

臺灣二〇〇三年國際科學展覽會

科 別：工程學科

作品名稱：東方帆船推進原理探討

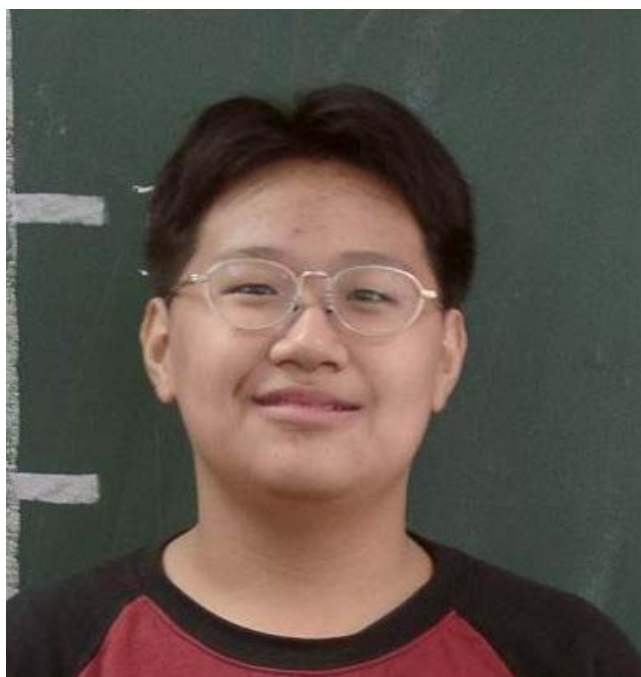
得獎獎項：工程學科第二名

香港第卅六屆聯校科學展覽會

學 校：臺北市立麗山高級中學

作 者：賴威成

作者介紹



我是賴威成，目前就讀台北市立麗山高級中學二年級，喜歡科學，從國小參加科展，視其為一種興趣，我認為在偶然中對於所能看到之現象，能有辦法合理去解釋或去了解，是一件非常快樂的事情所以導致我報名參賽。我喜歡看一些科學性的書籍或雜誌；平常也玩些應用一些小原理所做成的東西，或科學競賽。由於是航空社的社員，對於航空有高度的興趣故會以此題目來做一些比較膚淺的研究。

摘要

本文研究風洞中之風帆在不同條件下，受風吹拂所產生之升力與阻力關係，並探討及成功的以數學模型解釋其原因，此研究結果可應用於帆船帆面之設計。其主要探討之變因為以下之五種：

- (一) 風速大小對帆船帆面之受力關係：當帆面與風向垂直時，在低風速時，實際測值較接近風速的一次方的函數關係。高風速時，實際測值接近為風速的二次方的函數關係。
- (二) 帆面積大小與受風推進力之關係：當帆面與風向垂直時，在風速固定風速下實驗，得到面積與風對帆推力成正比。
- (三) 順風航行時，帆面之攻角(θ)與受風推進力之關係：航行方向的力與 $\sin^2 \theta$ 成正比關係。
- (四) 側風航行時，帆面之攻角(θ)與受風推進力之關係：帆面在攻角大於 45° 時，航行方向的力與 $\sin \theta \cos \theta$ 有相當程度的吻合，而在攻角 $0^\circ \sim 45^\circ$ 之間則與飛機攻角升力資料相接近。
- (五) 初步探討雙桅帆與單桅帆面受風推進力之不同：發現其在側風時能有效的減少失速的現象，在帆面高攻角時，能減少失速現象，依然可以持續穩定的航行，我們也可推想出飛機的機翼前段的縫翼功能也是如此。

SUMMARY

This article is derived from our research of relation between lifting power and its resistant power produced via wind-blow in a wind tunnel under different terms and condition, also to discuss and to explain their causes successfully via mathematics models, thus, the result of this study may be applied in designing of sail-surfaces of sails boats.

Its major discussion can be included into the below 5 kinds: - Relation of

- (1) Relation of sizes of wind-speed against reacceptance of aerodynamic forces over sail-surface: When sail-surface and wind direction becomes horizontal, under low coin-speed, practical measured-value is rather close to wind-speed's linear function relation. When in nigh wind-speed, the practical measured-value is rather close to wind-speed's quadratic function relation.
- (2) Relation of size of sail-surface and pushing power of wind: When sail-surface and wind direction becomes horizontal, an experiment was made under fixed wind speed, the result obtained is sail-surface size and pushing wind power toward sail is in direct proportion.
- (3) When it is in "round-the-clock wise" navigation the angle of attack (θ) of sail-surface and the relation with wind's pushing power: Strength of navigation direction and $\sin^2 \theta$ conforming direct proportion.
- (4) When it is in side-wind navigation, the angle of attack (θ) and pushing power by wind relation; When the sail surface is in the angle of attack (θ) greater than 45° , the navigation direction power and $\sin \theta \cos \theta$ has certain extent of conformity, and between angle of attack e $0^\circ \sim 45^\circ$, happens to be very appropriate with aircraft's angle of attack and lifting power data.

Fundamental discussion of Double Masts Sail boats and Single Mast Sail boats comparing differences of wind-aided pushing power: It was found that stall phenomena could be decreased effectively, when it is side-winded, especially, when the sail-surface is at high angle of attack, it could decrease Stall phenomena, and could maintain stable navigation. We can also assume that the front section of aircraft aide-wing' s function exactly the same.

壹、前言

一、研究動機

在上歷史課時，注意到課本裡的一張中國帆船的圖片，那深深的引起我們這些熱愛飛機的航空模型社同學們注意，大家的注意力都放在中國帆船的船帆構造，帆面上一根根弧形竹製的橫條，竟與搖控飛機的機翼上肋片十分相似；使大家不禁聯想到飛機飛行所應用的白努力原理；因此就想要探討，帆船之所以能前進，究竟是因為風給予帆面所產生的有效分力之分量？還是風吹於帆上藉由流速不同所產生的壓力差給予帆面的升力？或者這兩者效應都有作用在帆面上？所以這個疑問使我們對於帆船有了高度的興趣，故想要深入研究這個問題。

二、研究目的

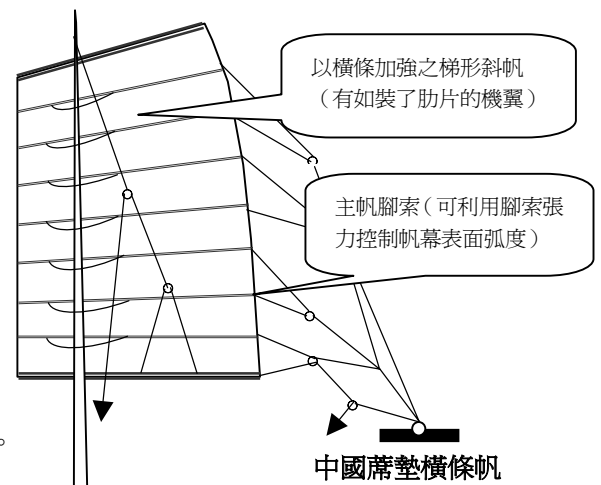
本科展作品主要目的是想要驗證，帆船的帆面受到風力吹拂，船隻之所以能前進航行的推進原理，究竟是帆面受到風力作用的正向力，在沿航行方向分量使帆船前進？或者是風吹過帆面猶如風吹過機翼一樣，是由白努力原理的壓力差產生的升力分量而前進的？

第二個目的是想研究帆船在側逆風向時航行，要如何分析帆面與風向的夾角應該為多少度？才能獲得最佳前進力。

第三個目的是想探究雙桅帆的前後兩帆與單桅帆面受風推進力有什麼不同？會是僅僅單純因為雙桅帆的帆面較單桅帆面積大，導致受風推進力變大？或者是風吹過雙桅帆的前後兩帆，可以想成航空上飛機機翼的縫翼升力裝置，當風吹過前緣縫翼與機翼會產生非常大的額外升力？

爲了方便研究與討論，我們研究目的分列如下：

1. 探討風速大小對帆船帆面之受力關係。
2. 探討帆面積大小與受風推進力之關係。
3. 分別就理論與實驗結果，分別探討帆船順風航行時，帆面之攻角與受風推進力之關係。
4. 分別就理論與實驗結果，分別探討帆船側風航行時，帆面之攻角與受風推進力之關係。
5. 分別就理論與實驗結果，探討航行角 45° 時帆面之攻角與受風推進力之關係。
6. 初步探討雙桅帆與單桅帆受風推進力之不同。



縱帆 (大三角帆, 梯形帆, 斜檣帆, 斜桁帆) 45°



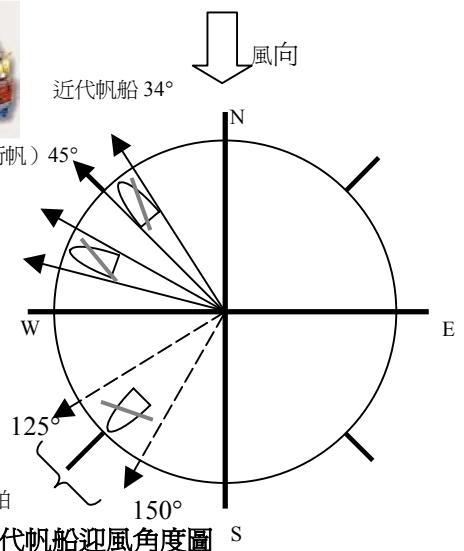
近代帆船 34°

全帆裝置船舶 62°

文藝復興時代方形帆裝置船舶 79°



古代埃及方形帆裝置船舶



帆船的演進史，與各時代帆船迎風角度圖 S

貳、 研究方法或過程

一、 文獻探討

1. 東方帆船的特性

(1) 中國蓆墊橫條帆

在埃及法老王時代航行在地中海的草紙船，主要爲人力滑槳，帆主要爲順風航行時用。

希臘羅馬時代西洋帆船並無太大革新。反觀中國航海技術，早已了解如何操縱舵面，和

改變帆面角度搶風航行。其中中西帆船最大特別之處，是帆面不同。中國式蓆墊橫條帆，

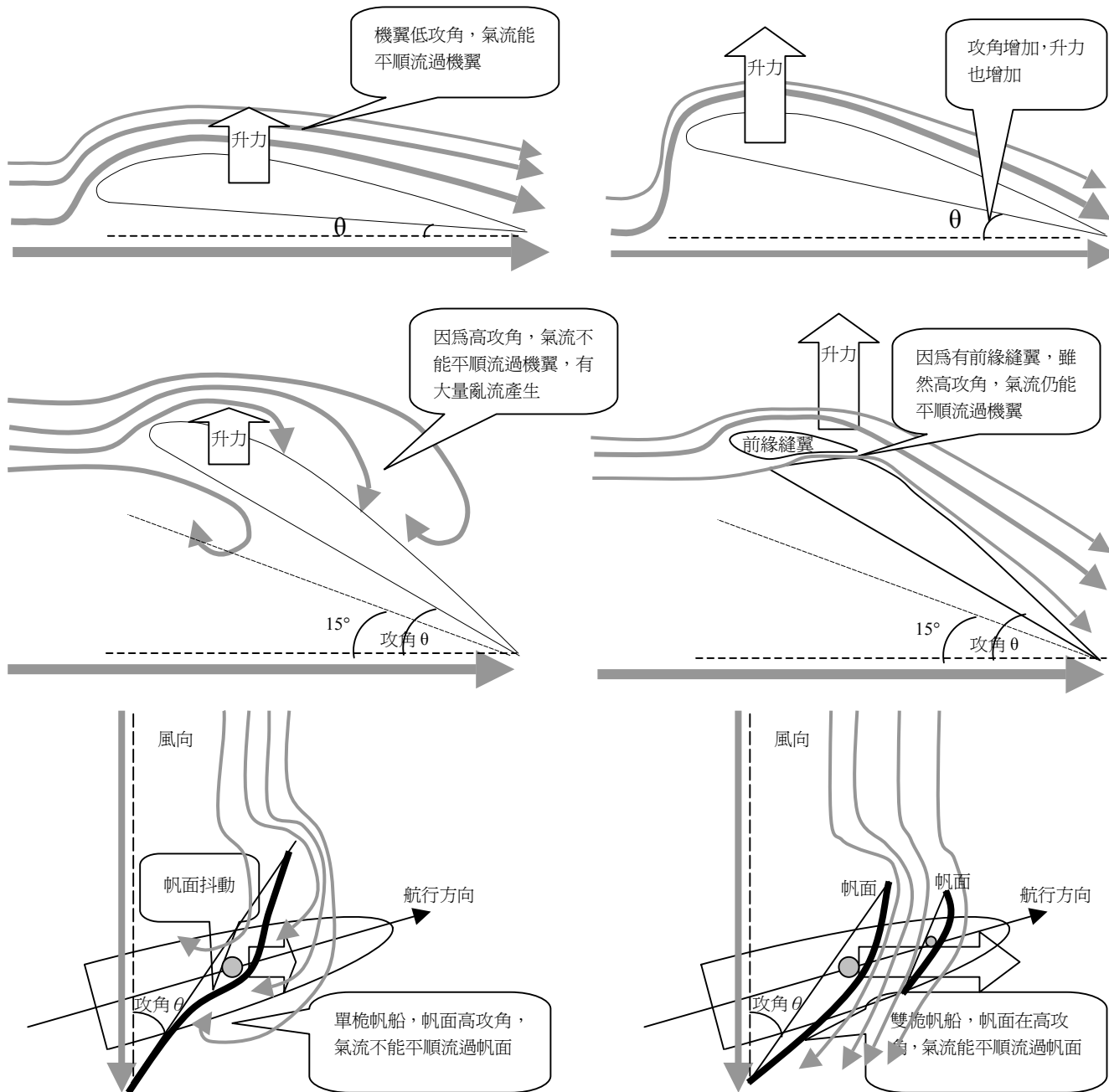
更具體點像是個可調整弧度與攻角的機翼，反觀西洋帆船，帆面柔軟，不過是個阻風的

布，難以控制帆面弧度，僅當風注入漲滿後，其軟帆效用才較顯著。我們引用李約瑟所

著的中國科學與文明一書，說明古中國船帆已有現代帆船之逆風航行能力。

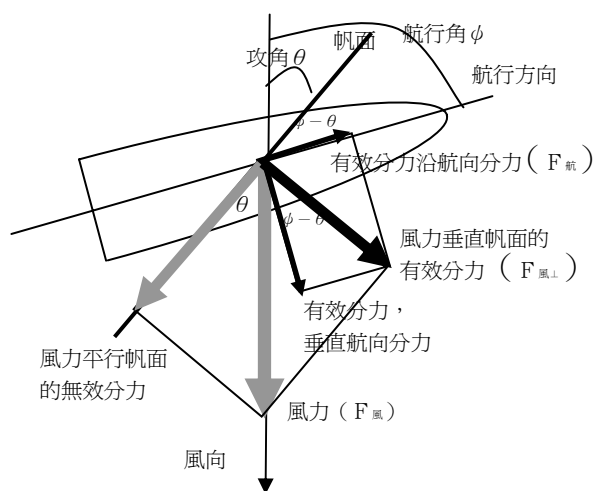
(2) 多桅帆

如果帆船帆面積逐漸增加只有將桅桿增高或多桅，兩種方式。但如桅桿增高必須增加壓艙物，以免傾覆，但會有吃水過深，不利河港航行之缺點，如改用多桅帆船帆與帆之間的氣流相互影響，可以用機翼的縫翼來說明；在高攻角時翼面上必產生極大亂流，使其升力降低，在航空上稱為失速。但如果機翼前緣加了縫翼，氣流就會沿著翼與翼之間的縫平滑流過，解除了失速的現象，使其產生更大之升力。(Ira Flatow 1988)



2. 帆面受風力作用，沿著航行方向的推力關係

風吹到帆面上，我們可以把風力（ $F_{風}$ ）分解成沿著帆面的無效分力（ $F_{風\parallel}$ ），跟垂直帆面的有效分力（ $F_{風\perp}$ ），而垂直帆面的有效分力又可分解為，沿著航行方向的推力（ $F_{航}$ ）與垂直航行方向使帆船側傾的分力。



帆面受風力作用，沿著航行方向的推力關係

垂直帆面有效分力 $F_{風\perp} = F_{風} \sin \theta$ ； θ ：攻角

沿著航行方向的推力

$$F_{航} = F_{風\perp} \sin (\phi - \theta) = F_{風} \sin \theta \sin (\phi - \theta) ; \phi : \text{航行角}$$

當航行角（ ϕ ）固定，改變帆與風的攻角（ θ ），使帆船有最大推力，利用微積分將 $F_{航}$

對 θ 微分，若有極值時

$$dF_{航}/d\theta = 0$$

$$F_{航} = F_{風} \sin \theta \sin (\phi - \theta) \quad (dF_{航}/d\theta)$$

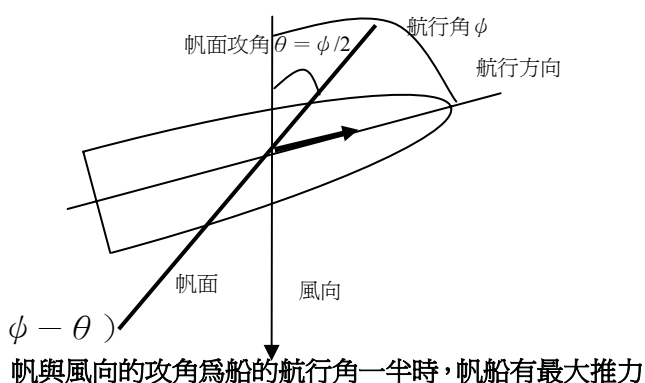
$$= d[F_{風} \sin \theta \sin (\phi - \theta)]/d\theta$$

$$= F_{風} \cos \theta \sin (\phi - \theta) - F_{風} \sin \theta \cos (\phi - \theta)$$

$$= F_{風} \sin (\phi - 2\theta) = 0$$

得到 $\phi = 2\theta$ ，即 $\theta = \phi/2$ ，

帆與風向的攻角為船的航行角一半時，帆船有最大推力（呂沛銘，1991）



帆與風向的攻角為船的航行角一半時，帆船有最大推力

3. 帆船帆面受到正向風力吹送，帆面受力高中物理所學的牛頓第二定律推導

$$F_{\text{風}} = \Delta P / \Delta t = \Delta (m v) / \Delta t$$

$$= \Delta (\rho A l v) / \Delta t$$

$$= (1/2) (2) (\rho A v^2)$$

$$= (1/2) (C_D) (\rho A v^2)$$

$F_{\text{風}}$ ：風施於帆的力

P ：動量

m ：質量

v ：風速

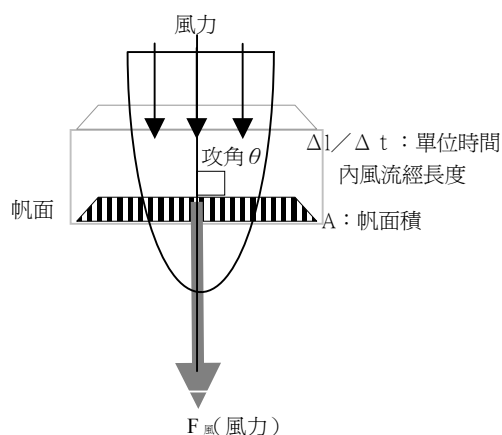
ρ ：空氣密度

A ：帆面積

$\Delta l / \Delta t$ ：單位內風流經長度

C_D ：阻力係數（該係數會隨形狀物體不同而變化，一般 C_D 約為在 2 以下）

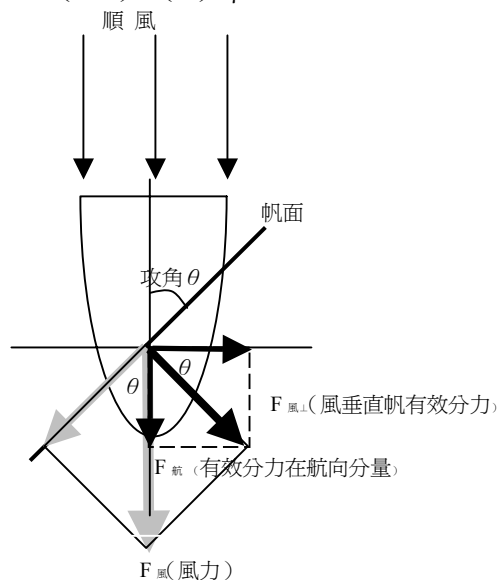
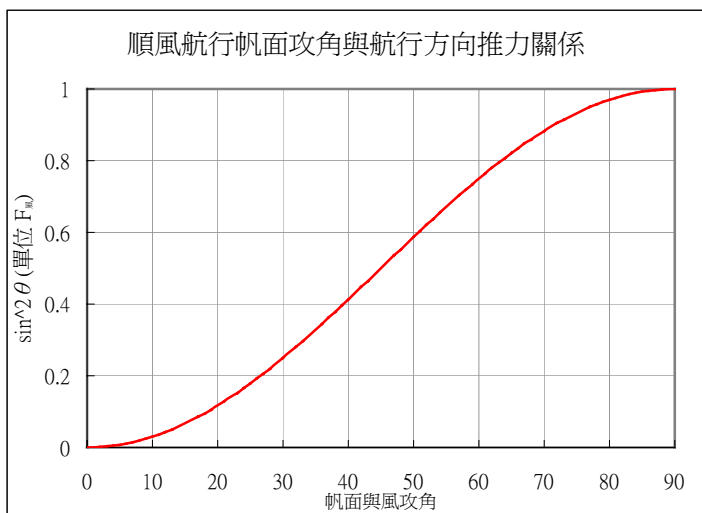
（陳恩忠，民 85）



4. 帆船順風航行時，帆面與風向間攻角的受力關係

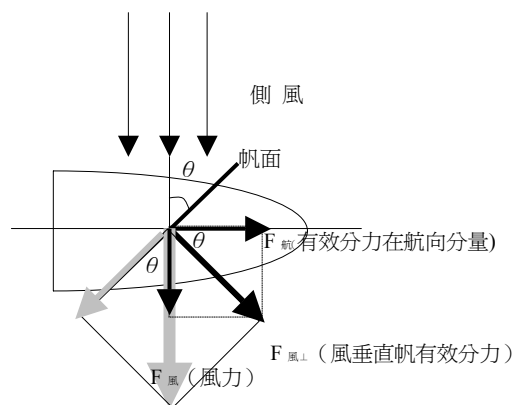
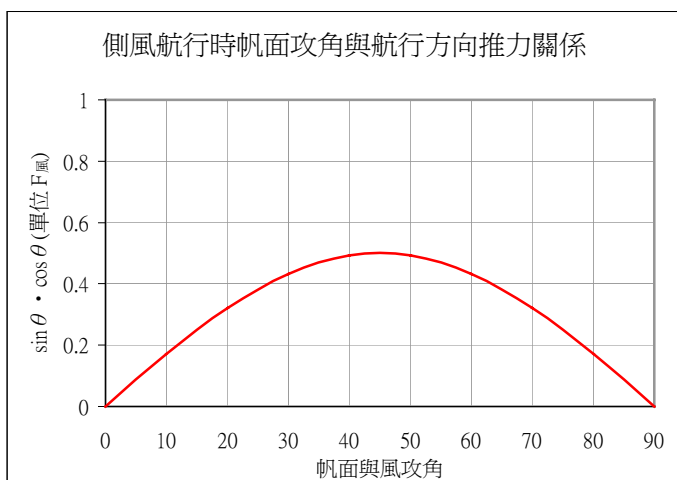
我們將風作用在帆面上的力分解為，垂直於帆面的力 $F_{風\perp}$ （此力為有效分力）與平行於帆面的力 $F_{風\parallel}$ （此力因平行帆面，故無法推進帆，為無效分力），然後航行方向的力 $F_{航}$ ，由

$$F_{風\perp} \text{ 沿航行方向的分力 } F_{航} ; F_{航} = F_{風\perp} \sin \theta = F_{風} \sin^2 \theta = (1/2) (2) \rho A v^2 \sin^2 \theta$$



5. 帆船側風航行時，帆面與風向間的攻角的受力關係

風作用在帆面上力分解，垂直帆面力 $F_{風\perp}$ （有效分力）與平行帆面力 $F_{風\parallel}$ （無效分力），然後 $F_{風\perp}$ 沿航方分力 ($F_{航}$)； $F_{航} = F_{風\perp} \sin \theta = F_{風} \sin \theta \cos \theta = (1/2) (2) \rho A v^2 \sin \theta \cos \theta$



