

國立臺灣大學工學院土木工程學系

碩士論文

Department of Civil Engineering

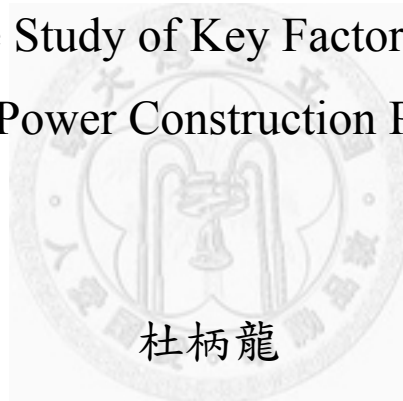
College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

風力發電工程執行之關鍵影響因素探討

The Study of Key Factors for  
Wind Power Construction Projects



杜柄龍

Tu, Ping-Lung

指導教授：郭斯傑 博士

Advisor: Guo, Sy-Jye, Ph.D.

中華民國 99 年 6 月

June, 2010

國立臺灣大學碩士學位論文  
口試委員會審定書

風力發電工程執行之關鍵影響因素探討  
The Study of Key Factors for  
Wind Power Construction Projects

本論文係杜柄龍君 (P96521709) 在國立臺灣大學土木工程學系碩士班完成之碩士學位論文，於民國 99 年 6 月 18 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

鄭則偉

(指導教授)

鄭如剛

王隆昌

呂良正

系主任

## 誌謝

本論文完成，首先要感謝指導教授郭斯傑博士，郭老師教學認真嚴謹，在忙於教學之餘，仍堅持每週固定抽出時間關心、指導組內同學論文進度，在恩師費心的指導與鼓勵下，才得以按部就班、順利完成本論文研究，在此向恩師致上最高的敬意及謝意。

另外也要感謝王隆昌教授、鄭明淵教授等口試委員對於本論文之指導與指正，使本論文更臻完善。

特別要感謝論文撰寫過程中訪談的每一位業界前輩們，包括台電公司陳一成處長、周俊治經理、劉全榜課長、英華威公司葉文村副總監、亞東公司林世豪協理、怡興工程盧顯卿董事長、怡興工程劉敏雄顧問、何慶坤電機技師事務所何慶坤技師、工研院呂威賢經理、中興電工王琴生顧問、中興電工趙守庸處長、中興電工曾輝雄工地負責人、山豐營造游明泰主任技師等先進，他們無私提供許多寶貴資料、看法與經驗分享，使論文內容更加嚴謹與完備，謹致謝忱。

最後，感謝內人若蘋、女兒念庭、宜庭在這段期間對我的包容與鼓勵。

杜柄龍 2010年6月

## 摘要

為了管制二氧化碳等溫室氣體排放以減緩氣候急劇變遷，世界各國紛紛加速推動再生能源研究、發展與應用，使得再生能源產業於1990年左右開始蓬勃發展，其中風力發電是技術上最成熟、最具商業化發展前景的再生能源。

台灣受限於起步時間較慢，曾參與風場評估、開發、規劃設計及施工廠商寥寥無幾，在實際執行經驗方面，與國外先進國家相比更顯得缺乏，以致於工程執行過程中，常有不可預料疏失，除造成完工期限延誤，更會引發完工運轉後設備經常停擺問題，導致發電之可靠度降低。

本研究蒐集、整理有關風力發電工程之法規、行政規則、風力發電原理、發展過程、產業現況等相關之文獻資料，探討國內風力發電工程未來可能發展趨勢及發展方向，並分析、彙整國內風力工程之成本、執行過程的程序及其期間各階段遭遇到之問題以及對工程影響，歸納整理出風電工程可能產生問題並建立其影響因素初步清單，再透過直接且深度的訪問熟稔風電工程之不同領域專家，驗證與歸納出台電公司專家認為風電工程執行過程中之關鍵因素主要為「政府決心、政策及法令」、「公部門應配合事項效率」、「承包專案團隊經驗、實績」、「風能條件佳之土地取得」、「籌設許可申請」、「國外設備廠商支援」、「承包團隊整合能力」、「風力發電機組廠牌」、「維修人員技術及培養」、「備品、零組件供應」等十項；而民營業者認為風電工程執行過程中之關鍵因素主要為「政府決心、政策及法令」、「公部門應配合事項效率」、「發電收益」、「設置成本」、「資金籌措」、「風能條件佳之土地取得」、「環境影響評估」、「國外設備廠商支援」、「風力發電機組廠牌」、「維修人員技術及培養」、「備品、零組件供應」等十一項。

**關鍵詞：風力發電、再生能源、成本效益、關鍵影響因素**

## Abstract

In order to control carbon dioxide for avoiding greenhouse effect and reducing climate change, renewable energy industry have been flourished worldwide from 1990 to speed up renewable energy research, development and applications. Therefore, wind power prospects are brightening and commercialization in the future regarding renewable energy.

Due to wind power made slow progress in Taiwan, the contractor of wind farm estimation, development, design and construction are few, construction experiences compare with developed countries to be short, so that some loss is unpredictable and delay project period, then wind turbine generator will be malfunction usually and low availability after take over.

In this paper, related literature of wind power regulation, administrative regulation, wind power generator principle, development, industrial status have been studied, and research developed trend of wind power construction in the future in Taiwan, and that analysis of construction cost, procedure, other question during the different stages of the problems on the project have been arranged into the preliminary list of key factors. There are ten (10) items as following “decision, policy and regulation of government”, “civil servant performance”, “contractor experience”, “land acquisition for optimal wind power”, “preliminary permits application”, “wind power manufacture support”, “contractor integrated ability”, “brand-choice decisions for wind turbine generator”, “maintenance technician training” and “spare part supply”, are key factors in accordance with interview Tai-power Company experts of wind power field to be compiled, which will effect project schedule with generating benefits. Also, other domain experts think that there are eleven (11) items as following “decision, policy and regulation of government”, “civil servant performance”, “generating benefits”, “the cost

of setting up”, “financing”, “land acquisition for optimal wind power”, “environmental impact assessment”, “wind power manufacture support”, “brand-choice decisions for wind turbine generator”, “maintenance technician training” and “spare part supply”.

**Keywords: Wind Power, Renewable Energy, Cost Benefit, Key Factors**



# 目錄

口試委員會審定書.....	i
誌謝.....	ii
摘要.....	iii
Abstract.....	iv
<b>第一章 緒論.....</b>	<b>1</b>
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	3
1.3 研究範圍與限制.....	3
1.3.1 研究範圍.....	3
1.3.2 研究限制.....	4
1.4 研究方法與流程.....	4
1.4.1 研究方法.....	4
1.4.2 研究流程.....	5
1.5 預期成果.....	5
<b>第二章 文獻回顧.....</b>	<b>6</b>
2.1 風力發電緣由.....	6
2.2 風力發電原理.....	7
2.2.1 風的形成與分級.....	7
2.2.2 風力發電原理.....	9
2.2.3 風力發電開發利用之動因.....	11
2.3 風力發電系統架構.....	15
2.3.1 風力發電機.....	15

2.3.2 線路併聯 .....	17
2.3.3 風力發電特點 .....	17
2.3.4 風力發電發展趨勢 .....	18
<b>第三章 國內風力發電發展 .....</b>	<b>20</b>
3.1 全球風力發電發展之現況 .....	20
3.1.1 發展之現況 .....	20
3.1.2 產業之現況 .....	25
3.2 台灣風力發電發展過程 .....	28
3.2.1 台灣風能條件 .....	28
3.2.2 推廣過程及發展目標 .....	29
3.2.3 已設置完成機組 .....	30
3.3 台灣風力發電未來發展性 .....	35
3.3.1 風力發電設置的成長性 .....	35
3.3.2 風電產業的發展 .....	37
3.4 小結 .....	39
<b>第四章 風力發電成本探討 .....</b>	<b>40</b>
4.1 直接成本 .....	41
4.1.1 期初投資成本分析 .....	41
4.1.2 操作維護費用分析 .....	43
4.2 外部成本 .....	44
4.3 成本效益分析 .....	46
4.3.1 發電成本探討 .....	46
4.3.2 投資效益分析 .....	49
4.3.3 影響投資效益因素 .....	53
4.4 小結 .....	55



<b>第五章 風電工程執行情序與關鍵因素探討 .....</b>	<b>56</b>
5.1 執行情序.....	56
5.2 法令規範.....	57
5.2.1 籌備創設申請 .....	59
5.2.2 施工許可申請 .....	60
5.2.3 成立給照申請 .....	62
5.3 工程面探討 .....	64
5.3.1 可行性評估階段 .....	64
5.3.2 設計階段 .....	68
5.3.3 施工階段 .....	72
5.3.4 營運階段 .....	79
5.4 關鍵影響因素 .....	80
5.4.1 所有階段 .....	80
5.4.2 可行性評估階段 .....	80
5.4.3 設計階段 .....	80
5.4.4 施工階段 .....	81
5.4.5 營運階段 .....	81
5.5 專家訪談 .....	83
5.5.1 訪談名單 .....	83
5.5.2 訪談內容 .....	84
5.6 小結 .....	92
<b>第六章 結論與建議.....</b>	<b>94</b>
6.1 結論 .....	94
6.2 建議 .....	96
<b>參考文獻 .....</b>	<b>97</b>

## 圖目錄

圖 1-1 研究流程 .....	5
圖 2-1 風能大小與風速關係曲線 .....	10
圖 2-2 理想風能轉換成電能比值曲線 .....	11
圖 2-3 全球風能產業工作職缺 .....	12
圖 2-4 風力發電工程系統示意圖 .....	15
圖 2-5 風機示意圖 .....	16
圖 3-1 1996~2008 年全球累積裝置容量 .....	20
圖 3-2 1996~2008 年全球新增裝置容量 .....	21
圖 3-3 1997~2008 年全球風能市場年成長率 .....	21
圖 3-4 2008 年全球前 10 名風力機組裝置容量國家 .....	22
圖 3-5 2008 年全球前十大風機製造商 .....	27
圖 4-1 歐元匯率走勢圖 (2008/6/1~2010/6/15) .....	54
圖 5-1 風電工程執行政序四個主要階段 .....	56
圖 5-2 籌備創設申請流程 .....	60
圖 5-3 施工許可申請流程 .....	61
圖 5-4 成立給照申請流程 .....	63
圖 5-5 風受遮擋擾流影響範圍 .....	65
圖 5-6 工程施工程序 .....	73
圖 5-7 試運轉程序 .....	78

## 表目錄

表 2-1 蒲福風級表 .....	8
表 3-1 截至 2009 年各國離岸式風力機組累積裝置容量 .....	24
表 3-2 風力發電第一期計畫彙整表 .....	32
表 3-3 風力發電第二期計畫彙整表 .....	32
表 3-4 風力發電第三期計畫彙整表 .....	33
表 3-5 離島風力發電計畫 .....	33
表 3-6 民營風力發電計畫彙整表 .....	34
表 4-1 風電工程成本架構 .....	42
表 4-2 風力發電機成本架構比例 .....	42
表 4-3 各種發電方式的外部成本 .....	45
表 4-4 歐洲風能協會推估每度發電成本 .....	46
表 4-5 李宗德推估回收年限 .....	47
表 4-6 躉購費率各項參數數值 .....	48
表 4-7 台電近期標案裝機成本 .....	49
表 4-8 台電近期標案每度發電成本 .....	50
表 4-9 期初設置成本敏感度分析（其他參數固定） .....	51
表 4-10 年操作維護費用敏感度分析（其他參數固定） .....	51
表 4-11 折現率敏感度分析（其他參數固定） .....	52
表 4-12 年淨售電量敏感度分析（其他參數固定） .....	52
表 4-13 回收年限敏感度分析（其他參數固定） .....	53
表 5-1 國內主要規範風力發電之相關法令 .....	58
表 5-2 ENERCON E-70 風力機主要設備重量與尺寸表 .....	75
表 5-3 影響因素之初步清單 .....	82
表 5-4 專家訪談名單 .....	83
表 5-5 影響風電工程執行之關鍵因素 .....	91

# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機

隨著經濟成長，人類對於能源之需求逐年增多，尤其是近幾年金磚四國等開發中國家快速崛起，更加速了煤炭、石油及天然氣等各種石化能源消耗，除了儲存量明顯逐漸減少，價格不斷飆漲，也因為石化燃料燃燒，排放大量溫室氣體，導致了全球氣候變遷加劇，洪水、旱災、颱風和嚴寒大雪等災難出現次數更加頻繁且強度更大，每年因氣候異常所造成的死亡人數因此不斷上升；所以管制二氧化碳等溫室氣體排放以減緩氣候急劇變遷，已是目前世界各國首要環保工作重點，其中再生能源因具有低污染、永續使用特性，特別受到重視，世界各國紛紛加速推動再生能源研究、發展與應用，使得再生能源產業於1990年左右開始蓬勃發展，並呈現跳躍式成長。

我國自產能源匱乏，百分之九十九是由國外進口，進口量逐年隨著經濟成長增加，在所有需求能源中，以石油及煤炭為主，每逢中油、台塑石油公司因應原油價格變動而調漲油價時，各行各業為反應生產成本增加，往往跟隨著提高各種物品售價，而帶動一波波物價上漲，政府在體察國民基本生活及經濟發展需求的考量下，過去幾年雖燃料價格不斷飆漲，卻一再暫緩電價調整，導致台電公司出現嚴重虧損，經營備極艱辛。

為提供穩定電力供應，避免因缺限電造成產業巨大損失及民生用電不便，同時又能符合政府環保減碳政策，有效分散電力燃料來源，提高綠色能源結構比重，就顯得格外重要，而風力發電就是一個最佳解決方案；能源局依據經濟部97年6月5日核定「永續能源政策綱領」，在「97-106年長期負載預測與電源開發規劃摘要報告」中有關電源開發規劃議題上，就宣示將積極發展及有效運用無碳再生能源，並預定民國104年再生能源發電裝置容量達到497萬瓩，民國114年達到845萬瓩；至於台電公司更是自民國79年12月，便於澎湖七美離島完成兩部發電容量各為100瓩的先導型風力機組，總裝置容量共計200瓩，進行風力機組與既有柴油機併聯運

轉試驗，民國89年再於澎湖中屯開始興建四部風力機組，總裝置容量共計2,400瓩，於90年9月13日開始商轉，且後續積極推動風力一期~風力三期及金門及澎湖等風力計畫，台電公司希望至民國101年，其所設置之風力發電機組總裝置容量約可達30萬瓩以上。

在台電公司與民營業者如火如荼推動風力發電計畫及執行過程中，未能如期商轉、無法發電運轉等問題卻時有所聞，甚至台電公司於台中港北防風林區設置的第2號風力發電機組於2008年9月28日薔蜜颱風來襲時，遭強風吹倒，漢翔航空工業股份有限公司承攬台電公司香山及麥寮風力案，分別因申挖及許可作業緩慢，履約時程控管不當等因素，導致逾期違約金達合約上限1.21億元與合約成立後復疏於注意風機報價期限屆期資訊，增加承攬成本4.1億元等情事，遭到監察院高委員鳳仙提案糾正等等問題也一一浮現；風力發電工程之機電設備除風力機組須由國外承製進口外，其他各項機電設備、器材、電纜等機電設施，國內電機、機械製造廠商皆具有產製、安裝能力，土建工程部分包括「風力機基礎、電氣室、排水溝、施工道路」等，工程規模及難度不大，以目前國內機電及營造廠商之技術能力與經驗，再配合外購設備之外商技師技術協助，理應有足夠能力如期如質完成本項工作，所以前述發生問題突顯了現行在風力發電工程之執行過程中，存在有許多值得探討及改善問題。

## 1.2 研究目的

我國現行風力發電之發展，與其他國家相比仍較為緩慢，設備技術方面也尚未達到相對水平，尤其風力發電工程涵蓋土木、建築、結構、機械、電力、控制等領域，因此工程整合就相對非常重要，台灣受限於起步時間較慢，現有曾參與風場評估、開發、規劃設計及施工廠商寥寥無幾，在執行經驗方面，與國外先進國家相比更顯得缺乏，以致於工程執行過程中，常有不可預料疏失，除造成完工期限延誤，更會引發完工運轉後設備經常停擺問題，導致發電之可靠度降低，因此如何成功執行風力發電工程，其關鍵因素為何，應是在積極推廣風力發電的同時，另一個非常值得探討議題。基於前述動機，本研究將針對風力發電工程執行過程進行探討分析，冀望達到下列目的，作為後續工程執行之參考：

1. 探討風力發電工程在台灣的發展、運用及其未來的成長性。
2. 政策、法令、成本等對風力發電工程執行之影響及衍生問題。
3. 探討風力發電工程執行過程中台電公司專家與民營業者及其他領域專家認為之關鍵影響因素，並分析兩者是否因立場、角色不同所認定關鍵影響因素而有差異。

## 1.3 研究範圍與限制

### 1.3.1 研究範圍

本研究範圍為國內陸上式、與電力網併聯方式之大型風力發電工程，包括台電公司與民營風場開發業者發包之風力發電工程，並從成本面、現有法令面、實際工程執行面去分析包括可行性評估、籌設、設計、施工及運轉維護等過程中之各階段執程序，並探討其中可能產生之問題，以及影響整個風力發電工程成功之關鍵因素。

### 1.3.2 研究限制

目前國內尚無風機設備之設計、製造及能力，也完全沒有任何一家廠商曾經參與建離岸式風力發電工程之實際經驗與實績，礙於相關資料蒐集困難及無實際案例可供檢討，所以風力機設備之設計、製造以及離岸式風力發電工程執行程序之關鍵因素探討，排除在本研究範圍以外。

另外獨立運轉供電小型風機及與柴油機、光電混合系統、因為使用時機、設置程序等異於本研究內容，也不在本研究範圍內。

## 1.4 研究方法與流程

### 1.4.1 研究方法

在確定研究的動機及目的，釐清問題所在並確認研究主題後，本研究將透過下列方法，找出我國執行風電工程之關鍵因素：

1. 文獻回顧：蒐集有關風力發電工程電業登記、再生能源電能收購作業、系統併聯、竣工查驗等之法規及行政規則以及風力發電原理、發展過程、產業現況等相關之碩博士論文、論著、期刊、研究報告等文獻資料，並進行整理與分析，以瞭解在現有法令規定下，國內未來可能發展趨勢及發展方向。
2. 案例蒐集及執行程序與問題探討分析：蒐集並分析、彙整國內風力工程之成本、執行過程的程序及其期間各階段遭遇到之問題以及對工程影響，歸納整理以得到風電工程可能產生問題並建立其影響因素初步清單。
3. 專家訪談：為進一步確認及印證經由前述方法建立之清單內屬於關鍵影響因素項目，分別對風電開發業者、工程顧問、專業技師、施工之承攬業者等領域專家作深度訪談，以驗證及歸納出風力發電工程在台灣未來的發展性及工程執行過程中之關鍵影響因素，並提出具體結論與建議。

## 1.4.2 研究流程

本研究流程如下圖所示。

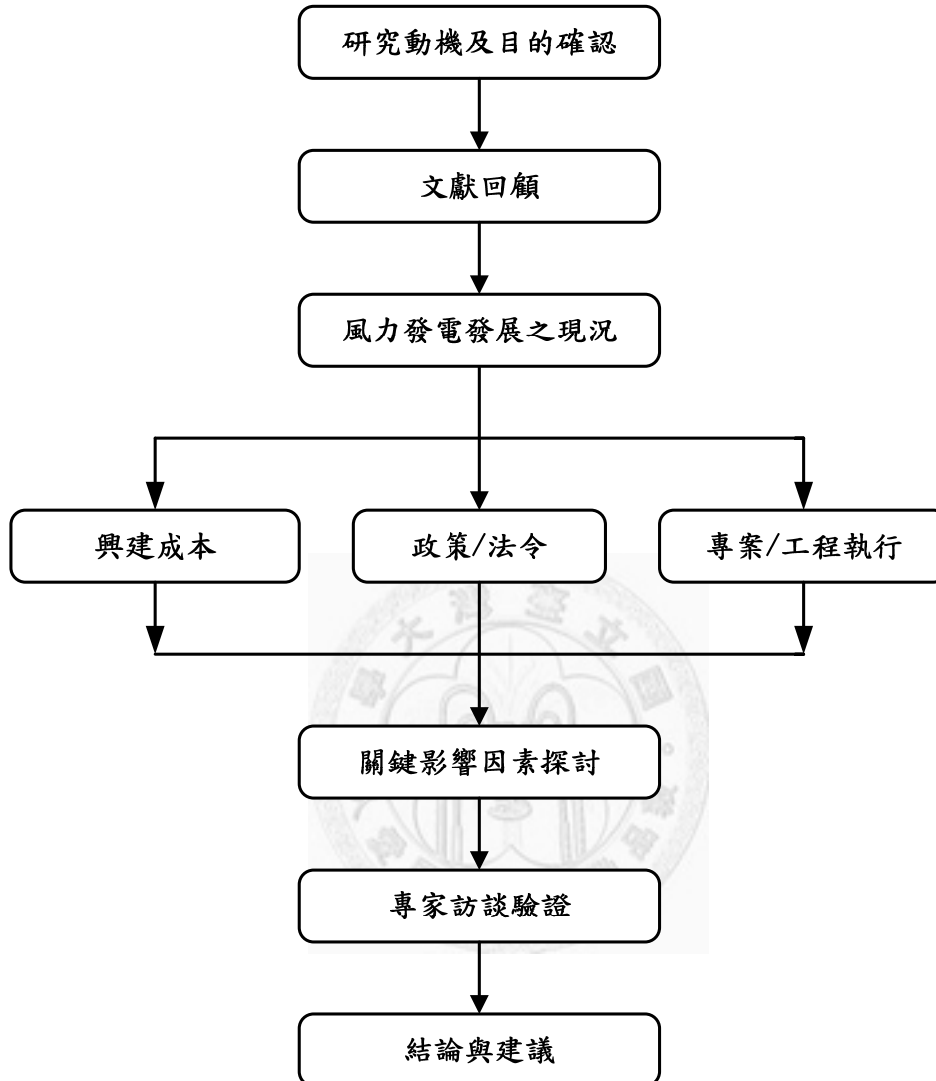


圖 1-1 研究流程

## 1.5 預期成果

透過前述說明之研究方法與流程進行驗證分析，本研究預期探討得知國內風力發電工程的未來發展性以及政策、法令、成本等對風力發電工程執行所產生之影響，並提出風力發電工程執行過程中之關鍵影響因素，供後續工程執行時參考，以便能達到如期、如質完工，提高發電之可靠度。



## 第二章 文獻回顧

### 2.1 風力發電緣由

人類很早以前就懂得利用簡單的機械或工具，將風能轉變成有用的動力，應用於日常生活上，中世紀的時候，荷蘭等歐洲國家更是進一步廣泛的利用風車作為動力來源，自此風能就成為一種重要的能源。

十九世紀末，美國人查理布希( Charles F. Brush )設計安裝一部容量12kW風力發電機，該風機葉片由144片杉木組成，葉片直徑17米；幾乎同時，丹麥人拉喀(Dane Paul La Cour) 建立了第一部測試風能之風洞實驗室，並利用研究空氣動力學之心得，在1902年完成一座73kW四葉片之風機，風能技術自此開始朝往發電方式發展。

工業革命以後，煤、石油、天然氣等傳統燃料因開採技術進步，取得方便，所以價格低廉，故發電廠都利用作為燃料，風力發電因此被輕忽，而逐漸衰退，直到了70年代末80年代初，由於兩次能源危機，再加上環保意識抬頭，全球才興起再生能源的應用研發之熱潮，低污染、可永續的風能與太陽能等可再生能源因此受到世人極大的重視。

在所有再生能源中，風力發電是技術上最成熟、最具商業化發展前景的再生能源。尤其歐美包括丹麥、德國、西班牙等國，更是早已體認到風力發電在調整發電結構、減緩環境污染等方面的重要性，因此爭相積極投入現代風力發電機的研發及建設，並制定各種配套措施以加速促進風力機技術成熟、量產與商業化應用，而美國、印度、日本，以及中國大陸等國家，近年來也積極且計畫性推動風力發電，提高風能比例。

## 2.2 風力發電原理

風力發電種類及型式很多，本研究主要是探討大型風力發電機以及與電力網併聯之系統。

### 2.2.1 風的形成與分級

風的產生是由於地球受到是太陽的輻射、地球自轉與公轉等因素的影響，以及地表上的空氣因位置及緯度高低不同，造成地球表面受熱不平均，因而引起大氣層中壓力分佈不均勻，空氣受熱膨脹變輕而往上升，熱空氣上升後，低溫的重空氣就從四周橫向流入，因而形成空氣的流動，而產生了風，全球性之盛行風與信風是屬規模大者，海陸風及山谷風等之區域性風規模小者等皆是風的一種。

對於風力之強弱程度估計，可由地面或海面物體被風吹動之情形加以粗略估計，目前常用蒲福風級標準來表示風力的等級，表列如下，其中8~11級相當於輕度颱風，12~15級相當於中度颱風，16級以上為強烈颱風。



