

彰化縣 108 學年度國民中小學學生獨立研究作品徵選  
作品說明書（封面）

作品編號： (由承辦單位編列)

組別：  
 國小組                       數學類  
 國中組                         自然與生活科技類  
 人文社會類

作品名稱：一個古老夢境的實現—飛行夢

第一階段 研究訓練階段（由教師撰寫）

### 一、近二年學校獨立研究課程之規劃

（一）. 學習獨立研究概念與研究方法、練習研究方法與步驟、激盪有興趣之主題。

（二）. 著手進行獨立研究資料蒐集、整理、分析、統整與撰寫。

（三）. 文獻閱讀與報告。

（四）. 修改研究報告成果、PPT 製作、訓練口頭報告、省思與分享。

### 二、學校如何提供該生獨立研究訓練

（一）. 從解決問題概念切入，讓學生了解獨立研究的意義與目的，並了解研究方法與步驟，以備往後的研究所需。

（二）. 給予學生針對某研究的方法了解研究步驟。協助學生理解研究方法的運用，排除對繁瑣過程的恐懼。

（三）. 以討論的方式激盪學生有興趣的主題，並引導學生聚焦於可行方向，讓學生對廣泛的興趣聚焦於明確的主題。

（四）. 引導學生提出可討論的問題及欲達成的目的。讓學生針對感興趣的主題蒐集資料、整理資料、分析資料，對能統整相關的資訊，以符合研究目的與問題。

（五）. 研究內文進行撰寫。老師是提供協助的引導者，學生是整個研究的主角，給予學生對學習負責的機會。

（六）. 完成研究報告後，學生學習製作簡報 PPT，並學習如何對自己的研究報告做口頭報告，訓練口頭表達能力。

（七）. 最後，回顧獨立研究的過程，做省思與心得分享。

## 第二階段 獨立研究階段(由學生撰寫)

### 一. 研究動機

今年的漢光演習就在我們彰化，演習的前幾天，清晨時便可聽見戰機劃破天際的聲音呼嘯而過。飛機之父 萊特兄弟發明飛機，至今大約才 100 多年，如今，不論是客機、運輸機、戰鬥機，甚至發展到太空梭，進步的速度更是驚人。

嚮往能像飛機般在天空快速翱翔的我們，再加上自然課教到風力的大小，組員們討論過後，決定探討:氣流與飛機結構對飛行的影響有哪些?來瞭解飛機是如何藉由空氣力學在空中飛翔。

每到空曠的場地，總看見有小朋友在玩手拋飛機，所以，想利用它本身與真實飛機相似度極高，來進行研究樣本，並 DIY 改裝成有小電機動力的遙控飛機，讓它擁有自身的動力，才能更真實整理出有關於飛行情況與數據，讓我們更進一步認知 萊特兄弟是如何完成這偉大的飛行夢。

## 二. 擬定正式計畫、研究問題及工作進度表

### (一). 擬定正式計畫

表一. 擬定正式計畫



### (二). 擬定研究問題

1. 了解飛機的構造及飛行原理
2. 模擬風洞機製作測試準備
3. 探討測試速度、升舉力和阻力之間的關係
4. 探討襟翼裝置對飛機的影響。
5. 改造 EPP 手拋飛機成動力飛機，記錄推力、速度與起飛之關係。
6. 探討戶外實際動力飛行狀態記錄。
7. 評鑑與檢討。

### (三).擬定工作紀錄表

表二.擬定工作紀錄表

	六月			七月			八月			九月			
文獻探討	✓	✓	✓										
擬定問題		✓	✓	✓	✓								
記錄發現				✓	✓	✓	✓						
擬訂計畫				✓	✓	✓	✓						
進行實驗					✓	✓	✓	✓					
撰寫報告									✓	✓	✓	✓	
實驗進度	10%	15%	20%	25%	40%	50%	60%	70%	80%	85%	90%	100%	

### 三.彙整相關文獻

從歷史來看，主要對飛行有貢獻的四大才士：喬治.凱利 (1773-1857)，奧托·李林達爾 (1848-1896)，威爾伯.萊特 (1867-1912)，奧維爾.萊特(1871-1948)。

凱利 是自然哲學家、教育家、國會議員，也是英國科學促進協會創始者。

且是第一位在理論上，把飛行所需的種種要素給綜合起來的人，飛行要素有：**1. 推力** **2. 升力** **3. 重力** **4. 阻力**。他非但研究**升力**，同時亦研究**阻力**，發現**機翼的升舉性能會因受到空氣中運動時的角度不同而變化**，且建議發動機一定要很輕，他名之曰"初動裝置"，及利用"能燃燒的粉末或者液體的突然燃燒"——就是現在的內燃機。

1853年 凱利說服了自己的馬夫，從一座小山起飛(滑翔機)並飛越一個村落，可是，這個車夫沒有後期飛行員的英勇毅力，大聲叫道：我是來趕車的，不是來飛行的!!

威爾伯和奧維爾.萊特(萊特兄弟，自行車製造匠)在1903年12月14日，第一次"飛行者"試飛失敗，三天後再做一次試飛(17日)，在殺魔山的上空飛越120呎飛行時間12秒鐘，最後又回到同樣高的

地方降落。

他們兄弟二人輪流操作，那天又做了 3 次飛行，每次都創新飛行持久紀錄，最後一次在空中停留 59 秒，飛行 852 呎。

萊特 兄弟重要的貢獻之處：他們編輯記錄許多飛行相關知識，把幾世紀被傳說、猜測及錯誤的實驗給確實弄清楚的重要人物，如：首創風洞實驗紀錄、高效率的螺旋槳及操縱機翼等，並仔細記錄風洞機氣流對機翼所產生的升舉作用力，完成了科學上的突破，長久以來人類的飛行夢終於實現，並以他們的見解改變了世界。

#### 四. 資料分析

##### (一). 了解飛機的構造及飛行原理

##### 1. 飛機的構造

- (1). **機身**: 主要是串起主翼與尾翼，並提供一個可供放置配重的地方。
- (2). **主翼**: 能產生升力，並給予飛機一定程度的穩定性。
- (3). **副、襟翼**: 幫助主翼產生更大升力或翻轉力，並給予飛機一定程度的穩定性。
- (4). **水平尾翼**: 保持俯仰方向的穩定，因為可以提供一個力矩與主翼產生的力矩抵消，避免飛機出現頭上腳下或頭下腳上的情形。
- (5). **垂直尾翼**: 保持水平方向穩定和直線性。
- (6). **渦輪發動機**: 飛機推力來源，主要產生高速向前推進力道。



圖 1. 飛機構造



圖 2. 飛行的四種力量

## 2. 飛機飛行的原理及相關定律

飛機之所以能夠在天空飛行，是因為四種力量相互作用的結果，這四種力量分別是 **1. 推力 2. 升力 3. 重力 4. 阻力** (如圖 2)，飛機靠引擎的推力產生速度、促使空氣通過機翼產生升力、**當推力大於阻力、升力大於重力時**，就能起飛升高。

