

出國報告(出國類別：實習)

參加美國奇異公司  
電力系統研習班

服務機關： 台電電力調度處  
姓名職稱： 成易達電機工程師  
派赴國家/地區： 美國  
出國期間： 107.09.09~107.10.14  
報告日期： 107.12.10

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加美國奇異公司電力系統研習班

頁數 36 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/2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

成易達/台灣電力公司/電力調度處/電機工程師/2366-6645

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 開會 6 其他

出國期間：107 年 09 月 09 日~107 年 10 月 14 日

派赴國家/地區：美國

報告日期：107 年 12 月 10 日

**關鍵詞：**奇異公司再生能源學習中心(GE Renewable Energy Learning Center)、電力系統研習班(Power System & Energy Course, PSEC)、斯堪那特提(Schenectady)

**內容摘要：**(二百至三百字)

美國奇異公司自西元 1949 年起舉辦電力系統研習班，至今已有 68 年歷史，畢業學員接近 1,800 位，分別來自 177 家公司及 57 個國家。過去參訓期間長達 8 個月之久，2007 年之後上課期間調整為 4 個月。由於奇異公司為電力業界頂尖公司之一，課程設計適合培訓電力從業人員，甚至有日本電力公司連續派員參訓超過 50 年。近年來奇異公司面臨產業轉型，本(2018)年度調整上課內容，僅開設秋季班，包含 7 門課程，分別為電力系統基本原理、高占比分散式能源規劃、智慧電網之變電所與配電自動化、配電系統規劃與工程、保護電驛基本原理、再生能源系統基本原理及電力系統動態，本次奉派出國參訓前 6 門課程。

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

## 誌謝

感謝鍾總經理炳利、李副總經理鴻洲、籃副總經理宏偉、蕭專業總工程師勝任對於培訓員工與本次出國實習計畫之支持。

感謝人資處長官及陳專員德隆在辦理出國行政流程上之幫忙，會計處長官及趙專員逸雅在經費借支及旅費報銷上之協助。

感謝吳處長士襄、吳副處長進忠、周組長芳正推薦，讓職得以出國歷練，增廣見聞。

感謝蔡課長金助、王專員曉嬋、林專員聖開、陳專員怡欣等人，在出國期間代理業務；也謝謝系統規劃處張主辦智彥、李課長公明、葉主辦宏志、徐專員唯耀分享手續文件、參訓經驗與當地飲食交通等生活起居注意事項。

本次公務出國順利成行且平安歸國，多人給予支持與協助，未能一一表示感謝，本人一併在此致上最誠摯的歉意與謝意。

## 目 錄

一、出國緣由與目的 .....	1
二、出返國行程.....	2
(一)去程 .....	2
(二)參訓 .....	2
(三)返程 .....	4
三、心得與建議.....	5
四、電力系統研習班課程摘要.....	10
(一) 電力系統基本原理.....	10
(二) 高占比分散式能源規劃 .....	12
(三) 智慧電網之變電所與配電自動化.....	19
(四) 配電系統規劃與工程 .....	25
(五) 保護電驛基本原理.....	29
(六) 再生能源系統基本原理 .....	31
六、參考文獻.....	34

## 圖 目 錄

圖 2-1 參訓地點.....	3
圖 2-2 參訓地點衛星圖.....	4
圖 4-1 電力系統基本原理課程內容.....	10
圖 4-2 北美各區電力市場 .....	11
圖 4-3 傳統配電系統規劃 .....	13
圖 4-4 含高占比分散式能源之配電系統規劃 .....	14
圖 4-5 加州鴨子曲線.....	16
圖 4-6 加州天氣對負載曲線之影響.....	17
圖 4-7 南加州事故衍生電壓恢復問題.....	17
圖 4-8 智慧型電網概念模型 .....	20
圖 4-9 傳統系統間關聯路徑情境.....	21
圖 4-10 含高占比分散式能源之系統間關聯路徑情境.....	21
圖 4-11 通訊協定應用場合 .....	23
圖 4-12 CYMDIST 編輯元件畫面.....	27
圖 4-13 CYMDIST 分析參數設定畫面.....	27
圖 4-14 電驛保護區間.....	30
圖 4-15 典型集熱式太陽能發電.....	31

圖 4-16 太陽能電池效率發展概況.....	32
-------------------------	----

圖 4-17 風機尺寸對比.....	32
--------------------	----

## 表 目 錄

表 2-1 去程行程表.....	2
------------------	---

表 2-2 參訓課程名稱.....	3
-------------------	---

表 2-3 返程行程表.....	4
------------------	---

表 3-1 本屆參訓學員.....	5
-------------------	---

表 3-2 本公司歷年參訓人員.....	9
----------------------	---

表 4-1 各類分散式能源屬性比較.....	12
------------------------	----

表 4-2 併網標準之演進.....	14
--------------------	----

表 4-3 北美採行標準比較.....	15
---------------------	----

表 4-4 智慧電網核心標準與應用.....	22
------------------------	----

表 4-5 兩種主流通信協定比較.....	23
-----------------------	----

表 4-6 控制中心核心系統.....	24
---------------------	----

表 4-7 常見電驛代號與功能.....	29
----------------------	----

表 4-8 現有風力發電技術分類與特性.....	33
--------------------------	----

表 4-9 併網規範考量項目與內容.....	33
------------------------	----

## 一、出國緣由與目的

政府為推動電業改革及能源轉型，設定三大目標，包括多元供給、公平使用、自由選擇，並已於 106 年 1 月 26 日修正公布電業法，此舉為電力界的一項重大變革。電力市場架構可預期將呈現新型態，綠能轉直供、需量反應、輔助服務等新興運作機制必須逐步建立起來並持續檢討精進。同時配合國家所推動太陽光電及離岸風力等大量再生能源政策，除研擬系統衝擊之因應對策之外，尚需考慮外在環保因素與各項運轉限制，調度模式須在既有基礎之下滾動調整，並應持續留意國外發展以汲取相關經驗，對未來之挑戰預作準備。

本次參加美國奇異公司電力系統研習班的下列課程：(一)電力系統基本原理、(二)高占比分散式能源規劃、(三)智慧電網之變電所與配電自動化、(四)配電系統規劃與工程、(五)保護電驛基本原理、(六)再生能源系統基本原理。各課程的內容除基本理論外，亦包括電力市場、IEEE 1547 標準、IEC61850 標準、智慧變流器等介紹，與大量再生能源併網具有相關性，可作為未來電力系統運轉規劃之參考。

奇異公司為電力業界頂尖公司之一，課程設計符合業界需求，參訓人員不僅強化既有電力系統理論外，訓練期間得與他國電力公司人員交流規劃、運轉與維護經驗。同時透過本項訓練課程，能初步瞭解美國電力系統之發展、相關法規與技術，值得借鏡參考。

## 二、出返國行程

本次執行出國計畫，自 107 年 09 月 09 日起，至 107 年 10 月 14 日止，共計 36 天，詳細行程及地理位置圖如下所示：

### (一)去程

表 2-1 去程行程表

日 日期	城市/航站/ 停留城市	時間	航班 艙等 狀態	停留/機型/ 飛行時間 服務
日 09月09日	出發 台北桃園 (TPE) 台灣桃園國際機場 第二航站	2330	BR28 經濟艙	直飛 波音 777-300ER
	抵達 舊金山 (SFO) 舊金山國際機場 國際航站	1950	機位OK	11小時20分鐘 餐點
	台北桃園 (TPE) - 舊金山 (SFO) 實際飛行: EVA AIRWAYS CHENG/ITAMR 預選座位: 64G - OK			
日 09月09日	出發 舊金山 (SFO) 舊金山國際機場 第三航站	2245	UA214 經濟艙	直飛 波音 757-300
09月10日	抵達 芝加哥 (ORD) 芝加哥奧海爾國際機 場 第一航站	0444	機位OK	3小時59分鐘 售賣的餐飲
	舊金山 (SFO) - 芝加哥 (ORD) 實際飛行: UNITED AIRLINES CHENG/ITAMR 預選座位: 27C - HK			
一 09月10日	出發 芝加哥 (ORD) 芝加哥奧海爾國際機 場 第一航站	0625	UA1686 經濟艙	直飛 波音 737-900
	抵達 ALBANY INTL, NY, US 奧爾巴尼國 際機場	0922	機位OK	1小時57分鐘 售賣的餐飲
	芝加哥 (ORD) - ALBANY INTL, NY, US 實際飛行: UNITED AIRLINES CHENG/ITAMR 預選座位: 26D - HK			

### (二)參訓

107 年 09 月 11 日至 107 年 10 月 11 日。

赴奇異公司再生能源學習中心(GE Renewable Energy Learning Center, 2690 Balltown Road, Schenectady, NY, 12309 USA)參加電力系統研習班。



表 2-2 參訓課程名稱

Course
Power System Fundamentals
Distributed Energy Resources: Planning for High Penetrations
Smart Grid: Substation/Distribution Automation
Distribution Systems Planning and Engineering
Protective Relaying Fundamentals
Fundamentals of Renewable Energy Systems



圖 2-1 參訓地點



圖 2-2 參訓地點衛星圖

### (三) 返程













表 2-3 返程行程表

日 日期	城市/航站/ 停留城市	時間	航班 艙等 狀態	停留/機型/ 飛行時間/ 服務
五 10月12日	出發 ALBANY INTL, NY, US 國際機場 抵達 芝加哥 (ORD) 芝加哥奧海爾國際機 場 第一航站	1807 1924	UA683 經濟艙 機位OK	直飛 波音 737-800 2小時17分鐘 售賣的餐飲
	ALBANY INTL, NY, US - 芝加哥 (ORD) CHENG/ITAMR	實際飛行: 預選座位:	UNITED AIRLINES 26D - OK	
五 10月12日	出發 芝加哥 (ORD) 芝加哥奧海爾國際機 場 第一航站 抵達 舊金山 (SFO) 舊金山國際機場 第三航站	2022 2258	UA1742 經濟艙 機位OK	直飛 波音 737-800 4小時36分鐘 售賣的餐飲
	芝加哥 (ORD) - 舊金山 (SFO) CHENG/ITAMR	實際飛行: 預選座位:	UNITED AIRLINES 24C - HK	
六 10月13日	出發 舊金山 (SFO) 舊金山國際機場 國際航站	0120	BR27 經濟艙	直飛 波音 777-300ER
10月14日	抵達 台北桃園 (TPE) 台灣桃園國際機場 第二航站	0550	機位OK	13小時30分鐘 餐點
	舊金山 (SFO) - 台北桃園 (TPE) CHENG/ITAMR	實際飛行: 預選座位:	EVA AIRWAYS 64D - OK	

