



台電工程月刊

MONTHLY JOURNAL OF TAIPOWER'S ENGINEERING

第809期 105年1月號

Vol.809 January 2016

火力發電：

超臨界水熱物性與鍋爐管內熱傳探討.....廖世平等.....(1)

核能發電：

第一核能發電廠增設HDPE管線施工探討.....李慶龍等.....(10)

龍門電廠放射化學實驗室品質系統精進.....陳亮丞等.....(18)

輸變電：

電力變壓器故障診斷系統整合研究.....李正綱等.....(24)

資訊末端設備網路化及網路管理系統建置研究.....劉至瑄等.....(36)

能源與環境：

台電所屬能源供給設施之氣候變遷衝擊評估與脆弱度盤查分析.....李家齊等.....(51)

資訊與電腦：

電網整合佈建之資訊平台應用.....張忠良等.....(66)

其他：

台電分散式知識管理系統之建置與應用之研究.....洪紹平等.....(74)

游離輻射致癌因果關係判斷與評估理論方法.....謝明忠等.....(83)

104年總目錄.....編輯部.....(95)

誠信 關懷 創新 服務
Integrity Caring Innovation Service



台灣電力公司編印



台電工程月刊

第 809 期
中華民國 37 年 9 月創刊
中華民國 105 年 1 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】：徐豪傑
【外文編輯委員】：李琳娜
【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 朱濟群 呂天泰
 沈宗華 吳瑞賢 何錦洪 林蒼喬 涂秀錦 侯明亮 洪紹平
 范振理 陳慶守 曾重富 楊金石 蒲冠志 廖鴻徹 蔡世育
 劉建勳 鄭錦榮 鍾年勉 鍾輝乾
【顧問】：王振勇 王耀庭 田丁財 李清雲 李清課 陳永享 陳慰慈
 黃凱旋 張武侯 蔡顯修 顏德忠 簡福添 蕭勝任 籃宏偉
【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

超臨界水熱物性與鍋爐管內熱傳探討

Thermophysical Properties of Supercritical Water and its Thermal Characteristics in Boiler Tubes

廖世平*
Liaw, Shih-Pin

鍾承麟*
Chung, Chen-Lin

藍元伯*
Lan, Yuan-Bo

張書維**
Chang, Shu-Wei

摘要

本研究針對水之熱物理性質包括密度、比熱、黏度、導熱度等加以探討，尤其著重在相變化過程以及超過臨界壓力之擬臨界溫度下液/氣態轉變之差異，並推導出擬臨界、導熱度和黏滯係數等熱物性極值之溫度對壓力關係式。

紐賽數為傳熱能力之指標，主要為雷諾數與普朗德數之函數，文中探討較著名的學者提出之公式，結果在臨界點附近與實驗值誤差甚大，至今仍無令人滿意之經驗式。再者，在擬臨界壓力及溫度附近存在著熱傳惡化 HTD 現象，可能造成鍋爐管局部壁溫升高而過熱而破管。

針對上述實驗，發展出一套加熱管 VB 電腦模擬程式，用以計算管內軸向流體溫度分佈。初步結果與現有沖蝕實驗之電阻加熱器溫度量測值甚為吻合。

Abstract

In this paper, the variations of temperature dependent properties of water are studied especially at saturation state and near the critical point. The thermal conductivity and viscosity were observed to appear to be minimal in the supercritical region, and their relations to pressure are developed in this paper.

Nusselt number, which measures the heat transfer capability of a surface, is defined as the ratio of convective to conductive heat transfer across the boundary and turns out to be a function of Reynolds and Prandtl numbers. Some famous empirical correlations were investigated, but none of them fit the experimental data well in the neighborhood of the critical point. In addition, the phenomenon of heat transfer deterioration (HTD) was observed near the pseudo critical condition which could result in overheating of the boiler tubes.

A computing program coded in Visual-Basic has been developed to simulate the thermal behavior of water inside the heated tube. The predicted temperatures are shown to be favorably consistent with the experimental ones.

關鍵詞(Key Words)：超臨界(Supercritical)、鍋爐管(Boiler Tube)、紐賽數(Nusselt Number)、熱傳惡化(Heat Transfer Deterioration)、熱物性(Thermophysical Properties)。

壹、前言

能源政策朝向高效率、低耗能、低污染的方向發展，而超臨界技術符合此優點，因此成為世

*國立台灣海洋大學機械系

**台灣電力公司綜合研究所

界各先進工業國的研究發展重點；由早期的二氧化碳應用於超臨界萃取、層析、染整等技術，發展至近年來相當熱門的材料加工處理及奈米級晶體微粒製備等技術，各國更早在過去數十年間陸續提高發電系統之壓力及溫度，邁向超超臨界發電時代。

我國發電主要以燃煤及燃氣為主，高效率超臨界技術主要目標在於提高發電效率，減少燃料消耗，並減少有害物質的排放。機組熱效率每提高 1%，標準煤耗每降低 5.31 g/(kW×h)，可減少 2% 二氧化碳排放量^[1]。目前全球超臨界火力發電技術之發展已達相當之水平，累積了可觀的經驗，除效率較亞臨界火力發電機組高外，也具備相當之可靠性。

1956 年德國最早擁有全球首座超臨界發電廠，早期該項技術研發集中在歐洲、美國、加拿大及日本。近十年來，中國投入大量人力研究，在西安及上海交通大學分別建立國家級超臨界熱流實驗室，發表一系列論文，有著相當優質成果。目前全球正在運轉的超臨界發電機組已超過 500 座^[2]。我國 1999 年台塑麥寮電廠首先採用超臨界燃煤機 3 組 600MW。最近印度嘉佳發電廠 2 組 660MW 超臨界燃煤機組於 2012 年投入商業運行。2014 年底印尼萬丹 670MW 超臨界燃煤發電廠動工，由中國中建三局首度承包。由此可見超臨界火力發電機組已成為世界已開發國家電力設備之主流，尤其在人口數量及密度高的國家，更有急迫的需要。

我國台灣電力公司林口與大林發電廠採先建後拆方式，計畫於今年起陸續完成超臨界機組更新。面對此新技術應用的挑戰，對於高溫高壓，尤其在超臨界狀態下之水蒸汽特性，應有充分的瞭解，方能掌握電廠之效率及運轉安全性。

貳、超臨界流體之熱物理性質

表 1 飽和狀態下液態與汽態密度比值

壓力 (bar)	1	5	10	50	100	150	200	210	220	220.64
液/汽密度比	1624	343	172.4	30.7	12.4	6.21	2.87	2.25	1.3	1.0

本文針對超臨界發電廠使用之工作流體水作為主要研究標的。熱物理性質係根據 IAPWS-IF97 工業用公式規範^[3] 表格內容。超臨界狀態下流體物理性質劇烈變化對傳熱有重大影響，因此需要特別關注。對於水而言，壓力的提高最明顯的就是呈現在密度的變化上。圖 1 為定壓下密度隨壓力及溫度變化曲線，當壓力越高，液態的密度微微上升，但是汽態的密度卻大幅提高。以飽和狀態為例，在亞臨界狀態不同的壓力下，其密度比值變化如表 1 所示，密度比值漸趨於 1，也就是液汽間的差異變小。如圖 1 所揭示的曲線垂直落差段變短，飽和狀態區也隨之縮小，當系統壓力增加到達 220.64 bar 時，垂直段縮成一點，此時液、汽密度正巧相同，呈現液/汽無法分辨之均勻相，此時相對應的飽和溫度為 373.936°C，將此狀態定義為水的臨界點，若壓力及溫度再度提高，稱之為超臨界狀態。

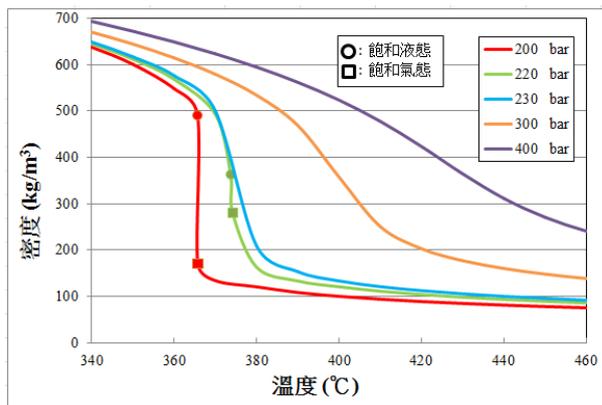


圖 1 恆壓下密度隨溫度變化圖

倘若壓力超過臨界狀態，升溫過程中照理說應該不具有相變化現象，可是依舊可隱約看出有相變化的影子，曲線斜率由垂直轉變成較為平緩，在斜率變化最大處可稱之為擬臨界點(Pseudo Critical Point)。確切的擬臨界點位置藉由觀察定壓比熱的變化更能清楚描述。

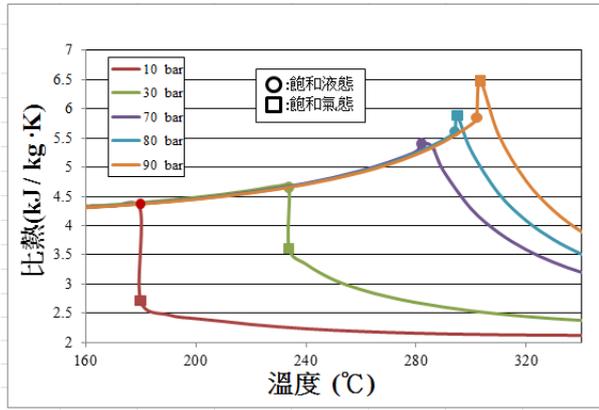


圖 2 亞臨界比熱隨溫度變化曲線

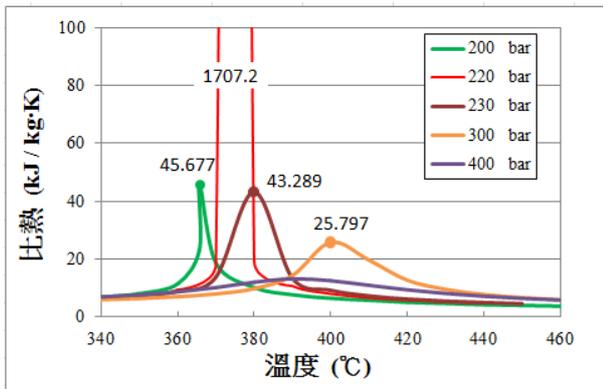


圖 3 近臨界與超臨界壓力比熱曲線

圖 2 為亞臨界低壓狀態下的比熱變化曲線，隨壓力增高液態比熱幾乎不變，唯汽態增加的幅度較大。值得特別觀察的是在飽和狀態，當壓力低時，液體的定壓比熱大於氣體，隨著壓力的提高，其間的差異隨之減小，有趣的現象是發生在 70 至 80bar 間，飽和液態與飽和汽態之比熱產生反轉現象，汽態比熱反而高於液態，飽和狀態時存在的陡峭垂直段，由變短而慢慢消失後呈現一突起高峰區。此現象隨著壓力之增加，峰值越高，當壓力達到臨界壓力時，峰值趨於無限大。當有熱量傳遞而無溫度變化下，可以將比熱視為無限大，物理現象存在於絕對零度以及相變化過程中，所以在相變化演進成臨界點之比熱值為無限大是可以預期的；之後當壓力再為升高至超臨界壓力區，則突起部峰值慢慢衰減，區域也隨之擴大如圖 3 所揭示。依據此最大定壓比熱峰值可以定義為擬臨界點，相對應溫度則定義為擬臨界溫度 T_{pc} (Pseudo Critical Temperature)。當壓力高於臨界壓力，由 IAPWS-IF97 規範^[3]數值，推導

得到擬臨界溫度與壓力之關係式：

$$(T_{pc})_{\text{水}} = 285 + 0.4614 P - 2.4 \times 10^{-4} P^2 \quad (1)$$

上式及之後公式(2~4)中溫度 T 單位均為($^{\circ}\text{C}$)，壓力 P 單位均為(bar)。

圖 4 為定壓下導熱度在不同壓力下溫度變化曲線，臨界點附近之物理性質的劇烈變化也可以在導熱度中觀察得到，但此範圍較定壓比熱小很多，僅在鄰近臨界點 220 bar、溫度約在 373°C 時，導熱度有個向上突出的尖峰值 688.2，峰值持續到壓力 250 bar 仍可以觀測的到，這現象是直到 90 年代才發現^[4]。基本上導熱度隨著壓力之上升是因為密度的變大而增加，至於溫度的效應則相當奇特，如圖 5 所示，在左側液態低溫區，導熱度在 145°C 出現一個最高值；此極值溫度隨壓力微微上升，至 1000bar 時發生在 155°C 。當溫度上升至飽和或臨界溫度時，導熱度大幅滑落；倘若再升高溫度至汽態，根據氣體動力學的理論，單原子氣體的導熱度和絕對溫度的開根號成正比^[5]，因此在曲線中出現一最低值 T_{Min} ，亦標示於圖中，溫度逾越此點，導熱度呈現緩慢升高。經由規範^[3]的數值推導圖 5 中反轉點溫度與壓力關係式如下：

$$T_{k,\text{min}} = 425.9 - 0.05 P + 1.667 \times 10^{-3} P^2 \quad (2)$$

目前產業廣為應用的二氧化碳超臨界流體其臨界壓力為 72.8 bar，臨界溫度為 31°C ，其比熱峰值持續至 120 bar 左右才漸漸消失，曲線形狀與超臨界水相當類似，不同壓力下的擬臨界溫度可透過下列公式^[6] 得到：

$$(T_{pc})_{\text{二氧化碳}} = -122.6 + 6.124P - 0.1657P^2 + 0.01773P^{2.5} - 0.0005608P^3 \quad (3)$$

至於二氧化碳導熱度也有出現峰值的情形，但出現的範圍比水大，延續到 80bar 都還可以觀測得到。

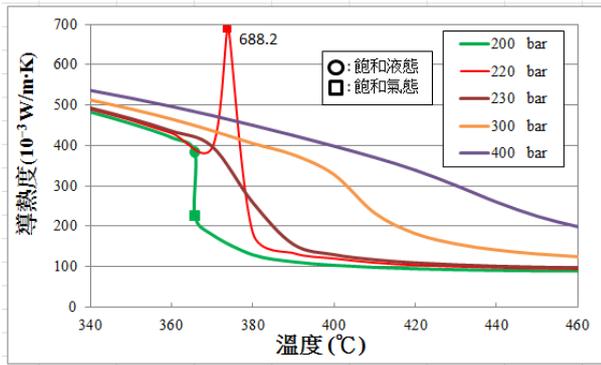


圖 4 近臨界導熱度隨溫度變化曲線

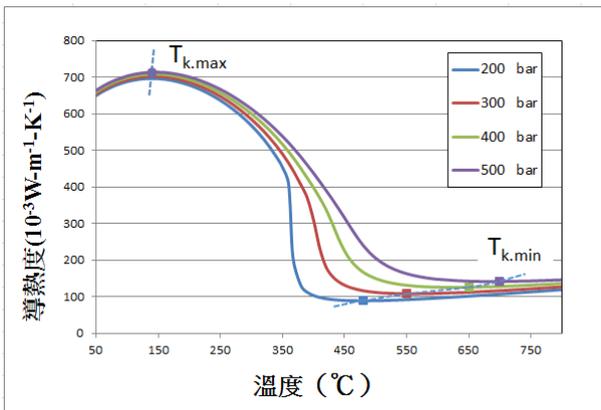


圖 5 高壓恆壓下導熱度曲線

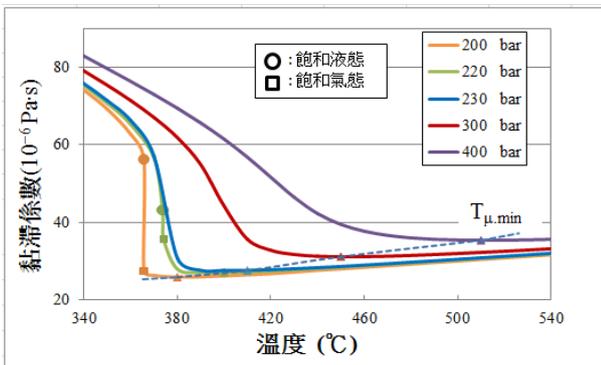


圖 6 恆壓下黏滯係數隨溫度變化曲線

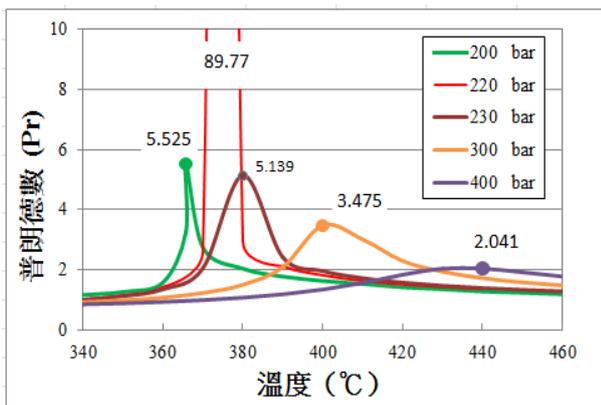


圖 7 恆壓下普朗德數曲線

黏滯係數在熱流分析扮演著重要角色，圖 6 顯示黏滯係數曲線，高壓力下對於溫度與壓力之效應和導熱度相似，隨著壓力的提升因密度變大而黏滯性增加，但沒有像比熱或導熱度有峰值區出現。在液態區隨溫度的上升，黏滯係數呈一平滑下降的曲線，當溫度上升至飽和相變化或臨界溫度時，黏滯係數急速下降至汽態區。同樣的，在溫度超越擬臨界溫度後，存在有一最小值，倘若再升高溫度至汽態，同樣根據汽體動力學的理論^[5]，因為分子動能的增加，汽態的黏滯係數慢慢升高。推導出反轉點溫度與壓力關係式如下：

$$T_{\mu,min} = 195.05 + 1.0663P - 6.66 \times 10^{-4}P^2 \quad (4)$$

圖 7 顯示普朗德數隨溫度變化曲線，受比熱之影響最鉅，因此與比熱形狀類似，在擬臨界溫度存在一最大峰值。臨界點附近普朗德數劇烈的變化，隨著壓力的上升，尖峰值逐漸變小，在高溫區普朗德數斜率逐漸緩慢下降最後幾近定值。

參、鍋爐管熱傳研究回顧

以火力電廠鍋爐管為例，管內流體為純水，其熱傳量的計算最早使用 1930 年 Dittus-Boelter 紊流狀態流經圓管的對流熱傳著名公式^[7]：

$$Nu_b = 0.0243 Pr^{0.4} Re^{0.8} \quad (5)$$

式中 Nu_b 為以流體為主之紐賽數， Pr 為普朗德數， Re 為雷諾數。公式應用於亞臨界狀態下之強制對流，後來學者也將該公式用來計算超臨界水在低熱通量時於鍋爐管中的流動；但在臨界情況或者是擬臨界點附近，由於物理性質的劇烈變化，此 Nu_b 關係式無法與實驗數據相吻合。總而言之，大部分學者仍舊以 Dittus-Boelter 關係式為基礎，配合實驗數據只是在係數及冪數加以修正。

早期超臨界研究以 Bishop 和 Swenson 兩位學者在這領域較為出名，也因此他們所建立的 Nu_b 關係式至今仍被廣泛引用。1964 年，Bishop 等^[8]對超臨界水在裸管和環管中以向上流動的方

式在超臨界壓力 228 至 276 bar 間做了一系列實驗，推導出相對應之 Nu_b 關係式如下：

$$Nu_b = 0.0069 Re_b^{0.9} Pr_b^{0.66} \left(\frac{\rho_w}{\rho_b} \right)^{0.43} \left(1 + 2.4 \frac{D}{x} \right) \quad (6)$$

上式中 ρ 為密度，下標 w 及 b 分別為壁溫下和主流體的熱物性，末項係考慮入口區效應，但之後其他學者之經驗式甚少考慮此效應。

1965 年 Swenson 等^[9]在超臨界壓力提高至 414 bar，流體溫度 576°C 管壁溫度最高達 649°C 條件下實驗，發現過往常用的經驗式都是以流體溫度當基礎去求得熱物理性質，得到的結果與實驗數據有所差異。因此他在公式中將雷諾數與普朗德數均採用管壁溫度當基準去修改經驗式而得到下式：

$$Nu_b = 0.00459 Re_w^{0.923} Pr_w^{0.613} \left(\frac{\rho_w}{\rho_b} \right)^{0.231} \quad (7)$$

在 60-70 年代，當時的實驗技術、設備和今日是不可同日而語，且水的一些特殊物理性質如上述的導熱度、比熱等存在峰值現象直到 90 年代才充分了解。2002 年，Jackson^[10]在高壓力下對水和二氧化碳在強制對流的熱傳情況修改了經驗式，考量比熱的效應以下式表示：

$$Nu_b = 0.0183 Re_b^{0.82} Pr_b^{0.5} \left(\frac{\rho_w}{\rho_b} \right)^{0.3} \left(\frac{\bar{C}_p}{C_{pb}} \right)^n \quad (8)$$

式中冪數 n 的數值隨流體溫度範圍不同而異，例如在亞臨界時取 0.4，n 值隨溫度的提高而增加，當高過擬臨界溫度 20% 也就是在超超臨界範圍則為 1.2 定值。

熱傳係數為一非常複雜的變數，受溫度、壓力、速度流場、幾何形狀和熱物理性質等影響，2011 年，Mokry 等^[11]藉由 Buckingham π -theorem 無因次的分析，推導出 Nu_b 關係通式包含所有熱物理性質：

$$Nu_b = C \times Re_b^{n1} Pr_b^{n2} \left(\frac{k_w}{k_b} \right)^{n3} \left(\frac{\mu_w}{\mu_b} \right)^{n4} \left(\frac{\rho_w}{\rho_b} \right)^{n5} \quad (9)$$

上式中 k 為導熱度， μ 為黏滯係數， ρ 為密度。應用在超臨界水時，由於熱傳導係數及黏滯係數之效應不明顯常被忽略，圖 8 為 Mokry 等所做的實驗數據(試件長 4m, 管內徑 10mm)與公式(5~8)的比較。

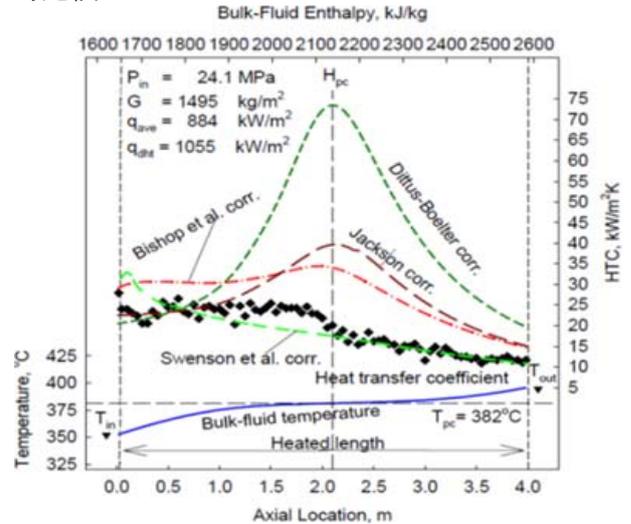


圖 8 Mokry 等^[11]熱傳係數與公式(5~8)之比較

如圖所示，只有在圖左右側低溫及高溫區與理論值較符合，形狀則相去甚遠，尤其在擬臨界點附近與各理論模式預測值誤差甚大。也因此他配合實驗數據修改公式(9)得到最終關係式如下：

$$Nu_b = 0.0061 Re_b Pr_b^{0.684} \left(\frac{\rho_w}{\rho_b} \right)^{0.564} \quad (10)$$

由上述熱傳公式中觀察到在超臨界狀態 Nu_b 值主要為雷諾數 Re 和普朗德數 Pr 的函數。雷諾數的定義為密度、平均流速與管內徑的乘積再除以黏滯係數。電廠在運轉過程定流量下，傳熱管內流體密度與平均流速之乘積為常數，因此雷諾數和黏滯係數呈反比的關係。

$$Re = \frac{\rho v d_i}{\mu} ; Re \propto \mu^{-1} \quad (11)$$

從圖 6 可看出在溫度高過臨界狀態時，黏滯係數隨溫度升高而僅微微上升，因此雷諾數變化不大。至於普朗德數為黏滯係數乘上比熱除以導熱

度之無因次參數，以 Dittus-Bolter 的(5)式為例，將紐賽數、雷諾數和普朗德數的各項物理性質代入，可以得到熱傳關係式：

$$h \propto \frac{k^{0.6} G^{0.8} C_p^{0.4}}{\mu^{0.4} d_i^{0.2}} \quad (12)$$

式中質量流率與導熱度之影響較大，傳熱管口徑的效應則較小，由於在臨界點附近導熱度和定壓比熱會有一突起高峰值，而後急遽下降，因此在臨界溫度附近也呈現一峰值，代表沿加熱管長度方向熱傳能力先增強之後急速下降，導致熱量無法被帶走而形成傳熱管壁溫度陡升之現象，鍋爐管極有可能在此處造成燒燬危險。這種突發的不連續現象無法純粹藉由理論分析預測，須配合超臨界狀態下的實驗去印證。由圖 8 可以觀察到以往使用的 Nu_b 關係式在臨界溫度附近是不適用的，也因此各工業先進國家無不致力於超臨界實驗，以求得精準的結果。

1956 年德國擁有全球首座超臨界發電機組，1975 年德國西門子 Benson 鍋爐製造廠商，建立大型超臨界鍋爐管試驗機組，流程及規格如圖 9 所示^[12]，超臨界水最高實驗壓力 330 bar。截至 2006 年 7 月，鍋爐傳熱光管及內部來福線管實驗總量達 489,000 筆數據，在亞臨界壓力下，來福線管約可以提高 50% 熱傳量。加熱方式包括周圍 360 度均勻入熱，或者 180 度半面受熱模擬實際鍋爐加熱方式，至於傳熱管擺置方式則分為垂直、傾斜角度、水平三種不同流動方式，提供鍋爐在設計之依據。

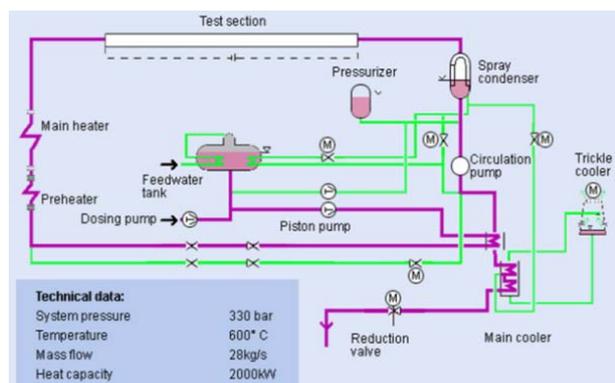


圖 9 德國 Benson 超臨界實驗流程圖^[12]

冷媒超臨界溫度、壓力以及供應電力均遠較水為低，比較容易操作及控管，Kang 等^[13]以 R-134a (臨界溫度 101.1°C、壓力 4.06MPa)，而 Nakatsuka 等^[14]則是以 R-22 (臨界溫度 96.2°C、壓力 4.936MPa) 為工作流體進行超臨界實驗，各自推導出在臨界溫度附近的 Nu_b 關係式，提供壓力變化及管束的傳熱惡化現象分析。但由於冷煤和超臨界水不盡相同，因此僅止於探討物理性質對 Nu_b 值之效應，無法完全適用於超臨界電廠的蒸汽現象。

近年來由於中國經濟的崛起，用電需求大增，大量建立超臨界發電廠。1992 年在上海石洞口第二發電廠，建立了 2 台 600MW 機組，主要設備從瑞士和美國進口，為中國第一座超臨界電廠。同年，西安交通大學也成立了動力工程多相流國家重點實驗室，執行超臨界鍋爐管試驗，自 2005 年起至少有超過 20 篇以上論文發表^[15]，實驗條件範圍涵蓋亞臨界、近臨界及超臨界壓力，測試管最大內、外徑與長度分別為 26、38.1mm 與 2m，內管壁型式有光管、四頭及六頭內螺紋管以垂直、傾斜及水平擺置，並且改變上下流動方向，在不同質量流率與熱流密度下，觀測是否有溫度陡升之現象，並且得到不同流體熱焓下試驗管之外壁溫度及熱傳係數曲線；此外也有試驗模擬核能燃料棒之環形套管^[16]，熱量由內管加熱傳至環形流道。

2010 年 8 月上海交通大學與廣東核電集團合作成立超臨界水流動和傳熱穩實驗研究室，延續西安交通大學的研究。目前超臨界發電廠運轉壓力在 25MPa 左右，因此文獻中^[17,18]實驗壓力範圍在 23~26 MPa，採用兩種測試管內/外徑較小 (7.6/12 與 10/16mm)，所需之高壓泵流量及加熱功率均較小，熱電偶配置則較密，以利於觀測質量流率和熱流密度的大小變化對熱傳係數的影響。

鍋爐管因過熱導致破管一直是受到關切的問題，當壓力小於臨界壓力，流體達飽和溫度後，在加熱管表面開始有氣泡產生，隨者管壁溫度的升高，氣泡數量增加，甚至累積形成一傳熱極差的汽膜，造成管壁溫度急速上升，此現象稱

為臨界熱通量 CHF(Critical Heat Flux)。一種有效的解決方法為鍋爐傳熱管內部採用來福線管藉由流體渦旋產生離心力，將熱傳表面較輕之氣泡移向管中央部位，使乾涸現象延後發生。

在超臨界壓力下因為沒有相變化，加熱過程沒有氣泡產生。但在擬臨界溫度附近，熱物理性質劇烈變化，尤其在密度急速下降之比熱峰值區，伴著熱傳係數同時下降，出現傳熱管壁溫陡升現象，稱之為 HTD (Heat Transfer Deterioration)，在低質量流率及高熱流密度下特別顯著，相關研究揭示在熱流密度與質量流率比值 $q/G > 0.4 \text{ kJ/kg}^{[19]}$ 或者 $q/G^{1.2} > 0.2 \text{ kJ/kg}^{[20]}$ 時發生。影響 HTD 發生的因素很多，包括壓力、熱流密度、質量流率、管徑大小、管的傾斜度與流體流動方向。浮力效應是造成此現象之主因，在水平管中，靠近頂部因為浮升力效應，聚集著密度較小，導熱度較低之流體，再者由於比熱大溫度梯度小，最終造成熱傳係數降低，管壁局部溫度升高；相反的底部反而出現傳熱強化的現象^[21]。至於垂直管，上升流加強浮力作用，出現 HTD 熱傳劣化的現象；下降流則因浮力效應與流動方向相反，反而抑制 HTD 現象的發生。

肆、鍋爐管能量平衡計算程式

針對未來建置傳熱管臨界熱通量實驗之可能，先期建立一套 VB 程式模擬加熱管內流體之熱傳現象。計算主要根據熱力學第一定律能量守恆關係式，在設定的運轉壓力下，由流體的進口溫度、質量流率以及熱通量可以推算出沿傳熱管軸線各點流體溫度。

計算範例之實驗數據取於樹林台電綜合研究所在 2013 年 4 月所做的沖蝕實驗，系統壓力為 300 bar、質量流率 180 kg/hr、加熱功率 14.2 kW，加熱管材質為 Inconel-718 長度 7.2 m，內/外徑為 6.223 / 9.525 mm；在電阻加熱器入口量得溫度 479°C，管出口溫度位置也就是三支沖蝕試驗管之進口溫度量得 532/550/556°C。

程式表單介面顯示於圖 10，表單左側上方為傳熱管尺寸參數及工作條件輸入對話方塊，右側

上方設計一個數據存取功能，可將前次輸入之數據存檔於表單中，以便利於再次使用；右側下方入口溫度依照實驗量測數據或規劃值輸入，介面選擇三個位置點分別為入口、平均溫度以及出口三個欄位來顯示計算結果。首先經能量平衡，依焓值來計算出口溫度，上述範例預測之出口溫度為 548°C 與三支沖蝕試驗管之平均溫度 546°C 誤差甚小。



圖 10 鍋爐管 VB 熱傳模擬程式介面

藉由上述能量平衡得到之軸向流體溫度分布，利用連結資料庫系統依溫度查詢各點物理性質，根據管內徑與流速依次運算求得普朗特數 Pr、雷諾數 Re、摩擦係數 f、紐賽數 Nu_b 值及熱傳係數 h 值。其中紐賽數計算採用公式(5)。在頁面右下角設有 10 點或 20 點計算鍵，沿軸線熱傳係數分佈，結果以 Excel 頁面顯示如圖 11。根據此熱傳係數結果，透過熱傳導公式之推算可以計算管外壁溫度結果亦顯示於圖 10 中，將來可以與實驗量測值相互驗證，或作為修正紐賽數公式欄位之參考。

A	B	C	D	E	F	G	H	K	Q	R
T 溫度 Temp.	P 壓力 Pressure	ρ 密度 Density	C _p 比熱 Specific Heat	μ 黏度 Viscosity	k 導熱度 Thermal Conductivity	H 焓值 Enthalpy	Pr 普朗特數	Re 雷諾數	Nu _b 紐賽數	h 熱傳係數
0-800 °C	1-800 bar	(kg/m ³)	(J/g·K)	10 ⁻⁶ (Pa·s)	(W/m·K)	(kJ/kg)	---	---	Dittus-Boelter	(W/m ² ·K)
479	300	125.7	5.012	31.4	116.8	2,987	1.348	325,797	1524	28,606
485.9	300	121.9	4.786	31.6	115.1	3,020	1.313	323,742	1520	28,114
492.8	300	118.4	4.577	31.7	113.5	3,053	1.280	322,706	1521	27,732
499.7	300	115.2	4.369	31.9	112.0	3,084	1.245	320,690	1516	27,283
506.6	300	112.3	4.226	32.1	111.1	3,113	1.222	318,703	1511	26,980
513.5	300	109.7	4.085	32.3	110.2	3,141	1.198	316,730	1506	26,673
520.4	300	107.2	3.947	32.5	109.4	3,169	1.174	314,771	1501	26,387
527.3	300	104.9	3.848	32.8	109.0	3,196	1.156	311,888	1491	26,121
534.2	300	102.7	3.749	33.0	108.6	3,222	1.138	310,003	1486	25,933
541.1	300	100.7	3.654	33.2	108.3	3,248	1.120	308,137	1481	25,769
548	300	98.9	3.582	33.4	108.2	3,273	1.107	306,290	1475	25,651

