

台灣陸岸式和離岸式風力發電廠之場址規劃評估及財務分析探討 Evaluation on Site Planning and Financial Analysis for onshore and offshore wind farms in Taiwan

劉文燦*

Wen-Tsan Liu

*國立台北科技大學電機工程系
台灣 台北市

Department of Electrical Engineering
National Taipei University of Technology
Taipei, Taiwan
s94318501@ntut.edu.tw

陳昭榮*

Chao-Rong Chen

Department of Electrical Engineering
Tungnan University
Taipei, Taiwan
cylee@mail.tnu.edu.tw

李清吟**

Ching-Yin Lee

**東南科技大學電機工程系
台灣 台北縣

Department of Electrical Engineering
National Penghu University
Penghu, Taiwan
yk.wu@npu.edu.tw

吳元康***

Yuan-Kang Wu

***國立澎湖科技大學電機工程系
台灣 澎湖縣

摘要

在建置陸岸式和離岸式風力發電廠前，必須要有好的場址規劃及財務分析探討，方能獲得最佳規劃方案。本文在場址規劃分析的部分首要評估「風能基本條件」，年平均風速需大於4公尺/秒的地區才能列入考慮，此外建置離岸式風場還必須考慮到諸多的因素如：可開發的海域範圍、適當的電(海)纜佈置方式及其線路損失等；此外，其併入系統之規範與準則也非常重要，所以本文依台電「再生能源發電系統併聯技術要點」的規範作為系統併接之依據；最後再就其經濟成本評估與財務分析探討，並以澎湖湖西風力發電計畫工程為例，就其成本上的考量及評估方面提出「固定年成本」及「變動年成本」等兩種方式來作為成本估算之依據。本文所論述評估方式，係結合理論探討與實務經驗，可為將來在建置風力發電廠時，以作為場址規劃評估及財務分析的參考樣式。

關鍵詞：離岸式風力、場址規劃、輸配電線路損失、併聯技術要點、成本估算。

Abstract

Before onshore and offshore wind farms are built, suitable site planning and financial analysis are necessary in order to obtain an optimal planning scheme. The first consideration for site planning is to evaluate the wind speed; a site can be taken into account if the annual average wind speed on this site is higher than 4 m/s. In addition, in terms of offshore wind farms, many factors have to be considered, including the sea area that are allowed to develop, suitable layouts for sea cables, line losses, and others. The grid code for the wind power integration is also important. In this paper, the wind power integration is in accordance with "the requirement for the interconnected technology of renewable energy generation" issued by the Taipower. Moreover, the economical cost and financial analysis are discussed in this paper by taking Penghu Hu-Si wind generation as an example. The fixed annual cost and changeable annual cost are proposed to evaluate the cost.

The research method in this paper is to combine the theory with practical experience. It can become a standard reference of site planning and financial analysis when a wind plant is built.

Keywords: offshore wind farm, site planning, line losses, the requirement for the interconnected technology, cost evaluation.

I. 前言

在現今能源缺乏的時代裡，綠色能源已成為全世界電力產業發展的重心，畢竟其能量可說是取之不盡用之不竭，而在台灣的海島地形中，風力發電廠的建置是我們目前較好的選擇；但是風力發電廠的建置不是隨處可建，必須要有好的場址規劃及經濟成本評估與財務分析，且須慎重考量其線路容量的設置及損失、天氣、環境等亦都是重要參考的因素之一。本文將依照陸岸式及離岸式風力發電廠場址規劃評估、最佳佈置規劃方案、併聯技術要點及系統併接依據、風力發電計畫之財務分析探討等評估方式，以獲得最佳化場址規劃方案並提升發電效益。

II. 陸岸式和離岸式風力發電廠場址規劃評估

截至西元2009年底止，依經濟部能源局的統計資料顯示[1]，我國目前風力發電總裝置容量已達436MW。此外，經由中央大學台灣風能網站資料查詢結果顯示[2]，我國本島及離島地區均擁有良好風力資源，特別是西部沿海地區蘊藏著極大的風能。如圖1台灣地區10m高之平均基本風速與平均風能分佈圖，圖2台灣地區30m高之平均基本風速與平均風能分佈圖，圖3台灣地區50m高之平均基本風速與平均風能分佈圖所示。

