

出國報告(出國類別：洽公、實習)

拜訪 Nexant、CAISO 及 PG&E 等討論再生能源併入系統整合  
及電力市場等相關議題

服務機關： 台灣電力公司

姓名職稱： 李清雲 處長

蕭石虎 副研究員

李建德 電機工程師

蘇冠華 電機工程師

劉凱銘 業務管理師

張彥偉 業務管理師

派赴國家： 美國

出國期間： 104 年 10 月 24 日至 104 年 11 月 1 日

報告日期： 104 年 12 月 24 日



## 出國報告審核表

出國報告名稱：拜訪 Nexant、加州 ISO 及 PG&E 等討論再生能源併入系統整合及電力市場等相關議題

出國人姓名	職稱	服務單位
李清雲	14 等電機工程監	台灣電力公司系統規劃處
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>洽公</u> (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	

出國期間：104 年 10 月 24 日 至 104 年 11 月 1 日 報告繳交日期：104 年 12 月 24 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



主管處主管

總經理：

*Handwritten signature*

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。



## 出國報告審核表

出國報告名稱：拜訪 Nexant、CAISO 及 PG&E 等討論再生能源併入系統整合及電力市場等  
相關議題

出國人姓名	職稱	服務單位
蕭石虎	13 等副研究員	台灣電力公司供電處

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>洽公</u> (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)
------	---

出國期間：104 年 10 月 24 日 至 104 年 11 月 1 日      報告繳交日期：104 年 12 月 24 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 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



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：拜訪 Nexant、CAISO 及 PG&E 等討論再生能源併入系統整合及  
電力市場等相關議題

頁數：63 頁含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司/陳德隆/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

李清雲/系統規劃處/處長/02-2366-6890

蕭石虎/供電處/副研究員/02-2366-8655

李建德/台北供電區營運處/電機工程師/02-2934-4125#281

蘇冠華/配電處/電機工程師/02-2366-6719

劉凱銘/業務處/業務管理師/02-2366-6674

張彥偉/業務處/業務管理師/02-2366-8490

出國類別：洽公、實習

出國期間：104 年 10 月 24 日至 104 年 11 月 1 日

出國地區：美國

報告日期：104 年 12 月 24 日

分類號/目

關鍵詞：再生能源、風力發電、太陽能發電、鴨型曲線、儲能系統

內容摘要：(200~300 字)

本報告內容係敘述 CAISO 及 PG&E 再生能源併網後，加強系統安全運轉之作法與對策，如輸配電網中分散型能源規劃(DER)、長期輸配電系統規劃、配電系統儲能設備之運用、電網系統之整合，及再生能源併網之技術規範如頻率與電壓控制、升降載率及安全運轉與調度等策略與機制。

配合政府節能減碳、推動再生能源、鼓勵綠能發展、促進能源多元化及有效利用，達成 2030 年再生能源 17,250MW 裝置容量之目標，台電應師法 CAISO 及 PG&E 等機構針對再生能源併網後之因應機制、系統整合及電力市場運作等經驗作法，適時選擇合適機制與對策應用於台電電網，以確保系統運轉安全。

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



## 目 錄

壹、出國緣由.....	1
貳、出國行程.....	2
參、參訪紀要.....	3
一、參訪 Nexant 公司 .....	3
加州分散式能源所遭遇之問題及努力方向 .....	3
二、參訪 CAISO.....	6
(一) CAISO 簡介 .....	6
(二)加州再生能源發展現況 .....	8
(三)電業自由化下外購電力訂價策略及雙邊合約 .....	9
(四)CAISO 面對分散式能源之作為.....	14
(五) CAISO 的挑戰與努力方向 .....	16
三、參訪 PG&E 公司.....	25
(一)智慧型變流器及提高滲透率之發展 .....	25
(二) PG&E 公司智慧電網 .....	34
(三) PG&E 公司微電網.....	53
四、輸配電系統對再生能源併網容量與控制等研究議題之探討 .....	56
(一)預期目的.....	56
(二)研究內容與作法之探討.....	56
肆、心得與建議.....	60



## 圖目錄

圖 1	鴨型曲線圖 .....	5
圖 2	加州 ISO 服務地區圖 .....	7
圖 3	電業自由化後之電力市場架構 (廠網分離) .....	11
圖 4	CAISO 調度中心 .....	14
圖 5	一個眼鏡大小的 uPMU 所內含之潛能非常巨大 .....	16
圖 6	2020 年 1 月負載、風力與太陽能發電預測曲線圖 .....	18
圖 7	加州電網未來 3 大面向 .....	19
圖 8	CAISO 目前及計畫中之再生能源容量 .....	20
圖 9	個別 BA 與 EIM 運作比較圖 .....	23
圖 10	西部互聯電網 EIM 發展示意圖 .....	24
圖 11	PG&E 擬定之 DRP 計畫圖 .....	26
圖 12	DRP 發展計畫藍圖之內容圖 .....	27
圖 13	Streamline Hosting Capacity 概念圖 .....	28
圖 14	PG&E DRP 計畫預計發展的系衝軟體使用者界面圖 .....	28
圖 15	電力系統評估準則圖 .....	29
圖 16	實作 DER 併網之成本/效益量化分析軟體所需要考量之成本指標圖 ..	31
圖 17	DER 成長趨勢預測系統圖 .....	32
圖 18	DRP 成果展示示範計畫圖 .....	33
圖 19	PG&E 公司智慧電網之主要推動項目與功能 .....	36
圖 20	PG&E 的智慧電網驅動力 .....	36
圖 21	Sodium Sulfur 電池模組單元構造 (50KW) .....	44
圖 22	PG&E 位於 Vaca-Dixo 變電所的鈉硫 BESS 儲能系統整體外型 .....	45
圖 23	容量 2 MW NaS 電池儲能系統 (Vaca-Dixon) .....	45
圖 24	NaS BESS 儲能系統管理系統 .....	46
圖 25	PG&E 太陽能發電發展目標藍圖 .....	49
圖 26	2007~2014 年全美安裝智慧電表數量統計 .....	50
圖 27	Silver Spring 服務架構圖 .....	51
圖 28	用戶安裝圖(I) .....	51
圖 29	用戶安裝圖(II) .....	52
圖 30	2015 年美國各州預期完成智慧電表比率分布圖 .....	53
圖 31	天使島之微電網方案 .....	54



## 表目錄

表 1	2014 年 Southern California Edison 採購之儲能 .....	21
表 2	2007 能源獨立與安全法案(EISA) .....	35
表 3	加州 3 家電力公司智慧電表安裝量 .....	50



## 英文縮略語表

AMI, Advanced Meter Infrastructure	先進讀表基礎建設
APS, Arizona Public Service	亞里桑納公用服務公司
BA, Balancing Authority	電力平衡機構
BES, Battery Energy Storage	電池儲能
BEV, Battery Electric Vehicles	電池電動車
CAISO, California Independent System Operator	加州獨立系統調度機構
CEC, California Energy Commission	加州能源委員會
CPP, Critical Peak Pricing	臨界峰值定價
CPUC, California Public Utilities Commission	加州公共事業委員會
CSI, California Solar Initiative	太陽能發電獎勵辦法
DER, Distributed Energy Resource	分散式能源
DERMS, Distributed Energy Resource Management System	分散式能源管理系統
DMS, Distribution Management System	配電管理系統
DPIS, Distribution Planning Information System	配電規劃資訊系統
DREAMS, Distributed Resource Energy Advanced and Management System	分散式能源高等管理系統
DRP, Distribution Resource Plan	分散資源規劃
EIM, Energy Imbalance Market	能源不平衡市場
EISA, Energy Independence and Security Act	能源獨立與安全法案
EMS, Energy Management System	能源管理系統
EPIC, Electric Program Investment Charge	電力投資先導計畫
EPRI, Electric Power Research Institute	美國電力研究院
FERC, Federal Energy Regulatory Commission	聯邦能源管制委員會

FRT, Frequency Ride Through 頻率持續運轉能力

GDP, Gross Domestic Product 國內生產毛額

HVRT, High Voltage Ride Through 高電壓持續運轉能力

IED, Intelligent Electronic Device 智慧型電子裝置

IOUs, Investor Owned Utilities 民營電力公司

IPP, Independent Power Producer 獨立發電廠

ISO, Independent System Operator 獨立系統調度機構

LEED, Leadership in Energy and Environmental Design 領先能源與環境設計

LVRT, Low Voltage Ride Through 低電壓持續運轉能力

NERC, North American Electric Reliability Corporation 北美電力可靠度公司

NDC, Net Dependable Capacity 額定出力

OMS, Outage Management System 停電管理系統

PEV, Plug-in Electric Vehicles 充電式電動汽車

PG&E, Pacific Gas & Electric 太平洋天然氣與電力公司

PGE, Portland General Electric Company 波特蘭通用電氣公司

PHEV, Plug-in Hybrid Electric Vehicles 插電式混合動力汽車

PMU, Phasor Measurement Unit 同步相量測量單元

PPA, Power Purchase Agreements 電力採購合約

PSE, Puget Sound Energy 普吉特海灣能源公司

PTR, Peak Time Rebate 尖峰時間回扣

PV, Photovoltaic 太陽能光電

RPS, Renewable Portfolio Standard 再生能源配比標準

REMQ, Renewable Energy Management Query 再生能源管理查詢

RTO, Regional Transmission Operator 區域輸電組織

SCE, Southern California Edison 南加州愛迪生公司

SDG&E, San Diego Gas & Electric 聖地牙哥天然氣與電力公司

SONGS, San Onofre Nuclear Generating Station 聖奧諾弗雷核能發電廠

SWRCB, State Water Resources Control Board 加州水資源管理局

VGI, Vehicle-Grid Integration 電動車電網整合

VRE, Variable Renewable Energy 變動式再生能源

WECC, Western Electricity Coordinating Council 西部電力協調委員會

ZEV, Zero Emission Vehicle 零排放車輛



## 壹、出國緣由

- 一、政府為推動再生能源政策，並鼓勵國內再生能源發電的應用及永續發展、促進能源多元化及有效利用，能源局於 104 年 5 月發布修訂再生能源推廣目標，風力發電及太陽能發電等再生能源於 2025 年及 2030 年之目標約各為 13,750MW 及 17,250MW，惟併入電力系統仍有許多議題待瞭解，爰赴美拜訪納森(Nexant)、加州獨立系統調度機構(CAISO)及太平洋天然氣與電力公司(PG&E)公司討論再生能源併入系統整合及電力市場等議題。
- 二、有關本次洽公之輸配電系統對再生能源發電併網容量與控制等相關議題包括：
  - (一)為達成政府再生能源推廣目標，台電公司應配合之作為及機制。
  - (二)為確保系統安全及供電穩定，電力公司及業者須配合之工作。
  - (三)國外大量再生能源併網，可供台電公司借鏡者。
  - (四)電網因應再生能源高占比之對策如頻率控制、電壓控制、大容量儲能技術等。
  - (五)因應再生能源發電併網，有關電壓靈敏度、低電壓持續運轉能力(LVRT)、頻率持續運轉能力(FRT)、快速反應機組等議題。
- 三、國外部份分散式太陽光電(PV)發電，會拼接在用戶端電表後面而隱藏著，形成饋線過載或電壓變動等問題，須特別去注意。美國有些電力公司(如 PG&E)會利用先進讀表基礎建設(AMI)去分析推估用戶端有無使用再生能源以防止形成問題，例如：停供時轉供量失真而形成超載。
- 四、智慧電網規劃方案分發、輸、配電等構面，使用各種先進技術或資通訊技術等，依各國能源政策發展主導而有所不同。再瞭解美國智慧電網推動現況，例如新的儲能設施示範及老舊輸配電網改善情形。

## 貳、出國行程

本出國計畫自 104 年 10 月 24 日至 104 年 11 月 1 日止，為期 9 天，出國行程表如下所示：

起始日	迄止日	機構名稱	城市名稱	工作內容
104/10/24	104/10/24			往程 台北→舊金山
104/10/25	104/10/26	Nexant	舊金山	參訪及討論分散式電源管理系統發展現況
104/10/27	104/10/28	CAISO	福森	參訪及討論分散式電源管理機制
104/10/29	104/10/30	PG&E	舊金山	參訪及討論智慧型變流器發展現況
104/10/31	104/11/01			回程 舊金山→台北

本次出國 9 天行程依序拜訪 Nexant 顧問公司、CAISO 及 PG&E，主要參訪內容如下：

- 一、參訪 Nexant 公司了解最新分散式能源管理系統及配電饋線自動化系統發展現況。
- 二、參訪 CAISO，探討電力調度中心所具有之高等潮流分析功能應如何實現。
- 三、參訪 PG&E 公司參訪智慧型變流器及加強電網等措施，並就智慧電網發展現況及發展藍圖進行探討。

## 參、參訪紀要

### 一、參訪 Nexant 公司

#### 加州分散式能源所遭遇之問題及努力方向

1. 發展智慧電網需要透過許多試驗展示計畫(Demonstration)，在確保新技術功能可行且符合經濟效益後電業方能著手進行大量佈建。現階段加州政府已頒布最新法律 AB 327 法律要求加州境內三家民營電力公司 PG&E、南加州愛迪生公司(SCE)、聖地牙哥天然氣與電力公司(SDG&E) 必須制定各自的分散式資源規劃(DRPs)計畫，以逐年提高加州 DER 併網滲透率，以期最終能順利完成加州 2020 年再生能源配比標準(RPS)所規定之分散式能源佔比達 33%之目標。
2. DRP 計畫目標除了希望加州境內三家電力公司能夠順利將屋頂型太陽能發電、電表後能源儲存設備、電動車...等 DERs 併入電網外，亦要求大量 DERs 併網後能夠順利融入既有電網系統規劃程序(Grid Planning Process)及電網調度營運(Grid Operation)。
3. DRP 計畫首要之務就是三家電力公司必須各自開發工具軟體，將轄區內之所有饋線每個星期進行一次可併容量餘度分析，透過顏色識別容量區間，供再生能源系統業者檢視資訊。這與配電處開發之再生能源管理查詢(REMQ)系統目的相同，然可併容量計算兩者確是有著顯著的不同。
4. 因應 DRP 計畫，PG&E、SCE 及 SDG&E 現階段正在各自如火如荼地開發分散式能源管理系統(DERMS)。配電處目前亦已委託綜研所進行 106 年「配電級分散式能源高等管理系統(DREAMS)建置可行性研究」研究案，未來可預期分散式能源管理系統將會作為扮演管理 DERs 之重要角色，此系統之基本功能除了須具備 DERs 發電預測外亦需要具備與智慧型變流器(Smart Inverter)互通之功能。
5. 如何解決大量 PV 併網所造成之鴨型曲線(Duck Curve)，是目前 CAISO

最關注之問題。圖 1 為在 PV 高滲透率下所產生之 24 小時淨負載曲線圖(Net Load Chart，淨負載曲線=傳統機組發電出力-PV 發電出力)。太陽下山後會有一個「鴨頭」跑出來，故暱稱鴨型曲線。從圖 1 可知從 2012 年到 2020 年加州的波峰及波谷差距將會隨著 PV 滲透率變高而逐年增加，差距愈大將會使得發電機組出力從午後爬升(Ramp)至晚上時，產生極大之調度壓力，不僅調度技術難度高、風險也很大。此曲線之波峰及波谷與傳統沒有 PV 下之負載曲線完全相反，當 CAISO 進行電力調度時，必須控制發電出力實時匹配淨負載曲線，也就是進行負載跟蹤(Load Following)作業。供需兩方如時時刻刻皆能保持匹配平衡，電網就不會崩潰；除非，電網能夠安裝儲能設備，這樣即使兩邊不匹配，電網也不會立即崩潰掉，故安裝 Megawatt 級之儲能系統將可協助提升電力調度之彈性。CAISO 為了確保每日鴨頭(波峰)時段也能正常供電(需提供足夠的備轉容量)，核能、火力發電廠之出力在尖峰時段將被迫沒有辦法減少，如此將導致處在 DER 高滲透率下之尖峰時段依舊是沒有辦法減少核能及火力之使用量(過量發電)，如果提高 DER 滲透率還沒有辦法大幅減少傳統大型機組發電量的話，發展 DER 就失去其意。所以削峰填谷作業非常之重要，所有能夠達到削峰填谷之手段或技術方法都應盡可能地去嘗試。此外，推廣 DER 亦會衍生一個難解之題，當 DER 滲透率愈高，公用電力事業(Utility)的電費營收就會愈減少，然而為了維持電力網業龐大的營運及維護成本，電價就不得不調高。故大幅度提高 DER 滲透率極大可能會造成電價不降反升，其實只要讓尖離峰電價產生很大之差距，用戶勢必會自動自發去節約用電。

