

新竹市第四十二屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：生活與應用科學(一)

組 別：國中組

作品名稱：風電魔法－揭開離子風的神秘面紗與自製空氣淨化器！

關 鍵 詞：離子風、無葉風扇、空氣淨化器

編號：113JB-I001

摘要

當空氣淨化器運轉時，其內部的風扇總是會產生噪音，消耗的電力更是十分可觀。這個問題引起我們想找出一種低功耗、低噪音的方法來實現空氣清淨。因此我們製作了一個**離子風製造機**，包含：升壓變壓器、3D 列印模型（正極鋁片、負極銀膠）及鋰電池。探究的操作變因有 3 種，分別是**正負極距離**、**尖刺數量**及**銀膠塗層寬度**。正負極距離，從 0.5 公分到 6 公分；尖刺數量有 5 種，各是 0 齒（環）、1 齒（針）、5 齒、7 齒及 14 齒；銀膠塗層寬度有 2 種，分別是只塗前緣和全部塗滿。透過**風速計**來測量產生的氣流風速，並將獲得的數據輸入到電腦 Excel 中，再進行詳細整理。並利用煙霧觀察氣體流動。最終目的是利用數據分析找出離子風產生器要如何設置才能產生最大功效。

壹、前言

一、研究動機

臺灣是個用電大國，缺電問題也是時有所聞，三不五時就會見到電力不足的新聞出現。2022 年一年中**台灣光是普通住宅就用了 509 億度電**（18%），其中家用電器就是一大吃電怪獸。另外，家電運轉所產生的噪音也是台灣人普遍失眠的主要原因之一，其中又以空氣淨化器最為常見。這些問題引起了我們的注意，決定找出一種可以降低耗電量及噪音，卻依舊能清淨空氣的方法。

二、研究目的

- (一)、進行文獻探討並查詢資料來瞭解離子風產生器的原理。
- (二)、設計離子風產生器，並利用風速計來測量其產生的氣流。
- (三)、觀察探討**正負極距離**與風量大小間的關係。
- (四)、觀察探討**尖刺數量**與風量大小間的關係。
- (五)、觀察探討**銀膠塗層寬度**與風量大小間的關係。
- (六)、使用造霧器的水霧觀察氣體流向。
- (七)、針對獲得的數據進行分析及探討。
- (八)、利用以上的實驗得出效能最好的離子風產生模型。
- (九)、製作小型離子風空氣淨化器。

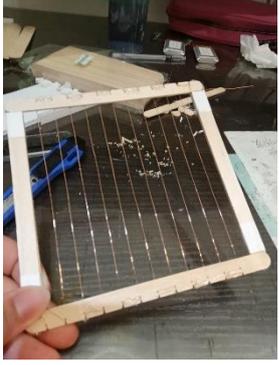
貳、研究設備及器材

一、使用軟體：Excel、Word、Xmind

二、實驗材料

項目	檢測裝置	數據分析	裝置（一）	裝置（二）	成品	其他
材料	風速計	筆電	升壓變壓器	升壓變壓器	升壓變壓器	電工膠布
	手機	筆記本	電線	電線	電線	瓦楞板
	筆電	紙筆	3.7 伏 鋰電池	3.7 伏 鋰電池	3.7 伏 鋰電池	剪刀
	造霧器		冰棒棍	3D 列印 模組	3D 列印 模組	熱熔膠
	尺		鋁箔紙	銀膠	銀膠	
	線香		電池盒	電池盒	電池盒	
			竹籤	瓦楞板	瓦楞板	
			漆包線	鋁片	鋁片	

三、重點裝置設備

			
漆包線 (裝置一)	鋁箔條 (裝置一)	3D 列印模組 (裝置二)	400kv 升壓變壓器



參、研究過程或方法

一、文獻探討

(一)、離子風

朱致宜等人的文章中講述離子風是一種不需經由風扇即可產生的氣流，其原理是利用高壓電將電極周圍之氣體解離，並用正負極互相吸引的特性將電子數不平衡的離子吸引，從而導致氣流產生。這種裝置可以應用於航太動力、空氣淨化和降溫等，其好處為可以減少噪音及燃料或電力的使用。離子風可以依據不同的狀況調整其型態及電壓，以適應不同的應用場合，在胡子及 Integza 等 Youtuber 的網路影片就有將離子風作為動力驅動模型船，MIT 團隊更是開發出了離子風飛機。

(二)、空氣解離

常見的空气解離方式為使用紫外線或高壓電等高能量的外部刺激使空氣分子成為不穩定的帶電離子狀態。氧氣為一種常見的易解離氣體，在解離過後會成為氧離子，並和四周的氧氣結合形成臭氧。此次我們選擇使用較容易取得的特斯拉線圈產生高壓電。

(三)、電弧

電弧是由於電場過強，使電極四周的絕緣氣體發生解離現象而成為導體，引發電擊穿現象而形成的紫白色發光電漿體，通常在放電不均勻時較容易產生。電弧會使整個電路形成迴路，迴路的形成會使空氣將不再被解離，從而導致離子風的風速下降。

