

OAC-110-013 (研究報告)

浮動式水平軸之雙向渦輪潮汐發電系統

(正式報告)

海洋委員會補助研究

中華民國 110 年 10 月

「本研究報告僅供海洋委員會施政參考，並不代表該會政策，該會保留採用與否之權利。」

OAC-110-013 (研究報告)

浮動式水平軸之雙向渦輪潮汐發電系統
(正式報告)

學校：國立高雄科技大學

指導教授：楊敏雄 教授

學生：張岳浩

研究期程：中華民國110年04月至110年11月

研究經費：新臺幣六萬元

海洋委員會補助研究

中華民國110年10月

「本研究報告僅供海洋委員會施政參考，並不代表該會政策，該會保留採用與否之權利。」

目次

表次	III
圖次	IV
摘要	VI
第一章 前言	1
1-1 研究起源及現況分析	1
1-1-1 研究起源	1
1-1-2 現況分析	1
1-2 問題背景及研究目的	3
1-2-1 問題背景	3
1-2-2 研究目的	3
1-3 研究重點及預期目標	4
1-3-1 研究重點	4
1-3-2 預期目標	4
第二章 研究方法及過程	5
2-1 模型介紹	5
2-1-1 浮力系統	5
2-1-2 渦輪葉片	6
2-2 葉片設計	7
2-3 作動原理	10
2-4 數值模擬	12
2-4-1 分析軟體介紹	12
2-4-2 統御方程式	12
2-4-3 雷諾數平均納維爾史托克方程式	13
2-4-4 數值模型建置	13
第三章 結果與討論	22
3-1 流場分析	22
3-1-1 流線場之分佈	22

3-1-2 速度場之分佈	22
3-1-3 壓力場之分佈	23
3-1-4 不同葉片數量之表面壓力分佈	23
3-1-5 葉片數量最佳化及比較	23
3-2 應用分析	37
第四章 結論	42
4-1 結論	42
4-2 未來展望	42
參考文獻	43

表次

表 1. 流速與葉片數對扭矩之變化表.....	17
表 2. 亞鬆弛因子設定參數.....	21
表 3. 浮動式水平軸之雙向渦輪潮汐發電系統之 SWOT 分析表.....	37
表 4. 第一代葉片至第四代葉片之優缺點對照表.....	38
表 5. 第一代作品至第四代作品之優缺點對照表.....	40

圖次

圖 1. 108 年臺灣潮差分佈圖[2].....	1
圖 2. 基樁式發電系統示意圖[4].....	2
圖 3. 浮動式發電系統示意圖[5].....	3
圖 4. 模型之三視圖.....	5
圖 5. 可控葉片之三視圖.....	6
圖 6(a).第一代葉片組合示意圖.....	7
圖 6(b).第一代葉輪組合示意圖.....	7
圖 7(a).第二代葉片.....	8
圖 7(b).第二代葉片組合示意圖.....	8
圖 7(c).第二代葉片之受立面與非受力面示意圖.....	8
圖 8(a).第三代葉片.....	9
圖 8(b).第三代葉片受力面及偏轉示意圖.....	9
圖 9(a).第四代葉片.....	10
圖 9(b).第四代葉片偏轉示意圖.....	10
圖 10(a).葉片偏轉之俯視圖.....	11
圖 10(b).葉片偏轉之側視圖.....	11
圖 11(a).正向流(葉片順時針旋轉).....	11
圖 11(b).反向流(葉片順時針旋轉).....	11
圖 12. 數值模擬流程圖.....	14
圖 13(a).流場計算區域設計.....	15
圖 13(b).流場計算區域.....	15
圖 14(a).流場與葉片之剖面網格分佈圖.....	16
圖 14(b).流場與葉片之剖面網格分佈之局部放大圖.....	16
圖 15. 迭代次數與誤差值之關係圖.....	19
圖 16. SIMPLE 演算法之流程圖.....	20
圖 17. (a)-(d)為流速 $V = 0.8 \text{ m/s}$ 時，葉片數量(B)對流線場分佈之影響.....	24
圖 18. (a)-(d)為流速 $V = 1 \text{ m/s}$ 時，葉片數量(B)對流線場分佈之影響.....	25
圖 19. (a)-(d)為流速 $V = 1.2 \text{ m/s}$ 時，葉片數量(B)對流線場分佈之影響.....	26

圖 20. (a)-(d)為流速 $V=0.8$ m/s 時，葉片數量(B)對速度場分佈之影響.....	27
圖 21. (a)-(d)為流速 $V=1$ m/s 時，葉片數量(B)對速度場分佈之影響	28
圖 22. (a)-(d)為流速 $V=1.2$ m/s 時，葉片數量(B)對速度場分佈之影響.....	29
圖 23. (a)-(d)為流速 $V=0.8$ m/s 時，葉片數量(B)對壓力場分佈之影響.....	30
圖 24. (a)-(d)為流速 $V=1$ m/s 時，葉片數量(B)對壓力場分佈之影響	31
圖 25. (a)-(d)為流速 $V=1.2$ m/s 時，葉片數量(B)對壓力場分佈之影響.....	32
圖 26. (a)-(d)為流速 $V=0.8$ m/s 時，葉片數量(B)對正、反面壓力分佈之影響	33
圖 27. (a)-(d)為流速 $V=1$ m/s 時，葉片數量(B)對正、反面壓力分佈之影響	34
圖 28. (a)-(d)為流速 $V=1.2$ m/s 時，葉片數量(B)對正、反面壓力分佈之影響	35
圖 29. 流速 $V=1$ m/s 時，不同功角之葉輪葉片對轉矩之影響.....	35
圖 30. 流速 $V=1$ m/s 時，葉片數量對轉矩之影響.....	35

摘要

關鍵詞：潮汐能源、可控式雙向葉片、水平軸渦輪機、能量輸出

近年來環保意識漸漸抬頭，而再生源發展也越發蓬勃，再生能源的發展是全國乃至全球的未來趨勢；因臺灣四面環海，擁有豐富的海洋資源，再加上臺灣西部海域因面朝臺灣海峽且受地形限制，能產生的潮差變化甚大，潮汐能不僅擁有規律，長時間持續作用及可預測等特性，與其他再生能相比，更能去預測及計算，有效運用其能源是為未來之目標；本作為潮汐發電與浮動載具之結合研究，並分為兩部份之研究方向。

本研究針對兩方向進行研究，方向一為探討可控式雙向葉輪於潮汐流動時之效能分析，除利用分析軟體 ANSYS Fluent 了解葉片之流線場、壓力場及速度場之分佈變化情形外，並進行實體組裝及設計，於水槽中測驗實際效果，模擬潮汐漲退潮時之葉片運作模式；方向二為針對浮動式之載具作設計，包括其一為須考慮防水之能力，防止發電機進水；其二為穩度之設計，須考量整體重心之位置，增加環境影響之抵抗能力，如風，波浪等，使載具置於海上時能正常運作不被翻覆。

結合上述兩大方向之研究，可得出本作浮動式水平軸之雙向渦輪潮汐發電系統，且與基樁式發電系統比較，前者除可節省成本外，還可減少空間之使用及生態之維護；本研究之最大特點為將單項式葉片改為可控式雙向葉片，並將其軸心作偏置，在海水漲退潮時，使葉片更易偏擺及轉動，加上設有檔板座，而使攻角維持在一定之角度；並搭配上浮力載具，使葉輪整體可自動面朝水流方向，故本研究之成果，對於潮汐之可控式渦輪發電機的設計及開發，可提供一個良好的發展基礎。

年共計有 31 國（如英國、瑞典、丹麥、葡萄牙等國）投入海洋能源之發展，而當前較受矚目之發電型態則為潮汐能、波浪能。

目前全球運作中之海洋能發電設備之總裝置容量達 534.7MW，其中又以潮汐能發電發展相對成熟（達 532MW）、波浪能為 2.31MW、溫差能為 0.23MW，鹽差能則為 0.05MW；另根據歐洲海洋能源組織(Ocean Energy Europe, OEE)發布之調查數據(2021)，於 2020 年歐洲潮汐能總發電量已達到 60GWh，與 2018 年(約 40GWh)相比成長幅度遽增；未來，預測歐盟海洋能發電於 2025 年前新增設裝置容量可達 100MW，其中於 2021 年增設波浪能及潮汐能發電設備合計達 6MW。

且我國屬海島型國家，四面環海之特性使得善用海洋能成為我國未來重要課題，並根據地形優勢而造就的潮汐能優勢，臺灣不僅能利用這個優勢發展具有特色之海洋再生能源，還可創造出許多就業之機會。對此展開針對潮汐發電之研究，期望搭配離岸風電進而產生更大的效率。

目前離岸發電主要為採用圖 2.之基樁式，但基樁式風機僅試用於水深 50 尺處，而台灣西部海域大陸棚最大深度可達 200 尺，要有效利用其資源就必須使用如 3.之浮動式發電系統，使發電機能浮於水上因此就算在東部海域都不成問題。而相較於基樁式而言，浮動式不僅僅對生態環境影響不大外，還可達到永續發展之願景，爾後也可發展為小型充電站，可供有需充電之物品使用(例如:水下無人偵測機、離岸風機水下維修 AUV…等)。



圖 2. 基樁式發電系統示意圖[4]

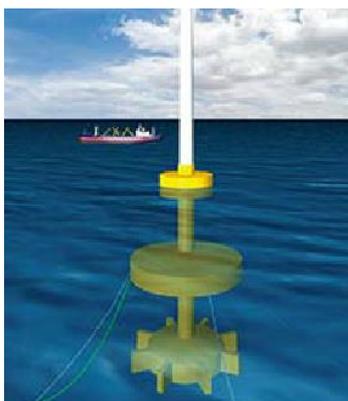


圖 3. 浮動式發電系統示意圖[5]

1-2 問題背景及研究目的

1-2-1 問題背景

根據專家評估全球能使用的非再生能源，僅能再維持 50 年，間接迫使各國積極找尋新的替代能源，運用自然產生能量並將其轉換成人們所需的電能進而達到永續發展是這個時代所需要的；化石燃料的儲備是有限的，早晚都將消耗殆盡，再加上使用可再生能源[6][7]不會產生二氧化碳和其他溫室氣體並可舒緩氣候變遷。因溫室氣體會增強上層大氣層的隔熱效果，阻止熱量從地球散發至太空從而導致全球變暖，且發展可再生能源不僅可為經濟及就業提供新的機遇，還可降低使用化石燃料所造成之環境傷害，並對地球污染之議題有起趨緩之現象。

1-2-2 研究目的

本作研究應用於海流潮汐導致的有規律的海水流動，一般而言若流速可達 2m/s 以上都具有開發能源利用價值。但是在輸出功率方面仍無法達到最高效率，主要原因為當葉片逆向海流時使葉輪組反向轉動，導致發電效果不盡理想。因此使葉輪組轉動方向一致 使得發電輸出功率上升，為本作研究之目的。

本研究採用創新之可控式雙向葉片作為基礎，利用海水之漲、退潮，形成之水平流動之動能，使葉片轉動，產生能量，並配合套裝軟件 ANSYS Fluent 進行數據分析，研討葉輪之葉片數、葉片攻角，盡而找出適合之相關參數。

在相同的海流流速比較下，找出適合可控葉輪之葉片數、攻角、葉片中心距離及葉輪直徑比，並求得葉輪之轉速變化，進而獲得葉輪之最佳輸出功率，且葉輪還可順應海水之流動，改變整體之方向，方始葉片之使用壽命可更長久。

在整體穩度不致使其翻覆時，搭配上改良後之浮動式載具及載台，可不需顧慮地基之問題、體積小、易維修…等優點外，並對不同攻角下之葉片進行效能分析，針對不同環境改變流速、溫度，密度等變數，藉由分析結果找出最適化葉片，建立完整的葉片數據庫提供後續研究之參考。

1-3 研究重點及預期目標

1-3-1 研究重點

將單一方向性之傳統式葉片，改成沒有限制流向的可控制式之雙向葉片，並且結合具有浮力之載台及載具。本次研究報告將著重於葉片之數值分析，設定可控之雙向葉片在流速(V)為 0.8m/s、1.0m/s 及 1.2m/s 下時，針對不同葉片數之葉輪模型，進行流線場、速度場及壓力場所造成的效果以及影響，並透過其分析再進一步進行以下之研究重點:

方向一，對葉片外型與材料的改良，基於過去葉片所得之經驗對於細部設計與材料選用有更多選擇，於相同作動原理下，改進葉片效率。

方向二，使用數值模擬分析之運用，先行了解葉片之效能如何，並做出比較及建立一系列數據庫，減少成本並及時改善作品缺點。

1-3-2 預期目標

在本研究計畫進行期間，設法進行解決及改良，舉例說明:如何使葉片在運轉時更加順暢、葉片旋轉時，攻角為幾度時，產生之功率最大，葉片數目 3、4、5、6 片時與流體的相關的關係比較，本計畫預期目標如下:

- 1.完成四代作品及測試。
- 2.透過分析軟體，分析葉片個數不同所造成的相關的關係。
- 3 申請專利。

第二章 研究方法及過程

本研究之構想是藉由 吳彥威 等人[8]，所設計之反轉式雙葉輪水平軸渦輪機之啟發並參考及改良，因此本章節除使用 3D 製圖軟體 Rhino6 設計出創新之可動式渦輪機外，並對模型進行實機試驗及分析模擬。

2-1 模型介紹

圖4.(a)-(d)為本研究之三視圖，分別為(a).組合之立體圖、(b).組合之側視圖、(c).組合之前視圖及(d).組合之俯視圖。由此可知，其為構造簡單之浮動式水平軸之雙向渦輪潮汐發電系統，並分為浮力系統及渦輪葉片兩部份進行說明。

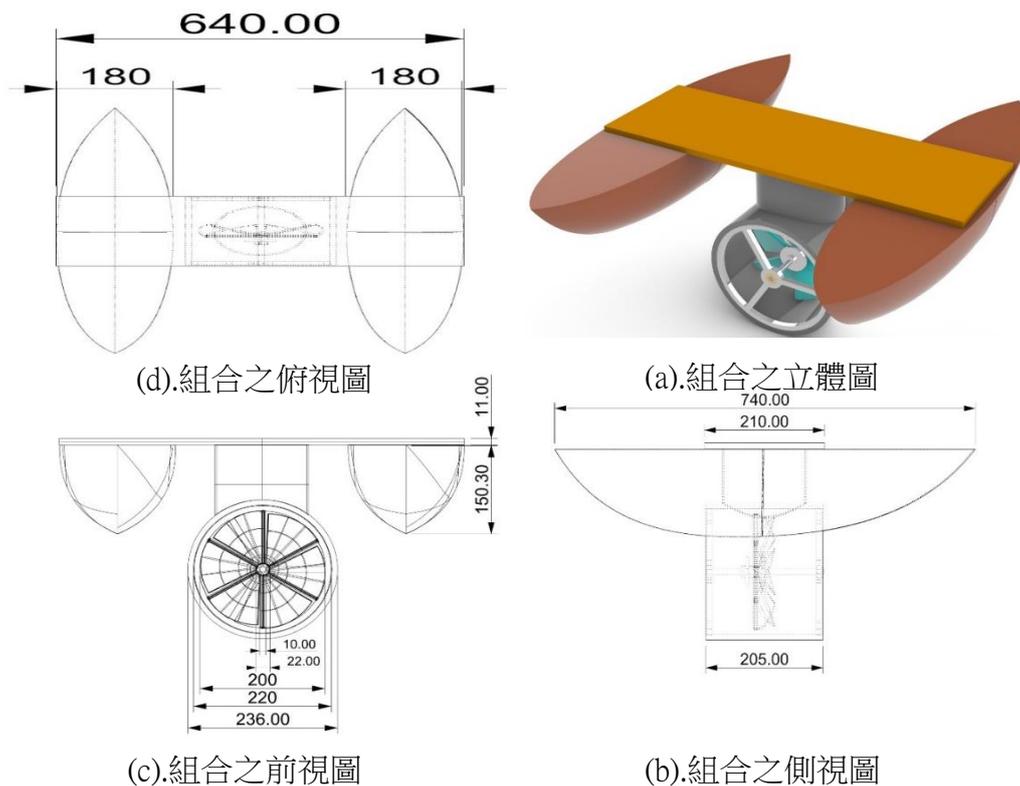


圖 4. 模型之三視圖

2-1-1 浮力系統

浮力系統在結構設計上不僅使用雙體船之設計，也將此系統分為浮力載具及載台，其中載台為使用 64cm×21cm 之長形木板，作為可存放物品之檯面，故可避

免乘載之物品受到海水之影響，且於兩側加裝 74cm×16cm 之船形載具，為此系統提供所需浮力來源；且圖 8-1.組合之立體圖中，可知在葉片外部套有三通管，使海水因漲落及潮水流動所產生之水平動能，得以有固定之空間，將水平動能轉化為垂直動能之轉換空間；本次研究，則將小型發電機及 LED 燈片也安裝至於載台上，並以利觀測本作發電之狀況。

