

風力發電的環境衝擊大嗎？

2018.05

核能研究所 蕭子訓

關鍵字:風力發電、電力市場、環境

早在十九世紀末，第一部風力發電機便已問世，然當時由於經濟效益及效率皆不高的因素，並未被廣泛使用，但經過全球兩次石油危機後，再加上全球暖化議題逐步升溫，風力發電近年來已成為重要的可再生能源選項。我國約於 21 世紀初開始使用風力發電，至今每年約能產生 7 億度電，若以平均每個家庭每月使用 303 度來計算，約能供應 20 萬戶家庭的日常用電。台灣過去的發展主要聚焦於陸域風力，目前則以離岸風電為主。根據國際上的調查指出，台灣海峽擁有世界一級的離岸風場，長遠來看應能提供相當可觀的電力。

核能研究所於 2017 年針對 1200 位國人進行能源社會意向調查 (核能研究所, 2017)，該調查亦要求受訪者考量碳排放量及發電成本，並輔以自身對於個別能源的認知，進行虛擬電力市場的模擬測試。研究成果指出，相較於目前風力發電的使用，79.5%的受訪者支持使用更多的陸域風電，更有 83.5%的受訪者支持使用更多的離岸風電，若以整體電力結構來看，受訪者傾向於使用更多的再生能源來取代傳統能源，顯示無論是陸域或離岸風力發電均獲得多數民意的支持與期待。惟風力發電除了是低碳永續的潔淨能源外，開發及運轉過程可能也會對生態環境或當地居民帶來負面的影響，例如低頻噪音對居民、魚類的影響、風機場址對土地空間、海洋空間使用的影響等等，故由於鄰避效應的原因，將可能會產生「我同意使用風力發電，只要不要在我家附近」的結果。

風力發電對環境生態影響

1. 影響綜覽

「台灣本島西部近岸設置風力發電機組場址選擇及工程可行性研究」研究報告(怡興工程顧問有限公司, 1996)指出，風力發電機組施工及運轉期間，對環境及生態可能造成之影響主要需考量的項目包含地形、水質、空氣品質、交通運輸、噪音、廢棄物、海域生態及鳥類八項，並提出初步的保護對策。目前環境衝擊影響評估通常探討物理及化學環境、生態環境、社會經濟環境、文化環境等(郭乃

文及黃思綺，2012)，探討的範圍通常包含地形、地質、水文、水質、廢棄物、噪音、空氣品質、通訊及電磁波干擾、日照陰影、生態環境、社會經濟環境、交通系統、景觀及遊憩環境、文化環境及居民意見調查分析等，相較之下，當代環境衝擊影響評估考慮的範圍，技術上主要多了通訊及電磁波干擾，並更關切社會、經濟及人文的考量。過去研究者較為關注的負面衝擊集中於對鳥類之干擾與影響、噪、以及視覺衝擊等面向(郭乃文及黃思綺，2012)，而目前國內生態上則對於中華白海豚有較多的關注。

2. 風力發電機對鳥類的影響

此外，風場成排的風力發電機組可能會對地區性和季節性遷徙的鳥類，在利用棲息地、繁殖地與覓食地之間產生干擾，致使可利用的棲地減少甚至碰撞傷亡，尤其是對偏好在海岸棲地、族群量高密度的鴉形目(Charadriiformes)水鳥衝擊更大(施月英、鄭先祐，2008)。根據施月英和鄭先祐於2008年彰化海岸崙尾風能場設置前後期的調查結果顯示，鴉形目水鳥群聚數量減少，呈現較為分散的情況，主要的飛行路線有所調整，遠離風力機向外位移100公尺以上，且出現有臨時轉向飛行的行為。該研究認為，風能場設置之前，可先了解當地水鳥群聚活動的情況，納入規劃設計風力機的配置，將可有效的降低對鳥類生態的衝擊。

