



台電工程月刊

MONTHLY JOURNAL OF TAIPOWER'S ENGINEERING
第816期 105年8月號 Vol.816 August 2016

核能發電：

安全評估程式GoldSim源項模組驗證與技術開發.....陳智隆.....(1)

輸 變 電：

耐震接頭於國內潛盾工程之應用.....王東海 等.....(13)

屋外型電纜終端匣異音檢修處理報告.....王俊仁 等.....(23)

配 電：

擴大配電規劃需求功能整合應用研究.....王耀村 等.....(30)

電力系統：

我國電業自由化下之台電公司廠網分離規劃與探討.....楊豐碩 等.....(50)

工程技術：

設計及應用氫氧混合供應系統改善引擎廢氣排放.....陳昆煜 等.....(72)

其 他：

各國電力需求面管理最新發展趨勢研析.....吳宇軒.....(82)

誠信 關懷 服務 成長
Integrity Caring Service Growth



台灣電力公司編印



台電工程月刊

第 816 期
中華民國 37 年 9 月創刊
中華民國 105 年 8 月出版

【出版宗旨】

1. 介紹最新電力科技
2. 鼓勵從業人員發表實務經驗論文
3. 推廣研究成果之應用，提昇電力技術水準

【發行人】：朱文成

【主任委員】：蒯光陸

【總編輯】：林正義

【副總編輯】：王金墩

【外文編輯委員】：林宗賢

【財務委員】：張兆瓊

【編輯委員】：吳有基 吳明勳 徐真明 郭政謙 王金墩 呂天泰 沈宗華

吳瑞賢 何錦洪 林蒼喬 花敬翰 涂秀錦 侯明亮 洪紹平

范振理 曾重富 楊金石 蒲冠志 廖鴻徹 蔡世育 劉建勳

劉至瑄 鄭錦榮 鍾年勉 鍾輝乾

【顧問】：王振勇 王耀庭 李清雲 李清課 吳士襄 陳永享 陳慰慈

陳建益 黃凱旋 張武侯 蔡顯修 顏德忠 簡福添 蕭勝任

【執行編輯】：詹凱婷

【發行所】：台灣電力公司綜合研究所（100台北市中正區羅斯福路4段198號）

【展售門市】：國家書店松山門市（104台北市松江路209號1樓，02-2518-0207）

五南文化廣場台中總店（400台中市中山路6號，04-2226-0330）

【訂價】：全年 12 期 1200/1080/1440 元（紙本 / 電子 / 紙本 + 電子）

學生經校方證明，全年 12 期 360/360/480 元（紙本 / 電子 / 紙本 + 電子）
（國外郵資及手續費另加）

【帳號】：58115464909990（台灣銀行公館分行）

【戶名】：台灣電力股份有限公司

【投稿及訂閱地址】：100 台北市中正區羅斯福路 4 段 198 號

電話：(02)2360-1095 電子郵件：d53106@taipower.com.tw

【排版印刷公司】：九易數碼科技印刷有限公司

220 新北市板橋區府中路 175 號 1 樓 電話：(02)2966-0816

台北郵局許可證台北字第 2723 號

中華郵政台北誌第 544 號執照登記為雜誌交寄

安全評估程式 GoldSim 源項模組驗證與技術開發

The Verification and Development of Source Module in Safety Assessment Code—GoldSim

陳智隆*

Chen, Chih-Lung

摘 要

放射性廢棄物最終處置安全評估根據合理的品質程序包括程式安裝測試、程式驗證與確認，和分析紀錄等，可增進模型建構與分析結果的信心。程式運算人員若具有相關專業背景或通過相關人員資格檢定，且確實執行與理論解析解或其他程式運算的數值解結果分析比較，則可強化程式驗證與確認的程序、提升模型建構與分析結果的信心，並解決「垃圾進、垃圾出」的疑慮。本研究透過五個源項模組案例，確實瞭解安全評估程式 GoldSim 中，單一處置容器破壞形式與整體處置容器破壞分佈的交互作用，以確保運用 GoldSim 進行源項核種外釋模擬時的正確性。以 GoldSim 模擬核種從廢棄物本體擴散外釋現象，並與本研究提出的解析解進行比較，結果顯示建構考量吸附作用、衰變作用和擴散作用的 GoldSim 模型，能吻合理論解的結果，證實本研究提出之擴散理論方程式的正確，且能確實運用 GoldSim 程式來模擬核種擴散現象。本研究結果可作為運用安全評估程式 GoldSim 之程式驗證與確認的參考。

Abstract

A reliable radioactive waste final disposal safety assessment should be based on assurance of reasonable quality procedures, which include sound program installation and testing, program verification and validation, and data record, etc. To improve our confidence in model construction and results of the analysis, the program execution personnel must have professional background or pass a qualifying test, and are capable of performing the comparison of theoretical analytical solution or numerically analyzed results by other analysis programs. This way, the verification and validation procedure can be strengthened, the confidence in the model and analysis results can be promoted, and the problems of "garbage in, garbage out" can be avoided. In the study, five cases of GoldSim source module are applied to understand the interaction between single disposal container failure type and entire container failure distribution mode, and to confirm the correctness of application of nuclides source release simulation by GoldSim. GoldSim is used to simulate 1-D nuclide diffusive phenomenon from radioactive waste, and the results are to be compared with the analytical equation provided by this research. The results show that the application of GoldSim with adsorption, decay and diffusive effect coincide with the results of theoretical solution. It proves

*行政院原子能委員會核能研究所

the correctness of provided analytical diffusion equation, and utilization capability of GoldSim to simulate nuclide diffusion phenomenon. The consequence of the research can be used as reference for program verification and validation of safety assessment code - GoldSim.

關鍵詞(Key Words)：GoldSim、源項(Source)、驗證(Verification)、擴散(Diffusion)。

壹、前言

放射性廢棄物最終處置安全評估，主要根據場址調查資料，運用評估程式，建立符合該場址特性的分析模型，並進行模型的模擬分析。安全評估結果最被挑戰的地方在於：如何確認模擬結果的可信。由於分析模型的建構和模擬乃運用合理的科學原理與假設，因此通常根據合理的品保程序以增進模型建構與分析結果的信心。合理的品保程序包括程式安裝測試、程式驗證與確認(Verification & Validation, V & V)，和分析紀錄。程式安裝測試主要在確認程式被安裝在合適的作業系統和硬體設備上，並依據合適的安裝程序進行程式安裝與測試，作法上可依循程式本身提供的操作手冊進行安裝，並運跑程式本身提供的案例進行測試；程式驗證與確認主要在確認程式運跑人員和程式本身具有解決問題的能力，作法上包括運用程式與理論解析解或其他程式運跑的數值解結果進行比較；分析紀錄，主要在紀錄對問題的解決過程與結果，作法上通常會將輸入參數、分析模型和運跑結果予以紀錄。上述三個主要品保程序中，分析紀錄是最被詬病之處，也是最常被說成：「Garbage In, Garbage Out」的爭議點，會有這樣的問題導因於程式驗證與確認程序的不確實。因為程式運跑人員若具有相關專業背景或者通過相關人員資格檢定(如焊接人員資格檢定或非破壞檢定人員資格檢定等)，並且確實執行與理論解析解或其他程式運跑的數值解結果的比較，則在進行模型建構與分析結果的研判上將更有信心，也不易發生所謂之「Garbage In, Garbage Out」問題。

GoldSim 程式已在國際間(如美國^[1]、法國^[2]、西班牙^[3]、芬蘭^[4]等)被廣泛運用於放射性廢棄物最終處置安全評估，我國亦運用此程式發展最終處置安全評估技術，並針對此程式分別進行區塊模組^{[5]-[6]}、管流模組^{[7]-[8]}、離散裂隙模組^[9]及生物圈核種遷移模式^[10]的技術驗證和發展，並藉此開發建構具代表性放射性廢棄物處置評估模型的技術^{[11]-[12]}。

本研究根據前述品保精神，針對 GoldSim 程式的源項部份，進行程式的驗證與確認，以提昇運用 GoldSim 程式進行放射性廢棄物最終處置安全評估的信心。程式驗證與確認分成兩部份進行，包括：對 GoldSim 程式的源項處置容器破壞模式進行瞭解與驗證，以及運用推導的理論解析解進行程式模型建構的比較驗證。

貳、處置容器破壞模式驗證

一、處置容器破壞模式

(一) 單一處置容器

單一處置容器有兩種主要的破壞機制：災難性破壞(Catastrophic Failure)和局部性破壞(Localized Failure)。災難性破壞乃假設處置容器在某一時間上立刻破壞，且無法提供避免地下水接觸廢棄物本體(Waste Form)的阻絕功能。災難性破壞的模擬需要使用者定義特定的破壞時間，或根據處置容器厚度和腐蝕速率(Corrosion Rate)計算的破壞時間，計算方式如下：

$$t_{fu} = \frac{d}{r_u} \quad (1)$$

其中， t_{fu} 為均勻腐蝕破壞時間[T]， d 為處置容器厚度[M]， r_u 為均勻腐蝕速率[M/T]。

局部性破壞乃假設在任何時間中僅部份比例的處置容器破壞，因此，要處置容器完全破壞的話需要幾年甚至更長的時間。局部性破壞主要因應力腐蝕(Stress Corrosion)產生破裂、焊接破壞(Weld Failure)或穿孔腐蝕(Pitting Corrosion)造成。大部分模擬金屬的局部性破壞多以穿孔腐蝕方式，儘管當處置容器受穿孔腐蝕貫穿整個處置容器厚度後，已可使地下水與廢棄物本體直接接觸，但整體的處置容器仍對地下水具有阻絕功能，因此，局部性破壞導致溶解在水中的核種可能比考量整體腐蝕速率的災難性破壞較早外釋出處置容器。穿孔腐蝕方式如下所述

$$t_{fp} = \frac{d}{r_p} \quad (2)$$

$$R_{fu} = d \times \gamma \quad (3)$$

其中， t_{fp} 為穿孔腐蝕破壞時間[T]， d 為處置容器厚度[M]， r_p 為穿孔腐蝕速率[M/T]， R_{fp} 為穿孔半徑[M]， γ 為穿孔深度與穿孔半徑比[-]。

(二) 全體處置容器破壞模式

處置場內掩埋各類處置容器，模擬全部個別處置容器的破壞並不實際，因此，應用時間分佈的處置容器破壞形式(Time Distributed Container Failure)來模擬整體的破壞現象是較為可行的，時間分佈方式有：瞬間分佈(Instantaneous)、均勻分佈(Uniform)和常態分佈(Normal)等^[13]。

1. 瞬間分佈

瞬間分佈的方程式如下

$$f(t - t_f) = \delta(t - t_f) \quad (4)$$

其中， $f(t)$ 為在時間 t 時的整體處置容器破壞比例， $\delta(t - t_f)$ 為克羅內克函數(Kronicker Delta Function)。

此分佈僅需提供破壞時間，而此破壞時間代表整體處置容器的破壞時間。

2. 均勻分佈

分佈方式乃假設全部的處置容器從某時間(t_b)開始平均破壞直到結束時間(t_e)為止，其分佈形態為

$$f(t - t_j) = \begin{cases} 0 & t < t_b \\ \frac{1}{t_e - t_b} & t_b \leq t \leq t_e \\ 0 & t_e < t \end{cases} \quad (5)$$

此分佈形式需提供破壞的開始時間和結束時間。

3. 常態分佈

運用此分佈乃假設全部處置容器的破壞速率呈常態分佈形式：

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (6)$$

其中， σ 是破壞時間的標準差(Standard Deviation)， μ 是破壞時間的平均值(Mean)。

二、GoldSim 源項模組

GoldSim 源項模組的運用方式以圖 1 之案例進行說明。圖 1 之案例概念如圖 2，處置容器(圖 1 之 Drums 圖示)內裝填含括孔隙內的水分及固體材料之廢棄物本體，水和固體材料等參數彙整於圖示 Materials 內，核種存量(圖 1 之 Initial_Inventory 圖示)輸入各類核種的質量或活度，將處置容器與核種存量資料連結於掩埋的處置容器(圖 1 之 Buried_Drums 圖示)，在掩埋的處置容器中另外輸入處置容器總數、處置容器破壞模式和廢棄物本體的降解速率等有關參數。當處

置容器破壞後，核種將從處置容器外釋至含水層(圖 1 之 Aquifer 圖示)。

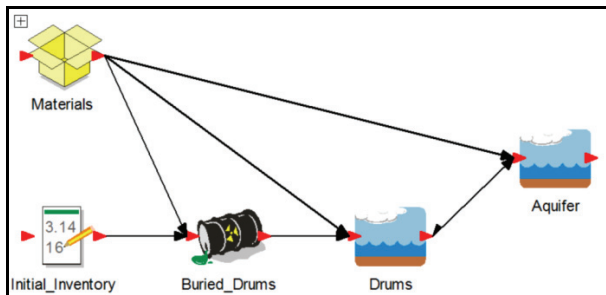


圖 1 GoldSim 源項模組說明案例



圖 2 GoldSim 源項模組說明案例之概念模型

詳細內容將於下面段落說明。

(一) 源項模組

GoldSim 的源項模組主要輸入方式如圖 3 所示，由上而下主要有

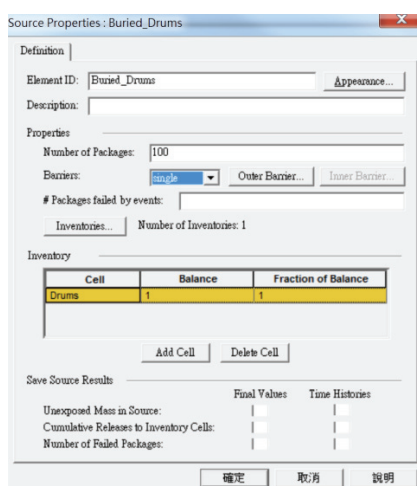


圖 3 源項模組輸入圖示

1. 處置容器數量(Number of Packages): 圖示資料顯示為 100。

2. 障壁(Barrier): GoldSim 源項模組內的障壁有三種設定選項，即無障壁(No Barrier)、單層障壁(Single Barrier)和雙層障壁(Double Barriers)。

- (1) 無障壁: 表示處置容器無障壁作用。
- (2) 單層障壁: 表示有一外層障壁(Outer Barrier)，此障壁可代表處置容器或處置櫃(Containment)。
- (3) 雙層障壁: 表示有兩層障壁，包括內層障壁(Inner Barrier)的處置容器和外層障壁的處置櫃。

(二) 破壞分佈模式

GoldSim 內建可運用的破壞分佈模式有: 瞬間分佈(Immediate)、均勻分佈、韋伯分佈 (Weibull Distribution)、指數分佈 (Exponential)、使用者定義(User-Defined)和表格形式(Table)。瞬間分佈和均勻分佈形式已於前述章節描述，本段落不再多述。

1. 韋伯分佈

在 GoldSim 中使用的韋伯分佈其定義如下

機率密度函數為

$$f(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t - \varepsilon}{\beta} \right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{t - \varepsilon}{\beta} \right)^\alpha} \quad (7)$$

累積機率密度函數為

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t - \varepsilon}{\beta} \right)^\alpha} \quad (8)$$

其中， α 為形狀參數 (Shape Parameter)， β 為比例參數 (Scale Parameter)， ε 為延遲時間 (Delay Time)，為此破壞分佈的開始時間。GoldSim 運用韋伯分佈並不直接輸入 β ，而改以輸入處置容器的平均壽命 (Mean Lifetime, μ)， β 和 μ 的轉換方式如下

$$\beta = \frac{\mu}{\Gamma(1 + \frac{1}{\alpha})} \quad (9)$$

其中， Γ 為伽馬函數 (Gamma Function)。

2. 指數分佈

指數分佈的定義如下
機率密度函數為

$$f(t) = \tau e^{-\tau(t-\epsilon)} \quad (10)$$

累積機率密度函數為

$$F(t) = 1 - e^{-\tau(t-\epsilon)} \quad (11)$$

其中， τ 為此分佈的處置容器期望壽命(Expected Lifetime)的倒數

3. 使用者定義

此分佈乃由使用者依模擬時間，自行定義累積機率分佈方程式。

4. 表格形式

表格形式的分佈方式乃藉由外部連結方式，定義在不同的模擬時間上的累積機率值。

(三) 案例驗證

以五個不同案例進行驗證，案例一：無障壁；案例二：單層障壁；案例三：雙層障壁，考量外層開始破壞時間；案例四：雙層障壁，設定內層開始破壞時間為外層開始破壞時間；案例五：雙層障壁，外層破壞模式為均勻破壞。案例的參數與驗證結果詳細說明如下：

1. 案例一：無障壁

共有 1000 個處置容器，每罐內含 1 g 廢棄物，並假設處置容器無障壁功能。模擬結果示於圖 4，因廢棄物無障壁功能，因此，模擬時間一開始，1000 個處置容器已全數破壞如圖 4(a)所示。累積外釋質量亦因處置容器的立即破壞而盡數釋出，如圖 4(b)所示，1000 個處置容器共含 1000 g 廢棄物。

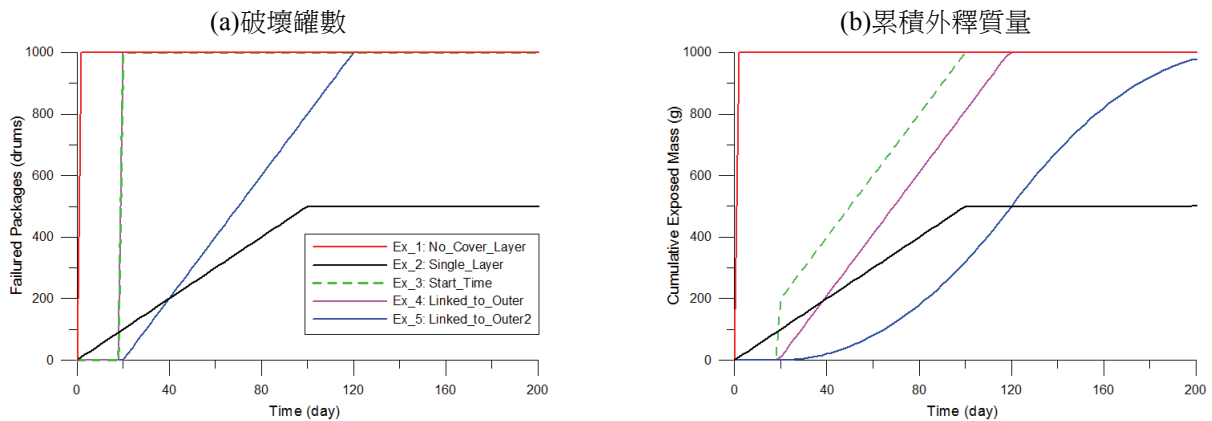


圖 4 案例分析結果：(a)破壞罐數(b)累積外釋質量

2. 案例二：單層障壁

共有 1000 個處置容器，每罐內含 1 g 廢棄物，並假設處置容器為單層障壁，廢棄物置於此層中。整體處置容器的破壞模式為均勻模式，發生機率僅為 0.5，

延時(Duration)為 100 天。模擬結果示於圖 4，在破壞的處置容器數量變化上，當模擬時間開始，容器的破壞數量即隨時間呈線性增加，增加率為 5 罐/天，直到模擬時間為 100 天時，容器破壞數量

達到 500 桶並不再隨時間而增加，此導因於儘管總罐數為 1000 罐，但破壞機率僅 0.5，故最多僅有 500 罐會破壞，模擬結果與設定條件吻合。在累積外釋質量上，因每罐內含有 1 g 廢棄物，累積外釋質量與破壞桶數成正比關係，因此，當模擬時間為 100 天時，累積質量達最大值 500 g 並不再隨時間而增加。

3. 案例三：雙層障壁，考量外層開始破壞時間

共有 1000 個處置容器，每罐內含 1 g 廢棄物。假設處置容器為雙層障壁，包括外層和內層，廢棄物置於內層中。內層的開始破壞時間為 0 天，破壞模式為均勻模式，發生機率為 1.0，延時為 100 天。外層的開始破壞時間為 20 天，破壞模式為瞬間破壞。模擬結果示於圖 4，在破壞的處置容器數量變化上，因外層在第 20 天才開始破壞，且為瞬間破壞，因此顯示在模擬時間為 20 天時，1000 個處置容器全數破壞。但在累積外釋質量上，由於內層破壞時間為 0 天，並以均勻破壞模式進行，因此可看出該累積外釋質量模擬時間為 100 天時，累積的質量為 1000 g (因每桶內有 1 g，共有 1000 桶)。但在時間為 20 天以前，並未發現任何質量的累積，該現象導因於外層破壞時間為 20 天，且為瞬間破壞，故當內層破壞之累積質量到 20 天時，已經累積到 200 g，而當外層瞬間破壞後，便隨即全部外釋，故累積外釋質量的變化受內層的破壞模式主控。

4. 案例四：雙層障壁，設定內層開始破壞時間為外層開始破壞時間

此案例基本設定與前述案例三一致，唯增加內層的開始破壞時間為外層開始破壞的時間。模擬結果示於圖 4，在破壞的處置容器數量變化上，因外層

在第 20 天才開始破壞，且為瞬間破壞，因此顯示在模擬時間為 20 天時，1000 個處置容器全數破壞，此現象不受內層設定開始破壞時間為當外層開始破壞時間之影響。

但在累積外釋質量上，因內層設定開始破壞時間為當外層開始破壞時，因此，內層的破壞必須配合外層開始的破壞時間在 20 天時才開始破壞，並以均勻破壞模式、機率為 1、延時 100 天進行，另外，由於外層的破壞模式為瞬間破壞，因此看出累積質量在模擬時間為 20 天時，才開始發生，並以延時 100 天，共 1000 g 的方式進行。

5. 案例五：雙層障壁，外層破壞模式為均勻破壞

此案例基本設定延續前述案例四，唯改變外層的破壞方式為均勻破壞，機率為 1，延時為 100 天。模擬結果示於圖 4，在破壞的處置容器數量變化上，因模型設定外層開始破壞時間為 20 天且為均勻破壞方式，因此反應在破壞的處置容器數量上即在模擬時間為 20 天時，處置容器開始破壞，並在 100 天的延時後(即模擬時間為 120 天時)，處置容器才全數破壞。此現象與內層設定的破壞方式並無關聯。

但在累積外釋質量上，因內層設定開始破壞時間為當外層開始破壞時，因此，內層的破壞必須配合外層開始的破壞時間在第 20 天時才開始破壞，並以均勻破壞模式、機率為 1、延時 100 天的方式進行，故其質量累積機率為每罐 $0.01 \times (\text{模擬時間}-20 \text{ 天}) \text{ g}$ 。外層的破壞模式亦為均勻破壞模式、機率為 1、延時 100 天，因此其累積破壞機率為 $1000 \text{ 罐}/100 \text{ 天} \times \text{模擬的時間間距數}$ ，即(模擬時間-20 天)/2 天。累積外釋質量為內

層的質量累積機率(g/罐) × 外層的累積破壞機率(罐)。以模擬時間為第 80 天為例，其內層質量累積機率為 0.6 g/罐，而外層累積破壞機率為 10 × 30 罐，累積外釋質量為 0.6 g/罐 × 300 罐，共 180 g。

參、廢棄物本體核種擴散模型解析解驗證

本章節主要推導核種從廢棄物本體擴散至地下水的理論方程式，並運用 GoldSim 程式的區塊模組(Cell Module)進行驗證。

一、擴散模型

(一) 模型概念

當處置場封閉後，地下水逐漸滲入，造成處置容器腐蝕破損，核種從廢棄物本體開始外釋，因滲入的地下水流動性差，呈現停滯狀態，因此核種外釋機制主要以擴散為主，核種從廢棄物本體擴散至停滯地下水的概念如圖 5 所示，假設核種均勻分佈在廢棄物本體內，濃度為 C_0 ，並以軸(z)對稱方式進行徑向(x)擴散，核種在廢棄物本體外地下水中的濃度為 0。

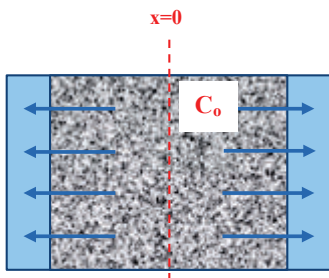


圖 5 源項模組輸入圖示

(二) 控制方程

根據質量平衡，溶質在孔隙介質內的一維擴散方程式可表示如下

$$D_e \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \frac{\rho_b}{\phi} \frac{\partial S}{\partial t} = \frac{\partial C}{\partial t} \quad (12)$$

其中 C 孔隙內的溶質濃度 $[M/L^3]$ ； D_e ：有效擴散係數 (Effective Diffusion Coefficient) $[L^2/T]$ ； S ：每單位乾介質質量與吸附的溶質質量比 $[-]$ ； ϕ ：介質孔隙率 $[-]$ ； ρ_b 介質乾密度(Dry Density) $[M/L^3]$ ； x ：軸長的方向 $[L]$ ； t ：時間 $[T]$ 。

假設吸附機制依循線性關係($S=K_d \times C$)，其中 K_d 為分佈係數(Distribution Coefficient $[L^3/M]$)，則上式可化簡為

$$D_e \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = \frac{\partial C}{\partial t} \left(1 + \frac{\rho_b}{\phi} K_d\right) \quad (13)$$

或

$$D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = \frac{\partial C}{\partial t} \quad (14)$$

上式中， D 為視擴散係數(Apparent Diffusion Coefficient $[L^2/T]$)， D 可表示為 $D=D_e/R$ ， R 是遲滯因子(Retardation Factor $[-]$)， R 可表示為 $R = 1 + \rho_b/\phi \times K_d$ 。

考量溶質為具放射性的核種，則式(10)加入衰變項後可表示如下

$$D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \lambda C = \frac{\partial C}{\partial t} \quad (15)$$

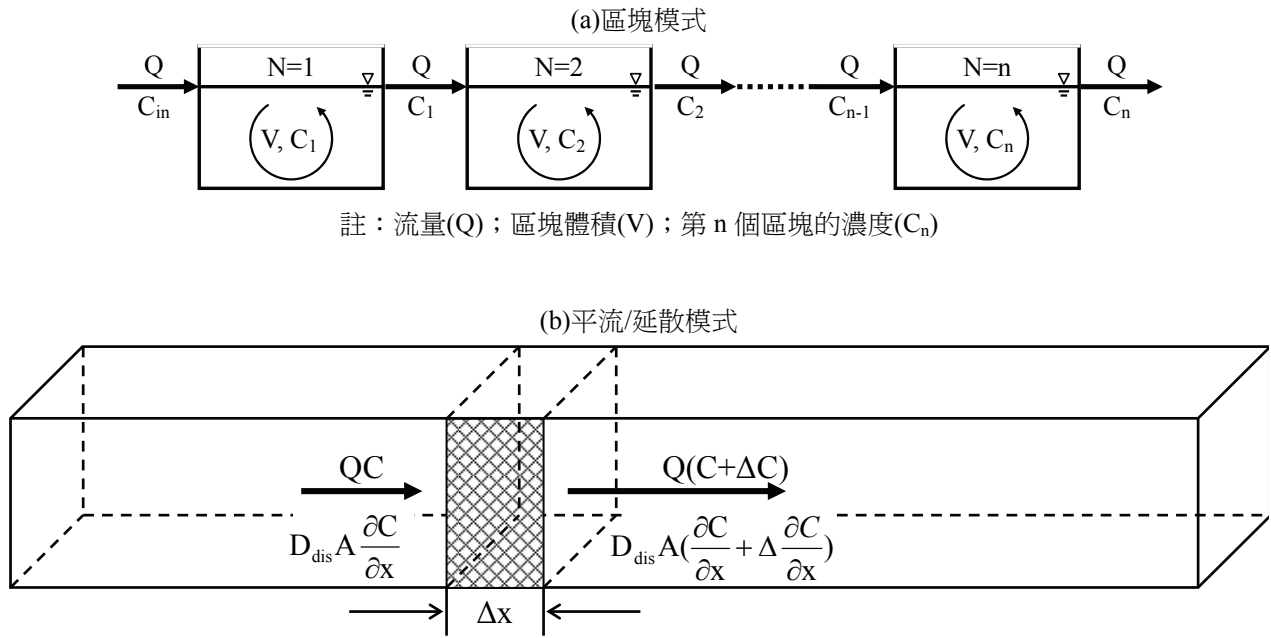
上式中， λ 為衰變常數 (Decay Constant $[1/T]$)， λ 可表示為 $\lambda = \ln(2)/H_f$ ， H_f 為半化期(Half-Life $[T]$)。

(三) 求解

求解前述控制方程式可用區塊 (Compartment)理論或連續介質(Continuum)理論進行推導，區塊理論概念如圖 6(a)所示，其原理基於質量平衡原則(Mass Balance Principle)，將核種的傳輸途徑區分成等量或不等量的區塊體積，並假設核種濃度在此區塊體積元素中(Volume Element)完全充分混合；連續介質理論概念如圖 6(b)所示，亦基

於質量平衡原則，從控制方程式以有限差分方式嚴謹的推導，無需假設完全混合的體積

元素，相對的，以適當地微小空間增加量來模擬濃度的連續變化。



註：流量(Q)；區塊體積(V)；第 n 個區塊的濃度(C_n)

註：流量(Q)；濃度(C)；延散係數(D_{dis})；斷面積(A)

圖 6 (a)區塊模式與(b)平流/延散模式比較概念圖

二、理論解析

(一) 區塊理論

本研究根據區塊理論並運用有限差分觀念，首先將廢棄物本體分成二個區塊(圖 7)並運用 Laplace Transform 求解方法進行解析。根據 Fick's Law 擴散速率的定義推導各區塊間的質量平衡關係

濃度；A：核種擴散斷面積[L²]；φ：廢棄物本體孔隙率[-]；L：廢棄物本體半徑[L]。

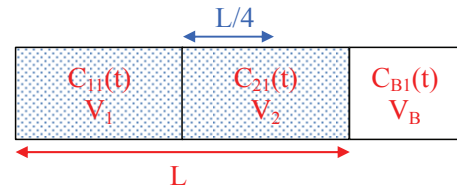


圖 7 源項模組輸入圖示

$$\begin{cases} V_1 \frac{dC_1}{dt} = -\lambda V_1 C_1 + AD \frac{C_2 - C_1}{L/4 + L/4} \\ V_2 \frac{dC_2}{dt} = -\lambda V_2 C_2 + AD \frac{C_B - C_2}{L/4} - AD \frac{C_2 - C_1}{L/4 + L/4} \\ V_B \frac{dC_B}{dt} = -\lambda V_B C_B - \phi AD_e \frac{C_B - C_2}{L/4} \end{cases} \quad (16)$$

其中，V：體積[L³]，次標 1、2 和 B 分別代表廢棄物本體第 1 個區塊和第 2 個區塊體積，及廢棄物本體外的水體體積；C：濃度[M/L³]，次標 1、2 和 B 分別代表核種在廢棄物本體第 1 個區塊和第 2 個區塊，及廢棄物本體外的水體內的

假設 $\alpha = AD/L$ 和 $\beta = \phi AD_e/L$ 可將式(11)簡化為

$$\begin{cases} V_1 \frac{dC_1}{dt} = -(\lambda V_1 + 2\alpha)C_1 + 2\alpha C_2 \\ V_2 \frac{dC_2}{dt} = 2\alpha C_1 - (\lambda V_2 + 6\alpha)C_2 + 4\alpha C_B \\ V_B \frac{dC_B}{dt} = 4\beta C_2 - (\lambda V_B + 4\beta)C_B \end{cases} \quad (17)$$

將上式進行 Laplace Transform 並代入下

述初始條件

$$C_1(t=0)=C_2(t=0)=C_o, C_B(t=0)=0$$

可得

$$\bar{C}_1 = \frac{2\alpha E_1 + V_1 C_o}{2\alpha + (p + \lambda) V_1 - 2\alpha B_2} \quad (18)$$

$$\bar{C}_2 = \frac{2\alpha \bar{C}_1 + V_2 C_o}{6\alpha + (p + \lambda V_2) - 4\alpha B_1} = B_2 \bar{C}_1 + E_1 \quad (19)$$

$$\bar{C}_B = \frac{4\beta \bar{C}_2}{4\beta + (p + \lambda V_B)} = B_1 \bar{C}_2 \quad (20)$$

其中，

$$B_1 = \frac{4\beta}{4\beta + (p + \lambda) V_B}$$

$$B_2 = \frac{2\alpha}{6\alpha + (p + \lambda) V_2 - 4\alpha B_1}$$

$$E_1 = \frac{V_2 C_o}{6\alpha + (p + \lambda) V_2 - 4\alpha B_1}$$

(二) 連續介質理論

連續介質理論之控制方程式如式(8)所示，初始條件設定如下

$$\begin{aligned} C(x, t=0) &= C_o \\ C_B(t=0) &= 0 \end{aligned} \quad (21)$$

邊界條件為

$$\left. \frac{\partial C}{\partial x} \right|_{x=0} = 0 \quad (22)$$

$$-\lambda V_B C_B - A_e D \left. \frac{\partial C}{\partial x} \right|_{x=L} = V_B \frac{dC_B}{dt} \quad (23)$$

其中， $A_e = A/\phi$ 。

運用 Laplace Transform 求解方法，可推

導出在 Laplace Domain 下廢棄物本體內($\bar{C}$)以及廢棄物本體外停滯之地下水內($\bar{C}_B$)的核種濃度分佈方程式，如下所示

$$\bar{C} = \frac{-V_B C_o}{V_B(p + \lambda) \cosh(mL) + mA_e D \sinh(mL)} \cosh(mx) + \frac{C_o}{p + \lambda} \quad (24)$$

$$\bar{C}_B = \frac{-V_B C_o}{V_B(p + \lambda) \cosh(mL) + mA_e D \sinh(mL)} \cosh(mL) + \frac{C_o}{p + \lambda} \quad (25)$$

其中， $m = \sqrt{(p + \lambda)/D}$ 。

三、驗證

以表 1 的假設參數，運用 GoldSim 的區塊模組，與本研究根據區塊理論發展之擴散方程式，即式(13)、式(14)和式(15)，進行交互驗證。以 Base Case 的基本參數作為比較的基础，分別改變擴散係數(D)：Case_D+和 Case_D-、分佈係數(Kd)：Case_R、衰變常數(λ)：Case_ λ 、擴散斷面積(A)：Case_A，及廢棄物本體外的水體體積(VB)：Case_VB 進行驗證與討論。

(一) 擴散係數

圖 8 顯示運用不同擴散係數的模擬分析比較(Case_D+, Base Case, Case_D-)，由 Base Case 的濃度分佈顯示，核種從廢棄物本體開始向外擴散，第二區塊直接與地下水體接觸，因此，第二區塊的濃度比第一區塊的濃度更快降低，而地下水體內的核種濃度，隨時間逐漸升高，並接近第二區塊的核種濃度，隨著第一區塊內的核種也向外擴散，使得第一區塊、第二區塊和地下水體內的核種濃度趨於一致。未考量核種衰變作用下，根據質量守恆定理，整個系統內的核種濃度達平衡值約為 0.88 C_o ，此值與圖 8 顯示的分析結果一致。證實 Base Case 的模擬結果正確。不同擴散係數表示不同的核種遷移能力，因此，在濃度的分佈會表現在時間軸上的差異，並不會有濃度分佈趨勢的改變，此現象可在圖 8 中明顯看出。

表 1 案例使用參數表

	Case D+	Base Case	Case D-	Case R	Case λ	Case A	Case V_B
$D_e[\text{cm}^2/\text{d}]$	10^{-3}	10^{-5}	10^{-7}				
$K_d[\text{cm}^3/\text{g}]$		0		1			
$\lambda[1/\text{d}]$		10^{-20}			10^{-5}		
$A[\text{cm}^2]$		100				1000	
$V_B[\text{cm}^3]$		100					1000
$\rho_b[\text{g}/\text{cm}^3]$		2.3					
$\phi[-]$		0.25					
$L[\text{cm}]$		30					

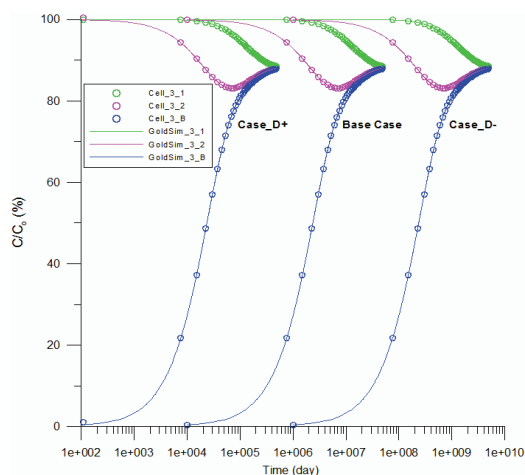


圖 8 擴散係數差異案例比較

(二) 吸附作用

考量核種吸附作用的比較結果示於圖 9，由於土壤對核種的吸附，使得整個系統內溶於水體的核種質量降低，長時間平衡後水中的平均濃度約為 $0.12 C_0$ ，此值符合圖 9 顯示的結果。

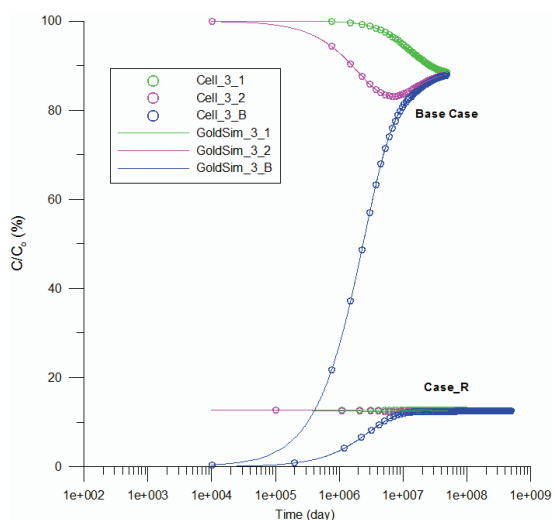


圖 9 考量吸附作用之案例比較

(三) 衰變作用

考量核種衰變作用的情形示於圖 10，由於擴散作用導致第一區塊和第二區塊核種濃度下降的程度，相較於此案例因衰變作用導致核種濃度下降的程度甚小，因此，在第一區塊和第二區塊內的核種濃度主要因衰變作用而降低，不同時間點的核種濃度可以下式推算： $C_0 e^{-\lambda t}$ 。以時間(t)為 10^3 天、 10^4 天、 10^5 天和 10^6 天為例，可分別求得核種濃度約為 $0.99 C_0$ 、 $0.90 C_0$ 、 $0.36 C_0$ 和 0，此結果與圖 10 顯示的結果一致。

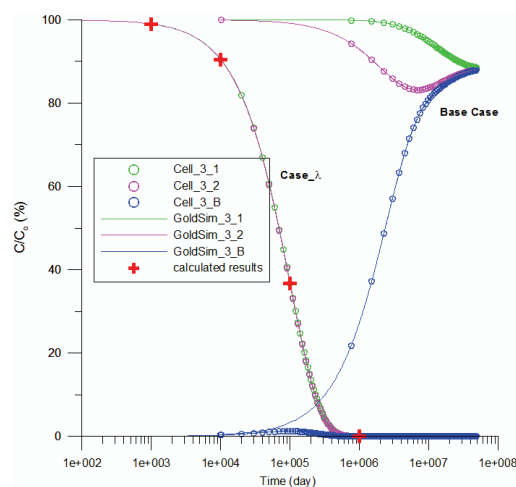


圖 10 考量衰變作用之案例比較

(四) 擴散面積

討論擴散面積影響的結果示於圖 11，由於斷面積直接影響假設的廢棄物本體體積 ($=AL$)，以及廢棄物本體內含有的核種質量 ($=\phi ALC_0$)，因此，斷面積變大，相當於廢棄物本體內含有的核種質量變大，整體平均濃度變高，此現象在圖 11 可見，另外，由於斷

面積變大，擴散速率加大，使得廢棄物本體外的水體濃度較 Base Case 更快接近第二區塊內的核種濃度。

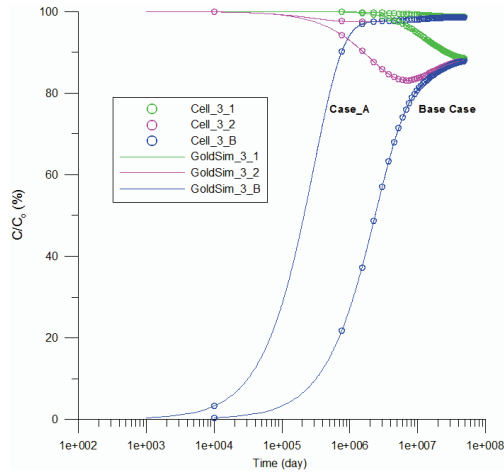


圖 11 考量擴散面積之案例比較

(五) 廢棄物本體外水體

最後，改變廢棄物本體外的水體體積結果示於圖 12。由於廢棄物本體外的水體體積增加，使得廢棄物本體外的水體內的核種濃度上升較 Base Case 慢，同時第二區塊內因擴散作用，使得核種濃度快速下降，同時亦導致第一區塊內的核種濃度亦隨之下降，整個系統內的核種濃度因廢棄物本體外的水體體積增加，而達到的平衡值約為 0.43 C_0 ，此結果與圖 12 所示一致。

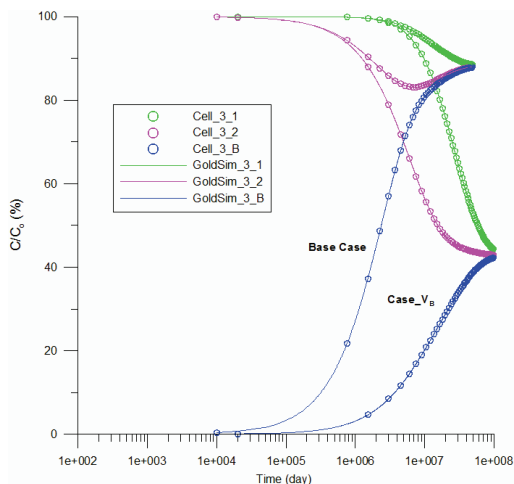


圖 12 考量廢棄物本體外之水體體積差異案例比較

(六) 區塊數量

以 Base Case 為基礎，運用 GoldSim 區塊模組，假設不同區塊數量：1 個、2 個、4 個及 6 個，與根據連續介質理論推導之廢棄物本體外水體內的核種濃度變化(式 20)進行比較，結果示於圖 13。由圖可知，當區塊數量逐漸增加時，核種濃度變化愈趨近於連續介質理論分析的結果，儘管在小時間(如 10^6 天)內，區塊理論的分析結果仍無法吻合連續介質理論的分析結果，但時間增長後，以 4 個和 6 個區塊的模擬結果已與連續介質理論的分析結果相當接近，因此，以相當數量的區塊仍可適當的模擬長時間之連續介質理論的分析結果。

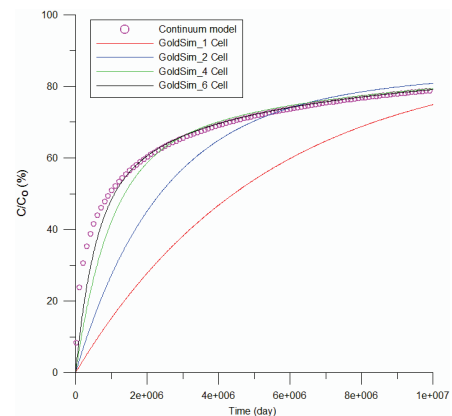


圖 13 不同區塊數量的差異比較

肆、結論

本研究透過五個 GoldSim 源項模組案例，確認掌握 GoldSim 程式中，單一處置容器破壞形式與整體處置容器的破壞分佈之交互作用，以確保運用此分析軟體進行源項破壞模擬時的正確性。

在廢棄物本體核種擴散模型解析的驗證中，以 GoldSim 模擬一維廢棄物本體核種擴散現象，將模擬結果與本研究提出之擴散方程式分析結果進行比較，顯示運用 GoldSim 區塊模組，並考量吸附作用、衰變作用和擴散作用的情形下，皆能與理論解的分析結果達到一致，證實本研究

提出之擴散方程式的正確，並且證實本研究能確實地運用 GoldSim 程式來模擬核種擴散現象。

伍、參考文獻

- [1] Bechtel SAIC Company, “Total System Performance Assessment-License Application Methods and Approach,” TDR-WIS -PA-000006 REV 00 ICN 01, 2003.
- [2] Andra, “Dossier 2005 Granite – Safety Analysis of a Geology Repository,” Andra - 287 VA, 2005.
- [3] Enresa, “Sensitivity analyses for radionuclide release,” PT04-08, 2004.
- [4] Posiva, “Safety Case for the Disposal of Spent Nuclear Fuel at Olkiluoto - Synthesis 2012,” POSIVA 2012-12, 2012.
- [5] 陳智隆、賴仁杰,「區塊傳輸模式(AMBER)與管流傳輸模式(GoldSim)的比較研究」,台電核能月刊,第 302 期,第 28-43 頁,2008 年。
- [6] GoldSim 程式的區塊模組與管流模組特性差異分析,台電工程月刊,第 762 期,第 1-13 頁,2012 年。
- [7] 陳智隆、蘇碩懿、劉育銓,「驗證與增進 GoldSim 平台的質傳管流模式」,台電工程月刊,第 688 期,第 100-110 頁,2005 年。
- [8] 陳智隆、賴仁杰,「FEHM 與 GoldSim 的一維核種傳輸模擬比較與驗證研究」,台電核能月刊,第 312 期,第 25-58 頁,2008 年。
- [9] 陳智隆、賴仁杰,「建立與驗證 GoldSim 平台的離散裂隙網路技術」,台電核能月刊,第 307 期,第 38-57 頁,2008 年。
- [10] 在 GoldSim 安全評估平台上發展生物圈劑量評估技,台電工程月刊,第 762 期,第 1-13 頁,2012 年。
- [11] 發展具代表性放射性廢棄物處置評估模型之技術驗證,台電核能月刊,第 317 期,第 21-38 頁,2009 年。
- [12] 放射性廢棄物處置多核種安全評估模型之技術發展,台電工程月刊,第 750 期,第 41-51 頁,2011 年。
- [13] Sullivan T., “Waste Container and Waste Package Performance Modeling to Support Safety Assessment of Low and Intermediate-Level Radioactive Waste Disposal,” Brookhaven National Laboratory, BNL-74700-2005-IR, 2004.

台電工程月刊徵稿啟事



✿ 為使本刊物之內容更臻完善，歡迎有關火（水）力發電、核能發電、再生能源、輸變電、配電、電力系統、能源與環境、化學與材料、資訊與電腦、工程技術及其他等相關論著、技術經驗及譯者踴躍投稿，以饗讀者。

✿ 投稿相關事宜，若有任何疑問，請聯絡我們，謝謝您！



(02)2360-1095



u117212@taipower.com.tw

耐震接頭於國內潛盾工程之應用

Applications of Seismic Resistance Joint for Shield Tunneling Method in Taiwan

王東海*
Wang, Tung-Hai

陳文通**
Chen, Wen-Tung

許耀仁***
Hsu, Yao-Jen

陳聰海***
Chen, Tsung-Hai

摘 要

潛盾洞道受震劣損補修不易，於高水壓下更為困難。國內工作井與潛盾洞道間介面多採 Ω 柔性接頭作為防震對策，惟易成為結構弱面及滲水路徑。為提升洞道耐震性能，台電持續引進並發展耐震接頭之應用，包含可撓性環片及可撓接頭，在高水壓之環境條件下可吸收因地層下陷或地震力所造成之錯位、屈伸，並於撓曲狀態下維持水密性，提升整體洞道安全性。台電大安案及高港鳳林路段案採用耐震接頭，安裝至今未發生滲水漏砂情形，成效良好，值得後續工程持續應用發展。

Abstract

A shield tunnel is difficult to repair when it is damaged by earthquakes, and could be more difficult to repair if the tunnel is under high water pressure. In general, a Ω flexible joint, which is often used between the shaft and shield tunnel domestically as the main countermeasure for resisting earthquakes, is likely to become a weak point and seepage path. To enhance the earthquake-resisting capability for a shield tunnel, Taipower has been continuing to introduce and develop the application of seismic resistance joints, including flexible segments and flexible joints, which can be used to absorb the dislocation or elongation resulting from the earthquake or subsidence. Also, they can be used to maintain a tunnel's water tightness in a flexural state and enhance the overall safety of the shield tunnel.

