

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。

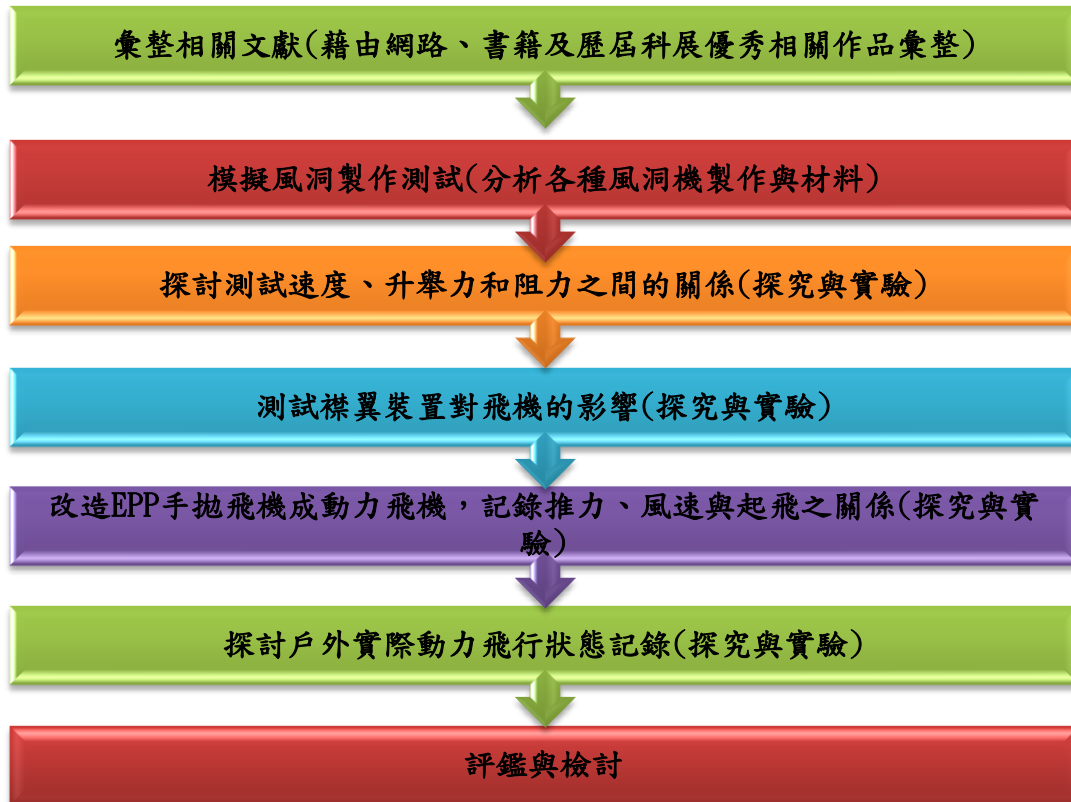
嚮往能像飛機般在天空快速翱翔的我們，再加上自然課教到風力的大小，組員們討論過後，決定探討:氣流與飛機結構對飛行的影響有哪些?來瞭解飛機是如何藉由空氣力學在空中飛翔。