而飛機飛行時的升力來源，大致上可依據牛頓運動定律與白努力定律及康達效應來解釋。

白努力定律：**流體速度快則壓力小，流體速度慢則壓力大**。因為有曲線的機翼上方，面積大空氣流動的速度較快，所以上方產生的壓力小，而下方的空氣速度較慢，產生的壓力大，使得飛機產生向上的升力。

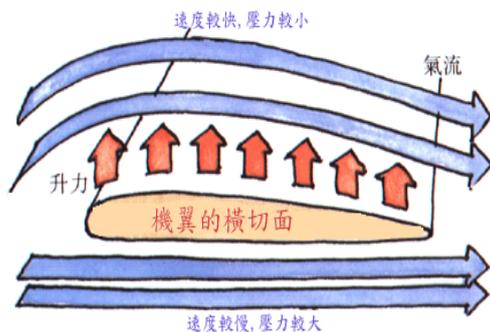


圖 3. 機翼相關白努力定律

### 上升的反作用力 - 空氣阻力與昇力

- 飛機起飛時抬起機首產生攻角，是利用空氣阻力與昇力合成反作用力。

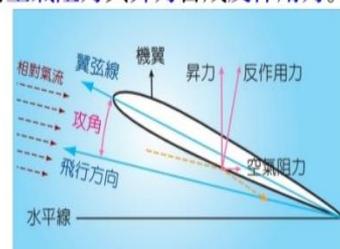


圖 4. 機翼相關牛頓定律

牛頓運動定律分為：

牛頓第一運動定律是『**慣性定律**』，除非物體有受到外力，要不然保持靜止的物體，會一直保持靜止；沿一直線作等速度運動的物體，也會一直保持等速度運動。

牛頓第二運動定律也稱『**運動定律**』，當物體受外力作用時，會在力的方向產生加速度，其大小與外力成正比，與質量成反比。

$$F=m*a。$$

牛頓第三運動定律也稱『**作用與反作用定律**』，當施加力於物體

時，會同時產生一個大小相等而且方向相反的反作用力。作用力與反作用力大小相等、方向相反，且作用在同一直線上，因為受力對象不同，所以不能互相抵銷，兩者同時發生，同時消失。

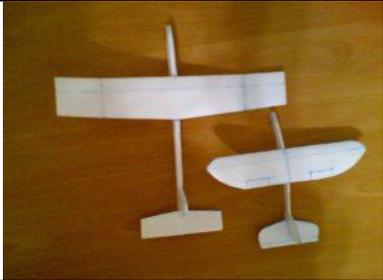
康達效應亦稱附壁作用或柯恩達效應。流體（水流或氣流）有離開本來的運動方向，改為隨著凸出的物體表面摩擦時，流體的流速會減慢。只要物體表面的曲率不是很大，依據流體力學中的白努利原理，流速的減緩會導致流體被吸附在物體的表面上流動。這中作用是以羅馬尼亞發明家亨利-康達命名。

### 3. 實驗飛機材料說明

為因應與真實飛機之機翼相同之曲線，面積較大空氣流速較快，所以上方壓力小，機翼之下方因面積小，空氣流速較慢，產生的壓力大，使的飛機機翼因壓力大小不同而產生升舉力(白努力定律)，我們使用了 EPP 手拋飛機來做實驗(主翼上、下有不同曲線)，並將它加裝高速空心杯馬達(720 型號)，使其產生向前推力並使用遙控控制進之動力，進行觀察與紀錄。

表 3. 飛機材料說明

材料比較	相片	機翼是否有曲線	飛行作用	本身有無動力設備
紙飛機		無	牛頓定律	無

珍珠板飛機		無	牛頓定律	無
EPP 手拋飛機		有	牛頓定律 白努力定律 康達效應	本身無 將進行實驗加裝
真實飛機		有	牛頓定律 白努力定律 康達效應	有

## (二). 模擬風洞機製作測試準備

### 1. 全部研究器材：

超高速排風機九顆、5MM 厚 PP 瓦楞板、2mm 透明壓克力板、紗網、PWM 控制模塊、食品秤、行李秤、風箏線、各式 EPP 手拋飛機(36、48、86 公分)、珍珠板、3.7V 300ma 電池、720 空心杯馬達、尼龍帶、電線、接線端子、電熱絲、塑膠合頁及凹輪、1.2mm 鐵絲、三用電表、烙鐵、焊錫、遙控器及接收器、L 型鐵、螺絲、美工刀。

#### (1). 器材：



圖 5. 瓦楞板、超高速風機、紗網



圖 6. 遙控及接收器、起落架



圖 7.各式手拋飛機



圖 8.秤、空心杯電機、電池



圖 9.舵腳固定器、合頁、鐵絲



圖 10.電表、電熱絲、端子、螺絲

## (2)實驗手拋飛機外型參數表

表 4.參數表

飛機參數	A 型機(空機)	B 型機(空機)
主翼展長(cm)	37	88
機身長度的(cm)	35	70
機身高度(cm)	9	15.5
重心位置	主翼與機身下中心	主翼與機身下中心
主翼弦長(cm)	6.6	16.5
主翼裝置角(度)	約 5 度	約 10 度
尾翼裝置角(可變)	約 0 度與 5 度	約 5 度與 -5 度
主翼展弦比	5.6	5.33
飛機空重(g)	22.1	164.8
改裝螺旋槳重(g)	43.3(含電子配件)	188.1(含電子配件)

## 2. 製作風洞機的過程及理由說明

觀察資料文獻發現，萊特兄弟首創使用風洞機，記錄了模型機翼在各角度中產生了哪些的作用力量，並測試了各種不同風速所產生的現象。

我們使用 PP 瓦楞板及三合板，在板子挖 9 個 12 公分的洞口，置入超高速散熱風扇九顆，並使用 PWM 脈衝控制器來調節佔空比，讓風洞機風速可以調整大小，達到多種測試紀錄。

### (1). 製作圖說



圖 11. 厚 5mm 瓦楞板挖孔



圖 12. 相互協助組裝風道

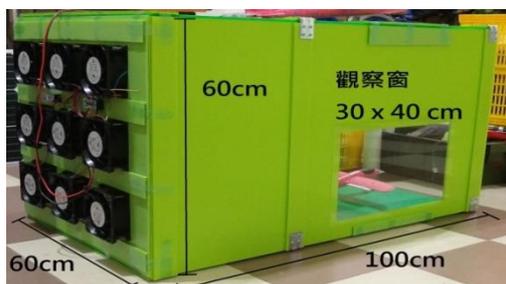


圖 13. 風洞機作品尺寸

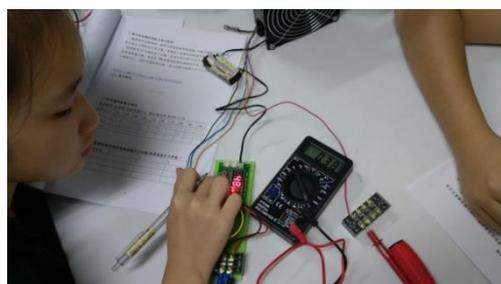


圖 14. PWM 脈衝控制大小及記錄



圖 15. 風洞機井字測量流速紀錄

## (2)風洞機單電機風扇能力測試紀錄

表 5. 紀錄 電機廠牌:台達電 THA1248BE-A 標示電功率:DC48V 2.5A

佔空比	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
轉速	342 0	414 0	477 0	533 0	585 0	652 0	711 0	774 0	854 0	8940
風速 m/s	5.5	11. 1	13. 6	14. 1	15. 4	17	20. 8	21. 6	23. 1	24.4
電壓(V)	52. 8	52. 8	52. 8	52. 8	52. 8	52. 7	52. 7	52. 7	52. 6	52.6
電流(I)	0.1 3	0.1 8	0.2 4	0.3 4	0.4 4	0.6	0.7 4	0.9 6	1.2	1.45
功率(W)	6.8 6	9.5 0	12. 67	17. 95	23. 23	31. 62	38. 99	50. 59	63. 12	76.2 7

