

請勾選參加論文發表類型

參加壁報論文

參加口頭報告

風帆物理與六分儀

麥克 袁振凱 陳育鋒 郭震翰 許玉晶 吳雨衡 嚴祖強

國立中山大學物理系

聯絡人 E-mail : immichaelhaha@gmail.com

摘要

本研究探討風浪板及帆船之航行原理與設計理念，並討論六分儀之製作與原理。古代的橫帆無法逆風行駛，只能隨季風航行；現今的縱帆可調整受風面使其逆風而行。本實驗自行製作帆船模型，模擬帆船受風之狀態與各個結構之功能，並利用向量分析解釋其運作原理。六分儀則利用唾手可得的材料製作，並討論其中光學、幾何學與天體運行之觀念。當學生理解帆船為何能逆風行駛時，除了驚奇，更是一種物理與生活結合的親切感。

關鍵詞：帆船、風浪板、六分儀、經線儀、流體力學、兩次反射。

壹、風帆靜力平衡

一、研究目的

帆船的動力主要來自於風力，然而風可能來自四面八方。此時作用於帆上會有多個分力。本實驗利用向量分析解釋風力與帆之間的關係，並運用風力驅使帆船前進。

二、原理

帆船行進時一共分為迎風航行、側風航行、側順風航行以及順風航行，分成這四部分來做個別討論

(一)、迎風航行：

在迎風帶左右各 45 度角，一共 90 度的範圍是無法行駛的，如圖 1 表示。因帆面未受到風力的作用所以無法前進，除了迎風帶以外的帆面才會受到足夠的風力來推動帆船前進。[2]

故欲迎風前進時，即圖 1 中的左右舷迎風帶，必須依照圖 2 所示的「之」字形航行，才能到達目的地。

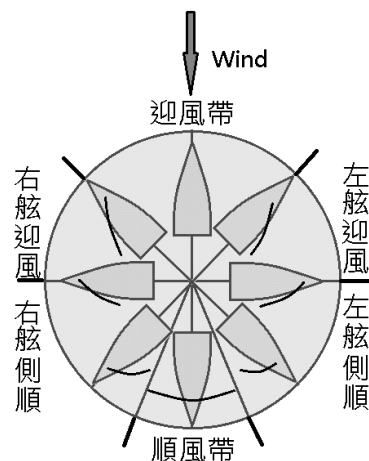


圖 1 固定風向-各航段示意圖

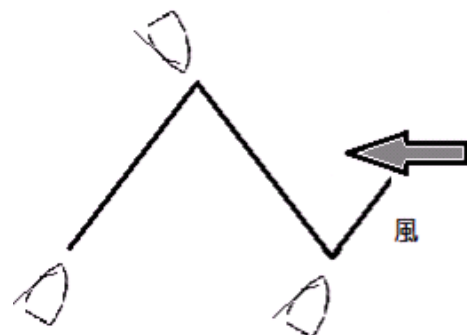


圖 2 迎風之字形行

將風作用在帆面上的淨力 F_{Total} 分成為使船往前的力 F_R ，以及往側邊的力 F_H ，如圖 3 所分析。而 F_H 會使帆船在迎風段航行時發生“側移”的現象。[1]

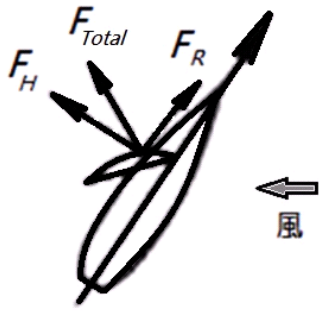


圖 3 帆面上的力作用示意圖

為抵銷往側邊的分力 F_H 產生的側移，需在船上加裝一塊名為「中央板」的板子，如圖 4 所示。中央板的位置是架設在船的中央，同時也是重心的位置。

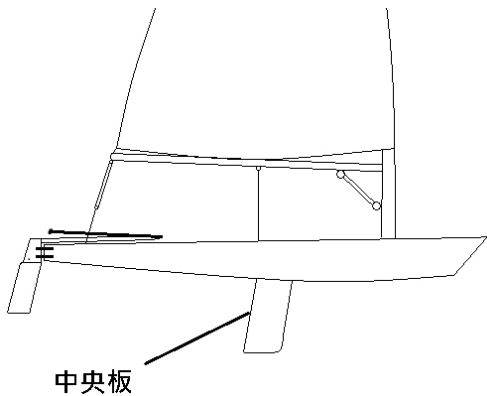


圖 4 中央板示意圖

當作用在帆面上的力大於中央板可抵消的力時，船隻會開始傾斜。為保持船體平衡，需運用身體的重量將船身壓回平衡狀態，稱作「壓艙」，如圖 5。[1]

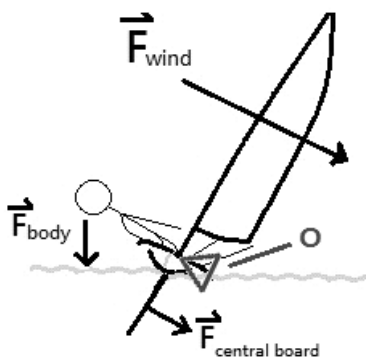


圖 5 壓艙時力作用示意圖(O 為支點)