### 三、心得與建議

本次參訓共有 12 位學員參加 31 天之 6 門課程（日本 8 人、韓國 3 人、台灣 1 人），學員背景包含工程顧問、石化、電力公司負責規劃、運轉、發電、輸電、配電部門的電機工程師。另有為數不等之學員參加不同課程，大多為奇異公司顧問或相關部門之員工、來自 ISO 員工，亦有太陽能設備商派員。日本電力公司所派學員除參加本研習班之外，也會利用不同課程間的空檔，參訪各地公用事業機構，例如佛羅里達電力公司及位於田納西州的 EPRI。日本學員赴美之前，已先於東京舉辦行前會，討論洽訪機構並分工聯繫事項。課程結束後，還可停留在美約 1~2 個月不等，繼續各州參訪行程。由於赴美距離遙遠，能妥善利用這一趟往返旅程，順訪各機構交流經驗，相較多次往返美國，在經濟上與時間上頗具有相當效益。

表 3-1 本屆參訓學員

學員姓名	公司	國家	備註
Daiki Mori	Chubu EP	Japan 	中部電力
Takashi Hada	TEPCO Power Grid, Inc.	Japan 	東京電力
Takuya Kanamori	EPDC	Japan 	J-Power
Yuji Katsuki	Kansai EP	Japan 	關西電力
Hiroyuki Yamaguchi	Hokuriku EP	Japan 	北陸電力
Takanori Yamamoto	Chugoku Electric Power Co.	Japan 	中國電力
Yoshiaki Suzuki	Shikoku Electric Power	Japan 	四國電力
Masahiro Terajima	EPDC	Japan 	J-Power
Taeheon Kim	Hyundai Oilbank	Korea 	南韓現代煉油
I-Ta Cheng	Taipower	Taiwan 	台灣電力公司
Dong Yeon Kim	KEPCO	Korea 	南韓電力
Gilieong Oh	SK Incheon Petrochem	Korea 	南韓仁川石化

在上課的過程中，遇到不少學習瓶頸，主要原因還是源自英文程度不足，包含：

(一)口音、語速：講師來自不同國家，有其獨特的口音，即使知道某個單字，但不熟悉不同的發音方式，導致聽不懂的狀況，而且口音並非如我想像般那麼容易適應，例如印度腔，嘗試著調整，還是無法有效理解；再者某幾門課有來自較多美國國內的學員時，講師很自然地會提升語速，對於英語母語人士是正常速度，但未具足夠程度的話，聽起來就頗為吃力。

(二)單字、片語：單字量一直都是英文程度的一個代表指標，句中出現不懂的單字，很容易導致無法銜接上下文，例如講師提及避鄰設施，使用了 *nimby(not in my back yard)* 這個單字，雖然它算是個縮寫，但還是一個具有實質意義上的單字，若某個不懂的單字剛好是關鍵字，很可能對於整段敘述無法瞭解。另外，有些講師有習慣的表達法，尤其是使用片語，例如「on top of that」、「the name of the game」，若無法理解該片語的意義，對於該段敘述的解讀也會造成很大的差異，甚至可能造成誤解。

(三)慣用語：英文口語上有其習慣的表達方式，舉例來說，我問了一個問題「Did they do the simulation by themselves?」，講師回答是「Yes, they did it in-house」，同樣是要表達「自己做」的概念，也許语法上沒

有錯誤，也不致於誤會，但若能使用慣用的說法，更能精準表達含意。有幾次提問，講師的回覆總覺得不是自己想要的答案，很可能就是問的方式不是美國的慣用說法，無法將自己的想法明確地表達出來。

(四)不熟悉美國地名：在某堂課上，講師講解一個案例，稱為 Blue-Cut Event，覺得很疑惑怎麼沒有聽過，當時以為是個新的專有名詞，而且課堂上也有美國學員，通常美國學員若有不懂之處會立刻反應，但他們似乎不感到疑惑。後來上網查詢後，才發現在加州有個稱作 Blue-Cut 的地方發生森林火災，導致發生電力系統事故。

(五)專業背景不足：畢竟本研習班是屬於專業性質的課程，整個電力系統是涵蓋不同領域的，發、輸、配、電驛不同部門都有其技術範疇，除了基礎之外，許多部份又是需要多年累積足夠的知識與經驗，縱然求學時期或工作上有所接觸，但一旦涉及較為深入的內容，即無法跟上進度。

(六)其他部分：美國是個民族大熔爐，各州有其專屬文化，當講師提及德州人有特別的政治傾向，美國學員都會會心一笑，但非美國學員就不知其中的涵義，無法理解講師想表達的幽默感，就像看喜劇不知笑點在哪，甚為可惜。由於課程安排緊湊，幾乎半天的課程中只有 10~15 分鐘的休息時間，非母語聽講，對於精神上的注意力與集中力消耗頗大。

從本研習班的介紹中，摘錄其中一句：「The success of PSEC 68-year history is reflected by the achievements of its graduates, many of whom have become recognized senior executives and officers in their respected companies.」。從這段敘述中，首先可以看出，一個課程能持續籌辦如此多年，足見其被重視與支持之程度，尤其日本及韓國，日本幾乎都固定有 6~8 人以上，韓國也有 1~3 人以上，甚至日本中部電力公司連續派員長達 50 年之久。再者，由於講師來自奇異公司顧問群，經常出國出差，也曾在課堂上提及他們到日韓出訪時，總有主管級人物自我介紹他們數十年前參加過此課程，類似這樣的故事，印證所言不假，不少過去的參訓者在職涯上都有一定的發展。而電力調度處鄭前處長也曾經參加此課程，還特地寫了一篇部落格文章紀念-「參加美國 G.E. PSEC 30 週年之回憶」，該篇文章列出台電公司歷年的參加名單，如表 3-2 所示，表中可見不少人在公司裡位居中高階主管。

在美國，類似的專業課程都不便宜，加上薪資水平比我國高，生活上租房、租車等必須開銷，確實是一筆可觀的經濟負擔，使優秀的年輕同仁望之卻步。經詢問日本北陸電力公司同學，他們本次預算達 6 萬元美金，另有透漏其中有日本公司預算高達 10 萬元美金。而韓國同學每個月有 3 仟 8 佰元至 4 仟元美金之補助，租車則另有 2 仟元美金補助。有鑑於本課程多年累積的成果，具有培養人力之實績，建議

公司預算上能多加支持，並持續選派人員參訓。

表 3-2 本公司歷年參訓人員

姓名	學年度	派遣單位	最高職位	
錢良*	Chien, Paul K.	1963-1964	總協理室	協理(現稱副總經理)
倫卓村*	Lun, Cho-Tsai	1969-1970	電力調度室	副總經理
林嘉楨	Lin, Chia-Jen	1970-1971	系統規劃處	處長
許讚生	Hsu, Tsan-Sheng	1971-1972	輸工處	專業總工程師
盧偉麗	Yang, Wei-Lee Lu	1976-1977	系統規劃處	
張文雄	Chang, Wen-Hsiung	1977-1978	電力調度處	副處長
郭振光	Kuo, Chen-Kuang	1977-1978	系統規劃處	區處經理(現稱處長)
鄭金龍	Cheng, Chin-Lung(Gordon)	1979-1980	電力調度處	處長
陳永田	Chen, Yung-Tien(Anthony)	1979-1980	系統規劃處	處長
周玉雲	Chou, Yu-Yun	1981-1982	系統規劃處	資深研究專員
楊添福	Yang, Tien-Fu	1981-1982	電力調度處	課長(現稱組長)
高艾生	Kao, Aisun-Ai-Sheng	1982-1983	系統規劃處	處長
蔡利郎	Tsai, Lih-Lang(Larry)	1982-1983	電力調度處	中央調度監
李泰雄	Li, Sonny Tai-Hsiung	1983-1984	系統規劃處	副處長
曾重富	Tseng, Chung-Fu	1984-1985	電力調度處	副調度監
劉敏雄	Liu, Min-Hsiung	1985-1986	輸工處	副處長
林金彥	Lin, Jin-Yu	1986-1987	電力調度處	值班經理
徐旺台	Hsu, Wang-Tai	1989(1st Semester)	電力調度處	課長
陳國玄	Chen, Gow-Shyuan	1992(3rd & 4th Quarters)	系統規劃處	課長
石連住	Shih, Lian-Juh	1993(3rd & 5th Quarters)	電力調度處	課長
鄭建業	Cheng, Chien-Yeh	1993-1994	發電處	課長
黃清松	Huang, Ching-Sung	1993-1994	輸工處	副處長
黃張鴻	Huang, Chang-Horng	1994-1995	系統規劃處	課長
蕭純育	Shiaw, Chwen-Yuh	1995(3rd & 5th Quarters)	電力調度處	組長
顏德忠	Yen, Te-Chung	1995(3rd & 6th Quarters)	輸工處	副處長
林華民	Lin, Hwa-Ming	2000-2001((3rd & 4th Quarters)	系統規劃處	課長
蔡文達	Tsai, Wen-ta	2000-2001	電力調度處	值班經理
高孟輔	Kao, Mon-fu	2001-2002	電力調度處	專業工程師
徐宜文	Hsu, I-Wen	2002-2003	系統規劃處	課長
林啟明	Lin, Chi-Ming	2003-2004	系統規劃處	課長
陳政宏	Chen, Cheng-Hung	2004-2005(1st Quarter)	電力調度處	線損幹事
祁培倫	Chi, Pei-Ruen	2004-2005(1st Quarter)	電力調度處	課長
黃子成	Huang, Tzu-Cheng	2005-2006	系統規劃處	課長
周芳正	Chou, Fang-Cheng	2006-2007	電力調度處	課長
周浩龍	Chaow, How-lung	2006-2007	系統規劃處	課長
陳志宏	Chen, Chih-hung	2007	系統規劃處	課長
鄭壽福	Cheng, Shou-Fu	2008	電力調度處	組長
邱國智	Chiu, Kuo-Chih	2008	系統規劃處	課長
劉芷怡	Liu, Chih-Yi	2009	系統規劃處	
蔡培德	Tsai, Pei-Te	2009	電力調度處	值班經理
李公明	Li, Kung-Ming	2010	電力調度處	
白一凡	Pai, Yi-Fan	2010	系統規劃處	
吳滄堯	Wu, Tsang-Yao	2011	系統規劃處	課長
葉宏志	Yeh, Hung-Chih	2011((3rd & 4th Quarters)	電力調度處	
林琦軒		2012	電力調度處	
徐唯耀		2013	電力調度處	
梁國堂		2013	系統規劃處	

