

## 漂浮式離岸風力機技術發展趨勢

金屬中心產業研究組 陳芙靜

出版日期：2011.2.25

### 一、漂浮式離岸風力機簡介

在未來幾年內，大型離岸風力發電場將向深海區域發展，尤其是德國北海區域。隨著海域深度提高，支架結構的重量和建造及安裝成本，將明顯高於目前離岸風力發電場施工所用的單樁結構和重力基座結構(GBSs, gravity base structures)。於是，漂浮式風力發電機成爲今後深海離岸風力發電場的選擇之一。

#### 1. 漂浮式支架結構的優點及問題

- 適用國家和地區更多，包括地中海沿岸國家(法國、西班牙、義大利)、挪威、美國(東海岸和西海岸)和東亞地區(中國、日本、韓國)。
- 理論上，在中等深度海域，成本與固定式結構接近，但尚需在漂浮式結構和固定式結構支架建設實踐中得到進一步證實。
- 建造和安裝程式的靈活性更強。
- 移動或更換更方便。但是，從動力學角度，漂浮式支架存在一些技術上的問題尚需解決：風力發電機和海浪引起的波動最小化。
- 設計過程中的額外複雜性，包括支架結構和風力發電機之間的連接設備的認識和建模。
- 電氣設備設計和成本，尤其是撓性電纜。
- 建造、安裝和維護程式，尤其需要關注建造和運營程式。

#### 2. 概念

海上風力發電機漂浮支架所承受的負荷主要是風力發電機主要活動零件的推力和海浪對活動零件的衝擊力。另外，由風力發電機轉矩和波浪漂移力產生的負荷也不可忽視，需要列入考慮範圍的重要因素還有迎風偏航穩定性和成本。在一定的水深區域，漂浮式基礎可能是最好的選擇。漂浮式基礎必須有浮力支撐風力發電機組的重量，並且在可接受的限度內能夠抑制傾斜、搖晃和法向移動。漂浮式基礎結構是離岸風力發電機組基礎結構的深海結構形式，主要用於 60m 以上水深海域，大多都採用海洋天油氣工業常使用的結構形式，安裝水深可達到 1,000m 以上。由於深海風力發電機組承受荷載的特殊性、工作狀態的複雜性、投資報酬率等，這種基礎形式目前在風力發電產業仍處於可行性研究階段。

漂浮式風力機與漂浮式石油鑽井負載特性的主要的區別在於，對於風力發電機來說，由強風引起的翻轉運動是風力機設計首要考慮的問題，而對於石油鑽井來說，有效載荷和抗擊波浪的衝擊是石油鑽井設計首要考慮的問題。漂浮式基礎的設計支配因素主要有風力機的推力、上風向風力機的偏航穩定性、波浪荷載及其引起的運動(固有週期)。漂浮式基礎屬於柔性支撐結構，能有效降低系統固有頻率，增加系統阻尼。根據海水深度和經濟性考慮，深海風力發電場一般採用漂浮式基礎。浮式基礎按照基礎上安裝的風力機數量分爲多風力機式和單風力機式。多風力機式指在一個浮式基礎上安裝有多個風力機，但因穩定性不容易滿足和所耗費的成本過高，一般不予考慮。另一種是單風力機浮式基礎，這種基礎主要參考現有海洋石油平台而提出，因技術經驗參考，且成本相對較低，是未來浮式基礎發展的主要考慮方向。

漂浮式基礎結構組成要素主要包括錨索、錨定地點、浮箱或壓載艙。每種要素的不同形式能組合成很多種浮式基礎形式，比如 TLP(Tension Leg Platform)平台

結構中可以採用吸力式錨或者重力式錨，Spar 平台結構中張索數目可以根據設計情況而變化等。但漂浮式基礎和錨泊系統的設計在滿足性能穩定的同時必須兼顧整個系統的設計成本。就經濟性而言，浮箱式基礎是利用載重水線面積通過分佈浮力來獲得復原力矩，結構簡單且生產技術成熟，成本最低，經濟性較好。TLP 平台看似結構簡單成本較低，但由於結構產生遠大於結構自重的浮力，浮力抵消自重後的剩餘浮力與預張力平衡，預張力作用在錨泊系統上，使錨索時刻處於張拉的繃緊狀態，將會造成錨泊系統和錨固基礎形式設計的複雜性。【圖 1】為一系列漂浮式海上風力發電機組平台建築結構。圖中平台類型用數字識別碼(從左到右)：(1)荷蘭式半潛三角漂浮物式(Semisubmersible Dutch tri-floater)；(2)駁船式(Jacket Class)；(3)帶有兩排張索的柱形浮標式(Spar buoy with two tiers of guy wires)；(4)三臂單體張力腿式(Three-arm mono-hull tension leg platform)；(5)帶有重力錨的混凝土三臂單體張力腿式(concrete TLP with gravity anchor)；(6)深水圓柱式(deepwater spar)。

