

104 學年度臺中市國民中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：生活應用科學

組 別：國中組

作品名稱：飛機總洞原-以風洞預測紙飛機滑翔距離

關 鍵 詞：紙飛機、滑翔距離、風洞

編 號：

飛機總洞原-以風洞預測紙飛機滑翔距離

摘要：

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。

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，得到不同飛機在不同速度下的實驗數據，並加以分析。我們發現：

- 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机、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：

- 一、電子秤
- 二、風速計
- 三、簡易風洞(風扇、整流器)
- 四、A4 影印紙(70GSM)
- 五、手機(APP：ON 2D 遠程測量)
- 六、平板電腦 (APP：ON 2D 遠程測量)
- 七、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)從力學與空氣動力學的角度進行紙飛機受力情形的理論分析：

1. 紙飛機滑翔時受力情形如下圖所分析

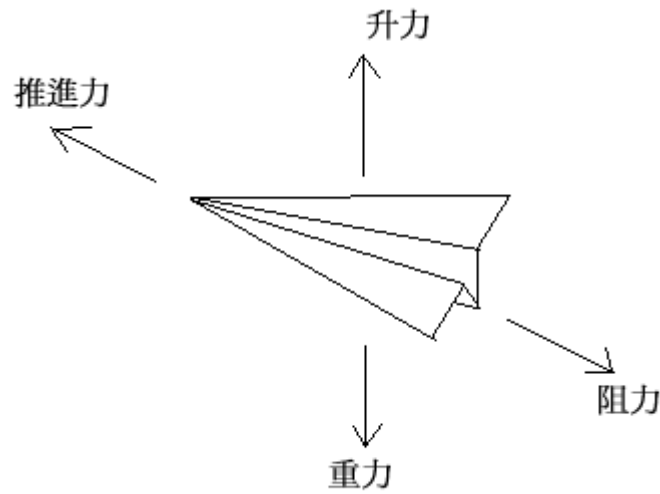


圖 1：紙飛機滑翔時受力情形分析圖

(二)影響升力的因素：

1. 伯努利原理：當飛機飛行時，機翼與空氣產生相對速度，使上下的流體動態壓力不同產生壓力差，若向上壓力較大飛機就向上爬升。



圖 2：飛機飛行時機翼剖面圖

2. 牛頓第三運動定律（作用力與反作用力定律）：

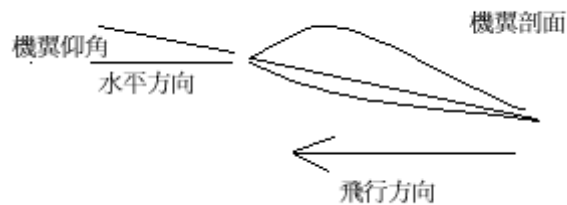


圖 3：一般機翼與水平面有一機翼仰角(攻角)。

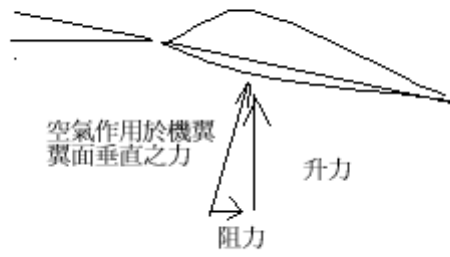


圖 4：飛機飛行時空氣作用於機翼之受力圖。

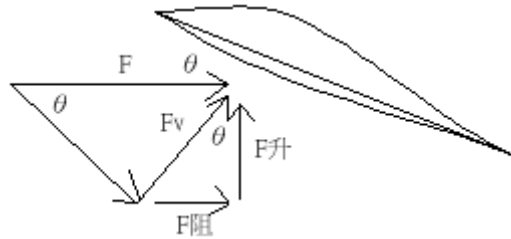


圖 5：升力與阻力分析圖

(三)本實驗研究之飛機受力情形分析

紙飛機受力分析如下圖：

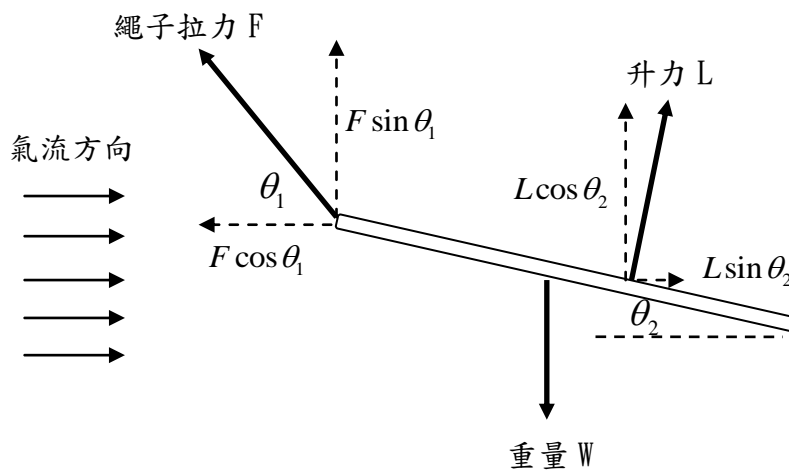


圖 6：紙飛機受力分析圖

1. 各項參數定義如下：

θ_1 ：繩子與水平之夾角

θ_2 ：機翼與水平之夾角（攻角 Attack angle）

F：繩子拉力

L：升力

W：重力

H：飛機施放高度

D：預測飛行滑翔距離

2. 公式推導：

$$\begin{cases} F \sin \theta_1 + L \cos \theta_2 = W \\ F \cos \theta_1 = L \sin \theta_2 \end{cases}$$

