

新北市 106 學年度中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：物理科

組 別：國中組

作品名稱：

流動「生」力

－平面溝紋對氣流升力及渦流形成探討

關 鍵 詞：白努利定律、渦流、升力

編 號：

摘要

由文獻得知蜻蜓翅脈在飛行時可造成表面空氣渦流，提升翅膀上升力。因此我們以鋁片為材料製成仿生式溝紋扇葉，製作不同斜面長、斜角、高度組合的扇葉，進行風洞試驗，觀察渦流與升力的變化。發現渦流的大小、完整性及排列影響扇葉表面氣流流動速率及方向，進而影響升力的表現。斜面長、高度低的扇葉，渦流的效應會較差，升力效果也較差；而垂直式溝紋，渦流形態完整、升力效果最佳。以垂直式溝紋做出組合扇葉，製作不同溝紋的高度、高度差與間距組合，在特定風速下，找出最佳升力組合。

壹、研究動機

曾經看過一篇科學報導，是有關蜻蜓的飛行。蜻蜓是昆蟲當中飛行能力的佼佼者，而且能量的轉換使用效率是很高的。其中一個重要關鍵是翅膀上的翅脈，它的粗細及間格排列，使蜻蜓在震動翅膀時，形成空氣渦流，造成翅膀上下空氣的流速差，增加翅膀的升力，節省飛行時的能量消耗。因此我們猜想，若在平面上製造溝紋，是否可以提升在氣流流動時，增加平面的升力效果；若是可行，以後也許可以應用在各種扇葉及飛行翅膀上。

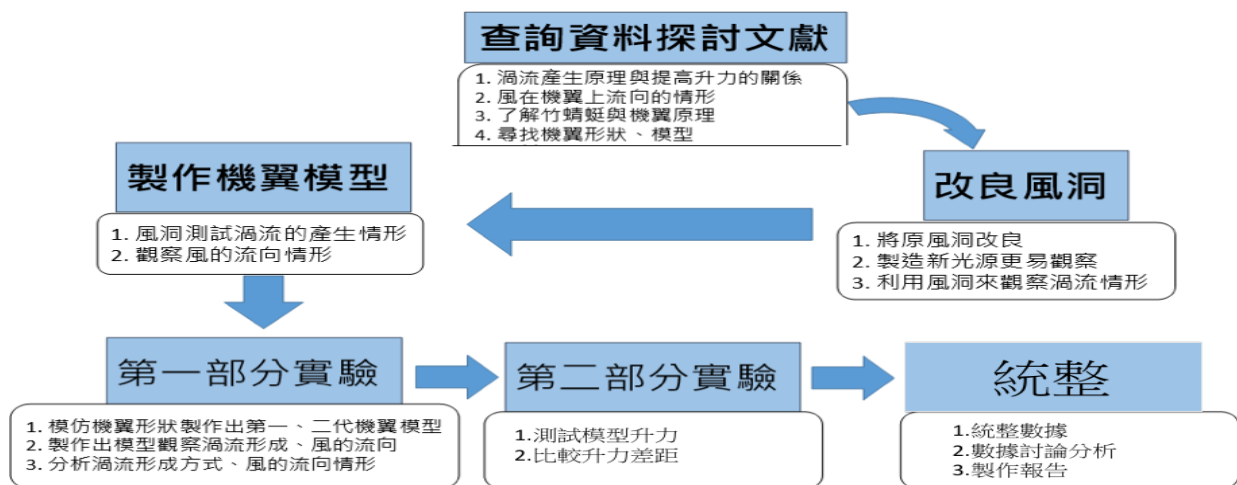
貳・研究目的

- 一、建構抽氣式氣流風洞裝置及平面溝紋設計模組。
- 二、建構仿生型溝紋鋁片，並進行升力效能測試及渦流觀察。
- 三、建構垂直式溝紋鋁片模組，並進行升力效能測試及渦流觀察。
- 四、比較垂直式溝紋模組表面氣體渦流變化與升力變化的相關性。

參・研究設備與器材

1.自製風洞	2.線鋸機	3.小風洞	4.可變電阻（調速儀）
			
5.煙霧機	6.風速儀	7.電子秤	8.鋁片

肆・研究過程與方法



圖一、抽氣式的風洞裝置

一、抽氣式風洞裝置設計

- | | |
|-------------------------|-----------------|
| (一) 煙霧機：方便觀察氣流型態 | (四) 抽氣風扇：抽氣造成氣流 |
| (二) 整流層：避免出現亂流 | (五) 可變電阻：控制風速大小 |
| (三) 光源（+玻璃紙）：使煙霧染色，方便觀察 | |

風洞效能檢測：

- (一) 觀察不出渦流，推測風速太快
- (二) 將風速調整至條件內的最低風速。發現有渦流產生，但並不明顯。

推測（1）煙霧太濃 （2）照光顏色不合 （3）光源強度太弱

第一次修正：

1. 改變玻璃紙顏色；發現黃色玻璃紙最適合觀察（風洞內部：背景-黑色 底-藍色）

2. 煙霧過濃：拉遠煙霧機與風洞的距離

3. 光源太弱：替換為更強的光源

第一次修正結果：

在微弱的風速下的煙霧面積大的不會太濃。風為直流，除上方接近側壁處有擾流產生，但並不影響之後的實驗。替換光源、光色後，風的流向觀察更加明顯。

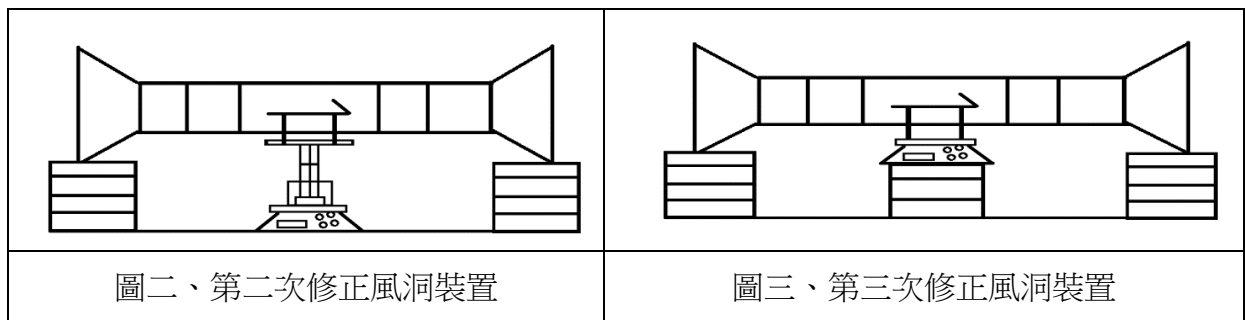
第二次修正：

原先我們的電子秤是擺放在自製的風洞裡頭，但在升力實驗中，我們發現電子秤本身就有升力存在了，一開始是先使用扣除的方式來做測試，但將模型全都實驗完後，數據的顯示與我們原先所構想的結果有很大的不同。

預想的測試結果（升力效果）：

我們認為會出現這些和預想差距極大的數據是測試裝置的設計問題：電子秤在放上模型後會與原先所產生的升力不同。影響到測試結果，因此重新設計了測試升力的裝置。

將電子秤移至風洞外，並把 4 根竹籤穿透風洞底部最為模型的支架。



但成品做出後卻發現在未放上模型也未開啟風扇時電子秤的數值會隨意跳動，會影響實驗數據影響數據的原因可能是：

- (一) 供支架穿透的孔太小，有摩擦力
- (二) 支架不穩固
- (三) 固定支架的平台傾斜
- (四) 支撐平台的柱子歪斜

改善以上問題後，變成下圖：

雖然設計不斷修正，但依然有約 0.1 g 左右的誤差。

修正的實作過程：

為了要讓電子秤能擺放在風洞外測試升力，我們打算改良電子秤，先用木頭當成底面穩固，支撐柱再用木條配合黏合在底部。

最頂部為了可以將竹籤插住，我們將木頭穿孔，但不完全穿過去，使竹籤可以卡在木頭孔裡面。而插好後頂部會黏在支撐柱上面，再將竹籤插過風洞底部，來做升力測試。

結果：雖然讓電子秤在外面也能測試，但是電子秤上顯示的值會亂跳，很難穩定下來。

改良三、

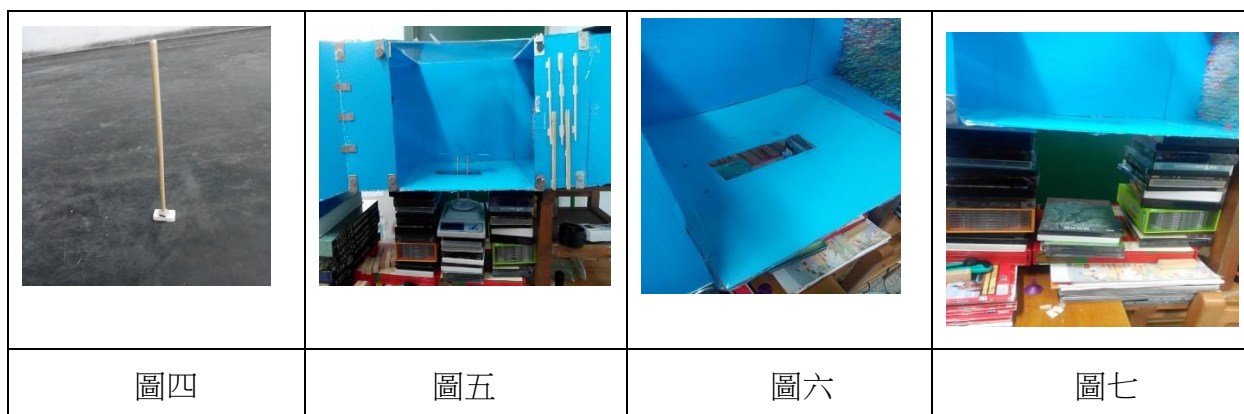
為了避免值可以不要在跳動，改善掉摩擦力，所以做了：

- 1．可以套在竹籤上穩定的小木頭
- 2．用培林卡住竹籤
- 3．把木頭孔直接完全穿過去，再配合小木頭黏在穿孔木頭底部

但這些的確有將跳動的值減少一點點，但卻都沒有改善。於是我們將重點轉到了風洞底部，一開始我們將底部稍微穿孔穿大一點，再去做測試，的確有在減少一點，而在觀察之下有可能有兩種可能：

