

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 物理科

030116

流動「生」力

—平面溝紋對氣流升力及渦流形成探討

學校名稱：新北市立安溪國民中學

作者： 國二 蔡旻岑 國二 陳嘉馨	指導老師： 劉明元 解宗翰
-------------------------	---------------------

關鍵詞：附壁效應、渦流、升力

摘要

蜻蜓飛行時翅脈造成空氣渦流提高翅膀升力。以鋁片製作仿生溝紋扇葉，改變溝紋斜面積及高度進行風洞試驗。相同風速下，將垂直式溝紋扇葉進行溝紋高度、數量、高度差、間距等物理量改變的風洞測試；藉空氣渦流、扇葉上空氣曲流觀察與升力變化比較，找出較佳組合條件，並比較不同風速下的差異。實驗發現，垂直式溝紋升力較傾斜式佳，渦流造成扇葉上氣流曲度增加。相同風速下，若渦流形狀較圓，則上層氣流曲度大，扇葉所受升力也較大。相同扇葉在氣流速快時，渦流較扁長，上層氣流曲度小，升力較大；依附壁效應推測，可能風速快形成曲流的向心力較大。風速每秒 2.65m，三溝紋扇葉高度依序為 8，6，4cm；間距依序為 6、4cm 有最佳升力效果。




壹、研究動機

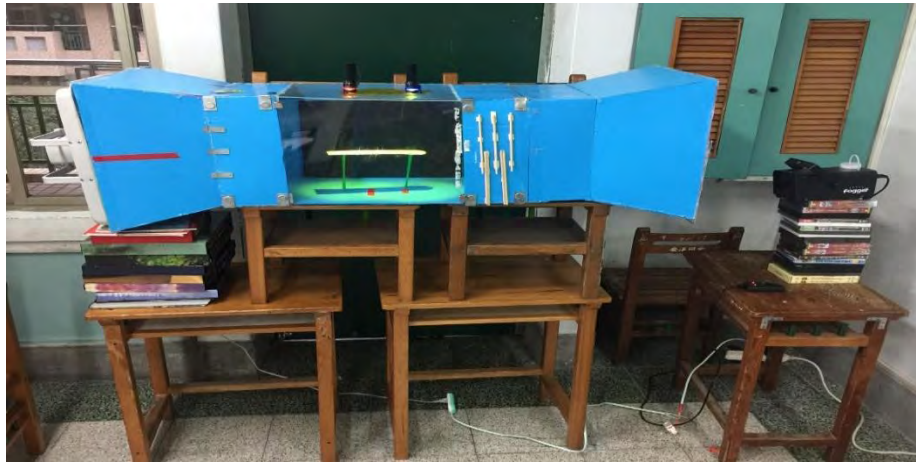
蜻蜓是昆蟲當中飛行能力的佼佼者，而且能量的轉換使用效率是很高的。其中一個重要關鍵是翅膀上的翅脈，它的粗細及間格排列，使蜻蜓在震動翅膀時，形成空氣渦流，造成翅膀上下形成壓力差與流速差，增加翅膀的升力，節省飛行時的能量消耗。因此我們猜想，若在平面上製造溝紋，是否可以在氣流流動時，增加平面的升力效果；若可行，也許可以應用在各種扇葉及飛行翅膀上。

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、建構仿生型鋁片溝紋扇葉(傾斜式)，並進行升力效能測試及渦流觀察。
- 三、建構垂直式鋁片溝紋扇葉，並進行升力效能測試及渦流觀察。
- 四、比較各類垂直式溝紋模組氣體渦流變化與升力變化的相關性。
- 五、在不同空氣流速下，渦流變化與溝紋扇葉升力相關性的探討。

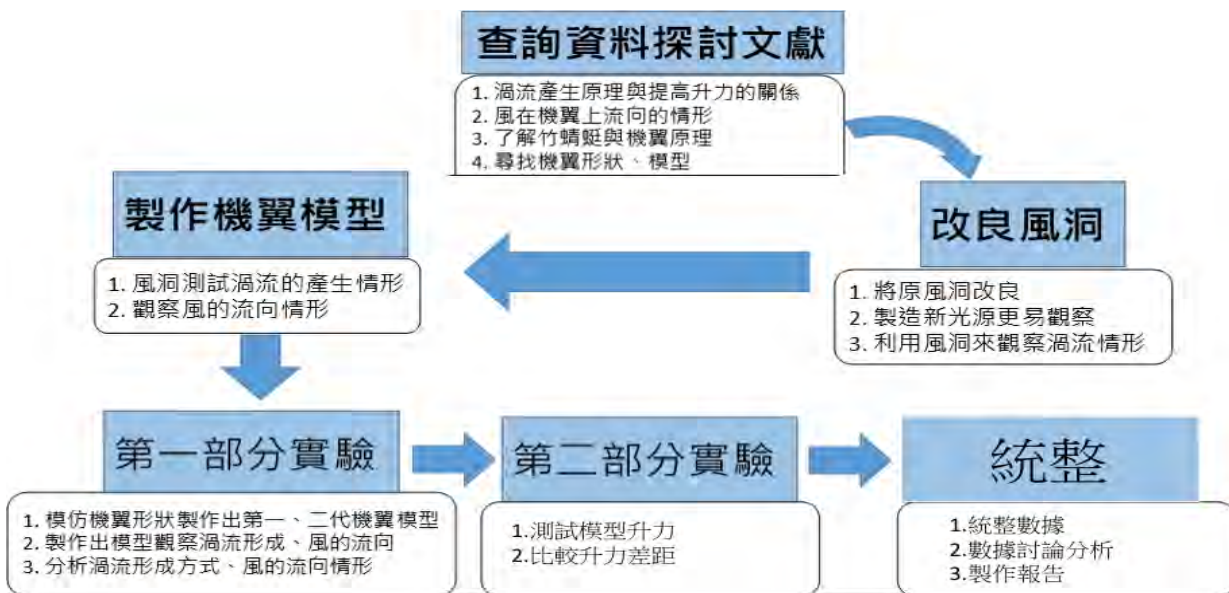
參、研究設備與器材

相機	線鋸機	微型風洞	調速儀
自製風洞 (圖一)			
煙霧機	風速儀	電子秤	鋁片



圖一、抽氣式的風洞裝置

肆、研究過程與方法



一、抽氣式風洞裝置設計

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

風洞效能初檢測：

- (一) 觀察不出渦流，推測風速太快
 - (二) 將風速調整至低風速。發現有渦流產生，但並不明顯。
- 推測可能是：煙霧太濃、照光顏色不合、光源強度太弱

第一次修正：

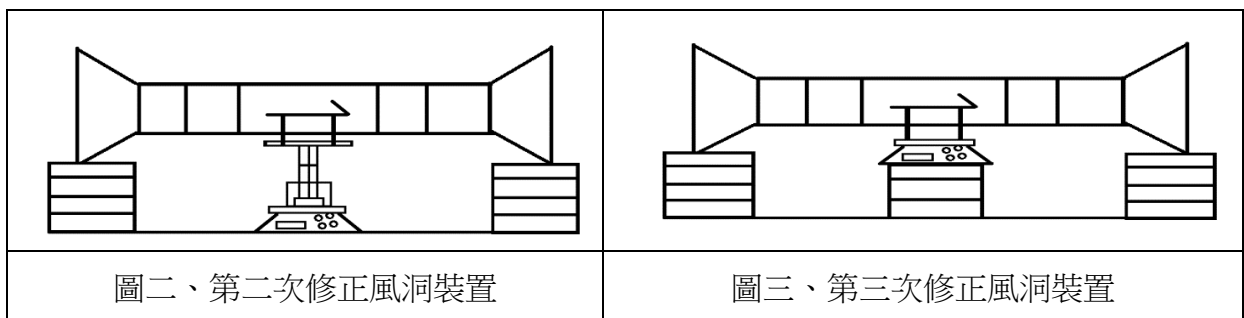
- (一) 改變玻璃紙顏色；發現黃色玻璃紙最適合觀察
- (二) 煙霧過濃：拉遠煙霧機與風洞的距離
- (三) 光源太弱：替換為更強的光源

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，我們發現電子秤秤盤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，但將模型全都測試完成後，數據與原先所構想的結果差異甚大，且不合理。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(圖二)，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，支架不穩固。
- (二) 固定支架的平台傾斜，支撐平台的柱子歪斜
- (三) 感應竹籤的高度，要減少風洞的邊界效應。

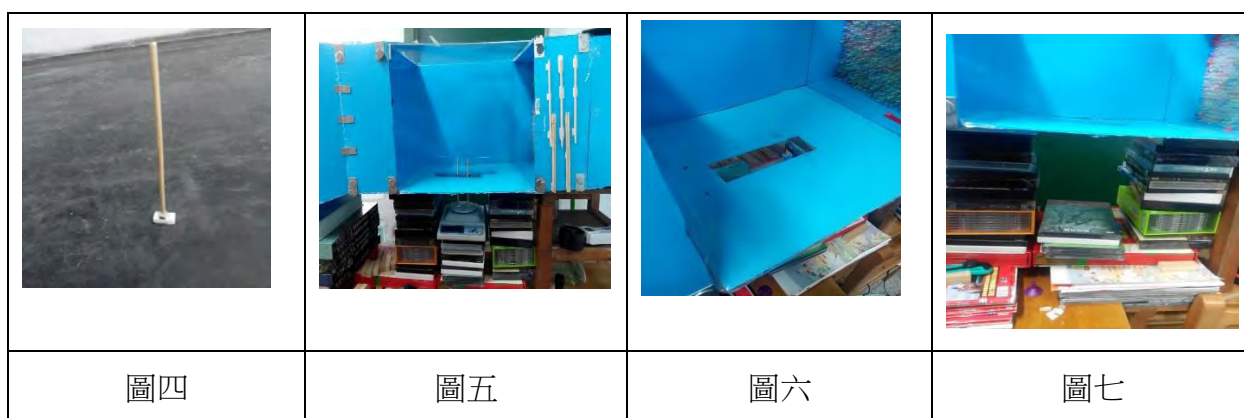
改善以上問題後，變成(圖三)經測試，誤差可降到 0.1 克以下。

第三次修正: 圖二裝置修正到圖三裝置的實作過程:

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。所以進行了以下操作：

將修正重點轉到了風洞底部，先將底部穿孔加大一點，再去做測試，測量誤差有改善。但發現竹籤不夠穩固，導致無法直立，得靠到旁邊才能支撐;且竹籤穿過的孔仍然不夠大，因為在測試時竹籤可能會稍微被風吹往後一點點，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，並直接黏在電子秤上，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。（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。故調整竹籤高度，減少邊界效應的影響。

二、建構風洞測試模式及仿生式溝紋扇葉效能初測：

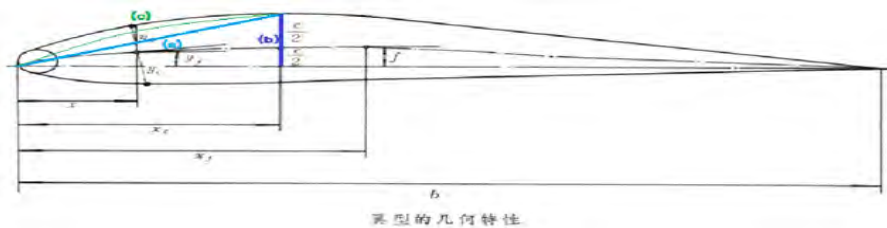
風洞測試模式：

開光源及電子秤 → 開抽風扇 → 測風速 → 開煙霧機 → 放置溝紋扇葉模型 → 封閉風動 → 觀察及相機試拍 → 正式測量升力及渦流拍攝

由於拍攝技術上的限制，以肉眼及影片拍攝可清楚觀察到煙霧渦流大小、分布、完整性及曲流曲度、水平氣流位置，但以相片記錄均只看到一團煙霧，渦流及曲流變化均看不清楚，故所有記錄均以短片與手繪圖記錄。

(一) 第一代仿生溝紋扇葉製作(模仿文獻報告的模式)：

以 3cm 寬，45cm 長的鋁片，依斜面、垂直、水平順序，折成單一或連續的傾斜式溝紋；傾斜角度配合機翼幾何特性，但因機翼前緣為圓弧形，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。故取 20 度、40 度進行測試，另外以 90 度做對照測試。



圖八、機翼迎風端幾何特性

本試驗為先備試驗，結果僅供試驗設計修正

先備實驗 1 · 固定溝紋斜面長 L，改變角度的模型扇葉

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(註：氣流以垂直葉面及溝紋的方向形成漩渦式流動)，上表層氣流與渦流間摩擦阻力小，上層表面氣體流速較快，造成葉面上下氣體流速差較大；且上表層氣流形成曲流狀態，且曲度甚大。根據觀察，應該是出現附壁效應；上表層氣流曲度大代表所受向心力(葉面對表層氣流的拉力)較大，而此向心力的反作用力(葉面所受向上升力)也應該較大，與實驗所觀察到的升力現象相符合。

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亦較扁(較橢圓)；即高度會影響渦流形成。上表層氣流流動曲度較小，升力效果較弱。再加上斜面摩擦力的影響，上層氣流速變慢，流速差變小，升力效果更差。

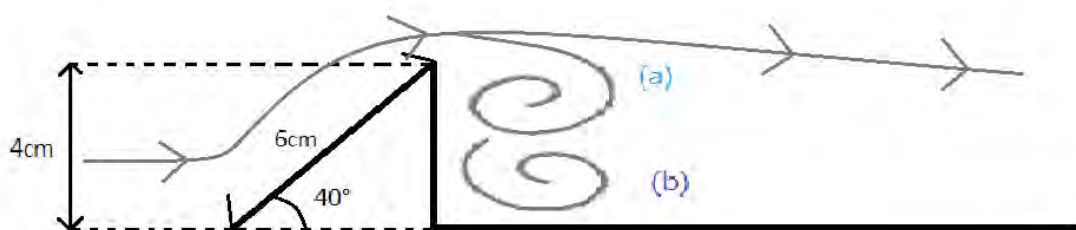
先備實驗 2 · 固定溝紋垂直高度 h，改變傾斜角度的模型扇葉

結果：

垂直溝紋的升力效果最為明顯，而 40°的溝紋比 20°的溝紋升力效果明顯；可能是 20°溝紋斜面較長，摩擦效果更明顯；上表層的氣流曲度亦小(觀察所得)。

實作：測試 L=6 c m、40°的溝紋

(1)觀察第一溝紋的渦流產生情形



圖九、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斜面產生摩擦。使下層風速慢，產生渦流 a ；

上層風速較快形成曲流。且因溝紋高度較高，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



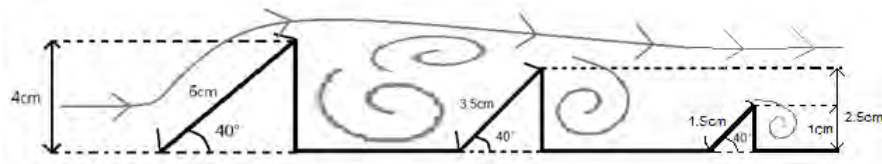
圖十、雙溝紋產生的渦流情形

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。

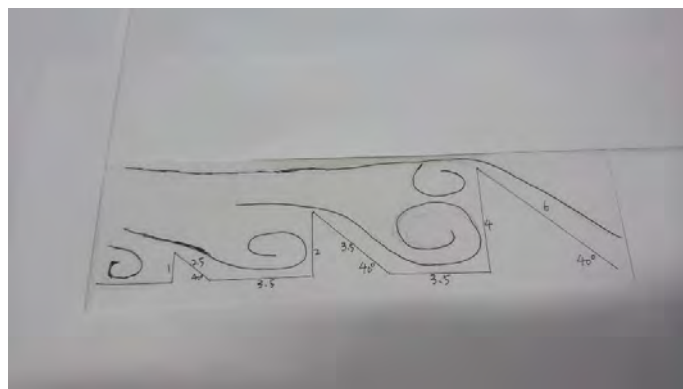
(3)觀察一、二、三溝紋的渦流產生情形



圖十一、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，而空氣流向一樣呈現先升後平行。

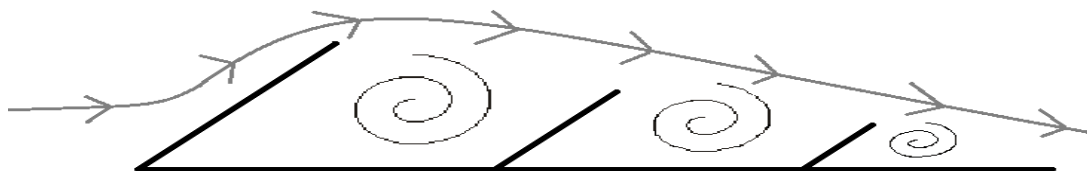
推測：我們認為斜面也是造成渦流的因素(摩擦減速，再受阻力形成渦流)，相較風撞擊平面造成分岔形成渦流，影響渦流甚為明顯。



