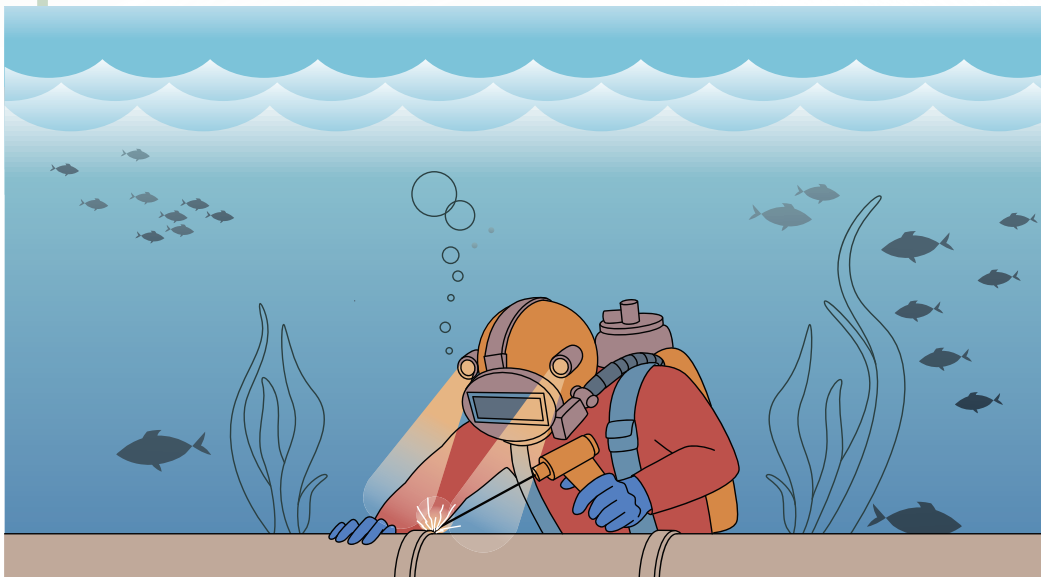


離岸風電水下銲接課程開發

沈育霖 | 勞動部勞動及職業安全衛生研究所 副研究員



壹、前言

離岸風電是政府規劃發展綠能的主軸之一，也是未來台灣達成2050淨零排放目標之關鍵能源轉型項目，國內近年隨著各近海部分離岸風機陸續完工且併聯發電，國人已逐漸感受到離岸風電帶來的經濟效益，但隨之而來需面對如何維持風機持續正常運轉，以及維修保養等相關問題，當中除較簡易之海面鋼構與機電養護外，也將面臨風機接頭、銲道瑕疵、結構及犧牲陽極塊修補等具專業技術之水下銲接作業需求，考驗國內專業維修之在地化能力。

近年各產業都有人力短缺的問題，其中具專業技術性者尤其明顯，水下銲接人

員就是其中屬較特殊的一類，專業的水下銲接人員除需具備商業職業潛水人員資格外，亦需具備銲接能力，以往國內傳統水下銲接技術養成主要是透過師徒制的經驗傳授方式，無專業培訓班及相關專業課程，但因離岸風電等相關產業具高度專業性，為因應後續運維需求，現階段應積極培育專業水下銲接人員（銲工潛水員），以符合未來產業需求。

貳、國際職業水下銲接人員專業資格證明機制現況

銲工潛水員需要具備廣泛的專業技能，也是一項技術複雜性很高的工作，一般國外水下銲接專業培訓課程通常會持續

數月，除商業潛水的基礎知識外，另需接受綜合銲接培訓計畫，以確保安全與有效地實施水下銲接作業。依據美國銲接協會（American Welding Society，簡稱AWS）水下銲接D3B小組委員會建議，一名經過認可的銲工潛水員應是具備銲工及商業潛水員之資格，能夠執行海底及銲接等相關的水下任務，並有能力按照AWS D3.6、水下銲接規範（濕銲或乾銲）以及其他銲接相關活動進行銲接。