白努力連續方程式（在不可壓縮，無黏性下流體中物體受力）

爲了說明物體在流體中受力情況，引用了白努力連續方程式說明：

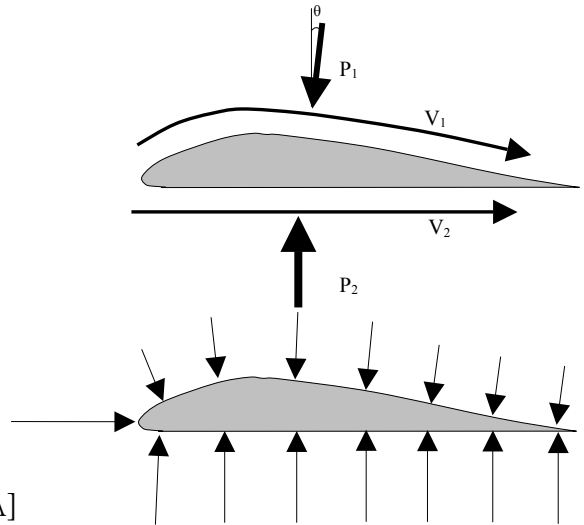
$$P_1 + (1/2) \rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + (1/2) \rho v_2^2 + \rho g y_2$$

因爲機翼上下厚度差極小 $y_1 \doteq y_2$

$$P_1 + (1/2) \rho v_1^2 \doteq P_2 + (1/2) \rho v_2^2$$

機翼因壓力差產生的升力（ F_L ）

$$\begin{aligned} F_L &= \sum P_2 \Delta A - \sum P_1 \Delta A \cos \theta \\ &= \sum \left[(1/2) \rho v_1^2 \Delta A \cos \theta \right] - \sum \left[(1/2) \rho v_2^2 \Delta A \right] \\ &= (1/2) C_L \rho A v^2 \end{aligned}$$



C_L ：升力係數（該係數會隨機翼攻角，雷諾數及機翼展弦比不同而變化）

6. 層流與亂流

雷諾數：法國科學家雷諾，把雷諾數定義爲慣性力與黏滯力的比值；物體至於在流體中，當流體爲低速時，流體流經物體後會形成穩定層流，進入高速時就開始分離產生渦流，根據文獻我們可以把低雷諾數時流體中物體阻力； $F_D = \kappa \mu l v$ 。

κ 與 l 爲物體某方向之特性尺寸； μ 爲係數； v 爲流速

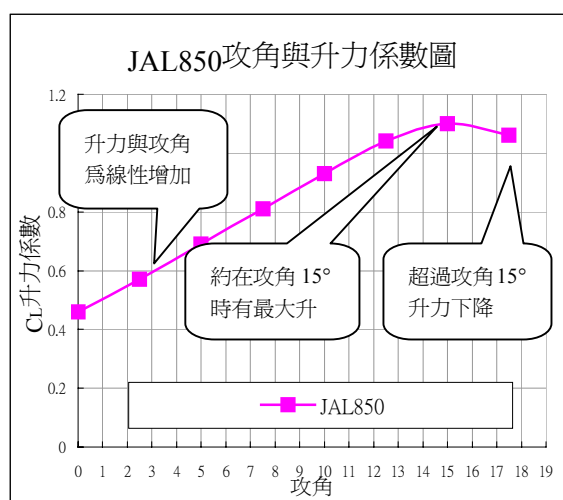
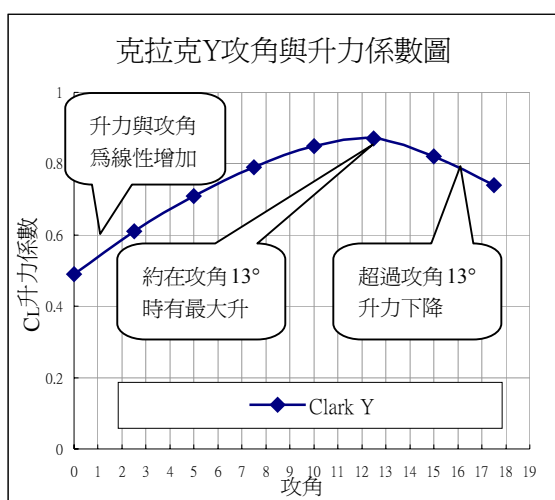
高雷諾數時流體中物體阻力； $F_D = (1/2) C_D \rho A v^2$

（ C_D 爲阻力係數；其中平板之阻力係數 $C_D = 2$ ）

（陳恩忠，民 85）

7. 攻角與失速關係

升力和攻角成線性遞增關係，但當攻角到達某個值時(攻角約為 15 度時)，升力會驟然下降，以致飛機得不到足夠的升力來維持飛行，這種現象稱之為失速(stall)。這時上翼面的氣流不再緊貼著翼面運動，而產生亂流區，使氣壓差降低，依照伯努力原理，所以使升力驟減。



8. 摩擦力

施力作用於於物體上，若物體仍保持靜止(如右圖)，則由靜力平衡得知，施力等於靜摩擦力，若施力持續增加一直到物體正要開始運動的瞬間，此時施力等於最大靜摩擦力，最大靜摩擦力與正向力與兩接觸物間性質有關

$$f_s = \mu_s N \quad ; \quad f_s : \text{最大靜摩擦力}$$

$$\mu_s : \text{靜摩擦係數}$$

$$N : \text{正向力}$$

逐漸提高斜面仰角 θ ，直到斜面上物體正要開始運動

利用相似三角形，邊長成比例關係

$$\tan \theta = h/s = W_{\text{重}\parallel} / W_{\text{重}\perp} = f_s / N = \mu_s$$

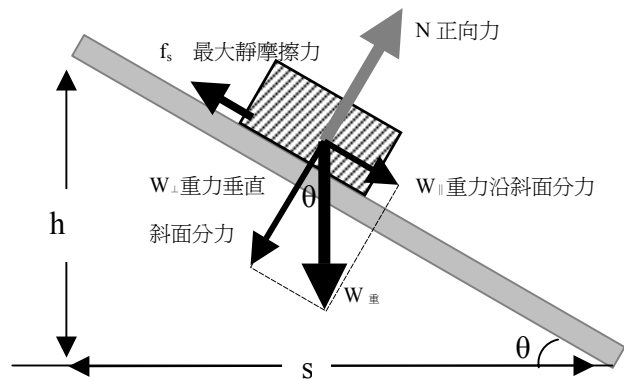
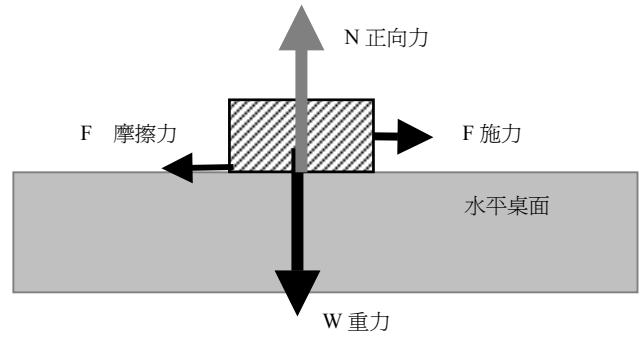
動摩擦力約略為定值，故等速下滑運動物體

(如右圖)， $f_k = \mu_k N$ ； μ_k ：動摩擦係數

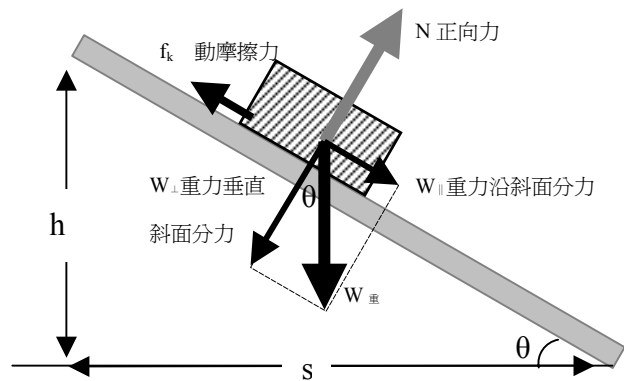
$$\tan \theta = h/s = W_{\text{重}\parallel} / W_{\text{重}\perp} = f_k / N = \mu_k$$

f_k ：動摩擦力

N ：正向力



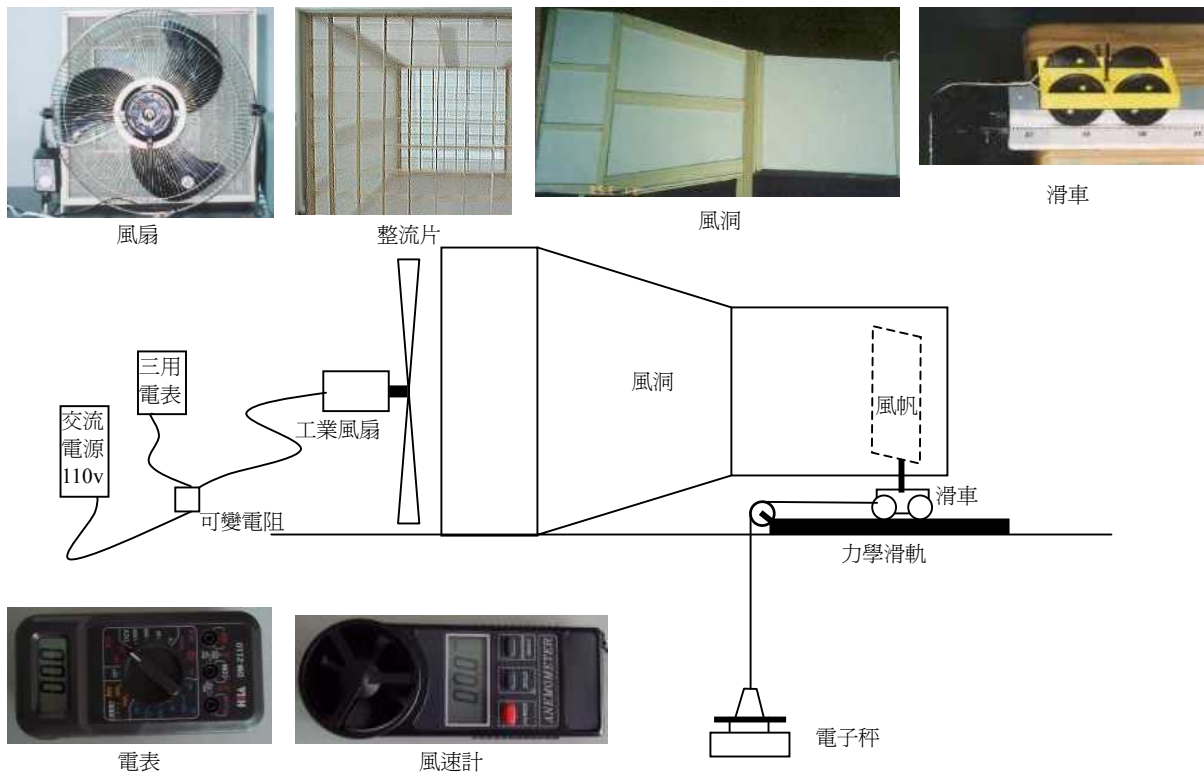
逐漸提高斜面仰角 θ ，直到斜面上物體正要開始運動之力圖



斜面仰角 θ ，斜面上物體等速下滑之力圖

二、 研究設備器材

1. 風洞（提供穩定的風供帆船推進）



2. 滑車（以滑車取代帆船船身）

3. 力學台車滑軌 長 50cm 鋁製（為極低摩擦係數材質；安裝需校準水平）

4. 細繩 約 100cm（選擇彈性低，質輕柔軟的細繩，用以傳遞滑車與砝碼間的張力）

5. 電子秤(最小單位為 0.02g，最大能測 1200.00g 物體)用來測定滑車沿滑軌方向的力量

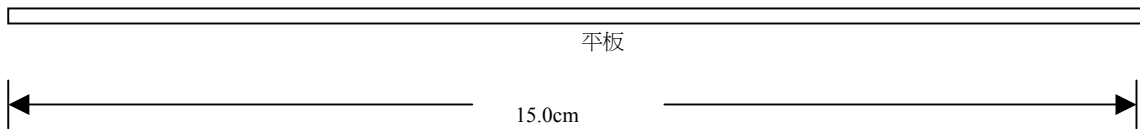
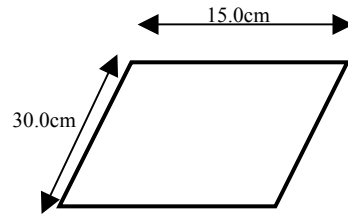
6. 工業用電子風扇（使用 110V 交流電 三葉螺旋槳 三段風速可調 直徑 45cm）

7. 可變電阻（使用家庭用調光器，做為可變電阻）

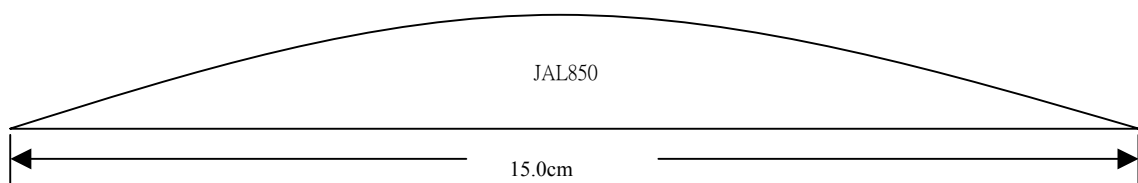
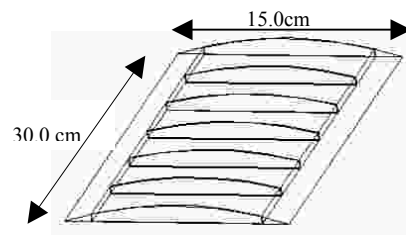
8. 風帆(三個帆的長寬皆為 30 cm×15 cm)

西洋帆為軟質布料所製作，受到風吹拂後會漲滿，帆面會形成弧形，但是弧形程度難以定量；中國帆面可利用帆腳索繩拉力將帆面弧度調整，但我們為方便研究起見，將帆面用平板、JAL850、克拉克 Y 三種帆面來研究，其中 JAL850、克拉克 Y 有攻角與升力係數關係圖

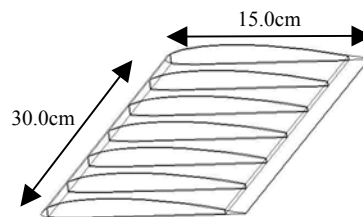
9. 平板帆

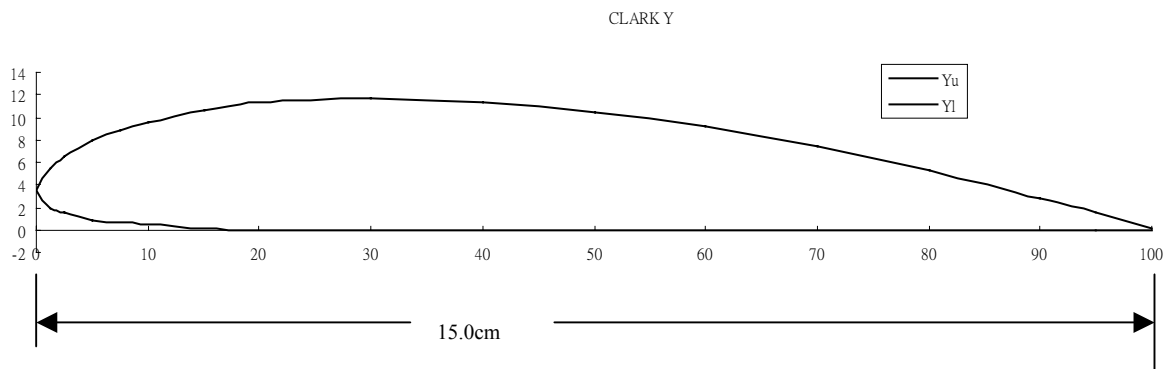


10. AL850

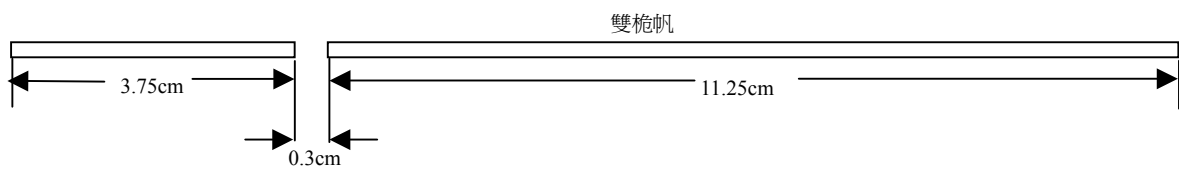
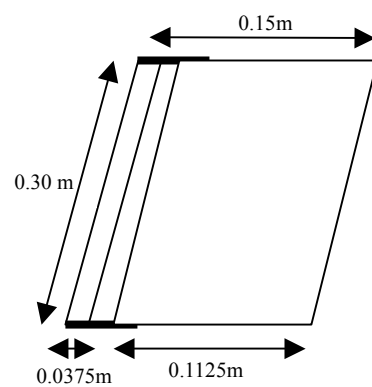


11. 克拉克 Y





12. 雙桅帆船



13. 砝碼 約為 215.18g

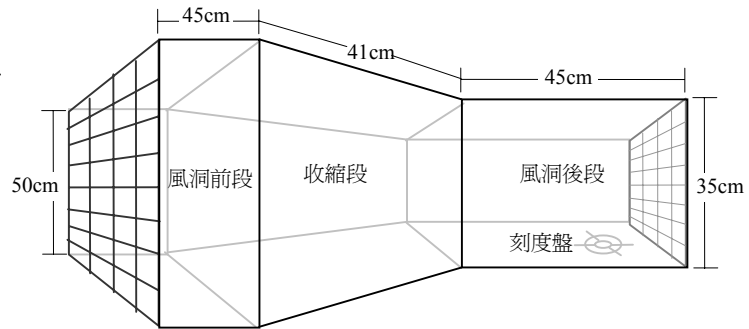
14. 數位三用電表 (作為監測風扇電壓用，最小刻度為 0.01V)

15. 數位微風測量計 (最小單位 0.1m/s；測量範圍 0.1m/sec~10.0m/sec)

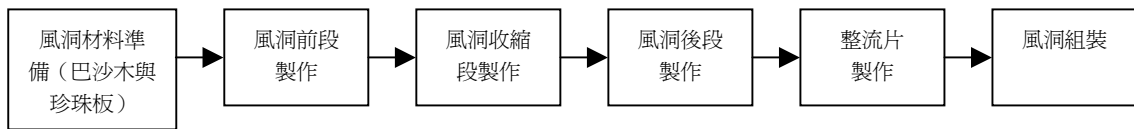
16. 數位式電子溫度計 (最小單位 0.1°C；測量範圍：-40°C~90°C)

三、 研究過程與方法

1. 製作風洞



實驗中，為穩定工業風扇所吹出的旋轉流動氣流，以及避免外界不穩定的風所造成的實驗干擾，我們以風洞裝置減少上述問題所造成之實驗誤差。以下為風洞製作流程：



風洞前段：大小配合風扇大小，並收集風扇的風。

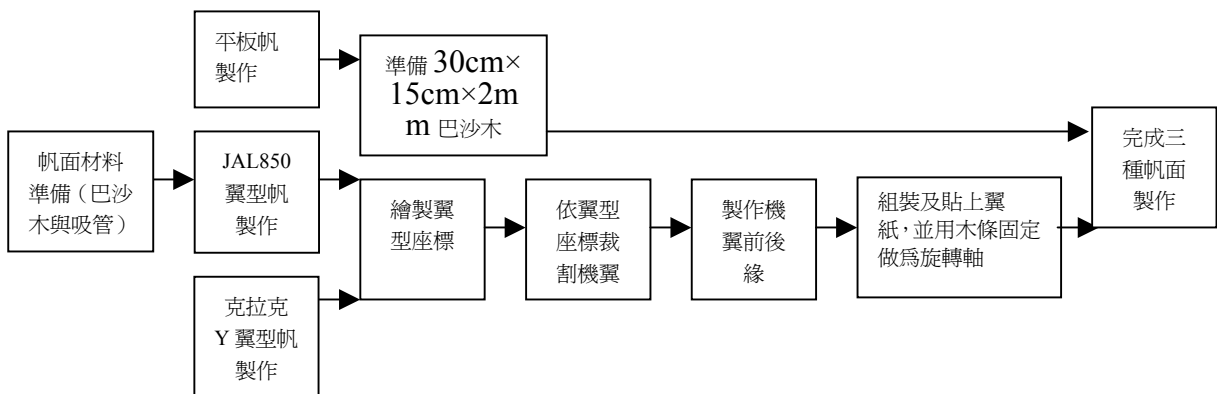
收縮段：使截面積縮小，可將風速提高。

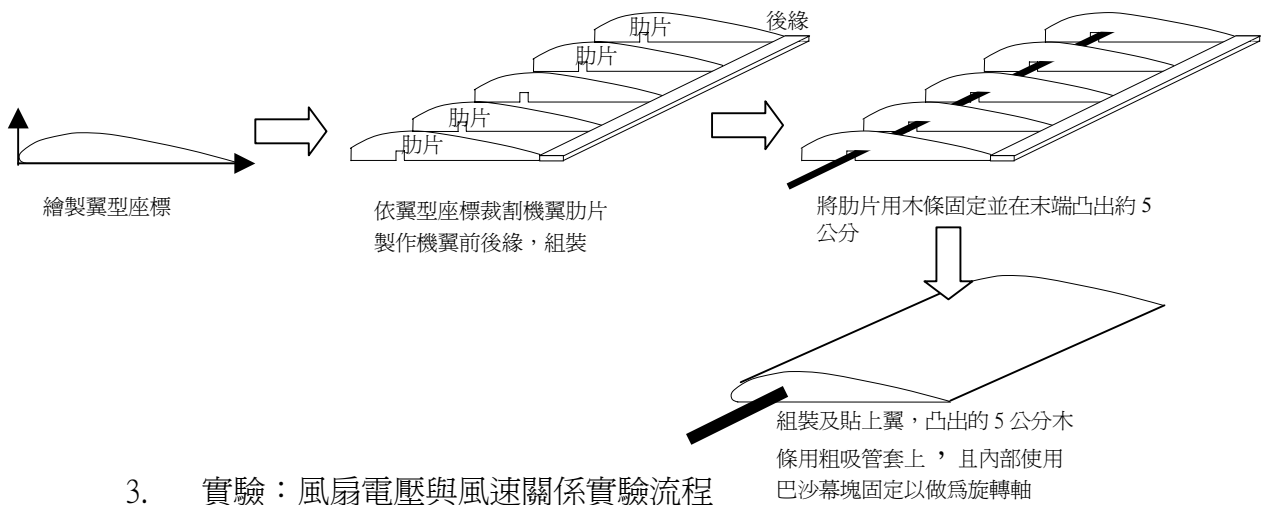
風洞後段：大小配合風帆大小，並畫記刻度盤(每隔 2.5°~5°)。

整流片：於風洞前後加上整流片，希望將風扇的旋轉方向的風，整流為平直穩定的氣流

2. 帆面製作流程 (平板帆、JAL850、克拉克 Y 三種帆面，長寬皆為 30cm×15cm)

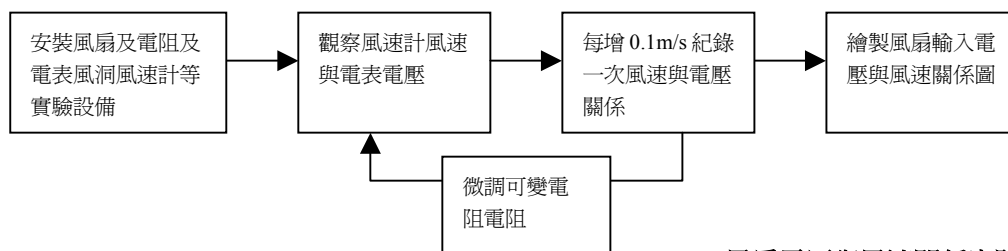
實驗中我們以三種不同弧度翼型模擬中國帆船在航行時使用的的帆面。此外並製作一平板帆，面積為原平板帆的 3/4，前緣加上一個可調攻角，面積為原平板帆的 1/4 的前帆，用來模擬雙桅帆。