圖 11 傳熱管熱傳係數計算 Excel 輸出頁

伍、建議

目前台電正在進行林口及大林電廠更新計畫，採用先建後拆的方式，亞臨界機組更新為五部 800MW 超臨界機組，主蒸氣參數為 25MPa/600°C，預計每半年更新一部機組，將在 2015 年起陸續完工，因此提升超臨界相關技術及安全性考量等問題迫在眉睫。

台電綜合研究所於 2011 年在新北市樹林建立一套高溫高壓超臨界水質與材料試驗設備。設備包括高壓力加壓泵、直流電加熱系統、熱交換器能量回收及溫度壓力監控量測等裝置。試驗過程雖然藉由套管式熱交換器進出口流體溫度量測，可以計算出平均熱傳係數^[22]，但由於溫度範圍過大，無法掌握沿傳熱管軸向之局部詳細熱傳變化。

目前台電在超臨界水實驗條件，壓力最高 400 bar，試驗溫度高達 760°C，均高出上述文獻中各國實驗之條件，況且擁有水質處理、加熱及熱回收等優越技術，倘若運用現有的設備，在沖蝕測試區超臨界蒸氣管路採並聯方式，以傳熱管替代，將有可能執行鍋爐管之熱傳係數量測與熱傳惡化現象觀察，以掌握超臨界蒸汽之特性，有助於提升電廠運轉的安全性。

陸、結語

- 一、本文根據 IAPWS-IF97 規範對於純水由亞臨界至超臨界狀態之熱物理性質變化加以探討，並整理出擬臨界及各物性產生極值之溫度與壓力關係式。
- 二、代表熱傳係數之紐賽數主要為雷諾數與普朗德數之函數，關係著鍋爐管過熱造成破管的問題，卻一直缺乏令人滿意之理論模式。
- 三、探討中、外相關文獻之實驗設備及研究成果，探討超臨界熱傳惡化 HTD 發生的原因，提供台電公司建立此類實驗設備之參考。
- 四、本研究發展出一套鍋爐管加熱模擬程式，用以計算管內流體溫度分佈與熱傳係數。經程

式預測之傳熱管出口溫度與實驗值甚為接近。

柒、參考文獻

- [1] 樊泉桂，超超臨界鍋爐設計及運行，第一版，北京：中國電力出版社，2010 年，第 1-8 頁。
- [2] 黎昌貴，「大型超臨界機組關鍵技術研習」，行政院及所屬各機關出國報告，台灣電力公司，2007 年，第 1 頁。
- [3] W. Wagner and H. J. Kretzschmar, International Steam Tables - Properties of Water and Steam Based on the Industrial Formulation IAPWS-IF97, 2nd ed. Springer -Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
- [4] I. Piore and R. Duffey, Heat Transfer and Hydraulic Resistance at Supercritical Pressures in Power Engineering Applications, New York, ASME Press, 2007.
- [5] D. K. Edwards, V. E. Denny and A. F. Mills, Transfer Processes, 2nd ed. New York, McGraw-Hill, 1979, pp. 236-238.
- [6] 陳志安，「數值模擬超臨界二氧化碳在多孔材圓管中之熱流現象」，碩士論文，國立台灣中央大學機械工程學系，2008 年。
- [7] F. W. Dittus and L. M. K. Boelter, "Heat Transfer in Automobile Radiators of the Tubular Type," *University of California, Berkeley, publications in engineering*, vol. 2, pp. 443-461. 1930.
- [8] A. A. Bishop, R. O. Sandberg, and L. S. Tong, "High Temperature Supercritical Pressure Water Loop: Part IV, Forced Convection Heat Transfer to Water at Near-Critical Temperatures and Super-Critical Pressures," Westinghouse Electric Corp., Pittsburgh, PA., 1964.
- [9] H. S. Swenson, J. R. Carver, and C.R. Kakarala, "Heat Transfer to Supercritical Water in Smooth-Bore Tubes," *J. Heat Transfer*, vol.87, no.4, pp. 477-484, 1965.
- [10] J. D. Jackson, "Consideration of the Heat Transfer Properties of Supercritical Pressure Water in Connection with the Cooling of Advanced Nuclear Reactors," *Proc. of 13th Pacific Basin Nuclear Conf.*, Shenzhen City, China, Oct. 2002.
- [11] S. Mokry, I. Piore, A. Farah, K. King, S. Gupta, W. Peiman, and P. Kirillov, "Development of

- Supercritical Water Heat-Transfer Correlation for Vertical Bare Tube,” *Nuclear Engineering and Design*, vol. 241, pp. 1126-1136, 2011.
- [12] “Supercritical Water Cooled Reactor” Technische University of Munchen, Germany, 2012, [online]. Available: <http://www.ntech.mw.tum.de/fileadmin/w00bil/www/documents/pdf/lectures/Nuk5Adds/swcr.pdf>.
- [13] K. H. Kang and S. H. Chang, “Experimental Study on the Heat Transfer Characteristics During the Pressure Transients under Supercritical Pressures,” *Int. J. Heat Mass Transfer*, vol. 52, pp. 4946-4955, 2009.
- [14] T. Nakatsuka et al., “Current Status of Research and Development of Super-critical Water-Cooled Fast Reactor in Japan,” [online]. Available: <http://www.f.waseda.jp/okay/english/english/HP/IAEA+T.pdf>.
- [15] 藍元伯,「超超臨界系統試驗分析之 VB 程式計算」, 碩士論文, 國立台灣海洋大學機械與機電工程學系, 2013 年。
- [16] 王漢, 華勤成, 楊振東, 王林川, 吳剛, 「環形通道內超臨界水的傳熱特性研究」, 西安交通大學學報, 第 47 卷, 第 9 期, 第 28-34 頁, 2013 年。
- [17] 趙萌, 李虹波, 張戈, 顧漢洋, 王磊, 程旭, 「圓管內超臨界水上升、下降流動傳熱實驗研究」, 原子能科學技術, 第 46 卷增刊, 第 250-254 頁, 2012 年。
- [18] 王飛, 楊珏, 顧漢洋, 趙萌, 李虹波, 盧冬華, 「垂直管內超臨界水傳熱實驗研究」, 原子能科學技術, 第 47 卷, 第 6 期, 第 933-939 頁, 2013 年。
- [19] Yu. V. Vikhrev, Yu. D. Barulin, A.S. Kon'kov, “A study of heat transfer in vertical tubes at supercritical pressures,” *Thermal Engineering*, vol.14, no.9, pp. 116-119, 1967.
- [20] K. Yamagata, S. Yoshida, T. Fujii, S. Hasegawa, and K. Nishikawa, “Forced convection heat transfer to SCW flowing in tubes,” *Int. J. Heat Mass Transfer*, vol.15, no.12, pp. 2575-2593, 1972.
- [21] X. Lei, H. Li, Y. Zhang, and W. Zhang, “Effect of Buoyancy on the Mechanism of Heat Transfer Deterioration of Super-critical Water in Horizontal Tubes,” *J. Heat Transfer*, vol.135, 071703, 2013.
- [22] 廖世平、黃琮元、蔡兆傑、陳茂景、張書維, 「超超臨界蒸氣套管式熱交換器設計程式」, 台電工程月刊, 第 773 期, 第 1-9 頁, 2013 年。

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

第一核能發電廠增設 HDPE 管線施工探討

Construction and Test of New High-density Polyethylene Pipelines for
Chinshan Nuclear Power Station

李慶龍*
Li, Qing-Long

陳君銓*
Chen, Chun-Chuan

林國欽*
Lin, Kuo-Chin

孔祥琴*
Kung, Hsiang-Ching

摘要

2011 年 3 月 11 日日本本州島發生規模 9.0 強烈地震，引起海嘯將福島核能發電廠緊急柴油發電機組淹沒，使得後備電源喪失，無法驅動冷卻水系統移除反應爐餘熱，造成反應爐爐心熔毀輻射外洩嚴重事故。有鑒於此，在無電源情況下，第一核能發電廠利用山坡上生水池之落差，利用耐震及耐撞擊性優異之高密度聚乙烯管線，增設輸水管線以重力式將水輸送至第一核能發電廠供緊急狀況使用。本文簡要說明高密度聚乙烯管線特性、材料檢測、電熔焊接及結果迴歸統計分析。

Abstract

An earthquake of magnitude 9.0 hit Honshu Island in Japan and subsequent tsunami submerged the emergency diesel generator of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant on March 11, 2011. It made the back-up power break down and fail to drive cooling water system, which consequently resulted in nuclear meltdown and radiation leak accident. In view of this situation, Taiwan Power Company has constructed some new anti-shock and anti-collision high-density polyethylene pipelines at Chinshan Nuclear Power Station, taking the advantage of drop height between pools located on hillside and the Power Station to deliver water by gravity in case of emergency. This study explains the characteristics of high-density polyethylene, material test, arc welding and output of regression analysis.

關鍵詞(Key Words)：第一核能發電廠(Chinshan Nuclear Power Station)、高密度聚乙烯管線(High-Density Polyethylene, HDPE)、檢(試)驗(Test)、施工(Construction)。

壹、前言

100 年 3 月 11 日日本本州島發生規模 9.0 強烈地震引起海嘯，將日本福島第一核能發電廠內之緊急柴油發電機組淹沒，使得電廠無法利用備用電源驅動電子系統與冷卻系統，在沒有足夠水源進行冷卻情況下，造成反應爐爐心熔毀輻射外洩之嚴重事故^[1]。

鑒於上述日本福島核事故，行政院原子能委

員會指示本公司檢討現有營運中之核能發電廠，須在全廠電源喪失全黑的緊急狀況下，仍可利用消防補水模式 (AC-Independent Water Addition Mode, ACIWA)，以廠區生水池系統之儲水輸送至反應爐，冷卻爐心移除餘熱。

本文係第一核能發電廠在無電源情況下，利用與山坡上生水池之落差，增設輸水管線以重力式輸水至電廠，供緊急狀況時使用。

輸送管線採用高密度聚乙烯管材(High-Density Polyethylene，以下簡稱 HDPE)，因其耐

*台灣電力公司綜合施工處

震及耐撞擊性較其他管材更加優異，可抵抗強震時之撓曲，適時消除瞬間應力。

貳、工程概述

新設生水池進(出)水管線系統包括 A、B、C、D 共 4 條管線，除少部分管線與既有管線銜接採用不銹鋼材質外，各條管線均採 HDPE 材質，如圖 1 所示。

- 一、10 萬噸生水池上池進水管線(A 管線，管徑 355mm ϕ)：自乾華溪取水，利用抽水機將水抽送途經乾華溪地下暗渠、聯絡道路至既有 10 萬噸水池上池，主要以管溝型式佈設管線，HDPE 管線長度為 589 公尺。
- 二、3000 噸 NO.1 生水池出水管線(B 管線，管徑 400mm ϕ)：自既有 3000 噸 NO.1 生水池起，

- 經山坡既有聯絡道路至乾華溪左岸側之既有水管鋼橋為止，以箱涵、管溝及管墩等方式架設管線，HDPE 管線長度為 332 公尺。
- 三、3000 噸 NO.2 生水池出水管線(C 管線，管徑 400mm ϕ)：自既有 3000 噸 NO.2 生水池起，經山坡至乾華溪左岸側之既有水管鋼橋為止，以箱涵、管溝及管墩等方式架設管線，HDPE 管線長度為 285 公尺，C 管線高低落差甚大約 70 公尺。
- 四、10 萬噸生水池下池出水管線(D 管線，管徑 355mm ϕ)：自既有 10 萬噸生水池下池起，以推管洞(隧道)及管墩方式架設管線至乾華溪左岸道路側，再沿既有道路下方挖設管溝並連接至 C 管線止，HDPE 管線長度為 611 公尺^[2]。



圖 1 本工程 HDPE 管線佈置圖

參、HDPE 管線特性

聚乙烯(Polyethylene, 以下簡稱 PE)是由單體乙烯聚合而成的塑化產物，其分子式為 $(-CH_2-CH_2-)_n$ ，PE 原料級數可分為 PE32、PE40、PE63、PE80、PE100 五個等級，級數愈大，其抗壓及拉伸強度愈佳，本工程採用 PE100。

PE 依結晶度及密度來區分，結晶度在 60%~75%，密度在 $0.910\sim 0.925\text{g/cm}^3$ 者為低密度聚乙烯(Low Density Polyethylene, 簡稱 LDPE)；結晶度在 70%~80%，密度在 $0.926\sim 0.940\text{g/cm}^3$ 者為中密度聚乙烯 (Medium Density Polyethylene, 簡稱 MDPE)；結晶度在 80%~ 95%，密度在 $0.941\sim 0.965\text{g/cm}^3$ 者為高密度聚乙烯(High Density Polyethylene, 簡稱 HDPE)，本工程採用 HDPE 管材。

HDPE 管材相較其他管材如 PVC、ABS 及不銹鋼等，具備有連接穩定可靠、抗衝擊、抗刮痕、耐腐蝕、耐老化使用壽命長達 50 年、可撓性耐瞬間應力佳、水流阻力小輸送能力高及搬運方便等優點。

文獻記載 1995 年 1 月 17 日發生於日本關西地區之阪神大地震，地震規模為芮氏 7.3，震度之地動加速度為 $400\text{cm/s}^2(\text{gal})$ ，造成房屋建築橋樑及各種管線嚴重傾倒斷裂，唯一幸存未破裂的是採用 HDPE 管材之瓦斯管線，故 HDPE 管線耐震加速度可達 0.4G。

肆、電熔焊接原理及步驟

HDPE 管線接合方式包括鎖緊式、承銷式、套熔式、熱熔對接及電熔焊接等，但以採用電熔焊接是最高質的接合方式，電熔焊接後加強了接合管面的耐壓與抗拉強度，是公認最安全的接合方式，具有連接方便迅速，接合面強度優異，外界因素干擾小等優點，唯因需使用電熱熔套接頭熔接，施工成本較為昂貴。

一、電熔焊接原理

將內含電阻絲的電熱熔套接頭，通以直流電流至電熱熔套接頭的正負兩極，產生熱能將電阻絲導熱，含電阻絲區域之 PE(熱區)會被加熱至 260°C ，熔解並流動，填塞封閉 HDPE 管件與電熱熔套接頭間之縫隙，不含電阻絲區域之 PE(冷區)，溫度小於 120°C ，保持固態及彈性，防止液態高溫 PE 材料流出，使 HDPE 管線與電熱熔套接頭緊密熔合為一體，如圖 2 所示。

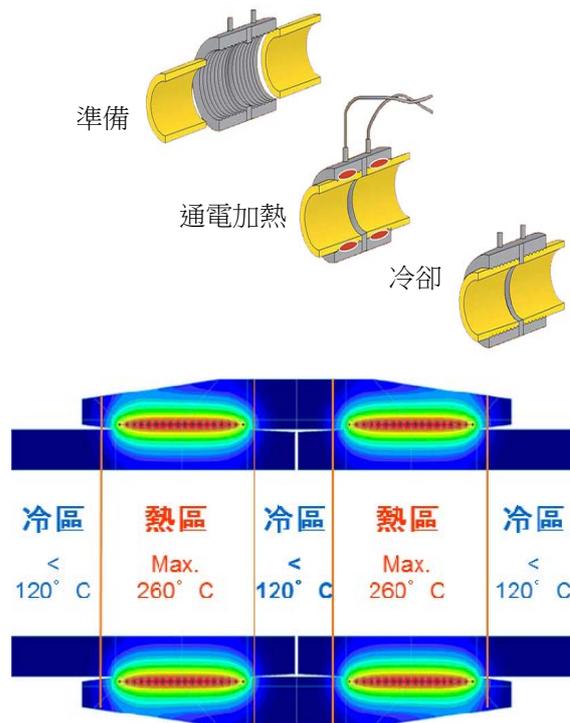


圖 2 電熔焊接管件熱熔區域剖面圖

電熔焊接的二個參數為電熔機的電焊電壓及電焊時間，加上 HDPE 管件設計及電阻絲電阻值，這些參數資料會由讀取附在熔接套頭管件上條碼，以確定電熔焊接過程時所需的熱量。

電熔機電流=電熔機電壓/電熱熔套接頭之電阻絲電阻值；所需熱量=電熔機電壓×電熔機電流×電熔焊接時間。

電熔機之正負端子長期使用時會因接觸不良耗損電能，降低 HDPE 管線吸收的能量，為避免此種情形發生，應經常檢查端子，最少每年更換一次端子。

二、電熔焊接步驟

- (一) 切管：HDPE 管線的連接端面必須切割垂直，以確保有足夠的熱熔區，如圖 3 所示；常用使用切割工具有旋切刀、鋸弓等；切割時不允許產生高溫，以免發生高溫變形。



圖 3 切管

- (二) 刮除氧化層及清潔：HDPE 管線製造、運送及儲存時，水、泥沙、油污、特別是手上的油脂會在管件表面上產生氧化層及汙染，氧化層在電熔時無法溶解，會形成分離層，影響電熱熔焊接結果，所以必須刮除電熱熔焊接區的氧化層。使用刮刀在電熱熔焊接區刮除 0.2-0.4mm，然後用不會掉纖維的布和 98%的酒精或"Tangit PE clear"清潔 HDPE 管材表面及電熔套接頭內側，如圖 4 所示。



圖 4 刮除氧化

- (三) 管線套入電熱熔套接頭：將 HDPE 管線套入電熱熔套接頭至規定深度，將電熔機的正負極端子與電熱熔套接頭連接。

- (四) 校正：調整 HDPE 管線與電熱熔套接頭位置，使 HDPE 管線與電熱熔套接頭在同一軸線上，防止偏心造成接頭焊接接合性不佳。
- (五) 通電熔接：掃描電熱熔套接頭條碼，通電熔接，如圖 5 所示，電熔機會依 HDPE 管線尺寸大小，自動設定所需加熱時間，本工程使用之 HDPE 管徑尺寸有 355mm 及 400mm 兩種，355mm 管徑之 HDPE 加熱時間為 900 秒；400mm 管徑之 HDPE 加熱時間為 1140 秒。通電加熱的時間及電壓應符合電熔機和電熔管件生產廠的規定，以保證在最佳供給電壓及加熱時間下，獲得最佳的熔接效果。



圖 5 掃描條碼通電熔接

- (六) 冷卻：HDPE 管線接頭只有在全部冷卻至常溫後才能達到其最佳熔合強度，冷卻期間不得移動熔接管件或在連接處施加外力，本工程使用之 HDPE 管件冷卻時間約 30 分鐘。

伍、HDPE 管線檢驗與測試

一、PE100 原料檢測

為確保本工程使用 HDPE 管材品質、安全性及使用壽命，其 PE100 原料需包括下列三項檢測合格：

- (一) 依 ISO/TR9080 通過 10MPa 以上長期靜水壓檢測：將 PE100 原料批號 BorSafe™HE3490-LS-H 製成之 100 件管材樣本，依 ISO

9080：2003 置於 20°C、60°C 及 80°C 有水的情況下，分別測試產生韌性破壞(Ductile Failure)時之靜水壓力及時間，利用測試值數據依迴歸曲線運算法^[3]，求得迴歸公式如下：

$$\log(t)=C_1+C_2/T+C_3 \times \log(\sigma)+C_4/T \times \log(\sigma)$$

其中

σ ：產生韌性破壞時之靜水壓(MPa)

t ：產生韌性破壞時之時間(hr)

T ：測試溫度(K)

C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 ：迴歸係數

$C_1=-143.917$ $C_2=62529$

$C_3=57.755$ $C_4=-35094$

利用外插法得到表 1。

表 1 50 年耐靜水壓

溫度(°C)	50 年耐靜水壓(MPa)	
20	σ_1	σ_2
	10.68	10.31

σ_1 =在溫度 20°C 時，預測耐 50 年時間的靜水壓

σ_2 =在溫度 20°C 時，預測耐 50 年時間的靜水壓(在 97.5% 的信心水準下)

在 20°C、60°C 及 80°C 溫度下，100 小時、1000 小時、2500 小時、半年及 1 年之靜水壓(在 97.5% 的信心水準下)，以及在 20°C 水溫下，10 年、50 年及 100 年時間之靜水壓(在的信心水準下)列示於下表 2。

表 2 不同溫度及時間下之耐靜水壓

溫度(°C)	在 97.5% 的信心水準下							
	100 小時	1000 小時	2500 小時	半年	1 年	10 年	50 年	100 年
20	11.85	11.42	11.25	11.14	11.02	10.60	10.31	10.19
60	7.24	6.90	6.77	6.68	6.58	-	-	-
80	5.34	5.05	4.94	4.87	4.79	-	-	-

依據測試數據與依 ISO 9080:2003 的迴歸運算，PE100 原料批號 BorSafe™HE3490-LS-H 製成之 HDPE 管材，在 20°C 下 50 年具有可耐長期靜水壓力 10.68MPa 的 σ_1 值及 10.31 MPa 的 σ_2 值，符合 ISO 9080：2003 通過 10MPa 以上長期靜水壓測試之規定^[4]。

(二) 依 ISO13479 通過 5000 小時以上破壞後之抗慢速裂痕成長檢測：將 PE100 原料批號 BorSafe™HE3490-LS-H 製成之三件管材樣本，依據 ISO 13479：1997，管材上的四縱切口是圍繞管材周邊等距加工而成的，壓力試驗是依據 ISO1167-1：2006 和 1167-2：2006，使用 a 型夾具進行，試驗溫度為 80 °C，內部壓力為 0.92MPa。經試驗結果管材可耐 11,580 小時破壞後之抗裂痕成長測試，符合 ISO13479 通過 5000 小時以上破壞後之抗裂痕成長測試，如表 3 所示^[5]。

表 3 抗慢速裂痕成長測試

樣本編號	試驗溫度(°C)	試驗壓力(MPa)	破裂時間(小時)	發生破壞的切口位置
1	80	0.92	>11580	仍在試驗中
2	80	0.92	>11580	仍在試驗中
3	80	0.92	>11580	仍在試驗中

(三) 依 ISO13477 S4 試驗通過 10 bar 抗快速裂痕擴散檢測：將 PE100 原料批號 BorSafe™HE3490-LS-H 製成之管材樣本，依據 ISO 13477，置於試驗溫度環境為 0°C，不同的壓力情況下，觀測裂紋是否有擴散，裂紋長度 L_c 是沿撞針刀片的中心管軸測量的，裂紋長度 L_c 大於等於 4.7dn，被判定為裂紋擴散。經試驗結果管材在 0°C，10 bar 時裂紋中止，符合 ISO13477 S4 試驗通過 10 bar 抗快速裂痕擴散測試之規定，如表 4 所示^[6]。

表 4 抗快速裂痕擴散測試數據

樣本編號	溫度(°C)	壓力(bar)	裂紋長度 L_c (mm)	L_c/dn	結果
1	0	0.0	200	0.8	啟動試驗
2	0	4.0	210	0.8	裂紋中止
3	0	6.0	270	1.1	裂紋中止
4	0	8.0	230	0.9	裂紋中止
5	0	10.0	240	1.0	裂紋中止

二、HDPE 管廠驗

HDPE 管於工廠製造完成後，依 CNS2456 K3012「自來水用聚乙烯塑膠管」之標準^[7]辦理抽樣檢驗，檢驗項目包括尺寸及許可差、顏色、外觀、偏圓率、抗拉降伏強度、短期耐水壓、長期耐水壓、加熱復原性、灰分、溶出性等，抽測檢測結果詳如表 5 所示，符合 CNS2456 K3012 之規定。

表 5 HDPE 管(355mm 管徑)廠驗檢測數據

檢測項目	標準值	檢測值
抗拉降伏強度	230kg _f /cm ² 以上	256 kg _f /cm ² 243 kg _f /cm ²
短期耐水壓性	40 kg _f /cm ²	41.5 kg _f /cm ²
長期耐水壓性	20°C、100hr 、25 kg _f /cm ²	20°C、103hr 、25.6 kg _f /cm ²
偏圓率	2.5%以下	0.7%
加熱復原性	±3%	-0.18%
灰分	1.00%以下	0.43%
溶出性：		
濁度	0.5 度以下	0.0 度
色度	1.0 以下	0.0 度
過錳酸鉀消耗量	2.0mg/L 以下	0.8mg/L
餘氯減量	0.7 mg/L 以下	0.4 mg/L
含鉛量	0.008 mg/L 以下	無

三、HDPE 管水壓試驗

HDPE 管線安裝過程中須做水壓試驗，依現場地形分段試壓，每段不得大於 500 公尺，管線高點及低點之高程差不得大於 100 公尺，以避免測試後造成低點處管體永久異變。

試壓時將最高點管線加壓至 15kg_f/cm² 後停止加壓，保持 3 小時，期間待管體膨脹降壓後再加壓至 15kg_f/cm²，觀察該段管線若無破裂漏水現象即屬合格，完成試壓後再進行管路之沖洗 (Flushing) 作業。

四、HDPE 管滿水試驗

各條管線在安裝完成及水壓試驗完成後，須依 A、B、C、D 管線進行全管線之滿水試驗，滿水試驗係將各條管線內均充滿水，保持 2 小時，

管路沿線均不得有滲露現象即屬合格。

陸、HDPE 管線施工

A 管線佈設於管溝內，設計有多種不同形式之支撐座將 HDPE 管線固定，施予螺栓鎖固的力量約 2000 磅，如圖 6 所示；B、C、D 管線佈設於管墩上及管溝內，如圖 7 所示。



(A) 管溝段 A 管線安裝



(B) 管線支撐座固定

圖 6 (A)(B)管線管溝段安裝及支撐座固定



(A) B 管線安裝完成



(B) C 管線安裝完成

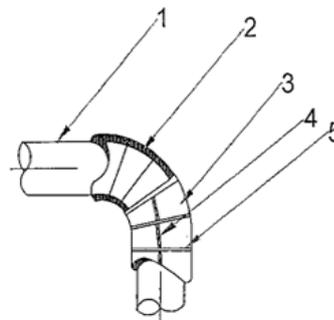


(C) D 管線安裝完成

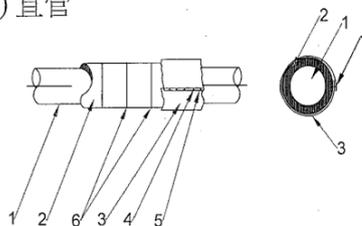
圖 7 (A)(B)(C)HDPE 管線安裝完成

佈設於管墩段之 HDPE 管線，會受紫外線照射加溫降低其使用年限，因此在 HDPE 管滿水試驗完成後，須進行絕熱材包覆及外覆不銹鋼皮之包覆工作，包覆施工方式如圖 8 所示。

(一) 彎頭



(二) 直管



1. 400φ/355φ HDPE管
2. 25t mm 發泡聚乙烯絕熱材
3. 0.4mm 包覆不銹鋼皮
4. 不銹鋼自攻螺釘 (彎頭展開片每片至少2支，直管間隙150mm至少一支)
5. 不銹鋼皮搭接接頭，重疊長度50mm(上方搭接需順水)
6. 不銹鋼線



圖 8 HDPE 管線絕熱包覆施工

HDPE 管線絕熱包覆施工完成後，沿著管線設置維修步梯，供日後管線維護保養之用，如圖 9 所示。



(A) HDPE 管線絕熱包覆完成



(B) 管線維修步梯完成

圖 9 (A)(B)管線維修步梯完成

柒、檢討與建議

一、檢討事項

- (一) HDPE 管線具有重量輕、施工易、高抗壓、抗撓曲、可耐瞬間應力、耐衝擊等優點，廣泛使用於自來水、瓦斯、電力之輸送管工程。
- (二) PE100 原料規定須通過 ISO 相關規定長時間靜水壓、抗慢速裂痕成長及抗快速裂痕擴散之檢測，國內尚無符合規定之製造廠商。
- (三) HDPE 管線電焊熔接使用之電熱熔套接頭因台灣市場需求不大，國內廠商尚無生產，故本工程使用之 PE100 原料及電熱熔套接頭配件須仰賴進口。
- (四) 核能一廠生水池至電廠之輸水管線就是採用具有極優耐震特性之 HDPE 管線，是目前

本公司核能發電廠生水池首次採用 HDPE 管線第一案例。後續核能一廠 3600 噸生水池至電廠之輸水管線亦是設計採用 HDPE 管線。

二、建議事項

因 HDPE 管線原料及電焊熔接附屬配件需進口，增加運送時間，期盼國內廠商能提高技術層級，生產 HDPE 管線原料及電熱熔套接頭，讓日後採用 HDPE 管線施工時程更為縮短，可推廣至本公司其他工程使用。

捌、誌謝

本工程 HDPE 管線大部分係佈設於坡度陡峭之山坡上，施工環境相當險峻，幸有賴工作人員不辭辛勞及不畏艱難的精神，終能完成本項工作，本工程承蒙設計單位中興工程顧問公司、本公司營建處、承攬廠商建宇營造有限公司、管線材料供應商大地昌興業有限公司、管線安裝施工廠商博賢公司及本處同仁鼎力相助，謹在此以本文向所有參與本工程之所有工作人員誌謝。

玖、參考文獻

- [1] 福島第一核電廠事故，維基百科(版本編號：33879809)，2015 年 1 月 16 日。
- [2] 「核能一廠增設生水管線工程」工程承攬契約，台灣電力公司綜合施工處，民國 102 年 5 月 10 日。
- [3] 蔡佳泓，基礎統計分析，雙葉書廊，2014 年 12 月 30 日，第 124 頁至 168 頁。
- [4] 長期靜水壓檢測報告 (REPORT NO. F922942)，瑞典 SP 技術研究所，2012 年 12 月 7 日。
- [5] 抗慢速裂痕檢測報告 (REPORT NO.F922942G)，瑞典 SP 技術研究所，2011 年 4 月 1 日。
- [6] 抗快速裂痕檢測報告 (REPORT NO.11536)，BECETEL 研究中心，2012 年 12 月 7 日。
- [7] CNS2456 K3012 自來水用聚乙烯塑膠管，經濟部標準檢驗局，民國 101 年 10 月 12 日。

龍門電廠放射化學實驗室品質系統精進

Quality System Improvement for Radiochemistry Laboratory of

Lungmen Nuclear Power Plant

陳亮丞*

Chen, Liang-Cheng

蔡翠玲*

Tsai, Tsuey-Lin

高大宇*

Kao, Dah-Yu

施宇鴻*

Shih, Yu-Hung

盧儒煌**

Lu, Ju-Huang

(101~104 年研究計畫論文)

摘要

龍門電廠放射化學實驗室業已建置完成，並於 103 年 6 月 9 日，取得全國認證基金會(TAF)之游離輻射測試領域認證，該廠目前雖面臨封存問題，但未來仍有商轉的可能性。因此，維持實驗室正常運作仍是有必要的，且透過全國認證基金會(TAF)之認證，將可提升分析數據之可靠度與公信力，並建立符合 ISO/IEC 17025 (國際標準組織：International Organization for Standardization, ISO；國際電氣技術委員會：International Electro-technical Commission, IEC)品質系統要求之專業實驗室，可提升未來國內龍門電廠運轉信心及整體安全度。本報告內容主旨為介紹該廠之放射化學實驗室通過 TAF 認證之過程，以提供給相關單位作為實驗室品質系統精進之參考依據。

Abstract

The Radiochemistry Laboratory of Lungmen Nuclear Power Plant has been established and was granted a certificate of ionizing radiation testing by Taiwan Accreditation Foundation (TAF) on June 9, 2014. Although Lungmen Nuclear Power Plant is presently under mothball situation, it may have the chance to begin commercial operation in the future. Therefore, it is necessary to maintain the laboratory under normally functioning status. With the certificate of TAF, the Laboratory can enhance its reliability and credibility of analytical data, and become a professional laboratory meeting the requirements of ISO/IEC 17025 quality system so as to enhance the overall operational safety of the Power Plant.

