

常來說影響範圍應低於 0.2%，應屬影響輕微，然而海床之機樁座及其保護設施，使其原先空曠的海域突然增加水中底棲生物及藻類生存的附著面及空間，其作用與人工魚礁相似。國外文獻報導丹麥 Horm's Rev OFW 自 2003 年即開始監測其風機機塔、基座、及基座保護設施之表面聚集海中生物的效果(Colonisation of foundation and associated structure)，第一次監測即發現機塔表面附著約 16 種海藻種群(taxa of seaweeds)聚集於機塔表面，總共約 65 種無脊底棲動物種群(invertebrate taxa)聚集於機座及其附屬保護設施之表面，水下機塔、基座及其附屬設施聚集水下生物效果非常明顯。基於以上說明機樁密度對水環境的確有正面及負面影響，大體來說及正面影響應高於其損失原鬆軟的海床的影響。

由於離岸風機在國內是新的能源開發政策，水下噪音及振動、電磁場對魚類的影響，過去國內幾乎無人研究。目前只能根據國外已有的經驗及相關的研究結果來作評估。根據國外已有的研究結果，已知離岸風機只有在施工打樁時的強烈音波對魚類有顯著的影響。而運轉時的噪音遠遠較打樁的工程噪音弱，只有在人工蓄養池內的試驗，因為魚類不能逃離又長期的暴露下才有影響(如虱目魚)。總之，離岸風機運轉的低頻噪音對魚類生理影響的研究並不多。既使有影響，推測也只會對若干聽的到的魚種有影響。其生物所需要的安全距離要有多遠，端視不同種類而異。風機完工運轉產生的低頻噪音，其音頻可能是 100-200Hz，而近距離內最大音壓也不會超過 140 分貝。除非處於發電機極近的距離內，生物才有可能聽見。但由於不同的魚種的聽覺曲線不同，故影響的程度也隨不同種類而異。由於國外已運轉多年的風機的基座附近有明顯的聚魚效果，因此推測風機運轉的噪音應對魚類沒有什麼影響。但是仍需未來持續的追蹤調查來證實。

目前台灣只有少數幾種本土海水魚種有聽覺曲線的資料，而在台灣西部海域的重要經濟魚種至少也有三、四十種以上。而聽覺曲線的測量必須要有足夠數量的活魚才能進行，因此這部分的調查研究尚待進行。今年 5 月起能源局已委請科技部開始進行相關研究。目前海大海生所及中研院細個所正在合作，剛設置並測試完成一套 ABR (Auditory Brainstem Response) 的儀器，可以開始蒐集風場附近主要魚種的活魚樣本來進行不同魚種聽力曲線的繪製及量測，在室內模擬打樁及營運時所產生的噪音對魚類的生理及內分泌的影響也會開始進行，但至少需等半年或一年的時間才會得到一些初步的結果。

至於電磁場對魚類的影響則應屬輕微，觀諸世界各國之研究，並無法得出「非游離性」電磁波（尤其是微波頻段）會危害人體的結論。風機的輸配電力的海纜如果外皮的包覆層的材料及屏蔽效果均佳且又埋在海床下時，基本上是可以阻絕或減少電磁波的釋放到水中。根據國外對已經營運的風機的調查研究報告結果並沒有發現電磁波會對周遭海洋生物有什麼明顯的影響，例如，尼斯泰茲(丹麥)的風力發電場的環境影響研究中指出，完善的電纜設計可以避免電磁波對當地魚類等生物遷徙行為的影響(review in Petersen & Malm 2006)。也因此這方面的研究在國外並沒有更多研究的投入。電磁波所產生的熱量均非常的低，既使會釋入海中也很快被海水所降溫，故對海洋生物及生態並不會造成任何影響。

根據國外離岸風機設置案例經驗，本計畫開發對於海域生態環境的影響不盡然是負面影響，施工期間雖然會對區域環境會產生短期的衝擊，但營運後由於廠區範圍內已完成漁業權之補償，且網具漁業之施作不便，可以減少此區之漁獲量，而得到類似限漁或保護區的復育魚源的效果，再加上風機之底層及風機本身之結構能發揮聚魚效應，反而使得海域生態資源或海洋生物多樣性的物種會更加豐富，因此離岸風力開發究竟對於海域生態的綜合影響是正面或負面目前尚無定論。以下就本計畫對海域生態之影響進行評估分析說明。

一、施工期間綜合評估

風機機組基座及輸電線路的施工對海洋生態的影響主要包括打樁所產生的噪音、改變棲地環境及懸浮物擴散等三個方面。打樁時所產生的噪音或震波因音壓強，必定會對近距離範圍內的海洋生物造成影響或傷害。會游泳及爬行的海洋生物則會有逃離的行為，如果逃避不及，也有可能造成傷害，甚至死亡。本計畫場址均為沙泥底的環境，魚類多半為洄游性，不若岩礁棲性魚類是以定棲性的為主，故影響較小。且不論是生活在中表層或是底棲性的生物都會在打樁時逃離到一段距離之外。施工完畢後再游回來。在海床表面移動速度較慢的大型無脊椎動物，如棘皮動物或蝦蟹類，以及生活在底床下的底棲動物則可能影響較大。

打樁必定會改變或破壞原來海床的地形地貌及底質，所影響的面積與整體發電風場海域範圍來比較是相對地很小，對於浮游動植物及中表層的游泳生物(nekton)影響程度輕微。對底棲生物而言，沙泥棲性軟底質海床的生物會離開施工中所影響或改變底質的地點，到可能離風機基座5到10公尺以外的範圍。另外打樁時在極小範圍內的沙泥或懸浮物會被揚起，而增加局部範圍內海水的濁度。在隨著海流的擴散在短時間內即可恢復正常。這些懸浮物質的濃度也不會太高或持久，故對於海洋生態的影響應可予以忽略。施工打樁的位置為一個點，噪音及震波的影響應遠大於所揚起的塵沙的影響。海纜的鋪橫跨深淺海區域，為有適當保護，本計畫採取適度埋纜的方式來佈設。佈設時會擾動海纜行經路線的海床，但本計畫海纜路徑均為沙泥底質，故海床生態應很快會復原。依據過去全球海纜鋪設的經驗已知其影響均屬輕微，也很快會恢復原狀。其次是上述的擾動僅發生於施工期間特定的時程，相較於作業頻繁的底拖網或掘網漁法對海床生態的破壞實難以相提並論。

二、營運期間綜合評估

營運階段結構表面可能會開始有許多附著生物的生長，進而產生聚魚及培育資源，增加生物多樣性的正面效果。換言之，原本是沙泥地的生態系或棲地會局部改變為岩礁性的生態系，使棲地的多樣性增加，因此棲地的改變應屬有利。風機在營運期間對海洋生物或生態造成負面影響，唯一較受到關切的可能是風機運轉時所產生的低頻噪音。但目前在這方面的研究甚少，只有歐美地區已經設置的離岸風機或風場有做過一些基礎魚類生理或現場監測的研究報告可供參考。只是目前大多是針對鯨豚、海龜和極少數經濟性的魚類有一些研究，其他海洋生物的研究則甚少。

有關營運風機噪音對水下生物之影響，目前初步結果為利用瑞典的離岸風力發電廠的水下錄音檔案來模擬未來的風力發電機組運轉噪音，發現長期的噪音雖可能造成魚類的緊迫，但是必須暴露在相當程度的音壓時才會發生。例如，虱目魚必須在相當於離機組1m之內的相對音壓才會導致血漿皮質醇(cortisol)濃度，與負責皮質醇合成的基因(11 β -羥化酶; cyp11b1)的表現量上升。對於大鱗鰻而言，雖然長期處於運轉噪音環境中，胰島素生長因子(igf1)基因表現量有所下降。但是，若是短期暴露在如此強度的音壓下，無法造成血漿皮質醇含量的差異。根據前述實證及學理上的推論，風機運轉噪音雖有可能引起魚類的緊迫甚至死亡，但是目前的研究無肯定的結論。

電磁波方面，參考國外相關研究調查，風場電纜所產生之電磁場並不會對海豚有任何影響。

7.2.3 漁業資源

一、施工期間綜合評估

(一) 對魚類的影響

施工期打樁的音波對魚類影響研究尚少，如超過魚類聽覺閾值則會有明顯之逃離反應，如鮭、鱒在 2 及 0.6-2.5 公里半徑內。但大多數的資料都是溫帶的物種，熱帶及亞熱帶的種類甚多，均尚未作研究。除成魚外，不同生活史時期，體長大小和不同種類間也會有差異。據推測由於仔稚魚游泳力弱，無逃避能力，故所受到的衝擊會較成魚大。許多底棲魚類如舌鰓科因缺乏泳鰾或退化，故對音壓的敏感性較中表水層洄游性魚類低，但對懸浮物之影響則相同。施工期間的打樁對魚類有驅離效應，但在施工完畢後，魚類大多就會回到風場內。至於究竟有哪些魚類會在風場的海域附近繁殖產卵？根據本研究調查利用 DNA 鑑定與魚卵和仔稚魚種類組成的初步成果來看，本風場在春季二月有白腹鯖以及藍圓鯪為產卵期，仔稚魚則為日本鯪；夏季六月魚卵及仔稚魚主要均為圓花鯪；秋季八月的魚卵主要是紅尾圓鯪及大甲鯪等，仔稚魚為秋姑及雀鯛較多；冬季 11 月的魚卵以黃金鰱及黃鰱棘鯛為最優勢，仔稚魚則為台灣棘鰱。當地的石首魚類如黃金鰱或及叫姑魚，也發現有魚卵和仔稚魚。雙線舌鰓、鯛科及比目魚類對聲音的敏感度也較低，推測所受到的影響也可能較少。

由刺網問卷的資料推斷彰化沿岸海域可能是舌鰓科、石首魚科及石鱸科為主要的經濟魚類在台灣西岸廣大的哺育場之一，根據過去 2003 年漁業署委託中山大學對台灣主要河川河口沿岸海域石首魚分布之研究，西部海域之石首魚種類及資源量均甚多，其生殖季多半在春至夏季。但因石首魚生殖時有發聲之行為，因此漁民利用聲響捕魚法，將正在產卵的親魚很快的即捕撈殆盡，目前的體型大、經濟價值高的石首魚資源量已式微，特別是日本銀身魚或、鮫魚、黃金鰱魚或、大黃魚等，而以叫姑魚屬或白姑魚屬等體型較小的魚種數量較多，這些魚的經濟價值較低，至於這些魚種確實之產卵場及產卵季目前仍無詳細之調查資料，只知整個台灣西海岸主要河川之外海均有成魚及稚魚或幼魚之分布，並非只集中在彰化濁水溪口或離岸風機場址之位置而已，因此未來在施工及營運應不致於對這些魚種造成太大的影響。至於被 IUCN 列為「易危(Vulnerable, VU)」的南方龍紋鰱，此魚種活動範圍從拂浪區到 30 公尺水深左右，游泳能力與活動力不強，屬底棲性軟骨魚，以沙泥底之蝦、蟹、貝、小型魚類為食，但對於此魚種的生活史與研究資料付之闕如，因此，施工對於此魚種的影響目前並不清楚，但未來海上風機設立下也許能因捕撈不便而間接保護南方龍紋鰱的族群數量。

(二) 對漁業各漁法的影響

根據調查目前風場海域主要是利用刺網、底拖網與一支釣作業方式獲得海域資源，以下就各漁法個別分析討論漁業可能的影響：

1. 刺網漁業(含浮刺網與底刺網)：此海域幾乎沒有浮刺網作業，也沒有底刺網作業(大陸漁船除外)，海上風機施工期間的施工船舶進出對彰化漁場海域的影響，主要為工作船活動區域會阻礙漁船、筏的海上航行，尤其是入漁期的刺網作業船筏，目前規劃的風場海域與漁民的傳統作業漁場完全不重疊，只在施工期間的工作船與漁民的海上作業船隻有碰撞的風險，為使將來離岸風場設置工作的順利進行，施工期間將透過漁會公布工作