$$F \cos \theta_1 = L \sin \theta_2$$

$$\Rightarrow F = \frac{L \sin \theta_2}{\cos \theta_1} \text{ 代入 } F \sin \theta_1 + L \cos \theta_2 = W$$

$$\Rightarrow \left(\frac{L \sin \theta_2}{\cos \theta_1} \right) \sin \theta_1 + L \cos \theta_2 = W$$

$$\Rightarrow \frac{L \sin \theta_2 \sin \theta_1}{\cos \theta_1} + L \cos \theta_2 = W$$

$$\Rightarrow \frac{L \sin \theta_2 \sin \theta_1}{\cos \theta_1} + \frac{L \cos \theta_2 \cos \theta_1}{\cos \theta_1} = W$$

$$\Rightarrow L \sin \theta_2 \sin \theta_1 + L \cos \theta_2 \cos \theta_1 = W \cos \theta_1$$

$$\Rightarrow L(\sin \theta_2 \sin \theta_1 + \cos \theta_2 \cos \theta_1) = W \cos \theta_1$$

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

代入 $F \cos \theta_1 = L \sin \theta_2$

$$\Rightarrow F \cos \theta_1 = \frac{W \cos \theta_1 \sin \theta_2}{\sin \theta_2 \sin \theta_1 + \cos \theta_2 \cos \theta_1}$$

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

另外，若飛機釋放高度 H ，則預測飛機滑翔距離 D

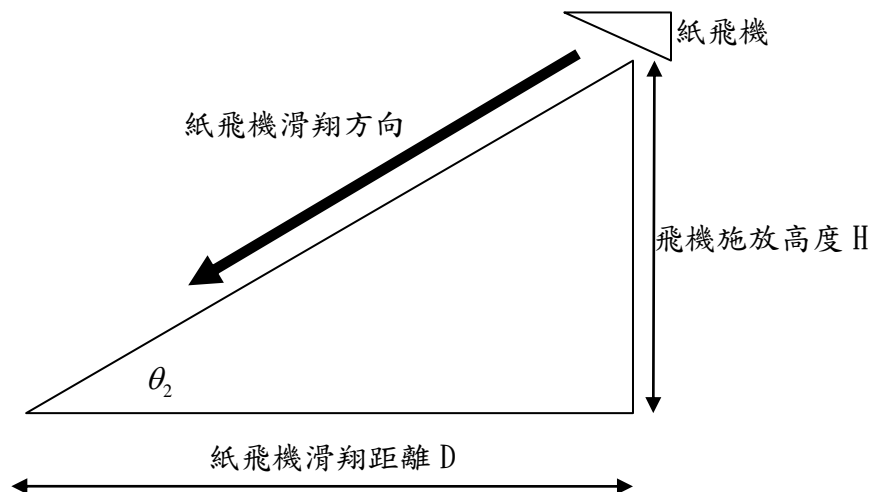


圖 7：預測紙飛機飛行滑翔距離示意圖

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

二、實驗步驟與方法

- (一) 將 70 磅 A4 影印紙(70GSM)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 θ_1 與機翼與水平之夾角 θ_2 。
- (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 、 θ_1 與 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