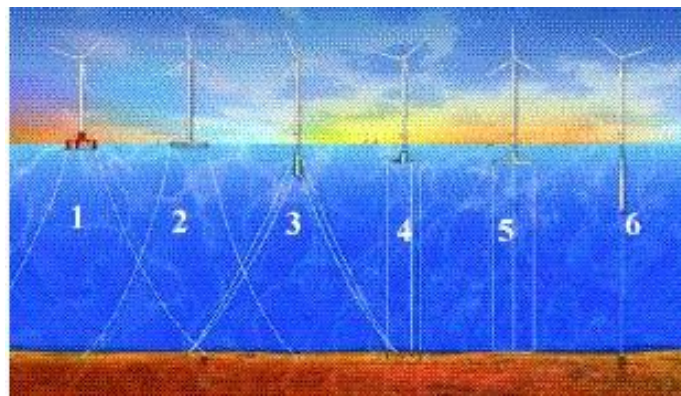


圖 1 漂浮式風力發電基礎概念圖

資料來源：Unique Intergration of Mature Technologies/金屬中心 ITIS 計畫

亦有業者利用漂浮式平台結合風力機和潮汐洋流能，開發出海洋風力混合系統。丹麥的漂浮動力公司(Floating Power Plant)在 2008 年時就於在丹麥 Lolland 外海的 Vindeby 離岸風場測試海神 37(Poseidon 37)原型機。漂浮平台長僅 25 公尺，寬 37 公尺，重量 350 公噸。經兩年測試後，漂浮動力公司正式推出海神 37 海洋風力混合系統。漂浮平台長達 230 公尺，重達 3 萬公噸。可搭配 3 支 1.5 至 2MW 風力機，或一支 5MW 風力機，和搭配水力發電機，如【圖 2】所示。漂浮動力公司預估發電成本約為 0.11 美元/度。無獨有偶，GE 早已投資 Pelamis Wave 動力公司，離岸風能產業巨擘 Siemens 則買下了 Wavegen 公司，未來亦有可能推出相同概念產品。



圖 2 海神 37 混合式漂浮發電平台

資料來源：丹麥漂浮動力公司/金屬中心 ITIS 計畫

## 二、未來漂浮式離岸風力發電場發展趨勢如下：

### (1) 低成本、無方向性的漂浮式垂直軸風力發電機的運用

相對水平軸風力發電機，垂直軸風力發電機有其自身的優點。前者安裝維護不方便，且風力機重心高，風險性大。後者齒輪箱在底部，重心低，穩定，維護方便，並且降低了成本。垂直軸風力機不必迎風調節系統，可轉換 360°方位中任何方向風能為電能，主軸轉動方向固定。其葉片的尖速比要比水平軸的小，氣動雜訊小，應用區域增加。【圖 3】漂浮式垂直軸風力機集成了垂直軸技術和海上浮動平臺技術，將有效降低成本並提高離岸風力機的發電效率。

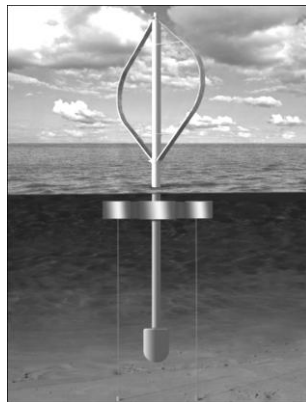


圖 3 漂浮式垂直軸風力機組概念圖

資料來源：中國上海電力期刊 2007/金屬中心 ITIS 計畫

### (2) 建立非併網風力發電多元化應用系統

漂浮式海上風力發電場遠離陸地，將電力連接到電網系統必須要修建很長的海底電纜，電纜越長，成本越高。所謂非併網風力發電，簡言之，就是風力發電的終端負荷不是電網，風力發電可以直接應用於某些特殊的工業生產。漂浮式風力發電技術不僅是為充分利用海上風力資源，更重要的是為日益增多的海上活

動提供能源，非併網風力發電多元化應用必將使世界從中受益匪淺。遠洋輪船、深海遠端潛艇、遠端科學考察團等可以在大海上直接獲取電能；開發海底石油和礦藏的工程隊也可以從海上風力發電站獲得充分的電能；未來亦可應用於遠海旅遊專案之用電；非併網風力發電可以直接供電於海水淡化、氯堿、有色金屬冶煉及非金屬加工等大範圍高耗能產業。