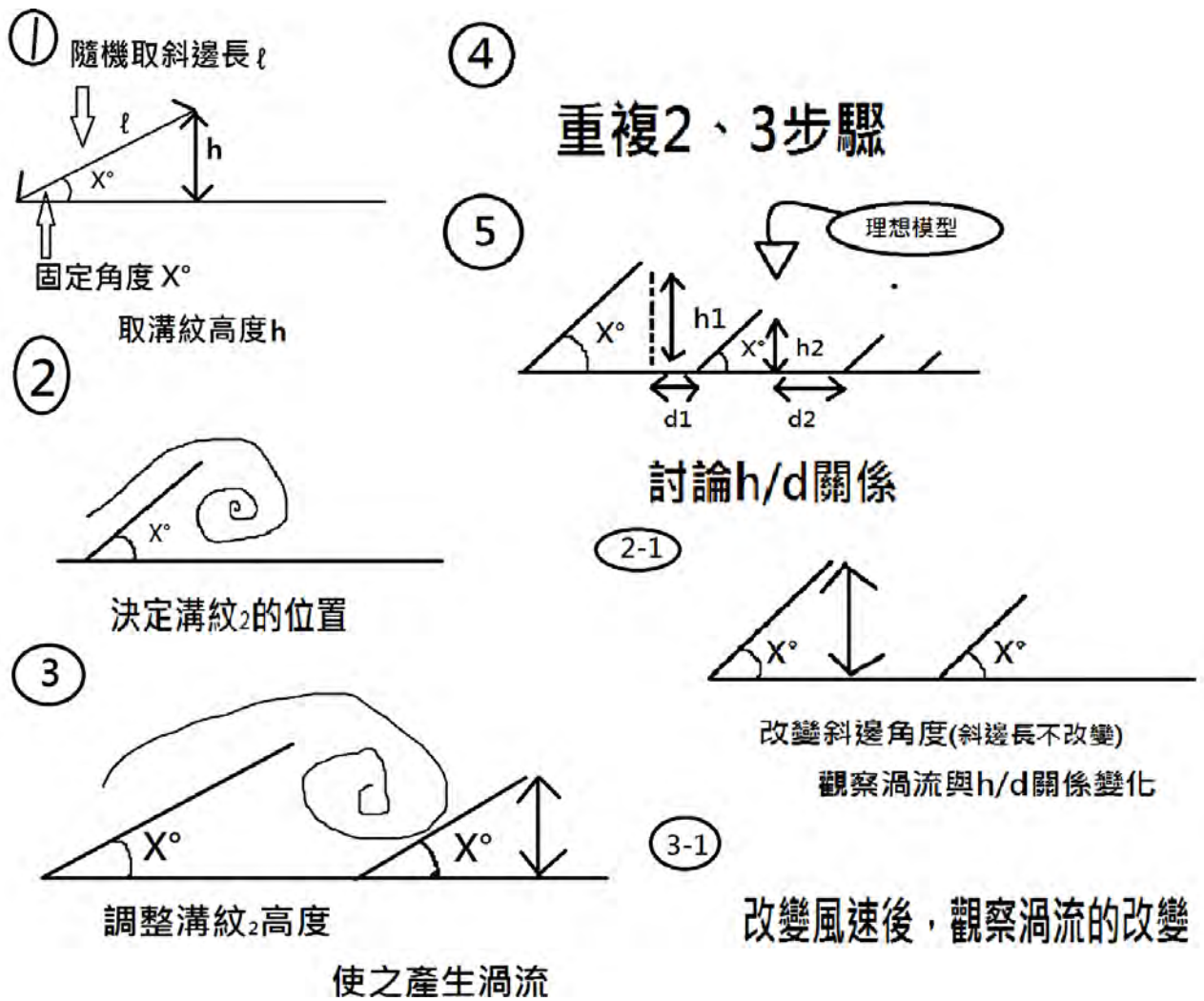
圖十二、第一代仿生扇葉模型渦流

(二) 第二代仿生扇葉製作

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

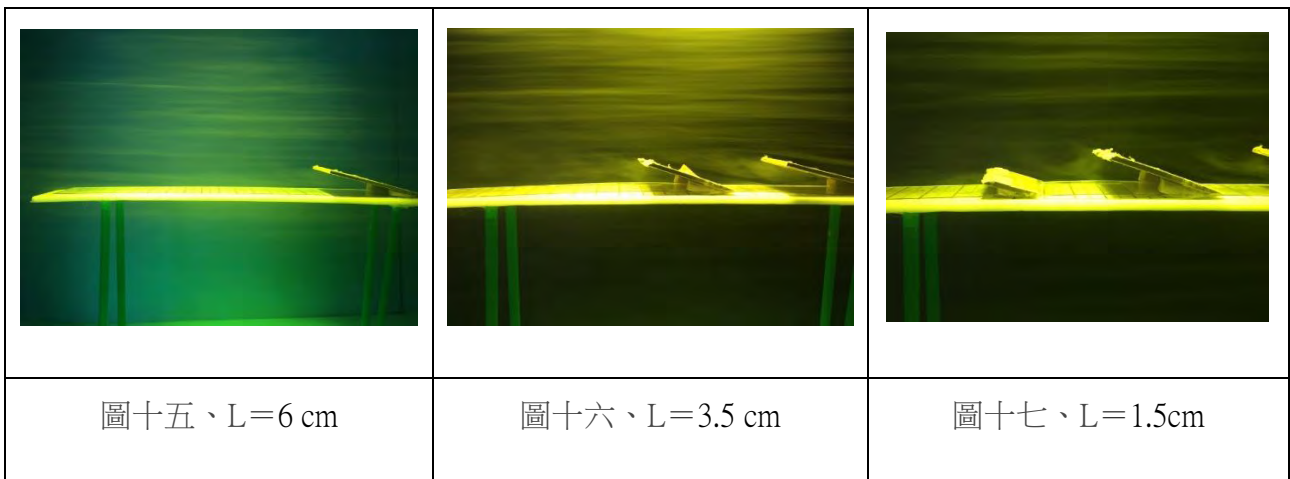


圖十三、第二代仿生溝紋扇葉模型



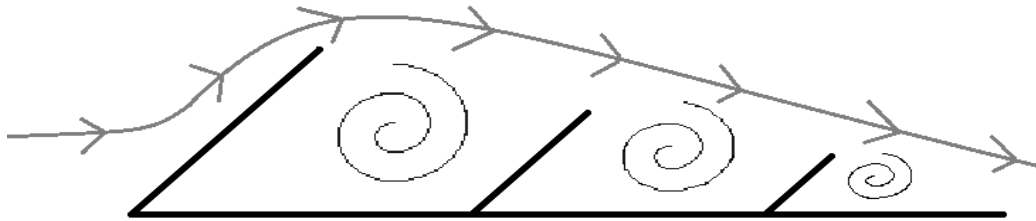
圖十四、以二代仿生溝紋扇葉，討論斜面長及高度對渦流及升力的影響(討論流程)

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

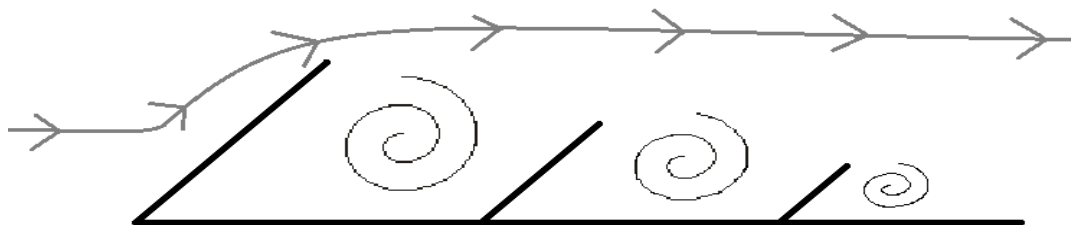


測試觀察：角度 20° ，風速 0.9m/s ， $L=1.5\text{cm}$ ， $L=3.5\text{cm}$ 形成的渦流較為明顯，而 $L=6\text{cm}$ 較不明顯。組合式溝紋面對氣流時，第一及第二溝紋形成渦流較明顯，的三溝紋形成得渦流則不明顯。另外，在扇葉上表層氣流的流向，與我們預想的流向不完全相同。

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。

附壁效應不明顯？渦流大小及完整性及組合影響表層氣流曲度？

推測可能原因： 1. 間距長短不適當，影響渦流形狀、大小、與連結
2. 溝紋高低排序，角度、空氣流速。

三、垂直式溝紋升力效能的測試與渦流觀察分析：

以 3 公分寬，45 公分長的鋁片，摺成各類型垂直式溝紋扇葉，造型與二代仿生扇葉相似，但溝紋傾斜角度皆為垂直(90 度)。

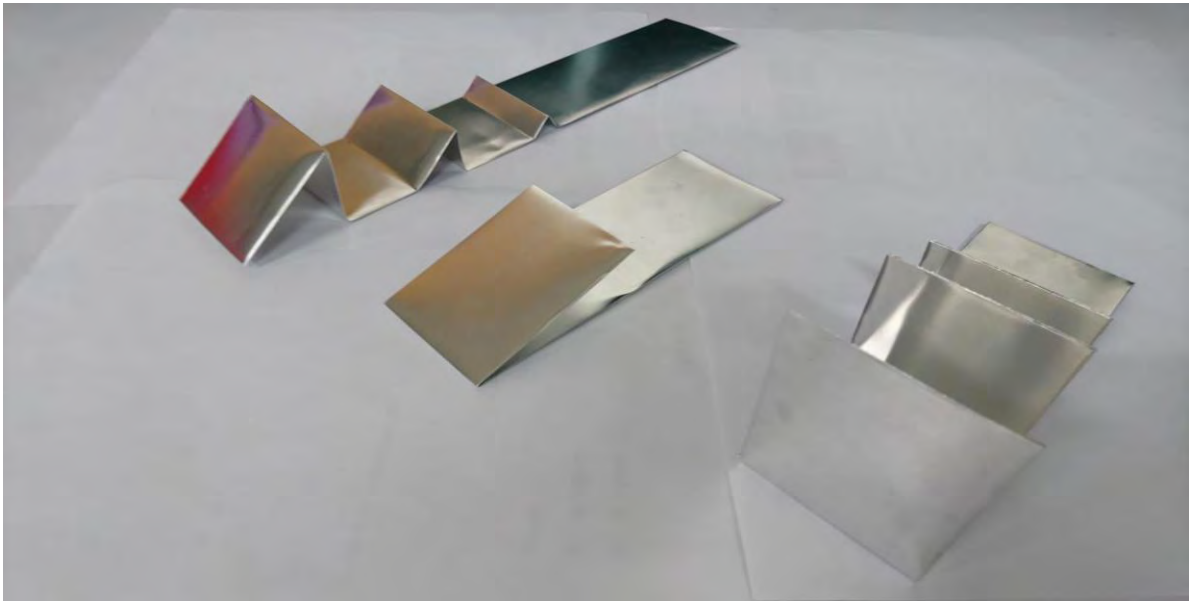
所改變操作變因包含，溝紋高度，溝紋數量，溝紋間距，高度落差，高低溝紋組合，重量改變，扇葉尾長，等比例尺寸縮小，；

找出最佳組合後，再以不同風速進行升力效能檢測，與渦流大小、形狀、完整性及曲流曲度與扇葉後端水平氣流的觀察。

升力效能計量：扇葉減輕重量所占百分比

$$\text{減輕重量百分比} = (\text{模型原重量} - \text{減輕後重量}) \div \text{原重量} * 100\%$$

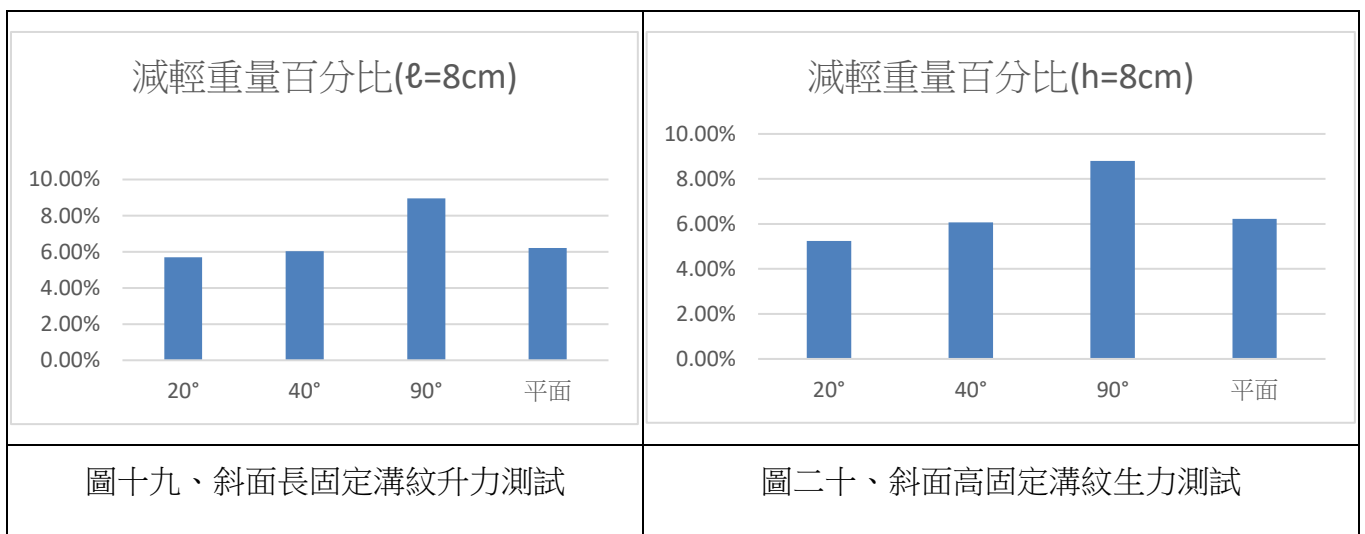
百分率越高，表示效能越佳。



圖十八、所測試第一代仿生溝紋扇葉、第二代扇葉及垂直式溝紋扇葉(左到右)

伍、研究結果

升力測試 1：第二代仿生傾斜式溝紋扇葉升力比較



由圖十九及二十實驗結果得知，與第一代仿生扇葉先備試驗有相似結果，仍然是垂直型的溝紋模型升力效果最好，優於平面與傾斜角 20 度、40 度的溝紋扇葉。依結果推論：

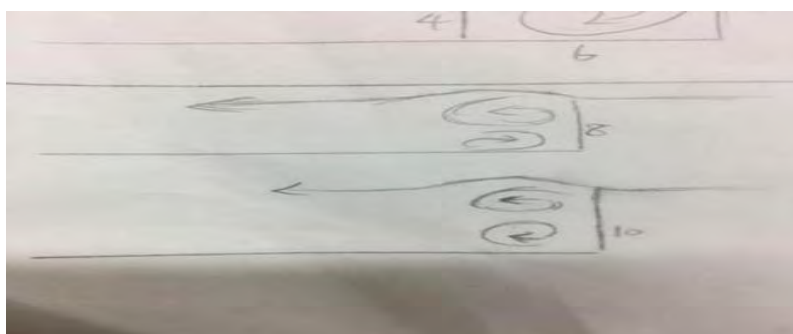
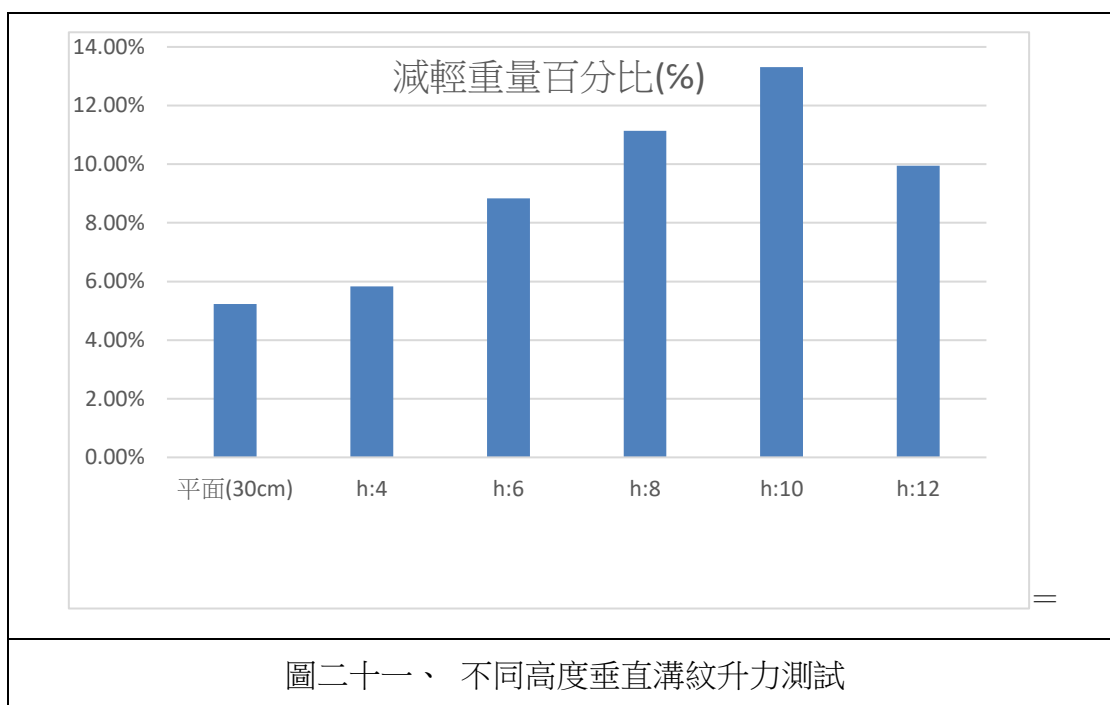
(1) L 越長可能會使摩擦力增加，使接觸的空氣流速變慢，造成扇葉上面的流速與下面的流速差距減少；加上傾斜面前後側渦流效應減弱，上層氣流的曲度較小且曲流現象不明顯，表示所受到的向心力較弱，升力效果差。

(2) h 高可能有利渦流形成；較大較完整的渦流(較接近圓形)，使得接近渦流的表層氣流產生附壁效應，形成曲流；在相同初始風速下，曲流的曲度越大，代表所受的向心力越大，而曲流所受向心力的反作用力即扇葉所受之升力。

h 高(溝紋角度大)，升力大，與實驗結果符合(圖二十)。此時葉面上下氣流的流速差亦大(由影片煙霧流動判斷，未實際測量)。

(3) 垂直溝紋與傾斜 20°與 40°的溝紋比較，無氣流斜面的摩擦效應，進而使表層氣流所受的摩擦力降到最低，流速較快，使葉面上下氣流的流速差增大；且因垂直，無向下的作用分力，使升力效果因減少損耗而有較好效果。垂直溝紋的升力效果最好，因此決定使用垂直溝紋扇葉來進行各項變因的效能測試。

升力測試 2：不同 h 高度的垂直溝紋扇葉比較

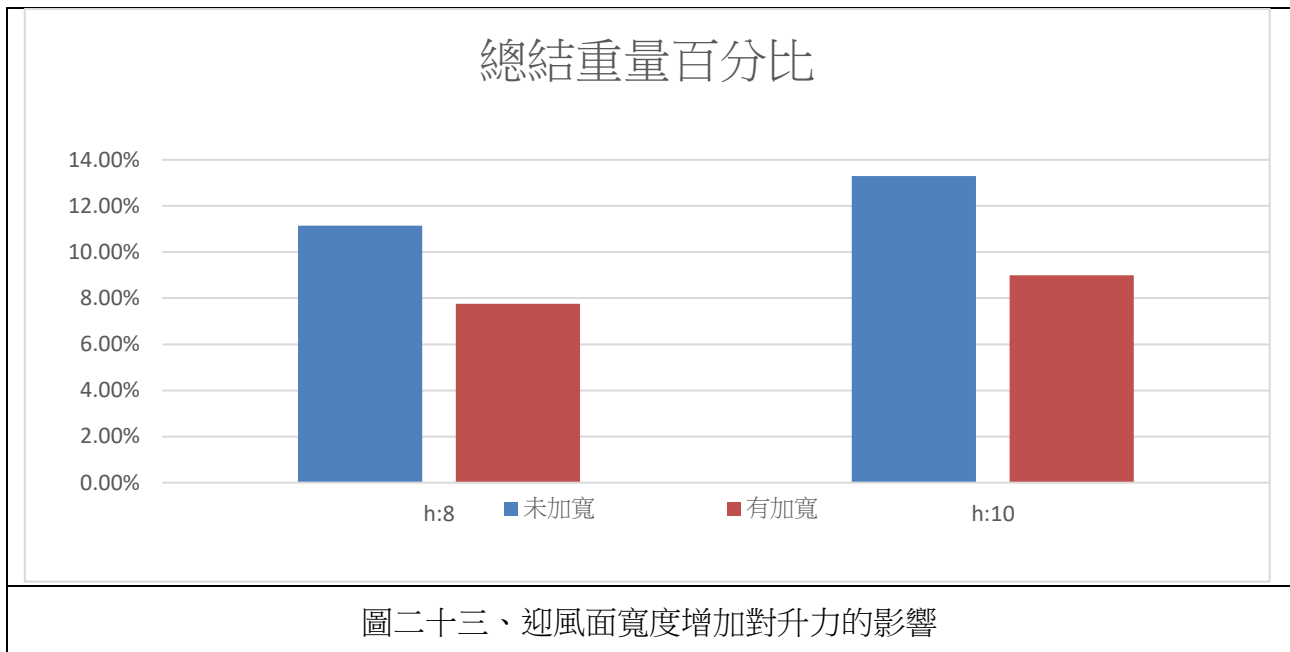


圖二十二：不同高度垂直溝紋，渦流示意圖(有影片紀錄)

