

出國報告（出國類別：開會）

參加美國電機電子工程師學會年會

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：謝豐吉 電機工程師

派赴國家：美國

出國期間：103年7月26日至103年8月2日

報告日期：103年9月16日

出國報告審核表

出國報告名稱：參加美國電機電子工程師學會年會





出國人姓名 (2人以上，以1人為代表)	職稱	服務單位
謝豐吉	電機工程師	系統規劃處

出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input checked="" type="checkbox"/> 其他 <u>國際會議</u> (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)
------	---

出國期間：103年7月26日至103年8月2日 報告繳交日期：103年9月16日

出國人員 自我審核	計畫主辦 機關審核	審核項目
--------------	--------------	------

<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.依限繳交出國報告
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2.格式完整(本文必須具備「目地」、「過程」、「心得及建議事項」)
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	3.無抄襲相關資料
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	4.內容充實完備.
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	5..建議具參考價值
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	6.送本機關參考或研辦
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7.送上級機關參考
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8.退回補正，原因：
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 不符原核定出國計畫
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(4) 抄襲相關資料之全部或部分內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(5) 引用相關資料未註明資料來源
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(6) 電子檔案未依格式辦理
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9.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"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 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"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 於本機關業務會報提出報告
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 其他 _____
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10.其他處理意見及方式：

報告人：  單位：  主管處 主管：  副總經理： 

說明：
 一、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。
 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「公務出國報告資訊網」為原則。

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加美國電機電子工程師學會年會

頁數 35 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司/陳德隆/23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

謝豐吉	台灣電力公司	系統規劃處	電機工程師	23666903
-----	--------	-------	-------	----------

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他：開會

出國期間：103 年 7 月 26 日至 103 年 8 月 2 日 出國地區：美國

報告日期：103 年 9 月 16 日

分類號/目

關鍵詞：美國電機電子工程師學會(IEEE PES)、風場併網檢討(Wind Integraton Studies)

內容摘要：(二百至三百字)

本次出國計畫主要任務為參與 IEEE 舉辦之美國電機電子工程師學會年會 (IEEE PES General Meeting)，本會議參與者包含有 IEEE 會員、學生及非會員參加者，大部分為會員及學生，除包括美加境內各大電力公司、獨立電力調度 ISO 機構、學校、研究機構、顧問公司等等外、亦有來自世界各地之電力公司、學校等機構參與，席間與來自世界各國之電力專家學者交流，獲益良多。今年電機電子工程師學會年會主題為「為未來新能源指明方向」(Charting the Course to a New Energy Future)，會議中討論方向以風力發電方面之探討為多，由於未來風能佔比將大幅提高之趨勢，風場併網檢討為風力發電未來發展之重要課題，會議期間參與「Implications of Large-Scale Energy on Power Systems and Supporting Measures for Better Integration」小組會議討論，學習到風場併網檢討相關知識。本次參與國際會議，由一系列之會議活動中學習到許多新技術、國外電力市場及電力公司之發展，對於未來系統規劃頗有助益，

值得持續派員參與。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

目 錄

目 錄	1
壹、感想與建議	1
貳、出國緣由與行程	4
參、美國電機電子工程師學會年會紀要	5
一、IEEE 年會內容摘要	5
(一)全體會議(Plenary Session)	5
(二)委員會會議(COMMITTEE MEETINGS)	7
(三)技術會議及其它技術活動(TECHNICAL SESSION and OTHER TECHNICAL EVENTS)	8
二、參與 IEEE 年會心得	17
(一)全體會議	17
(二)「New Power System Planning (NewPSP) Combo Session」 小組會議	17
(三)「Implications of Large-Scale Energy on Power Systems and Supporting Measures for Better Integration」小組會議	18
1. 配比發展(Portfolio Development)	26

2.風量之發電容量值(Capacity Value of Wind Power)	28
3.設置成本模擬分析及運轉彈性評估(Production Cost Simulation and Flexibility Assessment)	29
4.輸電網模擬(Transmission Grid Simulation).....	31
5.分析及呈現檢討結果(Analysing and Presenting the Results).....	33
6.未來展望(The Future)	34

壹、感想與建議

一、本次參與 IEEE 舉辦之美國電機電子工程師學會年會(IEEE PES General Meeting)，席間與來自世界各國之電力專家學者交流，獲益良多。其中有關日本當前最大的問題為核能發電是否可恢復，日本核能發電佔比大約為 30%，計畫將恢復其中之 15%，若無法達成，發電成本將提高也將直接反應到電價。今年年會主題為「為未來新能源指明方向」(Charting the Course to a New Energy Future)，會議中討論方向以風力發電方面之探討為多，亦有太陽能發電、智慧電網、因氣候變遷而需考慮對於天然災害之預防及規劃與因應等等相關議題。由於未來風能佔比將大幅提高之趨勢，風場併網檢討為風力發電未來發展之重要課題。參與本次會議，由一系列之會議活動中學習到許多新技術、國外電力市場及電力公司之發展，對於未來系統規劃頗有助益，值得持續派員參與。

二、有關本次大會之全體會議(Plenary Session)，主題為「為未來新能源指明方向」(Charting the Course to a New Energy Future)，IEEE PES 主席 Miroslav M. Begovic 根據本次年會之主題發表演說，演說中提到國際能源總署(International Energy Agency, IEA)

