



風力發電的潛在生態危機 —以蝙蝠為例

周政翰¹ 鄭錫奇² 劉建男³ 楊凱傑⁴ 張育誠⁵ 李玲玲⁶

能源使用狀況與綠色能源的發展沿革

1970年開始，世界連續掀起兩次全球性的能源危機，造成全面的經濟衰退，西方世界甚至出現所謂「失落的十年」階段，對人類發展產生重大的衝擊與影響。根據我國經濟部能源委員會預估，全世界石油總蘊藏量只可再供開採約40年，天然氣可供開採約62年，煤炭則尚可開採227年左右，而核能發電方式，由於其燃料源自鈾礦，預估尚可開採77年，惟若考慮進行核燃料回收再處理後重複使用，則其可使用年數能增加50倍以上，約達3,800多年。目前可看出全世界依賴最深的主要能源—石油及天然氣，在二十一世紀的前半時期就將枯竭。全球因為石油與天然氣等能源生產設備過度投資建設，造成消費市場供過於求，因而價格仍尚穩定，但隨著諸多產地蘊藏量減少

甚至枯竭，目前已面臨能源短缺而使價格劇烈波動，這種現象已衝擊全球經濟發展，今（2008）年年中國際原油價格飆破每桶140美元即可窺得一斑。然而，能源使用背後的附加產物造成的環境破壞負面成本更是地球的一大隱憂。是故，綠色能源的利用便成為全球趨勢，而其中又以風力發電為目前發展最為迅速的方式之一。

風力發電的潛在生態危機

Elliott *et al.* (2004)指出美國半數州皆有可發展陸上風力資源的地區，而風力能源在歐洲亦漸趨流行。雖然風力發電是較能永續使用且較環保的能源產生方式，但是風機(wind turbines)開始設立並運轉以來，包括Schmidt *et al.* (2003)、Kerlinger and Kerns (2004)、Arnett (2005)等人的研究卻陸續提出其對野生動物族群，特別是具備飛行能力的鳥類與蝙蝠造成傷害的證據。Kerlinger and Kerns (2004)指出在美國西佛吉尼亞州的Mountaineer 風力發電中心，2003年秋季短期採樣調查竟發現超過400具的蝙蝠屍體，藉此估算2003整年蝙蝠的死亡數目應超過2,000隻個體。Arnett (2005)在同一區域2004秋季進行調查後亦獲得相近的死

¹ 台灣蝙蝠學會研究專員、聯絡作者

² 特有生物研究保育中心研究員兼組長、

³ 助理研究員

⁴ 私立東海大學生命科學系研究生、⁵ 研究助理

⁶ 國立台灣大學生態學與演化生物學研究所教授

亡數目，但是估算2004整年卻超過4,000隻蝙蝠死亡。Johnson (2005)提及九成以上風機造成的蝙蝠死亡數量發生於秋天，即當地蝙蝠的遷移季節(8~10月)，而且超過8成以上的死亡蝙蝠種類是遷移性蝙蝠，如灰毛尾蝠(*Lasiurus cinereus*)、紅毛尾蝠(*Lasiurus borealis*)與銀毛蝠(*Lasionycteris noctivagans*)。Pasqualetti *et al.* (2004)亦指出大約9成被風機所殺害的蝙蝠種類為遷移性蝙蝠，而且風機造成的蝙蝠死亡多數發生在夏末與秋季。可見風力發電機組的設置與運轉對蝙蝠族群造成的影響甚鉅，許多地區甚至不亞於對鳥類造成的傷害。但是由於蝙蝠屬於夜行性動物，體型較小使得屍體不易被發現，而且一般大眾的關注程度較低，可能因而一直被忽略。

風力發電機組為何會造成蝙蝠的死亡？

近年來，許多研究者開始提出並討論風力發電機組為何會吸引蝙蝠，以及對蝙蝠族群造成影響的原因，例如風力發電機組是否會吸引飛行性的昆蟲或蝙蝠本身？若吸引昆蟲或蝙蝠的情形確實存在，是如何吸引的？以及這類吸引現象是普遍發生或是會在某些特定時段較容易發生？機組架構是否可以修改以降低其對生物的衝擊或者風力發電機組扇葉的運轉時間可否轉為人為控制，特別在野生動物(如蝙蝠及候鳥等)遷徙的季節停止或減少其運轉？上述問題大多針對風力發電機組的結構改變之可能性。然而，也有許多問題是針對蝙蝠生物學或動物行為學方面。諸如每個地區蝙蝠的遷徙廊道或飛行路線位於何處？遷徙性的食蟲蝙蝠