船航行區，以使作業漁船和工作船維持一定的安全距離。

2. 底拖漁業(含單拖網與雙拖網)：此海域位於彰化唯一有底拖漁業的塹仔港距離約 32~40 海浬，航程約 3~4 個小時，本風場與底拖作業漁場不重疊，施工期間將透過漁會公布工作船航行區，以使作業漁船和工作船維持一定的安全距離。
3. 一支釣漁業：風場位於極外海，距王功港約 27~35 海浬，非一支釣休閒漁業的釣場。施工期間將透過漁會公布工作船航行區，以使作業漁船和工作船維持一定的安全距離。
4. 其他漁業(含地曳網、石滬、流袋網與待袋網)：此作業區皆位於潮間帶，所以風機的設立並不影響彰化其他漁業的作業。

綜上所述，本計畫風場海域與漁民的傳統作業漁場完全不重疊，主要影響為施工期施工船舶進出彰化漁場海域，可能會阻礙漁船、筏的海上航行，尤其是入漁期的刺網作業船筏，亦可能與漁民的海上作業船隻有碰撞的風險，為使將來離岸風場設置工作的順利進行，施工期間將透過漁會公布工作船航行區，以使作業漁船和工作船維持一定的安全距離。

此外，風機基座及連接基座之電線電纜等施工作業，將造成施工噪音、水體混濁、以及海床破壞等負面影響，這些影響將促使魚群逃避施工區域。依據國外經驗(North Houle 風場)，魚群離開施工現場是短暫現象，對魚獲量影響程度有限，皆在自然季節變化的範圍內，因此認為影響應屬輕微。

二、營運期間綜合評估

(一) 對魚類的影響

1. 噪音震動

風力發電機組運轉時的噪音與震動和葉片設計、風機的構型與基座設計有關。以瑞典的離岸風場為例，一般而言，其主要噪音頻率為 600Hz 以下的寬頻噪音，以及 100-200Hz 共振。但隨著風機轉速的增加，接近 200Hz 的噪音會逐步增強，並突顯在背景噪音之上。過去該區域的研究報告曾提及，雖然風機施工時的打樁噪音會明顯影響當地魚類在近距離內的游泳行為，但是在相同音頻區間內的運轉噪音並不會造成魚類在行為與分布上的差異。此外，魚類可以聽到音波的距離或範圍隨不同魚種有不同聽覺曲線而有很大的差異，從聽不到至數十公里不等。利用養殖池進行風機噪音對魚類生理和內分泌影響的模擬試驗，發現長期的噪音雖可能會造成無法逃離魚類的緊迫，但是必須暴露在相當大的音壓的情況下才會發生。目前已知離岸風機運轉的噪音的音壓並不高，且會隨著距離衰減。故對魚類的影響較小。但由於日前缺乏本地魚類的聽覺曲線的資料(庫)，以及噪音對不同魚種生理或內分泌影響的生物參數資料(如閔域或荷爾蒙分泌或成長速度等)，也缺少風機實際在施工時打樁，或風機設置完成及運轉後，各項實地的音壓、音頻的檢測，以及當下魚類群聚組成，游泳行為及族群量大小等項目的監測，來做進一步之分析與驗證。因此目前的科學研究尚不足以論斷風機運轉的噪音對魚類究竟有多少影響。至少由目前歐洲已完成並運轉中的離岸風場的監測或研究資料來看，尚未見風機噪音對魚類有顯著衝擊的報告。

2. 電磁場

風場所產生的電磁場(EMF)可能可以經由輸電網絡傳送上岸，會影響電磁的因子很多，如電壓、電流、電纜之設計、海水鹽度等。一條交流(AC)

之電纜之電磁場大概只有幾十公尺，而直流(DC)電纜之電磁場只有 0.5 公尺。若干海洋生物本身也會產生電磁場，這些對電磁場敏感的魚類、洄游的鯨豚、海龜可能可感受到的距離就更遠，故也有可能會改變其行為及洄游路徑。魚類中較敏感的應是軟骨魚類的鯊、魷及電鰻等會發電的魚，牠們利用電磁場來定位及覓食。有研究指出這些有電磁場能力的魚可在 300 公尺外即偵測到風機之電磁場，但究竟這是正或負的影響，則尚未可知。在歐洲離岸風電的環評案，海域生態的電磁波影響調查普遍使用鯊魚、鱈科及鱈總目作為研究對象。以下是相關研究的摘要：

- (1) 依據丹麥能源局 Danish Energy Agency (2006)之研究，Nysted 離岸風場對於魚類沒有電磁波之影響，此外，根據 2014 年英國海洋管理機構的研究結論，有關海纜電磁場對於板鰓亞綱的影響”並無證據指出電磁波對於風場範圍內的板鰓亞綱或其數量有顯著影響，只要電纜埋深約 1 公尺，對於在幾公尺內的板鰓亞綱不太有驅離作用。
- (2) 最新於 2015 年之丹麥離岸風場(Kriegers Flak offshore wind farm)研究亦證實電磁場對魚類沒有顯著之影響。
- (3) 而德國之離岸風場及海底電纜相關環境影響評估亦沒有直接證據證明電磁波對魚類之影響。

因此，電磁場對魚類的影響屬輕微，觀諸世界各國之研究，並無法得出「非游離性」電磁波（尤其是微波頻段）會危害人體的結論。風機的輸配電力的海纜如果外皮的包覆層的材料及屏蔽效果均佳且又埋在海床下時，基本上是可以阻絕或減少電磁波的釋放到水中。根據國外對已經營運的風機的調查研究報告結果並沒有發現電磁波會對周遭海洋生物有什麼明顯的影響，電磁波所產生的熱量均非常的低，既使會釋入海中也很快被海水所降溫，故對海洋生物及生態並不會造成任何影響。

3. 人工魚礁

(1) 國外文獻研究

一般魚礁的聚魚功能主要因素有 (Bohnsack,1989; Bohnsack&Sutherland,1985; Grove & Nakamura,1991)：

- A. 魚礁可改變海底地形，藉海流、潮汐、波浪等作用，造成水體上下混合與形成渦流，攪拌海底營養鹽類，增進浮游生物之繁殖孳生能力。
- B. 礁體之外表提供許多附著性生物 (如藻類和腔腸、海綿、軟體、環節等無脊椎動物)附著生長繁殖，能形成極佳的餌料場，吸引洄游性魚類的聚集、滯留。
- C. 魚礁本身之結構、堆放後之重疊效應及其表面附著性之生物所造成之孔隙、洞穴，成為底棲魚、貝、介類及仔稚魚棲息避敵場所，因而發揮培育資源效果。
- D. 魚礁表面及隱蔽處，可供給許多魚類黏著性卵、烏賊卵等附著孵化，孵化後之仔稚魚可獲得庇護成長之環境。
- E. 可提供魚類洄游時定向的功能。

目前海上風力發電機組主要有分為兩大類，分別是傳統的固著式與新型的浮錨式。目前歐洲波羅的海與北海的離岸風力發電陣列多屬前者。然而，為了適應較深的海域或特殊的底質特性，近年來有研發另一種

將承載發電機組的浮台錨定在海床上的設計。

但，不論是何種形式，固著於海床的基樁或者浮台等人造結構物都可能像海底的人工魚礁或中水層的集魚器(Fish aggregation device, FAD)一般誘集吸引魚群，甚至創造出新的人工生態棲所，這種魚礁效應，正是海上風力發電風場可廠帶來的一項潛在的正面影響。丹麥 Horns Rev 為全球最大離岸風場之一，位於水深不超過 20m 的淺水區。根據丹麥水產資源研究所的研究指出，將興建風場前與風機開始運轉後的水產資源數據進行比較發現，風機對於當地魚類並無不利之影響；同時這項研究也顯示出這些基礎保護的石頭結構可做為人工魚礁吸引魚群，且越靠近風機的地方，可發現越多的物種。許多國內外的研究報告都指出，設置人工魚礁可提供各類水產生物棲息、繁殖、索餌、洄游及躲避敵害的環境(Linley et al. 2007; Langhamer 2012; Ambrose & Anderson, 1990; Bohnsack, J. A. 1989; Bohnsack & Sutherland, 1985; Bohnsack et al. 1994; Chang et al. 1994; Pickering & Whitmarsh, 1997; Wilhelmsson D., 1998; Arena et al. 2007)。近十年來，針對離岸風機對海洋生態系魚類之影響的研究論文主要來自歐洲國家。Wilhelmsson et al. (2006) 研究離岸風電場是否如人工魚礁或聚魚裝置 (fish aggregation devices; FAD)之功能？是否會增加海域的魚類密度或是改變魚類群聚？他們的研究結果指出在風場鄰近海域的魚類豐度比外圍海域為高，但物種豐富度和 Shannon-Wiener diversity 之值在兩海域則相似。但是在貼近各組風力發電機海域（離風機設備 1m 之穿越線）的魚類群聚結構不同，並且總魚類豐度較高。Wilhelmsson et al. (2006) 指出離岸風電場對於小型底棲魚類可能有作為人工魚礁和聚魚裝置之功能。Reubens et al. (2013)分析 2009 至 2012 年，比利時外海(北海)風電場海域的魚類資料，其分析結果指出在風電場海域出現的 Atlantic cod (*Gadus morhua*)主要年齡群為 I 和 II 歲魚，並且各測站間魚體的肥滿度沒有顯著差異；而 pouting (*Trisopterus luscus*)主要年齡群為 0 和 I 歲魚，各測站間魚體的肥滿度也沒有顯著差異。與周緣砂底區域比較，這兩魚種在風電場海域的體型稍大，且胃飽滿指數也較高，胃內的食餌組成在兩海域也不同；沒有證據顯示風場人工魚礁海域對 Atlantic cod 和 pouting 有“ecological trap”的效應。Reubens et al. (2014) 研究離岸風電場對海床上層魚類生態學之影響，他們分析了 Atlantic cod (*Gadus morhua*) 和 pouting (*Trisopterus luscus*) 兩種魚類，其結果指出特定年齡群的 Atlantic cod 和 pouting 會季節性地被吸引而棲息在近離岸風機海域，他們呈現高度的棲地忠實性(site fidelity)，並且以表層優勢的種類為食餌。Reubens et al. (2014) 認為在海上風電場內不應允許有漁業活動。在另一案例中(review in Petersen & Malm 2006)，位於丹麥與瑞典間的 Øresund 橋發現有魚礁效應，有大量的藍貽貝定居於橋柱上(Anonymous, 2005)。波羅的海中部 Kalmar 海峽的兩座風機也被報導具有魚礁效應，也有大量的藍貽貝定居於單樁基礎(monopoles)上，這類附著性生物的生長會產生更多細小的微棲地(micro-habitat)，為小型魚類，如黃體尻蝦虎(*Gobiusculus flavescens*)的幼魚，與甲殼類提供庇護所，對於魚礁效應來說，這是很重要的一部分(Wilhelmsson et al. 2006)。

沿海地區的硬基質(hard substratum)提供底棲生物定居和成長的各類型

表面和小生境(microhabitats)，放置海床的人造固體結構就如同人工魚礁般會吸引魚類和其他海洋生物。風機的基座和沖刷防護的護壁是種硬基質，會增加當地的非均質性，並成為附着生物藉以定居的基質。目前，離岸風機有關的研究報告，主要以溫帶海域的海洋生物研究佔多數，離岸風機對熱帶和亞熱帶海域底棲魚類的影響程度，目前相關文獻十分缺乏。

依照目前歐洲風場營運經驗，無論何種型式之海底基礎，其水泥基座或上方的衍架部分都有類似方型水泥魚礁或鋼鐵礁的效果，且面積越大、生物種類與數量就越多，因此海底基礎可產生類似各式人工魚礁的保護與聚魚效應。以荷蘭 Egmond aan Zee 離岸風場採用單樁式基礎為例，水深 0~7 公尺處 90% 表面覆蓋蚌殼類及海星，水深 7~15 公尺處則 100% 全面覆蓋各式軟體動物，例如海葵、水螅蟲、牡蠣等。

