全球風力發電用扣件發展現況與趨勢

金屬中心產業研究組 陳芙靜

出版日期：2011.7.19

一、智慧型扣件興起

高強度扣件風力發電機組極其重要的連接件，一旦扣件失效，將會造成風力機倒塌傾斜的嚴重後果。台灣在 2008 年受到薔蜜颱風吹倒的台中港二號風力發電機組(台灣第一部被風吹倒的風力發電機)即是塔架連結螺栓斷裂造成。近來因扣件鬆脫造成風力發電機組倒塌的事故在中國大陸更是頻傳，甚至 2011 年 3 月美國 Rugby 風場(位於 Pierce County)因葉片與輪轂連接之扣件脫落，造成 3 支葉片散落。

1. 直接張力指示扣件(Direct Tension Indicating Bolts)

DTIs(Direct Tension Indicators)直接拉力指示器，用於控制扣件安裝過程中的預緊力，其基本原理是通過墊圈上的凸塊來抵抗和指示壓緊力。該原理的提出早在 1962 年，後由 TurnaSure 公司進行重新設計改良，近年 DTIs 在許多工程項目中得以應用，包括很多著名的工程，如上海金茂大廈、杜拜國際機場及紐約時代廣場等。目前已開始導入風力發電工程。每一個 DTI 就像一個獨立的壓力指示器，使用時將 DTI 如同墊圈一樣置於螺栓或螺母支承面，擰緊直到 DTI 面上的凸塊被壓平(用厚度規探入深度為 1/2 半徑處)，詳見【圖 1】。

圖 1　DTI Smart Bolts®風力發電應用產品

資料來源：American Fastener Journal May/June 2011

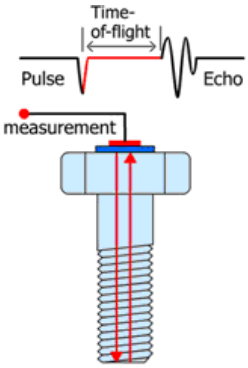
2. 感測型扣件(Bolts with sensor)

扣件預緊力長期以來都是通過扣件安裝扭矩來控制的，目前該方法應用最廣泛的是在工程鋼結構安裝、汽車安裝、風力發電安裝等領域。然目前該方法仍然存在兩點問題：一是，由於各個螺栓螺紋面或螺帽接觸面的摩擦因數的離散性，致使轉矩係數離散，即使施擰同一轉矩，軸向應力也會有很大的離散，同時由於施工人員素質、施工器具以及施工管理等方面的原因，欠擰和超擰的現象難以完全避免；二是，安裝以及定期維護只能進行一次性控制，對於安裝後由於機構本身變形引起的夾緊力失效，以及機構長期運作過程中的振動、腐蝕等工作環境引起的夾緊力失效無法進行監控。未來在離岸風力發電之維護成本非常昂貴，機構失效後造成的損失以及維修成本不是更換一個螺栓那麼簡單。目前比較熱門的解決方案之一是超聲波。固體介質在超聲縱波傳播方向上的應力變化會引起縱波聲速的相應變化，該原理稱為聲彈性原理，聲速與應力有相應的關係函數。實際應用中通常通過超聲波渡越時間(又稱聲時)和長度的測量來計算聲速。由於應力的存在，不僅聲速變化導致聲時變化，材料應力以及溫度的變化均會引起材料長度變化而導致聲時變化。因此實際研究中不得不同時考慮材料應力、溫度對聲速和長度的影響。目前掌上型超聲波軸力測試儀在歐洲扣件安裝領域已開始應用，通過儀器或探頭與螺栓頂面接觸，直接讀取螺

ITIS 智網　http://www.itis.org.tw
經濟部技術處 ITIS 計畫成果，未經同意不得轉載

栓的當前夾緊力。主要運用超聲波測量螺栓夾緊力，目前最前瞻技術源於 intellifast GmbH 的 PMTS (Permanent Mounted Transducer System)技術，見【表 1】。

表 1　感測型風力發電用扣件

PMTS工作原理	風力發電用扣件(含感測器及條碼)
	

資料來源：Bolt tightening offshore:a crucial consideration Jan 2011

1、螺栓

通過離子蒸汽沉積(Ion Vapor Deposition, IVD)，在真空環境下，在螺栓頂面形成一個複合層感測器(The State-of-the-art Piezoelectric Sensor)，第一層是壓電層，第二層是保護層，第三層是金屬電極層。在感測器測試階段，每一個獨立螺栓就打上了識別條碼(2D Data Matric Bar Code)，在螺栓標定階段，超聲波特徵以鐳射矩陣條碼的形式打在螺栓末端。

2、測量儀 LP3000B

LP3000B 是一個可攜式儀器，採用電池供電，用於識別、測量和記錄螺栓及其測量資料。該儀器發送的低能量脈衝可以驅動螺栓壓電層工作，同時接收返回信號。LP3000B 集成了一個標準工業讀碼器（Industry Standard Barcode Reader）,在與螺栓連接時可識別哪個螺栓以及螺栓的超聲波特徵。該儀器可與 PC 及網路互聯。

PMTS 可以為每一個扣件提供完整的追溯性、資料記錄和排序功能。其精度在±3%。傳統扭矩組裝件因考慮到離散性，採用 1.8-2.0 的緊固係數以保證安全，而 PMT 系統準確的預緊力控制可實現螺栓重量更輕、體積更小。PMT 系統更解決了安裝後緊固螺栓的持續測量與監控問題，適應各種複雜的安裝環境，大大節省了後期的維護成本、減少了失效的風險。PMTS 也可與自動安裝系統聯用，由其分配液壓工具施加組裝所需的精確預張力，實現自動安裝。

二、亞洲風力發電市場蓬勃 大財團業者群起投入相關扣件研製

過去全球風力發電用扣件商主要集中在歐美，尤以德國業者 August Friedberg、Peiner 及 Fuchs 等公司品質最為優良。然隨著中國風力發電市場快速崛起，在中國近萬家扣件企業中，不少重點扣件企業已把生產領域轉向風電如上市公司晉億實業。2011 年 6 月印度第七大財團 TVS 集團旗下的桑德蘭扣件公司，宣佈將斥資 5 億盧比在印度 Pondicherry 新建一工廠，主要生產風力發電用特殊扣件。桑德蘭扣件公司位於印度欽奈市，主要生產汽車用扣件以及相關配件。近年來，印度風力發電行業發展迅猛，市場潛力巨大，印度風力發電市場需求至少達到 30 億盧比。而此次是桑德蘭公司首次涉足汽車行業以外的其它領域。而桑德蘭製造風力機以及塔架扣件的技術將從德國 Peiner Umformtechnik 公司引進。