

因應我國智慧電網技術發展與高占比再生能源 併網運作趨勢之對策研究

陳在相¹ 楊念哲² 楊正光³ 曾威智^{4*} 陳子揚⁵ 林維哲⁶

摘 要

現今，溫室效應的日趨明顯、智慧電網技術的快速發展、再生能源發電占比的不斷提高，已使「低碳社會」、「非核家園」、「永續能源」等政策不再流於口號，而是可以實現的目標，必須努力踐行的政府永續發展政策宗旨。然而，由於風力發電系統與太陽光電發電系統等之發電受天候、時間、季節變化等的影響甚大，具相當之不確定性。再者，儲能系統將為未來電網多元能源發電系統整合與調度不可或缺的設備，電業若不及早投入電網級儲能系統的研發、裝設、控制、整合管理與協調調度，未來勢將無法供應乾淨、穩定、低價與可靠的電力，更難使電網中各種各類能源資源為平穩之協調與互運。因此，我國電網如何優化及相關法規體系如何規劃等之探討實為當務之急，方利因應我國未來電業自由化、智慧化、低碳化等之發展。本研究除蒐集國內外電網相關技術與法規資料、探討智慧電網技術之發展與趨勢、評估臺灣電網優化之方法與策略外，尚參考國外分散式再生能源系統併網運轉之調度與管理機制，俾博徵廣引，研提出我國妥適之電網優化策略及法規體系規劃建議。

關鍵詞：智慧電網、微電網、再生能源、分散型電源、電力網、電力品質

1. 全球能源發展現況

1.1 全球能源發展現況與問題

本節先就全球能源發展現況與問題為論述，並以美國、歐盟、日本、韓國、中國大陸等能源技術先進國或能源耗用大國或地區為探討對象，我國部分將另闢一節為析論。

1.1.1 歷史能源占比分析

根據IEA 2013年的世界能源展望(WEO)分

析，西元1987年到2011年，全球主要能源需求依賴石油、煤與天然氣，對再生能源與核能的依賴相對較低。西元2011年以後，則以天然氣與再生能源為主要能源需求，如圖1所示。

1.1.2 溫室效應

因溫室效應的影響，全球的氣溫逐年增加，比較各專業機構較早期的預測，可以看出大部分的變化趨勢都與實際量測值吻合，以圖2的聯合國政府間氣候變遷專門委員會(IPCC)的預測為例，在2012年時，溫升約為0.5°C，這

¹ 臺灣科技大學電機系 特聘教授

² 元智大學電機系 助理教授

³ 臺灣綜合研究院 研究員

⁴ 元智大學電機系 博士生

⁵ 元智大學電機系 碩士生

⁶ 臺灣科技大學電機系 碩士生

*通訊作者, 電話: 0910-578745, E-mail: a313243451@gmail.com

收到日期: 2015年01月05日

修正日期: 2015年03月17日

接受日期: 2015年04月13日

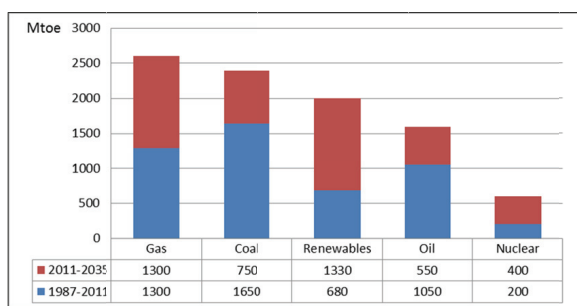


圖1 全球主要能源需求(IEA, WEO 2013)

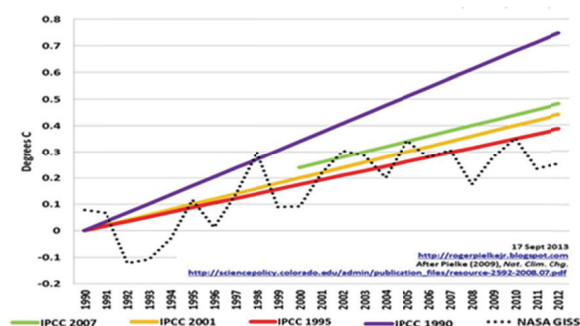


圖2 IPCC全球平均溫度預測(IPCC, 2013)

表示在早期溫升並沒有太大的變化，而到了21世紀我們終於意識到控制全球溫升的重要性。IPCC在第五份氣候變遷報告(AR5)中指出，若我們不能在本世紀末將全球溫升控制在 2°C 以下，將帶來毀滅性的改變。

圖3與圖4為GNU Free與IPCC對2100年的全球溫升趨勢預測圖，由這兩張圖可知，兩個專業機構對全球溫升皆預測在21世紀末會超過 2°C ，前文已提及IPCC的AR5指出，溫升超過 2°C 會產生重大的氣候危機，因此使用能源型態轉變有其必要性與急迫性。

圖5為美國核能管理委員會(NRC)對IPCC三種方案所做的分析。三個方案都從2011年預

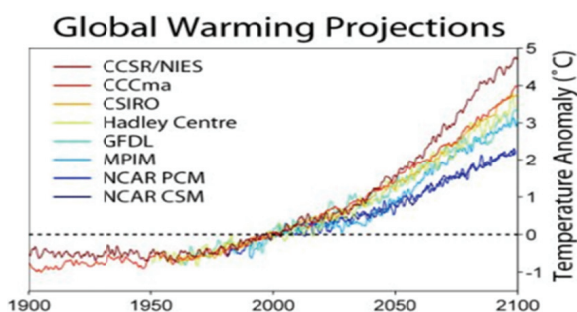


圖3 全球溫升預測圖之一(GNU Free彙整, 2000)

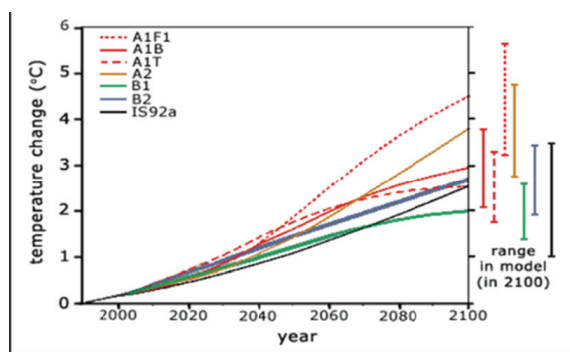


圖4 全球溫升預測圖之二(IPCC assessment report, 2001)

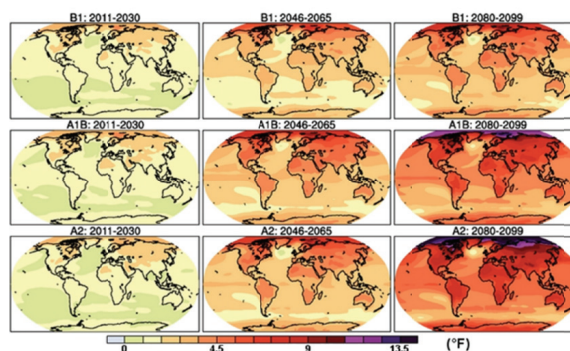


圖5 全球溫升地圖(NRC, 2010)

測到2099年，分別為：B1—低碳排放方案、A1B—中高碳排放方案與A2—高碳排放方案。從這些圖可以看出，若我們不積極發展再生能源與節約能源，全球溫升只會越來越劇烈。

1.1.3 溫室效應影響

吐瓦魯為位於南太平洋的島國，由於地勢甚低，溫室效應造成的海平面上升會是非常大的威脅。由圖6可以看出平常在晴天的時候，吐瓦魯的海岸是如此美麗。一旦下雨，就會變成如圖7的景象。對於遊客來說，吐瓦魯是一個適合好天氣來度假的天堂；對於當地島民卻是



圖6 吐瓦魯海岸風光(biologicalfreak, 2013)



圖7 吐瓦魯海潮(地球日在吐瓦魯(二)—與世界分享吐瓦魯之美，2010)

無盡的夢魘，儘管造成溫室效應的禍首不是他們，仍必須承受溫室效應帶來的苦難。

1.1.4 京都議定書

京都議定書是聯合國氣候變化綱要公約的補充條款，在1997年簽署，其目標為「將大氣中的溫室氣體含量穩定在一個適當的水平，以保證生態系統的平滑適應、食物的安全生產和經濟的可持續發展」，從1995年開始對此議題的會議概要，其中在2012年原本就要結束此議定書，但最後被同意延長至2020年，被稱為後京都議定書時代。圖8為全球京都議定書參與國。

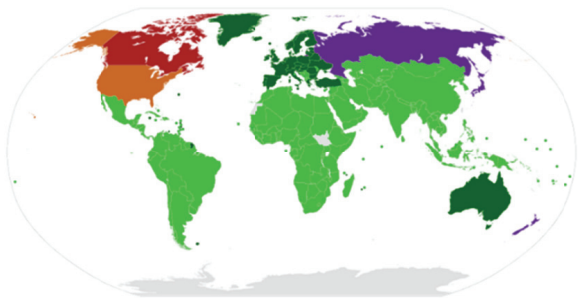


圖8 全球京都議定書參與國(Creative Commons BY-SA 3.0)

由表1可以看出，先進國家如美國、加拿大與俄羅斯等並不願意遵守後京都議定書。圖9為過去不同地區的碳排放量。此圖指出這些先進國家為鞏固自身經濟利益，不願遵守後京都議定書，仍排放大量的二氧化碳。因此，從某個角度來看，後京都議定書只是一個鞏固強國利益與避免開發中國家與第三世界崛起的手

表1 京都議定書參與國家顏色意義(列出各顏色代表的意義)

