

智慧電網及推動再生能源面臨的挑戰

張嘉諳¹ 藍柏荏^{2*} 林彥均² 羅亭竣² 呂承鴻² 劉人豪² 陳斌魁³

摘要

自電燈被發明以來，電能和人類的關係便愈來愈密切，日常生活中，處處可看見電能的應用，小自電視、冰箱，大到工業製程耗電系統，然而近十年來，由於環境變遷及各先進國家政策鼓勵裝置再生能源，現有電網遭遇各式各樣的挑戰，將逐漸無法滿足供電可靠度^註、電網安全及電力品質的需求，此外，先進國家為提升電業經營績效、節能減碳及容納更多的再生能源，其發展過程需有創新發明，利用此過程帶動新興產業，增加就業機會，因而先進國家皆提出改造其電網，使既有電網能因應日漸複雜的電網調度，於是傳統的電力輸送系統和資通訊科技結合在一起的智慧電網因應而生。

在政府的大力推動下，臺灣目前亦積極的朝電網智慧化與高佔比的再生能源發展，惟臺灣為一孤島且電網並未於其它電網互聯，可承受再生能源的能力相對的低，智慧電網的推動更具意義，惟在民眾環保意識高漲情況下，電網建設近年來屢受阻擾，智慧電網與再生能源能否高度發展，需要相關政策與技術的搭配，本文從技術、法規、經濟等層面討論智慧電網與再生能源在臺灣發展所面臨的挑戰，並提出相對的因應策略，期為智慧電網與再生能源的發展提供一些方向。

關鍵詞：智慧電網、再生能源、智慧電表

1. 智慧電網及再生能源發展現況

電網的發展已有百年歷史，隨著科技的不斷發展，電網的應用愈來愈成熟，但相對面臨的問題也愈來愈多，依據國外的研究報告，電網未來將遭遇到的挑戰計有如下幾項：(台灣電力股份有限公司，2013；GridWise Alliance, 2011；Alcatel-Lucent, 2012；Martini *et al.*, 2012)

(1) 能源需求增加

隨著全球人口成長，能源的需求也日益上升。根據國際能源署(International Energy

Agency, IEA)的預測，在未來20年內，每週需興建一座1GW的電廠，才足以應付不斷上升的能源需求(台灣電力股份有限公司，2013)。然而興建傳統火力電廠需花費額外的成本及時間，且排放之廢氣會對生態環境造成不小的衝擊，再加上場址難覓，未來電力公司勢必會減少興建傳統電廠，以至於電力供給面之足夠性將面臨挑戰。

(2) 設備老舊

根據相關統計，美國電力系統設施老化的問題相當嚴重，約有70%的變壓器及輸配電線路已使用25年以上，更有超過60%的斷路器使

¹大同大學電機所 博士候選人

²大同大學電機所 碩士生

³大同大學電機所 教授

*通訊作者，電話：02-2182-2928 #3470 #672, E-mail: johnblue1991@hotmail.com

註 供電可靠度是指電力系統在一特定時間週期(如：一年)，能正常供電的機率。

收到日期: 2013年11月27日

修正日期: 2014年01月21日

接受日期: 2014年02月07日

用了30年以上(GridWise Alliance, 2011)，臺灣亦有類似情況，這些老舊設備除了效率不佳外，電力公司需花費大量金錢來維護更新，更對系統供電的可靠度及電力品質構成威脅。

(3) 氣候變遷

溫室氣體的過量排放與極端氣候有密切關聯，如極端氣候造成環境溫度偏高，除造成尖峰負載量的上升，使電能的供需面容易產生不平衡的現象，亦可能影響系統設備絕緣，若因此導致系統設備故障，將會影響電網之供電可靠度及電力品質，故減少發電過程中所產生的溫室氣體，將成為一種趨勢。

(4) 高品質及高可靠度的電力需求

電力品質的不穩定會降低電氣設備的運轉效能外，亦會減少設備的使用壽命，因此除了維持能源的供需平衡外，電力公司還須盡可能確保電力品質(Alcatel-Lucent, 2012)。而目前各國對供應的電力品質亦制訂相關規範。

(5) 再生能源的發展

再生能源具有取之不竭的資源及裝置後不需使用燃料的特點，適合永續運轉等優點，因此已成為世界各國極力推展的新能源。但由於再生能源出力受天候與環境的影響，其發電不可靠且不具可控制性，因此，過多再生能源

的裝置將因其出力不穩定及不易預測，會增加系統運轉的困難，必須搭配其他設備與措施，才能對整個供電有正面的效益。此外，由於再生能源場址大多遠離負載中心，必須額外投資輸變電設備及線路，高佔比再生能源將需要較高容量的輸電線路且會伴隨大量的線路損失，將是未來電網無法避免的問題，為面對上述挑戰，世界各國皆在思考如何因應。

1.1 智慧電網發展現況

由於資通訊、控制和電力電子等相關技術的進步，我們可應用這些技術來蒐集、傳輸及分析電網資料，並根據分析結果進行適當的決策及動作，以提升電網的效能，使其能夠應付種種的挑戰，而這樣的現代化電網即稱之為智慧電網。

如表1所示智慧電網和現有電網有不小的差異(Farhangi, 2010；經濟部能源局，2013b)。透過整合或分析在電網各處設置的感測器(包含用戶端之智慧電表)所蒐集的資料，將可使電力公司更瞭解電網的運轉情形，更為容易管理資產。而根據電網運轉情形透過通訊和控制系統來下達控制指令，將使電網以較好效率來提供高品質的電力，進而有效提升電網的效能除增

表1 現有電網與智慧電網比較

電網改善項目	現有電力網路	智慧電網
電表	電子機械式，人工抄表 (不易執行時間電價)	數位式，可遙控讀表 (時間電價較易執行)
與用戶通訊模式	單向通訊	雙向通訊
發電形式	以集中地區發電為主	集中式與分散式併行
感測器	少量的感測器	所有設備皆可裝上感測器
故障定位能力	慢，不準確	即時，準確
故障排除能力	手動恢復	自我恢復
故障影響範圍	可能發生全黑狀況	小範圍停電
設備檢查	手動檢查/測試	遠端檢查/測試
用戶方案選擇	被動，單一	主動，多樣化
用電管理	用電量不易管理 (用戶為被動關係)	用戶能主動查詢了解即時電價，改變用電行為 節省電費外，亦可減輕電力公司供電壓力
尖峰用電管理評估	較難評估	較易掌握相關資訊而達到即時管理

進電力公司的經營績效外，智慧電網可使用戶享受到較佳的服務及有較多的電價方案選擇，使用戶能主動參與能源管理。

而就整個國家社會來看，發展智慧電網亦可刺激發明創新、帶動相關產業發展、創造新興產業、增加就業機會和減少碳排放量，使社會能夠蓬勃且永續地發展。由於地理環境、用戶特性等各種因素差異，各國推動對智慧電網的定義(如表2 (台灣電力股份有限公司，2013))、目標、做法亦有所不同，各國智慧電網發展現況整理如下(經濟部能源局，2011；經濟部能源局，2013a；張哲瑜&李東璟，2010)：

1.1.1 臺灣

由於臺灣之電力系統並無其他電力網路互聯支援，確保穩定供電便成為推動智慧電網的目標之一。此外，為配合「國家節能減碳總

計畫」及帶動相關產業發展，我國智慧電網的發展目標亦包含了節能減碳、提高綠能使用及引領低碳產業。而由於智慧型電表基礎建設(Advanced Metering Infrastructure, AMI)為實現智慧電網的重要基礎，因此行政院在2010年核定了「智慧型電表基礎建設推動方案」，作為我國推動智慧電網的第一步。

1.1.2 美國

過半的電力系統設備使用年限過長，為美國推動智慧電網之主要因素。該國之智慧電網主要是依據能源部在2003年所提出的「Grid 2030」報告進行規劃發展，由該報告可瞭解美國智慧電網為藉由資通訊技術的應用，來提升電網控制及運轉效率，成為可靠電力網路。而在歐巴馬總統所提出的復甦與再投資法案中，與智慧電網相關的投資金額為45億美元，其投資補助的對象包含：智慧電表、智慧電網區域

表2 各國家/機構對智慧電網之定義

國家/機構	定義
臺灣/台電	智慧電網是整合發電、輸電、配電及用戶端的現代化電力網路更新工程，透過資通訊科技滿足自癒、互動安全的電力系統設計，提升電力系統效率、品質及可靠度，並擴大再生能源應用及提高用戶參與度。
臺灣/國家型能源計畫(NEP)	整合發電、輸電、配電及用戶的先進電網系統，其兼具自動化及資訊化的優勢，具備自我監視、診斷及修復等功能，提供具高可靠度、高品質、高效率及潔淨的電力，可滿足國家能源政策發展方向與因應社會對供電可靠度及供電品質提高的要求。另外導入大量再生能源併網發電、結合智慧型電表進行需求面管理，減少二氧化碳排放、抑制尖峰負載及節約能源。
臺灣/能源局	智慧電網是整合發電、輸電、配電及用戶的現代化電力網路更新工程，透過資通訊科技滿足自癒、互動、安全的電力系統設計，提升電力系統效率、品質及可靠度並擴大再生能源應用。
美國能源局	整合資通訊技術於發電到用戶之電力系統，藉以強化電網運行、顧客服務與環境效益。
歐盟	能智慧的整合所有使用者的行為和反應，無論是發電端、用戶端及發電與用戶間，都能有效的提供一個永續的、經濟的且安全的電力供應。
中國	以實體電網為基礎(以特高壓電網為骨幹網架、各電壓等級電網協調發展的堅強電網為基礎)，將先進的傳感量測、通訊、資訊、電腦和控制技術與實體電網高度整合而成新型電網。
日本/中央電力研究院	智慧電網並無明確之定義，而是一種供電端與需求端經資通訊技術相互聯繫並活用及高度智慧化的次世代電網概念。此外，其目標還有大量加入再生能源以達低碳社會、提升電力品質、增加系統可靠度及提高設備使用率等。
韓國	透過供需間之即時雙向電力資訊交換，進一步最佳化能源效率之次世代電網。

