

離岸風場水下銲接作業簡介

機械工廠 毛俊景

一、前言

非核家園在 2025 年的目標為能源供應將調整為燃氣 50%、燃煤 30%、再生能源 20%。當中，太陽能與離岸風力，是拉高再生能源裝置容量的兩大主力。台船近年來也積極投入離岸風電產業，並將之調整為公司業務發展的主軸之一。以經濟部能源局規劃在 2025 年前離岸風電達 3000MW 來看，未來該產業的業務量將會相當可觀，如下表 1。

表1 裝置容量之政策目標

年度	2013		2015	2020	2025	
單位	MW	架數	MW	MW	MW	架數
陸域	614	311	647	1,200	1,200	450
離岸	0	0	0	520	3,000	600
合計	614	311	647	1,720	4,200	1,050

資料來源：經濟部能源局

600 架風機矗立在海域上，也意味著龐大的維修保養需求，除了海面上的鋼構與風機養護外，水面下的腐蝕與結構物的損壞將來可能是影響離岸風力發電網妥善率的關鍵之一。以目前台船在 2015 年 7 月 23 日為福海風場所設置的海氣象觀測塔為例，雖然當下僅止於鋁陽極塊的水下銲接作業，如下圖 1。但隨者時間拉長，海底基礎¹將會隨著水深與地質的變化而採用結構更為複雜的型式，同時也伴隨著更多的 TYK 接頭、銲道瑕疵與結構的水下修補作業。

¹福海風場的海氣象觀測塔為Mono pile Foundation，示範風機基礎為Jacket Foundation。

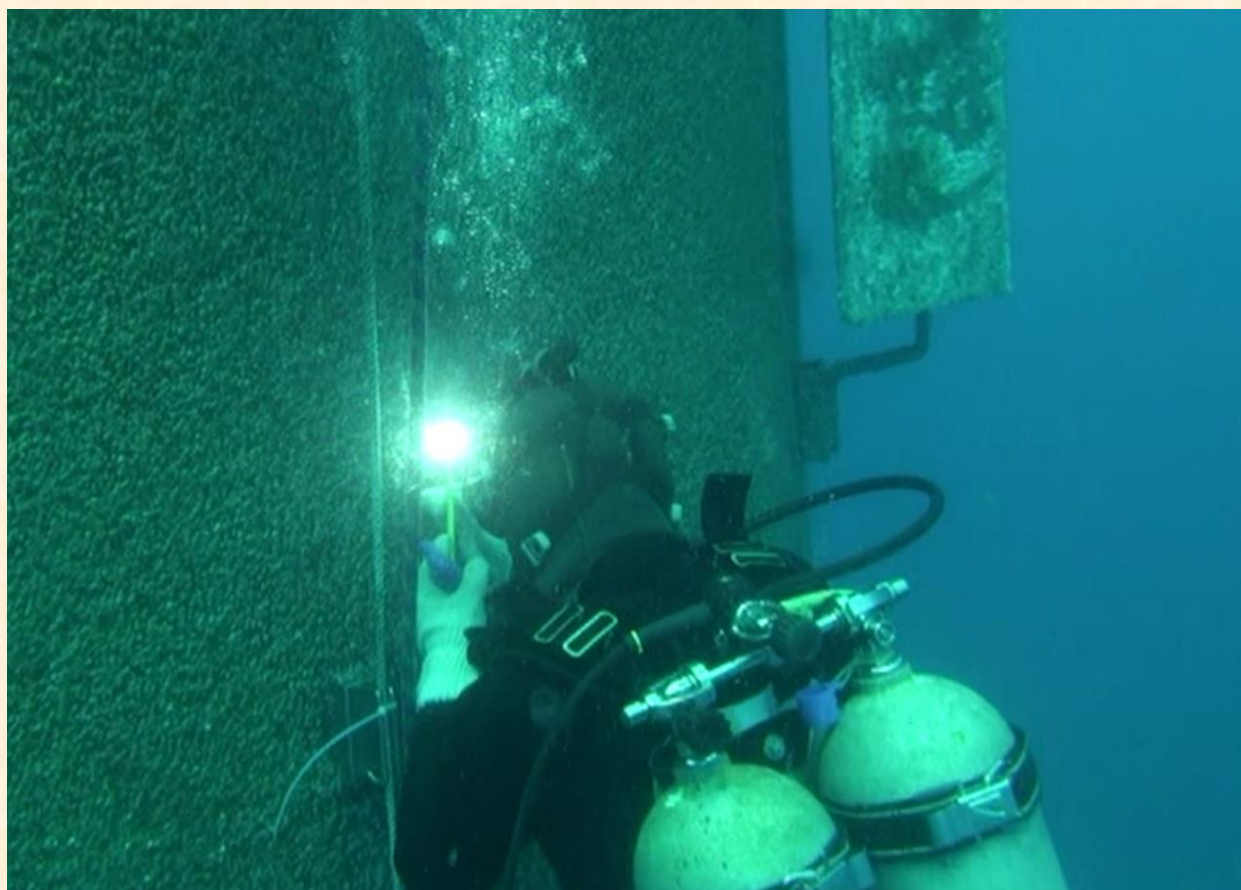


圖 1 海氣象觀測塔陽極塊水下銲接

水下銲接簡介

水下銲接由於母材與銲材直接接觸水中環境，因此銲道會遇到氫脆(含水量太高)及淬火(外部急冷)的問題，尤其當母材碳當量大於 0.4% 的時候，問題會更加嚴重。要避免以上問題，除了母材及銲條的限制之外，也可以從欲補強的結構設計下手，比如海底基礎管結構中應避免對接銲接而改以填角銲接(將桁架管設計嵌入主管一段距離，避免由銲道直接承受力量)，再者，可考慮半乾式水下銲接(全乾式銲接所需設備成本太高)以局部乾式環境下達到陸上銲接的強度與要求。

