

中華民國第四十三屆中小學科學展覽會參展作品專輯

國中組

生活與應用科學科

科別：生活與應用科學科

組別：國中組

作品名稱：煙捉不住我

關鍵詞：煙、窗戶、溫度

編號：030802

學校名稱：

台北縣立中和國民中學

作者姓名：

吳岱瑾、許家榕、葛文聖、詹雅衣

指導老師：

蔡明珠、林煇皓



摘要

當火災發生時，樓頂門的開或閉，對煙的移動路徑及速度是否有影響，必須視下方樓層是否有開窗而決定；住家門打開的方向，與開窗狀況的改變，會影響部分住家的逃生的時間；而火災發生的樓層，可以影響不同住家的逃生方向；唯有熟悉煙在不同狀況的行進路徑與速度，才能在慌亂緊張中，救自己及家人的命。

壹、研究動機

由於台灣火災頻繁，常造成許多生命、財產嚴重的損失，爲了了解火災現場煙的流動情形，以提高火場逃生的機率，故我們模擬火災現場，製造各種不同的變因，包括門的位置、窗戶的開啓狀態、頂樓門是否開啓、火源位置等變因，以期觀察建築物內部煙與空氣的對流情況，找出共同點與特性，並針對此結果提供一個方向，期望在火災發生時，如何自保自救，也許在那多等的幾分鐘內，可以保住生命。

我們針對國中理化第一冊第五章第五節所提到的煙函效應，並延伸去年學長學姊科展內容，增加了樓梯及內部溫度的測量、內部空氣層氧氣的測試，再作深入的研究，進行下列實驗。

貳、研究目的

- 一、線香在地下室的位置，是否影響樓梯間煙的運動狀況？
- 二、觀察煙在樓梯間的運動情形。
- 三、觀察樓梯間頂樓的門關閉與否，是否影響煙的運動情況？
- 四、煙進入住家後，將窗戶打開，是否影響煙進入的速度？
- 五、住家的門在樓梯間的位置，是否影響煙的運動情況？
- 六、地下室著火時，樓梯間溫度如何變化？
- 七、線香在三樓左側，將樓頂的門打開，開啓不同的窗戶，觀察煙的運動情形。

參、研究設備及器材

透明資料夾	— 適量	透明壓克力	— 適量	氯仿	— 適量
注射筒	— 一枝	線香	— 適量	保麗龍板	— 適量
數位三用電表	— 三個	500mL燒杯	— 一個	酒精燈	— 一個
陶瓷纖維網	— 一個	水銀溫度計	— 二枝	止水膠帶	— 少量
熱敏電阻(UEI120)	— 三個	鱷魚夾	— 適量		

肆、研究過程及方法

一、熱敏電阻的校正

(一)水銀溫度計的校正

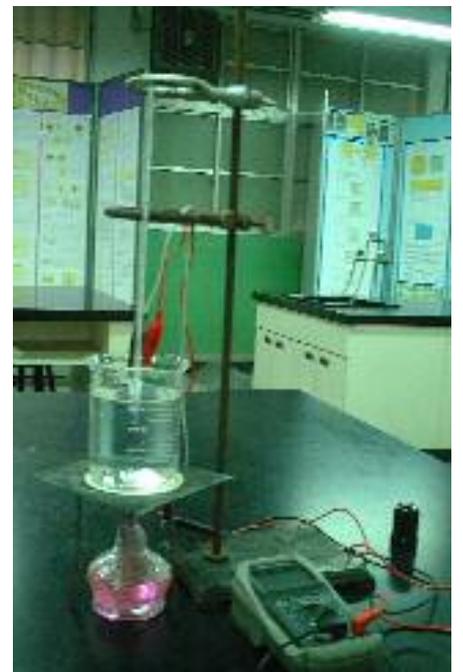
- 1.溫度計貼上標籤，並標明A、B。
- 2.分別將A、B水銀溫度計放入冰與水共同存在的燒杯中，記錄溫度計的讀數。

(二)以水銀溫度計找出熱敏電阻的電阻值與溫度的關係

- 1.在500mL的燒杯中裝入約500mL的冰水(不要含有冰塊)。
- 2.熱敏電阻的金屬插角部分以止水膠帶包裹(如圖)，避免通電時產生電解水的反應。
- 3.將A熱敏電阻用膠帶黏在水銀溫度計接近水銀的部分。
- 4.裝置如右圖。
- 5.點燃酒精燈，等到水溫達10°C時，讀取數位三用電表上所顯示的電阻值，溫度每上升1°C，記錄一次電阻值，直到50°C為止。
- 6.水溫略高於50°C時，將酒精燈熄滅，當水溫下降到50°C時，記錄電阻值，溫度每下降1°C，記錄一次電阻值，直到下降到10°C為止。
- 7.重複步驟1~6。
- 8.利用Excel求出每個溫度的平均電阻值R，並取對數 $\ln R$ 。
- 9.將每個溫度 t 換算成絕對溫標 T ，即 $T=273.15 + t$ ，並取倒數 $1/T$ 。
- 10.利用Excel中的圖表精靈找出 $1/T = a \ln R + b$ 中的 a 與 b 。
- 11.將B、C熱敏電阻代替A熱敏電阻，重複步驟1~10。



熱敏電阻外部包裹止水膠帶



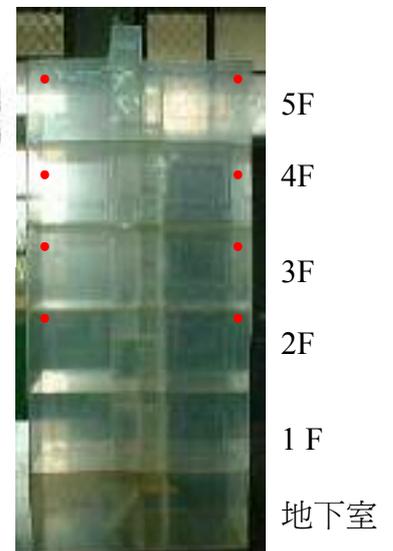
熱敏電阻溫度校正裝置圖

二、線香在地下室的位置及樓梯頂端的門打開與否，會影響煙的運動嗎？線香熄滅後，大樓中是否仍有氧氣？

- 1.裁剪壓克力及資料夾，利用氯仿及白膠黏合，裝置成大樓模型。
- 2.在裝置圖中紅點位置，用點燃的線香燒出一個小孔，然後分別貼上膠帶。
- 3.將線香插在保麗龍板上，點燃後分別放在最底層(地下室)右側，住家的門開在面對樓梯的方向，每層樓的窗戶完全密閉，樓梯頂部的門關閉，觀察樓梯間及各住家煙的運動情形。



由上往下看



4.當地下樓的線香完全熄滅後，點燃 8支線香，同時燒入步驟2中的小孔，盡量避免線香熄滅，觀察線香的燃燒情形。

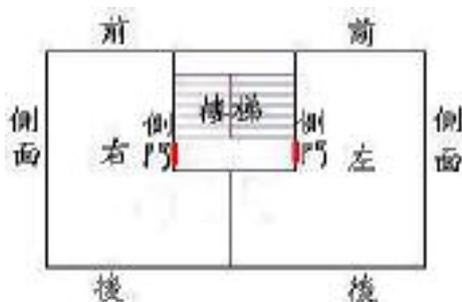
三、煙進入住家後，將窗戶打開，是否影響煙進入的速度？

- 1.將線香放在地下室右側，當煙進入2F時，打開2F左側住家前方窗戶，觀察煙進入的速度是否有改變？
- 2.在右圖中樓梯間的三個位置，貼上熱敏電阻，測量樓梯間的溫度改變。
- 3.重複步驟1~2，每次打開不同窗戶，觀察煙進入的狀況。



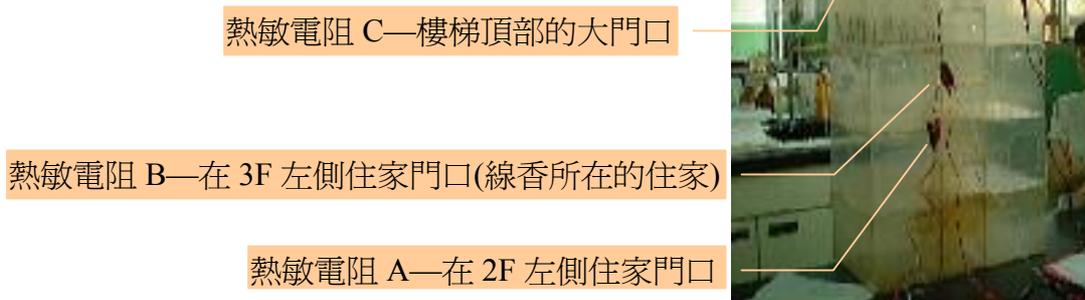
四、改變住家門的位置，觀察煙的運動狀態？

改變住家門的位置如下圖，重複上一個實驗



五、將線香放在三樓左側，頂樓門打開，改變窗戶的開啓狀態，觀察煙的運動狀態？

- 1.將熱敏電阻A放置在2F左側住家門口，熱敏電阻B放置在3F左側住家門口，熱敏電阻C放置在樓梯頂樓出口。
- 2.改變窗戶的開啓狀態，測量熱敏電阻的電阻值及觀察各層樓，煙的運動狀態。



伍、研究結果

一、熱敏電阻的校正

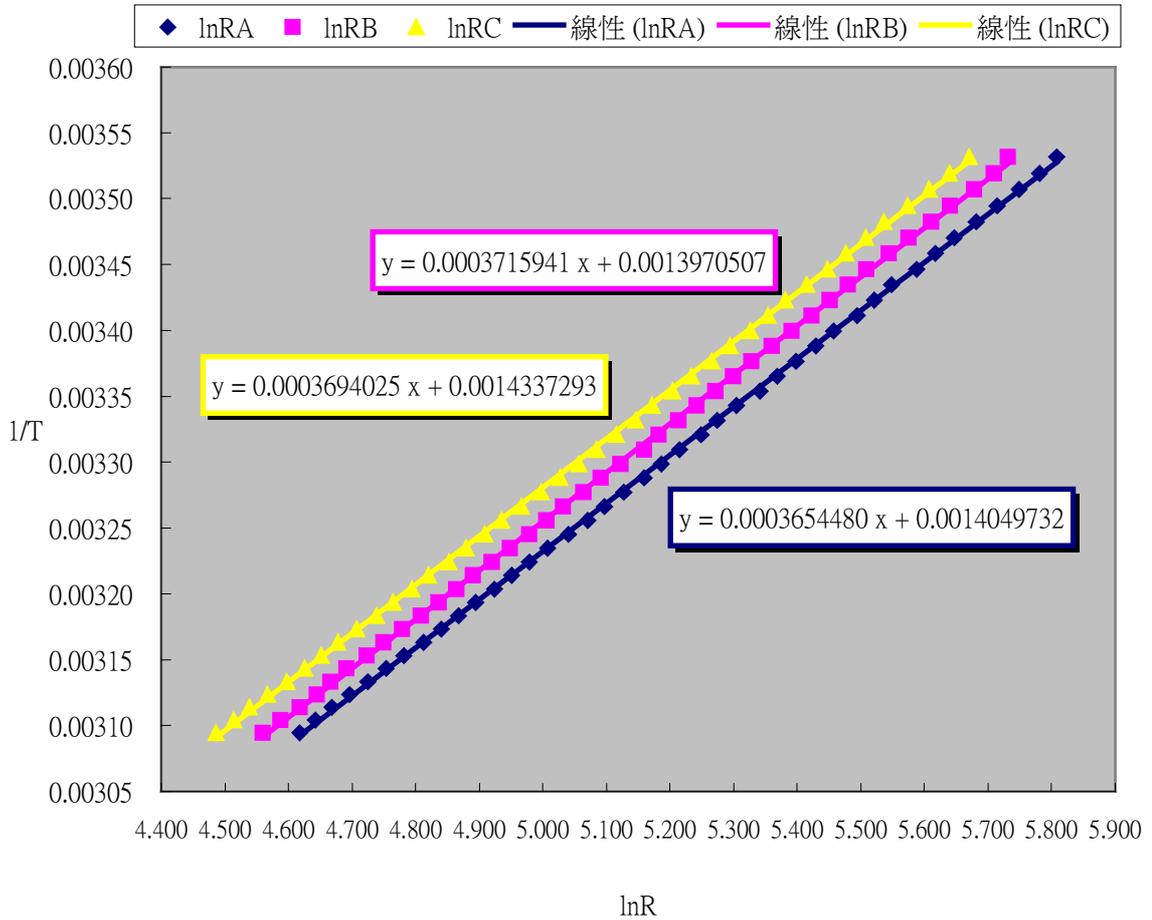
- 溫度計在冰與水共同存在的燒杯中的讀數如右，B溫度計讀數與原來刻度相符合，以下實驗使用B溫度計測量溫度。

A溫度計	1°C
B溫度計	0°C

-

	絕對 溫標	1/T	熱敏電阻 A						熱敏電阻 B						熱敏電阻 C					
			升 1	降 1	升 2	降 2	平均	lnR _A	升 1	降 1	升 2	降 2	平均	lnR _B	升 1	降 1	升 2	降 2	平均	lnR _C
10	283.15	0.003532	333	332	333	334	333	5.808	307	309	307	310	308	5.731	288	293	290	290	290	5.671
11	284.15	0.003519	324	325	324	323	324	5.781	299	303	302	303	302	5.710	278	283	282	282	281	5.639
12	285.15	0.003507	315	313	314	313	314	5.749	290	293	293	294	293	5.678	271	276	272	271	273	5.608
13	286.15	0.003495	305	304	302	302	303	5.715	278	283	282	283	282	5.640	259	265	263	266	263	5.573
14	287.15	0.003483	294	293	294	293	294	5.682	272	274	275	272	273	5.610	250	255	253	257	254	5.536
15	288.15	0.003470	282	284	285	283	284	5.647	261	265	265	264	264	5.575	243	248	247	248	247	5.507
16	289.15	0.003458	276	275	276	274	275	5.618	253	256	259	255	256	5.544	237	240	238	241	239	5.476
17	290.15	0.003446	268	268	267	266	267	5.588	248	248	244	247	247	5.508	231	233	233	232	232	5.448
18	291.15	0.003435	260	254	256	257	257	5.548	238	239	242	240	240	5.480	222	225	227	225	225	5.415
19	292.15	0.003423	251	249	250	250	250	5.521	231	233	236	232	233	5.451	215	218	217	219	217	5.381
20	293.15	0.003411	245	244	243	241	243	5.494	227	225	229	225	227	5.423	212	212	211	211	212	5.354
21	294.15	0.003400	237	234	234	233	235	5.457	219	218	222	219	220	5.391	205	206	207	205	206	5.327
22	295.15	0.003388	229	229	227	227	228	5.429	213	212	214	212	213	5.360	200	198	201	198	199	5.295
23	296.15	0.003377	222	220	222	220	221	5.398	206	206	208	204	206	5.328	194	193	194	193	194	5.265
24	297.15	0.003365	215	215	215	213	215	5.368	200	199	202	200	200	5.300	187	188	188	187	188	5.234
25	298.15	0.003354	210	209	209	207	209	5.341	195	193	197	194	195	5.272	182	182	182	182	182	5.204
26	299.15	0.003343	201	201	202	201	201	5.305	190	187	191	188	189	5.242	176	177	176	176	176	5.172
27	300.15	0.003332	196	196	195	194	195	5.274	185	182	186	182	184	5.214	172	171	172	172	172	5.146
28	301.15	0.003321	192	189	190	190	190	5.248	179	177	179	177	178	5.182	167	166	166	167	167	5.115
29	302.15	0.003310	185	184	184	183	184	5.215	174	172	175	175	174	5.159	162	161	161	162	162	5.085
30	303.15	0.003299	180	179	178	178	179	5.186	169	166	169	167	168	5.122	156	157	157	158	157	5.056
31	304.15	0.003288	176	174	174	172	174	5.159	163	162	164	161	163	5.091	152	153	152	153	153	5.027
32	305.15	0.003277	169	169	168	168	169	5.127	159	158	159	157	158	5.064	148	148	148	148	148	4.997
33	306.15	0.003266	165	163	163	163	164	5.097	153	152	156	152	153	5.032	143	144	143	144	144	4.966
34	307.15	0.003256	160	159	160	158	159	5.070	150	148	151	148	149	5.006	139	139	139	139	139	4.934
35	308.15	0.003245	157	154	154	153	155	5.040	146	144	147	144	145	4.978	136	136	134	136	136	4.909
36	309.15	0.003235	150	150	149	149	150	5.007	142	140	143	139	141	4.949	131	133	131	131	132	4.879
37	310.15	0.003224	147	145	144	145	145	4.978	137	136	140	135	137	4.920	127	129	127	129	128	4.852
38	311.15	0.003214	143	141	141	140	141	4.951	133	132	135	132	133	4.890	123	125	123	125	124	4.820
39	312.15	0.003204	139	137	137	137	138	4.924	130	128	132	128	130	4.864	120	121	120	122	121	4.794
40	313.15	0.003193	135	133	133	133	134	4.894	126	125	129	124	126	4.836	117	118	116	118	117	4.764
41	314.15	0.003183	131	130	128	131	130	4.868	122	122	124	122	123	4.808	114	115	113	115	114	4.738
42	315.15	0.003173	128	126	126	126	127	4.840	119	118	121	118	119	4.779	111	111	109	112	111	4.707
43	316.15	0.003163	124	124	122	122	123	4.812	115	115	117	115	116	4.749	108	108	106	108	108	4.677
44	317.15	0.003153	120	119	119	119	119	4.781	112	112	114	112	113	4.723	104	105	104	106	105	4.652
45	318.15	0.003143	118	116	115	115	116	4.754	109	109	110	108	109	4.691	102	102	101	103	102	4.625
46	319.15	0.003133	113	114	112	112	113	4.725	106	106	108	105	106	4.666	99	99	98	101	99	4.598
47	320.15	0.003124	110	110	109	109	110	4.696	104	104	105	103	104	4.644	96	96	95	98	96	4.567
48	321.15	0.003114	107	107	106	106	107	4.668	101	101	103	100	101	4.618	93	93	93	95	94	4.538
49	322.15	0.003104	104	104	104	103	104	4.642	98	98	99	98	98	4.588	91	92	90	92	91	4.514

