

出國報告（出國類別：實習）

研習美國電業 IRP 法規及系統建置

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：陳柏辰（業務管理師）

派赴國家：美國

出國期間：107 年 11 月 8 日～107 年 11 月 18 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：研習美國電業 IRP 法規及系統建置

頁數 31 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：陳柏辰/台灣電力公司/業務處/

業務管理師/(02)2366-8487

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)、再生能源組合標準(Renewables Portfolio Standard, RPS)、溫室氣體 (Greenhouse Gas, GHG)。

內容摘要：(二百至三百字)

美國電力市場實行 IRP 計畫已行之有年，部分州甚至將 IRP 法制化，透過 IRP 的全面性分析，可以幫助電業及主管機關更清楚規劃及決策，本實習計畫之目的主要瞭解美國加州電力市場實行 IRP 之情形、電業進行 IRP 計畫採用之軟體(包含軟體功能及系統建置方式等)及電業實際進行電力規劃之作法，以做為未來公用售電業電力辦理電力採購、執行合約及參與電力市場之參考。

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、美國電業 IRP.....	3
二、加州 IRP 簡介.....	4
三、美國電業 IRP 程序.....	11
四、電業 IRP 長期計畫簡述.....	22
參、心得與建議.....	28
肆、誌謝.....	31
伍、參考資料.....	31

壹、出國緣起

一、任務

瞭解美國加州IRP相關規定及其軟體系統使用情形。

二、緣起與目的

電業法 106 年 1 月 26 日修正實施，依新電業法規定，本公司需進行廠網分離，拆分為母公司、發電公司、輸配售電公司等 3 家公司，公用售電業需承擔備用供電容量及電力排碳係數等義務，而售電市場並逐步開放。為因應前述法規義務及市場變化，公用售電業應有能力自行規劃電源組合，建立最佳購電策略，以降低購電成本及風險。

鑒於國外售電業多採用整合資源規劃(Integrated Resource Plan, IRP)方法建立規劃系統，以評估所有供給面及需求面選項，美國加州更規定售電業需提報 IRP 計畫，除以證明售電業可達成供電穩定、綠能目標外，更可以對外說明費率訂定過程中的成本合理性，相關作法可提供未來公用售電業購電策略規劃參考。

本實習計畫之目的主要為瞭解美國加州對 IRP 之規定、電業進行 IRP 計畫採用之軟體(包含軟體功能及系統建置方式等運用)以及電業實際進行長期電力規劃之作法(如電力組合及政策目標之達成等)，以做為未來公用售電業電力辦理電力採購、執行合約及參與電力市場等規劃之參考。

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

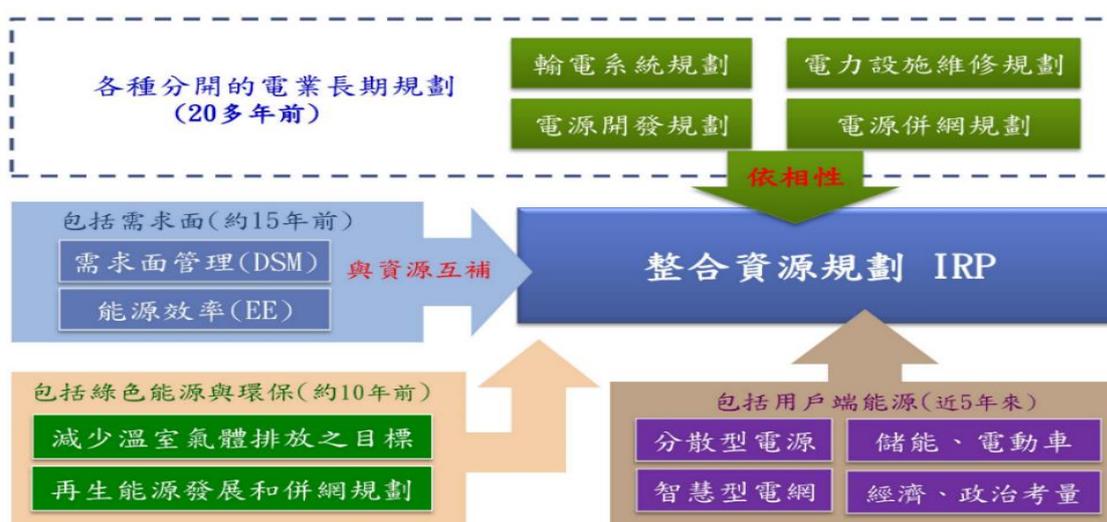
日期	地點	訓練進修機構	訓練進修主題
11/8	往程	—	—
11/9	Roseville	Energy Exemplar	瞭解該公司產品 PLEXOS 軟體用於 IRP 計畫之功能、優缺點、系統建置規劃等。
11/13	Sacramento	SMUD	參訪該公司 IRP 計畫實際作業情況、短中長期電力規劃、瞭解該公司使用分析軟體之情形。
11/14	Los Angeles	SCE	參訪該公司 IRP 計畫實際作業情況、短中長期電力規劃、該公司 IRP 計畫之使用軟體之情形。
11/15	Los Angeles	GWP	參訪該公司 IRP 計畫實際作業情況、短中長期電力規劃、該公司 IRP 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

貳、研習過程內容

一、美國電業 IRP

美國電業制定整合資源規劃(Integrated Resource Planning, IRP)主要開始於第一次石油危機爆發後，在能源價格驟升下，美國建立一種整合供給及需求兩種資源的整體綜合規劃，認為電源規劃不應僅有考慮供給面的資源，需求面的管理亦須考慮，獨立的分類規劃不能解決系統整體規劃的需要，80年代起，在美國立法及監管機構將其視為增加資源多樣性和減少資源浪費的重要規劃下，IRP 越來越流行。後公用事業重組以及為了建立具競爭性的電力市場下，認為可以透過市場機制建立更完善的電力市場，因此監管機關、各電業對於 IRP 的規劃顯著減少。直到發生加州能源危機後，因為攸關民生、經濟發展，使主管機關認為 IRP 在對於電源規劃上仍是重要的，並且持續加入供給、需求面以外如政策目標等考量因素，以讓政府、各電業做出更完善的電源規劃。

電業長期規劃的發展歷程



資料來源：售電業整體資源規劃(IRP)及長短期購電規劃，德瀚資訊有限公司

目前美國已超過一半的州要求電業實施IRP，而即使沒有要求實施IRP也有類似的長程電源規範、計畫要求當地電業遵守執行。

有關加州 IRP 相關要求規定於 SB350，以下簡述 SB350 中對 IRP 要求規範：

法規	摘要
第2節	<p>節能計畫應包括運用於住宅、商辦大樓，應用技術降低住、商等建築物對能源的使用。IRP計畫可納入本節計畫以做更廣泛的能源分析評估，包括能源使用的成本效益、公或私部門能源融資方案、公共宣傳、培訓等。</p>
第17節	<ol style="list-style-type: none"> 1. 定義滿足多樣性再生能源組合的規範要求，包括可減少發電所排放之溫室氣體、電力零售價格可以維持穩定、協助滿足國家的電力資源充足性及多樣化的發電組合、對於電網營運安全提高可靠度。 2. 為了改善加州空氣品質，電力公司供應再生能源電力，管制機關必須確保售電費率公正合理。另外電力來源不受限美國，加拿大、墨西哥亦可。 3. 電力公司已經執行，並且管制機關已批准與位於加州以外的符合條件的再生能源的力購買合約，成為加州提供電力之一，這些資源將可以計入滿足可再生能源組合標準採購要求。
第19節	<p>主管機關應指導每個電力公司每年準備一份再生能源採購計劃。根據再生能源組合標準，在可行的範圍內，主管機關應要審查每個電力公司計劃，並且定期更新。</p>
第26節	<p>對能源委員會要求：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 確保電力可靠供應，來源需保有的多樣化和平衡的資源組合，並以經濟有效的方式提供可再生能源的最佳整合，發電組合應合理地在最大程度上依賴零碳排放資源。