表2-1 蒲福風級表

蒲福風級	風之稱謂	一般敘述	風速m/s
0	無風	煙直上	不足0.3
1	軟風	僅煙能表示風向，但不能轉動風標。	0.3-1.5
2	輕風	人面感覺有風，樹葉搖動，普通之風標轉動。	1.6-3.3
3	微風	樹葉及小枝搖動不息，旌旗飄展。	3.4-5.4
4	和風	塵土及碎紙被風吹揚，樹之分枝搖動。	5.5-7.9
5	清風	有葉之小樹開始搖擺。	8.0-10.7
6	強風	樹之木枝搖動，電線發出呼呼嘯聲，張傘困難。	10.8-13.8
7	疾風	全樹搖動，逆風行走感困難。	13.9-17.1
8	大風	小樹枝被吹折，步行不能前進。	17.2-20.7
9	烈風	建築物有損壞，煙囪被吹倒。	20.8-24.4
10	狂風	樹被風拔起，建築物有相當破壞。	24.5-28.4
11	暴風	極少見，如出現必有重大災害。	28.5-32.6
12	颶風	-	32.7-36.9
13	-	-	37.0-41.4
14	-	-	41.5-46.1
15	-	-	46.2-50.9
16	-	-	51.0-56.0
17	-	-	56.1-61.2

資料來源：中央氣象局

## 2.2.2 風力發電原理

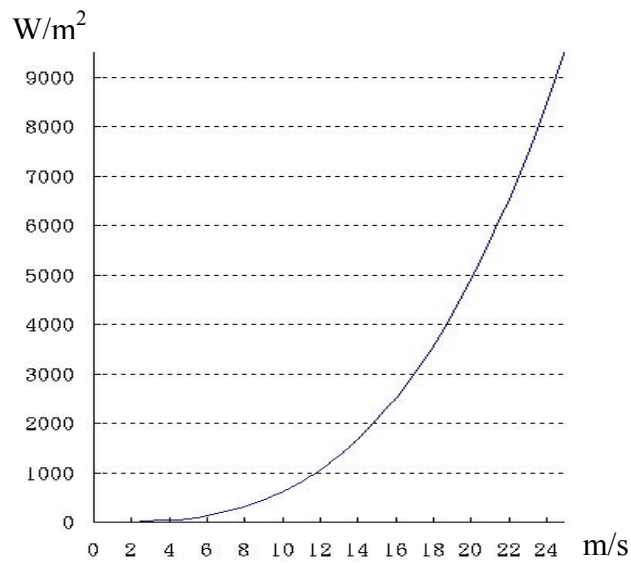
風是一種最常見的自然現象，風的流動所形成的動能稱之為風能，風能是一種不會產生任何污染物排放的可再生的自然能源，風力發電主要是擷取風的動能，將之轉化為電能；當風吹向風機葉片，因為升力及阻力等氣動力效應作用在葉片上，使葉片轉動，透過連接葉片之主軸帶動齒輪箱，齒輪箱功能是增加轉速，然後驅動發電機發電產生電能，另外有些機型是無齒輪箱設計，可由轉動葉片直接透過傳動軸帶動同步發電機機組來發電。

通過風機所產生的能量由風能密度公式(Danish Wind Industry Association網頁中說明)可知為：

$$W = (1/2) \rho A V^3$$

其中：W	-風能
$\rho$	-空氣的密度
A	-氣流通過的面積
V	-風速

其中氣流通過的截面積是指風機葉片旋轉面積，由上式可知風能大小與葉片大小、空氣的密度以及氣流的速度三次方成正比關係，又以風速最為重要及關鍵，在15°C和一個標準大氣壓力，空氣的密度為1.225kg/m<sup>3</sup>情況下，風能大小與風速關係曲線如下圖所示，因此風速測量的準確度對風能潛力的估計有決定性的影響。



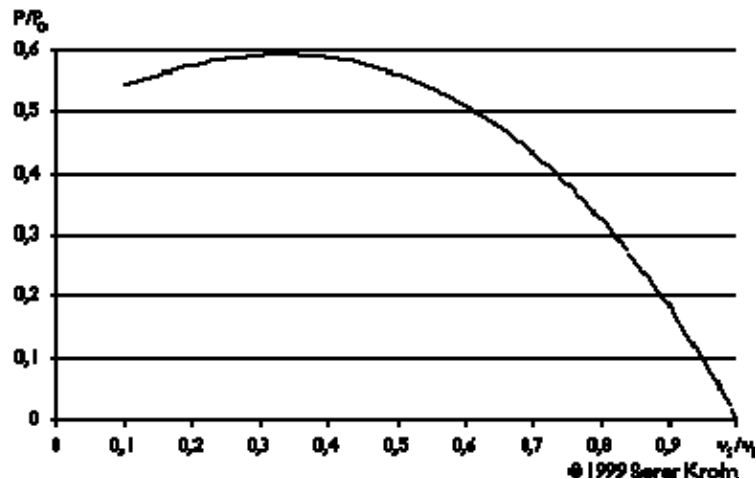
資料來源：本研究整理

圖 2-1 風能大小與風速關係曲線

Danish Wind Industry Association 網頁中對風能轉換說明，根據貝茲（Albert Betz）理論，風力機並無法轉換全部風能，即不能擷取所有流經扇葉面積的風能，理想情況下風能所能轉換成電能的極限比值為16/27，約為59%，也就是表示最高轉換效率約為59%。

$$(P/P_0) = (1/2)(1 - (V_2/V_1)^2)(1 + (V_2/V_1))$$

- 其中：
- $V_1$  - 進入風速
  - $V_2$  - 殘餘風速
  - $P$  - 轉換的動能
  - $P_0$  - 風的初始動能



資料來源：Danish Wind Industry Association

圖 2-2 理想風能轉換成電能比值曲線

翁榮美，呂威賢（2001）指出，風力機並不能擷取所有流經扇葉面積的風能，理論上最高轉換效率約為59.3%，實際上大多數的扇葉轉換風能效率約介於30~50%之間，經過機電設備轉換成電力能後的總輸出效率則約介於20%~45%。

### 2.2.3 風力發電開發利用之動因

世界各國之所以重視風力發電，積極投入風電相關產業研發、推廣及應用，使得風力發電成為能源產業之主流，主要在經濟方面、環境保護方面、產業面、電力來源等各方位有優於其他能源的地方，綜合翁榮美，呂威賢在「風力發電技術與應用展望」（2001年3月）及顏文治在「全球風力發電應用發展現況」（2005年10月）看法，整理說明如下：

#### 1. 減少二氧化碳等溫室氣體排放

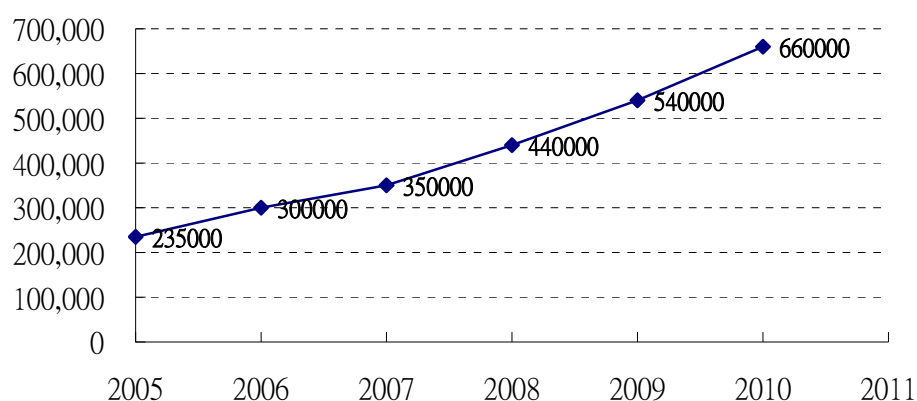
溫室氣體(Green House Gas, 簡稱GHG)的增加，是造成全球暖化的主要原因，自工業革命以來，大量燃燒化石燃料而使二氧化碳含量急劇增加是主要元兇；溫室氣體主要有六大類，包括二氧化碳（CO<sub>2</sub>）、甲烷（CH<sub>4</sub>）、氧化亞氮（N<sub>2</sub>O）、氫氟碳化物（HFCs）、全氟碳化物（PFCs）、六氟化硫（SF<sub>6</sub>）等，以二氧化碳為最大宗；每一溫室氣體攔住大氣中熱氣的能力均不同，所以依據GWP值（Global Warming Potential），換算成二氧化碳當量，以作為計

算基準；依據台電公司公佈，民國97年台灣電廠平均每發一度電約當產生0.636公斤二氧化碳，這個值稱為二氧化碳排放係數，此數值每年會因有電力來源而有一些變動；風力發電因完全不產生二氧化碳等溫室氣體，所以增加風力發電比重，將可降低二氧化碳排放係數，以目前台灣本島設置最普遍風機機型2MW（即 $2 \times 10^6$ W）為例，一台風機一年發電所替代燃煤火力發電產生之二氧化碳排放量約3千公噸，對環境及生態保護具有正面的意義。

美國風能協會（AWEA）即指出，一台750kW風力機約相當於500英畝樹木每年所吸收之二氧化碳，加州風力發電廠每年所發30億度電，粗略估計相當於1100平方英哩面積之森林所吸收二氧化碳（約為225萬噸二氧化碳）。

## 2. 帶動風力發電相關的產業發展，增加就業機會

風力發電發展，也帶動相關行業發展，使得風能產業就業人口急速成長；世界風能協會在2009年2月出版「World Wind Energy Report 2008」中指出，全世界與風力發電相關行業的工作職缺從2005年235,000個快速增加至2008年440,000個，幾乎是呈現倍數成長，且都是屬於技術性較高工作，預估2010年會達到660,000個職缺機會。



資料來源：World Wind Energy Association

圖 2-3 全球風能產業工作職缺

### 3. 成本降低，已具備經濟上效益

一般火力或核能發電在油價不斷飆漲，營運期間需要大量操作維護人力，廣大的土地面積等以及環境污染等外部成本因素，發電成本逐年攀高，而每部風力發電機在風力發電場中只占不到600平方公尺的面積，風機周遭土地仍可用於農耕、畜牧或其他用途，而且在除役時，一般火力或核能發電會有大量機械拆卸及運離等復原工作，核能發電廠除役後原廠址甚至無法移作其他用途，而風力機可簡單且迅速的移除，土地可恢復原始用途。除此之外，因近年來世界各國大力推展，在成本已逐年降低，逐漸具備與傳統電力系統競爭的經濟性。

### 4. 電力供應的多樣化及安全考量

電力是一切經濟活動的根源，電力供應正常與否，除了對民眾日常生活便利性造成影響外，更關係著民生繁榮、經濟與產業發展，是國家永續發展的重要元素；台灣天然資源匱乏，發電所需要燃料多仰賴進口，為確保供電的安全及穩定，開發風力發電等永續使用的再生能源發電，調整電源結構，分散供應來源，促進能源的多元化，可提高電力供應可靠度，在國家安全上亦有其正面意義。

另風力發電機屬分散式發電，對於線路末端或離島等區域之供電，有成本較低及較可靠度等優點。

### 5. 降低因燃料成本波動造成的衝擊

由於全球能源礦產資源有限且中國大陸、印度等新興國家經濟發展對能源的需求增加，在颱風、戰爭等自然或人為因素造成產量短缺或是季節性需求增加時，常造成燃料成本波動，往往連帶使得物價劇烈上漲，民眾怨聲載道；風能是免費的自產能源，多加利用即可減少對進口石油、煤炭等化石能源的依賴，也可降低燃料成本波動造成的衝擊，減低對民生、經濟的衝擊。



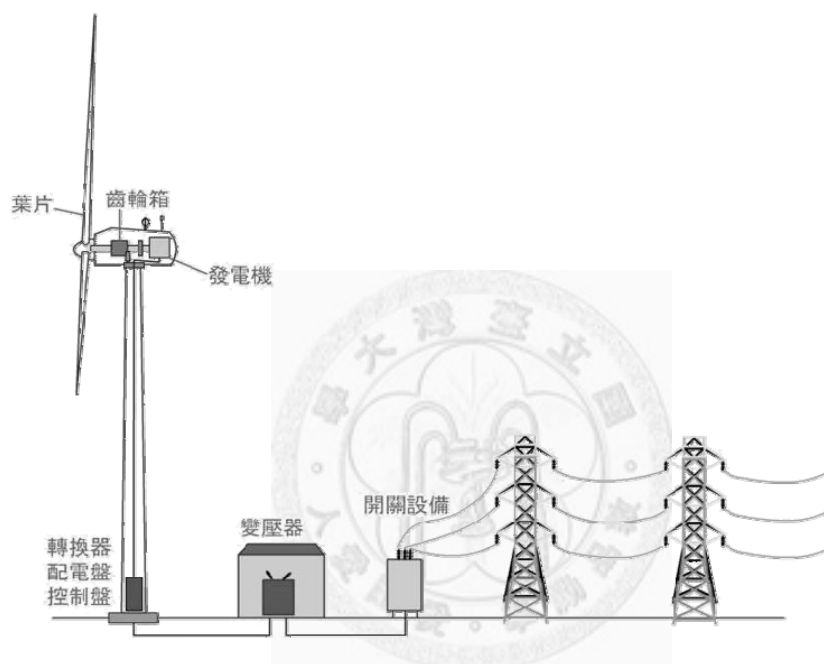
## 6. 觀光效益

由於風力發電技術的進步以及透過設置地點謹慎選擇，風力機運轉安全性、所產生的噪音、炫影等公害對於民眾日常生活影響已降至最低，地方政府、風力發電場附近的居民，已利用風力發電機特殊造型結合當地特色，發展成為觀光景點，使當地風景更具特色。例如新竹「十七公里海岸線」上的西濱公路，傍晚時分，風車及伴著海景伴隨夕陽餘暉，漫步其中，好不愜意；苗栗後龍好望角地區，風車佇立於蔚藍的海岸線，群山綿延、大海廣闊，風車在藍天襯托下轉動著，構成一幅美麗景致，形成特殊的地理景觀；至於北海岸金山的風車，更是拍攝婚紗照時最佳取景之處，風力發電已成觀光的熱門景色。



## 2.3 風力發電系統架構

一個與電力網併聯之風力發電工程其主要系統架構包括風力發電機、開關設備、變壓器、輸電線路以及相關之電氣室、地下管路或架空鐵塔等部份，風力發電機將風能轉化為電能後，經變壓器升壓，再以地下或架空輸電線路，將電能輸送至台電變電所，併入台電系統，如下圖所示。



資料來源：台電公司

圖 2-4 風力發電工程系統示意圖

### 2.3.1 風力發電機

風力發電機發展至今，商業化之大型風機幾乎多採用上風型、三葉片、水平軸型式，主要結構包括葉片、機艙、發電機、齒輪箱、塔架、控制系統、升壓變壓器、開關設備等；風機設計壽命一般為20年，由於風的不穩定性，機艙上方裝置有風向及風速計，可偵測風速及風向驅動轉向系統自動迎風轉向（Yaw Control），通常風速達2~4公尺/秒時（切入風速）即自動啟動發電，風速達12~13公尺/秒時（額定風速）時達到額定輸出，為了增加低風速時之風能攫取及避免高

風速時超額定輸出，造成發電機等設備損壞，藉由葉片旋角控制 (Pitch Control)，配合風速自動調整葉片節距角 (Pitch Angle)，以穩定輸出；當風速達25~34公尺/秒時 (即所謂切出風速)，會因為結構及運轉安全考量緣故，自動停機，一旦風速降低到可運轉程度後，會再重新啟動發電，其中切入、額定及切出風速因各廠商設計而有所不同。

在確保風力機安全運轉的設計方面，除雷擊保護裝置及具有氣動煞車與機械煞車兩套獨立安全煞車系統外，現代風機多採用SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) 控制系統監控風場即時狀態、量測紀錄運轉時各項數據，保護設備避免過載、過熱，以及阻止風力機超轉速及過轉向等，必要時自動發出警報及停機，並利用光纖及網際網路連結，讓技術人員在遠端即可進行監控，將正常運轉時人力需求減至最少。



Enercon E70 E4規格	
額定輸出	2300 kW
輪轆高度	64 m
葉片直徑	71 m
切入風速	2.5 m/s
額定風速	12.5 m/s
切出風速	34 m/s
耐受風速	70 m/s
葉片轉速	6~21.5 rpm

資料來源：Enercon公司

圖 2-5 風機示意圖

### 2.3.2 線路併聯

併網型風力發電是將風機所發的電力匯入電力網，在台灣就是併入台電公司電力網絡系統，至於以何種電壓等級併入以及應設置何種保護電驛，依據「台灣電力公司再生能源發電系統併聯技術要點」規定，風場發電設備總裝置容量在100瓩以上未滿10,000瓩（10,000kW）得併接於11,400伏特之高壓配電系統；在100瓩以上未滿20,000瓩，得併接於22,800伏特之高壓配電系統，在10,000瓩以上未滿20,000瓩且無22,800伏特之高壓配電系統者或發電設備總容量在20,000瓩以上者，得併接於特高壓系統，一般風力發電機所發出來為低壓400伏特~690伏特之間（因各廠牌而有差異），經變壓器升壓22,800伏特（或11,400伏特）後，經由電力電纜饋送至電氣室開關設備，再以架空或地下電纜引接至台電指定變電所，但若須併入特高壓系統，則需再升壓一次至161,000伏特。

### 2.3.3 風力發電特點

1. 風是自然產生，生生不息，沒有費用問題，可能帶來極大破壞，可是運用得當，也可轉變成為有用風能。
2. 對於邊遠地區以及交通不便處所，因為輸配線路設置成本費用高，往往也是電力匱乏地區，透過風力發電設置，可就近提供高山、孤島等偏遠缺電地區乾淨及方便電力供應，維持生活基本需求。
3. 風力發電運轉過程中不排放溫室氣體、污水等有害物質污染環境，不破壞生態，用電面積小，為一清潔安全的能源。
4. 風速隨著周遭各種因素每日變動、也隨著季節轉換變化，預測困難，極不穩定，也無法儲存，使得風力機之輸出亦非常不穩定，對需要穩定電源用戶是非常困擾，所以風力發電僅適合作為輔助性能源，無法當作基載能源。
5. 風向、風速受地貌影響非常大，微小地區距離，風力即可能會有顯著局部差異，即使在同一地區，也因地形地物而產生擾流，進而影響風力機

壽命及產出風能。

### 2.3.4 風力發電發展趨勢

為了對抗日益嚴重環境污染，提升自產能源比例，減少對於石化燃料依賴，世界各國皆將綠色能源列為發展重點，其中風力發電因轉換效率較高，具經濟性，因此受到重視程度也最大，從2008年全球風電總設置容量已達到120,798MW (Global Wind 2008 Report, 2009)可以得知；為了得到更高效率之發電量，風力發電技術朝向下列趨勢發展：

#### 1. 風電機組的容量增大

隨著研發腳步加快，技術突飛猛進，現今市場上陸上型商業化風機的容量普遍為1.5~3MW，性能上也大幅提升，以Enercon公司E-70機型為例，風機高度、葉片大小與其他廠牌額定發電2MW規格相似，可是發電量卻提升至2.3MW，而且切入風速達2.5公尺/秒時即可啟動發電，效能及可靠度大大提升；目前各家風機開發業者多已成功開發單機容量5~6MW的大型機組，使得在用地大小差不多情況下，發電量可增加一倍以上。

#### 2. 塔架高度上升

由風能密度公式可知，風能大小與風速三次方成正比關係，所以在同一場址為擷取較大風能，直接又簡單方式就是將塔架升高，目前2MW風機之塔架高度已動輒高達60~70公尺，隨著風機機組容量增大，塔架高度也隨之增大。

#### 3. 葉片長度增大與材質改變

由風能密度公式可知另一個使風能增大要素是增加葉片擷取風能面積，亦即增長葉片長度，葉片愈來愈大，也意味著必須承受更大風壓，尤其葉片是整個風機結構最脆弱部份，所以在同時考量增長葉片，又要顧及結構強度及抗腐蝕等因素，目前葉片材質多採用玻璃纖維強化塑膠 (Fiberglass Reinforced Plastics)，主要是因為玻璃纖維強化塑膠具有價廉、質輕、強度佳、易成形及耐腐蝕、耐疲勞等特點。

#### 4. 電力電子與監控技術的進步

越來越多風機廠家整合功率半導體元件、電子與控制等技術，並應用於風機電力轉換，以控制風速變動造成之輸出電力變動，得到較佳輸出電力品質；另外隨著資訊科技、電力電子與網路通訊等技術快速進步與發展，目前商業化風力機組皆配置有即時監視、自動保護及遠距控制系統，可即時將發電量、電力品質等風機狀態傳送至遠方控制室作遠距監控，當機組發生過熱、過載、過轉向、超轉速等異常狀況時，會自動啟動保護設備裝置迅速將故障隔離，且偵測現場風速狀況及機組運轉情形自動迎風轉向、啟動發電，並於風速過大或有異常狀況時自動停機；在正常情況下，完全自動不需人員親赴現場操作、檢視，將人力需求降至最低。

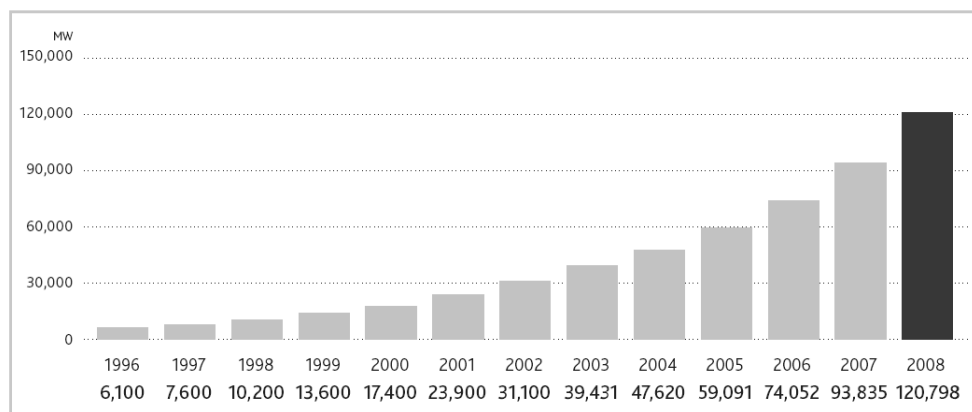


## 第三章 國內風力發電發展

### 3.1 全球風力發電發展之現況

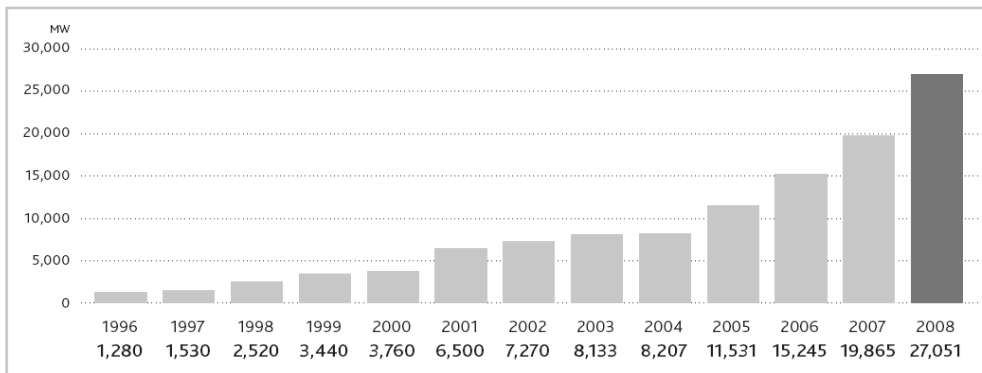
#### 3.1.1 發展之現況

在面臨能源逐漸短缺及環境遭受破壞造成氣候異常兩大危機中，世界各國一致認為最有效及可行的解決方法是發展綠色替代能源，以取代傳統石化燃料發電，由於風力機之相關技術之成熟發展，加上發電成本已經相當接近石化燃料發電成本，且為所有再生能源中污染性較低者，所以風力發電產業應是目前解決最可行方案；近年來一些風力資源較豐富國家，均紛紛開始積極研究開發並利用，加上民眾愈來愈感受到極端氣候所帶來生命及財產威脅，從排斥轉為支持，故近年來安裝容量急遽增加，是所有替代能源中發展最為快速的產業；根據全球風能協會(GWEC, Global Wind Energy Council)於2009年3月最新發表之「2008年全球風力年報(Global Wind 2008 Report)」指出，全球風力機組累積裝置容量由1996年的6.1GW ( $6.1 \times 10^9$ W) 增加至2008年的120.798GW，比2007年的93.835GW成長28.7%，幾乎是2005年59.091GW的2倍；過去10年中，累積裝置容量成長約12倍，從1997年至2008年，每年全世界風能至少都有20%以上成長率。