說明:使用 PWM 控制，讓風機可調整風力。

註:家中風扇最大風速約 3.5m/s，工業風扇風速約 6m/s

## (3). 取樣測試風洞機區域風速穩定力紀錄(採最高速井字 9 宮格測量)。

表 6. 風洞機取樣測試紀錄

區域位置風速	左	中	右
上	(1)4.8 m/s	(2)4.5 m/s	(3)4.6 m/s
中	(4)5.2 m/s	(5)5.3 m/s	(6)5.2 m/s
下	(7)5.2 m/s	(8)5.2 m/s	(9)5.2 m/s

說明:風洞機尺寸為 60\*60\*100 公分，風力採吸入式，主要實驗區為 4、5、6 區域。

(4). 調節 PWM 佔空比，測試風洞機風速，大小共分 5 檔位紀錄。

表 7. 風速檔位紀錄

風速檔位	佔空比	風速 m/s	電壓 V	電流 I	功率 W
1	60%	2.5	53	3.8	201.4
2	70%	3.4	52.8	5.2	274.56
3	80%	4.2	52.5	7.0	367.5
4	90%	4.8	52.2	9.7	506.34
5	100%	5.3	51.9	12.3	638.37

說明: 測試各檔位風速紀錄，以下所有實驗風速之檔位對照表。

(三). 探討速度、升舉力和阻力之間的關係。

做法:

依照 5 種不同檔位風速，將 A 型手拋飛機(空機)置入風洞內固定進行風速、升舉力、阻力及迎角關係測試紀錄。

在機身的前後、機鼻、主翼使用舵角固定器固定，機鼻綁上線後拉出通過滑輪，各在測試升舉力與阻力，使用 2 台電子秤。

圖說:

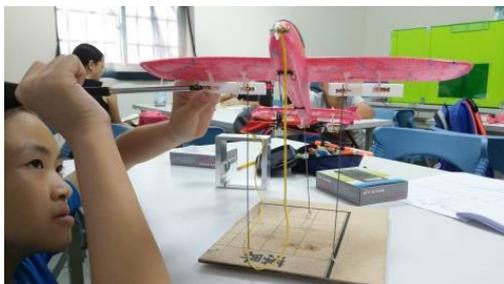


圖 16. 調整飛機支架



圖 17. 觀察窗畫上水平線及攻角度線



圖 18.觀察窗情形



圖 19.架設測試情形

表 8. 升舉力測試紀錄：

單位:g

風速檔位 (佔空比)	飛機 空重	攻角 0 <sup>0</sup> 升舉力	攻角 10 <sup>0</sup> 升舉力	攻角 20 <sup>0</sup> 升舉力	攻角 30 <sup>0</sup> 升舉力	攻角 40 <sup>0</sup> 升舉力
1(60%)	22.1	13.5	18.5	20.0	17.8	10.8
2(70%)	22.1	16.5	23.3	25.5	23.8	13
3(80%)	22.1	22.5	30.2	36.8	26.5	20.6
4(90%)	22.1	30.2	35.3	40.2	32.2	24.8
5(100%)	22.1	33.8	43.5	50.9	38	28.9

表 9. 風阻力測試紀錄：

單位:g

風速檔位 (佔空比)	飛機 空重	攻角 0 <sup>0</sup> 風阻力	攻角 10 <sup>0</sup> 風阻力	攻角 20 <sup>0</sup> 風阻力	攻角 30 <sup>0</sup> 風阻力	攻角 40 <sup>0</sup> 風阻力
1(60%)	22.1	1.0	8.0	12	12.4	13.2
2(70%)	22.1	1.3	11.2	13.6	14.8	16.8
3(80%)	22.1	1.8	11.9	14.5	16.5	17.5
4(90%)	22.1	2.6	12.5	15.1	18.0	18.9
5(100%)	22.1	3.0	13.5	17.0	20.0	23.0

(四). 探討襟翼對飛機的影響

做法：

使用 A 型機採攻角 10 度測試。依照 5 種風洞風速，將整台飛機置入風洞內進行測試，將飛機加裝襟翼、使用合頁及舵角固定器固定珍珠板(襟翼)，加裝後空重 24.5 克，綁線拉出通過滑輪，測試襟翼角度產生的升舉力與阻力之間的關係記錄。

圖說：



圖 20. 飛機加裝襟翼



圖 21. 調整襟翼角度

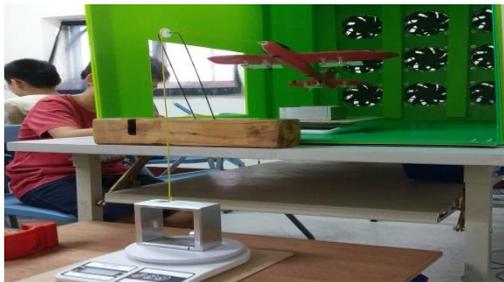


圖 22. 測試記錄情形

表 10. 副襟翼轉動測試: 升舉力(攻角 10 度)

單位: g

風速檔位 (佔空比)	飛機 空重	襟翼向下 15 <sup>0</sup> (升力)	襟翼向下 30 <sup>0</sup> (升力)	襟翼向上 15 <sup>0</sup> (升力)	襟翼向上 30 <sup>0</sup> (升力)
1(60%)	24.5	19.8	20.9	14.8	15.8
2(70%)	24.5	23.7	28.3	21	20.8
3(80%)	24.5	29.2	34.5	26.2	26.5
4(90%)	24.5	37.8	40.2	30.2	30.2
5(100%)	24.5	43.5	49.8	38.8	37.8

表 11. 副襟翼轉動測試:風阻力(攻角 10 度)

單位:g

風速檔位	飛機空重	襟翼向下 15 <sup>0</sup> (阻力)	襟翼向下 30 <sup>0</sup> (阻力)	襟翼向上 15 <sup>0</sup> (阻力)	襟翼向上 30 <sup>0</sup> (阻力)
1	24.5	13.5	13.8	8.3	5.9
2	24.5	14.4	14.5	9.3	7.2
3	24.5	17.2	18.8	10.1	10.5
4	24.5	18.5	20.2	11.9	11.8
5	24.5	23.8	24	15.3	13.2

(五). 改造 EPP 手拋飛機成動力飛機，記錄推力、速度與起飛之關係。

作法:

在手拋飛機主翼後端左右相等位置，裝入空心杯電機及螺旋槳，機身下方挖取控制艙位並置入接收器及電池，再與電機馬達線路焊接，在遙控器油門桿位上畫上三個檔位線，測試 4 架飛機。各為作用力(F)不同，質量(m)相同與作用力(F)相同，質量(m)不同，來做記錄測試。使用行李秤將飛機吊起後測試推力，實驗地點為室內，因氣流較穩定；起飛跑道 15 公尺，每十公分作標示，觀察牛頓第二運動定律  $F=m \times a$ 。

圖說:

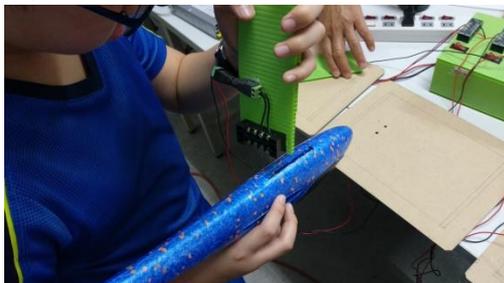


圖 23.挖取控制艙位



圖 24.將接收器置入艙位



圖 25.挖孔用扎帶固定小馬達



圖 26.將馬達與接收器連接置入槳



圖 27.地面上每十公分標示紀錄



圖 28.遙控器油門畫上三檔位線



圖 29.飛機 1、2、3、4 號機



圖 30.起飛觀察記錄

表 12. 推力、速度與起飛之關係紀錄。

單位:g

遙控器檔位	1	2	3
1 號機前進推力(F)	20(g)	35(g)	40(g)
1 號機飛機重量(m)	188(g)	188(g)	188(g)
1 號機加速度理想值(a)	1.043	1.82	2.09
1 號機靜止到起飛距離(Δx)與秒數(t)或到 15 公尺	17.66 秒/15 公尺，無法起飛	7.01 秒/15 公尺，無法起飛	6.74 秒/15 公尺，無法起飛
1 號機實際加速度(a) $a = 2 \Delta x \div t^2$	0.096m/s <sup>2</sup>	0.610m/s <sup>2</sup>	0.660m/s <sup>2</sup>
2 號機前進推力(F)	40(g)	70(g)	80(g)

2 號機飛機重量(m)	188(g)	188(g)	188(g)
2 號機加速度理想值(a)	1.82	3.65	4.17
2 號機靜止到起飛距離 ( $\Delta x$ )與秒數(t)或到 15 公尺	5.80 秒/15 公 尺，無法起飛	2.2 秒/8 公 尺，順利起飛	2.0 秒/7.5 公 尺，順利起飛
2 號機實際加速度(a) $a = 2 \Delta x \div t^2$	0.892m/s <sup>2</sup>	3.306m/s <sup>2</sup>	3.75m/s <sup>2</sup>
3 號機前進推力(F)	20(g)	35(g)	40(g)
3 號機飛機重量(m)	43(g)	43(g)	43(g)
3 號機加速度理想值(a)	4.56	7.97	9.12
3 號機靜止到起飛距離 ( $\Delta x$ )與秒數(t)或到 15 公尺	2.61 秒/11 公 尺，順利起飛	1.23 秒/4 公 尺，順利起飛	0.92 秒/3 公 尺，順利起飛
3 號機實際加速度(a) $a = 2 \Delta x \div t^2$	3.23 m/s <sup>2</sup>	5.29 m/s <sup>2</sup>	7.09 m/s <sup>2</sup>
4 號機前進推力(F)	40(g)	70(g)	80(g)
4 號機飛機重量(m)	52(g)	52(g)	52(g)
4 號機加速度理想值(a)	7.54	13.2	15.1
4 號機靜止到起飛距離 ( $\Delta x$ )與秒數(t)或到 15 公尺	2.07/11.5 公 尺，順利起飛	1.3 秒/6.5 公 尺，順利起飛	0.77 秒/3.5 公尺，順利起 飛
4 號機實際加速度(a) $a = 2 \Delta x \div t^2$	5.37 m/s <sup>2</sup>	7.7 m/s <sup>2</sup>	11.81 m/s <sup>2</sup>

註： a = 加速度，  $\Delta x$  = 距離， t = 時間， m = 質量， F = 作用力， 牛頓定  
律  $F = m \cdot a$

## (六). 探討戶外實際動力飛行狀態記錄

說明:此改裝之動力飛機為固定翼，因舵角無法轉動，只能控制油門，轉向動作則靠主翼左右電機推力的不同進行轉向，雖無法控制飛機各個舵角，但也因此有了更簡單的操控方式，讓我們得以進行有趣的觀察實驗。

1. 1、2、3、4 號機戶外全速起飛，平飛狀態觀察記錄。

表 13. 戶外平飛觀察紀錄表

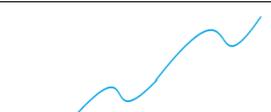
項目	重量	推力	飛行路徑	推力與重量比值及說明
1 號機	188g	40g		推力比值為 0.21，需超長距離加速，起飛後立即失速。
2 號機	188g	80g		推力比值為 0.42，起飛後因仰角些微上升即會失速。
3 號機	43g	40g		推力比值為 0.93，起飛距離短，過大的仰角仍會造成失速，但可以快速修正後，重新取得升力。
4 號機	52g	80g		推力比值為 1.53，無跑道亦可起飛，不受仰角過大而失速。



圖 31. 戶外測試紀錄



圖 32. 戶外測試紀錄

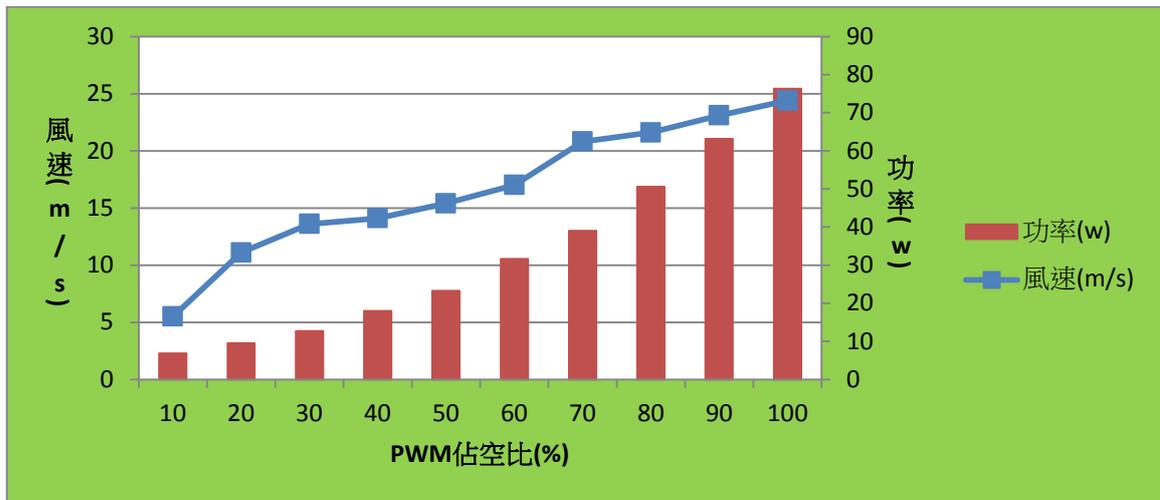
## 五. 研究結果與討論

### (一) 風洞機透過 PWM 控制風力測試結果

#### 1. 風洞機單電機風扇能力測試

由圖 33 可看出，高速 12038 排風扇經由 PWM 控制器，可調整出不同的風速，並藉此了解 PWM 佔空比的過程，由佔空比的比例，PWM 快速地開與關來平均輸出電壓，可減少功率輸出比達到控制電機風速。

