

出國報告（出國類別：實習）

研習美國售電業應用整合資源規劃 (IRP)之實際情形

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：李吉立（購電作業專員）

派赴國家：美國

出國期間：107年11月8日～107年11月8日

報告日期：108年1月

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：研習美國售電業應用整合資源規劃(IRP)之實際情形

頁數 27 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：李吉立/台灣電力公司/業務處/
業務管理師/(02)2366-8490

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：107 年 11 月 8 日～107 年 11 月 18 日 出國地區：美國

報告日期：108 年 1 月

分類號/目

關鍵詞：整合資源規劃 (Integrated Resource Planning ; IRP) 、容量擴充模型 (Capacity Expansion Model ; CEM) 、生產成本模型 (Production Cost Model ; PCM) 。

內容摘要：(二百至三百字)

本實習計畫之目的主要在了了解整合資源規劃(IRP)在美國之發展背景與歷程，進而探討整合資源規劃之定義、規劃流程及與電力採購之關係等；並就美國售電業採取整合資源規劃之兩種常用模型分析方式：容量擴充模型(CEM)與生產成本模型(PCM)，以及加州三家售電業(SCE、SMUD 及 GWP)之實際規劃案例進行研討，期汲取國外售電業經驗，提供公用售電業未來在面臨諸多法定義務、限制及電力交易平台架構下，如何規劃與實際應用整合資源規劃以執行購電業務之相關建議。

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

目 錄

壹、出國緣起.....	1
一、任務.....	1
二、緣起與目的.....	1
三、行程.....	2
貳、研習過程內容.....	3
一、IRP 在美國之發展背景與演進.....	3
二、整合資源規劃(IRP)之概述.....	4
(一) IRP 之定義.....	4
(二) IRP 之執行流程.....	5
(三) IRP 與電力採購之關係.....	12
三、IRP 資源組合模擬分析.....	14
四、加州售電業之 IRP 執行實例.....	17
參、心得與建議.....	22
肆、誌謝.....	26
伍、參考資料.....	26

壹、出國緣起

一、任務

研習美國售電業應用整合資源規劃(IRP)之實際情形。

二、緣起與目的

106年1月26日電業法修正施行後，公用售電業銷售電能須符合電力排放係數，並負擔備用供電容量及最終供電義務；此外，修法施行後6~9年，本公司必須轉型為控股母公司，並成立發電子公司與輸配售電子公司，轉型後之輸配售電子公司必須自行評估購電方案、擬定機組發電排程並參與電力交易平台競價等新增業務。於諸多法定義務、法規限制及電力市場架構下，需建構足以因應內外部環境變化之資源規劃方式，俾協助公用售電業評估各項購電選項，決定最適供電組合以提供用戶可靠之電力服務，並降低購電成本與風險。

近年來諸多國外售電業皆採用整合資源規劃(Integrated Resource Planning; IRP)方法，建立具彈性之規劃系統，以模型分析、評估供給面及需求面之所有資源選項，盤點出所有可用資源之組合，並因應法規、市場、環保技術變化進行動態調整，最終選擇最適合之資源組合。

整合資源規劃歷經多年發展，今日已被美國售電業所廣泛採用，美國政府亦對整合資源規劃有明確之立法。本實習計畫將針對美國售電業應用整合資源規劃之發展背景與歷程、實際做法與推動成效等進行研討，期汲取國外之實際案例經驗，作為公用售電業未來規劃與實際應用整合資源規劃方法，執行購電業務時之借鏡。

三、行程

(一) 研習日期

107年11月8日至107年11月18日，共計11日。

(二) 出國行程

日期	地點	訓練進修機構	訓練進修主題
11/8	往程	—	—
11/9	Roseville, CA	Energy Exemplar	瞭解該公司產品 PLEXOS 軟體用於 IRP 計畫之功能、優缺點、系統建置規劃等。
11/13	Sacramento, CA	SMUD	參訪該公司 IRP 計畫實際作業情況、短中長期電力規劃。
11/14	Rosemead, CA	SCE	參訪該公司 IRP 計畫實際作業情況、短中長期電力規劃。
11/15~16	Glendale, CA	GWP	參訪該公司 IRP 計畫實際作業情況、短中長期電力規劃。
11/17~11/18	返程	—	—

貳、研習過程內容

一、IRP 在美國之發展背景與演進

隨著科技發展、用電需求與日俱增、發電設備逐年老化及日益嚴格的環保法規，美國電業為達到區域制定之電力系統可靠度標準，開始思考規劃如何以最有成本效益之方式增加與汰換電源項目。尤其 1973 年石油危機爆發後，燃料價格飆漲，美國意識到單純仰賴能源供應之增加難以應付能源需求，於是需求面管理(Demand Side Management ; DSM)，以及整合供給及需求端資源進行整合資源規劃(IRP)之理念在美國誕生。

1980 年代後期，美國為因應石油禁運(Oil Embargoes)及非預期之核能發電成本倍增等問題，IRP 開始受到重視，因管理當局認為規定公用電業提交 IRP，可成為增加能源多樣化和降低石油進口比重的一種方式。各州政府對於資源規劃之要求不盡相同，公用事業委員會(PUC)須將各電業之規劃期間、計畫更新頻率、資源、利害關係人之參與、實際行動等納入審查同意與否之考量。

1992 年美國通過能源政策法(the US Energy Policy of 1992)，強制各州公用電業需執行 IRP，並提交報告由各州公用事業委員會負責審核。其後隨著美國公用電業進行重整，以及批發與零售電力市場之創建，管理當局認為，過去許多問題應透過市場競爭而非正式規劃加以解決，導致提交 IRP 之趨勢明顯暫緩，部分州政府轉變為不再強制規定。

到了 20 世紀初期隨著加州能源危機之爆發，至管理當局體認到維持相當程度之 IRP 仍有其必要性。迄 2017 年為止，美國仍有超過 30 個州政府要求其境內電業需向各自之 PUC 提交公開之 IRP 或相等性質之長期規劃(如圖表一所示)。