基此，如果沒有商業潛水經驗，應先接受訓練取得商業潛水員資格，在進入水下銲接工作之前，大多數國際離岸風電承包商會要求按照國際水下銲接規範的要求，進行培訓、資格測試與取得證明。國際上對於水下銲接技術人員有其標準及認定依據，係根據銲接特定位置、不同金屬及連結方式有個別規範要求，較廣為接受與運用的計有美國銲接協會的水下銲接規範（AWS D3.6M 2017, Underwater Welding Code）、英國歐洲水下銲接工檢測標準（BS EN ISO15618-1:2016）、國際培訓組織等。

一、美國銲接協會的水下銲接規範（AWS D3.6M, Underwater Welding Code）

在1975年，美國銲接協會的海洋結構委員會（Committee on Marine Construction）要求水下銲接小組委員會（Subcommittee on Underwater Welding）訂定一套能夠反映水下銲接相關技術的標準AWS D3.6M，該規範在1983年發行初版，經1989、2010、2017年等多次修

訂，最初是當作受損鐵殼艦船暫時性修理（temporary repair）的一種方法，現在已發展成為大家所接受的一種工程結構和維修方法，最新的應用包括：外海結構、中海洋管線、港口水下以及核電廠組成部分的工程維護保養和改裝。

二、英國歐洲水下銲工資格測試標準（BS EN ISO15618-1:2016）

ISO 15618規定了銲工潛水性能資格測試的基本要求、資格範圍、測試條件、驗收要求和認證，適用於鋼鐵上的高壓濕銲，在資格測試期間，銲工潛水員需要充分瞭解銲接工藝、材料和安全要求，經測驗符合後獲得資格。

依現行國際上的普遍認為，要成為銲工潛水員需先具備商業潛水相關培訓與資格取得，國際上認證的商業潛水員（如IMCA、ADCI...等）培訓期間多會融入水下作業相關實務技術（其中包括如水下切割、銲接...等）課程，而後再額外參加陸域銲接及水下電銲的專業訓練課程，經由公認的美國銲接協會針對水下銲接的專業規範（AWS D3.6M），及歐洲體系水下銲接銲工資格測試標準（BS EN ISO15618-1）。

參、國內外職業潛水及水下銲接專業培訓現況

一、潛水技能

潛水技能依據裝備種類分水肺潛水、水面供氣系統潛水及飽和潛水等3種，水

肺潛水因著裝備輕便性、活動自如性、經濟效益普及性等相對優越條件，為現今水域休閒活動之主流；水面供氣系統（含空氣與調和混合氣）則因具備動員方便性、水下作業適久性、通訊溝通便捷性、人員控管安全性等相關因素，扮演著近岸水下作業的主力裝備，另飽和潛水承擔了多數深水工程作業之需求，但設備成本亦相對較高。

（一）國際商業潛水員技能培訓

目前全球性的商業潛水員市場主要由國際海事承包商協會（International Marine Contractors Association, IMCA）及國際潛水承包商協會（Association of Diving Contractors International, Inc., ADCI）兩大組織來供應與管理。IMCA在1972以海上潛水承包商協會AODC（Association of Offshore Diving Contractors）成立，發展迄今有超過50個國家、約500個團體會員，為一個成功之商業團體，相關產業涵蓋健康、環境、安全、品質效率與技術標準。ADCI在1968年起緣於美國，建立商業潛水安全標準，是目前有超過40個國家、約500個公司團體會員的國際性組織。以上二者扮演著國際性商業潛水員訓練、認證與安全把關之主要角色。

依據美國商業潛水員訓練最低國家標準（ANSI/ACDE-01-2015），學員需完成為期約16週625~640小時以上的綜合培訓計劃，其中包括約有四週切割銲課程，以獲得商業潛水員資格認定。另



依國際潛水訓練學校協會（International Diving School Association, IDSA）將潛水課程分為：理論課程、商業性水肺潛水員、近海水面供氣潛水員、外海水面供氣潛水員及混合氣及潛水鐘潛水員等五個階段性課程，並依潛水員受訓課程分為四個合格等級。