註：1.有(\*)標記者表示已經逝世；黃色底表示已經退休 2. 2014年9月更新

\*資料來源：[Gordoncheng's Blog](http://Gordoncheng's Blog)

## 四、電力系統研習班課程摘要

### (一) 電力系統基本原理

Energy Outlook Overview	Power Delivery Fundamentals
<ul style="list-style-type: none"><li>• Power Fundamentals</li><li>• Basic terminology and concepts</li><li>• Types of current</li><li>• Energy and power</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Transmission fundamentals</li><li>• HVDC transmission</li><li>• Power delivery components</li><li>• Delivery challenges</li><li>• Reliability and performance</li><li>• Regulatory drivers</li><li>• The consumer</li></ul>
Generation Fundamentals	Integrated System Operations
<ul style="list-style-type: none"><li>• Basic elements of a power system</li><li>• What is a power plant?</li><li>• Heat rate and efficiency</li><li>• Gas turbines</li><li>• Steam turbines</li><li>• Generators</li><li>• Hydro generation</li><li>• Power plant subsystems</li><li>• Power plant economics</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Operation of the transmission grid</li><li>• Interconnection economics</li><li>• Congestion management</li></ul>
	Power Market Fundamentals
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Energy and capacity</li><li>• Ancillary services</li><li>• Transmission</li><li>• Regulatory overview</li></ul>

圖 4-1 電力系統基本原理課程內容

圖 4-1 是描述本門課程內容，若是電力系統背景出身的，應該不陌生，除了求學時期會學到的基本知識，也包含從事電力業工作才會接觸到的實務，大致上即為以下這些內容的介紹：

- 電壓、電流、歐姆定律、克希荷夫定律、短路
- 直流、交流、單相、三相、功率、能量
- 電力系統發輸配網路架構、組成
- 電力特性(無法大量儲存、頻率平衡、電力品質、擾動)
- 頻率控制、電壓控制
- 發電廠、熱耗率、效率、可靠度、負載曲線
- 氣輪機、汽輪機、複循環、風機、地熱、太陽能、水力



- 發電機特性、輔機設備
- 輸電網路(輸電線、變電所、一次變電所、二次變電所)
- 損失、熱容量、短路故障、電網安全
- 穩態穩定度、暫態穩定度、電壓穩定度
- 頻率響應、併網規範、標準、輸配電規劃、穩態與動態模型
- 系統運轉(安全、經濟、排放)、電網操作
- 潮流、熱容量限制、電壓限制、穩定度限制
- 偶發事故(N-0、N-1、…)、壅塞
- 解制市場、市場架構、ISO、RTO
- 電能、容量、輔助服務、結算、日前市場、即時市場、LMP



圖 4-2 北美各區電力市場

這門課程幾乎將電力學門的範疇由淺入深介紹一次，可說是涵蓋基本物理的電學部分到電力工程大學部與研究所的內容，並延伸至業界實務上的運作，例如系統運轉和電力市場。

## (二) 高占比分散式能源規劃

分散式能源係分散於各地區的小型發電設備，通常併聯在配電系統的電壓等級，或是非常靠近終端使用者。歸屬於分散式能源的技術包含了微渦輪機、氣渦輪機、內燃機、閉循環活塞式熱機、燃料電池、儲能系統、不斷電系統、太陽光電、風機以及複合式系統，運用上可搭配需量反應，以提升系統運轉穩定度與可靠度。

表 4-1 各類分散式能源屬性比較

Characteristic	Reciprocating engines	Gas turbines	Microturbines	Fuel Cells	Solar PV	Small Wind
Typical size range	20 KW-20 MW	10-100 MW	30-250 KW	5 KW-5 MW	1 KW+	200 W+
Representative power efficiency range (%) (HHV)	28-49%	21-45%	18-20%	35-60%	-	-
Fuel options	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diesel</li> <li>• Natural gas</li> <li>• Alternatives</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Natural gas</li> <li>• Alternatives</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Natural gas</li> <li>• Alternatives</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hydrogen</li> <li>• Natural gas</li> </ul>	Renewable resource	Renewable resource
Thermal outputs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heat</li> <li>• Hot water</li> <li>• Low pressure steam</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heat</li> <li>• Hot water</li> <li>• Low/high pressure steam</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heat</li> <li>• Hot water</li> <li>• Low/high pressure steam</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hot water</li> <li>• Low/high pressure steam</li> </ul>	None	None
Power density (KW/MW)	35-50	20-500	5-70	5-20	-	-
Min start time	10 sec	10 min	60 sec	3 hours	Immediate	Immediate
Required fuel pressure (psig)	1-45	100-500 (compressor)	50-80 (compressor)	0.5-45	NA	NA
Noise	Moderate	Moderate	Moderate	Low	None	Low
Favored applications	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Power</li> <li>• CHP</li> <li>• Mechanical drive</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Power</li> <li>• CHP</li> </ul>	Power	Power	Power	Power

一般來說分散式發電系統可提供用戶的優勢包括：

- 高可靠度
- 良好的電力品質
- 能參與電力市場且具有價格競爭力

在系統上的輔助功能包括：

- 負載削峰填谷
- 減輕線路壅塞
- 抑制電力市場價格波動
- 強化能源安全
- 提升系統穩定度

對於一個具有高占比分散式能源的電網，電業在規劃配電網路的時候，不論在工程面或經濟面上必須更為精確，要掌握可供併網的容量，預測系統中分散式能源的成長，這些分散式能源有可能幫助電業延緩設備投資，相對地，也可能迫使電業升級系統。評估併網容量必須同時考慮分散式能源的裝置地點與對應的成長量、不同能源技術對於系統影響也不同，所以這些都會影響併網容量升級策略。

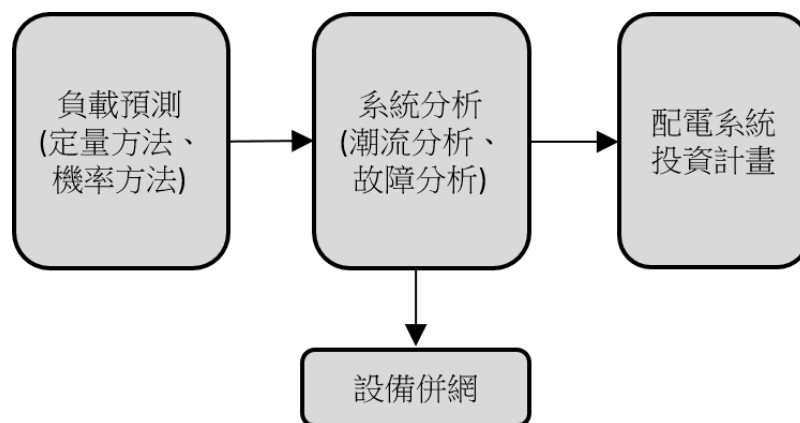


圖 4-3 傳統配電系統規劃

由於高占比分散式能源導入傳統配電系統，規劃方法也不再能使用過去的作業流程，至少需增加分散式能源預測、併網容量分析、以

及運用非硬體投資方法可行性評估。差異處如圖 4-3 及圖 4-4 所示。

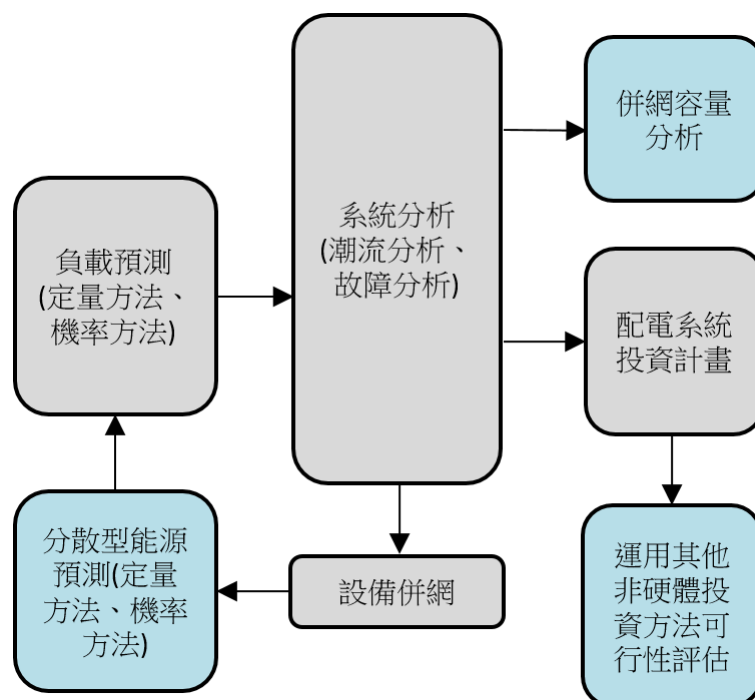


圖 4-4 含高占比分散式能源之配電系統規劃

併網標準 IEEE-1547 原先是針對低占比分散式能源設計，頻率穿越、電壓穿越、電壓控制等特性是不必要的功能，然而當分散式能源占比越來越高時，這些特性逐漸變得非常重要。

表 4-2 併網標準之演進

分散式能源占比	標準名稱	特性
低占比	IEEE 1547-2003	不得控制電壓 電壓/頻率異常時應跳脫
低占比	IEEE 1547a-2014	得主動控制電壓 得具備電壓/頻率穿越 得提供頻率響應能力
高占比	IEEE 1547-2018	應具有主動控制電壓能力 必須電壓/頻率穿越 應具有頻率響應能力 得提供慣量響應

表 4-3 北美採行標準比較

		Interconnection Standards			State/PUC Rules	Listing/Certification	
Function Set	Advanced Functions	IEEE 1547a-2003	IEEE 1547-2014	IEEE 1547-2017*	CA Rule 21-2015	UL 1741(SA) 2016	IEEE 1547.1-2017*
Static	Adjustable Trip Settings		✓	‡			Δ
Controlling	Power Curtailment			‡			Δ
	Ramp Rate Control				‡	Δ	
Frequency Support	L/H Frequency Ride-Through			‡	‡	Δ	Δ
	ROCOF Ride-Through			‡			Δ
	Frequency-Watt	×	✓	‡		Δ	Δ
Voltage Support	L/H Voltage Ride-Through (L/H VRT)			‡	‡	Δ	Δ
	Dynamic Voltage Support During L/H VRT			✓			
	Voltage Phase Angle Jump Ride-Through			‡			Δ
	Fixed Power Factor	✓	✓	‡	‡	Δ	Δ
	Fixed Reactive Power	✓	✓	‡			Δ
	Volt-Var	×	✓	‡	‡	Δ	Δ
	Volt-Watt	×	✓	‡		Δ	Δ
	Watt-Var	×		‡			Δ

\*Final requirements not confirmed.