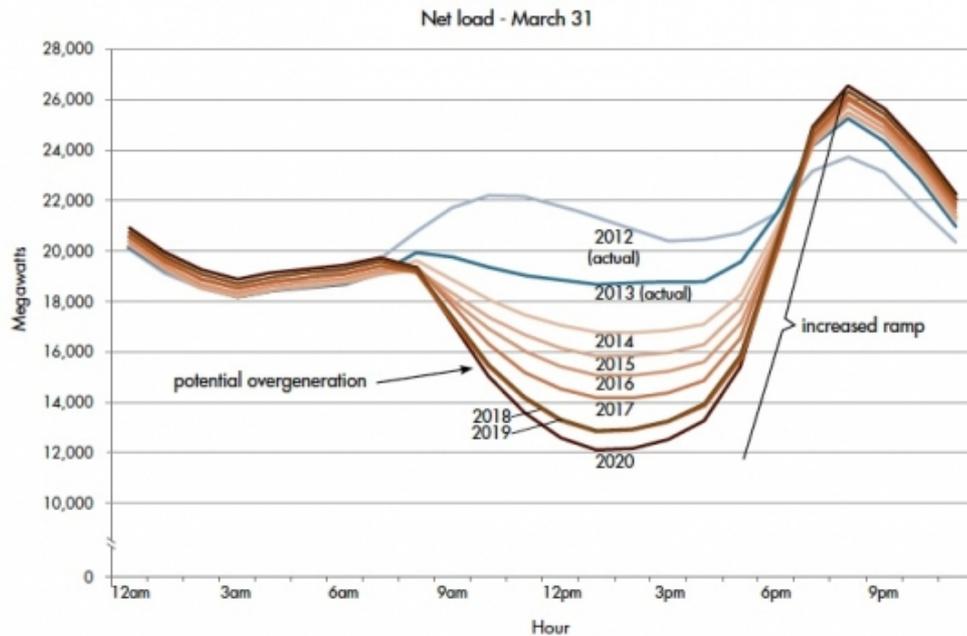


圖 1 鴨型曲線圖

6. 其實要解決鴨型曲線的最直覺的方式，就是要求新設 PV 者安裝 Smart Inverter，允許獨立系統調度機構(ISO)可以在中午時段下達遠端控制命令給 Smart Inverter 來限制 PV 之實功輸出。不過站在 PV 系統業者及百姓之角度，此舉也意味著不得不犧牲自家 PV 之發電效率而導致延長 PV 成本投資回收年限，故此舉勢必會遭受到 PV 系統業者之反彈。2014 年 10 月網路新聞報導日本五大電力公司將停止收購再生能源，一旦此事發生在台灣的話，再生能源系統業者將會面臨很大之衝擊。以純技術角度來看，PV 應儘量不要單獨併網，而是要鼓勵 PV + Smart Inerter 或 PV + 儲能整組併網，如此才能降低公用電力事業併網壓力及對系統電力品質之衝擊。
7. 要解決鴨型曲線的另一種方式為安裝儲能系統，將 PV 中午發電過剩的電儲存起來，晚上釋放，用以降低峰谷差距，故大量佈建儲能系統將會讓電網系統變得更加穩定且更加容易調度，也可避免抑制 PV 實功而產生民怨。然而儲能有兩種，安裝在公用電力事業端之 Megawatt 級貨櫃式儲能系統，和安裝在 DER 電表後端 Kilowatt 級儲能系統，前者大量

佈建的話勢必要反應在電價公式上，後者大量佈建的話政府補貼再生能源之收購費率就勢必也要跟著變高。由此可知，要達到 DER 高滲透率之目標，整個國家要付出之努力及成本是非常巨大的。

8. 另外解決鴨型曲線的可行方式，如實行即時時間電價(Real-time and Time of use pricing)並實施價格敏感(Price-sensitive)負載之自動需量反應(Demand Response)制度，以達到削峰之目的。
9. 台灣與加州發展 DER 模式迥異，台灣 PV 發電過份集中在南部輕載地區，目前台灣雖尚未進入 PV 高滲透率時代，然而南部諸多配電饋線已逐漸逼近高滲透率規模，配電饋線上之 PV 發電主要目的是供給當地負載消耗使用，故南部配電饋線上即使累積過剩 PV 發電，台灣中北部地區仍是無法享受到，南電北送之傳輸量依舊無法降低，故如何使中北部重載地區亦能提高 PV 滲透率實為一待克服之問題。

## 二、參訪 CAISO

### (一) CAISO 簡介

CAISO 為北美九個獨立系統調度機構／區域輸電組織(ISO/RTO)其中之一。CASIO 掌管加州約 80%以及少部分內華達州(Nevada)之電力。其服務範圍如圖 2 所示。

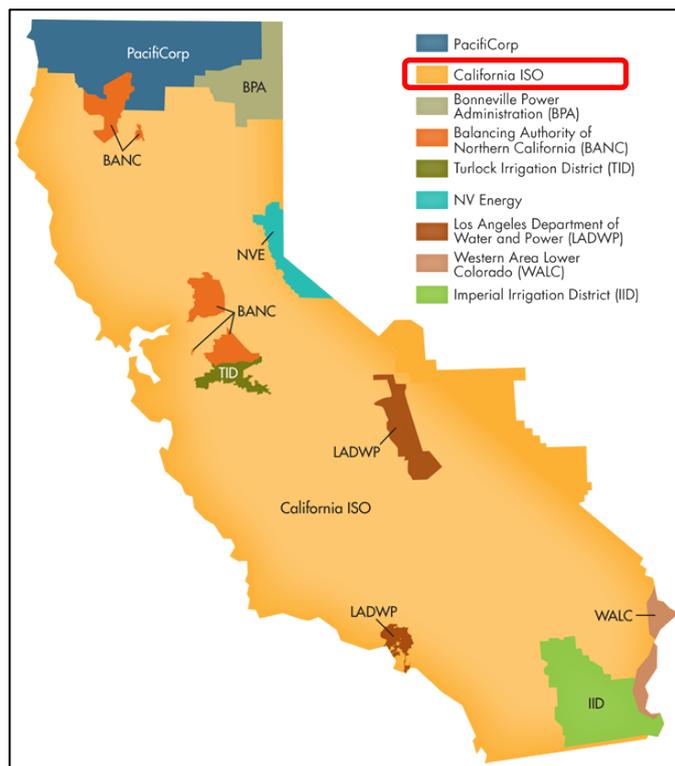


圖 2 加州 ISO 服務地區圖

此外，CAISO 為美國西部互聯電網(Western Interconnection)內 38 個電力平衡機構(BA)中規模最大者，其管轄的電力佔該電網約 35%。

CAISO 於 1998 年 3 月 31 日正式啟用商轉。主系統坐落於舊金山東北方的佛森(Folsom)，備援系統設置於南加州洛杉磯附近的阿罕布拉(Alhambra)。CAISO 於 2009 年 4 月起開始建置新一代調度系統與全新的企業總部，並於 2010 年底完工。

加州為美國提倡綠能的領導者，不但在能源政策上不斷自我提升標準，對建築物的要求亦是如此。故 CAISO 規劃新企業總部初期便以領先能源與環境設計(LEED)金級(Gold)認證為設計標準，12 個月後要求提高標準至白金級(Platinum)認證。加州電力事業對於落實能源永續與環境保護的精神，相當值得我們學習與效仿。

## 1. 系統概述

電廠裝置容量：65,226MW 額定出力(NDC)。

尖峰用電紀錄：50,270MW。(2006.07.24 歷史最高)。

市場交易數量：27,589 筆/日。

輸電線路長度：26,024 回線英里 (約 41,882 回線公里)。

系統用戶數量：約 3 千萬人。

年度市場總額：約 1 百億美元。

## 2. 監管 CAISO 之單位

CAISO 為非營利組織而得以成為獨立系統調度機構，設立的法源依據為 1996 年 9 月簽署的州議會法案 AB 1890。CAISO 受到下列 4 個單位監管：

- (1) 由州政府任命，經州參議院同意後之 5 人理事會(Five Member Board)。
- (2) 聯邦能源管制委員會(FERC)。
- (3) 北美電力可靠度公司(NERC)。
- (4) 西部電力協調委員會(WECC)。

(美國西部互聯電網為此委員會所管轄，而 CAISO 為轄內 14 個州成員之一。)

## (二)加州再生能源發展現況

### 加州環保減碳政策

環保減碳的執行成效是否良好，政府的態度與決心占了極大部分的比重。在環保議題方面，加州政府部分重要的環保政策如下列：

加州水資源管理局(SWRCB)訂定水質管制法(Water Quality Control Policy)要求沿岸的電廠禁止使用一次性的冷卻水，冷卻水必須循環使用，避免加熱後的冷卻水危害水中生物。

加州州長阿諾於 2007 年 9 月簽署州議會法案 AB 32(the California Global Warming Solutions Act of 2006)，要求溫室氣體排放量於 2020 年

必須降至 1990 年的水準。

2013 年 2 月，加州州長布朗提出零排放車輛(ZEV)行動方案(ZEV Action Plan)，目標於 2025 年有 150 萬輛零排放電動車上路。

加州政府近年來極力推展再生能源，但再生能源主要的特性：發電規模較小、分散，且非持續性，故需要發展分散式發電(Distributed Generation)與微電網(Micro-Grid)，並整合能源儲存技術(Energy Storage)，才能使再生能源發電發揮最大的效益。加州州長布朗的清潔能源就業計畫(Clean Energy Jobs Plan)訂出目標，將於 2020 年分散式發電（裝置容量 20MW 以下）總量須達到 12,000MW。

為了有效推展再生能源，加州政府甚至將 RPS 列入法規中，成為美國提倡綠能的先驅。RPS 主要規範發電業者提供之電力須包含一定比例的再生能源，而非單純地由政府直接補貼再生能源發電的費用，以強制規範的方式推動再生能源。

早在 2002 年，加州參議院法案 SB 1078 已制定 RPS 計畫，要求於 2017 年再生能源之售電占比為 20%。2015 年 10 月初，加州州長布朗簽署了加州參議院法案 SB 350。該法案將 RPS 提高至 50%，另外還要求現有建築物能源效率須提高 50%。

### **(三)電業自由化下外購電力訂價策略及雙邊合約**

#### **1.外購電力訂價策略**

各國電業自由化之電力市場交易模式主要有二大主流，一為電力池模式，一為雙邊合約模式，前者發電業者集中於電力交易所競價而決定購售電價格，後者則透過購售兩造雙方之私契約決定購售電價格。在電力池模式下，所有市場參與者均須簽署相關合約，以利電力池運作；在雙邊合約模式下，電力交易係透過購售雙方私契約實體交割。

鑑於美國電力市場自由化的發展由來已久，其中加州於推動自由化

的過程中發生電力危機，造成批發電價上漲、無預警斷電等危機，而我國為推動電業自由競爭，行政院院會於 104 年 7 月 16 日通過「電業法修正草案」，將整體電業切割為「電力網業、發電業、售電業」3 大部分，為因應此重大變革，本次出國計畫爰選定以美國加州為研習對象，以取經仿效美國電業於自由化下之外購電力訂價策略及實施經驗。

本實習計畫之目的即在蒐集國外力市場開放後購售電合約之形式與應用，包含實體交易考量之訂價參數及調整方式、價格風險之管控與規避等，做為發展適合台電公司研訂自由化後購電價格策略之參考依據。

#### (1) 電業管制單位之成立

加州電力市場管制機構從上到下分別為聯邦能源管制委員會、加州能源委員會、加州公用事業委員會、市立公用事業管理委員會等，其職責包含擬訂能源政策、管制市場價格、發展再生能源與替代能源等，其中加州公用事業委員會主要管制加州三大民營公用電業；而行政院院會於 104 年 7 月 16 日通過「電業法修正草案」，因應電力市場架構調整，與加州相同，亦成立專責之電業管制單位，其職責係負責電力市場監督與管理業務，包含電力市場管理、電力調度監督管理、用戶用電權益監督管理、電價與各種收費費率及其計算公式之核定等事宜，以維持市場交易秩序。圖 3 為電業自由化後之電力市場架構（廠網分離）。

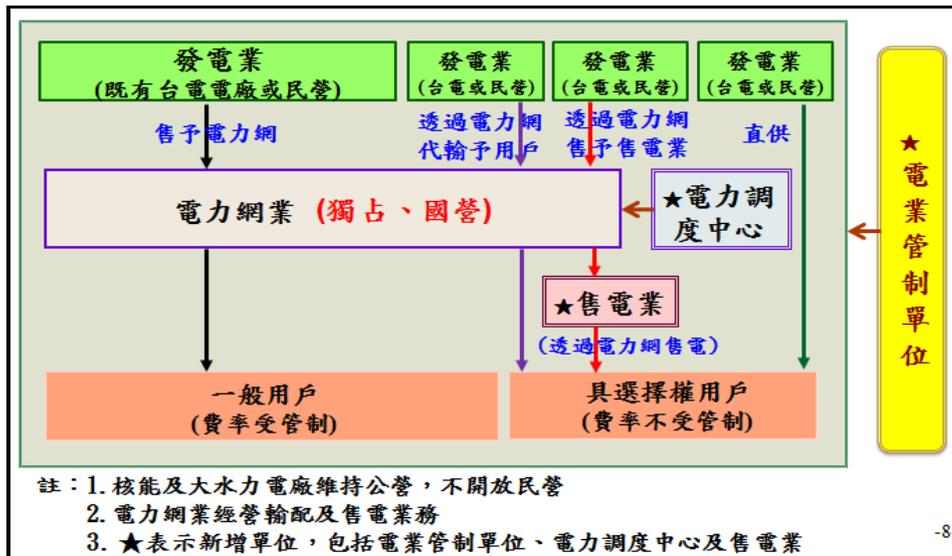


圖 3 電業自由化後之電力市場架構（廠網分離）  
 （資料來源：經濟部能源局 104 年 5 月 26 日向行政院報告電業法修正草案簡報）

### (2) 長期合約之簽訂

加州電力市場參與者包含市立公用電業、三大民營公用電業、民營電廠、市場交易者等；而行政院院會於 104 年 7 月 16 日通過「電業法修正草案」，亦將整體電業切割為「電力網業、發電業、售電業」3 大部分，與加州類似，惟該草案所規劃的電力市場中未強制設置電力交易所，電力交易以長期合約為主要電力來源，而加州電力市場初期禁止長期合約，使消費者必須到躉售或即期現貨市場購電，因電價波動大，後來也放寬簽署長期合約的限制。基此，長期合約之簽訂不但有助於提升電力供應穩定度，亦有助於規避電價劇烈波動之風險。

### (3) 購電費率調整機制之建立

由於電業與獨立發電廠(IPP)簽訂長期合約仍為未來電力供應之主流，有關購電費率之訂定、調整機制之建立等合約重要項目，在未來瞬息萬變之電力市場下，尤顯重要。合理的購電費率及其調整機制不僅可以讓台電公司以合理成本取得電力，亦讓 IPP 可回收相關投資成本，更確保 IPP 於保證發電時段（IPP 應按其機組額定出力提供連續

運轉之時段) 可提供台電公司足夠應付系統高載期間之電能，對購售電雙方以及用戶而言，均屬有利。

## 2. 研習電業自由化下實施電力代輸之雙邊合約擬定

國內電力事業隨著電業自由化政策正逐漸邁向多元化與解除管制的方向，配合此種發展趨勢及社會環境，行政院版之電業法修正草案勾勒出電力事業未來藍圖，行政院院會於 104 年 7 月 16 日通過「電業法修正草案」，將整體電業切割為「電力網業、發電業、售電業」3 大部分，呈現出綜合電業、獨立發電業、自用發電設備等發、輸、配售電之多元市場以及 ISO，確立電業自由化市場運作模式。由於電業自由化之後，開放用戶購電選擇權，發電業可透過綜合電業代輸電力，故電力市場之生產者(發電業)消費者(用電戶)能夠透過輸電線路，在雙方彼此可以接受的價格下完成交易，增加消費者自主選擇購電的能力及生產者自由選擇買主的機會。

在此架構下電力市場之雙邊合約係由電能供給者與電能需求者自由簽訂，亦即由配售電業與發電業者組成，由雙方自由協商決定長期供電與購電承諾。開放電力選擇權後，(特)高壓電力大用戶可轉向 IPP 買電，低壓或住宅用戶亦可向非在地的配電業或各零售電業購買較便宜或交易條件較佳之電能。依國外實施經驗，發電業通常會落入挑肥揀瘦的處境 (Cherry Picking)，即選擇大用戶或相對交易條件最有利之電力用戶，簽訂長期雙邊合約。因此如何制定兼顧公平性及競爭效率之雙邊合約，將為肩負供電義務之台電公司重要之課題。美國電力事業之營運效率及供電安全名列世界前茅，自實施電力自由化以來，藉由引進電力市場競爭，在效率改善及技術更新方面已有良好成效，值得作為台電公司擬定各項雙邊合約之借鏡。

本實習計畫之目的除蒐集美國電力雙邊合約相關資料、制定雙邊合約之公平性及配套措施，作為未來規劃台電公司業務之參考外，另亦希望藉

由蒐集美國綜合電業向獨立發電業(IPP、風力、太陽能發電等)購電之完整合約內容(PPAs)，瞭解該國綜合電業購電商業運作模式、合約執行實務及綜合電業向獨立發電業在美國發展概況及相關法規，以利台電公司未來購電業務推展。

- (1)由於雙邊合約價格訂定係由交易雙方透過談判與協商擬定，其過程牽涉到彼此互相猜測對方重要參數及評估準則，目前學術界已在賽局理論的基礎上，針對此類問題建構相當良好的數學模型供做交易雙方做為合約談判及決策之參考，建議未來與 IPPs 談判購售電合約時，可多加引用參考。
- (2)與 ISO 的關係應於合約中界定清楚，電業自由化後，為避免輸電線路受特定公司把持，影響自由競爭，成立獨立調度中心有其必要性，但由於現在台灣電力市場 IPP 均接受台電公司依經濟調度原則進行調度，未來成立獨立調度中心後，雙邊合約中應如何規範買賣雙方與調度中心間的關係，亦是必須思考的重點。
- (3)在與 PG&E 交流的過程中，該公司承辦購電合約人員表示，目前對 PG&E 來說，雙邊合約主要著重項目，依購電或售電有所不同，購電合約著重於發電系統的彈性，過去因為加州缺電，所以過去多著重於如何利用合約影響電廠增加發電的誘因，而目前則著重於系統的彈性，使得電能供應的增加能依需求情形迅速調整；至於售電合約則主要著重於利潤及財務操作。故未來台電公司在研擬新的購售電合約時，亦須將系統彈性及利潤觀點納入考量。另 PG&E 亦擅長利用不同合約期間來滿足供應電能及財務需求，目前台電公司與 IPP 及太陽能發電業者簽定合約期間均屬固定期間，未來台電公司在與再生能源或 IPP 業者簽訂新的購售電合約時，亦可考量簽訂不同合約期間，以利於公司取得電能並從中獲取利潤。