（二）我國現行職業潛水員技能培訓

我國現行職業潛水員養成是依據「異常氣壓危害預防標準」及「職業潛水員養成訓練」等，依潛水作業種類（包含空氣潛水、人工調和混合氣潛水作業）及潛水深度之不同，規範不同的培訓分級及訓練時數。

二、水下銲接技能

國際上水下銲接主要依循美國銲接協會的水下銲接標準（AWS D3.6M, Underwater Welding Code），規範銲道之機械試驗、表面形狀和非破壞試驗等之要求，給予每一個銲道一個必須遵守的等級，水下銲接之銲道韌性和硬度，其意義與陸域銲道不同，業主亦可以指定任何銲道等級之補充要求。

依據國際對於水下銲接的分類可包括：

- (一) 分級標準：分為 A、B 及 O 三級，以 B 級較普及。
- (二) 對接模式：分為開槽銲接與填角銲接二大類，其中以填角銲接為主。
- (三) 對接材料：分為鋼板材與管材。
- (四) 銲接姿勢：以分為平銲、橫銲、立銲向上、立銲向下、仰銲。
- (五) 銲道分類：分為單銲道與多銲道。

由於以上各條件組合可為多重分類標準，且各類標準可為特殊需求設計完成銲接程序規範（Welding Procedure Specification, WPS），經由水下銲接實際操作並依實完成程序資格檢定紀錄（Procedure Qualification Record, PQR）以取得該等級國際認證。

肆、國內水下銲接培訓規劃及建議

現階段為開啟國內水下銲接職類培訓並能健全發展，經評估，比較可行的模式應以招訓現役潛水技術士或曾實際執行現場作業的資深水下銲工為出發，經陸上銲接專長培訓，並導入國際水下銲工潛水員進階培訓課程，之後透過培訓班試辦，找出適合國內後續發展的藍本。

經召開專家學者座談會並蒐集國內業界多方意見，提出以下培訓規劃：1. 參採 AWS D3.6M-2017 規範，及現階段取得之澳洲 Arc Subsea 教材為基礎，配合國內

環境條件修訂，作為國內水下銲接課程教材；2. 從事水下銲接實作具有一定之危險性，宜以具備職業潛水人員資格者，優先參加水下銲接訓練課程及檢定；3. 台灣檢測科技股份有限公司（SGS Taiwan Limited）SGS、台船公司...等具有國家級實驗室者，作為水下銲接實作樣本檢測單位；4. 培訓檢定宜分級執行，第一級以 AWS D3.6M-2017，B 等級碳鋼板填角立銲多銲道向下為資格標準，第二級以碳鋼板填角銲仰銲為資格標準。

一、分類建議

經評估，依國內現階段工程對水下銲接能量之需求，宜以 B 級填角銲為主，經分階段培訓後取得資格認證：

- (一) 平板填角銲立銲向上、向下，單銲道、多銲道（3F）
- (二) 平板填角銲仰銲（4F）
- (三) 管填角銲立銲向上、向下，單銲道、多銲道（3F）
- (四) 管填角銲仰銲（4F）



配合國內陸上一般手工電銲技術士單一級別認證，未來水下銲接專業資格取得，將依「異常氣壓危害預防標準」取得職業潛水丙級技術士證照（含）以上後，依國際認可「WPS」並配合「PQR」等程序，經培訓認證取得國際平板填角銲立銲多銲道（3F）資格者，為第一級；後再取得國際平板填角銲仰銲（4F）資格，為第二級，經國家技能檢定合格後取得國內水下銲接技術士證照（單一制）。

二、水下銲接培訓規劃

參採國際商業潛水員訓練相關水下切割銲課目與時數，對本國已具職業潛水員資格者，再加強水下銲接培訓之相關課程，並遵循歐洲銲接聯合會（EWF, European Welding Federation）教學大綱 570r1-14 的指南，並按照 ISO 15618-1、AWS D3.6M 和（或）BS 4872-1 標準對銲工潛水員之要求，提出國內水下銲接 164 小時養成培訓課程規劃。

