

從地理、環境、能源、電驛談

澎湖中屯風力發電機組加入工程

台電電力調度處 張永榮
維護課主管載波

一、前言

(一)環境介紹

我是第十七期預備軍官，三十三年前剛從學校畢業，七月初被分派到澎湖海軍服役。參加救國團在林投公園所舉辦的大專青年仲夏土風舞會，『風』由海面輕輕的吹，吹來了夏日的夢，好甜、好美……。

因工作需要常搭艦艇往返於各離島間，維修收發射機、雷達 (RADAR) 和聲納 (SONAR)。在冬季海風興起，滾滾浪濤打在船舷上，激起數米高浪花，這時的『風』就沒那麼可愛了。一年的軍旅生活，讓我深刻感受到風大、雨少、土地貧瘠、人口外移、電力不足是當地生活的寫照。

澎湖是『風』的故鄉，每年大約有半年以上時間，颳著強勁的東北季風。故『風』資源非常豐富，是極適合開發風力發電。將當地特殊的自然景象，改變成可利用的經濟價值。

(二)公務前往

今年八月我再度來到澎湖馬公，當飛機緩緩下降。從機座右窗向外望去，鳥嶼、吉貝嶼等小島像棋盤上的棋子，零星分佈在海域附近。醒目的四個大風車 (塔高 46 公尺，葉片直徑為 43.7 公尺)，聳立在中屯海邊迎風招展。藍天

白雲襯托出它的美麗，可視為澎湖的最新地標。這次來此的目的，就是協助完成風力機組併聯運轉前的試驗工作。

二、再生能源

(一)能源與生態

台灣地區目前使用水力、火力和核能作為發電能源，所用的能源燃料包括煤、石油、天然氣和鈾，對週遭生態環境將產生重大污染。現比較述說如表一所示。

(二)再生能源

依據世界能源消耗分析，以石油消耗佔第一位為 39%，其次為煤 28%，天然氣 18%，核能 4%，水力 3%。有一天當主要能源燃料消耗殆盡時，則再生能源必然倍受歡迎。台灣地區四周環海，特別適宜開發再生能源，其最大優點為安全、清潔和方便性。現將再生能源的種類與關聯性介紹如表二所示。