中央板的功能是抵銷橫向的力以防止側移。當船身與水面保持平行時，中央板在水面下的情況，如圖 6a 中。中央板能在抵銷橫向的力上發揮最大效用。

若是壓艙之力矩不足，將導致船身是以傾斜的方式行進，此時中央板上的阻力變小，如圖 6b。

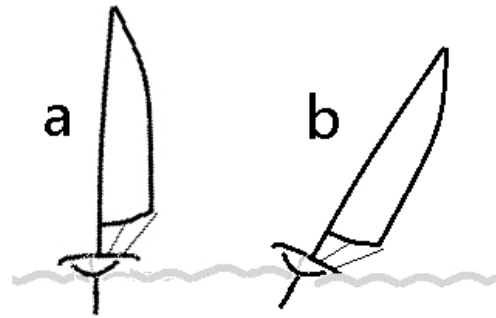


圖 6 靜止時、b 傾斜時中央板示意圖

傾斜的船體與正常航行的船體，如圖 6 所示，中央板吃水的深度差了一截，這樣二者抵銷的力就相差許多，傾斜的船隻側移的力量較大，導致不容易準確向目標前進。

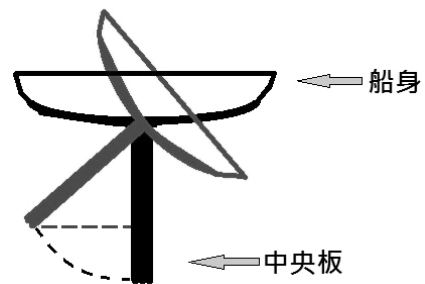


圖 7 中央板傾斜靜止比對圖

(二)、側風航行

側風航行時，風向與行進方向夾 90 度，此時需要抵銷之分力較迎風航行時小，所以通常會將中央板抽起一些，以減少水所產生的阻力，如圖 8a。

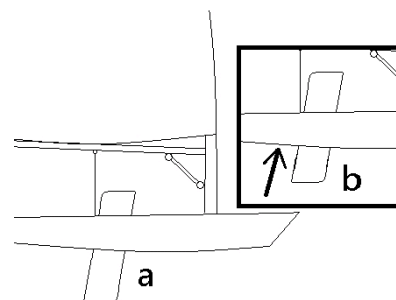


圖 8 中央板位置示意圖

(三)、側順風航行

側順風航行是風向與前進的方向夾約為 135 度的方向，如圖 1，此範圍是所有航段之中，速度最快的一段。此時風完整的作用在帆面上，由於順風，因此需要的抵銷的力很少，所以可將中央板大部分往上抽起，如上圖 8b 中。

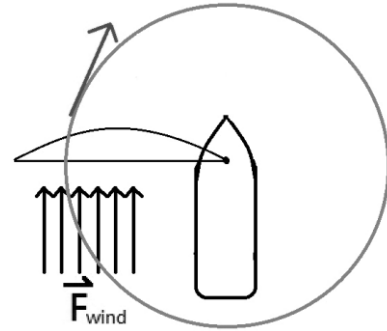


圖 10 順風力延切線方向示意圖

(四)、順風航行

順風航行指的是風向與行進方向夾 180 度，即圖 1 所示，即風為從船尾吹到船頭，與側順風航行一樣不需要運用中央板來抵銷側移的力，帆面是完整的受風力影響而前進。此時將船體視為支點，如圖 9 中，作用在帆上的風力產生順時針力矩，造成船身傾前而減速。這就是順風航行的條件雖與側順風航行一樣，但是速度比較慢的原因。

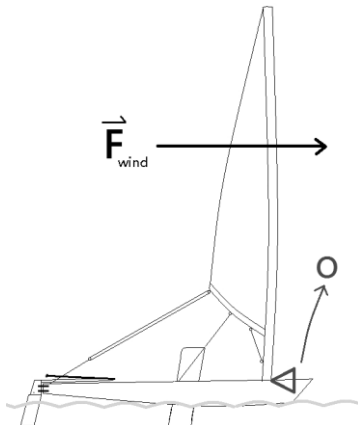


圖 9 順風時力將船下壓示意圖(O 為支點)

然而在順風航行時，以上方觀察帆面所受之力，如圖 10 所示。將船體視為圓心，風作用在帆面產生一沿切線的力，使船身有順時針旋轉之力矩，將無法筆直的向前前進。為解決這個難題，會將船從水平的樣子刻意壓成傾斜的，如圖 11。使得風力產生之力矩為零，這樣就可以解決轉彎的問題。