實證和儲能實證等。

2010年，美國所安裝1650萬具智慧電表，且有45%的變電所完成自動化(經濟部能源局，2013a)；2008年，Xcel能源公司在科羅拉多州波爾德市(Boulder City, Colorado)建構智慧城市，該計畫包含智慧電表、智慧溫控、再生能源與電動車等。然而由於部分人士反對裝置智慧電表，再加上Xcel能源公司錯估智慧電網相關的建置成本，因此該計畫的實際效益並不如預期。

1.1.3 歐盟

為解決能源短缺及確保環境永續，歐洲能源與氣候綜合方案(EU Energy and Climate Package)設定在2020年之前需達成20-20-20目標：(1)相較於1990年的排放水準減少20%的溫室氣體排放、(2)再生能源佔總能源供應的20%、(3)減少20%的初級能源使用。而為了促進歐洲智慧電網發展，歐盟在2005年成立了智慧電網技術平台(European Smart Grid Platform Technology)，該機構在2006年至2010年間陸續發表「歐洲未來電網的構想與策略」(European Smart Grid Platform Technology, 2006)、「歐洲未來電網策略性研究議程」(European Smart Grid Platform Technology, 2007)及「歐洲未來電網戰略部屬文件」(European Smart Grid Platform Technology, 2011)，確立了歐洲智慧電網發展的方向、優先項目及時程。

1.1.4 中國

中國大陸因幅員遼闊，故智慧電網的發展主要著重在輸電線路的建設與升級。2012年，中國政府將智慧電網列為十二五能源計劃之一，並預計投資將近兩兆元的人民幣進行智慧電網的全面建設。

1.1.5 日本

日本建構智慧電網之目的為發展再生能源，以達到低碳社會的目標。因此在該國的

智慧電網技術藍圖中，特別著重再生能源、電池應用及微電網等技術的發展。2010年，經產省在和民間企業組成了Smart Community Alliance，共同推動智慧電網，並選擇在橫濱市、豐田市、京都府及北九州市進行智慧電網的實證示範計畫。

1.1.6 韓國

「透過建構智慧電網，奠定低碳綠色成長基礎」為韓國建設智慧電網之願景，故扶植相關產業出口為該國佈建智慧電網的主要目的。該國智慧電網主要是以五大主軸(智慧型電網、智慧型消費者、智慧型運輸系統、智慧型再生能源及智慧型電力服務)作為智慧電網發展之目標與方向。而目前該國是以濟州島作為智慧電網的示範場址，示範內容包含：電動車、再生能源及節能住宅。

1.2 再生能源發展現況

利用風力、太陽能、地熱…等再生能源做為電力來源已在全球成為一種趨勢，如美國所制訂的再生能源佔比標準(Renewable Portfolio Standard, RPS)，便要求37個州在2020年以前，再生能源所提供之電力需滿足各州10%至33%的電力需求(Martini *et al.*, 2012)。

臺灣再生能源的推廣主要原則為下列四點：

(1)技術成熟度

各項再生能源發展目標應考量技術可行性，宜將技術可行之能源優先發展，較前瞻性且尚未商業化技術延後導入。

(2)分期均衡發展

各項再生能源導入宜分期均衡發展，避免特定期間數量大幅波動，造成電力供應風險，影響整體目標達成。

(3)經濟效益

發電成本接近或低於迴避成本之再生能源類別，其目標設定以最大可設置潛力發展為原則。

(4)社會接受度

電費漲幅之幅度是否在社會大眾可接受範圍內，並以較小的影響幅度為佳。

而為促進相關業者及一般民眾裝置再生能源的意願，立法院於2009年6月通過了「再生能源發展條例」，該條例主要是規範電業對於再生能源設備所產生的電能應予以優惠收購，並對收購費率的制定方式、再生能源發展基金的來源及相關示範設備的獎勵方法進行相關規範。而自該法條實施後，各類再生能源的裝置容量如表3所示。

2. 影響分析

智慧電網將先進的資通訊技術應用於電力系統，新的技術與設備使電力公司舊有的運轉調度方式及客戶用電模式產生巨大的轉變，並且能有效解決目前電力系統所面臨的難題，以下介紹智慧電網帶來的五大影響：(1)提升電力供應的效率、品質及可靠度、(2)提升電力公司的經營績效、(3)客戶主動參與能源管理、(4)容納更多再生能源、(5)促進經濟的發展。(Alcatel-Lucent, 2012)

2.1 提升電力供應的效率、品質及可靠度

電網的運轉除了維持能源的供需平衡外，尚需確保能以高效率的方式來提供穩定及高品質的電力，而藉由下列四種技術的發展，將可使電網滿足這樣的要求。

2.1.1 配電自動化

「配電自動化」是指藉由整合感測器、通訊系統、控制設備和資訊技術，使運轉人員能即時地對配電系統上的電力設施進行遠端監控，其應用可提升電力傳輸效率，有效提升配電系統供電品質與可靠度。例如：使用故障偵測、隔離與復電系統(FDIR- Fault Detection, Isolation and Recovery)，可讓運轉人員快速及精確地偵測故障位置、即時將故障區域隔離，並送出修復的指令訊號將事故修復，有效縮小事故影響範圍、縮短停電時間並降低停電損失。(Massachusetts Institute of Technology, 2011)

2.1.2 相位監測單元和彈性交流輸電設備

表3 各類再生能源推廣成效及現況

項目		簽約		完工併聯運轉	
		案件數(件)	裝置容量(kW)	案件數(件)	裝置容量(kW)
太陽光電	101年以前	2,171	197,198	1,945	177,353
	102年1~6月	879	88,082	772	58,864
風力	101年以前	18	206,521	11	116,821
	102年1~6月	0	0	4	4,612
水力	101年以前	1	225	0	0
	102年1~6月	0	0	0	0
生質能	101年以前	0	0	0	0
	102年1~6月	0	0	0	0
合計	101年以前	2,190	403,944	1,956	294,174
	102年1~6月	18	88,082	776	63,476

註1：101年以前係指在生能源發展條例通過後101年12月31日止，再生能源發電設備簽約併聯案件累計成果。

註2：102年1~6月係指102年1月1日至102年6月30日止，再生能源發電設備簽約併聯案件累計成果。

相位監測單元(Phasor Measurement Unit, PMU)可測量電網的狀態參數，並分析輸電系統中匯流排的電壓相位，可使運轉人員隨時瞭解電網運轉情形，用以判斷該處電網是否出現異常，可即時做出適當應變措施，以避免異常情形持續惡化而導致事故的擴大。此外，透過彈性交流輸電設備(Flexible AC Transmission Systems, FACTS)的建置，將可使運轉人員進行有效且快速的控制動作，使輸電系統的運轉更為順暢。(Massachusetts Institute of Technology, 2011)

2.1.3 智慧微電網

微電網是指由分散式發電機組(如：再生能源、傳統小型發電機組)、儲能系統和負載組合而成的小型獨立電網。正常情況下，微電網與主電網互聯，而當主電網系統故障時，可與主電網切離(Cho *et al.*, 2011)，藉由智慧電網新技術的引入，各個微電網能自行管控區域內的電力傳送(圖1)，不會受到事故的影響，使事故影響停電範圍縮小，提高供電可靠度。

除了增加供電可靠度外，智慧微電網亦須確保用戶可有較好的用電品質。例如：在輻射

型配電系統中，由於主饋線距離可能相當長，使饋線末端之電壓會因過大的線路壓降而低於容許額定電壓。而透過先進讀表基礎建設和電壓/虛功控制(Volt/ Var Control, VVC)技術的結合(Sierra Energy Group, 2010a)，可使運轉人員能根據用戶的電壓狀況，利用相關設備(如：變壓器、電容器)來調整饋線上的電壓，使用戶可有較好的電力品質。

2.1.4 準確的負載預測

目前電力公司根據歷史負載資訊做為負載預測，透過具通訊功能之讀表系統，電力公司將可獲取更多用戶的資訊(如：負載特性、不同氣候條件之用電量變化…等)。來進行較準確的負載預測，使電力公司運轉調度更加順利，進而降低運轉成本。

2.2 電業經營績效的提升

電網各處感測器(包含用戶端之智慧電表)所蒐集的資料予以統計，將可有效地進行負載和資產管理、降低抄表所需的成本及防止竊電所造成的損失，使電力公司的經營績效可有效提升。

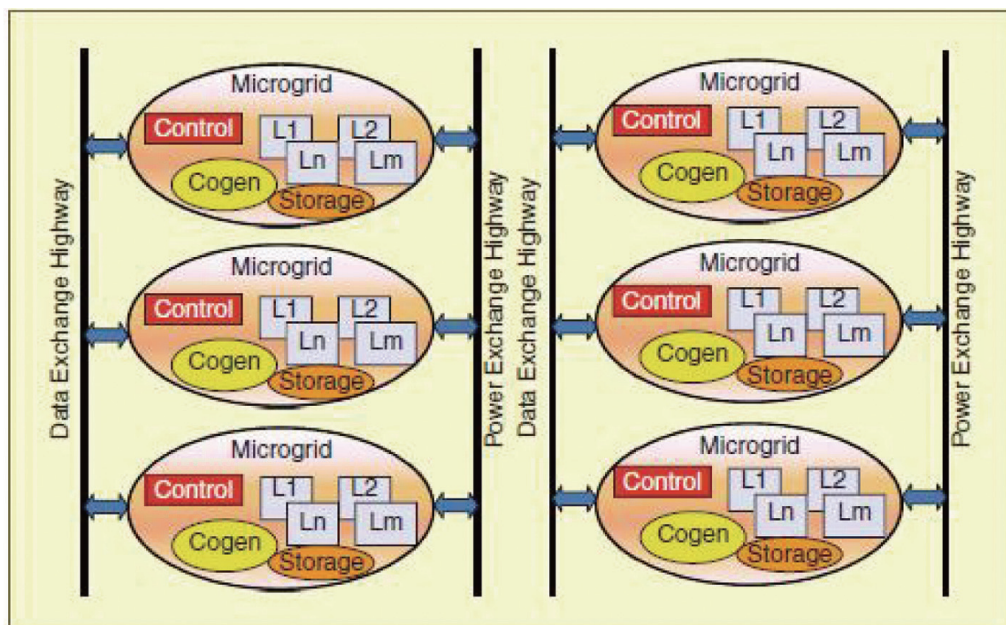


圖1 智慧微電網示意圖

2.2.1 負載管理

據統計，電力系統中有20%裝置容量為應付尖峰負載(Farhangi, 2010)，若利用智慧電表雙向通訊功能搭配時間電價與需量反應(Demand Response, DR)的市場機制，使電力公司能執行更有效的負載管理及降低尖峰時的用電量，電力公司將不需為應付短時間的尖峰負載而增設新的發電機組，除可使供電可靠度維持穩定，並可降低投資成本。

