

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

佳作

080122

風起，再造飛機去追風

學校名稱：新竹縣竹北市六家國民小學

作者： 小六 梁淳鈺 小六 林妤庭 小六 張詠晴 小四 林妤真 小四 林玟綺 小四 嚴昱安	指導老師： 黎立夫 鮑正芳
---	-----------------------------

關鍵詞：飛機、康達效應、白努力定律

摘要

探討飛機升力由白努力定律主導或是康達效應主宰。煙流實驗得知：攻角過大時氣流將不再沿著機翼向下，造成升力減弱；由不同型態機翼實驗，發現機翼上方的起伏雖不同，但均隨機翼與風向間夾角漸增（0 ~20 度），升力漸增；而平面機翼最大升力則是出現在攻角10度時，攻角過大則升力陡降，且其升力最大值均較上方有起伏的機型更高，我們由此推估，康達效應對機翼升力的影響應較白努力定律更為顯著。由改良之紙飛機，發現將紙飛機的尾部上折一反角，便可造成機頭上仰的力，藉由康達效應造成之升力，即可讓紙飛機達最佳化之飛行結果。

我們從機翼實驗的各項變因探究，到實際應用在飛機的飛行表現上，皆發現康達效應在確實是主宰飛機升力進而影響飛行。

壹、 研究動機

宮崎駿動畫”風起”中主角堀越二郎對研發飛機的執著令我們深深著迷。白努力定律說明了飛機能升空的原理，但是看著飛機在天空中翱翔，能夠自在的升起、降落、左轉、右彎，這似乎不單單是白努力定律就能說明一切的。我們小學四年級時，曾以”吸管飛機”造飛機，追風趣”為研究主題參加科展，當時我們很好奇為何吸管飛機沒有機翼也能飛？我們發現吸管飛機能飛翔的原理並不是白努力定律，而是因為康達效應所形成的升力。吸管飛機能飛行的秘密和真正飛機的飛翔是否存在有關聯性呢？又否能將我們的發現用來改良一般的紙飛機，讓它能夠飛得更遠？於是我們展開了這次的研究，決心再造飛機去追風。

貳、 研究目的

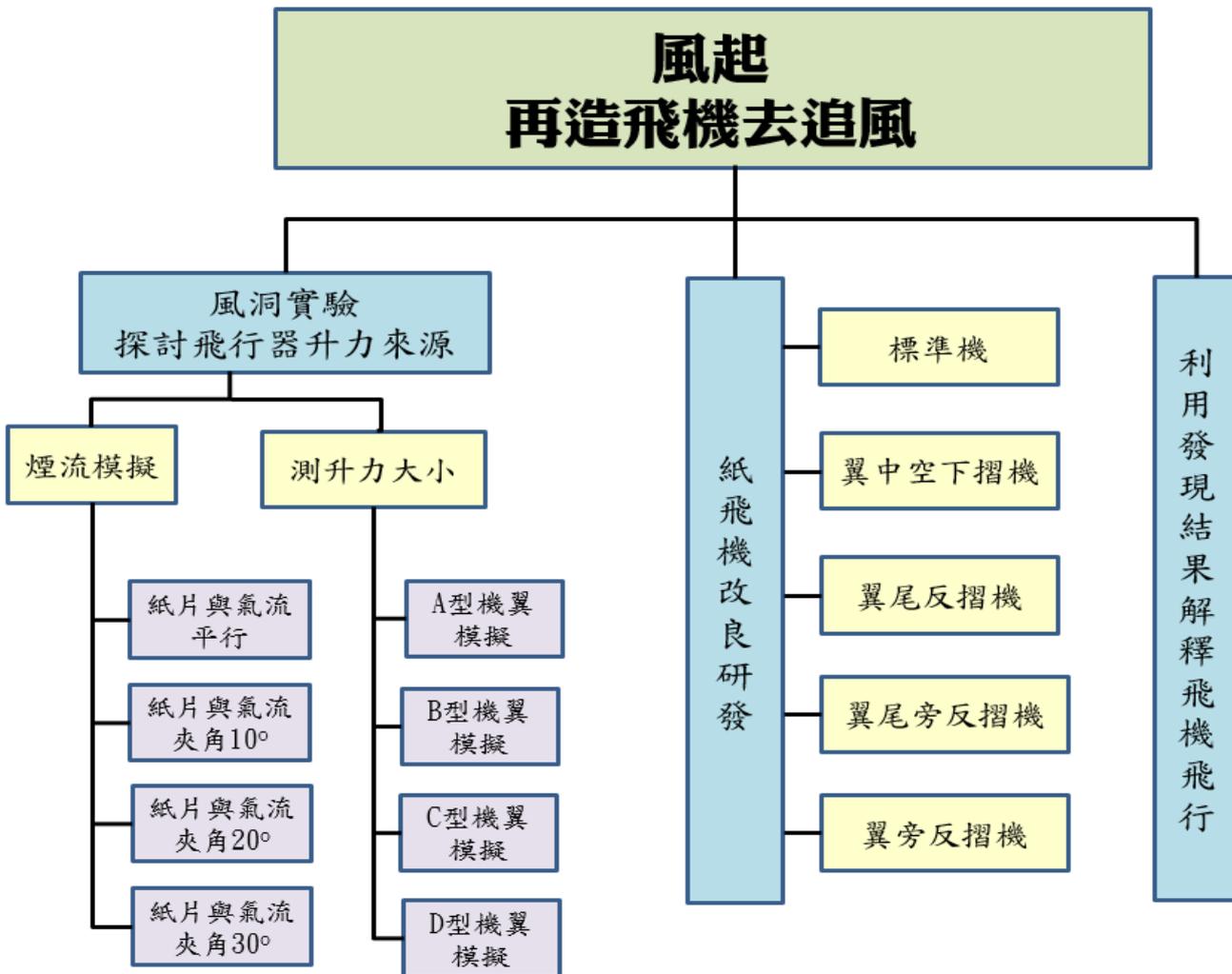
- 一、利用煙流模擬實驗來驗證康達效應的存在。
- 二、藉由不同形狀的機翼來探討白努力定律和康達效應對於飛機升力的影響。
- 三、依據其升力來源改良紙飛機使其增加飛行距離。
- 四、探討飛機飛行的奧妙。

參、 研究設備及器材

- 一、 飛機：彩色 A4 紙
- 二、 發射架：木塊、膠帶、釘子、竹筷、橡皮筋、彈簧。
- 三、 機翼：墊板、透明塑膠片、鐵絲。
- 四、 風洞：PP 板、吸管、透明壓克力箱。
- 五、 器材及工具：剪刀、美工刀、鐵鎚、釘子、精密電子秤、風洞、風速計、電風扇、水氧機、數位相機。



肆、 研究過程與方法



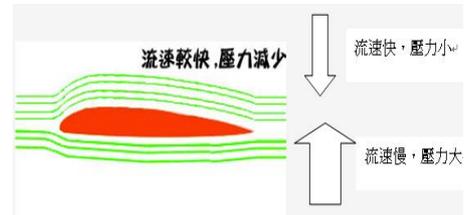
上圖為我們的實驗架構圖，根據研究目的，我們將研究過程分成下列幾大部分。

一、原理探討：

為了釐清飛機的飛行原理是白努力定律或是康達效應所造成的，所以我們先了解這兩個理論的內容。

(一) 白努力定律(Bernoulli's principle)：

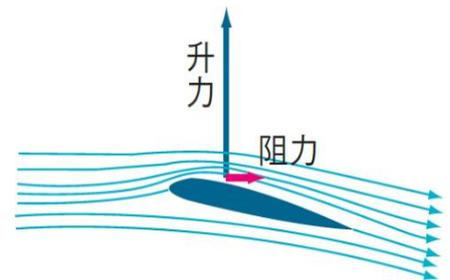
白努力定律是在說明水流或氣流流動的速度越快，壓力越小。流體會由流速慢（壓力大）流到流速快（壓力小）的地方。因為機翼的上緣突起比較長，下緣比較平也較短，而上方跟下方的氣流必須同時達到另一邊，所以上方的氣流會因為距離較長而流得比較快，而下方會因為距離較短而流得比較慢，所以上方壓力小，下方壓力大，飛機自然就會有一個像上的升力了。這就是機翼的升力來源(圖一)，飛機也就飛起來了。



