

# 紊流效應對黑潮無動力載具舵片水平配置 影響之探討

李傳宗<sup>1</sup> 楊瑞源<sup>2</sup> 潘煌鏗<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 國家海洋研究院海洋產業及工程研究中心 助理研究員

<sup>2</sup> 國立成功大學水利及海洋工程學系 副教授

<sup>3</sup> 國立高雄科技大學土木工程學系 教授

## 摘要

台灣東部有黑潮經過，其流向往東北到北方向的機率高達 75~80%，為一相當穩定的能量，因此若能善加利用黑潮能量，將可解決目前台灣供電之問題，然水深及極端氣候問題為發展黑潮發電重要研究課題之一，本研究設計一水下載具是無動力式的載台來搭載發電機組，載藉由舵片與黑潮洋流作用所產生之上升力及下降力來提供載具的上升下降。除此，舵片之配置與舵片之距離之影響極為重要。本研究的載具舵片為 NACA0008\_5-32.8LEE 對稱型舵片，舵片之配置為水平配置，在黑潮平均流速 1m/s 下之均勻流場及攻角 30 度時計算舵片所能提供之升力係數，比較舵片距離與後舵片升力之關係，以找出最佳舵片間之距離，做為在黑潮發電水下載具舵片設計參考。計算結果指出，要減少舵片的紊流效應之兩舵距離至少 6 倍弦長，最佳距離為 7 倍弦長以上，但基於洋流發電整體規劃及成本考量，本研究建議前後舵之最小距離可保持在 6 倍翼展弦長為佳。

關鍵詞：舵片、紊流、舵片距離、水下載具、黑潮、發電

## Turbulent effect for the two rudders horizontal arrangement of power-free underwater vehicle in Kuroshio

Chuan-Tsang LEE\*, Ray-Yeng Yang, Huang Hsing Pan

\* Assistant Research Fellow, Department of Marine Industry and Engineering Research Center, National Academy of Marine Research

### ABSTRACT

Kuroshio current, one of ocean currents in the north Pacific, passes through the east of Taiwan. It has a steady flow direction which is 75-80% part toward the north and the northeast. The development of Kuroshio power generation can retard the dilemma of energy shortage in Taiwan. However, to harvest Kuroshio energy is still difficult due to deep seabed and extreme typhoon waves conditions. To overcome these disadvantages, a power-free floating vehicle is essential to carry dynamo for generating electricity in Kuroshio area.

While turbine generators work, the power-free vehicle needs to auto upward and downward motion based on rudders. In this study, the effect of rudder turbulence on the two rudders with horizontal arrangement to power-free underwater vehicle that works in the speed of 1.0 m/s is discussed. The lift of rudders with symmetric profiles of NACA0008\_5-32.8LEE and 30 degrees of the attack angle is calculated. Numerical results indicate that, by calculating two rudders with the horizontal

distance of 3 times to 10 times chore line, the optimal horizontal arrangement distance of two rudders is 6 times chore line length

Keywords: Rudder; Turbulent; Rudder distance; Underwater vehicle; Kuroshio; Power generation.

## 一、前言

我國自產能源不足，能源進口依存度高達 99.4%(經, 2016)，而且近年來世界能源資源短缺加上國際油價上揚，形成嚴重的財政負擔，也造成國家能源安全來源的不穩定。海洋能源為近年來世界上研究的乾淨新能源之一，主要研究的範圍有潮汐能、波浪能、溫差能、及海流能等，台灣四面環海，海岸線全長約 1500 公里，因而擁有廣大的海洋資源，如何透過海洋來開發我國的再生能源，似乎是解決我國地狹人稠及能源困境的方法之一。