Taipower adopted seismic resistance joints in the Taan Construction Project and Fenglin Construction Project, and so far there is no seepage or hourglass happening after experiencing many earthquakes. The performance of flexible ring and flexible joint is excellent, and is worthy of application in the follow-up projects.

關鍵詞(Key Words)：可撓性環片(Flexible Segmental Ring)、可撓接頭(Flexible Joint)、潛盾洞道(Shield Tunnel)。

壹、前言

潛盾洞道位處較大深度之地下空間，結構相

對穩定，然其係處高土水壓環境，止水作業不易，增加維護補強難度。潛盾洞道滲水漏砂常見於洞道與直井接合處，目前部分洞道雖設置柔性接頭予以因應，但受限於機能及劣損問題，於長

*台灣電力公司輸供電事業部輸變電工程處中區施工處

**台灣電力公司輸供電事業部輸變電工程處北區施工處

***台灣世曦工程顧問股份有限公司

期受震時仍可能引致相對變位及滲水路徑。因此針對高風險區段須進一步提升洞道耐震性能，以維洞道整體安全性。台電公司為穩定供電品質，持續引進及發展耐震接頭之應用，分述如下：

「松湖~大安、深美~大安電纜線路潛盾洞道暨附屬機電統包工程」因工址地下結構物繁複且無法避開，採大深度洞道由各既有地下結構物下方穿越，考量於大深度高水壓下之洞道若因故受損修護將特別困難，規劃採用可撓性環片，以提升洞道耐震性能^[1]。

「鳳林路段潛盾洞道暨高港(丙)冷卻機房工程」因電纜分歧需求須於道路中央設置分歧井，為確保接頭部位之安全性、減少地震時接頭結構應力，並避免橫坑施工易造成砂湧意外及發生不均勻沉陷，研擬採用可撓接頭，以提升分歧井耐震性能。

貳、工法特性

一、可撓性環片

由於潛盾洞道具柔性、又在地下深處(15~20公尺以下)，地震力作用於洞道時，若不考慮土壤結構互制效應，則環片將隨地盤位移而產生相同之位移，故地震時問題並不大。而於洞道與結構物銜接處、軟硬地盤界面處，因振動頻率不同易產生差異變位與額外應力。故在特殊情況下，可考慮藉由可撓性環片之設置(圖 1)，可以吸收在地震發生時所引發的不均勻沉陷、複雜應力及變位，以確保洞道整體的安全性。設計安排上以每環可吸收變形量大小來考量總共需要配置幾環可撓性環片。

可撓性環片之構造由兩側鋼環片、中央止水橡膠及附屬配件所構成(圖 2)，由鋼環片與兩側之 RC 環片銜接成為固定端，並由止水橡膠提供容許變位情境下之止水性。可撓性環片型式依所處環境條件之容許變位需求不同而有各自適合之型式，須依個案需求採擇。

二、可撓接頭

可撓接頭係由橡膠、鋼環及補強材結合而成，利用橡膠特有彈性及蛇腹構造之單體結構型態(如圖 3)，兼具變形性、止水效果及強度需求，可有效抵抗地下結構外在之土水壓力。可撓接頭容許伸長量 10cm、收縮量 5cm、變位量 20cm，可滿足地震及結構不均勻沉陷情況下之需求。



圖 1 可撓性環片實體

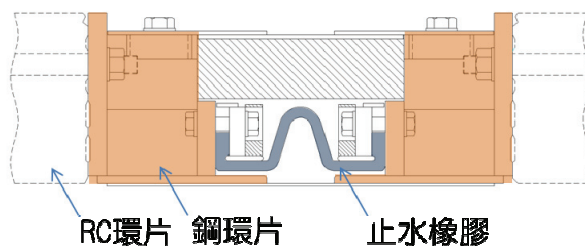


圖 2 可撓性環片組成

分歧井一般採全套管工法配合順築方式施工，為確保完工後可撓接頭之功能，施工過程中分歧井側牆重量需先藉由錨定鋼筋傳遞至鋼套管，利用鋼套管與地層間之摩擦力支承結構自重，以避免分歧井自重造成可撓接頭變形；此外，於分歧井側牆上方設置翼版，利用翼版下方土層之承载力支承分歧井結構體重量(圖 4)，避

免分歧井對潛盾隧道產生集中荷重，影響隧道結構之安全。



圖 3 可撓接頭例

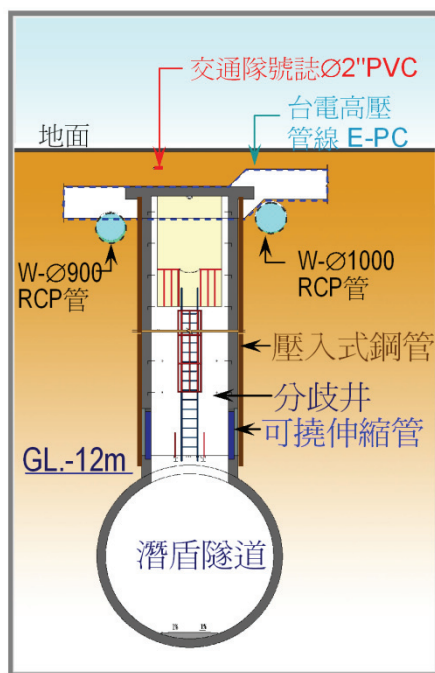


圖 4 可撓接頭分歧井

參、與傳統潛盾之比較

一、可撓性環片

國內目前常於直井與洞道間設置柔性接頭，但囿於降低施工風險考量，設置於直井側牆與擋土壁內，參見圖 5 及圖 6，施工性佳且具經濟性。惟日久易成為滲漏水弱位(圖 7)，且於潛

盾機採到達棄殼條件時，柔性接頭設置之位置是否仍設置於直井與洞道之邊緣處(即柔性接頭設置於棄置之盾殼內，其耐震功能是否仍可確保?)或應置於棄殼之盾尾外，尚待檢討。而柔性接頭設置於棄殼之盾尾外之施工風險與成本將大幅提高，針對此等特殊棄殼條件，在耐震設計及施工上採用可撓性環片之必要性似可再檢討考量之^[2]。

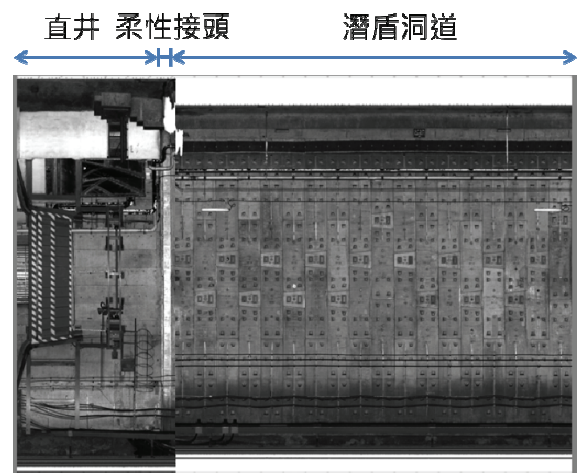


圖 5 柔性接頭設置例

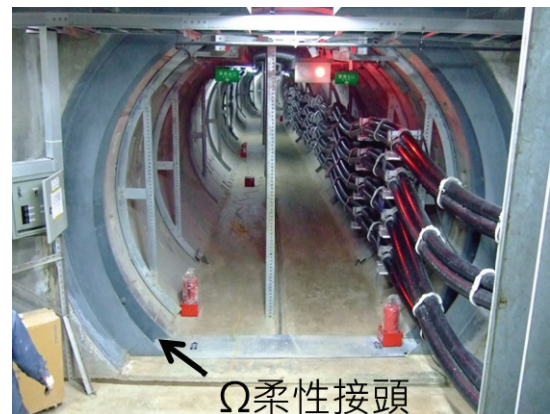


圖 6 柔性接頭(新工~湖北 161kV 例)

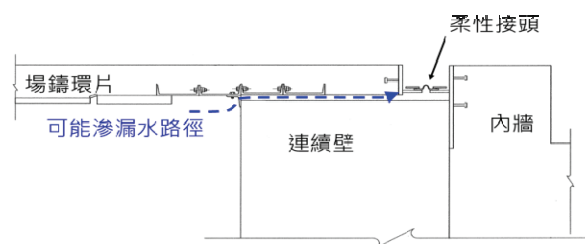


圖 7 柔性接頭常為滲漏水弱位

二、可撓接頭

電纜線路地下化後，電纜洞道內之電纜線路須藉由分歧井引出，理論上將分歧井佈設於電纜洞道正上方係較理想亦最節省用地範圍之配置方式。但因潛盾洞道由環片及螺栓組合而成，環與環間亦採螺栓結合，組合時雖相鄰環間交互旋轉，形成環片交錯配置，以增加洞道結構之剛度，惟其結構型式仍不適合承受外力集中荷重。故傳統之分歧井大部分皆位於潛盾洞道旁，利用橫坑予以銜接(圖 8)，惟此引出方式不但增加電纜長度，也常造成分歧部電纜佈設擁塞情況，影響後續維修及人員通行。

近年來工程界逐漸以力學方法克服環片洞道之結構限制，以構築中間牆或增加內襯砌結構方式承受上部分歧井荷重(圖 9)，惟須犧牲部分洞道淨空，且分歧井接頭常因應力集中及不均勻沉陷導致裂縫與滲漏水情事。

為避免上述不利情況，設計採用可撓接頭解決因應。於洞道正上方設置可撓接頭分歧井，採具伸縮性之可撓接頭連接分歧井與潛盾洞道(圖 10)，除可確保接頭部位之安全性及減少地震時接頭結構應力外，也可免除傳統分歧井需另設洞道橫坑(聯絡通道)銜接之麻煩，避免橫坑施工易造成砂湧意外及發生不均勻沉陷之缺點。

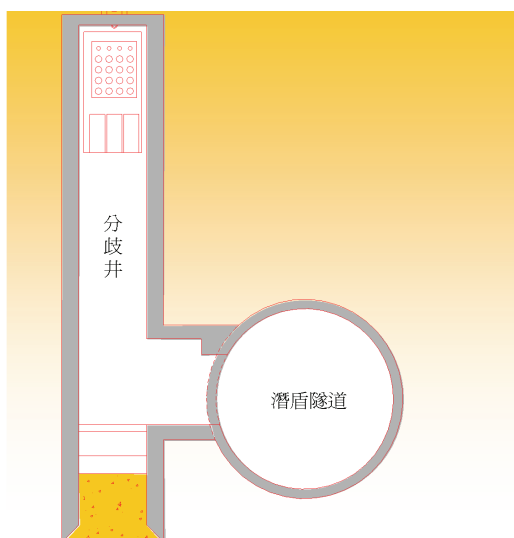


圖 8 傳統分歧井設置例

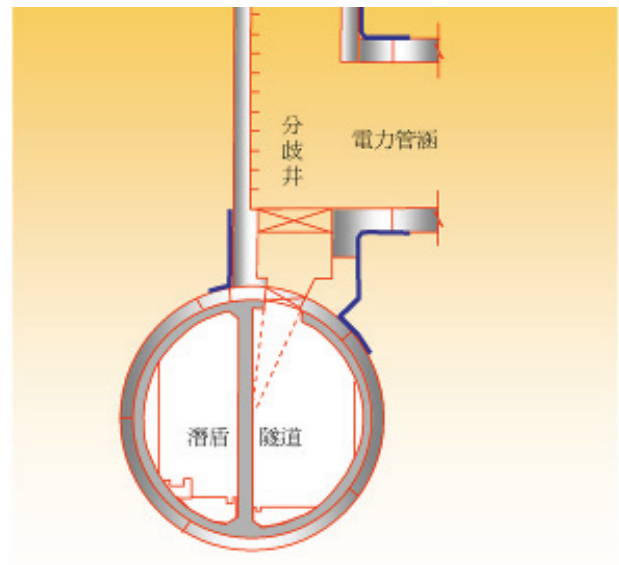


圖 9 洞道上方分歧井設置例



圖 10 可撓性伸縮接頭分歧井

肆、工法適用性

一、可撓性環片

(一) 適用條件研擬

可撓性環片為鋼環片及止水橡膠所構成，技術門檻高，費用亦不低，應用時應研選適當之設置位置，以達最佳經濟效益。表 1 及圖 11 為可撓性環片適用於地層、地質及構造物變異之工址條件，規劃設計時應就現況進行分析。

表 1 可撓性環片適用性

項次	適用範圍
1	軟/硬地盤界面之不均勻沉陷
2	軟弱地盤之壓密沉陷
3	穿越河川、道路之額外應力及變位
4	與構造物共構之額外應力及變位
5	上述各處所地震時應力、應變釋放

(二) 設置位置研選

就潛盾發進、到達井與環片銜接處之不同勁度結構物接合，在直井結構物鄰近位置設置可撓性環片可發揮其最佳性能，但隨著發進、到達的方式不同，亦將影響可撓性環片的變形性能。

採置換工法之發進、到達地盤改良，因土體固結，地震時變形受限，可撓性環片應設置於改良區外，另採棄殼方式到達時，亦應避免設置在盾殼內，以充分發揮其變位性能(圖 12)。

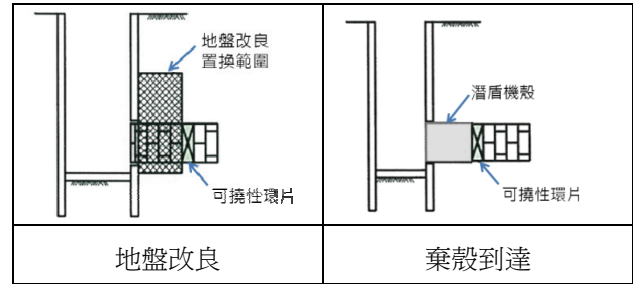


圖 12 可撓性環片設置位置考量

(三) 防脫裝置

在潛盾洞道中設置可撓性環片可以提供洞道變形性能，但亦有可能成為結構的弱位。為了避免過度拉伸，導致結構及止水性能失效，應考量容許變形量，並視需求設置適當之防脫裝置，如圖 13 之裝置例。

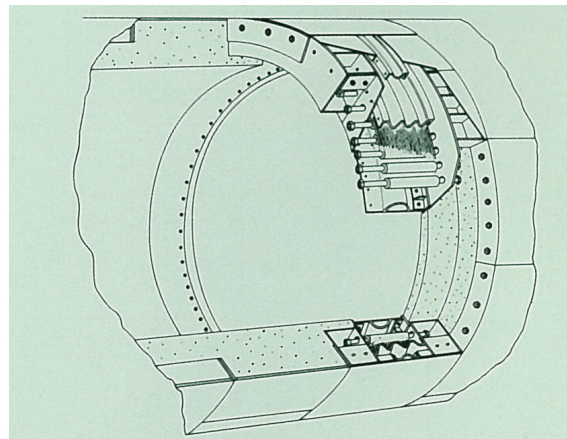


圖 13 可撓性接頭防脫裝置例

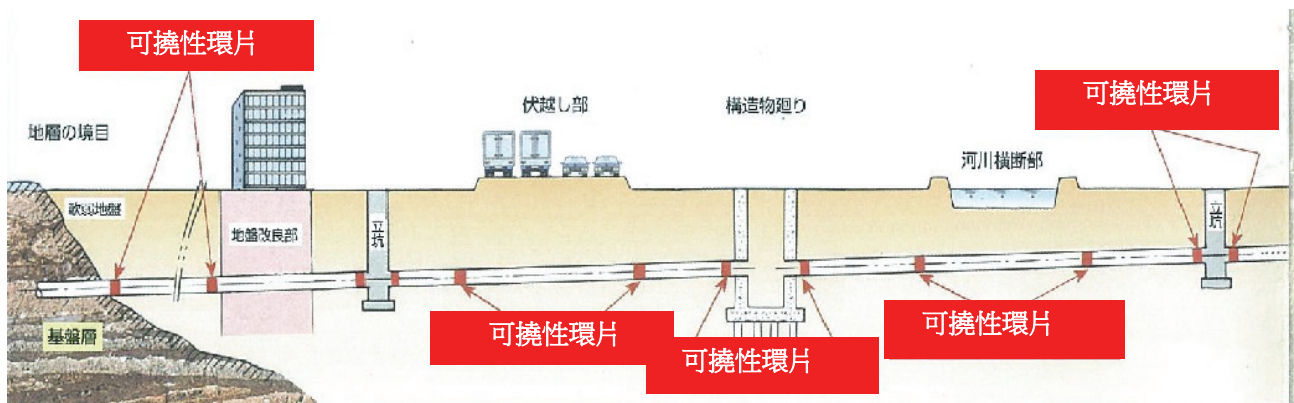


圖 11 可撓性環片應用場合(VICTAULIC 型錄)

二、可撓接頭

(一) 適用條件研擬

可撓接頭普遍應用於自來水、下水道、石化廠等各種管線之耐震設施，透過接頭之可撓性，以承受地震時所產生之伸縮、錯位、撓曲，達到保護管線之目的。為克服潛盾洞道分歧井接頭常因應力集中及不均勻沉陷導致裂縫與滲漏水情事，可藉由可撓接頭之導入應用，確保接頭部位之安全性及減少地震時接頭結構應力，適用範圍如表 2。

表 2 可撓接頭適用性

項次	適用範圍
1	軟弱地盤之壓密沉陷
2	管線彎曲段額外應力
3	長距離管線伸縮變位
4	穿越河川、道路之額外應力及變位
5	上述各處所地震時應力、應變釋放

(二) 防脫裝置

為避免可撓接頭於受震時過度拉伸、壓縮，導致結構及止水性能失效，應考量容許變形量，並視需求設置適當之防脫裝置，如圖 14 之裝置例。外側螺栓抵抗異常伸展，內側螺栓抵抗異常壓縮，以提高管線安全性。

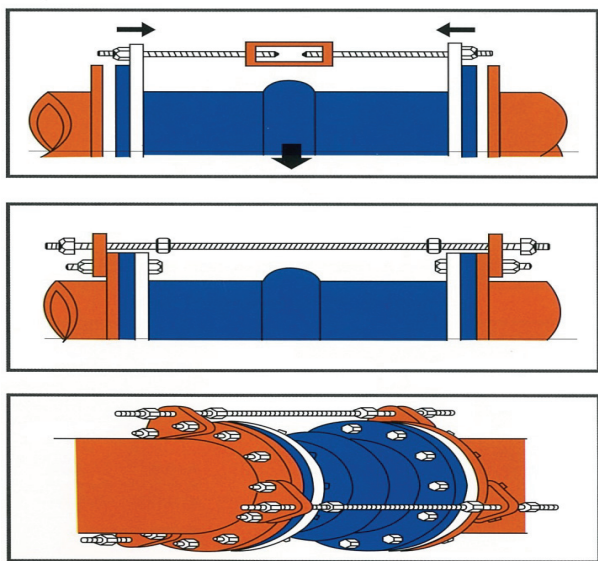


圖 14 可撓接頭防脫裝置例

伍、工程實例

一、可撓性環片

國內首例設置可撓性環片之案例為台電「松湖~大安、深美~大安電纜線路潛盾洞道暨附屬機電統包工程」(以下簡稱大安案)，配合現地環境條件需求，將設置 7 處可撓性環片，設置位置及需求如圖 15。目前已設置完成#3 直井 $\phi 4.6\text{m}$ 潛盾洞道發進端可撓性環片。

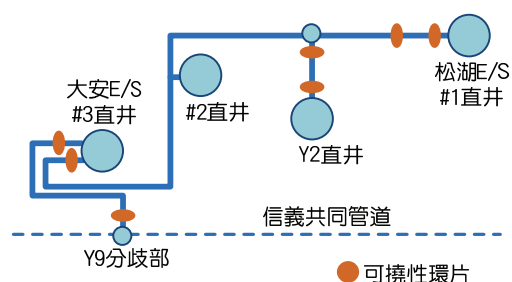


圖 15 大安案採用可撓性環片之規劃位置

台電無類似大眾捷運法兩側禁限建之法令保障洞道安全，考量於高水壓下之洞道若因故受損修護將特別困難，宜提升洞道之容許變位功能。且大安案洞道因需穿越台鐵、高鐵、捷運及深基礎橋墩等地中結構物，故洞道位於地下 60m 之大深度，考量傳統柔性接頭維修不易，及高地下水頭之地下水壓，規劃於(1) #1~#3 直井間及 Y1~Y2 間之洞道位處高水壓，於洞道與直井介面處；(2)礫石層與土砂層介面處；(3)T 分歧洞道受未來捷運路線施工影響區段，潛盾機無法駛入井內須棄殼於擋土壁外，且緊鄰建物等處設置可撓性環片，以提升洞道耐震及止水性能^[3]，並規定可撓性環片須能承受 60mm 伸長、60mm 收縮、100mm 剪斷變位而無損壞。

由於可撓性環片於國內尚無應用案例，為確保理論值與實際組裝完成之功能均可符合現地需求，辦理 $\phi 2.4\text{m}$ 潛盾洞道之可撓性環片實機性能試驗，測試在上述變位條件下承受 60m 之水壓。本案可撓性環片由日本西武化工製造，於 103 年 3 月派員廠驗，檢驗成果如圖 16 所示。



圖 16 大安案可撓性環片實機試驗

大安案首環可撓性環片於 104.1.21 安裝，安裝前於環片四周先行貼附環片止水條，並於掘進至預定可撓性環片裝設位置後，組立可撓性環片主環，其施工方式與一般環片相同。主環上設置承壓墊塊 26 個，於潛盾掘進時提供應力傳遞，

避免可撓性環片於掘進過程中變形。組立完成後將承壓墊塊移除，續將止水橡膠材安裝固定於主環鋼環片，再鋪設覆蓋橡膠。安裝完成後，再將承壓墊塊復原，潛盾工程即可繼續掘進作業。可撓性環片安裝作業可詳圖 17。

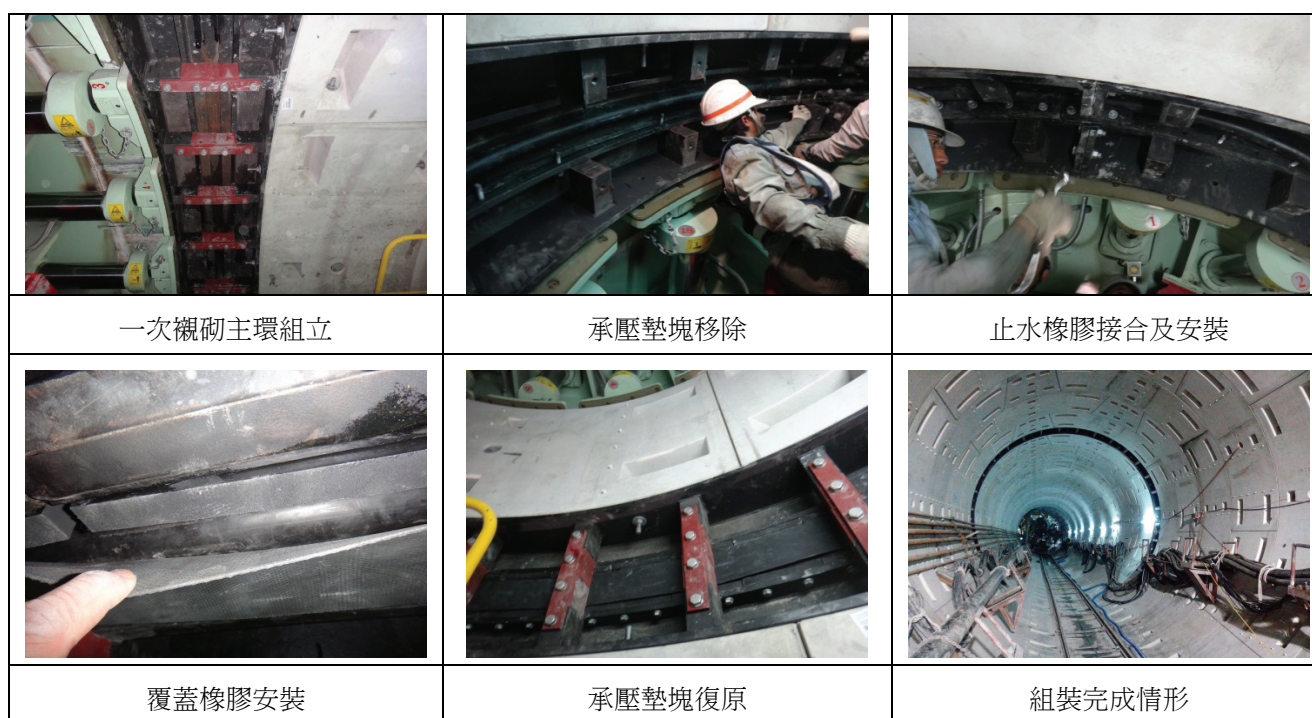


圖 17 大安案可撓性環片現場組裝

二、可撓接頭

「鳳林路段潛盾洞道暨高港(丙)冷卻機房工程」(以下簡稱高港鳳林路段案)為連接高港~五甲~高雄等三座超高壓變電所間之 345kV 地下電纜線路分標工程。本工程範圍南自高港(丙)變電所旁#1 直井起,穿越在萊大排、續沿高雄市大寮區鳳林二路下方北上,迄鳳林二路口與台 88 線路口既有#2 直井止,全長約 1.56km,工程位置如圖 18 所示。

本案分歧井採明挖工法施工,於潛盾洞道貫通完成後,利用全套管沉設工法施作^[4]。

台灣位屬菲律賓板塊與歐亞板塊交界處,地震頻仍,因分歧井與潛盾隧道結構不同,故地震作用下在接頭部位產生應力集中現象,容易造成結構破壞及接頭處滲漏水情況。

經採 ANASYS 程式模擬^[5]地震狀況下之結構行為,傳統接頭及可撓伸縮接頭分歧井、隧道結構之受力行為如圖 19~21 所示,顯示傳統接頭部應力由 48Mpa 降為 23Mpa,可撓伸縮接頭應力約降為原來之 50%;分歧井應力由 7.6 Mpa 降

為 1 Mpa,結構應力約降為原來之 15%;變位分析結果顯示,可撓伸縮接頭變位增為原來 1.875 倍,分歧井變位增為原來 2 倍,仍在伸縮接頭之容許變形範圍內。



圖 18 工址範圍平面圖

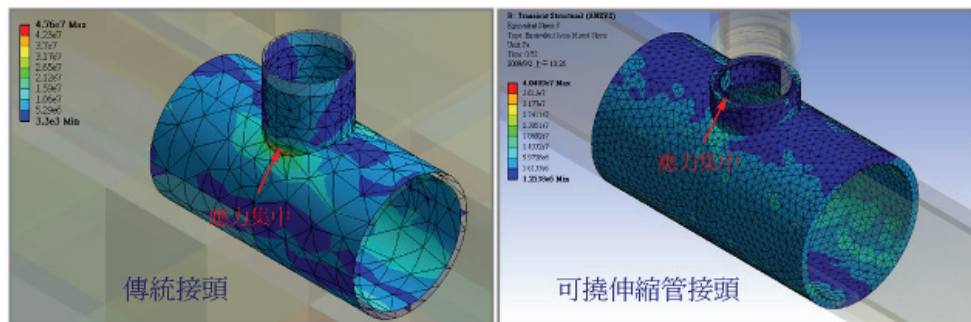


圖 19 地震作用下接頭應力行為

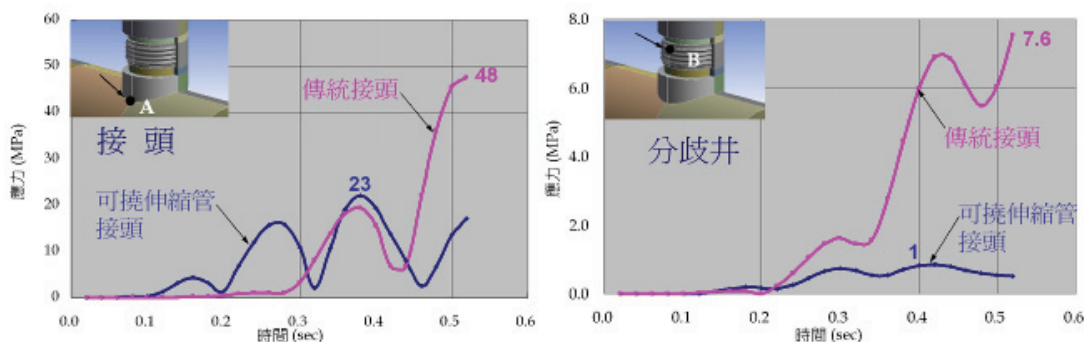


圖 20 洞道接頭型式之受震應力比較

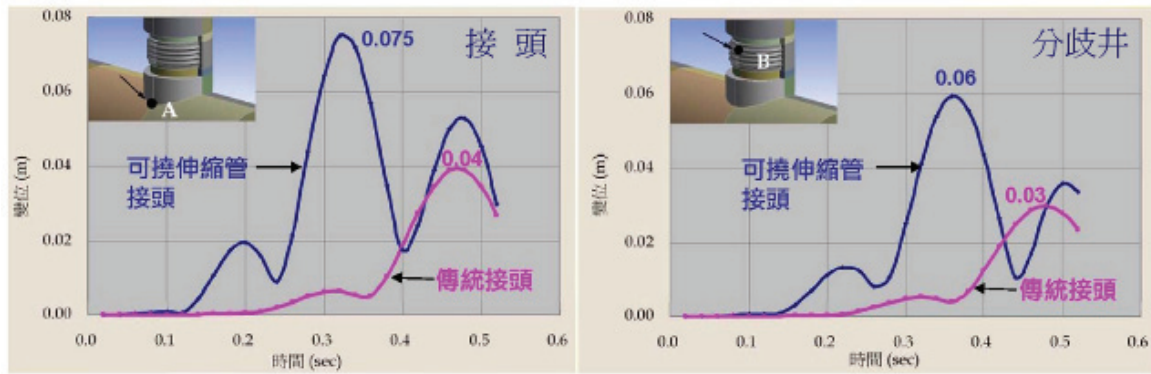


圖 21 洞道接頭型式之受震變位比較

潛盾洞道係採螺栓結合環片襯砌組合而成的環狀結構，加以工址屬高地下水位、砂質地層之條件，環片破鏡作業施工之風險性高，雖於接頭處設計地盤改良灌漿，仍須輔以其他補強措施，以確保開孔施工安全。於潛盾洞道鋼環片襯砌破鏡前，除先行於接合處施築補強環梁作為可撓接頭之基座外，亦於潛盾洞道內側進行鋼環片

補強，以確保洞道結構足以承受環片開孔所引致之大地應力。此外於潛盾洞道內設置密閉隔艙及臨時支撐系統，以備萬一開挖面發生漏水情況時，不致影響已完工貫通之潛盾洞道，並於補充灌漿且確認完全止水後再進行後續銜接施工，相關施工情況如圖 22 所示。



圖 22 高港鳳林路段案分歧井施工

陸、結語

- 一、高地下水位、砂性地盤之地質條件，對地下工程而言是一大挑戰，須突破傳統規劃設計思維並精進，經由研採新工法、新材料、新技術，俾利克服嚴峻之環境條件。
- 二、可撓性環片可吸收在地震發生時所引發的不均勻沉陷、複雜應力及變位，以確保洞道整體的安全性。採可撓性環片取代傳統柔性接頭可避免造成滲漏水弱位並降低維修風險。
- 三、可撓接頭具有變形性、止水效果及強度需求，有效抵抗地下結構外在之土水壓力，避免分歧井對潛盾隧道產生集中荷重，影響隧道結構之安全。
- 四、台灣位處地震頻繁地帶，地下洞道受震影響程度大、風險高。台電輸電線路為供電動脈，提升地下洞道耐震性能可減少送電中洞道震後災損維護補強之困難，有助整體供電穩定。

柒、參考文獻

- [1] 陳文通、游健龍、謝昇穎、李魁士、林聰能、許耀仁，「多樣化地下電纜洞道規劃設計」，第十二屆海峽兩岸洞道與地下工程學術與技術研討會，四川成都，2013 年 8 月，第 B-14-1~9 頁。
- [2] 陳福勝、李魁士、陳聰海，「潛盾洞道工法常見問答集-8 地震、液化、斷層對洞道之影響篇」，中華技術，第 68 期，2005 年。
- [3] 「內徑 $\phi 2,400\text{mm}$ 可撓環片實機性能確認試驗會驗報告」，台灣世曦工程顧問股份有限公司，台北，2014 年。
- [4] 廣記營造股份有限公司，「高港～五甲～高雄 345kV 地下電纜線路鳳林路段潛盾隧道統包工程-分歧井施工計畫書」，2008 年 4 月。
- [5] Jerry Jwo-Ran Chen & Y Chuan Chou, "Study on Response of Large Diameter Piles Caused by Earthquake," *Proceedings of the Sixth Taiwan-*

屋外型電纜終端匣異音檢修處理報告

A Report on the Investigation and Overhaul of Abnormal Noise of
Outdoor Type Cable Termination(EBA)

王俊仁*
Wang, Chun-Jen

洪國明*
Hung, Kuo-Ming

陸國鐘*
Lu, Guo-Jong

劉國才*
Liu, Go-Tsai

蔡其峰*
Tsay, Chi-Feng

摘 要

本文以本處 69kV 屋外型電纜終端匣(EBA)之異音檢修分析過程為例，說明運用非破壞性檢測方式及停電拆解檢修查找異狀肇因。在屋外型電纜終端匣發生振動異音後，運用紅外線熱影像檢測及超音波檢測兩種方式，並藉由比對終端匣的施工組立圖，擬訂檢測計畫。搭配停電拆解檢修，逐步排除各種可能原因。在確立了遮蔽銅線壓接端子鎖固不良的第一問題後，異音幾乎消失但卻轉變為時有時無之微弱聲響，團隊繼續查修，診斷出上部金屬件 O-Ring 斷裂導致水份滲入，確定此次異音是複數肇因，成功防範事故於未然。本文總結異音查修、檢測及分析經過，並提出改善對策，期能提供所有電纜相關從業人員事故處理之參考。

Abstract

This article demonstrates an investigation procedure of identifying the root causes of Kaoping Power Supply Branch EBA abnormal noise through non-destructive inspection and overhaul during power disconnection. Once the vibration noise of EBA was found, infrared thermal imaging and Acoustic Emission(AE) detection were carried out, and an examination plan was formulated by the comparison of EBA assembly drawing. Possible reasons were ruled out by means of overhaul during power disconnection. After the first root cause (defective locking of metallic shield terminal) was identified, the obvious noise turned to intermittent faint sound. The investigation did not stop until the second root cause (water seepage due to the rupture of top plate O-ring) was found. Therefore it is concluded that this EBA abnormality is attributable to multiple root causes and a potential power failure has been prevented. The investigation, overhaul and analysis process of EBA noise abnormality are summarized and countermeasures are proposed in this article. We sincerely hope to provide the experience as reference to engineers of the power industry.

關鍵詞(Key Words)：屋外型電纜終端匣(EBA)、電力電纜(Power Cables)、非破壞性檢測(Non-Destructive Inspection)、紅外線熱影像(Infrared Thermal Imaging)、超音波檢測(Acoustic Emission)。

壹、前言

本處岡山至橋頭 69kV 輸電線路(以下簡稱「本線路」)岡山變電所~#1 連接站區間於 93 年 10 月 5 日改設地下電纜完成加入系統,104 年 10 月 2 日分隊維護人員於#1 連接站架設防蚊網時,聽到 T 相電纜終端匣有持續性的異常聲響。基於線路維護之預警意識,本處採取各項非破壞性檢測方式^[1],輔以停電診斷,最終確認該終端匣之兩大問題點,異音屬複數成因。本文整理此次異狀之檢修分析及處理心得,供研究參考。

貳、線路概要

一、線路基本資料

本線路電纜下地區間為岡山變電所~#1 連接站,線路長度約 4.05 公里,電纜製造商為大同股份有限公司,關鍵性器材供應商為 SUMITOMO(住友電工,已和 Hitachi 合併為 J-Power Systems)。旨揭線路於 93 年 10 月 5 日加入系統,運轉至今滿 11 年。

二、線路負載

本線路供應高雄市橋頭區用電,經統計過去 1 年來的線路利用率,分佈在 30%至 60%的區間,線路最大負載出現在 104 年 6 月(627A, 66%, 如表 1)。

表 1 岡山~橋頭紅線負載資料

月份	103 年 10 月		103 年 11 月		103 年 12 月		104 年 1 月		104 年 2 月		104 年 3 月	
負載	最大電流	利用率	最大電流	利用率	最大電流	利用率	最大電流	利用率	最大電流	利用率	最大電流	利用率
	489.2A	52%	352.5A	37%	433.7A	46%	361.6A	38%	372.7A	40%	442.9A	47%

月份	104 年 4 月		104 年 5 月		104 年 6 月		104 年 7 月		104 年 8 月		104 年 9 月	
負載	最大電流	利用率	最大電流	利用率	最大電流	利用率	最大電流	利用率	最大電流	利用率	最大電流	利用率
	366A	39%	402.9A	43%	627A	66%	426.4A	45%	551.3A	58%	451.6A	48%

參、異音檢測紀錄

一、異音情形說明

104 年 10 月 2 日,分隊維護人員至本線路#1 連接站進行電纜溝之防蚊網安裝,於工作過程中發現有人耳可覺之持續性異音,類似金屬振動/碰撞的聲音。由於#1 連接站為 4 回線連接站鐵塔,皆在送電中,經由異音分貝數及方位比對,初步可判斷本線路#1 連接站之 T 相屋外型電纜終端匣(EBA)為異常聲響之來源(如圖 1)。雖然連接站鄰近車水馬龍之台一線省道,只要站在台架旁邊,亦可輕易聽到。



圖 1 岡山~橋頭紅線#1 連接站

二、紅外線熱影像檢測

紅外線波長介於 $0.75\ \mu\text{m}\sim 1000\ \mu\text{m}$ 間，是一種檢測設備表面溫度異常之非接觸測溫診斷方式^[2]。依維護單位的經驗，紅外線檢測可能於下列兩種情況下會診斷出電纜終端匣之異常溫差：

- (一) 導體引出棒未妥善壓接，或與架空引接之壓接端子處螺絲鬆動
- (二) 礙管表面有過大洩露電流

104 年 10 月 5 日運用紅外線掃描本線路#1 連接站之電纜終端匣，除了比對三相間之差異，亦對每一相之各部溫度進行檢查。三具終端匣檢測結果皆無發現溫度差異，可初步排除 T 相導體引出棒或壓接端子有壓接/鎖固不良之問題。



圖 2 AIA AE 檢測器

三、超音波檢測

(一) 檢測原理說明

超音波檢測，又稱為音射 (Acoustic Emission, AE) 檢測，是一種利用聲學評估電力設備內部狀態之非破壞性檢測方式^[3]。透過解析超音波探頭接收到的音壓訊號，轉換成電子訊號後再前置放大，經由信號處理分析技術，了解聲波在設備內部傳遞的情形及來源位置，進而達到設備內部異常位置之標定。

(二) 檢測方式

本次超音波檢測使用 Doble TransiNor As 公司之 AIA 儀器 (Acoustic Insulation Analyzer，聲波絕緣分析儀，如圖 2)，首先將超音波探頭貼附於待測物表面 (如圖 3)，儀器可設定為自動產生 1000 次測試訊號，透過高靈敏度探頭傳導到設備內部，聲波傳導後進行 RMS 檢測、峰值檢測、頻率檢測等分析，資料可匯出到隨身碟以備進一步比對 (副檔名為 DAT)。



圖 3 貼附超音波探頭

(三) 檢測經過

104 年 10 月 5 日本處利用 AIA 儀器進行超音波檢測，針對旨揭線路電纜終端匣，除了檢測異音相(T 相)，亦檢測無異音相(R 相)以建立背景參考值。

於超音波檢測(活電作業)前，需先擬訂檢測計畫^[4]，以確保查修之效率及正確性。由於現場聆聽異音之特性，偏向金屬振動音，比對 SUMITOMO 屋外型電纜終端匣之施工組立圖(詳圖 4)，EBA 的整體架構上，有可能產生金屬振動聲響的部位，不外乎礙管以下之螺栓(保護金具鎖固處、鍍錫遮蔽銅線鎖固於壓縮裝置處)、接地端子；或礙管以上之螺栓、導體引出棒。由業已完成之紅外線檢測及目視檢查，初步可排除外部肉眼可見之螺栓鬆動的可能性，於是規劃對終端匣保護金具內部進行超音波檢測。

當日下午於現場實施超音波檢測，逐次在終端匣保護金具表面多個位置，貼附超音波探頭，檢測報告詳如圖 5~圖 10。超音波檢測可用於發現電力設備之數種異狀(如表 2)^[5]。一般而言，超音波檢測數值若在 1mV 以下，歸類為部分放電之背景值。本次檢測確有發現背景值以外之異常訊號，由檢測位置來判讀，異音位置對應保護金具內部，位於遠離支持礙子及避雷器側。基於超音波檢測之結果，本處決定提出停止要求書，停電拆解以確認異音來源。

表 2 超音波檢測可能發現之異狀

超音波檢測可能發現之異狀
1、尖端/凸出物(Protrusion)
2、介質內之粒子(Particles)
3、浮動電極/機械鬆動
4、氣孔/空隙(void)

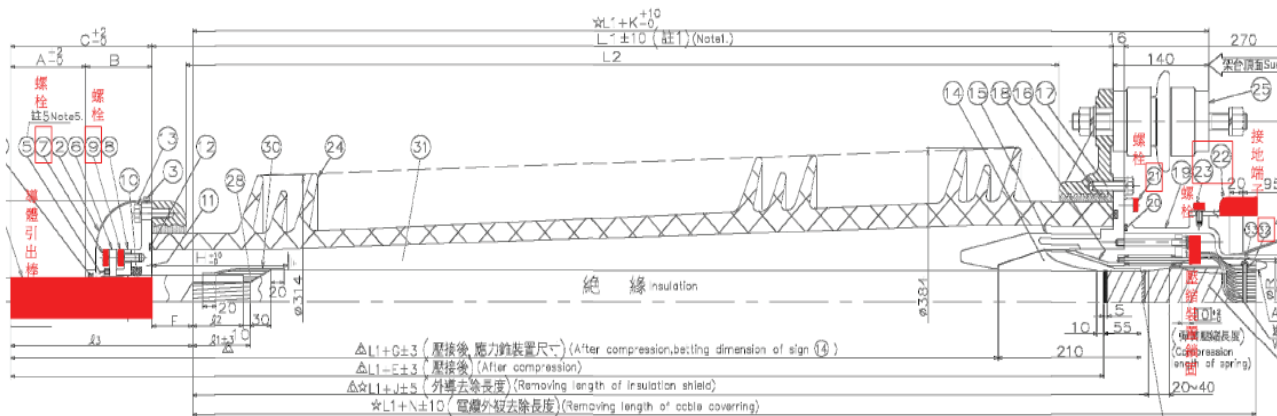


圖 4 屋外型電纜終端匣施工組立圖

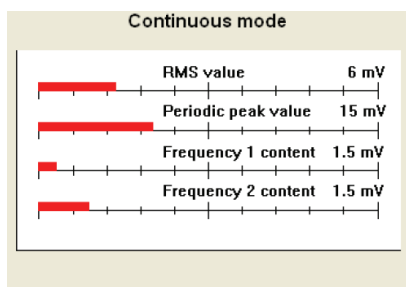


圖 5 保護金具位置 1(右側)之連續模式圖形

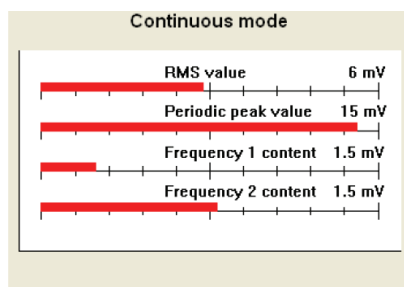


圖 6 保護金具位置 2(左側)之連續模式圖形

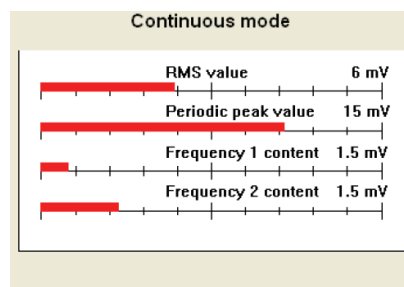


圖 7 保護金具位置 3(前側)之連續模式圖形

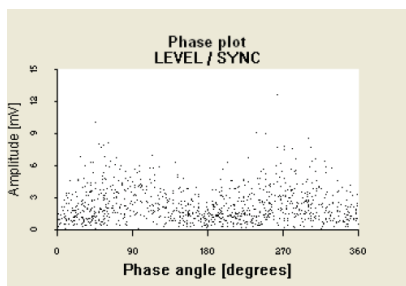


圖 8 保護金具位置 1(右側)之相位模式圖形

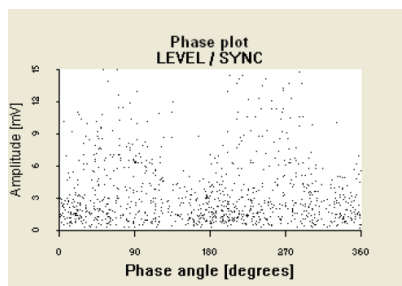


圖 9 保護金具位置 2(左側)之相位模式圖形

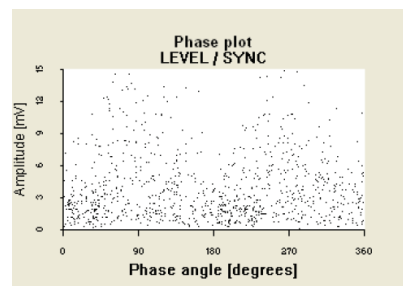


圖 10 保護金具位置 3(前側)之相位模式圖形

肆、拆解印證異音來源

一、104 年 10 月 6 日第一次停電拆解

(一) 停電拆解過程

104 年 10 月 6 日停電後進行異音終端匣保護金具之拆解檢修，逐步檢視有無鬆脫或未鎖固之部件。保護金具順利移除後，針對應力錐壓縮裝置及遮蔽銅線連接處進行細部檢查，有以下發現：

1. 發現一束遮蔽銅線之壓接端子，固定在應力錐壓縮裝置處有鬆脫現象，使得該束遮蔽銅線可輕易被搖動(如圖 11)。



圖 11 遮蔽銅線壓接端子鬆脫處

2. 壓接端子以螺栓鎖固在銅環上，臨近之螺栓會互相牽動，在鎖緊螺栓後需確認其他螺栓有無因此而鬆動。

3. 對照電纜終端匣之組立說明，「將各束遮蔽銅線與 38mm² 壓接端子壓接在一起…將壓接端子與遮蔽銅線安裝在適當位置上」，現場可看到，遮蔽銅線分為四束，透過壓接端子安裝在應力錐壓縮裝置上。

除了以上發現，現場並未檢查出其他可疑鬆脫處。於是拆解團隊以扳手將所有壓接端子之螺栓轉至定位，並再次確認所有螺栓皆已鎖固後，即將保護金具復原，恢復送電。

(二) 驗證

旨揭線路恢復送電後，異音音量明顯下降，但仍有些微異音(時有時無，且在週遭背景噪音消失時，才聽得到)。由此現象可以推斷：

1. 10 月 6 日停電拆解發現之遮蔽銅線壓接端子鬆脫，的確是 T 相電纜終端匣異音的成因之一。
2. 復電後仍有些微異音，表示此異狀為複數成因所引起，T 相終端匣仍存在潛藏之問題，需再次停電以進一步查明原因。

二、104 年 10 月 8 日第二次停電拆解

第二次停電後對異狀終端匣進行整體拆解，有以下發現：

- (一) 上部金屬件拆除後，發現礙管內矽油有進水現象。抽出之矽油呈現混濁狀(正常為無色透明狀)。
- (二) 法蘭處之 O-Ring 已斷裂成 2 段，可發現礙管內壁有殘存水滴(如圖 12)。



圖 12 上部金屬法蘭部 O-Ring 斷裂

- (三) 上部金屬之法蘭內面有銅線及水漬，足證終端匣進水之跡象。仔細觀察上部金屬溝槽之顏色差異，顏色較暗處 O-Ring 有固定，顏色較亮處之 O-Ring 已斷裂脫落(如圖 13)。嘗試於法蘭上重建斷裂之 O-Ring，與顏色變化處位置完全符合(如圖 14)。



圖 13 上部金具法蘭部銅線及水漬



圖 14 上部金屬 O-Ring 斷裂模擬狀況

- (四) 電纜絕緣體及應力錐表面無肉眼可見之異常(如圖 15)。



圖 15 應力錐表面無異常

伍、分析與檢討

一、異狀原因分析

- (一) 拆解過程發現四束遮蔽銅線其中一束之壓接端子，未妥善鎖固於壓縮裝置上，只要有連續之應力即可造成金屬振動聲響。遮蔽銅線屬於接地系統，活電中會感應電壓致產生

電應力。

- (二) 由第二次拆解結果分析，上部金屬件法蘭溝槽內之 O-Ring 斷裂成兩段。推敲其肇因，可能 O-Ring 有部份未妥善固定於法蘭溝槽內，即強行組裝上部金屬件，O-Ring 在螺絲迫緊之壓力下斷裂，失去防水功能，水份得以滲入矽油內。

二、改善對策

此型式 69kV 屋外型電纜終端匣已使用多年，組立時須參考原廠組立說明書/組立圖，配合自主檢查表逐項比對，惟仍有部份關鍵點需特別注意：

- (一) 上部金屬件之法蘭置放於礙管上後，在鎖固前需由法蘭與礙管的空隙，檢視法蘭溝槽內之 O-Ring 有無脫落，必要時得以光源輔助，通常可藉由明暗之差異查覺 O-Ring 有無脫落處。
- (二) 應力錐壓縮裝置下方之螺栓，在鎖固時容易互相影響，在把壓接端子固定完妥後，務必再確認應力錐壓縮裝置的所有螺栓無鬆脫的情形(如圖 16)。



圖 16 壓縮裝置需逐點確認鎖固

陸、結論

本次本線路#1 連接站電纜終端匣於異音發生初期即刻查覺，積極運用紅外線熱影像檢測及超音波檢測兩種非破壞性檢測方式，逐步排除各種可能原因，並搭配停電拆解檢修，在排除了遮蔽銅線壓接端子鎖固不良的問題後，異音幾乎消失但卻轉變為時有時無之微弱聲響，鍥而不捨繼續查修，因而診斷出上部金屬件 O-Ring 斷裂導致水份滲入，確定此次異音是複數肇因，防範事故於未然。

柒、參考文獻

- [1] D. Lindsay, "Underground Cable Fault Location Reference and Application Guide," EPRI, Palo Alto, CA, Technical Report 1023060, 2011.
- [2] 張家豪，「中壓電纜絕緣劣化趨勢之研究」，碩士論文，台灣科技大學電機工程系，2010 年。
- [3] 黃澤勇，「東社 D/S 松樹白線 161kV 電纜終端匣(EBA)異常檢修報告」，台電公司新桃供電區營運處，新竹，2010 年。
- [4] 尤子瑋，「屏東~潮東一路電纜終端異常檢修報告」，台電公司高屏供電區營運處，高雄，2011 年。
- [5] 鄭凱中，「配電變壓器二次側電纜之局部放電檢測圖譜分析報告」，台電公司嘉南供電區營運處，台南，2009 年。

擴大配電規劃需求功能整合應用研究

Expansion of Integrated Functions for Distribution System Planning

王耀村*
Wang, Yaw-Tsuen

王金墩**
Wang, Chin-Tun

陳裕清**
Chen, Yuh-Ching

陳朝順***
Chen, Chao-Shun

林嘉宏****
Lin, Chia-Hung

許振廷*****
Hsu, Cheng-Ting

張大豪****
Zheng, Da-Hou

高國峰*****
Kao, Kuo-Feng

賈方霈**
Chia, Fang-Pei

(102~104 年度研究計畫論文)

摘 要

本研究整合台電公司配電管理圖管理系統(DMMS),新電費核算系統(NBS)及再生能源管理系統(REMS),建置配電規劃資訊系統(DPIS),配合配電自動化系統(DAS)所收集之配電系統運轉資料,已能驗證台電公司內部各種不同資訊平台之整合,可有效支援配電系統各種規劃作業,達成配電規劃效能之提升,其中包括人力需求之減少與準確度之提高,另外本研究亦發展分散式電源併網審查工具,藉由介面程式之開發針,直接擷取 DMMS 系統配電網路資料,可針對分散式電源併網所造成之系統電壓變動、故障電流及電力諧波等分析,目前此工具已能成功運用於營業區處,支援 DG 併網審查作業。

為進一步提升配電系統規劃、運轉及維護應用功能之效能,擴大 DMMS 與 NBS 系統之加值應用,本研究發展更多之配電分析軟體與介面程式之開發,以自動化方式掌握配電系統已設置及通過申請之 DG 併網量,並評估配電饋線之最大允許 DG 併網量,以加速日益增多分散式電源併網之審查,針對燈力並供變壓器與發展其等效模型,以增進分析之準確度。應用 DMMS 系統之用戶分佈和 NBS 之用戶售電量,配合 DDCS 與 FDCS 之供電區段負載實績,考慮新設用戶之用電計畫申請,提升區域性負載預測之準確度,以支援配電系統規劃作業平台之建置。收集區處甲式工程作業方式,建構與 DPIS 整合之甲式工程規劃平台,配合饋線執行不停電或故障復電之負載轉供作業,推估 DG 於系統轉供後所造成之可能電壓變動,並推導 DG 系統之控制策略,以減少 DG 發電對配電系統之衝擊,最後配合台電 AMI 系統之建置,評估 AMI 系統資料對提升配電運轉與規劃之作業效能。

由於配電規劃資訊平台,對於配電系統規劃作業之效能提升極為關鍵,本論文藉由介面程式與各種應用軟體之開發,大幅提高台電公司資訊系統之加值應用,並有效支援營業區處營運之效能。

*台灣電力公司配售電事業部新竹區營業處

**台灣電力公司綜合研究所

***義守大學電機工程學系

****國立高雄應用科技大學電機工程學系

*****南台科技大學電機工程學系

*****極簡科技股份有限公司

Abstract

This project is to integrate the various database in Taipower to support distribution system planning. The Distribution Mapping Management System (DMMS), Renewable Energy Management System (REMS), and New Billing System are integrated to form the DPIS. With the development of interface software, the network topology of distribution feeders can be generated with the system data of line segments and buses to support the impact analysis of renewable energy systems such as system voltage variation, fault currents and harmonic distortion. This analysis tool has been successfully applied in all distribution districts to support the review process of DG integration.