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

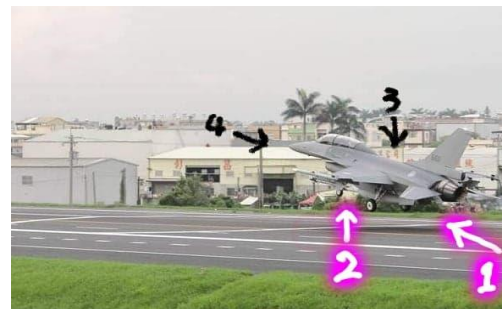


圖 2. 飛行的四種力量

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。

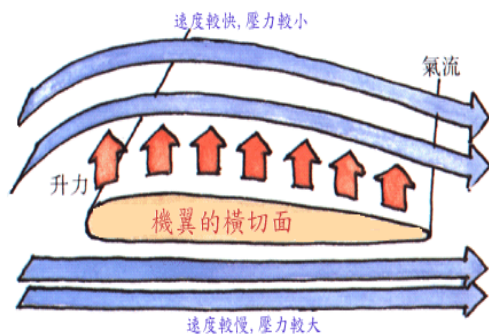


圖 3. 機翼相關白努力定律

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。

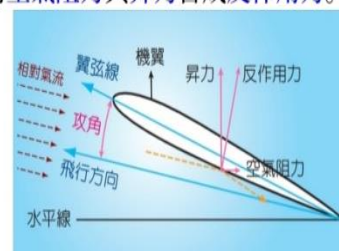


圖 4. 機翼相關牛頓定律

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

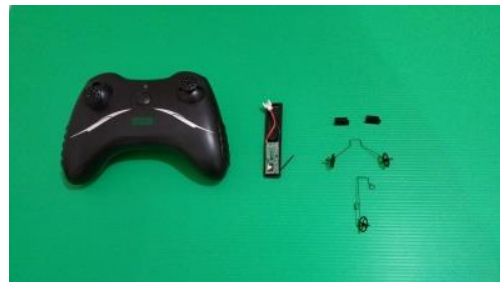


圖 6. 遙控及接收器、起落架



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

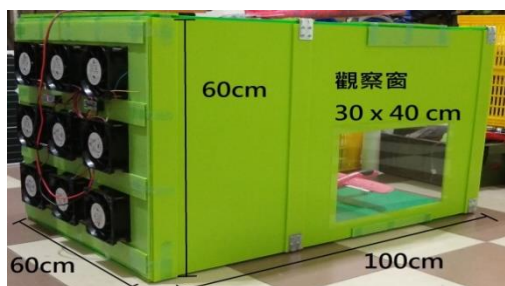


圖 13. 風洞機作品尺寸

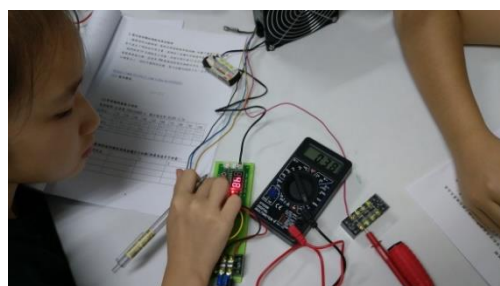


圖 14. PWM 脈衝控制大小及記錄



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:

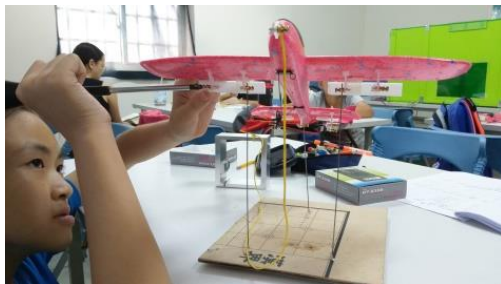


圖 16. 調整飛機支架



圖 17. 觀察窗畫上水平線及攻角度線

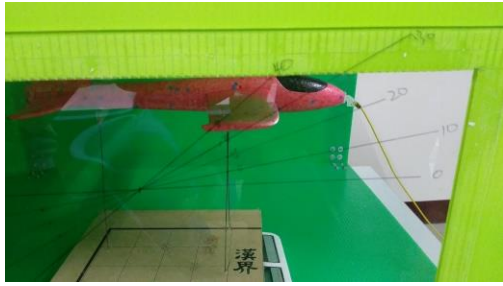


圖 18.觀察窗情形



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 ⁰ 升舉力	攻角 10 ⁰ 升舉力	攻角 20 ⁰ 升舉力	攻角 30 ⁰ 升舉力	攻角 40 ⁰ 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 ⁰ 風阻力	攻角 10 ⁰ 風阻力	攻角 20 ⁰ 風阻力	攻角 30 ⁰ 風阻力	攻角 40 ⁰ 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