墨綠色	既是締約國又批准了條約之條約綱要控制國家
綠色	既是締約國又批准了條約之非條約綱要控制國家(開發中國家)
紫色	曾經是締約國又批准了條約之條約綱要控制國家，但在後京都議定書時代退出
紅色	締約並批准國家，但在後京都議定書時代退出
橘色	締約但拒絕批准的國家
灰色	未參與或無資料

資料來源: Creative Commons BY-SA 3.0

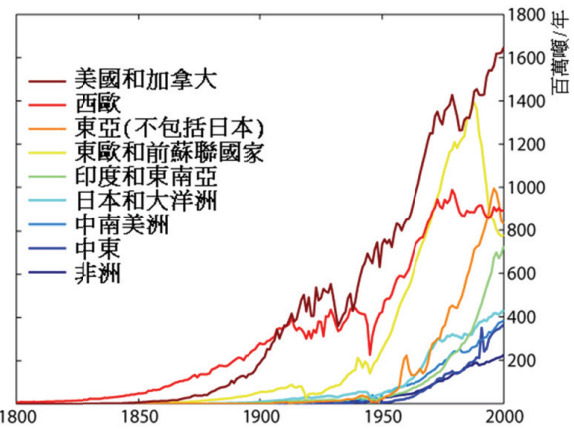


圖9 不同地區的碳排放量(Creative Commons BY-SA 3.0)

段。

後京都議定書雖然多了很多國家參與，但由於美國、加拿大、日本、俄羅斯等高碳排放量先進國家皆不願意簽署，因此，許多專家認為此議定書的效果有限，若沒有更積極的減碳計畫，要將全球溫升控制在2°C的目標，基本上是很難達成的。根據過去的締約方大會(COP)的談判情形，各國的主張與立場都不太一樣，難以達成共識，而且第二期間又加入了更多國家，想必在未來的COP會議中，各國的談判會更加激烈，難以達成共識，進而影響全球減碳的成效與速度。

1.1.5 歷史再生能源占比分析

圖10是全球近年來風力發電累積裝置容

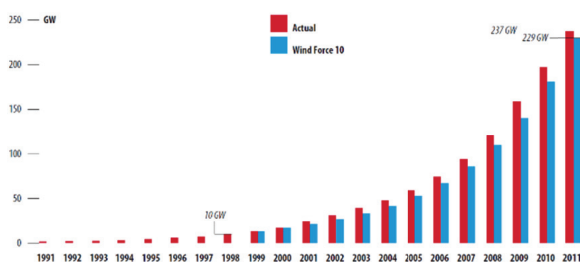


圖10 全球累積風力發電裝置容量(Global wind energy outlook, 2012)

量。在西元2000年以前，風力發電並不受重視，在1998年，風力發電累積裝置容量僅有10 GW。西元2011年實際累積裝置容量已達237 GW，大約是1998年的24倍。

國際能源署(IEA)在2011年統計了全球近年來主要能源的供應比例，如圖11所示，可看出在早期處高度發展的時代，大量使用煤炭與石油。IEA也統計了2007年再生能源的占比，如圖12所示，可看出當時是以水力為主，太陽光電幾乎為零，即使到了2009年，太陽光電的占比仍然微乎其微。

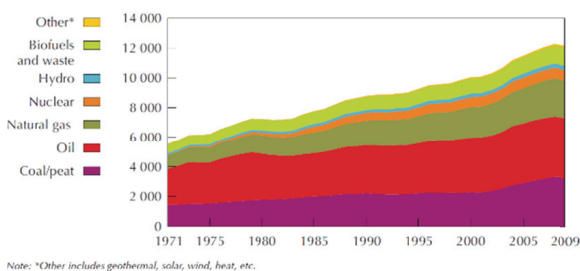


圖11 全球每年能源使用量(IEA, 2011a)

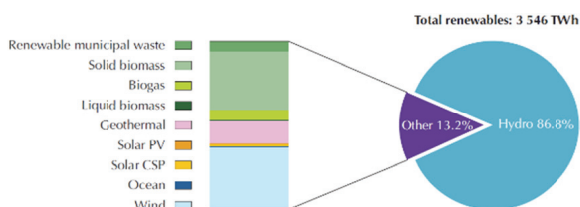


圖12 全球2007年再生能源占比(IEA, 2011b)

儘管相較於其他能源，太陽光電的裝置容量微乎其微，但從圖13可知，全球太陽光電的累積裝置容量有逐年增加的趨勢，從2005年的5 GW成長到2010年的40 GW，在短短的五年內增加近5倍。

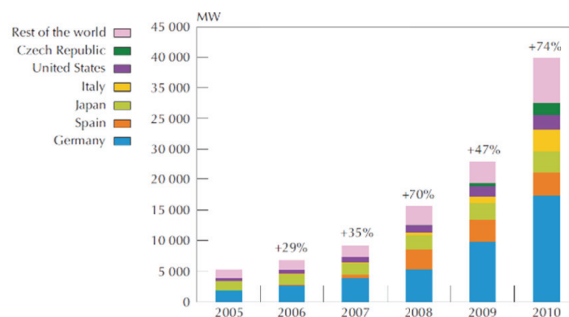


圖13 各國累積太陽光電裝置容量(IEA PVPS, BNEF, BP Statistical Report)

1.1.6 再生能源占比預測

太陽光電：預估全球新及再生能源的發展，在未來數十年間會持續地快速成長。圖14為全球太陽光電累積占比。雖然每個機構的預測並不相同，但卻有相似的成長趨勢，預估在2030年，最大太陽光電累積占比約為9.1%，在2050年，全球平均的太陽光電累積占比約為12%。而根據歐洲太陽光電工業協會(EPIA)的全球太陽光電累積占比預測，在最理想的情境之下，將從2020年的4%，一路攀升至2050年的21%。

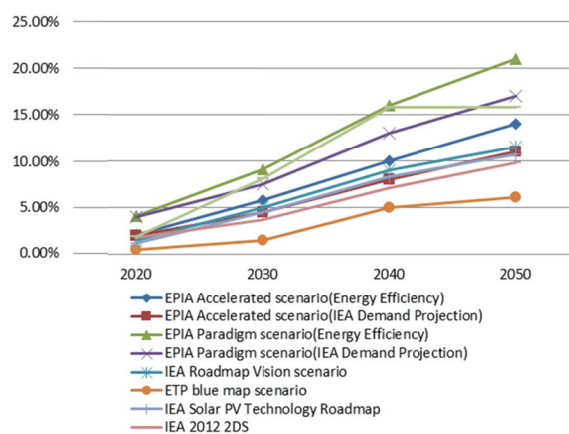


圖14 全球太陽光電累積占比(本研究彙整)

風力發電：圖15為全球風力發電累積占比，上升幅度較太陽光電更為快速。除了各機構的高再生能源占比情境外，大部分的趨勢線都是跟著新政策(New Policy scenario)走。而若各國能積極發展再生能源，根據全球風能協會(GWEC)的先進高效情境，2030年全球風能的

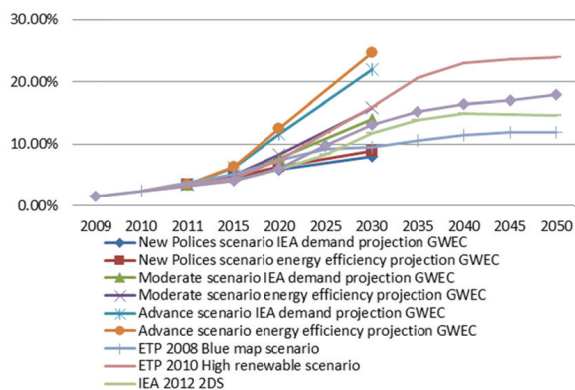


圖15 全球風力發電累積占比(本研究彙整)

累積占比即可達到24.8%。

EPIA在2010年的Solar generation 6中，針對各國太陽光電占比做出三種不同的情境，其中在圖16的典範情境中，在2030年，中國大陸將成為太陽光電顯著發展地區，此時歐洲、北美與中國大陸，分別占34%、25%與13%。

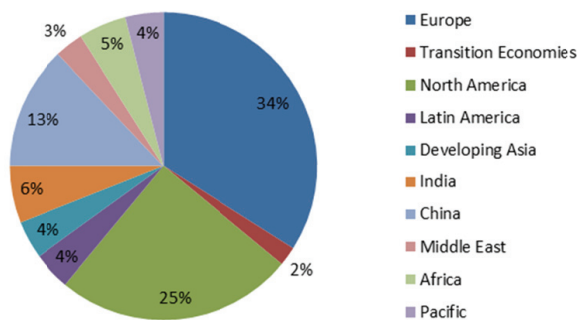


圖16 各國太陽光電占比(EPIA, Solar generation 6 Paradigm scenario, 2030)

風力發電方面，GWEC也提出三種情境來做比較，其中在圖17的領先情境中，在2030年，全球各地區皆多有發展，此時歐洲、北美與中國大陸，分別占19.73%、26.21%與

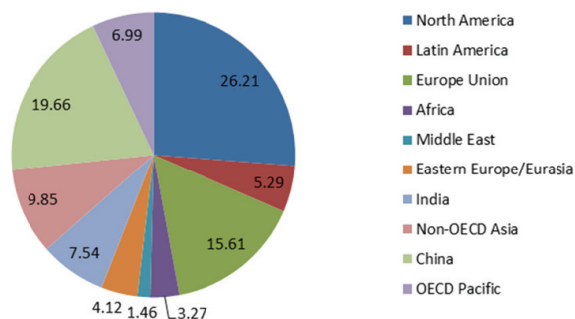


圖17 各國風力發電占比(GWEO, 2012 Advance scenario, 2030)

