



離岸風場 海床土壤地質 調查技術 引進與發展

黃宗宸* / 環球測繪股份有限公司 總經理

我國推動綠能政策以來，離岸風力發電成為了政策堆動中相當重要的一環，與離岸風場建置相關的供應鏈也在本土如雨後春筍般的萌芽。在離岸風場計畫展開前，除了須評估風場開發效益之外，確保風機能夠長久穩定立於海床的重要關鍵，在於對場址海床底下地層狀況的掌握，以及地質材料特性與參數的精確取得，由此可見離岸場址海床土壤地質調查的重要。本文以海事工程發展的角度切入，從需求面與管理面來和大家談談，海床土壤地質調查技術的引進與發展。

關鍵詞：海床土壤地質調查技術、離岸風場、探勘船

ABSTRACT

Since Taiwan began to bolster green energy policies, offshore wind power has become a crucial part of the policy, and supply chains related to the offshore wind farms construction and development have also grown and prospered locally. Before any offshore wind farm project is launched, in addition to assessing the benefits of wind farm development, ensuring the long-term stability of wind turbines on the seabed is the key. This has everything to do with the understanding of the geological conditions beneath the site's seabed, as well as the precise acquisition of geological material characteristics and parameters, which highlights the importance of seabed soil geological survey at offshore sites. This article begins from the perspective of maritime engineering development and talks about the introduction and development of seabed geotechnical Investigation technology from the aspects on both the demand and management.

Keywords: Seabed geotechnical investigation technology, Offshore windfarms, Exploration vessel

前言

離岸風場海床土壤地質調查技術的引進，其實是一個供需的問題，早期海事工程大多侷限在近岸，隨著國家海洋政策的調整，以及離岸風場開發的需求，使得許多海事工程技術與設備相繼的引進國內，也開啟了台灣

海洋工程新的篇章。本文從土壤地質調查的視角，由各個階段遇到海事工程發展的需求，就本身於相關設備與技術的引進以及未來發展，進行經驗分享。

緣起

我國四面環海，自古以來，不論在氣候、生活型態、文明發展、對外交通聯繫、漁業、對外通訊、海洋資源探索與開發等，都與海洋息息相關。早期國內在海事工程發展上，主要著重於近岸區域的開發，包含碼頭與海堤等港灣建設、通訊與輸電網路佈設、電廠冷卻管路設置、過港隧道等，當時由於開發區域水深較淺（多在 20 m 水深以內），就水域地質調查需求而言，所採用之載台與機具設備，以適用於水淺處施工為主，地質鑽探之載台，係以搭架（淺水處）（圖 1）、浮台（風浪影響較小處）（圖 2），或油壓自昇式固定平台（深水處）（圖 3）為主^[1-5]。

自離岸風電計畫開始推動後，在起初最早的兩個示範風場，由於場址水深約在 30 m 內，因此油壓平台尚可勉強執行地質調查工作，但後來隨著風場場址水深愈來愈深，許多調查位置水深已超出油壓自昇式固定平台能夠作業的限制（35 m），因此在進行地質調

* 通訊作者，Jasontchuang@pdc-offshore.com



圖 1 鑽探搭架



圖 2 鑽探浮台與小型鑽機



(a) 小型工作平台



(b) 中型工作平台

圖 3 油壓自昇式固定平台

查時，必須尋求更合適之載台。當時，由於國內尚無合適此水域進行地質調查之載台，若要執行地質調查工作，則必須委託國外的探勘船。為了讓本土也具備足夠的深水域地質調查量能，環球測繪股份有限公司（以下簡稱 PDE）於 2016 年自挪威購買了備有 DP2 動態定位系統之地質調查探勘船－大地能源號（MV Geo Energy）（圖 4），成為第一艘本國籍探勘船，自此為本土深海域地質調查技術與發展開啟新的篇章。



圖 4 探勘船－大地能源號

探勘船引進初期

大地能源號 2004 年建造於挪威，於 2015 年在新加坡完成月池（moon pool）（圖 5）改裝並裝配最新式的鑽探設備（圖 6），於 2016 年通過 DNV 與 CR 認證後變更為中華民國籍。

於現場離岸場址地質調查作業如火如荼展開之際，在本土化所遭遇到的第一個問題也悄悄地浮現：國內尚未有相應之供應鏈以及具備相關經驗的人才。

由於探勘船本身來自歐洲，所有的系統與機電設備皆為歐規，有相當多的零件在國內甚至亞洲都不太



圖 5 月池改裝

容易找到，得從歐洲採購，特別是許多關鍵備品下訂後的交期常長達 3 到 6 個月。而船載之鑽探設備，與國內常見之油壓鑽探設備（圖 7）有所不同^[4-6]，因此不論是設備零組件與耗材，於國內皆難以取得。由於當時本土尚未建立相關之供應鏈，相關技術人員的缺乏，加上所委外之船舶管理公司毫無探勘船管理經驗，使得剛起步時並不如預期的順利，調查作業也受限於原物料的供應、設備維修保養時程、自國外訂購零件的交貨期程，以及具備經驗的技術人員招募不易等因素，導致工作效率不彰，使得業主對本土場址調查量能產生疑慮，因此當時在離案場址地質調查的工作，開發商仍傾向於委託給國外廠商。