縱觀美國電業 IRP 之演進歷程，大致可劃分為以下四個階段：

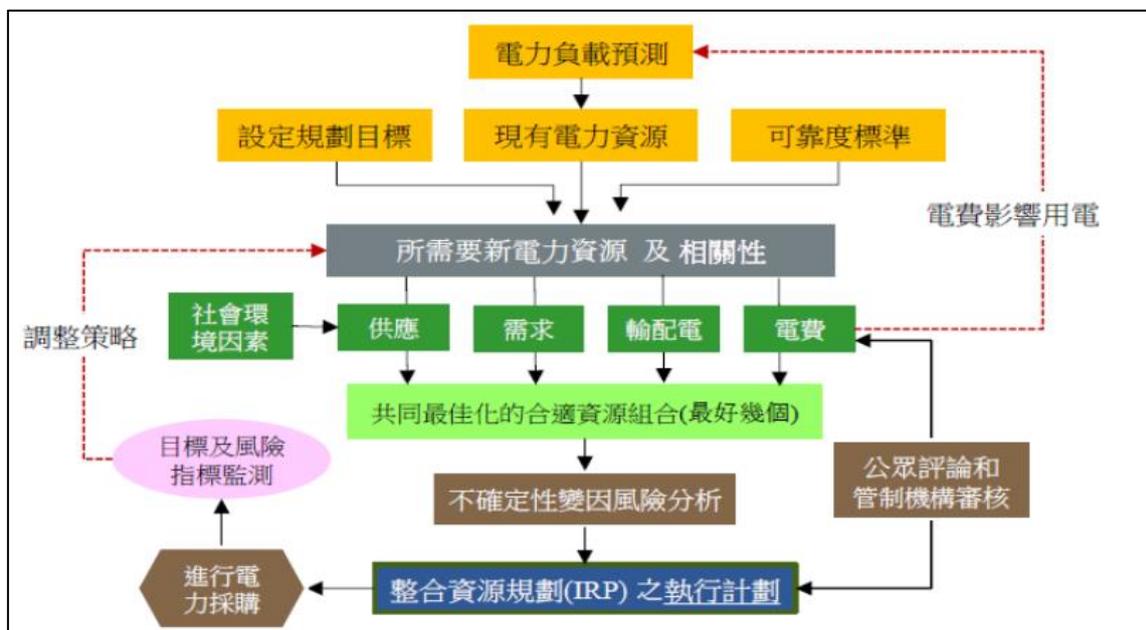
- (一) 電業早期之長期規劃，僅單獨考量各項資源，如電源開發、電源併網、輸電系統等，由不同部門各自進行規劃。

2. 美國加州能源委員會(California Energy Commission ; CEC)將 IRP 定義為一公用電業衡量需求端及供給端資源的成本與效益，以決定各種資源選項之最低成本組合之規劃流程及架構；在美國，許多州認為 IRP 可用以評估輸、供電對環境造成之損害，以及辨識具成本效益之能源效率與再生能源備選方案之工具。
3. 從電業管制角度切入，IRP 在美國許多州是電業衡量成本效益及風險後確立電源組合以滿足未來負載之重要管制程序(Carvalho, Sanstad and Larsen, 2017)。

(二)IRP 之執行流程

IRP 視管制機關之要求及系統複雜程度不同，常見需提交長達 20 年之計畫，約耗時半年至一年半時間規劃，3~5 年進行更新並重複相同步驟不斷循環。不同電業執行 IRP 作法各異，但重要執行流程如下述(流程圖如圖表二所示)：

圖表二、IRP 執行流程圖



資料來源：「售電業整體資源規劃(IRP) 及長短期購電規劃」簡報資料，蔣佳佑，2018。

1. 設定規劃目標範圍

由層峰召集電源開發、電力調度及業務等部門召開 IRP 規劃協調會議，在符合政策及法令之前提下，盤點各項供給及需求面之電力資源選項，並確認須達成之目標(例如：備用供電容量達 15%)。圖表三列出了一般電業規劃人員執行 IRP 可能設定之目標選項。

圖表三、IRP 目標選項

目標	說明
可靠電力服務	提供顧客停限電頻率極小化之服務
審核費率	作為電價管制機構審核電價費率成本合理性之依據之一
環境衝擊極小化	減少發電及能源使用對環境之衝擊
能源安全	降低因國外燃料供應中斷對發電造成之影響
使用本地資源	使用更多的本地資源來提供電力服務，包括國內燃料和製造技術。該目標可能與能源安全目標重疊
多樣化供給來源	可能需要使用多種類型的發電設施、燃料和資源，或使用來自不同供應商的燃料
提升效率	提升發、輸、配電效率
成本極小化	成本極小化是執行 IRP 的關鍵動力，也是規劃的關鍵目標，包括公用事業的成本、社會成本（包括環境成本）、客戶成本、資金成本、外匯成本或其他成本
提升社會福利	為更多人提供電力帶來的社會效益（如農村、診所和學校的製冷和照明）。反之，應防止或減少受電源開發影響的家庭搬遷等對社會之負面衝擊
增加在地就業	資源選擇對當地就業有不同的影響。IRP 目標可以增加當地與電力部門相關之就業機會
獲取技術與經驗	公用事業可能希望使用某些類型的供應項目開發，

目標	說明
	以獲得建立和使用所涉及技術之專業知識
保留彈性	制定足夠靈活的計畫，以便在成本、政治、經濟前景或其他條件發生變化時予以修改

資料來源：Best Practices in Electric Utility Integrated Resource Planning-Examples of State Regulations and Recent Utility Plans, Rachel Wilson and Bruce Biewald, 2013.

2. 蒐集選項及一致程序

提出各類可執行之資源選項，且首次執行 IRP 時即應制定具一致性之程序，以避免日後更新 IRP 計畫時需浪費時間確認細節，故首次 IRP 困難度最高，亦最耗費時間。

3. 軟體建模及模擬評估

進行建模和執行初始模擬與評估，常見的分析模型有容量擴充模型(Capacity Expansion Model；CEM)及生產成本模型(Production Cost Model；PCM)兩大類。

4. 整合資源計畫評估

將供給面和需求面計畫組合成多個偏好的 IRP 候選方案，進行評估、排序以選擇出一個完全得以執行且能滿足未來數年負載需求下電源組合之 IRP。圖表四為評估多個 IRP 方案時可參採之主、客觀評估準則。

圖表四、IRP 評估準則

面向	評估準則
財務	<ul style="list-style-type: none"> ● 計畫總成本 ● 計畫資本成本 ● 計畫燃料成本 ● 計畫外匯成本 ● 利息保障倍數

面向	評估準則
	<ul style="list-style-type: none"> ● 股本報酬率 ● 收入淨額
<p style="text-align: center;">績效</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 用戶數 ● 缺電機率 ● 備用容量 ● 供給端、需求端之能源效率
<p style="text-align: center;">能源安全</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 供給來源之多樣性 ● 國內資源使用程度 ● 再生能源使用程度
<p style="text-align: center;">環境</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 計畫期間總排碳量 ● 計畫期間空汙排放量 ● 發電設施佔地總面積 ● 廢水排放量 ● 廢棄物製造量 ● 對生態、生物多樣性之衝擊
<p style="text-align: center;">其他</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 對觀光、娛樂等之影響 ● 對就業率之影響 ● 對其他經濟個體之影響 ● 政治面可行性 ● 對少數民族、文化資產等影響

資料來源：Best Practices in Electric Utility Integrated Resource Planning-Examples of State Regulations and Recent Utility Plans, Rachel Wilson and Bruce Biewald, 2013.