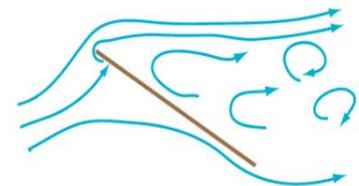
圖一

(二) 康達效應 (Coanda Effect)：

流體傾向於貼著表面流動，當流體流過彎曲的表面時，表面上微小的阻力，會導致流體的速度變慢，讓流體順著彎曲的表面流動。飛機的機翼並不是水平的，而是會有一向下傾斜的角度，稱為攻角，這點再加上康達效應（又稱附壁作用）。這使得上翼面的空氣會沿着機翼往下流動，根據牛頓第三運動定律，向下流動的空氣會給機翼一向上的反作用力，這就是機翼的升力來源(圖二)。若是機翼傾斜角度過大，機翼後方便會形成亂流。如果攻角高到某個程度後，就會發生所謂的「氣流剝離」，即康達效應的消失 -- 氣流不再貼著機翼上側流過，往下流動的氣流喪失(圖三)，飛機也就飛不起來了。這種現象，稱為「失速」。



圖二



圖三

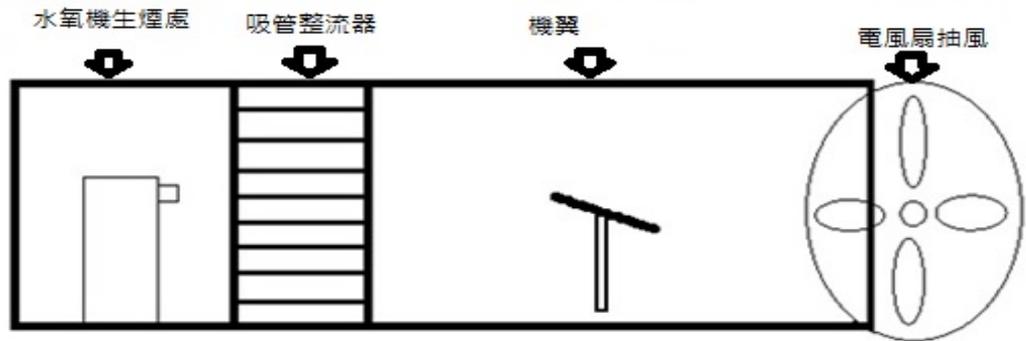
二、風洞實驗一：煙流通與水平夾不同角度平面後的變化情形

(一) 風洞製作

整流器：利用吸管整齊的排列，使風吹出的方向能夠一致。

風洞：30x50x60 立方公分的透明壓克力箱，前後端開口。

抽風設備：電風扇。



<p>測試流場是否均勻</p>	<p>風洞迎風面測量風速</p>	<p>水氧機 生煙處</p>

(二) 煙流實驗

我們將墊板裁成長方形平板狀，長寬為：12 公分x8 公分，將平板黏貼於吸管上，使之分別與水平夾角成 0° 、 10° 、 20° 、 30° 。利用水氧機產生煙霧，先測試流場是否均勻，使煙流水平流出，再觀察氣流通過塑膠片後的變化。

<p>與水平夾角 0°</p>	<p>與水平夾角 10°</p>	<p>與水平夾角 20°</p>	<p>與水平夾角 30°</p>

三、風洞實驗二：先測量風速是否穩定，再測量不同機翼形狀及攻角不同時的升力大小

(一) 製作機翼

A 類機型其機翼之設計為：底邊均為 8 公分，上方兩邊長總和為 10 公分之三角形，根據白努力定律，上邊的總和相同，應可使氣流沿著上翼表面流過時，能走過相同的距離。共設計四組，依上方兩邊之邊長命名：

A2080：迎風之短邊 2.0 公分，背風之長邊 8.0 公分

A3070：迎風之短邊 3.0 公分，背風之長邊 7.0 公分

A4060：迎風之短邊 4.0 公分，背風之長邊 6.0 公分

A5050：迎風之短邊 5.0 公分，背風之長邊 5.0 公分

A 平：為對照組，長方形平板狀，上方無起伏，長寬為：11.5 公分×8 公分

B 類機型其機翼之設計為：底邊均為 8 公分，上方兩邊長總和為 9.5 公分之三角形。共設計四組，依上方兩邊之邊長命名：

B1580：迎風之短邊 1.5 公分，背風之長邊 8.0 公分

B2570：迎風之短邊 2.5 公分，背風之長邊 7.0 公分

B3560：迎風之短邊 3.5 公分，背風之長邊 6.0 公分

B4550：迎風之短邊 4.5 公分，背風之長邊 5.0 公分

B 平：為對照組（與 A 平相同），長方形平板狀，長寬為：11.5 公分×8 公分

C 類機型其機翼之設計為：底邊均為 8 公分，上方兩邊長總和為 9 公分之三角形。共設計四組，依上方兩邊之邊長命名：

C1080：迎風之短邊 1.0 公分，背風之長邊 8.0 公分

C2070：迎風之短邊 2.0 公分，背風之長邊 7.0 公分

C3060：迎風之短邊 3.0 公分，背風之長邊 6.0 公分

C4050：迎風之短邊 4.0 公分，背風之長邊 5.0 公分

C 平：為對照組（與 A 平相同），長方形平板狀，長寬為：11.5 公分×8 公分

D 類機型其機翼之設計為：底邊均為 8 公分，上方兩邊長總和為 8.5 公分之三角形。共設計四組，依上方兩邊之邊長命名：

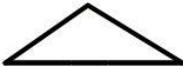
D1075：迎風之短邊 1.0 公分，背風之長邊 7.5 公分

D2065：迎風之短邊 2.0 公分，背風之長邊 6.5 公分

D3055：迎風之短邊 3.0 公分，背風之長邊 5.5 公分

D4045：迎風之短邊 4.0 公分，背風之長邊 4.5 公分

D 平：為對照組（與 A 平相同），長方形平板狀，長寬為：11.5 公分×8 公分

A 形 機翼 側面					
	A2080	A3070	A4060	A5050	A 平
B 形 機翼 側面					
	B1085	B2075	B3065	B4055	B 平
C 形 機翼 側面					
	C1080	C2070	C3060	C4050	C 平
D 形 機翼 側面					
	D1075	D2065	D3055	D4045	D 平



A 型機翼



B 型機翼



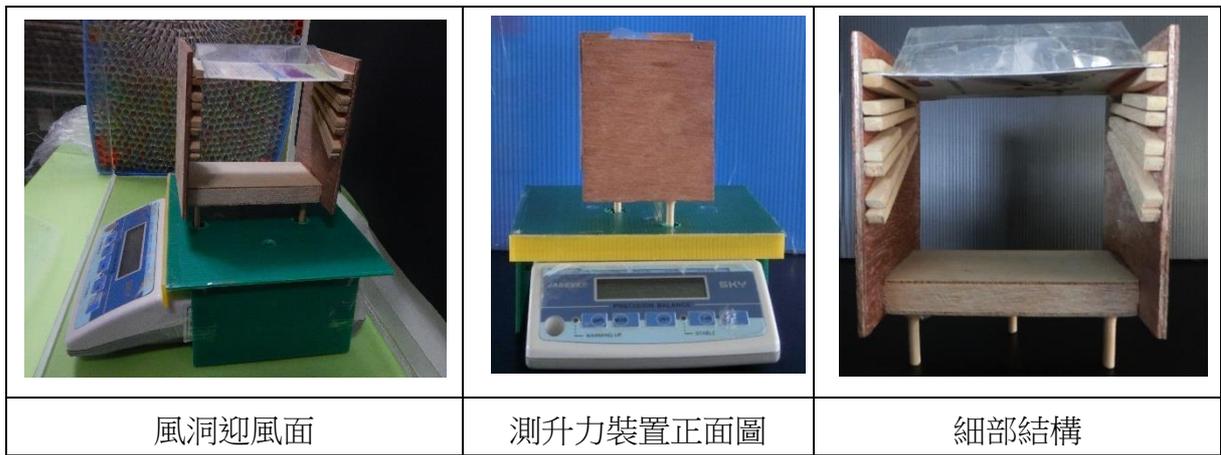
C 型機翼



D 型機翼

(二) 製作測量升力裝置

我們用不同的風速，不同的角度，來測量升力，因為風的方向不定，所以我們用吸管整流器來讓風的方向固定，用電子秤來測量機翼受風前後之重量變化，減輕的重量即為該形狀機翼在前進時所產生的升力。我們在電子秤的秤盤上方加一遮風板，避免秤盤因受風而影響秤重。



