

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學(一)科

082825

咻咻咻！發發發！神明點鈔機—環保大變身

學校名稱： 新北市林口區麗林國民小學

作者： 小四 游宇頌 小四 彭裕恆 小四 張皓婷 小六 游睿晨	指導老師： 黃紫屏 許銷麟
---	-----------------------------

關鍵詞： 煙囪效應、熱對流、金爐

摘要

因觀察寺廟金爐自動吸入紙錢，故本研究以鐵罐及壓克力分別製作並改良了數代小型金爐，使用手機慢速攝影紙錢被吸入自製金爐中的情形，再用 Adobe 軟體分析影片中紙錢飛入的軌跡變化並記錄時間；發現最快被吸入的紙錢，是以紙錢某邊為支點，形成力矩，再翻轉被吸入金爐內部；此外，紙錢在對折、向外凸出爐門邊太多或與爐門底部間有空隙等情況下，均無法順利被吸入；而金爐本身和爐門的設計，也會影響煙囪效應的強弱。最後以 Micro:bit 製作了神明「發」鈔機，在金爐煙囪效應微弱時，此機器可快速發射紙錢，協助神明點鈔機中紙錢更快飛入金爐；期待本研究可提供香客更環保、更有效率燒完紙錢的方式。

壹、研究動機

放假全家去林口竹林山寺拜拜，我看到有一位阿伯把紙錢放到爐門，紙錢就自動吸到金爐裡面去了，我以為是風吹進去，但是我走到大殿附近，卻沒有風，只有金爐附近才會有氣流，難道神仙不是住在大殿裡，而是住在金爐裡？金爐裡真的有神明在收紙錢嗎？所以我們從紙錢和金爐兩部分進行探討以上現象，希望可以透過物理實驗，來解釋紙錢自動飛入金爐的神蹟，並製作神明發鈔機，希望讓大家以後去拜拜可以既快速、又環保的燒完紙錢。

貳、研究目的

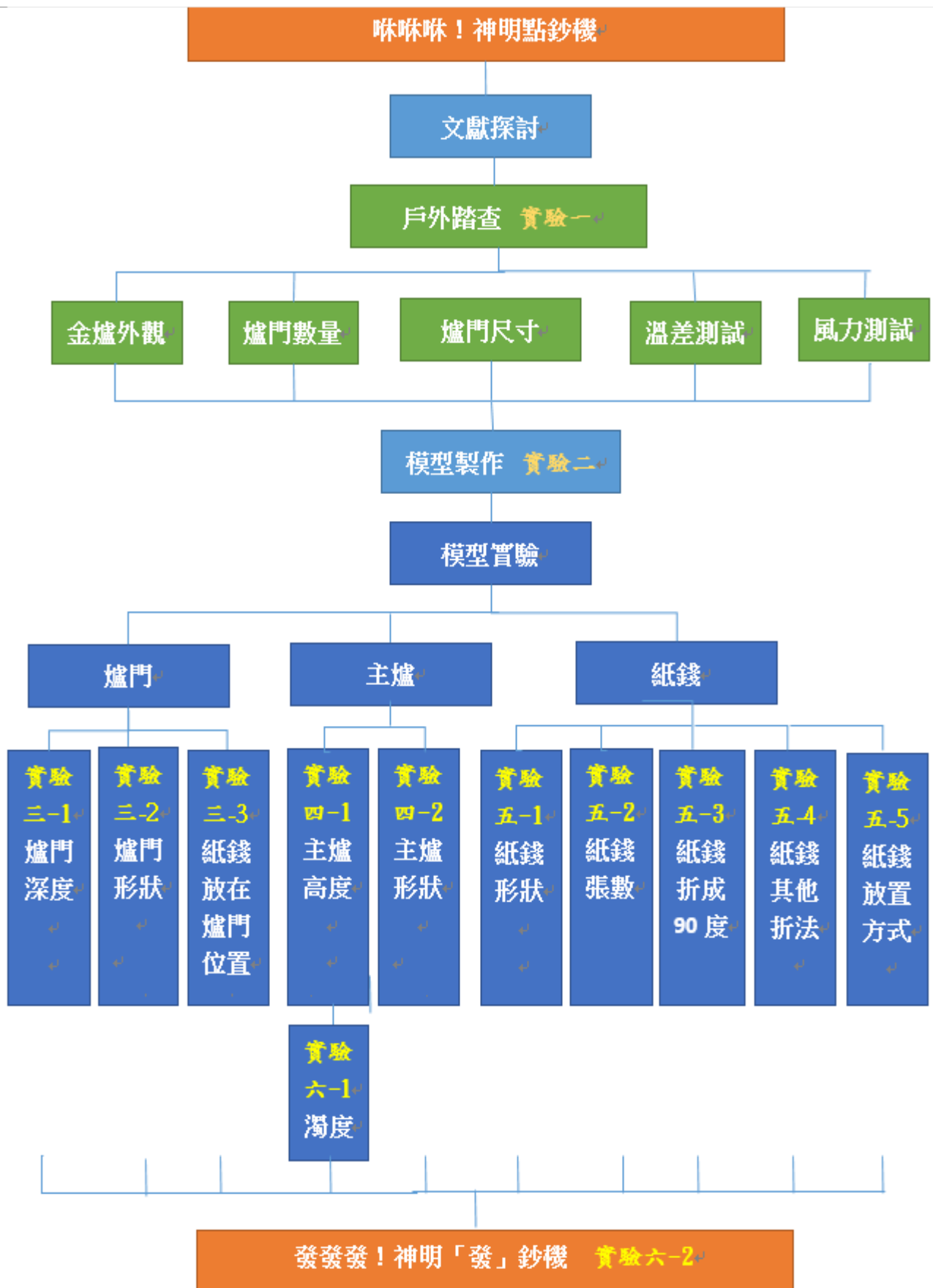
- 一、金爐的戶外踏查。
- 二、自製小金爐。
- 三、探討自製金爐之爐門設計，對紙錢被吸入的影響。
- 四、探討自製金爐之主爐設計，對紙錢被吸入的影響。
- 五、探討自製金爐之紙錢放置方式，對紙錢被吸入的影響。
- 六、提供更快速、環保燒完紙錢方式之建議與裝置。

參、研究設備及器材

- 一、金爐部分：奶粉鐵罐、排油煙管、白熾燈泡、壓克力箱、塑鋼土、電腦風扇、開瓶器、行動電源、八寶粥鐵罐、鐵鎚、鋁箔膠帶、防撞泡棉、鑽孔器。
- 二、紙錢部分：寺廟用金紙、自然習作附件廢紙
- 三、其他部分：剪刀、刀片、風力計、手機、手機腳架、延長線、鐵尺、皮尺、筆電、便利貼、紅外線測溫槍、棒狀溫度計、三角板
- 四、發鈔機裝置：Micro:bit 元件、風力感測器、撲克牌發牌機

肆、研究架構、方法與結果

一、研究架構



二、文獻探討：

(一) 煙囪效應

指戶內空氣沿著有垂直坡度的空間移動，造成空氣對流的現象。最常見的煙囪效應是火爐運作時，產生的熱空氣隨著煙囪向上昇，在煙囪的頂部離開，同時將戶外冷空氣從下方窗戶引入室內。而煙囪效應的強度，取決於煙囪的高度、戶內及戶外溫差，和戶內外空氣流通的程度有關 (維基百科，2022)。

(二) 熱對流

熱的傳播方式之一。流體受熱後，因體積膨脹、密度變小而上升，而冷的流體則因密度較大而下降，會形成循環，稱為對流 (翰林雲端學院，無日期)。在國小六年級自然課本中，提及氣體的對流為：溫度較高的氣體會上升，溫度較低的氣體會下降，不停的循環造成的空氣流動。

(三) 歷屆全國科展相關之研究內容

屆別組別	作品名稱	研究工具與方法
第 36 屆 (民國 85 年) 初小組 地球科學科	神奇數銀機—金爐	有些實驗以自製空氣對流箱或玻璃管測量煙或紙片飛出的時間，部分實驗以字典代替紙錢，實際去廟宇實測；有些則以電風扇吹向保麗龍製的金爐，藉由課本簡易風向風力計觀察棉線與竹棒之夾角。

三、研究方法、結果與發現

為了得知紙錢被吸進去的機制，我們除了親自去廟裡做實驗、訪問製作金爐的公司、也查閱文獻，再自製金爐搭配煙霧進行測試，並用手機攝影觀察，歷經長時間的測試，過程中也不斷改良許多細節。藉此，我們將紙錢在不同變因下，在不同金爐後所測的時間或風速等，進行比對探討，最後並進一步製作了神明發鈔機。

實驗一 【金爐的戶外踏查】



圖 1 手捧紙錢自動被吸入 (照片由第一作者拍攝)

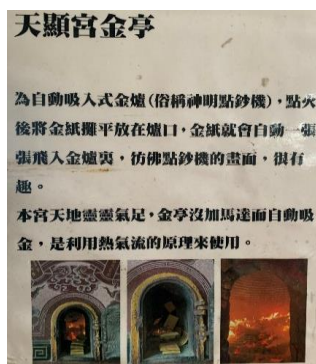


圖 2 天顯宮金爐上告示 (照片由第一作者拍攝)

1. 調查：主爐及爐門的尺寸

我們請教廟方金爐高度，因年代久遠，他們都不知金爐多高。另外，爐門都是類似海盜船的寶物箱設計，下方是長方柱狀、上方是半圓柱狀體，外面有鐵門可閉合。天顯宮金爐外，還貼了一張標榜是自動吸入式金爐的告示。

2. 測量：爐門前溫度、風速及吸入的紙錢高度。



圖 3 測量風速
(照片由第一指導老師拍攝)






圖 4 竹林山寺雙爐門
(照片由第四作者拍攝)

我們發現寺廟的爐門都不只一個，開門個數也不盡相同，我們使用風力計和紅外線測溫槍，每隔 3 分鐘，測量爐門前的以及爐內外的溫度，並同時放一疊 1.7 公分厚的紙錢，平貼爐門口，紀錄 10 秒內被吸入紙錢的高度；最後用 excel 計算出溫

差，並將溫差由小到大排列，分別繪製出風速及吸入紙錢的關係圖表。

表 4-1 寺廟戶外踏查

		林口 竹林山寺					基隆 天顯宮					
爐高 / 爐門		爐高：約 17 公尺 爐門：共 3 個， 當天開 2 個，開門 方向分別向南方、 西方。						爐高：因當天天候 不佳，無法 測量。 爐門：共 2 個， 當天只開 1 個。開 門方向分別向南方、 西南方。				
		圖 5 竹林山寺 (照片由第一作者拍攝)						圖 6 天顯宮 (資料來源：天顯宮網站)				
爐門 尺寸		爐深：100 公分 爐弧高：84 公分 爐直高：57 公分 爐寬：62 公分						爐深：66 公分 爐弧高：38 公分 爐直高：30 公分 爐寬：24 公分				
		圖 7 金爐尺寸 (照片由第一作者拍攝)						圖 8 金爐尺寸 (照片由第一作者拍攝)				
	爐內 溫度 (°C)	爐外 溫度 (°C)	爐口 風速 (m/s)	被吸 紙錢 (cm)	備註	爐內 溫度 (°C)	爐外 溫度 (°C)	爐口 風速 (m/s)	被吸 紙錢 (cm)	備註		
第一次	57.2	21.8	1.1	0.5		227	13	2.5	1.0			
第二次	50.5	21.8	0.9	0.3		805	13	6.6	1.7			
第三次	56.8	21.8	1.2	0.4		269	13	2.7	1.2			
第四次	54.6	21.9	1.0	0.4		165	13	2.5	0.9			

第五次	286.9	28	2.1	1.0	香客丟 整把	555	13	4.4	1.6	
第六次	118	21.8	1.9	1.2		324	13	2.9	1.5	
第七次	115	21.8	1.7	1.1		441	13	3.2	1.7	
第八次	107	21.8	1.6	1.1		420	13	3.0	1.7	
第九次	104	21.8	1.4	0.9		211	13	2.4	0.9	
第十次	130	21.8	2.4	1.2		453	13	3.3	1.7	
平均	108	22.43	1.53	0.81		387	13	3.35	1.41	

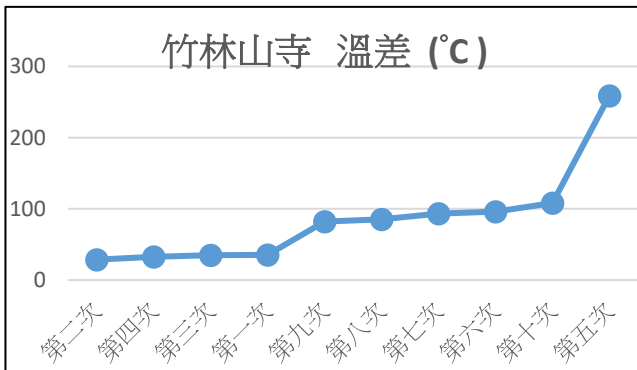


圖 9 溫差圖：爐內溫度減爐外溫度
(由第一指導老師統計繪出)

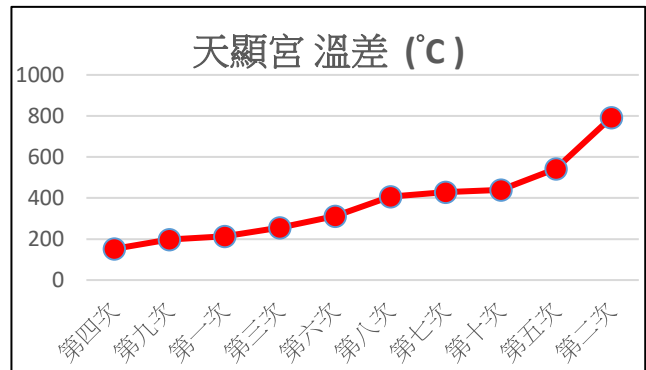


圖 10 溫差：爐內溫度減爐外溫度
(由第一指導老師統計繪出)

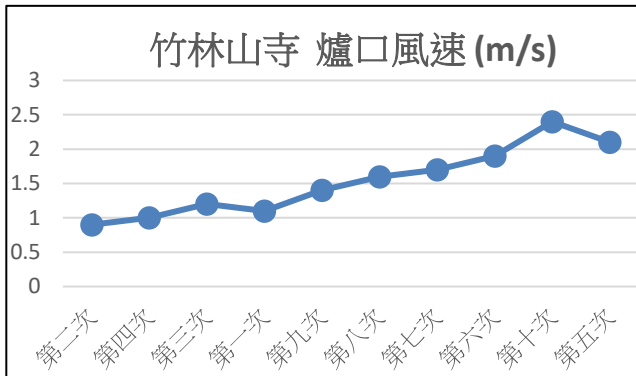


圖 11 爐口風速 (由第一指導老師統計繪出)

