



## 2017 年主要國家風力發電推動政策 暨風電市場及產業趨勢分析

計畫名稱：經濟部能源科技研究發展千架海陸風力機設置推動及關鍵技術研發計畫(2/3)

計畫代號：G455DH22F0

計畫屬性： 能專 科專 其他

計畫主持人：王人謙

計畫研究人員／作者：康志堅(930177)

計畫期間：106 年 1 月 1 日至 106 年 12 月 31 日

產出日期：中華民國 106 年 4 月 28 日



## 摘要

本研究報告針對全球風力發電市場與產業，主要國家陸海域風電發展政策、重要法規及推動措施，技術發展趨勢等更新最新動態。

2016 年因全球最大風電市場—中國大陸棄風狀況趨於嚴重，對於新設風場管控趨於嚴格，使得新增裝置量較 2015 年下滑。2016 年全球風電新增安裝量為 54,600MW，較 2015 年 63,013MW 下降 13.4%。2016 年全球風電累計安裝量為 486,749MW，較 2015 年 432,419MW 成長 12.6%。

現階段全球主要市場包括中國大陸、美國與歐洲，中國大陸市場將維持穩定發展、美國重啟裝置補助後將有較大幅度成長、歐洲地區發展重心轉向離岸風力。

陸域型風力發電發展由來已久，技術純熟且市場趨於飽和，因此目前各先進國家皆以投入離岸風力發電為目標。綜觀全球，歐美各國早在第一次能源危機之後即紛紛投入風力發電的發展，至今不僅技術純熟、經驗豐富，且各自發展出特有的支持政策。2016 年下半年起歐洲包括丹麥、荷蘭、英國、德國等競標制度的實施，使得離岸風電產業邁入新的競爭型態。

展望未來幾年，由於離岸風力發電市場的逐漸興起，新興地區市場逐漸成長，延續歐洲、中國大陸的成長動力，市場可望持續穩定成長。

關鍵字：風力發電、風電政策、離岸風電

## Abstract

The report focuses on worldwide wind power market, industry, development policies and regulations of main countries, and technology trends.

The situation of “Abandon wind” in mainland China became seriously in 2016. The new installation decreased compare to 2015. Worldwide installation is 54,600MW. It went down 13.4% to 2015. Cumulative installation is 486,749MW. It grew 12.6% to 2015.

The main markets at present include China, U.S. and Europe. China market will have a moderate growth, while U.S. has a better growth due to restart subsidy policy. Europe will move to offshore wind power.

As the technology and market of onshore wind goes mature, offshore wind has become the main focus of the advanced countries. European countries and the U.S. have invested in the promotion of wind power for over 30 years since the first energy crisis. They not only possess mature technology and rich experiences, and have developed specific supporting policies. Beginning in the second half of 2016, Europe including Denmark, the Netherlands, the United Kingdom, and Germany implemented auction systems, making offshore wind power industry into a new competitive type.

The offshore wind power market will be growth gradually, and the emerging market will grow up, Europe and mainland China market will grow up, too. The worldwide market will continually grow up.

Key Words: Wind power, Wind Energy Policy, Offshore Wind Power



## 目 錄

1. 前言 .....	1
2. 全球風電市場與產業 .....	1
2.1. 全球市場分析 .....	1
2.2. 離岸風電市場 .....	3
2.3. 全球產業概況 .....	5
3. 主要國家風電政策 .....	7
3.1. 中國大陸 .....	8
3.2. 美國 .....	11
3.3. 德國 .....	14
3.4. 英國 .....	19
3.5. 丹麥 .....	22
3.6. 荷蘭 .....	24
3.7. 日本 .....	27
4. 結論 .....	30



## 圖 目 錄

圖 2-1	2014~2020 年全球風力發電新增裝置量 .....	2
圖 2-2	2014~2020 年全球陸域風電新增裝置量 .....	3
圖 2-3	2014~2020 年全球離岸風電新增裝置量 .....	4
圖 2-4	2014~2020 年全球風電市場產品別比例 .....	4
圖 2-5	2007~2016 年全球前十大風力機業者市占率總合之趨勢 .....	6
圖 3-1	2007~2016 年中國大陸風力發電新增裝置量 .....	9
圖 3-2	2007~2016 年美國風力發電新增裝置量 .....	12
圖 3-3	2015~2019 年美國風電 PTC 抵減聯邦稅額度 .....	13
圖 3-4	德國離岸風電開發流程 .....	16
圖 3-5	2017 年德國離岸風電競標-得標風場位置 .....	18
圖 3-6	英國風電收購制度變革 .....	20
圖 3-7	丹麥離岸風電競標價格 .....	24
圖 3-8	荷蘭離岸風電發展時程 .....	25
圖 3-9	荷蘭離岸風電競標價格 .....	26
圖 3-10	日本經濟產業省福島離岸示範風場裝置情況 .....	29



## 表 目 錄

表 2-1	2016 年全球前十大新增與累計裝置量國家.....	2
表 2-2	2015~2016 年全球前十大風力機廠商市占率 .....	5
表 3-1	主要國家風電政策現況與展望.....	7
表 3-2	中國大陸陸上風電上網標竿電價.....	9
表 3-3	美國風電政策變化歷程.....	12
表 3-4	德國「可再生能源改革計畫」對風電影響.....	14
表 3-5	2017 年德國離岸風電競標結果.....	17
表 3-6	英國風電再生能源義務(RO)與差價合約(CFD)制度比較 .....	20
表 3-7	英國離岸風電規劃發展三階段.....	21
表 3-8	日本浮體式離岸風場發展現況.....	27



## 1. 前言

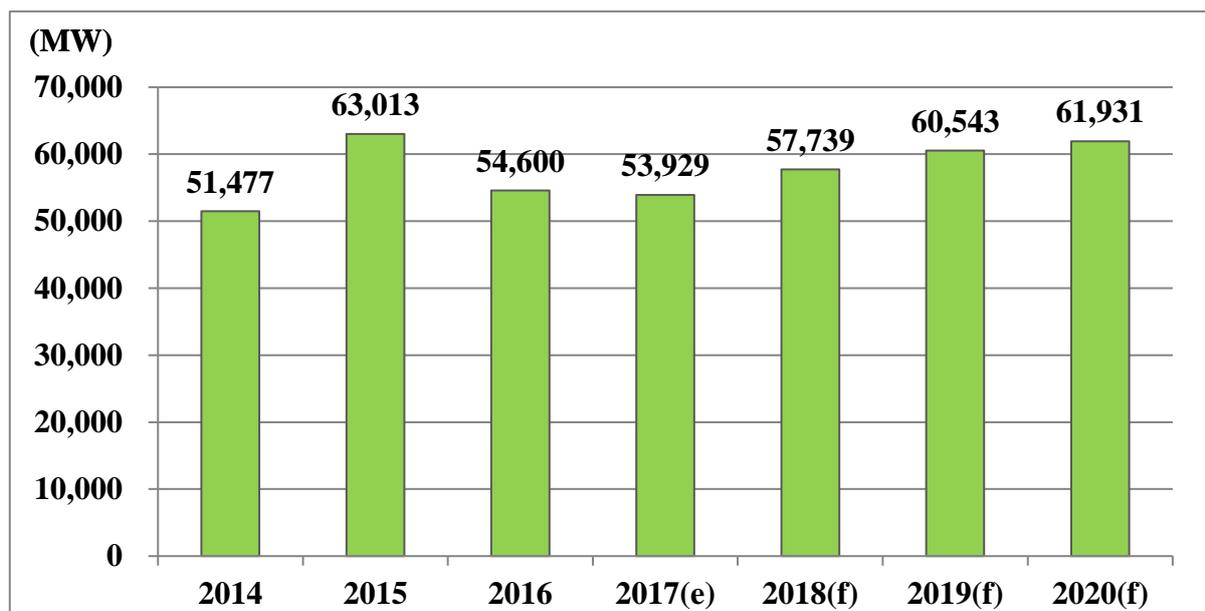
2016 年全球風電新增安裝量為 54,600MW，較 2015 年 63,013MW 下滑 13.4%，主要原因為 2016 年中國大陸調降陸域風電躉購費率、以及政府對於新申請案例審核較嚴格，使得新設風場案例減少。展望 2017 年，全球風電主要國家政策平穩，新增裝置量估計將較 2016 年小幅回升。

本研究報告之內容針對主要國家風力發電推動政策暨風電市場、產業及技術研發趨勢等項目，更新最新動態並進行分析。

## 2. 全球風電市場與產業

### 2.1. 全球市場分析

歷經 2014、2015 年全球風電市場較大幅度成長後，2016 年市場較 2015 年下滑。2016 年全球風電新增裝置量為 54,600MW，較 2015 年 63,013MW 下降 13.4%。下降主因為 2016 年中國大陸調降陸域風電躉購費率，形成 2015 年底中國大陸一波搶裝潮；另一方面中國大陸棄風率上揚，使得政府對於新申請案例審核較嚴格，使得新設風場案例減少。中國大陸 2015 年新增裝置量約 30.5GW，2016 年下降至 23.3GW，減少 7.2GW。除了中國大陸以外，其他地區新增裝置量總合 2016 年與 2015 年相差不多。



資料來源：GWEC；MAKE Consulting；工研院 IEK(2017/04)

圖 2-1 2014~2020 年全球風力發電新增裝置量

2015 年全球前十大風電市場與往年有些變化，如表 2-1 所示。新增裝置容量方面，由中國大陸居首，其後依序為美國、德國、印度、巴西、法國、土耳其、荷蘭、英國與加拿大。

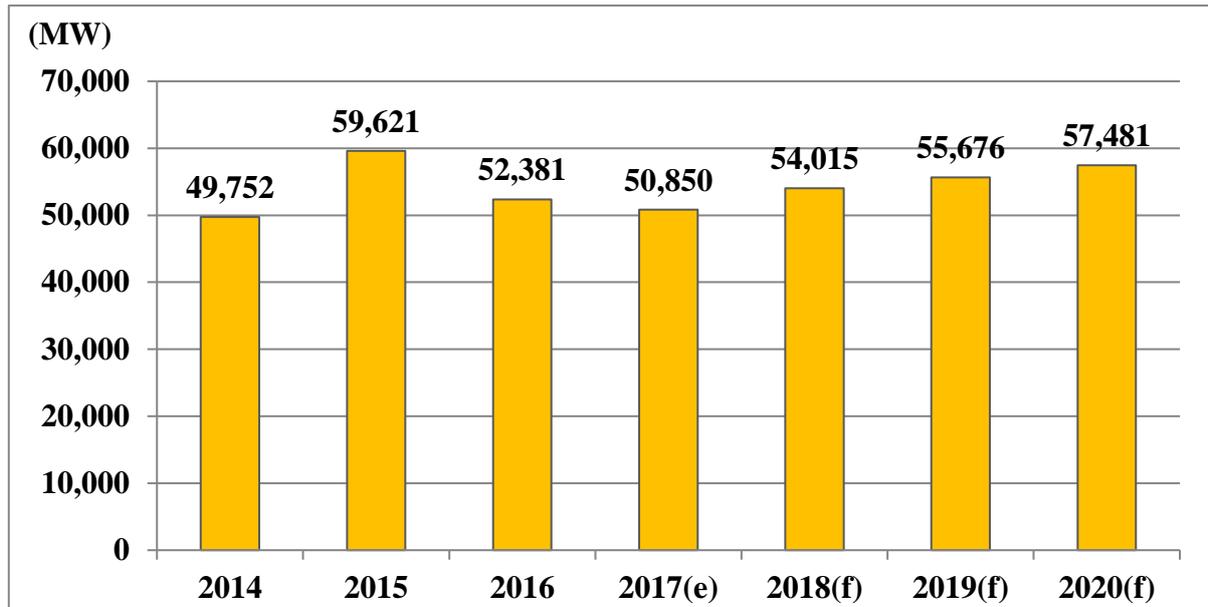
在累計裝置容量方面，持續由中國大陸居首，其後依序為美國、德國、印度、西班牙、英國、法國、加拿大、巴西與義大利。