三、風能知識

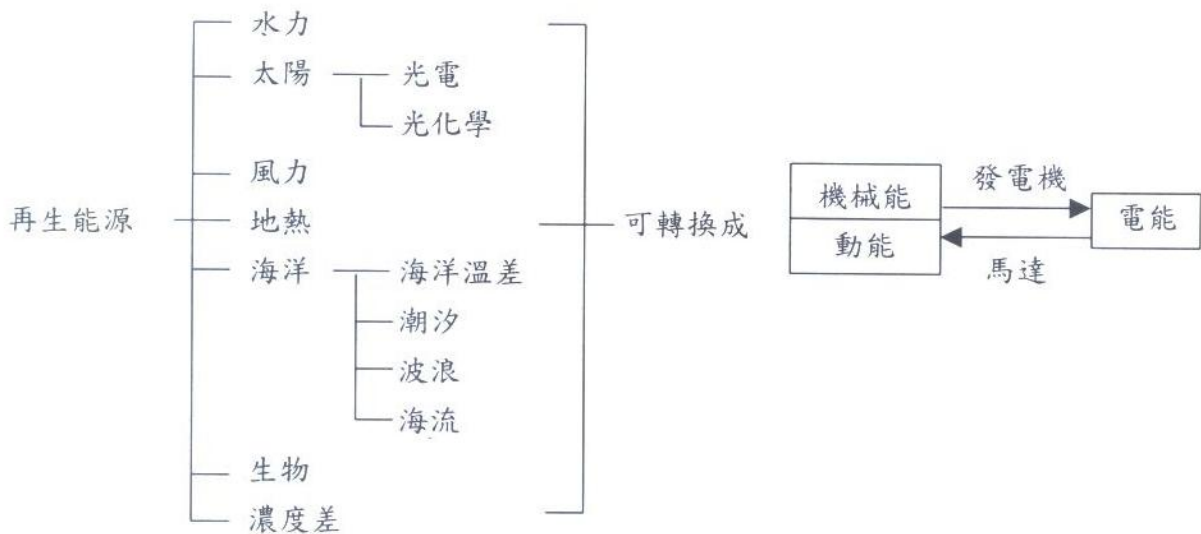
(一)風能演進

西元前 1300 年波斯人已學會利用風力，將風車帶動輪子，輪子又帶動石磨工作。在古老東方的中國，老祖宗們嚐試泵抽水源，利用它來播種、灌溉，做家務事情。

表一・能源與生態影響

號序	一、問題產生	二、能源由來	三、影響結果
1	排放二氧化碳	煤、石油、天然氣	氣候改變
2	排放二氧化硫 排放二氧化氮	煤、石油、天然氣	造成酸雨
3	排放溫水	煤、石油、天然氣、核能	海域生態
4	排放煤灰	煤	幅射效應
5	排放廢氣	石油、天然氣	空氣污染
6	排放放射性物質	核能	幅射效應
7	可能的溫污染	石油	海洋生物
8	可能的爆炸	天然氣	生物傷亡
9	廢料處理	核能	海陸生態

表二・再生能源的關聯性



西元 1920 年法國人達魯氏，將風車設計成巨大螺旋，使用直立轉軸來工作，這與最早的波斯風車相類似。它們最大的優點是不會受到任何風向位置的改變，均能適時轉動。

20 世紀在歐洲的荷蘭、丹麥相繼

成功使用風力發電。而北美、西歐、北歐等國家，對風力發電研究有著很大興趣。如今獲得重大進展，研製成風輪直徑達 100 公尺，其發電機組輸出功率可達 5000 KW。到西元 2005 年，丹麥要在海上建造 500 座風力發電機組，屆時

海上將形成長城，非常壯觀。

(一)風能緣起

煤、石油、天然氣和核燃料等正被迅速地耗盡中，在不久的未來我們將無資源可利用。而人們對最先進的核燃料存有疑惑，憂心原子所釋放出來的能量，有致命的輻射線。把核廢料留給子孫們，更不是做人的倫理，故我們急需開發其他能源來取代。

利用強勁而穩定的風力，用來轉動風車的槳葉。葉片旋轉時，將轉動一根軸承帶動發電機迴轉，用以產生電力發電。這種使用風力發電方式具有下面四個優點：

1. 風能取之不盡，用之不竭。
2. 風能絕無污染上的顧慮。
3. 風能是再生能源的實現。
4. 目前使用大型風力發電，其投資報酬率已高過「成本有效性」(Cost Effectiveness)，具有經濟開發價值。

以往人們認為風力發電是不可靠，它反覆無常的改變，且又昂貴，根本無法做為輔助電力。被認為是一項高風險、低報酬的投資。但 21 世紀的今天，整個風力發電的情況改變，風力發電成本較 20 年前降低一半以上。風車葉片的翼展 (Blade) 可達 100 公尺，風力可被有效的儲存，風力渦輪機的發電效率提高。風車的安全性和耐用性都有大幅改善，如今是最被看好的再生能源之一。尤其在貧窮、落後、缺乏能源燃料的地區，風力發電對他們幫助更大。因為每當使用風力渦輪機發電時，就能節省許多寶貴的燃料。

(二)風能知識

最近閱讀一本由商業週刊出版的書「風」(Wind)，是 Jan Deblieu 著，

呂文慧所翻譯的科學新視野叢書。作者將「風」視為人們最好的朋友，它改造大地、生命與歷史的空氣流動，是人文、科學和生活三方面的融合體。作者以十分自然的方法切入主體，娓娓道出風與人的關係，「風」如何塑造和影響地球環境。在本書第九章「利用風力」詳細述說「風」的演變，風車常被用來研磨穀物和泵抽水源，如今利用風聲構築工業之歌，形成風的河流。作者對「風」有特別的嚮往和期許，或許有一天每個家庭也都能使用到風力所產生的電能。