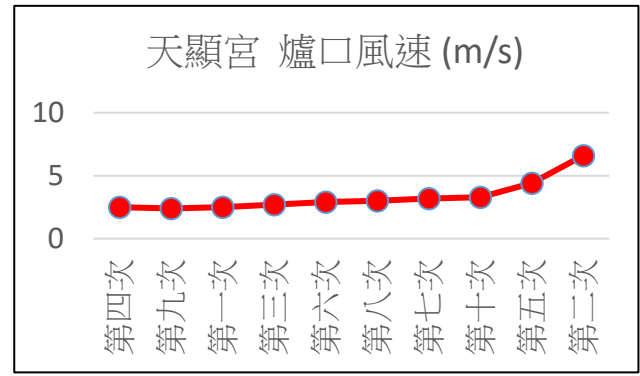


圖 12 爐口風速 (由第一指導老師統計繪出)

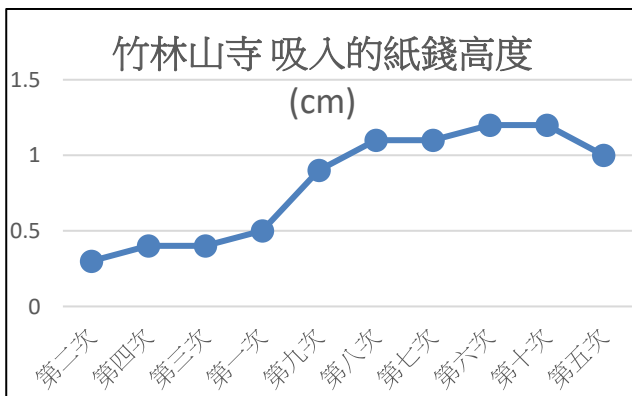


圖 13 吸入紙錢高度 (由第一指導老師統計)

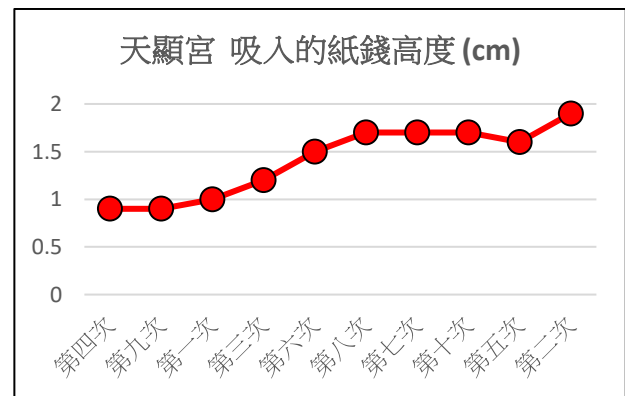


圖 14 吸入紙錢的高度 (由第一指導老師統計)





實驗結果：綜合以上兩表，我們發現：

- (1)竹林山寺的主爐高度、爐門大小，都比天顯宮大。
- (2)兩寺廟金爐都有神明點鈔機的自動吸鈔功能，但是天顯宮威力較強。
- (3)以上十次實驗結果，依溫差由小到大排列，發現兩廟都有溫差越大，爐口風速和燒掉的紙錢高度，大致都呈現正比的趨勢。
- (4)天顯宮實驗當天因寒流來襲，紙錢很難點燃，金爐內的紙錢也容易熄火，但一旦點燃，不論是溫差、風速、和燒掉的紙錢高度，都比林口竹林山寺較佳。但因竹林山寺開了雙爐門，天顯宮只開了一個，當天天氣狀況及爐門大小也不同，所以難判斷天顯宮吸金速率強的原因，是因為爐門數量少？爐門小？還是像告示牌及網站介紹所說的，金爐是有經過特殊設計。

實驗二 【自製金爐及測試】

表 4-2 各階段金爐之比較

(以下圖示皆由第一指導老師拍攝)

名稱	第一代金爐	第二代金爐	第三代金爐	第四代金爐
圖片				
圖片說明	用奶粉鐵罐和排油煙管，製作了如上圖的金爐，並在裡面放上點燃蠟燭。(照片由第一作者拍攝)	延續第一代外觀，但裡面蠟燭換成白熾燈泡加上燈泡座。(照片由第一作者拍攝)	為了實驗變因，想要加熱空氣，所以改良第二代，裡面放了五根點燃的蠟燭。(照片由第一作者拍攝)	為了觀察紙錢，利用壓克力訂製爐門及爐身，爐身最上方再放置抽風機並接上行動電源。(照片由第一作者拍攝)

1. 第一代金爐

如圖 4-15，我們利用鐵罐來製作金爐，裡面使用點燃蠟燭製造溫差，但卻發現實驗有危險，例如：燃燒中蠟燭傾倒無法立即扶正、鐵罐不透明不利觀察，而且發現其實紙錢無法被吸入爐內，判斷應該是蠟燭所產生的氣流較弱，無法使金爐吸入紙錢，於是我們便著手進行第二代量測工具的開發與設計。

2.第二代金爐

就在我們苦思不知如何之際，突然想起以前養小雞會用燈泡讓小雞取暖，為了安全，我們將蠟燭改成了燈泡，但紙錢仍無法被吸入爐內，應該是燈泡所產生的熱更遠遠不如蠟燭，無法製作出煙囪效應所需的溫差。但我們相信即使是燈泡，仍應該有微小氣流，所以我們在暗室利用蚊香製作煙霧，發現即使在燈泡這種溫差不大的情況下，煙霧仍被吸入爐中，煙囪效應仍存在，如右圖 19，這結果大大振奮了我們！所以我們決定改良做出可觀察內部變化，但又可以固定溫差或風速的下一代金爐。



圖 19 煙被金爐口氣流吸入 (照片由第一指導老師拍攝)

3.第三代金爐

以下實驗，我們同時使用第三代和第四代金爐，因為有些實驗仍必須加熱空氣，無法使用第四代壓克力箱，所以我們改良了第二代，將最下方的奶粉罐去底，解決了蠟燭在裡面傾斜燃燒無法馬上熄滅或扶正的危險。

4.第四代金爐

- (1) 為了方便觀察紙錢在金爐內部吸入情形，故以壓克力取代鐵罐，作為金爐模型之一。
- (2) 為了解決蠟燭或燈泡造成的溫差浮動，無法固定溫差的元素，我們決定在金爐頂端加裝電腦風扇，來模擬煙囪效應中，爐內外溫差所形成的風。綜合以上，我們製作出如上圖 18 的壓克力金爐。

實驗三 - 1 【探討自製金爐之爐門深度對紙錢被吸入的影響。】

實驗說明：以咖啡小鐵罐取代第三代原本的爐門口的八寶粥鐵罐，製成金爐的爐門，模擬總長分別為 1 到 6 個咖啡罐的爐門深，再分測量其溫度及風速。

實驗動機：金爐的爐門都很深，這是有原因的嗎？






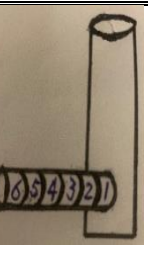
實驗器材：鐵罐製金爐(咖啡小鐵罐)、棒狀溫度計、風速計、蠟燭、培養皿、打火機

實驗步驟：1.培養皿立上五根蠟燭，點燃後，分別放入不同爐門深度的金爐內。

2.測量金爐內外溫度及風速。

表 4-3 爐門深度 / 風速、溫度

(以下圖示皆由第一指導老師拍攝)

爐門鐵罐 個數/長度	1 個鐵罐 8.2cm	2 個鐵罐 16.4cm	3 個鐵罐 24.6cm	4 個鐵罐 32.8cm	5 個鐵罐 41.0cm	6 個鐵罐 49.2cm	
圖 示							
爐門 口 風 速 m/s	第一次	1.0	1.2	1.1	1.4	1.4	1.0
	第二次	1.1	1.3	1.3	1.4	1.3	0.9
	第三次	1.0	1.2	1.2	1.5	1.3	0.9
	第四次	0.9	1.1	1.2	1.4	1.3	1.1
	第五次	1.1	1.1	1.3	1.3	1.2	1.1
	平均	1.1	1.18	1.22	1.4	1.3	1.0
主 爐 上 方 風 速 m/s	第一次	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
	第二次	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	第三次	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	第四次	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	第五次	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
	平均	0.04	0.06	0.1	0.1	0.1	0.1
爐門口 溫度 (°C)	23	24	24	26	25	25	
爐內溫度 (°C)	31	31	32	33	33	30	
主爐上方 溫度 (°C)	69	71	72	74	70	51	

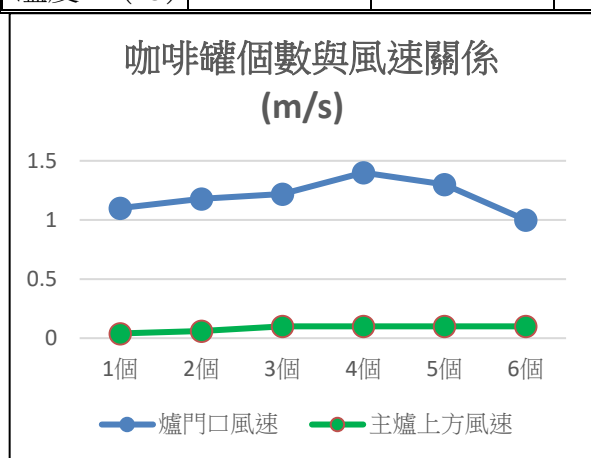


圖 20 鐵罐個數與風速關係
(由第一指導老師統計繪圖)

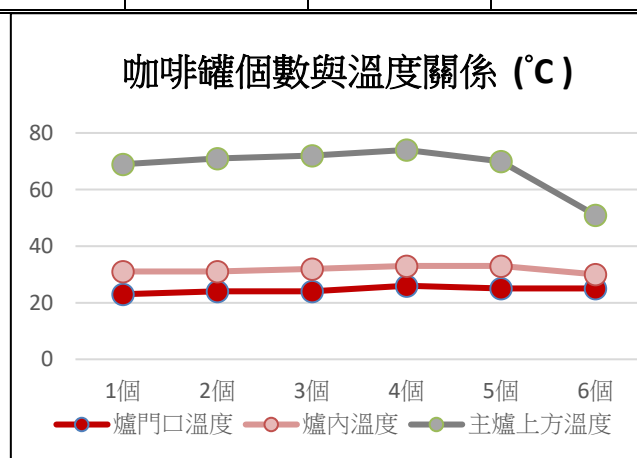


圖 21 鐵罐個數與溫度關係
(由第一指導老師統計繪圖)

實驗結果：

※風速方面

- (1)特定範圍內，爐門越深，爐門口風速越快，可推測紙錢被吸入速度也越快。
- (2)承(1)，爐門深度不是越深越好，第四罐時爐門口吸入風速最快，但第五罐後則減緩，
這與第 36 屆科展作品實驗結果指出爐門深要越深越好，結果稍有不同。
- (3)爐門越深，主爐上風速有微微加快，但第三罐後就維持一定微弱的風速。

※溫度方面

- (1)爐門越深，爐門口溫度微微上升，第四罐時溫度最高，但第五罐後則降低。
- (2)爐門越深，主爐上方溫度越高，第四罐時溫度最高，但第五罐後則降低。
- (3)爐門越深，主爐內溫度稍稍越高，第四和五罐時溫度最高。

實驗三 - 2 【探討自製金爐之爐門形狀，對紙錢被吸入的影響。】

實驗說明：以壓克力箱製金爐，爐門在同面積、不同形狀下，測量紙錢飛入爐內時間。

實驗動機：觀察幾乎所有金爐的爐門都呈現拱門形，想知道這是考量燒紙錢的速度？進風量？還是純粹只是造型？

實驗器材：壓克力製金爐、附件紙錢、手機、腳架、筆電、電腦風扇

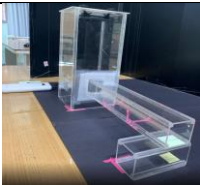

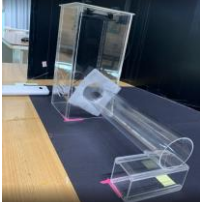
實驗步驟：1. 壓克力箱(主爐)蓋上電腦風扇，風扇接上並開啟行動電源。

2. 將附件紙錢分別放在爐門形狀為正方形、房屋形、圓形的爐門口。

3.以手機錄影，並以筆電使用 Adobe 編輯影片，紀錄紙錢飛入金爐所需時間。

表 4-4 爐門形狀 / 紙錢被吸入所需時間

(以下圖示皆由第一作者拍攝)

爐口形狀	圖示	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均秒數 (s)	平均速率 (cm/s)
正方形		0.02	0.02	0.04	0.03	0.04	0.03	1000
房屋形		0.03	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	750
圓形		0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.048	625

實驗結果：(1)爐門以「正方形」時，紙錢被吸入速度最快，「房屋形」次之。

(2)圓形爐門因紙錢下方有長長的空隙，反而讓紙錢飛不高，紙錢起飛後容易因高度不夠，飛了沒多久就會去撞到地板，在地上拖行。

(3)另外，我們還發現：紙錢要凸出爐門至少 0.2 公分以上，才會被吸入；若整個平貼在底部，紙錢則毫無動靜，所以之後實驗，若無特殊說明，紙錢皆外凸 0.2 公分。

(4)也發現：紙錢像體操選手一樣，以某邊為支點，形成力矩，再翻滾被吸入金爐內。我們將錄影用慢動作播放，下方連續圖是一面黃色、另一面白色的紙錢，由右飛到左，截圖如下：