台電公司為配合政府政策目標之推行，在西元2002年所擬定的「風力發電十年發展計畫」，以分期方式逐步積極戮力進行推動風力發電應用，規劃我國在西部沿海風力資源豐富的地區，以十年內至少設置200台風力發電機組或總裝置容量達300MW以上為目標[3]。然而，在進行陸岸式風力發電廠之場址評估時，主要的通盤計畫考量因素，通常以「風能基本條件」作為優先勘選條件。依據，德國聯邦政府大氣保護委員會評估，年平均風速大於4公尺/秒的地區，方甚具有開發風力發電

廠之潛力及價值。再者，其他重要考量關鍵因素尚包括：(一)風力發電廠特性及影響機組性能，諸如：風速及風向、週遭地形(物)變化、鄰近障礙物高度形狀、位置及距離等。(二)場址土地取得的困難程度與使用現況，並且考量在相關法規限制及國防安全。(三)輸配電線路與既有電力網併聯距離限制與施工的難易程度。(四)裝置容量是否能夠達到一定的規模大小，以符合開發經濟效益及兼顧我國再生能源政策推展。(五)地方民意的接受度與建置過程中，可能產生的抗爭及補償問題。(六)場址選擇與民宅相距間的距離，以避免產生噪音與陰影閃爍干擾之問題。(七)風力發電廠在進行中及未來規劃的優先衝突性問題。(八)是否具備良好地質與施工條件、建廠的整體成本考量、既有交通系統狀況，俾以重件設備運送。(九)特殊環境下，抗颱風、防腐蝕、抗震與氣象條件。(十)生態環境保護及景觀美化之影響程度問題。

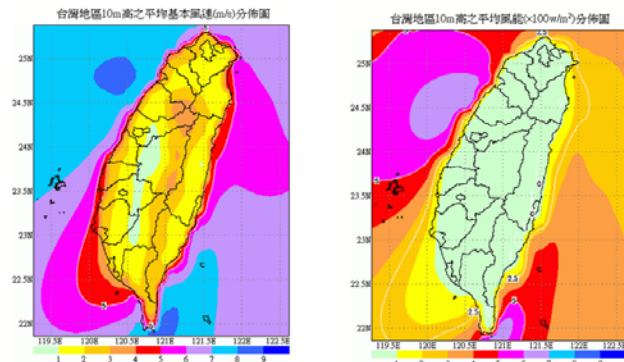


圖 1 台灣地區 10m 高之平均基本風速與平均風能分佈圖(資料來源：中央大學台灣風能網站)

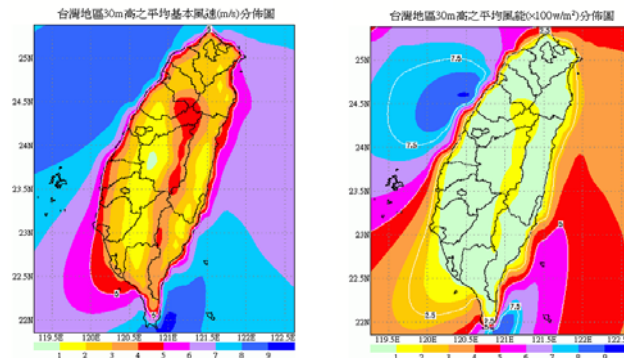


圖 2 台灣地區 30m 高之平均基本風速與平均風能分佈圖(資料來源：中央大學台灣風能網站)

本文場址規劃的介紹將以離岸式風場為主，因陸岸式風場廠址選擇條件亦包含於離岸式風場廠址選擇條件內，主要差異為離岸式較陸岸式多了向外海延伸之傳輸電(海)纜及海象資料探測等條件。換句話說，離岸式風場為陸岸式風場之延伸，而離岸式風力發電廠在作規劃設計時，風力發電機組的佈置規劃關係著整個風力發電廠的規模、未來營運方式及經濟可行性評估的結果。其檢討方式風力發電機組的佈置方案，主要係依既有現場調查及可行性研究蒐集的資料，以風能評估計算出預設置廠址之預估年發電量、尾流損失及輸配電線路損失