四、風力應用

(一)風力特性

風 (wind) 是指空氣中的氣流運動，風的速度是一種向量，它有大小和方向 (即風速與風向)。依蒲福風級表所示，將風分為 17 級。0 級為無風，一級為軟風，二級為輕風，三級為微風，四級為和風，以往真正使用在風力發電上，至少需具備五級以上清風，這時小樹上的葉片會開始搖動。如今澎湖中屯風力發電機組是採用德國第三代改良型機組，當二級輕風時發電機組即可運轉，12 級風時將達到滿載發電。

(二)風能應用

空氣密度為水密度的八百分之一，證明風能的能量密度較低，這將限制單機容量不能建造太大。補救方法就是將風輪機的體積變大，因此造價變為昂貴。

風能是一種隨機性能源，具有間歇性、變化性。因此要和蓄能裝置相結合，才能達到連續供電方式。風能有其參數上的考量，包括：風速、風頻、風

能密度、風能利用率、風向、亂流、可用風速、風離地面高度等。

一般而言，沿海、高山、空曠地區的風力比較大。以澎湖地區為例，其最大平均風力出現在十一月間，有足夠能量可作貯存。其最小的平均風力出現在八月間為 3.1m/s，故有時會不能轉動渦輪，這時必須靠能量的貯存或以尖山發電廠能量作為補充。一個穩定又持久的風速，是最適宜作風力發電。若風速過低時，將會無法轉動風力發電。但強風或颶風則對風車安全、操作言又太危險。依據長期風能評估顯示，在澎湖中屯地區年平均風速已超過 7.9m/s，風力資源堪稱豐富，其條件有利開發風力發電。

五、風力發電介紹

(一)風力電廠的組成：風力電廠主要由下面三個部分所組成，現述說如下。

1. 能量轉換裝置

主要是將風能轉變成為電能的機電設備，它包括風輪機、發電機及升速傳動裝置。(如圖一所示)

2. 蓄能裝置

為克服風能的間歇性、波動性與隨機性所導致的發電不能連續，固有蓄能裝置。其採用的蓄能方式通常包括下面五種：

- (1)抽水蓄能裝置。
- (2)壓縮空氣蓄能裝置。
- (3)飛輪蓄能裝置。
- (4)風力致熱蓄能裝置。
- (5)蓄電池蓄能裝置。

3. 控制系統

由於風能隨時間產生變化，無法把握，故有控制系統裝置。利用調速系統和勵磁系統等做有效控制，使發電機輸出電能的頻率和電壓，均能維持一定值。

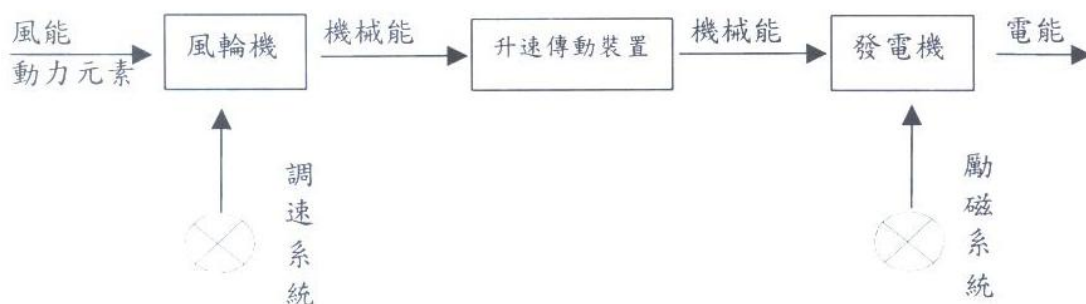
(二)風力運轉方式

小型的風力發電機組裝置，多採用永磁式交流發電機。而中大型的風力發電機組裝置，則為同步發電機或感應發電機所組成。

一般風力發電系統運轉方式，可採用獨立運轉、並聯運轉和群集式風力運轉等三種。通常群集式風力運轉是使用的風力資源非常豐富的地區，當風力發生任何變化，可連續測得風速足夠啟動時，風力發電機組即會自動啟動。若轉子速度到達最低時限，則風力機組之電力即併入市電系統。達成彼此間的互補作用，用以提供較穩定的連續電能。