水下銲接另一個問題是潛水技術層面。目前台灣離岸風場大部分水深都在 50 公尺內，且根據勞動部公布之「異常氣壓危害預防標準」第三章第二節第 37 條規定：使用水肺空氣潛水，並具減壓艙之操作能力，其潛水作業最大深度限制為 39.6 公尺（130 呎）。但實際為了進行免減壓潛水²，在 40 公尺深度停留時間只有 10 分鐘。因此一般水下工程上仍以採用水面供氣式潛水為主，氣體可為一般壓縮空氣或氮氧混和氣。

下表 2 說明目前可執行之潛水作業型態，除飽和潛水³作業之外，其餘兩

²免減壓潛水，理論上整個潛水過程不需要在水中停留減壓而可以直接上升至水面。深度越深停留的時間越短。潛水員保守維持在附件一的潛水深度與時間的限度下，理論上得到減壓疾病(潛水伏病)的機會將會減少至最低。一般來說，有經驗的潛水員一支氣瓶在 20~30 公尺深度的潛水時間僅為 1 個小時左右，為了不需減壓停留，過程中必須時時注意潛水深度與時間。

³潛水員在海洋的某個深度工作一段時間後，不必匆忙回到海面上來減壓，可以繼續在海中待下去，直到工作完後再返回海面，進行一次減壓就行了，這種潛水方法就叫做「飽和潛水」。美國海軍潛水生理學家 Bond 於 1957 年提出「飽和潛水」的觀點，就是創造出一種環境和條件，使潛水員在高氣壓下長時間暴露，體內各組織體液中所溶解的惰性氣體達到完全

種皆為非飽和潛水。非飽和潛水為目前商業潛水的主流，主要在於非飽和潛水所需的裝備與訓練遠低於飽和潛水，而且作業深度也足以應付目前海事工程上的需求。

一般商業潛水如果採用水面供氣式潛水並搭配氮氧混和氣，且水深超過 40 公尺的話，則須採用潛水鐘協助潛水人員輔以降潛及上升，並執行水中減壓程序，人員上升至水面後必須在 5 分鐘內進到減壓艙減壓，壓力、時間及供氧操作必須由合格之減壓艙操作技師執行。

表 2 各式潛水作業比較

作業型態	(水肺) 空氣潛水作 業 ⁴	人工調和混和 氣潛水作業 ⁵	飽和潛水作業 ⁶
深度限制	39.6/57.9 公	42.7/91.5 公尺	>120 公尺

飽和的程度，使潛水員可以長期停留在高氣壓下幾天乃至幾十天，待預定作業任務完成後，一次減壓出水。

⁴ 水肺空氣潛水最大作業深度 39.6 公尺(130 呎)；水面供氣空氣潛水最大作業深度 57.9 公尺(190 呎)。

⁵ 人工調和混和氣潛水最大作業深度 91.5 公尺(300 呎)，但使用氮氧混和氣潛水時，不得超過 42.7 公尺(140 呎)。

⁶ 按照國際慣例，當潛水作業深度超過 120 公尺、時間超過 1 小時，一般採用飽和潛水。作為唯一一種可使潛水員直接暴露於高壓環境開展水下作業的潛水方式，飽和潛水已廣泛應用於失事潛艇救援、海底施工作業、水下資源勘探、海洋科學考察等軍事和民用領域。世界各國都十分重視飽和潛水技術研究，據了解，英、美、瑞士、挪威、法、德、日本、俄羅斯等 8 國已先後突破 400 米深度；海上實際深潛實驗，法國、日本已分別達到 534 公尺和 450 公尺。

	尺		
使用氣體	一般壓縮空氣	一般壓縮空氣、氮氣或其混和氣	氮氣氧混和氣或其他惰性氣體
3. 關鍵設備	氣瓶/空氣壓縮機	潛水鐘、減壓艙	甲板加壓艙系統、水下居住艙系統和出入式深潛器系統
4. 相關規範	異常氣壓危害預防標準、美海軍「潛水教範」	異常氣壓危害預防標準、美海軍「潛水教範」	國內雖有規範，但不甚明確
5. 技術優勢	設備簡單、免減壓	適合一般商業潛水	特大深度作業

結論

台灣西部離岸風場水深大部分在 50 公尺以內，目前在業界只有少數公司擁有其人員、設備(含潛水鐘、減壓艙)與管理能力以承攬未來離岸風場水下工程。

目前福海風場之 MWS(海事擔保調查)為 DNV-GL，未來在承攬離岸風場相關工程時，承攬商最好有與 MWS 合作的經驗，將有助於審查上的銜接。

承攬水下工程時，應注意人員資格、設備安全認證與後勤動員狀況。最適當的做法就是派員實地勘查承攬商在工地實際工作狀況，確認現場是否有可靠的上述能力。

潛遁工程(例如捷運或隧道工程)與水下工程一樣需要按照「異常氣壓危害預防標準」規定進行減壓程序。

目前了解水下工程如果需要銲接作業且有強度要求，則台灣尚未有承攬商能提出相關水下銲接之 WPS。未來離岸風場在業主與 MWS 要求下，運維工作將會有水下銲接的 WPS 與合格銲工的需求。

機械工廠於 105 年起已經著手進行「離岸風電水下基礎銲道瑕疵腐蝕與改善研究」研發案，第一年與國際焊接技術研究室（簡稱 IWTRL）總主持人蔡宗亮教授合作，期許未來台船在離岸風電產業中，能在水下銲接領域取得領導地位。