成長期

經過了剛開始幾年的辛苦經營後，除了在現場調查作業的經驗累積，也透過零配件倉儲的設置，以及本土供應鏈的建立，逐一解決了維修料配件與原物料供應的問題。

另外在現場作業管理、船舶與人員管理、以及合約管理上，也逐步有了經驗的累積，找出先前管理失當的各種原因後，經過大幅度的調整後，公司內成立了船舶管理部門、工務管理部門、環安衛（HSE）管理部門、人資管理部門、法務及合約管理部門，公司的營運管理自此上了軌道。

這些年來，由於整個團隊的通力合作，大幅的提高了現場調查作業之效率與品質，並在環安衛管理上屢屢獲得業主的肯定，自此在離岸地質調查領域站穩了腳步，也奠定了本土離岸地質調查的品牌形象，更終結了外來和尚比較會唸經的都市傳說。

離岸試驗室的成立

國內大地工程（土壤與岩石）試驗室，由於國內案件委託之試驗數量通常不大，加上國內試驗室也顯少接到國外的試驗委託，在需求有限的環境下，規模大多較國外試驗室小很多，特別是土壤動力學試驗設備更加稀少，僅在幾個比較具代表性的國家級試驗室，以及大專



圖 6 大地能源號搭載之塔架式鑽機設備



圖 7 鑽探平台搭載之油壓鑽機與 CPT 設備

院校裡供學術研究之試驗室才會備有，且頂多一兩部，加上土壤動力試驗之費用通常較高，因此在工程設計規劃時，若無特殊需求，通常很少會選擇進行土壤動力試驗，大多直接拿 SPT-N 經驗公式推估之結果來進行分析與設計。此外，由於土壤動力試驗之需求較少，國內擁有土壤動力試驗設備通常都未取得 TAF 認證。

由於離岸風機基礎在設計時，國外顧問公司通常會需要足夠的土壤動力參數^[7]，因此在大量土樣需進行土壤動力試驗的需求下，國內完全找不到能夠符合量能需求且具 TAF（或 DNV-GL）認證之大地工程試驗室，導致大多數的土壤樣品出現不得不送到國外進行試驗的窘境。

為配合國家本土化之政策，希望能夠將土壤試驗全部留在台灣執行，也希望能夠培養更多本土的土壤動力試驗人才，因此 PDE 與中興工程顧問社（以下簡稱中興社）決定攜手合作成立大型離岸大地工程試驗室^[8]。

中興社是國內最具規模的財團法人工程研究機構，長久以來肩負著國家發展的重責大任，也培養出許多國內優秀的試驗與研究人才，PDE 透過與中興社合作，自英國 GDS 公司採購了大量最新的自動化試驗設備，並全數通過 TAF 認證（圖 8），在土壤動力試驗的部分包含了：應力控制與應變控制之土壤動力三軸試驗儀、土壤反覆直剪試驗儀、土壤環剪試驗儀、共

振柱試驗儀、撓曲元素試驗套件等；而在土壤靜力試驗的部分則包含了：自動壓密試驗儀、定應變自動壓密試驗儀、土壤自動三軸試驗儀等。試驗室於 2021 年底開始營運，由於試驗機台數量較為龐大，試驗室隨即成為亞太地區量能前三大的離岸大地工程試驗室，為我國推動離岸風電本土化在大地工程試驗的部分奠定了穩固的根基。

地質調查供應鏈的整合與建立

PDE 在草創之初，除了致力於發展自己本身所專精的地質鑽探領域，更透過異業結盟的方式整合場址調查相關的夥伴，透過一條龍的方式提供給業主最專業的服務，整個團隊的組成，除了地質鑽探之外，尚包含環境監測、海洋與陸地測量及地球物理調查、大地工程試驗、專業大地工程顧問、物流倉儲、機電後勤維護、土樣保存等，大幅度的降低異業整合介面問題，獲得業主與其所委託之工程顧問公司的讚賞。

另外透過產學合作的方式，與臺灣大學、成功大學、臺灣海洋大學、陽明交通大學、中興大學、中山大學、臺灣科技大學等國內一流學府持續的進行交流，透過講座的方式和同學們分享，使離岸場址調查相關的技術能夠與學校所習得知識結合，引發同學們的興趣，藉以培養更多本土優秀人才。