19.66%。

上述內容指出，除北美地區、歐盟與中國大陸的發展，其他地區亦開始發展，值得一提的是中國地區的風力發電在2030年的領先情境中，占比超越了歐盟，這與太陽光電不同，再一次顯露出中國大陸對風力發電的企圖心。

1.1.7 再生能源裝機容量預測

預估全球新及再生能源的發展，在未來數十年間會持續成長。圖18為各機構對全球太陽光電累積裝機容量所做的預測，大致上在2020年都還不到1,000 GW，而根據EPIA預測，最理想的情況下，預測會一路攀升至2050年最高約4,600 GW。

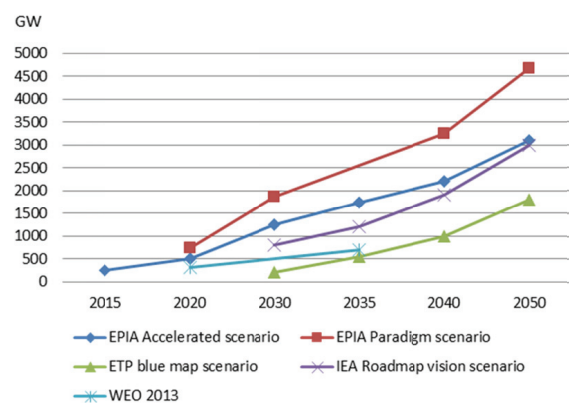


圖18 全球太陽光電累積裝機容量(本研究彙整)

圖19則為各專業機構對全球風力發電累積裝機容量所做的預測，除GWEC的適度與領先方案外，各機構的預測量趨近於一致，預計在2050年的時候，可以達到2,000 GW。從上節各方案的占比可以發現，由於新政策的擬定都是

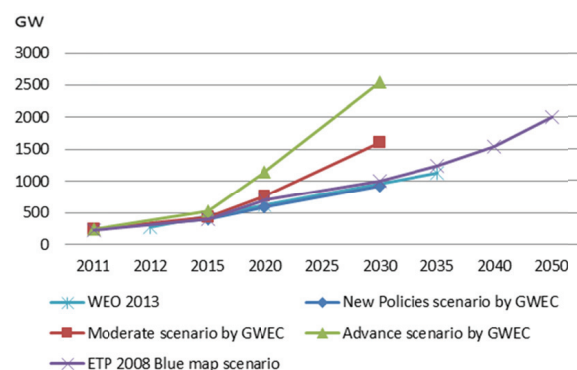


圖19 全球風力發電累積裝機容量(本研究彙整)

根據大國的想法去做，因此若跟著新政策走，大國的占比不太會有變動，但若是各國發展較積極，則根據GWEC的領先方案，在占比的配置上將使得大國的占比減少，且裝機容量在2030年即可達到2,500 GW。

1.1.8 碳交易

碳交易是京都議定書中為促進全球減少溫室氣體排放所擬訂的溫室氣體排減量交易。其中被要求排減的溫室氣體中，二氧化碳(CO₂)為最主要改善的項目之一，此交易以每噸二氧化碳當量(tCO₂e)為計量單位，通稱為「碳交易」。其交易市場稱為碳市場(Carbon Market)。

1.2 我國能源發展現況與展望

本節將就我國能源發展現況與展望為析論，首先探討新及再生能源在我國的利用率與技術瓶頸，接著探討我國若無法繼續使用核能發電，對二氧化碳排放量及備用容量率所可能帶來的衝擊。

1.2.1 現況與問題

● 歷史能源占比分析

我國早期的電力供應以水力發電為主，民國40年代初期水力與火力占比約為80%比20%。之後人口逐年增加，經濟成長迅速，用電需求增加，水力發電無法滿足用電需求，開始擴大火力電廠的開發，並形成以火力為主局面；67年核能機組加入發電行列後，發電結構趨多元化；79年大林五號機及氣渦輪機改燃氣後，燃氣發電容量逐年增加；截至102年底，火力發電容量占比達72.5%，另再生能源加上水力占比也逐漸提高至8.7%，如圖20所示。

圖21為台電歷年發電量占比，在民國70年以前，火力發電則大多以燃油為主，70年後則以燃煤與燃氣為主，可看出雖然天然氣擁有最高的裝置容量，但發電量占比卻比燃煤還少。近年來各國皆積極發展再生能源，但目前

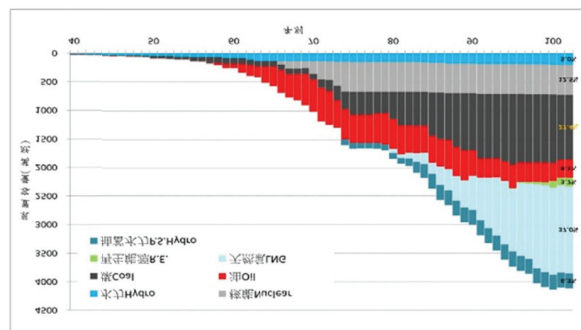


圖20 台電歷年裝置容量占比(台灣電力公司網站-台電歷年裝置容量比，2014)

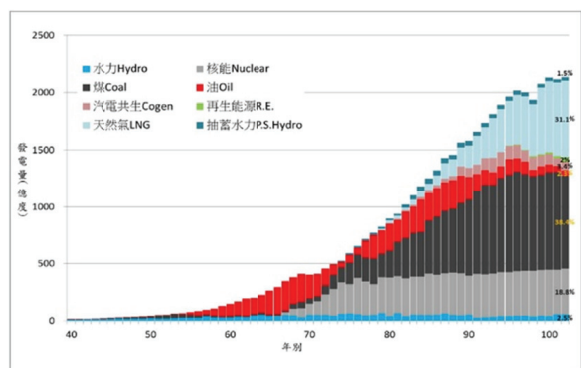


圖21 台電歷年發電量占比(台灣電力公司網站-歷年發電量佔比，2014)

我國主要的發電能源仍以火力為主，102年的占比達75.2%，其中燃煤38.4%、燃油2.3%、燃氣31.1%、汽電共生3.4%，再生能源加上水力占比為4.5%，核能為18.8%。

● 技術瓶頸：再生能源發電的不穩定性

我國102年再生能源總裝置容量合計為3.8 GW，約佔所有發電設備的7.8%，其中以水力發電占比為最大，但水力發電的發展受到環境限制，在臺灣發展空間有限，政府轉而推動千架海陸風力機與陽光屋頂百萬座計畫，持續推動再生能源發展，但風力發電與太陽光電仍有其發展限制。

風力發電需仰賴良好的風場條件，但我國多山，風力發電機以建置在西部海岸沿岸地區較具經濟性，然裝置容量有限，且風力時有時無，無法作為穩定的供電來源，平均每天發電時數約6~7小時，設備利用率僅約28%。若建置者為陸域風力發電機，會因噪音與閃爍的問題遭鄰近居民抗爭；若建置者為離岸風力發電

機，則成本甚高，且建置工程較陸域者困難許多，更重要的是我國夏季為用電高峰期，卻是風力最弱的季節，如圖22所示。

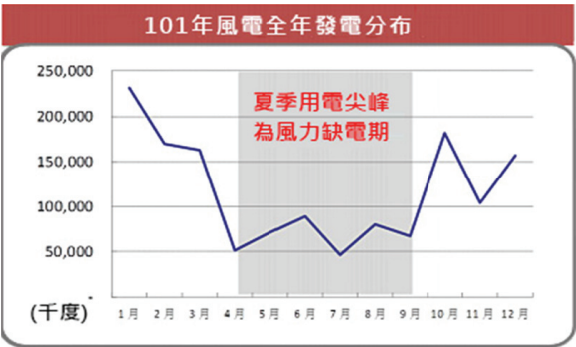


圖22 101年我國風電全年發電分布(經濟部期刊-臺灣再生能源發展受限，2013)

圖23為台電在配合穩健減核的政策下，計劃在民國115年時，將核能發電量減少至0%，縱使我國積極配合再生能源發展政策，但實際能發展的再生能源仍相當有限，在115年，再生能源的發電量占比也不過約10.6%，仍有八成以上的發電來源是藉由火力發電，因此非核家園與節能減碳之間的取舍，仍有待探討。

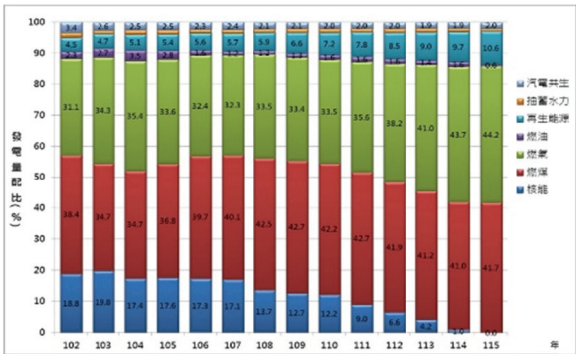


圖23 配合穩健減核政策之能源發電量占比(台灣電力公司網站-未來電力供需情形，2014)

1.2.2 展望與挑戰

● 能源使用量預測

為因應新的經濟情勢，台電2014年發布長期負載預測10302案。本案假設未來經濟年平均成長率：103~107年為3.49%，108~112年為3.24%及113~114年為2.82%等前提下，並扣除需求面管理預期成效後，預估未來台電系統之

尖峰負載將由102年的3,395.7萬瓩，逐年遞增至114年的4,229.3萬瓩，103至114年平均每年成長1.8%；供電量則由102年的2,098.5億度，逐年遞增至114年的2,636.6億度，103至114年平均每年成長1.9%。