- a．竹籤不夠穩固，導致無法直立，得靠到旁邊才能支撐
- b．洞不夠大，因為在測試時竹籤可能會稍微被風吹後一點點，導致竹籤會碰到洞周圍，而產生摩擦力。

因此將竹籤加上小螺帽、木頭直接黏在電子秤上，並將風洞底部切割出一個較大的洞

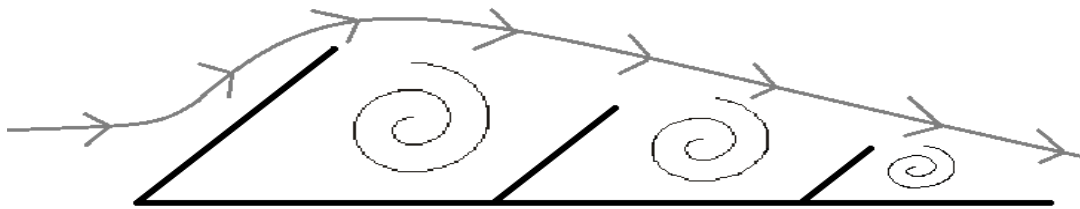
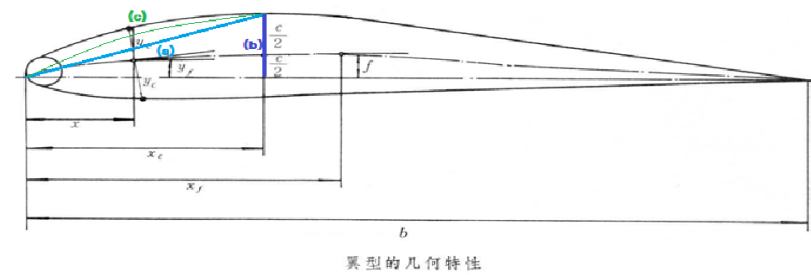


，讓它盡量不會卡到周圍產生摩擦效果，影響測量值。值。（圖四、五、六）經測試可將誤差降到接近於零，即在風洞中單純風吹也不會讓電子秤偵測值跳動。

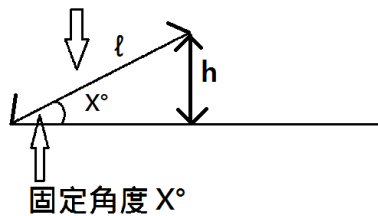
先備測試：在測試平面無溝紋模型時，會產生升力效果，可能是因為下方的氣流比較靠近邊邊，會受到邊界效應，流速會降低；而在風洞中央的氣流較穩定，形成流速差。

二、建構第一代仿生扇葉及風洞測試模式：

將鋁片以反折方式，製作升力式仿生扇葉，配合機翼幾何特性製作特定角度傾斜溝紋



① 隨機取斜邊長 ℓ



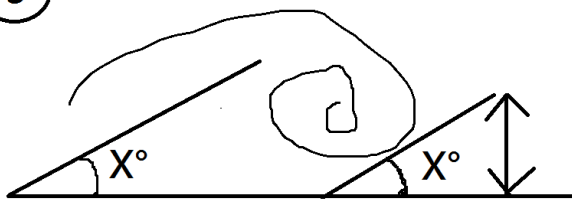
取溝紋高度 h

②



決定溝紋₂的位置

③



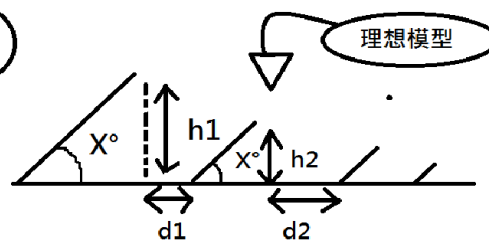
調整溝紋₂高度

使之產生渦流

④

重複2、3步驟

⑤



討論 h/d 關係

2-1



改變斜邊角度(斜邊長不改變)

觀察渦流與 h/d 關係變化

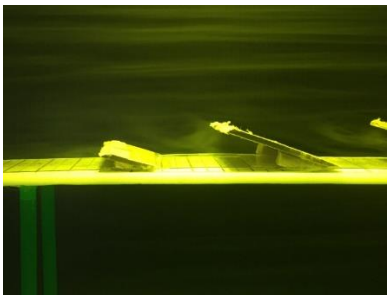
3-1

改變風速後，觀察渦流的改變

(一) 因前緣為圓弧形，不易測量出做為實驗參考的角度，所以將旋翼做為底，取前緣到第二條垂直線頂端與旋翼的夾角角度為參考值。測出夾角角度為 20 度

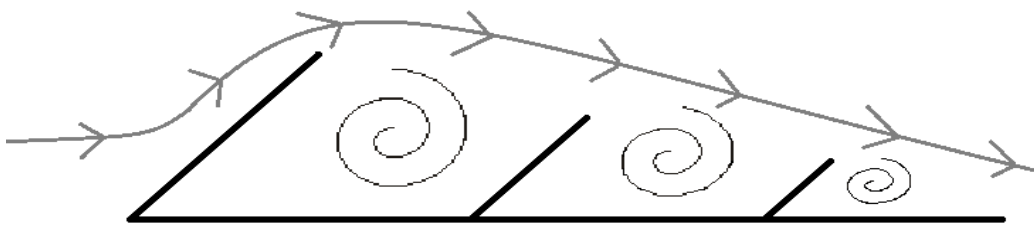
(二) 以傾斜角度 20 度、40 度、90 度，斜邊長 L 不變，觀察不同高度 h 對窩流的影響。

(三) 以 20、40、90 度為傾斜角度，高度 h 固定，改變斜邊長度 L ，觀察斜面長對渦流產生的影響。(d 定為溝紋間距)

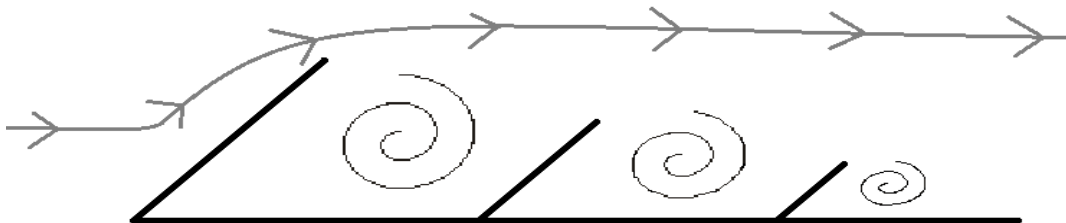
		
圖八、 $L=6\text{ cm}$	圖九、 $L=3.5\text{ cm}$	圖十、 $L=1.5\text{ cm}$

測試觀察：角度 20° 風速 0.39 m/s ， $L=1.5\text{ cm}$ ， $L=3.5\text{ cm}$ 形成的渦流較為明顯，而 $L=6\text{ cm}$ 較不明顯。組合式溝紋面對氣流時，第一及第二溝紋形成渦流較明顯，的三溝紋形成得渦流則不明顯。另外，在風的流向，與我們預想的流向不相同。

預想：



實際：



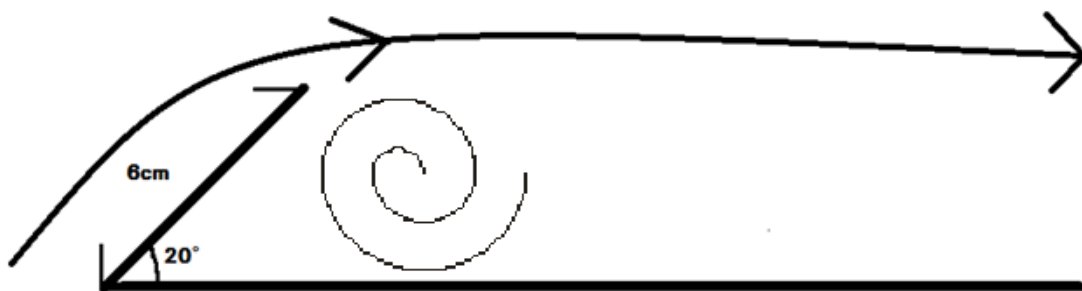
一開始是和預想流向的相同，但之後是平行流向吹過去，而不是逐漸往下流向。

推測可能原因： 1 · 間距長短 2 · 溝紋高低排序

實作：重新調整溝紋位置

(1) 調整第一溝紋至第二溝紋的間距長短

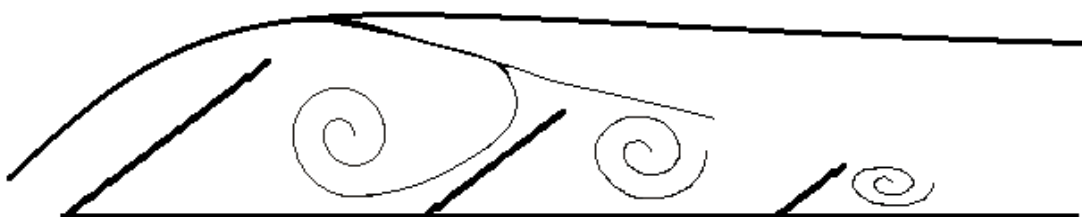
結果：



原本想先重新觀察渦流位置，卻發現沒有第二溝紋時，風的流向依然是先升後平行。
推測：平行流向產生的主因是可能是風速太快，導致後來的流向不是預想中的下滑。我們可達成的穩定氣流最慢風速為 0.39 m/s ；技術上限制，目前無法再降低。