2.2.2 資產管理

人力資源管理系統與智慧電網的結合，於有停電事件時可事先研判停電範圍，預判何種狀況及維修所需人力，如此可有效減少溝通時間，使整體運作程序加快，人事成本將能大幅降低。藉由裝置在電網各處的感測儀器及現代化之資通訊技術，電力公司可對電網的運作、設備、人力資源進行有效地管理。例如：利用裝置於配電變壓器上之感測器所蒐集的資料，可即時瞭解各變壓器的負載率，在變壓器可能因系統負載上升而發生過載之慮時，運轉人員可預先加壓變壓器以利隨時併聯上線，以分擔系統負載量，降低其他線上變壓器過載之機率，並同時減少配電線路上之能量損失。

2.2.3 先進讀表基礎建設

美國先進讀表基礎建設主要包含自動讀表、需量反應及使用戶能了解即時用電狀況及電費而改變用戶用電行為，其內所提供之自動讀表的功能，可降低電力公司抄表所需花費的時間及人力成本，且此系統可幫助電力公司進行竊電偵測，以降低相關的財務損失(Moore & Butler, 2009)。此外，需量反應於有供電危機時，可削減用電量以舒緩電力公司供電壓力。

2.3 客戶主動參與能源管理

在現有電網的運作模式下，用戶並無法有效地進行能源管理；在智慧電網當中，由於用

戶有選擇不同電價方案的權利，再加上分散型能源、電動車技術及儲能裝置的發展，可使用戶視電價高低利用電動車蓄電池或其他儲能裝置選擇提供電力或儲存電力；透過智慧電表提供的即時用電資訊(電價、用電量)，動態電價機制將可有效的被實施，而用戶因有利可圖，主動參與能源管理可使能源達到更有效的利用。

2.3.1 分散式能源的影響

近年來環保意識抬頭，許多國家開始積極推動分散式能源，除補助能源業者裝設再生能源，亦鼓勵一般民眾架設太陽光電或風力發電等再生能源，並將再生能源躉售回電力公司，因此小範圍的能源管理需求增加，透過智慧電網，用戶及電力公司能夠即時得知買賣電的資訊以及現場發電狀況。

2.3.2 時間電價和需量反應

藉由智慧電網雙向通訊，建立溝通管道，電力公司可以直接和消費者做聯繫，並將時間電價的機制引入市場，用戶可以利用公開的電價資訊，決定用電時機，若用戶選擇在電價較高的尖峰時期減少用電，將有助於減少用戶電費，同時降低尖峰時期電力公司的供電壓力。抑或是電力公司透過需量反應，和用戶訂定同意書，使電力公司能在供電吃緊時，能從系統削減契約用戶之用電量並給予此類用戶某些優惠，將可以抑制尖峰負載，提升供電可靠度和電力品質。(Alcatel-Lucent, 2012)

2.3.3 電動車的推廣

電動車近年來亦納入各國發展智慧電網的重要項目，傳統的內燃機汽車使用時，車輛所排放之廢氣，會造成環境的污染。離峰時充電，提升電力公司發電機負載率，於尖峰有缺電危機時，可從電動車之電池放電，減緩電力供給壓力。(電動汽車資訊網)

2.4 容納更多再生能源

再生能源的興起，改變原本電力傳輸的模式，用戶可將電能賣回電力公司，因此電力潮流從原本單方向由電力公司到用戶端，轉變為雙向的電力潮流，由於再生能源具有間歇性，視氣候與地理條件，再生能源發電量可能有較大的變化，且不易準確預測再生能源發電量，許多地方常有同時段再生能源發電量與負載需求不一致的問題，如離峰負載時段，其再生能源發電量卻過剩，此種不一致性將會增加電力調度的困擾。如果再生能源發電量與負載需求有一致性，則此再生能源發電將有較高的價值，可減少線路損失，支撐電壓…等。由於再生能源發電設備安裝速度快，當有更多的再生能源併接到輸配電網路，將對電業之管理及運轉造成衝擊，從併網、運轉、供電品質、供電可靠度及安全等，政策法規必須要有明確的要求與規範。(台灣電力股份有限公司，2013)

在既有電網架構下，電力公司不易掌控由用戶端逆送的電力，在智慧電網建置後，透過蒐集大量的數據資料及應用管理程式，例如：即時且準確的氣象預測，可使運轉人員掌握再生能源出力，並且對轉備機組的調度、備轉容量、再生能源和儲能裝置進行監控、管理…等反應措施，如此可降低再生能源間歇性、不易預測性對系統運轉造成的衝擊，且亦能協助用戶進行再生能源的管理，確保再生能源運轉的安全並提高使用效率。智慧電網能即時管理再生能源，末端的再生能源有了更適當的管控，得以做更有效的利用。另外藉由老舊設施的汰換及新一代傳輸線路(如：高壓直流輸電線、耐熱導線)的建置，將可大幅提升傳輸線路的傳輸容量及降低線路上的能量損失，使再生能源能夠更有效被利用。

2.5 促進經濟的發展

智慧電網的建置，除了能減少停限電，改善原有停電事故造成的損失外，亦能刺激新興

產業發展、創造就業機會、帶動國家經濟，且藉由減少對石化能源的依賴，可提高能源自主性，使國家經濟能穩健發展。

2.5.1 減少停電所造成的損失

無預警停電除造成生活的不便外，更會造成巨大的經濟損失，如2003年美國東北地區的停電事件，因停電所造成的經濟損失約為六十億美元。事實上，根據相關研究報告的估計，美國工商界每年因停電造成的損失達一千億美元(GridWise Alliance, 2011)。透過智慧電網的佈建，將有效減少停電的機率、時間及範圍，使停電所造成的損失降至最低。

2.5.2 帶動新興產業的發展

智慧電網是指將先進的資訊、通訊、控制等各領域技術應用於電力系統上，使系統的性能有效提升。因此發展智慧電網的過程中，需要創新發明，如：新型感測器、與既有電力設備之結合可促進相關產業發展，創造更多就業機會，使國家經濟競爭力大幅提升。

2.5.3 提升能源自主性

由於某些國家(如臺灣、日本…等)，沒有豐富的天然資源，要從其他國家進口大量的石化能源，然而過度依賴這些進口能源，會使國家經濟發展和安全性容易受到國際情勢的影響，而透過再生能源及電動車的發展，減少對石化能源的依賴，能源自主性提升，較能確保國家的經濟發展及安全性

3. 面臨問題

智慧電網的建置能改善電力傳輸效率、提高電力品質與供電可靠度、改善電力公司的經營績效並且能夠容納更多再生能源，然而將新的技術與機制引入舊有電力系統與市場時，雖然預期能改善原有問題、創造出新價值外，但在發展的過程中亦會帶來其他困難和挑戰。為

了使智慧電網能產生最大的效益，必須審慎思量智慧電網發展所需面對的問題，以下就技術面、經濟面和政策法規面，討論發展智慧電網所會面臨的挑戰。

3.1 技術面

3.1.1 系統整合、設備維護

智慧電網可應用許多通訊系統，如：藍芽、WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)，及利用不同的傳輸管道，如：電力線通信(Power Line Communication, PLC)、光纖通信...等(Alcatel-Lucent, 2012)，因此智慧電網運轉較以往傳統電力系統更為複雜，需要有更多面向的思考如何設計規劃，使所有新的系統、技術與應用程式能夠相容並且順暢運作。

電力公司花費許多時間建設目前的輸配電系統，由於為數眾多的舊設備與更新所需費用，電力公司無法在短時間將所有舊設備淘汰更新，因此未來勢必面臨到新舊設備、應用程式、技術、裝置整合的問題，在設計規劃時需思考智慧電網如何整合原有的部份，例如：配電系統在規劃新的通訊線路時，原有的建築物、設備是否會影響其通訊功能。(Sierra Energy Group, 2010b)

傳統電網升級成智慧電網後，增設許多新的設備儀器，因此電網的維護將需要耗費更高的成本。然而輸配電網路的分布範圍相當廣泛，包含許多交通不便的偏遠地區，若高價的感測設備遭到竊取或破壞，亦會使電力公司的負擔增加，為了降低電力公司成本及風險，設計規劃時需思考如何降低設備維護費用以及如何保護昂貴的儀器設備。

未來電力系統隨著通訊網路鋪設趨於完善，假若在維修故障設備過程不慎干擾原有通訊管道，電力公司原有的修護、運轉人員，是否具備其他非電力相關專業知識(如資通訊產業)，能正確處理有別以往的事故狀況？將決定

未來的運轉穩定度。(Christensens *et al.*, 2010)

3.1.2 資訊安全

隨著傳統電網逐步升級成智慧電網後，整個電網運作對資通訊系統的依賴程度漸增，許多重要的資訊、指令都在網路中傳送，若遭駭客、木馬程式惡意攻擊，將造成難以預估的傷害和損失，因此網路、資訊方面的安全絕不能被忽視(Alcatel-Lucent, 2012)。先進讀表基礎建設擁有強大的雙向通訊功能，使電力公司和用戶間的資訊傳遞更為方便，然而不肖用戶為了減少電費，利用違法應用程式篡改電表數據(California State University Sacramento, 2012)。如何防範網路上的惡意攻擊並避免資料遭到更改，是智慧電網資通訊技術能否為電力領域帶來更安全便捷的重要關鍵。

3.1.3 數據處理能力

建置智慧電網後，電力公司需要處理大量來自智慧電表、系統上感測器及再生能源出力狀況的數據資料，許多設備會以較短週期將數據傳遞至電力公司。數據的傳送、存放皆需要大量的投資，相關應用軟體必須能有效管理與處理這龐大的數據量，例如：修正異常數據、回傳資訊保存與否及決定數據傳遞方式，電力公司於設計規劃時需視不同電網的需求功能做不同的安排規劃，可參考圖2與設備供應商討論設計一套合適的資料處理流程，使將來運作效能達到預期的水準 (Smart Grid Update, 2011；Bane & Bower, 2013；Gupta & Vyas, 2013)。