Legend: × Prohibited, ✓ Allowed by Mutual Agreement, ‡ Capability Required, Δ Test and Verification Defined.

由於分散式能源系統常包含變流器的技術，隨著科技進步，如今智慧變流器已經非常普及，運用智慧變流器的優點包括：

- 減輕分散式能源的衝擊(電壓調整、電力品質等)
- 提升饋線併網容量
- 強化配電系統運轉
- 強化電網可靠度
- 降低配電系統升級需求
- 提供系統服務

而這些好處是因為智慧變流器可提供的功能包括：

- 功率因數模式-電壓調整、提供虛功能力、電壓/虛功控制

- 電壓/實功模式-電壓調整、實功控制
- 電壓與頻率穿越
- 緩啟動併網-升載率控制
- 互運性-雙向通訊、通訊協定

雖然分散式能源主要併聯於配電系統，最主要直接的影響也是配電系統，但併網容量逐漸提高後，其綜合效應就會影響到輸電系統。

首先是平衡的問題，最有名的例子就是加州鴨子曲線。在 2016 年 2 月 1 日的歷史資料顯示，短短 3 小時內，淨負載需求增加了 10,892 MW，對運轉是很大的挑戰。另外也造成棄光的頻度增加，頻率控制效能降低。

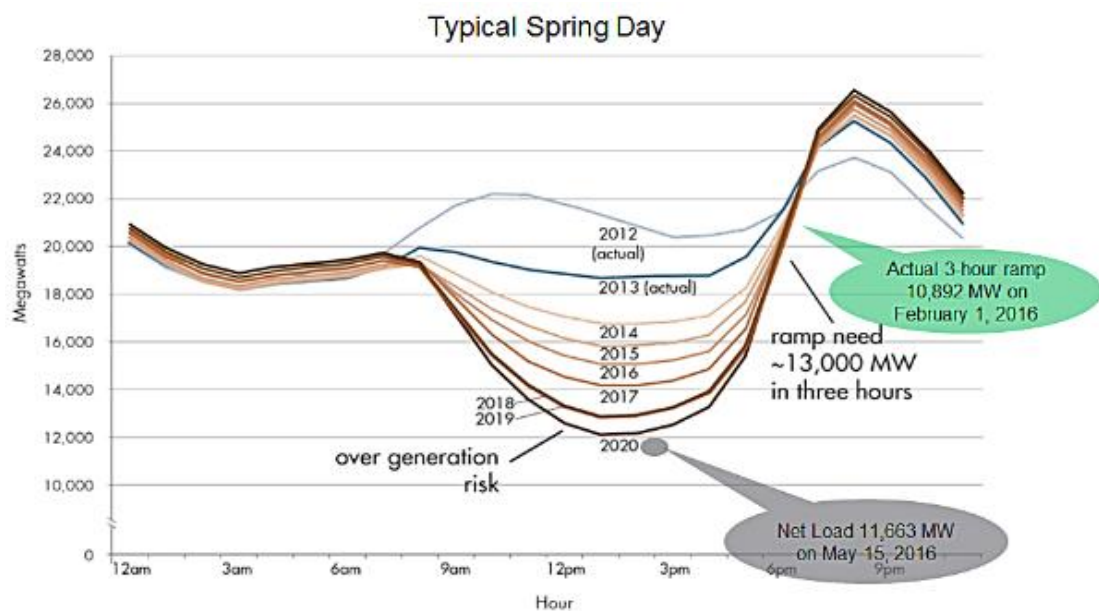


圖 4-5 加州鴨子曲線

再者，分散式能源，尤其是表後(behind-the-meter)發電量因素使得日負載模型改變，增加預測困難度且誤差偏高。

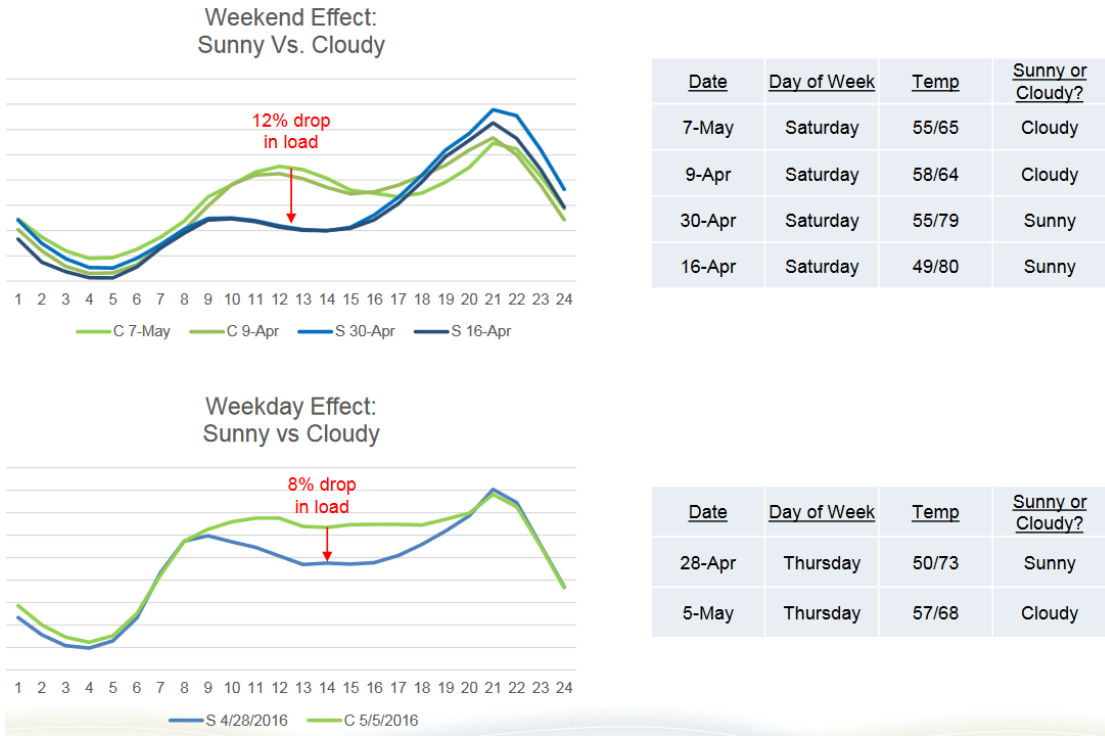


圖 4-6 加州天氣對負載曲線之影響

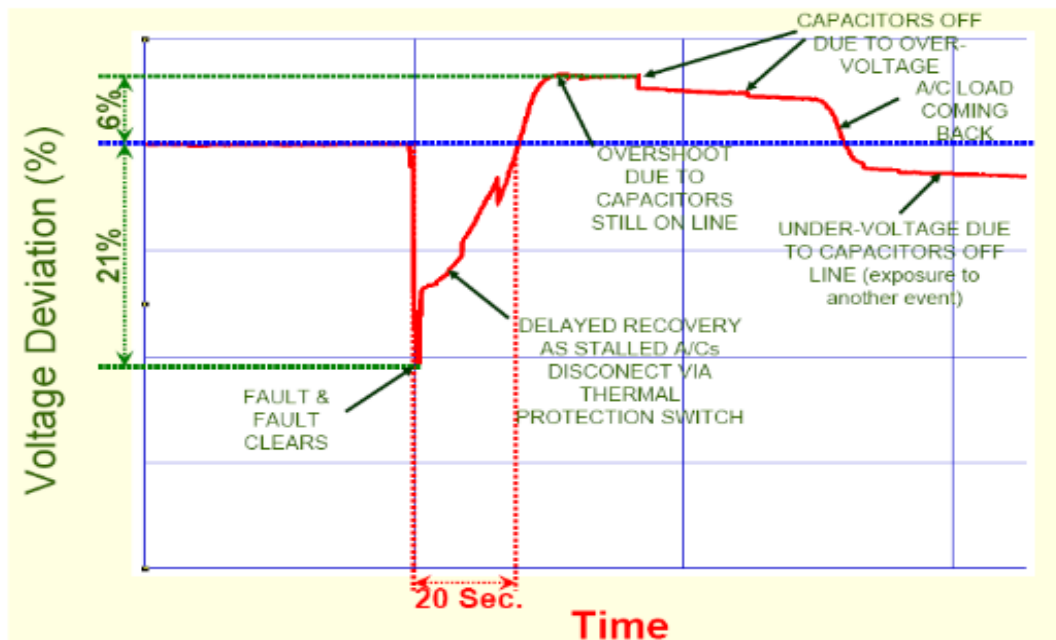


圖 4-7 南加州事故衍生電壓恢復問題

而在系統發生事故時，通常伴隨異常電壓和頻率的發生，可能引發分散式能源的連鎖跳脫，更加劇系統惡化的情況。故電壓/頻率穿越的能力必須加以考量。

總結來說，分散式能源具有下列優點：

- 尖峰時段提供電能，釋出電網輸電容量
- 電源靠近負載中心，減少線損
- 延後配電系統升級
- 延後變電所和輸電線先期的布建
- 比起基礎建設的投資金額，分散式能源建置時程短且便宜
- 使用者有意願參與並掌握他們對於未來能源的使用方式
- 促進第三方資本投資
- 促使了革新與競爭
- 對環境友善
- 維持甚至可以提升系統穩定度與強韌度

具有優點的同時，高占比分散式能源也帶來運轉面的挑戰，故除了鴨子曲線、負載預測、穿越能力的考量之外，也必須進一步探討系統慣量、頻率響應、卸載設定等議題，以維持系統穩定與安全。



### (三) 智慧電網之變電所與配電自動化

本課程著重在下列內容：

- 企業資料管理介紹與變電所自動化
- 智慧電網的建置
- 工業標準的推動
- 推動變電所自動化的原因與時間點
- 從智慧電子裝置取得運轉資料與非運轉資料
- 智慧電網在商業上的利基
- SCADA 系統演進與概觀
- 智慧電網近期布建情況與成果
- 變電所功能
- 再生能源對電網的衝擊
- 配電自動化的價值
- 配電自動化的演變
- 模組保護、控制與自動化系統
- SCADA 系統與其他系統的整合
- SCADA 系統建置與維護
- 智慧電網的安全
- 資訊隱私與智慧電網