台灣東部海域有黑潮經過，黑潮是北太平洋最大的海流，其寬度在 120 至 170 公里間，且其主流在通過台灣東部沿岸與綠島之間，其最高流速可達 1~1.5 m/s，而流量則介於 20.7~22.1 Sv(106 m<sup>3</sup>/s)之間(Hsin, et al., 2008, Johns, et al., 2001, Ozdemir, et al., 2009, Andres, et al., 2008)。由圖 1 及圖 2(國, 1991~2008)可得知在黑潮的流向有 75~80%是往東北到北的方向，而且平均流速是大約 1m/s，由此可知黑潮的流向是可穩定提供發電的。

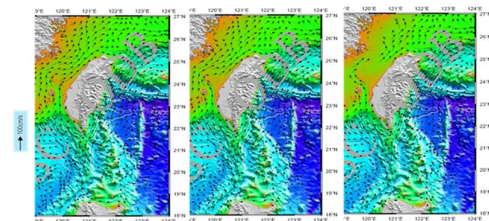


圖1 水面下(a)20m(b)40m(c)60m黑潮流速

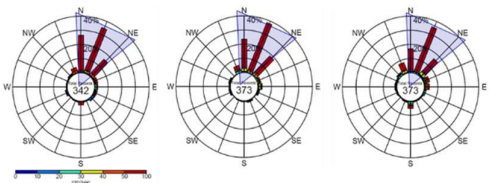


圖2 黑潮水文玫瑰圖

黑潮主流距離台灣本島約 30 公里，利用黑潮發出的電力可很容易的輸送至用戶端，所以黑潮可提

供潔淨的綠色能源電力，且因為黑潮發電不需要原料成本可減少進口能源之成本增進我國經濟發展，並帶動相關產業之發展。台灣有得天獨厚適合利用黑潮發電的海域，研究文獻記載綠島附近之黑潮流域，其蘊藏的能量在 3GW 以上(徐、劉、劉、許, 1999)，然在開發此能源會有下列困難有待克服：

1、能在低流速下發電的水渦輪發電機組。

2、水深問題：黑潮流經台灣東部區域海床深度太深，增加海下施工之困難度及電力輸送上岸困難；且若於海下設置固定式基礎會影響海流能量，甚至於破壞海流，影響到海洋生態與環保，此問題根據研究紀錄指出，台灣與綠島間有東河海脊、南東河海脊、北綠島海脊、綠島海脊形成一島鍊，此部位最深約 500 公尺最淺約 150 公尺，初期若選定以綠島為發電廠，利用此海底地形，將可以降低施工及電力輸送之困難度，增加發電之成功。

3、氣候因素：台灣東部除了水深問題造成施工困難外，另外由於台灣位處亞熱帶，夏天有颱風經過，根據中央氣象局統計資料顯示，從 1897 年至 2014 年這一百多年之間颱風經過台灣東部黑潮流經區域的機率大約為 88.75% 8. (中, 2014)，颱風生成的波場既科學地了解風 - 波相互的物理作用也預測作業時潛在的危險。在研究中可得知颱風可以激烈和快速變化的風形成了一個複雜的海浪場，可以傳播幾千公里距離風暴中心，導致波場在空間和時間顯著變化，甚至改變了原本海流的流向，所以因氣候因素所造成海浪、暴潮等因素對相關設備所造成的影響亦必須詳細加以考慮。

本研究將針對水深效應及氣候因素提供解決方法，在針對水深及氣候問題建議以浮動式載具來搭載發電機以進行發電，且為了節省電力來當作動力以提高發電效率。因此建議水下載具為無動力方式操控，平常時間利用載具之浮力以搭載發電機進行發電，在極端氣候情況下例如颱風、颱風引起之巨浪或是暴潮可利用舵片之攻角及海流之速度產生之升力將載具沉入水中以躲避極端氣候之破壞發電設備，如此即可同時解決上述須克服水深效應及氣候

