



封面故事

離岸風場開發噪音對沿岸鯨豚類動物之衝擊

林子皓、林思瑩、余欣怡、周運香
國立台灣大學生態學與演化生物學研究所

關鍵字：離岸風電、中華白海豚、噪音衝擊、環境影響評估、減輕衝擊措施

摘要

台灣西岸的風能豐沛，離岸風力發電將為重要的再生能源產業。然而台灣目前預定的風場位置大多與中華白海豚活動範圍重疊或比鄰。中華白海豚在台灣西部沿海的族群極度瀕危，少於100隻個體，因此亟須審慎評估離岸風場開發對中華白海豚之生態影響，尤其是所產生的水下噪音的潛在衝擊。離岸風場開發過程中，以打樁工程、船隻交通所產生之人為噪音衝擊層面最廣，運轉的噪音影響較小，可能造成的生態影響尚不明。高強度的噪音可能會對鯨豚造成的影響包括：聽力損傷，行為反應、棲地位移、遮蓋效應，或增加鯨豚長期的生理壓力。目前尚未見離岸風場開發影響中華白海豚生態之研究發表，本文彙整國際上離岸風場對沿岸鯨豚類之短期與長期生態影響資訊，並根據目前了解之噪音衝擊面向，研擬三大方向的減輕措施：預防性措施、減輕衝擊措施以及施工管制措施。利用以上資訊依循預警原則的觀念進行開發計畫，減低對於中華白海豚的影響。

一、前言

近年來在政府推動干架海陸風機的綠色能源政策下，開發離岸風場儼然已成為一新興產業。儘管離岸風力發電被視為較友善環境的再生能源，但其開發過程對海域生態環境的影響仍未明確，其影響層面至少包括當地生態系的改變，以及產生水下噪音干擾。風機基樁雖然可能有集魚效應，但也可能影響當地的魚種組成及生態系結構；基樁造成的海底地形改變、施工與營運期間的船隻航運也是影響海域生態之可能原因。對於海洋生態系中的指標動物－鯨豚而言，離岸風場開發及營運產生的噪音則可能影響鯨豚生理、行為，進而改變鯨豚的棲地利用並影響族群存續。



台灣西海岸沿海具備豐沛的風力資源，已被列為風電開發的優先場址，然而這裡卻也是中華白海豚族群在台灣的唯一棲地。中華白海豚為一級保育類野生動物，在台灣西海岸的族群量少於100隻個體，已被IUCN紅皮書列為極度瀕危族群[1][3]。在開發行為影響範圍與白海豚活動領域重疊的情況下，如何降低開發行為的生態影響已然成為取得開發離岸風場許可之關鍵。有鑒於此，本文透過彙整分析離岸風場開發噪音對沿岸鯨豚類之衝擊，並研擬減輕措施策略之主要方向。

一、鯨豚的聲音與聽力

鯨豚的聲音除了作為個體之間的溝通訊號外，鯨豚也透過回聲定位探測感知環境與其他的生物，因此水下聲音在鯨豚的生活中扮演非常關鍵的角色。鯨豚的聽力相當靈敏，可聽到的音頻範圍也相當廣，部分的齒鯨在100Hz-200kHz之間的聽力閾值達100dB re 1 μ Pa。然而不同種類的鯨豚，其聽力敏感範圍有所不同，Southall et al. [4]依不同的聽力敏感範圍分為三個功能群：低頻7Hz-22kHz(大型鬚鯨)、中頻150Hz-160kHz(齒鯨中的海豚科)、高頻200Hz-180kHz(齒鯨中的鼠海豚科)。以目前較為了解的海豚科來說，其聽力在10-100kHz之間有最高的靈敏度，聽力閾值可低至40-60dB re 1 μ Pa[5]。中華白海豚屬於對中頻範圍較為敏感的種類，其聽力研究至目前為止仍少，目前僅在中國大陸南寧動物園針對一隻擱淺復健約13歲的雄性中華白海豚進行過實驗[6]。中華白海豚的聽力靈敏曲線呈現U型，最敏感的頻段位於32-54kHz，聽力閾值為54-62dB re 1 μ Pa(RMS)，其次是90-108kHz，聽力閾值為62-65dB re 1 μ Pa(RMS)，聽力閾值在5.6-11.2kHz以下提高到89-93dB re 1 μ Pa(RMS)。雖然此實驗受限於研究設施未能進行5kHz以下的聽力測試，未能確定白海豚對低頻聲音的敏感度。但根據在臺灣西部海域所收錄到的白海豚水下錄音資料，其哨叫聲音頻範圍為1.03-35.72kHz，其中又以5-7kHz為主要哨叫聲類型的音頻範圍[7]，因此1-10kHz之間仍屬白海豚廣泛使用的頻段。