（2）改變實驗道具溝紋建構模式：

結果：



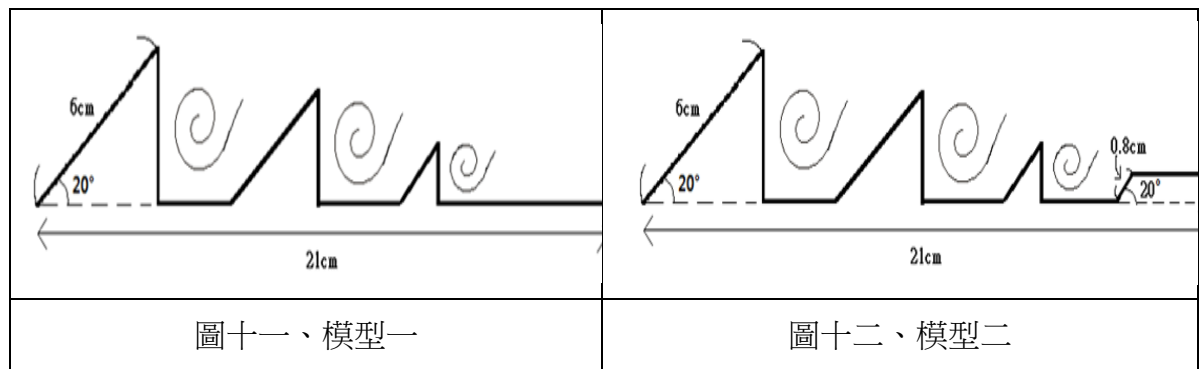
一、風的流向依然為先升後平行。

二、第一、二溝紋所產生的渦流較為明顯，且渦流穩定；第三溝紋則較不明顯，且渦流形成不穩定。

三、我們觀察到煙霧在通過第一、二溝紋時，煙霧會撞擊到後者的斜面，而後分散至兩側，形成渦流。

推測：結合 b、c 結果，猜測在溝紋後方加裝斜面，有利於渦流的產生。

實作：測試斜面對渦流有無影響：



1.風一樣是先升後平行的流向。

推測：我們認為斜面是第二個造成渦流的因素，相較於第一個因素（風撞擊平面造成分岔形成渦流）可形成渦流的機率來的大。

伍、研究結果

先備實驗 1 · 固定 L 的不同角度模型

結果：垂直溝紋的升力效果最為明顯，其次為 40° 的溝紋，最少的為 20° 溝紋。

推測：垂直溝紋的 h 最高，產生的渦流較大，且在垂直面前後皆有形成渦流，氣體流動摩擦阻力最小，上層面流速較快，造成流速差較大，升力效果明顯。而 20° 與 40° 溝紋因為傾斜角度影響，且 h 的高度較低，斜面上渦流形成較不顯著，斜面後方形成渦流也較小，再加上斜面摩擦力的影響，上層氣流速變慢，流速差變弱，升力效果更差。

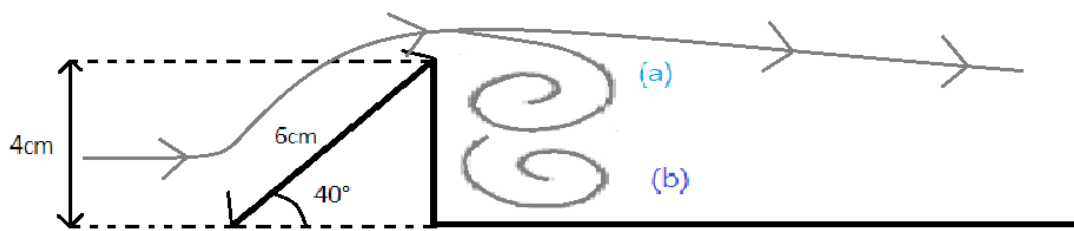
先備實驗 2 · 固定 h 的不同角度模型

結果：垂直溝紋的升力效果最為明顯，而 40° 的溝紋比 20° 的溝紋效果明顯，而 20° 的溝紋所出來的升力甚至為負數值。

推測：這次 20° 的溝紋所出來的負數，可能是因為它的斜邊長大於底邊，進而無法產生渦流。之後，可能會加長底邊重測一次 20° 的溝紋。

實作：測試 $L = 6 \text{ cm}$ 、 20° 的溝紋

（1）觀察第一溝紋的渦流產生情形



圖十三、單溝紋渦流產生情形

結果：觀察到一個溝紋內產生了 2 個不同轉向的渦流。

推測：當平行風經過第一溝紋時與溝紋鞋面產生摩擦。使下層風速慢，上層風速快，產生渦流 a。

且因溝紋太高，導致渦流 a 的下方還有一層空氣。當渦流 a 形成時，與下方空氣摩擦形成渦流 b。

(2)觀察一、二溝紋的渦流產生情形

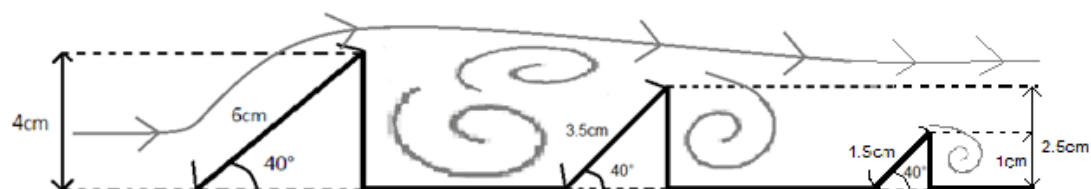


圖十四、雙溝紋產生的渦流情形

結果：第一溝紋的渦流 a 對比上個測試還來的扁小，而相對的渦流就變得更大更圓。第二溝紋的渦流和之前一樣。

推測：會使渦流 a、b 變得不同大小的原因，可能是風在第二溝紋分岔時所影響的，渦流 b 的最大值就與第二溝紋相同，因此渦流 b 變大後；渦流 a 就跟著變扁小。

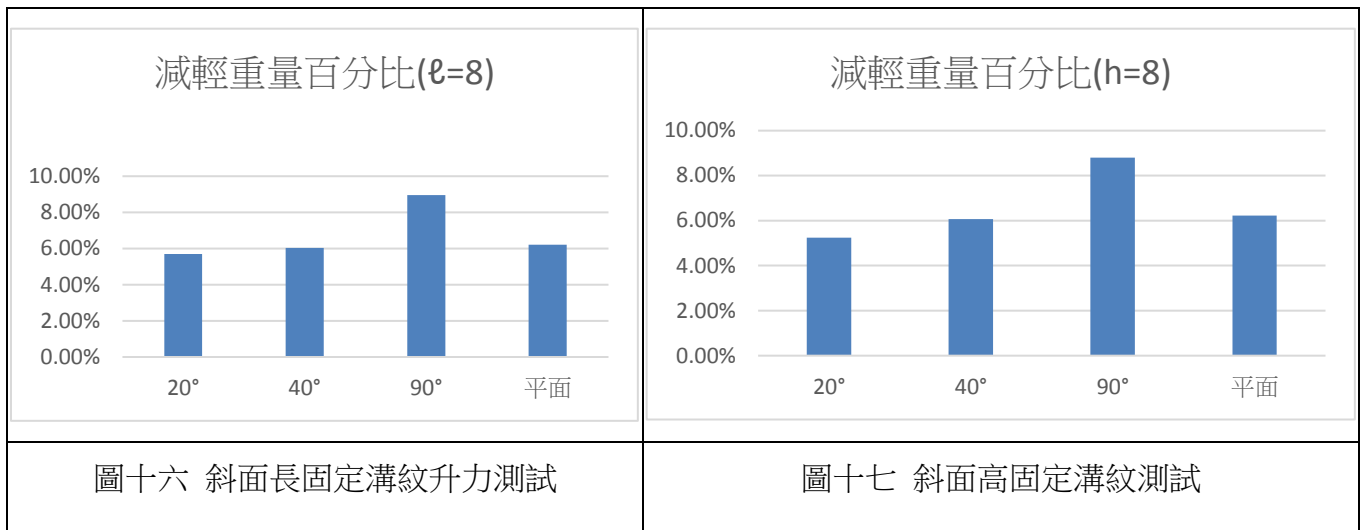
(3)觀察一、二、三溝紋的渦流產生情形



圖十五、三溝紋產生渦流的情形

結果：再增加第三溝紋後，前面的一、二溝紋仍然和上一次實驗一樣，而風流向一樣呈現先升後平行。

升力測試 1：不同條件組合的溝紋模型比較



雖然之前有出現的負數值有改善了，但是實驗結果仍然是垂直型的溝紋模型效果最好，即使測了多次，結果一樣是相差不多的，而最好的則變成 90°溝紋模型比平面好，而我們推論出來：

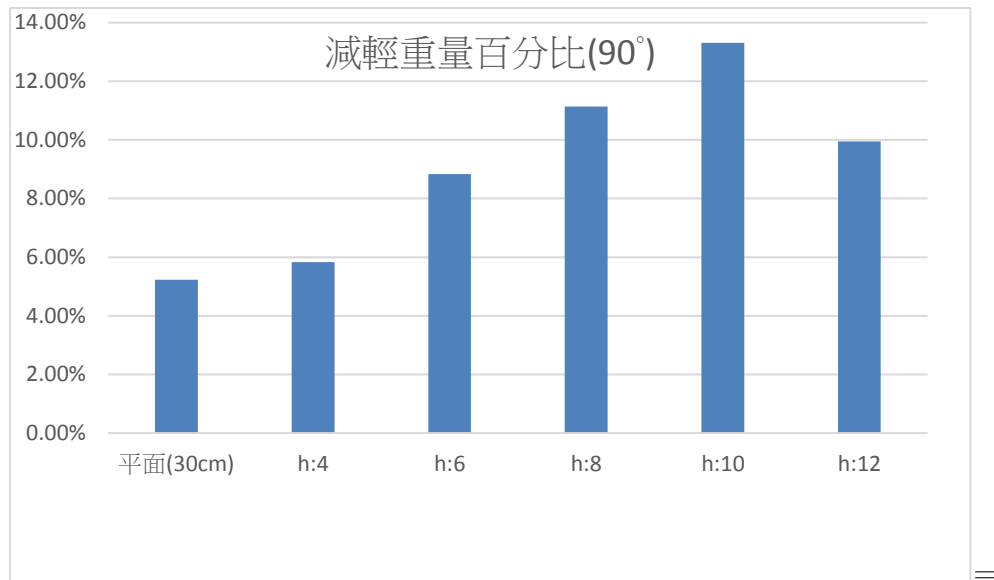
（1） L 越長可能會使摩擦力增加，影響流速變慢，加上傾斜斜面前後側渦流效應減弱，造成上面的流速與下面的流速差距不大，升力效果差。