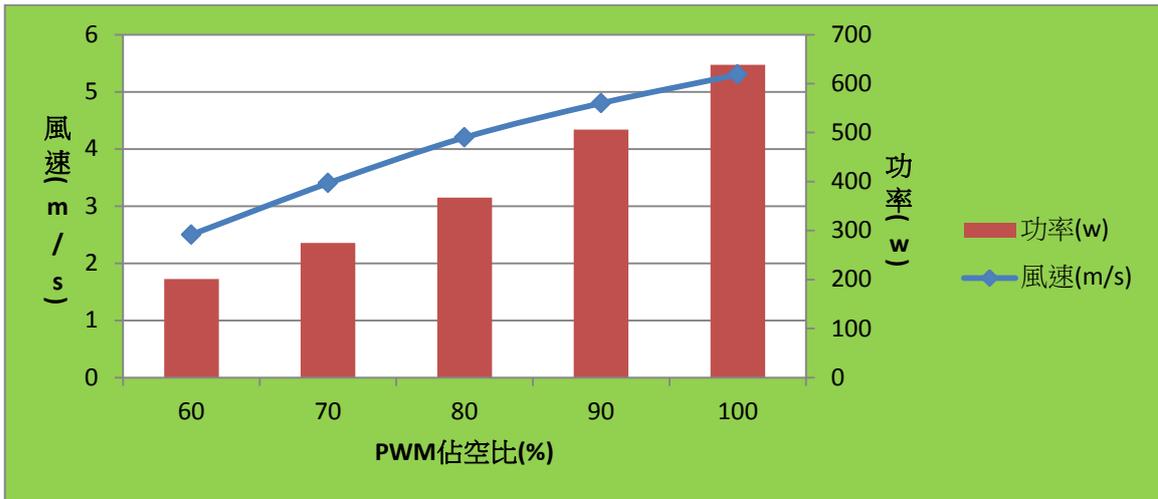
圖 33. 單風機透過 PWM 控制風速、功率柱狀曲線圖表。



#### 2. 調節 PWM 佔空比，測試風洞機風速，大小共分 5 檔位紀錄

風洞機吸風區為 60\*60 公分，由 9 顆 12 公分正方高速電機平均分佈吸風，將風洞機分為 1-5 檔位，佔空比各為 60%、70%、80%、90%、100%，其吸風能力對照及功率如表 7、圖 34。

圖 34. 風洞機風速、功率柱狀圖表。

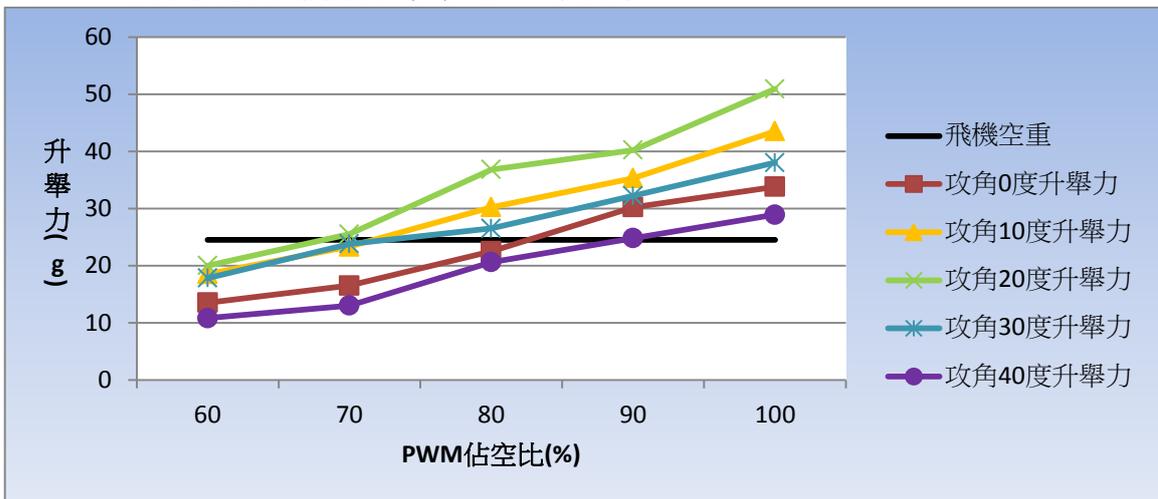


(二). 探討速度、升舉力和風阻力之間的關係。

1. 模擬飛機速度與升舉力之間的關係

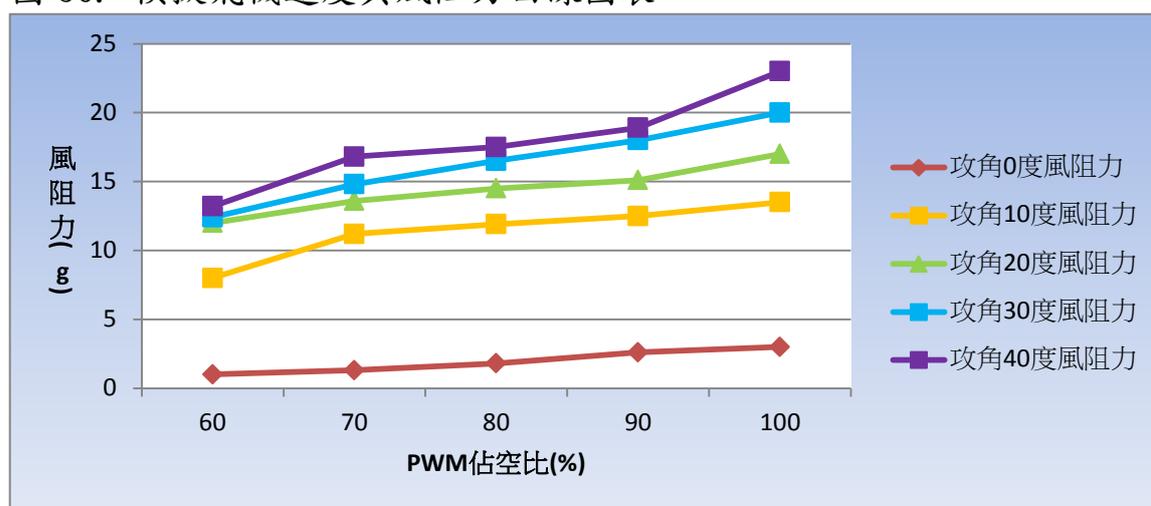
將表 8 的數據繪製成折線圖 (圖 35), 可看出飛機機翼攻角與升舉力並非呈現正比關係, 過大的機翼攻角反而會使升舉力呈現衰弱, 最佳升舉力經實驗為攻角 20 度, 最弱為攻角 40 度, 其排列機翼升舉力攻角為: 20 度 > 10 度 > 30 度 > 0 度 > 40 度。