2-1-2 渦輪葉片

在圖 8-1.組合之立體圖中，可看出此系統之渦輪葉片為一組為六片式之葉片、軸承座及傳動軸所組成，圖 5.(a)-(d)為本次研究之**創新設計之非對稱扇形葉片**之三視圖，分別為(a).立體圖、(b).側視圖、(c).前視圖及(d).俯視圖。本研究將貫穿旋轉軸置於最旁側，且葉緣厚度由尖端漸向旋轉軸增厚，形成葉緣流線錐度化，目的在於加強旋轉軸位置之強度同時，不去減少葉片轉動效率；並將葉片旁側鑽入沉頭孔，得以讓小型軸套環可嵌入，使其貫穿旋轉軸固定於此，不易偏移，故可減輕不必要之重量並使葉片更易受水流流動方向而偏擺且美觀化，不僅可將速度提升一個檔次，也可提高發電之效率。

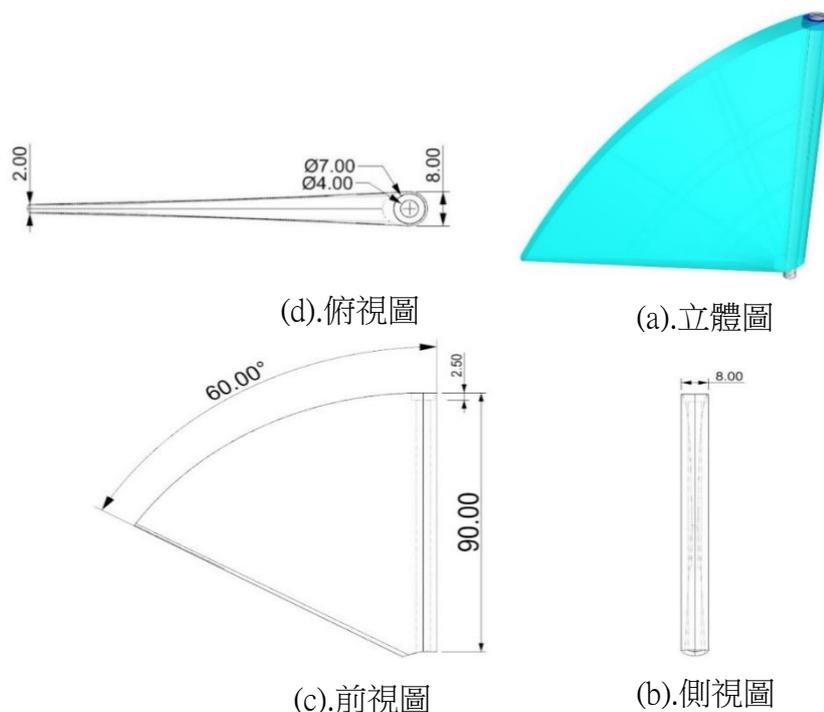


圖 5. 可控葉片之三視圖

2-2 葉片設計

使用 3D 製圖軟體 Rhino6 進行葉片建模後，利用 3D 列印機打印出實體模型，於測試水槽中量測運轉時之電量及轉速，找尋合適之攻角範圍，與葉片翼型及結合試驗數據後，再次評估模型之缺點問題後，重新建立模型；觀測新版葉片之性能，加以記錄以及文獻之參考[8] [9]，本研究之葉片目前已改良至第四代之設計。

第一代葉片為面積較小且初期之模型為圖 6(a)，傳動效率較差，加上貫穿旋轉軸使用材質為 3D 列印機之 PLA 線材製成，且剛性小，易導致葉片運轉時產生之變形；組合葉片如圖 6(b).使用之膠合黏接，但經由多次水槽測試後發現膠合強度略顯不足以及葉片易卡死等諸多問題，因此於二代著手進行改良及檢討。

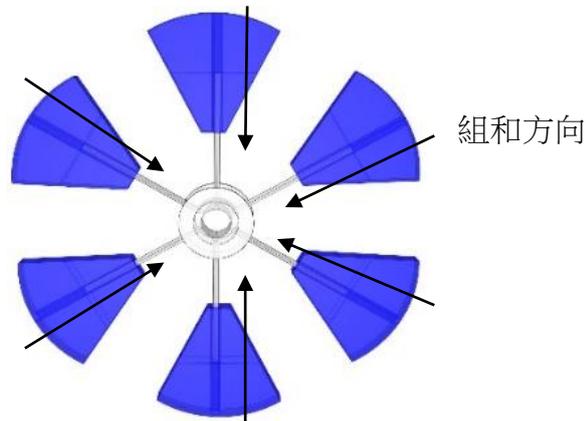


圖 6(a). 第一代葉片組合示意圖

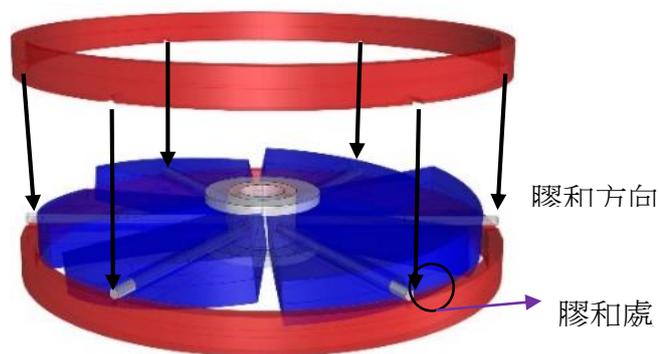


圖 6(b). 第一代葉輪組合示意圖

第二代葉片採圖 7(a).葉緣導圓並使其流線化，不僅可減少應力之產生，使其產生之阻力降低，並將葉片之貫穿旋轉軸及葉轂由一體成形之 PLA 線材之材質轉為圖 7(b).之可拆卸式金屬之材質解決先前一代變形之問題。其中阻力是為物體在

流體中與運動方向相的力，其計算流體力學的阻力方程式為阻力係數(C_p)乘上面積(A)在乘上密度(ρ)與速度平方(V):

$$P = \frac{1}{2} A \rho V^2 C_p \quad (2.1)$$

得知增加葉片面積 A 能提高效率，因此對葉片面積進行放大。

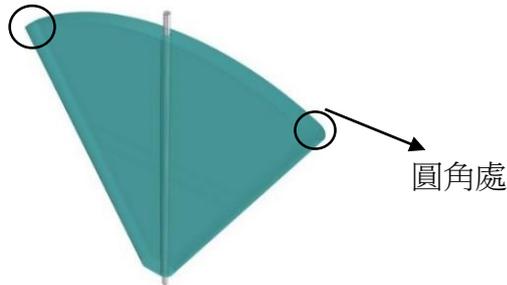


圖 7(a). 第二代葉片

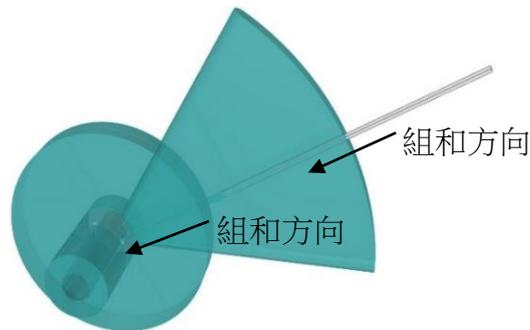


圖 7(b). 第二代葉片組合示意圖

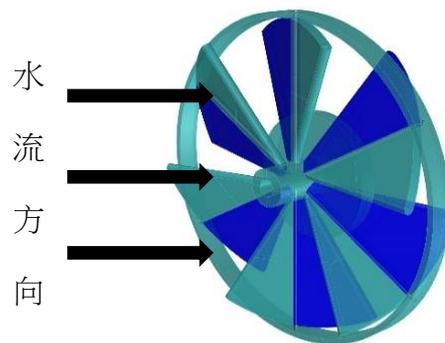


圖 7(c). 第二代葉片之受立面與非受力面示意圖

第三代葉片為採用圖 8(a).創新設計之非對稱扇形葉片，其為於二代測試中可觀察到葉片因由貫穿旋轉軸貫穿後產生兩個區塊，圖 7(c).為葉片受水流之轉動方向示意圖且藍色區域為受力面；綠色區域為非受力面，當葉片面積增大後其非受力

面會隨面積增加而變大，非受力面在水流不適垂直衝擊葉片時，會導致葉片作動受到干涉，而第三代非對稱扇型葉片能使貫穿旋轉軸置於最旁側，並將前兩代之固定軸環改良為小型固定式軸套，除減輕重量外，並大幅增加其圖 8(b).之受力面及減少不穩定情況之產生。

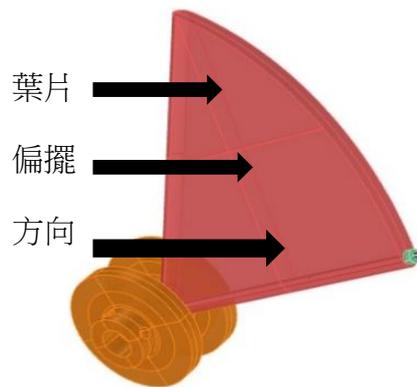
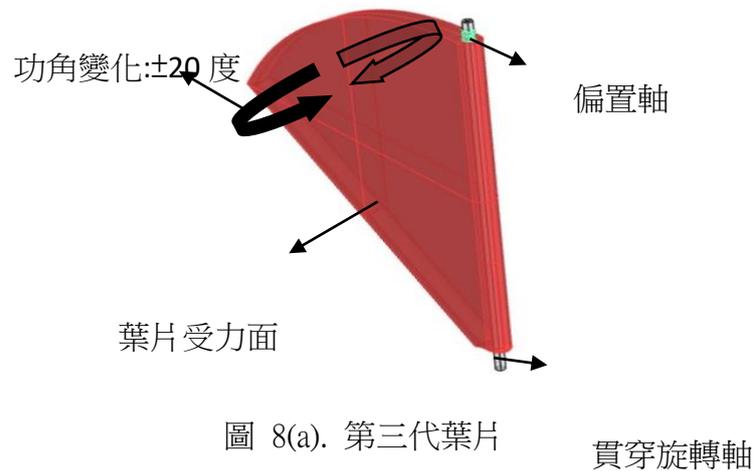


圖 8(a). 第三代葉片受力面及偏轉示意圖

四代葉片採圖 9(a)，其在前代數值模擬測試中可觀察到，前代葉片雖創新將貫穿旋轉軸置於最旁側，雖葉緣厚度均一，但力臂與前兩代比起較為略長，因此所需之力矩也跟著增加；根據上述發現之問題，則將此代葉片之葉緣由尖端漸向旋轉軸增厚，形成葉緣流線錐度化，並將前代之小型固定式軸套改良為內嵌式小型軸套，圖 9(b).不僅減輕不必要之重量並使葉片更易受水流流動方向而偏擺並至轉動及美觀外，故可將速度提升一個檔次，也將之提高發電效率。

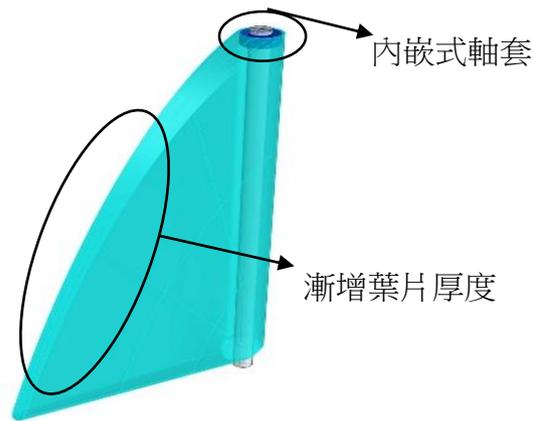


圖 9(a). 第四代葉片

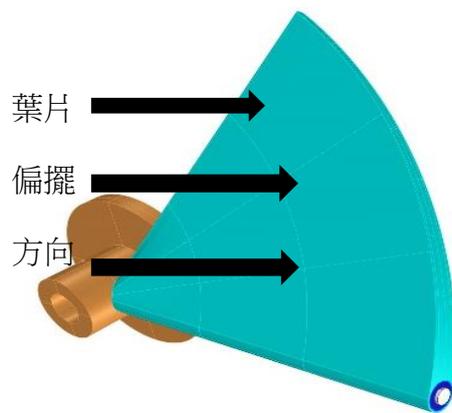


圖 9(b). 第四代葉片偏轉示意圖

2-3 作動原理

將傳統式之單向葉片改良為可改變偏轉方向之葉片，且旋撐軸貫穿葉片，使其繞軸產生固定方向之轉動，便為偏轉角度為定值，即攻角為固定值，藉此實現葉片為可轉動之效果；當漲退潮發生時，水流衝擊葉片受力面，以貫穿旋轉軸作為支點進而產生力矩，使其偏轉，圖 10(a).為葉片偏轉之俯視圖、圖 10(b).為葉片偏轉之側視圖；葉片偏轉產生攻角，為使攻角固定，則在特定範圍內設有擋板之設計，偏轉後固定於擋板內，本次研究攻角範圍為 20 度；藉由擋板範圍之設計也能達到不同之攻角範圍。當不同方向之水流流經時，葉片的偏轉方向也隨即發生改變，圖 11(a).即為正向流(漲潮)時可得正攻角，圖 11(b).為反向流(退潮)時可得負攻角，但葉輪整體之轉動方向卻可維持一定方向不變，此為本作之最大特色。

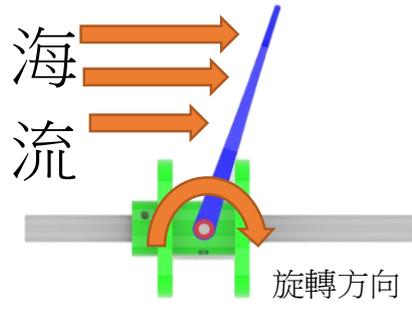


圖 10(a). 葉片偏轉之俯視圖

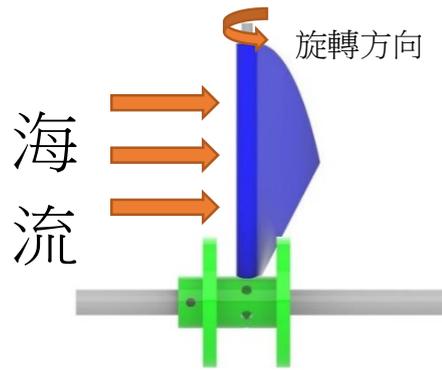


圖 10(b). 葉片偏轉之側視圖

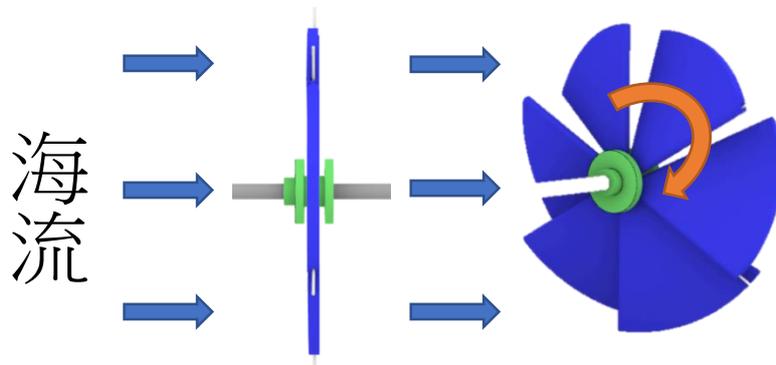


圖 11(a). 正向流(葉片順時針旋轉)