四、改良紙飛機，找尋最佳的飛行條件

(一)我們除了折出了一般常見的紙飛機外，並改變機翼形狀，折出另外四種四種紙飛機。



(二)發射場地的選擇

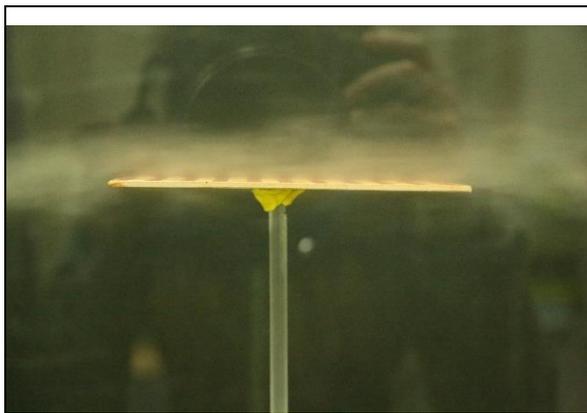
為了確保不會有風影響飛機的飛行，我們選在無風的活動中心舞臺上進行實驗。地面上從 0 公分開始，每隔 100 公分作一標示。目測落點位置，再用皮尺測量飛機落地距離，發射桌面高度 80 公分，發射架置於桌面上。



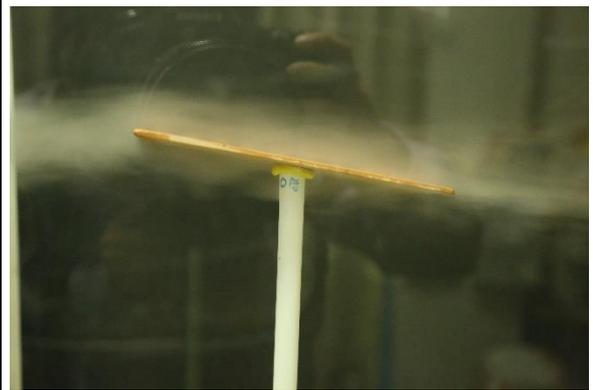
伍、 研究結果與討論

一、氣流通過不同角度紙板時產生的現象。

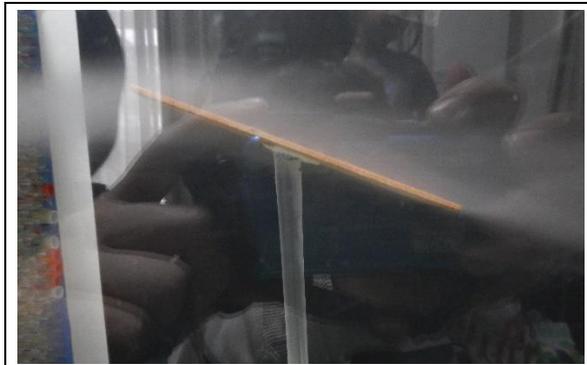
我們利用電風扇抽風，讓空氣由吸管整流器的部分流入風洞，靠近風洞周圍的空氣流動時會與風洞四周器壁產生摩擦，風速減慢。因此，我們必須將平板置於風洞中央，此處氣流的流場較為均勻。有煙霧的地方是我們利用水氧機產生煙霧，想藉此觀察氣流流動現象，但並不表示只有煙霧的地方才有氣流流過，平板是放在一個空氣均勻流動的流場中。



紙板與氣流平行



紙板與氣流夾角 10°



紙板與氣流夾角 20°



紙板與氣流夾角 30°

當紙板與通過的氣流平行時，氣流會很順利的通過紙片，且氣流會沿著紙板非常平整的向後流動。紙板與氣流夾角 10° 時，大部份通過紙板上方的氣流會沿著紙片向下彎曲，且平整的向下流動。紙板與氣流夾角 20° 時，在紙板上方的氣流仍有部分是沿著紙板向下，但流經紙板的氣流顯得較為凌亂。紙板與氣流夾角 30° 時，仍會有部分煙霧沿紙板上方向流過，但大部分的煙是不沿著紙板向下偏折。

二、藉由不同形狀的機翼來探討白努力定律和康達效應對於飛機升力的影響。

實驗(一)：探討 A 類機型在不同風速及機翼與風向夾角不同時的升力變化

將上述 5 組 A 類機型分別在風速 1.30 m/s、2.00 m/s 及 2.60 m/s 下進行量測，並在同一風速下控制機翼與風向間之夾角（0 度、10 度、20 度及 30 度），觀測機翼受風前後之升力變化，詳見如下表所示。

風速 1.30m/s

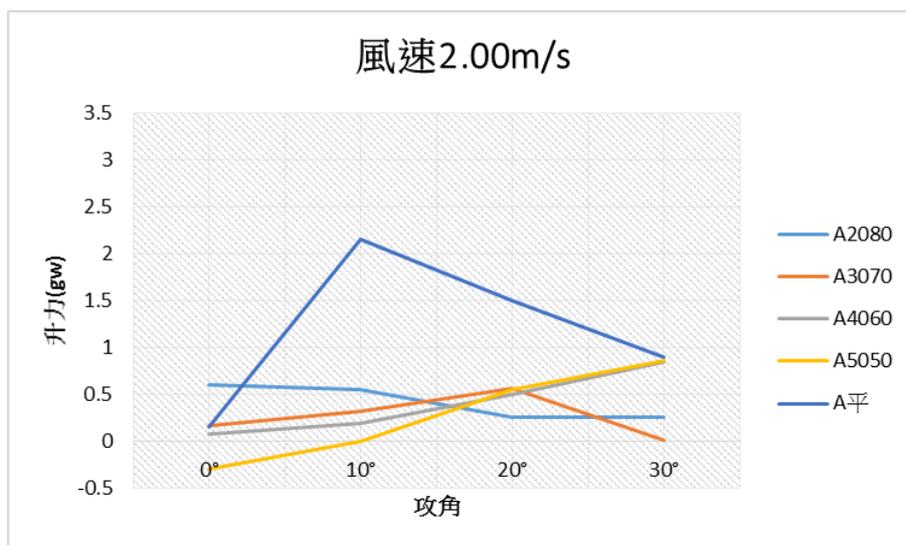
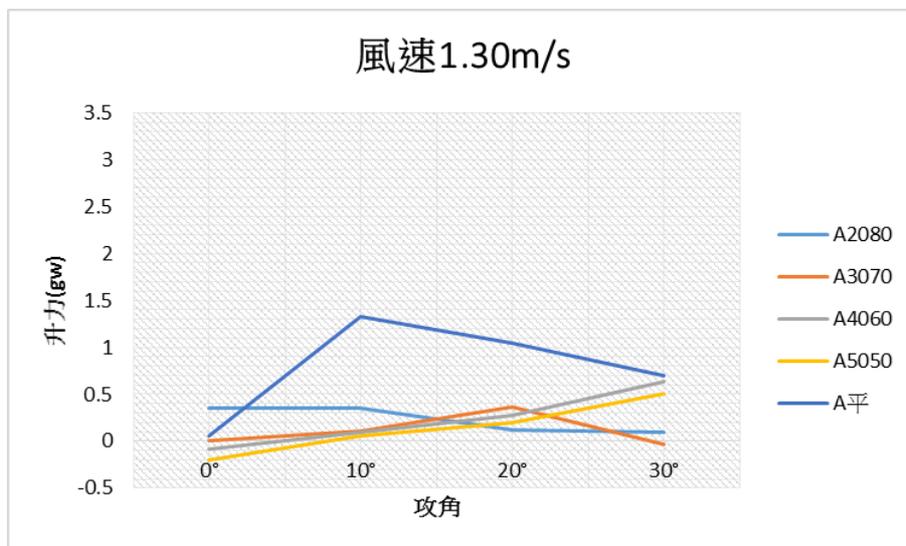
翼型	A2080	A3070	A4060	A5050	A 平
攻角 0°					
升力(gw)	0.35	0.01	-0.08	-0.20	0.05
攻角 10°					
升力(gw)	0.35	0.11	0.09	0.05	1.33
攻角 20°					
升力(gw)	0.12	0.36	0.28	0.20	1.04
攻角 30°					
升力(gw)	0.10	-0.04	0.63	0.50	0.70