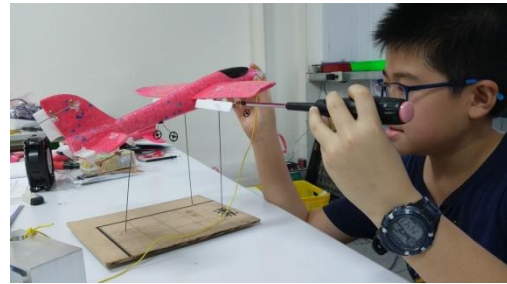


圖 21. 調整襟翼角度

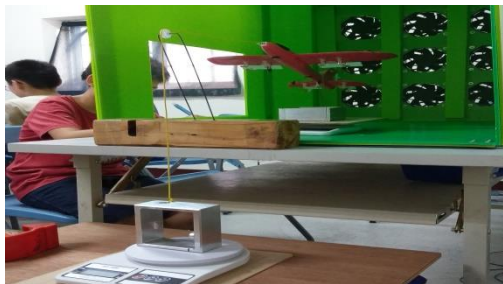


圖 22. 測試記錄情形

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 ⁰ (升力)	襟翼向下 30 ⁰ (升力)	襟翼向上 15 ⁰ (升力)	襟翼向上 30 ⁰ (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 ⁰ (阻力)	襟翼向下 30 ⁰ (阻力)	襟翼向上 15 ⁰ (阻力)	襟翼向上 30 ⁰ (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 ²	0.610m/s ²	0.660m/s ²
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 (Δx)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 ²	3.306m/s ²	3.75m/s ²
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 (Δx)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 ²	5.29 m/s ²	7.09 m/s ²
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 (Δx)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 ²	7.7 m/s ²	11.81 m/s ²

註： a = 加速度， Δx = 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


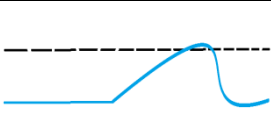
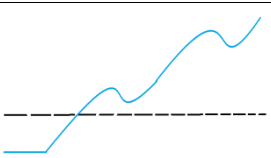
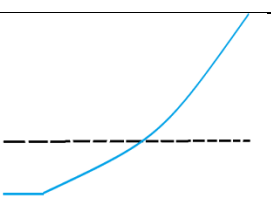
項目	重量	推力	飛行路徑	推力與重量比值及說明
1 號機	188g	40g		推力比值為 0.21，需超長距離加速，起飛後立即失速。
2 號機	188g	80g		推力比值為 0.42，起飛後因仰角些微上升即會失速。
3 號機	43g	40g		推力比值為 0.93，起飛距離短，過大的仰角仍會造成失速，但可以快速修正後，重新取得升力。
4 號機	52g	80g		推力比值為 1.53，無跑道亦可起飛，不受仰角過大而失速。