所相抵減後造成的實際發電量。進一步，依風力發電廠重要設施的估算單價，初步排除不適合設置風力發電機組的區域，並以不同的風力發電機間距佈放及組數目，加以分析出最佳的經濟佈放方式及風力發電機組數目、電纜與變電站位置，再計算出年發電量、尾流損失及輸配電線路損失，評估出整廠規劃方案的風機安全、營運維護及風險性。

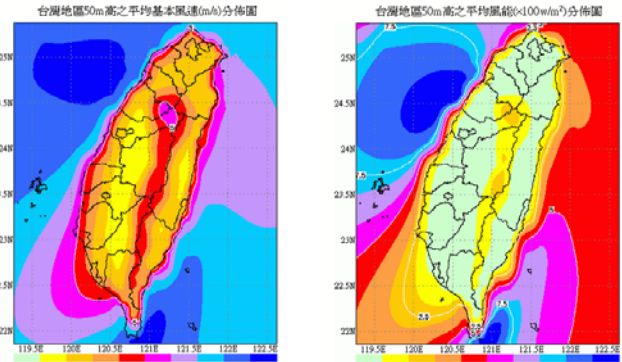


圖 3 台灣地區 50m 高之平均基本風速與平均風能分佈圖(資料來源：中央大學台灣風能網站)

離岸式風力發電為一風險性相當高之投資，在整廠發電廠規劃方案之成本分析時，主要施作項目如下：方案規劃、輸配電線路損失計算、最佳單位容量收益方案及基礎設計與結構設計等。評估出最符合經濟效益，且在工程及環境皆可行條件下，獲得最佳佈置規劃方案。

(1) 方案規劃：

首先，在初步評選離岸式風力發電廠時，首先排除不可能開發的海域範圍，諸如：航運交通路線、國防軍事範圍、已經核定的開發海域、海底管線行經路線、特定敏感保護區、海岸保護及防護區域、潛在地質災害範圍等。再者，經由規劃方案的環境調查及工程規劃，進一步排除所劃定區域內的環境敏感及施工困難區域範圍，包括：候鳥遷徙的路線、漁船作業較為頻繁區域、海域的水深過深問題、航運船隻高危險碰撞區域、海底暗藏漁礁等障礙物或保育劃定範疇、劇烈漂沙及地質不穩定等區域。

另依電(海)纜可串連接的風力發電機數目、變電站可併聯的容量等條件，得出以不同風力發電機類型的最佳間距佈置。由於離岸式風力發電廠若以陣列式排列，風力發電機彼此會有尾流效應而互相影響，故風力發電機組並非以直線陣列式排列風能為最佳；應要考慮主要風向問題(一般而言，設置排列與主風向平行時風力發電機的間距可較大，約為5倍葉輪直徑；若與主風向垂直時風力發電機的間距可較小，約為2.5倍葉輪直徑)，以作為考量因素避免風力發電機尾流效應，進而減少發電量及造成風機的安全疑慮問題。

(2) 輸配電線路損失計算：

電力因使用電(海)纜的種類不同、長度大小、連接方式及系統負載等，所產生的電阻、電抗、電容等等，造成電力在傳輸過程中產生損失。一般若採用高壓電力電(海)纜作為傳輸媒介，損失較少，但因高壓電(海)纜的造價較為昂貴，該如何選用適當的電(海)纜及佈置方式，並計算出整體系統的輸配電損失率，以評估風力發電電廠的整體經濟效益，顯得非常重要。其中，輸配電

損失計算的主要相關參數，包括：風力發電機的種類、電(海)纜材質、線徑大小、電壓、電流、電阻、電抗、電容、變電站的額定裝置容量、負載損失、無載損失、一次側電壓等，得以計算出整個風力發電廠在經過輸配電系統的損失電量大小。

