



# 葉片結構設計 與分析工具評估

Investigation on the Numerical Tools  
for Wind Blade Structural Design and Analysis

**鍾承憲**

工研院  
綠能與環境研究所  
風力發電技術研究室

**何智南**

工研院  
綠能與環境研究所  
風力發電技術研究室

## 關鍵詞(Keywords)

- 葉片設計      blade design
- 有限元素模型    finite element model
- 彎曲剛性      flexural rigidity

## 摘要 Abstract

風力葉片結構設計牽涉到板殼理論與複合材料計算，且驗證又需採用有限元素分析，故如何能快速得到所設計之葉片結構特性與有限元素模型，對設計之效率影響相當大，本文討論美國 Sandia National Laboratory 與荷蘭 Knowledge Centre WMC 分別為此開發之工具軟體 NuMAD 與 FOCUS，並就實際使用經驗比較其優劣處，以

供設計使用參考。

Wind blade structural design is related to plate-shell theory and composite design. Besides, the structural strength should be evaluated by finite element analysis. Therefore, how can blade structural properties be calculated and finite element model be created rapidly are big issues for blade design efficiency. This study discusses and compares the blade structural design software NuMAD and FOCUS, which can be used as a reference for blade design.

## 1. 前言

風力發電機係利用風力帶動其上之葉輪 (rotor) 旋轉後，將風之動能轉換為機艙內軸系之機



械能，再由軸系傳至發電機將其轉換為電能而達成發電之目的；葉輪由 2 至 3 片葉片(blade)與用來固定葉片之軸轂(hub)組成，葉片為一細長結構，其外型由不同翼形系列之斷面組成，以利用翼形之空氣動力(aerodynamic)特性將入流的風形成升力帶動葉輪旋轉，因此，葉片為吸收風能之主要元件，亦為影響風力機效率最關鍵之元件之一。

葉片吸收風能之效率取決於葉片翼形分布所造成之整體氣動力性能，如前所述，葉片為細長結構，其在承受風負荷時除因升力而引發其轉動之效應外，還會產生與轉動平面垂直方向之變形，因此在進行葉片負荷分析時需以氣彈力(aeroelastic)理論為之；在葉片結構方面，欲達到葉片氣動力設計時期望之效率，葉片之結構應儘可能增強以維持其外形，使其不致在風力作用下改變形狀、偏離設計點，另外，整根葉片亦需有足夠之彎曲剛性(flexural rigidity)使其受風後之面外變形量不會大至影響其它元件，而其重量又不能太大至使葉片旋轉不易而阻礙風能之吸收，因此，葉片多使用比強度較高之複合材料以利輕量化，複合材料本身的力學特性即相當複雜，由上可知，葉片之設計需兼具效率、輕量化與結構強度，牽涉之理論含氣動力、氣彈力、斷面特性計算、複合材料、結構分析等，為一高度整合之工作。

## 2. 葉片設計之流程

葉片設計時，首先依據風力機系統規格訂出

葉片規格，並依據氣動力理論、根據所需之效率與額定功率，選定適當之翼形系列進行葉片外型設計，此過程以葉片元素動量法(Blade Element Momentum-BEM)計算，葉片元素動量法考慮穩態狀況，即風為均勻入流下，可以算出在特定風速時葉輪的推力(thrust)、轉矩(torque)和功率輸出，並求出其功率係數(power coefficient)  $C_p$ ，葉片外型設計時，在每一個風速下，會將葉輪做轉速及葉片旋角的調整，而成一個最佳的組合，若風力機在額定風速(rated wind speed)前為變轉速控制，當旋角在此時固定，在不同轉速下可以計算到對應的  $C_p$ ，並對  $C_p$  來做最佳化，在此過程中，可以得到符合所需功率曲線(power curve)時，葉片沿長度各斷面之翼形種類、弦長(chord length)與扭轉角(twist angle)分佈，再經由外型整順得到最終之氣動力外型設計。

在基於風機性能考量之葉片氣動力外型設計完成後，便進入圖 1 之設計迴圈，即氣彈力負荷計算與結構驗證(structural verification)，在氣彈力負荷分析中，無論是陸域風力機之 IEC 61400-1[1]或是離岸風力機之 IEC 61400-3[2]法規，均將負荷分為 8 大類設計狀況(design situation)，即：

- (1) 供電(Power production)
- (2) 供電時發生錯誤 (Power production plus occurrence of fault)
- (3) 啟動(Start-up)
- (4) 正常關機(Normal shut-down)
- (5) 緊急關機(Emergency shut-down)
- (6) 停機(靜止或怠轉) (Parked (standstill or idling))
- (7) 停機時發生錯誤 (Parked plus fault conditions)
- (8) 運輸、架設、維護或修理 (Transport, erection,

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】355期・101年10月號

每期220元・一年12期2200元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011

機械工業雜誌官方網站：[www.automan.tw](http://www.automan.tw)