To further improve the performance of planning distribution system operation and maintenance, and to improve the value added application of DMMS, NBS and DAS system in Taipower, this project develops more application software and interface sub-routines. The DGs which have been installed in the system will be included in the integration review process. To simplify the DG integration review process, the maximum allowable capacity of DG integration is derived from the analysis of distribution feeders. The mathematical modeling of open wye-open delta transformers is developed in order to increase the accuracy of system impact analysis. The customer distribution is retrieved from the DMMS with customer billing data from the NBS, and the load distribution of distribution system is identified more accurately by combining the operation data from DDCS and FDCS. The load growth of the existing customers and the electricity demand planning for new customers are taken into account in the forecast of area power loading, which will make the planning of distribution system to be more efficient. The operation platform used for planning of distribution system in different districts is to provide a more effective planning platform under the assistance of DPIS. To assist the distribution system operation for feeders with DGs, the impact of voltage fluctuation due to addition of DGs and load change is also analyzed, which is used in formulating a strategy for better control of DG systems to mitigate the impact of renewable energy integration. Finally this project will evaluate the customer information data, which are collected by the AMI system and to be integrated in DPIS for better distribution system planning and operation.

With increasingly important roles of DPIS in the effective distribution system planning, the interface subroutine and application software which are developed in this project will enhance the value of utilizing database in Taipower. The operation efficiency of distribution districts will be improved by using the DPIS system to be developed in this project.

關鍵詞(Key Words)：配電圖資管理系統(Distribution Mapping Management System)、配電規劃資訊系統(Distribution Planning Information System)、分散式電源 (Distributed Generation)、再生能源管理系統(Renewable Energy Management System)。

壹、前言

配電系統由於涵蓋範圍極廣，且隨著負載成長而必須加以擴充，為維持數量龐大之配電設備管理，台電公司已於所有區營業處建置配電管路圖管理系統(DMMS)^[1]，從變電所之主變壓器、饋線主幹線及分歧線、高壓用戶、配電變壓器及低壓用戶皆納入電腦化管理，其中所有配電設備元件之屬性與元件間之連結關係皆儲存於設備管理資料庫，並有圖檔作為對應。此 DMMS 系統可提供配電系統網路架構之建置，以支援各種應用功能分析軟體之資料需求，而之前所執行之研究計畫「以停限電運轉圖資管理系統支援配電系統損失之推估」及「配電規劃需求功能整合應用研究」，亦已驗證以 DMMS 系統作為系統規劃資料核心之可行性。由於台電配電系統饋線數超過 8,500 條，饋線長度超過 32 萬公里，配電變壓器超過 120 萬台，用戶數更高達 1,338 萬戶，目前區營業處執行配電系統各種規劃分析，如負載分佈、負載預測、大項工程等，必須花費大量人力從事配電網路資料之蒐集，並作各種條件之假設，而影響系統規劃之效能與準確性。為提供高效能分散式電源併網所造成配電系統之衝擊分析，以作為 DG 申請設置之審查工具，本研究團隊亦已執行完成之「配電規劃需求功能整合應用研究」研究案，已能直接從 DMMS 擷取配電饋線網路資料，有效支援 DG 併網之衝擊分析，藉由人機介面及分析軟體之開發，可提供營業區處人員快速完成 DG 併網之審查工作，在與 EPRI 之 OPENDSS 與其他商用軟體比較後，亦驗證本審查工具之準確性，因應國內再生能源之發展，將有日益增多之再生能源併網審查，為有效提升整體審查作業之效能，必須與再生能源管理系統作進一步結合，將個別饋線已裝置及已申請核准之 DG 系統全部納入分析，藉由多點分析，評估新申請之 DG 系統，是否會造成其他既存 DG 系統責任分界點之系統衝擊超出併聯辦法之限制

條件。另外為因應陽光屋頂百萬座計畫之推動，將有更多中小型之 DG 系統併接於燈力併供變壓器之低壓側。為進一步提升系統衝擊之準確性，亦必須就此推導其等效電路模型並納入應用分析軟體，以提供系統衝擊分析之準確性。

為推動業務電腦化，近年來台電公司已完成所有區處之配電管路圖管理系統(DMMS)，將配電線路、管線及所有設備均加以建立數位化之自動圖資系統，有效達成設備管理，並能隨工程推動與系統運轉，作適時更新動作，其圖資準確度相當高，已可支援部份應用功能^[1]。為強化用戶電費管理運作，台電公司亦已完成新電費核算開票系統(NBS)之設置，對用戶用電量、電費等相關資訊，提供更具功效之管理系統。另外為強化系統供電可靠度，台電多年來持續推動變電所自動化及饋線自動化，就變電所主變壓器，饋線運轉達成自動化之監測，控制與資料蒐集。為達成饋線故障時能快速達成故障定位、隔離、及非故障區之復電(FDIR)，目前已超過 5000 條配電饋線已完成饋線自動化功能。若能擷取 DMMS 系統相關設備資料以建構配電網路，將可支援各種配電系統規劃應用功能軟體。另外 DDCS 與 FDSCS 系統，蒐集主變、饋線及開關之負載實績資料，可支援配電系統運轉規劃，提供轉供及系統擴充規劃之依據。此外結合 DMMS 系統之用戶分佈，再與 NBS 系統作整合，擷取用戶之用電類別與售電量，應用負載特性調查之標準日負載曲線^{[2]-[4]}，可更加精確推估系統之負載分佈，支援配電系統擴充等大項工程之規劃作業，藉由 DMMS 圖資系統及 NBS 用戶用電資訊，整合配電自動化系統所蒐集之配電系統運轉實績，同時納入區域性都市計畫對應之用電計畫，將可進一步提升區域之用電預測準確性，並作為變電所及配電饋線擴充規劃，負載重新分配之重要參考，預計將可提升配電甲式工程之成本效益。

隨著智慧電網之發展為有效提升再生能源於配電系統之滲透率，必須將 DG 之管理策略與智慧配電應用功能作整合。由於配電系統常常必

須配合維修而執行不停電轉供作業，當含 DG 高滲透率之饋線作轉供時，由於饋線長度及 DG 併網量之變化，有可造成過大之系統衝擊，因此必須配合智慧配電之轉供作業，評估其系統衝擊是否會超過運轉規範，藉由 DMMS 及 REMS 之整合，可提供智慧配電運轉之參考，並支援 DG 系統實功輸出與虛功補償之遠端與近端控制策略，此外就配電系統因變電所或主變全停之大範圍停電事故，亦必須藉由自動化模式，根據各供電區域之負載實績，配合軟體開發，有效推導變電所、主變壓器及饋線之轉供方案，提供調度人員作運轉之參考^{[5]-[23]}。

台電目前正積極推動佈建智慧電表以達成先進電表基礎建設(AMI)之功能，除自動讀表功能外，亦必須評估 MDMS 系統所蒐集之用戶售電與停電回報相關資訊，能有效支援配電系統規劃與運轉之需求，而提升 AMI 系統之成本效益。本論文亦將評估 MDMS 與 DPIS 之整合，以規劃 OMS 用戶停電偵測機制，及考量用戶之售電有效支援負載分佈與負載預測之推估。

國內外學術界、工業界及電力公司針對配電系統分析，分散式發電併網對配電系統衝擊分析研究，已累積良好研究成果及值得參考之處。但將各種配電系統規劃應用功能和配電系統資訊平台作整合應用，則較為缺乏。且國外軟體分析工具若欲與台電既有資訊平台作結合，亦存在極高之困難度。以台電公司積極推動各種資訊系統，除專屬功能之應用外，其所儲存之資訊若能加以整合，再配合規劃應用功能之開發，應能有效支援台電公司之配電規劃業務。

貳、配電規劃資訊系統

本論文研究預期擴大建置 DPIS 應用系統，達成提昇配電自動圖資(DMMS)系統與 NBS 系統之附加應用，發展配電規劃之應用功能與友善系統作業環境，使未來區處人員執行系統分析及規劃工作，能減少人力需求並提升作業之準確

性，並提升 DMMS 之應用功能與附加價值。而規劃工作站亦需要充足的運算效能以完成其負載分析、DG 併網衝擊分析以及支援未來各種規劃應用功能，故建議採用富饒用戶端架構(Rich Client Platform, RCP)，以滿足規劃分析運算所需。

一、DPIS 應用系統基礎架構

本論文中使用 IBM 所開發支援的開放原始碼專案：Eclipse RCP 平台為基礎進行 DPIS 應用系統之擴大開發。而使用其平台進行開發主要的優點有：1.組件化－基於 Eclipse 的系統設計由被稱為 plug-ins 的插件構成，可以通過擴展點進行配置，也可以被不同應用程序共享；2.便利性－Eclipse RCP 對各個平台下的產品包裝提供了強有力的支持，其開發的 RCP 甚至可以在嵌入式設備、掌上電腦上運行；3.智慧型安裝和升級－Eclipse 提供了專門的 Update 組件，可以實現通過 HTTP、Web 站點、複製等多種方式進行安裝和更新，一掃早期富饒客戶端應用部署升級的麻煩；4.可擴展性－Eclipse 基於插件進行擴展的思想使得用戶可以方便地搭建各種規模、類型和用途的應用程序。Eclipse RCP 一開始就被設計為可擴展的；5.目前主機視覺觀感及使用體驗－Eclipse 為各種作業系統提供了各當地的圖形視覺化介面封裝。當 RCP 運行時，Eclipse 首先直接使用當地作業系統的視窗組件，只有在作業系統沒有所需組件時才進行模擬。無論 RCP 在哪種操作系統上運行，都可以保持與作業系統一致的外觀和行為。一個設計優良的富饒客戶端，可以提供諸如拖曳操作、剪切板、導航等 UI 元素。UI 設計者也可以利用各種界面工具，輕鬆設計出完美的用戶界面。

而 Eclipse RCP 則是以 OSGi 作為其外掛程式的底層運行時架構，是由 OSGi Alliance 組織(是一個由 Sun Microsystems、IBM、愛立信等於 1999 年 3 月成立的開放的標準化組織，最初名為 Connected Alliance 所制定的。該組織及其標準原

本主要目的在於使服務提供商通過住宅網關，為各種家庭智能設備提供各種服務。目前該平台逐漸成為一個為室內、交通工具、流動電話和其他環境下的所有類型的網絡設備的應用程序和服務進行傳遞和遠程管理的開放式服務平台。

該規範和核心部分是一個框架，其中定義了應用程序的生命周期模式和服務註冊。基於這個框架定義了大量的 OSGi 服務：日誌、配置管理、偏好，HTTP(運行 servlet)、XML 分析、設備訪問、軟件包管理、許可管理、星級、用戶管理、IO 連接、連線管理、Jini 和 UPnP。這個框架實現了一個優雅、完整和動態的組件模型。應用程序(稱為 bundle)無需重新引導可以被遠程安裝、啟動、升級和卸載(其中 Java 包/類的管理被詳細定義)。API 中還定義了運行遠程下載管理政策的生命周期管理。服務註冊允許 bundles 去檢測新服務和取消的服務，然後相應配合。

OSGi 原先應用於服務通信間，其實可用於多個方面。現在 OSGi 規範已經用於從流動電話到開源的 Eclipse(其中包括了與 IBM 的 OSGi 框架 SMF 兼容的開源版本)。OSGi 服務平台的應用包括：服務網關、汽車、流動電話、工業自動化、建築物自動化、PDA 網格計算、娛樂、和雲端運算。

Eclipse RCP 採用的視覺介面技術是 IBM 公司開發的(SWT)，這是一種基於 Java 的視窗元件，類似 Java 本身提供的 AWT 和 Swing 視窗元件；不過 SWT 比其他 Java 視窗元件更有效率。Eclipse 的使用者界面還使用了 GUI 中間層 JFace，從而簡化了以 SWT 為基礎的應用系統開發。Eclipse 的設計思想是：一切皆插件。Eclipse 核心系統很小，其它所有功能都以插件的形式附加於 Eclipse 核心之上。

配電規劃系統預期將由 Eclipse RCP 平台構建應用系統，以替代原有的從零開始寫起的複雜應用，而此平台已經由 Eclipse 基金會以及全球的數百名開發者對平台做了大量檢驗和測試，則使應用可以方便快速的開發和整合，並且跨作業

系統平台的工作也一併由 Eclipse RCP 平台本身統一完成，並且可以在多種作業系統上運轉。目前資訊業界已普遍的應用 Eclipse RCP 系統平台發展應用系統其架構的可擴展性以及基礎平台的可靠性是普遍所為軟體業界所接受，以其為基礎建置配電規劃系統對未來推廣時的系統佈署與擴充功能建置，將會有很高的效益。

二、DPIS 應用系統架構

DPIS 應用系統採用 Eclipse RCP 平台進行建置時，其系統架構包含基礎的 Eclipse RCP 組件如圖 1，而此平台已經由 Eclipse 基金會以及全球的數百名開發者對平台做了大量檢驗和測試，使應用可以方便快速的開發和整合，並且跨作業系統平台的工作也一併由 Eclipse RCP 平台本身統一完成，並且可以套用在多種作業系統上運轉，以滿足規劃分析運算及未來系統擴充所需。其系統架構如下：

- (一) uDig 地理資訊系統基礎層：採用 uDig 開放式地理資訊平台的基礎層。此層提供基礎的幾何與空間運算功能，以及應用系統需使用的共用基礎。
- (二) 規劃專案管理：此層定義應用系統中的主要資料模型。所有規劃管理是以規劃專案的表示，專案中將會含有多種圖種(如負載分佈圖，輸出圖面等)，而每種圖種中又是由供電區段所組成。此類的功能的管理以及使用介面皆由此組件負責。
- (三) 資料來源目錄管理：所有可提供至 DPIS 應用系統的資料皆以資料目錄來表示；如地形圖，配電圖資以及 DPIS 資料庫等。而目錄管理規範所有提供資料的來源的共通行為，並進而在日後擴充時可依循此架構，便捷的加入既有的系統以提供服務。
- (四) 設備電氣連結性管理：配電規劃管理應用系統主要模型的建立是由 DMMS 系統中的電氣連結性為主。本系統營業區處為單位納入所有的供電饋線進行管理與運算，再精簡出

簡化的配電規劃模型以供應用系統使用的。簡化的模型同時也整合地理空間資訊，提供正確的圖形繪製與顯示使用並可整併至現有台電圖資配合顯示，以提供規劃人員重要的規劃參考依據。

- (五) 設備繪製與使用者介面管理：提供繪製配電規劃模型至標準的地理資訊幾何空間，如此可配合地理資訊之地形圖與現有台電配電系統圖整合使用。此組件亦提供配電規劃應用繪製功能以及其他規劃使用的使用者介面功能。
- (六) 系統外掛機制：規範 DPIS 平台所需要的外掛模式，以供其他模組加入(如負載分佈功能、三相潮流分析功能與再生能源並網分析等)。

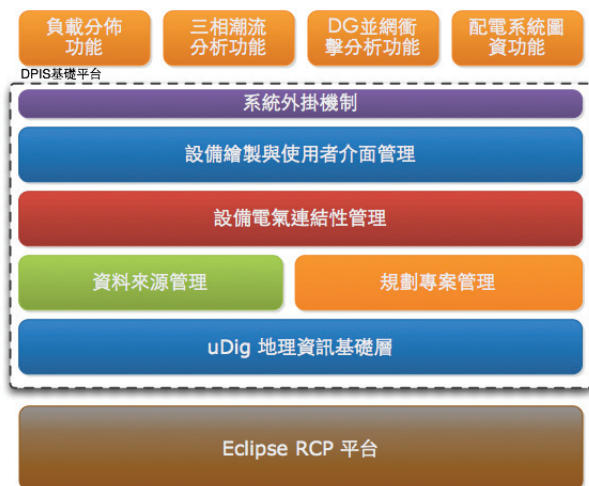


圖 1 配電規制作業應用系統

DPIS 應用系統採用 Eclipse 專案的子專案 - 圖形編輯架構(Graphical Editor Framework, GEF) 作為建構配電系統單線圖以及開發負載分佈圖繪製工具的基礎。GEF 允許開發者使用已有的應用模型便捷的開發出一個圖形化編輯器。GEF 可以使開發者快速的將現有的模型移植到一個圖形化編輯的環境中。這個圖形化環境是基於 SWT 的繪圖插件"draw2d"。GEF 是基於 MVC 框架的，他可以使開發者方便的實現 drop/drag、undo/redo、move、delete、resize 等圖形編輯器的

基本功能。GEF 非常適合用於開發流程編輯器、GUI Builder、UML 圖編輯器、workflow 編輯器、甚至是像 html 這種所見即所得的文本編輯器。結合 GEF 和 RCP 就可以開發出運行與 Eclipse 平台外的圖形編輯器如圖 2 所示。

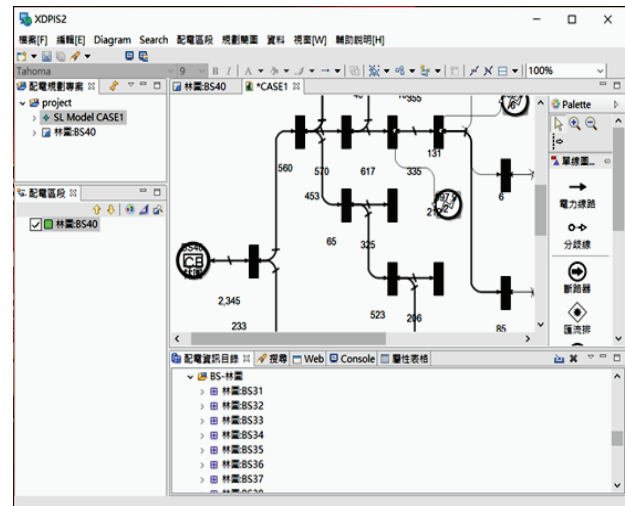


圖 2 DPIS GEF 開發實例

本論文開發小組應用 Eclipse RCP 平台於台電配電圖資應用之相關系統建置經驗，如台電 DMMS 系統圖資與 GeoDMMS 網路設備圖資系統整合如圖 3 所示，並且可整合系統屬性資料與空間資料，同時也遵循台電圖資規範呈現配電系統圖。

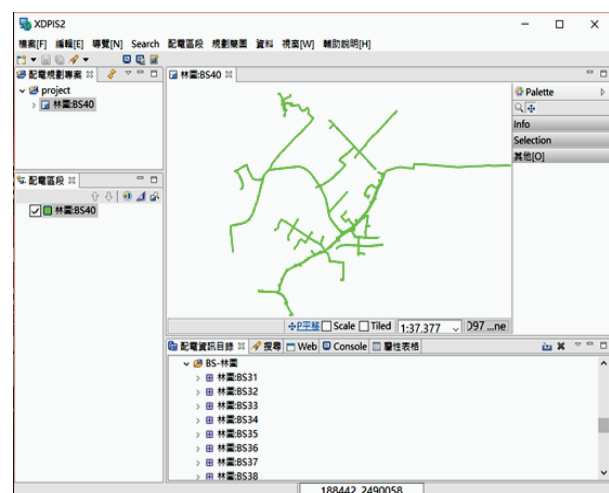


圖 3 配電系統圖資應用

透過利用 Eclipse RCP 平台建立的台電配電

規劃整合平台，將本論文預期達成的應用功能配合前述的配電基礎圖資建置相關的操作選單如圖 4 所示，規劃人員再以營業區內轄的饋線為單位執行所需要的應用。

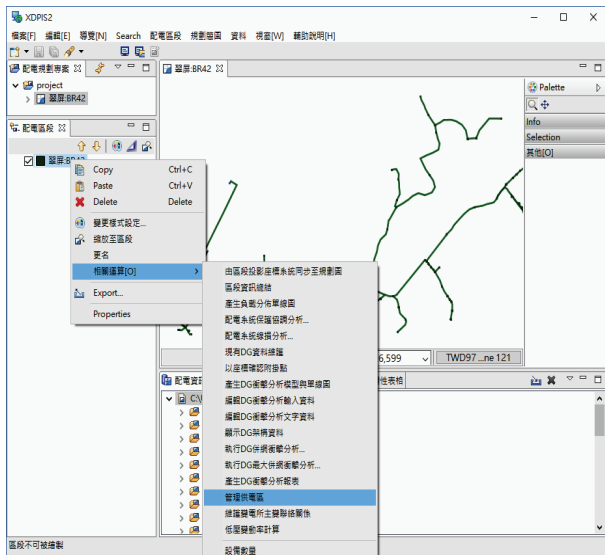


圖 4 併網分析系統圖資應用

本論文利用 Eclipse RCP 平台建立簡易之饋線連結性簡化拓模模型如圖 5 饋線單線連結圖應用 5 所示，此模型可對應原始 DMMS 應用系統中連結性與簡化後的節點之關係。因此對於本論文中之饋線簡化模型與視覺方式的呈現，以及配電負載分析應用之需求可有效達成其目標。

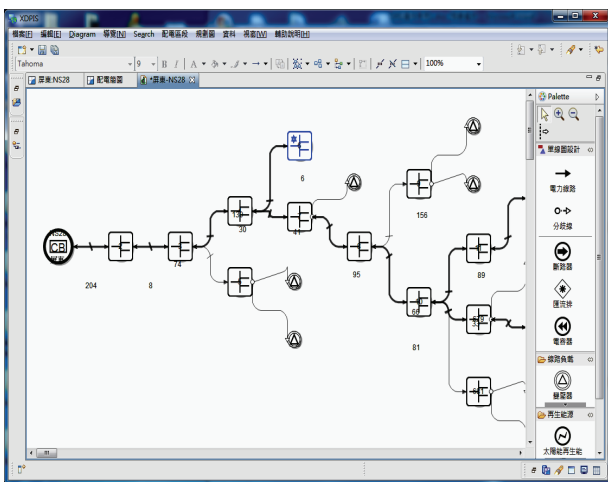


圖 5 饋線單線連結圖應用

因分散式電源(DG)申請案件的增加以及因

應擴大 DPIS 應用功能，達成配合最佳化變電所規劃、配電線路規劃及負載重新分割等應用功能。目前 DPIS 系統中管理網路連結性縮減模型必須重新進行改善，而採用的傳統關聯式資料庫也不足以應付日益複雜的區域負載分析與大範圍停電所需要的連結性資料管理需求。故本案中採用 NoSQL(Not Only SQL)的圖形資料庫管理技術，以「圖」這種資料結構存儲和查詢數據；圖資料庫的基本存儲單元為：節點、關係、屬性如圖 6 所示。其最主要的訴求就是要解決傳統 關係資料庫 所無法處理的關係搜尋。

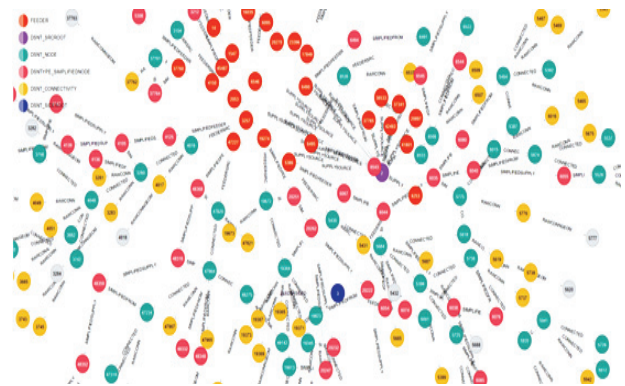


圖 6 圖形資料庫

參、改善 DPIS 應用系統電氣連結性資料模型

前期 DPIS 應用系統雖已可對應原始 DMMS 應用系統中電力網路連結性與簡化後的節點關係進行處理，並產生饋線簡化模型與視覺方式的呈現。但是其主體資料儲存架構仍然使用傳統的關聯式資料庫管理系統(RDBMS)來管理基礎的電氣連結性資料，然而使用關聯式模型表示電氣連結性資料時是必須將原始連結上的前後關係，轉編成關聯式模型上的縱向的列和橫向的行組成的資料表格來存放電氣連結性，對於查詢連結性的方法是反覆漸進的查詢每一段連結性直到處理完成整個電氣網路。

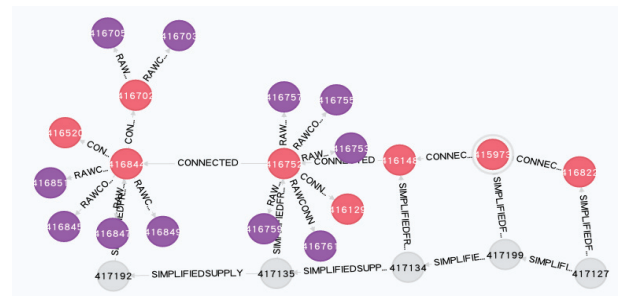
這樣的查詢方式在處理台電大量的電氣連結網路時使需要花費大量的查詢時間才可以處

理完成單一的饋線查詢。因此為了改善使用者經驗提昇系統的可用性，前期 DPIS 應用系統的處理方式是使用大量的記憶體來解決此問題，透過一次性的讀取所有電氣連結性表格資料後，在記憶體中建立電氣連結性模型以及簡化後的電力系統衝擊分析模型。利用存放於記憶體中如此的連結性模型，系統可完全不需要依賴關聯式資料庫的查詢便可處理 DPIS 系統應用功能。

但是這樣的架構仍有其限制性，主要是當區處資料量過大時是無法全部放到記憶體中來進行管理。所以前期系統中提供饋線裁切工具，可讓使用者針對需要的饋線進行裁切以縮小存放於記憶體中的資料量，以因應資料量過大的問題。同時因為記憶體容量的限制，必須先行簡化出的電力系統衝擊分析模型，以至於事後新增衝擊分析付掛位置時無法在簡化後的系統衝擊分析模型中找尋對應的付掛位置。以及對於本案中針對輸入付掛座標位置後找尋鄰近饋線同時進行比較分析的應用目標造成限制，所以必須重新設計 DPIS 應用系統中的電氣連結性模型才可達成位本案中的應用目標。

重新設計中的電氣連結性資料模型如前節所述是採用圖形資料庫管理技術，採用節點、關係、屬性來儲存資料。其主要的意義是每個元素是包含直接相鄰或相關的另一個元素並且不必透過索引來查詢，所以能整批的快速處理相連的元素。這樣的結構特別適合於電氣連結性的處理，而不需要先利用記憶體來存放資料便可提供快速的效能以提供本案各種擴大建置的功能。除此連結性之外，本案所採用的圖形資料庫亦具備有空間資料的處理能力，同時也使需要地理資訊的應用功能得以順利建置。

本案中的網路資料庫模型採三階層式的網路模型，也就是原始電氣連結性模型以及簡化模型同時並存於網路資料庫中如圖 7 所示，依據應用功能需要可以取得不同種類的簡化或原始電氣連結性模型，以因應本案中不同的應用功能之需。



肆、燈力併供變壓器電路模型及配電線路阻抗模型

由於台電配電系統使用大量之開 Y-開△變壓器，同時提供單相負載及三相負載之用電，其與配電系統三相不平衡之原因有密切之關係，如圖 8 所示，本節將分析其一次側及二次側之電壓與電流向量關係，再根據台電單相變壓器之參數值，進行 Simulink 之模擬，分析在二次側平衡三相負載在不同功率因數變化下，其一次側實功與虛功之變化情形。

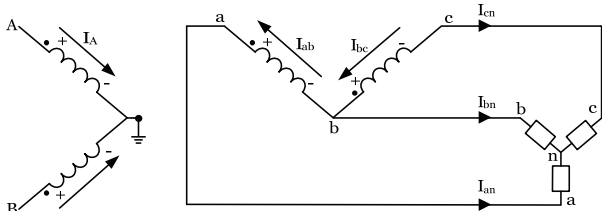


圖 8 變壓器開 Y-開△供三相負載接線圖

假設燈力併供變壓器，二次側接平衡之三相負載，其中各相電壓、電流關係式如下。

一、假設電路負載為三相平衡負載，且為正相序，則

$$\begin{aligned} V_{an} &= |V| \angle 0^\circ, V_{bn} = |V| \angle -120^\circ, \\ V_{cn} &= |V| \angle 120^\circ \end{aligned} \quad (1)$$

二、若負載為電感性負載，則電流角度落後電壓一個角度 θ

$$\begin{aligned} I_{an} &= |I| \angle (0^\circ - \theta), I_{bn} = |I| \angle (-120^\circ - \theta), \\ I_{cn} &= |I| \angle (120^\circ - \theta) \end{aligned} \quad (2)$$

三、由 V_{an} 、 V_{bn} 、 V_{cn} 三個電壓可知

$$\begin{aligned} V_{ab} &= V_{an} + V_{nb} = |V| \angle 0^\circ + |V| \angle 60^\circ \\ &= \sqrt{3} * |V| \angle 30^\circ \\ V_{bc} &= V_{bn} + V_{nc} = |V| \angle -120^\circ + |V| \angle -60^\circ \\ &= \sqrt{3} * |V| \angle -90^\circ \end{aligned} \quad (3)$$

四、由 I_{an} 電流可知

因 $I_{an} = I_{ab}$

故 $I_{ab} = |I| \angle (0^\circ - \theta)$

又 $V_{ab} = \sqrt{3} * |V| \angle 30^\circ$

所以 V_{ab} 的電壓角度與 I_{ab} 的電壓角度差 $(30^\circ + \theta)$

同理 V_{bc} 的電壓角度與 I_{bc} 的電壓角度差 $(30^\circ - \theta)$

五、假設變壓器一二次側之匝比為 a

則 $V_A = a * V_{ab}$

$V_B = a * V_{bc}$

$I_A = (1/a) * I_{ab}$

$I_B = (1/a) * I_{bc}$

可推導一次側兩具單相變壓器之負載分配為

$$\begin{aligned} P_A + jQ_A &= V_A I_A [\cos(30^\circ + \theta) + j\sin(30^\circ + \theta)] \\ P_B + jQ_B &= V_B I_B [\cos(-30^\circ + \theta) + j\sin(-30^\circ + \theta)] \end{aligned}$$

六、雖然二次側所接之負載為三相平衡，但 A 相變壓器一次側電流 I_A 落後電壓 V_A 角度為 $(30^\circ + \theta)$ ，反觀 B 相變壓器一次側電流 I_B 則超前電壓 V_B 角度為 $(30^\circ - \theta)$ ，如此將造成二具單相變壓器之實功與虛功負載分配相當不平均，此為燈力併供變壓器造成三相不平衡之主要原因。

圖 9 為針對電感性負載，其電壓與電流向量圖。

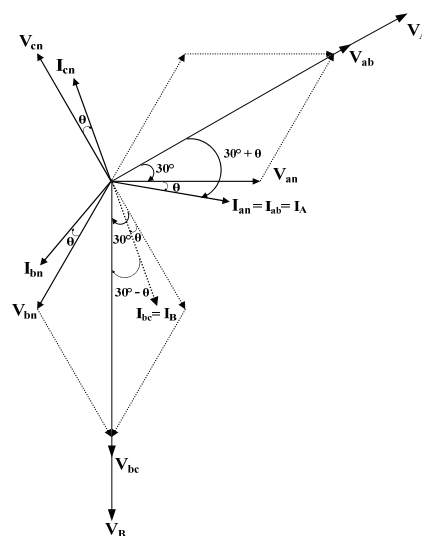


圖 9 燈力併供變壓器接三相平衡電感性負載之電壓與電流向量圖

伍、台電線路及變壓器參數

台電配電系統有地下與架空二種饋線型式，規劃配電線路時，會依據電壓等級及所能承受之電流量，將線路分為主幹線、分歧線、高壓接戶線及低壓接戶線。地下饋線一般主幹線之規格為耐壓 25kV 級之 XLPE 電纜，線徑為 500MCM，所能承受之最大電流為 600 安培。分歧線採用線徑為 #1AWG，耐壓為 25kV 級之 XLPE 電纜，所能承受之最大電流為 200 安培。對架空線路而言，因鋁線的價格比銅線便宜且其重量也比銅線輕，故台電目前之架空線路已全面採用鋁材質的導線。此外，一般輸電線在輸送電量時，導線通常會受集膚效應之影響，使得導體內部之電阻大於導體表面的電阻，以致於電流大多集中於導體表面，故在其導線中央部份加上鋼線，即為鋼心鋁線(Aluminum Conductor Steel Reinforced, ACSR)，則可以補強鋁線之張力，使用於較長距離的輸配電線路。架空主幹線採用耐壓 15kV 級之全鋁線(AAC)，線徑為 477MCM，容許載流量為 590 安培。分歧線採用線徑為 #2AWG，耐壓為 15kV 級之 ACSR 線，容許載流量為 165 安培。表 1 所示為用於地下電纜與架空線路主幹線與分歧線的導納值，表 2 所示為配電變壓器參數。

表 1 台電配電饋線線路導納值

項目	型式	$Y_{abc}(\text{S/km})$
主幹線	3C500MCM XP 電纜	$\begin{bmatrix} 2.7922-j3.1324 & -0.5457+j1.3296 & -0.5457+j1.3296 \\ -0.5457+j1.3296 & 2.7922-j3.1323 & -0.5457+j1.3296 \\ -0.5457+j1.3296 & -0.5457+j1.3296 & 2.7922-j3.1323 \end{bmatrix}$
主幹線	3A477XPW (N-1A300) 架空線	$\begin{bmatrix} 0.6282-j1.8210 & -0.1812+j0.5000 & -0.0999+j0.4008 \\ -0.1812+j0.5000 & 0.8700-j2.0627 & -0.3915+j0.7365 \\ -0.0999+j0.4008 & -0.3915+j0.7365 & 0.7611-j1.9605 \end{bmatrix}$
分歧線	3C#1AWG XP 電纜	$\begin{bmatrix} 0.6536-j0.4059 & -0.1574+j0.0325 & -0.1458+j0.0344 \\ -0.1574+j0.0325 & 0.6812-j0.3627 & -0.1919+j0.0096 \\ -0.1458+j0.0344 & -0.1919+j0.0096 & 0.6645-j0.3905 \end{bmatrix}$
分歧線	#2AWG (N-#2AWG) 架空線	$\begin{bmatrix} 1.3290-j0.4483 & -0.3134+j0.1256 & -0.3134+j0.1256 \\ -0.3134+j0.1256 & 1.3290-j0.4483 & -0.3134+j0.1256 \\ -0.3134+j0.1256 & -0.3134+j0.1256 & 1.3290-j0.4483 \end{bmatrix}$

表 2 台電配電變壓器阻抗值

容量(kVA)	Z(%)	R(%)	X(%)
25	2.27	0.98	2.05
50	2.37	0.882	2.20
100	2.13	0.69	2.02
167	2.114	0.613	2.02

陸、分散式電源對配電系統的衝擊分析

本論文已經執行許多個分散式電源併聯的衝擊分析案例，大部份是太陽光發電系統的案例，由於其產生的故障電流很小，三相不平衡只要符合各相間不平衡容量小於 5kVA 即可，又只要電力轉換器之諧波輸出電流符合標準即可，故所執行之 DG 併聯衝擊分析案例內容主要是針對穩態電壓變動率是否超過 $\pm 2.5\%$ 的規定。接著將以一典型台電 11.4kV 配電饋線所能接受之最大太陽光電併接容量做說明，考量 PV 的併接位置方式與饋線運轉狀況，依據配電系統對電壓大小、電壓變動率、逆送潮流、躉售電力、線路熱容量、電壓閃爍與故障電流的限制，分析出此一配電饋線所能併接之最大 PV 容量。

針對多組再生能源發電併網執行多點分析，評估當新申請 DG 用戶審查時，能同時將該條饋線已併網發電系統，之前已申請通過尚未併網，連同此次新設 DG 用戶之所有責任分界點，分別就上述所有 DG 未併網發電及所有 DG 全載發電，計算責任分界點之電壓，再將電壓變動值除以來有 DG 併網之電壓值，求解所有 DG 併接點之電壓變動率，如此將可避免新設用戶造成其他 DG 用戶之責任分界點電壓變動超過 2.5%之限制。本節應用新版之 DPIS 系統，從鳳山區處擷取饋線資料，以建構匯流排及饋線網路架構，並整合從 DMMS 系統、REMS 系統及新設 DG 用戶相關資料，配合新開發之三相潮流分析，執行所有 DG 併接點之電壓變動分析。此次論文就 $\Delta V(\%)$ 分析部份，則以鳳山區處之 BR42 饋線作為研究對象。探討鳳山翠屏變電所饋線 BR42 太陽光電發電系統之多點分析及最大容量併網

分析，目前此饋線已裝置有三戶 DG 用戶，太陽光電發電裝置容量為 1995.84kWp，BR42 饋線之電壓等級為 11.4KV。此饋線在運轉狀況之負載量為 3055kW/953kvar，最遠之太陽光電發電系統預估距離變電所約 5.48 公里，圖 10 所示為此 BR42 之單線圖。BR42 饋線有 3C500XP2、3C#1AWG 型式之地下纜線與 3A477XPW 型式之架空線路。

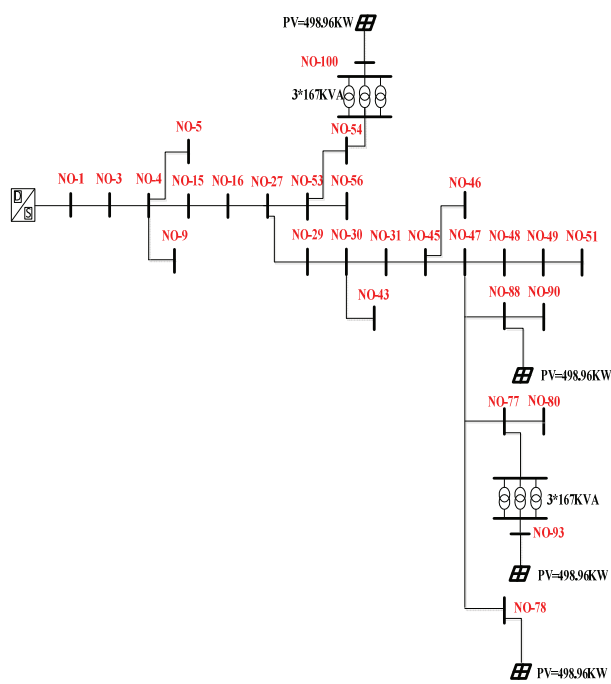


圖 10 案例一配電饋線單線圖

此節模擬 4 組 498.96kWp 的 PV 發電裝置分別併接於匯流排 NO-93、NO-100 低壓側及匯流排 NO-78、NO-88 高壓側，全部 PV 總發電容量為 1995.84kWp，其簡化單線圖如圖 10 所示，在正常併接饋線時，執行尖峰運轉狀況與有、無考慮 PV 發電裝置之負載潮流分析，如表 3 所示為各匯流排之電壓大小與電壓變動率。匯流排三相電壓大小在 0.9986~1.0136pu 之間變動，而 PV 發電裝置責任分界點 (NO-78)、(NO-88)、(NO-93)、(NO-100)，三相電壓變動率分別為 0.9153%、0.9124%、1.4971%與 1.3098%。

表 3 案例一事例 1 之 DG 匯流排電壓大小(pu)與電壓變動率

事例 匯流排	有 PV	無 PV	電壓變動率 $\Delta V(\%)$
NO-78	1.0077	0.9986	0.9153
NO-88	1.0077	0.9986	0.9124
NO-93	1.0136	0.9986	1.4971
NO-100	1.0117	0.9986	1.3098

柒、考慮饋線轉供之 DG 電壓控制策略

本論文提出以調整變流器功率因數 PF(P)，取代目前整功率因數(Unity power factor, PF=1)設定以解決因滲透率過高或饋線轉供導致電壓過高問題。如圖 11 介面所示，功率因數調整可由超前至落後，在圖 11 中功率因數對 PV 實功輸出曲線為功率因數調整之其中一案例，各區處可根據饋線特性、長度、再生能源併接容量及位置，調整每一(PF、Pi)對，PV 變流器功率因數調整流程圖，如圖 12 所示。

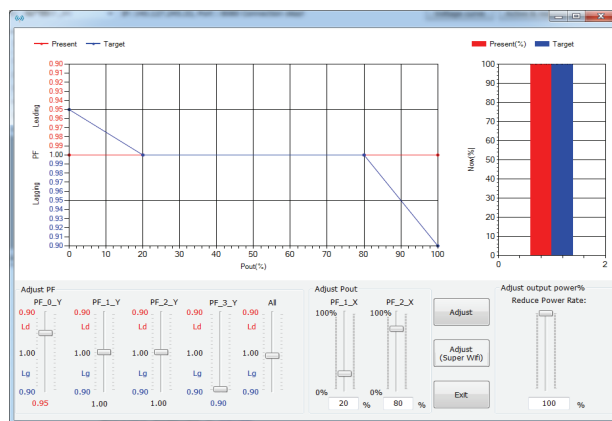
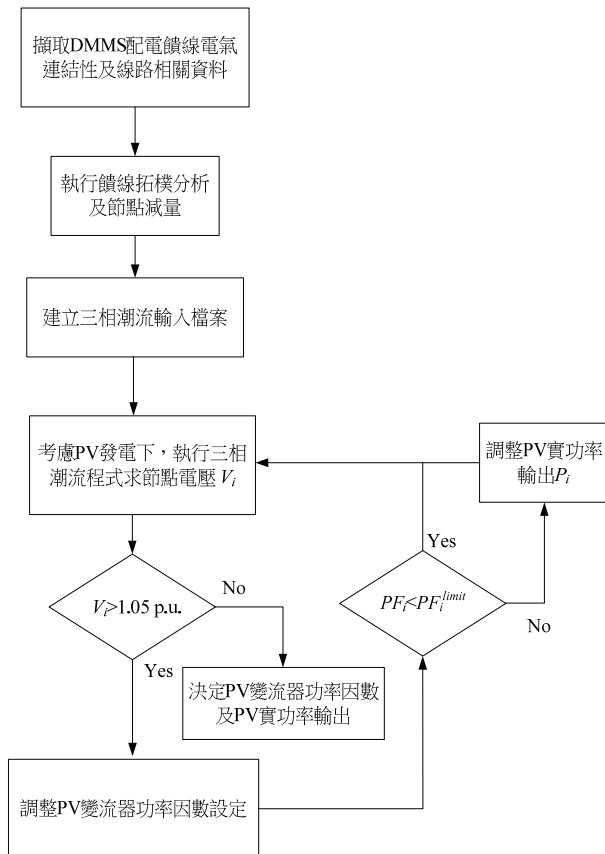


