

# 風力發電應用在造紙業的效益評估

以天隆造紙廠春風風力發電示範系統為個案研究

研究生：張清標

指導教授：王淑芬博士

國立交通大學高階主管管理學程碩士班

## 中文摘要

風力發電技術，經歐美國家長期的研發，已趨成熟，因風力發電兼具能源與環保雙重的貢獻，近年來大型商業化的裝置容量，已快速成長。

台灣為一海島型氣候，每年在將近有 6 個月之東北季風季節裏，沿海、高山及離島等許多地區，風能潛力極佳。政府為因應「京都議定書」對溫室氣體減量的承諾，積極推動以風力發電為主的再生能源發展的推廣政策。

天隆造紙廠(股)公司竹北廠，位居開發風能應用極具潛力的新竹沿海岸地帶，由於台電供電不足，並為落實本公司綠色生產鏈體制的推動，家庭用紙”春風”品牌及公司形象之提昇，因而配合政府「風力發電示範系統設置補助辦法」之政策，設置”春風風力發電示範系統”，除供給工廠自用電力外，並兼具示範、教育推廣功能。

本研究之目的乃就春風風力發電示範系統為個案，就風力發電扮演分散式、補助性能源的經濟效益，及對本公司落實綠色生產鏈體系，結合示範、教育宣導綠色能源之功能，及建立優質企業形象等的無形效益，做一探討，並提供風力發電設備規劃、安裝施工及操作運轉經驗，期能對國內風能應用之推廣，發揮其作用。

本研究實際收集竹北工廠最近三年，台電及重油自發電使用比率及成本資料，並記錄風力發電機設置完成後 17 個月(91 年 10 月~93 年 3 月)間，運轉期間，每個月的 60m 高風速，各風力機發電量、運轉率等操作運轉數據，進而分析不同情境下，春風風力發電示範系統的經濟效益。

綜合本研究之結論，春風風力發電示範系統之經濟效益，在政府補助的前提下，內部報酬率在 11.1% 以上，投資回收年限 6.9 年以下。同時對溫室氣體 CO<sub>2</sub> 之減量、示範、教育推廣功能，及本公司形象的提升，亦有相當的貢獻。

最後並建議政府應儘速通過「再生能源發展條例」之立法，以排除用地取得及優惠購電之問題，提供更大的誘因，才能營造出有利的推廣風力應用環境。

關鍵字：風力發電，造紙業



# **Economy Evaluation of Wind Power Applied in paper industry**

- A case study on the demonstration system of the Andante Wind Power in  
Chu-Pei mill, Tien Long paper Mfg. Co. Ltd.

Student : Charles, C. B. Chang

Advisor : Dr. Sue Fung Wang

Master Program of Management for Executives

College of Management

National Chiao Tung University

## **ABSTRACT**



After many years of research & development in the western countries, the technology of wind turbine has reached maturity, Because of its dual contributions of energy and environmental protection, wind turbine has seen many large scale commercial installation lately, and the installed capacity has increased rapidly.

Taiwan is situated in a typical island climate region, and each year there are 6 months of monsoon season with northeastern prevailing winds blowing constantly. The coastal, high mountains and off-shore island regions, in particular, have excellent wind power potentials.

The government in a effort to comply with the commitment of reducing emission of greenhouse gases is actively promoting the policy of fostering renewable energy development based on Wind Power.

The Chu-Pei mill of Tien Long paper Mfg. Co. Ltd. is located at the coast of Hsin-Chu where is excellent wind power potential, Due to insufficient power supply from the Taiwan power Co., and in order practice the green production chain system of our company, as well as to enhance the brand image of the “Andante” household paper products, we had decided to comply the government policy of subsidizing the establishment of

demonstrating wind power system, and the “Andante” wind power demonstration system was built. The power system serves the purpose of supplying electricity to the mill and the functions of demonstrating and educating the public on wind power.

Thus, based on the case study of the “Andante” wind power demonstration system, the purposes of this study are to investigate the economic benefits of the distributed, supplementary energy source from wind turbine, the effects of this project on consolidating the green production chain system of our company, the capability of combining demonstration, education and promoting the green energy source, and the intangible benefit of a superior corporate image this project brings.

We shall also provide our experience on the planning, construction, installation, and operation of a wind power system, so that the wind power shall be extensively used in Taiwan, and exerts its full potential in meeting the energy needs of the nation.

In this study, we have collected the electricity cost information from Taipower supply, and self electricity generation using fuel oil at the Chu-Pei mill for the last 3 years, the 17 months records of operation including monthly average wind speed at 60m height, electricity generation records of individual wind turbine, and availability rates since start up operation of the wind turbine (Oct. 2002 to Mar. 2004) are provided. And the economic benefits of the “Andante” wind power system are analyzed under different scenarios.

In conclusion, this study found that under the premises of governmental subsidy for capital investment, the internal return rate (IRR) on investment reach 11.1% and more, and the capital pay back period shall be less than 6.9 years. At the same time, the project contributes substantially to reduction of greenhouse gas carbon dioxide emission, promotion and education of the public on wind power, and elevation of the company image.

Finally, we would like to urge the government to pass the legislation of “Renewable Energy Development Act” as soon as possible. This shall allow easier land acquisition and preferential electricity rate sale. Only when there are greater incentives, then favorable conditions for promoting wind power shall emerge.

Key word : wind power, paper industry

## 誌謝

本論文得以順利完成，指導教授王淑芬博士的細心指導與諄諄教勉，居功厥偉，謹致上最誠摯的謝意。

口試期間，承蒙韓復華博士，虞孝成博士提供許多寶貴的意見並逐字斧正，使本論文呈現更完整的面貌，他們對後學的提攜以及謙沖的風範，將永記在心。

感謝正隆集團董事長鄭政隆先生、天隆造紙廠(股)公司前董事長陳天鑒先生、現任董事長陳孔秋先生，他們政策的支持，使風力發電的投資計畫得以順利推動。正隆公司總經理蔡東和先生，時時的給予關照，謹致衷心的謝意。

感謝經濟部能源委員會經費補助，工研院能源資源研究所技術輔導，經濟部工業局、新竹縣政府、經濟部水利署第二河川局、台灣電力公司等單位的行政支援。天隆公司“春風風力發電示範系統”工程小組成員：李志宏廠長、林銘麟經理、張銀濤經理、蕭銘杉經理、曾安鈇副理、林鼎光課長、陳美瑞課長、陳必松工程師及全體工程人員的全力合作下，本系統得以如期完成。

論文撰寫期間，本公司陳必松工程師及莊淑娟小姐協助收集資料、繕打文件，感謝他們的辛勞。

最後，感謝內人在此期間的體諒、支持與鼓勵，寶貝兒女菀珊、菀艾、凱維的敦促，她(他)們是我在論文寫作過程中最重要的精神後盾。

張清標 謹誌

中華民國九十三年六月

# 目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	III
誌謝.....	V
目錄.....	VI
表目錄.....	VIII
圖目錄.....	IX
第一章 緒論 . . . . .	1
1.1 研究動機及目的.....	1
1.2 研究方法.....	3
1.3 研究架構.....	4
第二章 風力發電發展的趨勢 . . . . .	5
2.1 風力發電技術發展現況.....	5
2.1.1 概述.....	5
2.1.2 現代式風力發電機技術.....	8
2.2 國外風力發電機應用現況與經驗.....	10
2.2.1 概述.....	10
2.2.2 歐、美、亞洲地區國家風電應用現況與經驗.....	12
1. 歐洲地區.....	12
(1). 德國.....	12
(2). 西班牙.....	14
(3). 丹麥.....	15
2. 北美地區－美國.....	17
3. 亞洲地區－印度.....	18
2.3 國內風能政策與應用現況.....	21

第三章 個案研究—以春風風力發電示範系統為例	23
3.1 天隆造紙廠(股)公司的沿革	23
3.2 春風風力發電系統建置緣由	24
3.2.1 竹北工廠風力充沛	24
3.2.2 落實本公司環境政策與綠色生產鏈理念	25
3.2.3 符合能源與環保潮流、配合執行政府政策	26
3.3 春風風力發電系統概要	26
3.3.1 基本架構	26
3.3.2 系統規格	29
3.3.3 天隆造紙廠用電系統	31
3.4 春風風力發電示範系統工程施工監造過程	32
3.4.1 系統施工前準備	32
3.4.2 春風風力發電系統工程管制作業	32
3.4.3 施工及安裝過程	33
第四章 風力發電成本效益的評估	38
4.1 春風風力發電示範系統的現況分析	38
4.2 春風風力發電運轉的成本效益	40
4.2.1 竹北工廠現有用電成本分析	40
4.2.2 不同情境的效益分析基礎	43
1. 發電量說明	43
2. 效益分析內部電力售價說明	44
3. 效益分析基本條件	44
4. 不同情境分類說明	45
4.2.3 無政府補助的成本效益分析	46
4.2.4 有政府補助的成本效益分析	49
4.2.5 不同情境之效益分析	54
4.3 風力發電的無形效益分析	55
4.3.1 展示系統規劃設置	55
4.3.2 風力發電無形效益分析	59
第五章 結論與建議	61
參考文獻	63

## 表目錄

表 2-1 風力發電技術演進效益比較表.....	6
表 2-2 1996~2003 全球風電用量成長率統計.....	7
表 2-3 2003 年底全球風電裝置容量表.....	11
表 4-1 春風風力發電示範系統運轉記錄表.....	38
表 4-2 竹北廠風電設置前後不同電源用電比率統計表.....	40
表 4-3 風力發電不同電源供電替代率分析表.....	41
表 4-4 竹北廠不同電源每月用電比率與成本統計表.....	42
表 4-5 92 年度春風風力發電年發電量統計分析表(修正值)...	43
表 4-6 情境 I 春風風力發電示範系統折現現金流量分析表...	47
表 4-7 情境 II 春風風力發電示範系統折現現金流量分析表...	48
表 4-8 情境 III 春風風力發電示範系統折現現金流量分析表...	50
表 4-9 情境 IV 春風風力發電示範系統折現現金流量分析表...	51
表 4-10 情境 V 春風風力發電示範系統折現現金流量分析表...	52
表 4-11 情境 VI 春風風力發電示範系統折現現金流量分析表...	53
表 4-12 不同情境風力發電成本效益分析比較表.....	54
表 4-13 機關學校團體參觀人數統計表.....	60

## 圖目錄

圖 1-1 研究架構.....	4
圖 2-1 風力發電成本比較.....	6
圖 2-2 台灣地區不同能源發電成本比較圖.....	7
圖 2-3 風力發電系統運轉特性圖.....	9
圖 2-4 全球風力發電前十名國家裝置容量圖(至 2003 年底)...	10
圖 2-5 德國風力發電裝置容量成長圖.....	13
圖 2-6 美國風力發電裝置容量成長圖.....	18
圖 2-7 印度風力發電裝置容量成長圖.....	20
圖 2-8 台灣地區風電裝置容量計劃.....	22
圖 3-1 天隆公司品質、環境管理制度里程碑.....	23
圖 3-2 台灣地區 50m 高之平均基本風速分佈圖.....	24
圖 3-3 春風綠色生產鏈圖.....	25
圖 3-4 風力發電機系統架構圖.....	26
圖 3-5 風力機結構示意圖.....	28
圖 3-6 天隆造紙廠用電系統圖.....	31
圖 3-7 春風風力發電示範系統施工進度(管制)表.....	35.36
圖 3-8 春風風力發電示範系統施工記錄.....	37
圖 4-1 春風風力發電量及風速曲線圖.....	39
圖 4-2 竹北工廠不同電源用電比率曲線圖.....	41
圖 4-3 室內展示室配置圖.....	58

# 風力發電應用在造紙業的效益評估

以天隆造紙廠春風風力發電示範系統為個案研究

研究生：張清標

指導教授：王淑芬博士

國立交通大學高階主管管理碩士學程

## 第一章 緒論

### 1.1 研究動機及目的



人類利用風能的歷史很早，遠在公元前即發明風車來汲水及研磨穀物，在十八、九世紀時，更盛極一時。但工業革命後，由於煤炭及石油的大量開採利用及電力的迅速普及，使得風能的應用逐漸衰退。1970年後，由於能源危機的衝擊與環保意識的覺醒，風能利用再度受到重視。經過歐美各國長期的研發，風力發電技術已趨成熟及商業化的應用。近年來裝置容量快速成長，已能有效扮演分散式、補助性能源的角色，對能源及環保的貢獻不容忽視。

台灣原本即嚴重缺乏自給能源，依能委會 2003 年之統計資料顯示，97.7%的發電燃料必須仰賴進口，發電因不同燃料之比例，燃油佔 50.8%；燃煤佔 32.5%；燃氣佔 7.3%及核能佔 8%，再生能源僅佔約 1.4%，因此再生綠色能源的開發實亟待加強。

風力發電兼具能源與環保的雙重貢獻，就能源貢獻言，風力發電每發一度電可減少 0.25 公升燃油或 0.37 公斤燃煤的消耗。就環保貢獻言，風力發電不會產生溫室氣體二氧化碳及 $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_x$ 之排放，依估計台灣在 1996 年能源所排放的 $\text{CO}_2$ 總量為 170.8 萬公噸，其中火力發電佔 35%，平均每一度電大約排放 0.51 Kg  $\text{CO}_2$ 。不同燃料發電比較：燃煤發電每度電排放 0.85 公斤，燃油 0.6 公斤，燃氣 0.57 公斤，整體火力發電的平均 $\text{CO}_2$ 排放量為 0.78 公斤，因此若能以風力發電來取代火力發電量，減少 $\text{CO}_2$ 之排放，對社會環境成本較傳統能源低，也將可有效因應「京都議定書」對溫室氣體減量的決議。

台灣為一海島地形，每年有半年（10 月—2 月）以上的東北季風，沿海、高山及離島的許多地區，年平均風速超過 5 公尺，風力潛能優越的地區，總面積超過 3,000 平方公里。依據江火明等之研究年平均風速較大的地區有澎湖、蘭嶼等各離島地區；桃竹苗沿海一帶；中部及嘉南沿海一帶；恆春半島；東北角，這些地區極具設置風力發電潛力。

天隆造紙廠（股）公司竹北工廠，位於國內風能最充沛的新竹地區沿海沿岸，極具發展風力發電潛力。由於台電供電不足，本廠設有重油發電系統以補足用電之不足，而為配合政府推動再生能源政策，落實本公司“全員參與，珍惜資源，保護環境”的環境政策，實踐綠色生產鏈的理念，創建優質的企業形象。乃依能委會發佈之“風力發電示範系統設置辦法”申請設置兩部 1,750KW 風力發電機，並於 91 年 10 月建置完成。

本研究之目的乃就天隆造紙廠公司竹北廠設置百萬瓦級風力發電機的過程。就扮演分散式、補助性能源角色的經濟效益，及對本公司環保政策，落實綠色生產鏈理念，結合示範、教育宣導綠色能源之功能，建立優質的企業形象的無形效益，做一個案探討，並提供春風風力示範施工操作運轉經驗，期能對推動國內風能之利用，發揮示範推廣的效能。

## 1.2 研究方法

本研究旨在分析探討本省風力資源充沛的地區，而電力需求相對較大，但台電供電不足的竹北工廠，設置風力發電設備，將風電作為一分散式輔助性能源的經濟效益分析。研究方法主要是收集近三年竹北工廠台電及重油自發電成本及使用率數據，並就春風風力發電系統運轉操作經驗，收集運轉期間(91年11月~93年3月)，風力發電之風速、發電量及風力發電投入後，竹北工廠不同電源之使用比率等數據，進而分析政府補助設置風力發電與否的經濟效益，供風力發電投資推廣參考，並提供可發揮風電最大效益的竹北廠電源調度參考。



### 1.3 研究架構

本研究的架構如附圖 1-1，配合研究架構本研究將分為五章。第一章為緒論，說明研究動機及目的、研究方法、架構。第二章說明風力發電發展趨勢、國外風力發電應用現況與經驗及國內風能政策與應用現況，做一系統性回顧。第三章為個案研究，以天隆公司竹北廠春風風力發電示範系統為個案，說明春風風力發電設置之緣由，並描述風力發電系統規格，竹北廠用電系統及春風風力發電系統之工程安裝施工監造過程，第四章收集風力發電運轉前後竹北廠台電、重油自發電的成本及用電比率，並收集風機運轉期間(91 年 11 月至 93 年 3 月)風速資料及發電機發電量，不同來源電力比率。依收集數據進行政府補助與否，不同情境的經濟效益分析。同時也分析風力發電對CO<sub>2</sub>減量的環境效益及對社會教育功能、公司形象建立的無形效益。第五章為結論與建議。

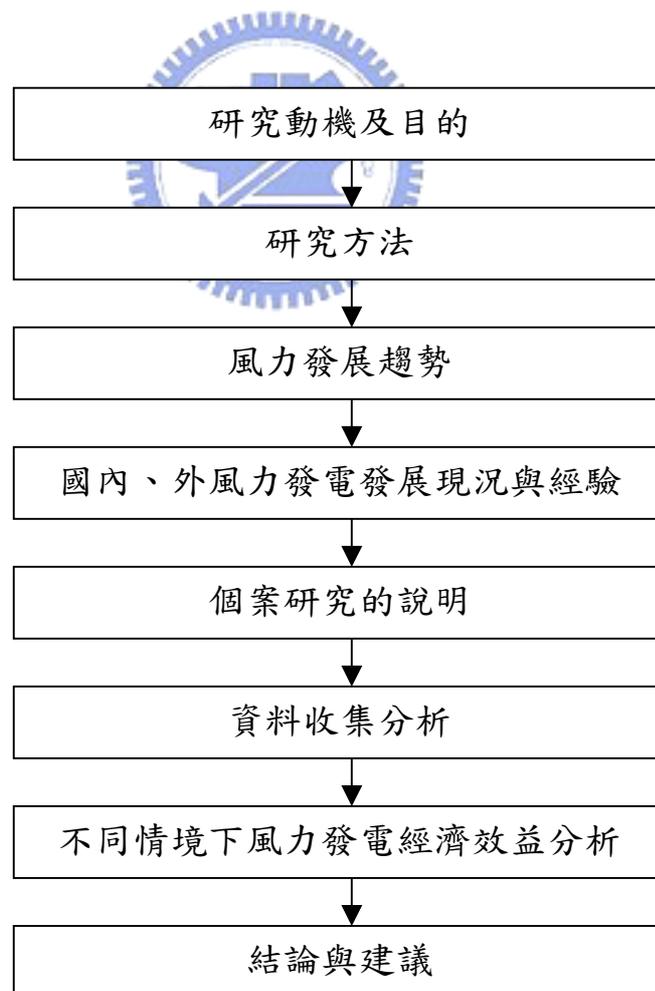


圖 1-1 研究架構

## 第二章 風力發電發展的趨勢

### 2.1 風力發電技術發展現況

#### 2.1.1 概述

風力發電在人類既有的風車(wind mill)基礎上，融入現代科技後，隨著技術及材料的進步，現今風力機的單機容量、性能及可靠度不斷提昇，表 2-1 整理風力發電技術演進效益比較表，可知現今商業化風力機可用率(availability，即風力機實際運轉時間與應可運轉時間的比值)一般可達 97% 以上，較 1980 年代的 60% 已提高甚多。同時單機容量亦不斷加大，百萬瓦級機組已大量上市。由於風機技術成熟與量產應用使得成本迅速降低，目前每瓦裝置成本可達 1,000 美元以下；發電成本也由 1980 年的每度電 40 美分降至 5 美分以下，圖 2-1 為不同投資成本在不同風速條件下，發電成本由圖可見風力發電已可與傳統發電競爭。因此現在風力發電已是再生能源中最經濟、使用最多的技術之一。風力為大自然所賜與之能源，以熱值估算利用風力每發一度電，可減少 0.25 公升燃油或 0.37 公斤燃煤的消耗；而風力發電屬綠色電力，與傳統燃煤發電比較，每發一度電平均約可減少 0.78 公斤二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、3.5 公克氮氧化物(NO<sub>x</sub>)及 6.1 公克二氧化硫(SO<sub>2</sub>)等污染物的排放。而社會環境成本(即發電系統衍生的外部成本，包括環境與健康的損害、污染的消除、油路的保護等等)。依美國風能協會的評估，風力僅 0~0.1 美分/kwh，較煤炭 2.5~5.7 美分/kwh，石油 2.7~6.7 美分/kwh，天然氣 0.7~1 美分/kwh 及核能 2.9 美分/kwh 低甚多，故設置風力發電對生態環境保護具有相當正面積極的意義。圖 2-2 為台灣地區各種能源比較圖，風力發電成本 2.21 元/kwh，雖略高於核能、煤、水力、油等燃料的發電成本，然而風力發電其清潔能源的本質，將它視為國產能源，減少進口能源的依賴以及能源的多樣化，是相當有貢獻的。同時也對減少環境負荷、能源之安全、地區經濟的活性化有所貢獻。依丹麥 BTM 顧問公司統計 1999~2003 年風電用量成長如表 2-2 所示，近 5 年來年平均成長率達 31%，可說是不景氣大環境中少數僅有之高成長產業。