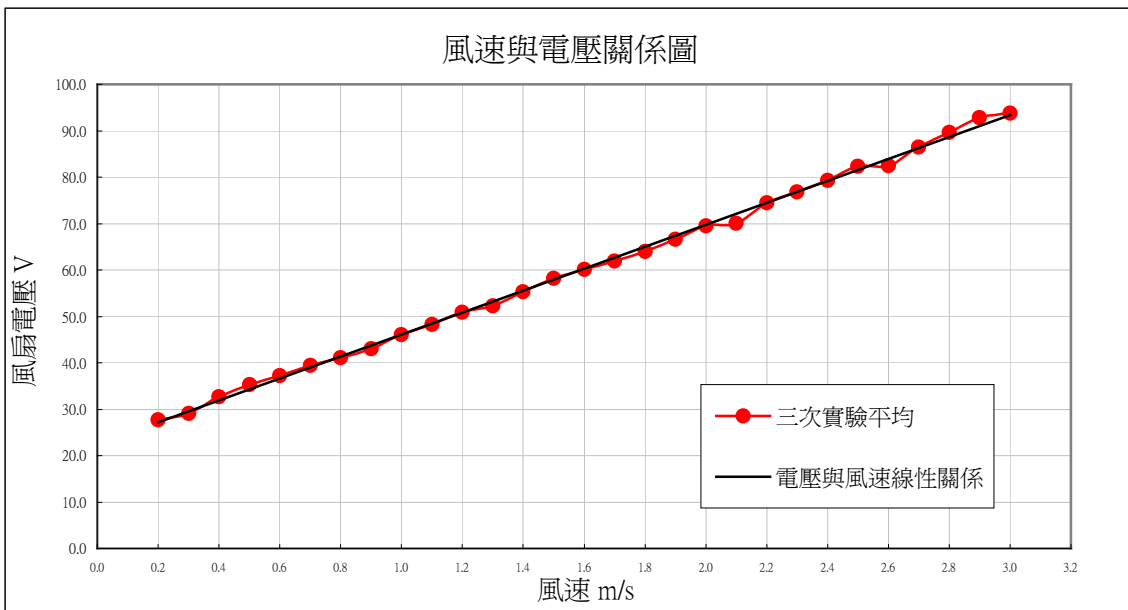


3. 實驗：風扇電壓與風速關係實驗流程

實驗中不穩的電壓改變了電扇風速若不能時時觀測風速，多少會影響到實驗的結果；實驗中以可變電阻調整風速，也希望有立即讀數能知道調到多少才好，若是倚靠風速計測量，需平均一段時間的風速，才能正確讀出風速數值，往往須來回數次調整電壓才可調好。所以我們先以風速計及電表測量風速及電壓關係，繪製成風速及電壓關係圖。其目的是我們除了用風速計觀測風速外，還可以用電壓表，隨時監測風扇電壓，以風速及電壓關係圖間接求出風速，以方便實驗風速的穩定與風速的調整。

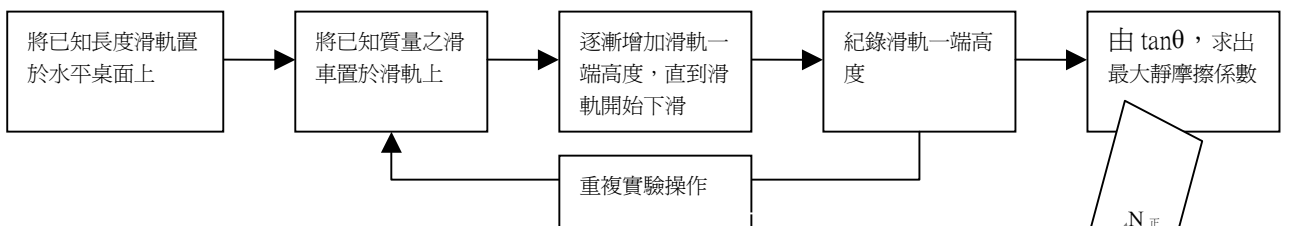


風扇電壓與風速關係實驗流程



4. 實驗：滑車與滑軌之摩擦力實驗

我們實驗中僅能由電子天平推算出砝碼上之繩索拉力值，但拉力值並不等於風力在帆上之推力，為了準確的推算出風力對帆的推力，我們還需考慮摩擦力的存在。我們利用逐次增加滑軌傾斜角度，直至滑車下滑的方式，求出最大靜摩擦係數，最後將最大靜摩擦係數，乘上正向力，算得最大靜摩擦力。

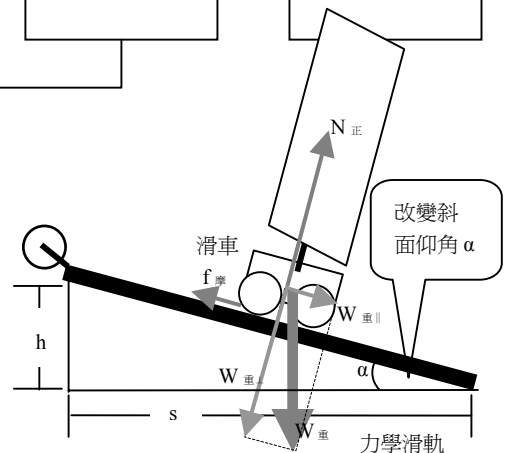


滑車與滑軌之摩擦力實驗流程

$$\tan \theta = h/s = W_{\text{重}\parallel} / W_{\text{重}\perp} = f_s / N_{\text{正}} = \mu$$

當滑車在水平滑軌上最大靜摩擦力為

$$f_k = \mu_k N_{\text{正}} = \mu W_{\text{重}}$$



利用滑軌傾斜，測滑車開始滑動之斜面 $\tan \theta$ ，求最大靜摩擦力					滑車+砝碼 115.72g
	s (底) mm	h (高) mm	靜摩擦係數	最大靜摩擦力(gw)	最大靜摩擦力(N)
	440	4.0	0.0091	1.1	0.010
	464	4.0	0.0086	1.0	0.0098
	335	4.0	0.012	1.4	0.014
三次平均	413	4.0	0.0099	1.1	0.011

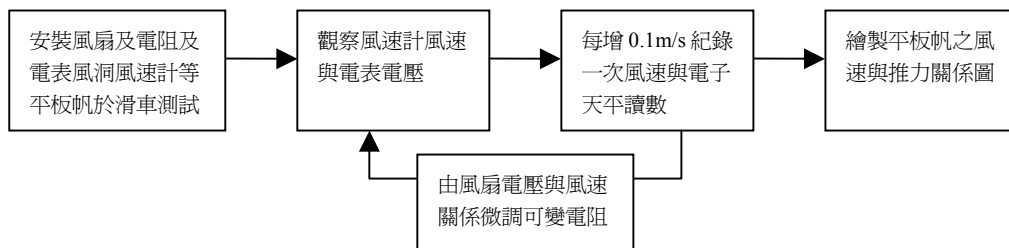
經過三次實驗平均，求出滑車最大靜摩擦力，0.011 牛頓

利用滑軌傾斜，測滑車等速滑動之斜面 $\tan \theta$ ，求動摩擦力					滑車+砝碼 115.72g
	底 mm	高 mm	動摩擦係數	動摩擦力(gw)	動摩擦力(N)
	449	1.5	0.0033	0.39	0.0038
	434	1.5	0.0035	0.4	0.0039
	443	1.5	0.0034	0.39	0.0038
三次平均	442	1.5	0.0034	0.39	0.0038

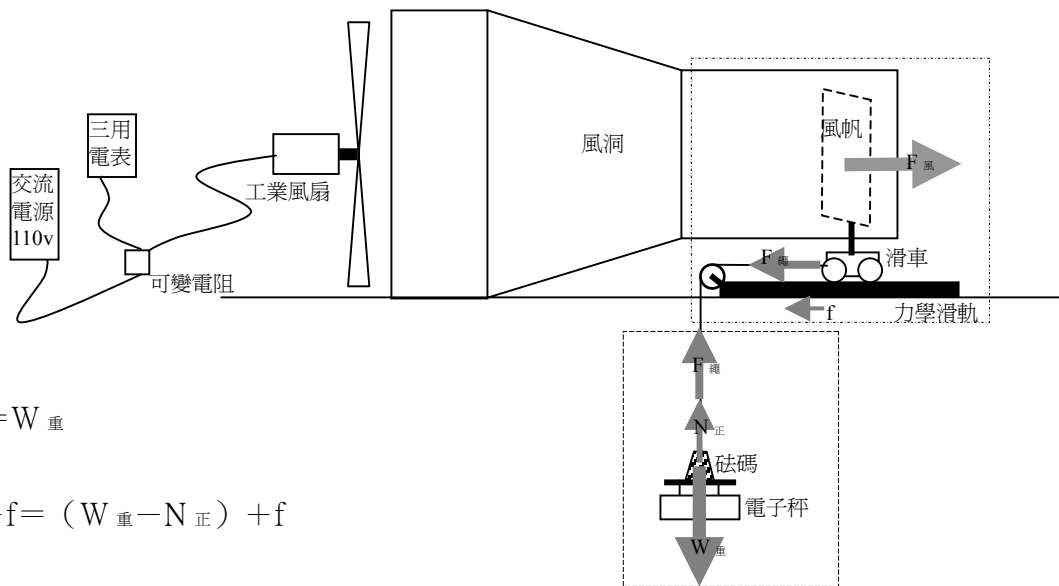
經過三次實驗平均，求出滑車動摩擦力，0.0038 牛頓

5. 實驗：平板風帆受力與風速關係

因為想要了解風帆受到風力作用，風速與推力的關係，所以想以改變風速大小，觀測與風帆受風推力關係，我們以 $0.30 \times 0.15 \text{m}^2$ 平板帆，以垂直帆面的風向實驗。當風速超過 2.0 m/s 以上時，風帆會劇烈振動，故實驗過程風速是 0.0 m/s ~ 2.0 m/s 之間，實驗結果繪製風速與風力關係圖表。分析風速與風力實驗關係圖，是否為線性關係 ($F_D = \kappa \mu l v$) 或二次曲線關係 $F_D = (1/2) C_D \rho A v^2$ 。



平板風帆受力與風速實驗流程



$$F_{\text{繩}} + N_{\text{正}} = W_{\text{重}}$$

$$F_{\text{風}} = F_{\text{繩}} + f = (W_{\text{重}} - N_{\text{正}}) + f$$

電子天平的讀數為天平對砝碼的正向力 ($N_{\text{正}}$)

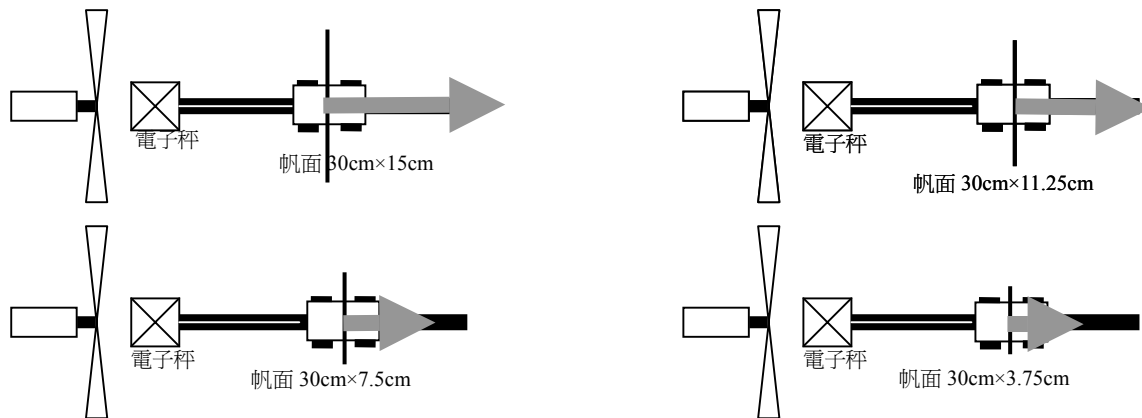
風帆所受的風力 ($F_{\text{風}}$)，為砝碼重力 ($W_{\text{重}}$) 減去電子天平讀數 ($N_{\text{正}}$) 加上摩擦力 (f)

由於天平所讀出的讀數皆有小幅跳動，可見物體在作極小幅度運動（當然也可能物體不運動，繩子伸縮震動，不過已使用彈性極小繩子），故上面所指摩擦力應為動摩擦力 f_k 。

若風帆所受的風力 ($F_{\text{風}}$) 小於最大靜摩擦力，則天平讀數會等於砝碼重力 ($W_{\text{重}}$) 於是由本裝置測不出風力大小，所以天平讀數為零時，風帆所受的風力誤差範圍應為 $0 \pm$ 最大靜摩擦力。

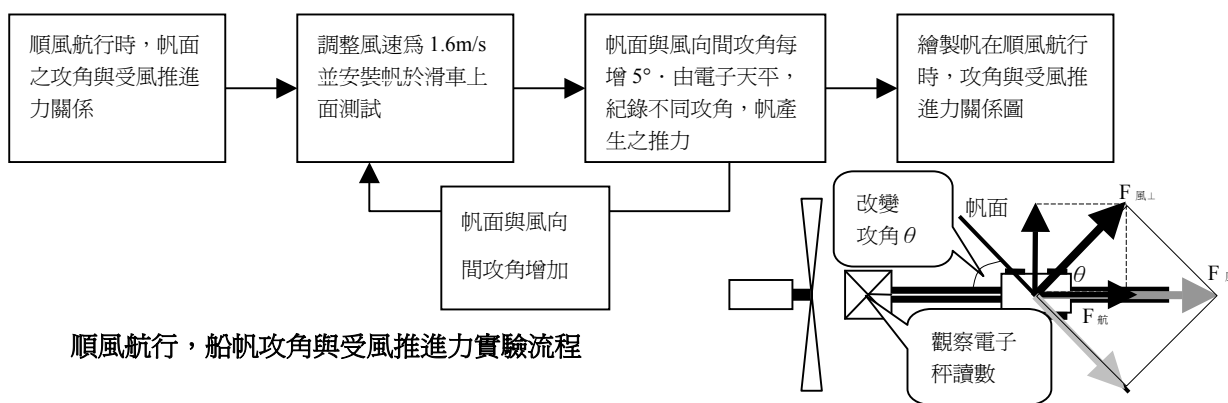
6. 實驗：平板風帆面積與受力關係

利用四個面積分別為 $(1/4) (0.30 \times 0.15 \text{m}^2)$ 、 $(2/4) (0.30 \times 0.15 \text{m}^2)$ 、 $(3/4) (0.30 \times 0.15 \text{m}^2)$ 、 $(4/4) (0.30 \times 0.15 \text{m}^2)$ 平板帆，以垂直帆面的風向，在風速 1.6m/s 下實驗，繪製帆面受風推力與帆面積關係圖，驗證風力與帆面積是否為正比關係。在於了解推力與帆面積的關係，以便於我們在做雙桅帆船之實驗時數據，可以與同面積單帆來比較。



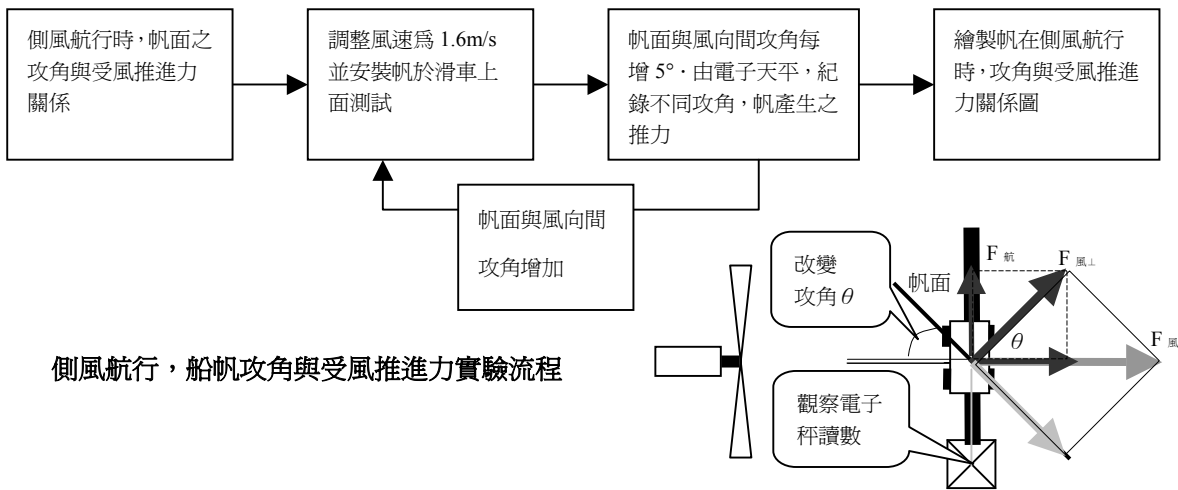
7. 實驗：順風航行時，改變船帆攻角，求其船帆攻角與受風推進力關係

分別以平板、克拉克 Y、JAL850 三種帆順風航行，改變帆面與風向間攻角，在風速 1.6m/s 下實驗，繪製船帆攻角與受風推進力關係圖。由前面文獻探討，順風時風予帆之推力接近 $(1/2) C_L \rho A v^2 \sin^2 \theta$ ，故實驗目的在驗證三種帆的風力與船帆攻角是否為 $\sin^2 \theta$ 關係。



8. 實驗：側風航行時，改變帆面與風向間攻角，求其船帆攻角與受風推進力關係

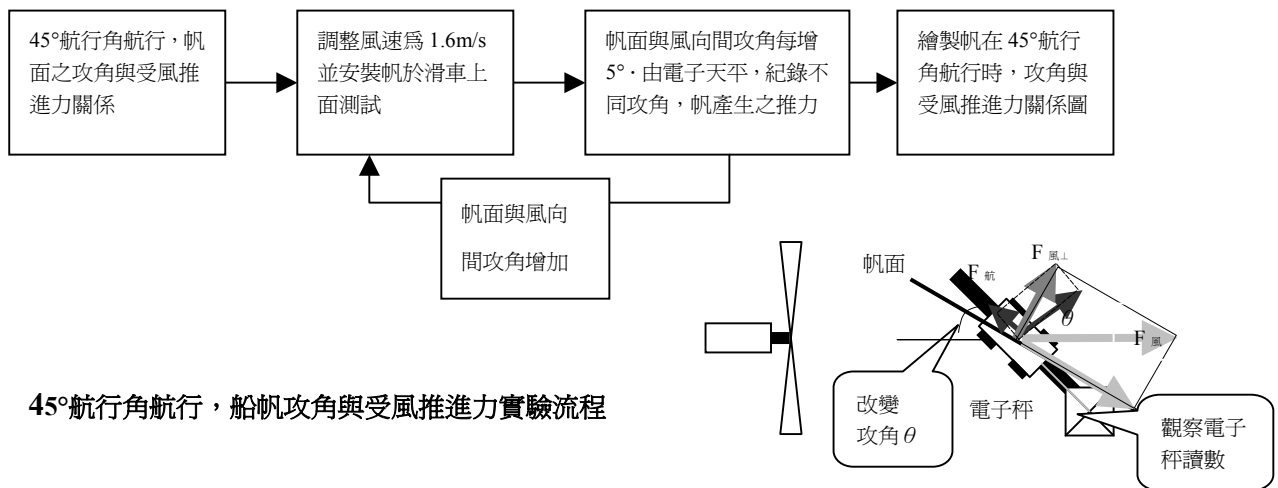
分別以平板、克拉克 Y、JAL850 三種帆側風航行，改變帆面與風向間攻角，在風速 1.6m/s 下實驗，繪製船帆攻角與受風推進力關係圖。由前面各文獻探討中，關於帆船側風航行帆面受力，有兩種不同解釋，第一是側風時風予帆之推力接近 $(1/2) C_L \rho A v^2 \sin \theta \cos \theta$ ，第二則側風時風予帆之推力，必須以白努力原理解釋。所以必須由繪製的船帆攻角與受風推進力關係圖與 $(1/2) C_L \rho A v^2 \sin \theta \cos \theta$ 比較，若與該理論與實驗不合，則必須再引進白努力原理由壓力差產生升力來加以解釋。



側風航行，船帆攻角與受風推進力實驗流程

9. 實驗：45°航行角航行時，改變帆面與風向間攻角，求其船帆攻角與受風推進力關係

分別以平板、克拉克 Y、JAL850 三種帆在 45°航行角航行，改變帆面與風向間攻角，在風速 1.6m/s 下實驗，經由實驗繪製船帆攻角與受風推進力關係圖；可以將關係圖比較前面文獻探討中經微分計算，求 45°航行角時，最大理論推力為帆面攻角 22.5°，我們也可以比較由順風

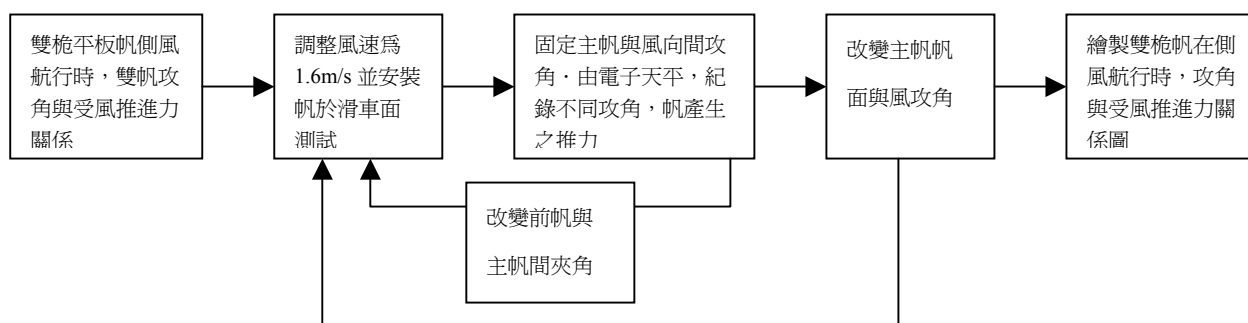


45°航行角航行，船帆攻角與受風推進力實驗流程

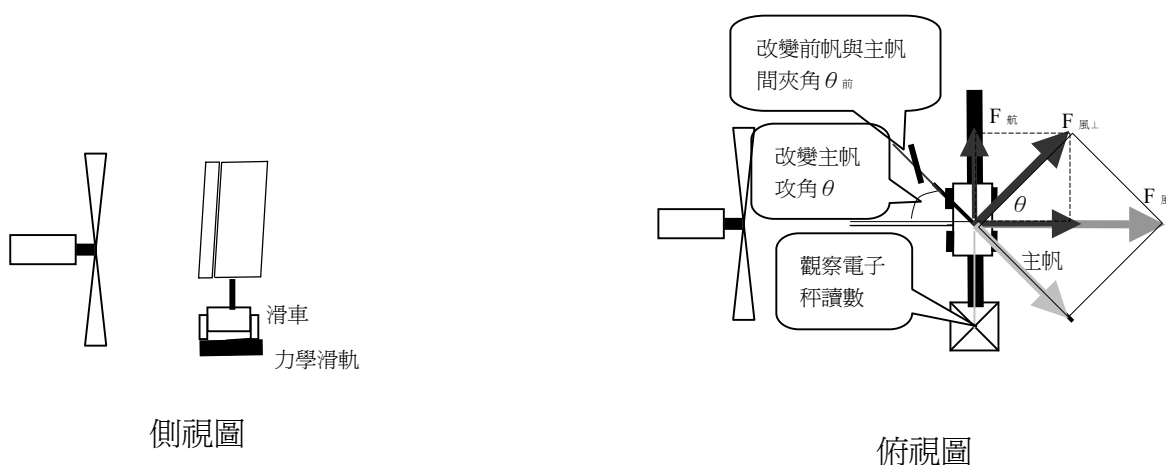
及側風航行之實驗數據，經分力計算推估 45°航行角時，船帆攻角與受風推進力關係。

10. 實驗：雙桅平板帆側風航行時，改變帆面與風向間攻角($0^\circ \sim 45^\circ$)，及前帆與後帆之夾角，的推力關係。

以面積為原平板帆的 $3/4$ ，在前緣加上一個可調攻角，面積為原平板帆的 $1/4$ 的前帆，用來模擬雙桅帆進行本實驗，改變帆面與風向間攻角，及前帆與後帆之夾角，在風速 1.6m/s 側風航行下實驗，經由實驗逐次改變主帆船帆攻角自 0° 至 45° 時同時逐次調整前帆與主帆夾角 $\pm 30^\circ$ ，繪製其受風推進力關係圖；可以將此關係圖比較前面平板帆側風航行時的實驗數據，比較其差異。