(3)最佳單位容量收益方案：

離岸式風力發電廠的成本主要取決於風力發電機組數、電氣設備、風能大小及電纜長度。由於，不同風力發電機佈置方式及距離，直接影響到風能大小及電纜長度，並攸關著估算風力發電機所產生的發電量、輸配電線路損失及尾流損失等。在符合整廠經濟效益、風力發電機的安全及工程環境可行的條件下，以單位容量收益最高，乃為最佳分析的風力發電機組佈置方式。

(4)基礎設計與結構設計：

一般而言，在進行離岸式風力發電機組的基礎設計與結構設計，所需考慮及應用資訊，包括：

【基礎設計】：

A. 風象及氣候資料：

- (a) 風速分布圖。
- (b) 風花圖。
- (c) 擾流圖。
- (d) 風切圖。
- (e) 最大風速。

B. 海象資料：

- (a) 波浪分布圖。
- (b) 波浪花圖。
- (c) 海流圖。
- (d) 潮位大小及範圍。
- (e) 最大波浪及海流。

C. 地質狀況：

- (a) 海底地表的調查。
- (b) 海床變化資料。

【結構設計】：

A. 工程資料：

- (a) 風力發電機結構安全計算。
- (b) 風力發電機的承載力。
- (c) 風力發電機的結構及基礎初步設計。
- (d) 大地工程的斷層位置分析評估。
- (e) 地形浸淤及自然沉陷的變化量。

綜上所述，現行風力發電廠的建置主要應考量到：場址風能評估分析、發電量及損失率的計算、工程施工規劃及成本估算、自然環境與社會影響、風力發電機組數的規模大小、輸電電(海)纜、電氣室相關設備、相關法令規章、併聯規範與準則、財務分析探討、未來營運管理與維修作業等。其中，依據台電公司的經驗，風力發電機組的單位成本與額定容量成反比，加上近年世界各國製造風力機組的技術有所提升，使得風力發電有朝大型容量機組發展的趨勢。

III. 併聯技術要點及系統併接依據

台電公司為了利於再生能源發電與既有電力系統併聯，訂定「再生能源發電系統併聯技術要點」(98年12

月31日發佈)，此一要點對於故障電流、電壓變動率、暫態穩定度、功率因數、諧波管制與發電機組電壓運轉規定等要點，皆有明確的規範[4]。對於，風力發電機組與台電既有電網併聯時，必須要有適當的防範措施及保護設備，加以考慮各種可能發生的問題，以確保業者、電力公司及用戶之供電品質與運轉安全。其相關重點說明如下：

(一)故障電流：

1. 發電機組送至台電公司系統之故障電流，不得造成台電公司及其他用戶斷路器之啟斷容量不足，否則應裝置限流電抗器或負擔因此而更換之斷路器費用。與高壓系統(電壓等級超過600V至25kV以下之配電系統)併聯者，其發電機組加入後，系統三相短路電流應小於10kA，否則應裝置限流設備或改接其他線路。
2. 再生能源發電系統之接地方式應與台電公司之電網配合。所造成之過電壓，不得超過與電力系統連接之設備額定值，且不得干擾區域電力系統接地故障之保護協調。
3. 發電設備設置者之發電機組零相序電流應與台電公司系統隔離。

(二)電壓變動率：

1. 發電設備併接於台電公司系統造成責任分界點電壓變動率，加計同一變電所或同一變壓器已核准併網電源之影響，不含系統背景值應維持「 $\pm 2.5\%$ 」以內。
2. 電壓閃爍限制應依台電公司「電壓閃爍管制要點」規定辦理。

(三)暫態穩定度：

併接161kV以上之特高壓系統(電壓等級超過25kV之輸電系統)，其責任分界點所歸屬之變電所匯流排合計發電設備之容量在100MW以上者，不得使台電公司系統之暫態穩定度降至規定值以下(345kV系統三相故障臨界清除時間以4.5週波為標準；161kV系統三相故障臨界清除時間以12週波為標準，若8至12週波應採用兩套全線段快速主保護電驛)；離島地區為獨立供電系統，併接於離島獨立高壓系統者，其系統穩定度應符合該地區之要求個案檢討。