因素。

傳統上使用舵片來控制升降方式，常見於飛機或輪船，雖然飛機或輪船對於舵片之設計行之有年，若是在設計上無法提供足以上升或轉向之昇力，可利用增加馬力來加速的方式以提供更大之升力來增加上升、下降或轉彎所需之力量，可是如果將此設計運用於黑潮或洋流此種低流速發電中，可能會有誤差，因為黑潮之水流無法加速，因此無法利用增加水流速來提供更大之升力，所以此研究之目的即為探討利用流體力學計算，)複數片舵片水平式配置時，舵片相互間配置影響、尾流影響及解決方法，因此找出一最短及最佳距離，使前舵影響後舵變小，及可增加後舵之升力，以作為未來水下無動力載具設計時舵片尺寸及數量之設計依據。

## 二、研究方法

本文著重黑潮發電無動力載具舵片設計，並針對舵片設在黑潮發電主要有兩個功用，在正常操作條件時可利用此舵片將載具控制在水流最佳之水深，及在颱風的極端條件下，必須將載具下潛至安全水深以躲避颱風暴潮之破壞，基於上述二條件，舵片必須同時具有提供上升與下潛之功用，因此本研究之舵片預計採用對稱形之翼形 NACA0008\_5-32.8LEE(Lee, et al., 2020)如下圖 1，舵片弦長 3.2m，寬度 4m，本研究利用前舵之受力來探討舵片之效能，另可藉由後舵之受力來探討後舵受前舵之影響因此選用水平式雙舵片形式來探討。

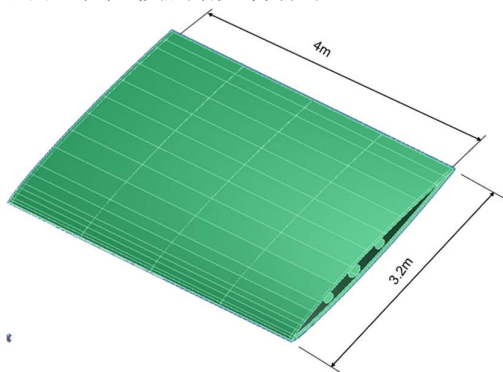


圖 1 翼形 NACA0008\_5-32.8LEE 尺寸

計算中為避免回流現象，在不可壓縮流之計算邊界之設定至少需物體長度 4 倍處，因此計算域如下圖 2 所示，垂直邊界寬度 35.2m(上下各留舵片弦

長 5 倍)，水平計算邊界長度為 Inlet 至前舵 5 倍舵片弦長，二舵片間距離”dis”為本次探討之變數，dis 距離預計計算 3 倍弦長探討至 10 倍弦長距離計算，後舵至 Outlet 邊界 8.75 倍弦長預計計算前後舵片在不同距離條件時(含 9.6m、12.8m、16m、19.2m、22.4m、25.6m、28.8m 及 32m) 在黑潮平均流速 1.0 m/sec 及舵片攻角 30 度下的舵片升力及阻力，計算舵片升力及阻力的公式如下：

$$\text{升力} : F_L = \frac{1}{2} * C_L * \rho * A * V^2 \quad (1)$$

$$\text{阻力} : F_D = \frac{1}{2} * C_D * \rho * A * V^2 \quad (2)$$

其中

$C_D$ ：阻力係數， $C_L$ ：升力係數， $\rho$ ：海水密度 (1025 kg/m<sup>3</sup>)，A：舵片投影面積 (m<sup>2</sup>)

V：流速 (1.0 m/s)