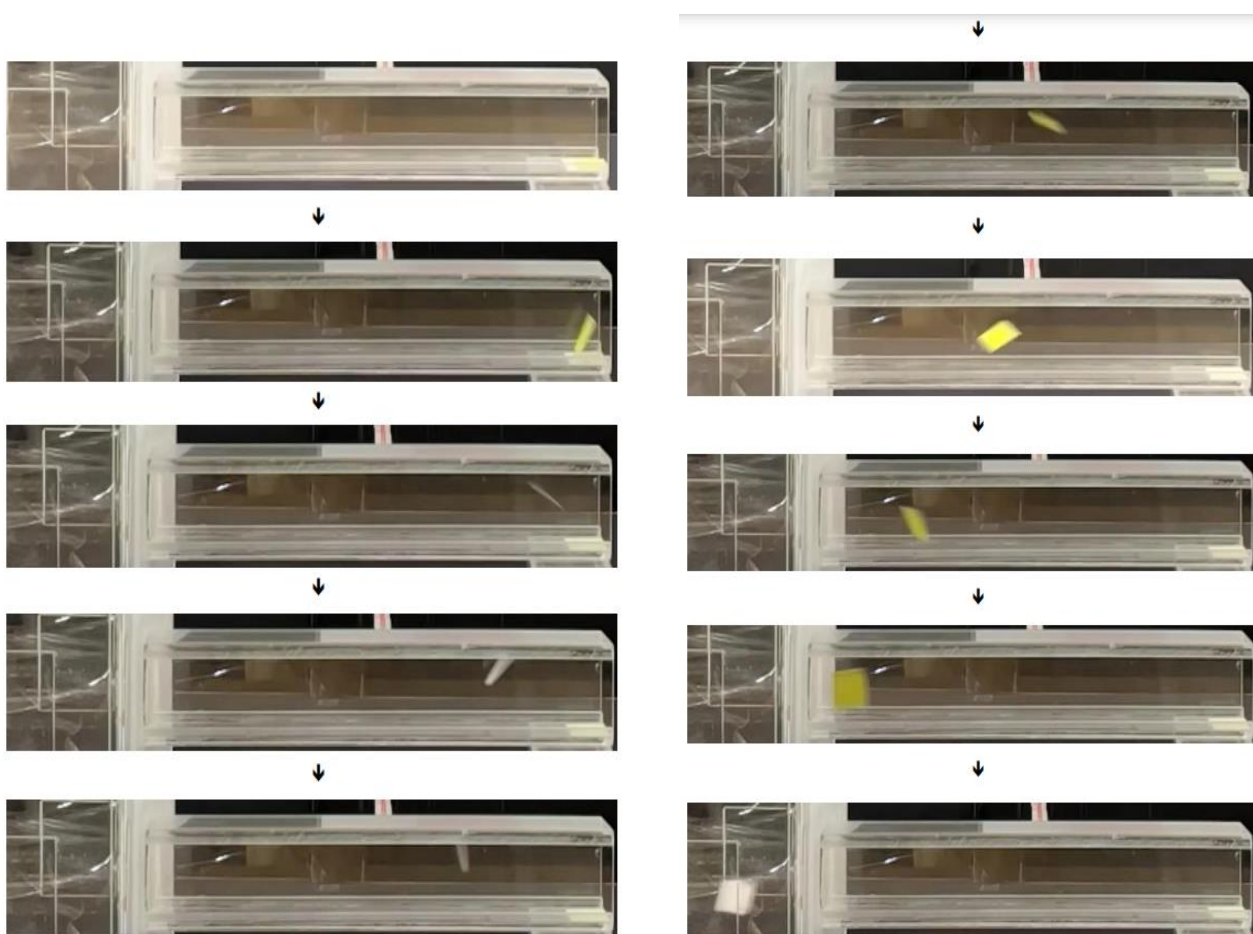


圖 22 紙錢慢動作播放、飛入壓克力製金爐情況 (照片由第一指導老師截圖提供)

實驗三-3 之 1 【探討**星星狀紙錢**放置在**爐門內的位置**，對紙錢被吸入的影響。】

實驗說明：以壓克力箱製成金爐，將紙錢分別放在爐門管徑中的前、中、後段，分別測量紙錢飛入爐內所需時間。

實驗動機：依據實驗三-1，我們將紙錢放在較長的深爐門，飛入較快；所以想知道，若爐門深度不變，將紙錢分別放入前中後段不同位置，是否會影響紙錢飛入速度。

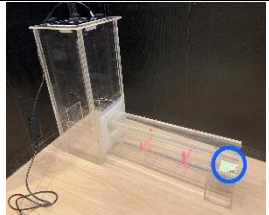
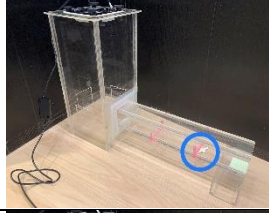
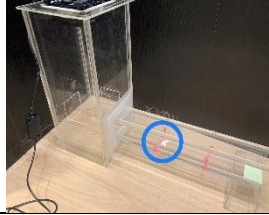
實驗器材：壓克力製金爐、附件紙錢、手機、腳架、筆電、電腦風扇

實驗步驟：1. 壓克力製金爐蓋上電腦風扇，風扇接上並開啟行動電源。

2. 見下方實驗將附件紙錢折成**星星狀**，白肚向左(爐內)，分別放在爐門管徑的前、中、後段。

3. 手機錄影，並以筆電使用 Adobe 編輯影片，紀錄紙錢飛入金爐所需時間。

表 4-5 爐門內位置 / 星星紙錢被吸入所需時間 (以下圖示皆由第一作者拍攝)

紙錢離爐內	圖示	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均秒數 (s)	平均速率 (cm/s)
30 公分 (在前段)		0.08	0.02	0.08	0.08	0.02	0.056	535
20 公分 (在中段)		0.04	0.05	0.06	0.03	0.06	0.048	417
10 公分 (在後段)		0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.032	312
補充說明	星星狀紙錢幾乎都是被拖行的。							

實驗結果：(1)星星狀紙錢放在爐門「前段」時，紙錢被拖入、吸入速度最快。

實驗三-3 之 2 【探討**小腳蛙狀紙錢**放置在**爐門內位置**，對紙錢被吸入的影響。】

實驗說明：以壓克力箱製成金爐，將紙錢分別放在爐門管徑中的前、中、後段，分別測量紙錢飛入爐內所需時間。

實驗動機：因實驗三-3 之 1 星星實驗與第 36 屆科展作品實驗結果不符，**第 36 屆科展作品**指出在爐門中央風力最強，所以我們用其他形狀再做一次。

實驗器材：壓克力製金爐、附件紙錢、手機、腳架、筆電、電腦風扇

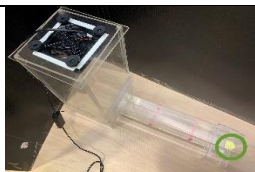

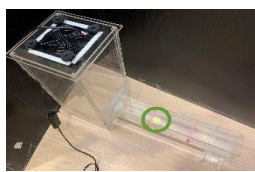
實驗步驟：1. 壓克力製金爐蓋上電腦風扇，風扇接上並開啟行動電源。

2. 將附件紙錢折成**小腳蛙狀**，雙腳向右，分別放在爐門管徑的前、中、後段。

3. 手機錄影，並以筆電使用 Adobe 編輯影片，紀錄紙錢飛入金爐所需時間。

表 4-6 爐門內位置 / 小腳蛙紙被吸入所需時間

(以下圖示皆由第一作者拍攝)

紙錢離爐內	圖示	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均秒數 (s)	平均速率 (cm/s)
30 公分 (在前段)		0.03	0.03	0.01	0.03	0.02	0.024	1250
20 公分 (在中段)		0.06	0.07	0.06	0.06	0.04	0.058	344
10 公分 (在後段)		0.05	0.05	0.06	0.04	0.05	0.05	200
補充說明	小青蛙紙先被拖行約 8 公分後，再騰空翻滾飛入。							

實驗結果：(1)小青蛙紙錢放在爐門「前段」，紙錢被吸入速度最快。

(2)此實驗與實驗三-3 之 1 的星星狀結果相同，都是前段最快被吸入。

實驗四 - 1 之 1 【探討自製金爐之**主爐高度**對紙錢燃燒的影響。】

實驗說明：以壓克力箱製成金爐，將紙錢分別放在主爐高度為 60 公分和 30 公分的爐門口，分別測量紙錢飛入爐內所需時間。

實驗動機：維基百科說，主爐越高，煙囪效應越強，但我們想不可能無限制一直往上都越來越強，我們想試試看是否有高度限制。

實驗器材：壓克力製金爐、附件紙錢、手機、腳架、筆電、電腦風扇



實驗步驟：1. 壓克力製金爐蓋上電腦風扇，風扇接上行動電源。

2. 將附件紙錢，分別放在主爐高度為 60 公分和 30 公分的爐門口。

3. 手機錄影，並以筆電使用 Adobe 編輯影片，紀錄紙錢飛入金爐所需時間。

表 4-7 主爐高度 / 紙錢飛入所需時間

(以下圖示皆由第一作者拍攝)

實驗次數	圖示	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均秒數 (s)	平均速率 (cm/s)
高主爐 (60 公分)		0.06	0.07	0.08	0.08	0.06	0.07	428.5
低主爐 (30 公分)		0.02	0.02	0.04	0.03	0.04	0.03	1000

實驗結果：(1)出乎意料，「低主爐」吸入時，紙錢被吸入速度最快。

(2)與煙囪效應理論不符。

實驗四-1之2 【探討自製金爐之主爐高度對紙錢燃燒的影響。】

實驗說明：以奶粉鐵罐製成金爐，將紙錢分別放在主爐高度，增加1到9個奶粉罐的爐口，分別測量紙錢飛入爐內所需時間。









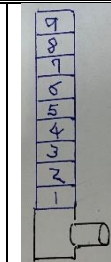
實驗動機：根據實驗四-1之1之實驗結果，主爐越高，紙錢被吸入的速度卻未增快，考慮到煙囪效應若已經改變金爐結構，就不能只用一個或相同的風扇來模擬實驗，於是我們改回用第三代鐵罐製金爐來作實驗。

實驗器材：鐵罐製金爐、棒狀溫度計、風速計、蠟燭、培養皿、打火機

實驗步驟：1.培養皿立上五根蠟燭，點燃後，放入自製鐵罐金爐內。

2.測量金爐內外溫度及風速。

表 4-8 主爐高度 / 風速、溫度 (以下圖示皆由第一作者拍攝) 備註：當日氣溫 23°C。

加上 鐵罐個數	1個 33.1cm	2個 49.4cm	3個 65.7cm	4個 82cm	5個 98.3cm	6個 114.6cm	7個 130.9cm	8個 147.2cm	9個 163.5cm	
圖示										
爐 門 口 風 速 m/s	第一次	0.9	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4
	第二次	0.6	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5	1.5	1.5
	第三次	0.8	1.0	1.2	1.2	1.2	1.3	1.5	1.4	1.4
	第四次	0.7	0.9	1.2	1.2	1.3	1.4	1.5	1.5	1.5
	第五次	0.6	1.0	1.1	1.2	1.2	1.4	1.4	1.5	1.4
	平均	0.72	1.02	1.16	1.22	1.26	1.36	1.46	1.46	1.44
主 爐 上 方 風 速 m/s	第一次	0	0	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
	第二次	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.5	0.2	0.3	0.3
	第三次	0.1	0	0.2	0.2	0.2	0.5	0.3	0.2	0.2
	第四次	0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.2	0.2	0.2
	第五次	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.5	0.3	0.3	0.2
	平均	0.06	0.06	0.14	0.16	0.24	0.44	0.26	0.24	0.22
爐門口 溫度 (°C)	23	23.1	23.2	23.1	23.1	23.2	23	23.1	23.1	
爐內溫度 (°C)	29.7	29.1	29	27.6	27.5	27.4	26.1	27	27.1	
主爐上方 溫度 (°C)	110	95	81	74	67	66	63	62	61	

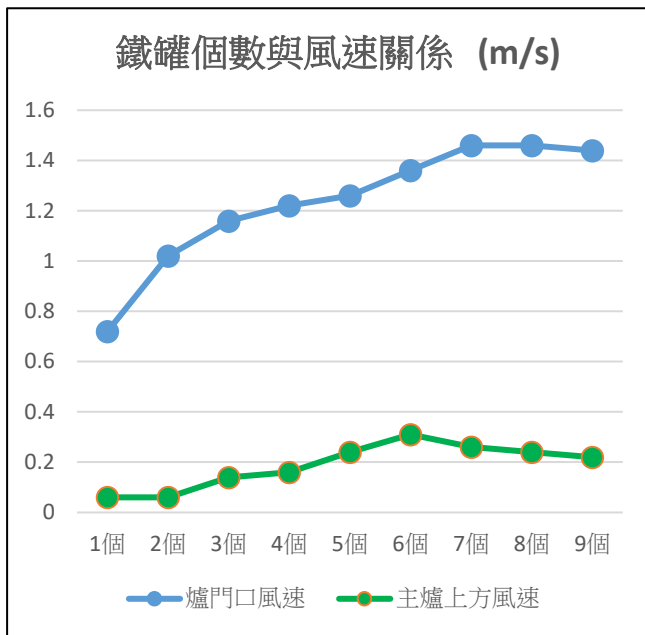


圖 23 鐵罐個數與風速圖
(照片由第一指導老師統計繪圖)

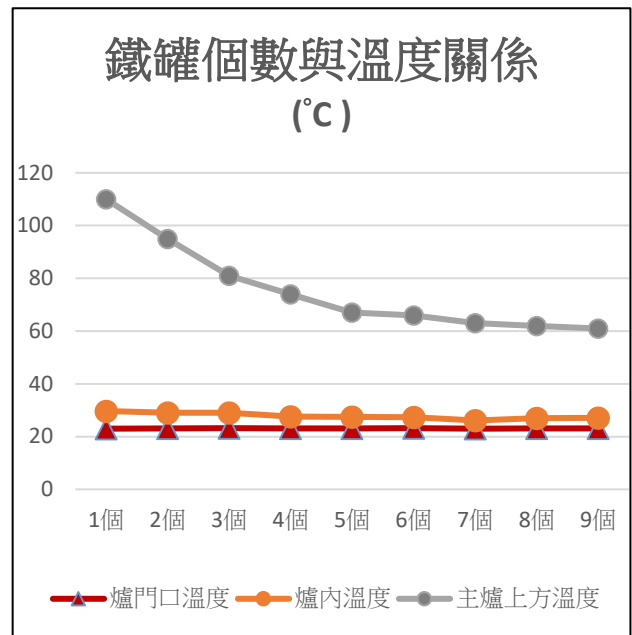


圖 24 鐵罐個數與溫度關係
(照片由第一指導老師統計繪圖)

實驗結果：

※風速方面

- (1)主爐越高，爐門口風速越快，在第七、第八罐最快，可推測主爐越高時，紙錢被吸入速度就越快；但至第九罐風速卻稍稍減緩。
- (2)主爐越高，主爐上方風速越快；在第六罐最快，但第七罐之後風速又減緩。
- (3)承上(1)和(2)，兩者風速變化，主爐上方風速增快幅度皆不如爐門口。
- (4)綜合以上(1)至(2)，推測金爐高度在某範圍內，煙囪高度越高，爐口吸紙錢或爐頂排出煙的效率就越快，但高到某一程度就會無明顯差異或甚至下降。
- (5)在實驗過程中，因改良金爐做了好幾次實驗，意外發現，若室溫越低，爐門口和爐上風速都跟著變慢，但蠟燭燃燒變短的速度卻加劇。

※溫度方面

- (1)主爐越高，爐門口溫度大致維持不變，接近當時氣溫。
- (2)主爐越高，主爐上方溫度越低。
- (3)主爐越高，主爐內溫度稍稍越低，但不明顯。
- (4)主爐越高，爐內和爐門口的溫差幾乎無明顯差異。而風速也未與溫差有相同趨勢。