(三)中屯風力介紹

中屯嶼位在馬公本島和白沙島間，是重要的交通孔道，面積僅 5 平方公里。面向澎湖北方海域，廠址地區地



圖一·(風與電)能量轉換裝置

勢平坦，距附近民宅甚遠。充分利用當地「風」的特殊自然景觀，台電公司在此完成四座 2400 瓩的風力發電機組，用以提高居民生活水準，並帶動當地觀光事業的發展。

中屯風力發電工程是由中興電工公司、日本日立公司及德國 Enercon 公司所共同承包。它採用德國第三代最新風力機組，由於沒有齒輪箱（Gear Box）的設計，可直接傳動，減少風力所帶來的噪音。因它又具有變速功能，當風力產生變化時，葉片角度可隨風調整，促使電力輸出更加穩定。

中屯風力電廠所產生的電力，經變壓器（750KVA、11.4KV/400V）升壓後，併入澎湖地區輸配電系統。該電廠運轉資訊由尖山電廠做監控，除必要的維修工作外，電廠未來將無人駐守。

六、保護電驛原理

(一)設備介紹（參考如圖二所示單線圖）

1.一般介紹

- (1)風力發電機共四部，各為 600 KW、440 V。
- (2)電氣室（主控站）一間。
- (3)變壓器室（包括一號、三號、四號）共三間。
- (4)輸電線路使用 25 KV、XLPE500MCM 地下電纜，送至尖山發電廠的湖西變電所。

2.電氣室（主控站）介紹

- (1)PT 盤面：裝有三只單相 12 KV/120V、75VA 之 PT（比壓器）供給儀表量測使用。另裝有 DS（隔離開關）、ES（接地開關），具有互相連鎖，作為開關設備與外部線路隔離及接地時使用。

- (2)MVCB 盤面：裝有一台三相 15 KV、630A、25 KA 之 VCB。固定 200/5 之 CT（比流器）接儀表、轉換器，過電流電驛，接地過電流電驛，欠壓電驛，過壓電驛，閉鎖電驛等。

在 MVCB 盤面上裝有儀表、轉換器，在盤面上可顯示電壓、電流、電力、功因及雙相瓦時。並將電壓、電流、電力所得數值，利用遠端監視傳送至尖山電廠之監控系統上。

- (3)LBSI 盤面：裝有一台三相 24 KV、400A、15 KA 之負載開關，並配有一只 75A 之電力熔絲。

- (4)TR 盤面：裝有一台三相 11.4KV/400V、750KVA 之主變壓器，一次側為 Δ 接線，二次側為 Y 接線，Y 接之中性點採直接接地，並有一只 CT 提供主變壓器保護用。在 TR 盤面上裝有一只溫度控制器，用以偵測主變壓器溫度。當溫度上升到 90°C 時啟動風扇， 120°C 時啟動警報， 130°C 時則跳脫 ACB。並將訊息傳送到電氣室（主控站）及尖山電廠的監控系統上。

- (5) ACB 盤面：裝有一台三相 600V、1000A、30 KA 之 ACB，接 1000/5 之比流器，廠用變壓器，儀表、轉換器，欠壓電驛和逆相電壓電驛和變壓器瞬時過電流電驛等。在 ACB 盤面上裝有儀表、轉換器可顯示電壓、電流、電力值，並經遠端監視傳送至尖山電廠之監控系統上。

- (6) DSI 盤面：裝有一台三相 15 KV、630A 之隔離開關，其主要功能作為 ACB 維修時隔離用。

3.變壓器室介紹

變壓器室內所用之設備包括 LBSI 盤面

，ACBI 盤面，DSI 盤面，TR 盤面等。與前述（2.電氣室介紹）所用之設備功能相同，故不再重複。

4.使用電驛

11 KV 部份			
電驛	廠牌	型式	數量
50/51	SEB	IF × 332/DD	1
51N	SEB	IH × 122/DD	1
27/59	SEB	UAR4N	1

400 V 部份			
電驛	廠牌	型式	數量
50/51	HITACHI	AN12 (ACB)	4
51N	TOYO	TGO-C15	4
47	SYRELEC	PWRS2	4
27	SYRELEC	LUF2	4

()電驛標置及運用

1.有關主變高壓側保護電驛標置及運用

(1)由尖山電廠（湖西變電所）送至中屯風力電廠之輸電線路，為地下電纜接線（25KV、XLPE500MCM），當事故發生時，MVCB 盤面之 50/51 相間過電流電驛動作或 50N/51N 接地過電流電驛動作。