圖 31. 戶外測試紀錄



圖 32. 戶外測試紀錄

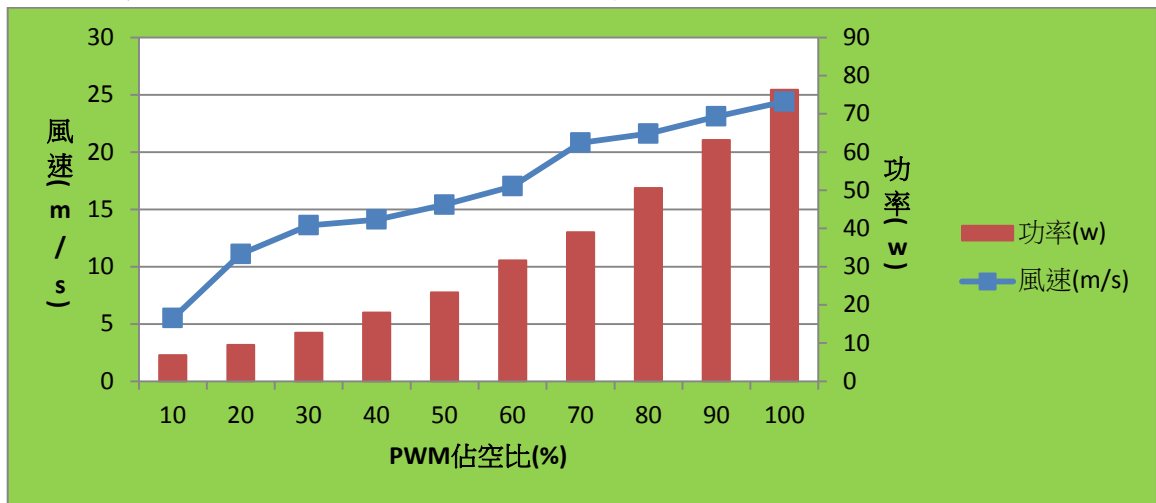
五. 研究結果與討論

(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。

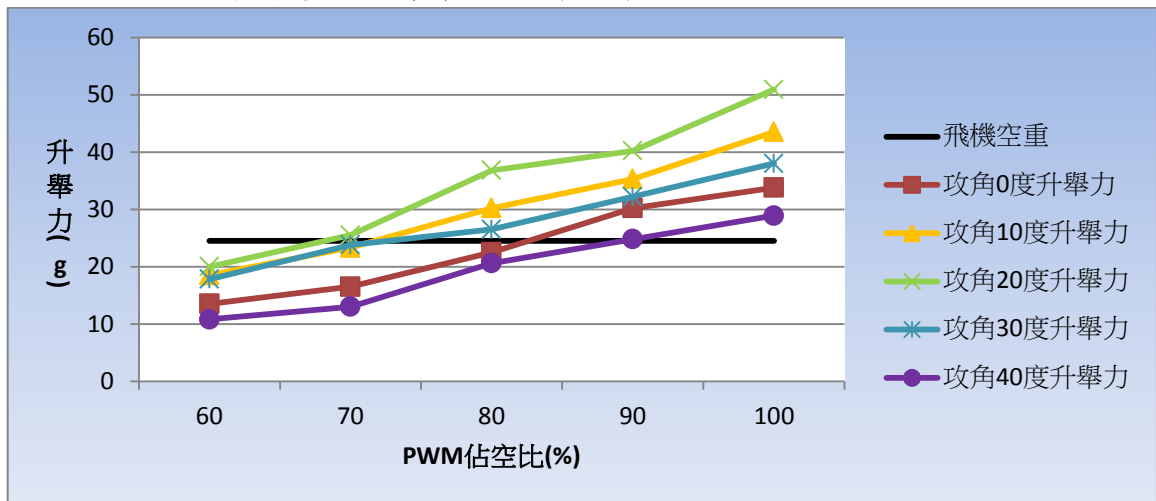


(二). 探討速度、升舉力和風阻力之間的關係。

1. 模擬飛機速度與升舉力之間的關係

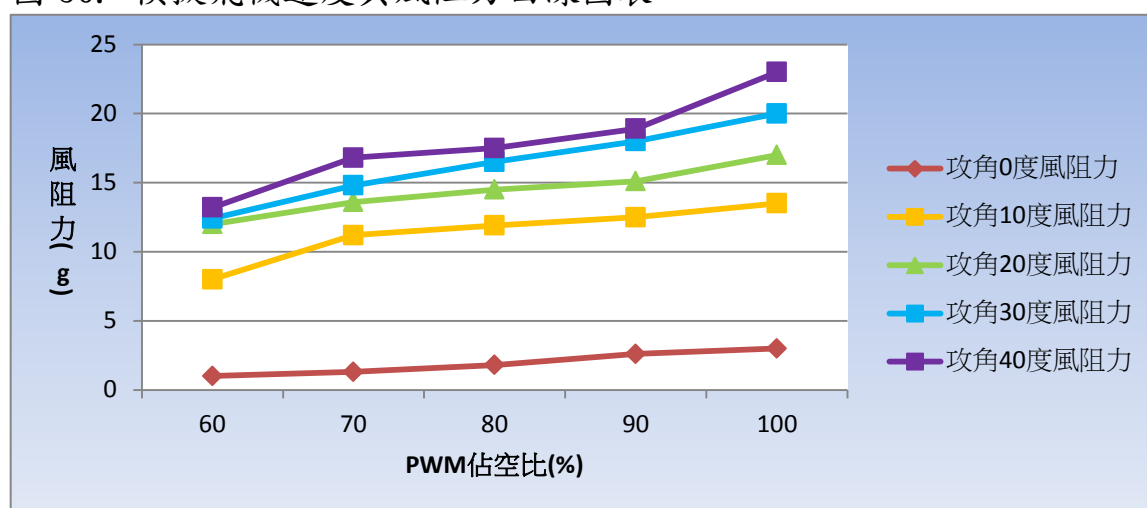
將表 8 的數據繪製成折線圖 (圖 35), 可看出飛機機翼攻角與升舉力並非呈現正比關係, 過大的機翼攻角反而會使升舉力呈現衰弱, 最佳升舉力經實驗為攻角 20 度, 最弱為攻角 40 度, 其排列機翼升舉力攻角為: 20 度 > 10 度 > 30 度 > 0 度 > 40 度。