(2) 國內文獻研究

參考行政院農業委員會 99~103 年之科技計畫研究報告，參考 99 年報告名稱：為人工魚礁漁業效益調查及可行性評估，計畫編號：99 農科-8.5.2-漁-F1(1)，p.25~42 之內容。100~101 年報告無彰化鄰近海域之內容。參考 102 年報告名稱：人工魚礁漁業效益調查及可行性評估，計畫編號：102 農科-11.2.2-漁-F1(2)，p.31~47 與 p.72~80 之內文。此外 102 年報告中並有彰化王功保護礁與崙尾保護礁的側掃聲納資料(p20~22)，顯示彰化王功保護礁區各不同魚礁的相對位置與分布，及 98 年設置水泥與電桿礁的細部分布與礁體堆疊率。魚礁的聚魚功能主要因素有：(1)魚礁可改變海底地形，藉海流、潮汐、波浪等作用，造成水體上下混合與形成渦流，攪拌海底營養鹽類，增進浮游生物之繁殖孳生能力；(2)礁體之外表提供許多附着性生物(如藻類和腔腸、海綿、軟體、環節等無脊椎動物)附着生長繁殖，能形成極佳的餌料場，吸引洄游性魚類的聚集、滯留；(3)魚礁本身之結構、堆放後之重疊效應及其表面附着性之生物所造成之孔隙、洞穴，成為底棲魚、貝、介類及仔稚魚棲息避敵場所，因而發揮培育資源效果；及(4)魚礁表面及隱蔽處，可供給許多魚類黏著性卵、烏賊卵等附着孵化，孵化後之仔稚魚可獲得庇護成長之環境。根據彰化縣鄰近南北各縣市的鋼鐵魚礁調查，可發現鋼鐵礁較能吸引與聚集，甚至保護更多的高經濟魚類棲息與繁殖。

本計畫風力機組基座自海底聳立，有效高度較一般人工魚礁更高，期望聚魚效果更佳。此外，由於目前的風場附近都無任何保護礁，最近的保護礁(王功、福寶)離本風場尚有 15 海浬，因此本風場未來可能單獨或與鄰近風場形成保護區的效應。根據多年來在彰化魚礁區的調查推估，未來應可吸引與保護更多的高經濟魚類如石鱸科、笛鯛科、石鯛科、鮫科(石斑類)、臭肚魚科等魚類棲息與繁殖，未來風場也能因溢出效應而在設置後的數年為鄰近各縣市漁民帶來永續利用的保護礁效應。

(3) 風機設置後對原生物種結構改變影響評估

風機是否會因數量多而改變原本的沙泥生態系及魚類組成，此一狀況發生機率可能不高。因風機之配置在機組之間距離大(至少 755 公尺以上)，且海床因基座設置永久改變之區域佔風場總面積 0.33~0.39%(以每座基礎海床面防淘刷保護面積 3,600 平方公尺計算)，因此整座風場

並沒有大到足夠對原本棲息在兩風機設備間或兩風場間的沙泥底棲魚類的群聚改變的負面效應。根據國外 Stenberg et al. (2015) 研究北海 Horn Rev #1, 有 80 座風機的電場對魚類群聚的影響, 他們利用多層刺網在離風機距離 0-100 公尺; 120-220 公尺; 230-330 公尺三個實驗站, 及兩個沒有風機的對照站進行採樣的結果, 發現魚種多樣性以靠近風機設備海域較高, 風機設備有聚魚效應足以吸引偏好礁岩棲地的魚類棲息。雖然彰化外海的潛力風場多而密集, 但在整個中西部的台灣海峽所佔的面積比例還是很低的。過去政府在西海岸投放過上萬個人工魚礁, 也並未發現有魚類群聚結構有改變或石首魚類減少的現象。相較於廣闊的海域, 風機基座在海中所佔的面積仍是極其渺小, 除風機基座外的仍是廣闊可供石首魚科等泥沙底質魚類生存的廣大海域, 同時風機基座帶來的生物多樣性增加也可能為周邊棲息的泥沙底質魚類提供更多的食物來源。因此推測風機基座可增加當地海域的生物多樣性與可利用的漁業資源量, 對泥沙底質魚類的生存應無明顯的負面影響。風機是否會因數量多而改變原本的沙泥生態系及魚類組成, 此一狀況發生機率可能不高。因風機之配置在機組之間距離大(至少 755 公尺以上), 且海床因基座設置永久改變之區域佔風場總面積 0.33~0.39 % (以每座基礎海床面防淘刷保護面積 3,600 平方公尺計算), 因此整座風場並沒有大到足夠對原本棲息在兩風機設備間或兩風場間沙泥底棲魚類的群聚改變的負面效應。根據國外 Stenberg et al. (2015) 研究北海 Horn Rev #1, 有 80 座風機的電場對魚類群聚的影響, 他們利用多層刺網在離風機距離 0-100 公尺; 120-220 公尺; 230-330 公尺三個實驗站, 及兩個沒有風機的對照站進行採樣的結果, 發現魚種多樣性以靠近風機設備海域較高, 風機設備有聚魚效應足以吸引偏好礁岩棲地的魚類棲息。雖然彰化外海的潛力風場多而密集, 但在整個中西部的台灣海峽所佔的面積比例還是很低的。過去政府在西海岸投放過上萬個人工魚礁, 也並未發現有魚類群聚結構有改變或石首魚類減少的現象。相較於廣闊的海域, 風機基座在海中所佔的面積仍是極其渺小, 除風機基座外的仍是廣闊可供石首魚科等泥沙底質魚類生存的廣大海域, 同時風機基座帶來的生物多樣性增加也可能為周邊棲息的泥沙底質魚類提供更多的食物來源。因此推測風機基座可增加當地海域的生物多樣性與可利用的漁業資源量, 對泥沙底質魚類的生存應無明顯的負面影響。

經查漁業署於彰化海域所投放的保護礁從民國 81~95 年, 總計至少有 4370 座 (2.6M 的十字型保護礁 2985 座、2x2M 電桿礁 1450 座, 漁業署 105 年 4 月 17 日公告之彰化保護礁數量), 這並不包含 95~101 年間又陸續少量投放之鋼鐵礁(A、B 型, 面積為 8~10 公尺見方, 此資料未公告)。若只以漁業署公告的保護礁數量換算為目前單支風機(底面積), 約為 560~910 支風機, 若換算為套筒支架式風機約為 1092 支風機, 也就是說以投放的保護礁換算為未來風機數約為 560~1092 支風機數量, 且現有保護礁涵蓋面積為目前風機的 1/4 不到, 亦即換算為未來風機涵蓋海域面積, 投放的保護礁約等於 2240~4368 支風機數量, 其數量遠多於未來風機數的 2~3 倍, 但過去漁業署多年來的漁業與魚礁調查, 都未見也未發現這些大量的保護礁改變彰化沿岸沙泥地的魚類相, 但卻增加了岩礁棲性的魚類。根據國外的研究報告也未發現比我們規模

更大的風場在營運之後會有改變海底地形及底棲生物的現象。但無論如何我們自己的風場有自己的環境及生態特性，因此未來仍然需要再作持續的追蹤調查來了解及證實。

(4) 風機是否會增加外來種入侵的機會

至於人工魚礁是否會增加外來種入侵的機會，理論上應該不會。否則投放人工魚礁的政策在台灣已推動 40 年以上，投放達 22 萬座以上的 88 處海域，也還未發現有因此增加外來種的問題。海洋入侵種的入侵途徑通常是經由貨櫃輪的壓艙水，或是因為觀賞及養殖的目的而引進的外來水族生物，因為棄養、放生或天災等因素外逸到海洋中所造成的。因此外來種的問題和風機設置並沒有任何的關聯，不當的人為引進外來種才是真正的罪魁禍首。

(5) 風機是否會改變當地的底棲生物組成

風機設置後將改變風機周圍附近的底棲生物組成，因為魚礁表面的附著生物可以提供食物，以及提供了魚類庇護及躲藏的場所，增加了岩礁棲性的魚類來這裡棲息。在離開風機段距離，約 50-100 公尺之後，應不受影響。根據國外 Stenberg et al. (2015) 研究北海 Horn Rev #1, 有 80 座風機的電場對魚類群聚的影響，他們利用多層刺網在離風機距離 0-100m; 120-220m; 230-330m 三個實驗站，及兩個沒有風機的對照站進行採樣的結果，發現魚種多樣性以靠近風機設備海域較高，風機設備有類似人工魚礁之作用足以吸引偏好礁岩棲地的魚類棲息，但還不致於改變及影響原本沙泥底的魚相。換言之，這些增加的岩礁魚類並不會使沙泥棲性魚種的組成改變或減少，因為這些增加的岩礁魚類，他們在棲所、食物以及活動空間上均和原來當地沙泥棲性的魚類在生態區位 (guild) 或資源分配 (resource partitioning) 上有所不同，而不會有相互排斥或競爭的負面效應，反而是加成的效果。過去在彰化一帶所投放過的人工魚礁雖有上萬座，但在廣大的台灣海峽的沙泥的海域面積裏，所改變底質型態的比例畢竟還是很低的，故應不足以造成生態系結構的改變。

(二) 對漁業各漁法的影響

本計畫風場非位於漁業各漁法(刺網漁業、底拖漁業、一支釣漁業及其他)之主要作業區域範圍，不過仍就針對各漁業的影響，分別說明如下。

1. 刺網漁業(含浮刺網與底刺網)：此海域幾乎沒有浮刺網作業，也沒有底刺網作業，彰化的漁業活動主要集中在沿岸 10~30 公尺水深的沿岸海域(<12 海浬)，本計畫風場水深介於 25~50 公尺，且航程太遠，漁獲又差，因此並非彰化漁民刺網的作業場，屆時風場建置完成後，並不會影響彰化刺網漁民的作業，但風場之建置能抑制大陸籍的刺網船在近海海域作業。
2. 底拖漁業：漁業署規定底拖網漁業需在沿岸 3 海浬以外作業，本風場離岸最近距約為 50 公里，因航程太遠，漁獲又差，非當地的底拖經常作業區，因此未來風場興建並不會限縮到拖網船(單拖與雙拖)的作業，但風場之建置能抑制大陸籍的雙拖漁船在近海海域作業，也間接保護台灣近海的魚類群族。
3. 一支釣漁業：風場距王功港約 27~35 海浬，非一支釣休閒漁業的釣場。所以風機的設立並不影響彰化一支釣休閒漁業的作業，甚至可能因形成魚礁

效應而變成魚類的庇護區。

- 4.其他漁業(含地曳網、石滬、流袋網與待袋網)：此作業區皆位於潮間帶，所以風機的設立並不影響彰化其他漁業的作業。

彰化地區漁業作業海域寬廣，本風場離岸距在 50~70 公里，建置完成後並不會對於原本在此海域作業之刺網漁業及底拖網漁業會造成漁撈作業空間上的縮減或障礙(因本風場非位於刺網漁業及底拖網漁業等漁法之主要作業範圍內)，縣境內大部分之漁筏規模不大，活動能力相當有限，當地漁民的漁業活動大多侷限在近岸 12 海浬之內，鮮少冒險至本風場作業。此外，由於目前的風場附近都無任何保護礁，最近的保護礁(王功、福寶)離本風場尚有 20 海浬，因此本風場未來可能單獨或與鄰近風場形成保護區的效應。根據多年來在彰化魚礁區的調查推估，未來應可吸引與保護更多的高經濟魚類如石鱸科、笛鯛科、石鯛科、鮨科(石斑類)、臭肚魚科等魚類棲息與繁殖，未來風場也能因溢出效應而在設置後的數年為鄰近各縣市漁民帶來永續利用的保護礁效應，有助於風場周遭範圍的漁獲量，這是風場營運時的正面影響。但須留意台灣外縣市的捕蟹船與大陸漁船的作業，是否亦對本風場造成纜線與基座的損毀是必須謹慎考慮與評估的問題。