（2） h 越高可能有利渦流形成，而且較大較完整的渦流更能減少氣流摩擦力，使空氣流速變快，上下層氣流速差距變大，升力效果增加。

（3）20°與 40°的溝紋因為比垂直溝紋的 L 還要長，而垂直溝紋的 h 又比 20°與 40°還要高，進而使垂直溝紋的摩擦力降到最低，使升力效果最佳。

因為垂直溝紋的效果最好，因此我們決定使用垂直溝紋來做之後改變變因，而變因會先改變 h 高度、 h 高度溝紋的排序。

升力測試 2：不同 h 高度的垂直溝紋模型比較



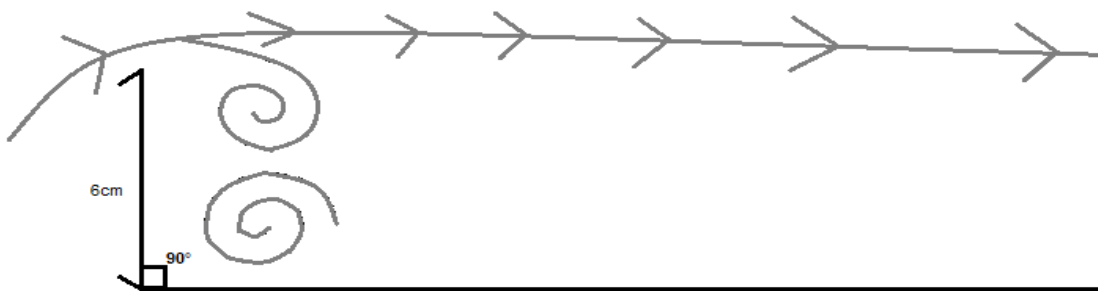
圖十八 不同高度垂直溝紋升力測試

結果：只出現兩個大渦流，上層渦流為由外往內流的順時針，而後觀察到下方渦流有氣流往上層渦流與牆壁間流動，下層渦流可能為由內往外流的逆時針

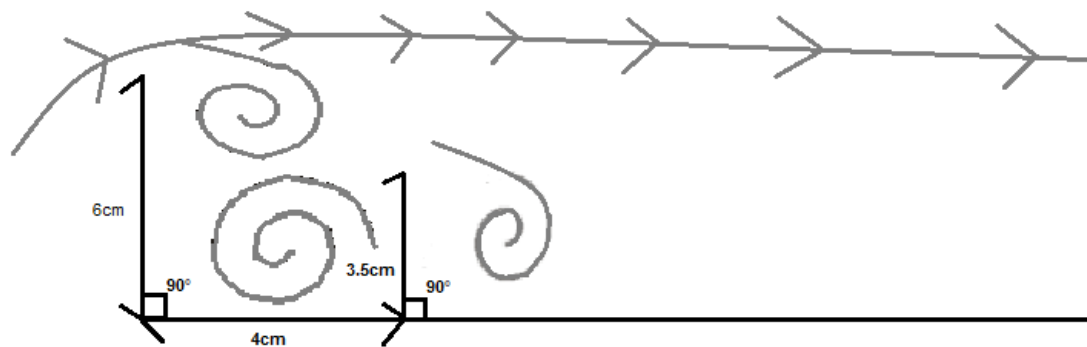
推測：（一）下層渦流可能為由內往外流的逆時針

（二）上層渦流帶動外部空氣旋轉，部分空氣因撞擊到牆壁而產生分岔向；上分岔的氣流流進上層渦流，向下分岔的氣流則形成下層渦流，導致在觀察時出現下層氣流為由外往內流的錯覺。

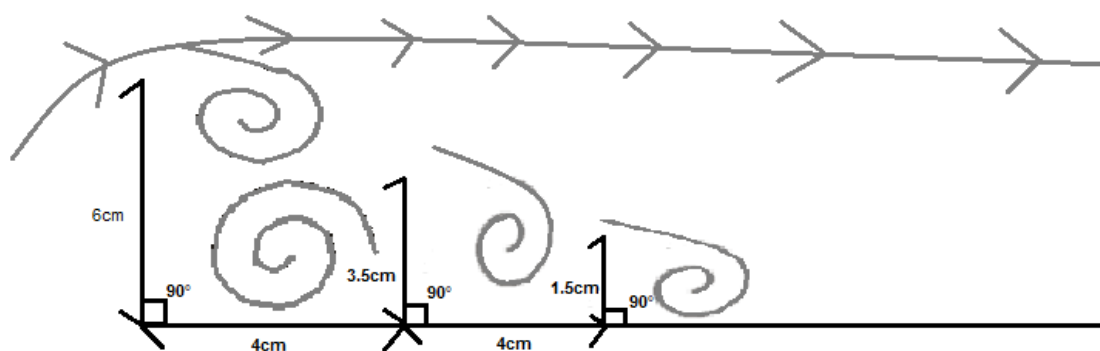
實作：90°的溝紋



圖十九、垂直單溝紋產生渦流的情形



圖二十、垂直雙溝紋產生渦流的情形



圖二十一、垂直三溝紋產生渦流的情形

結果：渦流情形稍微改變了，第一溝紋一樣呈現 2 個不同方向的渦流，而在第二溝紋也是呈現 2 個不同方向的渦流，第三溝紋則和之前一樣 1 個渦流。

推測：Q · 兩個渦流？

A · 第一個渦流是先第一個溝紋上面摩擦，而在第二溝紋因上方渦流帶動下方空氣流動，進而產生渦流。

Q：多個渦流的產生？

A · 曾經在某次的實驗中看見 3 個渦流，之後卻都只會出現 2 個渦流，我們想研究出原因，看是真的是巧合，還是有特殊原因。

而在原先的機翼模型都只會出現一個渦流，之後卻都出現兩個渦流，我們認為和 h 的高度有關。

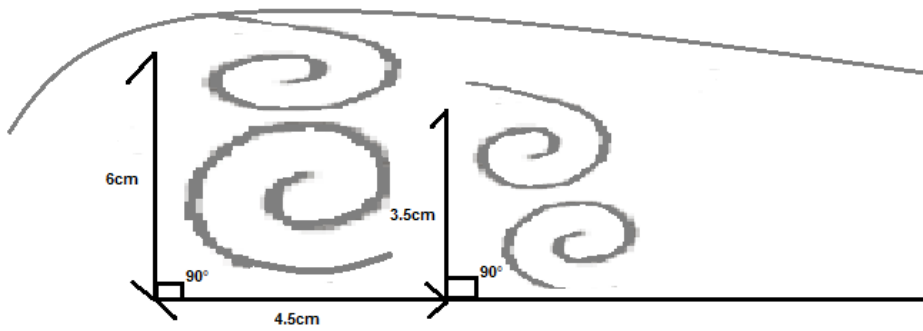
假設： h 越高，渦流數量越多

實作：改變90°溝紋模型的模組



圖二十二、垂直單溝紋產生渦流的情形

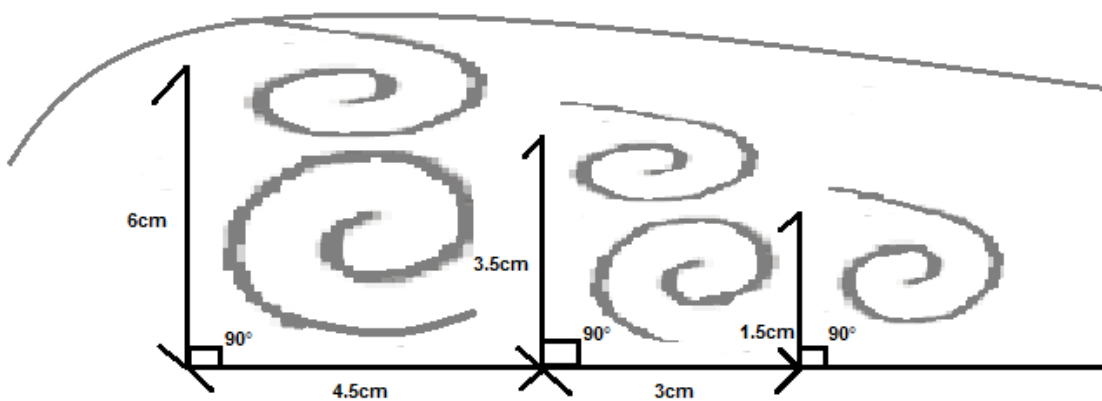
結果：產生2個渦流，風的流向先升後平行。



圖二十三、垂直雙溝紋產生渦流的情形

結果：同上，且第一溝紋的下層渦流變大

(3) 第三溝紋



圖二十四、垂直三溝紋產生渦流的情形

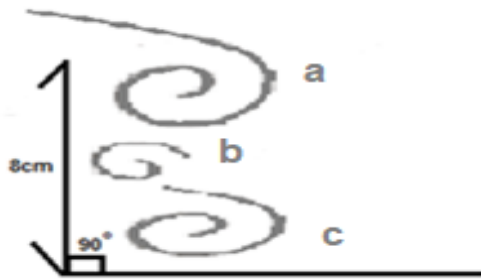
結果：產生 1 個渦流、風的流向先升後平行。

推測：一．溝紋高度會影響渦流個數，參考 40° 溝紋的結果，與此實驗做比對，發現高度為 2.5 c m 時會產生 1 個渦流，而高度 3.5 c m 時會產生 2 個渦流，所以可行成 2 個渦流的最低高度可能在 2.5~3.5 c m 之間。