有關鳥類撞擊風力發電機組與鐵塔之研究在台灣十分稀少，施月英和鄭先祐(2008)的研究亦未發現撞擊事件。林世強(2011)認為主要原因可能在於調查頻率稍低，或調查長度不足，鳥體容易被清除或其他動物叨食，因此須較密集且長期之調查方可獲得真正之撞擊案例數量。故在「鳥類撞擊鐵塔與風力發電機之調查與防治」研究中(林世強，2011)，林世強實際調查風力發電機對鳥類之影響，觀測鳥類飛經風力發電機之情形並撿拾設施下方鳥類屍體，由鳥類物種與數量、撞擊頻率、鄰近地景等因素，探討此類高架設施對何種鳥類最具危害性。該研究所調查的風力發電機主要是圍繞彰濱工業區及沿海地帶，研究發現風力發電機鳥擊有集中的現象，且多緊鄰水體，推測可能鳥類於河道上空聚集或覓食時撞擊風力發電機葉片而亡。此結論對於未來風力發電機之選址極具參考價值，該研究建議，風力發電機應儘量遠離水體或河道，以減少鳥類接近之機會，然由於多數機組位在離岸之沿岸地區，此時避免鳥擊似乎相當不易，但由於鳥擊有集中的現象，規劃時可以將此現象深入考量，尤其在候鳥遷移路徑上或鳥類聚集處，可考慮避免設置風力發電機，以減少鳥擊之機會。

3. 風力發電機對白海豚的影響

中華白海豚為一級保育類野生動物，台灣唯一的棲地與西海岸具備豐沛風力資源的風場有所重疊，離岸風機施工及運轉期間會產生噪音，進而對白海豚的聽力產生衝擊，如何兼顧生態保育與綠能發展亦是我國環評常見的爭點。周蓮香等(2013)於「離岸風機影響中華白海豚生理與生態之研究」研究中指出，選址時須依據中華白海豚分布梯度進行評估，減少與中華白海豚活動敏感區域的重疊；施工除了選擇適當的工法外，亦須留意中華白海豚的活動模式及監測區內白海豚的出現與移動路徑。王詠祺(2012)結合海域水質、水下噪音、白海豚生態資料及風機結構，提出離岸風機的選址應當距離白海豚棲息地 2 公里的距離，所產生的噪音強度對於中華白海豚的威脅較小，而根據 2017 年至 2018 年離岸風機環評的結果彙整，通過環評的風機與白海豚的棲地距離為 2 公里(雲林離岸風場)~4.2 公里(彰化外海台電二期)之間。

風力發電對當地居民影響

檢視近年苗栗縣苑裡風機抗爭事件及彰化縣、新北市離岸風機場址的漁民抗爭，國內對於陸域或離岸風機的陳抗事件包含三個主要的爭點，首先是陸域風機位置鄰近居民住宅空間，影響民眾生活品質，尤其是低頻噪音引起的風機症候群為陳抗民眾的主要論點。其次，離岸風機設置場址對漁場、漁業權的影響尚未釐清前，也存在著海域空間的使用爭議。第三，政策規劃過程中，缺乏完整的民眾參與機制。

1. 風機低頻噪音對人體的負面影響？

關於風機症候群的學術討論，見於 Farbound 等(2013)在國際醫學期刊《The Journal of Laryngology & Otology》發表〈「風車症候群」：事實或虛構〉(“Wind Turbine Syndrome” : Fact or Fiction)一文指出，暴露在低頻噪音可能會造成耳鳴、眩暈等症狀。而風力發電機運轉所產生的噪音可分為兩種：(1) 機械噪音，係由機艙內的發電設備運轉所產生之噪音，(2) 空氣動力噪音，係因氣流通過葉片轉動時所產生風切之噪音。許惠悰(2014)透過文獻回顧的方式，蒐集 2007 年之後的國際學術期刊論文，分析風力發電機組低頻噪音與健康風險之間的關係，過往的文獻證實噪音造成人體產生壓力荷爾蒙，其分泌多寡將影響血壓、血脂、血糖、凝血與血液黏性，為高血壓、動脈硬化與心肌梗塞的風險因子。雖從相關研究結果，可將低頻噪音視為對人體存有潛在危害，心血管疾病尤須列為重點，但國內仍缺乏相關的實證數據 (許惠悰，2014)。此外，另有研究