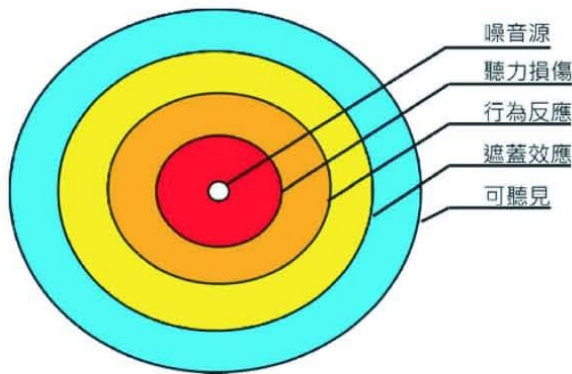
二、離岸風場噪音來源與衝擊面向

開發離岸風場產生的水下噪音主要可來自於兩個階段：施工階段及營運階段。施工階段的噪音可能來自於挖砂整地、打樁、船隻交通，其中以打樁的衝擊性噪音強度最高，船隻的連續性噪音雖然強度較低但其傳播範圍可能相當廣泛。營運階段除了維護船隻的噪音之外尚包含風機運轉噪音，風機運轉噪音音頻較低、強度也不若前述噪音類別高，但仍可能會導致長期且慢性的影響。

依據目前的了解，噪音對鯨豚的影響隨著接受的噪音能量多寡可以分為四個層級(圖一)：1.聽力衰減(hearing loss)，2.行為反應(behavioral response)，3.遮蓋效應(masking effect)，4.可聽見(audibility)，其中第二項和第三項的界限及先後次序不明顯[5]，[8]-[9]，其影響狀況細述如下：

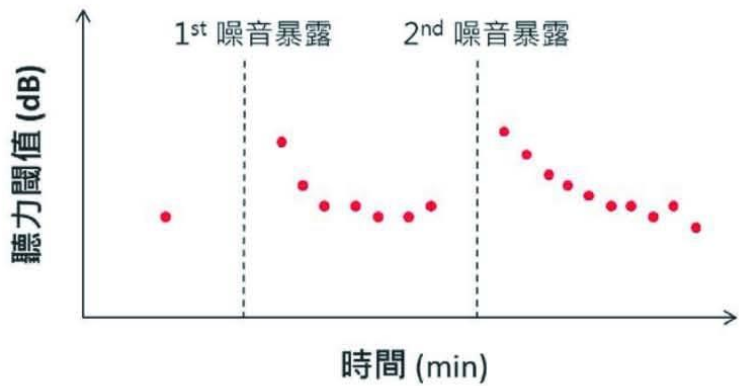
(一)聽力衰減(hearing loss)

當鯨豚曝露在高強度的噪音下，可能會導致聽力衰減(hearing loss)。聽力衰減可分為永久性或暫時性(PTS: permanent threshold shift, TTS: temporary threshold shift)。「永久性的聽力衰減」是一種生理上對於聽覺器官的長期傷害，可能使得鯨豚無法再利用聲納探測環境或無法與其他個體溝通聯繫而危害其生存。然而，當鯨豚動物接收到能量過強的聲音時，動物本身會先啟動自我保護的機制，使聽力閾值暫時上升，導致「暫時性聽力衰減」(圖二)，表一彙整各種鯨豚受噪音導致之聽力衰減結果。當鯨豚長時間的曝露在噪音源下，產生TTS的噪音量閾值也會降低[10]，[11]。雖然在減少動物暴露噪音的強度之後，聽力閾值將會隨著時間而回復正常範圍，但如果又使動物再次重複地曝露在高強度的噪音下，就可能使TTS回復正常的時間延長[12]，甚至轉變為PTS[13]。聽力閾值的上升將會使鯨豚的聲納搜尋範圍減少，進而降低其覓食效率；也可能會導致個體之間的溝通效率下降。



圖一、噪音在不同暴露強度下的各種影響層面

(資料來源：Richardson et al. 1995; Thompson et al. 2006; Erbe 2012)



圖二、暫時性聽力損傷示意圖(資料來源：自製)