實驗四 - 2 【探討自製金爐之主爐形狀對紙錢燃燒的影響。】

實驗說明：鐵罐製成金爐，主爐越來越細的情況下，分別測量金爐內外之溫度與風速。

實驗動機：我們觀察廟宇露在最上方的金爐煙囪頂端，有些是越往上，煙囪越來越細，故以鐵罐製作金爐，並測量溫度與風速。

實驗器材：鐵罐製金爐、附件紙錢、棒狀溫度計、風速計、蠟燭、培養皿、打火機

實驗步驟：1.培養皿立五根蠟燭，點燃後，放入自製鐵罐金爐內。

2.測量金爐內外溫度及風速。

表 4-9 主爐形狀 / 風速、溫度 (以下圖示皆由第一作者拍攝) 備註：當日氣溫 20℃。

金爐形狀		直筒狀 (整根一樣粗)	越往上越細
加上鐵罐個數 金爐總高		5 個奶粉罐 98.3 公分	2 個奶粉罐 +2 個杏仁罐 +2 個八寶粥罐 100.3 公分
圖 示			
爐門口 風速 m/s	第一次	1.3	0.4
	第二次	1.2	0.6
	第三次	1.3	0.5
	第四次	1.2	0.5
	第五次	1.3	0.4
	平均	1.26	0.48
主爐上方 風速 m/s	第一次	0	0.2
	第二次	0.1	0.3
	第三次	0	0.2
	第四次	0.1	0.2
	第五次	0.1	0.3
	平均	0.06	0.24
爐門口 溫度 (°C)		20	22
爐內 溫度 (°C)		26	36
主爐上方 溫度 (°C)		79	96

實驗結果：

※風速方面

- (1) 爐門口風速：直筒狀 > 越來越細。
- (2) 主爐上方風速：越來越細 > 直筒狀。

(3)承上(1)，可推測紙錢放置煙囪頂直筒狀的爐口時，被自動吸入的速率較快；而一般常見煙囪頂端改成越來越細，出乎意料，爐門口風速並沒有變快。

(4)後來我們打電話去訪問製作金爐的工廠，工廠叔叔說：一般金爐上方是直筒狀，但是如果另外加裝可洗塵的環保金爐，最頂端就會呈現越來越細。所以越來越細的金爐是環保金爐，主要是為了洗塵，不是為了讓紙錢快速燃燒。

※溫度方面

(1) 爐門口溫度：越來越細 > 直筒狀。

(2) 主爐上方溫度：越來越細 > 直筒狀。

(3) 爐內溫度：越來越細 > 直筒狀。

(4)綜合以上(1)至(3)，整體金爐溫度，煙囪越來越細的大於直筒狀，推測應該是金爐頂開口較小，熱不易散出。

實驗五 - 1 【探討自製紙錢形狀對紙錢被吸入的影響。】

實驗說明：以壓克力箱製成金爐，我們以正方形 2 乘 2 平方公分面積為基礎，分別製作出的相同面積、相同重量的三角形和圓形紙錢，再分別測量紙錢被吸入爐內所需時間。

實驗動機：我們想到紙飛機呈現接近三角形以及飛盤都是圓形的，而且之前看過媽媽摺過圓形紙蓮花和船型金元寶，所以想挑戰市售的正方形或長方形紙錢。

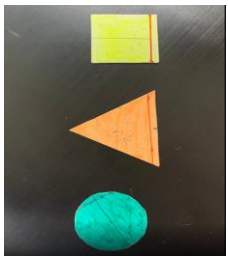
實驗器材：壓克力製金爐、附件紙錢、手機、腳架、筆電、電腦風扇

實驗步驟：1. 壓克力製金爐蓋上電腦風扇，風扇接上並開啟行動電源。

2. 將不同形狀的附件紙錢，分別放在相同爐深 30 公分長的爐門口。

3. 手機錄影，並以筆電使用 Adobe 編輯影片，紀錄紙錢飛入金爐所需時間。

表 4-10 紙錢形狀 / 紙錢被吸入所需時間 (以下圖示皆由第一作者拍攝) 單位：秒

紙錢形狀	圖示	第 1 次	第 2 次	第 3 次'	第 4 次	第 5 次	平均
紙錢 正方形		0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.018
紙錢 三角形		0.04	0.02	0.02	0.03	0.02	0.026
紙錢 圓形		0.02	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03

實驗結果：(1)以「正方形」紙錢，吸入速度最最快。

(2)三角形較慢，推測可能是較少對稱軸。而圓形雖然是完美的對稱圖形，但若照實驗三-2(第 10 頁)說明，紙錢需要在紙錢邊緣有一條明顯的支點軸，而圓形則無，因此不易產生像正方形類似體操選手的翻滾效果。

實驗五-2 【探討自製紙錢張數對紙錢被吸入的影響。】

實驗說明：以壓克力箱製成金爐，分別以 1 至 5 張疊在一起，下面那張比上面內縮 0.25 公分，再分別測量紙錢被吸入爐內的張數。

實驗動機：觀察大家燒紙錢，都是整疊一起，且會用手把紙錢均勻散開，放在爐門口，呈獻上方較凸出、下方較內凹內縮的排法。

實驗器材：壓克力製金爐、附件紙錢、手機、腳架、筆電、電腦風扇

實驗步驟：1. 壓克力製金爐蓋上電腦風扇，風扇接上並開啟行動電源。

2. 將不同張數的附件紙錢，如圖，分別放在相同爐深 30 公分長的爐門口。

3. 手機錄影，並以筆電使用 Adobe 編輯影片，紀錄紙錢飛入金爐張數。

表 4-11 紙錢張數 / 紙錢被吸入張數 (以下圖示皆由第四作者繪製) 單位：張

張數	圖示 (側面圖)	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均	補充說明
5 張		1	1 (另一張卡在管內)	1	2	3	1.6	有卡住
4 張		3	3	2	2 (另 2 張卡在管內)	1 (另 1 張卡在管內)	2.2	有卡住
3 張		2	2	2	2	2	2	
2 張		1	1	1	1	1	1	
1 張		1	1	1	1	1	1	全飛入

實驗結果：(1)除了「1張」會被吸入，其他都會留下幾張沒被吸入。

(2)出乎意外，原本以為疊上去的紙錢會跟我們在廟裡看到的咻咻咻結果一樣，但結果卻是最多只被吸入3張，我們推測可能與靜電和摩擦力有關。

實驗五 - 3 【探討紙錢摺成 90 度 (L 型) 及紙錢不同的擺放方式，對紙錢被吸入的影響】

實驗說明：以壓克力箱製成金爐，附件紙錢以三角板的直角壓好摺成 90 度，如下表 4-12 不同的放置方式，再分別測量紙錢被吸入爐內所需時間。

實驗動機：觀察大家燒紙錢，很多人都會折一下紙錢再丟入金爐中，我們猜想，紙錢若摺出角度，但不用丟的，而是放在爐口，是否也會像平放的紙錢一樣，會被自動吸入？

實驗器材：壓克力製金爐、附件紙錢、手機、腳架、筆電、電腦風扇


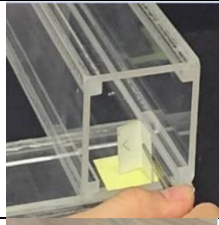

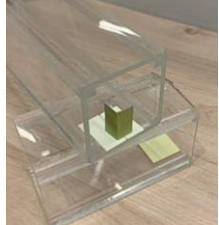

實驗步驟：1. 壓克力製金爐蓋上電腦風扇，風扇接上並開啟行動電源。

2. 將摺成 L 型的附件紙錢，如圖放置，分別放在相同爐深 30 公分長爐門口。

3. 手機錄影，並以筆電使用 Adobe 編輯影片，紀錄紙錢被吸入金爐所需時間。

表 4-12 紙錢不同的擺放方式 / 紙錢被吸入的情況 (以下照片皆由第一作者拍照)

擺放方式	圖示	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均表現
橫 L 向內		被推一段距離，推成橫 L 向右，停下	被推一段距離，推成橫 L 向右，停下	被推一段距離，推成橫 L 向左，停下	被推一段距離，推成橫 L 向左，停下	被推一段距離，推成橫 L 向右，停下	被推一小段
橫 L 向外		會先翻跟斗，翻成橫 L 向內，再被推一段距離，推成橫 L 向右，停下	會先翻跟斗，翻成橫 L 向內，再被推一段距離，推成橫 L 向左，停下	會先翻跟斗，翻成橫 L 向內，再被推一段距離，推成橫 L 向左，停下	會先翻跟斗，翻成橫 L 向內，再被推一段距離，推成橫 L 向右，停下	會先翻跟斗，翻成橫 L 向內，再被推一段距離，推成橫 L 向左，停下	先翻跟斗，再被推一小段
橫 L 向右		未移動	未移動	未移動	未移動	未移動	未移動

橫 L 向左		未移動	未移動	未移動	未移動	未移動	未移動
直 L 向左 外		僅倒下，倒成書夾狀	僅倒下，倒成書夾狀	僅倒下，倒成書夾狀	僅倒下，倒成書夾狀	僅倒下，倒成書夾狀	僅倒下
直 L 向左 內		僅倒下，倒成帳篷狀	僅倒下，倒成帳篷狀	僅倒下，倒成帳篷狀	僅倒下，倒成帳篷狀	僅倒下，倒成帳篷狀	僅倒下
直 L 向右 內		僅倒下，倒成帳篷狀	僅倒下，倒成帳篷狀	僅倒下，倒成帳篷狀	僅倒下，倒成帳篷狀	僅倒下，倒成帳篷狀	僅倒下
直 L 向右 外		僅倒下，倒成書夾狀	僅倒下，倒成書夾狀	僅倒下，倒成書夾狀	僅倒下，倒成書夾狀	僅倒下，倒成書夾狀	僅倒下

實驗結果：(1)L 型不管如何放置，都無法順利以翻滾方式被吸入金爐中。

(2)橫 L 只要白色凹面朝左或朝右，都不會動；另外，橫 L 只要白色凹面向內或朝外，最後白色凹面都會被風吹成向左或向右，然後停下不動。

實驗五 - 4 【探討紙錢摺成其他方式，對紙錢被吸入的影響。】

實驗說明：以壓克力箱製成金爐，附件紙錢摺成**青蛙**、**星星**、**ㄇ**字等形狀，再分別測量紙錢被吸入爐內所需時間。

實驗動機：在實驗三-2 中，因要將紙錢分別放在爐門管徑中的前、中、後段，但有鑑於紙錢只要平躺在壓克力箱中，就無法自動被吸入，所以我們想摺出紙錢不用凸出爐門口，又可以放在爐門管徑中任何位置，就能自行被吸入的摺法。

實驗器材：壓克力製金爐、附件紙錢、手機、腳架、筆電、電腦風扇

實驗步驟：1. 壓克力製金爐蓋上電腦風扇，風扇接上並開啟行動電源。

2. 將摺成青蛙、星星、ㄇ字等形狀的附件紙錢，分別放在相同爐深 30 公分長的爐門口。

3.手機錄影，並以筆電使用 Adobe 編輯影片，紀錄紙錢被吸入金爐所需時間。

表 4-13 紙錢其他折法 / 紙錢被吸入所需時間 (以下圖示皆由第四作者拍照) 單位：秒

其他摺法		圖示	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均秒數	平均表現
青蛙	大腳		0.08	0.07	0.06	0.05	0.07	0.06	被一路推行入火坑
	小腳		0.05	0.05	0.04	0.05	0.06	0.05	先被推行一小段，再騰空翻入或掉入火坑
星星	白肚子向外		0.12	0.11	0.09	0.15	0.09	0.11	先被翻面成白肚子向內，再被一路推行入火坑
	白肚子向內		0.08	0.07	0.08	0.07	0.09	0.07	被一路推行入火坑
冂字	桌腳洞向洞口		不動	不動	不動	不動	不動	0	不動
	桌腳洞向牆壁		被推行 8.5 公分	被推行 7.9 公分	被推行 6.8 公分	被推行 9.7 公分	被推行 7.1 公分	/	被推行約 8 公分，但不會掉入火坑
凵字	桌腳洞向洞口		不動	不動	不動	不動	不動	0	不動
	桌腳洞向牆壁		0.1	0.11	0.09	0.08	0.09	0.09	被一路推行入火坑

備註：「斜線 /」：代表有幾次紙錢卡在半路或未飛入火坑，故無法計算平均值。

實驗結果：

- (1) 星星白肚子向內比較快，若是肚子向外，則要先翻面成肚子向內才會被推行。
- (2) 小腳蛙比大腳蛙快，因為小腳蛙通常拖行一小段後，會直接騰空翻入；但是大腳蛙是一路被拖行；推測原因，我們發現大腳蛙兩腳中間的空隙較小，小腳蛙則較大。
- (3) ㄇ字型竟然因為下方有一個洞，反而不會飛。
- (4) 平均來說，如果可以被吸入，則被吸入的速率：青蛙 > 星星 > ㄣ字 > 桌子ㄇ。
- (5) 發現被拖行或推行的紙錢，速度會比直接翻滾飛入的慢。

實驗五-5 【探討紙錢**放置方式**，對紙錢被吸入的影響。】

實驗說明：以壓克力箱製成金爐，將一疊附件紙錢摺成如下方式，再分別測量紙錢被吸入爐內所需時間。

實驗動機：在實驗五-2 中，五張紙錢不能每張都自動被吸入，所以我們想是否有其他方式讓一張或一疊紙錢在擺爐門口，能自行被吸入。

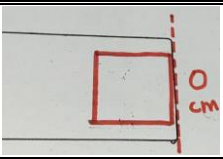
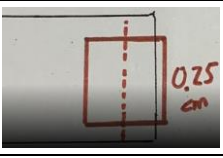
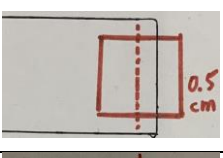
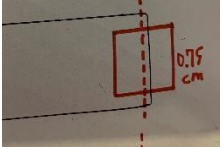
實驗器材：壓克力製金爐、附件紙錢、手機、腳架、筆電、電腦風扇

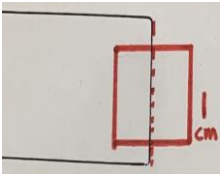
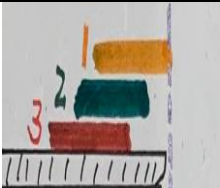
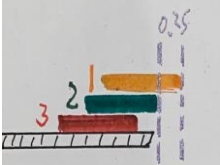
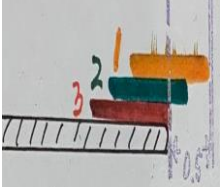
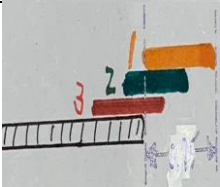