熱敏電阻1/T與lnR之間關係圖



二、線香在地下室的位置及頂樓門打開與否，會影響煙的運動嗎？線香熄滅後，大樓中是否仍有氧氣？

(以下大樓的照片是由大樓後方拍攝，所以文字所提到的「左」、「右」皆與照片方向相反)

住家打開正門、線香在地下室右側、樓梯頂部的門打開



1. 煙從二樓門中下面進入屋內，再從三樓門下進入，四、五樓則無煙。香在短時間內就熄滅。
2. 線香：a. 很快就熄滅。
b. 沒有煙可由樓頂冒出。

3. 左側房間：a. 因一樓封閉，煙無法到達一樓。
b. 四、五樓並沒有煙到達。

住家打開正門、線香在地下室右側、樓梯頂部的門關閉



1. 煙從二樓門下方進入，過會兒才從三樓門下進入，二樓煙較三樓多，煙都沉在屋子底部。
2. 當地下樓的線香熄滅後，點燃的線香燒入每層住家天花板處，線香仍繼續燃燒，沒有熄滅的跡象。

住家打開正門、線香在地下室左側、樓梯頂部的門打開



煙從二樓上方進入，三樓下方進入，三樓煙很少，只有下層有煙。

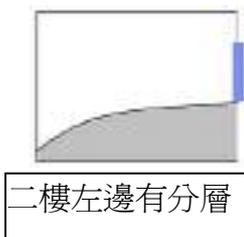
住家打開正門、線香在地下室左側、樓梯頂部的門關閉



煙從二樓上方進入，三樓下方進入，三樓煙很少，二樓左邊的煙較右邊濃。

三、煙進入住家後，將窗戶打開，是否影響煙進入的速度？

住家打開正門、線香在地下室右側，2樓左前(或後)方窗戶打開，樓梯頂部的門密閉



二樓左邊有分層

左側住家：

1. 二樓地上很明顯有一層煙，漸漸上方也有，煙漸漸從窗口出去，後來有分層，但煙都比窗口低，不超過窗口。
2. 三樓煙只有在下層而已但很少，後來煙竟沒了，我們推測由二樓窗口跑掉了。地下室後來煙也漸漸少了。
3. 在窗戶密閉的情況下，煙進入二樓住家的速度較慢，此時打開窗戶，會增加煙進入住家的速度。

右側住家：

1. 2F：煙從上、下進入，先把門口填滿後再開始往住家內部移動，右側靠近前窗處角落剛開始沒煙，後來整個瀰漫。
2. 3樓從下方進入，緊貼地面，後來煙漸漸沒了。

整體而言：

1. 煙會一直從 2F 窗戶跑掉，而右邊的煙也會補過去，三樓的煙也跑掉了。
2. 右邊屋子比左邊屋子還多煙。

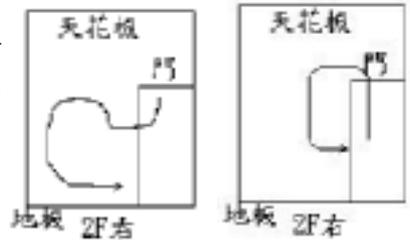


3. 左側住家開窗，右側住家的煙逐漸逸散。

住家打開正門、線香在地下室右側，2樓左側前後方窗戶打開，樓梯頂部的門密閉

左側住家：

1. 煙從二樓門中上方進入，先從後窗出去，才從前窗出去，煙一直在屋內打轉，打轉完又在屋內前後搖擺，搖擺後又打轉，煙就一直出去了，屋內煙少了，較右邊少，也較前一次實驗少。
2. 三樓門下方進入，煙非常少，後也接近沒煙。



(圖 1)

右側住家：煙從 2F 上方進入，和圖 1 的路徑差不多，之後 3 樓開始有煙，一樣是從下方進入。

整體而言：

1. 左側住家屋內的煙，較右側住家少。
2. 線香很多仍在燒。
3. 二樓左邊的煙從窗戶跑掉後，其他的煙很少補進2F左側內部，只有一點點補過去，所以最後看起來沒什麼煙。

住家打開正門、線香在地下室右側，2樓左右側前後方窗(共四個窗)戶打開，樓梯頂部的門密閉

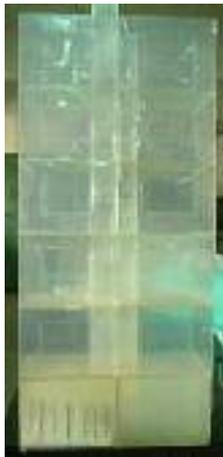
左側住家：

1. 煙從二樓門上方進入，速度很快，煙先從後窗出再從前窗出，煙也有打轉、前後搖擺，但都比前一次小，後來也幾乎沒什麼煙，但仍一直慢慢的進來些煙。
2. 煙從三樓門下方緩慢進入，極少且慢，都貼著地面薄薄一層且只有在門口附近，後來沒煙。
3. 煙原本要從後方窗戶出去，可是卻突然往回從前窗出去。

右側住家：右邊住家的煙較左邊多。

- 整體而言：
1. 線香仍在燒。
 2. 地下室的煙濃度未減少。

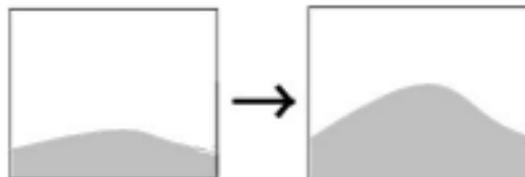
住家打開正門、線香在地下室右側，2樓右側前窗戶打開，樓梯頂部的門密閉



二樓左側住家(從大樓後方角度拍攝)



二樓左側住家(從大樓側面角度拍攝)



左側住家：

1. 煙從二樓門口中下慢慢進入(比開窗時慢)，剛開始時只有下層有煙，且從側面看，中間較高，成山形，再後來，屋內全部瀰漫無分層
2. 煙從三樓下方進入一點而已，且只在門口，後來沒煙。

右側住家：

1. 煙從 2 樓中下緩慢進入《窗還沒開》，開窗後速度加快，一開始最右側沒煙，因為

有空氣，後來漸漸才有煙。

2. 3樓煙從下方貼著地面緩慢進入，之後煙漸漸減少。

住家打開正門、線香在地下室右側，2樓右側後窗戶打開，樓梯頂部的門密閉

左側住家：

1. 煙從二樓下方貼著地面進入，佔了門一半進入，有點分層，後上方也有，再全部瀰漫，接著煙也不再進，感覺煙變少，比前一次實驗清澈、煙較少。
2. 三樓下方剛開始有一點煙且只在門口，後來沒有了。

右側住家：

1. 煙從2樓下方緩慢進入《還沒開》，開窗後速度加快，且煙有上有下，上面很快速的直接從後窗出去，下面速度較慢，且先在下方循環，再漸漸從後窗出去。
2. 3樓的煙還是從下方緩慢進入。

整體而言：線香全熄。

住家打開正門、線香在地下室右側，2樓右側前後窗戶打開，樓梯頂部的門密閉

左側住家：

1. 煙從二樓下方進入，開始時只有下面一層，接著越來越多，上面也有一些了，再來又全部瀰漫了。
2. 三樓就下方一點點，後來也沒了。

右側住家：

1. 煙從2樓下方緩慢進入《沒開窗》，開窗後速度加快，分上下兩部，上多下少，上面進來後直接從後窗出去，下面則是轉一圈從前窗出去。
2. 3樓下方緩慢進入，之後漸漸消失。

住家打開正門、線香在地下室右側，3樓左側後窗戶打開，樓梯頂部的門密閉

左側住家：3f住家煙進入的速度變快。

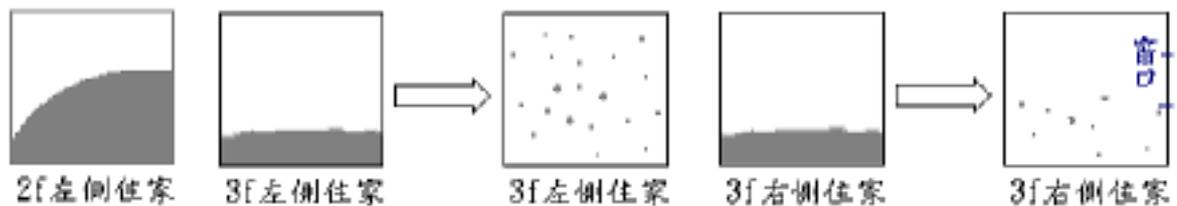
右側住家：煙進入住家的速度不因打開窗戶而改變，後來逐漸變慢。

住家打開正門、線香在地下室右側，3樓右側後窗戶打開，樓梯頂部的門密閉

左側住家：在3f右後窗打開瞬間，2f左側住家在門口的煙向門外移動。

右側住家：2f右側住家，在3f右後窗打開瞬間，門口的煙向門外移動，一段時間後，煙只有進沒有出。

整體而言：



3住家打開正門、線香在地下室右側，3樓左側前窗戶打開，樓梯頂部的門密閉

右側住家：

1. 2f右側住家，大部分的煙仍緩緩進入住家，極少量的煙往門外跑。
2. 3f右側住家，剛開窗時，並未影響到煙進入的速度，後來有少量的煙從門跑出。

整體而言：2f住家，一段時間後，煙不再明顯推積在下層，而是均勻瀰漫在2f住家中，且煙的濃度逐漸減少。

住家打開正門、線香在地下室右側，3樓左側前後窗戶打開，樓梯頂部的門密閉

左側住家：3f住家：沒有煙進入住家。

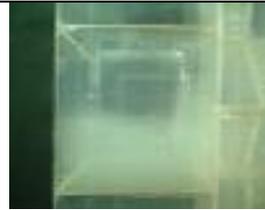
右側住家：3f住家：進到門口的煙，未進到住家內部，即跑到門外。

整體而言：2f左右住家：煙很快地瀰漫在整個住家。

住家打開正門、線香在地下室右側，3樓左右側前後窗戶全打開，樓梯頂部的門密閉

左側住家：2F左：有進有出，明顯分層的時間維持較久。

右側住家：3F 右：剛開始進煙速度增加，後來較緩和，且煙持續進入。



2F 右側



2F 左側

住家打開正門、線香在地下室右側，打開1F~2F樓梯間窗戶，樓梯頂部的門密閉

左側住家：

1. 2F：煙進入速度緩慢，分層不明顯。
2. 3F：打開窗後一直沒有煙進入。

右側住家：

1. 2F：樓梯間窗戶打開後，煙快速退出房間。
2. 3F：窗戶打開後，煙快速退出房間，但速度較2F慢，後來煙從下方進入、上方出，少量煙集中在3F上方。



樓梯間：窗戶打開瞬間，煙大量由窗口冒出。

住家打開正門、線香在地下室右側，打開2F~3F樓梯間窗戶，樓梯頂部的門密閉

- 左側住家：
1. 2F左：開窗前後進煙速度不變。
 2. 3F左：進入後，停在門口下方。

- 右側住家：
1. 2F右：開窗前後進煙速度不變。
 2. 3F右：下方煙持續進入，上方的煙停滯在門口徘徊，慢慢地下層的煙消失。

整體而言：3F：重的煙由下方出去。

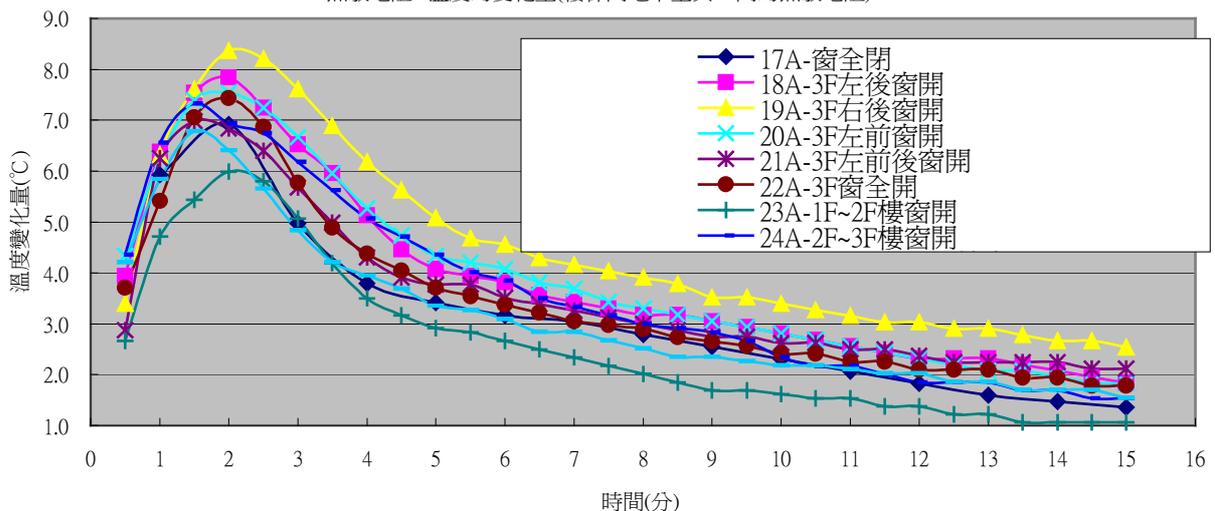
住家打開正門、線香在地下室右側，打開1F~2F及2F~3F樓梯間窗戶，樓梯頂部的門密閉