認為，可再生能源發電之發展快速，於 2018 年將幾乎佔全球電力之四分之一。能源安全之不確定性持續威脅著世界經濟復甦。全球高油價和主要發電費用上漲亦加重能源安全之不確定性。科技之進步，使得未來對於新能源發展與實現之可能性變得更高及更加可能實現。

三、「New Power System Planning (NewPSP) Combo Session」小組會議主要為介紹 PSPI 委員會 (Power System Planning & Implementation) 之分工，其委員會下有 7 個工作小組，別分為傳統及可再生能源發電規劃 (Conventional and Renewable Energy Supply Planning)、輸電系統規劃 (Transmission System Planning)、現代及未來配電系統規劃 (Modern and Future Distribution System Planning)、整合智慧用戶系統規劃 (Integrated Intelligent Customer System Planning)、資產管理 (Asset Management)、能源預測 (Energy Forecasting) 及電力系統運轉彈性評估 (Assessment of Power System Flexibility)，由於美國電力市場已發展成熟，各工作小組之規劃幾乎都離不開電力市場，值得本公司參考。

四、有關「Implications of Large-Scale Energy on Power Systems and Supporting Measures for Better Integration」小組會議，由於大型風力發電為未來之趨勢，對於風機併網效果之可靠性及可比較性之缺乏，可能限制大型風能之發展，肇因於其對系統衝擊之不確定性。隨著風場佈建及風力發電容量擴大之可觀潛力，對於應用在實際併網問題評估之作法致關重要。直至今日仍然沒有建議措施或最佳措施作為處理風場併網檢討之指南。IEA Wind Task 25 所出版之報告以目前之觀點對於仍在發展進化中之風力併網檢討分析提供建議之作法，並指出未來發展之需求，值得作為本公司未來進行風場併網檢討分析之參考。

貳、出國緣由與行程

美國電機電子工程師學會(Institute Electrical and Electronics Engineers, IEEE) 為世界上最大的專業技術組織之一，該學會致力於推動科技創新，參考其 2013 年報統計資料，擁有會員人數超過 43 萬，本次參加之電力與能源協會年會(Power and Energy Society General Meeting, PES GM)，其協會之會員人數亦高達 3 萬 2 仟多人。透過參加電機電子工程師學會年會，與世界各國電力領域之專家學者菁英相互交流，可瞭解最近一年所發表關於電力系統規劃、運轉等相關技術發展及經驗成果，對公司未來進行系統規劃有相當之助益。

本出國計畫自 103 年 7 月 26 日啟程前往美國華盛頓，7 月 27 日至 7 月 31 日參加美國電機電子工程師學會(IEEE) PES 2014 年會，結束後，於 8 月 1 日返程至 8 月 2 日返國，總共出國期間合計為 8 天，本次出返國行程，如表 1 所示。

表 1 本次出返國行程

日期	天數	訪問機構名稱	活動內容
103.7.26	1	台北-紐約-華盛頓	往 程
103.7.27 103.7.31	5	美國國際電機電子工程師學會	參加電機電子工程師學會年會
103.8.1 103.8.2	2	華盛頓-洛杉磯-台北	返 程

參、美國電機電子工程師學會年會紀要

一、IEEE 年會內容摘要

本次 IEEE PES 年會主題為「為新能源之未來指明方向」(*Charting the course to a new energy future*)，主要內容包含如下：

(一)全體會議(Plenary Session)

於 7 月 28 日上午舉行，由 IEEE PES 主席 Miroslav M. Begovic、EPRI 主席兼執行長 Michael W. Howard、PJM 主席兼執行長 Terry Boston、Pepco 控股公司主席兼執行長 Joseph M. Rigby、Schneider Electric 資深顧問及 NEMA 董事會、理事會主席 Christopher Curtis、Opower 執行長及創立者 Daniel Yates、中國電網公司及中國電力委員會主席 Liu Zhenya(臨時由其同仁代理出席)，共同討論本次年會主題「為新能源之未來指明方向」。



圖 1 2014 年 IEEE PES 年會全體會議

其中，會議開場由 IEEE PES 主席 Miroslav M. Begovic 根據本次年會之主題發表演說，演說中提及，根據國際能源總署 (IEA) 之資料，美國將在 2015 年超越俄羅斯及沙烏地阿拉伯，成為世界上最大的石油生產國。且國際能源總署認為，可再生能源發電之發展快速，於 2018 年將幾乎佔全球電力之四分之一。

能源安全之不確定性持續威脅著世界經濟復甦。全球高油價和主要發電費用上漲亦加重能源安全之不確定性。

氣候變遷是一個持續的威脅，由於迅速發展的結果改變地貌和破壞重要的生態系統對世界人口造成負擔。美國環境保護署最近推出了嚴厲的溫室氣體的排放法規，以遏制那些對脆弱

的環境造成嚴重破壞的碳污染程度。

就現今廣為人知之電力公司(不論公用事業、民營及合作經營之型態都一樣)，正在觀察集中之模式如何為用戶服務之結構性轉變。微電網、儲能、燃料電池、可再生能源、分散式發電及減少天然氣價格之議題都在此年會中討論。