雙桅側風航行，船帆攻角與受風推進力實驗流程



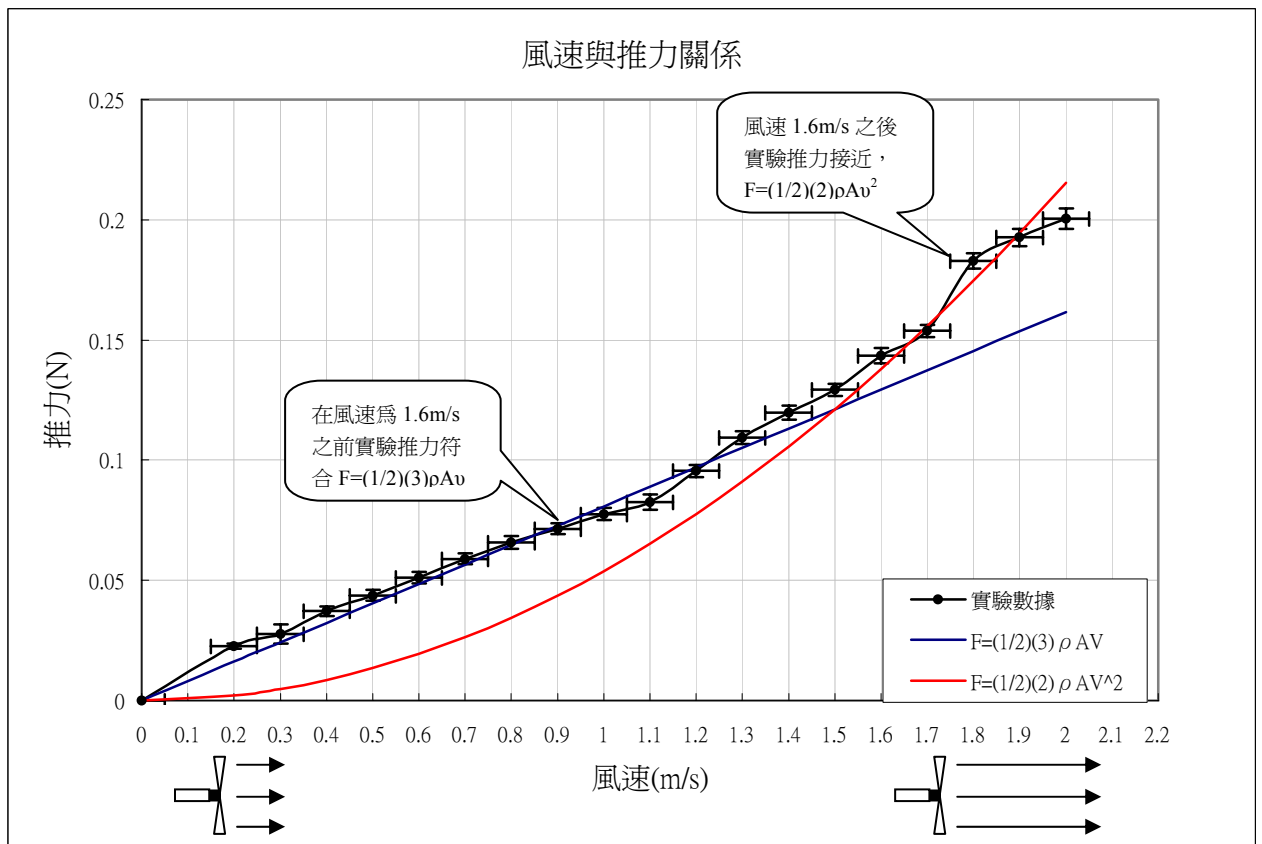
參、研究結果與討論

一、研究結果

1. 風速與推力關係研究結果

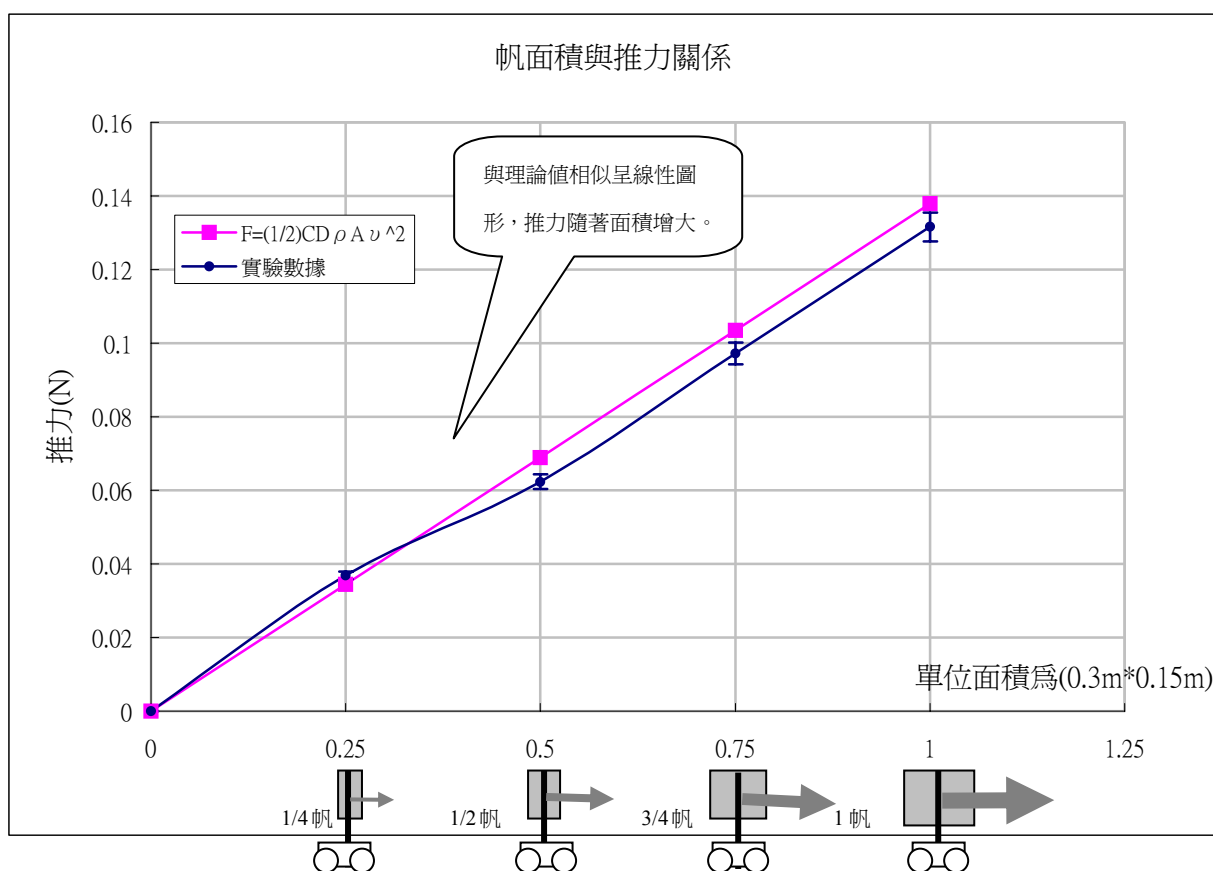
由四次風速與推力實驗平均結果繪製下表，可看出風速在小於 1.6m/s 時，實驗推力與風速成線性增加關係，符合前面文獻中低風速下，推力為風速一次方關係，由實驗數值趨勢線得出 $F=(1/2)(3)\rho Av$ 。風速大於 1.6m/s 時，實驗推力可看出為風速二次方關係，可以用文獻中阻力公式 $F_D=(1/2)C_D\rho Av^2$ ，(平板的 $C_D=2$) 去解釋。

此外我們還可看出速度越大，與理論阻力公式偏離也越大，可能是實驗中風速測量誤差，經公式速度平方後，偏離理論愈大。(其中紀錄風速的風速計最小刻度為 0.1m/s，誤差為 $\pm 0.05m/s$)



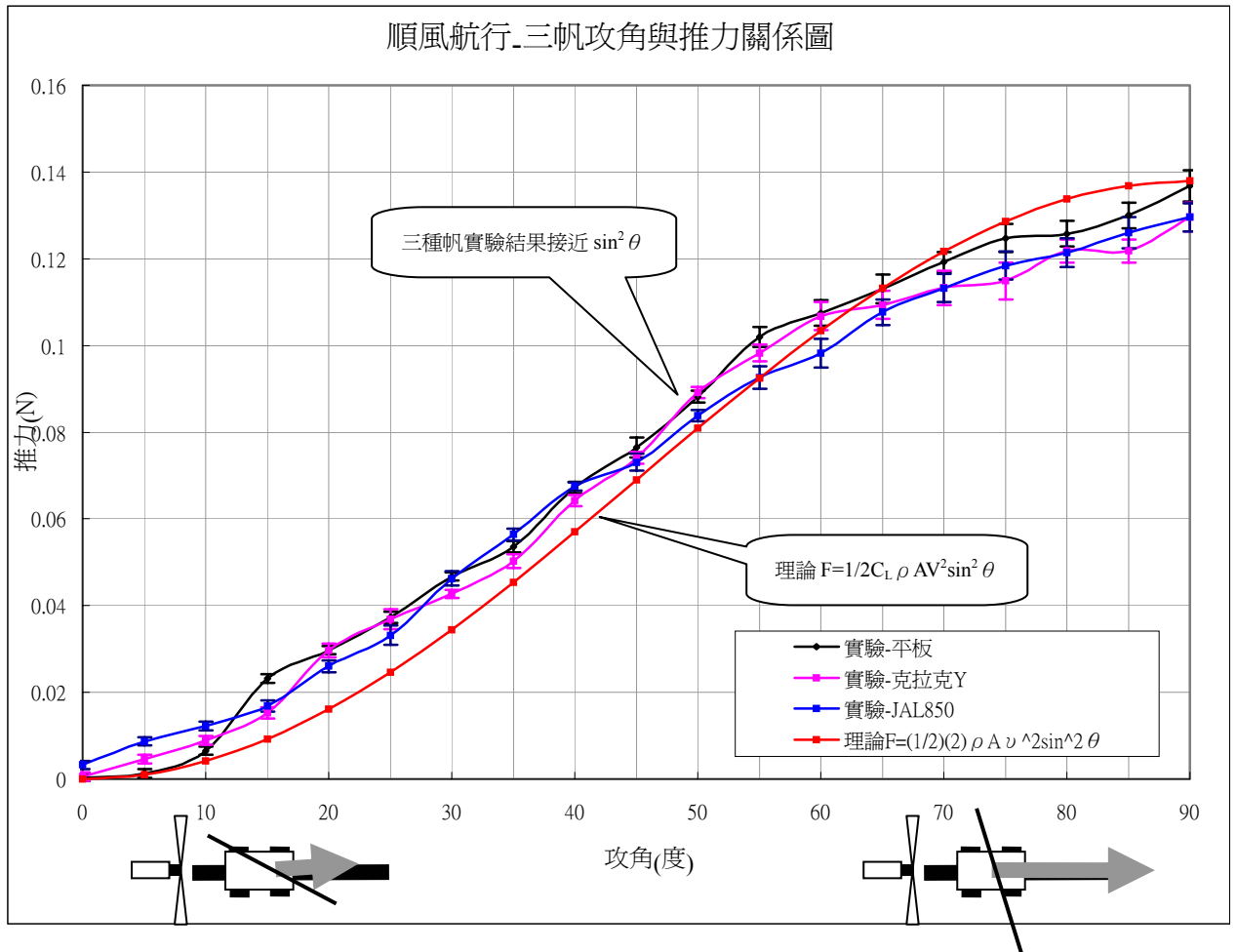
2. 平板風帆面積與受力關係研究結果

在風速 1.6m/s 下四個面積不同的平板帆進行各進行三次實驗，平均三次實驗數據，繪製平板帆受風推力與帆面積關係圖（如下圖）。可看出面積與推力為正比關係，並由實驗數值趨勢線得出結果恰為風之推力（阻力）公式， $F_D=(1/2)C_D\rho A v^2$ ，（平板的 $C_D=2$ ， $v=1.6\text{m/s}$ ）。再次說明實驗與理論吻合。



3. 順風航行，船帆攻角與受風推進力關係研究結果

在風速 1.6m/s 下分別以平板、克拉克 Y、JAL850 三種帆順風航行，改變帆面與風向間攻角，各三次實驗將結果平均，繪製船帆攻角與受風推進力關係圖。由這個實驗我們得到順風時風予帆之推力接近 $F_{\text{航}} = (1/2) C_L \rho A v^2 \sin^2 \theta$ ，（平板的 $C_D=2$ ， $v=1.6\text{m/s}$ ）不過也發現在低攻角時，三種帆實驗值較理論值大，在高攻角時，三種帆實驗值較理論值小。

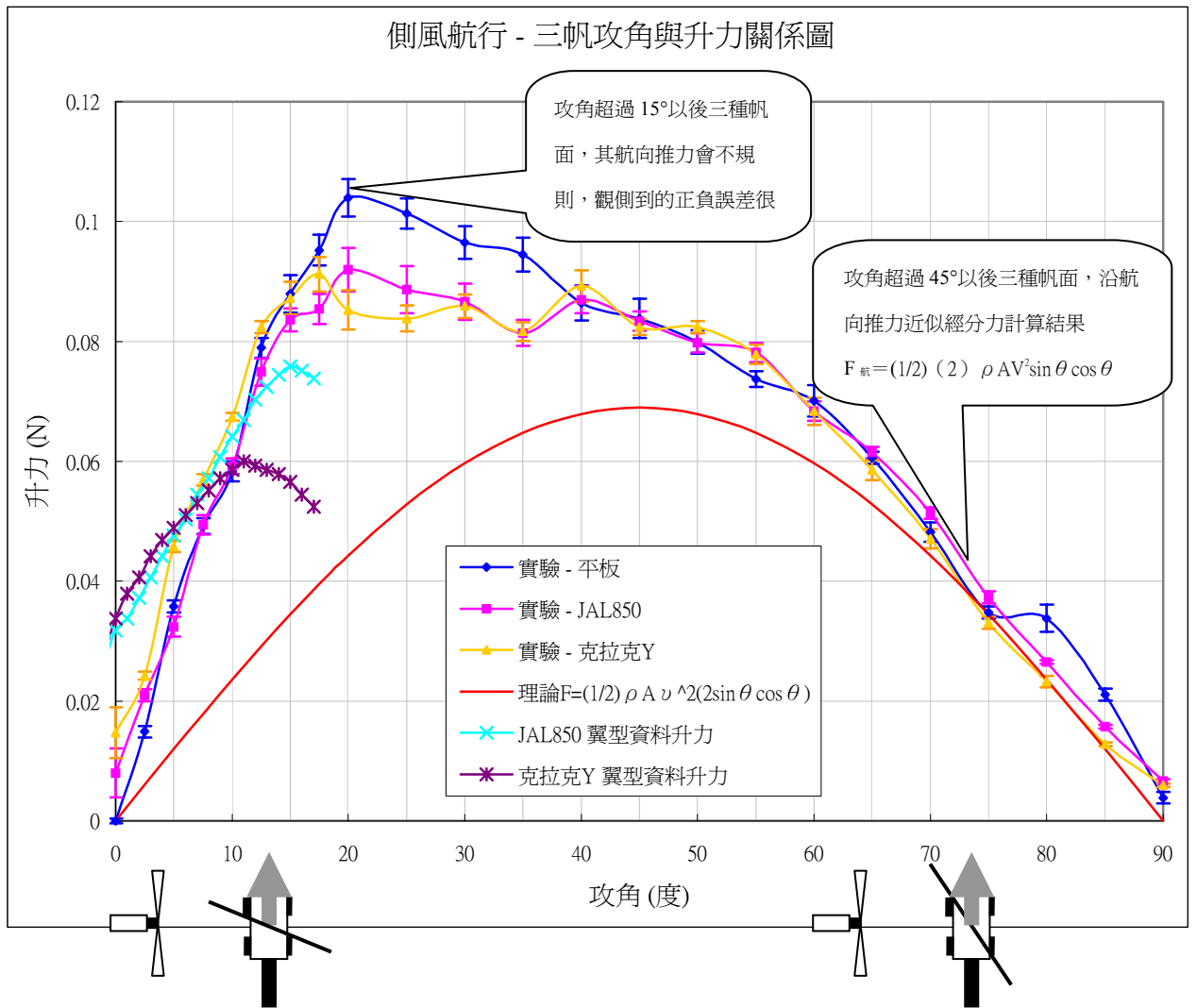


4. 側風航行，船帆攻角與受風推進力關係研究結果

在風速 1.6m/s 下分別以平板、克拉克 Y、JAL850 三種帆側風航行，改變帆面攻角，實驗三次將結果平均，繪製帆攻角與受風推進力關係圖。由這個實驗我們觀察到，攻角超過 45° 以後，三帆之推力看起來應該接近 $F_{\text{航}} = (1/2) \rho A v^2 (2 \sin \theta \cos \theta)$ 。

不過也發現在低攻角時 (0°~15°)，三種帆實驗值遠較 $(1/2) \rho A v^2 (2 \sin \theta \cos \theta)$ 的理論值大許多，所以引用文獻中克拉克 Y、JAL850 翼型資料算出的升力列於圖上，雖然此翼型資料依據的流體環境與本實驗不同，算出的升力僅供參考，但仍明顯看出在低攻角時，在低攻角時 (0°~15°) 帆面應可視為機翼，帆面推力應加上白努力原理壓力差所產生的力。

在攻角 15°~45°之間實驗顯示出升力陡降，以航空術語稱為失速現象。失速引發帆面震動導致天平跳動，以致觀測到的正負誤差特別大，這也顯示在下圖中。



在低攻角時（ $0^\circ \sim 15^\circ$ ），三種帆實驗升力值我們嘗試著用理論計算去逼近求出，我們知道能完整描述真實世界的空氣動力學知識，並非是高中生所能了解的；僅僅倚靠高中所提白努力定律，試著提出計算公式及想法，以計算後理論值與實驗所得升力與攻角圖相互

零度攻角時，平板應無升力，而克拉克 Y 及 JAL850 因受到上下流速不同壓力差（白努力原理）而有些許升力

由分力導出

$$F_{\text{航}} = F_{\text{風}\perp} \sin \theta$$

$$= F_{\text{風}} \sin \theta \cos \theta$$

$$= (1/2) (2) \rho A v^2 \sin \theta \cos \theta$$

由白努力原理簡化得到近似結果（ $\theta < 15^\circ$ ）

$$F_L \doteq \Sigma P_2 \Delta A - \Sigma P_1 \Delta A \doteq \Sigma (1/2) \rho v_2^2 \Delta A - \Sigma (1/2) \rho v_1^2 \Delta A$$

$$\doteq (1/2) \rho A \{ [(L + \Delta L)/t]^2 - (L/t)^2 \}$$

$$\doteq (1/2) \rho A v^2 (2) (\theta)$$

$$\doteq (1/2) \rho A v^2 (2 \sin \theta + \sin^2 \theta) \quad ; (\text{此式為近似下})$$

由分力導出 $F_{\text{航}} = (1/2) (2) \rho A v^2 \sin \theta \cos \theta$

在低攻角時（ $\theta < 15^\circ$ ），白努力原理簡化得近似結果 $F_L \doteq (1/2) \rho A v^2 (2) \sin \theta$

兩者相加 $F_{\text{合力}} = F_{\text{航}} + F_L$

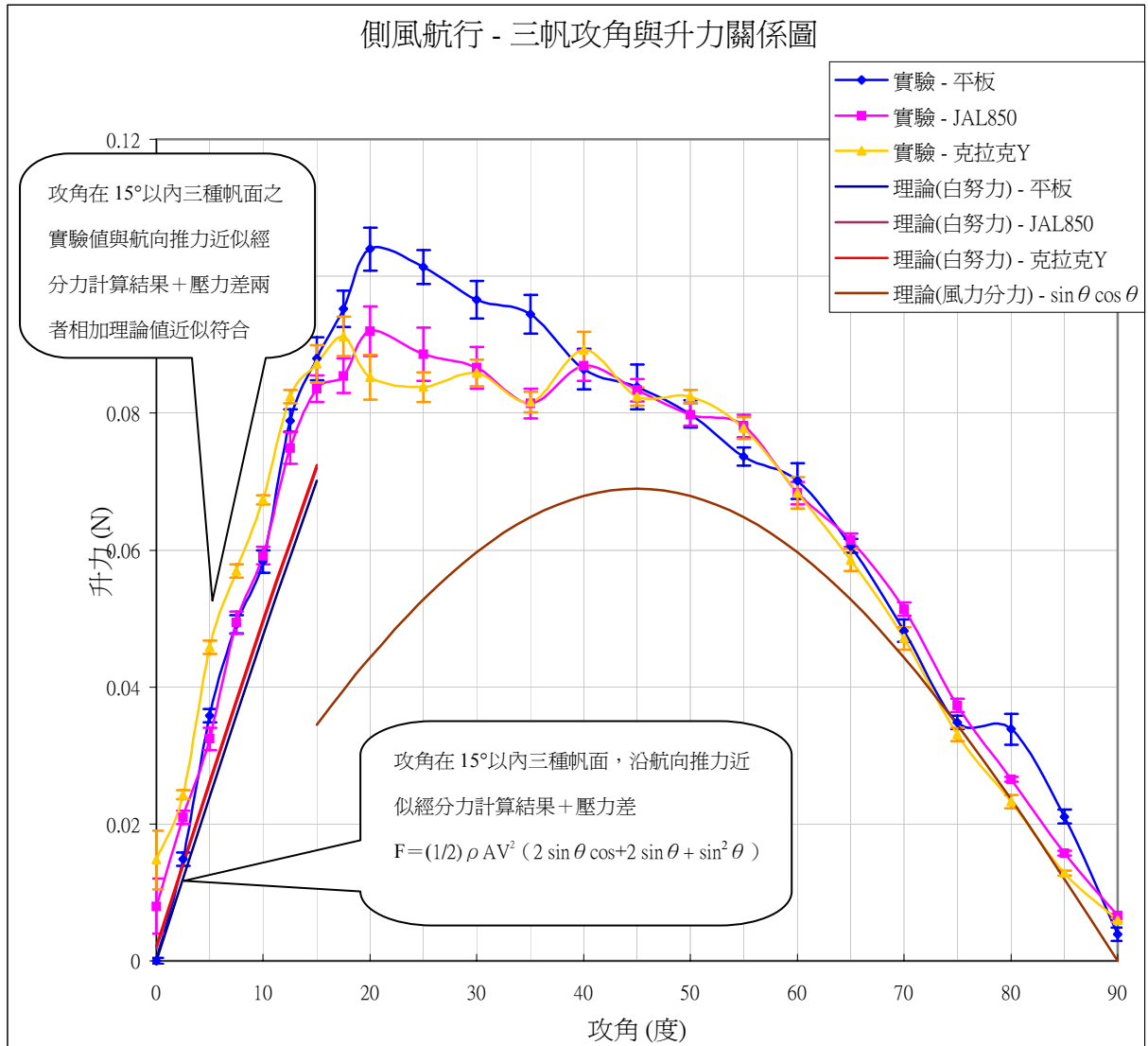
$$\doteq (1/2) (2) \rho A v^2 \sin \theta \cos \theta + (1/2) \rho A v^2 (2 \sin \theta + \sin^2 \theta)$$

$$\doteq (1/2) \rho A v^2 (2 \sin \theta \cos \theta + 2 \sin \theta + \sin^2 \theta)$$

比較。

我們認為帆船側風航行沿航行方向所受的力，應該由風力分力導出沿航行方向的力加上由壓力差導出的升力兩者相加 $F_{\text{合力}} = F_{\text{航}} + F_L \doteq (1/2) \rho A v^2 (2 \sin \theta \cos \theta + 2 \sin \theta + \sin^2 \theta)$ ，上述推導個需在攻角極小時才成立，因為攻角太大，氣流就不能服貼在帆面上，可能有大