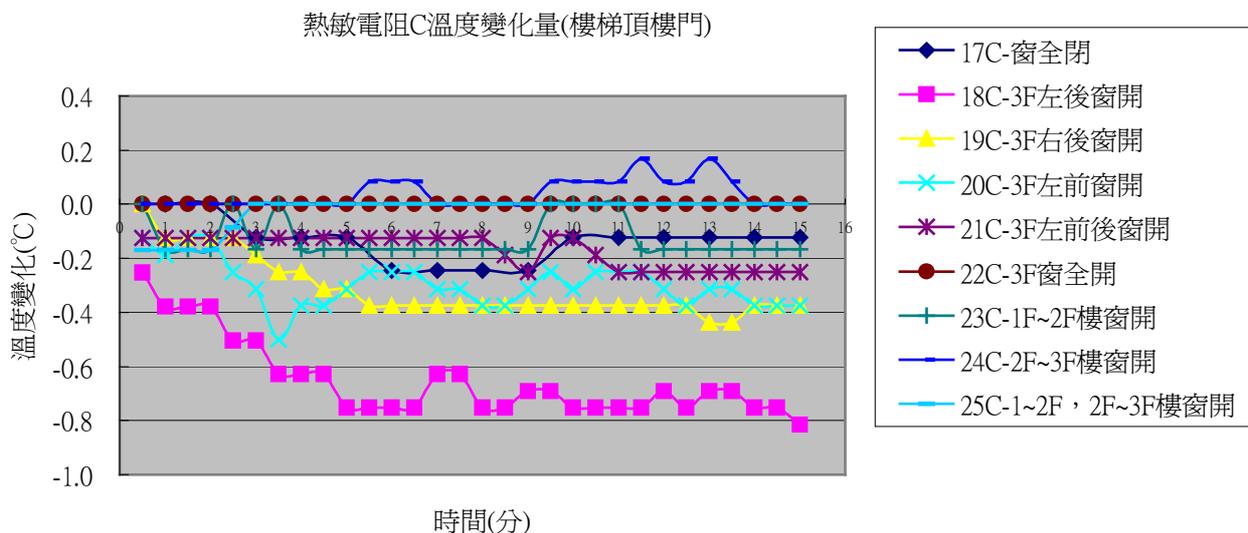
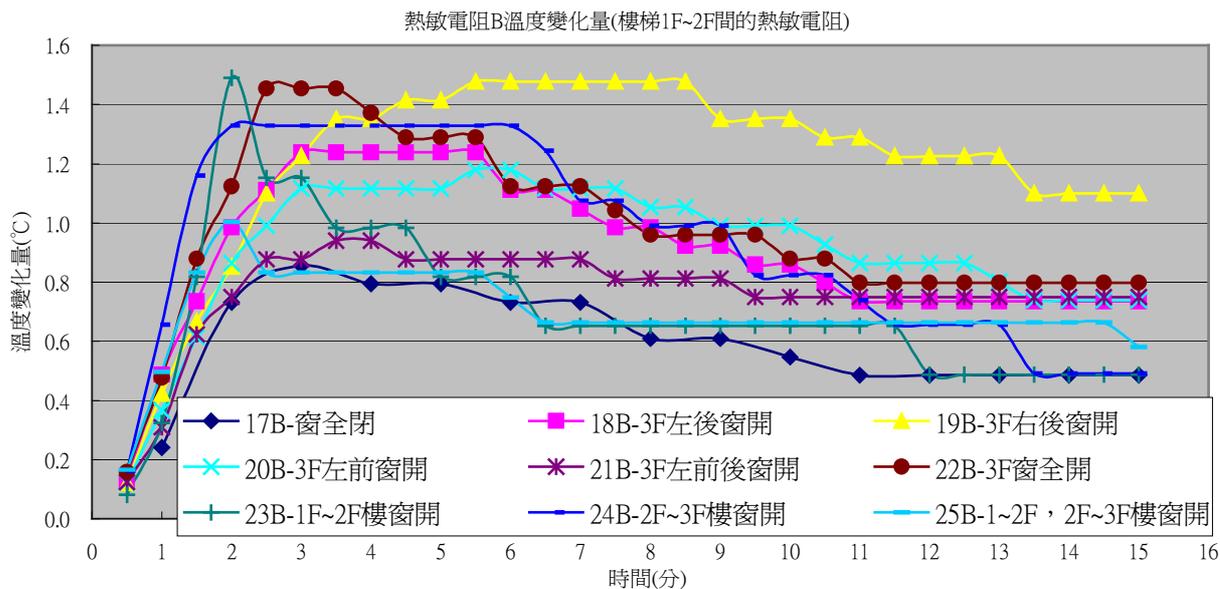
整體而言：1.2F左右：剛開窗時，影響不大，當2F~3F煙大量冒出後，有較稀疏的煙快速進入，後來完全沒有煙。

2.3F左右：打開窗後，門口的煙停止進入，少量的煙聚在3F上方。

樓梯間：2F~3F窗口的煙量較1F~2F窗口的煙多。

熱敏電阻A溫度的變化量(樓梯間地下室與1F間的熱敏電阻)



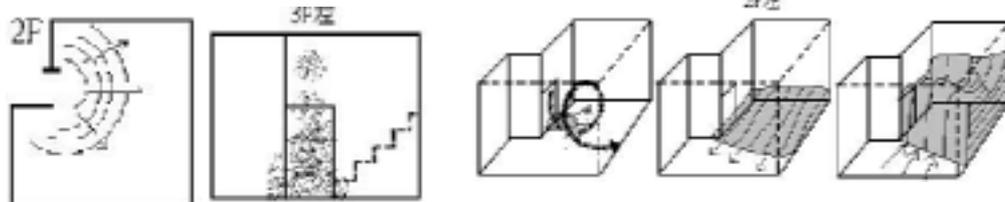


四、改變住家門的位置，打開住家側門，觀察煙的運動狀態？

(一)樓梯頂部密閉

開側門、窗戶全閉、梯頂閉、線香在地下室右邊

左側住家：



1.2F : (a)一開始煙進入二樓左屋內後馬上產生分層，不久分層形狀變成內凹外凸，分層的消失很緩慢。

(b) 煙一開始由門上方進入，後來的煙都從底部爬進來，慢慢累積，後來門口附近的煙似乎都被吸出去。分層變化類似上右圖，然後瀰漫。

2.3F 左：一開始煙由底部進入，沉積於地面，但是後來可能因為密閉於樓梯間的空氣

降溫，壓力變小，使得 3F 室內的煙有一些回流，後來煙就瀰漫開來了。

右側住家：

1. 2F：煙在 24 秒進入，上下一起衝入(但上面較多一點)，往屋內後方走，再下沉，後瀰漫。
2. 3F：2分15秒從門下方進入，煙只在下層，後來漸漸少了、變清澈。

開側門、開 2F 左後窗、梯頂閉、線香在地下室右邊

左側住家：

1. 2F 左：進煙後開窗，煙還是由二三樓間下降進入屋內，但這次因為窗口對流的關係分層很快就消失，並且由窗口散去，最後二樓左幾乎沒煙。
2. 3F 左：三樓一樣形成一道垂直地面的煙霧，但是由於這次有開窗對流，狀況較不穩定，所以後來就散去了，之後可能因為頂樓沒開，外加二樓開窗的關係，煙就不再進入了。



右側住家：

1. 2F：煙在 20 秒從門下方進入，瀰漫，後從門退出，後又沒退，再一會兒又進煙，後停止，煙在屋內慢慢的轉圈圈，之後就沒動靜了。
2. 3F：1分4秒門下進入，煙只在下層，也有煙退出，瀰漫後上層也有少許煙，便很清澈感覺無煙，但應還有少許，只是均勻分布在屋內，不夠濃，分不大出來。

開側門、開 2F 左前窗、梯頂閉、線香在地下室右邊

左側住家：

1. 2F 左：煙同樣由三樓降至二樓，剛開窗時煙無分層，一些較輕的煙瀰漫室內然後從窗口離開，重的煙則在進屋後慢慢的堆積，但堆積到窗口高度時分層破壞，開始瀰漫室內且由窗口離開。



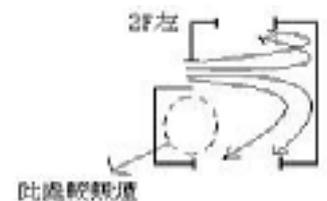
右側住家：

1. 2F：煙在 27 秒上下衝進屋內，上煙下沉，後下面有一層煙，但後漸漸消失，改為全部瀰漫。
2. 3F：1分52秒由門口下方慢慢進入，停止一小段時間後，又繼續進煙，之後又停，且感覺變清澈了。

開側門、開 2F 左前後窗、梯頂閉、線香在地下室右邊

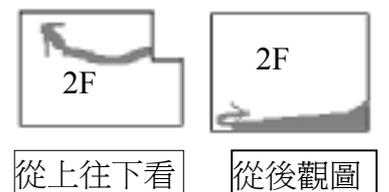
左側住家：

1. 2F 左：開窗後煙大量湧進，不同的是可能因為對流太強，這次完全沒有分層，煙就從兩窗散逸，也沒有累積煙量，煙的走向如右圖。
2. 3F 左：沒有煙進入。



右側住家：

1. 2F：24 秒煙從上下一起進入，上煙往下沉，下面有一層煙，但又瀰漫了(比上一個早瀰漫)。
2. 3F：1分28秒門下進，煙往屋內前面走，後又消失了，但3F門口有煙停著且不進來入，一會兒那團煙消失了，但未進入3F屋內，3F只有少許煙。



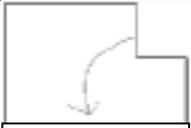
開側門、開 2F 右後窗、梯頂閉、線香在地下室右邊

左側住家：

1. 2F 左：開窗後有一些煙由門中間進入，然後瀰漫在屋裡，幾乎同時較重的煙由樓梯間下降進到屋內，在地面上積了厚厚一層煙，後來瀰漫掉，但一直到觀察結束後煙量並無減少太多。
2. 3F 左：無煙進入。

右側住家：

1. 2F：35 秒煙從門下進入，開窗後速度變快，一會兒又恢復正常速度。
2. 3F：1分40秒門下進入，只進一點點煙，後來也幾乎快沒煙了。



2F、3F 進煙途徑
(由上往下觀察)

開側門、開 2F 右前窗、梯頂閉、線香在地下室右邊

左側住家：

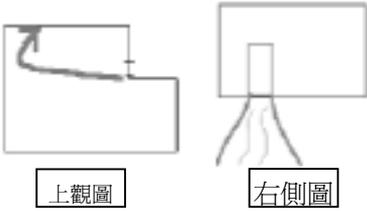
1. 2F 左：進入的煙挺重的，都是由門口底部貼地進入，煙慢慢向上累積以後可能因為開窗的關係，也像上一個實驗一樣，分層形狀開始變化，然後瀰漫。
2. 3F 左：還是沒煙。



2F 左分層變化過程

右側住家：

1. 2F：24 秒進煙，開窗煙進來變多，一會兒又恢復正常，但煙仍很多，後煙漸漸少了，從窗口出去了。
2. 3F：後來煙移至上層打轉，門口有一團煙不進來，後來門口煙不見了，屋內煙也少了。



上觀圖 右側圖

開側門、開 2F 右前後窗、梯頂閉、線香在地下室右邊

左側住家：

1. 2F 左：煙先大量進 2F 右，開窗後較重的煙平貼地面進入並形成分層，後來分層現象消失。
2. 3F 左：還是沒有煙。

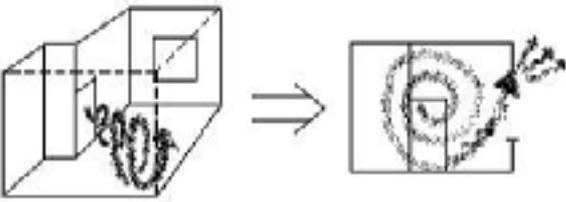
右側住家：

1. 2F：28 秒上面進入，一開窗立刻進入很多，也從窗戶出去了，6 分多時煙才開始進少一些，接著仍一直進入，但煙已非常少了，最後 2F 幾乎無煙。
2. 3F：1分58秒下面進，後來只有一點煙進來，再來就無煙進來了。

開側門、開 2F 右後左前窗、梯頂閉、線香在地下室右邊

左側住家：

1. 2F 左：這樣的開窗方法似乎使得對流比之前好很多，即使 2F 左只開了前窗，但是卻和 2F 左窗戶全開一樣，完全沒有造成分層，而是煙一路旋轉進入屋內，碰撞牆壁後就擴大旋轉半徑，到了窗口附近的煙則順勢散逸，如此的狀況使得煙的逸散很快，後來屋內很乾淨。
2. 3F 左：沒有煙。



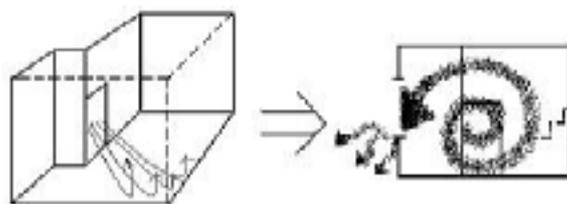
右側住家：

1. 2F：29 秒上面進，一開窗立刻進入很多煙，接著也不斷地進入(煙是由 3F 下來的)，煙都是一直不斷進入(只是很少)，也不斷從窗口出去，最後沒煙進入，屋內非常清澈。
2. 3F：1分58秒下面進，後來只有一點煙進來，再來就無煙進來了。

開側門、開 2F 右前左後窗、梯頂閉、線香在地下室右邊

左側住家：

1. 2F 左：可能因為這次的對流方向與煙進入屋內的方向同向，使得煙並無旋轉現象而是直接衝進屋內，碰撞牆壁後又開始旋轉，同樣順勢散出窗外，最後清澈。
2. 3F 左：無煙進入。



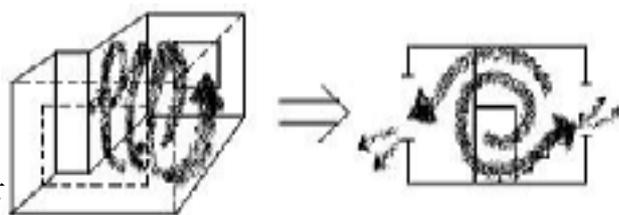
右側住家：

1. 2F：25 秒，窗一開，煙進來又多又快，接著也有不斷進來，但後來就沒了。
2. 3F：1分16秒進，只有地面少許煙，後來幾乎沒什麼煙。

開側門、2F 窗全開、梯頂閉、線香在地下室右邊

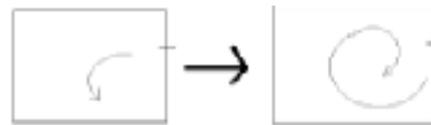
左側住家：

1. 2F 左：開窗後可能因為兩對角線方向皆有對流，使得煙以較大的旋轉半徑直接進入屋內，碰撞後由兩窗散逸，過一會兒煙幾乎散光，也不再會有煙進入，但此時右邊還有煙，所以進 2F 左的煙應該大部分都是由樓梯間下降的較重的煙，所以散完就沒了。
2. 3F 左：沒煙。



右側住家：

1. 2F：36 秒進，一開窗，煙進來又多又快且濃，大部分由後窗出去(前窗也有少許)，過會兒又大部分由前窗出，在一會兒就平均從兩窗口出來，煙都一直不斷進來且會打轉，後來雖也一直進來，但比之前煙少，而且一直從窗口出去所以屋內很清澈，一直到了 14 分才沒煙進來。
2. 3F：1分46秒進來，比之前多且濃，集中在前面，後來也幾乎沒什麼煙了，也沒有煙進來。



開側門、開 3F 左前窗、梯頂閉、線香在地下室右邊

左側住家：

1. 2F 左：開 3 樓窗戶對於 2 樓似乎沒什麼影響，整體看起來與一開始做的全部關閉差不多，先堆積，後來因微弱的對流而慢慢瀰漫。
2. 3F 左：只有一點點煙進入，幾乎看不出來。

右側住家：

1. 2F：38 秒上面進來非常多，一下子就全部瀰漫，而且也持續進來，之後沒進了，非常多煙瀰漫在屋內、很霧，右邊比左邊多煙。
2. 3F：1分20秒下面進來很多，一下子上面也有煙，煙仍很緩慢不斷的進入，後來就停了，煙也變少了些，雖不再有煙進入，但門口停有一團煙。