實驗步驟：1. 壓克力製金爐蓋上電腦風扇，風扇接上並開啟行動電源。

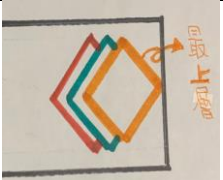



2. 將 2 乘 2 公分的附件紙錢，下面那張比上面內縮 0.25 公分，放在相同爐深 30 公分長的爐門口。

3. 手機錄影，並以筆電使用 Adobe 編輯影片，紀錄紙錢被吸入金爐所需時間。

表 4-14 紙錢其他折法 / 紙錢被吸入所需時間 (以下圖示皆由第四作者繪製或拍照) 單位：秒

其他摺法	圖示	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均秒數	平均表現	
平凸	共 1 張 凸 0cm		不動	不動	0.02	不動	不動	/	幾乎不動
	共 1 張 凸 0.25cm		0.02	0.02	0.04	0.03	0.04	0.03	吸入
	共 1 張 凸 0.5cm		0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.036	吸入
	共 1 張 凸 0.75cm		0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.038	吸入但低飛易卡住

	共 1 張 凸 1cm		0.05	0.07	0.05	0.04	0.04	0.05	吸入但 低飛易 卡住
平 凸	共 3 張 凸最上 0 張		不動	不動	只飛 第一 張	不動	不動	/	幾乎不 動
	共 3 張 凸最上 1 張		不動	只飛 第一 張	只飛 第一 張	只飛 第一 張	只飛 第一 張	/	只飛第 一張
	共 3 張 凸最上 2 張		飛最 上面 2 張	只飛 第 1 張	飛最 上面 2 張	飛最 上面 2 張	飛最 上面 2 張	/	飛最上 面 2 張
	共 3 張 凸最上 3 張		不動	全飛	飛最 上面 2 張	全飛	只飛 第一 張	/	差異性 很大
尖 凸	共 1 張 凸 0cm		不動	不動	不動	0.02	不動	/	幾乎不 動
	共 1 張 凸約 0.3cm		0.04	0.03	0.03	不動	0.02	/	偶爾會 被卡住
	共 1 張 凸約 0.6cm		0.03	0.02	0.03	0.04	0.03	0.03	會飛
	共 1 張 凸約 0.9cm		不動	0.02	0.03	0.03	0.04	/	會飛， 偶會卡 住
	共 1 張 凸約 1.2cm		不動	0.05	0.04	不動	0.05	/	會飛， 有時會 卡住

尖凸	共 3 張 凸 0 張		不動	不動	不動	不動	不動	/	全不動
	共 3 張 凸 1 張		只飛第一張	只飛第一張	只飛第一張	只飛第一張	第 1 張卡在 25 公分處	/	只飛第一張
	共 3 張 凸 2 張		第 1 張卡住、第 2 張飛入	飛最上面 2 張	飛最上面 2 張	飛最上面 2 張	飛最上面 2 張	/	飛最上面 2 張
	共 3 張 凸 3 張		全飛	全飛	全飛	全飛	飛最上面 2 張	/	大致上全飛

備註：「斜線 /」：代表紙錢卡在半路或未飛入火坑，故無法計算平均值。

實驗結果：(1)只有一張紙錢時，**不是往外凸越多，就容易吸入**；紙錢越往外凸出，在之後飛行途中卻不容易高飛，因低飛所以紙錢容易與地面碰撞磨擦。
(2)很多張紙錢疊在一起時，大致上是凸出幾張，就會被吸入幾張。

實驗六 - 1 【探討自製金爐高度對爐門口及爐門上方水盆濁度之影響。】

實驗說明：將紙錢放在奶粉罐製金爐裡燒，測量主爐高度分別為 1 和 7 罐的水之濁度。

實驗動機：想了解香客在爐門前燒紙錢時，是否會吸到很多香灰？根據實驗四-1，主爐越高，風速越快；我們想知道風速快時，是否對香客呼吸健康較好。

實驗器材：鐵罐製金爐、小紙錢、水盆、濁度計、打火機、鐵絲、噴霧劑

- 實驗步驟：
1. 鐵罐製金爐以鐵絲彎取墊高，將定量小金紙放置爐內。
 2. 用打火機點火，待金紙開始燃燒，以噴霧劑從上方往下噴向主爐上方。
 3. 以淺盆裝水，分別放置在爐門口及主爐上方，再測量兩處水之濁度。



圖 25 收集爐門口及爐上方之淺水盆的落塵 (照片由第一作者拍攝)

表 4-15 主爐高度/濁度

單位：NTU

	淺盆放置位置	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	平均濁度
高主爐 (7 罐)	主爐上方	0.10	0.10	0.14	0.12	0.13	0.12
	爐門口	0.02	0.04	0.06	0.07	0.01	0.04
低主爐 (1 罐)	主爐上方	0.18	0.14	0.12	0.10	0.15	0.138
	爐門口	0.11	0.13	0.15	0.11	0.17	0.134

實驗結果：(1)主爐上方濁度：低主爐>高主爐

(2)爐門口濁度：低主爐>高主爐

(3)高主爐時，濁度：主爐上方>爐門口

(4)出乎意料，低主爐時，主爐上方濁度「稍大」於爐門口，爐門口與主爐上方濁度差異不大。

(5) $(0.134-0.04) / 0.134 = 0.7$ 根據左方算式，主爐上方高度增加為七倍時，爐門口的落塵量就可減少 70%；所以爐越高，風速越快，所收集的落塵量越少，愈符合環保及健康需求。

實驗六 - 2 【自製 → 發發發！神明「發」鈔機】

實驗說明：以 Micro:bit 元件製作可自動發射紙錢的發鈔機。

實驗動機：承實驗六-1，爐門口風速越快，接到的落塵量越少，符合環保及兼顧香客健康；所以想設計一樣物品，可以提醒人們在適當的時機把紙錢送進金爐內。

圖示	內容
<p>圖 26 神明「發」鈔機結構圖 (照片由第一作者拍攝)</p>	<p>採用 Micro:bit 晶片板及擴充板及內建三色燈號，再外接風力感測器、撲克牌發牌機，進行組裝。</p>

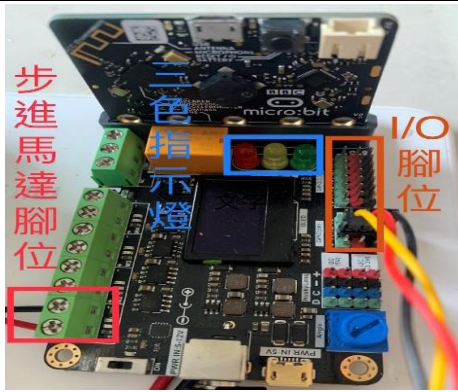


圖 27 擴充板+晶片板
(照片由第一作者拍攝)

亮綠燈：建議香客把紙錢放在爐門口平台上，讓金爐自動吸入。

亮黃燈：蜂鳴器響起，提醒香客準備把紙錢放入發牌(鈔)機中。

亮紅燈：建議香客馬上把紙錢放發牌(鈔)機中，藉由發牌機，讓紙錢自動射入金爐內。

程式設計：Micro:bit 根據所測風力及發牌機程式設計，三大功能主要程式參數如下：

1. 啟動 / 喇叭 程式	2. 發牌機邏輯 程式
 <p>圖 27 開機程式碼 (照片由第一指導老師截圖拍攝)</p>	 <p>圖 28 邏輯程式碼 (照片由第一指導老師截圖拍攝)</p>

3. 各項感測器 程式



圖 29 感測器程式碼 (照片由第一指導老師截圖拍攝)

實地測試：



圖 30 竹林山寺測試發鈔機
(照片由第一作者拍攝)

圖 31 爐門口的告示牌
(照片由第一作者拍攝)

測試結果：(1)假日下午去竹林山寺實測，當日香火鼎盛，發發發發鈔機一直呈現綠燈，所以紙錢一直自動被吸進去，幾乎用不到發鈔機。
(2)平常日一大早實測，香客很少，金爐內偶有小火，發發發發鈔機間歇性呈現紅或黃燈，並發出蜂鳴器叫聲。

伍、討論

- 一、實驗室內雖然無法做出像竹林山寺溫差這麼大的金爐，但是實驗二證明了，即使用燈泡加熱小金爐，仍可出現煙囪效應。
- 二、原來順利被吸進金爐中的紙錢，是像體操選手一樣翻滾幾圈飛進去的；紙錢想要被吸入的快，騰空翻滾飛入會比被在地上拖行來的更快。
- 三、金爐設計以深爐門、高主爐、主爐圓柱狀(一樣粗)，紙錢被吸入的速度越快；但是爐門並非無限制越深、主爐無限制越高，煙囪效應就會越強，其有臨界值之限制。
- 四、竹林山寺和天顯宮有明顯溫差與風速的正向關係，但我們自製的金爐則無，推測是因為我們以鐵罐為主體，散熱快，不像廟宇之金爐有耐熱磚、隔熱棉、水泥等隔熱保溫層，可以減少熱傳導。
- 五、我們以相同面積製作不同形狀之紙錢，結果以正方形最快，推論應該是形狀對稱，且紙錢飛入時類似體操選手會沿紙錢的某一邊軸當作支點，沿著整個軸翻幾圈，直到落到金爐內部。
- 六、紙錢張數疊得越多，容易卡住或停留原地，判斷可能是因為張數多，產生的正向往下的力也越大，造成紙錢的靜摩擦力增加。

- 七、折成 90 度的 L 型紙錢，不管如何放置，都無法順利飛入金爐中；尤其以直立型 L，倒下後只要呈現帳篷狀，就幾乎不會動。而橫 L 則是會被推一小段距離，但是只要呈現開口向左或向右，則就無法再飛起。
- 八、不是紙錢下方有空隙，就一定會被吸入；也不是越凸出爐門外，就一定能順利飛入金爐，還需考慮紙錢下方空隙不能是中空隧道形狀還有靜電、摩擦力等因素。
- 九、最後我們利用爐門口風速越大、落塵越少的結果，以 Micro:bit 相關元件做出神明「發」鈔機，搭配告示牌，讓香客看見燈號，知道何時該把紙錢放在金爐的哪個位置。

陸、結論

- 一、給「金爐業者」之建議：金爐爐門越深、爐高越高，爐門口的風速就會越大，越容易吸入紙錢；但爐高和爐深是有臨限值之限制。
- 二、給「不用發鈔機的香客」之建議：紙錢規則的方形、不用摺、放在爐口、一疊平放凸出爐口約 0.25 公分，紙錢被吸入金爐的狀況最佳！但紙錢只要一旦折成出形狀，就無法自行被吸入金爐中，這跟一般人喜歡先把紙錢折彎再丟入的習慣不同；所以一旦折出角度，就只能靠人手臂的力量丟入金爐，而無法靠煙囪效應吸入。
- 三、給「使用發鈔機的香客」之建議：為了更環保、健康，減少吸入懸浮微粒的機會，請根據爐門口燈號：綠燈時，將紙錢放檯子上；紅、黃燈時，請將紙錢放在發鈔機中。
- 四、火很旺、風速大→ 用天然神明「點」鈔機：
火很小、風速小→ 用人工神明「發」鈔機。
不管天氣好壞，配合以上，神明都會開心快速地收下紙錢，給香客滿滿的祝福。

柒、未來展望

燒紙錢看似是不環保的行動，但在某些時刻，卻又是撫慰人心不可或缺的宗教儀式；如果香客們能參考本研究的「咻咻咻！神明點鈔機」的「使用指南」，並搭配「發發發！神明發鈔機」之裝置，相信對環境保護、對本身健康都有益處。而我們也朝著改善「神明發鈔機」的發鈔距離、調整適用各式紙錢大小等目標努力，達到我們希望可以量產並推廣的完美境界。

捌、參考文獻

1. 神奇的風 (2023)。國民小學自然科學課本三上。翰林出版社。
2. 熱對物質的影響 (2023)。國民小學自然與生活科技課本六上。康軒出版社。
3. 吳立言、朱億真、黃子晏、陳宜嶸 (1996)。神奇數銀機—金爐。第 36 屆全國科展說明書。高雄市大同國小。
4. 藝品傳說產品介紹 (無日期)。網址 <https://www.chuanso.com.tw/product-list.aspx?Id=1>
5. 煙囪效應 (2022 年 5 月 18 日最後修訂)。載於維基百科。
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%85%99%E5%9B%AA%E6%95%88%E6%87%89>
6. 吸金亭 (無日期)。載於天顯宮介紹。<http://www.tian-xian-gong.org.tw/txg/introduce>
7. 國中理化—熱對流 (無日期)。翰林雲端學院。
<https://www.ehanlin.com.tw/app/keyword/%E5%9C%8B%E4%B8%AD/%E7%90%86%E5%8C%96/%E7%86%B1%E5%B0%8D%E6%B5%81.html>

【評語】 082825

作者探討了金爐的設計及紙錢燃燒的效率，選題貼近生活，根據金爐風速自動控制紙錢投放，以提高效率並減少污染。這項研究為金爐設計和紙錢焚燒提供了科學依據，也提出了創新的改進方案，探討與實驗各項參數的影響，具有科學精神。建議增加實際使用的效果評估與討論。

作品簡報

咻咻咻！發發發！

神明點鈔機 - 環保大變身

因觀察寺廟金爐自動吸入紙錢，故本研究以鐵罐及壓克力分別製作並改良了數代小型金爐，使用手機慢速攝影紙錢被吸入自製金爐中的情形，再用Adobe軟體分析影片中紙錢飛入的軌跡變化並記錄時間；發現最快被吸入的紙錢，是以紙錢某邊為支點，形成力矩，再翻轉被吸入金爐內部；此外，紙錢在對折、向外凸出爐門邊太多或與爐門底部間有空隙等情況下，均無法順利被吸入；而金爐本身和爐門的設計，也會影響煙囪效應的強弱。最後以Micro:bit製作了神明「發」鈔機，在金爐煙囪效應微弱時，此機器可快速發射紙錢，協助神明點鈔機中紙錢更快飛入金爐；期待本研究可提供香客更環保、更有效率燒完紙錢的方式。

壹、研究動機

放假全家人一起去林口竹林山寺拜拜，我看到有一位阿伯把紙錢放到爐門，紙錢就自動吸到金爐裡面去了，我以為是風吹進去，但是我走到大殿附近，卻沒有風，只有金爐附近才有氣流，難道神仙不是住在大殿裡，而是住在金爐裡？金爐裡真的有神明在收紙錢嗎？所以我們從紙錢和金爐兩部分進行探討以上現象，希望可以透過物理實驗，來解釋紙錢自動飛入金爐的神蹟，也希望讓大家可以去拜拜可以既順利、又很快的燒完紙錢。