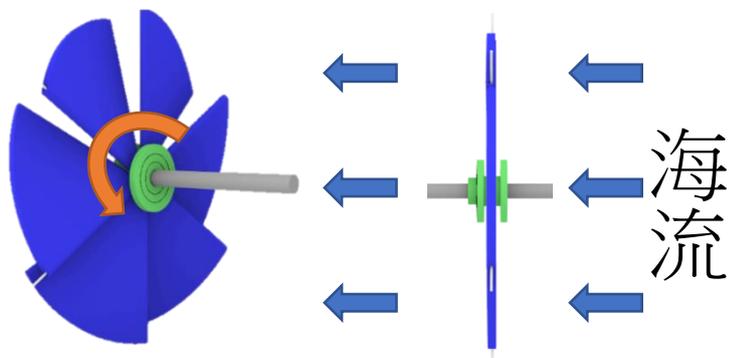


圖 11(b). 反向流(葉片順時針旋轉)

2-4 數值模擬

2-4-1 分析軟體介紹

市面上可選擇的分析套裝軟體眾多，為了減少多餘的成本支出，且更有效率的得到結果，則使用方便且有效之數值模擬軟體(ANSYS Fluent)來為水平軸渦輪葉片進行數值分析。本文研究方法主要使用計算流體力學(Computational fluid dynamic, CFD)，其中數值方法則使用有限體積法(Finite volume method, FVM)，將一控制體積離散化成數個網格及節點，並藉由統御方程式(Governing equation)計算求得水平軸渦輪葉片之流線場、壓力場、速度場及速度向量場。

2-4-2 統御方程式

計算方法使用統御方程式之質量守恆中之連續方程式(Continuity equation)及動量方程式(Momentum equation)，並搭配納維爾-史托克方程式(Navier-Stokes equation, N-S)來運算，相關假設條件如下[10]：

- 1.不可壓縮之流體
- 2.流體為穩流狀態
- 3.物理性質
- 4.流體於三維流場中
- 5.忽略浮力及重力

考慮方向性之質量守恆方程式定義：

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.2)$$

動量方程式定義：

$$\frac{\partial(uv)}{\partial x} + \frac{\partial(vv)}{\partial y} + \frac{\partial(wv)}{\partial z} = \left[(v+v_T) \frac{\partial v}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[(v+v_T) \frac{\partial v}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[(v+v_T) \frac{\partial v}{\partial z} \right] + S_v \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial(uu)}{\partial x} + \frac{\partial(vu)}{\partial y} + \frac{\partial(wu)}{\partial z} = \left[(v+v_T) \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[(v+v_T) \frac{\partial u}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[(v+v_T) \frac{\partial u}{\partial z} \right] + S_u \quad (2.4)$$

$$\frac{\partial(uw)}{\partial x} + \frac{\partial(vw)}{\partial y} + \frac{\partial(ww)}{\partial z} = \left[(v+v_T) \frac{\partial w}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[(v+v_T) \frac{\partial w}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[(v+v_T) \frac{\partial w}{\partial z} \right] + S_w \quad (2.5)$$

Navier Stoke 方程式為：

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 v}{\partial x} + \rho g - \frac{\partial p}{\partial x} \quad (2.6)$$

ρ ：海水密度(kg/m³)

p ：壓力(Pa)

g ：重力加速度(m/s²)

V_T ：動黏滯係數(eddy viscosity , m²/s)

u 、 v 、 w ：分別為 x 、 y 、 z 方向速度向量(m/s)

S_u 、 S_v 、 S_w ：紊流之流動量(kg/m-s³)

2-4-3 雷諾數平均納維爾史托克方程式

雷諾數平均納維爾史托克方程式(Reynolds-averaged Navier-Stokes equation, RANS) 是以時間平均觀念運用在流體動力學上，以解決在工程中難以解決且複雜的紊流流場之問題，但現實中還沒有一種方法或公式可以求解任何紊流狀態，RANS 亦是如此。因此 RANS 需要由理論與實驗建立的紊流模組，去貼近工程真實狀況。

公式如下：

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u_i u_j}) \quad (2.7)$$

其中 ρ 為流場流體之平均密度

$-\rho \overline{u_i u_j}$ 為雷諾應力。

2-4-4 數值模型建置

數值模擬有一套循序漸進的步驟及流程，流程分為前處理、求解及後處理。將繪製好的模型匯入 ANSYS 進行網格劃分為前處理，並將劃分好的網格模型匯入 Fluent，接著設定物理性質、紊流模組及求解演算法稱為求解，最後將求解完的數值以可視化圖形呈現稱為後處理，如圖 12.所示。

本文使用的軟體分別有:3D 繪圖套裝軟體 Rhino 6、分析計算軟體 ANSYS_Fluent，流程於以下章節詳細介紹。

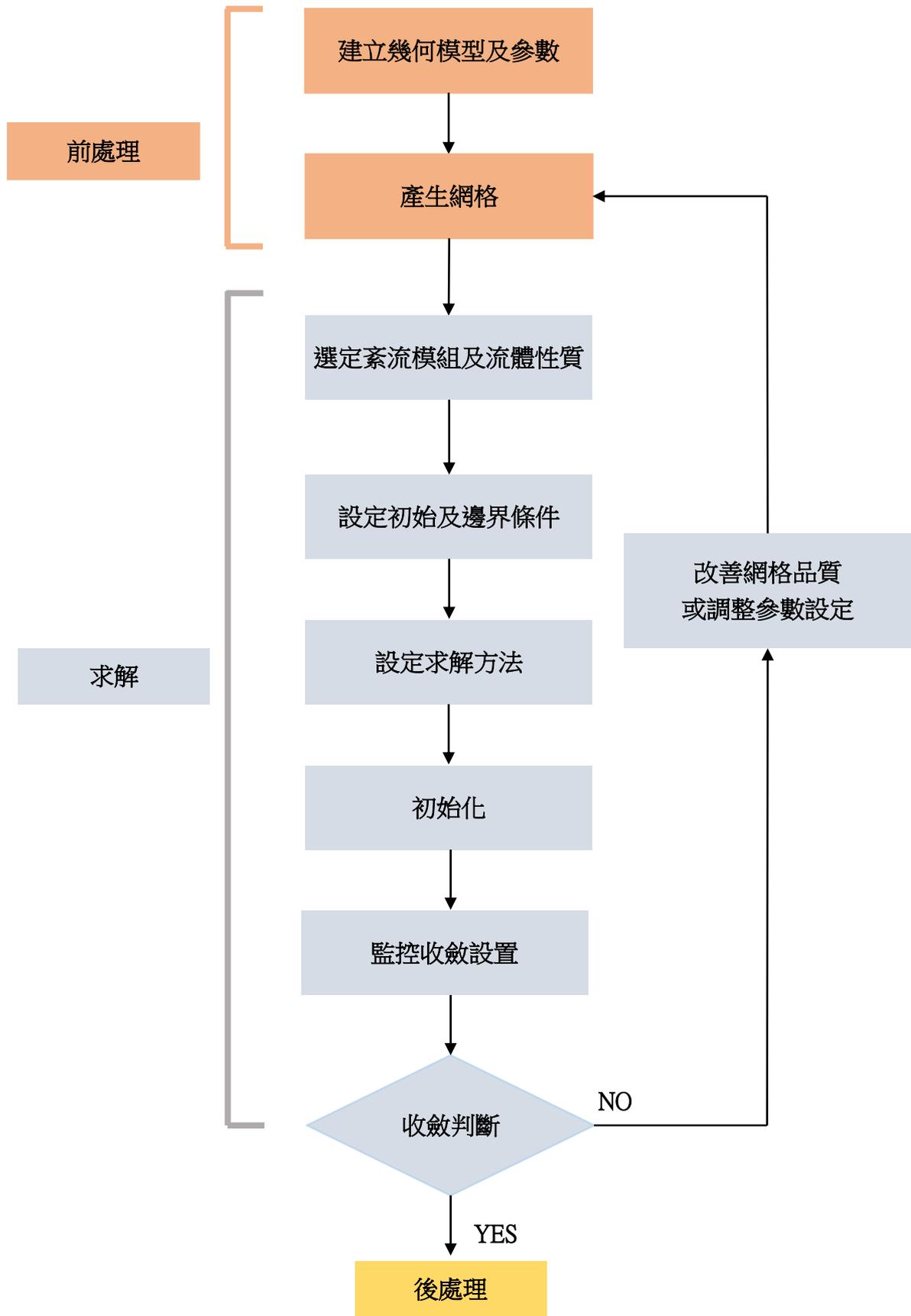


圖 12. 數值模擬流程圖

2-2-4-1. 建立幾何參數

前處理首先之第一步驟，繪製出幾何模型(geometry model)，本研究為使用 3D 繪圖套裝軟體 Rhino 6，所繪製而成。

2-2-4-2. 建立流場

接下來是建立流場範圍，流場範圍主要分為兩個區域，其一為海流流通道所稱之流場計算區域；其二為內部包覆旋轉葉片之旋轉流區。

圖 13(a). 為流場計算區域設計，此為葉輪中心點至流場入口 0.3m 之上游及葉輪中心點至流場出口 2.7m 之下游，而流場寬度為 1m，其流場之總長度為葉輪的 10 倍稱之；圖 13(b). 為流場計算區域，旋轉流區除均於包覆住整個葉輪，並在上游的頂端設置速度入口，下游尾端設定壓力出口，其流場部分設為穩態區，而對照圖 13-1. 為直徑及長度分別為 0.3m 及 0.09m 之旋轉流區。

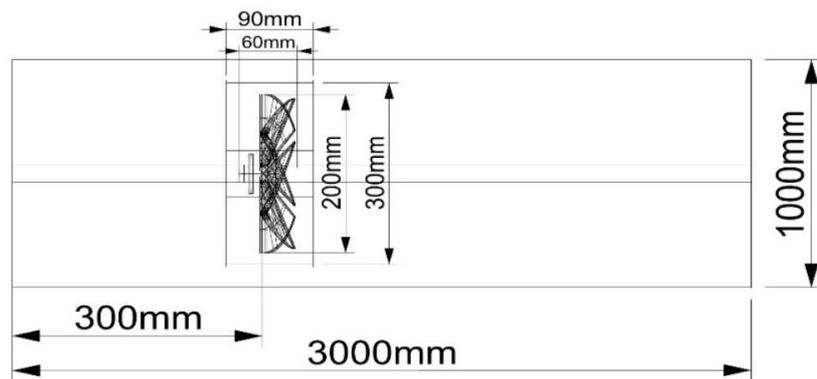


圖 13(a). 流場計算區域設計

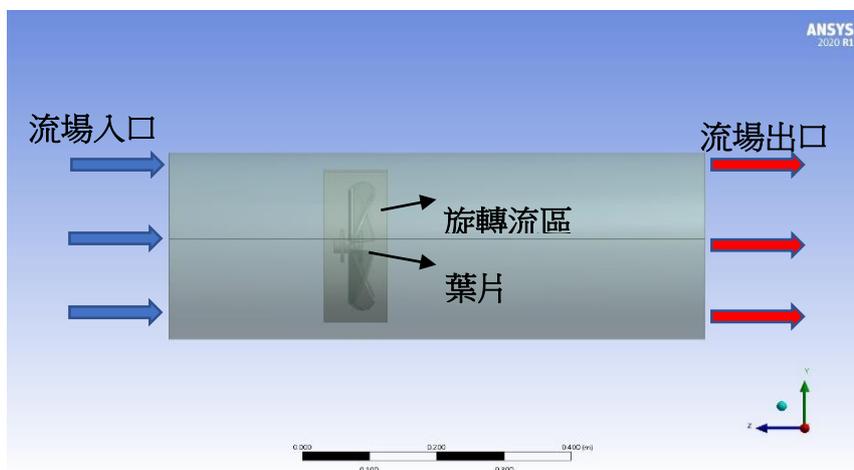


圖 13(b). 流場計算區域

2-2-4-3. 建立網格

網格(Mesh)處理在何流場中為前處理重要的一環，為了精確的求出流體作用於葉片的速度、壓力及流場變化，將幾何模型切割成數個網格，並由網格上之節點來交換計算之通量進而得出流場之物理量。

網格類型可劃分為一般性之結構網格(Structured mesh)及非結構性網格(Unstructured mesh)，其中，非結構網格亦可稱三邊型網格(Triangular mesh)或是錐形網格(Tapered mesh)，其品質可容許的偏差率(Skewness)較高，所產生之網格較精準，適用於較複雜之幾何模型；一般性之結構網格亦可稱四邊形網格(Quadrilateral mesh)，網格速成快品質佳，適用結構簡單且容易之幾何模型。本研究之渦輪葉片為較困難之幾何模型，以採用非結構性之網格來計算。如圖 14(a).流場與葉片之剖面網格分佈圖及圖 14(b).流場與葉片之剖面網格分佈之局部放大圖。

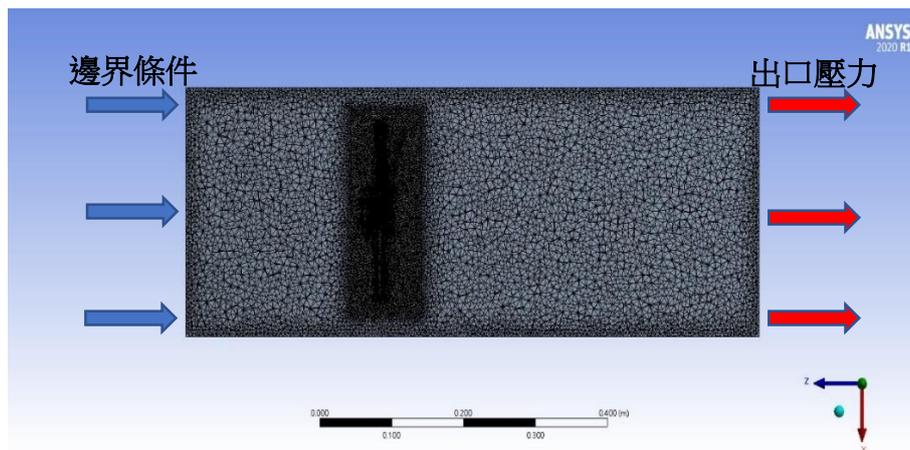


圖 14(a). 流場與葉片之剖面網格分佈圖

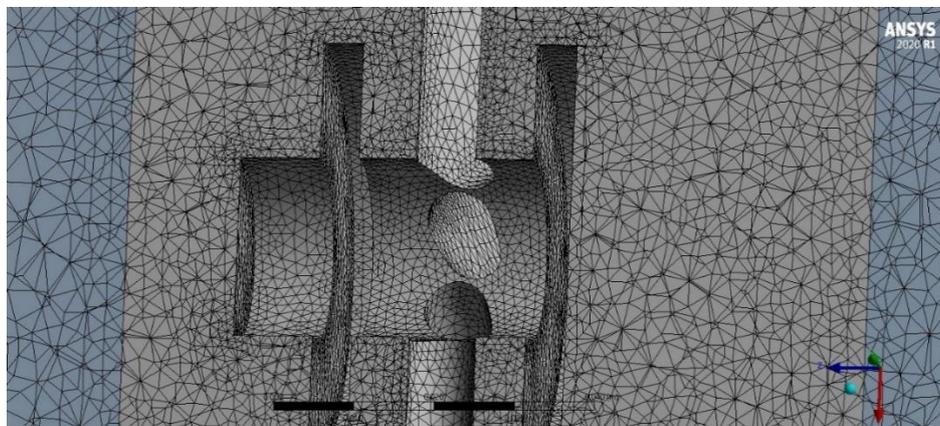


圖 14(b). 流場與葉片之剖面網格分佈之局部放大圖

2-2-4-4. 網格獨立

數值模擬對於網格品質有相當高的要求，網格品質好壞會直接反映在計算精度，網格太粗糙計算時間相對快，但迭代容易發散導致計算誤差過大。而網格切太多太緊密計算時間較長，迭代不易發散計算誤差較小，但網格過密會導致誤差累積越多，使迭代發散。故適當的網格數量在數值模擬中格外重要，網格數量與品質在某階段開始收斂維持穩定，稱之為網格獨立(Mesh independency)[11]。表 1. 為流速與葉片數對扭矩之變化，其網格數量為 777 萬至 1767 萬。