然而，當新的技術出現，工業界亦隨其變化。從課程到主管會議，於今年之年會來面對這些問題。我們必須了解如何共同擁抱創新，繼續此正向之進展，並利用我們所知來為新能源之未來指明方向。

(二)委員會會議(COMMITTEE MEETINGS)

大多數的行政和技術委員會會議於7月28日上午11點起(緊接著全體會議之後)至7月31日下午舉行。部分之委員會會議安排在7月27日舉行。技術委會包含有：

電機機械委員會(Electric Machinery Committee)、能源技術協調委員會(Emerging Technologies Coordinating Committee)、能源發展與發電委員會(Energy Development and Power Generation Committee)、智能電網協調委員會(Intelligent Grid Coordinating Committee)、電力與能源教

育委員會(Power & Energy Education Committee)、電力系統分析、計算與經濟委員會(Power System Analysis, Computing, and Economics Committee)、電力系統動態性能委員會(Power System Dynamic Performance Committee)、電力系統儀器儀表與測量委員會(Power System Instrumentation and Measurements Committee)、

電力系統運轉委員會(Power System Operations Committee)、電力系統規劃與實現委員會(Power System Planning and Implementation Committee)、變電所委員會(Substations Committee)、輸電與配電委員會(Transmission and Distribution Committee)、風力與太陽能協調委員會(Wind and Solar Power Coordinating Committee)等等，委員會下亦有再細分小組委員會。

(三)技術會議及其它技術活動(TECHNICAL SESSION and OTHER TECHNICAL EVENTS)

由7月28日下午起至7月31日，每天分上午及下午舉行。分為主管會議(SUPER SESSIONS)、小組會議(PANEL SESSIONS)、期刊論文會議(TRANSACTIONS PAPER SESSIONS)、論文論壇

(PAPER FORUMS)、壁報會議(POSTER SESSION)、學生壁報競賽(STUDENT POSTER CONTEST)、課程(TUTORIALS)及技術參訪(TECHNICAL TOURS)，分別說明如下：

1. 主管會議(SUPER SESSION)

本次會議共舉行 5 個主管會議(SUPER SESSIONS)：

(1)最新新聞：能源政策(Late Breaking News : Energy Policy)：

能源政策影響電力系統之規劃、設計、運轉及維護。其涉及層面包含法律及法規之要求、國際條約、投資獎勵、稅收或其他公共政策技術。以上因素涉及經濟性、可靠性、社會或環境的影響。會議經由多種不同角度探討能源政策及其對電力工業產生之需求與衝擊。

(2)天然災害之預防、規劃和因應(Natural Disaster Preparedness, Planning and Response)：

如颶風、暴風、地震、極地渦旋(Polar Vortex)等天然災害，造成大區域停電，受影響用戶高達數百萬人。經由回顧及檢討，從中學習其經驗和挑戰，並引以為鑒。探討新技術之導入並加以應用，以減少災害造成之影

響，並加速復電之時間。由來自產業界及學術界之專家共同探討天然災害規劃、災後復電及如何強化基礎設施，並探討透過策略性資產管理、微電網技術及新型決策支援技術強化系統韌性。

(3) 電網運轉：實務與挑戰(Grid Operations: Practices and Challenges)：

本會議由能源市場和非能源市場之運轉角度分享過去經驗及挑戰，亦探討新的電網運轉方法。除了運轉調度人員外，亦請應用於即時運轉之能源管理系統及電力系統分析工具供應商分享經驗。

(4) 智慧電網專案計畫之執行情況：成果及經驗教訓

(Implementation of Smart Grid Projects: Results and Lessons Learned)：

本會議討論工業界及美國能源部門投資智慧電網之成果、經驗教訓、益處及未來性等。

(5)網路及實體安全(Cyber and Physical Security)：

本會議廣泛探討有關電網之網路及實體安全之主題。討論內容包含網路威脅與攻擊，以及風險評估與緩解。亦討論制定之標準、產業界實務、相關主要組織及產業界活動。

2. 小組會議(PANEL SESSIONS)

由前述(二)之行政和技術委員會分別舉辦。經由邀請值得關注主題之論文，由各委員會加以召開小組會議討論。

3. 期刊論文會議(TRANSACTIONS PAPER SESSIONS)

簡報並討論對於能源及電力專業領域具有重要意義相關議題之高品質 IEEE PES 期刊論文。

4. 論文論壇(PAPER FORUMS)

由多位作者簡要報告其論文，隨後再個別討論其內容。

5. 壁報會議(POSTER SESSION)

於7月28日傍晚舉行，由眾多作者以壁報之方式呈現其

論文，可與作者一對一進行討論。

6. 學生壁報競賽(STUDENT POSTER CONTEST)

於 7 月 29 日上午舉行，現場隨機發放評分表，對特定學生論文壁報進行一對一討論，對其表達之清晰度、流暢度以及壁報製作之狀況進行評分。

7. 課程(TUTORIALS)

本次會議共有 10 個課程，需另行付費：

(1)微電網 - 設計其在智慧電網中之角色(Microgrids - Designing Their Role in Smart Grid)

(2)在配電網路中之電動車充電整合(Electric Vehicle Charging Integration in Distribution Grids)

(3)智慧電網資料與解析介紹(Introduction to Smart Grid Data and Analytics)

(4)探討由雷電、諧波到間歇性能源對於電力品質之影響
(Power Quality-From Lightning and Harmonics to Variable Energy Resource)