表 2-1 風力發電技術演進效益比較表

年代	1980	2000	2005(預測)
單機容量	<100 瓩	600~1,000 瓩	1,000~5,000 瓩
可用率	60%	97~99%	98~99%
產能	500 度電/公尺 <sup>2</sup> /年	1,100 度電/公尺 <sup>2</sup> /年	1,250 度電/公尺 <sup>2</sup> /年
安裝成本	4,000 美元/瓩	1,000 美元/瓩	<900 美元/瓩
發電成本	40 美分/度電	5~6 美分/度電	3~4 美分/度電

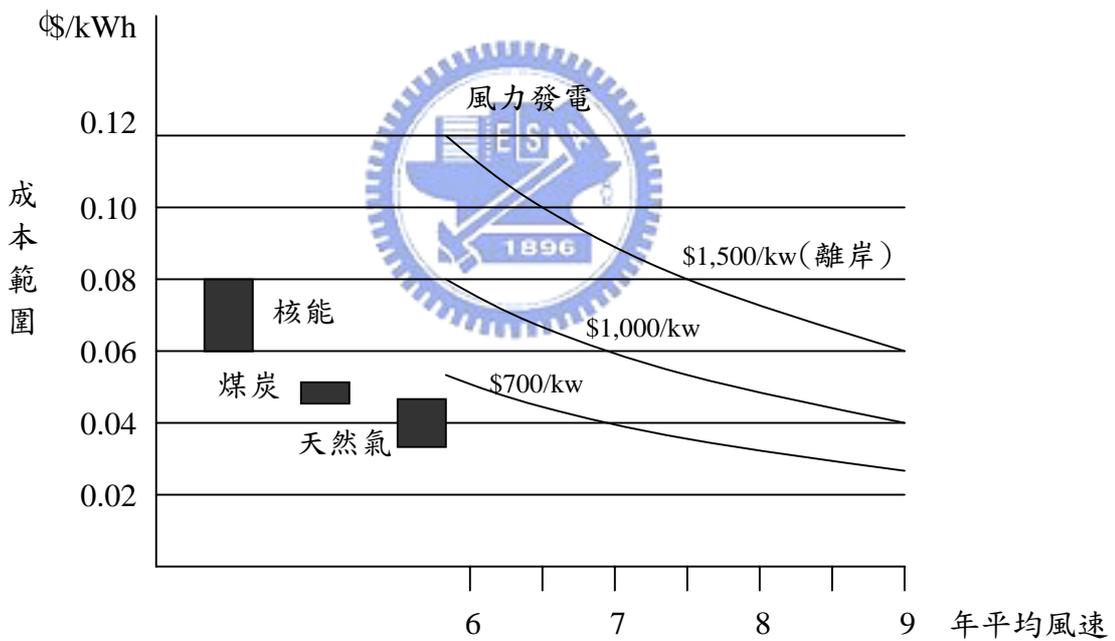


圖 2-1 風力發電成本比較

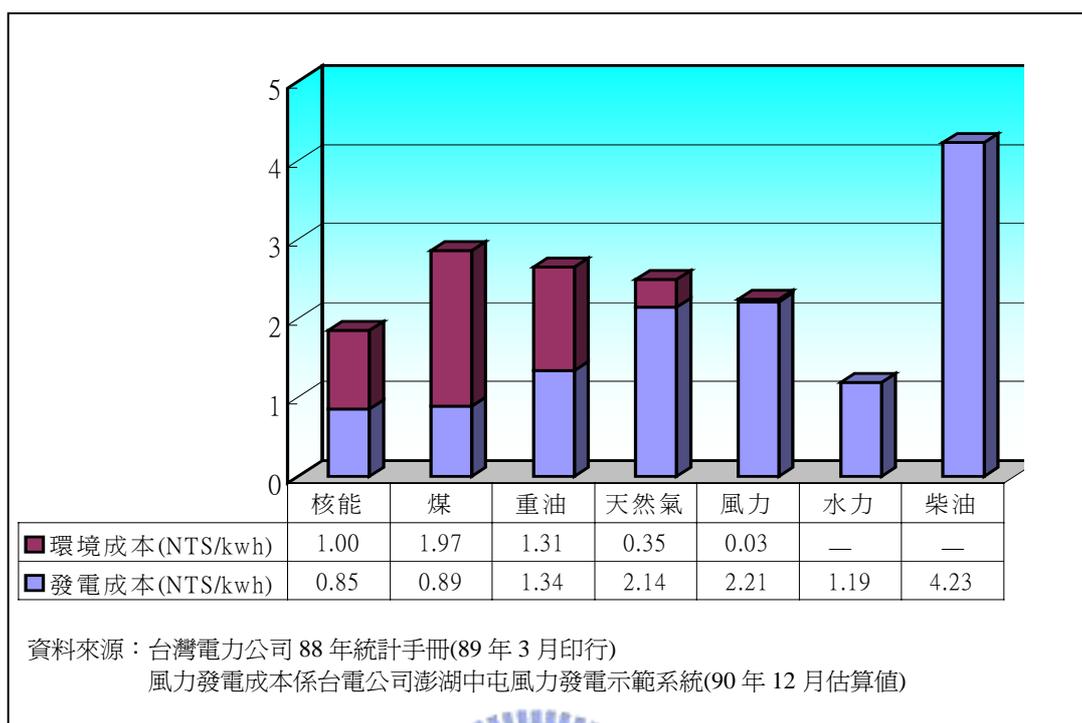


圖 2-2 台灣地區不同能源發電成本比較圖

表 2-2 1996~2003 全球風電用量成長率統計(資料來源：EWEA, AWEA)

年份	增設容量	成長率%	累計容量	成長率%
1996	1,292		6,070	
1997	1,568	21%	7,636	26%
1998	2,597	66%	10,153	33%
1999	3,922	51%	13,932	37%
2000	4,495	15%	18,449	32%
2001	6,824	52%	24,927	35%
2002	6,868	-	31,228	25%
2003	8,133	18%	39,294	26%
平均成長率 (1999-2003)		27%		31%

## 2.1.2 現代式風力發電機技術

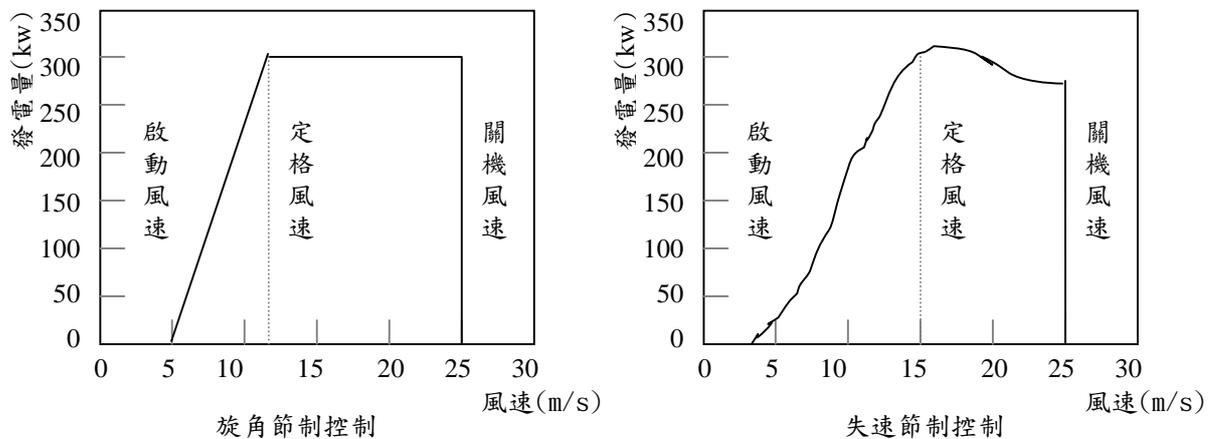
現今商業化主流風力發電機採水平軸、上風式、三葉式翼型設計，主要由葉片轉子(rotor blade，俗稱葉輪)、傳動鏈(增速齒輪箱及發電機)、控制系統及塔架等單元所構成。在輸出性能方面，葉輪氣動性能的好壞對風力機輸出效率具有決定性的影響，由於導入許多航太技術應用於葉片的設計，已大大地提高風力機之輸出效率。

現代式風力機皆使用微電腦監控，可隨風速、風向的變化而自動啟動、關機及迎風轉向。此外運轉監控系統可監測過熱、過載、過轉向及超轉速等，當異常狀況發生時可自動警報及停機，並具有遠距監控的功能。在安全保護方面，市場上風力機多數皆已採用兩套獨立的安全制動系統(氣動煞車及機械煞車)，且為失效保護(fail-safe)設計，當異狀發生時即可自動啟動，將葉輪轉速降至可接受的範圍或停止狀態。目前風機技術有逐漸朝下列特色方向發展之趨勢：

### (1).輸出控制方式朝向可變旋翼(旋角節制)

由於風力不穩使得風力機輸出亦變得不穩定，通常風力機均有額定輸出，超過額定太多易造成齒輪箱及發電機的損壞，為維持穩定輸出及避免超額運轉，風力機有必要做輸出控制。市場上中大型風力發電機主要有二種控制輸出的方式：一種為失速控制(stall regulation)，即利用固定旋翼藉由翼型在較高風速時受空氣動力之分流或失速現象(stalling)來降低輸出；另一種為旋角控制(pitch regulation)，即利用可變旋翼構造於高風速時調整葉片的角度，以減低風的推力。圖 2-3 為不同控制方式之系統運轉特性圖，失速節制為較早期之設計，將葉片根部直接固鎖於輪轂上，具有簡單可靠、免維護及造價低之優點，但僅能得到折衷之輸出曲線。而旋角節制為一較先進的設計，可配合風速變化自動調整葉片節距角(pitch angle)以獲得較佳的輸出曲線，並可降低啟動風速及避免過高的輸出；但機構較複雜造價較高，且機組維護保養亦較費事，然大型風力機尤其是百萬瓦級以上採旋角節制者已有漸居上風之趨勢。

圖 2-3 風力發電系統運轉特性圖



## (2).傳動系統朝向變轉速及無齒輪箱式

傳統之傳動設計主要使用增速齒輪箱(gearbox)，將葉輪每分鐘數十轉之低轉速提升至發電機所需之高轉速，將機械能轉換為電能。目前使用齒輪箱之風力機仍占市場多數，且技術已極為成熟，配合可變轉速(variable speed)之設計可得到相當穩定良好的電力輸出品質。然而透過增速齒輪箱傳輸扭力，不免傳動損失影響發電效率，故有無齒輪箱式(gearless)風力機設計概念之產生。無齒輪箱式風力機由葉輪直接驅動發電機(direct drive)，配合風速變化可持續改變葉輪轉速，以達最佳輸出效率。此先進之變轉速風力機，其關鍵技術在於結合高科技電力電子變頻技術，讓葉輪轉速隨風速變化時亦能輸出穩定的交流電力。

風力機齒輪箱結構可區分為有齒輪箱與無齒輪箱二種，有齒輪箱式風力機成本較低，且技術成熟發電容量提升較易，預期在近期內仍為主流。而無齒輪箱式風力機輸出電力更穩定、效率更高，且啟動風速需求較低，所需運轉維修亦較少；但龐大的永久磁鐵發電機造價偏高，重量亦較重，更大型化及能否耐離岸式環境仍有待技術發展，目前已逐漸在市場上佔有不少比重，未來若能突破相關技術瓶頸並降低成本，預期長程時應可成為主流。

## 2.2 國外風力發電機應用現況與經驗

### 2.2.1 概述

統計至 2003 年底，全球已有 46 個國家應用風力發電，2003 年風力裝置容量較前一個年度增加 8,133MW，成長 26%。而主要成長地區的總裝置容量已近 39,294MW，預估年發電量逾 900 億度。圖 2-4 可見前十名國家裝置容量數據。亞洲地區去年有相當優異的表現，其中印度積極開發風力發電，目前裝置容量已達 2,110 MW，中國大陸亦已擴增達 568 MW，至於日本去年增設 272 MW，使其總裝置容量達 686 MW，首度超越中國大陸，而其他國家之裝置量詳如表 2-3 所示。

從圖 2-4 可知風力發電裝置容量前五名國家分別為德國(14,609 MW)、美國(6,374 MW)、西班牙(6,206 MW)、丹麥(3,110 MW)及印度(2,110 MW)。自 80 年代初，美國與丹麥即已投入現代風力機應用，而德國在其優異的工業基礎與政策鼓勵下，10 年來其風力發電裝置容量呈驚人的指數成長，2003 年裝置 2,645 MW，遠遠高於其他國家。西班牙則為近年來的後起之秀，2003 年裝置容量 1,377 MW，超越風力先驅丹麥成為歐洲第二名。

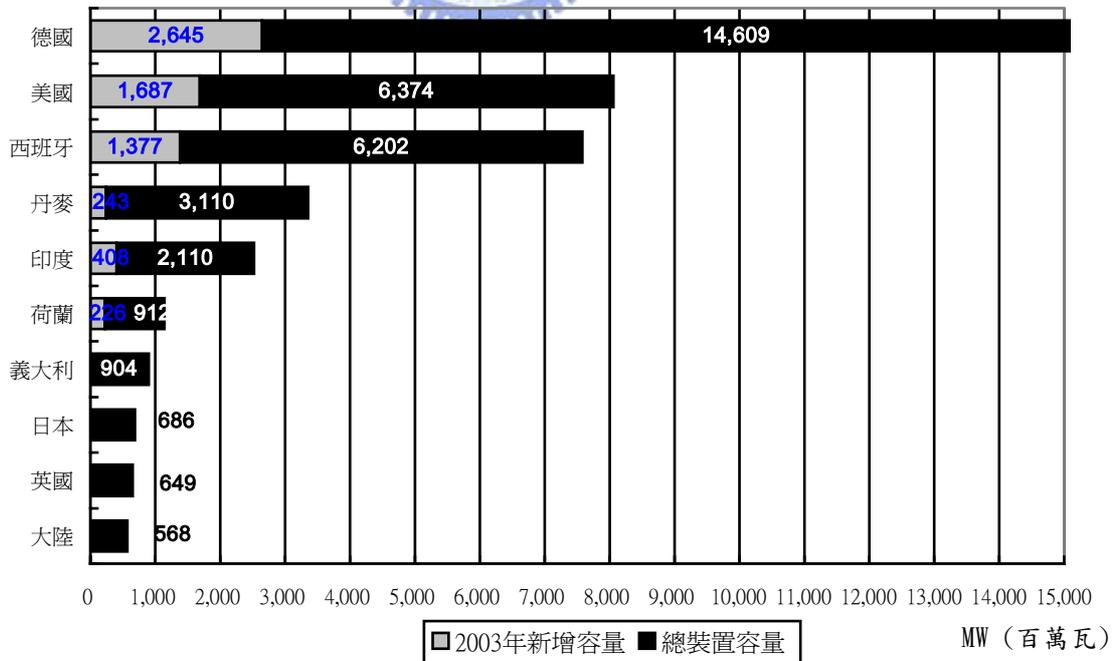


圖 2-4 全球風力發電前十名國家裝置容量圖(至 2003 年底)  
資料來源：EWEA, AWEA

表 2-3 2003 年底全球風電裝置容量表

國 家	2002 年間 裝置容量	2002 年底 總裝置容量	2003 年間 裝置容量	2003 年底 總裝置容量
北美合計	450 (6.5%)	4,921 (16%)	1,768 (22%)	6,691 (17%)
加拿大		236	81	317
美國		4,685	1,687	6,374
歐洲合計	5,983 (87%)	23,308 (74.5%)	5,467 (67%)	28,706 (73%)
EU 15 合計	5,871	23,098	5,411	28,401
德國		11,994	2,645	14,609
西班牙		4,825	1,377	6,202
丹麥		2,889	243	3,110
荷蘭		693	226	912
義大利		788	116	904
英國		552	103	649
瑞典		345	54	399
希臘		297	78	375
法國		148	91	239
奧地利		140	276	415
葡萄牙		195	107	299
愛爾蘭		137	49	186
比利時		35	33	68
芬蘭		43	8	51
盧森堡		17	5	22
其它國家合計	29	61	41	102
波蘭		27	30	57
拉脫維亞		24	0	24
捷克		3	7	10
匈牙利		3	0	3
Estonia		2	1	3
塞浦路斯		2	0	2
立陶宛		0	0	0
馬爾它		0	0	0
斯洛伐克		0	3	3
斯洛伐尼亞		0	0	0
其它歐洲國家合計	83	149	15	164
挪威		97	4	101
烏克蘭		46	11	57
瑞士		5	0	5
羅馬尼亞		1	0	1
亞洲地區	435 (6.5%)	2,999 (9.5%)	898 (11%)	3,897 (10%)
印度	195	1,702	408	2,110 (5.4%)
中國	68	468	100	568
日本	140	414	272	686
澳洲	32	105	93	198
其它國家(含台灣)	-	310	25	335
<b>GRAND TOTAL</b>	<b>6,868</b>	<b>31,228</b>	<b>8,133</b>	<b>39,294</b>

來源：EWEA, AWEA

## 2.2.2 歐、美、亞洲地區國家風電應用現況與經驗

### (1).歐洲地區：

根據 EWEA 報告，2003 年全歐洲地區(EU-25 加瑞士、挪威、烏克蘭)風電總設置容量為 28,706MW，年成長率達 23%，其中歐盟 15 國(EU-15)佔 28,401MW，每年可發電 600 億 kWh 電力，佔電力消耗的 2.4%，足供 1,400 萬家用電之需。

歐洲之風力裝置容量仍集中在 ”3 大” 即德國、西班牙、丹麥，茲分述如下：

#### (一).德國：

表 2-3 可見德國風力發電裝置容量居全球首位，2003 年新增容量再創新高 2,645MW，總裝置容量累積達 14,609 MW，約占全球風力市場的 37.1%，其成長歷程整理如圖 2-5 所示。德國風能協會 (German Wind Energy Association) 指出德國風力年發電量約占全國總用電量的 6.0%。

德國北部雖擁有良好之風力資源，但整體而言德國並非歐洲風能資源最佳的國家，其風力市場之所以能如此蓬勃發展需歸功於德國人民對環境品質的要求，及該國政府對風力發電產業的重視。德國先前鼓勵再生能源利用最重要的工具為 1991 年開始實施的「饋電法」(Electricity Feed Law，簡稱 EFL)，規定公用電業有向再生能源發電者購買電力的義務，其中風力發電收購電價為平均售電價格的 90%，約為 DM 0.16 ~ 0.17/kwh，較傳統能源收購電價 DM 0.1/kwh 為高。此法為德國的風力發電市場與產業提供了極佳的發展空間，使該國在 1990 年至 1999 年間風力發電裝置容量年平均成長率達 54%，成為全球最大的風力市場，而該國最大風力機廠商 Enercon 則站上全球第三大風力機製造廠。另外，自 1989 年起實施「100MW 風能計畫」(100MW Wind Program)，並自 1991 年起提高為 250MW，由政府提供風力發電業者最高 25% 的設備補助，此外風力發電系統饋入電網的電力可另外獲得最高 DM 0.06/kWh 的補助；惟因德國之風力發電裝置容量已遠高於 250MW，此補助計畫於 1996 年終止。