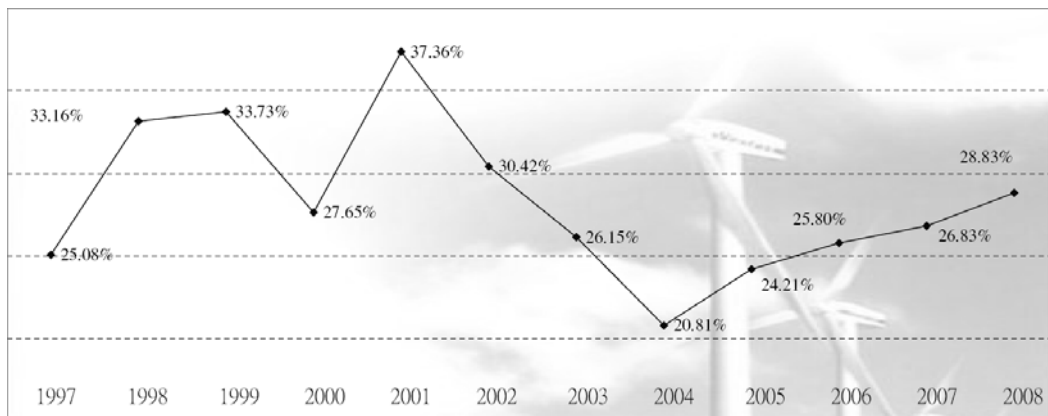
資料來源：GWEC, Global Wind 2008 Report

圖 3- 1 1996~2008 年全球累積裝置容量



資料來源：GWEC, Global Wind 2008 Report

圖 3- 2 1996~2008 年全球新增裝置容量



資料來源：GWEC, Global Wind 2008 Report，本研究整理

圖 3- 3 1997~2008 年全球風能市場年成長率

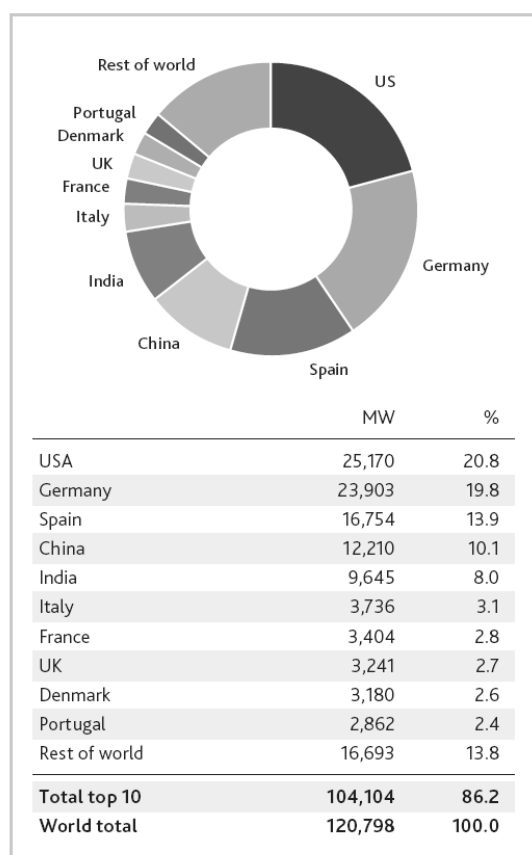
在各國風力機組至2008年累積裝置容量中，美國首次以累積裝置容量25.170GW（約當於12,585台2MW風機數量）超越德國成為全球累積裝置容量最高國家，德國與西班牙分別以累積裝置容量23.903GW及16.754GW分居第二及第三，在亞洲方面之中國與印度，則以累積裝置容量12.210GW及9.645GW排名第四及第五，而前十名累積裝置容量皆已超過2800MW（約當於1,400台2MW風機數量）以上，有17個國家裝置容量超過1000MW（約當於500台2MW風機數量）。

有別於前幾年以歐洲國家成長最為迅速，在2008年美國是新增裝置容量最高的國家（8358MW），中國與印度分別以6300MW及1800MW分居第二及第三，北

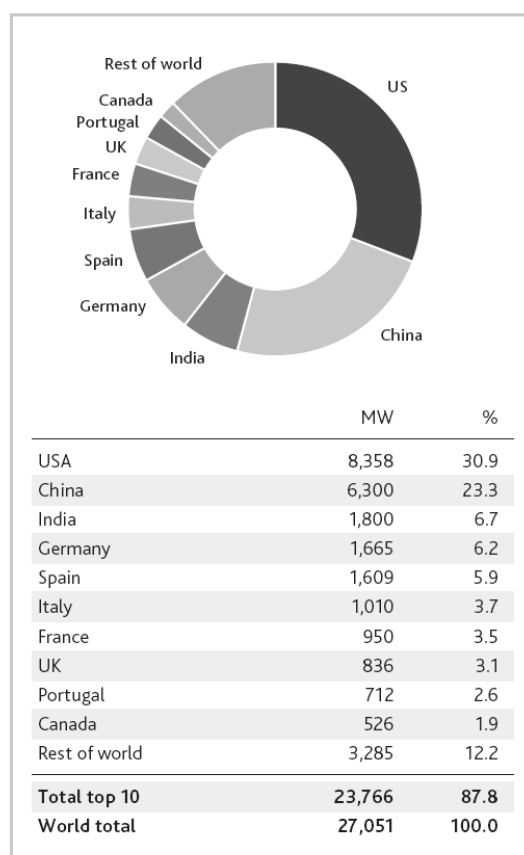


美及亞洲地區明顯大幅成長，與歐洲成為快速推動風力發電成長三大區域，特別是中國大陸崛起，在2008年第一次領先印度成為在亞洲地區裝置容量最高國家，使其在全世界風電市場佔了舉足輕重的地位，至於在風能產業技術一直居領導地位的丹麥，則從2005年累積裝置容量排名第五名下降至第九名，惟其風力發電所供應電力佔全國電力約20%，仍是世界各國中翹楚。

TOP 10 TOTAL INSTALLED CAPACITY 2008



TOP 10 NEW CAPACITY 2008



資料來源：GWEC, Global Wind 2008 Report

圖 3- 4 2008 年全球前 10 名風力機組裝置容量國家

以2008年全世界風力發電已裝置容量120.798GW來換算，年發電量近2600億度電，相當於1.5%全世界電力消耗，以台電網站公佈的我國CO<sub>2</sub>電力排放係數每產生一度電(1K Watt x 1hour)約當產生0.636公斤CO<sub>2</sub>換算，因此每年至少可減少1.65億噸CO<sub>2</sub>之排放，世界風能協會 (World Wind Energy Association, WWEA) 指出風

能產業已在全世界創造約44萬個工作機會，相關經濟產值達400億歐元，WWEA並預測，到2010年風能產業約可創造66萬個工作機會，風力發電明顯在全球就業市場逐步扮演了一個重要角色。

另依據全球風能協會(GWEC, Global Wind Energy Council) 預測指出，2010~2013年全世界風力發電裝置容量每年將分別新增30.4GW、35.2GW、41.2GW、48.2GW及56.2GW達到總裝置容量332GW，約是2008年總裝置容量2.76倍，雖然預測容易受到景氣波動、經濟循環影響，加上美國因金融風暴影響恐會放慢投資興建腳步，不過中國大陸崛起，應可填補此缺口，依全球風能協會在2006年及2007年分別來年對預測年裝置容量為16.8GW及23.1GW，結果實際年裝置容量分別為2007年19.9GW、2008年27.1GW，皆高於預測值，比較過往全球風能協會作為，一向皆採保守預測，故應可樂觀期待此目標。

由於海域環境有風速較大、氣流較平穩、靜風期較短、噪音、炫影等對民眾影響較小等條件，比陸域更有利於風力發電發展，所以在90年代丹麥、荷蘭、瑞典等風力發電先進國家便已紛紛開始投入離岸風場興建；依歐洲風能協會(European Wind Energy Association, EWEA) 統計，截至2009年止，全世界離岸式風力機組累積裝置容量為2055.9MW，全部集中在歐洲地區，其中以英國、丹麥及荷蘭的882.8 MW、639.15MW、246.8MW分居前三名，最近幾年裝置風機容量主要以3MW以上為主流機型。

表3-1 截至2009年各國離岸式風力機組累積裝置容量

國家名稱	累積裝置容量 (MW)
英國	882.8
丹麥	639.15
荷蘭	246.8
瑞典	163.65
德國	42
比利時	30
愛爾蘭	25.2
芬蘭	24
挪威	2.3
合計	2055.9

資料來源：歐洲風能協會

目前施工中風場，約有將近2000MW容量，預定陸續於2010年至2011年完工運轉，其中以英國Greater Gabbard Wind Farm的500MW為最大，預定裝設Siemens公司3.6MW風機140台，預定於2011年試運轉；值得一提的是中國大陸在2008年5月核准第一個海上風電計畫，規劃於上海東南部的東海大橋左側興建第一座大型離岸風力發電，場區內平均水深10米，平均風速為每秒8.4米，最北端距離岸線近6公里，最南端距岸線13公里，預計裝設由大陸華銳風電公司自主研發的3MW風機34台，輪轂高度90米、葉輪直徑90米，採用三葉片、水平軸的結構形式以及先進的變槳變速雙饋的發電技術，配備緊湊型主傳動鏈、高性能的發電系統、獨立控制的變槳系統和線上狀態監測系統，具備低電壓穿越功能，總投資約人民幣24億元，海上風力發出的電力，經過海底電纜到達東海大橋橋樁基礎，沿大橋橋廂內電纜併入上海電網；在2009年3月20日，第一台風機已吊裝成功，2009年9月4日，

首批3台風機亦成功投入運行，並於2010年2月3日順利通過240小時驗收考核，計劃在上海世博會開幕前，34台風機將全部投入運行，為世博會提供乾淨能源，可望為大陸風機產業帶來極佳宣傳效果。

離岸風場裝置容量皆高達數拾萬瓩，風機機組選用也至少為3MW以上，在規模及規格都比顯然陸上型大，美國、加拿大等北美國家及中國大陸也繼歐洲各國相繼加快腳步積極投入新的離岸風場規劃，離岸風場發展遠景與廣大潛力，已吸引各國競相投入開發。

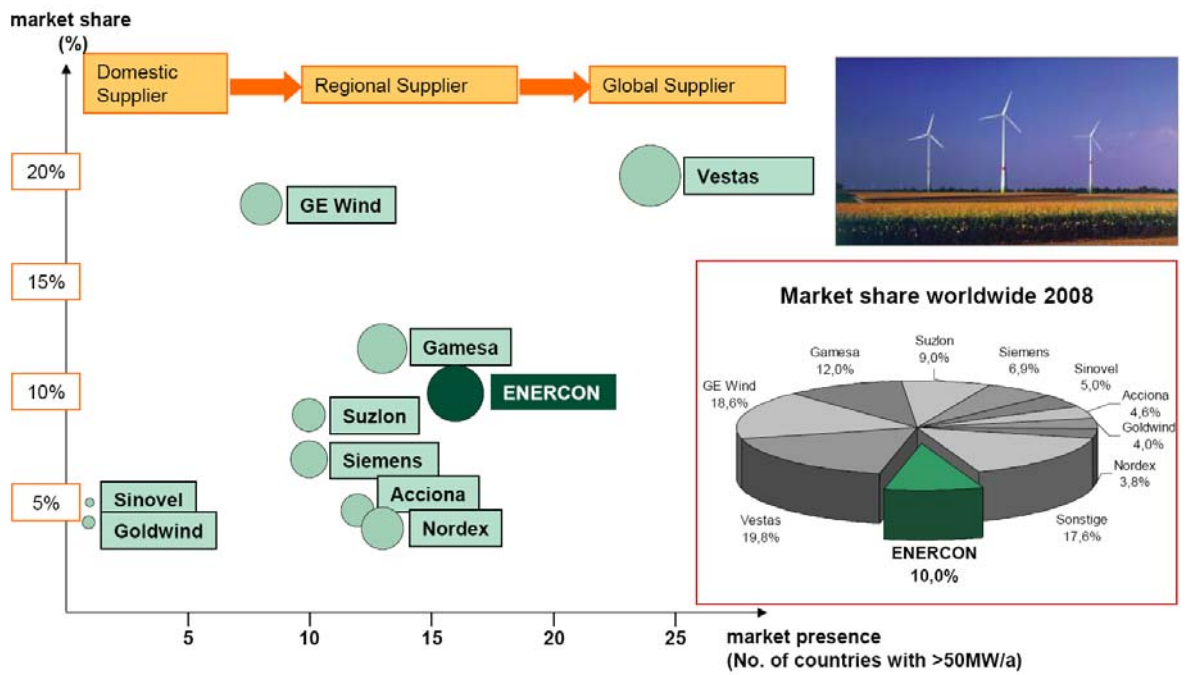
### 3.1.2 產業之現況

風力機產業技術門檻高但卻非常封閉，各廠家研發大方向與趨勢雖相同，可是核心關鍵技術都是屬於廠商自有專利，所有關鍵及附屬零組件，包括發電機、傳動裝置、齒輪箱、葉片、控制系統、塔架等都因廠牌不同而有差異，只能適用於特定一種廠牌，不同廠牌間並無法通用，為了擴大市場佔有規模、迅速提升產品技術，近年來國際風能產業供應鏈體系隨著裝置容量的快速擴充與發展，常透過同業併購取得關鍵性技術，以縮短研發時間，接收市場，達到快速擴充的目的，形成了的寡占情勢，更因為技術發展的進步，產業進入門檻提高，限制了小型業者的生存，產生大者恆大的現實情形；例如在2002~2004年間，美國GE公司併購倒閉的Enron公司，丹麥Vestas公司併購NEG Micon公司，德國Siemens公司併購丹麥廠商Bouns公司等，在2008年全球前十大風機製造供應廠商中，丹麥Vestas (20%)、美國GE Wind (18%)、西班牙Gamesa (11%)、德國Enercon (10%)、印度Suzion (9%)、德國Siemens (5%)、中國大陸Sinovel (5%)、西班牙Acciona (4%)、中國大陸Goldwind (4%)、德國Nordex (3%) 等十家公司合計市佔率將近九成；其中歐洲國家因起步早，丹麥Vestas、西班牙Gamesa、德國Enercon等廠牌廣為市場接受，品質也獲得信賴，市佔率一直都很高，其中Vestas供應網遍及全球，其他也則為區域性供應商；在清一色歐系廠牌中，美國GE、印度Suzion、中國大陸Sinovel (華銳風電) 與Goldwind (金風科技) 受惠於該國近幾年大力推廣，加上本國市

場內需求龐大，而且在優先採用本國機組保護措施下，市佔率近幾年得以迅速攀升，不過仍屬於本土性品牌，如何將產品行銷國際，應是這幾家廠商未來努力方向與目標。

風機受風之不穩定特性影響，啟動及停機頻率高，加上風力機設置地點通常位於海邊等偏遠地區，位置分散且廣，鹽害侵襲，機艙空間小，散熱條件遠不如一般發電機組，故障率比一般發電機組高，尤其發電機等主要機械設備是置放於動輒60~70米高的機艙內，維修難度大，所以風力機廠商必須有強大動員能力及高超之技術維修團隊與雄厚之財力支持，能於很短時間內派員至故障風機現場，且相關維修人員須具備非常紮實的維護運轉及監控的技術經驗與能力，足夠備品，發生故障時才有可能符合客戶要求於極短時間內排除故障及時修復，否則一旦風力機出現運轉上的故障時，牽涉系統或材質設計不良等問題時，系統商所負之責任風險，除費用支出及聲譽上的損失有可能造成營運上的困難，甚至大到足以讓企業倒閉危險。

隨著風機容量提升，風機也越來越大，各主要組件包括葉片、發電機、塔架等在運輸上都屬於超重、超寬、超大；為了減少運輸成本，若市場國需求、商機夠大，風機廠商在降低成本考量下。通常願意對當地釋出善意，直接到該國設置組裝廠或生產部份重要零組件；另外有些國家為了協助自身產業發展，也常會對國外廠商直接到該國設廠投資或技術合作給予優惠待遇，或提供特別融資，如德國的Enercon在1995年與巴西Wobben Windpower的合作設生產葉片及風機組裝廠，與印度的Mehra家族合資成立Enercon India Limited (EIL)生產風力機，丹麥Vestas公司在德國、意大利、英國、西班牙、瑞典、挪威及澳洲等國設有都生產工廠。



資料來源：ENERCON、ITIS

圖 3-5 2008 年全球前十大風機製造商

## 3.2 台灣風力發電發展過程

根據經濟部能源局統計，截至97年7月底國內風力發電累計裝置容量為34.7萬瓩，年發電量約9.36億度，可供23.4萬戶家庭用電，能源貢獻度為23.2萬公秉油當量，可有效減少55.6萬公噸的二氧化碳，風力發電建設效益已初步顯現。

### 3.2.1 台灣風能條件

依經濟部能源會委託工研院能資所與中央大學大氣物理所對台灣地區進行風力潛能初步評估，概估台灣陸上約有一百萬瓩(1000MW)、海域二百萬瓩(2000MW)之開發潛力；據風力潛能分布模擬分析結果顯示，台灣地區西部沿海自桃園到台南一帶，風能蘊藏量相當高，非常適合做風力發電；但離岸超過十五公里以上的地區，因受中央山脈的阻擋，平均風速均小於3公尺/秒，不適合開發做風力發電。

宜蘭及花東地區，因夏季容易遭受颱風的侵襲，冬季時又因位於東北季風山前的停滯區內，風速較小，所以此區設立風力發電廠的成本可能會較高；至於屏東半島地區地形複雜，且強烈的落山風垂直風切可能造成葉片受力上之影響，加上無長期且垂直向高解析的風場觀測資料，是否適合進行大規模的風力電場開發仍有待長期的風場觀測以及高解析的小尺度數值模擬，才能得知。

臺灣地區風力資源豐富，特別是西部沿岸風況十分良好，平均年滿發時數約在2500至3000小時；澎湖群島由中屯的風力機量測到的風速換算為年滿發時數更高達近4000小時，這個風能在全世界是極佳的條件，一般而言，只要平均年滿發時數超過2000小時地區，即有開發的價值。(陳美蘭，「風能應用技術」，物理雙月刊(廿九卷三期) 2007)

### 3.2.2 推廣過程及發展目標

1. 民國68年為促進能源多元化，經濟部能源委員會委託工研院能資所進行台灣地區的風能潛力評估，預估陸上可有1,000MW以上風力發電潛能，並於湖口風力試驗場完成4瓩、40瓩、150瓩等三座風力發電機的研究開發，後來因當時油價便宜，無推展誘因並沒有進一步發展。
2. 民國87年5月全國能源會議宣布2020年時新能源規劃要達到1~3%占比的目標，經濟部能源委員會隨後明確擬訂了我國各項再生能源的規劃發展目標。依此推估，民國93~99年間再生能源發電裝置容量每年約有6萬瓩，其後至2020年各年裝置容量約為16萬瓩，累計2020年推廣再生能源發電估計約達200萬瓩。
3. 風力發電示範系統：民國89年3月22日經濟部能源會為推動國內風能利用，制定「風力發電示範系統設置補助辦法」，92年2月14日起改由「風力發電示範系統設置補助要點」取代，對審核通過之風力發電示範系統設置者將給予設置成本50%以內、最高每瓩新台幣16,000元之設備補助獎勵，為期五年，至93年7月7日廢止，為期4年半，先後完成雲林麥寮2.64MW、澎湖中屯2.4MW以及竹北春風3.5MW共3座風力發電示範系統，總裝置容量為8.54MW。
4. 為建立一跨部會之協調機制，排除風力發電申設過程中許多窒礙難行之行政程序等非技術性的各項障礙，並加強再生能源之示範推廣與研究發展，以及輔導相關產業發展，行政院於91年1月17日核定實施「再生能源發展方案」。
5. 台電公司於91年擬定「風力發電十年發展計畫」，積極推動風力發電之應用；規劃於台灣西部沿海風能資源豐富地區優先辦理，以十年內至少設置200台風力發電機或總裝置容量300MW以上為目標。
6. 經濟部能源局在2007年8月24日公告開放「第一階段設置離岸式風力發電



廠方案」，採分階段逐步開發方式推動，第一階段將開放30萬瓩之總裝置容量供業者申請，完成設置後，預期每年將可生產10億度電能，供應25萬戶家庭之年用電量。

7. 為提供國內發展風力發電等再生能源之經濟誘因，保障合理之收購費率，並將相關併聯規範、用地權之取得等規定予以法制化，以推廣再生能源利用，增進能源多元化，帶動相關產業發展，行政院院會91年8月通過「再生能源發展條例」草案，98年6月12日立法院三讀通過，98年7月8日總統公布實行；在條例尚未完成立法過渡期間，台電公司配合政府政策於92年11月11日公告「再生能源電能收購作業要點」，給予每度電2元之收購電價，並於93年7月13日公告修正部分「收購作業要點」條文，將保證收購延長為15年，簽約數量上限由30萬瓩調高為60萬瓩。
8. 98年6月18日經建會表示未來將以2010年達980MW，2015年達1480MW，2025年達3000MW為風力發電裝置容量目標。
9. 98年12月18日經濟部召開「再生能源電能躉購費率審定會」98年度第5次會議，初步審定各類再生能源電能躉購費率，其中「10瓩以上風力」及「風力發電離岸系統」躉購費率分別為2.3834元/度及4.1982元/度。

### 3.2.3 已設置完成機組

台灣這幾年來在政府大力推廣下，預估至民國100年包括台電公司與民營公司合計所設置商轉之風機可達276部，容量543.26MW，詳細計畫內容與設置容量如下說明：

#### 1. 台電公司風力發電計畫

為配合政府推動綠色能源目標，達成「風力發電十年發展計畫」之200台風力發電機或總裝置容量300MW以上之設置目標，台電公司積極推動風力發電之應用；規劃台灣西部沿海風能資源豐富地區，以分階段方式執行，91年7

月11日開始興辦「風力發電第一期計畫」，分別在台北石門、屏東恆春、桃園大潭、桃園大園觀音、台中電廠、台中港區及新竹香山等風能較優廠址，設置共60部風力機組，總裝置容量約98.96MW，每年發電量可達2億6千多萬度，至97年12月全部機組已完工商轉，如表3-2所示，總投資金額約新台幣49.29億元。

「風力發電第二期計畫」於93年4月9日奉准興辦，如表3-3所示，分別在彰濱工業區線西區及崙尾區、雲林麥寮、台北林口及雲林四湖等等濱海防風林區設置58部風力機組，總裝置容量約116MW，預估每年發電量可達3億3千多萬度，目前已有38台風力機組完工商轉，其中林口有3部機組因土地無法取得無法設置須移至他處，其餘預定99年中全部完工。

「風力第三期計畫」於95年4月24日奉准開始興辦，如表3-4所示，於彰濱工業區線西區、彰化王功、雲林麥寮、桃園大潭等濱海防風林區廠址設置28部風力機組，總裝置容量為59.6MW，總預算約57億元，預估年發電量約1億7千多萬度，預計100年中全部完工商轉。

在離島風力方面，台電公司於90年及94年在澎湖中屯各設置4部600kW風力機組，加上目前施工中湖西風力6部900kW風機，總裝置容量約10.2MW；另金門金沙設置風力2000kW風機2部，總裝置容量約4000kW，預計於99年中旬商轉，如表3-5所示。

總計台電公司奉核定之風力計畫有風力一期～三期、金門金沙、澎湖中屯及湖西等六個風力計畫，共162部機組，總裝置容量288.76MW，投資總額187.37億元，迄今已有106部機組達成商轉取得電業執照，56部施工中，至98年8月底累計發電量累計發電量1,045,163,494度。

表3-2 風力發電第一期計畫彙整表

廠址名稱	台數*容量	總裝置 容量(MW)	年發電量 (百萬度)	執行情形 (完工日期)	備註
核一廠	6*660kW	3.96	9.6	已商轉 (2005/1)	中興電工 (Vestas)
核三廠	3*1,500kW	4.50	11.6	已商轉 (2005/5)	中興電工 (美國 GE)
桃園大潭 (I)	3*1,500kW	4.50	11.6	已商轉 (2005/6)	
桃園大園 觀音	20*1,500kW	30.00	91.2	已商轉 (2006/5)	
台中電廠	4*2,000kW	8.00	19.4	已商轉 (2007/4)	樂士電機 (HaraKosan)
台中港區	18*2,000kW	36.00	92.3	已商轉 (2008/12)	
新竹香山	6*2,000kW	12.00	33.4	已商轉 (2008/12)	漢翔航空 (Gamesa)
合計	60 台	98.96	269.1		

資料來源：台電公司

表3-3 風力發電第二期計畫彙整表

廠址名稱	台數*容量	總裝置 容量(MW)	年發電量 (百萬度)	執行情形 (完工日期)	備註
彰工線西 (I)	8*2,000kW	16	48.4	已商轉 (2007/4)	星能公司 (Vestas)
彰工崙尾	15*2,000kW	30	86.5		
雲林麥寮(I)	15*2,000kW	30	84.3	已商轉 (2008/12)	漢翔航空 (Gamesa)
台北林口	6*2,000kW	12	37.3	施工中 (2010/6)	星能公司 (Vestas)
雲林四湖	14*2,000kW	28	79.0	施工中 (2010/6)	
總計	58 台	116	335.5		

資料來源：台電公司

表3-4 風力發電第三期計畫彙整表

廠址名稱	台數*容量	總裝置 容量(MW)	年發電量 (百萬度)	執行情形 (完工日期)	備註
彰工線西 (II)	8*2,000kW	16	50.2	施工中 (2010/6)	星能公司 (Vestas)
彰化王功	10*2,300kW	23	70.0	施工中 (2011/1)	中興電工 (Enercon)
桃園大潭	2*2,300kW	4.6	13.2	施工中 (2011/5)	中興電工 (Enercon)
雲林麥寮 (II)	8*2,000kW	16	40.6	施工中 (2010/6)	星能公司 (Vestas)
總計	28台	59.6	174.0		