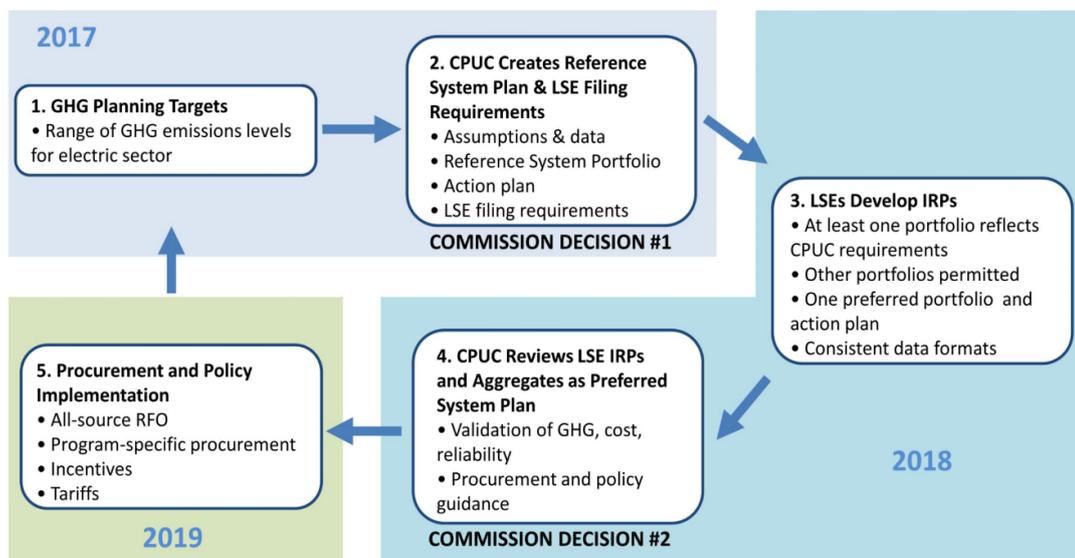
法規	摘要
	<p>2. 協助每家電力公司擬議採購計劃，以達到採購最佳和最低成本資源的策略。</p> <p>3. 允許社區選擇聚合商(Community Choice Aggregators, CCA)提交有關滿足再生能源整合建議書。如果加州能源委員會(California Energy Commission, CEC)認為此部分有助於對電力資源的長期採購，應要求社區選擇聚合商對資源作出長期承諾。</p>
第27節	<p>1. 能源委員會應對每個須提報IRP的負載服務實體(Load-Serving Entities, LSE)進行監督，並要求定期更新IRP計劃：</p> <p>(1) 滿足國家空氣資源委員會和能源委員會協調訂定的溫室氣體減量目標，用於電力部門和每個售電業者，預計2030年將溫室氣體排放量溫室氣體(Greenhouse Gas, GHG)降低到1990年水準的60%。</p> <p>(2) 每個售電業者須按能源委員會指示的時間編製並提交詳細的IRP，並接受能源委員會審查。</p> <p>(3) 到2030年12月31日止，再生能源比例(RPS)須達到50%(SB100已要求2030年達到60%)。</p> <p>(4) 使每個電力公司履行其義務，以合理的價格為客戶提供服務。</p> <p>(5) 盡量減少對使用者帳單的影響。</p> <p>(6) 確保系統和當地的可靠性。</p> <p>(7) 加強輸配系統穩定度和需求面管理。</p> <p>(8) 減少局部空氣污染物和其他溫室氣體排放，並優先考慮“健康和安全法”第</p>

法規	摘要
	<p>39,711節規定的弱勢社區。</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. 各售電業者所編製的IRP應包括短、長期電力以及降低負載需求的相關計畫。 3. 社區選擇聚合商的計畫應提交其董事會批准，並提交給能源委員會進行認證審核。其購電組合應包括短、長期以及降低負載需求的計畫。 4. 如果在IRP或根據第454.5節授權的採購程序讓電力公司核准額外採購，則委員會應確保以公平公正方式分配成本給符合第26節規定的所有客戶，LSE的客戶之間不會產生成本轉移，CCA可自行提供符合第26節規定的再生能源資源。
<p>第35節</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本節適用於電力需求超過700GWH(2013年至2016年平均)的公有公用事業(Publicly-owned utility, POU)。 2. 在2019年1月1日或之前，當地的公有公用事業管理委員會應採用IRP計畫，並且至少每五年更新一次計畫，以確保公用事業實現減碳及再生能源比例目標。 3. IRP計畫應涉及以下項目： <ol style="list-style-type: none"> (1) 能源效率和需求面資源 (2) 運輸電氣化(如電動車)。 (3) 短、長期所組成的多元化採購組合、電力相關和需求面產品。 (4) 對於能源資源充足要求： <ol style="list-style-type: none"> A 當地電力管理委員會可以授權各種來源的所有電力採購，包括需求方資源，供應方資源，以確保當地電力公用事

法規	摘要
	<p>業採購最符合(2)要求的資源組合。</p> <p>B 有關於任何IRP計劃或任何更新計劃，當地公有電力公司應依公用事業法第399.30節規定公開揭露再生能源採購相關資訊。</p>
<p>第36節</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 各電業的IRP計畫和其他相關更新計劃，應提交CEC能源委員會。 2. CEC應審查各電業IRP計畫和其他相關更新計劃。經CEC審查確定與第35節規定不符，可糾正缺陷。 3. CEC可以通過指導手冊來管理電業提交的IRP的資訊及數據。CEC首次的指導手冊應提供30天以上的書面公告，後續修正版公告不少於10天。

(二)監管機關的責任

加州公用事業委員會(California Public Utilities Commission, CPUC)必須依照 SB350 相關規定監督電業外，於 2017 年起，制定 IRP 的規則、假設、程序，實施教州統一的資源整合規劃流程。而 CPUC 本身也須做 IRP 以規劃整體加州電力系統，故會參考各個電業提交的 IRP 進行分析評估，小型電業雖不強制做 IRP，但仍會被要求提供資源規劃的負載及電力資源，以確保在系統可靠性穩定下，有供應面和需求面的最佳組合，另外也可以滿足州如減碳等其他政策目標。下圖為 CPUC 制定了兩年期(2017-2018)的 IRP 計畫流程概要：



資料來源：Proposal for Implementing Integrated Resource Planning at the CPUC

制定兩年期(2017-2018)的IRP計畫，其目的主要是在第一年評估電力部門適當的溫室氣體排放規劃目標，並確定能夠滿足減碳目標規劃的全系統資源的最佳組合。而第二年主要在規劃讓LSE為實現減碳目標而採取的一系列行動，即各LSE制訂自己的IRP計畫，並遞交給CPUC審視有無問題。一旦確立後就可在2019年執行。

CPUC與CEC兩個監管機關也訂定指導方針供電業要建立IRP規劃時參考，除了指導電業要如何編製IRP計畫外，也可以確保各電業都可以採用相同背景、假設來達到共同目標，以確保可以規劃以下的考量：

1. 電力資源：

- (1) 需求面管理目標
- (2) 推廣能源效率
- (3) 太陽能的發展
- (4) 運輸電氣化
- (5) 儲能設備

2. 規劃目標及假設：

- (1) 再生能源組合目標

- (2) 電源供過於求或電源不足
- (3) 電力設施除役假設
- (4) 電源、需求規劃假設
- (5) 輔助服務和系統備用容量之可靠性考量

每家電業所提報的IRP，CPUC等監管機關都有義務謹慎審核，除了要審核是否有符合法規各項要求外，還需審核是否達成各項目標及其合理性。倘有問題或是缺失，將請該電業重新遞交修正後IRP計畫，如2013年夏威夷電力公司被當地公用事業委員會駁回所提報的IRP計畫，主要原因為該公司的經營模式與公共政策目標、夏威夷電力客戶的需求不一致，即夏威夷電力公司的經營模式不夠穩健，在一些資本支出計畫上與公共能源政策無關，因此不被公用事業委員會接受。

因為IRP是電業預擬的執行計畫，未來各年度實際執行一定無法100%相同，各電業每年須提報電力內容標籤(Power Content Label)給CEC審核，以讓主管機關了解電業實際電力執行成果。

SCE 電力內容標籤

2017 POWER CONTENT LABEL				
Southern California Edison				
ENERGY RESOURCES	SCE Power Mix	SCE Green Rate 50% option	SCE Green Rate 100% option	2017 CA Power Mix**
Eligible Renewable	32%	66%	100%	29%
Biomass & biowaste	0%	0%	0%	2%
Geothermal	8%	4%	0%	4%
Eligible hydroelectric	1%	1%	0%	3%
Solar	13%	56%	100%	10%
Wind	10%	5%	0%	10%
Coal	0%	0%	0%	4%
Large Hydroelectric	8%	4%	0%	15%
Natural Gas	20%	10%	0%	34%
Nuclear	6%	3%	0%	9%
Other	0%	0%	0%	<1%
Unspecified sources of power*	34%	17%	0%	9%
TOTAL	100%	100%	100%	100%
* "Unspecified sources of power" means electricity from transactions that are not traceable to specific generation sources.				
** Percentages are estimated annually by the California Energy Commission based on the electricity sold to California consumers during the identified year.				
For specific information about this electricity product, contact:		Southern California Edison 1-800-655-4555		
For general information about the Power Content Label, please visit:		http://www.energy.ca.gov/pcl/		
For additional questions, please contact the California Energy Commission at:		844-454-2906		

資料來源：SCE POWER CONTENT LABEL 2017

法規規定電業至少5年一次更新IRP計畫，因各電業擁有的資源、規模、策略皆不同，所以無法要求每個電業遞交時間相同，而電業提報的IRP計畫中需說明修正一次的時間及CPUC多久會收到一次。