儘管德國風力發電容量仍快速成長，但因其北部地區風力裝置量較高造成電價不均，電業自由化後電價降低亦影響投資風力發電者利潤，德國政府為使其國內風力市場繼續發展，自 1999 下半年起開始制定「再生能源優先法」(Act on Granting Priority to Renewable Energy Sources)，提供固定電價以確保再生能源之長遠發展，其中風力發電可享有前五年 DM 0.178/kWh 後逐年降低之優惠電價。該法案於 2000 年 4 月 1 日開始實施，取代饋電法成為目前最重要之再生能源推廣措施；雖然德國政府有意檢討再生能源優先法之規定，但可預見的是不論修正方向為何，該國政府仍將繼續提供再生能源發展之有利境，未來風力發電之持續成長可期。

德國已訂定於 2025 年風力發電至少達到全國總用電量 25% 占比的目標，而由於前前該國陸上風力資源較佳場址之開發已漸趨飽和，未來將朝離岸式風力發電，規劃於北海和波眾的海域設置離岸式風力發電容量達 20,000~25,000 MW。

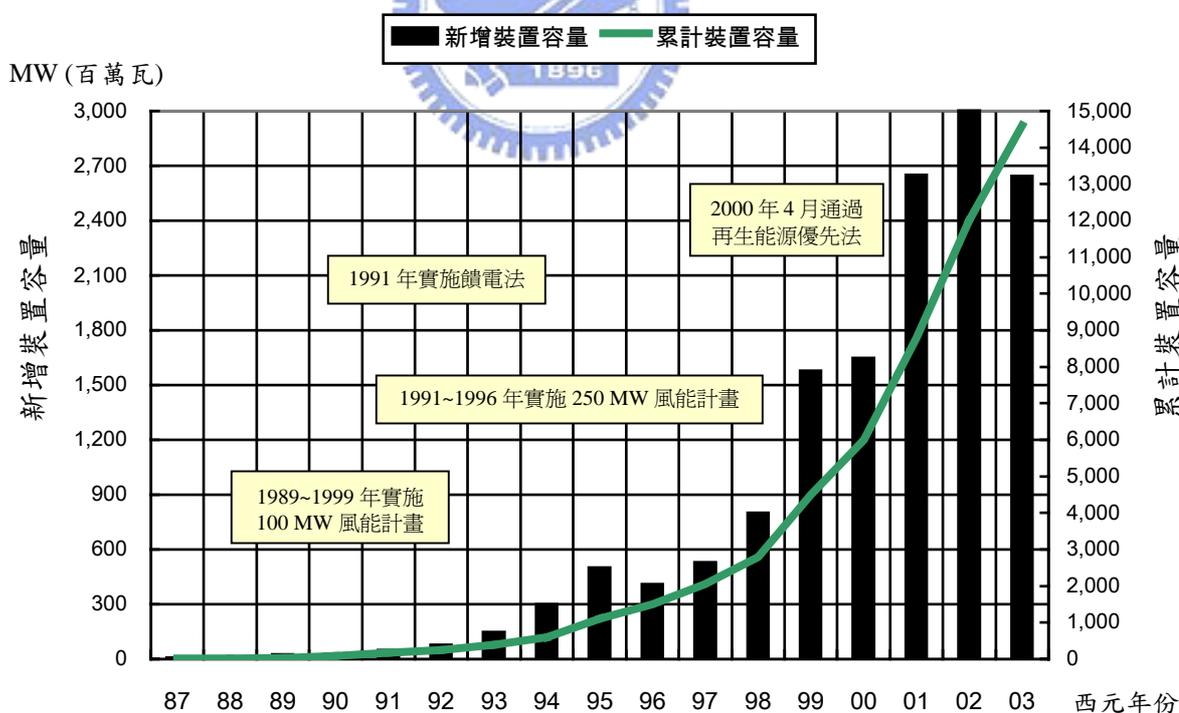


圖 2-5 德國風力發電裝置容量成長圖(資料來源：本研究整理)

## (二). 西班牙：

表 2-3 知 2003 年西班牙風力發電裝置容量居全球第三位，在歐洲僅次於德國。近五年來該國風力發電市場急遽成長，1993 年只有 52 MW，由 1997 年的 427 MW 增加至 2003 年的 6,202 MW，足足成長了將近 15 倍，總發電量足以供應 340 萬戶西班牙家庭的用電。

西班牙的風能應用能夠如此快速與成功，其主要的因素包括良好的地理環境、政策的鼓勵及本土的風力工業。由於西班牙為位於大西洋與地中海間的半島，風力資源豐富，許多廣大開闊且人煙稀少地區提供了極佳的風能發展地理環境。在相關推動政策方面，西班牙政府為鼓勵風能的應用，於 1997 年通過重要的「電業法」(Electricity Sector Act)，主要目的為促進電力市場自由化，但同時也確保再生能源發電的特殊地位，明定輸配電業之併聯義務，並訂定再生能源於 2010 年占全國電力總供給 12% 的目標。為進一步加速風能的應用，該國政府於 1998 年制頒重要的「皇家法令」

(Royal Decree)，明定各種再生能源電能之優惠收購費率，對於風力發電採用兩種選擇性之優惠電價，其一為固定電價 EUR 0.0626/kwh；另一為平均市電價格再加上 EUR 0.028/kwh 之環境補貼\*。另一項重要的措施為 1999 年依電業法實施 12 年期之「再生能源推廣計畫」(Renewable Energy Promotion Plan, 1999~2010)，訂定相關辦法與獎勵措施以達成 2010 年再生能源 12% 占比的目標，其中風力發電占極重要部分，計劃於 2006 年達 9,000 MW 之裝置容量，預計將投資高達 EUR 46 億的經費。

西班牙政府不僅在政策上營造風力應用環境，並且大力支持風力機的研發；同時廣大的風力市場吸引了許多風機製造商至該國投資設廠，引進先進的風機技術，順利建立本土的風力機工業。2001 年全球前十大風機製造商中，西班牙與丹麥合資之 Gamesa Eolica 排名第二（僅次於丹麥的 Vestas），而本土之 Ecotecnica 亦排名第八，2000 年全國總裝置容量之 94% 來自自產風力機。由於本土風力機技術成熟可靠且大量生產，使得成本急速下降，資料顯示西班牙國內每瓦安裝成本已由 1997 年的 EUR 1,500 降至 2,000 年的 EUR 840，幾乎減少了一半。

在一些地區風力產業不僅提供了許多就業機會，同時也振興當地衰弱的經濟，因此許多地方政府訂定相關措施以鼓勵廠商至當地投資風力發電，其中以位於北大西洋沿海的 Galicia 省最具成效。1997 年當地政府即通過於 10 年內設置 2,800 MW 風力發電的計畫，約占全省發電總裝置容量的 45%，估計投資金額高達 US\$26 億，將提供當地超過 5,000 個就業機會。由於 Galicia 地方政府的努力，風力產業於當地蓬勃發展，並且裝置容量於 2001 年底已達 974 MW，約佔全國的 30%。

另一項重要的因素為融資，不同於歐洲德國與丹麥等國主要為私人(private sector, 非電業)投資風力發電，西班牙絕大多數為大型風力開發計畫，由電業、地方政府與風機製造商共同開發，投資金額相當龐大。由於西班牙金融業對國內風力發電市場深具信心，樂意提供長期低利融資，亦促使該國風力發電能夠持續蓬勃地發展。

### (三).丹麥：

表 2-3 可見截至 2003 年底丹麥風力發電總裝置容量達 3,110 MW，目前所產生電力約占全國總用電量的 20%，為全世界風力發電占比最高的國家，已超越 2003 年 16%的設定目標。

丹麥風力發電能夠如此穩定發展與進步，最重要的因素是丹麥政府長期而一致的能源政策。在兩次能源危機中(1972~1979)，丹麥即積極地實施能源政策，以確保國內能源的穩定供應。1980 年代中期後，環境議題逐漸受到重視，為減少溫室氣體排放及能源永續發展，丹麥政府於 1996 年 4 月頒佈重要的「能源 21 章程」(Energy 21)，訂定二氧化碳減量及增加再生能源占比之目標與措施。風能應用為其中重要的一項，目標為 2005 年達 1,500 MW 裝置容量(此目標於 1999 年中即已達成)；2030 年達 5,500 MW 並占總用電量的 50%。

自 1979 年起，丹麥政府即實施一系列成功的措施以鼓勵風能應用，初期提供 30%的設備補助，後因風機技術逐漸成熟降低補助比例而於 1989 年終止，在此其間共補助 2,567 部風力機，金額達 DKK 2.76 億。在收購電價方面，1985 至 1992 年丹麥政府要求電業以平

均售電價格之 85%保證收購再生能源設備發電量；而自 1993 年起改行實施固定收購電價，即於市電價格上再加上環境補貼 (Environmental premium) 優惠收購風力發電，平均售電價格為 DKK 0.52~0.57/kwh。由於收購價格高於發電成本(當時約 DKK 0.3/kwh) 頗具經濟誘因，因此該國風力市場迅速成長。1999 年丹麥政府進行電業改革開放電力市場，且丹麥國內風力發電成本已降至 DKK 0.25/kwh 左右，目前一般新設風力機之售電價格為 DKK 0.43/kwh，而離岸式較高為 DKK 0.453/kwh。此外丹麥政府為提高土地利用效率及發電效益，鼓勵應用較大容量及較佳性能風力機種替換早期設置 150kW 以下之舊機型(Repowering)，提供相當優惠之 DKK 0.60/kwh 收購電價。值得一提的是丹麥政府亦積極鼓勵私人投資風力發電，提供比電業更高之電價補貼及稅賦抵減等措施，目前丹麥約有 80%風力機為私人(多數為合作社及農民)所擁有。

第一次能源危機後，由於丹麥政府適時投入風力機研發，而該國風機廠商於 1980 年代美國加州風能潮時即搶得先機奠定發展基礎，再加上政府長期支助持續研發，不斷提升風力機性能與可用率，造就了丹麥成功的風力工業。近年來積極開拓國外市場，2001 年丹麥風機之銷售額高達 EUR 30 億，約占全球風機市場的 50%，總生產容量達 3,000 MW，較 1994 年的 368 MW 成長了將近十倍。丹麥風力機外銷全球 40 個國家以上，主要市場為德國、美國及西班牙，全世界風機製造商中丹麥之 Vestas 居首位，而同屬丹麥之 NEG Micon 與 Bonus 亦名列前五名。

丹麥亦為全球離岸式風力發電應用最先進的國家，於 1990 年代初即開始進行離岸式風電的研究。2001 年 3 月於哥本哈根外海完成首座商業化 Middelgrunden 離岸式風力發電場(20 部 2MW 風力機組)。目前並有另兩座各逾十萬瓩以上之大型離岸式風力計畫施工建造中，其中位於北海的 Horns Rev 160 MW 離岸式風力發電場已於 2002 年 10 月完工商轉。為達成 2030 年風力發電占總用電量 50%的目標，丹麥規劃增設風力發電總裝置容量達 5,500 MW，而其中 4,000 MW 將來自離岸式應用。

## (2).北美地區－美國：

表 2-3 顯示 2003 年為美國風力發電較 2002 年成長，成長率高達 36%，裝置容量共新增 1,687 MW，總裝置容量達 6,374 MW，估計年發電量約可供應 300 萬戶美國家庭的用量，圖 2-6 顯示美國風力發電成長歷程。美國目前共有 30 個州利用風力發電，主要分佈於加州(2, 043MW)及德州(1, 293 MW)，其中加州風力機大部分為 80 年代初期所設置；而德州則為近年發展最快速的地區。

美國是大規模風力發電應用的起源地，在 1970 年代能源危機後，美國政府即投入鉅額的經費進行大型風力機的研發，雖然並未成功量產，但已奠定現代風機技術的基礎。1978 年美國聯邦政府頒佈「公共事業管理政策法案」(Public Utilities Regulatory Policies Act，簡稱 PURPA)，規定電業對再生能源的併聯與收購義務，同時實施再生能源發電稅賦抵減措施(Production Tax Credit，簡稱 PTC)，再加上加州政府的獎勵措施，投資風力發電可獲得聯邦 25%及加州 25%的稅率優惠，促使加州風力發電應用蓬勃發展。自 1980 至 1986 年間，加州共裝設了 15, 000 部中型風力機，總裝置容量達 1, 200 MW，足以供應當時舊金山全部居民的用電。

1985 年底稅賦抵減措施結束後，並由於化石能源的價格大幅下降，導致風力發電成長緩慢。1992 年美國政府頒佈「能源政策法案」(Energy Policy Act，簡稱 EPA)並通過新的稅賦抵減措施(新增風力發電設備運轉前十年可獲得 US\$0. 015/kWh 稅賦減免，每年隨通貨膨脹調整，至 1999 年 6 月結束後延至 2001 年底)，風力發電似乎又有成長的動力。但由於能源政策法案造成大規模的電業重整，此外 80 年代設置的風機技術並未成熟，運轉效益不佳，許多體質不良(技術上與財務上)的風機製造商與開發業者紛紛倒閉或關閉電廠，新增裝置量仍比不上除役的機組，導致裝置容量並未如預期的成長反而下降(如圖 2-6 所示)。

直至 1999 年美國之風能應用才又有顯著的成長，主要來自於德州裝置容量的激增。德州於 1999 年 5 月通過「再生能源配比義務」(Renewable Portfolio Standard，簡稱 RPS)，即電業必須生產或購買

一定容量之再生能源電力，其目標為 2009 年達到 2,000 MW 之裝置容量。2002 年 3 月美國通過將風力發電稅賦抵減措施(目前為 US\$0.017/kwh)延長兩年至 2003 年底，而國會亦初步通過聯邦層級的再生能源配比義務，以確保風能應用能夠長遠持續發展，但再生能源發電稅賦抵減措施(PTC)延長至 2006 年 12 月尚未通過立法，未來若能通過成為正式法案，美國風力發電應用將會更快速而穩定地成長。

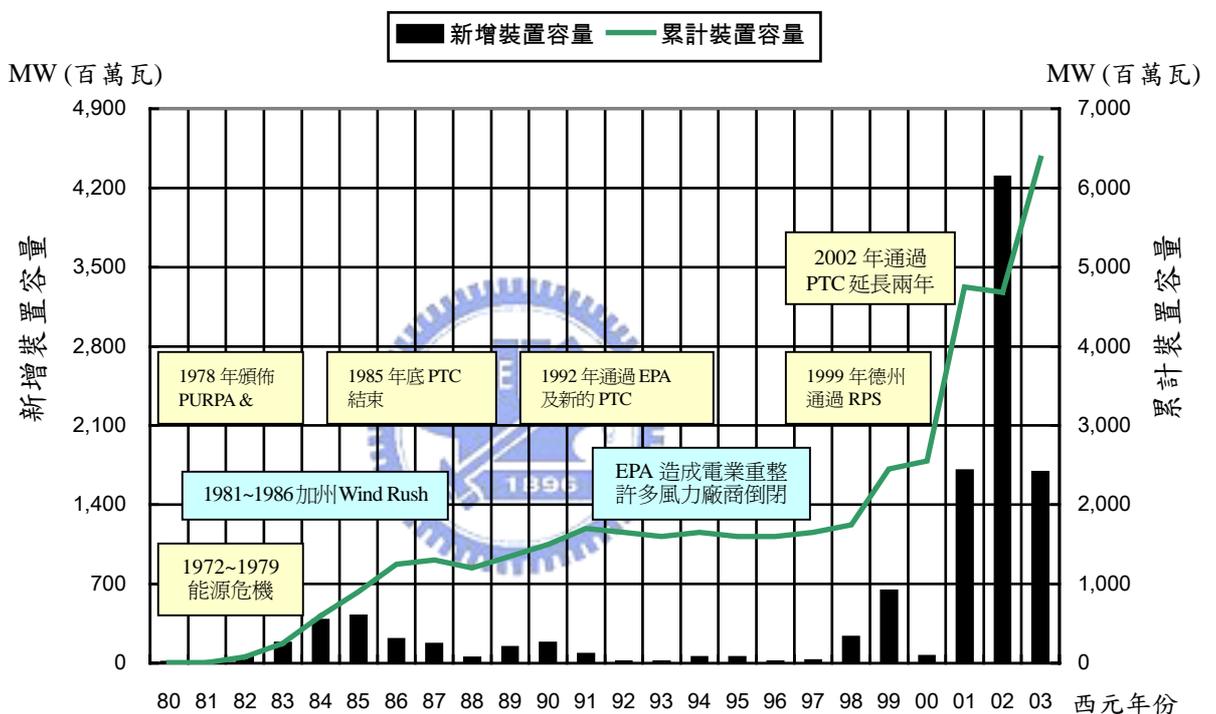


圖 2-6 美國風力發電裝置容量成長圖(資料來源：本研究整理)

### (3). 亞洲地區－印度：

印度為目前亞洲風力發電裝置容量最高的國家，亦為開發中國家的首位。表 2-3 顯示印度在 2003 年總裝置容量達 2,110 MW；共新增了 408 MW，圖 2-7 可見新增裝置容量較 2002 年成長了將近 2.1 倍，為自 1995 年來成績最佳的一年。

不同於歐美風能先進國家，電力需求是印度政府推動風能應用最主要的動力。為維持國內經濟成長，印度電力需求量不斷增加，目前每年電力成長率約 8%。此外印度幅員廣闊電力並不普及，目前仍有 7,600 萬戶偏遠地區住戶缺乏電力供應，若採用傳統集中式電廠供電，需要龐大的輸配電費用，因此該國積極推動利用風力機組分散設置以供應偏遠地區用電。

為滿足該國不斷成長的電力需求，並促進能源的多元化，印度政府於 1982 年成立非傳統能源局(Department of Non-Conventional Energy Source)，後於 1992 年升格為非傳統能源部(Ministry of Non-Conventional Energy Source，簡稱 MNES)，致力推動該國再生能源的利用。印度的風力資源非常地豐富，尤其是沿海地區，估計風能潛力可達 45,000 MW。為加速推動該國風能利用，自 1993 年起 MNES 開始實施「第八次五年計畫」(Eighth Five-Year Plan)，訂定增設 600 MW 風力發電容量目標，並進行全球最大規模的風能評估計畫，詳細調查全國各地風力資源，以評選出具開發潛力的場址，再加上相關獎勵措施，1995 與 1996 兩年即已增設超過原定目標容量，至 1997 年底計畫結束共增設達 900 MW。目前進入第九次計畫(The Ninth Plan)，預計投入 INR 400 億進行風能評估\*、風機研發與示範計畫等項目，目標增設 1,000 MW 容量。

印度政府積極推動風能應用，提供設備補助、賦稅減免、關稅優惠、加速折舊與低利貸款等獎勵措施，雖已達到一定之裝置容量，但仍有一些障礙限制了未來風能的發展。首先由於缺乏長期而穩定的政策，造成風能應用的暴起暴落，短期之優惠獎勵措施雖然帶動設置的風潮，但業者間之惡性競爭亦造成風機品質低落與發電效益不佳，致使風力市場無法持續發展。其次印度國內之融資利率相當高(14~15%)，亦減低投資者的意願。此外，中央與地方政府並無一致之風能推廣政策，部分地方政府並不支持風力發電，導致印度全國之風能應用只集中在少數地區。目前印度政府正在研擬全國性「電業法」(Electricity Bill)，以全面推動國內再生能源利用，未來若能頒佈實施，則印度之風能利用應可有全面而長遠的發展。