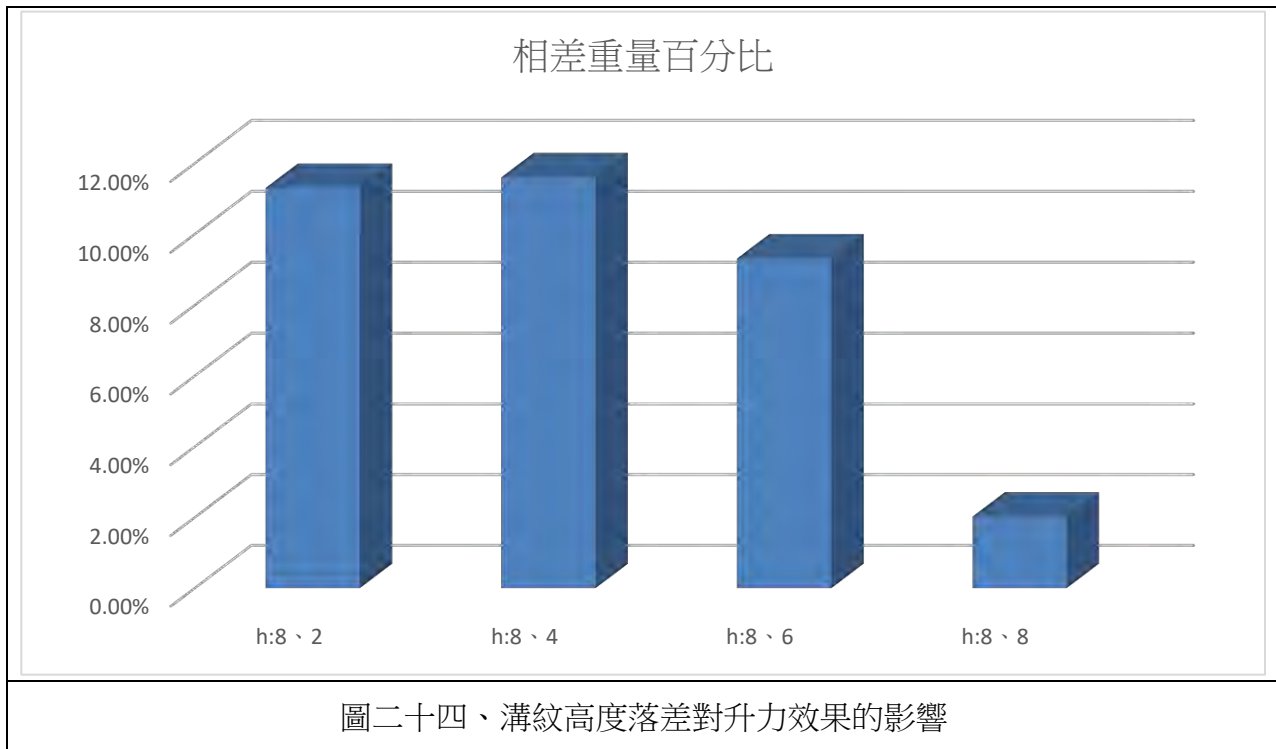
結果：除了 4 公分高的溝紋後方僅出現一個渦流，其他高度均出現兩個渦流；上層渦流為順時針流動，(單一溝紋時)直徑較大且較完整(趨近圓形)，葉面表層氣流曲度亦較大；而後觀察到下方渦流有氣流往上層渦流與牆壁間流動，下層渦流可能為由內往外流的逆時針流動，直徑較小，較扁(較接近橢圓形)，完整性較低，似乎有亂流擾動。

推測：氣流接觸到溝紋末端，產生邊界效應，造成流速降低；再受到前方空氣或溝紋阻力產生回流的現象，形成渦流。而渦流越大越完整，似乎使葉面表層氣流曲度增大，而相對應的升力效果亦較佳，符合附壁效應的預期。

升力測試 3：不同寬度的垂直溝紋扇葉升力比較



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



圖二十四、溝紋高度落差對升力效果的影響

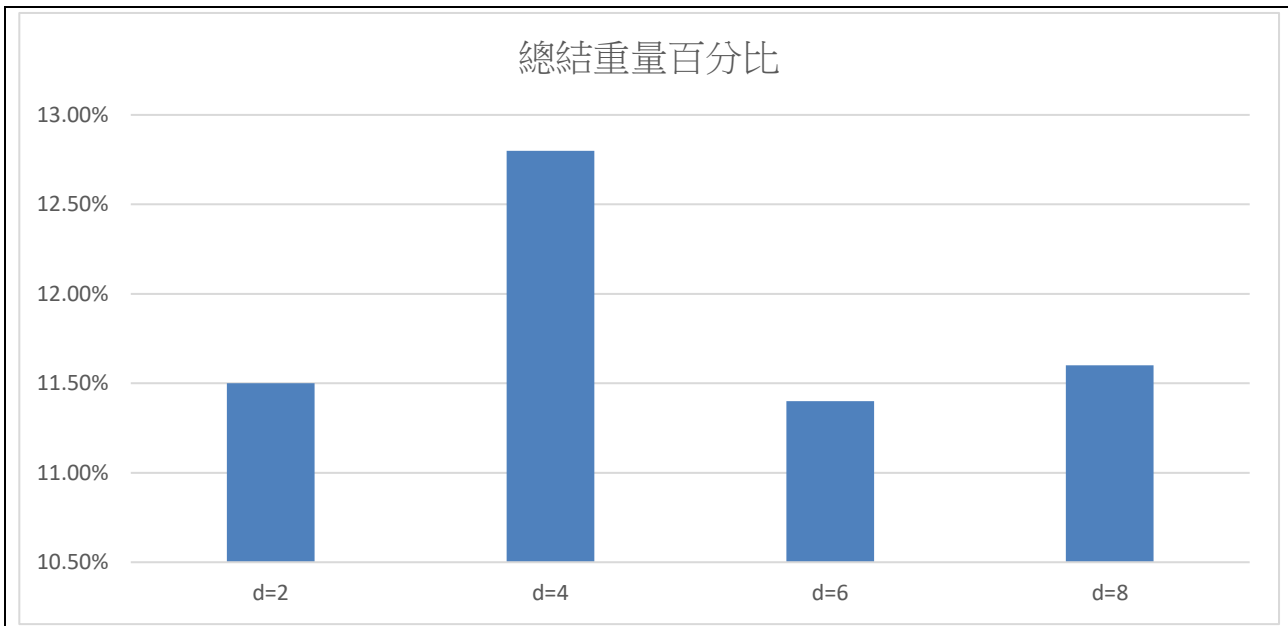


圖二十五、雙溝紋渦流示意圖(有影片紀錄)

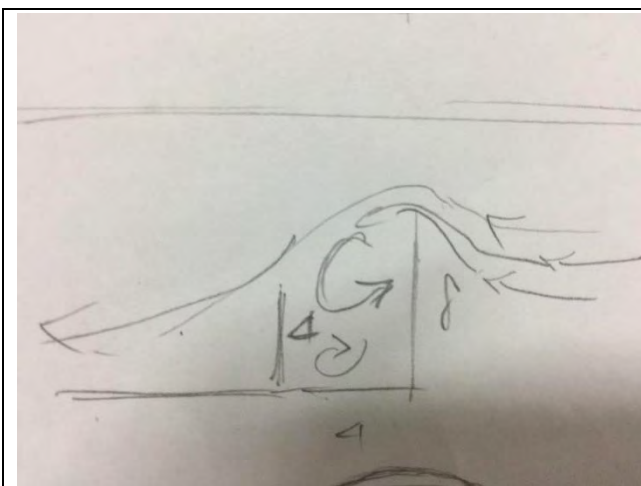
結果：h : 8、4 與 h : 8、4 的溝紋扇葉效果最為明顯，h : 8、8 的效果最差。

推測：h (溝紋高度)、d (溝紋間距)及溝紋高度差是影響渦流的形成因素，那麼在這其中會有一較佳的比例值；而 d=6 在 h = 8、4 情況下最好，而若第二個溝紋太高的話，可能會使渦流變形甚至被破壞，導致導致表層曲流的曲度減少，扇葉上方流速與下方流速差距不大 (由煙霧流動觀察得知)，升力效果不明顯。

升力測試 5：不同 d (溝紋間距) 的寬寬度對於垂直雙溝紋組合升力影響

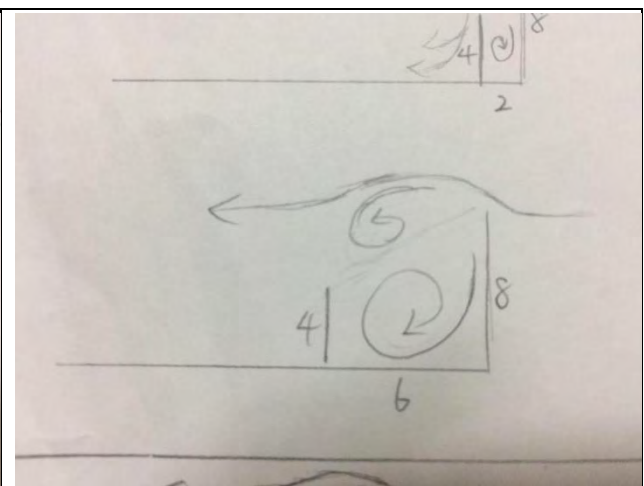


圖二十六、溝紋間距對雙溝組合的升力影響(h1=8cm .h2=4cm)



圖二十七、d=4 的溝紋扇葉渦流示意圖

(有影片紀錄)



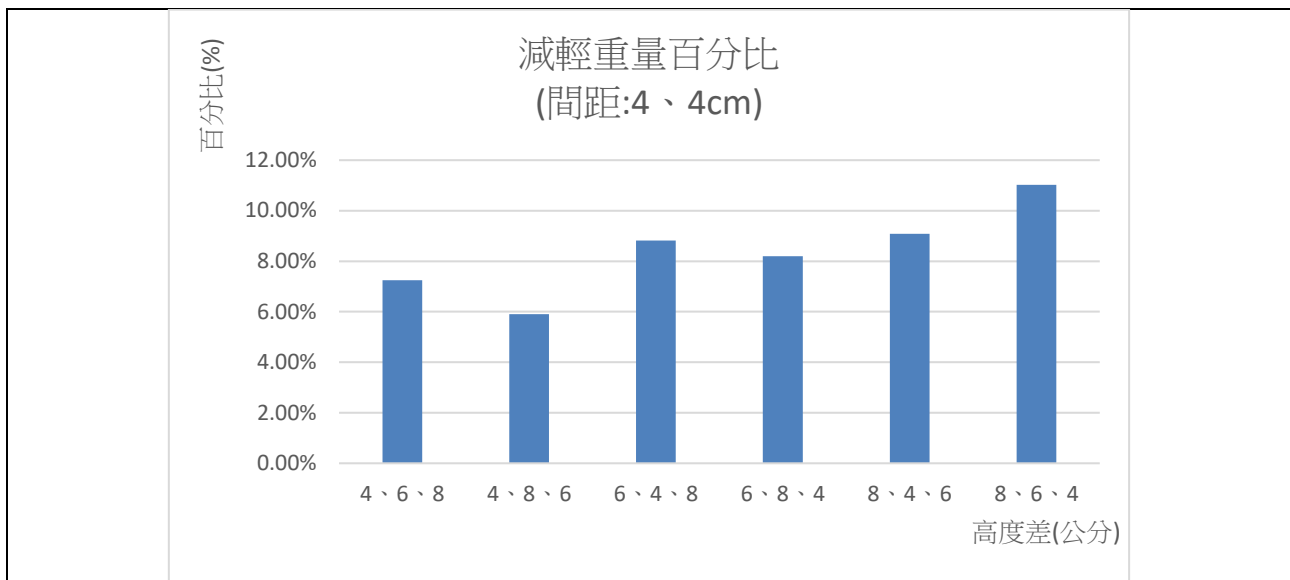
圖二十八、d=6 的溝紋扇葉渦流示意圖

(有影片紀錄)

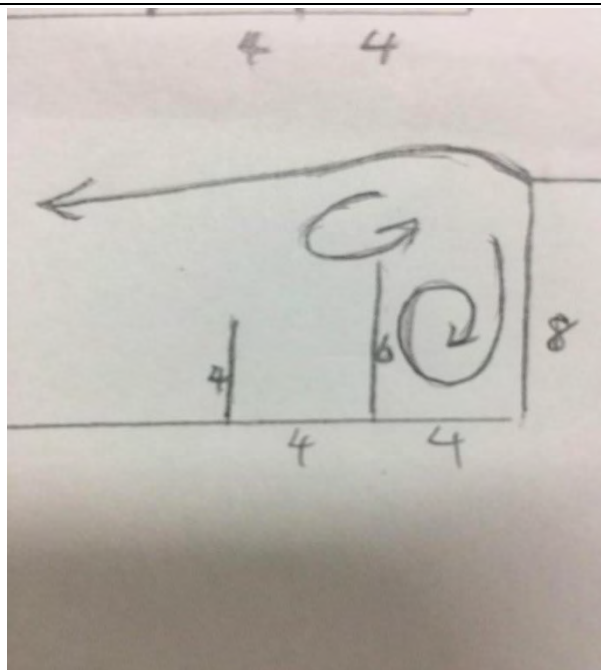
結果： d = 4 的溝紋模型效果最好，而其他的寬度的效果差距不多。

推測： 間距是影響升力效果很大的因素，和高度落差一樣，可能對渦流的大小、形狀及完整度有相關，但依實驗結果顯示，只有 d = 4 情況下的升力效果明顯較佳，而其他間距則無太大差異。由渦流觀察得知，d = 4 時上層渦流較下層大(類似單溝紋狀況)，也較完整，所造成的曲流效果亦較明顯，與升力效能檢測結果相符合。

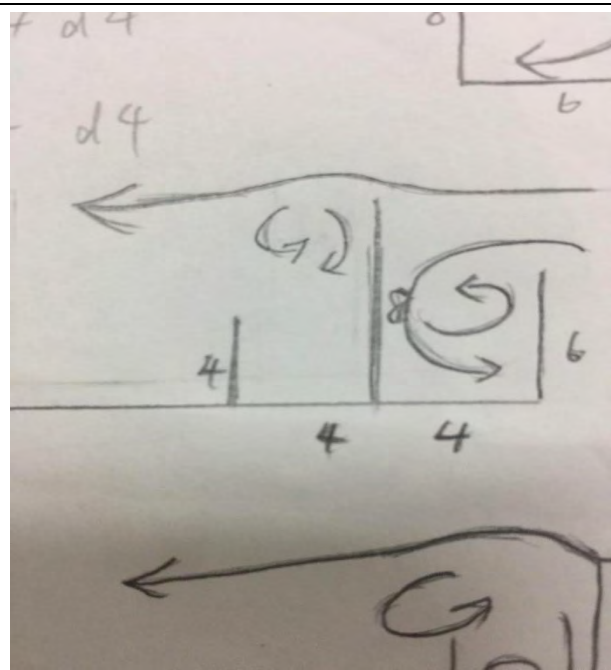
升力測試 6：不同 h 高度排列模式的垂直三溝紋扇葉比較



圖二十九、三溝紋不同高度組合升力效果檢測



圖三十、h=8、6、4 溝紋扇葉渦流示意圖
(有影片紀錄)

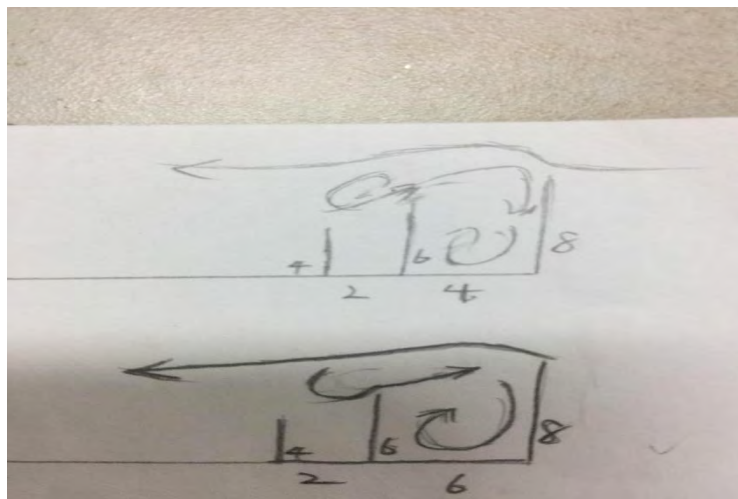
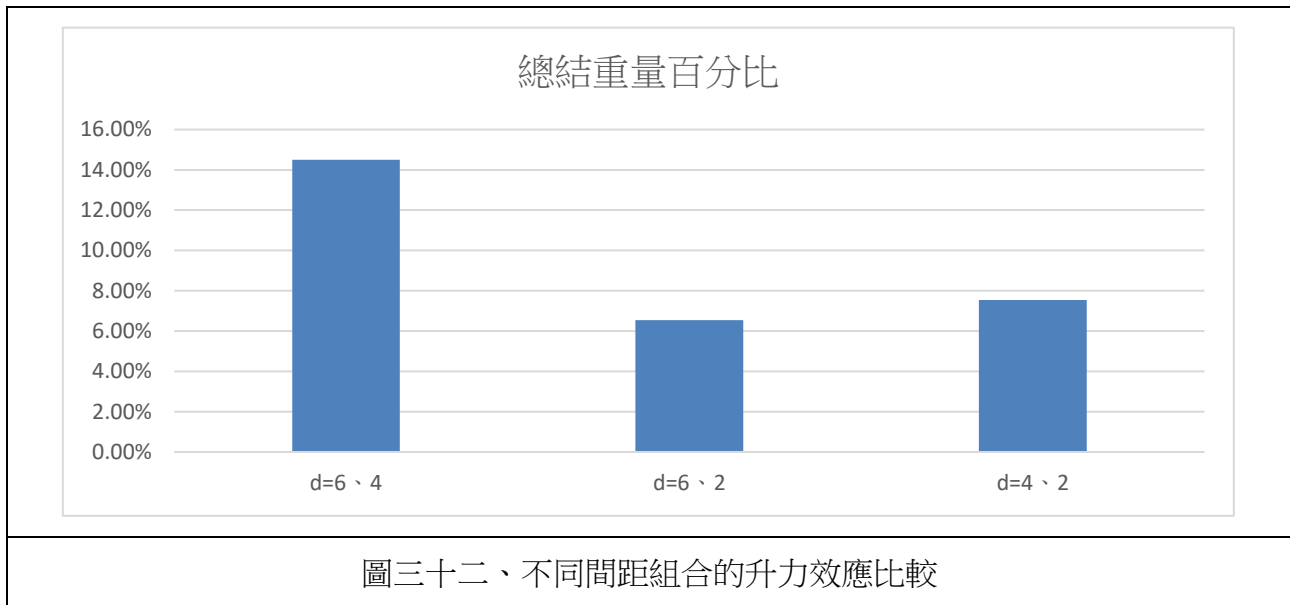