圖 11 PV 變流器電壓控制介面

本案例選取澎湖區處饋線 RA11 作為電腦模擬及現場量測電壓變動之比較。本饋線再生能源總裝置容量為 820kWp，其 DPIS 所產生之單線圖如圖 13 所示。本案例將以馬公國小太陽光電系統作為電腦模擬及量測對象，本案場距離變電所大約 1 公里，總裝置容量共 352kWp。



V_i : 併接點電壓
 PFI^{limit} : PV變流器功率因數限制

圖 12 PV 變流器電壓控制流程圖

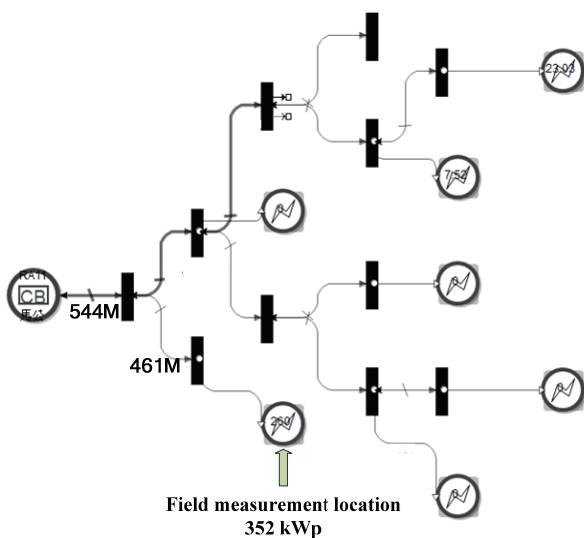


圖 13 饋線 RA11 單線圖

圖 14 及圖 15 為 2015/06/25, 10:30AM 所量測之變壓器二次測之 PV 實功輸出、虛功補償量、電壓及功率因數，所記錄資料共 7160 筆(5

筆/秒)。由圖 14 及圖 15 所示當 PV 變流器操作於 PF=0.9 落後時，平均虛功補償為 120.8kVAR，當 PV 變流器操作於 PF=0.9 超前時，PV 系統所提供之平均虛功為 119.2kVAR。

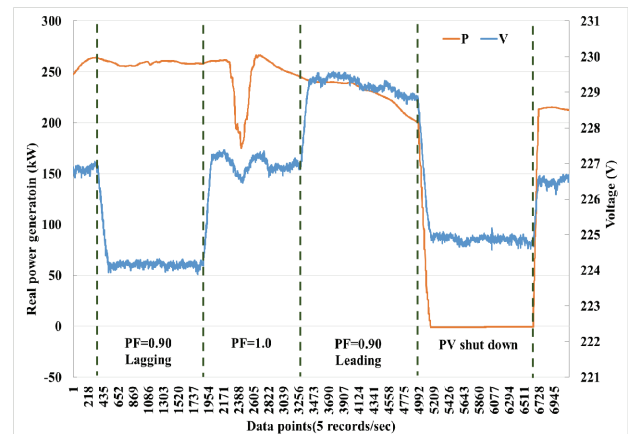


圖 14 PV 實功輸出及電壓實際量測值

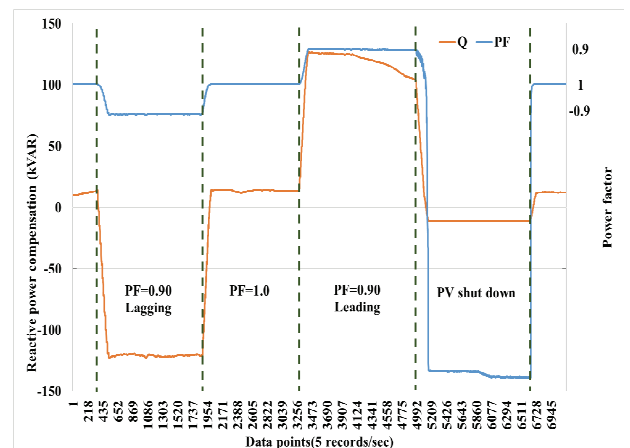


圖 15 PV 虛功補償量及功率因數實際量測值

表 4 列出 PV 變流器操作由整功率因數至 PF=0.9 落後及整功率因數至 PF=0.9 超前兩種案例 DPIS 所模擬之電壓變動值與實際量測值之比較，當操作 PV 變流器從整功率因數至 PF=0.9 落後，其平均電壓由 227.2(V)降至 224.9(V)，當操作 PV 變流器從整功率因數至 PF=0.9 超前，其平均電壓由 227.2(V)上升至 229.5(V)。由結果得知，DPIS 所模擬之電壓變動值與實際量測值相當接近。

表 4 DPIS 所模擬之電壓變動值與實際量測值之比較

Feeder RA11 (PV=355kWp)	Voltage variation (V)		PV output (KW)
	measured	simulated	
PF=1.0→PF=0.9 (lagging)	2.3	2.3	260
PF=1.0→PF=0.9 (leading)	2.3	2.2	260
PV off→PF on(PF=1.0)	1.7	1.8	215

捌、整合 NBS、DDCS 及 REMS 資料庫 執行負載分佈及組成分析

一、鳳山區處饋線 BA21 負載組成分析

圖 16 為 102 年 7 月 BA21 饋線工作日各契約類別用戶日負載組成，根據各契約類別用戶及其標準化日負載模型每小時用電量。日負載最大值發生在凌晨 24 時，其值為 2792 kW，負載組成主要為住宅用電 2453.66 kW，商業用電 149.69 kW，工業用電 188.64 kW；日負載最小值則發生在上午 8 時，其值為 1480 kW，負載組成主要為住宅用電 1095.55 kW，商業用電 203.3 kW，工業用電 181.15 kW，各契約類別用戶之用電量以住宅用電佔比最高。

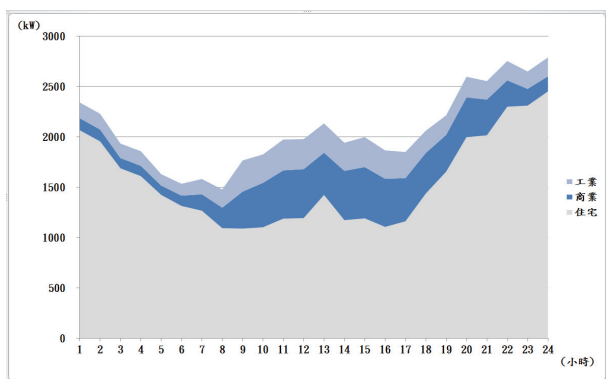


圖 16 BA21 饋線 102 年 7 月工作日之日負載組成

二、鳳山區處主變 BA2 負載組成分析

圖 17 為 102 年 7 月 BA2 主變工作日各契約類別用戶日負載組成，根據各契約類別用戶及其標準化日負載模型每小時用電量。日負載最大值發生在晚上 22 時，其值為 45.77 MW，負載組成

主要為住宅用電 29.12 MW，商業用電 5.04 MW，工業用電 11.61 MW；日負載最小值則發生在上午 9 時，其值為 13.37 MW，負載組成主要為住宅用電 4.67 MW，商業用電 2.39 MW，工業用電 6.32 MW，各契約類別用戶之用電量以住宅用電佔比最高。

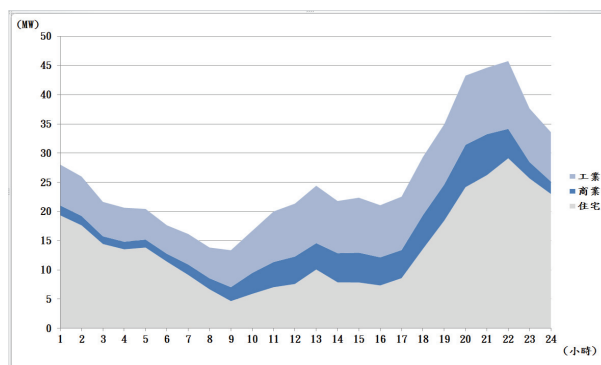


圖 17 BA2 主變 102 年 7 月工作日之日負載組成

三、鳳山區處五甲變電所負載組成分析

圖 18 為 102 年 7 月五甲變電所工作日各契約類別用戶日負載組成，根據各契約類別用戶及其標準化日負載模型每小時用電量。日負載最大值發生晚上 20 時，其值為 36.47 MW，負載組成主要為住宅用電 20.95 MW，商業用電 6.58 MW，工業用電 8.94 MW；日負載最小值則發生在上午 6 時，其值為 18.59 MW，負載組成主要為住宅用電 12.41 MW，商業用電 1.56 MW，工業用電 4.62 MW，各契約類別用戶之用電量以住宅用電佔比最高。

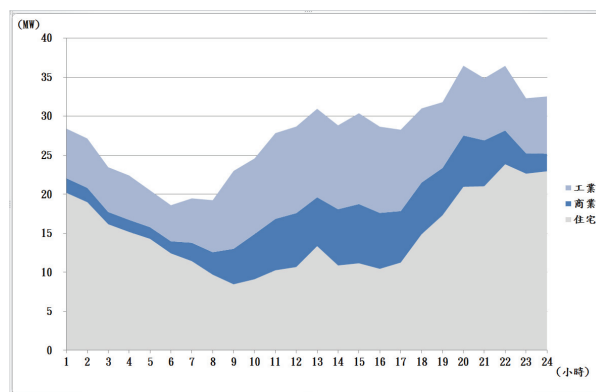


圖 18 五甲變電所 102 年 7 月工作日之日負載組成

四、鳳山區處鳳山供電區域負載組成分析

圖 19 為 102 年 7 月鳳山供電區域之五甲、衛武、凱旋、鳳山、過埤及鳳農供電轄區，工作日各契約類別用戶日負載組成，根據各契約類別用戶及其標準化日負載模型每小時用電量，推估各契約類別每小時負載量及其佔比。區處日負載最大值發生晚上 22 時，其值為 237.23 MW，負載組成主要為住宅用電 169.89 MW，商業用電 33.86 MW，工業用電 33.48 MW；日負載最小值則發生在上午 6 時，其值為 130.38 MW，負載組成主要為住宅用電 96.37 MW，商業用電 13.66 MW，工業用電 20.36 MW，其中以住宅用電佔比最高。

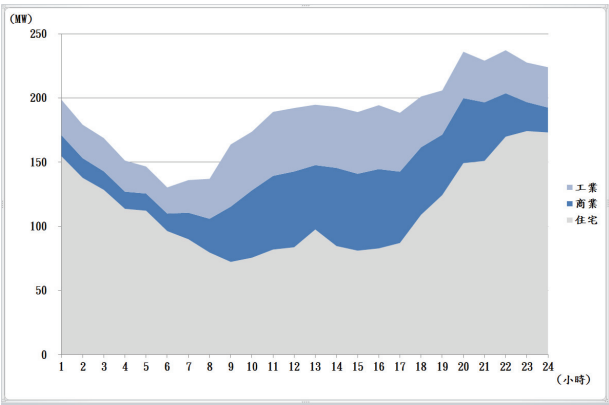


圖 19 鳳山供電區域 102 年 7 月工作日之日負載組成

根據近 5 年供電量可推導出未來 10 年之負載年增率，根據所推導出負載年增率，未來 10 年小港供電轄區負載預測值如表 9.1 所示。為探討分散電源裝置對區域性供電能力之影響，由 REMS 可推導出小港供電轄區其再生能源以 PV 發電為主總裝置容量為 14.95MWp，以每年全國 PV 裝置容量增加量 500MWp 計算，未來 10 年於小港供電轄區總裝置容量從 102 年至 113 年將由 14.96MWp 提升至 119.44MWp，如圖 20 所示。

根據各年度所預測之裝置容量，本研究 PV 系統每天每單位變量之發電量以 4 度/kWp，計算出各年度供電區域內之 PV 發電量。由前述所推導出小港供電區負載預測值扣除 PV 發電量，可推導出考慮再生能源裝置之負載年增率，如圖 21 所示。由圖 21 結果得知，考慮再生能源裝置時，其負載年增率將大幅降低，有效提升區域性供電能力效能。

表 5 小港供電區變電所 103 年負載年增率計算表

既設變電所名稱	過去五年變電所供電量數(百萬度)					過去五年平均負載年增率	104-106年調整後負載年增率	107-109年調整後負載年增率	110-111年調整後負載年增率	112-113年調整後負載年增率
	98年	99年	100年	101年	102年					
小港	169.55	164.35	170.52	162.98	180.93	1.22%	0.50%	0.30%	0.20%	0.10%
東亞	70.29	72.98	80.5	78.7	84.77	4.60%	0.50%	0.30%	0.20%	0.10%
築港	156.03	155.29	58.05	73.19	107.74	-7.86%	0.50%	0.30%	0.20%	0.10%
漁港	120.90	117.37	142.48	113.41	110.8	-2.07%	0.50%	0.30%	0.20%	0.10%
南工	128.04	140.14	118.31	99.2	123.16	-1.14%	0.50%	0.30%	0.20%	0.10%
翠屏	172.70	165.89	202.25	145.98	191.17	0.76%	0.50%	0.30%	0.20%	0.10%
臨海	198.45	217.98	278.03	232.69	241.18	4.66%	0.50%	0.30%	0.20%	0.10%
海海	145.30	157.64	150.55	119.7	128.17	-5.13%	0.50%	0.30%	0.20%	0.10%
大林	93.39	115.33	107.29	116.3	87.6	-1.19%	0.50%	0.30%	0.20%	0.10%
合計	1254.65	1306.97	1307.98	1142.15	1255.52	-1.33%	0.50%	0.30%	0.20%	0.10%

玖、考慮分散型電源裝置對提升區域性供電能力效能案例分析

本案例以鳳山區處小港供電轄區為例，本轄區共小港、東亞、築港、漁港、南工、翠屏、臨海及大林等 9 座變電所，各變電所 98 年至 102 年供電量如表 9.1 所示。小港供電轄區從 98 年至 102 年其供電量分別為 1256.65 百萬度、1306.97 百萬度、1307.98 百萬度、1142.15 百萬度及 1255.52 百萬度，調整後負載年增率 104-106 年為 0.5%，107-109 年為 0.3%，110-111 年為 0.2%，112-113 年為 0.1%。

既設變電所	過去五年變電所供電量數(百萬度)					負載年增率	備註
	98年	99年	100年	101年	102年		
小港	169.55	164.35	170.52	162.98	180.93	1.22%	採用最小平方方法計算，年增率 a = -1.33%。 因居民及工業用電自然增長，從104-106年負載年增率調整為 0.5%。
y=LOG(供電量)	2.2293	2.2158	2.2318	2.2121	2.2575	X=log(1+y)-N*y/10	
N	2	-1	0	1	2	log(1+y)-0.0053	
N*y	-4.4585956	-2.3157697	0	2.121343	4.515021	log(1+y)-0.0122	
東亞	70.29	72.98	80.5	78.7	84.77	4.60%	
y=LOG(供電量)	1.8469	1.8632	1.9058	1.8960	1.9282	X=log(1+y)-N*y/10	
N	2	-1	0	1	2	log(1+y)-0.0195	
N*y	-3.6937871	-1.8632039	0	1.8959747	3.856484	log(1+y)-0.0460	
築港	156.03	140.14	118.31	99.2	123.16	-7.86%	
y=LOG(供電量)	2.1932	2.1466	2.0730	1.9965	2.0905	X=log(1+y)-N*y/10	
N	2	-1	0	1	2	log(1+y)-0.0358	
N*y	-4.3864162	-2.1465621	0	1.9965117	4.180939	log(1+y)-0.0214	
漁港	120.90	117.37	142.48	113.41	110.8	-2.07%	
y=LOG(供電量)	2.0824	2.0696	2.1538	2.0547	2.0445	X=log(1+y)-N*y/10	
N	2	-1	0	1	2	log(1+y)-0.0091	
N*y	-4.1648526	-2.0695571	0	2.0546514	4.08908	log(1+y)-0.0793	
南工	128.04	140.14	118.31	99.2	123.16	-1.14%	
y=LOG(供電量)	2.1073	2.1466	2.0730	1.9965	2.0905	X=log(1+y)-N*y/10	
N	2	-1	0	1	2	log(1+y)-0.0184	
N*y	-4.2146913	-2.1465621	0	1.9965117	4.180939	log(1+y)-0.0586	
翠屏	172.70	165.89	202.25	145.98	191.17	0.76%	
y=LOG(供電量)	2.2373	2.2198	2.3059	2.1643	2.2814	X=log(1+y)-N*y/10	
N	2	-1	0	1	2	log(1+y)-0.0033	
N*y	-4.4745847	-2.2198202	0	2.1642934	4.562839	log(1+y)-0.0076	
臨海	198.45	217.98	278.03	232.69	241.18	4.66%	
y=LOG(供電量)	2.2977	2.3384	2.4441	2.3668	2.3823	X=log(1+y)-N*y/10	
N	2	-1	0	1	2	log(1+y)-0.0198	
N*y	-4.5933022	-2.3384166	0	2.3667777	4.764683	log(1+y)-0.0466	
海海	145.30	157.64	150.55	119.7	128.17	-5.13%	
y=LOG(供電量)	2.1623	2.1977	2.1777	2.0781	2.1078	X=log(1+y)-N*y/10	
N	2	-1	0	1	2	log(1+y)-0.0229	
N*y	-4.3245312	-2.1976664	0	2.0780942	4.215573	log(1+y)-0.0487	
大林	93.39	115.33	107.29	116.3	87.6	-1.19%	
y=LOG(供電量)	1.9703	2.0619	2.0306	2.0656	1.9425	X=log(1+y)-N*y/10	
N	2	-1	0	1	2	log(1+y)-0.0052	
N*y	-3.9406008	-2.0619423	0	2.0655797	3.885008	log(1+y)-0.0881	
合計	1254.65	1306.97	1307.98	1142.15	1255.52	-1.33%	
y=LOG(供電量)	3.0985	3.1163	3.1166	3.0577	3.0988	X=log(1+y)-N*y/10	
N	2	-1	0	1	2	log(1+y)-0.0058	
N*y	-6.1970452	-3.1162656	0	3.0577231	6.197647	log(1+y)-0.0867	

小港供電區變電所近10年負載年增率計算表										
年度	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102
供電量(百萬度)	1307.67	1311.9	1295.34	1294.43	1212.18	1254.65	1306.97	1307.98	1142.15	1255.52
年增率(%)		-1.64%								
			-1.54%							
				-0.13%						
					0.97%					
						-0.77%				
							-1.33%			

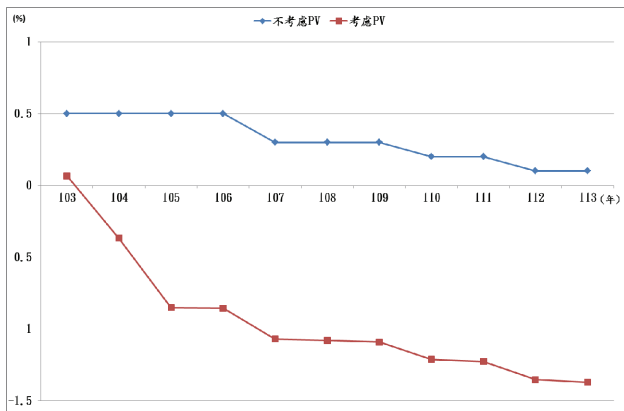


圖 20 考慮再生能源之小港供電轄區 102-113 年負載預測

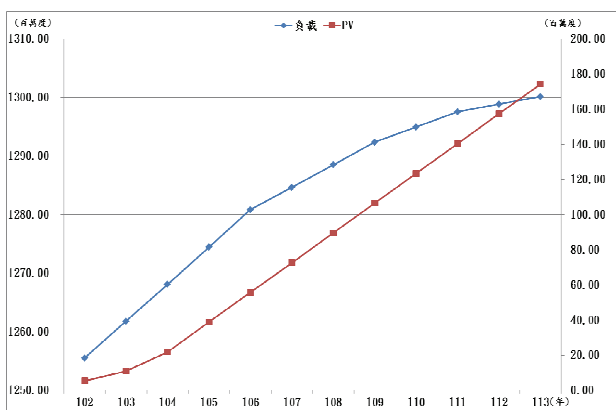


圖 21 有無考慮再生能源裝置下負載年增率

拾、大範圍停電轉供計畫

本節將分析單一饋線故障、單一主變故障及變電所全停轉供策略推導。根據 DDCS 平台所擷取主變及饋線每年 6、7 及 8 月每小時負載值，應用統計學之平均值及 3 倍標準差，將異常資料剔除後，推導各饋線及主變壓器負載尖峰值，並根據變電所主變間連結關係，主幹線常開點之饋線連結關係，連同主變及饋線之尖載值，建立轉供計畫資料庫，提供大範圍停電轉供計畫表之流程圖如圖 22 所示為針對單一饋線故障、單一主變故障及變電所全停之大範圍停電轉供策略：

一、單一饋線故障案例分析

根據上述所推導之各饋線及主變負載尖峰

值及其容量裕度，本節將探討鳳山區處衛武變電所單一饋線故障時之轉供策略，如表 6 所示。以饋線 BC41 為例其支援饋線為 B625、BC40 及 BV38 三條饋線，所有支援饋線及對應之主變裕度均大於 BC41 之負載尖峰值，根據轉供程序流程圖，將選取裕度最大之支援饋線 BC40 執行轉供。由於本論文剔除異常資料是根據統計學 3 倍標準差計算，因此，部分饋線負載尖峰值較高而無法執行主饋線轉供，如饋線 BC45、BC32、BC43。無法由主饋線轉供之饋線，將改由小環路執行轉供。

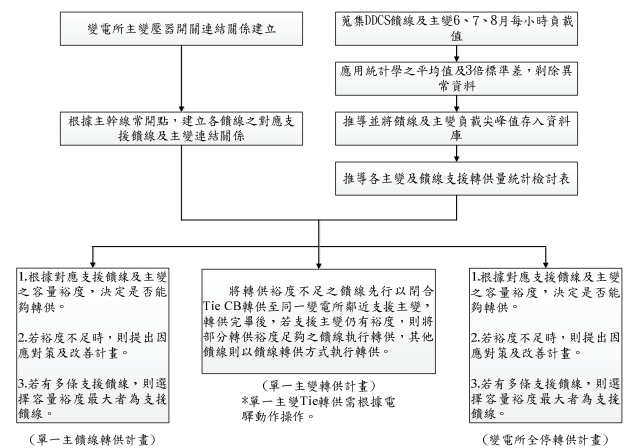


圖 22 大範圍停電轉供計畫流程圖

表 6 鳳山區處衛武變電所單一饋線故障轉供計畫檢討表

鳳山區處104年度電所饋線轉供計畫工程檢討表										單位:安姆(A)
變電所 主要別	饋線別	預告 負載人	饋線別	轉供容量	主幹線連結		主變別	主變容量 (MVA)	備註	
					連絡開關操作地點(或開關/開閉器/連通)					
									與變電所及計畫書 合計容量與計畫工程項目容量互差(MVA)	
衛武5S #1	BC38	309	BA27M	185	Q100K028.開關#1	275	185	足夠		
	BC41	81	BA27M	123	Q100K028.開關#1	745	123	足夠		
	BC41	81	BC38M	419	Q100K028.開關#1	680	419	足夠		
	BC41	81	BV38M	235	Q100K028.開關#1	260	235	足夠		
	BC42	172	BA27M	244	Q100K028.開關#1	285	244	足夠		
	BC45	273	BV38M	235	Q100K028.開關#1(原計畫/原主幹線連結)	270	235	足夠		
	BC45	273	BV38M	272	Q100K028.開關#1(原主幹線)	270	272	否		
	BC46	59	BA27M	155	Q100K028.開關#1	585	155	足夠		
	BC46	59	BC38M	263	Q100K028.開關#1	265	263	足夠		
	BC46	59	BC38M	263	Q100K028.開關#1(原主幹線)	265	263	否		
衛武5S #2	BC32	233	BA27M	156	Q100K028.開關#1(原主幹線)	285	156	否		
	BC32	233	BA27M	209	Q100K028.開關#1(原主幹線)	270	209	否		
	BC33	197	BA27M	303	Q100K028.開關#1	410	303	足夠		
	BC34	207	BC38M	391	Q100K028.開關#1	630	391	足夠		
	BC34	207	BV38M	272	Q100K028.開關#1	270	272	足夠		
	BC35	103	BA27M	241	Q100K028.開關#1	285	241	足夠		
	BC43	226	BV38M	180	Q100K028.開關#1(原主幹線)	1905	180	否		
	BC43	226	BV38M	180	Q100K028.開關#1(原主幹線)	1905	180	否		
	BC36	178	BA27M	388	Q100K028.開關#1	585	388	足夠		
	BC37	231	BV38M	286	Q100K028.開關#1	270	286	否		
衛武5S #3	BC38	231	BV38M	180	Q100K028.開關#1(原主幹線)	1905	180	否		
	BC38	231	BV38M	180	Q100K028.開關#1(原主幹線)	1905	180	否		
	BC38	231	BV38M	180	Q100K028.開關#1(原主幹線)	1905	180	否		
	BC38	231	BV38M	180	Q100K028.開關#1(原主幹線)	1905	180	否		
	BC38	231	BV38M	180	Q100K028.開關#1(原主幹線)	1905	180	否		
	BC38	231	BV38M	180	Q100K028.開關#1(原主幹線)	1905	180	否		
	BC38	231	BV38M	180	Q100K028.開關#1(原主幹線)	1905	180	否		
	BC38	231	BV38M	180	Q100K028.開關#1(原主幹線)	1905	180	否		
	BC38	231	BV38M	180	Q100K028.開關#1(原主幹線)	1905	180	否		
	BC38	231	BV38M	180	Q100K028.開關#1(原主幹線)	1905	180	否		
衛武5S #4	BC38	186	BA27M	348	Q100K028.開關#1	610	348	足夠		
	BC38	186	BA27M	317	Q100K028.開關#1	610	317	足夠		
	BC40	31	BA27M	162	Q100K028.開關#1	585	162	足夠		
		31	BC38M	360	Q100K028.開關#1	630	360	足夠		

二、單一主變故障案例分析

根據上述所推導之各饋線及主變負載尖峰值及其容量裕度，本節將探討鳳山區處衛武變電所單一主變故障時之轉供策略如表 7 所示，衛武

變電所共有 3 座主變壓器 BC#1、BC#2 及 BC#3，3 座主變壓器彼此均有 Tie CB 連結。

根據上述所推估之各主變尖載值，3 座主變之容量裕度均足以支援對應故障主變容量，固 BC#2 之支援主變為 BC#1 及 BC#3，根據轉供程序流程圖，將選取裕度較大之支援主變 BC#3 執行轉供。

表 7 鳳山區處衛武變電所單一主變故障轉供計畫檢討表

鳳山區處104年變電所主變轉供計畫工程檢討表											
變電所 名稱	主變別	裝置 容量	預估 尖載A	所內轉供			所外轉供			轉供量	備註
				主要別	轉供容量	小時B	備選別	轉供容量	小時C		
衛武SS	#1	120	620	#2	345	345	BA278A	185	2111	足剩	2056
							BA278A	125			
							BA278A	419			
							BA278A	235			
							BA278A	244			
							BA278A	235			
							BA278A	272			
							BA278A	155			
							BA278A	243			
	#2	120	905	#1	630	630	BA278A	156	1932	足剩	3212
				#3	630	630	BA278A	209			
							BA278A	303			
							BA278A	391			
							BA278A	272			
							BA278A	241			
							BA278A	180			
							BA278A	180			
	#3	120	900	#3	345	345	BA278A	388	2571	足剩	2716
							BA278A	296			
							BA278A	296			
							BA278A	180			
							BA278A	13			
							BA278A	13			
							BA278A	348			
							BA278A	312			
							BA278A	156			
							BA278A	309			

拾壹、先進電表基礎建設系統用戶資訊支援 DPIS 應用系統之可行性評估

台電目前正積極推動佈建智慧電表以達成先進電表基礎建設(AMI)之功能，除自動讀表之功能外，亦必須評估 MDMS 系統所蒐集之用戶售電與停電回報相關資訊，能有效支援配電系統規劃與運轉之需求，進而提升 AMI 系統之成本效益。本論文亦將評估 MDMS 與 DPIS 之整合，以規劃用戶停電偵測機制，及考量用戶之售電有效支援負載分佈與負載預測之推估。

另外為提升 AMI 之投資成本效益，本論文將評估 AMI 系統除自動讀表功能，除 MDMS 所蒐集用戶用電相關資料與用戶停電回報資訊，作為提升負載預測準確性有效支援配電系統規劃外，另藉由用戶回報之停電資訊，配合 DPIS 配

電系統網路架構，支援用戶停電偵測機制之規劃。

一、評估 AMI 電表資料管理系統(MDMS)之擷取與應用

根據台北市區處所建置之 AMI 用戶於 MDMS 擷取每 15 分鐘之售電量，及用戶之電號，進入 NBS 用戶售電資訊系統，擷取用戶類別，將 MDMS 系統用戶進行住宅及商業類別分類，推導 AMI 系統住宅及商業用戶負載曲線之推導。本論文共擷取 3934 戶住宅用戶及 389 戶商業用戶，進行負載區線分析。圖 23 為住宅用戶之每 15 分鐘用電曲線，可發現住宅用電尖峰發生在夜晚時段。由於用戶下班返家後，準備晚餐家務及使用冷氣、看電視，造成用電量達 9632kW，平均每戶尖峰用電量為 2.45kW，另外中午亦有小尖峰用電之出現。圖 24 為商業用戶之每 15 分鐘用電曲線，可發現商業用電配其營業時段，從早上 9 點開始增加至中午時段，由於大量使用空調造成尖峰用電達 2400kW，平均每戶尖峰用電量為 6.17kW，半夜至清晨 7 點則為離峰用電時段，冷氣之大量使用容易造成台電夏季供電吃緊之狀況，未來若能配合冷氣空調需量反應控制，將有助於抑低商業區尖峰用電量。

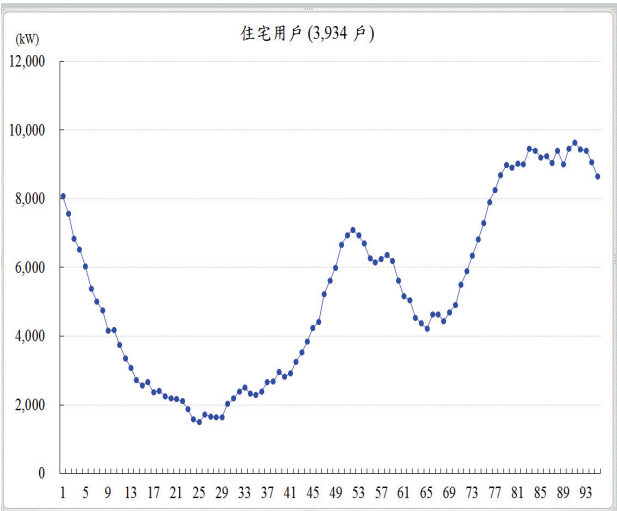


圖 23 北市區處 AMI 住宅用戶日負載曲線(每 15 分鐘用電量)

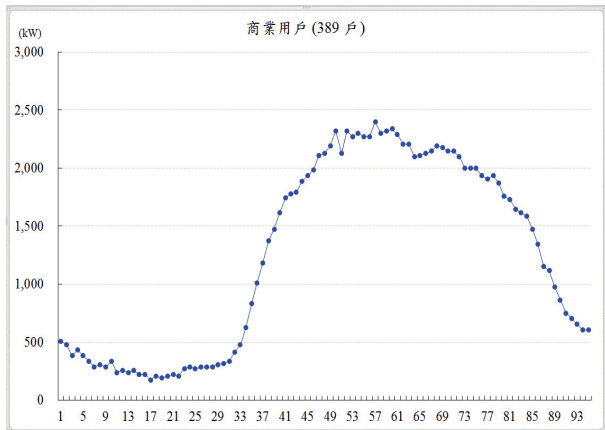


圖 24 北市區處AMI商業用戶日負載曲線(每 15 分鐘用電量)

二、評估 AMI 系統用戶資訊輔助負載分佈及負載預測可行性

- (一) 評估 AMI 系統用戶售電資訊，支援用戶標準日負載曲線根據智慧電表用戶每 15 分鐘售電量(含實功與虛功)，藉由統計分析，推導各種顯型用戶之標準日負載曲線，並據以分析用戶之用電行為，可提供低壓用戶執行需量反應之潛力評估。另外所推導之標準日負載曲線，結合用戶之售電量，可推導供電設備之負載曲線，評估配電設備使用率及彼此間之參差率，以作為配電系統擴充規劃之參考。
- (二) 評估 AMI 系統用戶供電電壓資訊，支援配電系統供電改善規劃用戶智慧電表除記錄用戶每 15 分鐘之供電量外，亦同時蒐集用戶供電電壓。藉由用戶端供電電壓之分析，可推導用戶電壓變動之季節性標準日電壓變動曲線，除檢視用戶異常用電之外，也可與 DPIS 系統作整合，分析饋線負載潮流，最後藉由可能的電網加強策略，推導合理之配電工程規劃，以改善供電品質。
- (三) DPIS 系統可根據 DMMS 系統配電饋線架構，分析線路開關所對應之個別供電區段所有高壓用戶與配電變壓器及所供電之低壓用戶。配合用戶每月之供電量與對應用戶類

型之標準日負載曲線，可推導個別供電區段之供電日負載曲線，達成負載分佈之分析。最後根據各類型用戶用電成長之預測，可評估供電區段之負載成長，根據供電區段之連結關係，評估饋線別、變電所別及地理區域別之負載成長預測，作為配電系統擴充規劃之參考。另外根據區段負載成長預測及 DPIS 所掌握之配電系統網路架構，可評估未來配電系統轉供電力。當轉供能力不足時，可藉由系統供電能力之加強，尋找合理之解決方案，以提升區域性之供電能力。

三、評估 AMI 系統用戶停電資訊，支援用戶停電偵測機制

- (一) 當用戶發生停電時，智慧電表可立即偵測到供電電壓降低為零，此停電旗標即可回報至 MDMS 系統。根據停電用戶之接線連結關係，可由 DMMS 系統取得，可檢視同一供電點如配電變壓器或保護設備之其他用戶有無停電旗標，若無停電旗標，則表示係單一用戶停電，若有其他屬同一供電點之用戶亦有停電旗標，則可藉由網路拓樸，判定可能之故障停電設備，以加速故障點之快速判斷。
- (二) 根據 MDMS 系統用戶停電資訊之分析，可決定造成故障之設備或原因，以進行供電可靠度分析，提出改善方案之建議。

拾貳、結論及建議

一、結論

本論文應用台電配電圖資管理系統(DMMS)，配電自動化系統(DAS，含 DDCS 及 FDCS)及新電費系統(NBS)等資料庫系統進行資訊整合，建構一套配電規劃整合資訊平台，以支援配電系統分散式再生能源發電併網審查作業，區域負載預測、大範圍停電轉供計畫之擬

訂。發展資料庫介面程式，從各資料庫擷取相關資料，及建立配電饋線網路架構，有效支援 DG 併聯至配電饋線之衝擊分析和三相潮流分析。另外藉由所發展 DG 併網衝擊分析軟體，開發能和配電規劃資訊平台整合之 DG 併網衝擊分析工具，以配電系統規劃資訊平台所建構之配電饋線架構和輸入資料，有效支援上述應用功能之執行，簡化資料準備之繁複工作，進而提升 DG 併網審查作業效能。

依據研究計畫執行工作項目與方法流程，本研究團隊已實際訪談台電宜蘭區處、鳳山區處、台南區處、高雄區處、雲林區處、彰化區處、台中區處、新竹區處等共計八個區處，蒐集目前各區處執行 DG 併網審查作業之情形與配電規劃之作業模式，以作為本研究發展配電規劃整合資訊系統之重要參考，本期計畫共計發展之功能包含 (1)DG 併網多點衝擊分析功能，(2)開發應用軟體介面程式，(3)甲式工程圖形介面，(4)負載預測，及(5)大範圍停電轉供。

本期計畫重點針對第一期 DPIS 計畫之缺失，引進新的作業平台，其中發展配電管路圖管理系統 DMMS 之資料庫資料擷取介面程式，完成實際饋線之配電設備屬性及其連結性資料之自動擷取，並自動產生負載潮流分析及分散式電源衝擊分析之輸入資料檔。同時應用節點減量程式，配合配電元件連結性屬性資料，建立配電饋線網路架構圖，考慮所有 PV 系統併網之多點電壓變動分析，包括 DMMS 系統已併網發電之 DG 系統，再生能源管理系統(REMS)已申請通過但尚未併網及新申請併網之 DG 用戶，應用本計畫所開發之三相電力潮流分析程式，進行 DG 系統併網之多點衝擊分析。本系統執行以風力、太陽光電系統、小型水力、地熱及沼氣發電等 DG 併網之衝擊分析，並以商用軟體就模擬結果作比較，驗證自主開發軟體之準確度。

本論文選擇鳳山區處作為重點研究區處，根據所發展之負載分佈圖，藉由 DMMS 系統新登錄之用戶分佈和配電變壓器及線路開關之關聯

性，配合 NBS 系統之用戶售電量類別，高壓用戶之契約容量與供電方式推估每一饋線供電區段之負載量。另外為提升區域性負載預測之準確性，將配電自動化系統所蒐集之變電所與自動化饋線之供電負載資訊，藉由資料轉檔加以匯出至配電系統運轉資料伺服器，以達成與 DPIS 系統整合，使配電系統運轉實績資料能有效支援配電系統負載預測。同時將區域性都市計畫與用電計畫申請書納入考量，使既設用戶之負載成長和新設用戶之用電突增值，能運用於區域性未來用電成長之推估。為提升配電系統擴充規劃之成本效益，本論文檢視目前營業區處之配電系統規劃模式，並探討如何以 DPIS 支援變電所及配電饋線規劃作業之進行。

本論文藉由自動化規劃模式，根據各供電區域之負載供電實績，配合軟體開發，有效推導變電所、主變壓器及饋線之停電轉供方案，提供調度人員做運轉之參考。

台電目前正積極推動佈建智慧電表以達成先進電表基礎建設(AMI)之功能，除自動讀表外，本論文亦評估所蒐集之北市區處 AMI 用戶售電相關資訊，推導各類型用戶之標準日負載曲線，未來可應用於配電變壓器及供電區段負載特性之推估。另外亦可配合 AMI 電表之用戶停電回報資訊，考慮饋線設備網路架構，應用專家系統推導可能之故障設備，而增加 AMI 系統之附加應用價值。

另外本計畫於執行期間，針對 DG 併網審查作業，本研究團隊支援協助區處執行 DPIS 電壓變動分析亦超過 40 次。

二、建議

本論文藉由配電規劃資訊系統(DPIS)之應用，整合 DMMS 配電圖資系統，擷取饋線網路架構，支援分散式電源 DG 併網之精進版多點分析，提供台電營業區處作為 DG 併網審查之重要工具，同時結合再生能源管理系統(REMS)及新電費資訊系統(NBS)，以及配電自動化(DAS)，支

援負載分佈、負載預測以及大範圍停電轉供計畫，充份驗證，藉由不同資訊系統之整合，與應用程式之開發，可支援配電系統之規劃及分散式電源併網審查作業。為提升台電公司配電規劃之效能，並有效針對未來分散式再生能源併網之管理與智慧電網之推動，僅建議盡速積極規劃及推動下列工作項目

- (一) 配合我國綠能推動之目標，已規劃於 2025 年 PV 系統之裝置容量將達 6200MW，由於 PV 系統大部份皆直接併接於配電系統，其注入之功率可能造成責任分界點電壓高於 1.05p.u.，恐嚴重影響台電供電之品質，宜早日推動配電級再生能源管理系統之規劃，應用 DPIS 之研究成果，進一步考慮饋線 PV 系統之發電量預測，納入系統電壓之變動分析，推導適合於台電系統之再生能源管理系統及調整策略，以降低 DG 併網對配電系統運轉之衝擊。
- (二) 針對每條配電饋線之網路架構特性，考慮既設及通過申請審核之 PV 系統，建構饋線不同位置點之可併網容量資訊。
- (三) 考量潛在之再生能源發展地區，在考慮投資成本效益條件下，評估可提升 DG 併網容量之電網加強策略，以建構台電配電網路友善之併網環境。
- (四) REMS 資料庫應檢討其管控 SOP，針對已審查通過之案件，如需作電網加強時紀錄電網加強之導線資料外亦可記錄虛擬併接點、引接線等相關資料，REMS 可記錄並接點引接線。
- (五) 針對 DMMS 中再生能源屬性資料須重新檢討，除提供目前 PV 審查作業外，亦考慮未來系統新增智慧變流器功能。
- (六) 台電配電自動圖資系統(DMMS)資料庫設備屬性如變壓器相別導線相別等資料和現場實際相別資料存有相當不一致性，建議未來應藉由相位量測系統，執行資料更新，並建立 DMMS 資料庫運轉維護之標準作業程

序，以提升 DPIS 平台之準確性及支援未來智慧配電設備管理。

- (七) DAS 系統之 DDCS 與 FDCS 所監測及蒐集之主變壓器、饋線及自動化開關運轉資料，如尖峰負載量、電流、電壓等，可有效的應用於配電系統擴充規劃、運轉決策，建議提升 DDCS 及 FDCS 之資料準確性並開發介面程式，以支援配電系統各種附加應用功能，創造 DAS 系統之附加應用價值。
- (八) 針對台北市區處 AMI 用戶，本計劃已根據用戶每 15 分鐘之供電資訊，推導各種類型用戶之標準日負載曲線，建議未來能根據饋線網路架構，配合變壓器與用戶連結關係，分析配電變壓器及各供電區段之日負載曲線，推導較為精準之供電設備負載參差率，並支援智慧電網配電設備資產管理。

拾參、參考文獻

- [1] 「配電管路圖管理系統 (CMMS)簡介及應用」，台灣電力公司業務處資訊課，民國 94 年 12 月。
- [2] 「台電系統中部及北部地區負載特性調查分析研究」，台電公司 87 年度研究計畫，台灣電力公司，1998 年 5 月。
- [3] C. S. Chen, J. C. Hwang and C. W. Huang, "Determination of Customer Load Characteristics by Load Survey System at Taipower," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol.11, no.3, pp1430-1435, July 1996.
- [4] 黃鐘慶，「負載特性調查在合理化電價訂價策略之應用」，博士論文，國立中山大學電機工程研究所，1995 年 5 月。
- [5] F. Bastiao, P. Cruz and R. Fiteiro, "Impact of Distributed Generation on Distribution Networks," *Proceedings of the International Conference on European Electricity Market*, May, 2008.
- [6] R. A. Walling, R. Saint, R. C. Dugan, J. Burke and L. A. Kojovic, "Summary of Distributed Resources Impact on Power Delivery Systems,"

- IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 23, no. 3, pp. 1636-1644, 2008.
- [7] S. Morozumi, "Distribution Technology Development and Demonstration Projects in Japan," *Proceedings of the IEEE Power Engineering Society General Meeting*, July, 2008.
- [8] N. Hatziaargyrio, M. Donnelly and M. Takasaki, "CIGRE Technical Brochure on Modeling New Forms of Generation and Storage," TF 38, p1-10, Nov., 2000.
- [9] IEC 61400 Standard, Wind turbine Generator Systems, 2008.
- [10] IEEE 1547.1 Standard for Conformance Tests Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, 2005.
- [11] C. S. Chen, C. T. Hsu, Y. J. Lin, H. J. Chuang, and Y. J. Ju, "Design of Tie Line Tripping and Load Shedding Scheme for Distribution Microgrid System with Wind Power Generation," *Proceedings of the IEEE IAS Annual Meeting*, Oct., 2009.
- [12] C. T. Hsu and C. J. Fu, "Dispersed Generation Systems Impact on the Voltage Sags in Distribution Systems," *Proceedings of the 2006 IEEE Powercon*, Oct. 22-26, Chongqing, China, 2006.
- [13] Y. D. Lee, C. S. Chen, C. T. Hsu and H. S. Cheng, "Harmonic Analysis for the Distribution System with Dispersed Generation Systems," *Proceedings of the 2006 IEEE Powercon*, Oct. 22-26, Chongqing, China, 2006.
- [14] C. S. Chen, C. H. Lin, W. L. Hsieh, C. T. Hsu, and T. T. Ku, "Enhancement of PV Penetration With DSTATCOM in Taipower Distribution System," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 28, no.2, pp.1560~1567, May. 2013.
- [15] C. H. Lin, W. L. Hsieh, C. S. Chen, C. T. Hsu, and T. T. Ku, "Optimization of Photovoltaic Penetration in Distribution Systems Considering Annual Duration Curve of Solar Irradiation," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 27, no.2, pp.1090~1097, May. 2012.
- [16] C. S. Chen, C.T. Tsai, C. H. Lin, W. L. Hsieh, and T. T. Ku, "Loading Balance of Distribution Feeders with Loop Power Controllers Considering Photovoltaic Generation," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 26, no.3, pp.1762~1768, Aug. 2011.
- [17] C. H. Lin, W. L. Hsieh, C. S. Chen, C.T. Tsai, and T. T. Ku, "Financial Analysis of A Large Scale Photovoltaic System and Its Impact on Distribution Feeders," *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 47, no.4, pp.1884~1990, July/Aug. 2011.
- [18] 盧展南等,「整合分散型電源建構優質配電網之研究」,台電公司研究計畫 T0079600013 完成報告,中華民國 97 年 11 月。
- [19] 盧展南,李宗璘,許振廷,王耀村,「太陽光電系統併接配電網路的電力品質問題及經驗」,電機技師雜誌,第 132 期,第 50-61 頁,2008 年 12 月。
- [20] 謝家偉,鄭哲民,蔡知達,林裕閔,「建議分散式電源並聯配電網路的限制容量」,台電工程月刊,第 737 期,第 53-60 頁,2010 年 1 月。
- [21] 陳朝順等,「配電規劃需求功能整合應用研究」,台電公司研究計畫 TPC-546-4840-9901 完成報告,中華民國 101 年 9 月。
- [22] 黃永清,許振廷,何信輝,劉書瑋,陳清山,「太陽光電併聯配電系統之典範情境分析」,中華民國第 30 屆電力工程研討會,桃園,龍華科技大學,2009 年。
- [23] 許振廷,何信輝,鄭尊仁,吳國揚,連永銘,「風力發電併接於配電系統之最大裝置容量分析」,中華民國第 30 屆電力工程研討會,桃園,龍華科技大學,2009 年。

我國電業自由化下之台電公司廠網分離規劃與探討

The Study of Power Generation and Grid Unbundling in Taipower under
Electricity Liberalization in Taiwan

楊豐碩*
Yang, Feng-Shuo

黃奕儒*
Huang, Yi-Ju

鄭美君*
Cheng, Mei-Chun

張碧娟*
Chang, Bi-Juan

陳熙達*
Chen, Shi-Da

黃銘傑**
Huang, Ming-Jye

陳彥良***
Chen, Yen-Liang

徐士堅****
Hsin, Jonathan

摘要

因應我國電業自由化將朝向廠網分離模式推動，本研究主要就台電公司為因應電業自由化第二階段推動「廠網分離」，台電公司分割為數家公司之相關規劃進行探討。首先，觀察韓國、日本及新加坡等國電業自由化及廠網分離作法；再者，透過考量我國電力市場特性提出台電公司之最適分割模式；最後，透過法律、財務與員工溝通等面向探討台電公司之廠網分離方式，並提出建議做法。

Abstract

Faced with the coming liberalization of the power industry in Taiwan, Taiwan power company (Taipower) is planned to be divided into several sub-companies. The study focuses its attention on the unbundling of power generation and electric grid sectors of Taipower. Firstly, the study reviews the experiences of electricity liberalization in South Korea, Japan and Singapore. Secondly, the study continues to analyze the optimal segmentation models which may be suitable for Taipower to undergo the power generation and electric grid unbundling. Finally, this study recommends an approach to unbundling power and grid sectors taking into account the relevant aspects of law, financial viability, and employee communications.