(三) 禁止漁船進入風場的影響

風場內如果能夠禁止漁船通行，即等同於禁止漁船進入風場內作業，應可發揮海洋保護區中最嚴格的完全禁漁區的功能。其好處是可以更快速有效復育魚類的資源，使魚類有個安全繁殖、覓食、庇護及成長的場所，有如水產銀行的本金一般，多出來的利息，即魚類會有如杯水滿溢般，游到風場的外圍，被漁民永續地利用。所以漁民並不會無魚可捕，只是要到風場的外圍或周邊去捕魚而已。又，若風場不禁止漁船通行，則又可分成准許或不准許捕撈，以及捕撈漁具、漁法、漁期、漁區及魚種等的不同的限漁措施。如果允許漁船通行而不准捕撈，則其成效或優缺點等同於上述的完全禁漁區，但是會增加漁船碰撞的風險。其減輕措施為需要設置漁船靠近的警告裝置。如果不禁止捕撈，則要看限漁的措施為何，限制愈多及管理愈嚴格，則資源復育的愈快愈好。但是漁民接受的意願會愈低。因此需要加強教育宣導或改採漸進式或折衷方案的限漁措施。過去漁業署規定在人工魚礁區內不准網具漁業，只准釣具漁業也是一種折衷的管理方式，但是可能會有加速過漁的疑慮(表 7.2.3-1)。

三、除役期間

除役之施工期間，與風機施工期間對於漁業的影響類似，主要是工作船與漁民的海上作業船隻須避免碰撞的風險，為避免對漁民造成船隻與網具的損失，以及除役工作的順利進行，勢必於除役施工期間限制刺網作業船隻與一支釣船隻於工作船航行區，保持一段安全距離，而除役僅為短暫的影響。

表 7.2.3-1 風場禁止或不禁止漁船通行之不同情境分析表

| 影響評估項目及減輕對策 | | 禁止 | 不禁止 |
|-------------|----|--|---|
| 影響評估 | 通行 | 1.船隻無法直接穿越風場，需繞道避開 2.應可發揮海洋保護區中最嚴格的完全禁漁區的功能 | 船隻可直接穿越風場，無需繞道，惟船隻碰撞風機之機率可能會提高 |
| | 漁撈 | 1.漁船無法進入作業恐使漁民漁獲減少，而引起地方漁會、漁民反對等爭議 2.應可發揮海洋保護區中最嚴格的完全禁漁區的功能 | 1.仍有加速過漁的疑慮 2.使用網具類者需承擔網具纏絡於風機上之風險 3.雖不禁止捕撈，惟仍視限漁措施而有不同的情況，限制愈多及管理愈嚴格，則資源復育的愈快愈好，反之則相反情況。 |
| | 法規 | 現行法規規定： 1.距岸 3 哩內禁止拖網漁船作業 2.距岸 3~12 哩內禁止 50 噸以上之拖網漁船作業 除此之外並無相關規範，僅能透過與漁會、漁民協商或道德勸說 | 現行法規僅規範左述禁止事項 |
| 減輕對策 | 通行 | 1.補貼船隻繞道所增加之燃油費用 2.加裝警示設施 | 依據他國經驗，設置風場後，藉由海圖標繪及設置適當航標標識，可使風險降低 |
| | 漁撈 | 1.放流魚苗增進海域漁業資源 2.風場海域棲地改善，積極養護水產資源，讓魚類外溢至風場外 | 1.放流魚苗增進海域漁業資源 2.加強教育宣導或改採漸進式或折衷方案的限漁措施 |

7.2.4 鳥類生態

一、對海鳥的影響

目前 8 次海上調查所記錄到海鳥，包括大洋性鳥類(鷗形目與鰲鳥目)21 隻與燕鷗類 117 隻。大洋性鳥類活動的面積非常廣闊，推測風場開發對其造成的棲地喪失效應不至於太顯著；且這些物種大多貼近海面飛行，在本風場中觀測到的飛行高度記錄均在 5 公尺以下，因此大洋性鳥類即使進入運作中的風場，受到風機撞擊致死的危險性也很低。另依據本計畫 105 年進行的四季共 8 次的海上鳥類調查(分別於 2016 年春季 (3、4、5 月)、夏季 (7 月)、秋季 (9、10、11 月) 與冬季(12 月)進行)，共記錄到的 114 筆飛行高度資料，結果顯示 93%海上鳥類之飛行高度均在風機葉片旋轉高度(平均海平面 25 公尺)以下，因此鳥類飛行受到風機撞擊之可能性不高。另本計畫調查到之保育類鳥類包含白眉燕鷗和鳳頭燕鷗等，其飛行高度距離海平面大致均在 0~15 公尺之間，而本計畫葉片旋轉高度距離平均潮位海平面至少 25 公尺，因此未來風機興建完成後，白眉燕鷗、鳳頭燕鷗等保育類鳥類受到風機撞擊之可能性低，其飛行高度與視力應能避開相關的機組。

依據國外研究顯示，英國鳥類信託組織 (British Trust for Ornithology, BTO) 研究發現，99%的鳥類會避開風力發電機組，該研究結果大大降低風力發電機組扇葉對鳥類的隱憂。儘管少部分的海鳥會誤闖，仍有大於 99%的海鳥會改變飛行方向，避免飛進風力發電機組。另依據丹麥 Horns Rev 離岸風場，於 2003~2005 年進行的雷達調查，得到的鳥群南向和北向遷徙軌跡顯示(圖 7.2.4-1)，海鳥一般都會改變飛行方向，避開風力發電機組，沿風場外圍飛行經過，因此鳥類受到風機葉片撞擊的可能性大大降低。

本計畫風場場址所記錄到的燕鷗，有可能是在澎湖群島繁殖的族群。相對於大洋性鳥類對棲地利用的替代性高，繁殖族群通常有特定的棲地使用，且其棲地使用的模式與至繁殖點的距離以及食物豐度有關。18 號風場距離澎湖群島約 26 公里，已有相當距離，依目前調查的結果燕鷗的相對數量並不算高，所造成的棲地喪失影響應有限。在本風場中所記錄到的燕鷗飛行高度均在 40 m 以下，而 18 號風場計畫採用 6 MW 與 8 MW 兩型風機，兩型的葉片旋轉高度均在 25m 以上，且本計畫風機佈置之平行盛行風向間距至少為 7D(7 倍葉輪直徑)(亦即 6MW 佈置間距至少 1,057m；9.5 MW 佈置間距至少 1,148m)，而非平行盛行風向間距至少 5D(5 倍葉輪直徑) (亦即 6MW 佈置間距至少 755m；9.5MW 佈置間距至少 820m)，風機間留設有足夠空間，可提供鳥類飛行通過。因此燕鷗受到風機撞擊致死的危險性應不高。惟目前調查積累的樣本數有限，且本風場出現的 6 種燕鷗中有白眉燕鷗、鳳頭燕鷗、玄燕鷗和小燕鷗皆為珍貴稀有保育類，應持續關注風場開發對燕鷗生態的影響。

二、對候鳥的影響

大城濕地和濁水溪口是重要的候鳥棲息地。以鄰近本計畫的大城濕地海岸為例，即同時名列國家重要濕地以及國際重要野鳥棲地，是高度受到各界重視的地點。連同彰濱工業區，本計畫的 8 次岸鳥調查記錄了超過 9 萬隻次的鳥，並記錄到黑面琵鷺、東方白鸛、遊隼、小燕鷗、黑嘴鷗、彩鷗、黑翅鳶、東方澤鷗、唐白鷺、魚鷹、紅隼、短耳鴉、灰面鵟鷹、鳳頭燕鷗、大冠鷺、燕鴿、大杓鷗和紅尾伯勞等保育類物種，顯見本區域海岸的重要性。

臺灣位處於東亞候鳥遷徙途徑上的中繼點，每年秋、冬季節候鳥經此南下過境，也有大量候鳥停留度冬。候鳥度冬的主要路徑，一個是從西伯利亞途經韓國、日本至台灣；二是從西伯利亞經大陸沿岸至台灣。

本計畫風場距離海岸約 50~70 公里，雖不會對鳥類在海岸的活動造成直接衝擊，但這些候鳥的遷徙路線是直穿海峽通過風場、或是由臺灣南北端出入並沿海岸飛行，目前相關資訊極度匱乏。本計畫在進行海上船之調查時，曾在風場內記錄到魚鷹、紅領瓣足鵡、家燕等 3 種候鳥，以及為數不少的鷓鴣類，顯示至少有部分鳥種的遷徙會通過風場；雖然目前所記錄到的種類與數量均不多，且飛行高度均低於風機葉片的旋轉高度，但已知大部分的鷓鴣類及燕雀目候鳥主要在夜間遷徙，這些候鳥的遷徙路線是否通過風場、通過的族群數量、飛行的高度等均屬未知，未來需持續關注這些議題。

三、鳥類撞擊評估

(一) 評估方法

進行鳥類撞擊風險評估，必須 (1) 經由實地調查獲取風場範圍內各季/各月的鳥類物種及密度；(2) 蒐集分析模式所需的各項參數，包括各鳥種的形值、風場的配置與風機的設計等；以及 (3) 結合以上資訊運用數學模式估算撞擊風險。本風場已於 2016 年 3 月至 12 月間共進行 4 季 8 次的海上鳥類調查以獲取鳥類密度，並採用在歐洲最為廣泛使用的 Band Model (Band 2012, Masden 2015) 進行模擬。以下針對這些方法進一步說明：

1. 海上鳥類調查

船隻調查 (boat survey) 是普遍應用於海洋環境的生物調查方式 (Camphuysen et al. 2004)。研究者根據樣區的大小，以各風場連同其周邊 1 km 的緩衝區為範圍，設立可充分涵蓋樣區的穿越線，使用船隻等速 (約 12 km/h) 行駛於穿越線並記錄沿線出現的鳥類。

每船至少有兩名經過訓練的調查員，配備 GPS、具雷射測距功能之雙筒望遠鏡以及具 400 mm 以上望遠鏡頭之單眼數位相機。調查員們在船隻進行期間持續掃視周邊，如發現鳥類活動時，即記錄鳥類的種類、數量、飛行方向與飛行高度等，並記錄觀測者的 GPS 座標以及與鳥類出現位置的方位角。座標與方位角值將後續處理以轉換成鳥類的位置座標，並計算其與穿越線的垂直距離。由於海鳥通常距離遙遠且飛行迅速，不容易在海上即時判別物種，因此儘可能以長鏡頭對所有出現的鳥類做拍照記錄，以便進一步做鳥種鑑定。

調查所得的數據依距離採樣法 (distance sampling) 估算各鳥種在風場中之密度 (Buckland et al. 1993)。由於鳥類被偵測到的機率與其和穿越線的距離有關，且不同鳥種由於體型、飛行方式等差異，其偵測機率對出現距離的函數 (detection function) 也會各有不同，因此需先對各鳥種分別建立此函數，推算出有效偵測寬度 (effective stripe width) 並對實際記錄到的數量進行校正，方能可靠估算密度。而若只根據單一風場內的調查資料，所得各鳥種的記錄筆數並不足以建立偵測機率對距離的函數；因此採用福爾摩莎海上資料庫的數據來進行此函數的推導，此資料庫彙整了福爾摩莎自然史資訊公司在台灣海峽東北段所有的海上鳥類調查記錄。函數的推導以及各風場各月的鳥類密度計算主要以 R 統計軟體之 Rdistance 模組進行 (McDonald et al. 2015)。