5. 執行計畫之定案與執行

此為 IRP 規劃過程最重要之步驟，即選擇並決定最佳整合執行計畫方案。要從眾多偏好方案中挑出首選之 IRP 計畫，最終產出執行計畫(Action Plan；如圖表五所示)，計畫內容須明確、可行。

最終完成書面計畫並提交給管制機關，並按計畫內容執行。圖表六係加州公用事業委員會(California Public Utilities Commission；CPUC)公告之最新售電業 IRP 計畫範本(Standard LSE Plan Template)內容，規範售電業提交報告應包含之項目。

圖表五、Indianapolis Power & Light Company 之 IRP 執行計畫範例

2016 Short Term Action Plan Items (2017-2019)		
Resource Changes	2017	Implement DSM proposed for 2017, seek approval for 2018-2020 DSM action plan
	2017	Complete EV CCGT Construction
	2018	Complete CCR/NAAQS-SO ₂ Petersburg Upgrades
Transmission	2017	Upgrade (1) 138 kV line, replace (1) 345kV to 138 kV auto-transformer and continue long-term planning
	2018	Upgrade 3 substations, (3) 138 kV lines, and replace breakers at 2 substations and continue long-term planning
	2019	Implement projects identified in 2017 and 2018

資料來源：Indianapolis Power & Light Company 2016 Integrated Resource Plan, 2016.

圖表六、CPUC 公告之售電業 IRP 計畫範本各章節概述

1. 摘要(Executive Summary)

概述制定計畫的過程，並總結研究結果，包括選定之優先資源組合和執行計畫等。

2. 研究設計(Study Design)

說明完成本計畫之發展流程。

2.1 研究目標(Objectives)

說明本計畫欲透過分析方式求得之目標。

2.2 研究方法(Methodology)

2.2.1 模擬工具(Modeling Tools)

模擬所採用之軟體，並說明所用軟體與 CPUC 制定之參考系統計畫所採用軟體(“RESOLVE”)建立之模型間的差異，以及如何將這些差異用以評估並決定資源組合。

2.2.2. 模擬方法(Modeling Approach)

描述發展各種情境之評估方法，以及為何考量該種情境。並說明決定資源組合之計算方式。

2.2.3. 假設(Assumptions)

描述使用的任何輸入或假設，與 CPUC 制定之參考系統計畫的相應假設不同。每個假設須包括使用之理由，以及用來發展假設和來源資料之任何中間計算。

3. 研究結果(Study Results)

3.1 資源組合(Portfolio Results)

列出所有新資源或現有資源之組合清單。售電業至少必須產出一個遵守性的資源組合(Conforming Portfolio)，同時允許產出多個替代資源組合，但必須合理地解釋替代組合與遵守性組合間的差異。無論是否產出替代組合，均需決定優先資源組合(Preferred Portfolio)。

3.2 優先資源組合(Preferred Portfolio)

若售電業從多個替代組合中選出優先組合，則必須呈現遵守及優先組合之所有被要求提供之相關資訊，例如實證如何降低當地空汙，並進行電價成本與費率分析，以說明該等組合如何影響電價。

3.3 與現行計畫差異(Deviations from Current Resource Plans)

說明並量化與已提交至 CPUC 或被核可之任何計畫數量與金額差異。

3.4 需求分析(Local Needs Analysis)

售電業在 CAISO 認定之地區必須報告如何符合 CAISO 公布之最新輸電規劃中所要求之容量大小。

4. 執行計畫(Action Plan)

列出未來 1~3 年所有建議進行之行動。

4.1 建議行動(Proposed Activities)

任何近程建議及與採購有關之行動資訊。

4.2 障礙分析(Barrier Analysis)

辨識出任何市場、規範、財務性或其他於優先資源組合中欲取得資源所面臨的障礙與風險。

4.3 對委員會建議事項(Proposed Commission Direction)

舉出任何尋求 CPUC 提供，例如核准新的採購項目或變更已核准項目、目標或預算等。

5. 資料(Data)

依規定提供制式格式之基礎資源、新設資源及其他補充資料。

6. 經驗回饋(Lessons Learned)

提供任何希望 CPUC 考量修正 IRP 流程之建議，並說明該建議如何促進 CPUC 與所有售電業達成州立政策目標。

資料來源：California Public Utilities Commission, <http://www.cpuc.ca.gov>.

此外，州立之 PUC 審閱售電業提交之 IRP 計畫後，倘認為計畫內容未遵循某些規範，則有權退回要求售電業修正或補充，例如 2013 年夏威夷 PUC 認為夏威夷電力公司(Hawaiian Electric Company；HECO)提交之 IRP，未呈現出將迅速變遷之技術、市場、法規等因素納入其模型中之足夠急切性，以確立其銷售及政策面之目標，故要求該公司修正其報告。

6. 監測計畫執行成果

建立監測程序可否達成目標，及監控、評估風險(例如相同目標受不同政策影響會有不同風險)，並適時重啟 IRP 規劃以調整策略。IRP 應具動態性，隨著條件的變化和新信息的出現隨時進行修訂。

(三)IRP 與電力採購之關係

規劃與電力採購是公用電業為提供可靠且讓民眾負擔得起之電力服務，所開展之兩項基本活動。一般認為 IRP 是一個由利益關係者所驅動的流程，以引導購電決策，原則上係確保在最低成本及風險下之資源選擇。