開側門、開 3F 左後窗、梯頂閉、線香在地下室右邊

左側住家：

1. 2F 左：同樣和完全關閉時差不多。
2. 3F 左：可能是因為煙上三樓的地點、3F 左門口、以及 3F 左後窗口接近一條直線，因此對流較強，煙從門口向所開的窗口進入，且數量較開 3F 左前窗時多，不過過一陣子煙就不再進入了。

右側住家：

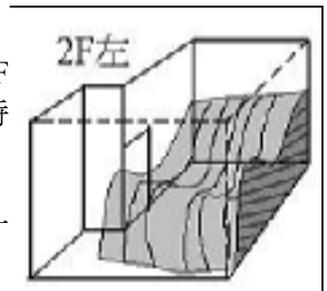
1. 2F：24 秒，下面有點分層，但漸漸往上散掉，過了會兒，全部瀰漫且非常霧，後來是有比較清澈一點點，但沒什麼差。
2. 3F：58秒進，開窗後較多煙進入，也是集中在前面地面，再接著在門口前堆一小層，但接著就全瀰漫了，但還是下面比較多一些，後來煙變少了，屋內變清澈。



開側門、3F 窗戶全部打開、梯頂閉、線香在地下室右邊

左側住家：

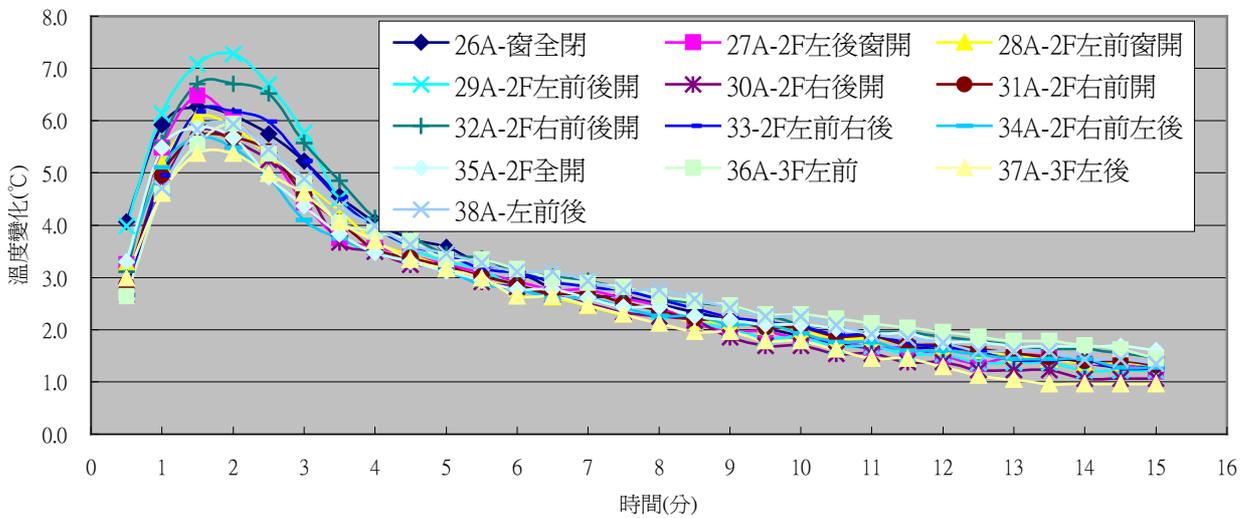
1. 2F 左：煙還是一樣進入後開始堆積分層，不過後來可能因為 3F 的對流使得 2F 門口附近較輕的煙順著門口樓梯上了 3F，造成特殊的分層（如圖）。後來當然還是瀰漫開了。
2. 3F 左：開兩個窗對流較強，開窗後有稀薄的煙陸續由門中央飄進（可能是由 2F 左來的），但進煙狀況也沒有維持很久，過了一會兒就沒煙了。



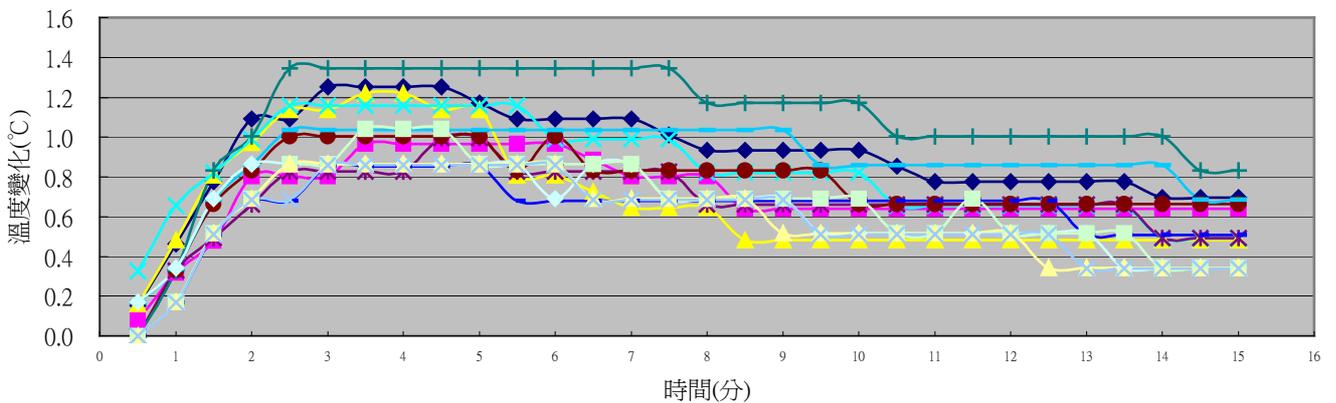
右側住家：

1. 2F：37 秒下面進，一會變全瀰漫了很多霧，右邊比左邊多煙，最後煙雖瀰漫了，但較前一次實驗，清澈一點。
2. 3F：1分12秒進，開窗後一下進入很多(只有下層)呈放射狀，碰到牆就順著往上，接著上面也有了煙，下面漸瀰漫，後雖全瀰漫但不混濁，因沒很多煙，再後來屋內又幾乎沒煙。

熱敏電阻A(樓梯間地下室與1F間的熱敏變阻)

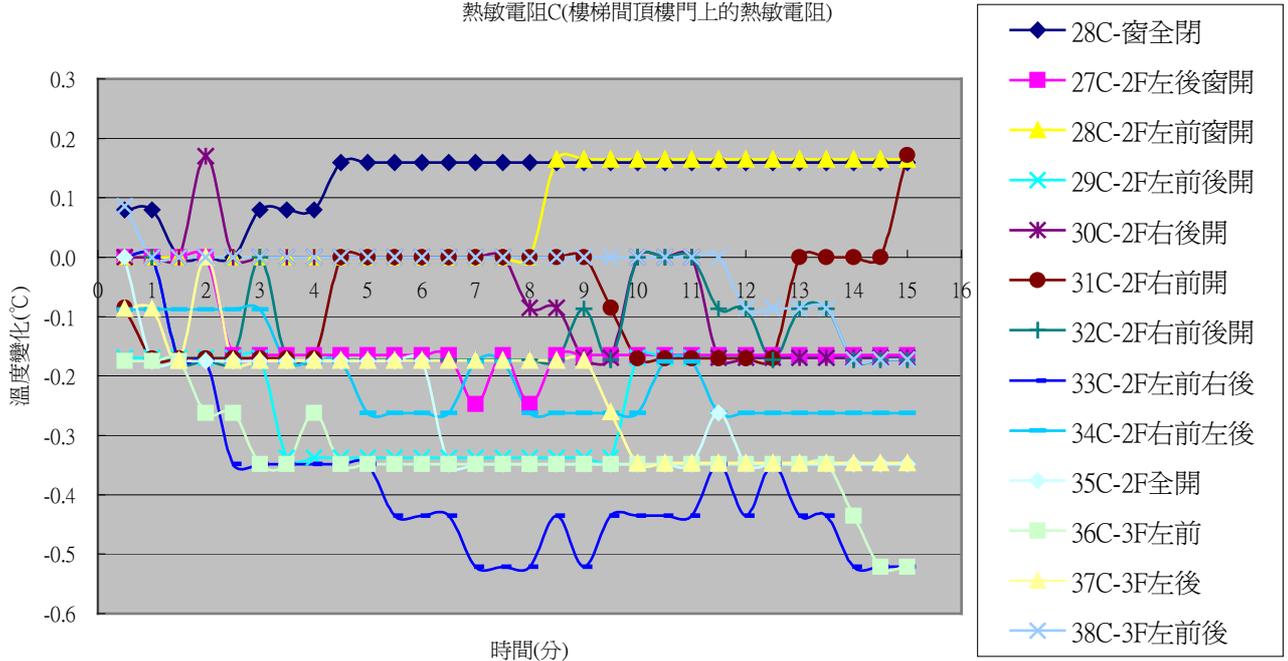


熱敏電阻B(樓梯間1F~2F間的熱敏變阻)



- | | | | | |
|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| ◆ 27B-窗全閉 | ■ 27B-2F左後窗開 | ▲ 28B-2F左前窗開 | ✦ 29B-2F左前後開 | ✱ 30B-2F右後開 |
| ● 31B-2F右前開 | ⊕ 32B-2F右前後開 | — 33B-2F左前右後 | — 34B-2F右前左後 | ◇ 35B-2F全開 |
| ■ 36B-3F左前 | ▲ 37B-3F左後 | ✦ 38B-3F前後 | | |

熱敏電阻C(樓梯間頂樓門上的熱敏電阻)

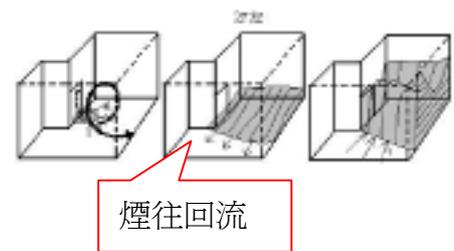


(二)樓梯頂部打開

開側門、窗全閉、頂樓開、線香在地下室右邊

左側住家：

1. 2F: 先有較輕的煙從門口較上方進入屋內，後來1分20秒時有比較重的煙從門口下方貼著地面進入，然後堆積分層，但是後來發現底部的煙有往回流的現象，可能是這種現象讓煙的分層形狀發生改變。
2. 3F: 原本只有一點點煙，但是2F分層消失時煙量有些微增加。



右側住家：

1. 2F: 8秒上面進，往住家內部後方走，煙很多，煙比沒開頂樓時多，下面一層，上面也瀰漫了不少，煙在屋內打轉，後來就全瀰漫，也沒一絲絲的煙。
2. 3F: 23秒上下一起進，煙往住家內部前方走，但下層較多，煙很多，下面厚厚一層，後來下層仍有一層，但有部分向上散，上面瀰漫著一絲絲的煙，之後好像又有些煙從上面進來往下沉，後來也看不到煙絲，瀰漫掉了，因為平均分散屋內，所以較清澈。

整體而言：1.右邊比左邊多。 2. 地下室煙變少，大概跑到樓上了。

開側門、開 1~2 樓樓梯窗、頂樓開、線香在地下室右邊

左側住家：

1. 2F：很快就進煙，無分層，馬上瀰漫。
2. 3F：30 秒時進煙，煙量比之前實驗多很多。
3. 4F：破天荒的有煙進入，且煙的流速快，但是量不多。
4. 5F：連五樓都有煙，不過量也不多。

右側住家：

1. 2F：11 秒上面進，煙貼著天花板往後走，4 分時煙變少了，仍然還是有些煙。
2. 3F：30 秒上面進，也貼著天花板往後走，煙也變少，但感覺還是有一點點煙。
3. 4F：有煙進入且打轉，煙也在後面，但後來煙變少，進來的又差不多出去了，最後又恢復清澈。
4. 5F：有煙在下層，接著又都沒煙了，最後恢復清澈。
5. 煙多至少順序：2F>3F>4F>5F。

整體而言：

1. 頂樓窗：一開始就有煙竄出，且持續冒煙很久。
2. 樓梯窗：
 - (1) 從一開始到頂樓冒出煙時都沒有跑出煙來，直到頂樓停止冒煙時，樓梯窗才開始有煙冒出來。可能一開始空氣是從此處進入。
 - (2) 頂樓停止冒煙後，各樓層也停止進煙。

開側門、開 2 樓左後窗、頂樓開、線香在地下室右邊

左側住家：

1. 2F：沒啥煙進來，反而感覺空氣由窗進入（因為無煙冒出窗外）。
2. 3F：是煙最多的地方。（4F 次之，5F 最少）
3. 值得注意的是 2F 沒有煙進入，很安全。

右側住家：

1. 2F：11 秒上面進，往後走，煙在屋內停一停，後來也變清澈，且比前一次實驗還快清澈。
2. 3F：16 秒上面進，往後走，煙在屋內一會兒就走了，也比前一次實驗快清澈。
3. 4F：23 秒進，煙打轉瀰漫，但後也變少，幾乎快沒煙。
4. 5F：1 分 37 秒進，只有一點點煙，而且一下子就沒了。
5. 最後 2.3.4.5F 煙幾乎都沒了。

整體而言：頂樓門：冒煙量較開樓梯間窗戶時多，且維持的時間也較長，同時頂樓冒煙時 3、4、5 樓的煙沒有減少。

開側門、開 2 樓左右後窗、頂樓開、線香在地下室右邊

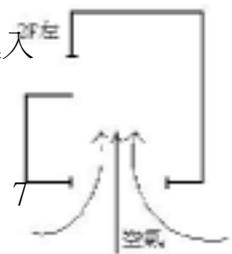
左側住家：

1. 2F：只有一開始進入一點點煙，後來就沒有了，可能也是因為空氣進入的關係。
2. 3、4、5 樓的煙較多，而且量也差不多。

右側住家：

1. 2F：11 秒上面進來很多煙，往後走，從窗口出去，所以屋內煙不多，7 分多時幾乎已沒煙。
2. 3F：16 秒上進來，煙絲瀰漫在屋內，後變少也看不到煙絲，瀰漫在屋內。
3. 4F：39 秒下面進，往後走，煙絲瀰漫在屋內慢慢往前擴散，後來煙也變少，也看不到煙絲了。
4. 5F：41 秒進，煙很少，也很快不見。
5. 煙多寡順序：3F>2F=4F>5F(2F 因有開窗，煙都差不多出去了)

