

風力發電技術發展現況、趨勢與瓶頸

蘇煒年、鄭景木、黃金城、陳中舜

核能研究所-風機技術分組、能源經濟及策略研究中心

2013/03

一、發展現況概述

1. 風力發電為現階段再生能源最主要的選項之一。依據 WWEA 資料 2011 年全球新增風電裝機容量 41GW，全球累計風電裝機達到 238GW，前三名風電裝機容量的國家分別為中國、美國及德國。
2. 2012 年時我國風力發電總安裝容量約 564MW，共計 288 台風力發電機組。依據能源局規劃，2025 年風力發電裝置目標達 3GW(含離岸風力發電 1.8GW)，2030 年風力發電裝置目標達 4.2GW(含離岸風力發電 3GW)[1]。
3. 近期由於陸域風場日漸飽和，故各國皆已先後投入離岸風場的開發。雖然 2011 年時離岸風機約僅佔了全球風機裝置容量的 1.72%，但近期成長卻相當迅速(如表 4-4-1)。特別是在英國，2011 年該國總累積的機組數目已達 2.1GW，甚至超越了風力傳統技術大國丹麥的 857MW 與德國的 200MW。
4. 2012 年 7 月經濟部正式公告「風力發電離岸示範系統獎勵辦法」[2]，並於 2103 年初評選出國內 2 家民間業者，預計 2015 年可完成國內第一套離岸風機系統架設。國科會亦為配合國內離岸風機的設置，正積極推動離岸風力主軸計畫，期整合各界資源以協助相關技術的建立。

二、技術趨勢簡析

- (一)相較於其他再生能源(如表 4-4-2)，全球商業化風機業務推廣順利，目前正積極朝大型化(圖 1)/離岸化發展，且成本正逐年降低中(圖 4-4-2)[3]。3MW 級以上的風機是現階段的主流，但由於陸地風機受到地形、噪音等影響，以及可利用風場逐漸缺乏，目前各國皆朝向離岸風場進行開發。離岸風

場的風資源通常較陸域風場優良，具更優質之風力來源包括更高的平均風速及較低的紊流，亦更適合風機尺寸的放大，目前已出現直徑達 120 公尺的 5MW 示範機種。

(二)為適應海上的惡劣環境，離岸風機與陸域風機設計與施工上有相當的差異。

除機組大型化外，安裝便利與可靠度已替代噪音成為主要設計考量，基樁的選擇更為多樣化、葉片重量與強度間必須進行一定的取捨，另外安裝方式與船期安排考量亦成為重要關鍵，以上種種皆是西門子公司能迅速擊敗陸域風機各大廠的原因。

(三)超大型風機對於電網操作的影響將非常顯著。包含如何將超高壓的電力輸送回數十公里外的陸上調度中心，是否該設置大型的海上變電站，在有無跨國電網的不同情況下該如何處理多餘電力或是進行備載設計，甚至包含風力預測的時間刻度與購售電價格，皆是必須考慮的項目。

回數十公里外的陸上調度中心，是否該設置大型的海上變電站，在有無跨國電網的不同情況下該如何處理多餘電力或是進行備載設計，甚至包含風力預測的時間刻度與購售電價格，皆是必須考慮的項目。

(四)離岸風機的周邊整合將是商用化與降低成本的關鍵。在離岸風場開發上，諸多相關技術與專利皆握在特定廠家手中，且市場短期內仍呈現供不應求的趨勢。如何善用對於自身環境的瞭解，並與進行其他區域潛在用戶進行合作，諸如制訂共同驗證標準、系統準則與交換評估資料、進而共同開發特定風場甚至建立跨國電網等，都是在風力機之外所需另行考量與投資的重點項目。

如表 4-4-3 為參考國際再生能源署(IRENA) 2012 年出版品對於風電標準化成本價格(LCOE, Levelized Cost of Electricity)於 2020 年之前的預測。