二．在折出第二溝紋後，第一溝紋內，渦流大小產生改變，且發現最下面的渦流高度會與下個溝紋的高度一樣。

實作：測試溝紋高度對渦流的影響

一、高度 8 c m、 90° 、風速 0.39m/s

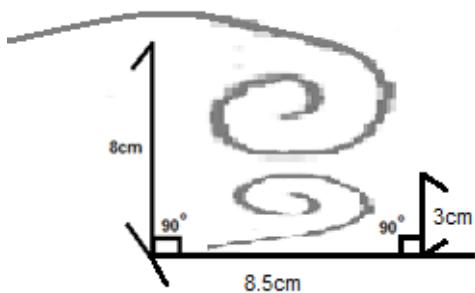


結果：產生了 3 個渦流。

a 渦流最大

b 渦流最小

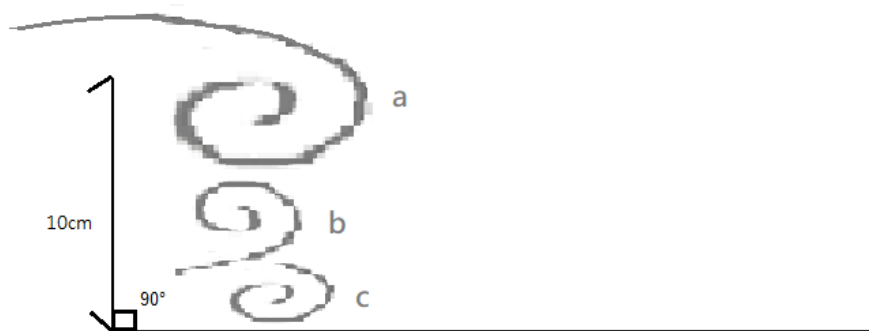
c 渦流其次



結果：從原本的三個渦流變成兩個渦流，b 渦流與第二溝紋高度差不多。

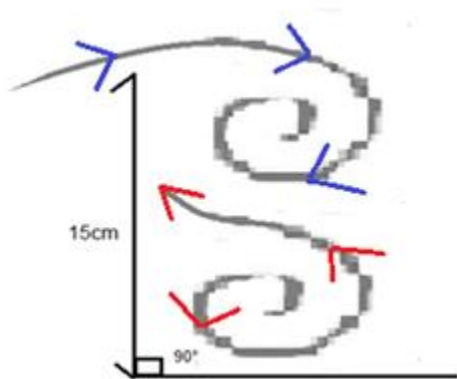
推測：依照之前的推測，下一個溝紋高度會與最下層的渦流高度相等。當最下層的渦流被第二溝紋放大時，佔用了產生第三渦流所需要的空間，因此加上第二溝紋後只產生了兩個溝紋。