表 2-1 2016 年全球前十大新增與累計裝置量國家

排序	國家	新增裝置容量(MW)	占比 (%)	國家	累計裝置容量(MW)	占比 (%)
1	中國大陸	23,328	42.7%	中國大陸	168,690	34.7%
2	美國	8,203	15.0%	美國	82,184	16.9%
3	德國	5,443	10.0%	德國	50,018	10.3%
4	印度	3,612	6.6%	印度	28,700	5.9%
5	巴西	2,014	3.7%	西班牙	23,074	4.7%
6	法國	1,561	2.9%	英國	14,543	3.0%
7	土耳其	1,387	2.5%	法國	12,066	2.5%
8	荷蘭	887	1.6%	加拿大	11,900	2.4%
9	英國	736	1.3%	巴西	10,740	2.2%
10	加拿大	702	1.3%	義大利	9,257	1.9%
前十大合計		47,873	87.7%		411,172	84.5%

資料來源：GWEC；工研院 IEK 整理(2017/04)

全球風力發電市場可分為陸域風電與離岸風電兩部分，現階段陸域風電占全球新增裝置量比例超過九成。2016 年全球新增裝置量為 52,381MW，較 2014 年下滑 12.1%，下滑主要因為中國大陸新增裝置量下滑。全球陸域風電長期而言呈現持平發展，2016~2020 年複合成長率(CAGR)為 2.3%。



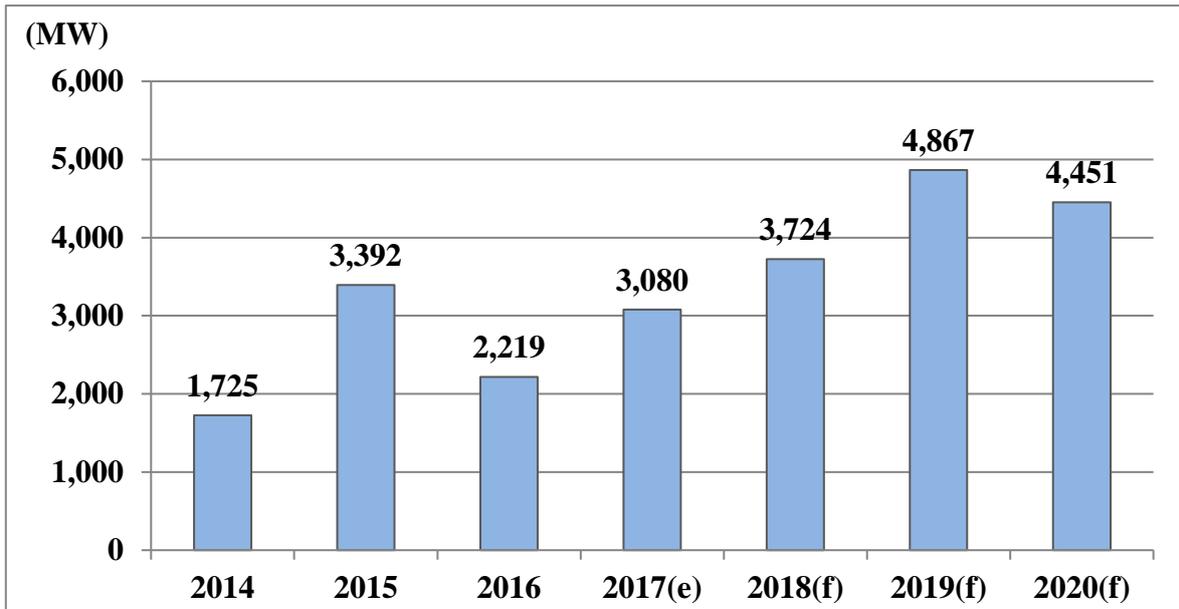
資料來源：GWEC；MAKE Consulting；工研院 IEK(2017/04)

圖 2-2 2014~2020 年全球陸域風電新增裝置量

## 2.2. 離岸風電市場

2016 年全球離岸風電新增裝置量為 2,219MW，較 2015 年 3,392MW 下降 34.6%。2016 年由於德國離岸風電額外補貼截止，加上英國處於第二輪(Round 2)與第三輪(Round 3)離岸風電區塊開發計畫交界點，第二輪各風場開發進度已接近尾聲，第三輪各風場開發則剛起步，市場規模將明顯受到影響。

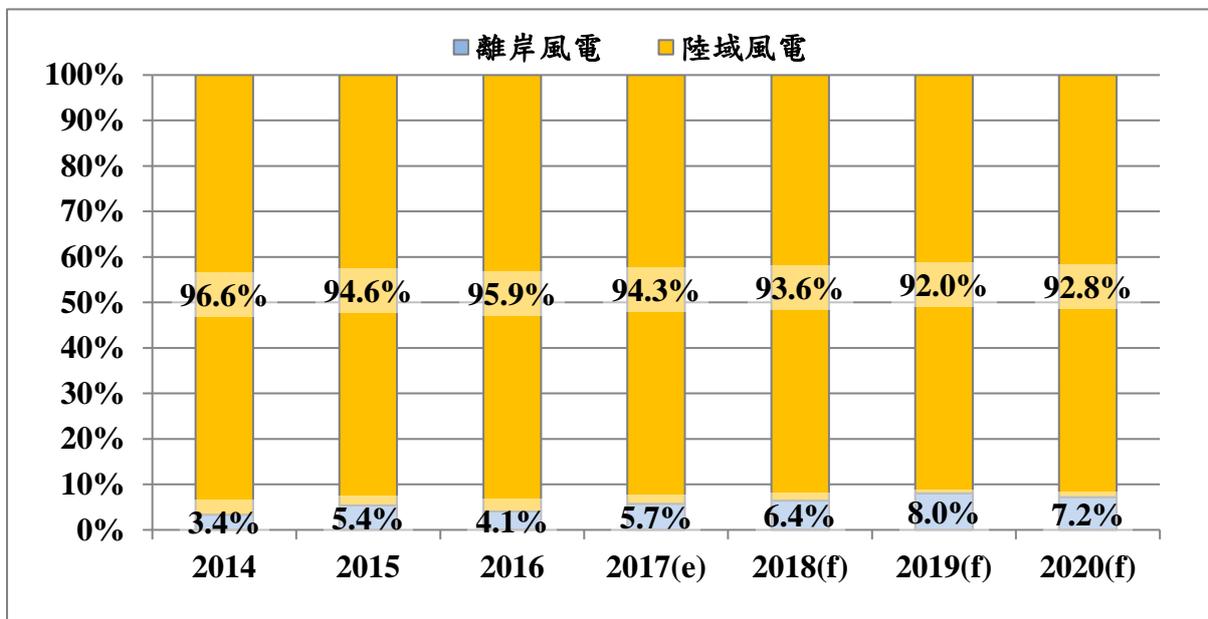
預估 2017 年全球新增裝置量為 3,080MW，較 2016 年成長 35.0%，預估 2020 年可達 4,451MW，2016~2020 年複合率為 19.0%。德國離岸風電將改採行競標制，取代現行的躉購電價。採用競標制的離岸風場將於 2021 年開始逐步併網運轉，採用躉購電價的風場預估在 2019 年達到併網高峰，2020 年德國離岸風電市場將產生空窗期，使得全球離岸風電市場在 2020 年小幅下滑。



資料來源：GWEC；MAKE Consulting；工研院 IEK (2017/04)

圖 2-3 2014~2020 年全球離岸風電新增裝置量

過去幾年離岸風電占整體風電市場比例仍低，但離岸成長速度高於陸域，其占整體市場比例長期而言呈現逐步提升趨勢。2016 年離岸占整體市場 4.1%，預計至 2020 年比例將達 7.2%。



資料來源：工研院 IEK (2017/04)

圖 2-4 2014~2020 年全球風電市場產品別比例

## 2.3. 全球產業概況

2015 年全球風力發電機前十大供應商依照排名分別為：(1) 丹麥 Vestas；(2) 美國 GE Wind；(3) 中國大陸金風科技；(4) 西班牙 Gamesa；(5) 德國 Siemens；(6) 德國 Enercon；(7) 德國 Nordex；(8) 中國大陸聯合動力；(9) 中國大陸明陽風電；(10) 中國大陸遠景能源。

表 2-2 2015~2016 年全球前十大風力機廠商市占率

廠商	國別	2016		2015	
		市占率	排名	市占率	排名
Vestas	丹麥	15.5%	1 一	12.6%	1 ▲
GE	美國	12.7%	2 ▲	10.4%	3 ▼
金風科技	中國大陸	11.4%	3 ▼	11.3%	2 ▲
Gamesa	西班牙	7.8%	4 ▲	6.0%	5 ▲
Siemens	德國	6.1%	5 ▼	7.5%	4 ▼
Enercon	德國	5.9%	6 ▲	4.9%	7 ▼
Nordex	德國	5.5%	7 ▲	4.4%	8 ▲
國電聯合動力	中國大陸	3.4%	8 ▼	5.0%	6 一
明陽風電	中國大陸	3.3%	9 ▲	4.0%	10 ▼
遠景能源	中國大陸	3.3%	10 ▼	4.3%	9 ▲

資料來源：MAKE Consulting、工研院 IEK (2017/04)