#### (四)CAISO 面對分散式能源之作為

1. CAISO 調度中心外面車棚，皆有安裝太陽能發電板及電動車充電站，大樓內也建有水循環回收系統，建築格局可讓陽光充份進入內部，而非冷冰冰之建築大樓。現行世界各地新型調度中心(Dispatching Center)或資料中心(Data Center)，皆往智慧建築(Smart Building)在邁進，導入可自給自主之綠色能源及建構高度資通訊技術之科技建築其實也算是智慧電網之一環。圖 4 為 CAISO 調度中心

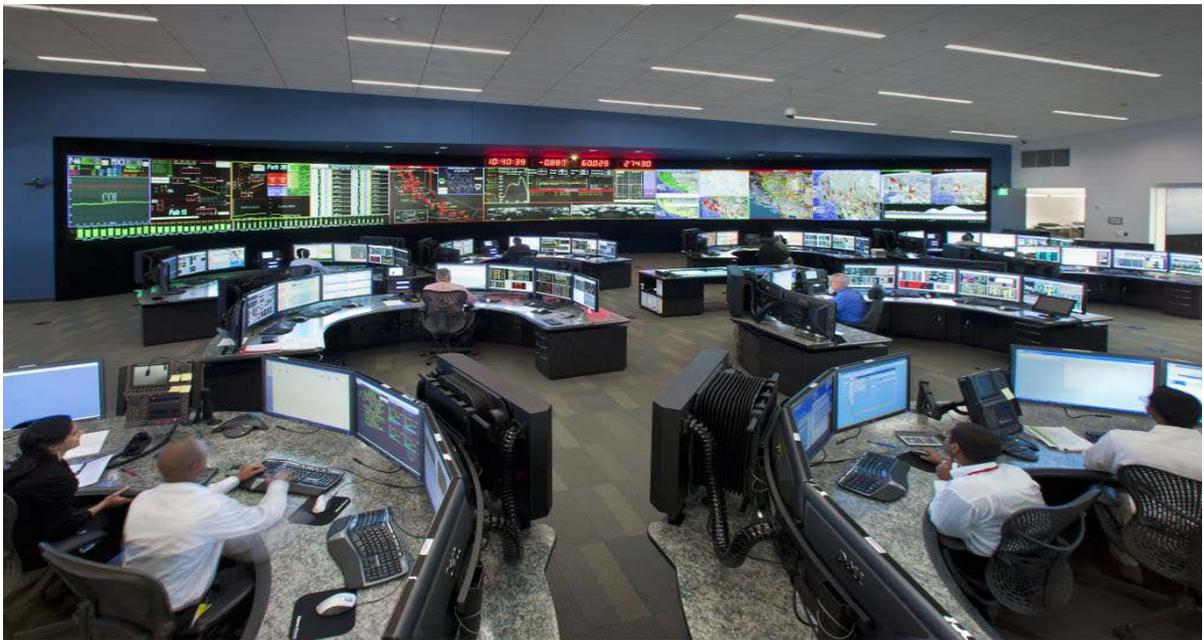


圖 4 CAISO 調度中心

圖片來源 i4Energy Seminar October 19,2012

2. 在 DER 高滲透率下，ISO 調度中心最需要擁有的功能就是 DER 的發電預測功能，由於 DER 發電之不確定性，ISO 內部之能源管理系統(EMS)必須要依據天氣預測來預估 DER 總發電量，其預測統計演算法就非常的重要，其演算法必須要長期與實際發電保持穩定之誤差值方能使用。
3. 發展智慧電網將會使得傳統發輸配電系統面臨極大幅度的「結構性轉變」，除了要引入諸多新技術外，「電業事業組織」也會面臨到極大的變革，也就是電業自由化之衝擊，電業需要把部份事業分割出去。而 ISO 作為電力調度龍頭角色，可謂智慧電網之心臟，其核心任務為：維持電網供需平衡

及確保電力交易市場正常運轉。

4. 在 DER 高滲透率下，能夠傳回電網即時向量狀態之同步相量量測單元 (PMU) 將會愈顯重要，愈不可或缺。透過 PMU 回傳之電力相角資訊將可以進行複雜之數學運算，精確估算出所有網路節點之實功及虛功，也就是所謂的狀態估計(State Estimation)。狀態估計是 EMS 之核心，當系統任一節點狀態出現異常時，系統必須快速對要採取之作業進行分析，判斷該調度指令是否為安全調度指令，不會造成傳輸壅塞、頻率震盪...等問題。配電系統在傳統單向潮流下即使系統沒有狀態估計功能也可以運作良好，然而在 DER 高滲透率下，為了監控雙向電力潮流狀態，配電系統就有必要進行狀態估計。目前國外加州柏克萊大學正在進行一項 uPMU(micro PMU)研究計畫稱作：「Micro-Synchrophasors for Distribution System」。uPMU 如圖 5。此計畫主要之目的為將輸電系統應用廣泛之廣域測量技術 (PMU) 導入配電系統，除了可讓配電系統進行基本狀態分析及潮流計算外，使用 uPMU 可帶來之可能效益如下：

- |                             |                         |
|-----------------------------|-------------------------|
| (1) 可辨識故障引起之電壓延遲復原(FIDVR)狀態 | (6) DER 監控功能            |
| (2) 對高阻抗接地故障進行偵測分析          | (7) 功率震盪偵測              |
| (3) 故障點偵測、孤島偵測              | (8) 支援保護協調功能            |
| (4) 精確化狀態估計結果               | (9) 支援 volt-var 控制最佳化運算 |
| (5) 逆送電力偵測                  | (10) 支援輸電系統診斷分析         |
|                             | (11) 支援微電網系統運轉分析        |



圖 5 一個眼鏡大小的 uPMU 所內含之潛能非常巨大  
(資料來源：i4E micro-PMU talk Oct 19)

## (五) CAISO 的挑戰與努力方向

### 1. 面對挑戰

政府對於環保與再生能源的積極作為，受影響最大的便是電力事業，身為加州電力調度核心的 CAISO 亦無法置身事外。加州再生能源發電量與佔比中，僅 PV 的比例大幅度增加，而太陽熱能(Solar Thermal)、小型水力(Small Hydro，裝置容量小於 30MW)，及風力(Wind)等再生能源增加的幅度不大。很明顯地，太陽能發電為加州主要推動之再生能源發電項目。

針對再生能源占比逐年提高的趨勢，CAISO 於 2013 年分析未來數年之預測負載與預期再生能源發電量，發現一年之中某些特定時間（如春季）的午後淨負載(Net Load)曲線，呈現出如「腹部」(belly)般的外觀；緊接著快速上升之變化形成的弧線(arch)，如同鴨子的頸部，而業界將該曲線命名為「鴨型曲線」(Duck Chart)。該淨負載曲線變化趨勢顯示下列問題：

#### (1) 過量發電(Over Generation)

負載尖峰時段為夜間 8 時至 9 時，但太陽能發電峰值為下午 1 時至 3 時。先前有提到加州未來發展再生能源的主力為太陽能發電，為達成高 RPS 政策，以至於既有再生能源產生之電力優先送入電網，其他傳統發電機組配合降載或停用，以免過量發電造成浪費。但燃煤及核能等發電機組僅能降載無法完全停用，過多的太陽能發電將導致無法避免的過量發電。

## (2) 負載驟升

配合再生能源發電的傳統發電機組，在下午時段皆處於降載或停用的狀態。傍晚 5 點之後 3 小時內，負載急遽增加，而太陽能發電之發電量於此時卻降至最低，淨負載變化高達將近 13GW，故增加的負載需求僅能仰賴傳統發電機組供應。然而快速提升輸出，對傳統發電機組之發電效率與機組壽命，必然為極大之考驗。

## (3) 頻率控制

電力系統的頻率，可反映電力供應與需求兩者之間的關係是否平衡。為確保電力系統維持穩定，系統頻率必須精確地控制在 60Hz 左右。若有任何電力事故發生，如發電機跳機或是輸電線路跳脫，當下電力供需失衡的狀況，將直接衝擊系統頻率，造成電網不穩定。傳統發電機組設有頻率感測裝置，可因應系統的需求於數秒內自動調整輸出，使系統頻率回復至平衡狀態。

再生能源輸出不若傳統發電機組極具彈性，且配合政府的政策不斷地提高再生能源發電佔比，研究顯示於 2020 年再生能源佔比達 33% 時，系統負載維持低點時再生能源發電將高達 60% 之比例(如圖 6)。此時若有任何較嚴重的電力事故發生，電力系統面臨大停電的風險大增。

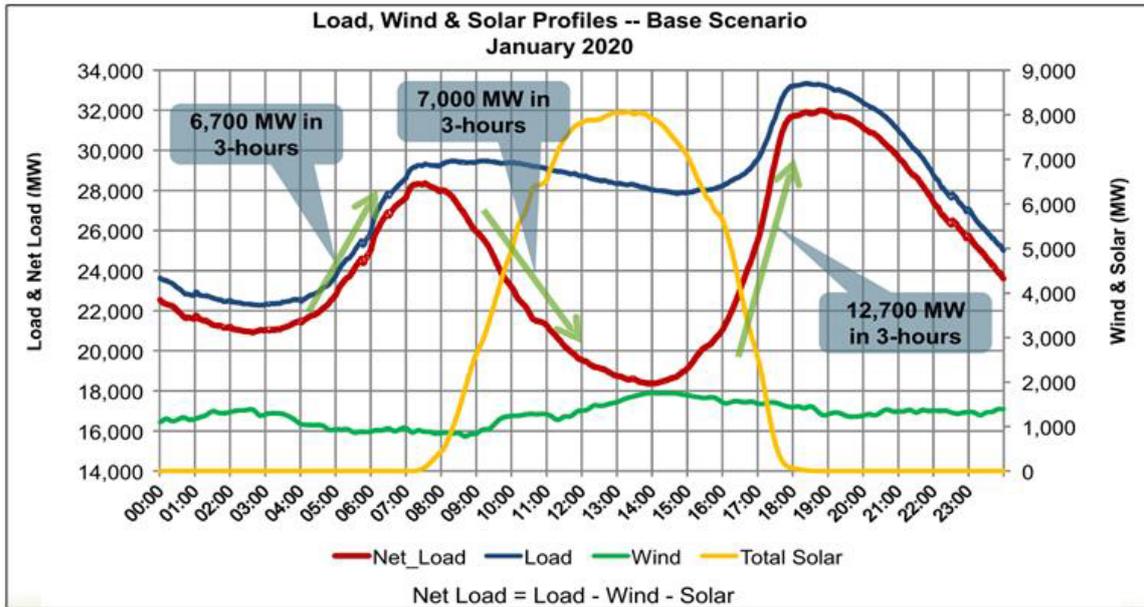


圖 6 2020 年 1 月負載、風力與太陽能發電預測曲線圖

除了再生能源佔比過高，將衍生出上列電力供需平衡等問題之外，於 2013 年 6 月 7 日，SCE 因反應爐輸水管過度磨損無法修復，最終決定關閉聖奧諾弗雷核能發電廠(SONGS)。該廠之發電量約 2.5GW，佔全加州發電量約 9%。關閉此電廠造成加州極大的電力缺口。

### 3.努力方向

對於加州電力供應與電網穩定等種種問題，CAISO 以 3 大面向規劃加州電網的未來，以期 RPS 持續提高的狀況下，依然能維持電網可靠與穩定。此 3 大面向分別為：發電、需量反應，以及儲能（如圖 7 所示）。

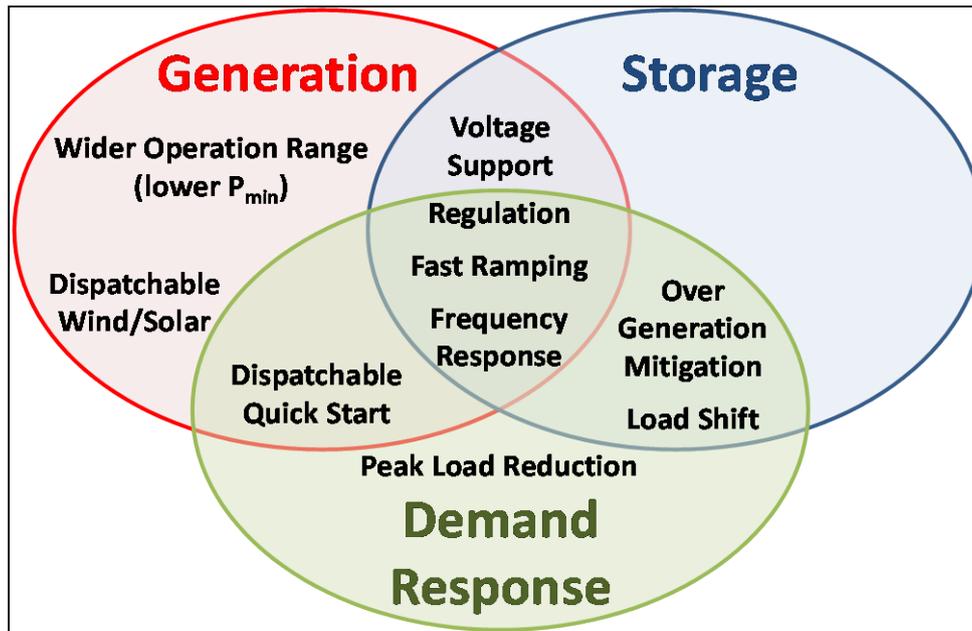


圖 7 加州電網未來 3 大面向

其最終目的，是為了讓頻率響應、系統調節，與快速升降載等能力可符合未來電網的需求。以下將針對加州現行實施或推動的幾個特別項目作說明：

#### (1) 推動儲能系統

再生能源佔比日益升高，而負載尖峰與再生能源發電尖峰分屬不同時段。為降低發電成本且提高再生能源的使用率，儲能已是必須且必要的選項。2010 年 10 月，加州州長布朗簽署通過加州議會法案 AB 2514 號「加州能源儲存法案」，此為全美首例電力儲存法案。該法案主要要求加州 3 家民營電力公司(IOWs)：PG&E、SCE 及 SDG&E 於 2020 年前購置 1,325MW 的儲能裝置，且於 2024 年前安裝完畢，此裝置目標未包含既有大型水力抽蓄發電機組的容量。

加州是政策制定者參與有關支持再生能源及儲能相關之進度監管經驗，為實際成功的案例。CAISO 目前及計畫中之再生能源容量如圖 8。

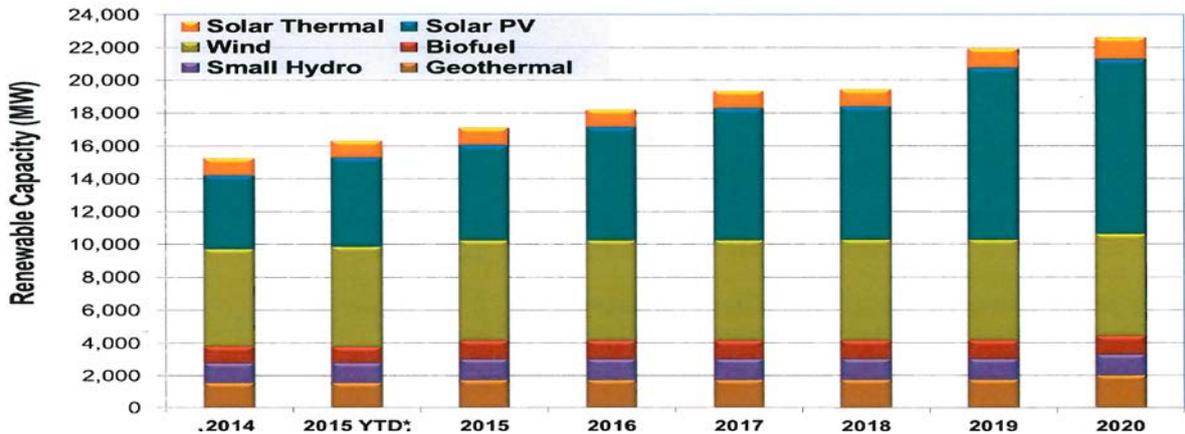


圖 8 CAISO 目前及計畫中之再生能源容量

該州為在 2020 年時將再生能源發電占比達 33% 入法的州。該州正思考額外增加再生能源採購目標。在 2014 年，大量業者已供應其再生能源電力高達零售電力的 21%。對用戶而言，已安裝近 2.1GW 的屋頂 PV 及 23MW 的風能。

AB 2514 要求加州公共事業委員會(CPUC)認定，若儲能被認為是商業上可行而具有成本效益的負載服務實體，則需列為採購目標。其目標為利用儲能以讓電網達最佳化、整合再生能源並降低溫室氣體排放。2013 年，該州啟動了新的股東參與公共事業、工業、用戶及有興趣者的一項新的措施。

該措施是評估加州電網應用儲能，及其與其他選項之本益比較。

CPUC 要求三個民營電力公司採購 1,325MW 之儲能，其它負載服務者亦須在 2020 年採購相當於尖載 1% 的儲能容量。該採購亦需符合特殊條款，如不可計入 50MW 的抽蓄水力。儲能設備需於 2024 年前營運。

在 2014 年，該三大公用事業的儲能採購的目標，分別是：SCE 為 90MW、PG&E 為 90MW、SDG&E 為 25MW。

這些目標是由電網引接(輸配電)和用戶數所計算出。在 2014 年 11 月，SCE 宣布，該公司已購入 261MW 的儲能以滿足 2014 年之該地電廠退役之容量需求。此已高於其需求 90MW 目標(見表 1)。同樣，SDG&E