另外加州的能源資源規劃不只由CPUC負責，而是涉及多個州政府機構，是一個全面性的資源規劃整合，包括加州能源委員會（California Energy Commission, CEC）、加州空氣資源委員會（California Air Resources Board, CARB）以及加州獨立系統運營商（California Independent System Operator, CAISO）等單位共同研擬加州能源規劃。

舉例來說，2030年溫室氣體排放目標係由CPUC、CEC及CARB共同評估當地各電業之能力所訂定的目標，而CARB為加州空氣監督主管機關，可能會根據當時經濟趨勢和溫室氣體減量目標的進度來更新未來的溫室氣體規劃目標，將預定至少每五年檢討一次，並與CPUC等相關單位共同檢討。IRP相關法規涉及多個主管機關之權責，故需相關單位共同檢討，才能瞭解各層面之影響，倘無共同分析討論，可能會造成顧此失彼的問題，亦造成資源浪費甚至無法達到目標。

三、美國電業 IRP 程序

（一）實施 IRP 的主要步驟：

1. 設定規劃目標範圍：

統籌單位邀集相關單位召開 IRP 規劃協調會議，須由公司管理階層主持會議，確認國家、公司政策目標等大方向，如再生能源發展目標、降低溫室氣體排放量等。

2. 蒐集選項及一致程序：

提出各類可執行的選項及程序，電業第一次做 IRP，通常需要大量的時間建立模組和整合資料的準備，但同時也讓各方能共同接受 IRP 的流程、週期及程序，而成為下次 IRP 的實行模式。

3. 軟體建模及模擬評估：

進行模組建立和執行初始模擬與評估，評估模擬是否合理，軟體是否有更新，資料要定期更新以保有最新資訊。

4. 整合資源計畫評估：

各部門提出各種假設選項，透過不同的假設，做出不同的結果、目標評估各種推薦整合計畫以達成共識。

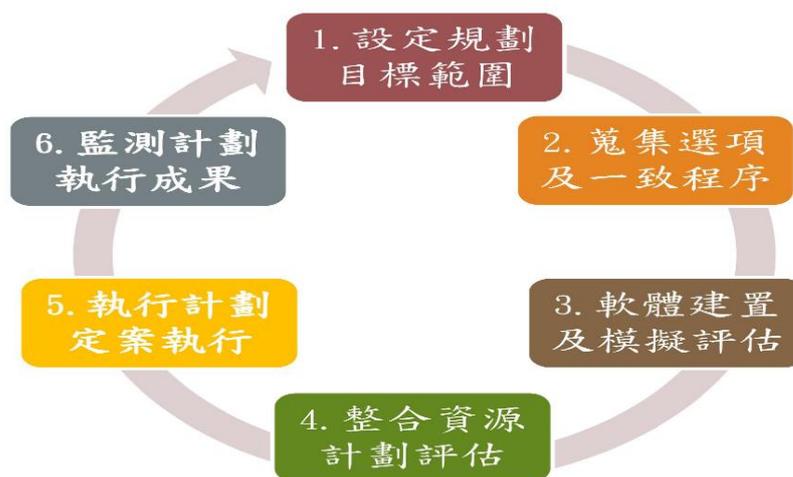
5. 執行計畫定案執行：

調整要執行的整合計畫作最終定案，並執行。

6. 監測計畫執行成果：

建立市場監測程序(應由主管機關制定及負責)以適時或必要時重啟 IRP 規劃。

進行 IRP 規劃時間通常需要 6 個月到 1 年，但電業如有複雜的電力系統甚至可能需要 18 個月才能完成。另外有部分的時間是用於民眾公聽會，透過公聽會可以讓民眾了解自己當地或是選擇的電力公司未來計畫，如果反對聲浪過大，電力公司亦可藉此依照民眾意見修改或調整 IRP 計畫。



資料來源：售電業整體資源規劃(IRP)及長短期購電規劃，德瀚資訊有限公司

(二) IRP 規劃軟體建置模組規劃

IRP 分析建置主要分為：

1. 規劃標準和目標：

屬政策、目標層面，故必須由主管機關來訂定，主管機關要有方向、目標，電力公司才能做。

2. 預測應用模型：

透過各種軟體分析預測未來趨勢以納入IRP分析中，而各個公司的軟體功能、優缺點也不同。

3. 資源採用規劃

每個部門規劃如何，例如電業需提供管制機關有關機組大修時程等以評估系統可靠度。

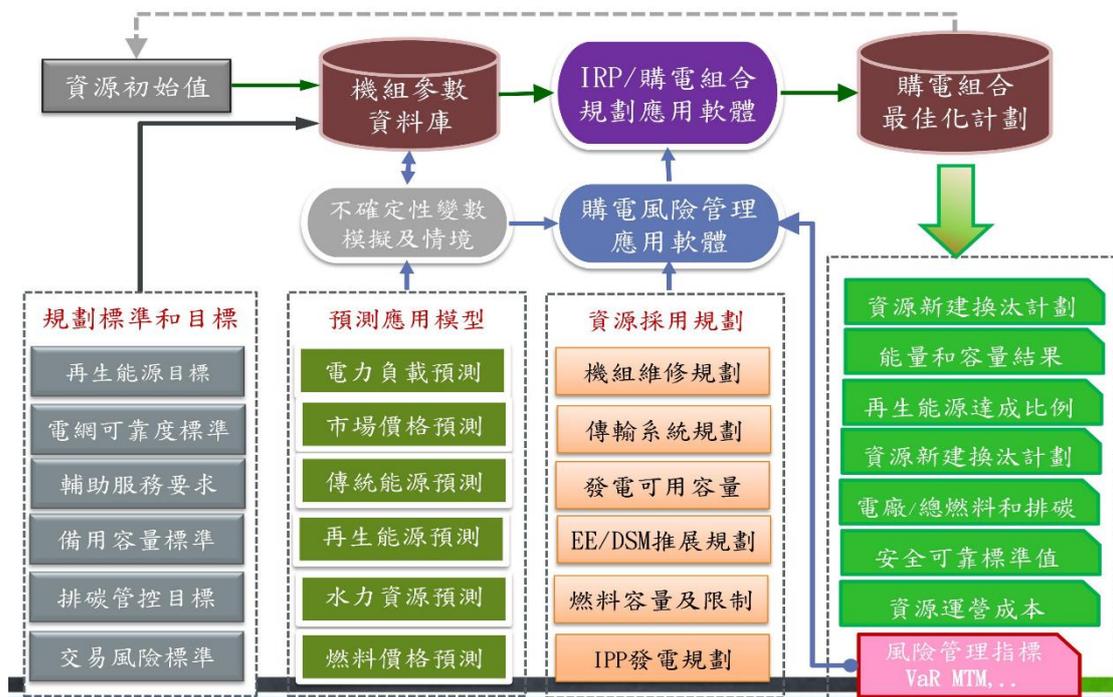
4. 風險評估：

燃料價格變化，國際油價變化。

5. 結果(執行)：

通過軟體分析後得出結果後，評估是否合理並執行。

IRP規劃軟體建置模組整合圖



資料來源：售電業整體資源規劃(IRP)及長短期購電規劃，德瀚資訊有限公司

(三) 建置 IRP 兩個模型：

IRP 通常會使用兩大類型模型，以下分別介紹：

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

通常為模擬較長時段(如月或年)，可以篩選資源長期可行的擴充選項。

(1) 優點：

- A. 提供電力系統發展的長期觀點，CEM在其建置模組框架內考慮營運和投資決策，因此有助於瞭解電力系統如何隨著時間而發展。
- B. CEM屬長期、大範圍的分析模型，例如尖峰、離峰時段，不會對系統進行詳細的時間順序調度模擬，通常採用簡化形式的調度模型，以加快計算時間。
- C. 通常只能建立區域性模型，可包括區域間的簡化傳輸容量。
- D. 在過去沒有再生能源尚未發展時，可只使用CEM模型做長期規劃。

(2) 缺點：

- A. 無法依時序做機組調度排程
- B. 沒有詳細的傳輸容量限制和電力潮流
- C. 無法做輔助服務分析與電能共同最佳化

(3) 常用之商業軟體：

Planning & Risk、System Optimizer、Strategist、PLEXOS、Aurora

- (4) 因CEM屬於長期規劃分析，通常主管機關較會使用此模型編製IRP以做政策面規劃，CPUC使用RESOLVE(Renewable Energy Solution Model)模型以規劃整體加州再生能源發展。RESOLVE亦屬於CEM中一種模型，最佳投資和運營模式，用意在處理再生能源的相關整合問題，包含：再生資源、各種儲能技術、新天然氣廠和天然氣廠改造的最佳投資、每年對可交付的可再生能源施加限制、反映再生能源政策、溫室氣體排放的年度限制、容量充足性約束以保持可靠度。該模型透過公式線性優化，為長期電源規劃提供訊息。