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。



圖 8：簡易風洞動力段



圖 9：簡易風洞整流段

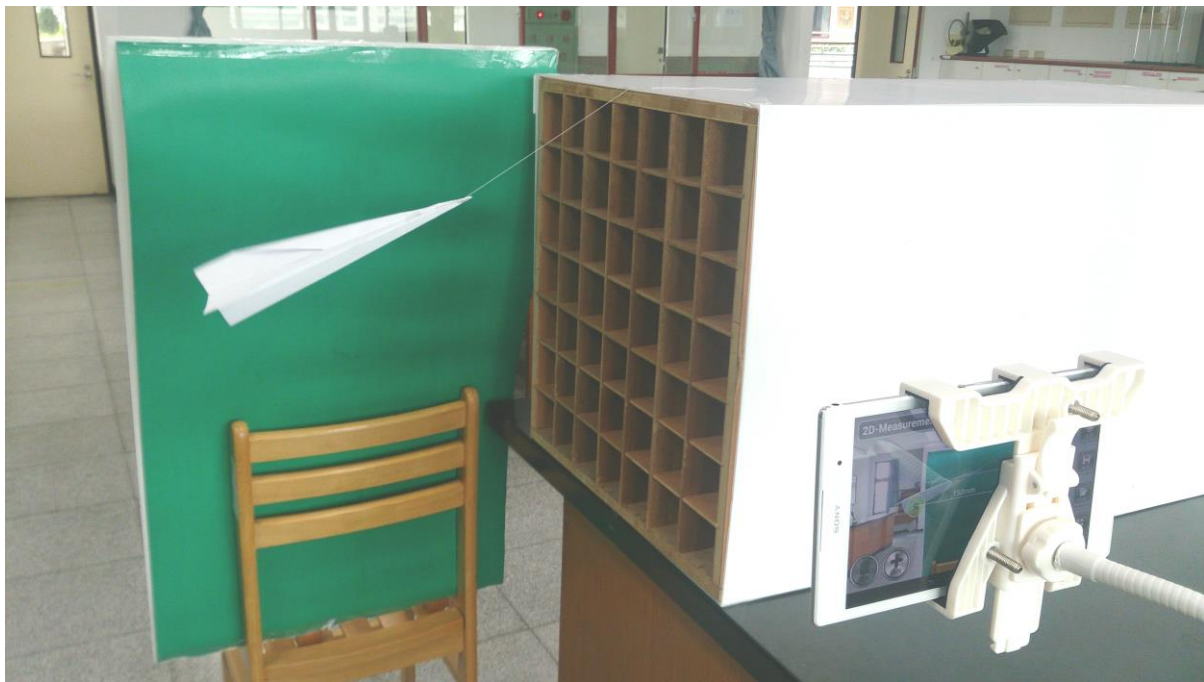


圖 10：簡易風洞測試段

(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 $\pm 1.5\%$ 。



藍色光濾波器



藍色光濾波器



圖 11：APP 軟體[ON 2D 遠程量測]進行遠距角度量測圖

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面積不同而做改變。
- (二)機翼中間值為五公分，機翼以加減 1 公分來做型號上的改變。
- (三)我們做了型號 1 到型號 5。



圖 12：由左至右分別為型 1、型 2、型 3、型 4 與型 5

伍、研究結果

一、實驗數據

若設定飛機施放高度 $H=18$ 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 紙飛機於平均風速 $3.8 \text{ m/s} \sim 1.0 \text{ m/s}$ 的量測結果

1. 表 1：型 1 紙飛機於平均風速 3.8 m/s 的量測結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
$\theta 1$	40.060	39.070	39.900	47.830	40.500	38.510	37.280	45.650	40.100	27.740	39.664
$\theta 2$	10.360	12.070	10.240	10.400	12.480	11.880	11.530	13.060	11.650	14.380	11.805
飛機重 W	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342
繩拉力 F	0.899	1.019	0.888	0.987	1.063	1.000	0.964	1.164	0.997	1.108	1.009
升力 L	3.826	3.783	3.833	3.671	3.740	3.801	3.836	3.602	3.777	3.950	3.782
滑翔距離 D	98.461	84.178	99.641	98.074	81.327	85.564	88.236	77.596	87.302	70.207	86.124

