

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 物理科

最佳(鄉土)教材獎

080119

「帆」是有訣竅

~OP 小帆船帆的角度與風向對航速之探究

學校名稱：高雄市鹽埕區光榮國民小學

作者： 小六 李宥親 小六 黃莉綺 小六 莊翊潔 小六 莊雯雅	指導老師： 陳國文 邱柏融
---	-----------------------------

關鍵詞：白努力定律、OP 小帆船

摘要

本研究為本校六年級帆船班的小朋友在愛河學習操作PO帆船時，根據帆船教練指導的操帆策略，實際運用在帆船比賽時所面臨的疑問，加上運用高年級自然課【力與運動】單元學到的科學原理及老師補充的「白努力定律」「牛頓運動定律」設計一連串研究，探究OP帆船在不同的風向下（順風、側風等），操帆的角度與中央板的搭配如何影響帆船航行的速度。

本研究從OP帆船在愛河上實際操作基本操帆原理開始，原打算使用真實OP帆船在愛河水域進行實測，考量各種控制變因後，改丈量OP帆船等比例製作縮小10：1的OP小帆船，在自製的室內水道，自行改裝風扇牆，並搭配自製簡易風洞來整流風扇牆。盡量控制各種變因進行實驗探究。

壹、研究動機

學校的帆船課老師曾經告訴我們：「風與帆及船首航行的角度會影響我們的航速及航向目標所花費的時間」；在頂風、側風、側順及順風航行時，除了風力、水流、帆面角度及航行角度外，中央板插入水中的深淺也會影響OP帆船行進的速度，這讓熱愛帆船運動又好奇的我產生了極大的興趣，想藉由實驗來探討其中的奧秘。

有一次在愛河上帆船課時，起航時只落後領先的人一點點，而且當時我的船速也不慢，或許可以後來居上超越他們才對，但是很奇怪的，隨著航行距離的拉長，我卻越來越落後，甚至於被遠遠拋在後頭，到了最後，當然輸了。在自然課老師講解【力與運動】單元後，我了解力具有大小與方向性，原來船隻頂風前進是因為白努力定律，就是風經過帆凹、凸兩側時，流速不同造成壓力不等而形成壓差，船會往壓力小的一側移動，所以能推動船隻在水面上移動。而且，影響船速快慢的要件，不單只有帆面與船身形成的角度、船隻航行角度的正確性外，船隻航行時，連中央板插進水中的深淺程度都可能與水流產生阻力而會影響船速。

我想，親自動手做研究，不僅可以將理論運用在帆船的實際操作上，增進自己帆船的知識外，或許藉由實驗結果的探究過程，會有不一樣的發現也說不定。

貳、研究目的

- 一、OP 帆船迎風方向與基本操帆原理探究。
- 二、順風與側順風航行時，操帆角度對航行速度的影響。
- 三、使用電扇製造側風航行時，操帆角度對航行速度的影響。
- 四、使用風洞整流側風航行時，操帆角度對航行速度的影響。
- 五、使用風洞整流側風航行時，中央板插入水中深度對航行速度的影響。
- 六、順風航行時，中央板插入水中深度對航行速度的影響。

參、名詞解釋

- 一、OP 小帆船（樂觀 OP 型帆船）：

OP 小帆船即樂觀型帆船（Optimist Sailing）的簡稱，OP 即 Optimist（樂觀）的簡稱。二次世界大戰剛結束後，美國佛羅里達州的樂觀主義俱樂部，希望開發一種適合少年使用，體積小且價格較不昂貴的訓練帆船，於是商請小艇製造商開發出此種輕型帆船（黃正順，2011）。此種帆船適用於 6 至 15 歲青少年，長度為 2.31 公尺，船身寬 1.13 公尺，船身重 35 公斤，帆面積 3.5 平方公尺，單人即可駕駛（劉寧生、郭廷祥，1996），是全世界規格最小的比賽型帆船。基本船身結構如圖 1 所示。

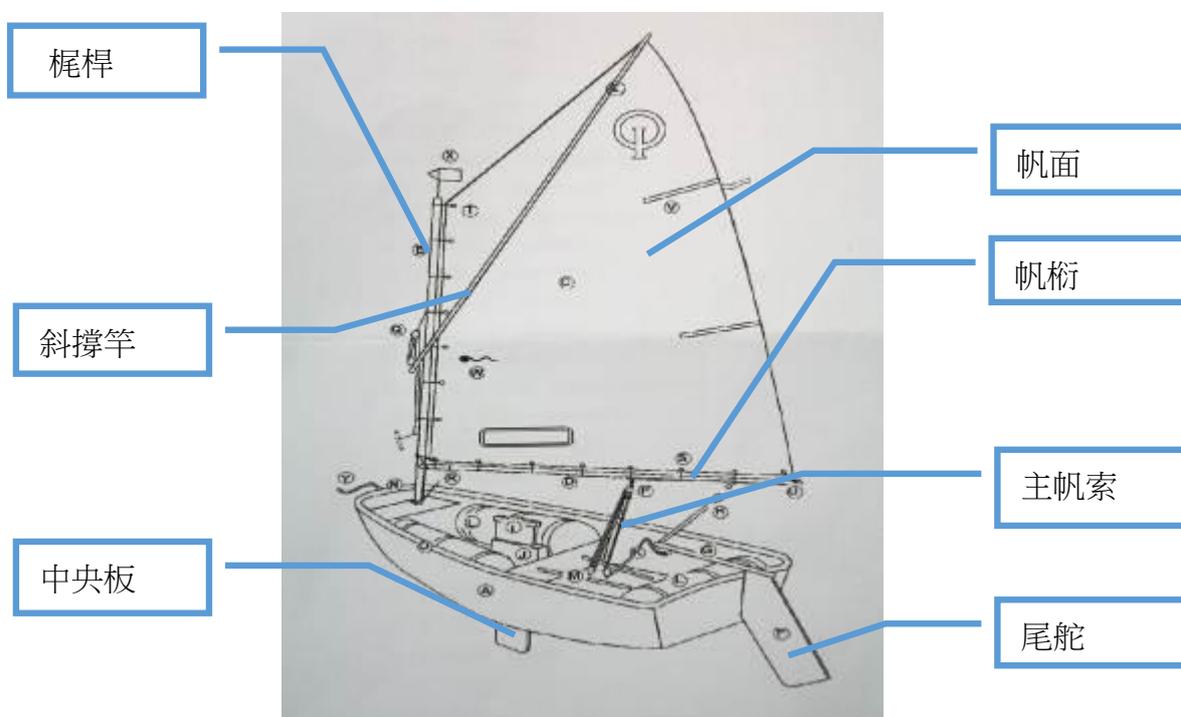


圖 1：樂觀型帆船結構圖（圖片來源：<http://img.epochtimes.com/i6/608032207151456.jpg>）

本研究所使用的 OP 小帆船為根據實際的樂觀型帆船丈量後，10:1 等比例縮小特製而成的小帆船，其主要構造均遵照實際樂觀型帆船主要結構製成。基本船身結構如圖 2 所示。

