

(100)電返國報字第 23 號出國報告

行政院及所屬各機關因公出國報告書

(出國類別：實習)

參加美國德州大學阿靈頓分校能源系統研究中心

電力系統研習班

出國報告

服務機關：台灣電力公司

出國人員：

姓名	職稱	單位	姓名代號	出國計畫
高孟甫	電機工程師	電力調度處	026738	100 年度 第 23 號

出國地區：美國

出國期間：100 年 12 月 5 日至 101 年 6 月 1 日

報告日期：101 年 8 月 8 日

行政院及所屬各機關出國報告審核表

出國報告名稱：參加美國德州大學阿靈頓分校能源系統研究中心電力系統研習班		
出國人姓名	職稱	服務單位
高孟甫	電機工程師	電力調度處
出國期間：100年12月5日至101年6月1日		報告繳交日期：101年8月8日
出國 計 畫 主 辦 機 關 審 核 意 見	<input type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input type="checkbox"/> 2.格式完整（本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」） <input type="checkbox"/> 3.內容充實完備。 <input type="checkbox"/> 4.建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 5.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 6.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容以 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 8.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會（說明會），與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 9.其他處理意見及方式：	
層 轉 機 關 審 核 意 見	<input type="checkbox"/> 1.同意主辦機關審核意見 <input type="checkbox"/> 全部 <input type="checkbox"/> 部分_____（填寫審核意見編號） <input type="checkbox"/> 2.退回補正，原因：_____ <input type="checkbox"/> 3.其他處理意見：	

說明：

- 一、出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 三、審核作業應於報告提出後二個月內完成。

	單位	主管處	總經理
報告人：	主管：	主管：	副總經理：

QP-08-00 F06

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加美國德州大學阿靈頓分校能源系統研究中心電力系統研習班

頁數 41 含附件 是 否

出國計畫主辦機關／聯絡人／電話：臺灣電力公司／陳德隆／23667685

出國人員姓名／服務機關／單位／職稱／電話：

高孟甫	台灣電力公司	電力調度處	電機工程師	02-2366-7665
-----	--------	-------	-------	--------------

出國類別：1.考察 2.進修 3.研究 4.實習 5.其他：

出國期間：100 年 12 月 5 日至 101 年 6 月 1 日 出國地區：美國

報告日期：101 年 8 月 8 日

分類號／目

關鍵詞：德州電力管理委員會 Electric Reliability Council of Texas, ERCOT、
新英格蘭調度中心 ISO New England

內容摘要：

世界各國為因應全球氣候暖化議題、替代化石燃料，減少溫室氣體排放，均致力於提升再生能源機組占比。日本福島事件發生後，對於再生能源替代核能發電議題討論更為注重，再生能源開發容量及進展將可能再增加且更快速。惟再生能源係為間歇性之電源，發電不確定性甚高，且氣象及再生能源發電量不易準確預測，故若占比持續提升後對系統影響將大幅增加，將影響其他化石燃料機組的運轉模式、燃料用量，故瞭解使用的預估方法、參數及如何減少偏差量，及整合的因應對策，甚為重要，應參考國外系統運轉經驗，作為台電公司獨立系統之參考及注意事項，以維持系統之供電安全。

德州電力管理委員會 ERCOT 目前的風力機組裝置容量占比已達 13%，瞬間出力占比亦曾達到 26%，對電力系統之影響逐年增加，且亦曾預測偏差過大，而造成限電問題，故該系統發展各項市場機制及擴建輸

變電設備，作為整合風力發電的方法。新英格蘭調度中心 ISO NE 正測試其改良後的發電排程軟體，以因應可能的負載或再生能源變化，其他國家、系統亦應用或提出整合方式，均可作為台電公司發展再生能源之參考。

目 錄

目 錄.....	I
圖表索引.....	II
壹、出國目的.....	1
貳、出國行程.....	2
參、心得與建議事項.....	3
3.1 心得.....	3
3.2 建議.....	4
肆、全球再生能源潛能.....	5
伍、各電力系統整合再生能源方法.....	5
5.1 德州電力系統.....	5
5.2 中國能源局風電預測管理暫行辦法.....	27
5.3 荷蘭整合風能方式.....	29
5.4 其他整合再生能源的方法.....	32
陸、評估大型太陽能電廠對系統之影響.....	35
柒、有關美國電力公司的智慧型電表安裝情況及應用.....	37

圖表索引

圖 4、Renewable Energy map of the world	5
圖 5.1、美國陸地風力潛勢圖	6
圖 5.2、美國離岸風力潛勢圖	6
圖 5.3、美國太陽能潛勢圖	7
圖 5.4、美國各州 2010 年風力機組裝置容量	7
圖 5.5、ERCOT 系統各類型機組裝置容量占比	8
圖 5.6、2011 年 ERCOT 系統各類型發電量占比	8
圖 5.7、ERCOT 風力機組裝置容量成長趨勢	9
圖 5.8、美國各州風力機組容量前 5 名及裝置容量	9
圖 5.9、美國風力機組裝置容量最大前 5 州	9
圖 5.10、ERCOT 冬月及夏月典型日負載曲線比較圖	11
圖 5.11、ERCOT 典型日負載曲線與風力發電情況	11
圖 5.12、ERCOT 與 AWST 合作風力發電預測系統	12
圖 5.13、風力發電預測統計模式 Statistical Models	13
圖 5.14、氣象 ETA Model	14
圖 5.15、氣象 GFS Model	15

圖 5.16、風速與風場出力曲線圖	15
圖 5.17、風場每小時可能出力的機率分布圖	16
圖 5.18、風場發電量實績值與各種預測值	17
圖 5.19、風力出力大幅變動預測時程	18
圖 5.20、3 小時前風力預測出力偏差	19
圖 5.21、24 小時前風力預測出力偏差	20
圖 5.21、風場的出力與風速對應曲線	21
圖 5.23、全系統風力發電按指令限制出力及限制量	22
圖 5.24、單一風場發電按指令限制出力及限制量	22
圖 5.25、ERCOT 系統移相變壓器分布	23
圖 5.26、ERCOT 系統移相變壓器角度與成本對應曲線	23
圖 5.27、ERCOT 發電排程 UC 之作業程序	24
圖 5.28、ERCOT 動態檢討線路熱容量	25
圖 5.29、ERCOT 擴建輸變電設施	26
圖 5.30、線路串聯電容補償	26
圖 5.31、中國風場潛勢圖	27
圖 5.32、KEMA 建議案 Energy Island	29
圖 5.33、KEMA 建議案離岸抽蓄電廠	30

圖 5.34、robust UC 可因應負載預測偏差.....	32
圖 5.35、robust UC 於 ISO NE 系統運轉角色.....	32
圖 5.36、隨再生能源發電量變化之電動汽車充電站.....	33
圖 5.37、太陽能電廠發電量與裝設儲能電池後之輸出功率比較.....	34
圖 6、Nevada Energy 電力公司轄區及太陽能計劃.....	35
圖 7.1 Oncor 輸配電公司管轄區域.....	37
圖 7.2 用戶一日每 15 分鐘用電量.....	39
圖 7.3 用戶每日用電量.....	40
圖 7.4 用戶每月用電量.....	40
表 2.1 出國行程.....	2
表 5.1 2011 年 ERCOT 各類型燃料別每月發電量.....	10
表 5.2 2011 年 ERCOT 各類型每月發電量占比.....	10
表 5.3 2005~2011 年 ERCOT 風力發電量占比.....	10
表 5.4 ERCOT 近年來風力發電高占比發生時間.....	11
表 5.5 ERCOT 系統移相變壓器.....	23
表 5.6 荷蘭離岸抽蓄與台電抽蓄比較表.....	30
表 5.7 4 種儲能方式評估比較表.....	31

參加美國德州大學阿靈頓分校能源系統研究中心

電力系統研習班

出國報告

壹、出國目的

為因應全球氣候暖化議題、增進能源多元化、帶動相關產業及增進國家永續發展，政府於 98 年 7 月公布施行「再生能源發展條例」，以提升再生能源占比。日本福島事件發生後，對於再生能源替代核能發電議題討論更為注重，再生能源開發容量及進展可能將再增加且更快速。由於再生能源係為間歇性之電源，供電不確定性甚高，故若占比持續增加後對系統影響將大幅增加，將影響其他化石燃料機組的運轉模式、燃料用量，故瞭解使用的預估方法、參數及如何減少偏差量，及因應對策，甚為重要，且有關容許此類型機組之最大裝置容量的檢討方法亦應參考國外系統運轉經驗，作為台電公司獨立系統之參考及注意事項，以維持系統之供電安全。

貳、出國行程

本出國計畫，自 100 年 12 月 5 日起，至 101 年 6 月 1 日止，合計 180 天，行程概要如下表 2-1 所列。

表 2.1 出國行程

日期	起訖地點	工作紀要
100/12/5~100/12/5	台北—洛杉磯—達拉斯—阿靈頓	往程
100/12/6~101/5/30	德州大學阿靈頓分校	參加能源系統研究中心電力系統研習班
101/5/31~101/6/1	阿靈頓—達拉斯—洛杉磯—台北	返程

參、心得與建議事項

3.1 心得

為減少化石燃料消耗，降低溫室氣體排放，亦或替代核能發電，近年來世界各國大力推動各種再生能源發電，風力、太陽能為目前再生能源裝置容量最快速增加之發電型式。惟再生能源為間歇性電源，其發電量隨氣象情況變化、無週期性可循，不易準確預估，當再生能源占比提高時，即增加對電力系統的影響，如發電排程、輸電網路安全問題，可能造成供電問題。

美國德州致力於推動陸域風力發電，2005~2011 年間風力機組裝置容量占比由 1.37%，大幅增加為 13%，其他各州亦快速成長中，德州調度中心 ERCOT 為因應風場出力影響電力系統，減緩對系統的衝擊，陸續提出及運用各種措施：擴建系統輸變電設施（輸電線路、變電所、無效功率補償設備）、特殊保護系統、移相變壓器、風機特性規範、市場機制及風力預測模式等方式，以整合風力發電。其他各州電力調度中心則考量再生能源發電量不確定特性，提出改良強化的發電排程軟體 (robust UC)，因應可能的不確定因素，亦有鼓勵用戶使用再生能源，減少其變化對系統的影響。歐洲荷蘭國會要求推動再生能源，於是該國經濟部請其輸配電公司模擬、比較整合大量風力的措施，選擇適宜的方法，以避免對供電系統造成過大衝擊。另亦搜集中國能源局強制要求各大型風場設立專門的預測單位，預估風力發電，並符合預測誤差範圍的規定辦法。

由上述各國或系統推廣再生能源的經驗或發展方向，學習到整合方法，另因為再生能源的不確定性因素，除投資在開發再生能源的經費外，其實仍必須投資龐大的輸變電設施、傳統機組及相關的軟硬體

經費，以因應可能的系統衝擊風險，若台灣同樣發展大量的再生能源，亦應有因應的整合措施，以減緩其影響程度。

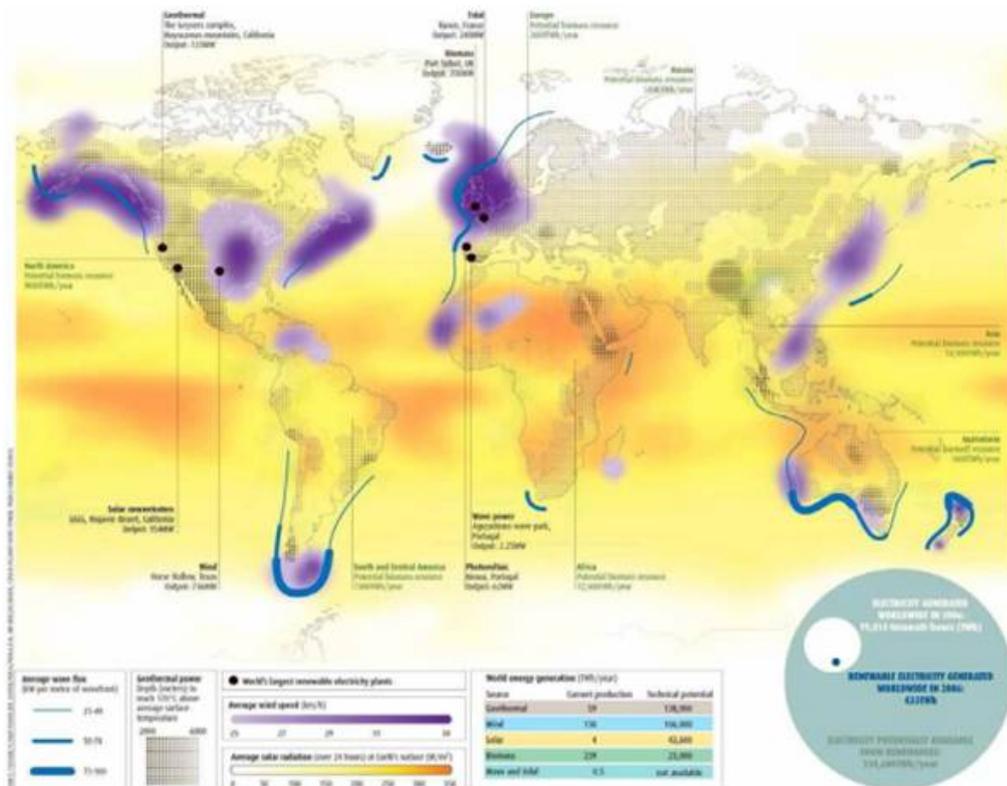
3.2 建議

1. 綜研所已建立統計模式的短期預測方法，未來再與該所及氣象單位合作建立物理模型預測方式，綜合二者優點整合完善的預測模式。由於軟體的應用仍需統計其誤差情況，或需再改善，且操作人員亦需長期的運作，熟悉瞭解其特性，故應視再生能源占比增加情況，適時完成預測系統架構。
2. 再生能源處開發風場機組時，亦應設置氣象塔，提供完善的氣象資訊，以作為預測輸入資料。
3. 建請開發單位適時增加快速啟停機組或單軸複循環機組。
4. 建立機組發電排程軟體(UC)，並加入系統不確定性因素考量。
5. 建請於適當時機再編列計畫持續派員出國觀摩學習