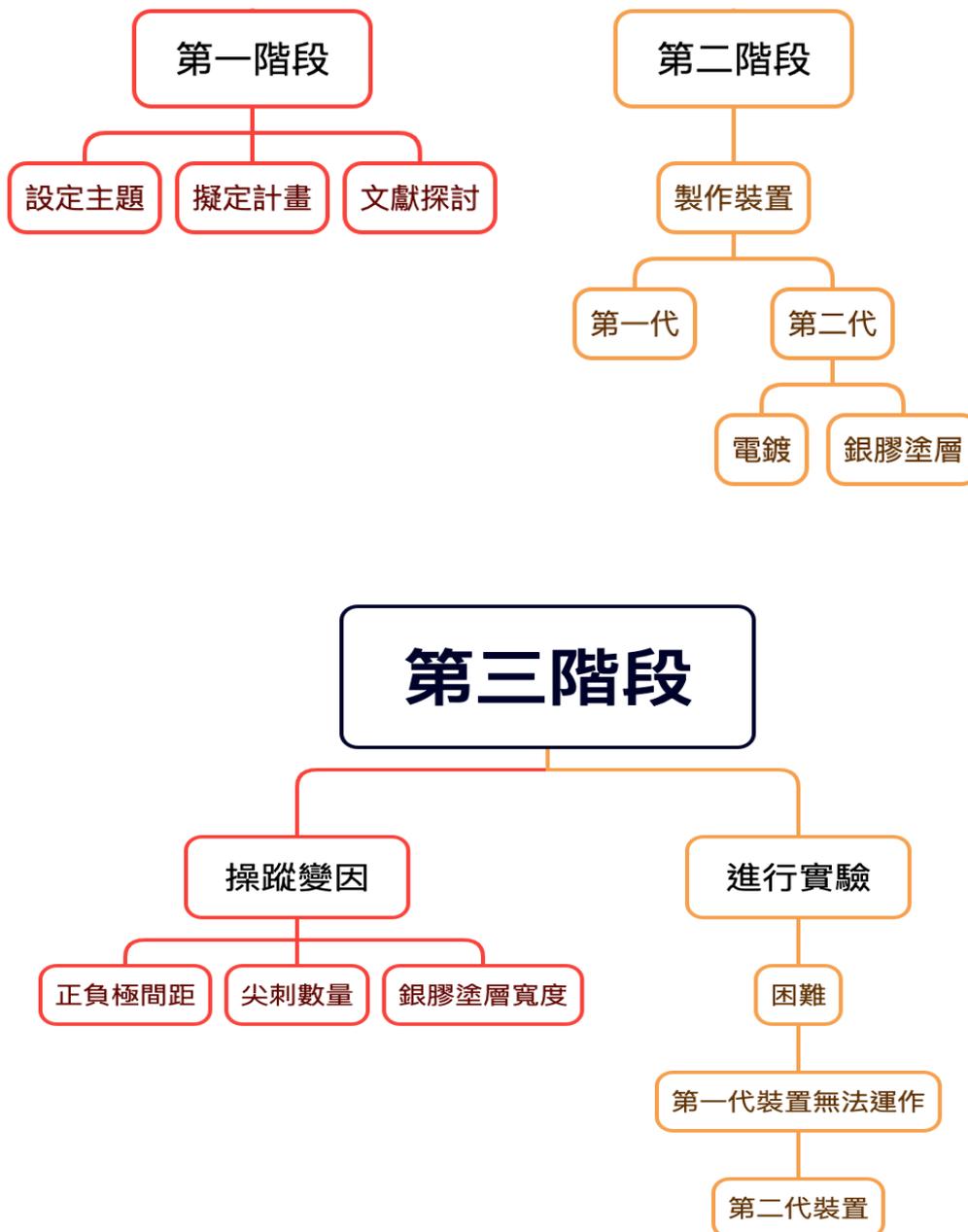
(四)、升壓變壓器

一般變壓器的結構為兩組或以上的線圈（初級線圈、次級線圈）和鐵芯，原理是用法拉第電磁感應定律變換交流電壓。這種變壓器在一般電壓下可以高效地工作，但在高壓的狀態下容易毀損，所以我們決定使用另一種利用特斯拉線圈來實現變壓的升壓變壓器。特斯拉線圈的原理為運用簡諧震盪將空氣中的電子震動出來，並形成一股規則性的電流，經過收集並轉壓後成為高壓電。特斯拉線圈產生的電雖然高壓，但電流並不高，不過正好符合離子推進器的需求。

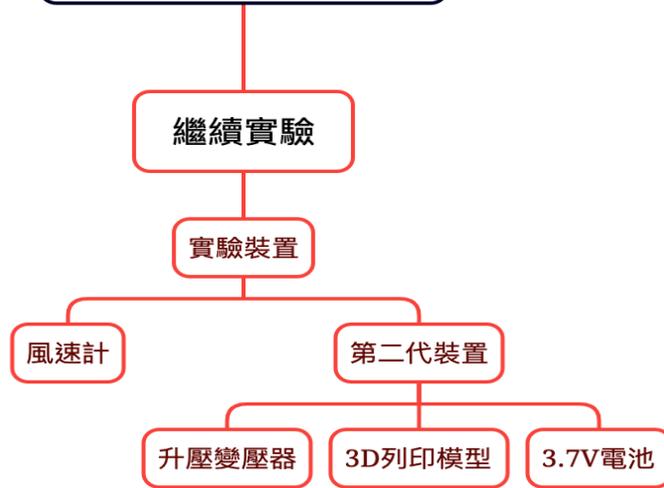
(五)、離子風主要的功用

1. 推進：離子風主要的功用，能量轉換率高，常用為航太的動力系統。
2. 助燃：離子風可以將解離過程中產生的活性離子帶入燃燒過程，提高燃燒效率。
3. 空氣淨化：離子風的產生通常伴隨著臭氧的產生，可消毒空氣，而空氣中的物質在通過裝置時也會帶電並吸附到另一端。