三、推廣瓶頸與建議

(一)由於離岸風機系統整合的複雜性與環境的不確定性等因素，導致成本由過去的機組設備逐步移轉至周邊軟硬體的搭配與工程施作上。因此英國政府在相關促產方面，並不執著於風機技術的自主化，而是著重在發電成本的經濟誘因、電網系統連結操作與海事工程技術發展上。這種依照自身國家優劣勢進

行務實的規劃方式是十分值得我國參考的。

- (二)基於過去離岸風機在外海所遇到的種種技術問題，近期已有部分國家開始考慮開發潮間帶離岸風力發電的可能性。先前各國並不積極開發潮間帶的主因於：(1)對於候鳥遷徙、魚群（如中華白海豚）迴流等生態環境影響的不確定性；(2)對於如近海漁業、觀光產業環境的破壞；(3)可能影響航道、飛安或軍事用途及(4)低頻噪音影響民眾生活作息等。而如表 4-4-4，潮間帶離岸風力發電相較於外海電廠可以大幅減少維護成本與輸電設施的投資，且基礎設施相對簡單，但如何解決民眾抗爭與法令規章仍有待相當的努力。
- (三)離岸風電能否順利的開發供電，各國再生能源制度的設計於其中扮演了相當關鍵角色。目前主要手段如下：1.通過強制上網、優先選擇等法律途徑為風力建立一穩定市場。2.實施如固定上網電價（FIT）、電網配額（RPS/RO）及綠電制度等，增加開發商投資誘因。3.制訂利於再生能源的稅務環境。

表 4-4-1：歐洲各國 2010～2015 離岸風場之實機與規劃

類別	國家	容量 (MW)	比例 (%)
截至 2010 年已設置規模	英國	1341.2	45.5
	丹麥	853.7	29.0
	荷蘭	246.8	8.4
	比利時	195	6.6
	瑞典	163.7	5.6
	德國	92	3.1
	其他國家	53.8	1.8
2011～2015 年已核准之建置規模	英國	1085.5	32.4
	丹麥	7303	21.8
	荷蘭	3014	9.0
	比利時	2587	7.7
	瑞典	1086	3.2
	德國	418	1.2
	其他國家	8271	24.7

表 4-4-2：各類再生能源特徵與成本範圍比較(REN21)

POWER GENERATION	Typical Characteristics	Capital Costs (USD/kW)	Typical Energy Costs (US cents/kWh)
Biomass Power Stoker boiler/steam turbine Circulating fluidised bed	Plant size: 25–100 MW Conversion efficiency: 27% Capacity factor: 70–80%	3,030–4,660	7.9–17.6
Geothermal Power	Plant size: 1–100 MW Types: binary cycle, single-and double-flash, natural steam Capacity factor: 60–90%	condensing flash: 2,100–4,200 binary: 2,470–6,100	condensing flash: 5.7–8.4 binary: 6.2–10.7
Hydropower (grid-based)	Plant size: 1 MW–18,000+ MW Plant type: reservoir, run-of-river Capacity factor: 30–60%	Projects >300 MW: <2,000 Projects <300 MW: 2,000–4,000	5–10
Hydropower (off-grid/rural)	Plant capacity: 0.1–1,000 kW Plant type: run-of-river, hydrokinetic, diurnal storage	1,175–3,500	5–40
Ocean Power (tidal range)	Plant size: <1 to >250 MW Capacity factor: 23–29%	5,290–5,870	21–28
Solar PV (rooftop)	Peak capacity: 3–5 kW (residential); 100 kW (commercial); 500 kW (industrial) Conversion efficiency: 12–20%	2,480–3,270	22–44 (Europe)
Solar PV (ground-mounted utility-scale)	Peak capacity: 2.5–100 MW Conversion efficiency: 15–27%	1,830–2,350	20–37 (Europe)
Concentrating Solar Thermal Power (CSP)	Types: trough, tower, dish Plant size: 50–500 MW (trough), 50–300 MW (tower); Capacity factor: 20–25% (trough); 40–50% (trough with six hours storage); 40–80% (solar tower with 6–15 hours storage)	Trough without storage: 4,500; Trough with six hours storage: 7,100–9,000; Solar tower with 6–18 hours storage: 6,300–10,500	18.8–29
Wind Power (onshore)	Turbine size: 1.5–3.5 MW Rotor diameter: 60–110+ meters Capacity factor: 20–40%	1,410–2,475	5.2–16.5
Wind Power (offshore)	Turbine size: 1.5–7.5 MW Rotor diameter: 70–125 meters Capacity factor: 35–45%	3,760–5,870	11.4–22.4
Wind Power (small-scale)	Turbine size: up to 100 kW	3,000–6,000 (USA); 1,580 (China)	15–20 (USA)