圖三十一、h=6、8、4 溝紋扇葉渦流示意圖
(有影片紀錄)

由先前實驗得知，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，所產生的渦流組合不同，會有不一樣表層曲流效果，而產生不同的升力。

而實驗結果由高到低 8、6、4 的溝紋組合，升力效果最佳，最不佳的是高度 6、8、4 的順序。由渦流圖亦可看出，所造成的表層氣體曲流的曲度較大，與升力檢測結果相符合。

升力測試 7：不同間距 d 的組合對於垂直三溝紋扇葉比較



圖三十三、三溝紋扇葉不同間距組合 渦流示意圖

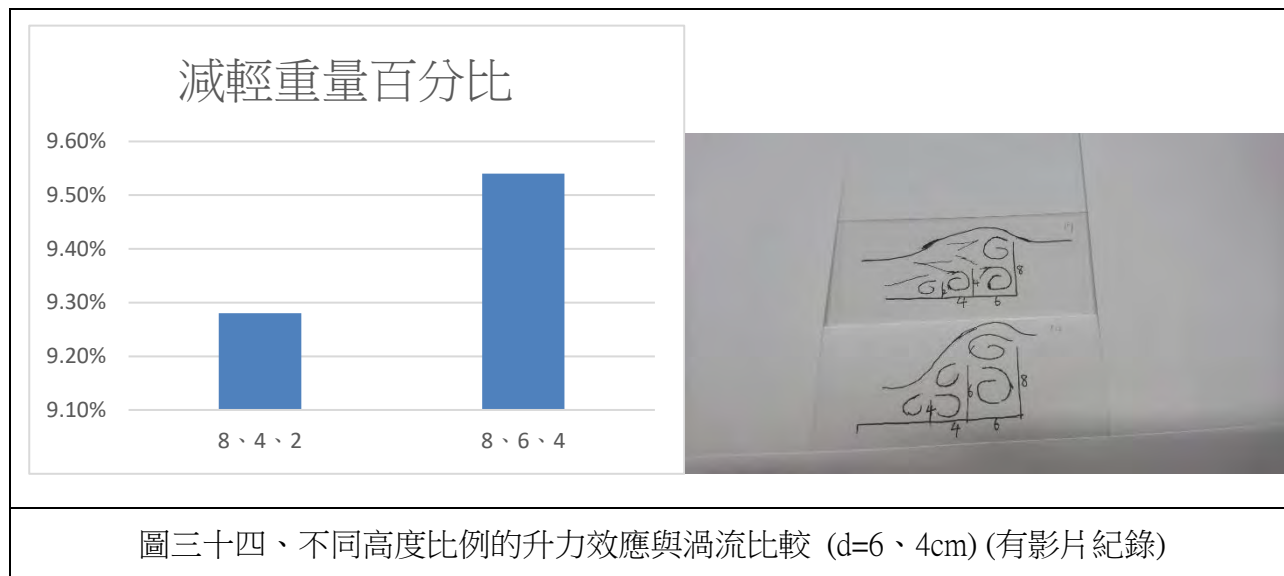
(有影片紀錄)

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)，表層氣體曲流曲度最大(所受葉面向心力越大)，葉面上下氣流流速差變多，升力效果最佳。

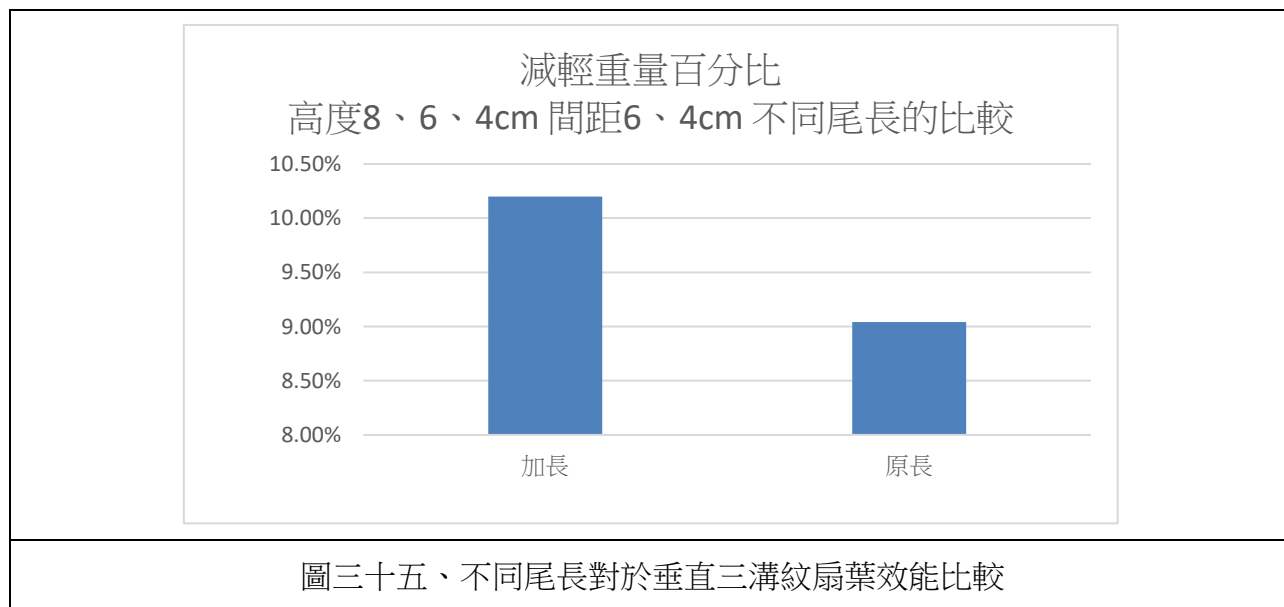
而 $d = 6, 2$ 的組合溝紋，可能是差距太大，使得產生亂流，破壞掉渦流，使得曲流較不明顯，升力效果不好。而 $d = 4, 2$ 的組合溝紋時，距離太近，沒有產生完整渦流，上層氣流曲流曲度小，升力效果不明顯了。

升力測試 8：不同高度比例對於垂直三溝紋扇葉比較



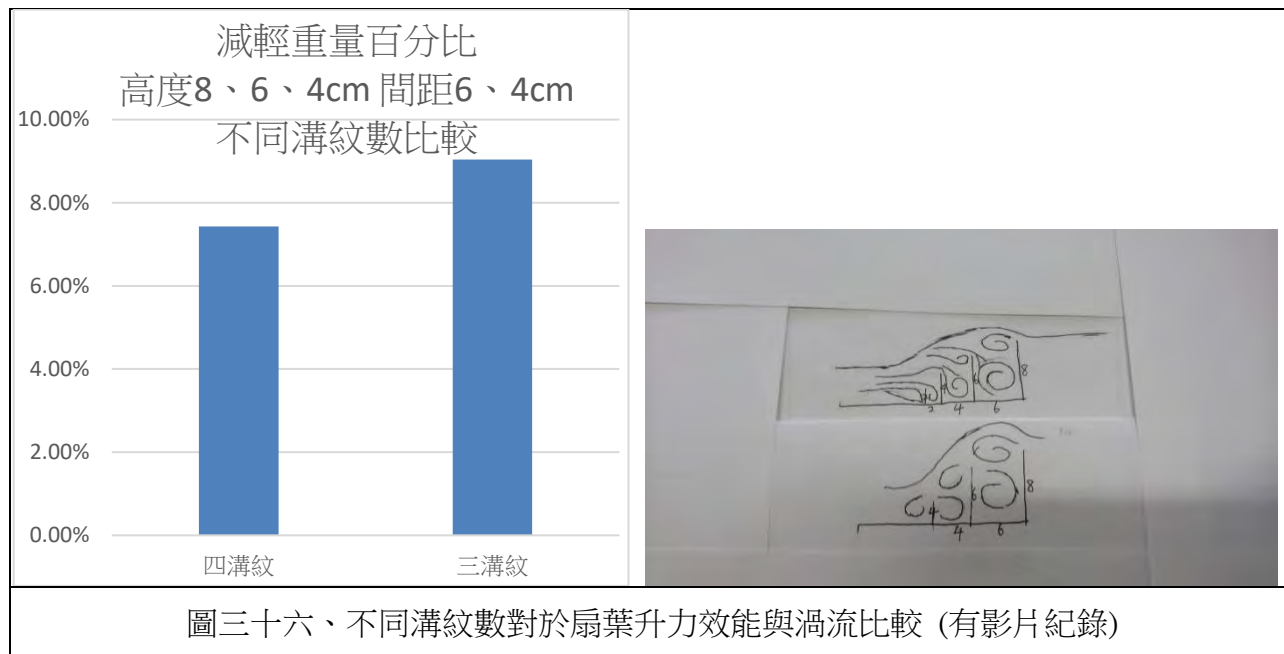
結果：溝紋在不同的高度比例下，渦流的完整度與表層曲流效果顯著不同，而升力效亦有明顯差異。溝紋高度以 8、4、2 比例所組成之扇葉，渦流完整度較差，曲流現象不明顯，所對應的升力效果顯著降低。

升力測試 9：不同尾長對於垂直三溝紋扇葉效能比較



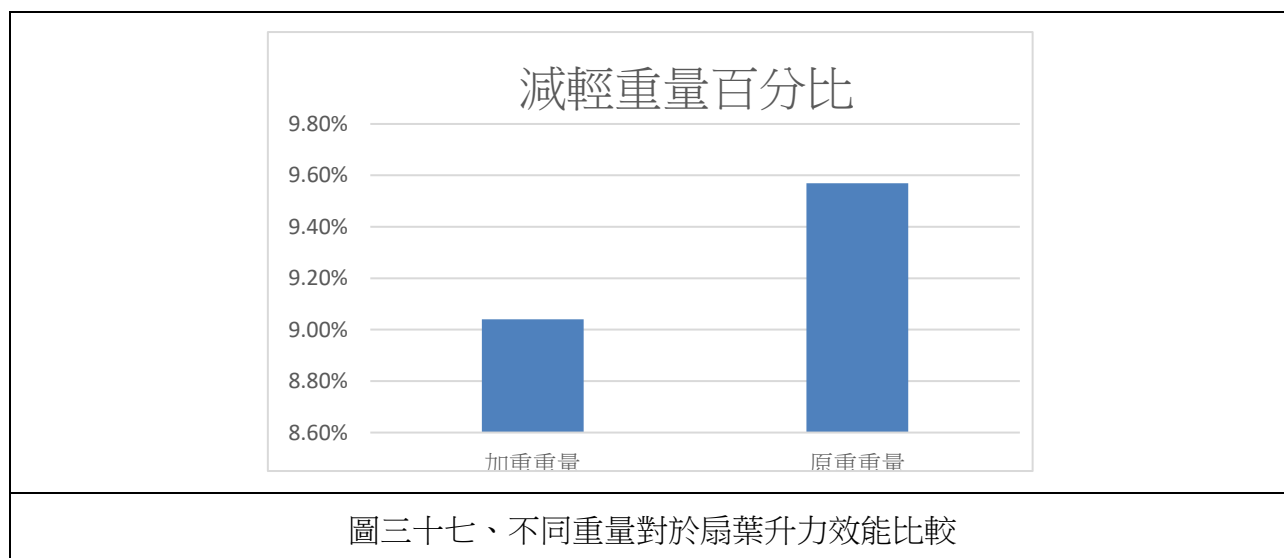
結果：溝紋規格形式相同，所產生的渦流與表層曲流的效果相近，但尾長加長後升力效果有顯著提升，推測可能是溝紋後端長尾部份，雖為水平氣流，但葉面上下氣流流速不同，仍然有向上的壓力差，造成升力有所提升。(兩組扇葉重量相同)

升力測試 10：不同溝紋數對於扇葉效能比較



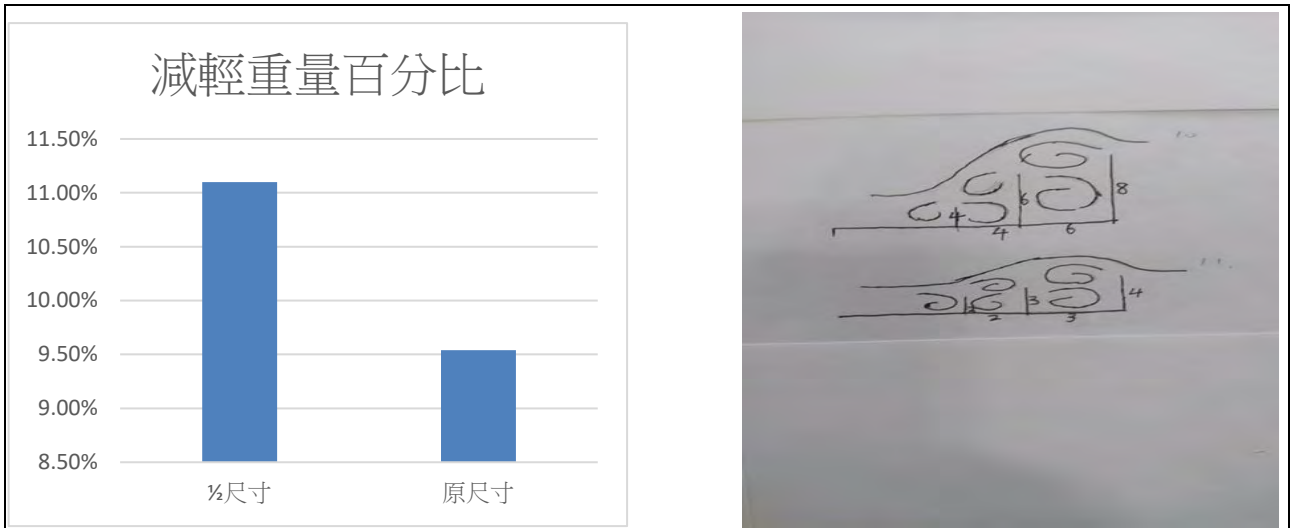
結果：在 8、6、4 組合溝紋後方 2 公分的距離再加上一個 2 公分高的扇葉，由實驗結果得知，前面三溝紋所產生的渦流及表層曲流效果相似，而第四溝紋看不出渦流的效應，而且相對應的升力效果略有下降；推測可能是水平尾翼部份的氣體流動受到干擾，造成擾流，降低升力效果。

升力測試 11：垂直溝紋規格相同，不同重量對於扇葉升力效能比較



結果：規格相同，重量較重的扇葉，所產生的升力較大，但是因本身重量重，造成減重的百分率降低。至於升力較大，可能因重量重，較穩、少震動、少擾流，渦流效果更佳，表層曲流曲度明顯

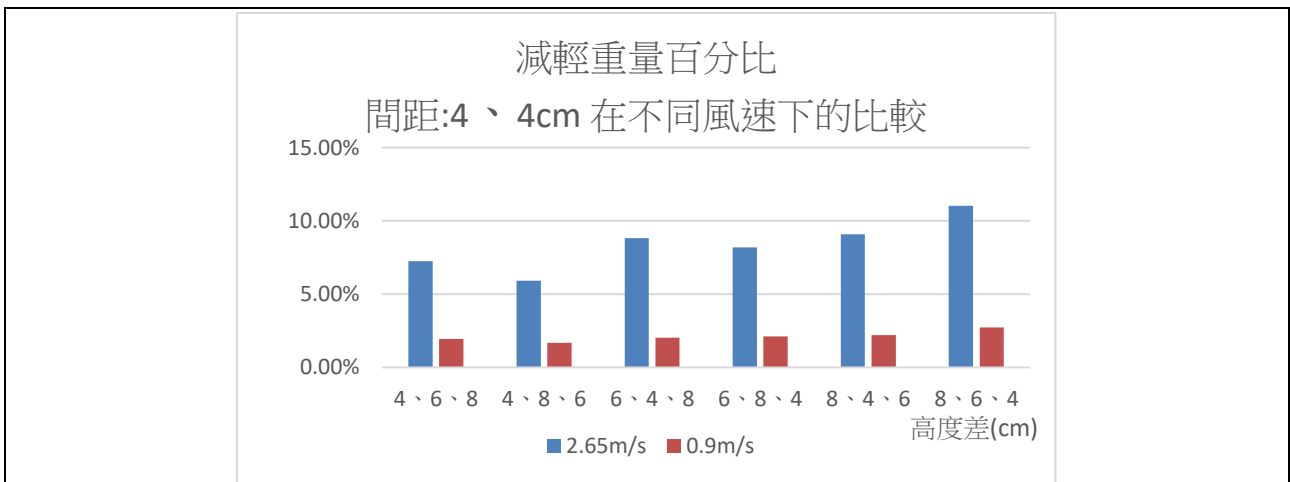
升力測試 11：不同尺寸、相同比例垂直三溝紋扇葉比較



圖三十八、不同尺寸相同比例扇葉升力效能與渦流比較(有影片紀錄)

結果：扇葉溝紋比例相同，所產生的渦流與表層曲流相似，尺寸較小的扇葉所產生的升力較小(可能與受力面積大小相關)，但是因本身重量較小，減輕的重量百分比反而較高。

升力測試 12：不同風速下對於三溝紋扇葉比較



圖三十九、不同風速下對於扇葉升力效能比較

結果：以不同高度順序組成之溝紋扇葉，進行不同風速下，升力與渦流變化的觀察，實驗結果發現，同一規格的溝紋，風速快時，升力較大，但看不清楚渦流的狀況，而溝紋表層曲流的曲度較小。而風速慢時，所產生的升力較小，渦流較為清楚。

以逐步加快風速的方式進行觀察，發現溝紋上端的渦流變得較扁，形成較扁的橢圓形，推測表層氣流曲度減少，可能與此有關。先前實驗相同風速進行檢測，發現不同規格的扇

葉，只要渦流較圓、較大、較完整，表層氣流曲度大，升力的效果均良好。因此推測，可能是風速快，附壁效應形成曲流時所產生的向心力(扇葉對氣流)較大，造成表層氣流對扇葉的反作用力(扇葉的升力)也變大。討論時，我們覺得，風速快，升力效果提高，但應該有一極限值，主要是因觀察到，空氣流速快，表層曲流曲度變小，葉面上下的壓力差及流速差應該會降到最小，限制升力的提高。

陸、討論

一、文獻探討：

升力的探討

由白努利方程式

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

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，根據白努利定律可知，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 $h_1 \approx h_2$ ，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 $t = \frac{l_2}{v_2} = \frac{l_1}{v_1}$