3.1.4 高佔比再生能源

目前再生能源出力的穩定性仍低於傳統火力機組，當高佔比再生能源併網時，將對輸、配電網路造成衝擊，勢必需要面對如：電壓承受能力(Voltage Ride Through, VRT)、虛功和電壓控制、實功和頻率控制、變壓器介面與接地、電力品質、保護電驛之誤動作、偶發性的孤島運轉、大型風場的電壓控制困

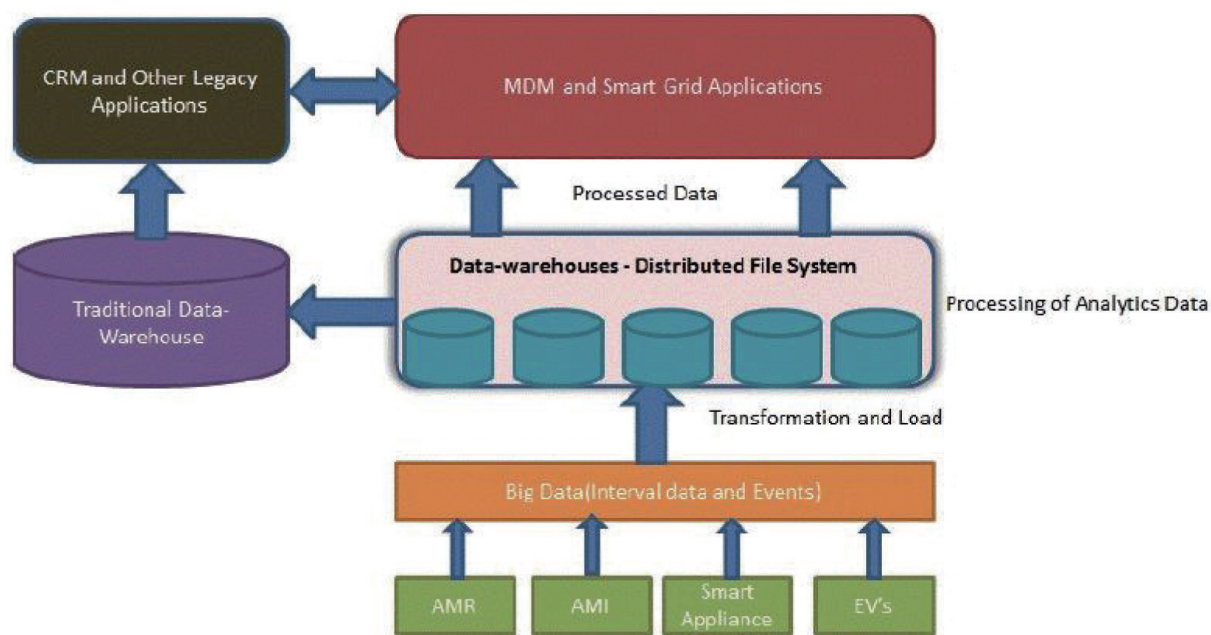


圖2 智慧電網資料處理流程

資料來源：Big data analytics in MDM and smart grid

難、電網輸電線路雍塞…等問題。以德國為例，2011年該國再生能源的發電量佔總發電量的20.4% (Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety, 2013)，然同年因再生能源造成持續3分鐘以上的停電事故通報超過20萬次(Schiermeier, 2013)，德國為穩定高佔比再生能源之電力系統，必須增設傳統火力機組提供電壓及頻率之調節。在臺灣，因地理環境、電網規模及發電結構與德國不同，電網可允許的再生能源最大佔比亦將不同(臺灣2013年再生能源的發電量佔總發電量的4.24% [經濟部能源局，2013c])，發展智慧電網後，在不影響電網運轉的可靠度及電力品質的前提下，能容納多高佔比的再生能源將與電網調度運轉程序有密切關係。

3.2 政策法規面

3.2.1 民眾認知

引進智慧電網不只是技術的革新，更是電力公司既有營運方式之突破。因此智慧電網效益的實現，將需要一般民眾對智慧電網有清楚

的認知及高度地參與。根據美國智慧電網消費協會(Smart Grid Consumer Collaborative, SGCC)的研究(Landis+Gyr, 2012a)，只有約25%的用戶對智慧電網有基本認識，這將使電力公司在發展智慧電網的過程中，面臨到極大的挑戰。2008年，Xcel電力公司在波爾德市所執行的智慧城市計畫最終宣告失敗，計畫失敗的一個主要因素為缺少和用戶充分溝通智慧電網的概念和發展過程中可能發生的問題(Helms, 2013)。電力公司、政府能否將智慧電網的正確資訊傳達給用戶，將影響未來電力公司與用戶間的信賴和合作關係，且將決定智慧電網的發展成敗。

3.2.2 誘因建立

發展智慧電網的過程，相關產業需投入大量的資金、時間和人力在研發、建置和維護系統設備。業者擔憂日後投資成本是否能有效回收，與智慧電網相關產業(包含電業)是否能持續獲利，因此對於智慧電網的投資可能會抱持著較保守的態度，而導致智慧電網的發展較為緩慢，甚至停滯不前。

3.2.3 個資保護

過去電力公司只記錄用戶姓名、帳單地址以及要繳交的電費金額，然而隨著智慧電網的引進，電力公司較以往收集更多與用戶相關的資料，先進讀表系統能精確地將用戶的用電習慣、用電時間…等相關資訊，藉由通訊設備回傳給電力公司，若使有心人士獲取相關資訊，將使用戶的生命財產安全受到威脅，因此如何避免重要資訊的竊取和洩漏，需要增訂相關法規與技術。此外電力公司所取得的用戶資料是否單純作為運轉調度的參考，亦或是在用戶不知情的狀況下，將蒐集到的資訊用於其他商業行為？如此一來將降低用戶對智慧電網的信賴程度，使得智慧電網的發展面臨挑戰，因此在發展智慧電網的同時，政府、電力公司需跟進其發展速度，訂定相關的保護措施，保障用戶的權益。(Landis+Gyr, 2012b)

3.2.4 再生能源相關法規

如前所述，大量的再生能源併入電網會增加電網運轉上的困難，進而影響電網供電的可靠度及電力品質，因此先進國家目前對於再生能源的併網都有相關的規定，根據不同國家風機併網基本規範(表4)法規的訂定，將可確保再生能源併接至電網，電網可正常地運轉。然而在現有電網演變至智慧電網的過程中，相關領域(如：資訊、通訊、控制)技術的革新及新電網運轉概念的提出，讓再生能源和電網的性能、操作模式有很大的變化，因此如何依據再生能源技術之發展狀況及電網的運轉情形，而對既有之再生能源併網法規做出適當地修正，將是發展智慧電網的過程中，所需面臨的問題，此外由於新技術與新材料不斷提出，可能使法規更新速度，跟不上技術的更新。

表4 各國風機併網規範(陳斌魁等，2006)

實功控制	有些國家併網運轉時，為了確保系統頻率穩定和防止線路過載等，要求能控制風力發電的實功。各國電網法規對電力調節要求的範圍相當不同。
頻率控制	確保系統安全供電、防止電力設備過載和滿足電力品質標準，保持電力系統頻率在可接受的範圍內。
頻率範圍和電壓範圍	任何發電量或負載需求量的改變，都會使頻率偏離正常值，假如偏差大，頻率超過正常的範圍，則會降低電力系統的品質及可靠度，當電壓或頻率遠離正常值時，要求系統能夠持續運轉，電力系統穩定運轉時。頻率必須維持在正常偏差範圍內。
電壓控制	風力機應該具備自動電壓調節功能，使端點電壓維持固定，調節器可以保護發電機，以防提供或吸收太多虛功，而觸發過/欠激磁保護，此有助於穩定輸電系統的電壓變動。
電力品質	依據輸電和配電各有不同要求，從併網造成的電壓變動到運轉時造成的電壓漂移範圍以及諧波。
有載分接頭變壓器	一些電網法規要求風場需要裝設有載分接頭變壓器，控制虛功潮流的大小與方向，使電壓能保持在合理的範圍中。
風場保護	這類型的要求是用來提供電網有事故和擾動發生的保護。風機保護應該在故障(例如短路、低電壓、高電壓)發生時能動作，且保證風機在故障發生期間和之後某段時間於某電壓範圍內，仍能併網運轉和支撐電網電壓的要求，所謂VRT(電壓承受能力)要求就是這一類型。
風機模擬模型及驗證	一些電網法規要求風場經營者提供風機模型和系統資料，使電網調度者能夠藉由模擬風場和電力系統間之互相影響，此外亦要求安裝監視設備來觀察故障期間風場的實際狀況和驗證model準確性。
通訊和外部控制	風場運轉人員應提供風機運轉參數(如：電壓、虛功、風向、風速、運轉狀況…等)給系統運轉人員，將有助於系統調度者確保系統正常的運轉。

3.3 經濟面

企圖打造全球第一座完整智慧城市的Xcel公司(Helms, 2013)，在2008年底於波爾德市開始進行相關計畫，然而計畫執行第一年所投資的金額即較本來預估的費用多出一億五千萬美金，到了第二年更多出四億五千五百萬美金，並企圖藉由調漲電價的方式，解決營運上的財務危機，最後卻被CPUC (Colorado Public Utilities Commission) 拒絕，最終其智慧城市的計畫宣告失敗。智慧電網是一個創新的構想，其運作、建置方式將有別於以往傳統的電力系統，並無往例可供參考，預期目標和所需要投資金額的精確評估，將影響到智慧網計畫能否成功實現。另外，由於再生能源於開發建置階段風險及成本偏高，相關產業投資意願不足，如何提供合適的經濟誘因以帶動相關產業提升效率，促進創新投資，亦需考量。

4. 因應對策

發展智慧電網將面臨新舊系統整合、資訊

安全威脅和政策法規…等問題，政府和電力公司可參考國外經驗，以縮短學習時間，減少不必要的投資損失，以下將探討上一章節所提到的問題之相關因應對策

4.1 技術面

4.1.1 系統整合、設備維護

電力公司建置智慧電網過程首先需要克服系統整合困難與設備規格不一的問題。電力公司可與有相關成功經驗的業者合作，利用其實務經驗，針對系統、設備、客戶資訊進行整合，提供電力公司監控管理不同廠商設備、技術的方法，降低建置智慧電網的風險，使相關系統測試與整合能更加完善。(Moore & Butler, 2009)