表一、鯨豚暴露噪音後產生暫時性聽力衰減

實驗物種	噪音類型	噪音頻率 (kHz)	造成 TTS 噪音量	造成 TTS 暴露時間	恢復正常 聽力時間	結論與參考文獻
白鯨	單頻噪音	白: 3, 10, 20,	192-201 dB	1 秒	5-17 分鐘	極短的高強度噪音即會產生 TTS
瓶鼻海豚		瓶: 3, 10, 20, 75	(SPL, RMS)		4-18 分鐘	(Schlundt 2000)
瓶鼻海豚	單頻且連續性 噪音	3, 20	3kHz: 190dB (SEL) 20kHz: 181dB (SEL)	16 秒	缺乏資料	在動物聽力靈敏頻段，造成 TTS 之閾值較低 (Finneran & Schlundt 2010)
瓶鼻海豚	單頻且連續性 噪音	3	190 dB (SEL) 207 dB (SEL) 215 dB (SEL)	64 秒 32 秒 >32 秒	8 分鐘 8-16 分鐘 >32 分鐘	噪音暴露量越大，時間越短就造成 TTS，聽力恢復正常所需的時間也越長 (Finneran 2010a)
瓶鼻海豚	單頻且連續性 噪音	3	192 dB (SPL) 204dB (SEL)	16 秒*1 回合 16 秒*4 回合 64 秒*1 回合	20 分鐘 >30 分鐘 >30 分鐘	噪音暴露時間越長，恢復正常聽力的時間越長。即使中間有間隔休息亦相同 (Finneran 2010b)
江豚	密集的脈衝聲 (不同程度的 頻寬)	32, 64, 128	140-160 dB	1-30 分鐘 (1,3,10,30 分 鐘)	10~>100 分 5-20 分鐘 5-20 分鐘	聽力靈敏頻段中，噪音頻率越低頻造成的 TTS 越嚴重(Popov 2011)

SPL: Sound pressure level (dB re 1 μ Pa); RMS: root mean square; SEL: Sound Exposure Level (dB re 1 μ Pa²-s)

資料來源：自行彙整



(二)行為反應(responsiveness)

當噪音強度未對鯨豚造成聽力上的傷害，仍可能會騷擾鯨豚使其中斷原本的行為或減少特定行為的次數，是為行為反應，其影響範圍可能達數十公里遠[14]，[15]。鯨豚可能會因為遷移去找尋更安靜的棲息地而改變其棲地範圍，使噪音影響範圍的鯨豚密度降低，造成棲地位移(habitat displacement)的效應[16]。棲地位移效應一旦發生在鯨豚的重要覓食或是育幼海域，對鯨豚生態則造成顯著的影響。此外，也須注意這種效應是否阻斷鯨豚在棲地之間的廊道移動。由於不同種類、不同個體對於噪音的行為反應有所差異，尤其不同族群暫時遷離棲地的時間長短差異性極大，表二彙整各種鯨豚因受噪音干擾或騷擾而造成之行為反應。過去研究案例發現在打樁期間，香港海域的中華白海豚會以幾近兩倍的速度移動。雖然統計上沒有顯著差異，但當地工程的長期監測仍發現白海豚出現的數量在打樁工程期間相較打樁前及完工後略少[17]。

表二、噪音導致鯨豚行為改變或棲地位移

物種/地點	噪音來源	噪音音壓 (dB re 1 µPa)	影響	參考文獻
港灣鼠海豚 /丹麥	離岸風機建設 (Horns Rev I)	191 dB at 230 m (RL, p-p)	施工期間 (一年)在施工地點 15 公里內的海豚族群密度顯著的降低，其密度小於建設前；觀察到海豚行為從覓食改變成有方向性的移動旅行	Tougaard et al. 2003, 2005, 2009
港灣鼠海豚 /丹麥	離岸風機運轉 (Nysted)	最大 126 dB at 83 m 180 Hz	長時間 (2001-2012 年)的影響結果為負面的，港灣鼠海豚的聲音活動顯著地比建設前少，而運轉時期只有稍微回復到建設前期的 11-29%	Teilmann et al. 2012
中華白海豚 /香港	水底打樁	162-170 dB at 250 m (RL, RMS)	在施工期間 (一年五個月)海豚泳速變快，當地海豚數量下降，施工完後其數量逐漸回復	Würsig et al. 2000
灰鯨/墨西哥	挖泥和船隻噪音	缺乏資料	當噪音產生後當地的族群數量下降，第 8 年後鯨魚全部離開此重要的哺育棲地，在噪音活動源停止後的第 7 年，灰鯨重新回到此海灣	Bryant et al. 1984
港灣鼠海豚 /丹麥	離岸風機建設 (Horns Rev II)	缺乏資料	打樁建設後的 24-72 小時，鼠海豚的聲音活動顯著地下降，影響的範圍有 22 公里遠	Brandt et al. 2009, 2011
港灣鼠海豚 /丹麥	離岸風機運轉 (Horns Rev I)	缺乏資料	運轉時期的鼠海豚聲音活動增加，推測鼠海豚可能於此時期回到風場位置，使得族群密度增加	Tougaard et al. 2006
港灣鼠海豚 /荷蘭	離岸風機運轉 (Egmond aan Zee)	缺乏資料	運轉時期的鼠海豚聲音活動較建設前期多，推測有較多的鼠海豚進入此風場，造成當地族群密度增加	Scheidat et al. 2011