肆、全球再生能源潛能

由於全球暖化及氣候變遷議題受到各國日益重視，且因核能能源的使用常有質疑，化石燃料不僅於近年來因價格大幅上漲，亦因燃燒產生的溫室氣體難以處理，因此世界各國對於再生能源開發更為積極，圖 4 為世界各地風力、太陽能、海洋能蘊藏量調查概略圖。

圖 4、Renewable Energy map of the world



伍、各電力系統整合再生能源方法

5.1 德州電力系統

(一) 美國再生能源潛能及開發現況

美國再生能源實驗室調查各區域陸地、離岸風力及太陽能潛在發展能力如圖 5.1~5.3 所示，圖 5.4 則為 2010 年美國各州風力裝置容量。

圖 5.1、美國陸地風力潛勢圖

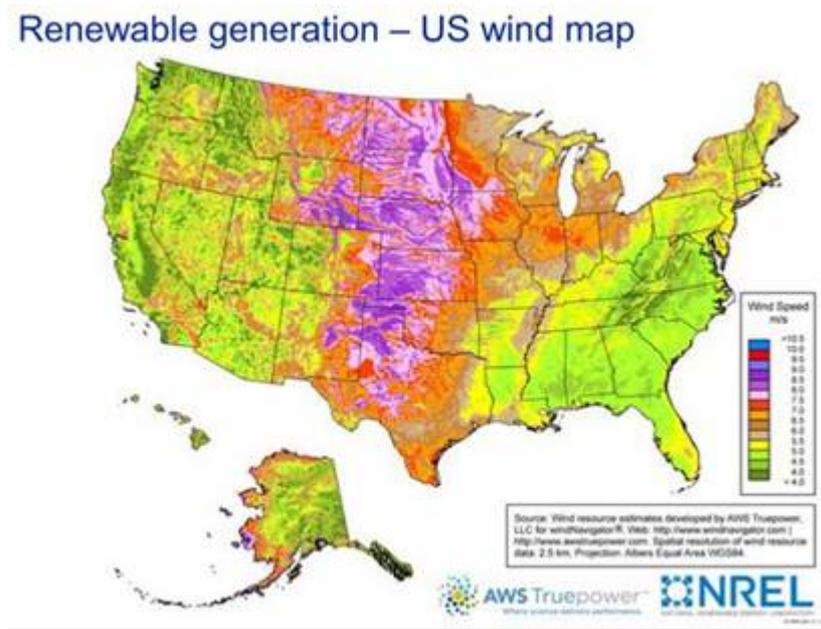


圖 5.2、美國離岸風力潛勢圖

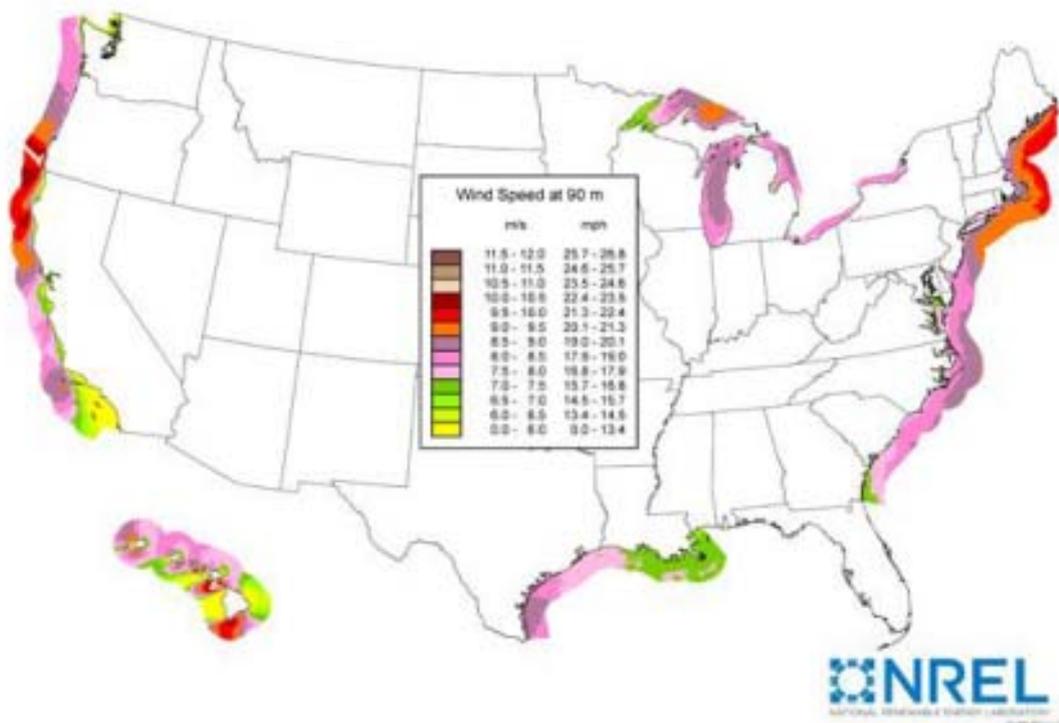


圖 5.3、美國太陽能潛勢圖

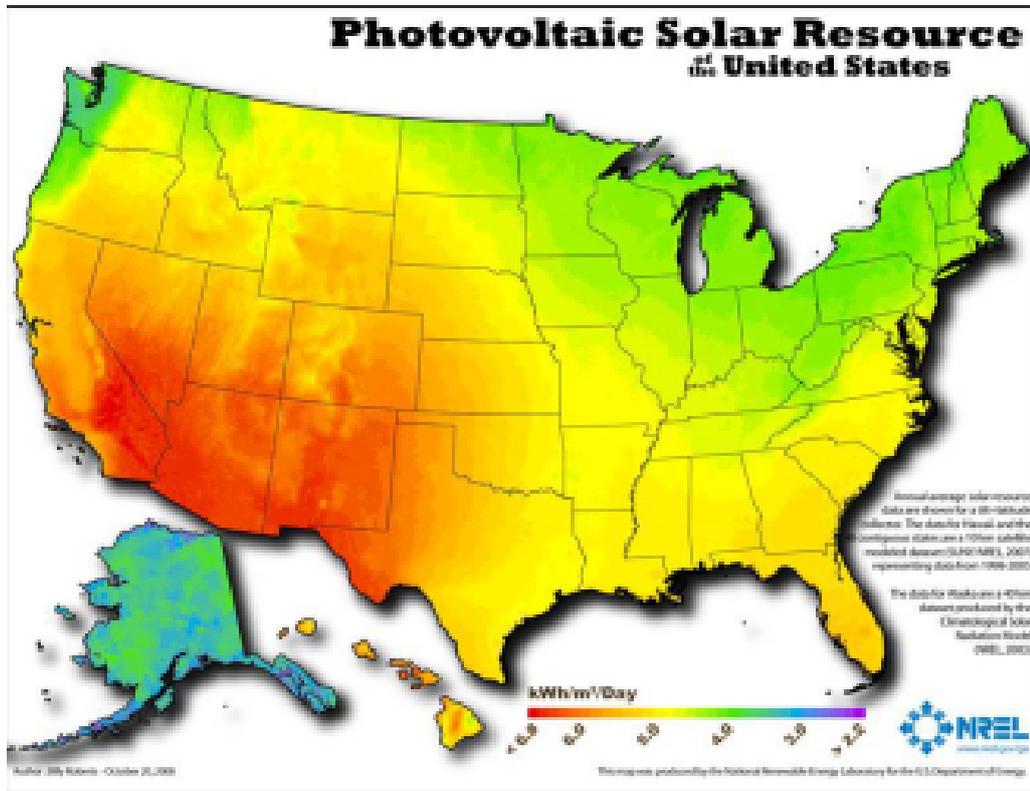
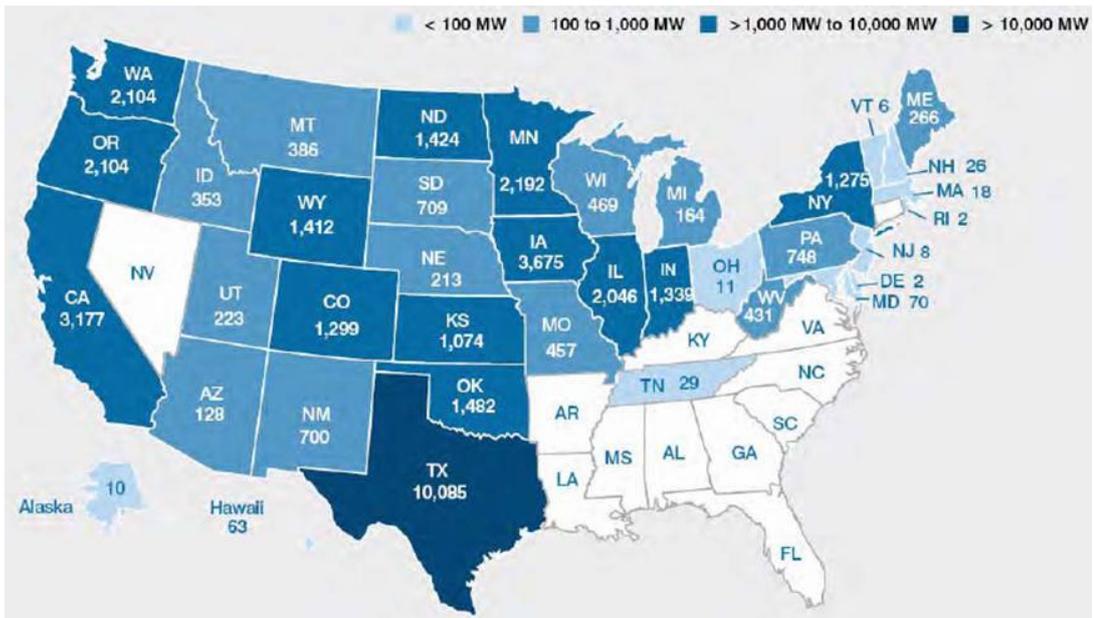


圖 5.4、美國各州 2010 年風力機組裝置容量



(二) ERCOT 系統簡介

德州電力管理委員會 (Electric Reliability Council of Texas, ERCOT) 管轄區域於 2011 年全系統約有 84GW 的裝置容量，各類型機組裝置容量占比如圖 5.5，發電量占比如圖 5.6，ERCOT 調度管理德州 75% 的領域範圍、85% 的負載。

截至 2011 年 ERCOT 約有風機裝置容量 10GW 如圖 5.7，占比約 12%~13%，高於美國各州的容量甚多如圖 5.8、5.9，發電量占比亦由 2005 年的 1.37% 增至 2011 年的 8.5%，如表 5.1、5.2、5.3。