二、流程心智圖



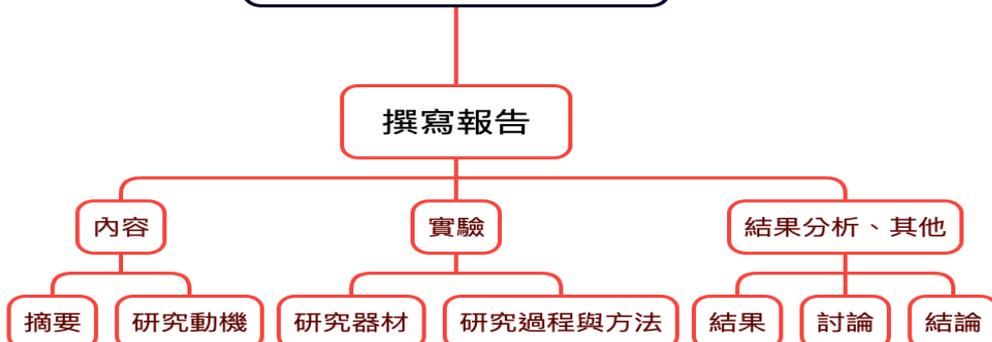
第四階段



第五階段



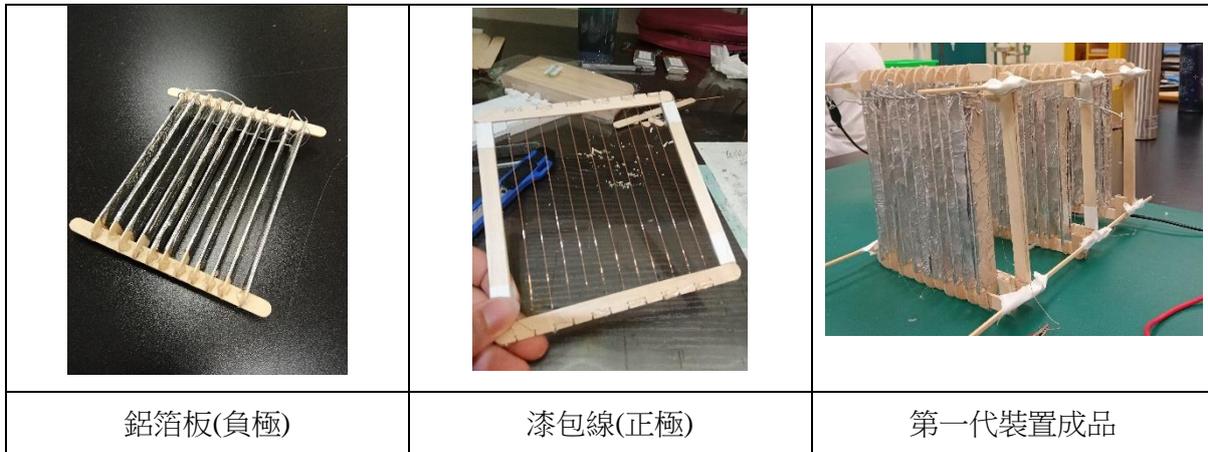
第六階段



三、成品製作

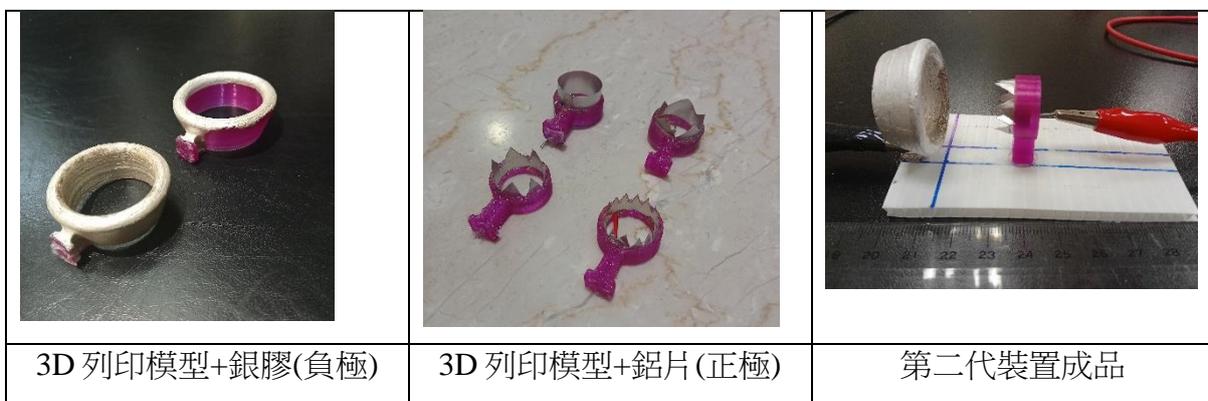
(一)、第一代裝置

這個裝置主要是由**冰棒棍**、**鋁箔**、以及**漆包線**組成，使用熱熔膠及電工膠布進行固定，並且將三組相同裝置合併，期望能加大風量。此裝置好處在於材料好取得且組裝簡單容易。但由於**工作面積過大且精準度不足**而導致裝置上的幾個特定點持續產生電弧、風力小到無法測量等問題，在多次調整後依舊失敗。



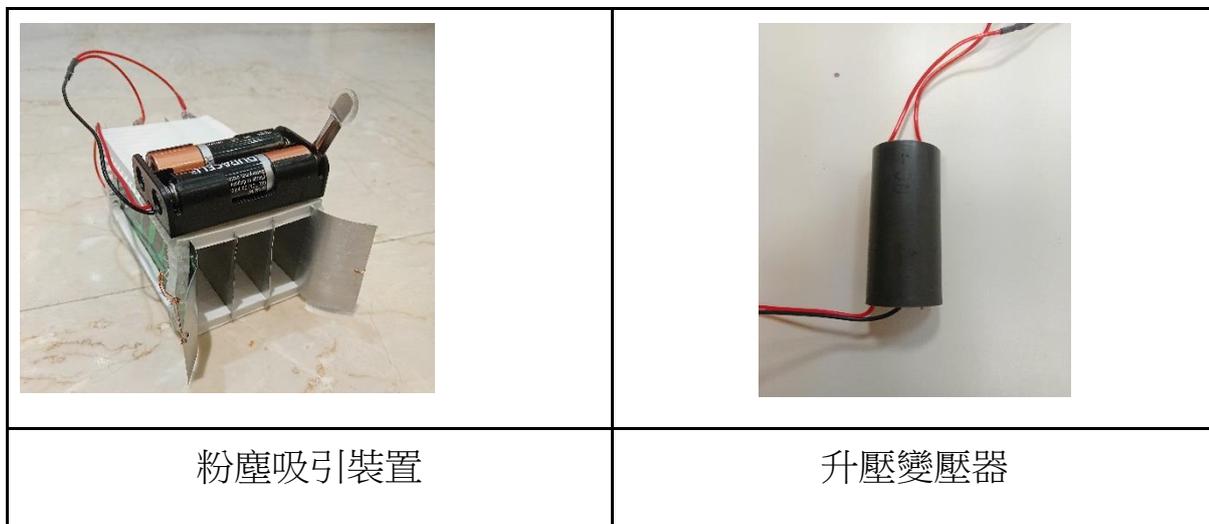
(二)、第二代裝置

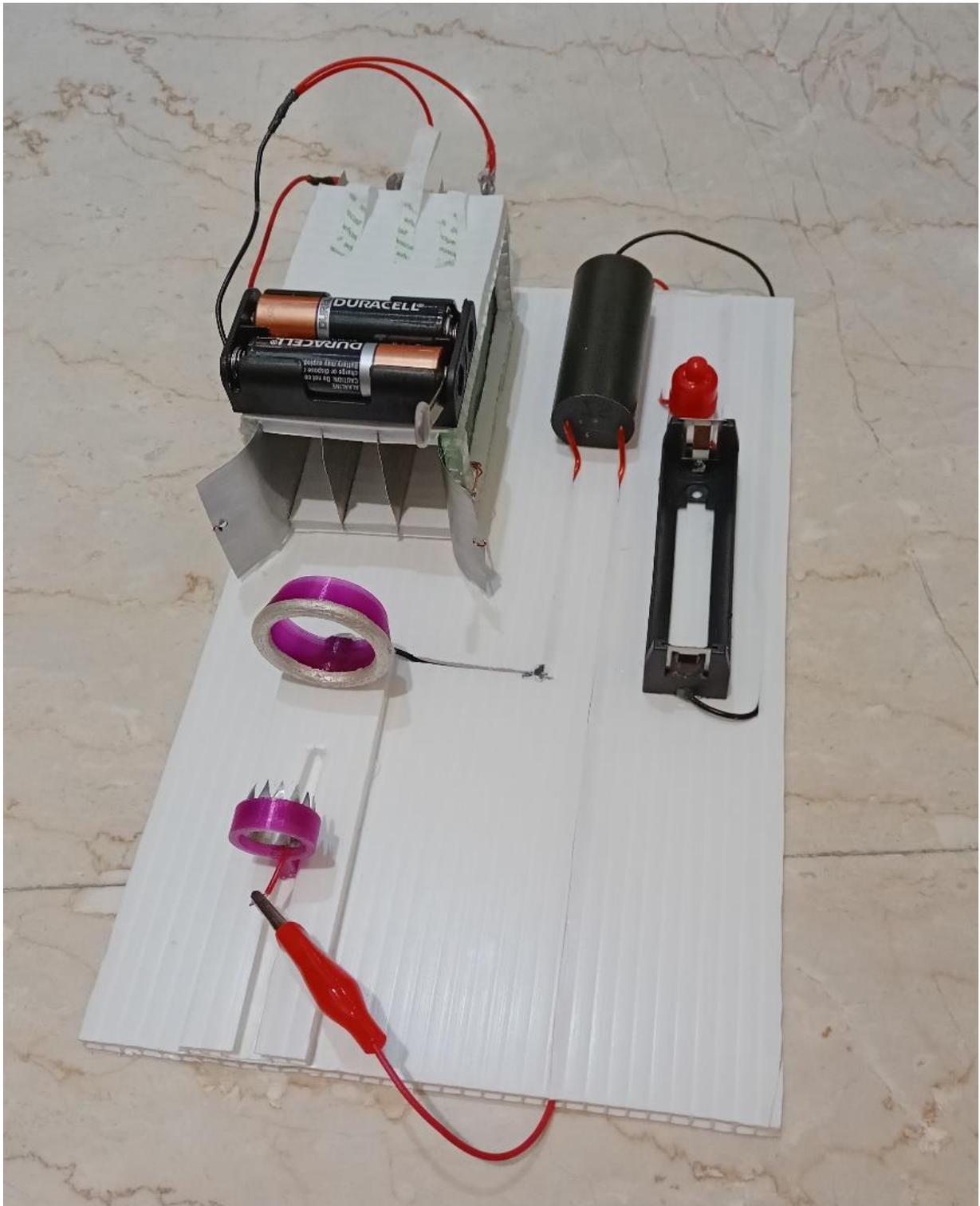
這代裝置使用了**3D 列印**技術來增加精準度，並以塑膠瓦楞板當底座。原先負極端是打算以**3D 列印**模型噴上石墨噴漆再進行鍍銅來實現導電，但由於石墨噴漆的電阻過大且對塑膠表面的吸附力不足等問題而失敗。最終是使用了用於修補損壞電路的**高分子銀膠**塗於**3D 物件**上來實現導電的目的。此代裝置也是我們進行實驗、測試、及製成成品的裝置。