(四)功率因數：

1. 併接於特高壓系統以上之再生能源發電系統，責任分界點應具備之功率因數調整能力：非風力發電機組之功率因數應具有90%滯後至95%超前運轉能力、風力發電設備於責任分界點功率因數應具有96%滯後至98%超前之運轉能力，並配合台電公司季節性負載特性調整設定。
2. 併接於高壓系統以下之發電廠，責任分界點運轉原則：不論日間或深夜、例假日、國定假日及春節(除夕至元宵)等期間，得維持在100%。

(五)諧波管制：

諧波污染限制應依台電公司「電力系統諧波管制暫行標準」規定辦理。

(六)發電機組電壓運轉規定：

1. 併接22.8kV以下者：其發電設備於責任分界點額定電壓之88%以上至110%以下時，應能持續運轉，若責任分界點電壓偏離發電設備運轉能力時，發電設備可跳脫。但總發電設備容量在100kW以下者，不適用上述電壓跳脫設定值之規定。
2. 併接69kV以上者：其發電設備於責任分界點額定電壓之90%以上至110%以下時，應能持續運轉，若責任分界點電壓偏離發電設備運轉能力時，發電設備可跳脫。
3. 併接於離島獨立高壓系統者，應符合該地區之要求個案檢討。

此外，依據最新頒布之「再生能源發電系統併聯技術要點」規章，風力發電設備併接於特高壓系統以上者應具備低電壓持續運轉能力(LVRT)，並且將自民國100年1月1日起施行。當電力系統發生故障造成責任分界點電壓驟降時，風力發電設備必須能夠持續運轉，風力發電設備之低電壓持續運轉能力(LVRT) 曲線(詳如圖4)：

1. 發電設備於責任分界點電壓自低電壓開始時間(0.0秒)降低至額定電壓15%時，應持續運轉至少0.5秒以上。
2. 發電設備於責任分界點電壓恢復至額定電壓90%以上時，應持續運轉。
3. 風力發電設備於責任分界點電壓高於圖4之實線以上，風力發電設備應持續運轉。

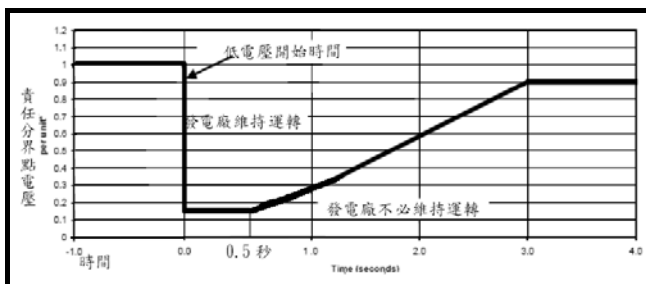


圖4 風力發電設備低電壓持續運轉能力(資料來源：台灣電力股份有限公司，「再生能源發電系統併聯技術要點」)

然而，風力發電機之風場併接電網，需併入何種電壓等級，則必須根據「再生能源發電系統併聯技術要點」辦理，主要係依發電設備的總容量與引接點而定，系統併接依據要點如下：

- (一) 發電設備總容量未滿100kW，得併接於低壓單相三線110伏特/220伏特或三相三線220伏特或三相四線220伏特/380伏特之低壓系統或高壓以上系統。
- (二) 發電設備總容量在100kW以上未滿10MW者，得併接於11.4kV之高壓系統；發電設備總容量在100kW以上未滿20MW者，得併接於22.8kV之高壓系統；若發電設備總容量在100kW以上未滿500kW者，得併接於三相四線220伏特/380伏特之低壓系統。
- (三) 發電設備總容量在10MW以上未滿20MW且無22.8kV之高壓系統者或發電設備總容量在20MW以上者，得併接於特高壓系統，其併聯之電壓依個案檢討決定。