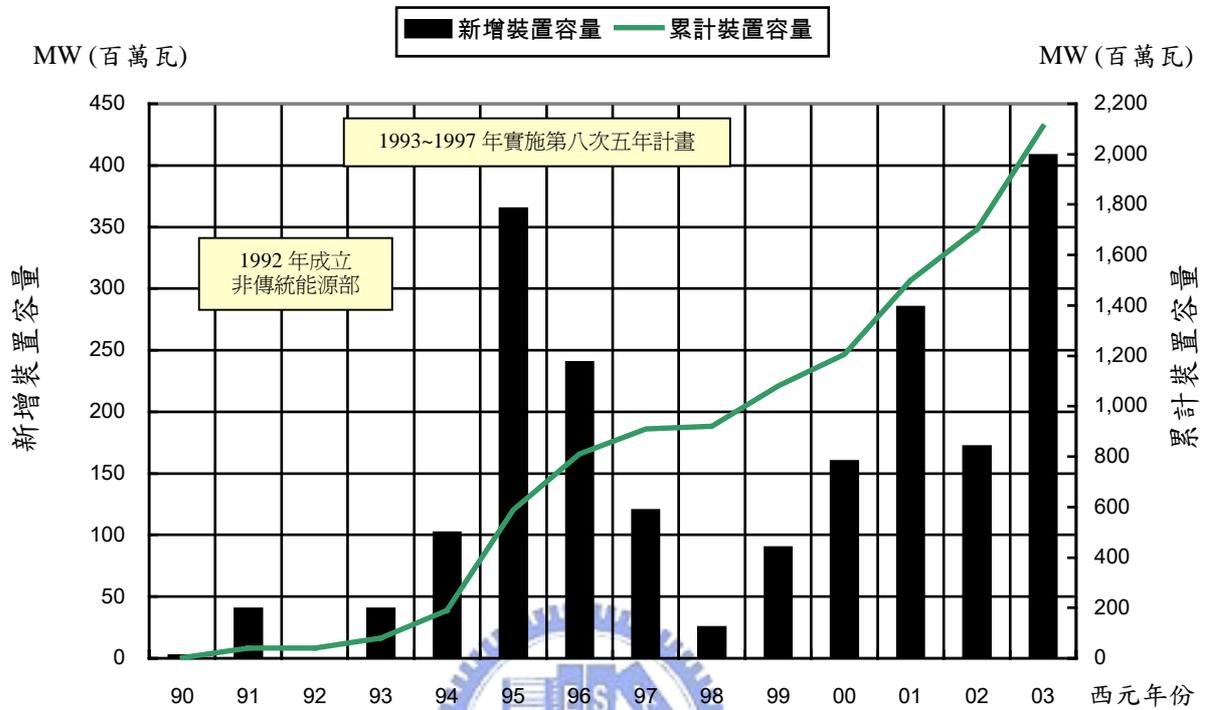


圖 2-7 印度風力發電裝置容量成長圖(資料來源：本研究整理)

## 2.3 國內風能政策與應用現況

國內早在二次能源危機後，經濟部能源委員會即曾支助工研院能資所於民國 70-79 年間進行系統性的風能應用研究。一方面逐年分區完成台灣地區風能潛力評估；另一方面建立風力機研製技術能力。階段性任務完成後，惜因油電價格低迷，且風力發電成本仍高，暫乏市場機緣而中止研發，因而國內風能之應用未有明顯之進展。

有鑑於國外風力發電應用之蓬勃發展，國內為因應 1997 年年底「氣候變化綱要公約締約國大會」所通過「京都議定書」對溫室氣體減量的決議，於 87 年 5 月舉行了「全國能源會議」，而行政院 87 年 6 月 11 日核定之「全國能源會議結論及擬採行措施」中，有關能源結構調整項目亦強調提高淨潔能源容量，其中推廣再生能源利用，規劃於 2020 年占能源總供給 3% 為目標。為執行全國能源會議結論，推動新能源及淨潔能源的使用，經濟部能源委員會特成立工作小組進行「新能源及淨潔能源研究開發規劃」，其中對台灣地區風能開發潛力重新盤點結果可達 3,000 MW 以上(含陸上及淺海海域風能)，並訂定風能推廣應用的短中長期目標如下：

- 短程(2000~2004)年暫訂 20 MW(如果電業法及相關法規與獎勵措施通過及施行，則改為 100 MW)
- 中程(2010 年)訂為 500 MW
- 長程(2020 年)訂為 1,500 MW (陸地風場 1,000 MW, 淺海海域風場 500 MW)

在推動措施方面，經濟部能源會自 89 年度開始編列預算，補助民間設立風力發電示範系統，以推廣國內風能的利用。於 89 年 3 月 22 日頒佈「風力發電示範系統設置補助辦法」，對審核通過之示範系統給予設置成本 50% 以內、最高每瓦新台幣 16,000 元之設備補助，為期五年。

工研院能資所則配合政府推動風能利用政策研擬執行「風力示範推廣計畫」，預計以五年時間技術輔導民間設置至少 18 MW 以上風力發電示範系統，以建立國內風力發電運轉技術經驗，促進民眾對淨潔風力能源之瞭解，營造推廣應用環境；同時配合發展中尺度風場評估模

式，完成台灣地區風力潛能分佈圖，並進行陸上及海域可用風力發電場址評選規劃，為進一步開發風力發電利用鋪路。

自 89 年度風力發電示範系統設置補助頒佈實施後，在能資所主動配合辦理推廣及協助輔導下，目前已完成了雲林麥寮(2.64 MW)、澎湖中屯(2.4 MW)及竹北春風(3.5 MW)三座風力發電示範系統。如圖 2-8，目前已預定裝設風力發電的容量約 590 MW，計劃中的裝設容量約 401MW，計劃至 2020 年總設置容量將可達 1,500 MW。

目前推動風力發電仍有待解決的問題，有法規及環境條件不完備等，包括：(1). 土地使用及建築法規待適度鬆綁：土地容許使用項目法規應適度鬆綁，使可設風力機發電，並可取得雜項建照及相關證照。(2). 併聯及優惠售電辦法亟待訂定。(3). 環境評估法規明確規範。

因之國內風力發電推廣障礙根本解決之道須從制度法規及改善環境條件面著手，因此推動「再生能源發展條例」，將風力等再生能源現階段推廣所面臨之土地、併聯及優惠購電等問題納入規範之「再生能源發展條例」儘速立法。以排除設置風力發電所遭遇土地取用問題，並明定併聯及優惠售電，提供更大的誘因，才可突破障礙，營造出有利的推廣應用環境。

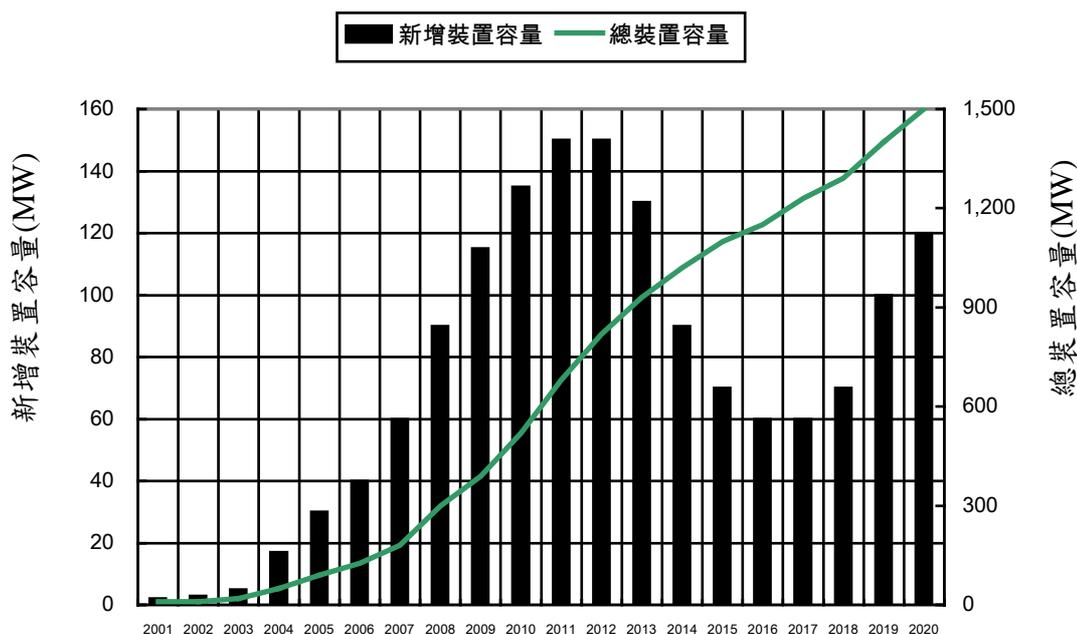


圖 2-8 台灣地區風電裝置容量計劃

### 第三章 個案研究—以春風風力示範系統為例

#### 3.1 天隆造紙廠(股)公司的沿革

天隆造紙廠股份有限公司創立於 62 年 8 月 21 日，總公司設於台北縣板橋市，竹北工廠位於新竹縣竹北市，佔地 117,117 平方公尺，廠房面積 40,025 平方公尺。資本額 166,600 萬，員工人數 456 人，為正隆股份有限公司關係企業。

本公司為提昇管理水準，強化經營體質，課求永續發展之契機，多年來引進落實如圖 3-1 的各種管理制度，先後獲得 ISO-9001 品質管理系統、ISO-14001 環境管理系統、OHSAS-18001 安全衛生管理系統的認證，在生產體制上推動「綠色生產鏈」體制，近年來積極生產為回收廢紙為原料的環保再生紙製品，並榮獲環保標章之認證。

本公司主要從事高級文化用紙、塗佈紙板、環保再生紙及家庭用紙之生產銷售。

- 
- 實施提案改善制度
  - 實施品管圈〈QCC〉活動
  - 導入全面品質管制〈TQC〉
  - 實施5S活動
  - 導入全公司品質管制〈CWQC〉
  - 實施品經體管理〈QMU〉
  - 實施日常、機能別管理
  - 導入統計品管〈SQC〉
  - 取得環保標章
  - 全面品質管理〈TQM〉訓練
  - 取得正字標記
  - 通過ISO9002驗證
  - 實施工安自護管理
  - 實施方針管理
  - 通過ISO14001驗證
  - 通過自護單位驗證
  - 導入TPM 全員生產管理系統
  - 通過OHSAS18001驗證
  - 推動ISO 9000 2000年版轉換

圖 3-1 天隆公司品質、環境管理制度里程碑

## 3.2 春風風力發電系統建置緣由

### 3.2.1 竹北工廠風力充沛

台灣地區位於最大陸項與最大海洋交界處，致東北季風相當強勁，因此台灣風力資源可謂相當豐富。圖 3-2 台灣地區 50m 高之平均風速及風能密度圖顯示，天隆竹北廠位於新竹沿海附近，年平均風速 5-6 m/sec，風能密度達  $250\text{w/m}^2$  以上，甚具風能開發潛力。

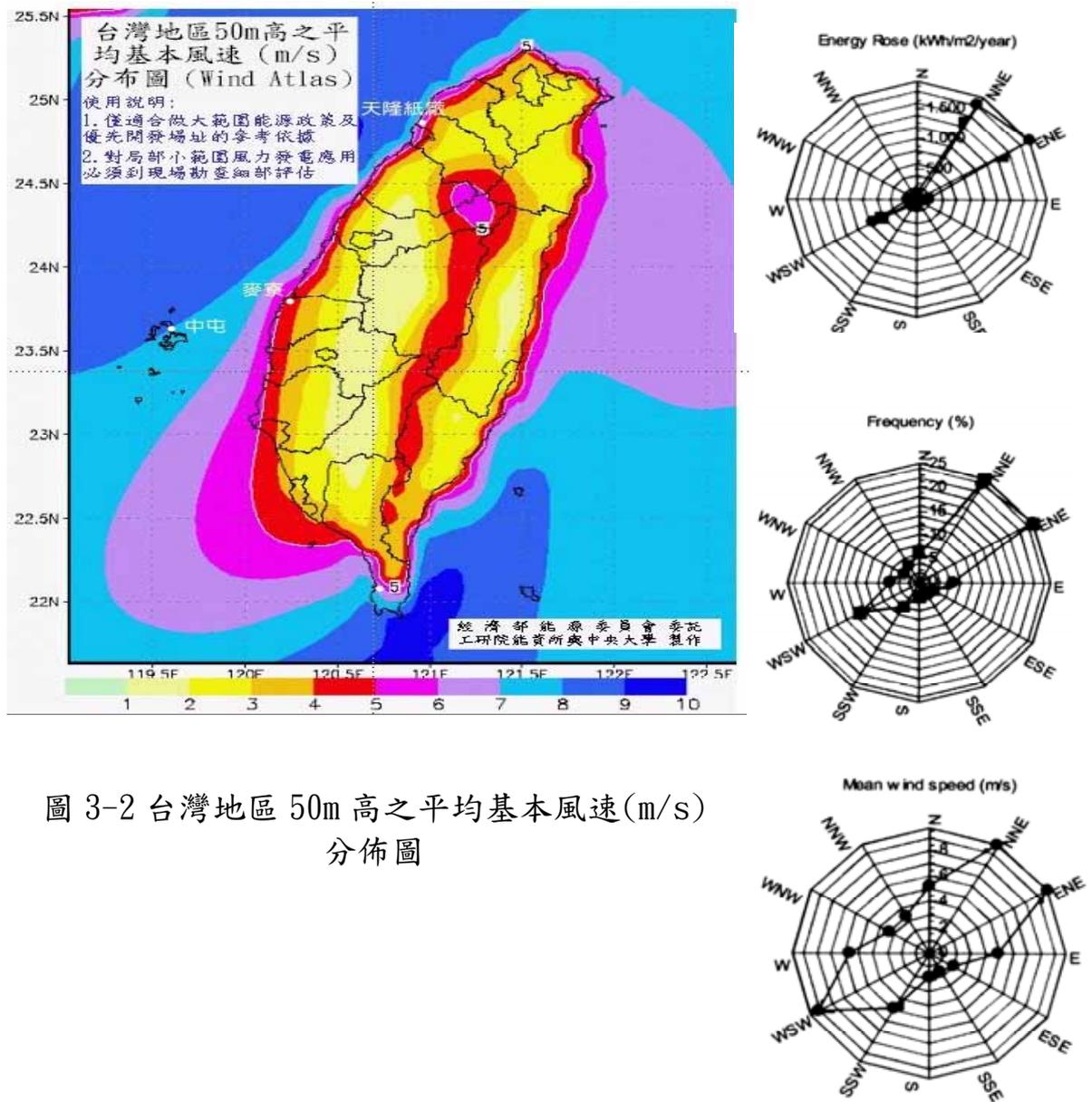


圖 3-2 台灣地區 50m 高之平均基本風速(m/s) 分佈圖

### 3.2.2 落實本公司環境政策與綠色生產鏈理念

為落實本公司”全員參與、珍惜資源、保護環境”之環境政策，本公司對廢紙資源回收，製造系列榮獲環保標章的再生紙製品，頗具成效。廢紙分類回收資源的再利用，透過清潔生產的程序，製造綠色產品(環保再生系列紙製品)，在綠色消費的潮流下，促成資源利用、回收，生生不息的循環使用，構成一最具環保概念的綠色生產鏈。而由於風力發電的加入，利用綠色能源為做為清潔生產的動力，將使春風綠色生產鏈更加落實。

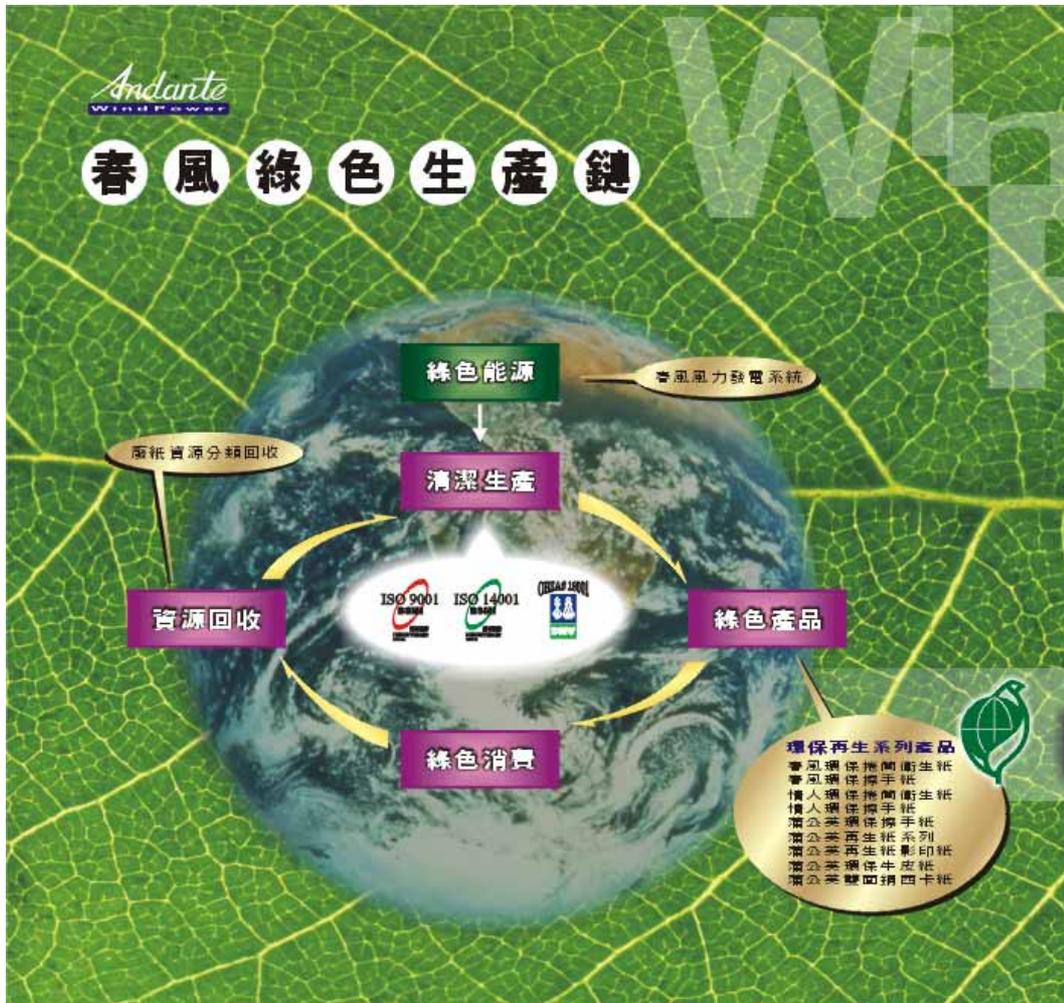


圖 3-3 春風綠色生產鏈圖

### 3.2.3 符合能源與環保潮流、配合執行政府政策

環保意識抬頭，民眾普遍關心傳統發電產生的污染問題，風能為自產之具再生零污染的綠色能源，極具發展利用價值。

政府為推動我國再生能源利用，訂定「風力發電系統設置補助辦法」，以獎勵民間投入風力發電；並透過示範運轉建立國內風電技術與經驗，促進民眾對清潔風力能源之瞭解，以營造推廣應用環境。

本公司竹北廠受限於本地區供應不足，除向台電購電外，另設置二部重油引擎發電機組，發電自用，用電成本居高不下。因此充分利用地利，配合政府的獎勵措施，開發兼具環保之再生能源，應具可發揮實質之效益。

## 3.3 春風風力發電系統概要

### 3.3.1 風力發電機基本架構

春風風力發電機由丹麥 Vestas 公司承製，如圖 3-4 主要結構由葉片轉子(Rotor)，機艙(Nacelle)，塔架及基礎等四大部分組合而成。

#### (1). 葉片轉子(Rotor)

##### (一). 型式：

本系統所使用的葉片轉子型式採三葉片水平軸高轉速翼型風力機組，葉片的迴旋負荷變動小，運轉平穩，比較二葉片或單葉片型式除可減低疲勞負荷外亦可增加葉片的壽命。

##### (二). 材質：

葉片在以往的風機設計中採用過數種的材質，本系統的葉片材質採用補強玻璃纖維 (Fiberglass Reinforced Plastics ,FRP) 材質，其主要係利用 F R P 質輕、廉價及