圖 35. 模擬飛機速度與升舉力曲線圖表。



## 2. 速度與風阻力之間的關係

當飛機在做前進運動時，很難發現阻力的存在，飛機發動機的轉動使機翼後方產生大量風速，成為飛機主要的推力，前進的過程無時無刻都存在風的阻力，當飛機飛至高空穩定速度平飛時，更代表著此時的推力與阻力達到平衡點，合力為 0，合力矩也為 0。我們藉由風洞實驗觀察紀錄可清楚觀察發現，攻角越大其阻力也越大，如圖 36。圖 36. 模擬飛機速度與風阻力曲線圖表。



### (三). 探討副襟翼對飛機的影響

從文獻影片紀錄發現，飛機在起降時都需要較大的升力，更發現此時副襟翼角度均會朝下，來獲取更大的反作用力(升力)，由表 10、11 實驗得知副襟翼同時向下，可幫助主翼獲得更大的升力，飛機降落時航行速度必須減慢，藉由副襟翼的向下，阻力與升力也相對提升，有助於降落或起飛。如表圖 37、表圖 38 關係曲線圖表。

圖 37. 模擬飛機速度與襟翼轉動影響升力關係曲線圖表

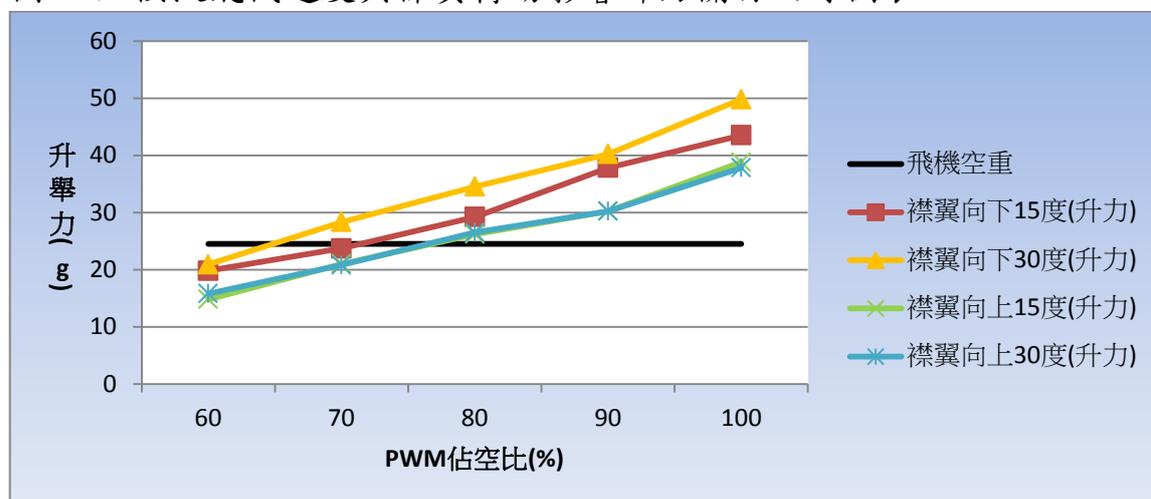
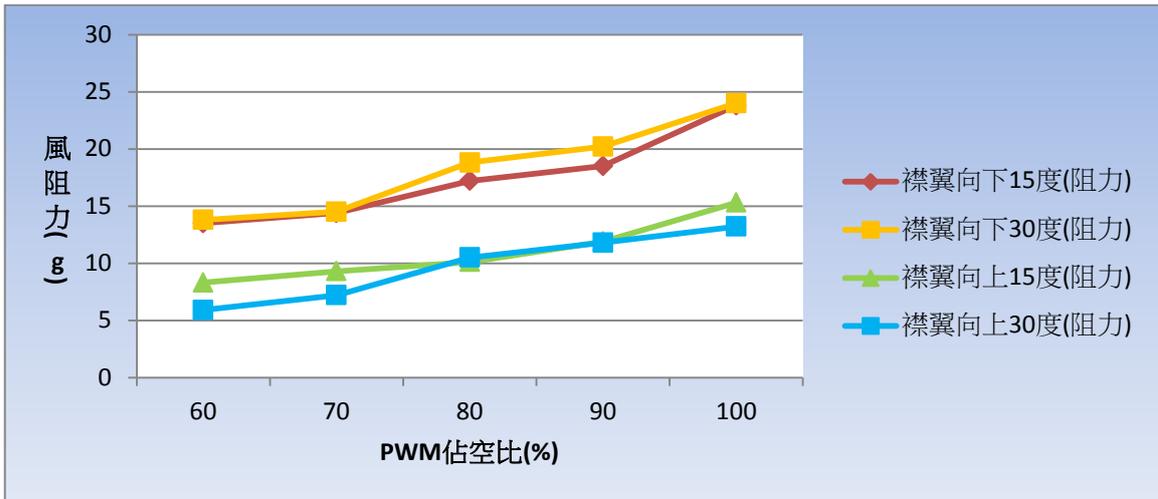


圖 38. 模擬飛機速度與襟翼轉動影響阻力關係曲線圖表



#### (四). 飛機推力、重力與加速度之關係

從實驗中我們發現，飛機的各種運動方式與牛頓定律也息息相關。由圖 39 可發現，1、2 號機質量相同但因推力的不同，此時飛機加速度與推力成正比關係；觀察 2、3 號機推力相同，發現質量越小加速度越快，成反比關係，牛頓第二運動定律  $F=m*a$ 。圖 40、41、42、43 為 1、2、3、4 號飛機推力與重量比值及加速度關係圖表。