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

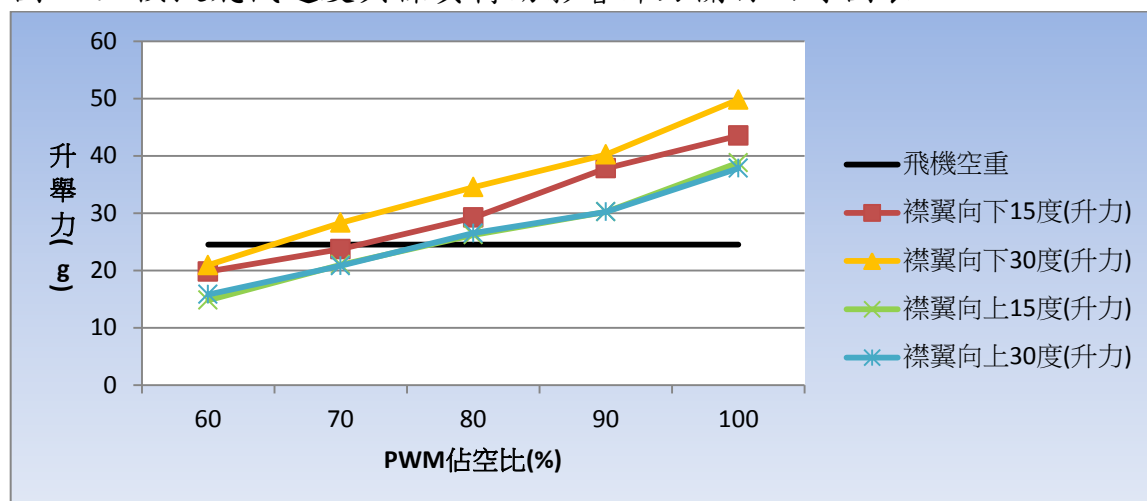
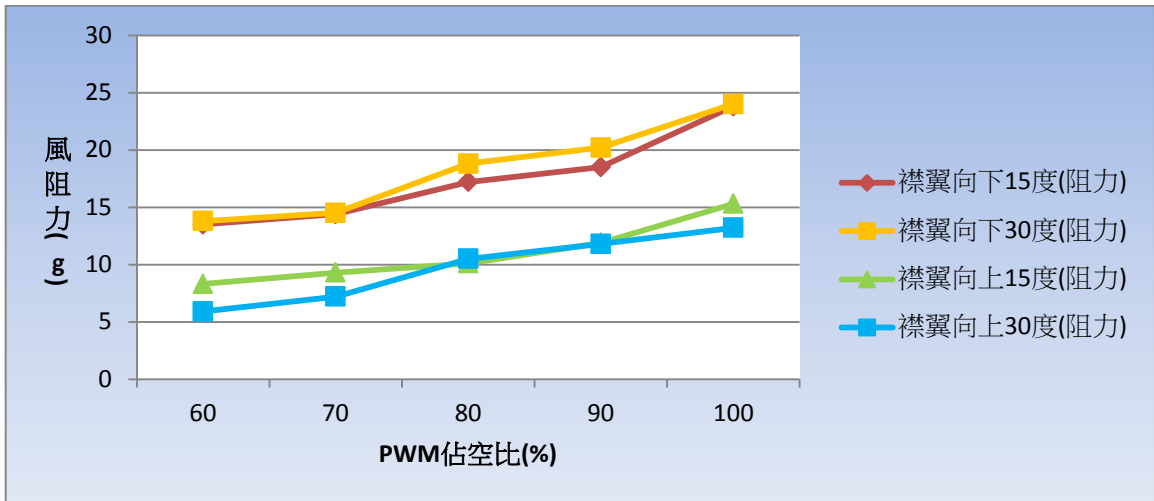