2. 生產成本模型 Production Cost Model(PCM)

能詳細模擬電力系統(每小時或分鐘)，並評估資源充足性及即時運作限制(如再生能源)，系統可靠度、其他物理位置限制(如輸電壅塞)。

(1) 優點：

- A. 屬短期、詳細的系統操作模組，且能有小時或分鐘的時間順序調度模擬。
- B. 可以模擬區域和節點細節(Locational Marginal Pricing)，可包括節點間的每個傳輸路徑細節，並可共同優化電能、輔助服務和時間相關的運作限制。
- C. 在有大量再生能源時，此模型可模擬即時運作限制，故必須使用PCM模型以驗證CEM規劃出的計劃是否可行。

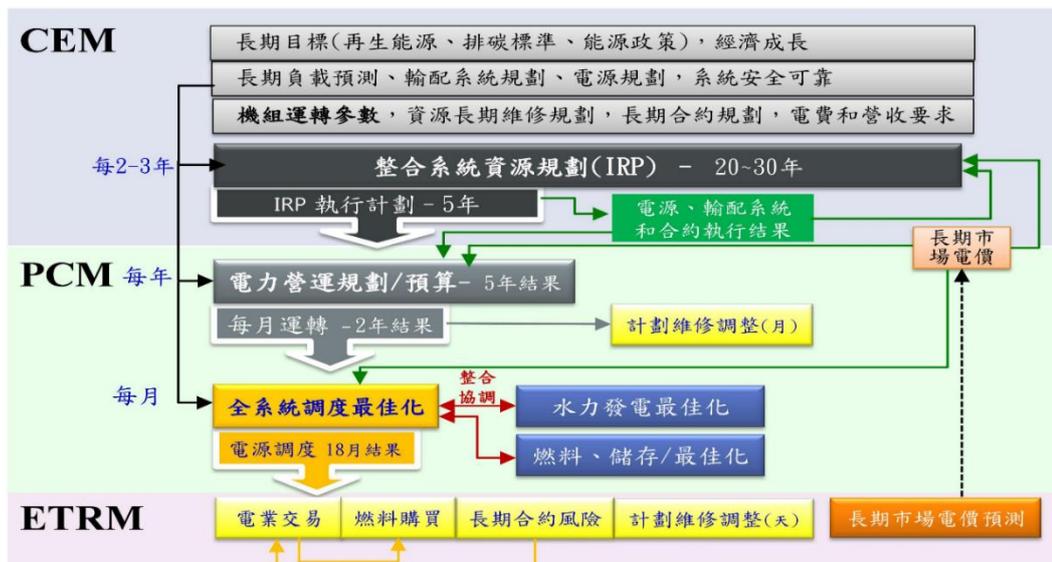
(2) 缺點：

無法快速執行模擬國家或地區的規劃。

(3) 常用之商業軟體：

PROSYM、PROMOD、PCI GenTrader、Plexos、Aurora

容量擴充模型與生產成本模型關係

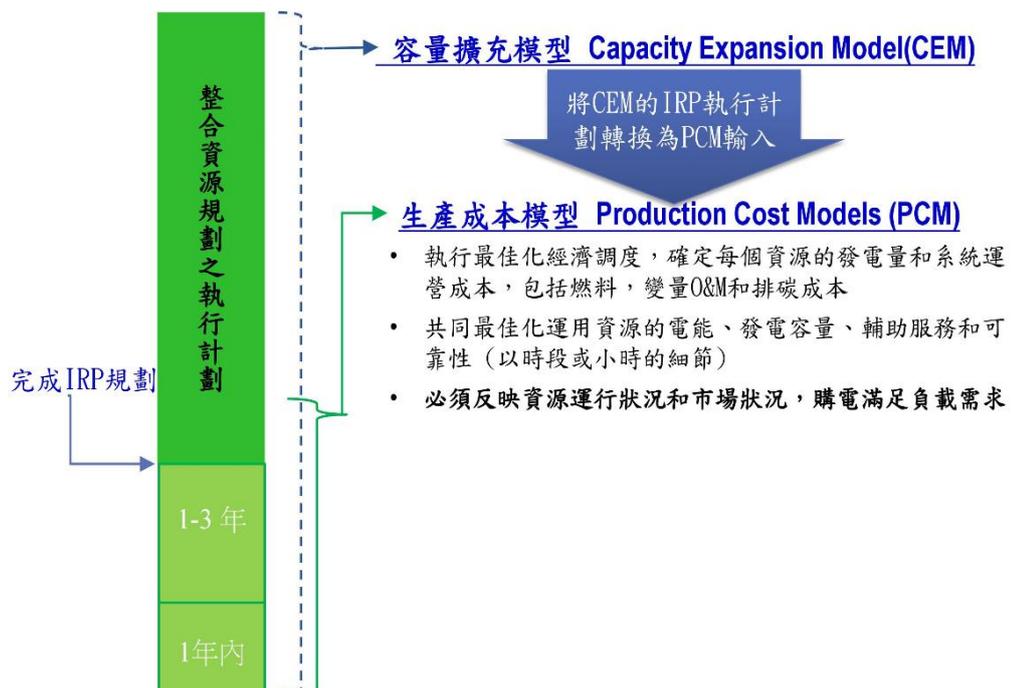


資料來源：售電業整體資源規劃(IRP)及長短期購電規劃，德瀚資訊有限公司

因為 PCM 能夠分析較細部的模擬，尤其輔助服務必須依賴 PCM

分析，故漸漸有電業捨棄 CEM，惟 PCM 屬短期分析模型，較無法分析長期趨勢，故兩個模型應互相搭配使用，不一定要有同樣結果但要有同樣趨勢。CEM 模型模擬完後，可將 CEM 的 IRP 執行計畫(通常用計畫執行的前幾年)轉換為 PCM 資料輸入，以檢視是否能有合理的模擬結果。

容量擴充模型與生產成本模型關係



資料來源：售電業整體資源規劃(IRP)及長短期購電規劃，德瀚資訊有限公司

(四) 人力資源配置

IRP計畫涉及電力公司整體規劃，故公司營運策略的相關部門都應密切參與。有無顧問公司的參與和電力公司的大小對專業人員的需求是兩大重要因素，根據美國電力公司經驗，依規模大小一般約為4-10人，分工如下(以下工作人員並非全職從事IRP工作)：

1. 專案負責人：

統籌IRP整體計畫的工作，通常都為電源開發部門對電力系統規劃有經驗的中階管理職負責，且對電力系統規劃模擬軟體有所了解。若公司內部無此方面的人才，可考量運用顧問公司的專業經驗。

2. 輸電系統規劃人員：

負責現有輸電系統之運作模型建置，以及未來對輸電系統的規劃和安全運轉之考量。

3. 電源操作或調度人員：

必須參與所有發電機組的模型建置和校定，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，另還有水力規劃人員參與水資源的運用調度和未來規劃。

4. 業務部門人員：

負責提供用戶端的需求管理、節能專案的現況及未來規劃，而近年來急速增加如儲能設備、電動車等議題也是未來重要的規劃方向，另外業務部門也必須和電源開發部門對未來負載預測有密切的協調。

5. IRP規劃軟體的專業人員：

是IRP計畫的關鍵，小型電力公司大多藉由顧問公司的專業資源，故就不需增加每年商業軟體的使用版權費，但大型電力公司會培養公司內的人材，在不做IRP規劃時(IRP通常2-3年修正一次) 做其他的規劃工作，而不論電力公司是否培養內部專業人員，一定會有顧問參與以吸取其他電力市場或各國的經驗。

(五) PLEXOS

由上述可知，IRP計畫必須要有CEM及PCM兩個模型搭配使用，市面上的分析軟體眾多，各有特點，有部分軟體皆可用於CEM或是PCM模型，PLEXOS是其中之一。本次出國實習有幸可以參訪該軟體商- Energy Exemplar，故以下就對該軟體概述說明。

Energy Exemplar 專注於以最佳化為基礎之電力市場建模架構的技術上，於1999年建立PLEXOS。該軟體被使用於電力、油、氣及水力等產業之應用，其中有關電力分析部分，包含IRP計畫、再生能源整合計畫、機組資源最佳化、各項風險分析、投資組合管理評估、市場及政策分析、電能及輔助服務共同最佳化、及調度最

佳化等應用。

PLEXOS 之功能

Generation Planning/ Budgeting	<ul style="list-style-type: none">• Integrated resource planning• Budget projections• Detailed generator analysis• Assess RPS and environmental policies
Market Assessment/ Strategy	<ul style="list-style-type: none">• Zonal & Nodal price forecasting (hourly &/or sub-hourly)• Scenario based and probabilistic• Risk & Portfolio analysis• Market design and policy analysis
Transmission Planning	<ul style="list-style-type: none">• Frequency and value of constraints• Production cost impacts• Infrastructure studies
Trading Support	<ul style="list-style-type: none">• Short term analysis (often nodal)• FTR analysis• Highly automated (e.g. data feeds)

