



太陽光電系統水面型錨定設計

黃朝揚/ 工研院 綠能所 太陽光電技術組, 資深工程師

水面型太陽光電系統是未來推動水域空間設置太陽光電主要的型式，透過浮台為基礎，以錨定(anchor)方式將浮台固定於水域空間，達到設置太陽光電系統之目的。對於每年都有颱風侵襲的臺灣地區，錨定設計影響整體系統長期運轉的安全性，應特別注意錨定的固定與定期維運檢查，避免因颱風造成系統結構破壞與財物損失，本研究提供國外水面型系統錨定設計(anchoring design)方法及國內錨定設計流程建議，可協助國內廠商推動水面型系統錨定設計之參考。

一、前言

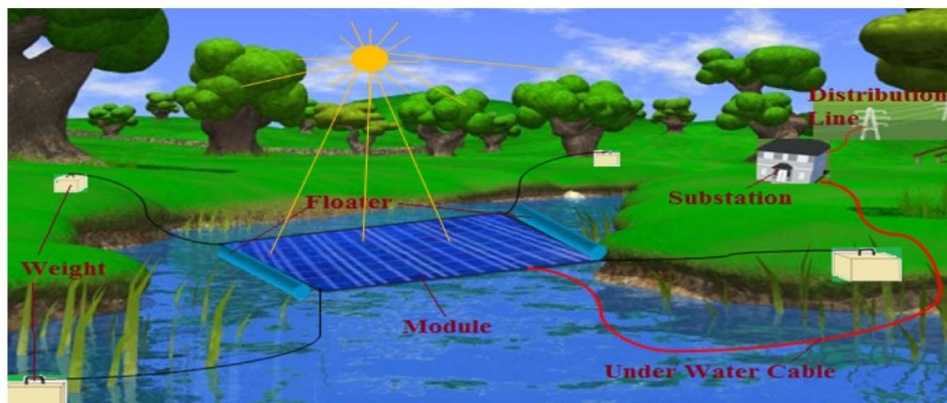
依據行政院太陽光電推動政策，預期達成114年再生能源發電占比20%的目標，其中以太陽光電裝置容量占66.3%最高，規劃明確目標與推動路徑包括短期目標（至109年）裝置容量6.5 GW（GW為電量單位，即10億瓦），長期目標（至114年）為20 GW（屋頂型3 GW與地面型17 GW）。其中水域空間設置太陽光電系統屬於地面型太陽光電系統之應用範疇，臺灣地區第一個水域空間設置太陽光電系統是位於屏東大武丁滯洪池，如圖一所示。



圖一、國內第一例水面型太陽光電系統

太陽能是頗具發展潛力的綠能，但設置太陽能板所需的大面積土地是目前遭遇到的主要問題之一，尤其是如台灣、日本、新加坡、韓國、菲律賓等地狹人稠的島嶼型國家。既然地球表面有約70%是被水所覆蓋(主要為海水)，故而水面型或浮動式太陽能系統是近年相關發展的新穎概念，水面型太陽能系統可安裝在海洋，湖泊，瀉湖，水庫，灌溉池塘，滯洪池，廢水處理廠，釀酒廠，養魚池塘，水壩和運河等。此外，太陽能板的功率輸出受溫度影響，若能將太陽能光電系統安裝在水面上，由於水的冷卻效應，可增進發電功率，研究顯示水面型太陽能電池板的平均效率比地面安裝的太陽能電池板高出11%[1]。水面型太陽光電系統與傳統屋頂型太陽光電系統不太相同，主要的差異在基礎結構的不同，一般屋頂型太陽光電系統主要是將太陽光電板透過金屬支架鎖固在屋頂結構上，而水面型系統則是透過支架將太陽光電板固定在浮台上，而浮台則浮載於水面上，常用的浮台採用環保安全的HDPE材料，為了不讓浮台受到風力、水流、波浪等影響浮台移動，需要透過錨定系統(anchor system)栓鎖住浮台。