2016 年全球前十大供應商排名由丹麥 Vestas 蟬聯首位，美國 GE 與中國大陸金風科技分列二、三位。

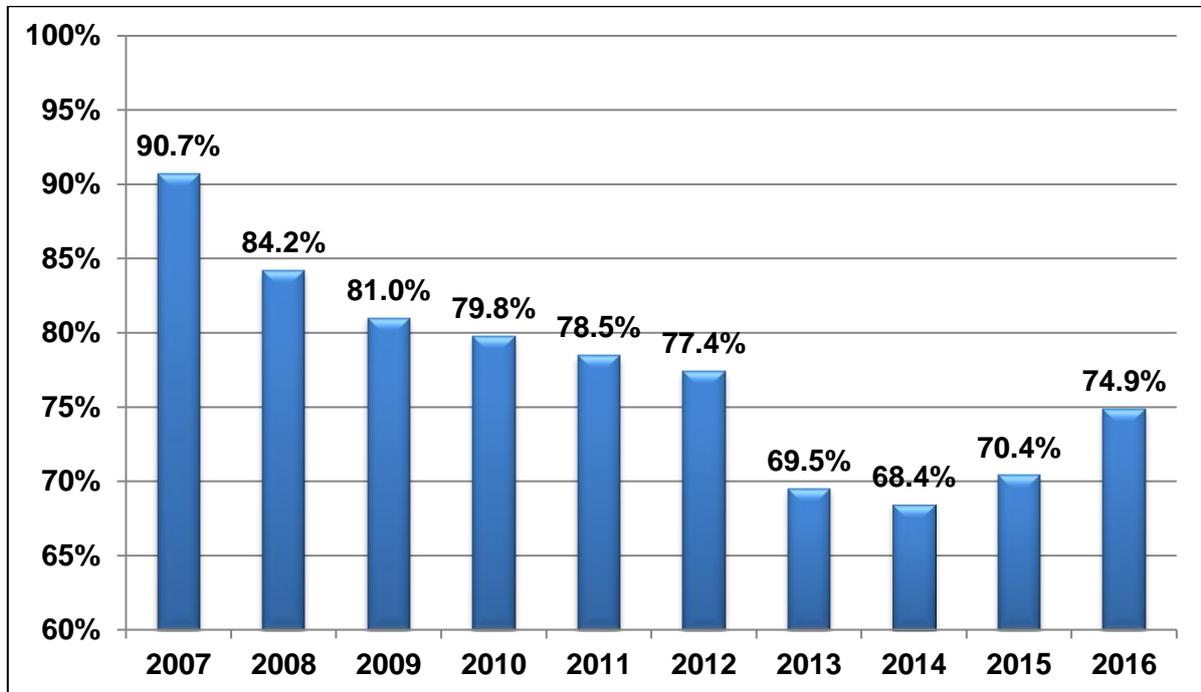
丹麥 Vestas 在 2013 年以前，多年維持全球市占率第一位寶座，2014 年小幅下滑，落後德國 Siemens 與美國 GE 落居第三，2015 年 Vestas 在美國、波蘭市場大有斬獲，重新奪回全球市占率首位寶座。2016 年 Vestas 持續在各地市場攻城掠地，擴大領先差距，穩居龍頭寶座。

美國 GE 2016 年受惠於美國市場裝置量成長，市占率微幅領先中國大陸金風科技，排名躍居第二位。中國大陸 2016 年市場規模縮小，除了金風科技市占率成長之外，其他包括聯合動力、明陽風電、遠景能源均下滑。

歐洲其他廠商西班牙 Gamesa 與德國 Enercon 新增裝置量維持水準，市

占率提升;德國 Siemens 已與 Gamesa 達成合併協議,唯尚未完成合併程序,並需要通過歐盟反托拉斯審查,2016 年兩家廠商市占率仍各自計算。Siemens 2016 年在陸域與離岸風電市占率均下滑,市占率連續兩年下降。德國 Nordex 併購西班牙 Acciona Windpower 後,市占率提升至 5.5%,排名上升至第七位。

近年來風力發電產業的逐漸成熟,使競爭者增加,產業集中度下滑。如下圖 2-5 所示,2006 年前十大業者市占率合計高達 95.7%,自此持續下滑,至 2014 年已下降至 68.4%,2015 年以後市場廠商整併風潮興起,市場集中度增加,2016 年回升至 74.9%。



資料來源：工研院 IEK (2017/04)

圖 2-5 2007~2016 年全球前十大風力機業者市占率總合之趨勢



### 3. 主要國家風電政策

近年來風力發電市場成長呈現穩定發展，各國推動風力發電裝置，仍需要以政策與示範計畫方式推動，才可加速風力發電應用的推展。主要國家包括中國大陸、美國、德國、英國、丹麥、荷蘭、日本風電政策現況與展望如表 3-1 所示。

表 3-1 主要國家風電政策現況與展望

國家	政策現況與展望
中國大陸	中國大陸風電發展最高指導原則為國家能源局於 2016 年 12 月發布之「風電發展十三五規劃」。發展目標為 2020 年風電累計併網裝機容量達 210GW。其中，離岸風電併網容量 5GW，風電年發電量確保達到 4200 億度，約占中國大陸總發電量的 6%。在政策目標明確下市場預期將穩定發展。
美國	美國國會於 2015 年 12 月通過多年期風電稅賦抵減方案，將使得 2019 年以前市場受到鼓舞。美國新任總統川普上台後，由於美國風電產業吸納數十萬就業人口，同時至 2019 年補貼方式已定，預期政權轉移後短期內並不會對於美國風電市場產生。
德國	德國陸域風電市場已接近飽和，未來將以離岸風電為主。德國因再生能源電力補貼總額快速成長，使得零售電價逐年提高。德國政府仍持續支持再生能源發展，但補貼水準將略為調降，並控制每年新增裝置量在一定範圍內。
英國	英國推動收購電價制度已改為差價合約制度。英國目前離岸風電累計裝置量居全球之冠，未來持續以離岸風電為主要推動項目，並設定 2020 年離岸 16GW 之政策目標。
丹麥	丹麥已宣示 2050 年全國供電 100% 由再生能源供應之願景，風電推動目標設定為 2030 年占總用電量 50%，裝置容量達 5.5GW。
荷蘭	荷蘭以發展離岸風電為主，政府主要目標有二：一、2020 年前將風能發電成本降低 40%（以 2010 年為比較基礎）；二、2023 年達到離岸風電裝置容量 4,500 MW。
日本	日本因應福島事故後之能源供應形勢，積極擴大再生能源應用，對於風力發電之相關研究，以及設置補貼轉趨積極。日本政府持續推動離岸風電應用，大幅增加風力發電相關技術



開發預算，並選定福島作為浮動式離岸風電示範場域，以帶動當地的經濟發展。

資料來源：工研院 IEK 整理(2017/04)

### 3.1. 中國大陸

現階段中國大陸風電發展最高指導原則為國家能源局於 2016 年 12 月發布之「風電發展十三五規劃」。此規劃重申了此前電力「十三五」規劃中風電的發展目標，即截至 2020 年底風電累計併網裝機容量達 210GW。其中，離岸風電併網容量 5GW，風電年發電量確保達到 4200 億度，約占中國大陸總發電量的 6%。

此次規劃的一大亮點在於對各省(市、自治區)的風電發展進行了細化。根據發展目標，國家能源局明確了未來新增風電項目將主要集中在中東部和南方地區，包括有效解決風電消納問題，推動技術自主創新和產業體系建設，完善風電行業管理體系，建立優勝劣汰的市場競爭機制；加強國際合作，發揮金融對風電產業的支持作用。

「風電發展十三五規劃」還提出了七大重點任務，包括有效解決風電消納問題，提升中東部和南方地區風電開發利用水平，推動技術自主創新和產業體系建設，完善風電行業管理體系，建立優勝劣汰的市場競爭機制，加強國際合作，發揮金融對風電產業支持作用。

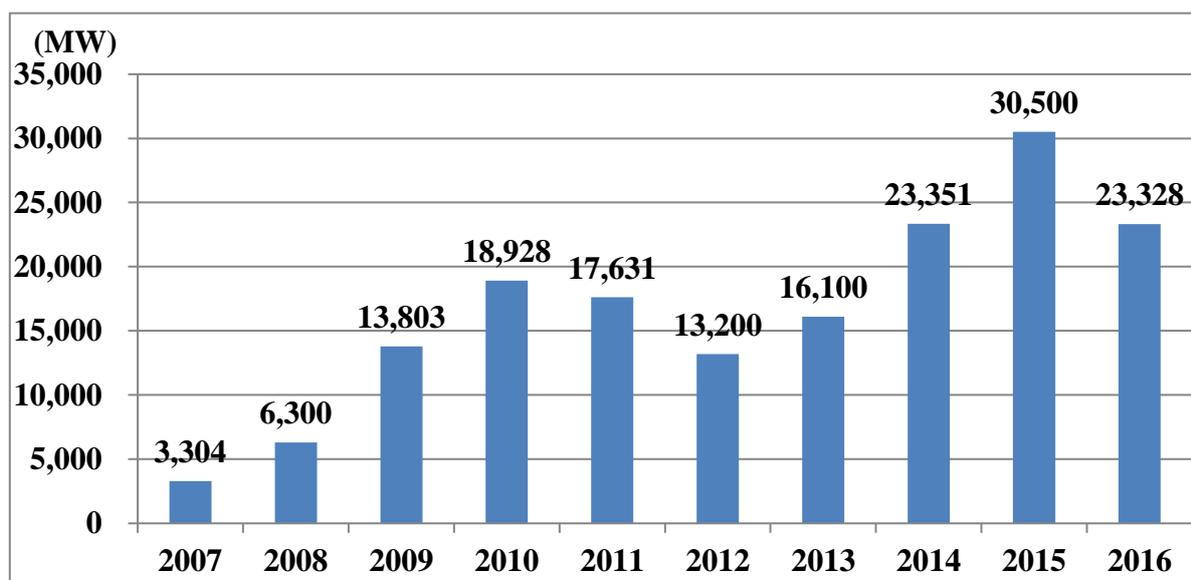
對於風電發展面對的首要問題「棄風」，國家能源局認為解決棄風並非技術問題，而是利益分配問題，高壓輸電網路建設後，接收風電的省分並未分到利益，而風電屬於間歇性能源，供給的不確定性使得電力公司較不願意接收，若無經濟上的誘因將使得電力企業不願意接收風電，因此除了輸電網路的建設，也必須進行制度的修改，使得電力企業有較高意願接收風電電力。

為了在 2020 年有效解決棄風問題，三北地區(東北、華北、西北)全面達到最低保障收購利用小時數要求。儘管這一目標進度低於市場預期，但「風電發展十三五規劃」提出的風電消納目標也更加明確：一方面，三北地區跨省區消納 40GW；另一方面，外送通道和開發範圍也得到逐一確認。