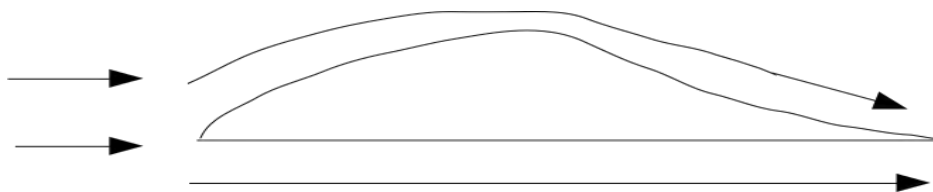
則可得

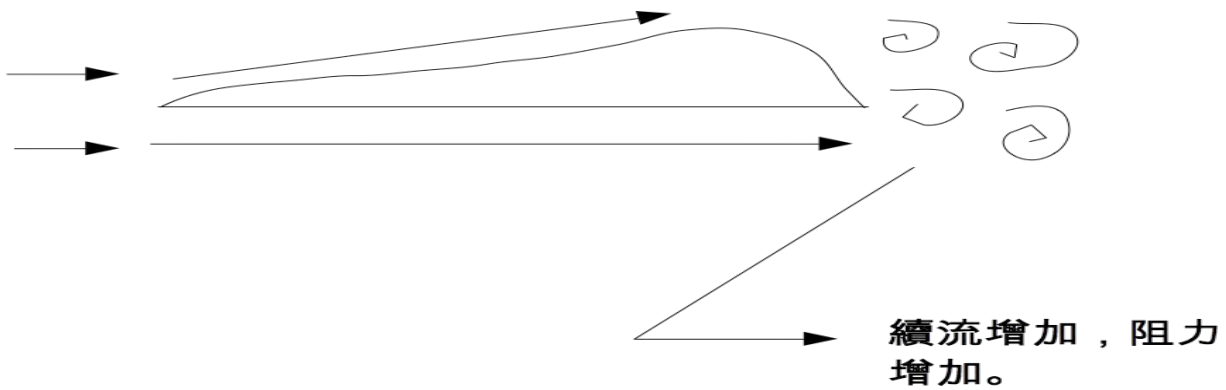
$$F(\text{升力}) \propto P_1 - P_2 \propto v_2 - v_1 \propto l_2 - l_1$$

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。





以**附壁效應**來說明，接觸溝紋末端的氣流會因為邊界層效應使流速降低，氣流往前流動時會因前方空氣阻力，產生回流現象，使溝紋後方形成渦流。而扇葉表層氣流會與渦流形成附壁效應，造成曲流的效果。扇葉表面對表層氣流產生向心力，使氣流彎曲，而此向心力的反作用力即式扇葉的升力。故渦流的大小、形狀完整會影響扇葉升力的表現。

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。

二、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許多，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(附壁效應顯著)，使上下表面達成最大的流速差及壓力差，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(曲流曲度太小)，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 0.9 m/sec 及 2.65 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，溝紋之間的高度差與間距會影響渦流的大小與完整性(配合相對空氣流速)，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(附壁效應)，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，較高溝紋間距容易有較大渦流，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；若過大則渦流容易有不完整的情況。

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、風洞裝置要考慮受測物質量體積大小，風洞內徑要有適當大小，使受測區有穩定氣流，方可得到較精確測量數值，而會干擾氣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，使渦流完整、曲流曲度較大，可得最佳升力效果
- 四、溝紋扇葉受風時，溝紋後方會形成渦流，而扇葉表層氣流會與渦流產生附壁效應，形成曲流的現象。相同初始風速下，表層曲流的曲度越大，所受葉面向心力越大；而此向心力的反作用力及為扇葉升力，即升力越大。
- 五、相同溝紋扇葉，風速越高渦流趨向扁橢圓形、甚至消失。但在有形成曲流狀態下，所產生的升力效果越佳，主要是因附壁效應產生的向心較大所造成。

捌、參考資料及其他文獻

- 一、牛山泉(2010)。圖解風力發電入學門。世茂。
- 二、吉田勝(2012)。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
取自 <https://www.businessweekly.com.tw/article.aspx?id=1499&type=Blog>
- 三、吳明德(2012)。風力渦輪機葉片原理與實作。物理教育月刊 第十三卷第一期，51-8。
- 四、陳吟珍、張育豪、黃兆宇、陳芳琦、呂鎧均。“神「風」特攻隊一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、劉鎮葳。“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。

【評語】 030116

利用自製風洞進行流體力學的研究，實驗裝置完備，數據處理上屬合理，結論亦頗富參考性。同時考量了白努力定律與附壁效應，實驗程序周延，可以與結論相互呼應。然而該類主題已經多次被探討，頗有新意，然而整體上的創新程度上較為不足。在口頭報告清楚明晰，書面報告結構完整。

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。

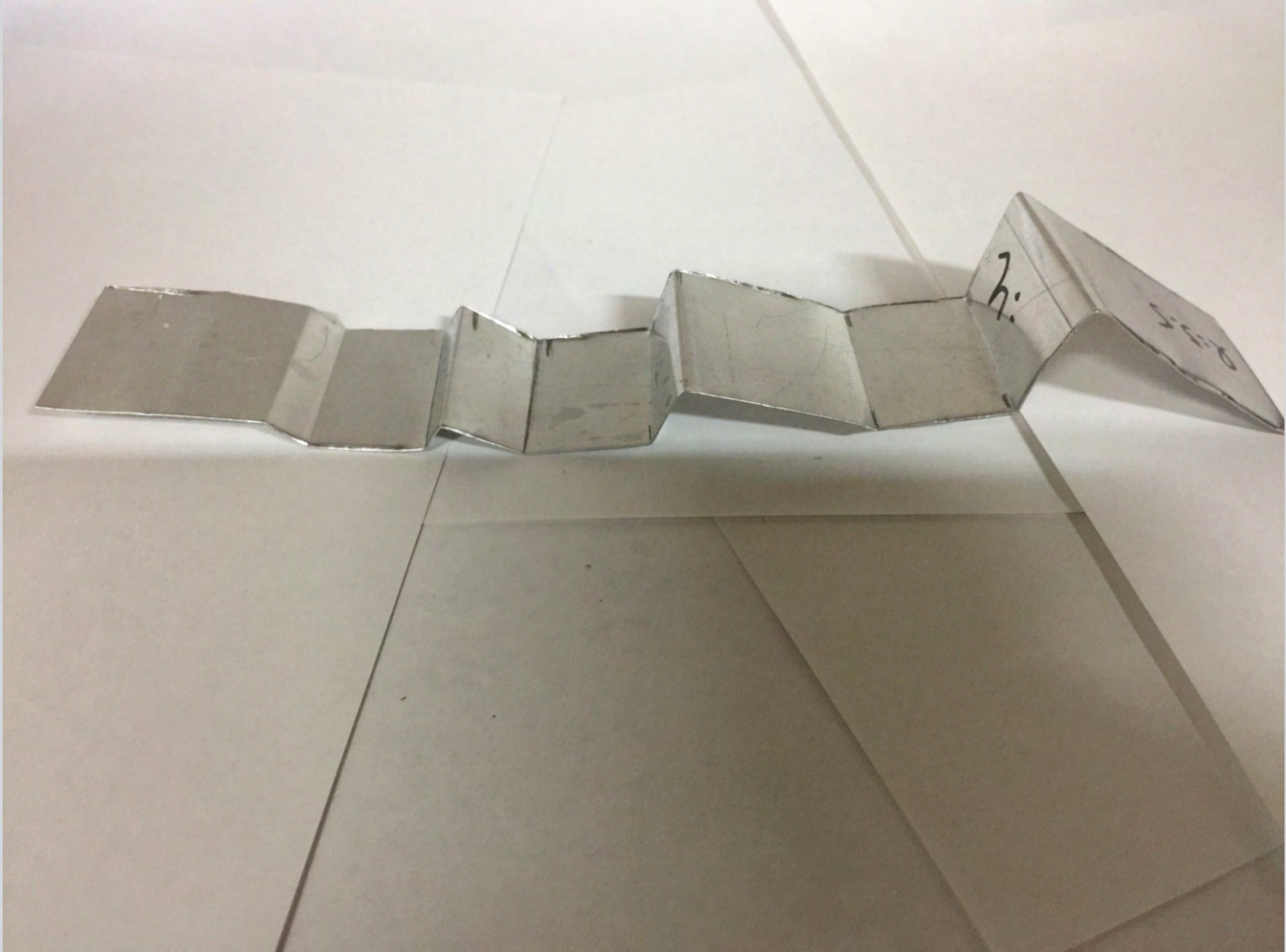


研究動機

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。

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，並進行相關變因的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。

研究設備與器材

仿生溝紋模型	斜面溝紋模型	垂直溝紋模型	
			
煙霧機	風速儀	電子秤	鋁片

研究過程與方法

進行實驗

- 觀察斜面溝紋的渦流形成與升力效果
- 觀察垂直溝紋的渦流形成與升力效果

分析數據

- 溝紋高度、寬度、間距、數量與比例對升力與渦流的影響
- 模型寬度、比例、尾長、重量對升力的影響
- 不同風速對升力的影響

理論探討

- 討論影響升力效果的原因
- 升力形成的原理探討



抽風扇

配合可變電阻，改變風洞內風速快慢，以進行實驗。

光源與煙霧機

便於觀測氣流流向與渦流的產生情形。

電子秤

配合竹籤支撐模型，測試升力。

整流層

將抽進的風進行整流，避免風洞內產生亂流。



◀ 實際渦流圖

這是使用Iphone手機所拍攝出來的渦流效果，由渦流圖可看出，使用拍攝的效果並不明顯，因此我們在報告書與海報會採用以肉眼看出來的渦流效果來做手繪處理。(渦流實驗都有留攝影檔案)

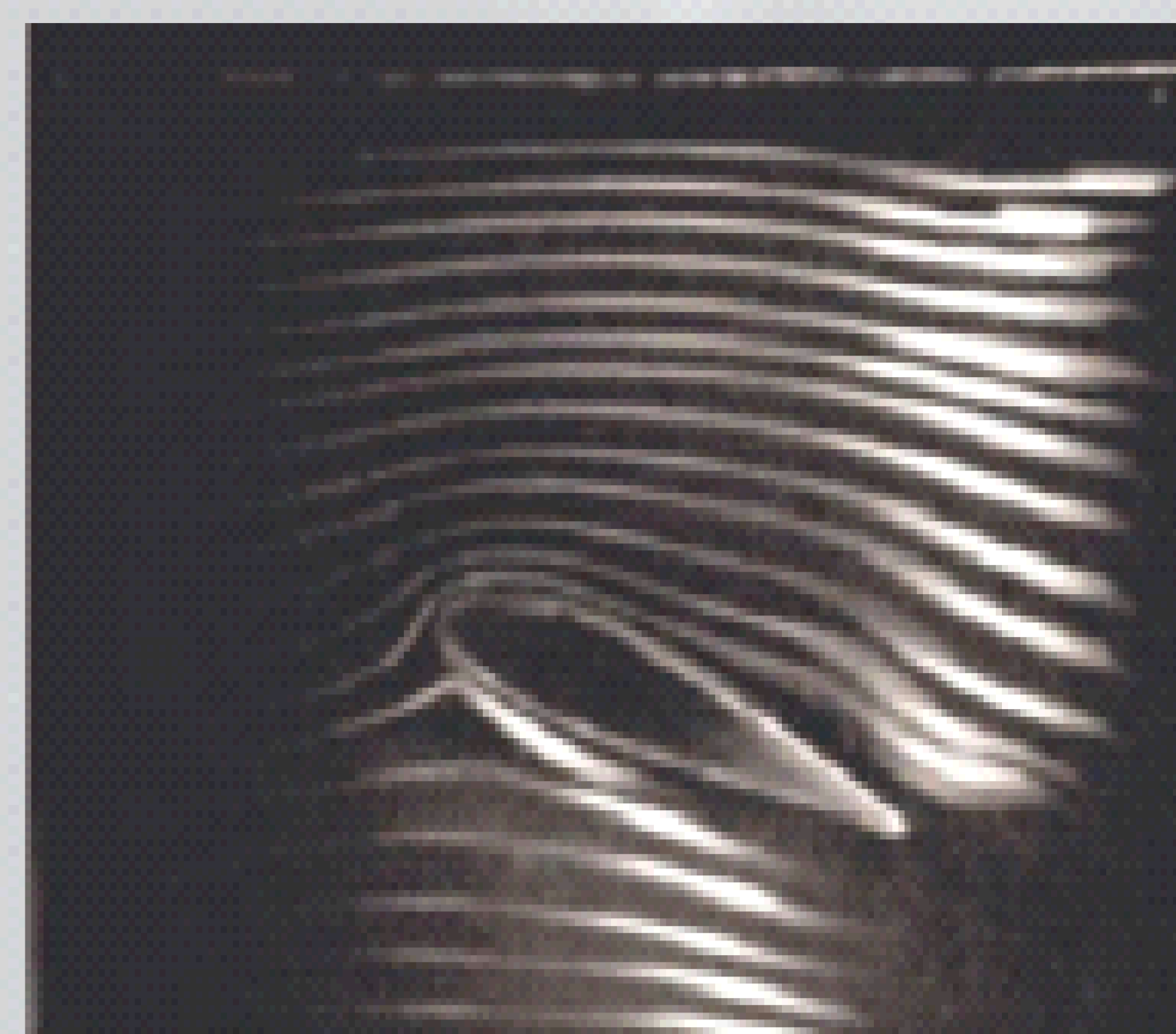
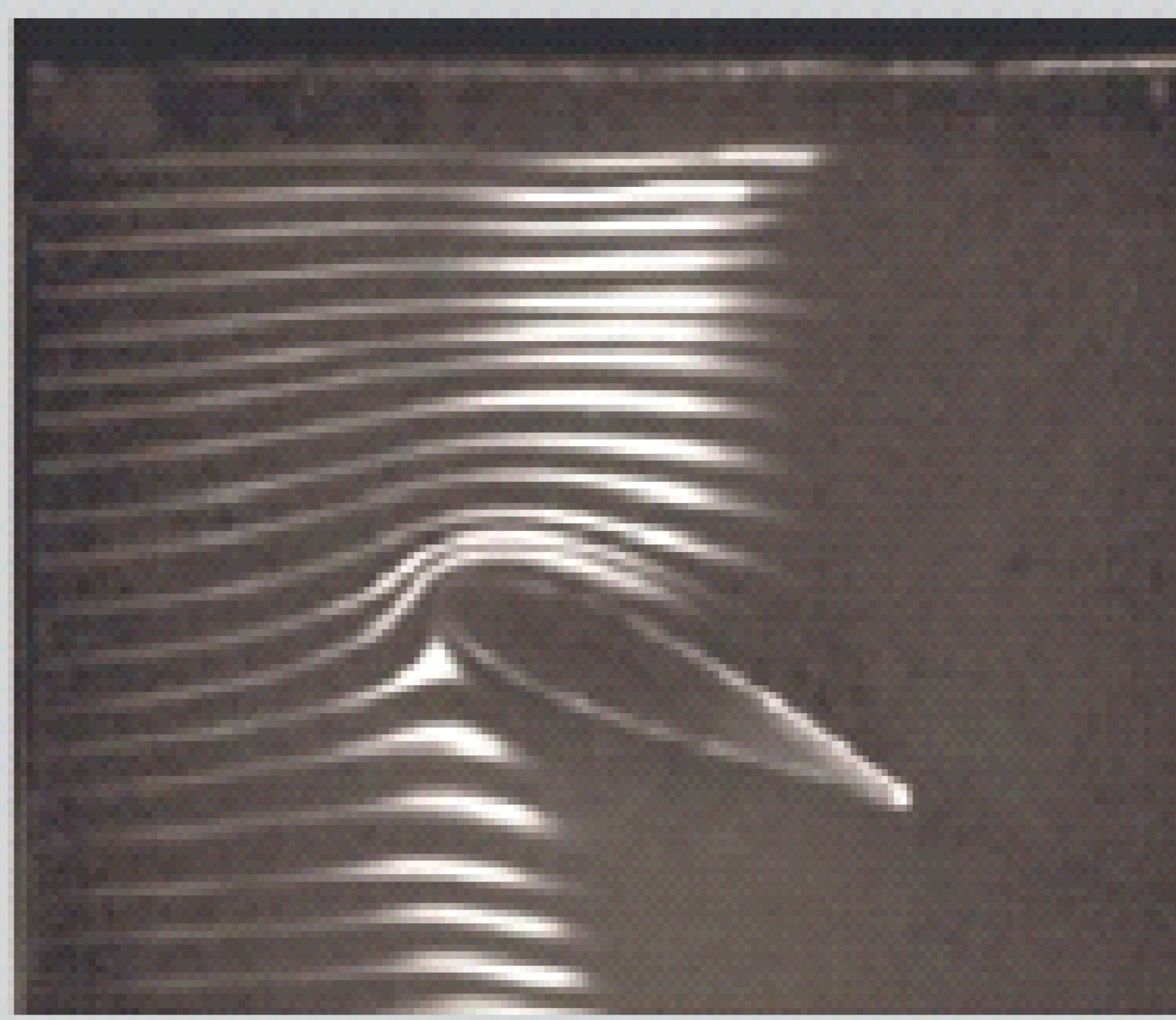
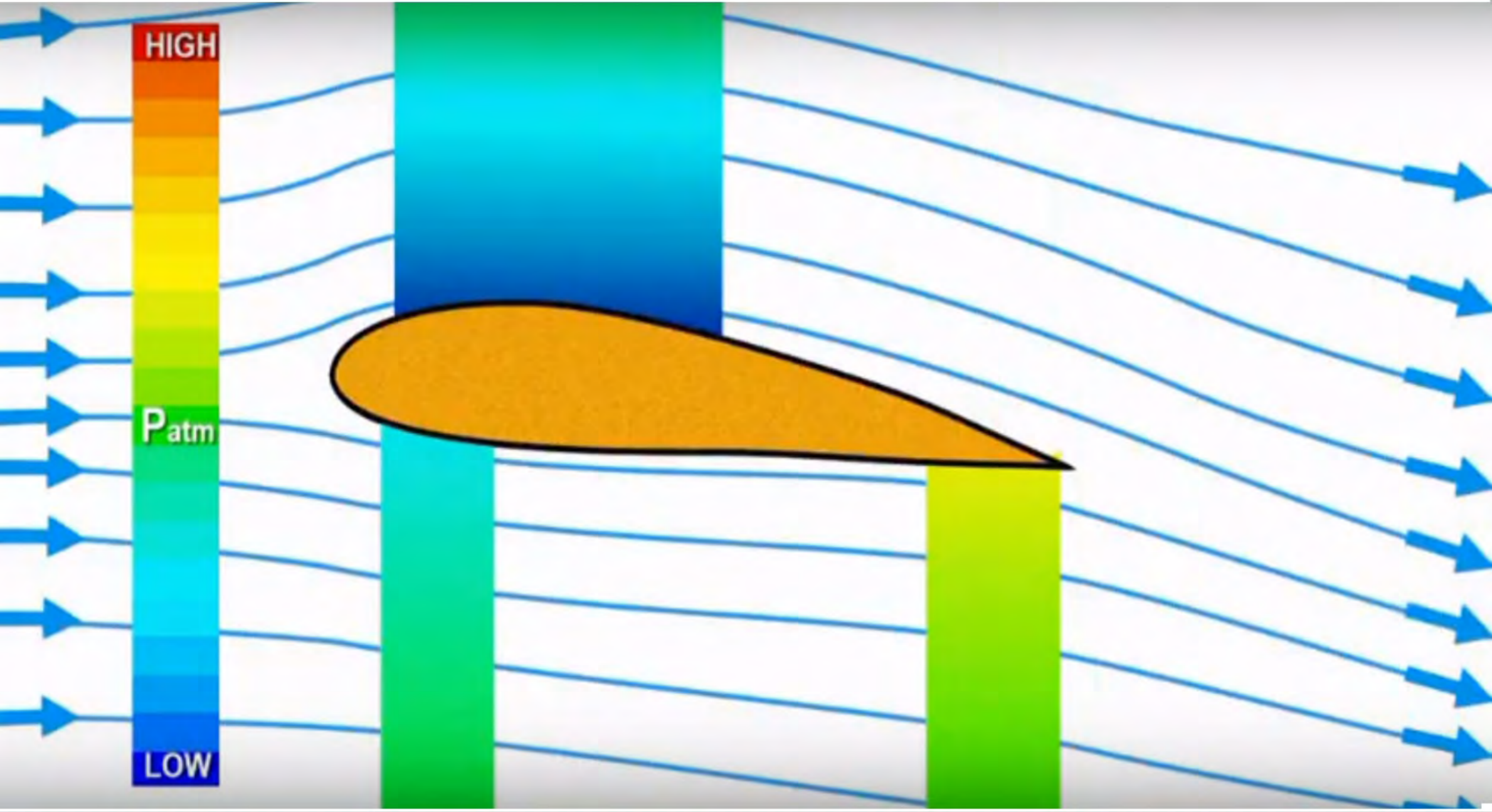
自訂公式:

(原重-減輕後重量)

* 100% = 減輕重量百分比

原重

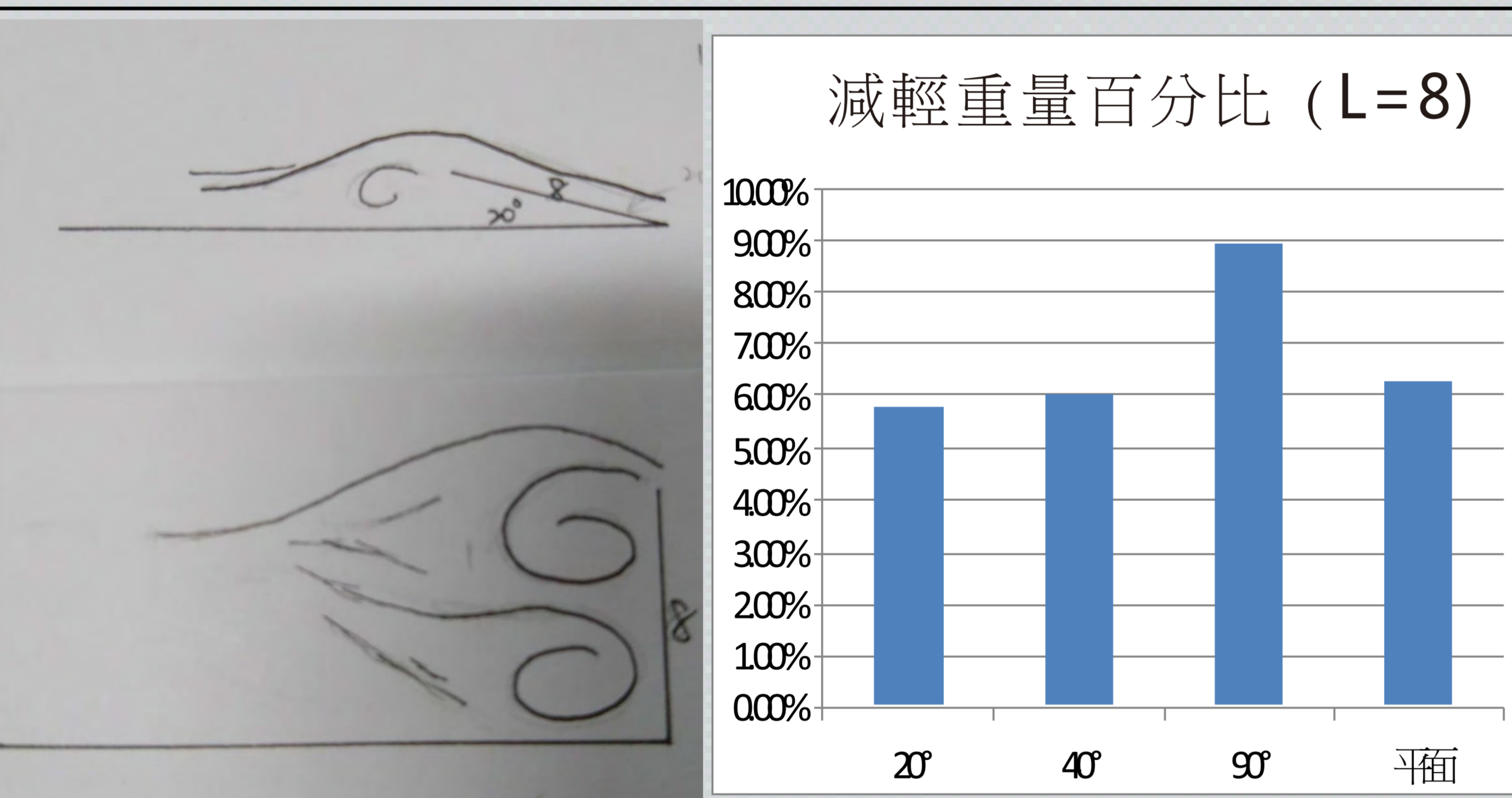
引用原理: 附壁效應



機翼的升力效應，應用「附壁作用」來解釋。而附壁效應會造成上下兩層氣流彎曲，因氣流彎曲讓機翼周圍產生不同大小的壓力，使上下流速差距更大。

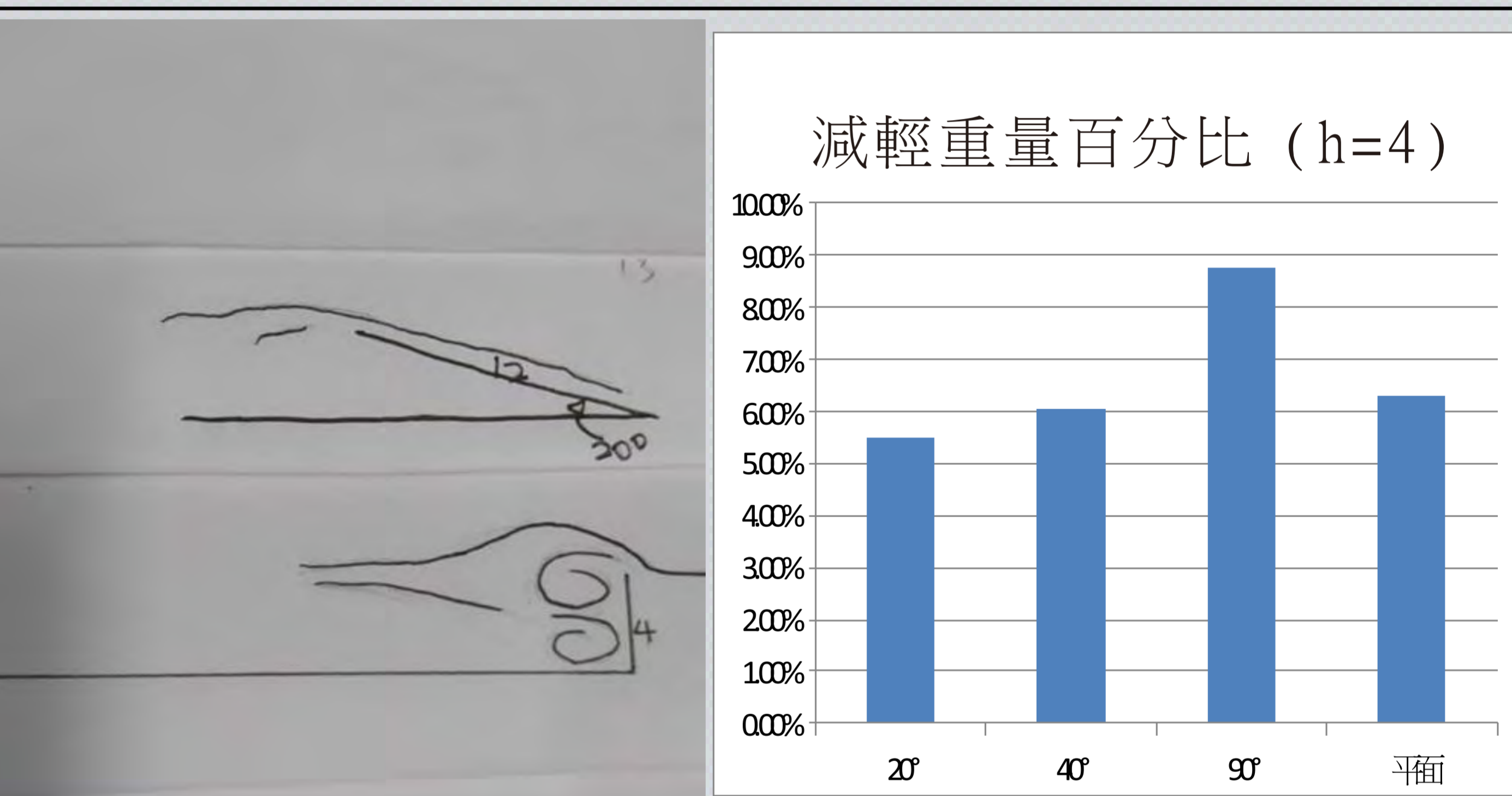
研究結果

實驗1: 固定斜邊長(L)的不同角度模型



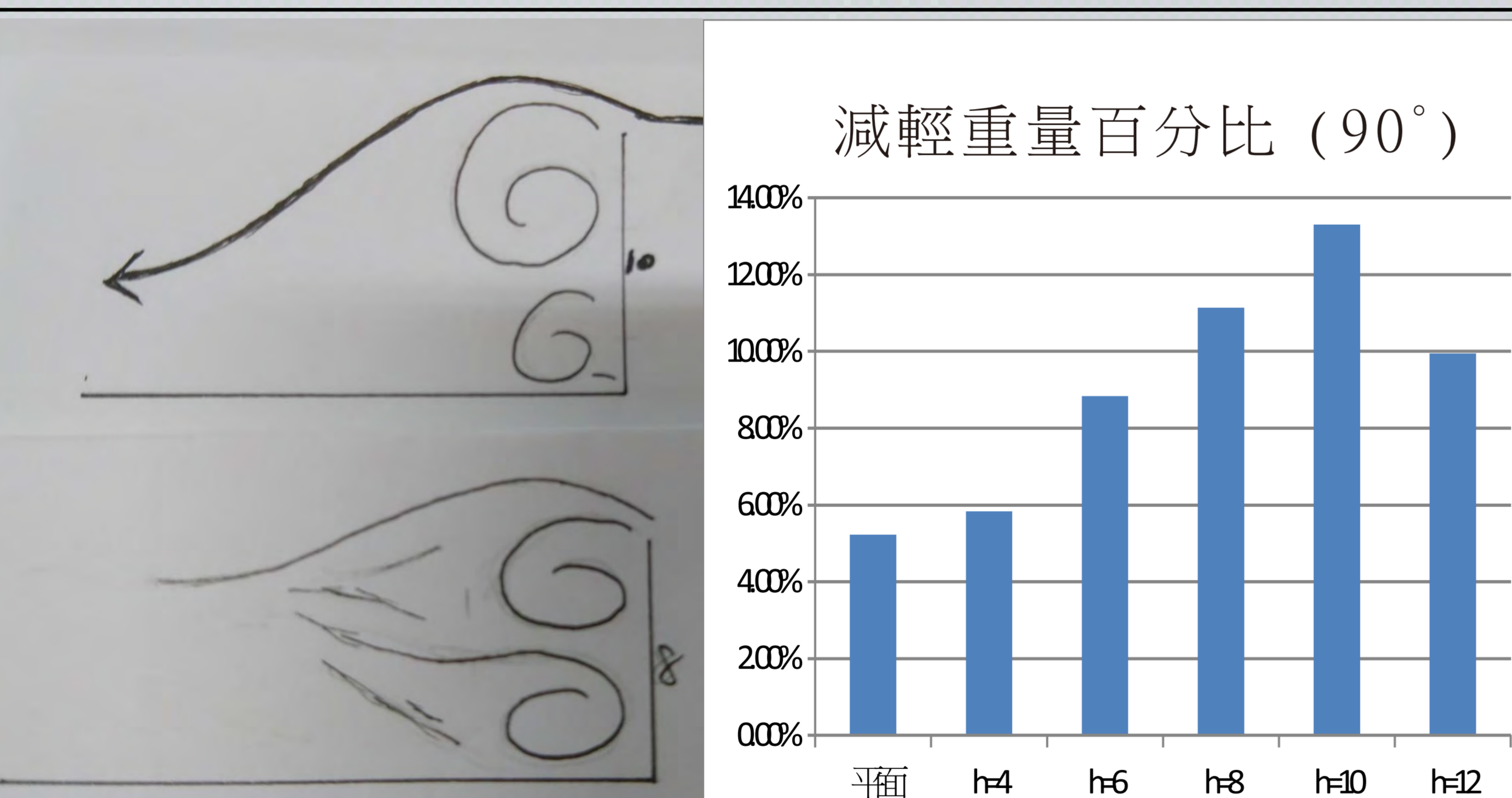
討論: 90° 的效果最佳，20° 的效果較差。

實驗2: 固定溝紋高度(h)的不同角度模型



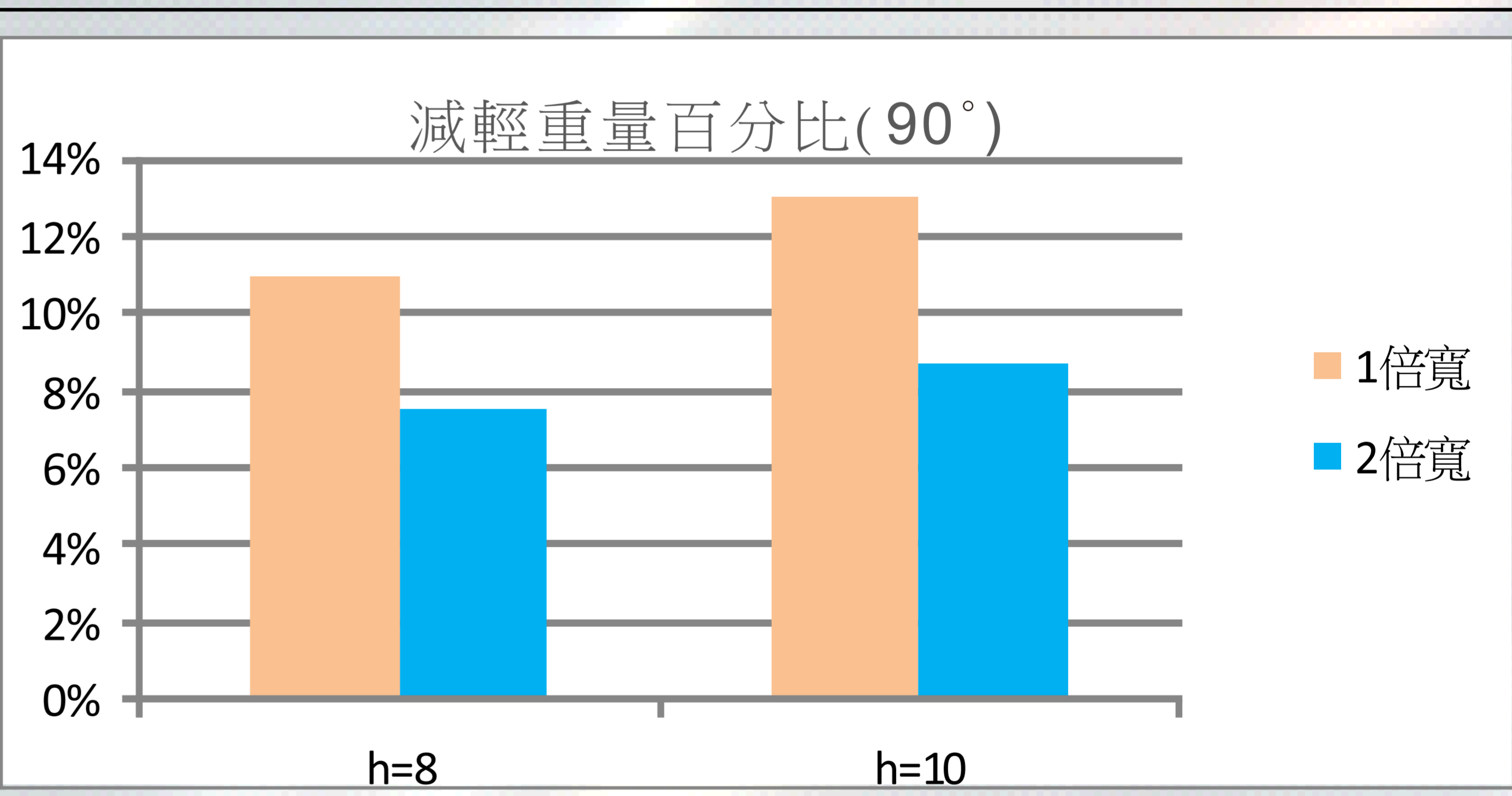
討論: 90° 的效果最佳，20° 的效果較差。

實驗3: 不同高度(h)的垂直溝紋型比較



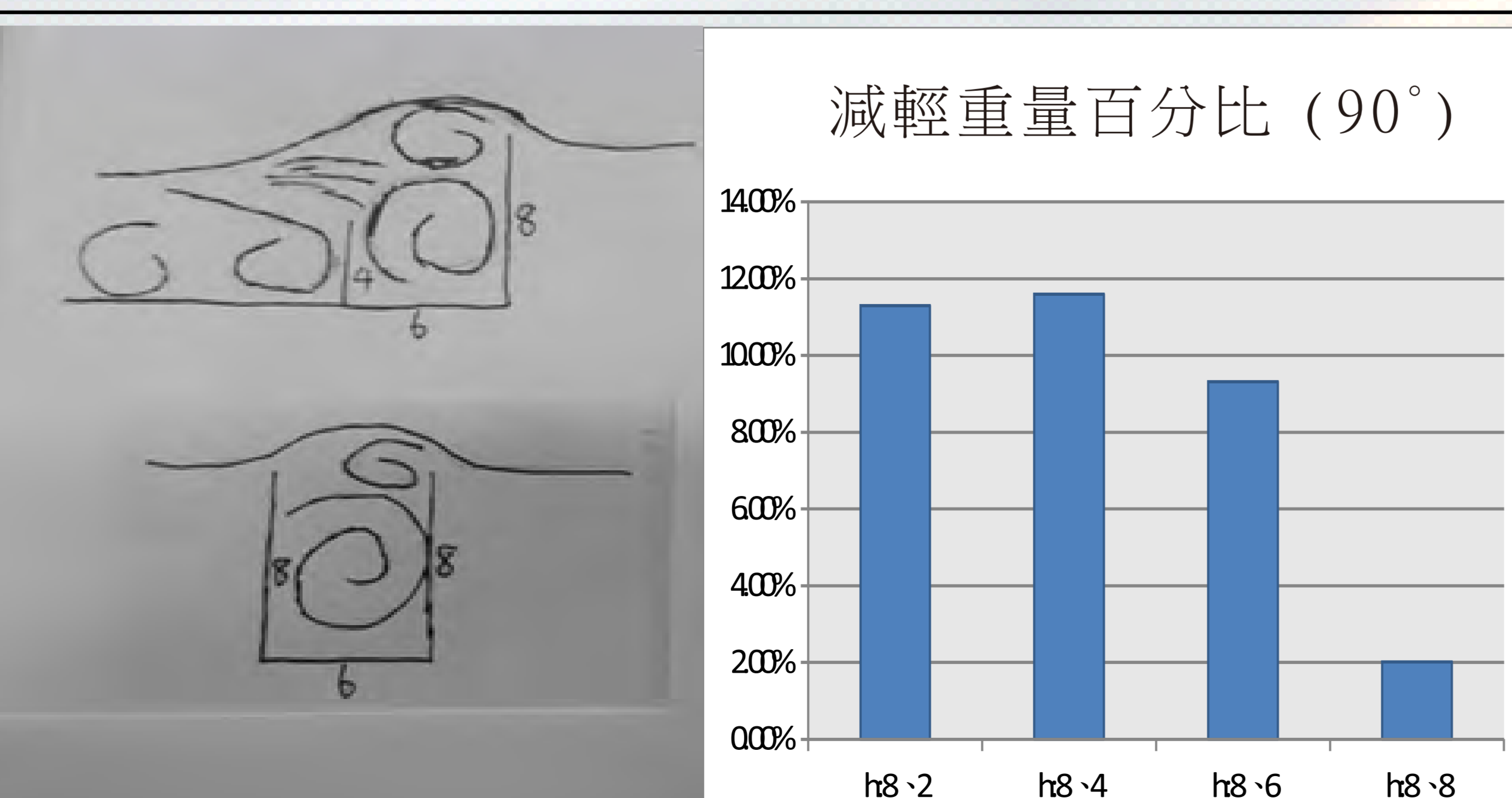