過電流電驛最適合做低電壓層級，單線路的一種保護方式。當事故發生時，故障點明顯的落在本線路段內，使用過電流電驛作為保護，它能快速將故障設備從電力系統中隔離，是最好的一種

保護方式。其優點在簡單、價廉、動作確實。有關標置依電流大小和時間長短為考量，計算如下：

主變高壓側負載電流為

$$750/11.4 \times 1.732 = 38A$$

MVCB負載電流為

$$38A \times 4 = 142A$$

△裝置50/51電驛IF× 322/DD

對51電驛言選用CTR=200/5

故障在高壓側故障電流為

$$\left(\frac{750}{11.4 \times 1.732 \times 0.06} \right) \times 4 = 2532A$$

故障電流為 $\frac{2532}{200} = 12.5$ 倍選用L=1

對50電驛言

$$\frac{1.5 \times 750000}{1.732 \times 11400 \times 0.06 \times 40} = 23.7A$$

故選用瞬時跳脫

△裝置50N/51N電驛IH× 122/DD

對51N電驛言

$$20\% \text{ 負載電流 } 142 \times 0.2 = 28.4$$

即Tap 0.5

$$\frac{2532}{48.4} = 50 \text{ 倍 Tap 之電流 } 0.1 \text{ 秒跳脫}$$

故選用L=1

對50N電驛言

選用2倍Tap值，即10A瞬時跳脫

(2)由尖山電廠送來之電力中斷或者電壓過高，則27/59欠電壓電驛或過電壓電驛會立即動作，其標置設定計算如下：

△裝置27/59電驛UAR4N

PT 比值為 12KV：120V，實際線電壓為 69.3V

27/59電驛設定為112%額定電壓，

$$\text{即 } 69.3 \times 112\% = 77.6V$$

設定警報延遲 T=0.5 秒

跳脫時間延遲 T=1 秒

當 27/59 電驛設定為 80% 額定電壓

即 $69.3 \times 80\% = 55.4 \text{ V}$

設定警報延時 $T = 0.5 \text{ 秒}$

設定不跳脫

2. 有關主變壓器低壓側保護電驛標置及運用

(1) 當 ACB 上游電力中斷後，27 之欠壓電驛會動作，其標置設定計算如下：

輸入電壓為 400/231V

設定 80% 之額定電壓 即 $U/U_n = 80\% \rightarrow 400 \times 80\% = 320\text{V}$

跳脫時間 $T = 100\text{ms}$

若 ACB 上游電力發生欠相時，有關 47 之逆相電驛會動作，其標置設定計算如下：

△裝置 47 電驛 PWRS2

輸入電壓為 400/231V

$U/U_n = 0\%$ 即三相中之一欠相時

跳脫時間 $T = 70\text{ms}$

(2) 由於變壓器裝置容量較小（僅 750KVA），故用 75A 電力熔絲（Power Fuse）做為保護。當變壓器發生故障時，變壓器二次側 Y 接線之中性點，50N 接地過電流電驛動作，其標置設定計算如下：
△裝置 50N 電驛 TOYO、TGO-C15

主變高壓側負載電流

$$\frac{750}{11.4 \times 1.732} = 38\text{A}$$

主變低壓側負載電流

$$\frac{38 \times 11.4}{0.4} = 1083\text{A}$$

故使用 Tap=2

選用二倍 Tap，則 80A 瞬時跳脫

(三) 電驛運用：

這是一個較單純的保護，它使用四種不同廠牌的電驛。電力設備每個保護都不遺漏，並使用最新式的數位型電驛。電驛功能係利用軟體設計，配合微處理機，可做連續自我功能偵測，並儲存故障資料，其準確性較高，亦具耐震。