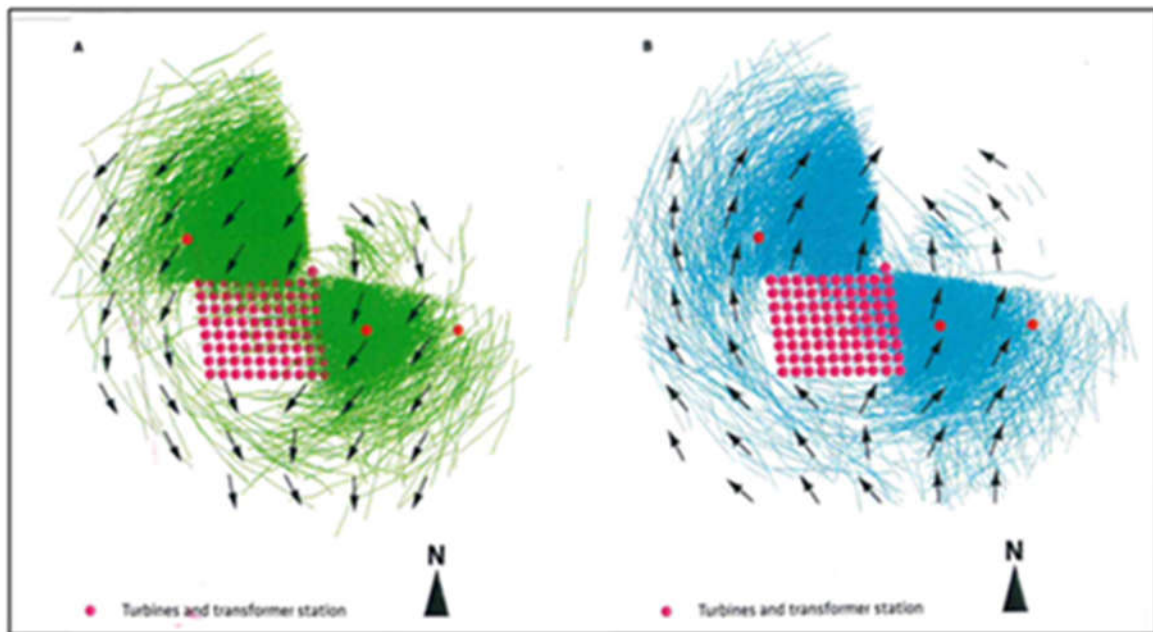


圖7.2.4-1丹麥Horns Rev離岸風場2003~2005年鳥類雷達調查結果

2. 模式相關參數

(1) 風場配置與風機物理參數

進行撞擊模式運算需要多項風機相關參數，包括風機高度、風機葉片長度、葉片最大寬度，葉片旋轉速度與葉片斜角等 (表 7.2.4-1、圖 7.2.4-2)，依風機規格而有所不同。

表 7.2.4-1 海龍 3 號風場之相關參數

| 風機配置 | 單機發電容量 (MW) | 總裝置容量 (MW) | 旋轉區半徑 (m) | 最大旋轉速度 (rpm) | 葉片最低高度 (m) |
|-------|-------------|------------|-----------|--------------|------------|
| 配置 I | 6 | 468 | 75.5 | 11.5 | 25 |
| 配置 II | 8 | 512 | 82 | 15 | 25 |

(2) 鳥類生物參數

進行撞擊評估需要鳥類的飛行高度分布、體長、翼展、飛行速度等資訊。其中各鳥種或種群的飛行高度分布導自福爾摩莎自然史資訊公司的海上資料庫。鳥類的體長與翼展等資訊參考自台灣野鳥圖鑑 (吳等 1999)、台灣鳥類誌 (劉等 2012) 以及台灣野鳥手繪圖鑑 (蕭與李 2015)。至於鳥類的飛行速度，由於相關文獻不多，因此採用 Alerstam et al. (2007) 針對 138 種鳥類的飛行速度 (m/sec) 與體重 (kg) 所推算出之關係方程式，以鳥類之體重預估其飛行速度，其方程式如下：

$$\text{飛行速度}(v) = 15.93 \times (\text{體重})^{0.13}$$

3. Band Model

過去 20 年來，透過模擬運算以預測鳥類受風機撞擊風險的模式不下 10 種。在此採用的是由蘇格蘭自然遺產 (SNH) 和英國風能協會 (British Wind Energy Association) 所發展的撞擊模式。此模式最早建立於 2000 年，後來經過 Band 的數次改良使其能應用於海上風場 (Band 2012)，因此一般稱為「Band Model」，是最普遍使用的撞擊模式。

(1) 通過風機葉片旋轉區的鳥類隻數

在此模式最基本的設定中，通過風機葉片旋轉區的鳥類隻數估算，是將船隻或航空調查所得的鳥類密度 (DA)，轉換成鳥類通行流量 (Bird Flux, FL)，即在單位時間內通過單一風機葉片旋轉範圍內的鳥類數量。然後再將鳥類通行流量乘以風場內機組總數量以及鳥類活動的時間 (t)，即可得到通過風場內整個風機葉片旋轉區的鳥類隻數，其方程式如下：

通過風機葉片旋轉區的鳥類總隻數 (Np)

$$\begin{aligned} &= FL \times N \times t \\ &= \left(v \times \frac{DA \times Q_{2R}}{2R} \right) \times N \pi R^2 \times (t_{\text{day}} + f_{\text{night}} \times t_{\text{night}}) \end{aligned}$$

其中 R = 風機葉片半徑，v = 鳥類飛行速度，N 為風場內的風機總數量，t_{day} 和 t_{night} 則分別代表鳥類在白天與夜晚的活動時間，f_{night} = 夜間活動係數 (nocturnal activity factor)，分為 0%、25%、50%、75% 與 100% 五個等級。夜間活動係數視目標物種而有所差異，而即使是同一個鳥種，在不同地區或不同階段 (i.e. 遷徙或繁殖期)

也會有所不同，必須有地區性的觀察或研究提供相關資訊，或者借助專家意見以定義之。

(2) 撞擊機率與迴避率

A. 撞擊機率

鳥類通過單一風機葉片旋轉範圍時的撞擊機率，取決於鳥類的體長 (l)、翼展 (w)、飛行速度 (v)，以及風機的葉片寬度 (c)、與機組的夾角 (γ) 與旋轉速度等 (Ω)。在將鳥的體型簡化為對稱十字，以及風機葉片沒有厚度的兩個前提下，當鳥進入風機葉片旋轉範圍內時，在距離中心點 r 處的碰撞機率為：

$$p(r) = (b\Omega/2\pi v) [K | \pm c \sin\gamma + \alpha c \cos\gamma + \frac{l}{w\alpha F} \text{ for } \alpha < \beta \\ \frac{l}{w\alpha F} \text{ for } \alpha > \beta$$

b 是單一風機的葉片數目， $\beta =$ 鳥類的展弦比 (i.e. l/w)， $\alpha = v/r\Omega$ 。F 則與鳥類的飛行行為相關；當目標物種以拍翅飛行為主時， $F = 1$ ，若其為滑翔飛行，則 $F = (2/\pi)$ 。

將以上方程式由中心點至葉片末端，以 $r/R = 0.05$ 的區段積分起來，便是鳥類通過風機葉片旋轉範圍任一位置的平均撞擊機率 (P_c)，即：

$$P_c = 1/(\pi R^2) \iint p(r, \phi) r dr d\phi = 2 \int p(r) (r/R) d(r/R)$$

其中 ϕ 為鳥類與葉片平面之垂直夾角，當鳥在葉片之上， $\phi = 0$ ，而當鳥位於葉片之下， $\phi = \pi$ 。

蘇格蘭自然遺產組織所提供的風機撞擊機率試算表是以物種為單位；在某些情況下，例如因氣候不佳造成能見度不足，或者當地鳥類通過風場時大量混群，難以辨識到物種的層級，可考慮計算出各個優勢物種的風機撞擊機率，取平均值作為後續運算的參數值。

B. 迴避率 (Avoidance rate)

大多數鳥類對於風機會表現出迴避行為 (Desholm & Kahlert 2005, Plonczkier & Simms 2012)，降低實際的風機撞擊死亡風險，因此除了原始的鳥類風機撞擊死亡隻數外，也應在考量鳥類對於風機迴避行為的情況下，評估鳥類風機撞擊風險，以提供決策者參考。鳥類的迴避行為會隨著風場地點與目標物種而有所不同，蘇格蘭自然遺產組織 (2010) 提供 25 種已進行相關研究鳥種的迴避率供參考，而對於其他缺乏相關資訊的物種，則建議在評估鳥類風機撞擊風險時採用 98% 的迴避率。

(3) 誤差範圍

Band (2012) 指出，此模式的誤差來源主要來自於三個部分：(1) 鳥類飛行資料本身的變異；(2) 模式簡化；(3) 風場內機組空間配置的不確定性等等。此三個來源的誤差值應該各自評估後，以下列方程式整合成一個整體的誤差範圍：

$$\text{整體誤差範圍} = \sqrt{(u_1^2 + u_2^2 + u_3^2)}$$

u_1^2 、 u_2^2 、 u_3^2 各自代表不同來源的誤差範圍，以百分比表示。

然而，在實際情況下，來源 (1) 與 (3) 的誤差範圍往往缺乏數據可以量化，而因模式簡化對於鳥類風機撞擊死亡所造成的影響，大約是 $\pm 20\%$ 左右。

風場參數

| | | |
|---|-----------------|------------------|
| 1 | 總裝置容量 (MW) | Target power |
| 2 | 風場全年之平均風速 (m/s) | Wind speed, mean |
| 3 | 風速年標準差 | Wind speed, std |

風機參數

| | | |
|----|---------------------|------------------------|
| 4 | 單機發電量 (MW) | Output power |
| 5 | 旋轉速度 (rpm) | Rotation speed |
| 6 | 旋轉速度標準差 | Rotation speed, std |
| 7 | 轉子半徑 (m) a | Rotor radius |
| 8 | 葉片最低高度 (m) b | Min. tip height |
| 9 | 葉片最大寬度 (m) c | Max. chord |
| 10 | 預期風機運作時間 (%) | Turbine operation time |
| 11 | 葉片角度 (degree) | Pitch |

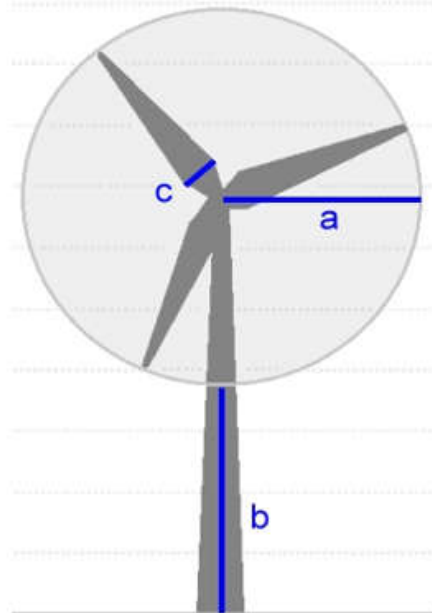


圖7.2.4-2 進行Band model模擬所需之各項風機參數

(二) 模擬結果

由於對於本分析中所涉及各鳥種缺乏迴避率的數據可參考，在此對所有鳥種均採用 98%與 99%二個迴避率值分別進行計算，以瞭解不同可能情況下的撞擊風險。而由於全年僅進行八次調查，在春、秋的六個月份中為每月一次，在夏季與冬季則為三個月一次；因此模擬出每月的撞擊隻數估值後，需將夏季與冬季的月撞擊隻數分別加乘 3 倍，再與春、秋各月的撞擊隻數相加，以得到約略的全年撞擊隻數估值，評估結果詳表 7.2.4-2 及表 7.2.4-3。

1. 本計畫單獨評估

- (1) 以 6MW 風機配置、0.98 的迴避率進行保守評估，則海龍三號風場保育類全年的撞擊量估值分別約為玄燕鷗 14 隻、小燕鷗<0.1 隻、白眉燕鷗 25 隻和鳳頭燕鷗 4 隻，及魚鷹 3 隻。
- (2) 以 8MW 風機配置、0.98 的迴避率進行保守評估，則海龍三號風場保育類全年的撞擊量估值分別約為玄燕鷗 15 隻、小燕鷗<0.1 隻、白眉燕鷗 26 隻和鳳頭燕鷗 4 隻，及魚鷹 3 隻。
- (3) 就鳥種而言，風場範圍內以鷗鵒類與燕鷗類鳥種遭受到風機撞擊的年隻次相對其他鳥種較多。
- (4) 就季節分布而言，九月發生的鳥類撞擊隻次相對較多，其次為三月。九月受到衝擊的主要鳥種為燕鷗類，三月則以遷徙通過的鷗鵒類為主。
- (5) 就風機配置而言，6MW 配置所造成的鳥類撞擊量較 8MW 配置少，不過差異並不大。使用 8 MW 的風機，單支風機的旋轉半徑略大，轉速也較快，會對鳥類造成較大的威脅，但其所需架設的風機支數較少，因此導致的整體衝擊略相當。