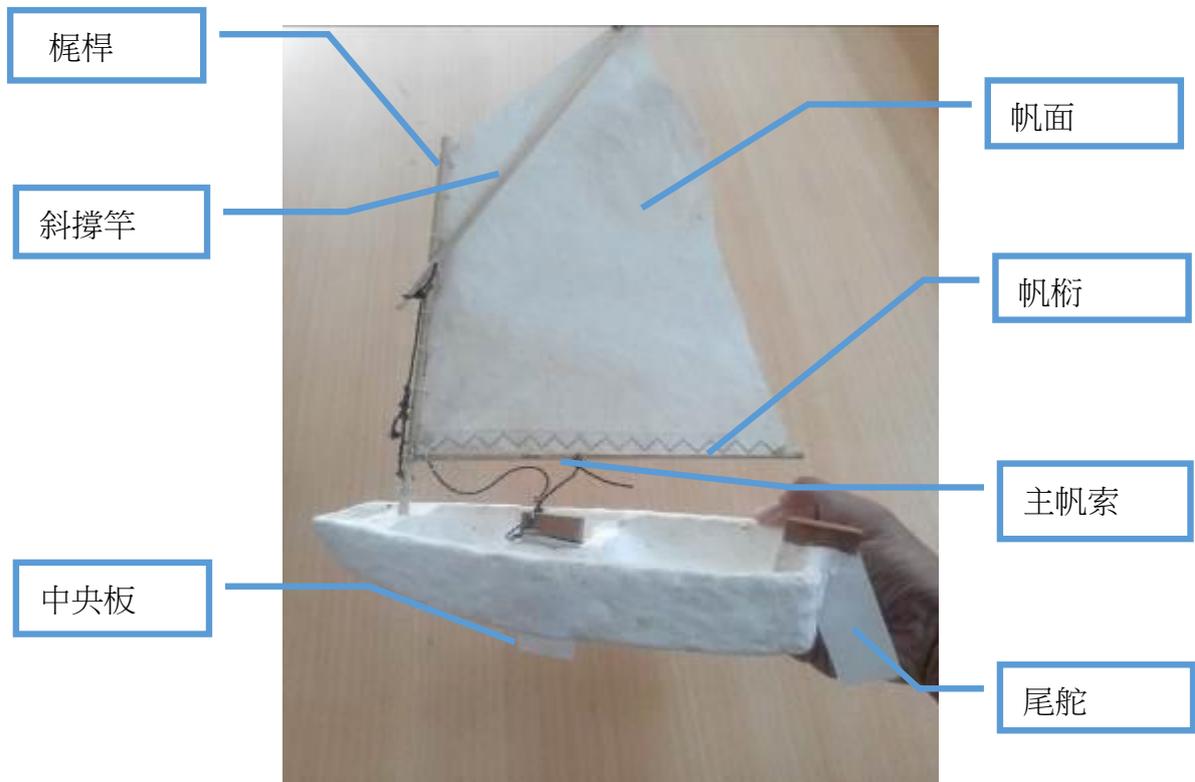


圖 2：自製 10:1 等比例縮 OP 小帆船

二、操帆角度

一般帆船航行中，面對不同的風向，會利用主帆索（操帆繩）拉動帆桁來控制帆的角度，在本研究所說明的操帆角度即此，指帆桁與船行進方向的夾角。一般航行時，遭遇頂風會將操帆角度設定約 20 度；遭遇順風會將操帆角度設定製 90 度。本研究所設定實驗的操帆角度有 20 度、30 度、45 度、60 度、90 度。



圖 3：利用方位盤作為量角器設定操帆角度

三、中央板

中央板位於帆船船身中央，為插入水面下的一片板子，主要功用為抵銷水流產生側滑現象以及頂風航行時，抵銷橫向分力，具有穩定船身之用。在帆船競賽順風航行時，選手們會習慣將中央板取出，經驗上來說，順風航行時，中央板似乎會影響船隻航行速度。