RL: received level; SL: Source level; p-p: peak to peak; RMS: root mean square

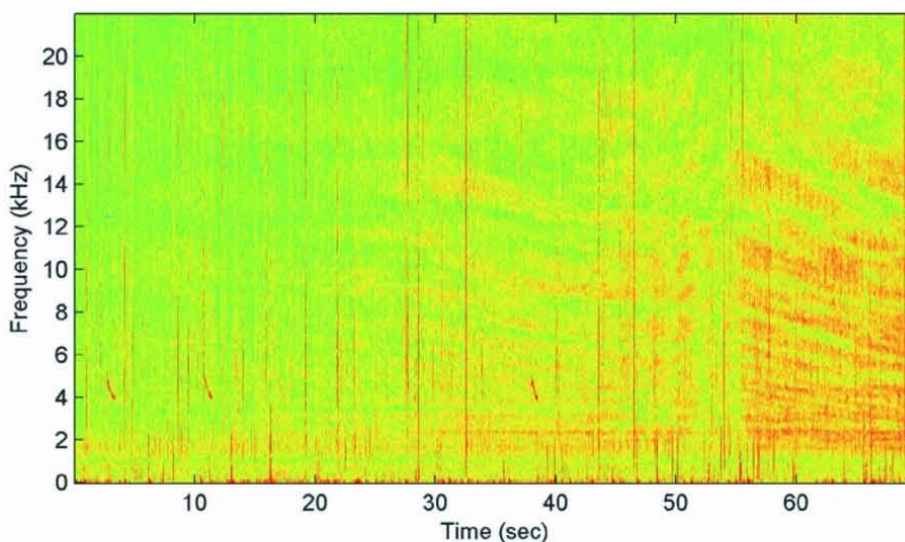
資料來源：自行彙整

(三)遮蓋效應(masking effect)

當人為製造之噪音在特定頻率範圍中的音量高於鯨豚在環境中會聽到的聲音(鯨豚之間溝通或回聲定位的聲音、捕食的魚類聲音、掠食者聲音)，此現象稱為遮蓋效應。遮蓋效應發生時，會導致鯨豚偵測到該聲音訊號的機率降低(圖三)。一旦發生遮蓋效應，可能會影響鯨豚溝通，使鯨豚交配機會下降，甚至降低對環境的探查能力及偵測鯨豚的食餌和掠食者聲音的能力，因此鯨豚就需要耗費更多能量發出更高強度、長度更長的聲音，導致其適性降低。針對澳洲海域的白海豚研究顯示，當有船隻接近時，白海豚母子對會增加其叫聲次數。這種行為反應可能是因為船隻噪音遮蓋了原本母子對的聲音，使母子對要耗費能量發出更多的叫聲次數來達到聲音接觸的效果[18]。

(四)可察覺(audibility)

在可察覺噪音的狀況下，不同個體之間對於噪音的忍耐力具有差異，有些個體可能較不容易產生行為反應。此外同一個體在不同的行為狀態對於噪音的騷擾容忍度也有所變化。但長期的噪音暴露可能會導致生理上的慢性反應，如心跳及呼吸速率、敏銳度、免疫反應等[5]。雖然在海洋哺乳動物中的相關研究仍缺乏，但在陸域動物的研究中已證明噪音的長期生理影響，學界也認為水下噪音是海洋哺乳動物長期生理影響的因子之一[19]，[20]。目前唯一的研究論文也顯示當低頻噪音量降低6dB時，露脊鯨的糖皮質素(glucocorticoid)顯著下降，顯示長期的噪音暴露的確增加了鯨豚的長期生理壓力[21]。