(三)、成品

這個作品是由 **3D 列印模型**、**升壓變壓器**及**粉塵吸引裝置**等部件所組成，為一組離子風空氣淨化器的小型版試驗機。粉塵吸引裝置是由四片鋁片平行擺放所構成，其中鋁片之電極為正負交叉擺放，中間相隔一點五公分以保證其正常運作，並使用三伏特的電池驅動。其原理是運用有帶電的空氣離子沾附的粉塵會為了恢復電中性而被帶電的鋁片吸引，並沾黏於鋁片上。因為升壓變壓器可產生約**四十萬伏特的高壓電**，且在長時間工作中可能有過熱的風險，所以我們使用絕緣且不易燃的塑膠瓦楞板做為底座，瓦楞板中的空隙則是用來收理雜亂的電線。3D 列印模型部分則是沿用了進行實驗測試的第二代裝置，並將較容易損壞的正極端設計成了可調整、更換的活動式設計，方便在損壞時更換。為了使空氣清淨的效率提高，我們將 3D 列印模型設至於粉塵吸引裝置後方，除了使帶電的粉塵直接進入裝置外，也可以加大整體流過粉塵吸引裝置的氣體量。





成品

四、實驗方法

(一)、主要實驗設備：

1. 3D 列印模組(正極鋁片、負極銀膠塗層)
2. 升壓變壓器
3. 3.7 伏鋰電池
4. 風速計
5. 電腦 Excel

(二)、風速計使用：

風速計是測量風量最直接的方法，能將風量大小轉成精確數值表達。設定單位為公尺/每秒。為了測量精準度，我們將風速計放置於距離裝置出風端 15 公分處，並記錄產生風力的最大穩定值，將其手動輸入至 Excel 表格中，最終整理出風最大、最高效的組合。不過電弧的產生會干擾風速計導致其不斷重啟，所以無法檢測有電弧產生時的風速，我們將其結果表示為 N/A，並於是否有電弧一欄中填入 Y。



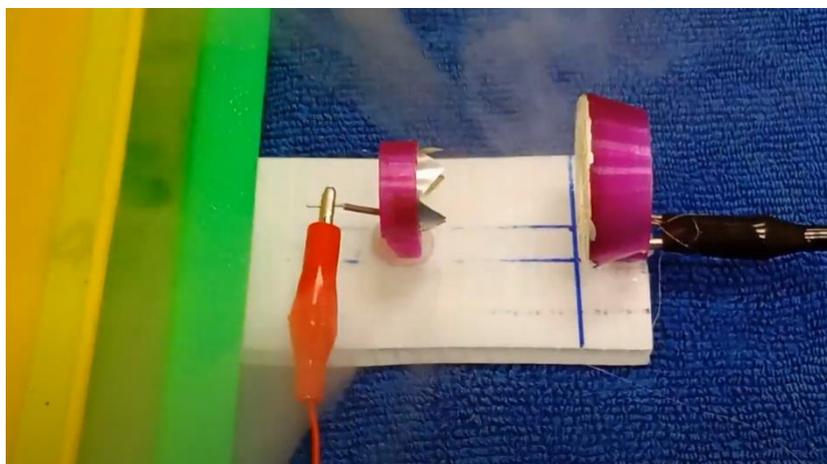
風速計

(三)、實驗方法：

本研究共進行四個實驗項目及一個觀察項目，實驗變因包括正負兩極的距離、尖刺的數量、銀膠塗層寬度等因素對離子風產生器功效的影響。每個項目都進行三次測試，並取其平均數作為實驗數據。

(四)、觀察項目：

此觀察項目是為了以肉眼可見的方式觀察離子風產生裝置啟動時，其四周的的氣體流動情形。為此，我們準備了水族箱造景常用的水霧造霧器，並利用其產生的煙霧觀察裝置周圍氣體的流動。



離子風導致的氣體流動

(五)、實驗步驟：

1. 將 3D 列印模組負極端固定於瓦楞板一端，並設定前緣位置為 0 公分。
2. 將風速計放置於出風口方向 15 公分處進行測量。
3. 將正極端置於另一端簡易固定。
4. 開啟開關測量風速並記錄於 Excel。
5. 調整不同距離並測量風量之數據。
6. 更換不同部件並重複以上步驟。

(六)、數據分析方法：

在實驗中，我們需要進行以下步驟來分析離子風產生裝置的功效。首先，測量各組數據三次，並將實驗的數據放到一個 **Excel 表格** 中。接著，把每個數據都**取平均值**。然後，將這些取平均值後的**風量值**繪製成為折線圖。在**觀察折線圖**的趨勢、最高點等特徵後，我們可以進行比較分析，以了解不同組合的功效及穩定性。這些分析結果可以幫助我們更加了解影響離子風產生的種種因素，並提高系統的性能和穩定性。

齒數	距離(cm)	風速(m/s)/ 前半部塗層	風速(m/s)/ 全部塗層	是否有電弧(y/n)/前半部	是否有電弧(y/n)/後半部
0	0.5	N/A	N/A	y	y
	1	N/A	N/A	y	y
	1.5	0.3	0.8	y	y
	2	1	1	n	n
	2.5	1	1	n	n
	3	0.7	0.6	n	n
	3.5	0.3	N/A	n	n
	4	N/A	N/A	n	n
	4.5	N/A	N/A	n	n
	5	N/A	N/A	n	n
	5.5	N/A	N/A	n	n
	6	N/A	N/A	n	n
1	0.5	N/A	N/A	y	y
	1	1.1	N/A	y	y
	1.5	1	1.1	n	y
	2	1.2	1.3	n	n
	2.5	1	1	n	y
	3	1	1	n	n
	3.5	0.9	1.1	n	n
	4	0.4	1	n	n
	4.5	N/A	0.5	n	n
	5	N/A	N/A	n	n
	5.5	N/A	N/A	n	n
	6	N/A	N/A	y	n
5	0.5	N/A	N/A	y	y
	1	N/A	N/A	y	y
	1.5	N/A	N/A	y	y
	2	N/A	1.6	y	y
	2.5	N/A	1.4	y	n
	3	1.2	1.2	n	y
	3.5	1	1.1	n	n
	4	0.5	1	n	n
	4.5	N/A	0.8	n	n
	5	N/A	N/A	n	n
	5.5	N/A	N/A	n	n
	6	N/A	N/A	n	n
7	0.5	N/A	N/A	y	y
	1	N/A	N/A	y	y
	1.5	N/A	1.8	y	n
	2	1.1	1.9	y	n
	2.5	1	1.6	y	n
	3	1.6	1.4	n	n
	3.5	1.3	1.3	n	n
	4	1	1.1	n	n
	4.5	0.9	0.9	n	n
	5	N/A	0.8	n	n
	5.5	N/A	0.5	n	n
	6	N/A	N/A	n	n
14	0.5	N/A	N/A	y	y
	1	N/A	N/A	y	y
	1.5	N/A	N/A	y	y
	2	1.4	1.7	y	n
	2.5	1.4	1.7	y	n
	3	1.4	1.4	n	n
	3.5	1.2	1	n	n
	4	1	0.6	n	n
	4.5	0.3	0.4	n	n
	5	N/A	N/A	n	n
	5.5	N/A	N/A	n	n
	6	N/A	N/A	n	n