圖 5.5 ERCOT 系統各類型機組裝置容量占比

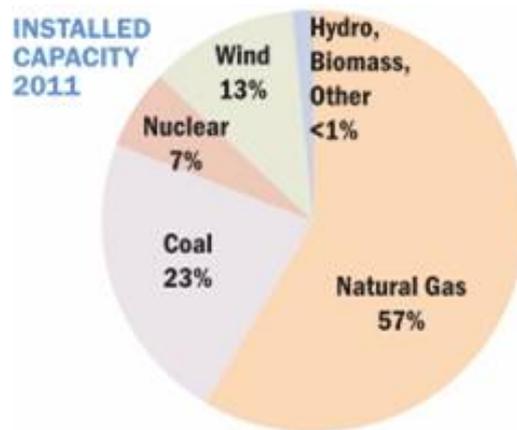


圖 5.6 2011 年 ERCOT 系統各類型發電量占比

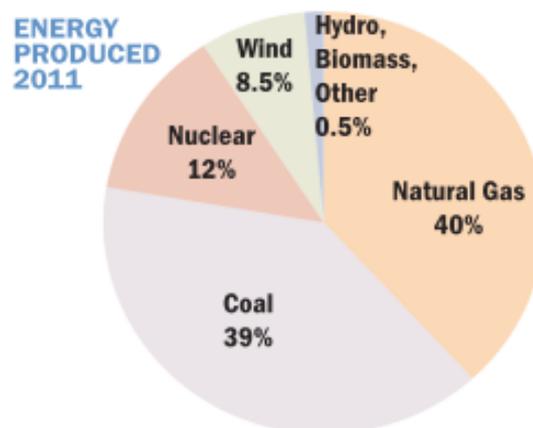


圖 5.7 ERCOT 風力機組裝置容量成長趨勢

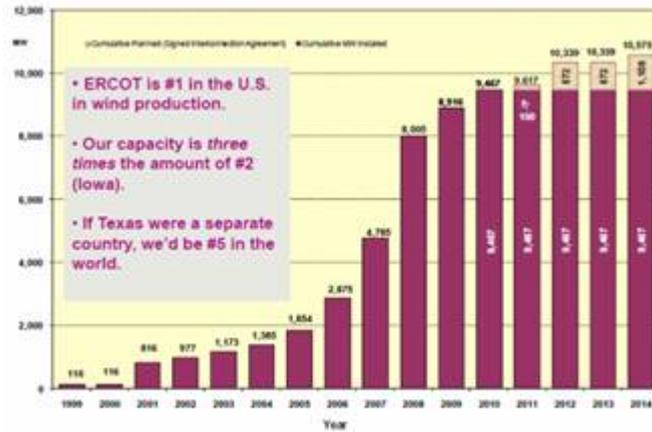


圖 5.8 美國各州風力機組容量前 5 名及裝置容量



圖 5.9 美國風力機組裝置容量最大前 5 州



表 5.1 2011 年 ERCOT 各類型燃料別每月發電量

Fuel Types	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
Natural Gas	8,275	8,100	6,159	9,249	12,040	14,115	17,601	19,503	12,893	9,055	7,761	10,038	134,789
Coal	11,516	9,516	9,860	10,162	11,076	12,250	12,899	12,767	11,576	9,925	8,821	9,713	130,083
Nuclear	3,786	3,473	3,808	2,023	3,380	3,646	3,461	3,594	3,660	3,091	2,912	2,813	39,648
Wind	1,916	2,371	2,605	2,832	2,871	3,133	1,960	1,913	1,510	2,399	2,582	2,204	28,295
Water	34	36	28	54	73	79	49	61	43	25	20	23	525
Other	44	38	47	49	51	43	37	38	40	55	49	43	534
Total	25,572	23,534	22,508	24,369	29,492	33,265	36,007	37,876	29,722	24,549	22,146	24,834	333,875

表 5.2 2011 年 ERCOT 各類型每月發電量占比

Fuel Types	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
Natural Gas	32.4%	34.4%	27.4%	38.0%	40.8%	42.4%	48.9%	51.5%	43.4%	36.9%	35.0%	40.4%	40.4%
Coal	45.0%	40.4%	43.8%	41.7%	37.6%	35.8%	35.8%	33.7%	38.9%	40.4%	39.8%	39.1%	39.0%
Nuclear	14.8%	14.8%	16.9%	8.3%	11.5%	11.0%	9.6%	9.5%	12.3%	12.6%	13.2%	11.3%	11.9%
Wind	7.5%	10.1%	11.6%	11.6%	9.7%	9.4%	5.4%	5.1%	5.1%	9.8%	11.7%	8.9%	8.5%
Water	0.1%	0.2%	0.1%	0.2%	0.2%	0.2%	0.1%	0.2%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.2%
Other	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%
Total	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

表 5.3 2005~2011 年 ERCOT 風力發電量占比

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Wind Gen (%)	1.37	2.12	2.89	4.93	6.16	7.82	8.47

ERCOT 系統風力機組容量占比大，且其陸域風場發電量高占比的時段常發生在夜間離峰時段，而此種與負載用電特性相反的情況，如圖，如表，更易影響系統，若發電量預估偏差，極可能在離峰時段衝擊系統。

圖 5.10 ERCOT 冬月及夏月典型日負載曲線比較圖

Figure 4: Winter demand is typically lower than summer demand in Texas⁴

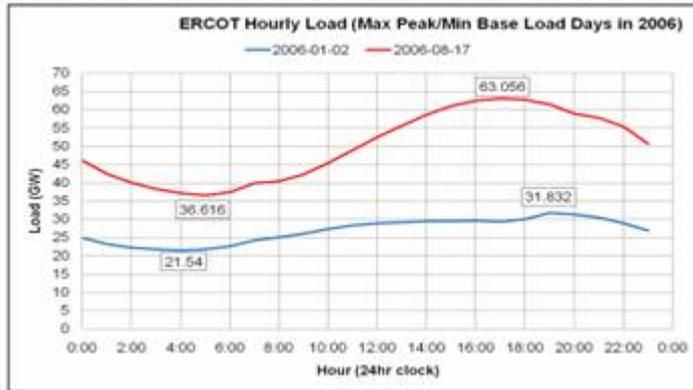


圖 5.11 ERCOT 典型日負載曲線與風力發電情況

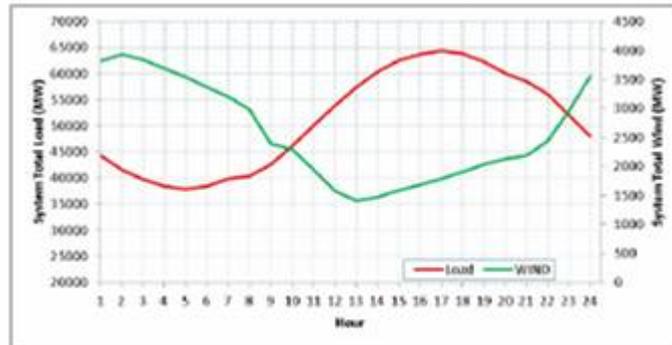


Fig. 2 ERCOT Wind Generation vs. System Load in Aug. 2011

表 5.4 ERCOT 近年來風力發電高占比發生時間

MWs	Date	Time	Percent of Load
7,599	3/7/2012	8:41 PM	22
7,403	3/6/2012	6:55 AM	24
7,400	10/7/2011	3:06 PM	15
7,355	6/19/2011	10:26 AM	15
7,227	12/11/2010	7:16 AM	26

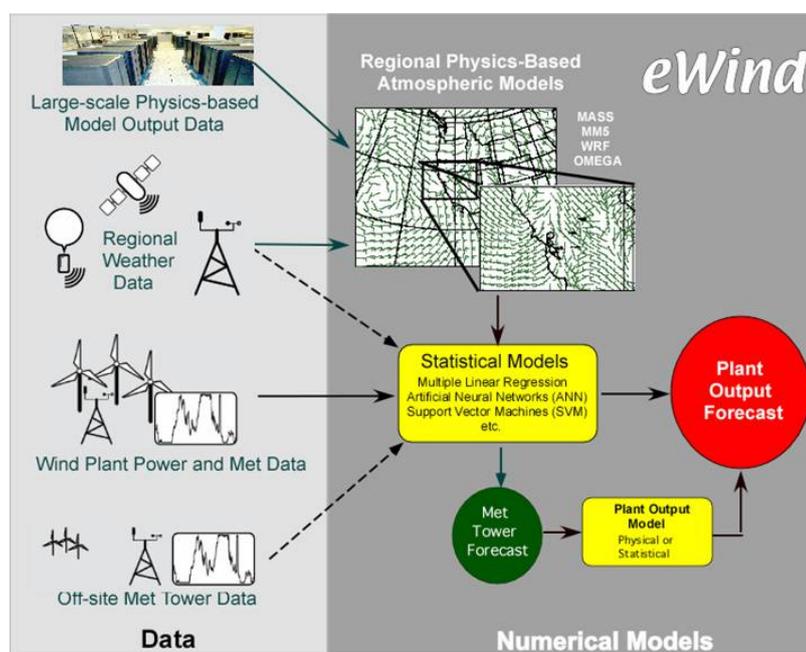
1. 德州電力系統風力預測方法

ERCOT 自 200 年起與 AWST 公司 (Associated Weather Services Truepower LLC was started in 1981) 合作預測風力發

電量的工作。

AWST 是一家近 30 年的企業，大概有 75 位從事氣象、工程師、環境的專家組成，目前受 ERCOT 及 MISO 兩家 ISO 委託預測風場發電量。該公司發展 eWind 系統作為風力預測的系統。eWind 是一套結合大氣物理模式（Physics-Based Atmospheric Models）及統計模式（Statistics Models）的預測系統。

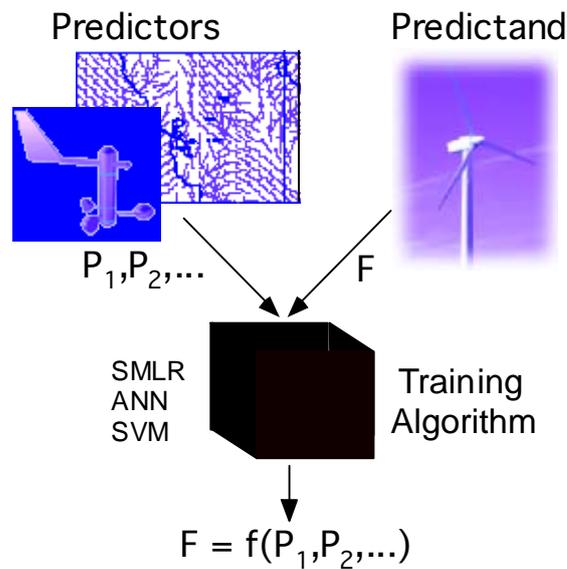
圖 5.12 ERCOT 與 AWST 合作風力發電預測系統



統計模式：

統計、學習歷史氣象資料（風速、風向、溫度、氣壓）與風場出力的關係，再輸入預測的氣象資料按學習經驗得到預估風場發電量。

圖 5.13 統計模式 Statistical Models



運用的演算法：Multiple Linear Regression(MLR), Artificial Neural Networks(ANN), Support Vector Machines(SVM)，可快速學習計算，但因係學習過去的經驗統計，若遇有過去未曾有發生的情況、資料，則預測偏差值可能隨預測時間增加而擴大。適用於短期(short-term 0~6hrs) 預測。

大氣物理模式：

先瞭解統計每個風場的風速對應風場出力曲線關係圖、曲線關係的標準偏差圖，再以預測的氣象物理資料（風速、風向、溫度、氣壓）對應上述關係圖，預測風場發電量。

運用的大氣物理模型：ETA, GFS, MM5, WRF(Weather Research & Forecasting Model), MASS。

但物理模型計算時間長且風場風速對應風場出力曲線關係圖的統計誤差可能隨季節變化，應再謹慎統計該曲線關係圖，以避免誤差或曲線圖中的過於分散法收斂的問題。適用於長期(1~7 or 10 days)。

圖 5.14 ETA Model

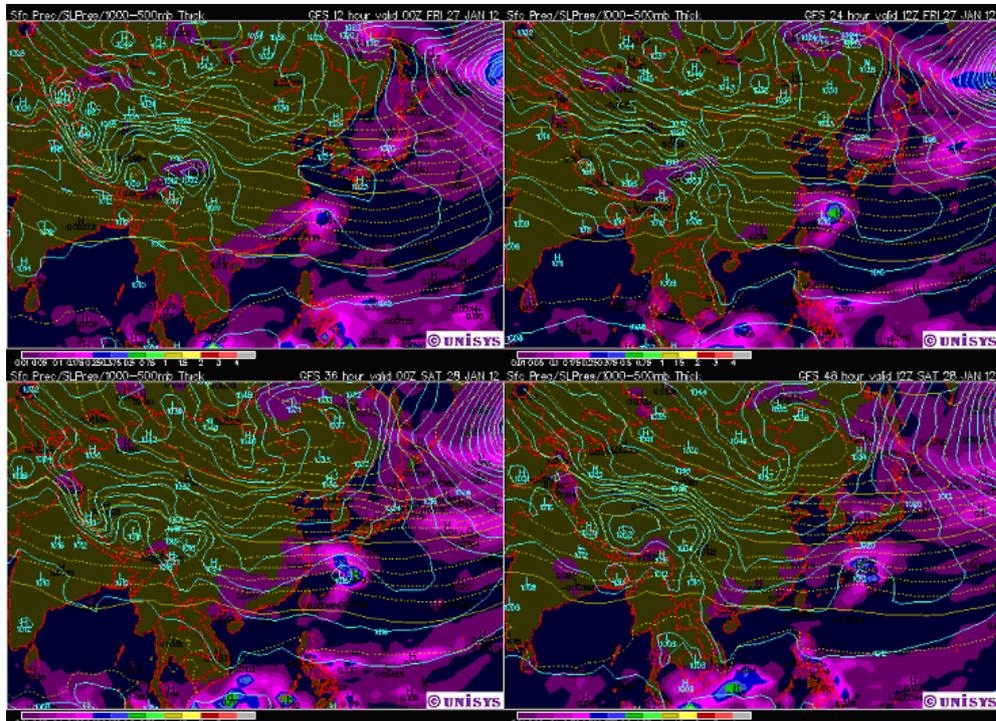
Unisys ETA Model

This is the Unisys ETA model which replaces the Purdue one which has been shut down. This is my personal favorite and use it primarily for most of my forecasts. However, with all models, it does tend to get out of wack at times and thus verification with other models is need.