圖 3-4 風力發電機系統架構圖

耐氣候變、耐疲勞等特色。

### (三). 旋翼控制：

葉片旋翼控制如前述區分為二種，本系統採用旋角節制方式，因其無失速現象，可作為葉片轉子煞車，配合系統輸出控制調節輸出大小、併聯前轉速作調節、降低啟動風速且於高風速時旋葉角度較大較不切風，因而葉片尖端產生噪音較小及減低風力機、塔架、基礎的負荷等優點，有助於延長風機的壽齡。

## (2). 機艙(Nacelle)

機艙內部的相關設備如圖 3-5 風力機結構示意圖所示；其主要的設備說明如下列簡述。

### (一). 齒輪箱(Gear Box)

齒輪箱的目的在於將葉片轉子轉動的動力經行星齒輪或三級螺旋齒輪改變轉速後，傳遞至發電機作功（風能→機械能→電能）。

### (二). 發電機

利用風能轉換成電力的方法，本系統採用感應發電機。其所需要的附屬設備較少、構造堅固、體積較小，故具有價格便宜、保養易、起動簡單等等點。

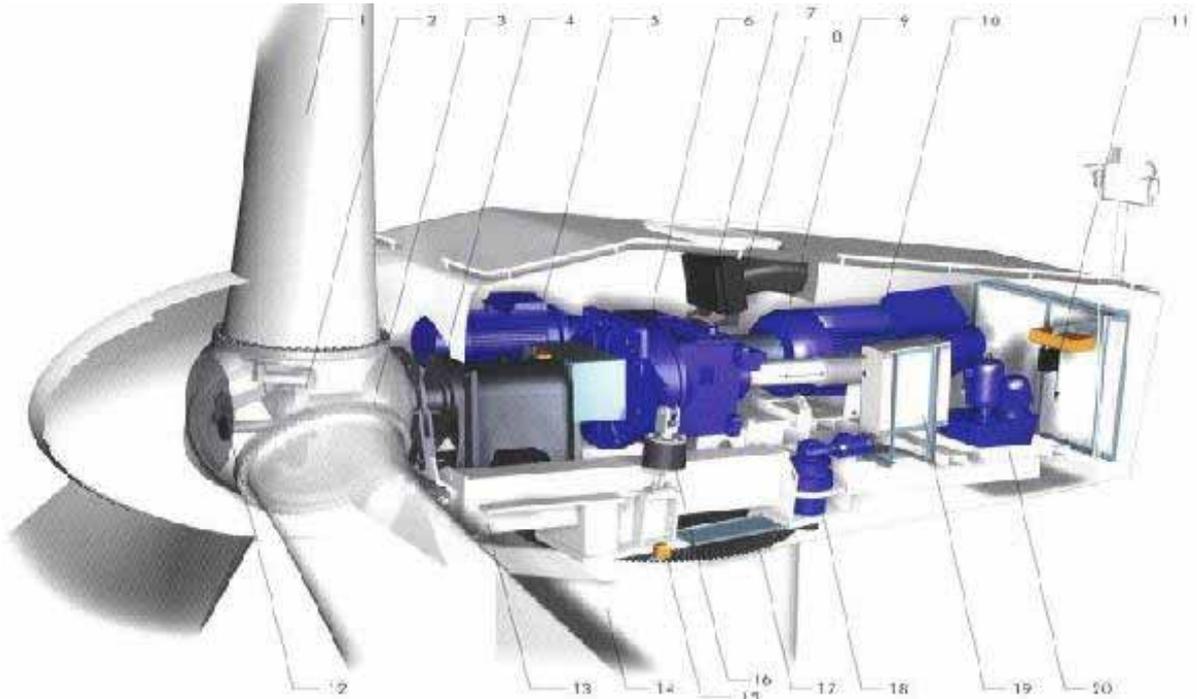
齒輪箱與發電機之間藉由連軸器耦合，傳輸動力帶動發電機發電，所發出的電力為 690V，再經變壓器升壓後併入系統使用。

### (三). 變壓器

變壓器的設計大多設置於塔架外側，本系統設計為擺設於機艙內側，採乾式變壓器，將原發電機所發之電力由 690V 升壓至 11.4KV 後併入本公司電力系統中供製程使用。

### (四). 轉向系統(Yawing System)

因本系統風機採用上風被動轉向來追風轉向，透過風標(Windvane)訊號控制轉向系統迎風轉向；同時設計亦有自動迴轉裝置，即連續轉向超過一定角度（ $1620^{\circ}$ ；四圈半）時，可自動偵測後利用驅動馬達自動控制逆轉回設定之原點位置，以防止電纜線過度扭轉而損壞。



- |        |         |           |           |
|--------|---------|-----------|-----------|
| 1、葉片   | 6、齒輪箱   | 11、維修用小吊車 | 16、齒輪箱支撐桿 |
| 2、葉輪輪轂 | 7、碟式煞車  | 12、旋角控制桿  | 17、轉向齒輪盤  |
| 3、葉片軸承 | 8、油溫冷卻器 | 13、機組座架   | 18、轉向齒輪   |
| 4、主傳動軸 | 9、萬向接軸  | 14、塔架     | 19、塔頂控制單元 |
| 5、副發電機 | 10、主發電機 | 15、轉向控制   | 20、油壓控制單元 |

圖 3-5 風力機結構示意圖

### (3). 塔架(Tower)

塔架結構共分三段，各段均係由數種厚度的鐵板滾圓銲接而成，其鋼板材質為 A36 衝擊強度於 0°C 時可達 27 焦耳，另外厚度由最底層 26mm 至最頂層 12mm 所構成底圓直徑 4 公尺、頂層直徑 2.3 公尺的錐形塔架。

### (4). 基礎(Foundation)

風力機組的基礎功能在於承受機組的重量及防止機組的傾倒，本系統基礎設計採 RC 結構設計施工，其設計為長 14.3 公尺 \* 寬 14.3 公尺 \* 深 3 公尺、RC 結構厚 2 公尺的設計其設計考量主要以風吹襲所產生的傾倒力及力矩為設計的依據。

### 3.3.2 春風風力發電機系統規格

(1). 機組型號：

系統所採用的風機為丹麥Vestas公司所製造，其機型為V66/1.75MW。

(2). 輸出容量：1,750kw

本系統風力發電機的最大輸出電力容量為1,750kW。

(3). 塔架高度：60公尺

塔架的高度愈高與風的能量亦相對增加。在規劃風力發電系統時對於設置的點，如安裝機械（吊車）可停放且吊裝能力也可達到規劃之高度，同時無相關的高度限制應採取較高塔架高的設計規劃設置。春風風力發電系統設置位置點，因離鄰近的新竹機場約4.2 Km，因航高的限制，風機可設置之最高僅可達100公尺，原可選用67公尺高塔架，加上葉輪半徑33公尺，剛好為100公尺高，但為使系統能完全符合規定及考量安全性選用60公尺高的塔架設置。

(4). 葉片直徑：66 m

風機的葉片單片為32公尺，其旋轉鼻輪(Hub)直徑2.3公尺，經組合後構成一直徑66公尺的葉片轉子 (Rotor)組。

(5). 啟動風速：4 m/sec

風機的葉片於低風速(平均風速2.5公尺/秒以上)時葉片開始啟動旋轉，待風速超過4公尺/秒時，發電機開始作電力的輸出。

(6). 滿載風速：14 m/sec

風力發電機的電力輸出依風速與發電量關係對照表所示，風速於14公尺/秒以上時，可達最大電力輸出，但在同型設計上因設計噪音值不同時，滿載風速隨之改變。

(7). 關機風速：25 m/sec

為考慮風機結構的安全性及延長風機的壽齡，葉片於高風速中運轉時，因風速增加後所產生的風切阻力相對增加，對葉片的疲勞負荷相對增加進而降低風機的壽齡，因此為避免風機如於高風速中

持續運轉，造成葉片轉子 (Rotor)負荷過大而降低其壽齡，在風機的設計中皆考量關機風速之設計，且相同設計之原理之不同廠牌風機，其關機風速大多相同。

(8). 最大耐風速：70 m/sec

依International Stand IEC614001-1 (Wind turbine generator system)中所規範定義(WTGS class)共分四等級本廠所採用的設計為最高等級(class I)，平均耐風強度為可耐超過50公尺/秒之風速，瞬間陣風可耐超過70公尺/秒以上。



### 3.3.3 天隆造紙廠用電系統

如圖 3-6 所示為天隆造紙廠用電系統圖，全廠的平均用電需量為 12,000Kw，除台電所供應之外其餘不足的由自用發電設備〔重油發電機(9,000kw)、風力發電機(3,500kw)〕補足所需的電量。在設置風力發電機組前不足的電力完全由重油發電機組提供，電單價成本較高，但風力機設置完成後因有政府補助單位電價成本較低，除可取代部分單價較高的發電機電量外亦扮演一小型的分散式電力系統。



圖 3-6 天隆造紙廠用電系統圖

## 3.4 春風風力發電示範系統工程施工監造過程

### 3.4.1 系統施工前準備

(1). 風機設備安裝的必要資訊取得了解與取得：

風機設備是由塔架、機艙及葉片等機構所構成，且有長、大、重等的特性。因此在設備入廠前必須考量運輸的路線及施工時適的吊裝機具，因此必須事先收集設備的各項規格：如尺寸、重量及材質等資料，以妥善作好事前規劃的準備工作。

(2). 設備運輸、入廠及安裝作業區規劃配置：

1. 風機設備的規格尺寸大且重量重，在運輸過程中對設備人員的安全的考量，必須選擇適當的運輸機具及最佳的貨物固定方式，安排最佳的運輸路線以確保設備得以安全抵達廠區內。

2. 如前述因風機設備重且大，為避免施工時設備需二次的搬運，因此設備抵達安裝現場的擺設位置及施工吊車必須依所取得的設備規格資訊分析，選擇最佳的吊裝設備並了解所需的作業空間規劃吊車及風機設備擺設位置。

### 3.4.2 春風風力發電系統工程管制作業

(1). 春風風力發電系統設備除機艙及葉片轉子機組由國外購置外，塔架及基礎均由天隆公司於國內自行發包製作，因此在時程的規劃及銜接上必須確實掌控，以進口設備的交期時程控制國內發包製作訂購及交期時間點，以期工程的配合界面得以順利。實際的施工規劃執行請參閱附

(2). 設備安裝及吊裝前注意事項：

1. 礎施工時程的規劃以國外進口設備預計抵台的時間，再加上基礎的強度養生期往前推算開工的管制點。

2. 依進口設備實際將抵台的時間，通知塔架製造廠交貨入廠的時間，避免安裝區的設備需二次搬運。

3. 吊裝設備的實際吊裝能力再確認（配重、吊裝揚高...等），以確保施工過程的人員、機具設備安全。

### 3.4.3 施工及安裝過程

- (1). 設備安裝的過程最需考量的因素除施工前的規劃必須完整外，過程中最需注意的為天氣因素且風速為最需考慮的條件，施工前了解未來二天的天氣狀況，以規劃施工進行的順序；作最佳的施工順序調配以降低因等待所浪費的時間。
- (2). 風力發電設備的安裝除由原廠技師至現場指導安裝程序及重點外，其他安裝所需的相關人員、機具均由天隆造紙廠公司自行於國內發包，藉由此系統的施工過程中其相關施工經驗可作為未來國內後續推動的風力發電工程作最佳的技術指引參選，為風電工程的推動順利進行。
- (3). 設備施工\吊裝\安裝順序，依設備大項目區分為四大部分；基礎→塔架→機艙→葉片轉子，最後為內部線路的接線及部分元件接合校正工作。在各項中均有其施工前的準備工作，依前項所述如遇天氣影響，無法吊裝作業，則先行調配後項施工（吊裝）項目的準備工作先行準備，以待天後候狀況允許吊裝後再行吊裝作業，以降低施工危險性及作有效率的工程時程管制且減少因等待所浪費的時間。相關的施工圖片如圖 3-10 春風風力發電示範系統施工記錄。

#### 1. 基礎施工：

風車的基礎施工由設計完成後開始施工，且開挖完成首要工作為埋設接地線，之後才開始作打底、綁鋼筋、配置校正及安裝塔架底座、灌漿的作業，最後作養生的工作，等待基礎達到設計的強度值後方可安裝風機機組。

#### 2. 塔架吊裝：

塔架安裝工作，主要在於組合三層塔架的工作，吊裝底層塔架前必須先行將風機底部的控制盤吊裝至塔架內部後，再將底部、中間及上層塔架依續吊裝，施工過程中上下塔架的固定由螺絲螺帽的鎖緊來完成接合，且所需的扭力值均依原廠設計規定用油壓扳手旋轉固定。

#### 3. 機艙吊裝：

機艙吊裝前必須先行裝機艙頂部的附屬相關設備，如航空警示燈及風向風速儀後才開始吊裝作業。

機艙吊裝起吊前必須於地面校正吊裝設備的水平平衡後再開始向上吊裝安裝的動作，以確保至頂部與塔架接合銜接面的順利接合固定。

4. 葉片組裝：

葉片轉子的組合由鼻輪（HUB）及三片葉片所組成，組裝區域選擇條件除佔地需較大外，地面的平整性亦為重要考量因素。

組裝開始時依規劃位置放輪頭至定點，再依次組裝三支葉片，組裝葉片時必須注意每支葉片的相對角度值必須相同方可鎖緊固定，便完成初步葉片的組裝作業。

5. 葉片吊裝：

葉片的吊裝作業中，因葉片的尺寸長且較大吊裝時必須考量風速條件是否符合吊裝作業，在確定可施工後，方可做最後將鼻頭定於鼻輪上且作必要的防水及接合劑的接著，完成葉片組裝工作開始吊裝，且一旦開始吊裝就必須安裝至完成，無法將葉再放置回地面上。

葉片吊裝過程中，葉片吊裝的左右平衡非常重要，有賴地面安裝施工人員控制繩索鬆緊的平衡而定，吊裝至與機艙接合後即完成外觀硬體的組裝工作。

6. 內部線路的接線工作及部元件接合工作為最後的施工項目，完成後即開始試運轉工作的進行，至工程結束。

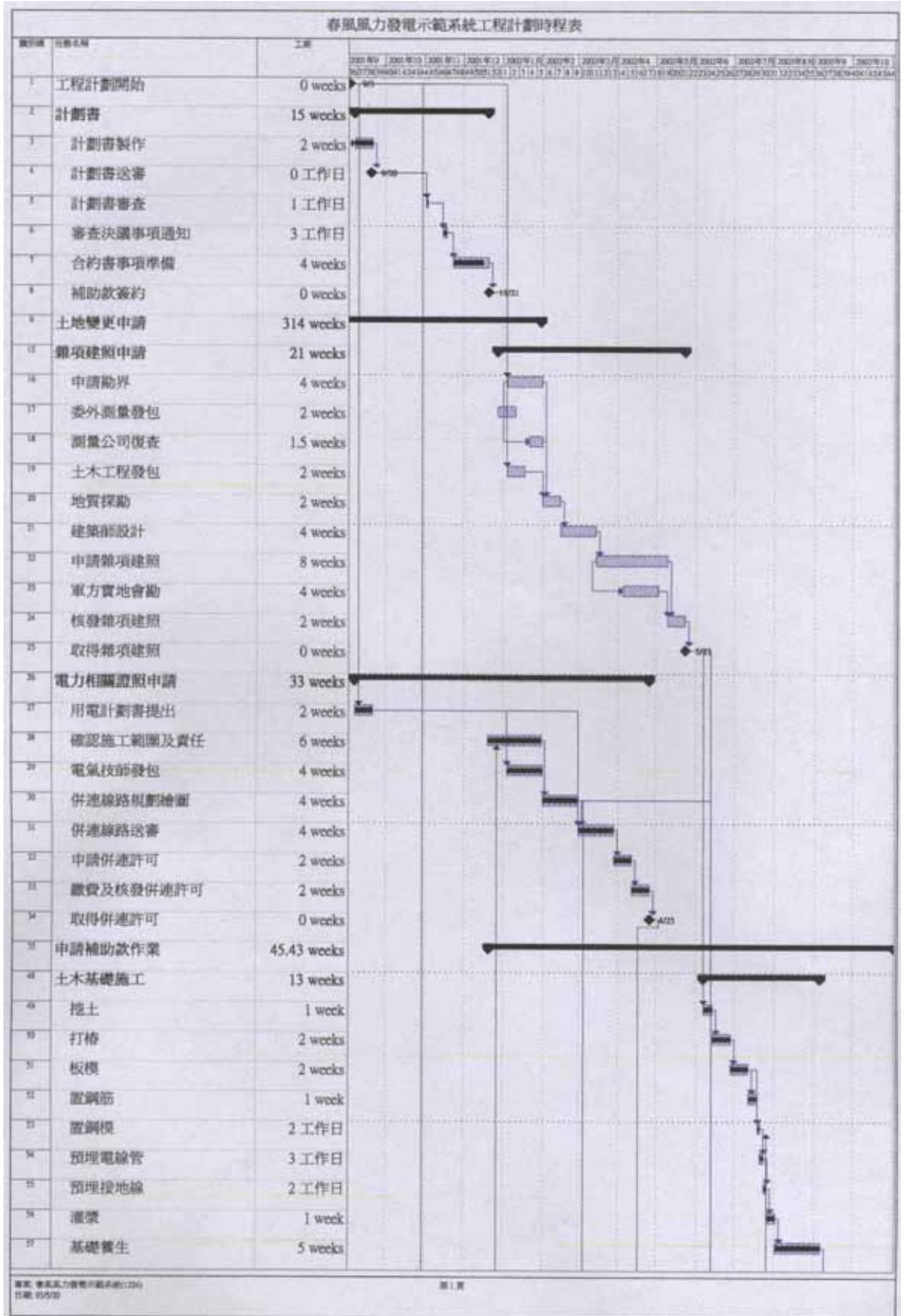


圖 3-9 春風風力發電示範系統施工進度(管制)表





圖 3-10 春風風力發電示範系統施工記錄

## 第四章 風力發電成本效益的評估

### 4.1 春風風力發電示範系統的現況分析

春風風力發電系統設有 2 部 1,750kw 級的風力發電機，自 90 年 9 月 20 日提出設置申請，於 91 年 10 月底安裝設置完成，同年 11 月份開始運轉，表 4-1 為春風風力發電示範系統 91 年 11 月~93 年 3 月的運轉記錄表。

就發電機的運轉率言，#1、#2 發電機平均運轉率分別僅 80.7%、87%，初期運轉率並未達到預期目標，主要因素為#1、#2 發電機分別在 92 年 3 月、4 月及 7 月、8 月及 93 年元月，因為風機故障待更新致運轉率偏低之故，第一年運轉率不佳，亟待改善。

圖 4-1 春風風力發電量及風速曲線圖可見，竹北地區 1~3 月，平均風速為 6.1~8.4 m/sec，10~12 月平均風速則高達 9.1 m/sec 以上，符合預期設計目標，尤其以 10~12 月平均每月發電量達 100 萬 KWH 以上，總發電效率高達 39.5%，是最佳風力發電季節。而 4~9 月平均風速僅及 4.6~4.9 m/sec，平均發電量僅 40 萬 kwh。表 4-1 可見 17 個月平均總發電效率為 24.5%，期間發電是達約 953 萬 kwh，若排除因風機故障之因素，總發電效率及總發電量，將相對的提高。