正同意採購最大量 800MW。PG&E 徵求 50MW 儲能以併入其輸電網、24MW 併入配電網、10MW 併入用戶側儲能。

表 1 2014 年 SCE 採購之儲能

賣家	能源型式	MW
Ice Energy Holdings	電表後之熱儲能	25.6
Advanced Microgrid Solutions	電表後之電池儲能	50
Stem	電表後之電池儲能	85
AES	電表前之電池儲能	100

依此情況，CPUC 已制作儲能路線圖。此符合 CAISO 和加州能源委員會(CEC)等之要求。該路線圖確定了需解決的問題，以符合儲能之設置(CAISO，CPUC，與 CEC，2014 年)。

從加州學到的經驗，政策制定者當初並無考慮其儲能政策。相對地，他們啟動了更具試探性的政策，以評估儲能的潛在影響，並從一開始即與股東們合作。隨著時間的推移，加州的政策制定者和其他利益相關者增加了變動式再生能源(VRE)技術、儲能及其應用等的參與和瞭解。這一切都變成強而有力的法律和監管架構，使公用事業參與儲能設備及服務。此提供了必要的鼓勵公用事業採購並降低投資風險的經驗。

## (2) 電動車電網整合(VGI)

除了積極催生儲能裝置外，加州還把儲能的目標轉向另一種的裝置：電動汽車。零排放電動車行動方案中，以電池為儲能裝置的電動汽車佔絕大多數，若是大量推廣電動汽車，而沒有其他配套措施的話，對加州電網的未來將會是個極大的負擔。原因是多數人使用習慣，造成同時大量的用電需求。假如電動車使用者約在傍晚 5 點至 7 點到家，回家之後直接將電動車接上充電，此時系統負載正處於最高點，大量充電的

電動車將使電力系統的負載更加沉重。根據估計，電池電動車(BEV)與插電式混合動力汽車(PHEV)於 2025 年將帶給加州電網外加 7,000MW 負載，此負載量約為 2013 年夏季尖載用電量之 16%。

加州意識到此問題的嚴重性，於是極力推動電動車電網整合(VGI)。CAISO 於 2013 年 11 月提出電動車電網整合規劃路線圖(VGI Roadmap)，最終目的是希望電動車有充電管理的功能，或是支援電網與電動車之間雙向互動。擁有充電管理的電動車，將可配合電力系統負載調整充電的時間，甚至可配合輸出／輸入電力，或是切開／加入負載；雙向互動指的是電網與電動車電池，或是建築物與電動車電池之間可控制充電或是放電。電動車電網整合可提供車主可靠充電服務，還能可能從中獲利；對電網而言則是降低風險，與創造節省成本的機會。與電動車電網整合相關的設備或產品包含變頻器、充電控制器、多種與充電管理相關之程式、充／放電時段價格制定，以及充電綁約套餐等措施。

### (3)能源不平衡市場(EIM)

為使轄內的電力資源能更有效運用，擴大電網範圍以互補有無，是 CAISO 另一個因應未來 RPS 佔比升高，確保電網可靠及穩定的另一種方式。當單獨的 BA 突然有較高的負載需求，而低成本發電機組皆處於滿載狀態，此時僅能仰賴高成本發電機組，或是降低負載(卸載)以維持系統平衡；或是現有機組發電量過剩，負載需求較低，此刻只能強迫降地輸出。所以小範圍 BA 因為資源有限，必須以較高的成本才能因應系統可能發生的各種情況。(如圖 9 左側所示)

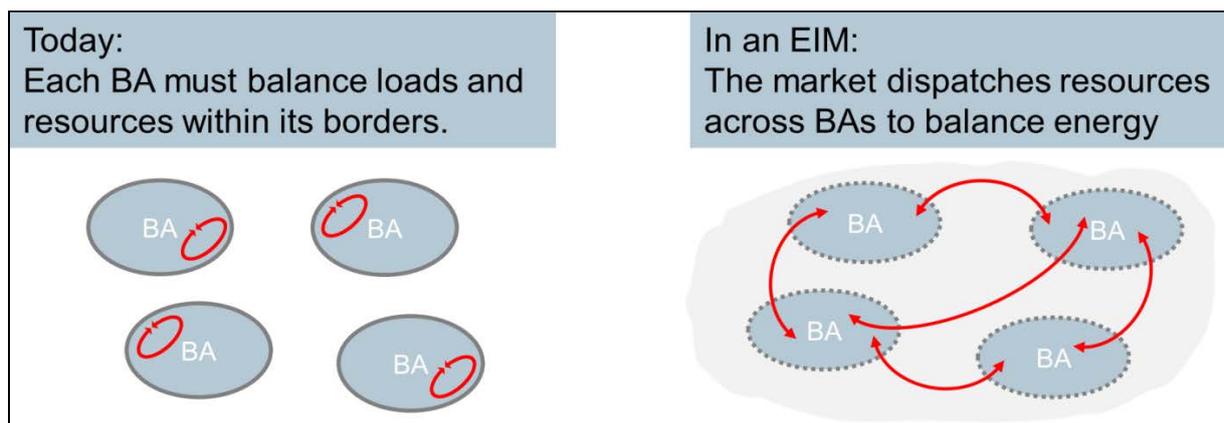


圖 9 個別 BA 與 EIM 運作比較圖

能源不平衡市場(EIM)的出現，為結合不同地域之各自不同用電與電源特性，相互截長補短(如圖 9 右側所示)。EIM 不但能提高各個有合作之 BA 內的資源利用率，強化電網穩定性與可靠度，還能有效節省成本。

太平洋電力公司(PacifiCorp)於 2014 年 11 月起加入 CAISO 的 EIM，最近一次的分析報告指出，該公司加入 EIM 後至 2015 年 9 月，為整個 EIM 帶來了約\$3,341 萬美元(台幣超過 10 億元)的總收益(Gross Benefits)，並自 2015 年 1 月自 9 月避免減少再生能源發電量為 13,317MWh，使提高 RPS 比例之目標不因環境因素影響而受限，同時可降低排碳發電機組的發電量。

近年來，由於 CAISO 於 EIM 的執行成效良好，除了已加入的太平洋電力公司外，內華達州能源公司(NV Energy)亦於 2015 年 12 月起加入。未來，數個西部互聯電網內之 BA 也將陸續加入(如圖 10)：華盛頓州普吉特海灣能源公司(PSE)與亞里桑納公用服務公司(APS)將於 2016 年加入；波特蘭通用電氣公司(PGE)將於 2017 年加入。如此發展下去，CAISO 將轉型為西部互聯電網之區域輸電組織，將能有效整合各地區的資源，使電網在成本與可靠度皆能兼顧的情況下持續穩定運作。

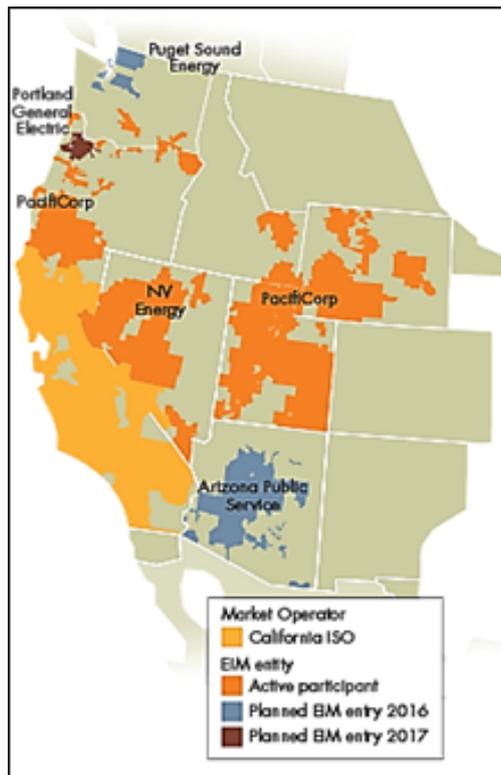


圖 10 西部互聯電網 EIM 發展示意圖

#### 4. 結語

加州在環境永續發展與能源規劃方面，持續處於積極與領先的態勢。不但政策持續推動，相關的配套措施亦不斷的檢討與修正，以期發揮最大的效益。再生能源的主要特性為不可控制及間歇性，如此特性之電源為傳統電網不受青睞，甚至可能成為電網不穩定的肇因。某些政策的推動也許立意良好，但如果缺乏整體規劃，不久的將來可能會造成另外的嚴重問題，像是電動車的推廣。加州最值得我們學習的部分，在於對環境保護方面的政策，並非僅是宣示與口號，而是積極推行且不斷強化政策的完整性。如因應再生能源的不確定性與實際電網負載特性而發展能源儲存來改善；為避免防範空氣汙染與減碳的電動車造成未來電網的負擔，規劃電動車電網整合等等將「負債轉為資產」的措施。環保與減碳對加州來說，不當作扼殺經濟發展的藉口，反而是個發展新經濟與擴大就業的好機會。

CAISO 在各項政策推行的過程中，不僅僅是政策施行的執行者，其身兼規劃，甚至是推動計畫的角色，許多地方都能看到 CAISO 努力的

身影。本身為非營利事業，其卓越的營運績效，亦紛紛吸引其他電業尋求合作，自此可預見加州的電力發展前景可期。

### 三、參訪 PG&E 公司

#### (一)智慧型變流器及提高滲透率之發展

##### 1.智慧型變流器(Smart Inverter)發展趨勢

安裝智慧型變流器(Smart Inverter)可以提高 DER 滲透率並協助電網進行電壓、頻率等穩定工作，CAISO 強烈建議應該全面安裝 Smart Inverter，目前建議發展功能彙整如下：

支持防孤島功能，在超出上下限時會自動跳開解聯系統
在電壓偏移正常水平下提供高/低電壓穿透功能
在頻率偏移正常水平下提供高/低頻率穿透功能
偵測電壓並自動反應動態性地注入虛功以實踐 volt/VAR 控制
不論在高電壓限制或低電壓限制下皆須定義妥預設及緊急上升/下降斜率
藉由固定某個功率因素值以提供虛功補償
透過軟開機方式以重新併網
提供緊急告警資訊
提供目前出力狀態及測量值或其他額外有用資訊
utility 能夠透過一道直接命令於 PCC 併網點上限制其最大實功輸出
支持遠端命令下達重新連線併網及斷開併網
在正常上下限區間透過提高或下降實功輸出來抵銷頻率偏移
在正常上下限區間透過注入動態電流以抵銷電壓偏移
參照在 ECP 點或在 PCC 點上之當前值以限制最大實功輸出
反應當地電壓變動自動地修正實功輸出
在 PCC 點上設定實際實功輸出率

在特定時間點能以排程方式執行實際或最大實功輸出率
藉由快速修正實功輸出來平滑小幅度的頻率偏移
透過各種排程功能以作為額外的控制輸出服務
設定或排程儲能設備進行預備傳輸、指定時間充電、在特定時間改變充電斜率

## 2.PG&E DRP 計畫內容簡介

### (1) DRP 發展目標

為促進綠能發展，提高 DER 滲透率，PG&E 擬定 DRP 計畫，PG&E 擬定之 DRP 計畫如圖 14。此計畫目標如下：

- 建設新穎現代化之配電系統，透過電網上之雙向電力潮流，使其能夠容納期望之 DER 併網量
  - 使用戶用電能夠選擇新穎之 DER 技術及服務
  - 為 DER 確認發展契機以理解其對電網之效益



圖 11 PG&E 擬定之 DRP 計畫圖

### (2) DRP 發展計畫藍圖

DRP 發展計畫藍圖之內容如圖 12 所示。

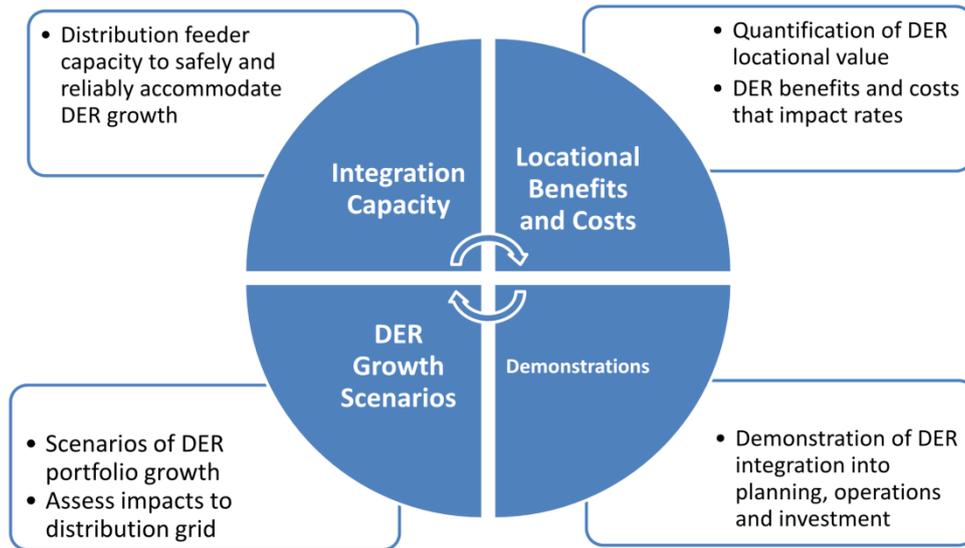


圖 12 DRP 發展計畫藍圖之內容圖

DRP 發展計畫內容，共分為四大塊，詳述如下：

A. 左上角之 DER 衝擊分析系統以計算饋線最大可併網容量

左上角為發展一套 DER 衝擊分析系統以計算饋線最大可併網容量 (Hosting Capacity)，期望轄區饋線能夠在符合電網安全且品質之下，DER 併網量能順利成長。配電處的配電規劃資訊系統(DPIS)系衝軟體日前獲得了 2015 年美國電力研究院(EPRI)技術轉移獎，主要獲獎理由為參考 EPRI OpenDSS 之設計方法論開發出國內獨一無二之 DER 系衝軟體，大幅節省了不少人力及時間去審查併網案件，因此獲得了 EPRI 之認可。2015 年 EPRI 來台辦理 Workshop 時提出了新的系衝設計方法論，叫做 Streamline Hosting Capacity，其概念可由圖 13 來理解。而 PG&E DRP 計畫，其預計發展的系衝軟體使用者界面如圖 14。



圖 13 Streamline Hosting Capacity 概念圖

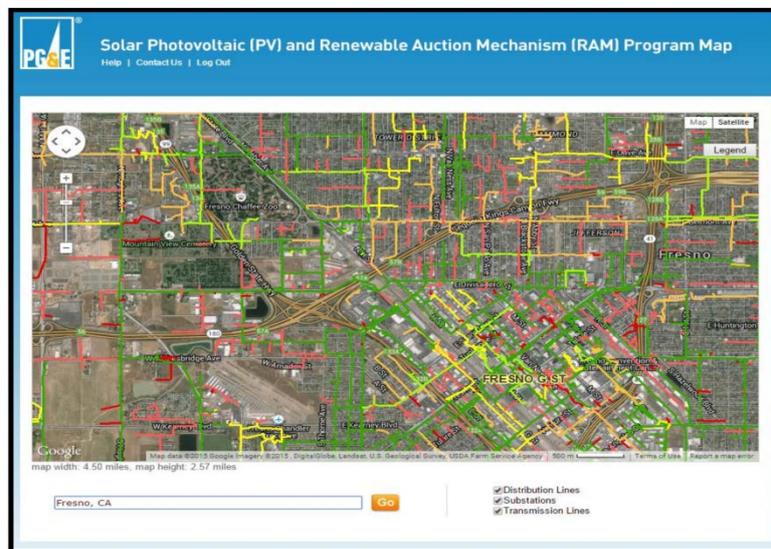


圖 14 PG&E DRP 計畫預計發展的系衝軟體使用者界面圖

兩張圖的架構一模一樣，由此可知，以不同顏色區段來呈現饋線可併網容量及納入更多選項之併網條件分析是未來系衝分析之發展潮流。配電處預計於 2016 年委託綜合研究所進行配電級分散式能源分析管理系統(DREAMS)建置研究案，建議可藉此機會將上述設計概念引入，使用戶或系統業者容易辨認任一饋線區間之最大可併網容量，並藉此判斷裝設 DER 之最佳位置。