Excel 數據 (測量數據)

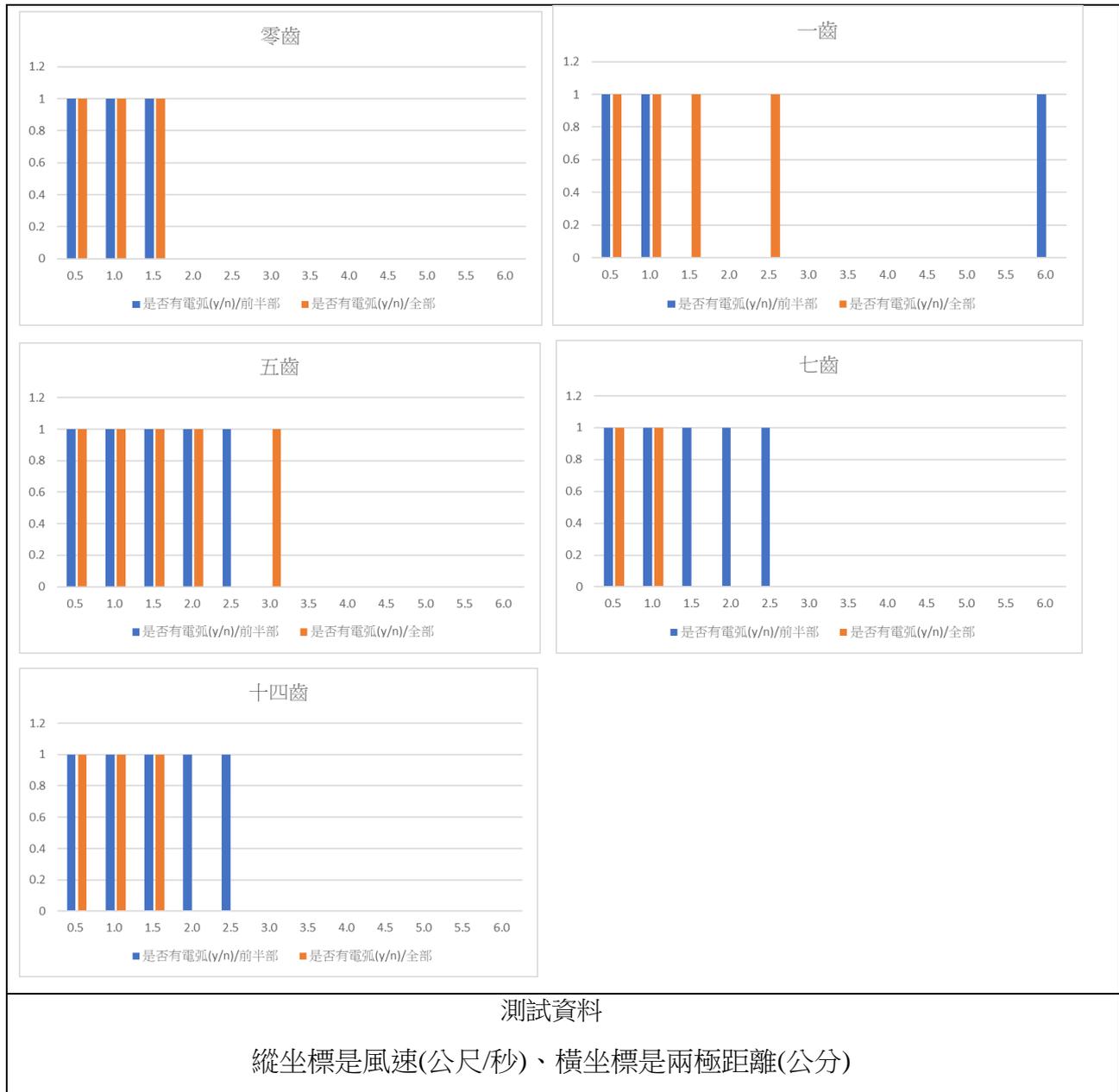
	A	B	C	D	E	F	G	H		A	B	C	D	E	F	G	H
	齒數0	距離(cm)	風速 (m/s)/前 半部塗層	風速 (m/s)/全 部塗層	是否有 電弧 (y/n)/前 半部	是否有 電弧 (y/n)/全 部	無電弧 風速 (m/s)/前 半部塗層	無電弧 風速 (m/s)/全 部塗層		齒數5	距離(cm)	風速 (m/s)/前 半部塗層	風速 (m/s)/全 部塗層	是否有 電弧 (y/n)/前 半部	是否有 電弧 (y/n)/全 部	無電弧 風速 (m/s)/前 半部塗層	無電弧 風速 (m/s)/全 部塗層
1									1								
2	0	0.5			y	y			36	5	0.5			y	y		
3		1.0			y	y			37		1.0			y	y		
4		1.5	0.30	0.80	y	y			38		1.5			y	y		
5		2.0	1.00	1.00	n	n	1.00	1.00	39		2.0		1.60	y	y		
6		2.5	1.00	1.00	n	n	1.00	1.00	40		2.5		1.40	y	n		
7		3.0	0.70	0.60	n	n	0.70	0.60	41		3.0	1.20	1.20	n	y	1.20	
8		3.5	0.30		n	n	0.30		42		3.5	1.00	1.10	n	n	1.00	1.10
9		4.0			n	n			43		4.0	0.50	1.00	n	n	0.50	1.00
10		4.5			n	n			44		4.5		0.80	n	n		0.80
11		5.0			n	n			45		5.0			n	n		
12		5.5			n	n			46		5.5			n	n		
13		6.0			n	n			47		6.0			n	n		
14	Average		0.66	0.85	75%	75%	0.75	0.87	48	Average		0.90	1.18	58%	58%	0.90	0.97
15	斜率						-0.48	-0.40	49	斜率						-0.70	-0.30
16	截距						2.07	1.87	50	截距						3.35	2.17
17									51								
	齒數1	距離(cm)	風速 (m/s)/前 半部塗層	風速 (m/s)/全 部塗層	是否有 電弧 (y/n)/前 半部	是否有 電弧 (y/n)/全 部	無電弧 風速 (m/s)/前 半部塗層	無電弧 風速 (m/s)/全 部塗層		齒數7	距離(cm)	風速 (m/s)/前 半部塗層	風速 (m/s)/全 部塗層	是否有 電弧 (y/n)/前 半部	是否有 電弧 (y/n)/全 部	無電弧 風速 (m/s)/前 半部塗層	無電弧 風速 (m/s)/全 部塗層
18									52								
19	1	0.5			y	y			53	7	0.5			y	y		
20		1.0	1.10		y	y			54		1.0			y	y		
21		1.5	1.00	1.10	n	y	1.00		55		1.5		1.80	y	n		1.80
22		2.0	1.20	1.30	n	n	1.20		56		2.0	1.10	1.90	y	n		1.90
23		2.5	1.00	1.00	n	y	1.00		57		2.5	1.00	1.60	y	n		1.60
24		3.0	1.00	1.00	n	n	1.00	1.00	58		3.0	1.60	1.40	n	n	1.60	1.40
25		3.5	0.90	1.10	n	n	0.90	1.10	59		3.5	1.30	1.30	n	n	1.30	1.30
26		4.0	0.40	1.00	n	n	0.40	1.00	60		4.0	1.00	1.10	n	n	1.00	1.10
27		4.5		0.50	n	n		0.50	61		4.5	0.90	0.90	n	n	0.90	0.90
28		5.0			n	n			62		5.0		0.80	n	n		0.80
29		5.5			n	n			63		5.5		0.50	n	n		0.50
30		6.0			y	n			64		6.0			n	n		
31	Average		0.94	1.00	75%	67%	0.92	0.90	65	Average		1.15	1.26	58%	83%	1.20	1.26
32	斜率						-0.22	-0.32	66	斜率						-0.48	-0.34
33	截距						1.53	2.10	67	截距						3.00	2.45
34									68								
	齒數14	距離(cm)	風速 (m/s)/前 半部塗層	風速 (m/s)/全 部塗層	是否有 電弧 (y/n)/前 半部	是否有 電弧 (y/n)/全 部	無電弧 風速 (m/s)/前 半部塗層	無電弧 風速 (m/s)/全 部塗層									
1																	
70	14	0.5			y	y											
71		1.0			y	y											
72		1.5			y	y											
73		2.0	1.40	1.70	y	n		1.70									
74		2.5	1.40	1.70	y	n		1.70									
75		3.0	1.40	1.40	n	n	1.40	1.40									
76		3.5	1.20	1.00	n	n	1.20	1.00									
77		4.0	1.00	0.60	n	n	1.00	0.60									
78		4.5	0.30	0.40	n	n	0.30	0.40									
79		5.0			n	n											
80		5.5			n	n											
81		6.0			n	n											
82	Average		1.12	1.13	58%	75%	0.98	1.13									
83	斜率						-0.70	-0.58									
84	截距						3.60	3.03									
85																	