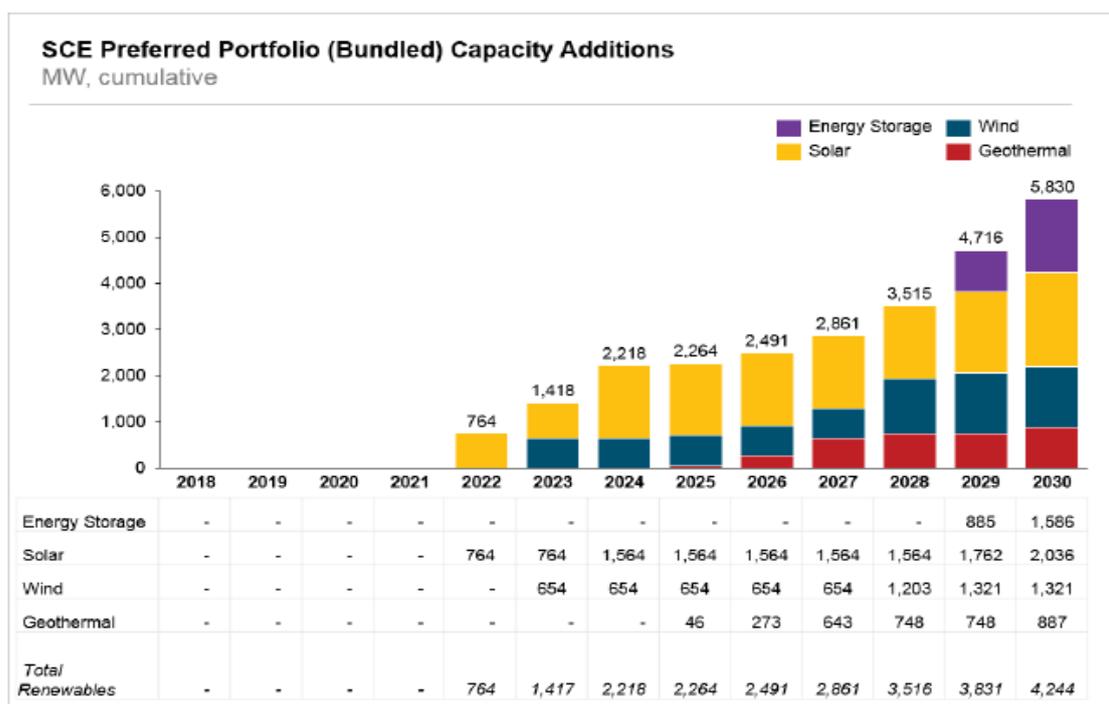
IRP 常容易受到誤解的考量是「尋求電源組合目標」，然而實際上電源組合目標並非 IRP 最終規劃產出之結果，而是規劃過程所需輸入之參數，除供給面之參數外，需求面管理等也應做同等重要性之考量。

IRP 規劃出的結果，係為了給予電業一個如何從現有的電源組合，達到實現若干年後最終目標—即電業希望達成之電源組合的「時間表」，或是購電部門每年可遵循的購電目標。圖表七即為一 IRP 電源規劃之結果，描述南加州愛迪生公司(Southern California Edison; SCE)為了在 2030 年達成能源配比：儲能設備 27%、太陽光電 35%、風力 23%及地熱 15% 之目標，自 2022 年起須逐年購入或投資各項電源之裝置容量數額。

而 IRP 之執行計畫，則是告訴我們如何達成目標之「具體做法」。以圖表八為例，即為 SCE 公司為了達成前述圖表七之逐年及最終能源配比，所制定之具體投資計畫(包含地點、種類、容量數額等)，例如在北加州購入或投資 78MW 之地熱發電設備及 345MW 之風力發電設備。

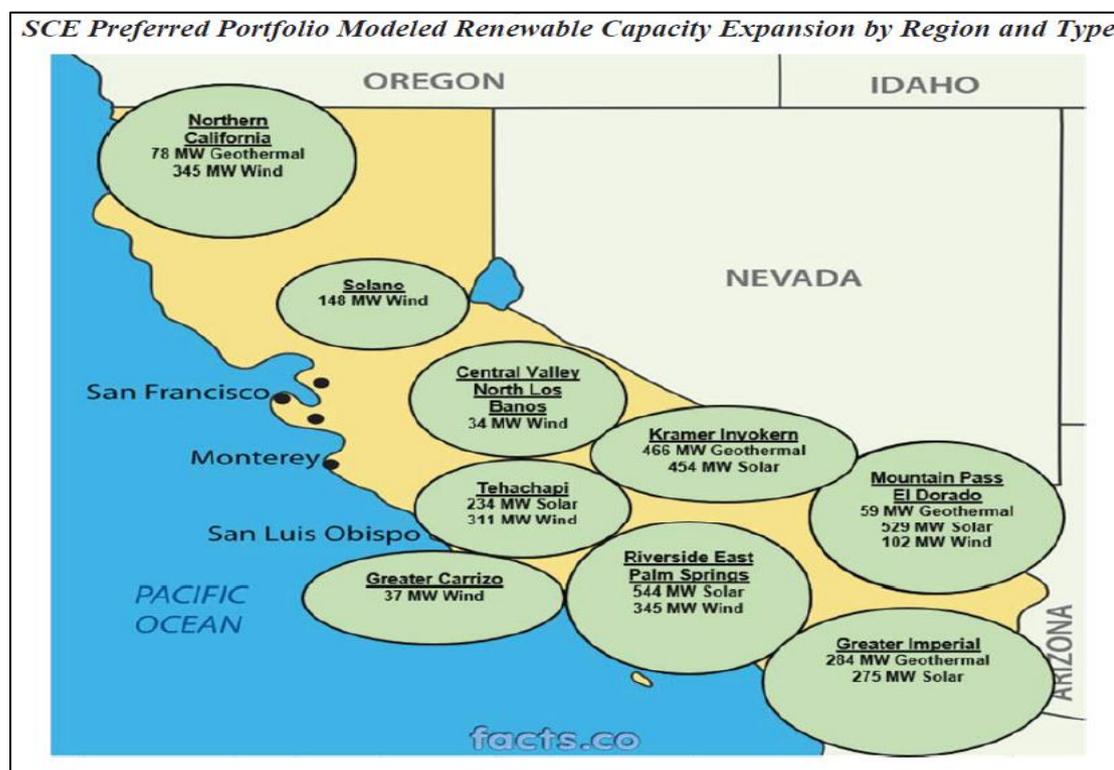
上述這些購電執行計畫必須遵守政府政策，例如加州首要要求能源效率和需量反應優先，接著是再生能源，最後才是化石燃料發電。如果購電計畫不符合政府政策、供電安全、可靠性、成本和環境目標，電業將被 CPUC 要求進行修改。此外，購電時除了要考量已核准的執行計畫外，更要依據目前的現況調整購電策略以達成 IRP 目標。

圖表七、IRP 規劃結果



資料來源：Integrated Resource Plan of Southern California Edison Company, Southern California Edison Company, 2018.

圖表八、IRP 具體投資計畫



資料來源：Integrated Resource Plan of Southern California Edison Company, Southern California Edison Company, 2018.