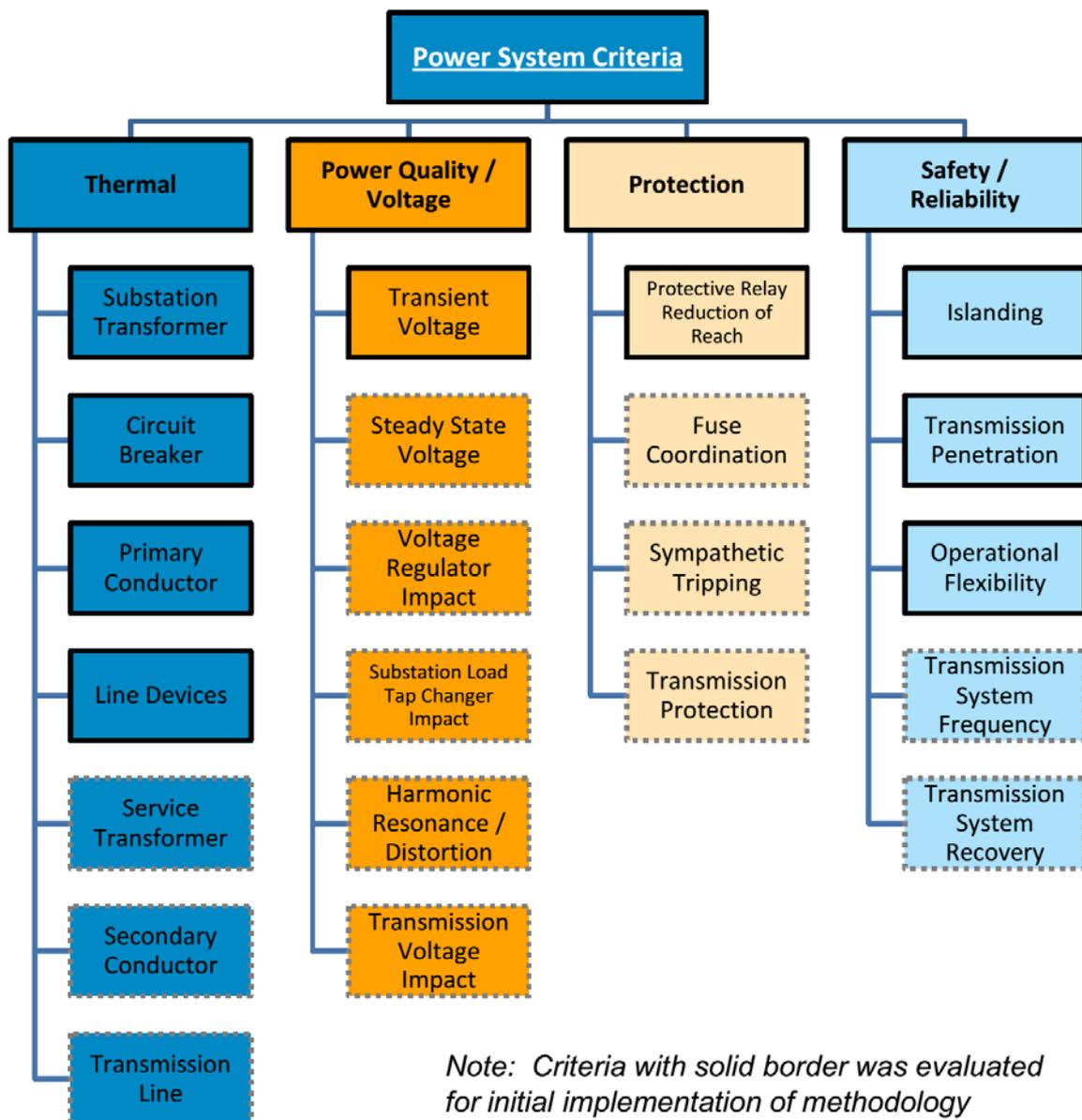


圖 15 電力系統評估準則圖

由圖 15 可知 DER 進行併網不是只有考慮電壓變動率這麼簡單，以嚴謹角度來看待，圖 15 所有區塊(系衝條件分析選項)功能皆能實現時系衝分析軟體將會更加完善，至於實務上要不要套用諸多限制條件於併網分析審查，則須要配合政策法規來執行。

B. 右上角為 DER 併網之成本/效益量化分析軟體

右上角計畫內容，為 PG&E 計畫要開發一套 DER 併網之成本/效益量化分析軟體，由於 PG&E 是民營企業，如何在配合政府提高 DER 滲

透率之目標下，亦能確保公司穩健經營呢？PG&E 計畫開發軟體將每一條饋線上所有可行之併網點加入成本及效益指標，如此當用戶及系統業者看到此 Open Data 時，就會想優先去挑選投資報酬率高之併網點來進行併網，而儘量不在電網加強費高或成本回收年限高之併網點進行投資。故開發此套 DER 併網之成本/效益量化分析軟體可以配合前述系衝軟體計算出饋線上最符合雙方利益之 DER 併網點，誘導系統業者及用戶去施作。建議台電公司綜研所電力經濟與社會研究室主導開發此一系統，以釐清台電公司與其他利害關係人間之責任範圍。

圖 16 為實作 DER 併網之成本/效益量化分析軟體所需要考量之成本指標，涵蓋範圍如下：

1. 維護配電饋線容量成本(配電相關指標)
2. 維護電壓及電力品質成本(配電相關指標)
3. 維護電網可靠性及恢復性成本(配電相關指標)
4. 輸電維護及建設成本(輸電相關指標)
5. 系統或區域性採購設備成本(發電相關指標)
6. 彈性足夠資源採購成本(發電相關指標)
7. 發電成本(發電相關指標)
8. 發電損失(發電相關指標)
9. 額外服務成本(發電相關指標)
10. RPS 採購成本(發電相關指標)
11. 分散式能源整合成本(發電相關指標)
12. 促進 DER 之社會成本(社會經濟相關指標)
13. 公共安全成本(社會經濟相關指標)

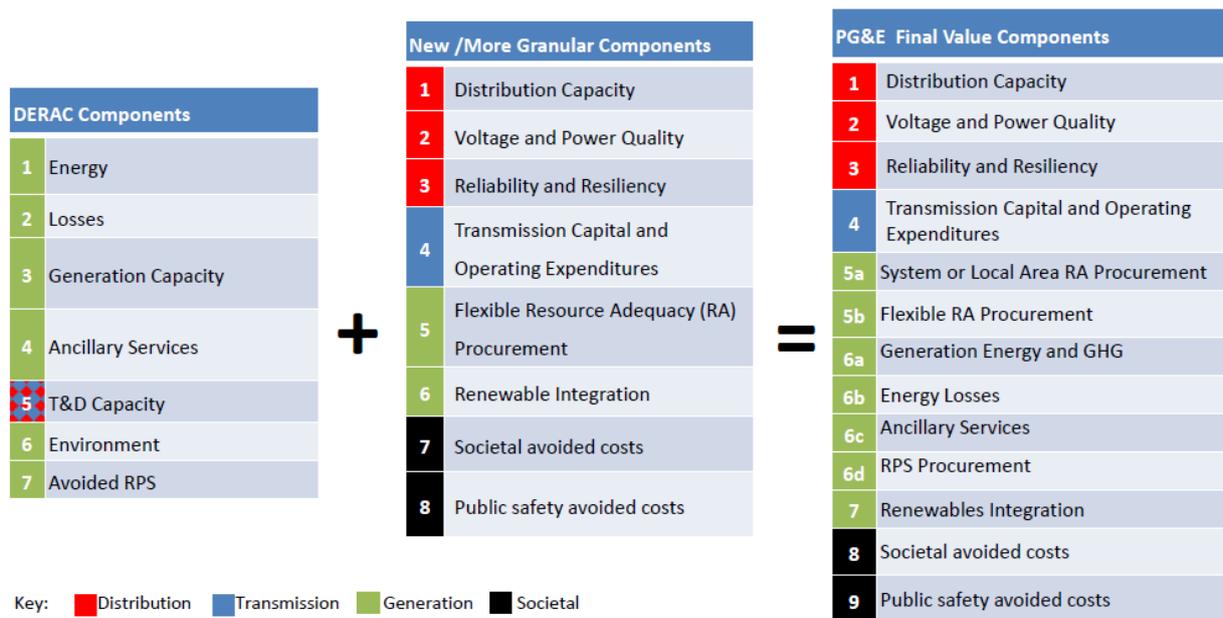


圖 16 實作 DER 併網之成本/效益量化分析軟體所需要考量之成本指標圖

### C. 左下角為開發一套 DER 成長趨勢預測系統

DRP 發展計畫左下角為開發一套 DER 成長趨勢預測系統如圖

17。

由圖 16 可以明顯得知，2014 年的 PV 密度與 2025 年的 PV 密度相比，可以發現基本上會安裝 PV 的就是那幾個地區，但是 PV 安裝容量卻會逐年變大。PG&E 正在開發中之成長趨勢預測系統最大的好處在於，可把「併網目標進行量化」，也就是說透過大數據資料分析、系統衝擊分析及社會法規限制分析後將實際「最可能達成之併網目標」透過科學方式找出來，如果結果與政府預期之併網目標有所落差時，就應該儘早將此數據及報表告知上級主管機關，招集專家學者開會討論是否要修正併網目標。由於 PG&E 是民營企業，對他們來說，進行 DRP 計畫除了要引進智慧電網相關技術外，另一個很重要之目的就是要保護其自身的權益。因為如果併網目標最終無法達成時可歸咎於下列原因：

1. 公用事業(Utility)原因

2. 非公用事業原因

如果公用事業沒有將系統衝擊分析、成本/效益量化分析及成長趨勢預測分析等三套軟體所計算出之資訊變成 Open Data 的話，併網目標無法達成之責任極有可能會被外界全部歸咎於公用事業身上。相反地，將上述併網統計分析資料開放的話，即可透過所有專家學者及監管機關之檢驗，使外界了解到要達到併網目標其實有很大一塊是需要克服非公用事業原因(政治、經濟、社會)才能達成的。

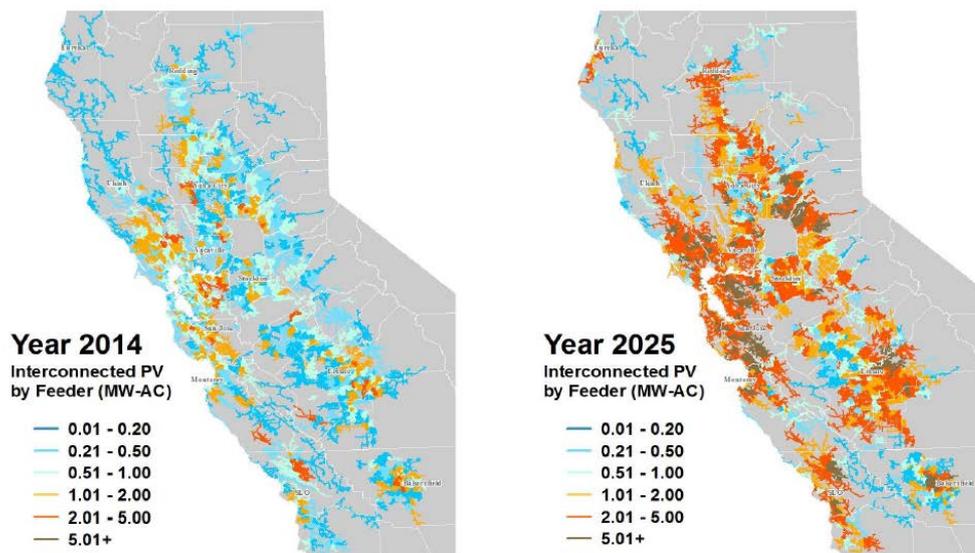


圖 17 DER 成長趨勢預測系統圖

DRP 成果展示示範計畫(Demonstration)如圖 18，由圖 18 可知 PG&E 之 DRP 計畫中的 A、B、C 要在加州弗雷斯諾市(Fresno Central)進行示範實作，D 要在加州蓋茲市(Gates DPA)進行示範實作，E 則要在加州天使島(Angel island)進行示範實作。

計畫 A：動態整合性併網容量系衝分析

計畫 B：最佳化區域性成本效益量化分析

計畫 C：區域性效益實務分析

計畫 D：高滲透率下之配電調度實作

計畫 E：DER(Micro Grid)調度運轉實作

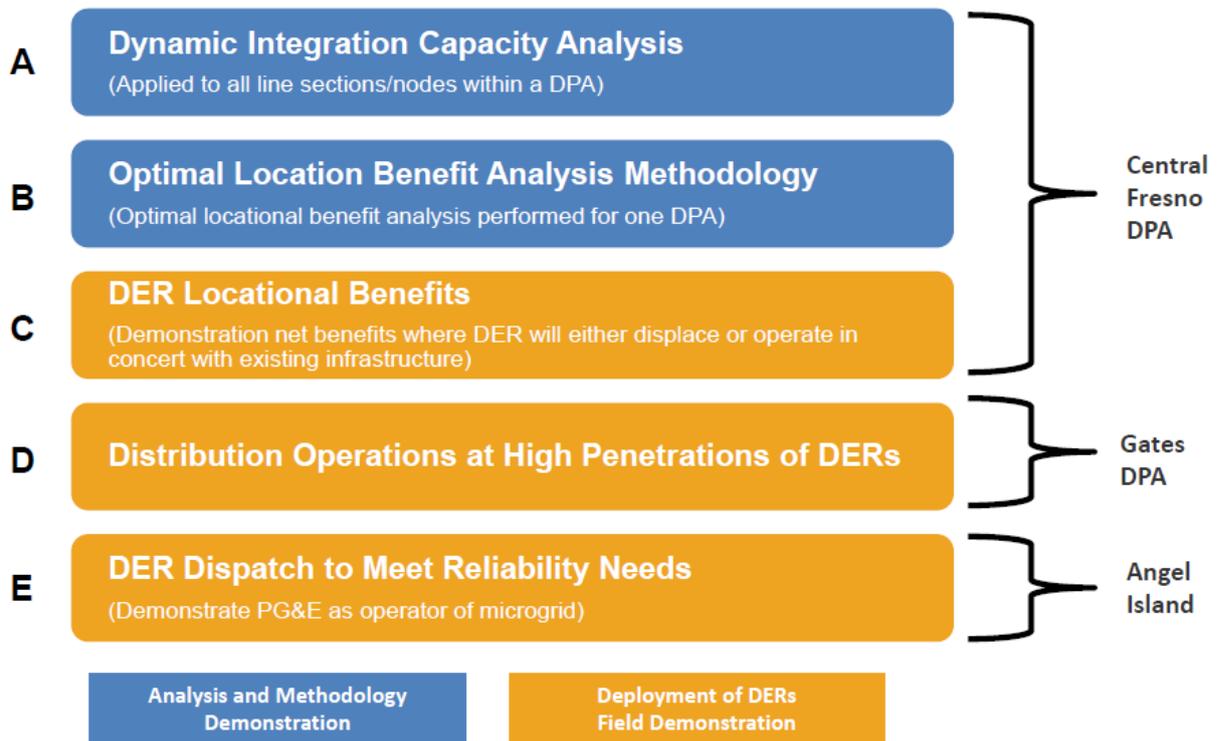


圖 18 DRP 成果展示示範計畫圖

### 3.加州監管機關 CPUC 贊助之研究計畫

CPUC 建立一個電力投資先導計畫(EPIC)專案計畫基金，每年皆可資助加州三家電力公司約 1 億 6 仟 2 百萬美金進行提高滲透率之研究，1/3 的資金用來研究新技術；1/3 的資金用來進行示範展示；1/3 的資金則用來將技術產品化、商業化。最近一期 EPIC 計畫如下：

PG&E EPIC 研究專案計畫內容
能源儲存對電力市場交易之研究
能源儲存對配電系統調度之研究
能源儲存對終端用戶使用之研究
能源儲存之成本效益評估
新式 DER 發電預測之研究
DER 最佳通訊系統之研究
Systems for Fast Ramping of Gas-Fired Generation

配電系統大數據分析之應用
輸配電新式遠端監控通訊機制之研究
新一代智慧電錶通信功能示範展示
使用電動車改善電力品質之示範研究
電動車電網支持系統之開發研究
DER 監控及電壓追蹤研究

<b>SCE EPIC 研究專案計畫內容</b>
配電電力市場示範及分析
智慧型變流器控制研究
配電變壓器設備管理研究
輸電級高等 Vol-Var 控制之研究
多階電容切換器研究
社區型能源儲存及控制評估
Megawatt 級貨櫃儲能系統併入電網之研究
配電級儲能系統示範研究
使用仿真模擬系統驗證儲能系統能減緩因 DER 造成電力品質下降之研究
特哈查比市風力儲能系統之研究
新一代變電所自動化研究
電錶後端設備之通訊研究

## (二) PG&E 公司智慧電網

### 1. PG&E 智慧電網發展背景

自 2007 年以來，美國通過有關於國家智慧電網的發展和政策，包括具有里程碑意義的 2007 能源獨立與安全法案(EISA)，如表 2。

表 2 2007 能源獨立與安全法案(EISA)

2007 EISA Smart Grid Policy
1. Increased use of digital information and controls technology to improve reliability, security and efficiency of the electric grid.
2. Dynamic optimization of grid operations and resources, with full cyber-security.
3. Deployment and integration of distributed resources and generation, including renewable resources
4. Development and incorporation of demand response, demand-side resources and energy-efficiency resources.
5. Deployment of smart (real-time, automated, interactive) technologies that optimize the physical operation of appliances and consumer devices for metering, communications concerning grid operations and status, and distribution automation.
6. Integration of smart appliances and consumer devices.
7. Deployment and integration of advanced electricity storage and peak-shaving technologies including plug-in electric and hybrid electric vehicles, and thermal storage air conditioning.
8. Consumer access to timely information and control options.
9. Development of standards for communication and interoperability of appliances and equipment connected to the electric grid including the infrastructure serving the grid.
10. Identification and reduction of unreasonable or unnecessary barriers to the adoption of smart grid technologies, practices and services.