量亂流產生，上式就不可能成立。

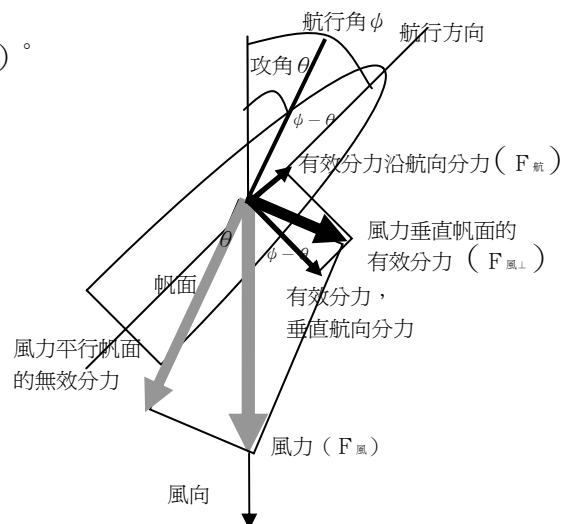


5. 45°航行角航行，船帆攻角與受風推進力關係研究結果

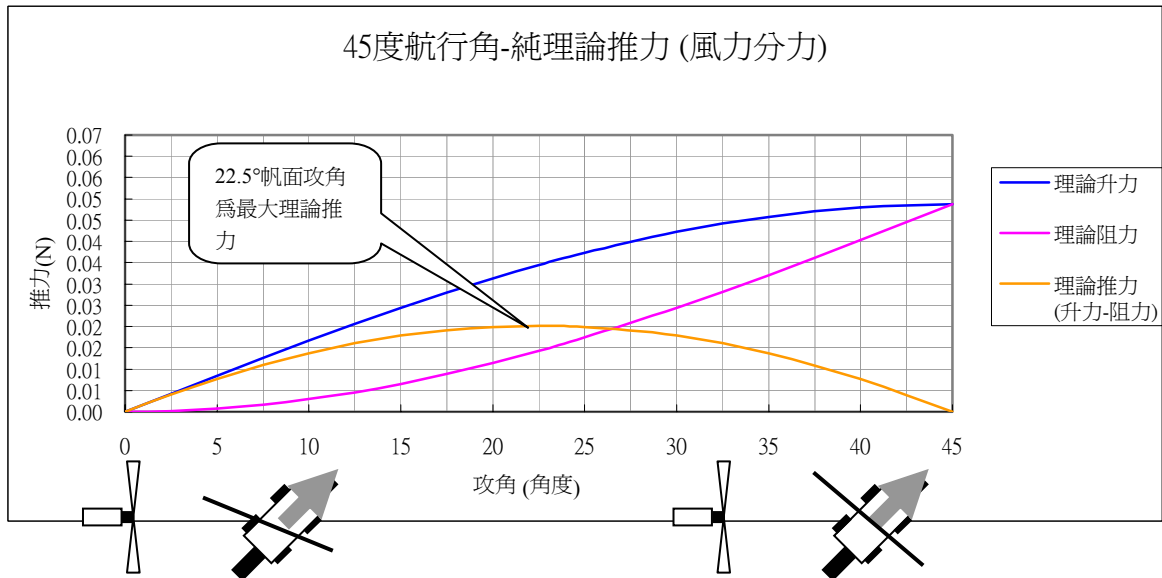
由前面文獻探討中風力之分力理論，我們由求得 45°航行角時之帆面攻角最大理論推力應為

22.5°。將 $\phi = 45$ 代入 $F_{\text{航}} = F_{\text{風}} \sin \theta \sin (\phi - \theta)$ 。

$$\begin{aligned}
 F_{\text{航}} &= F_{\text{風}} \sin \theta \sin (45^\circ - \theta) \\
 &= F_{\text{風}} \sin \theta [\sin 45^\circ \cos \theta - \cos 45^\circ \sin \theta] \\
 &= (\sqrt{2}/2) F_{\text{風}} \sin \theta [\cos \theta - \sin \theta] \\
 &= (\sqrt{2}/2) [F_{\text{風}} \sin \theta \cos \theta - F_{\text{風}} \sin^2 \theta]
 \end{aligned}$$



$$= (\sqrt{2}/2) [F_{\text{側風推力}} - F_{\text{順風推力}}]$$

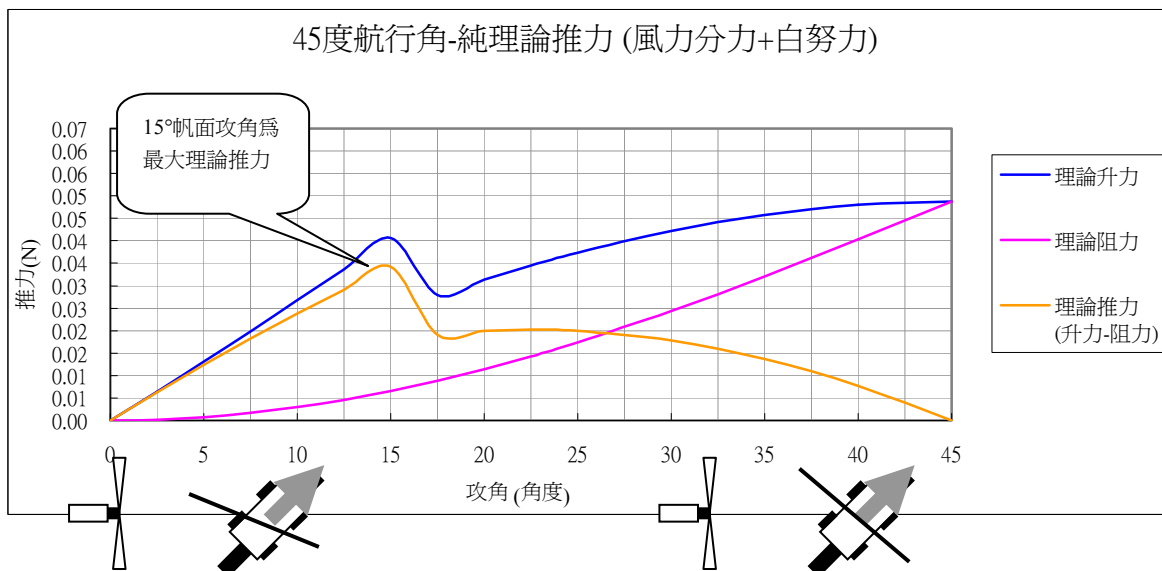


若 $0^\circ \sim 15^\circ$ 側風推力加入白努力修正值； $15^\circ \sim 45^\circ$ 與上式相同

$$F_{\text{航}} = (\sqrt{2}/2) [F_{\text{側風推力}} - F_{\text{順風推力}}]$$

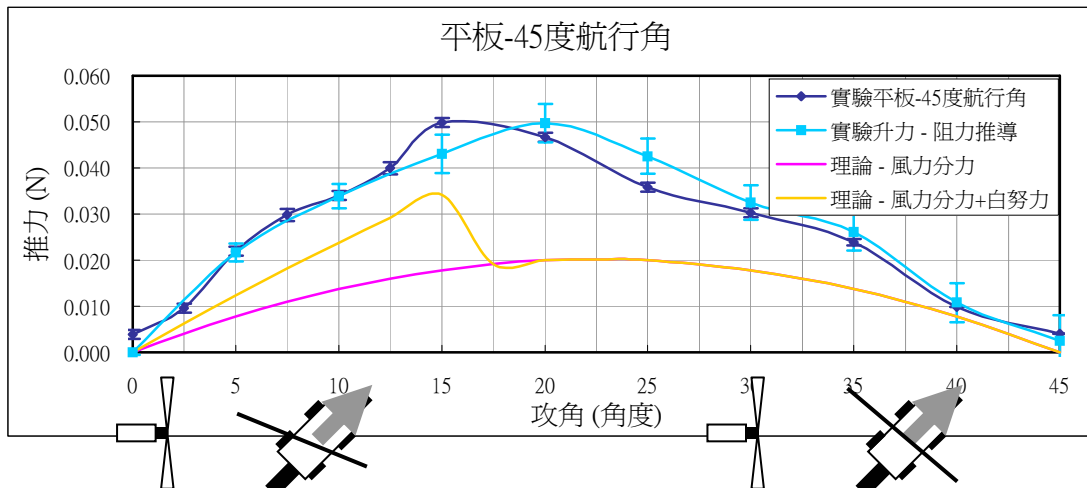
$$= (\sqrt{2}/2) \left[(1/2) \rho A v^2 (2 \sin \theta \cos \theta + 2 \sin \theta + \sin^2 \theta) - (1/2) \rho A v^2 (2 \sin^2 \theta) \right]; (0^\circ \sim 15^\circ)$$

由風力之分力加上白努力修正理論，求得 45° 航行角時之帆面攻角最大理論推力應為 15°



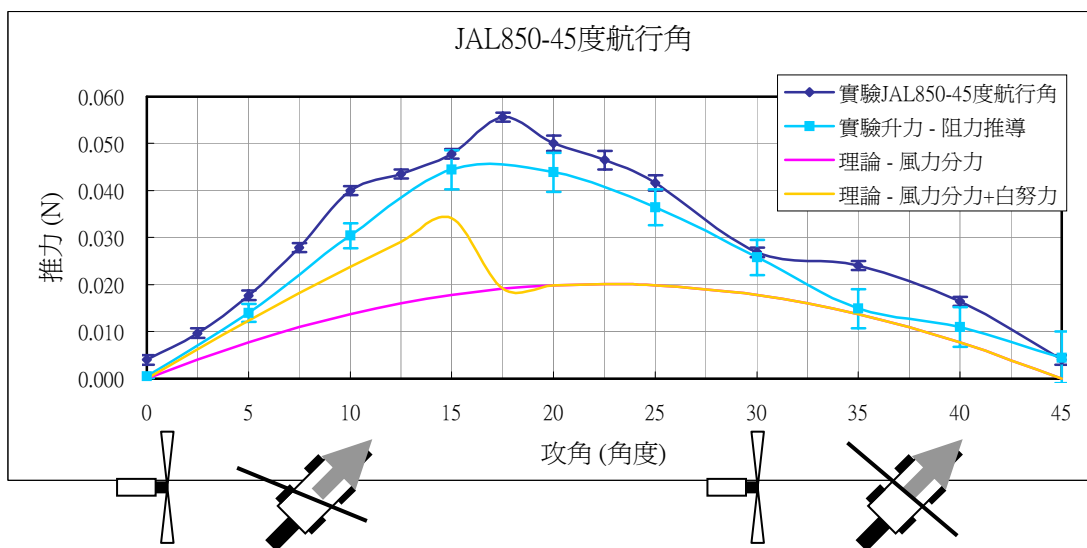
平板翼型帆面在 45°航行角航行，由順風及側風航行實驗值推導 15°時產生最大推進力；實驗結果，帆面為 20°時產生最大推進力。

平板翼型帆面由順風及側風航行實驗值推導推力與攻角關係與，實驗結果推力與攻角關係絕大部分相符合。

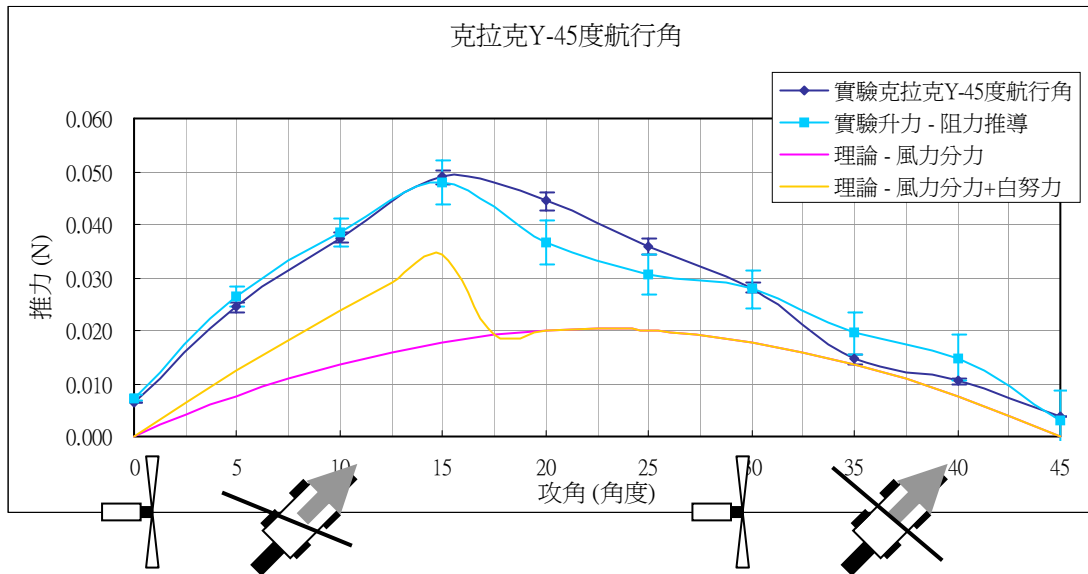


JA L850 翼型帆面在 45°航行角航行，由順風及側風航行實驗值推導 15°時產生最大推進力；實驗結果，帆面為 17.5°時產生最大推進力。

JAL850 翼型帆面由順風及側風航行實驗值推導推力與攻角關係與，實驗結果推力與攻角關係絕大部分相符合。

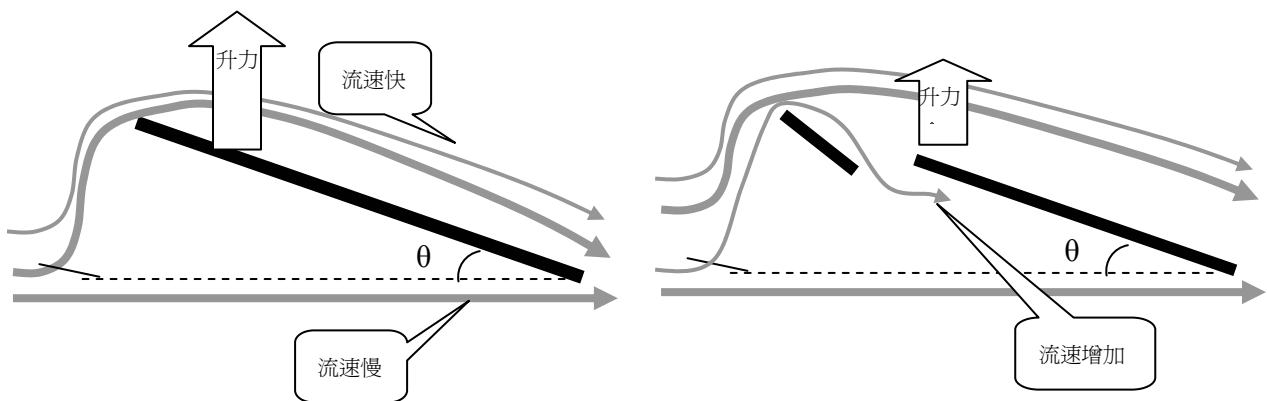


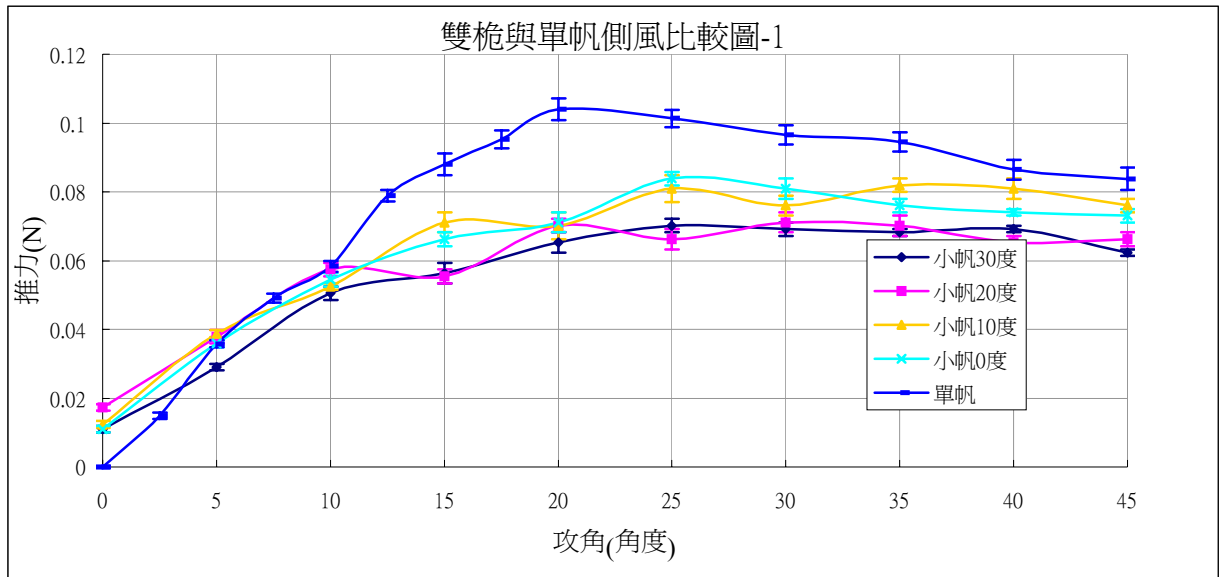
克拉克 Y 翼型帆面在 45° 航行角航行，由順風及側風航行實驗值推導與實驗結果，都是帆面為 15° 時產生最大推進力。



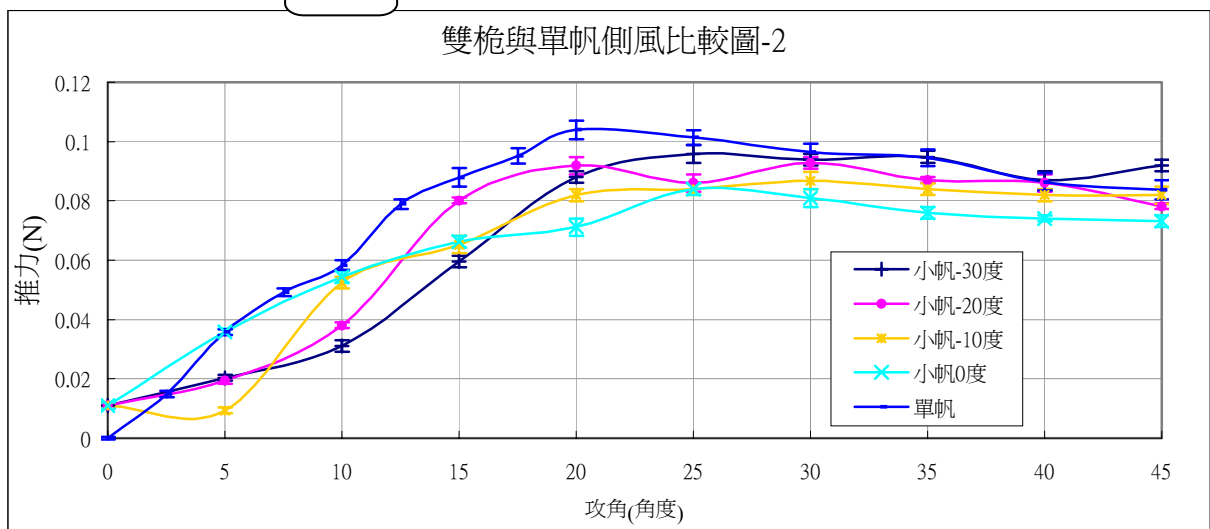
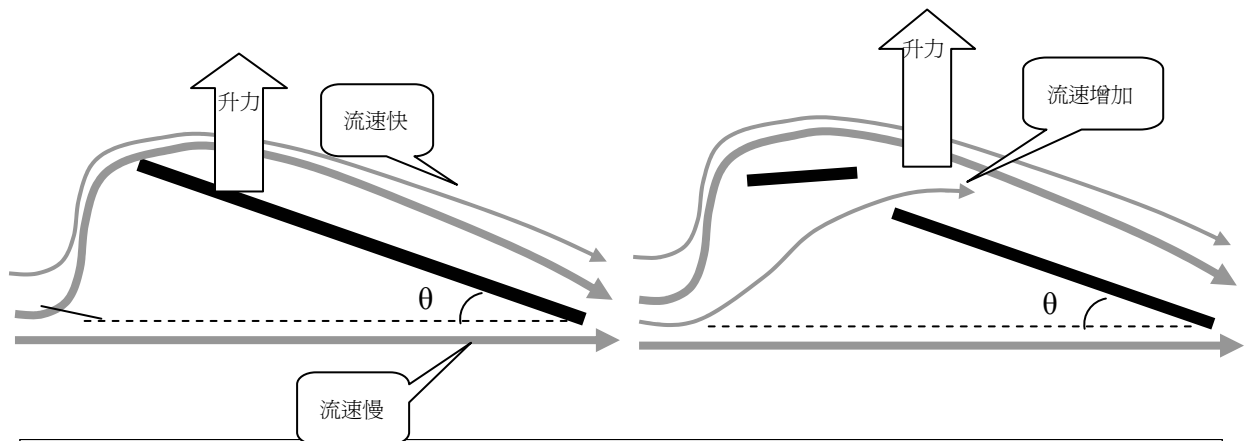
6. 雙桅平板帆側風航行，船帆攻角與受風推力關係研究結果

由實驗數據圖形我們看出雙桅帆前面小帆相對角越增加，氣流導入後面主帆下方，使主帆下方流速越加快，導致升力減少。





由實驗數據圖形我們看出雙桅帆前面小帆相對角負方向越增加，氣流導入後面主帆下方，使主帆上方流速越加快，導致升力減增加，而且最大升力可以維持高工角而不失速；但是最大升力還是不能超越過單帆，其詳細原因，目前並無進一步探索。



肆、 討論

一、實驗誤差範圍討論：

1. 空氣密度誤差 ρ

利用理想氣體方程式，將絕大多數實驗時的室溫（約 25°C）與實驗時假定的氣壓值（定為 1atm）即可求出計算出空氣密度，其值大約為 1.18kg/m²，而最低（約 22°C）和最高溫度（約 27°C）下其空氣密度與 1.18 kg/m² 大約相差±0.04，則其總誤差百分比由下列式子可得之。 $[(1.18\pm 0.02-1.18)/1.18]\times 100\%=(\pm 0.02/1.18)\times 100\%\doteq\pm 1.67\%$

平均值 $\doteq 1.67\%$ 故誤差約 $=\pm 1.67\%$

2. 風速誤差 v

由於本實驗之風速計最小單位為 0.1m/s，所以可能造成約 ±0.05 m/s 的誤差，所以固定風速 1.6m/s 求誤差 0.05 m/s 的最大及最小值，在求其平均。

$$(\text{最大值}) = \{[(1.65^2) - (1.6^2)] / (1.6^2)\} \times 100\%$$

$$= [(2.7225 - 2.56) / 2.56] \times 100\% \doteq 0.0634816 \times 100\% \doteq 6.34\%$$

$$(\text{最小值}) = \{[(1.55^2) - (1.6^2)] / (1.6^2)\} \times 100\%$$

$$= [(2.4025 - 2.56) / 2.56] \times 100\% \doteq -0.0615274 \times 100\% \doteq -6.15\%$$

平均值 $\doteq 6.24\%$ ，故誤差約 $=\pm 6.24\%$

3. 摩擦力誤差(最大動摩擦：0.0038N)

此滑車裝置最大動摩擦為 0.0038N，求此力佔本實驗無誤差標準值的力的百分比

$$= \{0.0038 / [(1/2) \rho A v^2]\} \times 100\% = (0.0038 / 0.06912) \times 100\% ; \text{故誤差約} \doteq 5.49\%$$

二、儀器精準度方面討論：

1. 由於開放式風洞極易受到外界氣流干擾，故實驗時需緊閉門窗，不能使用教室內的懸掛電扇，盡量保持風洞外的風壓為穩定狀態，若改成密閉循環式風洞，實驗數值誤差將會更加減少。
2. 本次實驗風扇採用工業用風扇，並用家庭調光器作為可變電阻，因受到台電供電不穩，及可變電阻精密程度影響；故進行實驗前需製作風扇電壓與風速關係圖，並以三用電表隨時監控風扇電壓值以維持穩定風速，提高實驗精密度，及重複性。
3. 測量風速採用微風風速計，精密度僅達 0.1m/s，能提供之有效數字過少，難以測定較精準風速；本實驗採長時間觀測風速，並紀錄風速臨界變化跳動時，如風速計由 1.5m/sec，1.6m/sec 來回反覆跳動時風速即為約 1.60m/sec 左右；本來想要藉由皮托管測定風速，改善實驗測量精密度問題，但皮托管設計在風速 1.60m/sec 管內液體高度差變化極小，即使在傾斜管中也難以精確觀測，故仍使用微風風速計。
4. 調整帆面角度為手動式，角度刻度盤之最小單位為 2.5°至 5°，加以目測觀察，難免有不精密之處，若調整帆面角度機構使用差速齒輪調整，尚有改進空間。
5. 測量帆面受風力推進力量大小，我們採用電子天平配合力學軌及滑車，為避免滑軌傾斜不水平，多次使用以水平儀校準桌面及滑軌，實驗初期，聯繫砝碼及滑車之繩索，因彈性過佳或質量過大而造成實驗誤差，後因慎選質輕低張力棉繩而獲得明顯改善。

三、實驗程序設計方面討論：

1. 本次實驗初期，原想測試類似西洋帆船之軟帆，但因為有在部分攻角下帆面會被風滿才會有作用，且因軟帆受風吹動會產生之不同帆型，也不好估計其面積，故本次實驗採類似中國式帆船之硬帆。
2. 本次帆船之帆面模型，製作時依據嚴謹之翼型座標資料製成，但帆面在承受高速風壓時會因亂流漩渦產生劇烈抖動，以致天平讀數不規則跳動，以致天平讀數不規則跳動，故本次實驗皆在低風速下實驗，但是又避免因風速太低以致摩擦力對實驗影響過大，同時希望能符合阻力與風速二次方關係，所以決定以風速 1.6m/sec 下進行實驗。