二、高度 10 c m、 90° 、風速 0.39m/s



結果：產生了三個渦流，大小： $a > b > c$

二、高度 15 c m、 90° 、風速 0.39m/s



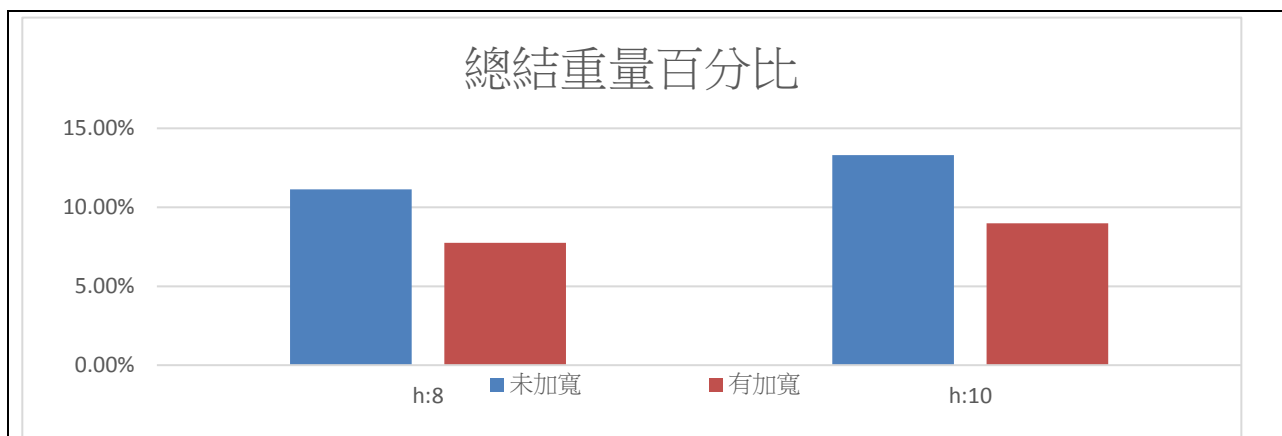
3 · 不同 L 的差異

結果： $L=3$ 、6 雙溝紋的 $L=6$ 雙溝紋還好一些些，而 $L=6$ 雙溝紋呈現負數值。

推測： $L=6$ 雙溝紋的第一溝紋沒有產生渦流，但第二個有。而第一溝紋沒有產生渦流可能是因為被第二溝紋擋住。因此升力較低。

升力測試 3：不同寬度的垂直模型比較

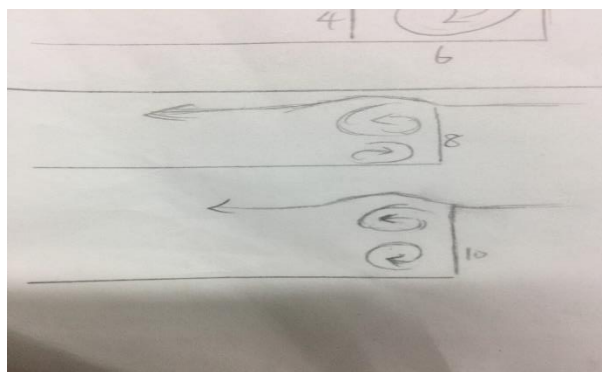
90°



圖二十九、迎風面寬度增加對升力的影響

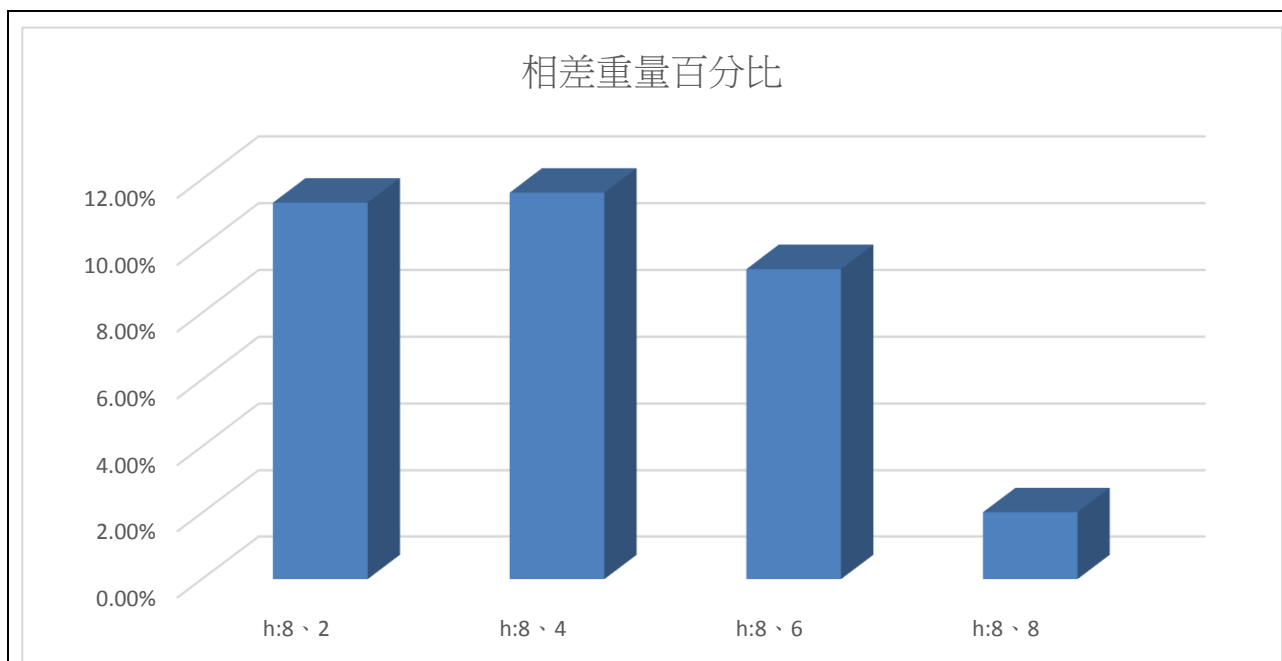
結果：寬度對於升力效果可能沒有顯著影響。

推測：我們拿上次最佳的兩個模型來做測試，結果寬度對於模型的升力效果沒有比較好的影響，所以我們之後的實驗不會將寬度增加。

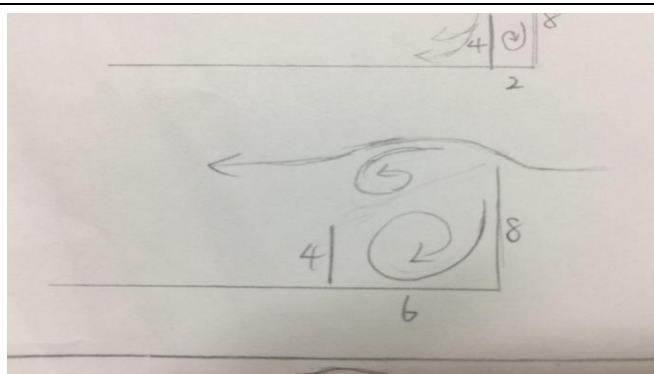


圖三十、寬度模型渦流圖

升力測試 4：不同 h 高度差的垂直雙溝紋模型比較 d = 6 第一片：8 c m



圖三十一、溝紋高度落差對升力效果的影響

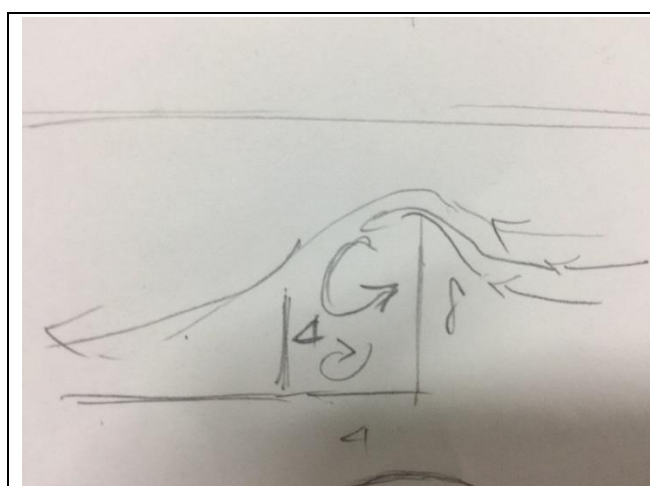
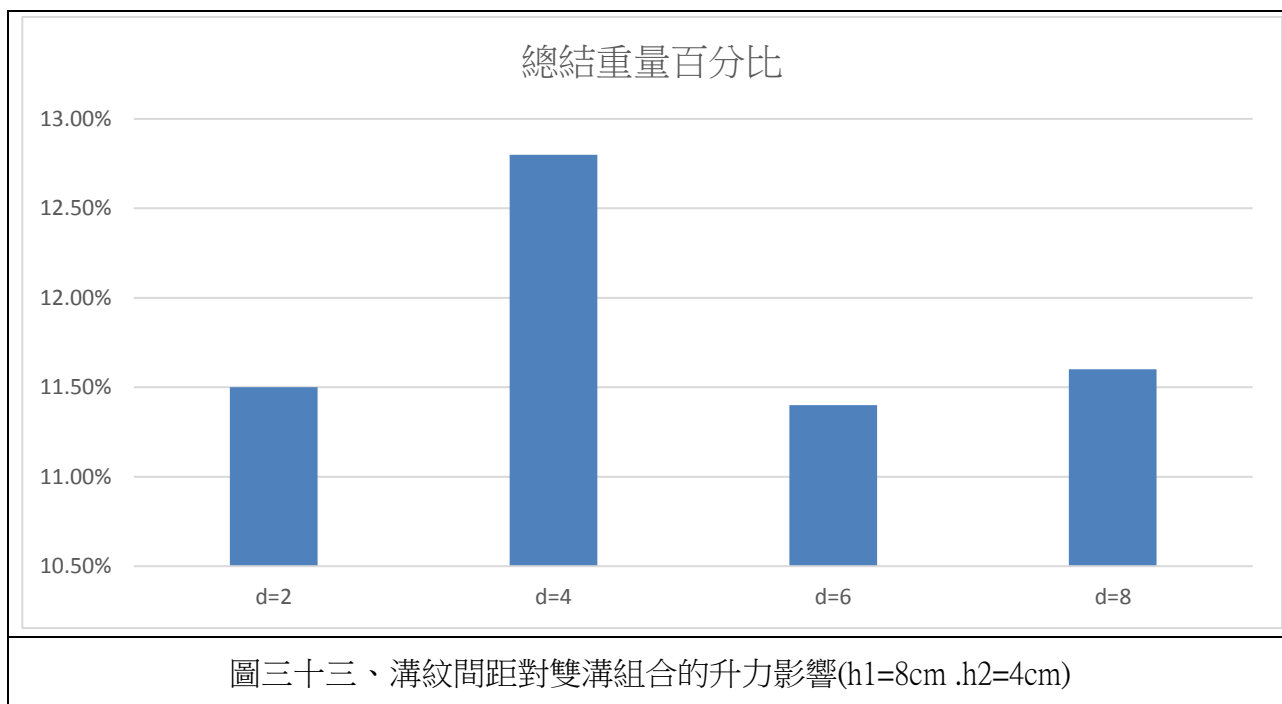


圖三十二、雙溝紋渦流情形圖

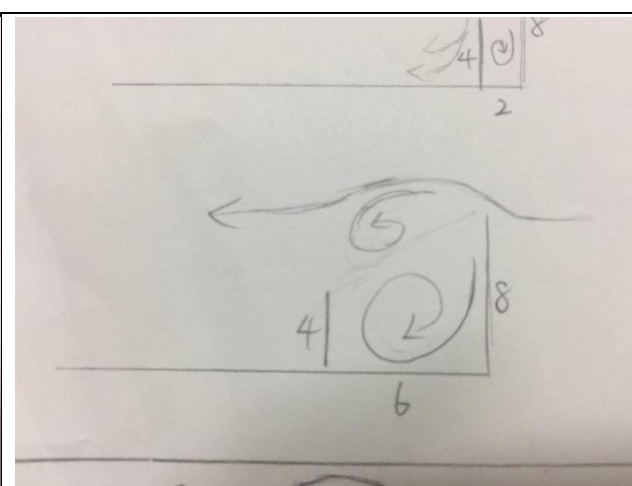
結果： $h : 8、4$ 與 $h : 8、2$ 的溝紋模型效果最為明顯， $h : 8、8$ 的效果最差。

推測：假設 h 、 d 是影響渦流的形成因素，那麼在這其中會有一定的極限值，而在 $h = 8、4$ 情況下最好，而若第二個溝紋太高的話，可能會破壞掉渦流的形成，導致摩擦力沒有減少太多，上方流速與下方流速差距不大，升力效果就不明顯。

升力測試 5：不同 d (溝紋間距) 的寬寬度對於雙溝紋組合升力影響



圖三十四、d=4 的溝紋模型渦流圖

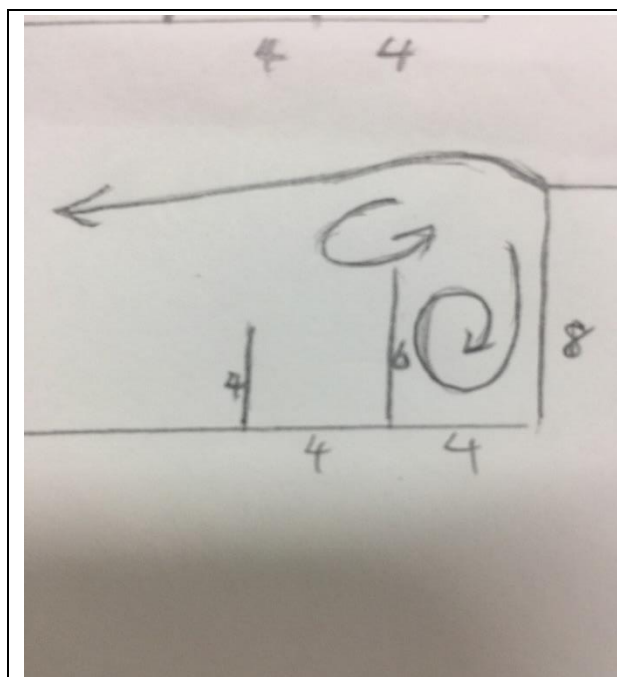
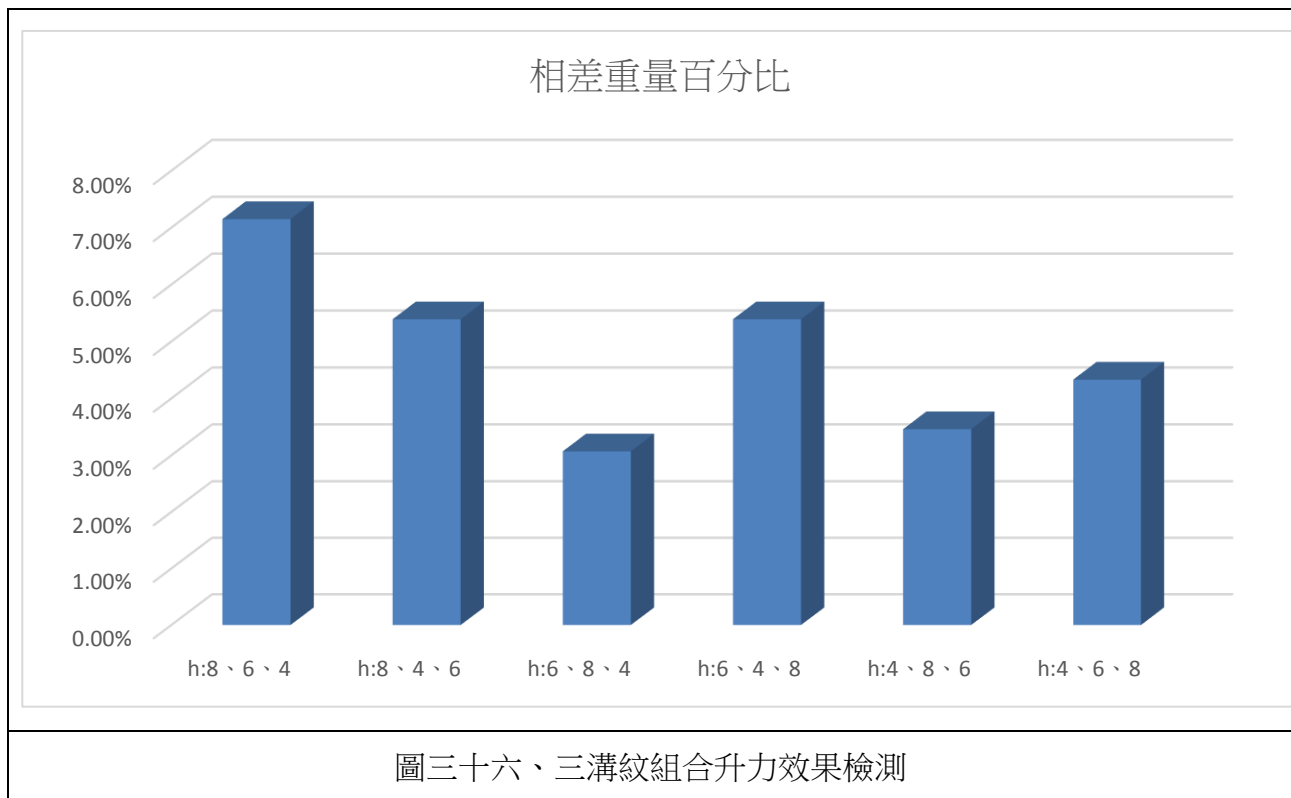