智慧電網的感測設備來自於不同製造商，有各種不同的規格，若能統一設備標準，將使設備維護與電網運作更為順利。另外透過通訊協定的設立，使廠商在製造設備時可依循一定規範和流程，如此將可以縮減設備維修及系統整合所需耗費的成本和時間。圖3標示出未來

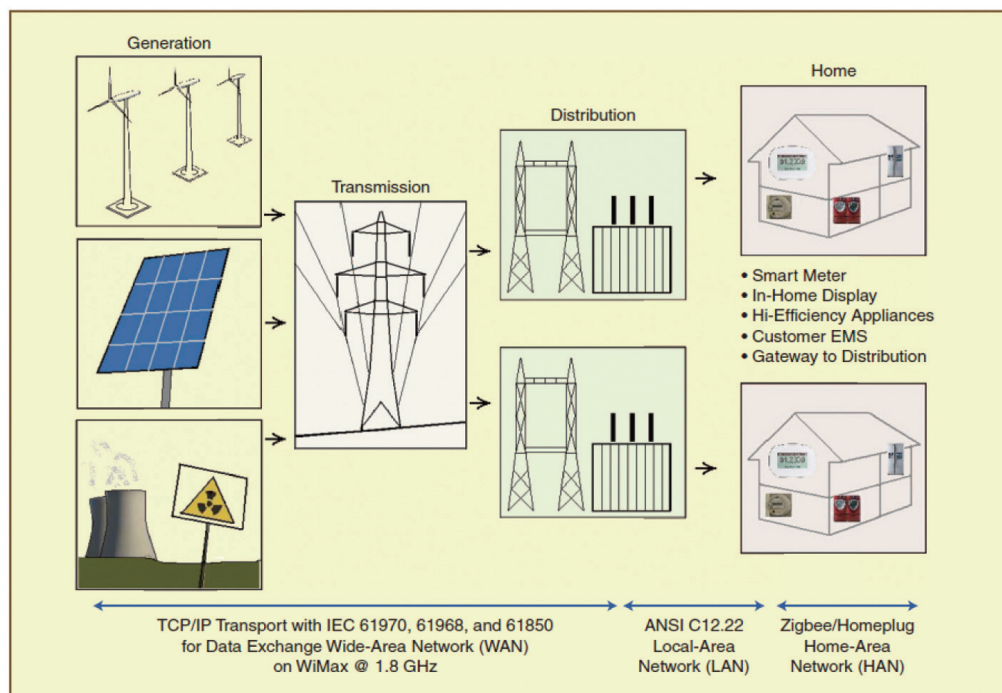


圖3 智慧電網通訊協定標準

智慧電網可參考之通訊協定，如：輸配電之通訊協定IEC 61850、電表通訊協定標準ANSI C12.22。而針對偏遠地區的設備，可藉由監視攝影機，遠端監控設備安全，防止昂貴儀器遭到竊取或破壞(Alcatel-Lucent, 2012；Farhangi, 2010)。

4.1.2 大量數據資料分析方式與傳輸

建置智慧電網後，由於智慧電網上的感測設備會以較快的速度(velocity)傳遞大量(volume)且多樣化的資訊(variety)到電力公司監控中心，然而以電力公司現有的數據庫與分析軟體可能無法分辨資料正確性(veracity)與處理如此龐大的數據量。過去舊有的電表資訊管理系統(Meter Data Management System, MDMS)僅用來儲存和紀錄用電資訊(如圖4)。現在電力公司可利用電表資訊管理系統與龐大且多樣化的數據資料相結合來做停電分析(outage analysis)、負載分析(load analysis)、負載預測(load forecasting)、提高運轉效率(effective operational efficiency)、資產利用率(asset utilization)…等。透過電表資訊管理系統能有效且快速分析龐大的數據資料，藉以改進營運、支援決策、實現商業價值與提高客戶滿意度(Smart Grid Update, 2011；Bane & Bower, 2013；Gupta & Vyas, 2013)。此外，電力公司可針對智慧電網所需功能應用的要求，以合適的擷取速度來蒐集電網的關鍵資料，避免電力公司處理過多非必要的資料。

如何能夠快速且可靠的傳遞這些龐大的資料？電力公司可選擇以電力線通信(Power Line Communication, PLC)或是光纖通訊傳輸方式，電力線通信的優點是可利用既有配電線路同時傳輸電力與傳送資訊，節省裝設成本，但缺點是易受雜訊干擾造成傳輸速率下降，甚至因變壓器阻抗，導致訊號衰減無法正常傳輸，以及當電力線老化也會影響傳輸速率。若使用光纖電纜來取代傳統的傳輸線，將可以大幅增加資訊傳輸的速率與可靠度，但鋪設光纖電纜對於電力公司將會是一筆龐大的開銷，若能於鋪設輸配電線路時，與有線電視與通訊等產業業者合作，將內建於電線之光纖電纜租賃給這些業者，一同使用同一條光纖電纜，將可大幅降低光纖電纜鋪設的所需成本(Alcatel-Lucent, 2012)。

4.1.3 資訊安全

智慧電網建置後，許多重要的資訊指令將在通訊網路中傳送，整個電力傳輸系統對通訊網路的依賴增加，為了避免遭受駭客和木馬程式的惡意攻擊，電力公司可設置安全防護中心，專門監控通訊網路上任何異常的使用者和行為，確保通訊網路的安全。另外，傳輸數據時需經過加密傳輸，避免讓重要的資訊外洩，而政府相關單位可設立法規保障用戶的隱私安全，如2009年3月美國歐巴馬政府通過電力資訊保護法案(Electric Utility Data Protection Act)，建立一套取得、使用用戶資訊的標準

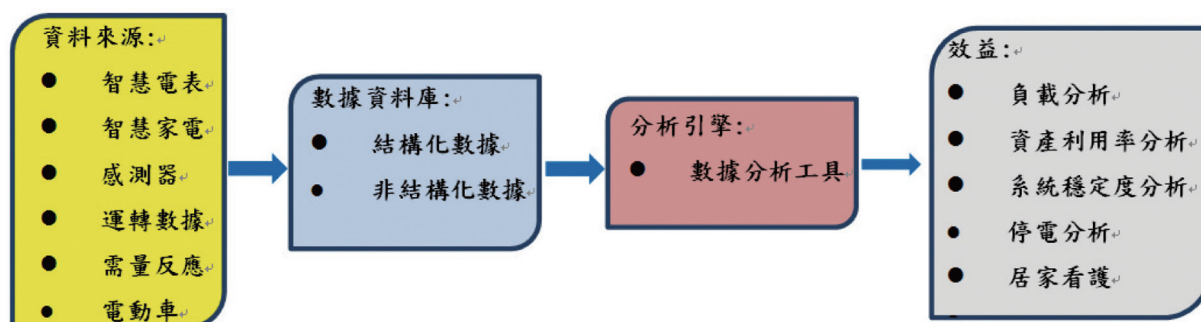


圖4 MDMS處理流程

(Landis+Gyr, 2012b)。

4.1.4 建立高佔比再生能源的管理與運轉機制

政府近年開始關注再生能源與減碳機制。然而，再生能源出力(如：風能、太陽能)具有間歇性及不易預測的特性，且大多散布在電網的各個區域中而不易管理調度，因此隨著再生能源裝置併網容量漸增，再生能源為電網帶來的衝擊，如供電品質及可靠度，也將浮現，電力公司將需要新的概念與技術來預測和控制，並有能力整合這些電源。

臺灣除可汲取國外經驗外，亦可參考圖5，經由調整運轉操作方式與流程，形成管理與運轉再生能源的主要結構，該結構包含了再生能源資源的規劃和運轉與監控的所有層面。以目前臺灣再生能源裝置容量較大的風力發電為例，該圖涵蓋範圍由風力預測到提供所需之輔助服務、電力系統的視覺圖像化、系統運轉的透明度、電力系統自動化和控制與相關軟硬體的應用…等，各項目的討論如下(Vadari & Davis, 2009)：

(1) 場址之選擇與再生能源之特性

場址的選取對再生能源的管理與經營扮演

相當重要的角色，不同的再生能源，視其所需之自然條件及環境限制就有不同的選址限制，如風力發電，需有穩定、長時優良風況，太陽光電需無遮蔭及有較長及較大的太陽輻射地點，川流式水力發電則要位於水流量大、平穩及落差大的地點，除了以經濟效益及再生能源高可用率、高容量因素作為選址的重點外，針對電力系統特性、再生能源發電設備之性能及功能宜有要求，如金門電力系統虛功過剩，其內風機宜有VRT功能及較佳的超前功因(如：leading 0.925)運轉性能，此外，亦需要考量電源附近是否可提供輸電線路的架設空間，將再生能源所發電力傳送至電網，再者，再生能源出力預測之準確性對電網調度運轉非常重要，當負載與風力預測發生誤差，會導致電力需求與供給極度的不平衡，如圖6所示(Vadari & Davis, 2009)：在兩個小時內，風場輸出下降了將近1,500 MW，將會造成系統的供電可靠度及電力品質不符電網運轉績效指標問題。依先進國家現場操作實際經驗顯示：將風力預測資料與運轉控制室之能源管理系統(Energy Management System, EMS)結合，可供給系統運轉調度員使用，才能針對風速的劇烈變化提出警報，使運轉人員有較充裕的反應時間，此

