

研究主題：飛機總洞原-以風洞預測紙飛機滑翔距離

摘要

- 一、我們研究出不須實際飛行，就能了解紙飛機滑翔距離 D 與升力 L 等相關性能的方法。製作簡易風洞產生穩定的氣流並以棉線牽引，模擬飛機滑翔時的狀態，利用平板電腦 APP 觀察並拍照，量測出飛機在穩定飛行時的攻角與牽引棉線之角度，利用空氣動力學理論與簡易三角函數推導公式，以 Excel 計算出升力 L 及預估的飛行滑翔距離 D。
- 二、製作五種不同機翼大小的飛機，利用風洞產生五種不同的風速，得到
 - (一)風速與攻角幾乎成向右下斜的線型函數，而且型 1~型 3 的飛機差異不大，可知在速度 1m/s~3.8m/s 範圍裏此類飛機，適合飛行，飛機並不會產生失速情形。
 - (二)不同機型，機翼面積比例不同，面積越大時，升力不一定越大，在速度 1m/s、1.6m/s、1.8m/s 時，並無明顯差別，在較高速度 2.9m/s、3.8m/s 時，型 2 飛機產生較大升力 L 與較遠滑翔距離 D，可推論風速較大時，以型 2 為最佳設計。
- 三、用手機 APP 進行一般量測工具不易做到的非接觸遠距量測，當飛機穩定飛行時，利用手機 APP，可以量測出紙飛機攻角並推算出紙飛機滑翔距離 D 與升力 L，只要善用手機，它也是一個很好的科學測量儀器。

壹、研究動機

- 一、想讓紙飛機飛更遠。
- 二、看了很多科展作品研究的方法及結果無一致的結論，而且飛行距離都在 10 公尺以內。
- 三、10 公尺的距離其實隨便揉一個紙團就可以丟超過 10 公尺了。
- 四、我們想要研究的是能在學校大樓上射出能夠滑翔以及飛行距離遠的紙飛機。
- 五、我們希望能透過這次的機會研究出能不用實際測量，就能知道紙飛機性能的方法。
- 六、所以想利用風洞穩定的氣流來模擬飛機滑翔時的狀態。

貳、研究目的

- 一、探討如何製作簡易風洞。
- 二、藉由風洞提供的穩定風速模擬飛機滑翔緩緩下降的情形。
- 三、觀察不同機翼面積比例的飛機在不同風速時的飛行狀態。
- 四、紙飛機在穩定的氣流中穩定不動可觀察出紙飛機攻角，利用簡易三角函數計算出紙飛機的攻角、升力與預測滑翔距離。
- 五、利用身旁隨手可得的手機、平板電腦及相關 APP 來進行科學觀察與研究。

參、研究設備及器材

電子秤、風速計、簡易風洞(風扇、整流器)、A4 影印紙(70GSM)、手機(APP: ON 2D 遠程測量)、平板電腦 (APP: ON 2D 遠程測量)、筆記型電腦(Word、Excel、威力導演)