同時對電網結構和輸送能力、調峰能力提出了全面和細化的要求，並對三北地區不同區域進行了不同的消納措施指導。

在市場發展上，中國大陸從 2009 年至今均為全球最大風電市場，2016 年新增裝置量為 23.3GW，占全球市場 42.7%，為排名第二位美國 8.2GW 之 2.8 倍。新增裝置量創新高的原因為因應躉購費率下調造成廠商搶裝潮。在實施新版躉購費率後，預計 2016 年新增裝置量將較 2015 年顯著衰退，以中國大陸為主要市場之我國零組件廠商須謹慎因應。

從 2013 年起，中國大陸逐步解除風場設置管制，加上廠商預期未來躉購費率將逐步調降的推波助瀾，使得 2015 年新增裝置量創下歷史新高之 30.5GW，2016 年因躉購費率調降，造成新增裝置量下降至 23,328MW，較 2015 年下滑 23.5%。



資料來源：CWEA；工研院 IEK 整理(2017/04)

圖 3-1 2007~2016 年中國大陸風力發電新增裝置量

繼 2015 年調降陸域風電躉購費率後，中中國大陸國家發展和改革委員會(簡稱發改委)於 2016 年 12 月 26 日公佈「關於調整光伏發電陸上風電標杆上網電價的通知」，陸域風電躉購電價 2017 年與 2016 年相同，但 2018 年躉購電價較前一次 2015 年 12 月公布之價格下調幅度更大。

表 3-2 中國大陸陸上風電上網標竿電價

單位：人民幣元/每度電

資源區	陸上風電標竿上網電價				各資源區所包括地區
	2014年以前	2016~2017年	2018年調整前	2018年調整後	
一類資源區	0.51	0.47 (-4.1%)	0.44 (-6.4%)	0.4 (-14.9%)	內蒙古自治區除赤峰市、通遼市、興安盟、呼倫貝爾市以外其他地區；新疆維吾爾自治區烏魯木齊市、伊犁哈薩克族自治州、克拉瑪依市、石河子市
二類資源區	0.54	0.5 (-3.8%)	0.47 (-6%)	0.45 (-10%)	河北省張家口市、承德市；內蒙古自治區赤峰市、通遼市、興安盟、呼倫貝爾市；甘肅省嘉峪關市、酒泉市
三類資源區	0.58	0.54 (-3.6%)	0.51 (-5.6%)	0.49 (-9.3%)	吉林省白城市、松原市；黑龍江省雞西市、雙鴨山市、七台河市、綏化市、伊春市、大興安嶺地區；甘肅省除嘉峪關市、酒泉市以外地區；新疆維吾爾自治區除烏魯木齊市、伊犁哈薩克族自治州、克拉瑪依市、石河子市以外地區；寧夏回族自治區
四類資源區	0.61	0.6 (-1.6%)	0.58 (-3.3%)	0.57 (-5%)	除一、二、三類資源區以外其他地區

資料來源：中國大陸發改委、工研院 IEK 整理(2017/04)

新的躉購電價方案 2017 與 2018 年價格差距拉大，以一類資源區為例：2017 年每度電收購價格為人民幣 0.47 元；2018 年調整前為人民幣 0.44 元，調整後為 0.4 元。2018 年價格下調幅度由 6.4% 擴大為 14.9%。此外，風能資源最好的一類資源區下調幅度較大；風能資源越差，下調幅度越小。

離岸風電部分，原先在 2016 年 9 月發改委擬定的草案中，下調離岸風



電躉購電價每度人民幣 0.05 元(下調後潮間帶每度人民幣 0.7 元、近海 0.8 元)，但 2016 年 12 月正式公告並無調整，潮間帶維持每度人民幣 0.75 元、近海 0.85 元。這表示中國大陸離岸風電產業環境仍不夠成熟，因此價格仍維持原來水準。

中國大陸現階段風力發電發展主要指導原則為國務院「能源發展戰略行動計劃(2014-2020)」，其中風電部分 2020 年累計裝置目標為 250GW，至 2016 年底累計裝置 168.7GW，2017~2020 年平均每年裝置 20.3GW 即可達成目標，離岸風電發展思路在「十三五」期間擇定調為「積極穩妥」，預期未來「十三五」期間，中國大陸風電政策主軸為持續穩定發展。

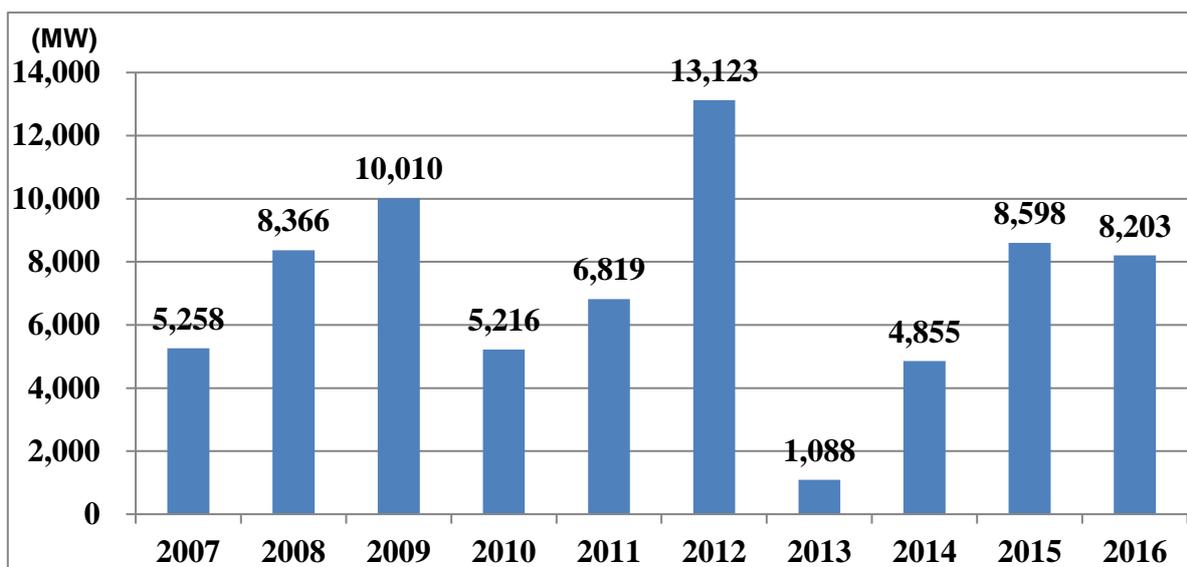
在我國產業的影響方面，現階段我國風電產業約八成產值為，台灣零組件業者供應給中國大陸系統業者。2015 年中國大陸市場大幅成長，使得我國零組件廠商雨露均霑，多家業者營業額與獲利均創歷史新高，但 2016 年中國大陸市場明顯下滑，對我國廠商營運情況產生顯著影響。長期而言，中國大陸市場占我國風電產值比例過高，廠商宜加速布局中國大陸以外市場，分散因單一市場政策變化，造成營運波動之風險。

### 3.2. 美國

美國為全球主要風力發電市場之一，歷年與中國大陸並列全球兩大市場，兩者合計約占全球六成左右。美國國會於 2015 年 12 月通過多年期風電稅賦抵減方案，將使得 2019 年以前市場受到鼓舞。

美國新任總統川普上台後，由於美國風電產業吸納數十萬就業人口，同時至 2019 年補貼方式已定，預期政權轉移後短期內並不會對於美國風電市場產生。

美國為全球風力發電主要市場之一，近五年除了 2013 年之外，市場規模均位居全球第二位，僅次於中國大陸。2016 年新增裝置量為 8,203MW，較 2014 年小幅下降 4.6%。



資料來源：美國風能協會(AWEA)；工研院 IEK 整理(2017/04)

圖 3-2 2007~2016 年美國風力發電新增裝置量

美國歷年風電政策反覆不定，過去幾年曾經多次停止與延長風電賦稅優惠，造成市場規模暴起暴落。最近一次例子為美國風電賦稅優惠於 2012 年底截止，2012 年新增裝置量為 12.9GW，2013 年僅剩 1.1GW，2013 年市場規模不到 2012 年一成。

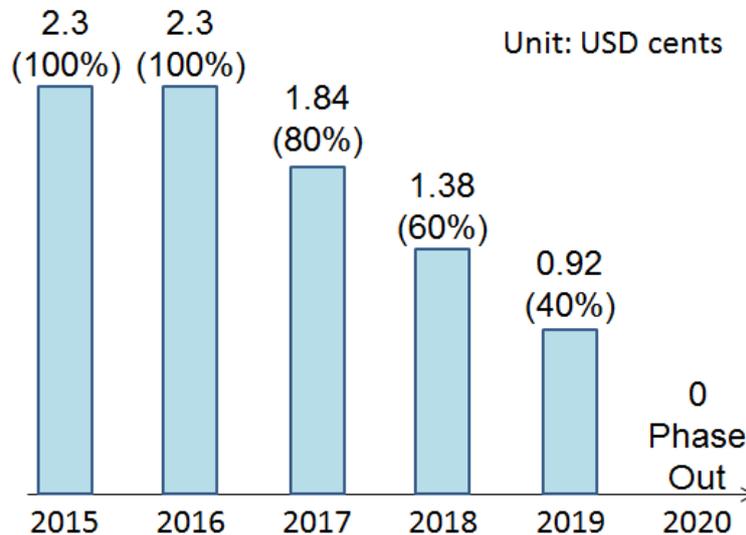
表 3-3 美國風電政策變化歷程

日期	內容
2009.2.17.	頒布之「振興經濟法案」，提供風電設備投資可獲得聯邦稅抵減之優惠，適用期間至 2012.12.31。因補貼額度低於市場預期，造成 2010 年裝置量較 2009 年減少。
2013.1.1.	公布補貼措施延長一年至 2013.12.31.截止。因各界原先預期不會延長補貼，造成 2012 年搶裝，2013 年大幅衰退九成以上。
2014.12.16.	公布補貼延長一年，並溯及既往，截止日期為 2014.12.31。
2015.12.18.	公告補貼延長五年，並溯及既往，補貼額度逐漸遞減，截止日期為 2019.12.31。

資料來源：工研院 IEK 整理(2017/04)

美國聯邦政府稅賦抵減優惠最新動態為 2015 年 12 月 18 日，美國國會通過延長風電稅賦抵減優惠措施五年，並溯及既往，原本補助截止日期為 2014 年 12 月 31 日，延長一年後截止日期為 2019 年 12 月 31 日，2015~2019

年以逐步遞減方式給予風電營運商發電稅額抵減(Production Tax Credit ; PTC)，內容為風電設備開始營運前十年，依發電量計算可享聯邦稅額抵減，抵減幅度如下圖所示：



資料來源：工研院 IEK 整理(2017/04)

圖 3-3 2015~2019 年美國風電 PTC 抵減聯邦稅額度

以 2017 年為例，每發一度電可享 1.84 美分(約新台幣 0.57 元)的聯邦稅額抵減，估計美國陸域風電發電成本每度為 4.7~9.5 美分(約新台幣 1.44~2.92 元)，實施 PTC 約可折抵成本 39.1%~19.4%。