關鍵詞(Key Words)：全國認證基金會 (TAF)、放射化學實驗室 (Radiochemistry Laboratory)、龍門電廠 (Lungmen Nuclear Power Plant)。

壹、前言

龍門電廠放射實驗室已建置完成，雖然龍門電廠目前雖處於封存階段，但實驗室內設備資產

仍須維護在良好的狀態，並要持續維持測試的有效性，以確保啟封(燃料棒裝填)後放射化學實驗室能即時發揮功能，龍門電廠認為有必要申請全國認證基金會(Taiwan Accreditation Foundation, TAF)認證，精進放射化學實驗室品質系統，提升

*核能研究所

**台灣電力公司龍門核能發電廠

分析數據之可靠度與公信力，以建立國內龍門電廠運轉信心及整體安全度。核研所化學組早年已建立 TAF 認證之放射化學實驗室，針對 TAF 認證之流程及文件準備工作，具有相當豐富之經驗，本計畫乃根據核研所化學組之經驗分享及技術支援方式，協助龍門電廠放射化學精進實驗室品質系統，通過 TAF 認證，計畫期程為 101 年 4 月~104 年 4 月，內容為：(1)品質系統文件準備等事前準備工作規劃。(2)龍門電廠品質系統運作與測試能力實作(試行階段)。(3)龍門電廠品質系統之現場評鑑階段、改善與技術支援。(4)TAF 認證申請階段。

貳、TAF 認證工作流程

本計畫主要目的在於協助龍門廠向全國認證基金會首次提出游離輻射之測試領域認證申請，並通過認證，核研所主要提供之技術支援範圍包括：

一、協助龍門電廠放射化學實驗室通過 TAF 認證

TAF 認證流程主要分為申請認證範圍確認、文件審查、現場評鑑三階段流程^[1]。圖 1 為協助龍門電廠放射化學實驗室初次申請 TAF 認證工作流程圖。

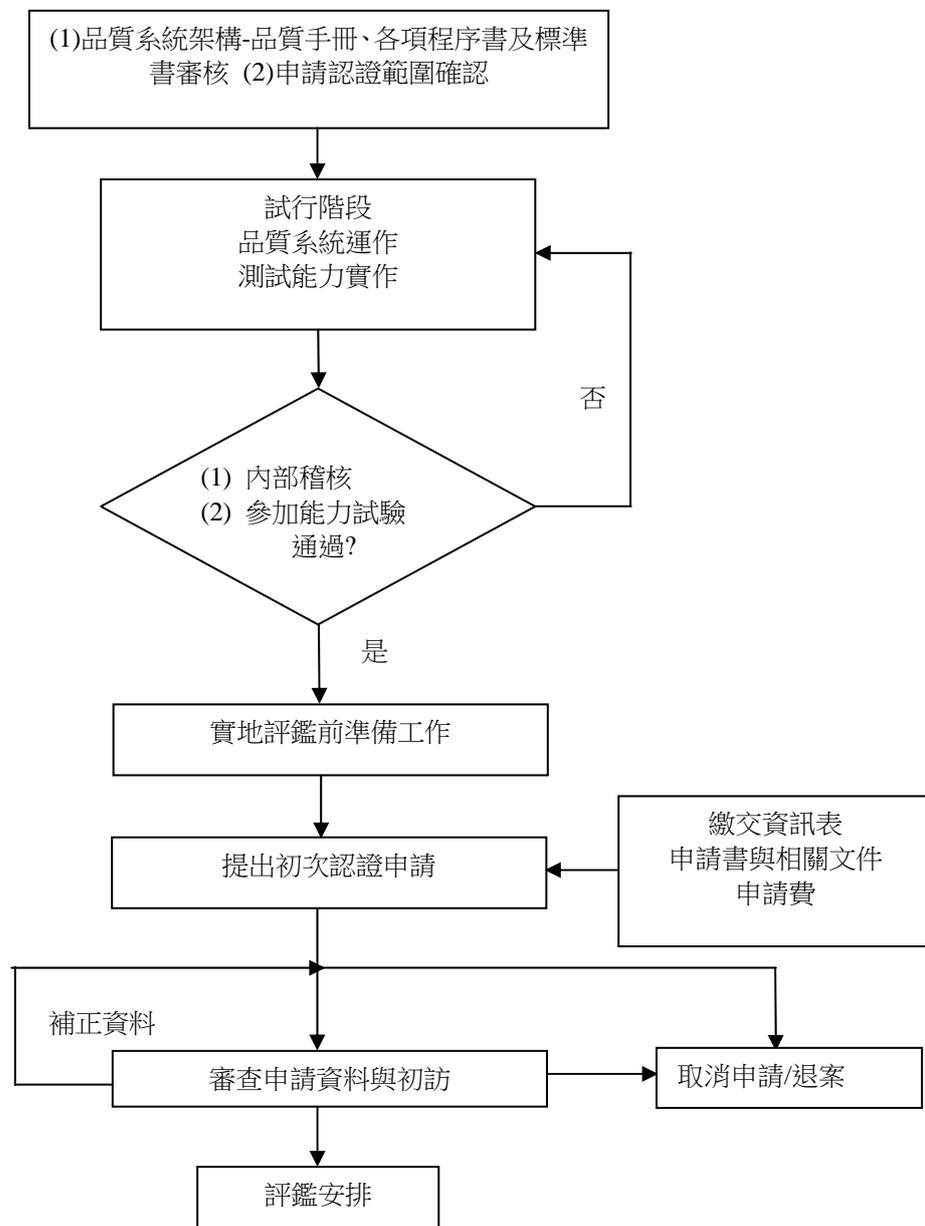


圖 1 協助龍門電廠放射化學實驗室初次申請 TAF 認證

(一) 申請認證範圍確認

以 ISO/IEC 17025 國際規範為基礎，協助品質手冊、程序書工作指引、與放射化學取樣分析方法相關作業文件審查與意見，並了解 TAF 資訊。

(二) 輔導 ISO/IEC 17025 品質系統專業課程

輔導 ISO/IEC 17025 品質系統測試與校正實驗室能力一般要求、對實驗室主管、報告簽署人之要求、量測不確定度評估與處理作業、實驗室儀具校正、樣品取樣與核種分析方法、追溯性、能力試驗等相關品質系統專業課程。

(三) 進行定期或不定期進行現場查核放射化學實驗室管理與輻射品質管制作業

例如內部稽核、管理階層審查紀錄、儀器使用、保養維護記錄表合格器材供應商一覽表、『顧客滿意度』問卷調查表、不合格測試管制、矯正措施表、例行分析報表等品管作業表格，適時提出改善或因應之道。

二、建立實驗室分析技術交流與經驗交流之平台

(一) 應龍門廠環化組要求，以定期或不定期方式，由核研所派遣具備儀器分析相關經驗之同仁至現場給予化學分析技術支援或諮詢，並達成實務操作之經驗傳承。

(二) 提供儀器，如：感應耦合電漿-原子放射光譜分析儀 ICP-AES (Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometer)、離子層析儀 IC(Ion Chromatography)、伽碼能譜儀 (Gamma Spectrometer)、總阿法/貝塔活度分析儀(Gross Alpha/Beta)、液相閃爍計數分析儀 LSC(Liquid Scintillation Counting)之分析技術與數據判讀等。

參、TAF 認證前準備工作確認

認證範圍部分，龍門電廠計有三個放射實驗

室，分別為第 1 號機進出管制廠房放射化學實驗室、第 2 號機進出管制廠房放射化學與輻射設備計測實驗室、廢料廠房(Radwaste Building, RW/B) 化學實驗室。考慮實際一號機燃料充填實際狀況，認證範圍將以第 1 號機進出管制廠房放射化學與輻射設備計測實驗室為主，在 TAF 實驗室認證規範之分類上，屬於「測試領域實驗室」(Testing Laboratory)，在分析能力之要求上，每年需針對「游離輻射—中低強度核種分析」項目進行相關能力試驗。凡電廠排放之放射性廢氣、液，而屬下列項目之分析，皆為實驗室管理系統所規範：混合加馬濾紙(Mixed Gamma Filter)、混合加馬溶液(Mixed Gamma Solution)、混合氣體試樣(Mixed Gas Samples)、混合銦 Sr-89/90 溶液、鐵 Fe-55/59 溶液、氬 H-3 核種分析。

文件資料準備部分，為符合 ISO/IEC 17025 規章要求，龍門電廠於 101 年建立放化實驗室品質系統架構，其中品質手冊部分，核研所藉由建立 TAF 認證實驗室之經驗向龍門電廠提出之建議，經由雙方協調溝通後於 101 年 10 月份修改完成，並在 101 年 12 月發行第一版，而對於管理與技術層面要求，也已建立各項程序書及標準作業程序書。除此之外，針對人員訓練部分，TAF 也有相關規定，實驗室人員須參與各項品質訓練課程，並取得測試實驗室負責人及報告簽署人資格，因此龍門電廠環保化學組因應所申請之 TAF 認證項目，分別於 101 年 11 月上中旬與 12 月份中下旬，共分兩梯次派員參加核研所化學組所舉辦之實作訓練課程，實作訓練結束後，皆頒發每位實習人員訓練證書。

實驗室分析能力試驗部分，101 年度全國認證基金會(TAF)委託核能研究所舉辦的游離輻射測試領域之中低強度實驗室執行員他核種能力試驗，其主要目的是了解各實驗室間對放射性核種量測的一致性，並找出其間差異性以作為對各實驗室評估及改良放射性核種量測系統的參考。同時，在能力試驗的數據上，各實驗室可了解到自己的量測能力，並與國家標準實驗室量測

水準作一比較，也是對實驗室本身能力的肯定。圖 2 為 H-3 核種分析能力比試結果，龍門電廠(實驗室代號為 LAB-04)數據品質表現相當良好。

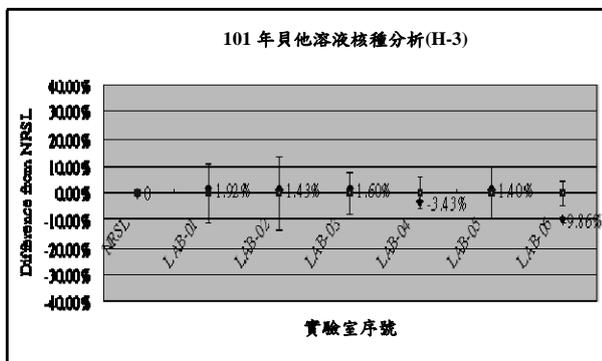


圖 2 101 年度各實驗室之 H-3 核種分析

肆、龍門電廠品質系統運作與測試能力實作

龍門電廠放射化學實驗室於 101 年建立品質系統後，於 102 年即開始執行實際運作，運作期間藉由內部品質稽核程序及管理審查程序等手段，對實驗室運作偏離書面規定之部分，即時回應並予以矯正措施，且其過程以書面記錄保存，以達品質不斷提升與改善之目的，而在測試能力實作方面，核研所也針對龍門電廠遇到之分析技術相關問題隨時提供支援服務，包括：解決 Fe-55/59 分析建立淬息曲線(Quench Curve)之問題、有關氫 H-3 試驗不確定度評估報告相關問題、解決以 ICP-AES 分析 Sr-89/90 流程中加入載體 Sr 回收率過高問題、提供高選擇性萃取鐵的樹脂 100 mL 及分析用閃爍液 200 mL、協助完成兩件標準件(銻 Am-241 與 Sr-90)之 Gross alpha/beta 效率校正、提供 Sr-89/90 之分析論文供環化組參考、協助詢問分析方法確認報告在能力試驗中的整個方法流程及結果等項目，除此之外，該廠仍持續參與全國認證基金會(TAF)委託核能研究所舉辦的游離輻射測試領域之中低強度實驗室執行貝他核種能力試驗，藉此除了能掌握測試人員對於標準書之操作步驟是否嫻熟，以及檢查儀器設備校正查驗、維護管理是否妥當，

測試件處理及報告審核發行等過程是否正確無誤外，也能了解分析數據之準確度。圖 3~圖 9 為民國 102 年(西元 2013 年)測試領域中低強度核種分析能力試驗^[2]，包含混合加馬核種(銻 Eu-152、銫 Cs-137 與銻 Ba-133)、混合銻 Sr-89/90 溶液與混合鐵 Fe-55/59 溶液之受測實驗室與游離輻射國家實驗室(National Radiation Standard Laboratory, NRSL)測試值的差異。由各圖所示，龍門電廠(實驗室代碼為 2)數據品質表現良好。

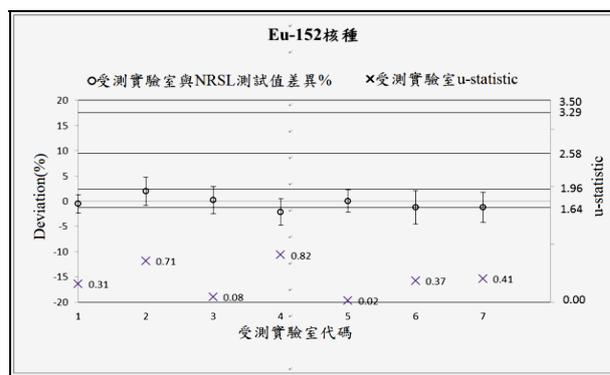


圖 3 102 年度各實驗室之 Eu-152 核種分析

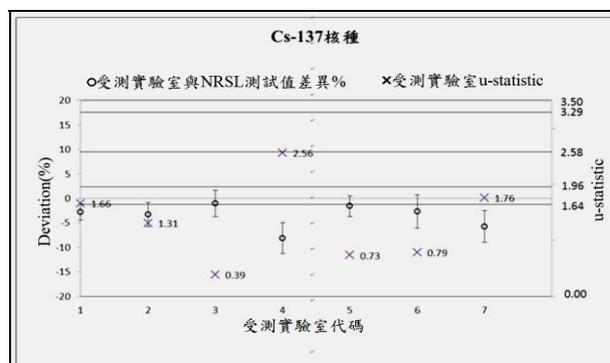


圖 4 102 年度各實驗室之 Cs-137 核種分析

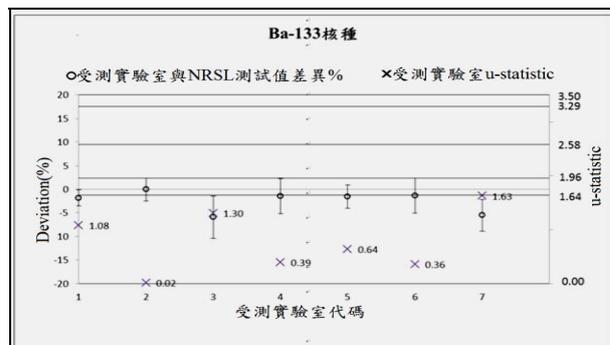


圖 5 102 年度各實驗室之 Ba-133 核種分析

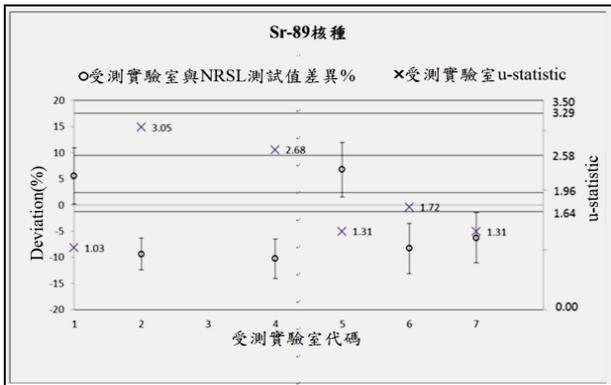


圖 6 102 年度各實驗室之 Sr-89 核種分析

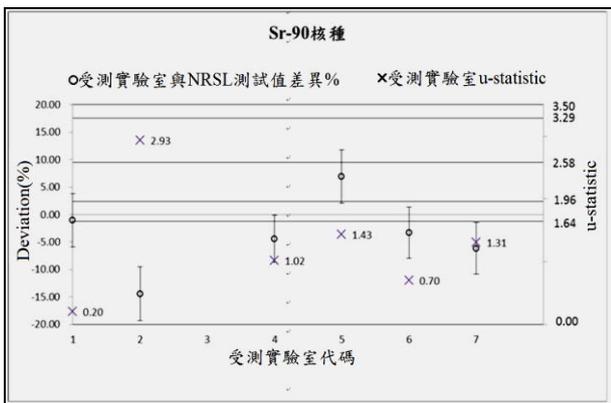


圖 7 102 年度各實驗室之 Sr-90 核種分析

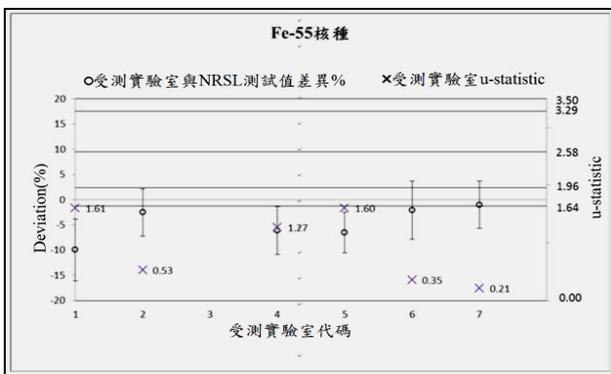


圖 8 102 年度各實驗室之 Fe-55 核種分析

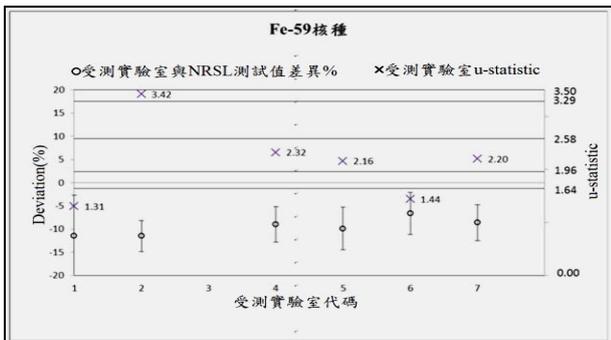


圖 9 102 年度各實驗室之 Fe-59 核種分析

依照 TAF 測試領域中低活度核種技術規範 TAF-CNLA-T10(2)要求，102 年度所有受測測試類領域實驗室，在其所參加之類別項目核種的活度分析測試能力均通過認可。最後，核研所也協助龍門電廠針對 TAF 認證現場評鑑部分進行相關資料審查，於 102 年 10 月 9 日由核研所對龍門廠進行 TAF 認證前第一次外部稽核，以審查實驗室品質系統之運作紀錄，是否在管理需求及技術需求各方面，以符合 ISO/IEC 17025 之規定，最後再提供相關建議並針對不足之處持續進行改善，並於 103 年 6 月 9 日取得全國認證基金會 (TAF) 之游離輻射測試領域認證 (認證編號：2917)，證書如見圖 10~圖 12 所示。



圖 10 龍門電廠放射化學實驗室 TAF 認證證書

伍、結論

本計畫之成立目的在於建立實驗室分析技術交流與經驗交流之平台，由核研所提供技術支援服務，協助龍門電廠放化實驗室通過 TAF 認證，雙方於計畫執行期間，業已建立聯絡窗口，因應龍門廠環化組要求，由核研所派遣具備儀器分析相關經驗之同仁至現場給予化學分析技術支援、數據判讀或諮詢，並達成實務操作之經驗傳承，最後龍門電廠於 103 年 6 月 9 日取得全國認證基金會(TAF)之游離輻射測試領域認證。

龍門電廠目前雖處於封存階段，但放射化學實驗室業已建置完成，封存的目的是為了將設備資產維護在良好的狀態，同時要維持測試的有效性，也為了啟封(燃料棒裝填)做準備；而申請 TAF 認證，未來該電廠有商轉需求時，將可建立國內龍門電廠 ABWR 運轉信心及整體安全度。

陸、參考文獻

- [1] 財團法人全國認證基金會，實驗室與檢驗機構認證服務手冊，TAF-CNLA-A01(7)，
<http://www.taftw.org.tw/dispPageBox/TAFTWCP.aspx?ddsPageID=TWDOCSAA&>。
- [2] 葉堅勇，「2013 測試領域中低強度核種分析能力試驗總結報告簡報檔」，2013 游離輻射量測能力試驗研討會，民國 102 年 10 月 25 日。



圖 11 龍門電廠放射化學實驗室 TAF 認證證書(續)



圖 12 龍門電廠放射化學實驗室 TAF 認證證書(續)

壹、前言

綜合研究所油煤組自民國 73 年至 101 年，陸續開發變壓器油中氣體檢測、絕緣紙含水量與老化指標檢測及故障診斷技術平台，服務公司各級系統變電相關設備至今，包括大小型變壓器與電抗器共計約 4300 台。

多年的服務歷程中，為能與時俱進持續提昇服務品質，油煤組先後發展了三代變壓器本體絕緣油中溶解氣體分析與故障診斷資料庫軟體；其中，第三代軟體係於民國 91 年完成。現今，台電及許多國際上對電力變壓器診斷基準與方法推陳出新，進行電力設備狀態監測或故障診斷時，必須套用新診斷方法，耗費人工甚鉅；此外，除變壓器本體絕緣油中氣體分析資料外，有同時需參考變壓器其他相關分析試驗結果或參考變壓器本體以外之其他相關配件之試驗結果，舊變壓器診斷資料庫軟體並未涵括這些資料，因此資料查詢上相當費時。原有僅以本體油中氣體分析數據為主之軟體，已有更新診斷方法與擴大資料庫範圍之必要，遂於 101 年起展開『電力變壓器故障診斷系統整合』研究計畫，新增並整合多項試驗數據之資料庫，期待變壓器故障診斷資料庫的加強能提供委託試驗客戶更精準的診斷結果，及更多元的服務內容。

本研究計畫由綜合研究所油煤組主導進行，從 101 年 1 月開始，於 103 年 12 月底完成，執行期間共計 3 年。計畫內容所包含的系統軟體設計，係委託鳴沂公司辦理，合約期間自 102 年 1 月 4 日至 104 年 1 月 3 日，系統軟體更新包含台電公司電力變壓器相關新診斷基準、日本電氣協同研究第 65 卷第 1 號、IEC 60599、IEEE C57.104 等電力變壓器診斷方法，並建立電力變壓器各相關試驗資料庫，包括：(1)運轉狀況紀錄；(2)本體絕緣油中氣體、水活性、含水量、糠

醛、甲醇、油品特性試驗數據資料庫；(3)絕緣紙含水量、平均聚合度數據資料庫；(4)變壓器之 OLTC 室和高壓、低壓側電纜室油中氣體分析數據資料庫；(5)氣體絕緣變壓器 SF₆ 測試數據資料庫。

貳、油中氣體分析資料庫之進化

一、資料庫之新增與整合

前一代資料庫，依設計當時之服務需要，僅提供電力變壓器本體油中氣體分析試驗之資料管理功能。隨著診斷技術的進步，新資料庫中為使診斷資訊完整化，新增同一台變壓器之不同部位油中氣體分析試驗數據(包含設備本體、電纜終端匣、有載分接頭切換器)之資料庫，及同一台變壓器/電抗器之不同特性試驗數據(包含油中氣體，糠醛、甲醇、含水量、酸價、界面張力、電介質強度、功率因數等油品特性試驗與絕緣紙平均聚合度及含水量)之資料庫，上述每一個資料庫都能呈現完整的歷史數據資料供變壓器診斷參考，參考圖 1 所示。

且可針對同一台變壓器的不同部位試驗數據結果作整合性的評估與比較(例如透過本體與電纜終端匣油中氣體分析數據的比對，可評估電纜終端匣之故障氣體是否源於本體之故障氣體流入，或是電纜終端匣本身故障所致。)，也可對同一台變壓器/電抗器的不同試驗數據作整合性的評估與比較(例如當絕緣油中 CO₂ 含量過高時，可綜合參考該變壓器/電抗器的糠醛、甲醇、含水量、酸價與絕緣紙平均聚合度之試驗結果，對變壓器的老化程度作評估)，如圖 2 所示。更可對不同變壓器/電抗器的所有基本資料與數據結果作統計分析(例如可透過統計分析，了解是否特定廠牌或型式之變壓器/電抗器有共同存在之設備故障問題)。

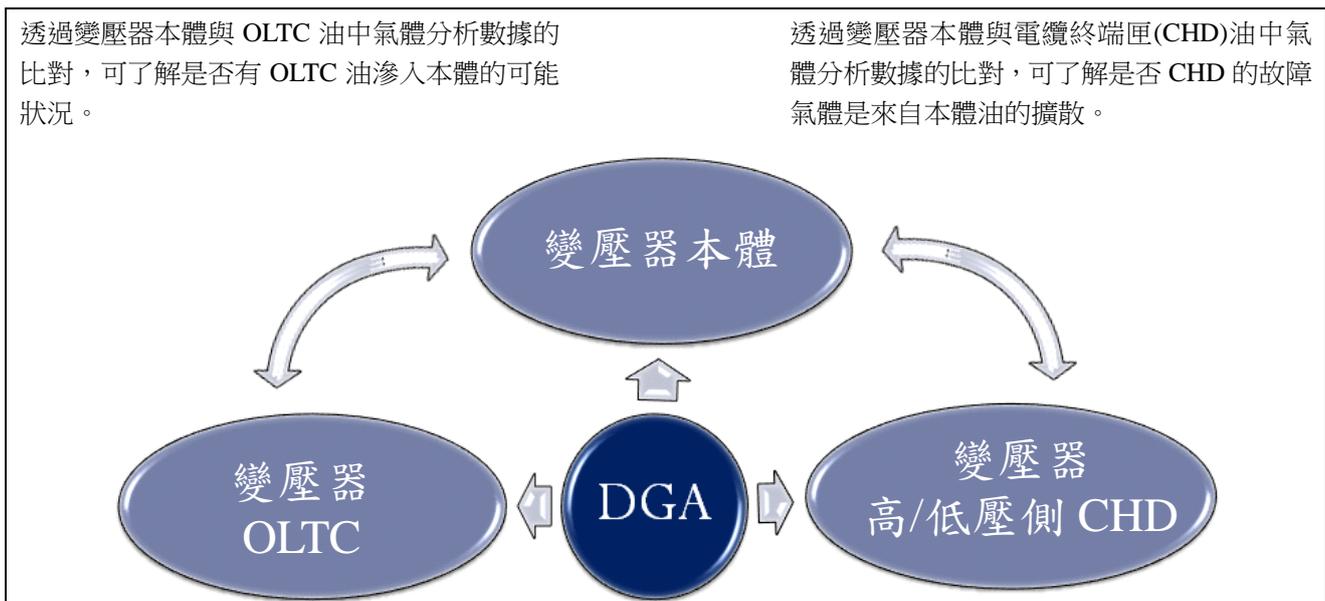


圖 1 新軟體資料庫涵蓋的變壓器部位

- 絕緣油中含水量或氧氣過高，會加速油品氧化與絕緣材料劣化，導致油品部分特性加速惡化。
- 絕緣油中酸價的含量，會影響油中糠醛在絕緣紙與絕緣油間的平衡，影響對變壓器老化程度診斷的正確性。
- 油中溶解氣體、糠醛、甲醇可作為評估絕緣紙平均聚合度的指標。



圖 2 新軟體資料庫涵蓋的試驗項目

二、變壓器/電抗器設備轉移追溯鏈之建立

進行電力變壓器故障診斷時，設備早期使用與維修的紀錄，與其相關檢測資料是重要的參考。但是，設備經維修歸屬單位轉移後的追溯管理功能，並未納入前一代資料庫的設計範圍，因而從資料庫中查得該台設備於不同時期之歸屬單位以關連前後期試驗數據較為困難。

在新軟體中，每次進行變壓器/電抗器設備歸屬單位轉移時，以設備之出廠製造號碼為該設備之身分追溯依據，紀錄辦理轉移之日期、轉移前

後之歸屬單位、變壓器名稱、系統內碼之資料等，均被詳實記錄以建立設備從出廠至報廢期間歸屬單位轉移之試驗結果追溯鏈。

此外，新軟體提供了設備事故資料檔案的連結功能，直接點選連結就能開啟事故資料之照片檔、PDF 檔、簡報檔等，對於快速分析了解設備事故之關連資料的助益甚大。

三、資料紀錄欄位之新增

在變壓器故障診斷技術不斷提昇的同時，發現數據診斷時必須能了解是否可能因為特定設備設計規格而產生異常行為。舊軟體系統亦有變

壓器/電抗器規格資料之紀錄，然為使紀錄內容更完整，新系統中新增包含鐵心型式（內鐵心、外鐵心、無鐵心）、60 MVA 變壓器容量型式（60 MVA、[30+30] MVA）、電抗器衝擊電壓基準與使用方式（串聯、並聯）、有載分接頭切換器之廠牌、型號、廠號等欄位。

另外，採樣時變壓器運轉狀況，取樣方式與樣品狀況都對試驗數據結果有一定的影響程度，也是診斷時必須考慮的因素。因此新系統中，針對本體絕緣油中氣體試驗新增紀錄廠試溫升時間、變壓器運轉情形（全日運轉、半日運轉、極少運轉、閒置中）、試驗類別（例行試驗、初試、事故追蹤、突發事故）、平均負載（80-100%、60-80%、40-60%、40%以下）、取樣方式（針筒、鐵罐）、油樣狀況（油未取滿、正常）之欄位，並對有載分接頭切換器油中氣體分析試驗新增「切換次數」欄位。

四、診斷基準與方法之更新與新增

上代電力變壓器故障診斷資料庫設計於民國 91 年，歷時多年後不論國際或台電公司之診斷基準與方法都有更新，加上前述說明的多項試驗與變壓器不同部位之油中氣體分析資料庫的需要；因此，新資料庫更新了多項基準與診斷方法，詳見表 1。

五、品管系統之建立

就管理層面而言，試驗數據必須排除儀器誤差所造成的影響。前一代資料庫，無輸入試驗儀器品管結果之機制，管理人員必須另行查驗品管結果，造成管理上的不便，因此，新軟體中增加了對各試驗之品管輸入與管制之功能，系統可自行對應試驗數據於試驗當日之品管狀態，並可顯示給診斷者確認品管結果通過與否，參考圖 3，更可對試驗之品管圖進行長期的管理，免除每月進行之品管圖紙本列印工作，朝向少紙化的環保方向。

表 1 新系統所使用的基準與診斷方法

基準與診斷分法	新軟體更新版次
日本電氣協同研究 ^{[1][2]}	第 54 卷，第 5 號 第 65 卷，第 1 號
Rogers 二成分診斷法 ^[3]	2009 (IEEE C57.104)
IEC 診斷圖 ^[4]	2007 (IEC 60599)
杜威三角診斷圖 ^[4]	2007 (IEC 60599)
電力變壓器油使用與維護基準	100.10.20 公告
電力變壓器故障： 油中氣體分析診斷基準	102.12.30 公告 103.01.13 修訂
電力變壓器製造廠溫升試驗： 油中氣體分析診斷基準	102.12.30 公告 103.01.13 修訂
電力變壓器電纜終端匣故障： 油中氣體分析診斷基準	102.12.30 公告 103.01.13 修訂
充油電纜故障： 油中氣體分析診斷基準	102.12.30 公告 103.01.13 修訂
電力變壓器劣化： 糠醛診斷基準	102.12.30 公告 104.01.10 修訂
電力變壓器水分管理基準	102.12.30 公告 103.01.13 修訂

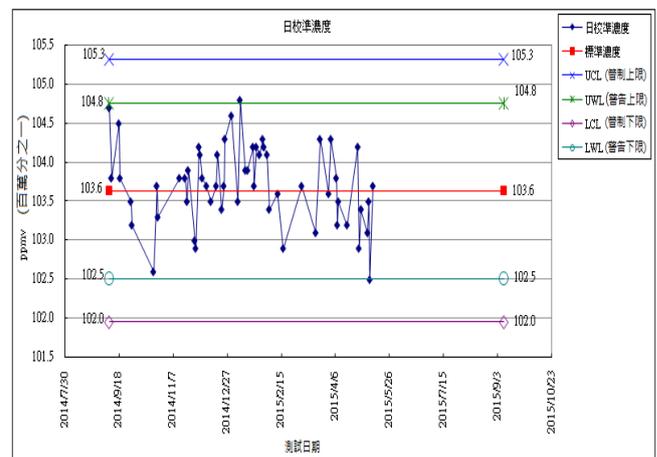


圖 3 新軟體品管日校準濃度圖

六、軟體使用效能之強化

(一) 資料庫軟體由 Access 改為 MS-SQL: 前一代軟體為 Access 資料庫軟體，面對十多年來油中氣體分析資料量的大幅增加，目前當同時使用軟體的人數增加時，系統運作效率大幅

降低，資料存取的速度變慢。新軟體改為 MS-SQL 資料庫軟體，解決了當前變壓器本體絕緣油中氣體分析資料量持續累積拖慢操作速度的問題；新增加的多元化之試驗資料庫(包含變壓器/電抗器本體、電纜終端匣、有載分接頭切換器、充油電纜之油中氣體、糠醛、甲醇乙醇、油品特性等試驗資料庫)，以及包含樣品收件員、不同試驗之試驗人員、審核人員等的多人同步使用，也發揮了最大的工作效率。

- (二) 多重操作視窗功能的新增：當前診斷技術進步到必須參考多種相關資料，前一代軟體的操作介面，僅允許單一入口之功能操作，當欲切換使用功能時，必須將原操作功能退出後，方能進入其他操作視窗作業，對使用者而言，必須經常中斷作業中的工作，造成使用上的不便。因此，新軟體採用「多重操作功能視窗同步開啟」的操作介面設計，可同時進行多項作業。以樣品收件作業為例，在收件作業進行當中，若對送試之變壓器基本資料有疑慮，可同步於「變壓器/電抗器查詢」視窗中進行基本資料檢視、修改、新增等功能，再回到「綜合收件」視窗中繼續作業。此外，為因應新軟體之試驗與功能的多元化，使用者操作選項過多，以致選擇功能視窗之動作繁複的問題，新軟體更可於登入軟體後「預設開啟個人常用視窗」之畫面。以油中糠醛試驗員為例，可預設登入軟體後開啟糠醛油樣登記表、糠醛試驗輸入、糠醛品管、流程控管之視窗；再以樣品收件員為例，可預設登入軟體後開啟綜合收件、變壓器/電抗器查詢、報告列印、流程控管之視窗。
- (三) 批次資料處理功能的新增：基於試驗項目的多元化，新軟體採用有別於前一代軟體的設計，新增「批次輸入」之功能，可以於操作頁面中一次編輯完所有資料後，再做批次儲存動作，增加使用之方便性及人工動作之效

率。此外，樣品收件作業時，備有收件資料「批次複製」之功能，以減少因新軟體資料庫數量增加後，重複收件動作造成的人力負擔。舉例來說，某單位送試 30 件變壓器本體絕緣油樣測試油中氣體、糠醛、甲醇三項試驗，並送試相同 30 台變壓器之 R、S、T 三相一次側電纜終端匣絕緣油樣共 90 件欲測量油中氣體分析，則在新系統中可先登錄 30 台變壓器本體之油中氣體分析樣品收件資料後，點選「樣品複製」按鈕，直接將收件結果登錄到糠醛、甲醇、電纜終端匣油樣試驗收件資料中，省去 150 次收件樣品登錄動作。