帆船航行方向並非只有順風、側風及航行角 45°等三種可能。但是我們希望由順風及側風的帆攻角與推力資料中，求得航行角 45°時的推力資料，並與實際航行角 45°的實驗比較來驗證。驗證的結果是，可以用順風及側風的帆攻角與推力資料中，推出其他航行角實際推力。

四、實驗結果之數據方面討論：

1. 當電子天平的讀數不斷跳動，判斷有兩種可能。首先可能是繩子彈性恢復力造成的簡諧運動，後來實驗採用低彈性質輕棉繩取代高彈性的尼龍繩，並且將所觀測到週期性跳動數據，取中間值即可減少因繩子彈性造成的誤差。另一種可能是亂流所造成天平讀數不斷跳動，亂流的成因很多，可能是風洞風扇轉動本身即產生亂流，我們運用風洞內前後各加上整流片，以減少風扇轉動產生的亂流，同時我們

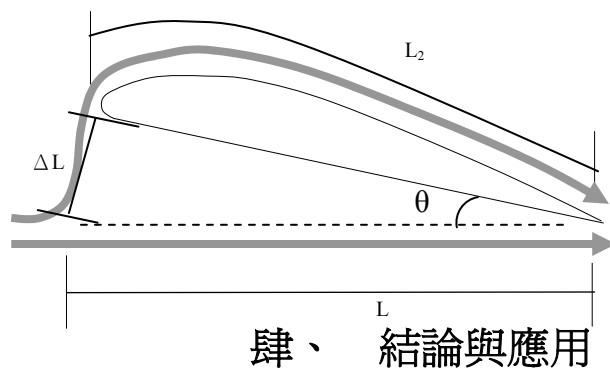
實驗時所用的風速儘可能低風速，以維持在層流狀態，但是當帆面與風向間攻角大到某個程度以上，天平讀數會不規則大幅跳動，我們將跳動數據的中間值，加減上所觀測跳動幅度，紀錄為實驗數據。此時風帆所受的風力為砝碼重力減去天平讀數加上動摩擦力±誤差（誤差含跳動幅度加動摩擦力加儀器誤差）

2. 實驗量測之數據的誤差有分為觀測上的誤差，如天平讀數的跳動，最大時接近±0.5gw，大多在±0.2gw 以內；還有儀器精密度的誤差，電子天平最小刻度為0.02gw；還有滑車與滑軌因摩擦力造成的誤差（最大靜摩擦力 1.11gw，動摩擦力 0.39gw），由於除非風速極低或帆面攻角極小，天平始終讀數有跳動，所以會有±動摩擦力的誤差；而在風速極低或帆面攻角極小，天平讀數穩定不動時，會有最大靜摩擦力的；此外為減少誤差，每個圖表數據都至少有實驗三次以上求平均值。
3. 側風航行時，帆面在 0°攻角時，依分力計算 $F_{\text{航}} = (1/2) (2) \rho A v^2 \sin \theta \cos \theta$ 當 θ 為零時，應該 $F_{\text{航}} = 0$ ，實驗結果顯示平板升力幾乎為零，而克拉克 Y 與 JAL850 都約略有一些升力，所以我們必須以白努力原理解釋，克拉克 Y 與 JAL850 帆面上流速大於帆面下流速，故有壓力差產生。帆面攻角由 0°逐漸增加到 15°，各帆面升力皆呈現線性關係，兩斜率也非常接近平板帆，但是不符合 $F_{\text{航}} = (1/2) \rho A v^2 (2 \sin \theta \cos \theta)$ 的分力關係，我們推想，所相差的部份為白努力原理產生的壓力差；由下列假設的近似推導，在攻角 15°內 $F_{\text{合力}} = F_{\text{航}} + F_L \approx (1/2) \rho A v^2 (2 \sin \theta \cos \theta + 2 \sin \theta + \sin^2 \theta)$ 所得結果有相當程度相符。
4. 原本預期克拉克 Y 與 JAL850 等有弧度的翼型，應該有較大之最大升力或較高的失速角度，平板應該最易失速；但是實驗結果居然是平板帆性能最好；克拉克 Y

僅在攻角 $0^\circ\sim 10^\circ$ 較平板帆升力有大一些，這部分實驗的結果與想像有點不符，是有一點出乎意料。

5. 只要當帆面攻角介於 20° 至 45° 之間，其數值會有劇烈跳動，推測當帆面與風高攻角時，氣流會產生強烈亂流並失速，使得空氣剝離帆面造成升力大幅下降。

於是我們猜測如果像飛機加上縫翼，可能可以使其有整流效果，並增加其升力。所以我們使用雙桅帆，使氣流以更高速度更平順的流過主帆，增加由柏努力原理所產生之升力。



一、 結論

1. 我們以面積 $0.3\text{m}\times 0.15\text{m}$ 之平板帆實驗，當帆面與風向垂直時，探討風速與推力（阻力）關係，在風速低於 1.6m/s 時，實際測值較接近 $F_D = (1/2) C_D \rho A v$ ， $C_D = 3$ ，推力（阻力）為風速的一次方的函數關係。風速高於 1.6m/s 時，實際測值接近 $F_{\text{風}} = (1/2) C_D \rho A v^2$ ， $C_D = 2$ ，推力（阻力）為風速的二次方的函數關係，合乎文獻上理論關係。
2. 分別以四種不同面積之平板帆，當帆面與風向垂直時，在風速 1.6m/sec 風速下實驗，探討帆面面積與推力（阻力）關係，得到面積與風對帆推力（阻力）成正比關係，符合 $F_{\text{風}} = (1/2) C_D \rho A v^2$ ， $C_D = 2$ 的理論關係。

3. 我們以面積 $0.3\text{m}\times 0.15\text{m}$ 之平板帆、JAL850、CLARK Y 三種帆實驗，調整帆面角度，探討順風航行時，帆面攻角與推力（阻力）關係；發現三種帆，航行方向的力

$(F_{\text{航}})$ 與 $\sin^2 \theta$ 成正比關係，符合經分力計算結果 $F_{\text{航}} = (1/2) C_D \sin^2 \theta \rho A v^2$ ， $C_D = 2$ 關係。

4. 我們以面積 $0.3\text{m}\times 0.15\text{m}$ 之平板、JAL850、CLARK Y 三種帆實驗，調整帆面角度，探討側風航行時，帆面攻角與推力（升力）關係；發現三種帆面在攻角大於 45° 時，航行方向的力 $(F_{\text{航}})$ 與 $\sin \theta \cos \theta$ 有相當程度的吻合，符合分力計算結果

$F_{\text{航}} = (1/2) C_D \sin \theta \cos \theta \rho A v^2$ ， $C_D = 2$ 關係。而在攻角 $0^\circ \sim 45^\circ$ 之間由實驗發現，與風帆的分力理論值 $\sin \theta \cos \theta$ 有極大的差距。反而與飛機攻角升力資料相接近，一樣符合在 15° 時會產生最大升力，而超過 15° 之後出現非常不穩定的圖形，似乎也可以用高攻角空氣剝離機翼產生大量亂流現象來解釋。由此可推知，帆船的帆面就好比是飛機機翼，升力是由空氣經帆面之上下壓力差即白努力原理，再加上風對帆面垂直正向分力之沿航向分量，將兩者總合，為帆船側風航行帆面受力。

5. 我們以面積 $0.3\text{m}\times 0.15\text{m}$ 之平板、JAL850、CLARK Y 三種帆實驗，調整帆面角度，探討航行角 45° 時，帆面攻角與前進受力關係；由前次順風航行，與側風航行的實驗資料，所推算結果與航行角 45° 的實驗結果十分相符，所以利用順風與側風航行的實驗資料，可推算其他航行角時的船隻前進受力關係。

6. 我們以面積 $0.3\text{m}\times 0.1125\text{m}$ 與 $0.3\text{m}\times 0.0375\text{m}$ 所組成之雙桅帆進行側風之實驗，發

現其在側風時能有效的減少失速的現象，也更進一步發現主帆和小帆間夾角為 30° 時，其有最好的升力，這可想成雙桅帆船在海上側風航行時，在帆面高攻角時，能減少失速現象，依然可以持續穩定的航行，我們也可推想出飛機的機翼前段的縫翼功能也是如此。

二、 應用

中國帆船原遠較西洋帆船擁有眾多優點，如收帆容易，不需人工攀爬之優點，但面臨現今，及自動化要求，帆船雖具有環保之優勢，但如何更符合時代需求，如日德法三國之鋼製自動化帆船，圓形旋轉帆，邊界層翼帆雖部分已達商業化使用，但仍未普及，相信還有其研究空間。

伍、 參考文獻

- 一、王懷柱著，揭開飛行的奧秘 二版 全華科技股份有限公司出版 p2-44~p2-51 85，p2-53~p2-54
民國 87 年 3 月
- 二、李添財 汽車空氣動力學 初版 全華科技股份有限公司出版 p3-5~p4-4 p6-5~p6-7 民國 88
年 1 月
- 三、李約瑟著，陳立夫主譯，中國之科學與文明(12) 台灣商務印書館出版 初版 民 69
- 四、呂沛銘 民 80 (1991) 借風使力-如何選取帆船最佳航行角度 科學月刊 22 卷第九期 9 月
p648~p651
- 五、洪振義著，直昇機概論 台灣書店發行 p81~p98
- 六、陳思忠編著 流體力學概論 八刷 全華科技股份有限公司出版 p108~p115 民國 85 年 11 月

- 七、傅鶴齡編著 航空科學 大中圖書公司出版 p240~243 民國 71 年 7 月
- 八、翼型升阻係數資料
- 九、沈青嵩 楊樹基 褚德三 蔡尚芳 簡麗賢 蔣亨進 高中物理課本物質科學物理篇下冊 龍騰
出版
- 十、航空模型資料
- 十一、 機械構造完全解體圖建 世茂出版 p188~p189 p203~p204
- 十二、 <http://www.wing.sails.com>
- 十三、 Ira Flatow 著 林聰明譯 牛頓的蘋果 四刷 允晨文化出版 p144~p123 民國 85 年 3 月 10
日
- 十四、 基礎物理，第五章光 龍騰出版 P122~P125
- 十五、 物理篇上冊，第二章運動學 翰林出版 P52~P56
- 十六、 物理篇上冊，第三章靜力學 翰林出版 P134~P138
- 十七、 物理篇上冊，第五章牛頓第三定律與動量守衡 翰林出版 P227~P244
- 十八、 物理篇下冊，第八章流體的性質 三民出版 P119~P120
- 十九、 化學篇上冊，第五章氣體 南一出版 P113~P139
- 二十、 生活科技下，第十章四通八達的運輸系統，輪船與飛機 謳馨 P104~P106
- 二十一、 本國歷史上冊，第十章明清之際與西方的直接交通，造船業的興盛 中正書局
P178~P181

附錄一 名詞定義對照表

代號	名詞	定義	方向	單位
$F_L F_{升}$	升力	為航空名詞，此指有效分力中，垂直於航向之風力分力		牛頓 (Nt)
$F_D F_{阻}$	阻力	為航空名詞，此指有效分力中，平行於航向之風力分力	皆為正或0	牛頓 (Nt)
C_L	升力係數	白努力連續方程式中的升力係數		
C_D	阻力係數	白努力連續方程式中的阻力係數		
θ	攻角	為航空名詞，此指船帆與風之夾角	圖 (一)	度 ($^{\circ}$)
φ	航行角	航行方向與風之夾角		度 ($^{\circ}$)
$F_{風}$	風予帆之推力			
$F_{風\perp}$	風垂直帆面有效分力		圖 (二)	
$F_{無效}$	風平行帆面無效分力			
ρ	空氣密度	N/A		kg/m^3
A	帆面積	N/A		m^2
v	風速	實驗設定風速		m/s
P	壓力	船帆面所受之大氣壓力		Nt/m^2
	前帆與主帆夾角	在雙軌實驗中，前帆與主帆之夾角	圖 (三)	



圖 (一)

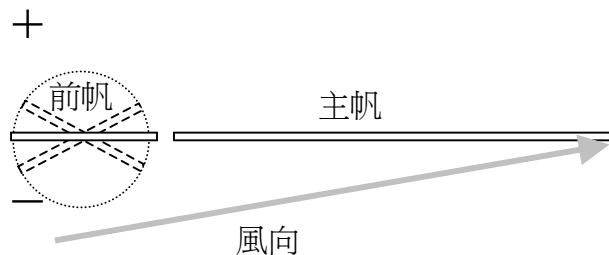
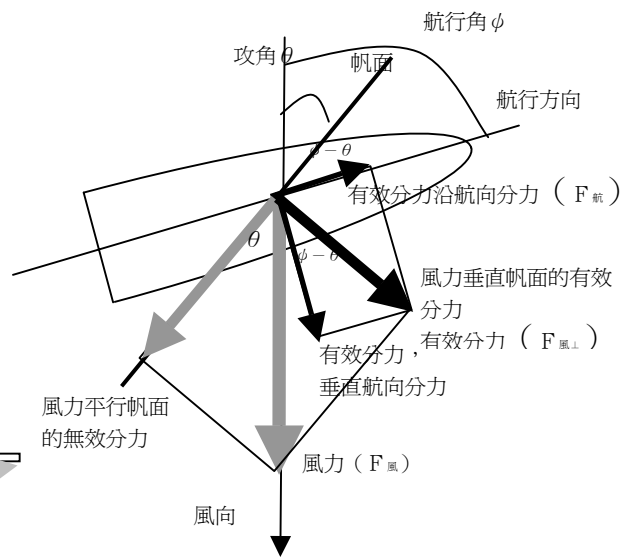


圖 (三)



帆面受風力作用，沿著航行方向的推力關係

圖 (二)

附錄二-實驗數據

一 風速與推力關係

Data 1			溫度：22.3℃		Data 2			溫度：25.2℃	
風速 m/s	推力 gw	誤差 gw	推力 N	風速 m/s	測值 gw	誤差 gw	推力 N		
0	0	0	0	0	215.16	0	0		
0.2	1.92	0.1	0.018816	0.2	213.16	0.1	0.0196		
0.3	2.72	0.4	0.026656	0.3	212.50	0.3	0.026068		
0.4	3.02	0.3	0.029596	0.4	211.70	0.4	0.033908		
0.5	3.62	0.4	0.035476	0.5	211.00	0.4	0.040768		
0.6	4.22	0.4	0.041356	0.6	209.60	0.4	0.054488		
0.7	5.52	0.4	0.054096	0.7	209.10	0.4	0.059388		
0.8	6.42	0.4	0.062916	0.8	208.70	0.5	0.063308		
0.9	7.22	0.4	0.070756	0.9	207.30	0.4	0.077028		
1	8.52	0.5	0.083496	1	206.6	0.5	0.083888		
1.1	8.92	0.5	0.087416	1.1	206.2	0.5	0.087808		
1.2	9.62	0.5	0.094276	1.2	205.8	0.4	0.091728		
1.3	10.92	0.4	0.107016	1.3	204.8	0.4	0.101528		
1.4	11.92	0.4	0.116816	1.4	203.6	0.4	0.113288		
1.5	12.52	0.5	0.122696	1.5	201.8	0.5	0.130928		
1.6	13.52	0.5	0.132496	1.6	201.2	0.5	0.136808		
1.7	14.62	0.5	0.143276	1.7	199.3	0.6	0.155428		
1.8	15.52	0.5	0.152096	1.8	197.3	0.5	0.175028		
1.9	19.52	0.5	0.191296	1.9	195.7	0.6	0.190708		
2	20.62	0.6	0.202076	2	193.8	0.6	0.209328		

	Data3	溫度：27.0℃		Data4	溫度：26.8℃		Data5	溫度：26.8℃				
風速	原重 gw	測重 gw	推力 N	誤差 gw	原重 gw	測重 gw	推力 N	誤差 gw	原重 gw	測重 gw	推力 N	誤差 gw
0.5	214.04	212	0.019992	.01	214.04	210.1	0.038612	0.2	215.06	212.3	0.027048	0.1
0.6	214.04	212.5	0.015092	0.1	214.04	209.8	0.041552	0.2	215.06	211.4	0.035868	0.1
0.7	214.04	210.2	0.037632	0.2	214.04	209.2	0.047432	0.2	215.06	210.1	0.048608	0.1
0.8	214.04	209.8	0.041552	0.2	214.04	208.7	0.052332	0.3	215.06	210	0.049588	0.1
0.9	214.04	208.9	0.050372	0.2	214.04	208.1	0.058212	0.2	215.06	210.3	0.046648	0.1
1	214.04	208	0.059192	0.2	214.04	207.8	0.061152	0.3	215.06	208.9	0.060368	0.1
1.1	214.04	207.8	0.061152	0.3	214.04	207.2	0.067032	0.4	215.06	208.6	0.063308	0.2
1.2	214.04	207.5	0.064092	0.3	214.04	204.8	0.090552	0.2	215.06	208	0.069188	0.2
1.3	214.04	206.6	0.072912	0.5	214.04	203.9	0.099372	0.2	215.06	205.4	0.094668	0.2
1.4	214.04	206.4	0.074872	0.5	214.04	203.6	0.102312	0.2	215.06	203.9	0.109368	0.3
1.5	214.04	206.3	0.075852	0.5	214.04	201.5	0.122892	0.2	215.06	203.7	0.111328	0.2
1.6	214.04	205.7	0.081732	0.5	214.04	200.5	0.132692	0.4	215.06	201.9	0.128968	0.2
1.7	214.04	204.9	0.089572	0.6	214.04	199.8	0.139552	0.2	215.06	201.3	0.134848	0.2
1.8	214.04	204.5	0.093492	0.5	214.04	196.9	0.167972	0.4	215.06	197.9	0.168168	0.2
1.9	214.04	204.1	0.097412	0.4	214.04	196.2	0.174832	0.4	215.06	197.6	0.171108	0.3
2	214.04	195.7	0.179732	0.8	214.04	195.6	0.180712	0.3	215.06	195	0.196588	0.6

二 帆面積與推力關係

	風速：1.6	氣溫：27.5											
	原重	面積 1/4	誤差	推力(N)	面積 1/2	誤差	推力(N)	面積 3/4	誤差	推力(N)	面積 1	誤差	推力(N)
實驗 1	215.1	211.6	0.1	0.0343	209.2		0.05782	205.9	0.2	0.09016	202.3	0.4	0.12544
實驗 2	215.1	211.8	0.1	0.03234	209	0.1	0.05978	205.5	0.3	0.09408	202.1	0.2	0.1274
實驗 3	215.1	211.8	0.3	0.03234	209.2	0.1	0.05782	205.3	0.1	0.09604	201.8	0.3	0.13034
平均				0.032993			0.058473			0.093427			0.127727

三 順風航行時，帆面之攻角與受風推進力之關係

Data1

	平板	氣溫：27.5	風速：1.6		克拉克 Y	氣溫：27.5	風速：1.6		JAL850	氣溫：27.5	風速：1.6	
攻角	原重 gw	測重 gw	推力 N	誤差 gw	原重 gw	測重 gw	推力 N	誤差 gw	原重 gw	測重 gw	推力 N	誤差 gw
0	215.18	215.18	0	0.011	215.2	215.2	0	0.1	215.2	214.36	0.008232	0.1
5	215.18	215.1	0.000784	0.1	215.2	215.18	0.000196	0.1	215.2	214.3	0.00882	0.1
10	215.18	215	0.001764	0.1	215.2	215.14	0.000588	0.1	215.2	213.9	0.01274	0.1
15	215.18	212.9	0.022344	0.1	215.2	215	0.00196	0.1	215.2	213.2	0.0196	0.1
20	215.18	212.4	0.027244	0.1	215.2	213.3	0.01862	0.1	215.2	212.7	0.0245	0.1
25	215.18	212	0.031164	0.1	215.2	212.3	0.02842	0.1	215.2	212.4	0.02744	0.1
30	215.18	211.1	0.039984	0.1	215.2	211.8	0.03332	0.1	215.2	210.8	0.04312	0.1
35	215.18	210.9	0.041944	0.1	215.2	210.8	0.04312	0.1	215.2	209.2	0.0588	0.1
40	215.18	209.1	0.059584	0.1	215.2	209.5	0.05586	0.2	215.2	208.4	0.06664	0.1
45	215.18	208.7	0.063504	0.1	215.2	208.5	0.06566	0.2	215.2	207.9	0.07154	0.2
50	215.18	207.2	0.078204	0.1	215.2	207.2	0.0784	0.1	215.2	207.3	0.07742	0.1
55	215.18	205.4	0.095844	0.3	215.2	206.2	0.0882	0.1	215.2	207	0.08036	0.3
60	215.18	205.1	0.098784	0.2	215.2	205.3	0.09702	0.3	215.2	206.4	0.08624	0.2
65	215.18	204.3	0.106624	0.2	215.2	204.9	0.10094	0.4	215.2	206.3	0.08722	0.3
70	215.18	203.6	0.113484	0.3	215.2	204.7	0.1029	0.3	215.2	205.1	0.09898	0.4
75	215.18	203.2	0.117404	0.3	215.2	204.3	0.10682	0.3	215.2	203.9	0.11074	0.4
80	215.18	203.1	0.118384	0.2	215.2	203	0.11956	0.2	215.2	203.4	0.11564	0.4
85	215.18	202.4	0.125244	0.2	215.2	202.7	0.1225	0.2	215.2	202.6	0.12348	0.4
90	215.18	202	0.129164	0.4	215.2	202.5	0.12446	0.3	215.2	202.3	0.12642	0.2

Data2

	平板	氣溫：27.2	風速：1.6		克拉克 Y	氣溫：27.3	風速：1.6		JAL850	氣溫：27.3	風速：1.6	
攻角	原重 gw	測重 gw	推力 N	誤差 gw	原重 gw	測重 gw	推力 N	誤差 gw	原重 gw	測重 gw	推力 N	誤差 gw
0	215.14	215.14	0	0.011	215.1	215	0.00098	0.1	215.1	215	0.00098	0.1
5	215.14	215	0.001372	0.1	215.1	214.2	0.00882	0.1	215.1	214.2	0.00882	0.1
10	215.14	213.9	0.012152	0.1	215.1	213.6	0.0147	0.1	215.1	213.6	0.0147	0.1
15	215.14	212.5	0.025872	0.1	215.1	213.1	0.0196	0.2	215.1	213.1	0.0196	0.2
20	215.14	212	0.030772	0.1	215.1	212	0.03038	0.2	215.1	212	0.03038	0.2
25	215.14	210.9	0.041552	0.2	215.1	210.9	0.04116	0.4	215.1	210.9	0.04116	0.4
30	215.14	210	0.050372	0.1	215.1	210.3	0.04704	0.1	215.1	210.3	0.04704	0.1

35	215.14	209.2	0.058212	0.2	215.1	209.8	0.05194	0.1	215.1	209.8	0.05194	0.1
40	215.14	207.7	0.072912	0.2	215.1	208.1	0.0686	0.1	215.1	208.1	0.0686	0.1
45	215.14	206.9	0.080752	0.3	215.1	207.5	0.07448	0.1	215.1	207.5	0.07448	0.1
50	215.14	205.3	0.096432	0.1	215.1	205.5	0.09408	0.1	215.1	205.5	0.09408	0.1
55	215.14	204.2	0.107212	0.2	215.1	204.9	0.09996	0.3	215.1	204.9	0.09996	0.3
60	215.14	203.7	0.112112	0.4	215.1	204.2	0.10682	0.4	215.1	204.2	0.10682	0.4
65	215.14	203	0.118972	0.4	215.1	203.9	0.10976	0.4	215.1	203.9	0.10976	0.4
70	215.14	202.7	0.121912	0.1	215.1	203.6	0.1127	0.4	215.1	203.6	0.1127	0.4
75	215.14	202.5	0.123872	0.3	215.1	203.6	0.1127	0.3	215.1	203.6	0.1127	0.3
80	215.14	202.3	0.125832	0.3	215.1	203.4	0.11466	0.2	215.1	203.4	0.11466	0.2
85	215.14	201.9	0.129752	0.3	215.1	203.1	0.1176	0.3	215.1	203.1	0.1176	0.3
90	215.14	201.5	0.133672	0.4	215.1	202.8	0.12054	0.4	215.1	202.8	0.12054	0.4