整體而言：頂樓：此次從頂樓出去的煙量較多。



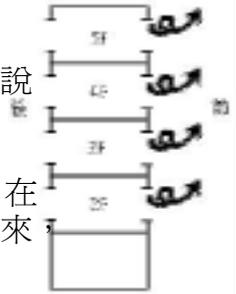
開側門、住戶窗全開、頂樓開、線香在地下室右邊

左側住家：

- 1.各樓層住家中的煙，皆由後窗進空氣，前窗冒出煙。
- 2.屋內煙量：每樓層都不定時的有一點點煙進入，隨即出窗外，整體來說除了地下室以外無煙。

右側住家：

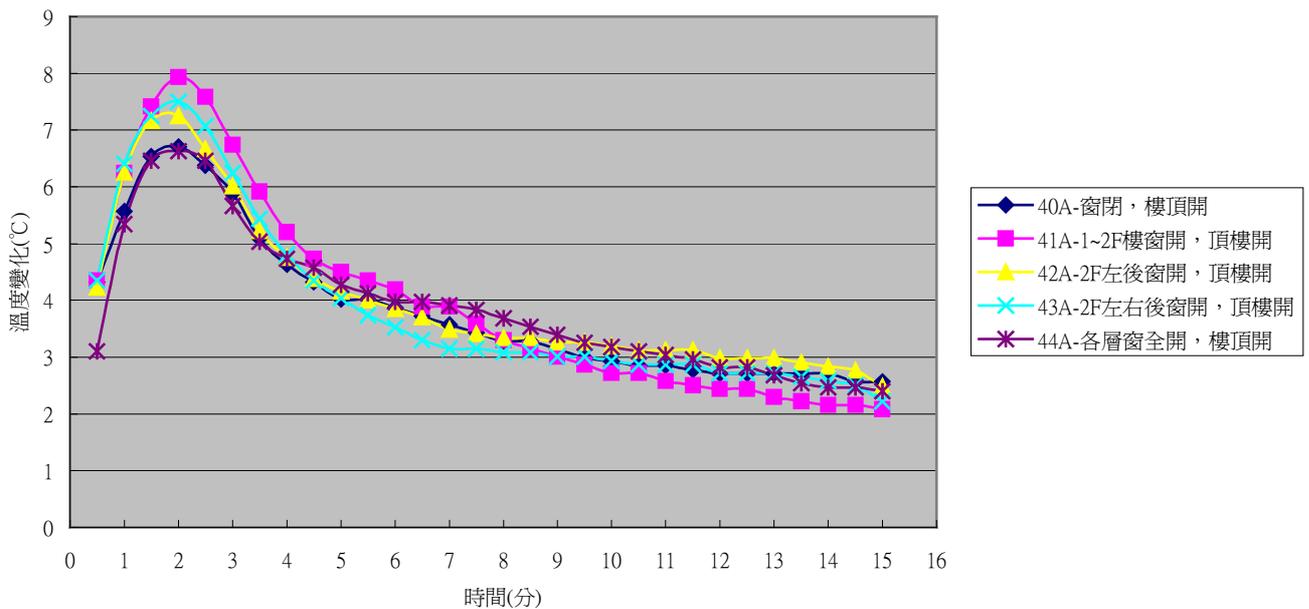
1. 2F：10 秒時煙由上面進入，從前窗冒出來，仍然有少許的煙進入，在上面慢慢地飄，並沒有立刻跑出去，最後仍然有非常少的煙進來，但因為煙太少，看不出由哪個窗出去。
2. 3F：34 秒時煙由上面進入，煙本來往後，但不從後窗出去，都從前窗出去，煙還是有進來一些些，但是非常少，看不清楚由何窗出去。
3. 4F：38 秒時煙由下面進入，前後窗都有煙出去，但沒有煙再進來，煙又都出去，所以屋內很清澈，不再變化。
- 4.5F：44 秒煙由下面進入，前後窗都有煙出去，但是煙不多也不濃，沒有煙進來，而且之前進來的煙也都出去了，所以屋內變得很乾淨，幾乎沒有煙。



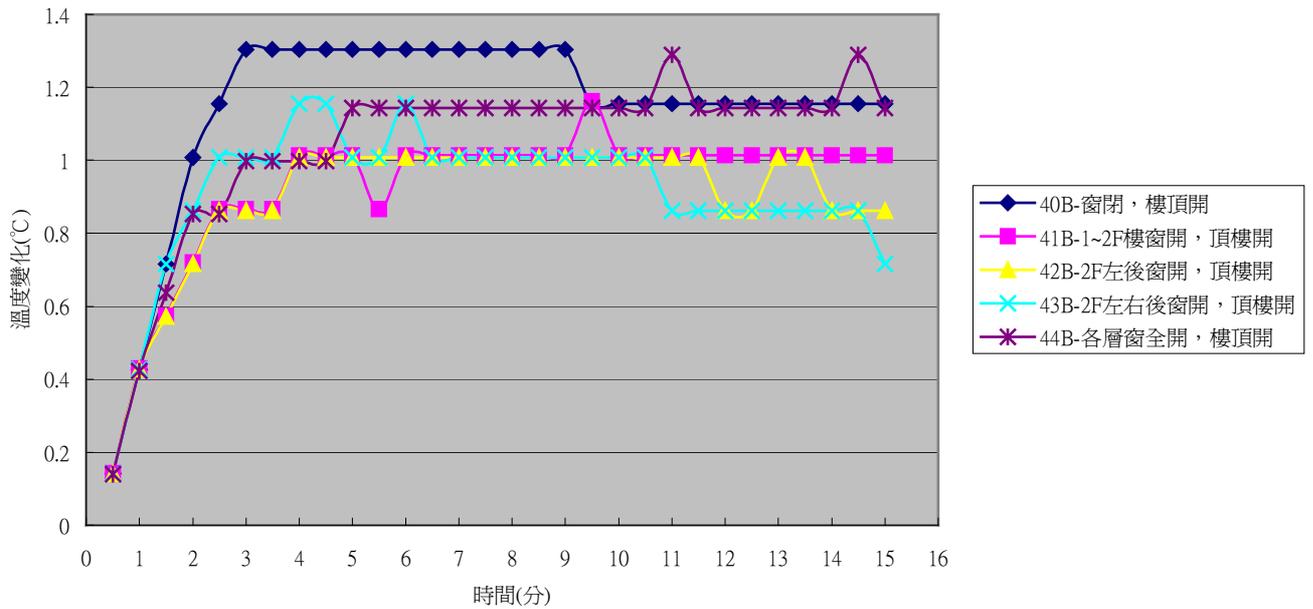
整體而言：

- 地下室：就算窗戶全開，煙量還是很多。
 頂樓門：煙沒有持續冒出，是一陣一陣的冒出，而且煙量比較少。

40-44熱敏電阻A溫度的變化(樓梯間地下室與1F間的熱敏電阻)



40-44熱敏電阻B溫度變化(樓梯間1F~2F間的熱敏電阻)



五、將線香放在三樓左側，頂樓門打開，改變窗戶的開啓狀態，觀察煙的運動狀態？

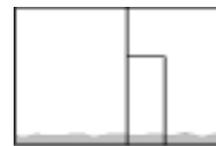
開側門、窗全閉、頂樓閉、線香在 3F 左

左側住家：

- 5F：煙剛開始從門的上面進入，後來也有從下面，變成上下都有，瀰漫的非常快。
- 4F：煙上下一起進，速度快且瀰漫的也非常快。
- 2F：煙從下方進，先往前再往後，剛開始在地上是薄薄的一層且都一樣高度，後來慢慢變高，愈接近門愈高，但不超過門的高度，且分層不散。
- 分層比右側高。
- 濃度:4F>5F>2F>地下室



2F 左側



2F 左側



2F 左側

右側住家：

- 3F：煙在 28 秒從上下一起進，速度快，屋內上下都是煙絲，瀰漫快且非常霧。
- 4F：28 秒上下一起進，速度也非常快，一下子就瀰漫且非常霧。
- 5F：29 秒門下進，開始時只有下面有煙，但一下子上面也有，但煙主要集中在下面，也是有些瀰漫，後也變濃。
- 2F：1 分 5 秒下面進，下面薄薄一層貼在地面，有不明顯的分層，分層比左側的分層低也沒那麼濃。
- 煙濃度大小：3F=4F>5F>2F>地下室。



2F 右側住家
分層(側面)

整體而言：1.地下室：有些分層但不清楚，且後瀰漫。

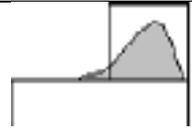
2.最後線香拿出來，近門口的線香已燒到底，都燒得很短。

開側門、窗全閉、頂樓開、線香在 3F 左

左側住家：

- 頂樓冒煙狀況:如右圖。

2. 5F:煙從上下一起進，很快瀰漫。
3. 4F:煙從上下一起進，煙多，且很快瀰漫。
4. 2F:情況與窗戶閉、頂樓閉相同。



右側住家：

1. 3F：24 秒上下一起進很多，後瀰漫掉，煙又多又濃非常霧。
2. 4F：28 秒上下一起進很多，後瀰漫，比 3F 更濃。
3. 5F：34 秒上下一起進，後也瀰漫。
4. 2F：55 秒下面緩慢進(煙是從樓上順著樓梯下來的)，地面一層，下有一分層，煙不濃，比左低。

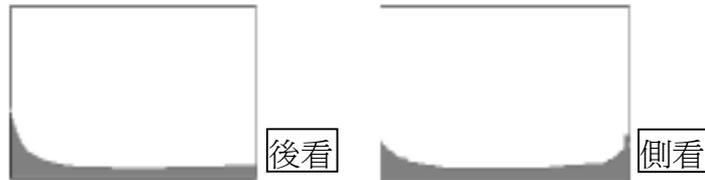
整體而言：

- 1.地下室：2 分 28 秒順著樓梯下，成圓形擴散，地面一層，後漸漸浮起，貼在角落。



地下室煙擴散

地下室右側的煙

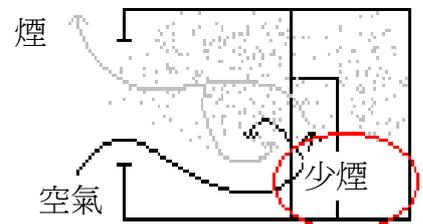


- 2.濃度大小：3F 左>4F 右>5F 右>3F 右>4F 左>5F 左>2F 左>2F 右>地下室右>地下室左
- 3.線香插進去都還會燒。
- 4.線香拿出來後，前半部的香都燒到底，後面也有三枝燒到底，其餘燒得很短。

開側門、開 3F 左後窗、頂樓開、線香在 3F 左

左側住家：

1. 5F：煙從上下進，但沒有太多。
2. 4F：煙從上下進，比沒開窗少，很快瀰漫。
3. 3F：大量煙從窗從冒出，與窗外的空氣形成對流。
4. 冒出煙的多寡與頂樓差不多。
5. 2F、地下室無煙。
6. 濃度:4F>5F。



3F 左側住家

右側住家：

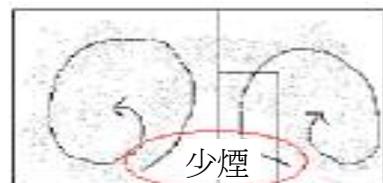
1. 4F：14 秒進，煙比沒開窗進來的少，很快瀰漫，最後很霧。
2. 3F：17 秒進，煙也比沒開窗進來的少，也很快瀰漫，霧霧的。
3. 5F：1 分時進，煙不多，也很快瀰漫，霧霧的。
4. 2F、地下室無煙進入。
5. 煙很多從 3F 左後窗出來，頂樓也有煙冒出。
6. 煙濃度大小：4F=5F>3F，其實都差不多。

整體而言：最後線香全部燒到底。

開側門、開 3F 右後窗、頂樓開、線香在 3F 左

左側住家：

1. 5F：煙從上進，多又濃，很快瀰漫。
2. 4F：煙從上進，多又濃，很快瀰漫。
3. 3F：煙在屋內以門為界分成兩個螺旋，如右圖。
4. 2F、地下室無煙。
5. 濃度: 4F>5F。



3F 左側住家(側面圖)

右側住家：

1. 4F：13 秒上，煙很多，霧霧的，煙很濃。
2. 5F：29 秒上，煙很多，霧霧的，煙很濃。

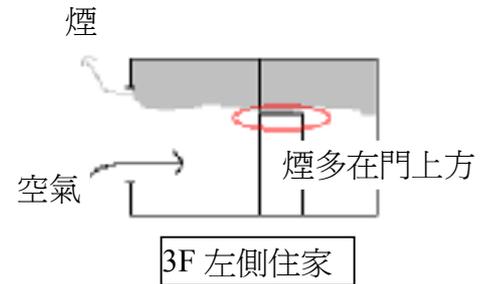
3. 3F：沒煙進，其實有很多煙在門口但進不來。
4. 2F、地下室都沒煙，很安全。
5. 煙只在 3F 左、4F、5F，且非常多又濃。

整體而言：最後線香都燒到很短。

開側門、開 3F 左右後窗、頂樓開、線香在 3F 左

左側住家：

1. 5F：煙從上進，但並沒有很多，最後有瀰漫。
2. 4F：煙從上進，也沒有很多，最後也有瀰漫。
3. 3F：煙大多飄在上方，而且在門之上，如右圖，煙從窗出去比頂樓多。
4. 2F、地下室無煙。
5. 濃度：4F>5F。



右側住家：

1. 4F：30 秒一起進，煙並無很多，進來後四面八方得擴散，一下子就瀰漫。
2. 5F：49 秒下面進，煙較 4F 少，也是很快瀰漫。
3. 3F：3 分 11 秒上面進，煙非常少，後又沒煙了(因門口也沒煙了)，但應該是意外。
4. 2F、地下室都沒煙。
5. 煙只從 3F 左後窗出去，沒有從 3F 右後窗出去。

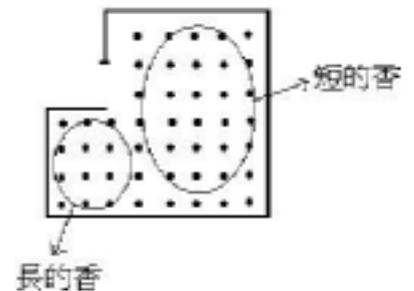
整體而言：最後線香也是全燒到底。

開側門、頂樓開、開 2F 左後窗、線香在 3F 左

左側住家：當香一放進去 4F、5F 很快就進了很多煙（比 3F 右側快很多），此外因為沒有煙進 2F 住家，所以 2F 的窗口應該是補空氣進來。

右側住家：

1. 4F：煙很多、瀰漫，很霧。
2. 5F：煙很多，也是瀰漫，後來也變得很霧。
3. 3F：煙 27 秒進入，開始時只有一點點，感覺蠻清澈的。
4. 2F、地下室：都無煙進入。
5. 煙從頂樓大量冒出，沒有煙從 2F 左後窗冒出，靠門口處的線香燒到底。



整體而言：放香處：底部有一層空氣層。可能因為空氣進門以後就與香反應完的關係，實驗結束後香的長度有特別的分佈（如圖）。所以→應該是有空氣補進火源。

推測：空氣由 2F 左後窗補進，故煙無法到達 2F，線香也燒得很短

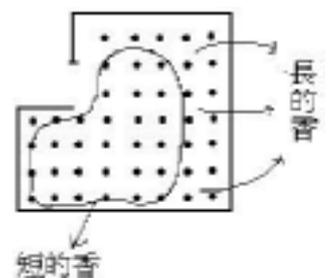
開側門、頂樓開、開 2F 右後窗、線香在 3F 左

左側住家：

1. 11 秒 4 樓進煙→17 秒 5 樓進煙→3 樓最後進煙。
2. 窗戶開左開右的差別只有放香處的空氣分佈不同。（香的燃燒情形不一樣）。

右側住家

1. 4F：煙 11 秒進入，很快瀰漫，很霧，和前一個實驗情形差不多。
2. 5F：煙 17 秒進入，很快瀰漫，也很霧，但比 4F 少一點，也和前一次實驗情形差不多。
3. 3F：煙 42 秒進入，一點點而已，只有開始時有，後來就都沒有煙了，和前一次實驗情形差不多。
4. 2F、地下室：也是無煙進入。
5. 4F、5F 右邊比 4F、5F 左邊霧，無煙從 2F 右後窗冒出，2F 右後窗為補空氣用，線香幾乎都燒到底，只有靠最左側的一排比較長。



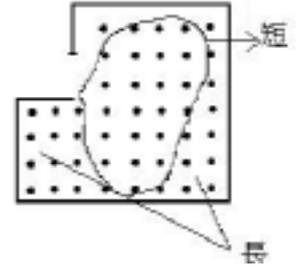
開側門、頂樓開、開 2F 左右後窗、線香在 3F 左

左側住家：

1. 4樓8秒進煙→5樓12秒進煙→3樓1分02秒進煙。
2. 可能由於開兩個窗，空氣補進的比較多，放香處地板的空氣層較前兩次多。

右側住家：

1. 4F：煙5秒進入，很快瀰漫，也很霧，後來更霧，比前一次實驗更霧。
2. 5F：煙12秒進入，很快瀰漫，也很霧，但沒有4F那麼霧。
3. 3F：煙1分2秒進入，開始時只有一點點煙而已，後來就沒了。
4. 2F、地下室：無煙進入。
5. 2F左右後窗也無煙冒出。