表 1. 流速與葉片數對扭矩之變化表

	葉片數	網格數量	扭矩(T)
V=0.8(m/s)	6片	7,771,257	1.0521
	5片	17,676,038	0.58679
	4片	8,980,946	0.85286
	3片	8,404,182	0.28632
V=1(m/s)	6片	7,771,257	1.6132
	5片	17,676,038	0.87054
	4片	8,980,946	0.99011
	3片	8,404,182	0.44023
V=1.2(m/s)	6片	7,771,257	2.2954
	5片	17,676,038	1.2153
	4片	8,980,946	1.1717
	3片	8,404,182	0.61362

2-2-4-5.計算流程

1.模型設定

首先設定幾何模擬狀態可分為不隨時間變化的穩態(Steady)以及隨時間改變的暫態(Transient)，並持續選定流體性質，而在計算流體力學中不同的紊流類型其紊流特性皆不一，因此需要使用對應的紊流模組，如果對於紊流的特性不熟悉，則無法選擇合適的紊流模組。

本研究為潮汐發電，故流體選擇為海水，性質為不可壓縮(Incompressible)，其中密度為 1025 kg/m^3 且具有黏性，計算模組則是選擇穩態；在雷諾數平均數運算下，可得知流體的狀態是層流(Laminar)及紊流(Turbulent)，紊流模組非常多元有 $k-\varepsilon$ 、 $k-\omega$ 、SST...等，因此本研究之模擬設定採用標準式 $k-\varepsilon$ 紊流模組。

2.邊界條件

在 ANSYS FLUENT 計算中設定邊界條件(Boundary conditions)是非常關鍵的一環，不但可以解決不可壓縮之流體，還可訂定出入口邊界問題，並調節收斂的速度，計算幾何模型在邊界中得到之數值解。

a.入流速度邊界

在圓柱形內設定入流邊界條件(Velocity inlet)，除考慮入流的速度快向性外，而由圖 4.2(B)可看到靠近渦輪葉片的一側為入口，為了不讓渦輪葉片產生的迴流影響入口流體流動，因此將上游部分往前延伸，以利減少迴流之產生，且流體皆為均勻流，並設其海流流速為 0.8 m/s 、 1 m/s 及 1.2 m/s 。

b.出口壓力邊界

若在穩態的條件下，海流流過葉片表面速度視為零，海流在出口壓力(Pressure outlet)確保無回流之狀況，其出口設定的壓力則為零，且由圖 13-2.得知渦輪離出口有一大段距離，目的是避免出口太近產生迴流，而影響到流體流經葉片時所產生的尾流狀況。

3.演算法與收斂

求解方式有著多樣之選擇，以下簡單列舉下 SIMPLE 及 SIMPLEC 方式，而本研究之求解方法則以圖 16.之 SIMPLE 演算法為主。

a. SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linkage Equations)

解決動量方程式中的流場速度及壓力耦合之問題，為了改善收斂的疊代效率，由預測和修正方法從連續方程式推導，來解決計算中的壓力場；如修正值 p 和猜測值 p^* 來解決是否收斂。本研究選擇 SIMPLE 法為求解方法，在控制求解之亞鬆弛因子(Under Relaxation Factors)的設定，如表 2.所示[14]。

$$p = p + p^* \quad (2.8)$$

b. SIMPLEC (SIMPLE-Consistent)

其迭代原理也是遵循 SIMPLE 法，兩者間最大的區別在於離散化之動量方程式，SIMPLEC 法在速度校正方程式上進行修正，使計算時間縮短。

當數值方法滿足一致性與穩定性兩種特性，通常數值過程已達收斂。目的是為了讓結果能更接近實際值的準確性，為了讓數值保持上述兩種特質，因此本研究對於網格做了獨立性分析。

其中迭代次數往往也是影響收斂的重要原因，在迭代過程中，迭代的數量多寡會影響誤差值的計算，設定連續方程式、質量守恆及紊流 $k-\epsilon$ 的迭代誤差及監控收斂，因此能保證誤差值是否穩定並達致收斂。本研究設定疊代次數從 300 次至 500 次，而圖 15.為迭代次數與誤差值之關係，設定連續方程式及方向及 x,y,z 方向的速度誤差 10^{-4} 及可收斂，並自行判斷。

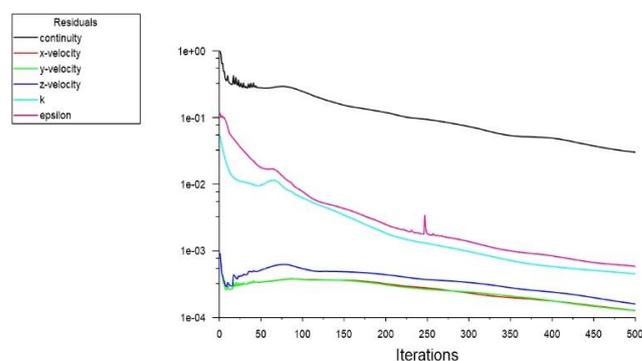


圖 15. 迭代次數與誤差值之關係圖

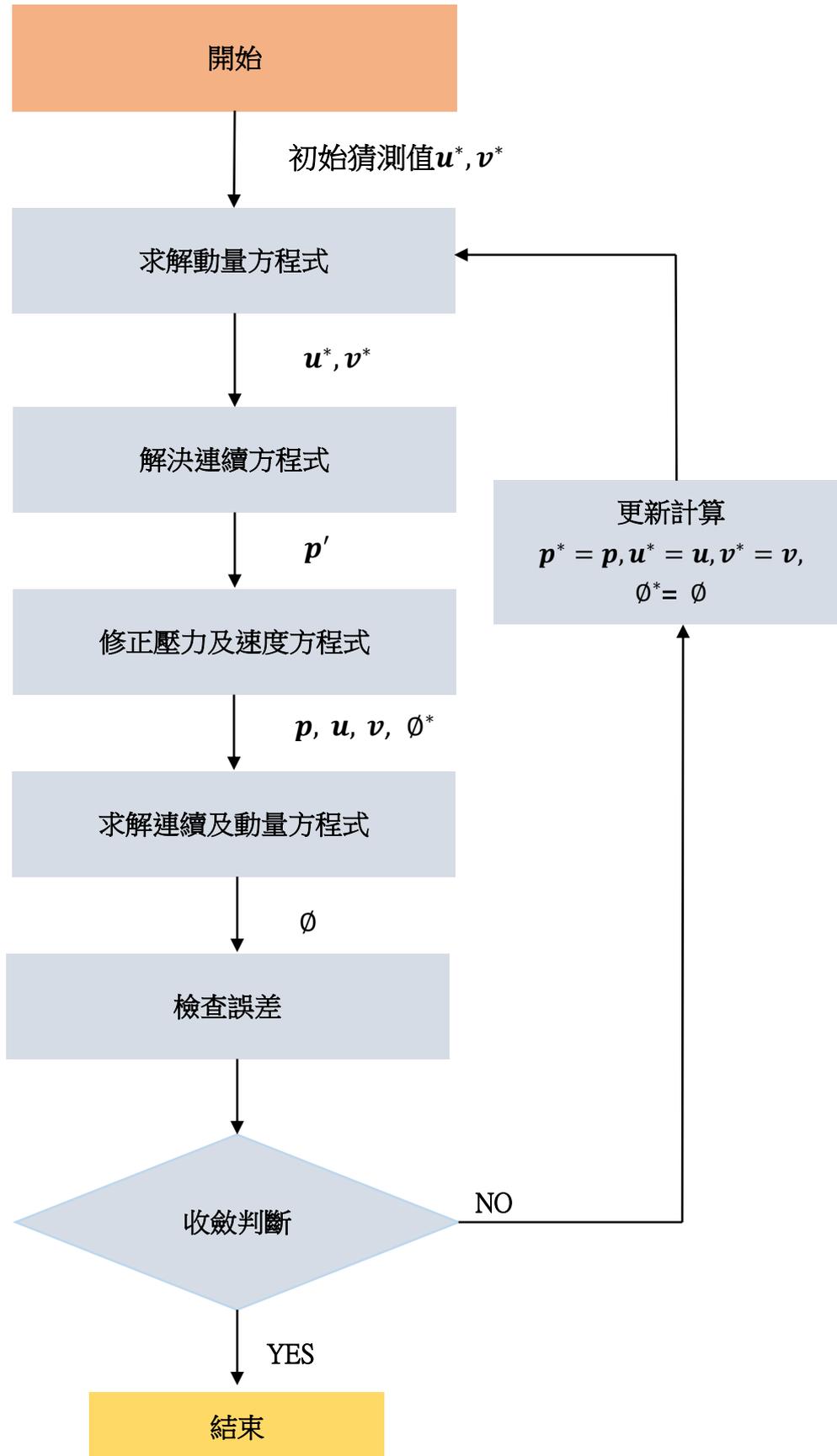


圖 16. SIMPLE 演算法之流程圖

表 2. 亞鬆弛因子設定參數

參數	係數
壓力(Pressure)	0.3
密度(Density)	1
物體力(Body forces)	1
動量(Momentum)	0.7
紊流動能(Turbulence kinetic energy)	0.8
紊流消散率(Turbulent dissipation rate)	0.8
紊流黏性(Turbulent viscosity)	1

2-2-4-6.後處理

為了顯現(Display)數值之計算結果，且能明顯看出流場中速度變化佈及流體行進之軌跡，則使用 ANSYS_Fluent 之後處理(Post-processor)功能將數據繪製成速度、壓力及流線分佈圖。

1.速度場

速度場(Velocity field)是由某時間、空間上的速度向量組成的物理場。以流動的流體當速度場是指流體流動前沿的向量速度分佈，將空間中，且在同一時間內的流體速度向量分佈狀態。

2.流線場

流線場(Streamline field)中每一點上都與速度向量相切的曲線稱流線。流線是由不同流體的箭頭曲線的組合，以流線的路線及移動方向形成之運動軌跡。

3.壓力場

壓力場(Pressure field)是由某時間、空間上的壓力變化，根據柏努力定律之不同的速度其壓力不同。

第三章 結果與討論

本章節除探討浮動式水平軸之雙向渦輪潮汐發電系統在受流體作用及固定流速下，會導致流體軌跡之改變，進而影響到流線場、速度場及壓力分佈場之變化外，並對第一代至第四代成品及葉片進行說明及比較。

3-1 流場分析

本節為探討可控之渦輪葉片於流場中的速度、壓力分佈及流線場變化分佈之情況，首先，探討可控之渦輪葉片在流速(V)為 $V=0.8(\text{m/s})$ 、 $V=1(\text{m/s})$ 、 $V=1.2(\text{m/s})$ ，且葉片數量為 3 片、4 片、5 片及 6 片時之速度、壓力分佈及流線場變化分佈之情況；接著，對上述之情況進行比較，並探討其差異。

根據吳彥威等人[8]針對雙葉輪水平軸渦輪機進行研究，了解到葉輪為達最佳性能，攻角與葉片數需呈正比；且台灣周遭海域流速大多小於 2 m/s ，並根據成大水工所與經濟部能源局在能源科技研究中心推動計畫-海洋能科技中心的研究裡(九十九年度期末報告)，規劃量測出我國附近海域之平均最大流速為 0.67m/s 至 1.13m/s 之間，因此本研究之渦輪葉片，則將攻角範圍設為 20 度及及流速設定為 $V=0.8(\text{m/s})$ 、 $V=1(\text{m/s})$ 、 $V=1.2(\text{m/s})$ 。

3-1-1 流線場之分佈

圖 17(a)-(d)、圖 18(a)-(d)及圖 19(a)-(d)為不同葉輪之葉片數量在相同轉速下之流線變化。從這些圖中可知，不管流速為何，只要葉片數量較少時，葉輪旋轉產生的渦流較少，因碰觸面積較少；反觀，隨著葉片數量增加，葉片受流體推動葉輪旋轉，且可接觸面較多，並產生的尾流擴散範圍較大，形成的渦流亦較強。

3-1-2 速度場之分佈

圖 20(a)-(d)、圖 21(a)-(d)及圖 22(a)-(d)為不同葉輪之葉片數量在相同轉速下之速度變化。當海流通過葉片時，葉片前端會開始減速，流過葉片後端會形成低速區，而通過葉片流體的流速會隨著遠離葉輪之距離而有回升之情形；當葉片數量較少時，因接觸面積較少，且海流可流經之縫隙較大，因此海流在葉輪之後端的速度較快。反觀，葉片數量較多時，流體因受葉片阻擋，導致流體在葉輪之後端的速度較慢，在流場中形成範圍較大的低速區。

3-1-3 壓力場之分佈

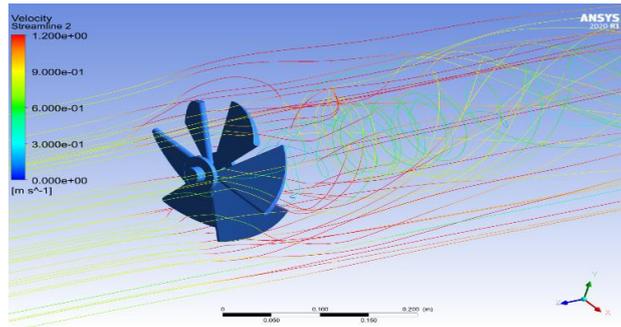
葉輪受海流推力，使其表面產生壓力造成之流體壓力場變化，圖 23(a)-(d)、圖 24(a)-(d)及圖 25(a)-(d)為不同葉片數量之葉輪，在相同流速下之前後流場壓力縱向剖面分佈，當葉片受到流體輪前端會產生高壓區，而流體流過葉片則會在葉輪後端形成低壓區，當葉片數量較少時，高壓區之範圍較小，且流過葉片尾流較不明顯；反之，當葉片數量較多時，葉片前端的高壓區其壓力值較高，且其範圍較大；而葉片後端低壓區受之阻力影響，流體流過葉片產生的低壓區亦較大，這是因為流體不易流過葉片所導致。

3-1-4 不同葉片數量之表面壓力分佈

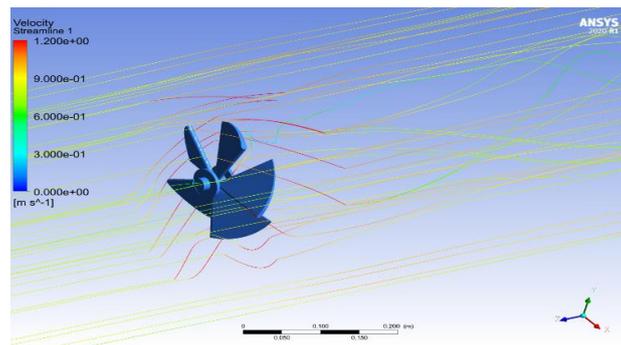
接著，分析在相同流速下，對不同葉片數目之葉輪的正面及背面壓力分佈，圖 26(a)-(d)、圖 27(a)-(d)及圖 28(a)-(d)為葉輪正面壓力分佈，從這些圖中可知，若越接近葉片之貫穿旋轉軸，則產生之表面壓力越大，反觀，若越接近葉緣尖端，則產生之表面壓力越小，當葉片 $B=6$ 時，因葉片數量較密集，且可通過之縫隙較小，因此葉片表面的壓力也較大。圖 26(a)-(d)、圖 27(a)-(d)及圖 28(a)-(d)為葉輪背面壓力分佈圖，當葉片增加時，葉輪背面低壓區之範圍由大逐漸減小，因葉片較多時，受海流作用的葉片面積較多，故葉片的低壓區較分散。而葉片較少時，葉片上的低壓區主要集中在葉片上緣，原因是流體通過葉片產生之分離所導致。