### (1)加州通過法案

2009 年，加利福尼亞州通過了其版本在參議院法案 SB 17。這些相同的目標被納入加州法律，加州當局於 2009 年 10 月，制定了參議院法案 SB 17。法律上認知需要更聰明的網路支援加州的雄心勃勃的能源和環境政策，如 RPS，溫室氣體減量法，能源效率標準包括淨零能源消耗住宅所需經費，分散式的能源目標像是加州太陽能發電激勵方案，需量反應對象，以及支援受廣大消費者採用充電式電動汽車(PEV)。

### (2)加州 PG&E 公司智慧電網遠景

PG&E 的智慧電網願景是透過整合先進的通信和控制技術，使我們電網絡為客戶提供安全、可靠、成本效益、可持續性和靈活的能源服務。

可藉由文件(Decision 10-06-047)中所列舉的三個元素，來描述 PG&E 公司智慧電網之主要推動項目與功能如圖 19、圖 20 為 PG&E 的智慧電網驅動力。

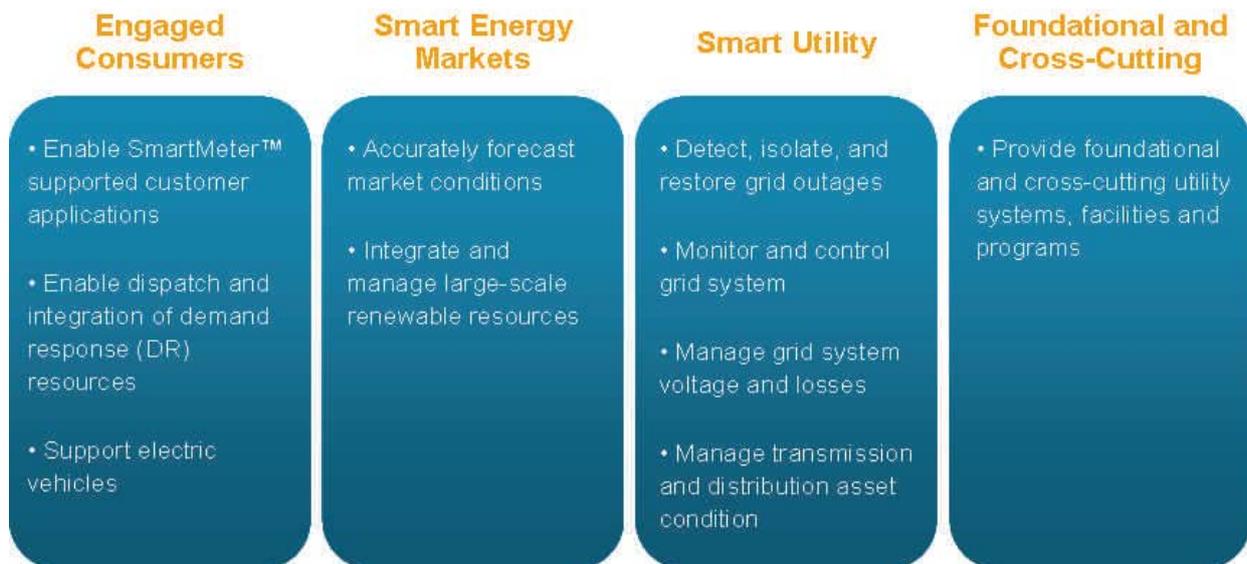


圖 19 PG&E 公司智慧電網之主要推動項目與功能

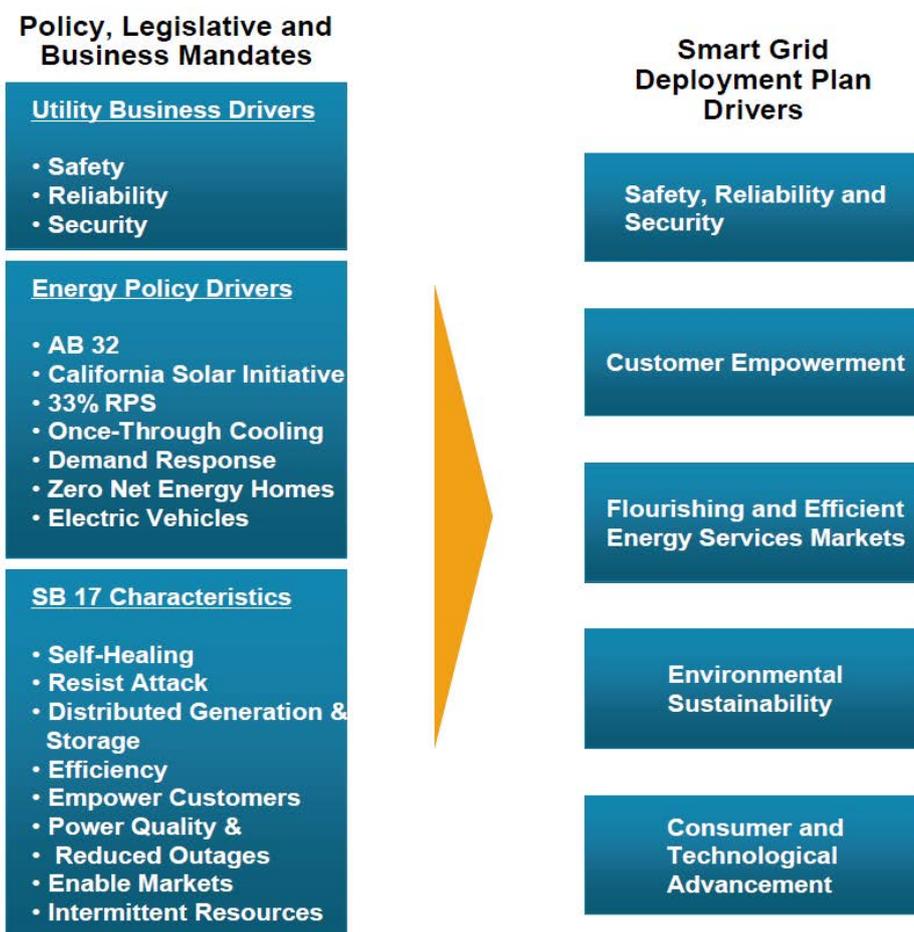


圖 20 PG&E 的智慧電網驅動力

### (3) PG&E's Smart Grid Projects and Initiatives

PG&E 為支持智慧電網策略目標和各領域之方案，建構了廣泛的智慧電網專案，該公司 21 項增強的智慧電網專案，其中包括：14 項業務

區域專案；4項基礎的資訊技術舉措，以支援業務區域專案；3項支援地區專案。

總而言之，在後續20年裡實施這些專案和措施，約可獲取下列的利益：

降低能源採購成本約\$6億~\$14億

資本投資迴避成本\$2億~\$4億

運轉和維護方面之迴避費用\$1億~\$2億

電力系統可靠度提高10~20%

減少二氧化碳 (CO<sub>2</sub>)排放量約1.4 ~210萬公噸

## Proposed New Smart Grid Projects

<b><u>Engaged Consumers</u></b>	
Demand Response (DR) Optimization	Capital
DR Forecasting	\$ 25M - 55M
Expanded Home Area Networks (HAN)	Annual O&M <sup>(1)</sup>
Open Automated Data Exchange	\$ 1.5M – 2M
<b><u>Smart Energy Markets</u></b>	
DR in Wholesale Markets	Capital
Enhanced Energy Forecasting	\$ 30M - 50M
	Annual O&M
	\$ 0.5M - \$2M
<b><u>Smart Utility</u></b>	
Grid System Voltage Control	Capital
Advanced Distribution Automation	\$ 630M – \$850M
DR Integration in T&D Operation	Annual O&M
Wireless Line Sensors	\$8M - \$11
Substation Automation Interoperability	
Substation Asset Management	
Advanced Outage Management	
<b><u>Foundational and Cross Cutting</u></b>	
Cyber Security	Capital
Telecommunications	\$ 115M - \$295M
Data Management	Annual O&M
Technology Testing, Evaluation & Standards	\$ 15M - \$25 M
Customer Outreach & Education	
Workforce Development	

## Potential Incremental Benefits <sup>(2)</sup>

<u>Economic Benefits</u>	
Avoided Energy Procurement Costs	\$600M - \$1,400M
Avoided Capital Investments	\$240M - \$360M
Avoided O&M Costs	\$140M - \$190M
<b>TOTAL</b>	<b>\$990M - \$1,950M</b>
<u>Reliability Benefits</u>	
Outage Distribution (SAIDI)	10% - 20%
Outage Frequency (SAIFI)	10% - 20%
<u>Environmental Benefits</u>	
CO <sub>2</sub> Reduction (Tons)	1.5M - 2.1M
CO <sub>2</sub> Reduction Value	\$15M - \$84M
<u>Non-Quantifiable Benefits</u>	
Customer Empowerment	
Enable New Pricing Programs	
Enable New DR & Efficiency Programs	
Reduce Environmental Footprint (Water Use, Particulate Matter)	
Increase Renewables & Distributed Gen	
California Economic Development	

### (4) PG&E 智慧電網(2013~2016 年)階段

PG&E 智慧電網第 1 階段先就上述的主要項目 21 項選擇其中之 6 個專案提報並獲得 CPUC 核定，計劃實施內容範疇如下：

在 30 條配電饋線上安裝智慧型感應器，以示範該設備對於提高電網故障檢測、隔離、恢復和改進網路系統監測及控制之能力，控制電壓和功率因素等優化網路運轉，將有助於提高輸配電線的效率，並整合如

屋頂型太陽能發電等再生能源發電設備。

PG&E 使用來自各種感應器包括智慧型電子裝置(IED)、故障電流感應器、SmartMeter™電壓測量和智慧電網線感應器等信號的輸入新的決策分析軟體，將協助更精確地定位出設備損壞所引起之故障線電路和停電位置。

運用各種工具包括 SmartMeters™和配電系統各項裝置，來貼近在地化的需求面預測，以協助 PG&E 更好地管理其發電排程及參與電力躉售市場售電。

對新技術展開測試與評估能力，以及參與業界標準發展訂定，均有助於 PG&E 推動下一步智慧電網計劃。

與目標客戶有約計畫，將協助 PG&E 找到最好的途徑來促進客戶理解及參與互動，而客戶他們從中也可節省更多電力和金錢等方面受益。

PG&E 估計上述六個專案計畫的將從 2013 年起到 2016 年間，四年增加成本約 1 億 900 萬美元，該公司尋求透過電費費率中從用戶回收這些費用。

#### (5) PG&E 智慧電網成本及效益摘要

2014 年 PG&E 智慧電網專案支出成本估計數以及該期間(July 1, 2013 through June 30, 2014)可能實現的效益。公布如下:

#### **PG&E's Estimated Costs for Fiscal Year**

**July 1, 2013 through June 30, 2014**

#### **成本 Costs**

Task 計畫項目	Value 金額
Customer Empowerment and Engagement	\$35,300,000
Distribution Automation and Reliability	\$288,370,000
Transmission Automation and Reliability	\$416,900,000
Asset Management, Safety and Operational Efficiency	\$42,550,000

Security	\$16,000,000
Integrated and Cross-Cutting Systems	\$17,320,000
<b>Total Estimated Costs</b>	<b>\$816,440,000</b>

## 效益 Benefits

### PG&E's Estimated Benefits Realized for Fiscal Year

July 1, 2013 through June 30, 2014

Benefits 效益	Value 金額
Direct Customer Savings	\$21,200,000
Avoided Costs	\$11,000,000
Avoided Environmental Costs	\$210,000
Customer Reliability Costs	\$42,100,000
<b>Total Cost Savings</b>	<b>\$79,010,000</b>
Avoided Outage Minutes	33.3 million minutes
Greenhouse Gas Emissions	36.5 million pounds

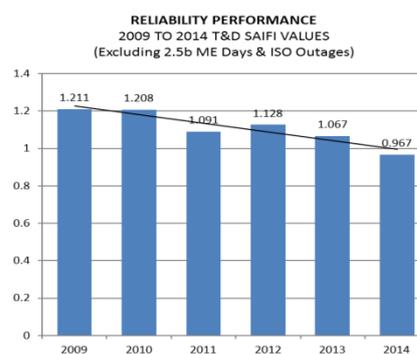
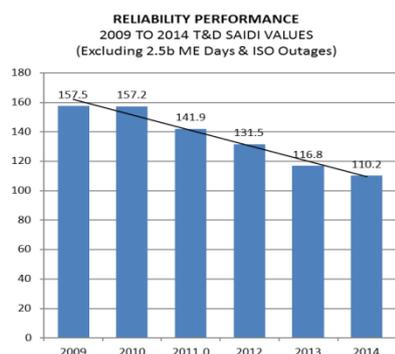
### 試行計劃案例說明

試行計畫	傳遞訊息與目標
<p>事故停電偵測</p> <p>運用先進的通信技術和控制系統，使公用事業維修人員來發掘損壞的設備或停電地區，作出隔離出故障點並快速恢復供電服務。</p>	<p>訊息</p> <p>智慧電網技術可以減少停電時間。</p> <p>目標</p> <p>住在好發停電地區或偏遠地區的客户。</p>
<p>電壓/無效電力優化控制系統</p> <p>在高滲透的屋頂 PV 發電的地區，提出饋線電壓最適化改善</p>	<p>訊息</p> <p>智慧電網技術可以增加 PV 發電設備量，並以安全、可靠地互連併網。</p>

<p>控制建議。</p>	<p>目標</p> <p>技術精明的客戶，當今和潛在的太陽能發電客戶</p>
<p>智慧電網線路感應器技術 架空線路感應器計畫等之測試、評估或進一步試行，係為了確定設備故障損傷的位置，可縮短用戶停電時間。</p>	<p>訊息</p> <p>透過智慧電網技術，PG&amp;E 將能夠更快速、高效率地恢復區域性正常供電服務。</p> <p>目標</p> <p>基層醫療客戶、高度關心用電可靠性之商業客戶。</p>



### Historical T&D Reliability Performance



2009-2014 年每戶停電時間及次數



依上圖兩家電力可靠度指標-(年平均停電時間指數)的比較，加州 PG&E 公司 2014 年約為 220 分/戶-年；台電公司同期則為 17.496 分/

戶-年，由此對照中可證明台電公司電網性能極為優異。該資料可向外界說明台電之績效及台電公司電網再投資之參考。

## (6) PG&E 電池儲能設備試行計畫

2009 年加州政府訂定一個命令，要求 2020 年前加州的再生能源使用比例從 20% 提高到 33%，但這些風力與太陽能發電的間歇性特點，對其併入電力系統的挑戰性相對提高，因為突然的強風或是風力的驟降都會影響到電力系統的穩定性，另雲層對於太陽能發電系統的發電改變，則會影響電壓峰值與供應的變化，這甚至可能造成比前述風力改變更嚴重的影響。

從公用事業和電網營運商的角度來看，加州透過智慧電網一些先進技術的應用，希望在高比例的再生能源使用目標下，維持電力系統的穩定運轉，例如：儲能設備裝設在輸電和配電系統，將提供動態反應和能量轉換的能力，以減輕再生能源的間歇性、峰值轉換和轉儲的電力問題。加強輸配電的情境感知與控制系統將可以在操作上即時應對快速的變化，而分散式電源與儲能技術也將有助於平衡再生能源之間歇性，並且支援整個電網系統、價格敏感的自動化需量反應和直接負載控制。

PG&E 公司已於 2012、2013 年進行兩個網路級規模之電池儲能設備試行計畫營運。分別在瓦卡維爾(Vacaville)附近變電站的 2MW 專案和位於聖約瑟(San Jose) 變電站的 4MW 專案。

這兩個專案透過與 CAISO 電力交易市場和配電系統協調操作 (under CAISO's Non-Generator Resource (NGR) market model) 來測試和評估公用事業規模級電池儲能設備併入日常網路運作的好處。經由 EPIC 計劃於 2013 年 11 月批准後，PG&E 示範新技術對電池儲能系統與 CAISO 電力市場間互動反應之自動化控制。

鈉硫電池(NaS)係利用鈉與熔硫的電化學的反應來達到充電和放電，

工作溫度約攝氏 300-350 度左右，具高度腐蝕性、低電力與能源比率，使用壽命約為 15 年和充電與放電循環效率約 75%。目前美國公共事業共計已安裝 12MW 鈉硫電池；另 9MW 鈉硫電池正進行安裝中。2013 年全球共安裝 316MW 的鈉硫電池。圖 21 為鈉硫電池模組單元構造 (50KW)、圖 22、圖 23、圖 24 為 PG&E 位於 Vaca-Dixo 變電所的鈉硫電池儲能系統整體外型。

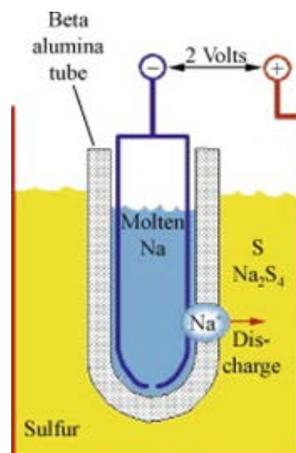
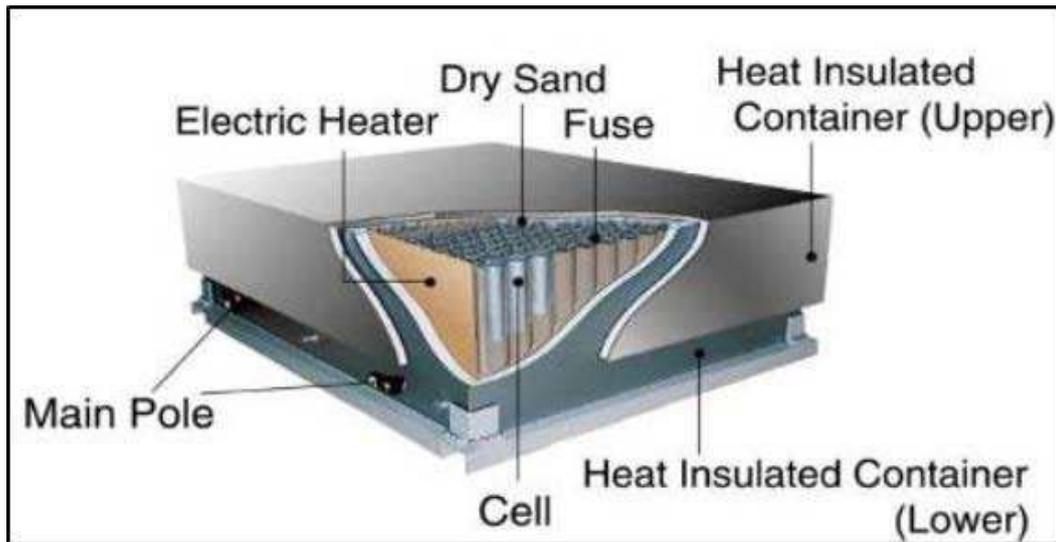