2. 表 2：型 1 紙飛機於平均風速 2.9 m/s 的量測結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
$\theta 1$	45.270	43.740	43.230	43.370	38.300	40.700	40.530	33.140	28.450	33.590	39.032
$\theta 2$	16.080	16.540	15.310	15.110	18.750	17.180	22.880	19.780	21.450	19.310	18.239
飛機重 W	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342
繩拉力 F	1.378	1.390	1.297	1.285	1.481	1.399	1.771	1.510	1.600	1.482	1.459
升力 L	3.500	3.527	3.580	3.583	3.616	3.590	3.463	3.737	3.846	3.732	3.617
滑翔距離 D	62.444	60.612	65.752	66.665	53.026	58.221	42.653	50.052	45.813	51.371	54.622

3. 表 3：型 1 紙飛機於平均風速 1.8 m/s 的量測結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
$\theta 1$	31.140	35.100	39.630	37.020	39.900	37.140	41.400	38.320	32.070	38.370	37.009
$\theta 2$	22.950	20.670	15.300	23.440	15.600	23.020	18.540	22.430	19.910	18.540	20.040
飛機重W	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342
繩拉力F	1.710	1.582	1.257	1.777	1.281	1.751	1.498	1.722	1.512	1.468	1.556
升力L	3.754	3.668	3.670	3.566	3.655	3.569	3.534	3.542	3.764	3.619	3.634
滑翔距離D	42.508	47.711	65.797	41.516	64.469	42.364	53.672	43.606	49.697	53.672	49.347

4. 表 4：型 1 紙飛機於平均風速 1.6 m/s 的量測結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
$\theta 1$	39.030	44.040	41.740	34.380	42.350	42.920	43.050	42.010	39.300	46.710	41.553
$\theta 2$	28.850	25.980	23.760	24.280	37.150	31.560	36.110	34.860	25.290	31.300	29.914
飛機重W	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342
繩拉力F	2.128	2.000	1.839	1.813	2.633	2.318	2.578	2.501	1.912	2.340	2.206
升力L	3.427	3.283	3.406	3.640	3.222	3.243	3.196	3.251	3.463	3.088	3.322
滑翔距離D	32.674	36.938	40.889	39.903	23.757	29.304	24.675	25.841	38.097	29.605	31.285

5. 表 5：型 1 紙飛機於平均風速 1.0 m/s 的量測結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
$\theta 1$	39.770	43.260	52.970	42.420	50.000	52.660	47.220	52.600	50.600	55.110	48.661
$\theta 2$	41.370	32.610	31.630	31.770	34.300	34.370	37.950	38.930	33.690	42.440	35.906
飛機重W	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342
繩拉力F	2.871	2.381	2.445	2.326	2.542	2.581	2.705	2.808	2.517	3.003	2.618
升力L	3.338	3.217	2.807	3.261	2.899	2.774	2.988	2.714	2.880	2.545	2.942
滑翔距離D	20.439	28.135	29.224	29.065	26.387	26.318	23.080	22.284	27.000	19.685	24.861

(二)型 2 紙飛機於平均風速 3.8 m/s~1.0 m/s 的量測結果

1. 表 6：型 2 紙飛機於平均風速 3.8 m/s 的量測結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
$\theta 1$	40.170	45.970	41.990	40.790	39.270	40.600	31.350	26.640	40.830	37.680	38.529
$\theta 2$	9.480	11.240	9.880	8.360	9.110	11.720	11.820	12.570	9.430	11.350	10.496
飛機重W	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342
繩拉力F	0.832	1.030	0.880	0.748	0.795	1.007	0.944	0.974	0.833	0.953	0.900
升力L	3.858	3.672	3.810	3.895	3.888	3.765	3.934	4.001	3.849	3.834	3.850
滑翔距離D	107.795	90.575	103.348	122.487	112.252	86.766	86.011	80.726	108.377	89.674	97.157

2. 表 7：型 2 紙飛機於平均風速 2.9 m/s 的量測結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
$\theta 1$	36.150	38.850	40.160	41.850	31.250	37.040	26.640	40.260	46.970	35.270	37.444
$\theta 2$	14.220	13.510	15.680	16.690	15.900	13.800	18.200	15.770	12.780	14.860	15.141
飛機重W	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342
繩拉力F	1.150	1.122	1.289	1.378	1.233	1.127	1.371	1.297	1.161	1.188	1.232
升力L	3.779	3.741	3.646	3.573	3.849	3.772	3.923	3.641	3.582	3.782	3.729
滑翔距離D	71.031	74.918	64.123	60.035	63.189	73.283	54.747	63.738	79.356	67.840	66.522