資料來源：台電公司

表3-5 離島風力發電計畫

廠址名稱	台數*容量	總裝置 容量(MW)	年發電量 (百萬度)	執行情形 (完工日期)	備註
澎湖中屯	4*600kW	2.40	8.6	已商轉 (2001/10)	中興電工 (Enercon)
澎湖中屯 擴建	4*600kW	2.40	8.6	已商轉 (2005/1)	中興電工 (Enercon)
澎湖湖西	6*900kW	5.40	19.2	施工中 (2011/7)	中興電工 (Enercon)
金門金沙	2*2,000kW	4	10.1	施工中 (2010/6)	星能公司 (Vestas)
合計	16台	14.20	46.5		

資料來源：台電公司

## 2. 民營風力發電計畫

依據92年11月公告「台灣電力股份有限公司再生能源收購作業要點」規定，由台電公司收購民營業者設置之風力發電所發出來電，以鼓勵並帶動社會大眾善用潔淨能源，迄今民營業者以德商英華威公司最為積極，成立竹威公司、中威公司、鹿威公司等子公司分別於桃園、苗栗、彰化及台中等西部海岸設置109部風機，而東鋼風力公司也於苗栗龍港規劃設置5部之風機，合計設置風機數量達114部，容量合計為254.5 MW，如表3-6。

表3-6 民營風力發電計畫彙整表

項目 風場名稱	部數*容量	總裝置 容量(MW)	執行情形 (完工日期)	開發業者
苗栗縣竹南鎮竹南風場及後龍鎮大鵬風場	25部 *2000KW	49.8MW	已商轉 (95.2)	英華威
彰化縣彰濱工業區風場	45部 *2300KW	103.5MW	已商轉 (97.11)	英華威
台中縣大甲鎮大安鄉風場	20部 *2300KW	46MW	已商轉 (97.12)	英華威
桃園縣觀音鄉風場	19部 *2300KW	43.7MW	預估商轉時間：99/中	英華威
苗栗縣後龍鎮龍港場	5部 *2300KW	11.5MW	預估商轉時間：99.12	東鋼風力
合計	25部 *2000KW 89部 *2300KW	254.5MW		

資料來源：東鋼風力公司，英華威公司網站，本研究整理

### 3.3 台灣風力發電未來發展性

#### 3.3.1 風力發電設置的成長性

由前述章節說明得知，台灣西部沿岸及澎湖等陸域為全世界數一數二優良風場，若排除人為與自然環境限制區域，例如土地取得困難、航高限制區及軍事區域等限制開發因子，估計仍有約至少尚有300~400MW（約150~200台）可開發的風能潛力，約相當於目前已設置風機總數量，以目前風電業者開發型態以及土地取得等主客觀條件，勢必分成幾年時間開發設置，平均每年開發量估計約為50~60MW（30台左右數量），詳述如下：

##### 1. 台電風力發電第四期計畫

台電公司為持續開發風力發電，已進行「風力發電第四期計畫」規劃，並針對土地取得與執行上較無阻力廠址進行環境影響評估及申請籌設作業，包括桃園蘆竹、澎湖龍門、澎湖講美等廠址預估於100年上旬即可能公告招標開始興建設置，預定可設置18~20部風力機組；其他可行廠址包括彰化永興、屏東車城、屏東核三廠、台南海汕洲等處，亦著手進行可行性研究報告之作業及辦理廠址現勘工作。

##### 2. 澎湖縣政府風力發電計畫

澎湖縣每年秋、冬二季東北季風強勁，依據怡興工程顧問公司94年所進行研究報告，陸地部份風力發電可開發容量為152.7MW，優先開發區域容量為110.5MW，可優先開發的風力發電廠廠址包括風櫃里東南濱海地區、蛇頭山地區、奎壁山東南側濱海土地、大赤崁西側濱海地區、大赤崁西側濱海地區等場址，海域部份則至少有200MW容量；另能源局已規劃要在2013年於澎湖完成74MW的風力發電設置。

為了避免風力發電的供電比重占地整個地區的供電系統比率太高，影響整個電力系統穩定，台電公司已規劃興建連結台灣本島及澎湖的海底電纜，預定於民國103年鋪設完成，可以把多出來的電力經由電纜回輸至台灣本島，如

此將可解決開發容量限制的問題。

東北季風肆虐，不只造成生活上諸多不便，更影響觀光客前來遊憩意願，嚴重影響澎湖經濟發展，為將此一阻力化為助力，澎湖縣政府已計劃全力發展以風力發電為主再生能源，使澎湖發展成為低碳島；目前澎湖縣政府已委託澎湖科技大學進行風力發電產業推動策略以及開發經營模式的研究，預定99年中旬即可定案全面推動；另一方面，為了化解興建過程中阻礙，並將利益分享給縣民，澎湖縣政府規劃成立縣營能源公司，開放供縣民入股，將發電收入回饋給縣民，可預見未來數年澎湖風力發電裝置容量將會快速成長。

### 3. 民營風力發電計畫

東鋼風力公司於苗栗規劃設置之五部風力機組，原規劃於民國99年上旬併入台電電網發電，其中風機、設備及線路皆如期生產、吊裝及設置，可是卻因台電公司輸電線路延誤，完工期限至少延宕半年以上，而冬季是風能最好季節，將因此每日損失發電收入達數十萬元，政府單位配合效率不彰，短期內勢必影響東鋼風力公司再度投資意願。

最大民營風力發電開發業者英華威公司，雖然已投資興建超過100部風力機組，不過近年來卻一再抱怨政府行政單位作業太過官僚，並對立法院遲遲不通過再生能源條例，於98年4月宣稱台電收購風力發電價格太低，面臨賠本經營，考慮退出台灣市場，即便是在98年6月立法院三讀通過「再生能源發展條例」，98年12月經濟部能源局公告躉購費率提高至2.3834元/度，仍反應此費率相較其他國家仍屬偏低，只能開發岸邊風況佳的風場，但不足以達到政府推廣的目標，如果要開發二級風場，政府應提供有吸引力的費率，2010年2月24日並公開表達撤資之決定。

民營業者以營利為目的，只要有足夠誘因，業者勢必會持續投資規劃興建新的風場，政府公告躉購費率相較於設置成本是否合理，是否給予業者合理利潤，本研究將於下一章針對風電成本進行探討以期瞭解業者後續投資意願。

#### 4. 離岸式風力發電

在離岸式風力發電方面，約有二百萬瓩(2000MW)之開發潛力，大約是陸域裝置容量二倍，經濟部能源局在2007年8月24日公告開放「第一階段設置離岸式風力發電廠方案」，共開放300MW總裝置容量；雖然在國外已爭相投入有關離案風機開發與設置，惟國內自公告開放至今尚無任何公私立機構提出申請，各方都僅止於觀望或可行性評估階段，主要是目前相關法令、配套措施不夠健全，且設置上技術、成本與風險都比陸域高很多，短期間內民營業者並無投入興建離岸式風力發電的可能；不過在台電公司方面，除持續開發本島及離島地區風能較優之陸上風力發電計畫外，台電公司已委託中興工程顧問股份有限公司進行彰化離岸風力發電計畫可行性研究，規劃設置200部以上風力機組，台電背負著貫徹政府推動再生能源使命，為達成政府訂下目標，勢必克服技術與成本上困難，將風力發電廠址更進一步擴展至台灣西部淺海區域。

#### 3.3.2 風電產業的發展

與目前全球風力發電較先進國家相比，動輒每年增加500~600MW裝置容量，甚至好幾千MW，國內風電市場經濟規模相形之下實在是太小，無法吸引國外大廠來台設廠組裝或研發生產；國內民營最大風電開發業者英華威公司，因融資需求等個別特殊因素長期固定採用德商Enercon公司機組，而台電公司受限於國內採購法等因素限制，發包時無法一次大批採購，又無法指定特定品牌狀況下，雖然規範須有該採購案國外採購合約總價之33%工業合作額度規定，希望促使國外風機設備供應商直接與國內風電廠商技術合作，藉由技術移轉、訓練、共同研發、國內採購、協助國外市場行銷及國內投資等管道，建置國內風機組件製造能力，以扶助國內產業成為相關零組件供應商，希望能成就風能發展產業之契機，帶動全方位之風能產業發展，不過以目前台電實際執行標案來看，成效其實非常有限，因



此國內業者雖然在風機零組件如葉片、發電機、齒輪箱、電力轉換與控制系統等具有相當技術能力，可是除中鋼機械公司過去幾年有承包製造中興電工公司、漢翔公司及英華威公司興建風場之塔架外，其他公司包括東元電機公司、台朔重工公司、先進複材公司、源潤豐公司等雖然分別具發電機、風力機、大型齒輪箱葉片鑄件開發、製造或組裝實力，卻始終欠缺切入風力機市場機會，面對國外已技術成熟廠商之競爭，國內業者若只著眼於台灣陸域風電市場，其實要發展自有風機品牌的機會是很渺茫，甚至連供應商角色恐也無法達成。

國內陸域市場規模雖不足以支撐我國風機產業發展，但政府若能儘速制定相關法令及配套獎勵措施，加速推動離岸式風力發電建設，以海域之開發潛力，加上台灣在精密機械、發電機、工業電腦軟硬體、機電整合、複合材料等產業鏈完整成熟程度，以及設計與製造品質上優勢，且產業界有豐富的國際合作的經驗，可仿倣電子業模式，與國外風機系統廠洽談以代工、OEM或ODM方式合作，藉以先集中資源發展關鍵組件，切入國際大廠全球供應鏈體系中，成為國外風機製造商之供應商之一，在累積一定經驗及提昇企業體質與研發能力，取得國際認證，掌握關鍵零組件生產技術專利後，再進一步朝向研發推出自有品牌等方向發展，甚至應用地利及同文同種之優勢，進軍大陸龐大的風力市場，則國內風電產業，仍有相當可為空間；98年3月東元公司、台朔重工、中鋼機械、先進複材和上緯科技組成風電聯盟廠商，前進大陸，搶灘大陸風電商機，顯然業者已找到突圍方向，國內風力發電設備業萌芽茁壯成長仍是指日可待。

### 3.4 小結

經過前面各節探討，本章有以下四點小結：

1. 台灣本島及澎湖尚可開發風能潛力仍然非常可觀，陸域估計約至少尚有300MW~400MW(約150~200台)，在離岸式風力發電方面，約有2000MW之開發潛力。
2. 估算至民國100年，包括台電公司與民營公司合計所設置商轉之風機達276部，總裝置容量543.26MW，其中台電公司將完成162部機組商轉，容量288.76MW，民營公司將完成114部機組商轉，容量254.5MW，台電「風力發電十年發展計畫」至少設置200台或總裝置容量300MW以上與經建會2010年達980MW目標無法達成。
3. 目前國內市場、執行方式顯然無法吸引國際大廠來台設廠，已設置風機(除塔架外)皆是整機由國外進口，並未帶動國內風力發電零件業發展，政府應加速推動離岸式風力發電建設，儘速制定相關法令及配套獎勵措施，擴大內需市場，才足以讓國際大廠願意技轉或來台設廠，以使國內廠商有機會加入國際系統大廠之全球供應鏈，並藉以進入中國大陸及東南亞市場，再俟機開發國際市場，發展成一可出口之新興能源產業。
4. 目前國內在離岸式風力發電發展腳步仍然緩慢。

## 第四章 風力發電成本探討

發電成本及效益是直接影響風電開發業者投資意願最主要關鍵因素，除了台電公司為國營事業，配合政府政策可不計盈虧，民營業者莫不以獲利為主要考量重點，因此投資成本與產出價值的評估結果，勢必是左右業者決策的重要依據。

過去 10 年來，全世界風力發電新設容量平均以每年 25~30% 速度快速成長，幾乎每 3~4 年就成長一倍，也帶動了風力發電產業蓬勃發展，全世界於 2008 年投資在風電產業金額就超過 365 億歐元，其中風機是占整個風電工程價格中比重最大的部份，在 2006 年至 2010 年間，因市場需求強勁，風機價格一直居高不下，未如預期隨著新設容量增加及技術與材料進步而下降，惟市場普遍預估，從 2010 年起，因投入生產廠商及供給量增加，風力發電成本可望因此而逐年降低。

風力發電工程成本可分為直接成本及外部成本兩大部份，茲於下一章節將風力發電整個生命週期所需之發生費用構成、比例及影響因素詳細分析說明，並探討不同折現率、回收年限等參數對躉售費率影響。

在產出價值方面，世界各國為促使風力發電應用蓬勃發展，紛紛訂定或修改再生能源的鼓勵政策，規定電業對再生能源的併聯與收購義務，實施風力發電稅賦抵減措施，固定設備補助價格及提高躉購費率等獎勵手段，都使得發電報酬增加，縮短投資回收年限。

至於運轉發電時之燃料費用，因為風力發電的燃料-「風」是免費的，所以完全無須支付，這也是風力發電與燃煤、天然氣等其他型式發電相比之最大差異與最大的優勢，也因此風力發電不會受到未來 20 年營運期間之石油、天然氣等燃料費用波動及排放 CO<sub>2</sub> 等外部成本之影響，所以可精確預估其每度發電的成本，這也是其他種類發電方式所無法達成的。

## 4.1 直接成本

在直接成本方面，其主要費用包括有期初投資成本及運轉期間之操作維護費用，期初投資成本包括事前評估規劃費用、風力發電機設備、土建工程（含風機基礎、聯絡道路、電氣室等）、電氣設備（包含高低壓開關箱、升壓變壓器、高低壓電纜等）、土地承租或購置、風力機運輸、吊裝及安裝、保險等，一般而言，風力發電機的費用佔期初投資成本總工程費用將近 2/3，土地（含施工道路）、風機基礎、電氣設備等其他部份約佔總工程費用 1/4，其他部份則佔總工程費用不到一成比重。

### 4.1.1 期初投資成本分析

歐洲風能協會（EWEA）在2009年3月出版「THE ECONOMICS OF WIND ENERGY」指出，以裝設一台目前市場主流規格2MW風機之風電工程成本而言，在歐洲裝設的平均投資成本約122.8萬歐元/MW，以匯率1：40計，約當台幣4,912萬/MW，也等於4.912萬元/瓩，亦即一台容量2MW風機之投資成本約245.6萬歐元，約當台幣9仟8佰萬元，約佔整個工程的75.6%，整個工程的成本結構如表4-1，電網並聯及風機基礎是僅次於風機設備最重要的二個因素，合計三項費用約佔整個工程的成本之91%，因此要降低風力發電工程之建造費用，應設法降低這三項費用之支出，歐洲風能協會並預測，整個工程成本至2020年將降至82.6萬歐元/MW，至2030年將降至78.8萬歐元/MW。

若單純只檢視風力發電機組成本架構，葉片轉子、發電機、齒輪箱、電力轉換器、變壓器及塔架等設備所占比重高達73%，對於風機成本波動影響最大，如表4-2。

表4-1 風電工程成本架構

	每瓦投資費用 (歐元)	台幣(1:40計)	比例 (%)
風機	928	37,120	75.6
電網並聯	109	4,360	8.9
基礎	80	3,200	6.5
租地	48	1,920	3.9
電氣安裝	18	720	1.5
顧問服務	15	600	1.2
財務成本	15	600	1.2
道路施工	11	440	0.9
控制系統	4	160	0.3
合計	1,228	49,120 元/瓦	100

資料來源:歐洲風能協會 (2009), 本研究整理

表4-2 風力發電機成本架構比例

主要組成元件		比例 (%)
機 艙 元 件	葉片轉子	22.2
	發電機、齒輪箱、電力轉換器、變壓器	24.95
	旋角控制系統、轉向系統	3.91
	葉片軸承、葉片輪轂	2.59
	煞車系統、機艙外殼	2.67
其 他	塔架	26.3
	電纜、電梯、監控系統、高壓開關...	17.38

資料來源:歐洲風能協會 (2009), 本研究整理

#### 4.1.2 操作維護費用分析

在運轉期間之操作維護費用一般包括保險、例行性保養、土地租用、行政費用、更換零組件及其他雜項等幾項，在操作運轉維護費用中，保險、土地租用、行政費用等費用是可以預估的，相對而言，維修及零組件費用則較難去估算的，其變動性及不可預測性也相對較大；通常每台風力機僅需每季或每半年檢視維護一次即可，以Enercon廠牌為例，例行性操作運轉維護項目包括目視維護、潤滑維護、電氣維護、機械維護，以一年為一循環，每隔三個月依序進行其中一種維護，而不論任何廠牌機型，相同的是在風力發電機整個生命週期中，操作運轉維護費用是隨著時間而變動，在開始發電初期，費用較低，除了土地租用費用、行政費用等支出，一般只須進行例行性保養，而越靠近生命週期末期，機組故障頻率會增多，須更換零組件也會增加，整體操作運轉維護費用勢必比初期要高上至少10%以上；目前各風機製造廠商無不致力減少維護頻率努力，在正常狀況下完全不需人員操作，加上材料科學進步，各組件耐腐蝕能力更強，使用壽命長也延長，所以保養間隔週期得以延長，降低維護成本。

歐洲風能協會出版之「Wind Energy\_ The Facts \_Volume\_2\_ Costs and Prices」中指出，依據德國、西班牙、英國、丹麥等國經驗估計風力發電開始運轉發電後，操作維護費用每度約為歐元1.2分至1.5分（以匯率1：40計，NT\$0.48~0.6元），其中約60%是直接人力、備品、維護零件費用，其餘40%是保險、租地、其他管銷費用，操作維護費用會隨時機組老舊而增加，但在同樣機齡，單一機組容量越大則其操作維護費用越低。

經濟部能源局於2009年9月24日再生能源電能躉購費率及其計算公式草案聽證會」公佈之會議資料中，陸域型運轉維護之費用是以占期初設置成本1.5%作為估算躉購費率時依據。

## 4.2 外部成本

所謂外部成本，簡單的說是指廠商在生產的過程中，不需自己負擔的成本，在風電工程中外部成本是指風力發電從設備生產製造、現場興建之土建及機電工程及完工後操作運轉與營運發電時所排放之各種溫室氣體及污染物等對整個環境造成影響，導致社會所須付出代價，而由全民負擔的污染之成本。

European Commission 2003年出版之研究報告「External Costs, Research results on socio-environmental damages due to electricity and transport」一文中，將外部成本解釋為當一群人在進行社會或經濟活動時對另外一群人造成影響及衝擊，而並沒有對受到影響及衝擊的那一群人給予完整的補償。

以傳統火力發電廠為例，在發電過程中因燃料燃燒而釋放出來之CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>等氣體導致溫室效應引起全球暖化，人們的健康受到傷害，附近建築物建材受到腐蝕等，即是其外部成本之一，那是因為人們的健康、建築物建材受到腐蝕等皆未反應、估算在興建成本內，這也是一般俗稱的社會環境成本，而前述部份亦僅只是整個發電廠之外部成本之其中一部份，完整外部成本包括從設備生產製造、工程施工、運轉維護至電廠除役拆除之過程中，水資源之消耗及污染，冷卻水排放對水中生物生態之影響，其他排放物、氣體對環境之污染，建造及營運產生噪音等等，以其所衍生溫室效應、全球暖化、等一連串連鎖反應，可見由於其外部成本之涉及層面及範圍非常之廣泛，有太多因素無法予以明確定義與釐清，要精確予以量化並轉換成單位價格，實有一定困難度。

在「External Costs, Research results on socio-environmental damages due to electricity and transport」一文中，針對歐盟15個國家進行各種燃料的外部成本調查及評估，粗略概估出包括核能發電、天然氣發電、太陽能發、風力發電等各種發電方式之每發一度電的外部成本，如下表所列：

表4-3 各種發電方式的外部成本

發電方式	每發一度電的外部成本最大值 (歐元)
煤	15分
石油	11分
天然氣	4分
核能	0.7分
生質能	5分
水力	1分
太陽能	0.6分
風力	0.25分

資料來源:European Commission, 2003, 本研究整理

所有發電方式中，風力發電的外部成本是最低，僅僅只有燃煤發電之1.67%，燃油發電之2.27%，且其外部成本幾乎都是在建造時所產生，運轉發電期間幾乎不會產生任何污染環境的廢棄物，因此若把外部成本計入整個成本內一併考量時，風力發電之單位發電成本與一般傳統發電方式作比較，就有極大的競爭力。

目前政府在法令上並未針對台電及一般民營業者在設立發電廠時對於外部成本有特別規範或限制，而業者也未把外部成本列入其財務分析考量計算，經濟部能源局公告再生能源電能躉購費率，也完全沒有考慮外部成本，雖然外部成本完全不影響到風力發電執行，可是其衍生之後遺症，則由全人類及後代子孫所買單承受。



## 4.3 成本效益分析

### 4.3.1 發電成本探討

歐洲風能協會在2009年3月出版「THE ECONOMICS OF WIND ENERGY」指出，以2006年平均期初投資成本1,225歐元/kW，操作維護費用1.45c€/kWh，風機之運轉壽命20年，風場之年滿載發電2,200度/瓩/年，折現率為7.5%推估，計算出平均每度發電費用為7c€/kWh，以匯率1：40計，約當台幣2.8元/度，如表4-4。

表4-4 歐洲風能協會推估每度發電成本

	歐元	台幣 (1：40計)
期初投資成本 (kW)(2006年)	1,225歐元	49,000元
操作維護費用 (kWh)	1.45分	0.58元
風機壽命	20年	
年滿載發電	2,200度/瓩/年	
折現率	7.5%	
平均每度發電費用	7分	2.8元

資料來源:歐洲風能協會「THE ECONOMICS OF WIND ENERGY」(2009)，本研究整理

李宗德在2007年「我國四種再生能源產業的發展策略探討」之碩士論文提出：『以台電風力一期、風力二期及英華威公司總計設置148部風力機組總裝置容量計273.96MW，估計投資總額約新台幣136億元，故建造每1MW(即1,000瓩)風力發電機組的總投入金額約新台幣4,964萬元，一部岸上風力機組(2,000瓩)的成本估計約新台幣9,928萬元，若以每部機每年估計約可發電400萬度計，而目前台電岸上風力發電的購電價格每度2.2計算，一年的發電收入約880萬元，約11.3年回收成本。』，詳如表4-4；李宗德先生假設數據，除年發電量400萬度約當年滿載發電2,000小時合理外，每1MW風力發電機組的總投入金額約新台幣4,964萬元，因未敘明資

料來源依據，無法確認其正確性，不過與歐洲風能協會統計成本相比似乎偏低，再者，在2009年能源局公告躉購費率前，台電公司岸上風力發電的購電價格是每度2元，最重要的是回收年限計算並未考慮不同期間現金流量之時間價值，即現金流量並未折現，不夠精確。

表4-5 李宗德推估回收年限

期初投入費用	裝設數量	台電一、二期及英華威共148部
	總裝置容量	273.96MW
	投資總額	NT\$ 136 億元
	每瓩	NT\$ 4.964 萬元
	每部機(2MW)	NT\$ 9,928 萬元
發電收入	每部機每年	估計約可發電 400 萬度
	每度 2.2 計算	一年的發電收入約 880 萬元
約11.3年回收成本		

資料來源:李宗德「我國四種再生能源產業的發展策略探討」(2007)，本研究整理

經濟部能源局在邀集學者專家與再生能源相關業者代表溝通及陳述意見，經歷5場次「再生能源電能躉購費率審定會」、3場次聽證會討論，於2009年12月18日初步審定陸域型風力發電10瓩以上之計算公式及躉購費率如下：

$$\text{躉購費率} = \frac{\text{期初設置成本} \times \text{資本還原因子} + \text{年運轉維護費用}}{\text{年售電量}}$$

$$\text{資本還原因子} = \frac{\text{折現率} \times (1 + \text{折現率})^{\text{躉購期間}}}{(1 + \text{折現率})^{\text{躉購期間}} - 1}$$

$$\text{年運轉維護費用} = \text{期初設置成本} \times \text{年運轉維護費用占期初設置成本比例}$$

表4-6 躉購費率各項參數數值

參數項目	參數數值
期初成本	59,000元/瓩
年操作維護費用	期初設置成本1.5% (885元/瓩)
回收年限	20年
年淨售電量	2,400度/瓩/年
折現率	5.25%
躉購費率	2.3834元/度

資料來源:經濟部能源局 (2009) , 本研究整理

經濟部能源局採用之計算公式係採給定一特定折現率之情況，計算期初設置成本支出與躉購期間內收入及支出淨收益折現總和，以求出費率，符合財務之折現與現金流量分析，非常合理，比較值得探討是計算時採用各項參數數值，以期初成本59,000元/瓩而言，能源局表示係採納97~98年民營業者申請成立給照時所提供資料平均建造成本為4.8萬元/瓩與台電公司於期間內在台灣本島決標二處風場，扣除備品、特殊工具、耗材及保固期間O&M等歸屬運維之費用，與需配合工業合作計畫增加4%成本，取調整後之平均成本為7萬元/瓩，再將民營案與台電案予以平均得到；雖然比歐洲風能協會提出2006年平均期初投資成本49,000元/瓩略高，可是台灣風場規模遠不如歐洲，且整部風機幾乎皆須由歐洲進口，價格差異應該更大，英華威公司即公開表示能源局公佈建造成本不正確，其單一風場建造成本為7.2萬元/瓩，而台電96年10月決標四湖及林口標案決標金額高達為8萬元/瓩，扣除運維費用後，與能源局公佈金額差距仍是極大，由上分析，可知對於成本認知，實不易得出一各界都認定合理金額；在回收年限方面，能源局是依據風機的設計壽命訂為20年，可是一般投資業者其實是設定回收年限在13年~15年以內才願意投資，有相當大差異；至於年淨售電量，雖然台灣風能條件極佳，可是經

