

Optimization of Aerodynamic Performance for Wind Turbine Blades

陳柏瑜、紀華偉

E-mail: 364867@mail.dyu.edu.tw

ABSTRACT

For the protection of the Earth, and the content of oil is on the decrease, developing clean and sustainable energy has become a common goal of many countries. Among other possible choices of substitute energy, wind power has no fuel problem, nor does it have harmful emissions such as radiation or carbon dioxide. It is quite suitable to serve as an independent unit for supplementary electricity and is worthy of development. A computational procedure and method for aerodynamics optimization was established in this study for three-dimensional blades and the rotor design of a wind turbine. The procedure was applied to improving a previously studied 25KW wind turbine rotor design in a uniform wind of 12 m/s. This thesis, airfoil shapes are defined at five locations throughout the rotor span. The objective is the maximization of the ratio of the lift coefficient and drag coefficient (CL/CD). The design variables are new/old LE radius scaling ratio, thickness, camber and attack angle. Each optimal two-dimensional blade sections are combined into a three-dimensional blade. Results show that the aerodynamic performance of the new three-dimensional blades has improvement after optimization.

Keywords : optimization, wind turbine, aerodynamics

Table of Contents

| | | |
|--|-------------------------|----|
| 封面內頁 簽名頁 中文摘要 iii ABSTRACT iv 誌謝 v 目錄 vi 圖目錄 viii 表目錄 x 符號表 xii 第一章 緒論 1 | 1.1 研究背景..... | 1 |
| 1.2 研究動機與目的..... | 2 | |
| 1.3 文獻回顧..... | 3 | |
| 1.4 研究流程..... | 4 | |
| 1.5 論文架構..... | 8 | |
| 第二章 風力發電機相關介紹 9 | 2.1 風力發電機葉片基本空氣動力學..... | 11 |
| 2.2 以XFoil 程式改變翼型形狀與計算氣動力性能..... | 16 | |
| 2.3 Yawdyn 程式功率計算..... | 21 | |
| 第三章 類神經網路架構與最佳化方法 23 | 3.1 運用類神經網路建立關係方程式..... | 23 |
| 3.2 最佳化設計方法..... | 30 | |
| 第四章 研究結果與討論 33 | 4.1 二維翼型最佳化結果..... | 33 |
| 4.2 三維葉片單一攻角翼型氣動力最佳化結果..... | 40 | |
| 4.3 三維葉片範圍攻角翼型平均氣動力性能最佳化結果..... | 47 | |
| 第五章 結論與未來展望 57 | 5.1 結論..... | 57 |
| 5.2 未來展望..... | 58 | |
| 參考文獻 59 附錄 62 -viii- 圖目錄 | 圖1-1 研究流程圖..... | 7 |
| 圖2.1 水平軸式風力發電機外觀[16]..... | 9 | |
| 圖2.2 垂直軸式風力發電機外觀[17]..... | 10 | |
| 圖2.3 截面積與風速關係..... | 11 | |
| 圖2.4 能量轉換方塊圖..... | 11 | |
| 圖2.5 風向與升力阻力方向..... | 12 | |
| 圖2.6 攻角與風向..... | 12 | |
| 圖2.7 失速點..... | 13 | |
| 圖2.8 周速比與SOLIDITY的關係..... | 14 | |
| 圖2.9 截面位置與葉片長之比值RI/R..... | 14 | |
| 圖2.10 葉片弦線與風向,攻角,相對風向關係圖..... | 15 | |
| 圖2.11 翼型資料鍵入視窗..... | 17 | |
| 圖2.12 厚度最大值與翼型弧度最大值位置..... | 18 | |
| 圖2.13 NACA AIRFOIL GEOMETRICAL CONSTRUCTION..... | 19 | |
| 圖2.14 翼型外觀調整位置..... | 20 | |
| 圖3.1 類神經網路架構[25]..... | 24 | |
| 圖3.2 類神經網路設定介面..... | 25 | |
| 圖3.3 類神經網路模型..... | 26 | |
| 圖4.1 二維翼型CL 網路訓練收斂曲線及網路架構..... | 35 | |
| 圖4.2 二維翼型CL/CD 網路訓練收斂曲線及網路架構..... | 37 | |
| 圖4.3 2412 翼型最佳化前後CL 值比較..... | 39 | |
| 圖4.4 2412 翼型最佳化前後CL/CD 值比較..... | 39 | |
| 圖4.5 2412 翼型最佳化前後之幾何形狀..... | 40 | |
| 圖4.6 單一攻角翼型氣動力最佳化各截面二維翼型..... | 45 | |
| 圖4.7 單一攻角翼型氣動力最佳化CL/CD 與攻角分佈..... | 46 | |
| 圖4.8 NACA4412 翼型CL/CD 與攻角分佈..... | 46 | |
| 圖4.9 迎風角度與二維截面關係..... | 47 | |
| 圖4.10 範圍攻角平均氣動力性能最佳化各截面CL/CD 與攻角分佈..... | 50 | |
| 圖4.11 功率比較..... | 52 | |
| 圖4.12 第一截面最佳化前後二維翼型外觀比較..... | 53 | |
| 圖4.13 第二截面最佳化前後二維翼型外觀比較..... | 53 | |
| 圖4.14 第三截面最佳化前後二維翼型外觀比較..... | 54 | |
| 圖4.15 第四截面最佳化前後二維翼型外觀比較..... | 54 | |
| 圖4.16 第五截面最佳化前後二維翼 | | |