也提到當風速達到 10 m/s 以上時，量測結果呈現平緩約在 1 dB 範圍內跳動，且在風機聲音特性對應於距離的關係上，呈現隨距離的增加而有衰減趨勢，因此在苑裡反風車的案例中，當地居民主要的訴求就是建立風機的距離規範(賴昱瑄，2011)。另外，針對風力發電機組低頻噪音管制標準的相關研究中，建議測量結果若背景音量小於管制值時，以噪音管制標準進行管制，如超過管制值時，則建議以不得超過背景音量 5 dB 作為增量管制值。依大型風力發電機低頻噪音不致影響周遭人畜最適距離的模擬結果顯示，最近建築物直線距離不得低於 250 公尺以下，若於 250 公尺內有住戶需要進行環境影響評估(廖國誠，2010)。參考國外風機設置地點與居住地距離之關係，多以噪音為評估基準；而在距離限制上，則依各州、城市採取不同的管制標準；在考量對象上則以居住區為主，未單獨提及與道路間的距離 (賴美蓉、曹瑋玲，2015)。

國內目前尚無風機噪音對人體健康影響的實證研究。范玟芳 (2014) 針對風機低頻噪音對人體的可能影響進行訪談，根據該名受訪醫師表示風車症候群對情緒與心理上的影響較大，多數受影響民眾是經過心理的影響轉化成生理的影響。精神層面包括憂鬱、躁鬱、失眠等，生理層面包括高血壓、動脈硬化、心肌缺氧等。不過，截至目前為止，風場對於所產生的低頻噪音是否會影響身體健康在國際醫學上仍有所爭議，為釐清風場與健康之間因果關係，許惠棕 (2014) 建議需要長期性的低頻噪音監測資料、人體的健康檢查資料、人體的生物標記資料。綜合這些資料，再進行比較明確健康影響分析與探討。

現行法制方面，或許是受到苑裡反風車行動的影響，環保署於 2013 年修正噪音管制標準時，將風力發電機組個別納入噪音管制範疇，根據該管制標準，風力發電機組音源 20Hz 至 20kHz 頻率範圍之噪音管制標準如表 1。另一方面，在法律或法規命令中，對於風機間距、設置地點周遭、鄰近不同種類之使用地或是民宅所應保持的間隔距離，乃至於用以決定該等間距之標準等事項，均未有所規範，未來若政府有意繼續推行陸域風機，可參考國外經驗早期訂定相關規範。目前臺中市為辦理民營電廠申請核發設置風力發電設備同意函等事項，訂以相關作業要點，該要點對於風機間距以及風機與民宅的距離設有明文規定，並要求風機業者應具體提出回饋設置地點周遭居民及市政府的方案，以及於核發同意函時得以附加條款的形式要求設置者於興建期間加強睦鄰與民眾溝通。然而，該作業要點僅屬於行政機關內部的行政規則，能否作為強制約束風機設置業者一定行為義務之規範依據，仍有待釐清 (陳信安，2017)。

表 1 風力發電機組音源 20Hz 至 20kHz 頻率範圍之噪音管制標準

管制區	時段		
	日間	晚間	夜間
第 1 類：環境亟需安寧之地區	39 分貝	39 分貝	36 分貝
第 2 類：住宅使用為主，需安寧之地區	39 分貝	39 分貝	36 分貝
第 3 類：住宅為主，混合商業或工業使用，需維護住宅安寧之地區	44 分貝	44 分貝	41 分貝
第 4 類：工業及交通使用為主，需防止噪音影響附近住宅安寧之地區	47 分貝	47 分貝	41 分貝

資料來源：整理自行政院環保署發布之噪音管制標準第 8 條第 1 項第 2 款第 1 目。

註：依該管制標準第 2 條第 5 款規定，所謂日間，係指各類管制區上午 7 時至晚上 7 時。所謂晚間，在第 1、2 類管制區係指晚上 7 時至晚上 10 時；第 3、4 類管制區指晚上 7 時至晚上 11 時。夜間在第 1、2 類係指晚上 10 時至翌日上午 7 時；第 3、4 類管制區指晚上 11 時至翌日上午 7 時。