過這幾年台電公司與英華威公司積極興建，風場條件好又無阻撓的場址多已開發，若為次佳之場址，雖然相較世界其他地區風能條件仍然算是不錯，惟可能無法達到能源局計算時採用之2,400度/呎/年，所以在單一費率下，可預期業者投資風能次佳之場址意願一定會降低；另外對於折現率多寡，涉及資金來源與融資成本，各界仍是有很多意見。

### 4.3.2 投資效益分析

風場設置成本對各家公司而言皆是屬最高商業機密，尤其民營業者更是如此，因此無論是哪個單位公佈建造成本價格，都不易說服不同立場一方，而台電公司標案皆公開公告，訊息透明正確，故本研究以台電公司四湖及林口案、彰工(II)、雲麥(II)案及金門金沙與彰化王功、大潭(II)及澎湖湖西案為例進行探討；三案之總裝置容量、要求保證年總發電量、決標金額及換算之每MW裝機成本如下表：

表4-7 台電近期標案裝機成本

廠址名稱	總裝置容量 (MW)	要求保證年總發電量(度)	決標金額(元)	每 MW 裝機成本
四湖及林口	20*2MW=40MW	114,103,000	3,200,000,000	8,000 萬
彰工(II)、雲麥(II)及金門金沙	18*2MW=36MW	104,679,000	2,769,990,000	7,694 萬
彰化王功、大潭(II)及澎湖湖西	12*2.3MW+ 6*900KW=33MW	95,045,000	2,774,343,250	8,407 萬

資料來源:台電公司，本研究整理

台電公司在圖資文件審查作業繁瑣、材料選用要求及品質等級較高，加上施工過程查驗及工安規定及程序嚴謹，因此以同性質工程比較，成本會比一般民營

業者高，不過在表4-7中所列決標金額，並未包括風力機組設置前開發、評估及其衍生費用與土地租用或購置之費用，因此假設前述增減費用可互相抵銷，另上述採購案有工業合作規定，所以在此採能源局評估配合工業合作計畫會增加約4%費用，而彰化王功、大潭(II)及澎湖湖西案另因合約中承包商須負責3年之運轉維護工作及備品費用，若以一年1.5%計，須再扣減4.5%，綜合前述，表4-7中所列決標金額換算成每MW裝機的成本分別為7,692.3萬、7,398萬、7,748萬，平均約比依能源局採用期初成本59,000元/瓩高約30%；操作運轉維護費用、折現率、使用年限依照依能源局採用參數分別為占期初設置成本1.5%、5.25%及20年估算，而每年發電收入以「投標要求保證年總發電量」乘上「發電成本」，分別為2,852.575度/瓩/年、2,907.75度/瓩/年、2,880.15度/瓩/年，平均約比能源局採用參數2,400度/瓩/年高約20%；在前述假設條件下，計算可得單位發電成本分別約為2.614元/度、2.467元/度、2.608元/度，比能源局公告躉購費率2.3834元/度高約7.5%，如表4-8，顯然以台電這幾個案例而言，無法達到投資效益。

表4-8 台電近期標案每度發電成本

	四湖及林口案	彰工(II)案	彰化王功案
期初成本	76,923元/瓩	73,985元/瓩	77,485元/瓩
年操作維護費用	初期投資成本 1.5%	初期投資成本1.5%	初期投資成本1.5%
回收年限	20年	20年	20年
年淨售電量	2,852.575度/瓩/年	2,907.75度/瓩/年	2,880.15度/瓩/年
折現率	5.25%	5.25%	5.25%
每度發電成本	NT\$2.614元	NT\$2.467元	NT\$2.608元

風力發電產業期初投資成本高，是一種資本密集產業，需相當比率之融資；融資期限、利率之高低將直接影響到投資報酬率，而躉購費率之高低，涉及期初

成本、操作維護費用、回收年限、年淨售電量及折現率等多項變數，所以本研究以能源局公告計算躉購費率之各項參數為基準，試算各參數之敏感度分析，在其他參數固定下，試算不同期初設置成本情況下之發電成本如表4-9，可以發現期初設置成本每增(減)5000元/瓩，每度發電成本增(減)約7.1~10%之間。

表4-9 期初設置成本敏感度分析（其他參數固定）

期初設置成本	發電成本
50,000元/瓩	2.020元/度
55,000元/瓩	2.222元/度
<u>59,000元/瓩</u>	<u>2.383元/度</u>
60,000元/瓩	2.424元/度
65,000元/瓩	2.626元/度
70,000元/瓩	2.828元/度
75,000元/瓩	3.030元/度

在其他參數固定下，試算不同操維費用情況下之發電成本如表4-10，可以發現年操作維護費用占期初設置成本每增(減)0.5%，每度發電成本增(減)約4.7~5.8%之間。

表4-10 年操作維護費用敏感度分析（其他參數固定）

年操作維護費用	發電成本
0.5%	2.138元/度
1.0%	2.260元/度
<u>1.5%</u>	<u>2.383元/度</u>
2.0%	2.506元/度
2.5%	2.629元/度
3.0%	2.752元/度

在其他參數固定下，試算不同折現率情況下之發電成本如表4-11，可以發現折現率每增(減)1%，每度發電成本增(減)約6.8~7.8%之間。

表4- 11 折現率敏感度分析（其他參數固定）

折現率	發電成本
3%	2.021元/度
4%	2.178元/度
5%	2.341元/度
<u>5.25%</u>	<u>2.383元/度</u>
6%	2.512元/度
7%	2.689元/度
8%	2.873元/度

在其他參數固定下，試算不同年淨售電量情況下之發電成本如表4-12，可以發現年淨售電量每增(減)200度/瓩/年，每度發電成本減(增)約6.7~9%之間。

表4- 12 年淨售電量敏感度分析（其他參數固定）

年淨售電量	發電成本
2,000度/瓩/年	2.860元/度
2,200度/瓩/年	2.600元/度
<u>2,400度/瓩/年</u>	<u>2.383元/度</u>
2,600度/瓩/年	2.200元/度
2,800度/瓩/年	2.043元/度
3,000度/瓩/年	1.907元/度

在其他參數固定下，試算不同回收年限情況下之發電成本如表4-13，可以發現回收年限每增(減)1年，每度發電成本減(增)約2.1~3.6%之間。

表4-13 回收年限敏感度分析（其他參數固定）

回收年限	發電成本
15年	2.777元/度
16年	2.678元/度
17年	2.590元/度
18年	2.513元/度
19年	2.445元/度
20年	2.383元/度
21年	2.329元/度
22年	2.279元/度

經由以上計算分析，如設置地點風能條件佳、設備性能較優異，使年淨售電量提高、或是期初設置成本降低，並能取得較低利率資金，應該還是會有合理利潤；相反的，在風能條件較差區域、設備性能較差或期初設置成本高等不利情況下，就恐怕無足夠誘因能吸引業者持續投入風力發電建設，若能參照不同區域的風能條件，訂定差異化費率，對於年滿載發電在2400小時以下區域，才會有業者願意投資興建，方能快速達成政府推廣目標。

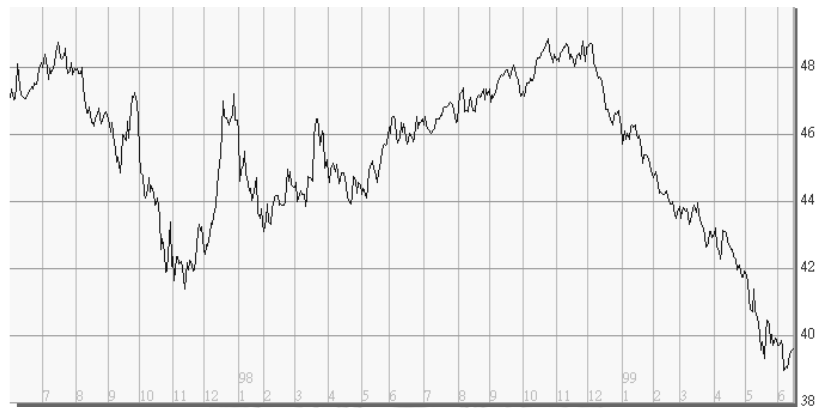
### 4.3.3 影響投資效益因素

決定投資效益高低最主要因素是投資成本及發電收益，一個風場總投資成本費用因各國法令政策、計畫之風機數量多寡、可供並接電網之距離、土地取得難易度及地質等而有所不同，其中差異可達到20~30%。

一般而言，風場的規模是影響風力發電工程造價一個很關鍵因素，大型風場之每一風機平均興建成本通常小型風場之每一風機興建平均成本低，因為無論風場大小，基本規劃、系統衝擊分析、電網連接等費用皆大同小異，故平均分攤下來，自然小型風場的成本會比大型風場要高。



另外一個影響成本主要因素是匯率，目前風力發電機之主要製造商皆為歐洲廠商，雖然近年來中國大陸及印度等國家積極發展風力發電並帶動該國國內之風機產業，可是品質及技術尚無法獲得國際上認同，仍僅是供應該國國內部份需求，無法拓展行銷至其他國家，所以Vestas、Enercon及Gamesa等歐系品牌為仍廣泛被世界各國接受及採用，因風力發電機費用佔總工程費用將近2/3，所以歐元匯率走勢，就牽動到整個興建成本，以2008/10/17~2009/10/14歐元匯率走勢為例，期間在2008/11/13歐元兌換台幣匯率為1：41.2，而2009/10/16為1：48.13，共升值16.82%，即風力發電總工程費用將增加11.2%。



資料來源：富邦銀行

圖 4-1 歐元匯率走勢圖 (2008/6/1~2010/6/15)

發電收益方面，躉購費率、折現率、年發電量是主要關鍵因素，在政府躉購費率固定情況下，除一方面設法降低設置與營運成本、如設置地點風能條件及設備性能較佳、並能取得較低利率資金，則可縮短投資回收年限，獲得較高利潤。

## 4.4 小結

經由前面各節對風力發電成本之詳細探討，本研究歸納出以下幾點小結：

1. 經濟部能源局審定躉購費率2.3834元/度，與歐洲風能協會推估計算出歐洲地區平均每度發電費用為7c€/kWh（以1：40計，約當台幣2.8元/度）以及本研究以台電公司四湖及林口案、彰工(II)、雲麥(II)案及金門金沙與彰化王功、大潭(II)及澎湖湖西案為例進行探討，計算得到發電成本分別約為2.614元/度、2.467元/度、2.608元/度（平均約為台幣2.563元/度）作比較，躉購費率確實是偏低，其中原因主要是因為能源局採用計算之期初投資成本、折現率較低，也因此與民營業者期待有一些落差，勢必會影響到民營業者後續投資開發之意願。
2. 本研究進一步以能源局公告計算躉購費率之各項參數為基準，試算各參數之敏感度分析，發現期初設置成本每增(減)5000元/瓩，每度發電成本增(減)約7.1~10%，年操作維護費用占期初設置成本每增(減)0.5%，每度發電成本增(減)約4.7~5.8%，折現率每增(減)1%，每度發電成本增(減)約6.8~7.8%，年淨售電量每增(減)200度/瓩/年，每度發電成本減(增)約6.7~9%，回收年限每增(減)1年，每度發電成本減(增)約2.1~3.6%；以目前審定躉購費率2.3834元/度，如在風能條件及設備性能較佳或是期初設置成本較低等情境下，投資業者應該仍有適當合理利潤；反之，若有某部份條件較差，則業者持續投入風力發電開發意願恐怕會不高，政府推廣目標恐怕也無法如期達成。
3. 相較於其他傳統發電方式，風力發電營運時幾乎不會排放各種溫室氣體及污染物，對整個環境完全不會造成影響，此無形之效益應納入躉購費率訂定考量，以增加誘因。

## 第五章 風電工程執程序與關鍵因素探討

### 5.1 執程序

一個完整風電工程執程序，從縱向面區分，有四個主要階段，包括可行性評估階段、設計階段、施工階段及營運階段，每個階段皆有其獨特性，同時它們之間又息息相關，每一階段執行成功與否都會影響到整個專案成敗；若從橫向面探討，則有法令面及工程執行面兩大面向。

目前台電公司執行之風力發電計畫，只有將設計階段及施工階段兩個階段委外公開招標，可行性評估階段是由台電內部電源開發處、綜合研究所及營建處等相關單位自行辦理（環境影響評估等部份工作除外），至於營運階段，除最近一次於97年12月發包之風力發電第三期彰化工功案廠商須負責三年之維護保養工作，並保證可用率外，其他標案皆由台電公司自行負責營運維修。

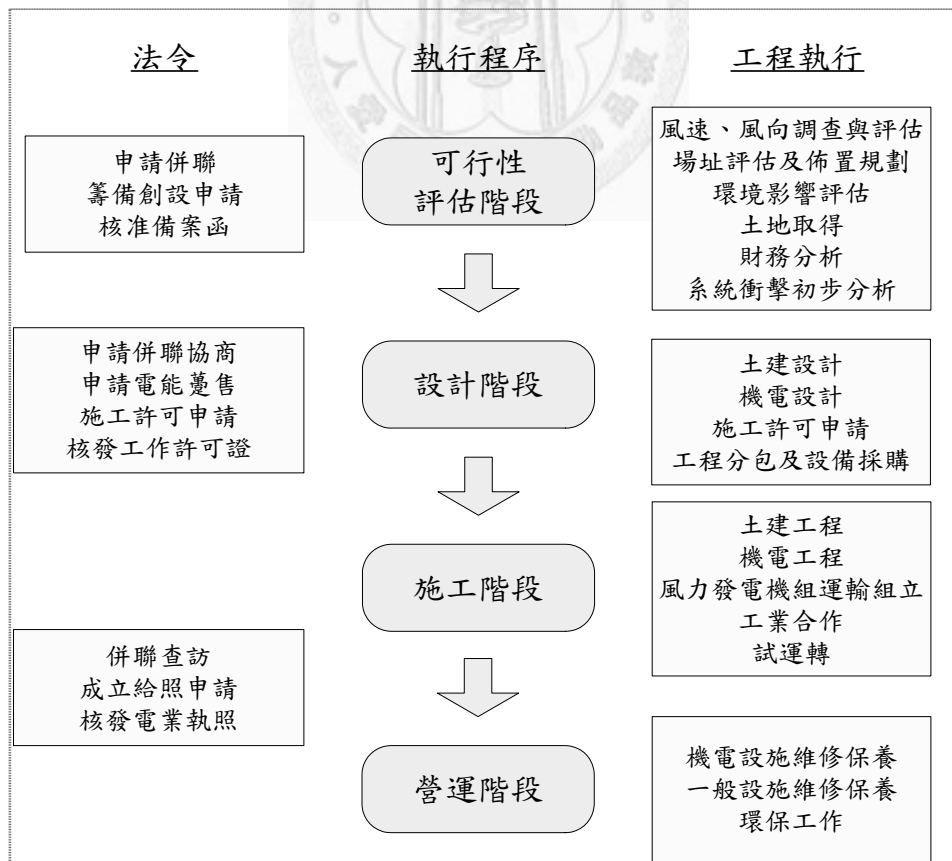


圖5-1 風電工程執程序四個主要階段

## 5.2 法令規範

國內規範風力發電設置申請、施工、檢驗之相關法令包括有電業法、電業登記規則、電業竣工查驗作業要點、台電公司再生能源電能收購作業要點、經濟部評選再生能源電能收購對象作業要點、台電公司再生能源發電系統併聯技術要點、再生能源發展條例等法令。

電業法是針對電業（所稱電業，謂應一般需用經營供給電能之事業）專營權之經營方式、分類、區域，電業向主管機關申請或報告時程序，電業權之有效期間，電業設備之標準、規範及裝置之規則，擬訂或修正營業規則、電價及各種收費率訂定所製定之原則性之基本規範，是為開發國家電能動力，調節電力供應，發展電業經營，維持合理電價，增進公共福利，所制定基本法。

電業登記規則是根據電業法第三十三條之規定釐訂，將電業登記規範為籌備創設、施工許可、成立給照、變更及停業等五種，並清楚說明申請程序及其應備書圖。

電業竣工查驗作業要點為經濟部能源局為辦理電業竣工查驗，訂定機組運轉應滿足條件，始得核（換）發電業執照。

民營公司風力發電設備設置者，所發的電絕大部份是併聯至台電網絡系統，賣電給台電公司，在98年6月12日立法院三讀通過「再生能源發展條例」前，須依「台灣電力股份有限公司再生能源電能收購作業要點」向台電公司申請電能躉售，躉售容量以其總裝置容量之百分之五十為上限，但總裝置容量100瓩(含)以下者，不受前述百分之五十上限規定限制，購電費率訂為每度新台幣二元，並須依此要點之程序申請購售電。

為推廣再生能源利用，增進能源多元化，改善環境品質，帶動相關產業及增進國家永續發展，立法院於98年6月12日三讀通過「再生能源發展條例」，運用收購機制、獎勵示範及法令鬆綁等方式，鼓勵業者開發再生能源，其中開發業者最關心的躉購電價，收購費率原本是依據「台灣電力股份有限公司再生能源電能收

購作業要點」第六條訂為每度新台幣二元，在「再生能源發展條例」公布施行後，經濟部能源局依第九條規定，邀集相關部會、學者專家、團體組成委員會，於98年12月18日完成再生能源電能的躉購費率及計算公式審定作業程序，費率定位為稅前報酬、不依不同地區訂定差異費率等原則，自「再生能源發展條例」生效日起新設之陸域型10瓩以上風力發電躉購費率為電每度2.3834元，並逐年進行檢討或修正之；對於具發展潛力及技術發展在初期階段的再生能源發電設備，依第十一條規定，中央主管機關得基於示範之目的，於一定期間內，給予相關獎勵，示範獎勵詳細辦法仍待中央主管機關訂定之；在法令鬆綁方面，依第十四至十七條規定，再生能源發電設備達一定裝置容量以上者，其發電設備及供電線路所需土地之權利取得、使用程序及處置，準用電業法相關規定；另再生能源建廠所需土地，將可以公用事業資格，適用都市計畫法、森林法及漁業法等；此外，再生能源興建與營運設備進口，亦將享有關稅減免，以及雜照取得之行政程序簡化措施。

表5-1 國內主要規範風力發電之相關法令

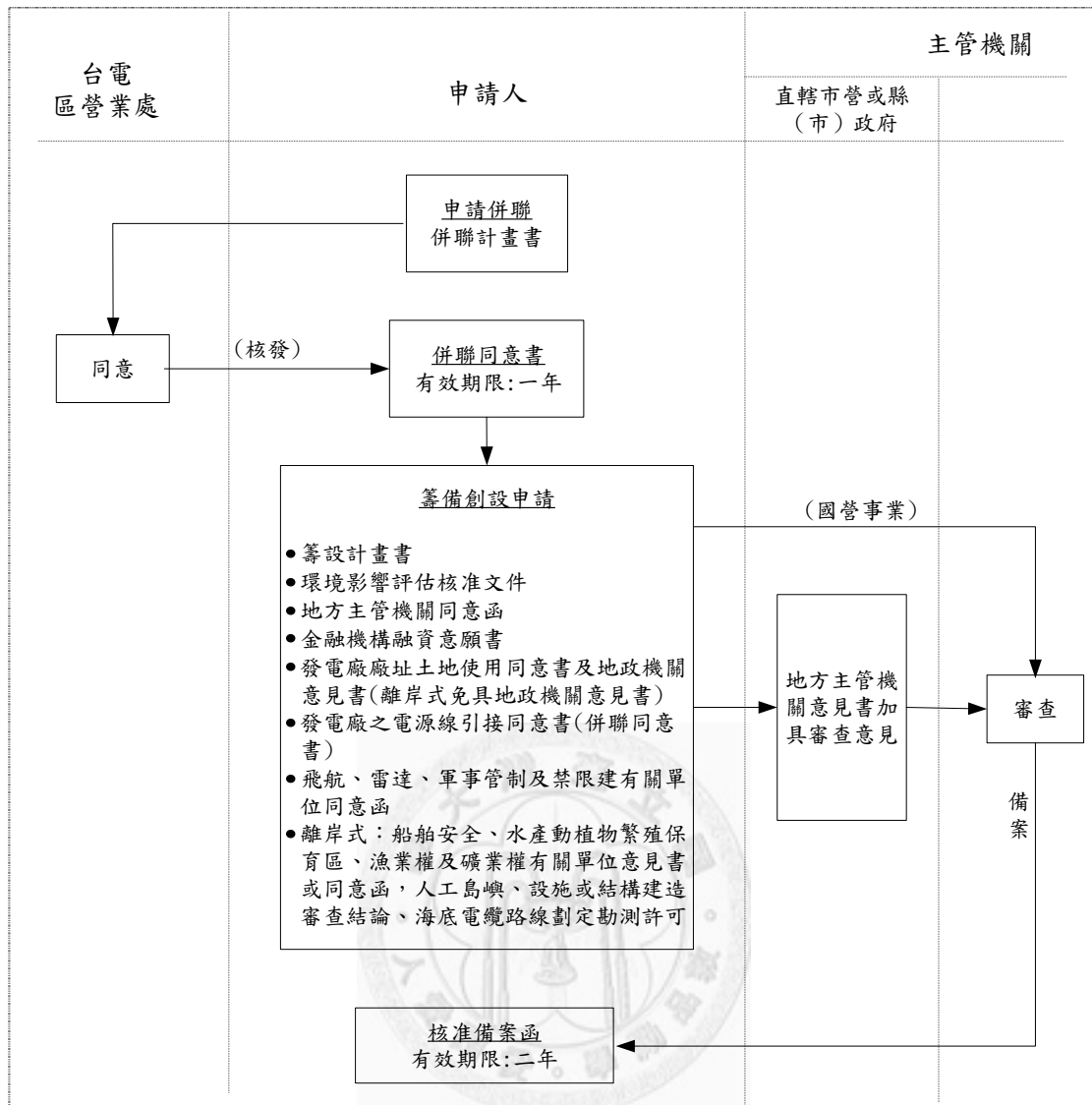
法規及行政規則	說明
電業法	為開發國家電能動力，調節電力供應，發展電業經營，維持合理電價，增進公共福利，所制定基本法。
電業登記規則	將電業登記規範為籌備創設、施工許可、成立給照、變更及停業等五種，並清楚說明申請程序及其應備書圖。
電業竣工查驗作業要點	經濟部能源局為辦理電業竣工查驗，訂定機組運轉應滿足條件，始得核（換）發電業執照。
台電公司再生能源電能收購作業要點	規範申請購售電程序，躉售容量與購電費率。
經濟部評選再生能源電能收購對象作業要點	規範以公平、公開原則辦理評選依「台灣電力股份有限公司再生能源電能收購作業要點」提出之申請案。
台電公司再生能源發電系統併聯技術要點	規範再生能源發電設備與台電公司電力系統併聯之責任分界點、設備間保護協調之規劃、設計、安裝與再生能源發電設備運轉。
再生能源發展條例	運用收購機制、獎勵示範及法令鬆綁等方式，鼓勵業者開發再生能源。

### 5.2.1 籌備創設申請

籌備創設階段首先是向設置地區之台電區營業處申請併聯，在取得同意書內一年內檢具籌設計畫書、環境影響評估核准文件、地方主管機關同意函、金融機構融資意願書、發電廠廠址土地使用同意書及地政機關意見書、併聯同意書、飛航、雷達、軍事管制及禁限建有關單位同意函等七項規定文件向直轄市營或縣(市)政府及主管機關申請籌備創設，如圖5-2。

依據「台灣電力公司再生能源發電系統併聯技術要點」規定，風場發電設備總裝置容量在100瓩以上未滿10,000瓩得併接於11,400伏特之高壓配電系統，在100瓩以上未滿20,000瓩，得併接於22,800伏特之高壓配電系統，在10,000瓩以上未滿20,000瓩且無22,800伏特之高壓配電系統者或發電設備總容量在20,000瓩以上者，得併接於特高壓系統。

雖然相關申請程序及其應備書圖已有規範，但在進行環境影響評估或申請地方主管機關同意過程中，常因各地方主管、審查單位往往有不同之審核作業流程，審查標準不一致，審查時間過長，導致業者無所適從，致使開發時程延宕，迫使計畫停頓或放棄。