- (四) 搜尋功能之強化：以前一代軟體做為對照來說，先前系統僅能以「製造號碼」做為變壓器/電抗器名稱與歸屬客戶的搜尋，或在特定歸屬客戶底下查詢其所屬之變壓器/電抗器清單；若台電公司某單位希望取得其所轄子單位之 40 MVAR 電抗器油中氣體分析結果二氧化碳含量高於 10000 ppm 之清單，則必須以人工分別到其所轄 36 個子單位設備清單中逐一查看總計約 2000 台之變壓器/電抗器資料數據，之後也僅能以人工方式對清單內容逐一核對，不僅工作效率不彰，亦容易產生疏漏。為提供更好的客戶服務，新軟體的搜尋功能可透過篩選功能設定條件包含
- (1) 台電公司該單位所轄所有子單位於本系統中之變壓器內碼為 D 開頭；
 - (2) 設備類型為電抗器；
 - (3) 設備容量為 40 MVAR；
 - (4) 最後一筆二氧化碳測值大於 10000 ppm，則可篩選出共 9 台電抗器符合此條件。

參、變壓器故障案例分析

一、案例分析的目的

電力變壓器故障案例分析的目的，是將過去在台灣和日本發生之電力變壓器事故案例作有系統的分析，作為未來再發生類似電力變壓器事

故時可以作診斷參考。由於台灣電力變壓器大都是國產製造，而國內各大電力變壓器工廠皆是與日本電力變壓器廠技術合作生產，因此電力變壓器各項使用器材與設計施工理念，多來自日本技師的傳授，而變壓器發生事故時之故障診斷預測，在台灣和日本發生之電力變壓器事故案例作為參考，其可信度較高。

二、案例分析的方法

針對每一曾經內檢之事故變壓器，由事故報告或相關文件確認故障原因，然後由相關油中氣體分析歷史數據中找出最具代表性之測試值，作為本件案例之典型數據，以此油中氣體分析數據連結變壓器之廠牌、製造時間、電壓等級、容量、故障原因、故障部位等，由此資料庫作為未來發現異常之變壓器時，以油中氣體分析數值檢查是否過去發生類似變壓器故障案例，可作為診斷參考。

三、案例分析的分類

(一) 放電

1. 操作電壓

- (1) 高壓引線
- (2) 改電壓串並聯板
- (3) 高壓套管
- (4) 無載切換器接觸子
- (5) 無載切換器絕緣連接棒
- (6) 線圈

2. 磁場感應電壓

- (1) ULTC 極性開關
- (2) 接地銅板
- (3) 頂蓋止震件
- (4) 無載切換器傳動銷
- (5) 遮磁板固定螺絲
- (6) 鐵心
- (7) 鐵心與夾件接地
- (8) 鐵心遮磁桶

(二) 過熱

1. 操作電流

- (1) OLTC 引線接點
- (2) 二次套管引線接點
- (3) 改電壓串並聯板
- (4) 低壓側引線
- (5) 軟銅帶
- (6) 絕緣材料

2. 磁場感應電流

- (1) 夾件螺絲墊片
- (2) 鐵心

(三) OLTC 油洩入本體

肆、整合資料庫之設計

一、主畫面設計

本系統為符合電力變壓器診斷過程中查詢相關資料之需要，採用階梯式功能設計，讓多數功能皆能在操作過程中同時使用，如圖 4。

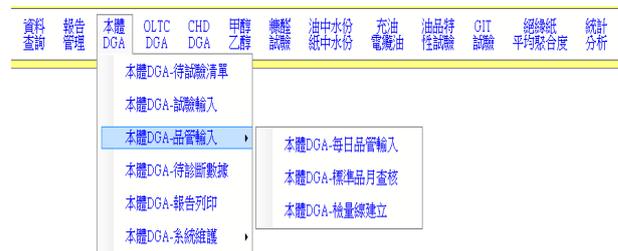


圖 4 階梯式功能畫面

二、階層表列資料設計

關連性資料的查詢，例如先指定客戶，之後查詢歸屬於該客戶的變壓器之資料，是重要且有效取得正確資訊的方式。本系統以電腦螢幕左側呈現上層資料表，右側則可呈現多個下層表，達到多元資料呈現之效果，如圖 5。

三、表列資料多重欄位排序與篩選設計

表列資料的運用，實務上多會根據需要進行資料之排序，以呈現所需之結果。本系統中的所有功能之表列資料，均可指定任意欄位進行排序



圖 5 階層表列資料

，排序原則包括數值順序、英文字母順序、日期順序、及中文筆劃多寡等；並且，支援多欄位的正向排序及反向排序之組合；表列資料依其欄位值類型提供篩選條件設定功能，參考圖 6，包括：

- (一) 數值欄位設定最大值與最小值範圍。
- (二) 日期欄位設定起始日期與結束日期區間。
- (三) 文字欄位可設定「=、<>、包含、不包含」等不同形態條件。
- (四) 多重欄位組合條件可設定：所有條件均需符合、任一條件符合等等彈性篩選功能。



圖 6 表列資料多重欄位篩選

四、表列資料匯出 Excel

表列資料多欄位排序與多欄位篩選所得之結果，均可匯出到 Excel，以利進行資料的進階運用。並且，表列資料如有不需要匯出之欄位，可自行調整欄位寬度到不可見；系統匯出資料時，自動忽略不可見之欄位，不予匯出。

五、表列資料即時編輯

表列資料進入可輸入之狀態時，資料輸入過程有相關的輸入輔助，包括日期選取器、相關資料選取器、及備註資料輸入器等等。針對資料欄位數較多的功能項目，另設計多筆資料編輯功能，以增加資料維護的方便性。如使用者在編輯資料時誤按了關閉或登出按鈕，系統會檢查是否有正在編輯資料的狀況，主動提示使用者並確認是否放棄資料之編輯結果。

六、管理者自訂畫面

為使系統效益最佳化且因應可能的需求變化，表列資料支援由管理者自行設定欄位呈現與否、欄位寬度、欄位標題、開啟功能的預設排序及預設資料篩選條件等功能。

七、系統權限管控設計

系統使用者的個別權限，可由管理者於系統中管理與設定。權限管理之設計，採用「以角色為基礎的存取控制(Role Based Access Control, RBAC)」，可有效且靈活地設定個別使用者之權限。

伍、整合資料庫各項功能

一、資料管理之架構：

變壓器或電抗器之設備基本資料以歸屬客戶為分類依據作群組管理，再對每個設備於不同部位(設備本體、OLTC、CHD)取樣的測試結果，分別紀錄其不同試驗分析結果(參考圖 7)。在試驗資料由診斷員進行審核時，軟體可自動抓取位

考；隨公司經驗之累積，將超過百件之台電案例數據（且持續累積更多案例經驗中）納入新軟體台電案例比對法中，未來可以用台電特有之診斷方法提供更精準的診斷服務。可使用的診斷法如下所述：

(一)杜威三角診斷法（圖 9）：透過計算甲烷（CH₄）、乙烯(C₂H₄)、乙炔(C₂H₂)三種氣體成分之相對百分比，繪圖後可由圖點位置及時間序列之移動情形，診斷變壓器內發生部分放電、過熱、電弧放電之劣化現象。

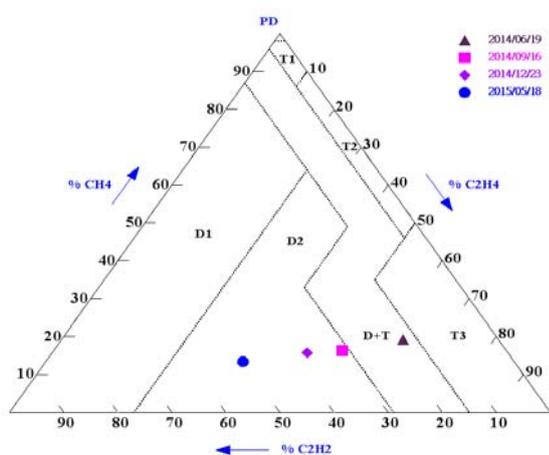


圖 9 杜威三角法診斷圖

(二) 氣體模式診斷法(圖 10)：日本電氣協同研

究，以五種油中氣體成分（H₂、CH₄、C₂H₆、C₂H₄、C₂H₂）間的相對比例關係發表 17 種氣體模型，診斷時，透過故障變壓器此五種氣體成分數據相對比例關係，與此 17 種模型之相似程度作為異常現象診斷之依據。

(三) 二成份診斷法：包含 IEC 二成份診斷法（圖 11）、日本電氣協同研究二成份法（圖 12）、Rogers 二成份診斷法、Donerburg 二成份診斷法，透過計算成分兩兩間比例，借由落點位置診斷異常現象。

(四) 案例比對診斷法（圖 13~14）：分別匯整日本電氣協同研究及台電確診故障案例，建立各類故障之診斷圖。診斷時，比對故障變壓器絕緣油測得之六種油中氣體成分（CO、H₂、CH₄、C₂H₆、C₂H₄、C₂H₂），以其相對比例關係與案例模型的相似程度作為診斷之依據。診斷結果除了異常現象的資訊以外，更提供故障可能的發生原因資訊。

(五) 多變量分析標靶診斷法(圖 15)：以台電公司案例發展之多變量分析標靶診斷法，透過多變量計算落於二維標靶的位置以診斷變壓器發生之異常現象。

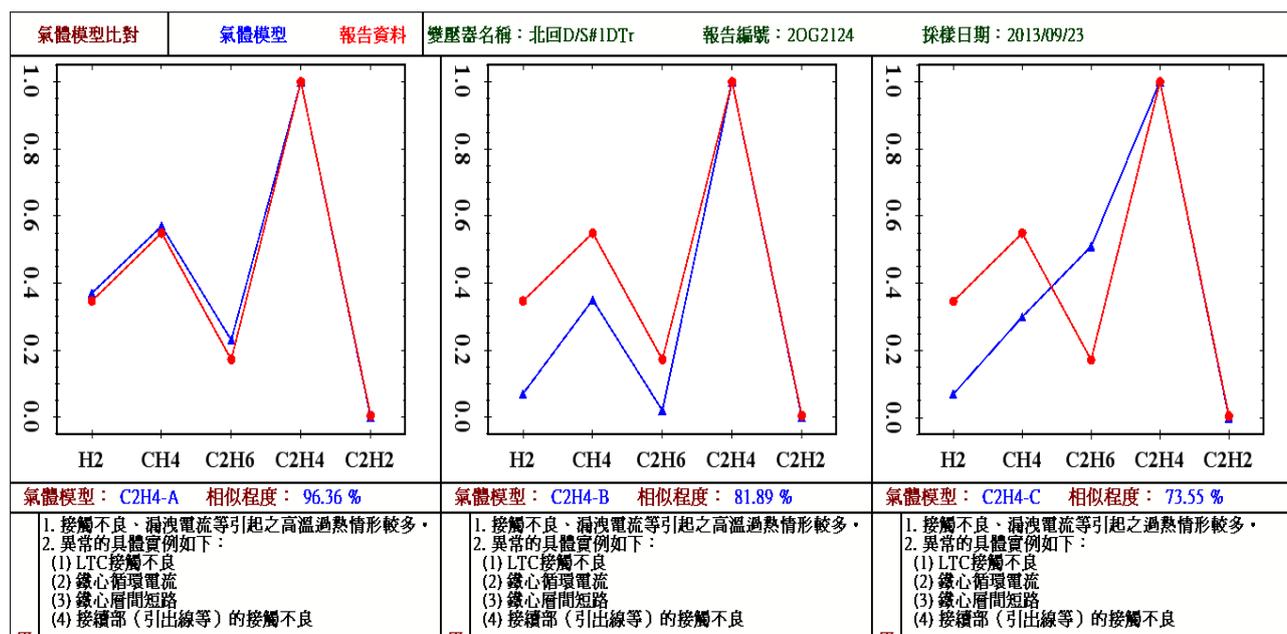


圖 10 氣體模式診斷圖

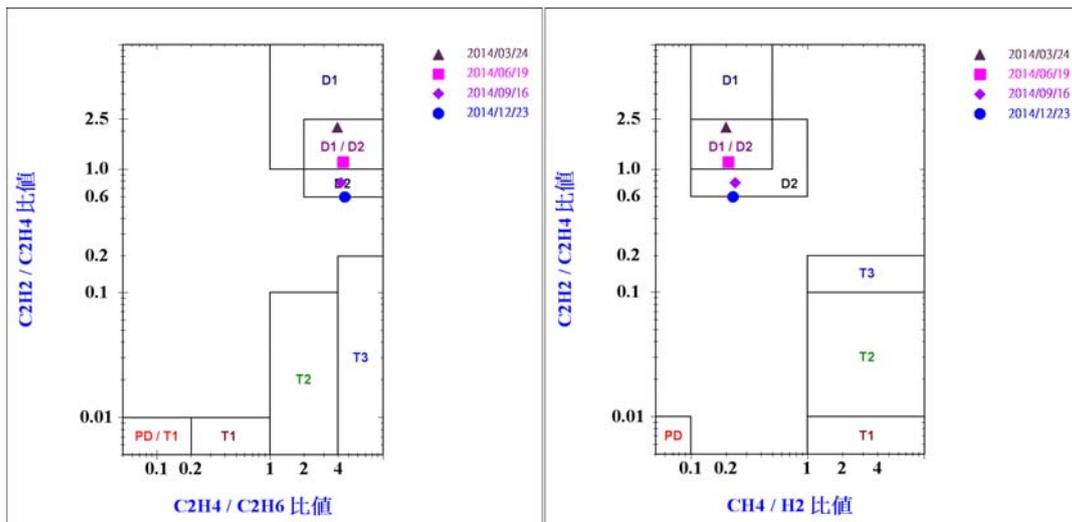


圖 11 IEC 二成份診斷圖

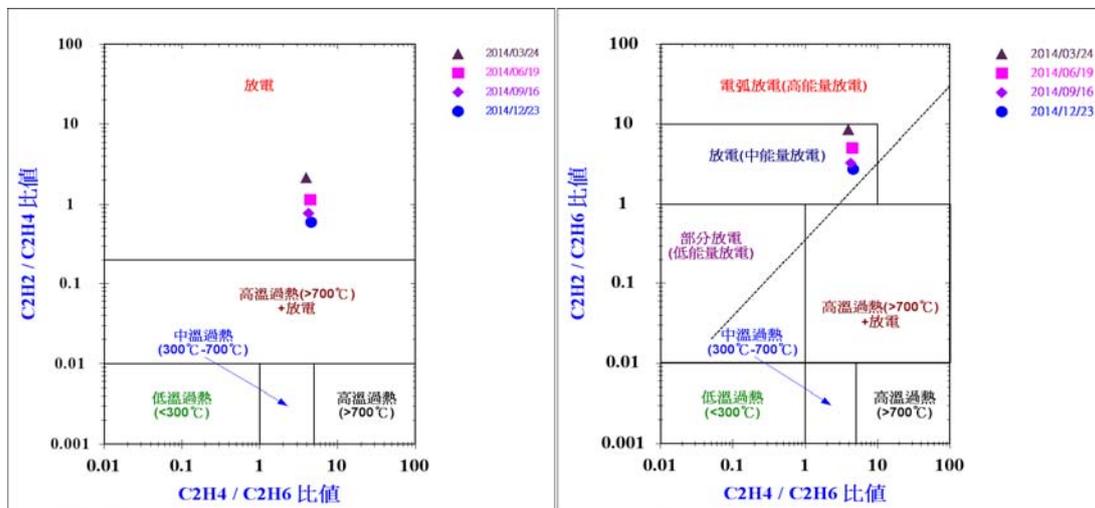


圖 12 日本電氣協同研究二成份診斷圖

電協案例法	案例模型	報告資料	變壓器名稱: T3A2	報告編號: 30G18Z7	採樣日期: 2014/09/18
案例編號: 4-1 相似程度: 96.35 %	案例編號: 028 相似程度: 95.72 %	案例編號: 026 相似程度: 94.32 %			
故障位置: 繞組+鐵心	故障位置: 鐵心	故障位置: 鐵心			
故障型態: 過熱	故障型態: 過熱	故障型態: 過熱			
故障原因: 循環電流	故障原因: 地絡, 短絡	故障原因: 異物			
鐵心間有形成滲路・繞組製作不良+繞組振動	不明	異物			

圖 13 日本電氣協同研究案例診斷圖

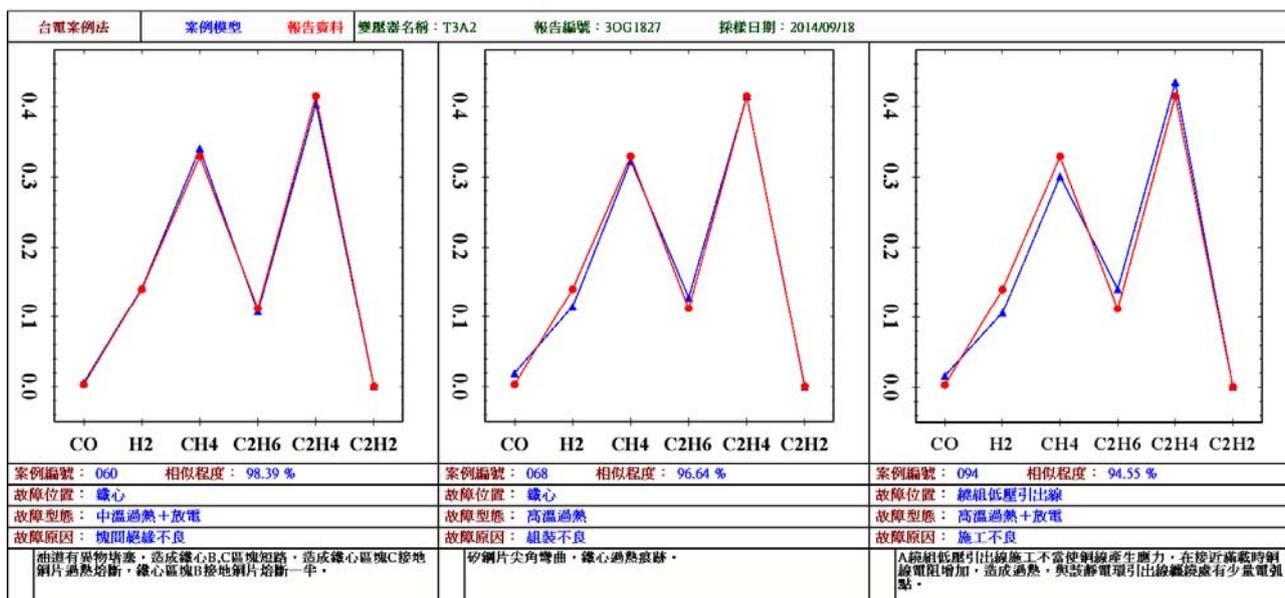


圖 14 台電公司案例診斷圖

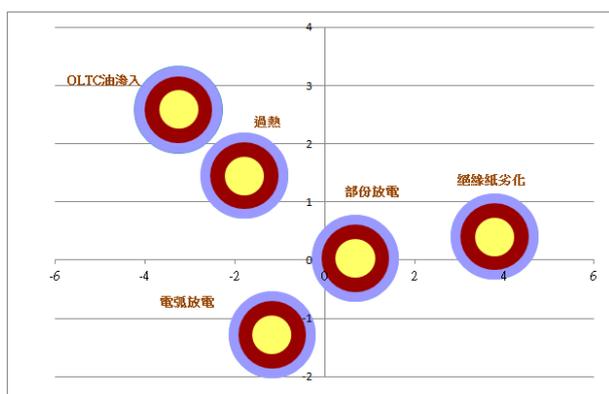


圖 15 多變量分析標靶診斷圖

四、同一台電力變壓器各種試驗結果查詢：

油中水分、紙中水分、油溫、油與紙之水活性、老化指標(糠醛與甲醇含量)、CHD 油中氣體分析與本體油中氣體分析比較、OLTC 油中氣體分析與本體油中氣體比較分析、壓器油物理化學電氣試驗資料等等。

五、各種試驗之資料作圖、統計、列表：

- (一) 可製作各種試驗分析資料的成長趨勢圖、變化量趨勢圖與資料列表。
- (二) 電力變壓器須注意、異常與故障類別依電壓等級、容量、廠牌、安裝單位等之分類統計與查詢。

- (三) 充油電纜接續匣、氣體絕緣變壓器(GIT)故障診斷。
- (四) 電力變壓器油中氣體分析、充油電纜油中氣體分析、氣體絕緣變壓器等試驗工作之月報與年報統計。

陸、結論

電力變壓器故障診斷系統整合研究，利用綜研所油煤組多年來執行電力變壓器故障診斷之服務所累積的資料與經驗、運用統計技術進行分析、參考國際相關基準，並重新檢討既有基準之適合性後，於 102 年公告新版台電電力設備診斷基準；同時，在新訂定之電力設備診斷基準的基礎上，將電力變壓器故障診斷軟體進行第四代之更新，提供更完備的油浸式變壓器故障診斷系統，與全新的氣體絕緣變壓器資料庫及充油電力設備故障診斷系統軟體，並建立資料庫間相互關係，成為提供精準的電力變壓器故障診斷服務之基石。

本次研究所得的新一代電力變壓器故障診斷軟體，除了提供綜研所油煤組使用軟體者更有效率的工作介面，更將綜研所油煤組同仁累積 30 多年之經驗數據化與軟體化，提供更充分的電力

變壓器故障診斷資訊。同時，也能提供客戶較多元化的服務，尤其當發現變壓器故障時，試驗報告可提供多種國際的變壓器故障診斷基準的分析圖，使電力變壓器故障診斷資訊更為豐富與正確。

柒、參考文獻

- [1] 日本電氣協同研究會，「油入變壓器之保守管理」，電氣協同研究，第 54 卷第 5 號，1999 年 2 月。
- [2] 日本電氣協同研究會，「電力變壓器指導方針之修訂本」，電氣協同研究，第 65 卷第 1 號，2009 年 9 月。
- [3] IEEE, "IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers," IEEE Standard C57.104-2008, Feb. 2009.
- [4] IEC, "Guide to the interpretation of dissolved and free gasses analysis," IEC Std. 60599, May 2007.

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

資訊末端設備網路化及網路管理系統建置研究

A Study of Networked RTU and Establishment of Network Management System

劉至瑄*
Liu, Chih-Hsuan

施國樺*
Shih, Kuo-Hua

林東臨*
Lin, Dong-Lin

李勝弘*
Lee, Sheng-Hung

摘要

輸變電設備為電力系統主要硬體設備，隨著科技進步促使傳統設備監控由人工改為自動化，此間轉換功臣莫過於資訊末端設備(RTU)，舉凡變電所內各項數位資料、類比資料及控制輸出等皆有賴於 RTU 轉換方能使監控系統發揮其功效。目前安裝於本公司之 RTU 設備廠家眾多，包含祥正、中興及健格等廠商，如何利用網路線連接不同廠牌 RTU 且兼顧最佳建置成本為本研究重點，同時以路北 E/S 為案例說明網路管理系統建置及有效的診斷檢測。

Abstract

The purpose of this study is to establish the network connection of Remote Terminal Unit (RTU) produced by different manufacturers (e.g., Hsiang Cheng Electric Corp., Chung Hsin Electrical and Machinery Mtg. Corp., and Controlnet company) at the optimal cost of network settings. Power transmission facilities are the main hardware in power system. In the wake of the progress of science and technology, the functions of RTU are changed from manual operation to automation. RTU plays an important role in the process of data transformation including Analogy Information (AI), Digital Information (DI), and Contral Output (CO). Moreover, for reader's reference, the network experience of Rupei E/S is fully presented to illustrate the establishment of network management system and its function in abnormal event detection.

關鍵詞(Key Words)：資訊末端設備(Remote Terminal Unit)、網路化(Networked)、網路管理系統(Network Management System)、成本最佳化(Optimal Cost)。

壹、前言

為推動台灣地區智慧電網之發展，行政院已於民國 101 年 8 月通過「智慧電網總體規劃方案」^[1]，本公司亦積極配合國家政策循序制定短期(前期佈建)、中期(推廣擴散)及長期(廣泛應用)等三階段作為推展時程，並以智慧發電與調度、智慧輸電、智慧配電及智慧用戶等構面全方位推動，期能達成智慧電網總體規劃期許之「確保穩定供

電、促進節能減碳、提高綠能使用及引領低碳產業」等目標。

其中智慧輸電發展，伴隨本公司推展時程扮演不可或缺角色，SPS 及 ISC^[2]等技術運用對輸電系統安全及穩定度提升將有莫大助益。但隨著新一代智慧型輸變電設備加入電網，本公司既有自動化監控系統之蒐集、通訊及指令等資訊流必將日益複雜且封包數亦將大幅增加，導致原有資訊監控設備及傳統傳輸方法已難滿足未來系統需求。有鑑於此，供電處於新一代區域調度中心

*台灣電力公司高屏供電區營運處

(Dispatch Control Center, ADCCArea)調度系統採購規範第 6 次研討會紀錄追蹤事項辦理情形之 RTU 網路 IP 化建置期程規劃報告中，明確指示各供電區營運處應於 106 年 12 月底前自辦完成網路系統建置。本處資控組於是著手進行 RTU 網路化所需設備購置、IP 設定規劃及網路管理系統建置等相關工作並預計 104 年底前完成上述工作。

目前本公司輸電設備使用之 RTU 廠家主要為祥正、中興及健格等。目前除了健格製 RTU 設備具備支援網路界面外，祥正製 RTU 需透過中央處理器(Central Processing Unit, CPU)硬體及韌體升級方式以達成網路連結功能，另中興製 RTU 則須加裝多通道資料閘道器/收集器(Intelligent Ethernet Data Gateway, iEDG)設備；考量本公司經營環境日益艱難，為配合公司政策開源節流、降低施作成本，本研究針對 RTU 設備網路化，尋求最佳成本替代方案。

本研究以路北 E/S 轄區變電所試辦 RTU 網路化並採用環狀拓樸架構，本架構易因網路迴圈產生網路風暴^[3]、影響通道傳輸效能，故須運用第二層網路技術，透過路由器(Router)之 IEEE 802.1w Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP)功能^[4]，於網路自動產生虛擬斷點以避免風暴產生，惟本虛擬斷點傳輸方式無法確實呈現網路實際運行狀態，僅能於前後節點皆斷線時方能察覺並進行維修，此空窗期對系統運轉安全將造成嚴重危脅，有鑒於此，本研究另提供路北轄區網路管理系統建置經驗予讀者參考。各節研究內容概述如下：

第貳節 RTU 網路化廠家建議評估。依據本公司 RTU 各廠家建議案進行分析並評估其優劣。

第參節 RTU 網路化替代方案研究。本研究提出以 Serial to Ethernet 轉換器取代數據機^[5]功能替代方案。

第肆節 網路管理系統建置之研究。設定網路連接方式為環狀架構(Ring Topology)^[6]及生成樹協定(Spanning Tree Protocol,

STP)^[7]，為隨時掌握網路連線狀態，選用 What's UP Gold Standard Edition^[8]網路管理系統進行主動監控及網路基礎架構管理。

第伍節 研究方法具體建置及驗證。藉由路北 E/S 轄區變電所祥正及中興 RTU 進行實地建置及測試，測試結果證明 Serial to Ethernet 轉換器可達成 RTU 網路化功能且透過 What's UP 網路監控軟體除可監看網路即時狀態，亦可自網路瀏覽器登入網管伺服器進行線上監看並查詢相關歷史紀錄，藉此提升管理者對網路設備狀態掌握能力並強化系統運轉安全。

貳、RTU 網路化廠家建議評估

本節係依據各廠家對其 RTU 設備網路化建議方案進行了解並分析其優缺點後，去蕪存菁尋求最佳替代方法。

一、祥正製 RTU 設備

祥正 RTU 設備型式可分為 R2P 及 R2K 兩種架構，其網路化方案係使用既有 R2P 型式設備將其升級為網路化版 R2K 並更換網路埠口之 CPU 卡，網路化版 R2K 為網路化之重新設計架構，具備直接支援網路功能，由於該版設備為祥正公司近期推出產品，於本公司所占 RTU 設備數量比重不高；相較之下，R2P 及不支援網路版 R2K 設備卻廣泛應用於本公司。目前祥正公司對 R2P 版升級網路化方案為更換 CPU 卡及更新通訊模組(Communication Module, CM)韌體，其餘輸入輸出控制卡(Input/Output, IO)均維持不變。但考量更換卡片數量龐大，本公司供電處與祥正公司洽談專案價格並委請嘉南供電區營運處針對祥正製 RTU 網路化所需卡片及韌體數量進行統計並採購，各營運處所需卡片數量如表 1 所示。

表 1 各供電區處祥正製 RTU 之 CPU 卡升級統計表

型式	單位		北供	新桃	中供	嘉南	高屏	花東	小計
	型號								
Master CPU 卡	RC-418A		45	23	40	32	38	0	178
	RC-418D		10	13	8	4	18	0	53
Slave CPU 卡	RC-413C		0	0	0	11	0	0	9
I/O CPU 卡	RC-414C		42	48	37	21	57	0	205
	RC-417C		9	14	7	4	18	0	52

祥正製 RTU 之 R2P 版網路化步驟如下：

- (一) 將線上 RTU 運轉資料庫上載備份。
- (二) 複製資料庫，將原 R2P 版資料庫透過轉檔程式轉成 R2K 版資料庫格式。
- (三) 聯絡監控主站值班主任將欲更新之 RTU 設備離線，監控權轉交現場維護運轉人員。
- (四) 將 RTU 電源關掉後更換卡片，將轉好資料庫載入 CPU，並更換 CM 卡韌體後，將 RTU 重新啟動。
- (五) 因應資料庫變動，進行全所點對點測試。將 RTU 遠端遙控/本地控制(Remote/Local)開關切換到 Local 位置，此時控制指令將無法輸出至變電所內設備，此動作可避免突發狀況導致設備誤動作。接著通知值班主任將 RTU 連線，開始進行點對點測試。
- (六) 測試完成後，將 RTU Remote/Local 開關切換到 Remote 位置，恢復遠端遙控監視功能。

二、中興製 RTU 設備

中興電工公司對其 RTU 設備網路化建議方案為加裝 iEDG 設備，iEDG 係負責蒐集變電所 RTU 之主變、饋線狀態及類比等資料，並將所蒐集之資料傳回控制中心且接受中心控制指令對現場設備執行控制操作，中興製 RTU 網路化請參考圖 1 所示。

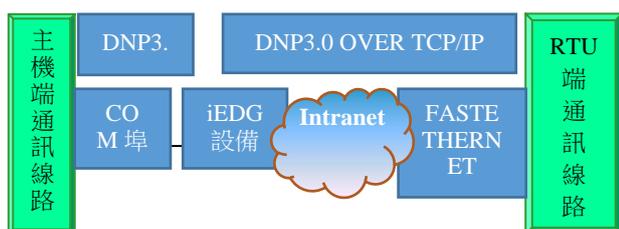


圖 1 中興製 RTU 網路化示意圖

中興電工公司所提出之網路化方案係透過

增設 iEDG 設備，將 RTU/ADCC 資料利用內部資料庫轉發給 ADCC/RTU 以達到網路化功能。惟此方案將增加資料庫維護工作量、不利資料庫維護工作。

參、RTU 網路化替代方案

一、網路 IP 設定規劃

為避免 RTU 之間因網路 IP 衝突導致系統異常，並降低網路查修時間，RTU 網路 IP 依 IPV4 規劃原則說明如下：

- (一) RTU IP 第 1 Byte 以“192”表示。
- (二) RTU IP 第 2 Byte 以單位代號“168”表示。
- (三) RTU IP 第 3 Byte 為功能碼，以“10”代表網路化。
- (四) RTU IP 第 4 Byte 參考調度中心之變電所代碼，依電壓等級區分如下：
 1. ES = 變電所代碼+200
 2. DS = 變電所代號+100
 3. PS = 變電所代號

接著，本文以實際變電所為例說明如下。在高屏供電區 SCADA 系統中，路北 E/S 代號為 038，345kV RTU IP 為 192.168.10.238 及 161kV RTU IP 為 192.168.10.138；嘉峰 D/S 代號為 086，RTU IP 為 192.168.10.186。

Router 之 Priority 係依據其功能進行設定，若 Priority 數值越小，代表其權限越高；也就是 STP 之指定端口(Designated Port)會落在 Priority 數值高的地方。文中路北 E/S 轄區變電所 RTU 網路化 IP 規劃如表 2 所示，另表 3 為系統資料庫所對應之變電所代碼設定。

表 2 路北 E/S 轄區變電所 RTU 網路化 IP 規劃表

序號	變電所別	DNP Addr	Router IP VLAN0	RTU IP Vlan2	Subnetmask	Priority
1	調度中心(機房)	1	192.168.245.100		255.255.255.0	0
2	路北 E/S 345KV	5633	192.168.245.238	192.168.10.238	255.255.255.0	4096
3	路北 E/S 161KV	5634		192.168.10.138	255.255.255.0	
4	路北 E/S 69KV	5636		192.168.10.38	255.255.255.0	
5	保定 D/S	5637	192.168.245.165	192.168.10.165	255.255.255.0	32768
6	北嶺 D/S	6153	192.168.245.171	192.168.10.171	255.255.255.0	32768
7	嘉峰 D/S	6148	192.168.245.186	192.168.10.186	255.255.255.0	32768
8	竹嶺 D/S	5635	192.168.245.168	192.168.10.168	255.255.255.0	32768
9	岡工 D/S	6160	192.168.245.170	192.168.10.170	255.255.255.0	32768
10	路園 D/S	6149	192.168.245.183	192.168.10.183	255.255.255.0	32768

表 3 調度監控系統(Spectrum)資料庫之變電所代碼

高港轄區	大鵬轄區	仁武轄區	路北轄區	五甲轄區	高雄轄區	瀾力轄區
高港 ES034	大鵬 ES035	仁武 ES036	路北 ES038	五甲 ES031	高雄 ES039	瀾力 ES032
N高港 ES033	墾丁 DS087	岡山 PS078	保定 DS065	南工 PS073	四維 DS081	旗山 DS056
鳳農 DS095	屏東 PS075	加昌 DS093	路園 DS083	凱旋 DS094	北營 DS091	西屏 DS069
林園 PS0084	東港 DS060	仕豐 DS066	岡工 DS070	貴陽 DS055	屏山 DS098	南屏 DS058
過埤 DS067	楓港 DS076	社灣 DS057	北嶺 DS071	臨海 DS092	三民 DS080	農一 DS061
美山 DS096	潮東 DS097	楠梓 DS090	嘉峰 DS086	中島 DS088	同盟 DS082	
鳳山 DS098	加一 DS064	社武 PS077	竹嶺 DS068	鎮北 DS085	龍子 DS063	
		九曲 DS059		西甲 DS053	內惟 DS062	