Forecast:	0hr	6hr	12hr	18hr	24hr
Surface	Surface	Surface	Surface	Surface	Surface
SFC	SFC	SFC	SFC	SFC	SFC
1000mb	1000mb	1000mb	1000mb	1000mb	1000mb
850mb	850mb	850mb	850mb	850mb	850mb
700mb	700mb	700mb	700mb	700mb	700mb
500mb	500mb	500mb	500mb	500mb	500mb
300mb	300mb	300mb	300mb	300mb	300mb
RH/LIX	RH/LIX	RH/LIX	RH/LIX	RH/LIX	RH/LIX
4-Panel	4-Panel	4-Panel	4-Panel	4-Panel	4-Panel

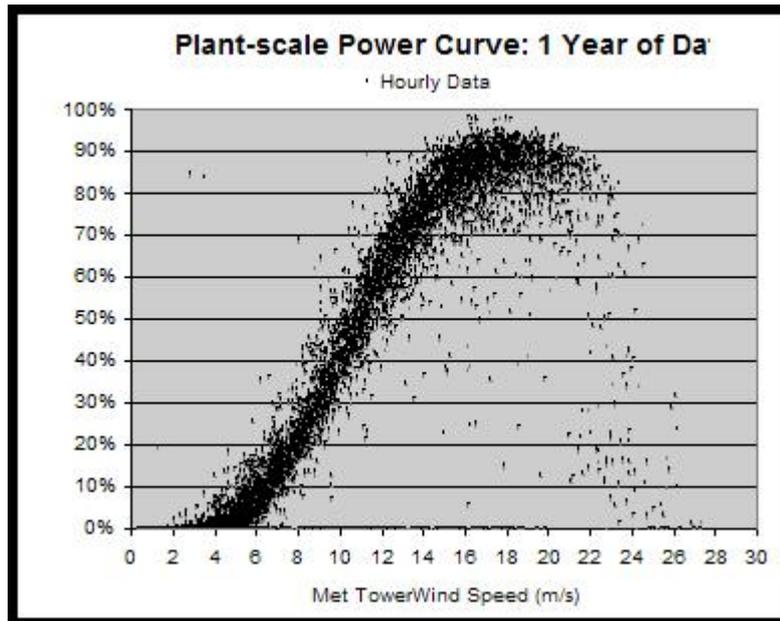
Forecast:	30hr	36hr	42hr	48hr	60hr	12-48hr
Surface	Surface	Surface	Surface	Surface	Surface	Surface
SFC	SFC	SFC	SFC	SFC	SFC	SFC
1000mb	1000mb	1000mb	1000mb	1000mb	1000mb	1000mb
850mb	850mb	850mb	850mb	850mb	850mb	850mb
700mb	700mb	700mb	700mb	700mb	700mb	700mb
500mb	500mb	500mb	500mb	500mb	500mb	500mb
300mb	300mb	300mb	300mb	300mb	300mb	300mb
RH/LIX	RH/LIX	RH/LIX	RH/LIX	RH/LIX	RH/LIX	RH/LIX
4-Panel	4-Panel	4-Panel	4-Panel	4-Panel	4-Panel	Precip

圖 5.15 GFS Model



AWST 公司取得氣象資料後，即推測出各區域風速及氣象資料，並以風場提供之風速與風場出力曲線圖（圖）預估每個時段可能的風力出力。

圖 5.16 風速與風場出力曲線圖



除了上述預測的氣象資料外，另外 ERCOT 亦規定各風場必須定時傳送即時氣象資料至 ERCOT。因此 ERCOT 規定在風場 5 公里範圍內設置氣象塔(Meteorological tower)，並分別傳送各高度的資料：100m 高度、機艙高度、機艙高度減 30m 及離地面 2m 高度的風速、風向、溫度、氣壓資料及各風機的風速、風向、溫度，取樣頻率 1 分鐘。風場每小時出力、各風機可用率 (availability)、檢修排程 (Planned outages)。

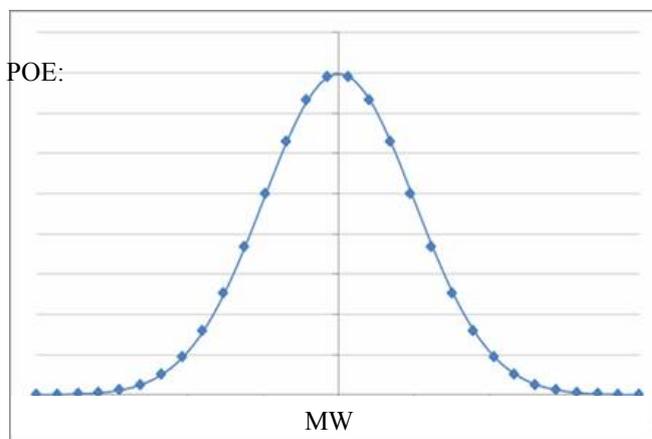
2. 每小時風力預測發電量

Total ERCOT Wind Power Forecast (TEWPF)

AWST 公司首先預測全部風場的 TEWPF 值，TEWPF 為 ERCOT 系統未來 48 小時的風力可能發電量機率分布

(probability distribution)預測方式。每小時預測值均以機率分布方式呈現，圖為風場一小時可能出力的機率分布圖。

圖 5.17 風場每小時可能出力的機率分布圖



POE: Probability of Exceedence, confidence level

Short-Term Wind Power Forecast (STWPF)

STWPF 係由 TEWPF 中取得明天的實績值可能高於預測值有 50%機率的預測出力值 (Probability of Exceedence, confidence level) 或最有可能的預測出力。

Wind-powered Generation Resource Production Potential (WGRPP)

WGRPP 係由 TEWPF 中取得明天的實績值可能高於預測值有 80%機率的預測出力值，惟預測機率數值係以機率分布為下限。

Current Operation Plan High Sustained Limit (COPHSL)

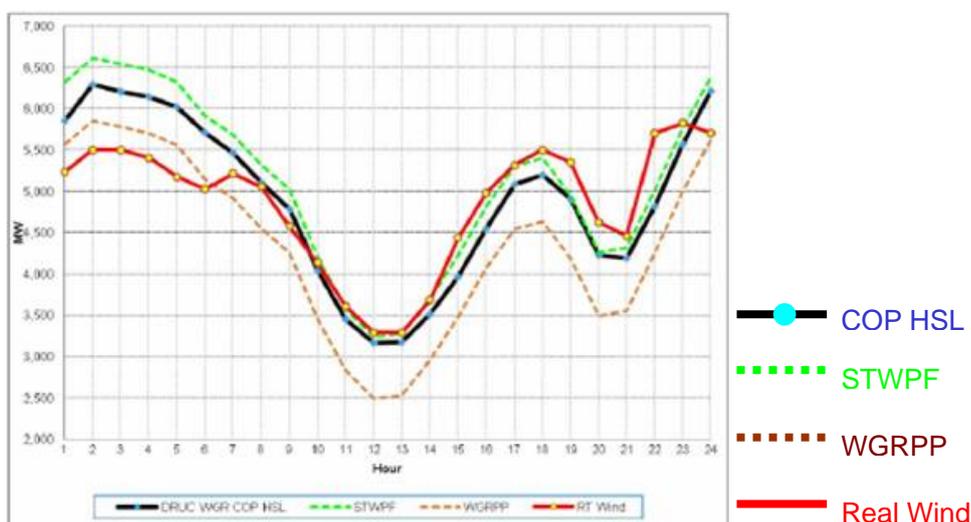
ERCOT 將預估的每個風場預測發電量 STWPF 傳送給代表各風場(WGRs) 的 QSEs 按機組情況確認，惟 QSEs 若需修正預測發電量時，僅能下修或維持相等於預測值，不可修正高於 ERCOT 提供的預測值。ERCOT 亦要求 QSEs 隨時保持最新的未來 48 小時的 COPHSL 預測資料及機組容量。

WGR : *Windpower Generation Resource* 。

QSE: *Qualified Scheduling Entity is a market participant for communication with ERCOT for resource and load serving entities* 。

如圖 5.18 可看出若以 ERCOT 最初預估的 STWPF (綠色虛線) 為基準, QSEs 修正後的預測值為 COPHSL (黑色實線), 均等於或小於 STWPF。而實績值 (紅色實線) 則可能大於或小於實績值。

圖 5.18 風場發電量實績值與各種預測值



當 QSEs 確定各風場的 COPHSL 後, ERCOT 再使用 COPHSL 執行 DRUC (Day-Ahead Reliability Units Commitment), 亦即按系統負載及安全要求, 依市場報價制度安排其他核能、水、火力傳統機組的發電排程。

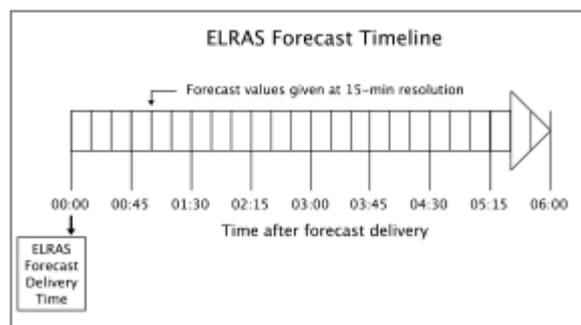
ERCOT 將預測完成的風場出力送 QSEs(WGRs)確認, 可分擔責任, 且 QSEs 僅能下修風力預測值, 係以較保守的心態預估風力發電量, 即可併聯較多的傳統機組, 以調整因應風力不確定性高、變化大及難予準確預測, 雖然可能併聯機組過多 (over-commitment), 造成成本提高的問題, 最重要在於避免因風力突降造成缺電問題, 以符合 ERCOT 最重要的任務”維持電力

系統的可靠度 Reliability”。

3.風力出力大幅變動警告系統 ERCOT Large Ramp Alert System(ELRAS)

前述 ERCOT 預測風力發電量係每小時滾動式預估未來風力 48 小時出力，惟每小時修正對於系統調度人員而言，預測頻率實在是太低了，因為在這一小時期間仍可能因天氣或氣象因素驟變使風場出力隨之大幅升降，例如冷峰來襲。因此，ERCOT 另一項短期預測產品，提高預測頻率供調度人員瞭解，未來 6 小時每隔 15 分鐘的風力出力，如圖 5.19，此項主要係用於估算全系統傳統機組的升降載率可否因應風力的快速變動，但目前僅供 ERCOT 內部參考不對外公布。預測輸入資料與每小時的預測相同。

圖 5.19 風力出力大幅變動預測時程



4.ERCOT 對 AWST 公司風力預測的各項要求

ERCOT 與 AWST 是合作執行風力預估，因此必須有下列要求，以維持供電安全。

(1)預測執行能力要求 Performance Requirements

STWPF, WGRPP 二項風力預測值為未來 48 小時每小時預測值，應每小時修正，且所有的預測值應於各整點小時的 15 分鐘內提供。

(2)預測準確度要求 Forecast Accuracy Requirements

STWPF 的 Day-Ahead 預估值絕對平均誤差每個月統計值必須小於 18%。

另外，各風場的實際出力必須小於 Day-Ahead 預估值 WGRPP，在 6 個月內有 15%~20%的時數。

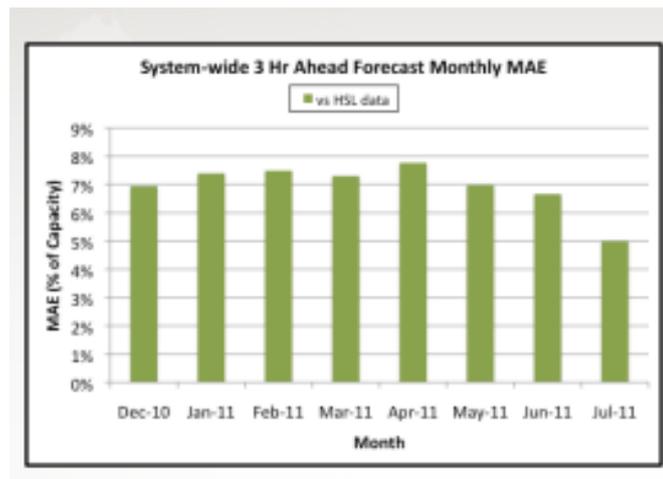
(3) 預測資料可用率要求 **Availability Requirements**