三、IRP 資源組合模擬分析

(一) CEM 與 PCM 分析模型

美國售電業執行 IRP 之過程常使用 CEM 及 PCM 兩種模型方法進行模擬分析，簡要說明如下：

1. 容量擴充模型(Capacity Expansion Model；CEM)

可進行較長時段(以月或年為單位)之模擬，篩選資源長期可行的擴充選項，在其模型框架內考慮營運和投資決策，提供對電力系統長期規劃之分析結果。CEM 建立模型時採用簡化形式之模型，進行以每日或每月之尖、離峰為單位之長期(20 年以上)分析，以加快計算時間。

然而 CEM 的缺點在於僅能建立區域性之系統模型，無法考量節點(Nodal)間或短時間之機組經濟調度排程等問題。於再生能源發電尚未蓬勃發展前，電業僅使用 CEM 模型進行 IRP 規劃尚無問題。但當極不穩定之再生能源電源大量併入系統時，採 CEM 建立之長期簡化模型模擬出之再生能源容量組合，若改採短期(每小時)模型進行模擬之結果，往往因差異太大而需進行修正。

此外，CEM 通常僅能單獨分析發電資源的平均容量成本(\$/MW)或平均發電成本(\$/MWh)，造成無法取得同時滿足備用容量及電能供應需求下之最佳化資源組合。雖然可透過換算，把容量成本轉算成電能單位加在電能成本上，然而仍無法就近年交易量大增之輔助服務(Ancillary Service)成本進行分析，故近年來擁有再生能源電源之售電業，不會僅單獨採用 CEM，而會搭配 PCM 使用。僅 PUC 或 ISO 仍會用使用 CEM 作整體性的分析。

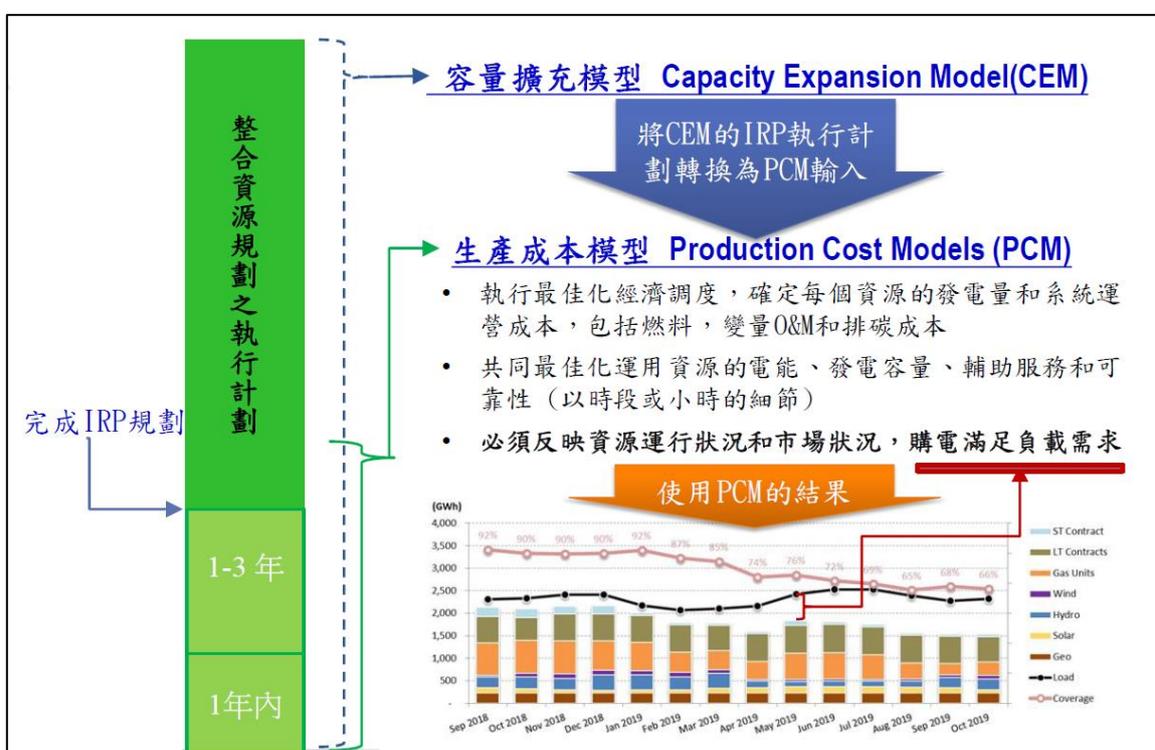
2. 生產成本模型(Production Cost Models；PCM)

可詳細地模擬電力系統，通常較少進行長達 20 年之規劃，可進行每小時或甚至每分鐘的時間順序調度模擬，並可評估資源充足性及大量再生能源下之即時運作限制、系統可靠性、資源的相互依賴

性，以及進行優化電能、輔助服務和時間相關的運作限制。在美國電力市場，PCM 可模擬節點細節，包括各節點間的每個傳輸路徑細節，及進行其他地理限制之模型建立(例如輸電擁塞)。

惟 PCM 主要係模擬現有的電力系統設施，模擬分析之時間較慢，但其重要性在於，存在大量再生能源發電之系統內，沒有使用 PCM 模型，將無法驗證 CEM 規劃出的中短期計畫之可行性。圖表九說明應用 PCM 以驗證 CEM 之連結關係。

圖表九、PCM 與 CEM 之連結關係



資料來源：「售電業整體資源規劃(IRP) 及長短期購電規劃」簡報資料，蔣佳佑，2018。

3. 模型應用實例

茲以 SCE 公司 2018 年 8 月提交之 IRP 報告為例，說明 CEM 及 PCM 之應用實例：

該公司使用了 ABB 公司之 CEM 軟體模型”ABB CE”，發展滿足溫室氣體排放和其他限制之資源組合。該軟體能夠最佳化一個定義精良的電力系統模擬流程，以最低成本滿足溫室氣體規範、輸電限

制，規劃備用容量和電力平衡等需求。

此外，該模型可模擬每部發電機組，協助投資決策(決定新設機組或儲能設備、燃料採購、制定需求端管理方案等)並且能夠同時共同最適化投資、調度、停役或延役，故 ABB CE 之電源擴充更為多樣化，包括更多風力和地熱電源。

前面章節曾提到 IRP 計畫範本規定售電業之 IRP 需與 CPUC 所採用之 RESOLVE 軟體比較，而 SCE 採用 ABB CE 所求得之投資組合較 RESOLVE 更具成本效益：在相同之資源價格下，ABB CE 可以更低的容量擴充大小達到所要求之 GHG 排放目標。