預期至 2019 年之前，美國風電市場可望維持穩定發展。另外，美國部分風場老舊機組已逐漸不符合經濟效益，老舊機組汰換市場(Repowering Market)未來將逐漸擴大。但整體而言，2020 年之後沒有政策補貼的美國風電市場，預期規模將較 2019 年以前縮小，但幅度仍需要再觀察。

近期美國風電政策調整值得提的一點，為通過多年期的補貼方案。未來幾年政策方向明朗，使得開發商可以逐步安排開發計畫，製造商可依據開發計畫安排產能規劃。過去幾次延長一年補助，對於產業界而言幫助不大，風場建設需要時間較長，自規劃、申請籌設、施工至併網發電需要三年以上，短期間政策對於促進產業發展效益不大。

美國風電發展給予我們的啟示為，政策發展需要注重延續性，變動頻繁的政策將會造成市場混亂，不利於產業發展。若補助政策需要退場，不

宜驟然停止補貼，最好採多年期逐漸遞減補貼方式，讓產業界逐漸適應並有時間研擬因應對策，不會一下子陷入絕境。

### 3.3. 德國

德國為全球再生能源發展先驅，2000 年制定「可再生能源法」(Erneuerbare-Energien-Gesetz；EEG)，為全球第一個針對再生能源發展制定法律的國家，實施多年之後，問題逐漸浮現。德國國會於 2014 年 7 月 11 日通過 2014 年可再生能源法修正案(德文：Erneuerbare-Energien-Gesetz 2014)，於 2014 年 8 月 1 日開始實施。此方案對於德國風力發電產業具有重大影響。

過去陸域風電業者可選擇採用躉購電價，或者是在電力市場直接交易；德國可再生能源法修正案規定從 2014 年 8 月起，裝置容量 500kW 以上陸域風電僅可在電力市場直接交易，2016 年 1 月起範圍擴大至 100kW 以上。直接交易與躉購電價的差異在於，過去躉購電價為業者只要產出電力，政府就有義務收購；電力市場交易則需根據市場供需情況而定。風力發電業者必需接受市場價格波動，甚至可能因電力供給過剩，業者需負擔電力賣不出去之風險。政府依照電力成交紀錄，給予成交項目最低保障電價，成交價若低於最低保障電價，差額部分由政府給予補貼。

表 3-4 德國「可再生能源改革計畫」對風電影響

	改革前	改革後
電力交易制度	電力事業有義務接納再生能源電力	2014 年 8 月起，500kW 以上電廠必須透過「電力交易所」交易。2017 年擴大至 100kW 以上。
風電補貼方式	固定價格躉購(Feed-in Tariff)	陸域電成交之每單位給予定額補貼，離岸風電採用競標制
陸域風電目標	未限制	每年補貼上限為 2.5GW
離岸風電目標	2020 年目標 10GW 2030 年目標 25GW	2020 年目標 6.5GW 2030 年目標 15GW

資料來源：工研院 IEK 整理(2017/04)



最低保障電價計算方式為開始營運後之頭五年固定為每度 8.9 歐分(新台幣 3.05 元)，之後每一季費率下降一定幅度，若前一年度裝置量在 2,400~2,600MW 之間，下降幅度為 0.4%；若裝置量多於 2,600MW，超過越多費率每季下降幅度越大，最高達 1.2%，下降底限為每度 4.95 歐分(新台幣 1.7 元)；若少於 2,400MW，不足越多費率每季下降幅度越小，若裝置量太少費率甚至會調升，最高可調升 0.3%。德國政府目標未來陸域風電每年裝置量控制在 2,500MW 左右，藉由機動費率調整引導產業達成設定目標。

在離岸風電發展上，德國於 2002 年制定「離岸風電發展策略」，由資源調查、法規制定、環境評估、技術開發、小規模示範計畫等面向提出發展原則綱要。德國發展離岸風電過程嚴謹、按部就班，逐步化解開發過程遭遇的各種問題。

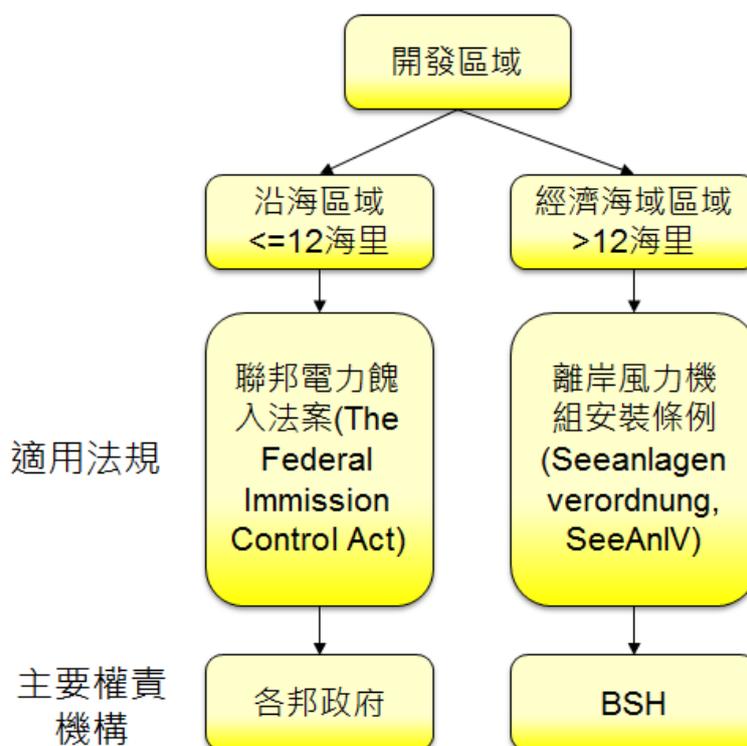
德國從 1990 年代便開始規劃發展離岸風電，於 2002 年制定「離岸風電發展策略」，作為發展離岸風電之基本方針，重點內容如下：

1. 發展離岸風電必須兼顧環境、經濟、科技及法律等因素，發展離岸風電應在不危害海洋生態，且兼顧漁業、航運之前提下進行。
2. 聯邦有責任規劃風場申設之行政程序及時程、加強計畫投資環境的穩定性、指定生態保護區，並規劃適宜建設離岸風場之區域。
3. 政府應建立相關研究平台，發展離岸風場相關之技術（風力機、基座、電纜、變電站等）及蒐集離岸風電開發對於航運、漁業、候鳥及海洋生態環境影響之相關資訊。

德國離岸風電開發需依循德國聯邦海運與水文地理局(The Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie；BSH)所制定之標準規範，離岸風場開發必須通過一連串嚴格評估，包括風力機組設置前/營運中及退役後等各階段的生態物種統計、開發計畫技術與財務風險評估，以及相關利益團體的意見回饋。

德國離岸風電開發劃分為離岸 12 海里以內之沿海地區與離岸 12~200 海里之經濟海域(Exclusive Economic Zone；EEZ)。兩種地區在環境影響評估(Environmental Impact Assessment；EIA)方面均需遵循 BSH 制訂之環境保

護規範，不過申請建設許可則須依循不同的核發單位與法源。沿海地區受「聯邦電力饋入法案」(Bundes-Immissionsschutzgesetz)規範，核發單位為沿海各省相關職權單位；EEZ 地區依循「離岸風力機組安裝條例」(Seeanlagenverordnung)，核發單位為 BSH。



資料來源：工研院 IEK 整理(2017/04)

圖 3-4 德國離岸風電開發流程

目前德國離岸風電推動目標為 2020 年累計裝置量達 6.5GW，2030 年累計裝置 15GW，2020 與 2030 年目標曾在 2014 年 3 月頒布之「德國可再生能源改革計畫」進行下調，調整前 2020 年目標為 10GW、2030 年目標為 25GW。在實際裝置方面，德國首座商用化離岸風場於 2010 年開始運轉，2015 年新增裝置量為 2,282MW，較 2014 年成長 370.5%，2016 年新增裝置量為 813MW，較 2015 年衰退 64.4%。2016 年由於德國離岸風電額外補貼截止，市場規模明顯受到影響。

2017 年 4 月，德國進行第一次離岸風電競標，由德國廠商 EnBW 與丹麥 Dong Energy 兩家廠商共四個風場得標，其中三個風場政府無補貼金額，完全由自由市場售電，另一個風場政府補貼 60 歐元/MWh。EnBW 得標容

量達 900MW 之 He Dreih 風場，Dong Energy 得標三個風場包括容量 240MW 之 OWP West、容量 240MW 之 Borkum Riffgrund West 2、容量 110MW 之 Gode Wind 3，其中前三個風場無補貼。預計 2018 年 4 月將進行第二次競標，競標容量為 1,610MW。

德國首次離岸風場競標採用與先前丹麥、荷蘭不同規則。業者電力需在自由市場售電，競標內容為業者在自由市場售電之外，政府需補貼的價格。競標結果有三案為零，一案為 60 歐元/MWh (約每度新台幣 1.96 元)。三個案子為零，表示業者僅靠自由市場售電收入即可，完全不需要政府補貼。此為離岸風電發展上的重大突破。

表 3-5 2017 年德國離岸風電競標結果

得標風場	風場容量	得標廠商	風場位置	得標金額(歐元/MWh)
He Dreih	900MW	EnBW	北海	0
OWP West	240MW	Dong Energy	北海	0
Borkum Riffgrund West 2	240MW	Dong Energy	北海	0
Gode Wind 3	110MW	Dong Energy	北海	60

資料來源：工研院 IEK 整理(2017/04)