風力預測資料是 ERCOT 每天作為機組發電排程重要的資訊，因此 ERCOT 規定每年應有 99.8%以上的傳送成功率在每日 06:00 點前傳送 Day-Ahead 預測資料予 ERCOT，如果在 06:00 點前無法提供資料應在 1 小時內通知 ERCOT，並解決問題，若無法排除問題，則應產生另一預測值，例如參考以前的歷史數據提供。

(4) AWST 公司風力預測準確度

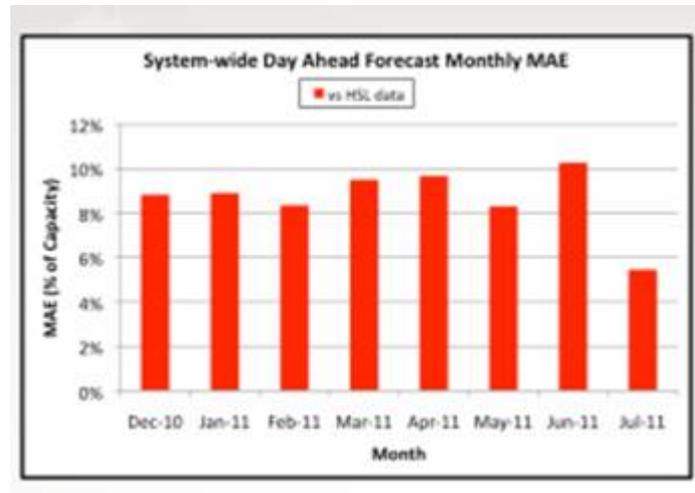
AWST 公司統計各月 3 小時前預測值與實績值比較之平均絕對誤差約為 5%~8%。

圖 5.20 3 小時前風力預測出力偏差



統計各月每日 24 小時前預測值與實績值比較之平均絕對誤差約為 5%~10%。

圖 5.21 24 小時前風力預測出力偏差



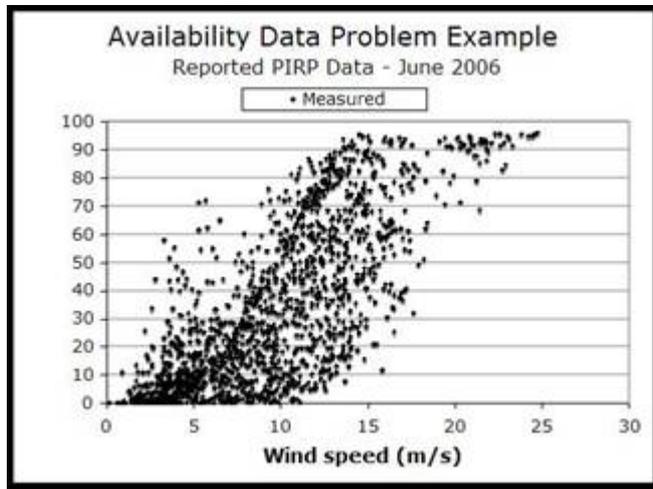
按 AWST 公司所統計的 2010/12~2011/7 期間各月誤差值比較，可知誤差隨未來預測期間長度增加而上升，由此可知預測資料可能隨時間增加，偏差已逐漸擴大，尤其是氣候因素並非人類可完全掌握，電力系統調度人員即應隨時參考最新氣象資料更新再生能源預估值，以減少出力預測值誤差，另亦可嘗試預測頻率，進而減少對系統之影響。

(5) 風場發電量預測誤差問題

a. 風場發電量模型

各風場的出力與風速對應曲線原應是非常集中近於一對一的關係圖，惟風速的取樣位址及其他因素影響，可能造成分散，致無法以取樣的風速準確對應出力。

圖 5.22 風場的出力與風速對應曲線



b. 系統線路壅塞時限制風場出力影響模型及預估

當系統發生壅塞時，ERCOT 即發出限制出力指令，惟此時已破壞風速對應出力的關係曲線，影響取樣資料，對未來各時段出力預測亦將造成更大的偏差。

c. 氣象資訊及儀器的設置密度

設立各氣象站係為準確取得氣象變化資訊，惟受限於經費目前氣象站的設置密度相對低，仍需改善。

(6) 壅塞管理 Base Point Deviation Charge for WGR

當 ERCOT 檢討電力系統會發生壅塞時，將發出限制出力的警告訊息予風場，該訊息包含各個電廠基準出力 Base Point，各電廠應遵循指令控制出力，若超過基準出力的 10% 將受招受罰款，罰款金額為每 MWh 至少 20 美元以上，若當時的系統即時價格高於 20 美元，則按系統即時價格計，計算公式如下。

$$\text{Max}(\$20, \text{RTSPP}) \times \text{Max}(0, \text{TWG} - 1/4 \times \text{BP} \times (1 + 10\%))$$

圖 5.23 全系統風力發電按指令限制出力及限制量

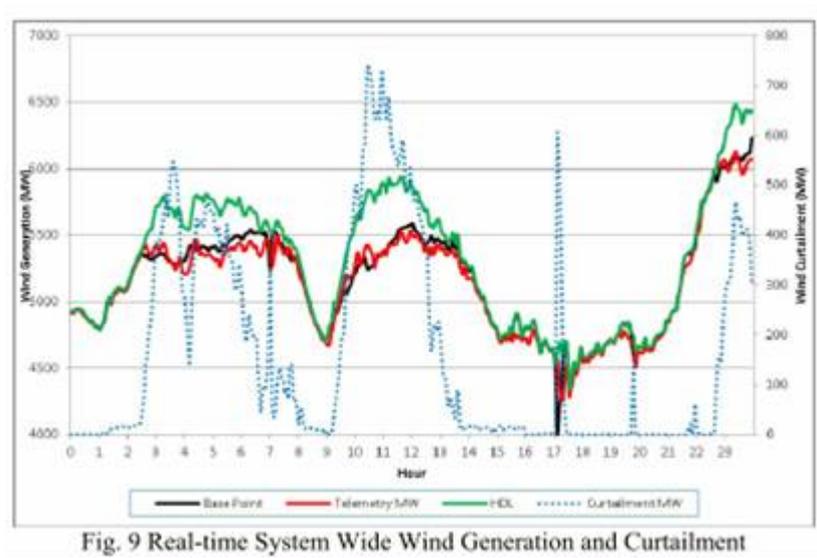
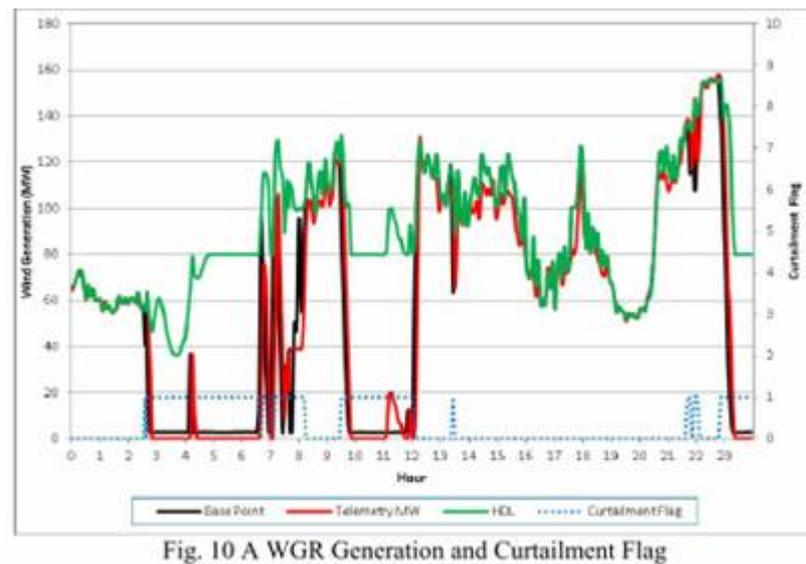


圖 5.24 單一風場發電按指令限制出力及限制量



(7) Phase Shifter Tr

由於 ERCOT 的風場大部分集中於西半部，負載中心則位於北部、東部的達拉斯、奧斯汀、聖安東尼奧及休斯頓，因此常發生線路壅塞情況，ERCOT 系統中目前在 8 個 E/S 安裝移相變壓器，以改變線路電力潮流的分配，解決壅塞問題。

圖 5.25 ERCOT 系統移相變壓器分布

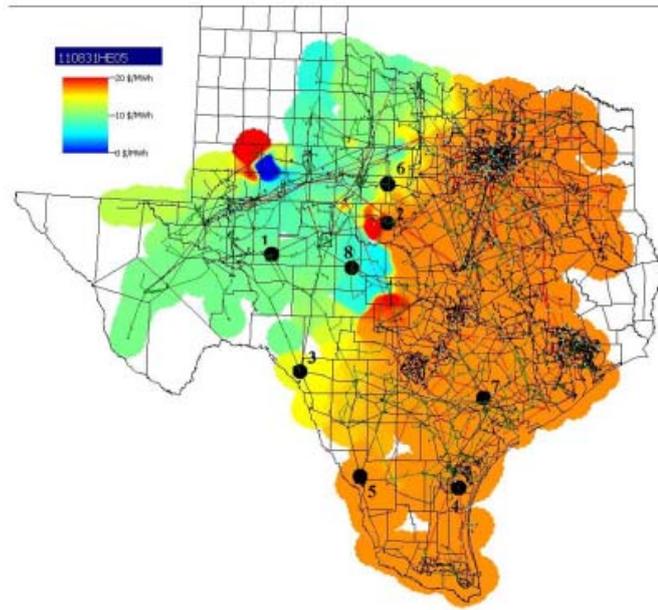
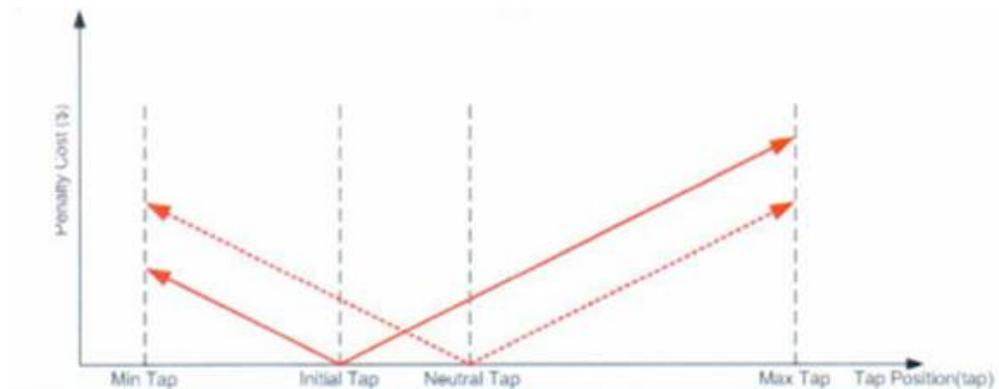


表 5.5 ERCOT 系統移相變壓器

No	Phase Shifter Name	Station Name	Low Step	High Step	Neutral Step	Step Increment
1	BGLK_SOURCE_TAPS	BGLK	1	33	17	1.875
2	FIREROCK_138_PS_H_4448	FIREROCK	1	33	17	1.875
3	HAMILTON_PS2_1335	HAMILTON	1	33	17	1.875
4	N_SHARPE_138_PS_1336	N_SHARPE	1	33	17	1.875
5	NLARSW_PST1_1337	NLARSW	1	33	17	1.875
6	PUTN_138_PS_1338	PUTN	1	33	17	1.875
7	THOMASTN_SR_THO1	THOMASTN	1	33	17	1.875
8	YELWJCKT_PS_1_H_4448	YELWJCKT	1	33	17	1.875

圖 5.26 ERCOT 系統移相變壓器角度與成本對應曲線



移相 Tr 最大變化角度 $\pm 30^\circ$ (tap $\pm 16 \times 1.875^\circ$)，自 2011 年 7

月起每小時的 DAM and RUC 均包含移相 Tr 的 Tap 位置最佳化，且是發生線路壅塞最經濟的可調度資源，因此上述成本曲線將設定低於機組的報價。

(8) 動態檢討線路熱容量

ERCOT 每小時隨系統情況變化執行發電排程，圖 5.27，由於線路的周圍溫度將影響傳送能力，並可能發生壅塞，因此亦隨各地監測搜集的輸電線路周圍溫度情況檢討熱容量上限，以動態估算傳送能力。