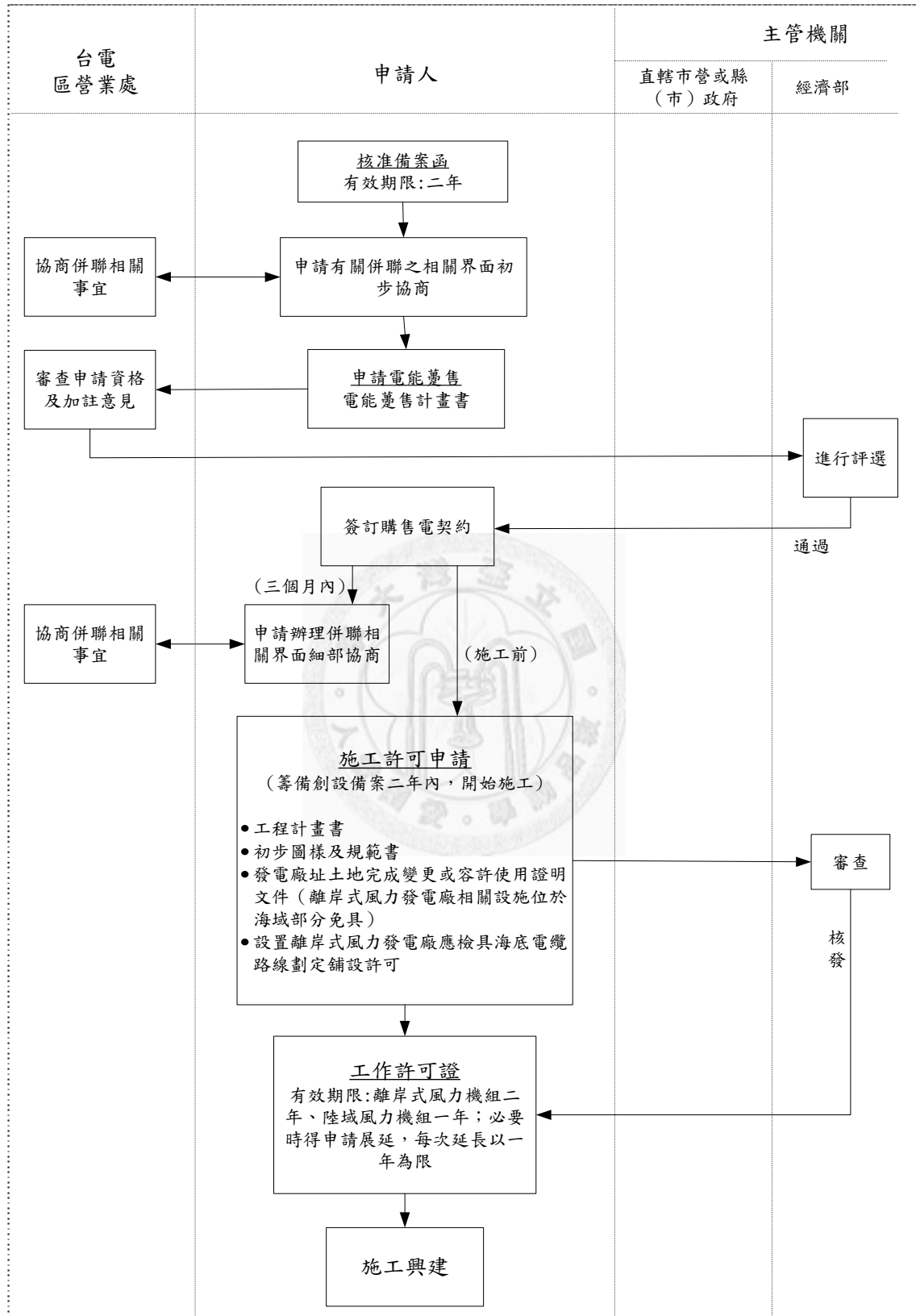
資料來源:再生能源電能收購作業要點、電業登記規則，本研究整理

圖 5-2 籌備創設申請流程

### 5.2.2 施工許可申請

在申請籌備創設核備後二年內，業者須與台電區營業處完成初步與細部併聯協商之相關事宜及簽訂購售電契約，最重要是準備工程計畫書、初步圖樣及規範書及發電廠址土地完成變更或容許使用證明文件向主管機關申請施工許可開始施工興建，如圖5-3；發電廠址土地完成變更或容許使用證明文件是此階段是否能順利取得工作許可證主要關鍵因素，觀威風力發電公司就因觀音鄉風場施工許可申請核發遲緩，為加快建造期程，在未取得經濟部核發工作許可證，即自行施工，

遭經濟部於98年10月予以裁罰。



資料來源:再生能源電能收購作業要點、電業登記規則,本研究整理

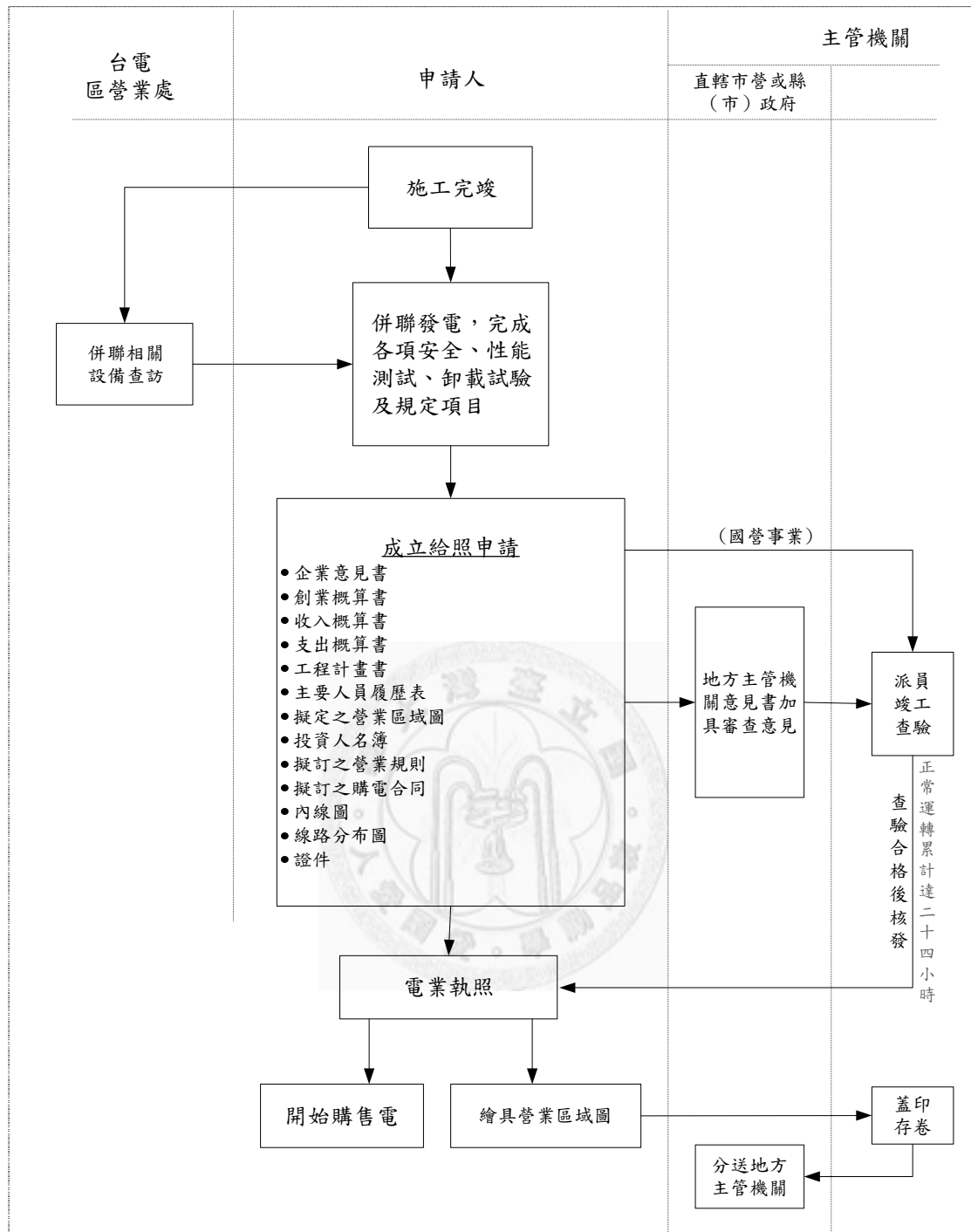
圖 5-3 施工許可申請流程



### 5.2.3 成立給照申請

在施工完竣後業者，通過台電區營業處併聯設備之查訪後，接著進行併聯發電及實施各項安全、性能測試、卸載試驗與規定項目試驗，並檢具規定文件向主管機關申請成立給照，經主管機關派員進行竣工查驗合格（正常運轉累計達二十四小時）並核發電業執照，即可開始售電予台電公司，如圖5-4。

一般而言，政府積極推動、鼓勵發展風力等再生能源態度是很明確的，加上目前法令上對於籌設、施工許可、核發電業執照等規定已相當清楚，且再生能源發展條例已通過，理應業者在執行上應無困難，可是在實際上，往往因公部門應配合事項效率不佳，審核手續、流程冗長、繁瑣複雜，態度僵化，或是已核准案件，處處受環保人士、民眾抗爭阻擾，因公權力不彰，而引發投資業者卻步，英華威公司於2009年在桃園縣沿海投資興建34座風力發電機組案，業經環保署環評委員通過，不過在興建過程中，卻受阻於地方環保抗爭，而政府未能給予強而有力協助；東鋼風力公司於苗栗設置之風力發電，在工程即將完成之際，卻因台電公司缺乏彈性、併聯線路延宕而遲遲無法併聯發電遭受鉅額損失。



資料來源:再生能源電能收購作業要點、電業登記規則，本研究整理

圖 5-4 成立給照申請流程

## 5.3 工程面探討

### 5.3.1 可行性評估階段

#### 1. 風速、風向調查與評估

依第二章2.2節說明可以瞭解，風力發電機的電力輸出大小與風速與擷取風能面積的大小息息相關，故設置風力發電第一關鍵步驟就是評估與調查風能資源，找尋風力發電適合開發場址，準確之風能評估與預測為風電開發之首要條件，不但能保障風電開發業者的投資收益，融資銀行也常會以此作為放款融資依據。

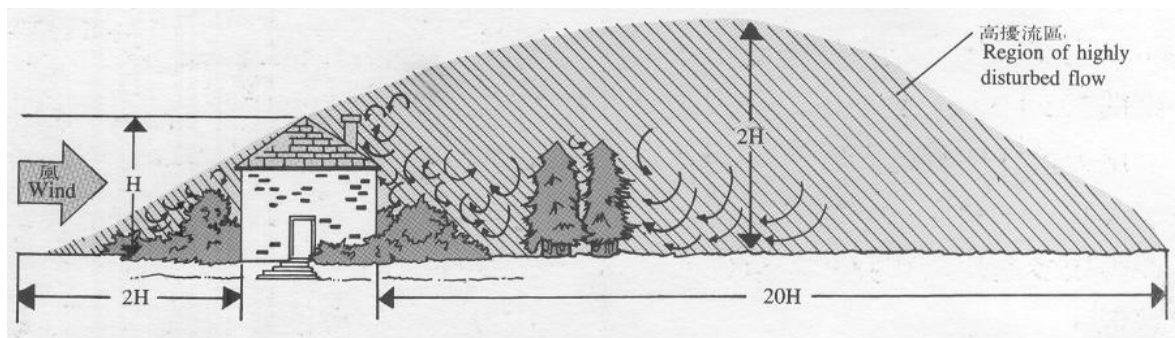
經濟部能源委員會為了瞭解全台各地區潛在風力潛能優劣分佈情況，建立完整而精確之風能資訊，作為風力發電後續開發時及研擬推動目標與政策的參考依據，並提供業者快速找尋風力發電適合開發場址，降低業者初期成本，於89年委託工研院能資所與中央大學大氣物理所合作研究，進行台灣地區風力潛能分布模擬分析，繪製全台灣地區10m、30m與50m高之平均基本風速與風能密度分布圖，業者欲進行特定區域風能資源評估與調查時，只要登入中央大學台灣風能網站（[www.atm.ncu.edu.tw/93/wind](http://www.atm.ncu.edu.tw/93/wind)）可查知能資所模擬分析風能密度分布圖，加上運用鄰近氣象觀測站所觀測統計既有資料加以初略分析外，即得平均基本風場資料；惟此參考數據僅適合做大範圍之風能評估及選址與初步規劃時之參考用，對局部小範圍發電量之評估，因受到現場地形、地貌及鄰近建築物影響，一定要至現場細部勘查與分析，進行更深入的風能調查，對風電開發業者的投資才有保障。

至於更深入的風能調查，最直接、簡單及可靠的方法就是在規劃場址架設固定高度的風速及風向觀測塔進行長期觀測，一般須至少蒐集一年以上風速等氣象資訊，以使用於估算風場發電能力，因為每年之風力亦會變化，若要求嚴謹，甚至進行數年觀測，以獲取最正確資訊，確保最大之投資效益。

## 2. 風力機組場址評估及佈置規劃

完成風速、風向調查與評估後，必須進一步作風力機組場址評估及佈置規劃，風力發電機塔架機礎座占地不大，風力機組廠址選定，主要是在考量發電量、當地環境限制兩大因素。

在考量發電量部份，地形、地貌及現存建築物、障礙物與風機與風機之相對位置與距離會對風速影響並產生擾流，將直接影響風機發電量，風機也會因擾流產生振動而降低壽命，若建築物、障礙物之高度為 $H$ ，往後 $20$ 倍 $H$ 之範圍內，都屬於高擾流區，應儘量將風機設立於此區域內。



資料來源：「風力機」，經濟部能源委員會

圖 5-5 風受遮擋擾流影響範圍

朱佳仁與江培宏在「紊流風場對風車尾流和發電量的影響」中研究結果顯示：當風車架設於風車於另一台風車尾流中，當位置是在側向距離大於 $0.879D$ （ $D$ 為風車直徑），下游距離大於 $6.0D$ 時，下方風車發電量幾乎不受前台風車尾流影響。但當側向距離小於 $0.60D$ ，在下游距離 $12D$ 範圍內，下方風車發電量仍受前台風車尾流之影響。

一般實務上的規劃原則，風機設置位置若與盛行風方向垂直，風機間距離約為 $2.5$ 至 $3$ 倍葉片直徑，若平行於經常之盛行風風向，則風機間距離約為 $5$ 倍葉片直徑配置設計，以免風機之間因相對距離不足而影響風機發電量。

在考量當地環境限制部份，必須注意風力機所產生噪音、陰影閃爍對附近居民的影響，民眾常以此作為抗爭訴求而影響商轉期程，一般建議至少距離

民宅300公尺；另外飛航、雷達、軍事管制禁限建規定往往對於風力機組高度有所限制，地方政府特殊要求、拼接電網距離、設備運輸道路等基礎設施條件和可利用情況，則會影響期初開發成本、工期及投資效益。

### 3. 環境影響評估

風力發電在營運發電期間雖然是不產生廢棄物、廢水以及造成空氣污染的綠色能源，但在施工階段及營運階段仍有廢棄物、廢水產生以及空氣品質、交通衝擊、噪音、日照陰影、景觀、鳥類生態等問題，所以在英國、丹麥以及澳大利亞等國家，強制要求在規劃階段即應針對可能引起之環境影響予以預估與評估，並研擬降低或避免影響環境對策。

在國內，依「電業登記規則」第二章第3條規定，籌備創設新增發電機組時，應備環境影響評估核准文件向中央主管機關申請登記備案；另依「開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準」第二十九條規定，位於台灣沿海自然環境保護計畫核定公告之一般保護區，設置五座機組以上，或同一保護區內，申請設置之機組數目與已取得目的事業主管機關許可之機組數目合計達二十座以上、或位於保安林地、或任一風機基座中心與最近建築物邊界之直線距離二百五十公尺以下應實施環境影響評估。

根據具體工程內容與所在環境位置的不同，環境評估通常包括如下幾個方面，以確定開發行為是否可能引起之環境影響：

- a. 物理及化學環境：包括地形及地質、水文及水質、空氣品質、噪音振動、炫光與日照陰影、廢棄物、通訊及視訊干擾。
- b. 生態環境：包括陸域動植物、海域動植物、鳥類。
- c. 景觀及遊憩環境影響。
- d. 社會經濟：包括土地使用、社會經濟、交通等。
- e. 文化資源：包括古蹟、歷史建築物、遺址、習俗與宗教。
- f. 工業安全：包括施工期間與運轉期間安全。

g. 環境敏感區位及特定目的區位限制。

環境影響評估常因無具體審查標準，審查委員個人主觀及立場強烈或審查結果前後不一致，造成籌設進度受阻。

#### 4. 土地取得

台灣風力資源佳適合設置風力發電之西海岸地區，多屬國土保安用地、林業用地等國有地，台電公司為公用事業能透過森林法第8條之規定可向林務局或國有財產局直接租用，93年內政部配合國家發展重點計畫推動再生能源發展，將農牧用地、林業用地及國土保安用地增列「再生能源相關設施」容許使用項目，並限於風力發電設施點狀使用，其使用面積不得超過660平方公尺，協助民營企業順利取得土地設置風力機發電，另外「再生能源發展條例」98年6月在立法院三讀通過後，明訂發電設備及供電線路所需土地之權利取得、使用程序及處置，準用電業法相關規定；另再生能源建廠所需土地，將可以公用事業資格，適用都市計畫法、森林法及漁業法等；依目前法令土地取得已無問題，反而是經這幾年推廣與建設，風力資源佳、適合設置且興建阻礙小之區域已趨飽和，後續應是投入風力資源次佳區域及朝向開發離岸式風力發電方向發展。

#### 5. 財務分析

健全財政計畫是確保專案順利執行的關鍵因素，尤其是民營企業以營利為目的，勢必在有利潤誘因下才願意投資興建，因此深入探討興建及營運所必須投入資金，應支付利息，以及精確估算發電期間的收入，當審慎評估財務槓桿風險後且淨現值為正值，才能付諸計畫執行；至於台電公司身為國營事業，具有執行政府政策與帶頭示範責任與義務，為加速推動再生源之利用，順利達成獎勵推廣目標，獲利與否，就不是最主要的考量了。

在現實面上，風力發電之發電成本相較於傳統發電方式仍然偏高，目前經濟部審定躉購費率及計算公式並未將對社會環境影響之外部成本納入考量計

算，同時該費率相較於中國大陸等國仍偏低，所以是否具誘因能吸引業者投入開發，尚待觀察。

#### 6. 系統衝擊影響初步檢討

為維持併聯至台電之電力系統後電力品質、供電可靠性及穩定性，須於可行性評估階段進行系統衝擊影響初步檢討，確保選用之風力機組容量、電氣特性於併接後系統故障電流、諧波、電壓變動率、穩定度等符合「再生能源發電系統併聯技術要點」規定之可接受範圍內，且其最大逆送至輸電系統之最大電力容量不超過併接於主變壓器額定容量之百分之三十，台電公司於澎湖西標案設置6座風力機組，就因為澎湖地區容量因素，為了要限制輸出總發電量，規範每座額定出力為850kW，而無法採用可輸出較大容量之機型。

### 5.3.2 設計階段

風速、風向調查、風力機組場址評估、法規調查、環境影響評估及風機位置佈置規劃等基本設計工作，在可行性評估階段理應已完成定案，在設計階段之工作是延續基本設計而進行之後續細部設計工作及申辦有關證照及相關單位施工許可。

完善的設計規劃，將可減少將來進行現場施工、設備安裝、試車運轉之問題發生，一般民營風力發電計畫，通常多將可行性評估階段工作及細部設計工作發包給顧問公司作完整規劃設計，而台電公司則是由顧問公司作前期評估與基本設計，將細部設計與後續施工以統包方式另案發包，一般風力發電工程設計工作，可以區分為土建設計及機電設計兩大部份，說明如下：

#### 1. 土建設計

風力發電之土建工程設計主要內容有塔架基礎、電氣室、管排、施工及搬運道路之土木、建築與結構等設計工作，基本上與一般工程之土建設計類似、困難度也不會較大，會影響計畫成敗之關鍵因素主要有以下幾點：

a. 風機場址大多位於海濱、防風林、河海堤等地，通常須特別針對是

否位於野生動物保護區或野生動物重要棲息環境、國家公園自然保護區、國防部與海岸巡防署相關安全考量及民航局許可等做法規方面的調查及進行環境保護、水土保持之評估，甚至若有影響河道水流，須進行相關水理分析。

- b. 風力機組高度動輒達70幾米高，甚至有越來越高傾向，當面臨強風或地震時，風機塔架基礎設計完善與否，就顯得格外重要；日本宮古島(Miyakojima Island)在2003年9月11日遭受強烈颱風梅米(Maemi)侵襲，依宮古島氣象局紀錄，梅米颱風的平均風速38.4公尺/秒，最大陣風達74.1公尺/秒，造成沖繩島電力公司(Okinawa Electric Power Company)六部風力發電機受到巨大的損害，其中一號風機連根拔起倒塌，三號及五號風機在下塔架靠近門的地方折斷，其餘風機則是機艙或葉片受損；經事後風洞試驗及模擬分析，現場當時最大風速估算達60公尺/秒(強烈颱風)，最大陣風達90公尺/秒，一號風機基礎受到最大彎曲力矩超過可忍受極限值，導致基礎被破壞而倒塌，三號及五號風機折斷突顯出塔架門是其結構最弱的地方；由日本宮古島案例可瞭解，風機基礎韌性(tenacity)偏低致使容易被強風破壞而倒塌，所以在土建設計部份，塔架基礎設計應是攸關整個風力機組安全最重要因素之一。
- c. 為了串聯各風機與電氣室，並將電力併入台電既有電力系統，所仰賴的就是電力電纜及光纖電纜，民營業者為節省成本，電力電纜多採直埋方式敷設，只有光纖電纜有配管；台電公司則以安全性及可靠度為首要考量因素，皆設計管排，不論何種方式，以目前台灣道路底下各式各樣管路隨意埋設情況，管排設計除參考各單位之竣工圖說，實際會勘或試挖，也是設計前必須重要步驟。
- d. 台電公司在建築物內裝材料、外觀造型、美觀及工程品質要求上較



民營風力嚴謹，例如台電公司為增加觀光產業及善盡社會責任，於各風機場址均增置景觀美化供展示及教育用，其成本計算當比民營風力發電成本為高。

## 2. 機電設計

機電設計主要內容為電力系統細部設計、系統衝擊影響檢討、設備配置設計、電纜管線設計與監控系統設計等，其中整合國內外機械、電氣是機電設計階段重點，會影響計畫成敗之關鍵因素主要有以下幾點：

- a. 風力發電所發的電因併入台電系統，所以一定要進行系統衝擊影響檢討，並評估風場風力發電機發電總容量併接於該地區台電輸配電系統是否有併聯引接線路超載問題，此部分涉及台電併接點之變電所電力設備容量是否足夠，台電也須據以考量是否須新建或擴建等問題，台電公司若未能及時配合完工，將造成風機所發的電卻送不出去的窘境。
- b. 目前風力發電機輸出端電壓均為低壓系統等級，如德國Enercon為輸出端為AC 400V、美國GE Wind Energy為AC 575V、丹麥Vestas為AC 690V，為減少線路傳輸之損失，都由風機塔架下方或機艙內部之變壓器升壓至高壓配電系統，並經電纜傳送至電氣室，再併入台電變電所，若系統需併接到特高壓系統時，則須再透過設置升壓變壓器做第二次升壓，在高壓電力電纜線路設計上，通常使用交連PE電纜連接傳輸電力，因為長度關係，中間須經過接續，由於埋設於道路下，易受外在因素影響產生損傷導致系統當機，因此是整個系統中存在風險最大部份，在設計上除需確認地下管路敷設埋管數量與避開與其他既設管路之衝突外，特別要儘量減少電纜線接續，接續處應規劃於人孔處，將風險降至最低。
- c. 台電公司於三期計畫之標案中起明確要求必須具備低電壓忍受能力

(Low Voltage Ride Through)，目前風機廠商幾乎都可提供此項功能，惟若風機具備低電壓忍受能力，需考量風場整體相關機電設備絕緣耐壓及設備絕緣協調問題，以避免設備絕緣協調設計不恰當時，損害風場機電設備。

### 3. 施工許可申請

- a. 電氣室建照申請，消防、電氣、給水等向主管機關申請及工程開工申請與一般建築一致，而塔架基礎依94年12月13日營建署召開之「研商風力發電機組設置申請雜項執照事宜會議」，設置於非都市土地之農牧、林業、養殖、鹽業、礦業、交通、水利、遊憩、國土保安等使用地、其風力發電機組基座設置如經提出專業技師設計簽證文件者，得免請領雜項執照。
- b. 管排開挖申請路證，因路徑長，往往一段路分屬好幾個不同單位管轄，從申請至核准常因各單位作業程序、或恰逢特定日子，而不被核准或延遲核准，漢翔公司承攬台電香山風力案就因為該公司申挖及許可作業緩慢，自申挖迄取得許可共耗時385天，導致逾期違約金達合約上限1.21億元，遭監察院以履約時程控管不當提案糾正。

### 4. 工程分包及設備採購

- a. 風力發電機費用佔總工程費用將近2/3，而目前我國風電場的建設皆引進國外的風力發電機組，一旦遇到匯率劇烈變動，往往造成業主無法順利發包出去，若是承包商投標階段與實際採購階段之間匯率變動過大，可能會產生鉅額損失，進而影響工程執行，選擇適當外匯避險工具，如何操作，是工程執行以外另一個值得注意重點；另外因供需不平衡，加上台灣市場規模遠遠不及大陸及印度等國，風機製造廠商往往以其他採購量較大國家為優先供應，且價格上也偏高，沒有議價空間，以漢翔公司承攬台電麥寮風力案為例，即因未