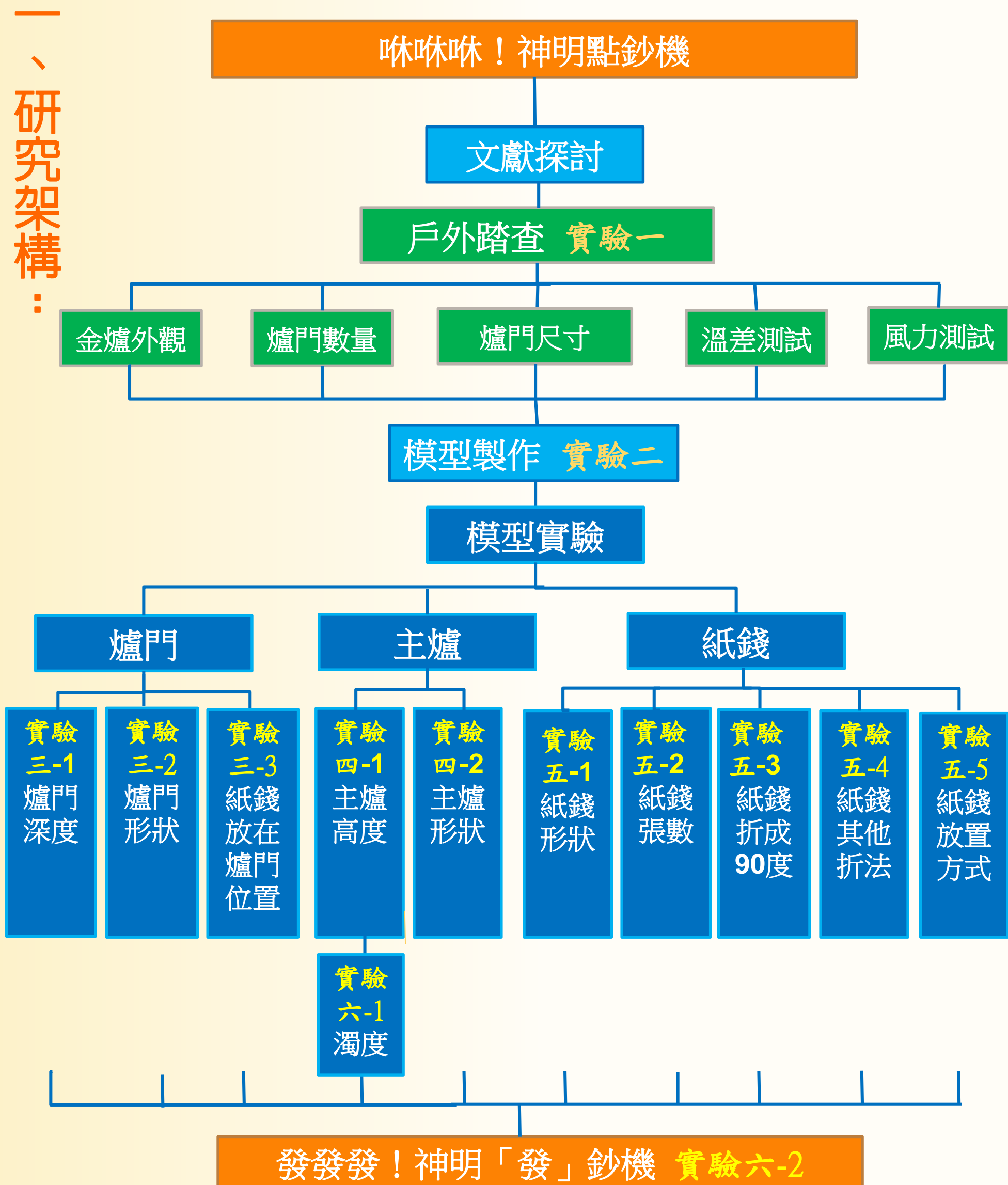
貳、研究目的

- 一、金爐的戶外踏查。
二、自製小金爐。
三、探討自製金爐之爐門設計，對紙錢被吸入的影響。
四、探討自製金爐之主爐設計，對紙錢被吸入的影響。
五、探討自製金爐之紙錢放置方式，對紙錢被吸入的影響。
六、提供更快速、環保燒完紙錢方式之建議與裝置。

參、研究設備及器材

- 一、金爐部分：奶粉鐵罐、排油煙管、白熾燈泡、壓克力箱、塑鋼土、電腦風扇、行動電源、開瓶器、八寶粥鐵罐、鐵鎚、鋁箔膠帶、防撞泡棉、鑽孔器
二、紙錢部分：寺廟用金紙、自然習作附件廢紙、撲克牌
三、其他部分：剪刀、刀片、風力計、手機、手機腳架、延長線、鐵尺、皮尺、筆電、便利貼、紅外線測溫槍、棒狀溫度計、三角板
四、發鈔機裝置：Micro:bit元件、風力感測器、撲克牌發牌機

肆、研究架構、方法與結果



實驗二 自製金爐及測試

表 4-2 各階段金爐之比較

Table comparing four generations of stoves: Generation 1 (奶粉鐵罐), Generation 2 (延續第一代外觀), Generation 3 (加了實驗變因), and Generation 4 (為了觀察紙錢).

實驗三 - 1 探討自製金爐之爐門深度，對紙錢被吸入的影響

表 4-3 爐門深度 / 風速、溫度

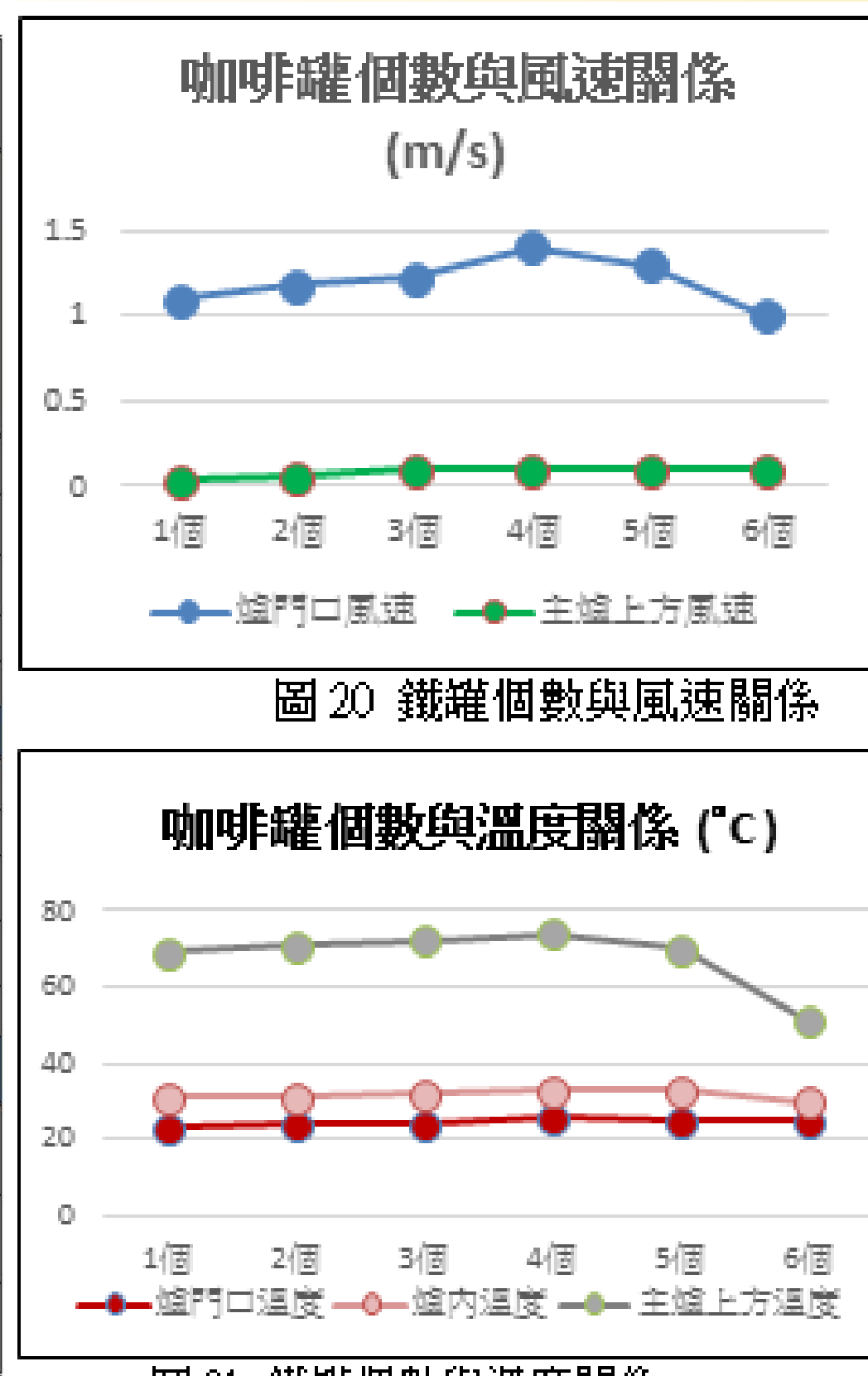
Table showing the relationship between stove door depth (1 to 6 cans), wind speed, and temperature for various trials.

實驗結果：

- ※風速方面 (1) 特定範圍內，爐門越深，爐門口風速越快... (2) 承(1)，爐門深度不是越深越好... (3) 爐門越深，主爐上方風速有微微加快...

※溫度方面

- (1) 爐門越深，爐門口溫度微微上升... (2) 爐門越深，主爐上方溫度越高... (3) 爐門越深，主爐內溫度稍稍提高...



實驗三 - 2 探討自製金爐之爐門形狀，對紙錢被吸入的影響

表 4-4 爐門形狀 / 紙錢被吸入所需時間

Table showing the time taken for paper money to be sucked in for different stove door shapes: square, house-shaped, and circular.

實驗結果：

- (1) 爐門以「正方形」時，紙錢被吸入速度最快... (2) 圓形爐門因紙錢下方有長長的空隙... (3) 另外，我們還發現：紙錢要凸出爐門... (4) 也發現：紙錢像體操選手一樣...

實驗三 - 3 之 1

探討星星狀紙錢放置在爐門內的位置，對紙錢被吸入的影響

實驗結果：星星狀紙錢放在爐門「前段」時，紙錢被拖入、吸入速度最快。

表 4-5 爐門內位置 / 星星紙錢被吸入所需時間

Table showing the time taken for star-shaped paper money to be sucked in from different positions inside the stove door.

表 4-6 爐門內位置 / 小腳蛙紙錢被吸入所需時間

Table showing the time taken for frog-shaped paper money to be sucked in from different positions inside the stove door.

實驗三 - 3 之 2

探討小腳蛙狀紙錢放置在爐門內位置，對紙錢被吸入的影響

- 實驗結果：(1) 小青蛙紙錢放在爐門「前段」，紙錢被吸入速度最快... (2) 此實驗與實驗三-3-1的星星狀結果相同...

二、文獻探討：歷屆全國科展相關之研究內容

Table with 3 columns: Group (36th National Science Fair), Title (Magical Number Silver Machine - Stove), and Research Tools & Methods.

三、研究方法、結果與發現

實驗一 金爐的戶外踏查

Detailed table of field research findings, including photos and data for temperature differences and wind speeds at different stoves.

實驗結果：綜合以上兩表，我們發現：

- (1) 竹林山寺的主爐高度、爐門大小，都比天顯宮大。
(2) 兩寺廟金爐都有神明點鈔機的自動吸鈔功能，但是天顯宮威力較強。
(3) 以上十次實驗結果，依溫差由小到大排列，發現兩廟都有溫差越大，爐口風速和燒掉的紙錢高度，大致都呈現正比的趨勢。
(4) 天顯宮實驗當天因寒流來襲，紙錢很難點燃...

實驗四-1 之 2 探討自製金爐之主爐高度對紙錢燃燒的影響

表 4-8 主爐高度 / 風速、溫度 (以下圖示皆由第一作者拍攝) 備註: 當日氣溫 23°C。

圖示	鐵罐個數								
	1個 33.1cm	2個 49.4cm	3個 65.7cm	4個 82cm	5個 98.3cm	6個 114.6cm	7個 130.9cm	8個 147.2cm	9個 163.5cm
爐門口風速 m/s	0.9	1.1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4
主爐上方風速 m/s	0	0	0.1	0.1	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
爐門口溫度 (°C)	23	23.1	23.2	23.1	23.1	23.2	23	23.1	23.1
爐內溫度 (°C)	29.7	29.1	29	27.6	27.5	27.4	26.1	27	27.1
主爐上方溫度 (°C)	110	95	81	74	67	66	63	62	61

鐵罐個數與風速關係 (m/s)

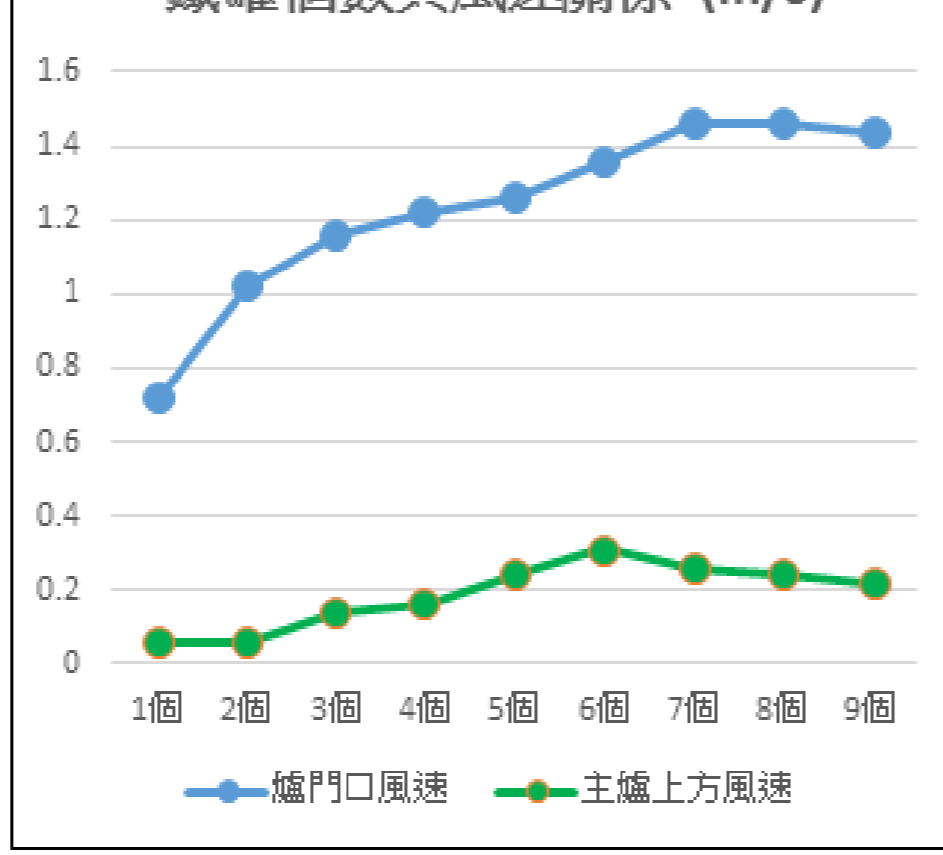


圖 23 鐵罐個數與風速關係 (照片由第一指導老師統計繪圖)