● 新及再生能源的開發與利用

為因應未來的負載需求，經濟部能源局在103年5月12日修訂了我國再生能源開發目標，如表2所示，預計119年我國再生能源總裝置容量將達13,750 MW。

表2 我國再生能源開發目標(單位: MW)

能源別	102年	104年	109年	114年	119年
陸域風力	614	841	1,200	1,200	1,200
離岸風力	0	15	320	1,520	3,000
水力	2,081	2,089	2,100	2,150	2,200
太陽光電	392	842	2,120	4,100	6,200
地熱能	0	4	66	150	200
生質能	740	745	768	813	950
合計	3,828	4,509	6,574	9,933	13,750

資料來源：能源局2011年07月能源報導－能源話題，2014

1.3 本章結論

本章主要探討全球能源發展現況與展望，前述各節已就北美、歐洲與中國大陸等重點地區之能源發展現況與展望做一簡介。由本章所蒐集之資料可知，各地區能源發展現況與展望因各國國情、電網結構強度與系統運轉環境影響，各地區能源發展趨勢間存有些許的差異性。為能進一步瞭解各地區間能源展望之差異，本節綜合前述圖14、15、16、17，彙整出2030年全球、北美、歐洲與中國大陸等三大地區之風力發電與太陽光電預估最大占比，如表3所示。

由表3可看出在最理想的情境下，2030年之風力發電約占全球能源的24.8%，而太陽光電則為9.1%，顯示由於風力發電的設備利用率

表3 各地區再生能源發展趨勢比較表(本研究彙整)

地區	最大占比(%)		最大占比排名	
	風力發電	太陽光電	風力發電	太陽光電
全球	24.8	9.1	-	-
北美地區	26.21	25	1	2
歐洲地區	19.73	34	2	1
中國大陸	19.66	13	3	3

較太陽光電來得高，因此，風力發電在全球能源的占比為最高。接著列出北美、歐洲與中國大陸等三大地區占全球再生能源的比例，風力發電方面北美占第一位，雖然中國大陸看似略少於歐洲地區，但歐洲包含許多國家，而中國大陸僅為單一國家，占比卻如此高，可以看出中國大陸對風力發電的企圖心。太陽光電方面則由歐洲占第一位，中國大陸由於著重與風力發電，因此太陽光電方面的表現尚非突出，但仍居全球第三。

我國目前正在推動陽光屋頂百萬座與千架海陸風力機的計畫，預計在2030年，陸域風機裝置容量可達1.2 GW、離岸風機裝置容量可達3 GW、太陽光電設置容量可達6.2 GW。

2. 全球電網發展趨勢

2.1 全球電網發展現況與展望

傳統電網結合資通訊、控制和電力電子等技術，以提升電網的效能，使其能夠應付21世紀的種種挑戰，各國智慧電網發展現況與展望整理如下：

2.1.1 美國

● 現況

2005年，美國能源部(DOE)與美國國家能源技術實驗室(NETL)提出了現代電網策略

(Modern Grid Strategy)。

美國2007年「能源獨立與安全法案」(Energy Independence and Security Act, EISA)中，已將智慧電網獨立列為第13條款，成為聯邦政府推動智慧電網法源。

2009年總統歐巴馬提出「美國復甦與再投資法案」(American Recovery and Reinvestment Act, ARRA)，其中對智慧電網及相關設備之投資額達45億美元，投資補助對象包括智慧電表、智慧電網區域實證及儲能實證等，希望透過對智慧電網之投資，刺激景氣復甦及提供就業機會。

如圖24所示，根據Greentech Media (GTM)的研究報告，全美發展智慧電網之前十大州為：加州、科羅拉多州、佛羅里達州、馬薩諸塞州、紐澤西州、紐約州、北卡羅萊納州、俄亥俄州、賓州及德州(TOP 10 States leading U.S. smart grid deployment)。

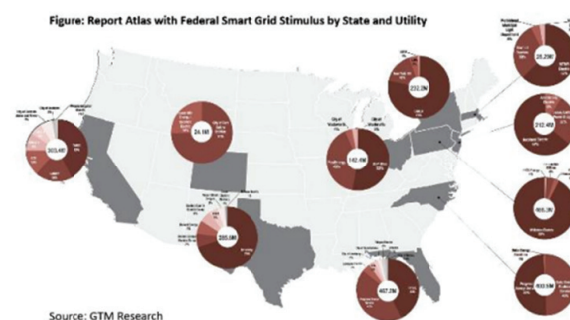


圖24 美國智慧電網發展前十大州
資料來源: GTM Research

● 展望

美國電力研究院(Electric Power Research Institute, EPRI)於2001年提出智慧電網概念後，為使美國電力系統升級，制定Grid2030計畫，將應用資通訊技術(ICT)提升電力系統運行及控制效率，建構有效率且可靠之電力網路。表4為美國Grid2030計畫目標和願景Grid 2030 - Federal Energy Regulatory Commission。

● 美國分散型電源併入電網之相關規範

1. IEEE Std. 1547

IEEE Std. 1547係適用併網於一次或二次配

表4 美國Grid2030計畫目標和願景(EPRI, Grid 2030, 2001)

輸電	配電	需求側管理	監管框架
第一階段 2010年			
<ul style="list-style-type: none"> ● 超導骨幹輸電網路可行性驗證 ● 協調式區域輸電網路規劃與運轉 ● 提供所有電網運轉人員透明即時信息 ● 多個10英里長超導電纜的布建 ● 對擁塞區域進行第一個超導電力樞紐(中轉站)的先期規劃與初步布建 ● 智慧、自動的電網運轉原型 ● 多數新建輸電線路採用複合導線 	<ul style="list-style-type: none"> ● 智慧配電可行性驗證 ● 實現遠距停電檢測 ● 分散式發電/分散式資源(DG/DR)的即插即用協議 ● 定義智慧自動化系統的架構 ● 改進配電系統與設備的使用及降低成本 	<ul style="list-style-type: none"> ● 需求側管理計畫更廣域應用 ● 智慧用電器具可行性驗證 ● 用戶側分散式電源/熱電聯產(DG/CHP)的廣大使用 	<ul style="list-style-type: none"> ● 國家立法明確管制事項 ● 促進公有-私營部門間研發/布建夥伴關係的蓬勃發展 ● 實現對所有行業與區域可行的市場 ● 充足的公用補助金確保服務普及化 ● 由州政府負責解決以性能基礎的監管、計量與定價問題
第二階段 2020年			
<ul style="list-style-type: none"> ● 全美國半數的電力透過智慧電網輸送 ● 建置長距離超導電纜；超導電力中轉站在幾個都會區運轉 ● 平均電網損失降低50% 	<ul style="list-style-type: none"> ● 分散式發電/分散式資源(DG/DR)技術完全整合到配電系統的運轉作業中 ● 智慧自動化體系架構布建 ● 信息與電力的即時、雙向傳送 	<ul style="list-style-type: none"> ● 所有用電器具具智慧功能 ● 大、小用戶均可進入電力市場，接取即時信息，並作控制 	<ul style="list-style-type: none"> ● 穩定、公平監管架構的落實 ● 促成任何可行的競爭性市場
第三階段 2030年			
<ul style="list-style-type: none"> ● 建置具有故障電流限制器與變壓器的超導骨幹輸電網路 ● 兩個區域電網 ● 100%電力潮流透過智慧電網輸送 	<ul style="list-style-type: none"> ● 低成本、小容量儲能 ● 布建超導電纜與設備 	<ul style="list-style-type: none"> ● 全自動的需量反應 ● 布建低成本的現地儲能設備 ● 用戶與電網的完全互連 	

資料來源：Grid 2030 - Federal Energy Regulatory Commission

電系統，且發電容量在10 MVA以下之分散型電源之併網技術規範(IEEE 1547, 2012)。

2. IEEE Std. 929

IEEE Std. 929係針對容量小於或等於10 kW之PV系統所制訂之併網技術規範(IEEE Std 929, 2006)。

3. UL 1741

UL 1741針對分散型能源資源相關設備及互連系統設備訂定標準(UL 1741, 2010)。

4. 加州併聯辦法

加州的公用事業委員會(California Public Utilities Commission)於2000年大幅度修改1980年即起用的Rule 21，以供小型淨能源計量系統(small, net energy metered systems)簡化併聯用(California Rule 21, 2014)。

5. 德州併聯辦法

德州公用事業委員會(The Public Utility Commission of Texas, PUTC)編纂分散型電源併網手冊(Distributed Generation Interconnection Manual)用以指導分散型電源併入德州的電力網

運轉，允許民營電力公司併入公共電網運轉，使得德州居民具有自由選擇電力公司的權利。

2.1.2 歐盟

● 現況

歐盟為解決能源短缺及確保環境永續，歐盟能源與氣候綜合方案(EU Energy and Climate Package)設定在2020年前須達成20-20-20目標，即：(1)相較於1990年的排放水準，減少20%的溫室氣體排放、(2)再生能源占總能源供應的20%、(3)減少20%的初級能源使用。

● 展望

目前歐盟智慧電網相關規劃，總投資金額近50億歐元，未來可整合集中式與分散式兩類電源之電網結構示於圖25中。

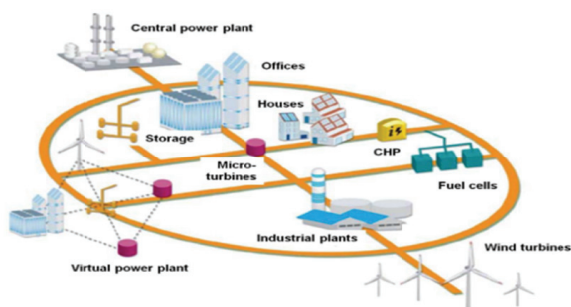


圖25 歐盟整合集中式電源及分散式虛擬電廠之未來電網結構(林法正，智慧電網與讀表主軸專案計畫簡介，2011/12)