2. 離岸風機傷害漁民的漁業權？

近年離岸風電業已成為我國政府推動綠能的主要項目，而離岸風電的設置爭議除了白海豚、藻礁等生態議題，與當地居民最切身的毋寧是漁業權的損害及賠償。包括彰化芳苑、大城，桃園新屋及新北市三芝、淡水外海等離岸風電設置場域，都因為當地漁民擔心離岸風電可能破壞漁場而傷及漁民的生計，進而發起規模不等的陳抗事件。國內的風電業者上緯、福海等都曾因漁業談判而進度延宕。行政院農委會漁業署遂於 2016 年底提出「離岸式風力發電廠漁業補償基準」，並訂定漁業補償金計算公式，期望標準公式能平息紛爭。

而漁業權受損可以獲得補償的法理基礎在於我國漁業法將漁業權視為物權，準用民法相關規定。而國際上將漁業權視為物權的國家只有日本與我國，胡念祖（1995）指出這種做法值得商榷，因為將漁業權「準私人化」指涉的應當是漁業資源的使用權而非所有權。而漁業補償機制雖然有補償金公式，但仍無法有效解決當地漁會與風力開發商間的爭議，漁業補償問題仍是許多離岸風電開發案環

評會議上的主要爭點，甚至成為漁會與開發商間的訴訟標的，因此，現階段而言，早期的溝通輔以實惠的補償金可能是目前唯一的解方。

補償金之外，政府與業者也常以「漁村轉型」當作風機與漁業共榮的願景，例如離岸風機基座可能聚魚效果。長期而言，風機基座可形成人工魚礁區，產生聚魚效益，且風機附近海域為禁漁區可同時護魚，魚因為成長或季節變換等多種不同因素的影響下會進行洄游移動，前往附近的天然魚礁、人工魚礁和藻場等可以進行漁撈作業的海域，當魚洄游至不同海域時被漁民所捕獲利用，進而形成護漁的外溢效果(能源局，2017)。但目前國內未有聚魚效應的實際案例，國內相關開發案的環評報告書也未見相關評估。

和解共生的可能？

整體而言，從生態保護的角度來看，目前我國做法為要求廠商在選址及施工期間進行務實的評估，且其為環評重要考核項目之一，但未來如何落實監督廠商實際施工的情況，並免對海洋生態產生實質的衝擊，將是一大挑戰。

無論是陸域風電還是離岸風電的社區陳抗皆可視為鄰避效應(not in my backyard, NIMBY)，而這樣的陳抗事件或鄰避現象已逐漸成為各國推動再生能源發展上最大的問題之一。值得一提的是，再生能源設施的鄰避效應有其複雜性與特殊性，因此常會見到許多陳抗的標語都會強調並非反對綠能建設，而是訴求某種基本的生存權或健康權。另一方面，因為綠能建設往往符合多數的主流民意，因此傳統用來消解鄰避情感的補償金機制，此時此刻往往無法發揮預期作用。在文獻與實際案例的分析上，補償金與居民支持度之間的關係會受到許多其他因素的影響，不存在明確的因果關係(蕭代基、黃德秀，2006)。有時補償金非但不能改變民眾反對的立場，反而深化彼此的對立(蔡岳勳、王齊庭，2014)。

除了補償金機制，近年國內外學術與實務界時興藉著公民諮議、公民參與(public participation)來促進科技決策的民主含量。目前台灣的環評法規已能滿足形式上的要求，包括事前公告、辦理公聽會等程序。但實務上還是無法化解爭議，甚至遭到黑箱或反民主的批判與質疑。在資訊公開、程序參與以及補償金機制都未能消解再生能源鄰避現象的當代，有更多的研究開始倡議以共享所有權與利潤為中心的公民參與，例如民眾入股、共同獲利或是直接參與的模式(蔡岳勳，2017)。德國與丹麥已有成熟的案例可供參考，例如德國在2016年頒布「公民與市政參與法」強制要求風電開發商需保障當地居民優先且低門檻的投資權利。丹麥則是藉由擔保機制讓居民可以獨自發動再生能源的前置作業、輔以財產損失賠償、居民優先入股等配套機制(蔡岳勳，2017)。未來國內仍須通過法