圖 38. 模擬飛機速度與襟翼轉動影響阻力關係曲線圖表



(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

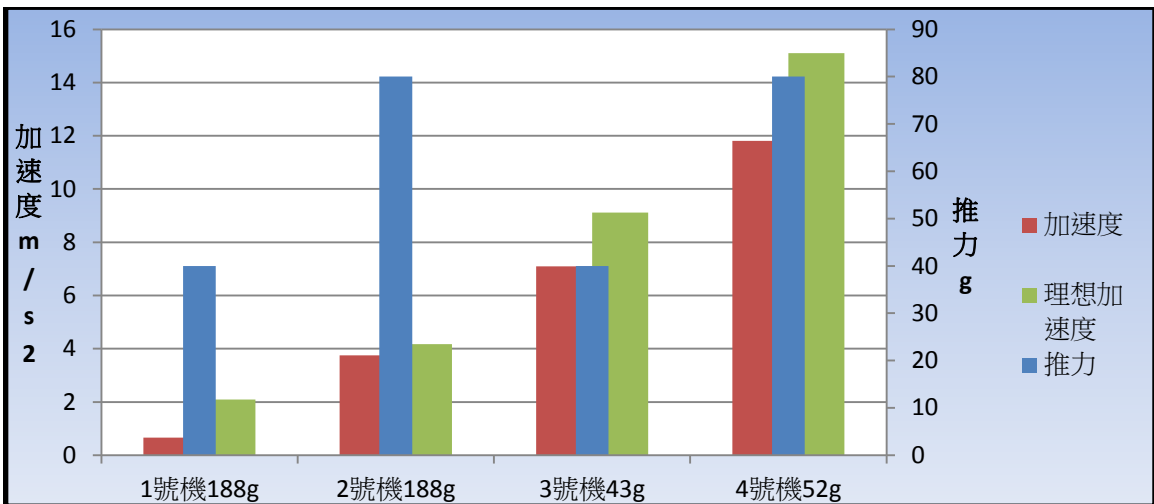


圖 40. 1 號機推力與重量比值、加速度關係。

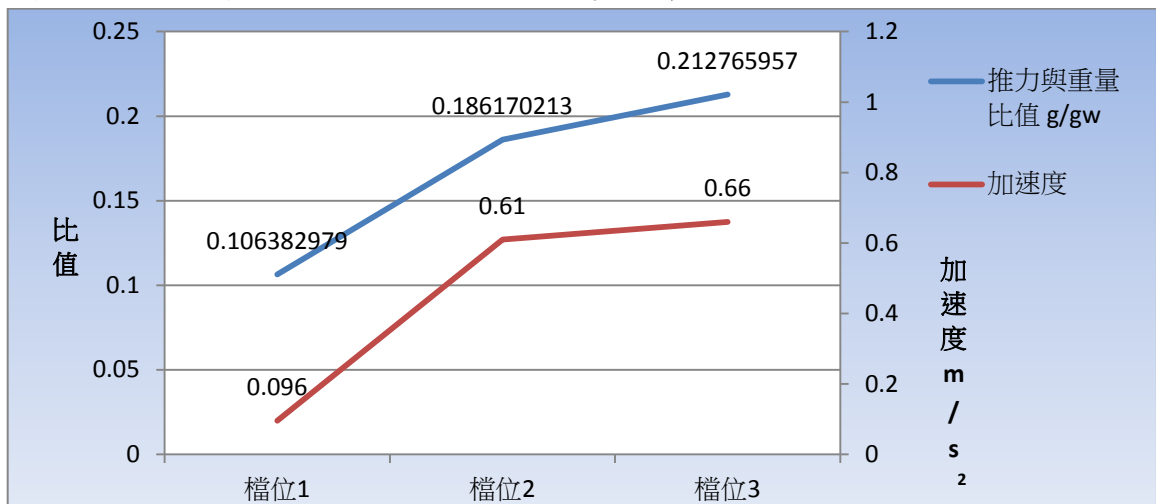


圖 41. 2 號機推力與重量比值、加速度關係。

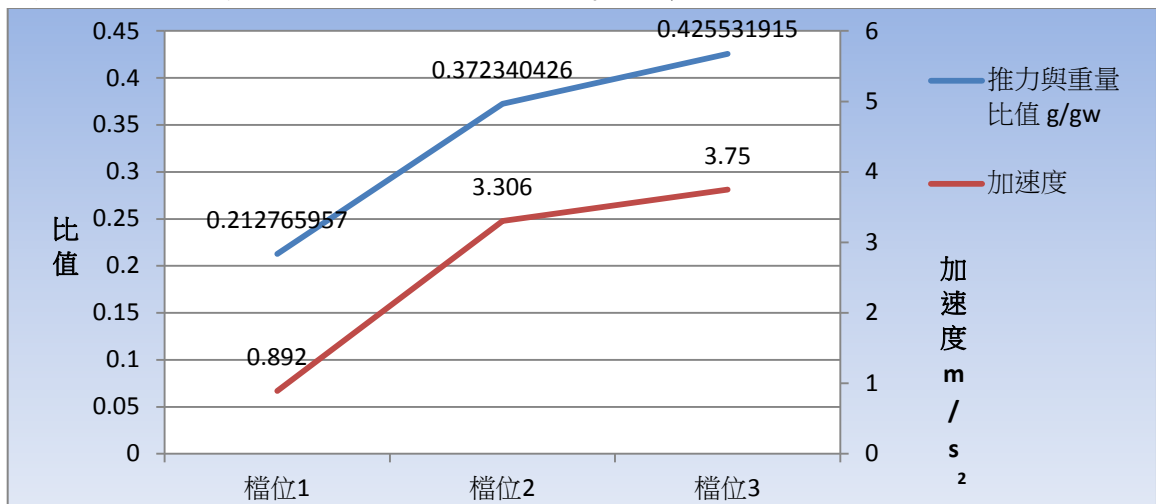


圖 42. 3 號機推力與重量比值、加速度關係。