表 4-1 春風風力發電示範系統運轉記錄表

2003 年 月	#1 風機		#1 風機平 均風速	#2 風機		#2 風機平 均風速	總發電量 KWH	總發電效率	月平均 風速
	運轉率 (%)	發電量 KWH		運轉率 (%)	發電量 KWH				
11 月	97.2	390,934	7.5	97	303,066	7.4	694,000	27.5%	7.5
12 月	98.4	409,318	7.9	99.9	326,182	7.8	735,500	28.2%	7.9
1 月	99.7	439,139	8.4	97.2	324,751	8.3	763,900	29.3%	8.4
2 月	97.1	306,670	7.3	100.0	232,622	7.1	539,300	22.9%	7.2
3 月	84.2	319,350	6.2	11.8	31,843	6.0	351,200	13.5%	6.1
4 月	19.5	34,264	4.9	100.0	219,130	4.9	253,400	10.1%	4.9
5 月	88.1	196,730	4.8	97.0	164,765	4.9	361,500	13.9%	4.9
6 月	90.7	177,669	4.6	30.4	86,426	4.7	264,100	10.5%	4.7
7 月	22.4	8,472	4.6	47.6	105,623	4.9	114,100	4.4%	4.8
8 月	50.7	33,139	4.5	100.0	87,055	4.7	120,200	4.6%	4.6
9 月	100.0	201,208	5.0	100.0	213,787	4.8	415,000	16.5%	4.9
10 月	100.0	568,480	9.2	100.0	461,310	9.0	1,030,600	39.5%	9.1
11 月	100.0	587,206	9.4	99.9	491,283	9.1	1,078,500	42.8%	9.3
12 月	98.3	584,701	9.3	99.9	460,788	9.0	1,045,500	40.1%	9.2
1 月	52.8	204,001	7.8	99.8	322,299	7.9	526,300	20.2%	7.9
2 月	88.4	330,479	7.8	99.6	297,220	7.6	627,700	26.7%	7.7
3 月	84.5	293,157	6.2	99.7	312,743	6	605,900	23.3%	6.1
平均	80.7		6.8	87		6.7			
合計		4,461,811			4,441,252		9,526,700	24.9%	6.75

註：資料來源：本研究整理

風力發電量及風速統計

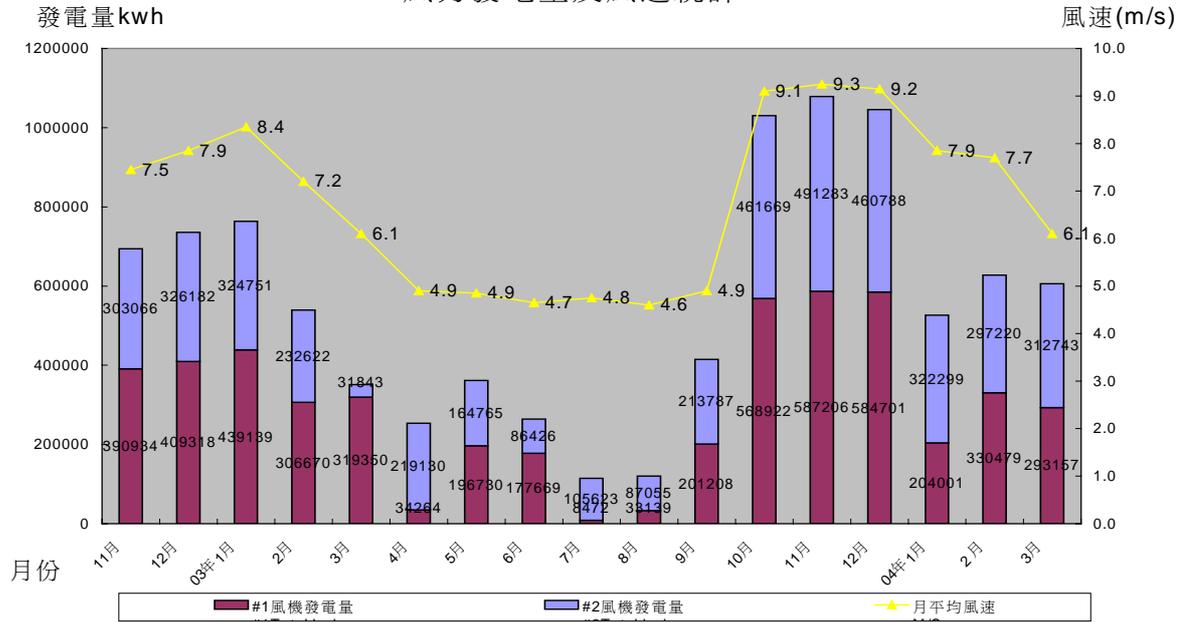


圖 4-1 春風風力發電量及風速曲線圖



## 4.2 春風風力發電運轉的成本效益

### 4.2.1 竹北工廠現有用電成本分析

竹北工廠地處台電線路容量不足、供應短缺之地方，長期受缺電之苦，為滿足工廠用電之需，先後設置兩部重油發電機，表 4-2 統計最近三年工廠用電，來源中台電與重油發電，其供電比例三年平均分別為 39.6%及 60.4%。91 年 11 月加入二部風力發電機後；台電、重油發電、風力發電三種電源 17 個月平均用電比例分別為 37.5%、55.6%、6.9%，表 4-3 數據可知春風風力發電示範系統運轉後，台電供電比率降低 2.1%，風力發電取代率 30.4%，重油發電比例降低 4.8%，風力發電取代率 69.6%。

表 4-2 竹北廠風電設置前後不同電源用電比率統計表

電源別 年度別	用電量(1,000kwh)			佔比%		
	台電	重油發電	風力發電	台電	重油發電	風力發電
89	34,912	59,439	—	37	63	—
90	36,288	49,595	—	43	57	—
91 (1-10 月)	30,851	46,983	—	39.6	60.4	—
平均	(102,051)	(156,017)		39.6	60.4	
91 年 11 月   93 年 3 月	51,501	76,305	9,526.7	37.5	55.6	6.9

表 4-3 風力發電不同電源供電替代率分析表

項目	台電	重油發電	風力發電
風電設置前%	39.6	60.4	—
風電設置後%	37.5	55.6	6.9
風電設置前後 用量比例降低%	2.1	4.8	
相對替代比例%	30.4	69.6	

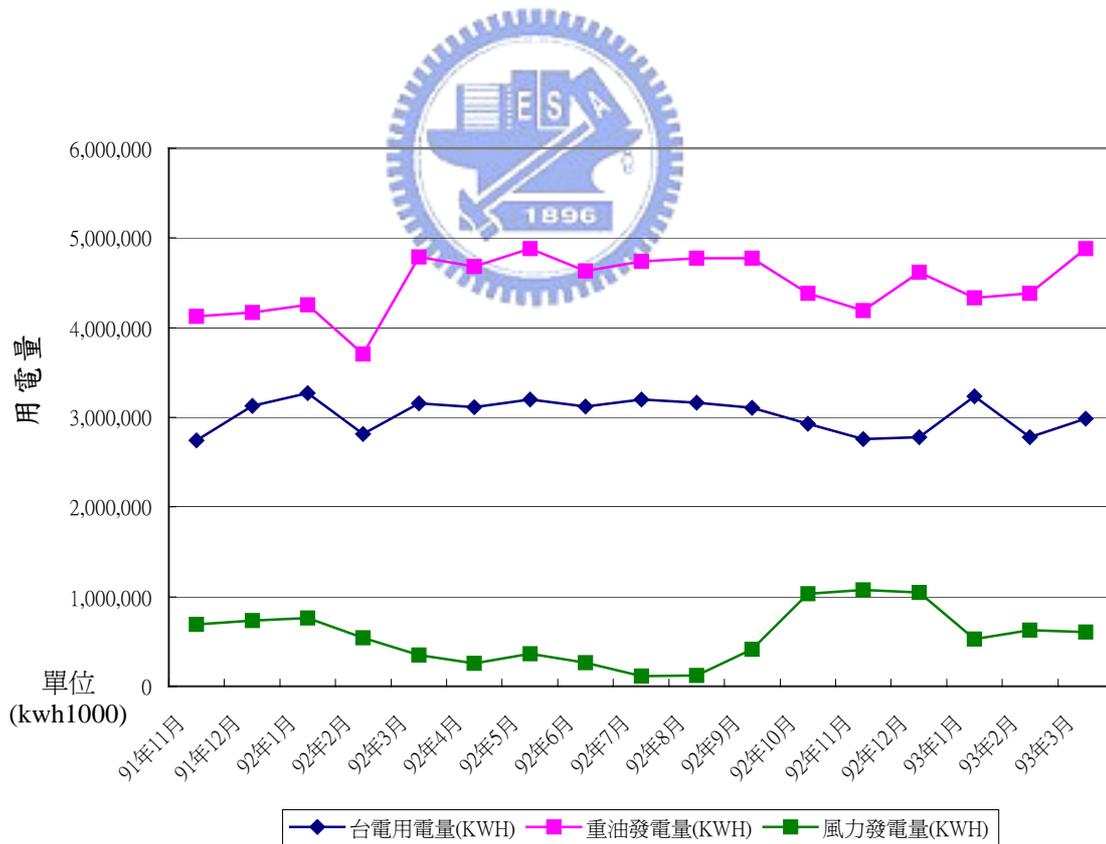


圖 4-2 竹北工廠不同電源用電比率曲線圖

表 4-4 為竹北工廠不同電源每月用電比率與成本統計表，表中統計 91 年 11 月～93 年 3 月間 17 個月資料，可見台電平均成本單價為 1.35 元/kwh，重油自發電成本單價為 2.46 元/kwh。竹北工廠約平均用電平均成本單價為 2.012 元/kwh。若以風力發電開始運轉後，風電對台電、重油自發電之替代率分別為 30.4% 及 69.6%，依不同電源平均用電成本單價加權平均計算，風電之售電成本應為 2.122 元/kwh。

$$1.35 \times 30.4\% + 2.46 \times 69.6\% = 2.122 \text{ 元/kwh}$$

表 4-4 竹北廠不同電源每月用電比率與成本統計表

項目 月份	台電用電量 kwh	台電單價 元	重油發電量 kwh	重油發電單價 (元/kwh)	風力發電量 kwh
91 年 11 月	2,744,800	1.370	4,128,100	2.41	694,000
91 年 12 月	3,131,200	1.354	4,170,600	2.41	735,500
92 年 1 月	3,272,000	1.271	4,254,600	2.52	763,900
92 年 2 月	2,817,600	1.236	3,702,900	2.49	539,300
92 年 3 月	3,160,000	1.279	4,786,900	2.63	351,200
92 年 4 月	3,113,600	1.253	4,682,300	2.51	253,400
92 年 5 月	3,200,800	1.277	4,881,600	2.37	361,500
92 年 6 月	3,122,400	1.503	4,628,400	2.50	264,100
92 年 7 月	3,202,400	1.656	4,741,700	2.52	114,100
92 年 8 月	3,165,600	1.523	4,774,000	2.55	120,200
92 年 9 月	3,107,200	1.592	4,773,300	2.48	415,000
92 年 10 月	2,931,200	1.261	4,379,600	2.41	1,030,600
92 年 11 月	2,758,400	1.292	4,186,500	2.40	1,078,500
92 年 12 月	2,780,000	1.316	4,618,900	2.35	1,045,500
93 年 1 月	3,235,200	1.128	4,331,900	2.35	526,300
93 年 2 月	2,776,800	1.265	4,385,400	2.46	627,700
93 年 3 月	2,982,400	1.347	4,878,600	2.42	605,900
合 計	51,501,600		76,305,300		9,526,700
比 例	37.5%	1.35	55.6%	2.46	6.9%

## 4.2.2 不同情境的效益分析基礎

### 1. 發電量說明：

春風風力示範系統自九十一年十一月發電運轉迄九十三年三月累計發電量已達 9,526,700 kwh，其每月的風力發電量詳如表 4-1。

由於台灣風力特性為冬強夏弱，可知 10 月至翌年 2 月是最適風力發電的季節，因此本研究取 92 年元月至 12 月區間之發電總和，並加上因發電機更新所損失的理論發電量計算。如表 4-5 所示，92 年全年度春風發電系統經修正值，年發電量為 7,063,000kwh，以此數據來分析其發電效益。

表 4-5 92 年度春風風力發電年發電量統計分析表(修正值)

月份	#1風機發電量 #1Total kwh	#1風機 風速M/S	#2風機發電量 #2Total kwh	#2風機 風速M/S	總發電量 Total kwh	總發電效率 Capacity Factor	月平均風速 M/S
1月	439,149	8.4	324,751	8.3	763,900	29.3%	8.4
2月	306,678	7.3	232,622	7.1	539,300	22.9%	7.2
3月	318,516	6.2	216,084	6.0	534,600	20.5%	6.1
4月	240,540	4.9	219,960	4.9	460,500	18.3%	4.9
5月	196,735	4.8	164,765	4.9	361,500	13.9%	4.9
6月	176,157	4.6	171,543	4.7	347,700	13.8%	4.7
7月	181,460	4.6	126,140	4.9	307,600	11.8%	4.8
8月	94,230	4.5	84,070	4.7	178,300	6.8%	4.6
9月	201,213	5.0	213,787	4.8	415,000	16.5%	4.9
10月	568,931	9.2	461,669	9.0	1,030,600	39.6%	9.1
11月	587,217	9.4	491,283	9.1	1,078,500	42.8%	9.3
12月	584,712	9.3	460,788	9.0	1,045,500	40.1%	9.2
		6.8		6.7			
Total	3,895,538		3,167,462		7,063,000	23.0%	6.75

## 2. 分析效益內部電力售價說明：

天隆竹北廠之用電無法全部由台電供應，部分電力需仰賴重油發電供給。而台電平均電價，經尖離峰電力調節，平均成本單價為 1.35 元/kwh，重油自發電平均成本單價卻高達 2.46 元/kwh。

由前述內容及表 4-2 及 4-3 內容中，於增設風力發電後，對原供電系統中台電及重油發電的取代率不同，因此由 92 年度風電取代部分台電及重油自發電後之加權平均成本單價為 2.122 元/kwh，以此單價作為不同情境的成本效益分析中內售電價計算的條件之一。

另重油發電的發電成本目前仍然偏高，有待未來台電公司能提供更多的電源供竹北廠使用，則風力發電所需的調配電力仍由台電供應外其餘可完全取代重油發電，因此再將重油自發電平均成本 2.46 元/kwh 作為成本效益分析中另一內售電價計算的條件。

## 3. 效益分析基本條件：

由上列的不同內售電價及補助與否分析不同情境效益，茲將春風風力發電示範系統效益分析所需之各項數據條列如下：

- (1)、投資成本：總投資新台幣 11,875 萬(含展示用軟、硬體部分)，扣除補助款後實際投資成本為 6,275 萬元。
- (2)、維護運轉費：以設備投入金額之 1%
- (3)、年發電量：706 萬 kwh
- (4)、變動成本：無
- (5)、折現率：5%
- (6)、通貨膨脹率：3%
- (7)、營業所得稅率：25%
- (8)、平均發電成本計算方式： $(\text{成本現值} + \text{折舊費用}) / \text{發電量}$

#### 4. 不同情境分類說明：

效益分析中除了以內售電價的不同外，分別以補助與否搭配分析，再以相同的使用年限計算不同的折舊年限作分析。不同情境分析中以有無補助為分析主軸再搭配不同條件作分析。

依政府補助與否，內撥電價的不同，折舊年限的不同等各項條件可作下列不同情境的效益分析，說明如下：

- (1)、情境 I：無政府補助，內部售電價格以 2.122 元/kwh，年折舊以 20 計算分析。
- (2)、情境 II：無政府補助，內部售電價格改以完全替代重油發電成本 2.46 元/kwh，折舊仍以 20 年計算分析。
- (3)、情境 III：有政府補助，內部售電價格 2.122 元/kwh，以 20 年折舊計算分析。
- (4)、情境 IV：有政府補助，內部售電價格仍以 2.122 元/kwh，以 10+1 年加速折舊計算分析。
- (5)、情境 V：有政府補助，內部售電價格改以完全替代重油發電成本 2.46 元/kwh，以 20 年折舊計算分析。
- (6)、情境 VI：有政府補助，內部售電價格 2.46 元/kwh，以 10+1 年加速折舊計算分析。

### 4.2.3 無政府補助的成本效益分析

風力發電的投資成本雖然已因大型機組化及量產的條件下價格日漸降低，但在比較不同發電系統中每單位 kwh 的投資成本，風機投資成本仍舊位居高單價成本之列，因此在投資風力發電設備除了考量有政府補助款與否外，依採取不同內部售電成本及不同折舊年限，其經濟效益有顯著的不同。

表 4-6 為無政府補助款，以折現現金流量分析結果得知，在風力發電收購單價以 2.122 元/kwh 計，依累計稅後現金流量值計算，折現回收年限為 14.6 年，20 年的內部報酬率為 2.3%。

表 4-7 為無政府補助款，以折現現金流量分析結果，計算由風力發電所發電力完全取代重油發電，風力發電收購單價以 2.46 元/kwh 計時，依累計稅後現金流量值計算，折現回收年限為 11.9 年，20 年的內部報酬率為 4.2%。

由此可見，純經濟效益觀點而言，以現階段設備的高投資金額，在分析的內部售電價格，雖然高於未來電業法所訂定售(收)電單價 2 元/kwh，但分析後數據顯示出內部報酬率皆低於內部資金成本，以本個案條件下，在政府無補助的情境下，仍不宜投資風力發電。

表 4-6 情境 I 春風風力發電示範系統折現現金流量分析表

年	成本投入 (仟元)	年發電量 (仟kwh)	售電收入 (仟元)	淨收入 (仟元)	折舊 (仟元)	稅後現金流量 (仟元)	成本現值 (仟元)	發電量現值 (仟kwh)	稅後現金流量現值 (仟元)	累積稅後現金流量現值 (仟元)
0	118,756		0	-118,756	0		118,756		-118,756	-118,756
1	1,188	7,063	14,988	13,800	5,938	11,834	1,131	6,727	11,270	-107,486
2	1,224	7,063	14,988	13,764	5,938	11,808	1,110	6,406	10,710	-96,775
3	1,260	7,063	14,988	13,727	5,938	11,780	1,089	6,101	10,176	-86,599
4	1,298	7,063	14,988	13,690	5,938	11,752	1,068	5,811	9,668	-76,931
5	1,337	7,063	14,988	13,651	5,938	11,722	1,048	5,534	9,184	-67,746
6	1,377	7,063	14,988	13,610	5,938	11,692	1,028	5,271	8,725	-59,022
7	1,419	7,063	14,988	13,569	5,938	11,661	1,008	5,020	8,287	-50,734
8	1,461	7,063	14,988	13,527	5,938	11,629	989	4,781	7,871	-42,863
9	1,505	7,063	14,988	13,483	5,938	11,597	970	4,553	7,476	-35,388
10	1,550	7,063	14,988	13,438	5,938	11,563	952	4,336	7,099	-28,289
11	1,597	7,063	14,988	13,391	5,938	11,528	933	4,130	6,740	-21,549
12	1,644	7,063	14,988	13,343	5,938	11,492	916	3,933	6,399	-15,150
13	1,694	7,063	14,988	13,294	5,938	11,455	898	3,746	6,075	-9,075
14	1,745	7,063	14,988	13,243	5,938	11,417	881	3,567	5,766	-3,309
15	1,797	7,063	14,988	13,191	5,938	11,378	864	3,397	5,473	2,164
16	1,851	7,063	14,988	13,137	5,938	11,337	848	3,236	5,194	7,358
17	1,906	7,063	14,988	13,081	5,938	11,295	832	3,082	4,928	12,286
18	1,964	7,063	14,988	13,024	5,938	11,253	816	2,935	4,676	16,962
19	2,022	7,063	14,988	12,965	5,938	11,208	800	2,795	4,435	21,397
20	2,083	7,063	14,988	12,905	5,938	11,163	785	2,662	4,207	25,604

註：表說明

以無政府補助金額自行投資設置風力發電分析：

- (1) . 設備壽命為 20 年，折舊以 20 年計算
- (2) . 以電能售價 2.122 元/kwh 售出計價
- (3) . 20 年的內部報酬率(IRR)2.3%
- (4) . 平均發電成本為 1.56 元/kwh
- (5) . 折現回收年限為 14.6 年