討論: 高度10公分效果最佳，4公分較差。

實驗4: 不同寬度的垂直溝紋模型比較



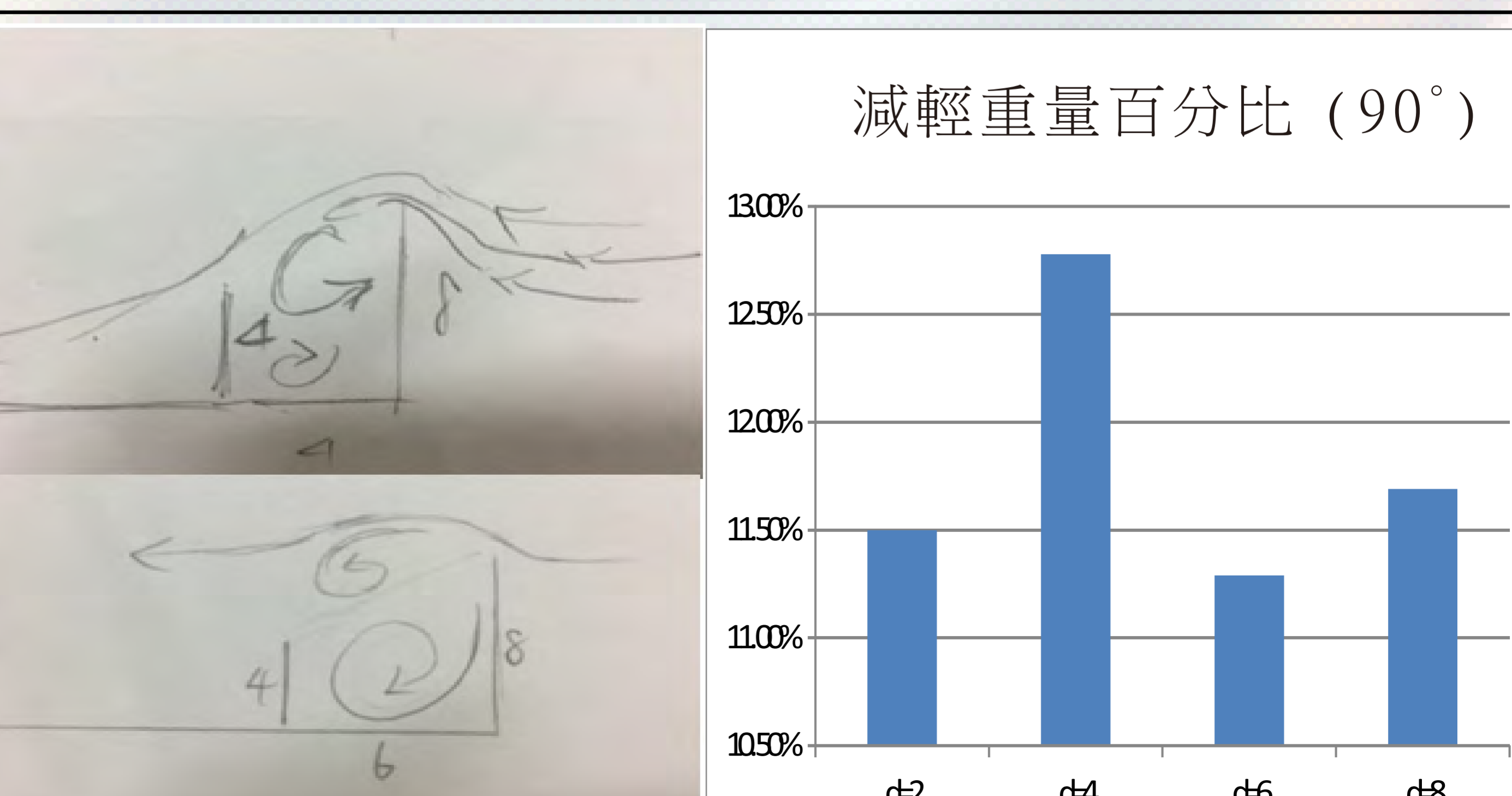
討論: 2者寬度皆差2%。

實驗5: 不同高度差的垂直雙溝紋扇葉比較



討論: 高度組合為8、4公分效果最佳，8、8公分效果較差。

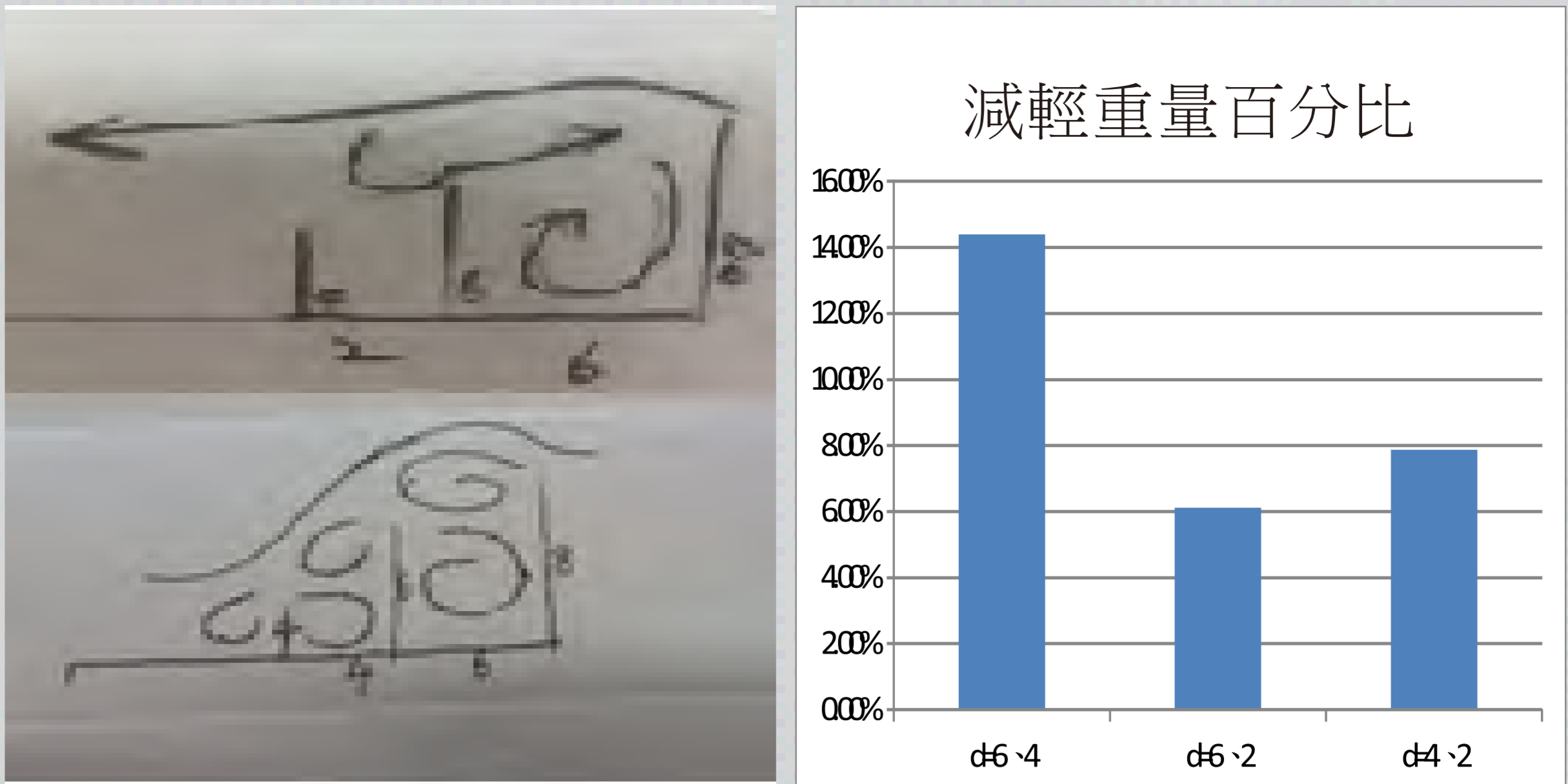
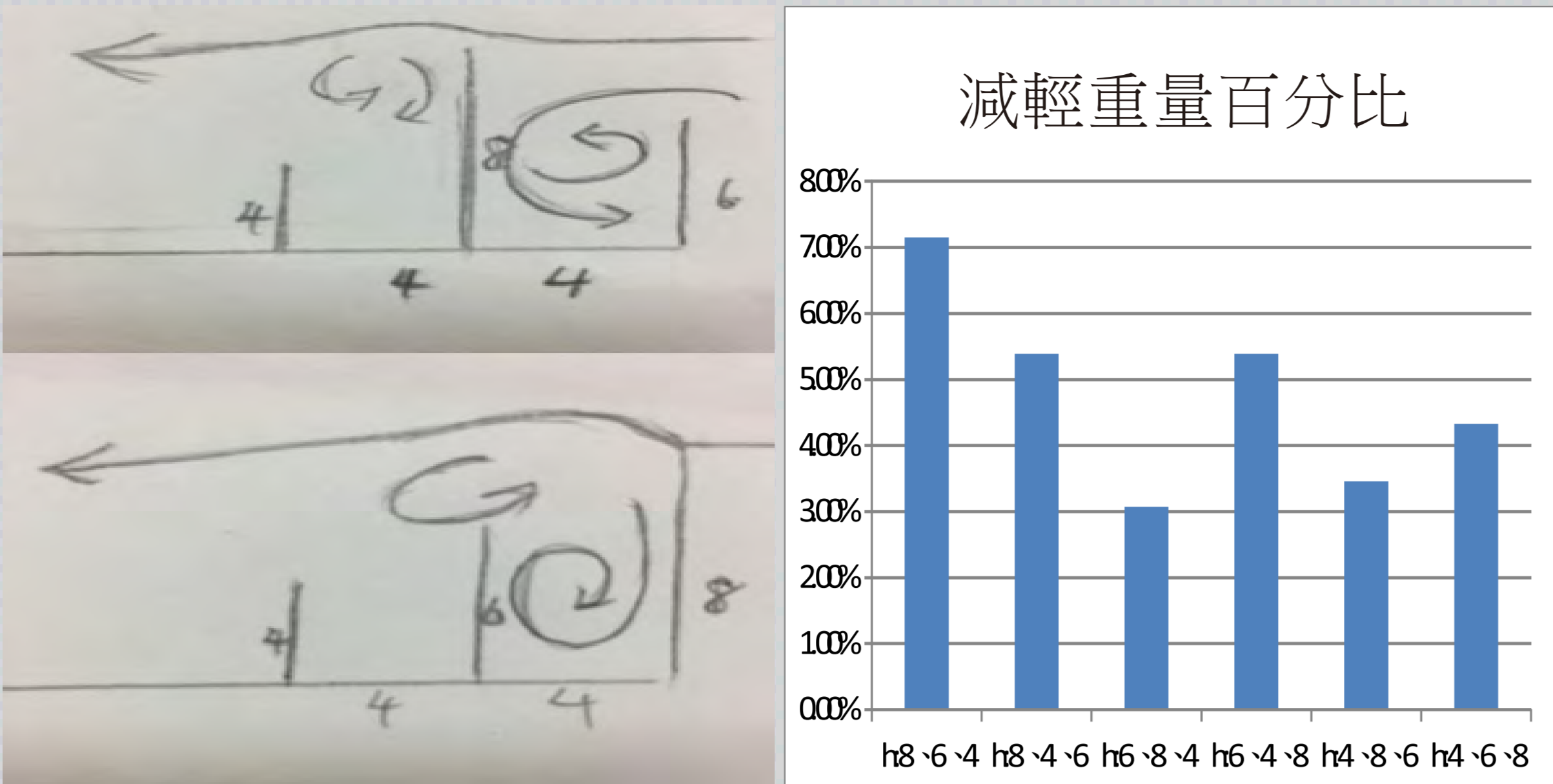
實驗6: 不同溝紋間距對雙溝紋組合的影響



討論: 間距為4公分效果最佳，6公分效果較差。

實驗7:不同高度排列模式的垂直三溝紋扇葉比較

實驗8:不同間距 d 的組合對於垂直三溝紋扇葉比較

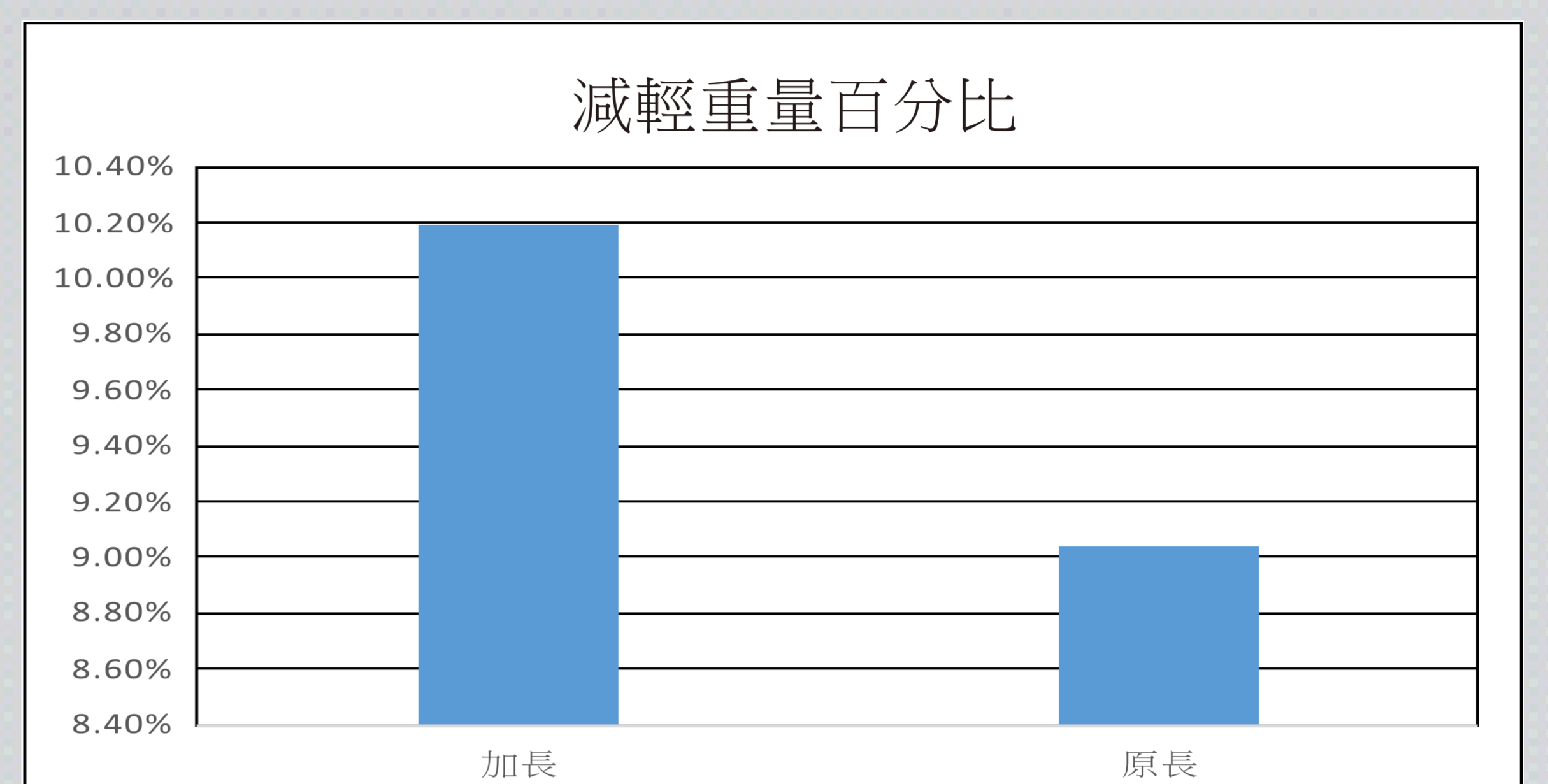
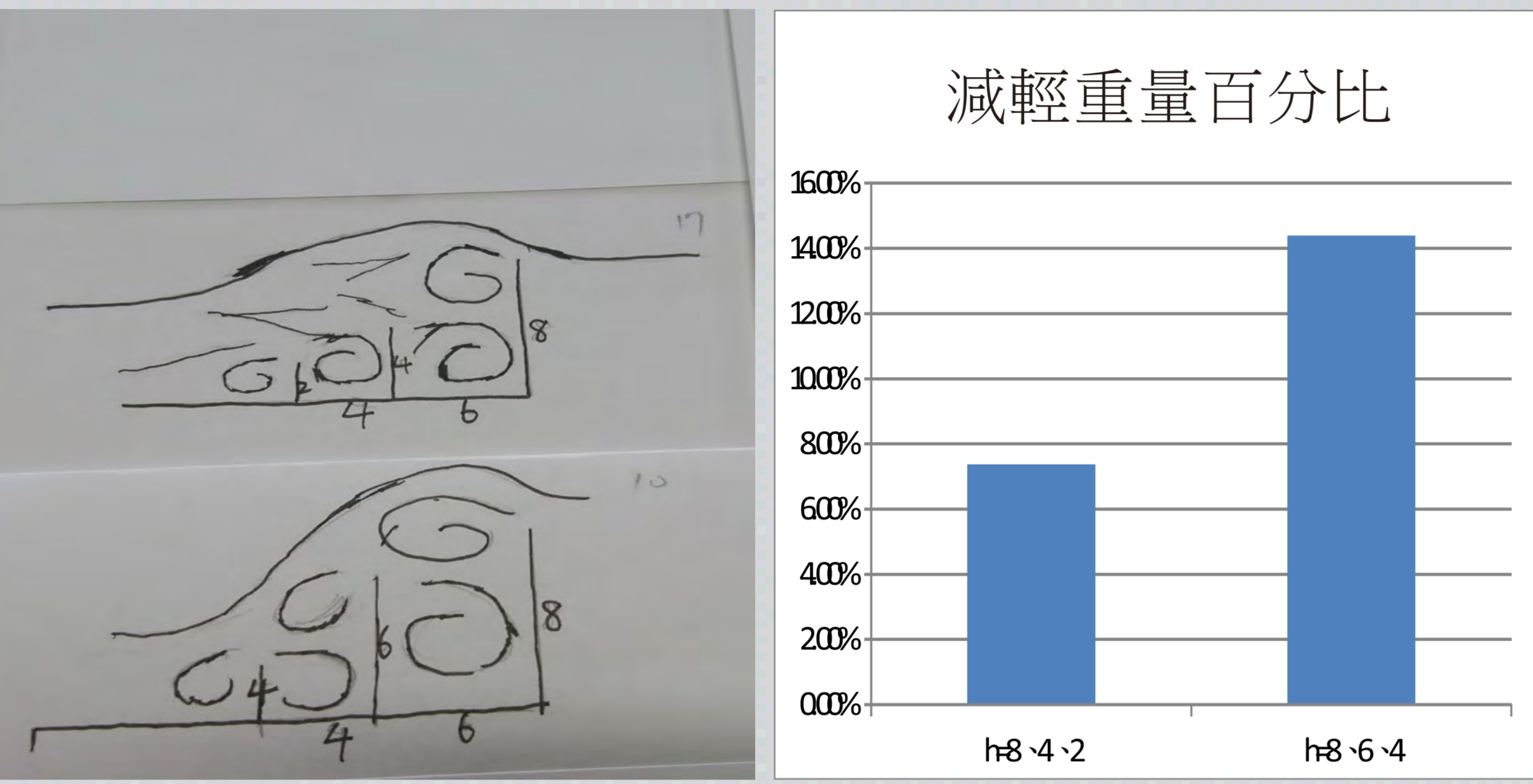