「電驛是一種藝術」我們使用電驛作為保護，該如何搭配，怎樣搭配，輕重緩急如何取捨。天下事沒有『十全十美』，故運用之妙存乎一心。

七、工作試驗

一個工程的完成，是無數員工辛勤的血汗。營建處係負責整個風力工程的發包和採購事宜，而施工隊則負責現場施工。為求工程順利進行，澎湖發電廠陸廠長曾召集各相關單位，主持竣工前的會議，希望工程能如期完成並送電。這對澎湖地區是件大事，為各新聞媒體所重視。對國家而言，我們成功的邁入再生能源，進入到無污染的綠色境地。

工程係採發包方式進行，有近百位國內外技術人員參與，頂著炎夏高達攝氏 34 度的大太陽，往返奔波在廣大工地間。復華機電公司游經理負責保護電驛工作，尖山電廠洪課長草擬加壓程序書，中興電工公司林副處長做最後工程收尾，澎湖電廠高課長做驗收工作，施工隊陳副主任親臨現場督導，整個團隊齊心努力一點都不敢馬虎。

加壓當日，大伙齊集在中屯風力電廠，再次核對電驛標置及圖面，確認比流器及比壓器的比值，電纜絕緣試驗，保護

電驛的跳脫試驗。最後由澎工所王隊長負責系統操作指令，做線路電纜加壓，送電，取載測試等工作，進行中遇到的困難均能一一克服，在夕陽西沉前圓滿完成加入工作。

八、風能遠景

世界各國的科學家和工程師們無不卯足了勁，全力開發再生能源（RENEWABLE ENERGY）。風能一些技術性問題相繼克服，風力發電指日可待。這種新知識、新科技、新趨勢，未來遠景無可限量。台電公司和台塑公司分別成功的在澎湖中屯、雲林麥寮相繼完成風力發電廠的建立，這是值得大家喝采和鼓勵的一件大事。

世界氣象組織（WMO）預估，地球上水資源所發出來的電力為 10 億瓩，而地球上海洋和陸地的風能資源約有 200 億瓩，兩者間差距整整高出 20 倍。故風能資源前途無限，有待我們努力去開發。

另國際能源委員會（WEC）預測，到西元 2020 年所有再生能源對全世界能源供給的貢獻度將達到 30%，用以滿足人類生活需求。現將各先進國家在 2010 年時，對再生能源的需求做一比較，如表三所示。

表三·先進國家在 2010 年對再生能源的需求

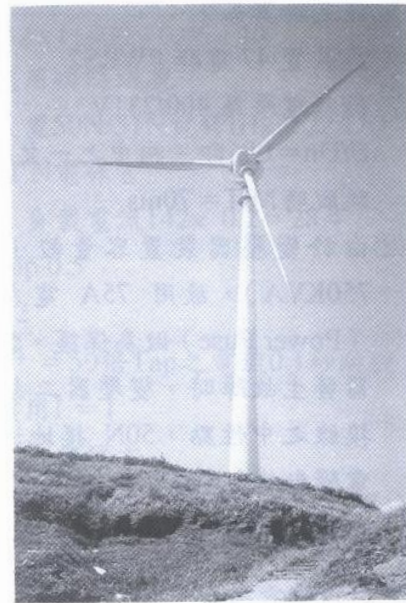
國家 能源	美國	日本	韓國	歐聯
風能	8 倍	17 倍	315 倍	16 倍
太陽能	1.9 倍	5.5 倍	13 倍	15.4 倍
生物能	1.5 倍	8 倍	7.5 倍	30 倍

* 以 1995 年作為基準

九、結論

澎湖偏遠離島地區由於燃料成本昂貴，發電成本為每度電五元左右。我們利用當地特殊地理環境，改採風力發電，反較具有經濟開發價值，每度電價則降低 40%，成本約為 3 元左右。

中屯風力電廠位處海邊，土地屬林務局所有。台電公司將與代管的澎湖縣政府共同合作開發，美化成為國內首座風力公園，將深具觀光價值。目前台灣地區至少還有 300 萬瓩風能潛力，尚待開發。台電公司將扮演更積極的角色，以提供用戶充沛的電力，乾淨舒適的生活環境。



澎湖中屯風力發電機英姿



澎湖中屯風力機組位外海邊

澎湖中屯風力電廠全貌

系統單線圖