Data3

	平板				克拉克 Y				JAL850			
	氣溫：26.7		風速：1.6		氣溫：26.7		風速：1.6		氣溫：26.7		風速：1.6	
攻角	原重 gw	測重 gw	推力 N	誤差 gw	原重 gw	測重 gw	推力 N	誤差 gw	原重 gw	測重 gw	推力 N	誤差 gw
0	215.18	215.18	0	0.011	215.18	215.1	0.000784	0.1	215.16	215.1	0.000588	0.1
5	215.18	215	0.001764	0.1	215.18	214.7	0.004704	0.1	215.16	214.3	0.008428	0.1
10	215.18	214.6	0.005684	0.1	215.18	214	0.011564	0.1	215.16	214.2	0.009408	0.1
15	215.18	213	0.021364	0.1	215.18	212.7	0.024304	0.1	215.16	214	0.011368	0.1
20	215.18	212	0.031164	0.1	215.18	211.1	0.039984	0.2	215.16	212.8	0.023128	0.1
25	215.18	211.2	0.039004	0.1	215.18	211	0.040964	0.2	215.16	212	0.030968	0.2
30	215.18	210.1	0.049784	0.1	215.18	210.3	0.047824	0.1	215.16	210.2	0.048608	0.3
35	215.18	209	0.060564	0.1	215.18	209.5	0.055664	0.3	215.16	209.2	0.058408	0.2
40	215.18	208.1	0.069384	0.1	215.18	208.2	0.068404	0.1	215.16	208.3	0.067228	0.1
45	215.18	206.5	0.085064	0.3	215.18	206.8	0.082124	0.1	215.16	207.7	0.073108	0.3
50	215.18	206	0.089964	0.2	215.18	205.5	0.094864	0.2	215.16	207	0.079968	0.2
55	215.18	204.7	0.102704	0.2	215.18	204.3	0.106624	0.2	215.16	205.2	0.097608	0.2
60	215.18	203.8	0.111524	0.3	215.18	203.3	0.116424	0.3	215.16	204.8	0.101528	0.4
65	215.18	203.6	0.113484	0.4	215.18	203.2	0.117404	0.2	215.16	202.3	0.126028	0.2
70	215.18	202.7	0.122304	0.3	215.18	202.5	0.124264	0.5	215.16	202.1	0.127988	0.2
75	215.18	201.7	0.133084	0.4	215.18	202.4	0.125244	0.7	215.16	201.7	0.131908	0.3
80	215.18	201.6	0.133084	0.4	215.18	201.8	0.131124	0.4	215.16	201.5	0.133868	0.4
85	215.18	201.4	0.135044	0.4	215.18	202.4	0.125244	0.3	215.16	201.2	0.136808	0.4
90	215.18	200.1	0.147784	0.3	215.18	200.5	0.143864	0.3	215.16	200.7	0.141708	0.4

平均

攻角	平板			克拉克 Y				JAL850				
	摩擦力 N	平均測值 N	誤差 N	推力 N	摩擦力 N	平均測值 N	誤差 N	推力 N	摩擦力 N	平均測值 N	誤差 N	推力 N
0	0	0	0.000108	0	0.0039	0.000588	0.00098	0.004488	0.0039	0.003267	0.00098	0.007167
5	0.0039	0.001307	0.00098	0.005207	0.0039	0.004573	0.00098	0.008473	0.0039	0.008689	0.00098	0.012589
10	0.0039	0.006533	0.00098	0.010433	0.0039	0.008951	0.00098	0.012851	0.0039	0.012283	0.00098	0.016183
15	0.0039	0.023193	0.00098	0.027093	0.0039	0.015288	0.001307	0.019188	0.0039	0.016856	0.001307	0.020756
20	0.0039	0.029727	0.00098	0.033627	0.0039	0.029661	0.001633	0.033561	0.0039	0.026003	0.001307	0.029903
25	0.0039	0.03724	0.001307	0.04114	0.0039	0.036848	0.002287	0.040748	0.0039	0.033189	0.002287	0.037089
30	0.0039	0.046713	0.00098	0.050613	0.0039	0.042728	0.00098	0.046628	0.0039	0.046256	0.001633	0.050156
35	0.0039	0.053573	0.001307	0.057473	0.0039	0.050241	0.001633	0.054141	0.0039	0.056383	0.001307	0.060283
40	0.0039	0.067293	0.001307	0.071193	0.0039	0.064288	0.001307	0.068188	0.0039	0.067489	0.00098	0.071389
45	0.0039	0.07644	0.002287	0.08034	0.0039	0.074088	0.001307	0.077988	0.0039	0.073043	0.00196	0.076943
50	0.0039	0.0882	0.001307	0.0921	0.0039	0.089115	0.001307	0.093015	0.0039	0.083823	0.001307	0.087723
55	0.0039	0.10192	0.002287	0.10582	0.0039	0.098261	0.00196	0.102161	0.0039	0.092643	0.002613	0.096543
60	0.0039	0.107473	0.00294	0.111373	0.0039	0.106755	0.003267	0.110655	0.0039	0.098196	0.003267	0.102096
65	0.0039	0.113027	0.003267	0.116927	0.0039	0.109368	0.003267	0.113268	0.0039	0.107669	0.00294	0.111569
70	0.0039	0.119233	0.002287	0.123133	0.0039	0.113288	0.00392	0.117188	0.0039	0.113223	0.003267	0.117123
75	0.0039	0.124787	0.003267	0.128687	0.0039	0.114921	0.004247	0.118821	0.0039	0.118449	0.003267	0.122349
80	0.0039	0.125767	0.00294	0.129667	0.0039	0.121781	0.002613	0.125681	0.0039	0.121389	0.003267	0.125289
85	0.0039	0.130013	0.00294	0.133913	0.0039	0.121781	0.002613	0.125681	0.0039	0.125963	0.003593	0.129863
90	0.0039	0.136873	0.003593	0.140773	0.0039	0.129621	0.003267	0.133521	0.0039	0.129556	0.003267	0.133456

四 側風航行時，帆面之攻角與受風推進力之關係

Data1

攻角	克拉克 Y					JAL850					平板				
	測值 gw	推力 gw	摩擦力 N	升力 N	誤差 N	測值 gw	推力 gw	摩擦力 N	升力 N	誤差 N	測值 gw	推力 gw	摩擦力 N	升力 N	誤差 N
0	214.4	0.74	0	0.007252	0.0112	215.1	0.04	0	0.000392	0.01117	215.18	0	0	0	0.00011
2.5	213.7	1.44	0.0039	0.018012	0	213.7	1.44	0.0039	0.018012	0.00098	214.2	0.98	0.0039	0.013504	0.00098
5	211.1	4.04	0.0039	0.043492	0.001	212.3	2.84	0.0039	0.031732	0.00196	212	3.18	0.0039	0.035064	0.00098
7.5	209.9	5.24	0.0039	0.055252	0.001	210.7	4.44	0.0039	0.047412	0.00196	210.8	4.38	0.0039	0.046824	0.00098
10	209	6.14	0.0039	0.064072	0	209.9	5.24	0.0039	0.055252	0.00098	209.8	5.38	0.0039	0.056624	0.00196
12.5	207.4	7.74	0.0039	0.079752	0.001	208.2	6.94	0.0039	0.071912	0.00196	207.9	7.28	0.0039	0.075244	0.00196
15	206.7	8.44	0.0039	0.086612	0.0029	207.1	8.04	0.0039	0.082692	0.00196	206.8	8.38	0.0039	0.086024	0.00196
17.5	206.2	8.94	0.0039	0.091512	0.002	207.3	7.84	0.0039	0.080732	0.00196	206.7	8.48	0.0039	0.087004	0.00098
20	207.2	7.94	0.0039	0.081712	0.0029	206.4	8.74	0.0039	0.089552	0.00294	204.9	10.28	0.0039	0.104644	0.00196
25	207.3	7.84	0.0039	0.080732	0.001	207.3	7.84	0.0039	0.080732	0.00392	205.5	9.68	0.0039	0.098764	0.00196
30	207	8.14	0.0039	0.083672	0.002	207.1	8.04	0.0039	0.082692	0.00294	205.8	9.38	0.0039	0.095824	0.00196
35	207.2	7.94	0.0039	0.081712	0.001	207.5	7.64	0.0039	0.078772	0.00294	205.8	9.38	0.0039	0.095824	0.00294
40	206.3	8.84	0.0039	0.090532	0.0029	206.6	8.54	0.0039	0.087592	0.00196	206.5	8.68	0.0039	0.088964	0.00294
45	207	8.14	0.0039	0.083672	0.001	207	8.14	0.0039	0.083672	0.00196	206.8	8.38	0.0039	0.086024	0.00392
50	207.2	7.94	0.0039	0.081712	0.001	207.3	7.84	0.0039	0.080732	0.00098	207.1	8.08	0.0039	0.083084	0.00196
55	207.6	7.54	0.0039	0.077792	0.002	207.4	7.74	0.0039	0.079752	0.00098	207.9	7.28	0.0039	0.075244	0.00098

60	208.5	6.64	0.0039	0.068972	0.002	208.5	6.64	0.0039	0.068972	0.00196	208.1	7.08	0.0039	0.073284	0.00294
65	209.8	5.34	0.0039	0.056232	0.002	209.3	5.84	0.0039	0.061132	0.00098	209.1	6.08	0.0039	0.063484	0.00098
70	210.8	4.34	0.0039	0.046432	0.002	210.3	4.84	0.0039	0.051332	0.00098	210.4	4.78	0.0039	0.050744	0.00196
75	212.1	3.04	0.0039	0.033692	0.001	212	3.14	0.0039	0.034672	0.00098	212.5	2.68	0.0039	0.030164	0.00098
80	213.5	1.64	0.0039	0.019972	0.001	213.1	2.04	0.0039	0.023892	0	212.1	3.08	0.0039	0.034084	0.00294
85	214.8	0.34	0.0039	0.007232	0	214.4	0.74	0.0039	0.011152	0	213.4	1.78	0.0039	0.021344	0.00098
90	215.1	0.04	0.0039	0.004292	0	215.1	0.04	0.0039	0.004292	0	215.18	0	0.0039	0.0039	0.00098

Data2

攻角	克拉克 Y V=1.6m/s T=26.1°C					JAL850 V=1.6m/s T=26.3°C					平版 V=1.6m/s T=26.5°C				
	測值 gw	推力 gw	摩擦力 N	升力 N	誤差 N	測值	推力 gw	摩擦力 N	升力 N	誤差 N	測值	推力 gw	摩擦力 N	升力 N	誤差 N
0	213.9	1.3	0.011	0.02374	0.00098	214.9	0.9	0.011	0.01982	0.00098	215.18	0	0	0	0.011
2.5	212.1	3.1	0.0039	0.03428	0.00098	213.4	2.4	0.0039	0.02742	0.00098	213.7	1.48	0.0039	0.018404	0.00098
5	210.5	4.7	0.0039	0.04996	0.00098	212.7	3.1	0.0039	0.03428	0.00098	211.2	3.98	0.0039	0.042904	0.00098
7.5	209.4	5.8	0.0039	0.06074	0.00098	210.7	5.1	0.0039	0.05388	0.00098	210	5.18	0.0039	0.054664	0.00196
10	208	7.2	0.0039	0.07446	0.00098	209.5	6.3	0.0039	0.06564	0.00196	209.2	5.98	0.0039	0.062504	0.00098
12.5	206.6	8.6	0.0039	0.08818	0.00098	207.9	7.9	0.0039	0.08132	0.00294	206.7	8.48	0.0039	0.087004	0.00098
15	206.6	8.6	0.0039	0.08818	0.00196	207.3	8.5	0.0039	0.0872	0.00098	206.3	8.88	0.0039	0.090924	0.00392
17.5	206.3	8.9	0.0039	0.09112	0.00294	206.7	9.1	0.0039	0.09308	0.00196	205	10.18	0.0039	0.103664	0.00294
20	206.6	8.6	0.0039	0.08818	0.00294	206.3	9.5	0.0039	0.097	0.00294	204.8	10.38	0.0039	0.105624	0.00294
25	206.7	8.5	0.0039	0.0872	0.00196	206.2	9.6	0.0039	0.09798	0.00392	204.8	10.38	0.0039	0.105624	0.00196
30	206.6	8.6	0.0039	0.08818	0.00098	206.8	9	0.0039	0.0921	0.00392	205.7	9.48	0.0039	0.096804	0.00294
35	207.4	7.8	0.0039	0.08034	0.00098	207.5	8.3	0.0039	0.08524	0.00098	206	9.18	0.0039	0.093864	0.00196
40	206.7	8.5	0.0039	0.0872	0.00196	207.4	8.4	0.0039	0.08622	0.00294	207.2	7.98	0.0039	0.082104	0.00294
45	207.4	7.8	0.0039	0.08034	0.00196	207.7	8.1	0.0039	0.08328	0.00098	207.4	7.78	0.0039	0.080144	0.00196
50	207	8.2	0.0039	0.08426	0.00098	208.2	7.6	0.0039	0.07838	0.00294	208	7.18	0.0039	0.074264	0.00196
55	207.6	7.6	0.0039	0.07838	0.00098	208.5	7.3	0.0039	0.07544	0.00294	208.3	6.88	0.0039	0.071324	0.00196
60	208.7	6.5	0.0039	0.0676	0.00294	209.3	6.5	0.0039	0.0676	0.00098	209	6.18	0.0039	0.064464	0.00196
65	209.1	6.1	0.0039	0.06368	0.00098	209.8	6	0.0039	0.0627	0.00098	209.9	5.28	0.0039	0.055644	0.00098
70	210.6	4.6	0.0039	0.04898	0.00098	210.9	4.9	0.0039	0.05192	0.00098	211.1	4.08	0.0039	0.043884	0.00098
75	212.3	2.9	0.0039	0.03232	0.00098	211.8	4	0.0039	0.0431	0.00098	211	4.18	0.0039	0.044864	0.00098
80	212.5	2.7	0.0039	0.03036	0.00098	212.9	2.9	0.0039	0.03232	0.00098	212.1	3.08	0.0039	0.034084	0.00098
85	213.1	2.1	0.0039	0.02448	0.00098	213.6	2.2	0.0039	0.02546	0.00098	213.4	1.78	0.0039	0.021344	0.00098
90	214.6	0.6	0.0039	0.00978	0.00098	215	0.8	0.0039	0.01174	0.00098	215.1	0.08	0.0039	0.004684	0.00098

Data3

攻角	克拉克 Y V=1.6m/s T=23.5°C					JAL850 V=1.6m/s T=23.6°C					平版 V=1.6m/s T=23.5°C				
	測值 gw	推力 gw	摩擦力 N	升力 N	誤差 N	測值	推力 gw	摩擦力 N	升力 N	誤差 N	測值	推力 gw	摩擦力 N	升力 N	誤差 N
0	213.9	1.26	0.011	0.023348	0.00069	214.98	0.2	0.011	0.01296	0	215.1	0	0.011	0.011	0.00069
2.5	212.9	2.26	0.0039	0.026048	0.00098	213.55	1.63	0.0039	0.019874	0.00098	213.95	1.15	0.0039	0.01517	0.00098
5	210.1	5.06	0.0039	0.053488	0.00098	212.5	2.68	0.0039	0.030164	0.00196	212.5	2.6	0.0039	0.02938	0.00098
7.5	209.65	5.51	0.0039	0.057898	0.00098	210.7	4.48	0.0039	0.047804	0.00196	210.4	4.7	0.0039	0.04996	0.00098
10	208.4	6.76	0.0039	0.070148	0.00098	210.1	5.08	0.0039	0.053684	0.00098	207.7	7.4	0.0039	0.07642	0.00098

12.5	209.65	5.51	0.0039	0.057898	0.00098	208.05	7.13	0.0039	0.073774	0.00196	207.3	7.8	0.0039	0.08034	0.00098
15	206.6	8.56	0.0039	0.087788	0.00327	207.3	7.88	0.0039	0.081124	0.00294	206.8	8.3	0.0039	0.08524	0.00327
17.5	206.1	9.06	0.0039	0.092688	0.00359	207.2	7.98	0.0039	0.082104	0.00359	205.7	9.4	0.0039	0.09602	0.00359
20	206.4	8.76	0.0039	0.089748	0.00392	206.4	8.78	0.0039	0.089944	0.0049	205.7	9.4	0.0039	0.09602	0.00392
25	206.9	8.26	0.0039	0.084848	0.00359	206.3	8.88	0.0039	0.090924	0.00392	205.7	9.4	0.0039	0.09602	0.00359
30	206.6	8.56	0.0039	0.087788	0.00294	206.5	8.68	0.0039	0.088964	0.00229	205.3	9.8	0.0039	0.09994	0.00294
35	206.5	8.66	0.0039	0.088768	0.00261	206.9	8.28	0.0039	0.085044	0.00261	206	9.1	0.0039	0.09308	0.00261
40	207.3	7.86	0.0039	0.080928	0.00294	207.5	7.68	0.0039	0.079164	0.00196	206.2	8.9	0.0039	0.09112	0.00294
45	207.2	7.96	0.0039	0.081908	0.00098	207.6	7.58	0.0039	0.078184	0.00196	206.5	8.6	0.0039	0.08818	0.00098
50	208.6	6.56	0.0039	0.068188	0.00098	208.2	6.98	0.0039	0.072304	0.00098	207.1	8	0.0039	0.0823	0.00098
55	208.5	6.66	0.0039	0.069168	0.00196	208.4	6.78	0.0039	0.070344	0.00098	209.2	5.9	0.0039	0.06172	0.00196
60	209	6.16	0.0039	0.064268	0.00196	208.9	6.28	0.0039	0.065444	0.00196	208.6	6.5	0.0039	0.0676	0.00196
65	209.5	5.66	0.0039	0.059368	0.00196	209.1	6.08	0.0039	0.063484	0.00098	209.9	5.2	0.0039	0.05486	0.00196
70	210.4	4.76	0.0039	0.050548	0.00196	211.4	3.78	0.0039	0.040944	0.00098	211	4.1	0.0039	0.04408	0.00196
75	212	3.16	0.0039	0.034868	0.00098	211.7	3.48	0.0039	0.038004	0.00098	212.2	2.9	0.0039	0.03232	0.00098
80	212.7	2.46	0.0039	0.028008	0.00098	212.2	2.98	0.0039	0.033104	0	212.84	2.26	0.0039	0.026048	0.00098
85	213.74	1.42	0.0039	0.017816	0	214.1	1.08	0.0039	0.014484	0	213.74	1.36	0.0039	0.017228	0
90	215.16	0	0.0039	0.0039	0	215.18	0	0.0039	0.0039	0	214.62	0.48	0.0039	0.008604	0

平均

	克拉克 y			JAL850			平板		
	平均			平均			平均		
攻角	升力 N	誤差 gw	誤差 N	升力 N	誤差 gw	誤差 N	升力 N	誤差 gw	誤差 N
0	0.014726	0.436778	0.00428	0.008001	0.413333	0.004051	0	0.040667	0.000399
2.5	0.024248	0.066667	0.000653	0.020981	0.1	0.00098	0.014884	0.1	0.00098
5	0.045808	0.1	0.00098	0.032415	0.166667	0.001633	0.03579	0.1	0.00098
7.5	0.056915	0.1	0.00098	0.049401	0.166667	0.001633	0.049184	0.133333	0.001307
10	0.067368	0.066667	0.000653	0.059201	0.133333	0.001307	0.05833	0.166667	0.001633
12.5	0.082395	0.1	0.00098	0.074881	0.233333	0.002287	0.07891	0.166667	0.001633
15	0.087186	0.277778	0.002722	0.083592	0.2	0.00196	0.087948	0.322222	0.003158
17.5	0.091215	0.288889	0.002831	0.085444	0.255556	0.002504	0.095244	0.266667	0.002613
20	0.085226	0.333333	0.003267	0.091977	0.366667	0.003593	0.103955	0.322222	0.003158
25	0.08381	0.222222	0.002178	0.088601	0.4	0.00392	0.101341	0.255556	0.002504
30	0.085879	0.2	0.00196	0.086641	0.311111	0.003049	0.09655	0.277778	0.002722
35	0.081632	0.155556	0.001524	0.081415	0.222222	0.002178	0.094481	0.288889	0.002831
40	0.089255	0.266667	0.002613	0.086968	0.233333	0.002287	0.086424	0.3	0.00294
45	0.082395	0.133333	0.001307	0.083375	0.166667	0.001633	0.08381	0.333333	0.003267
50	0.082395	0.1	0.00098	0.079781	0.166667	0.001633	0.07989	0.2	0.00196
55	0.077821	0.166667	0.001633	0.078148	0.166667	0.001633	0.073684	0.133333	0.001307
60	0.068348	0.233333	0.002287	0.068348	0.166667	0.001633	0.07009	0.266667	0.002613
65	0.058548	0.166667	0.001633	0.061488	0.1	0.00098	0.060617	0.1	0.00098
70	0.047115	0.166667	0.001633	0.051361	0.1	0.00098	0.048204	0.166667	0.001633
75	0.033068	0.1	0.00098	0.037315	0.1	0.00098	0.03481	0.1	0.00098

80	0.023268	0.1	0.00098	0.026535	0.033333	0.000327	0.03383	0.233333	0.002287
85	0.012815	0.033333	0.000327	0.015755	0.033333	0.000327	0.02109	0.1	0.00098
90	0.005955	0.033333	0.000327	0.006608	0.033333	0.000327	0.003864	0.1	0.00098

攻角-3~17 度, 理論側風升力(依據文獻探討之翼型資料)

攻角	克拉克 Y	JAL850	公式				攻角-3~17 度, 理論側風升力		
	理論資料	理論資料	1/2	ρ	A	v^2	Clark Y	JAL850	
-3	0.22	0.3	0.5	1.197	0.045	2.56	0.015168	0.02068416	
-2	0.33	0.34	0.5	1.197	0.045	2.56	0.022753	0.023442048	
-1	0.41	0.39	0.5	1.197	0.045	2.56	0.028268	0.026889408	
0	0.49	0.46	0.5	1.197	0.045	2.56	0.033784	0.031715712	
1	0.55	0.49	0.5	1.197	0.045	2.56	0.037921	0.033784128	
2	0.59	0.54	0.5	1.197	0.045	2.56	0.040679	0.037231488	
3	0.64	0.59	0.5	1.197	0.045	2.56	0.044126	0.040678848	
4	0.68	0.64	0.5	1.197	0.045	2.56	0.046884	0.044126208	
5	0.71	0.69	0.5	1.197	0.045	2.56	0.048953	0.047573568	
6	0.74	0.73	0.5	1.197	0.045	2.56	0.051021	0.050331456	
7	0.77	0.79	0.5	1.197	0.045	2.56	0.053089	0.054468288	
8	0.8	0.83	0.5	1.197	0.045	2.56	0.055158	0.057226176	
9	0.83	0.88	0.5	1.197	0.045	2.56	0.057226	0.060673536	
10	0.85	0.93	0.5	1.197	0.045	2.56	0.058605	0.064120896	
11	0.87	0.97	0.5	1.197	0.045	2.56	0.059984	0.066878784	
12	0.86	1.02	0.5	1.197	0.045	2.56	0.059295	0.070326144	
13	0.85	1.05	0.5	1.197	0.045	2.56	0.058605	0.07239456	
14	0.84	1.08	0.5	1.197	0.045	2.56	0.057916	0.074462976	
15	0.82	1.1	0.5	1.197	0.045	2.56	0.056537	0.07584192	
16	0.79	1.09	0.5	1.197	0.045	2.56	0.054468	0.075152448	
17	0.76	1.07	0.5	1.197	0.045	2.56	0.0524	0.073773504	

攻角-0~17 度, 實驗理論側風升力

攻角	克拉克 Y	誤差 N	JAL850	誤差 N	$2\sin\theta \cos\theta$
	實驗 CL		實驗 CL		
0	0.014726	0.00098	0.008001	0.001	0
2.5	0.024248	0.00098	0.020981	0.001	0.010894468
5	0.045808	0.00098	0.032415	0.001	0.021706022
7.5	0.056915	0.00098	0.049401	0.001	0.032352381
10	0.067368	0.00098	0.059201	0.002	0.042752518
12.5	0.082395	0.00098	0.074881	0.0029	0.052827283
15	0.087186	0.00196	0.083592	0.001	0.0625
17.5	0.085226	0.00294	0.091977	0.002	0.071697055