- (5)智慧電網時代之能源預測(Energy Forecasting in the Smart Grid Era)
- (6)電壓源轉換器(Voltage Sourced Converters)
- (7)智慧型變電所-保護、控制、通信、廣域測量及企業應用(Smart Substations - Protection, Control, Communications, Wide Area Measurements, and Enterprise Applications)
- (8)同步相量系統之實現(Implementation of Synchrophasor Systems)
- (9)配電過電流保護及協調(Distribution Overcurrent Protection and Coordination)
- (10)智慧配電系統(Smart Distribution Systems)

8. 技術參訪(TECHNICAL TOURS)

本次會議共安排 5 項技術參訪，需事先報名付費參加，分別說明如下：

(1)SMECO 5MW Solar Farm

馬里蘭州南部第一個公用事業設置之太陽能發電設施，由馬里蘭州南部電力公司(Southern Maryland

Electric Cooperative, SMECO)開發。裝置容量約 5.5MW，每年可生產潔淨之可再生能源近 8700 MWh 之發電量。約 90%之發電量將供給於用戶，並補充 SMECO 之發電量。此外，10%的能源將供給 SMECO 之新工程及運轉設施。

本發電場於 2012 年 11 月 18 日正式開始發電，將至少運轉 20 年。

(2)Pepco Control Center and Network Operation Center

PEPCO 供給電力範圍遍及國家首都區、哥倫比亞特區及馬里蘭州郊區的主要部分，服務超過 793 萬客戶。PEPCO 控制中心管理及運轉所有馬里蘭州和哥倫比亞特區用戶之輸配電系統。此外，PEPCO 的網路運轉中心監控 PEPCO 的智慧電網、AMI 及其他關鍵網路和系統。

(3)Pepco Watershed Center for Sustainable Research

分水嶺(WaterShed)設施，為一個以太陽能為動力之建築，由馬里蘭大學學生設計及建造，為 2011 年美國能源部太陽能十項全能競賽的總冠軍。經由馬里蘭大學之

安排，此設施找到可永久設置之地點，使其能夠持續宣傳教育之使命，其特點在於永續能源和水資源回收再利用之做法。

(4)FERC Market Monitoring Facility

美國聯邦能源管理委員會(Federal Energy Regulatory Commission, FERC)，為美國一獨立機構(總部位於華盛頓特區)。該委員會主要目的為保護公眾和能源消費者之利益，且確保監控之能源公司均在法律範圍內行事。FERC 負責：

- a. 規範天然氣，石油和電力的州際傳輸。
- b. 規範電力批發銷售（各州規範零售業銷貨額）。
- c. 審核和檢查水力發電計畫。
- d. 批准州際天然氣管道，儲存設施，以及液態天然氣(LNG) 接受站。
- e. 能源市場的監測和管理（市場監管）。
- f. 審查電力傳輸計畫的選址申請。
- g. 電網的可靠性。

(5)National Cyber Security Center of Excellence

(NCCOE)

國家網路安全卓越中心(National Cyber Security Center of Excellence, NCCOE)為企業提供網路安全解決方案為基礎之商業化技術。該中心集結產業界、政府機構及學術界專家，來展示其網路安全整合符合成本效益、具備可重複性及可擴充性。該中心與美國國家標準技術研究所(National Institute of Standards and Technology, NIST)合作，成立於 2012，致力於促進與產業界合作，共同發現及解決當前最緊迫的網路安全挑戰。

二、參與 IEEE 年會心得

本次會議活動項目繁多，大會期間主要曾參與全體會議(Plenary Session)、「New Power System Planning (NewPSP) Combo Session」小組會議、「Implications of Large-Scale Energy on Power Systems and Supporting Measures for Better Integration」小組會議等等。說明如下：

(一)全體會議

全體會議部分已於本報告本章第一節之(一)小節中說明，主要精神在於科技之進步，使得未來對於新能源發展與實現之可能性變得更高及更加可能實現，未來全球將朝向提高可再生能源發電佔比之方向發展，大型風力發電為未來可再生能源發展之主要趨勢。

(二)「New Power System Planning (NewPSP) Combo Session」

小組會議

對於「New Power System Planning (NewPSP) Combo Session」小組會議部分，主要在介紹 PSPI 委員會(Power System Planning & Implementation)之分工，其委員會下有 7

個工作小組，別分為傳統及可再生能源發電規劃(Conventional and Renewable Energy Supply Planning)、輸電系統規劃(Transmission System Planning)、現代及未來配電系統規劃(Modern and Future Distribution System Planning)、整合智慧用戶系統規劃(Integrated Intelligent Customer System Planning)、資產管理(Asset Management)、能源預測(Energy Forecasting)及電力系統運轉彈性評估(Assessment of Power System Flexibility)，由於美國電力市場已發展成熟，各工作小組之規劃幾乎都離不開電力市場，值得本公司參考。

(三) 「Implications of Large-Scale Energy on Power Systems and Supporting Measures for Better Integration」小組會議

有關「Implications of Large-Scale Energy on Power Systems and Supporting Measures for Better Integration」小組會議，由於大型風力發電為未來之趨勢，風場併網檢討為風力發電未來發展之重要課題，本小組主要討論大型風場併網相關議題，其中有關「Recommended Practices for Wind Integration Studies」議題，由iea wind Task25參與成員國共同完成，由芬蘭籍之Dr. Hannele Holttinen簡報，以2013年出

