



◎ 陳琪芳、胡惟鈞、徐淑貞

離岸風場 水下噪音

開發海洋風電時，如何把人為噪音轉化成白噪音，降低人為因素而不影響自然聲景是首要考量。

近年來在網路上紛紛設立了一些可以製造出背景音樂的 APP 或網站，他們把錄製的自然聲音放在網站上，這些基本的聲音元素有大自然的風雨雷電聲、浪潮流水聲、風吹鳥叫聲，也有人們杯觥交錯場景、火爐裡木柴燃燒的聲音、火車經過鐵軌的聲音等，自由交錯使用這幾個元素就可以構成各種引人入勝的場景。聆聽時可感受到身在鄉間夏日蟲鳴的小溪邊，也可調整條件讓環境成了外面雷電交加但室內爐火溫馨的咖啡店，甚或感覺身處周遭低語交談的辦公室，期讓自己的工作效率提升，或進而讓自己更快進入夢鄉。

近年來的研究發現，暴露在白噪音的背景下，人的大腦會受其影響。這論點已漸漸為大眾所應用，頭腦動得快的商人也把它應用在 3C 產品中。低弱的噪音使人更加專注於工作，也可讓人心境放鬆進入安眠狀態。然而一旦噪音的高低頻與輕重擴大到非人耳能享受的情境，就成了我們所難忍受的噪音。例如窗外傳來一陣陣挖馬路的鑽地聲，相信大家對這樣的場景所造成的魔音傳腦無法享受，甚或因每天身歷其境而不堪其擾。如果連續幾天累積忍受，不但耳朵受不了，甚至可能出現偏頭痛或其他身體不適的情形。

到底聲音產生到多少的量會干擾生活？如此的疑問促使科學家蒐集了數據研究計算出聲音的功率量和場量，得出分貝 dB 對人的影響。

在 1990 年有部小說改編票房大賣的電影〈獵殺紅色十月〉，上演了有關當時美俄兩國潛艦彼此角力的內情。電影中有段情節描述了美國潛艦內的聲納監聽人員由海底噪音的高低頻與規律性來判斷所遇到的是海底熱能釋放？鯨魚覓食求偶？還是潛艦出沒？果然因該人員的大膽判斷而由美國潛艦占得先機找到目標。

的確，海底世界並非一般人想像的那麼安靜無聲，而噪音來源大致可分為自然因素（如海洋潮流、天象風雨、地殼變動）、生物因素

（鯨豚或魚類發出的聲音）和人為因素。如同人類對白噪音的反應，自然與生物因素對水中生物的反應是否也類似？人為因素應該控制到什麼程度，才不會影響海洋生物的行為？

在極地偏遠的地區有個赫德島（Heard Island），是澳洲所屬最靠近南極的地方。1991 年科學家在美國海軍的支持下在這裡進行了重低音遠洋傳遞距離測試— Heard Island feasibility test（HIFT）。原本是為藉著聲音的測量來確定海洋的暖化效應，結果這個水下五百公尺的海底重音實驗，在遠達美國與加拿大的海域都成功測到，證實了如此的重低音可在全球的海洋中存在並傳遞。

不僅於此，從冷戰時期開始到彼時，美國海軍在北大西洋海域早已布下了「潛艇水下聲波監聽系統」來採集聲紋，這是一種以鋪設海底電纜、透過水下聽音器陣列等蒐集潛艇發生的聲紋和其他數據的系統。近三十年來這海底的天羅地網偵測到了許多寶貴的資料，也都隨同實驗一併公開提供學者們研究。

這消息一揭露，海洋生物科學界譁然。因為素常以來，學者們只能藉著漁船航行海中，並沿點線往海裡收音偵測，所測到的數據當然跟美國海軍收錄的聲紋量無法相比。有科學家形容這好比平常只用望遠鏡觀察星星，卻忽然得到哈伯望遠鏡能一窺天象的奇妙。在這形形色色的聲音裡，海洋哺乳類的聲音收集最為豐富，研究水下聲音環境的學科頓成顯學。

科學家得到了大量的數據可更進一步研究鯨豚類發出的聲音，卻發現人為噪音在海中產生的分貝可視為一種生態環境指標。因為這水中測量的噪音也會影響生物行為，甚而導致鯨豚類改變游向，進而改變覓食行為影響存活率，因此興起一陣對海底噪音產生的撻伐。

關心海洋生態的學者紛紛呼籲，不單是各國軍方在海底的活動需受規範，更遑論海底深處石油探測機在海底使用空氣槍的探勘行動。



人為噪音在海中產生的分貝會影響生物行為，甚而導致鯨豚類改變游向，進而改變覓食行為影響存活率。（圖片來源：種子發）

至於海面上，大型郵輪的引擎聲音也得管制，水上遊艇、水上摩托車的馬達聲等活動都得禁止或限制，以保護海洋生物的生態環境，甚至包括了學者探測海底噪音時的申請。

然而待科學家更精準地測量後，才發現有些遭受管制要求的對象實在是無辜受累。因為這些水上交通工具產生的分貝係數和實際放入水中後再測的分貝係數算法不同，噪音接收對象產生的反應也並非等同。1995 年的實驗得到了一個簡易衝擊模式，在這衝擊模式裡，大部分的噪音落在屏蔽範圍內。只要能把噪音控制在紅心範圍內，就能降低對水中鯨豚的傷害。