2. 海龍二號、三號合併鳥類撞擊評估

本計畫已針對海龍二號和海龍三號風場進行合併鳥類撞擊評估分析，若以二風場合計，採用 6MW 風機配置、0.98 的迴避率進行保守評估，則保育類全年的撞擊量估值分別約為魚鷹 3 隻、小燕鷗<0.1 隻、玄燕鷗 23 隻、白眉燕鷗 56 隻和鳳頭燕鷗 5 隻。

不過，SNH 所建議的 0.98 的迴避率，這在燕鷗類可能是相當保守的數值。由於燕鷗類的飛行駕馭力極佳，因此通常可以有很好的微觀迴避行為，根據歐洲數個風場的監測結果 (SmartWind 2015)，小燕鷗 (*Sternula albifrons*)、普通燕鷗 (*Sterna hirundo*) 和白嘴端燕鷗 (*Thalasseus sandvicensis*) 的迴避率都在 0.99 以上。若將 0.99 的迴避率應用於鳳頭燕鷗與白眉燕鷗，則預估的死亡率變化可減少，這可能較接近實際情況。

(三) 衝擊分析

1. 風機配置與鳥種類群

海龍 2 號與 3 號風場在不同風機配置下、各類群鳥種之年撞擊隻次如圖 7.2.4-3 所示。海龍 3 號風場導致的全年鳥類撞擊隻次高於海龍 2 號。海龍 2 號中風機配置 I (6 MW 風機) 所造成的鳥類撞擊量大於配置 II (8 MW 風機)，海龍 3 號中則是配置 II (8 MW 風機) 所造成的鳥類撞擊量略高於風機配置 I (6 MW 風機)，不過差異不大。在兩風場中，

皆是繁殖海鳥遭受的年撞擊隻次最高，其次為遷徙性水鳥。非繁殖海鳥與遷徙性陸鳥遭受風機撞擊的數量相當少。

2. 季節變化

海龍 2 號與 3 號風場在不同風機配置下、各月發生之鳥類撞擊隻次如圖 7.2.4-4 所示。兩風場中，兩種不同的風機配置在各月份導致的鳥類撞擊量均相當近似。在兩風場中，都是以 9 月為撞擊事件最多的月份，其次為 3 月。在 9 月及 3 月這兩個撞擊事件的高峰期，海龍 3 號風場發生的鳥類撞擊數量都較海龍 2 號高出許多；在 4 月及 7 月，海龍 2 號造成的撞擊事件則略多於海龍 3 號；在兩個風場中，10、11、12 三個月份均是鳥類撞擊事件最少的時期。

表 7.2.4-2 風機配置 6MW 時各物種各月之撞擊隻次(單獨評估)

| 迴避率: 0.98 | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|-----|------|-------|
| 中文名稱 | 英文名稱 | 學名 | 3月 | 4月 | 5月 | 7月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年估值 |
| 穴鳥 | Bulwer's Petrel | <i>Bulweria bulwerii</i> | | | <0.1 | | | | | | <0.1 |
| 黑背白腹穴鳥 | Tahiti Petrel | <i>Pseudobulweria rostrata</i> | | | | | <0.1 | | | | <0.1 |
| 大水薙鳥 | Streaked Shearwater | <i>Calonectris leucomelas</i> | <0.1 | <0.1 | | | | <0.1 | | <0.1 | <0.1 |
| 未知鷓形目 | Unknown Procellariiformes | Procellariiformes spp. | | | | <0.1 | <0.1 | | | | <0.1 |
| 白腹鸚鳥 | Brown Booby | <i>Sula leucogaster</i> | | | | <0.1 | | | | | <0.1 |
| 小白鷺 | Little Egret | <i>Egretta garzetta</i> | 1.2 | | | | | | | | 1.2 |
| 魚鷹 | Osprey | <i>Pandion haliaetus</i> | | | | | | 2.7 | | | 2.7 |
| 紅領瓣足鷗 | Red-necked Phalarope | <i>Phalaropus lobatus</i> | <0.1 | | | | | | | | <0.1 |
| 未知鷓鴣類 | Unknown shorebirds | Charadriiformes spp. | 50.9 | | | | 3.0 | | | | 53.9 |
| 未知鷓 | Unknown gulls | Larinae spp. | 3.1 | | | | | | | | 3.1 |
| 玄燕鷗 | Brown Noddy | <i>Anous stolidus</i> | | | | | 14.0 | | | | 14.0 |
| 白眉燕鷗 | Bridled Tern | <i>Onychoprion anaethetus</i> | | 0.2 | 0.9 | 1.4 | 19.3 | | | | 24.6 |
| 小燕鷗 | Little Tern | <i>Sternula albifrons</i> | | | | <0.1 | | | | | <0.1 |
| 鷓嘴燕鷗 | Gull-billed Tern | <i>Gelochelidon nilotica</i> | | | | | 2.3 | | | | 2.3 |
| 白翅黑燕鷗 | White-winged Tern | <i>Chlidonias leucopterus</i> | | | | 0.9 | | | | | 0.9 |
| 鳳頭燕鷗 | Great Crested Tern | <i>Thalasseus bergii</i> | | 3.7 | | | | | | | 3.7 |
| 未知燕鷗 | Unknown terns | Sterninae spp. | | | | | 29.8 | | | | 29.8 |
| 家燕 | Barn Swallow | <i>Hirundo rustica</i> | 0.3 | | | | | | | | 0.3 |
| 未知燕科 | Unknown swallows | Hirundinidae spp. | 0.3 | | | | | | | | 0.3 |
| 合計 | | | 55.8 | 3.9 | 1.9 | 1.4 | 68.3 | 2.7 | 0 | <0.1 | 136.8 |
| 迴避率: 0.99 | | | | | | | | | | | |
| 中文名稱 | 英文名稱 | 學名 | 3月 | 4月 | 5月 | 7月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年估值 |
| 穴鳥 | Bulwer's Petrel | <i>Bulweria bulwerii</i> | | | <0.1 | | | | | | <0.1 |
| 黑背白腹穴鳥 | Tahiti Petrel | <i>Pseudobulweria rostrata</i> | | | | | <0.1 | | | | <0.1 |
| 大水薙鳥 | Streaked Shearwater | <i>Calonectris leucomelas</i> | <0.1 | <0.1 | | | | <0.1 | | <0.1 | <0.1 |
| 未知鷓形目 | Unknown Procellariiformes | Procellariiformes spp. | | | | <0.1 | <0.1 | | | | <0.1 |
| 白腹鸚鳥 | Brown Booby | <i>Sula leucogaster</i> | | | | <0.1 | | | | | <0.1 |
| 小白鷺 | Little Egret | <i>Egretta garzetta</i> | 0.6 | | | | | | | | 0.6 |
| 魚鷹 | Osprey | <i>Pandion haliaetus</i> | | | | | | 1.3 | | | 1.3 |
| 紅領瓣足鷗 | Red-necked Phalarope | <i>Phalaropus lobatus</i> | <0.1 | | | | | | | | <0.1 |
| 未知鷓鴣類 | Unknown shorebirds | Charadriiformes spp. | 25.5 | | | | 1.5 | | | | 27.0 |
| 未知鷓 | Unknown gulls | Larinae spp. | 1.6 | | | | | | | | 1.6 |
| 玄燕鷗 | Brown Noddy | <i>Anous stolidus</i> | | | | | 7.0 | | | | 7.0 |
| 白眉燕鷗 | Bridled Tern | <i>Onychoprion anaethetus</i> | | 0.1 | 0.5 | 0.7 | 9.6 | | | | 12.3 |
| 小燕鷗 | Little Tern | <i>Sternula albifrons</i> | | | | <0.1 | | | | | <0.1 |
| 鷓嘴燕鷗 | Gull-billed Tern | <i>Gelochelidon nilotica</i> | | | | | 1.1 | | | | 1.1 |
| 白翅黑燕鷗 | White-winged Tern | <i>Chlidonias leucopterus</i> | | | | 0.5 | | | | | 0.5 |
| 鳳頭燕鷗 | Great Crested Tern | <i>Thalasseus bergii</i> | | 1.8 | | | | | | | 1.8 |
| 未知燕鷗 | Unknown terns | Sterninae spp. | | | | | 14.9 | | | | 14.9 |
| 家燕 | Barn Swallow | <i>Hirundo rustica</i> | 0.1 | | | | | | | | 0.1 |
| 未知燕科 | Unknown swallows | Hirundinidae spp. | 0.1 | | | | | | | | 0.1 |
| 合計 | | | 27.9 | 2.0 | 0.9 | 0.7 | 34.1 | 1.3 | 0 | <0.1 | 68.4 |

表 7.2.4-3 風機配置 8MW 時各物種各月之撞擊隻次(單獨評估)