圖三、白海豚哨叫聲(0-40sec)受船隻噪音(40sec之後)遮蓋之情形
(資料來源：自製)

④、離岸風場影響沿岸鯨豚類之實際案例

目前針對離岸風場開發影響沿岸鯨豚類之研究探討以北海海域最多，此海域的鯨豚以港灣鼠海豚最主要物種，其居住的淺海棲地和中華白海豚的棲地特徵相似，但港灣鼠海豚棲息海域較深(水深20-60公尺)。以下介紹離岸風場對港灣鼠海豚族群的影響：

(一)打樁時期

打樁時期由於巨量噪音、以及大量工程船隻的交通，其棲地受到人為干擾程度較大。下列透過水下聲學長期監測的研究結果皆顯示，打樁時期的海豚活動頻度較低，海豚會暫時離開原棲地。

1. Carstensen et al. [22]於丹麥Nysted離岸風場設置水下被動式錄音監測裝置T-POD監測港灣鼠海豚的活動。比較打樁建設前與打樁建設時鼠海豚的活動，建設時期鼠海豚的出沒間隔從6-23小時增加到1-8天，而且影響範圍遠至距離建設區域15公里之外。
2. 丹麥的Horns Rev I離岸風場從基礎時期到建設時期，鼠海豚出沒的間隔時間從小於1小時增加到超過4小時[23]，顯示當地鼠海豚分布密度降低，且打樁的影響範圍大於20公里。此外，鼠海豚的行為由和覓食有關的複雜移動方向變成有方向性的移動旅行[14]，[15]。
3. 英國Beatrice離岸風場(2支示範型離岸風機)，建設打樁後的鼠海豚出沒的時間間隔變長[24]。

(二)運轉時期

運轉時期對鯨豚的影響因不同地區的研究結果而異，此時期的風機運轉噪音頻率較低，音量較小，立即性的噪音影響不若打樁噪音顯著。然而，運轉噪音的時間長度極長，將會大幅改變風場海域的聲境，對生態環境的間接影響可能更深。此外，運轉時期的鯨豚活動也受到當地海域的管理政策影響，因此離岸風場開發後對鯨豚生態的正負面影響皆可見於過去的實際案例。

1. 丹麥的Horns Rev I離岸風場，打樁後到實際運轉之間有較多維護風機的船隻來往，鼠海豚的活動在這段時期最低。而進入正式運轉時期後，鼠海豚的活動頻度增加，與建設前相比，活動頻度更高，顯示鼠海豚族群密度在營運期間可能增加 [15]。

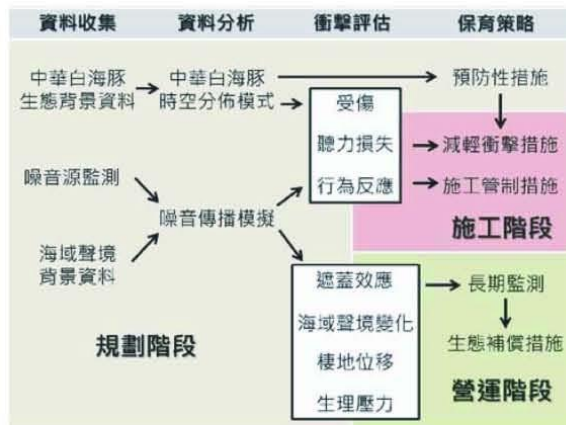


2. 荷蘭的Egmond aan Zee離岸風場運轉期的鼠海豚活動頻度較建設前高，且風場位置區域內偵測到鼠海豚的機率較風場外的參考區域高[25]。但此風場在運轉時期劃設成禁漁區，配合風機的造礁效應，可能造成食餌魚類數量增加，進而提升鼠海豚的族群密度。
3. 丹麥的Nysted離岸風場，在建設完成後，根據長時間(2001-2012年)的監測結果顯示營運期間的港灣鼠海豚活動頻度顯著地比建設前低，雖然有漸漸回復的趨勢，但活動頻度仍僅達到建設前的11-29%[26]。