接續 CEM 模型之後，SCE 需使用 PCM 模型以驗證在加州獨立電力調度中心(California Independent System Operator; CAISO)架構之下以 ABB CE 模型求得之資源組合能夠在滿足負載及輔助服務需求上是實際可行的。

SCE 將 PCM 模型應用在以最低成本為基礎調度發電資源，以滿足每小時系統及輔助服務需求，同時符合所有發電機組運作限制、傳輸限制，與其他系統可靠度之要求。

輔助服務如備轉容量和頻率反應(frequency response)是 CAISO 為確保系統運轉可靠度與穩定性之必要管理工具。與 CEM 相比，PCM 考量更詳細的發電機組特性、每小時升降載能力和平衡負載，是電力系統中評估電力資源組合運作可行性更為理想之工具。

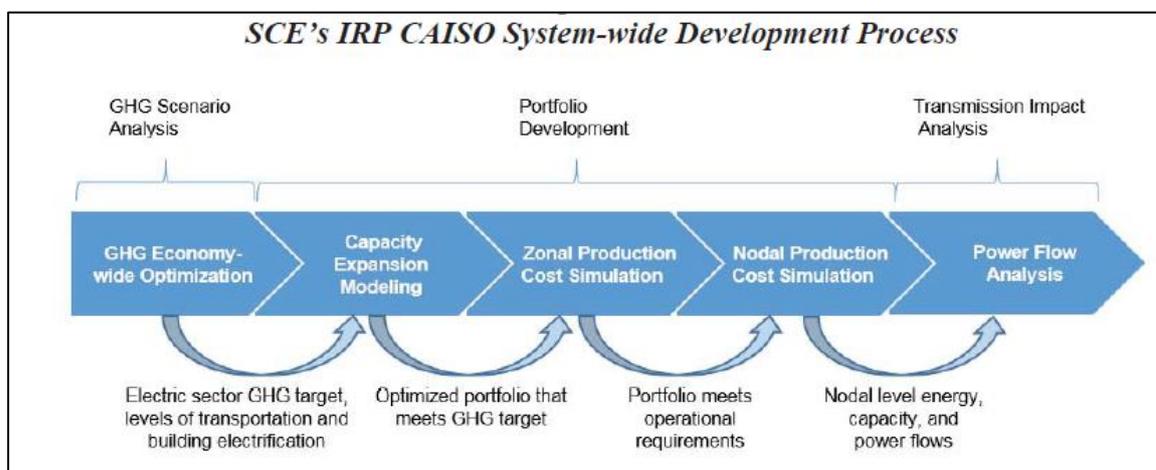
SCE 使用 Energy Exemplar 公司開發之軟體“PLEXOS”建立模型，是一個基於 CAISO 架構下，存在 zonal 及 nodal 電網之模型。SCE 在其 IRP 報告中提到 PLEXOS 具有混合整數規劃(Mixed Integer Programming; MIP)及混合整數線性規劃(Mixed Integer Linear Programming; MILP)功能^{*}，仿照 CAISO 日前市場之運作以進行

^{*}僅有部份變數被限定為整數之線性規劃稱為混合整數線性規劃，例如 $\text{Max } 3X1 + 4X2; \text{ s.t. } -X1 +$

生產成本模擬，可同時最適化電能和輔助服務，產出可用發電資源之機組排程和調度，並於傳輸和個別發電資源之限制下，以最低成本滿足負載需求及法定備用容量。

圖表十說明 SCE 應用模型分析並求得最佳資源組合之流程，即在符合溫室氣體排放規定下，進行 CEM 模擬以取得最佳資源組合，並依序進行區域(zonal)與節點(nodal)之 PCM 模擬，最後技術性的電力潮流分析。

圖表十、SCE 之 IRP 模擬分析流程圖



資料來源：Integrated Resource Plan of Southern California Edison Company, Southern California Edison Company, 2018.

四、加州售電業之 IRP 執行實例

本次參訪之三家加州電業，SCE 屬於加州三大民營公用電業 (Investor Owned Utilities) 之一，屬於 CAISO 市場之參與者。SMUD 及 GWP 則屬於市立公用電業 (Publicly Owned Utilities)，非屬 CAISO 參與者，但分別將於 2019 及 2020 年加入 CAISO 建立之即時不平衡市場 (Energy Imbalance Market； EIM)。整理三家售電業近年執行 IRP 之實例如圖表十一所示：

$2X_2 \leq 8$ ； $X_1, X_2 \geq 0$ 且 X_2 為整數；非線性規劃則稱為混合整數規劃。

圖表十一、加州三家售電業執行 IRP 實例

售電業 項目	SCE	SMUD	GWP
用戶數	1,500 萬戶	150 萬戶	9 萬戶
負責部門	Portfolio Planning and Analysis	Resource and New Business Strategy	Integrated Resource Planning
提報頻率	2 年一次	5 年一次	5 年一次
計畫期間	2018~2030 年	2020~2050 年	2019~2030 年
最近提報時間	2018 年 8 月 1 日	2018 年 7 月公告草稿 2019 年 4 月提報正式版本	2018 年 12 月 18 日
提報主管機關	CPUC	CEC	Glendale 市議會
法定義務	1. 2030 年溫室氣體減少排放達 1990 年排放量之 40%，再生能源占比 (RPS)2020 及 2030 年分別達 33%及 50%。 2. 另 SCE 須於 2024 年以前完成 580MW 之儲能設備採購。		
規劃目標	1. 總目標： 以最具成本效益方式發展出最適資源組合，以達加州政府所設定溫室氣體排放量較 1990 年減少 40%之目標，並同時維持電力可靠度及其他州立目標。 2. 子目標：	1. 2030 年減少排放 1.35 百萬噸溫室氣體。 2. 2040 年達到溫室氣體零排放。	1. 250MW 之供電容量。 2. 增加 50MW 儲能設備。 3. 2030 年再生能源比例(RPS)達到 60%。

售電業 項目	SCE	SMUD	GWP
	<p>(1).於 2030 年達到 28 百萬噸之溫室氣體減排。</p> <p>(2).向 CAISO 提供充足之輔助服務及升降載能力。</p> <p>(3).避免過度使用系統設備及資源如輔助服務及升降載能力進行輸電並減少地區容量需求。</p> <p>(4).提供經驗、改善建議以提升 CAISO 系統在 IRP 建模上之效率。</p>		
<p>情境假設</p>	<p>1. 總體：</p> <p>(1).2030 年全加州達到溫室氣體減排目標 260 百萬噸。</p> <p>(2).減排成本為 \$79/噸。</p> <p>(3).2030 年輕型電動</p>	<p>1. 新的法定義務符合加州長期目標且低碳燃料激勵措施仍持續。</p> <p>2. CAISO 和加州/奧勒岡州邊境之批發市場價格係以各個地區內的負載和資源</p>	<p>1. 負載預測。</p> <p>2. 長期電力、天然氣及燃煤價格。</p> <p>3. 風力及太陽能設置地理區域資料。</p> <p>4. 資金成本假設。</p> <p>5. 傳輸成本。</p>