| 迴避率: 0.98 | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|-----|------|-------|
| 中文名稱 | 英文名稱 | 學名 | 3月 | 4月 | 5月 | 7月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年估值 |
| 穴鳥 | Bulwer's Petrel | <i>Bulweria bulwerii</i> | | | <0.1 | | | | | | <0.1 |
| 黑背白腹穴鳥 | Tahiti Petrel | <i>Pseudobulweria rostrata</i> | | | | | <0.1 | | | | <0.1 |
| 大水薙鳥 | Streaked Shearwater | <i>Calonectris leucomelas</i> | <0.1 | <0.1 | | | | <0.1 | | <0.1 | <0.1 |
| 未知鷓形目 | Unknown Procellariiformes | Procellariiformes spp. | | | | <0.1 | <0.1 | | | | <0.1 |
| 白腹鸞鳥 | Brown Booby | <i>Sula leucogaster</i> | | | | <0.1 | | | | | <0.1 |
| 小白鷺 | Little Egret | <i>Egretta garzetta</i> | 1.4 | | | | | | | | 1.4 |
| 魚鷹 | Osprey | <i>Pandion haliaetus</i> | | | | | | 2.8 | | | 2.8 |
| 紅領瓣足鷗 | Red-necked Phalarope | <i>Phalaropus lobatus</i> | <0.1 | | | | | | | | <0.1 |
| 未知鷓鴣類 | Unknown shorebirds | Charadriiformes spp. | 53.4 | | | | 3.2 | | | | 56.6 |
| 未知鷗 | Unknown gulls | Larinae spp. | 3.1 | | | | | | | | 3.1 |
| 玄燕鷗 | Brown Noddy | <i>Anous stolidus</i> | | | | | 14.6 | | | | 14.6 |
| 白眉燕鷗 | Bridled Tern | <i>Onychoprion anaethetus</i> | | 0.3 | 1.0 | 1.5 | 20.2 | | | | 25.7 |
| 小燕鷗 | Little Tern | <i>Sternula albifrons</i> | | | | <0.1 | | | | | <0.1 |
| 鷗嘴燕鷗 | Gull-billed Tern | <i>Gelochelidon nilotica</i> | | | | | 2.4 | | | | 2.4 |
| 白翅黑燕鷗 | White-winged Tern | <i>Chlidonias leucopterus</i> | | | 1.0 | | | | | | 1.0 |
| 鳳頭燕鷗 | Great Crested Tern | <i>Thalasseus bergii</i> | | 3.8 | | | | | | | 3.8 |
| 未知燕鷗 | Unknown terns | Sterninae spp. | | | | | 31.0 | | | | 31.0 |
| 家燕 | Barn Swallow | <i>Hirundo rustica</i> | 0.3 | | | | | | | | 0.3 |
| 未知燕科 | Unknown swallows | Hirundinidae spp. | 0.3 | | | | | | | | 0.3 |
| 合計 | | | 58.5 | 4.0 | 2.0 | 1.5 | 71.3 | 2.8 | 0 | <0.1 | 143.0 |
| 迴避率: 0.99 | | | | | | | | | | | |
| 中文名稱 | 英文名稱 | 學名 | 3月 | 4月 | 5月 | 7月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 全年估值 |
| 穴鳥 | Bulwer's Petrel | <i>Bulweria bulwerii</i> | | | <0.1 | | | | | | <0.1 |
| 黑背白腹穴鳥 | Tahiti Petrel | <i>Pseudobulweria rostrata</i> | | | | | <0.1 | | | | <0.1 |
| 大水薙鳥 | Streaked Shearwater | <i>Calonectris leucomelas</i> | <0.1 | <0.1 | | | | <0.1 | | <0.1 | <0.1 |
| 未知鷓形目 | Unknown Procellariiformes | Procellariiformes spp. | | | | <0.1 | <0.1 | | | | <0.1 |
| 白腹鸞鳥 | Brown Booby | <i>Sula leucogaster</i> | | | | <0.1 | | | | | <0.1 |
| 小白鷺 | Little Egret | <i>Egretta garzetta</i> | 0.7 | | | | | | | | 0.7 |
| 魚鷹 | Osprey | <i>Pandion haliaetus</i> | | | | | | 1.4 | | | 1.4 |
| 紅領瓣足鷗 | Red-necked Phalarope | <i>Phalaropus lobatus</i> | <0.1 | | | | | | | | <0.1 |
| 未知鷓鴣類 | Unknown shorebirds | Charadriiformes spp. | 26.7 | | | | 1.6 | | | | 28.3 |
| 未知鷗 | Unknown gulls | Larinae spp. | 1.6 | | | | | | | | 1.6 |
| 玄燕鷗 | Brown Noddy | <i>Anous stolidus</i> | | | | | 7.3 | | | | 7.3 |
| 白眉燕鷗 | Bridled Tern | <i>Onychoprion anaethetus</i> | | 0.1 | 0.5 | 0.7 | 10.1 | | | | 12.9 |
| 小燕鷗 | Little Tern | <i>Sternula albifrons</i> | | | | <0.1 | | | | | <0.1 |
| 鷗嘴燕鷗 | Gull-billed Tern | <i>Gelochelidon nilotica</i> | | | | | 1.2 | | | | 1.2 |
| 白翅黑燕鷗 | White-winged Tern | <i>Chlidonias leucopterus</i> | | | 0.5 | | | | | | 0.5 |
| 鳳頭燕鷗 | Great Crested Tern | <i>Thalasseus bergii</i> | | 1.9 | | | | | | | 1.9 |
| 未知燕鷗 | Unknown terns | Sterninae spp. | | | | | 15.5 | | | | 15.5 |
| 家燕 | Barn Swallow | <i>Hirundo rustica</i> | 0.1 | | | | | | | | 0.1 |
| 未知燕科 | Unknown swallows | Hirundinidae spp. | 0.1 | | | | | | | | 0.1 |
| 合計 | | | 29.2 | 2.0 | 1.0 | 0.7 | 35.6 | 1.4 | 0 | <0.1 | 71.5 |

3. 保育類鳥種的撞擊數量

2016 年的 8 次海上調查中，在海龍 2 號風場共記錄有玄燕鷗、白眉燕鷗與鳳頭燕鷗三種二級保育類，在海龍 3 號風場則觀察到魚鷹、小燕鷗、玄燕鷗、白眉燕鷗與鳳頭燕鷗五種二級保育類。兩風場中各保育類鳥種各月份的撞擊隻次如圖 7.2.4-5 所示（由於 6 MW 與 8 MW 兩種風機配置導致的鳥類撞擊模式非常近似，以下只顯示 6 MW 風機配置的分析結果）。

在兩風場中，發生撞擊事件最多的保育類鳥種均是白眉燕鷗，其次為玄燕鷗，再其次為鳳頭燕鷗。白眉燕鷗的撞擊事件從四月到九月均會發生，在海龍 2 號風場內以七月及九月較頻繁，在海龍 3 號風場中則集中在九月；玄燕鷗的撞擊事件在兩風場中均只出現在秋季初期（九月）；鳳頭燕鷗則反之，僅出現在春季（四月）。