二、目標方法

(一)現行方法及 RS-232 介紹

目前自動化設備係採用 DNP3.0 通訊協定，透過 RS-232 介面與數據機連接，經由數據專線與遠端數據機連絡、進行資料傳遞，架構圖請參考圖 2 所示。如前所述，RTU 及 Local SCADA 設備皆需使用 RS-232 與數據機連接，故針對 RS-232 做一簡單介紹^[9]。

RS-232 是由美國電子工業聯盟所制定之序列資料通訊介面標準，串列傳輸是以一連串的位元串依序傳輸，最常用的編碼格式為非同步起停格式，一個起始位元後面緊跟著 7 或 8 個資料位元(bit)，其後是可選擇奇偶校驗位元，最末端為一或兩個停止位元。RS-232 腳位所代表的意義與數據機傳輸有關。RS-232 裝置可以分為資料終端裝置(Data Terminal Equipment,

DTE, For example, PC)和資料通訊裝置 (Data Communication Equipment, DCE)等二種，此種分類可定義不同線路功能以傳送和接受訊號。其腳位可分為 D9 及 D25，本文係使用 D9 形式，以表 4 說明 D9 腳位意義。

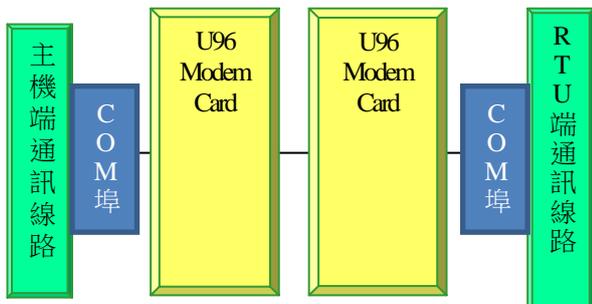


圖 2 RTU 數據通訊接線

表 4 RS232 之 D9 形式接腳說明

腳位	簡寫	意義	說明
Pin1	CD	Carrier Detect	數據機通知電腦有載波被偵測到。
Pin2	RXD	Receiver	接收資料。
Pin3	TXD	Transmit	傳送資料。
Pin4	DTR	Data Terminal Ready	電腦告訴數據機可以進行傳輸。
Pin5	GND	Ground	地線。
Pin6	DSR	Data Set Ready	數據機告訴電腦一切準備就緒。
Pin7	RTS	Request To Send	電腦要求數據機將資料送出。
Pin8	CTS	Clear To Send	數據機通知電腦可以傳資料過來。
Pin9	RI	Ring Indicator	數據機通知電腦有電話進來。

(二) Serial to Ethernet 轉換器取代數據機應用

首先將 DNP3.0 通訊協定進行封包網路格式作業，接著依據開放式系統互聯通訊參考模型(Open System Interconnection Reference Model, ISO/IEC 7498-1 簡稱為 OSI 模型)^{[10] [11] [12]}將封包劃分為 7 層框架，請參考表 5 所示。本研究提出 Serial to Ethernet 轉換器係運用 OSI 模型內之實體層、資料連結層、網路層以及傳輸層等 4 層框架，其中實體層即是前述 RS-232 介面

層。接著本研究對資料如何經過傳輸層、網路層及資料連結層之各層封裝方式，依其步驟簡單說明如下，並請參考圖 3 所示。

表 5 OSI 模型簡介

OSI 模型		
層	功能	資料單元
7. 應用層	提供為應用軟體而設的介面，以設定與另一應用軟體之間的通訊，例如：HTTP 等。	Data
6. 表現層	把資料轉換為能與接收者的系統格式相容並適合傳輸的格式。	
5. 會議層	負責在資料傳輸中設定和維護電腦網路中兩台電腦之間的通訊連接。	
4. 傳輸層	把傳輸表頭(TH)加至資料以形成資料報。傳輸表頭包含了所使用的協定等傳送資訊。例如：傳輸控制協定義(TCP) 等。	Segments
3. 網路層	決定資料的路徑選擇和轉寄，它網路表頭(NH)加至資料報，以形成封包。網路表頭包含了網路資料。例如：網際網路協定(IP) 等。	Packet/ Datagram
2. 資料連結層	資料鏈表頭(DLH)是包含了實體位址和錯誤偵測及改錯的方法。	Frame
1. 實體層	負責管理電腦通訊裝置和網路媒體之間的互通。	Bit

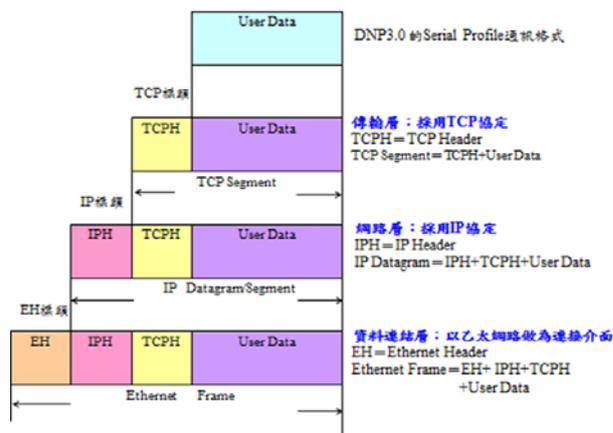


圖 3 資料轉換成 TCP/IP 示意圖

1. 傳輸層(OSI 第四層，單位：segment)

本層主要功能是確保資料正確傳送至目的地。其工作係將資料變成封包形態，並正確傳送至目標電腦，然後再將

封包重組成為資料。封包如果殘缺則進行重發，具備剔除重複封包功能。傳送層可以等資料收集到足夠數量時再發送出去，其應用程式並非每產生一個數據即進行一次傳送，此項功能可大幅減少不必要傳輸次數，確保高效率傳輸；反之，當應用程式產生大量資料數據時，則可將其分拆成較小封包進行傳輸。

2. 網路層(OSI 第三層，單位：packet)

本層主要功能係為建立主機間連線，讓封包(packet)於不同網路間可透過路由器進行傳遞。本層內容係規定網路定址方式及不同網路間之資料傳遞方式。

3. 資料連接層(OSI 第二層，單位:bit)

本層資料係透過實體層建立通道後，以 bit 為單位進行傳輸。資料連接層主要功能是在做實體層與網路層間之溝通橋樑，針對不同實體層制定不同資料框包格式，並運用數據框包概念來傳遞資料，其負責安排框包之封包範圍，且制定框包傳送和接收順序及傳遞方式，並建立檢查機制，確保資料一致性。

4. DNP3.0 之 Serial Profile 於封包成 segment 後可透過傳送層傳送，到達網路層時再將 segment 封包成 packet 於網路層傳遞，找到相對應主機後，將 packet 封裝成 frame 並運用資料連接層與實體層溝通，資料以 bit 為單位傳送對方，如此一來即可能經由網路進行傳輸資料。且該轉換器支援簡單之網路管理協定 (Simple Network Management Protocol, SNMP)^{[13][14]}，透過網路管理軟體可監看該設備狀況，相關架構請參考圖 4 所示。使用 Serial to Ethernet 轉換器後，RTU 與 Local SCADA 即可藉轉換器與主站間進行通訊，如圖 5 所示。

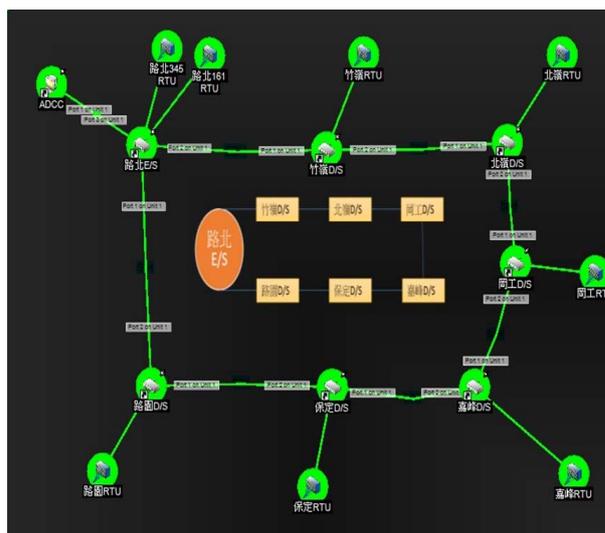


圖 4 路北轄區網管系統圖

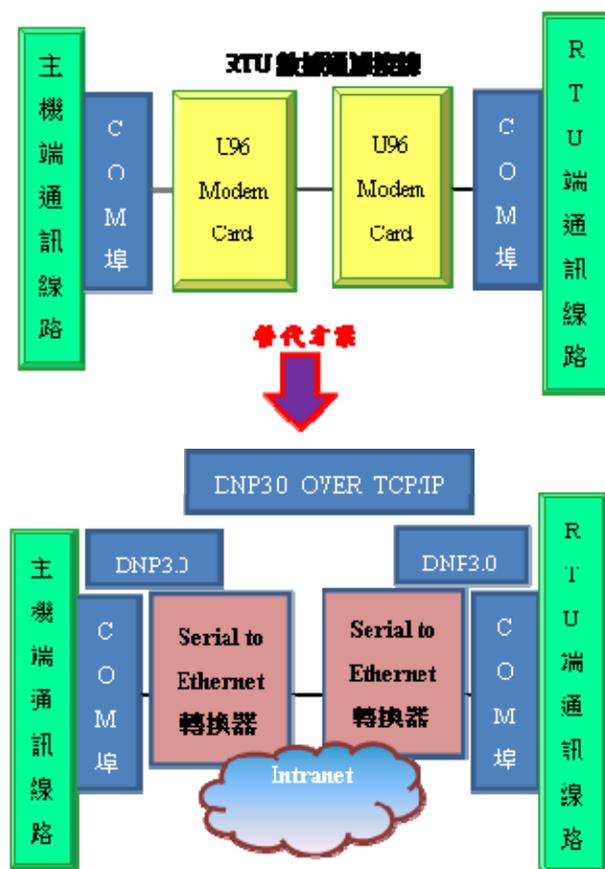


圖 5 RTU 網路 IP 化替代方案架構圖

肆、網路管理系統建置

一、網路架構介紹

網路拓樸(Topology)係指網路各裝置實際連接方式。常見拓樸架構詳述如下。^{[15][16][17]}

(一) 匯流排拓樸 (Bus Topology)

本架構電腦係經由一條主幹線連結起來，匯流排具廣播特性，任何一部電腦皆可將資料上傳網路，其訊號會往兩邊傳遞並流入網路任一部電腦，以此達成資料傳輸目的，其架構如圖 6 所示。當匯流排網路上有任何一部電腦故障時，不會影響其他電腦間之正常通訊。本項架構具備安裝與設定容易、價格便宜及擴充容易等優點；惟其容易發生效能衰退、大量擴充後信號衰減及問題排除困難等缺點。

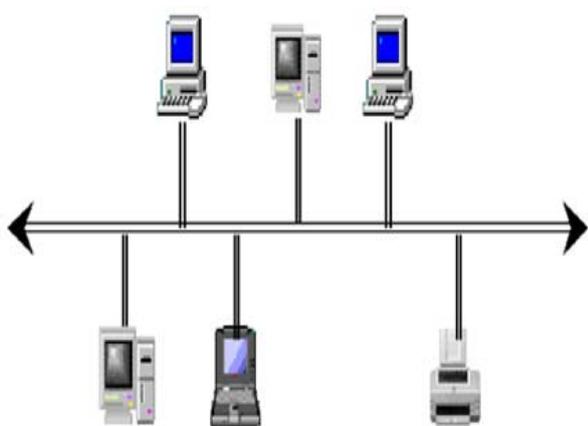


圖 6 匯流排拓樸架構

(二) 星狀拓樸 (Star Topology)

星狀(Star)拓樸係由一部中央裝置與其四周設備連結組成，中央裝置通常是集線器(Hub)，其他裝置則以獨立線路與集線器進行連接，其架構如圖 7 所示。當其中一個設備欲傳遞資料時，先傳送信號給集線器，集線器則將信號「廣播」給所有設備，各設備再自行判斷該信號是否屬於本身所需。另一種較先進的交換式集線器(Switched Hub)，會自動判斷並直接將信號傳送給正確接收端，藉此減輕網路資料流量並提昇傳輸效率。本項架構具備擴充簡易、排除問題容易及集線器支援種類廣泛等優點；惟其易產生網路全黑(集線器故障)、纜線需求量大及當信號重新廣播需增設額外裝置等缺點。

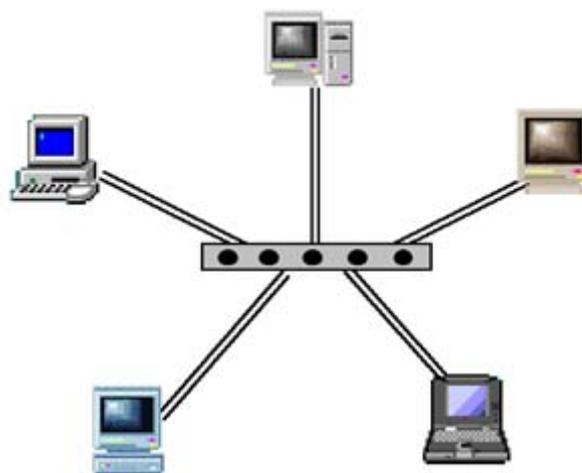


圖 7 星狀拓樸架構

(三) 環狀拓樸 (Ring Topology)

環狀(Ring)拓樸上的所有節點會連接形成一個圓圈，資料依據環形順序以同一方向逐一傳遞直到抵達目的電腦或設備為止，因此一旦環圈上的任一節點故障時，整個網路便會失去作用，其架構如圖 8 所示。環狀拓樸通常採用記號傳遞(Token Passing)^[18]之技術進行資料傳送，只有取得該記號的設備才能傳輸資料，傳輸完成後再釋放記號供其它設備使用，據此可建立高速而有秩序網路環境。本項架構可提供有秩序網路(存取記號裝置都可傳輸資料)及較佳重載表現等優點；惟其易因工作站或纜線故障、裝置新增或移除對網路造成影響。

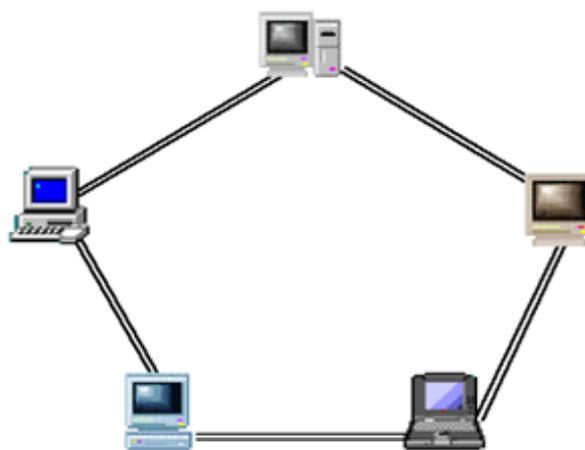


圖 8 環狀拓樸

二、網路架構實例

本研究之路北 E/S 轄區 RTU 網路化試辦方案採用環狀架構及 STP 協定，STP 是基於 OSI 網路模型所制訂之資料鏈路層通訊協定，其主要功能為自動產生網路虛擬斷點，確保該網路為無迴圈區域之環境，該協定設計概念係當其中一條運作網路路徑失效時，網路自動切開故障點並提供備用路徑且重新計算網路資料封包傳遞流向，實際網路運用說明如下。

(一) 變電所 RTU 網路正常連線

如前所述，路北 E/S 轄區 RTU 網路係採用環狀拓樸架構，若將網路虛擬斷點設定於嘉峰一次配電變電所(D/S, Distribution Substation)與保定 D/S 間，RTU 網路封包傳遞方向如圖 9 所示，傳輸資料集中於路北 E/S，經本公司電力通信處 Synchronous Digital Hierarchy (SDH)^[19] 電路，將資料傳回 ADCC 調度監控主機。

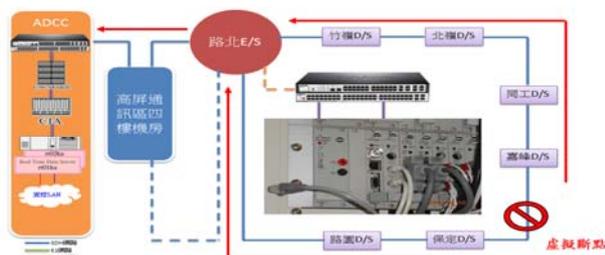


圖 9 變電所 RTU 網路正常連線示意圖

(二) 變電所 RTU 網路單節點異常斷線

當網路發生單節點異常斷線時，虛擬斷點將被取消，並以實際斷線位置重新計算網路資料封包傳遞方向，如圖 10 所示，此時網路依舊保持暢通，各變電所 RTU 與 ADCC 調度監控主機仍可正常連線，惟此時 ADCC 運轉人員與資控設備維護人員難以及時掌握網路異常斷線訊息。

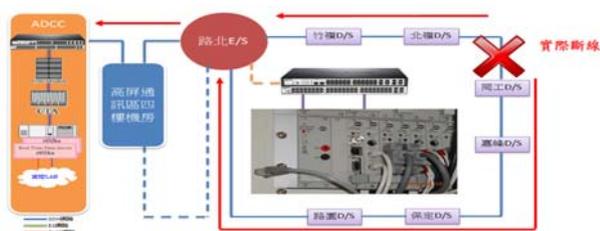


圖 10 變電所 RTU 網路發生單節點斷線示意圖

(三) 變電所 RTU 網路二節點以上異常斷線

若網路發生二節點以上異常斷線，如圖 11 所示，此時斷線節點間之變電所 RTU 與 ADCC 調度監控主機將立即斷線，ADCC 運轉人員與資控維護人員獲得網路異常斷線警報，惟此期間已造成運轉人員監控功能喪失並嚴重威脅系統運轉安全。

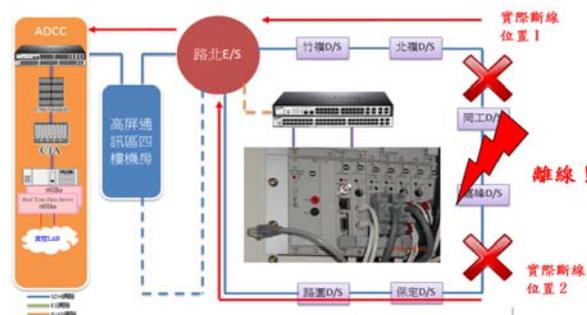


圖 11 變電所 RTU 網路與監控主機斷線示意圖

由上述實例可知，運用 STP 協定技術雖可確保資料不會因環狀架構出現斷點導致資料傳輸中斷，但對管理人員而言，隨時掌握網路設備連線狀態並進行及時故障排除實為另一值得深入探討之議題，故本研究提出網路管理系統輔助 RTU 網路化之構想，期能以此避免前述弱點影響系統穩定。

三、網管軟體介紹

網路管理系統所運用之協定為簡單網路管理協議(Simple Network Management Protocol, SNMP)。SNMP 將網路設備區分為接受管理的代理器(Agent)及管理網路設備與狀態的管理器(Manager)兩大類。SNMP Agent 是指被管理設備上的網路管理程式，其主要作用是將設備管理資訊，如網路連線狀態及封包流量等，轉換為 SNMP 兼容格式，並定時將設備訊息發送給 SNMP 管理系統，以利 SNMP 管理系統進行讀取，如圖 12 所示。SNMP Manager 通常是一台電腦，可用來執行一個或多個網路管理系統並透過網管伺服器發出要求命令，由受監控節點獲得管理訊息，網管伺服器於接收要求資訊後，會將該資料狀態傳送至網管人員。另 Agent 亦負責監看管理節點並搜集運作相關資訊(被管理設備資訊等)並依管理系統資訊需求傳遞該項資料。

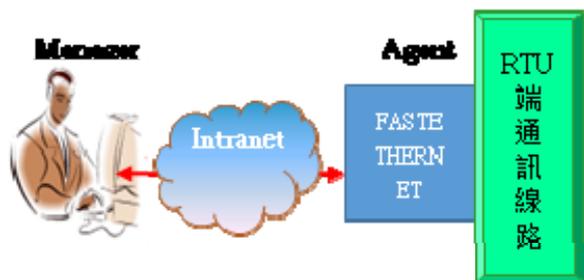


圖 12 SNMP 協定示意圖

在眾多網路管理系統軟體中，本研究選擇 What's UP GOLD 網管軟體，其主要功能如下：

(一) 繪製網路拓樸圖形介面

透過可辨識網路設備如何伺服器、網路節點、橋接器、路由器、集線器或可支援 SNMP 等設備之 IP 位址設定，可自動繪製彼此間之連線狀態並產生拓樸圖，提升使用者監看方便性。

(二) 監控網路狀態

網路拓樸圖建置完成後，即可啟動 What's UP 軟體監控網路上所有連線裝置狀態，並記錄特定封包與網路裝置間之傳輸及互動情形。亦可以經由不同埠口檢查並判斷其他應用層服務(如 HTTP、SMTP 及 POP3 等)是否正常。

(三) 警報訊息回報

What's UP 軟體可運用不同顏色呈現網路裝置狀態，正常情況下以綠色顯示，若發生一次輪詢沒有回應者以淡綠色顯示，若輪詢二次或超過二分鐘以上無回應者以黃色顯示，當無法存取或超過四次或五分鐘以上無回應者以紅色告警，其告警具備電子郵件通知功能，可依據管理者需求自行設定，圖 13 為竹嶺 D/S 模擬網路設備網路線路，經 What's UP 軟體輪詢四次以上均無回應，則判斷該設備狀態應屬異常並以紅色線條畫面顯示於網路拓樸圖上，且顯示於狀態監控畫面上，如圖 14 所示。

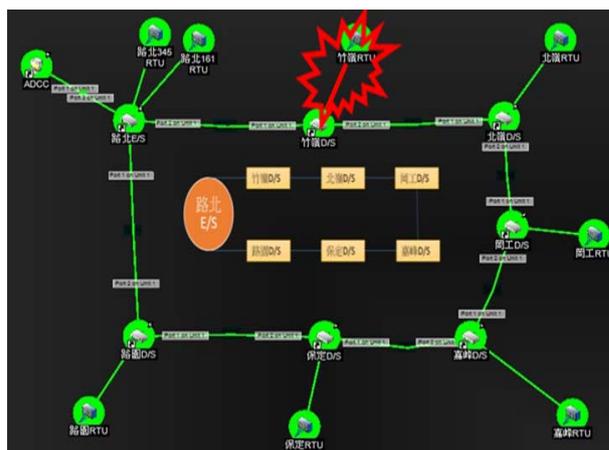


圖 13 竹嶺 D/S 模擬設備斷點的畫面

Date	Action	Category	Device
Tuesday, May 26, 2015 10:24:43 AM	Default Web Alarm	success	竹嶺D/S RTU
Tuesday, May 26, 2015 10:24:48 AM	Default Web Alarm	success	竹嶺D/S
Tuesday, May 26, 2015 10:36:57 AM	Default Web Alarm	success	竹嶺D/S
Tuesday, May 26, 2015 10:37:02 AM	Default Web Alarm	success	竹嶺D/S RTU

圖 14 路由器網路連線狀態監控顯示

承上所述，路北轄區使用 What's UP Gold Standard Edition 網路管理系統進行主動監控及管理，同時整合警報中心、繪製網路架構圖及資產報表等功能；目前路北轄區 7 所變電所(包含路北 E/S 345kV 及 161kV 之 2 套 RTU)及 1 虛擬監控節點共計 9 套 RTU 及 Local SCADA 設備，搭配 7 具變電所 Router 及 1 具 ADCC Router，如圖 15 所示，前述設備皆納入網路 IP 化後，依據網管系統軟體授權最小量 25 個授權數評估，目前該轄區所需監視 IP 數為 17 個，如圖 16 所示，已可滿足路北轄區實際需求。

Total Devices by Type			Menu
Device Type	Percentage	Count	
Hub	52.9%	9	
D-Link Systems Switch	41.2%	7	
Workstation	5.9%	1	
Total:		17	

圖 15 網管系統監控設備實際畫面



圖 16 網管系統監控設備授權數之訊息畫面

各變電所 Router SNMP 功能經啟用後，如圖 17 所示，使用者可透過網管軟體對相關設備進行線上監控，若管理者依其需求更改設定並啟用 Apply 功能後，務須執行儲存動作，否則當變電所每月所內電源切換導致 Router 電源瞬斷時，先前相關設定值亦隨之恢復初始狀態，此結果將造成網管軟體發生監看異常等問題。



圖 17 Router SNMP 功能啟用畫面

What's UP 網路管理系統除可由監控軟體監看網路即時狀態外，亦可自網路瀏覽器登入網管伺服器進行線上監看並查詢歷史紀錄，其內容包含網路連線告警、網路連線品質及網路流量等，也就是管理者可走動監視網路連線狀態。

伍、研究方法建置及驗證

一、RTU 網路化替代方案建置

(一) 測試成果

本研究替代方案建置係使用本處 RTU 訓練室之智慧型模擬測試系統如圖 18 所示，相關設備配置包括移動式 SCADA 離線測試系統及祥正 RTU 設備等。移動式 SCADA 離線測試系統由祥正製 Local SCADA 組成，架構如圖 19 所示，利用 U96 卡透過數據專線與 RTU 設備連接。



圖 18 智慧型模擬測試系統硬體設備

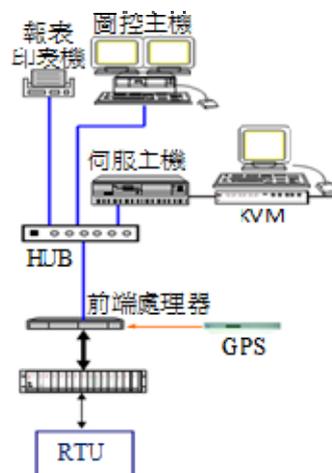


圖 19 移動式 SCADA 離線測試系統架構

本替代方案功能驗證相關測試步驟如下：

1. 確定 RTU 與移動式 SCADA 離線測試系統連線正常與否。
2. 設定 Local SCADA 前端處理器之網路埠為 TCP Client 及 RTU IP 位址，設定參數請參考圖 20 所示，RTU 端則設定本身 IP 位址及通訊埠，設定完成後方可與移動式 SCADA 離線測試系統連線。
3. 確認步驟 2 完成後，將 RTU 之 U96 卡的 RS-232 埠連接 Serial to Ethernet 轉換器並透過其轉換成網路傳輸格式後再與前端處理器之 RJ45 連接。

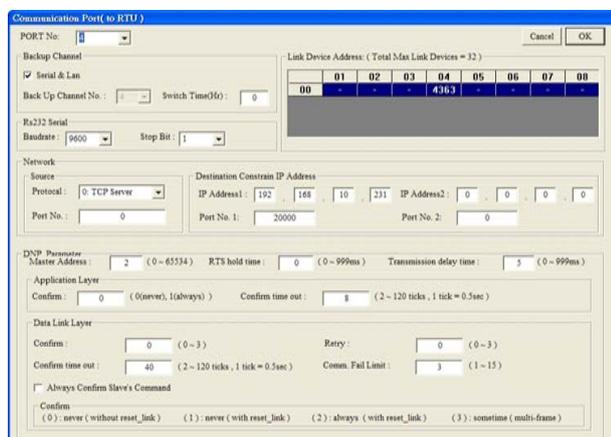


圖 20 前端處理器設定畫面

檢視前項測試結果，確認本文提出方法具體可行，但為進一步驗證本替代方法應用於實際設備之效果，本文選定路北 E/S 轄區變電所之祥正、中興 RTU 及 ABB Local SCADA 等設備進行線上實地測試。測試結果再次證明 Serial to Ethernet 轉換器可達成 RTU 網路 IP 化功能。透過該設備 IP 設定並指定 20000 埠口與 RTU 做通訊連接，如圖 21 所示，可將不易網路化設備如中興製 RTU 或 ABB Local SCADA 等設備進行網

路化，且相關設備預計於 104 年底完成網路化，此外高屏供電區營運處轄屬西門子及 AREVA 等 Local SCADA 設備現因礙於缺乏網路通道測試，須待 104 年自辦 RTU 網路 IP 化工程完工後方可進行測試，相關測試結果將另行提出供讀者參考。

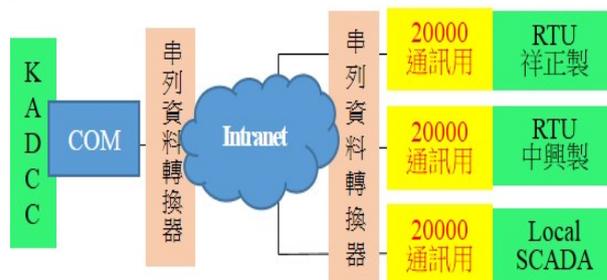


圖 21 串列資料轉換器運用

(二) 效益分析

本文 RTU/Local SCADA 網路 IP 化廠家建議方案所需硬體費用如下，祥正製 CPU 卡片專案價為新台幣四萬一千元，目前 1 套 RTU 至少與 2 個主站連結通訊，若 2 個主站都需網路功能就需要 2 張 CPU 卡，加上其他卡片韌體更新費用約新台幣二萬元，1 套 RTU 升級網路化之成本為新台幣十萬二千元。此外，中興製 RTU 加裝 iEDG 費用亦大於新台幣十萬元。另 ABB 廠家針對其高屏轄區所屬設備進行費用估算，費用金額為施作 5 所需新台幣八十萬元，平均每所費用為新台幣十六萬元。除此之外，硬體修改時間成本約為 2 個工作天，其所需人力包含值班主任、現場運轉維護及資控組人員等。本文就 RTU/Local SCADA 改善方法之硬體、時間及人力成本整理如下，請參考表 6。

表 6 RTU/Local SCADA 成本分析表

廠家	成本	硬體成本	時間成本	人力成本	備註
祥正		>10 萬元/套	2 天	6 人次	1.祥正升級 1 套 RTU 需更換兩張 CPU 卡+韌體更新費用 2 萬元/套。 2.時間及人力成本計算方式，為需點對點測試，資控組、維護課與調度中心三方配合，各派 1 人測試時間為 2 天計算。
中興		>10 萬元/套	2 天	6 人次	
Local SCADA		16 萬元/所	2 天	6 人次	

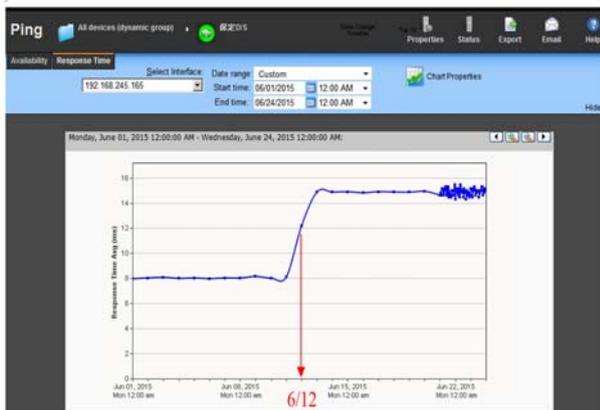


圖 27 保定 D/S Router 網路封包反應時間監控畫面

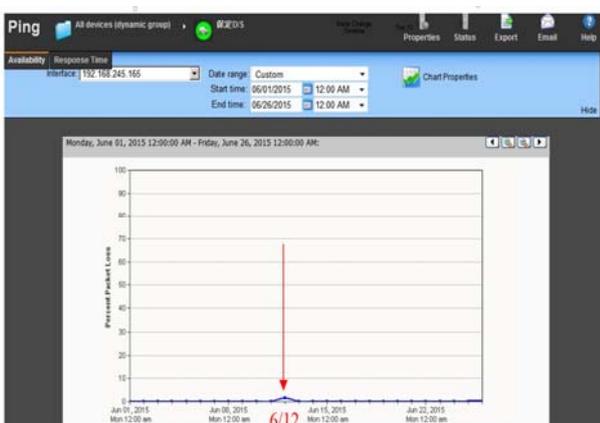


圖 28 保定 D/S Router 網路封包遺失率監控顯示畫面

Start time	Device	Monitor	State
06/01/2015 11:57 AM	ADCC	Interface (1) - P...	Down
06/12 10:01 AM	竹嶺D/S	Interface (1) - P...	Up at least 5 min
06/12 10:01 AM	蘇厝D/S	Interface (1) (2)S	Up at least 5 min
06/12 10:01 AM	蘇厝D/S	Interface (3) - D...	Up at least 5 min
06/12 10:01 AM	蘇厝D/S	Ping	Up at least 5 min
06/12 10:01 AM	蘇厝345 RTU	Interface (9) - P...	Up at least 5 min
06/12 10:01 AM	竹嶺D/S	Interface (2) - P...	Up at least 5 min
06/12 10:01 AM	蘇厝D/S	Interface (1) (2)S	Up at least 5 min
06/12 10:01 AM	蘇厝D/S	Interface (1) (2)S	Up at least 5 min
06/12 10:01 AM	蘇厝D/S	Interface (1) - P...	Up at least 5 min
06/12 10:01 AM	蘇厝D/S	Ping	Up at least 5 min
06/12 10:01 AM	蘇厝D/S	Ping	Up at least 5 min
06/12 10:01 AM	蘇厝D/S	Ping	Up at least 5 min
06/12 10:01 AM	蘇厝RTU	Ping	Up at least 5 min
06/12 10:01 AM	竹嶺D/S	Ping	Up at least 5 min
06/12 10:01 AM	蘇厝RTU	Ping	Up at least 5 min
06/12 10:01 AM	蘇厝D/S	Interface (9) - P...	Up at least 5 min

圖 29 路北 E/S 轄區網路監控設備異常顯示畫面

此外，本文另選定竹嶺 D/S 進行 Router 網路連線狀態監控測試，考量竹嶺 D/S 為 ABB 製 Local SCADA，其網路化需由 ABB 原廠轉換通信格式，惟廠商報價所費不貲，本文將 RS-232/DNP3.0 變換通信格式為 RS-232/TCP-IP 轉換器，測試結果該所 Router 及 Local SCADA 相關離線資訊均能詳實記錄，如圖 30 所示。

Date	Action	Category	Device	Active M.	Passw.	Trigger State	Details
Tuesday, May 26, 2015 10:24:43 AM	Default Web Alarm	success	竹嶺D/S RTU			Down at least 2	Action was successful.
Tuesday, May 26, 2015 10:24:48 AM	Default Web Alarm	success	竹嶺D/S			Down at least 2	Action was successful.
Tuesday, May 26, 2015 10:36:57 AM	Default Web Alarm	success	竹嶺D/S			Down at least 2	Action was successful.
Tuesday, May 26, 2015 10:37:02 AM	Default Web Alarm	success	竹嶺D/S RTU			Down at least 2	Action was successful.