- 智慧電網政策與管制
- 通訊相關議題
- 建立商業分析

由於半導體及電腦工業的發展，智慧電子裝置(Intelligent Electronic Device, IED)的出現可謂是變電所智慧化、配電自動化，甚至智慧電網的開端。智慧電子裝置指的是內建一個或多個處理器的裝置，具有與其他外部設備之間接收傳送資料及控制信號的能力，例如多功能電錶、數位電驛、控制器都屬之。

近年來，各國推廣布建智慧型電網(Smart Grid)，智慧型電網可視為傳統電力產業結合資通訊，達到能源永續、提升效率、增值應用等目標。除了智慧電網的概念，產業界也越來越多使用電網現代化(Grid Modernization)或電網數位化(Grid Digitalization)稱之。

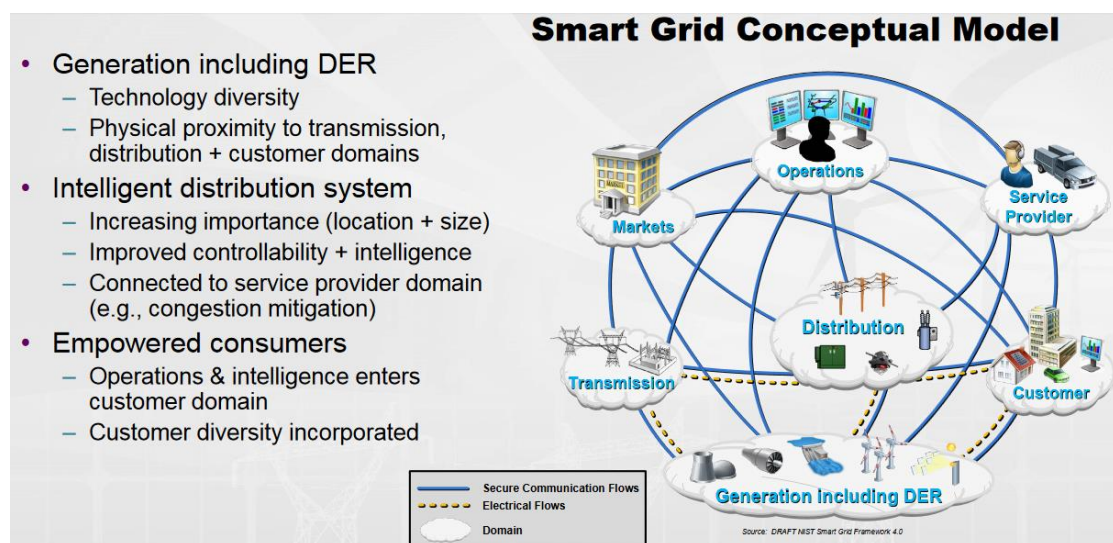


圖 4-8 智慧型電網概念模型

NIST 是美國標準與技術的國家研究院，在智慧電網互運性框架中勾勒出概念模型、系統間關聯路徑的輪廓，尤其在高占比分散式能源的加入，架構愈趨複雜。

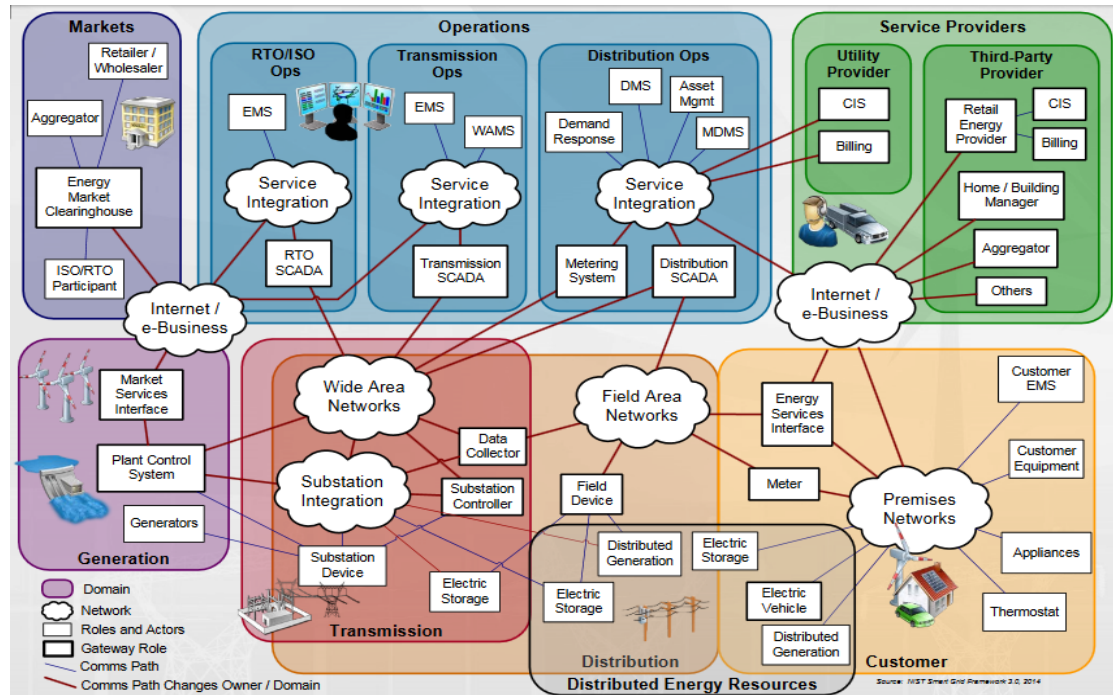


圖 4-9 傳統系統間關聯路徑情境

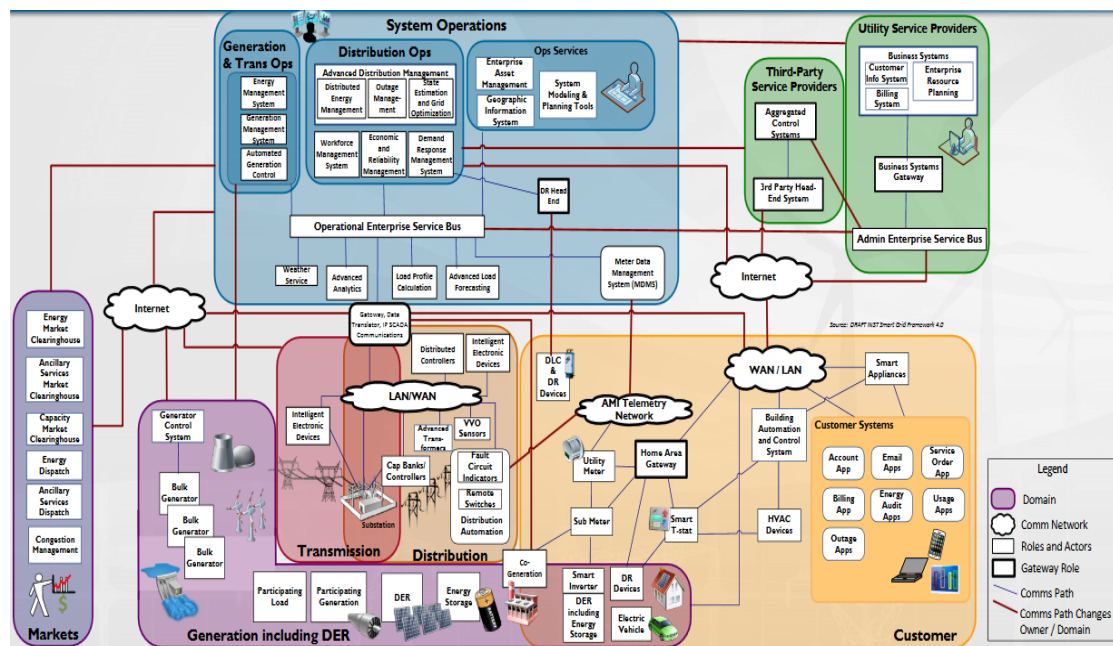


圖 4-10 含高占比分散式能源之系統間關聯路徑情境

在智慧電網成功的背後，都需要標準的支持，而標準的訂定通常都要經過一連串的過程，一開始是製造商私有技術或協定，隨著實務上的應用經驗增加，逐漸形成業界標準，接著是國家標準，例如 ANSI、NIST、IEEE，最終變成國際標準，像是 ISO 或 IEC 等，下表為主要的核心標準。

表 4-4 智慧電網核心標準與應用

標準名稱	應用領域
AMI-SEC System Security Requirements	Advanced metering infrastructure (AMI) and Smart Grid end-to-end security
ANSI C12.19/MC1219	Revenue metering information model
BACnet ANSI ASHRAE 135-2008/ISO 16484-5	Building automation
DNP3	Substation and feeder device automation
IEC 60870-6/TASE.2	Inter-control center communications
IEC 61850	Substation automation and protection
IEC 61968/61970	Application level energy management system interfaces
IEC 62351 Parts 1-8	Information security for power system control operations
IEEE C37.118	Phasor measurement unit (PMU) communications
IEEE 1547	Physical and electrical interconnections between utility and distributed generation (DG)
IEEE 1686-2007	Security for intelligent electronic devices (IEDs)
NERC CIP 002-009	Cyber security standards for the bulk power system
NIST Special Publication (SP) 800-53, NIST SP 800-82	Cyber security standards and guidelines for federal information systems, including those for the bulk power system
Open Automated Demand Response (Open ADR)	Price responsive and direct load control
OpenHAN	Home Area Network device communication, measurement, and control

目前變電所自動化最主流的兩個協定為 IEC 61850 及 DNP，何者為優其實端看使用情境而定，DNP 常用於 SCADA 對 RTU 或 RTU 對 IED，IEC 61850 常用於變電所內點對點通訊。簡易比較如下表所示：

表 4-5 兩種主流通信協定比較

建置容易程度	DNP
使用者設定容易程度	IEC 61850
適用於非常小型之裝置	DNP
應用於高速通訊	IEC 61850
與現有裝置之整合	DNP
低成本的智慧電子裝置	DNP

ICCP 協定適用於控制中心之間的通訊。而控制中心對變電所之間，北美廠商主要採用 DNP3.0，歐洲廠商則較多採用另一種協定 IEC 60870-5-101/104。在變電所內通訊主要是 DNP3.0，近年各國逐漸導入 IEC 61850。若是資料交換則可使用 IEC 61968、IEC 61970 標準，也就是共通資料模型(Common Information Model, CIM)。