圖 8 中興社離岸大地工程試驗室

環境挑戰與發展

臺灣是亞太地區發展離岸風電的領頭羊，目前也已進入第三期風場的場址調查階段，接下來準備要面對的是水深大於 50 m 較深海域之離岸風場開發，因此近年來國內也有許多的學者紛紛投入浮式風機與其錨定方法研究，希望能夠克服在深水域開發離岸風場所可能遭遇的各種困難。而浮式風機之設計主要係透過錨定的方式，將載有風機之浮台、浮筒或浮動框架固定於風場內（圖 9），依據各開發商不同之需求與設計，通常每支風機會設置 3 至 12 個錨定點，而每個錨定點皆需透過探勘與現地試驗調查取得固定端相關之設計參數。



圖 9 浮式風機（圖片來源：經濟部產業技術司 [9]）

雖然每個錨定點調查所需之貫入深度（約 30 m ~ 50 m）都不如淺水域之風場來得那麼深（通常 > 80 m），但由於每個風機需要調查的點數非常多，如果採

用目前的 Downhole 系統之鑽探設備進行可能會需要相當久的時間才能夠完成一個風機位置的調查工作。

為了解決這個問題，以及因應未來浮式風機場址調查量能之需求，PDE 再度投入大量資金，自挪威購得具備油電複合動力之探勘船—大地能量號（Geo Power）（圖 10），該船本身除了俱備比大地能源號面積更大的後甲板以及更多的船席外，最主要的差異在於其同時具備執行 Downhole CPT 與取樣之鑽探井架系統，以及一套能夠直接從海床連續貫入達 50 m 深之 Seabed CPT 系統（圖 11）。



圖 10 大地能量號

大地能量號目前規劃於 2024 年初完成船體改裝、鑽機系統設備安裝與測試，預計於 2024 年第二季初完成船檢並變更為中華民國籍後回到台灣，成為我國第一艘同時具備 Downhole CPT 與 Seabed CPT 雙系統之多功能探勘船。期待在未來與大地能源號相互搭配下，除能夠提高本土深海域海床地質調查之量能外，更能大幅提升我國離岸場址之地質調查技術。

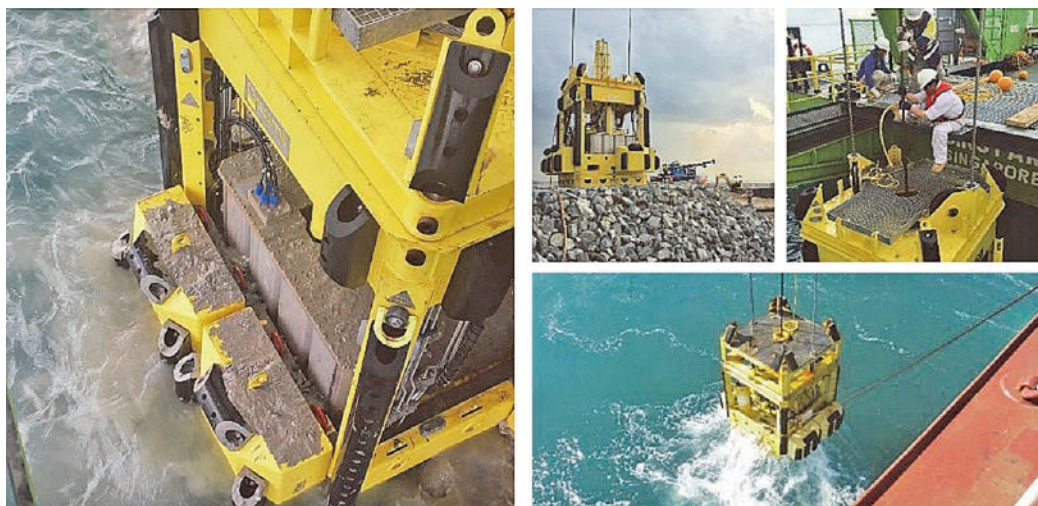


圖 11 大地能量號搭載之 Seabed CPT 系統（圖片來源：Geomil 公司設備 DM）^[10]

未來展望

由於我國離岸風電產業發展較鄰近國家早，目前有許多前期的風場已經完成場址調查與設計，正如火如荼地展開風機的建置工作，就整個產業鏈來說，未來海洋地質調查的需求應當會慢慢地萎縮，取而代之的會是需求越來越大的運維產業，照理來說在這個當下投資探勘船似乎好像與市場反其道而行，因此有許多的同業對於這個產業其實會有比較保守的看法。

對於 PDE 而言，由於長久以來專精在這塊領域，我們的看法可能與其他同業比較不太一樣，我們反而認為這是一個轉機，也是屬於我們臺灣離岸場址調查產業跨足國際的一個難得的機會。