原本這些問題對不論是水上或水下活動都不大熱絡的台灣很無感。但近年來，隨著工業經濟的需求，致力於發展另類電

源的開發，民間與政府紛紛尋求其他無污染發電的可能性。鑑於台灣海峽的特殊環境，西部沿海具有絕佳的風力潛能，適合發展離岸風場。

近年來政府積極推動綠色能源的千架海陸風機計畫，離岸風力發電機開始沿著彰化、苗栗、雲林西海岸一帶逐區設立。電力公司在離岸海底打樁立桿的數目也逐年增加，產電量會逐漸升高。可預期至 2020 年安裝容量可至 520 MW（520 萬瓦），2030 年更可至 3,000 MW。倘若依計畫順利進行，這綠色能源不單能分擔現今台灣對污染電源的過度依賴，也能為台灣經濟發展增加穩定的電力，更能大量減低碳排放量，這不僅是環保人士力推，大眾也樂見其成。

但頭痛的問題是，目前規劃的離岸風力發電潛力場址有部分區塊鄰近白海豚重要

在海事工程進行中發出的噪音數值，
會因當地海底底質及地形使其影響範圍有所變化。

雖然現今的技術只能以控制機器發動的時間多寡與發出聲音的頻率高低來降低海洋噪音，但也期望能為海中生物的環境把關。

棲息地，風機的長期運轉水下噪音會改變當地水下聲景，而風機打樁產生的水下噪音可能會造成鯨豚的行為改變甚至聽力受損。台灣白海豚在國際自然保護聯盟（International Union for Conservation of Nature, IUCN）因其族群量很少且棲息地局限被列為瀕臨絕種，據研究該族群僅限在台灣西部出沒，且數量不超過 100 隻，的確堪稱為台灣特殊的海上嬌客。

政府不敢掉以輕心，科技部門邀請科學家參與共商因應之道。筆者的團隊幾次分析結果顯示離岸風機運轉水下噪音能量峰值介於 100 Hz ~ 200 Hz 頻段，實測資料與數值模擬相符。在打樁噪音部分把中頻海豚聽力加權函數納入考量，進行 24 小時聲曝值的打樁噪音分析，顯示影響因素包括海底底質及地形，不同底質的吸收係數差異，造成水下噪音傳遞的影響範圍改變。也就是說，在海事工程進行中發出的噪音數值，會因當地海底底質及地形使其影響範圍有所變化。

筆者帶領所屬海洋聲學團隊進行苗栗外海的示範風機打樁時水下噪音量測，同時針對台灣西部海域示範風場進行水下聲學背景噪音量測及模擬。根據聲學分析結果，強烈建議水下打樁禁區訂為距噪音源 750 公尺內，而針對中頻鯨豚的時間閾值漂移加權 24 小時聲曝值不應超過 185 dB 以上的噪音標準。這樣的數據可作為制定台灣水下噪音影響指標的參考，目前也已研擬水下噪音減噪工法，可供日後離岸風機選址的參考及施工的環境影響評估基準。據此擬訂水下噪音的減輕對策，做出建議要點如下：

(1) 劃出噪音禁區，同時在禁區邊界四個方位以水下聽音器即時監測。

(2) 在禁區外圍標定監測區，需請鯨豚觀測人員日間監看，同時以被動聲學監測，使海豚不誤闖禁區，並保證無母子對出現在監測區內。

(3) 噪音禁區訂為距噪音源 750 公尺內（這距離的訂定需符合實際作業的安全距離）

(4) 最大噪音量容忍值是聲壓峰值不大於 190 ~ 220 dB re 1 μ Pa，未來還需多方考量，審慎確認最精準的音量限制值。

(5) 監測區是禁區外，距噪音源 1,500 公尺內。

(6) 打樁開始前 30 分鐘，必須確認沒有鯨豚在禁區。因此建議在白天開始打樁，若打樁持續至天黑，則須以其他科學（或遙測）方式監測鯨豚動向，如以被動聲學方式監測等持續觀測鯨豚動態。

(7) 打樁必須以緩啟動模式開始，俾使鯨豚及時迴避。

尊重棲息在這個海域的珍貴族群，為牠們不單保留最基本的覓食與保育海場，甚至進而為牠們營造更利繁衍的海洋生態，自是同樣居住在這個海域族群的我們所當盡的責任。然就在海洋風電的開發之時，如前所提，聲景（sound scape）原本就是環境的一部分，也成為生態指標的參考，如何把人為噪音轉化成白噪音，降低人為因素而不影響自然聲景自是首要考量。

雖然現今的技術遇到瓶頸未能突破，只能以控制機器發動的時間多寡與發出聲音的頻率高低來降低海洋噪音，但也期望能為海中生物的環境把關。如何在民生經濟發展與環境生態保護上尋求兩全其美的方法，是政府與學者會同民間共同努力的目標。隨著科技的研發，期待這些困難能很快解決，讓下一代也能欣賞到白海豚在台灣海域中自在迴游，體會亙古以來自然創造的美好。

陳琪芳、胡惟鈞、徐淑貞
臺灣大學工程科學及海洋工程學系