售電業 項目	SCE	SMUD	GWP
	<p>車達 6,800 萬輛。</p> <p>(4).2030 年建築電氣化空間及太陽能熱水器裝置率達 30%。</p> <p>2. 電力部門：</p> <p>(1).2030 年溫室氣體減排達到 28 百萬噸。</p> <p>(2).2030 年 CAISO 負載量：電動車達 2.4 百億度、能源效率達 4.1 百億度、太陽光電裝置達 3.6 百億度、淨負載量達 18.9 百億度。</p>	<p>為基礎而建立。</p> <p>3. 天然氣價反映近期市場趨勢，且至 2040 年均呈現 2017 年官方公布之能源展望為基礎之線性趨勢。</p> <p>4. 假設 SMUD 現有資源組合在整個模型分析過程中未提前除役。</p> <p>5. 再生能源供應成本和 CAISO 費用和關稅的預測負荷和可變可再生能源的業務儲備假設。</p>	
模擬軟體	PLEXOS	PLEXOS	PowerSimm
研究方法	<p>1. CEM</p> <p>2. PCM</p>	CEM	Monte Carlo
最適資源組合	<p>2030 年裝置容量佔比：</p> <p>1. 儲能設備：27%</p> <p>2. 太陽光電：35%</p> <p>3. 風力：23%</p>	<p>2040 年裝置容量：</p> <p>1. 太陽光電：180GW</p> <p>2. 風力：2,100MW</p> <p>3. 地熱：650MW</p> <p>4. 儲能設備：560MW</p>	<p>2030 年裝置容量：</p> <p>風力與太陽能各佔近 50%，少部分地熱、小水力及生質能。</p>

售電業 項目	SCE	SMUD	GWP
	4. 地熱：15%	5. 需量反應：94MW	
執行計畫	2022 至 2030 年分批在加州 9 個區域增設共 4,244MW 再生能源及 1,586MW 之儲能設備。	<p>1. 太陽光電：在 SMUD 轄區增設 1,000MW 太陽光電，並在加州取得達 180GW 之太陽光電交付 CAISO。</p> <p>2. 風力：加州內增設 1,200 MW，另建 900MW 的州外風力資源作為潛在風力發電選擇。</p> <p>3. 地熱：州外建 650MW 地熱資源。</p> <p>4. 儲能電池：儲能設備增 560MW。未來技術進步可解決當再生能源供給過剩時之最大支援。</p> <p>5. 需量反應：在 SMUD 轄區增加 94MW。</p>	<p>1. 太陽光電：可在市區附近興建以避免較高線損，但平均容量因數僅 20%。因加州光電已飽和，當其他電業之光電供給過剩時，以較低價格購入。</p> <p>2. 風力：在懷俄明州增建風場容量因數可達 45% 但亦有較高線損；另亦考量價格較佳時像某些地區購入品質較高之風電。</p>

資料來源：Integrated Resource Plan of Southern California Edison Company, Southern California Edison Company, 2018；Draft SMUD IRP Scenarios Summary Report, Sacramento Municipal Utility District, 2018；2019 Integrated Resource Plan, City of Glendale Water and Power, 2018；本報告整理。

參、心得與建議

一、IRP 具長、短期購電規劃之參考價值，但並非購電決策之萬靈丹

IRP 常容易被誤解係為取得長短期購電或電源開發最佳配置組合之分析工具，實際瞭解美國售電業之 IRP 執行情形後，可發現 IRP 是在法律規定下，強制售電業執行之規劃方式及流程。而美國售電業執行 IRP 之目的，在於向管制機關及社會大眾保證，在不確定性之下，其投資決策仍盡可能具備成本效益。

GWP 公司執行 IRP 之部門主管認為，假使 IRP 不具備強制性質，採用 IRP 進行長期規劃仍是明智的做法，然而執行人員不能盲目地依照 IRP 模型分析所得之資源組合進行購電決策，仍需透過輸、配電等模擬過程以確認各項執行計畫是否合理且實際可行，並須不斷進行調整。

至於美國售電業執行 IRP 之成效究竟如何？根據美國能源部 (United States Department of Energy) 之研究單位於 2017 年發表的一篇針對美國西部公用電業之 IRP 與電力採購間關係之研究結果說明，先前幾乎沒有相關研究，透過追蹤售電業提交 IRP 報告後所做出之購電決策與 IRP 計畫之間的關係，來評估 IRP 之有效性或可用程度。

該研究顯示，由於規劃環境的變化，售電業之購電決策常受到規劃過程中未考慮的參數的影響，隨著時間之推移而偏離原先之計畫，導致後續購電計畫與 IRP 規劃結果往往存在顯著差異。且多數售電業在 IRP 提交後 2~3 年，即會因應負載需求、法規及經濟面條件變動而作出重大修訂。

IRP 規劃過程中所產生之資訊(如負載預測、模擬方法與最低成本/風險組合)，最終真正能夠在購電過程中被使用之部分相當有限，相較於 IRP 規劃階段使用之資訊，購電決策過程通常會針對當前較新且可用之參數，例如：電業管制機關對 RPS 或需求面管理等目標之政策變動、發

電燃料價格變動、負載預測及經濟景氣之變動等，進行更大程度的評估後做出謹慎之決定。

如果實際購電決策與原先 IRP 產出之建議方案相差甚大，則售電業應該自問以下問題，以評估此 IRP 計畫之價值性：

- (一) IRP 規劃與購電決策考量何種的技術、經濟與法規面的資訊？換言之，售電業如何將 IRP 執行計畫轉化為實際購電行動？
- (二) 如果 IRP 計畫並未在實際購電時被採用，那麼這份 IRP 計畫之成本效益、效率及可說明性實際上有多重要？IRP 與購電決策之間的差異性是否對任何人而言是重要的？

在華盛頓州及奧勒岡州等地之管制機關甚至明確地在 IRP 法規中規定售電業提交之 IRP 並不會影響或決定後續的購電決策，因管制機關亦瞭解到，售電業需考量影響資源需求之眾多參數之持續動態變化中，設法滿足這些需求，故給予售電業彈性。