本研究為探討中央板對帆船船速的影響，設定三種使用中央板的狀態：中央板全插入、中央板半插入、不使用中央板。

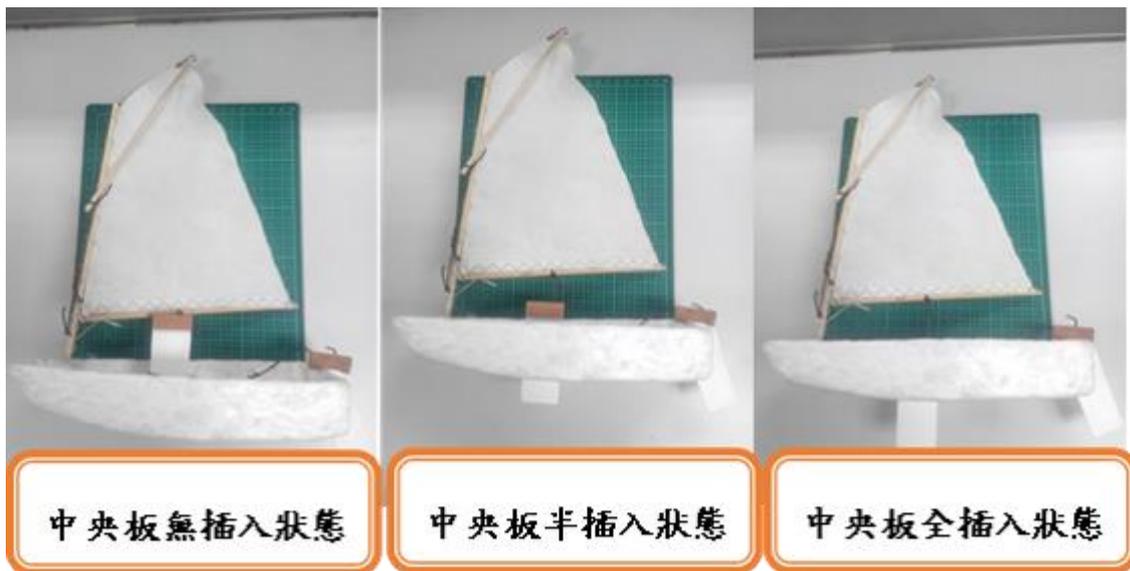


圖 4：中央板插入狀態

四、左舷航行與右舷航行

當風由從左舷吹來時，稱為左舷風航行；當風從右舷吹來時，稱為右舷航行。如圖所示。

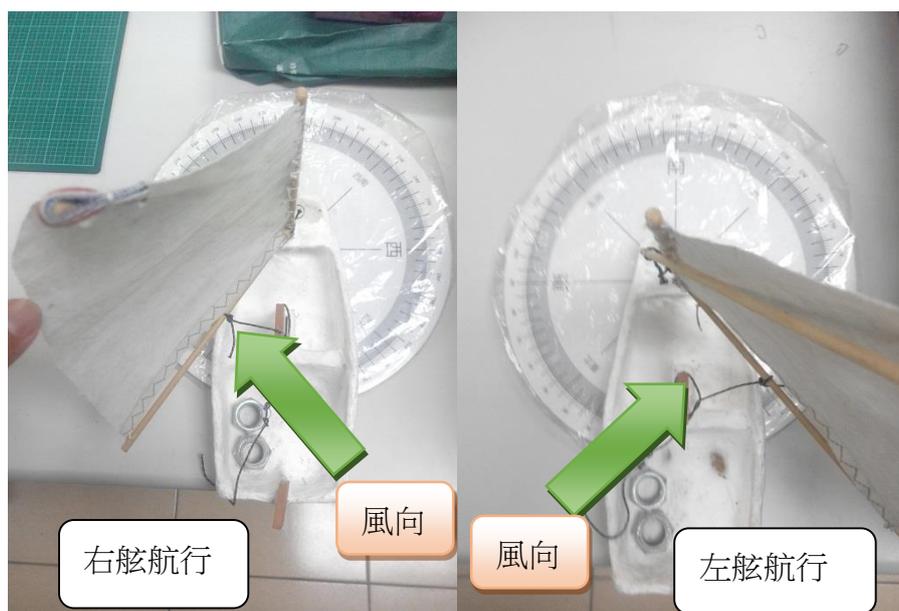


圖 5：右舷航行與左舷航行示意

肆、 研究方法與結果討論

研究一、OP 帆船迎風方向與基本操帆原理探究

(一)、研究設備及器材：

OP 帆船、數位相機、風速計、捲尺、筆記本、碼表

(二)、研究過程及方法：

1. 在順風的狀況下，將帆送出與船頭維持約 90 度，分別實測中央板全部插入、插入一半及全部抽出之航行速度。
2. 在側風的狀況下，將帆送出與船頭維持約 30 至 45 度，分別實測中央板全部插入、插入一半及全部抽出之航行速度。
3. 在頂風的狀況下，將帆送出與船頭維持約 20 至 30 度，分別實測中央板全部插入、插入一半及全部抽出之航行速度。
4. 在實際的航行經驗中，找出在愛河以真實 OP 帆船進行實驗時，可能影響帆船航行速度的變因有哪些？該如何進行實驗的設計，如何控制可能影響的變因。

(三)、研究結果：



圖 6：順風航行（航行角度約 160°~180°）



圖 7：側風航行（航行角度約 80°~100°）



圖 8：頂風航行（航行角度約 30° ~ 45° ）

(四)、研究討論：

1. 順風航行時，帆的角度與航行方向呈 90 度時，帆的受風狀況最好，風的方向直接吹向整個帆面，船之向前航行的力量似乎完全來自風力的大小。船航行的速度似乎也最快。
2. 順風航行時，中央板插入的狀態似乎也有影響帆船航行的速度，實際航行的結果，將中央板完全取出時，航行的速度似乎最快。
3. 側風航行時，風的來向與航行方向呈 90 度，操帆的角度控制在 30 度到 45 度之間帆受風的狀況較好。帆船向前航行的主要力量來自於風吹帆面時，產生向前的分力而前進。實際體驗操帆 30 度與操帆 45 度時，發現操帆 30 度時帆受風的情形較佳，船速似乎也較快。
4. 側風航行時，取出中央板航行似乎也比插入中央板航行來的快，但取出中央板航行時，的確有些側滑的現象產生。
5. 頂風航行時，操帆角度 20 度至 30 度，將中央板全部插入時，帆船的確可以利用白努力定律產生向前的動力，但將中央板取出後發現側滑情形比較大，前進的力量也降低。
6. 我們發現，影響 OP 帆船航行速度的變因至少有：操帆的角度、風的來向、風的速度、風的穩定度、中央板插入的狀態、帆船乘載的重量、水流、潮汐等。
7. 我們發現，實際在愛河進行本研究，除了可以利用真實比例的 OP 帆船進行實驗外，風的來向、風的速度、風的穩定度、愛河的水流等狀況受限於自然狀態無法進行實驗控制變因。
8. 為了克服風的來向與風的速度這兩項無法在愛河控制的變因，我們想到利用電扇來控制風的來向與固定風速。

9. 為了克服愛河的水流與潮汐的干擾，我們想到利用貼面木心板自製一座長 2.75 公尺、寬 0.3 公尺、深 0.2 公尺的實驗水道，並實際丈量 OP 帆船尺寸，利用牛皮紙板與模型塑土、報廢舊帆等材料自製 10：1 之 OP 小帆船。
10. 為了營造側風，我們將廢棄教室的天花板電扇拆下四座，並聯連接來製造風牆的效果。為了克服其他雜風干擾風的穩定度，我們改至室內空間進行後續相關研究。

研究二、順風與側順風航行時，操帆角度對航行速度的影響

(一)、研究設備及器材：

- 1.自製水道 2.電扇風牆 3.OP 小帆船 4.量角器 5.手持風速器 6.碼表

(二)、研究過程及方法：

1. 將製自水道注入大約九分滿的水位。
2. 使用捲尺量出 2 公尺的長度，標出起點與終點線。
3. 用量角器調整帆與船身的角度，本研究設定測量順風 90 度、側順風 60 度，如下圖。
4. 打開電扇風牆，待穩定後使用手持風速器測量電扇風牆的風速。
5. 待帆面完整受風後，將帆船放出，同時計算航行 2 公尺所需時間。
6. 分別以左舷與右舷航行重複測試 20 次，紀錄航速並平均。
7. 將實驗結果以圖表呈現。