| | | | | | |
|--------------------------------------|----|--|----|--|----|
| 型外觀比較..... | 55 | 圖4.17 範圍攻角平均氣動力性能最佳化各截面二維翼型..... | 55 | 圖4.18 範圍攻角平均氣動力性能最佳化葉片形狀A | 56 |
| 圖4.19 範圍攻角平均氣動力性能最佳化葉片形狀B | 56 | -x- 表目錄 表1-1 二維翼型各截面之位置及弦長..... | 5 | 表4-1 二維翼型最佳化之設計變數及其邊界..... | 34 |
| 表4-2 二維翼型CL 網路訓練比對..... | 34 | 表4-3 二維翼型不同方法組合之CL 最佳化結果..... | 36 | 表4-4 二維翼型CL/CD 網路訓練比對..... | 36 |
| 表4-5 二維翼型不同方法組合之CL/CD 最佳化結果..... | 38 | 表4-6 單一攻角翼型氣動力最佳化各截面之雷諾數..... | 41 | 表4-7 單一攻角翼型氣動力最佳化第一截面之設計變數及其邊界 | 42 |
| 表4-8 單一攻角翼型氣動力最佳化第二截面之設計變數及其邊界 | 42 | 表4-9 單一攻角翼型氣動力最佳化第三截面之設計變數及其邊界 | 43 | 表4-10 單一攻角翼型氣動力最佳化第二截面之設計變數及其邊界..... | 43 |
| 表4-11 單一攻角翼型氣動力最佳化第二截面之設計變數及其邊界..... | 44 | 表4-12 單一攻角翼型氣動力最佳化各截面之CL/CD 最佳化結果 | 44 | 表4-13 單一攻角翼型氣動力最佳化各截面之安裝角..... | 45 |
| 表4-14 範圍攻角翼型平均氣動力性能最佳化之設計變數及其邊界..... | 48 | -xi- 表4-15 範圍攻角平均氣動力性能最佳化AVG(CL/CD)最佳化結果 | 49 | 表4-16 範圍攻角平均氣動力性能最佳化之各截面最佳工作攻角 | 50 |
| 表4-17 範圍攻角平均氣動力性能最佳化各截面之安裝角..... | 51 | 表4-18 功率比較表..... | 51 | -xii- 符號表 符號 說明 A 轉子的受風截面積 Aall 葉片的總面積 m a 第m 層的輸入 B 風力發電機的葉片數 m b 第m 層的偏權值 1 b , 2 b 類神經網路訓練偏權值 Ci 各二維截面弦長 CL 升力係數 Cp 風能係數 CL/CD 升阻力係數比 dW 權重值的改變量 prev dW 前一個權重值的改變量 e 類神經網路誤差向量 m f 第m 層的轉移函數 φ φ_w x f 目標函數 k g 梯度 gW gradient W φ φ_w x gu 限制函數 H Hessian矩陣 φ_w φ_w x hv 限制函數 J Jacobian 矩陣 -xiii- L 升力 R L 學習速率 MC 動量常數 m n 第m 層的變量 k P 類神經網路的輸入 Pe 電能 Pm 通過葉片實際獲得的風動能 Pt 機械能 PW 風的動能 R 轉子半徑 ri 各截面到轉子中心的距離 m s 第m 層的靈敏性 t 目標輸出 V 風速 L W , I W 類神經網路訓練權重值 m W 第m 層的權重值 k X 權重值和偏權值的向量 xi 設計變數 i ? 各二維截面周速比 i ? 各二維截面葉片相對風的角度 i ? 各二維截面安裝角 i ? 各二維截面攻角 ? 空氣密度 g ? 發電機效率 -xivm ? 傳動效率 WE 實際獲得的風能 | |