3. 表 8：型 2 紙飛機於平均風速 1.8 m/s 的量測結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
$\theta 1$	34.260	40.640	42.940	32.130	36.940	35.810	34.590	41.750	39.610	37.940	37.661
$\theta 2$	22.630	20.640	20.190	24.750	23.190	17.730	27.160	24.230	17.870	20.680	21.907
飛機重W	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342
繩拉力F	1.706	1.629	1.625	1.833	1.760	1.391	1.999	1.869	1.434	1.606	1.685
升力L	3.664	3.506	3.447	3.707	3.573	3.704	3.605	3.397	3.601	3.586	3.579
滑翔距離D	43.178	47.787	48.949	39.045	42.017	56.300	35.084	39.996	55.829	47.686	44.761

4. 表 9：型 2 紙飛機於平均風速 1.6 m/s 的量測結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
$\theta 1$	33.410	32.260	30.620	36.190	32.750	35.420	35.920	34.210	32.940	33.980	33.770
$\theta 2$	25.220	25.310	21.490	29.290	26.330	27.290	29.340	25.540	24.060	27.150	26.102
飛機重W	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342
繩拉力F	1.869	1.870	1.611	2.140	1.938	2.011	2.142	1.894	1.792	1.995	1.926
升力L	3.662	3.699	3.784	3.530	3.675	3.574	3.539	3.632	3.688	3.626	3.641
滑翔距離D	38.217	38.062	45.719	32.089	36.372	34.889	32.023	37.670	40.315	35.100	36.739

5. 表 10：型 2 紙飛機於平均風速 1.0 m/s 的量測結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
$\theta 1$	52.230	49.180	49.520	50.600	51.140	52.250	54.030	45.910	44.620	55.390	50.487
$\theta 2$	44.050	43.370	44.810	39.050	33.880	43.550	40.280	34.950	36.920	38.420	39.928
飛機重W	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342
繩拉力F	3.050	2.997	3.070	2.792	2.534	3.026	2.890	2.533	2.632	2.821	2.835
升力L	2.687	2.853	2.828	2.813	2.853	2.689	2.625	3.077	3.118	2.578	2.812
滑翔距離D	18.607	19.054	18.120	22.189	26.807	18.935	21.240	25.754	23.956	22.694	21.506

(三)型 3 紙飛機於平均風速 3.8 m/s~1.0 m/s 的量測結果

1. 表 11：型 3 紙飛機於平均風速 3.8 m/s 的量測結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
$\theta 1$	45.140	39.250	50.450	40.340	41.600	40.620	41.320	44.080	36.380	34.590	41.377
$\theta 2$	11.930	12.760	10.480	13.540	12.030	14.770	12.880	17.580	17.210	14.560	13.774
飛機重W	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342
繩拉力F	1.073	1.071	1.030	1.139	1.040	1.230	1.101	1.465	1.360	1.162	1.167
升力L	3.660	3.757	3.607	3.708	3.733	3.662	3.708	3.485	3.701	3.804	3.683
滑翔距離D	85.195	79.484	97.309	74.745	84.466	68.272	78.718	56.812	58.113	69.301	73.427

2. 表 12：型 3 紙飛機於平均風速 2.9 m/s 的量測結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
$\theta 1$	35.270	42.900	36.630	33.000	40.310	39.000	35.830	40.170	36.770	36.390	37.627
$\theta 2$	17.690	15.780	15.230	18.730	13.920	15.120	22.150	36.770	15.920	16.890	18.820
飛機重W	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342
繩拉力F	1.384	1.327	1.225	1.439	1.166	1.239	1.685	2.604	1.274	1.338	1.468
升力L	3.718	3.573	3.742	3.757	3.696	3.690	3.623	3.324	3.722	3.708	3.655
滑翔距離D	56.435	63.696	66.114	53.087	72.626	66.618	44.218	24.087	63.106	59.282	52.814