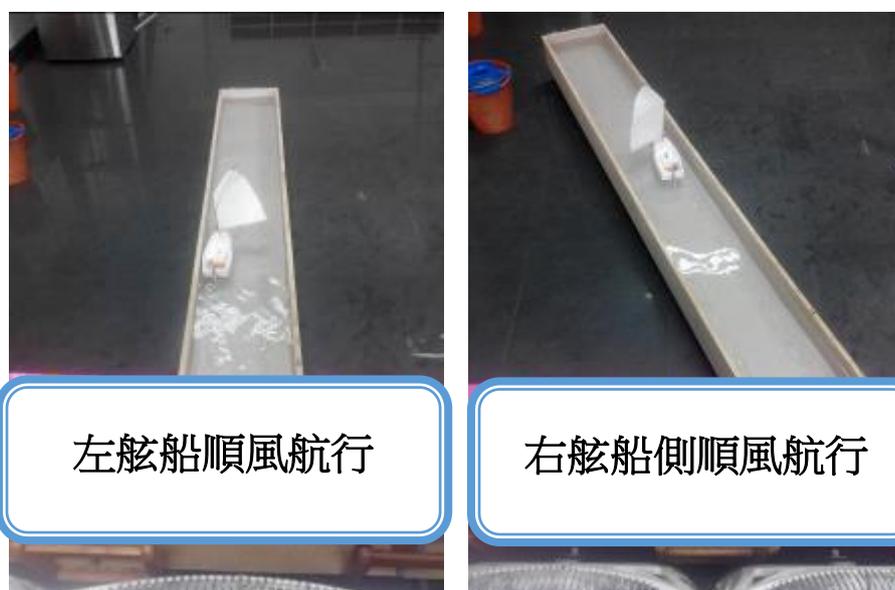


圖 9：順風航行與側順風航行



圖 10：電扇與水道夾角製造順風與側順風

(三)、研究結果：

1.以左舷航行比較順風角度與側順風角度：

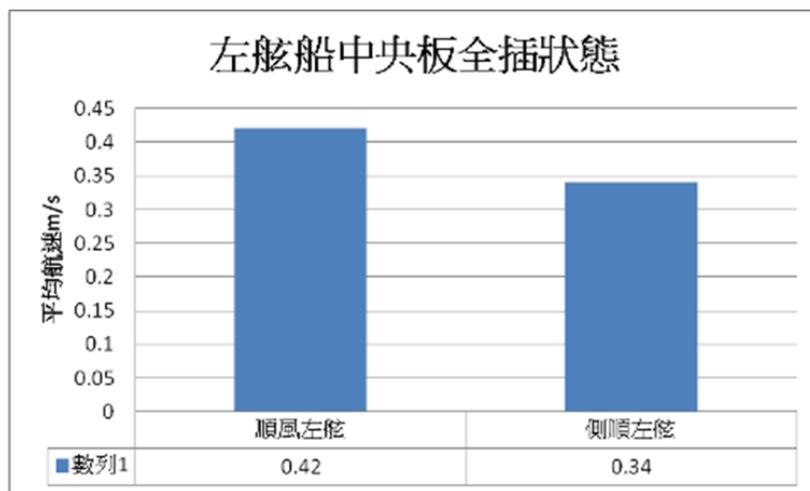


圖 11：左舷航行中央板全插狀態比較順風與側順風的操帆角度

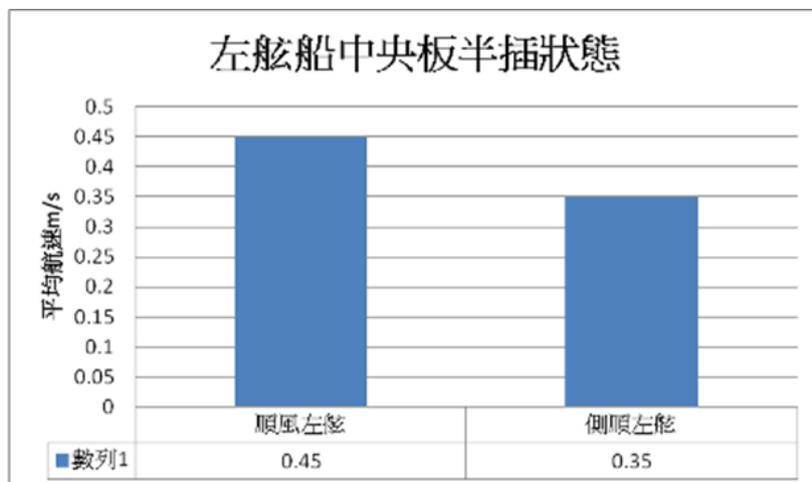


圖 12：左舷航行中央板半插狀態比較順風與側風的操帆角度

2.以左舷航行比較順風角度與側順風角度：

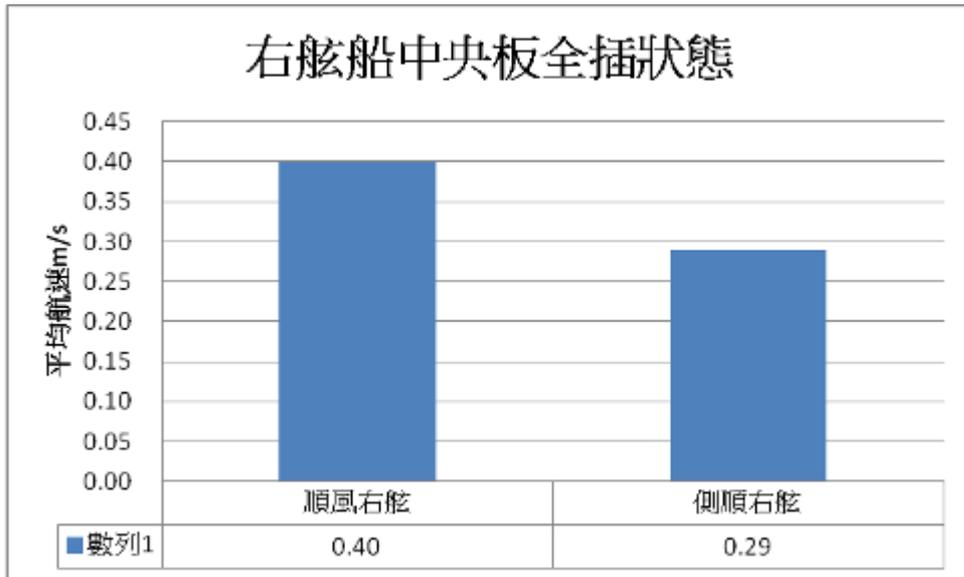


圖 13：右舷航行中央板全插狀態比較順風角度與側順風的操帆角度

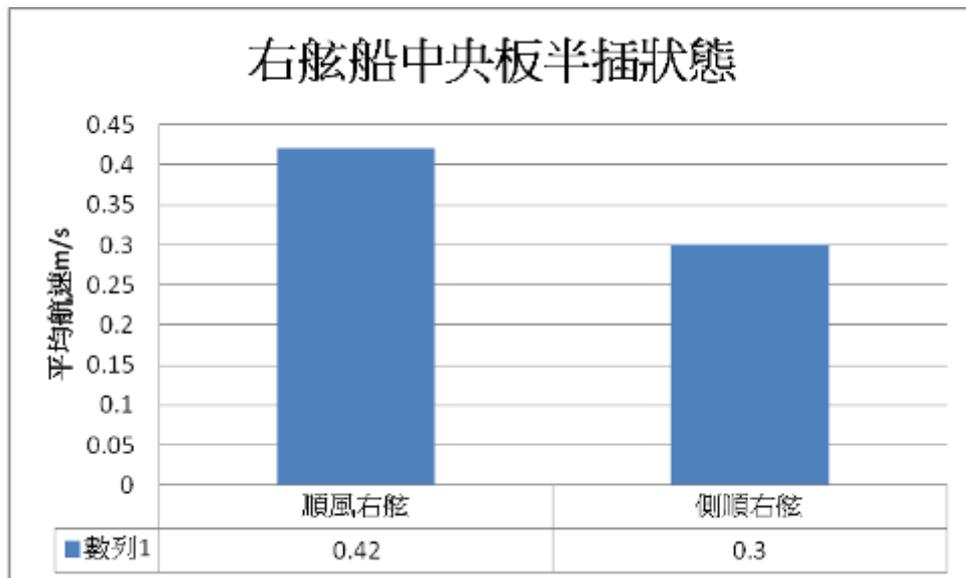


圖 14：右舷航行中央板半插狀態比較順風角度與側順風的操帆角度

(四)、研究討論：

1. 「左舷航行」中央板「全插狀態」下比較順風操帆角度與側順風操帆角度，結果發現順風操帆角度的平均航速為 **0.42m/s**，側順風操帆角度的平均航速為 **0.34m/s**。在左舷航行中央板全插的狀態下，順風的操帆角度所產生的航速比側順風的操帆角度所產生的航速來的快。
2. 「左舷航行」中央板「半插狀態」下比較順風操帆角度與側順風操帆角度，結果發現順風操帆角度的平均航速為 **0.45m/s**，側順風操帆角度的平均航速為 **0.35m/s**。在左舷航行中央板全插的狀態下，順風的操帆角度所產生的航速比側順風的操帆角度所產生的航速來的快。
3. 「右舷航行」中央板「全插狀態」下比較順風操帆角度與側順風操帆角度，結果發現順風操帆角度的平均航速為 **0.40m/s**，側順風操帆角度的平均航速為 **0.29m/s**。在左舷航行中央板全插的狀態下，順風的操帆角度所產生的航速比側順風的操帆角度所產生的航速來的快。
4. 「右舷航行」中央板「半插狀態」下比較順風操帆角度與側順風操帆角度，結果發現順風操帆角度的平均航速為 **0.42m/s**，側順風操帆角度的平均航速為 **0.30m/s**。在左舷航行中央板全插的狀態下，順風的操帆角度所產生的航速比側順風的操帆角度所產生的航速來的快。
5. 在研究中我們所實驗的四種狀態均明顯的顯示**順風航行**比**側順風航行**速度來的快。
6. 在本研究中我們發現，在順風與側順風的操帆角度也均顯示：**中央板半插入狀態**比**全插入狀態**航速來的快，可見中央板插入狀態的確很可能是影響航速的因素之一。
7. 在本研究中我們也發現，**左舷航行**在順風及側順風的操帆角度似乎都比右舷航行來的快。
8. 在本研究的發現中，我們認為「**中央板的插入狀況**」與「**左舷航行與右舷航行**」兩種變因是未來在其他風向航行時值得特別關注的項目。
9. 在順風與側順風的實驗中我們使用單一風扇進行實驗，但接下來要營造側風卻面臨單一風扇無法造成兩公尺長的水道的側風的問題。為了克服側風問題，我們找到廢棄教室天花板的方型風扇，把四架方型風扇並排改裝並聯電路，成功的製做出一扇側風牆來進行側風航行的各種操帆角度之航行，為這次研究的一大突破。