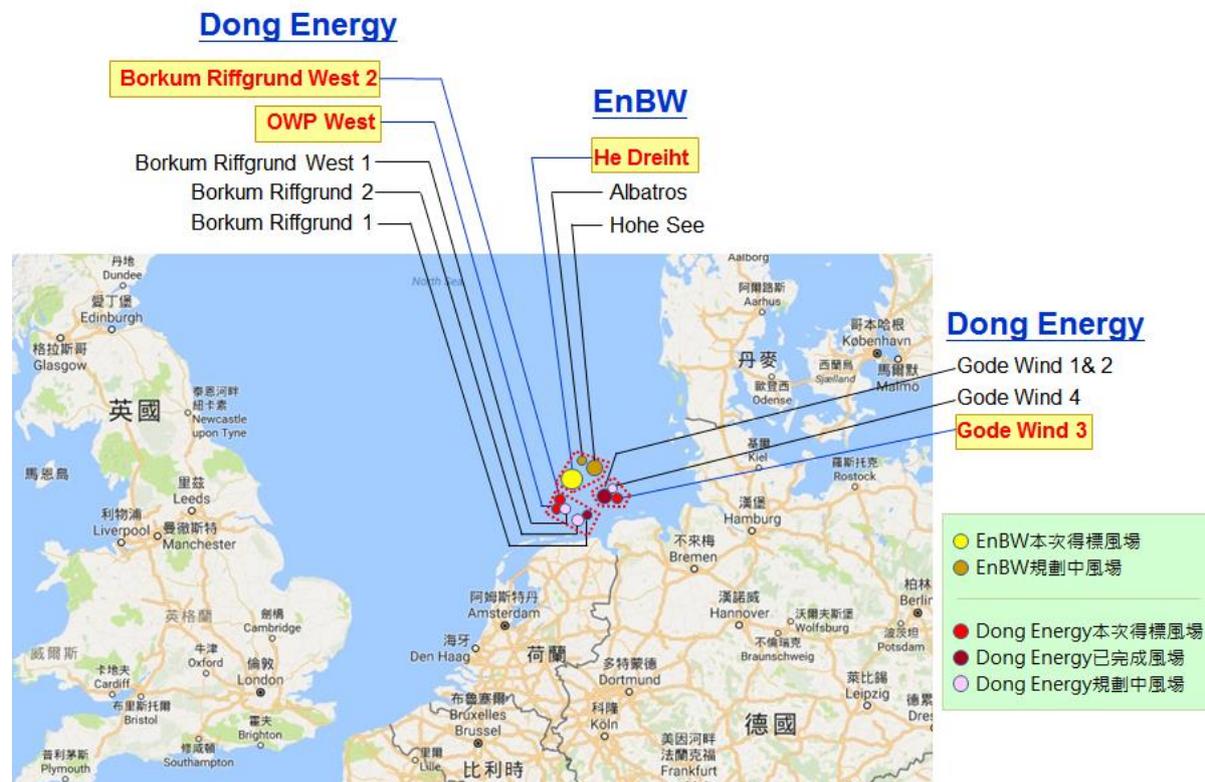
此次得標的兩家廠商，EnBW 與 Dong Energy 在北海區域有多座風場已併網，或未來預計開發。藉由將風場規模擴大，可以增加對供應商的議價能力，以便將建置成本壓低。

EnBW 本次得標的 He Dreih 風場(900MW)附近有 Albatros 風場(278MW)與 Hohe See 風場(497MW)準備開發中，三座風場合計 1,675MW，EnBW 可以與供應商以較大的量談到較低的供應價格。

Dong Energy 本次競標有三個風場得標，其中 Borkum Riffgrund West 2 風場(240MW)與 OWP West 風場(240MW)相連，旁邊還有規劃中的 Borkum Riffgrund West 1 風場(270MW)與 Borkum Riffgrund 2 風場(450MW)，四座風場合計容量為 1,200MW。另外旁邊還有一座已運轉的 Borkum Riffgrund 1 風場(312MW)，未來營運後可一起合併考量維運作業。

Dong Energy 得標的另一座風場 Gode Wind 3 容量較小(110MW)，此為

本次競標唯一單價不是零的項目。但此風場旁邊有規劃開發中的 Gode Wind 4 風場(336MW)，未來可以一併考量開發。另外可以與已進行運轉的 Gode Wind 1 & 2 風場(582MW)之維運作業合併考量。



資料來源：工研院 IEK 整理(2017/04)

圖 3-5 2017 年德國離岸風電競標-得標風場位置

EnBW 與 Dong Energy 均表示，此次得標的風場所採用的風力機系統，將考量單機 13~15MW 的風力機系統，雖然目前系統商開發的風力機系統單機容量最高為 9MW，但至此次標案的安裝期約在 2023~2025 年，距離現在還有 6~8 年，預計系統開發商將推出更大容量的風力機系統。若系統開發商可順利推出更大容量風力機，對於開發商成本下降將有很大的貢獻。

對於離岸風場成本影響最大的因素為風力機系統的容量大小，其次為風場規模，另外耐用年限、設備妥善率等亦為影響成本的因素。此次德國標案有三個風場政府零補助，業者直接挑戰自由電力市場，是否可獲利仍有大變數。目前德國電力躉售市場價格約在 25~55 Euro/MWh(約新台幣每度 0.82~1.8 元)，未來若以最佳狀況預估，離岸風電成本在 2025 年有機會挑戰 30 Euro/MWh(約新台幣每度 1 元)的關卡，若能達到如此，長久以來各



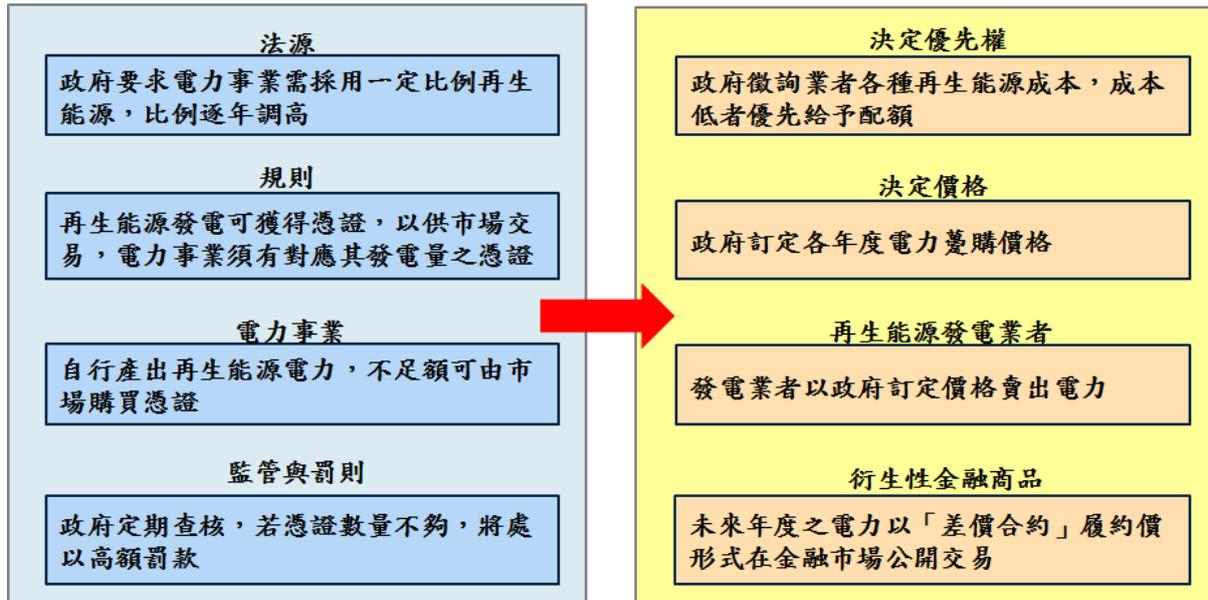
界普遍認為離岸風電一定比陸域風電成本高的想法將被打破，這將促使離岸風電被更廣泛的運用(例如新興市場開始大量裝置)，對於未來產業的發展也將產生重大的改變。

德國政府以長遠穩定之腳步規劃推動離岸風場開發，已具相當成效，估計 2015 年將超越丹麥，成為全球僅次於英國、累計安裝量第二多之國家。離岸風電由於開發過程複雜且牽涉廣泛，包括海洋生態、漁業、航運、國防等因素，加上投資規模龐大，牽涉產業鏈眾多，諸如港口、施工船、海洋地質調查、安規認證、風力機組、水下基座、變電站、電纜、金融保險等，現階段各國推動離岸風電進度多半較原先規劃落後，以致需要下調目標。德國以務實態度，藉由前期進行完整調查與評估，減少離岸風場開始開發後可能面對的環境評估議題，德國發展經驗可作為我國推動離岸風電開發之參考。

### 3.4. 英國

英國為全球風力發電主要發展國家之一，自 2002 年起，英國開始實施再生能源義務(Renewables Obligation；RO)制度，成功促進風電市場發展，特別是離岸風電，英國占全球半數以上市場。然而，RO 制度推行多年之後，一些問題逐漸浮現。英國從 2011 年起，開始研擬新一代的差價合約(Contract for Difference；CfD)制度以替代 RO 制度，RO 制度於 2017 年 3 月 31 日結束，之後由 CfD 制度完全取代。

從 2011 年起，英國政府針對 RO 制度研擬改善措施，在 2013 年 6 月公布再生能源「差價合約履約價」(Contract for Difference Strike Price)草案。此制度強調讓各種再生能源互相競爭，因此一開始先讓各種再生能源技術比較，成本低者優先給予配額，再以躉購電價為基礎，並加入衍生性金融商品之概念。



資料來源：工研院 IEK 整理(2017/04)

圖 3-6 英國風電收購制度變革

CfD 制度之電價由政府訂定，使得開發商可保證以固定價格(履約價)售出電力，另一方面，政府促成再生能源電力包裝為衍生性金融商品(差價合約)，在金融市場上流通以吸引更多市場資金投入。英國風電再生能源義務(RO)與差價合約(CfD)制度之比較如表 3-5 所示：

表 3-6 英國風電再生能源義務(RO)與差價合約(CfD)制度比較

	再生能源義務(RO)	差價合約(CfD)
實施日期	2002 年開始實施，預定 2017 年 3 月 31 日截止	2014 年開始逐步實施，預定 2017 年 4 月起完全取代 RO 制度
發電商收益方式	電力售出 + 再生能源憑證售出	以政府訂定價格售電
風險程度	較高。需加入 ROC 價格波動因素	較低。各年度 CfD 均為單一價位，此部分風險可消除
收購期限	20 年	15 年

資料來源：工研院 IEK 整理(2017/04)

英國風電發展重點為離岸風電，目前為全球最大離岸風電市場。英國離岸風電的開發是由英國皇家財產局(Crown Estate)以地區別劃分三階段 Round 1、Round 2 及 Round 3 來進行，分別於 2000 年、2003 年及 2008 年公告。Round 1 預計建設 13 座風場，總裝置容量 1.6GW，迄今其中 9 座已

部分完工，合計 688MW 連結上網；Round 2 預計建設 15 座風場，總裝置容量 7.2GW，其中 4 座已開始建造；Round 3 預計開發規模高達 32GW，目前已公告得標開發商，於 2015~2020 年間動工。Round 1、Round 2 及 Round 3 全數完工後，英國將擁有 40GW 的離岸風電，預期 2020 年累積裝置 25GW 離岸風電的目標可順利達成。

表 3-7 英國離岸風電規劃發展三階段

	Round 1	Round 2	Round 3
公告年度	2000/12	2003/12	2008/09
風場數	13 座，預計總裝置容量 1.6GW	15 座，預計總裝置容量 7.2GW	預計總裝置容量 8GW
主要廠商	Centrica、DONG Energy、Vattenfall、npower renewables、E.ON	Centrica、DONG Energy、RWE、E.ON	多採聯合開發，如 Forewind (SSE、RWE npower、Statkraft)
補助情況	New Opportunities Fund 資金 1.18 億英鎊 Renewables Obligation	Renewables Obligation	Renewables Obligation
現況	9 座部分完工並連結上網，總裝置容量 594MW	在建中 4 座，裝置容量 1,234MW	申請案件審查中