版之「風場併網檢討」(Wind Integration Studies)報告為主要內容。

國際能源總署(International Energy Agency, IEA)對於執行風力發電系統之研究、開發及部署之合作協議(IEA Wind)為其成員國彼此間交換有關規劃及執行大型風力系統計畫及協同研究與發展計畫之管道。IEA Wind 之成員國目前計有澳洲、奧地利、加拿大、中國、丹麥、芬蘭、法國、德國、希臘、愛爾蘭、以色列、義大利、日本、韓國、墨西哥、挪威、荷蘭、葡萄牙、西班牙、瑞典、瑞士、英國及美國等，如圖 2 所示。



圖 2 IEA Wind 參與之成員國

IEA Wind 於 2013 年出版一份「風場併網檢討」(Wind Integration Studies)報告，為其與 IEA Wind Task 25(Design and Operation of Power Systems with large amounts of Wind Power)在 8 年來之工作與研究成果，其中亦包含成員國於檢討分析時所遇到之挑戰及經驗分享，值得作為未來進行風場併網檢討之參考。

本報告為 IEA Wind 所提出之建議措施，提供研究機構、顧問機構及系統運轉調度員，作為進行風場併網檢討時之最佳可用資訊。其內容主要描述方法、檢討假設及所需之輸入資料，用以處理風場併網檢討。

IEA Wind Task 25 發展出一套流程圖(如圖 3)，勾勒出完整風場併網檢討各階段工作之綱要。該流程圖亦可應用於其它各種再生能源之併網檢討(例如太陽能發電)。