3-1-5 葉片數量最佳化及比較

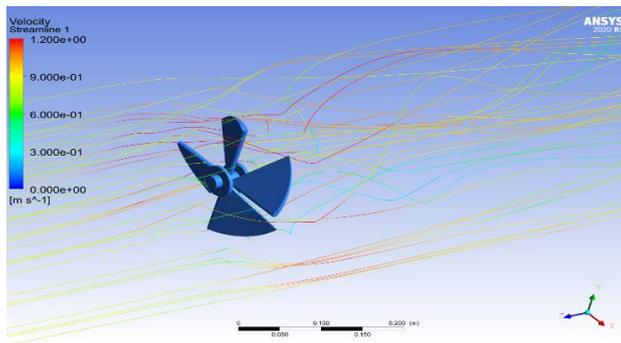
本次研究則為探討葉片數為 3 片至 6 片且在相同流速時，速度與轉矩及不同攻角葉片在最佳葉片數量下之影響。由表 1.可知，當流速為 $V=1\text{m/s}$ 時，轉矩最大值為 $1.6132\text{ N}\cdot\text{m}$ ，而圖 29.為不同攻角葉輪葉片在流速為 $V=1\text{m/s}$ 時，攻角對轉矩之影響；圖 30.為不同葉輪葉片在流速為 $V=1\text{m/s}$ 時，葉片數量對轉矩之影響；因此由圖 29.可知，當葉輪葉片數量由 3 葉增加至 6 葉增加時，葉輪轉矩則會隨之增加；.由圖 30.可知，當葉輪葉片由 3 葉增加至 6 葉時，葉輪轉矩則會呈現趨近線性成長之現象產生；故不論是由表 1.得知，在流速為 $V=0.8\text{m/s}$ 、 $V=1\text{m/s}$ 或 $V=1.2\text{m/s}$ 之情況下，轉矩最大值由 $1.0521\text{ N}\cdot\text{m}$ 上升至 $2.2954\text{ N}\cdot\text{m}$ ，亦或是由圖 29.及圖 30.得知，葉輪轉矩除了與葉片攻角有著一定之比例外，並會隨著葉輪葉片增加而提升，綜合上述所述，可發現本研究，最佳化之葉輪葉片數量為 6 片。



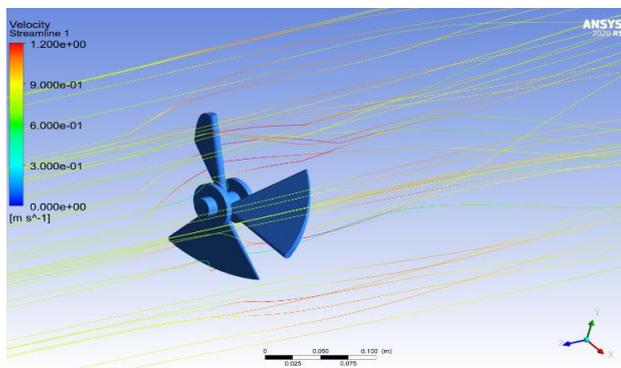
(a)B=6



(b)B=5

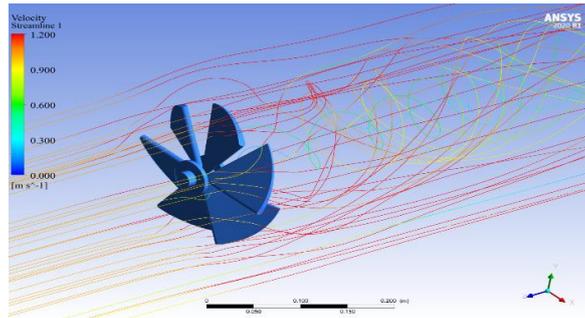


(c)B=4

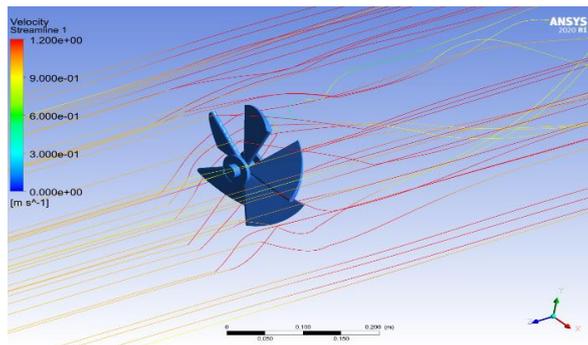


(d)B=3

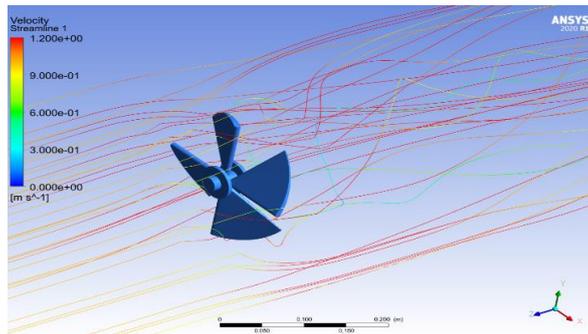
圖 17. (a)-(d)為流速 $V = 0.8 \text{ m/s}$ 時，葉片數量(B)對流線場分佈之影響



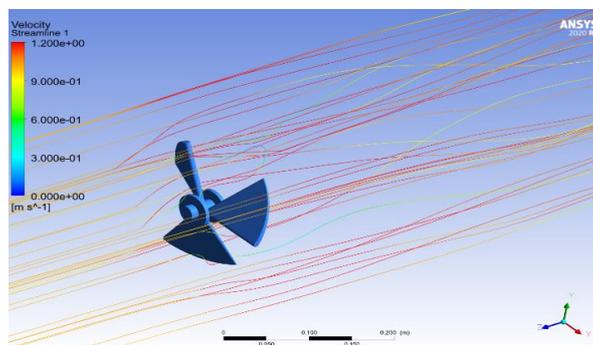
(a)B=6



(b)B=5

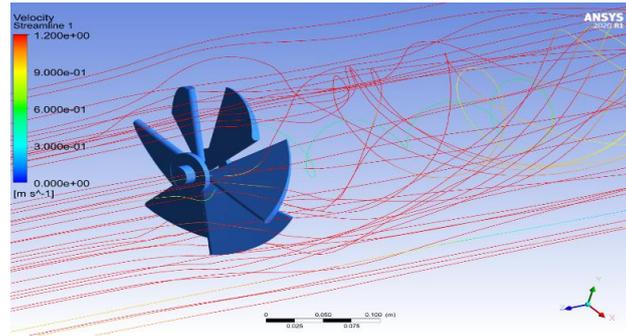


(c)B=4

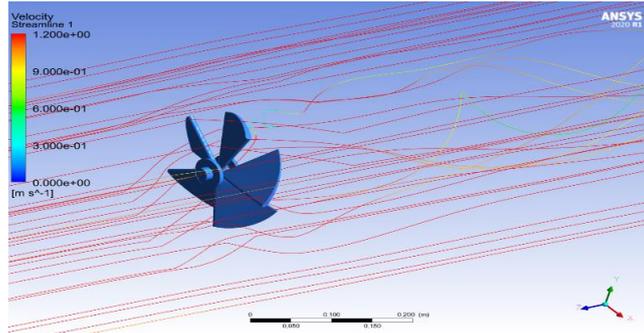


(d)B=3

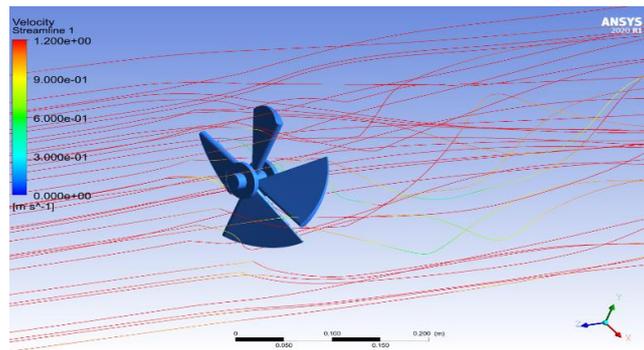
圖 18. (a)-(d)為流速 $V = 1 \text{ m/s}$ 時，葉片數量(B)對流線場分佈之影響



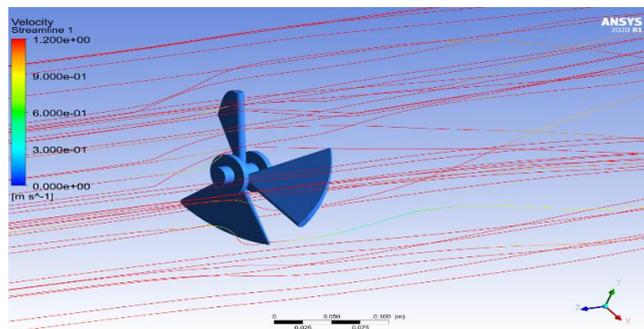
(a) B=6



(b) B=5

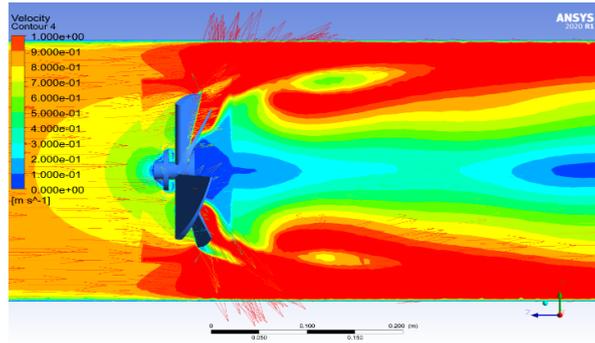


(c) B=4

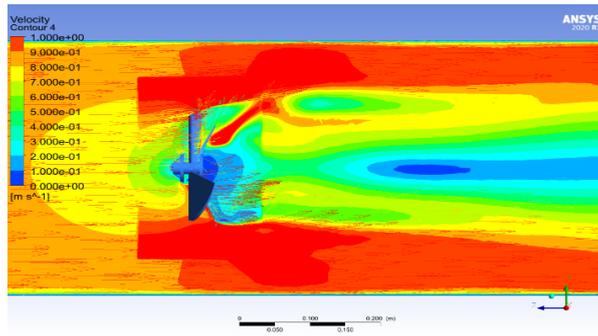


(d) B=3

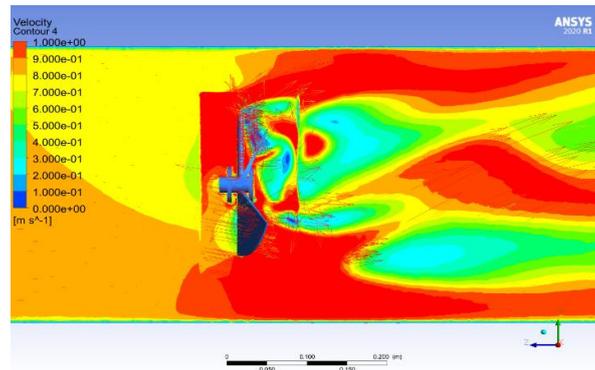
圖 19.(a)-(d)為流速 $V = 1.2 \text{ m/s}$ 時，葉片數量(B)對流線場分佈之影響



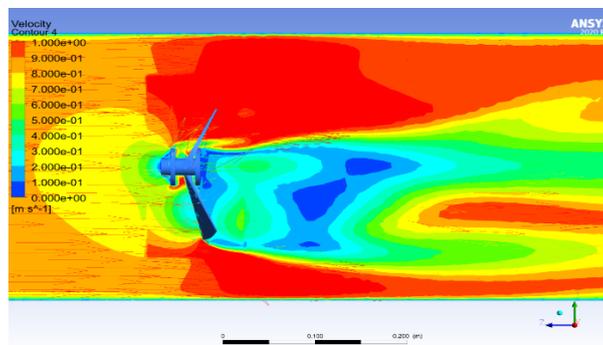
(a)B=6



(b)B=5

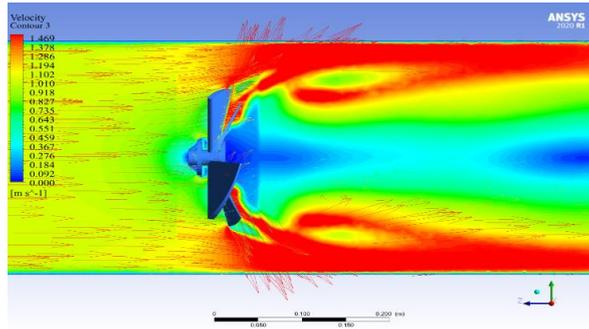


(c)B=4

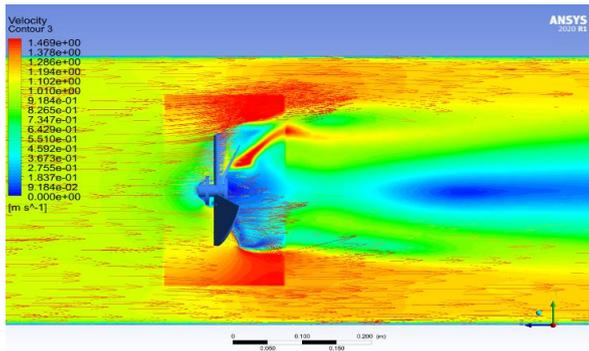


(d)B=3

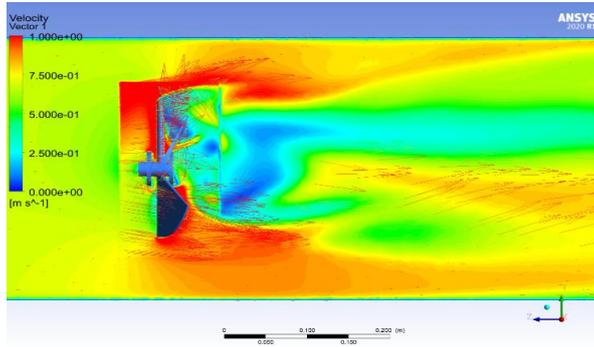
圖 20.(a)-(d)為流速 $V = 0.8 \text{ m/s}$ 時，葉片數量(B)對速度場分佈之影響



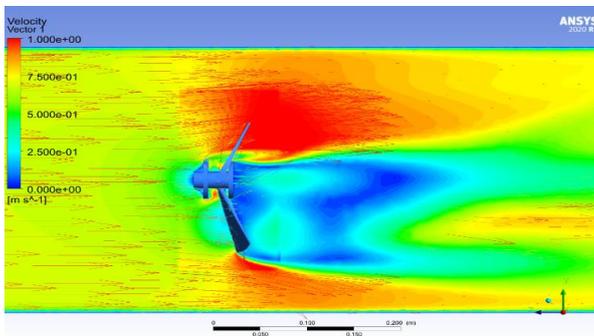
(a)B=6



(b)B=5

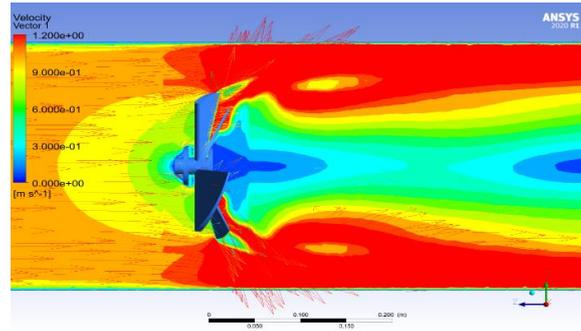


(c)B=4

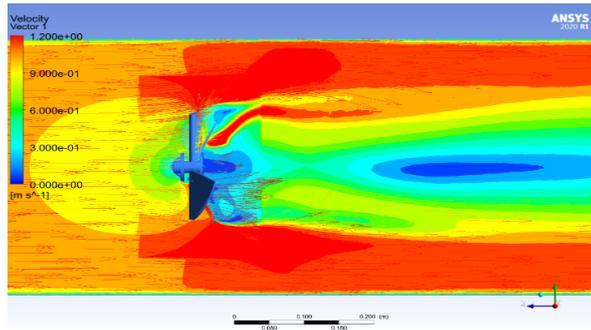


(d)B=3

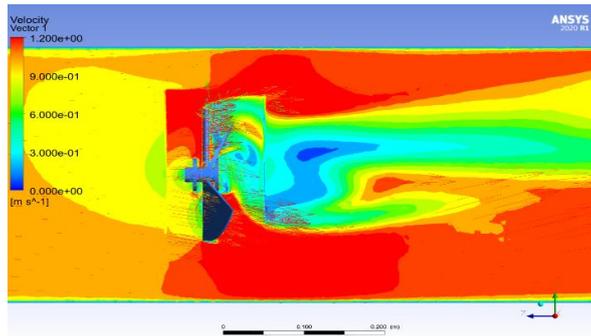
圖 21. (a)-(d)為流速 $V = 1 \text{ m/s}$ 時，葉片數量(B)對速度場分佈之影響