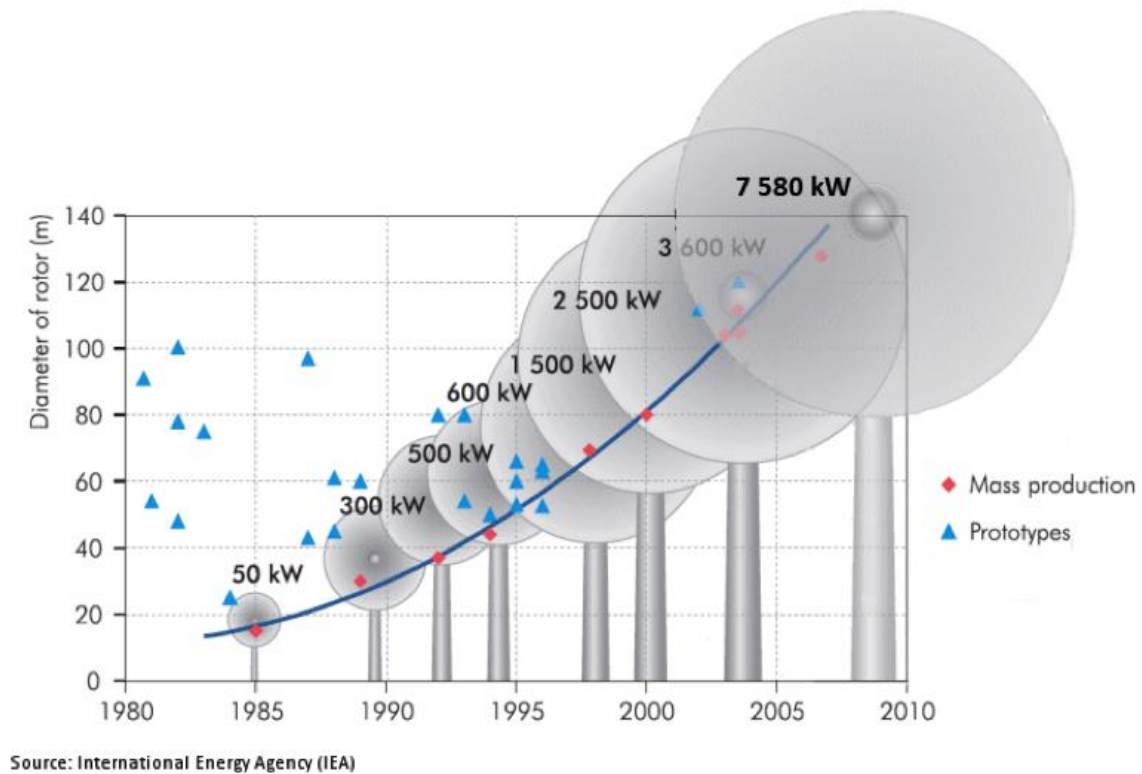


圖 4-4-1：風力機的大型化

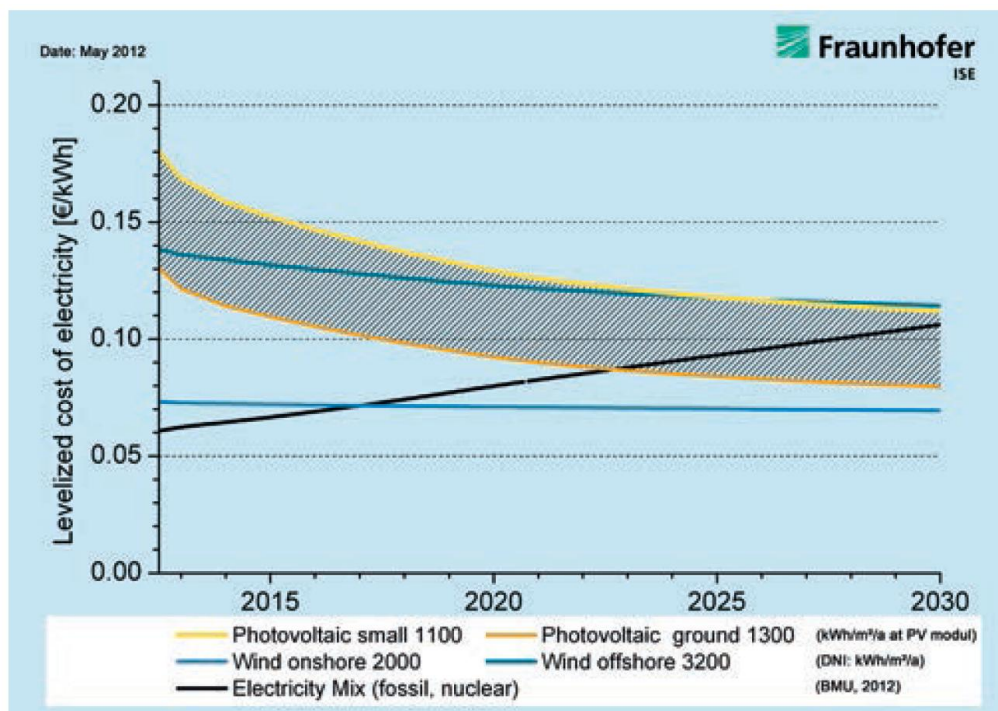


圖 4-4-2：2015～2030 各類電力均化成本預估

表 4-4-3：陸域及離岸風電標準化成本價格(LCOE)預測

風機	地區	容量因子 (CP)	2011 年 美元(台幣)	2015 年 美元(台幣)	2020 年 美元(台幣)
陸域	美國	25%	0.127(3.81)	0.12(3.6)	0.113(3.39)
		35%	0.095(2.85)	0.9(2.7)	0.085(2.55)
		45%	0.08(2.4)	0.072(2.16)	0.064(1.92)
	歐洲	25%	0.13(3.9)	0.12(3.6)	0.11(3.3)
		35%	0.1(3)	0.092(2.76)	0.084(2.52)
		45%	0.08(2.4)	0.075(2.25)	0.07(2.1)
離岸	歐洲	35%	0.2(6)	0.18(5.4)	0.16(4.8)
		45%	0.165(4.95)	0.147(4.41)	0.129(3.87)
		55%	0.14(4.2)	0.127(3.81)	0.114(3.42)

註：1. 本表資料主要參考 IRENA 2012 出版品。2. 2020 年數據為依線性推估。

表 4-4-4：不同地帶風電場開發可行性比較

陸域風力發電	潮間帶離岸風力發電	中深海域離岸風力發電
成本最低	從成本考慮潛力較大	很多國際經驗可借鏡
經驗豐富	在潮間帶建設海上風電場尚無國際經驗	建設及維護費用高
開發相對容易，但優異風場日漸飽和	較靠近電力需求中心，可有效降低輸電費用	海底基地與電力輸送建設的不確定性和風險
提高容量因數即是提高效益的關鍵	必須要解決海底基礎建設和風機安裝技術問題，最大限度降低成本	颱風、地震可能加大投資風險

參考文獻

1. 行政院節能減碳推動會，2013/09，http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/reduceco2/content/ContentLink.aspx?menu_id=785
2. 行政院公報資訊網，2013/09，http://gazette.nat.gov.tw/EG_FileManager/eguploadpub/eg018125/ch04/type1/gov31/num7/Eg.htm
3. Fraunhofer ISE.(2012), LEVELIZED COST OF ELECTRICITY RENEWABLE ENERGIES.