資料來源：Energy Exemplar

PLEXOS 的電力長、中、短期分析功能及應用：

1. 長期最佳化功能(Long Term Optimal Investment)及應用：

分析規劃期間的最佳化、容量擴增及機組大修除役評估等需要評估長期資本回收及電源充足性之分析工作，長期規劃的時間橫跨可從10年至30年不定。PLEXOS的長期規劃可在確定性或隨機模式下運行，例如在隨機模式中，可在面對不確定性情況時找到最優建構決策集，例如：負載，燃料價格，水電流入或風力發電。

2. 最佳大修/檢修規劃(Optimal Maintenance Scheduling)應用：

可處理大修期程安排以及計算系統供電可靠度之評估。

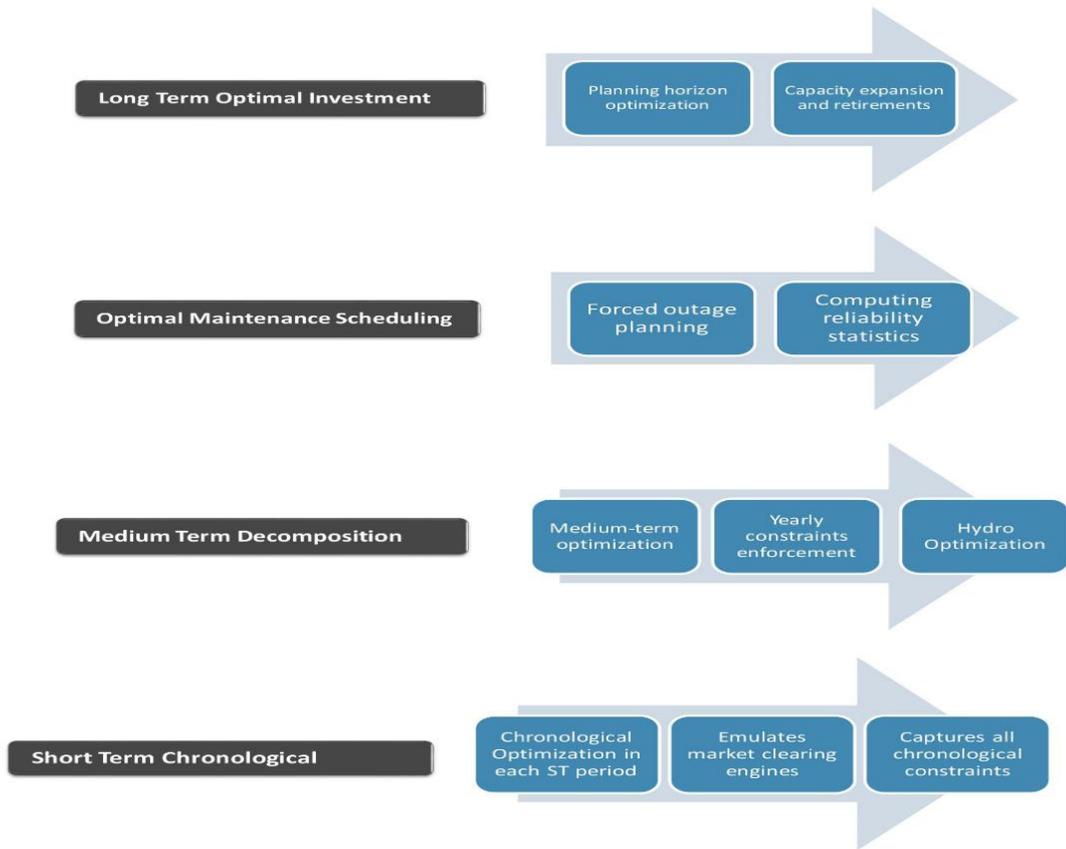
3. 中期規劃(Medium Term Decomposition)功能：

可用於處理約1年期內的規劃工作，包含年在度採購合約限制、燃料限制、排放限制、年度水力運用等條件下，各項機組發電排程安排。

4. 短期排程(Short Term Chronological)：

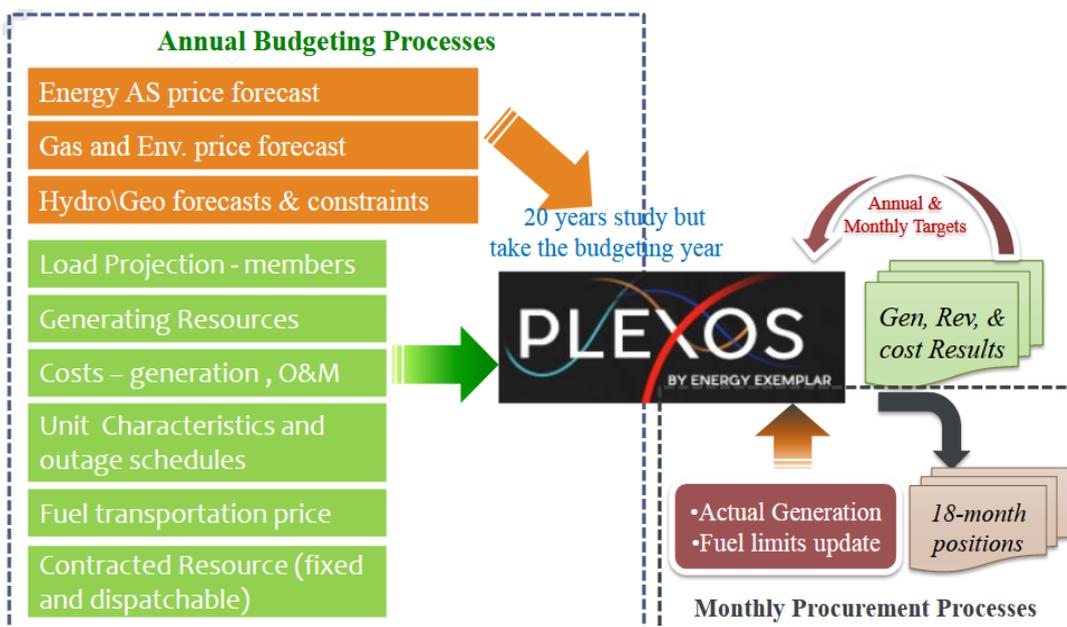
分析各項時間有關之限制條件，如機組升降載率、起停時間、即時機組狀況、再生能源發電變動及市場價格波動等因素。因為是專門分析短時間資料的模式，如果每個步驟越長，則分析執行時間就越長。

PLEXOS 長、中、短期之應用



資料來源：「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」，吳進忠、蔡金助

PLEXOS 用於一年計畫之應用



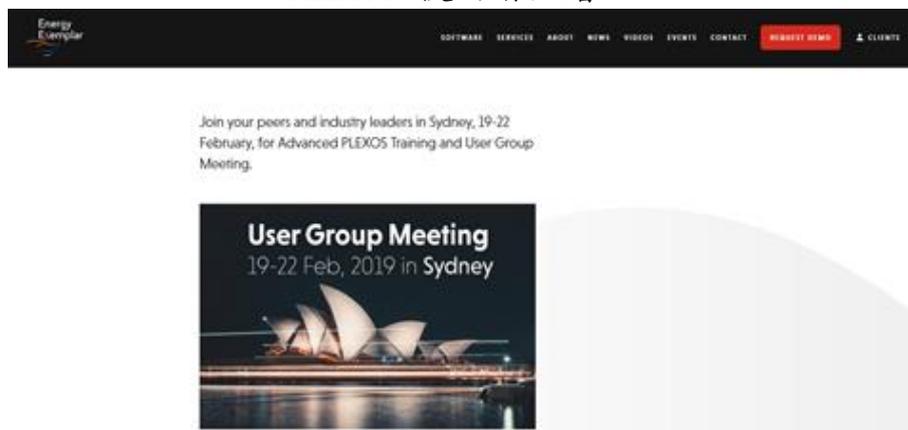
資料來源：售電業整體資源規劃(IRP)及長短期購電規劃，德瀚資訊有限公司

PLEXOS 的特性是系統模型、資料只需要建置一次，應用於不同的情境時僅需調整需要考量的不同限制條件，即可得到不同應用目的的最佳解。而長期的資料分析結果可用於中期分析時使用；中期分析結果亦可用於短期的計算時使用。每階段之結果可有較為緊密之關連性，有助於對於即時調度之計畫提高正確性。使用者可以只執行長期分析，也可以中、短期規劃一起案次序執行，長期規劃一旦確定投資決策，其結果會自動傳遞至整合規劃，以進行更詳細的分析。