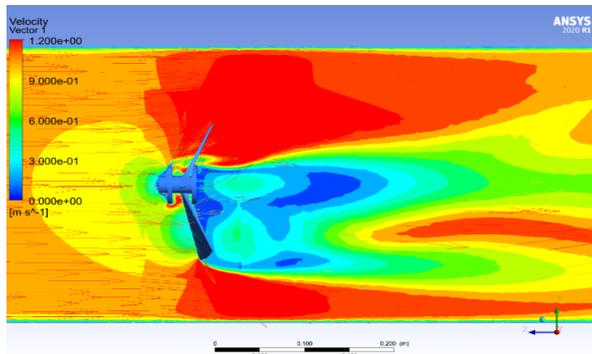
(a) B=6



(b) B=5

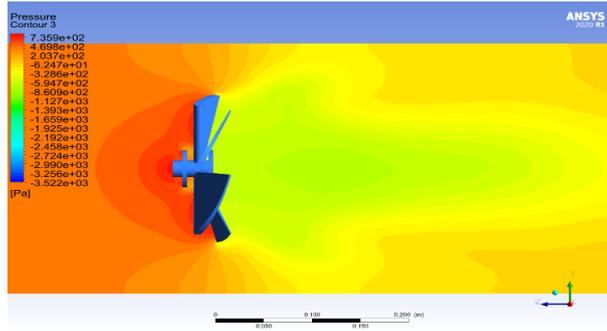


(c) B=4

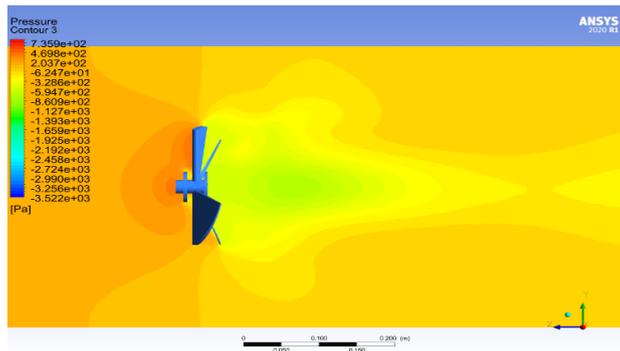


(d) B=3

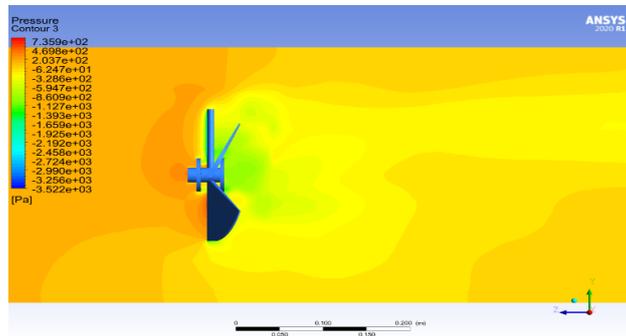
圖 22. (a)-(d)為流速 $V = 1.2 \text{ m/s}$ 時，葉片數量(B)對速度場分佈之影響



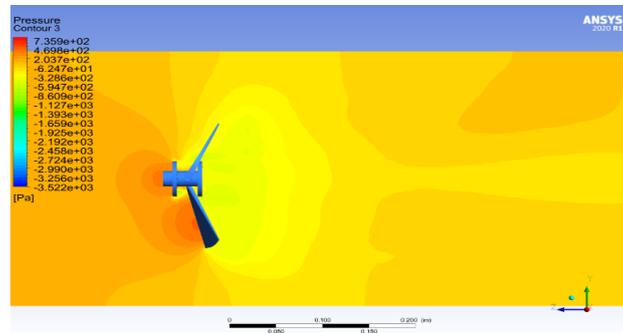
(a) B=6



(b) B=5

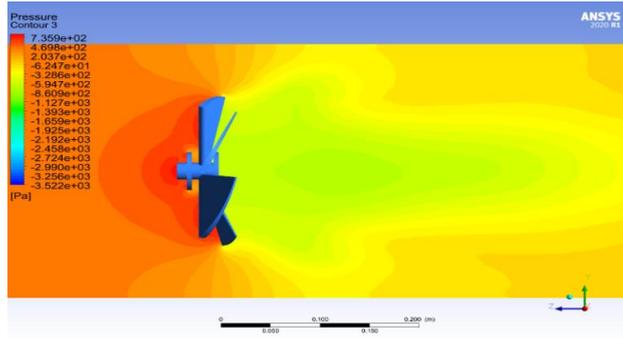


(c) B=4

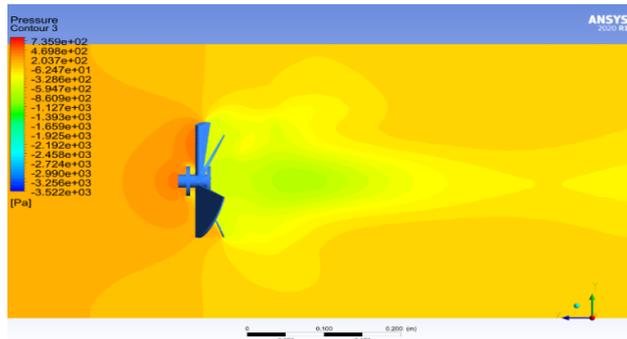


(d) B=3

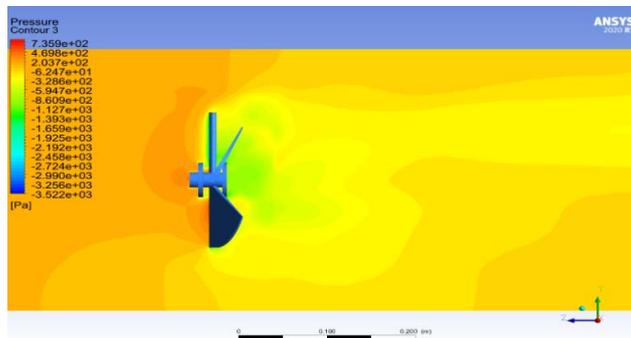
圖 23. (a)-(d)為流速 $V = 0.8 \text{ m/s}$ 時，葉片數量(B)對壓力場分佈之影響



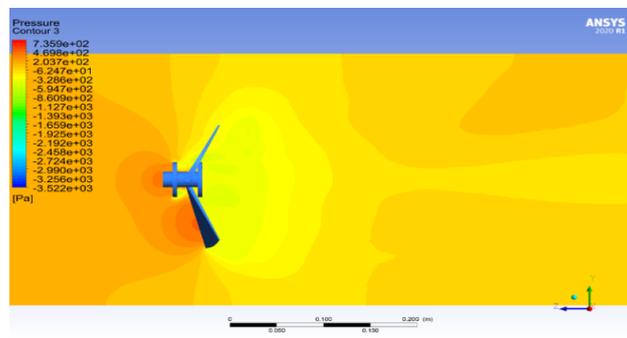
(a)B=6



(b)B=5

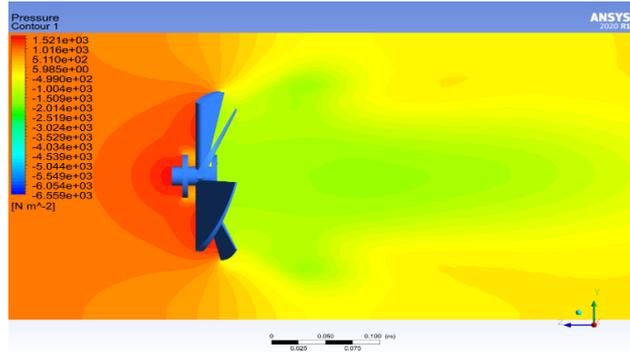


(c)B=4

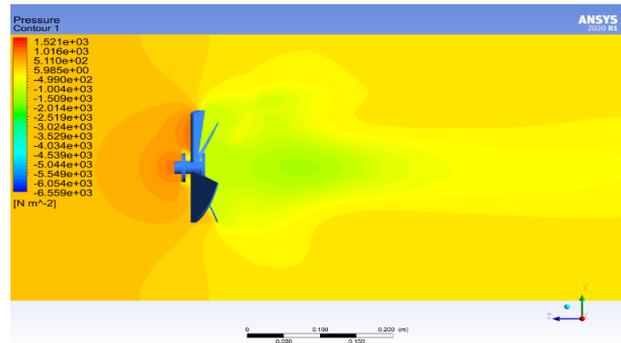


(d)B=3

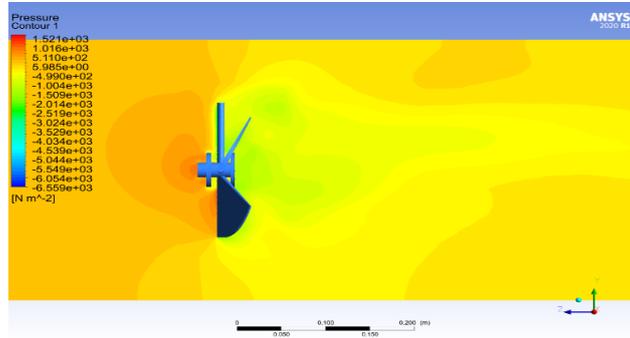
圖 24. (a)-(d)為流速 $V=1 \text{ m/s}$ 時，葉片數量(B)對壓力場分佈之影響



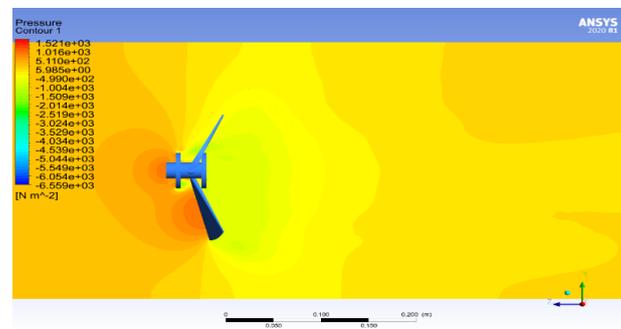
(a) B=6



(b) B=5

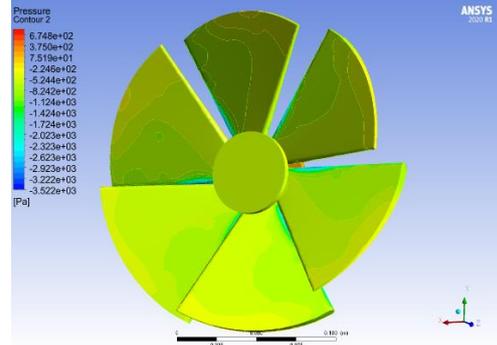
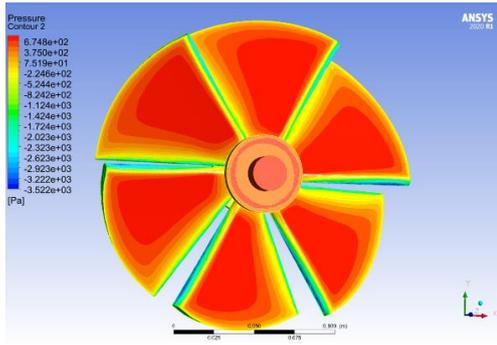


(c) B=4

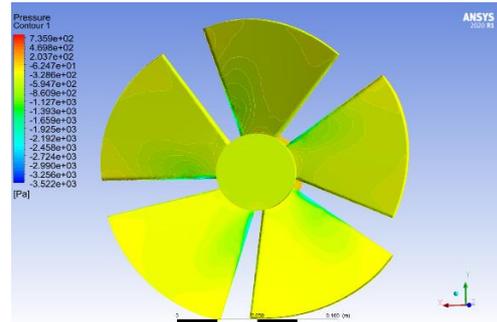
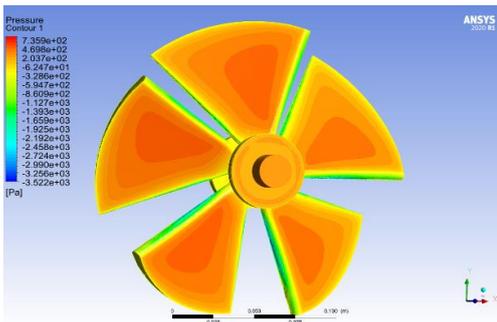


(d) B=3

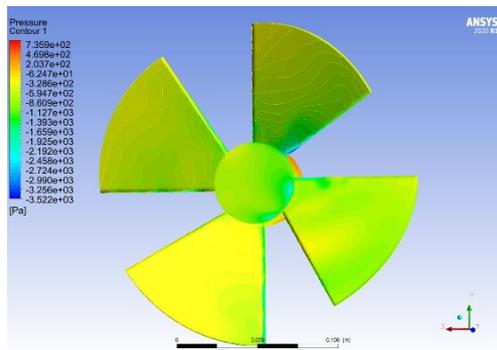
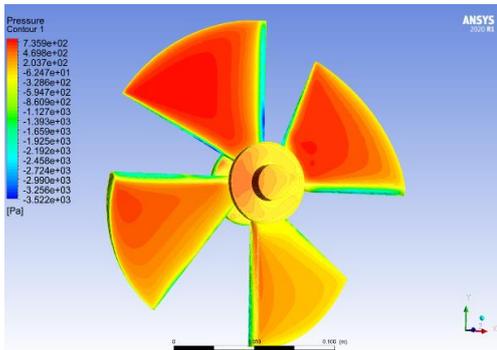
圖 25. (a)-(d)為流速 $V = 1.2 \text{ m/s}$ 時，葉片數量(B)對壓力場分佈之影響



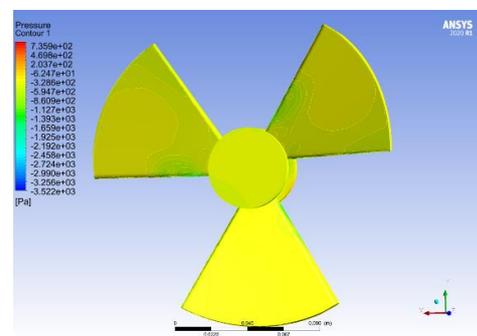
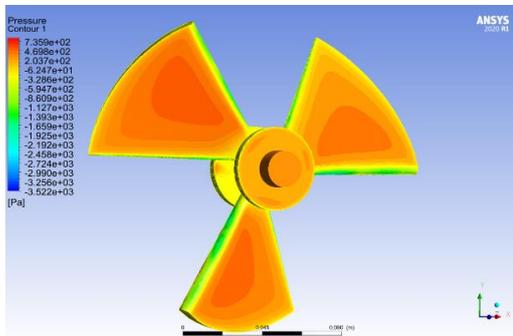
(a)B=6