研究三、使用電扇製造側風航行時，操帆角度對航行速度的影響

(一)、研究設備及器材：

- 1.自製水道
- 2.電扇風牆
- 3.OP 小帆船
- 4.量角器
- 5.手持風速器
- 6.碼表



圖 15：使用電扇製造側風航行實驗照片

(二)、研究過程及方法：

1. 將製自水道注入大約九分滿的水位。
2. 使用捲尺量出 2 公尺的長度，標出起點與終點線。
3. 用量角器調整操帆的角度，本研究設定測量 30 度、45 度。
4. 打開電扇風牆，待穩定後使用手持風速器測量電扇風牆的風速。
5. 待帆面完整受風後，將帆船放出，同時計算航行 2 公尺所需時間。
6. 分別以左舷與右舷航行重複測試 20 次，紀錄航速並平均。
7. 將實驗結果以圖表呈現。

(三)、研究結果：

表 1：側風航行時，操帆角度對航行速度之記錄

航次	側風右舷 45 度		側風左舷 45 度		側風右舷 30 度		側風左舷 30 度	
	時間(s)	速率(m/s)	時間(s)	速率(m/s)	時間(s)	速率(m/s)	時間(s)	速率(m/s)
1	11.60	0.17	9.21	0.22	8.50	0.24	13.07	0.15
2	11.10	0.18	9.18	0.22	7.34	0.27	12.28	0.16
3	11.09	0.18	7.34	0.27	6.74	0.30	10.08	0.20
4	11.32	0.18	8.24	0.24	7.59	0.26	12.27	0.16
5	13.74	0.15	8.64	0.23	8.49	0.24	9.38	0.21
6	11.84	0.17	7.99	0.25	7.01	0.29	11.06	0.18
7	10.88	0.18	8.29	0.24	7.36	0.27	9.14	0.22
8	10.21	0.20	8.60	0.23	6.51	0.31	13.42	0.15
9	10.57	0.19	7.47	0.27	6.46	0.31	14.13	0.14
10	10.48	0.19	9.60	0.21	6.44	0.31	13.73	0.15
11	9.34	0.21	9.95	0.20	7.16	0.28	14.30	0.14
12	10.12	0.20	7.84	0.26	7.21	0.28	13.86	0.14
13	9.37	0.21	9.10	0.22	6.62	0.30	11.57	0.17
14	9.38	0.21	8.35	0.24	7.62	0.26	10.38	0.19
15	9.62	0.21	9.24	0.22	7.13	0.28	11.34	0.18
16	11.75	0.17	9.00	0.22	7.38	0.27	11.37	0.18
17	10.15	0.20	8.96	0.22	7.56	0.26	12.12	0.17
18	10.31	0.19	8.11	0.25	7.68	0.26	12.77	0.16
19	10.50	0.19	8.99	0.22	7.54	0.27	13.18	0.15
20	8.42	0.24	8.08	0.25	6.62	0.30	10.60	0.19
平均航速 m/s	10.59	0.19	8.61	0.23	7.25	0.28	12.00	0.17

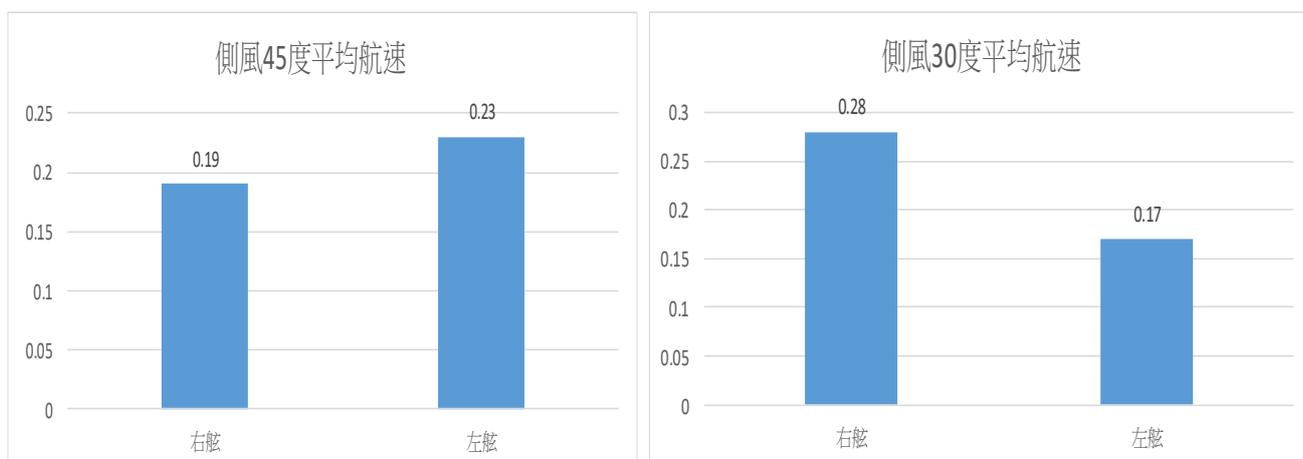


圖 16：側風狀態操帆角度 45 度與 30 度左舷與右舷航行之比較

(四)、研究討論：

1. 在研究三中我們利用自製的風扇牆克服了在自製水道營造側風的問題，在本次側風航行我們設定了兩種操帆角度：45 度與 30 度。
2. 在側風的狀況下，我們發現 45 度的操帆角度左舷航行平均航速為 0.23m/s；右舷航行的平均航速為 0.19m/s；30 度的操帆角度左舷航行平均航速為 0.17m/s；右舷航行的平均航速為 0.28m/s。
3. 實驗結果竟然發現左舷航行操帆角度 45 度時平均航速比操帆角度 30 度來的快；而右舷航行操帆角度 30 度時的平均航速卻比操帆角度 45 度時還來的快。
4. 研究三的實驗結果呈現一種似乎難以解釋的狀態，我們回顧實驗的過程錄影檔案發現，帆船在行經電扇與電扇交界處時，常常出現船身與帆明顯的晃動情形，似乎影響了航行的穩定。
5. 我們發現風扇的交界處風力較弱且由風扇所產的風為螺旋槳攪動所產生的螺旋風，因此雖然我們成功產生側風，但是卻是不穩定的螺旋風，在扇面處與風扇交界處風力落差也常行程亂流，風扇正面打出的螺旋風在帆面上受風所產生的效應也常讓帆不穩定飄動。
6. 為了克服不穩定的側風，我們花了相當多的時間繳盡腦汁，最後在網路的風洞影片中得到靈感，我們使用大量的粗吸管，黏在紙箱中做成簡易自製整流風洞牆來整流風扇牆所打出的螺旋風。
7. 我們發現側風能使船前進，是因為側風打在具有角度的帆上時，會產生一個橫向的側滑分力與一個前進分力，通常用中央板產生反作用力來抵銷側滑力，讓船隻利用前進分力來前進加速，如下圖所示。