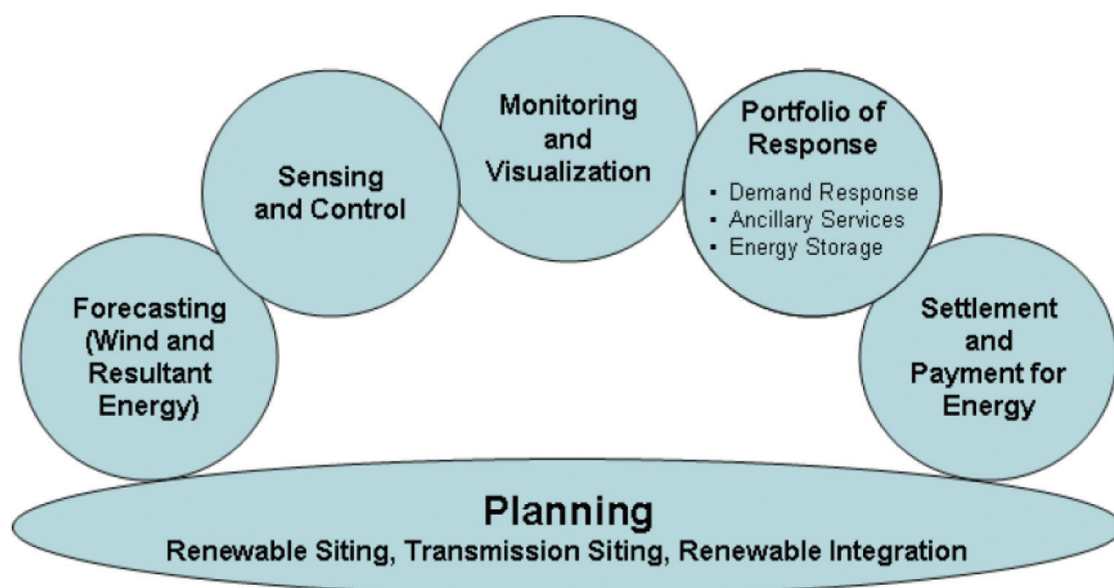


圖5 管理與運轉再生能源的主要結構

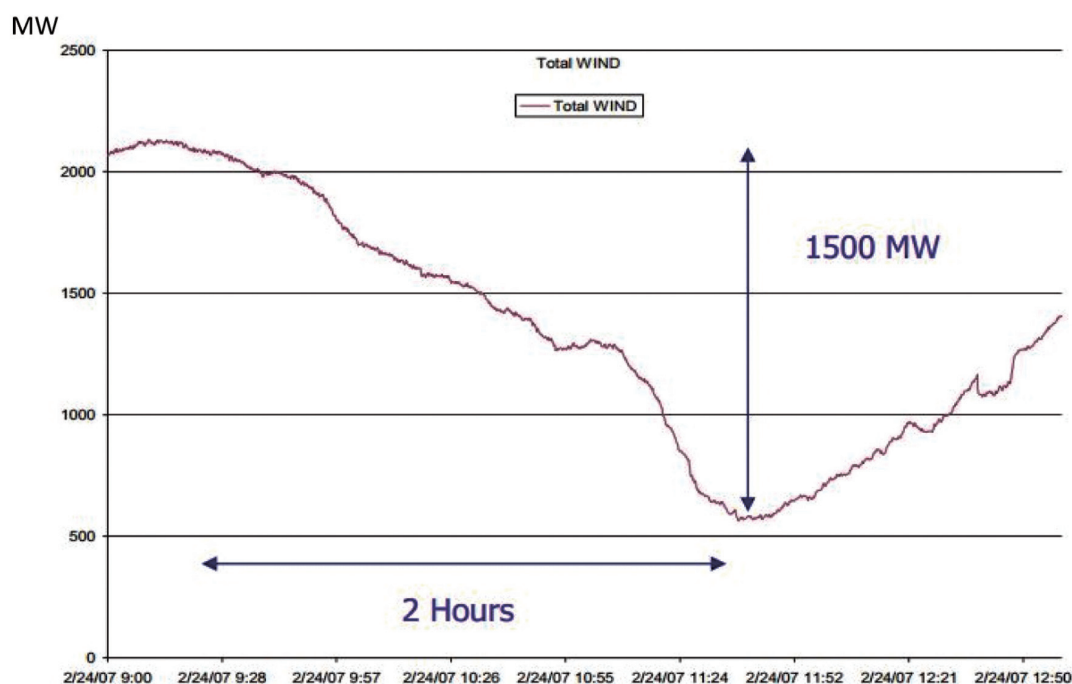


圖6 預測發生誤差導致電力需求與供給不平衡

外結合地理環境的資訊，可降低風力預測的誤差，以降低不符電網運轉績效指標的發生機率。

(2) 自動化技術的應用

再生能源併入電網所用之自動化技術的應用，可由軟體與硬體兩方面探討。在硬體方面，監測單元所提供的系統資料和電力系統內關鍵位置的量測元件，可使運轉人員能監控系統的即時狀態，而若搭配彈性交流輸電設備的高速切換控制開關功能，則可使運轉人員對微型電網的運作做出及時的決策與控制。在軟體方面，藉由將來自各地區的訊號呈現在圖像化的監控螢幕上，運轉人員可更清楚了解目前系統狀態(如發電機之升降載率限制)和預期間歇性再生能源對系統產生造成的衝擊(如：輸電雍塞、電壓狀態…等)，使其可決定所需之轉備容量大小。

(3) 電網調度運轉管理與程序之調整

未來無論大型或小型風場併入系統，將會需要修正既有的調度運轉方法與程序，如僅有風力之平衡市場區域(Wind-only balancing area)，在多個控制區域中，調度各區域之風力

輸出，可減少每個控制區為應付風力併網所需之備轉容量；Ace Diversity Interchange (ADI)，匯集整合各個區域之控制誤差(Area Control Errors, ACEs)可以減少傳統可控機組為因應風場出力變動而頻繁調節其出力，並允許各控制區之間共享備用容量，另如澎湖及金門離島高佔比再生能源之電力系統，其調度準則勢需調整才能滿足供電可靠度及電力品質需求。

(4) 需量反應與儲能系統

當再生能源出力變動時，除了提供輔助服務之傳統水、火力機組外，亦可透過需量反應與儲能系統提升系統可靠度及提供輔助服務，如：升降載、增加備用與轉備容量。而儲能系統結合再生能源可提供相對平穩的電力輸出，其建置規模與反應時間可根據功能需求或電池特性而有所不同。儲能技術目前仍在研究發展階段，以美國Southern California Edison電力公司管轄範圍內Tehachapi風場為例，美國能源部(D.O.E.)補助Southern California Edison電力公司在該風場進行鋰電池儲能技術的運轉測試專案計畫，該計畫預計執行至2015年底，評估儲能技術對提升電網效能及再生能源併網所帶來的

效益(Department of Energy, 2012)。而將適切容量的儲能系統安裝在適當位置，並配合相關的通訊及控制技術，使用電戶可視電價的高低，來決定其充、放電運轉的模式，使其可用以調節再生能源因天候環境造成的出力變化並滿足電網之尖峰負載管理、頻率及電壓之調整以及虛功支援等需求。若了解飛輪與相關電池儲能方式的特性，可設計出更具彈性及經濟的功能性儲能系統。

4.2 政策法規面

4.2.1 再生能源法規

分散型電力之併網保護要求，依分散型電力之種類、容量、併網點之不同及所併接之電力公司電網強度不同而異，為了減少分散型電力對電力系統之衝擊，先進國家都有各自的保護規範、併聯規範或是併聯指導原則，而其內容都著重於供電可靠度、電力品質和安全確保三個方面。唯各不同電力併網考慮因素基本上是一致的，其指導原則如下(陳斌魁等，2006)：

(1) 電力品質：包含電壓、頻率及諧波，皆須符

合法規需求。

- (2) 供電可靠度：於電網有故障時，除了電壓與頻率承受範圍時段需支援電力系統外，不應提供電力造成更大的故障範圍，此外，再生能源擁有者，其內部系統故障時，應即時清除故障，不得拖垮電網。
- (3) 安全確保：包含人員及設備安全之防護規範。

為了確保再生能源佔比提升不會影響到電力系統運轉，各國有不同併網法規要求，以確保併入再生能源之電力系統能穩定運轉及維持良好的電力品質，以風力發電為例，各國基本的grid codes要求主要是與頻率、電壓和風力機故障保護有關，如美國西部電力可靠度理事會(Western Electricity Coordinating Council, WECC)的VRT (Voltage Ride Through)要求(圖7)，各國風機併網所要求保持之頻率(圖8)以及當風力發電場連接至輸電系統時，風力發電機功率因數要能夠操作在0.95 (leading)~0.95 (lagging)範圍，歐洲風能協會(European Wind Energy Association, EWEA)的要求是在0.925 (leading)~0.85 (lagging)的範圍內。