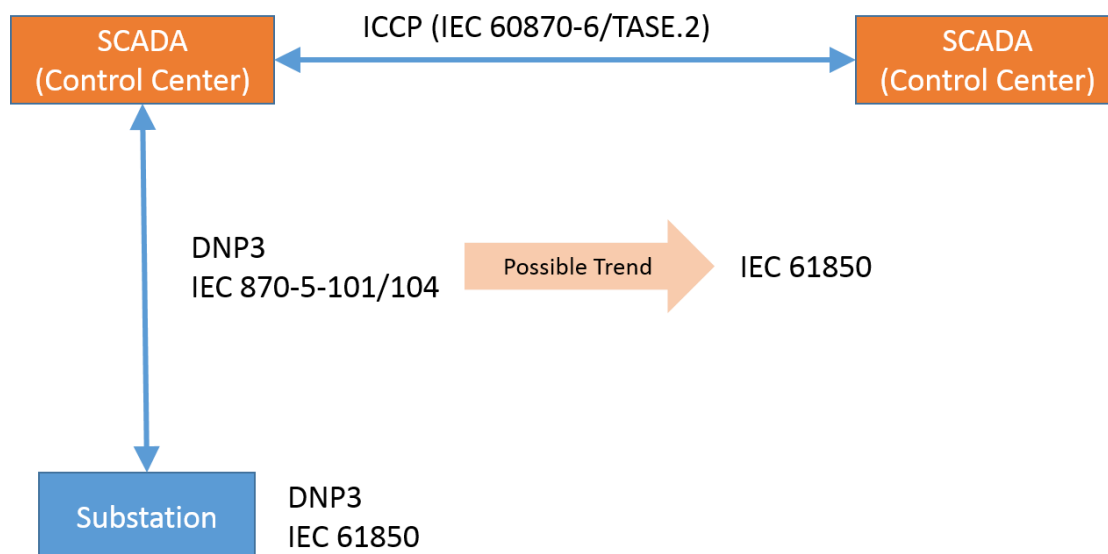


圖 4-11 通訊協定應用場合

表 4-6 控制中心核心系統

系統	功能內容
SCADA	資料收集 遠端控制 使用者介面 歷史資料庫 報表
SCADA/AGC	自動發電控制 經濟調度 區域交易排程 交易評估 機組排程 短期負載預測
EMS	網路結構/拓樸處理 狀態估測 偶發事故分析 三相平衡電力潮流 最佳化電力潮流 調度員訓練模擬器
DA	降壓運轉 負載管理 功因控制/虛功管理 短期負載預測 雙向配電通訊 故障偵測/隔離/復原 連結 IED 設備的介面
DMS	三相不平衡電力潮流 自動圖資/設施管理介面 用戶資訊系統介面 圖資系統 報修電話/故障管理

控制系統建置案往往是鉅額投資，須審慎評估資料庫設計、預算、專案期程管理、標準與客製化功能、使用者期望、通訊設施、人員、地點、資料交換、訓練需求、成本效益、擴充及維護性。

#### (四) 配電系統規劃與工程

本課程著重在下列內容：

- 輸配電任務與目標
- 基本設計與運轉
- 一次配電系統
- 二次配電系統
- 負載與需求的本質
- 配電系統規劃流程
- 考慮分散式能源之規劃
- 配電系統計畫演練
- 輸配電成本與損失
- 配電系統經濟性檢視
- 配電系統經濟面評估工具
- 電容器應用
- 電壓調控
- 分散式能源對電壓之影響
- 故障計算
- 過電流保護
- 分散式能源對保護系統之影響

- 效能計量
- 可靠度概念
- 可靠度指標
- 可靠度目標
- 低可靠度的代價
- 停電原因
- 可靠度評估
- 提升可靠度
- 配電規劃工具概觀
- 可靠度設計演練
- 使用 CYME 故障電流分析

北美不少配電公司採用 CYME 這套軟體分析工具，CYMDIST 是其中配電系統分析基本模組，包含了不平衡潮流分析、負載分布及估測、故障分析(短路電路、故障潮流、故障定位、連續故障及同時故障、電壓驟降)、負載平衡、電容器容量及地點置放最佳化、馬達啟動、情境腳本分析。此外這套 CYME 可以安裝額外的模組，例如建模、規劃、分散式能源、運轉、保護、電力品質、最佳化、時間序列、支援 python 編寫腳本，以增強系統容量規劃分析、分散式發電併網衝擊分析、系統可靠度及電網最佳化等進階功能。



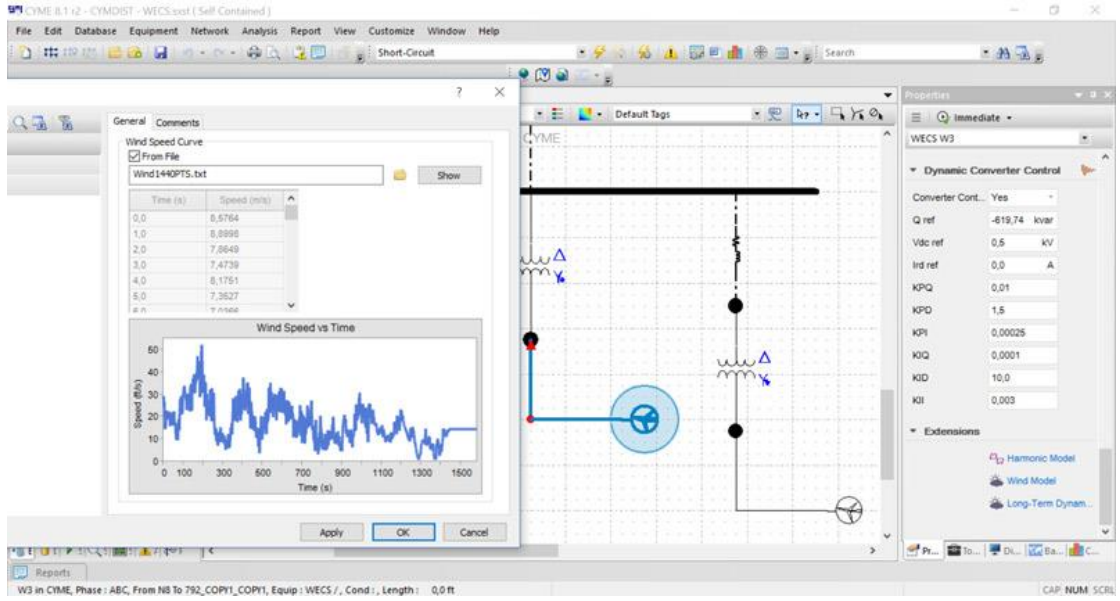


圖 4-12 CYMDIST 編輯元件畫面

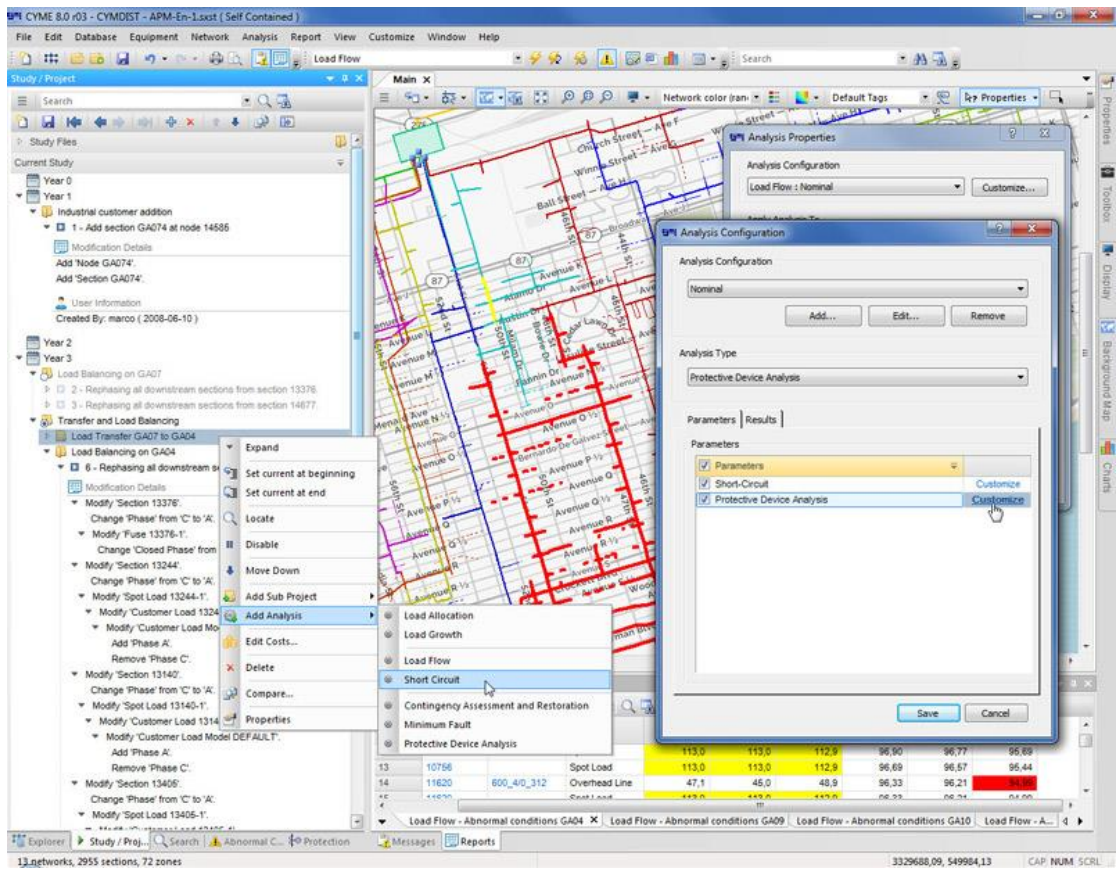


圖 4-13 CYMDIST 分析參數設定畫面

在配電系統運轉績效中，通常會使用以下幾種指標來表示供電可靠度：

- 平均停電時間指標 (System Average Interruption Duration Index)

$$SAIDI = \frac{\Sigma \text{整年每件(停電時間} \times \text{停電戶數)}}{\text{總用戶數}}$$

- 平均停電次數指標(System Average Interruption Frequency Index)

$$SAIFI = \frac{\Sigma \text{整年每件停電戶數}}{\text{總用戶數}}$$

其他用於評估可靠度指標還有：

- 平均用戶停電時間(Customer Average Interruption Duration Index)

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI}$$

- 平均服務可用率指標(Average Service Availability Index)
- 平均中斷頻率指標(Average System Interruption Frequency Index)
- 平均中斷時間指標(Average System Interruption Duration Index)
- 瞬間停電次數(Momentary Average Interruption Frequency Index)
- 平均電壓驟降次數(System Average RMS Sag Frequency Index)