Excel 數據 (整理分析後數據)

肆、研究結果

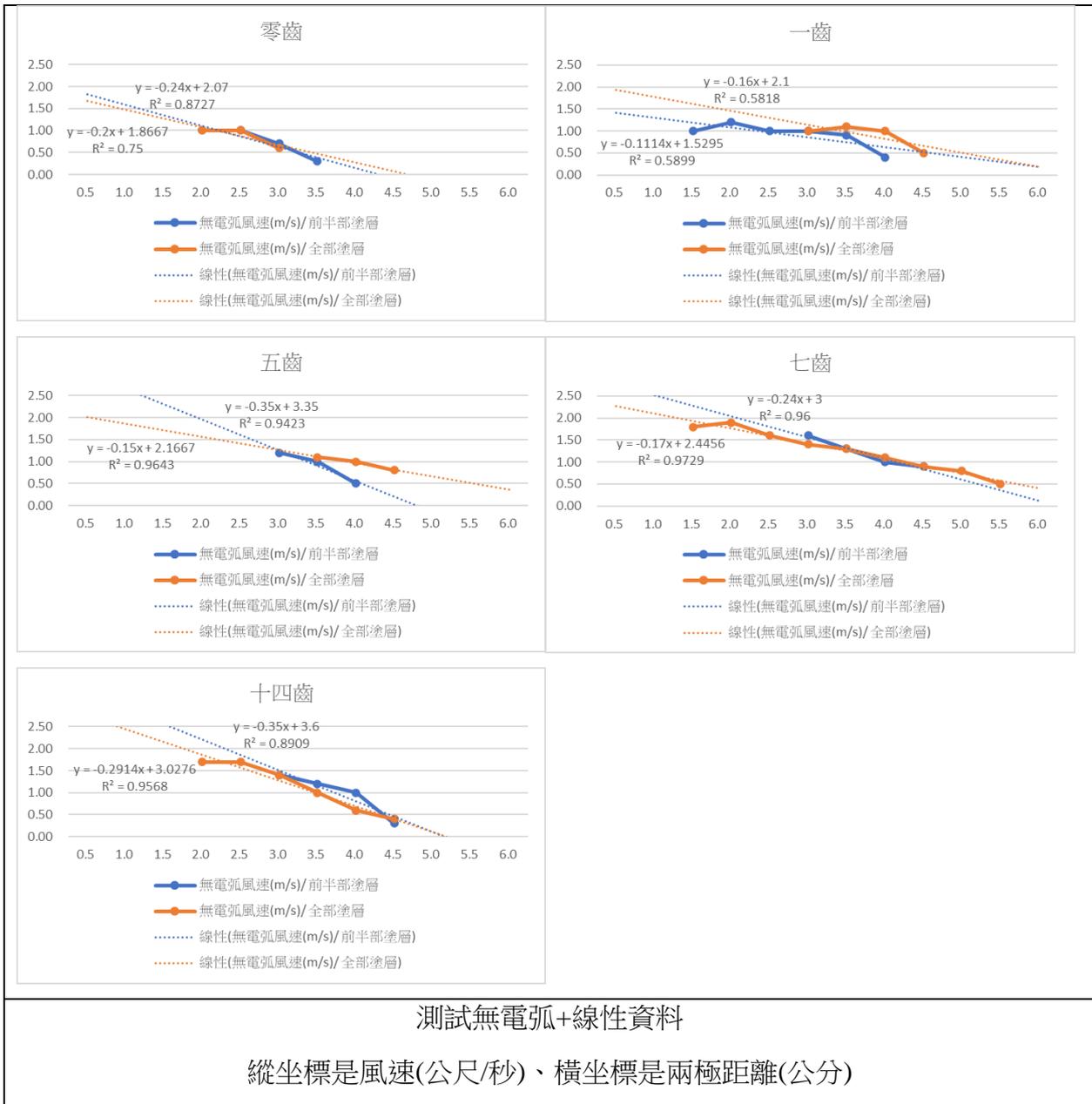
實驗一：正負極距離與電弧是否發生間的關係

由於離子風的產生須要高壓電將空氣解離，所以一旦有電弧產生就會導致空氣不被解離，進而導致效率降低。電弧有一特性是當正負極距離超出其導通範圍後就無法產生。因此我們需要了解距離與電弧是否發生之間的關係。