由於臺灣地區地處多颱風地區，颱風對於太陽光電系統的影響會造成立即性的損壞，颱風產生的瞬間強大風力，可能會導致浮體飄動距離過大，更甚者破壞錨定系統使得太陽能板撞擊岸邊、電纜斷裂導致供電失衡等問題。而台灣地處於亞熱帶，更是每年都會遭受颱風的威脅，因此若要在內陸水域中如水庫、埤塘等上安裝太陽能板，如何設計出足以抵抗颱風的錨定系統將是艱難的挑戰。水面型浮動式太陽能系統的錨定系統常以岸錨或沉錨作為系統固定方式，典型的水面型浮動式太陽能系統的錨定系統如圖二所示。



圖二、水面型浮動式太陽能系統的錨定系統示意圖

二、國際上水面型浮動式太陽光電系統錨定設計

法國廠商 C&T[2]於2011年成功推出可商轉的水面型浮動式太陽光電系統，為此行業引領者，並和多家戰略合作夥伴並出口 Hydrelío[®] 漂浮系統，向全球提供技術和服

務。2016年 C&T 公司已在台灣設立分公司夏爾特拉，相關產品系統為法國設計於台灣生產製造。Hydrelío System 可大規模佈署在水面上，該系統中太陽光電板被安裝在高密度聚乙烯(polyethylene)HDPE 材質的浮體，此種材質為海洋研究中，置放海洋儀器於海水中常用之浮體，足見其具有相當好的浮力及耐用性，浮體為浮式平台的一個單元，由聚乙烯浮體所組合而成，容易拆解，具有很好的擴充性，目前 C&T 公司也在台灣高雄阿公店水庫完成國內最大水面型太陽光電系統案例。



圖三、高雄阿公店水庫太陽光電系統

根據 C&T 公司 Hydrelío System 系統技術規格如下列所示：

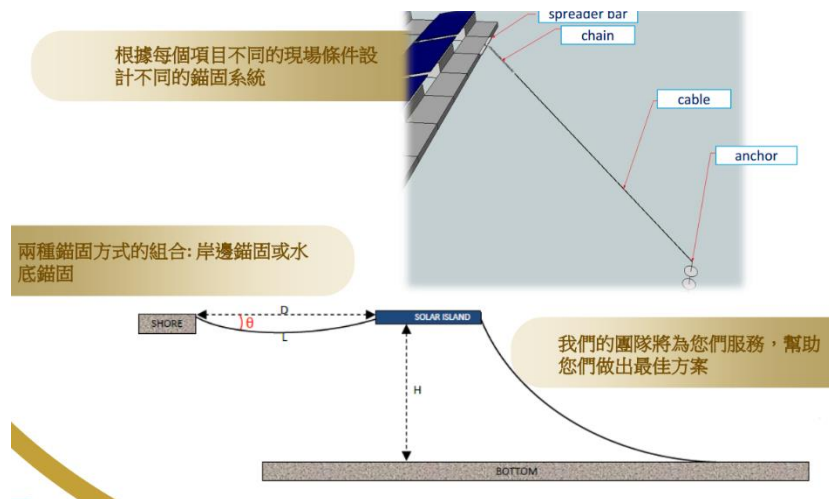
環境條件

- 設計風速：58.3m/s
- 浪高：1m

- 水深：理想水深10m 內，案例中最高可達90m
- 水流：小於1m/s

錨定系統

- 可依據現場條件設計合適錨定系統，如圖4所示
- 有岸邊錨固與水底錨固兩種型態
- 主要架構有錨(anchor)、cable(繩索)、chain(鐵鍊)、spreader bar(撐桿)。鐵鍊可以用來調整纜繩長度。單一鋁質撐桿可承受1.6公噸，用來連接纜繩用與分散張力
- 纜繩配置：屬於懸垂式，纜繩有預留長度可以適應水位變化



圖四、錨定系統

中國大陸中國陽光浮體科技有限公司(SUNGROW)是陽光電源股份公司的全資子公司，致力於水面型漂浮系統方案的研究，包括浮體產品的設計與開發，浮體材料的耐候性研究，錨固系統的設計與研究[3][4]。