圖三十五、d=6 的溝紋模型渦流圖

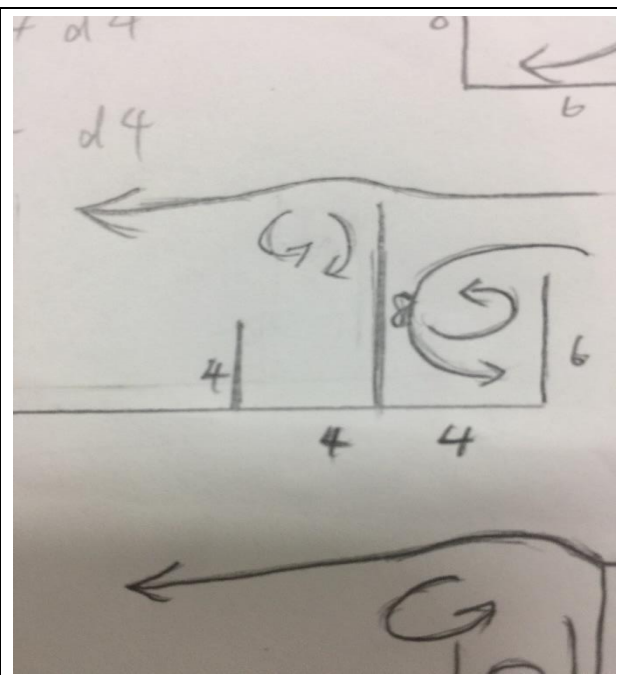
結果： $d = 4$ 的溝紋模型效果最好，而其他的寬度的效果差距不多。

推測：原本我們認為間距是影響升力效果很大的因素，不過看起來其實大多一樣，只有 $d = 4$ 情況下的升力效果較明顯。

升力測試 6：不同 h 高度排列的垂直三溝紋模型比較（ 90° ）



圖三十七、h=8、6、4 的溝紋模型圖

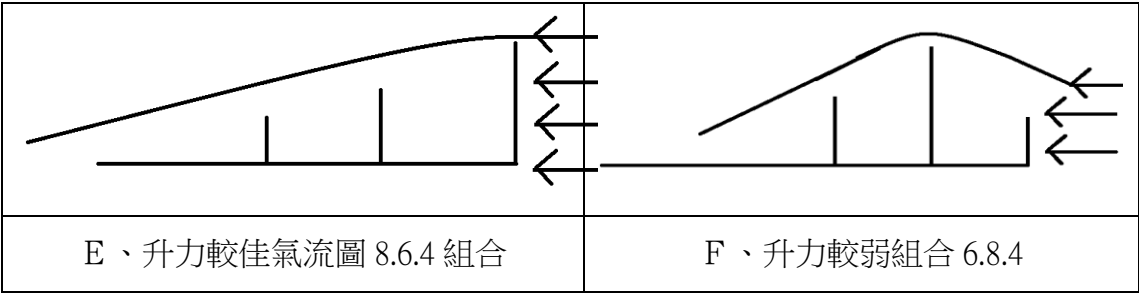


圖三十八、h=6、8、4 的溝紋模型圖

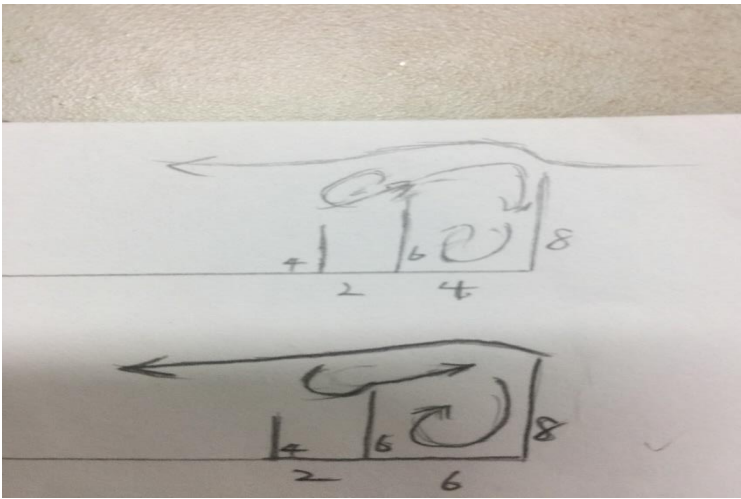
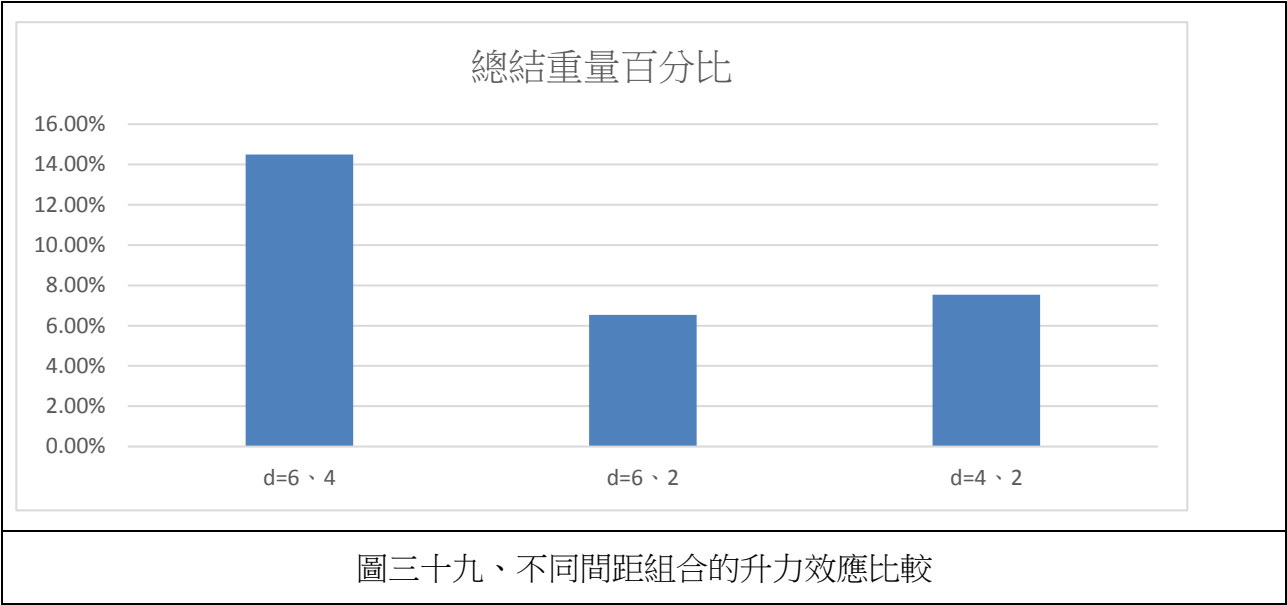
因為前一個實驗，h 的高度不同，會使得升力效果有所不同，因此我們打算使用不同 h 的高度溝紋來組合，來看升力的效果如何，因為不同的組合模型，會有不一樣的氣流流向而產生有不同的升力。

而實驗結果由高到低的溝紋組合，升力效果最佳，最不佳的是高度 6、8、4 的順序。

我們考慮改變間距組合，是否使渦流形成更完整，讓上層氣體曲流更完整阻力更小，提升升力效果。



升力測試 7：不同 d 的長寬組合對於三溝紋模型比較 （90°）



圖四十、三溝紋的模組渦流情形

結果：d = 6、4 的三溝紋組合模型升力效果最佳，其餘兩個效果明顯較差。

推測：d = 6、4 的時候，可能是可以讓它形成完整渦流(未被溝紋結構破壞)，減少它最多的摩擦力，進而使上下流速差變多，產生最多的生力。

而 d = 6、2 的組合溝紋，可能是差距太大，使得產生亂流，破壞掉渦流，使得無法減少太多的壓力，升力效果就不好。

而 d = 4、2 的組合溝紋時，距離太近，使得渦流沒辦法產生，也無法減少壓力，升力效果就不明顯了。

陸、討論

一、文獻探討：

升力的探討

由白努力方程式

$$P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

升力是飛機在飛時機翼與空氣相對運動產生的一個向上抬升的力，而機翼上半部與下半部的曲面並不相同，一般來說上半部曲面的弧長較下表面來的長，故當氣流通過機翼時會將氣流分成兩道上下氣流，而流經上半部的氣流較快，根據白努力定律可知，上表面所受之壓力會來的較下表面小，此壓力差可使得飛機往上飛。

機翼上下表面路徑差對升力之關係如下方討論

當 $h_1 \neq h_2$ ，則

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) = \rho \bar{v} (v_2 - v_1)$$