肆、研究過程及方法

一、紙飛機升力分析與計算：

(一)本實驗研究之飛機受力情形分析
紙飛機受力分析如右圖

其中 θ_1 ：繩子與水平之夾角

θ_2 ：機翼與水平之夾角

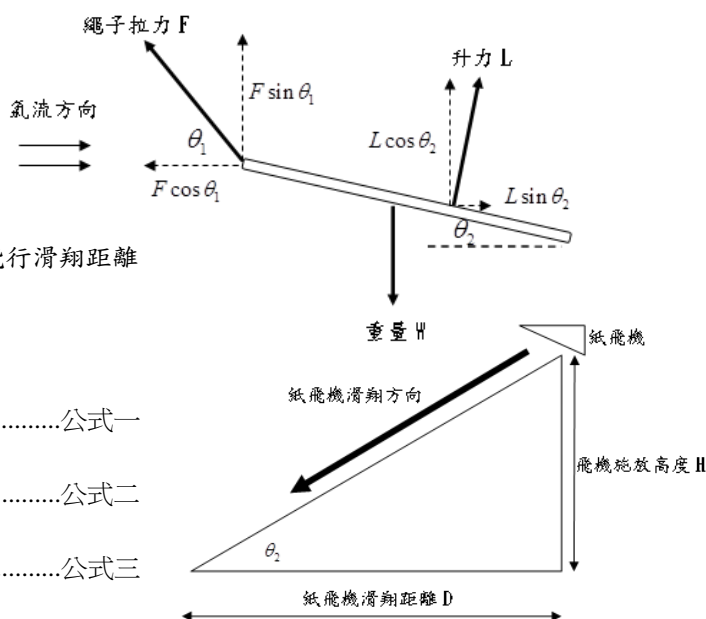
H：飛機釋放高度、D：預測飛行滑翔距離

(二)公式推導：

$$\begin{cases} F \sin \theta_1 + L \cos \theta_2 = W \\ F \cos \theta_1 = L \sin \theta_2 \end{cases}$$
$$\Rightarrow L = \frac{W \cos \theta_1}{\sin \theta_2 \sin \theta_1 + \cos \theta_2 \cos \theta_1} \dots\dots\dots \text{公式一}$$

$$\Rightarrow F = \frac{W \sin \theta_2}{\sin \theta_2 \sin \theta_1 + \cos \theta_2 \cos \theta_1} \dots\dots\dots \text{公式二}$$

$$\Rightarrow D = H \times \frac{\cos \theta_2}{\sin \theta_2} \dots\dots\dots \text{公式三}$$



二、實驗步驟與方法：

- (一) 將 70 磅 A4 影印紙一包(500 張)，每 100 張量測一次重量，找出 1 張 A4 影印紙的平均重量 W。
- (二) 以這些 A4 影印紙製作梭形紙飛機，依據不同折線機翼產生 5 種不同機翼的面積的紙飛機，分別編號為型 1~型 5。

- (三) 將事先折好的紙飛機(型 1~型 5)，將 20 公分棉線用小段膠帶貼在飛機前方尖端的位置。
- (四) 將棉線另一端黏貼於風洞上方，讓飛機可於風洞測試段中央飛翔。
- (五) 把電風扇打開，調整不同風速，並以風速計量測風速，分別量測風洞出口每一格的風速並加以平均，找出平均風速。
- (六) 將平板電腦在風洞測試段旁邊垂直架設好(垂直度 1~0.99)，當飛機穩定時，使用 APP [ON 2D 遠程量測]，將飛機拍照下來，並以角度測量模式進行分析，分別量測出棉繩與水平之夾角 與機翼與水平之夾角。
- (七) 重複步驟(六)進行 10 次的量測求其平均值。
- (八) 重複步驟(三)到步驟(七)，將 5 種飛機(型 1~型 5)在 5 種不同風速時之情形分別拍照、量測並記錄。
- (九) 將實驗數據 A4 影印紙的平均重量 W、與 θ_1 、 θ_2 ，將升力 L、拉力 F 及預測飛機滑翔距離 D，依照公式一~公式三，以電腦 Excel 計算出來。
- (十) 以實驗數據製作圖表。

三、簡易風洞製作：

- (一) 簡易風洞包含動力段、整流段與測試段如下圖



圖 10：簡易風洞測試段



圖 9：簡易風洞整流段



圖 8：簡易風洞動力段

1. 動力段:用可以調整風速的電風扇產生氣流。
2. 整流段:在風洞兩端用方形網格狀整流器，讓氣流穩定平均並保持水平流動。
3. 測試段:為考慮實驗操作及觀察的方便性，以開放空間作為進行實驗操作的區段。

- (二) 實驗觀察與數據擷取

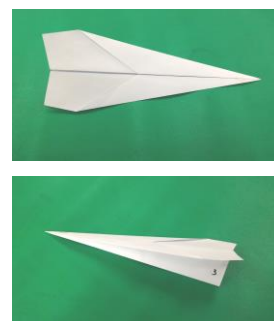
1. 以支架固定 8 吋平板電腦，安裝於風洞測試段旁，並與風洞平行。
2. 以平板電腦之相機功能拍照。
3. 以 APP 軟體[ON 2D 遠程量測]進行遠距角度量測，此工具平均準確度是介於 $\pm 1.5\%$ 。