SUNGROW System 系統規格：

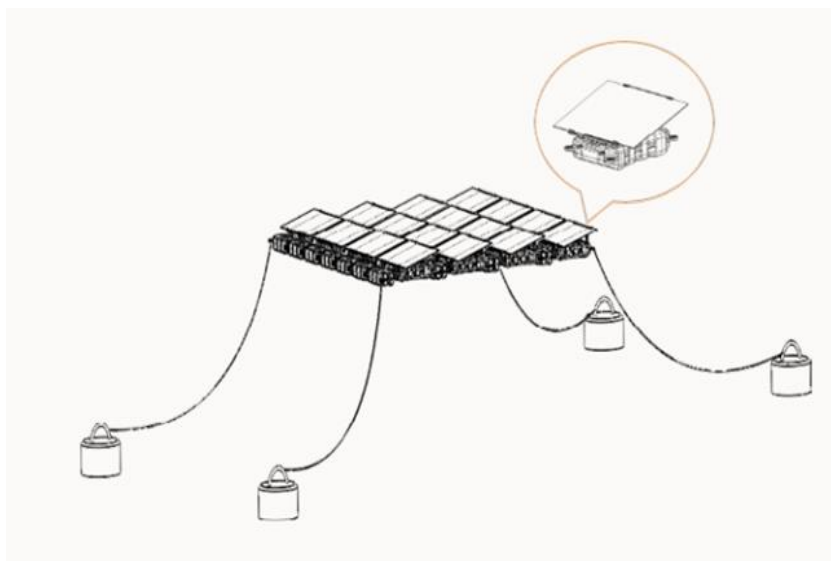
環境條件

- 抵抗風速：30m/s
- 水流速度：1m/s
- 波浪週期：1.5-5s
- 波浪高度：1.2m

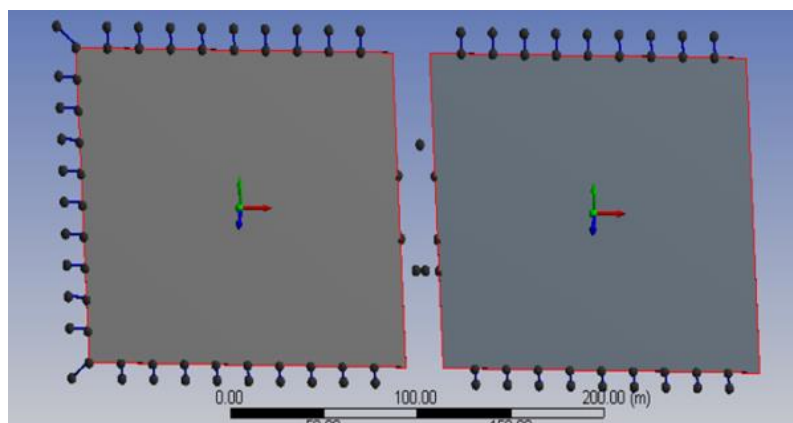
- 水深：8m

錨定系統

- 可依據現場條件設計合適錨定配置，如圖五所示
- 錨定方式：錨定塊式、錨定樁式與自適應水位式
- 利用纜繩連接浮體衍架與錨定塊、錨定樁
- 優先採用最大方正布局於水塘上，確保極端條件方正間最大位移不會碰撞
- 方正採用多點錨泊系統，兩個標準方正單元可共用錨定系統，如圖六所示