- (四) 併接於低壓系統各相間不平衡容量：
 1. 併接於低壓三相之配電系統，發電設備各相間不平衡容量不得大於5kVA。
 2. 併接於低壓單相之配電系統，其最大裝置容量不得超過20kVA。
- (五) 併接於高壓系統者限制：
 1. 發電設備設置者應於責任分界點裝設遙控跳脫裝置，其發電機出口應加裝頻率變化率電驛(ROCOF)及相位跳動電驛(VSR)保護功能等防止單獨運轉之電驛或同等功能以上之保護檢測設備。
 2. 再生能源發電系統併接於11.4kV之高壓系統者，其最大躉售電力不得超過5MW；併接於22.8kV之高壓系統者，其最大躉售電力不得超過10MW。
 3. 以專線併接於主變壓器二次側(11.4kV或22.8kV)匯流排者，其提出併聯計畫及系統衝擊分析後得個案檢討，不受前目最大躉售電力之限制。
 4. 為確保供電品質與安全，供應下列供電品質敏感地區之變電所，再生能源發電系統併接至高壓系統不得產生逆送電力至特高壓系統：
 - (1) 科學工業園區：經行政院國科會依「科學工業園區設置管理條例」報請行政院核定設置者。
 - (2) 加工出口區：經行政院依「加工出口區設置管理條例」劃定設置者。
 - (3) 其他經由中央主管機關認定之地區。
 5. 除前目地區外，再生能源發電系統併接於台電公司高壓系統者，其允許逆送至特高壓系統之總計最大電力容量以不超過併接於主變壓器額定容量之30%為限，超過30%者，得依個案檢討決定。

經由，上述相關要點分析可知，為確保風力發電機併入系統電網後，能足以保持系統的安全與品質，其基本的系統衝擊檢討評估主要項目有：電網設備的額定容量、故障電流、風場功率因數變化、穩態電壓變化、頻率及電壓高低的設定、電壓閃爍、諧波管制等。而且，一般電網在作互聯前，風能開發廠商均會依照台電公司提供的網路基本資料，進一步作系統分析模擬以提送「系統衝擊檢討報告」，再逐一檢討「再生能源發電系統併聯技術要點」項目，送交電業相關單位進行併網與運轉規範之審查，合乎相關規定才准其併入系統運轉。再者，依據電業登記規則，在進行籌備設置風力電廠時，其主要的申辦作業程序如下：

- (一) 籌備設置階段：

必須備妥相關規定之圖書及文件，包括：1. 籌設計畫書2. 地方主管機關同意函3. 環境評估核准文件4. 場址土地使用同意書及地方政府機關意見書5. 金融單位之融資意願書6. 通過風力發電廠之電源線引接併聯同意書的審查7. 倘若遭遇飛航、軍事管制等區域時，需向經濟部辦理申請登記備案。其中，在籌備設置備案階段，有效期間以二年為限。
- (二) 施工許可階段：

施工階段必須在籌備設置之備案有效期間內完竣。施工前必須備妥相關圖書及文件，包括：1. 工程計畫書2. 初步圖樣資料及規範書3. 場址土地完成

變更或容許使用之證明文件4.向中央主管機關(經濟部)申請核發發電設備工作許可證。

(三)成立給照階段：

整個施作必須符合在工作許可證有效期間內完竣，且在施工完竣後需檢具相關規定登記圖書，送交申請中央主管機關以便派員進行查驗，並且在核發(換發)電業執照後，始得營業。

IV. 風力發電計畫之財務分析探討

電源開發為一種資本密集、永續經營之強制性投資。然而，風力發電計畫之投資風險又會深受發電成本及躉售電價格不定性因素所影響，故投資風險係以整體的不定性因素為主要考量，藉由敏感性分析之方法，衡量投資報酬各項不定性因素的變動，以致對整體投資計畫的回收影響程度，作一決策性的參考。針對，財務總投資費用、躉售電價格、總年度的發電量、利率變化、物價調整費及運轉維護費用等變數，在單一項目「±10%」與投資報酬率(或投資收回年限)變化情形，作敏感指數的計算，以供評斷分析。其計算式如下：

$$SI=(\Delta ROR/ROR)/(\Delta V/V)$$

其中：

SI：敏感指數。

ΔROR ：現值報酬率變化量。

ROR：計畫現值報酬率。

ΔV ：單項計畫值變化量。

V：單項計畫值。

上式中，當敏感指數為正值表示正效應，即所謂的增加投資報酬率；反之，若為負值表示為負效應，即減少投資報酬率。在眾多的變數中，又以財務總投資費用、躉售電價格、總年度的發電量等三項不定性因素，較為敏感，利率變化、物價調整費及運轉維護費用等則較不為敏感。值得一提的，我國因在躉售電價上的變動不易，故在整體風力發電計畫之財務投資上，儘量須以節省工程總投資成本及未來機組的妥善維護，作為充分發電的首要任務。