資料來源：工研院 IEK 整理(2017/04)

為強化產業發展，英國政府更積極規劃建置離岸風電測試中心，發展新世代離岸風力機組技術，提供技術示範和設備發展，目的是吸引國際先進大廠進駐英國，同時扶植當地產業發展與提高就業率、振興經濟。

未來英國風電市場仍持續成長，估計陸域風電大約維持每年 1GW 新增裝置量，離岸風電 Round 2 風場已逐漸完工，使得 2015 年裝置量減少。2016 年以後 Round 3 風場逐步展開，將帶動另一波成長，未來離岸風電占英國風電市場比例逐漸提高。

各國在發展離岸風電，多半有推出優惠電價補貼政策，但發展進度仍不及於英國。主要因為英國政府除了優惠電價補貼之外，大規模使用區塊



開發，使得離岸風電裝置快速推展。

區塊開發重點在於政府以整體性的政策評估，避開生態敏感區、航道、漁場、軍事管制區等，調查並劃分出合適開發之區域，再讓業者進場投入，以降低業者投入風險，加速開發時程。換句話說，政府前期自己扮演開發商角色，先行做資源調查與可行性評估，找出適合開發地點，並利用政府的公權力，快速有效排除各項障礙，再轉移給廠商做後續開發。當廠商投入時，已免除許多前期調查工作，與各相關政府部門溝通的時間，可有效加速開發進度，降低開發風險。

### 3.5. 丹麥

丹麥為全球風力發電占電力供給比例最高的國家，2014 年全年風力發電約占電力供應 39%，遠高於排名第二之葡萄牙(23%)；以月份計算，2014 年 1 月丹麥風力發電占電力供給 61%，創下歷史新高。丹麥早在 1970 年代便開始發展風力發電，經過近四十年發展，目前丹麥不僅為全球風力發電占電力供應比例最高的國家，其風力發電產業在全球亦具有重要地位。

1970 年代爆發兩次石油危機時，丹麥政府開始思考投入再生能源開發，由於丹麥風能資源豐富，丹麥政府選擇風力發電為重點發展項目。丹麥在 1977 年設立第一支陸域風力發電機，1991 年設立第一支離岸風力發電機，歷經近四十年發展，丹麥風力發電占電力供應比例居全球首位，並有兩家風力發電機系統全球領導廠商。未來持續增加風力發電占電力供應比例，以期達到 2050 年電力 100% 由再生能源供應之目標。

2014 年丹麥電力供應 51% 來自於再生能源發電，49% 為火力發電。再生能源發電中以風力發電占 39% 比例最高，其餘再生能源發電以水力發電與生質能發電為主。火力發電中，燃煤、燃氣與燃油比例分別為 34%、14% 與 1%。

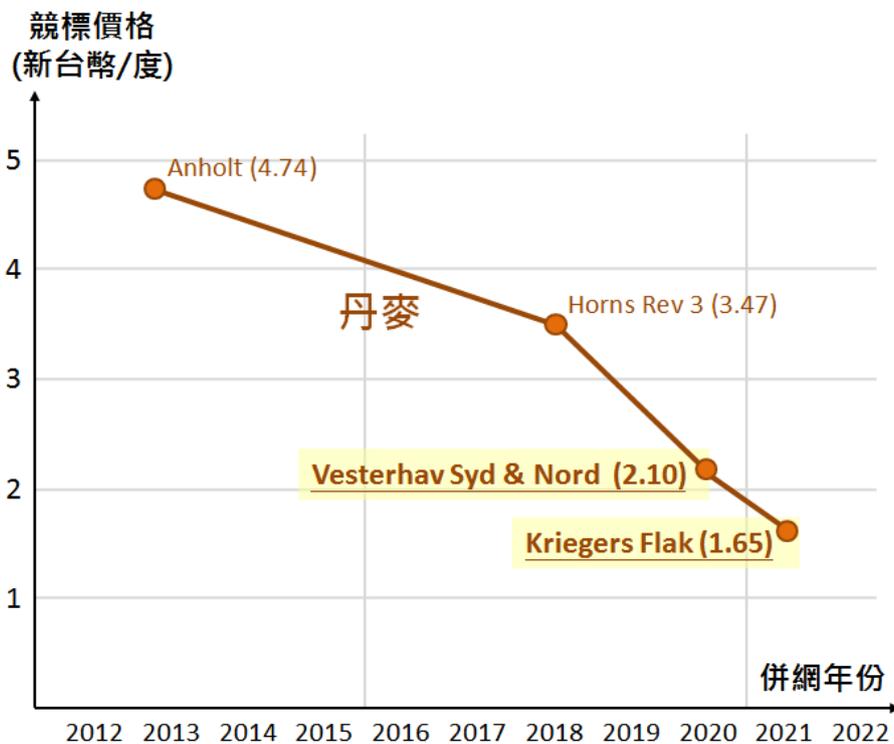
由於丹麥風力資源豐富，未來再生能源發電開發計畫持續以風力發電為主。丹麥政府訂定目標為 2020 年風力發電占電力供應 50%，2050 年所有電力均由再生能源發電供應。



丹麥能源局(Danish Energy Agency)為丹麥風力發電事業主管機構，也是風力發電相關事務之單一窗口。風力發電政策、管理與相關協調事務，統一由丹麥能源局作為窗口，由丹麥能源局出面與其他相關機構進行協調。

丹麥陸域與離岸風電採用不同收購制度。陸域風電部分，業者須由透過 Nord Pool Spot 電力交易平台出售電力，過去成交電價介於每度 0.26 至 0.38 丹麥克朗(新台幣 1.19~1.74 元)之間，政府給予陸域風場開始營運後，前兩萬兩千滿發小時最高 0.25 丹麥克朗(新台幣 1.15 元)補貼，售電與政府補貼兩者合計後，最高額度為 0.58 丹麥克朗(新台幣 2.66 元)，因此若電力以每度 0.38 丹麥克朗售出，政府僅補貼每度 0.2 丹麥克朗。

離岸風電部分，政府先規畫並公告開發區塊，以特許權標案方式接受廠商參與競標，並評估參與投標廠商之營運能力以及競標電價給予廠商開發特許權。廠商得標後，政府依據廠商投標電價，給予風場開始營運後前五萬滿發小時固定收購電價，之後轉由 Nord Pool Spot 平台進行交易。丹麥最近一個投入營運的離岸風電開發案為 2013 年商轉之 Anholt 離岸風場，政府收購電價為每度 1.05 丹麥克朗(約新台幣 4.74 元)。





資料來源：Danish Energy Agency；工研院 IEK 整理(2017/04)

圖 3-7 丹麥離岸風電競標價格

2016 年 9 月與 11 月兩次丹麥風場競標價格創下新低價格，9 月競標的 Vesterhav Syd & Nord 風場(350MW)與 11 月競標的 Kriegers Flak 風場(600MW)均由瑞典開發商 Vattenfall 得標，得標價分別為每度 0.475 丹麥克朗與 0.372 丹麥克朗(約為新台幣 2.14 元與 1.65 元)，創下競標歷史新低紀錄，對於其他國家離岸風電政策與整體離岸風電產業產生很大影響。

丹麥未來發展風力發電的主要挑戰來自於兩方面：第一、因應風力發電占電力供應比例持續提高，不穩定的風能對於現有的電網架構造成很大的衝擊。雖然丹麥與鄰國電網相連，但是改善與強化電網結構、以及發展電網級儲能設備之進度，為未來風電比例是否能順利增加之重要條件；第二、丹麥陸域風電未來開發潛力有限，發展重點在離岸風電。但是現階段丹麥政府認為離岸風電成本仍然偏高，因此近期放緩離岸風電開發進度。未來丹麥若要加速離岸風電開發進度，關鍵為降低成本，因此未來離岸風電開發成本是否能有效降低，將是產業是否可順利發展之最重要因素。

### 3.6. 荷蘭

荷蘭以發展離岸風電為主，政府主要目標有二：一、2020 年前將風能發電成本降低 40%（以 2010 年為比較基礎）；二、2023 年達到離岸風電裝置容量 4,500 MW。為達成離岸風電裝置目標，荷蘭政府訂出逐年規劃。

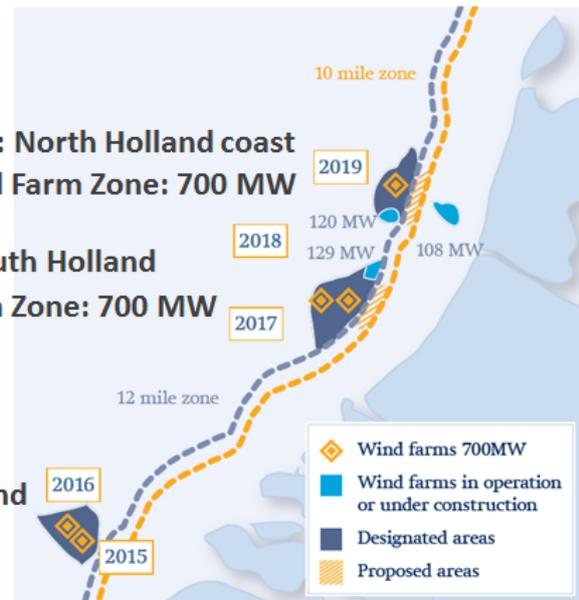
## ■ 離岸風電發展路徑

The roadmap foresees  
in 5 tenders

■ 2019: North Holland coast  
Wind Farm Zone: 700 MW

■ 2017、2018: South Holland  
coast Wind Farm Zone: 700 MW

■ 2015、2016: Borssele Wind  
Farm Zone: 700 MW



資料來源：Ministry of Economic Affairs and Ministry of Infrastructure and Environment；  
工研院 IEK 整理(2017/04)

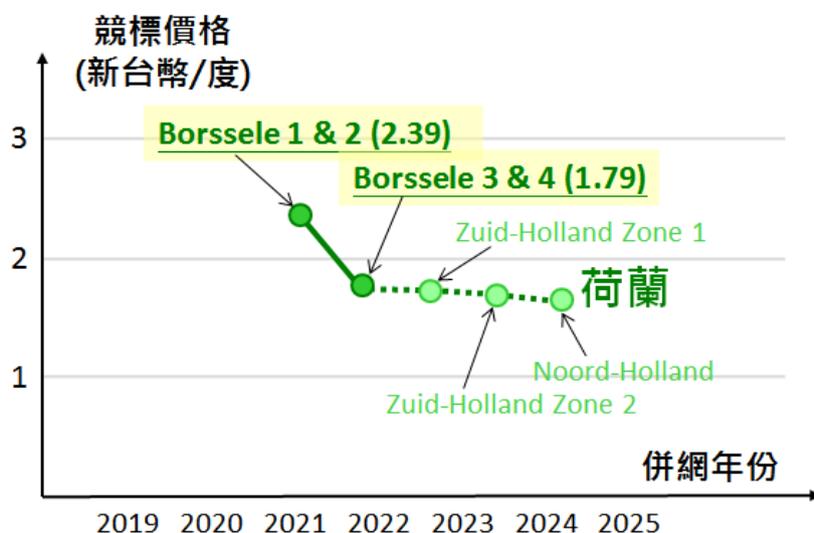
圖 3-8 荷蘭離岸風電發展時程

荷蘭政府於 2001 年由政府劃定開發區塊，業者可自行選定場址，需先完成環評，才能申請場址籌設許可。多個開發商提出相同場址的規劃申請，則以第一個完成環評者得優先選擇開發場址。