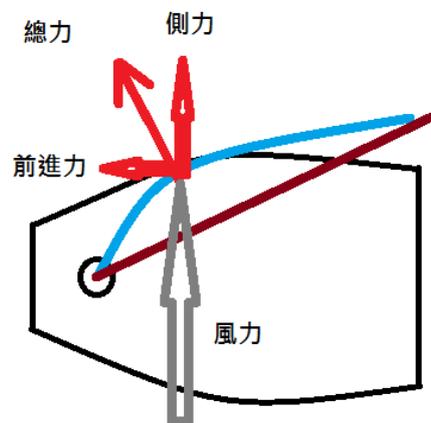


圖 17：側風航行前進力的來源

研究四、使用風洞整流側風航行時，操帆角度對航行速度的影響

(一)、研究設備及器材：

- 1.自製水道
- 2.風洞整流電扇風牆
- 3.OP 小帆船
- 4.量角器
- 5.手持風速器
- 6.碼表

(二)、研究過程及方法：

1. 將製自水道注入大約九分滿的水位。
2. 使用捲尺量出 2 公尺的長度，標出起點與終點線。
3. 用量角器調整操帆的角度，本研究設定測量 10 度、20 度、30 度、40 度、50 度、60 度、70 度、80 度。
4. 利用粗吸管製作整流風洞牆，並架設在電扇風牆前。
5. 打開電扇風牆，待穩定後使用手持風速器測量電扇風牆的風速。
6. 待帆面完整受風後，將帆船放出，同時計算航行 2 公尺所需時間。
7. 分別以左舷與右舷航行重複測試 20 次，紀錄航速並平均。
8. 將實驗結果以圖表呈現。



圖 18：利用粗吸管製作整流風洞牆，並架設在電扇風牆前



圖 19：用量角器調整操帆的角度，右舷 40 度、30 度、20 度。



圖 20：用量角器調整操帆的角度，左舷 40 度、30 度、20 度。



圖 21：使用風洞整流電扇風牆製造穩定側風進行各種操帆角度航行

(三)、研究結果：

表 2：使用風洞整流側風航行時，操帆角度對航行速度的記錄

操帆角度	10度	20度	30度	40度	50度	60度	70度	80度	90度
平均航速 (m/s)	0.22	0.25	0.27	0.28	0.28	0.26	0.24	0.18	無法航行

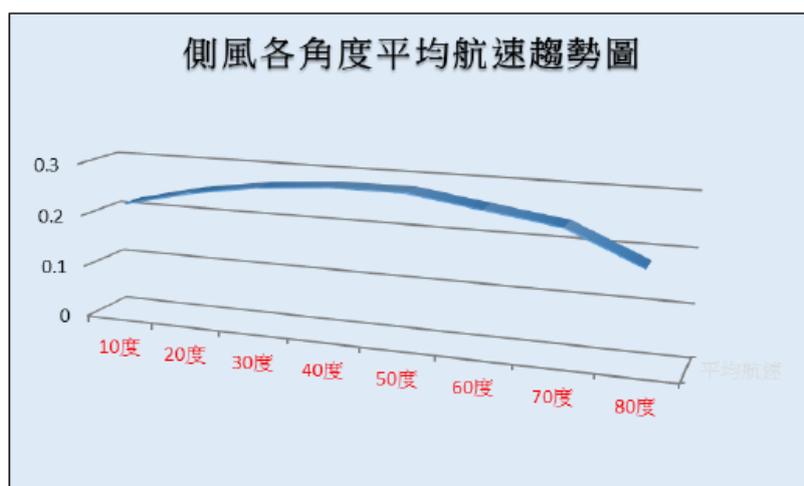


圖 22：側風航行時各角度平均航速趨勢圖

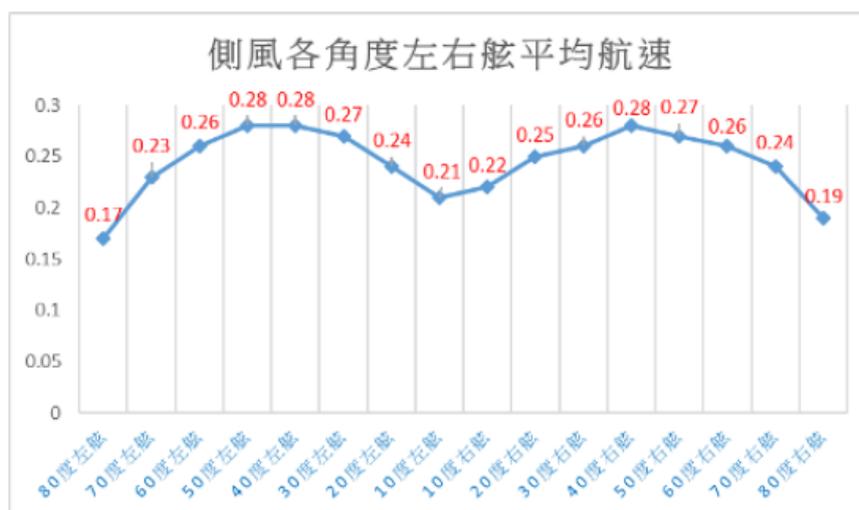


圖 23：側風航行各操帆角度產生的平均航速

(四)、研究討論：

1. 研究四為根據研究三的結果，利用粗吸管製做整流風洞牆來改善不穩定的螺旋風。實驗結果發現，風扇攪動所產生的螺旋風經過自製的整流風洞牆後，風呈現穩定的風流，帆船航行時，帆面也不再出現明顯的晃動情形。
2. 在風扇的交界處，風力仍然較弱，帆船航行至風扇交界處仍有些微的小晃動，但比較起研究三的情形已經明顯穩定許多，所得到的實驗數據也更有參考價值。

3. 根據參考文獻與以往的經驗似乎顯示 30 度為側風較佳的操帆角度，但我們想知道在 30 度以下或以上是否就真的會造成降低航速的現象，因此在本次研究中我們完整檢測操帆角度 10 度到 90 度。
4. 我們研究發現在側風的情形下，操帆角度為 40 度及 50 度時，平均航速為 0.28m/s 為最快，其次為操帆角度 30 度，平均航速為 0.27m/s，操帆角度 60 度時平均航速 0.26m/s 也開始降速，操帆角度 80 度表現最慢，為 0.18m/s。
5. 再仔細分析左舷航行與右舷航行的航速比較，左右舷相對應的角度比較並沒有相當明顯的差異，由圖 23 可看出呈現雙峰曲線，左右舷最佳表現角度均為 40 度到 50 度。

研究五、使用風洞整流側風航行時，中央板插入水中深度對航行速度的影響

(一)、研究設備及器材：

- 1.自製水道 2.風洞整流電扇風牆 3.OP 小帆船 4.量角器 5.手持風速器 6.碼表

(二)、研究過程及方法：

1. 將製自水道注入大約九分滿的水位。
2. 使用捲尺量出 2 公尺的長度，標出起點與終點線。
3. 用量角器調整操帆的角度，本研究設定測量 30 度。
4. 利用粗吸管製作整流風洞牆，並架設在電扇風牆前。
5. 打開電扇風牆，待穩定後使用手持風速器測量電扇風牆的風速。
6. 待帆面完整受風後，將帆船放出，同時計算航行 2 公尺所需時間。
7. 分別以左舷搭配中央板全插、中央板半插重複測試 20 次，記錄航速並平均。
8. 再以右舷搭配中央板全插、中央板半插重複測試 20 次，記錄航速並平均。
9. 將實驗結果以圖表呈現。