五、減輕衝擊策略之研擬方向

根據衝擊面向分析的探討，以及參考目前離岸風機影響沿岸鯨豚類的實際案例，可以發現離岸風場開發的噪音影響層面廣泛，打樁時的影響範圍也相當大，可達數十公里，且目前對於沿岸鯨豚族群的長期影響並無定論。離岸風場開發為本國再生能源重要政策，但其對於海域生態的衝擊仍屬未知，尤其現有資料仍無法確認風場開發對中華白海豚造成的確切影響程度。有鑑於此，開發單位在選址、開發與營運期間造成之影響須進行仔細評估，並遵循預警原則，採取最嚴謹且完善的減輕措施來降低生態衝擊，不足之處則再以生態補償方式彌補，以在環境評估過程中取得開發許可。

減輕措施的方向則可分為預防性措施、減輕衝擊措施以及施工管制措施等三大方向進行研擬，擬定生態補償的方案則需要長期監測來提供決策資料(圖四)。



圖四、離岸風場開發噪音影響評估及保育策略研擬之流程架構

(資料來源：自製)

(一) 預防性措施

在離岸風場的選址方面，須依據中華白海豚分布梯度進行評估，以減少開發影響範圍和中華白海豚活動敏感區域之重疊程度。中華白海豚的分布梯度在目前已知主要受到水深、離岸距離、離河口距離的影響。以水深而言，白海豚主要活動於15公尺水深以淺之沿海，但在台灣西岸各地則因不同地形而有不同的離岸分布模式[27]。這類型的基線資料將可協助業者評估在環境評估過程中對中華白海豚生態議題的投入成本。此外，透過中華白海豚個體活動範圍之紀錄、群體不同行為的分布也可以了解白海豚對各海域的活動偏好以及棲地利用模式，針對覓食、社交活動頻繁出現的敏感棲地，業者在開發過程中需考量航運交通、海纜路徑、噪音影響範圍是否與此敏感區重疊，並選擇適當的工法以避免對敏感區位的影響。如果工法上僅能採用打樁，須考量到打樁噪音的行為影響範圍通常可達數十公里遠，將難以避免對敏感區位之衝擊。針對此問題，可在開發前先行利用水下聲學監測掌握開發範圍內中華白海豚的長時間活動模式。透過非線性的統計方法建立白海豚的活動預測模式，將可做為規劃打樁施工期程的參考依據。



(二)減輕衝擊措施

減輕噪音強度可以大幅降低離岸風場開發對中華白海豚的影響範圍，減噪的方式包括減小音源、增加噪音在傳遞過程中的能量衰減、音量漸進增強等方式進行。如果可能，盡量選擇較細的基樁(可以採用多支基座)以減小打樁所需力道。對高強度的打樁噪音，可以設置水下氣泡幕以減少噪音傳播至中華白海豚棲地的能量。過去案例顯示當距離打樁設施達250公尺時，水下氣泡幕可以降低全頻段的噪音音量3-5dB，針對400-6400 Hz頻率範圍的打樁噪音量則可以降低10-20dB [17]，此頻率範圍恰好涵蓋中華白海豚部份的哨叫聲頻率範圍，減少遮蓋效應的影響範圍。此外基樁施工如使用打樁方式，可由低力道慢慢漸進到全力道的打樁，讓鯨豚有機會在剛開始打樁時得到警告而遠離噪音源，以避免受到直接的傷害。

施工期間，工程船隻的交通量會顯著增加，在已知的中華白海豚活動範圍內，工程船隻可控制其航速，以降低其噪音量並避免以過快速度衝撞白海豚、或破壞其結群模式。

(三)施工管制措施

當施工發出高強度噪音時，必須規劃安全區與安全時段，避免中華白海豚受到無可逆轉的生理傷害。有關安全區的劃設規範，目前僅美國有明確規範：美國國家海洋漁業局規範當開發單位在打樁工程進行時，以噪音強度降至180dB re 1 μ Pa(RMS)之距離為半徑劃定為『警戒區』。當『警戒區』內有鯨豚出現時，需立即停止製造噪音之打樁工程。另外以衝擊性的打樁噪音強度降至160dB re 1 μ Pa(RMS)或非衝擊且持續性之噪音(如船隻噪音)強度降至120dB re 1 μ Pa(RMS)之半徑為距離劃定為『監測區』，透過專職訓練的海洋哺乳動物觀察員並搭配水下聲學監測系統來監測區內鯨豚的出現與移動路徑，了解其是否朝警戒區移動。