關鍵詞(Key Words)：電業自由化(Electricity Liberalization)、電業法修正草案(Draft of Electricity Act Amendment)、廠網分離(Power and Grid Unbundling)。

壹、前言

自民國 101 年電價調漲前後，各界出現要求推動電業自由化及台電公司民營化之聲浪。政府便針對電業自由化架構進行討論，據以研擬電業

法修正案條文內容。依 104 年 7 月 16 日行政院審議通過的電業法修正草案，電業法修正通過後即進入自由化第一階段「廠網分工(會計分離)」時，電力網業可同時經營發、售電業，但必須建立分離會計制度，不得交叉補貼。電業法修正施行滿三年後，則進入自由化第二階段「廠網分

*台灣經濟研究院

**國立台灣大學法律學院

***國立台北大學法律學院

****方磊諮詢服務有限公司

離」，電力網業必須進一步切割為電力網公司及發電公司，且不得交叉持股。

因此，本研究主要就台電公司為因應電業自由化第二階段推動「廠網分離」，台電公司分割為數家公司之相關規劃進行探討。本研究首先透過國際間電業自由化經驗及廠網分離相關做法後，進一步考量我國電力市場特性提出台電公司因應電業自由化之最適分割模式。最後，依據前述最適分割模式研提進行廠網分離時之相關做法，包含：台電公司分割時所需遵守之法規與步驟、財務劃分方式以及員工溝通方式。

貳、國際廠網分離模式選取

一、廠網分離模式

由於未來國內電業自由化趨勢將朝向廠網分離模式進行，而國際間推動廠網分離之經驗，依其分離程度大致可區分為功能性分離、會計分離、法人分離及所有權分離四種模式。

(一) 功能性分離(Functional Unbundling)

為確保輸配電力網在垂直整合公用電業內之營運獨立性，以公開及公正態度供市場參與者使用，促進市場公平競爭，依發電、輸電及配售電部門分離為事業部或分公司，輸電與配電部門必須將與電網無關之其他業務，在組織與決策方面予以分離。

(二) 會計分離(Accounting Unbundling)

會計分離係將各部門之成本與收入予以分離，故廠網分離下之會計分離即為將電網部門的會計自其他部門之會計進行分離。

(三) 法人分離(Legal Unbundling)

為明確區分電網部門與其他非相關業務之績效，原則上，在同一控股公司內，將輸電與配電業務自垂直整合公用電業分離，成立獨立組織，如輸電公司與配電公司或輸配電公司。

(四) 所有權分離(Ownership Unbundling)

將輸電與配電業務與非相關業務完全分離，不相隸屬，並禁止同時擁有電網與發電之資產，輸電業或配電業亦不得兼營發電與售電業務，亦即電網公司不能與發售電公司同屬一家公司或控股公司。

二、國際案例

國際上在電業自由化下，推動廠網分離之程度各有不同，由於我國電業自由化之規劃為將台電公司切為數家公司，故本研究蒐集同樣將電力公司切割為數家公司的韓國、日本及新加坡，作為我國後續參考依據。

(一) 韓國

2001 年以前，韓國電力公司(Korea Electric Power Corporation, KEPCO，以下簡稱韓電)為南韓唯一經營發、輸、配、售電業的垂直整合電力公用事業，負責南韓輸配電系統及 94%的發電裝置容量。

1994 年 7 月韓國政府認為韓電有改革之必要，且須以階段性的方式進行，以降低對經濟活動與社會大眾的衝擊。據此，南韓商工能源部於 1999 年 1 月公布「電力自由化基本方案」，電業重整計畫採分階段切割發電、輸電、配電及售電部門。

電業重整計畫共分為三個階段進行，第一階段為發電競爭階段(2001-2002)、第二階段為批發競爭階段(2003-2008)、第三階段為零售競爭階段(2009 以後)，並預計 2009 年完成全面電業自由化。而在進行三階段改革之前，亦有規劃準備階段，主要處理相關引進電業競爭制度之準備工作，如：修訂相關法律與規則、發電子公司成立、市場相關競價準備工作等。

首先，第一階段改革希望透過發電部門競爭的引入，提升電業經營效率，故規劃將韓電發電部門分割為獨立發電子公司，發電公司設立之基本方向，如表 1 所示。

5 家火力發電子公司之組成原則如下^[1]：

1. 為了防止價格受制於特定的電力公司，在

讓各公司的電源結構(基載、中載、尖載)類似的原則下，分配各區域發電廠。

2. 讓各發電公司的使用燃料、機組殘存年限及容量因數接近，使其燃料、輸送費、營運費達到最小化。
3. 系統受限區域的發電廠，避免集中在一家公司，在同一區域內的發電廠，盡可能使其成為一家公司。
4. 使其價值維持在可以吸收外部投資者的

程度，同時使發電公司之間的利潤平均化。

2001 年 4 月韓電將火力與抽蓄電廠分割為 5 家發電子公司，每家公司具有獨立的管理架構、資產及負債，韓電則擁有全部股權。另基於核能安全及公共利益考量，將核能及水力電廠單獨成立一家發電子公司，不會脫離韓電，如圖 1 所示。

表 1 發電公司設立之基本方向

項 目	推 動 方 向
設立方式	採資產分割方式辦理
分割個數	• 火力發電公司 5 個 • 核能水力發電公司 1 個
建設中之發電廠	分配至各發電公司
水力及抽蓄發電廠	• 水力電廠分配至核能發電公司 • 抽蓄電廠分配至各火力發電公司

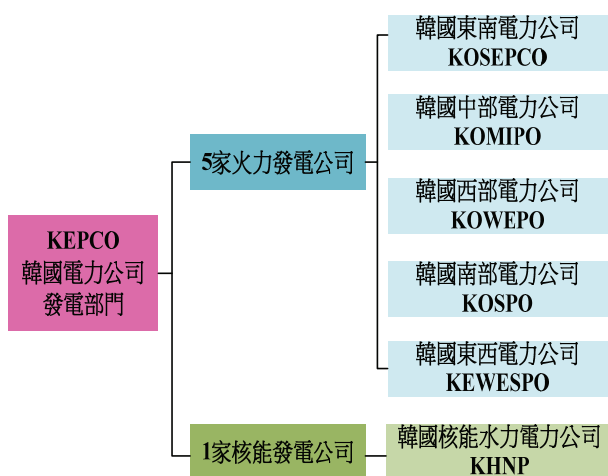


圖 1 韓國電力公司切割模式

然韓國在電業改革的第一階，即遭受電力工會強力反對並發動多次罷工抗議活動。2004 年 5 月根據電力工會與政府共同組成研究小組之研究結果，及電力工會反彈與韓國勞工聯盟強烈抗爭下，政府最終決定終止配電分割。2009 年韓國政府就發電部門分割效率性問題及韓電再整合之必要性等問題進行檢視。然最後研究報告引發電力工會不滿。2009 年 7 月知識經濟部召開記者

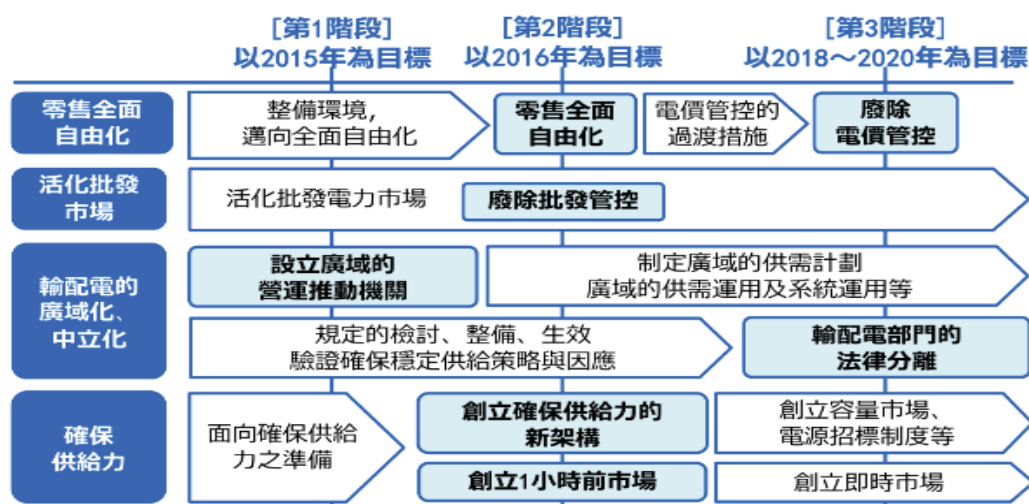
會，說明韓電售電競爭政策方向正確，但有實務執行上之困難，因而終止售電競爭問題。

直到目前為只韓電為 6 家發電公司的母公司，負責輸、配售電業務，原計畫將發電公司出售，配電業分割的自由化計畫，因抗爭停止進行至今。

(二) 日本

日本政府從 1995 年開始，共進行了 4 次的電力事業制度改革，在 2011 年東日本大地震後，日本開始進行第 5 次電力市場改革，並於 2013 年 2 月公布電力系統改革整體進程，整體規劃採三階段進行，如圖 2 所示^[2]。

2013 年 4 月日本電業主管機關經濟產業省提出「日本電力系統改革方針」，主要係重新建構可競爭之發電及售電市場，並將具自然獨佔特性之輸配電業定位為公用性質，扮演中立、客觀之角色，擁有之電網將開放供所有業者及用戶公平、公開使用，並採三階段修法推動，如圖 3 所示。



資料來源：2013 年派赴日本中部電力株式會社考察團出國報告

圖 2 電力系統改革進程

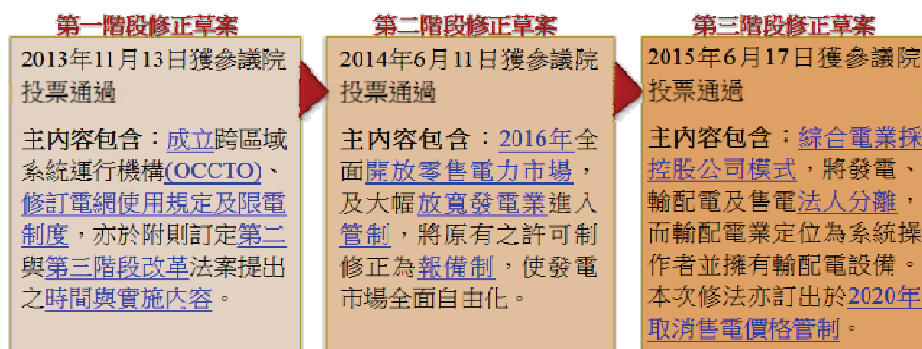


圖 3 三階段修法內容

為因應未來中央政府實施既定的電力系統改革政策，日本東京電力公司(Tokyo Electric Power Company, TEPCO，以下簡稱東電)於2013年4月開始實施「社內分公司制」。另為確實負起福島核災之責任，以及同時實現發、輸配、售事業策略，提早於2016年4月推動「控股公司制」^[3]。

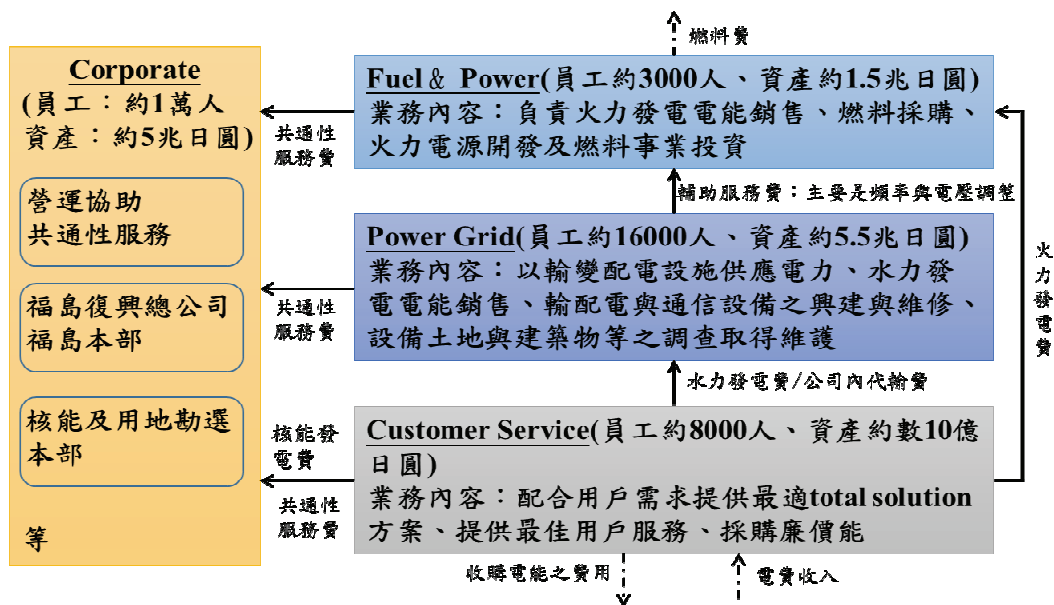
1. 社內分公司制作法

東電於2013年4月實施社內分公司制之目的，在於因應未來中央政府實施既定的電力系統改革政策，各事業部率先引進有助於提升營收及強化競爭之措施。

考慮未來實施控股公司，而於現階段切割出「燃料發電(Fuel & Power)」、「電網(Power Grid)」、「顧客服務

(Custom Service)」等3個分公司，分公司內設執行長、副執行長。其餘組織歸類為母公司，負責損害賠償、除役，以及有效提供營運協助、共通性服務，以發揮集團綜效。整體架構及內部交易內容，如圖4。

至於社內分公司與事業部、控股公司之異同，首先，相同點在於此三者皆屬分權型態的營運體制，其中事業部與社內分公司皆在同一家公司內，也就是公司並未分割。相異之處在於社內分公司係將各事業視為一個公司，被大幅度賦予權責，且被管考績效(包括資產負債表及損益表，東電稱為「管理會計」)；控股公司，則是各事業皆具有法人資格，也就是子公司，其責任劃分較事業部、或社內分公司更為明確。



註：1.圖中實線箭頭表公司內交易、虛線箭頭表對公司外之交易。
2.圖中數據為 2013 年 3 月底之資料，目前現況較 2013 年數據，有下修情形。

圖 4 日本東京電力公司社內分公司制概要

2. 控股公司制作法

為確實負起福島核災之責任，以及同時實現發、輸配、售事業策略，東電提早 2 年，也就是於 2016 年 4 月正式實施控股公司制。

整個控股公司架構如圖 5 所示，在福島復興總公司及福島第一核電廠除役推動執行公司、核能發電、補償、支援復興、經營協助、共通服務等，具有集團總公司功能的控股公司(或稱母公司)之下，設

置燃料火力、輸配電及電力銷售等 3 個子公司。其中對於共通性服務部門，正在評估將一般管理部門的一部分切割出來，成立共用服務子公司。控股公司、火力發電子公司、一般輸配電子公司及電力銷售子公司，都需要有執照。因此目前的社內分公司制，可說是為 2016 年的控股公司做準備。

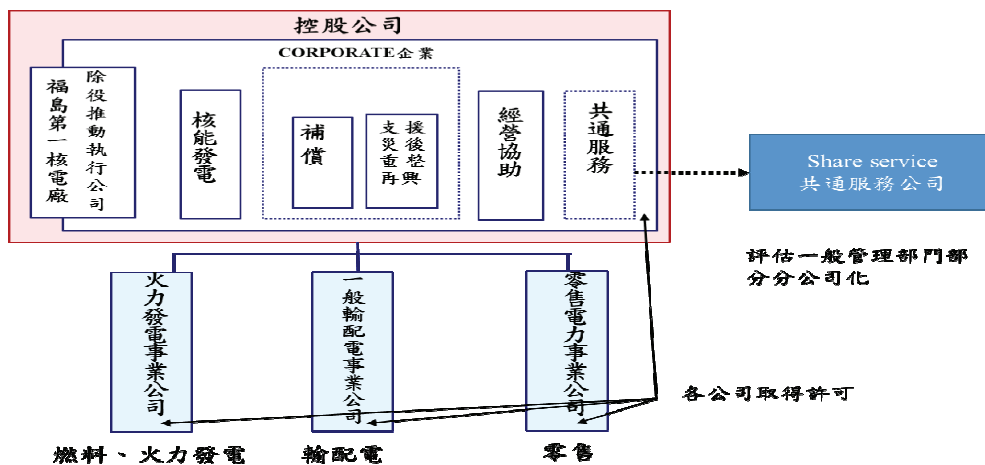


圖 5 日本東京電力公司控股公司架構

(三) 新加坡

新加坡電力產業及輸管天然氣產業，過去為垂直整合產業，其所有權屬於政府。1963 年 5 月，新加坡成立公用事業局 (Public Utilities Board, PUB)，接手自來水、電力及輸管天然氣之供應業務；之後順應國際趨勢，於 1995 年開始推動電業自由化。

1. 第一階段(1995 年至 1998 年)^[4]

1995 年為新加坡電業之第一次改革，主要將公用事業局下的電力事業公司化，逐步開放發電及零售市場之競爭，逐步引進市場競爭，以市場機制取代原先集權式 (Central Planning) 的投資、生產與定價決策。而在此次改革中是由政府投資的淡馬錫控股集團 (Temasek Holdings) 以控股的方式，擁有大部分電力系統的資產，公用事業局則轉型為電力及瓦斯產業的監督機關。

為逐步引進市場競爭，新加坡政府於 1995 年將公用事業局所管轄之事業改組成 3 家發電公司、1 家輸配電公司、1 家售電公司、1 家天然氣公司以及 1 家控股公司—新加坡電力公司，如圖 6 所示。其中聖諾哥能源公司、西拉雅能源公司、電網公司、售電公司及天然氣輸送公司為新加坡電力公司轄有；其中之大士能源公司在 1995 年新加坡電力公司成立時，即為一獨立的發電公司，並擁有 1 家電力零售公司。而改組後的公用事業局則負責電力及管線天然氣事業的管制。

2. 第二階段(1998 年至 2001 年後)

第二階段改革建立了電力批發市場和電力交易中心。電力批發市場的建立是本階段主要成就，進一步提高了發電市場的開放程度。同年通過新加坡公用事業法，作為電力市場改革的主要法規

依據。

2000 年 3 月，新加坡政府成立電力調度中心及開放電力零售市場競爭；2001 年 4 月成立「新加坡能源市場管理局 (Energy Market Authority, EMA)」，接手原有公用事業局的電業管制業務，並進一步解除電力產業的管制，依功能別將發、輸、配、售分隔為具競爭性 (Contestable) 及不具競爭性 (Non-contestable) 的部門；實行廠網分離，將新加坡電力公司轄下之聖諾哥能源公司和西拉雅能源公司二家發電子公司之所有權移轉給淡馬錫控股集團，使所有發電公司取得公平的立足點。聖諾哥能源公司和西拉雅能源公司自新加坡電力公司分離出為發電公司後，分別各自擁有 1 家電力零售公司的所有權。2001 年淡馬錫控股集團結構如圖 7 所示。

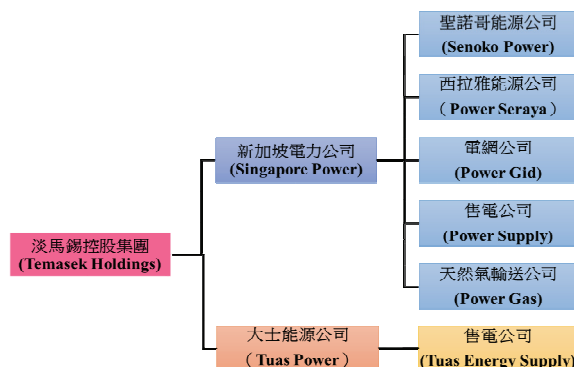


圖 6 1995 年淡馬錫控股集團架構

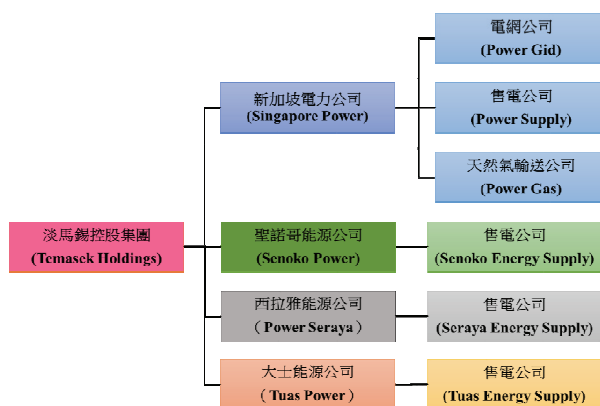


圖 7 2001 年淡馬錫控股集團架構

自 2001 年實施廠網分離後，政府更於 2003 年要求加大市場競爭力度，盡可能地把競爭引入各個環節，因此對電力銷售環節進行改革，引入了電力零售商，完善了電力市場運作機制。

(四) 小結

1. 廠網分離模式

國際間推動廠網分離之經驗，依其

分離程度大致可區分為功能性分離、會計分離、法人分離及所有權分離等四種模式，其中法人分離屬較為折衷之方式，亦為國際上較常採用之選項。就本研究所蒐集之案例，韓國、日本東電及新加坡皆採用人分離模式。各國廠網分離模式，如表 2 所示。

表 2 各國廠網分離模式比較

國別	廠網分離模式
韓國	2001 年 4 月進行法人分離，將韓電正式分割為 6 家發電公司、1 家輸配售電公司，總計約兩年半時間完成。
日本東電	預計於 2016 年將火力燃料、輸配電及售電公司進行法人分離。
新加坡	於 1995 年 10 月進行法人分離，將公用事業管理局所管轄的電力部門公司化，並改組成立 3 家發電公司、1 家輸配電公司、1 家售電公司及 1 家控股公司(新加坡電力公司)。 2001 年 1 月，將新加坡電力公司轄下之二家發電子公司之所有權移轉給淡馬錫控股集團。

2. 垂直分割

由上述國際案例可知，大部分國家電業自由化第一步即在進行產業重整，要求綜合電業進行分割，以削弱綜合電業控制市場的力量。就本研究所蒐集之案例，除日本允許其維持綜合電業經營型態，並維持區域壟斷經營外，韓國與新加坡皆規劃

將具有獨佔性的輸、配電部門需與具有競爭性的發、售電部門分開，以促進電力產業的競爭。近年日本在東日本大地震後，亦加速進行電業改革，並以實現發、輸配、售事業為目標。針對韓國、日本、新加坡就其綜合電業所採用之垂直分割方式及其優缺點，如表 3 所示。

表 3 各國垂直分割比較

分割方式	國家	方案評析	
		優點	缺點
發、輸配售	韓國 ¹	➢ 對於電業變動幅度相對上較小 ➢ 輸配電網建設和維護具獨佔性與公共性，統一管理可以避免重複投資	➢ 電網公司負責供電義務，仍兼營售電，恐妨礙公平競爭，產生獨家買賣之情形
發、輸配、售	新加坡 日本東電	➢ 輸配電網建設和維護具獨佔性與公共性，統一管理可以避免重複投資 ➢ 將售電部門切出，有助於未來開放零售電力市場競爭	➢ 輸、配電成本無法有效釐清，易發生交叉補貼

註 1：韓國電業自由化採三階段進行(依序將發電部門、配電部門與售電部門自韓電分離)，但過程中因遭受抗爭，目前僅將發電部門切出韓電。

參、台電公司最適模式選取

台電公司最適分割模式，係為因應電業法修正下，未來推動「廠網分離」時，台電公司必須配合進行之組織分割。故本段落首先將先對日前行政院所通過電業法修正草案進行說明。初步了解我國未來電力市場架構後，將進一步透過我國電力市場長期發展性、台電公司事業部劃分、相關法規切合性、員工接受度等因素分析台電公司最適分割模式。

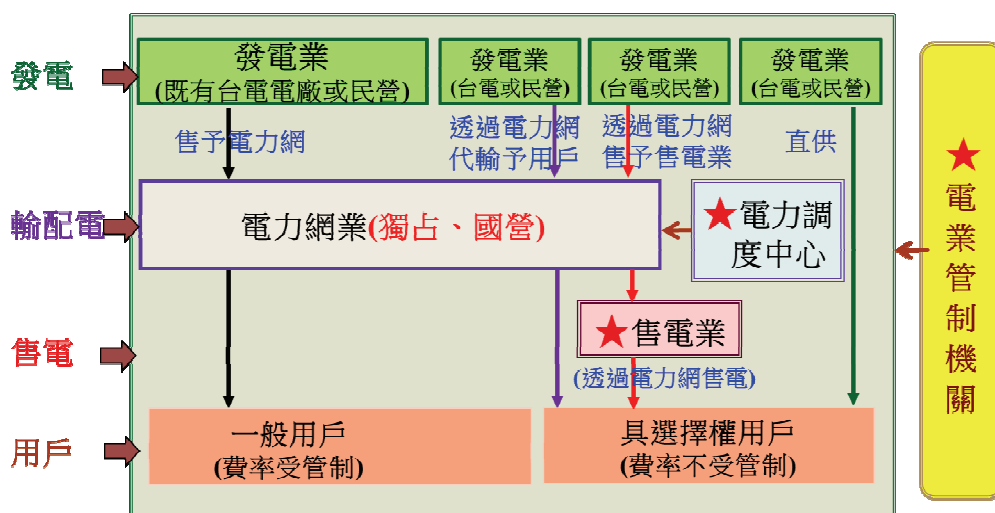
一、我國電業自由化最新發展

依據行政院日前所通過電業法修正草案，未來電業將劃分為電力網業、發電業及售電業，電力網業為國營獨占公用事業；發電業則開放競爭，可採躉售、電力網轉供及直供方式售電；售電業則為發電業與用戶間之撮合者，向發電業及

自用發電設備購電以銷售予具購電選擇權之用戶。本次修法亦規定自修法通過行政院指定施行日期開始施行後，5 年內目前唯一之綜合電業(台電公司)須分割為電力網業及發電業，且不得交叉持股。如有正當理由得申請延展 2 次，每次以 2 年為限。換言之，未來電力網業及發電業需分割為不同法人，但仍得採控股公司模式經營。

本次電業法修正除朝向發電業及電力網業分離外，亦成立電力調度中心統籌執行電力調度，公平使用電力網，俾建立一個具公平性、多元性及前瞻性之電力市場；另由行政院指定電業管制機關管理與監督電力市場及確保用戶用電權益；並明定電價訂定程序，以為推動電力市場自由化之依據。

綜上所述，行政院版電業法修正草案，未來電力市場架構如圖 8 所示^[5]：



- 註：1.核能及大水力電廠維持公營，不開放民營
2.電力網業經營輸配及售電業務
3.★表示新增單位，包括電業管制機關、電力調度中心及售電業

圖 8 行政院版電力市場架構

二、廠網分離模式選取

依國際間推動廠網分離之經驗，電業的分離模式基本上係因應市場狀況而有不同的考量。以歐盟為例，在 1996 年 12 月頒布之「電力內部市場共同規則」(Directive 96/92/EC: Common rules for the internal market in electricity)中即要求保證

第三方上網和電網使用的中立與獨立性，因此，歐盟各國為符合此一共同規則，多開始進行會計分離及功能性分離；到 2003 年 6 月重新修訂後發布新的電力內部市場共同規則(Directive 2003/92/EC: Common rules for the internal market in electricity and repealing Directive 96/92/EC)，規

範會員國發、輸、配電業之組織、功能、市場行為及網路公平使用、系統操作之一般規則，以促進電力市場之自由競爭。其中特別規定輸電系統操作者之分離，輸電系統操作者若屬於垂直整合之綜合電業，則至少應在法律形式、決策過程、組織上與其他輸電無關部門分離。但不強制要把資產所有權切割出來。負責擔任輸電系統操作的人員，不可參與綜合電業其他發、配、售電活動。(第十條)

從前述歐盟二次共同規則的內容可以看出，歐盟為了促進電力共同市場的發展，對於電業分離的模式係採取循序漸進方式，由會計分離及功能性分離逐漸擴展到法人分離，以確保輸電網路使用之公正性與獨立性。而目前行政院版電業法修正草案亦符合這樣的精神，在電業法通過初期，係要求經營不同類別電業間應建立會計獨立制度，而自修法通過行政院指定施行日期開始施行後，5 年內目前唯一之綜合電業(台電公司)須分割為電力網業及發電業，且不得交叉持股；如有正當理由得申請延展 2 次，每次以 2 年為限。

依據目前行政院版電業法修正草案之精神，採法人分離或採所有權分離皆符合行政院版電業法修正草案之規範，未來應採用何種廠網分離模式則為未來應先考量的重點。本研究認為因電業自由化屬重大變革，牽涉範圍廣，而所有權分離為四種分離最為徹底之模式，若我國採用所有權分離將對電業之人事、組織及系統造成較大之衝擊，故建議我國廠網分離模式可採用較折衷的法人分離模式。事實上，從前文對國外經驗的整理可以發現，除了歐盟以外，亞洲許多國家亦採用控股公司之法人分離模式，包括韓國、新加坡以及最近重新檢討電力市場改革的日本等，皆採用此一模式。

三、分割模式評估

(一) 最適分割模式評估構面

電力市場結構的態樣與選擇需經過複雜的電力產業重組形成，而在重組過程中需考慮多種因素，就我國而言，台電公司

既有事業切割模式評估，需就以下四大構面進行評估。

1. 電力市場長期發展性

台電公司最適分割模式之選取，需考量未來電力市場可能發展。根據我國目前對於未來電力市場規劃，係藉由漸進式推動以減緩對電業的衝擊，並以提升電業效率為主要目標，希望藉由開放發電市場競爭，以提升發電市場自由競爭及經營效率。另為確保電力網公平使用，避免台電公司排擠其它發電廠，將透過電力調度中心專責電力調度業務，以確保電網公平與公開使用。

2. 相關法規切合性

台電公司最適分割模式，係為因應電業法修正下，未來推動「廠網分離」時，台電公司必須配合進行之組織分割。故其最適分割模式需配合未來相關法規規定，如電力網業與發電業不得交叉持股、核能及大水力應為國(公)營等相關規定。

3. 台電公司事業部劃分

台電公司預定於 104 年年底前完成組織調整作業，105 年 1 月起即正式實施。未來台電公司將成立「水火力發電事業部」、「核能發電事業部」、「輸供電事業部」、「配售電事業部」等 4 個事業部。在台電公司事業部劃分規劃下，將會影響未來分割模式選擇，若未來台電公司之分割態樣與事業部劃分差異愈大時，分割的困難性與複雜度越高。

4. 台電公司員工接受度

實施分割公司涉及如何將現有員工分配至不同公司實體的過程，將會改變員工的工作條件與工作保障等權益，若將台電公司分割成愈多單位或公司改變成不同型態，可能遭致工會及員工極力反對，故員工對於未來公司分割的接受

度，將會影響未來公司分割的反彈程度與執行時程。

(二) 分割模式評估

依據國外電力市場的結構模式，大致可分為：1.發、輸配售；2.發、輸配、售；3.發、輸、配售；4.發、輸、配、售等四種模式。

1. 發、輸配售

此分割模式係將台電公司分割為一家或多家之發電公司及一家可同時經營輸電、配電與售電業務的電力網公司。

(1) 電力市場長期發展性

發電業開放競爭將有助於未來發電部門民營化，惟在分割發電部門時需思考各發電公司市場佔比及既有購售電合約之繼受，以避免市場過度集中。此外，因電力網公司可同時兼營輸電、配電與售電業務，較不利於公平競爭。

(2) 相關法規切合性

電力網公司可經營輸電、配電與售電業務，若其型態維持國營且與發電公司不交叉持股下，則與目前電業法修正草案之規範並無抵觸。

(3) 台電公司事業部劃分

本分割模式為發電獨立，輸電、配電與售電為一體化的模式，此分割細膩程度相較目前事業部劃分屬較初步分離，在執行上其困難與複雜程度相對較低。

(4) 台電公司員工接受度

將發電部門自台電公司切出，在公司結構變動上屬較小者。若電力網公司與發電公司維持國營，則員工權益與目前台電公司員工並無不同。反之，則將對員工影響較大。

2. 發、輸配、售

本結構特點為將具競爭特性的發

電、售電部門從台電公司各自獨立出來，而輸電、配電部門則由另一家獨立的輸配電公司經營，形成輸、配電一體化經營模式。

(1) 電力市場長期發展性

因發電與售電部門具競爭特性，將此兩部門自台電公司切出將有助於未來開放競爭與降低電價。發電業開放競爭將有助於未來發電部門民營化，惟在分割發電部門時需思考各發電公司市場佔比及既有購售電合約之繼受，以避免市場過度集中。而輸配電網建設和維護具獨佔性與公共性，統一管理可避免重複投資，並可提升輸配電系統整合，將有助於電力穩定供應，惟輸、配電成本無法有效釐清。

(2) 相關法規切合性

依據電業法修正草案電業將分成發電業、電力網業及售電業，此分割模式與電業法修正草案之規範並無抵觸。若切割為發電公司與輸配電公司，並在不交叉持股下，則與電業法修正草案之規範相同。

(3) 台電公司事業部劃分

此分割模式將與目前事業部之劃分存有差異，未來執行上在人事、組織、資訊系統設置等將需重新調整，亦將可能產生相關成本，故執行上將相對較有難度。

(4) 台電公司員工接受度

此分割模式將發、售電業自台電公司切出，在公司結構變動上相對上一分割模式大，且與現行事業部劃分存有差異，員工反彈恐較上一分割模式大。而在員工權益部份，若輸電部門維持國營，則對輸配部門員工而言，其權益與目前台電公司員工並無不同。而發、售電部門型態為國營亦

或是民營，若為民營則將對員工影響較大。反之，則將對員工影響較小。

3. 發、輸、配售

此模式係將具獨立業務的發電、輸電各自形成單獨的發電公司(一家或多家)及輸電公司。而配電、售電業務則另由一家或多家獨立的配售電公司經營，形成配、售電一體化經營模式。

(1) 電力市場長期發展性

發電業開放競爭將有助於未來發電部門民營化，惟在分割發電部門時需思考各發電公司市場佔比及既有購售電合約之繼受，以避免市場過度集中。售電部門亦具備市場競爭性，因此在此分割模式下允許非競爭性之配電業與具市場競爭性之售電業一體化經營，在此態樣下可能妨礙公平競爭與引發交叉補貼之隱憂。而將輸電與配電業務分開，雖可確保輸電部門獨立性，有助於維持輸電系統之公正性，但可能會產生低電壓電網、高電壓電網的協調運行、統一規劃等問題。

(2) 相關法規切合性

依據電業法修正草案電業將分成電業分為：發電業、電力網業及售電業三業別。然此分割模式將具獨立業務的發電、輸電各自形成單獨的發電公司及輸電公司。而配電、售電業務則由另一家獨立的配售電公司經營，若採用此分割模式則需重新定義電業。

(3) 台電公司事業部劃分

此分割模式為發電、輸電獨立，配、售電一體化的模式，此分割模式與目前台電所劃分之事業部相同，故在執行上將相對較為容易。

(4) 台電公司員工接受度

此分割模式與目前台電公司所規

劃之事業部相同，故可將事業部員工直接分配至不同公司，對員工而言影響較大之因素為各公司型態為國營亦或是民營，若為民營則將對員工影響較大。

4. 發、輸、配、售

此分割模式係將台電公司依職能分為發電、輸電、配電及售電，屬一步到位之分割方式。

(1) 電力市場長期發展性

此分割模式將電業依職能分為發、輸、配、售等電業，屬一步到位之分割方式，需要成熟的市場運作機制支撐，適用於已經建立較完善電力市場的規則與政策。在這種模式下，發電與售電業的競爭將更加激烈，將有利於提高電業的資源配置與電業的經營效率，同時由於電價由市場決定，將更趨於公平。此外，此模式可確保各部門之獨立性，並可以有效避免交叉補貼發生。

(2) 相關法規切合性

依據電業法修正草案電業將分成電業分為：發電業、電力網業及售電業三業別，然此分割模式將電業依職能分為發電、輸電、配電、售電，若採用此分割模式則需重新定義電業。此外，因電業法修正草案明訂電力網業應為國營，且以一家為限，故若分割為輸電、配電需進一步定義其為公用事業亦或是非公用事業，以及國營或民營，否則將產生牴觸。

(3) 台電公司事業部劃分

此分割模式分與目前台電所劃分之事業部存有差異，故若採用此分割模式，未來執行上在人事、組織、資訊系統設置等皆需重新調整，將會產生其他相關成本，故執行上將相對較

有難度。

(4) 台電公司員工接受度

此種分割方式屬變動幅最大者，因此員工反彈程度恐較大。若輸電部門維持國營型態，則員工權益與目前台電公司員工並無不同，而配售部門與發電部門未來為國營或民營，若為民營則將對員工影響較大。反之，則將對員工影響較小。

(三) 台電公司最適分割態樣建議

考量電業自由化屬重大變革，牽涉範圍廣泛，一步到位有其困難性，且實務上建立市場競爭機制與執行廠網分離需要相當的時間，宜採漸進式開放作法，逐步視市場發

展情況建置各必備機制與配套措施。

根據上述分析，各模式比較如表 4 所示。整體而言，「發、輸配售」變動較小，短期而言為較適當之分割模式，但長期將不利市場發展。而「發、輸、配、售」雖為四種模式中雖為變動較大者，但長期而言對於電力市場發展較好，故長期而言可朝此模式邁進。而「發、輸配、售」與「發、輸、配售」可視為過渡模式。經考量與目前電業法修正草案之切合性，可將「發、輸配、售」視為邁向「發、輸、配、售」之過渡模式。據此，本研究建議台電公司垂直切割之細分程度，可依不同時程進行漸進式切割。

表 4 分割模式綜合比較

模式	電力市場長期發展性	相關法規切合性	事業部劃分	員工接受度
【模式一】 發、輸配售	有助於開放發電市場競爭，但輸配售電一體恐有妨礙市場公平競爭之疑慮	與電業法修正草案之規範並無牴觸	與目前事業部之劃分無太大差異	整體電業變動幅度相對較小
【模式二】 發、輸配、售	有助於開放發、售電競爭、降低電價與穩定電力供應，但有輸配電成本恐無法有效釐清	與電業法修正草案之規範並無牴觸	與目前事業部之劃分存有差異	整體電業變動幅度相對稍大
【模式三】 發、輸、配售	有助於開放發電業競爭，並可維持輸電系統之公正性，但有配售電一體恐有妨礙公平競爭之疑慮	可能與電業法修正草案之規範相牴觸	與目前事業部之劃分相同	整體電業變動幅度相對稍大
【模式四】 發、輸、配、售	將有助於開放競爭、降低電價與穩定電力供應	可能與電業法修正草案之規範相牴觸	雖與目前事業部劃分有差異，但可視情況將配電與售電部門分離	相對其他分割模式，此模式變動幅度最大，恐將引起員工較大反彈

依目前電業法修正草案規劃，台電公司必須進一步切割為電力網公司及發電公司，故第一階段配合電業法修正草案必須先將發電部門自台電公司切出，第二階段則可視市場發展情況與競爭強度，進一步將售電業自電力網業切出，待電

力市場發展成熟後及電力市場規則與政策更為完備後，可再考慮進入第三階段將輸電與配電部門之結構分離，以使各部門具有其獨立性，及提高電業的資源配置與電業的經營效率，如圖 9 所示。

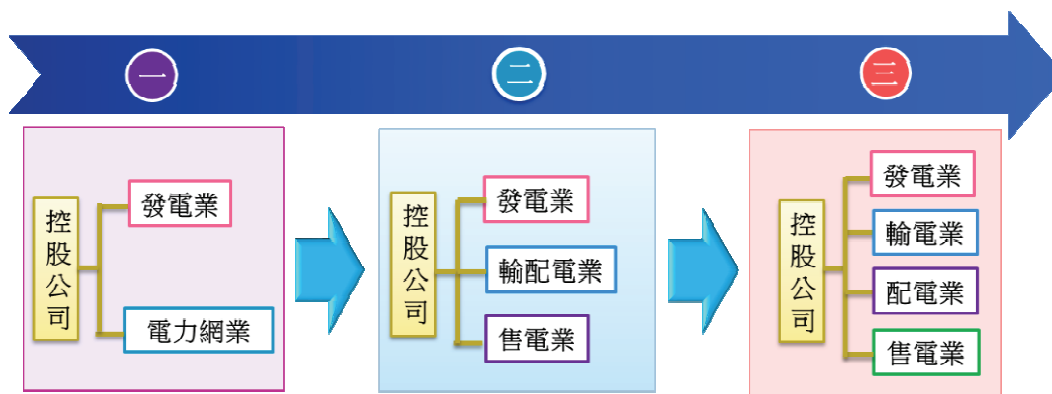


圖 9 不同推動時程下之分割態樣

肆、台電公司廠網分離執行規劃探討

經前綜整評估台電公司最適分割模式後，本段落將進一步就未來台電公司進行廠網分離時之相關規劃進行探討，包含法律面、財務面以及員工溝通三大層面。

一、法律面

(一) 台電公司分割涉及法規探討

1. 台電公司分割依循法規之適用性釐清

過去我國為推動金融業之改革，而先行制定金融控股公司法，係因當事在企業併購法尚未制定，而公司法又缺乏股份轉換、公司分割等規定，而不得不設立專法，解決當時之問題。依現行法令架構下，在立法部門於國營事業管理法中已鼓勵國營事業成立控股公司，以控股公司模式經營，而企業併購法之規定又適用於所有類型股份有限公司的情況下，除非政府部門有意針對公用事業專門制定一部公用事業控股公司法，否則一般企業併購法、公司法規定，理當可以適用於台電公司成立控股公司之模式。

在釐清上述前提後，即可明確界定台電公司進行公司分割時主要所牽涉之法規，即為企業併購法、公司法，同時

二者規範內容並無重大衝突，僅是企業併購法對於公司分割之相關法律議題，規定的更為詳盡。惟須注意者，當企業併購法未明文規定，而公司就該當事項有所規範時，自應適用公司法該當規定。

2. 分割主要適用之法規與程序-公司法與企業併購法

目前一般公司分割所必須踐行程序，如「特別委員會之組成與委請獨立專家就法定事項提出意見」、「召開董事會決議分割計劃」、「分割契約與分割計畫書之作成」、「異議股東之股份收買請求權」、「召開股東會決議分割」、「債權人與員工保障程序」、「分割登記」，於公司法與企業併購法之規定整理如表 5。

觀察目前一般國內企業分割之模式，可發現大部分企業均採行新設分割之方式，將原本的事業部門分割獨立成為另一家子公司。再者，大部分企業幾乎是採取物之分割，以該企業本身(而非其股東)取得承受營業之新設或既存公司因分割所發行之新股，在資產上並未有任何減損，而可避免股東權益受損之疑慮，故未來台電公司應當採行新設分割、物的分割之模式，以減少分割成本並促進分割程序之儘速完成。

若未來台電公司的分割模式採取一種新設分割、物的分割，並由台電公司取得新設公司 100% 股份，由其擔任新設公司的一人股東，直接指派新設公司之董事及監察人，並由受指派之董事組成董事會，同時行使股東會及董事會之職權，同時台電公司將可適用企業併購

法所規定之租稅優惠措施，如免徵印花稅、徵契稅、土地增值稅等。

惟台電公司於股東、債權人以及員工等利害關係人之權益保障，仍須謹慎處理，以免分割遭遇阻礙，針對利害關係人於法規之適用與應注意事項，茲分析如下：

表 5 企業併購法與公司法就公司分割規範之比較

	公司法	企業併購法
適用主體	依公司法設立之股份有限公司	依公司法設立之股份有限公司
簡易分割及非對稱式分割之有無	未有規定	簡易分割(第 37 條) 非對稱式分割(第 36 條)
分割之對價	第 316 條之 1 第 2 項	第 4 條第 6 款：既存公司或新設公司之股份、現金或其他財產
法律效力	公司法第 317 條準用同法第 75 條	未明文規定
特別委員會及獨立專家	未有規定	第 6 條
董事會決議方式	普通決議	未明文規定
股東會決議方式	第 316 條	第 35 條
不同意股東股份收買請求權	第 317 條	第 12 條第 1 項第 7 款、第 13 條
對債權人個別通知及公告	第 319 條準用第 73 條	第 35 條第 6 項
對債權人擔保等	第 319 條準用第 74 條	第 35 條第 6 項
被分割公司對債務人的連帶清償責任	第 319 條之 1	第 35 條第 7 項
員工保障	未有規定	適用企業併購法第 15 條至第 17 條規定
租稅優惠	未有規定	適用企業併購法第 39 條及第 42 條以下之規定

(1) 少數股東保護

現行台電公司僅有相當有限的少數股東存在，未來台電公司若依據公司法及企業併購法相關法規進行，應可避免引發爭議。若憂慮少數股東可能將股份轉讓給第三人，造成公司分割過程中之不當阻礙，建議可利用企業併購法第 11 條規定，與分割前此等少數股東簽定書面契約，要求此等少數股東若於分割時有意轉讓其所持有之股份，應優先轉讓給公司獲公司所指定之第三人，避免無謂的困擾。

(2) 債權人保護

倘若於分割過程中，有債權人對其分割提出異議，鑑於物的分割係以股份取得對價，將營業或資產分割給新設公司，從而被分割公司因 100% 的股份取得，依舊擁有新設公司之所有財產價值，不會因分割就減少其財產價值，理論上債權人不會因此種物的分割而導致其債權有受損之虞，但若債權人仍舊依據企業併購法第 35 條第 6 項提出異議，台電公司當可依照該項規定提出「經公司證明無礙於債權人之權利」之證明，因應此種異議。

(3) 員工權益保障

員工留用問題上，由於企業併購法刪除原第 16 條第 2 項「前項同意留用之勞工，因個人因素不願留任時，不得請求雇主給予資遣費。」之規定，容許同意留用之勞工，其後因個人因素不願或無法留任時，亦得依據同法第 17 條第 1 項規定，請求公司發給資遣費。本次修正，可能造成員工不問結果如何，先同意留用再說，之後在視情況，決定是否留用，結果可能使得企業併購法第 16 條第 1 項要求員工應於公司書面通知後 10 內，決定是否同意留用之規定，變得空洞化，成為公司分割的重要不確定因素之一。未來，台電公司於正式進行分割時，如何藉由各種獎勵、補助方式，促使勞工早日決定是否留用，當有其必要性。

3. 其它法律所涉公司分割之法規-公平交易法與國營事業管理法

(1) 公平交易法

依據公平交易法第 10 條之規定，對達到一定門檻¹的事業要進行結合，規定原則上應事前申報。然而，對於市場競爭機能並無減損之事業結合，公平交易法第 12 條訂有除外適用的規定，使其不受事前申報之管制。台電公司之分割應可適用公平交易法第 12 條第 3 款或第 5 款規定之除外適用規定，而不用向公平交易委員會事先申

報。但鑑於公平交易法第 12 條第 3 款所使用之用語為「讓與」，而第 5 款則使用「轉投資」，就解釋而言，二款規定理當包含分割在內；但為避免爭議，未來台電公司當有必要於規劃分割之前階段，發函請公平交易委員會解釋，其分割方式是該當於公平交易法第 12 條第 2 款、抑或第 5 款之申報規定的免除，甚至若公平交易會嚴格解釋法條用語認為皆不屬於時，亦可敦促該會經由第 12 條第 6 款之「其他經主管機關公告之類型。」，將公司分割類型包含於此免適用申報規定之類型中。

(2) 國營事業管理法

國營事業管理法於中華民國九十一年增訂第 35 條第 1 項但書規定「國營事業董事、監察人或理、監事，不得兼任其他國營事業董事、監察人或理、監事。但為推動合併或成立控股公司而兼任者，僅得兼任一職，且擔任董事或理事者不得兼任監察人或監事，反之亦然；並得被選任為董事長、副董事長或相當之職位」。由此當可知悉，我國政府鼓勵、推動國營事業未來應以控股公司模式經營其事業，提升其經營效能。未來台電公司以分割方式成立控股公司後，其因此所分割成立的各該子公司及台電控股公司本身，皆為經濟部所屬國營事業，其法律屬性及其定位，並不會因此分割而變更。

(二) 台電公司分割步驟與期程

未來台電公司廠網分離之方向受到我國未來電力市場之政策與台電公司內部針對公司未來營運規劃等內外部因素之影響；實際進行分割之規劃，勢必牽涉既存公司(控股公司)與新設公司(電網公司、發