圖 24：三種中央板插入狀況進行實驗

(三)、研究結果：

1、左舷航行 20 航次實驗記錄如表 4：

表 4：使用風洞整流側風左舷航行時，中央板插入水中深度對航行速度的記錄

次數	左舷		單位：秒
	中央板全插	中央板半插	無中央板
1	7.62	7.48	7.07
2	7.59	7.16	7.00
3	7.07	7.11	6.86
4	7.30	7.20	6.93
5	7.32	7.24	6.74
6	7.16	7.48	6.67
7	7.21	7.25	6.80
8	7.35	7.08	6.54
9	7.36	6.97	6.99
10	7.13	6.87	6.85
11	7.14	7.11	6.87
12	7.23	6.53	6.94
13	7.05	7.16	6.70
14	7.49	6.60	6.65
15	7.21	7.05	7.00
16	7.19	7.30	6.76
17	7.74	7.30	7.75
18	7.20	7.07	6.98
19	7.68	7.07	6.95
20	7.42	7.15	6.72
平均	7.32	7.11	6.89
平均航速(M/S)	0.27	0.28	0.29

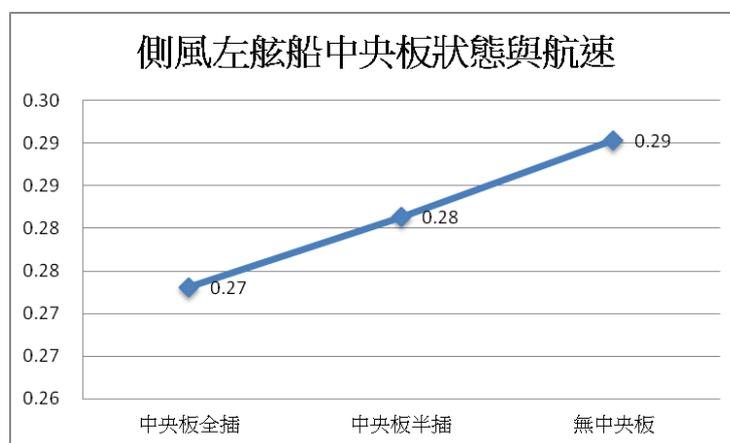


圖 25：側風左舷航行中央板狀態與航速

2、右舷航行 20 航次實驗記錄如表 5：

表 5：使用風洞整流側風右舷航行時，中央板插入水中深度對航行速度的記錄

次數	右舷		單位：秒
	中央板全插	中央板半插	無中央板
1	7.77	7.33	7.07
2	7.68	7.28	6.66
3	7.67	7.13	6.46
4	7.42	7.30	6.72
5	7.53	7.21	6.21
6	7.62	7.01	6.41
7	7.22	6.87	6.55
8	7.40	6.97	6.51
9	7.37	7.11	6.64
10	7.44	7.11	6.61
11	7.32	7.56	6.30
12	7.86	6.81	6.67
13	7.30	7.06	6.62
14	7.22	7.09	6.33
15	7.42	7.09	6.65
16	7.36	7.40	6.84
17	7.66	7.48	6.67
18	7.23	7.18	7.07
19	7.30	7.25	6.67
20	7.70	7.41	7.12
平均	7.47	7.18	6.64
平均航速(M/S)	0.27	0.28	0.30

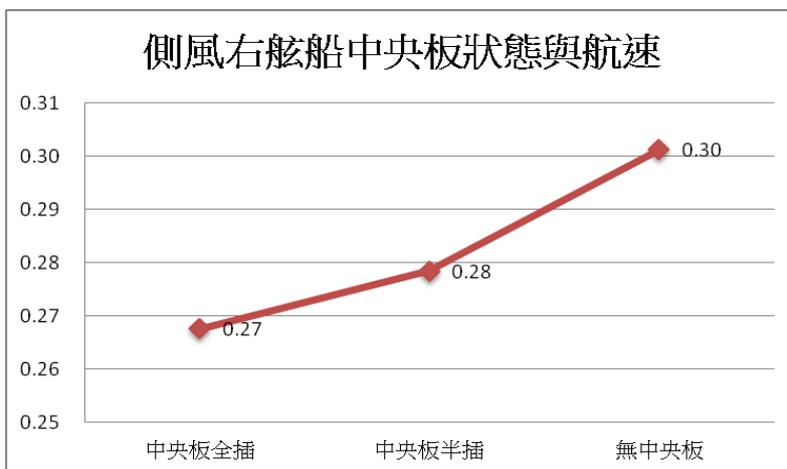


圖 26：側風右舷航行中央板狀態與航速

二、研究討論

1. 研究五根據研究四的結果，在側風的狀態下設定平均航速表現最佳的操帆角度 30 度進行中央板插入狀態的實驗比較。
2. 研究結果顯示，在左舷航行的狀況下，中央板全插入的平均航速為 0.27m/s 最慢，中央板半插入的平均航速 0.28 次之，無中央板的平均航速最快為 0.29m/s。
3. 研究結果也顯示，在右舷航行的狀況下，中央板全插入平均航速為 0.27m/s 最慢，中央板半插入的平均航速 0.28 次之，無中央板的平均航速最快為 0.30m/s。
4. 本研究在風洞整流的狀況下進行實驗，在中央板全插入與中央板半插入的狀態下，左舷航行與右舷航行平均航速的表現沒有差異，只有在沒有插入中央板的情況下，右舷航行稍微比左舷快一點點，但差距也只有 0.01m/s。
5. 本研究發現在側風的狀況下是中央板插入越深，平均航速就越慢，顯示中央板在側風狀態仍然會讓帆船增加水的阻力。

研究六、順風航行時，中央板插入水中深度對航行速度的影響

(一)、研究設備及器材：

- 1.自製水道 2.風洞整流電扇風牆 3.OP 小帆船 4.量角器 5.手持風速器 6.碼表

(二)、研究過程及方法：

1. 將製自水道注入大約九分滿的水位。
2. 使用捲尺量出 2 公尺的長度，標出起點與終點線。
3. 用量角器調整操帆的角度，本研究設定測量 30 度。
4. 利用粗吸管製作整流風洞牆，並架設在電扇風牆前。
5. 打開電扇風牆，待穩定後使用手持風速器測量電扇風牆的風速。
6. 待帆面完整受風後，將帆船放出，同時計算航行 2 公尺所需時間。
7. 分別以左舷搭配中央板全插、中央板半插重複測試 20 次，記錄航速並平均。
8. 再以右舷搭配中央板全插、中央板半插重複測試 20 次，記錄航速並平均。
9. 將實驗結果以圖表呈現。



圖 27：中央板插入狀況

(三)、研究結果：

1、左舷航行 20 航次實驗記錄如下表 6：

表 6：順風左舷航行時，中央板插入水中深度對航行速度的記錄

航次	左舷		單位：秒
	中央板全插	中央板半插	無中央板
1	5.38	5.32	5.14
2	5.58	5.76	5.10
3	5.97	5.70	5.20
4	5.67	5.36	5.07
5	5.80	5.68	5.10
6	5.73	5.49	5.20
7	5.38	5.46	5.29
8	5.91	5.32	5.35
9	5.96	5.47	5.24
10	5.47	5.33	5.21
11	5.79	5.58	5.04
12	5.69	5.34	5.13
13	5.61	5.77	5.30
14	5.97	5.43	5.21
15	5.90	5.48	5.25
16	5.83	5.45	5.27
17	5.92	5.36	5.23
18	5.37	5.68	5.27
19	5.57	5.63	5.20
20	5.92	5.57	5.02
平均	5.72	5.51	5.19
平均航(M/S)	0.35	0.36	0.39