(b)B=5

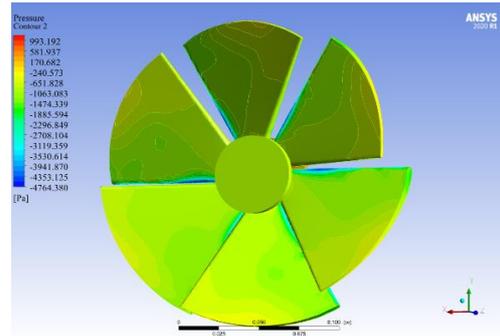
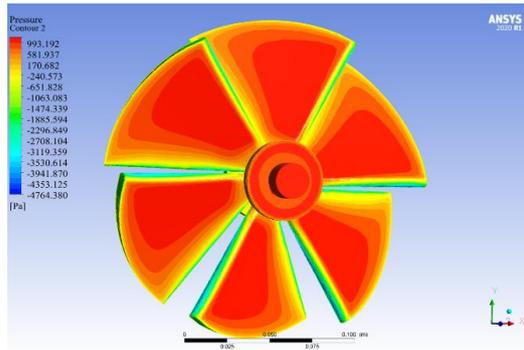


(c)B=4

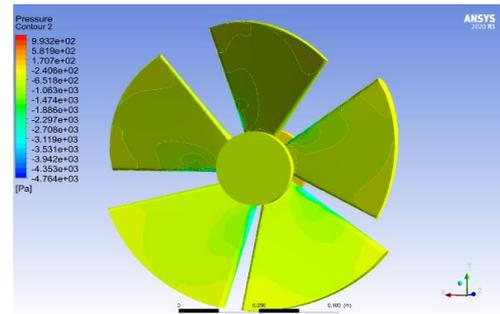
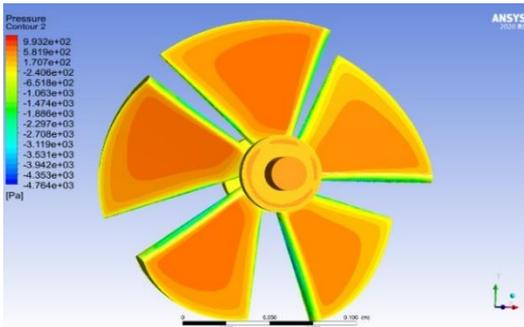


(d)B=3

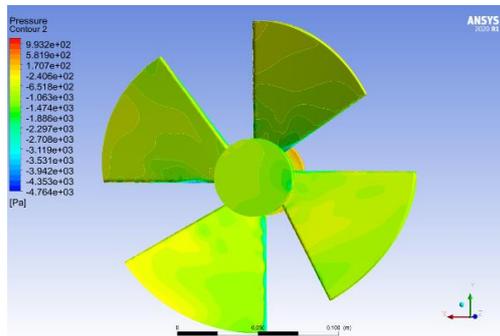
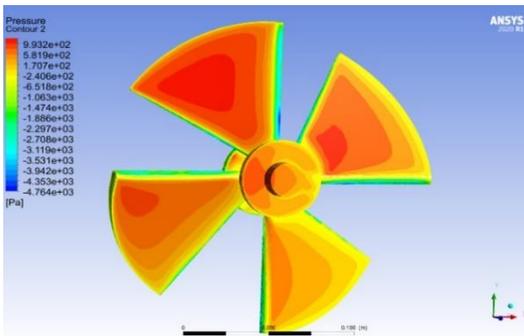
圖 26. (a)-(d)為流速 $V=0.8 \text{ m/s}$ 時，葉片數量(B)對正、反面壓力分佈之影響



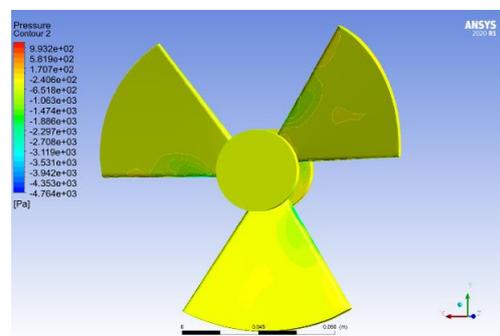
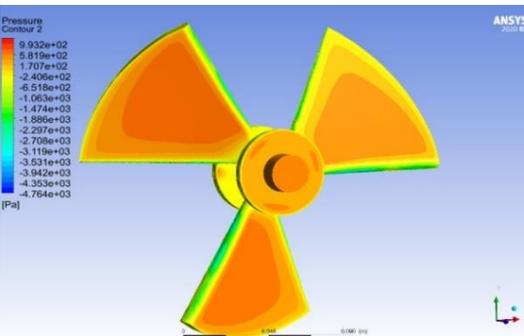
(a) B=6



(b) B=5

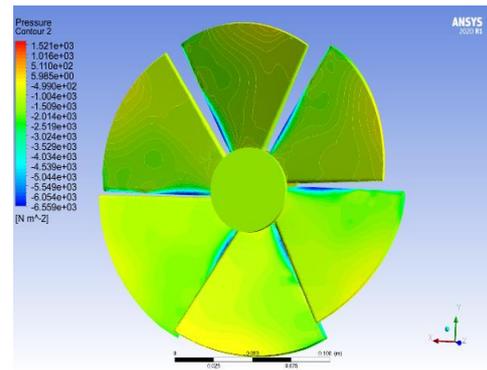
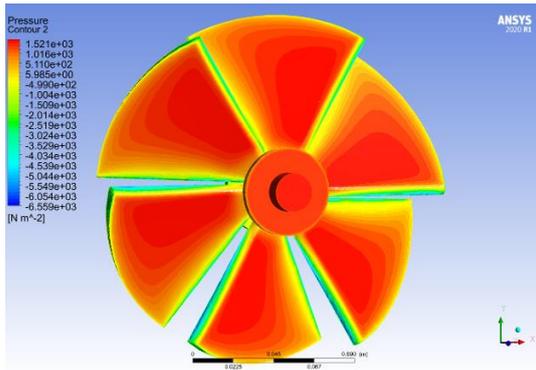


(c) B=4

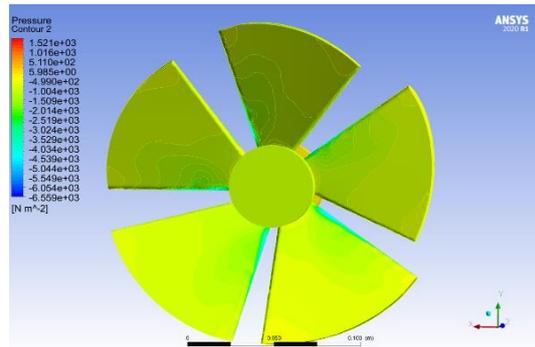
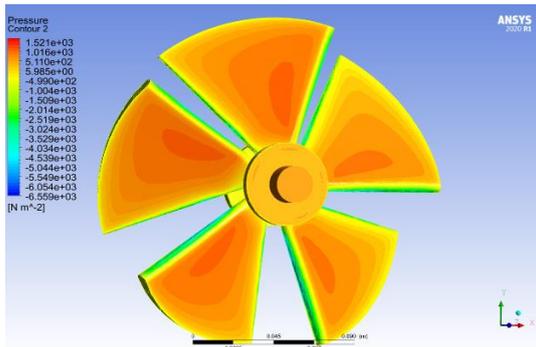


(d) B=3

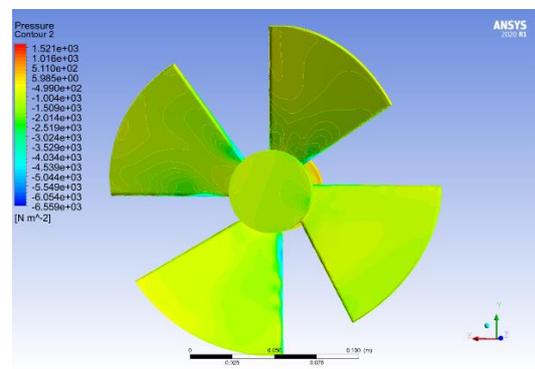
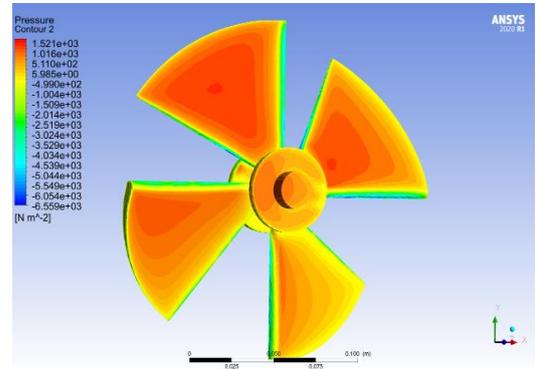
圖 27. (a)-(d)為流速 $V = 1 \text{ m/s}$ 時，葉片數量(B)對正、反面壓力分佈之影響



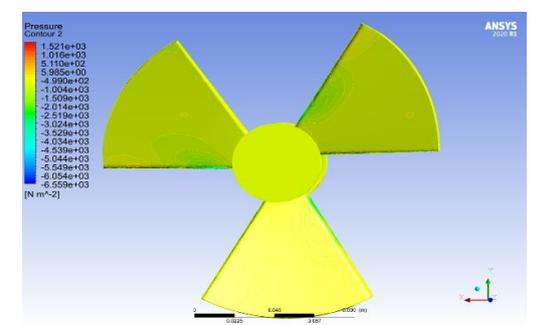
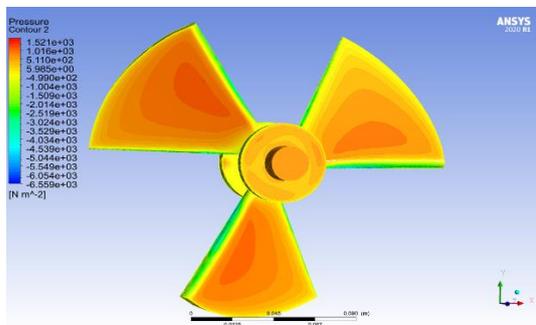
(a)B=6



(b)B=5



(c)B=4



(d)B=3

圖 28. (a)-(d)為流速 $V=1.2 \text{ m/s}$ 時，葉片數量(B)對正、反面壓力分佈之影響

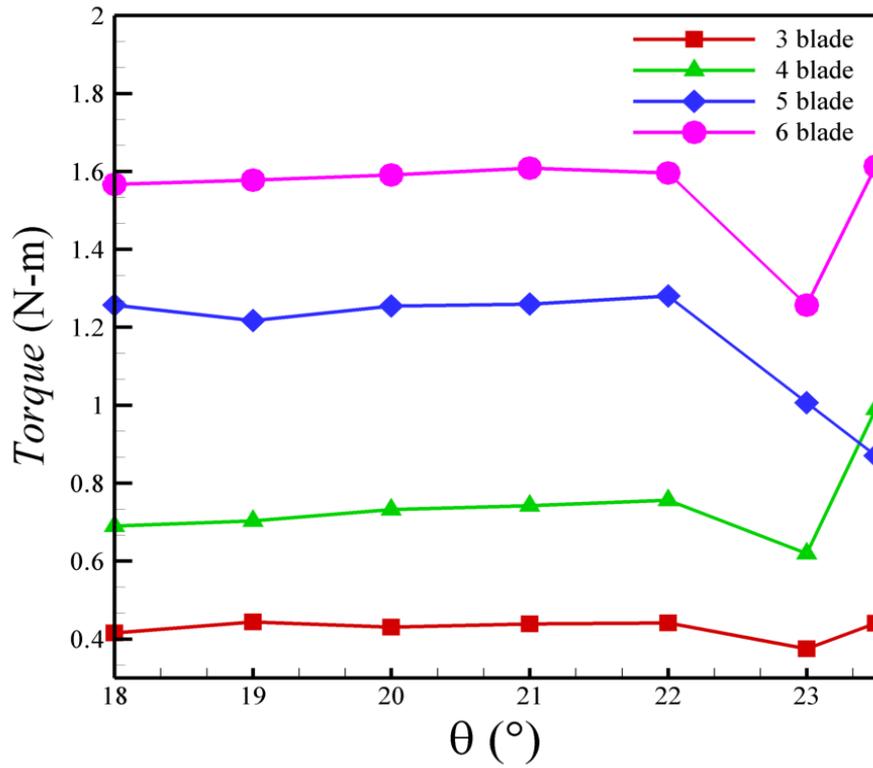


圖 29. 流速 $V=1\text{m/s}$ 時，不同攻角之葉輪葉片對轉矩之影響

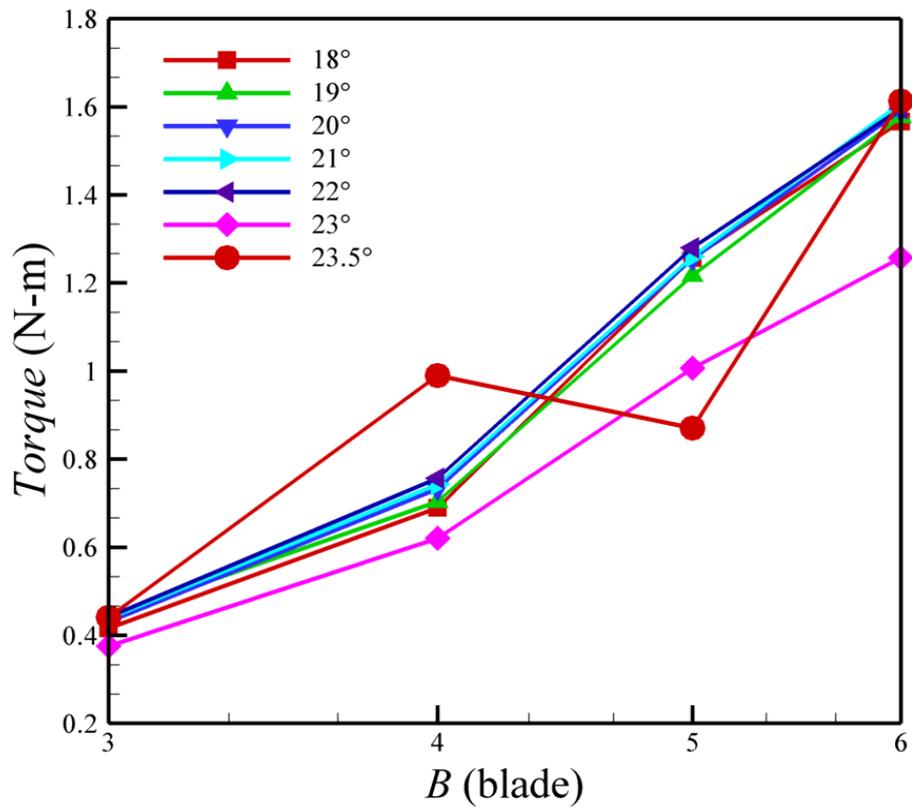


圖 30. 流速 $V=1\text{m/s}$ 時，葉片數量對轉矩之影響

3-2 應用分析

本節為探討可控渦輪葉片之設計及歷代作品之優缺點，表 3.則為本研究之 SWOT 分析表。

表 3. 浮動式水平軸之雙向渦輪潮汐發電系統之 SWOT 分析表

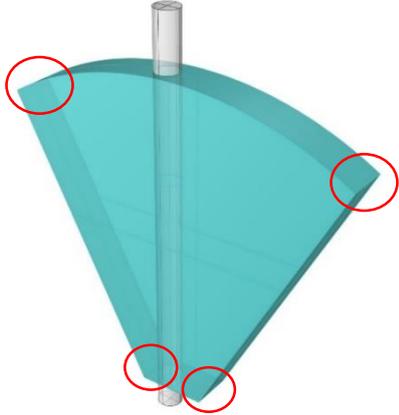
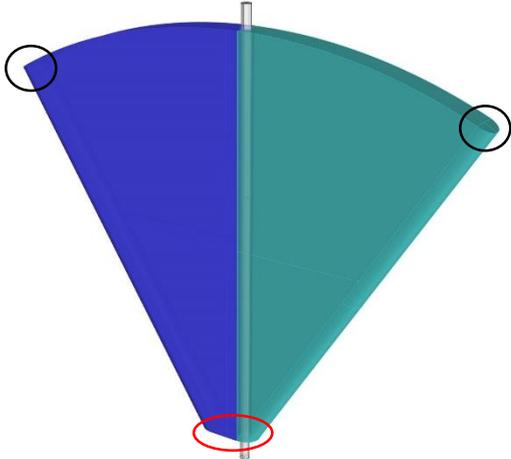
浮動式水平軸之雙向渦輪潮汐發電系統 SWOT分析表	
<p style="text-align: center;">Strength優勢</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.安裝便利，不需顧慮地基問題 2.易維修，回收方便。 3.採用創新式之雙向式葉片，提高發電效率。 	<p style="text-align: center;">Weakness劣勢</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.我國可運用潮汐發電之地區相對較少。 2.須多推廣潮汐能，使國人可對此領域更了解。
SWOT分析	
<ol style="list-style-type: none"> 1.有效提升再生能源之應用。 2.相較基樁式風機，能有效縮小體積。 3.可提供更多相關產業之工作機會。 <p style="text-align: center;">Opportunity機會</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.需使用更環保之材質，並提升生命週期，以降低購電成本。 2.運用潮汐發電，可能會使潮汐生態間之不平衡。 <p style="text-align: center;">Threat威脅</p>