圖 11：以 APP 進行遠距角度量測圖



圖 12：由左至右分別為型 1~型 5



四、不同飛機形式的製作：

- (一) 飛機是用一般梭形的紙飛機再用機翼折線不同做改變，產生不同機翼面積的紙飛機。
- (二) 機翼折線中間值為五公分，機翼以加減 1 公分為單位來做型號上的改變。
- (三) 我們做了型 1 到型 5 共五種不同機翼面積的紙飛機，如圖 12。

伍、研究結果

一、實驗數據

將型 1~型 5 飛機在平均風速 3.8、2.9、1.8、1.6、1.0 m/s 中進行實驗，並設定飛機施放高度 H=18 公尺(約六層樓高度)，來計算預測飛機滑翔距離 D，可得下列實驗結果：

- (一) 型 1~型 3 紙飛機於平均風速 1~3.8 m/s 的量測結果如下表：

型 1 紙飛機量測結果						型 2 紙飛機量測結果						型 3 紙飛機量測結果					
風速(公尺每秒)	1	1.6	1.8	2.9	3.8	風速(公尺每秒)	1	1.6	1.8	2.9	3.8	風速(公尺每秒)	1	1.6	1.8	2.9	3.8
θ_1 (度)	48.66	41.55	37.01	39.03	39.66	θ_1 (度)	50.49	33.77	37.66	37.44	38.53	θ_1 (度)	48.92	35.36	39.05	37.63	41.38
θ_2 (度)	35.91	29.91	20.04	18.24	11.81	θ_2 (度)	39.93	26.10	21.91	15.14	10.50	θ_2 (度)	37.82	25.85	22.95	18.82	13.77
飛機重W	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34	飛機重W	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34	飛機重W	4.34	4.34	4.34	4.34	4.34
繩拉力F	2.62	2.21	1.56	1.46	1.01	繩拉力F	2.83	1.93	1.69	1.23	0.90	繩拉力F	2.71	1.92	1.76	1.47	1.17
升力L	2.94	3.32	3.63	3.62	3.78	升力L	2.81	3.64	3.58	3.73	3.85	升力L	2.91	3.59	3.51	3.66	3.68
滑翔距離D	24.86	31.29	49.35	54.62	86.12	滑翔距離D	21.51	36.74	44.76	66.52	97.16	滑翔距離D	23.19	37.15	42.50	52.81	73.43

- (二) 型 4、型 5 紙飛機無法穩定飛行，因此並無法得到實驗數據。

二、數據分析

表 16：不同機型在不同風速中的攻角 θ_2

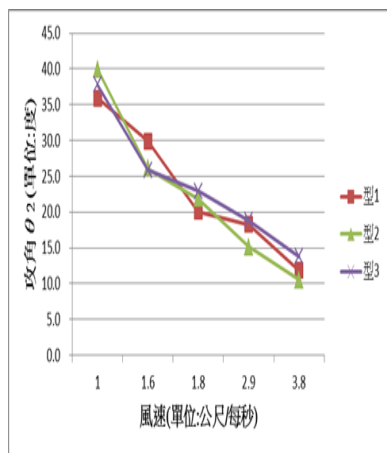


表 17：不同機型在不同風速中的升力 L

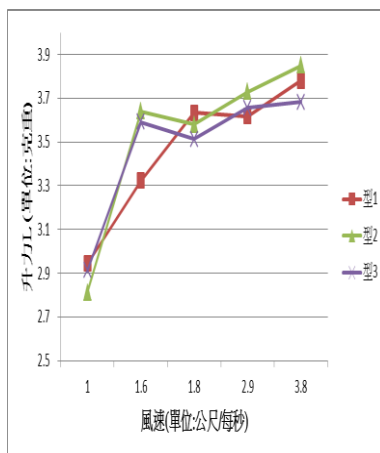
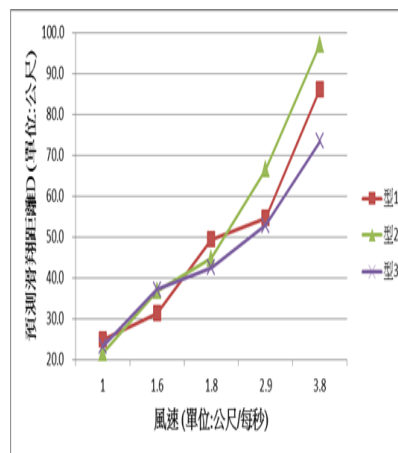