3. 表 13：型 3 紙飛機於平均風速 1.8 m/s 的量測結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
θ_1	40.870	38.220	40.790	39.360	41.390	40.470	39.460	37.560	34.140	38.190	39.045
θ_2	20.540	22.300	20.220	24.050	21.540	26.140	26.330	21.290	24.860	22.270	22.954
飛機重W	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342
繩拉力F	1.625	1.713	1.603	1.835	1.695	1.974	1.977	1.642	1.849	1.711	1.762
升力L	3.501	3.547	3.511	3.480	3.463	3.409	3.442	3.585	3.641	3.549	3.513
滑翔距離D	48.041	43.889	48.870	40.334	45.602	36.678	36.372	46.191	38.849	43.954	42.500

4. 表 14：型 3 紙飛機於平均風速 1.6 m/s 的量測結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
θ_1	35.760	33.450	30.340	34.210	37.980	37.110	36.010	36.010	38.150	34.570	35.359
θ_2	26.020	27.640	26.450	23.670	28.210	25.700	24.090	26.780	25.880	24.060	25.850
飛機重W	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342
繩拉力F	1.933	2.025	1.938	1.773	2.083	1.921	1.811	1.982	1.939	1.800	1.920
升力L	3.575	3.641	3.756	3.652	3.473	3.532	3.590	3.558	3.494	3.636	3.591
滑翔距離D	36.873	34.372	36.181	41.064	33.556	37.401	40.258	35.665	37.102	40.315	37.152

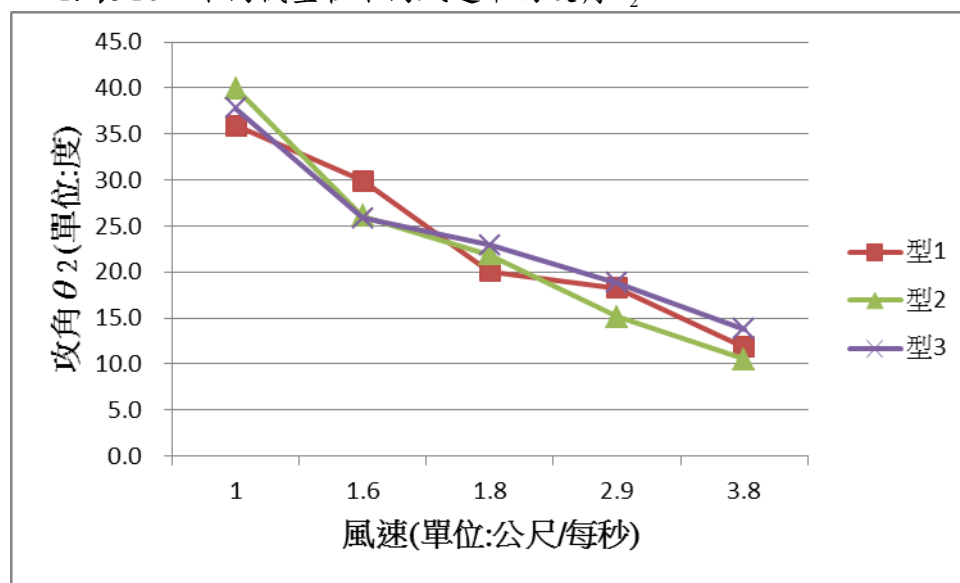
5. 表 15：型 3 紙飛機於平均風速 1.0 m/s 的量測結果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
θ_1	49.350	49.350	48.770	48.770	47.730	48.960	49.500	49.500	47.430	49.830	48.919
θ_2	39.270	28.350	38.360	37.800	38.550	40.080	39.730	39.370	38.400	38.290	37.820
飛機重W	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342	4.342
繩拉力F	2.791	2.208	2.740	2.711	2.741	2.829	2.816	2.798	2.731	2.746	2.711
升力L	2.873	3.030	2.909	2.915	2.958	2.885	2.861	2.864	2.974	2.858	2.913
滑翔距離D	22.015	33.360	22.743	23.205	22.589	21.391	21.658	21.937	22.710	22.800	23.189