圖 5.27 ERCOT 發電排程 UC 之作業程序

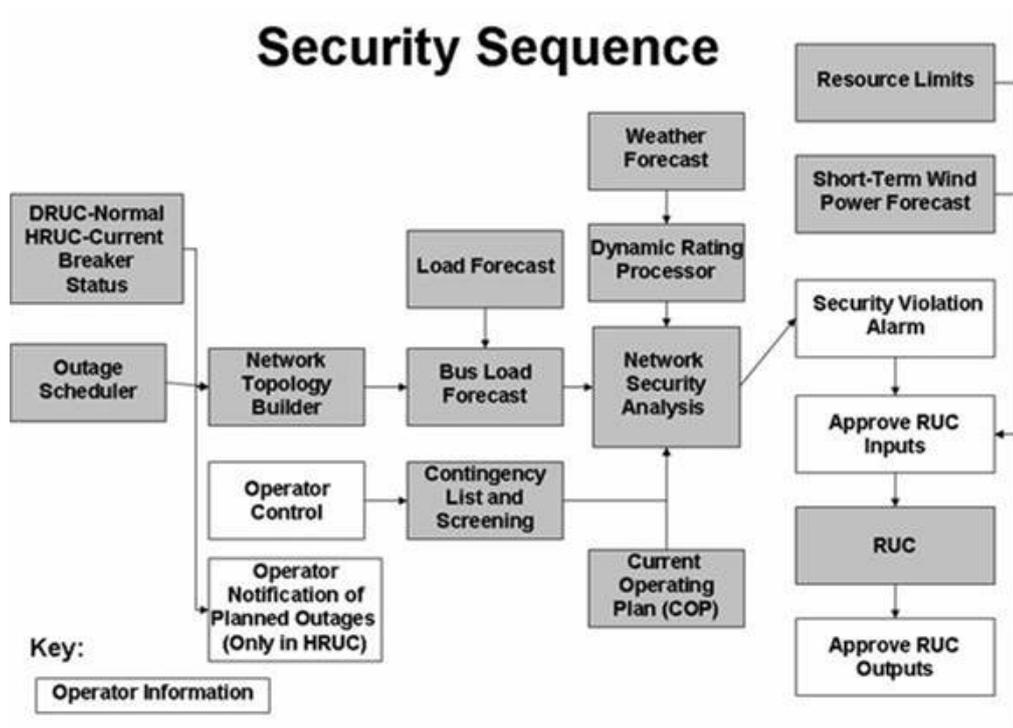
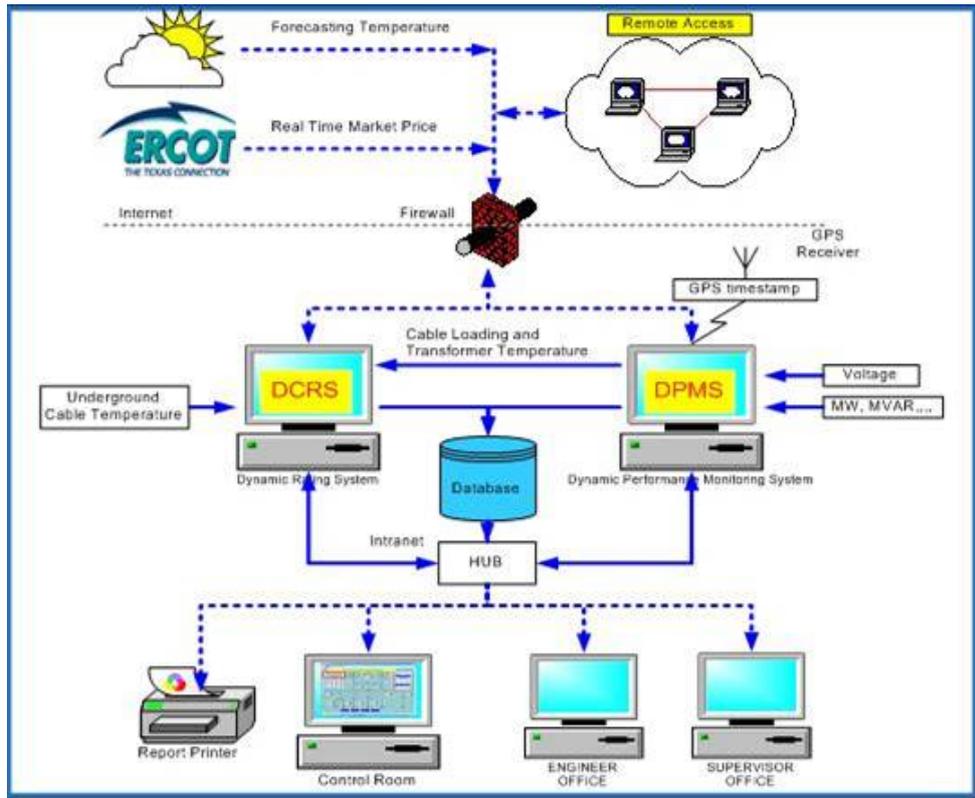


圖 5.28 ERCOT 動態檢討線路熱容量



(9) 風場出力變化

由於風場容量占比高，對系統的發電機組排程、頻率影響逐漸增加，因此 ERCOT 正與風場協商控制升降載率，惟天然能源的出力原即不易預測與控制，故尚需討論，未來應可瞭解該系統的協商方式，以避免影響台電系統供電品質。

(10) 擴建輸變電設施

由於德州風場大部分位於西部，遠離負載中心，故 ERCOT 系統輸配電公司斥資 49.3 億美元擴建輸變電設施（如圖 5.29），線路同時配備 50% 的串聯電容補償（如圖 5.30），及裝設並聯無效功率補償器，以提供可靠之傳輸途徑。

圖 5.29 ERCOT 擴建輸變電設施

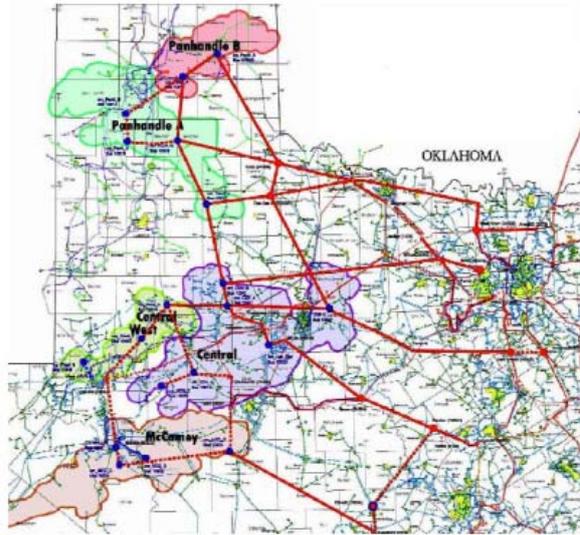
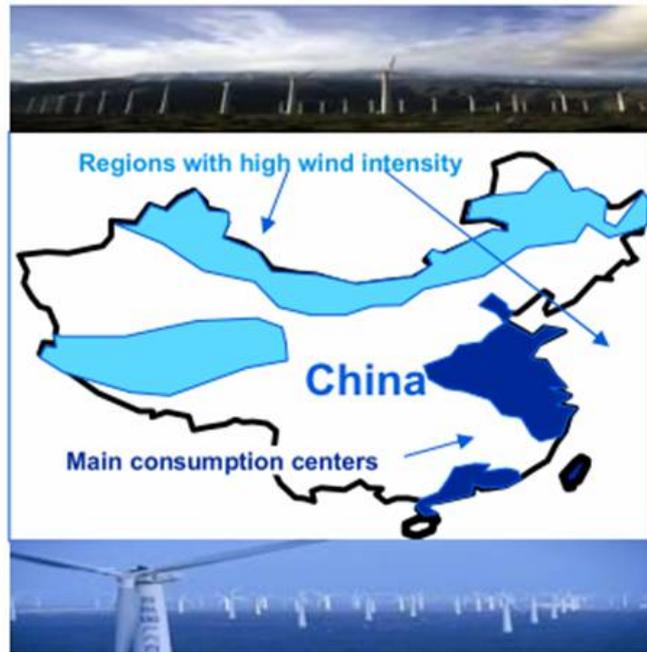


圖 5.30 線路串聯電容補償



5.2 中國能源局風電預測管理暫行辦法

圖 5.31 中國風場潛勢圖



中國能源局為確保電力系統安全，並順利整合各風力發電場於電力系統中，2011年6月特發布暫行管理辦法，共5章16條。通知中國國家電網、南方電網及各大風力發電公司，要求遵照執行。

既有風電場自2012年1月1日起實施預測預報系統試運轉，新風場則於建廠同時即應建立，各風場預測預報系統從2012年7月1日起開始正式運轉。

所有併網運行風場均需具備預測預報能力，未按要求提供預測預報的風場不得併聯系統。

該管理辦法係規定各風力發電公司應依據氣象資料、統計規律預測風力發電量，並規定配備專職人員負責系統維護、管理，且於規定時間向電網調度機構提報，確保預測系統可靠運轉。

每天提報資料包括：1.於前一日提供翌日0~24時每15分鐘

預測值，共 96 筆的出力及風機可用容量。2.當日即時預測；每 15 分鐘提供未來 15 分鐘～4 小時出力及風速氣象資料。

誤差規定：日預測曲線最大誤差不得大於 25%，即時預測誤差不超過 15%，全天預測結果的均方根誤差值應小於 20%。

電網調度機構應根據風場預測結果綜合考量系統運轉條件，按優先調度風場的原則，編制風場發電計畫，並即時向風場通報。如電網受到限制，則電網調度機構可對風場發電計畫進行適當調整，但須明確判定條件。各風場應執行電網調度機構下達的日發電調度計畫曲線和調度指令及調整出力。

電網調度機構按規定對風場進行考核定期發布結果。長期預測準確度差的風場須按要求進行改善。若經電網調度機構調整之發電時段，則不對風場進行考核。

5.3 荷蘭(Netherlands) 整合風能方式

荷蘭計劃於 2020 年前開發陸地及離岸風力合計裝置容量 7.5GW，為整合大型風場的加入，顧問公司 KEMA 公司的提出建議整合方式，及荷蘭輸配電公司 TenneT 委託 Delft University 模擬研究案及建議，分述如下。

為因應風力機組發電不確定性及預測困難度高的特性，KEMA 公司建議荷蘭政府開發離岸抽蓄電廠，荷蘭全國地勢平坦，無高山可設置高落差之水力抽蓄電廠，因此僅能利用近海設置落差低之抽蓄電廠，用於儲存負載離峰時段多餘的風能，再於負載尖峰時段發電，因應大型風場出力變化。

有關 KEMA 建議離岸抽蓄電廠又稱為 Energy Island，如圖 5.32，簡介如下：

上池：北海

下池：圍成約長寬各為 10 x 6 km 堤岸，海底深度約 50m

抽蓄機組數及裝置容量：139MW x12

風機裝置容量：500MW

圖 5.32 KEMA 建議案 Energy Island



圖 5.33 KEMA 建議案離岸抽蓄電廠



Fig. 4 – Concept of the Energy Island with an inverse pump accumulation system (IOPAC).

荷蘭離岸抽蓄機組落差低優點為抽發模式轉換快速，適合應用於因應風力出力的隨機變化，惟水頭落差低，因此效率約僅介於45%~76%。

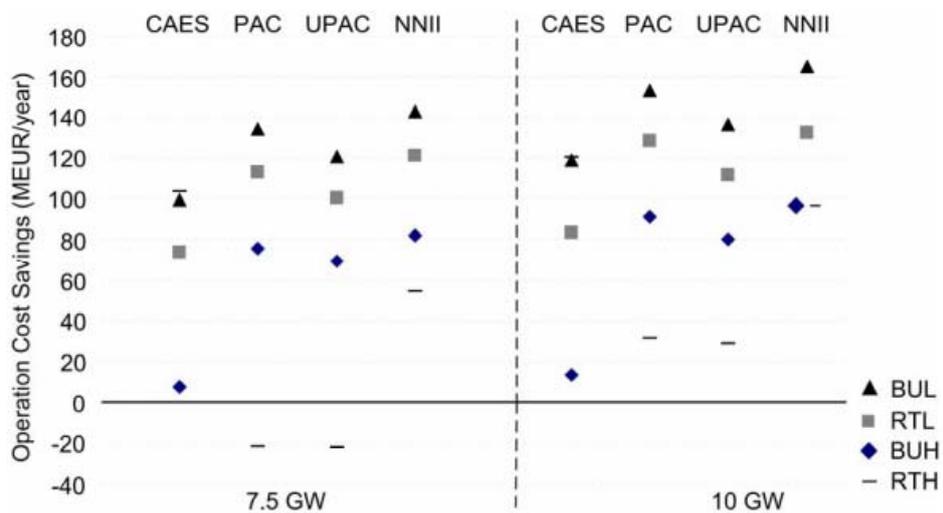
表 5.6 荷蘭離岸抽蓄與台電抽蓄比較表

Pumping Units	Ming-Tang	Ta-Kung	Sum	Netherlands (IOPAC)
Unit Capacity (MW)	260	250		139
Min(Gen) MW	165	165		111
Min(Pumping, Fixed) MW	250	250		125
Number of Unit	6	4	10	12
Total Install Capacity (MW)	1,560	1,000	2,560	1,668
Full Load Operation Hours (hr)	6.7	5.3		12.0
Reservoir Energy (GWh)	10.1	5.3	15.4	20
Conversion Efficiency (%)	75.0	75.0		44.9~76.5
Upper Reservoir Water Line Low~Height	726m~748m			0
Upper Reservoir→Plant (Distance)	2.1km	2.4km		
Lower Reservoir Water Line Low~Height	345m~373m	428m~448.5m		-40
Unit Conversion Time (minutes)	17	10		0