五 航行角 45°時帆面之攻角與受風推進力之關係

<實驗推導 升力-阻力>

實驗平均升力	克拉克 y		JAL850		平板		
	攻角	升力 N	誤差 N	升力 N	誤差 N	升力 N	誤差 N
	0	0.01472578	0.00428042	0.00800133	0.004050667	0	0.000398533
	5	0.024248	0.00065333	0.02098133	0.00098	0.014883556	0.00098
	10	0.045808	0.00098	0.03241467	0.001633333	0.035790222	0.00098
	15	0.05691467	0.00098	0.04940133	0.001633333	0.049183556	0.001306667
	20	0.067368	0.00065333	0.05920133	0.001306667	0.058330222	0.001633333
	25	0.08239467	0.00098	0.07488133	0.002286667	0.078910222	0.001633333
	30	0.08718578	0.00272222	0.08359244	0.00196	0.087948	0.003157778
	35	0.09121467	0.00283111	0.08544356	0.002504444	0.095243556	0.002613333
	40	0.08522578	0.00326667	0.09197689	0.003593333	0.103954667	0.003157778
	45	0.08381022	0.00217778	0.08860133	0.00392	0.101341333	0.002504444

實驗平均阻力	克拉克 Y		JAL850		平板		
	攻角	推力 N	誤差 N	推力 N	誤差 N	推力 N	誤差 N
	0	0.004488	0.00098	0.00716667	0.00098	0	0.0001078
	5	0.00847333	0.00098	0.01258933	0.00098	0.005206667	0.00098
	10	0.01285067	0.00098	0.01618267	0.00098	0.010433333	0.00098
	15	0.019188	0.00130667	0.020756	0.001306667	0.027093333	0.00098
	20	0.03356133	0.00163333	0.02990267	0.001306667	0.033626667	0.00098
	25	0.040748	0.00228667	0.03708933	0.002286667	0.04114	0.001306667
	30	0.046628	0.00098	0.050156	0.001633333	0.050613333	0.00098
	35	0.05414133	0.00163333	0.06028267	0.001306667	0.057473333	0.001306667
	40	0.068188	0.00130667	0.07138933	0.00098	0.071193333	0.001306667
	45	0.077988	0.00130667	0.07694267	0.00196	0.08034	0.002286667

實驗 升力-阻力	克拉克 Y		JAL850		平板		
	攻角	升力-阻力	誤差 N	升力-阻力	誤差 N	升力-阻力	誤差 N
	0	0.0072392	0.00526042	0.0005902	0.005030667	0	0.000506333
	5	0.01115437	0.00163333	0.00593404	0.00196	0.006842594	0.00196
	10	0.02330435	0.00196	0.01147776	0.002613333	0.017930028	0.00196
	15	0.02667678	0.00228667	0.02025531	0.00294	0.015620146	0.002286667
	20	0.02390492	0.00228667	0.02071729	0.002613333	0.017468052	0.002613333
	25	0.02944864	0.00326667	0.02672298	0.004573333	0.02670758	0.00294
	30	0.02867868	0.00370222	0.02364314	0.003593333	0.026399596	0.004137778
	35	0.02621481	0.00446444	0.01779144	0.003811111	0.02670758	0.00392
	40	0.01204753	0.00457333	0.0145576	0.004573333	0.023165761	0.004464444
	45	0.00411693	0.00348444	0.00824392	0.00588	0.014850185	0.004791111

平板三次實驗

攻角	實驗 1 溫度 22.7°C 風速 1.6(m/s)					實驗 2 溫度 23.1°C 風速 1.6(m/s)					實驗 3 溫度 23.1°C 風速 1.6(m/s)				
	原重 gw	測重 gw	繩子張力 gw	繩子張力+動摩擦力(N)	誤差 gw	原重 gw	測重 gw	繩子張力 gw	繩子張力+動摩擦力(N)	誤差 gw	原重 gw	測重 gw	繩子張力 gw	繩子張力+動摩擦力(N)	誤差 gw
0	215.18	215.18	0.00	0.004	0.1	215.18	215.18	0.00	0.004	0.1	215.18	215.18	0.00	0.004	0.1
2.5	215.18	214.60	0.58	0.010	0.1	215.18	214.8	0.38	0.008	0.1	215.18	214.40	0.78	0.012	0.1
5	215.18	213.10	2.08	0.024	0.1	215.18	213.4	1.78	0.021	0.1	215.18	213.50	1.68	0.020	0.1
7.5	215.18	212.40	2.78	0.031	0.1	215.18	212.8	2.38	0.027	0.2	215.18	212.40	2.78	0.031	0.1
10	215.18	211.70	3.48	0.038	0.1	215.18	212.4	2.78	0.031	0.1	215.18	212.20	2.98	0.033	0.1
12.5	215.18	211.30	3.88	0.042	0.1	215.18	211.9	3.28	0.036	0.1	215.18	211.30	3.88	0.042	0.2
15	215.16	210.40	4.76	0.051	0.1	215.16	210.4	4.76	0.051	0.1	215.16	210.60	4.56	0.049	0.1
20	215.16	210.70	4.46	0.048	0.1	215.16	210.8	4.36	0.047	0.1	215.16	210.90	4.26	0.046	0.1
25	215.16	212.10	3.06	0.034	0.1	215.16	211.4	3.76	0.041	0.1	215.16	212.20	2.96	0.033	0.1
30	215.16	212.70	2.46	0.028	0.1	215.16	211.9	3.26	0.036	0.1	215.16	212.80	2.36	0.027	0.1
35	215.16	213.30	1.86	0.022	0.1	215.16	213.16	2.00	0.024	0	215.16	212.90	2.26	0.026	0.1
40	215.16	214.80	0.36	0.007	0	215.16	214.5	0.66	0.010	0	215.16	214.36	0.80	0.012	0
45	215.16	215.14	0.02	0.004	0	215.16	215.16	0.00	0.004	0	215.16	215.12	0.04	0.004	0

JAL850 三次實驗

攻角	實驗 1 溫度 22.7°C 風速 1.6(m/s)					實驗 2 溫度 22.7°C 風速 1.6(m/s)					實驗 3 溫度 22.7°C 風速 1.6(m/s)				
	原重 gw	測重 gw	繩子張力 gw	繩子張力+動摩擦力(N)	誤差 gw	原重 gw	測重 gw	繩子張力 gw	繩子張力+動摩擦力(N)	誤差 gw	原重 gw	測重 gw	繩子張力 gw	繩子張力+動摩擦力(N)	誤差 gw
0	215.18	215.18	0.00	0.004	0.1	215.18	215.16	0.02	0.004	0.1	215.18	215.16	0.02	0.004	0.1
2.5	215.18	214.20	0.98	0.014	0.1	215.18	215.06	0.12	0.005	0.1	215.18	214.50	0.68	0.011	0.1
5	215.18	213.70	1.48	0.018	0.1	215.18	213.80	1.38	0.017	0.1	215.18	213.80	1.38	0.017	0.1
7.5	215.18	212.20	2.98	0.033	0.1	215.18	213.10	2.08	0.024	0.1	215.18	212.90	2.28	0.026	0.1
10	215.18	211.50	3.68	0.040	0.1	215.18	211.70	3.48	0.038	0.1	215.18	211.30	3.88	0.042	0.1
12.5	215.18	210.50	4.68	0.050	0.1	215.18	210.90	4.28	0.046	0.1	215.18	212.00	3.18	0.035	0.1
15	215.18	210.70	4.48	0.048	0.1	215.18	210.50	4.68	0.050	0.1	215.18	210.90	4.28	0.046	0.1
17.5	215.18	209.70	5.48	0.058	0.1	215.18	209.80	5.38	0.057	0.1	215.18	210.20	4.98	0.053	0.1
20	215.18	210.40	4.78	0.051	0.2	215.18	210.70	4.48	0.048	0.2	215.18	210.30	4.88	0.052	0.1
22.5	215.18	211.50	3.68	0.040	0.2	215.18	210.60	4.58	0.049	0.2	215.18	210.40	4.78	0.051	0.2
25	215.18	212.00	3.18	0.035	0.1	215.18	211.00	4.18	0.045	0.2	215.18	211.00	4.18	0.045	0.2
30	215.18	213.40	1.78	0.021	0.1	215.18	212.20	2.98	0.033	0.1	215.18	212.90	2.28	0.026	0.1
35	215.18	213.70	1.48	0.018	0.1	215.18	212.70	2.48	0.028	0.1	215.18	212.96	2.22	0.026	0.1
40	215.18	214.30	0.88	0.013	0.1	215.18	213.60	1.58	0.019	0.1	215.18	213.80	1.38	0.017	0.1
45	215.18	215.18	0.00	0.004	0.1	215.18	215.16	0.02	0.004	0.1	215.18	215.16	0.02	0.004	0.1

克拉克 Y 三次實驗

攻角	實驗 1					實驗 2					實驗 3				
	原重 gw	測重 gw	繩子張力 gw	繩子張力+動摩擦力(N)	誤差 gw	原重 gw	測重 gw	繩子張力 gw	繩子張力+動摩擦力(N)	誤差 gw	原重 gw	測重 gw	繩子張力 gw	繩子張力+動摩擦力(N)	誤差 gw
0	215.16	214.30	0.86	0.012	0.1	215.16	214.70	0.46	0.008	0.1	215.16	214.50	0.66	0.010	0.1
2.5	215.16	212.90	2.26	0.026	0.1	215.16	213.10	2.06	0.024	0.1	215.16	214.30	0.86	0.012	0.1
5	215.16	212.20	2.96	0.033	0.1	215.16	212.20	2.96	0.033	0.1	215.16	213.10	2.06	0.024	0.1
7.5	215.16	211.80	3.36	0.037	0.4	215.16	211.60	3.56	0.039	0.1	215.16	210.80	4.36	0.047	0.1
10	215.16	211.20	3.96	0.043	0.4	215.16	211.30	3.86	0.042	0.1	215.16	210.60	4.56	0.049	0.1
12.5	215.16	210.30	4.86	0.052	0.2	215.16	210.70	4.46	0.048	0.1	215.16	209.80	5.36	0.056	0.1
15	215.16	210.20	4.96	0.053	0.2	215.16	210.50	4.66	0.050	0.1	215.16	210.10	5.06	0.053	0.1
17.5	215.16	210.50	4.66	0.050	0.3	215.16	210.90	4.26	0.046	0.1	215.16	210.90	4.26	0.046	0.2
20	215.16	212.00	3.16	0.035	0.4	215.16	211.60	3.56	0.039	0.3	215.16	210.90	4.26	0.046	0.1
22.5	215.16	212.20	2.96	0.033	0.3	215.16	212.10	3.06	0.034	0.1	215.16	212.10	3.06	0.034	0.2
25	215.16	211.30	3.86	0.042	0.2	215.16	212.20	2.96	0.033	0.1	215.16	212.40	2.76	0.031	0.1
30	215.16	213.30	1.86	0.022	0.1	215.16	213.70	1.46	0.018	0.1	215.16	212.90	2.26	0.026	0.1
35	215.16	214.50	0.66	0.010	0.1	215.16	214.10	1.06	0.014	0.1	215.16	214.10	1.06	0.014	0.1
40	215.16	214.60	0.56	0.009	0.1	215.16	215.06	0.10	0.005	0.1	215.16	215.14	0.02	0.004	0.1
45	215.16	215.12	0.04	0.004	0.1	215.16	215.16	0.00	0.004	0.1	215.16	215.16	0.00	0.004	0.1

三帆平均

平均	平板		JAL850		克拉克 Y	
攻角	繩子張力+動摩擦力(N)	誤差 N	繩子張力+動摩擦力(N)	誤差 N	繩子張力+動摩擦力(N)	誤差
0	0.004	0.00098	0.004	0.00098	0.010	0.1
2.5	0.010	0.00098	0.010	0.00098	0.021	0.1
5	0.022	0.00098	0.018	0.00098	0.030	0.1
7.5	0.030	0.00130667	0.028	0.00098	0.041	0.2
10	0.034	0.00098	0.040	0.00098	0.044	0.2
12.5	0.040	0.00130667	0.044	0.00098	0.052	0.13
15	0.050	0.00098	0.048	0.00098	0.052	0.13
20	0.047	0.00098	0.050	0.001633333	0.040	0.27
25	0.036	0.00098	0.042	0.001633333	0.035	0.13
30	0.030	0.00098	0.027	0.00098	0.022	0.1
35	0.024	0.00065333	0.024	0.00098	0.013	0.1
40	0.010	0	0.016	0.00098	0.006	0.1
45	0.004	0	0.004	0.00098	0.004	0.1

六 雙桅帆與單桅帆面受風推進力雙桅

小帆與大帆夾角-30度 - 兩次實驗與平均

小帆 -30° 實驗 1						實驗 2						平均	
	氣溫=	24.4	°C			氣溫=	24.2	°C					
攻角	原重 gw	測值 gw	摩擦力 N	升力 N	誤差 N	原重 gw	測值 gw	摩擦力 N	升力 N	誤差 N	升力 N	誤差 N	
0	215.18	215.2	0.011	0.010804	1E-03	215.18	215.18	0.011	0.011	0.00098	0.010902	0.00098	
5	215.18	213.9	0.0039	0.016444	0.002	215.18	213.5	0.0039	0.020364	0.00098	0.018404	0.00147	
10	215.18	211.3	0.0039	0.041924	1E-03	215.18	212.4	0.0039	0.031144	0.00196	0.036534	0.00147	
15	215.18	209.4	0.0039	0.060544	0.002	215.18	209.5	0.0039	0.059564	0.00196	0.060054	0.00196	
20	215.18	207.6	0.0039	0.078184	0.003	215.18	206.6	0.0039	0.087984	0.00196	0.083084	0.00245	
25	215.18	206.1	0.0039	0.092884	0.005	215.18	205.8	0.0039	0.095824	0.00294	0.094354	0.00392	
30	215.18	205.6	0.0039	0.097784	0.004	215.18	206	0.0039	0.093864	0.00196	0.095824	0.00294	
35	215.18	205.1	0.0039	0.102684	0.002	215.18	205.9	0.0039	0.094844	0.00196	0.098764	0.00196	
40	215.18	205.7	0.0039	0.096804	0.003	215.18	206.7	0.0039	0.087004	0.00294	0.091904	0.00294	
45	215.18	206.2	0.0039	0.091904	0.003	215.18	206.2	0.0039	0.091904	0.00196	0.091904	0.00245	

小帆與大帆夾角-20度 - 兩次實驗與平均

小帆 -20° 實驗 1						實驗 2						平均	
	氣溫=	24.4	°C			氣溫=	24	°C					
攻角	原重 gw	測值 gw	摩擦力 N	升力 N	誤差 N	原重 gw	測值 gw	摩擦力 N	升力 N	誤差 N	升力 N	誤差 N	
0	215.18	215.18	0.011	0.011	1E-03	215.18	215.18	0.011	0.011	0.00098	0.011	0.00098	
5	215.18	214	0.0039	0.015464	1E-03	215.18	213.6	0.0039	0.019384	0.00098	0.017424	0.00098	
10	215.18	211.7	0.0039	0.038004	1E-03	215.18	211.7	0.0039	0.038004	0.00098	0.038004	0.00098	
15	215.18	208.7	0.0039	0.067404	0.003	215.18	207.4	0.0039	0.080144	0.00098	0.073774	0.00196	
20	215.18	205.2	0.0039	0.101704	0.002	215.18	206.2	0.0039	0.091904	0.00294	0.096804	0.00245	
25	215.18	205.1	0.0039	0.102684	0.003	215.18	206.8	0.0039	0.086024	0.00294	0.094354	0.00294	
30	215.18	205.9	0.0039	0.094844	0.002	215.18	206.1	0.0039	0.092884	0.00196	0.093864	0.00196	
35	215.18	206.1	0.0039	0.092884	1E-03	215.18	206.7	0.0039	0.087004	0.00098	0.089944	0.00098	
40	215.18	206.6	0.0039	0.087984	1E-03	215.18	206.8	0.0039	0.086024	0.00294	0.087004	0.00196	
45	215.18	206.8	0.0039	0.086024	0.004	215.18	207.6	0.0039	0.078184	0.00098	0.082104	0.00245	

小帆與大帆夾角-10度 - 兩次實驗與平均

小帆 -10° 實驗 1						實驗 2						平均	
	氣溫=	24.1	°C			氣溫=	24.1	°C					
攻角	原重 gw	測值 gw	摩擦力 N	升力 N	誤差 N	原重 gw	測值 gw	摩擦力 N	升力 N	誤差 N	升力 N	誤差 N	
0	215.2	215.26	0.011	0.010412	1E-03	215.16	215.16	0.011	0.011	0.00098	0.010706	0.00098	
5	215.2	212.3	0.0039	0.03232	0.002	215.16	214.6	0.0039	0.009388	0.00098	0.020854	0.00147	
10	215.2	211	0.0039	0.04506	0.002	215.16	210.2	0.0039	0.052508	0.00196	0.048784	0.00196	
15	215.2	208.1	0.0039	0.07348	0.002	215.16	208.9	0.0039	0.065248	0.00294	0.069364	0.00245	
20	215.2	207.1	0.0039	0.08328	0.003	215.16	207.2	0.0039	0.081908	0.00196	0.082594	0.00245	
25	215.2	207.2	0.0039	0.0823	0.003	215.16	207	0.0039	0.083868	0.00196	0.083084	0.00245	
30	215.2	205.6	0.0039	0.09798	0.004	215.16	206.7	0.0039	0.086808	0.00294	0.092394	0.00343	
35	215.2	205.8	0.0039	0.09602	0.003	215.16	207	0.0039	0.083868	0.00196	0.089944	0.00245	
40	215.2	206.9	0.0039	0.08524	0.003	215.16	207.2	0.0039	0.081908	0.00196	0.083574	0.00245	
45	215.2	206.7	0.0039	0.0872	0.003	215.16	207.2	0.0039	0.081908	0.00294	0.084554	0.00294	

小帆與大帆夾角 0 度 - 兩次實驗與平均

小帆 0°	實驗 1					實驗 2					平均	
	氣溫=	24.1	°C			氣溫=	24.3	°C				
攻角	原重 gw	測值 gw	摩擦力 N	升力 N	誤差 N	原重 gw	測值 gw	摩擦力 N	升力 N	誤差 N	升力 N	誤差 N
0	215.18	215.18	0.011	0.011	1E-03	215.16	215.16	0.011	0.011	0.00098	0.011	0.00098
5	215.18	211.2	0.0039	0.042904	1E-03	215.16	211.9	0.0039	0.035848	0.00098	0.039376	0.00098
10	215.18	209.9	0.0039	0.055644	1E-03	215.16	210	0.0039	0.054468	0.00196	0.055056	0.00147
15	215.18	208.3	0.0039	0.071324	0.004	215.16	208.8	0.0039	0.066228	0.00196	0.068776	0.00294
20	215.18	207.3	0.0039	0.081124	0.002	215.16	208.3	0.0039	0.071128	0.00294	0.076126	0.00245
25	215.18	206.9	0.0039	0.085044	0.002	215.16	207	0.0039	0.083868	0.00196	0.084456	0.00196
30	215.18	207.3	0.0039	0.081124	0.003	215.16	207.3	0.0039	0.080928	0.00294	0.081026	0.00294
35	215.18	206.8	0.0039	0.086024	0.003	215.16	207.8	0.0039	0.076028	0.00196	0.081026	0.00245
40	215.18	206.3	0.0039	0.090924	1E-03	215.16	208	0.0039	0.074068	0.00098	0.082496	0.00098
45	215.18	207	0.0039	0.084064	0.002	215.16	208.1	0.0039	0.073088	0.00196	0.078576	0.00196

小帆與大帆夾角 10 度 - 兩次實驗與平均

小帆 10°	實驗 1					實驗 2					平均	
	氣溫=	24.0	°C			氣溫=	24.1	°C				
攻角	原重 gw	測值 gw	摩擦力 N	升力 N	誤差 N	原重 gw	測值 gw	摩擦力 N	升力 N	誤差 N	升力 N	誤差 N
0	215.18	215.18	0.011	0.011	1E-03	215.16	215.02	0.011	0.012372	0.00098	0.011686	0.00098
5	215.18	211.9	0.0039	0.036044	1E-03	215.16	211.6	0.0039	0.038788	0.00098	0.037416	0.00098
10	215.18	209.8	0.0039	0.056624	0.003	215.16	210.2	0.0039	0.052508	0.00098	0.054566	0.00196
15	215.18	207.9	0.0039	0.075244	0.003	215.16	208.3	0.0039	0.071128	0.00294	0.073186	0.00294
20	215.18	207.6	0.0039	0.078184	0.002	215.16	208.4	0.0039	0.070148	0.00392	0.074166	0.00294
25	215.18	207.7	0.0039	0.077204	0.003	215.16	207.3	0.0039	0.080928	0.00392	0.079066	0.00343
30	215.18	207.6	0.0039	0.078184	0.004	215.16	207.8	0.0039	0.076028	0.00294	0.077106	0.00343
35	215.18	207.2	0.0039	0.082104	0.002	215.16	207.2	0.0039	0.081908	0.00196	0.082006	0.00196
40	215.18	207.4	0.0039	0.080144	0.002	215.16	207.3	0.0039	0.080928	0.00294	0.080536	0.00245
45	215.18	208.2	0.0039	0.072304	1E-03	215.16	207.8	0.0039	0.076028	0.00196	0.074166	0.00147

小帆與大帆夾角 20 度 - 兩次實驗與平均

小帆 20°	實驗 1					實驗 2					平均	
	氣溫=	24.2	°C			氣溫=	24.1	°C				
攻角	原重 gw	測值 gw	摩擦力 N	升力 N	誤差 N	原重 gw	測值 gw	摩擦力 N	升力 N	誤差 N	升力 N	誤差 N
0	215.18	214.44	0.011	0.018252	1E-03	215.16	214.52	0.011	0.017272	0.00098	0.017762	0.00098
5	215.18	210	0.0039	0.054664	1E-03	215.16	211.7	0.0039	0.037808	0.00196	0.046236	0.00147
10	215.18	209	0.0039	0.064464	0.003	215.16	209.7	0.0039	0.057408	0.00196	0.060936	0.00245
15	215.18	207.7	0.0039	0.077204	0.003	215.16	209.9	0.0039	0.055448	0.00196	0.066326	0.00245
20	215.18	207.6	0.0039	0.078184	0.004	215.16	208.4	0.0039	0.070148	0.00196	0.074166	0.00294
25	215.18	207.8	0.0039	0.076224	0.002	215.16	208.8	0.0039	0.066228	0.00294	0.071226	0.00245
30	215.18	208	0.0039	0.074264	0.002	215.16	208.3	0.0039	0.071128	0.00294	0.072696	0.00245
35	215.18	207.7	0.0039	0.077204	0.002	215.16	208.4	0.0039	0.070148	0.00294	0.073676	0.00245
40	215.18	208.1	0.0039	0.073284	0.002	215.16	208.9	0.0039	0.065248	0.00196	0.069266	0.00196
45	215.18	208.2	0.0039	0.072304	0.002	215.16	208.8	0.0039	0.066228	0.00196	0.069266	0.00196

小帆與大帆夾角 30 度 - 兩次實驗與平均

小帆 30°	實驗 1					實驗 2					平均	
	氣溫=	24.2	°C			氣溫=	24	°C				
攻角	原重 gw	測值 gw	摩擦力 N	升力 N	誤差 N	原重 gw	測值 gw	摩擦力 N	升力 N	誤差 N	升力 N	誤差 N
0	215.18	212.8	0.011	0.034324	1E-03	215.16	215.16	0.011	0.011	0.00098	0.022662	0.00098
5	215.18	212.1	0.0039	0.034084	0.002	215.16	212.6	0.0039	0.028988	0.00098	0.031536	0.00147
10	215.18	210.7	0.0039	0.047804	0.003	215.16	210.4	0.0039	0.050548	0.00196	0.049176	0.00245
15	215.18	208.7	0.0039	0.067404	0.003	215.16	209.8	0.0039	0.056428	0.00294	0.061916	0.00294
20	215.18	209.3	0.0039	0.061524	0.003	215.16	208.9	0.0039	0.065248	0.00294	0.063386	0.00294
25	215.18	209.4	0.0039	0.060544	0.002	215.16	208.4	0.0039	0.070148	0.00196	0.065346	0.00196
30	215.18	208.6	0.0039	0.068384	0.002	215.16	208.5	0.0039	0.069168	0.00196	0.068776	0.00196
35	215.18	208.6	0.0039	0.068384	1E-03	215.16	208.6	0.0039	0.068188	0.00098	0.068286	0.00098
40	215.18	208.1	0.0039	0.073284	1E-03	215.16	208.5	0.0039	0.069168	0.00098	0.071226	0.00098
45	215.18	209.3	0.0039	0.061524	0.002	215.16	209.2	0.0039	0.062308	0.00098	0.061916	0.00147

評語

本作品討帆船之角度與推力問題，完成理論公式之推導，並有系統的進行實驗，特別對於低角度與高角度的推力關係作深入瞭解與實驗印證，最後選對於雙桅平板帆作改進設計，是相當完整的作品。