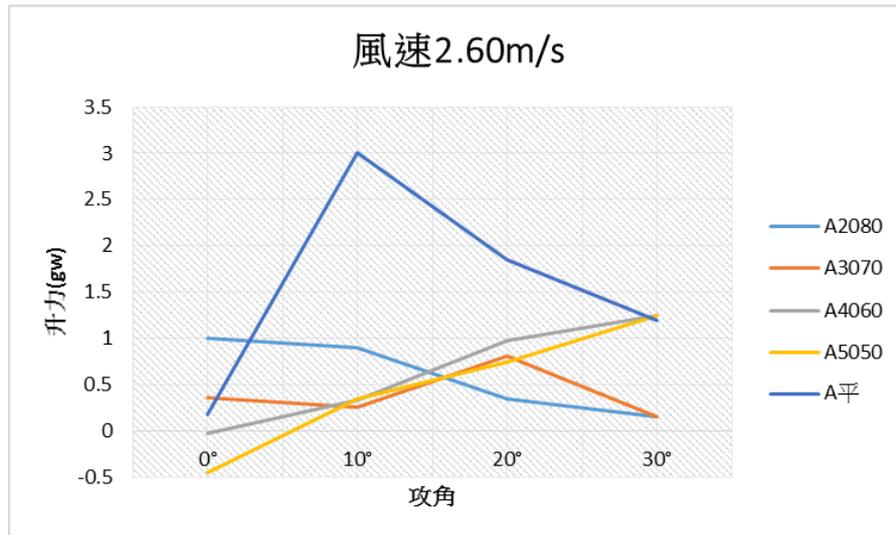
風速 2.00m/s

翼型	A2080	A3070	A4060	A5050	A 平
攻角 0°					
升力(gw)	0.60	0.16	0.07	-0.30	0.15
攻角 10°					
升力(gw)	0.55	0.31	0.19	0.00	2.15
攻角 20°					
升力(gw)	0.25	0.56	0.50	0.55	1.50
攻角 30°					
升力(gw)	0.25	0.01	0.84	0.85	0.90

風速 2.60m/s

翼型	A2080	A3070	A4060	A5050	A平
攻角 0°					
升力(gw)	1.00	0.36	-0.03	-0.45	0.18
攻角 10°					
升力(gw)	0.90	0.26	0.34	0.35	3.00
攻角 20°					
升力(gw)	0.35	0.81	0.97	0.75	1.85
攻角 30°					
升力(gw)	0.15	0.16	1.24	1.25	1.20





討論：

1. 當各類 A 型機翼攻角為 0 度時，升力多為接近 0gw，翼型 A5050 甚至出現負值的狀況，翼型 A2080 略有升力，且當風速越大時，升力有逐漸增加之趨勢。這四種翼型除了 A 平對照組外，其機翼上緣長度均相同，若依白努力定律來說明形成升力的原因，這四款翼型升力應該差不多，但實際測量結果，升力差異性蠻大的，在最大風速 2.60m/s 的情況下，最大升力的翼型 A2080 甚至比翼型 A5050 的升力大了約 1.45gw，顯示白努力定律在機翼為水平放置時並未發生顯著作用。康達效應是主張氣流會沿彎曲的表面流動，故翼型 A2080 雖然沒有攻角，但稍稍傾斜的上緣仍能形成康達效應而使得氣流向下游動，根據牛頓第三運動定律，往下流動的氣流會給機翼一向上的反作用力，且風速越大時，使氣流往下流動的力量也越大，故升力也越大。
2. 對照組 A 平機翼在風速 2.60m/s 的情況下與風向夾 10 度時出現 A 類型機翼升力最大值 3.00 gw，超過 10 度後升力下降，且其峰值亦較 A 類各組機翼所造成的升力為大，顯示對照組 A 平機翼在風速 2.60 m/s 的狀況下，只要有適當的攻角，一樣也能產生大的升力，甚至比上方有起伏的機翼更大。
3. 在攻角 30 度的情況下，翼型 A4060、A5050、A 平的升力大小差不多，推測可能的原因為機翼的上緣因角度過大，而使得康達效應減弱或消失，但下緣部分仍可讓氣流往下流動，所以仍有些微升力存在。翼型 A2080、A3070 因上緣的迎風面會形成往上氣流，故升力較小。在不同的風速下均有一致性的結果。
4. 各類 A 型機翼的升力最大值並未發生在相同的攻角情況下，而原本沒有升力 A 組各類機翼，在有攻角的情況下，升力值也會增加了。同一種翼型會隨著攻角不同，升力值也不相同，這其中的不同也是白努力定律無法說明清楚的。
5. 各類機型在不同的風速下，均有隨風速增加其升力上升的趨勢。

實驗(二)：探討 B 類機型在不同風速及機翼與風向夾角不同時的升力變化

將上述 5 組 B 類機型分別在風速 1.30 m/s、2.00 m/s 及 2.60 m/s 下進行量測，並在同一風速下控制機翼與風向間之夾角（0 度、10 度、20 度及 30 度），觀測機翼受風前後之升力變化，詳見如下表所示。

風速 1.30m/s

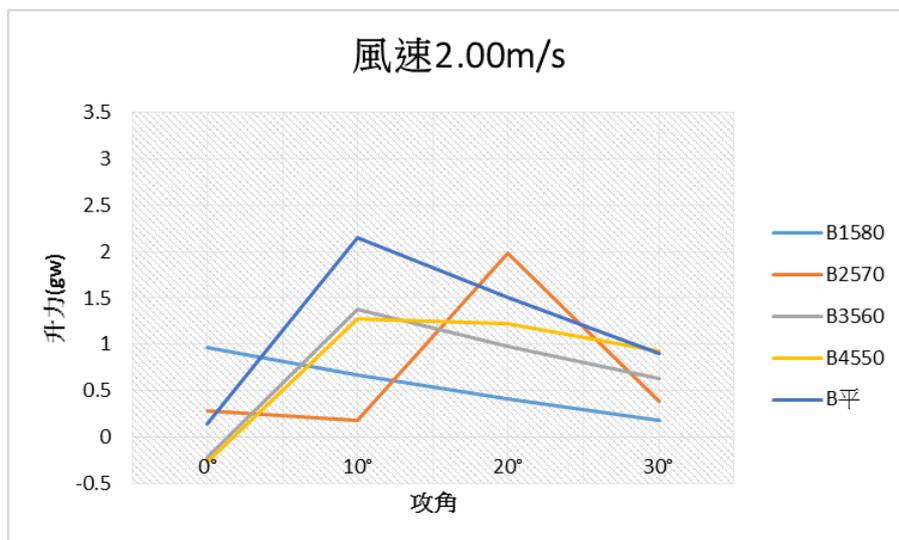
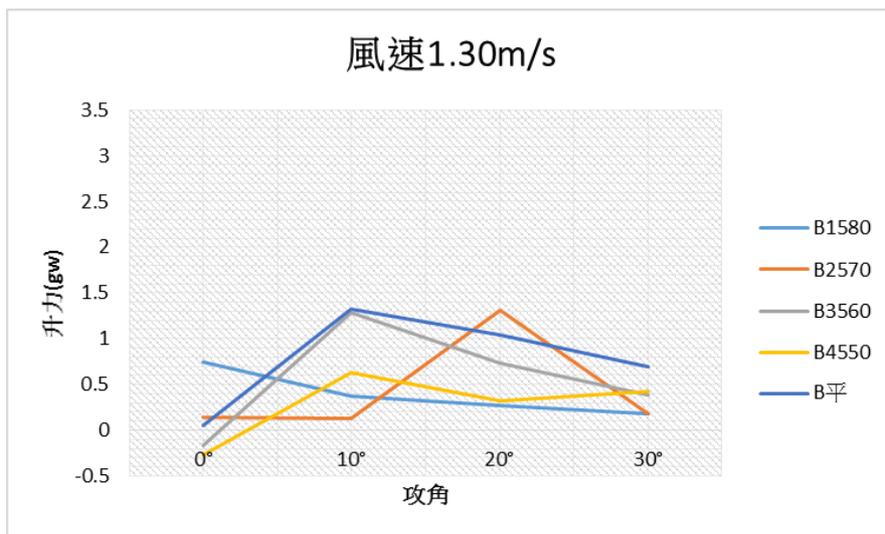
翼型	B1580	B2570	B3560	B4550	B 平
攻角 0°					
升力(gw)	0.74	0.14	-0.17	-0.27	0.05
攻角 10°					
升力(gw)	0.37	0.13	1.28	0.63	1.33
攻角 20°					
升力(gw)	0.27	1.31	0.73	0.32	1.04
攻角 30°					
升力(gw)	0.18	0.18	0.38	0.43	0.70