¹ 我國公平交易法，係採行市場占有率與營業額多重管制申報程序門檻為標準，規定於公平交易法第十一條第一項。凡事業因結合而使其市場占有率達三分之一者；參與結合之一事業其市場占有率達四分之一者；及公告營業額超過中央主管機關公告之金額者，具備以上三種情形之一，應事先申報。關於中央主管機關日前公告之金額門檻，金融機構事業為新臺幣二百億元、非金融機構事業為新臺幣一百億元，且與其結合之事業，其上一會計年度之銷售金額超過新臺幣十億元者。資料來源：公平會中華民國 91 年 2 月 25 日公法字第 0910001699 號令。

電公司)之規劃，以及伴隨而來的債權移轉，以及後續承受債權之新設公司，而有不同的分割方式，而必須進行事前之評估。此外主管機關與立法院對於國營公司成立具有審查之權力等種種因素，皆可能對分割之時程造成輕重不一之影響。

台電公司應先就廠網分離分割模式進行選擇與評估、從而依企業併購法與公司法之規定，依序進行「擬具分割計劃，進行公司內部資產與負債之盤點」、「特別

委員會之組成與委請獨立專家就法定事項提出意見」、「召開董事會決議分割計劃」、「新設國營公司取得主管機關及立法院核定」、「召開股東會決議分割」、「確定分割基準日」、「對於異議債權人提出無礙債權之證明」、「確定有無股東行使股份收買請求權期程作業規範」、「分割登記」、「依分割決議或分割移轉營業或財產」等步驟，上述分割時程與受影響之因素分析整理如表 6：

表 6 台電公司進行分割時程與時間預估

時程順序	時程受影響之因素	預估時間
台電公司針對廠網分離(輸、配電公司、發電公司)分割模式之選擇與評估	內部事業重整之規劃與進度目前進度仍未明，亦影響後續分割模式之選擇。 台電公司未來對於新設公司之持股與負債比例之評估。 利害關係人溝通進展	1 年
擬具分割計劃，進行公司內部資產與負債之盤點	針對進行營業項目、有形及無形資產、對外契約關係、轉投資事業、專利及營業秘密、相關資產與權利義務等相關之釐清與盤點。	1 年
委請獨立專家就法定事項提出意見	針對台電公司的分割計畫由獨立專家提出意見	6 個月
召開董事會決議分割計劃	台電公司內部之決議之進度	3 個月
新設的國營公司(控股公司、輸配電公司、發電公司)需經主管機關同意以及立法院核定	台電屬國營公司，其進行分割將影響整體電力市場運作，依據國營事業管理法之規定，並需行政機關同意與立法院審定	1 年
召開股東會決議分割、確定分割基準日、對於異議債權人提出無礙債權之證明、確定有無股東行使股份收買請求權	台電公司針對未來資產與負債如何分割，負債留在既存公司，亦或移轉到「新設公司」，亦牽涉後續債權人與股東是否會進行異議，而影響分割整體進度	6 個月
辦理分割登記	依公司法相關規定辦理公司分割登記	1 個月
依分割決議或分割契約移轉營業或財產	前期關於資產、負債及權益之劃分，尚須進行微調	1 年

考量台電公司未來廠網分離之方向，將受我國未來電力市場之政策與台電公司未來營運規劃等內外部因素之影響，此外主管機關與立法院對於國營公司成立具有審查之權力等種種因素，皆可能對分割之時程造成輕重不一之影響，故在上述考量下，本研究估計台電公司進行分割大約需 5~6 年之時間。

二、財務面

為了因應電業自由化的各項方案，台電公司

成立「電業自由化因應策略小組」積極研討，未來將按電立法修正草案進行廠網分離。因此，公司必須先分割為電力網與發電公司，且兩者應為不同法人、不得交叉持股。基於此，本研究擬議由總管理處成立集團控股公司，控制各子公司，並依不同時程進行漸進式分割，如圖 10 所示。此控股公司定位為只持有子公司股份、進行資本營運，不直接從事生產經營業務，屬於純粹控股公司。

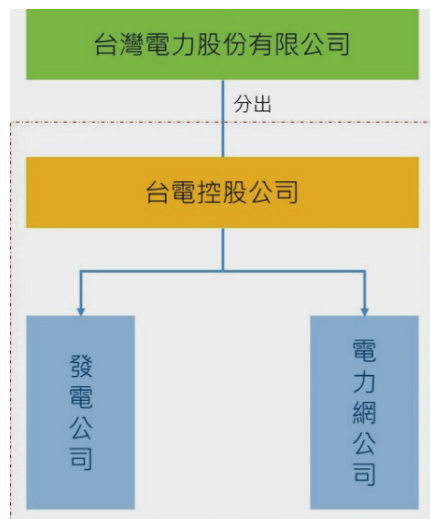


圖 10 電業自由化之「廠網分離」架構

(一) 資產、債務、股東權益處理方式

1. 資產劃分

為了因應廠網分離，除了前段提及先進行公司組織分割，分為台電控股公司(總管理處)、發電公司、電力網公司之外，另須進行會計分離，如圖 11 所示。在進行會計分離的同時，也建議依據資產之可分割性(可直接歸屬性)採行如下之資產劃分模式：

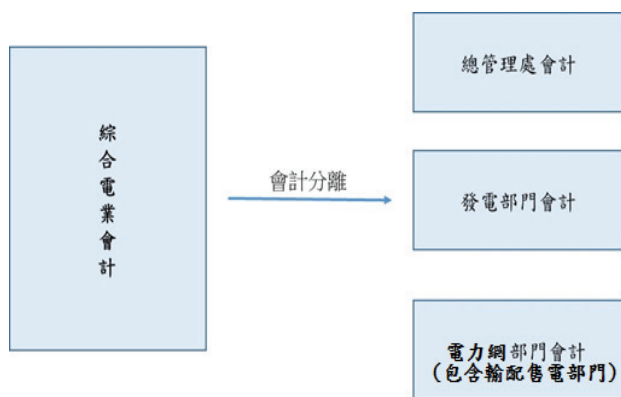


圖 11 台電之會計分離模式

(1) 可分割之資產

可分割之資產，係指可明確歸屬給某部門之資產(即可直接歸屬至各事業部之資產，如現金、存貨、不動產、廠房及設備、土地、及其他資產等)，

此類資產約占台電公司總資產的 80%。在分離會計原則下，這些資產可以直接做適當的重新配置，之後各部門(發電、輸配電)在控股公司組織調整下，再以公允價值(Faire Value)進行作價，以反映資產目前的真實價值。

如圖 12 所示，原來於綜合電業會計中有「可分割資產」(A1、A2、A3)與「不可分割資產」，前者可直接分給各部門(即 A1 於台電控股公司中、A2 於發電公司中、A3 於電力網公司中)，不可分割資產則置於台電控股公司中。

(2) 不可分割之資產

對於不可分割之資產，例如共用土地、供電契約等，建議台電控股公司可以用租賃、授權或委託辦理的方式，提供各子公司付費使用。

(3) 無形資產

無形資產係無法分割之資產，台電公司的無形資產主要包括專利權與電腦軟體等，可以將其留於控股公司中，再以授權或租賃的方式提供使用。

(4) 其他資產

其他資產包括閒置或套牢資產(如核四)，依台電公司後續之規劃再行決定其歸屬。

基於以上分割方式，台電公司目前應進行的工作如下：

擬訂資產負債可分離性的邏輯(如：依各部門產生現金流量所依據的資產來源)，編製各事業部分離資產負債表。此表亦須將各事業部預計之營運規模、可能須增購之額外資產、或須負擔之額外負債納入考量。

應收款項部分，俟電費收入之分攤方法確立後，依各事業部分攤邏輯，並考量未來獨立營運之規模水準所估計。

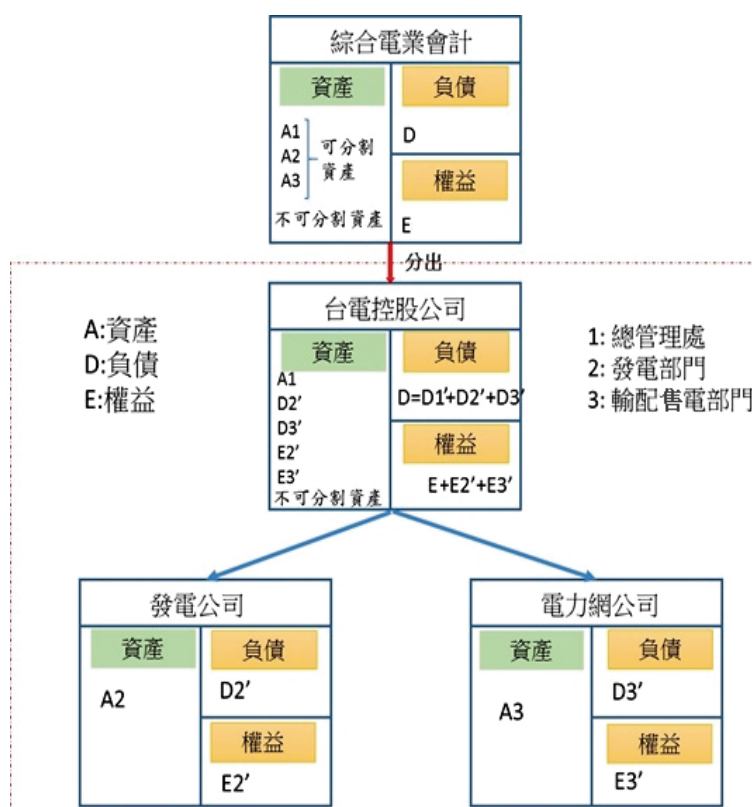


圖 12 台電資產負債分配方式：負債完全不可分割之情況

2. 債務處理

負債亦可依據其可分割性(可直接歸屬性)進行歸屬，但由於台電之債務主要是由原綜合電業下之總管理處向外簽約借入，再分配給各單位使用，如台電之聯合貸款或應付公司債等專案融資等，取得之資金係供台電整體財務規劃用，因此較難以明確分割台電公司債務的歸屬。建議債務依以下兩種方式處理：

(1) 負債完全不可分割

在債務難以分割的情況下，則將所有債務置於台電控股公司，各事業公司再以借入資金的方式向控股公司融通資金；各子公司雖不記錄不可分離之負債，但仍應依實際使用資金之多寡，分攤利息費用，分攤方式即是以聯屬公司之方式借入資金，如此才能維持母子公司各自資產負債表的平衡。

如圖 13 所示，原來綜合電業下之

不可分的債務 D 先由台電控股公司承擔，發電公司與電力網公司再分別向台電控股公司借入 D2' 與 D3'，以分擔控股公司之負債與利息費用。至於發電公司及電力網公司應該發行多少債務，可依各公司所分到之資產金額、或依分配之資產產生利潤的能力等方法來進行。

而關於母子公司資金貸與之授權額度，必須遵守公開發行資金貸與及背書保證處理準則第 14 條之規定，對單一企業之不得超過該公司最近期財務報表淨值百分之十。因此，也可改由子公司發行公司債(私募)的方式，且其債券全部由母公司認購，則此借貸方式將不會受到 10% 上述借貸金額的限制。

(2) 負債可部分分割

若個別負債屬於明確可分割性質

(即可直接歸屬至各事業部之負債，如應付工程款、應付薪資、應付帳款及負債準備等)，則可如同資產分割之作法，直接將負債重新分配至各事業部，並依公允價值進行評估。剩下之無法分離之負債，則置於台電控股公司，再以前一種方式進行債務之分攤。

如圖 13 所示，原綜合電業之負債包含「不可分割負債」及「可分割負債」(D1、D2、D3)。公司分離後將不

可分割負債置於台電控股公司，其餘負債 D1、D2、D3 依其歸屬分配給控股公司及各事業公司。而不可分負債則以各事業公司向母公司借入款項(即 D2'、D3')的方式分攤。同樣建議台電公司，應先考量各事業部分割後可能之營運規模、及所須額外負擔之負債，將其納入擬制性分離資產負債表中。

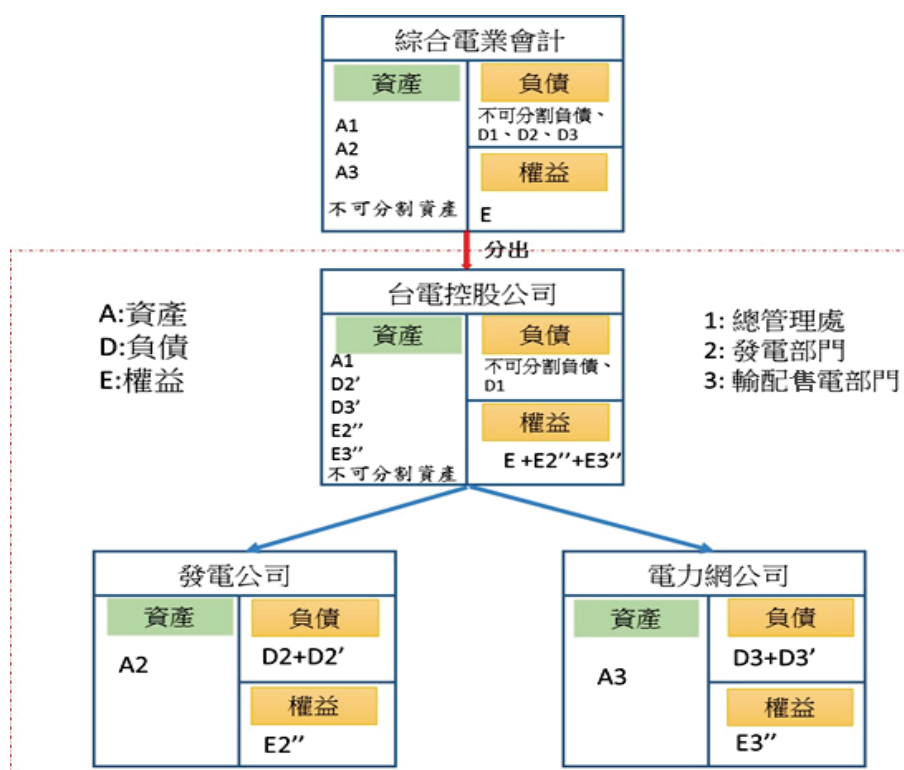


圖 13 台電公司負債之分配方式—負債可部分分離之情況

3. 股東權益處理

由於財務的劃分方式擬以台電控股公司持有發電公司與電力網公司的股份，因此原來的股東權益仍保留於台電控股公司的權益項下，而發電公司與電力網公司所發行的股份，則由控股公司持有，成為控股公司的資產。其作法如下：

(1) 台電控股公司的股東權益先維持現狀，透過分割當年度資本利得或未來

子公司經營所產生之利潤，彌補過去的虧損。惟集團控制公司分割將對原有之股東權益及地位有重大變動，為保障股東經營參與權，在行使分割計畫前須經股東同意；台電亦須提出獨立專家意見書於股東會閱覽，使股東具有充分資訊做決策。若股東對於分割計畫有疑慮，應准其以少數股東行使股份收買請求權(公司法第 317 條)。

- (2) 股東權益須俟資產及負債分配至各子公司或事業部後，依歷史營運經驗，考量不同營運模式所需之最佳資本結構，再行確認各子公司設立資本之高低、及其他股東權益調整項之內容。

如圖 13 或圖 14，台電控股公司中的權益 E 為原來台電綜合電業下的權益，發電公司與電力網公司分別發行股份(E_2' 與 E_3' 、或 E_2'' 與 E_3'')由台電控股公司持有，其發行量俟資產及負債分攤後再決定。

(二) 成本與費用之分攤

成本及費用分配基礎，除了可直接歸屬至各事業部的成本及費用外，其餘成本費用可採合理動因以合理比例分攤。成本

屬於各公司的損益表部分，應由各事業公司依據本身之生產需求提列或分擔成本(如表 7)：

1. 可直接歸屬(如用人費用及折舊費用)：直接歸屬至各業別。
2. 不可直接歸屬：以合理比例分攤(如共同成本部分)或採轉撥計價。

事實上，台電目前除利息費用係採用分攤方式外，其餘成本及費用均可直接歸屬。分割後，由於部分不可分割資產仍至於控股公司下，若其餘事業部仍會使用到，則控股公司可向其收取管理費(資訊、財務、及其他管理服務)或租賃費用。

表 7 成本及費用分攤方式

	台電控股公司	發電公司	電力網公司
營業成本及費用	管理費用 研究發展費用 員工訓練費用	水力發電費用 火力發電費用 核能發電費用 再生能源發電費用 購入電力	輸電費用 配電費用 售電費用
營業外費用	財務費用 其他營業外費用		
其他費用	所得稅費用		

(三) 收入之分攤

台電公司之收入主要包括電費及其他收入，目前分攤方式如下：

1. 電費收入方面，基於作業基礎成本制度(Activity-Based Costing, ABC)，各事業單位可分別計算該單位對住宅、小商店、工商業等不同用戶所花費之成本，再依其佔各用戶總成本之比例，分攤電費收入。
2. 其他收入可視其能否直接歸屬而定，可直接歸屬者以該部門所屬事業別進行歸屬，共同部門之收入，則依據各事業別之營運成本，並排除燃料及購電成本後，依比率分攤。

而關於廠網分離下的收入分攤，若分割後所有電費收入都由子公司來收取，子公司之現金除了可以現金股利的方式流回母公司之外，也可以前述所提之管理費的形式流回母公司之中。

三、員工溝通

因一般員工都有抗拒變革的恐懼心理，變革決策者除應建立員工足夠的危機意識、正確的變革認知，落實變革計畫外，尚應藉充分參與、加強溝通、適時給與充分資訊、問題澄清及減輕恐懼等途徑加以化解，以減少改革中的阻力。故本段除就台電公司進行分割時可與員工進行溝通之方式進行說明。

(一) 溝通原則

企業進行變革改造的過程中，組織內部良好的溝通是影響組織變革成敗重要因素；Cameron(1985)提出組織變革過程涉及組織內部訊息傳達，需具備下列三點原則：

1. 確定組織內的員工都了解組織變革的目的、策略及目標。
2. 不斷地提供溝通是組織變革的訊息，如此資訊才能正確的提供予全體員工。
3. 收集參與者的回饋並進行檢討。

(二) 未來員工溝通建議作法

因目前電業法修法及正式實施的不確定性，故目前溝通方式以資訊揭露為主：

1. 公司員工專區設電業法專業，隨時更新電業法修法情形。
2. 藉由台電月刊進行專題報導。
3. 定期召開由總經理所主持的研習營，並要

求相關高階主管及各單位皆需派員出席參加。

除上述訊息揭露外，台電公司亦會派員參加台電工會電業法小組所召開的相關會議，以了解工會想法。

綜上所述，台電公司目前所採用的溝通方式主要為教育或交流，若對應Cameron(1985)三點原則^[6]，目前台電公司溝通方式尚未包含「蒐集參與者的回饋並進行檢討」，故建議未來台電公司進行廠網分離時，除既有的溝通方式外，可透過「開放討論蒐集參與者的回饋並進行檢討」。

首先，可先對員工的意見進行調查並加以整合，以了解員工對公司分割時所關心的事項及疑慮，並根據員工意見之分析結果，擬訂與員工進行溝通之議題，再依據溝通成效進行修正。整體執行流程如圖 14 所示。

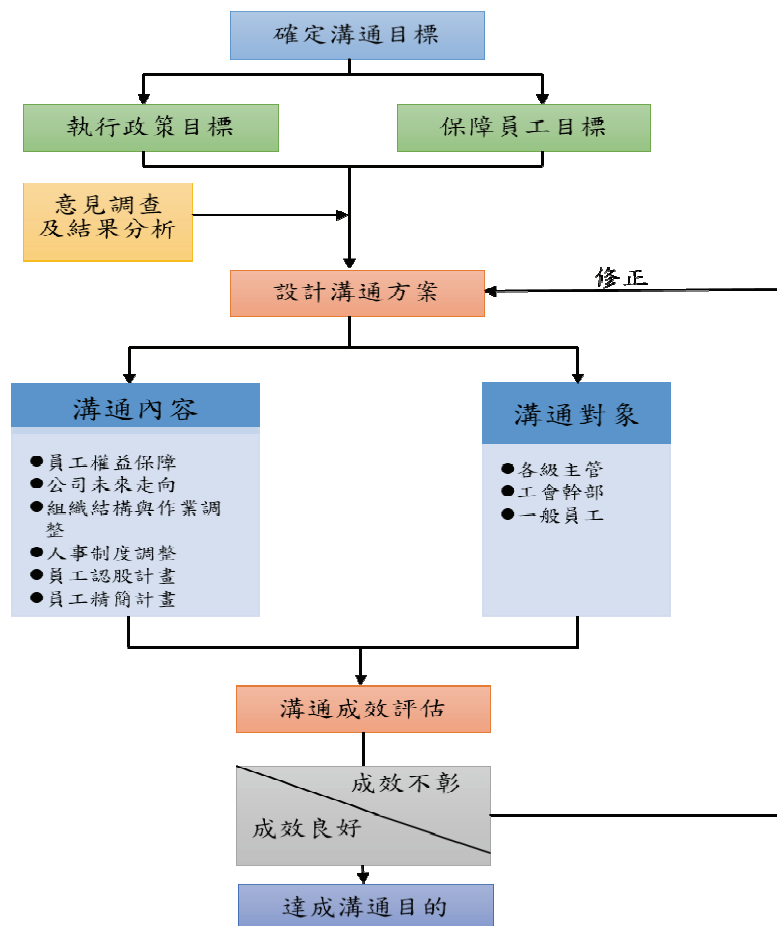


圖 14 溝通架構與步驟

伍、結論與建議

經本研究就未來台電公司因應電業自由化第二階段推動「廠網分離」，台電分割為數家公司之相關規劃，歸整以下六大結論與建議

- 一、為減緩廠網分離對電業之人事、組織及系統之衝擊，本研究建議我國廠網分離模式可採用較折衷的法人分離模式。為了避免未來採用何種廠網分離模式會產生爭議，本研究認為可採用日本之作法，於電業法中明確規範電業應達成法人格的分離，以茲明確。
- 二、在進行法人分離前，為有效釐清各項成本、資產及收入，以避免交叉補貼，本研究建議應先建立會計分離制度，以合理分攤其成本，而後在逐步將不同部門切割為不同公司，為日後法人分離做準備。
- 三、考量電業自由化屬重大變革，牽涉範圍廣泛，一步到位有其困難性，故本研究建議在法人分離模式下，台電公司分割應採三階段漸進式進行。
- 四、考量台電公司未來廠網分離之方向，將受我國未來電力市場之政策與台電公司未來營運規劃等內外部因素之影響，此外主管機關與立法院對於國營公司成立具有審查之權力等種種因素，皆可能對分割之時程造成輕重不一之影響，故本研究估計台電公司進行分割大約需 5~6 年之時間。
- 五、倘若於分割過程中，有債權人對其分割提出異議，台電公司可依法提具「無礙債權人之權利」證明，因應債權人異議，避免分割過程遭遇阻礙。另若憂慮少數股東可能將股份轉讓給第三人，造成公司分割過程中之不當阻礙，建議分割前可先簽定書面契約。
- 六、目前台電公司與員工溝通方式以資訊揭露，及派員參加台電工會電業法小組所召開的相關會議為主，建議未來與員工溝通時，除

目前既有溝通措施外，可擬訂與員工進行溝通之議題，並依據溝通成效進行修正。

陸、參考文獻

- [1] 李尚宗，「第二十四屆韓電考察團出國報告」，台灣電力公司，2001 年。
- [2] 李鴻洲，「2013 年派赴日本中部電力株式會社考察團出國報告」，台灣電力公司，2013 年。
- [3] 魏裕文，「104 年台電公司考察日本電力制度改革規劃出國報告」，台灣電力公司，2015 年。
- [4] 徐守正，「考察新加坡新電力交易制度之設計與運作情形」，2003 年。
- [5] 經濟部能源局電業法修正草案會議簡報，2015 年 7 月。
- [6] Cameron, K. S., Culture Congruence Strength and Type : Relationship to Effective, Beyond Rational Management, 1985, pp. 142-143.

設計及應用氫氧混合供應系統改善引擎廢氣排放

Design and Application of the Supply System of Hydrogen-oxygen

Mixture to Improve Engine Exhaust

陳昆煜*
Chen, Kun-Yu

賀璞**
He, Pu

摘要

氫氧混合供應系統連結車輛進氣歧管，導入引擎燃燒室，當汽油與氫氧混合氣體燃燒時，由於氫氧混合氣體會再提高燃燒室溫度，進而燃燒積碳，並隨著排放而達到清除積碳效果。

使用廢氣分析儀監測車輛一氧化碳 (CO)、碳氫化合物 (HC)、二氧化碳 (CO₂) 排放量，在固定電流下的氫氧混合供應系統，會穩定的產生氫氧混合氣體，供給燃燒室，再藉由一氧化碳 (CO)、碳氫化合物 (HC)、二氧化碳 (CO₂) 的排放明顯降低，證實本系統效能。

Abstract

To tackle problems associated with engine exhaust, we use the specially-designed fuel supply system to connect the air intake manifold of an engine so that the mixed hydrogen and oxygen gases can enter the combustion chamber of the engine. When the mixed gas encounters burning gasoline, they will increase the burning temperature of the combustion chamber. They will burn and help clean the internal carbon deposits through the exhaust emission process.

To prove the effectiveness of this system, we also use an Exhaust Gas Analyzer to analyze the chemical ingredients of the automobile emissions, including carbon monoxide (CO), hydrocarbons (HC), carbon dioxide (CO₂). It has been found that when the supply system is added to the burning operation process, the combustion chamber works smoothly and the amounts of carbon monoxide (CO), hydrocarbon (HC), carbon dioxide (CO₂) emission decrease significantly.

關鍵詞(Key Words)：積碳(Residual Carbon)、一氧化碳(CO)、碳氫化合物(HC)、二氧化碳(CO₂)。

壹、前言

「氫」是本文最重要的開頭，大家都知道「氫」的來源有 99 % 都來自水，提煉「氫」這種具有危險性及乾淨的能源在現在工業上分為以下幾種：

一、水電解製氫：電解槽內部包含數片正負兩極

電解片及充滿以氫氧化鈉為原料的電解液組合而成，導入直流電源電解輸出氫與氧，電解片正極輸出氧、負極輸出氫。

二、熱化學製氫：主要把水加熱到最高溫度(2500 ~ 3000℃)，部份水蒸氣可以分解成氫及氧，缺點：設備投資成本過高。

三、天然氣製氫：燃料以天然氣體為主，天然氣主要成分包含甲烷等碳氫化合物(HC)發生

*國立屏東科技大學機械工程所

**美和高級中學普通科

催化反應，產出氣體包含苯及氫氣，不會產生溫室氣體「二氧化碳(CO₂)」。

四、太陽能製氫：作動原理與「水電解製氫」一樣，主要電力來源有所不同，一般「水電解製氫」電力來源是由交流電經過變壓器轉換直流電給予電解槽電解產生氫氧混合氣體，「太陽能製氫」電力來源為太陽光照射太陽能板由熱轉成電輸入給電解槽產生氫氧混合氣體，由於太陽能光伏電池—電的轉換效率較低，價格非常昂貴，致使在經濟上太陽能電解水製氫至今仍難以與傳統電解水製氫競爭，更不要說和常規能源製氫相競爭。

以上幾種製氫系統是目前工業與學術領域中最常使用製氫方法。

本文所提出設計的系統原理是以最傳統水電解製氫為主軸，目前市售電解裝置以「市售商品」所設計的製氫裝置最普遍，「氫氧混合供應系統」與「市售商品」設計的製氫裝置不同之處在於「市售商品」製氫裝置電力來源是以固定式電源裝置輸出電解槽所需要之電源，往往裝置越做越大產生氫氧混合氣體的效能卻無法提升，「市售商品」設計的氫氧裝置最大缺點不在於電力系統，主要原因是電解槽電解產出氫氧混合氣體輸出至引擎燃燒室這段管路之間無氣體冷卻器及水氣過濾器，引擎燃燒室吸入過量高溫水蒸氣造成引擎內部零件嚴重損壞。

綜合以上技術，設計「氫氧混合供應系統」目的是提供乾淨氫氧混合氣體與化石燃料混合提高燃燒效率，降低車輛排放有毒氣體濃度提高台灣地區的空氣品質。

貳、主要內容

一、一氧化碳(CO)之發生過程

一氧化碳(CO)係汽油在燃燒時，空氣量供給不足時發生不完全燃燒之產物，化學反應式如下：



若空氣充足產生完全燃燒時，則汽油中的氧(O₂)結合成無害的二氧化碳(CO₂)，化學反應式如下：



引擎排出的一氧化碳(CO)與二氧化碳(CO₂)，濃度與燃料空氣之混合比之濃稀有密切關係，尤其一氧化碳(CO)之發生量(濃度)混合比之關係更為密切，一氧化碳(CO)之發生量在濃混合比時增加快速。二氧化碳(CO₂)之發生量在理論理想混合比附近時最多，混合氣較稀，因未燃燒之氣體增加，二氧化碳(CO₂)的發生量反而有減少之趨勢^[1]。

由於汽油燃燒不完全，造成一氧化碳(CO)的空氣污染問題，而一氧化碳(CO)的污染，汽油車則極大部份。一氧化碳(CO)和血紅素結合成Cohb(一氧化碳(CO)中毒)的能力是氧氣(O₂)和血紅素結合成Orb的300倍，故空氣中一氧化碳(CO)濃度過高時，則會與血紅素結合，而影響血紅素輸送氧氣(O₂)的功能，且Cohb(一氧化碳(CO)中毒)在血紅素中達5-20%，即會對人體健康產生影響，60%以上則可能死亡。一氧化碳(CO)對人體健康的影響程度，與暴露時間有密切的關係(周圍空氣中CO的ppm)、T(時間)，即得一氧化碳(CO)中毒指數，故可知若周遭空氣中一氧化碳(CO)濃度達25ppm時，停留10小時，即可能有神經系統方面中毒症狀產生^[1]。

二、碳氫化合物(HC)之發生過程

碳化氫(HC)為碳氫化合物之總稱，為汽油之主要成份。燃料中所含之碳(C)，作完全燃燒後變成二氧化碳(CO₂)排出，氫(H₂)與氧(O₂)結合後變成水蒸氣(H₂O)排出，其化學反應式如下^[2]：



排氣管所排出之碳化氫(HC)，係汽油不完全燃燒後，以燃燒剩餘物的狀態所排出，其發生之原因有下列數種^[3]：

- (一) 在燃燒室中混合氣之燃燒係從火星塞點火之火焰逐漸擴大，而傳到整個燃燒室，若燃燒室之汽缸壁之溫度太低時，則這附近的混合氣無法達到燃燒程度，火焰的溫度逐漸降低，而未達到燃燒室之汽缸壁前，火焰就消失，這一層混合氣一般稱為「消焰層」(Quench Zone)。此層距離汽缸壁 0.05~0.5 mm，這層消焰層的未燃燒混合氣由活塞排出汽缸外，即含有多量之碳化氫^[3]。
- (二) 在減速時，節氣門很快關閉到怠速位置，進氣歧管之真空急速增高，使用化油器之車輛在瞬間發生很濃之混合氣，因混合氣量少，壓縮後之壓力及溫度低、燃燒緩慢，因此有大量的未燃燒混合氣排出，而含有多量之碳化氫^[3]。
- (三) 因進氣門與排氣門有重疊開放之時間，在引擎轉速低時有部份新鮮混合氣會從排氣門逸出，經排氣管排出，而含有多量之碳化氫。
- (四) 使用比理論混合比稀薄的混合氣(混合比在 17:1 以上時)亦會不完全燃燒，產生未燃成份。同時混合氣過稀，燃燒室內火焰傳播不良，容易造成不著火而排出大量未燃成份，而增加碳化氫之排放量^[3]。
- (五) 碳氫化合物(HC)的污染問題，主要來源是汽油車，由油箱及化油器揮發而來的佔 20%，由曲軸箱吹漏氣而來的佔 25%，由廢氣排放的佔 55%，碳氫化合物(HC)濃度低時會對呼吸系統產生刺激，較高濃度時則會對中樞神經系統產生影響。此外，還會和氮氧化物(NO_x)等發生光化學反應，產生臭氧(O₃)、甲醛(HCHO)等，使人眼睛刺痛、喉嚨痛、味覺能力降低^[3]。

三、二氧化碳(CO₂)之發生過程

二氧化碳(CO₂)是空氣中常見的化合物，其

分子由一個碳原子(C)和兩個氧原子(O₂)組成，化學反應式如下^[1]。



二氧化碳(CO₂)通常是由燃燒有機化合物、細胞的呼吸作用、微生物的發酵作用等所產生，植物在有陽光的情況下吸取二氧化碳(CO₂)，在其葉綠體內進行光合作用，產生碳水化合物((C·H₂O)_n)和氧氣(O₂)，氧氣(O₂)可供其他生物進行呼吸作用，這種循環稱為「碳循環」^[1]。

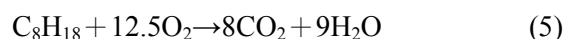
二氧化碳(CO₂)是溫室氣體之一，可以把來自太陽的熱能鎖起來，不讓其流失，如果大氣中的二氧化碳(CO₂)含量過多，熱量更難流失，地球的平均氣溫也會隨之上升，這種情況稱為「溫室效應」。

參、實驗設計原理

汽車是利用氧氣與化石燃料混合燃燒產生大量高溫帶有巨大能量的氣體推動活塞，產生機械動能。

氫氧氣體導入引擎燃燒室後氫氣(H₂)會附著於燃燒室周圍的碳(C)結合成碳氫化合物(HC)，經火星塞點火產生高溫燃燒使周圍表面積碳因高溫燃燒產生乾裂，引擎經過壓縮行程到動力行程的氣體衝擊使表面積碳脫落。據文獻所示^[4]，黃慶芳等人研究指出，化學反應是先提供能量(通常由火星塞高電壓點火)打斷碳氫的鍵結，使氫成為自由狀況，在使氫與引擎吸入的氧結合成高溫水分子(H₂O)釋放出超過注入的能量，並且使這化學反應以連鎖反應方式在極短時間內完成，剩下的碳鏈與氧也以同樣方式變成二氧化碳(CO₂)，但是碳燃燒的幫助沒有氫燃燒釋放的能量多，碳燃燒間接產生污染。

汽油與空氣完全燃燒反應化學式如下，汽油 + 空氣導入燃燒室之完全燃燒示意圖，如圖 1 所示：



上式中 C_8H_{18} ：汽油， O_2 ：氧， CO_2 ：二氧化碳， H_2O ：水分子。

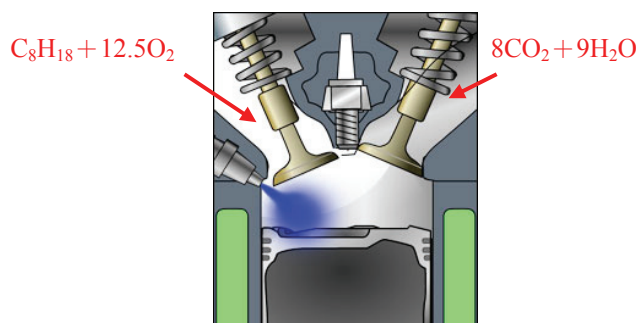


圖 1 汽油+空氣導入燃燒室之完全燃燒示意圖

引擎燃燒室內部無積碳產生時，燃燒效率越好，產生的廢氣成分包括：二氧化碳(CO_2)及水分子(H_2O)。

汽油與空氣未完全燃燒反應化學式如下，汽油+空氣導入燃燒室未完全燃燒之示意圖，如圖 2 所示：



上式中 C_8H_{18} ：汽油， O_2 ：氧， CO ：一氧化碳， HC ：碳氫化合物， CO_2 ：二氧化碳， H_2O ：水分子。

積碳形成化學反應式如下：

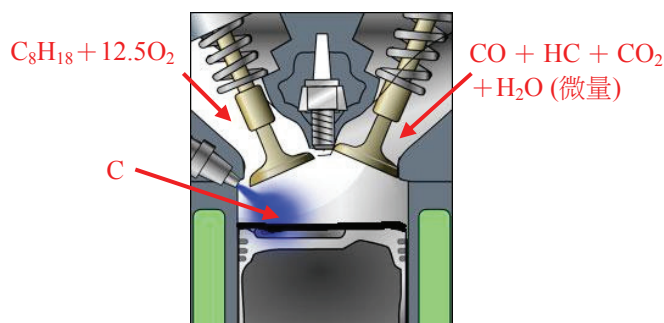
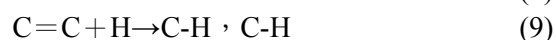
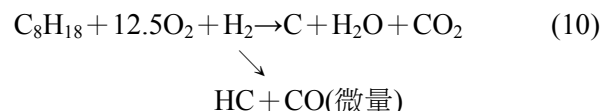


圖 2 汽油+空氣導入燃燒室未完全燃燒之示意圖

汽油混合氣導入引擎燃燒室因油氣與表面積碳吸附造成燃燒不完全，排放有毒廢氣成份包

括：一氧化碳(CO)、碳氫化合物(HC)、二氧化碳(CO_2)及微量的水分子(H_2O)。

汽油、空氣與氫氧氣燃燒反應化學式如下，汽油+空氣+氫氧氣導入燃燒室之燃燒示意圖，如圖 3 所示：



上式中 C_8H_{18} ：汽油， O_2 ：氧， H_2 ：氫氣， C ：碳， H_2O ：水分子， CO_2 ：二氧化碳， HC ：碳氫化合物， CO ：一氧化碳。

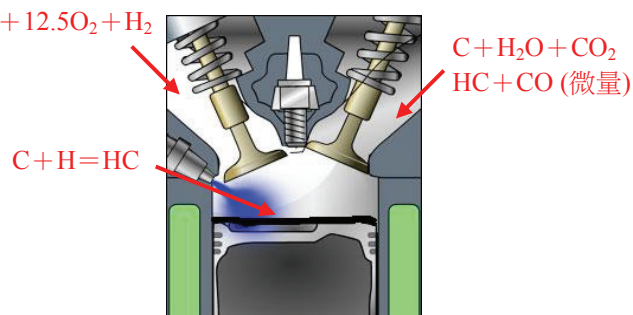


圖 3 汽油+空氣+氫氧氣導入燃燒室之燃燒示意圖

汽油混合氣加入氫氣混合燃燒，氫氣導入燃燒室與積碳結合變成碳氫化合物(HC)，俗稱：油氣。氫氣與碳結合提高燃燒效率，加速碳表面裂解，經爆炸衝擊而脫落，排出物質包括：碳(C)、一氧化碳(CO)、碳氫化合物(HC)、二氧化碳(CO_2)、水分子(H_2O)。

本設計概念原理是使用一台可調整式的電流供應器產生的電流來控制氫氧混合氣體的多寡，輸出的氫氧混合氣體經過氣體冷卻器降低氣體本身的高溫及過濾大量的水蒸氣直接導入水氣過濾器去除氫氧混合氣體微量的水蒸氣，確保導入引擎燃燒室的氫氧混合氣體無水分之殘留，避免水氣吸入燃燒室損壞引擎內部零件。

摒除使用有毒腐蝕性化學藥劑，以最環保的方式幫汽車引擎除碳，原理是將水電解產生氫氧分子，隨空氣導入氫氧分子氣體到引擎燃燒室，利用大量氫氧分子與引擎燃燒室內之積碳結

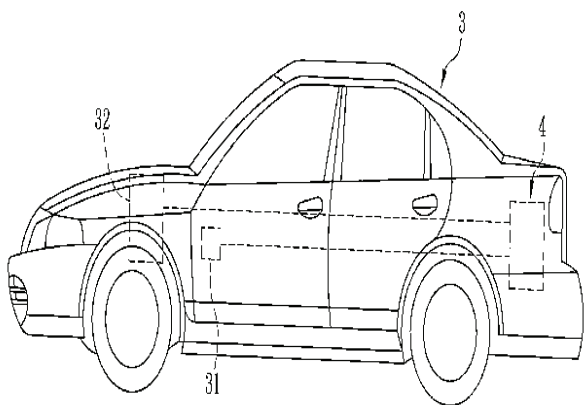
合，經引擎壓縮爆發燃燒裂解排出一氧化碳(CO)、碳氫化合物(HC)、二氧化碳(CO₂)。

肆、實驗方法

一、氫氧混合供應系統之實施方式

關於本系統之前述及其他技術內容、特點與功效，配合以下參考圖式之三個較佳實施例的詳細說明中，將可清楚的呈現。本新型在被詳細描述之前，要注意的是，以下說明的內容中，類似的元件是以相同的編號來表示。

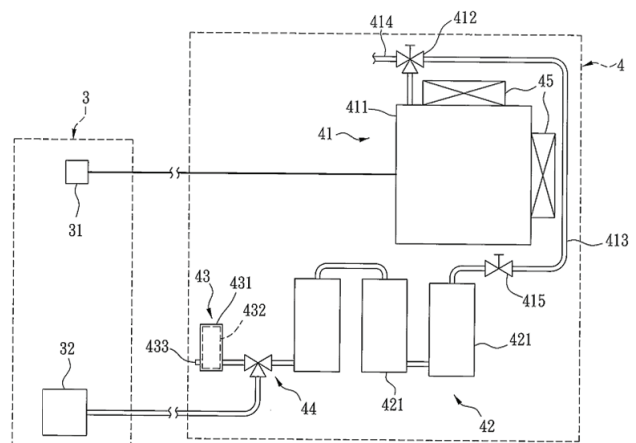
參閱圖 4 所示，氫氧混合供應系統之第一較佳實施例，用以設置於工具上，該工具包括電源供應器及引擎，於本實施例中，是以汽車為例說明，實際使用時也可以是設置於機車、船舶，或是除草機等具有引擎之工具上，不以此為限。



3...工具 31...電源供應器 32...引擎
4...氫氧混合供應系統

圖 4 氫氧混合供應系統之第一較佳實施圖

參閱圖 5 所示，氫氧混合供應系統包含電連接於該電源供應器的氫氧產生單元、連通於該氫氧產生單元的水氣過濾器/氣體冷卻器、與外界連通的真空壓力調節器、連通於該水氣過濾器/氣體冷卻器及真空壓力調節器並能將氫氧氣送入該引擎的出氣單元，及多數電連接於該電源供應器並設置於該氫氧產生單元周圍的風扇，於圖 5 中是以兩個風扇為例，但不以此為限。



3...工具 31...電源供應器 32...引擎 4...氫氧混合供應系統 41...氫氧產生單元 411...氫氧電解槽 412...三通閥 413...輸氣管 414...排氣管 415...控制閥 42...水氣過濾器/氣體冷卻器 421...過濾件 43...真空壓力調節器 431...殼體 432...濾棉 433...開口 44...出氣單元 45...風扇

圖 5 氫氧混合供應系統之第二較佳實施圖

該氫氧產生單元包括盛裝有電解液且能產生氫氧氣的氫氧電解槽、連通於該氫氧電解槽的三通閥、連通於該三通閥與水氣過濾器/氣體冷卻器之間的輸氣管，及連通於該三通閥與外界的排氣管，該三通閥能控制氫氧氣是流向該輸氣管或排氣管，所述風扇是設置於該電解槽周圍。

該水氣過濾器/氣體冷卻器包括多個串接在一起且盛裝有活性碳的過濾件，而該真空壓力調節器包括中空狀殼體，及設置於該殼體內的濾棉，該殼體上開設有連通於外界的開口。

該氫氧電解槽通電會產生高溫的氫氧氣，同時高溫也會使得電解液蒸發產生水氣，並透過該引擎運轉時產生的負壓，使氫氧氣及水氣經由該三通閥及輸氣管進入該水氣過濾器/氣體冷卻器，藉由所述過濾件內的活性碳將水氣吸附後，氫氧氣再經由該出氣單元進入該引擎內。

由於該出氣單元是連通該水氣過濾器/氣體冷卻器及真空壓力調節器，因此當該引擎運轉產生負壓時，同時會使得外界空氣經由該真空壓力調節器之殼體上的開口進入，並經過該殼體內的濾棉過濾，讓過濾後的空氣與氫氧氣混合再進入該引擎中，藉此讓空氣扮演調節壓力的角色，避

免該引擎產生的負壓過大時，造成該氫氧電解槽內的電解液被吸入該引擎中，或者是造成該氫氧電解槽被引擎所產生的強大負壓吸力吸引而壓縮變形。

另外要說明的是，該氫氧電解槽在進行清碳動作前會先進行暖機的動作，當該氫氧電解槽在暖機時，可以藉由控制該三通閥，使該氫氧電解槽一開始產生之氫氧氣由該排氣管排出，待該氫氧電解槽較穩定地產生氫氧氣後，再控制該三通閥使氫氧氣能由該輸氣管進入該引擎而正式進行清碳動作。

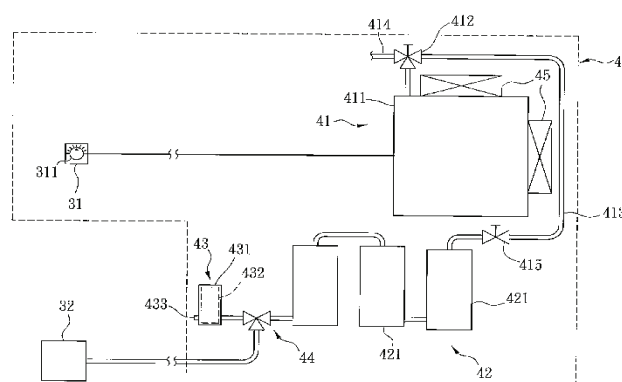
為了確保在該氫氧電解槽在暖機時氫氧氣不會進入該引擎，該氫氧氣產生單元還可以包括設置於該輸氣管上的控制閥，當該氫氧電解槽於暖機狀態時，該控制閥同樣處於關閉的狀態，讓氫氧氣無法進入該水氣過濾器/氣體冷卻器，藉由該控制閥與三通閥形成兩道關卡，防止氫氧氣進入該引擎。當然該三通閥與控制閥也可以只擇一設置，同樣能達到前述防止氫氧氣進入該引擎的功效，前述兩道關卡的設置是能提供更佳的防止效果。由於該三通閥的結構為所屬技術領域中具有通常知識者所能理解，不另外繪示其內部結構，也不予以贅述。

當該氫氧電解槽電解產生之高溫的氫氧氣進入該引擎後，因為溫度降低而有部分凝結成水氣，能濕潤該引擎內的積碳，同時也能以氫氧氣本身的氣壓來刮除濕潤軟化後的積碳，以完成清除積碳的作業，而因為清碳的過程中該引擎仍處於發動運轉的狀態，所以含有積碳的廢氣及液體便會直接從排氣管排除。另外，由於該氫氧電解槽在運作的過程中會產生高溫，所述風扇設置於該電解槽的周圍，能幫助該氫氧電解槽散熱。

藉由上述設計，本新型氫氧混合供應系統透過該水氣過濾器/氣體冷卻器來將氫氧氣內夾帶的水氣吸附濾除，避免過多水氣進入該引擎內造成引擎縮缸或減短壽命，同時透過該真空壓力調節器平衡進入該引擎內的氣體壓力，避免過大的負壓損壞該電解槽。再者，不使用任何的化學藥

劑，不會有腐蝕該引擎內壁的問題，也不會對環境造成污染。

參閱圖 6 所示，氫氧混合供應系統之第三較佳實施例，大致類似前述該第二較佳實施例，不同之處在於：於本實施例中，該氫氧混合供應系統是包含有該電源供應器，藉此使該電源供應器、氫氧氣產生單元、水氣過濾器/氣體冷卻器、真空壓力調節器、出氣單元，及風扇形成模組化的設計，能讓使用者便於攜帶、使用。



3...工具 31...電源供應器
311...調整電流旋鈕 32...引擎 4...氫氧混合供應系統
41...氫氧產生單元 411...氫氧電解槽 412...三通閥
413...輸氣管 414...排氣管 415...控制閥 42...水氣過濾器/氣體冷卻器 421...過濾件 43...真空壓力調節器 431...殼體 432...濾棉 433...開口 44...出氣單元 45...風扇

圖 6 氫氧混合供應系統之第三較佳實施圖

要特別說明的是，於本實施例中，該電源供應器具有用以供使用者調整輸出電流大小的調整件，當輸出的電流越大，電解的速度越快，該電解槽產生氫氧氣的量也越多，而能提高清除該引擎內積碳的速率，至於其他操作方式與該第一較佳實施例相同，不再予以贅述。

綜上所述，氫氧混合供應系統，藉由該水氣過濾器/氣體冷卻器的設置，可以大幅減少進入引擎內的水氣量，在進行引擎清碳作用時，不會因水氣進入而影響該引擎的使用壽命，並透過該真空壓力調節器平衡進入該引擎內的氣體壓力，避免過大的負壓損壞該電解槽，故確實能達成本新型之目的。