荷蘭國會要求經濟部提出再生能源計畫及因應措施，因此，由荷蘭輸配電公司 TenneT 委託 Delft University of Technology 模擬因應高占比風場發電之電力系統整合措施。

荷蘭電力系統原與比利時、德國已有互聯，未來將再規劃 1,000MW 的 HVDC 與聯結英國。為因應大量風力加入，荷蘭認為應有類似的儲能方式，以緩和風力出力不確定變化，故委請 Delft University of Technology，評估 4 種儲能方式 (CAES: 壓縮空氣儲能、PAC: 離岸抽蓄儲能、UPAC: 地下抽蓄儲能、NNII: 挪威~荷蘭 HVDC，亦即與挪威以 700MW x2HVDC 連結，運用挪威的大量水力電廠互相協調儲能、發電)，模擬各方式所節省之系統運轉費用，並相互比較，作為選擇未來的因應措施。經評估最後結果以選擇 NNII 為最佳選項。

表 5.7 4 種儲能方式評估比較表



CAES: 壓縮空氣儲能、PAC: 離岸抽蓄儲能、UPAC: 地下抽蓄儲能、NNII: 挪威~荷蘭 HVDC

模擬結果

5.4 其他整合再生能源的方法

1. 新英格蘭獨立調度中心 ISO New England

ISO NE 管轄美國東北 6 州電力系統，用戶約 1 千 4 百萬，機組數 350 餘部，裝置容量 32,000W，其中再生能源容量約 3,300MW，風力約占 85%。

由於自然能源發電量不易準確預測，且因再生能源容量占比逐漸增加，風險升高，故 ISO NE 考量不確定性因素與麻省理工學院合作開發一套強健型的發電排程軟體 (robust Unit Commitment)，亦即該發電排程式非僅於滿足單一預測負載需求，且考量風力等再生能源變化可能範圍 (如圖)，再安排傳統火力機組發電排程，以避免風力驟變造成機組無法隨之應變，影響供電安全。

圖 5.34 robust UC 可因應負載預測偏差

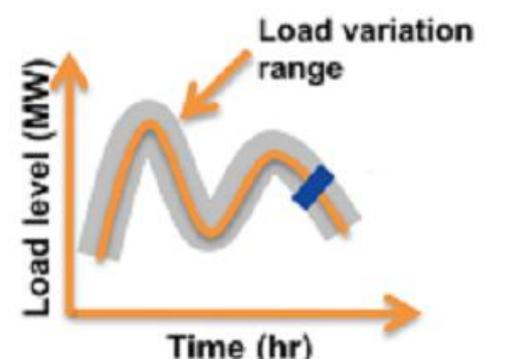
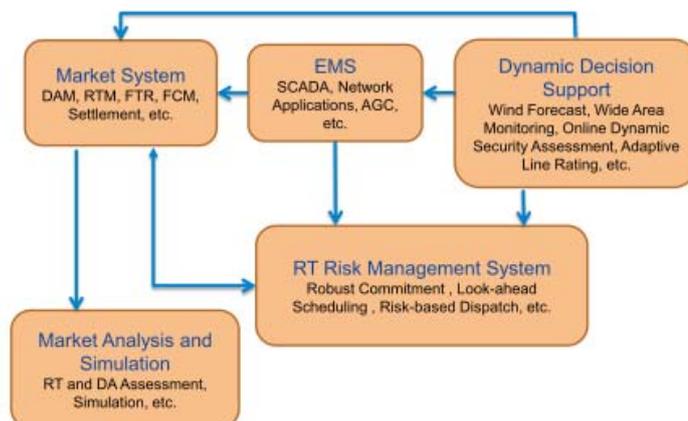


圖 5.35 robust UC 於 ISO NE 系統運轉角色

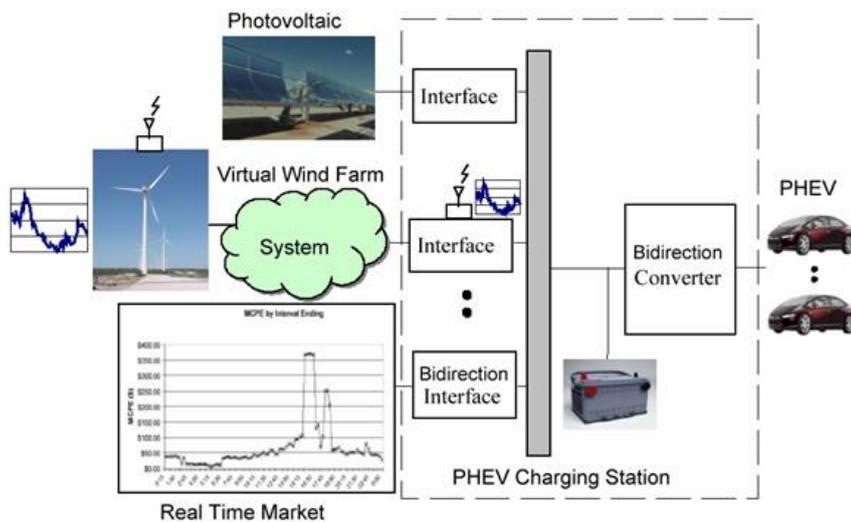


2. 隨再生能源發電變化之負載

再生能源發電特性為隨機變化、不易預測，前述國家或系統由電源供應端調度傳統機組或輸變電設備，以整合其發電量的變化，另有學者、專家思考可否由控制負載端用電量可隨再生能源的發電量變化，亦可平衡或減緩對系統的干擾，但為避免對負載或用戶生產線影響過大，故每個用戶僅取部分用電量隨再生能源發電變化，而非完全隨之改變。

圖 為電動汽車之充電站，其車輛的充電用電部分比例隨再生能源發電量變化用電，作為減緩再生能源之影響，但由於充電量及時間受再生能源發電變化影響，非用戶完全自行控制，故對於該類型用戶之售電價格，則應作適當之調整，以鼓勵用戶加入。由於部分用戶可能對於使用綠色能源、或碳足跡相當重視，故電力公司亦可尋找此類型潛在用戶，電力公司可給予綠色能源用電認證書，供需雙方可自取所需。

圖 5.36 隨再生能源發電量變化之電動汽車充電站



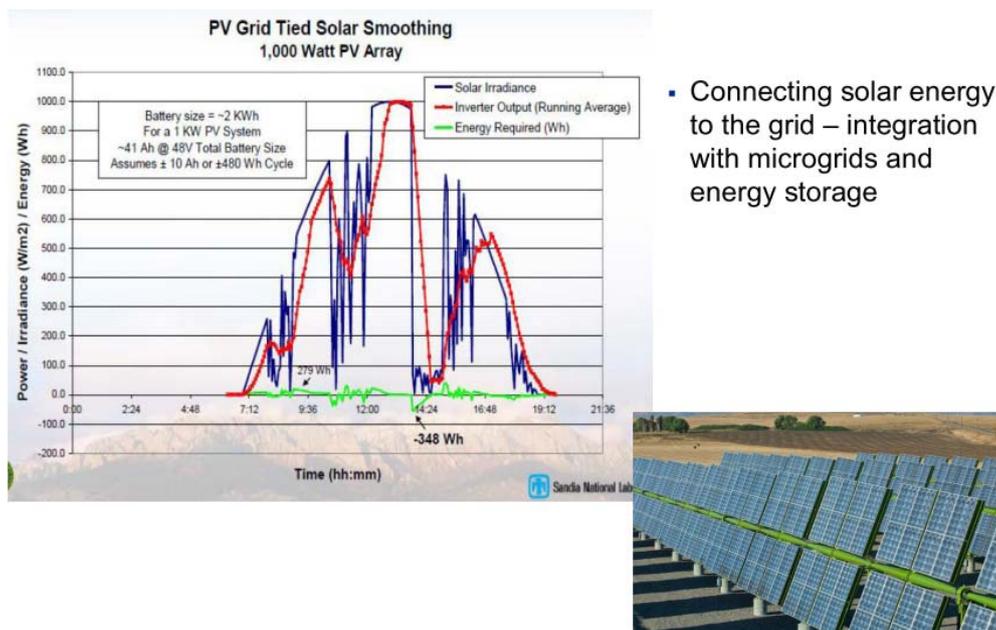
3. 儲能設施

Long Island Power Authority(LIPA) 電力公司研擬請 AES 公司裝

置 400MW 的電池儲能系統，為目前世界最大的電池儲能計畫，用以因應尖峰時段的高電價，由於紐約長島與其他區域僅有少許的電纜線路互聯，故除希望降低供電成本外，更期望提高供電可靠度，且可提供輔助服務(快速備轉容量、頻率)，計畫裝設鋰-鐵型電池效率達 90% 以上，LIPA 未說明計畫預算，但舉出 AES 在 Johnson City, NY 已完成安裝的 20MW 電池費用為\$23millionUSD。

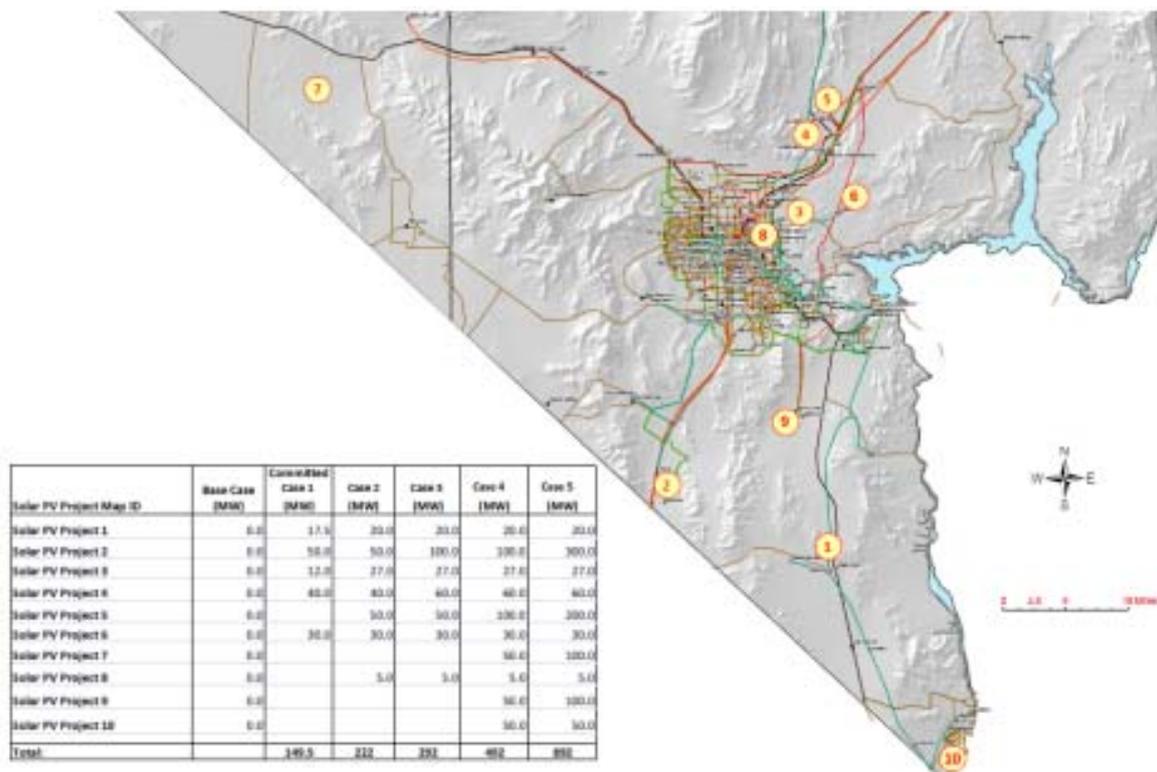
圖 5.37 為太陽能電廠裝設儲能電池功率輸出之比較圖，綠色曲線為微電網的負載需求，藍色曲線為太陽能電廠發電量，紅色曲線為經過電池後的輸出功率，此功率經調整後儘量與負載需求一致，在負載端仍需搭配需量反應(例如 -348Wh)，以隨時平衡供需電量。

圖 5.37 太陽能電廠發電量與裝設儲能電池後之輸出功率比較圖



陸、評估大型太陽能電廠對系統之影響

圖 6 Nevada Energy 電力公司轄區及太陽能計劃



Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)協助 Nevada Energy 電力公司檢討轄區內為整合適應太陽能機組，必須增加傳統火力機組的排程及調頻營運成本，及可以設置的太陽能機組裝置容量上限。