茲將本文，以澎湖湖西風力發電計畫工程為例，就其工程內容項目、施工方法及進度規劃，再配合人力成本與材料單價作分析探討。其中，工程成本之財務總投資費用估算項目包括：直接工程成本、間接工程成本、物價調整費、施工期間利息、電廠開發協助金等。再者，本計畫工程財務總投資費用=直接工程成本+間接工程成本+施工期間物價調整費用+施工期間利息費用+風力發電廠開發協助金。其項目細分彙整如下[5]：

1. 直接工程成本包括：

- (1) 土地租金金。
- (2) 準備工程費用(包括：整地、地上物補償、施工道路等費用)。
- (3) 土建工程(包括：電氣室建造費、塔架基礎等費用)。
- (4) 機電設備費用(包括：風力機組及塔架費用、變

壓器及開關設備費、雜項設備費、電源線施作費、監控系統費用及景觀美化等費用)。

2. 間接工程成本包括：

- (1) 工程設計、監造、管理及保險費用(其中管理費佔直接工程成本之0.5%；保險費佔直接工程成本之1.5%)。
 - (2) 工程工安環保衛生費用(依經驗採計，原則上以直接工程成本之0.6%計算)。
 - (3) 其他雜項費用。
3. 施工期間物價調整費用(予以合理調整)。
4. 施工期間利息費用。
5. 風力發電廠開發協助金。

至於經濟評估與財務分析上，風力發電計畫之年成本估算原則，主要分為固定年成本及變動年成本兩種，茲將分述如下：

(一)固定年成本：

係以計畫總投資費用乘以年固定費率而求得。年固定費率必須考慮下列各項：

1. 利息：以資金來源借貸金、自有資金之加權平均利率(約為5%)，採計估算。
2. 折舊：折舊費率一般風力發電計畫之經濟壽齡會以20年期限，依償債基金法之提存折舊方式採計。其風力發電計畫約以3%作為採計原則。
3. 保險：可依據相關的發電計畫採計(如：水力發電計畫)，以年平均資產稅率0.03%為原則。

(二)變動年成本

主要係為風力發電廠之運轉維護費，主要包括：期間更新費用、電力開發協助金及必要保險費用。

綜合上述，澎湖湖西風力發電廠之計畫經濟評估計算表如圖5所示：

計畫經濟評估計算	
一、總裝置容量(瓩)	5,100
二、年發電量(百萬度)	19,215
三、總投資費用(千元)	304,677
四、均化年成本(千元)	
1、利息 5.017%	15,285
2、折舊 3.0189%	9,198
3、稅捐 0.0300%	91
4、運維費	10,793
小計	35,367
五、均化年效益(千元)—保障購電價格下之營收	40,358
六、益本比—僅計發電效益	1.14
七、外部效益	
1、年替代燃油發電量(百萬度)	19,215
2、每年減少CO ₂ 排放量(公噸)	15,718
3、估計CO ₂ 每公噸排放過量之罰款(歐元)	40
4、CO ₂ 排放減量之年效益(千元)	25,777
八、綜合益本比—加計外部效益	1.87
九、單位建造成本(元/瓩)	59,741
十、單位均化發電成本(元/度)	1.84

圖 5 計畫經濟評估之計算表(資料來源：澎湖湖西風力發電計畫可行性研究報告)