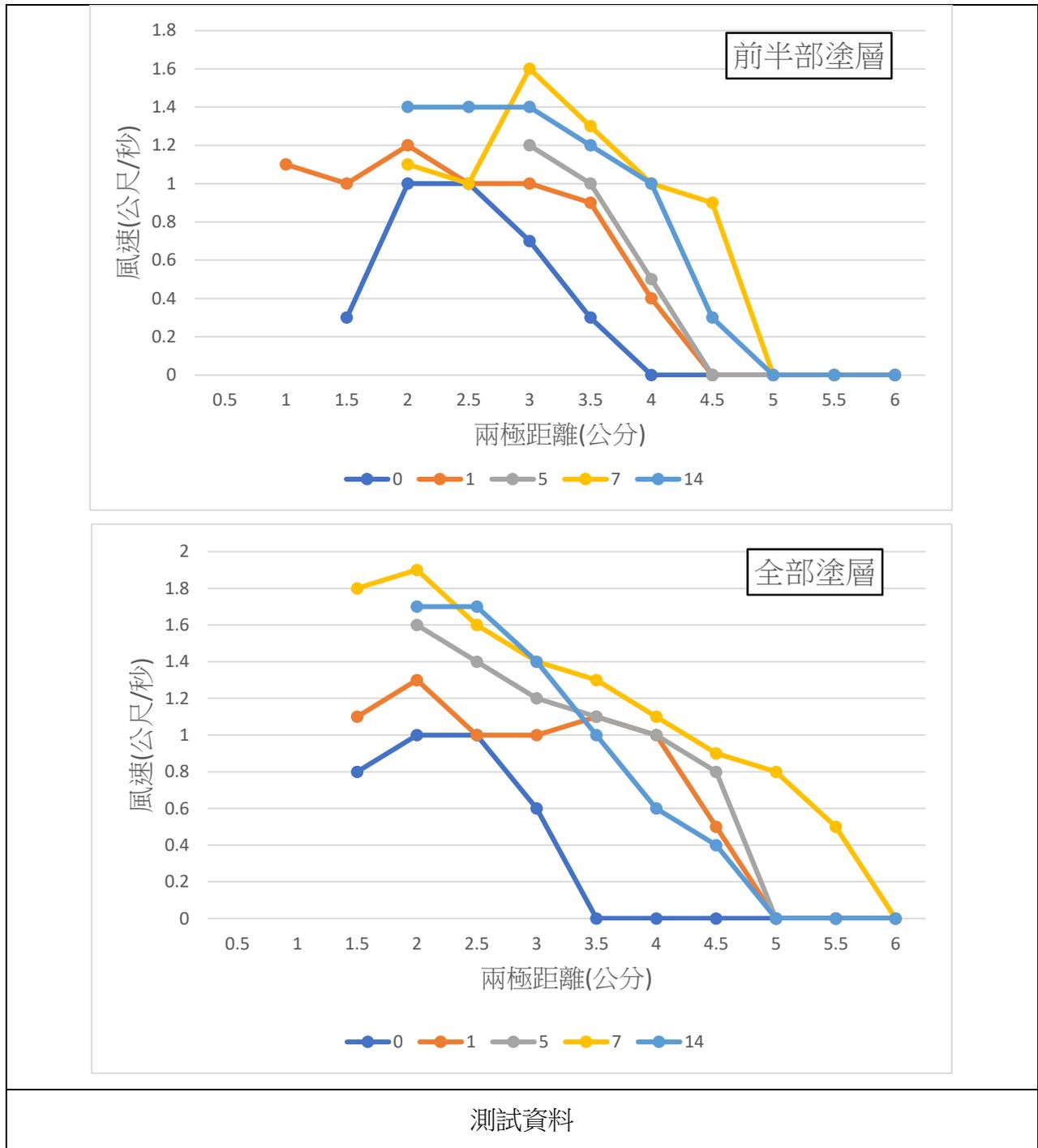
實驗二：正負極距離與風量大小間的關係

當我們觀看網路上的影片時，我們發現所有人製作出的裝置正負極距離皆有所不同，且他們所得出的風量數據也有所不同。因此，我們推測當正負極間的距離越遠時，空氣離子被吸引的力就越小，風也會越小，並假設正負極距離與風量呈負相關。



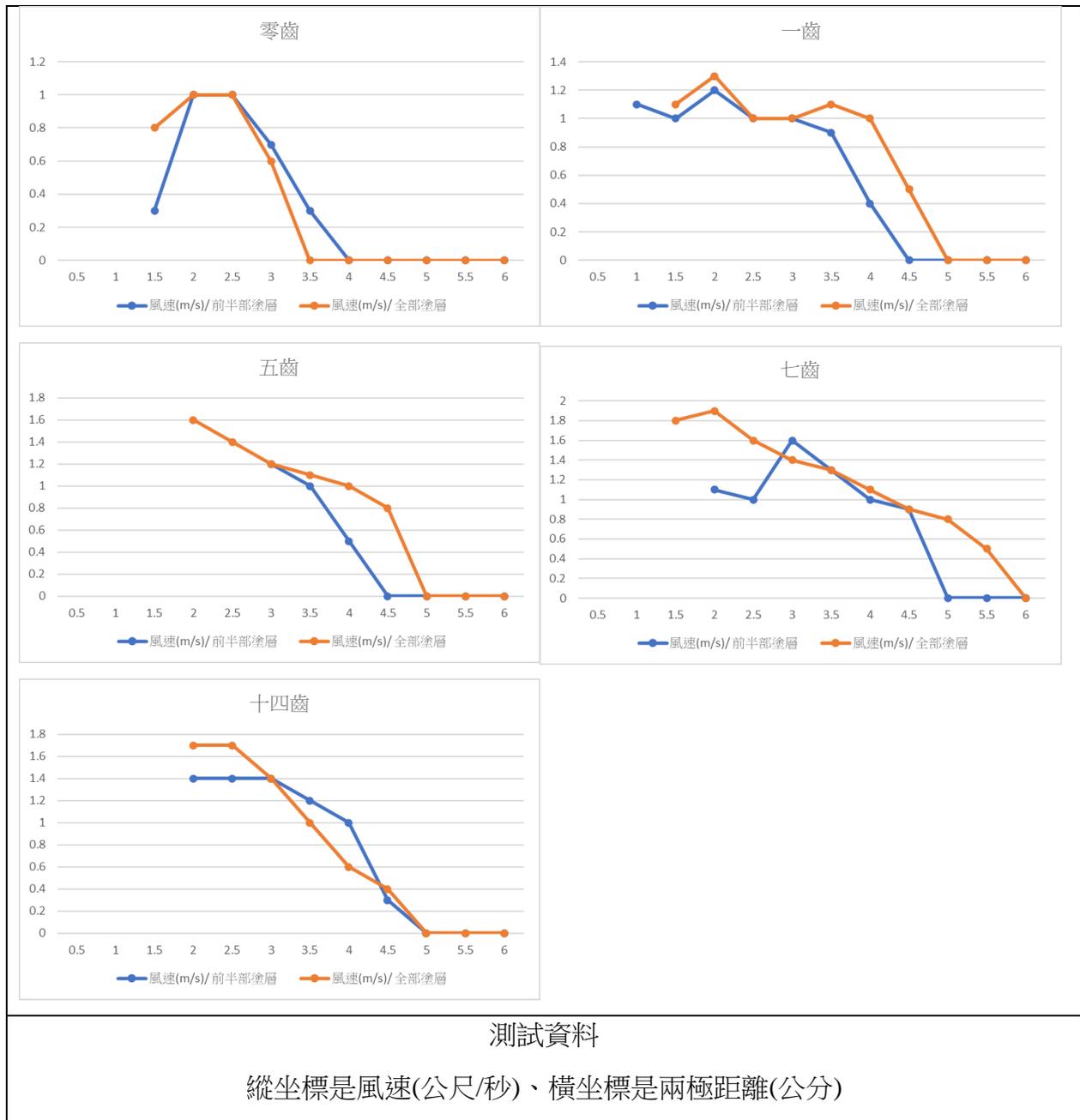
實驗三：尖刺數量與風量大小間的關係

在網路影片中，正極端有許多五花八門的設計，包括單根鐵釘、散開的電線線芯、鐵網及尖刺等。因此為了瞭解不同設計對離子風產生效率的影響，我們設計了此項實驗。此實驗分別有零齒(圓環)、一齒(針)、五齒、七齒及十四齒，一共五種不同的形態。



實驗四：銀膠塗層寬度與風量大小間的關係

當我們在紙上測試銀膠塗層的特性時，我們發現銀膠似乎塗的寬度越寬，其電阻就越小，導電效率也就越高。因此我們設計了此實驗，將 3D 物件上銀膠塗層的寬度分為前半部塗層及全部塗層兩種，也就是只塗前緣及全部塗滿，用於了解導電度對離子風產生效率的影響並證明塗層寬度與電阻的關係。