鐵罐個數與溫度關係 (°C)

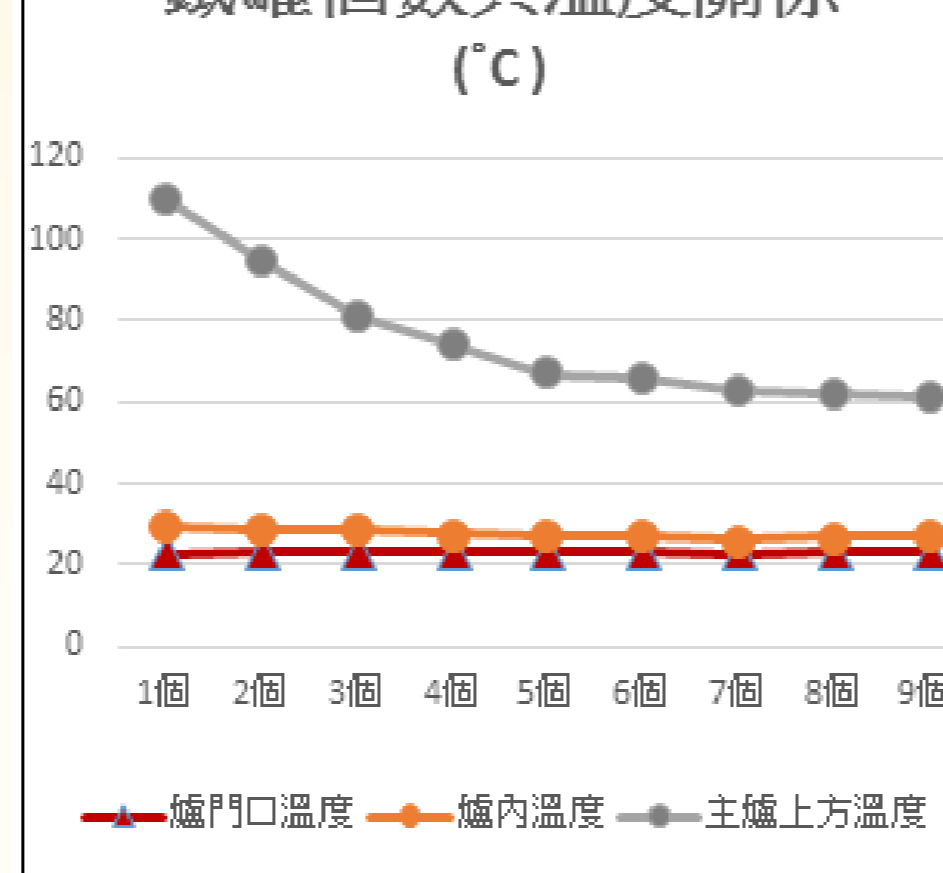


圖 24 鐵罐個數與溫度關係 (照片由第一指導老師統計繪圖)

實驗結果:

- ※風速方面
- (1)主爐越高，爐門口風速越快，在第七、第八罐最快，可推測主爐越高時，紙錢被吸入速度就越快；但至第九罐風速卻稍稍減緩。
 - (2)主爐越高，主爐上方風速越快；在第六罐最快，但第七罐之後風速又減緩。
 - (3)承上(1)和(2)，兩者風速變化，主爐上方風速增加幅度皆不如爐門口。
 - (4)綜合以上(1)至(2)，推測金爐高度在某範圍內，煙囪高度越高，爐口吸紙錢或爐頂排出煙的效率就越快，但高到某一程度就會無明顯差異或甚至下降。
 - (5)在實驗過程中，因改良金爐做了好幾次實驗，意外發現，若室溫越低，爐門口和爐上風速都跟著變慢，但燭燃燒變短的速度卻加劇。

- ※溫度方面
- (1)主爐越高，爐門口溫度大致維持不變，接近當時氣溫。
 - (2)主爐越高，主爐上方溫度越低。
 - (3)主爐越高，主爐內溫度稍稍降低，但不明顯。
 - (4)主爐越高，爐內和爐門口的溫差幾乎無明顯差異。而風速也未與溫差相同趨勢。

實驗四-2 探討自製金爐之主爐形狀對紙錢燃燒的影響

表 4-9 主爐形狀 / 風速、溫度 (以下圖示皆由第一作者拍攝) 備註: 當日氣溫 20°C。

圖示	金爐形狀	
	直筒狀 (整根一樣粗)	越往上越細
加上鐵罐個數 金爐總高	5個奶粉罐 98.3公分	2個奶粉罐+2個杏仁罐 +2個八寶粥罐 100.3公分
爐門口風速 m/s	1.3	0.4
主爐上方風速 m/s	0.1	0.2
爐門口溫度 (°C)	20	22
爐內溫度 (°C)	26	36

實驗結果:

- ※風速方面
- (1)爐門口風速: 直筒狀 > 越來越細。
 - (2)主爐上方風速: 越來越細 > 直筒狀。
 - (3)承上(1)，可推測紙錢放置煙囪頂直筒狀的爐口時，被自動吸入的速率較快；而一般常見煙囪頂端改成越來越細，出乎意料，爐門口風速並沒有變快。
 - (4)後來我們打電話去訪問製作金爐的工廠，工廠叔叔說：一般金爐上方是直筒狀，但是如果另外加裝可洗塵的環保金爐，最頂端就會呈現越來越細。所以越來越細的金爐是環保金爐，主要是為了洗塵，不是為了讓紙錢快速燃燒。
- ※溫度方面
- (1)爐門口溫度: 越來越細 > 直筒狀。
 - (2)主爐上方溫度: 越來越細 > 直筒狀。
 - (3)爐內溫度: 越來越細 > 直筒狀。
 - (4)綜合以上(1)至(3)，整體金爐溫度，煙囪越來越細的大於直筒狀，推測應該是金爐頂開口較小，熱不易散出。

實驗五-1 探討自製紙錢形狀對紙錢被吸入的影響

紙錢形狀	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.018
紙錢 正方形	0.04	0.02	0.02	0.03	0.02	0.026
紙錢 三角形	0.02	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03
紙錢 圓形						

- 實驗結果:
- (1)以「正方形」紙錢，吸入速度最慢。
 - (2)三角形較慢，推測可能是較少對稱軸，而圓形雖然是完美的對稱圖形，但若照實驗三-2(第10頁)說明，紙錢需要在紙錢邊緣有一條明顯的支點軸，而圓形則無，因此不易產生像正方形類似體操選手的翻滾效果。

實驗五-2 探討自製紙錢張數對紙錢被吸入的影響

表 4-11 紙錢張數 / 紙錢被吸入張數 (以下圖示皆由第四作者繪製) 單位: 張

張數	圖示 (側面圖)	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均	補充說明
5張		1	1 (另1張卡在管內)	1	2	3	1.6	有卡住
4張		3	3	2	2 (另2張卡在管內)	1 (另1張卡在管內)	2.2	有卡住
3張		2	2	2	2	2	2	
2張		1	1	1	1	1	1	
1張		1	1	1	1	1	1	全飛入

- 實驗結果:
- (1)除了「1張」會被吸入，其他都會留下幾張沒被吸入。
 - (2)出乎意外，原本以為疊上去的紙錢會跟我們在廟裡看到的咻咻咻結果一樣，但結果卻是最多只被吸入3張，我們推測可能與靜電和摩擦力有關。

實驗五-3 探討紙錢摺成90度 (L型) 及紙錢不同的擺放方式，對紙錢被吸入的影響

表 4-12 紙錢不同的擺放方式 / 紙錢被吸入的情況 (以下照片皆由第一作者拍照)

擺放方式	圖示	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均表現
橫 L 向內		被推一段距離，推成橫 L 向內，停下	被推一段距離，推成橫 L 向內，停下	被推一段距離，推成橫 L 向內，停下	被推一段距離，推成橫 L 向內，停下	被推一段距離，推成橫 L 向內，停下	被推一小段
橫 L 向外		會先翻跟斗，翻成橫 L 向內，再被推一段距離，推成橫 L 向內，停下	會先翻跟斗，翻成橫 L 向內，再被推一段距離，推成橫 L 向內，停下	會先翻跟斗，翻成橫 L 向內，再被推一段距離，推成橫 L 向內，停下	會先翻跟斗，翻成橫 L 向內，再被推一段距離，推成橫 L 向內，停下	會先翻跟斗，翻成橫 L 向內，再被推一段距離，推成橫 L 向內，停下	先翻跟斗，再被推一小段
橫 L 向右		未移動	未移動	未移動	未移動	未移動	未移動
橫 L 向左		未移動	未移動	未移動	未移動	未移動	未移動
直 L 向左右		僅倒下，倒成香夾狀	僅倒下，倒成香夾狀	僅倒下，倒成香夾狀	僅倒下，倒成香夾狀	僅倒下，倒成香夾狀	僅倒下
直 L 向左內		僅倒下，倒成帳篷狀	僅倒下，倒成帳篷狀	僅倒下，倒成帳篷狀	僅倒下，倒成帳篷狀	僅倒下，倒成帳篷狀	僅倒下
直 L 向右內		僅倒下，倒成帳篷狀	僅倒下，倒成帳篷狀	僅倒下，倒成帳篷狀	僅倒下，倒成帳篷狀	僅倒下，倒成帳篷狀	僅倒下
直 L 向左右外		僅倒下，倒成香夾狀	僅倒下，倒成香夾狀	僅倒下，倒成香夾狀	僅倒下，倒成香夾狀	僅倒下，倒成香夾狀	僅倒下

- 實驗結果:
- (1)L型不管如何放置，都無法順利以翻滾方式被吸入金爐中。
 - (2)橫L只要白色凹面朝左或朝右，都不會動；另外，橫L只要白色凹面向內或朝外，最後白色凹面都會被風吹成向左或向右，然後停下不動。

實驗五-4 探討紙錢摺成其他方式，對紙錢被吸入的影響

表 4-13 紙錢其他折法 / 紙錢被吸入所需時間 (以下圖示皆由第四作者拍照) 單位: 秒

其他折法	圖示	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均秒數	平均表現
大腳		0.08	0.07	0.06	0.05	0.07	0.06	被一路推入火坑
青蛙		0.05	0.05	0.04	0.05	0.06	0.05	先被推行一小段，再騰空翻入或掉入火坑
白肚子向外		0.12	0.11	0.09	0.15	0.09	0.11	先被翻面成白肚子向內，再被一路推入火坑
星星		0.08	0.07	0.08	0.07	0.09	0.07	被一路推入火坑
桌子洞向洞口		不動	不動	不動	不動	不動	0	不動
桌子洞向牆壁		被推行 8.5 公分	被推行 7.9 公分	被推行 6.8 公分	被推行 9.7 公分	被推行 7.1 公分	/	被推行約 8 公分，但不會掉入火坑
U 字		不動	不動	不動	不動	不動	0	不動
桌子洞向牆壁		0.1	0.11	0.09	0.08	0.09	0.09	被一路推入火坑

- 備註: 「斜線 /」: 代表有幾次紙錢卡在半路或未飛入火坑，故無法計算平均值。
- 實驗結果:
- (1)星星白肚子向內比較快，若是肚子向外，則要先翻面成肚子向內才會被推行。
 - (2)小腳蛙比大腳蛙快，因為小腳蛙通常推一小段後，會直接騰空翻入；但是大腳蛙是一路被推行；推測原因，我們發現大腳蛙兩腳中間的空隙較小，小腳蛙則較大。
 - (3)U字型竟然因為下方有一個洞，反而不會飛。
 - (4)平均來說，如果可以吸入，則被吸入的速率：青蛙 > 星星 > U字 > 桌子口。
 - (5)發現被推行或推行的紙錢，速度會比直接翻滾飛入的慢。

實驗五 - 5 探討紙錢放置方式，對紙錢被吸入的影響

表 4-14 紙錢其他折法 / 紙錢被吸入所需時間 (以下圖示皆由第一作者繪製或拍照) 單位: 秒

其他摺法	圖示	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均秒數	平均表現
共 1 張 凸 0cm		不動	不動	0.02	不動	不動	/	幾乎不動
共 1 張 凸 0.25cm		0.02	0.02	0.04	0.03	0.04	0.03	吸入
共 1 張 凸 0.5cm		0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.036	吸入
共 1 張 凸 0.75cm		0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.038	吸入但 低飛易 卡住
共 1 張 凸 1cm		0.05	0.07	0.05	0.04	0.04	0.05	吸入但 低飛易 卡住
共 3 張 凸最上 0 張		不動	不動	只飛 第一 張	不動	不動	/	幾乎不 動
共 3 張 凸最上 1 張		不動	只飛 第一 張	只飛 第一 張	只飛 第一 張	只飛 第一 張	/	只飛第 一張
共 3 張 凸最上 2 張		飛最 上面 2 張	只飛 第 1 張	飛最 上面 2 張	飛最 上面 2 張	飛最 上面 2 張	/	飛最上 面 2 張
共 3 張 凸最上 3 張		不動	全飛	飛最 上面 2 張	全飛	只飛 第一 張	/	差異性 很大
共 1 張 凸 0cm		不動	不動	不動	0.02	不動	/	幾乎不 動
共 1 張 凸約 0.3cm		0.04	0.03	0.03	不動	0.02	/	偶爾會 被卡住
共 1 張 凸約 0.6cm		0.03	0.02	0.03	0.04	0.03	0.03	會飛
共 1 張 凸約 0.9cm		不動	0.02	0.03	0.03	0.04	/	會飛， 偶會卡 住
共 1 張 凸約 1.2cm		不動	0.05	0.04	不動	0.05	/	會飛， 有時會 卡住
共 3 張 凸 0 張		不動	不動	不動	不動	不動	/	全不動
共 3 張 凸 1 張		只飛 第一 張	只飛 第一 張	只飛 第一 張	只飛 第一 張	第 1 張卡 在 25 公分 處	/	只飛第 一張
共 3 張 凸 2 張		第 1 張卡 住， 第 2 張飛 入	飛最 上面 2 張	飛最 上面 2 張	飛最 上面 2 張	飛最 上面 2 張	/	飛最上 面 2 張
共 3 張 凸 3 張		全飛	全飛	全飛	全飛	飛最 上面 2 張	/	大致上 全飛