由於目前無法確認離岸風場開發對中華白海豚族群之長期影響，因此難以提出生態補償之方案。但離岸風場在開發及營運期間可依據BACI(Before, After, Control, Impact)原則在開發前、中、後於選定場址及場址周圍的參考區域進行海上調查以及水下聲學監測(可以補足天候及人為觀察的誤差)，來蒐集中華白海豚族群生態與棲地生態系的細部資料。水下聲學監測方法，除了可以利用自動化鯨豚聲音偵測器長期分析白海豚活動的變化趨勢[28]，[29]，也可收錄到當地魚類叫聲以及人為活動噪音，將能夠做為比對離岸風場開發前後之環境生態差異的重要依據。

根據目前離岸風場影響沿岸鯨豚類的實際案例，營運期間對鯨豚長期的正面影響仰賴相關漁業、海洋保護政策的配合才能達成。開發單位倘能透過與漁民合作，在部分風場範圍建置定置漁業、透過魚苗放流、長期魚類生態監測維護風場範圍內之海洋漁業資源；與政府部門合作搭配禁止刺網、拖網漁業，鼓勵休閒漁業等政策，將有助於提升風場開發對中華白海豚生態之長期正面影響，而達到生態永續之願景。

參考資料

- [1] J. Y. Wang, S. C. Yang, S. K. Hung, and T. A. Jefferson, "Distribution, abundance and conservation status of the eastern Taiwan Strait population of Indo-Pacific humpback dolphins, *Sousa chinensis*," *Mammalia*, vol. 71, pp. 157165, 2007.
- [2] J. Y. Wang, S. C. Yang, P. F. Fruet, F. G. Daura-Jorge, and E. R. Secchi, "Mark-recapture analysis of the critically endangered Eastern Taiwan Strait population of Indo-Pacific humpback dolphins (*Sousa chinensis*): implications for conservation," *Bulletin of Marine Science*, vol. 88, pp. 885902, 2012.
- [3] P. S. Ross, S. Z. Dungan, S. K. Hung, T. A. Jefferson, C. Macfarquhar, W. F. Perrin, K. N. Riehl, E. Slooten, J. Tsai, J. Y. Wang, B. N. White, B. Würsig, S. C. Yang, and R. R. Reeves, "Averting the baiji syndrome: conserving habitat for critically endangered dolphins in Eastern Taiwan Strait," *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 20, pp. 685694, 2010.



- [4] B. L. Southall, A. E. Bowles, W. T. Ellison, J. J. Finneran, R. L. Gentry, C. R. Green Jr., D. Kastak, D. R. Ketten, J. H. Miller, P. E. Nachtigall, W. J. Richardson, J. A. Thomas, and P. L. Tyack, "Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations," *Aquatic mammals*, vol. 4. 2007.
- [5] C. Erbe, "Effects of Underwater Noise on Marine Mammals," in *The Effects of Noise on Aquatic Life*, vol. 730, A. N. Popper and A. Hawkins, Eds. New York, NY: Springer New York, pp. 1722, 2012.
- [6] S. Li, D. Wang, K. Wang, E. A. Taylor, E. Cros, W. Shi, Z. Wang, L. Fang, Y. Chen, and F. Kong, "Evoked-potential audiogram of an Indo-Pacific humpback dolphin (*Sousa chinensis*)," *Journal of Experimental Biology*, vol. 215, pp. 30553063, 2012.
- [7] 林子皓, "應用被動式聲學監測台灣西海岸中華白海豚行為生態與棲地利用", 博士論文, 國立台灣大學, 台北, 150頁, 2013。
- [8] W. J. Richardson, C. R. Greene, C. I. Malme, and D. H. Thompson, "Marine mammals and noise," Academic Press, San Diego, 1995.
- [9] F. Thomsen, K. Lüdemann, R. Kafemann, and W. Piper, "Effects of offshore wind farm noise on marine mammals and fish, biota," Hamburg, Germany on behalf of COWRIE Ltd, 2006.
- [10] P. E. Nachtigall, J. L. Pawloski, and W. W. L. Au, "Temporary threshold shifts and recovery following noise exposure in the Atlantic bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*)," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 113, pp. 34253429, 2003.
- [11] T. A. Mooney, P. E. Nachtigall, and S. Vlachos, "Sonar-induced temporary hearing loss in dolphins," *Biology Letters*, vol. 5, pp. 565567, 2009.
- [12] V. V. Popov, A. Y. Supin, D. Wang, K. Wang, L. Dong, and S. Wang, "Noise-induced temporary threshold shift and recovery in Yangtze finless porpoises *Neophocaena phocaenoides asiaeorientalis*," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 130, pp. 574584, 2011.
- [13] L. S. Weilgart, "The impacts of anthropogenic ocean noise on cetaceans and implications for management," *Canadian Journal of Zoology*, vol. 85, pp. 10911116, 2007.
- [14] J. Tougaard, J. Carstensen, O. D. Henriksen, H. Skov, and J. Teilmann "Short-term effects of the construction of wind turbines on harbour porpoises at Horns Reef." Technical report to Techwise A/S, HME/36202662. Hedeselskabet, Roskilde, 2003.
- [15] J. Tougaard, J. Carstensen, N. Bech Ilsted, and J. Teilmann. "Final report on the effect of Nysted Offshore Wind Farm on harbour porpoises." Roskilde, Denmark: National Environmental Research Institute, 2006.
- [16] M. L. Jones, S. L. Swartz, and M. E. Dahlheim "Census of gray whale abundance in San Ignacio Lagoon: a follow-up study in response to low whale counts recorded during an acoustic playback study of noise effects on gray whales." Rep. No. NTIS PB94195062 to the US Maine Mammal Commission, Washington, D.C., 1994.
- [17] B. Würsig, C. R. Greene, and T. A. Jefferson, "Development of an air bubble curtain to reduce underwater noise of percussive piling," *Marine Environmental Research*, vol. 49, pp. 7993, 2000.
- [18] S. M. Van Parijs and P. J. Corkeron, "Boat traffic affects the acoustic behaviour of Pacific humpback dolphins, *Sousa chinensis*," *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, vol. 81, pp. 533538, 2001.
- [19] A. J. Wright, N. A. Soto, A. L. Baldwin, M. Bateson, C. M. Beale, C. Clark, T. Deak, E. F. Edwards, A. Fernández, and A. Godinho, "Do marine mammals experience stress related to anthropogenic noise?," *International Journal of Comparative Psychology*, vol. 20, 2007.
- [20] A. J. Wright, T. Deak, and E. C. M. Parsons, "Size matters: Management of stress responses and chronic stress in beaked whales and other marine mammals may require larger exclusion zones," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 63, pp. 59, 2011.