在夜間飛行時通常使用何種感官訊息來找到方向？蝙蝠通常較易撞擊風力發電機組扇葉或是其主桿？風力機組平均造成多少蝙蝠個體死亡？風力發電機組附近的蝙蝠覓食行為為何？被風機所殺害的蝙蝠大致年齡為何？或者，風機造成的蝙蝠死亡是否與其年齡、性別或生殖狀態相關？為了解釋風力發電機組如何與為何造成食蟲性蝙蝠死亡的原因，Kunz (2004)參考Ahlen (2003)、Kunz *et al.* (1998)以及Johnson *et al.* (2003)等人的研究，提出下列9種假說，試圖回答上述諸多問題。包括：

一、感覺失能假說(Sensory failure hypothesis)：覓食中與遷徙飛行中的蝙蝠，其視覺與聽覺並無法有效偵測出運轉中的風機組扇葉。視覺是飛行於高處的蝙蝠主要使用的感官之一，然而圓柱狀的風機組主桿與扇葉旋轉時造成的殘影或許會造成夜間覓食或遷徙中的蝙蝠不易發現風機的存在。

二、棲所吸引假說(Roost attraction hypothesis)：許多撞擊風機而死亡的蝙蝠為樹棲型種類，是否意味著風力發電機組可能讓這類蝙蝠感覺像是一棵可作為棲所的大樹？因而受其吸引而過於靠近風機，以至於造成傷害或死亡。

三、聲音吸引假說(Acoustic attraction hypothesis)：風力發電機組的扇葉轉動時會發出低頻聲音，這類的低頻聲音可能會吸引蝙蝠靠近而造成傷害或死亡。

四、昆蟲集中假說(Insect concentration hypothesis)：飛行性昆蟲會隨著暖



東亞家蝠。(周政翰 攝)



風機周圍所發現東亞家蝠屍體。(張育誠 攝)

氣團而上升，到了晚間通常會集中在地景的高點，而風機組常座落在這些地方。蟲食性蝙蝠可能選擇這些昆蟲高度集中的地方作為遷徙廊道，也因此容易與風機組碰撞而造成傷害或死亡。

五、昆蟲誘捕假說(Insect entrapment hypothesis)：夜間飛行性的昆蟲可能

會受到白色風機主桿的誘集而靠近，靠近扇葉後又受其旋轉時形成的氣旋滯留而不易飛去，因而集中於扇葉附近。因此當蝙蝠受昆蟲吸引前往覓食可能由於過於靠近扇葉而造成傷害或死亡。一般說來，此假說對於區域性覓食的蝙蝠影響較大而對於遷徙性蝙蝠物種影響較小。

六、直線廊道假說(Linear corridor hypothesis)：蝙蝠覓食與遷徙通常會依線性方向進行，風機組設置的地區通常會整修或砍除樹木而形成蝙蝠會利用的線性路徑，使其利用而造成傷害或死亡。

七、身體機動性降低假說(Reduced maneuverability hypothesis)：秋季遷

徙的蝙蝠通常會累積大量的脂肪以爲進入冬眠做準備，體重的增加會使飛行時的負荷量隨之增加，因此身體機動性的操控股度會降低，因而不易閃避運轉中的風機。

八、減壓假說(Decompression hypothesis)：因風力發電機組扇葉旋轉導致周圍氣流快速減壓而造成蝙蝠死亡。

九、風機警示燈吸引假說(Light attraction hypothesis)：風機上用以警示低飛行物體的閃爍燈號可能吸引蝙蝠。但有研究指出風力發電機組有無設置警示閃爍燈與蝙蝠的死亡率並無差異。雖然如此，評估使用不同顏色、裝設不同位置與不同閃光頻度的警示燈對蝙蝠死亡率的影響是否有所差異仍值得嘗試。

台灣潛在會受威脅的蝙蝠物種

台灣近年來風力發電機機組的架設如雨後春筍般展開，架設的地點則多選在開闊地區，如海岸沿線、內陸開闊平原或沿著山脊的頂端。筆者曾於2007年間調查台灣地區風力發電機組週邊環境時，發現在風力發電機組下面分別有東亞家蝠(*Pipistrellus abramus*)及小雨燕(*Apus affinis*)的屍體紀錄。夜間利用蝙蝠超音波監測器測錄這一帶的蝙蝠超音波音頻資料，分析後得知有許多種類會在此區活動：包括褶翅蝠(*Miniopterus schreibersii*)、東亞家蝠、大足寬吻鼠耳蝠(*Myotis* sp.2)、長尾鼠耳蝠(*Myotis* sp.3)、絨山蝠(*Nyctalus velutinus*)、高頭蝠(*Scotophilus kuhlii*)、棕



上圖：褶翅蝠。(周政翰 攝)

下圖：絨山蝠。(周政翰 攝)