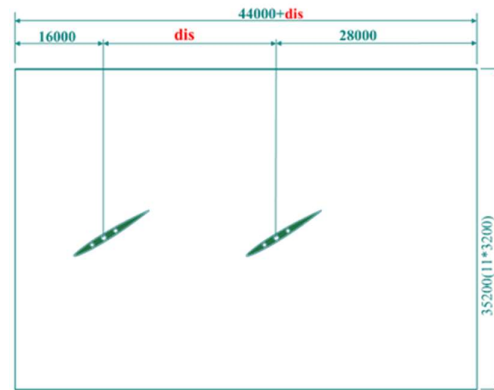


圖 2 舵片計算域

本次研究主要為探討探討二舵片間之距離及相互間升力、阻力及尾流之影響，在此計算中僅後舵會受前舵與水流而改變公式 (1) 和(2) 式的升力係數與阻力係數，其他變數如舵片投影面積、海水密度及流速等皆無改變，因此本研究使用商用計算流體力學(Computational Fluid Dynamics )套裝軟體 Fluent，採用非穩態計算，利用 Standard k-epsilon model 計算方式，網格採用 ANSYS 內部 CFD 網格設定，建構 2D 非結構性網格，Growth Rate 1.1，Elements Size 設為 400mm,另在舵片附近做局部加密，可得到網點數目 697,341 Nodes，元素數目 697,104 Elements 如圖 3 所示(以距離 9.6m 為例，其餘因距離改變會有少許 nodes 及 Elements 之變化)。

計算時間:避免因計算時間而導致之誤差,設定為1250sec。計算舵片於在黑潮水流條件平均流速1 m/s時,計算出雙舵片之前後舵片升力係數與阻力係數之變化,以了解前後舵配置距離從3~10 倍弦長中前舵尾流對於後舵之影響。

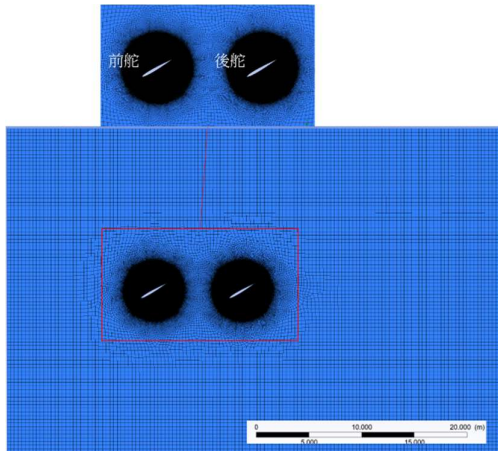


圖3 舵片計算網格

### 三、結果與討論

在計算過程中如圖4所示發現當兩舵片距離”dis”由3 倍弦長(9.6m)開始計算時後舵之收斂值振盪區間範圍較大,直到距離為3 倍弦長(19.2m),後舵之收斂值振盪區間範圍逐漸縮小,收斂區間愈大表示後舵可提供之升力值變動區間大,此結果表示載具將會隨著升力變化而上下動作區間加大,將會影響載具的操控性,反之若後舵可提供之升力值變動區間趨近於直線,載具將會隨著升力變化而上下動作區間亦會接近穩定,使得載具操控性更加穩定。

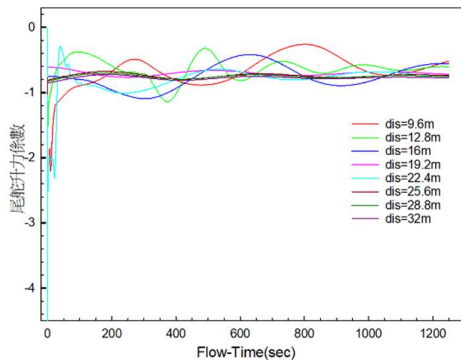


圖4 後舵升力計算結果

表1 舵片升力係數( $C_L$ )及阻力係數( $C_D$ )計算結果

距離	前舵		後舵	
	$C_L$	$C_D$	$C_L$	$C_D$
9.6m	-1.054	0.652	-0.473	0.246
12.8m	-1.071	0.662	-0.629	0.348
16m	-1.096	0.679	-0.739	0.425
19.2m	-1.105	0.681	-0.707	0.417
22.4m	-1.119	0.686	-0.732	0.439
25.6m	-1.110	0.691	-0.747	0.450
28.8m	-1.120	0.689	-0.756	0.456
32m	-1.114	0.689	-0.776	0.466