PLEXOS 具備模擬細小時間的能力，在目前各國注重再生能源發展下，該部分的分析相當重要，前述已說明再生能源不穩定，須要用較小的時間間隔來模擬再生能源的快速變化，故必須使用 CEM 來模擬分析，而 PLEXOS 即具備此種功能，可模擬再生能源較小細節（如 5 分鐘）的能力，因此常被用於執行含有再生能源的 IRP 計劃中。

PLEXOS 保有讓使用者選擇其喜好之解法器的彈性，可支援目前數種常用的商業解法器進行共同最佳化與數學的架構模擬，使其可以在線性規劃與中、短期模擬整合。該軟體有提供開放建置模型平台，除了讓使用者可清楚瞭解問題被處理的方式外，也讓使用者導入數學公式並允許使用者定義自己的模型限制式。另 Energy Exemplar 每年會舉辦 PLEXOS 的使用者大會，藉由世界各國的使用者分享經驗來互相學習交流，可以更廣泛了解 PLEXOS 在電業應用。

PLEXOS 使用者大會



資料來源：Energy Exemplar

PLEXOS可廣泛的運用於電業，不同的電業用戶使用PLEXOS處理不同的問題，ISO主要應用於電力市場設計、發電計畫、系統可靠度評估、再生能源整合、輔助服務及政策分析等工作，而一般電力公司(綜合電業)則多運用於燃料用量規劃、水力發電排程運用計畫、儲能設備規劃、容量擴充分析及輸配電經濟評估等應用。

然而各電業因資金成本、規模、用途等考量，各電業會選擇對最適合的軟體來使用，例如本次參訪的GWP為規模較小的電業，其電力系統及資源可能較簡單、較少，就不需購買如PLEXOS較高級且相對昂貴的分析軟體，以下是電業使用軟體的整理：

電業	規劃軟體	類型	備註
Northwest Power	Plexos	綜合電業	
Puget Sound Energy	Plexos	綜合電業	
Hawaiian Electric	Strategist	綜合電業	
PG&E	Plexos	綜合電業	著重於儲存電能
SFPUC	Plexos	綜合電業	
Southern Company	Aurora*/PROSYM	綜合電業	只用於中期預算
SMUD	Plexos	綜合電業	
SCE	Plexos	綜合電業	用於顧客端資料分析
GWP	Powersim	綜合電業	
Pacific Corp	System Optimizer/PaR	綜合電業	
CAISO	Plexos	電力調度中心 (ISO)	電能規劃
MISO	Plexos	電力調度中心 (ISO)	電能規劃

*Aurora 於2018由Energy Exemplar收購，Aurora用戶將被更換使用Plexos
資料來源：簡易電力交易平台運算核心軟體評估完成報告、「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」，吳進忠、蔡金助

Plexos 缺點：

經參訪美國電業使用心得，Energy exemplar 屬於小型公司，雖然該公司宣稱一周有 6x24 小時可以支援使用者，但似乎仍無法即時支援，沒有充足的人力資源能力對其客戶實施全面性的諮詢服務，每當有問題要更改時常找不到人，所以必須仰賴外面的顧問公

司。另外，Plexos 能在最佳化做到每小時、每分鐘的資料細節，但無法提供在 Plexos 基本軟體介面 (GUI) 的顯示細節，如每小時的負載預測、再生能源每十五分鐘一筆的發電預測，Plexos 不提供基本軟體介面讓使用者在 Plexos 內看到資料或更改資料，再直接用在最佳化。如此將不利於日前及時前市場調度交易排程時，因為每小時的細節相當重要。

四、電業 IRP 長期計畫簡述

一般而言，各電業在 IRP 中所關注不外乎是供給面、需求面、成本、政策目標等因素，將這些資料、情境因素輸入軟體進行綜合分析，可以讓電業對未來經營做分析規劃，並且由電業、投資者、主管機關之間做互動性評估，讓資源利用做最大化效益。

IRP 流程中輸入的因子

負載預測	供給
現有資源	負載需求管理、分散式能源
經核准的目標	能源效率
政府政策及公眾意見	輸、配電
環境因子(溫室氣體排放、再生能源比例)	替代資源/技術
資源除役	模擬情境設定
運輸電氣化(電動車)	價格

資料來源：簡易電力交易平台運算核心軟體評估完成報告

透過 IRP 能確實評估各項電力系統組合、電力資源運轉限制、需求面管理及能源效率等資源，這些規劃評估將提供電業如何達到政策要求或目標的選項，電業在長期規劃中所考量的項目大約有：

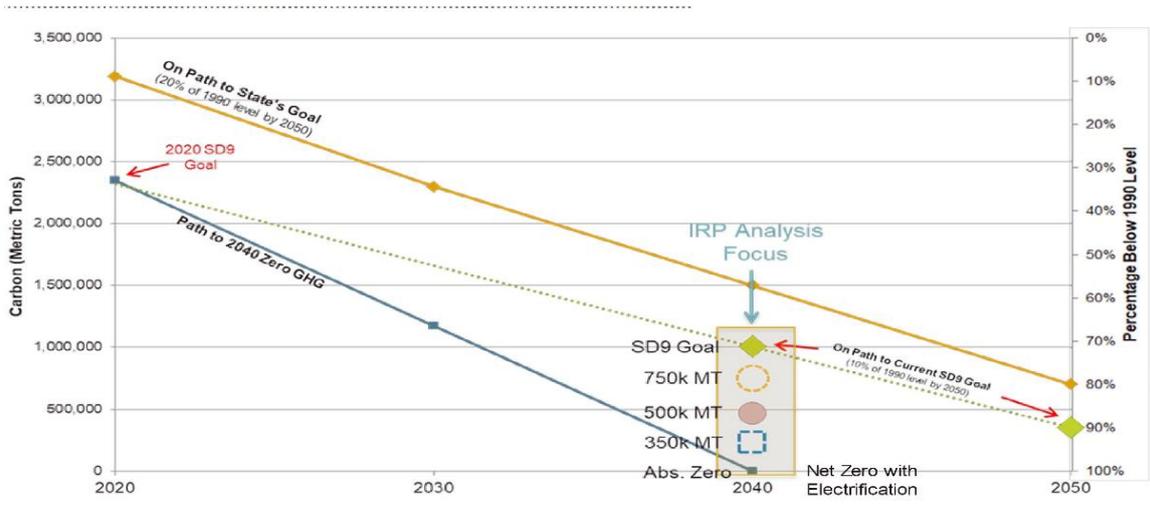
- 新建與除役機組的規劃分析
- 機組設計和財務考量下的使用年限
- 受限制之燃料分析

- 政策目標，例如溫室氣體排放量限制與再生能源目標
- 水力發電儲水目標與水資源排放規則
- 模擬未來電業資金成本變化
- 風力、太陽能、與電池儲能系統規劃時程

各電業在經過各方面分析、評估下，大多會再設定不同的情境、假設，做出優於原政策要求的目標，以本次參訪之SMUD為例，除了依州政府法規要求規劃，於2050年前將溫室氣體排放量降低到1990年水準的20%外，基於該公司友善環境政策，還訂定了SD-9計畫(於2050年前將溫室氣體排放量降低到1990年水準的10%)、以及完全零排放(2040年完全零排放，燃氣電廠完全退役)的計畫。