表 4-7 情境 II 春風風力發電示範系統折現現金流量分析表

年	成本投入 (仟元)	年發電量 (仟kwh)	售電收入 (仟元)	淨收入 (仟元)	折舊 (仟元)	稅後現金流量 (仟元)	成本現值 (仟元)	發電量現值 (仟kwh)	稅後現金流量現值 (仟元)	累積稅後現金流量現值 (仟元)
0	118,756		0	-118,756	0		118,756		-118,756	-118,756
1	1,188	7,063	17,375	16,187	5,938	13,625	1,131	6,727	12,976	-105,780
2	1,224	7,063	17,375	16,151	5,938	13,598	1,110	6,406	12,334	-93,446
3	1,260	7,063	17,375	16,115	5,938	13,570	1,089	6,101	11,722	-81,724
4	1,298	7,063	17,375	16,077	5,938	13,542	1,068	5,811	11,141	-70,583
5	1,337	7,063	17,375	16,038	5,938	13,513	1,048	5,534	10,588	-59,995
6	1,377	7,063	17,375	15,998	5,938	13,483	1,028	5,271	10,061	-49,934
7	1,419	7,063	17,375	15,956	5,938	13,452	1,008	5,020	9,560	-40,374
8	1,461	7,063	17,375	15,914	5,938	13,420	989	4,781	9,083	-31,290
9	1,505	7,063	17,375	15,870	5,938	13,387	970	4,553	8,629	-22,661
10	1,550	7,063	17,375	15,825	5,938	13,353	952	4,336	8,198	-14,463
11	1,597	7,063	17,375	15,778	5,938	13,318	933	4,130	7,787	-6,677
12	1,644	7,063	17,375	15,731	5,938	13,282	916	3,933	7,396	719
13	1,694	7,063	17,375	15,681	5,938	13,245	898	3,746	7,024	7,743
14	1,745	7,063	17,375	15,630	5,938	13,207	881	3,567	6,670	14,414
15	1,797	7,063	17,375	15,578	5,938	13,168	864	3,397	6,334	20,748
16	1,851	7,063	17,375	15,524	5,938	13,128	848	3,236	6,014	26,762
17	1,906	7,063	17,375	15,469	5,938	13,086	832	3,082	5,709	32,471
18	1,964	7,063	17,375	15,411	5,938	13,043	816	2,935	5,420	37,891
19	2,022	7,063	17,375	15,352	5,938	12,999	800	2,795	5,144	43,035
20	2,083	7,063	17,375	15,292	5,938	12,953	785	2,662	4,882	47,917

註：表說明

無政府補助金額，投資設置風力發電；以所發電力完全取代重油發電成本作分析。

- (1) . 設備壽命為 20 年，折舊以 20 年計算
- (2) . 以電能售價 2.46 元/kwh(重油發電成)售出計價
- (3) . 20 年的內部報酬率(IRR)4.2%
- (4) . 平均發電成本為 1.56 元/kwh
- (5) . 折現回收年限為 11.9 年

#### 4.2.4 有政府補助的成本效益分析

由無政府補助情境下之分析數據皆顯示出內部報酬率皆低於內部資金，對於投資者而言不是最佳的投資決策，依現有政策推行風力發電設置補助方案而言，補助投資申請者設置風力發電，對初期的設置成本的投入可大幅減少，其實際的成本效益應隨之提高，因此再依不同情境分析其投資的效益。

表 4-8 為政府補助下，以折現現金流量分析結果得知，若風力發電電能售價以 2.122 元/kwh 計時。10 年的內部報酬率為 6.5%；依累計稅後現金流量值計算，20 年內部報酬率為 11.1%，折現回收年限為 6.9 年。若折舊年限以 11 年計，表 4-9 可知內部報酬率提高為 7.8%，20 年的內部報酬率為 11.9%，折現回收年限為 6.4 年。

表 4-10 分析風力發電內撥電價以 2.46 元/kwh 計時，20 年折舊條件下，10 年的內部報酬率為 10.2%，20 年的內部報酬率為 14.1%，折現回收年限為 5.8 年；若折舊年限縮短為 11 年時，表 4-11 可見 10 年的內部報酬率提昇至 11.4%，20 年的內部報酬率提昇至 14.9%，折現回收年限為 5.4 年，因此依春風風力發電示範系統個案，依實際運轉效益分析，本投資應具有經濟效益。

表 4-8 情境Ⅲ春風風力發電示範系統折現現金流量分析表

年	成本投入 (仟元)	年發電量 (仟kwh)	售電收入 (仟元)	淨收入 (仟元)	折舊 (仟元)	稅後現金流量 (仟元)	成本現值 (仟元)	發電量現值 (仟kwh)	稅後現金流量現值 (仟元)	累積稅後現金流量現值 (仟元)
0	62,756		0	-62,756	0		62,756		-62,756	-62,756
1	1,188	7,063	14,988	13,800	3,138	11,134	1,131	6,727	10,604	-52,152
2	1,224	7,063	14,988	13,764	3,138	11,108	1,110	6,406	10,075	-42,077
3	1,260	7,063	14,988	13,727	3,138	11,080	1,089	6,101	9,571	-32,506
4	1,298	7,063	14,988	13,690	3,138	11,052	1,068	5,811	9,093	-23,413
5	1,337	7,063	14,988	13,651	3,138	11,022	1,048	5,534	8,636	-14,777
6	1,377	7,063	14,988	13,610	3,138	10,992	1,028	5,271	8,202	-6,575
7	1,419	7,063	14,988	13,569	3,138	10,961	1,008	5,020	7,790	1,215
8	1,461	7,063	14,988	13,527	3,138	10,929	989	4,781	7,397	8,612
9	1,505	7,063	14,988	13,483	3,138	10,897	970	4,553	7,024	15,637
10	1,550	7,063	14,988	13,438	3,138	10,863	952	4,336	6,669	22,306
11	1,597	7,063	14,988	13,391	3,138	10,828	933	4,130	6,331	28,636
12	1,644	7,063	14,988	13,343	3,138	10,792	916	3,933	6,009	34,646
13	1,694	7,063	14,988	13,294	3,138	10,755	898	3,746	5,704	40,349
14	1,745	7,063	14,988	13,243	3,138	10,717	881	3,567	5,413	45,762
15	1,797	7,063	14,988	13,191	3,138	10,678	864	3,397	5,136	50,899
16	1,851	7,063	14,988	13,137	3,138	10,637	848	3,236	4,873	55,771
17	1,906	7,063	14,988	13,081	3,138	10,595	832	3,082	4,623	60,394
18	1,964	7,063	14,988	13,024	3,138	10,553	816	2,935	4,385	64,779
19	2,022	7,063	14,988	12,965	3,138	10,508	800	2,795	4,158	68,937
20	2,083	7,063	14,988	12,905	3,138	10,463	785	2,662	3,943	72,881

註：表說明

扣除政府補助金額後投資設置風力發電分析：

- (1). 設備壽命為 20 年，折舊以 20 年計算
- (2). 以電能售價 2.122 元/kwh 售出計價
- (3). 10 年的內部報酬率(IRR)6.5%；  
20 年的內部報酬率(IRR)11.1%
- (4). 平均發電成本為 0.77 元/kwh
- (5). 折現回收年限為 6.9 年

表 4-9 情境IV春風風力發電示範系統折現現金流量分析表

年	成本投入 (仟元)	年發電量 (仟kwh)	售電收入 (仟元)	淨收入 (仟元)	折舊 (仟元)	稅後現金流量 (仟元)	成本現值 (仟元)	發電量現值 (仟kwh)	稅後現金流量現值 (仟元)	累積稅後現金流量現值 (仟元)
0	62,756		0	-62,756	0		62,756		-62,756	-62,756
1	1,188	7,063	14,988	13,800	5,705	11,776	1,131	6,727	11,215	-51,541
2	1,224	7,063	14,988	13,764	5,705	11,749	1,110	6,406	10,657	-40,884
3	1,260	7,063	14,988	13,727	5,705	11,722	1,089	6,101	10,126	-30,758
4	1,298	7,063	14,988	13,690	5,705	11,693	1,068	5,811	9,620	-21,138
5	1,337	7,063	14,988	13,651	5,705	11,664	1,048	5,534	9,139	-11,999
6	1,377	7,063	14,988	13,610	5,705	11,634	1,028	5,271	8,681	-3,318
7	1,419	7,063	14,988	13,569	5,705	11,603	1,008	5,020	8,246	4,928
8	1,461	7,063	14,988	13,527	5,705	11,571	989	4,781	7,832	12,760
9	1,505	7,063	14,988	13,483	5,705	11,538	970	4,553	7,437	20,197
10	1,550	7,063	14,988	13,438	5,705	11,504	952	4,336	7,062	27,260
11	1,597	7,063	14,988	13,391	5,705	11,470	933	4,130	6,706	33,966
12	1,644	7,063	14,988	13,343	0	10,007	916	3,933	5,572	39,538
13	1,694	7,063	14,988	13,294	0	9,970	898	3,746	5,287	44,826
14	1,745	7,063	14,988	13,243	0	9,932	881	3,567	5,016	49,842
15	1,797	7,063	14,988	13,191	0	9,893	864	3,397	4,759	54,601
16	1,851	7,063	14,988	13,137	0	9,853	848	3,236	4,514	59,115
17	1,906	7,063	14,988	13,081	0	9,811	832	3,082	4,281	63,395
18	1,964	7,063	14,988	13,024	0	9,768	816	2,935	4,059	67,454
19	2,022	7,063	14,988	12,965	0	9,724	800	2,795	3,848	71,302
20	2,083	7,063	14,988	12,905	0	9,678	785	2,662	3,648	74,950

註：表說明

扣除政府補助金額後投資設置風力發電：加速折舊分析

- (1). 設備壽命為 20 年，折舊以 10+1 年計算
- (2). 以電能售價 2.122 元/kwh 售出計價
- (3). 10 年的內部報酬率(IRR)7.8%；  
20 年的內部報酬率(IRR)11.9%
- (4). 平均發電成本為 1.24 元/kwh
- (5). 折現回收年限為 6.4 年

表 4-10 情境 V 春風風力發電示範系統折現現金流量分析表

年	成本投入 (仟元)	年發電量 (仟kwh)	售電收入 (仟元)	淨收入 (仟元)	折舊 (仟元)	稅後現金流量 (仟元)	成本現值 (仟元)	發電量現值 (仟kwh)	稅後現金流量現值 (仟元)	累積稅後現金流量現值 (仟元)
0	62,756		0	-62,756	0	-62,756	62,756		-62,756	-62,756
1	1,188	7,063	17,375	16,187	3,138	12,925	1,131	6,727	12,310	-50,446
2	1,224	7,063	17,375	16,151	3,138	12,898	1,110	6,406	11,699	-38,748
3	1,260	7,063	17,375	16,115	3,138	12,870	1,089	6,101	11,118	-27,630
4	1,298	7,063	17,375	16,077	3,138	12,842	1,068	5,811	10,565	-17,065
5	1,337	7,063	17,375	16,038	3,138	12,813	1,048	5,534	10,039	-7,026
6	1,377	7,063	17,375	15,998	3,138	12,783	1,028	5,271	9,539	2,513
7	1,419	7,063	17,375	15,956	3,138	12,752	1,008	5,020	9,063	11,576
8	1,461	7,063	17,375	15,914	3,138	12,720	989	4,781	8,609	20,185
9	1,505	7,063	17,375	15,870	3,138	12,687	970	4,553	8,178	28,363
10	1,550	7,063	17,375	15,825	3,138	12,653	952	4,336	7,768	36,131
11	1,597	7,063	17,375	15,778	3,138	12,618	933	4,130	7,377	43,509
12	1,644	7,063	17,375	15,731	3,138	12,582	916	3,933	7,006	50,515
13	1,694	7,063	17,375	15,681	3,138	12,545	898	3,746	6,653	57,168
14	1,745	7,063	17,375	15,630	3,138	12,507	881	3,567	6,317	63,485
15	1,797	7,063	17,375	15,578	3,138	12,468	864	3,397	5,997	69,482
16	1,851	7,063	17,375	15,524	3,138	12,428	848	3,236	5,693	75,175
17	1,906	7,063	17,375	15,469	3,138	12,386	832	3,082	5,404	80,579
18	1,964	7,063	17,375	15,411	3,138	12,343	816	2,935	5,129	85,708
19	2,022	7,063	17,375	15,352	3,138	12,299	800	2,795	4,867	90,575
20	2,083	7,063	17,375	15,292	3,138	12,253	785	2,662	4,618	95,193

註：表說明

扣除政府補助金額後投資設置風力發電：

完全取代重油發電成本作分析

- (1). 設備壽命為 20 年，折舊以 20 年計算
- (2). 以電能售價 2.46 元/kwh (重油發電成) 售出計價
- (3). 10 年的內部報酬率(IRR)10.2%；  
20 年的內部報酬率(IRR)14.1%
- (4). 平均發電成本為 0.77 元/kwh
- (5). 折現回收年限為 5.8 年

表 4-11 情境VI春風風力發電示範系統折現現金流量分析表

年	成本投入 (仟元)	年發電量 (仟kwh)	售電收入 (仟元)	淨收入 (仟元)	折舊 (仟元)	稅後現金流量 (仟元)	成本現值 (仟元)	發電量現值 (仟kwh)	稅後現金流量現值 (仟元)	累積稅後現金流量現值 (仟元)
0	62,756		0	-62,756	0		62,756		-62,756	-62,756
1	1,188	7,063	17,375	16,187	5,705	13,566	1,131	6,727	12,920	-49,836
2	1,224	7,063	17,375	16,151	5,705	13,540	1,110	6,406	12,281	-37,555
3	1,260	7,063	17,375	16,115	5,705	13,512	1,089	6,101	11,672	-25,883
4	1,298	7,063	17,375	16,077	5,705	13,484	1,068	5,811	11,093	-14,789
5	1,337	7,063	17,375	16,038	5,705	13,455	1,048	5,534	10,542	-4,247
6	1,377	7,063	17,375	15,998	5,705	13,425	1,028	5,271	10,018	5,771
7	1,419	7,063	17,375	15,956	5,705	13,394	1,008	5,020	9,519	15,290
8	1,461	7,063	17,375	15,914	5,705	13,362	989	4,781	9,044	24,334
9	1,505	7,063	17,375	15,870	5,705	13,329	970	4,553	8,592	32,926
10	1,550	7,063	17,375	15,825	5,705	13,295	952	4,336	8,162	41,088
11	1,597	7,063	17,375	15,778	5,705	13,260	933	4,130	7,753	48,841
12	1,644	7,063	17,375	15,731	0	11,798	916	3,933	6,570	55,410
13	1,694	7,063	17,375	15,681	0	11,761	898	3,746	6,237	61,647
14	1,745	7,063	17,375	15,630	0	11,723	881	3,567	5,921	67,568
15	1,797	7,063	17,375	15,578	0	11,684	864	3,397	5,620	73,188
16	1,851	7,063	17,375	15,524	0	11,643	848	3,236	5,334	78,522
17	1,906	7,063	17,375	15,469	0	11,601	832	3,082	5,061	83,584
18	1,964	7,063	17,375	15,411	0	11,559	816	2,935	4,803	88,387
19	2,022	7,063	17,375	15,352	0	11,514	800	2,795	4,556	92,943
20	2,083	7,063	17,375	15,292	0	11,469	785	2,662	4,323	97,266

註：表說明

扣除政府補助金額後投資設置風力發電：完全取代重油發電成本作並加速折舊分析

- (1). 設備壽命為 20 年，折舊以 10+1 年計算
- (2). 以電能售價 2.46 元/kwh (重油發電成) 售出計價
- (3). 10 年的內部報酬率(IRR)11.4%；  
20 年的內部報酬率(IRR)14.9%
- (4). 平均發電成本為 1.24 元/kwh
- (5). 折現回收年限為 5.4 年

#### 4.2.5 不同情境之效益分析

綜合上述結果所述，表 4-12 為風電在不同情境條件下效益分析比較表，依表列資料顯示無政府補助之情境 I 及情境 II 分析數據中，以內部售電價 2.122 元/kwh 計算，內部報酬率(IRR)2.3%，回收年限 14.6 年；內部售電價 2.46 元/kwh 計算，內部報酬率(IRR)4.2%，回收年限 11.9 年，兩者的 IRR 均低於 5% 且回收年限均超過 10 年，就實際投資而言，未達投資的價值。

另由有政府補助的情境 III 至 VI 分析，以售電價格 2.122 元/kwh，折舊年限 20 年，其 20 年 IRR 為 11.1%，平均發電成本 0.77 元/kwh，回收年限 6.9 年；如改以 10+1 年計算，IRR 提高至 11.9% 平均發電成本為 1.24 元/kwh，回收年限 6.4 年。另在有政府補助下，改以完全取代重油發電成本 2.46 元/kwh 為內部售電價格，風力發電成本不變外，以 20 年折舊計算，IRR 提高至 14.1%，回收年限 5.8 年；以 10+1 年加速折舊計算，IRR 更提高至 14.9%，回年限為 5.4 年。

依上列所述及表列數據顯示，風力發電之電力取代重油自發電時，其經濟效益最高。依情境 V 及 VI 分析數據為本個案研究最佳的投資方案，比照無政府補助的效益而言，現階段如用於自發電設置風力發電設備，如無政府補助則無投資的價值。

風力發電依季節性或時間，因風能強度之變化，無法供應穩定的電力，故可視為一無規則的輔助電力，本個案風力發電之電力可取代台電或重油自發電，因此應以台電契約用電量，為緩衝電力，將重油發電設備做為備載電源時，將可發揮最大的效益。

表 4-12 不同情境風力發電成本效益分析比較表

項目		情境		無政府補助		政府補助	
		I	II	III	IV	V	VI
平均發電成本(元/kwh)		1.56	1.24	0.77	1.24	0.77	1.24
IRR(%)	10 年	—	—	6.5	7.8	10.2	11.4
	20 年	2.3	4.2	11.1	11.9	14.1	14.9
回收年限(年)		14.6	11.9	6.9	6.4	5.8	5.4
備	折舊年限(年)	20	20	20	11	20	11
	設備使用年限(年)	20	20	20	20	20	20
註	內部售電單價(元/kwh)	2.122	2.46	2.122		2.46	

## 4.3 風力發電的無形效益分析

### 4.3.1 展示系統規劃設置

#### 1. 前言：

天隆公司願景---“關心生活、善用資源、貢獻社會，成為紙業、包裝之領導企業並進行國內外多角化發展”；環境政策---“全員參與、珍惜資源、保護環境”，因此極重視資源回收與綠色生產，於製程中即採用大量之再生原料—廢紙以生產各種再生紙（包括：擦手紙、衛生紙、影印紙、書寫紙、銅版西卡紙...等）。

再設置屬再生能源之風力發電後，本公司竹北廠即為採再生原料與再生能源，落實春風綠色生產鏈的”再生資源工廠”，對國內環保發展及宣導將極具示範作用。為配合推廣展示活動，天隆造紙廠已完成規劃設置展示系統。

此展示規劃將以資源再生廠為主軸，其第二大主題包括：再生能源—風力發電及再生原料—廢紙回收。並規劃室內及室外展示軟硬體以使相關產業、專業研究、環保社團、機關學校及社會大眾...等參觀者除認識風力發電外並瞭解資源回收的效益及重要以建立正確的環保觀念。

#### 2. 室內展示室：

室內展示室為 10 x 6m 的空間，約可容納 25~30 人，參觀對象須事先申請，故展示空間必須兼具專業知識與一般性說明，故設計規劃內容如下：

##### (1). 自動播放簡報系統：

可供團體參觀時，以簡報方式介紹風力發電特色，使參觀者可自由聆聽或觀賞。

簡報內容，由風力的形成及風能的應用開始導入，主要的內容概要如下所述：

- a. 風力的形成及風能的應用。
- b. 風力發電的發展歷史，世界風力發電的發展現況的介紹
- c. 為何要發展風力發電的理由？
- d. 由台灣區風能待開發的潛力，介紹目前風力發電示範系統的推展現況及各系統的介紹。
- e. 經由天隆造紙廠的環保理念，再結合再生能源的風力發電，引述春風綠色生產鏈的介紹及相關的資源回收流程的介紹，以教育推廣資源回收的理念。
- f. 解說經由再生能源及傳統能源的比較，計算風力發電的綠色效益及其無形的效益介紹。