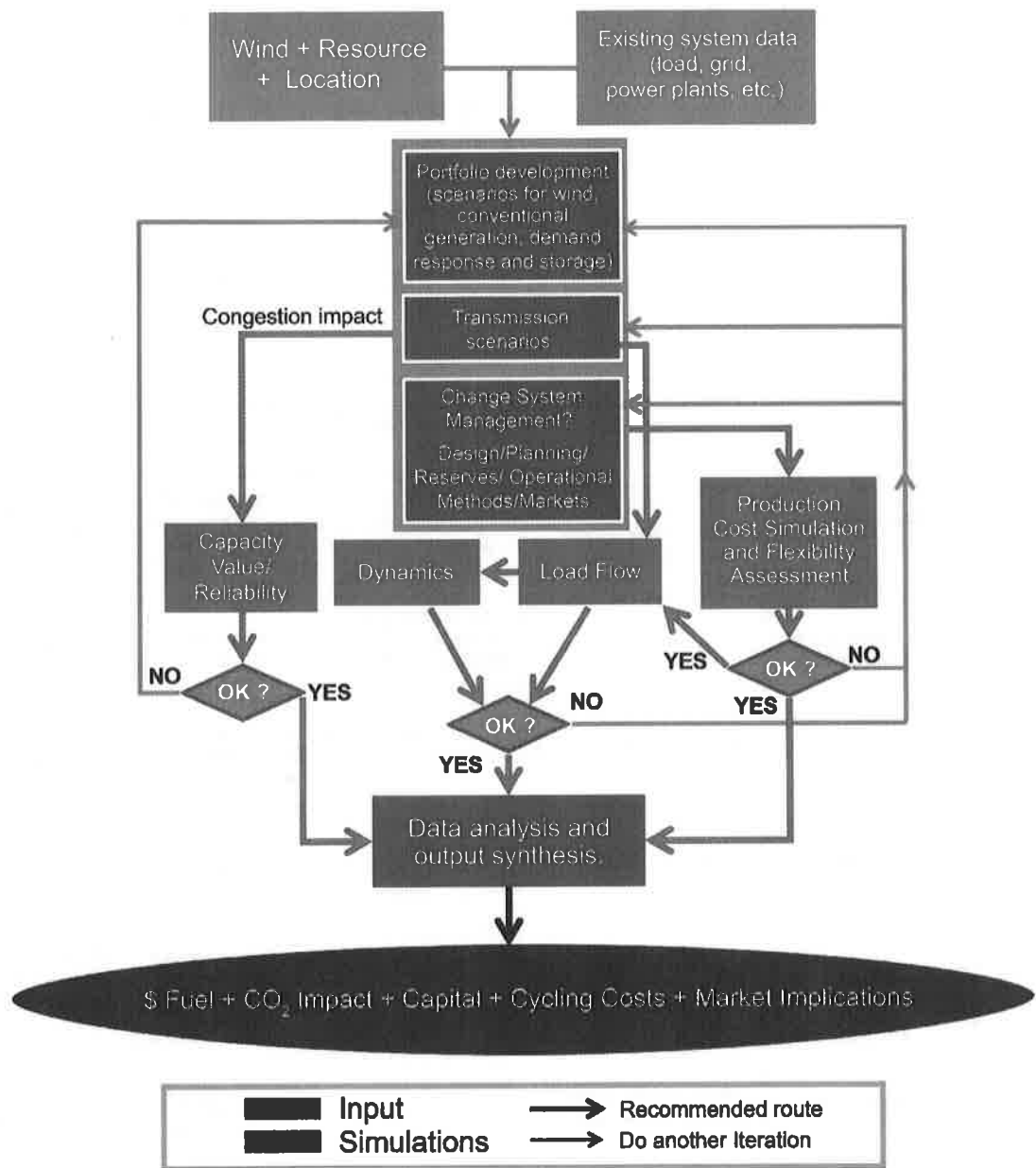


圖 3 風場併網檢討流程圖

依照流程圖完成完整之風場併網檢討為一個相當複雜之程序，特別是將流程圖中所有可能之重覆性判斷迴圈均予以考慮之情況。因此，對於每一個風場併網檢討之個案，也許不需要

進行流程圖上每一個步驟。此流程圖呈現出其相對應之關係，並指出由檢討之設定假設條件到檢討結果之重要性。

表 2 對於風場併網檢討流程圖中檢討項目之輸入資料建議

	Capacity Value / Power (resource) Adequacy	Unit Commitment and Economic Dispatch (UCED)	Load Flow	Dynamics
Wind Power	Hourly time series of 6–10 years, distributed wind power covering the area	5-minute to hourly time series of at least 1 year, distributed wind power covering the area	Wind power capacity at nodes, high and low generation and load snapshots, active and reactive power	Wind power capacity at nodes, high and low generation snapshots, dynamic models of turbines, operational strategies
Wind Power short term Forecasts	Not needed	Forecast time series, or forecast error distribution for time frames of UCED	Will be needed in future	Not needed
Load	Hourly time series of 6–10 years	5-minute to hourly time series of at least 1 year	Load at nodes, snapshots relevant for wind integration	Load at nodes, high and low load snapshots, dynamic capabilities
Load Forecasts	Not needed	Forecast time series, or forecast error distribution for time frames of UCED	Will be needed in future	Not needed
Network	Cross border capacity, if relevant	Transmission line capacity between areas and interconnectors to neighbouring areas	Network configuration, circuit passive, and active parameters	Network configuration, circuit parameters, control structures
Power Plants	Rated capacities and forced outage rates	Minimum on-line capacity, start-up time, ramp rate, efficiency curve, fuel prices	Active and reactive power capabilities, system dispatch	Dynamic models of power plants

報告中指出，用於風場併網檢討之方法，種類及變化繁多並且仍在發展及進化中，同時其檢討之目標及用途之不同，使得檢討之結果無法相互比較。

對於風機併網效果之可靠性及可比較性之缺乏，可能限制

大型風能之發展，肇因於其衝擊之不確定性。隨著風場佈建及風力發電容量擴大之可觀潛力，對於應用在實際併網問題評估之作法致關重要。直至今日仍然沒有建議措施或最佳措施作為處理風場併網檢討之指南。本報告以目前之觀點對於目前仍在發展進化中之風力併網檢討分析提供建議之作法，並指出未來發展之需求。

本報告對於負載潮流及動態、暫態分析僅以要點呈現而不提出詳細之方法建議，因在許多教科書中已提供許多適當之建議。通常會先進行輸電網路容量充足性及擁塞檢討，在配比發展(portfolio development)之部分，作為設置成本分析(production cost simulation)及發電容量值決定(capacity value)之輸入資料。發電容量值之擴充模擬分析，可用於配比發展，用以產生發電配比方案。或已知未來規劃系統之改變，進行容量值/可靠度(Capacity Value/Reliability)模擬以確認其網路容量之充足性。

完整的風場併網檢討應明確地描述許多輸入及假設條件，並包含以下項目：

(1)檢討之目標：列出需包含或不含之項目。

- (2)既設電力系統資料：包含發電配比、電廠資料、負載資料、輸電網路資料、運轉操作方式、電力市場結構及風場規模及場址。
- (3)風能相關資料：詳細之風能數據資料用以呈現風場之性能、地理上之分佈及與負載之時間同步狀況，以及風能及負載資料之不確定性(預測誤差)。
- (4)對於檢討結果具重要影響之假設條件：例如與天然氣市場之連結及熱力需求(heat demand)(像是複循環之熱能及電廠)、需量反應可能性、其它方案如傳統機組及網路特性及燃料價格、稅金、二氧化碳排放允許值及排放限制等。

構成風場併網檢討之重要工作項目如下：

- (1)資料之收集及確認。
- (2)配比發展：決定將進行檢討之方案及可相互對照之 Base Case。
- (3)風能於短程備用容量(Short term reserve)衝擊之統計資料分析。
- (4)進行容量(資源)充足性分析，以評估風力容量值。

- (5) 進行設置成本模擬分析，以瞭解風能如何衝擊傳統機組之排程與調度以及系統運轉成本。
- (6) 進行輸電網路模擬分析，以瞭解輸電網路之充足性。
- (7) 進行以初次檢討結果之疊代作業(如風場併網檢討流程圖)，視需要調整發電量或輸電網路之配搭或運轉方式。
- (8) 分析資料及呈現檢討結果。

根據檢討之風場於全系統發電量之佔比，部分分析項目可被簡化。對於低估比(低於 5~10%)之檢討，配比發展可僅考慮包含既設電力系統狀態。主要模擬分析項目為設置成本分析及負載潮流分析，以評估風場對於其它電廠之衝擊及輸電網路升級改善之需求。同時對於備用容量之衝擊可能亦需進行。對於高佔比之檢討，將需考慮發電容量值之評估及動態穩定度分析，且需進行更細部之運轉彈性(flexibility)評估。即使風力發電容量值對於低估比通常較不具關鍵性，此項目經常被包含於檢討分析內。對於完整檢討而言，是一個複雜的程序，特別是考慮所有可能之疊代迴圈(如流程圖所示)。