伍、討論

實驗一：正負極距離與電弧是否發生間的關係

從表中的數據可以看出當距離增加至約 2 公分左右時，前半部塗層組的電弧逐漸停止產生，而全部塗層組距離則須再增加約 1 公分左右。可見隨著距離增加，電弧產生的機率就會降低。也就是說**隨著距離增加，電弧就越不會出現**。因此，當正負極**距離較短時就容易發生電弧**，使能量經由電弧釋放，而不是將空氣解離，而導致效率下降。

實驗二：正負極距離與風量大小間的關係

實驗組合	風速-距離趨勢線
零齒前半部塗層	$y = -0.24x + 2.07$
零齒全部塗層	$y = -0.2x + 1.8667$
一齒前半部塗層	$y = -0.11x + 1.5295$
一齒全部塗層	$y = -0.15x + 2.1$
五齒前半部塗層	$y = -0.35x + 3.35$
五齒全部塗層	$y = -0.15x + 2.1667$
七齒前半部塗層	$y = -0.24x + 3$
七齒全部塗層	$y = -0.17x + 2.4456$
十四齒前半部塗層	$y = -0.35x + 3.6$
十四齒全部塗層	$y = -0.29x + 3.0276$

從以上數據中的 x 項(斜率)可以分析出在斜率數值的絕對值越大時，距離對風速的影響就越大。而數據各項的斜率均為負數，可證明**距離與風速成負相關**，也就是當正負極**距離增加時，風速會降低**。這是因為裝置正負極間的**距離過長時會導致吸引離子的力量不足**，使效率降低。

實驗三：尖刺數量與風量大小間的關係

由兩張圖表的數據可以看出零齒風力下降至無法測得的距離最短，而一齒、五齒、七齒的風力下降至無法測得的距離基本隨著齒數增加而增加。然而，十四齒的風力下降至無法測得的距離卻又比七齒短。

此實驗證明了風力基本會隨著齒數增加，但當齒數超越最佳值後，風力卻又會降低。可見**齒數並非越多風就越大，而是有一最佳比例存在**。這是因為尖刺過多會使其各尖端的能量分散，從而讓解離能力降低；然而尖刺過少也會容易因擺放的偏差而使各點放電不均，從而加大電弧產生的機率。

實驗四：銀膠塗層寬度與風量大小間的關係

實驗組合	風速
零齒前半部塗層	最大值 1.0m/s
零齒全部塗層	最大值 1.0m/s
一齒前半部塗層	最大值 1.2m/s
一齒全部塗層	最大值 1.3m/s
五齒前半部塗層	最大值 1.2m/s
五齒全部塗層	最大值 1.6m/s
七齒前半部塗層	最大值 1.6m/s
七齒全部塗層	最大值 1.9m/s
十四齒前半部塗層	最大值 1.4m/s
十四齒全部塗層	最大值 1.7m/s

從以上的數據可以分析出全部塗層的風力基本較前半部塗層大，同時也較穩定。因為在塗層只有覆蓋前半部時，由於電阻較塗層覆蓋全部時高且覆蓋面積較塗層覆蓋全部時小，吸引離子的力量也較小，所以效率也比塗層覆蓋全部時低。這也證明了**塗層寬度越寬，電阻越小，風就越大**的假設。

陸、結論

經由此次對離子風產生裝置的深入了解與研究，我們得出了以下結論

- 一、我們認為其效率主要是取決於裝置**正負極間的距離**、**尖端能平均放電**、以及裝置**電阻的大小**等因素。
- 二、此裝置在**正負極距離較短時容易產生電弧而使風速下降**，而裝置正負極間的**距離過長時風速又會降低**。我們的實驗裝置測得的數據顯示**最佳距離約為二公分**左右。
- 三、正極端的尖刺數量也會影響此裝置將空氣解離的平均，並間接影響產生離子風的效率。在我們所找到的影片中，最常見的莫過於單齒(針)，但我們測試發現單齒只要有一點沒對準就容易會產生電弧，從而導致效率下降。在我們的實驗中，**表現最好、風最大的尖刺數量是七齒**左右；十四齒相對沒有那麼大的風，但不論是電弧發生率或風力都是最穩定的。另外，我們也發現了**齒數越多、放電越穩定，就越能拉近正負極的距離**。
- 四、在負極端 3D 列印模型的部分，**銀膠塗層的面積會影響其電阻及裝置整體效率**。在塗層只有覆蓋前半部時，吸引離子的力量較小，所以效率也比塗層覆蓋全部時低。
- 五、離子風的產生僅需高壓電而無需高電流，所以**耗電量極低**，有助於電能的節省。
- 六、離子風的空氣淨化器的原理是讓帶電的雜質吸附到導電的金屬裝置上，所以**不需要濾網等耗材**，能減少地球資源的使用。
- 七、離子風產生裝置在運作時會產生微量臭氧，而臭氧具有將空氣消毒的效果，且由於**臭氧暴露在空氣中會自然分解成氧氣**，對環境幾乎沒有危害。

總之，離子風空氣淨化器雖然能解決現存濾網式空氣淨化器的耗電及耗材使用的問題，成本也十分低廉，但同時也存在許多問題，如高壓電的安全隱患等。我們認為若是有經費、有技術來做研發，離子風空氣淨化器可以成為未來面對環保時代的一種解方，也期待未來這項技術能有蓬勃的發展。

柒、參考文獻資料

一、朱致宜(2011) 離子風散熱器力推「無扇製風」

<https://www.ctimes.com.tw/DispArt/tw/%E7%84%A1%E6%89%87%E8%A3%BD%E9%A2%A8/110107103834.shtml>

二、張明、李丁晨、李傳、李家璋、楊勇(2021) 離子風的應用研究進展

<https://dgjxb.ces-transaction.com/fileup/HTML/2021-13-2749.htm>

三、Integza (2023) I built an IONIC PLASMA THRUSTER (Best Design)

<https://www.youtube.com/watch?v=mnCmvxt2jn8>

四、Plasma Channel (2022) Designing A Next-Gen Ionic Thruster! (For Flight)

<https://www.youtube.com/watch?v=nrEBoPYS4ns>

五、胡子(2024) 離子風船！高壓電漿居然能化為噴射引擎！？【胡思亂搞】

<https://www.youtube.com/watch?v=gRrPO7Pqgec&t=1s>

六、3D 列印模型檔案

<https://www.printables.com/model/553679-ionic-thruster>

七、科技報橘(2018) 沒有螺旋槳和渦輪也能飛！MIT 團隊開發出全球第一架「離子風」飛機 <https://buzzorange.com/techorange/2018/11/23/plane-with-no-moving-parts/>

八、維基百科 離子推力器

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%A6%BB%E5%AD%90%E6%8E%A8%E5%8A%9B%E5%99%A8>

九、維基百科 電弧

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%94%B5%E5%BC%A7>

十、維基百科 特斯拉線圈

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%89%B9%E6%96%AF%E6%8B%89%E7%B7%9A%E5%9C%88>

十一、維基百科 變壓器

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%8F%98%E5%8E%8B%E5%99%A8>

十二、每日頭條(2021) 科研簡報：離子風的發生方式及其特點研究

<https://kknews.cc/zh-tw/science/rab5mqo.html>

十三、每日頭條(2021) 離子風技術應用前景光明，科學家提出改進措施，推動其進一步發展 <https://kknews.cc/science/2obbge.html>