計算結果如表1及圖5所示,由表1可發現當距離增加,前舵升力係數及阻力係數之變化只有小數點後第2位之改變,變化不大,另於圖5尾舵平均升力係數計算結果中,可發現升力係數當距離在9.6m、12.8m、16m時,後舵升力係數變化成線性成長,此部份可由圖6~9中及公式(1)中得知,圖6~9分別為9.6m、12.8m、16m及19.2m時之前後舵流體計算結果速度流場分佈圖,從圖6~8中可得知在距離9.6m時流體經過前舵後作用於後舵之速度最慢,而隨著距離增加(圖7&圖8),作用於後舵的速度也隨之增加,當距離超過16m到19m時,由圖8&圖9得知流體經過前舵後作用於後舵之速度之影響變小,另於公式(1)中,可得知速度與升力成平方倍之關係,因此可得知前後舵距離太小時,水流會因前舵阻隔而降低作用於後舵之速度,進而影響到後舵的出力。

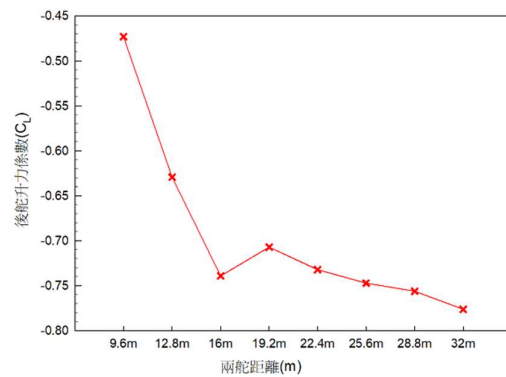


圖5 後舵升力係數計算結果

另當距離從16m(5 倍弦長)增加19.2m(6 倍弦長)時甚至一直增加到32m(10 倍弦長)時升力係數趨近於直線,變化接近穩定,由此可得知兩舵片最小

距離至少 5 倍弦長，又根據圖 4 計算過程考量，在兩舵距離 19.2m(6 倍弦長)，後舵收斂區間與時間優於距離 16m。雖然在距離 22.4m 之收斂區間更加穩定，但其所提出之平均升力影響不大且在實際設備之設計上，增加之距離亦即代表設備須加大，其所產生之強度補強之需求及空間規劃及製作、安裝費用恐超出甚多。因此本研究仍建議前後舵之最小距離可保持在 6 倍翼展弦長。

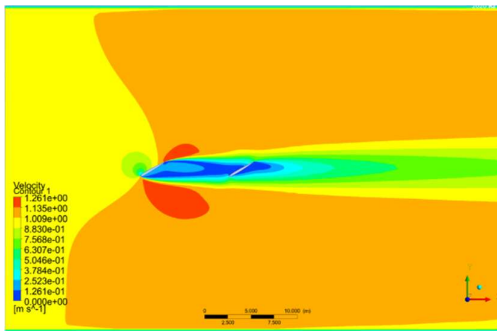


圖 6 舵片計算結果速度流場分佈圖(兩舵距離 9.6m)

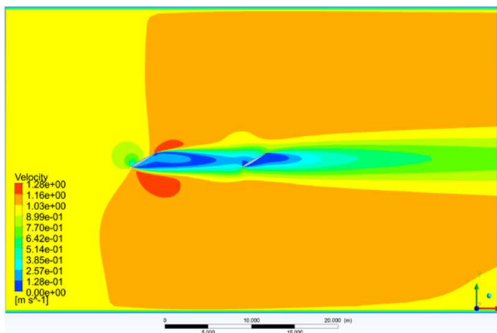


圖 7 舵片計算結果速度流場分佈圖(兩舵距離 12.8m)