● 歐盟分散型電源併網相關規範

德國居全球再生能源發電領域領導地位，其再生能源發電與併網規範足為全球楷模與發展指標。德國分散型電源併聯規範依電壓等級分成：低壓、中壓及高壓與超高壓(E.ON 2006; VDN, 2004, 2007; VDE 2011; BDEW 2008; Danfoss, 2011; M. Arnold, 2013; T. Degner, 2009; I Erlich, 2006)。

2.1.3 日本

● 現況

日本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發展，期達到低碳社會的目標。

● 展望

日本建構智慧電網之目的為發展再生能源，期達到低碳社會的目標。據此，日本經產省在2010年主導選出4個城市，進行為期5年之智慧電網示範驗證計畫，這四個城市分別為橫濱市、愛知縣豐田市、京都府(關西大學學術研究都市)以及北九州市。此計畫不但有許多國內企業參與，亦加入國外廠商以強化其建置能量，這四個示範地區各自訂有不同的減碳目標，亦期望皆能如期達成。

● 日本分散型電源併網相關規範

「分散型電源系統連系技術指針」係日本電氣技術規格委員會針對其國內分散型電源併接至電力公司電網所訂定之規範。此一規範涵蓋低壓、高壓、特高壓以及重點網路等系統。內容包括電壓變動、短路容量、保護協調以及通訊連結等多項(日本電氣協會，「系統連系規程」，2012)。

2.1.4 韓國

● 現況

「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，目前該國是以濟州島作為智慧電網的示範場域，示範內容包含：電動車、再生能源及節能住宅，如圖26所示。



資料來源：Smart Grid Roadmap & DR in Korea, http://itc.tier.org.tw/2010/ppr/3-3_Dr_ChangHoRhee.pdf

圖26 濟州島舊左邑智慧電網示範區

● 展望

2009年韓國知識經濟部(Ministry of Knowledge Economy)公布韓國之智慧電網計

畫，以占全球智慧電網20%市場為目標。就時程而言，分三階段執行，第一階段(3年為期)進行技術驗證，第二階段(7年為期)進行大區域系統建設、第三階段(10年為期)進行全國智慧電網建設，合計20年的長期計畫。推動策略分成智慧電網、智慧消費者、智慧運輸系統、智慧再生能源及智慧電力服務5大策略。詳細內容如表5所示。

● 韓國電力公司規定之分散式電源接入電網技術標準

韓國為國際推動智慧電網最積極的國家，整個濟州島都是示範場域，因此對於電網的電力品質與安全規範，皆有嚴格的規範，如電壓、頻率、電壓變動、電壓閃爍、諧波、功率因數以及直流注入等相關規範(韓國電力公司，

2013年)。

2.1.5 中國大陸

● 現況

中國大陸智慧電網的發展主要著重在再生能源的發展建設與電網升級。中國政府在2012年將智慧電網列入十二五計畫中，預計投資近兩兆元人民幣進行智慧電網的全面建設。

● 展望

中國大陸智慧電網規劃主要分為7大部分：1.發電2.輸電3.變電4.配電5.用電6.調度及7.通訊資訊平台。表6為中國國家電網公司三個階段的智慧電網發展規劃進程。

● 中國再生能源/分散型電源併網之相關規範

1. 中國風力發電系統併網技術規範

表5 韓國智慧電網策略項目及階段目標

階段		第一階段 (2010~2012年)	第二階段 (2013~2020年)	第三階段 (2021~2030年)
階段性目標		試驗期(技術檢驗)	大區域布建期 (以智慧型消費者為主)	完成全國智慧電網布建
五大策略項目	智慧電網	● 電力轉換數位化技術驗證 ● 先進配電技術驗證 ● 先進遠端輸電監控技術驗證	● 大規模建置即時監控系統 ● 分散式電源與儲能系統導入配電網	● 智慧電網全國性實際運行
	智慧消費者	● 智慧家庭導入能源管理系統 ● 發展多樣化電價費率制度	● 辦公大樓/工廠先進能源管理系統 ● 多樣化電力來源選擇	● 零碳家庭/建築
	智慧運輸系統	● 建置電動車充電基礎設施 ● 電動車示範場域	● 推廣電動車 ● 將充電基礎建設與相關服務產業化	● 充電設施普及化 ● 電動車及充電服務普及化
	智慧再生能源	● 穩定連結新能源與再生能源 ● 微電網示範區域管理 ● 小型儲能裝置應用	● 建置以新能源與再生能源為主之分散式電力系統 ● 擴大微電網示範區 ● 中大型儲能應用	● 大型再生能源發電廠普及化 ● 微電網商業化
	智慧電力服務	● 建構即時電價系統 ● 建構電力收購交易模型	● 發展全國性即時電價支付系統 ● 新能源服務模式出現，新參與者主動進入市場	● 電力交易多樣化 ● 透過智慧電網促進產業間融合 ● 領導東北亞電力市場

資料來源：韓國知識經濟部，2010年1月

表6 中國國家電網公司智慧電網發展規劃進程

階段	時程	各階段目標	推動重點
第一階段	2009-2010 年	規劃試點階段	重點發展強健智慧電網規劃工作，制定技術與管理標準，發展關鍵技術研發、設備研製及各環節試點工作。
第二階段	2011-2015 年	全面建設階段	加快建設華北、華東、華中「三華」特高壓同步電網，初步形成智慧電網運行控制及互動服務體系。關鍵技術及裝備實現重大突破並廣泛應用。
第三階段	2016-2020 年	引領提升階段	全面建成統一之強健智慧電網，技術裝備達國際先進水準。

資料來源：能源局，智慧電網總體規劃方案，2012年

中國風力發電系統併網技術規範係依據中國國家標準化管理委員會所下達的國標委綜合【2009】93號《2009年第二批國家標準計畫項目》標準計畫修訂，透過對大規模風力發電系統併網研究及技術成果分析，結合大規模風力發電併網的實際情況與產生的問題，俾憑制定此一標準(中華人民共和國國家品質監督檢驗檢疫總局，2009)。

2. 中國太陽能光電併網技術規範

太陽光電併網規範在制定過程中，充分考量中國太陽光電發電的發展特點及國外太陽光電設備併網的現況，參考IEC及IEEE等國際與國外標準化組織所制定的相關標準與出版文獻，並充分徵求設備製造商、發電業者及設計諮詢機構等單位的意見(國家電網公司，2009)。

3. 中國分散型電源併網技術規範

本規定適用於中國電網公司經營區域內以同步電機、感應電機、變流器等形式併入35 kV及以下電壓等級電網的分散型電源。風力發電和太陽光電併入35 kV及以下電網應參照《國家電網公司風電場接入電網技術規定》及《國家電網公司光伏電站接入電網技術規定》執行。中國分散型電源併網規範規定新建和擴建分散型電源之併網運行應遵循的一般原則和技術要求，改建分散型電源、分散型自備電源可參照規定執行(國家電網公司，2009)。

近年來，由於中國風力發電、太陽光電等

再生能源及分散型電源發展快速，為掌握未來高滲透率再生電源發電設備同時併網運轉，對電網可能造成之衝擊，因此擬訂完整法規體系來規範國家電網內之分散型電源併網行為。

2.2 我國電網優化技術發展方向

2.2.1 現況

圖27為我國智慧電網目前已規劃完成內容示意圖，包括智慧電網定義、1個發展願景、4項目標、3段推動期程及6個發展構面。其中智慧電網定義為透過資訊、通信與自動化科技，建置具智慧化之發電、輸電、配電及用戶的整合性電力網路，強調自動化、安全及用戶端與供應端密切配合，以提升電力系統運轉效率、供電品質及電網可靠度，並促進再生能源擴大應用與節能減碳之政策目標。願景為建立高品質、高效率與環境友善的智慧化電力網，促進低碳社會及永續發展的實現。4項目標為確保



資料來源：「智慧電網總體規劃小組」工作會議結論。

圖27 我國智慧電網總體架構分層規劃示意圖

穩定供電、促進節能減碳、提高綠能使用、引領低碳產業。在時程上因考量智慧電網範圍廣泛，共規劃20年推動期程，分為三個時程，「前期布建(5年：2011-2015年)」、「推廣擴散(5年：2016-2020年)」、「廣泛應用(10年：2021-2030年)」。

推動策略依電網特性分成發電與調度、輸電、配電、用戶4種類型之供需關係，配合產業推動及環境建構，形成6個構面具體推動，分別為「智慧發電與調度」、「智慧輸電」、「智慧配電」、「智慧用戶」、「智慧電網產業發展」、「智慧電網環境建構」(能源產業技術白皮書，2012)。

我國推動先進讀表基礎建設(Advanced Metering Infrastructure, AMI)，電價為首要問題，長期低電價造成節電及參與時間電價與需量反應誘因不足，低壓用戶AMI效益不彰。台電公司低壓1萬AMI用戶成效評估已完成，根據台電報告指出在電業效益部分約0.4，若加用戶效益與社會效益，總效益亦約僅0.51左右。另所做敏感度分析，以1萬戶電表價格而言，縱使電表價格降至1千元，總效益仍未達1。需量反應參與率達到50%時，總效益仍無法到達1的狀況；在10萬用戶部分，則以模擬方式進行，分成4種不同情境，考量用戶效益與社會效益，總效益模擬結果亦僅介於0.44~0.57間，效益率偏低。縱使達100萬用戶時，總效益模擬結果仍僅