圖 30 竹嶺 D/S Router 網路連線狀態監控顯示畫面

圖 31 為 ADCC Router 通訊埠口狀態即時監控情形，Port1 連接電力通信處往路北 E/S 之 SDH 電路；Port2、16 負責連接網管伺服器；Port9~14 為連接 ADCC 調度監控系統通信模組。

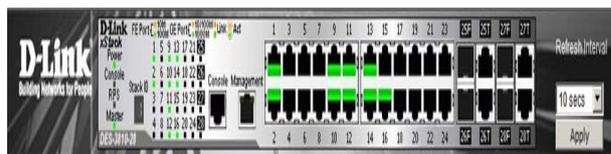


圖 31 ADCC Router 通訊埠口狀態即時監控畫面

圖 32 為路北 E/S 路由器通訊埠口狀態即時監控情形，Port1 連接電力通信處往 ADCC 之 SDH 電路；Port2~3 為連接電力通信處往轄區變電所之 SDH 電路；Port9 連接變電所 RTU 設備。

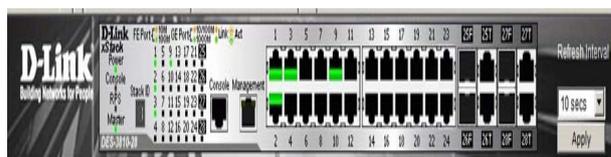


圖 32 路北 E/S Router 通訊埠口狀態即時監控畫面

三、資通安全及網路遮罩設定說明

一般網際網路實體架構可分為 Internet、Intranet 及 Extranet 等三種，其優缺點如表 7 所示。

本研究之網路實體架構係採用 Intranet 架構，其具備以下幾項優點：

- (一) 資料格式統一，且包含多種傳播方式。
- (二) 可進行文件共享、資訊提供及快速更新。
- (三) 系統建置容易且成本低廉。
- (四) 資通安全受高度保護。

之監控且肩負告警功能實為一值得深入探究之議題。

捌、參考文獻

- [1] 智慧電網總體規劃方案，行政院，2012 年。
- [2] 石吉亮、陳志宏、劉家銘，「智慧輸電、智慧配電之電網應用實習」，台灣電力公司，台北，C10200069，2013 年。
- [3] R. Bar-Yehuda, O. Goldreich, and A. Itai., “Efficient emulation of single-hop radio network with collision detection on multi-hop radio network with no collision detection,” *Distributed Computing*, vol 5, issue 2, pp. 67-72, 1991.
- [4] IEEE, “IEEE 802.1w,” [Online]. Available: <http://standards.ieee.org>.
- [5] IEEE, “802.3-2012 - IEEE Standard for Ethernet,” IEEE Standards Association, Feb 2014.
- [6] Bradley Mitchell, “Network Topologies,” About.com Guide, retrieved May 24, 2010.
- [7] IEEE, “IEEE 802.1D-2004,” 2004.
- [8] Ipswitch, Inc., “WhatsUp gold v16_2 Getting Started Guide,” [Online]. Available: <http://www.whatsupgold.com/support/>.
- [9] TIA STANDARD, “Interface Between Data Terminal Equipment and Data Circuit-Terminating Equipment Employing Serial Binary Data Interchange,” ANSI/TIA-232-F-1997, October 2002.
- [10] ISO Standards Maintenance Portal and ISO Central Secretariat, “ISO/IEC 7498-4:1989 – Information technology -- Open Systems Interconnection -- Basic Reference Model: Naming and addressing,” International Organization for Standardization, 1989.
- [11] Microsoft Support, “The OSI Model's Seven Layers Defined and Functions Explained,” Dec 2014.
- [12] CISCO, “Internetworking Technology Handbook - Internetworking Basics,” 14 August 2015.
- [13] David Zeltserman, “A Practical Guide to SNMPv3 and Network Management,” Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR, 1999.
- [14] SNMP, “SNMP Research presentations in favor of standards-based management over proprietary CLIs,” SNMP Research, October 2010.
- [15] Groth David and Toby Skandier,” Network+ Study Guid,” ISBN 0-7821-4406-3, 2005.
- [16] Mung Chiang and Michael Yang, “Towards Network X-ities From a Topological Point of View: Evolvability and Scalability,” *Proc. 42nd Allerton Conference*, 2004.
- [17] Peter Ashwood-Smith, “Shortest Path Bridging IEEE 802.1aq Overview,” Huawei, May 2012.
- [18] IEEE, “Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications,” IEEE Std. 802.11- 2007, June 2007.
- [19] Tozer and Edwin Paul J., “1.8.11 Synchronous Digital Hierarchy (SDH) ,”Broadcast Engineer's Reference Book, Focal Press, ISBN 978-0-240-51908-1, pp.97, 2004.

台電所屬能源供給設施之氣候變遷 衝擊評估與脆弱度盤查分析

The Impact of Climate Change and Vulnerability Assessment
of the Taiwan Power Company's Power Supply Facilities

李家齊*
Lee, Chia-Chi

林伯聰*
Lin, Po-Tsung

戴宏文*
Tai, Hung-Wen

何媚華*
Ho, Mei-Hua

洪紹平**
Hong, Shao-Pin

黃軒亮**
Huang, Hsuan-Liang

(102~104 年度研究計畫論文)

摘要

評估氣候變遷對電力設施之衝擊為台電公司永續經營不可迴避的挑戰，然而目前仍缺乏一套完整的評估方法。本研究旨在建構台電所屬能源供給設施之脆弱度評估流程，該流程以兩階段的評估矩陣(潛在衝擊矩陣、脆弱度評估矩陣)為核心，研擬出搭配運用之暴露度、敏感度、調適能力(合稱脆弱度)盤查表單，並研發作為暴露度評估依據之台灣電力系統氣候變遷降尺度評估模組與調適地理資訊系統。復以六處台電所屬電力設施(含發電系統、輸電系統、配變電系統)為示範案例，實際驗證了兩階段評估流程的可應用性；且根據脆弱度評估結果研提各示範案例未來因應氣候變遷之調適策略。台電公司應逐步推行所屬各單位之脆弱度評估再根據評估成果擬定各別的調適策略，而調適策略與調適目標應定期滾動修正，因為氣候變遷為具不確定性之動態變化過程。

Abstract

Assessing the impact of Climate Change on Taiwan Power Company's power supply facilities is an inevitable challenge for the company's sustainable development. However, we still lack a complete assessment method to date. This research aims to establish a vulnerability assessment process, which is based on two-stage assessment matrices (i.e. potential impact matrix and vulnerability matrix), with the use of exposure, sensitivity, and adaptive capacity (i.e. vulnerability) assessment forms. The geographic information system (GIS) with the downscaling assessment module for electric power system adaptation under climate change is developed specifically as a supportive tool to determine exposure. Next, six sites of power supply facilities, including power generation, transmission and distribution systems, are chosen as demonstration cases to prove the applicability of the process for vulnerability assessment. In the meantime, the adaptation strategies are suggested according to the outcomes of demonstration cases. Furthermore, Taiwan Power Company has to implement vulnerability assessment at all departments and develop the corresponding adaptation strategies based on the assessment results. The adaptation strategies should be

*環興科技股份有限公司

**台灣電力公司綜合研究所

iteratively modified since climate change per se is a dynamic process with uncertainty.

關鍵詞(Key Words)：氣候變遷調適(Climate Change Adaptation)、電力系統(Electric Power System)、衝擊(Impact)、脆弱度(Vulnerability)、風險評估(Risk Assessment)。

壹、前言

全球氣候變遷所引發的極端氣候，預期將加劇災害發生的頻率及規模。近十多年來，脆弱度是氣候變遷領域最重要的指標之一，而脆弱度評估更已然成為氣候變遷研究與評估領域的顯學，幾乎所有受氣候變遷影響的領域都在探討其脆弱度與調適作為。而為因應全球氣候變遷，維護供電穩定與安全，必須就氣候變遷可能之衝擊，盤查評估現有電力系統之脆弱度，確立高風險設施所在，據以研擬防災與調適因應之策略，以減少國家及人民資產的損害。

台電公司為我國主要供電業者，為維護供電穩定與安全，支持產業持續發展，應體認必須具有防災與調適因應之策略，並超前部署，預先應變未來氣候變遷所產生之衝擊。於此，台電公司依據行政院國家發展委員會提出之「氣候變遷調適政策綱領」^[1]，參與「規劃推動氣候變遷調適政策綱領及行動計畫」之「能源供給與產業」與「維生基礎設施」分組，並研提國家氣候變遷調適行動方案。

本研究為台電公司配合研提之國家氣候變遷調適行動方案，進行氣候變遷對台電公司所屬能源供給設施及其所在區位之衝擊評估與脆弱度盤查分析，據以作為調適策略行動之決策依據。具體研究成果包含：一、建置台灣電力系統氣候變遷降尺度評估模組與調適地理資訊系統；二、研擬氣候變遷下的電力系統脆弱度盤查方法；三、以示範案例驗證脆弱度盤查方法的可行性。在調適地理資訊系統方面，本系統透過視覺化介面，提供圖層套疊、預視等功能，供使用者快速查詢及檢視台電與其他單位的氣候變遷相關地理圖層資料，能作為台電各單位盤查評估氣候變遷衝擊與研擬因應調適對策之輔助工

具。脆弱度盤查方法乃參考 IPCC 第三次綜合評估報告(2001)^[2]對於脆弱度之定義，透過兩階段評估流程包括第一階段的潛在衝擊矩陣(含暴露度與敏感度兩面向)和第二階段的脆弱度矩陣(含潛在衝擊與調適能力兩面向)評估電力系統的脆弱度。接續以協和發電廠、協和—深美 345kV 紅線、深美—臺北 161kV 山線、深美 E/S 變電所、臺北 P/S 變電所及永和 S/S 變電所為示範案例，證實此脆弱度盤查方法確實可行，同時示範案例執行成果搭配現地訪查並瞭解實際情況，回饋修正脆弱度盤查表單內容，此外，本研究藉由案例盤查結果為協和發電廠、臺北 P/S 變電所及永和 S/S 變電所擬定了近期與後續的調適策略(建議)。

為因應氣候變遷對電力系統之衝擊，未來台電公司可參考研究成果，持續透過教育訓練推廣脆弱度盤查方法，以辨識關鍵脆弱環節並設法改善或避免。就長遠而言，台電公司所屬電力系統相關單位都必須有其個別專屬的調適計畫，定期盤查各設施脆弱度，並檢討、調整調適策略。氣候變遷為一動態、複雜的連續過程，需隨時因應局勢(即脆弱度的變化)滾動修正、檢討調適目標之合宜與否、管考調適策略之擬定與執行績效等，才能遠離氣候變遷導致的負面衝擊，並掌握正向的調適機會，促成組織單位朝向永續經營與發展。

貳、氣候變遷下的電力系統脆弱度盤查方法

本研究旨在研擬一套適用於台電電力系統之脆弱度盤查方法，該方法先以台灣電力系統氣候變遷降尺度評估模組與調適地理資訊系統所提供的暴露度資訊為評估電力系統氣候變遷下實際暴露度之參考依據，再透過各電力設施現場操作人員填寫脆弱度盤查表單，復由其填寫成果

兩階段評估各電力設施氣候變遷下之脆弱度。

一、建置台灣電力系統氣候變遷降尺度評估模組與調適地理資訊系統

為盤查評估現有電力系統之脆弱度，確立高風險設施所在，以研擬防災與調適因應策略，因此規劃建立台灣電力系統氣候變遷降尺度評估模組與調適地理資訊系統。首先整合台電與其他單位既有圖資，納入氣候變遷降尺度模組，並規劃調適地理系統架構。接續建立調適地理資訊系統之必要操作模組，以供使用者進行圖資評估參考與盤查。

(一) 整體架構介紹

本系統為台電公司對內提供各使用單

位盤查評估氣候變遷衝擊與研擬參考調適對策之用，經由彙整台電等各單位圖資並納入氣候變遷模組，以達資源整合共享及研擬調適之目的。地理資訊系統的應用為透過直覺化介面，提供圖層套疊、預視等功能，供使用者快速查詢及檢視台電與氣候變遷地理圖層資料。整體架構包含圖資整合、應用功能與操作介面等三大面向，分述於下：

1. 圖資整合

圖資整合部分規劃為六大模組，包括基本圖資、環境圖資、台電圖資、情境圖資、脆弱度圖資與風險圖資。彙整之圖資如表 1 所示。

表 1 圖資模組列表

圖資類型	分類	圖資名稱
基本圖資	分界與交通	臺鐵路線、全臺主要道路、全臺鄉鎮界、全臺村里界、全臺縣市界
環境圖資	環境與災害	921 地表斷層線、全臺崩塌地、活動斷層分布、土壤、全臺嚴重地層下陷區、土石流潛勢溪流
台電圖資	發電	全臺發電廠點位(核能、風力、火力、水力、太陽光電)
	輸電	輸電 345kV 線路、輸電 345kV 電塔點位、輸電 161kV 線路、輸電 161kV 電塔點位
	變電	超高壓變電所點位、一次變電所點位、變電配電所點位、二次變電所點位
情境圖資	基期	全臺淹水(100 年重現期、200 年重現期)、海平面上升、地質敏感區位、土石流影響範圍現況、48 小時累積雨量空間分布
	A1B 情境	溫度變化(台灣大尺度分區)、海平面上升、48 小時累積雨量空間分布
脆弱度圖資	水資源	水資源供需脆弱度、全臺農業用水脆弱度、全臺工業用水脆弱度、全臺生活用水脆弱度
	防洪水砂	高屏河流域風險度、濁水河流域風險度、淡水河流域風險度、曾文河流域風險度
	海岸	西北沿海地區脆弱度、東北沿海地區脆弱度
風險圖資	水資源	水資源供需風險、全臺農業用水風險、全臺工業用水風險、全臺生活用水風險
	防洪水砂	高屏河流域風險度、濁水河流域風險度、淡水河流域風險度、曾文河流域風險度

2. 應用功能

應用功能部分包含三大功能：讀取、展示及套疊。本系統因採用 GIS 圖資，且包含各圖資之展示功能，因此對於 GIS 圖層之讀取及套疊為最主要關鍵技術。所採用的 MapWinGIS ActiveX OCX 控制項工具，主要支援 ESRI ArcGIS，並囊括應用 GIS 圖層之核心技

術，包括圖層開關、圖層套疊、幾何圖形繪製及標記顯示等。因此控制項工具無償開放下載使用，故未來本系統流通時，版權無涉，可避免因侵權導致系統流通使用之困難。應用此工具可根據專案使用需求，彈性設計使用者介面。如此不但能設計出著重專案需求導向之軟體，亦能避免過多繁雜功能反不易上手

操作之缺點。

本系統採用 C#語言建置，應用 MapWinGIS ActiveX OCX 控制項來開發 GIS 視窗軟體，所讀取的資料格式主要包含圖檔(衛星影像、航照圖、地形圖)

及 SHP 檔。

3. 操作介面

本系統之操作介面分為三大區塊，包括功能區、列表區及展示區(圖 1)。



圖 1 系統操作介面分區

(1) 功能區

功能區位於系統視窗上方列，初步建置 14 項操作功能按鈕，按鈕圖案採易於辨識之視覺化設計，提供使用者於展示區及列表區切換操作。功能區內 14 項操作功能按鈕可區分為圖層增刪、圖資模組、檢視和截圖等四種屬性。

(2) 列表區

列表區位於系統視窗左方，與右方之展示區相互關聯。列表區預設於

系統初始運作時顯示基本圖資與台電圖資等兩項圖資模組資料夾，各資料夾下方條列出該模組內所有圖資名稱，並於圖資名稱前方可選擇勾選(將於展示區顯示該圖資)或取消勾選(將於展示區不顯示該圖資)。基本圖資部分目前已建置全臺地形圖、全臺鄉鎮界圖與全臺水系圖，台電圖資部分目前已建置全臺發電所點位圖、全臺發電廠點位圖與全臺 345kV 電塔點位圖。

(3) 展示區

展示區位於系統視窗右方區塊，用於顯示使用者勾選與匯入之圖資。由上方功能區之增刪圖層、檢視方式、圖資模組選擇等按鈕可控制展示區圖層之呈現，由左方列表區則可選擇欲於展示區顯示／隱藏顯示之圖層。

(二) 圖資模組說明

彙整圖資工作分為蒐集資料、產製資料、資料標準化以及完成建置等四階段。初期先進行圖資彙整並蒐集台電電力設備及過去觀測資料，同時接洽台電內部相關單位進行訪談瞭解以利圖資彙整，另同步蒐集政府其他單位已產製之基本圖資、環境圖資、情境圖資、脆弱度圖資和風險圖資。

1. 基本圖資

基本圖資模組包含自然與人文圖資。自然類別圖資為台灣先天原有之地形與水系分布，包括全臺水系與斷層分布等圖資。人文類別圖資為台灣發展規劃之人為建設，包含行政界、主要道路、鐵路等圖資。

2. 環境圖資

環境圖資標示出可能發生災害之地區，或災害可能衝擊之範圍。該圖資依據特性加註監測站位址(如雨量站、水位站位置)或警戒雨量值(如坡地警戒值、土石流警戒值、淹水警戒值等)，亦可作為防減災重點工作之研判(如坡地災害潛勢地圖、淹水災害潛勢地圖、海嘯溢淹潛勢地圖等)；透過災害潛勢地圖可供台電內部單位預先瞭解台電所屬設施之災害環境特性。目前已彙整之環境圖資包括地表斷層線分布、歷年崩塌地分布、活動斷層分布、土壤分布、全臺嚴重地層下陷區以及土石流潛勢溪流等圖資。

3. 台電圖資

透過與台電內部相關單位的訪談瞭解，目前已整理台電輸配電力設備與部分歷史觀測資料，包含：(1)發電設施：全臺發電廠點位與屬性資料；(2)輸電設施：345kV 線路與電塔點位圖、161kV 線路與電塔點位圖；以及(3)變電設施：全臺 E/S、P/S、D/S、S/S 變電所點位圖等。

4. 情境圖資

氣候變遷的未來情境不是預測，只是事先設定的劇本，雖然不是將來一定會發生的事實，但是可以作為往後擬訂調適策略的參考。聯合國政府間氣候變遷委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)於 AR4 (IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007)^[3]報告中提供了 24 個大氣環流模式(General Circulation Model, GCM)之模擬資料。為能準確描述台灣未來的氣候變遷狀況，經氣候變遷水文情境專家座談會多次討論後，推測未來較可能豐枯情境為豐水期(5 至 10 月)雨量增加且枯水期(11 月至隔年 4 月)雨量減少。情境圖資模組包含溫度變化、降雨變化、各重現期雨量之等雨量線、基期與情境 48 小時累積雨量空間分布等圖資。

5. 脆弱度圖資

Clark et al. (1998)^[4]認為脆弱度(Vulnerability)應包含暴露度(Exposure)及調適能力(Coping Capacity)，暴露度指災害事件下的風險，而調適能力則為於災害事件下維持系統成功的能力及系統受衝擊後復原的能力。脆弱度與災害不必然呈正相關；例如，雖然有大規模之洪水事件，但暴露在洪水下的生命財產很少，故其敏感度低，復若有良好的避

災與救災調適能力，則其脆弱度不高。

脆弱度地圖為考量災害、人口、社會經濟因素與調適措施等之空間差異，進而綜合評估並呈現脆弱度在空間上之分布。藉由脆弱度地圖可鑑別脆弱度高之區域，作為優先改善與警戒的地區。本系統所納入之脆弱度地圖，為其他政府相關單位之產製成果，包含水資源、海岸與防洪設施之脆弱度地圖，俾提供系統使用者檢視參酌。

6. 風險圖資

在氣候變遷風險圖資方面，使用「風險(risk) = 危險度(hazard) × 脆弱度」之定義，再依據危險度與脆弱度指標，配合風險矩陣計算風險等級。風險地圖的繪製準則為(由高至低)以紅、橙、黃、綠以及深綠色呈現，圖檔格式採用 ESRI Shapefile (.shp)。本系統所納入之風險地圖，為其他政府相關單位之產製成果，包含水資源與防洪設施之風險地圖。

二、研擬脆弱度盤查表單

(一) 氣候變遷影響因子與目標年選定

1. 氣候變遷影響因子

氣候變遷影響因子主要包括氣溫上升、海平面上升、降雨型態改變、極端降雨量及強度等四種。氣溫上升部分，可能會對環境造成熱浪或乾旱等事件；海平面上升部分，可能會造成地下水位提高或海水入侵等事件；降雨型態改變部分，可能會導致山崩、落石、土石流等事件；極端降雨量及強度部分，可能導致土石流或洪水等事件。上述氣候變遷影響因子中的降雨型態改變、極端降雨量及強度，對於電力設施之衝擊相對較大。研判氣候變遷對國內電力設施之衝擊，主要是颱風、豪雨為主，其次則為長期的海平面上升影響，氣溫上升的

影響相對最小。故本研究針對氣候變遷除因氣溫上升相關因子不進行探討外，針對降雨型態改變、極端降雨量及強度以及海平面上升所造成之影響，均進行探討與分析。

2. 未來目標年設定

本研究主要為探討現況以及未來目標年下，電力設施受氣候變遷影響之程度變化。茲將民國 103 年設定為現況年，未來目標年之設定，則如下所述。對於未來長期氣候變遷的探討或推估，主要的科學工具是運用大氣環流模式推估人為對未來氣候的可能影響，其前提是依據世界未來的人口、經濟、社會、環境之可能發展情境，推估影響氣候系統輻射平衡的溫室氣體、氣溶膠等在大氣中的濃度變化。由於大氣環流模式的結構與使用參數的不同，以及氣候系統的自然變動與反饋效應難以準確估計，使得科學家無法精準地預估全球平均近地表氣溫的未來百年變化。GCM 針對未來之推估，基本上分為短、中、長三階段探討。民國 109 至 128 年(2020 至 2039 年)係為短程；民國 139 至 158 年(2050 至 2069 年)為中程期；民國 169 至 188 年(2080 至 2099 年)為長程期。雖然無法得知增溫確切值為何，但所有研究一致指出在人為影響下，全球氣候持續暖化的可能性極高。本研究將短程之民國 109 至 128 年(2020 至 2039 年)，設定為未來探討之目標期程。但為方便後續研究中相關資料之預測值產出(如人口、交通量等)，於短程期程中訂出民國 120 年為未來目標年(調適目標年)。

(二) 電力設施脆弱度評估方法

本研究將台電所屬能源供給設施脆弱度定義為「能源供給設施受氣候變遷負面影響，而導致失能或無法因應之程度」。考

量脆弱度與該系統暴露所在之氣候變化的特性、強度及頻率，以及設施本身之敏感度及調適能力有關，脆弱度評估方法，採氣候變遷衝擊之暴露度、敏感度及適應能力三者的綜合值進行評估，如式(1)所示。有關暴露度、敏感度、調適能力則說明如下：

$$\text{脆弱度} = F(E, S, A) \quad (1)$$

台電所屬能源供給設施脆弱度如式(1)，其中，E為暴露度(Exposure)，S為敏感度(Sensitivity)，A為調適能力(Adaptive Capacity)。暴露度(愈高愈脆弱)的定義為「氣候變遷引起之災害(如洪水災害、地質災害等)對台電所屬能源供給設施(如電廠、變電所)產生衝擊破壞之威脅程度」。敏感度(愈高愈脆弱)定義為「受氣候變遷影響導致台電所屬能源供給設施失能，而對社會、經濟造成影響之範圍與程度」。調適能力(愈低愈脆弱)定義為「台電所屬能源供給設施其預防、預警、應變及復原之能力」。並將暴露度、敏感度、調適能力均區分五個等級(低、中低、中、中高、高)。

依據經建會(現為國發會)「推動地方氣候變遷調適計畫專案管理計畫」^[5]，將脆弱度評估分為潛在衝擊(Potential Impact)與調適能力之二階關係，即潛在衝擊為暴露度及敏感度之合成函數，脆弱度則為潛在衝擊及調適能力之合成函數。

(三) 脆弱度盤查表單

因為電力設施與潛勢圖資套繪僅能獲得環境與潛勢、暴露度資訊，無法通盤瞭解電力設施於氣候變遷下可能導致之衝擊與脆弱程度，因此需以設定情境可能產生之變化趨勢作為基礎條件，以現場工作人員填寫脆弱度盤查表單方式分析設施實際面臨氣候變遷可能遭遇的問題，從而評估電力設施脆弱度，以利後續進行設施改善或系統調適等措施。

脆弱度盤查表單盤查的設施主要區分為(火力)發電系統、輸電系統與配變電系統等三類。首先挑選各類系統中較重要之設施元件，例如火力發電廠之燃料供應(子)系統，再分析四項氣候變遷因子(氣溫上升、海平面上升、降雨型態改變、極端降雨量及強度)可能對標的元件造成之影響，以利分別建立暴露度、敏感度與調適能力盤查表單(合稱脆弱度盤查表單)。且由於氣候變遷因子所帶來的災害類型各異，先分別針對發電系統、輸電系統以及配變電系統篩選出其可能遭受到的災害別，復評估其影響的程度。

1. 發電系統

發電系統包含有：

(1) 燃料供應系統

包含卸煤碼頭、室外煤場、室內煤倉、室外堆取煤機、輸煤系統、煤場主變壓器、重油儲油槽、滑油儲槽、輸油傳送管線、油傳送泵、LNG進氣管線、天然氣儲槽、天然氣傳送泵等設施。

(2) 鍋爐系統

包含鍋爐本體、粉煤系統、空氣系統、氨槽系統、燃氣系統(含空氣預熱器)、鍋爐飼水系統、靜電集塵器及其附屬設備、飛灰出灰系統、底灰出灰系統、灰塘等。

(3) 汽輪機系統

包含主汽機、汽機液壓油系統、冷凝器、海水電解系統、冷凝水系統(含冷凝水冷卻器、低壓加熱系統、除氧器等)、高壓飼水加熱系統、BFPT汽輪機、循環水泵等。

(4) 電氣系統

包含發電機、勵磁機、主變壓器、輔助變壓器、緊急柴油發電機、啟動變壓器、緊急變壓器、裝甲開關、開

關場、脫硫設備(含控制系統)等。

(5) 儀控系統

包含飼煤機控制系統、飼水控制系統、汽輪發電機控制及監視系統、出灰控制系統、鍋爐吹灰控制系統、分散式控制及資料獲取系統、不中斷供給電源等。

(6) 排煙脫硫系統

燃氣加熱系統(GGH)、石灰石粉系統、吸收塔系統、煙器系統、吹灰器系統、石膏脫水與儲存系統、濾液回收系統、FGD 廢水回收處理、儀用空氣系統、生水系統、增壓引風機等。

(7) 其他系統

包含除礦水造水淨化系統、除礦水供水系統、廢水處理系統、生活污水處理場、廠房、控制室、辦公大樓、材料倉庫、生水池、雨水回收與排水系統、消防系統等。

2. 輸電系統

輸電系統又分成架空電線與地下輸電線兩種不同類型，架空電線包含有：高低壓輸電線、絕緣碍子、跳線裝置、接地系統、支持用之鐵塔、鐵柱、木桿或水泥桿等；地下輸電線則包含有電纜(充油電纜與交連 PE 電纜)、電纜終端匣、電纜接續匣、披覆保護裝置、警報器、絕緣連接器、支持碍子、接地電纜、支持用的人孔箱涵或管架等。

3. 配變電系統

變電所主要分屋外式與屋內式變電所，其中屋內式又分成地上或地下兩類，近年趨勢多採用屋內型，主要設備包含有主變壓器、輔助變壓器、配電變壓器、匯流排、斷路器、中高壓六氟化硫氣體絕緣開關設備、冷卻器、比壓器、保護電驛、儀表系統、避雷裝置、充電機與蓄電池、靜電電容器、消防設施等，

其他如土建之建築、控制室等不另贅述。

各系統設施元件分別列出後，針對氣候變遷因子可能造成之衝擊項目進行分類：

1. 氣溫上升

依據行政院國家科學委員會(現改名為科技部)2011 年完成之台灣氣候變遷科學報告^[6]，在 A1B 情境下，台灣地區季節的平均變化氣溫中位數約介於 2.50°C ~ 2.75°C 之間，而北部平均氣溫變化根據推估其發生機率最高變化區段為 2.75°C ~ 3.0°C，最大變化為北部地區 2 月份推估值。氣溫上升可能對電力系統造成之影響，可分為氣溫上升影響設備散熱、氣溫上升造成之鹽害影響以及氣溫上升造成之雷擊影響三方面來說明。氣溫上升影響設備散熱部分，多數電子設備耐熱度在攝氏 60°C 以上，於目前規劃之 A1B 情境下，暫無明顯因平均氣溫上升而影響電力設備散熱之問題。氣溫上升造成之鹽害影響，依據交通部運輸研究所於 102 年之「大氣腐蝕因子調查及腐蝕環境分類之研究」顯示，相對濕度低於金屬臨界相對濕度時，溫度對大氣腐蝕之影響很小，但達到金屬臨界相對濕度時，溫度每上升 10°C，腐蝕反應速率增加 1 倍。

2. 降雨型態改變

降雨型態改變依據 2011 年台灣氣候變遷科學報告，未來趨勢推估為連續不降雨日的平均時間將拉長，造成降雨時間分佈變異量增大，需要更積極的水資源管理。由於降雨型態改變，主要影響水資源豐枯，對於電力設備之可能影響主要為乾旱，乾旱時因缺乏足夠水資源，電廠廠內用水、消防用水等將受影響。

3. 極端事件

依據台灣氣候變遷科學報告，推估未來氣候變遷下將出現更劇烈之熱浪事件以及極端日降雨量事件；而颱風生成數量經推估雖有減少趨勢，但強度方面中心最低氣壓或最大風速在暖化的環境中有增強的趨勢。因此未來應注意極端高溫事件、颱風或豪大雨造成之淹水、颱風事件造成之強風等災害類型。考量夏季熱浪影響，溫度上升造成空氣密度下降主要影響燃氣渦輪機組、複循環機組，其影響為氣溫每上升 1°C，發電效率下降 1%；而汽力機組影響較小，氣溫每上升 1°C，發電效率下降 0.1~0.3% 不等。另考量電力設施易受雷擊影響，另將雷擊部分納入極端事件，據推估，未來氣候變遷下整體發生雷雨的次數將減少，但雷雨強度將加劇，推估結果顯示全球平均氣溫上升 1°C 將增加 10% 的閃電；然而依據台電落雷統計，各地區之落雷密度雖然不同，但近年雷擊之年度次數總計有降低的趨勢。

4. 海平面上升

依據經濟部水利署之「強化台灣西南地區因應氣候變遷海岸災害調適能力研究計畫」^{[7][8]}、「強化台灣西北及東北地區因應氣候變遷海岸災害調適能力研究計畫」^{[9][10]}推估，於目標年(2039 年)台灣地區西南海域的海平面上升最大為 14.57 公分，且暴潮位上升百分比最高為 39%；而東北海域的最大波高增加百分比最高為 61%，代表台灣地區在未來氣候變遷下，沿海地區因海平面上升所帶來之暴潮淹水趨勢可能增加。

透過上述氣候變遷因子與發電、輸電、配變電系統之子系統篩選分析後，可初步篩選出可能受衝擊之對象元件，需加以評估。而在進行評估前，依據該災害類別之型態及其可能影響進行彙整

說明：

1. 過熱散熱以及熱浪問題

此類問題主要因子為氣溫上升，惟因目前 GCM 之推估，台灣地區未來平均氣溫上升最大為 3.0°C，區位為北部地區，影響時間主要為 2 月份，其他月份以及其他區位溫度上升量介於 2.0~2.75°C 之間，影響有限。而極端高溫熱浪發生時間多在 8~9 月份夏季時間，目前設定極端高溫氣溫訂為 40°C，對於線材或一般設備(不包含低溫設備)之基本耐熱水平 60°C 仍有差距。而對於發電廠發電之影響，依據工業研究院之研究成果，以氣渦輪機組以及複循環機組對於溫度上升之影響較顯著，氣溫每上升 1°C 因空氣密度下降，造成發電機組輸出功率下降約 1%；而其他汽力機組影響為氣溫上升 1°C 發電輸出功率下降約 0.1~0.3% 不等。此外熱浪來襲期間，主要影響為用電量大增之用電需求，但熱浪衝擊目前屬於較短時間之衝擊，對於設備面之衝擊影響相對較小。故設備散熱與極端高溫熱浪可不予評估，但針對發電廠之發電效率需納入高溫之評估，特別是氣渦輪機組或複循環機組需注意其發電效率下降之問題。

2. 鹽害與乾旱

鹽害屬於氣溫上升之衝擊，一般評估鹽害長達 5 年或 10 年之影響，如前所述相對濕度低於金屬臨界相對濕度時，溫度對大氣腐蝕之影響很小，但達到金屬臨界相對濕度時，溫度每上升 10°C，腐蝕反應速率增加 1 倍。目前目標年預估，台灣地區未來平均氣溫上升最大為 3.0°C，對鹽害的影響亦相當有限，再者室外設備、金屬結構物等可透過定期保養維護，油漆粉刷等降低鹽害所造成之衝擊，因此不予評估。乾旱屬於降雨型