規盤點與調整，消除法制上的障礙，並具體規劃出可以讓中央與地方、民間與政府、社區與開發商等多元利害關係人可以共榮獲利的商業模式，以提高再生能源設置時的社區接受度。

參考文獻

- 王詠祺 (2012)，評估離岸風力發電廠對於中華白海豚的影響，國立成功大學碩士論文。
- 周蓮香、楊瑋誠、林思瑩、林子皓 (2013)，離岸風機影響中華白海豚生理與生態之研究，科技部補助專題研究計畫成果報告。
- 怡興工程顧問有限公司 (1996)，台灣本島西部近岸設置風力發電機組場址選擇及工程可行性研究，台電公司委託計劃。
- 林世強 (2011)，鳥類撞擊鐵塔與風力發電機之調查與防治，行政院國科會專題計畫，計畫編號 NSC 100-2221-E-507-006。執行單位：國立金門大學土木與工程管理學系，計畫主持人：林世強。
- 施月英、鄭先祐 (2008)，風能場對彰化海岸鴉形目鳥類的群聚與活動類型的衝擊，國立臺南大學環境與生態學報，1(1)：47-64。
- 胡念祖 (1995)，漁業權是公共責任不是私人財產。1995/07/08 中國時報第 11 版，連結網址：
<http://marinepolicy.nsysu.edu.tw/files/16-1152-85143.php?Lang=zh-tw>。最後拜訪日期：2018/03/06。
- 范玟芳 (2014)，風險管制與程序正義：風力發電機設置爭議，民主與治理，1(2)：59-81。
- 原能會核能研究所 (2017)，我國民眾之電力願付價格與市場調查研究，執行單位：財團法人資訊工業策進會，計畫主持人：姜漢儀。
- 許惠棕 (2014)，風力發電機組產生之低頻噪音與健康風險的展望。台灣公共衛生雜誌，33(4)：360 – 376。
- 郭乃文、黃思綺 (2012)，海岸地區設置風力發電設施可能產生之衝擊影響面向分析，工程環境會刊，28:49-62。
- 陳信安 (2017)，陸域風力發電設備之鄰避管制—以德國法制為借鏡。68(1)：68-94。
- 經濟部能源局 (2017)，離岸風電區塊開發政策評估說明書，下載連結：
<https://eiadoc.epa.gov.tw/EIAWEB/DownloadFiles.ashx?shcode=1050020A&sfilename=000.PDF>。最後拜訪日期：2018/03/06。

- 廖國誠 (2010) , 風力發電低頻噪音公害糾紛議題之研究 , 臺北大學自然資訊與環境管理研究所學位論文。
- 蔡岳勳、王齊庭 (2014) , 以彈性公民多元參與模式促進綠色能源發展之法規政策初探 , 法制與公共治理學報 , 2 : 63-91 。
- 蕭代基、黃德秀 (2006) , 補償對鄰避現象的影響—以烏坵低放射性廢料場址為例 , 2006 年環境資源經濟、管理暨系統分析學術研討會 , 中央研究院經濟研究所。
- 賴昱瑄 (2011) , 濱海風力發電噪音與風速關係之研究 , 國立臺灣海洋大學碩士論文。
- 賴美蓉、曹瑋玲 (2015) , 因應台灣風機抗爭事件之課題與對策分析—以中部區域為例 , 臺灣能源期刊 , 2(2) : 99-112 。
- Farboud, A., Crunkhorn, R., & Trinidad, A. (2013), "Wind turbine syndrome" : fact or fiction? *The Journal of Laryngology & Otology*, 127(3), 222-226.