介於0.4~0.84間。

2.2.2 趨勢

依據2012年經濟部能源局出版之“2012年能源產業技術白皮書”，我國智慧電網整體技術發展並無明確時程，目前僅有台電的AMI布建規劃時程，如表7所示。其中，經濟部能源局負責AMI政策擬定與內容時程規劃，台電公司為執行單位，實際布建執行進度仍受大環境趨勢之不確定性影響。

2.3 電網優化策略綜合討論

面對新科技與新服務發展，觀念的改變與突破格外重要，就太陽光電發電系統而言，用戶的發電影響並不同於其用電，若視其為用戶用電，會造成很多虛擬用戶，影響台電公司正常供電業務運作，徒增營運費用。另外，面對未來再生能源大量發展，儲能設備的設置至為重要，儲能設備之設置可概區分為：用戶端及電網級，須與國家電網相關政策發展搭配。用戶設置之儲能設備，配合不斷電系統(UPS)，有助用戶供電可靠度之提升，若為增加再生能源躉售量及價金，則須有法制面的配合，方有可能。有關電網級儲能部分，以台灣電力公司目前的角色與經營現況衡量，尚無投資電網級儲能設備誘因，除非透過立法及建立監管機

表7 台電低壓AMI布建規劃

	第一階段 (技術測試)		第二階段 (前期布建)		第三階段 (基本布建)			第四階段 (擴大布建)
年度	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016以後
戶數	50	300~500	1萬		100萬			500萬
工作項目	通訊技術 測試	訂功能標準 規劃測試 平台	電表功能測試 公告功能標準 建置測試平台 研訂新費率 建置MDMS 技術驗證		電表布建 適用新費率 研擬負載管理及需量反應 機制 效益評估 提升再生能源併網能力 及管理			加速配電自動化 系統建置 適用負載管理及 需量反應機制
執行單位	能源局、台電公司		能源局、台電公司		台電公司			

資料來源：經濟部能源局，我國智慧型電表基礎建設正式啟動，2010

制，以公共利益最大化為目標，始有及早布建電網級儲能系統的可能，我國電網優化及最大公共利益的獲致，亦方有可期，宜責成主管機關以建置基礎建設概念訂定短、中、長期之布建策略與配套措施。我國現行法規雖對尚非自由化電業之傳統電網之安全、品質、穩定等訂有法規為約制，惟欠完備，且顯零亂，顯示不出其系統性與完備性，更遑論能適用於含高滲透率再生能源電網、智慧電網或電業自由化市場下之電網，能予有效規範。為因應未來電網智慧化、自由化及再生能源發電量高占比，及為營造有利於我國電業自由化、智慧化及高占比再生能源發電量之友善發展環境，本章已針對美國、德國、日本、韓國、中國，以及臺灣既有電網、智慧電網的技術發展與趨勢，以及再生能源併網運轉機制進行研討，本節則將利用所蒐集之相關技術資料，研擬我國電網優化之可行且關鍵因應對策。

由本章所蒐集之資料可知，各國既有電網、智慧電網的技術發展與趨勢，以及其再生能源併網運轉規範，會因國情、電網結構與強度、系統運轉條件與環境等之不同而有別，但主要規範項目則大同小異，可概分為電力品質與安全，以及保護協調與運轉維護兩大部分。各國為確保電網於再生能源併網時，仍維持一定之電力品質與安全，針對電壓、頻率、電壓變動、電壓閃爍、三相電壓不平衡、故障電流、諧波、直流輸入等項目進行規範與限制。另各國為確保再生能源併網時，電網之保護協調與運轉維護，仍具有有效性與相當彈性，另針對隔離開關、啟斷設備、接地、避雷設備、電磁相容、非計畫性孤島運轉、最大實功率變化、自動同步設備、電壓調節、高/低電壓穿越、通訊、資訊等項目制訂規範，進行約制。

3. 電網法規體系與組織之規劃與建議

3.1 電力工程技術規範之修訂建議

傳統電網與智慧電網在本質上存有明顯差異，智慧電網在各個方面的表現均優於傳統電網，由於輸配電網路的基礎建設，會隨著時間而持續老化，甚而威脅到供電的安全性、可靠度與品質。在此同時，因工業的發達與科技的進步，對供電穩定性、可靠度與電力品質要求則反之與日俱增。此外，溫室氣體效應與氣候變遷等環境問題，以及電網基礎建設持續老化問題，都在在有賴智慧電網來解決。因此，再生能源與智慧電網發展蓬勃地區，除會針對輸配電系統之規劃、電力品質與供電安全、再生能源併網技術與設備進行規範外，亦會針對其他電網優化策略進行管制，例如：OpenADR (Open Automated Demand Response)、Inter-Operation等，確保系統與系統間、設備與設備間可互通互運，相互支援，共享與充分利用資源，以強化電網可靠度，並提升其運轉效率。為因應我國智慧電網技術發展與高占比再生能源的來臨，電網優化勢在必行。前述章節已分別針對美國、歐盟、日本、韓國，以及中國等再生能源發展蓬勃地區之既有電網、智慧電網之技術發展與趨勢，以及再生能源併網運轉之機制進行研討。

有關我國現行電網規劃與運轉規範法制體系部分，表8為我國現行電網規劃與運轉相關法規；表9為我國電網規劃與運轉規範法制體系妥適性探討。目前我國現行法規對於智慧電網，並無具體規範。「台灣電力股份有限公司再生能源發電系統併聯技術要點」規範內容主要係規範用戶端再生能源發電之併網，但對於智慧電網發展所需技術與標準，如：監控系統、系統控制，以及如何防範孤島運轉等尚無相關規範。另對於諧波、閃爍與三相不平衡等則僅有暫行管制標準，相關電力工程技術規範自公布迄今已久，已無法滿足國家推動智慧電網及微電網之使用需求，考量到未來推動智慧電網政策，如：「電業供電線路裝置規則」、「屋內線路裝置規則」及「再生能源發電系統併聯技術要點」等，均有增修必要，以符合未來智慧

表8 現行我國電網規劃與運轉相關法規

序號	法規名稱	業管機關	初次公布時間	初次公布內容	最新修訂時間	最新修訂內容	版次
1	台灣電力股份有限公司輸電系統規劃準則	台灣電力公司	民國87年08月10日	-	民國97年06月02日	現行條文	4
2	台灣電力股份有限公司配電線路地下化規劃原則	台灣電力公司		現行條文	-	無修訂	
3	台灣電力股份有限公司輸電線路地下化規劃原則	台灣電力公司		現行條文	-	無修訂	
4	台灣電力股份有限公司新設輸電線路下地準則	台灣電力公司	民國102年12月13日	現行條文	-	無修訂	
5	台灣電力股份有限公司再生能源電能收購作業要點	台灣電力公司	民國92年11月11日	-	民國100年05月05日	現行條文	5
6	台灣電力股份有限公司審查民間業者發電機組與台電電力系統併聯計畫收費要點	台灣電力公司	民國99年01月18日	現行條文	-	無修訂	1
7	台灣電力股份有限公司再生能源發電系統併聯技術要點	台灣電力公司	民國98年12月31日	現行條文	-	無修訂	1
8	再生能源發電系統調度操作準則	台灣電力公司	民國98年10月	-	民國102年04月	現行條文	3
9	102年度迴避成本	台灣電力公司	民國103年05月06日	現行條文	-	無修訂	1
10	再生能源發展條例	經濟部	民國98年07月08日	現行條文	-	無修訂	1
11	電業法	經濟部	民國36年11月29日	非現行條文	民國103年01月29日	現行條文	12
12	能源管理法	經濟部	民國69年07月22日	非現行條文	民國98年07月08日	現行條文	5
13	屋內線路裝置規則	經濟部	民國41年08月18日	-	民國102年12月16日	現行條文	17
14	電業供電線路裝置規則	經濟部	民國20年05月11日	原為「屋外供電線路裝置規則」	民國102年10月14日	現行條文	4

資料來源：全國法規資料庫

電網、分散型電源及電網級儲能系統發展之所需。台灣電力公司身為再生能源發電設備設置者(第1型)，且兼負「加強電力網之成本」、「再生能源發電設備停機維修期間所需電力之計價方式」、「迴避成本」等的擬訂者，並兼公共電網安全、品質、可靠的維護者，由其擬訂「再生能源發電系統併聯技術要點」、「輸

配電系統規劃準則」、「再生能源電能收購作業要點」、「再生能源發電系統調度操作準則」等之設計，應欠妥適(全國法規資料庫)。

有關再生能源併網機制部分，電網智慧化與再生能源發展較成熟之國家，大都有針對電壓、頻率、電壓變動、電壓閃爍、三相電壓不平衡、故障電流、諧波、直流輸入，以及功率

表9 現行「我國電網規劃與運轉規範」法制體系妥適性探討

項次	經濟部 (能源局)	台灣電力公司	備註
再生能源發展條例	○		台灣電力公司身為「再生能源發電設備設置者(第1型)」，且兼負「加強電力網之成本」、「再生能源發電設備停機維修期間所需電力之計價方式」、「迴避成本」等的擬訂者，並兼公共電網安全、品質、可靠的維護者，由其擬訂「再生能源發電系統併聯技術要點」、「輸配電系統規劃準則」、「再生能源電能收購作業要點」、「再生能源發電系統調度操作準則」等之設計，應欠妥適。
再生能源發電設備認定辦法	○		
加強電力網之成本		○	
再生能源發電系統併聯技術要點		○	
再生能源發電設備停機維修期間所需電力之計價方式		○	
迴避成本擬訂		○	
再生能源電能費用補貼之申請及審核辦法	○		
再生能源發電設備設置者與電業爭議調解辦法	○		
再生能源發電設備設置者		○	
輸電系統規劃準則		○	
配電線路地下化規劃原則		○	
輸電線路地下化規劃原則		○	
新設輸電線路下地準則		○	
再生能源電能收購作業要點		○	
審查民間業者發電機組與台電電力系統併聯計畫收費要點		○	
再生能源發電系統調度操作準則		○	
102年度迴避成本		○	
電業法	○		
能源管理法	○		
屋內線路裝置規則	○		
電業供電線路裝置規則	○		