特點一，葉片雖可隨著流向改變而改變偏擺方向，但葉輪整體之轉動方向卻可維持一定方向不變。表 4.為第一代葉片至第四代葉片之優缺點對照表。

特點二，在此系統之傳動軸上與小型發電機之間加裝確動皮帶輪組，並得以讓葉片旋轉時，產生之水平動能轉化為垂直動能，藉此達到能量之轉變及小型發電機所需之初始扭力，並供給能量發電。

特點三，改善小型發電機本身無法自行當作浮動載具之種種不可抗之因素，故在與確動皮帶組之間加上乙片木板當作載台外，且在載台兩側加上船體，並當作浮動載具，故可有效排除小型發電機之無法作為載具…等之不可抗因素。表 5.為第一代作品至第四代作品之優缺點對照表。

表 4. 第一代葉片至第四代葉片之優缺點對照表

	優點(圖上黑色圈圈)	缺點(圖上紅色圈圈)
<p>第一代葉片</p>	<p>1.初代創新式之可動葉片。 2.軸承座與支撐旋轉軸為一體形成</p>	<p>1.應力集中於葉緣尖角。 2.葉片受力面積小。 3.使用材料剛性過小，容易產生大變形。</p>
		
<p>第二代葉片</p>	<p>1.葉緣尖角為圓角，減少應力集中。 2.增加葉片受力面積。 3.設計更加流線型</p>	<p>1.貫穿旋轉軸設立在正中央，受海流衝擊時，產生受力面(藍色區域)與非受力面(綠色區域)兩區。 2.葉底為平底面，偏擺時會對基座產生摩擦，使作動不順。</p>
		

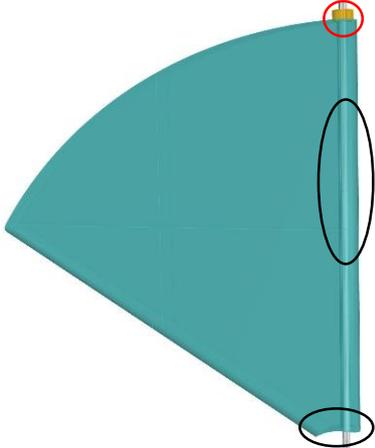
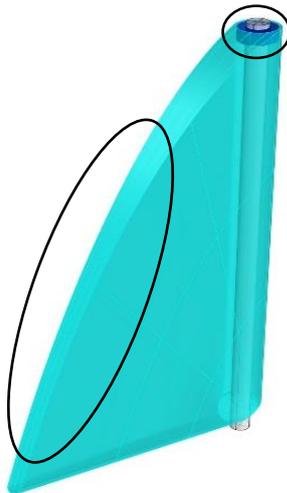
<p>第三代葉片</p>	<p>1.貫穿旋轉軸移至之最旁側，增加受力面積，移除非受力面造成轉動之干涉。</p> <p>2.葉底為弧形底，貼合軸承座，解決擺不順之問題。</p>	<p>1.每塊葉片均為單獨之個體，對整體影響較大。</p> <p>2.葉片產生升力時，會有上下位移的情況產生。</p> <p>3.設計較為精密，葉片損壞後替換較為不便。</p>
		
<p>第四代葉片</p>	<p>1.由平均厚度改為向貫穿旋轉軸漸厚，使其運轉可更順暢。</p> <p>2.貫穿旋轉軸之軸套由固定式改為內嵌式，增加可用面積及美觀化。</p>	<p>1.目前還未發現。</p>
		

表 5. 第一代作品至第四代作品之優缺點對照表

	優點	缺點
第一代成品	<p>1. 採用創新式葉片及中空浮筒式結構設計，方使傳動軸貫穿並提供所需之浮力且上下各有蓋板，將浮筒蓋上後並塗上 AB 防水膠，而達到水密之效果。</p> <p>2. 搭配傘齒輪之原理及做動，將葉片轉動時，所產生之水平動能轉化為垂直動能，並發電。</p>	<p>1.設計重心過高，整體穩度下降，故易翻覆，且浮桶與蓋板並未是一體成形，水密效果並不理想。</p> <p>2.貫穿旋轉軸及其軸承座，為一體成形之且使用 PLA 線材，此材質為彈性佳、抵抗葉片回彈之阻力之剛性卻不盡理想，導致葉片運轉時產生之變形。</p>
 <p>下半部之葉片</p>		
第二代成品	<p>1.改良浮力系統之形狀，並提升其穩定效果及傳輸效率。</p> <p>2.將貫穿旋轉軸及軸承座由一體成形之方法轉為可拆卸式之金屬材質之貫穿旋轉軸與 PLA 線材之軸承座結合之，並降低葉片變形。</p> <p>3.葉片之改良，詳如表 3.所述。</p>	<p>1.傘齒輪造成運轉困難，因齒輪與齒輪間之切合須十分準確，否則導致運轉不易。</p> <p>2.此浮力系統，水密效果也不盡理想，除將兩中空浮筒做膠合，故對於氣孔…等之不安定因素，還尚存在著。</p>

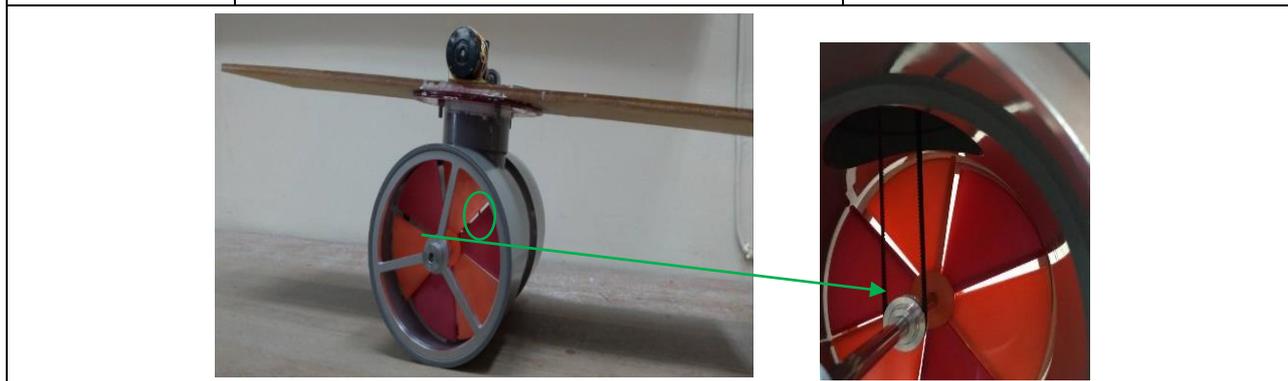


下半部之葉片

第三代成品

- 1.傳動部分，將傘齒輪傳輸改為卻動皮帶傳輸，因安裝簡單且在傳輸效率方面也顯大幅之提升。
- 2.葉片之改良，詳如表 3.所述。
- 3.將兩膠合之中空浮筒，改為一體成形式之三通管。

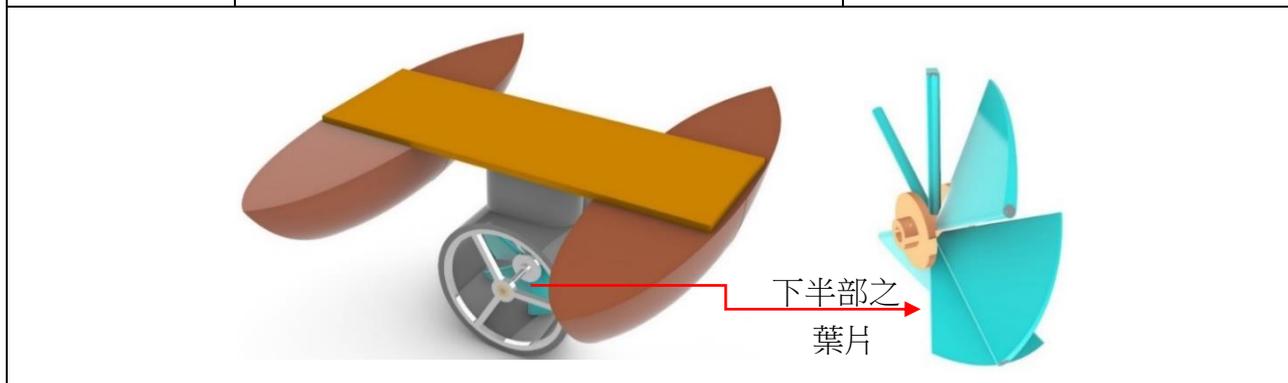
- 1.浮力系統之浮動載具，因須提供整體之浮力及穩度，則體積較為龐大，加上經費有限，故材質上，使用較木材便宜之保麗龍。



第四代成品

- 1.浮動載具由方形結構改為船形結構，在穩度與歷代相同之情況下，則可節省更多可節省之之空間。
- 2.葉片之改良，詳如表 3.所述。

目前尚未發現



下半部之葉片

第四章 結論

4-1 結論

本研究為探討浮動式水平軸之雙向渦輪潮汐發電系統之性能分析及實機測試，前者為使用 3D 繪圖軟體製做葉片之幾何模型，並將模型匯入 Ansys_Fluent 分析軟體進行數值模擬，設定流速在 0.8m/s、1m/s、1.2m/s 時，葉片數為 3 片、4 片、5 片、6 片之葉輪的比較，而葉片之最大周長、攻角及葉片之旋轉速度之設定皆在相同之情況下，由數值分析求得此模型在流場之流線、壓力及速度分佈，找出可控葉輪之最佳數量及轉矩；後者為針對第三代成品進行實際之改良，並得出以下的結論：

1. 在受海流作用之影響下，當葉輪之葉片數量漸少且轉速及流速相同時，整體葉輪之間距越大，使其海流可更容易通過，造成表面之可受力面積漸漸減少，並降低整體葉輪可擷取之能量。
2. 在流速相同之情況下，當可控葉片數越密集時，可提供之轉矩則越大，即發電之功率越大；反觀，當可控葉片數越鬆散時，可提供之功率則越小；當海流流經葉輪且可控葉片數越多時，因縫隙越小可流經之海流則越少，且當海流若有通過其葉輪，產生之渦流則越多，越易使其轉動；當海流流至葉輪時，葉輪前後則會產生一明顯之減速區；可控葉片數越多，產生之減速區則越明顯；當海流流經葉輪且可控葉片漸增時，葉輪反面產生之壓力則越小；反之，若減少可控葉片之數量，產生之壓力區則會減少許多。
3. 在流速相同之情況下，當葉片攻角上升時，葉輪轉速也會有所提升，且由數據得知：當葉片攻角在偶數度時(如:18°、20°、22°)，葉輪轉矩之曲線斜率，則為正斜率；反之，當葉片攻角在基數度時(如:19°、21°、23°)，葉輪轉矩之曲線斜率，則為負斜率，但對整體葉輪轉矩影響較小，故爾後若要繼續行本研究，在選擇葉片攻角時，考慮偶數角度之葉片攻角會有較佳之效果。

故由上述觀點 1.與觀點 2.及觀點 3.可得出本次研究之結論為：當可控葉片數量為 6 片時，在各方面所表現出之效果則高於其它數量。

4. 本研究在實務方面除將可控葉片進行改善外，同步針對浮力載具進行改良，在穩度相同之情況下，將原先之方形載具改為船型載具，此舉不僅可對外觀做美化，還可使空間之浪費降至最低。

4-2 未來展望

在本次研究中，主要為針對葉片之流場性能進行分析外以及浮材之改良，往後也將繼續探討可控葉片在相同流速下而葉片數量不同時，找出其最佳葉片數、攻角及功率係數外，並對上述做出 TSR 分析圖，以利了解其性能。

目前臺灣的綠能產業興起，尤其是風力發電更是目前政府積極推廣之新能源，但也不要忘了台灣蘊含非常多的海洋能源，如果能活用洋流、潮差或波浪等等再生能源，在能源短缺的未來台灣更能與世界各國接軌及競爭。

本研究主要以潮汐能為條件並進行分析，且目前世界各國在雙向可控葉片之研究，可說為數不多，因此，本研究之可控雙向葉片除了可在隨時都在改變方向之潮汐海岸使用外，對於其他之海洋能也可適用，如：潮流、洋流…等，適用範圍非常之廣，故本研究之發展潛能可謂之巨大，並期許本文之研究可對海洋綠能之產業有所貢獻，以及對海洋能源的汲取有所幫忙。

參考文獻

- [1] 蘇達貞。(2007)。台灣潮汐特性。2021年06月28日，取自：
[Http://Meda.Ntou.Edu.Tw/Activities/?T=1&i=0121](http://Meda.Ntou.Edu.Tw/Activities/?T=1&i=0121).
- [2] 交通部中央氣象局海象測報中心。(2020)。中華民國108年潮汐觀測資料年報。年刊，第32期。第8頁。2021年06月28日，取自：
https://www.cwb.gov.tw/Data/service/notice/download/publish_20200413083739.pdf
- [3] 臺經院。海洋能-不可忽視且有待扶持之新興再生能源。台灣經濟研究院全球資訊網。2021年06月09日，取自：
<https://www.tier.org.tw/comment/tiermon1000.aspx?GUID=26c61d2e-832f-480e-b8b7-3feda34d02f2>
- [4] 新型海底基座。金屬中心 MII ITIS 計畫。民國110年1月16日，取自：
<https://www.mirdc.org.tw/FileDownload/IndustryNews/2016121611291269.pdf>
- [5] 經濟部能源局。深海區之風力發電技術-浮動式風力發電介紹。再生能源資訊網。2018年12月19日，取自：
<https://www.re.org.tw/knowledge/more.aspx?cid=201&id=2271>
- [6] Zhang, H. (2011). China's Low Carbon Strategy: The Role of Renewable Energy Law in Advancing Renewable Energy. *Renewable Energy Law and Policy Review*, 2(2), 133-146. Retrieved January 5, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/24324727>
- [7] Broadbent, D. (1921). TIDAL POWER. *Journal of the Royal Society of Arts*, 69(3588), 685-685. Retrieved January 12, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/41355607>
- [8] 吳彥威。反轉式雙葉輪水平軸渦輪機之性能分析。造船及海洋工程系。碩士論文。國立高雄科技大學。民國105年。

- [9] 筒井壽博，長井弘志，二村彰，木村隆則，表層潮流発電システムの普及可能性，動力・エネルギー技術の最前線講演論文集：シンポジウム，2016，21，E113。
- [10] Aldo V. da Rosa. Fundamentals of Renewable Energy Processes, 3rd Edition. Academic Press, (2012)
- [11] Almohammadi KM, Ingham DB, Ma L, Pourkashan M. Computational fluid dynamics (CFD) mesh independency techniques for a straight blade vertical axis wind turbine. Energy. 2013;58:483-93.
- [12] Tu J, Yeoh GH, Liu C. Computational Fluid Dynamics (Second Edition). Butterworth-Heinemann, (2013)
- [13] ANSYS FLUENT User's Guide, <http://www.sharcnet.ca/Software/Fluent6/html/ug/main-pre.htm> [accessed 8.4.16]
- [14] Jiyuan Tu, Guan Heng Yeoh, Chaoqun Liu, Computational Fluid Dynamics (1st.ed). Butterworth-Heinemann, (2008)