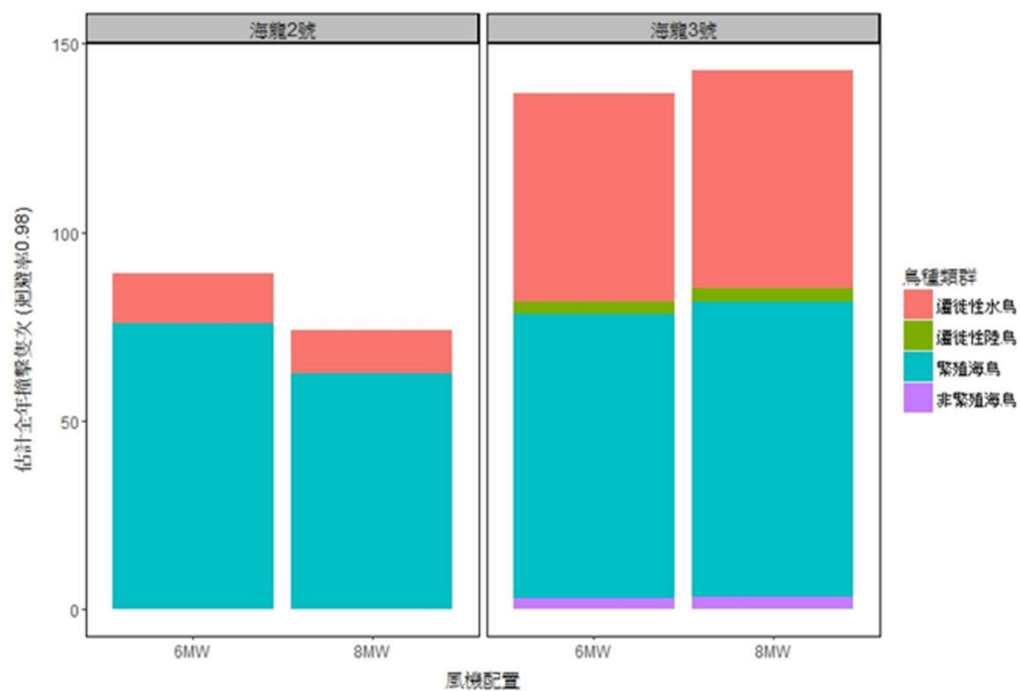


圖7.2.4-3 不同風機配置下各類群鳥種之年撞擊隻次

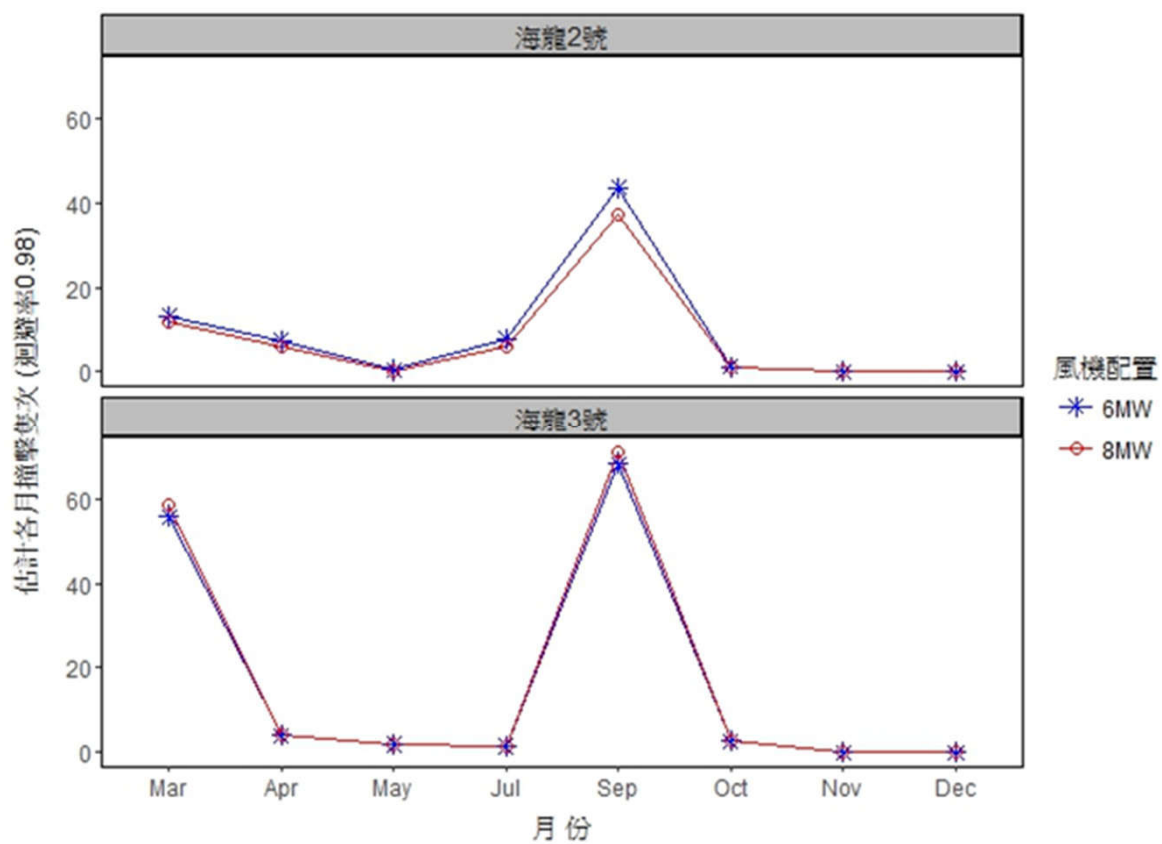


圖7.2.4-4 不同風機配置下各月份之鳥類撞擊隻次

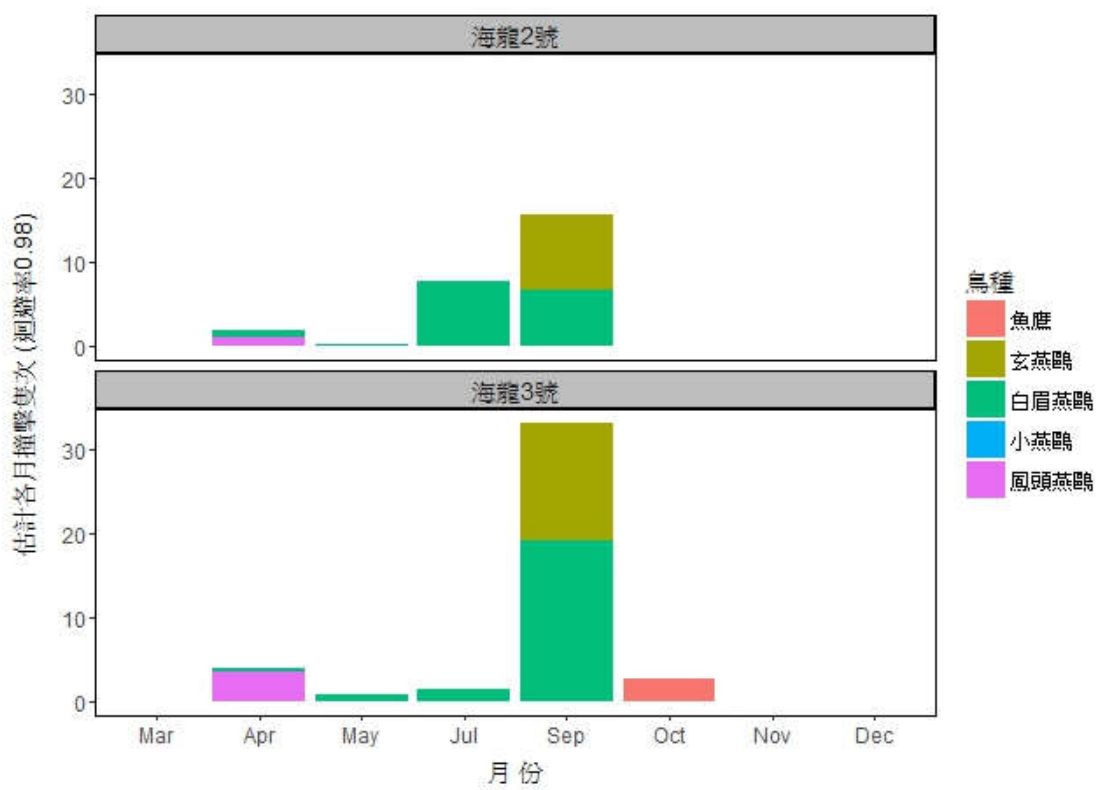


圖7.2.4-5 各月份各保育類鳥種之撞擊隻次

(四) 綜合討論

1. 無論何種風機配置，海龍 3 號風場導致的撞擊隻次均較面積小、風機支數少的海龍 2 號多，對鳥類造成較大的衝擊。
2. 兩型風機配置所造成的鳥類撞擊隻次十分接近。配置 II 使用 8 MW 的風機，雖然單支風機的旋轉半徑較大，會對鳥類造成較大的威脅，但其所需架設的風機支數較少，因此整體的衝擊與使用 6 MW 風機的配置 I 相當。
3. 在兩風場中，皆是繁殖海鳥（燕鷗類）的年撞擊隻次最高，其次為遷徙性水鳥（鸕鶿類及鷺科鳥類），非繁殖海鳥（鷓形目為主）與遷徙性陸鳥（家燕為主）遭受風機撞擊的數量相當少。這一方面是由於調查區域內某些月份燕鷗類及鸕鶿類的密度相當高，一方面也因為這兩類群鳥種的飛行高度分布與風機的旋轉區高度有較多重疊，較容易發生撞擊。反之，非繁殖海鳥與遷徙性陸鳥的飛行高度通常貼近海面，較不易遭受風機撞擊。
4. 兩風場鳥類撞擊量的季節變化亦相當近似。9 月是撞擊事件最多的月份，發生撞擊的鳥種以燕鷗類為主，有可能是此時期在澎湖繁殖的燕鷗幼鳥離巢，也可能是其他地區的燕鷗遷徙經過，導致此海域的燕鷗數量大幅增加。撞擊事件次多的月份為 3 月，此時為鸕鶿類遷徙的高峰期，發生撞擊的鳥種以鸕鶿類為主。10、11、12 月在此海域活動的鳥類數量較少，因此極少發生撞擊事件。
5. 海龍 2 號與 3 號風場在 2016 年共紀錄到魚鷹、小燕鷗、玄燕鷗、白眉燕鷗與鳳頭燕鷗等五種二級保育類。除了偶然出現、僅各紀錄到 1 隻次的魚鷹以及小燕鷗外，玄燕鷗、白眉燕鷗與鳳頭燕鷗均有相當數量，也遭受一定程度的撞擊影響。其中白眉燕鷗發生的撞擊次數最多，且從四月到九月均會發生，以七月及九月的撞擊量較大，可能與幼鳥離巢或遷徙性的族群通過有關。玄燕鷗的撞擊事件集中在九月，鳳頭燕鷗則集中在四月，是由於其他地區的遷徙個體通過，或是因澎湖族群棲地利用的季節變化所導致，則有待進一步釐清。
6. 就 98% 的迴避率來看，海龍 2 號與 3 號風場每年可能造成 50 隻左右的白眉燕鷗死亡。此區鄰近澎湖群島，而澎湖繁殖的白眉燕鷗族群約在 6,000 隻左右，50 隻不及 1%，看似衝擊不大。然而，燕鷗是死亡率低的物種，就文獻中白眉燕鷗的年死亡率 0.2 估算，本風場會導致其年死亡率較背景值提高 8%，衝擊可謂不小，必須加以注意。

7.2.5 鯨豚

離岸風力發電計畫之開發，對鯨豚類動物的主要衝擊應限於水下噪音與船隻交通兩項(Madsen et al. 2006)。因鯨豚是高度依賴聲音的生物(Weilgart 2007)，數十公里內的鯨豚可能都可能聽到水下打樁施工聲音(Kastelein 2013b)，而所有的鯨豚種類都是保育類，本報告搜集鯨豚之研究報告與案例，以及國外海洋人為噪音對於鯨豚之衝擊與影響作為參考。

一、水下噪音特性

在了解水下噪音前，應先了解水下聲音與空氣中聲音單位之不同，才不致以不同標準來比較。水下聲音以 dB re 1 μ Pa 為單位，空氣中則是以 dB re 20 μ Pa 為單位，因此相較於空氣中 100 分貝(dB)的聲壓能量，水中聲音的 100 分貝聲壓能量大上許多。因此當我們要比較兩個噪音源之音壓大小時，應先確認其單位標準。音壓(SPL: sound pressure level)是直接測量聲音的壓力，描述方式有波峰至波谷(peak-to-peak)，零至波峰或是簡稱波峰 (0-to-peak or peak)，以及對長時間音壓的均方根(RMS: root mean square) (圖 7.2.5-1)；SEL (sound exposure level) 則是總能量標準化於持續 1 秒鐘時間之能量，其單位則是以 dB re 1 μ Pa²·s 表示。本計畫將以 dB 代表水下聲音的強度，但是會註明 SEL 或是 SPL，並對 SPL 標明 p-p、peak、RMS 以區分不同的標準。

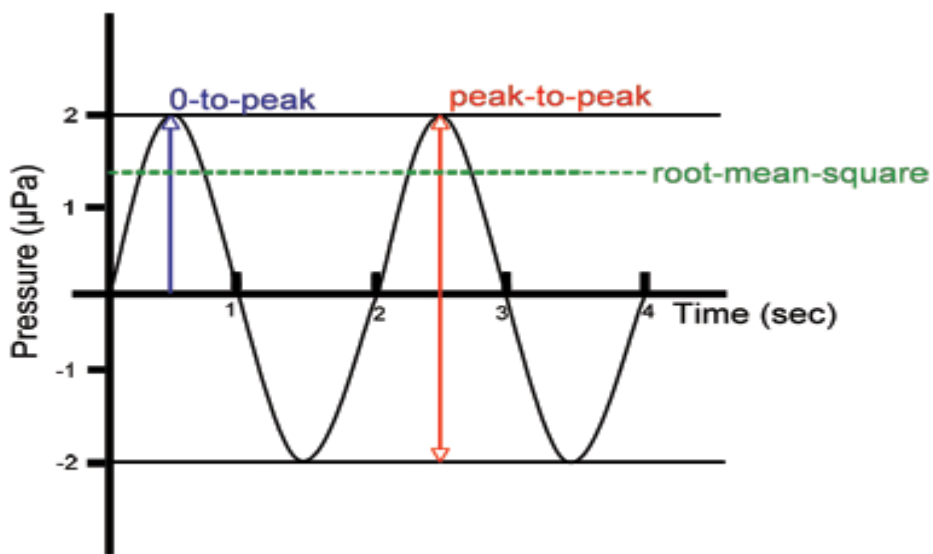
二、鯨豚的聽力

聲音在鯨豚適應水下環境扮演很重要的角色，除了用作生物之間的溝通外，更重要的回聲定位系統輔助視覺用來探測與感知活動的環境，因此鯨豚具有精準且靈敏的聽覺。鯨豚的聽力藉由電生理實驗-聽覺誘發電位法(auditory evoked potential methodology)來量測不同頻率與音量的腦波聽覺誘發電位，可得到聽力靈敏曲線。圖 7.2.5-2 為 Popper & Hawkins 2012 彙整鯨豚的聽力閾值(hearing threshold)之相關研究結果，相較於人類僅能聽到 20 Hz- 20 kHz，鯨豚可以聽到極為廣泛的頻率範圍，大致在 10-120 kHz 之間呈現最好的聽力反應，且不同科別鯨豚的聽力閾值具有差異。而許多的人為噪音也常分佈在此頻率範圍內，因此我們更必須特別注意這些人為噪音對於鯨豚的潛在影響。

本計畫於風場範圍內調查發現之瓶鼻海豚，屬於中頻鯨豚，聽力靈敏的頻率範圍在 150Hz-160 kHz(NOAA 2016)(表 7.2.5-1)。

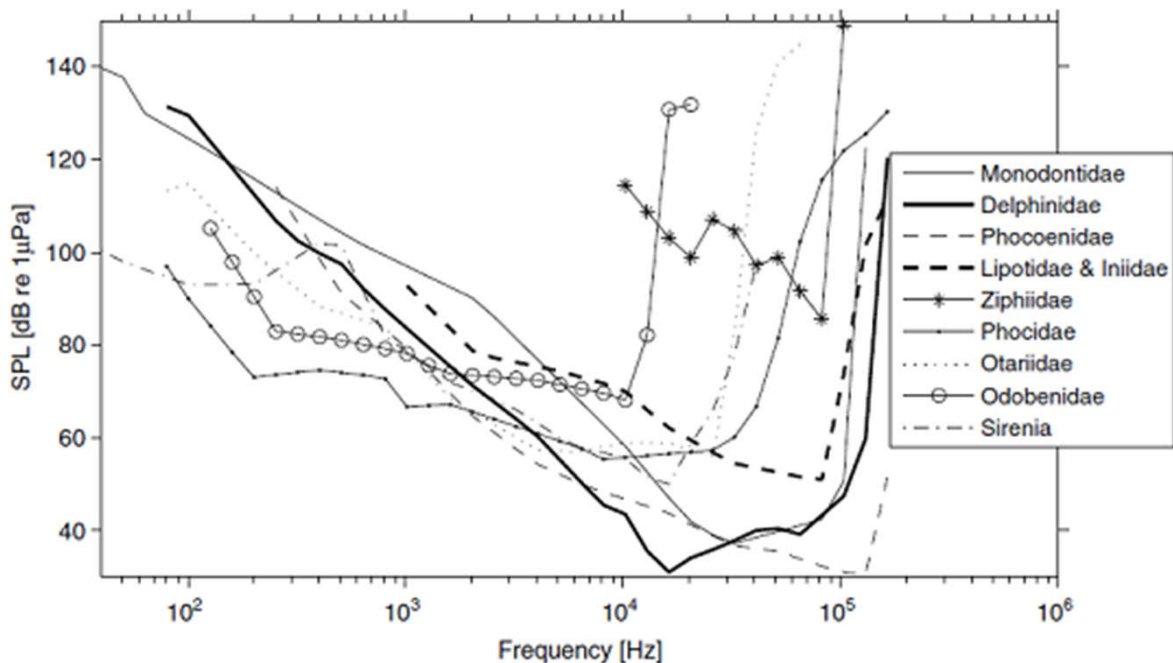
表 7.2.5-1 Marine Mammal hearing groups (NOAA, 2016)

| Hearing Group | Generalized Hearing Range* |
|---|----------------------------|
| Low-frequency (LF) cetaceans (baleen whales) | 7 Hz to 35 kHz |
| Mid-frequency (MF) cetaceans (dolphins, toothed whales, beaked whales, bottlenose whales) | 150 Hz to 160 kHz |
| High-frequency (HF) cetaceans (true porpoises, <i>Kogia</i> , river dolphins, cephalorhynchid, <i>Lagenorhynchus cruciger</i> & <i>L. australis</i>) | 275 Hz to 160 kHz |
| Phocid pinnipeds (PW) (underwater) (true seals) | 50 Hz to 86 kHz |
| Otariid pinnipeds (OW) (underwater) (sea lions and fur seals) | 60 Hz to 39 kHz |



0-to-peak，零至波峰；peak-to-peak，波峰至波峰；root-mean-square，均方根
 資料來源：<http://www.dosits.org/science/advancedtopics/signallevels/>

圖7.2.5-1 使用不同單位來表示聲音音壓的大小



資料來源：Erbe 2010 in Popper & Hawkins 2012

圖7.2.5-2 不同科別的鯨豚對於不同頻率的最低聽覺閾值