資料來源：全國法規資料庫

因數等電力品質與運轉維護項目為規範，以及就隔離開關、啟斷設備、接地、避雷設備、電磁相容、非計畫性孤島運轉、最大實功率變化率、自動同步設備(感應發電機除外)、電壓調節、高/低電壓穿越(H/LVRT)、通訊、資訊等保護協調和控制與調度問題相關項目進行規範，如表10與表11所示。除此之外，亦針對供電電壓偏差、電壓變動與閃爍、公用電網諧波、電力系統頻率偏差、三相電壓不平衡、電網運行等項目訂定相關規範專章為約制。

比較表10與表11可知，我國再生能源併網規範，係由台灣電力公司制定，雖對傳統電網之安全、品質、穩定訂有法規為約制，惟欠完備，且顯零亂，顯示不出其系統性與完備性。

為因應未來電網智慧化、自由化及再生能源發電量高占比，及為營造有利於我國電業自由化、智慧化及高占比再生能源發電量之友善發展環境，應檢討其法規體系的妥適性，並應有電業主管機關所制定的規則、辦法或準則，相關電業則須遵照此規則、辦法或準則，自行訂定其相關配合作業要點，以維持整體系統的安全、品質與穩定，除須不阻礙再生能源政策的推展外，尚須能兼顧個別特殊區域系統或用戶的特殊運轉需求。

3.2 我國電力系統穩定及品質優化之相關規範建議

綜上所論，各國既有電網基礎建設、智慧

表10 各國再生能源併聯技術規範之電力品質與運轉維護相關項目

國家別	併聯技術	相關規範項目								
		電壓	頻率	電壓變動	電壓閃爍	三相不平衡	故障電流	諧波	直流注入	功率因數
美國	IEEE Std.1547	ANSI C84.1	V	V	IEEE 519		V	IEEE 519	V	V
	IEEE Std.929	V	V		IEEE 519			IEEE 519	V	V
	UL 1741	V	V		IEEE 519			IEEE 519		
	加州	V	V	V	IEEE 519	V	V	IEEE 519	V	V
	德州	Chapter 25	Chapter 25		IEEE 519		V	IEEE 519		
德國	低、中、高壓規範	V	V	V	V	V	V	V		V
日本	分散型電源系統連系技術指針	V	V	V			V		V	
中國	風電場接入電力系統技術規定	V	V	GB/T 12326	GB/T 12326	GB/T 15543		GB/T 14549		V
	光伏電站接入電網技術規定	GB/T 12325	V	GB/T 12326	GB/T 12326	GB/T 15543	V	GB/T 14549, 24337	V	V
	分散式電源接入電網技術規定	V	V	GB/T 12326	GB/T 12326	GB/T 15543	V	GB/T 14549	V	V
韓國	韓國電力公司	V	V	V	V			V	V	V
臺灣	再生能源併聯技術要點	V	V	V	◎	V	V	△	V	V

資料來源：本研究彙整

附註：1. 勾選欄內標註有規範名稱者，係其代表「引用規範(Normative references)」，即規範中並無該項目之規範，但採「引用規範」中之規定。

2. ◎：台灣電力公司「電壓閃爍管制要點」；△：台灣電力公司「電力系統諧波管制暫行標準」。

電網發展策略、再生能源併網法規及運作機制相互間存有差異，其法規、措施、作法均無法直接參引，為加速我國電網優化及推廣再生能源，應由相關主管單位衡酌電網狀況優先針對三相電壓不平衡、供電電壓偏差、電力系統頻率偏差、電壓波動與閃爍、電力系統諧波、發

電與儲能系統測試與維護、發電與儲能系統調度操作、再生能源併網、即時電價收費及碳稅等關鍵問題項目進行相關影響評估、策略擬定或準則草案的研議或修訂，儘早瞭解與掌握國內未來高滲透率再生電源發電設備同時併網運轉，對電網可能造成之衝擊，為情境與問題的

表11 各國再生能源併聯技術有關保護協調與運轉維護之相關規範項目

國家別	併聯技術	相關規範項目											
		隔離開關	啟斷設備	接地	避雷設備	電磁相容	非計畫性孤島運轉	最大實功率變化率	自動同步設備	電壓調節	高/低電壓穿越	通訊	資訊
美國	IEEE Std.1547	V				V	V			V		V	V
	加州	V	V	V		V	V	(future)	V	(future)	(future)	V	V
	德州	V	V	V			V		V			V	V
日本	分散型電源系統連系技術指針												
中國	風電場接入電力系統技術規定		V	V	V	V		V	V	V	V	V	V
	光伏電站接入電網技術規定		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
	分散式電源接入電網技術規定	V	V	V		V	V	V	V	V		V	V
臺灣	再生能源併聯技術要點	V	V	V			V		V		V	V	V

資料來源：本研究彙整
附註：1. 勾選欄內標註有規範名稱者，係其代表「引用規範(Normative references)」，即規範中並無該項目之規範，但採「引用規範」中之規定。
2. 加州未來擬訂規範最大實功率變化率、電壓調節、高/低電壓穿越。

設定，俾能及早因應，而有助於我國國內再生能源與永續能源政策未來的推展。

4. 結論與建議

4.1 結論

就能源發展趨勢而言，再生能源發展與電網智慧化為溫室氣體減量與能源節約之整套式解決方案，全球各主要經濟體無不戮力投入。
就再生能源併網運轉之機制而言，因各國國情與法制體系、電網結構與強度，以及系統運轉條件與環境等之不同，致使各國所訂分散型電源併網規範存有一定程度的差異，但所

規範之主要項目則大同小異，可概分為電力品質與安全及保護協調與運轉維護兩大部分。各國為確保電網在再生能源併運轉時之電力品質與安全，針對電壓、頻率、電壓變動、電壓閃爍、三相電壓不平衡、故障電流、諧波、直流注入等項目進行規範與限制。又各國為確保再生能源併網運轉後電網之保護協調與運轉維護仍具有效性與彈性，尚針對隔離開關、啟斷設備、接地、避雷設備、電磁相容、非計畫性孤島運轉、最大實功率變化、自動同步設備、電壓調節、高/低電壓穿越、通訊、資訊等項目進行規範與限制，此外，亦針對供電電壓偏差、電壓變動與閃爍、公共電網諧波、電力系統頻率偏差、三相電壓不平衡、電網運行、碳交

易、即時電價等項目制定相關規範為約制與管理。

4.2 建議

就能源發展趨勢而言，近幾年，中國風力發電、太陽光電發電，以及分散型電源發展快速，其再生能源發展與電網智慧化策略，以及法規體系相對完整，應具參考價值。

就我國短期電網優化之關鍵策略部分，應先檢討與分析既有法規，包括：規則、規範、要點、辦法及準則等，俾為增修基礎，使符時宜及未來發展需求。為加速我國電網優化與再生能源推廣應用，各相關主管機關、單位宜衡酌我國電網狀況，並宜優先針對三相電壓不平衡、供電電壓偏差、電力系統頻率偏差、電壓波動與閃爍、電力系統諧波、發電與儲能系統測試與維護、發電與儲能系統調度操作、再生

能源併網、即時電價以及碳交易等關鍵問題項目進行相關影響評估、策略擬定或準則的研議或修訂，儘早瞭解與掌握國內未來高滲透率再生電源發電設備同時併網運轉，對電網可能造成之衝擊，為情境與問題的設定，俾能及早因應，以做為我國電網優化短期研究方向，有助於我國國內再生能源與永續能源政策的推展。其相關電網優化關鍵策略可參照表12所列重點研究方向，可分為四大方面：(1)配合政府再生能源政策，應檢討再生能源發電設備之裝設及併網運轉相關規範；(2)因應分散型電源急速發展，屋內線路裝置規則與電業供電線路裝置規則，涉及分散型電源之裝設及與電網連結部分，應檢討其合宜性與完備性；(3)配合智慧電網之推動進程，應完善需量反應制度，增修訂及完備化相關軟、硬體(通訊、電表、併接)設備與介面規範，以及(4)應依再生能源與智慧電

表12 我國電網優化關鍵策略探討

序號	項目	策略研究
1	三相電壓不平衡	● 評估開Y-開Δ接變壓器對三相不平衡之影響 ● 評估三相不平衡對電力損失之影響 ● 評估三相不平衡對電力設備耗能之影響
2	供電電壓偏差	● 評估高占比再生能源發電量對供電電壓偏差之影響 ● 研究電網級儲能系統對供電電壓偏差之穩定策略 ● 探討智慧電網協調運轉對供電電壓偏差之有效策略
3	電力系統頻率偏差	● 評估高占比再生能源發電對電力系統頻率偏差之影響 ● 研究電網級儲能系統對電力系統頻率調節策略 ● 探討智慧電網協調運轉對電力系統頻率偏差之可行策略
4	電壓波動和閃爍	● 評估高占比再生能源對電壓波動與閃爍之影響 ● 研究電網級儲能系統對電壓波動與閃爍之穩定策略 ● 探討智慧電網協調運轉對電壓波動與閃爍之抑制策略
5	電力系統諧波	● 評估高占比再生能源對電力系統諧波之影響 ● 研究電網級儲能系統對虛功率補償優化之策略
6	發電與儲能系統測試與維護	● 探討再生能源設備之測試與維護機制 ● 研發電網級儲能系統之測試與維護機制
7	發電與儲能系統調度操作	● 研究再生能源發電系統之調度操作策略 ● 研究電網級儲能系統之調度操作策略 ● 研究智慧電網協調調度之操作策略
8	再生能源併聯	● 倡議再生能源併聯辦法法制體系與條文之制定
9	即時電價收費	● 研析即時電價機制
10	碳交易收費	● 研討碳交易機制