- [21] R. M. Rolland, S. E. Parks, K. E. Hunt, M. Castellote, P. J. Corkeron, D. P. Nowacek, S. K. Wasser, and S. D. Kraus, "Evidence that ship noise increases stress in right whales," *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 279, pp. 23632368, 2012.
- [22] J. Carstensen, O. D. Henriksen, and J. Teilmann, "Impacts of offshore wind farm construction on harbour porpoises: acoustic monitoring of echo-location activity using porpoise detectors (T-PODs)," *Marine Ecology-Progress Series*, vol. 321, pp. 295308, 2006.
- [23] J. Tougaard, J. Carstensen, J. Teilmann, H. Skov, and P. Rasmussen, "Pile driving zone of responsiveness extends beyond 20 km for harbor porpoises (*Phocoena phocoena* (L.)), " *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 126, pp. 1114, 2009.
- [24] P. M. Thompson, D. Lusseau, T. Barton, D. Simmons, J. Rusin, and H. Bailey, "Assessing the responses of coastal cetaceans to the construction of offshore wind turbines," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 60, pp. 12001208, 2010.
- [25] M. Scheidat, J. Tougaard, S. Brasseur, J. Carstensen, T. van P. Petel, J. Teilmann, and P. Reijnders, "Harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) and wind farms: a case study in the Dutch North Sea," *Environmental Research Letters*, vol. 6, pp. 110, 2011.
- [26] J. Teilmann and J. Carstensen, "Negative long term effects on harbour porpoises from a large scale offshore wind farm in the Balticevidence of slow recovery," *Environmental Research Letters*, vol. 7, pp. 110, 2012.
- [27] 周蓮香, 李政諦, 李培芬, 高家俊, 邵廣昭, 莊慶達, 陳孟仙, 陳琪芳, 魏瑞昌, 楊璋誠, 蔡惠卿。 "中華白海豚族群生態、重要棲息環境及保護區方案規劃", 行政院農委會林務局委託研究計畫報告, 台北, 202頁, 2011。
- [28] T.-H. Lin, T. Akamatsu, and L.-S. Chou, "Tidal influences on the habitat use of Indo-Pacific humpback dolphins in an estuary," *Marine Biology*, vol. 160, pp. 13531363, 2013.
- [29] T.-H. Lin, L.-S. Chou, T. Akamatsu, H.-C. Chan, and C.-F. Chen, "An automatic detection algorithm for extracting the representative frequency of cetacean tonal sounds," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 134, pp. 24772485, 2013.