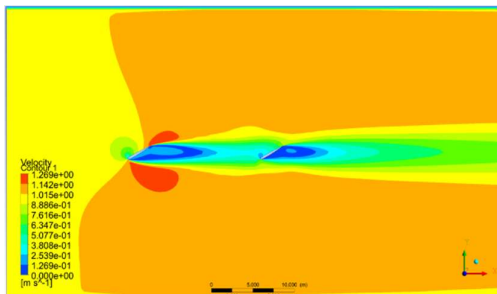


圖 8 舵片計算結果速度流場分佈圖(兩舵距離 16m)

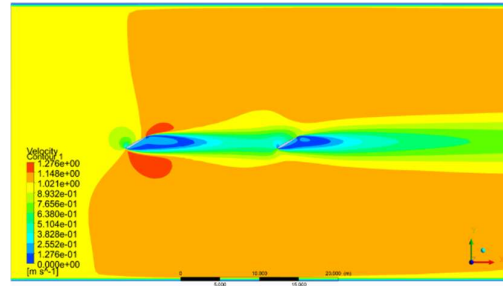


圖 9 舵片計算結果速度流場分佈圖(兩舵距離 16m)

#### 四、結論

從計算過程中發現當兩舵片距離至少需達到 5 倍弦長後，其升力係數及阻力係數之變化趨近於穩定，從此時增加距離對於時升力係數與阻力係數之改變，變化不大，但從計算過程考量，6 倍弦長之後舵收斂區間與時間優於 5 倍弦長，然大於 7 倍弦長時之操控性更佳，但在實際設備之設計上，增加之距離所產生之強度補強、製作及安裝費用恐超出甚多，基於洋流發電整體規劃及成本考量，因此本研究建議前後舵之最小距離可保持在 6 倍翼展弦長。

#### 謝誌

本論文承蒙國家海洋研究院所提供經費支援與相關協助，致使本研究得以順利完成，謹致謝忱。

#### 參考文獻

1. 經濟部能源局(2016) ,2016 年能源產業技術白皮書, pp.11, 2016
2. Hsin, Y.C., Wu, C. R. and Shaw, P. T. "Spatial and Temporal Variations of the Kuroshio East of Taiwan,1982–2005: A Numerical Study" *Journal of Geophysical Research* 113, C04002,2008
3. Johns,W.E., Lee, T. N., Zhang,D. , Zantopp,R. , Liu, C. T. and Yang,Y. (2001) The Kuroshio East of Taiwan, Moored Transport Observations from the WOCE PCM-1 Array *Journal of Physical Oceanography* 31, 1031–1053.
4. Ozdemir,Y.H., Bayraktar,S.and Yilmaz, T. (2009 ) Flowfield Analysis of a Rudder by Using Computational Fluids Dynamics *5th International Advanced Technology Symposium*, Karabuk, Turkey. , May 13-15, .



5. Andres, M., Park, J.H., Wimbush, M., Zhu, X.H., Chang K.I. and Ichikawa, H. (2008) Study of the Kuroshio/Ryukyu Current System Based on Satellite-altimeter and in Situ measurements” *Journal of Oceanography* 64:937-50,
6. 國家海洋科學研究中心資料庫(1991~2008) , [http://ncor.odn.ntu.edu.tw/odbs/Physics/adcp/15\\_stick.html](http://ncor.odn.ntu.edu.tw/odbs/Physics/adcp/15_stick.html)
7. 徐谷、劉倬騰、劉家瑄、許明光(1999) 「台灣東部黑潮發電之芻議」 , *台電工程月刊*, Vol. 624, No. 3, pp. 81-89,
8. 中央氣象局(1998) 「百年侵台颱風路徑圖集及其應用 87.6 」 *中央氣象局科技研究中心專題研究報告及氣象局1997~2014年颱風資料*
9. Lee, C.T., Pan, H. H. and Yang, R.Y.(2020) Rudder Profile of Power-Free Underwater Vehicle for Kuroshio Power Generation *Proceedings of International Structural Engineering and Construction Emerging Technologies and Sustainability Principles*