由於我國在離岸海床地質調查的領域比鄰近國家投入要早，因此透過國內離岸風場執行調查的機會，讓我們能夠引進以往沒有的技術，也藉此機會累積許多寶貴的經驗、並且逐一的在國內與國際上建立起相關的供應鏈，特別值得一提的是本土離岸大地工程試驗式的設立，這讓位居東南亞與東北亞要衝的臺灣，有機會在未來，於土壤力學試驗的領域，具備超前其他國家試驗水準的機會，另外在本土離岸地質調查、大地工程以及特殊工作船舶人才的培養上，也能夠具備相當多的優勢。

另外，透過這些年執行離岸風場場址調查工作的機會，使臺灣隊能夠成功地打入國際離岸風場開發商之供應鏈，因此如果換個角度來看，現在正是我國離岸調查產業的最佳練兵的大好時機，雖然在接下來的未來，國內離岸場址調查的工作可能會越來越少，但因為有了這個時期的練兵，也讓國際的開發商與鄰近的國家，看到了我們國家隊先進的設備，以及堅強的調查能力與技術，因而造就了未來我們能夠有機會將台灣經驗帶到亞太地區其他的國家繼續發光發熱的機會。

結語

自我國開始推動離岸風電計畫開始，PDE 便積極地投入參與風場場址海床地質調查工作，從最早於示範風場時期，由於水深相對較淺，尚可透過油壓自昇式固定平台作為鑽探地查之載台，當時主要採用三腳架式油壓鑽機搭配固定於平台上之 CPT 進行調查；後來當風場場址水深不斷地加深，因此引進了我國第一艘 DP2 探勘船－大地能源號，透過塔架式鑽機搭配 Downhole 系統之 CPT 貫入儀與取樣器進行地質調查；

由於未來深水域風場浮式風機之調查需求，引進我國第一艘同時具備 Downhole CPT 與深孔 Seabed CPT 雙系統之油電混和動力 DP2 探勘船－大地能量號。

一路走來，其實 PDE 在調查技術引進與發展上，一直秉持著從需求與困境中來尋找方向，常言道：「危機就是轉機」，或許未來隨著風場的開發期程，海床地質鑽探調查的工作將會越來越少，不過這也是我們往國際市場佈局與發展的契機。

雖然一開始離岸的調查技術對於本土來說較不熟悉，但我們始終相信：「當用心投入某一件事情時，有天終將成為專家」。也是這種臺灣人堅韌不服輸的學習精神，讓我們得以在這個領域裡站穩腳步，找到許多志同道合的夥伴，共同整合場址調查上下游之供應鏈，並透過產學合作培養更多優秀的本土人才，組成陣容堅強的離岸地質調查臺灣隊。

所以，我在這個當下要做的結論是：未來地質調查的市場並沒有萎縮，而是擴大到了周邊鄰近的國家，在這業界的所有夥伴們，讓我們一起努力，把這些年我們一同在國內深耕的離岸風電臺灣經驗帶到海外，一起打進世界盃，讓我們所一同努力的這個產業成為新臺灣之光。

參考文獻

- 黃宗宸 (2015)，「海上地質鑽探機具」，地工技術，第 150 期，第 85-94 頁。
- 黃宗宸 (2019)，「離岸風力發電場址開發前期調查作業實務」，大地技師，第 18 期，第 22-33 頁。
- 黃宗宸 (2019)，「離岸風場工址調查概述」，地工技術，第 159 期，第 101-110 頁。
- 黃宗宸、黃新志 (2018)，「海洋地質調查技術」，台灣風能協會會員大會暨學術研討會，2018 年 12 月 7 日，國立成功大學，台南，台灣。
- 廖學瑞、張欽森、丁金彪、張上君、林淑寬 (2012)，「台灣西部海域海床地質調查技術初探」，中華技術，第 95 期，第 22-35 頁。
- 黃宗宸 (2015)，「海洋地質調查技術」，台灣風能協會會員大會暨學術研討會，2016 年 12 月 1 日，國立臺灣海洋大學，基隆，台灣。
- 郭玉樹、曾姿郡、Woerden (2014)，「海域大地調查於離岸風場規劃、設計與建置其間之角色」，地工技術，第 142 期，第 51-58 頁。
- 黃宗宸、盧泰維、高憲彰、林金成 (2022)，「離岸風電場址調查常見之大地工程試驗」，第十九屆大地工程學術研討會暨科技部成果發表會，2022 年 8 月 31 日～9 月 2 日，淡水，新北，台灣。
- 林晏平 (2019)，「全球浮體式離岸風電發展之推力與阻力分析」，網址：https://www.moea.gov.tw/MNS/doi/industrytech/IndustryTech.aspx?menu_id=13545&it_id=215，經濟部產業技術司－產業技術評析，2019 年 1 月 9 日。
- Geomil Equipment，網站：<https://www.geomil.com>。