SMUD的IRP不同情境規劃

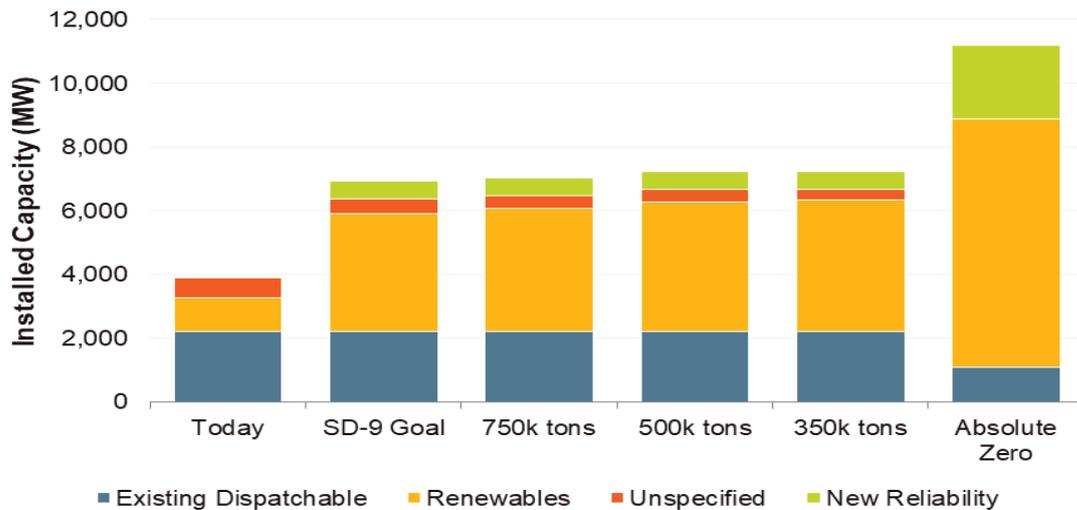
IRP Scenario Analysis



資料來源：DRAFT SMUD IRP-Scenarios Summary Report

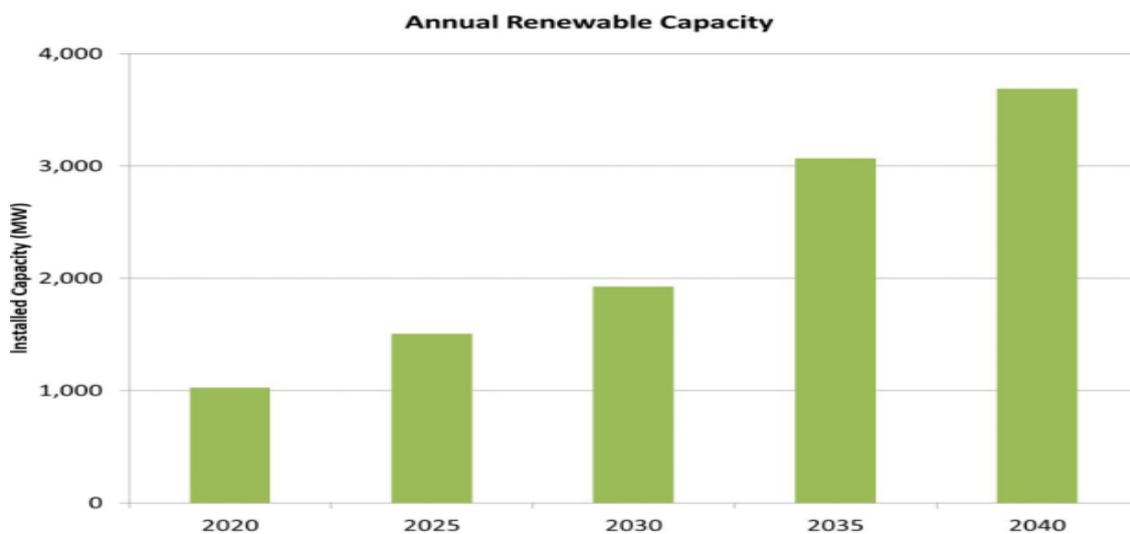
經 SMUD 分析，為達到加州政府政策及自行規劃的 SD-9 目標，將需要對額外大量投資包括風力，太陽能和地熱等再生能源。SMUD 現有的電力組合約有 1,000MW 的再生能源系統，到 2040 年，總共需要約 3,700MW，才能維持 SD-9 計畫在 2050 年實現。在完全零排放計畫中，則需要 SD-9 計畫的 3 倍儲能設施及更多再生能源設備等條件才能達到目標。

SMUD 分析各情境所需之發電設備



資料來源：DRAFT SMUD IRP-Scenarios Summary Report，SMUD

SMUD 評估每年再生能源成長情形



資料來源：DRAFT SMUD IRP-Scenarios Summary Report，SMUD

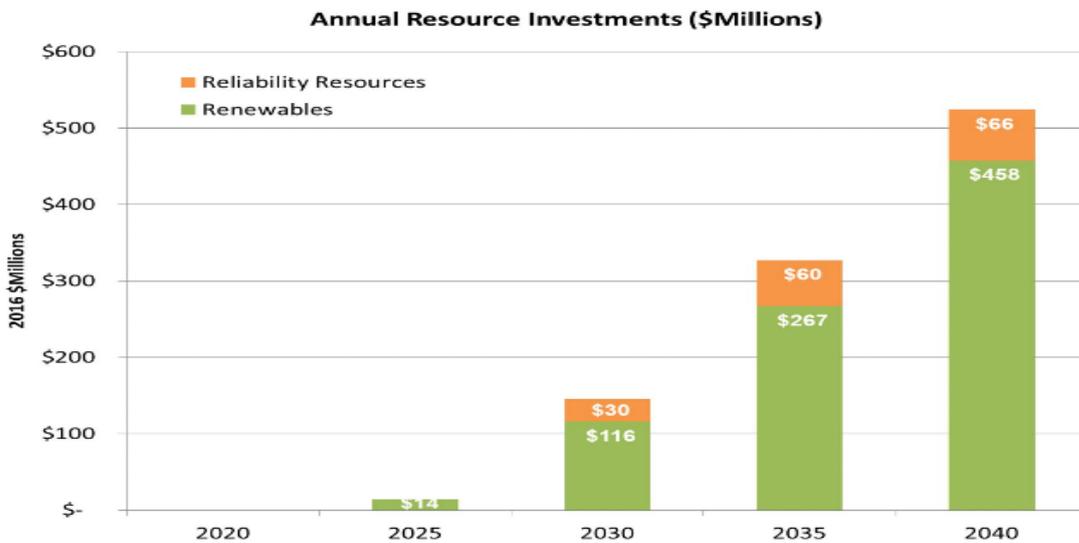
除了評估未來電力系統供給外，還須衡量公司財務支出面，以及影響售電電價幅度如何。軟體分析，因為在沙加緬度市實施高度減碳政策下，必須以相對成本較高之再生能源發電，以及評估未來用電將成長，故溫室氣體減量目標越多，影響售電電價幅度越大，SMUD檢討認為雖然售電電價將提高，影響用戶電費，但可以減少傳統發電能源的使用，以達到減碳目標。另外也認為未來技術進步，再生能源成本將下降，以及未來經濟發展、用電需求都還需要定期檢討分析。

SMUD評估對電價影響

	SMUD2018 Budget	2040 Scenarios Results				
		SD-9 Goal 1000k MT	750k MT	500k MT	350k MT	Absolute Zero
Average Residential Monthly Bill	\$103	\$178	\$182	\$185	\$186	\$451

資料來源：DRAFT SMUD IRP-Scenarios Summary Report，SMUD

SMUD 評估每年投資金額

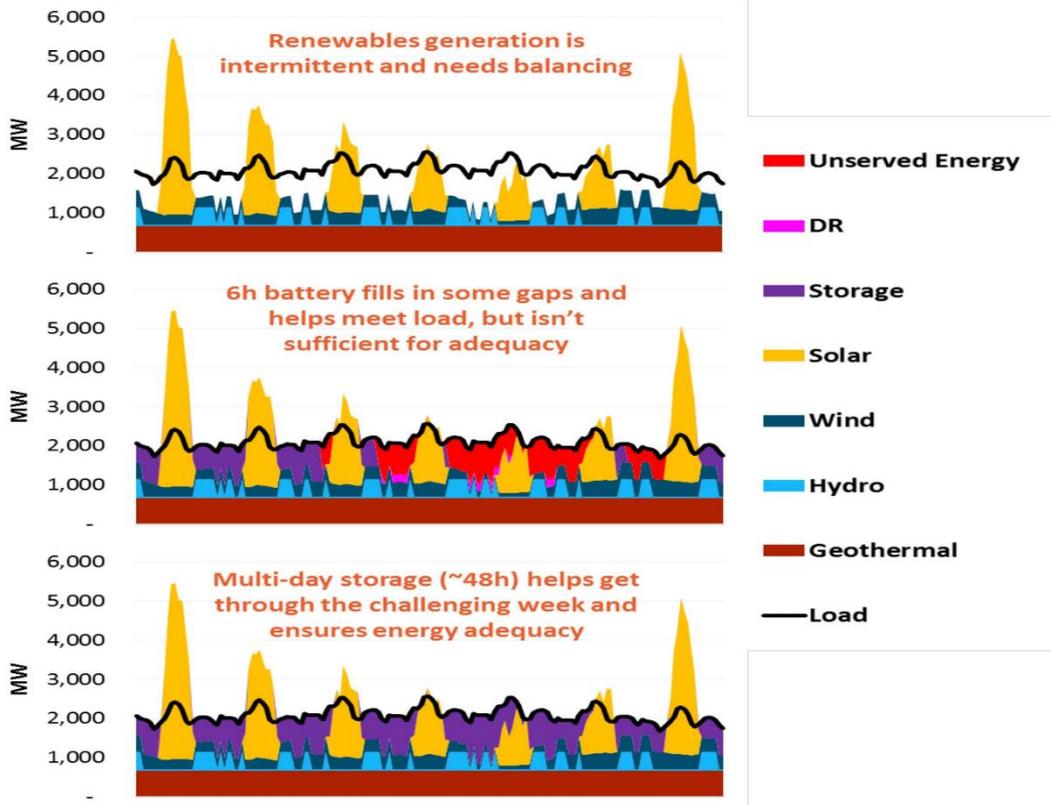


資料來源：DRAFT SMUD IRP-Scenarios Summary Report，SMUD

除了分析需電源規劃發展計畫及相關成本外，還必須考慮到電源可靠度問題。因為再生能源不穩定特性下，又必須發展大量再生能源系統，這就變成很重要的課題，必須依賴更多儲能設備及相關技術協助以應對極端天氣，備轉容量和意外停機。在間歇性再生能源比例很高且幾乎沒有可調度發電電源的系統中，儲能有助於提高系統可靠性能力，因此必須提高儲能設備技術。下表為SMUD評估結果，經分析儲能設備的能力必須提高至48小時才可解決電力系統穩定度問題。

SMUD 評估儲能設備

Figure 8: Resource adequacy analysis for a challenging period in the Absolute Zero scenario.