態改變之衝擊，目前水利署研究推估得淡水河流域、濁水溪流域、曾文溪流域目標年降雨量均為漸增趨勢，僅高屏溪流域之目標年降雨量有漸減之趨勢。乾旱部分之研究目前雖無詳細推估結果，但水利署持續推行水資源開發、活化水庫蓄水庫容、跨區聯合運用、改善耕作制度等行動計畫，以解決氣候變遷所造成之水資源問題。因此，乾旱事件對於電力設施之影響主要為廠區內生活用水與消防等用水可能短缺，而火力發電廠設有儲水設備，乾旱事件對其之衝擊相對較低，故不列入評估。

3. 強風與雷擊

強風屬於極端事件因子，主要影響架空電線線路與建築物，而電力設施依據「屋外供電線路裝置規則」，架空電線線路均有荷重與抗拉之規定，並設有安全係數，故架空電線線路有抵抗強風之能力。而建築物依根據法規與 CNS 規範要求，均有抗風壓強度等，強風事件對其之衝擊相對較低。雷擊不屬於氣候變遷因子之一，但因雷擊易造成電力設施

線路負荷增加，促使電桿、變壓器、輸電線路等設備損壞，故將雷擊之衝擊納入評估，主要以台電公司落雷次數統計趨勢加以探討雷擊對設施之衝擊程度。

4. 淹水災害

淹水災害可分屬於極端事件暴雨所造成之溢淹，或因海平面上升海浪暴潮造成排水不良之溢淹兩類，雖致災原因不同，但廠區內淹水之狀況相似，為積水無法排除導致設備電子接點、馬達或地下室設施之淹水，而造成損壞停機等。火力發電廠的冷卻水排水容易受潮位影響，而有外水位過高或浮木垃圾阻塞，使得積水無法排出。目前可依據水利署研究成果，依據淹水圖資與海平面上升影響範圍圖資加以套繪，確認設施所屬暴露等級。

表 2 為本研究設計之火力發電廠暴露度之盤查表單(節錄)，完整設計表單(含火力發電廠、輸電系統、配變電系統之暴露度、敏感度、調適能力盤查表單)請參閱本研究期末報告正文。

表 2 火力發電廠暴露度之盤查表單(節錄)

氣候變遷因子		評分項目說明	評分依據	評估項目與內容	備註
1-3	極端事件	「鍋爐系統」『過去』是否遭遇夏季高溫影響，導致設備降載操作使用之紀錄？	歷史經驗(依設備紀錄之統計年限;若設備久遠資料遺漏則以經驗紀錄輔助)	<input type="checkbox"/> 鍋爐本體，次數_____、 <input type="checkbox"/> 空氣系統，次數_____、 <input type="checkbox"/> 燃氣系統(含空氣預熱器)，次數_____、 <input type="checkbox"/> 鍋爐飼水系統，次數_____、 <input type="checkbox"/> 靜電集塵及其附屬設後，次數_____、 <input type="checkbox"/> 其他_____ (新增說明)	
		「鍋爐系統」『現況』情境如遭遇夏季高溫上升 3 度之影響，設備是否可能會有降載操作使用之評估。	夏季平均氣溫上升 2.5~2.75 度；熱浪高溫設定為 40 度	<input type="checkbox"/> 鍋爐本體，預期影響： <input type="checkbox"/> 高、 <input type="checkbox"/> 中、 <input type="checkbox"/> 低 <input type="checkbox"/> 空氣系統，預期影響： <input type="checkbox"/> 高、 <input type="checkbox"/> 中、 <input type="checkbox"/> 低 <input type="checkbox"/> 燃氣系統預期影響： <input type="checkbox"/> 高、 <input type="checkbox"/> 中、 <input type="checkbox"/> 低 <input type="checkbox"/> 鍋爐飼水系統，預期影響： <input type="checkbox"/> 高、 <input type="checkbox"/> 中、 <input type="checkbox"/> 低 <input type="checkbox"/> 靜電集塵及其附屬設後，預期影響： <input type="checkbox"/> 高、 <input type="checkbox"/> 中、 <input type="checkbox"/> 低 <input type="checkbox"/> 其他_____ (新增說明)	氣溫輪機組、複循環機組之發電輸出功率下降 1%/°C；汽車機組下降 0.1~0.3%/°C

三、兩階段的氣候變遷電力系統脆弱度評估

潛在衝擊評估係由暴露度(5 等級)與敏感度(5 等級)，經由第一階段矩陣交叉評估而得潛在衝擊。例如：暴露度為中高等級、敏感度為中度等級，經潛在衝擊矩陣之對應可知，衝擊矩陣大小為中高(橘色)等級，如圖 2(左)所示。而脆弱度則由潛在衝擊(5 等級)與調適能力(5 等級)，經由第二階段矩陣交叉評估台電所屬能源供給設施之脆弱度，例如：潛在衝擊為中高等級、調適能力為中度等級，經脆弱度矩陣之對應可知，脆弱度為中高(橘色)等級，如圖 2(右)所示。

潛在衝擊矩陣		暴露度					脆弱度矩陣		潛在衝擊				
		低	中低	中	中高	高			低	中低	中	中高	高
敏感度	高	黃	橙	紅	紅	紅	調適能力	低	黃	橙	紅	紅	紅
	中高	綠	黃	橙	紅	紅		中低	綠	黃	橙	紅	紅
	中	綠	綠	黃	橙	紅		中	綠	綠	黃	橙	紅
	中低	綠	綠	綠	黃	橙		中高	綠	綠	綠	黃	橙
低	綠	綠	綠	綠	黃	高	綠	綠	綠	綠	黃	橙	

圖 2 潛在衝擊矩陣(左)與脆弱度評估矩陣(右)

參、示範案例分析

一、案例概述

(一) 協和發電廠

協和火力發電廠位於基隆市中山區，居基隆港西側，東側為白米甕砲台，與和平島上的台灣造船公司基隆廠相望。廠區面積 59.7 公頃，發電機廠房佔 8 公頃，為民國 61 年為配合政府經濟建設所增加之電廠，廠內 4 部機組以重油為燃料，總裝置容量 200 萬千瓦。其後隨著北部地區各火力發電廠及核能電廠的建設，健全了電力發展的網絡。

(二) 協和—深美 345kV 紅線

345kV 主要用於大電量長距離南北輸送，在台灣本島上目前有三路南北輸送互聯的骨幹網路。本次預計盤查之「345kV

協和—深美紅線」分屬臺北供電區營運處臺北段與基隆段，電塔塔基位置自協和火力電廠 #0 號塔基，延伸銜接深美 E/S 超高壓變電所之 #63 號塔基，共計 64 支電塔，佈線長度約 24.5 公里。

(三) 深美—臺北 161kV 山線

「161kV 深美—臺北山線」一次輸電線屬臺北供電區營運處臺北段所管理維護，自深美 E/S 超高壓變電所 #1 號電塔至臺北 P/S 一次變電所 #23 號電塔，共計 23 支電塔，佈線長度約 9.5 公里。

(四) 深美 E/S 變電所

深美 E/S 超高壓變電所位處新北市深坑區昇高一村北深路一段 249 巷 6 號，屬於臺北供電區營運處，變電所主變裝置容量 2,500MVA，供電範圍為深坑區、大安区、文山區、信義區，主要變電設備有 345/33-161kV 變壓器、161kV 與 33kV 氣體絕緣開關、匯流排、比壓器、避雷器、電容器、電抗器，電力電纜、蓄電池、充電機、控制保護設備及監控系統等設備及所內用電設備、接地、照明、消防火警廣、通風空調電信及門禁等附屬設備所組成。

(五) 臺北 P/S 變電所

臺北 P/S 一次變電所位處臺北市文山區萬有里 6 鄰景隆街 20 號，屬於臺北供電區營運處，主變裝置容量 600MVA，供電範圍文山區、古亭區、新店區、烏來區，除建築物、景觀及圍牆外，主要變電設備有 161/23.9-11.95kV 變壓器、161kV 與 23kV 氣體絕緣開關、匯流排、比壓器、避雷器、電容器、電抗器，電力電纜、蓄電池、充電機、控制保護設備及監控系統等設備及所內用電設備、接地、照明、消防火警廣、通風空調電信及門禁等附屬設備所組成。

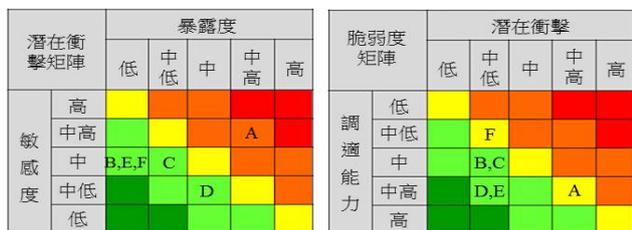
(六) 永和 S/S 變電所

永和 S/S 二次變電所位處臺北市永和

區豫溪街 193 號，屬於臺北南區營業處，主變裝置容量 50MVA，另設移動式變電裝置 20MVA 因應供電需求，主要負責臺北市永和地區之電力供應，包含永和區：永和路一～二段、文化路、竹林路、豫溪街、永貞路、環河西路一段等中和區：新興路、中安街等；除建築物、景觀及圍牆外，主要變電設備有 69/23.9-11.95kV 變壓器、69kV 與 23kV 氣體絕緣開關、匯流排、比壓器、避雷器、電容器、電抗器，電力電纜、蓄電池、充電機、控制保護設備及監控系統等設備及所內用電設備、接地、照明、消防火警廣、通風空調電信及門禁等附屬設備所組成。

二、分析結果

經分析上述電力設施示範案例之暴露度、敏感度與調適能力盤查結果，可彙整得各設施之潛在衝擊以及整體脆弱度如圖 3、表 3 所示。以下為針對盤查結果之說明：



(註：A 表協和發電廠；B 表協和—深美 345kV；C 表深美—台北 161kV；D 表深美 E/S；E 表台北 P/S；F 表永和 S/S)
圖 3 示範案例潛在衝擊矩陣(左)與脆弱度評估矩陣(右)評估成果。

表 3 示範暴露案例脆弱度盤查結果

	暴露度	敏感度	潛在衝擊	調適力	脆弱度
(A)協和發電廠	中高	中高	中高	中高	中
(B)協和—深美 345 kV	低	中	中低	中	中低
(C)深美—台北 161kV	中低	中	中低	中	中低
(D)深美 E/S	中	中低	中低	中高	中低
(E)台北 P/S	低	中	中低	中高	中低
(F)永和 S/S	低	中	中低	中低	中

(一) 協和發電廠

1. 暴露度

颱風期間強風侵襲，致使廠房、辦公大樓、倉庫等結構體外蒙皮受到損壞(主要是鐵皮屋頂易被強風吹襲脫落);另海平面上升於海水位高時，有暫時無法排水造成廠區淹積之問題，雖不致使設備受損，但仍有其風險。因此協和電廠綜合各設備評估後，其暴露度為中高等級。

2. 敏感度

雖協和電廠屬尖載電廠，但就發電量與設備對於電網重要程度而言，於受災時其敏感度仍屬中高等級。

3. 調適能力

對於緊急應變時人員之組織與訓練，和備援能力中設備備料問題、聯外交通問題仍有進步空間。其調適能力屬中高等級。

(二) 一次輸電系統(含協和—深美 345kV 紅線、深美—台北 161kV 山線)

1. 暴露度

本次盤查之協和—深美 345kV 紅線暴露度低，深美—台北 161kV 山線之暴露度為中低，主要是受極端事件雷擊衝擊，設備元件之碍子易受損。其他線路段與 161kV 部分地下線路段雖同受豪雨、強風與雷擊衝擊，但結果顯示其衝擊不影響正常運轉。

2. 敏感度

評估之 345kV 與 161kV 兩輸電段屬發電端後一次線路，重要程度相對高，對偶發事件之耐受度亦較高，敏感度均屬於中等級。

3. 調適能力

兩線路段之緊急應變或備援能力良好，但因輸電線路段多分佈於山區，設備監控或在災前實施預防與預警不易，

調適能力列為中等級。

(三) 深美 E/S 超高壓變電所

1. 暴露度

對於高溫熱浪與豪雨溢淹之衝擊，配電變壓器預期均受中度影響，其暴露度為中等級。

2. 敏感度

提供重要設施及廣大範圍之民生用電，但因周遭變電所較為密集，綜合電力服務之對象與影響範圍大小，設施敏感度屬中低等級。

3. 調適能力

目前變電所逐漸朝自動化設置，僅少數設施無預警監控設備，其調適能力屬中高等級。

(四) 台北 P/S 一次變電所

1. 暴露度

對於各項衝擊因子，衝擊設施程度較低，其暴露度為低等級。

2. 敏感度

提供重要設施及廣大範圍之民生用電，但因周遭變電所較為密集，綜合電力服務之對象與影響範圍大小，設施敏感度屬中等級。

3. 調適能力

目前變電所逐漸朝自動化設置，僅少數設施無預警監控設備，其調適能力屬中高等級。

(五) 永和 S/S 二次變電所

1. 暴露度

對於各項衝擊因子，衝擊設施程度較低，其暴露度為低等級。

2. 敏感度

提供重要設施及廣大範圍之民生用電，但因周遭變電所較為密集，綜合電力服務之對象與影響範圍大小，設施敏感度屬中等級。

3. 調適能力

永和變電所受限座落區域與場地，備援能力中維修備料之申購及災時通聯較不便利，其調適力屬中低等級。

三、小結

經與台電公司內部研商，挑選了協和電廠、協和—深美 345kV 紅線、深美—台北 161kV 山線、深美 E/S 變電所、台北 P/S 變電所及永和 S/S 變電所為示範案例，實際對其進行氣候變遷脆弱度盤查與評估，以驗證本研究所研擬的電力系統脆弱度盤查方法的可應用性。除了證實此方法確切可行之外，一併評估出上述各設施的脆弱度，當中協和電廠及永和 S/S 變電所的脆弱度等級為中，協和—深美 345kV 紅線、深美—台北 161kV 山線、深美 E/S 變電所和台北 P/S 變電所的脆弱度等級為中低。綜合論之，發電廠受制於火力電廠設置地點位處沿海區位之關係，潛在衝擊以中高等級較其他設施為高，代表其受到現地環境與氣候變遷衝擊因子之影響程度較其他區位高，調適策略近期應以強化設施抗災能力為主；後續調適策略則以氣候變遷調適新技術進行整修改建，並強化人員對於氣候變遷之避災避難規劃及演練，以降低氣候變遷所帶來之衝擊。一次輸電系統則為傳輸高壓電力，多設置於山區山稜間，人車進出巡查不易，近期調適策略以強化監測作業與加強與相關單位資源整合，以遠端方式即時監控預警；後續則以創新技術改善設施抗災，並配合模擬分析工具，整合即時資訊評估受損區位並提早進行災害搶修。配變電系統多設置於人口稠密或交通要道附近，地狹人稠區域，維修備料儲存空間有限，近期調適策略以強化既有設施與強化監測作業方式，提高設備抗衝擊能力與即時預警通聯處理；未來應以新技術克服設備受損率，配合模擬分析工具，提早評估受損區位與受損程度，有助於提高調適能力，進而降低設施脆弱度。

肆、結論與建議

一、結論

本研究建置了台灣電力系統氣候變遷降尺度評估模組與調適地理資訊系統，該系統除台電公司自有圖資外，尚包括了基本(分界與交通)、環境(環境與災害)、情境(基期與 A1B 情境)、脆弱度(水資源、防洪土砂、海岸)、風險(水資源、防洪土砂)等圖資；在應用上包含了讀取、展示與套疊等功能；並藉由功能區、列表區和展示區等操作介面加以呈現。此系統提供使用者快速查詢及檢視台電與其他單位的氣候變遷相關地理圖層資料，能作為台電各單位盤查評估氣候變遷衝擊與研擬因應調適對策之輔助工具。

另一方面，參考國內外氣候變遷脆弱度評估方法，研擬適合台電公司運用之氣候變遷電力系統脆弱度盤查方法。該方法藉由兩階段的評估達成，第一階段先由電力設施所在位置的暴露度和電力設施本身的敏感度等級，經由潛在衝擊評估矩陣評估潛在衝擊的大小(等級)；第二階段由潛在衝擊等級與調適能力大小(等級)，透過脆弱度評估矩陣評估電力設施氣候變遷下的脆弱度。此法非但有其學理依據，且經國內外實務單位認可並採行。此法同時結合了現場操作人員之盤查表單填寫，據此能在由上而下(Top-down)的觀點(各種地理資訊潛勢圖資)之外整合進由下而上(Bottom-up)的視野，能更為忠實地評估出暴露度、敏感度、潛在衝擊與脆弱度等級。

研究團隊根據盤查表單填寫結果，至協和電廠、台北一次變電所(P/S)、永和二次變電所(S/S)現場盤查瞭解實地情況。針對此三單位提出的近期、未來具體調適策略(建議)如下：

(一) 協和電廠

脆弱度等級為中的成因如就暴露度而言為強風下廠房倉庫等易受衝擊，該衝擊所指為鐵皮屋頂被強風吹走，故建議颱風前夕應強化鐵皮屋頂之固定工作，或者平時即提高鐵皮屋頂的附著力；未來建議以其他較為牢固之屋頂(如 RC)取代之。再者，在暴潮影響下，曾引起海水倒灌導致

泵室淹水，建議近期的調適策略為颱風前夕在泵室出入口堆置沙包防止淹水，並於颱風期間加強巡檢，一旦淹水則一方面派員強化沙包工事，另一方面則加派移動式抽水機抽除積水；長遠來看則應檢討是否全面墊高泵室內設施或將泵室遷移至高處。

(二) 台北一次變電所(P/S)

其脆弱度等級為中低，以調適能力來說，部分附屬設施無預警監控，並且部分設備無緊急應變程序，近期調適策略上該單位應儘速建立所有設備的緊急應變程序，未來是否所有一次變電所皆欠缺相同(或類似)設備的緊急應變程序應加以盤點、釐清，進而改善，另研議建置部分附屬設施的自動化預警監控系統(可記錄數據或影像)。

(三) 永和二次變電所(S/S)

脆弱度等級為中，就調適能力論之，該變電所若遭遇災害導致設備損壞，所內並不具備維修物料可進行維護以恢復設施功能，維修物料必須從他處取得。近期而言台電公司應檢討永和二次變電所維修物料流通時間是否會造成電力服務中斷，進而改善，後續應全面分析若極端事件(如地震、核災)造成大規模電力設備受損，其備援問題如何解決。

二、建議

對於盤查台電各單位所屬設施之脆弱度，進一步研提各單位的調適策略建議，不能僅從分析盤查表單填寫內容來給出建議，而尚須針對表單填寫成果親訪電廠瞭解實際情況，同時排除填寫上的誤差(如誤解表單問項、誤填等)。因本研究礙於時間緊迫與視訪單位人力調度問題此次僅親訪協和電廠、台北一次變電所(P/S)和永和二次變電所(S/S)，從而能提出具體的短、長期調適策略。至於協和—深美 345kV 紅線、深美—台北 161kV 山線、深美 E/S 變電所後續具體調適策略

之研議，建議台電公司可派員前往瞭解實地情況後為之。

本研究擬台電所屬電力系統之脆弱度盤查方法，該方法結合地理資訊系統及盤查表單，經實際案例測試後證實其確切可行。由於氣候變遷調適為滾動式修正程序，現在位於低暴露度之電力設施不表示永遠安全無虞，可能在極端氣候事件的影響下，瞬間成災。另一方面，即便某單位的調適能力甚佳，仍有可能在單位管理不善、單位人員流動率高的情形下使其調適能力不如以往，從而提高了脆弱度。同理，敏感度亦可能因設備老舊、更新、操作方式更動而有所變化。故為因應氣候變遷對電力系統之衝擊，台電電力系統相關單位都必須有其個別專屬的調適計畫，每年盤查一次並據之擬定調適策略，追蹤前一年度的調適策略執行成效評量其是否達成調適目標，甚至調適目標是否需調整也須加以探討。建議台電公司可即期推行脆弱度盤查暨因應調適策略之調適計畫，初期以電力系統相關單位為主，後續則公司之整體營運亦得有一因應氣候變遷之整體調適計畫，每年檢討更新，以利台電公司之永續成長與經營。

伍、誌謝

本研究為台電公司資助之研究計畫(計畫名稱：台電所屬能源供給設施及其所在區位氣候變遷之衝擊評估與脆弱度盤查分析，計畫編號：546-4839-0101)成果，感謝台電公司的資助與研究工作推展過程中的諸多支持。

陸、參考文獻

- [1] 行政院經濟建設委員會，氣候變遷調適政策綱領，初版，台北市，民國 101 年 9 月。
- [2] Robert T. Watson, "Climate Change 2001: Synthesis Report," A contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change., Cambridge University Press, Cambridge, 2001.
- [3] Pachauri R.K., Reisinger A. eds , "Climate Change 2007: Synthesis Report," In IPCC Fourth Assessment Report (AR4): Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change., pp. 1-104, 2007.
- [4] Clark, G. E., Moser, S. C., Ratick, S. J., Dow, K., Meyer, W. B., Emani, S., Jin, W., Kasperson, J. X., Kasperson, R. E., and Schwarz, H. E., "Assessing the vulnerability of coastal communities to extreme storms: The case of Revere, MA. USA," *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 3, issue 1, pp. 59-82, 1998.
- [5] 行政院經濟建設委員會，「推動地方氣候變遷調適計畫專案管理計畫」，台北，2013 年。
- [6] 行政院國家科學委員會，「台灣氣候變遷科學報告」，台北，2011 年。
- [7] 經濟部水利署，「強化台灣西南地區因應氣候變遷海岸災害調適能力研究計畫(1/2)」，台北，2010 年。
- [8] 經濟部水利署，「強化台灣西南地區因應氣候變遷海岸災害調適能力研究計畫(2/2)」，台北，2011 年。
- [9] 經濟部水利署，「強化台灣西北及東北地區因應氣候變遷海岸災害調適能力研究計畫(1/2)」，台北，2012 年。
- [10] 經濟部水利署，「強化台灣西北及東北地區因應氣候變遷海岸災害調適能力研究計畫(2/2)」，台北，2013 年。

電網整合佈建之資訊平台應用

Information Platform Applications to Grid Planning

張忠良*
Chang, Chung-Liang

許國隆**
Hsu, Kao-Long

林柏樺***
Lin, Bo-Hua

摘要

為符合外界期盼，降低輸電營運成本，創造公司整體經營績效，未來投資輸電電網計畫於大項器材採購前，將須優先評估線上及庫存可再規劃利用設備。本資訊平台建置係供專案計畫與非計畫型計畫之所需設備使用，為能達成資訊平台成效與管控成本之經營目標，本作業流程已將四階段查核及三級管控機制，納入作業程序中。目前資訊平台盤點清查主要項目為主變壓器、GIS 及 GCB 設備，為期此平台發揮更大效益，未來將陸續納入利用既設可增線鐵塔、屋外式變電所固定式電容器空間及既設常開連絡線引接變電所及大用戶等資訊至平台，供規劃參考。

Abstract

Taiwan Power Company (Taipower) has endeavored to reduce the cost of investments and improve its overall operation performance in order to meet the expectations of the public. To this end, it is important to evaluate the existing on-line facilities and equipment/material in stock applicable for re-use through a grid planning system before purchasing major equipment for transmission projects. This paper introduces an information platform that can be used to implement well planned equipment purchases. The working procedures laid out in this paper include four-stage check and three-level control mechanisms to ensure the efficiency of the platform and control the construction and operation costs of transmission system as well. At present, this information platform can inventory main transformers, gas insulated switchgears and gas circuit breakers. In the future, information on transmission towers, fixed capacitors of out-door type substations, normally opened tie lines and major customers will be added to the platform to enhance its performance and maximize its benefits.

關鍵詞(Key Words)：整合資源規劃(Integrated Resources Planning)、電網資產管理(Grid Asset Management)、電網資訊平台(Grid Information Platform)。

壹、前言

本公司將於 105 年起成立事業部，經由會計

分離與廠網分工釐清權責與界面，以提昇整體經營績效。過去輸變電建設投資，主要以技術層次的輸電系統規劃準則為依歸，今後當更加強上位的優化電網投資策略研擬，致力降低成本，提高

*台灣電力公司董事會檢核室

**台中供電區營運處

***台灣電力公司系統規劃處

電網投資效益。為提高公司整體經營績效，輸電設備投資成本考量，將是未來規劃發展重點項目之一，以現有可再利用之線上及庫存設備，除可降低輸電投資成本外，並可提高線上設備利用率及降低庫存器材。

目前電網擴充計畫及特高壓用戶供電方案，在規劃階段雖已將庫存可利用設備列入評估運用，惟仍無相關流程與機制加以管控，使得規劃運用上無法有一致性流程。故建立標準規劃流程與控管機制，將使工程所需相關設備取得作法趨於一致。透過平台建置，可更清楚設備移用過程及節省設備投資金額，且設備媒合過程不再重複，有利設備移用效率提升，需求單位利用堪用器材，也不再侷限於各區域，使設備移用廣度增加。

本平台建置，除納入線上及庫存可再規劃利用設備外，另將結合相關管控機制共同進行，使未來相關輸變電計畫與非計畫型計畫之設備投

資，有全面性的控管程序，以提高電網投資效益，避免設備過度投資，並落實資產管理。

貳、建立輸變電設備資訊平台之要義及作法

為能突顯輸變電計畫與相關工程投資效益，輸變電設備資訊整合平台建立，將有助於本公司設備資產活化再利用。設備資訊平台設計概念上區分為四大原則：1.大項器材盤點 2. 建立媒合資訊平台 3. 設備利用 4. 成果檢視與提報，各類別所製訂原則與作法將於後續介紹。而在使用作法上，已結合工程階段性管控之四階段回饋機制作法及預算分級管控之三級定期管控機制作法，如圖 1。

此章節中，將分別針對上述設備資訊平台設計概念及所結合之四階段回饋機制管控方法與三級定期管控機制作法彙整介紹：

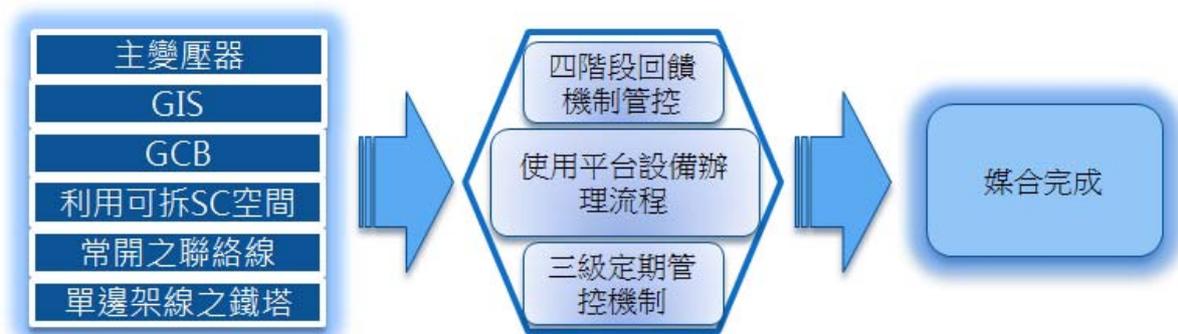


圖 1 設備平台使用概念流程

一、設備資訊平台設計概念

(一) 大項器材盤點原則：

1. 設備盤點設計上，係針對大項變電器材(變壓器、GIS 及 GCB)為主，另未來將陸續納入利用拆除 SC 空間裝設主變壓器、常開之聯絡線引接大用戶及單邊架線之鐵塔利用等，而電纜、架空線及鐵塔等線路庫存設備，已另有相關權責單位設立控管

機制，不列入本文平台管控項目之中。

2. 變電設備部分，運轉單位及施工單位須於每年定期盤點庫存大項器材，以及線上可再規劃利用之相關設備。
3. 線上設備納入本平台時，除須考量設備年限外，尚須考量設備之堪用及完整性。

(二) 建立媒合資訊平台原則：

1. 由運轉單位盤點庫存及各層級變電所線

上可再利用之器材後，送系統規劃處檢討線上設備未來使用計畫，再彙整施工單位之庫存資料，以 EXCEL 或 PDF 檔格式建立電腦化資訊平台，並統一由供電處進行平台更新與維護。

2. 供電處進行平台更新與維護時，平台所建置格式與設備資訊，均須清楚填寫，以利於施工單位選用設備。
3. 此平台使用須透過行政程序核訂後，方可由媒合資訊平台管理單位，至平台修改更新，以進行媒合作業。

(三) 設備利用原則：

1. 可移用設備之拆、移及整理等相關費用，以低於新購設備費用 50% 以下之器材為優先考量。
2. 已被預訂之可利用設備，若有其他工程使用年度較早或遇緊急搶修等需先行移用時，須先協調經陳准同意後再行移用。
3. 擴建或汰換工程所需設備，須先進入可移用設備平台進行媒合，惟新建或整所改建工程以個案檢討為原則。
4. 新建變電所器材若需以拆移既設設備移用時，相關拆移費用均由原編工程預算支付，另線上設備拆移工程協調事宜由施工單位辦理。

(四) 成果檢視與提報原則：

1. 四階段工程回饋機制之大項器材採購前，須先檢視可移用設備平台內之器材進行媒合。
2. 可移用設備平台資料更新內容及媒合執行成果，已訂於每年由專總主持第一次輸變電重要工程檢討會議中，由系統規劃處提報執行成果。

二、四階段回饋機制管控作法^[2]

為因應外界情勢變化或負載需求不如預期等不可抗拒因素，施工單位須於動用大筆工程款前，執行四個重要階段點進行回饋管控。各階段

執行前，先會相關單位進行需要性評估，並填寫工程執行回饋表，若檢討結論有變更時，須辦理計畫調整(變更、新增或取消)。

四階段回饋機制中與本平台使用之結合時間點，為第三階段大項器材採購前，需至媒合資訊平台先行評選可用器材，此機制建立後，未來變電工程購置新品設備前，均須檢附備用設備評估表。若資訊平台無所需設備或評估後設備不符前述設備移用原則時，方可購置新品。以下為四個階段回饋時間點：

- (一) 工程用地與業主簽訂土地買賣契約或申請徵收前。
- (二) 土建或統包發包前。
- (三) 大項器材採購前。(已附備用設備評估表)
- (四) 大項器材安裝前。

三、三級定期管控機制^[3]

為確實反應包裹式輸變電計畫工程之需要性，與計畫需求及執行落差，在不增加投資總額前題下，執行預算及工期之管控。三級管控作業機制概述如下：

- (一) 第三級管控執行單位為輸變電工程處北、中、南區施工處，其任務為於預算額度內依時程完成工程及依據工程進度提出相對應之預算使用情形，整理如下：
 1. 興工單之預算變動金額 1 億元或占比 10% 以下者。
 2. 興工單之工程落後進度 10% 以內或較預定完成日期落後 3 個月以內者。
- (二) 第二級管控單位為輸變電工程處，其任務為督導協調各區施工處所報專案計畫重要里程碑、工程進度、預算使用是否於核定金額內，整理如下：
 1. 興工單之預算變動金額 1~3 億元或占比 10%~30% 者。
 2. 興工單之工程落後工程進度 10%~30% 或較預定完成日期落後 3~6 個月者。
- (三) 第一級管控執行單位為總管理處(幕僚、系統

規劃處)，其任務為管控總輸變電計畫預算及執行實績，並對工程延後之影響提出因應對策，整理如下：

1. 興工單之預算變動金額 3~10 億元或占比 30% 以上，由主管輸供電系統之副總經理核定；預算變動金額 10 億元以上由總經理核定。
2. 興工單之工程落後工程進度 30% 以上，或較預定完成日期落後 6 個月以上，或無法於系統尖峰前完工之落後工程，由主管輸供電系統之副總經理核定。

參、資訊平台整合作業程序

本平台推動作法與檢討機制之作業流程，可由四大原則中歸納出二大類執程序，其規劃與設計程序，分為大項器材『存』入平台及至平台『取』用器材兩項，各器材類別所訂定之作業程序及流程，介紹如下：

一、大項器材『存』入平台概念與流程

大項器材『存』入平台項目中，係依照前述設備資訊平台設計概念之『大項器材盤點原則』，以主變、GIS 及 GCB 為主，其盤點作法須由各供電區營運處，就所轄區域之超高壓變電所、一次變電所及一次配電變電所，點選可再利用之大項器材，包含利用率較低之主變、特高壓用戶取消用電後之可再利用設備等...，另考量線上設備盤點品質，被納入本資訊平台之設備，除須考量設備使用年限外，另須考慮設備之堪用及完整性，若設備不附合納入資訊整合應用平台條件，由圖 2 所示，須將不完整或部份毀損器材放入運轉單位之舊機電設備通報管理系統，做為運轉事故維修之備用零件使用，另符合移用條件之線上設備，因涉及未來計畫是否仍規劃續用問題，故運轉單位於盤點所轄區域之線上器材後，須由系統規劃處確認未來使用計畫是否續用。另施工單位盤點項目，係對輸變電計畫取消工程且