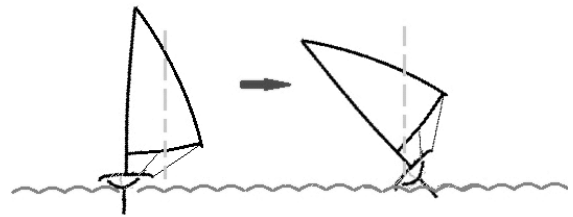


圖 11 傾斜船使力作用於中心示意圖

三、結論

風帆，是結合力與美的運動。我們從上述的觀點中，以力方式來分析風帆是如何前進，以及為何不同的風段，會有快慢，操作難度不同的差別。

從此次的研究中，我們可以將得到的結果，運用在實務上，使我們操作更順利，悠遊的徜徉在大海中。

貳、六分儀

一、研究目的

在茫茫大海上的航行，海上定位是最重要的課題，因此有個可以測量緯度的儀器產生，稱之為六分儀。儘管現在擁有許多高科技儀器，但六分儀依然不可或缺的。六分儀的物理原理探討及太陽、地球與觀察者之間的關係與幾何分析都是一門有趣的學問。

二、原理

(一)、兩次反射原理

在同一個平面上，經過兩次反射之光線，其最初方向和最後方向之夾角為兩反射面夾角的兩倍。

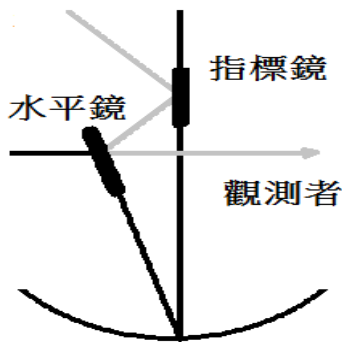


圖 12 兩次反射原理示意圖

(二)、緯度計算方式

1、計算方式

當地緯度 = $90^\circ + \text{太陽赤緯} - \text{太陽上中天時的水平高度}$

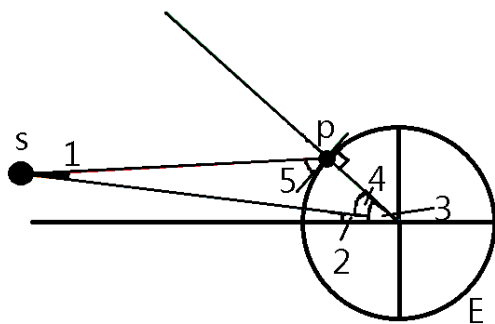


圖 13 緯度計算方法：S 為太陽，E 為地球，P 為觀測點，1 趨近於零度，2 為太陽赤緯，3 為緯度，4 為緯度與太陽赤緯差值，5 為六分儀觀測之太陽中天角

緯度 3 為待求角，利用太陽上中天時的角度 5 求之，因為太陽位在無窮遠處，1 可視為零度(平行光)，根據三角形內角和為一百八十度，太陽中天角 5 和緯度與太陽赤緯差值 4 相加為九十度
 $\text{太陽中天角} + (\text{緯度} - \text{太陽赤緯}) = 90^\circ$
 移項得知

$\text{緯度} = 90^\circ + \text{太陽赤緯} - \text{太陽中天角}$

2、關於太陽赤緯

關於太陽赤緯(太陽與天球赤道的夾角)黃道是個圓，將它分成 360 等分來表示太陽所處的位置，這個數值稱黃經。把黃道座標轉換成赤道座標，就能得知太陽赤緯。若 $L < 0$ 則加上 360°

太陽某一天的黃經

$$L = ((D - 80) \div 365) \times 360^\circ$$

$$\text{太陽赤緯} = \sin^{-1}(\sin \varepsilon \times \sin L)$$

$\varepsilon = 23.4393^\circ$ 為黃道面與赤道面的夾角
 (此角度有周期變化，此值為近似值)[3]

3、關於太陽上中天時的高度

太陽中天角會是一天之中太陽的最高點
 利用 98 年的數據觀察到中天範圍，得知太陽最高角度出現在 11:40-12:15 之間，取這段時間為觀察範圍，找到太陽最高點即為太陽上中天時的水平高度

三、實驗結果

(一)、求 11 月 5 日的太陽赤緯

$D = 309$ (D 就是一年來天數 $31+28+31+30+31+30+31+31+30+31+5=309$)

$$L = (309 - 80) \div 365 \times 360^\circ \approx 226^\circ$$

$$\text{太陽赤緯} = \sin^{-1}(\sin 23.4393^\circ \times \sin 226^\circ) \approx -17^\circ$$

(二)、11/5 的測量

測量所在地	國立中山大學海堤
太陽水平高度	51°
理論緯度	22.638095(高雄市)

$$\text{當地緯度} = 90^\circ + (-17^\circ) - 51^\circ = 22^\circ$$

四、結論

在擁有六分儀之後，人類在海上的定位變得更加精準，六分儀測量緯度，經線儀測量經度，擁有經緯度的準確測量使得航海不再是冒險。進而更有效率的到達目的地，繪製的世界地圖及航海圖也更加準確。

參考文獻

- [1] Halliday, David. (2010) , *Fundamentals of Physics*, (9 edition). Ch.5、6、9、10。
- [2] 中華民國帆船協會，www.ct-sailing.org.tw
- [3] 香港太空館，hk.space.museum