圖 21 Sodium Sulfur 電池模組單元構造 (50KW)  
(Source: DOE/EPRI 2013 Electricity Storage Handbook - July 2013)



圖 22 PG&E 位於 Vaca-Dixo 變電所的鈉硫 BESS 儲能系統整體外型



圖 23 容量 2 MW NaS 電池儲能系統 (Vaca-Dixon)



圖 24 NaS BESS 儲能系統管理系統  
(S&C's "PureWave®" Storage Management System)

此一示範過程的主要目標為：

- A. 驗證該系統能滿足其製造規格和運轉時維持在安全狀態與額定之公差容許範圍內。
- B. 可提供運轉資料，供爾後營運基準比較之用途。
- C. 儲能技術之潛在效益評估

如果公用電業存在的意義，在於以合理(用戶可支付)的價格，提供民眾穩定可靠的電力，那麼，在前述前提下，公用電業採用電池儲能(BES)技術，具有下列潛在效益：

- A. 延緩(避免)輸配電設施之投資
- B. 解決再生能源間歇性發電的問題
- C. 透過出力控制，改善電網穩定度
- D. 強化頻率調節功能
- E. 抑低尖峰負載(Shaving the Peak)
- F. 提高電網恢復能力及電力品質

## (7) PG&E 太陽能發電和再生能源現況與未來發展



PG&E 希望利用太陽能發電和再生能源來幫助用戶減少電費帳單以及碳足跡。

PG&E 比美國國內任何一家電業提供用戶予更多的協助。例如透過下面關鍵步驟，為您指導選用、連接，和監測將太陽能發電和再生能源家庭系統。

### A. PG&E 太陽能發電執行成效



排名第 1 No. 1

和美國其他各州相比更多，PG&E 擁有最多住家用戶使用太陽能發電。



**\$130**

平均每月為每一太陽能發電住家用戶電費帳單，節省 130 美元。



**150,000+**

PG&E 轄內安裝太陽能發電用戶數超過 150,000 戶以上。



**\$876 million**

在加州太陽能發電獎勵辦法(CSI)下，PG&E 已補助太陽能發電用戶總額約 8 億 7 仟 6 佰萬美元。

CSI 是以加州內由投資者所擁有的公用事業-諸如 PG&E、SCE, SDG&E 等公司，對於客戶新裝設太陽能發電提供的補助回饋計畫。CSI 就新裝太陽能發電的客戶基於各種條件差異化而提供不同程度獎勵水準，例如:太陽能發電電池板的性能，包括安裝角度、傾斜，和裝設的地點等因素，而不是僅就容量單一考量。這一性能比獎勵系統確立加州地區發展潔淨能源發電，進而成為美國最大的太陽能發電一州。



**1400+ Megawatts**

PG&E 轄內住宅與企業共裝設了 1400MW 以上的太陽能發電容量。

## B. PG&E 太陽能發電發展目標藍圖

有關 PG&E 太陽能發電發展目標藍圖如圖 25，詳細情形說明如下。

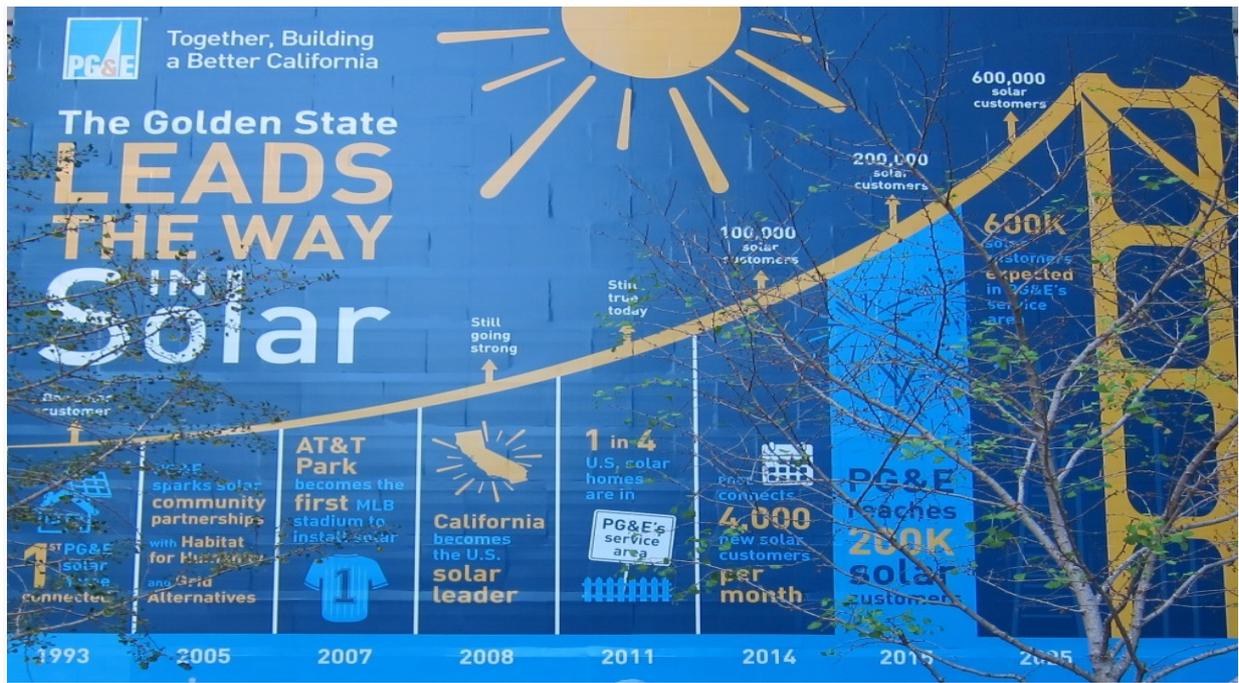


圖 25 PG&E 太陽能發電發展目標藍圖

- 2011 年 PG&E 轄內安裝太陽能發電用戶數占全美國 1/4。
- 2014 年 太陽能發電新裝設用戶併網數量每月 4,000 戶，轄內安裝太陽能發電用戶數達到 100,000 戶。
- 2015 年 PG&E 轄內安裝太陽能發電用戶數達到 200,000 戶。
- 2025 年 PG&E 轄內安裝太陽能發電用戶數達到 600,000 戶。

## 2. 美國及加州 AMI 現況

根據從愛迪生電力創新事務基礎研究所最新報告截至 2014 年 7 月底止，在美國境內智慧電表布建已超過 5,000 萬組，含蓋全美用戶數比率超過 43%，如圖 26。而在前一年智慧電表布建總數才約 4,600 萬組。

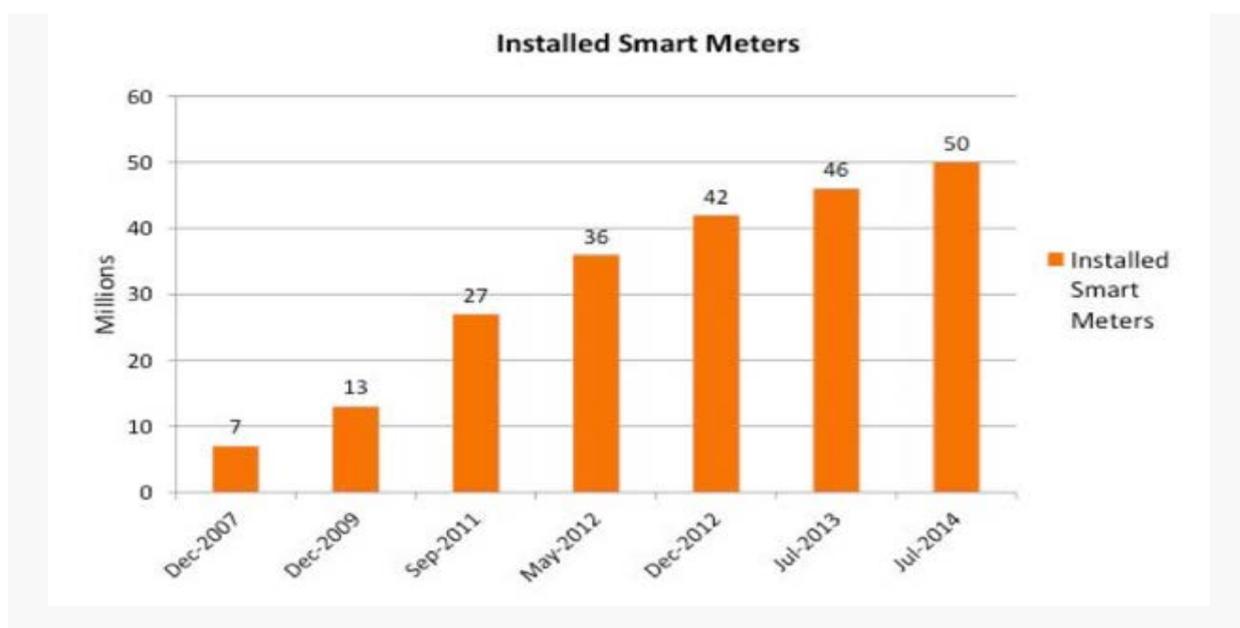


圖 26 2007~2014 年全美安裝智慧電表數量統計

以加州政府為例，CPUC 便要求加州的電力公司評估推動時間電價及需量反應的制度，並鼓勵電力公司換裝智慧電表。由於美國電力市場已經自由化，是否換裝智慧電表仍由電力公司負責規劃評估，政府便以提供預算補助以提升電力業者換裝的誘因。表 3 為加州 3 家電力公司智慧電表安裝量。

表 3 加州 3 家電力公司智慧電表安裝量

電力公司	區域別	電表安裝量 (仟組)	完成日期	電表供應商	網路設備供應商
PG&E	加州北、中部	5,140	2013	GE/Landis & Gyr	Silver Spring
SCE	南加州	4,800	2012	Itron	Itron
SDG&E	聖地牙哥	1,400	2011	Itron	Itron

#### (1)PG&E

PG&E 已在 2013 年 12 月 31 日完成智慧型電表專案，總共布建 5.14 佰萬只智慧型電表。裝設有智慧電錶之用戶可志願性參與 PG&E 公司之臨界峰值定價(CPP)電價費率方案計畫。該方案將協助該公司在炎炎夏季期間實施系統負載管理，例如：當用戶正在進入較高一級用量電價時報即時通報他們。

Silver Spring Networks 公司為 PG&E 提供面向智慧電網的 AMI 布建與運轉的解決方案。在 PG&E 的電力資訊傳遞服務中，其準確性平均達到 98.5%。Silver Spring 服務架構圖如圖 27。圖 28、圖 29 為用戶安裝圖。

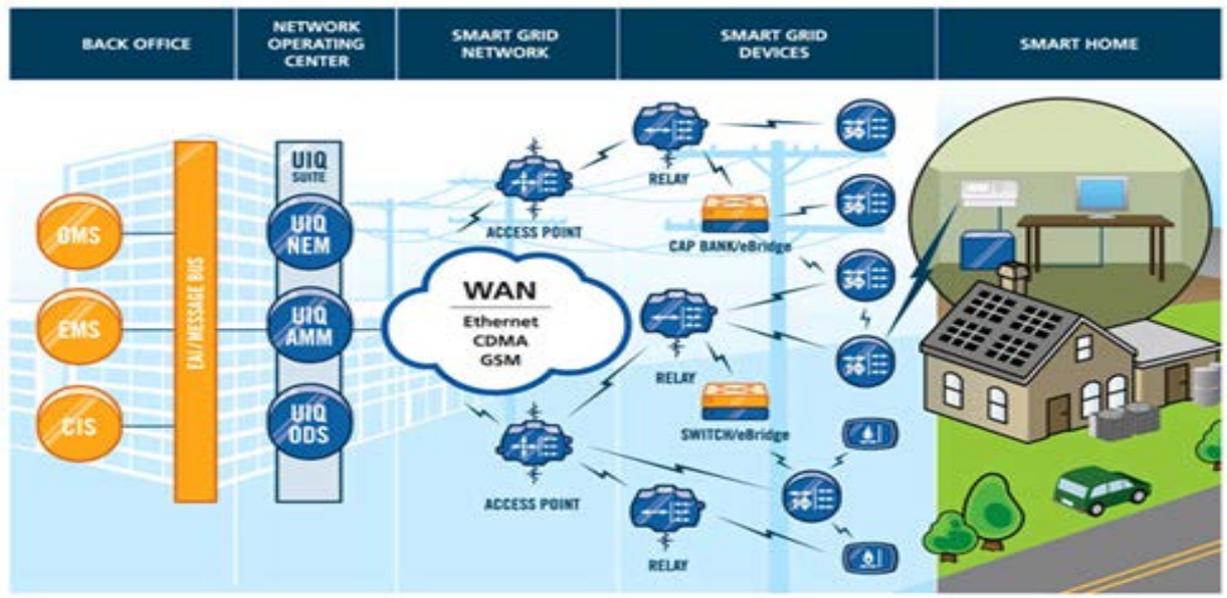


圖 27 Silver Spring 服務架構圖



圖 28 用戶安裝圖(I)



圖 29 用戶安裝圖(II)

### (2)SCE

SCE 於 2015 年完成智慧型電表專案，總共布建約 5 佰萬只智慧型電表。

SCE 實施 Smart Connect 方案，以推動 CPP 和尖峰時間回扣(PTR)電價費率之時間電價。

### (3)SDG&E

SDG&E 橫跨其供電服務範圍區內完成全數智慧型電表建置，總共布建約 1 佰 4 拾萬組智慧型電表。使用 Itron 公司電表於帳單／用量警示、需量反應、遠方遙切／連接以及其他用途。

美國政府積極推動電網現代化，利用國內智慧電表換裝及 AMI 系統建置計畫，表面上在短期內獲得商業利潤，實則為了搶先讓電網系統採用自家產品，鞏固電力部門客戶的產品忠誠度，從長遠角度，更是為了在未來大量應用創新推出時，能具備相當的技術開發能力，在新一波能源與網路整合的領域搶佔一席之地。圖 30 為 2015 年美國各州預期完成智慧電表比率分布圖。

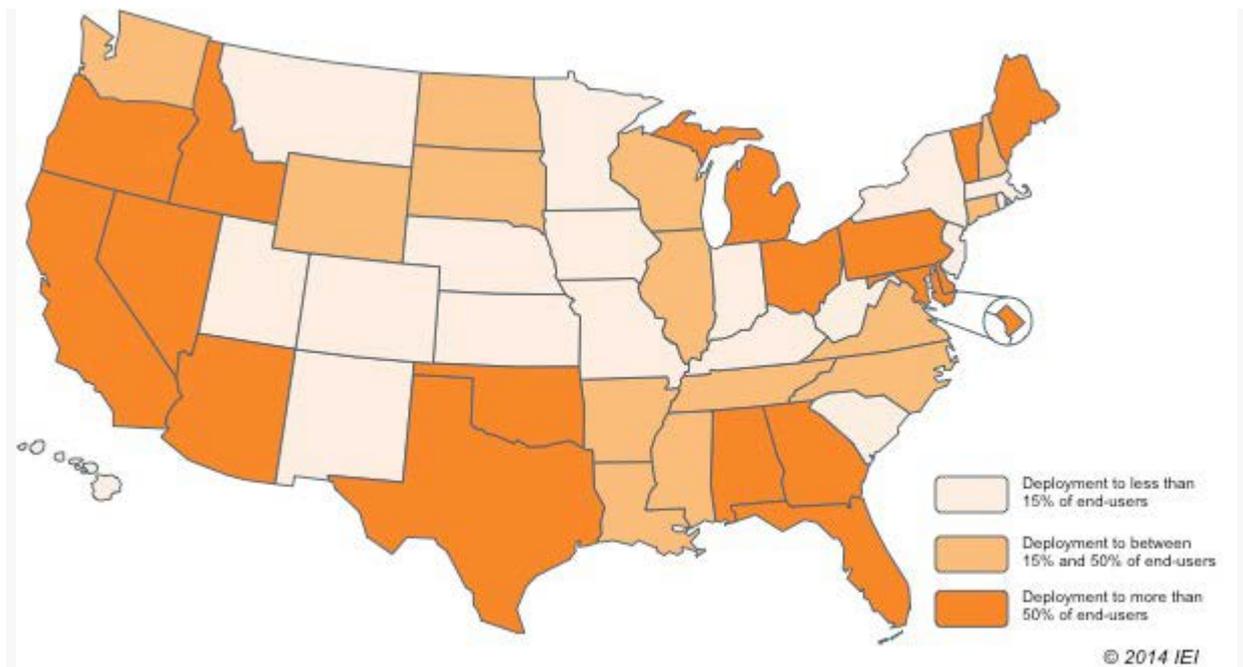


圖 30 2015 年美國各州預期完成智慧電表比率分布圖

根據 IEI 2014 智慧電表調查報告，明顯指出若干地區之公用事業正利用智慧電表期望達成下列的幾種運用效益。

- A.配電系統整合：**AMI系統與停電管理系統(OMS)和配電管理系統(DMS)等整合，以增強的停電管理和修復和改善的配電系統監控。
- B.新能源之整合：**智慧電錶在網路上定位為分散式能源諸如分散式發電、社區太陽能發電、電動汽車、儲能系統和微電網等的整合平台。
- C.節省營運成本：**智慧電錶導致節省運營成本，如自動抄表、減少的車輛派遣，和減少竊電損失。
- D.新的服務領域：**智慧電錶已啟用之新服務，如電費單管理工具、電力使用預警通知、實施智慧時間電價和需量反應等。