經由圖 5 可知，相關經濟評估項目計算，可評估出單位建造成本(元/kW)與單位均化發電成本(元/度)，其表

示式如下：

單位建造成本(元/kW)=總投資費用/總裝置容量(kW)

$$=304,677,000/5,100$$

$$=59,741(\text{元}/\text{kW})$$

單位均化發電成本(元/度)=均化年成本/年發電量

$$=304,677,000/1,921,500$$

$$=1.84(\text{元}/\text{度})$$

綜合上述結果，可知澎湖湖西風力發電之單位建造成本為 59,741(元/kW)，而其單位均化發電成本為 1.84(元/度)。又本文以澎湖湖西風力發電之財務分析為例，除考量其為台電近期風力發電工程中已接近竣工、即將商轉的案例外，且因其財務分析部分採用澎湖中屯風力發電成功商轉的實務經驗(90年9月商轉且運轉狀況極佳)。故具有近期施工案例與成功實務經驗之雙重效益，可作為其他風力發電廠規劃時財務分析的絕佳參考範例。

V. 風力發電廠之運轉與維護

風能的大小強弱瞬息萬變，使得風力發電受到季節性氣候等因素影響，以造成風力發電的出力較不穩定，且無法預期及取代傳統之發電方式，僅能作為輔助性電源。然而，在近年來風力電廠管理營運上，由於技術已極為成熟，風力機組的可靠度及運轉安全，皆已大幅提高，使得各型風力機組目前皆採用自動控制方式運轉，以微電腦監控，風力機組可於正常情況下自動運轉、隨時偵測異常狀態、出現異常情況自動控制停機等模式。因此，當風力發電機組完成安裝後，不需要有現場人員的操作，即可運轉。

風力發電廠之管理上，可區分為風力發電機組的運轉維護及維修作業兩大項，茲將分述如下[5]：

(一) 運轉維護：

風力發電廠在完成後，風力發電機組均會將監控系統，連結至相關單位進行統籌管理，採用遠端遙控操作方式運轉，且可利用線上修護系統移除故障問題，故風力發電廠不必有人員駐守，僅需配屬電腦操控的專業人員，負責整體風力發電廠運轉操控、監視及一般性維護保養之工作。而且，基於風力機設計簡單、維護保養容易，需要經常性重大維護保養的工作並不多，主要之維護工作為檢查螺栓部位有否鬆動，磨耗性組件有無缺損、添加軸承等動件之潤滑油脂、更換機油及巡檢等工作，故技術性人員在經過風力發電機組廠家的維護運轉及技術性短期訓練後，依據所提供的操作維護手冊，即可勝任此維護運轉的工作。

(二) 維修作業：

在風力發電運轉初期，均會與風力發電機組的供應商簽訂售後合約，除了負責培訓保養維修人員外，更會訂有限時派員服務的條款，以確保若發生重大事故時的故障維修工作。故障維修隸屬於技術層次較高的工作，維修人員需具備豐富的實務經驗及專業技術，方可勝任風力

發電廠之各項機組檢修及保養維護工作。

VI. 結論

從本文可看出良好的場址規劃評估及財務分析探討，可在風機尚未建置前，評估出最符合經濟效益，且在工程及環境皆可行之條件下，以得到最佳佈置規劃方案，並且能依其建置方式產生最佳功率輸出；且風場的併接方式也應採用台電的「再生能源發電系統併聯技術要點」之規範作為系統併接之依據，並提送完善的「系統衝擊檢討報告」，對於系統衝擊之影響應可降至最低；另外，本文也採用「固定年成本」及「變動年成本」兩種成本估算原則，以達到最佳的決策性參考；最後，在有好的場址規劃及財務分析之條件下，風場建置後不僅具有成本競爭優勢且可降低機組的損壞率，也可讓運轉維護工作更為容易，對於周圍的環境及人文造成最小的損壞，而獲致最大的利益。

參考文獻

- [1] 經濟部能源局，<http://www.moeaboe.gov.tw/>
- [2] 中央大學台灣風能網站，<http://www.atm.ncu.edu.tw/93/wind/>
- [3] 余勝雄、張燕全，「我國風力發電應用現況及展望」，中國工程師學會月刊，第七十八卷，第五期，2006，第 17-26 頁。
- [4] 台灣電力股份有限公司，「再生能源發電系統併聯技術要點」，民國九十八年十二月。
- [5] 台灣電力股份有限公司，「澎湖湖西風力計畫可行性研究報告」，民國九十三年十月。