高耐蝕技術在離岸風機應用之發展動向

金屬中心 產業研究組 陳仲宜
出版日期：2010.11.17

風機系統隨時會遭遇到各種惡劣環境的侵蝕，如風沙、紫外光輻射、溫差、雨雪、結冰等，尤其是離岸風機，長期受到水汽、鹽霧侵蝕及海浪的衝擊，發生腐蝕問題，因此，為保證風電設備 20 年的正常服務壽命，務必採取相關的保護措施，而高耐蝕防護是其中重要的一個環節。

一、高耐蝕防護之定義與規範

所謂高耐蝕防護，是指應用於嚴酷腐蝕環境領域，具有長效壽命的表面處理技術。嚴酷腐蝕環境，意指高腐蝕性的環境，根據 ISO12944-2 的定義，是指大氣環境為 C4(高)、C5-I(很高工業)、C5-M(很高海洋)及浸於海水或含鹽分的水中的腐蝕環境。所謂長效壽命沒有確切的定義，一般認為要大於 5 年以上的使用壽命，即 ISO12944-5 規定的中等或高等的塗膜使用壽命。

有著上百年歷史的海洋平臺的防腐蝕經驗，完全可以為離岸風機所採用。並且海上油氣田的開採工業，亦有著成熟且不斷發展的防腐蝕標準與規範。其中 NORSOK，M501 及 ISO 20340 是最為重要的防蝕塗裝方面的技術規範。

二、常用防蝕工程及原理

從腐蝕機制看，可以採取的防腐蝕方法分為三大類：隔離防蝕、電化學防蝕及本質防蝕。海洋工程防蝕工程常用的方法主要有下列幾種：

(一)塗覆法

這種防蝕方法屬於隔離防蝕主要適用於大氣區、浪濺區及水位變動區。大多數海洋結構物防蝕都採用此種方法。常用的防蝕塗料有環氧瀝青、富鋅環氧、聚酯類塗裝、環氧玻璃鋼等，輔助材料為固化劑。其有效防蝕年限大約為 10～12 年，其保護效果約為 80～95%。最新的研究成果則顯示，新型高耐蝕塗裝的防蝕年限可達 20 年以上，甚至可達到 50 年。

金屬熱噴塗類似塗裝法，其原理是利用某種形式的熱源將金屬噴塗材料加熱，使之形成熔融狀態的微粒，這些微粒在動力的作用下以一定的速度衝擊並沉附在基體表面，形成具有一定特性的金屬覆層。可用於金屬噴塗的材料較多如鋅、不銹鋼等。其中不銹鋼塗覆層具有耐磨損及保護週期長等特點，鋅覆層不僅具有覆蓋、耐腐蝕作用，更重要的是具有陰極保護功能。

(二)鍍膜法

這種防蝕方法亦屬於隔離防蝕的一種，主要適用於大氣區、浪濺區及水位變動區。多數海洋結構物的小型附屬零組件或連接部件採用此種方法。常用的防蝕

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

鍍層有鍍鋅、鍍鉻等。從實施工法角度，此種方法可分爲熱浸鍍法及電鍍法兩種。其中熱浸鍍法是將結構件經過酸洗鈍化等表面處理後，整體浸入高溫狀態的鍍層鹽溶液槽中，經過一定時間的置換反應，構件表面形成設計厚度的金屬保護層；而電鍍法則是採用外加電流進行電解置換的工法，工程上常用的是熱浸鍍法。

(三)陰極保護法

這種防蝕方法屬於電化學防蝕，分爲外加電流的陰極保護與犧牲陽極的陰極保護。前者主要應用的是高矽鑄鐵陽極材料，被保護物體作爲陰極，在外加電流的影響下，形成電位差，進而阻止腐蝕；後者主要應用在鋅、鋁等活性比鐵高的鑄造陽極材料，銲接在結構物上，主動消耗，形成保護電位差阻止腐蝕。這兩種方法均需要自腐蝕介質作爲原電池導電回路，因此適用於水下區、泥下區。

三、離岸風機之高耐蝕具體解決方案

根據實驗室塗鍍測試、海上掛片試驗以及吸收海上平臺成熟的防蝕作法，專家對於在離案風機推薦使用的高耐蝕防護膜層系統如【表 1】所示。如果採用金屬熱噴塗層加上有機塗層的方案，將是最佳方案。大氣環境中，如塔筒外壁，可以採用常用之防蝕系統，即富鋅底漆/環氧雲鐵/脂肪族聚氨酯面漆。採用玻璃鱗片塗料系統時，注意底漆不能太厚，可以選用環氧，當然亦可以選用耐久性更好的聚矽氧烷塗料。採用金屬熱噴塗系統時，可以得到更爲長效的防蝕效果。塔筒內壁由於不接觸外界陽光直射，腐蝕環境相對外壁要弱，因此可以不採用保色保光性優良的脂肪族聚氨酯或聚矽氧烷面漆。甲板平臺，包括內外平臺，由於是工作場所，並且會有海浪的沖刷，因此採用與飛濺區相同的環氧玻璃鱗片方案，如果需要面漆調顏色，可以選用聚氨酯罩面。潮差區及飛濺區是防蝕的重點區域，採用環氧玻璃鱗片系統，乾膜厚度至少要求在 800 μm 以上。如果要達到 30 年以上的使用壽命，根據現有的海洋平臺方面的經驗，乾膜厚度在 1500 μm 爲佳。由於玻璃鱗片塗料在控制塗膜下的腐蝕蔓延要差一些，因此採用具有良好陰極保護性能的環氧底漆打底，較直接做玻璃鱗片塗料效果更佳。對海泥區，可不做防蝕塗膜，單純依靠陰極保護，亦可兩者相結合，膜層厚度在設計上無需太厚。

表1　離岸風機推薦使用之高耐蝕膜層系統

部位	膜層材料	乾膜厚度(μm)
塔筒外部	環氧富鋅/無機富鋅 環氧雲鐵中間漆 脂肪族聚氨酯/聚矽氧烷 環氧富鋅底漆/環氧底漆 環氧玻璃鱗片 脂肪族聚氯酯	60 160 80 30～50 200 80
塔筒內部	環氧富鋅 高固成分環氧塗料 環氧底漆	50 200 50
甲板平臺	環氧玻璃鱗片 脂肪族聚氯酯面漆 環氧底漆	400 50 50
潮差區一飛濺區	環氧玻璃鱗片 環氧玻璃鱗片	400 400
全浸區一海泥區	環氧底漆 環氧玻璃鱗片	50 300

資料來源：PPG/金屬中心 MII-ITIS 計畫整理

四、結語

離岸風電機組防腐蝕，是一個系統的問題，對於機組的每一部分，在設計上、材料上、密閉性上，都應該考慮到耐蝕性的問題。如果防蝕問題處理不好，小則使個別風電機組故障頻頻，影響機組運轉效率，大則使機組大面積故障，被迫拆除。就投資的立場來看，優異的保護措施能確保風力發電機組有更長的使用壽命，無需頻繁地進行維修，順暢的運轉及減低維修成本可爭取到更大的獲利空間。

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