又已知氣流流經上下表面的時間是相同的，故 $t = \frac{l_2}{v_2} = \frac{l_1}{v_1}$

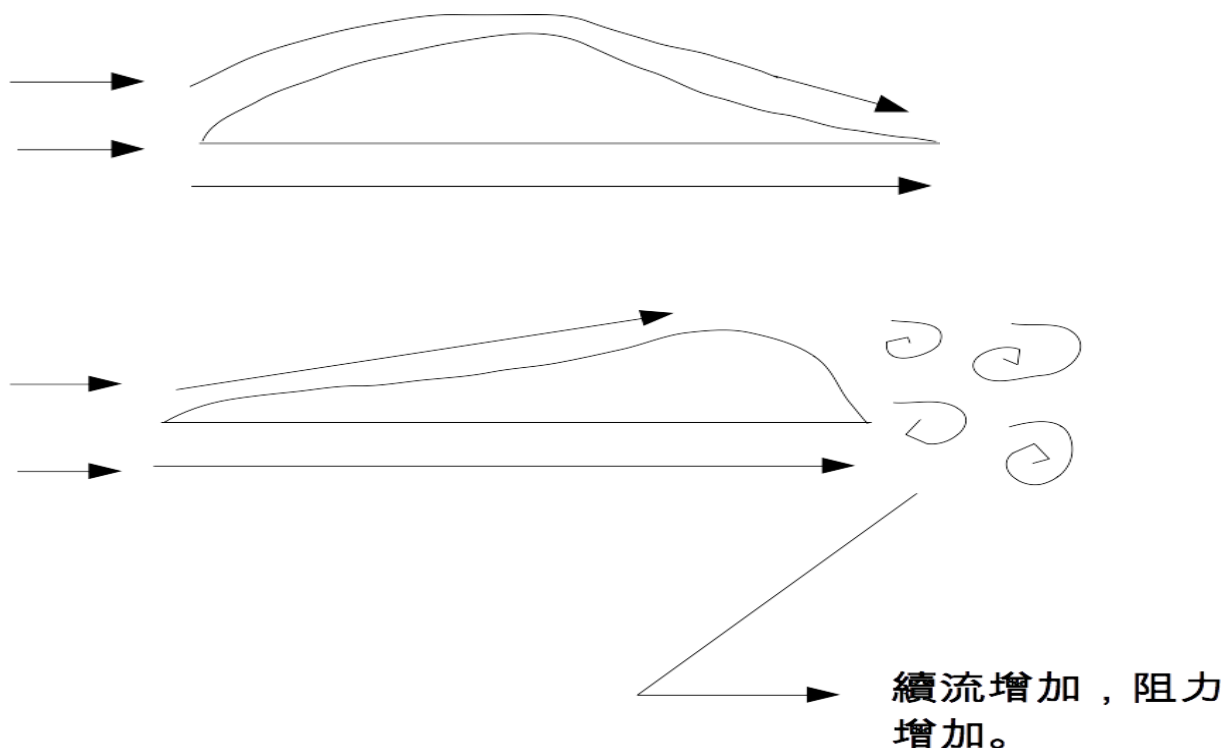
則可得

$$F(\text{升力}) \propto P_1 - P_2 \propto v_2 - v_1 \propto l_2 - l_1$$

由上式可知升力會與上下路差徑差成正比關係。

升力和上下路徑差成正比，若曲度增加，氣流可能撞擊機翼產生向下壓得分力。

故上下路徑差不一定差越多越好，有可能分力作用而變差。



二、關於風洞測試裝置的設計

採用抽氣式風洞，主要是考慮扇葉模型體積質量均不大，若氣流不穩，亂流多，風量太大流速太快均會造成測量觀察上明顯之誤差。故裝置的修整主要盡可能使風量小流速穩，達到可以煙霧及光線投射的配合，觀察到平面溝紋上氣體渦流及上層氣流流動之變化。

多數渦流照片拍攝效果不夠良好，雖都留有攝影短片，報告上多以研究日誌上的手繪圖呈現。

升力效應的高低比較，主要是以風洞氣流作用時，扇葉在電子秤上所顯示的重量改變，改變量占扇葉原重量比例越高者，代表其升力效應越佳。原本將電子秤直接至於風洞內進行測量，但發現未放鋁片扇葉時空氣流經電子秤感應表面也會造成重量減輕現象(負值)，而且因擺放位置不同(偏下或偏前偏後)原始氣流條件不同，所造成的測量誤差量也不同。考慮到所測量的重量變化值多在 10 克以下，為增加精準度，故將電子秤移於風洞下方，以連動感應裝置進行測量。對照測試的無溝紋平面鋁片，試測時仍有升力效應，估計是風洞中央氣流與底邊氣流有流速差所造成。

三、關於仿生扇葉設計概念

概念來源於蜻蜓翅膀的翅脈結構，翅脈為翅膀表面突起物，在飛行時對表面氣流形成阻礙，造成渦流的形成，而氣體的渦流除了減少表面氣體流動時的摩擦力，使上層氣流相對流速加快，也使的上層氣流的流動路徑因形成曲流而加長，間接造成流速上提升(依文獻二所述)。

原本模仿文獻中仿生扇葉的製作模式，將平面鋁片以直接彎成斜面試的溝紋進行探究，雖有觀測到渦流的形成，並且觀察到升力的效應，但成效比我們預期差了许多，甚至比無溝紋平面效果更差，而效果最好的反而是垂直平面的溝紋。

討論後認為，氣流流經斜面溝紋，除了摩擦力造成流速降低(實驗證明斜面長的影響)，氣流撞擊斜面，阻力造成渦流形成，當斜面角度越小，撞擊阻力越小，在斜面正面形成的渦流越小越不完整。而斜面背側的渦流也會因氣流太弱及高度不足，所形成的渦流也較小(由實驗渦流觀察可看出)，使葉面上下流速差縮小，升力效應減少。

對照升力效率的測量，確認渦流的大小與完整性影響氣流流動路徑進而影響其流速的表現，造成升力表現的差異，而經多次試驗，確認垂直式溝紋生力效能最佳，而其相對應渦流效應也最大、最完整。藉此試驗，我們設計垂直式溝紋扇葉並進一步討論其組合及效能。

四、關於垂直式溝紋扇葉升力及渦流的探討

藉由先備試驗的觀察發現，形成渦流可能受到幾個物理量的影響，即風速及風量造成的風阻作用力，溝紋的垂直高度，溝紋組合的高度落差及溝紋間距。而關鍵在於這些因素所造成的渦流組合是否能造成葉片上表面形成流速較高的空氣曲流，使上下表面達成最大的流速差，產生最佳的升力效應。

由渦流觀察發現，空氣流速太快，雖有部分形成阻力風阻，但由於流速太快空氣多直線流動，渦流效應的影響不顯著；而流速太低，所形成的渦流較小而且凌亂不明顯，渦流效應亦不佳。所以特定的溝紋，應有其相對應的氣流狀態可以達到最佳升力效應。(本實驗所採用為經過整流後，水平流速為 0.39 m/sec 氣流)。

關於垂直溝紋的高度影響，在風量風速適當情況下，可能形成一個或兩個渦流(在結果部分已有說明)，若渦流越完整則與上層氣流的接觸面越平順，阻力影響較小流速損失越少。

根據觀察的結果推論，相同條件下溝紋越高所形成的渦流直徑越大，但是超過一定高度在下層會形成另一個渦流，而且旋轉的方向剛好與上層渦流相反；以本實驗的條件臨界值大約在 2.5~3.5cm 之間。

渦流可以引導接觸的上層氣流往下流動，增加了上層氣流的流動路徑，根據白努利定律，可提升氣流的流速。因此渦流的完整性與氣流引導的流暢性實大有影響。而溝紋的間距與高度差恰好是重要的影響因子，配合得當渦流可較完整擾動破壞較小。一般而言相同條件下，較高溝紋容易有較大渦流，但若間距太小，高度差不足，渦流結構被破壞，則所造成升力效果即可能降低。

以本實驗的條件，雙溝紋扇葉若第一溝紋高度為 8cm，第二溝紋高度為 4cm，間距為 4cm，所測到的升力效果最佳。而三溝紋扇葉，在第一溝紋為 8cm，第二溝紋為 6cm，第三溝紋為 4cm，間距分別為 6cm、4cm 可達最佳升力效果，高於雙溝紋扇葉。

柒、結論

一、風動裝置要考慮受測物質量體積大小，內徑要有適當大小，使受測區有穩定氣流，方可得到較精確測量數值，而會干擾器流之裝置應避免裝在測量區塊內(如電子秤)。

二、平面表面突起溝紋，會造成表面形成渦流，可減少於扇葉表面摩擦，提升表面空氣流速，使升力的效應更加顯著。

三、垂直式溝紋扇葉表面渦流效應最佳，經適當比例組合可得最佳升力效果

捌、參考資料及其他文獻

一、風力發電入學門-第三章、第四章

二、吉田 勝-”偷學蜻蜓翅膀，日本仿生科技正夯”-日經技術在線--日經科技報

三、吳明德-”風力渦輪機葉片原理與實作”-台北市立麗山高中

四、陳吟珍、張育豪、黃兆宇、陳芳琦、呂鎧均-“神「風」特攻隊—扇葉與風力發電實驗” - 中華民國第54屆中小學科學展覽會

五、陳柏豪、莊識錡、曾昱榮、蔡宗凌 - “尋找最佳效能的” Super Fans” 中華民國第50屆中小學科學展覽會

六、秦晟佑、鄧博元、余爾佑-“空屋來風”-新北市105學年度中小學科學展覽會

七、陳子安、劉鎮蕓-“花飛碟舞—探討蝴蝶拍翅渦流與升力之關係” 中華民國第50屆中小學科學博覽會

八、林珈卉、連國甫、曾容君、王筠善、盧冠霖、王聖元-發現—“風洞中的柏努力”-中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

九、羅于傑-“承諾一個乾淨的未來—太陽能磁浮馬達和高效 率磁浮小型電動機及風力發電機”-中華民國第 52 屆中小學科學展覽會

十、陳亦中-“漩渦之美”-台灣二〇〇三年國際科學展覽會

十一、林亦汝、賴玟羽、洪文心-““漩”機妙算”-中華民國第52屆中小學科學展覽會

十二、彭勇誠、林昱勳、謝竣宇-“平步靖雲”-中華民國第52屆中小學科學展覽會

十三、古庭安、賴靜瑤- “漩麗奇跡-漩渦崩潰現象之探討”-2009 年臺灣國際科學展覽會

十四、宋俊毅-“漩之又漩—轉出來的學問”-科學月刊／科技報導

十五、梁軒豪-“渦流+小翼=?”-中華民國第43屆中小學科學展覽會