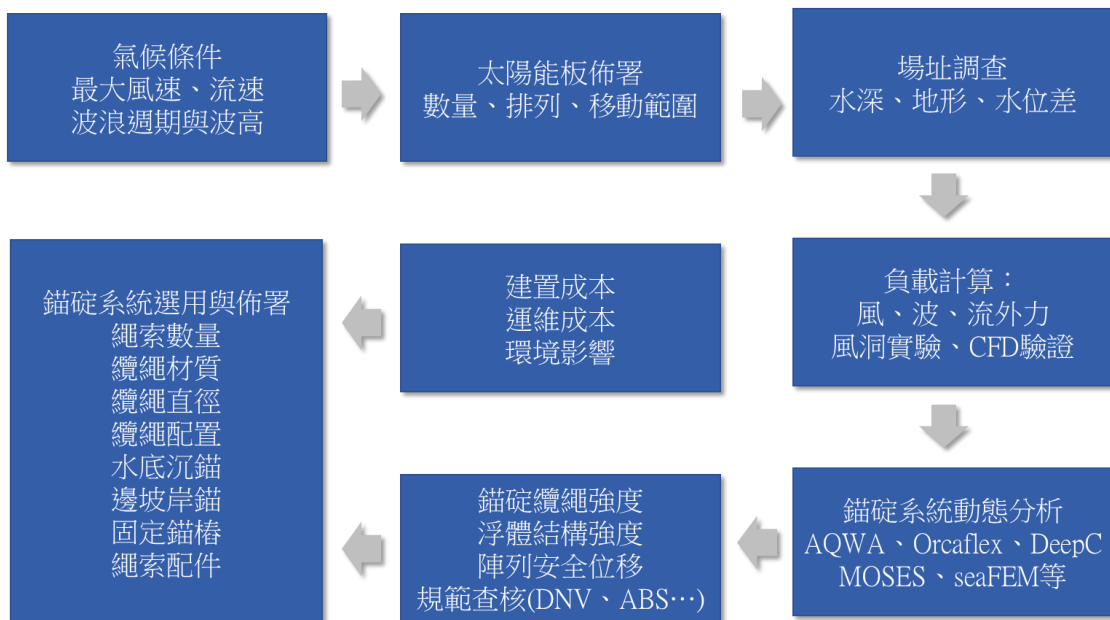
圖五、SUNGROW 錨定系統示意圖



圖六、SUNGROW 方陣多點錨定系統

三、錨定系統設計流程

水面型浮動式太陽能光電錨定系統設計流程如圖七所示，完成前期的場址調查、氣候條件與太陽能板配置後，則可經由理論公式、CFD 工具、風洞實驗、水工實驗取得太陽能板陣列所承受的風力、波浪力與水流力。錨定系統設計上可使用海事工程專用工具如 AQWA、Orcaflex 等軟體進行錨定系統設計，並且確保分析之結果可以符合纜繩強度、浮體結構強度與浮體移動量與海事工程規範要求。最後在錨定系統的材料選用與佈署上亦需考量到建置成本、運維成本與環境影響等因素，特別是若應用在具有鹽分的水面、魚塭上或海水面上，則金屬件腐蝕的問題，更是不容忽視，適當的防蝕方法與設計亦為必須研究探討的項目。



圖七、浮式太陽能板錨定系統設計流程圖

- (1) 模擬後可提供的浮台錨定系統穩定度參數及錨定結構參考如下：
- (2) 纜繩張力：錨定系統的纜繩、岸錨、沉錨、連接件等結構件可承受最大張力
- (3) 浮體移動：極端條件下其最大移動量符合計需求，且需避免碰撞、浮體沒水或懸空
- (4) 浮體結構強度：浮體結構強度可以承受纜繩張力
- (5) 纜繩長度：需考量水深、水位變化、浮體移動等因素



- (6) 纜繩材質：鋼索、鐵鍊、纖維：如尼龍繩
- (7) 纜繩數量：抵抗最大外力、外力平均平配在浮體上
- (8) 纜繩佈署：纜繩排列、走向，將外力有效平均分配在各條纜繩上
- (9) 錨固形式：沉錨、岸錨、打樁

四、結論

水域空間設置太陽光電系統案例越來越多，針對系統結構安全將逐漸被重視，國內目前尚無水面型太陽光電系統設計規範，多半仰賴國際經驗與國外技術，以目前建築物耐風設計規範僅能提供傳統太陽光電系統結構設計，無法滿足水面型太陽光電系統結構錨定設計，此設計能力涉及水利工程與船舶等技術，未來仍須透過更多的技術團隊合作建立更完整的設計規範，提升國內水面型太陽光電系統結構之安全性。

五、參考文獻

1. Choi Young-Kwan. A study on power generation analysis of floating PV system considering environmental impact. Int J Softw Eng Appl , 2014, 8(1):75–84
2. <http://cieletterre.tw/>
3. 肖福勤, 漂浮電站系統解決方案及關鍵技術探討，2017
4. 李華祥, 漂浮式光伏電站新挑戰與新技術，2018