二、執行 IRP 之部門應具備不同專業領域之組織或功能

IRP 涉及電業之整體規劃，故應包含營運策略、調度、電源開發、等部門之密切參與。在專業人力需求方面，須視是否有顧問公司參與其中、以及電業之規模大小而定。據 GWP 表示該公司僅三人從事 IRP 之兼職工作，仍略嫌不足，應增加至五人較為理想。

以下係針對本公司未來執行 IRP 時，應有之部門架構或功能提出建議：

(一) 專案負責人

統籌整體 IRP 工作，通常由電源開發部門或電力系統規劃具專業經驗之經理人員擔任。應對電力系統規劃之模擬軟體有所了解，亦可考量借重顧問公司的專業經驗。

(二) 輸電系統規劃人員

負責現有輸電系統之運作建立模型，以及未來輸電系統的規劃選

項和安全運轉之考量。

(三) 電源操作或調度人員

必須參與所有發電機組之模型建立和校訂，除了電源操作的限制外，雙邊合約及燃料資源的限制都要全盤考量。

(四) 業務部門人員

負責提供用戶端的需求面管理、節能專案之現況及未來規劃，亦須與電源開發部門人員就未來負載預測進行密切的聯繫協調。

(五) IRP 規劃軟體的專業人員

是 IRP 規劃的關鍵，小型電業大多藉由顧問公司的專業資源，而毋須徒增每年商用軟體之使用版權費，但大型電業通常自行購買商用軟體，並培養公司內人才，在不做 IRP 規劃時亦可兼做其他的規劃工作。然而不管是否培養內部專業人員，建議均須借重顧問之專業以汲取其他電力市場或各國的經驗。

三、IRP 之軟體可應用於短期購電組合、排程規劃及市場競價策略

未來公用售電業將成為電力交易平台之市場參與者，是否能應用 IRP 決定短期購電組合、規劃購電機組之排程以及擬定市場競價策略，說明如下：

(一) IRP 與售電業之短期購電規劃及參與電力市場交易之關係

比較一般電業執行長、短期購電組合規劃與 IRP 之差異性，可以發現長、短期購電組合規劃，僅是電業為達到 IRP 之長期整合資源規劃的執行步驟之一，而 IRP 則是為了如何在未來 20~30 年後達成最終電源組合目標，提供各階段的藍圖。而長短期購電除了是完成 IRP 目標的執行過程外，還需要滿足短期即時操作條件的變化，及系統運轉之安全可靠。

進一步比較 IRP 與短期購電規劃，IRP 著重現有資源的發電限制、

可用性、新設電源及電源汰換時程最佳化選擇之各項參數；而短期購電規劃則必須考量近期之燃料限制、運轉狀況及市場之供需平衡狀態等即時參數，故 IRP 在模擬運作細節上沒有短期購電那麼仔細。

另外，IRP 規劃出的結果，係提供購電部門可遵循的每年購電目標，其中頭 3~5 年的執行計畫，即對短期購電之實際執行要求；至於短期購電規劃，則是增加考量 IRP 規劃階段沒能納入之變數、進行目標變更等更詳細之規劃，而且必須確保執行購電行動後可達到各項法規要求，而規劃結果亦將成為後續參與電力市場競價與機組排程之依據。

美國能源部認為，日內市場交易(intra-day market transaction)被一些售電業用以作為短期的避險機制，然而這些交易既非 IRP 規劃過程之一部分，亦非售電業進行短期採購決策時之參數。

綜上，IRP 著重長期電源目標之達成，故其規劃目的並非取得短期購電組合或進行機組排程、競價等電力市場之短期操作。

(二) PLEXOS 可協助執行短期購電組合、排程規劃及市場競價策略

雖然 IRP 非著重在短期電力市場操作，但市面上部分執行 IRP 採用之軟體，如 PLEXOS，除可應用於 IRP 外，也可用於購電規劃、電力批發電價評估預測，及協助電力調度排程(具備每五分鐘排程能力)及市場競價，能處理每小時、分鐘之最佳化資料細節。使用時會增加其運用方向的參數資料，並簡化其他長期規劃功能的參數。

然而要實現即時運算，必需要將大量的即時機組狀態資料、運轉限制等輸入到 PLEXOS 程式計算，但 PLEXOS 無法提供圖形使用者介面(GUI)之顯示細節，如每小時負載預測或再生能源每十五分鐘一筆之發電預測，若要提供相關人員參考，需要另以其他軟體客製化使用者介面，但由國外原廠負責客製化之成本所費不貲，而在國內亦須費心尋求有具客製化能力之廠商，故公用售電業應評估是否值得支付此筆額外之客製化成本。

然而若不以 PLEXOS 另進行客製化，則短期電力交易平台操作部分應採其他競價評估等軟體，恐須委託研究單位另花時間評估，而若研究單位無相關經驗，建議仍應外包予有實際經驗之廠商。

肆、誌謝

感謝公司各級長官給予本次赴美實習的機會，並承蒙蔣佳佑博士在美國當地之指導與行程安排，以及台綜院及本處用戶服務組主管協助安排與聯繫，謹致上最深的謝意。

伍、參考資料

- 一、Integrated resource planning(IRP) and power sector reform in developing countries, Antonette D'Sa, 2005.
- 二、Glossary of Energy Terms, California Energy Commission, 2018.
- 三、Best Practices in Electric Utility Integrated Resource Planning- Examples of State Regulations and Recent Utility Plans, Rachel Wilson and Bruce Biewald, 2013.
- 四、US Energy Storage Increases 46% In 3rd Quarter According To GTM, Joshua S Hill, 2017.
- 五、Understanding IRPs: How Utilities Plan for the Future, Coley Girouard, 2015.
- 六、Exploring the relationship between planning and procurement in Western U.S. electric utilities, Juan Pablo Carvallo, Alan H. Sanstad, and Peter H. Larsen, 2017.
- 七、Integrated Resource Plan of Southern California Edison Company, Southern California Edison Company, 2018.
- 八、Draft SMUD IRP Scenarios Summary Report, Sacramento Municipal Utility District, 2018.
- 九、2019 Integrated Resource Plan, City of Glendale Water and Power, 2018.
- 十、California Public Utilities Commission, <http://www.cpuc.ca.gov>.
- 十一、Indianapolis Power & Light Company 2016 Integrated Resource Plan,

2016.

十二、「售電業整體資源規劃(IRP) 及長短期購電規劃」簡報資料，蔣佳佑，2018。

十三、「參加『電力市場最佳化軟體應用』研討會及洽訪 NYISO 電力調度中心、ICEENERGY 顧問公司」出國報告，吳進忠、蔡金助，2018。