二、氫氧混合供應系統之實際應用

如圖 7、8 所示，「氫氧混合供應系統」已經從實驗階段邁向商業化模式，開發過程由「氫氧電解槽」內部電解板材料著手測試，目前測試結果以銅片電解穩定性最佳，「氣體冷卻器」內部隔絕熱及大量水蒸氣的材料分為上下兩層，下層：防水棉及上層：活性炭，「水氣過濾器」主要過濾由「氣體冷卻器」輸送過來的小分子水蒸氣，確保導入引擎燃燒室的氫氧混合氣體無水分殘留，消除一般消費者對氫氧混合氣體帶有大量高溫水蒸氣在清潔過程直接傷害引擎內部零件的疑慮。

「氫氧混合供應系統」測試過程是由自家車為測試對象，經過無數次測試及修改完成後才導入一般消費市場。

伍、引擎排放碳氫化合物之測量程序

進行測量汽車排放有毒廢氣的過程分為以下幾個步驟：

- 一、第一步驟：汽車引擎啟動 5 至 10 分鐘達到引擎工作溫度(200~300℃)。
- 二、第二步驟：廢氣分析儀啟動溫機 2 分鐘，讓數值校正歸零。
- 三、第三步驟：氫氧混合供應系統啟動溫機 5 分鐘，讓供應系統達到產生氫氧混合氣體之工作溫度。
- 四、第四步驟：啟動汽車引擎，將廢氣分析儀的測量棒放入後端排氣管，測量原始有毒廢氣的濃度並紀錄，如圖 9 所示。
- 五、第五步驟：氫氧混合供應系統的氫氧混合氣體輸出管連接引擎負壓端位置(進氣總管)，啟動引擎並打開供應系統的總電源開關，使氫氧混合氣體導入引擎燃燒室與化石燃料混合燃燒。
- 六、第六步驟：進行每 5 分鐘測量並紀錄有毒廢氣數值，測量時間為 35 分鐘。

七、第七步驟：測量完畢後，廢氣分析儀與氫氧混合供應系統關閉及引擎熄火，引擎負壓端之真空管復原，重新啟動引擎並空檔加速至 3000~5000RPM 之間將燃燒殘留的氫氧混合氣體排出。

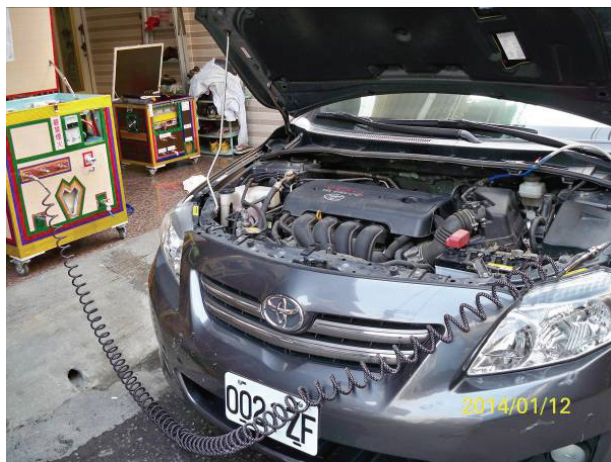


圖 7 TOYOTA CORLLA ALTIS 1.8E



圖 8 FORD ESCAPE 2.3 2004

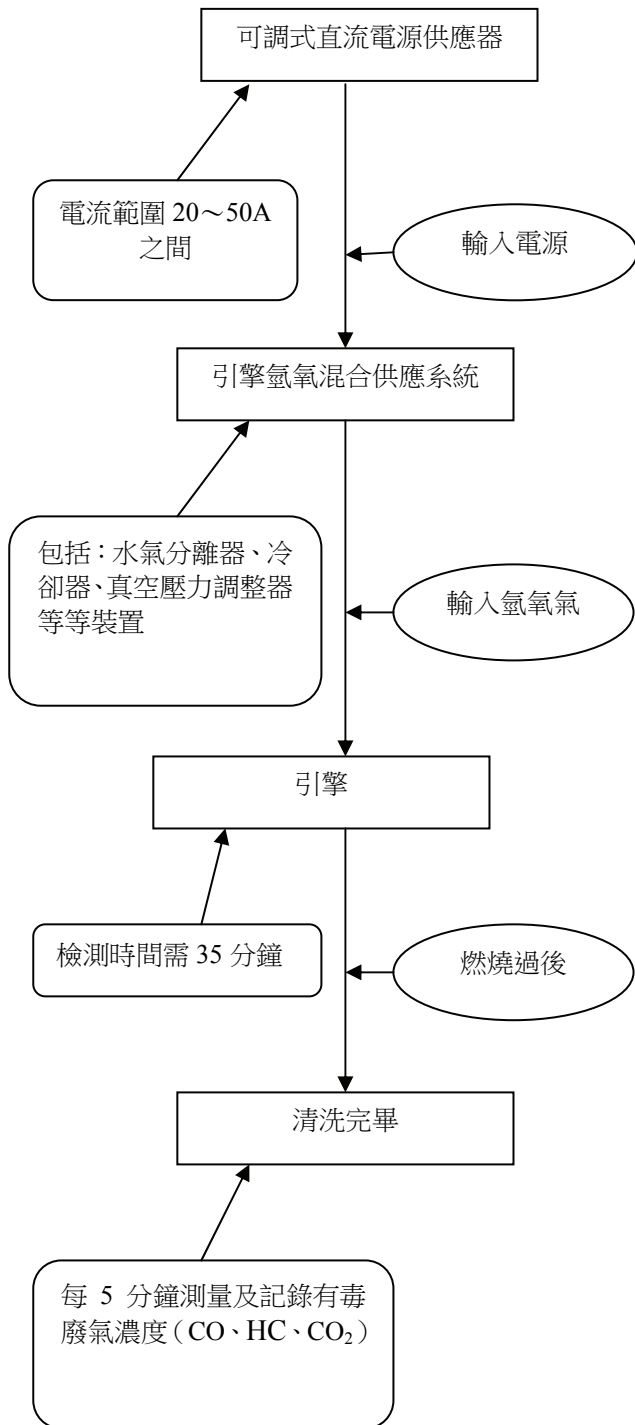


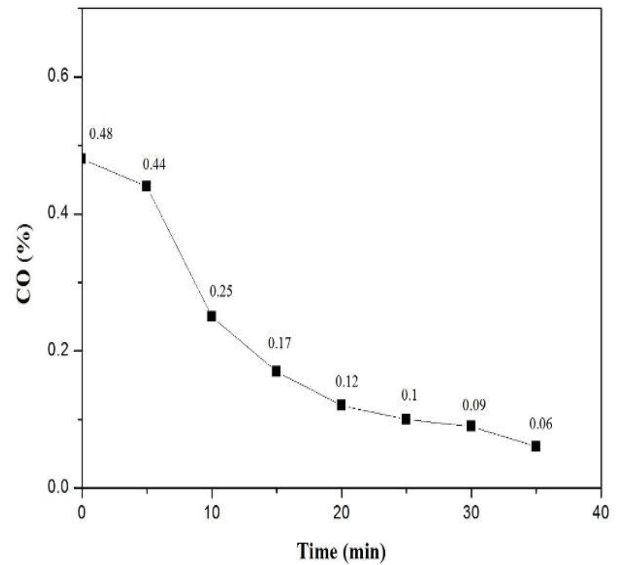
圖 9 檢測引擎排放有毒廢氣之操作流程

陸、實驗結果

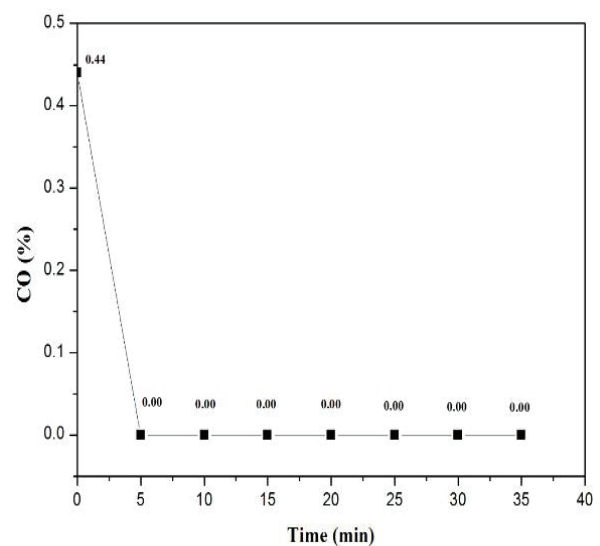
一、一氧化碳(CO)之分析

如圖 10 所示，未導入氫氧混合氣體的一氧化碳(CO)原始數值明顯偏高，導入氫氧混合氣體

35 分鐘測量數值 0.06 %，由此證明，長時間導入氫氧混合氣體可有效降低一氧化碳(CO)之濃度。相較之下，長期使用氫氧混合氣體一氧化碳(CO)降低到 0 %。



TOYOTA-CORONA



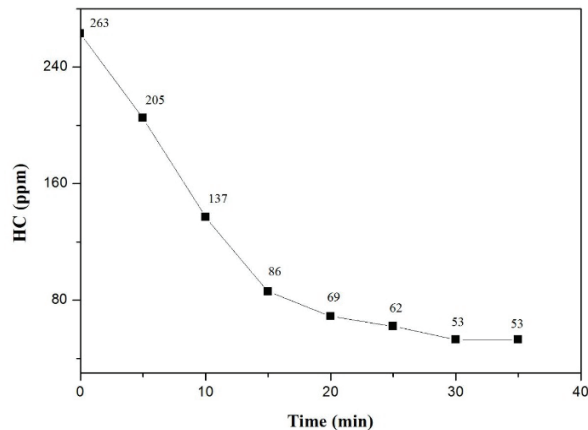
FORD-ESCAPE

圖 10 一氧化碳(CO)濃度與時間之關係圖

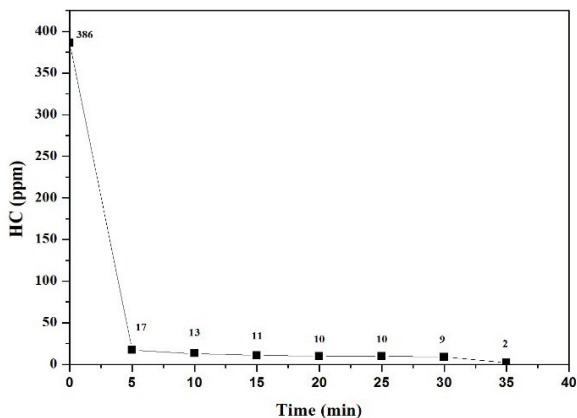
二、碳氫化合物(HC)之分析

如圖 11 所示，未使用未導入氫氧混合氣體

的碳氫化合物(HC)原始數值 263 ppm，經過 30 分鐘碳氫化合物(HC)濃度明顯降低，測量結束濃度為 53 ppm，碳氫化合物(HC)濃度降低 210 ppm。相較之下，長期使用氫氧混合氣體碳氫化合物(HC)降低到 2 ppm。



TOYOTA-CORONA



FORD-ESCAPE

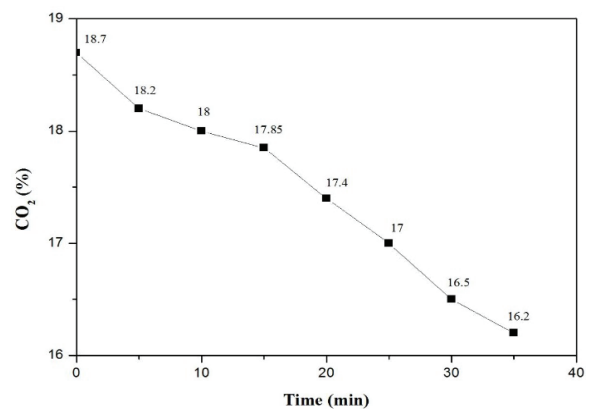
圖 11 碳氫化合物(HC)濃度與時間之關係圖

三、二氧化碳(CO₂)之分析

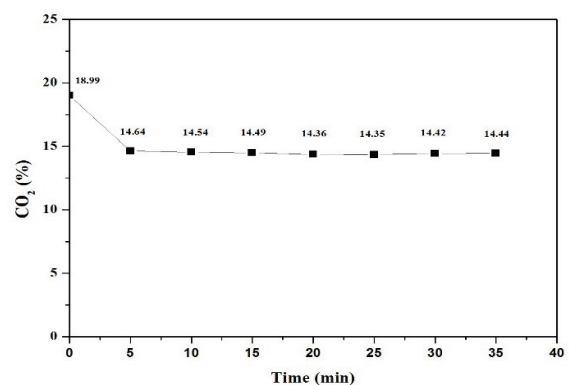
如圖 12 所示，二氧化碳(CO₂)測量前數值 18.70 %，導入氫氧混合氣體經過 35 分鐘測量結果降低 16.2 %。相較之下，長期使用氫氧混合氣體二氧化碳(CO₂)降低到 14.44 %。

氫氧混合氣體流量測量結果顯示，電流與氣體流量是有相關聯，輸入電解電流越高產生的混合氣體流量跟著增加。實驗過程氫氧電解槽溫度高達 100℃ 及輸入電流線路溫度在 100~180℃ 之間，為確保實驗過程的安全性，輸入電流最高上限為 50 安培(A)。

氫氧混合氣體流量應用層面分為兩種，第一種，汽車引擎方面應用電解電流保持在 20~35 安培(A)之間產生的混合氣體流量足夠導入燃燒室的使用量。第二種，機車引擎方面應用電解電流保持在 20~30 安培(A)之間，機車引擎真空吸力不足，吸入燃燒室的混合氣體流量相對減少許多。氫氧混合氣體流量多寡對引擎排放有毒廢氣濃度及火星塞表面積碳有直接影響。



TOYOTA-CORONA



FORD-ESCAPE

圖 12 二氧化碳(CO₂)濃度與時間之關係圖

柒、結論及建議

一、結論

氫氧混合氣體導入引擎燃燒室與化石燃料混合清除積碳的方式屬於「溫和式」，不僅對環

境友善對引擎燃燒室金屬表面及人體不會造成永久性的傷害。氫氧混合氣體清除積碳有一個小缺點，對新形成的積碳可以快速清除，遇到累積一段時間的積碳需要清除數次方有效果。

根據世界衛生組織旗下的國際癌症研究署(IARC)在 2012 年 6 月 12 日宣布，汽、柴油引擎燃燒化石燃料排放的有毒廢氣及懸浮粒子是直接造成人類得到肺癌及膀胱癌的最主要原因之一。

氫氧混合氣體導入與化石燃料混合燃燒提高燃燒效率改善排放有毒廢氣濃度。

二、建議

「氫氧混合供應系統」現階段著重於車輛排放有毒廢氣及火星塞表面積碳重量，未來朝氫氧氣導入引擎燃燒室，測試其馬力及扭力提高之數值，與未使用「氫氧混合供應系統」的車輛引擎原始馬力及扭力數值，兩者間做比較；找出最佳氫氧氣輸入之需求量，為未來車輛引擎尋找不需使用渦輪增壓器及氮氣，亦能提高馬力及扭力之乾淨能源。

捌、誌謝

本次研究感謝「中山工商汽車科」的協助，才能順利完成。

玖、參考文獻

- [1] 余永盛，「溫度與二氧化碳對一氧化碳煙毒效應之影響研究」，碩士論文，國立高雄第一科技大學，環境與安全衛生工程所，第 12-16 頁，第 17-18 頁，2008 年。
- [2] 曾勝賢，「生質柴油發電機排放多環芳香烴碳氫化合物特性之研究」，碩士論文，屏東科技大學，環境工程與科學系所，第 15-21 頁，2007 年。
- [3] 黃靖雄編著，「現代汽車引擎修改版」，全華圖書股份有限公司印行，第 7-38~7-39 頁，第 7-44

~7-45 頁，第 3-432~3-436 頁，第 3-443~3-444 頁，2011 年。

- [4] 黃慶芳，「影響使用 LPG 為燃料之 SI 引擎的燃燒與廢氣研究」，碩士論文，南台科技大學，機械工程系所，2008 年。

各國電力需求面管理最新發展趨勢研析

Study on Latest Trend of Demand-Side Management: A Cross-country Review

吳宇軒*
Wu, Yu-Hsuan

摘 要

本文透過電力需求面管理的研究文獻，藉以理解電力需求面管理的發展歷程與其精神內涵，結果發現當代需求面管理的內涵已經和 1970 年代相當不同。本文接著便以美、日、韓三國的智慧電網示範計畫，作為研析各國電力需求面管理最新發展趨勢之標的，結果發現電力需求面管理的最新發展趨勢為：「以技術設備為基礎，以需求者為主體，以商業模式為推力」。最後，我們以國際電力需求面管理發展趨勢為參考，比對台電公司現行的需求面管理措施，並提出三項建議做為台電未來發展需求面管理措施之參考：一、建議擴大需求面管理之範疇；二、建議強化住商用戶參與之廣度和深度；三、建議研擬電力集結商之商業模式並思考跨足節能服務產業之可行性。

Abstract

This paper analyzes the definition and development of demand-side management (DSM) via literature review. We find that the content of DSM in recent years differs from the one in 1970's. In order to understand the latest trend of DSM, we study three smart grid demonstration projects: Pacific Northwest Smart Grid Demonstration Project (USA); The Four-Location Smart City Operational Experiments (Japan); Smart Grid Pilot Project in Jeju Island (Korea). The study results indicate that the latest trend of DSM is technology-basis, demander-oriented and profit-driven. The study also compares the international development of DSM with DSM of TPC, and offers some suggestions as follows: 1. broaden the category of DSM; 2. expand the breadth and depth of residential and commercial DSM participants; 3. study the business models of aggregator and consider the possibility of operating ESCO.

關鍵詞(Key Words)：電力需求面管理(Demand-Side Management, DSM)、負載管理(Load Management)、需量反應(Demand Response)、集結商(Aggregator)、智慧電網(Smart Grid)、節能服務業(Energy Service Company, ESCO)。

壹、前言

電力需求面管理(Demand-side Management, DSM)概念起源於 1973 年的石油危機，由於石油

禁運引發化石燃料價格飆升(如圖 1)，電力價格也隨之飛漲。面對化石燃料價格上漲所帶來的供給面衝擊，傳統「供給面管理」似乎已經沒有著力之處，因此人們漸漸將目光轉向電力市場發展以來，從未被開發的領域：「需求面管理」。原本

*台灣電力公司綜合研究所

在電力市場舞台上搶不到聚光燈的需求面管理，終於漸漸嶄露頭角。除此之外，近年來隨著經濟發展、氣候暖化，電力尖峰負載屢創新高¹，電廠與輸配電設備卻因為環保意識抬頭、開發成本上升等因素而未有相應的成長，可以想見的是，在供給面的電源開發、系統規劃處處受阻的情況下，電力需求面管理的重要性當然就不言而喻了。

然而，隨著時間的演進，國際電力需求面管理的內涵，相較於 1973 年已經有了很大的轉變，本文以研究文獻分析電力需求面管理的發展與內涵，並歸納出各個發展階段的特色；接著以各國智慧電網示範計畫做為切入點，觀察電力需求面管理的最新發展趨勢，並以此為基礎，和我國現行之需求面管理措施進行比較，希望透過這樣的比較過程，得出台電公司的需求面管理措施未來可以擴增或強化的策略方向。本文之架構簡述如下：第二節為電力需求面管理的發展與內涵；第三節為各國電力需求面管理最新發展趨勢；第

四節為我國需求面管理之現況；第五節則為結論。

貳、電力需求面管理的發展與內涵

所謂的電力需求面管理，其指涉的範圍與內涵會因為時間的演進、技術的進步甚至是觀點的不同而有所改變。因此，為了分析各國電力需求面管理最新發展趨勢，我們必須先對於需求面管理其指涉的範圍與內涵進行定義，否則論述的目標將流於空泛而不具體。本節透過學術文獻的搜尋，將 1976 年至 2014 年有關需求面管理的研究，粗略地進行分段：1976 年至 1985 年、1986 年至 1995 年、1996 年至 2005 年、2006 年至 2014 年，也就是說每 10 年為 1 組，共計 4 組。我們希望透過縱斷面的脈絡、橫斷面的開展，呈現各個年代對於需求面管理的認知的異同，掌握需求面管理的核心精神與發展態樣，並以這些背景知識為基礎，為電力需求面管理做一個恰當的定義。

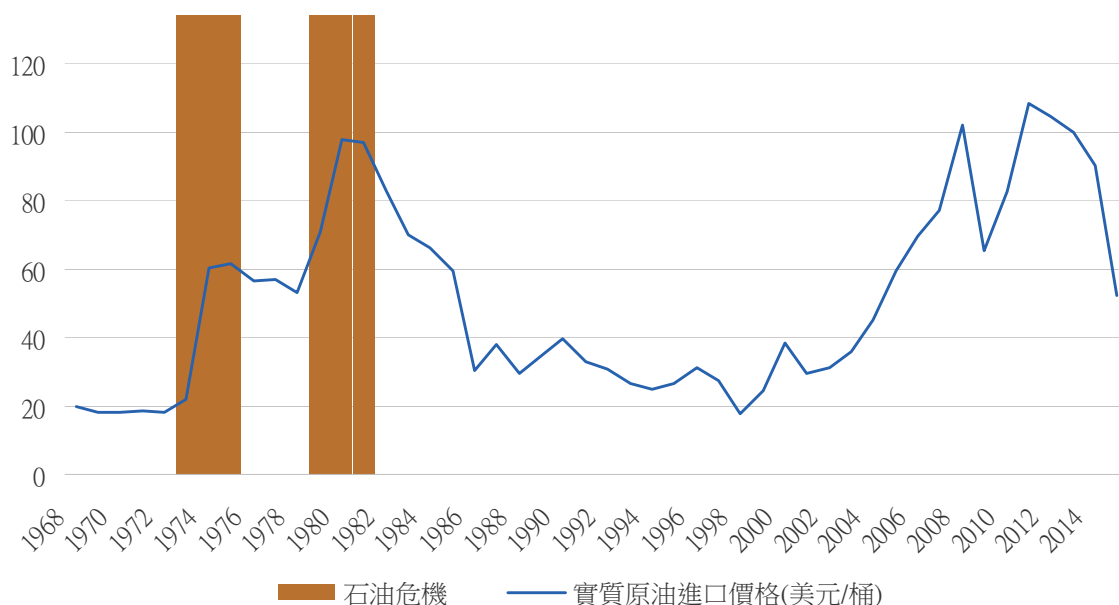
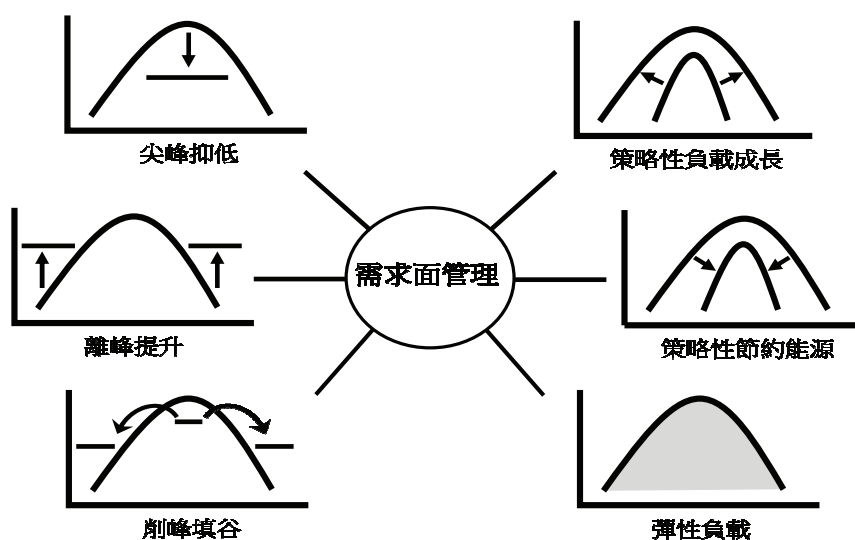


圖 1 美國進口原油價格趨勢圖^[1]

¹ 根據台電公司電力調度處的資料推估，歷年的最高尖峰負載應為 2015 年 7 月 2 日所觀測到的 3524.84 萬瓩。

圖 2 負載管理 6 種型態^[3]

一、1976 年至 1985 年：負載管理等同於需求面管理時期

首先，在 1976 年至 1985 年間的研究，主要都是強調電力公用事業透過需求面管理對負載型態進行重塑。負載型態的重塑包含尖峰抑低、離峰提升、削峰填谷、策略性負載成長、策略性節約能源與彈性負載(如圖 2)^{[2][3][4]}。而有些電力公用事業把負載型態的重塑，視為「負載管理」(Load Management) 的一環，負載管理也因此被這些公用事業視為需求面管理的同義詞^[2]。這種看法對需求面管理的發展影響相當深遠，負載管理也因此被認定是需求面管理最主要也最重要的部分。

事實上，電力公用事業在開始探索、推行需求面管理時，以負載管理做為切入點是可以理解的。其理由在於，電力需求有相當明顯的尖峰、離峰特性，為了使電力系統隨時處於供需平衡的狀態，發電端除了基載發電機組外，還需要有起停快速的尖載發電機組來滿足尖峰時段短暫的需求²。然而，尖載機組不論是從機組設備的固定

成本，或是投入發電的變動成本來看，對於發電端來說是一種相當沒有效率的投資。所以電力公用事業會希望能改變負載的樣態，以達成供需兩方的雙贏。另外我們還可以發現到，雖然需求面管理在名稱上有「需求面」三個字，但實際主導需求面管理的是電力市場的供給者：電力公用事業。這種供給者主導需求面管理的弔詭現象，延續了約 30 年才漸漸有了一些改變。

二、1986 年至 1995 年：需求面管理納入需求者參與時期

自 1986 年至 1995 年這段期間，負載管理仍然在需求面管理的領域中扮演關鍵的角色。但隨著 1980 年代石油價格崩跌，需求面管理在特徵上漸漸有了一些轉變。在油價高漲時，推動需求面管理相當容易，因為居高不下的電價自然使民眾在用電上有所節制，民眾也更願意配合電力公用事業所提出的負載管理措施³。然而，當石油價格崩跌，民眾也就不那麼在乎能源使用的效率問

² 基載發電機組如核能發電、燃煤發電；尖載發電機組如燃油發電、燃氣發電。

³ 有文獻對這個時期的需求面管理做出相當貼切的描述。
“It was like picking up the fruit from the easy to reach branches of a tree. All you had to do was to fill up the basket. No stretching of the arm, no climbing the tree, no ladders or special equipment were required.”^[5]

題，低廉的電價使得電力公用事業在推行需求面管理時，勢必得提高、強化需求面管理措施對民眾的吸引力⁴。

除此之外，需求面管理在過往大多採取的是單向式的控管，例如電力公用單位透過一些操控設備，直接控制熱水器、空調系統或是游泳池幫浦之開關。部分電力事業也開始引進雙向式的控管，使得消費者在需求面管理有較多的參與程度，且參與計畫的消費者如果達成約定好的削減目標，則能獲得某些價格上的優惠；若否，則將面對懲罰性的罰款。可以預期的是，這種雙向式的控管將會成為主流，並且透過通訊設備與調度中心結合，更能有效進行系統調度^[6]。

總而言之，若以文獻來看，這段時期的需求面管理大體而言仍不脫負載管理的範疇，而且隨著石油價格與電力價格的下跌，推行需求面管理也就不那麼容易了。傳統直接控制式的需求面管理已經無法滿足消費者，電力公用事業只好提供一些「甜頭」來吸引消費者參與。因此，消費者在需求面管理的重要性開始提升，過去以生產者為主體的現象正在逐漸改變，更有研究認為 1994 年為需求面管理「第三波」發展的開始，而這個發展指的正是「消費者導向型需求面管理」的走向^[5]，這個階段也正式開啟了消費者參與需求面管理的契機。

三、1996 年至 2005 年：需求面管理擴大需求者參與時期

從研究文獻來看，在 1996 年至 2005 年的期間，需求面管理大體上仍維持「負載管理」、「消費者導向」的發展方向。我們可以直接從這段期

⁴ 另一方面，電力公用事業也開始重新思考積極推動需求面管理措施，是否對其有實質效益？是否符合其長期經營策略？畢竟在能源價格低廉的時期，推動需求面管理措施是需要投入大量的資源才能達成目標。因此，電力管制當局在這段時期，設計了許多不同型態的補償措施，以提高電力公用事業推行需求面管理的誘因。所以，這段時期需求面管理措施之誘因機制強化，不是只侷限於電力需求者的部分，連電力供給者也包括在其中。

間的研究來進行說明。

針對需求面管理，不同的研究給出了下列的定義：「公用事業主動去改變消費者能源使用之模式^[7]」、「消除負載變動的一種技巧。包含抑低尖峰，拉高離峰與負載轉移^[8]」、「電力需求面管理措施可分為負載管理及提高能源效率兩大類^[9]」。從上述定義我們可以發現對於需求面管理的概念，仍不跳脫生產者導向、負載管理為主的範疇，可見這種概念是相當根深蒂固的。另外，有研究則認為需求面管理的目標包含：抑低尖峰負載、改善負載率(Load Factor)⁵、改善系統營運與規劃、強化服務品質與可靠度、允許消費者參與^[10]。除了負載管理外，消費者的參與也被視為是需求面管理的目標之一。

此段時期的燃料價格延續 1989 年以來的相對低檔，因此需求面管理也正如先前的研究所預期，往雙向式控管、消費者導向的趨勢發展^{[5][6]}。或許也因為如此，使得這個時期的需求面管理在方向上並沒有太大的轉變，應該可將之視為上個階段的延續時期。

四、2006 年至 2014 年：資通訊技術重塑需求面管理時期

最後，2006 年至 2014 年的需求面管理則出現了相當顯著的改變，而這樣的改變或許可歸因於兩大因素：石油價格處於相對高檔與資訊、通訊技術的成熟普及。前者如同石油危機年代的情境，高漲的油價與電價使得需求面管理的推行更加容易；後者則使得供需雙方的溝通、參與及協調變得更加容易，過去因為技術限制而造成高昂的交易成本已經不復存在。舉例來說，過往要進行特定時段的尖峰抑低措施，就供給者來說，需要透過電話甚至是傳真，先和各個需求者進行聯繫、協調，而且最後實際的執行績效，也需要逐一進行訪查記錄，十分麻煩；而就需求者來說，

⁵ 負載率為平均負載與最高負載之比值，為評估需求面管理績效指標之一，值越高表示績效越佳，負載曲線越平緩。

為了達到特定負載削減目標，究竟要關閉多少電器的使用？關閉的時間需要維持多久？這些都是造成需求者參與上的阻礙。由這兩個角度來看，在技術尚未成熟普及以前，交易成本是相當可觀的。而透過通訊網路系統、先進讀表系統(Advanced Metering Infrastructure, AMI)與屋內顯示系統(In Home Display, IHD)等系統之建置推廣，過去因為交易成本所造成的限制將不再是個問題。

我們同樣以這段時期的研究來觀察需求面管理的發展。首先，有文獻指出需求面管理可區分為三大概念：能源效率(Energy Efficient)、能源節約(Energy Conservation)與需量反應(Demand Response)。更具體來說，能源效率指在類似的生活型態下，減少能源的消耗；能源節約指改變生活型態與習慣，降低能源的消耗；需量反應指的是透過電力市場與價格資訊，引導消費者改變其能源消費型態^[11]。根據上述分類，我們可以發現需量反應正是過去負載管理的概念，然而隨著資通技術的成熟與普及，需量反應更強調的是供給者與需求者雙向聯繫的即時性。這也正是這個階段需求面管理發展的趨勢之一：通訊雙向即時性。

值得再做說明的是，這樣的聯繫並不只侷限在操作者與反應者間的互動，甚至包含價格、數量資訊的即時傳輸都算在其中。最明顯的例子就

是時間電價，傳統上為了縮短尖峰用電量與離峰用電量之差距，許多電力事業都會依據時間的不同，設定不同的費率，以達成其目標。然而，在對應的資通系統不夠成熟的情況下，只能規劃相對粗略、靜態的費率區間，無法對於不同負載狀況做出更精緻的差別取價。當技術足夠成熟時，不僅可以達成針對時間差異化取價更為細膩的「動態即時電價」，甚至還可以針對地點的不同來進行不同費率的設定，亦即所謂的「區域電價」^[12]。

另一項發展趨勢則為參與主體的變動。研究指出在過去 30 年，絕大多數的需求面管理計畫，都著重在公用事業與消費者的互動，而這樣的互動特別指的是公用事業與消費者間「個別地」互動關係，也就是說消費者間並沒有橫向聯結的存在(如圖 3 與圖 4)。而這樣的互動型態，是否可以達成能源消費問題上的最適化，是令人質疑的^[13]。

事實上，「集結商」(Aggregator)就是針對這項質疑所做出來明確的答案。住商部門「主體小」、「用戶多」、「組成雜」的特性，歐美先進國家透過集結商負責組織、整合這些住商部門的主體，將眾多小用戶組織成一個「虛擬的大用戶」，藉以減少交易成本的產生並提高需求面管理的效果^[14]。也就是說，透過需求端的組織互動，把小、多、雜的主體整合起來，開創一個新的市場。簡而言之，與過去幾個時期相比，在這個階段需求者在需求面管理的重要性不言可喻。

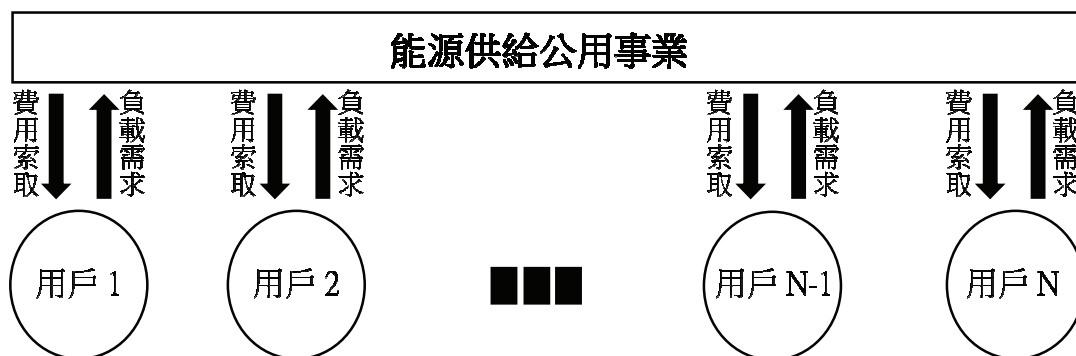
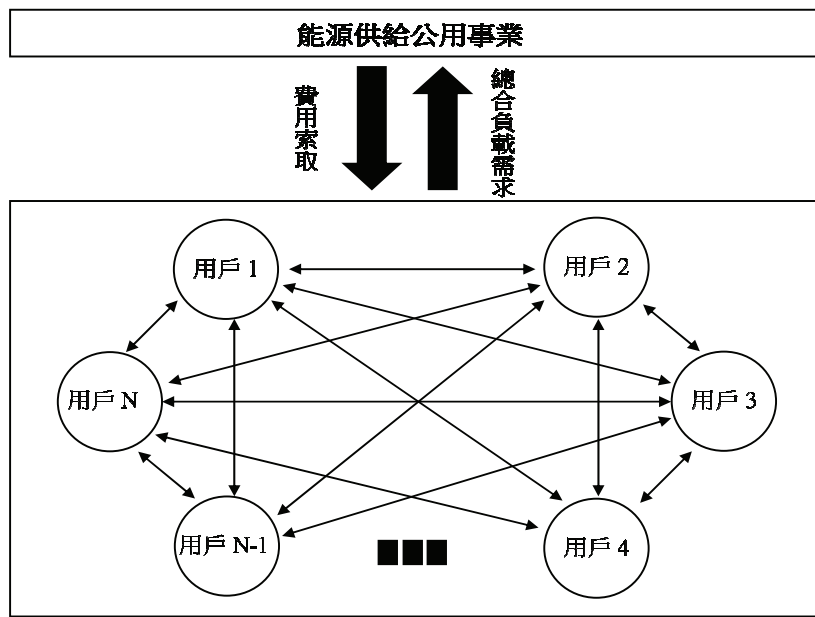


圖 3 公用事業與消費者個別地互動^[13]

圖 4 消費者間具有橫向連結的互動模式^[13]

最後，有研究將需求面管理定義為「藉由一些消費需求端的措施，以改善電力能源系統的狀況。其範圍從能源效率的改進、智慧能源費率與即時分散型能源之管理^[15]。」很顯然的，這樣的定義不把需求面管理縮限在負載管理的框架中，甚至將分散型能源都納入考慮，而這樣的定義也正好符合近年需求面管理的發展趨勢。

傳統電力系統的特性是由上而下，單一方向的：透過少數大型的發電廠產生電能，再經過電網系統輸配給消費者，同時也透過調度維持供給與需求間的平衡。然而，隨著再生能源的日益普及，其發電起伏不定的特性，對於傳統的電力、電網系統來說是一大挑戰。因此，「自產自消」、「逆向供給」的分散式電力資源也就應運而生⁶。而從傳統集中型發電走向分散型發電的這種「去

集中化」(Decentralization)，帶來的不僅僅是發電型態的改變，更重要的是：傳統供給導向的電力市場將逐漸轉型為需求導向的電力市場。驗證了1994年學者所預期的需求面管理發展方向^[6]。

我們透過本節對於需求面管理的發展與內涵趨勢有了概略性的理解，在此做一個簡單的小結：1976年至1985年，在石油危機的環境下，需求面管理一詞於焉誕生，其主要的內涵為單向命令式的負載管理，市場由供給者主導。1986年至1995年，石油價格崩跌，為持續推行需求面管理，在此期間強化了不少以誘因、價格為導向的措施，消費者在需求面管理的重要性開始增加，過去以供給者為主體的現象正逐漸在改變。1996年至2005年，石油價格仍低，整體發展延續1989年以來的方向，可視為上個階段的延伸。2006年至2014年，在石油價格高檔與資通技術進步的環境下，需求面管理的發展有了顯著的變化，並擁有下列特徵：雙向即時的通訊、參與主體的變動與分散能源的涵括。

在本節的最後，我們試圖對需求面管理進行定義。就歷史的脈絡來看，需求面管理長久以來皆被視為是負載管理的同義詞，需求面管理的主

⁶ 所謂「自產自消」指的是消費者透過安裝再生能源設備進行電力生產，並將該生產電力一部或全部用於本身的電力消費；而「逆向供給」指的是生產的電力透過電網系統，逆向輸入電力系統，供給其他消費者使用。這種同一行為主體，兼具電力生產者 (Producer) 與消費者 (Consumer) 之角色，即用戶本身除了向電業購電之外，亦有再生能源發電或電動車儲能設施，可逆向售電給電業，稱之「產消者」(Prosumer)^[16]。

導地位也一直由供給者所把持。然而，隨著近年再生能源與資通系統技術的成熟與發展，若延用過去對於需求面管理的定義，那麼可能會有畫地自限的疑慮，而且並不能反應需求面管理的最新發展趨勢。所以本文延續晚近文獻對於需求面管理的寬鬆定義^[15]，將需求面管理定義為：「任何改良電力系統的措施，只要涉及電力需求端，皆屬需求面管理的範疇。」在這個定義底下，不論是傳統的能源效率、節約能源、負載管理，或是晚近的分散型電源、微電網、智慧電網、智慧城市等，皆與需求面管理應用息息相關。在對現代的需求面管理做出定義以後，我們在下一節將正式介紹各國需求面管理最新發展趨勢。

參、各國電力需求面管理最新發展趨勢

前文我們談到 2006 年至 2015 年需求面管理發展的顯著改變，或許可歸因於石油價格處於相對高檔與資通訊技術的成熟普及。而後者更具體而言，就是近年能源界炙手可熱的議題：「智慧電網」。根據 IEEE 的定義：「智慧電網是對下一代電力系統的概述，其特點是在發電、輸電和用電等環節，更頻繁的運用資訊、通訊技術^[17]。」總而言之，就是讓電力系統的每個環節可以溝通，以達成電力系統最適化的目標。而此階段需求面管理的顯著發展，也都是建立在智慧電網相關技術的基礎上。

因此，要了解需求面管理的最新發展趨勢，透過各國如雨後春筍般出現的「智慧電網示範計畫」是一條便捷的途徑。本文選定美國西北太平洋智慧電網示範計畫 (Pacific Northwest Smart Grid Demonstration Project, PNWSGDP)、日本智慧電網及智慧城市社會實證地區計畫 (The Four-Location Smart City Operational Experiments, TFLSCOE) 與韓國濟州島智慧電網示範計畫 (Smart Grid Pilot Project in Jeju Island, SGPPJI) 三項示範計畫，做為研析各國需求面管理最新發展趨勢之標的，其原因有三：第一，各計畫進行

的期間介於 2009 年至 2014 年，以時間來看，算是相當晚近的實驗計畫，符合「最新發展趨勢」的要求；第二，計畫目前均已結案，因此相關的實證結果也陸續出爐，因此在資料上不虞匱乏；第三，若單純以各國需求面管理相關的現況調查報告做為分析基礎，那麼對於需求面管理最新發展趨勢的掌握，將不如以示範計畫作為分析目標的做法。畢竟後者所執行的計畫，都是較新穎而尚未普及的制度或設備，以此為研究素材更能掌握在需求面管理領域中較具前瞻性的特徵。

一、美國西北太平洋智慧電網示範計畫

美國西北太平洋智慧電網示範計畫是從 2010 年至 2014 年為期 5 年的示範計畫，實施的地區涵蓋：愛達荷州 (Idaho)、蒙大拿州 (Montana)、奧勒岡州 (Oregon)、華盛頓州 (Washington) 和懷俄明州 (Wyoming)，共計 5 個地區。計畫總預算達 1.78 億美元，由美國能源部 (Department of Energy, DOE) 與示範計畫之 11 家合作廠商各負擔一半。而該計畫包含五大目標：

- (一) 建立可持續發展的智慧電網基礎建設。
- (二) 發展並驗證可雙向操作的通訊與控制系統，並藉此整合需量反應、分散型能源、儲能系統與配電自動化。
- (三) 評估並驗證智慧電網對於各利害關係人的成本效益，並以此為基礎建立智慧電網的商業模式。
- (四) 推動具備安全性、可擴充性與共同操作性的智慧電網之標準和「誘因互動控制方法」(Transactive Control Methodologies)。
- (五) 運用智慧電網的相容能力，支援各類快速擴展的再生能源之併網。

在上述五大目標的範疇底下，11 家執行計畫的合作廠商依其專業領域的不同，共計有 55 個分項目標。各分項目標可以粗略分為 3 種類型：1. 電力網路安全與穩定之強化；2. 誘因互動控制應用與試驗；3. 再生能源建置與評估，分別約占分項目標總數 35%、45%、20%，以下將針對

各類型的實證內容進行簡介。

1. 電力網路安全與穩定之強化

分項目標數量居中的「電力網路安全與穩定之強化」是示範計畫的重點之一，透過各類電力系統裝置之安裝，改善電力網路之品質，除了 University of Washington 以外的 10 個合作廠商，皆有不同程度的參與。舉例來說，Avista Utilities 在此計畫下進行了伏特/無功伏安(Volt/Volt-ampere Reactive, VAR)的最適化、電力線路更新(Reconductoring)、智慧型變壓器的設置(Transformer)與故障偵測、隔離和修復(Fault Detection, Isolation, and Restoration, FDIR)系統的安裝；Idaho Falls Power 則在變電所安裝控制設備，進行饋線的電壓管理，除此之外，也透過控制設備的安裝，將功率因數(Power Factor)維持在最適的區間裡。「電力網路安全與穩定之強化」在此示範計畫中具有相當程度的分量，更是需求面管理成功與否的關鍵基礎。其理由在於，需求面管理中再生能源的普及與需量反應的施行，皆會造成配電網路電力潮流的變化，這樣的變化不僅僅是流量的改變，更有可能是流向的轉換。所以，未來需求面管理若要得到進一步的發展，就得先從電力網路的安全與穩定開始扎根。

2. 誘因互動控制應用與試驗

在「誘因互動控制應用與試驗」部分，其分項目標數量占比高達 45%，確實是此示範計畫的核心重點⁷。所謂誘因互動控制(Transactive Control)為西北太平洋國家實驗室(Pacific Northwest

National Laboratory)的研究人員所創的新辭彙，其意涵為：「電力系統中各項設備彼此能夠流暢地進行互動，且這樣的互動不僅止於資訊的交換，在用戶的事前允許下，還能讓設備基於經濟誘因的考量，自行判定充、放電的時機。」舉例來說，電力系統可能會發個訊號告訴你的電動車：「今晚的電力很便宜，要不要來一點呢？」而在你的事前設定下，你的電動車可能會回應：「好阿，那就來一點。」或是「不了，對我來說還是太貴。」，也就是說透過誘因互動控制，電力系統可以自動達到資源的最適使用^[19]。如前文所述，誘因互動控制強調的是「裝置的雙向溝通」、「決策的誘因導向」兩大特性，前者著重在設備的建置、後者著重在主體的互動，以下將扼要說明「誘因互動控制應用與試驗」之實證內容與結果。

(1) 智慧電器與需量反應

首先，我們可以發現許多分項計畫著重在智慧電器與需量反應的應用，包含智慧溫度控制器(Thermostat Control)、智慧電熱水器(Water Heater)、智慧空調設備(Heating, Ventilation and Air Condition, HVAC)等，這些計畫主要是透過具備雙向溝通能力的設備，在誘因的引導下，達成需量資源管理的目的。

以 Idaho Falls Power 為例，該公司為當地 218 戶居民安裝了智慧電熱水器設備，該控制設備允許 Idaho Falls Power 依據用戶端事前的設定規畫，遠端調控電熱水器之起停，進一步達成能源的管理。在實證結果方面，由於電熱水器控制設備發生了技術上的故障問題，該公司於 2014 年初，將相關設備全數拆除。實際效果也不明確，

⁷ “Indeed, the system was the centerpiece of the demonstration, connecting and testing many of the project’s individual components and providing insights as to the new technology solutions that will be need to achieve a smart grid.”