我國最主要使用 SAIDI 和 SAIFI 來當作績效指標，為改善可靠度，首要分析停電發生原因，進而研擬改善方法、執行並持續檢討，例如強化電網、引進活電作業、蛇鼠鳥害防制、白蟻防治、健全圖資與施工管控等措施都是有助於提升可靠度的方式。

## (五) 保護電驛基本原理

保護系統是整個電力網路中非常重要的系統之一，當系統中發生事故或設備故障時，必須安全且快速地隔離事故地點或設備，否則將嚴重影響系統穩定性，導致供電中斷、災害擴大、設備損壞，甚至危害人員安全。所以設計保護系統時必須兼顧數項基本要素，包括可靠性、選擇性、敏感性、速度、經濟、簡易性。

保護電驛分類有電磁機械式、固態電驛、數位電驛及微處理器電驛，常見的保護功能與代號，如下表所示：

表 4-7 常見電驛代號與功能

代號	功能	代號	功能
21	測距	59	過電壓
25	同步	67	方向性過電流
27	低電壓	74	警報
32	方向性電力	79	復閉
50	瞬時過電流	86	閉鎖
51	延時過電流	87	電流差動

依據保護對象的不同，可分為發電機保護、低壓開關保護、電力變壓器保護、高壓開關保護、線路保護、匯流排保護、馬達保護。保護系統設計除了保護區間有重疊特性，以涵蓋系統上的電力設備，也要進行保護協調，確保跳脫區間最小化，避免影響到其餘的正常系統。設計保護系統除了具備理論基礎，還需要多年的經驗累積才能考慮周全，設計得宜。

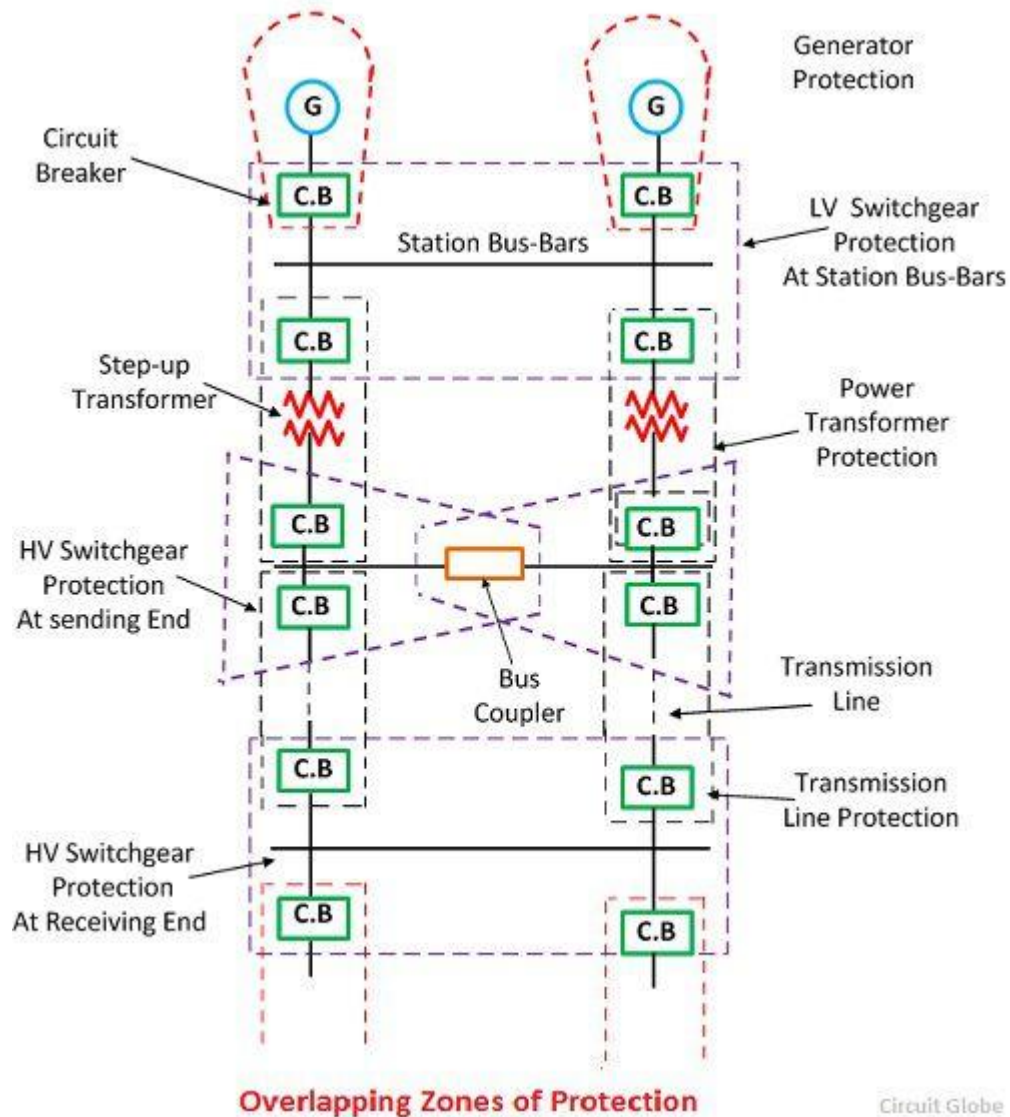


圖 4-14 電驛保護區間

由於保護系統的複雜度，變電所電驛人員與發電廠電驛人員必須技術分工。除基本保護原理之外，本課程也介紹邏輯閘、比較器、計時器、故障電流分析技術、比壓器、比流器、CT 飽和問題、測距軌跡的變動、保護失效的問題與保護協調、各種通訊方式、POTT、PUTT、DCB、DCUB、電弧保護、串聯補償線路保護、孤島運轉、全黑啟動等相關內容。

## (六) 再生能源系統基本原理

再生能源包含很多種類，由於太陽能與風力發展規模最大，進度最快，故一般提及再生能源，均以這兩者為探討重點。

太陽能根據原理、技術與發電方式又可細分為矽晶、薄膜式、聚光型光電及集熱式太陽能發電，其中集熱式太陽能具有多種構造與形式，例如拋物線槽式、太陽能發電塔式、菲涅爾反射式及碟盤史特林式等，如下圖所示：