Nevada Energy 公司目前裝置容量共 6215.5MW，82.5%為燃氣機組，燃煤機組占比為 17.4%，另外有 0.1%的太陽能電廠。

PNNL 按 Nevada Energy 系統情況模擬太陽能電廠結果如下：

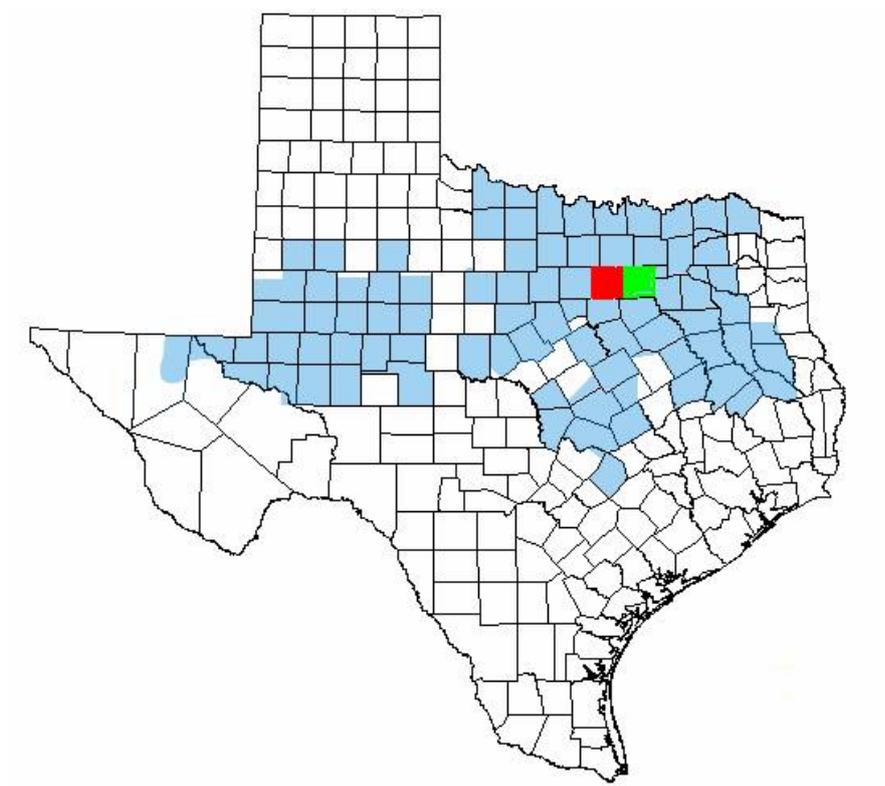
2. 檢討時使用每分鐘(minute-by-minute)的負載及太陽能電廠（大型及分散型太陽能）出力模型。
3. 檢討結果 NV Energy 最多可承受太陽能電廠裝置容量為 1042MW。
4. 用於調整系統變化的機組大部分為複循環及氣渦輪機組。

5. 當太陽能容量增加時併聯至系統的傳統火力機組增加、降低機組效率、機組啟動次數、出力範圍增加，增加機組運轉及維護成本。
6. 電力系統整合太陽能電廠裝置容量 200MW~1000MW 的每年運轉成本約增加\$2~\$20 百萬美元或\$3~\$8 美元/MWh(太陽能發電度數)。
7. 若太陽能電廠的廠址愈分散，則受到其發電不確定性的影響愈小，尤其，是當相同容量的太陽能電廠距離愈遠時，愈能減緩其影響。
8. 分析 NV Energy System 增設太陽能時，因應太陽能電廠加入所需的額外調頻容量約為太陽能裝置容量的 3%~10%。額外的升降載量需求則低於太陽能裝置容量的 3%，與原本的猜測可能需有大幅的升降載量需求有較大的差異，原因是已將各太陽能廠出力彙整。
9. 對電力系統的影響是大型太陽能電廠或分散型式的出力變化，與何種發電型式無關。

柒、有關美國電力公司公布的有關智慧型電表安裝情況及應用

簡介德州輸配電公司 Oncor，約有 300 萬用戶、117,000 miles 輸配線路，圖 7.1 為 Oncor 輸配電公司管轄區域（藍色區塊）。

圖 7.1 Oncor 輸配電公司管轄區域



Oncor 完成安裝 2/3 用戶的智慧型電表(Advanced Meter)，Oncor 為美國德州的輸配電力公司，供應電力予 300 萬的用戶（工商業及家電）、操作運轉近 117,000 miles 輸配電線路。去(2011)年已完成安裝 200 多萬戶智慧型電表，此計劃自 2008 年開始，將於 2012 年完成所有用戶安裝。智慧型電表可記錄用戶每 15 分鐘用電量，用戶可經由 Smart Meter Texas™的網頁查詢每天 15 分鐘用電情況、每日、每月累積用電量（如附圖）、電價及計算碳足跡(carbon footprint)，進而管理用電情況，減少對環境衝擊。另加州 PG&E 公司亦自 2006 年起至 2011 年 10 月已安裝 850 萬戶智慧型電表及瓦斯表，計劃於 2012 年 7

月完成所有用戶裝設。PG&E 服務 510 萬電力用戶、430 萬瓦斯用戶。

用戶可裝設 in-home monitors (IHMs)及 Home Area Network Devices(HAN)，即可得到售電公司傳送至用戶的用電量、價格訊息，再經 HAN 設備控制家中或公司的電器使用時段。

Oncor 為推廣智慧型電表於 2008 年 5 月舉辦 SMART TEXAS Mobile Experience Center，此巡迴說明的活動行程達數千英里，並接觸到 85,000 位民眾，提供民眾智慧型電表、IHMs、HAN 等設施相關知識及應用。

Oncor 估計服務區域內裝設智慧電表的 80%用戶，已採取節電行動，來降低電費支出，預估可節省 5~15%的電費，每年區域內用戶可為自己省下 250 萬美元電費，且可減少新的電源開發。Oncor 與 CenterPoint Energy 電力公司及 Grid21 機構持續合作舉辦 Biggest Energy SaverSM Consumer Contest 活動，消費者只要利用 Smart Meter Texas™網頁的資訊改變用電行為，且最省電者可贏得 a new plug-in electric Chevy Volt 電動車(價值\$31,645USD)或 a suite of GE Profile “smart appliances.”，以鼓勵消費者達到智慧節能目的。

本處目前作負載預測均由發電端或變電所瞭解用電情況，尚無法由負載端收集資料加以分析，亦因抄表因素未能清楚區別電力及表燈用電情況，大用戶用電量雖每月抄表，但須至月底才瞭解用電變化，對於經濟景氣起伏無法隨時掌握。

未來本公司完成大用戶的 AMI 安裝後，若本處可每日取得用電量資料，即可排除抄表因素、時間延遲問題，快速取得比較當月累積日成長率，瞭解經濟景氣變化情況(年度相同期間比較、前後月分比較)，即可應用於負載預測中，改善目前無法即時掌握景氣成長資訊問題，修正經濟成長率的指標，應可降低預測偏差。

若是有每 15 分鐘用電量即可瞭解負載變化，對於當日負載預測，及機組調度可更為明確。甚至搭配各輸配電線路潮流，於尖峰用電期間對於線路安全、電壓控制等均有甚大的助益，並且可應用於線路的擴建計劃。若可即時取得用戶用電資料再與變電所端輸送之電力潮流比對，即可計算變電所轄區的線損，實施改善措施，亦可監測用戶竊電的可能性，進而改善系統線損。

德州 Smart Meter Texas™ 網頁顯示住家用電情況

圖 7.2 用戶一日每 15 分鐘用電量

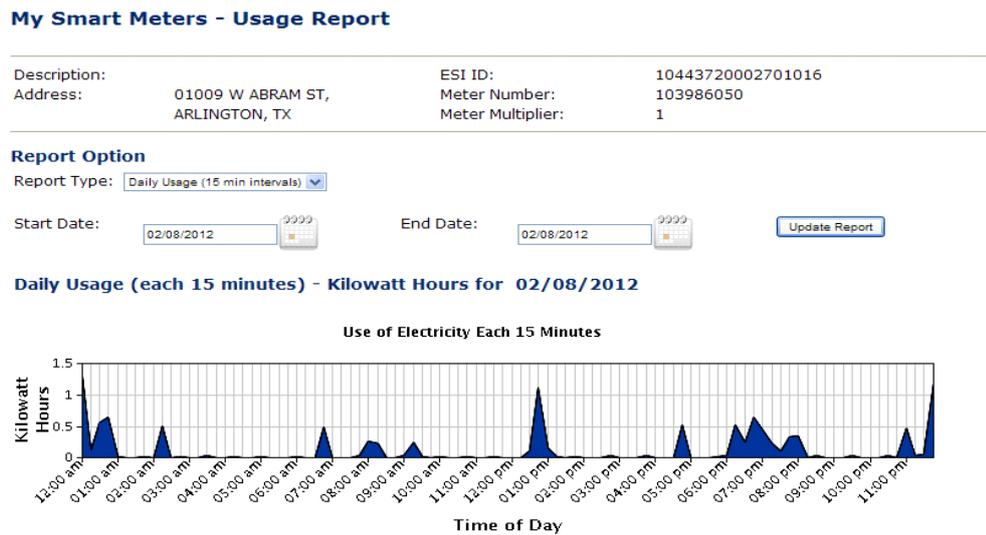


圖 7.3 用戶每日用電量

My Smart Meters - Usage Report

Description:	Address: 01009 W ABRAM ST, ARLINGTON, TX	ESI ID:	10443720002701016
		Meter Number:	103986050
		Meter Multiplier:	1

Report Option

Report Type:

Start Date: End Date:

Daily Meter Reads - Kilowatt Hours per Day

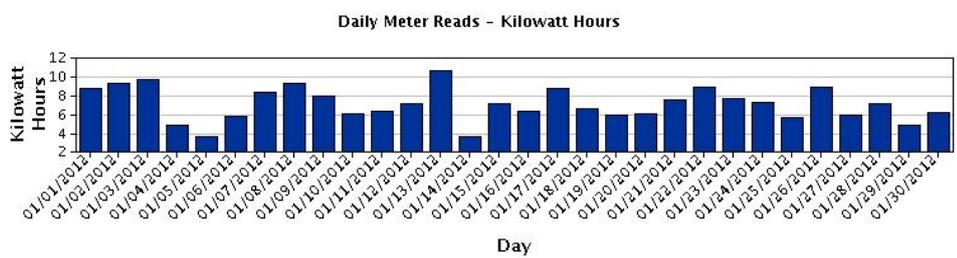


圖 7.4 用戶每月用電量

My Smart Meters - Usage Report

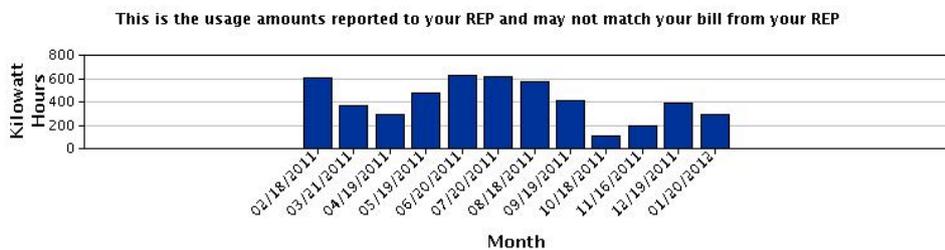
Description:	Address: 01009 W ABRAM ST, ARLINGTON, TX	ESI ID:	10443720002701016
		Meter Number:	103986050
		Meter Multiplier:	1

Report Option

Report Type:

Start Date: End Date:

Total Monthly Usage reported to your Retail Electric Provider - Kilowatt Hours



參考文獻

1. Shun-Hsien Huang, David Maggio, Kenneth McIntyre, Vijay Betanabhatla, John Dumas, John Adams,” Impact of Wind Generation on System Operations in the Deregulated Environment: ERCOT Experience, “
2. David Maggio, Claudine D’ Annunzio, Shun-Hsien Huang, Chad Thompson_,” Utilization of Forecasts for Wind-powered Generation Resources in ERCOT Operations, “
3. Hailong Hui, Chien-Ning Yu, Resmi Surendran, Feng Gao and Sainath Moorthy, “Wind Generation Scheduling and Coordination in ERCOT Nodal Market,” IEEE_PES2012
4. John W. Zack, “AWST’ s Implementation of Wind Power Production Forecasting for ERCOT,” March 17, 2008
5. John W. Zack and Matt Cote, “ERCOT Forecasting Overview and Respose to QMWg & ERCOT Questions,” 2011

台灣電力股份有限公司
一〇〇年度 出國報告

參加美國德州阿靈頓大學能源系統研究中心電力系統研習班

一〇〇年度 第 13 號