妥適處理風機報價屆期資訊，錯失最後報價期限，不但原規劃向西班牙 Gamesa 公司採購之風機報價由 1,846 萬歐元增至 1,982 萬餘歐元，且因機組供不應求，無法於要求期限內交貨，改向 Vestas 公司採購，最後採購成本由原預估之 18,460,000 餘歐元(約新台幣 7.25 億元) 增為 25,315,000 歐元(約新台幣 11.35 億元)致風機採購成本增加 4.1 億元。

- b. 風力發電工程工程承攬總額常高達數拾億元，除風機須自國外進口，其他設備包括塔架、高低壓開關、電力電纜等機械及電氣設備與土建、機電工程國內廠商皆有能力的生產或承製，以目前統包廠商而言，常為機械或電機製造廠，本身公司所生產設備，僅占整個工程金額一小部份，絕大部份工程或設備仍須再分包給其他協力廠商，因此在分包同時，一定要作好風險轉嫁；以漢翔公司承攬台電麥寮風力案為例，即因未能依承攬金額比例將應付之逾期罰款無法全數轉嫁給合作廠商，致遭監察院提案糾正。

### 5.3.3 施工階段

良好的設計、優良的器材設備仍有賴周延的施工，方可確保完工時的系統能正常的運轉，達到原先規劃設計功能；風力發電工程主要是把風力發電機所發出來的電，透過電力電纜傳送，經由電氣室內開關設備，併聯到台電電網上，若把整個工程作區分，可分成土建工程與機電工程，土建工程內容包括塔架基礎、地下管排、電氣室結構、裝修及景觀等，機電工程內容包括機電設備安裝、電力電纜敷設、風力機吊裝以及後續系統測試及試運轉等工作。

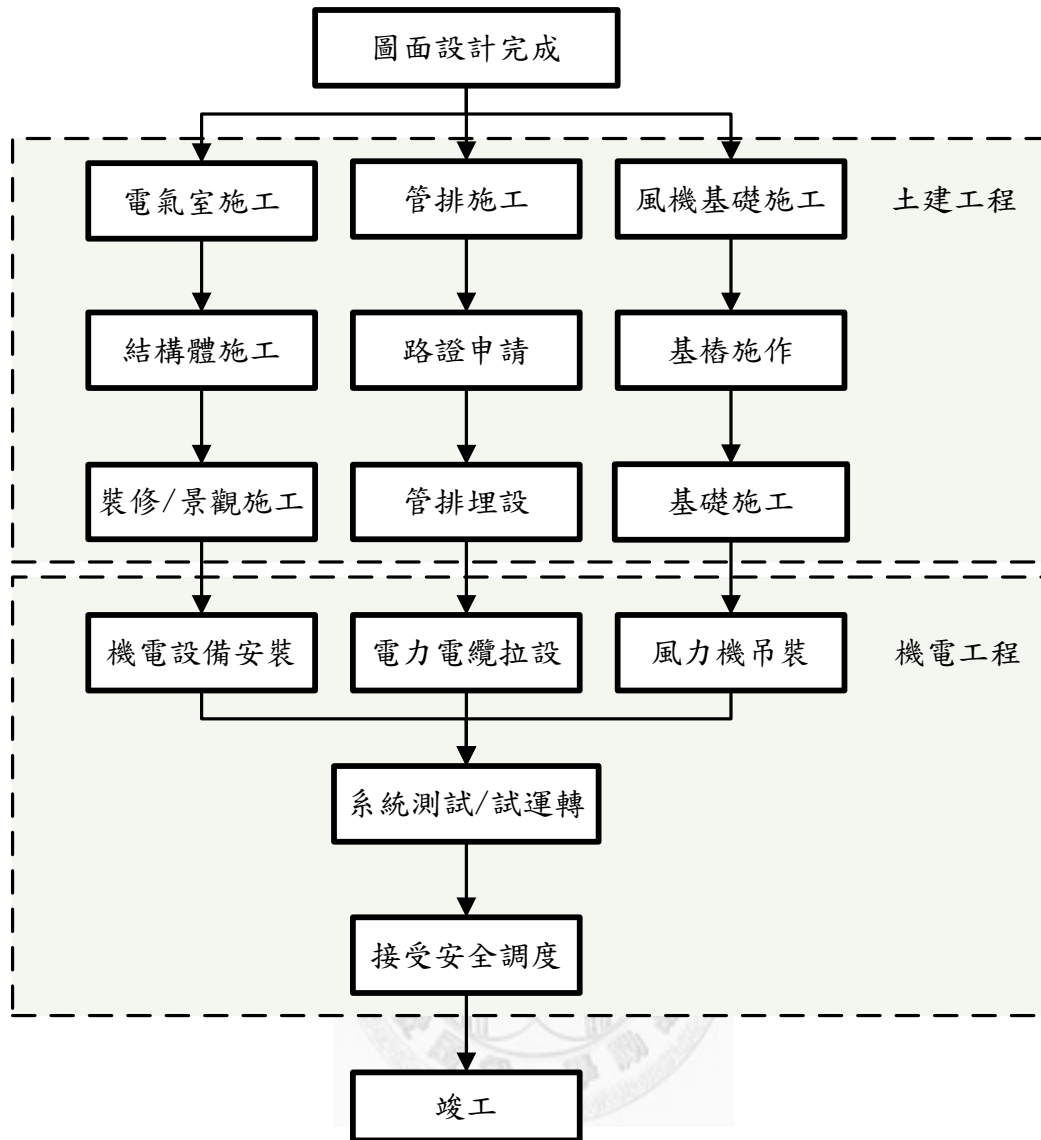


圖 5-6 工程施工程序

### 1. 土建工程施工

土建工程包括塔架基礎工程、地下管排工程及電氣室之結構、裝修及景觀工程等三大部份，在工法上或施工材料上並無特別困難及特殊性，惟一須注意是配合將來機電設備安裝，相關基礎完成面平整度、水平度以及預留開孔、預埋管路或螺栓等與設備之介面上，須在施工時特別留意，而在非工程面方面，反倒有許多無法預期待問題會影響工進且最為關鍵：

- a. 塔架基礎工程：風機會產生噪音、陰影等，而民眾常以此為由進行

抗爭妨礙工進。

- b. 地下管排工程：地下管排工程常於路證申請時因地方主管機關不核准或審查時間過長，或是開挖後發現既有地下物、管線之大小、位置與設計階段調查時不同，須重新設計改道或變更工法、或須先進行既設管路遷移等額外工作，使工程受到延宕；另施工時交通管制或道路封閉造成使用人不便引起民怨而衍生阻撓。
- c. 電氣室結構、裝修及景觀工程：一般民眾常把電氣室視為洪水猛獸，常以電磁場會影響健康、機電設備爆炸會對附近居民生命財產有危害進行阻撓。

## 2. 機電工程施工

機電工程品質是決定風力發電可靠率最重要因素，設備在工廠生產過程中，因為生產環境容易掌控，且在生產品質管控也較落實，所以通常會發生問題的階段，多是發生在現場安裝的時候，尤其是風機設置場所通常靠近海邊，設備暫存、安裝及運轉期間，防水、防塵、防潮及防鹽害都是影響可靠率主要課題；設備存放及運轉環境不佳、施工不當或不確實，將造成設備受損，影響設備壽命，尤其電力電纜埋設位於戶外道路下，在進行施工拉設及接續時，現場環境條件非常難以控制，更須特別注意。

## 3. 風力發電機組運輸吊裝組立

風力發電設備大型化提供了更大發電量，但也在運輸和安裝造成了非常不便，任何安裝上疏失，都有可能產生極大危險，以台電公司在台中港北防風林區設置的第2號風力發電機組為例，於2008年9月28日薔蜜颱風來襲時（最大陣風達46.1公尺/秒），因螺栓強度不足，從下塔架及中塔架連接部份斷裂。

大型風力發電塔架，一般以圓錐型管狀結構為主，直徑最大部份超過4米、重量超過40,000kg，每截長度通常大約拾幾至貳拾幾米之間，發電機尺寸雖小一些，但往往重達肆拾幾噸，這樣的尺寸、重量，在運輸中已經屬於超長、

超高、超寬和超重的規格，需要重型拖車和特別安全駕駛。相較而言，葉片重量就比較輕，但由於葉片長度的增加，仍需要超長運輸的許可，以Enercon E-70 風力機為例，運輸時主要設備重量與尺寸如表5-2，在運輸方式及路線規劃上須考量下列因素：

- a. 設備運輸時對交通所造成的衝擊最小：運輸一般於午夜零時至清晨六時進行，以避開白天交通流量之尖峰期，並事前先選定若干空曠地點供車隊於清晨六時以後停放，以不妨害交通為原則，同時兼顧用路人及工作人員安全。
- b. 運輸道路的寬度，曲線半徑，最大坡度，陸橋淨高等須可供運輸車輛通行
- c. 橋樑設計載重須大於運輸車輛容許的軸重及總重

表5-2 Enercon E-70 風力機主要設備重量與尺寸表

設備名稱	尺寸	重量
輪轂	6.35m(L)x4.95m(W)x3.8m(H)	27.8Tons
機艙下部	7.4m(L)x3.0m(W)x2.9m(H)	1.13Tons
機艙上部	7.4m(L)x4.95m(W)x4.03m(H)	18.3Tons
發電機	4.96m(L)x4.96m(W)x2.3m(H)	49.3Tons
葉片(2片裝)	34.56m(L)x2.44m(W)x3.78m(H)	14.9Tons
下塔架	15.09m(L)x4.2mx4.33m	55.1Tons
中塔架	21.34m(L)x3.56mx3.69m	52.7Tons
上塔架	25.73m(L)x2.79mx2.92m	42.5Tons
基礎塔架	Φ4.65mxΦ4.65mx2.0m(H)	12.5Tons

資料來源：Enercon公司

在風機吊裝組立方面，首重人員安全，因此除需考量吊車施工及設備現場組合面積外，特別需考慮因素為東北季風，吊裝時程應妥善規劃避開東北季風等氣候環境惡劣季節，以免導致發生工安意外，尤其各個細節都必須特別注意風機吊裝順序如下：

- ◆ 變壓器盤及風機高、低壓控制箱體吊定位。
- ◆ 各設備平台吊定位。
- ◆ 中壓開關盤及風機控制盤及電力盤吊定位。
- ◆ 下塔架吊定位。
- ◆ 中塔架吊定位。
- ◆ 上塔架吊定位。
- ◆ 機艙吊定位。
- ◆ 發電機吊定位。
- ◆ Hub及葉片吊起、翻轉、吊定位。
- ◆ 機鼻吊定位。

#### 4. 工業合作

為配合政府加速達成「促進產業升級，提升國際競爭力」之產業發展目標，台電公司於風力發電第二期計畫起，將工業合作納入發包規範內，希望扶植國內風力發電產業建立系統、維修及零組件供應之自主能力，並協助國內廠商進入國際廠商供應鏈體系，以拓展全球風力發電市場。

工合額度須為該採購案國外採購合約總價之33%，國外分包商應依國內採購、技術移轉、人員訓練、共同研發、國際行銷及貿易推廣協助及國內投資等方式選擇執行之，倘若承商未於規定履約期限內完成工合總承諾額度之沖銷，最高違約金懲罰總額為該採購案國外採購合約總價之3%。

實務上風力發電工程屬於國外採購合約部份僅有風力發電機，惟此部份金額占總工程費之70%，以目前每個標案採購風機數量而言，根本無法吸引風機製造廠商來台投資設立組裝廠，或是針對這少數風機特別向國內採購相關零組件，現階段只有塔架部份向國內中鋼機械等廠商採購，同時對業主將來接收人員進行一般性訓練，以四湖及林口案為例，決標金額NT\$32億，其承諾額度分別高達19,000,000美元（約NT\$6.08億），換算最高違約金約NT\$5527萬，

若僅僅只有塔架採購及人員訓練，以塔架約占整個風力發電機成本26%，實不足以達到規定承諾額度，可能違約金 $(1-26/33)*5527=NT\$1172$ 萬，造成廠商投標時勢必將此費用外加至成本上。

政府立意良善，台電公司全力貫徹政府政策，不過目前發包策略及風機市場由風機製造廠商主導大環境下，只有徒增承攬廠商之成本，卻完全對扶植國內風機產業無太大助益。

## 5. 試運轉

台電公司對於試運轉程序規定比一般民營工程嚴謹許多，在完成風力機組裝及相關配合線路敷設及機電設備安裝、機組及系統的單體及整體安全測試、功能測試以及卸載試驗等試驗後，風力機組因廠牌不同會進行該公司規定之連續運轉測試，一般民營業者在完成該項測試後即可依「電業登記規則」規定向經濟部申請辦理竣工查驗，經正常運轉累計達24小時，即通過查驗取得電業執照便可進入商轉開始賣電給台電；而台電公司除上述程序外，另外明確規定須進行96小時連續運轉測試，正常運轉後，才可進入所謂的「接受安全調度」，然後再經360小時正常運轉後，即完成試運轉工作並正式移交給接管單位接管；另一方面，在接受安全調度後，可同步辦理完成性能曲線測試試驗，在完成電業竣工查驗後，移交給接管單位及完成性能曲線測試，才算是試運轉完成，方可申報竣工。



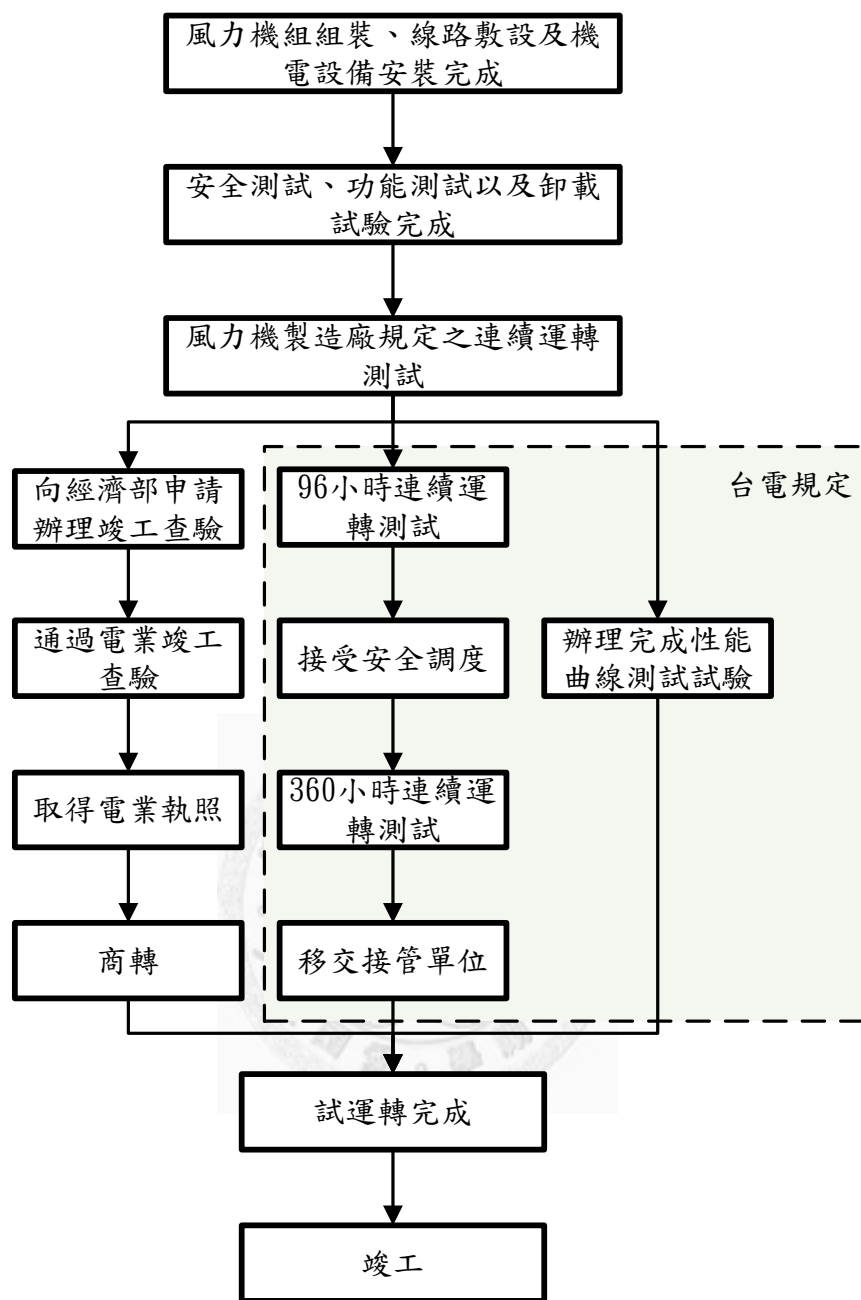


圖 5-7 試運轉程序

### 5.3.4 營運階段

#### 1. 機電設施維修(風力機、變電設備等)

現代風力機在設計上均以容易操作、維護、保養為原則，儘量減少例行維護頻率，在正常情況下，一般風力發電機組均可在遠端遙控操作，自動運轉，完全不需工作人員親赴現場，風速、發電量等各項資訊皆由scada系統透過光纖及網路傳遞回控制中心，只有設備故障或進行例行維護保養才須派員到現場。

風力發電之操作運轉維護項目及次數視廠牌機型而有不同之規定，每台風力機每年所需之例行性維護保養頻率大約4次，運轉維護項目通常可區分為電氣維護、機械維護，維護項目內容如下：

##### a. 電氣維護：

- 目視檢查：各電氣設備外觀、內部接點是否腐蝕，龜裂、變形，損傷，開關配件是否齊全等。
- 清潔：電氣設備通風網等。
- 量測：接地電阻、工作電壓等。
- 操作測試：各控制迴路功能等。
- 軟體更新。

##### b. 機械維護：

- 目視檢查：檢查各機械設備外觀是否腐蝕，龜裂、變形、損傷，零組件有無缺損、絞鏈有否鬆動、煞車片是否需更換等。
- 手動檢查：螺栓、螺絲是否緊固等。
- 清潔：機艙內外、定子繞組等。
- 潤滑：轉向機構等動件添加潤滑油等。

#### 2. 一般設施維修：建築物、道路、綠化等。

#### 3. 環保工作：安全措施、環境監測等。

## 5.4 關鍵影響因素

經過前面章節對於國內風力發電發展、未來的成長性及成本效益分析與執行程序與問題探討後，初步可歸納出風電工程執行過程中各階段對於工期、成本、品質、發電收益等之關鍵影響因素，說明如下：

### 5.4.1 所有階段

政府大力推動風力發電等再生能源政策與方向無庸置疑，法令上也積極配合制訂與修改，可是各層級公務員處事心態及應配合事項效率，以及執行面能否落實，一直是業者所反應問題，也影響業者持續投資開發意願；另外承包專案團隊經驗、實績，亦是左右工進關鍵因素。

### 5.4.2 可行性評估階段

本階段最重要目的評估計畫盈虧及可行性，有適當及合理利潤才会有業者願意投資，因此影響成本與收益的因素就是本階段非常關鍵考量議題，包括躉購電價費率、回收年限、折現率、年發電量、設置成本（期初成本、操作維護費用）、開發區域之風能條件、土地取得困難度、資金籌措及融資利率等影響資金成本與發電收入項目；另外在進行環境影響評估或開始辦理籌設許可申請時，若須投入比原先評估更多額外費用或是有無法於短期間內克服困難，業者也可能暫停或放棄投資開發。

### 5.4.3 設計階段

風力發電工程設計是一項整合機械、電機、土木、結構與建築等領域之複雜設計工作，除驗證可行性評估階段基本規劃正確性，本階段重點是選定機組廠商（一般民營業者在可行性評估階段即已選定），迅速完成詳細設計圖說，並於設定預算內完成發包採購；圖說設計完善與完整性深深影響後續施工階段順利及耗費成本，在國內擁有此方面經驗廠商並不多，因此設計團隊整合能力及國外設備廠商支援就益顯重要及關鍵。

#### 5.4.4 施工階段

本階段重點是如期、如質及在預算內完成計畫；會影響工期項目在工程方面的有施工技術與品質、線路併聯等，非工程方面的包括路證及施工許可申請延宕、民眾抗爭阻撓、臨時施工用地租用困難或延宕、既設地下管線衝突造成變更或遷移延宕、運輸道路寬度或載重強度不足、已施作完成設備、電纜線遭竊等，而直接衝擊成本物價波動及匯率變動，對於風力發電機費用佔總工程費用將近2/3，一旦遇到承包商投標階段與實際採購階段之間物價與匯率變動過大，可能會產生鉅額損失動輒高達數億，造成承包廠商財務困難，也會影響工程順利執行。

#### 5.4.5 營運階段

營運階段工作重點，在於維持設備正常運作，提高設備妥善率及可靠率與發電量，以達到最大發電收益，而品質穩定可靠、故障率低廠牌，應該是首要選擇，另外維修人員技術良莠、備品、零組件庫存與供應速度，關係著設備故障時修復時間，也是影響可靠度關鍵因素。

表5-3 影響因素之初步清單

階段	關鍵因素
所有階段	政府決心、政策、法令
	公部門應配合事項效率
	業主（台電、民營業者）
	承包專案團隊經驗、實績
可行性評估階段	發電收益（躉購費率、回收年限、折現率、年發電量）
	設置成本（期初成本、操作維護費用）
	資金籌措（融資利率）
	土地取得（風能條件）
	環境影響評估
	籌設許可申請
設計階段	業主規範
	業主審查程序
	國外設備廠商支援
	承包團隊整合能力
施工階段	施工許可申請（雜建照、道路開挖許可）
	民眾抗爭
	東北季風
	路證申請
	臨時施工用地租用
	運輸道路
	施工技術、品質
	既設地下管線
	線路併聯
	竊盜
	工業合作
	物價波動
	匯率變動
	竣工查驗
營運階段	風力發電機組廠牌
	維修人員技術及培養
	備品、零組件供應
	氣候、鹽害
	保全、竊盜

## 5.5 專家訪談

為進一步深入問題核心，本研究透過直接且深度的訪問熟稔風電工程之不同領域專家，徵求各專家們對於台灣風力發電工程的發展性、未來的成長性以及風電工程執行過程中可能遭遇困難與問題等之看法與意見，經由專家們客觀分析，以及不同領域的專家所提供之不同面向的意見與資訊，以驗證與歸納出各項探討議題之結論及執行過程中之關鍵影響因素。

### 5.5.1 訪談名單

本研究選定業主單位、顧問公司、專業技師及承包廠商等領域相關專業人士進行訪談，從各角度去審視問題關鍵點，以避免發生偏頗之情事，訪談之專家名單如下表：

表5-4 專家訪談名單

類別	姓名	職務、經歷
風場開發業者	陳一成	台電公司新能源施工處處長(新能源施工處為台電負責執行風力發電工程單位)
	周俊治	台電公司新能源施工處第一檢驗隊經理(台電工作年資35年，其中與風力發電工程有關部份5年)
	劉全榜	台電公司新能源施工處工管組課長
	A君	台電公司(台電工作年資8年，其中與風力發電工程有關部份5年)
	葉文村	英華威有限公司副總監(工作年資15年，其中與風力發電工程有關部份6年)
	林世豪	亞東工業氣體股份有限公司協理 (曾任英華威有限公司技術總監5年，工作年資21年)
風場規劃、設計顧問	盧顯卿	怡興工程顧問(股)公司董事長(目前為中國土木水利學會能源委員會委員、台灣風能協會理事)
	劉敏雄	怡興工程顧問(股)公司顧問(曾任台電公司輸工處副處長、長億集團及長生電廠副總經理、樂士電機股份有限公司副總經理等職務，工作年資超過40年，其中與風力發電工程有關部份5年)
	何慶坤	何慶坤電機技師事務所負責人
	呂威賢	工業技術研究院能源與環境研究所經理(工作年資超過

		17年，其中於工研院進行與風力發電有關研究超過10年)
施工之承攬業者	王琴生	中興電工(股)公司顧問(目前為台灣風能協會理事，曾任華興科技(股)公司副總經理、中正理工學院副院長等職，工作年資41年)
	趙守庸	中興電工(股)公司處長 (工作年資32年，其中與風力發電工程有關超過8年)
	曾輝雄	中興電工(股)公司工地負責人 (工作年資20年，其中與風力發電工程有關部份6年)
	游明泰	山豐營造(股)公司主任技師 (工作年資15年，其中與風力發電工程有關超過3年)

## 5.5.2 訪談內容

### 1. 國內風力發電未來發展性

在所有訪談之專家，一致認為台灣西部沿岸及澎湖的風能條件非常的好，就算與風力發電發展最成熟的歐洲相比較，也毫不遜色，尤其澎湖地區風能條件更好，是全世界三大最佳風場之一，非常適合風力發電發展，但是林世豪先生特別指出，風力發電因受風的影響無法穩定供電，所以一般風力發電只能占整個電力系統容量之20%~25%，否則會拖垮整個供電系統，所以除非連接台灣及澎湖之海底電纜建設完成，否則澎湖地區可再新設機組數量還是有限。