備註：「斜線 /」：代表紙錢卡在半路或未飛入火坑，故無法計算平均值。

- 實驗結果：**
- (1) 只有一張紙錢時，不是往外凸越多，就容易吸入；紙錢越往外凸出，在之後飛行途中卻不容易高飛，因低飛所以紙錢容易與地面碰撞摩擦。
 - (2) 很多張紙錢疊在一起時，大致上是凸出幾張，就會被吸入幾張。

實驗六 - 1 探討自製金爐高度對爐門口及爐門上方水盆濁度之影響

- 實驗結果：**
- (1) 主爐上方濁度：低主爐 > 高主爐
 - (2) 爐門口濁度：低主爐 > 高主爐
 - (3) 高主爐時，濁度：主爐上方 > 爐門口
 - (4) 出乎意料，低主爐時，主爐上方濁度「稍大」於爐門口，爐門口與主爐上方濁度差異不大。
 - (5) $(0.134 - 0.04) / 0.134 = 0.7$ 根據左方算式，主爐上方高度增加為七倍時，爐門口的落塵量就可減少 70%；所以爐越高，風速越快，所收集的落塵量越少，愈符合環保及健康需求。



圖 25 收集爐門口及爐上方之淺水盆的落塵 (照片由第一作者拍攝)

表 4-15 主爐高度 / 濁度 單位: NTU

主爐高度	淺盆放置位置	第1次	第2次	第3次	第4次	第5次	平均濁度
高主爐 (7 爐)	主爐上方	0.10	0.10	0.14	0.12	0.13	0.12
	爐門口	0.02	0.04	0.06	0.07	0.01	0.04
低主爐 (1 爐)	主爐上方	0.18	0.14	0.12	0.10	0.15	0.138
	爐門口	0.11	0.13	0.15	0.11	0.17	0.134

實驗六 - 2 自製

發發發！

神明「發」鈔機

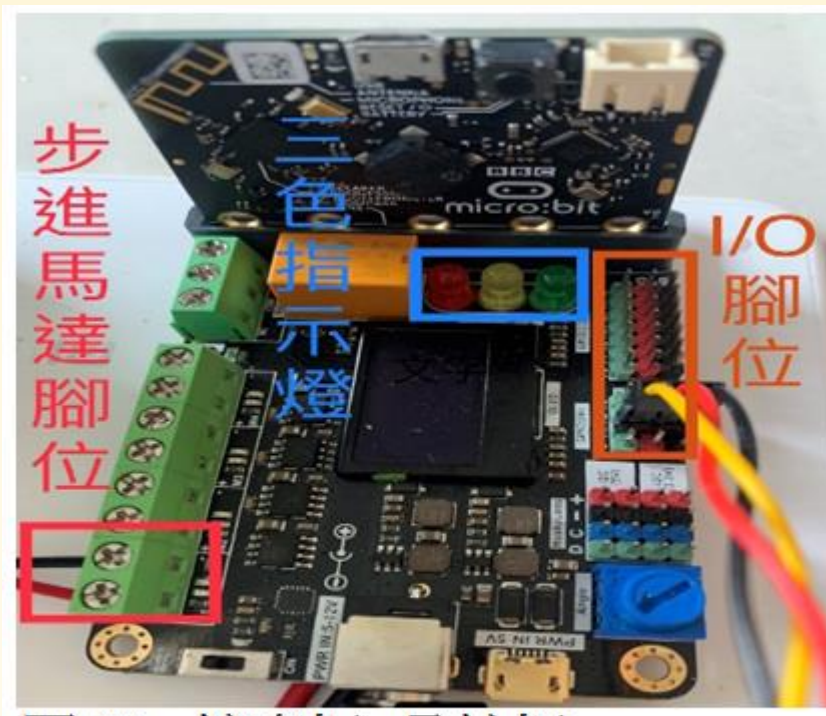


圖 27 擴充板+晶片板 (照片由第一作者拍攝)

- 亮綠燈：**建議香客把紙錢放在爐門口平台上，讓金爐自動吸入。
- 亮黃燈：**蜂鳴器響起，提醒香客準備把紙錢放入發牌(鈔)機中。
- 亮紅燈：**建議香客馬上把紙錢放發牌(鈔)機中，藉由發牌機，讓紙錢自動射入金爐內。

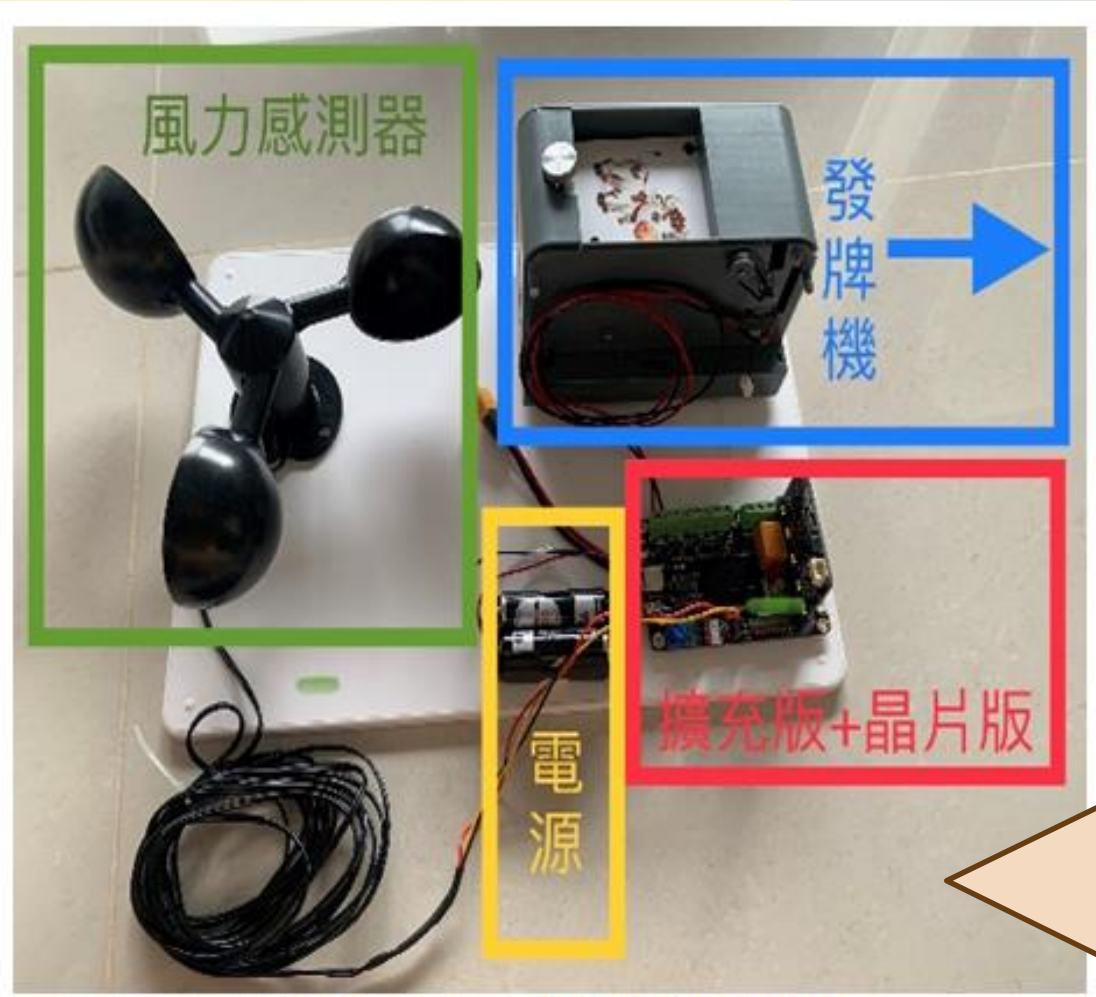


圖 26 神明「發」鈔機結構圖 (照片由第一作者拍攝)

採用 Micro:bit 晶片板及擴充板及內建三色燈號，再外接風力感測器、撲克牌發牌機，進行組裝。

實地測試：



圖 30 竹林山寺測試發鈔機 (照片由第一作者拍攝)

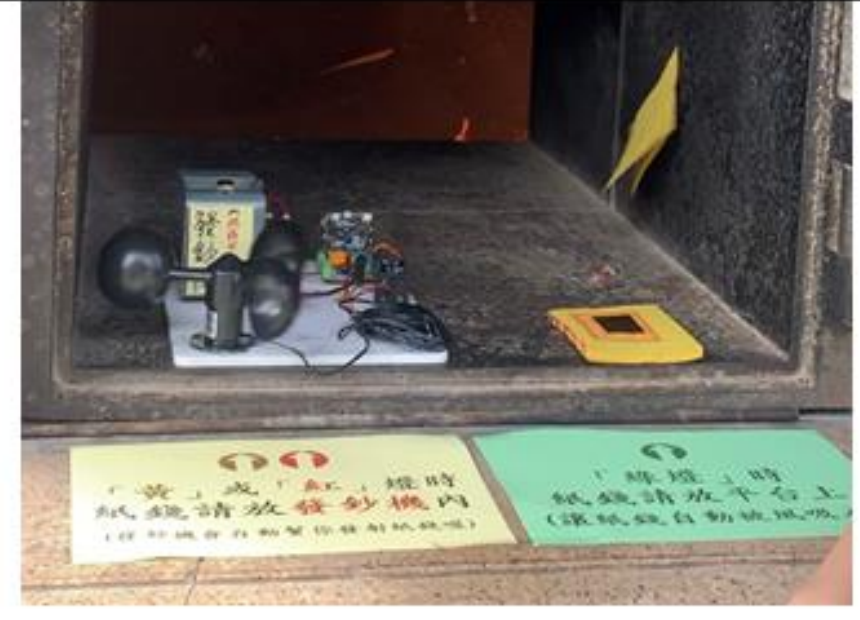


圖 31 爐門口的告示牌 (照片由第一作者拍攝)

實地測試結果：

- (1) 假日下午去竹林山寺實測，當日香火鼎盛，發發發鈔機一直呈現綠燈，所以紙錢一直自動被吸進去，幾乎用不到發鈔機。
- (2) 平常日一大早實測，香客很少，金爐內偶有小火，發發發鈔機間歇性呈現紅或黃燈，並發出蜂鳴器叫聲。

伍、討論

- 一、實驗室內雖然無法做出像竹林山寺溫差這麼大的金爐，但是實驗二證明了，即使用燈泡加熱小金爐，仍可出現煙囪效應。
- 二、原來順利被吸進金爐中的紙錢，是像體操選手一樣翻滾幾圈飛過去的；紙錢想要被吸入的快，騰空翻滾飛入會比被在地上拖行來的更快。
- 三、金爐設計以深爐門、高主爐、主爐圓柱狀(一樣粗)，紙錢被吸入的速度越快；但是爐門並非無限制越深、主爐無限制越高，煙囪效應就會越強，其有臨界值之限制。
- 四、竹林山寺和天顯宮有明顯溫差與風速的正向關係，但我們自製的金爐則無，推測是因為我們以鐵罐為主體，散熱快，不像廟宇之金爐有耐熱磚、隔熱棉、水泥等隔熱保溫層，可以減少熱傳導。
- 五、我們以相同面積製作不同形狀之紙錢，結果以正方形最快，推論應該是形狀對稱，且紙錢飛入時類似體操選手會沿紙錢的某一邊軸當作支點，沿著整個軸翻幾圈，直到落到金爐內部。
- 六、紙錢張數疊得越多容易卡住或停留原地，判斷可能是因為張數多，產生的正向往下的力也越大，造成紙錢的靜摩擦力增加。
- 七、折成 90 度的 L 型紙錢，不管如何放置，都無法順利飛入金爐中；尤其以直立型 L，倒下後只要呈現帳篷狀，就幾乎不會動。而橫 L 則是會被推一小段距離，但是只要呈現開口向左或向右，則就無法再飛起。
- 八、不是紙錢下方有空隙，就一定被吸入；也不是越凸出爐門外，就一定能順利飛入金爐，還需考慮紙錢下方空隙不能是中空隧道形狀還有靜電、摩擦力等因素。
- 九、最後我們利用爐門口風速越大、落塵越少的結果，以 Micro:bit 相關元件做出神明「發」鈔機，搭配告示牌，讓香客看見燈號，知道何時該把紙錢放在金爐的哪個位置。

陸、結論

- 一、給「金爐業者」之建議：金爐爐門越深、爐高越高，爐門口的風速就會越大，越容易吸入紙錢；但爐高和爐深是有臨界值之限制。
- 二、給「不用發鈔機的香客」之建議：紙錢規則的方形、不用摺、放在爐口、一疊平放凸出爐口約 0.25 公分，紙錢被吸入金爐的狀況最佳！但紙錢只要一旦折成 L 形狀，就無法自行被吸入金爐中，這跟一般人喜歡先把紙錢折彎再丟入的習慣不同；所以一旦折出角度，就只能靠人手臂的力量丟入金爐，而無法靠煙囪效應吸入。
- 三、給「使用發鈔機的香客」之建議：為了更環保、健康，減少吸入懸浮微粒的機會，請根據爐門口燈號：綠燈時，將紙錢放櫃子上；紅、黃燈時，請將紙錢放在發鈔機中。
- 四、火很旺、風速大 → 用天然神明「點」鈔機；火很小、風速小 → 用人工神明「發」鈔機。不管天氣好壞，配合以上，神明都會開心快速地收下紙錢，給香客滿滿的祝福。

柒、參考文獻

1. 神奇的風 (2023)。國民小學自然科學課本三上。翰林出版社。
2. 熱對物質的影響 (2023)。國民小學自然與生活科技課本六上。康軒出版社。
3. 吳立言、朱億真、黃子晏、陳宜嶸 (1996)。神奇數銀機—金爐。第 36 屆全國科展說明書。高雄市大同國小。
4. 藝品傳說產品介紹 (無日期)。網址 <https://www.chuanso.com.tw/product-list.aspx?id=1>
5. 煙囪效應 (2022年5月18日最後修訂)。載於維基百科。 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%85%99%E5%9B%AA%E6%95%88%E6%87%89>
6. 吸金亭 (無日期)。載於天顯宮介紹。 <http://www.tian-xian-gong.org.tw/txg/introduce>
7. 國中理化—熱對流 (無日期)。翰林雲端學院。 <https://www.ehanlin.com.tw/app/keyword/%E5%9C%8B%E4%B8%AD/%E7%90%86%E5%8C%96/%E7%86%B1%E5%B0%8D%E6%B5%81.html>