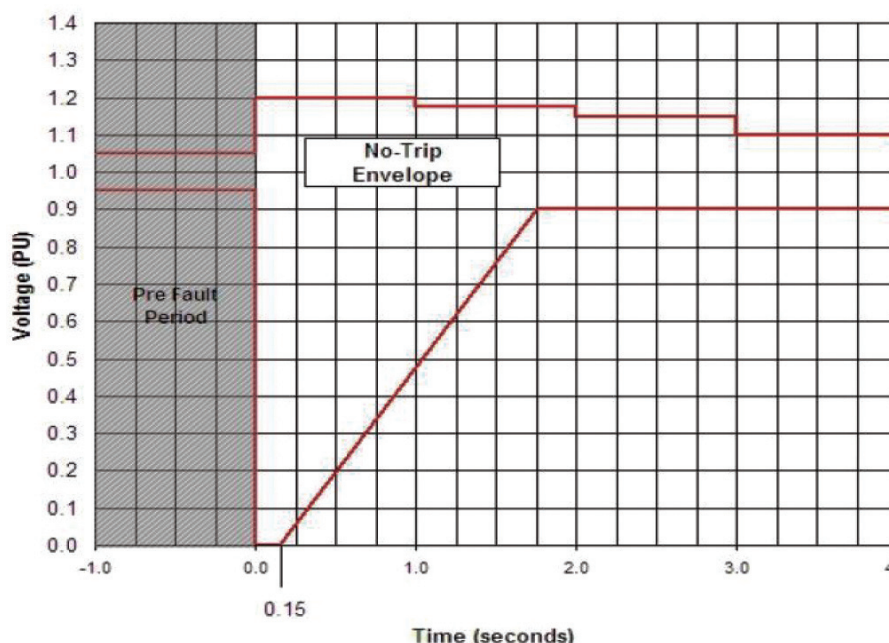


圖7 WECC對風機的VRT要求

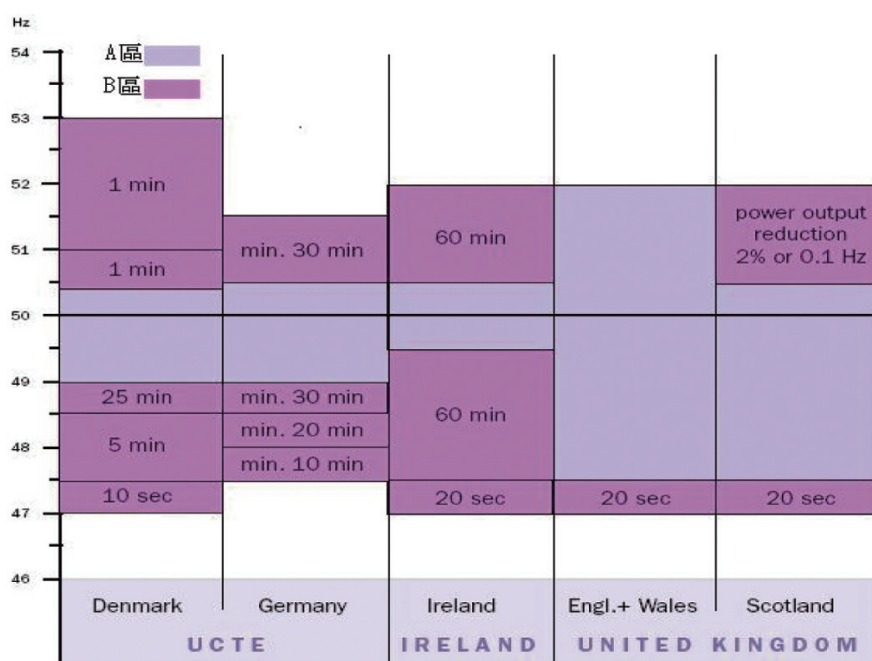


圖8 各國風機併網要求保持運轉之頻率範圍

A區頻率範圍：風機持續運轉，B區頻率範圍：(時間，電力輸出或兩者都有)，
要求風機併聯，幫助頻率恢復，穩定電力系統

4.2.2 民眾宣導

智慧電網與再生能源需要民眾配合與支持，才能使其帶來的效益最大化，因此民眾需要對智慧電網及再生能源有基本的認識，電力公司可以透過網路郵件、媒體宣傳或是將相關教育文宣隨電費帳單寄送給用戶，並且設立諮詢中心，供民眾能適時反應問題給電力公司，此外政府應設立評估制度，審核電力公司是否將智慧電網及再生能源帶來的好處和影響確切告知用戶，並設立相關保護法規，加強民眾對智慧電網及再生能源的信任。政府、電力公司和民眾的相互合作與支持才能使智慧電網及再生能源順利建設及發展。

4.2.3 其他技術相關法規

智慧電網建置的過程中，除了再生能源需要相關法規來減少對電力系統之衝擊外，在本章節技術層面所提到的通訊協定，如：輸配電之通訊協定IEC 61850、電表通訊協定標準ANSI C12.22、無線通訊協定Zigbee等；資訊

安全，如：北美供電可靠度關鍵基礎設施保護(North American Electric Reliability Corporation Critical Infrastructure Protection, NERC CIP)和國家標準與技術研究所報告National Institute of Standards and Technology Interagency Report (NISTIR) 7628指導方針等網路保護措施與安全準則；電動車，如歐盟新電動助力自行車(Electronically Power Assisted Cycles, EPAC)安全標準EN 15194。臺灣建置智慧電網過程中，需要參考不同技術所對應之相關法規，因時因地制定合適臺灣既有環境與未來發展之規範，且開發新技術之廠商應將相關資訊儘速提供給主管機關及電力公司，以避免這些法規跟不上新技術的發展。

4.2.4 評估制度的建立

明確的發展目標和正確的評估將能解決大部分發展智慧電網將會面臨到的問題，從國外的經驗得知評估制度的建立，將有助於智慧電網的穩健發展，故智慧電網的規劃除了技術面，更應該在法規面做審慎的計劃。臺灣可參

考國外相關制度，作為未來制度訂定的範本，例如美國GridWise Alliance (GWA)和Smart Grid Policy Center (SGPC)針對智慧電網的發展程度制訂Grid Modernization Index (GMI)，從政策、客戶參與和電網運轉層面做為發展的評估依據，如表5根據上述三個層面各節錄出五個做為評分依據的細項，將全美各州智慧電網的發展程度評分，表6為根據GMI評分標準中排名前15的州(GridWise Alliance, 2013)。

4.3 經濟面

4.3.1 獎勵政策

政府透過智慧電網及再生能源來改善環境品質、帶動相關產業、減少碳排放的同時，亦需考慮相關獎勵措施，如智慧電網投入之成本需能回收，有誘因使電力公司願意投入人力

及資本，另如再生能源電能躉購機制、獎勵示範、法令鬆綁、低利貸款、研發補助、租稅優惠…等方式提高民眾裝設再生能源與相關業者投資再生能源及智慧電網的意願。如以德國再生能源之發展為例，德國政府提供再生能源業者免除19%的增值稅、提供融貸、信保協助以增加業者投資誘因，此外德國再生能源電價費率計算方式採「保證成本回收制度」，使業者能安心投資，並設有創新獎勵及研發補助制度，使再生能源之相關科技可不斷創新，提升再生能源生產效率，德國政府對於發展再生能源的用心，使德國境內的再生能源產業蓬勃發展(裝置容量由2000年的12 GW成長至2010的55 GW)，成為全球發展再生能源成功的國家之一。(財團法人臺灣經濟研究院，2011)

而除了制定相關獎勵政策來提升業者的投資意願之外，政府在制定獎勵政策時須做更長

表5 GMI相關評估標準

三大面向	評分依據
政策	△檢示是否有對電網智慧化制定相關政策、法規；是否有要求電力提供者(Electric Service Providers, ESPs)提交智慧電網計畫？
	△是否有制定確保能源穩定供應之計畫、環境相關計畫及再生能源相關法規、標準？
	△是否有制訂相關法規，以審視電力供應商是否能保障用戶能源資訊之隱私？
	△是否有對民眾宣導電網現代化的一套完整計畫？
	△是否有智慧電網評估指標供立法及監督單位，使其能持續追蹤電網發展程度？
客戶參與	△電力公司是否有提供用戶動態電價？如：住宅及商業用戶之時間電價、尖峰電價、需量反應及虛功買賣…等。
	△是否提供客製化方法，使用戶能獲得即時的電價資訊？如：e-mail、手機簡訊、Twitter…聯絡方式。
	△是否有向客戶宣傳教育、分析智慧電網能帶來的好處和衝擊？
	△對於整合電網的新技術，如電動車、太陽能及儲能裝置…等，是否制訂相關費率標準？或是否制定相關稅率優惠制度？
	△是否有通訊平台能整合處理智慧電表所產生的數據資料，如：溫控、智慧家電…等系統？
電網運轉	△系統是否有規劃完善的儲能裝置？
	△電網是否有完善自癒能力？
	△電網是否安裝先進讀表基礎建設、相位監測單元…等設備？
	△地理資訊系統(Geographical Information System, GIS)是否和資產管理系統(Asset Management, AM)做整合？
	△變電站、線路開關…等位置之設備有無自動化？

表6 GMI評分標準中排名前15的州

Overall Score		Policy Score		Customer Engagement Score		Grid Investment Score	
California	83	California	27	California	30	Virginia	29
Texas	83	Illinois	27	Texas	30	California	26
Maryland	71	Texas	27	Arizona	24	Maryland	26
Delaware	67	Delaware	26	Nevada	23	Texas	26
Pennsylvania	67	Maryland	26	Ohio	21	Delaware	24
Arizona	65	Vermont	26	Pennsylvania	21	District of Columbia	24
District of Columbia	64	Pennsylvania	25	Maryland	20	Nevada	23
Ohio	64	Ohio	24	Oklahoma	19	Arizona	22
Nevada	62	District of Columbia	23	Delaware	17	North Carolina	21
Illinois	60	New York	22	District of Columbia	17	Pennsylvania	21
Florida	54	Arizona	20	Florida	16	Florida	20
Virginia	54	Maine	20	Connecticut	14	Georgia	20
Oklahoma	53	Florida	19	Virginia	14	Illinois	20
Vermont	52	Michigan	19	Illinois	13	Ohio	20
Maine	47	Oklahoma	17	Maine	13	South Carolina	20
				Vermont	13		

資料來源：2013 Grid Modernization Index, GridWise Alliance, July 2013

遠、全面的考量，避免錯誤政策導致產業發展陷入困境，正確的補助政策才能確保獎勵制度能永續實施，使智慧電網能穩健發展。以西班牙為例，西班牙政府提出極為優厚的太陽光電躉購費率政策，雖造就太陽光電市場的成功發展，但2008年大量設置太陽能發電設備後，反而導致政府財政支出遽增，因此不得不修改原有制度，最後使西班牙太陽光電市場整體崩潰(財團法人臺灣經濟研究院，2011)。

4.3.2 負載管理

推行智慧電網其中一項令人期待的原因是：客戶端的能源管理，期望藉由先進讀表系統的雙向通訊功能，使客戶能一同參與能源管理，如電動車電池之充放電，降低尖峰負載量。或是透過需量反應，使運轉調度能有更大彈性和空間，然而在臺灣由於基本電價偏低、住商用戶用電需求彈性較小…等原因，於住商用戶端的能源管理將面臨挑戰。電力公司和政府可以參考國外相關做法，例如：美國加州

PG&E電力公司與客戶簽訂契約容量、英國多元化的電價方案(如：階梯式電價、時間電價、即時電價、兩部制電價)、南韓以價制量的電價方式(許志義，2013)，並改良成適合臺灣的管理模式，以提高用戶在能源管理方面的配合度，若經濟誘因能符合用電戶期待，將可減少電力公司新/擴建電源，及舒緩夏季電力供應壓力。

5. 結 論

未來電網，隨著再生能源佔比的提高，新興的再生能源預期將會取代部分傳統電力，而不同再生能源各有其特性：間歇性、可調度能力、不易預測性、場址限制、設備成本以及甚多為非電業擁有及控制之再生能源發電，將會造成電力系統運轉、調度、供電可靠度與電力品質及安全的問題，如：在2011年德國因再生能源造成持續3分鐘以上的停電事故通報超過20萬次。