考慮顯著較高之風力佔比通常需要處理未來 10~30 年計畫之檢討。這樣的模擬檢討分析結果，可得到對於風場增設可能

造成衝擊之預先準備方法。檢討結果可顯現電力市場結構及運轉程序如何改變，可幫助確保系統承擔高佔比間歇性電力 (variable power) 之可靠及經濟性。

IEA Wind task 25 專家團體建議如下之程序及考量因素，用以處理風場併網檢討。此處所指之風力佔比，為年度風力產生之能量與年度電力消耗量之比例。

1. 配比發展 (Portfolio Development)

發電及輸電方案 (Generation and transmission scenarios)

- (1) 當檢討小發電量之風力 (佔比小於 5~10%)，風力可經由將其加入既設或可預期系統之方式進行檢討。
- (2) 對於高佔比之情況，可能需要對其餘系統進行改變調整，包含運轉彈性需求 (flexibility needs) 及額外網路基礎建設。由於高風場佔比 (例如 30%) 之設置仍在較遠程之未來，因此必須進行實際評估，看看到時其它哪些系統內之電廠可運用。

運轉方式(*Operational methods*)

- (1)當檢討小發電量之風力(佔比小於 5~10%)，既有運轉方式可被用來作為起始點。對於高佔比之情況，額外方案或運轉方式應被檢討分析。
- (2)電力市場結構/設計應被評估，以運用運轉彈性(*operational flexibility*)。

備用容量需求/配置方法(*Reserve requirements/allocation method*)

- (1)資料：輸入資料須包含風及負載於時間軸之同步資料(至少以小時為單位)，以及風/負載預測誤差之分佈資料。發電停用(*generation outage*)之分佈資料可能也需使用。
- (2)方法：風險等級(*Level of risk*)應基於既設系統運轉方式進行選擇。
- (3)應計算適當之時間長度，與既設運轉方式相對應(像是在秒~分鐘之自動響應，及分鐘~小時至數小時之手動操作)。將輸入資料謹慎依此分類，避免重覆計算變動率及不確定性之來源。

- (4)風及負載(及發電)之變動率及不確定性應將其結合，於風場加入前後維持相同之風險等級。無論採用何種統計方法，均應將風之變動率及不確定性並非常態分佈之特性納入考量。
- (5)對於不斷增加之佔比，應採用動態而非靜態備用容量概念。

2.風量之發電容量值(Capacity Value of Wind Power)

資料(Data)

計算之強健性與風及負載之按時間同步資料量(以年為單位)有關，擷取風及負載資料之相關性。發電裝置容量資料及強制停用率亦於計算中被使用。

方法(Methodology)

(1)最佳計算方法為完全有效載荷容量(Effective Load Carrying Capability, ELCC)。計算中應盡可能避免近似動作

(Approximations)。

(2)最佳之 ELCC 計算包含下列項目：

a.迴旋計算發電機容量及強制停用率以產生電力系統之容量

停用機率表(Capacity Outage Probability Table, COPT)，此

表呈現容量值及其相對應之機率。

b. 由 COPT 表計算得到每小時需求量之缺電機率(Loss Of Load Expectation, LOLE)。

c. 若 ELCC 資料不充足，則近似方法可提供有用之洞察；然而所產生之局限性應需再確認。

3. 設置成本模擬分析及運轉彈性評估(Production Cost Simulation and Flexibility Assessment)

資料(Data)

(1) 需要風及電力負載之同步資料，至少以小時為單位，資料量至少為 1 年之資料，最好有多年之資料。擷取風力產生時序之平滑輸出變動率(假設具地理上之多樣性)是很重要的。本檢討應使用最佳風力預測方式，用於檢討(未來)年度考慮假設風力產生之不確定性，考量更新預測結果更接近實際狀況之可能性。

(2) 傳統電廠之資料應包含任何運轉彈性之可能性或限制條件，像上升率(ramp rate)、啟動時間(start-up time)及成本(costs)等。

方法(Methodology)

- (1)須經由運轉模擬分析擷取系統特性及響應，並建立機組排程及經濟調度之模型。
- (2)須建立彈性運轉選項之模型，及其任何限制條件。這包含發電機組上升及啟動/停止限制條件及相關成本。運轉方式可能造成或限制運轉彈性之情況應納入考量。
- (3)應整合相鄰區域間存在之運轉彈性可能性。為精確建立互相聯結限制條件之模型，應建立鄰近系統之模型，亦包含風力安裝之地點。替代方案包含：假設互聯系統之可用性，或假設由其它檢討得到或基於鄰近地區電力市場價格之固定潮流。這些方案將分別存在樂觀及悲觀之考量，應於檢討結論中明確說明。
- (4)為由輸電網路得到限制條件，考慮擁塞及機組排程與經濟調度(UCED)之 N-1 準則(系統應可運轉於任一最大機組停用時不影響系統安全)是很重要的。為減少大型系統或使用隨機優化於計算上之負擔，淨傳輸容量(net transfer capacity)或疊代法(iterative methods)可以被使用。於再生能源發電佔比很高之系統，可能也需要建立穩定度限制條件之模型。