開側門、頂樓開、開1F大門、線香在3F左

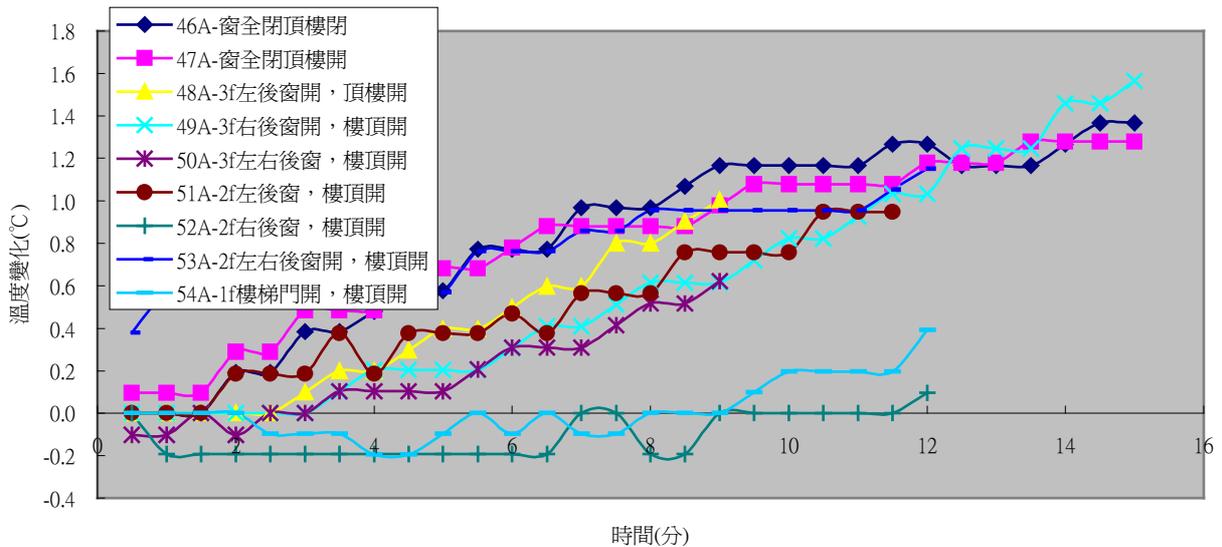
左側住家：

1. 4樓8秒進煙→5樓11秒進煙。

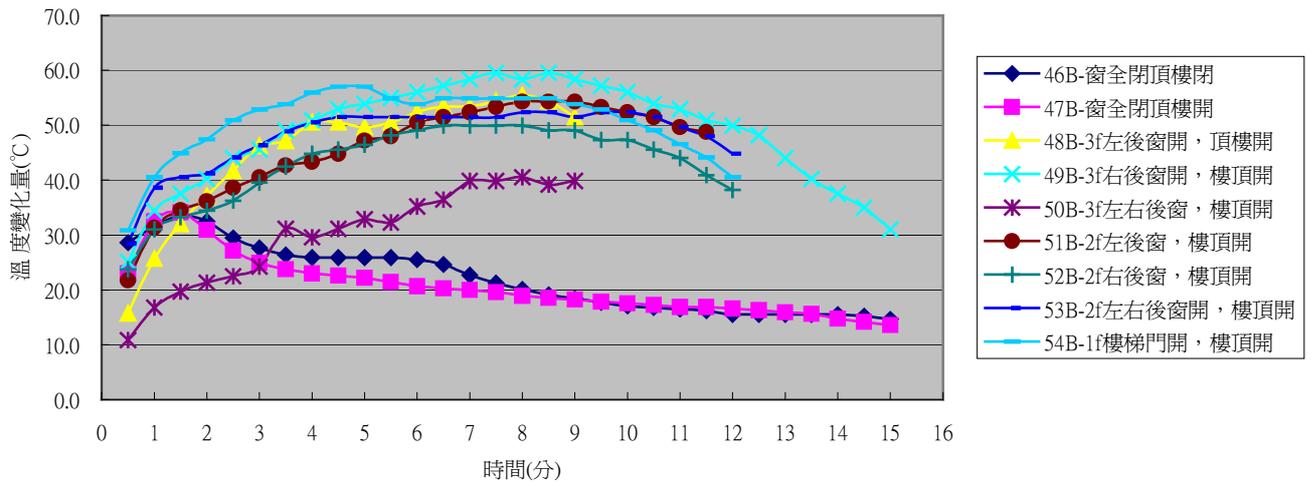
右側住家：

1. 4F：煙8秒進入，很多、很快瀰漫，很霧，一下子就非常霧。
2. 5F：煙11秒進入，很多、很快瀰漫，很霧，沒有4F那麼霧。
3. 3F、2F、地下室：無煙進入。
4. 大門沒有煙出去，線香幾乎燒到底。

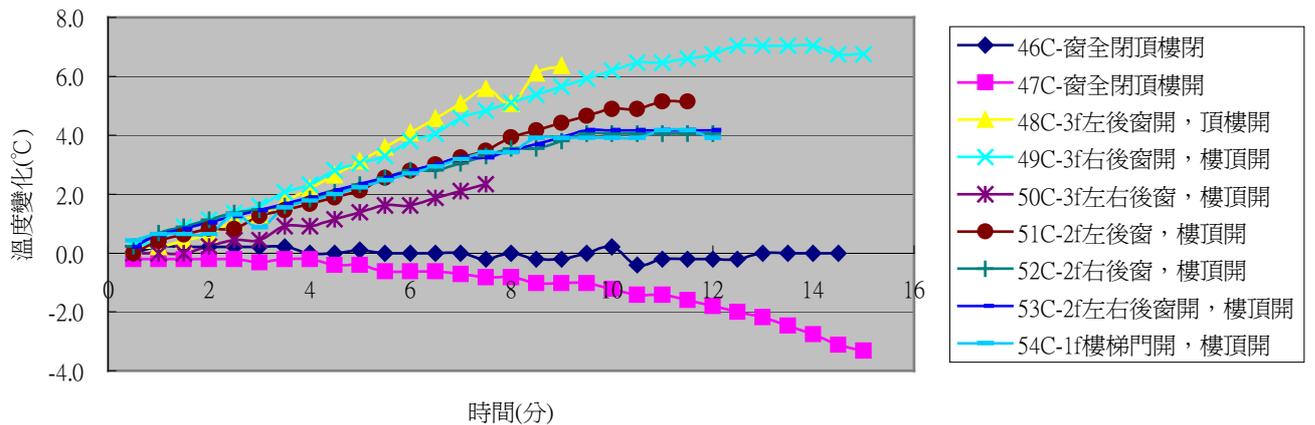
46~54熱敏電阻A(2F左側住家門口的熱敏電阻)



46-54熱敏電阻B(3F左側住家門口的熱敏電阻)



46-54熱敏電阻C(樓梯間頂樓門的熱敏電阻)



陸、討論

一、熱敏電阻的校正

(一)熱敏電阻電阻值的改變很靈敏，所以進行實驗時，低溫的水中若含有冰塊，會造成熱敏電阻周圍的水溫不穩定，嚴重影響測量。

(二)本實驗溫度測量範圍約在 $15^{\circ}\text{C}\sim 29^{\circ}\text{C}$ 之間，分別將每個熱敏電阻的電阻值代入Excel

的圖表精靈所得之關係式： $A-\frac{1}{T} = 0.0003654480 \times \ln R + 0.0014049732$

$B-\frac{1}{T} = 0.0003715941 \times \ln R + 0.0013970507$ $C-\frac{1}{T} = 0.0003694025 \times \ln R +$

0.0014337293

誤差在 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 以上的如下，最大的誤差也未超過 0.5°C ，所以使用熱敏電阻測量模型內部的溫度變化，精準度很高。

A	攝氏溫度(°C)	25	28	31	34	47	48	49	50				
	電阻值經公式轉換的溫度	24.75	27.79	30.77	33.79	47.25	48.30	49.29	50.22				
	誤差(°C)	-0.25	-0.21	-0.23	-0.21	0.25	0.30	0.29	0.22				
B	攝氏溫度(°C)	10	17	27	29	45	46	49	50				
	電阻值經公式轉換的溫度	10.41	17.22	26.76	28.59	45.29	46.25	49.25	50.35				
	誤差(°C)	0.41	0.22	-0.24	-0.41	0.29	0.25	0.25	0.35				
C	攝氏溫度(°C)	10	14	27	28	29	30	31	32	47	48	49	50
	電阻值經公式轉換的溫度	10.26	14.30	26.73	27.76	28.79	29.74	30.73	31.75	47.28	48.39	49.32	50.39
	誤差(°C)	0.26	0.30	-0.27	-0.24	-0.21	-0.26	-0.27	-0.25	0.28	0.39	0.32	0.39

二、線香在地下室的位置及頂樓門打開與否，會影響煙的運動嗎？地下室線香熄滅後，大樓中是否仍有氧氣？

(一) 樓梯間煙的運動狀況

由地下室往上移動的煙，分成兩種行進路線：

第一種路線：如水般，由地下室逐漸淹向較上方的樓層，此路線的煙，進入右側住家時，是由門的中下方進入。

第二種路線：應該是顆粒較細的煙，當地下火源火力較強時，此類的煙會快速地衝到上方，碰到上方階梯時會順著階梯向上運動，此路線的煙，進入右側住家時，會由門的上方進入。

煙的運動情形受到地心引力的影響較大，煙粒間的碰撞情形並不明顯。

(二) 當線香在地下室右、窗戶全密閉、樓梯頂開時，

線香：a. 很快就熄滅 → 樓梯空間太小，樓頂的空氣很難向下補充(只有二、三樓層住家內的空氣來得及補到地下室給線香燃燒，四、五樓住家內的空氣來不及補過去)

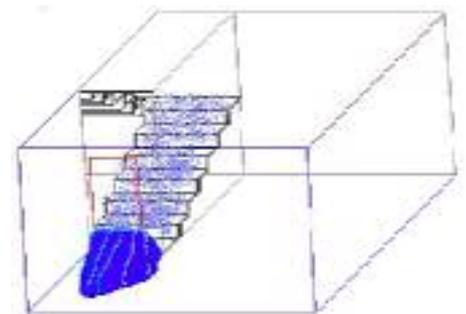
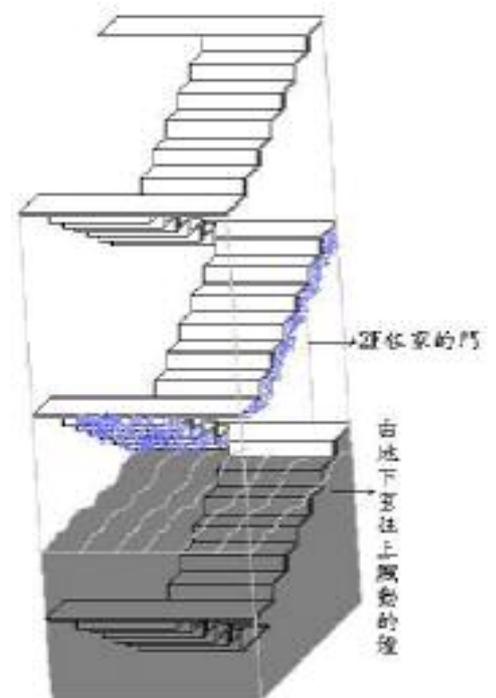
b. 樓梯頂雖然有開門，但煙到達三、四樓之前，線香已熄滅，所以沒有足夠的煙可由樓頂冒出。

左側住家：a. 因一樓封閉，煙無法到達一樓。

b. 四、五樓並沒有煙到達，可能是：當二、三樓層的空氣補到地下室後，燃燒後產生的煙又往上補，剛好補了二、三樓住家內的空間，而未順著樓梯補到四、五樓。

(三) 當線香在地下室左、窗戶全密閉、樓梯頂部門關閉時，

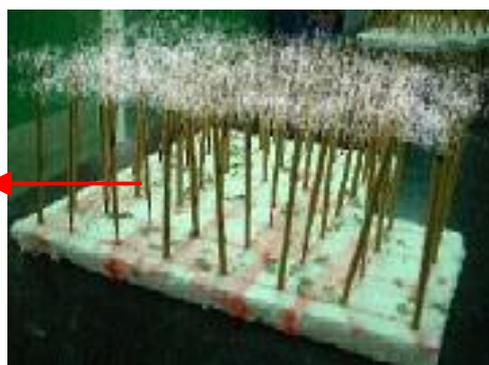
左側住家：內部的煙為較上層的樓梯上的煙，下沉後進入二樓住家，故為顆粒較大的煙粒，濃度會較大，且進入住家的煙，大部分由門的下方進入。



(四) 地下樓的線香若長度相當，就會完全熄滅，表示接近線香火源處已無氧氣存在；若線香長短不齊，較長的線香完全熄滅後，較短的線香仍繼續燃燒，表示在火源的下方仍有氧氣的存在。

(五) 當地下樓的線香完全熄滅後，在2F~5F的住家，燃燒的線香燒入時，仍繼續燃燒，而且沒有熄滅的現象，表示仍殘留大量的氧氣。

下方仍留有氧氣



(六) 當地下室的線香熄滅後，產生不助燃的氣體，滯留在火源上方，並未快速向上流動，而較高樓層的氧氣，也未因下方缺氧而迅速向下補充，才造成下方線香熄滅，推測：濃煙會阻止氣體上下流通。

(七) 根據觀察，線香在地下室的位置改變，對煙的移動情況影響並不大。

(八) 樓梯頂部的門打開與否，對煙的流動情況影響也不大。

(九) 因樓梯狹窄，地下室火源燃燒用完地下室的空氣後，上面樓層的空氣也不易補進去，使得線香熄滅，又線香很快就熄滅，所以不再產生煙，因此，即使此大樓高於5層，大樓內的狀況應該與目前情形相似。

三、煙進入住家後，將窗戶打開，是否影響煙進入的速度？

(一) 打開的窗口上方的煙，有較大的機會從窗口逸散。

(二) 整棟大樓在完全密閉的情況下，因線香的燃燒，造成大樓內部溫度上升，使得壓力變大，此時將窗戶打開，就會形成一股向外的氣流；且受到地心引力的影響，這股氣流大部分來自二樓以上的樓梯及住家，所以三樓住家底部的煙逐漸消失，且二樓以上樓梯間的煙也逐漸下沉，而地下室煙的分佈情形，沒有明顯的改變。

(三) 一層樓開啓兩扇窗時，先從後窗出去，才從前窗出去→大樓外的空氣補充進入大樓內時，由前窗補進的空氣強度較大。

(四) 煙一直在屋內打轉，打轉完又在屋內前後搖擺→前後窗補充進入二樓左側住家的氣流，使煙打轉。

(五) 線香很多仍在燒→從外補充進入大樓的空氣溫度較低，會下沉，空氣順著樓梯往地下室，使得線香可以繼續燃燒，繼續製造煙，所以地下室煙的濃度為減少。

(六) 當煙進入二樓住家時，同時開啓二樓的四扇窗戶，煙從二樓門上方進入，速度變快，推測：開的窗戶愈多，空氣補充進入大樓及二樓以上的煙下沉逸出窗口的速度愈快。

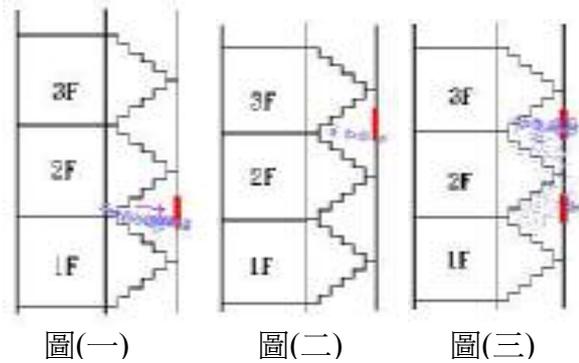
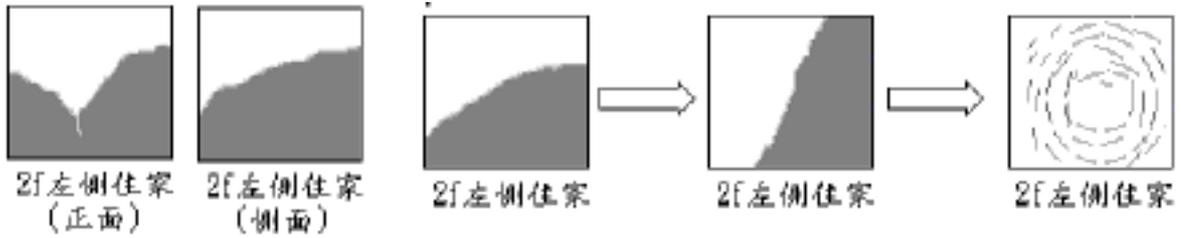
(七) 右邊住家(門前的樓梯往一樓方向)的煙較左邊住家(門前樓梯往三樓)多，推測：空氣補充速度較快，地下室的線香燃燒產生的煙持續增加，順著樓梯上升直接進入右側住家，而左側住家的煙應是來自二樓以上下沉的煙，所以煙量較小。