經濟部 2009 年公布 2009~2015 國家水域計畫(National Water Plan)，進行海域活動整體規劃與檢討。鑒於過去的專案因規模小且區域分散而導致成本過高，為簡化、加速開發專案的進行，荷蘭政府修訂離岸風能法案 Offshore Wind Energy Act (Wet Wind op Zee)，此法於 2015 年 12 月 1 日生效並訂定離岸風電開發策略，重點包括：

- 確保通過海運航線上通行之高效、安全
- 維護沿岸地區，並與相關的省級政府、地方當局合作
- 維護自然保護區和海洋生態系統
- 確保軍隊有足夠的演習空間
- 維持地平線的清晰可見，保留沿海到 12 海里的距離
- 提供空間作為管線運輸有害物質
- 劃定海砂汲取之區域，防止洪水氾濫與海岸線退縮
- 劃定離岸風場、如油氣採掘、碳封存之使用區域
- 保護考古遺產（沉船和其它考古遺址）

政府將依據針對每個風場訂定競標價格上限，開發商應以競標方式(不得高於競標價格上限)爭取興建風場的資格，並完成專案之財務與技術可行性測試，其中最低價的方案在獲得承建許可的同時還將獲得 15 年的定額補貼。



資料來源：工研院 IEK 整理(2017/04)

圖 3-9 荷蘭離岸風電競標價格

荷蘭政府從 2016 年下半年開始，預計在 2019 年底以前進行五次離岸風電標案，每次標案容量約 700MW，總計 3.5GW，目標在 2023 年累計裝置容量達 4.5GW。

第一次標案於 2016 年 7 月舉行，由丹麥 Dong Energy(丹能風力)獲得，得標價格為每度電 0.0727 歐元(約新台幣 2.39 元)，此價格包含風力機、水下基樁、風場內電網等設備與建置費用，不包含連外電網、海上變電站。

第二次標案於 2016 年 12 月舉行，由荷蘭能源巨擘 Shell 帶領的團隊獲得，得標價格為每度電 0.0545 歐元(約新台幣 1.79 元)。

由近期歐洲離岸風電產業發展可以得知，大規模風場開發、日趨成熟與標準化的作業流程、以及逐漸累積的開發經驗，使得歐洲離岸風電開發成本已逐步下降。



### 3.7. 日本

2011年福島核災事故後，日本重新檢討風力發電發展政策。2013年起日本大幅增加風力發電相關預算，日本政府對風力發電發展逐漸重視。日本風力發電發展策略主要目標為取得下世代技術全球領導地位，短期內不會大幅擴張應用裝置規模，因此發展重點在技術開發與相關實證研究。

日本在2012年以前以發展陸域風電為主，在離岸風電方面，雖已設置多座離岸風力機，但均為興建於海岸邊，係直接由陸地運送機組與配件至海邊裝設，未使用海事工程船安裝。日本各地沿海普遍離岸不遠處即水深較深，目前技術已較成熟之固定式離岸風力機發展潛力較為受限。

日本發展離岸風力採取相當謹慎的態度，經過多年在岸邊之測試之後，才開始進行離岸風力機裝設。各示範風場僅裝設一支風力機，預計先觀察兩年，評估發電效益與環境影響後，再考慮逐步放大裝置規模，顯現日本行事謹慎之風格。

日本發展離岸風電，採取與英國、德國、丹麥、中國大陸等其他主要離岸風電發展國家不同策略。前述國家均以大規模裝置帶動相關產業發展，日本現階段著重於技術開發，暫不進行大規模裝置。

現階段離岸風電主流技術為固定式離岸風電，全球已設置超過兩千支機組，累積相當豐富開發經驗。固定式離岸風電全球技術領先國家包括英國、德國、丹麥等，日本以下世代技術浮體式離岸風電為技術發展核心，避開歐洲廠商已建立完整產業鏈體系之固定式離岸風電。

全球發展浮體式離岸風電，除了日本以外，多集中於歐洲。歐洲超過十家新創公司投入浮體式離岸風電技術開發，技術類型相當多元，各廠商發展技術型態有很大差異。相對於歐洲主要由民間新創公司主導開發活動，日本則由政府主導與出資，領導產業界共同開發。

日本投入浮體式離岸風電示範風場包括環境省與經濟產業省兩個單位，發展情況如下表所示：

表 3-8 日本浮體式離岸風場發展現況



出資單位	裝置地點	風力機	浮體形式	現況
環境省	長崎縣五島列島	日立 2MW	spar floater	2013年10月開始運轉, 2015年9月拆除
經濟產業省	福島縣	日立 2MW	4-column semi-submersible platform	2013年11月開始運轉至今
		三菱 7MW	V-shape semi-sub	2015年9月完成裝置並開始運轉
		日立 5MW	Advanced spar	2016年11月完成安裝, 目前試運轉中

資料來源：工研院 IEK 整理(2017/04)

環境省與經濟產業省投入浮體式離岸風電示範的目的不同，環境省主要檢驗對海洋環境的影響，經濟產業省則以技術開發與驗證、耐久性測試為主。

環境省選擇在長崎縣的五島列島進行示範驗證，在2012年先裝置一支100kW風力機做先導測試，2013年進行正式測試。該風場採用日立製作所(原富士重工)的2MW風力機，從2013年10月開始進行為期2年的驗證工作，以檢驗對於當地海洋生態、海底地質與附近漁獲量的影響，於2015年9月底驗證告一段落，隨後將風力機拆除，拆除後的風力機將轉移至其他地方的商轉風場使用。

經濟產業省在福島縣設置產業園區與示範風場，從2013年起至今設置三支浮體式離岸風力機以及設置於浮體式基座上之海上變電站。



資料來源：福島洋上風力コンソーシアム(2017/04)

圖 3-10 日本經濟產業省福島離岸示範風場裝置情況

如上圖所示，由左至右分別為設置於浮體式基座上的海上變電站、日立 2MW、三菱 7MW 與日立 5MW 風力機。

福島示範風場首支風力發電機組為日立製作所 2MW 風力機，採用之基座為四柱半沉式平台(4-column semi-submersible platform)，於 2013 年 11 月開始運轉，至今已接近三年，運轉狀況正常。

第二支機組採用三菱重工 7MW Sea Angel 風力機，三菱重工雖然在 2013 年 9 月與丹麥 Vestas 合作成立 MHI Vestas，投入 8MW 離岸風力機開發，但三菱原本已在開發中之 7MW Sea Angel 風力機仍持續進行研發工作。此機組採用另一種浮體基座(V 型半沉式)，於 2015 年 6 月進行裝置作業，2015 年 9 月完成電纜連接，開始進行運轉測試。

第三支機組採用日立製作所 5MW 下風式風力機。日立先於 2015 年 9 月在茨城縣陸域風場設置一支此型號風力機組進行測試，福島示範風場為該機型的第二支測試機組。此機組採用增強型單柱(Advanced Spar)浮體基座，於 2016 年 11 月完成安裝作業，目前進行試運轉中。

福島示範風場開發計畫由經濟產業省出資，由丸紅株式會社擔任主要開發商，整合 10 家廠商包括三菱重工、日立製作所、三井造船、新日鐵、



古河電工、清水建設等，以及東京大學參與技術開發。此計畫規格制訂、所有零組件開發與施工均由日本產學各界完成，無外國廠商參與。三支示範機組採用不同風力機與浮體式平台，以驗證各種技術的性能表現，作為日後修改設計與後續計畫推動的參考依據。福島離岸示範風場在完成第三支機組後，目前尚未公布下一步的計畫推動方向。

日本分別由環境省與經濟產業省投入浮體式離岸風電示範計畫，以檢驗對環境的影響與驗證技術開發成果，後續計畫主要著重在技術開發，目標為在下世代技術發展取得領先地位。過去幾年的示範計畫在執行中有許多的技術障礙，風力機組也並非全部能順利運轉，但在執行過程累積了許多經驗，可做為後續計畫推動的參考。

另外日本政府將浮體式離岸風電產業園區設在福島縣，希望能夠振興福島核災當地經濟發展。日本政府與產業界通力合作，以100%在地化設計、製造、施工的模式，試圖在現階段主流產業-固定式離岸風電由歐洲廠商主導的形勢下，另闢一條道路，為日本在下一代離岸風電產業競賽上取得有利的地位。

## 4. 結論

本報告從市場、產業與技術研發趨勢等面向探討全球風力發電最新發展趨勢。

在市場方面，全球風電市場2015年創下歷史新高後，2016年新增裝置量將較2015年下滑17%。全球陸域風電市場已進入市場成熟期，未來市場規模呈現上下小幅波動。離岸風電持續為市場關注重點，占整體風電市場比例將逐漸提升。2016年全球離岸風電市場面臨史上第一次衰退，由於德國離岸風電額外補貼截止，加上英國處於第二輪與第三輪離岸風電區塊開發計畫交界點，市場規模將明顯受到影響。2017年以後回復成長。

中國大陸風電發展最高指導原則為國家能源局於2016年12月發布之「風電發展十三五規劃」。發展目標為至2020年底風電累計併網裝機容量達210GW。其中，離岸風電併網容量5GW，風電年發電量確保達到4200億度，約占中國大陸總發電量的6%，預期「十三五」期間(至2020年)，



中國大陸風電政策主軸為持續穩定發展。

在產業方面，隨著風力發電產業規模逐漸擴大，近年來有不少廠商陸續投入，也開始有真正安裝實績，產業中競爭者增加使得產業集中度下滑。另外，在地廠商在本國市場發揮巨大優勢，使得市占率居於領先地位。2016年下半年起歐洲包括丹麥、荷蘭、英國、德國等競標制度的實施，使得離岸風電產業邁入新的競爭型態。

在技術研發方面，主要趨勢包括風力機容量往大型化、全球大廠投入離岸風力機的開發，以及開發相關技術、投入直驅式發電機的廠商數目逐漸增加等。不管陸域或是離岸風力，均朝向大型化風力機發展，特別是在離岸風電。