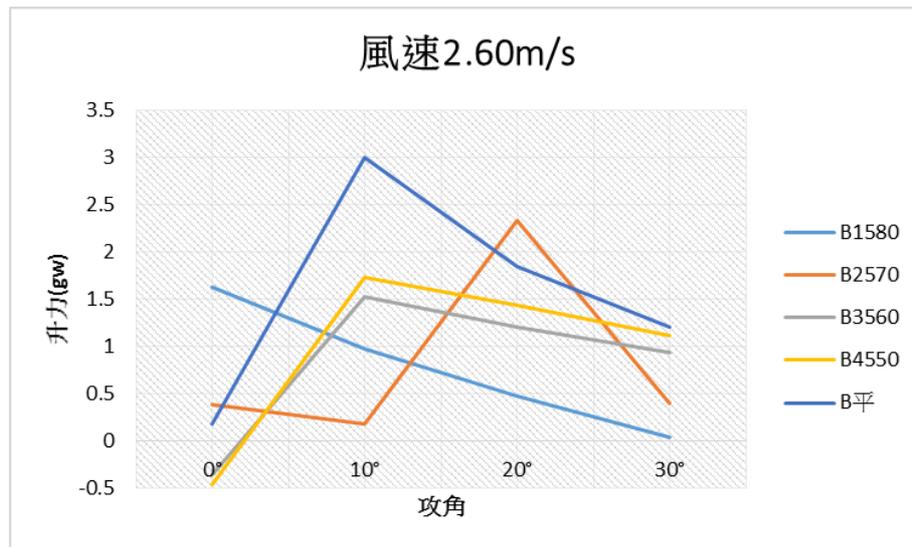
風速 2.00m/s

翼型	B1580	B2570	B3560	B4550	B 平
攻角 0°					
升力(gw)	0.97	0.29	-0.22	-0.27	0.15
攻角 10°					
升力(gw)	0.67	0.18	1.38	1.28	2.15
攻角 20°					
升力(gw)	0.41	1.98	0.98	1.23	1.50
攻角 30°					
升力(gw)	0.18	0.39	0.63	0.93	0.90

風速 2.60m/s

翼型	B1580	B2570	B3560	B4550	B平
攻角 0°					
升力(gw)	1.63	0.38	-0.37	-0.47	0.18
攻角 10°					
升力(gw)	0.97	0.17	1.53	1.73	3.00
攻角 20°					
升力(gw)	0.47	2.34	1.20	1.43	1.85
攻角 30°					
升力(gw)	0.03	0.39	0.93	1.12	1.20



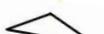
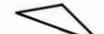
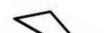


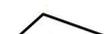
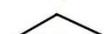
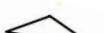
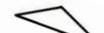
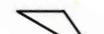
討論：

1. 當各類 B 型機翼攻角為 0 度時，升力多為接近 0gw，翼型 B3560、B4550 甚至出現負值的狀況，翼型 B1580 有不小的升力，且當風速越大時，升力有逐漸增加之趨勢。這四種翼型除了 B 平對照組外，其機翼上緣長度均相同，若依白努力定律來說明形成升力的原因，這四款翼型升力應該差不多，但實際測量結果，升力差異性蠻大的，在最大風速 2.60m/s 的情況下，最大升力的翼型 B1580 甚至比翼型 B4550 的升力大了約 2.60gw，顯示白努力定律在機翼為水平放置時並未發生顯著作用。康達效應是主張氣流會沿彎曲的表面流動，故翼型 B1580 雖然沒有攻角，但稍稍傾斜的上緣仍能形成康達效應而使得氣流向後流動，根據牛頓第三運動定律，往下流動的氣流會給機翼一向上的反作用力，且風速越大時，使氣流往下流動的力量也越大，故升力也越大。
2. 對照組 B 平機翼在風速 2.60m/s 的情況下與風向夾 10 度時出現 B 類型機翼升力最大值 3.00 gw，超過 10 度後升力下降，且其峰值亦較 B 類各組機翼所造成的升力為大，顯示對照組 B 平機翼在風速 2.60m/s 的狀況下，只要有適當的攻角，一樣也能產生大的升力，甚至比上方有起伏的機翼更大。與 A 類型機翼結論相同。再次顯示出機翼在特定外在條件下，並非一定要製做成上緣翼長大於下緣翼長，只要維持適當攻角及風速，仍可維持飛機的升力。
3. 翼型 B2570 在攻角 20 度的情況下升力明顯的較其他翼型的升力值大，僅次於翼型 B 平在攻角 10 度情況下的升力值，此三種風力情況下，結果均相同。這顯示機翼的上緣迎風面和背風面若有適當的比例且在適當的攻角下，也可以產生較大的升力值。
4. 各類 B 型機翼的升力最大值並未發生在相同的攻角情況下，而原本沒有升力 B 組各類機翼，在有攻角的情況下，升力值也會增加了。同一種翼型會隨著攻角不同，升力值也不相同，這其中的不同也是白努力定律無法說明清楚的。
5. 各類機型在不同的風速下，均有隨風速增加其升力上升的趨勢。

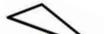
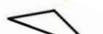
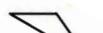
實驗三：探討 C 類機型在不同風速及機翼與風向夾角不同時的升力變化