甚至可以觀察到負載不減反增的情況。然而該公司相信這樣的設備仍然具有相當大的潛力；另外，Idaho Falls Power 也為 42 戶居民安裝了智慧溫度控制設備，該設備同樣允許該公司依據用戶端事前的設定規畫，自動進行設備遠端的調控。Idaho Falls Power 並將這些居民的電力消費資訊，和其他未安裝智慧溫度控制設備的 29 戶居民進行比較。實證結果發現，該設備對電力供給量與供給成本而言幾乎沒有影響；而在電力需求的部分，據估計一年約可減少 600-700 美元的電費支出，以計畫參與者的意見回饋來看，有四分之三的參與者願意在未來再度參與之計畫。

Peninsula Light Company 則透過負載控制模組(Load Control Modules, LCM)，將可控制的電器從電熱水器，進一步延伸至其他電阻式負載(Resistive Load)的電器，如烤箱、白熾燈等。該公司為當地 500 戶居民安裝了此控制模組，在實驗的期間發現，雖然在電力使用上確實有小幅的下降，但是由於電力線通訊網路(Power Line Carrier Network)設備上的限制，使得此實證計畫取得資料之可信度令人存疑。而在智慧空調設備部分，Avista 則取得了相當不錯的成果。該公司於 University of Washington 校園的 39 棟建築物中，安裝了智慧空調設備，希望在不影響建築物內空氣品質的前提下，使空調設備依據需量反應之通知，進行最適的調控。實證結果發現，透過控制空調設備所帶來的抑低負載效果相當明顯，根據估計每年約可減少 150 萬至 300 萬度的電力消費，節省下來的電費支出約為 8.75 萬

至 17.5 萬美元。

(2) 先進讀表系統(AMI)與屋內顯示系統(IHD)

想要評估各項設備措施之成效、達成設備間雙向溝通之目的，先進讀表系統(AMI)與屋內顯示系統(IHD)的安裝是不可或缺的。Lower Valley Energy 在 Afton 地區為 500 戶居民安裝了先進讀表系統與屋內顯示系統，實證上發現了相當有趣的結果：僅裝設屋內顯示系統的家戶，並沒有觀察到任何負載的抑低；但不論是僅安裝先進讀表系統，或是同時安裝先進讀表系統與屋內顯示系統的情況，電力消費就隨之減少了。另一方面，Idaho Falls Power 也為該地區的 860 戶居民安裝了兩種設備，實證結果卻和 Lower Valley Energy 所發現的有些不同：同時擁有先進讀表系統與屋內顯示系統的家戶，在能源消耗的月平均值上出現了微幅上升；而僅安裝先進讀表系統的家戶，則在能源消耗的月平均值上發現了一些跌幅。Flathead Electric Cooperative 則在城市區的 Libby 為 65-90 戶居民安裝兩種系統，同時也在鄉村區的 Marion/Kila 為 6-12 戶居民安裝。實證結果發現，在用電尖峰時段，城市地區的負載降低相當顯著，每戶最少降低 60 瓦，最高則可達 220 瓦；在鄉村地區則觀察不到負載的下降，我們甚至還可以觀察到負載上升的情況，但受限於樣本數量的緣故，對於這項統計推論，我們應該保持高度懷疑的態度。

(3) 電動車與儲能系統

電動車與儲能系統也是誘因互動控制系統的測試項目之一：透過電力系統負載情況的不同，以不同的誘因

引導儲能系統進行充、放電的決策。值得特別說明的是，因為電動車除了儲能功能以外還兼具交通運輸功能，與用途單一之蓄電池性質不同，所以將其獨立列舉。但在這裡我們仍強調的是電動車作為儲能裝置的面向，實際上電動車亦可將其歸類於儲能系統的範疇當中。然而，在本計畫中僅有 Idaho Falls Power 將電動車納入其實驗目標，且相關的電池廠商也因為本身的財務問題使得計畫無法繼續進行，因此在電動車的部分，此示範計畫完全沒有實證資料可提供參考。

至於其他儲能系統部分，也或多或少遭遇了一些技術上的問題，使得資料欠缺可信度與完整性。Benton Public Utility District 建置包含三座 10 瓩與兩座 1 瓩的儲能系統，希望能透過此儲能系統，在地方的風力發電機發電時蓄電，在地方的負載尖峰時放電，使電力供給端與需求端都能達到更有效率的運用。不過，在實證計畫進行的過程中，三座 10 瓩儲能電池的供應商無法繼續提供支援、兩座 1 瓩的儲能電池也被證實了無法繼續操作，因此未能提供有用的實證資料。Lower Valley Energy 則安裝了一個 125 瓩的儲能系統，同樣希望透過儲能系統能夠降低尖峰負載和配電線路損失，使得配電系統設備投資的壓力不那麼緊迫。該公司的儲能系統是透過遠端終端控制系統(Remote Terminal Unit) 與資料採集與監控系統(Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA)進行管理與監控，決定最佳的充、放電時機。根據估計，透過此儲能系統，每年約可使需量電費(Demand Charge，或稱基本電費)降低 80-160 美

元。而所謂需量電費，雖然各國在計算細節上有各自不同的考量與設計，但其基本精神是「根據特定月份中，用電的最高峰來進行電費的計算」，背後所反映的就是電力系統基礎設備的固定成本。此實證結果代表我們確實可以透過儲能系統達成尖峰負載的降低。Portland General Electric 設置了一個 500 萬瓦的鋰電池儲能系統，希望能透過此儲能系統提升電力系統的可靠性，並使具有間歇發電特性的再生能源，得以大量併入系統當中。實證結果發現，儲能系統充、放電時機與誘因互動機制兩者間幾乎沒有關連。如果兩者能夠成功建立起溝通關係，則儲能系統應該在電價便宜的離峰時段時進行充電；在電價昂貴的尖峰時段進行放電。儘管就實證結果來說，此試驗計畫算是以失敗作為結尾，但 Portland General Electric 認為儲能系統在未來仍然是大有可為，如果成功完成初始規劃的目標，該公司估計每年將帶來 14.6 萬美元的效益⁸。

3. 再生能源之建置與評估

最後，分項計畫的最後一種類型為「再生能源之建置與評估」。雖然再生能源的範疇相當寬廣，此示範計畫主要是針對太陽能發電系統與風力發電系統兩種再生能源進行設備建置與效益評估，以下我們以主要研究再生能源的 City of Ellensburg 為例子⁹，簡單介紹其研究內容。

⁸ 該效益最主要來自電力系統可靠性的提升，如降低跳機次數與時間、改善電壓品質。

⁹ Lower Valley Energy 也有進行再生能源的研究，然而其規模數量皆比 City of Ellensburg 所進行的研究來的小，且前者的實證結果出現了相當違反常理的現象：風力發電機之淨電力生產為負值，亦即發電機開始消費電力而非生產電力。

City of Ellensburg 的實證目標包含兩類型的太陽能發電系統：多晶電池型與薄膜電池型，與風力發電系統。在太陽能發電部分，針對既有的 56 瓩多晶電池型太陽能發電系統，進行資料蒐集與效益評估。結果發現透過此發電系統，每年約可生產 8 萬度的電量，價值約為 2300-2500 美元；該公司也利用此計畫，擴充興建 54 瓩薄膜電池型太陽能發電系統，結果發現每度電要價 28 美分，比起該地區電力批發、零售的價格都來的高。而此系統每年同樣約可生產 8 萬度的電量，價值約為 2300-2400 美元。實證結果顯示，兩類型的太陽能發電系統皆能生產可預測、一定規模的電力，但是對於尖峰負載與需量電費幾乎沒有顯著影響。至於風力發電系統部分，City of Ellensburg 規劃測試 9 座風力發電機，包含 5 座民用等級風力發電機與 4 座商用等級風力發電機。實證結果發現，民用等級的風力發電機，除了 Southwest Windpower Skystream 這座風力發電機以外，其他 4 座風力發電機，一年創造的價值都不超過 10 美元；即便是商用等級的風力發電，一年創造的價值也僅介於 27 至 200 美元之間，和太陽能發電的狀況大不相同。而且在測試過程中，風力發電機的可靠度受到了嚴重的挑戰：九座發電機中，有四部機器無法在測試期間持續運轉，其中一部風力發電機的塔架甚至出現傾倒的現象。在安全性、穩定性皆未能保證的情況下，再加上此計畫所有風力發電機所生產的電力僅 1.7 萬度左右，風力發電對於尖峰負載與需量電費影響之微弱便可想而知了。

二、日本智慧電網及智慧城市社會實驗地區計畫

日本經濟產業省於 2010 年 1 月公開招募「智

慧電網及智慧城市社會實驗地區」¹⁰，最後決定在橫濱市(City of Yokohama)、豐田市(Toyota City)、京都府(Kyoto)及北九州市(City of Kitakyushu)共計 4 個地區進行實證實驗。透過 2010 年至 2014 年的五年計畫，對智慧電網與智慧城市的相關技術、結構與商業模式等進行驗證。更具體而言包含下列七項目標：

- (一) 能源使用的視覺化。
- (二) 家電與熱水器的控制。
- (三) 根據電力需求狀況促使用戶改變電力使用行為需量反應措施。
- (四) 蓄電系統的優化設計。
- (五) 電動汽車充電系統之測試。
- (六) 電動汽車與家庭之能源整合。
- (七) 電動汽車與交通系統之整合。

上述的七大目標，皆是在建立能源管理系統(Energy Management System, EMS)的基礎上，不論是能源可視化、電力供需的雙向互通性、能源使用效率最佳化或是儲能設備最適充放電規劃等，都是依靠此系統達成的。而在能源管理系統的基礎下，我們同樣可以將此計畫的目標粗略區分為三大類型：1. 以人為本的需量反應；2. 自產自消的再生能源；3. 儲能設備與儲能系統。接下來將以這三大類型作為主軸，簡介其最新的實證內容與結果¹¹。

1. 以人為本的需量反應

首先，我們先從需量反應措施的整體經濟效果切入。日本京都大學經濟系教授伊田高典針對此一計畫進行需量反應的經濟效果研究，實證結果顯示，以

¹⁰ 所謂的智慧城市，是在提高生活品質的同時，透過不斷減輕環境負荷，促進經濟健全，保持可持續發展的一種新型城市^[20]。

¹¹ 過去的研究中，於 2014 年[21]曾對「日本智慧電網及智慧城市社會實驗地區計畫」進行介紹，不過該文僅針對 2013 年以前的實證結果進行說明，其後至該計畫結束的實證內容與結果皆未涵蓋。因此本文將針對 2014 年 1 月後至 2015 年 6 月，在[20]所公告的實證結果進行簡要說明，除了補足該文的缺口外，另一方面更能掌握日本需求面管理最新趨勢。

價格為基礎的需量反應，最多可以使尖峰電力需求量削減 20%，且有 70%至 80%的家戶都能因此節省電費。另外，伊田高典教授將 1800 戶家庭依不同的需量反應措施隨機分為 3 組：推銷、推銷與提供信息、推銷與提供信息與贈予優惠¹²。面對不同優惠程度的 3 組家庭參加比率分別為 16.3%、30.7%、47.6%；削峰效果分別為 26.2%、13.5%、15.7%；整體削峰效果則為 4.4%、4.2%、7.8%。因此在贈予優惠的方案中，整體削峰效果達到近 2 倍之多，但提供需量反應措施的單位，也需考慮執行削峰所帶來的效益是否能和提供優惠所付出的費用取得平衡。

在橫濱市的實證計畫中，合作廠商大京 ASTAGE 導入家庭能源管理系統 (Home Energy Management System, HEMS)，同時進行需量反應措施的實證。但該廠商並不以此為滿足，更進一步利用家庭能源管理系統所收集的數據，向用戶提供其他領域的服務，包含保全照護、優惠福利和生活協助等。在保全照護的部分，廠商透過家庭能源管理系統對家戶用電量進行遠端監控，當使用量出現異常時以電子郵件進行提醒；或是在浴室、廁所安裝人體感應器，若超過一段時間沒有反應，可能會透過室內對講機發出警報聲，或由保全人員上門確認安全。優惠福利則是指當電力供給吃緊，廠商透過向家戶提供餐飲服務等優惠券，促使家戶外出以降低系統負載。最後，生活協助的部分，可能會依據空調使用量，提議進行空調清潔的

服務；或者在電力供給吃緊時，提供掃具租借以代替吸塵器。實證結果發現，導入家庭能源管理系統與需量反應措施，確實可以達成預期的節能目標 (10%)，然而生活協助的節能效果並不明顯。雖然生活協助的實證結果以失敗告終，但是合作廠商在此實證計畫所示範的，不僅僅是需量反應措施與家庭能源管理系統衍生服務所帶來的節能效益，更是透過家庭能源管理系統在資通訊系統上之優勢所帶來的龐大商機。

另外，除了大京 ASTAGE 曾嘗試派發優惠券吸引家戶外出，以抑低系統負載。橫濱市的相鐵 Rosen 在負載尖峰時段發行 100 日圓的優惠券來吸引顧客外出，參與試驗的顧客在 13-14 時來到商店後，只要透過事前登錄的卡片，就可以將優惠券列印出來使用。在 2013 年的夏季實施期間，有多數顧客使用到該項優惠，並使得平均每人消費金額提高。而北九州市的永旺智慧商城也在用電高峰時，提供 100 點的積分獎勵，參與的顧客只要在該時段來到商城，就可以在積分卡累積 100 點的積分獎勵(通常要消費 200 日圓才賦予 1 點)。實證結果發現，參與的 100 戶家庭透過此措施平均而言達成了 17.2%的削峰效果，以積分卡的數據來看，獎勵措施確實發揮了吸引顧客的功用。

最後，有部分實證計畫試圖分析電力需求者的觀點看法，進而改善其協助提升節能效率的成果。舉例來說，豐田市的其中一項實證計畫，就進行了相關的嘗試：家戶透過家庭能源管理系統，能夠得到相關的用電、節電之建議，而特別的是，家戶也可以透過觸控的方式對該建議進行反饋。舉例來說，家戶可能會收到類似下列的建議：「貴用戶上周

¹² 「推銷」：對家戶進行需量反應措施的邀約；「提供信息」：告訴家戶參與需量反應措施會有多大的好處(影子電費單)；「贈予優惠」：提供家戶參與需量反應措施也不會虧損的方案。

用電已超過本區域『兩人以下家庭』平均用電……是否願意嘗試關閉暫時不使用的設備電源嗎？」而家戶就可以點選下列選向來進行反饋：「今後會注意」、「我不太在意」、「家庭人數不符」、「此信息沒用」。透過這樣的互動，集結商或電力供給單位就能夠理解家戶單位能源意識與用電行為概況、改善資訊提供的有效性，更能幫助用戶達成能源管理的目的。而京都府則提供受測家庭節能諮詢，在諮詢中向每戶家庭發放建議表，透過此表對節能和節電的具體措施提出建議，並將家戶用電模式以動物來做比喻：認真參與節能的松鼠型；家庭人口眾多，用電量大的大象型；夜間用電為主力的貓頭鷹型；早上和中午有兩個高峰時段的駱駝型等，透過寓教於樂的方式，加強民眾的能源意識。北九州市則將互動的領域進一步延伸至企業，根據其事前調查的結果，單純依靠能源資訊的可視化，對於企業單位的節能來說，效果並不明顯，其原因透過實際訪談後可知主要為：一、業務優先，環保其次；二、無法即時應對或忘記；三、已經沒有抑低負載的餘地。因此，北九州市的實證單位便向受測企業提供專家節能診斷，並辦理「澈底削峰日」：請求受測企業在特定日期僅需撥出一個小時滿足節電請求，藉此估計企業節能之潛力。

2. 自產自消的再生能源

至於「自產自消的再生能源」部分，合作廠商松下在橫濱市內的獨棟住宅嘗試用家庭能源管理系統和蓄電池控制家庭內能源，以實現太陽能發電的最佳利用、減少電力逆潮流與購電量，同時控制電力系統尖峰問題。簡單來說，就是希望能夠朝向電力自產自消的目標邁進。實證結果發現，48 戶實驗對象的能

源自消率達到 75%。另外，合作廠商電裝公司在豐田市也以 67 棟商品住宅為對象，開發透過家庭能源管理系統高效率使用太陽能發電系統所生產之電力。在此實證計畫裡，太陽能發電系統所生產之電力並不出售給電力公司，幾乎全部自產自消¹³。

家庭能源管理系統更會依過去用電量、居民生活模式來進行蓄電池、熱泵熱水器與其他電器的最佳控制。實證結果發現，太陽能發電年平均自消率高達 90%，透過此系統達成了二氧化碳排放量降低 50%的目標，太陽能發電的預測誤差月平均則控制在 4%以內。豐田市的另一項計畫更是企圖將能源自消率提高至 100%，也就是說不從電力公司購入任何電力，但同時維持和平常相同的生活模式。電力能源完全以家庭能源管理系統、太陽能發電系統、家用蓄電池、熱泵熱水器及油電混合車等產能、蓄能的設備來支應。實證結果顯示，雖然曾經發生過蓄電池電力在早上 4 點消耗殆盡的情況，但是從早上 7 點太陽能發電系統開始發電，則又能在相同的生活型態下，實現電力自給自足的目標。

3. 儲能設備與儲能系統

最後在「儲能設備與儲能系統」部分，橫濱市的實證計畫開發了以太陽能發電為電動車之車載蓄電池進行充電的系統；該系統亦可反過來以車載蓄電池向住宅供電(Vehicle to Home, V2H)。這套系統希望能在不影響電動車使用的前

¹³ 自產自消不僅僅是因為太陽能發電系統の間歇發電特性，若任意開放其電力進入電網回售，將可能造成電網的負擔。除此之外，進行自產自消的再生能源實證計畫，也是因為預期到 2020 年將實現「市電同價」：太陽能發電的成本將低於電力公司的電費，完全自消將會變得更加實惠，同時也解決電網擁塞、線路損失的問題。

提下，有效利用太陽能發電來削減家庭的二氧化碳排放量，同時又能透過車載電池解決太陽能間歇發電的特性。實證結果顯示太陽能發電自消率提高 25%，二氧化碳排放量減少 25%。除此之外，有關電動車的研究不僅限於「私家用車」，提供民眾租賃的「公共用車」也在本計畫的討論範疇中。公共用車的電動車歸還後，設置的能源管理系統根據電力供需狀況、電動車預約狀況與太陽能發電量預測等，實現電動車的高效能充電，使得太陽能發電利用率達 30%，二氧化碳排放量下降 30%。

豐田市則針對低溫貨運車進行研究，探討車載電池在營業用車方面的可行性。根據合作廠商電裝公司的說法，低溫貨運車每天 8 小時的行駛過程中，有 2-4 小時是為了進行貨物的集送而處於停車狀態，此時為了保持冷藏室和冷凍室的溫度，必須讓車輛怠速以驅動電動壓縮機，大量的二氧化碳因而排出。為解決此問題，車載電池的安裝，便能使低溫貨運車在停車狀態，提供冷藏、冷凍系統所需之能源。然而，若安裝足以供給一天需求的蓄電池於低溫貨運車上，將會使車體重量增加，燃料效率降低。針對這項問題，電裝公司設置了非接觸式蓄電池充電站，只要駕駛將貨運車停在指定位置，按下充電鈕便可開始充電。透過充電站的設置，實現蓄電池小型化、輕量化與能源最適使用的目標。

隨著再生能源和電動車等儲能設備的普及，對於電力系統的線路、調度而言都將是一大挑戰。因此，這些設備的充電、放電時機，就有必要透過能源管理系統進行規劃，以達到能源效率使用的最適化。在橫濱市就進行了「虛擬蓄電池」的研究計畫：蓄電池資料採集與

監控系統(Supervisory Control and Data Acquisition, SCADA)。這個系統是將區域內不同品牌、不同規格的蓄電池視為一個虛擬的大型蓄電池，根據電力公用事業的需求進行各蓄電池的充放電之調度決策。也就是說，電力公用事業不需要緊盯每一個蓄電池的狀況，全數由蓄電池資料採集與監控系統進行整合，在不增加電力系統負荷的前提下，由這個虛擬的大型蓄電池供應部分的電力。

京都府與北九州市則對儲能系統的調度規劃和需量反應措施進行實證。首先，京都府的實證資料顯示：2013 年的夏季尖峰時段(13-16 時)需量反應目標是減至 0.1 瓩，實績值則為 0.15 瓩，未達成目標之原因為能源管理系統與太陽能發電的協調不夠充分，目標有所衝突。由於能源管理系統的目標是達到「售電量」的最大化¹⁴，因此該系統規劃在上午對蓄電池進行放電以滿足家庭內電力需求，太陽能發電的剩餘電力則用於售電。但由於蓄電池在上午時段進行放電，等到下午的尖峰時段來臨，電力公用事業提出抑低負載的要求時，能以蓄電池支應用電的數量就會受到限制，所以需量反應之效果未如預期。若能在上午時段以太陽能發電的剩餘電力對蓄電池充電，那麼下午尖峰時段的抑低目標是有可能達成的，關鍵就在系統設定的目標是否明確而和其他目標相容。至於北九州市的部分，由 2012-2013 年的實證結果發現：夏季削峰率平均為 14.4%¹⁵；冬季削峰率平均則為 18.6%。

¹⁴ 指家戶透過分散型電源(如太陽能發電)所生產的電力，回售賣給電力公用事業。

¹⁵ 削峰率定義為自產自消的電力占整體用電量之比例。亦即透過太陽能發電與儲能系統供電，而少向電力系統購電的比例。

實證過程中則發現了兩個問題：第一，蓄電池並未有效運用：為了使電費最少化，將蓄電池的蓄電率(State of Charge, SOC)幾乎一直保持在 80%以上，使用效率較低。蓄電池總是維持在高蓄電率的現象，是因為在尖峰時段，僅依賴 10 瓩發電能力的太陽能發電系統，即可滿足其用電需求，但如此一來蓄電池就無法得到有效利用。因此系統設定方面，將強制蓄電池於傍晚放電，藉以利用深夜離峰時段的低電價對蓄電池進行充電；第二，天氣預報缺乏精確度：更具體而言，就是預測與實際的日照時間差異頗大。由於日照時間的預測，是能源管理系統控管蓄電池充電、放電的依據，若日照時間過短，就會增加蓄電池的放電，在尖峰時段恐無法滿足電力需求，造成削峰率下降；相反的，若日照時間過長，就會造成蓄電池使用效率不高，因此在未來將同時考慮歷史與實際天氣狀況，進行蓄電池充放電之規劃。

三、韓國濟州島智慧電網示範計畫

韓國的獨占電力事業「韓國電力公社」(Korea Electric Power Corporation, KEPCO)在智慧電網的發展中也扮演了相當重要的角色。韓國電力公社除了規劃在 2020 年以前為 1800 萬戶的消費者完成智慧電表的建置外，另一項推動智慧電網的重要規劃就是在濟州島所進行的「韓國濟州島智慧電網示範計畫」。該計畫於 2009 年 12 月至 2013 年 5 月，分兩階段進行：第一階段為 2009 年 12 月至 2011 年 5 月，此時期主要著重在智慧電網基礎設備的建構；第二階段則為 2011 年 6 月至 2013 年 5 月，開始實際操作智慧電網的相關設備與制度。計畫總預算為 6800 萬美元，涵蓋的目標包含下列五項：

- (一) 智慧消費用戶。
- (二) 智慧交通系統。

(三) 智慧再生能源。

(四) 智慧電力網路。

(五) 智慧電力服務。

首先，在智慧消費用戶(或稱智慧場所)的部分，該計畫是運用允許雙向溝通的資通訊設備進行需量反應措施，以達到能源消費的效率化，對象為 3000 戶的住家、建物與工廠，具體的內涵包含了 4 大模型：基礎需量反應模型、先進需量反應模型、再生能源模型、建物與工廠模型。基礎需量反應模型的部分將為消費者建置智慧讀表系統與屋內顯示系統，在此模型下消費者將接收到價格訊號，並對此價格訊號做出回應；先進需量反應模型則在前述設備的基礎下，安裝了家庭能源管理系統與其他智慧設備(如負載控制裝置、智慧家電等)，在這個模型系統將以接收到的價格訊號、消費者的事前設定，「自動」進行能源管理的決策；再生能源模型則包含了風力發電、太陽能發電、儲能系統與電動車充電器；建物與工廠模型的對象是大型商業、工業用戶，除了智慧讀表系統以外，分別為其安裝了建物能源管理系統(Building Energy Management System, BEMS)、工廠能源管理系統(Factory Energy Management System, FEMS)。此外，該計畫也為濟州島示範區內的消費者提供能源資訊窗口(Energy Information Portal, EIP)服務，目前已經在 2010 年針對高壓與次高壓用戶提供能源消費諮詢服務(Power Consumption Consulting Service, PCCS)，使用戶得以比較當前與過去能源消費之狀況，並透過此服務獲取節省能源使用成本的資訊，未來也規劃將此服務進一步推廣至低壓用戶。

智慧交通系統部分，本計畫將建立電動車的充電設施，在濟州島建立 14 座高速充電站(充電電約耗時 10-30 分鐘)與 22 座低速充電站(充電電約耗時 6-8 小時)。此外，智慧交通系統的目標並不囿於電動車的充電，相反的，該計畫希望在電動車的基礎下，發展電動車與電力網的雙向電力輸送，並透過資通訊系統整合即時交通資訊，將

能源領域進一步延伸至交通安全之範疇。

智慧再生能源的部分，核心目標是改善再生能源的電力品質，也就是說設法解決再生能源間歇性發電的特性，因此該計畫建置可容納分散型再生能源的微型電網，並推動大規模再生能源發電區域，同時測試儲能設備之運作情況。簡而言之，韓國智慧電網計畫下的智慧交通系統，主要是進行能源管理系統、電力調節系統(Power Conditioning System, PCS)與儲能管理系統(Battery Management System, BMS)的實證。

智慧電力網路則涵蓋智慧輸電、類比變電站數位化與智慧配電三大目標。在智慧輸電的部分，在線路上安裝了可監測電流與電壓情況的設備，除此之外，也安裝了量測天氣的感應器，使得控制中心得以了解線路所在區域之氣溫、風力、太陽光照與閃電雷擊狀況。另外，智慧電力網路計畫也預計將類比變電站轉為數位變電站，其優勢在於可使變電站之體積縮小 10%，並增加變電站之可靠度 50%。最後，在原本的配電管理系統(Distribution Management System, DMS)的基礎下，控制中心得以監控饋線的電壓、電流，並且具有故障偵測、隔離和修復的功能；而智慧配電則在配電管理系統的基礎下，進一步的監控饋線網路的電壓驟降(Sag)、電壓驟升(Swell)、諧波(Harmonics)之情況，同時使分散型能源得以和饋線網路相容。

智慧電力服務建構與實證虛擬電力市場，包含不同設計下的用電費率、節能服務與諮詢顧問服務等。在濟州島上測試了時間電價(Time of Use, TOU)與即時電價(Real Time Pricing)：時間電價的對象為契約容量小於 10 瓩的小用戶，在此計畫中還可以分為兩類：典型時間電價與差別時間電價，前者由電力公用事業在事前設定一個固定的時間費率；後者則依據用電量超過消費者基準線(Consumer Baseline, CBL)與否，由電力公用事業設定兩套固定的時間費率。而即時電價的測試對象則為大用戶，每 15 分鐘至每 1 小時為費率變動的頻率。

以上便是近年美、日、韓智慧電網示範計畫的概述。在進行小結之前，我們想特別說明一件事：本文針對韓國濟州島智慧電網示範計畫的部分，幾乎沒有實證結果的說明，其理由在於該計畫於 2013 年 5 月結案至今，執行單位並未公布任何官方的整體計畫執行成果評估報告，甚至連相關的成果消息都沒有，因此本文僅能根據計畫目標與藍圖進行說明。根據[23]引述韓國智慧電網中心(Korea Smart Grid Institute, KSGI)之指導單位的非官方初步預估，整體節能的效果約莫 10%，部分參與示範計畫的民眾似乎也還未準備好使用相關的節能科技設備；另外，[23]也提到參與示範計畫的廠商，目前面對全國性的智慧電網計畫似乎也因為成效不彰而裹足不前。政府對於市場的控制、對於價格的抑低，也使得相關廠商對於進一步投資興趣缺缺。遲至今日仍未公布實證成果的理由，或許從上述資料可略知一二。

在本節的最後，我們針對不同國家在規劃、執行智慧電網示範計畫時，各自著重的實證項目進行總結。更具體來說，美國西北太平洋智慧電網示範計畫相當強調「技術設備的實證試驗」；日本智慧電網及智慧城市社會實驗地區計畫則更強調「人與設備的互動實證」；韓國濟州島智慧電網示範計畫則著重「商業模式的建立出口」。在這三個智慧電網示範計畫中，雖然有各自不同的重心、雖然許多實證結果並不明確，但是透過本節對於這些計畫的簡摘，我們仍然可以看出需求面管理發展的趨勢，是朝向「以技術設備為基礎，以需求者為主體，以商業模式為推力」的方向前進。在下一節我們將以此為基礎，檢視台灣需求面管理發展所面臨的問題與可能可以改進的方向。

肆、我國電力需求面管理之現況

台電公司自 1979 年開始實施時間電價，可將之視為我國電力需求面管理之濫觴，並於 1987 年開始實施可停電力措施、1989 年實施季節電

價、1991 年實施儲冷式空調系統離峰用電優惠措施、空調週期性暫停用電辦法，並於 2015 年開始辦理需量競價措施。隨著時間的推進，台電公司也不定期的檢討、修正、整併各項需求面管理之措施，逐年朝向簡併措施、放寬門檻與提高誘因的方向進行努力，主要的目標就是希望提高用戶參與，強化需求面管理之效果。目前台電公司所施行的需求面管理措施主要強調需量反應、負

載管理的面向(如表 1)，若以價格基礎與誘因基礎來區分，價格基礎的需量反應包含了時間電價、季節電價、儲冷式空調系統離峰用電優惠措施，主要是以不同的費率引導用戶在不同的時間用電；誘因基礎的需量反應則包含空調週期性暫停用電措施、用戶配合減少用電措施、需量競價措施，主要是以電費的扣減來吸引用戶於特定時間降低負載。

表 1 台電公司現行需求面管理措施一覽表^{[25][26][27]}

	類型	措施	主要內容
需量反應	價格型	時間電價	為反映尖、離峰等不同時段之供電成本差異，以用電時段作為價格差異的設定方向，尖峰價高而離峰價低。
		季節電價	為反映夏月、非夏月的不同供電成本差異，夏月價高、非夏月價低。
		儲冷式空調系統離峰用電優惠措施	透過儲冷設備，於離峰時段儲存冷能、於尖峰時段釋出冷能
	誘因型	空調週期性暫停用電措施	透過時控開關對中央空調系統與箱型空氣調節機進行週期性控制，並由台電公司決定各選用用戶之暫停時間，使暫停時間得以交錯。
		用戶配合減少用電措施	透過電費扣減吸引用戶於特定系統尖峰時間減少用電，包含三類的計畫性減少用電措施與兩類的臨時性減少用電措施。
		需量競價措施	開放用戶填報抑低用電報價與數量，台電公司依競價結果向得標用戶支付能量回饋、容量回饋。包含以減少公司燃料成本為目的之經濟型需量競價措施、以提供系統可靠容量為目的之可靠性需量競價措施。

然而，如前文所述，若以國際需求面管理的發展趨勢來看，近年來需求面管理的發展樣態受到資通訊技術的影響非常深遠，我們從研究文獻歸納出 2006 年至 2014 年國際需求面管理的三大特色：通訊的雙向即時性、參與主體的變動、分散型能源的發展方向，而美、日、韓的智慧電網示範計畫的測試項目，也正印證了此一發展趨勢。若將台電公司需求面管理之現況和國際需求面管理之最新發展趨勢進行對比，我們或可針對台電公司未來發展需求面管理提出一些建議，備供參考。

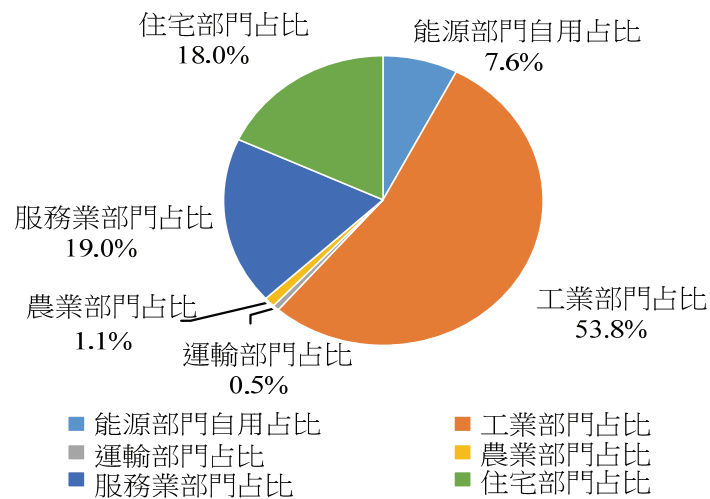
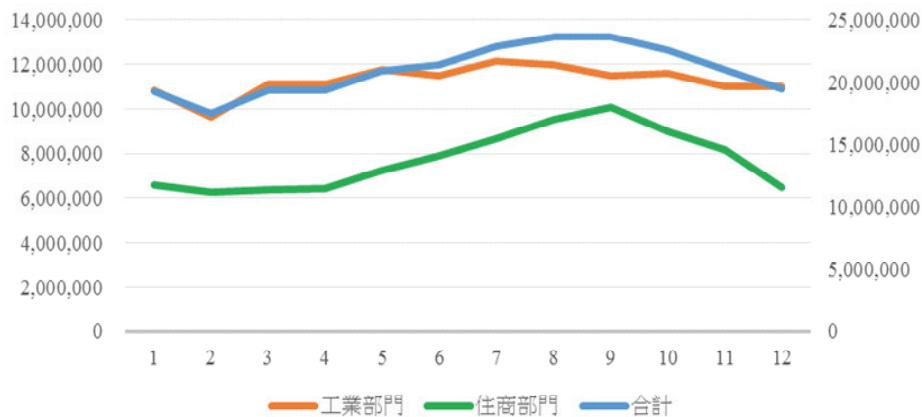
一、建議擴大需求面管理之範疇

誠如本文第二節所述，我們對需求面管理的定義為「任何改良電力系統的措施，只要涉及電力需求端，皆屬需求面管理的範疇。」因此我們並不認為談電力需求面管理時，永遠只能在負載

管理的領域中打轉，而應該包含諸如：提高用戶能源使用效率、喚醒用戶節能意識、建構雙向即時的能源管理系統、推動分散型能源並建置能與之相容的微型電網、智慧電表，甚至是以電力需求面管理作為切入點，跨足節能服務產業、智慧生活產業，使台電公司在業務經營上有更多的可能性。

二、建議強化住商用戶參與廣度和深度

用戶的參與對於需求面管理來說是個關乎成敗的因子，而系統負載尖峰的主因，更有文獻認為是住商部門的貢獻^[14]。以下我們嘗試以數據資料理解此一說法是否可信。以 103 年電力消費部門別月資料為例，首先，我們將各部門年度總用電量占整體電力消費之比例繪製成圓餅圖(如圖 5)，以了解各部門在電力消費上的重要程度。

圖 5 103 年部門別電力消費占比^[23]圖 6 103 年部門別電力消費趨勢圖^[28]

由圖 5 可知，工業部門確實為台灣電力消費之大戶，占整體用電量 53.8%，其次為服務業、住宅部門，分別占整體用電量 19.0%、18.0%，而能源部門自用、農業部門與運輸部門的用電量，即便此三部門加總起來，用電量亦占不到整體用電量的 10%，分別占 7.6%、1.1%與 0.5%。然而單純以用電總量來分析僅能了解各部門用量之比重，無法藉以了解各部門用電量的走勢變化，接下來我們將各部門用電量之月資料繪製成電力消費趨勢圖(如圖 6)¹⁶，橫軸代表月分，縱軸則

代表消費電量之數額¹⁷。

從圖 6 我們可以觀察到幾個現象：首先，住商部門在一年當中的電力消費量之變動，是大過工業部門在一年當中的電力消費量之變動；其次，1-5 月用電量較高，6-10 月則相對較低；最後，以各部門消費電力的趨勢來看，1-5 月系統整體負載與工業部門呈現亦步亦趨的樣態，而 6-12 月系統整體負載與住商部門的變動則相當的雷同。

另外，我們也針對工業部門與住商部門計算

¹⁶ 為避免趨勢圖形視覺上的干擾，此處將重要性較低的三個部門：能源部門自用、運輸部門與農業部門排除在外。

¹⁷ 工業部門與住商部門之用電量為左方主座標軸，系統整體負載則為右方副座標軸。

相關的敘述統計數值(如表 2)，藉以和圖形觀察相互驗證。首先我們可以發現住商部門雖然在用電量的占比是小於工業部門，但是住商部門用電量之全距，卻是高過工業部門用電量之全距；其次，住商部門的變異係數高達 16.76%，遠比工業部門變異係數 5.62% 來的高，再次說明住商部門的用電量的波動是高過工業部門用電量的波動；最後，我們則以相關係數來驗證系統負載與工業部門、住商部門之間是否具有類似的走勢。我們可以發現到 1-5 月的部分，工業部門與系統整體之相關係數高達 0.98，而住商部門與系統整體之相關係數則為 0.87；6-12 月的部分，工業部門與系統整體之相關係數則降至 0.78，而住商部門與系統整體之相關係數則上升至 0.96，顯然我們在圖形部分的觀察在這裡得到了數據上的驗證。

表 2 103 年工業部門與住商部門敘述統計表

敘述統計值	工業部門	住商部門
最大值	12,121,030 (103 年 7 月)	10,079,200 (103 年 9 月)
最小值	9,632,224 (103 年 2 月)	6,282,458 (103 年 2 月)
全距	2,488,806	3,796,742
標準差	632,765.08	1,295,743.72
平均值	11,255,723	7,731,383
變異係數	5.62%	16.76%
1-5 月與系統整體之相關係數	0.98	0.87
6-12 月與系統整體之相關係數	0.78	0.96

根據用電趨勢圖的觀察與敘述統計值的計算，我們推論系統負載尖峰的樣態，主要可能是由住商部門的電力消費特性所形塑出來。因此，建議台電公司強化住商用戶參與的廣度與深度：首先在廣度部分，台電公司考量設備限制、交易成本、措施效益等因素，目前推動需求面管理措施，主要以高壓、特高壓等用電大戶為對象，主要型塑負載的住商部門仍未有進一步的開

發，因此我們認為台電公司可以結合、引進集結商的商業模式，消弭具有小、多、雜性質之住商部門所隱含的交易成本，最後能成功對住商部門之需求面資源進行管理。

而在深度的部分強調的是深化和參與用戶的互動性，以日本的例子來看，透過資通訊設備的幫助，集結商或電力供給單位就能夠理解用戶能源意識與用電行為概況，改善資訊提供的有效性，甚至是提供更為精準的節能建議。因此台電公司可考慮在未來將用戶反饋的功能，整合進相關設備中，並以用戶回饋的意見與其實際用電行為進行後端的分析，以確實掌握各項需求面管理措施的評價好壞和改進方向。

三、建議研擬電力集結商之商業模式並思考跨足節能服務產業之可行性

如前文不斷提及：小、多、雜的住商部門是型塑負載樣態最大的推手，然而因為如交易成本等的各種限制，使得針對住商部門所推行的需求面管理無法順利的進行。因此，建議台電公司可研擬整合住商部門的電力集結商之商業模式，降低個別、零散用戶和台電公司間的互動所產生的交易成本，將小、多、雜的住商部門，透過電力集結商進行整合，使住商部門的需求面管理更具可行性。另外，對於住商部門而言，要安裝需求面管理相關設備(如智慧電表、資通訊設備、能源管理系統等)所需負擔的費用，是相對沉重的，因此節能產業的節能效益分享(Share Saving)、節能績效保證(Performance Guaranteed)等商業模式就有切入市場的契機。因此建議台電公司能思考跨足節能服務產業之可行性，消除設備因素造成推動住商部門需求面管理之障礙。

伍、結論

本文以國際電力需求面管理最新發展趨勢為參考，對比台電公司現行需求面管理措施，本文提出三項建議，作為台電公司未來發展電力需

求面管理措施之參考：建議擴大需求面管理之範疇、建議強化住商用戶參與之廣度和深度、建議研擬電力集結商之商業模式並思考跨足節能服務產業之可行性。

值得特別說明的是，本文透過美、日、韓的智慧電網示範計畫，說明各國需求面管理最新發展趨勢。然而，如同本文第二節所述，需求面管理的範疇絕非僅限於智慧電網示範計畫，智慧電網示範計畫所展現的是需求面管理中資通訊系統所延伸的面相，其他如電力集結商、節能服務產業等商業模式之發展則未能充分含括。因此，本文以智慧電網示範計畫切入，其實只是研究上一個便捷的途徑，若未來對於需求面管理之最新發展趨勢要做進一步的探索，相關的商業模式亦是不可忽略的項目，值得後續做進一步的研究。

陸、參考文獻

- [1] EIA, "Short-Term Energy Outlook," 2015, [Online]. Available: http://www.eia.gov/forecasts/steo/realprices/real_prices.xlsx.
- [2] Delgado, Reynolds M. "Demand-side management alternatives," *Proceedings of the IEEE*, vol. 73, no. 10, pp. 1471-1488, 1985.
- [3] Gellings, Clark W. "The concept of demand-side management for electric utilities," *Proceedings of the IEEE*, vol.73, no.10, pp.1468-1470, 1985.
- [4] Limaye, Dilip R. "Implementation of demand-side management programs," *Proceedings of the IEEE*, vol.73, no.10, pp.1503-1512, 1985.
- [5] Sioshansi, Fereidoon P. "Demand-side management: the third wave," *Energy Policy*, vol. 23, no.2, pp. 111-114, 1995.
- [6] Smith, H. Lee. "DA/DSM directions. An overview of distribution automation and demand-side management with implications of future trends," *Computer Applications in Power, IEEE*, vol.7, no.4, pp. 23-25, 1994.
- [7] Eto, Joseph. "The past, present, and future of US utility demand-side management programs," Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL-39931, Dec. 1996.
- [8] Ashari, Mochamad, W. W. L. Keerthipala, and Chernmangot V. Nayar. "A single phase parallelly connected uninterruptible power supply/demand side management system," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 15, no. 1, pp. 97-102, 2000.
- [9] 梁志堅，「我國需求面管理效益評估」，台電工程月刊，第 675 期，第 53-76 頁，2004 年。
- [10] Molina, A., et al. "Assessment and simulation of demand-side management potential in urban power distribution networks," *Power Tech Conference Proceedings, 2003 IEEE Bologna*, Vol. 4, 2003, pp. 23-26.
- [11] Boshell, F., and O. P. Veloza. "Review of developed demand side management programs including different concepts and their results," *Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, 2008 IEEE/PES*, 2008, pp. 1-7.
- [12] Saffre, Fabrice, and Richard Gedge. "Demand-side management for the smart grid," *Network Operations and Management Symposium Workshops (NOMS Wksp), 2010 IEEE/IFIP*, 2010, pp.300-303.
- [13] Mohsenian-Rad, Amir-Hamed, et al. "Autonomous demand-side management based on game-theoretic energy consumption scheduling for the future smart grid," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol.1, no. 3, pp. 320-331, 2010.
- [14] 許志義，「電力需求面管理之探討」，能源及電力業的挑戰與機會論壇研討會論文集，台灣台北，2013 年 1 月，第 121-146 頁。
- [15] Palensky, Peter, and Dietmar Dietrich. "Demand side management: Demand response, intelligent energy systems, and smart loads," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol.7, no. 3, pp. 381-388, 2011.
- [16] 許志義、吳仁傑，「論電力需量反應與虛擬電廠發展趨勢」，台灣經濟論衡，第 12 卷，第 6 期，第 59-83 頁，2014 年。
- [17] IEEE SMART GRID, "About IEEE Smart Grid," 2015, [Online]. <http://smartgrid.ieee.org/ieee-smart-grid>.
- [18] Pacific Northwest SMART GRID DEMONSTRATION PROJECT, "Technology

- Performance Report,”* 2015, [Online]. <http://www.pnwsmartgrid.org/>.
- [19] Pacific Northwest SMART GRID DEMONSTRATION PROJECT, “*Transactive Control*,” 2015, [Online]. <http://www.pnwsmartgrid.org/signal.asp>.
- [20] Japan Smart City Portal, 2015, [Online]. <http://jscp.nepc.or.jp/index.shtml>.
- [21] 龔天冠、陳昱廷、洪紹平,「日本如何在 311 後運用需量反應因應電力不足狀況」,台電工程月刊,第 790 期,第 101-111 頁,2014 年。
- [22] D. Kim, W. Kim, S. Yang, “*Pilot Smart Grid Project in Jeju Island and KEPCO’S AMI Deployment*,” 2011, [Online]. Available: http://www.cired.net/publications/cired2011/part1/papers/CIRED2011_0261_final.pdf.
- [23] Energy 3.0 Energy Efficiency Magazine, “*Smart grids around the world – South Korea*,” 2014, [Online]. Available: <http://www.electrical-efficiency.com/2014/04/smart-grids-around-the-world-south-korea/>.
- [24] 趙張恩, MIC AISP 情報顧問服務(編譯),「從『Korea Smart Grid Week』看韓國智慧電網之發展動向」,日經 BP 社,Green ICT 研究報告(編譯),2011 年。
- [25] 台灣電力公司,「時間電價與季節電價」,2015 年, http://www.taipower.com.tw/UpFile/PowerSavFile/main_6_2_2.pdf.
- [26] 台灣電力公司,「儲冷式空調系統離峰用電優惠措施」,2015 年, http://www.taipower.com.tw/UpFile/PowerSavFile/main_6_2_4.pdf.
- [27] 台灣電力公司,「需量反應負載管理措施」,2015 年, http://www.taipower.com.tw/content/q_service/q_service02.aspx?PType=2.
- [28] 經濟部能源局,「能源統計月報」,2015 年, http://web3.moeaboe.gov.tw/ecw/business/web_book/WebReports.aspx?book=M_CH&menu_id=142.

台電工程月刊徵稿啟事



✿ 為使本刊物之內容更臻完善,歡迎有關火(水)力發電、核能發電、再生能源、輸變電、配電、電力系統、能源與環境、化學與材料、資訊與電腦、工程技術及其他等相關論著、技術經驗及譯者踴躍投稿,以饗讀者。

✿ 投稿相關事宜,若有任何疑問,請聯絡我們,謝謝您!



(02)2360-1095



u117212@taipower.com.tw

徵稿簡則

- 一、本刊歡迎電力工程相關之論述、譯述、經驗談及特約稿等。
- 二、來稿需簡潔明瞭、字數以不超過2萬字為原則(含圖、表，惟圖表篇幅以不超過全文20%為原則)，並請附書面稿件乙份及微軟Word建檔之光碟片乙份。
- 三、來稿格式及章節編號等請依照所附之「稿件撰寫範例」撰寫。
- 四、文責自負；作者應簽署「台電工程月刊申請投稿暨著作財產權讓與聲明書」；譯稿請附原文及著作權人書面同意書。(列名作者以4位為原則，其他協同參與者加註於文後)
- 五、文章一經採用著作財產權即屬本刊所屬之台灣電力股份有限公司所有，文章發表後酌致稿酬。
- 六、除另有聲明外，本刊對來稿有刪改權；無論刊登與否，恕不退稿。

稿件撰寫範例

促進台電公司學習型組織與網路化教學推廣導入之研究

A Study of Improvement of Learning Culture and Promotion of E-Learning in Taipower

楊世雄 *
Yang, Shyh-Shyong

楊中旗 **
Yang, George

蘇文華 ***
Su, Wally

(年度研究計畫論文)

摘要

|| (300 字以內扼要說明目的、方法、結果與結論) ||

Abstract

|| ||

* 台灣電力公司綜合研究所

** 育碁數位科技公司

*** 勝典科技公司

關鍵詞(Key Words)：(3~7個)學習型組織(Learning Organization)、數位學習(E-Learning)、網路學習平台(E-Learning Platform)、學習內容管理系統(Learning Content Management System)、學習元件(Learning Object)。

壹、前言

貳、(章節請按下列順序編排)

- 一、.....
- 二、.....
 - (一).....
 - 1.....
 - (1).....
 - A.....
 - (A).....
 - a.....
 - (a).....

伍、誌謝

*本篇其他協同參與者：OOO、OOO、OOO

陸、參考文獻

- 圖書：請依作者姓名、書名、版次、出版地、出版者、出版年、起訖頁數順序書寫。
- 期刊：請依作者姓名、論文篇名、期刊名稱、卷或期號、起訖頁數、出版年順序書寫。
- 註1：數字用語：請依「公文書橫式書寫數字使用原則」，具一般數字意義者以阿拉伯數字表示。
- 註2：請提供稿費受款人及聯絡人姓名、通訊地址、電話號碼。
- 註3：請於文中適當位置，標註相關參考文獻編號並以[]上標表示。

台電內部網頁：<http://10.52.200.200/w/>本所刊物/台電工程月刊

台電外部網頁：<http://www.taipower.com.tw/>電力生活館/台電圖書/台電工程月刊

MONTHLY JOURNAL OF TAIPOWER'S ENGINEERING

Vol.816 August 2016

NUCLEAR POWER GENERATION :

The Verification and Development of Source Module in Safety Assessment

Code-GoldSim.....Chen, Chih-Lung.....(1)

TRANSMISSION AND TRANSFORMATION :

Applications of Seismic Resistance Joint for Shield Tunneling Method

in Taiwan.....Wang, Tung-Hai et al.(13)

A Report on the Investigation and Overhaul of Abnormal Noise of

Outdoor Type Cable Termination(EBA).....Wang, Chun-Jen et al.....(23)

DISTRIBUTION :

Expansion of Integrated Functions for Distribution System Planning..... Wang, Yaw-Tsuen et al.(30)

POWER SYSTEM :

The Study of Power Generation and Grid Unbundling in Taipower under

Electricity Liberalization in Taiwan.....Yang, Feng-Shuo et al.....(50)

ENGINEERING TECHNIQUES :

Design and Application of the Supply System of Hydrogen-oxygen Mixture

to Improve Engine Exhaust.....Chen, Kun-Yu et al.....(72)

OTHERS :

Study on Latest Trend of Demand-Side Management: A Cross-country

Review.....Wu, Yu-Hsuan.....(82)



GPN : 2003700005
定價：新台幣100元