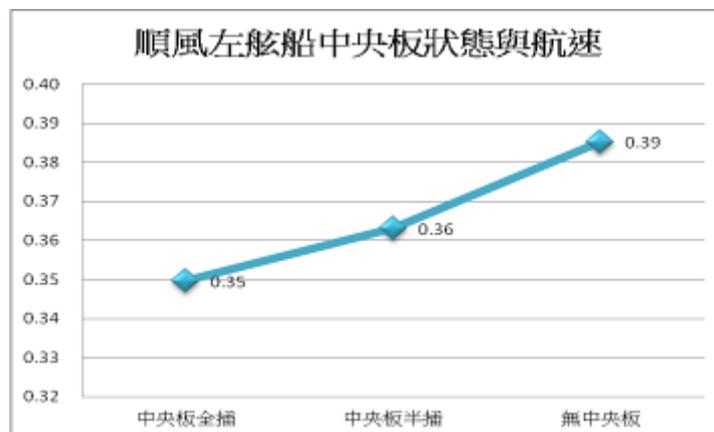


圖 28：順風左舷航

行中央板狀態與航

速

2.、右舷航行 20 航次實驗記錄如下表 7：

表 7：順風右舷航行時，中央板插入水中深度對航行速度的記錄

航次	右舷		
	中央板全插	中央板半插	無中央板
1	6.17	5.63	5.69
2	6.74	5.68	5.69
3	6.72	5.85	5.79
4	6.68	5.91	5.72
5	6.72	5.91	5.85
6	6.76	5.95	5.95
7	6.48	6.03	5.87
8	6.86	6.03	5.61
9	6.92	6.17	5.69
10	6.97	5.84	5.72
11	6.89	5.99	5.71
12	6.51	5.98	5.79
13	6.78	5.90	5.37
14	6.92	5.83	5.86
15	6.30	5.91	5.87
16	6.82	5.71	5.68
17	6.70	5.94	5.76
18	6.44	6.09	5.64
19	6.22	6.01	5.67
20	6.46	5.93	5.60
平均	6.65	5.91	5.73
平均航(M/S)	0.30	0.34	0.35

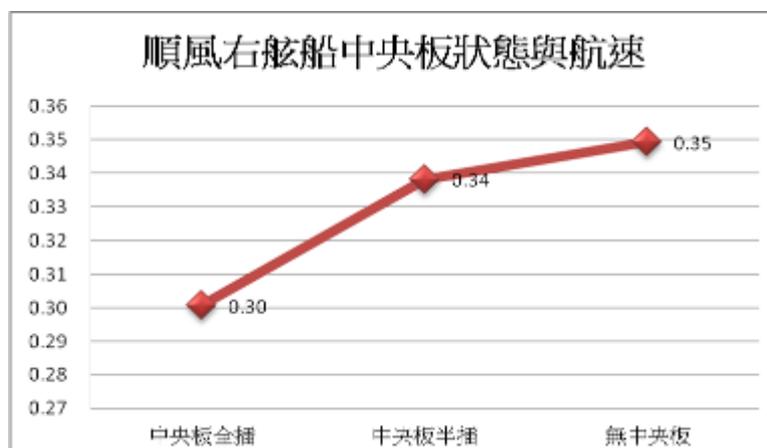


圖 29：順風右舷航行中央板狀態與航速

(四)、研究討論：

1. 研究五根據研究四側風中央板插入狀況的結果，探究在順風狀態下，中央板插入的深度是否仍會造成平均航速的影響。
2. 實驗結果顯示，在左舷航行的狀態下，中央板全插入時的平均航速為 0.35m/s 最慢，中央板半插入的平均航速為 0.36m/s 次之，無中央板的平均航速為 0.39 最快。
3. 實驗結果亦顯示，在右舷航行的狀態下，中央板全插入時的平均航速為 0.30m/s 最慢，中央板半插入的平均航速為 0.34m/s 次之，無中央板的平均航速為 0.35 最快。
4. 研究顯示在順風的狀態下，仍然是中央板插入越深，平均航速就越慢，顯示中央板在順風狀態仍然會讓帆船增加水的阻力。
5. 本研究再從左舷航行與右舷航行仔細分析，在順風狀態左舷航行的平均船速不論在中央板全插、半插或無插入的狀態都顯示比右舷航行來的快。
- 6.

伍、結論

- 一、本研究發現OP小帆船在順風的操帆角度較側順風的操帆角度平均航速來的稍快。
- 二、本研究發現OP小帆船在側風的狀態下，操帆角度在40度及50度時平均航速最快，各角度所產生的航速呈現雙峰曲線。
- 三、本研究發現OP小帆船的中央板在順風、側順風與側風的狀態下，插入的越深，平均航速越慢，顯示中央板在順風、側順風與側風的狀態下插入越深，受水的阻力越大。
- 四、本研究發現中央板插入的深淺狀態是影響船速的重要因素，但為了避免側滑，船隻往下風偏離，在實際航行時仍需中央板來降低側滑的影響程度。但在帆船比賽時，船隻在順風、側順風及側風航行時，靈活運用中央板插入的深度以期創造更佳的航速來締造佳績。
- 五、在順風的狀態下，左舷航行平均航速表現較右舷航行來的稍快，比較船身構造後推測可能是帆面受到斜撐竿的影響以至於帆面展開的幅度受限。
- 六、在側風的狀態下，左舷船平均航速表現與右舷船不相上下，推測在側風的角度風的入射角導致斜撐竿影響的效應可能降低。
- 七、關於斜撐竿的影響有待後續設計研究再進行更明確的證實。
- 八、營造頂風的狀態目前受限於水道的長度，利用風扇會造成起點風速太慢，無法利用白努力定律造成帆面的壓差來形成前進的分力；而終點風速太快，雖能利用白努力定律造成帆面壓差形成前進分力，但獲得加速度後就立即抵達水道底端，無法明顯的產生可參考的實驗數據。我們期望未來能想到克服營造穩定頂風的問題來進行補足對頂風狀態的研究。

陸、參考資料及其他

黃正順 (2011)。帆船。高雄市：易媒普。

陳國文 (2009)。國小帆船班教學滿意度調查研究-以高雄市光榮國小為例。未出版碩士論文，國立高雄師範大學，高雄市。

劉寧生、郭廷祥 (1996)。帆船理論與實務。基隆：海洋臺灣。

中華台北樂觀型帆船委員會 (2008)。樂觀型帆船的歷史。2008年11月3日，取自

http://www.sailing.org.tw/op/op_tpe/op_index.htm

中華民國帆船協會 (2006)。樂觀型帆船入門。台北市：官迺誠。

台灣帆船網 (2008)。樂觀型帆船結構圖。台灣帆船網。2008年11月3日，取自<http://www.sailing.org.tw/>

Jobson, G., & Jehoe, J. (2004). *Optimist sailing*. Ohio: Jobson Sailing.

【評語】 080119

操帆選手從親身的經驗設計實驗探究運動學理，頗有學以致用的精神，雖已有初步的探討，但值得進一步分析探究。