃生機會仍然很小。
- (五) 若所有住家皆打開窗戶，火源在最低處，則火源上方一、二樓住戶仍有較多逃生機會，樓梯間不適合逃生；起火處樓層愈高，愈多住戶有逃生機會，樓梯間亦可逃生，最好靠近逃生門處的樓梯往下逃生。
- (六) 雖然打開窗戶的住家愈多，愈有利於多數人逃生，但也會擴大燃燒範圍。
- (七) 火源下方的住戶，不要以為降溫有利於逃生，可能會招致大量的煙。
- (八) 若是住在公寓是大樓的一樓，若大門面向樓梯間，將會有大量顆粒較大的煙進入，

且不溶液散開，還有台灣大部分的一樓公寓住家，很少有人將門做在樓梯間。

(九) 當然火災發生時，第一個處理方式是：摸門把已確定火源是否在門外？再將門縫以濕布塞住，避免濃煙進入屋內，若來不及做這些動作，也可知往何處逃將有生存機會。

(十) 其實小心使用火源，注意電器及電源的使用，是最能確保自己及他人生命的安全。