經過這幾年台電公司及民營業者積極開發，民營業者、顧問業者及施工廠商等專家普遍認為台灣陸上的風力發電應該是進入尾聲，主要是風能條件佳、土地取得容易、施工上比較沒阻力的區域大部份已設置完成或已進行規劃中，剩下可供開發場址已不多，且依98/12/19能源局公告之躉購費率每度2.3834元，對於內陸風力條件較差之區域應沒有足夠吸引力讓廠商前去設立，葉文村先生指出合理上應將躉購費率依不同區域、條件設定不同費率，內陸地區風能條件次佳區域，躉購費率應高於沿岸地區，如此廠商在有利可圖情況下，才會願意投資開發。

怡興工程顧問盧顯卿董事長具體點出在良好場址不易取得下，陸上型風力發電未來應發展的兩大方向，一是私人利用私有閒置土地（例如利用漁塭旁之土地）設置之一、二台風機之小規模風力發電廠，不過現有之環評等法規須配合修改，另外市場上也要有專門負責維修專業廠商；另外小型風機也是另一個發展趨勢。

台電公司專家則認為陸上型風力發電雖然慢慢飽和，仍有40~50萬瓩容量可供再設置，台電公司會配合政府政策，為達成設定目標，一定會持續且積極推動再生能源發電工程。

在離岸式風力發電方面，民營業者、顧問業者及施工廠商看法一致，認為國外雖然已有離岸式風力工程經驗，可是台灣附近海域深度較深，海潮也比國外險惡，加上涉及漁業權、民眾抗爭、沿海養殖等問題，台灣要發展離岸式風力發電困難很多，並不被看好。林世豪先生直言台灣的海域深度比歐洲深很多，風險非常高，而報酬卻相對低很多，沒有足夠誘因是無法吸引業者冒險投入開發，他認為台電雖然已委託中興顧問在彰濱沿岸進行評估，不過相信應不會輕易進行投資設置；葉文村先生更指出以政府躉購費率約3元多，完全不符成本，沒有誘因，合理躉購費率至少需5至6元以上。

可是台電公司專家表示離岸式風力發電是未來發展趨勢，劉全榜課長指出建設技術因為國外已有經驗，屆時只要引進國外技術，應可克服，陳一成處長更是肯定表示台電公司勢在必行，一定要做。

另外陳一成處長指出最近澎湖縣政府規劃與民間合作開發經營風力發電，是一個不錯構想，不過輸配電線路興建等配合工程，仍是值得探討問題。

綜合上述說明，無論在陸上型風力發電或離岸式風力發電，民營業者、顧問業者及施工廠商觀點相同，都持比較負面看法，與台電公司專家看法差異極大。

## 2. 風電工程成本及設備製造產業發展



風力發電工程最主要設備國內幾乎沒有生產，所以在造價上偏高；台電劉全榜課長指出台灣因基礎重工業不如日本、韓國，整個工業環境，市場經濟規模不大，都不利風力產業發展。

民營業者、顧問業者及施工廠商認為台灣因市場規模小，政府沒刻意扶植，幾乎可說是沒有風力設備相關產業，國外廠商也因無利可圖多不願將技術轉移，國內技術沒有生根；何慶坤技師指出：「台灣風機市場規模小，加上台電公司受採購法限制不可能指定廠牌，因此風機廠商都不太重要台灣市場，早期天隆造紙廠設立那二台風機時，因大陸尚未積極投入興建風力發電，感覺的出來風機廠商仍相當重視台灣，現場大陸已大量開發，各廠商已對台灣市場無太大興趣，所以根本沒有技轉之意願」；劉敏雄指出：「國內設備廠商無法與國外大廠競爭，要行銷國際很困難」。

台電公司陳一成處長指出台電公司標案透過工業合作規定，使原廠在某些非風機關鍵技術方面對本國技術人員進行指導與訓練，仍有助國內產業提昇，另外自彰化王功案起規範承包商承攬工程範圍包括三年操作維護，主要目的是確定風機設置完成後可以適應良好，台電同仁也可藉由這個機會，進行訓練與學習原廠技術。不過劉全榜課長與王琴生顧問都指出，在台灣簽署世界貿易組織（WTO）政府採購協定（Government Procurement Agreement, GPA）後，新推出標案已不能再有工合限制。

怡興工程顧問盧顯卿董事長提出一個全新概念，認為應密切結合兩岸優勢，例如結合台灣風力發電零組件產業鏈及風場開發商與大陸風力發電系統商及大型電力公司合資開發台灣近岸風力發電場，並藉此研發並委託生產新一代離岸風機，進軍國際市場。

### 3. 政策、法令之配合

再生能源發展條例已於今年6月三讀通過，可是民營業者認為政府決心仍顯不足，葉文村先生以經濟部能源局2009/12/11依據「再生能源發展條例」第

四條第三項，預告訂定「再生能源發電設備認定辦法」，其中有關風力發電設備總裝置容量為一瓩以上且屬定置型者，於設置前得向中央主管機關申請認定為再生能源發電設備為例說明，相關子法修正反而增加籌設申請程序，造成申請程序更加繁瑣，令人懷疑政府推動決心。

怡興工程顧問劉敏雄先生認為對於陸上式風力工程而言，目前台灣法令已相當完備；而離岸式則涉及航線、軍事安全、漁業權等，尚有許多問題待克服，法令上不夠完備。

何慶坤電機技師針對一般業者常報怨台電併聯條件規定太嚴格作說明，指出實務上台電公司為了整個供電系統穩定，有關併聯條件規定其實還算合理，在實務面之計算上，通常很容易達到台電要求。

#### 4. 工程發包及施工之考量

葉文村先生指出，民營案與台電公司在工程發包及施工之考量，主要是心態上差異，台電公司多是配合政府政策，而民營業者以營利為目的，所以成本、利息壓力很大，在工期上會儘量縮短，另外可靠率也是非常重要考量，所以英華威風電工程完工後會委託原廠進行12年(可俟需要增加3年)操作運轉維護，另英華威目前設置風機全部採用Enercon廠牌，主要原因該公司計畫係由德國政府擔任出口信貸，須採用德國機組、加上Enercon機組可靠率較高、且目前有能力承接12年操作運轉維護只有Enercon公司等都是原因；台電劉全榜課長則坦言，台電公司受限於採購法規定，發包時並不能指定廠牌，否則有圖利之嫌，在興建成本及效率上確實不如民營業者。

#### 5. 各階段之主要關鍵影響因素

關於各階段之主要關鍵影響因素，因專家身份立場不同，多少會有主觀上認知與看法之差異，尤其是台電專家與民營業者專家因為關切重點不同，看法上差異頗大，由訪談中可歸納瞭解台電專家比較在意的是計畫成敗以及是否能如期完成，而民營業者專家則是較關切計畫收益；另外普遍上受訪專家

都認為可行性評估階段是影響風電工程成敗或盈虧之最重要階段。

a. 所有階段

業者普遍肯定政府積極推動風力發電等再生能源政策，也認為目前有關陸上型法令已相當完備，這對於投資評估時有正面幫助，可是各層級公務員處事心態保守及在應配合工作與審查業者提送資料作業上效率不佳，也影響業者持續投資開發意願。

b. 可行性評估階段

在可行性評估階段中土地取得是受訪專家一致認為最為關鍵因素，所謂土地取得是指風能條件佳，運輸及維護進出道路沒有阻礙，民眾沒有不理性抗爭，地主同意出租或出售，專家們也一致認為在過去幾年台電公司及英華威公司積極投資興建，條件最好的區域多已規劃設置，而對未來陸域發展性有疑慮。

發電收益（包括躉購費率、回收年限、折現率、年發電量）與設置成本（包括期初成本、操作維護費用）是另外二項可行性評估階段非常關鍵因素，除了台電公司專家外，民營風場開發業者、顧問業者及施工廠商都認為這是影響業者投資獲利與投資回收年限主要關鍵，是評估是否投資興建風力發電廠主要關鍵因素，葉文村先生指出：「民營案與台電公司工程比較，主要是心態上差異，台電公司多是配合政府政策，而民營機構以營利為主」，這也是台電公司有部分專家忽略此項目原因；而台電公司專家在意的是能否依提報上級主管機關核定期限完成計畫，所以認為籌設許可申請順利與否是關鍵因素。

在環境影響評估方面，葉文村先生指出至少要花1年時間，非常耗時；顧問業者及少部份台電公司專家也認同此看法，認為環境影響評估時間是比較難以預料的。

c. 設計階段

台電公司陳一成處長指出在風電工程設計方面，應該不會有太大問題；中興電工王琴生先生則坦言台灣沒有目前風機設計能力，至於風機基礎，結構技師多依照原廠提供圖說資料，修改適合台灣法令及業主規範需求即可，問題也不大，至於輸電線路及電氣室等設計，也不會有太多困難；在此階段，受訪專家普遍認為國外設備廠商支援是比較重要，也會在將來完工後併聯送電比較順利沒有問題，認為此項是關鍵因素。

風電工程包括機械、土木、結構、建築及電力等各領域，台電公司周俊治經理特別指出承包團隊整合能力是此階段順利、儘速完成重要因素，也是減少施工期間問題點關鍵因素，劉全榜課長、何慶坤技師、游明泰技師也認同此看法。

#### d. 施工階段

與其他階段相比，受訪專家們普遍都認為以目前台灣施工技術與能力，陸上型風電工程台灣現有技術已非常成熟，應該不會有困難，並不構成影響風電工程執行之關鍵因素，而離岸式風力工程因台灣附近海域深度較深，海潮也比國外險惡，勢必要依賴國外專業施工、維修團隊。

有部份民營風場開發業者、顧問業者及施工廠商等專家另外指出此階段仍有一些非工程技術層面因素常會造成工程進度延誤，主要包括有施工許可申請、民眾抗爭、運輸道路、竣工查驗及線路併聯等項目，不過專家們認為這些因素與其他階段因素比較，尚稱不上是關鍵因素；劉敏雄先生舉東鋼風力為例，東鋼風力雖已完成風機安裝及線路之敷設，因台電作法缺乏彈性及線路工程延誤，無法拼接至台電系統，造成無法發電、售電予台電公司，而導致發電時程延誤；林世豪先生指出台電公司對於分散型發電不了解，併聯辦法不友善，對風力發電發展是一個阻礙；另外有關匯率波動對於成本影響問題，專家們指出一般業者會透過外匯期貨操作來避險，將影響降至最低。

e. 營運階段

營運階段是確保機組是否正常運轉，可靠率、發電量是否達到當初可行性評估階段預估值，是僅次於可行性評估階段影響之重要階段；而風力發電機組廠牌、維修人員技術及培養、備品、零組件供應速度其中主要關鍵因素。

在目前國內已裝設風機中，台電公司專家一致認為Enercon機組是目前台電所有使用中穩定性最高、故障率最低廠牌；而英華威公司因為由德國政府擔任出口信貸，須採用德國機組、加上認為Enercon機組可靠率較高，以及民營公司不受採購法限制，所以所有設置機組全部採用Enercon廠牌；林世豪先生、葉文村先生指出英華威公司設置風力發電廠完工後委託Enercon原廠進行12年操作運轉維護，以保證運轉時可靠率，不但無須庫存任何備品，且由原廠技師進行維護，加上若沒達到規定可靠率，對原廠有罰款條款，因此營運以來，機組始終維持良好運轉狀態；而台電公司每個標案因不同廠商得標，所以裝設風機中各種廠牌都有，備品準備非常困難，加上台電自行操作，負責運轉維護，在故障排除與修復速度都不如原廠技師，這也是為什麼英華威公司機組比台電機組運轉妥善率較佳的原因。

f. 依據以上說明，彙整專家們意見與看法後，可以瞭解台電專家與其他領域專家因立場、角色差異，所認定之影響風電工程執行之關鍵因素也不完全一致，整理如下表所示：

表5-5 影響風電工程執行之關鍵因素

階段	關鍵因素	台電專家	其他領域專家
所有階段	政府決心、政策、法令	v	v
	公部門應配合事項效率	v	v
	承包專案團隊經驗、實績	v	
可行性評估階段	發電收益(躉購費率、回收年限、折現率、年發電量)		v
	設置成本(期初成本、操作維護費用)		v
	資金籌措(融資利率)		v
	土地取得(風能條件)	v	v
	環境影響評估		v
	籌設許可申請	v	
設計階段	國外設備廠商支援	v	v
	承包團隊整合能力	v	
營運階段	風力發電機組廠牌	v	v
	維修人員技術及培養	v	v
	備品、零組件供應	v	v

註：打v表示該領域專家認為是關鍵因素

至於施工階段之「施工許可申請」、「民眾抗爭」、「運輸道路」、「竣工查驗」及「線路併聯」等項目，雖然有部份其他領域專家們指出這些非工程技術層面因素常會影響工程執行，不過這些施工階段項目尚不足以成為關鍵因素。

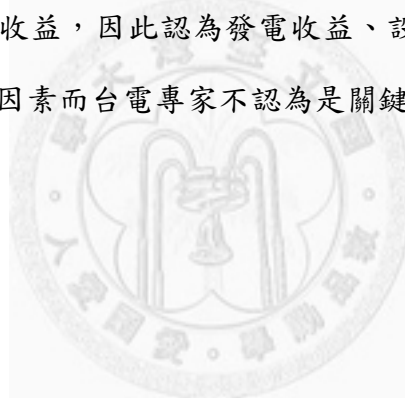
## 5.6 小結

經由前面各章節對風電工程發展及執程序說明及影響因素之探討，以及透過各訪談專家們對於台灣風力發電工程的發展性、未來的成長性以及風電工程執行過程中可能遭遇困難等問題陳述，本研究進一步歸納整理如下：

1. 所有受訪專家一致認為台灣西部沿岸及澎湖地區擁有非常好的風能條件，且與陸上型風力發電相關法令已相當完備；台電公司配合政府推動再生能源政策，非常積極推動風力發電及太陽光電等再生能源發電工程；民營業者、顧問業者及施工廠商認為風能條件佳、土地取得容易、施工上比較沒阻力的區域大部份已逐漸飽和。
2. 離岸式風力發電未來發展，台電已在彰濱沿岸進行評估，且肯定表示勢在必行，一定會做；至於民營業者、顧問業者及施工廠商多認為台灣海域深度較深，海潮險惡，加上涉及漁業權、民眾抗爭、沿海養殖等問題，台灣要發展離岸式風力發電困難仍很多，除非誘因提高、相關法令更加完備，否則現階段民營業者應不會輕易進行投資。
3. 台電公司希望透過工業合作規定，幫助國內產業提昇，不過在台灣簽署政府採購協定後，新的發包案已不能再有工合條款限制；民營業者、顧問業者及施工廠商多認為現有國內市場小，國外廠商不願技術轉移，要發展相關產業有一定困難。
4. 台電專家認為是影響風電工程執行之工期、成本、品質、發電收益等主要關鍵因素有：所有階段之「政府決心、政策及法令」、「公部門應配合事項效率」、「承包專案團隊經驗、實績」，可行性評估階段之「風能條件佳之土地取得」、「籌設許可申請」，設計階段之「國外設備廠商支援」、「承包團隊整合能力」，營運階段之「風力發電機組廠牌」、「維修人員技術及培養」、「備品、零組件供應」等十項；其他領域專家認為是影響風電工程執行之主要關鍵因素有：所有階段之「政府決心、政策及法令」、「公

部門應配合事項效率」，可行性評估階段之「發電收益」、「設置成本」、「資金籌措」、「風能條件佳之土地取得」、「環境影響評估」，設計階段之「國外設備廠商支援」，營運階段之「風力發電機組廠牌」、「維修人員技術及培養」、「備品、零組件供應」等十一項；至於施工階段，多數專家認為施工技術目前國內已無任何困難，另外其他施工階段中非工程技術層面因素雖會影響工程執行，唯不構成是主要關鍵影響因素。

5. 由前述分析得知，台電專家與民營開發業者、顧問及施工廠商專家確實因立場、角色不同，對於關鍵影響因素認定而有差異，主要是台電專家比較在意的是計畫成敗以及是否能如期完成，所以在意承包專案團隊經驗、整合能力而其他領域專家不認為是關鍵影響因素；而民營業者專家則是較關切計畫收益，因此認為發電收益、設置成本與資金籌措等與錢有關項目是關鍵因素而台電專家不認為是關鍵影響因素。





## 第六章 結論與建議

### 6.1 結論

1. 台灣西部沿岸、澎湖及離岸等地區擁有非常好的風能條件，極具開發風力發電價值，至民國100年已設置商轉風機數量將可達到276部，裝置容量達543.26MW，陸域及離岸風力估計尚有2400MW以上發電潛能，雖然台灣最大的民營風力發電商德國英華威公司表示對於經濟部能源局公告躉購價格失望並將撤出台灣市場，可是在台電公司配合政府政策，擔負推動再生能源責任情況下，無論是在陸上式或離岸式風力發電，台電公司一定會積極且持續推動與開發，憑藉著優異風能條件與政府推動決心，就算是民營業者暫緩投資腳步，可樂觀預期台灣未來在風力發電及其相關產業發展前景，仍舊有極大成長性。
2. 目前國內在規範陸上式風力發電之設置申請、施工許可、竣工查驗及電能收購作業規定、系統併聯之申辦程序與規則要求等相關法令已相當完備，尤其是在98年6月12日立法院三讀通過之「再生能源發展條例」中，已明確訂定保證收購價格、提出獎勵示範及法令之鬆綁條文等，大大降低風電業者投資風險與執行過程之障礙，提高開發風力發電誘因，唯一影響投資意願的是經濟部能源局於99年12月18日公告審定之躉購費率2.3834元/度，經分析探討結果，此費率對於風能條件較差區域之風電場址，恐怕沒有太大利潤，尤其是相較於鄰近國家之收購費率，此費率屬於偏低，對於以利益為首要考量之民營業者，將會產生出走效應。
3. 經本研究探討、分析與歸納，台電公司專家在乎的是能如期否達成政府訂定目標，計畫成敗以及是否能如期完成，因此認為風電工程執行過程中之關鍵因素主要為影響整個計畫進度與期程及之「政府決心、政策及法令」、「公部門應配合事項效率」、「承包專案團隊經驗、實績」、「風能條件佳之土地取得」、「籌設許可申請」、「國外設備廠商支援」、「承包團

隊整合能力」、「風力發電機組廠牌」、「維修人員技術及培養」、「備品、零組件供應」等十項；至於民營業者以營利為目的，因此其他領域專家在意計畫收益，認為風電工程執行過程中之關鍵因素主要為攸關發電收益之「政府決心、政策及法令」、「公部門應配合事項效率」、「發電收益」、「設置成本」、「資金籌措」、「風能條件佳之土地取得」、「環境影響評估」、「國外設備廠商支援」、「風力發電機組廠牌」、「維修人員技術及培養」、「備品、零組件供應」等十一項；至於施工階段之「施工許可申請」、「民眾抗爭」、「運輸道路」、「竣工查驗」及「線路併聯」等項目，雖然有部份其他領域專家們指出這些非工程技術層面因素確實常會影響工程執行，一般人也常主觀認定應屬關鍵因素，不過多數專家認定這些施工階段項目尚不足以成為關鍵因素之要件。



## 6.2 建議

1. 台灣風力資源豐富，但經過一定程度開發後，風能條件佳、受到限制及阻礙少之風力發電陸域場址一定會越來越少，未來必定朝向離岸式風力發電或小型風力機之應用發展，建議後續可朝此二方面之設備技術、風場評估、施工可行性、操作維護等相關方面之議題進一步研究。
2. 風力發電環境成本涉及層面廣且深，通常是以假設情境推估出一個參考數值，無法很精準的予以量化及驗證其正確性，所以經濟部能源局在計算及訂定躉購費率並未將之考慮在內，不過可以確定的是風力發電環境成本遠低於其他型式發電環境成本，所以建議後續研究可深入探討此議題。
3. 台電公司受限於採購法無法在發包時指定特定廠牌，加上每個標案機組數量不多，造成風機成本偏高，國外風機廠商沒有意願來台設廠生產或進行技轉，國內產業發展因而延滯，建議後續可朝發包模式與框架或內容規範進一步研究，作為提供台電公司在後續標案發包參考，以突破目前窘境。

## 參考文獻

1. 甘黛玲，「風力機選址設置評估及經濟性分析之研究」，碩士論文，中華技術學院土木防災工程研究所，2008年
2. 朱佳仁、江培宏，「紊流風場對風車尾流和發電量的影響」，台灣風能學術研討會論文集，2008年
3. 江懷德、陳美蘭，「達成我國 2010 年風力發電目標之推動方案」，2004風能應用研討會論文集，2004年
4. 江懷德，「台灣風力發電設置風潮湧現」，工程雙月刊「再生能源專題報導」，2005年
5. 余勝雄，「我國風力發電現況及展望」，永續產業發展雙月刊NO.35，2007年10月
6. 李宗德，「我國四種再生能源產業的發展策略探討」，碩士論文，國立臺灣大學，2007年
7. 周瑞生，「台中港2號風力發電機組災損評估與分析研究案」，國立台灣科技大學生態與防災工程研究中心，2009年6月
8. 周裕仁，「大型離岸風場採用GE及Vestas風機之電力系統衝擊分析」，碩士論文，國立台北科技大學，2009年
9. 林秀珊，「風力發電產業發展之關鍵影響因素及其在我國之發展潛力分析」，碩士論文，私立中原大學，2006年
10. 翁榮美，呂威賢，「風力發電技術與應用展望」，電工通訊，2001年3月
11. 張希良，「風力發電技術」，新文京開發出版股份有限公司，2007年9月
12. 郭世勳，「台灣地區離岸式風力發電成本效益分析」，碩士論文，國立臺北大學自然資源與環境管理研究所，2008年
13. 陳在相，辜志承，「風力發電機與市電系統併聯之衝擊及其分析與模擬技術之研究(I)」，行政院國家科學委員會專題研究計畫，2005年3月

14. 陳美蘭，「風能應用技術」，物理雙月刊(廿九卷三期)，2007年6月
15. 楊明浩，「台灣地區陸上及離岸式風力發電效益之評估」，碩士論文，立德管理學院資源環境研究所，2006年
16. 鄭建山，「風力發電及太陽光電應用於台灣電力公司電力系統之探討」，碩士論文，國立台北科技大學，2008年
17. 盧顯卿，「離岸風場開發與產業推動之規劃」，兩岸風力發電產業合作及交流會議，2009年8月18日
18. 藍偉庭，「全球風力發電產業綜覽」，經濟部技術處發行，工研院產經中心出版，2007年9月
19. 顏文治，「全球風力發電應用發展現況」，工程雙月刊，第七十八卷，第五期(我國風力發電之展望)，2005年10月
20. 工研院能資所、中央大學大氣物理所，「台灣地區基本風能分布」，2000年
21. 怡興工程顧問公司，「澎湖縣建置風力發電廠廠址選擇及初步規劃構想工作計畫」，2005年5月
22. 經濟部能源局，「2007年能源科技研究發展白皮書」，2007年12月
23. 經濟部能源局，「97-106年長期負載預測與電源開發規劃摘要報告」，2008年12月
24. 經濟部能源委員會，「風力機」，1991年06月
25. 台灣電力公司再生能源發電系統併聯技術要點，2002年6月11日
26. 台灣電力公司再生能源電能收購作業要點，2005年12月29日修正
27. 再生能源發展條例，2009年7月8日
28. 自用發電設備登記規則，2009年1月6日修正
29. 電業法，2007年03月21日修正
30. 電業登記規則，2007年09月11日修正
31. 電業竣工查驗作業要點，2008年1月2日修正
32. 中央大學台灣風能網頁，<http://www.atm.ncu.edu.tw/93/wind>，2009年7月

33. 中央氣象局全球資訊網頁，<http://www.cwb.gov.tw/>，2009年10月
34. 丹麥風能工業協會網頁 (Danish Wind Industry Association)，  
<http://www.windpower.org/>，2009年8月
35. 台灣電力公司網頁，<http://www.taipower.com.tw/>，2009年8月
36. 美國風能協會網頁 (American Wind Energy Association)，<http://www.awea.org/>，  
2009年8月
37. 風力示範推廣網頁，<http://wind.erl.itri.org.tw/>，2009年9月
38. 經濟部工業局推動工業合作計畫網頁，[http://proj.moeaidb.gov.tw/cica\\_icp/](http://proj.moeaidb.gov.tw/cica_icp/)，2009  
年7月
39. 經濟部能源局網頁，<http://www.moeaboe.gov.tw/>，2009年8月
40. 歐洲風能協會網頁 (European Wind Energy Association)，<http://www.ewea.org/>，  
2009年11月
41. Ishihara, Takeshi，Yamaguchi, Atsushi，Takahara, Keiji，Mekaru, Takehiro，  
Matsuura, Shinich，「An Analysis of Damaged Wind Turbines by Typhoon Maemi  
in 2003」，The Sixth Asia-Pacific Conference on Wind Engineering (APCWE-VI)，  
September, 2005
42. Enercon，「Specification\_Access Roads and Crane Platforms E-70 E4 / 57m + 63m  
steel tower」，2008
43. European Commission，「External Costs, Research results on socio-environmental  
damages due to electricity and transport」，2003
44. European Wind Energy Association，「THE ECONOMICS OF WIND ENERGY」，  
March, 2009
45. European Wind Energy Association，「Wind Energy - The Facts」，March, 2009
46. Global Wind Energy Council，「Global Wind 2008 Report」，2009
47. World Wind Energy Association，「World Wind Energy Report 2008」，February,  
2009