(八) 煙原本要從後方窗戶出去，突然往回從前窗出去。推測：是那裡有氣流把它擋回去，所以前窗冒的煙比後窗多。

(九) 當二樓左右兩側住家窗戶全部打開時，左側住家內，原本有煙要由後方窗戶逸出，後來又突然從前窗逸出，依此推測：後窗的向內氣流較前窗氣流強。

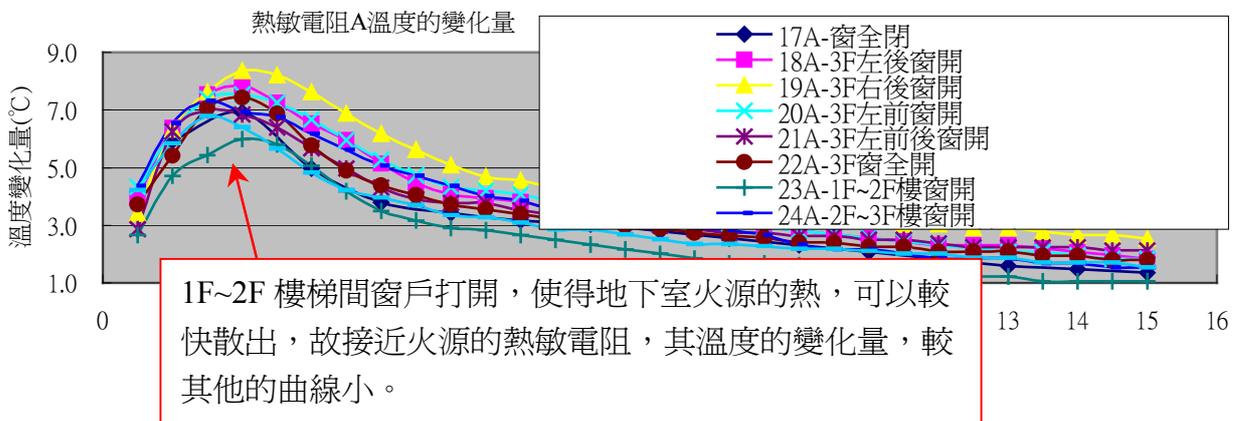
(十) 打開2F右側住家後方窗戶時，可以增加此戶住家的進煙速度，且使得同一層樓的另一戶住家的煙量減少，顯示煙較易往開窗的住家移動，其他住家較不受威脅。

- (十一) 打開3F窗戶瞬間，使3F以下樓梯間的氣流向3F開窗處移動，所以2F住家門口的煙，會短暫退出門外。
- (十二) 3F打開的窗戶，會補進空氣，補進的空氣會下沉至2樓住家及地下室，而進入2F的空氣，將原本接近地板的煙推到前窗，後來開始捲動，至煙均勻分散在住家中。



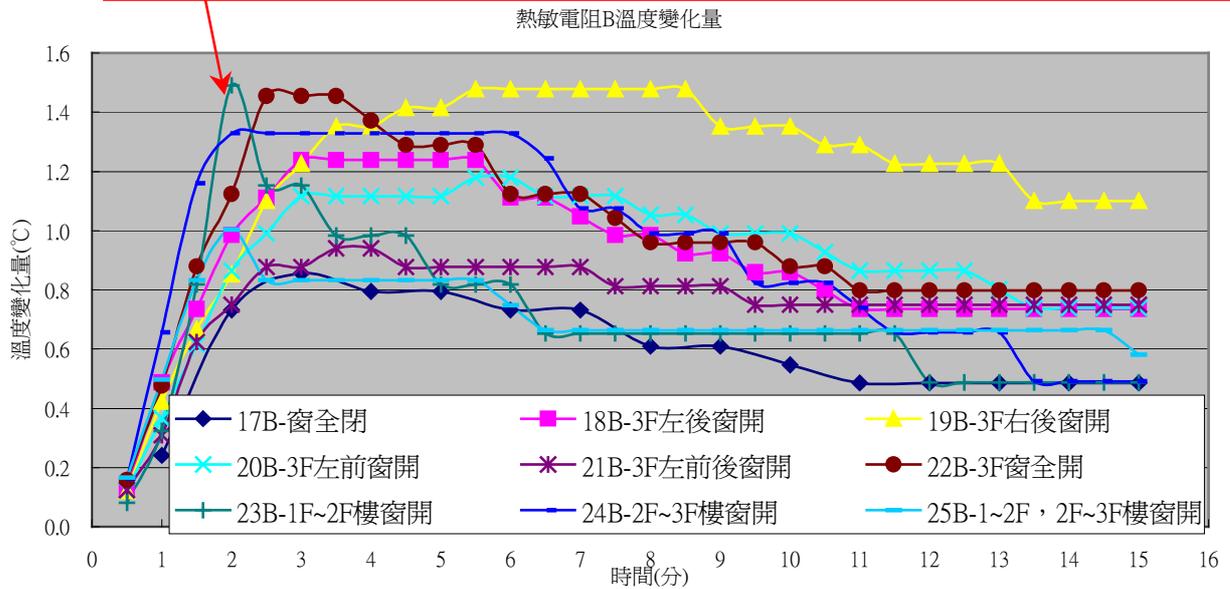
- (十三) 打開1F~2F樓梯間窗戶時，2F右側住家內的煙會快速退出如右圖(一)；打開2F~3F樓梯間窗戶時，3F右側住家內的煙，一樣由由窗口冒出，因為量少，感覺不明顯，而2F的煙較不受開窗的影響，顯示下沉的煙比上升的煙容易移動；當1F~2F及2F~3F樓梯間的窗戶同時打開時，2F~3F窗口的煙量比1F~2F窗口的煙多，但2F住家的煙又沒有明顯的退出，顯然1F~2F間的窗口會補進空氣，將煙往2F~3F的窗口趕，形成對流的現象。

- (十四)

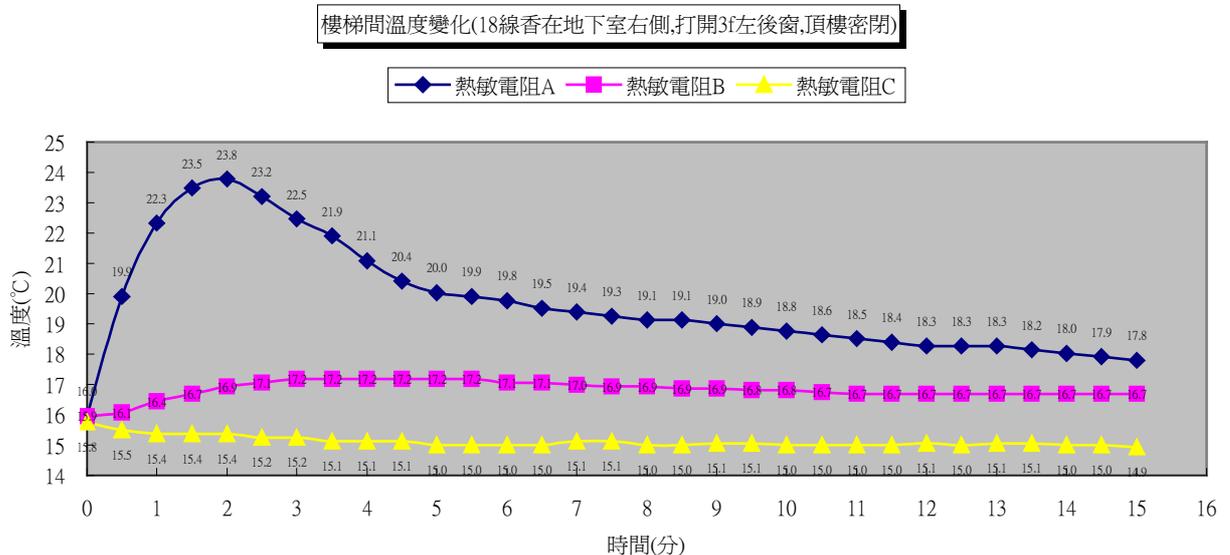


(十五)

熱敏電阻 B 放置的位置，恰好在 1F~2F 樓梯間的窗口，由曲線可知，1F~2F 窗口間的溫度下降得很明顯，顯示窗外應有溫度較低的空氣進入



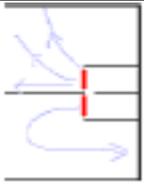
(十六) 每一次實驗的曲線與下圖類似，最接近火源的熱敏電阻A溫度的改變最明顯，當熱敏電阻A溫度下降時，熱敏電阻B、C溫度並未快速上升，顯然熱並未快速向上傳遞，應該是往各層樓的住家內部傳遞。



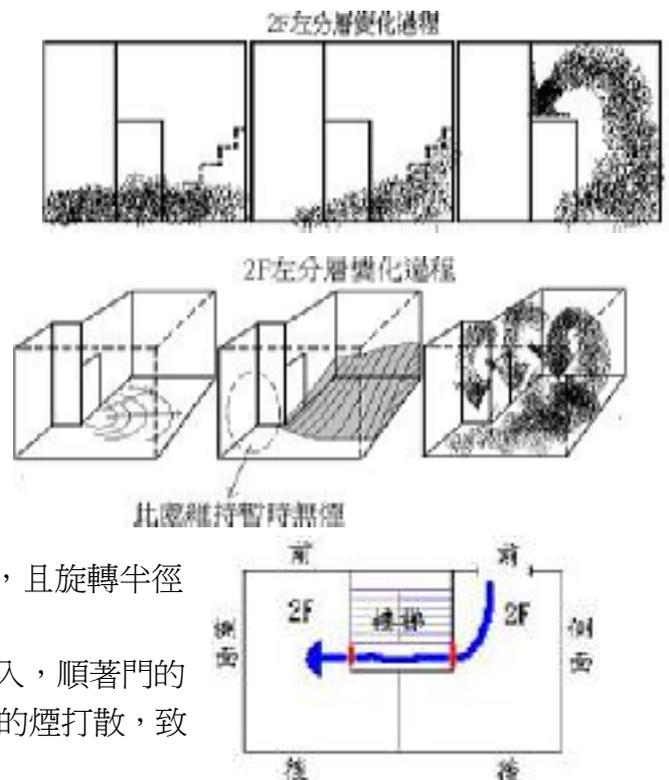
(十七) 不管是否開窗，煙進入各樓層的時間，呈現不規則的現象。

四、改變住家門的位置，觀察煙的運動狀態？

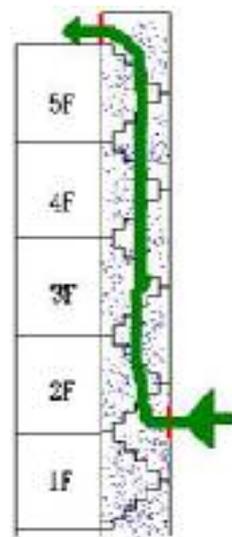
(一) 住家門的位置，似乎不會影響到樓層間煙的分佈情形，只會影響到住家內部煙的行進路徑，開正門與側門之間的差異如下：

開正門	住家內部到處是煙，較快的煙直接進入右側住家，而左側住家的煙是由 3F 回流，開窗時，煙從前窗進入，由後窗出去。	
開側門	煙由地下室往上運動時，先撞到 2F 右側住家門前的天花板後，再進入右側住家內，而 2F 左側住家的煙，來自 3F 回流的煙，先順這樓梯向下撞到牆後向左流入左側住家。	

- (二) 若樓層的窗及樓梯頂門全部密閉，則2F的煙分層時間較長，若有開窗，會有外部的空氣補進住家，會將住家內部的分層打散，形成煙霧瀰漫的現象。
- (三) 進入二樓的煙，可看得出來是二、三樓之間經由樓梯慢慢下降而來，應該是較重的氣體回流造成的。
- (四) 在完全密閉的情況下，在2F門口的煙有被吸出去的現象，應該是因為樓梯間的密閉空氣降溫、壓力降低的緣故。
- (五) 若2F右側住家開窗，空氣由樓梯間補進2F右時連帶使一些空氣進入2F左，使得分層出現變化（如圖）。
- (六) 打開 2F 右側住家前方窗戶時，由樓梯間下降的不只是煙，也有空氣，下沉的空氣進入 2F 左側住家後窗的方向，使得分層偏向 2F 左前窗，再慢慢累積到整間的地面，最後終於因對流而瀰漫。（如圖）
- (七) 打開2F窗戶時，煙進入門內後，大部份往已打開的窗戶方向移動，以降低在完全密閉時因內部溫度上升而增加的氣體壓力，打開的窗戶數量越多，煙往住家內移動的速度愈快，造成住家內的煙旋轉情形越明顯，且旋轉半徑越大。
- (八) 2F左側住家打開的前窗，會有冷空氣下沉進入，順著門的方向，進入右側住家，將右側住家明顯分層的煙打散，致使右側住家內部的煙後來是瀰漫的。
- (九) 原本進入3F住家的煙就不是很多，打開3F住家的窗戶，對3F住家內部煙的進入情形影響不大，至於對2F住家的影響雖然不大，但3F打開的窗戶，應該仍有冷空氣緩慢進入，沿著樓梯向下，由下方進入2F住家，所以2F住家煙的分層，仍有被打散的現象。
- (十) 由熱敏電阻的測量畫出的溫度改變曲線看出，每一種情況的溫度改變情況大同小異，沒有明顯的差異。
- (十一) 打開3F窗戶煙的運動情形，與打開頂樓門時煙的運動情形類似，只是3F窗口離地下室的火源近，所以空氣補充進入大樓的速度較快。



- (十二) 當頂樓門打開，窗戶全部密閉時，因為2F左側住家分層的煙消失，而使得3F左側住家內部的煙量增加，推測：所打開的頂樓門應該仍有空氣以極緩慢的速度進入大樓，順著樓梯下沉，由門的下方進入2F住家，將分層打散後，部份被打散的煙向上進入3F左側住家。
- (十三) 當頂樓門及全部窗戶皆密閉時，線香燃燒所釋放出的熱量，使得大樓內部的氣壓變大，會阻止下方的煙向上流動，此時2F住家內部有較多的煙，若將頂樓門打開，可減少大樓內部氣體的壓力，會有較多的煙向上運動，使得2F住家內部的煙量減少。
- (十四) 同時打開1~2F樓梯間窗戶及樓梯頂部門時，
- 1.產生很強的對流，會有大量的空氣由下方(1~2F間的樓梯窗)進入大樓，將煙順著樓梯往上推，部分的煙，再向上的過程中，會擴散到2~5F住家內部，又大部份的煙是由住家門的上方進入住家，所以都是煙霧瀰漫，並無明顯分層。
 - 2.當線香在燃燒時，向上氣流較強，樓頂的門會有大量的煙冒出，慢慢地，線香熄滅後，向上氣流較弱，頂樓停止冒煙，地下層的煙向上擴散，由1~2F間的樓梯窗冒出。
- (十五) 打開2F左側住家後方窗戶時，樓頂門冒的煙比打開1~2F樓梯間窗戶時樓頂冒的煙多且久，可能是：2F開窗處有空氣向下補充，所以線香燃燒時間較久，會製造較多的煙。
- (十六) 當所有住家的前後窗全部打開時，每層樓後窗補進的空氣很快由前窗冒出去，不太有機會順著樓梯向下，所以線香並未持續燃燒。