(5)應評估既有系統運轉彈性。不論額外運轉彈性是否具經濟性，均應提供相關指標，連同響應時間之時間尺度及其它電廠必須提供以有效地整合預期風能之屬性。對於高風力佔比，瞭解既設火力電廠運轉成本及確認及/或包含新設可能之運轉彈性來源(包含火力電廠改造)是很重要的。

4.輸電網模擬(Transmission Grid Simulation)

負載潮流模擬(Load flow simulation)

(1)驗證所有輸入模型是很重要的(傳統發電機、風機及負載)。

風機模型應與不斷進化發展之機組科技及網路規範(Grid code)需求相互連結，以針對問題在一個與系統相關之方向模擬風機能力。適當之模型複雜度將隨檢討應用而異。

(2)風力發電檢討將需要更大範圍之可靠分析 cases，不僅限於傳統上之最小/最大負載情境。

(3)穩態分析包含負載潮流及短路分析，用以決定輸電網路瓶頸(如擁塞)、評估系統控制電壓能力及決定短路電流值。

(4)考慮一整年，同時考慮正常及事故之情況，經由決定風力發電及負載之組合之網路線路載流量，評估網路負荷狀況(如擁塞)。系統瓶頸可由機率之方式分析過載風險及安全性。

動態穩定度模擬(Dynamic stability simulations)

- (1)穩定度之挑戰可能隨著系統之不同而完全不同(例如頻率穩定度、電壓穩定度或暫態穩定度問題)，意味著可能需進行特定之系統檢討。
- (2)暫態穩定度分析須包含網路及經由轉換器連接之發電機組之保護裝置效應(鍋爐/汽輪機模型則不需要)。任何快速動作之無效電力響應裝置例如 FACTS、同步調相機，需考慮風力或傳統發電機之響應，應於擾動發生時或發生後加以檢視，以瞭解潛在問題及如何緩解。
- (3)當檢討電壓穩定度時，風機是否具有無效電力控制能力為重要之假設條件，其將影響檢討結果。
- (4)於小信號穩定度檢討時，建立 AVR(Automatic Voltage Regulators)模型是需要的，包含同步機之 PSS(Power System Stabilizer)設定。風機可能可以幫助提供阻尼抑制振盪。
- (5)頻率穩定度檢討：
 - a.高非同步機佔比與減少之慣量成倍數關係，將同時改變故障及事故發生時之系統響應。若檢討之風力佔比於整個同步區

域內某幾個小時中將高於 50%，此慣量減少之效應即應納入檢討，特別是小型電力系統。

b. 建立所有機組之慣量(inertia)、下垂特性(droop)及調速機控制設定模型(所有個別機組響應及系統對於故障或事故發生時之響應)是很重要的。考慮部分機組在調速機控制及可操控能力之參與亦很重要。

c. 依據風機之運轉點，其可提供合成之慣量響應，此部分應被考慮。快速動作之負載響應或儲能亦需被考慮。

d. 精簡化之網路系統可能即足以進行檢討。

5. 分析及呈現檢討結果(Analysing and Presenting the Results)

(1) 若檢討結果顯示風力對系統造成不可預期之高度或高成本之衝擊，則考慮進入流程圖中之疊代迴圈再檢討。改變運轉方式可能可證明成本效益或發電或輸電情境也許不適當。

(2) 當提取衝擊檢討結果時，謹慎比較選擇 cases，並且於最後發現中說明其方法及可能之注意事項。評估併網成本尤其具有挑戰性。

(3) 列出產生最後檢討結果之風力佔比量、電力系統之規模及類型及主要假件與限制條件。

(4)須考慮不僅風力，亦須考慮整個系統改變對系統造成之衝擊。亦即若風力替代方案與其它替代方案比較，則亦應進行其它替代方之併網檢討。

6.未來展望(The Future)

併網檢討方法持續發展及進化中，未來將由具有大量風能之系統運轉經驗中吸收其相關經驗之益處。對於處理併網檢討之主要檢討步驟及方法建議將繼續在 IEA Wind Task 25 之國際合作中更新。對於未來電力系統如何運轉之建議與政府政策及電力市場發展具有相當之關連性。可能影響未來建議之研究工作包含如下：

- (1)建立運轉彈性(flexibility)之衡量標準及可用於評估電力系統運轉彈性需求之分析工具，以及實現此運轉彈性之方法。
- (2)建立在不同時間尺度中將風能不確定性納入考量之模擬分析工具，同時結合機組排程與調度限制之網路限制條件。
- (3)探索建立模擬 cases 之方法，使其具有可提取衝擊結果及系統成本之資料。

- (4)提升有關極高佔比方案下穩定度相關問題之知識。由於大型風場(包含離岸風場)之連接，未來網路將存在更多直流輸電系統。
- (5)探索電力市場設計及/或風場併網法規程序背後所隱含之意義。電力市場應如何設計以鼓勵運轉彈性(flexibility)及發電資源在高風力佔比系統之充足性，現在仍未有定論。
- (6)檢討大量風力如何衝擊不同電力市場中之相關要素，以針對其提出市場整合策略或市場設計替代方案之建議。