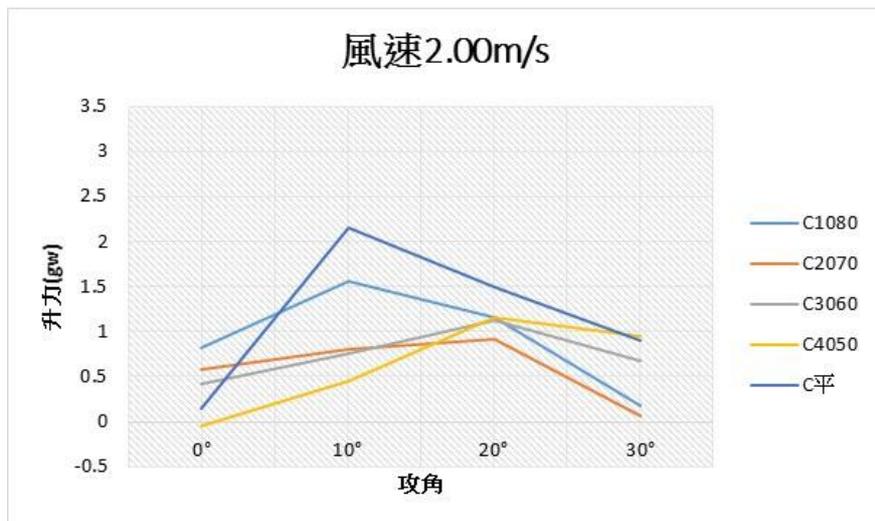
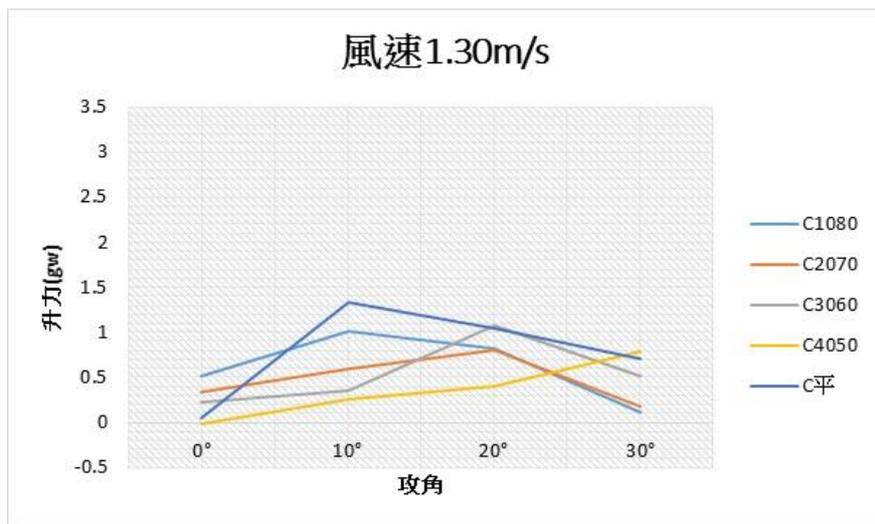
將上述 5 組 C 類機型分別在風速 1.30 m/s、2.00 m/s 及 2.60 m/s 下進行量測，並在同一風速下控制機翼與風向間之夾角（0 度、10 度、20 度及 30 度），觀測機翼受風前後之升力變化，詳見如下表所示。

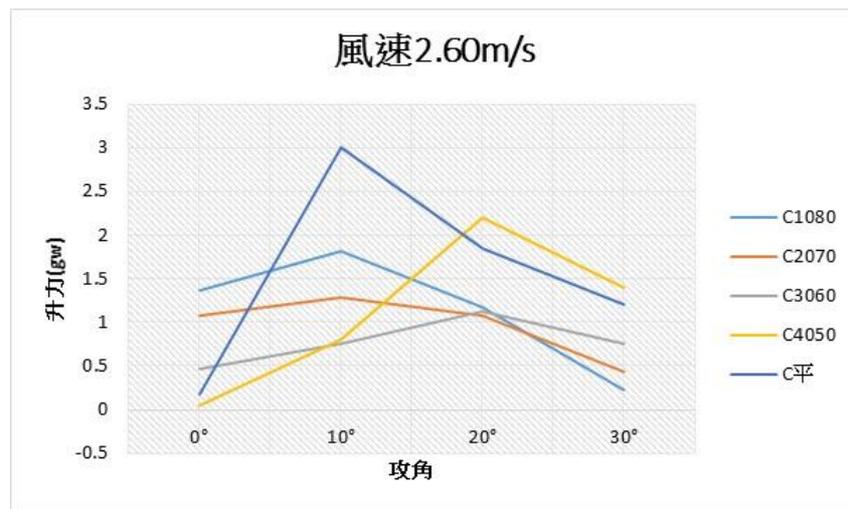
		風速 1.30m/s				
翼型		C1080	C2070	C3060	C4050	C 平
攻角 0°						
升力(gw)		0.52	0.33	0.22	-0.01	0.05
攻角 10°						
升力(gw)		1.01	0.59	0.35	0.25	1.33
攻角 20°						
升力(gw)		0.82	0.8	1.07	0.4	1.04
攻角 30°						
升力(gw)		0.11	0.18	0.52	0.79	0.70

		風速 2.00m/s				
翼型		C1080	C2070	C3060	C4050	C 平
攻角 0°						
升力(gw)		0.82	0.58	0.42	-0.05	0.15
攻角 10°						
升力(gw)		1.55	0.81	0.75	0.45	2.15
攻角 20°						
升力(gw)		1.16	0.91	1.13	1.15	1.50
攻角 30°						
升力(gw)		0.17	0.06	0.67	0.95	0.90

風速 2.60m/s

翼型	C1080	C2070	C3060	C4050	C平
攻角 0°					
升力(gw)	1.37	1.08	0.47	0.05	0.18
攻角 10°					
升力(gw)	1.82	1.28	0.75	0.80	3.00
攻角 20°					
升力(gw)	1.17	1.07	1.13	2.20	1.85
攻角 30°					
升力(gw)	0.22	0.43	0.75	1.40	1.20





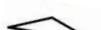
討論：

1. 當各類 C 型機翼攻角為 0 度時，升力較小，翼型 C1080 略有升力，且當風速越大時，升力有逐漸增加之趨勢。這四種翼型除了 C 平對照組外，其機翼上緣長度均相同。若依白努力定律來說明此一升力，則上緣皆相同的 C 組機翼，其所產生的升力應該差不多，但此處確有明顯差別。在最大風速 2.60m/s 的情況下，最大升力的翼型 C1080 比翼型 C4050 的升力大了 0.87gw，與翼型 A、B 的結果相同，也顯示白努力定律在機翼為水平放置時並未發生顯著作用。如果利用康達效應來說明升力來源，因 C 組各類機翼上緣的背風面角度並不相同，自然升力亦有差別，夾角 0 度時背風面較長且較平緩 C1080 和 C2070 有較大的升力，翼型 C1080 和 C2070 雖然沒有攻角，但稍稍傾斜的上緣背風面仍能形成康達效應而使得氣流向後流動，根據牛頓第三運動定律，往下流動的氣流會給機翼一向上的反作用力，且風速越大時，使氣流往下流動的力量也越大，故升力也越大。
2. 對照組 C 平機翼在風速 2.60m/s 的情況下與風向夾 10 度時出現 C 類型機翼升力最大值 3.00 gw，超過 10 度後升力下降，且其峰值亦較 C 類各組機翼所造成的升力為大，顯示對照組 C 平機翼在風速 2.60m/s 的狀況下，只要有適當的攻角，一樣也能產生大的升力，甚至比上方有起伏的機翼更大。與 A、B 類型機翼結論相同。再次顯示出機翼在特定外在條件下，並非一定要製做成上緣翼長大於下緣翼長，只要維持適當攻角及風速，仍可維持飛機的升力。
3. 各類 C 型機翼的升力最大值並未發生在相同的攻角情況下，而原本沒有升力 C 組各類機翼，在有攻角的情況下，升力值也會增加或減少。同一種翼型會隨著攻角不同，升力值也不相同，這其中的不同也是白努力定律無法說明清楚的。
4. 各類機型在不同的風速下，均有隨風速增加其升力上升的趨勢。

