



# 葉片根部鎖接構造之研討

Investigation on the Root Connection  
of Wind Turbine Blade

吳兆誠

聯合船舶設計發展中心

林勁成

聯合船舶設計發展中心

劉哲元

聯合船舶設計發展中心

何智南

工研院機械所  
新興能源機械技術組  
能源機械系統工程部

## 關鍵詞

- 螺栓鎖接      bolts connection
- 插入柱螺栓    embeded stud method
- 合成應力      von mises stress

## 摘要

風力發電機的葉片一般以 FRP 複合材料製成，軸轂則為金屬製成，兩者的相連接以三片葉片構成葉輪時候，必須有相連結的機構可供牢固連接；實際安裝葉輪時候又都在風力機設立的現場進行，因此可以在現場施工的螺栓鎖接方式為各廠家的標準做法。FRP 複合材料葉片之根部結構中加入螺栓鎖接構造，由於其具有多種性質差異大的材質參與其間，因此不同材質間介面間作用力的傳遞要能長期耐受各種環境條件的變化。本文將就各廠家代表性

的技術與材料應用進行討論，輔以部分分析與實驗驗證，以提供業界一個思考與應用的方向，討論是以葉片根部已形成圓形結構的機種為範圍，這大致已涵蓋 kW 級到 MW 級的風力發電機所使用之葉片。

Wind turbine blades are generally make of FRP composite materials and connected to a metal hub to form a complete rotor. The rotor is usually assembled in the field where wind turbine set up. Applying of bolts connection in the field is a standard process for most of blade makers. Bolts connection involves a variety of different material in the assembly. Interfaces between materials for transmission of forces must be robust enough to sustain a variety of environmental conditions in their service life. This paper discusses the design considerations and material applications in the bolt connection, supplemented by part of the analysis and experimental verification. The discussion is limited to the blade root with a circular structure which is presumably a blade come from wind turbine over



several kW to MW-class.

## 前言

葉片是風力發電機將自然的風能轉換成旋轉機械能的裝置，其效率的高低，決定了整體發電機系統的性能，為各廠家極力開發的重點。葉片以 FRP 複合材料製成，與金屬的軸轂相連接形成葉輪時候，必須有相連結的機構可供牢固連接，實際安裝葉輪又都在風力機設立的現場進行，因此可以在現場施工的螺栓鎖接方式為各廠家的標準做法。螺栓鎖接在葉片 FRP 複合材料結構如何進行，確實是一個很具挑戰性的問題，因為螺栓鎖接構造有多種性質差異大的材質參與其間，不同材質間介面間作用力的傳遞要能長期耐受各種環境條件的變化。國際有名的葉片廠家都有自己的方法以達到同樣的目的，但是在日益競爭的環境中，如何運用妥當與快速精確的方法進行此重要部位的設計與製造，很值得作一個討論。

本文將就各機種代表性的技術與材料應用進行討論，輔以部分分析與實驗驗證，以提供業界一個思考與應用的方向，討論是以葉片根部已成圓形結構的機種為範圍，這大致已涵蓋 kW 級到 MW 級的風力發電機所使用之葉片。

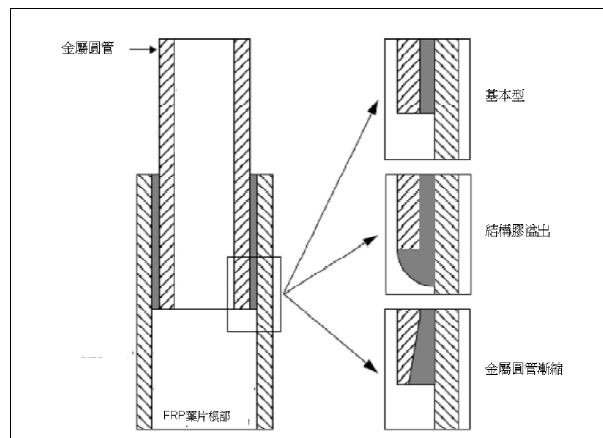
## 根部聯結結構的幾種構想

### 一、小型風力機葉片

小型風力機一般是大量生產的標準產品，但它將可能被使用在各種野外山林、農場或工廠週邊等地方，因地貌地形與建築物造型的影響，可能產生複雜風況與紊亂流的程度，將首先對工作中的葉片產生挑戰，因此小型機種的葉片設計更講求輕便可

以在地自行更換外，也更講求耐久性，其安全裕度能在容許範圍內加大，以應付各種使用者需求。

如前述，葉片為便於運輸與現地安裝，一般使用鎖接的結構與 FRP 製葉片易於與金屬輪轂相聯，FRP 製造的葉片因此需要在跟部設計一個金屬的對應構造，以擔負固結與力量傳遞的任務；對小型 FRP 葉片，直接的想法為使用金屬的圓管套入 FRP 葉片根部的圓形構造，中間以結構膠黏接，圖一簡示這種設計構想[2]，金屬圓管上可以設計翼緣作為鎖接螺絲固定位置。



圖一 金屬圓管與葉片根部黏接

在這種構造中，參與在力量傳遞的材料有金屬、結構膠及 FRP，前兩者屬於等向性的材料，FRP 則屬非等向性的材料，三者的力學性質與物理性質差距也大 (Young-modulus steel 210.000 MPa / Young-modulus laminate 20.000 MPa)，對疲勞與老化等長期使用時須要注意的性能也不同的表現，因此在實際應用上，每一個構成元素與施工步驟都要十分注意。

也有設計者使用埋入式柱螺栓的方法，以柱螺栓內徑有攻牙的槽孔，作為與輪轂相連時候螺桿鎖入位置。因柱螺栓要容納攻牙的槽孔，外徑更大，因此 FRP 葉片根部需要有足夠的空間與厚度以供裝



更完整的內容

請參考紙本【機械工業雜誌】319期・98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