討論:高度組合為8、6、4公分效果最佳,6、8、4公分效果較差

討論:間距組合為6、4公分效果最佳,6、2公分效果較差

實驗9:不同高度比例對於垂直三溝紋扇葉比較

實驗10:不同尾長對於垂直三溝紋扇葉效能比較

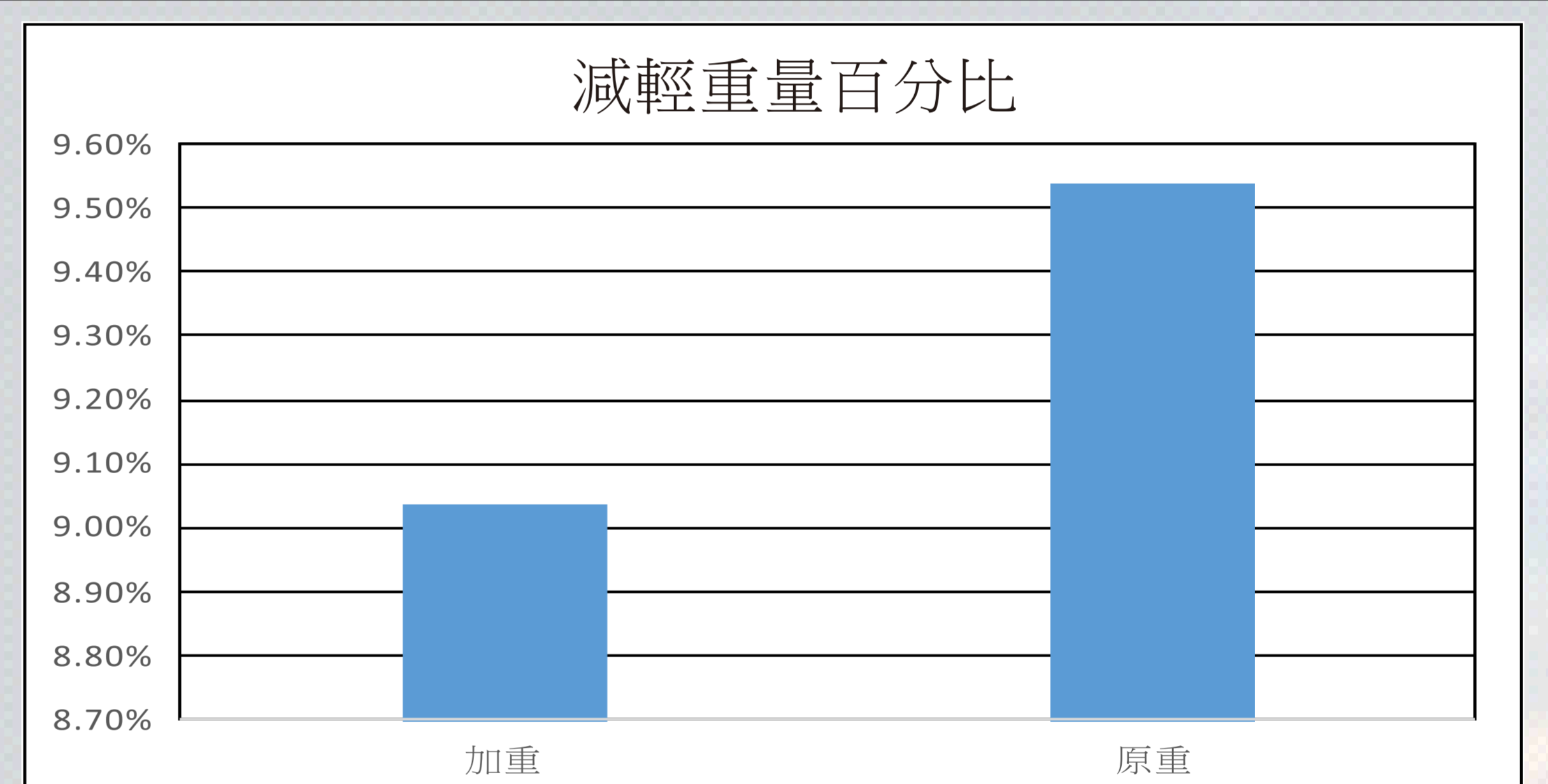
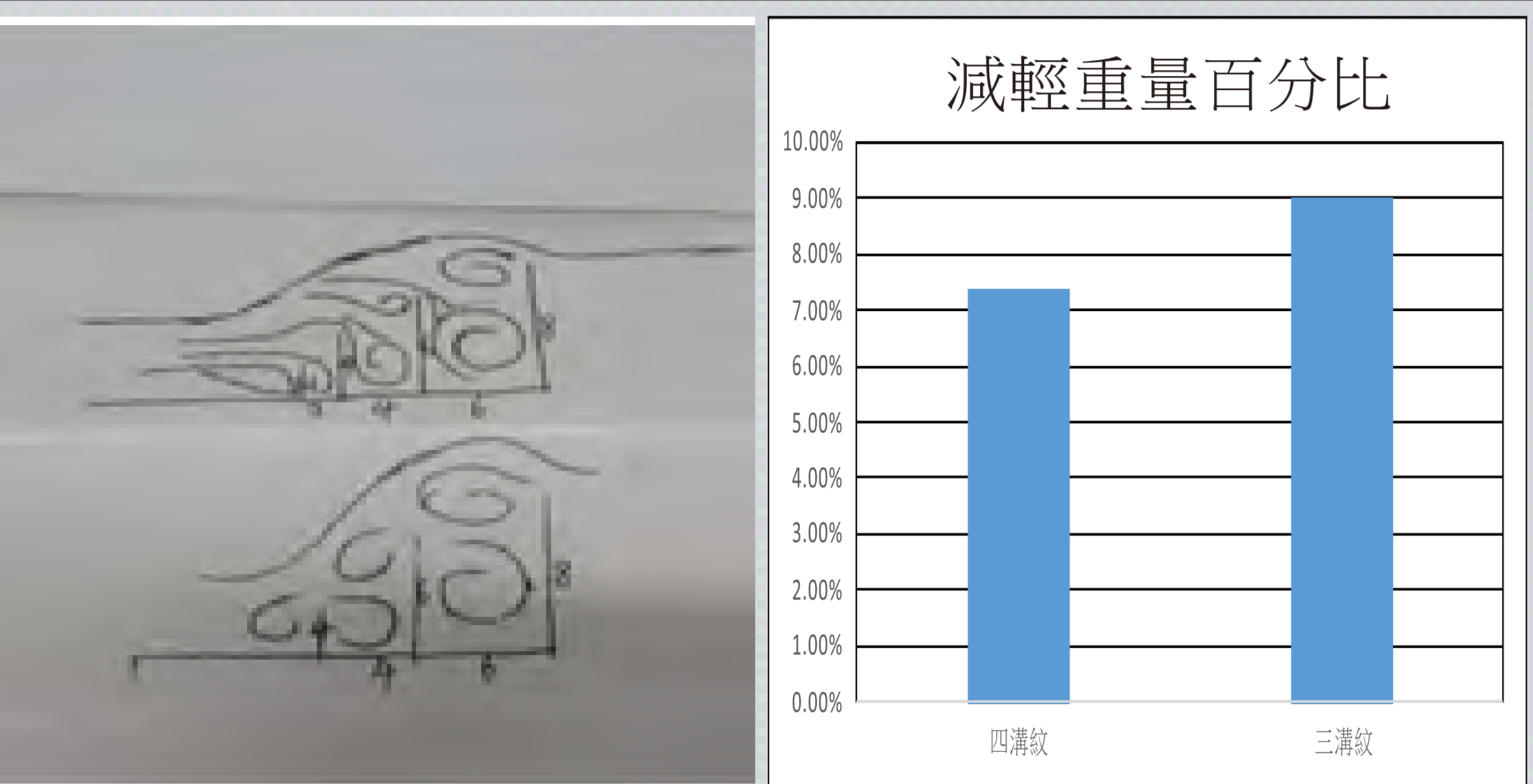


討論:高度組合為8、6、4公分效果最佳,8、4、2公分效果較差

討論:加長的效果較佳,未加長的效果較差

實驗11:不同溝紋數對於扇葉效能比較

實驗12:垂直溝紋規格相同,不同重量對於扇葉升力效能比較

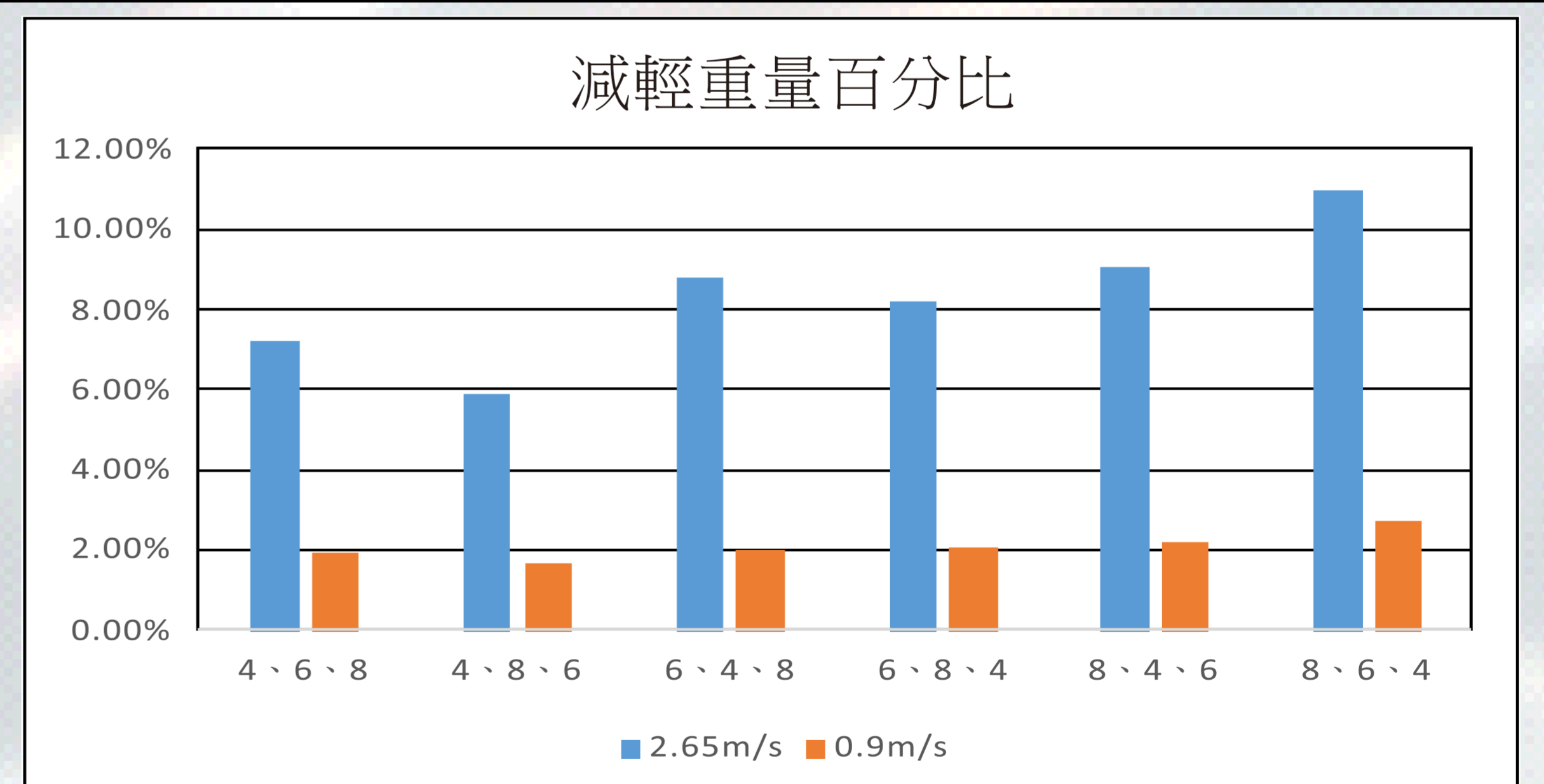
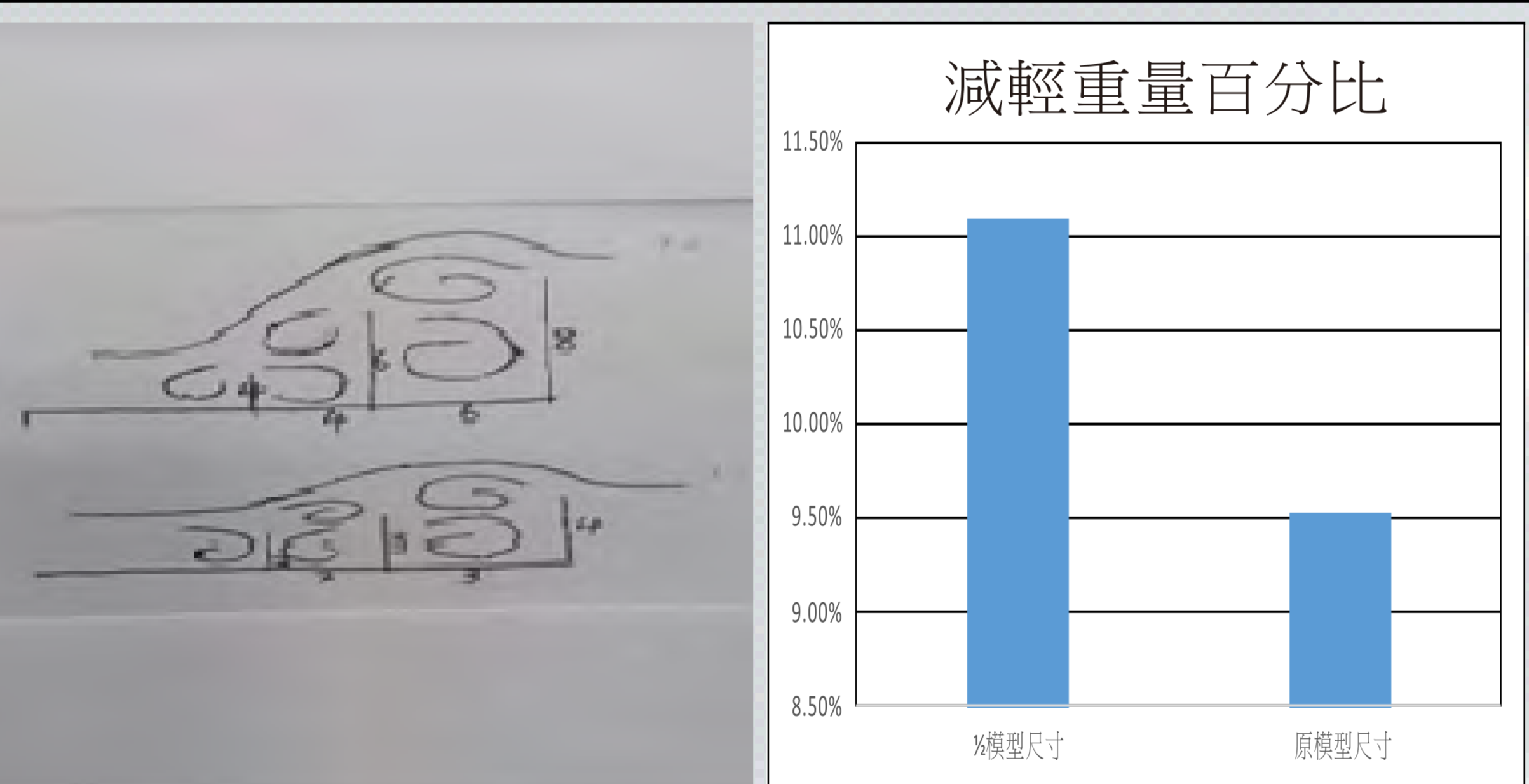


效果:三溝紋的效果最佳,四溝紋的效果較差

討論:原重重量的效果最佳,加重重量的效果較差

實驗13:不同尺寸、相同比例垂直三溝紋扇葉比較

實驗14:不同風速下對於三溝紋扇葉比較



討論:1/2模型尺寸的效果最佳,原尺寸的效果較差

討論:可知在相同條件下兩者不同風速所產生的比較結果會相同

結論

- 風洞裝置要考慮受測物質量體積大小,風洞內徑要有適當大小,使受測區有穩定氣流,方可得到較精確測量數值,而會干擾氣流之裝置應避免裝在測量區塊內(如電子秤)。
- 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。
- 垂直式溝紋扇葉表面渦流效應最佳,經適當比例組合,使渦流完整、曲流曲度較大,可得最佳升力效果
- 溝紋扇葉受風時,溝紋後方會形成渦流,而扇葉表層氣流會與渦流產生附壁效應,形成曲流的現象。相同初始風速下,表層曲流的曲度越大,所受葉面向心力越大;而此向心力的反作用力及為扇葉升力,即升力越大。
- 相同溝紋扇葉,風速越高渦流趨向扁橢圓形、甚至消失。但在有形成曲流狀態下,所產生的升力效果越佳,主要是因附壁效應產生的向心力較大所造成。