圖 39. 作用力(推力)與質量、加速度柱狀圖表

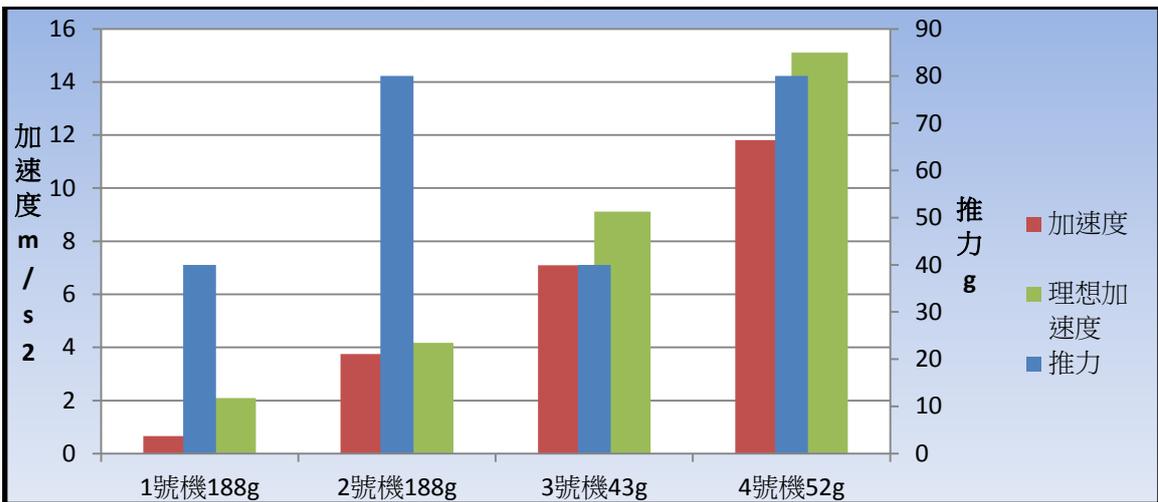


圖 40. 1 號機推力與重量比值、加速度關係。

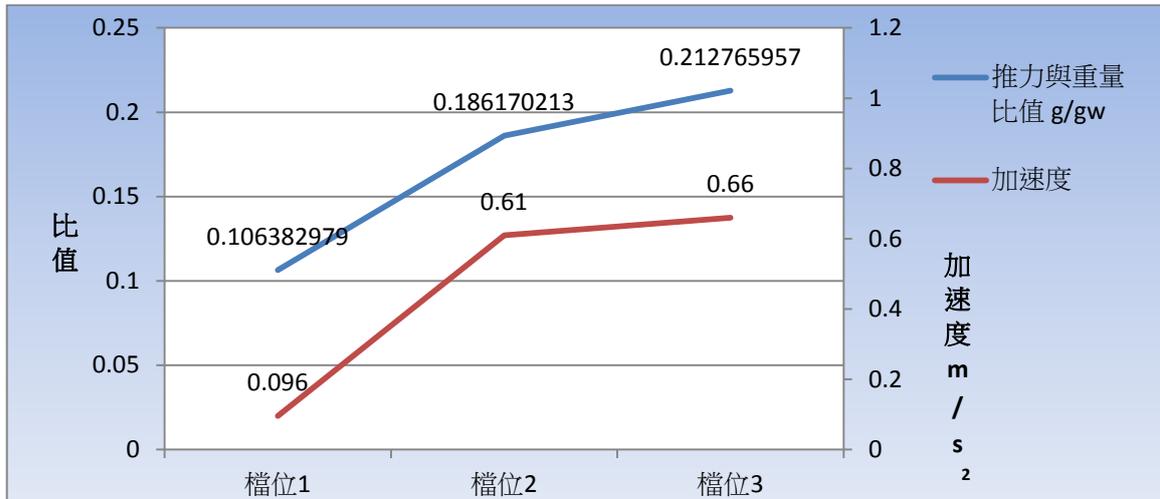


圖 41. 2 號機推力與重量比值、加速度關係。



圖 42. 3 號機推力與重量比值、加速度關係。

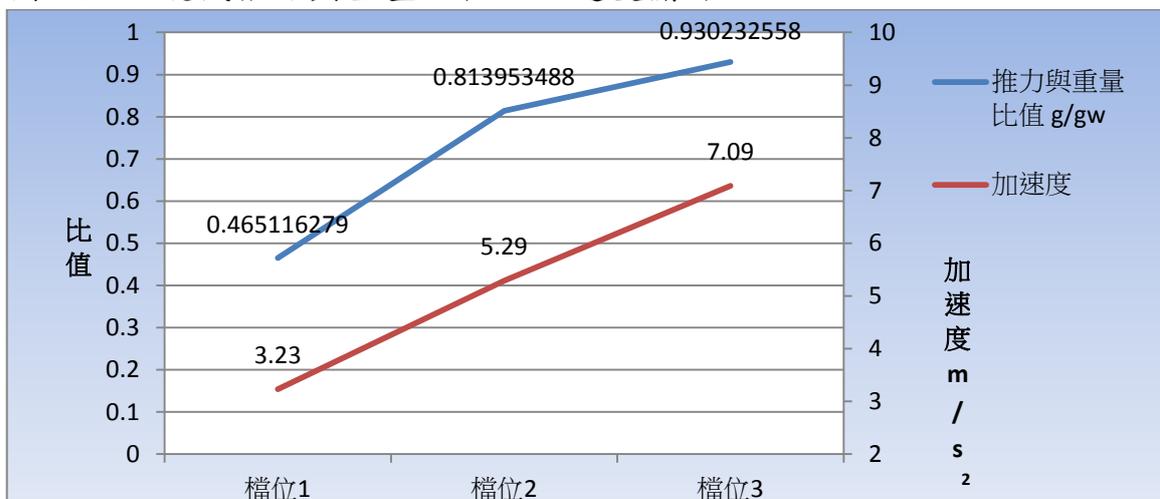
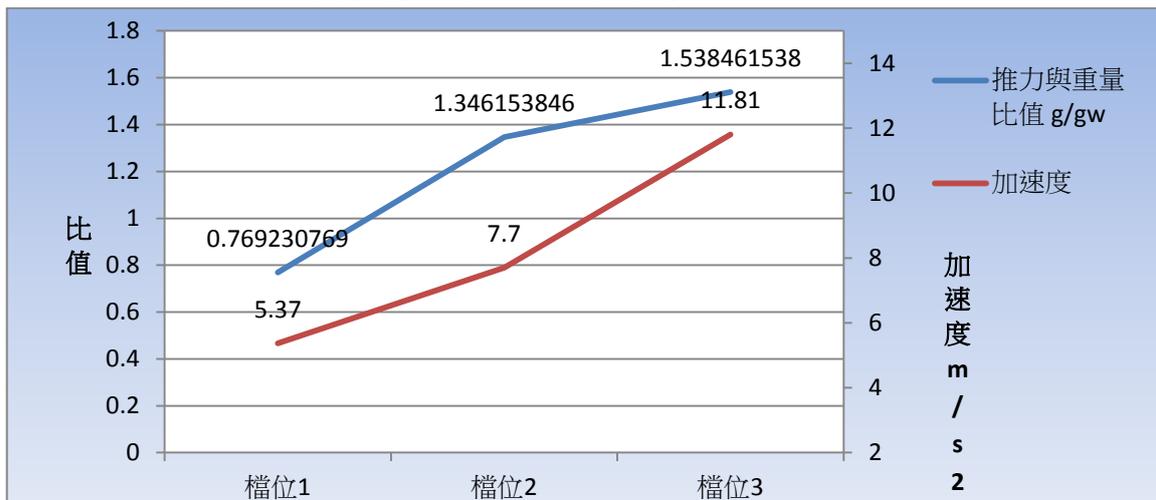


圖 43. 4 號機推力與重量比值、加速度關係。



## 六. 評鑑與檢討

### (一). 彙整文獻與實驗的收穫與省思

1. 在彙整文獻資料時認識航空之父 喬治.凱利(1773-1857)，是第一位在理論上，把飛行所需的種種要素給綜合起來的人，飛行要素有：**1. 推力 2. 升力 3. 重力 4. 阻力。**

2. 飛機的操作面有 X、Y 和 Z 軸，重心位置點就是三軸的交界點，X 軸運動(滾轉)由副襟翼控制，Y 軸運動為俯仰由水平翼升降舵控制，Z 軸運動為偏航由垂直方向舵控制，飛行的各種高難度動作，皆由這三個基本動作所組成，如右圖 44。