資料來源：本研究彙整

表13 電業法有關電業與用戶設備之相關裝置規範

法條		法條內容
第一章 通則	第6條	本法所稱電業設備，謂發電、輸電、配電所應用之一切設備；所稱主要發電設備，謂能源裝置原動機、發電機；所稱中心發電所，謂中央主管機關規定之高效力發電所；所稱電力網，謂統籌分配供給多數營業區域電業之輸電線路。
	第9條	電業經營之方式，為左列各種： 一、全部或一部發電，供給其營業區域內一般需用或轉售與其他電業。 二、全部向其他電業購電，轉供其他營業區域內一般需用或轉售其他電業。 三、經營電力網，在其核准之地區內，統一購售各電業剩餘或需要之電能。 四、經營中心發電所，將所發電能躉售與其他電業。
第三章 工程	第34條	電業設備，應力求標準化，其方式、規範及裝置之規則，由中央主管機關定之。
	第36條	供電電壓之變動率，以不超過左列百分數為準： 一、電燈電壓，高低各百分之五。 二、電力及電熱之電壓，高低各百分之十。電燈、電力、電熱合一線路時，依電燈電壓之標準。
	第44條	用戶屋內線路裝置規則及用戶電度表檢驗規則，由中央主管機關定之。
第四章 營業	第69條	電業對於功率因數低於百分之八十之用戶，得酌加電價，並得由用戶負擔裝置功率因數表，其電價標準，應於營業規則內定之。

資料來源：全國法規資料庫

網發展時序，全面檢討電力系統穩定度、品質及三相不平衡問題及相關規範。

就全球中、長期電網發展方向而言，智慧電網相關硬體設備與技術大都為既有或已漸趨於成熟，但因百家爭鳴各有各自之標準，惟為考量長遠之發展、系統間之互運及國際系統與設備之相容性、可替換性及利於後續維護，實應配合全球電網之發展方向與需求，為因應與配合，另亦應有我國完整之國家法規、標準及認證檢測制度等。又就我國現行電網規劃與運轉相關法制體系而言，我國電業法雖對電業設備及裝置規則有所規範，如表13所示，惟為因應未來電網智慧化、自由化及再生能源發電量高占比，及為營造有利、友善發展環境，實應檢討其對再生能源或分散型電源併網規範的妥適性與完備性，並應由電業主管機關制定有上位之法規、規則、辦法或準則，相關電業或用戶則據以遵循，電業尚得自行訂定執行細則或作業要點，以維持整體電網系統的安全、品質

與穩定，且能不阻礙再生能源政策的推展，除此以外，尚需能兼顧個別特殊區域系統或用戶的特殊設備與負載特性及運轉需求。

誌 謝

本研究為經濟部能源局103年度「電力工程技術決策支援及業務推動」委辦計畫之分包計畫研究成果。

參考文獻

- 日本電氣協會，「系統連系規程」，2012。
- 中華人民共和國國家品質監督檢驗檢疫總局，2009。
- 台灣電力公司網站-台電歷年裝置容量比，2014。
- 台灣電力公司網站-未來電力供需情形，2014。
- 台灣電力公司網站-歷年發電量佔比，2014。

- 全國法規資料庫，<http://law.moj.gov.tw/>。
- 地球日在吐瓦魯(二)—與世界分享吐瓦魯之美，2010。
- 林法正，智慧電網與讀表主軸專案計畫簡介，2011。
- 能源局，智慧電網總體規劃方案，2012年。
- 能源局2011年07月能源報導－能源話題，2014。
- 能源產業技術白皮書，2012。
- 國家電網公司，2009。
- 智慧電網總體規畫小組工作會議結論。
- 經濟部能源局，我國智慧型電表基礎建設正式啟動，2010。
- 經濟部期刊-臺灣再生能源發展受限，2013。
- 韓國知識經濟部，2010年1月。
- 韓國電力公司，2013年。
- BDEW, “Generating Plants Connected to the Medium-Voltage Network”, 2008.
- biologicalfreak, 2013, <http://acfold.blogspot.tw/2013/11/tuvalu.html>
- California Rule21, California Public Utilities Commission(CPUC), 2014.
- Creative Commons BY-SA 3.0, <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%BA%AC%E9%83%BD%E8%AE%AE%E5%AE%9A%E4%B9%A6>
- Danfoss, “PV Inverter – German Requirements and Technical Capabilities”, 2011.
- E.ON Netz, “Grid code for high and extra high voltage”, 2006.
- EPIA, Solar generation 6 Paradigm scenario, 2030
- Global wind energy outlook, 2012
- GNU Free彙整, 2000, <http://blog.drwile.com/?p=496>
- Grid 2030-Federal Energy Regulatory Commission <http://www.ferc.gov/eventcalendar/files/20050608125055-grid-2030.pdf>
- GTM Research, <http://www.greentechmedia.com/research/report/united-states-smart-grid-policy-2010>
- GWEO, 2012 Advance scenario, 2030.
- I. Erlich, W. Winter and A. Dittrich, “Advanced Grid Requirements for the Integration of Wind Turbines into the German Transmission System”, 2006.
- IEA, 2011a, http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/solar_energy_perspectives2011.pdf, p.23.
- IEA, 2011b, http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/solar_energy_perspectives2011.pdf, p.24.
- IEA, WEO 2013, http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebsite/2013/WEO2013_Ch06_Renewables.pdf
- IEA PVPS, BNEF, BP Statistical Report.
- IEEE Std. 929-2000 Withdrawn - IEEE Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems Administratively Withdrawn 03 February 2006.
- IEEE Std. 1547-2012, IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, 2012.
- IPCC assessment report, 2001, <http://www.helpsavetheclimate.com/climatechange3.html>
- IPCC, 2013, <http://ichijin.seesaa.net/category/22269068-1.html>
- M. Arnold, W. Friede and J. Myrzik, “Challenges in Future Distribution Grids - A Review”, 2013.
- NRC, 2010, <http://www.epa.gov/climatechange/science/future.html>
- T. Degner, G. Arnold, M. Braun, D. Geibel, W. Heckmann, R. Bründlinger, “Utility-scale PV systems: grid connection requirements, test procedures and European harmonisation,” Photovoltaics International, Fourth Edition, ISSN: 1757-1197, May 2009.
- UL 1741, Inverters, Converters, Controllers and Interconnection System Equipment for Use

- With Distributed Energy Resources, 2010.
- VDE, "Power generation systems connected to the low-voltage distribution network Technical minimum requirements for the connection to and parallel operation with low-voltage distribution networks.", 2011.
- VDN, "REA generating plants connected to the high and extra-high voltage network", August 2004.
- VDN, "TransmissionCode 2007", August 2007.

Investigation of Strategies for the Smart Grid Technology Development and High-penetration Renewable Energy Interconnection Trends in Taiwan

Tsai-Hsiang Chen¹ Nien-Che Yang² Chen-Kuang Yang³
Wei-Chih Tseng^{4*} Zih-Yang Chen⁵ Wei-Che Lin⁶

ABSTRACT

Nowadays, with the obvious tendency of greenhouse effect, the rapid development of smart grids and the constantly growing proportion of renewable energy system, the policies of “Low-carbon Society”, “Nuclear-free Homeland” and “Sustainable Energy” are not merely slogans, but achievable goals and aims of governmental sustainable development policy that people must spare no efforts to accomplish. Due to the limits of weather, time and season changes for the wind power generation system and photovoltaic power generation system, both of them have the considerable uncertainty. Besides, the energy storage system will become the necessary components for the future grids with multiple energy generation system integration and distribution. If the power companies do not put their efforts of development, installation, control and integration management in the grid-scale energy storage system as soon as possible, they will not offer clean, stable, low-price and reliable electricity, which will make the energy resources of grids maintain the steady coordination and interoperability much harder. Therefore, it is the top priority to deal with how to optimize our grids, revise its related laws and design future plans in response to the development of our power industry deregulation, intelligence and low-carbonization. This study not only collects related information of technology and laws of grids internally and abroad, investigates the development and trends of smart grids techniques, evaluates the optimization methods and strategies of Taiwan grids, but also refers to the mechanism of distribution and management from foreign decentralized renewable energy system and grid operation to make this study much more informative and propose appropriate suggestions for our grid optimization strategies and laws.

Keywords: Smart Grid, Microgrid, Renewable Energy, Distributed Generations, Power Grid, Power Quality

¹ Distinguished Professor, Dept. of EE, National Taiwan University of Science and Technology

² Assistant Professor, Dept. of EE, Yuan Ze University

³ Researcher, Taiwan Research Institute

⁴ Ph.D. student, Dept. of EE, Yuan Ze University

⁵ Master student, Dept. of EE, Yuan Ze University

⁶ Master student, Dept. of EE, National Taiwan University of Science and Technology

* Corresponding Author, Phone: +886-910-578745, E-mail: a313243451@gmail.com

Received Date: January 5, 2015

Revised Date: March 17, 2015

Accepted Date: April 13, 2015