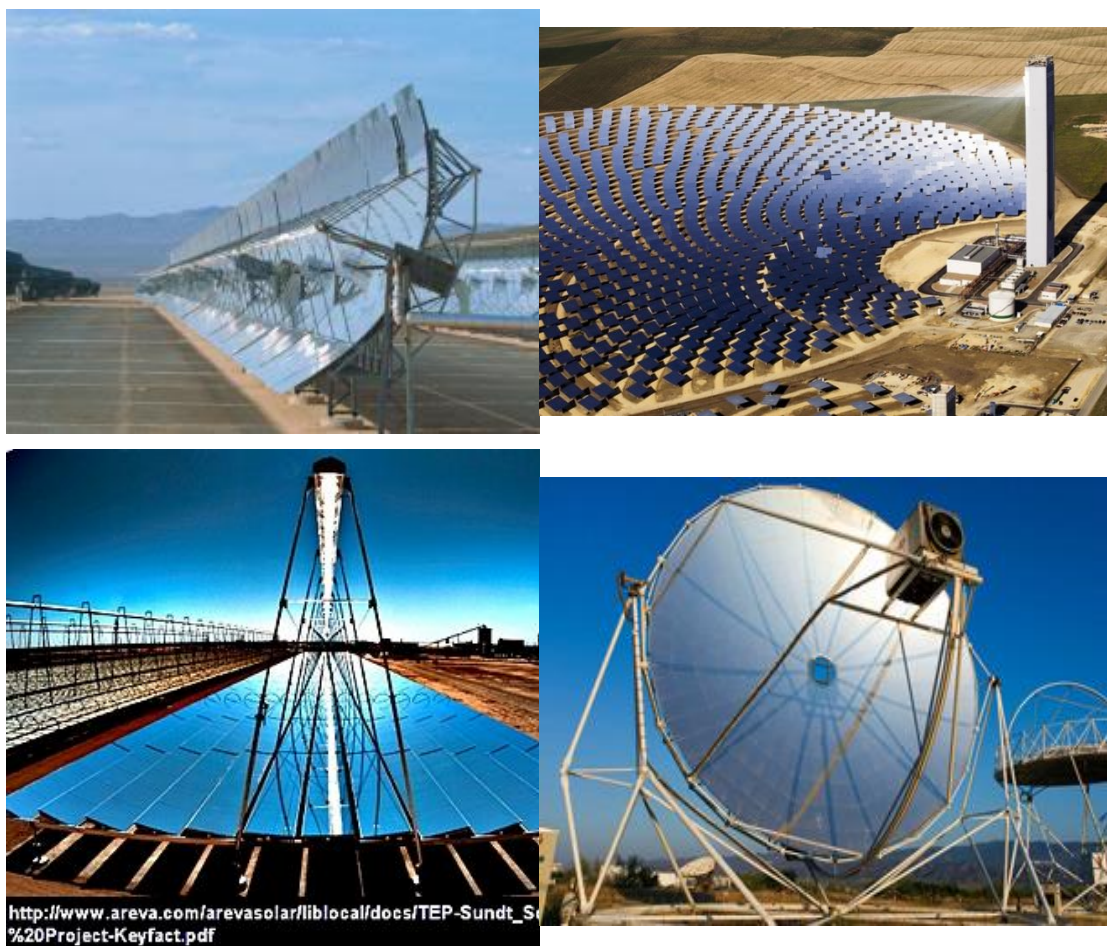


圖 4-15 典型集熱式太陽能發電

而基於半導體製程的太陽光電的發展則可以從美國國家再生能源實驗室的研究成果中一窺全貌。如下圖所示：

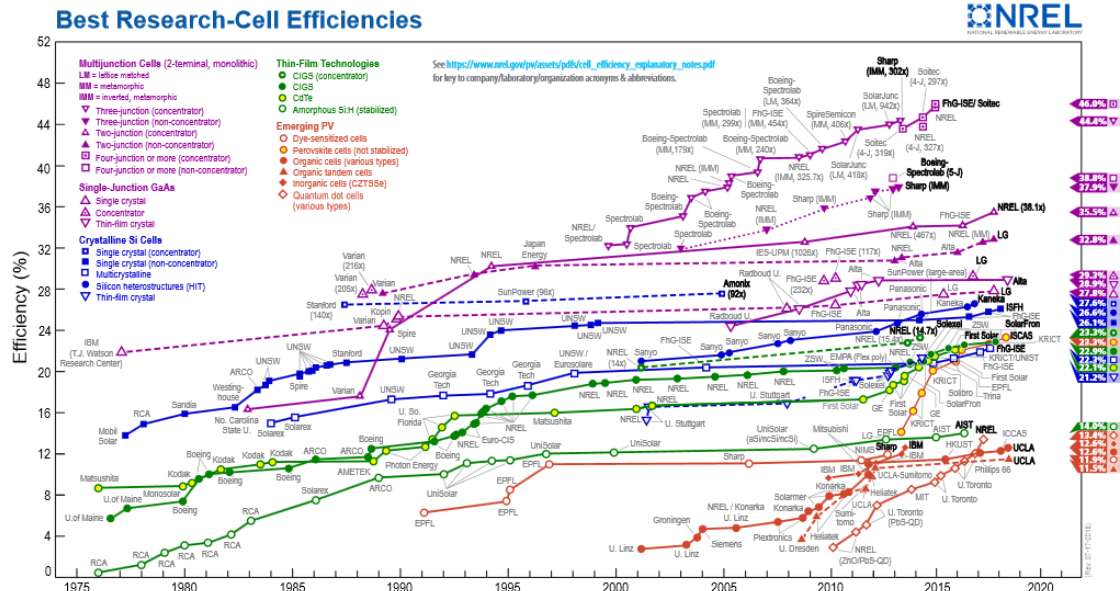


圖 4-16 太陽能電池效率發展概況

另一方面，隨著風機的技术突飛猛進，離岸風力的發展，風機的尺寸越來越巨大，如下圖所示：

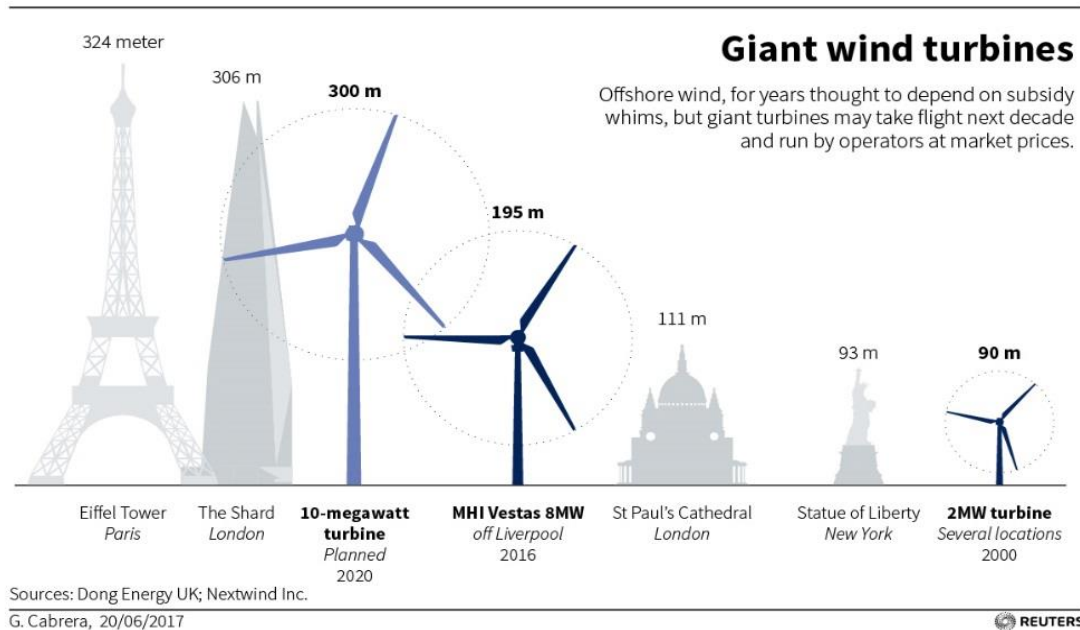


圖 4-17 風機尺寸對比

目前現有風力發電技術可分為 4 類，簡列如下：

表 4-8 現有風力發電技術分類與特性

分類	說明	技術特性
Type 1	鼠籠式感應發電機	固定轉子阻抗
Type 2	繞線式可變電阻感應發電機	可變轉子阻抗
Type 3	雙饋式非同步發電機	又稱雙饋感應發電機 風速變動範圍大 可控激磁
Type 4	全額電力轉換式發電機	交流-直流-交流轉換 與系統解耦合

由於電力電子技術的進步，許多電氣特性的呈現與傳統電機迥然不同，而剛好這些特性能提供系統穩定運轉所需要之服務。

表 4-9 併網規範考量項目與內容

系統擾動穿越要求	電壓穿越要求 頻率穿越要求
虛功與電壓控制要求	虛功能力 電壓控制要求 低電壓事件下之虛功要求
實功控制要求	棄風棄光能力要求 功率輸出斜率限制要求 系統擾動後重啟動復原要求 自動發電控制信號接收要求 一次頻率控制要求 系統擾動下實功控制要求

為因應大量再生能源併網，需要從多面向著手：了解國外事故案例與經驗、強化併網規範、研究主流 Type 3 與 Type 4 的風機特性、智慧變流器特性、建置工具及技術，如預測、排程及模擬，以取得併網規範(義務)與系統服務成本(補償業者)之平衡。

## 六、參考文獻

- [1] Power Systems Engineering Training 2018 。  
<https://www.geenergyconsulting.com/education/PSEC101-106>
- [2] GE Energy Consulting, "Power System Fundamentals."
- [3] GE Energy Consulting, "Distributed Energy Resources: Planning for High Penetrations."
- [4] GE Energy Consulting, "Smart Grid: Substation/Distribution Automation."
- [5] GE Energy Consulting, "Distribution Systems Planning and Engineering."
- [6] GE Energy Consulting, "Protective Relaying Fundamentals."
- [7] GE Energy Consulting, "Fundamentals of Renewable Energy Systems."
- [8] 鄭金龍處長，「參加美國 G.E. PSEC 30 週年之回憶」。  
<https://gordoncheng.wordpress.com/2010/11/28/132/>
- [9] Electric Power Markets: National Overview 。  
<https://www.ferc.gov/market-oversight/mkt-electric/overview.asp>
- [10] 「DISTRIBUTED ENERGY RESOURCES」。  
<https://www.wbdg.org/resources/distributed-energy-resources-der>
- [11] 「The Rise of Distributed Power」。  
<https://www.ge.com/sites/default/files/2014%2002%20Rise%20of%20Distributed%20Power.pdf>
- [12] IEEE 1547 Standard for Interconnecting Distributed Energy Resources with Electric Power Systems, Charlie Vartanian 。  
[https://energyworkshops.sandia.gov/wp-content/uploads/2018/08/6\\_Vartanian\\_2018\\_PE\\_Workshop.pdf](https://energyworkshops.sandia.gov/wp-content/uploads/2018/08/6_Vartanian_2018_PE_Workshop.pdf)



- [13] 「IEEE 1547 – New Interconnection Requirements for Distributed Energy Resources Fact Sheet」。  
[http://www3.dps.ny.gov/W/PSCWeb.nsf/96f0fec0b45a3c6485257688006a701a/def2bf0a236b946f85257f71006ac98e/\\$FILE/EPRI%20Fact%20Sheet.pdf](http://www3.dps.ny.gov/W/PSCWeb.nsf/96f0fec0b45a3c6485257688006a701a/def2bf0a236b946f85257f71006ac98e/$FILE/EPRI%20Fact%20Sheet.pdf)
- [14] FAST FACTS - California ISO。  
[https://www.caiso.com/Documents/FlexibleResourcesHelpRenewables\\_FastFacts.pdf](https://www.caiso.com/Documents/FlexibleResourcesHelpRenewables_FastFacts.pdf)
- [15] CAISO Success in DER, Amber Motley。  
<https://www.mro.net/MRODocuments/CAISO%20Success%20in%20DER,%20Amber%20Motley.pdf>
- [16] Performance of Distributed Energy Resources During and After System Disturbance。  
[https://www.nerc.com/pa/RAPA/ra/Reliability%20Assessments%20DL/IVGTF17\\_PC\\_FinalDraft\\_December\\_clean.pdf](https://www.nerc.com/pa/RAPA/ra/Reliability%20Assessments%20DL/IVGTF17_PC_FinalDraft_December_clean.pdf)
- [17] NIST Smart Grid Interoperability Framework 4.0 Webinar。  
[https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/2018/06/06/webinar\\_slides.pdf](https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/2018/06/06/webinar_slides.pdf)
- [18] CYME。  
<http://www.cyme.com/software/>
- [19] Protection Zone in Power System。  
<https://circuitglobe.com/protection-zone-in-power-system.html>
- [20] 保護電驛簡介與案例分析，台灣電力公司。  
<https://www.taipower.com.tw/upload/147/2017111320284294320.pdf>
- [21] Parabolic Trough Reflector。  
<http://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/parabolic-trough-reflector.html>
- [22] Tower of Power。  
<https://climatekids.nasa.gov/concentrating-solar/>
- [23] Fresnel Reflectors。  
<http://solartheworld.blogspot.com/2014/06/fresnel-reflectors.html>

- [24] Dish-Stirling system 。  
[https://www.dlr.de/media/en/desktopdefault.aspx/tabid-4987/8424\\_read-20584/](https://www.dlr.de/media/en/desktopdefault.aspx/tabid-4987/8424_read-20584/)
- [25] Best Research-Cell Efficiencies  
<https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/pv-efficiencies-07-17-2018.pdf>
- [26] Wind power's big bet: turbines taller than skyscrapers 。  
<https://www.reuters.com/article/us-windpower-megaturbines-insight-idUSKBN19I118>
- [27] 林伯峰，「風力機分類、元件及趨勢分析」。  
<http://www.twtia.org.tw/upload/366/20069201131363975.pdf>
- [28] Ramon Blasco-Gimenez 等，「大型風力發電機組技術的發展趨勢」。  
<http://www.ee.ncu.edu.tw/~linfj/PDF/wind.pdf>
- [29] 風力機系統的發展與介紹。  
[http://blog.ncue.edu.tw/sys/lib/read\\_attach.php?id=17221](http://blog.ncue.edu.tw/sys/lib/read_attach.php?id=17221)
- [30] 黃怡碩等，「高佔比再生能源因應措施」。  
[http://www.t-saudi.org.tw/public/journals/211\\_1455690758.pdf](http://www.t-saudi.org.tw/public/journals/211_1455690758.pdf)