智慧電網的建置，從最初的規劃、評估、影響分析到因應對策，每一個環節都需要謹慎的去執行，找到屬於臺灣智慧電網發展的方向。而從國外的案例中，如：Xcel能源公司在科羅拉多州波爾德市建置智慧城市，於2008年底開始進行相關計畫，然而由於部分人士反對裝置智慧電表再加上Xcel能源公司錯估智慧電網相關的建置成本，使該計畫最後宣告失敗。智慧電網的運作與建置方式將有別於以往傳統的電力系統，明確具體的預期目標、面臨的障礙及所需因應對策、需要投資金額的準確評估和適當的相關產業政策及法規配套，將影響到智慧電網計畫能否成功，除了傳統電力領域的專業外，電力公司必須具備資通訊領域的知識，學習與汲取廠商系統整合的成功經驗，降低建置智慧電網的風險。

傳統電網升級成智慧電網後，增設許多新的設備儀器，電力公司無法在短時間將所有舊設備淘汰更新，因此未來勢必面臨到新舊設備、應用程式、技術、裝置等整合的問題，在設計規劃時需思考智慧電網如何將原有的系統與設備整合，如：配電系統在規劃新的通訊線路時，原有的建築物、設備是否會影響其通訊功能。以及思考如何降低設備維護費用，如：智慧電網建置需增設感測設備，若在偏遠地區，感測設備故障需要維修，將會增加電力公司額外的支出。

智慧電網將先進的資通訊技術應用於電力系統，新的技術與設備使電力公司既有的運轉調度程序，及客戶用電模式產生巨大的轉變，透過智慧電網的建置，預期能夠提升電力供應的效率、品質、可靠度與電力公司的經營績效，以及客戶主動參與能源管理並裝置更多再生能源，促進經濟的發展。

為了減少再生能源發電對電力系統之衝擊，先進國家都有各自的電網法規、併聯規範或是併聯指導原則，內容均著重於供電可靠度、電力品質和安全確保。為容納更多的再生

能源併入電網，結合智慧電網之監測、控制技術來管理和運轉再生能源將成為趨勢。智慧電網主要機制為考量地理環境、用電習慣與負載特性等因素差異，各國對其定義有些差異，但目標大都是以提升電力系統效率、增加系統可靠度與可容納更多再生能源為主。

而智慧型電網之基礎則在先進讀表基礎建設(AMI)，AMI建置常因其管轄區域及環境、用戶的分布戶數及用電特性，使不同電力公司有不同的功能要求，其中自動讀表、需量反應及提供用戶即時的用電資訊為最基本項目，除可支援電業與用戶端電力負載管理，降低尖峰用電量及提升使用端能源效率外，AMI亦可加速停電偵測進而提高供電可靠度，並可納入分散式電源之資訊，進而提升再生能源併網能力及管理，此係建構未來智慧電網的主要基礎建設，可分為三個部份：智慧電表、資通訊系統以及電表資訊管理系統(MDMS)，且由於各電力公司要求不盡相同(如有些電力公司希望有遠方遙控開關功能)，MDMS內涵(資料處理量、資料更新速度及功能要求…等)將互有差異，此將為電力公司選擇適當之通訊架構的重要考量因素。

近年來，政府相關能源政策的規劃與制訂，朝向推廣裝置更多的再生能源與減碳機制，未來幾年，再生能源之裝置容量將迅速成長，其特性(間歇性與不易預測性)對既有電力系統之衝擊，將促使現行的電力系統必須進行結構與運轉方式的調整，若能與智慧電網整合，可藉此協助電力公司將再生能源整合到電力系統的運轉與調度，藉以容納更多的再生能源，帶動相關產業發展，增加就業機會，同時減少碳排放量，使社會能永續發展，唯於規劃、發展佈建階段必需先針對預計遭遇的障礙有所了解以及思考所需的因應對策，此外，相關的產業政策及法規配套若能全盤思考將有助於未來能順利建置智慧電網及裝置更多的再生能源。

參考文獻

- 台灣電力股份有限公司，日本福島核災對我國及世界主要能源政策及電力市場改革方向之影響及啟示，2013，03。
- 財團法人臺灣經濟研究院，再生能源躉購及基金費率研析計畫(第一年度)，2011。
- 張哲瑜、李東璟，“國際智慧電網發展策略與現況”，經濟部能源局能源報導，2010，12。
- 陳斌魁、陳清山、黃欣媛、陳唯泰、張嘉諳、簡慧菁，離島風力併聯技術問題資料彙整，2006，12。
- 許志義，我國電力需求面管理之探討，2013，04。
- 經濟部能源局，智慧電網總體規畫，2011，12。
- 經濟部能源局，101年度智慧電網教育宣導與人才培育計畫教材，2013 (a)。
- 經濟部能源局，智慧電網新契機，2013，07 (b)。
- 經濟部能源局，中華民國101年能源統計手冊(再版)，2013，08(c)。
- 電動汽車資訊網，<http://tw.car.littleco.info/merit.html>
- Alcatel-Lucent, Creating Your Smart Grid—A HOW TO GUIDE, 2012.
- Andy Bane and Paul K. Bower, How to master Big data for the Next-generation Utility, ELECTRIC LIGHT & POWER, 1 May, 2013.
- Andre Christensens, Jason Green and Roger Roberts, Maximizing value from smart grid, April 2010.
- California State University Sacramento, Smart Grid Cyber Security Potential Threats Vulnerabilities And Risks, May, 2012.
- Changhee Cho, Jin-Hong Jeon, Jong-YulKim, Soonman Kwon, Kyongyop Park and SungshinKim, Active Synchronizing Control of a Microgrid, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 26 No.12, December 2011, pp. 3707-3719.
- Department of Energy, Fact Sheet: Tehachapi Wind Energy Storage Project, Oct, 2012 <http://energy.gov/oe/downloads/fact-sheet-tehachapi-wind-energy-storage-project-october-2012>.
- European Smart Grid Platform Technology, Vision and strategy for Europe's Electricity Networks of the future, 2006.
- European Smart Grid Platform Technology, Strategic Research Agenda for Europe's electricity Networks of The future, 2007.
- European Smart Grid Platform Technology, Strategic Deployment Document for Europe's Electricity Networks of the Future, European Smart Grid Platform Technology, April, 2011.
- Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety, Renewable Energy sources in figures, July, 2013.
- Hassan Farhangi, The Path of the Smart Grid, IEEE Power and Energy Magazine, Vol. 8 No. 1, 2010, pp. 18-28.
- Ashish Gupta and Arun Vyas, Big data analytics in MDM and smart grid, 11 July, 2013.
- GridWise Alliance, A Smart Grid: What is a Smart Grid? , 2011, <http://www.gridwise.org/>
- GridWise Alliance, 2013 Grid Modernization Index, July, 2013.
- Marisa Helms, The lessons of smart grid test in Boulder, 24 April, 2013.
- Landis+Gyr, What utility should know about their customers, October, 2012(a).
- Landis+Gyr, Smart Grid Privacy Policies: What's Happening Now, October, 2012(b).
- Paul De Martini, K. Mani Chandy, and Neil Fromer, Grid 2020 Towards a Policy of Renewable and Distributed Energy Resources,

- California Institute of Technology, September, 2012.
- Massachusetts Institute of Technology, The Future of the Electric Grid, 2011.
- Sharelynn Moore, and Stephen Butler, Active Smart Grid Analytics™ Maximizing Your Smart Grid Investment, Itron, 2009.
- Quirin Schiermeier, Renewable power: Germany's energy gamble, Nature, 10 April, 2013.
- Sierra Energy Group, AMI and DA Convergence: Enabling Energy Savings through Voltage Conservation, September, 2010(a).
- Sierra Energy Group, Smart grid starts with smart design, April, 2010(b).
- Smart Grid Update, Expert viewpoint-Smart grid technology trends 2011, April, 2011.
- Dr. Subramanian V. Vadari, Senior Member, IEEE, and Mike Davis, Investigating Smart Grid Solutions to Integrate Renewable Sources of Energy into the Electric Transmission Grid, 2009.

Challenges in the Development of Smart Grid and Renewable Energy

Chia-An Chang¹ Bo-Ren Lan^{2*} Yan-Jun Lin² Ting-Chun Lo²
Cheng-Hong Lu² Ren-Hau Liu² Bin-Kwie Chen³

ABSTRACT

The relationship between human and electric energy has been getting closer and closer since the incandescent light bulb was invented. Applications of electricity can be seen everywhere in our daily lives, ranging from such small home appliances as television sets and refrigerators to big manufacturing systems. However, due to climate change and the fact that most developed countries have been encouraging developing renewable energy in recent ten years, present power systems encounter various difficulties such that they won't be able to meet the requirements for safety, reliability and quality of electricity service. Besides, in the process of improving commercial performance of electricity utilities, saving energy, and integrating more renewable energy, authorities hope to promote emerging industries and create job opportunities by invention; therefore, they plan to reconstruct present systems to make them adapt to the getting complex power system dispatching. As a result, the combination of traditional power system and Information and Communication Technology-smart grid emerges.

Due to the government's strong support, Taiwan's power system is orienting toward intelligentized system and toward renewable energy with high penetration. Nevertheless, Taiwan is an isolated island and its power system does not connect to other power system so its sustainability to renewable energy is comparatively low. It is therefore more meaningful to develop smart grid in Taiwan. However, building electric infrastructure is more difficult than before due to the rising growth of environmental protection consciousness. Whether smart grid and renewable energy can be successfully developed will rely on the aid of policy and technique. This text discusses the challenges which will be encountered while smart grid and renewable energy are to be developed in Taiwan in terms of technique, policy and economy, and then proposes corresponding solutions. This text is expected to provide some guidelines for the development of smart grid and renewable energy in Taiwan.

Keywords: Smart Grid, Renewable Energy, Smart Meter

¹ Doctoral candidate, Institute of Electrical Engineering of Tatung University

² MS student, Institute of Electrical Engineering of Tatung University

³ Professor, Institute of Electrical Engineering of Tatung University

* Corresponding Author, Phone: 02-2182-2928 #3470 #672, E-mail: johnblue1991@hotmail.com

Received Date: Nov. 27, 2013

Revised Date: Jan. 21, 2014

Accepted Date: Feb. 07, 2014