由於在SD-9的計畫中SMUD仍保留燃氣電廠的使用，及增加成本較低的再生能源(區域發展較成熟)，因此相對於完全零排放計畫，所支出的成本較低。對於完全零排放計畫而言，由於須將現有燃氣電廠退役及大量建造再生能源和儲能設備，成本會急劇增。但在評估分析後，即使完全零排放計畫成本高於SD-9計畫成本，SMUD仍有信心在2040年達到碳零排放的目標。SMUD特別評估於2040年達到碳零排放的可能，最後以下三方案選擇：

1. 投資並支持當地運輸系統和建築用途的轉型
2. 投資非當地再生能源
3. 付出額外的碳補償費用。

如何決定何種執行方案需經公司管理階層及董事會決議，SMUD決議採用方案一，透過在當地投資的方式如提升電動車使用率、改建各建築物以提升節能、輸配電系統升級，電動車輛充電基礎設施，客戶的教育及激勵計劃等計畫，同時發展大量再生能源，經分析，在2040年達成零

碳排放的目標下，此方案的財政支出在三方案中為最低外，另外SMUD及該市政府認為這是一個經濟轉型的時機點，透過當地投資的方式，除了改變經濟生活型態，亦可創造就業機會、新商機，因此SMUD決議使用方案一來達成2040年零排碳目標。

IRP Options

- **Option 1 – \$6.5 B total costs**
 - 1.35 Million MT by 2030
 - Net Zero in 2040***Board Approved IRP Option***
- **Option 2 – \$6.8-\$7.3 B total costs**
 - 1.35 Million MT by 2030
 - Net Zero in 2040
 - Additional GHG reduction of 250/500/650k MT from investments in non-local renewables
- **Option 4 – \$6.6 - \$6.7 B**
 - 1.35 Million MT by 2030
 - Net Zero in 2040
 - Additional GHG reduction of 250/500/650k MT from purchasing offsets

資料來源：SMUD-IRP Presentation Overview，SMUD

IRP 的規劃、訂定依賴於眾多規劃假設，這些假設有助於在各種情況下對電業的電力系統規劃進行模擬分析，顯示不同的計劃目標如何影響電業營運、收入、可靠性和成本。雖然這些假設和情景理應是合理適當的，並且使用最佳模組技術進行模擬，但 IRP 計畫是屬於政策、模擬預測的規劃方式，因此必須定期更新 IRP，以反映市場變化趨勢，從而調整電業的資源規劃投資計畫，SMUD 的 IRP 計畫會每五年重新評估、修正，並參考董事會及公共意見。

參、心得與建議

- 一、修正後電業法 106 年 1 月 26 日開始實施，依新電業法規定，廠網分離後的公用售電業需承擔備用供電容量及電力排碳係數等義務。而過去電源規劃大多僅考量供給面部分，往往忽略需求面的分析，其他如政策、法規要求、市場趨勢等因素影響程度越來越多，如不考量以上因素，或是只個別分析檢討，除影響財務成本外，恐造成錯誤的評估，進而做出錯誤決策影響電業經營。故公用售電業為因應前述法規義務及市場變化，應該建置一套分析系統，透過數據化、系統性的分析，以利公用售電業規劃電源組合，建立最佳購電策略，以降低購電成本及風險。
- 二、透過整合資源規劃的方式可將前述各種因素整合分析，替電業找出一組最合適的方案來達成目標，並協助電業訂定長期電力系統規劃。美國電業在法規規定前，已有部分電業類似 IRP 相關長程電源規劃，只是內容程度的不同，其目的都是為了自身營運管理，提升經營效率，透過這些數據化分析，做出對公司最有利的決策。另外透過 IRP 的整合性系統分析，亦可作為對外說明各項費率訂定過程中的成本合理性，國外電業甚至舉辦公聽會，讓社會大眾了解並決定未來能源發展方向。故不論是否有法規要求，本公司都應編製 IRP。依修正後電業法規定，預計 112-115 年廠網分離，在廠網分離後，雖然母公司可能仍有電源規劃分析，惟公用售電業必須負擔備用供電容量及碳排係數等法定相關義務，為避免因各種因素導致公用售電業不符規定而遭受罰款，故有必要自行編製 IRP 分析評估的能力以建立最佳策略，因此在未廠網分離階段就必須要向電源規劃、調度、電廠興建、運轉等相關單位學習其業務，培養規劃能力。再者，公用售電業應該及早建構專責組織，以面對各種法規要求及市場急速的變化。本次參訪之 SCE 為因應近年經營環境與管制機關之政策與管制內容要求之變化，以確保採購作業與系統運作順利進行，故對電力採購部門進行改組，可供本公司參考，SCE 將電力採購單位分為

電源組合規劃與分析、能源契約、電力交易作業、結算作業與管制規章支援等五個處(department)，而各處又有細分不同部門(division)：

1. 電源組合規劃與分析處(Portfolio Planning and Analysis)：

負責需求與價格預測、建立基礎模型分析輸電容量限制、建立投資組合開發與評估、採購預算及成本對其電價衝擊分析技術等工作。SCE 的 IRP 計畫就是該單位負責籌畫及編制。

2. 能源契約處(Energy Contract)：

負責合約管理業務活動、評估提案雙邊合約及執行雙邊合約談判、負責 SCE 執行之所有與電力能源合約的行政管理。

3. 能源交易與營運處(Trading and Energy Operations)：

負責 SCE 實際營運，將 SCE 之各投資組合最佳化，包括前一日市場營運 (Day-Ahead Operating)、即時市場營運。

4. 結算作業處(Settlement and Operations Services)：

確保結算作業流程，包括確保電力供應營運部之所有產品合約能作適當結算、支援一般電力採購之報告、法規遵循與結算作業需求等。

5. 管制規章支援處(Regulatory Support)

主要負責各層級管制機關之管制政策之發展、支援與支持，並在相關研討會上代表 SCE，並管理 SCE 參與 CPUC、CEC、CAISO 其他監管機構的管制活動。

三、 本公司尚無編制 IRP 的經驗，其人員規劃及使用的分析軟體都是課題，以下分述建議：

(一)人員規劃：

根據美國電力公司經驗，依規模大小一般約為 4-10 人，因為

IRP 計畫可能是 2-3 年編製一次，故小公司大多會藉由顧問公司的資源，就需要增加每年商業軟體的使用版權費。而以本公司規模應要有自行規劃的能力，除了可請顧問公司協助外，也須培養自己的專業人才，尤其需要對電力系統規劃、資訊程式背景的專業人員。

(二)分析軟體：

雖然國外有眾多分析軟體，每個都有獨特的優點，鑒於本公司有其他單位使用 PLEXOS 軟體的相關使用經驗，除了分析維持一致性外，亦可借取其經驗學習，故建議可以使用 PLEXOS 做為以後 IRP 計畫的使用軟體。

肆、誌謝

感謝公司各級主管給予本次赴美實習的機會，感謝 Energy Exemplar、Sacramento Municipal Utility District、Southern California Edison、Glendale Water & Power 樂意撥空與本公司意見交流，並承蒙蔣佳佑博士熱心照料及台綜院積極安排與聯繫，謹致上最深的謝意。

伍、參考資料

- 一、售電業整體資源規劃(IRP)及長短期購電規劃，德瀚資訊有限公司。
- 二、Proposal for Implementing Integrated Resource Planning at the CPUC，California Public Utilities Commission。
- 三、Publicly Owned Utility Integrated Resource Plan Submission and Review Guidelines，California Energy Commission。
- 四、公務出國報告「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」，吳進忠、蔡金助。
- 五、簡易電力交易平台運算核心軟體評估完成報告，台灣電力股份有限公司 106 年度研究計畫 TPC-006060000301。
- 六、DRAFT SMUD IRP-Scenarios Summary Report，Sacramento Municipal Utility District。
- 七、IRP Presentation Overview，Sacramento Municipal Utility District。
- 八、SCE 2015 General Rate Case- Generation Volume4 Power Procurement，Southern California Edison。
- 九、Energy Exemplar Overview，Energy Exemplar