五、將線香放在三樓左側，頂樓門打開，改變窗戶的開啓狀態，觀察煙的運動狀態？

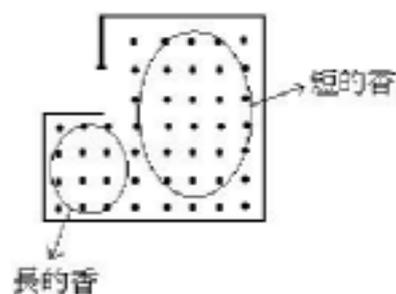
- (一) 當窗戶全部密閉樓頂門關閉時，2F住家的煙明顯分層，實驗完成後，在上層無煙處，插入點燃的線香，發現線香繼續燃燒，顯然還有氧氣的存在，所以2F住家內的人若來不及向外逃生，可盡量讓自己處在住家內的高處。

- (二) 右圖中顯示地下室煙的流動情況，煙有貼著地板行進的趨勢，所以我們懷疑，煙可能貼著樓梯向下，在接近階梯面處可能沒有空氣存在。

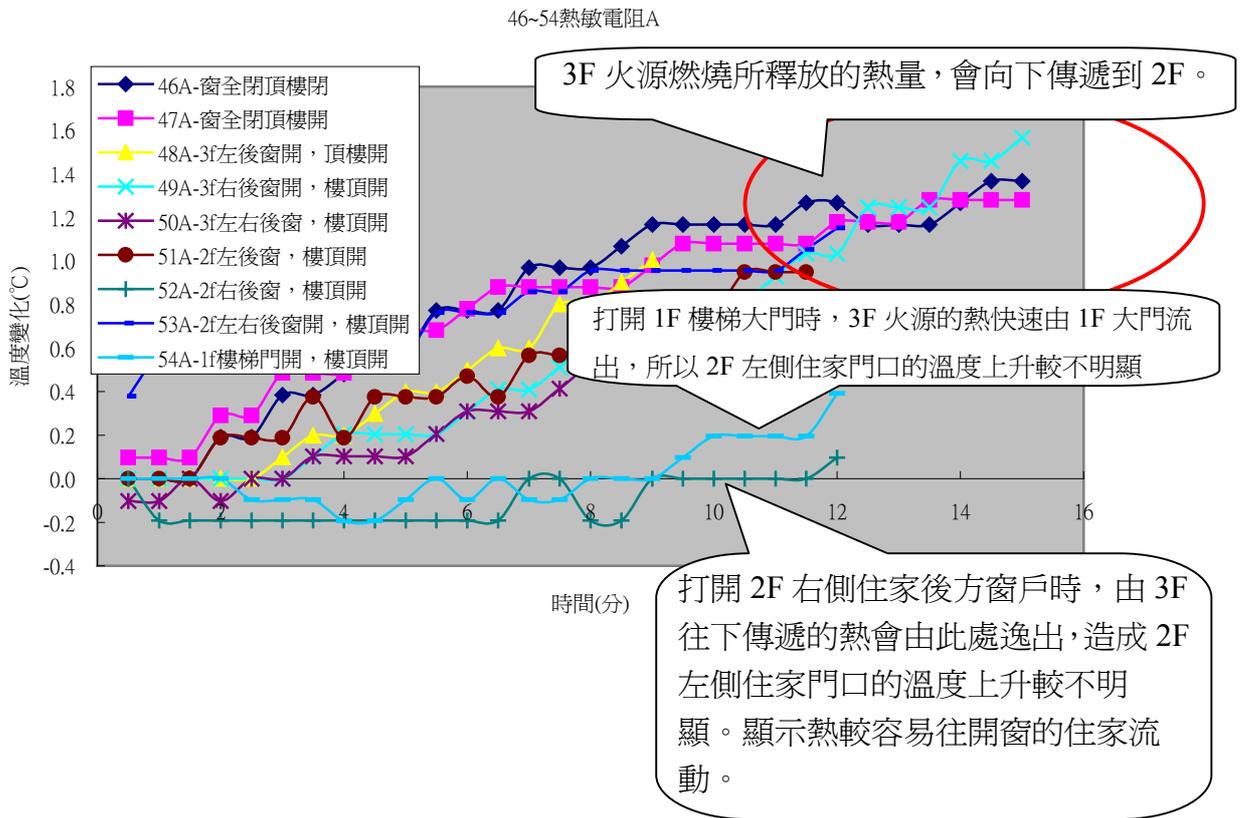


地下室煙擴散

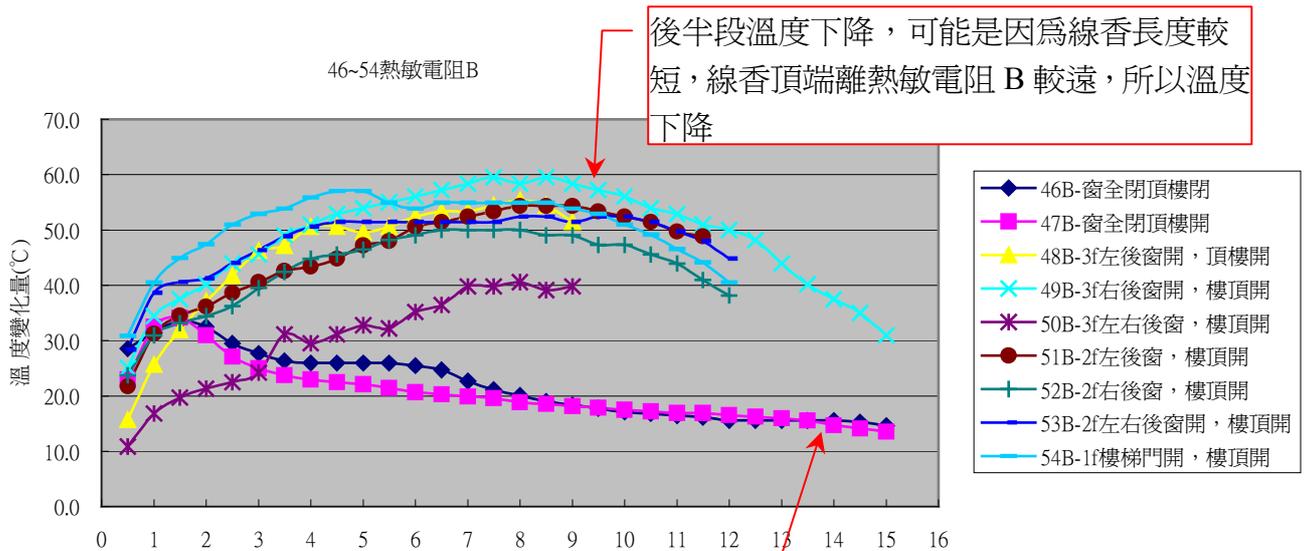
- (三) 線香在3F左側住家內部，若同時打開此住家的窗戶，會產生很強的空氣對流，煙較沒有機會進入4~5樓住家，因此4~5樓住家內部的煙較少，但3F著火處，會因燃燒太旺盛，溫度瞬間急速上升。
- (四) 如果開頂樓沒開窗戶，從頂樓出去的煙是一陣一陣的，但開窗對流旺盛，從頂樓出去是接連不斷的。
- (五) 打開3F右側住家內後窗時，因空氣由窗口補進，在門口的煙被吹往左側房住家，所以並無煙進來也無煙從窗口出去。
- (六) 3F右側住家是否開窗，直接影響3F右側及4~5樓住家內部煙的分佈狀況。
- (七) 打開2F窗戶，使得3F左側火源接近門口處的線香燃燒速度較快，顯示有空氣從2F窗戶進入，並向上補充到3F線香處。



- (八) 當打開 1F 樓梯大門時，放線香處的空氣層較少，可能是因為大門太低了，距離火源太遠，補空氣的效果不好。
- (九) 由以上幾個實驗，發現開口位於火源下方的補空氣效果較好，但是距離太遠則效果會變差。
- (十) 不管窗戶開在2F或3F，煙不會向下進入2F住家，可能是對流較旺盛，空氣由2F或3F窗戶流入住家，將煙由門推向樓梯，再由頂樓冒出，所以煙比較沒有機會到達2F。
- (十一) 在2F左側住家門口的熱敏電阻A，溫度的改變情形如下：

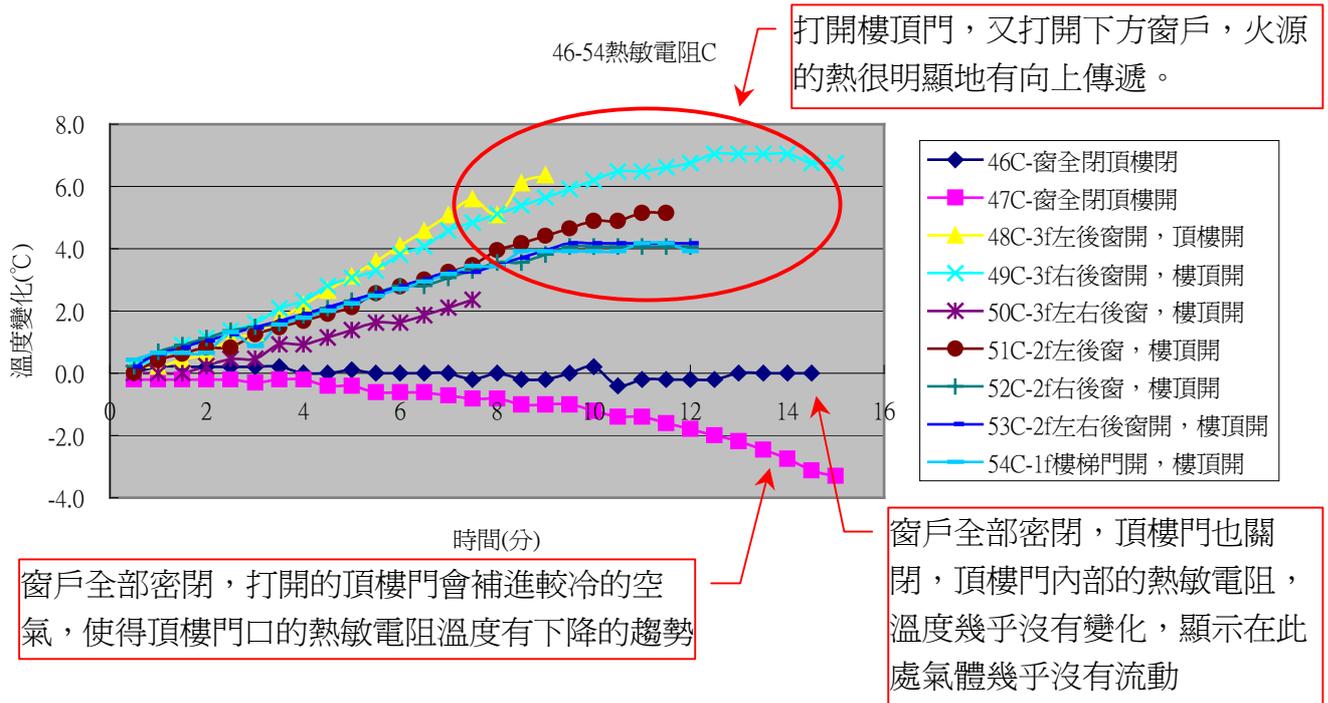


- (十二) 在3F左側住家(線香擺放處)門口的熱敏電阻B溫度變化情況如下：



窗戶全部密閉時，補進火源的空氣應該是來自各層樓住家內的空氣，量較少，所以線香燃燒較緩慢，所以溫度上升較慢。

(十三) 樓梯頂部大門處的熱敏電阻C溫度變化情況如下：



(十四) 由(十一)~(十三)中的圖表看出：

- (1) 只要發生火災的住家打開窗戶，會加快屋內的燃燒速度，約9分鐘時，線香已燒到底部。
- (2) 若發生火災的住家關閉窗戶，而隔壁大開窗戶，從窗戶補進的空氣應該是快速向上流動，而非大量補進火災現場，所以線香燃燒15分鐘時，還沒燒到底部。
- (3) 火災現場的下方住家或下方樓梯間開窗，也會加快燃燒速度，約12分時，線香燒到保麗龍底部，顯示有空氣補進火災現場。

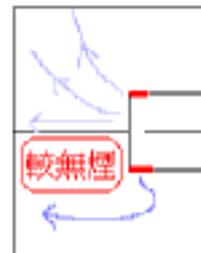
柒、結論

- (一) 在窗戶完全密閉及 1F 樓樓梯門關閉的情下，煙只到達 3F 就不再往上，所以 4~5F 的住戶可開窗或往樓頂跑等待救援，就是不要往樓下衝，因為 3F 以下的樓梯到處都是煙，可能會被噓死。
- (二) 若發生火災，且起火點在住家內較高位置，則在住家內低處仍然還有空氣可供呼吸。
- (三) 3F 開窗，從窗口進入的空氣，使得 2F 層住家原來明顯分層的煙被打散，容易讓住家內的人吸到煙，會降低 2F 的逃生機會，但會增加 3F 的逃生機會。
- (四) (1)若樓梯間打開兩扇窗，接近上方窗戶的住家內的煙，會被對流的氣流向帶到大樓外，所以可增加逃生的機會，但接近下方窗戶的住家內的煙較不易流散，可能會增加危險性。
- (2)3F 離火源較遠，住家內部的煙量較 2F 少，所以若樓梯間只開一扇窗，最好開在較低樓層(1~2F 間)，可以使 2F 住家內部的煙快速退出住家，同時也可使 3F 住家內部的煙退到門外。
- (3)打開樓梯間窗戶時，最好不要打開樓頂門，若打開樓頂門，強烈的對流使得煙快

速向上流動，會讓煙跑進 3~5F，會使上層樓的住戶生命受到威脅。

以上狀況，以第二種情形對大樓內的人有較大的幫助。

- (五) 門開在住家正門與開在側門，對煙的運動狀況影響不大，所以建築師在建造此類大樓時，門的方向可以不用考慮。
- (六) 選購房子時，到底是要選左側住家或右側住家？依照實驗觀察，差異不大，不過選擇左側住家，且開側門，在打開窗時，躲在右圖中的位置，比較能增加逃生的時間。
- (七) 一般人發現別人家著火，會有打開窗戶尋找火源的動作，若自己住家著火，請不要打開窗戶，若打開窗戶，會產生很強的氣流，使火勢更旺盛，增加逃生的困難。當無法自行控制火勢時，應該緊閉窗戶，打開門快速向樓下逃生而不要往上跑。
- (八) 2F 住家若發現 3F 發生火災，可以打開窗戶，若頂樓門有打開的話，2F 會有一股很強的向內氣流，與樓頂形成對流，2F 就不會有煙進入，但為了安全起見，2F 住戶應以站立的姿勢迅速往樓下逃生。
- (九) 若發現鄰居發生火災，應迅速打開窗戶，如此煙就比較不會進入，但有空氣從窗戶進到屋內，將煙趕向發生火災的住家，若你的鄰居逃生不夠快的話，會因為你的開窗而增加對方的危險性。
- (十) 3F 發生火災，4~5F 的住戶是最危險的，假如打開窗戶，而樓下有住家也打開窗戶，又會形成向外的氣流，樓梯間的煙會加速進屋內，危險性更高，即使不打開窗，也會有煙進入屋內，所以開窗對他們的幫助不大；那是要往上或往下逃生呢？往下逃生會遇到正在上升的煙，除非能確定此煙濃度不會讓你窒息，否則快速向上跑到樓頂，並迅速源離樓梯上方出口，等待消防隊將 3F 大火熄滅再下樓，或是從其他棟樓梯迅速下樓。
- (十一) 當發生火災時，要冷靜判斷火災發生的樓層，才能決定自己的逃生路線，唯有冷靜才有機會救自己及家人的命。



捌、參考資料

- 一、第 42 屆全國科展作品國中組化學科”微波觀點”作品中，熱敏電阻的校正。

評語

本案探討氣流、溫度與煙塵擴散關係，創意及科學方法良好，唯因實驗條件及方法較為複雜，故不易進行量化的統計，或從實驗結果歸納出氣流擴散的原理。建議後續可更深入探討外部環境及 scale-up 的影響。