### (三) PG&E 公司微電網

PG&E 微電網試點計劃專案為天使島州立公園創造了新思維，因為它提供了一個替代昂貴的海底電纜更換的可行方案。天使島可能是美國的第二個全面使用再生能源的微電網。圖 31 為天使島之微電網方案。

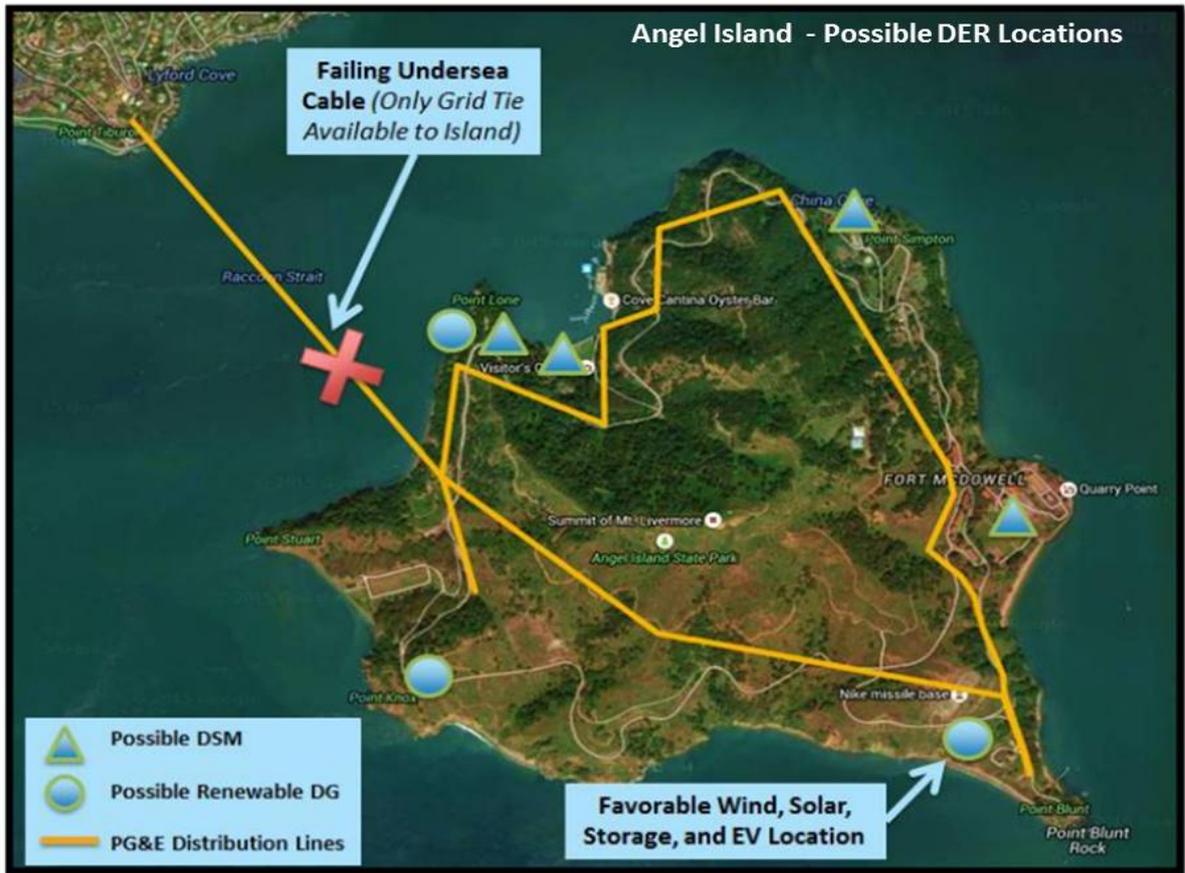


圖 31 天使島之微電網方案

微電網將 DER 最佳化組合管理，每天 24 小時運轉每周 7 天全年 365 天無休 DER 的利益最大化，並減少對海底輸電線路供電的依賴。該島電力負載包括照明、電熱、些許的特許場地經營行業，廢棄物處理泵、工作電動車充電，和船舶停靠補給。

PG&E 表示：「我們正在尋求在我們是否能做到更經濟高效地、可靠地與微電網」。該島上現約有 100 千瓦負載並未來可能增長到 500 千瓦。透過使用太陽能發電、儲能、能源效率提升、需量反應和可能的風力發電，使島上 100% 使用再生能源。

微電網目前面臨的嚴峻挑戰，然而有魅力的機會，為公用事業、客戶和開發商和運營商，顛覆了傳統的供應和消費電力的手法。

法令監管單位的責任是提供電力服務，以安全、可靠的方式使用這項新技術的能力，將會測試所有參與者其發展和運作。定訂如何允許公

用事業、客戶和開發人員嘗試和使用這些創新的產品也是監管單位的工作。監管機構與這些創新發展安全、可靠的能力，允許公用事業來準備並與開發人員合作，和提供合理公允平的政策和費用回收率等等勢在必行。

說起來這不是一件容易的事，但隨著微電網的成功實與擴散，將打亂了世紀長久的「電網」觀念。我們不但不該迴避這個機會，更應該切進擁抱它。

為此，該規劃報告提供了幾個關鍵的挑戰、機會觀點以及對監管部門應考慮的建議事項。

1. 電力公用事業的角色將會改變。文中描述另一種選擇可考慮作為配電系統營運商，類似於輸電業的獨立系統營運商。
2. 確有必要制定適當的標準和需求，以確保該微型電網間互連或和配電線網路之可靠度和安全性。
3. 為決定微電網的發展最優化位置，委員會應努力以最佳方式確定這些微電網位置並反應到配電線網路上。提供這種資訊可供配電線網路業者於規劃階段共同配合的發展。
4. 在國家高度興趣致力於成功發展微電網上；委員會應參與並做出貢獻，以更進一步瞭解微電網之技術挑戰，並從中學習借鑒這些努力做出具支持性的妥適政策。

最後微電網正在美國各地調查當作為一種以支援更高可靠度、彈性和安全供電的解決方案，但微電網或許可以更多功能。我們需要更小心而不會局限於只是一套能在特定地點維持供電的技術。相反，電網可以提供更多的利益，不僅是客戶有利的微電網，甚至擴大到整個體電網。未來促進和實現這些利益應該從國家和它的客戶等面相來調查和思考。

#### 四、輸配電系統對再生能源併網容量與控制等研究議題之探討

政府為推動再生能源的政策並且鼓勵國內再生能源發電的應用及持續發展、促進能源多元化及有效利用，能源局於 104 年 5 月發布修訂再生能源推廣目標，風力發電及太陽能發電等再生能源於 2025 年及 2030 年之目標再提升合計約各為 13,750MW 及 17,250MW，約佔全系統尖峰負載約 30%。惟為因應此高佔比之間歇性能源併入電力系統，仍有許多併聯技術及運轉安全等新議題亟待研究，需於近期內定案，以利陳報。

由於發展再生能源為目前國內能源會議的重大議題，大量再生能源併網為目前世界之主流趨勢，需考慮事項繁多，台電公司尚未有相關之經驗。復因政府所訂目標之年度與容量均提前並增加，未來台電公司達成之時間亦相當緊迫，爰有提出相關研究議題內容之建議。

##### (一)預期目的

探討國外再生能源併網之經驗與做法，台電公司系統因應再生能源併網能力之合理估算方式研就及提供大量再生能源併網對台電公司的影響之因應對策建議。

##### (二)研究內容與作法之探討

###### 1.瞭解歐美日中等國之再生能源併網規範與作法

###### (1)回顧德國、NERC、日本及中國等國之再生能源併網經驗

說明：瞭解各國之可靠度要求、電壓變動、併網時之分析研究需求、監控需求、頻率變動。

###### (2)回顧如何管理再生能源之躉售市場，如 CAISO

說明：瞭解 CAISO 在能源市場如何處理、如何管理整體資源規劃分析、如何處理可能之輸電壅塞。提供做法。

###### 2 再生能源佔比之挑戰及緩和的方法

###### (1)瞭解再生能源對輸電系統有何種衝擊？如何規劃及運轉等。

(2)瞭解業界使用何種分析模型？何種議題？

(3)瞭解目前再生能源有何種緩和的方法，如預測、負載追蹤、無效電力支撐、頻率、保護等。

(4)智慧電網技術的應用。

### 3 台電系統因應再生能源併網能力之合理估算方式研究

(1)參考國外電力品質要求。

(2)科學園區、工業區逆送電限制及都會區空間限制。

(3)未來電源開發、電網架構、負載預測及各級變電所分別可併接容量。

(4)系統檢討技術要求，如潮流、電壓、故障電流及穩定度等。

### 4.提供大量再生能源併網對台電公司的影響之因應對策，包括資訊公開、併網規範、運轉調度、備轉容量、風光預測等。

#### (1)台電電網併網檢討及資訊公開

##### A.電源方案考慮大型風場或大型太陽能發電場併入。

說明：目前電源方案僅考慮能源局再生能源規劃目標增量，此項目為學者專家座談會提出之建議，以利併網檢討分析。另該規劃目標增量對其他機組排擠效應亦需評估。

##### B.進行再生能源可併網容量之滾動檢討

說明：現階段再生能源開發地點、時程及容量等資訊均未明確，本檢討預期將有諸多假設及限制條件。再者電源開發具互斥性，每年需以最新之狀態滾動檢討。

##### C.配合能源局開放目標，輸配電系統應以同一方式公布可併接容量及相關資訊。

#### (2)修訂台電公司併聯技術規範

##### A.併聯規範對併聯輸電等級之風場(裝置容量 20MW 風場以上)制定風場發電升/降載率(出力變化率)之限制。

說明：需提出升/降載率需求性評估結果以佐證。

- B.參考國外併聯規定，針對風力與太陽能發電分別增訂 FRT、HVRT 及過頻實功降低輸出功能等項目之規定。

說明：目前再生能源併聯技術要點，對風力發電設備併接於特高壓系統以上者僅納入應具備 LVRT 項目之規定。

(3)因應再生能源增加，修訂安全運轉與調度機制

- A.基於安全調度原則，若有供電安全需要時，台電得以電話或書面通知進行切離或併入系統。

說明：台灣電網為獨立系統，因應風力發電與太陽能發電之發電特性，需以運轉手段提高系統供電穩定。

- B.再生能源裝置容量 1MW 以上併接於系統之業者，於責任分界點之功率因數需接受台電公司指令調整。

- C.重新檢討低頻電驛設定值。

說明：因應系統慣量減少，重新檢討系統特性，維持系統供電穩定。

(4)因應再生能源增加，研擬台電獨立電網系統備轉容量之因應機制

- A.提高系統備轉容量。

- B.檢討提昇複循環發電機組升／降載率。

說明：系統需額外準備備轉容量因應風力與太陽能發電等間歇性發電裝置出力及預測不確定因素。

- C.檢討加裝儲能設備或改良水力發電機組為抽蓄變頻機組。

說明：備轉容量分配至儲能設備及抽蓄變頻機組之容量為何需提出評估結果。

- D.檢討緊急需量反應機制。

說明：目前需量反應機制之容量再區分為緊急需量及一般需量。

(5)建立風力與太陽能發電預測系統並修訂併聯技術要點。

列入併網規範強制要求風力與太陽能發電業者須預測其再生能源之出力，供台電公司即時調度之參考。

說明：風力與太陽能發電為間歇性電源，因為其不可控特性，電力調度時，必須隨時以其他機組來遞補突然沒發的電量。

## 肆、心得與建議

### 一、心得

- (一)本次赴美除瞭解美國之輸配電系統對再生能源發電併網容量與控制及美國之再生能源併網規範與作法外，並訪問 PG&E 公司，瞭解該公司推動儲能系統、電動車電網整合及調控 EIM 機制等項目之努力，同時加州在環境永續發展與能源規劃方面，不但政策持續推動，相關的配套措施亦不斷的檢討與修正，以發揮最大效益。
- (二)再生能源可能成為電網不穩定的肇因，相關能源與電網之融通規劃至為重要。因此，配合大量再生能源併網，未來國內風力發電及太陽能發電等再生能源於 2025 年及 2030 年之目標約各為 13,750MW 及 17,250MW，然再生能源屬間歇性不穩定發電系統，併入電網恐影響系統電壓及頻率等，可能導致系統不穩定，影響電力公司及鄰近用戶用電品質，故瞭解國外規範與考量併聯可能產生之課題，持續研究各項併網可能發生之電壓、頻率、潮流、故障電流及電力品質等問題，並研擬因應對策為當前首要工作。
- (三)根據美國 IEI 2014 智慧電表調查報告，指出公用事業正利用智慧電表期望達成下列的幾種運用效益。
- 1.配電系統整合：AMI 系統與 OMS 和 DMS 等整合，以增強的停電管理和修復和改善的配電系統監控。
  - 2.新能源之整合：智慧電錶在網路上定位為分散式能源諸如分散式發電、社區太陽能發電、電動汽車、儲能系統和微電網等的整合平台。
  - 3.節省營運成本：智慧電錶導致節省運營成本，如自動抄表、減少的車輛派遣，和減少竊電損失。
  - 4.新的服務領域：智慧電錶已啟用之新服務，如電費單管理工具、電力使用預警通知、實施智慧時間電價和需量反應等。

其提升 AMI 運用效益仍待努力突破。

## 二、建議

- (一)未來台灣電力系統大量再生能源併網，包括台電電網併網檢討及資訊公開、修訂台電公司併聯技術規範、安全運轉與調度機制、研擬台電獨立系統備轉容量之因應機制及建立風力與太陽能發電預測系統並修訂併聯技術要點等對台電公司之影響，實需廣納各方意見，委請有經驗之相關顧問機構協助研擬因應對策，以確保系統運轉安全。
- (二)因應未來大量再生能源併網，台電公司輸電網宜適當分區規劃檢討，如負載與分散型電源、再生能源與傳統電源、變電所與 69kV 及 161kV 之整合等，需加強進行，並充分利用線路剩餘容量價值，使再生能源併網最大化。另應努力推動第七輸變電計畫修正計畫及北區一期電網計畫等，以提升台電公司之供電可靠度。
- (三)因應未來配電系統大量太陽能發電系統併網，系統衝擊檢討所需之等效模型、數學參數、運轉模式等仍需進一步探討，方可掌握電網特性，確保系統運轉安全，亦作為再生能源併網之規劃及運轉之參考。
- (四)加州的立法機構將加州公共事業委員會對該州三個民營電力公司制定儲能採購目標之第 2514 法案號簽署成為議會法律，即在 2020 年時採購 1,325MW 的儲能，其目標為利用儲能以讓電網達最佳化、整合再生能源並降低溫室氣體排放，因而建立相關儲能商業機制，值得台電公司參考儘速研擬包括儲能購電之可行性或儲能新商業模式等相關定價機制。
- (五)就電力品質可靠度指標-(年平均停電時間指數)互相比較，2014 年加州 PG&E 公司約為 220 分/戶-年；台電公司同期則為 17.496 分/戶-年，由此對照可說明台電公司電網性能極為優異，該資料可向外界說明台電電網之績效。

## 參考文獻

1. 經濟部能源局，2014，「綠能經濟潔淨創新」，經濟部能源局。
2. 經濟部能源局，網址：<http://www.moeaboe.gov.tw>
3. 台灣電力公司，「再生能源發電系統併聯技術要點」，民國 98 年 12 月。
4. 台灣世曦工程顧問股份有限公司，「太陽能發電、風力發電及電動車充電站併入電力系統之衝擊因應」，101 年度研發計畫成果報告，2012 年 11 月
5. Distributed Utility Associates, Endecon Engineering, 2002, “Distributed Generation Interconnection Manual Public Utility Commission of Texas (PUCT)”, U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy.
6. EIA, U.S. Energy Information Administration, 2014, “Electric Power Monthly, February 2014”, U.S. Department of Energy. Overdomain, LLC, Endecon Engineering, and Reflective Energies, 2003, “California Interconnection Guidebook : A Guide to Interconnecting Customer-owned Electric Generation Equipment to the Electric Utility Distribution System Using California’s Electric Rule 21”, California Public Utilities Commission (CPUC).
7. Pacific Gas and Electric Company, 2015, “Electrical Rule 21 Generating Facility Interconnections”, Pacific Gas and Electric Company.
8. PUCT, Public Utility Commission of Texas, 2014, “PUCT Substantive Rules. Chapter 25.211 Electric”, Public Utility Commission of Texas (PUCT).
9. AEP, American Electric Power Texas, 2014, “Interconnection and Parallel Operation of Distributed Generation”, American Electric Power (AEP).
10. Distributed Utility Associates, Endecon Engineering, 2002, “Distributed Generation Interconnection Manual Public Utility Commission of Texas (PUCT)”, U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and

Renewable Energy.

11. EIA, U.S. Energy Information Administration, 2014, “Electric Power Monthly, February 2014”, U.S. Department of Energy.
12. Overdomain, LLC, Endecon Engineering, and Reflective Energies, 2003, “California Interconnection Guidebook : A Guide to Interconnecting Customer-owned Electric Generation Equipment to the Electric Utility Distribution System Using California’s Electric Rule 21”, California Public Utilities Commission (CPUC).
13. Pacific Gas and Electric Company, 2015, “Electrical Rule 21 Generating Facility Interconnections”, Pacific Gas and Electric Company.
14. PUCT, Public Utility Commission of Texas, 2014, “PUCT Substantive Rules. Chapter 25.211 Electric”, Public Utility Commission of Texas (PUCT).
15. IEEE Std. 1547, Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems
16. California Electric Rule 21 Supplemental Review Guideline
17. Halton Hills Hydro, Guidelines for Applicants Connecting Distributed Generation
18. E.ON Netz GmbH, Grid Connection Regulations for High and Extra High Voltage