REFERENCES

- [1]. 蔡信行, 「替代燃料與再生能源」, 科學發展第365期, pp.62-67, 2003.05。
- [2]. 洪國琮, 「論全球風力發電產業的現況與前景」, 電工資訊雜誌, 2005.12。
- [3]. BTM Consult Aps, " International Wind Energy Development ", Word Market Update 2001.Ringkoebing, Denmark, 2002.
- [4]. 林柏峰, 「風力機產業技術之趨勢分析」, 機械工業期刊, pp.27-50, 1996.05。
- [5]. 邱榮權、陳坤男、劉尚奇、陳品揚, 「風力機葉片結構多目標最佳化設計」, 臺灣風能學術研討會, 臺灣、澎湖, 論文集, pp. 230-235, 2011.12.17。
- [6]. M. Jureczko, M. Pawlak, and A. Mezyk, " Optimisation of Wind Turbine Blades ", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 167, pp. 463-471, 2005.
- [7]. S. Narayanan, S. Azarm, " On improving Multiobjective Genetic Algorithm for Design Optimization ", Structural Optimization, 18, pp. 146-155, 1999.
- [8]. 大葉大學機械系, 「25KW 小型風力發電機結案報告」, 行政院原子能委員會, 2006。
- [9]. 龔棉英, 「新型風力渦輪於設計階段之空氣動力特性數值探討」, 碩士論文, 大葉大學, 2006。
- [10]. 鄭恩凱, 「25KW 風力發電機之控制系統開發」, 碩士論文, 大葉大學, 2006。
- [11]. 林保文, 「細水霧系統運用於大型風力發電機火災防護之實驗 -60- 及模擬」, 碩士論文, 交通大學, 2012。
- [12]. 張詠昌, 「風力發電機塔架之可靠度分析」, 碩士論文, 台灣大學, 2011。
- [13]. N. A. Cencelli, " Aerodynamic Optimization of a Small-scale Wind Turbine Blade for Low Windspeed Conditions ", Master thesis, University of Stellenbosch., 2006.
- [14]. Richard W. Vesel, " Optimization of a Wind Turbine Rotor with Variable Airfoil Shape via a Genetic Algorithm ", Bachelor thesis, The Ohio State University, 2009.
- [15]. R. E. Wilson, and P. B. S. Lissaman, " Applied Aerodynamics of Wind Power Machines ", Oregon State Univ.Report NSF/RA/N-74113, July 1974.
- [16]. Superwind SW350, .
- [17]. Cleanfield Energy V3 Vertical Axis Wind Turbine System, .
- [18]. J. F. Manwell, J. G. McGowan and A. L. Rogers, " WindEnergy Explained-Theory, Design and Application ", Copyright John Wiley & Sons

Ltd. 2002.

- [19]. J. F. Walker, and N. Jenkins, "Wind Energy Technology" John Wiley & Sons , 1997.
- [20]. 牛山泉、三野正洋(共著)(賴耿陽譯著) , 「小型風車設計及製造」 , 復漢出版社。
- [21]. Mark Drela, drela mit edu.
- [22]. Pier Marzocca, "The NACA airfoil series", Clarkson University, Retrieved 2009.07. -61- [23]. Davdi. J. Laino, and A. Craig. Hansen, " User ' s Guide to the Wind Turbine Dynamics Computer Progam Yawdyn " , Windward Engineering, L.C Slat Lake City, UT 84117.
- [24]. 蔡瑞煌 , 「類神經網路概論」 , 三民書局 , 台北、台灣 , 1995。
- [25]. 羅華強 , 「類神經網路-MATLAB 的應用」 , 高立圖書有限公司 , 台北、台灣 , 2005。
- [26]. Matin T. Hagan, Howard B.Demuth, Mark H.Beale, " Neural Network Design " , PWS Pub. Co., 1996.
- [27]. 葉怡成 , 「應用類神經網路」 , 儒林圖書有限公司 , 台北、台灣 , 1997。
- [28]. J. S. Gero, " Design Optimization " , Academic Press, New York (1985).
- [29]. 劉惟信 , 「機械最優化設計」 , 清華大學出版社 , 北京 , 1994。
- [30]. G. N. Vanderplaats, " ADS-A Fortran Program for Automated Design Synthesis-version 1.10 " , NASA Contractor Report 177985, September, 1985..
- [31]. G. N. Vanderplaats, " Numerical Optimization Techniques for Engineering Design " , McGraw-Hill Book Co., 1984.
- [32]. Ira H. Abbott, A. E. von Doenhoff, " Theory of Wing Sections: Including a Summary of Airfoil Data " , Dover Publications, 1959.06.
- [33]. T. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins, and E. Bossanyi, " Wind Energy Handbook " , John Wiley & Sons Ltd, 2001.