表 18：不同機型在不同風速中的預估飛行滑翔距離 D



陸、討論：

以簡易風洞進行測試與觀察，在 5 種不同風速時，型 1~型 5 紙飛機之飛行狀態：

- 一、型 4、型 5 因機身比例過大，於風洞中測試時不斷翻滾，無法穩定，不能產生數據，推論型 4、型 5 無法正常飛行滑翔。
- 二、從表 16 可知，風速越小攻角越大，反之風速大攻角越小，在速度 1m/s~3.8m/s 範圍裏速度與攻角幾乎成向下斜的線型函數，而且型 1~型 3 的飛機差異不大，可以知道此類飛機在這些速度範圍內，適合飛行，飛機並不會產生失速情形。
- 三、從表 16 及表 17 可知，風速快的時候，只需較小之攻角，即可產生較大升力，且在速度 1.6m/s~3.8m/s 範圍裏升力 L 都很接近，約 3.6~3.8 克重約重量 W 的 83%~88%。
- 四、不同機型時，機翼面積比例不同，由表 17 可知面積越大時，升力不一定越大，在在速度 2.9m/s 及 3.8m/s 等較大風速時，型 2 產生較大升力，推論型 2 的機翼與機身比例較佳，空氣動力性能較好。
- 五、若以 6 樓高樓約 18 公尺之飛機施放高度，預估飛行距離，由表 18 可知風速越大時，飛行距離越遠，其中又以型 2 在速度 2.9m/s 及 3.8m/s 等較大風速時，皆優於其他型飛機，能產生最遠滑翔距離 66.5 公尺及 97.2 公尺。

柒、結論：

- 一、我們研究出不須實際飛行，就能了解紙飛機滑翔距離 D 與升力 L 等相關性能的方法。製作簡易風洞，並產生的穩定氣流可以模擬出紙飛機滑翔時的狀態，以手機 APP 進行非接觸遠距量測，可計算出飛機的升力 L 並預測出飛行距離 D。
- 二、綜合表 16、表 17、表 18 可知，在速度 1m/s、1.6m/s、1.8m/s 時，型 1、型 2 與型 3 並無明顯差別，在較高速度 2.9m/s、3.8m/s 時，型 2 飛機產生較大升力 L 與較遠滑翔距離 D，可推論風速較大時，以型 2 為最佳設計。
- 三、飛機設計不只考慮機翼面積比例，另需考慮機身大小及重心位置，本研究所採用的機型設計，容易讓飛機產生直線的飛行，卻也因為機翼的比例設計不佳、機身比例過大，而產生翻滾的情形，如型 4、型 5 之設計則無法正常飛行滑翔。
- 四、我們用手機 APP 可以進行一般量測工具不易做到的非接觸遠距量測，當飛機穩定飛行時，利用手機 APP，可以量測出飛機攻角，只要善用手機，它也是一個很好的科學測量儀器。

捌、參考資料

- 一、國中數學課本第四冊/三角形的基本性質，翰林出版社
- 二、http://www.junyiacademy.org/math-grade-11/high-school-triangle/root/high-school-triangle1-1/v/8o_rBszqk0g(均一教育平台/高二數學/直角三角形的邊角關係)
- 三、<http://edu.deltamoox.net/course/view/courseInfo/124>
(Deltamoox 愛學網/高中數學第三冊第一章/銳角與廣義角三角函數-教育部數學學科中心種子教師吳汀菱)
- 四、Usborne Publishing，200 架超強紙飛機，摺了就會飛！和平國際出版社（民 103）
- 五、中村寬治，飛機構造與飛行原理(圖解版)，晨星出版社（民 100）
- 六、中華民國第四十七屆中小學科學展覽會作品說明書，談紙神功-紙飛機的滑翔研究
- 七、中華民國第四十七屆中小學科學展覽會作品說明書，天鷹翱翔-紙飛機