蝠(*Eptesicus serotinus horikawai*)及台灣管鼻蝠(*Murina puta*)等。根據Norberg and Rayner (1987)研究觀察，部分蝙蝠物種由於其飛翼形態所造成的飛行能力，屬於僅能活動於開闊環境的種類。台灣地區屬於此類型的蝙蝠，在賴慶昌(2000)的論文中指出包含了台灣葉鼻蝠、夜蝠(*N. noctula*)，現釐清應爲絨山蝠)、高頭蝠、游離尾蝠(*Tadarida teniotis insignis*)，亦稱皺鼻蝠)、黃喉家蝠(*Arielulus torquatus*)，現稱黃頭蝠)等5種食蟲蝙蝠。此外，徐昭龍等人(2006)整理台灣海濱地區不定點不定期所累積的調查資料發現已知有台灣狐



高頭蝠。(周政翰 攝)



台灣葉鼻蝠。(周政翰 攝)

蝠 (*Pteropus dasymallus formosus*)、台灣葉鼻蝠 (*Hipposideros terasensis*)、無尾葉鼻蝠 (*Coelops frithi formosanus*)、台灣小蹄鼻蝠 (*Rhinolophus monoceros*)、台灣大蹄鼻蝠 (*R. formosae*)、棕蝠、摺翅蝠、東亞家蝠、高頭蝠、游離尾蝠、台灣鼠耳蝠 (*M. taiwanensis*)

及高山鼠耳蝠 (*Myotis* sp.1) 等種類會活動於海濱地區。因此，除了我們發現的東亞家蝠外，台灣的蝙蝠種類中尚有5科16種的蝙蝠是屬於可能會因為風力發電機組架設與運轉而遭受潛在受威脅的種類。

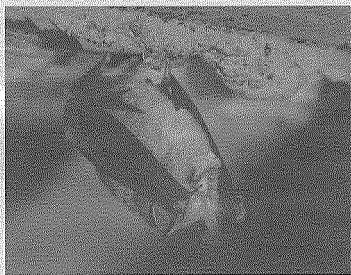
結語及呼籲

台灣地區已知蝙蝠的種類達30多種，絕大多數的種類皆以昆蟲為食，而蟲食性蝙蝠與生態環境健康與否具相關性，像是近年來危害台灣森林的松材線蟲的主要傳播媒介為天牛，而台灣地區多種大型的食蟲蝙蝠(如台灣葉鼻蝠)以鞘翅目昆蟲為主食，天牛亦為其食物之一。另外，許多小型的蟲食性蝙蝠(如東亞家蝠)由於棲息於人類居家建築

中，常有效率地控制在人為環境中活動的所謂害蟲，因其單一隻個體一個晚上的覓食活動中就可以捕食約500至1,000隻雙翅目或鱗翅目昆蟲，包括擾人的蚊子及危害農作物的蛾類。由此觀之，蝙蝠的存在對生態及人類的重要性無庸置疑。

在石油資源逐漸枯竭及環境污染日益惡化的今日，風力發電是目前世界發展綠色能源的重要方式之一。台灣的風力發電機組能源產生方式自2001年已經開始運用，而台灣電力公司擬訂的「風力發電十年計畫」中指出將在2011年前完成至少200部風力發電機組設置。然而，由風力發電機組獲得綠色能源的同時隨之而來對環境以及飛行性動物可能造成的影響則未見評估。台灣蝙蝠的研究正在起步，蝙蝠的保育逐漸受到重視，但是有許多物種極可能受到風力發電的發展而受到影響，造成族群數量的銳減、甚或消失絕滅。因此，我們想藉由本文提出以下的呼籲：

- 一、藉助國外的經驗與研究結果，風力發電機組研發單位在設置風力發電機組前，應積極與野生動物相關研究保育單位或專家討論評估風力發電機組的設立對生態環境與野生動物可能造成的傷害與解決之道。
- 二、對於預定設置風力發電機組的地點，在設置之前應先進行當地蝙蝠相及相對數量的調查，並在設置中及設置後進行族群數量變化以及風機造成蝙蝠死亡率變化等的長期監測。調查及長期監測方法應包括系統性的地面搜尋、超音波的長期監測紀錄、夜間影像監



上圖：游離尾蝠。(周政翰 攝)

下圖：台灣小蹄鼻蝠。(周政翰 攝)

控等來觀察記錄周遭飛行性動物(如蝙蝠與鳥類)的活動情形與遷移行為模式，並參考檢測上述9種假說以瞭解可能造成的生態衝擊與解決之道。

- 三、針對蝙蝠生態學而言，應了解個別種類的覓食及活動行為或季節遷徙路徑等資訊，以提供風力發電機組研發單位在評估適切的風機架設位點之參考，避免風機架設於蝙蝠覓食區域、遷徙廊道及棲所附近。

期望台灣未來在發展及享用綠色能源之餘能對生態環境及野生動物之負面影響降至最低，共同維護台灣珍貴的生物多樣性資源。