(2). DM 簡介：

展示現場通常會備有一些說明性質的主題簡介，一方面可減輕說明人員的解說工作；一方面也可透過本簡介向未到展示現場的民眾，作一概念性的宣傳。

(3). 紀念品設計規劃：

為使參觀者增加對資源再生工廠及風力發電展示中心的印象，將提供本公司環保再生紙系列產品（如：衛生紙、擦手紙及書寫紙...等）作為紀念。

(4). 風力發電機監視遙控系統：

此為二部風力發電機之遠端遙控電腦，"可以顯示每一部風力機之運轉資料及運轉報表。

(5). 燈箱及掛圖的設計：

展出室的兩側設計配置四幅燈箱及四幅掛圖，提供參觀人員配合簡報後最直接的視覺參觀並再加深其印象(如附圖 4-3 室內展示室配置圖)詳細項目如下：

掛圖：天隆造紙廠用電系統圖

風力發電系統施工實況

蒲福風級表

各類發電二氣化碳排放量

燈箱：國內風力發電示範系統分佈圖

台灣風能分佈圖

風力機組結構圖

風力機大小與輸出電能

3. 室外展示室：

自風力發電示範系統完工後，來至全省各界的參觀人數出乎原先所預期，且學校團體單一梯次的參觀人數多至近 300 人，因原先所規劃的區域的較小，且人數過多幾乎把廠區作業車量之動線癱瘓，為此天隆公司再斥資投機 500 萬元整理建築現有的戶外展示系統，以提供學術教育單位於參訪時，有寬敞的參觀空間使用同時也顧及到參訪學生(員)的安全，對天隆公司的生產作業影響亦降至最低。

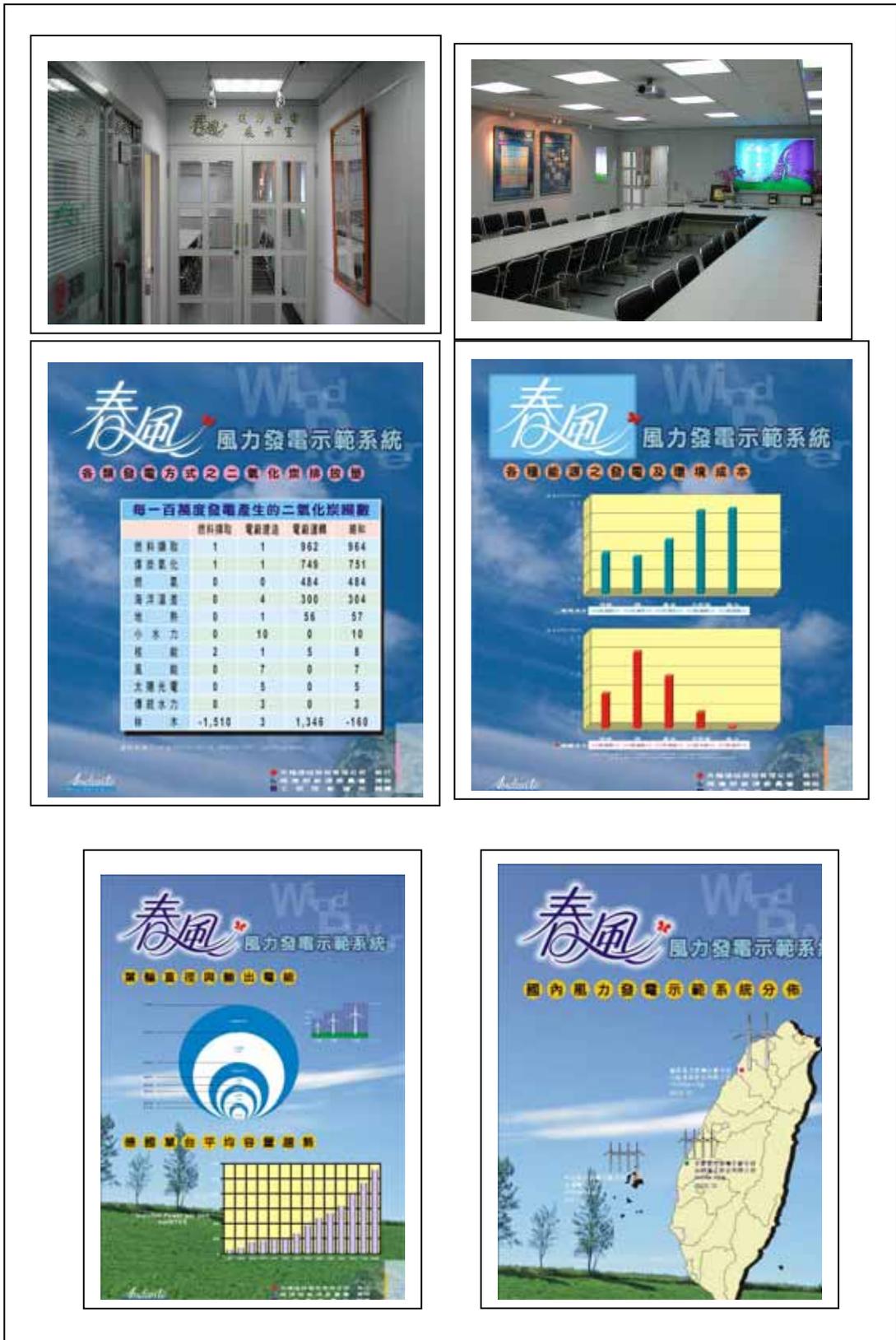


圖 4-3 室內展示室配置圖

## 4.3.2 風力發電無形效益分析

### 1. 展示系統的無形效益：

春風風力發電示範系統係依「風力發電示範系統補助辦法」鼓勵而設置，本系統的建置完成，由於位於交通便利的竹北濱海地區，顯著高聳的二部風車，已成為新竹的地標，吸引相關團體及民眾的參訪。

如表 4-4 自 91 年 11 月運轉起迄今，雖然去年受 SARS 之影響，但此段期間合計有 54 個團體 5,208 人次正式來函由竹北廠接待，參觀風力示範系統及春風家紙產品及環保產品的製造流程。

這參觀活動對再生能源—風力發電推廣、展示、教育功能可以充分發揮。同時對本公司綠色產品及優質家紙產品“春風”形象的建立也有相當程度的助益。

### 2. 綠色效益：

春風風力發電示範系統以每月發電量 700 萬 kwh 計，每年約可減少 65,520 公噸 CO<sub>2</sub> 溫室效應氣體排放，以油當量而言約可減少使用 2,100 萬公升的發電燃料油；以每公頃樹林每年可吸附 7.5 公噸二氧化碳計算，約相當於 8,736 公頃樹林每年所吸收二氧化碳的貢獻量，對影響外部環境的處理成本，每年可減少新台幣 925 萬元的支出，且風能不像燃油或燃煤只能一次利用，它是可以再生利用生生不息的，其綠色效益是明顯而持續的。

表 4-13 機關學校團體參觀人數統計表

NO.	參訪單位名稱	參訪日期	參訪人數	收文編號	備註
1	新竹縣立鳳岡國中	91.02.18	31人	91.01.31【018號】	
2	新竹縣立鳳岡國中	91.03.13	29人	91.03.11【046號】	
3	新竹縣新社國小	91.04.12	280人	91.03.29【062號】	
4	新竹縣竹北博愛國小	91.10.29	270人	91.10.14【289號】	
5	台中南門扶輪社	91.10.29	40人	91.10.23【301號】	
6	新竹縣鳳岡國小	91.10.30	30人	91.10.25【307號】	
7	三重扶輪社	91.11.08	45人	91.11.01【315號】	
8	新竹縣力大國中	91.12.06	250人	91.11.15【335號】	
9	新竹縣立鳳岡國中	91.11.29	25人	91.11.22【344號】	
10	陸軍步兵第106旅	91.12.03	40人	91.11.25【346號】	
11	新竹縣新社國小	91.12.27	277人	91.12.18【369號】	
12	新竹縣寶山國中	92.01.09	105人	91.12.30【379號】	
13	新竹市香山區虎林國小	92.01.17	220人	92.01.08【004號】	
14	新竹縣立博愛國中	92.01.20	84人	92.01.15【010號】	
15	新竹縣新港國小	92.03.12	228人	92.01.30【024號】	
16	新竹縣新豐國中	92.03.13	264人	92.03.06【059號】	
17	新竹縣自強國中	92.03.13	42人	92.03.03【053號】	小計:2,260人
18	新竹縣立北埔國中	92.04.11Pm	45人	92.03.10【062號】	
19	新竹市北區民富國小	92.04.14	200人	92.03.12【065號】	
20	新竹縣立竹北國中	92.04.01	80人	92.03.17【072號】	
21	新竹市東區東園國小	92.04.11Am	38人	92.03.20【078號】	
22	新竹縣新社國小	92.04.08	320人	92.03.26【082號】	
23	新竹縣寶山國中	92.04.10	32人	92.03.27【085號】	
24	新竹縣立石光國中	92.04.15	20人	92.04.02【091號】	
25	新竹市大庄國小	92.04.22	195人	92.04.09【095號】	小計:930人
26	新豐文教機構	92.07.02	34人	92.07.02【204號】	
27	新竹縣私立小博士幼稚園	92.07.23	76人	92.07.02【205號】	
28	國立新竹師範學院	92.07.29	16人	92.07.21【219號】	
29	新竹城中扶輪社	92.08.12	25人	92.07.24【230號】	
30	新竹市青草湖社區大學發展協會	92.11.01	100人	92.09.29【293號】	
31	苗栗縣通霄鎮新埔國小	92.10.21	94人	92.09.29【294號】	
32	竹苗地區青年創業協會	92.10.21	35人	92.10.17【313號】	
33	台中縣豐原市瑞德國小	92.11.11	50人	92.10.27【325號】	小計:430人
34	新竹市北區舊社國小	92.12.09	280人	92.11.27【367號】	
35	新竹縣竹北市公所	92.12.13	130人	92.12.03【381號】	
36	明新科技大學	92.12.23	51人	92.12.10【395號】	
37	新竹縣尖石鄉梅花國小	92.12.19	80人	92.12.11【398號】	
38	新竹市東區建功國小	93.01.13	40人	92.12.26【414號】	
39	新竹城中扶輪社	93.02.17	25人	93.02.03【026號】	
40	台電公司林口核能訓練中心	93.04.07	20人	93.02.04【028號】	
41	國立竹北高級中學	93.02.25	31人	93.02.18【040號】	
42	高雄市壽山國際青年商會	93.02.27	9人	93.02.20【046號】	
43	台灣電力(股)公司係統規畫處	93.03.12	28人	93.03.03【059號】	小計:694人
44	新竹縣立二重國中	93.03.31	80人	93.03.08【063號】	
45	新竹縣立新豐國中	93.03.17	230人	93.03.08【064號】	
46	香港漢基國際學校	93.04.04	30人	93.03.17【076號】	
47	東海大學企業精英聯誼會	93.03.31	30人	93.03.29【091號】	
48	新竹縣竹北市竹仁國小	93.04.15	217人	93.04.02【100號】	
49	新竹縣竹北市鳳岡國小	93.04.28	35人	93.04.02【103號】	
50	國立清華大學動力機械工程學系	93.04.27	5人	93.04.13【108號】	
51	道禾托兒所籌備處	93.04.29	47人	93.04.15【113號】	
52	國際扶輪彰化中區扶輪社	93.04.24	40人	93.04.15【114號】	
53	清雲科技大學	93.04.27	10人	93.04.23【121號】	
54	正隆(股)公司燕巢廠	93.04.25	170人	(業務連絡單)	總合計:5,208人

## 第五章 結論與建議

風電兼具能源與環保雙重效益，由於風力技術的日趨成熟，投資成本可望逐步降低，其發電成本與其它能源相比，將可更具競爭力，本研究主要以個案研究之方式，探討風力發電在風能充沛，但受限台電供電不足的天隆竹北廠，提供分散式輔助性的電力，依據實際運轉經驗，收集有用的全年度風速，發電量及運轉率數據，可供爾後風力廠址選定、施工、運轉之參考，並分析有形、無形之經濟效益，檢討具推廣、教育之功能並獲實質之效益。

綜合本個案研究，可得以下結論：

1. 經實地收集風力機運轉期間天隆竹北廠附近 60m 高的風速，1~3 月月平均風速 6.0~8.4m/sec；4~9 月月平均風速 4.5~4.9m/sec；10~12 月月平均風速達 9.0~9.4m/sec，確證 10 月~隔年 3 月東北季風季節最適風力發電。調查數據顯示全年度平均風速 6.75m/sec，因此只要慎選近海濱、無障礙之地區，妥善配置規劃，則本地區是最佳發展風力電場的地點。

2. 春風風力發電系統實際投資成本每 kw 為新台幣 32,000 元，若設備投入成本以 20 年折舊計，平均發電成本為 1.56 元/kwh，扣除補助款後，其平均發電成本降至 0.77 元/kwh，若折舊年限以 11 年計時，平均發電成本則為 1.24 元/kwh。

3. 春風風力發電示範系統二部發電機，92 年度年發電量以 706 萬 kw 計，依不同情境分析，春風風力發電的投資效益，若無政府補助款補助，10 年的內部報酬率為負值；而 20 年的內部投資報酬率為 2.3~4.2% 顯然無投資價值。若含政府補助款，則 10 年的內部投資報酬率在 6.5~11.4%；20 年的內部投資報酬率提高至 11.9~14.9%。

就折現回收年限言，風電系統若無政府補助約 11.9~14.9 年可回收；若政府補助，則投資回收年限可縮短到 5.4~6.9 年。

以天隆竹北廠重油發電成本 2.46 元/kwh，風力發電系統的電力取代重油發電機之效益最佳，因此以能源調度的合理化，對天隆竹北廠內各種供電來源的最適化調度如下：自發電設備，尖峰時段全能發電，離峰時段停止運轉；風力發電設備，依季節性風力全能運轉；台電電力，應有足夠契約電量，在離峰時段充分運用台電離峰電力。因此春風風力發電開始運轉後，必須擴大爭取台電契約電量，以備在離峰時段重油發電機降載或停止運轉時，以台電電力做為緩衝，減少廠內電力因風電不穩而產生變異，穩定製程之用電，是值得採行的。

4. 春風風力發電系統，年可減少 65,520 公噸二氧化碳溫室氣體之排放，約相當於 8,736 公頃森林，每年吸收二氧化碳的貢獻量，綠色效益顯著。

5. 春風風力發電示範系統已初具教育推廣功能，在運轉期間已吸收近萬人次中小學生及社會團體的參訪，對於推廣資源回收利用，風力發電示範展示功能及”春風”品牌形象的建立已具備正面的效益。竹北廠將設置專責單位，藉妥善的規劃與安排，讓春風風力發電系統充分發揮示範展示功能外，更可藉此對資源回收、綠色生產及綠色消費的落實，促進再生紙製品的推廣使用及春風家紙系列產品的拓展，更有十足貢獻。

6. 建議政府應儘速將風力發電等再生能源推動所面臨的土地、併聯及優惠購電等問題納入規範之「再生能源發展條例」完成立法，提供更大的誘因，才能突破障礙，營造出有利的大規模的推廣的環境。

## 參考文獻

### 一、中文

1. 江火明等 “台灣地區風力場初步模擬及北中台灣場址詳選” 能資所技術報告，投資編號：06390NO33，民國 90 年 12 月。
2. 江火明等 “台灣風能的初步分析” 2001 風能應用研討會論文集，台北，民國 90 年 8 月 30~31 日。
3. 江懷德，呂威賢 “我國風力發電推動策略與展望” 2003 年風能應用研討會，1~19 頁，台北，民國 92 年 9 月 26 日。
4. 朱博祥 “我國風力發電推動現況及未來做法”，能源速報月刊，經濟部能源委員會，民國 91 年 2 月，第二期。
5. 呂威賢等 “全球風力發電應用現況與經驗”，太陽能學刊，中華民國太陽能學會，民國 91 年 6 月第七卷第一期。
6. 李欣哲，呂威賢 “我國風力示範系統運轉效益評估” 2002 年風能應用研討會論文集，台北，民國 91 年 9 月。
7. 松宮輝 “世界風力發電的現狀與國際規格” 2002 年台日風力發電技術與自然能源應用研討會論文集，1~13 頁，台北，2002 年 10 月 28~29 日。
8. 翁榮美，呂威賢 “風力發電技術與應用展望” 電工通訊，中國電機工程學會，March 2001，(P12-2)。
9. 翁榮美，李欣哲 “風能轉換與風力發電機技術”，電工通訊，中國電機工程學會，42~46 頁，March 2001。
10. 翁榮美 “全球風電應用技術及國內開發展望” 台電工程 651 期，18~37 頁，民國 91 年 11 月，。
11. 翁榮美 “台灣風力示範推廣計劃” 2001 年風能應用研討會論文集，台北，民國 90 年 8 月 30~31 日。
12. 曾仁佑等 “北台灣風場特性及風力發電場址評選” 2001 年風能研討會論文集，台北，民國 90 年 8 月。
13. 關和市 “朝向 2010 風力發電 3,000MW 之目標與技術”，2002 年台日風力發電技術與自然能源應用研討會論文集，1~23 頁，台北，2002 年 10 月 28~29 日。
14. 劉書勝 “風力發電對電力系統衝擊之影響”，2002 年台日風力發電技術與自然能源應用研討會論文集，1~15 頁，台北，2002 年 10 月 28~29 日。

## 二、英文

1. American wind energy association, “ Wind Power Outlook 2004” ,  
<http://www.awea.org>
2. American wind energy association, “Global Wind Energy Market Report in 2003” ,  
<http://www.awea.org>
3. American wind energy association, “What are the factor in the cost of electricity from wind timeline”,  
<http://www.awea.org/faq/cost.html>
4. American Wind energy association, “the economics of wind energy” ,  
<http://www.awea.org/pubs/factsheets/cost 2001.PDF>
5. Birger T. Madsen, “Achieving 10% of world power from wind by 2020 : a blueprint ” , Renewable Energy World, Nov. 1999, PP. 44-61
6. BTM consult Aps , ”World market update 2001 (forcast 2001-2005)” ,  
<http://www.btm.dk>
7. BTM consult Aps, ”International Wind Energy Development World Market update 2001-Record growth!” , press released BTM consult Aps. April 8, 2002
8. Danish Energy Agency, “Wind Power in Denmark : Technology , policies and Results” , Sep, 1999
9. Europa Research , ”New research reveals the real costs of electricity in Europe” , press release of 20 July 2001 ,  
<http://europa.eu.int/comm/reseach/press/2001/pr2007em.html>
10. EWEA , European Wind Energy Association , ”Wind Force 12 : The new Global Challenge” , EWEA , May 2002, PP10-12
11. Izumi Ahiyama, “Presents & future of wind power utilization in Japan ” 2002 Symposium of Wind Power Technique and Natural Energy Application Cosperative with Taiwan and Japan, PP.1-13, Taipei, Oct 28, 2002
12. Lars Landberg, “Denmark Wind energy technology applications and policies” , 2001 symposium of wind energy application, PP. 1-37, Taipei, August 30, 2001
13. Rebecca Barthelmie and Lars Landberg, “Wind farm site selection issues : ON-and off-shore”, 2001 symposium of Wind Energy Application, PP. 1-13, Taipei, Aug 30, 2001
14. Wu Huang, “promotion of Renewable energy in Taiwan” Energy of Commission, MOEA, German-Taiwanese Symposium on Renewable Energies”-Technology for a Sustainable Tomorrow, Taipei, May 18-19, 2004