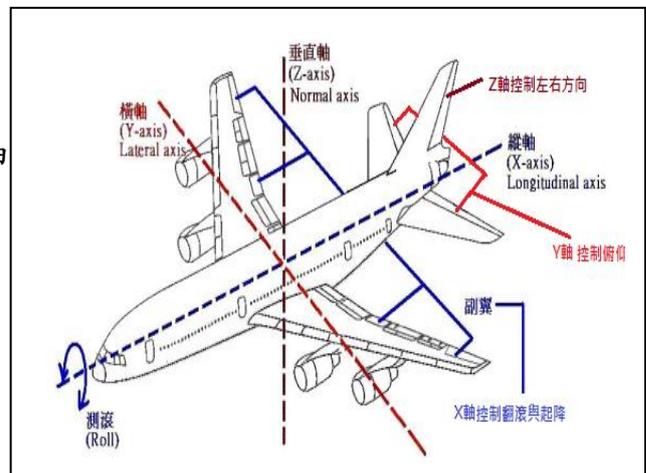


圖 44. 飛機操作面解析圖

3. 由風洞及實際飛行測試瞭解，飛行過程中若攻角過大，反而形成更大的阻力，且升舉力將產生衰退現象，飛機會因此造成失速下墜，在下墜過程因阻力大幅減少，也將重新取得升力。

4. 假設風洞機風速就是飛機的飛行速度，由以上實驗我們得知：

當飛機  $\text{推力}-\text{阻力} > 0$  且  $\text{升力}-\text{重力} > 0$  以上時，飛機就能飛行，在飛行中，若攻角過大則升力就會減少，且風阻力增加；在其中一樣數據小於 0 時，飛機將產生失速現象，將會下墜。

5. 在尚未實驗之前，雖然父母親有帶我們出國搭過飛機，但我們認為飛機的推力應當大於重力，因為飛機除了本身的重力與乘客外，移動飛行中還要面對高速飛行中空氣所帶來的強大阻力，經實驗後，我們發現...如：表 12 中，2 號實驗機推力僅 80 公克，在起飛前的快速行進過程中，卻能讓重達 188 公克的飛機起飛； $\text{推力 } 80\text{g}-\text{阻力 } y \text{ g} > 0$  且  $\text{升力 } x \text{ g}-\text{重力 } 188\text{g} > 0$ ，在推力與重力不變的情形下，升力  $x$  值與阻力  $y$  值會受到加速度的快與慢所影響。表 12 實驗 2 號機，在加速度增加到  $3.306\text{m/s}^2$  時，風阻力  $y$  值為未知數之下所得到的計算方式為  $\text{推力 } 80\text{g}-\text{阻力 } y \text{ g} > 0$  且  $\text{升力 } x \text{ g}-\text{重力 } 188\text{g} > 0$  時，此時  $x$  值必須大於 188g，且  $y$  值必須小於 80g 才能使飛機起飛，表示 80g 的推力可以產生超過 188g 的升力，老師告訴我們這就是白努力現象。實驗結果得知：飛機整個運動關係有 1. 牛頓第二運動定律(加速度) 2. 白努力定律 3. 牛頓第三運動定律(作用與反作用力) 4. 康達效應。

6. 在飛機推力與加速度關係中我們發現，理想加速度跟實際加速度總會有差異，在實驗過程中還有地面摩擦力跟空氣阻力的影響，但仍看得出來彼此呈正比關係。

7. 由圖 39 可知：當推力相同時，質量越小，加速度越大。當質量相同時，加速度越大，所需推力也更大，符合  $F=ma$ 。因此得知飛機的運動也與牛頓第二運動定律互有關聯。

8. 「推力與重量比值」和加速度關係成正比，在圖 40、41 可得到驗證，而圖 42、43 並未呈現明顯的正比關係，推測是由於 3、4 號機重量過輕，導致測量誤差比例過大，使得數據較為失準。即使如此，當推力與重量比值提高時，加速度也會隨之升高，再次證明與牛頓運動定理的關聯。

9.在表 13.戶外平飛觀察紀錄裡的 4 號機最為特別，飛機重量 52g 推力達 80g，推力與重量比值達 1.53:1，也因推力可直接抗衡本身重力，在戶外實際飛行發現，即使沒有跑道與 90 度攻角情況下，依舊可以不受攻角過大而產生失速情形，證明:推力的大小影響飛機的操控性能，就如戰鬥機與民航機。

10.飛機，為什麼會飛? 剛開始，組員們都認為飛機有動力與機翼，理所當然會飛呀!當我們開始彙整資料後，竟發現還有一位航空之父喬治.凱利，他是第一位在理論上，把飛行所需的種種要素給綜合起來的人，整個實驗的過程中，讓我們認識了飛行時所產生的四種力量:推力、阻力、升力與重力。還有飛機攻角也並非越大，所產生的升力就越大，升舉力與攻角關係依序為:20 度>10 度>30 度>0 度>40 度。

11.在 DIY 組裝時，因飛機組裝為 EPP 發泡手拋飛機，要進行改裝挖機艙洞時，發現使用工具也非常重要，我們 DIY 製作了多功能泡棉切割機，使用電熱絲摺出想要切割的尺寸;空心杯電機要置入機翼時必須注意左右翼的平衡，且左右電機必須要一正一反，將電機所產生的反向力矩給相互抵銷，螺旋槳的配置也要有正反槳，DIY 製作過程使用烙鐵焊接電路時更要小心翼翼的注意焊接點，整個實驗的過程與 DIY 改裝所想出來的創意與構思，讓我們感到收獲滿滿。

## 七.參考資料

### (一)相關課程參考

- 1.翰林版 3 上 單元 3 空氣和風
- 2.翰林版 4 上 單元 3 運輸工具與能源
- 3.翰林版 4 下 單元 1 有趣的力
- 4.翰林版 6 下 單元 1 力與運動

## (二)相關網頁資訊參考

1. 空氣動力學之父喬治·凱利文章介紹

<https://www.itsfun.com.tw/喬治·凱利/wiki-5087121-0911511>

2. 維基百科萊特兄弟文章介紹

<https://zh.wikipedia.org/wiki/萊特兄弟>

3. 科學不一樣 流速快慢影響壓力(白努力定律)，視頻介紹

<https://www.youtube.com/watch?v=zP7Eu4FDE8I>

4. 生活裡的科學 流體追追追白努力定律，視頻介紹

<https://www.youtube.com/watch?v=b6Ep4O3IPes>

5. 飛機平穩飛行的原理，視頻介紹

<https://www.youtube.com/watch?v=B0Cfcj0AbQ>

6. 航太小常識 飛機爬升角、攻角、俯仰角的認識

<https://www.youtube.com/watch?v=uZ0UUvs1nVY>

7. 淡江大學工學院航空工程系 飛機為什麼會飛

<http://www.aero.tku.edu.tw/6-5.html>

8. 物理雙月刊白努力定理的誤解(介紹康達效應)

[https://pb.ps-taiwan.org/catalog/ins.php?index\\_m1\\_id=3&index\\_id=192](https://pb.ps-taiwan.org/catalog/ins.php?index_m1_id=3&index_id=192)

9. 風洞機的製作視頻參考

<https://www.youtube.com/watch?v=yyC0t5Q8mK8>

10. PWM 直流脈衝控制視頻參考

<https://www.bilibili.com/video/av10193455/>