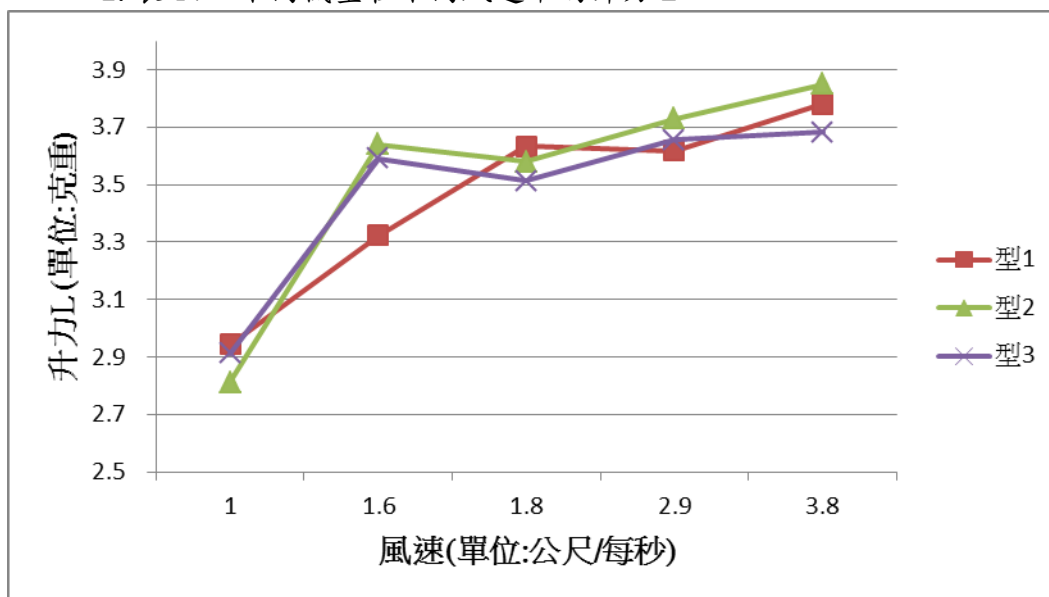
(四) 型 4、型 5 紙飛機無法穩定飛行，因此並無法得到實驗數據。

(五) 數據分析

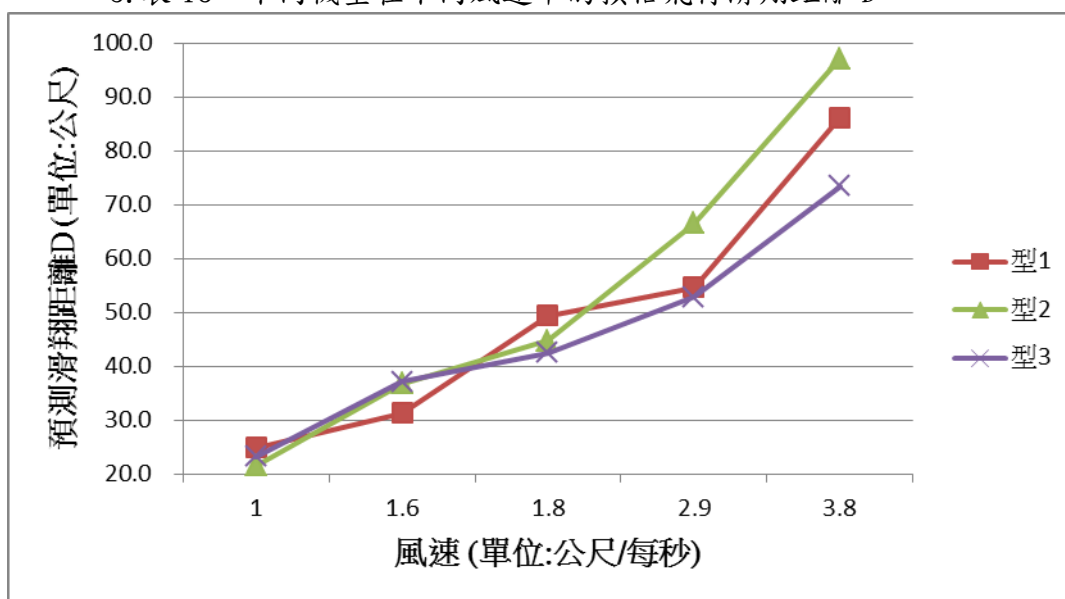
1. 表 16：不同機型在不同風速中的攻角 θ_2



2. 表 17：不同機型在不同風速中的升力 L



3. 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。

- 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。
- 六、風速過大時，飛機不容易產生穩定狀態，代表飛機不易於穩定狀態中飛行。
- 七、飛機製作若左右不平均，則不容易產生穩定飛行之情形。
- 八、風扇之氣流並不穩定，偶有時弱時強之情形，影響數據的穩定性。

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。
- 二、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。
- 三、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。
- 四、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，本研究所採用的梭型設計，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。
- 五、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，只要善用手机，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