實驗四：探討 D 類機型在不同風速及機翼與風向夾角不同時的升力變化

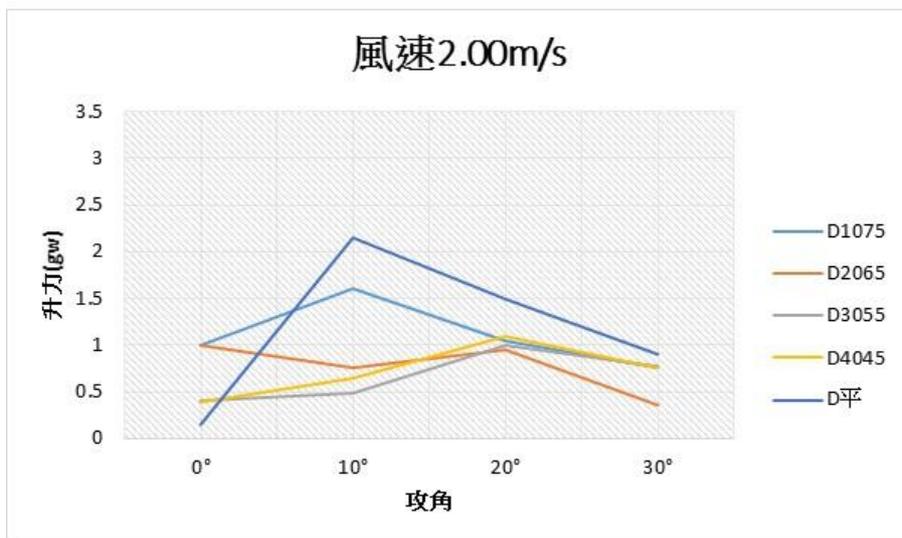
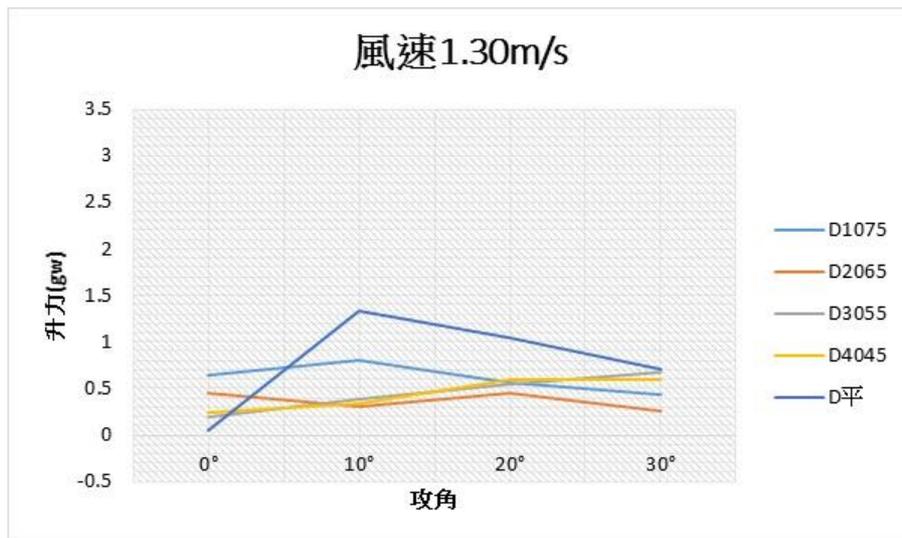
將上述 5 組 D 類機型分別在風速 1.30 m/s、2.00 m/s 及 2.60 m/s 下進行量測，並在同一風速下控制機翼與風向間之夾角（0 度、10 度、20 度及 30 度），觀測機翼受風前後之升力變化，詳見如下表所示。

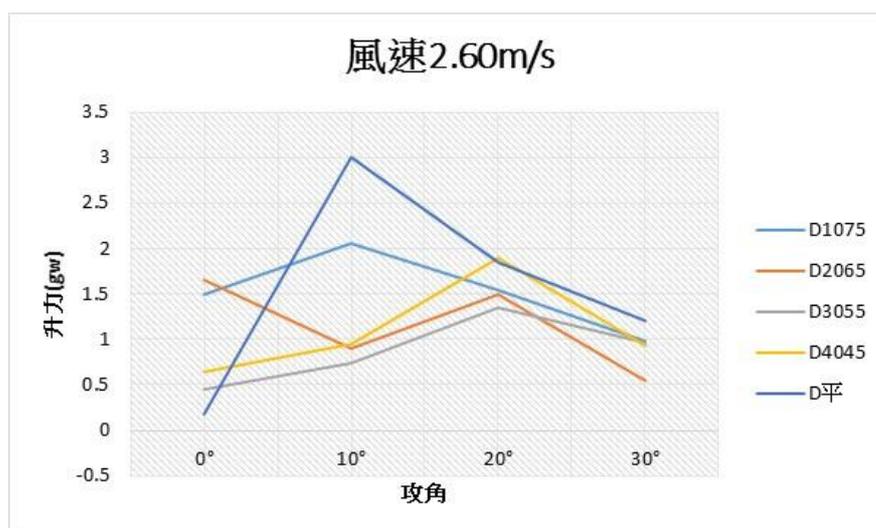
		風速 1.30m/s				
翼型		D1075	D2065	D3055	D4045	D 平
攻角 0°						
升力(gw)		0.65	0.45	0.20	0.24	0.05
攻角 10°						
升力(gw)		0.80	0.30	0.39	0.34	1.33
攻角 20°						
升力(gw)		0.57	0.45	0.55	0.59	1.04
攻角 30°						
升力(gw)		0.43	0.25	0.67	0.60	0.70

		風速 2.00m/s				
翼型		D1075	D2065	D3055	D4045	D 平
攻角 0°						
升力(gw)		1.00	1.00	0.40	0.39	0.15
攻角 10°						
升力(gw)		1.61	0.75	0.49	0.64	2.15
攻角 20°						
升力(gw)		1.05	0.95	1.00	1.09	1.50
攻角 30°						
升力(gw)		0.75	0.35	0.77	0.76	0.90

風速 2.60m/s

翼型	D1075	D2065	D3055	D4045	D平
攻角 0°					
升力(gw)	1.50	1.65	0.45	0.64	0.18
攻角 10°					
升力(gw)	2.06	0.90	0.74	0.94	3.00
攻角 20°					
升力(gw)	1.54	1.50	1.35	1.89	1.85
攻角 30°					
升力(gw)	0.98	0.55	0.96	0.93	1.20

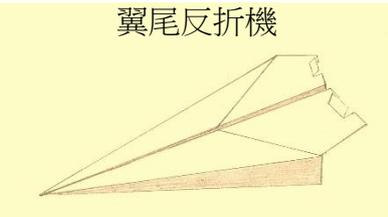
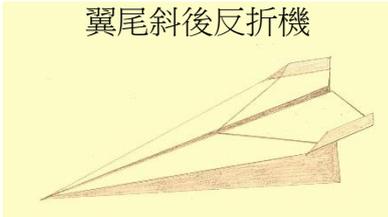


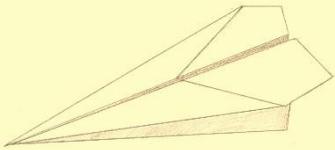
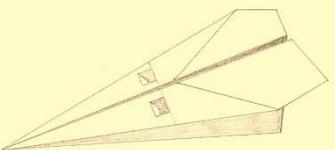
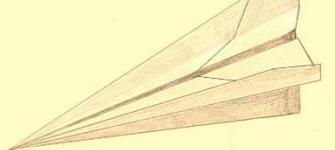
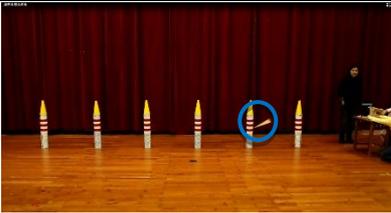
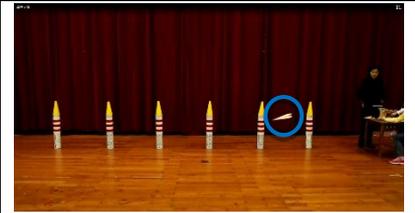
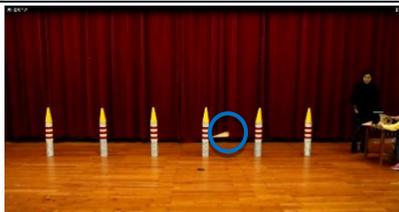
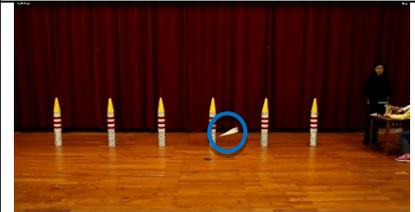