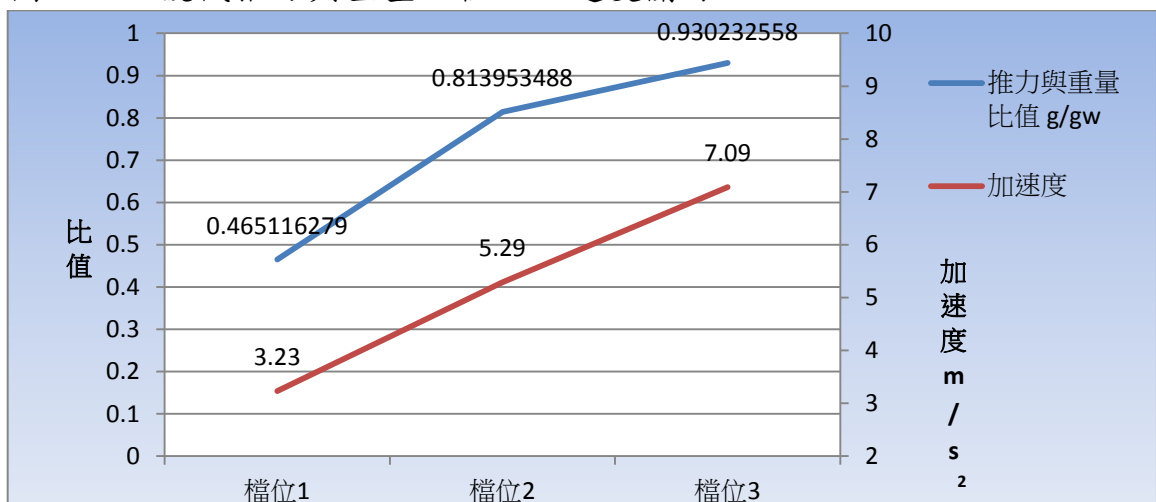
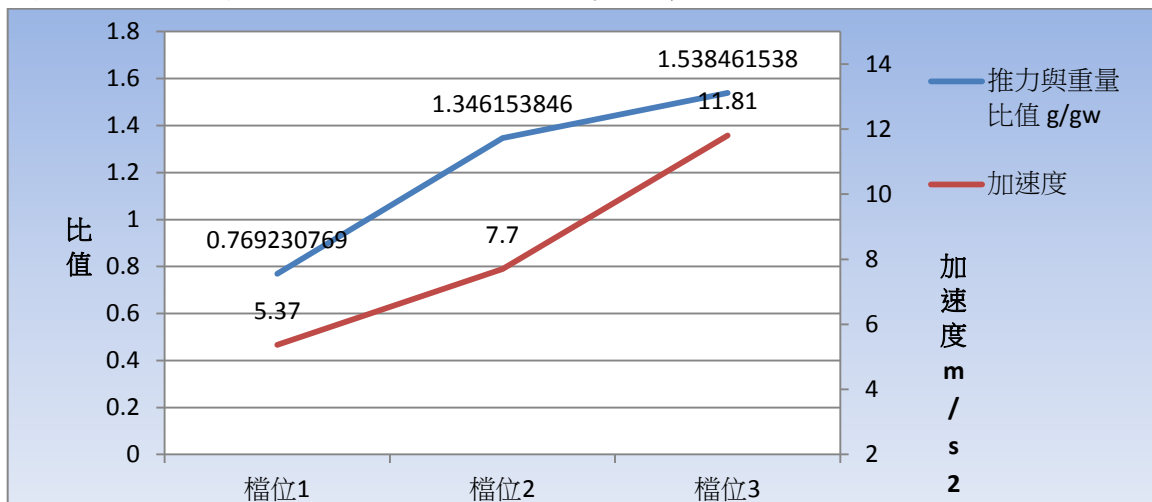


圖 43. 4 號機推力與重量比值、加速度關係。



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。

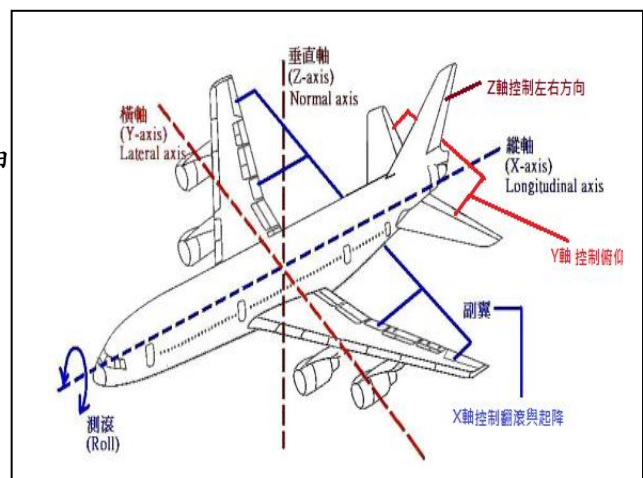


圖 44. 飛機操作面解析圖

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； $\text{推力 } 80g - \text{阻力 } y g > 0$ 且 $\text{升力 } x g - \text{重力 } 188g > 0$ ，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 3.306m/s^2 時，風阻力 y 值為未知數之下所得到的計算方式為 $\text{推力 } 80g - \text{阻力 } y g > 0$ 且 $\text{升力 } x g - \text{重力 } 188g > 0$ 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

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/>