三、編撰職業銲工潛水職類之檢定規範草案

參採國內職業潛水員、職業銲工及國外職業銲工潛水員之職能要求，評估現行包含離岸風電等產業及工程之需求，就技能檢定職類銲接潛水員應具備之專業能力及應接受之專業課程內容，完成我國「技術士技能檢定職業銲工潛水職類」之檢定規範草案編撰，內容包含：工作項目、技能種類、技能標準及相關知識等，提供職能訓練之主管機關參採。

◎ 伍、編撰水下銲接課程教材及水下銲接專業培訓班試辦

一、教材編撰

銲工潛水員必需同時具備銲接、商業潛水和水下銲接技能，透過參採國外水下銲接訓練課程及分類，並考量國內相關技能檢定規範現況，經邀集相關課程專家學者的共同討論，完成 12 個銲工潛水員核心課程共 24 小時之教材編撰。

二、專業培訓班試辦

為瞭解教材之實用性，並提升國內專業技能，辦理國內首次職業水下銲接專業人員班，參訓學員共 10 人，合計 124 小時授課時數分兩個階段授課（乾銲和濕銲），受訓學員皆具備丙級職業潛水員以上資格，於 111 年 8 月完成授課（圖 1 為陸域乾銲訓練實習情形、圖 2~4 為現場濕銲訓練及設備實況），學員之測驗成品經國際檢測單位實測結果，全數符合測驗規範要求，並全員取得 WeldCraft-Pro 國際銲接潛水員 B 級，板填角銲立銲向下三銲道之資格。

◎ 陸、應用推廣與展望

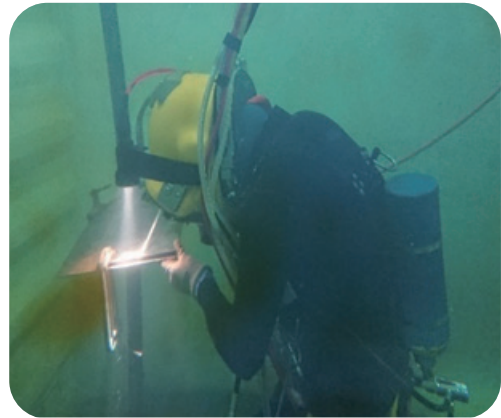
目前國內已具備導入「銲工潛水員」培訓課程與國際接軌之量能，以及國際培訓條件，為國內水下銲接專業技能養成邁出了一步，後續仍需持續推動國內銲工潛水專業檢定職類，強化勞工專業能力，另

外，因國內職業潛水證照資格迄今並未受國際商業潛水員資格之認可，欲參與國際水下工程仍存在實務上的諸多困難，如何

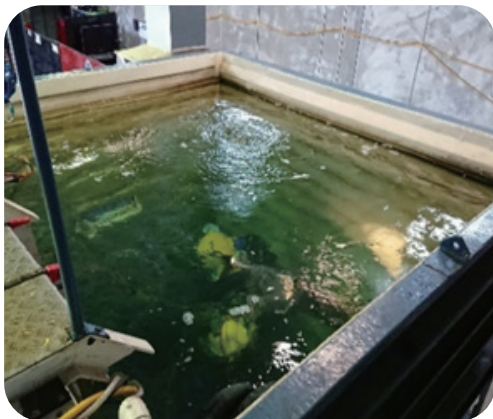
突破障礙，尋求國內潛水員及銲工潛水員資格被國際認可，仍需未來多方共同努力。



▲ 圖 1：學員於乾式電銲教室進行陸域銲接訓練
圖片來源：本所拍攝



▲ 圖 2：學員身著水面供氣設備進行水中銲接訓練
圖片來源：本所拍攝



▲ 圖 3：水中銲接訓練用之水櫃銲接訓練池實照
圖片來源：本所拍攝



▲ 圖 4：透過通訊系統及影像顯示器，岸上控制台能隨時監控學員並掌握水中銲接之操作訓練過程
圖片來源：本所拍攝