討論：

1. 當各類 D 型機翼攻角為 0 度時，升力差異大，翼型 D1075、D2065 升力較大，且當風速越大時，升力有逐漸增加之趨勢。這四種翼型除了 D 平對照組外，其機翼上緣長度均相同，若依白努力定律來說明形成升力的原因，這四款翼型升力應該差不多，但實際測量結果，升力差異性蠻大的，在最大風速 2.60m/s 的情況下，最大升力的翼型 D2065 比 D 平對照組的升力大了約 1.48gw，顯示白努力定律在機翼為水平放置時並未發生顯著作用。康達效應是主張氣流會沿彎曲的表面流動，故翼型 D1075、D2065 雖然沒有攻角，但稍稍傾斜的上緣仍能形成康達效應而使得氣流向下流動，根據牛頓第三運動定律，往下流動的氣流會給機翼一向上的反作用力，且風速越大時，使氣流往下流動的力量也越大，故升力也越大。
2. 對照組 D 平機翼在風速 2.60m/s 的情況下與風向夾 10 度時出現 D 類型機翼升力最大值 3.00 gw，超過 10 度後升力下降，且其峰值亦較 D 類各組機翼所造成的升力為大，顯示對照組 D 平機翼在風速 2.60m/s 的狀況下，只要有適當的攻角，一樣也能產生大的升力，甚至比上方有起伏的機翼更大。與 A、B、C 類型機翼結論相同。再次顯示出機翼在特定外在條件下，並非一定要製做成上緣翼長大於下緣翼長，只要維持適當攻角及風速，仍可維持飛機的升力。
3. 各類 D 型機翼的升力最大值皆未超過 D 平對照組的最大升力，顯示機翼不一定要做成上緣較長，下緣較短的形狀，只要有適當的攻角，平面的機翼也可以有較大的升力。
4. 各類 D 型機翼的升力最大值並未發生在相同的攻角情況下，而原本沒有升力 D 組各類機翼，在有攻角的情況下，升力值也會有所增減。上緣迎風面較短的翼型型狀接近對照組 D 平，在攻角較小時會有較大升力。上緣迎風面較其他翼型長的 D4045、D3055，則會在攻角 20 度時達最大升力。
5. 各類機型在不同的風速下，均有隨風速增加其升力上升的趨勢。

三、改良紙飛機，找尋最佳的飛行條件

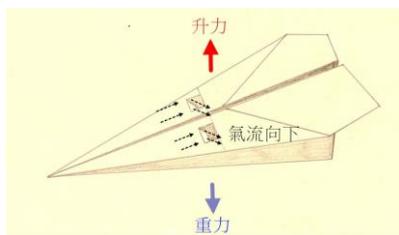
	<p>翼尾反折機</p> 	<p>翼尾斜後反折機</p> 
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
<p>飛行距離(公分)</p>	<p>910</p>	<p>955</p>

	標準機	翼中空下折機	翼旁反折機
1			
2			
3			
4			
飛行距離	280	395	350

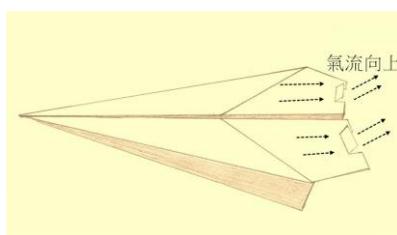
討論：

飛機發射的角度會影響飛行的距離，故我們發射飛機時都有調整每種機型的機翼，使其平行地面。機翼無調整的一般標準型紙飛機發射後，因受重力影響，很快就落地了，飛行距離不到 3 公尺。翼中空下折機，根據康達效應理論，中間挖空下折的部分可使氣流沿折下折的部分往下，因而產生一升力，且下折部分約在飛機重心位置，升力和重力在同一直線上(圖四)，不會造成飛機的傾斜，飛行距離較標準機稍遠，約可達 4 公尺。翼旁反折機無明顯升力，所以發射後也是很快就落地了，飛行距離約為 3.5 公尺。翼尾有反折的兩種機型飛行的距離最遠，皆可達 9 公尺之遠，翼尾反折機反折的部分較小，飛行 4 公尺後，機身才有略為上仰的情形，但角度不大，故飛機始終保持約同樣高度飛行

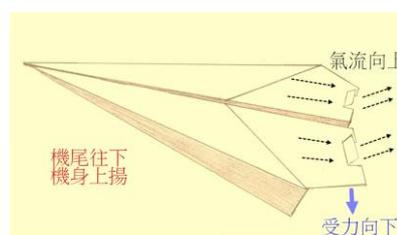
直到落地，約飛行 9 公尺。翼尾斜後反折機也是飛行約 4 公尺後，機身才有略為上仰的情形，但角度較大，故機頭便會漸漸往上揚，因而越飛越高，最後因為攻角角度過大而失速墜落，但其飛行距離是最遠的，可達 9.5 公尺。我們認為翼尾有反折的兩種機型能夠飛得比較遠的原因，是氣流會沿著反折的部分向上(圖五)，而向上的氣流會給飛機一向下的反作用力使得機尾略為下沉，此時飛機便成為一向上傾斜的狀況(圖六)，飛機便能向上飛行。但若是機尾過度下沉，則會造成機身仰角過大，康達效應消失，飛機會失速墜落。



圖四



圖五



圖六

四、利用發現結果解釋飛機飛行原理



- (一) 飛機要起飛或升空的時候，升降舵會往上移動，此時便有一股氣流沿升降舵往上，機尾向下壓，機頭因而抬升，飛機便能往上飛。當飛機要降落時，升降舵會往下移動，此時便有一股氣流沿升降舵往下，機尾受到升力而上揚，機頭因而往下，飛機便能降落了。
- (二) 飛機要向右轉彎時，右邊副翼會向上移動，氣流沿副翼向上，受到下壓力量，左邊副翼向下移動，氣流沿副翼向下，產生一升力，這時飛機會向右轉動。飛機要向左轉彎時，左邊副翼會向上移動，氣流沿副翼向上，受到下壓力量，右邊副翼向下移動，氣流沿副翼向下，產生一升力，這時飛機會向左轉動。

陸、結論

一、氣流通過不同角度紙片時產生的現象：

氣流與紙片夾角在 10 度和 20 度時，氣流會沿著紙片向下彎曲，而產生一向上升力，但是夾角在 20 度時，會有部分氣流產生剝離現象。氣流與紙片夾角達 30 度時，部份氣流便不再沿著紙片向下彎曲，而且在紙片後方會出現紊亂的流動，此時升力便會大幅度降低。

二、測量不同形狀機翼在不同角度及不同風速下的升力差別：

(一) 不同角度：平面的機翼最大升力則是出現在攻角 10 度的時候，攻角過大會讓升力大幅減弱。機翼上方有起伏的各組類型機翼其最大升力都不如平面的對照組，此結果顯示，康達效應對升力的貢獻比白努力定律更多。

(二) 不同風速：各類型的機翼都呈現隨風速增加，升力也越大的趨勢。

三、改良紙飛機，找尋最佳的飛行條件：

我們發現只要在機尾的部分反摺一向上的角便可讓機尾微微下沉，使得機頭的部份能夠上揚，飛機便可向上飛行，因而能夠克服飛機重力，讓飛機不會那麼快下墜，可飛得更遠。

四、我們發現飛機的升力確實可用康達效應與牛頓第三運動定律詮釋說明，較白努力定律解釋更為恰當。

柒、參考資料及其他

一、江武雄等(民 103)，國中自然與生活科技三上，台北市：南一書局

二、台灣 2008 年國際科展，物理與太空科學，狂舞飛圈

三、中華民國第五十四屆科展作品，國小組，物理科，造飛機追風趣

四、到底是誰讓飛機飛起來的？牛頓 OR 白努力，民國 105 年 1 月 12 日，取自
<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2008/03/2008032808434021.pdf>

五、癮科學：飛機為什麼會飛，民國 105 年 1 月 12 日，取自
<http://chinese.engadget.com/2009/03/23/on-flight/>

六、飛機飛行的物理，民國 105 年 1 月 12 日，取自
http://www.ied.edu.hk/apfslt/v5_issue1/ngph/ngph2c.htm#twoc

【評語】 080122

飛機升力來源，也許在過去已經有許多的研究。但是透過實作去辯證是伯努利原理或是達康效應為主，並透過設計實驗去分析，這樣的科學精神是十分值得讚許的。