已購置之設備進行清查盤點，因該器材均屬新品設備，故除特別因素外，施工單位應全數納入本資訊平台進行媒合。

各單位每年須定期盤點所負責之範圍，將可納入資訊平台之設備，依照『建立資訊平台原則』，以 EXCEL 或 PDF 檔格式，統一由供電處進行平台更新與維護。

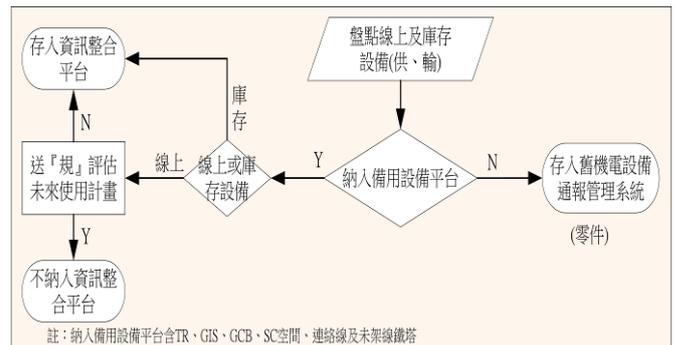


圖 2 設備存入平台架構流程圖

二、至平台『取』用器材概念與流程

第二大類至平台『取』用器材流程，仍需依照設備資訊平台設計概念之『設備利用原則』及『成果檢視與提報原則』所訂定項目，辦理器材取用，該流程與作法已規劃結合四階段查核及三級管控作業程序，建立確實執行優先選用備用器材及預算管控規範，達到節省投資之目的。

本平台取用器材流程，係由器材需求單位，於執行相關工程之設備購置前，先行確定計畫類型屬一般建築及設備計畫或專案計畫，各類型之執行流程(流程圖如圖 3 所示)分別介紹如下：

(一) 一般建築及設備計畫執行流程

一般建築及設備計畫執行過程中，施工單位於工程執行之購置新品設備階段，須先至本資訊平台篩選計畫可用之設備，並填寫『備用設備評估表』，若本平台所列設備，均不符執行計畫所需，經系統規劃處評核後，執行單位方可向各自主管處提出購置新品需求。

若平台所列設備符合執行單位需求，

則須依照評估表所設計之格式填寫相關資訊(包含拆移及裝設之變電所、預定移用時程、新購費用、移設總費用及移設節省費用等)，備用設備評估表經系統規劃處評核後，送供電處辦理更新平台資訊，並由供

電處影送工程執行單位，告知設備媒合完成，正本則送至該設備管理單位。當工程執行單位移設此設備器材後，該設備管理單位須將設備拆除時間填入評估表中，送返供電處統一表單管理。

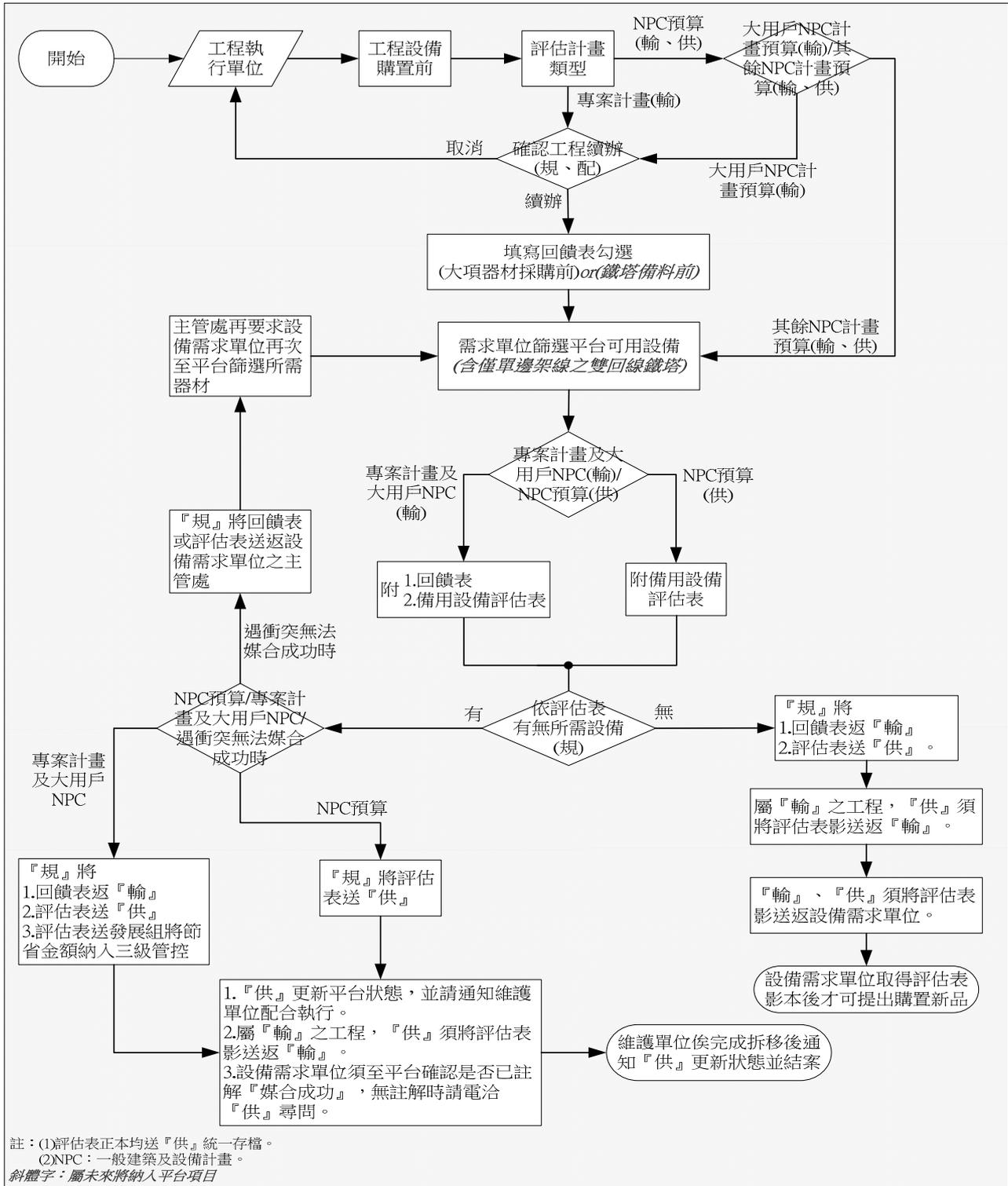


圖 3 至平台『取』用器材架構流程圖

(二) 專案計畫執行流程

專案計畫執行過程中，施工單位需依照四階段查核機制，於第三階段大項器材採購前，先以工程執行回饋表確認工程仍否續辦，經系統規劃處確認工程續辦後，施工單位須先至本資訊平台篩選計畫可用設備，並填寫『備用設備評估表』與『工程執行回饋表』，若本平台所列設備，不符執行計畫所需時，經系統規劃處評核後，備用設備評估表正本送供電處統一表單管理，影本則併同工程執行回饋表送返工程執行單位，向各自主管處提出購置新品需求。

若平台所列設備符合執行單位所需時，則須依照評估表所設計之格式填寫相關資訊，經系統規劃處評核後，工程執行回饋表送返工程執行單位，備用設備評估表送供電處辦理更新平台資訊，供電處更新線上平台資訊後須影送評估表至工程執行單位告知設備媒合完成(設備需求單位須自行至平台確認是否已註解『媒合成功』，無註解時請電洽平台管理單位供電處)，另正本部份供電處須送至該設備管理單位，當工程執行單位移設此設備器材後，該設備管理單位須將設備拆除時間填入評估表中，再將正本送返供電處統一表單管理。

專案計畫編報時，相關工程設備均以新品編列預算，故工程執行單位成功媒合線上設備後，須依照三級管控機制辦理工程預算調整，並通知系統規劃處實際執行費用，以利落實包裹式計畫工程及執行落差之管控，並於每季定期陳報。另系統規劃處須依照前述成果檢視與提報原則，於每年專總主持第一次輸變電重要工程檢討會議中，提報該年度移用資訊平台設備執行成果。

(三) 遇衝突無法媒合成功時情況

系統規劃處遇設備須求單位同時提出媒合相同設備時，須依所提備用設備評估表填寫之節省金額、移用時程及移用該設備之急迫性等多方考量，評選出移用設備獲利較高之案件，另未媒合成功之案件，系統規劃處須將回饋表或評估表送返設備需求單位之主管處，由主管單位再次要求設備需求單位再次至平台篩選所需器材(備用設備評估表須重新填寫更新)，依圖 3 流程重新辦理篩選平台可用設備之階段。

肆、初步媒合成效實例說明

本資訊平台設計目的，主要係提高線上及庫存設備使用率，以降低輸變電計畫投資成本。前章節中，已針對平台移用設備流程及概念做一簡述，以下將就目前平台所列項目(變壓器及線路檔位)，挑選媒合成功案例各一，顯示平台初具成效。

檢視平台已成功媒合案例中，如七輪修正計畫之西濱 D/S 新建工程，移用對象為利用率偏低之路北 E/S 既設 DTR 配變一台，本案依資訊平台整合作業程序辦理移設後，初估可節省投資金額約 1858 萬元。另中科 E/S 擴建計畫及通霄更新計畫，經檢討可移用目前利用率偏低之彰林 E/S、路北 E/S 主變等等，此均已完成移用主變取代購置新品之實例。

在線路檔位成功媒合案例中，依據工程單位現場施工實況回饋，在符合「輸電系統規劃準則」前提下，重新檢視規劃興建中之輸電線路，檢討提出兼具降低投資成本及系統工程可行之替代方案。初步成效以新豐 D/S 鄰近湖北及新工 D/S，因新工 D/S 須預留線路拱位引接大用戶，故規劃由湖北~新豐二回線引供。經依實際電纜路徑重新評估，可利用既設管路改由鄰近之新工 D/S 引接以縮短路徑並節省成本，考量新工 D/S 目前僅引供一大用戶(全懋)，尚餘三套既設備用線路檔位，經各單位評估可行，故引接方式改為

新工~新豐二回線，此案例預估將可節省約 1.26 億元。

伍、未來持續納入整合項目

利用平台之可再利用設備，取代購置新品作法推行後頗具成效，為能有效擴大利用現有設備創造極大化效益，未來將納入平台整合項目含：

- 1.利用既設可增線鐵塔
- 2.利用屋外式變電所固定式電容器(SC)空間
- 3.利用既設常開連絡線引接變電所及大用戶，作法與後續辦理方向如下：

一、利用既設可增線鐵塔：

目前既設架空線鐵塔，部分尚預留空間可供架設線路，未來各電網計畫或特高壓新設用戶申請用電規劃時，由工程單位就成本面檢討優先利用。目前已完成清查，未來將納入資訊平台供規劃參考。

二、利用屋外式變電所固定式電容器(SC)空間

未來輸變電計畫投資方向，新建一次配電變電所之條件，除鄰近變電所無法再擴充配變情況外，須另檢討鄰近變電所固定式電容器使用情形，若經運轉單位評估三年內無投切使用，則可提出減少電容器組數及容量清單，由系統規劃處檢討拆除後系統整體運用評估，並納入本平台作為裝設配電變壓器空間選項，以減緩新建變電所投資。目前已完成清查可減容量者為中市 P/S 及大鵬 E/S，清查結果未來將納入資訊平台供規劃參考。

三、利用既設常開連絡線引接大用戶

供電會議新設特高壓用戶供電檢討時，若該用戶鄰近既設常開連絡線，將優先規劃引接。目前已完成清查，未來將納入資訊平台供規劃參考。

本項目已有媒合成功案例：如遠信 D/S 161KV 引接線，將利用景星~板城連絡線改接強化。大用戶部份均為 69kV 特高壓用戶，其媒合

成果如下：

- (一) 69kV 枋山~枋寮線一進一出鐵枋 C/S，替代工程為 69kV 枋山~鐵枋二回線，所節省金額為 2.45 億元
- (二) 69kV 枋山~恆春線分歧一回線(壘保 C/S)，替代工程為 69kV 恆春~海博分歧一回線，所節省金額為 3.08 億元
- (三) 69kV 昭明~興龍線分歧一回線(國統 C/S)，替代工程為 69kV 興龍~港西線分歧一回線，節省金額為 0.58 億元。

陸、結論

- 一、本資訊平台建置係供專案計畫與非計畫型計畫之所需設備使用，為能達成『線上供電設備資訊整合應用平台』成效與管控成本之經營目標，本作業流程已將四階段查核及三級管控機制，納入作業程序中，爾後相關工程於購置新品前，均須先至本平台選用所需設備，若無適當器材方能購置新品。
- 二、本資訊平台建置後，以初步媒合成效而言，似乎已達成創造價值提高整體經營績效日地，為期此平台發揮更大效益，未來將陸續納入利用既設可增線鐵塔、屋外式變電所固定式電容器空間及既設常開連絡線引接變電所及大用戶等資訊至平台，供規劃參考。
- 三、目前線上可再規劃利用設備之盤點資訊，係以報表清冊方式呈現，將再朝 e 化方式改進，並由供電處協助以網頁方式建置電腦化資訊平台，以提昇作業效能。
- 四、平台執行成效與節省金額將由本處統一彙整，於每年第一次輸變電工程處重要工程檢討會議中提報成果。

柒、誌謝

- 一、感謝供電處於平台建置期間，針對設備清查與彙整上幫助許多，也對平台流程提供寶貴

建議，使本處於規劃平台過程更加順利，至
紉公誼。惟對於未來仍需納入本平台之既設
設備盤點與彙整，仍煩請供電處繼續協助，
使本平台建置上能更佳完整。

二、另為使公司財政儘速達損益兩平，輸變電工
程處須優先利用平台設備進行媒合未來相
關工程，在增加部份工作量(含會勘及拆裝
等)及符合預算達成率風險考量上，是有難
處，惟基於資產管理及公司最大獲利條件，
仍請努力配合，以降低公司投資成本，創造
現有設備價值，對此付出，再此一併感謝。

捌、參考文獻

- [1] 台灣電力公司股份有限公司新興輸變電計畫之規
劃設計施工及營運要點，2013年10月8日。
- [2] 張忠良等，「全包裹式輸變電計畫加強管控作
法」，台電工程月刊，第788期，第84-90頁，2014
年4月。
- [3] 張忠良等，「輸變電計畫修正及降低預算作法」，
台電工程月刊，第788期，第91-95頁，2014年
4月。

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

台電分散式知識管理系統之建置與應用之研究

Study of Distributed Knowledge Management System Implementation

and Application in Taiwan Power Company

洪紹平*
Hong, Shao-Ping

余長河*
Yu, Charng-Her

林秀麗***
Lin, Hsiu-Li

邱仁鈿**
Chiou, Jen-Diann

摘要

本計畫採用碩網資訊的 SmartKMS 知識管理系統為系統基礎架構，同時透過與各單位相關人員訪談結果，分析其問題、需求歸納，同時引進專業顧問輔導服務，建置台電分散式知識管理系統平台並強化專門議題討論社群之各項功能，以行動化與雲端化為應用目標，讓同仁在任何時間與地點都可以參加專門議題討論社群之各項活動，以充分發揮分散式知識管理系統的最大優點；另建立跨部門的專門議題討論社群及專家諮詢診斷作業，提供台電同仁在此平台進行跨部門知識分享及交流，以活絡台電內部各項知識貢獻、分享之運作，具備商業智慧來衡量全公司知識管理績效指標。期間共計輔導成立供電社群等 14 個專門議題討論社群，並建構綜研所、修護處及各單位等專家諮詢診斷系統，使其有效發揮隱性知識之發掘功能，促進公司內部寶貴知識之傳承與流動，對台電邁向世界級的知識型企業，墊下良好的基石。

台電公司目前已存在的知識管理系統包含多套軟體並且分散在不同部門之中，且知識分散不同系統導致檢索不易，知識的流動造成困難，更容易在發生問題的關鍵時刻無法迅速找到解決辦法，或是擁有解決問題能力之專家。同時，台電公司所擁有的巨量知識經年累積之後對系統造成過大的負擔，導致系統效能低落。本次計畫也已經由系統整合與優化，強化台電整合檢索系統之搜尋應用，提升檢索速度及結果；整合集中式(台電智庫)與分散式知識管理系統入口，並提供技術諮詢服務，協助台電公司之台電智庫系統資料一致性、程式瑕疵、資料庫過大拆分等問題解決。

Abstract

Taiwan Power Company (Taipower) currently adopts several suits of Knowledge Management Systems throughout different departments, resulting in knowledge sharing difficulties. It causes a problem especially in case of a high priority incident where solutions or subject matter experts cannot be identified on time.

On the other hand, Taipower has already utilized Blogs and other Social Networking mechanisms for employees to express their opinions and to enable knowledge sharing. However, these mechanisms are still premature and require greater expansion and utilization. The underutilization of Social Networking is a significant obstacle for the company in terms of knowledge sharing and retention.

*台灣電力公司綜合研究所

**碩網資訊股份有限公司

***智磊知識服務股份有限公司

Through many years, Taipower has accumulated a handful of knowledge and made continuous improvement and the correction of partial system problems. However, without proper Knowledge Management System, performance degradation may become a critical issue further down the track. This project has provided system integration, optimization and conducted analysis to enhance system performance, fetching speed and the accuracy of the results. Intumit also provides technical advisory services to consult in any probable issues.

This project has used Intumit's SmartKMS Knowledge Management System as the system infrastructure. Intumit conducted interviews with the subject matter experts of each department to identify their problems and needs. In the meantime, Intumit also collected and summarized the success examples of distributed knowledge management and deployed professional adviser counseling services in order to build the Taipower distributed Knowledge Management System Platform.

關鍵詞(Key Words): 知識分享(Knowledge Sharing)、專家(Subject Matter Experts)、社交網絡(Social Networking)、分散式(Distributed)、系統整合(System Integration)、知識管理(Knowledge Management)、實踐社群(Community of Practice)、隱性知識(Tacit Knowledge)。

壹、前言

目前台電公司的知識管理系統已包含多套軟體，包括台電智庫系統(IBM Domino Designer 開發之應用系統)、協同作業園地(IBM Lotus Quickr 團隊協同作業軟體)、台電部落格系統及台電整合檢索系統(Java 開發之應用系統)。

台電智庫系統於 95 年委外重新開發後應用至今，系統中依然有許多問題存在，例如：人員離職、調職、借調、退休，知識社群刪除、社群名稱改名...等，系統相關資料庫沒有配合更新。經過後續廠商改善 4 年，雖已解決許多系統使用問題，但仍可能還有少數其他系統資料一致性問題需解決。此外台電智庫系統已運作十年，部分資料庫太大，系統運作效率過低，導致使用者在使用上的不便。為解決眾多現有系統問題，除熟悉 Java 之開發團隊，本次計畫特配合熟悉 IBM 系統之顧問團隊提供諮詢。

由於不同部門間對知識的需求並不相同，為了管理上的便利，知識管理必定走向分散式架構，根據公司經營會議指示：因為公司各單位對知識的需求並不相同且為便於管理與推廣，知識

管理未來將走向分散式架構，故擬建置分散式知識管理系統，以活絡知識社群及衡量績效。為滿足知識的分享，分散式的知識管理系統必須有整合與分享的機制。另一方面，目前之整合檢索系統效率低落，且檢索範圍不夠全面，系統效能及檢索範圍亟需改善，整合式的平台對於知識的流動以及跨部門間的問題諮詢也能夠更加迅速得到回應，避免問題發生時，卻找不到適當問題解決人選。

建置分散式知識管理系統首先須輔導成立專門議題討論社群，由各單位自行掌控與推廣專門議題討論社群之各項工作，並強化專門議題討論社群之各項功能，再以行動化為應用目標，讓同仁在任何時間與地點都可以參加專門議題討論社群之各項活動，充分發揮分散式知識管理系統的最大優點。另外，加強與推廣專家諮詢與診斷系統也是目前知識管理的重點工作之一，並構建綜研所、修護處及各單位等專家諮詢與診斷系統，以提供諮詢與輔導服務，加強推廣專家諮詢機制，構建完整知識管理系統平台及其相關誘因機制。最後再整合集中式與分散式知識管理系統入口，且整合入口須具備商業智慧，以衡量全公司知識管理績效指標。

貳、研究方法

為達到上列目標，本研究計畫之研究步驟包括：

- 一、建置與業務結合之分散式知識管理系統；
- 二、強化專門議題討論社群之各項功能；
- 三、建構綜研所、修護處及各單位等專家諮詢診斷系統；
- 四、強化台電整合檢索系統之搜尋應用；
- 五、整合集中式(台電智庫)與分散式知識管理系統入口；
- 六、整合入口須具備商業智慧，以衡量全公司知識管理績效指標；
- 七、台電智庫系統資料一致性、程式瑕疵、資料庫過大拆分等問題解決。

一、建置與業務結合之分散式知識管理系統

輔導成立電力需求面管理能源技術服務社群、風險管理知識社群、營建處核心技術修練場、供電社群、土地問題討論社群、燃料採購社群、文書與檔案管理知識社群、會計處知識社群、售配電知識社群、材料處知識社群、水火力知識社群、輸變電工程社群及資安社群等系統專門議題討論社群。

(一) 研訂目標、任務、範圍、架構、營運方式

設計分散式知識社群作業要點、社群專家作業要點，協助台電同仁訂定社群成立之目標、任務、範圍及營運方式^[1]。

(二) 研訂關鍵績效指標(Key Performance Index, KPI)。

設計知識點數，以期能夠活絡分散式知識管理系統之運作^[2]。

二、強化專門議題討論社群之各項功能

- (一)行動化；
- (二)雲端化；
- (三)協同合作；
- (四)大量資料傳輸；
- (五)搜索引擎；
- (六)行事曆；

(七)其他。

三、建構綜研所、修護處及各單位等專家諮詢診斷系統

以提供諮詢與輔導服務，加強推廣專家諮詢機制，構建完整知識管理系統平台及其相關誘因機制。

四、強化台電整合檢索系統之搜尋應用

強化本公司新建置的台電整合檢索系統之搜尋應用，包括搜尋新建置的部落格系統、協同作業園地及其他，以發揮最大的成效。使用者可於系統整合入口網上方選擇搜尋方式，點選搜尋後，系統搜尋專門議題社群、新部落格、專家諮詢系統及協同園地，並將結果以分頁顯示。依照所輸入的條件在每個群組下呈現實際上可查詢到的筆數。如此使用者可以快速瞭解其查詢結果的資料分佈，透過點擊式的搜尋即可縮小範圍。如此不需重複調整搜尋條件，便可大幅減少搜尋時間。

亦可依照實際需求進行綜合檢索搜尋，與現有台電綜合檢索系統進行介接，免去使用者重複輸入搜尋條件的困擾。

五、整合集中式(台電智庫)與分散式知識管理系統入口

- (一) 整合台電智庫與台電其他系統之知識社群，以推動知識管理並滿足業務需求。
- (二) 整合台電智庫與台電整合檢索系統線上專家諮詢機制。
- (三) 建置新的部落格系統，並以容易編輯圖文及顯示為首要項目。

六、整合入口須具備商業智慧，以衡量全公司知識管理績效指標

於系統首頁提供各單位社群績效一覽表，使用者可快速瞭解目前分散式專門議題討論社群的活動情形(例如：文章數量、社員數...等)。

七、台電智庫系統資料一致性、程式瑕疵、資料庫過大拆分等問題解決

解決台電智庫系統因人員離職、調職、借調、退休、知識社群刪除、社群名稱改名...等，衍生相關資料庫資料一致性問題、程式瑕疵問題及資料庫過大需拆分等問題。

參、顧問推動輔導

一、知識管理推動小組

本計畫初始在研究計畫開展前，須選定由各單位推派之知識管理推動小組種子人員，參與研究團隊開辦之工作營及日後之推動活動。因此由專案小組與台電分散式知識管理系統之建置與應用委外單位電經室相關同仁進行計畫期初會議之會前會，成立知識管理推動小組，由電經室主任擔任推動小組召集人，參與本次研究計畫之單位成立各單位運作小組，再由各單位運作小組之窗口代表參與工作小組。

二、各單位需求訪談及第一次工作小組會議

本專案團隊於 103 年 1 月 10 日至 103 年 1 月 29 日之間進行了 11 個單位之使用者需求訪談，訪談之間除了系統介紹外，並推薦關鍵作業流程之新觀念，受到各單位之思考運用。

103 年 3 月 18 日舉辦第一次工作小組會議，將一月份進行之各單位需求訪談結果及建議對推廣小組報告：

- (一) 分散式知識社群作業要點；
- (二) 社群專家作業要點；
- (三) 知識點數；
- (四) 知識社群盤點作業。
 1. 社群知識文件及專長盤點表；
 2. 關鍵作業流程盤點表。

三、發行知識管理情報

共發行 5 期知識管理情報，作為專案溝通及知識管理相關概念宣導。

期數	發刊日期
----	------

第 1 期	103.01.08
第 2 期	103.03.18
第 3 期	103.05.26
第 4 期	103.07.30
第 5 期	103.09.30。

四、第二、三次工作小組會議 - 知識管理工作營

為各單位分散式知識社群持續展開知識盤點，乃舉辦知識管理工作營。

透過本工作營，在顧問帶領下，各單位知識管理運作小組能自行掌控與推廣專門議題討論社群之各項盤點工作，將各專門議題討論社群營運之目的、內容包括各項各式知識文件如作業規範、操作手冊、會議記錄、工作記錄、案例分享、方法技巧、訓練教材、專案報告、心得/分析報告等；以及關鍵作業流程(SOP)之結構化知識包盤點作業，一併於工作營中展開。

五、第四次工作小組會議 - 知識管理工作營

由於第二、三次工作小組會議之知識管理工作營成效良好，因此於 103 年 7 月 3 日再次召開第四次工作小組會議，邀請其他各處參加本次分散式知識社群之建置，最後確認輸變電工程處及資訊系統處參與第二階段專門議題討論社群建置行列。

六、「構建綜研所、修護處及各單位等專家諮詢與診斷系統」研討會

103 年 7 月 31 日召開「構建綜研所、修護處及各單位等專家諮詢與診斷系統」研討會，邀請電力修護處、綜研所電力室、負載室、能源室、化環室、高壓室及研發室等單位參與會議討論。

構建綜研所、修護處及各單位等專家諮詢與診斷系統，以提供諮詢與輔導服務，並加強推廣專家諮詢機制，構建完整知識管理系統平台及其相關誘因機制^[3]。

七、103 年分散式知識管理社群推動發表會

103 年 12 月 4 日舉辦 103 年分散式知識管理社群推動發表會。參與發表單位有營建處、供電

處、財務處、燃料處、業務處暨配電處、材料處、發電處、資訊處、輸工處、綜研所，發表簡報大綱包括：

- (一) 單位 KM 發展目標及行動
 - 1. 公司推動目的、高階主管的期望
 - 2. KM 推動與事業處績效目標之連結
 - 3. 經由事業處會議宣導讓其他同仁瞭解並能明確的溝通與建立成員共識
 - 4. 確認單位內推動人員組織及宣導計畫
- (二) 社群知識文件及專長盤點成果
- (三) 專家任務執行及社群運作
- (四) 學習地圖關鍵作業流程之應用(若無，忽略)
- (五) 未來計畫

肆、台電知識入口平台建置計畫

一、成立專門議題討論社群：社群功能架構

- (一) 檢索功能：搜尋的主要功能是希望藉由某些條件的設定，讓使用者在眾多的檔案中迅速找到自己需要的資料。搜尋設定通常是透過一般關鍵字、建立者、分類、建立日期或其他更為複雜的條件來搜尋想要的文件。系統提供進階的使用介面設定，可以讓使用者在很短的時間內找到需要的檔案。
- (二) 蒐集功能：提供管理者設定批次擷取資訊相關功能作業，蒐集範圍可包含內部及外部資料。
- (三) 分類：分類的主要功能是將不同主題和類型的文件分開置放，方便使用者多向式瀏覽、閱讀或查詢，也讓管理者可以針對知識地圖的文件分類進行維護，且各文件分類中的文件列表，可讓擁有該分類讀取權限者直接瀏覽該篇文件的詳細全文。
- (四) 文件：提供使用者可依權限新增、上傳、編輯圖文資料於本平台，並透過文件審核機制發佈，供其他使用者依權限瀏覽；使用者瀏覽圖文資料時系統同時提供與閱覽中文件相關的其他推薦文件，延伸使用者閱讀的範圍。
- (五) 學習地圖：使用者可依據單位內部的標準作業流程，將流程步驟中的參考文件、手冊、專家、Q&A 等用圖示步驟化的方式製作呈現，其他使用者可透過學習地圖流程步驟的指引逐步學習該作業項目。
- (六) 分享功能：相關知識物件查詢檢視相關功能作業，透過知識分享功能供使用者瀏覽知識文件時，系統自動提供推薦之延伸相關資訊，供使用者參考。
- (七) 協同專區：透過協同專區，提供同仁分享工作相關資訊及交流。
- (八) 個人設定：個人化系統設定相關功能作業，提供使用者針對常使用的或喜好的文件、分類等進行訂閱，系統提供個人化首頁，讓使用者編修屬於個人的知識管理首頁。
- (九) 專家功能：提供管理者依據各類專家領域設立專家黃頁，並提供 Q&A 問題諮詢及回覆功能，累積專家寶貴的隱性知識，供其他同仁參考。
- (十) 知識統計功能：使用者閱讀或上傳知識物件狀況統計、各類知識物件被閱讀評分狀況、系統運作狀況及各類專家上傳知識物件與回覆問題狀況等統計功能作業。
- (十一) 管理功能：排程管理功能可設定系統維運相關批次自動化執行之排程功能作業及系統參數相關功能作業，權限管理功能可由管理者設定系統人員、群組及權限等相關功能作業。
- (十二) 點數設定：引進業界之知識管理評量績效機制，以活絡台電內部各項知識貢獻、分享之運作。
- (十三) 個人化知識庫：提供新建檔文件、專門議題討論社群收藏管理、及瞭解對於分散式管理系統貢獻度。

二、專家諮詢診斷系統

填寫諮詢內容後，由系統進行歷史問題媒合，並將媒合結果提供給使用者進行參考；提供指定專家及該所主任推薦兩種諮詢方式，被指定的專家可依照諮詢單內容進行回覆，或可引薦其他

專家顧問群進行聯合診斷，並將診斷結果回覆給使用者，診斷過程將保留於系統中，便於未來使用者詢問時進行參考。

使用者可透過整合入口網快速進入系統，系統依據專家所屬單位細分專長領域。點選專家照片後，即顯示專家黃頁，內含專家基本資料以及參與過的分項計畫等資訊，供使用者作為諮詢參考。使用者可依照實際需求，填寫專家問題諮詢申請單，系統提供綜合檢索按鈕，供使用者將問題拋轉至綜合檢索系統進行相似問題查找。當使用者填寫完諮詢單後，系統依照填寫之申請單內容查找相似性最高的歷史問題供使用者進行參考，亦可向專門議題討論社群專家尋求幫助。若歷史問題無法解決使用者問題，系統會自動推薦相關專家，使用者可依據系統查找結果選擇指定專家回覆，或選擇欲詢問單位，請該單位主任進行推薦指派。專家可依照諮詢單內容進行回覆，或可引薦其他專家顧問群進行聯合診斷，確認問題處理完畢後，選擇回應問題，即可將診斷過程保留於系統中，便利未來使用者詢問時進行參考^[4]。

三、個人部落格

依照本案需求，採用使用性較為普遍的 Wordpress 平台為建置基礎，讓同仁透過簡單便利的方式建置及維護個人的部落格。

Wordpress 平台採用 MySQL 作為建置資料庫，提供簡易的網誌管理方式，使用者可以自行挑選或修改，以符合自己的需要，透過這項功能來快速切換或變更網誌樣式。

伍、結論與建議

一、結論

知識是 21 世紀最主要的核心競爭力，知識管理是持續改善與創新的基本功夫，綜研所延續過去十年於知識管理之投入於 104 年度執行台電分散式知識管理系統之建置與應用，初步預期效益如下：

(一) 發展組織自主知識管理與協同創新思考之

知識運用模式；

- (二) 建構全方位集中與分散雙軌制知識管理分享及組織學習系統平台；
- (三) 強化社群網站及檢索系統相關各項功能與應用；
- (四) 整合性專家諮詢與診斷系統，增進問題對策能力及最佳實務學習；
- (五) 減短新手學習曲線並減少資深人員教導負擔；
- (六) 建置台電個人化及整體組織的學習地圖與組織學習績效指標；
- (七) 發展台電集中式行動學習地圖與關鍵作業流程知識包；
- (八) 落實關鍵工作流程及成果與知識管理制度結合；
- (九) 增進跨單位與跨領域職能以提升團隊後援能力與職涯擴展；
- (十) 提升員工協同溝通效能與說服力，以增進信任度。

二、建議

台灣電力公司在知識管理之著墨也進入第十一年，已將知識管理的推動定位為一持續性之計畫，成功的要素牽涉四個構面，為確保預期效益之落實，以下以知識管理的四個構面分析各項預期效益未來具體推動與維運的方向：

(一) 策略面

結論效益(一)發展組織自主知識管理與協同創新思考之知識運用模式；

現階段台電知識管理已走向分散式架構並成立專門議題討論社群，由各單位自行掌控與推廣專門議題討論社群之各項工作，並強化專門議題討論社群之各項功能，再以行動化為應用目標，讓同仁在任何時間與地點都可以參加專門議題討論社群之各項活動，希望能發揮分散式知識管理系統的最大優點。目前各單位由於人力事務差異大，要發展各單位自主知識管理與協同創新思考之知識運用模式，必須在各單位深化知識管理之認知以及發展各單

位功能特色之知識管理應用。

1. 推動量化知識價值

建議台電在策略面須定義如何透過知識管理之導入實施貢獻到各單位之績效目標，例如在辦理專案計畫及新計畫工程案，其實施成效是否有因相當多先前案例在知識平台記錄分享而提升新計畫或新工程案效率，減少錯誤或辦理變更改數，以避免預算及工期浪費，增進同仁成就感與自信心，進而提升對公司的認同及歸屬感；或是重大異常事件，例如分析變電設備事故，探究其發生原因以汲取經驗，並改善設備弱點，期能減少相同事故再發生，是否有因相當多先前分析變電設備事故案例在知識平台記錄分享而加速應變時間，將災害降至最低；或是編製常用問題與解答集，將用戶陳情與顧客抱怨處理事項編列成集，並作人員相關教育訓練，日後記錄用戶陳情與顧客抱怨處理之速度是否有加快，顧客之滿意度是否有提升等量化指標。

2. 推動小組季檢討會議

因人員異動，並無額外空餘資源導入知識管理，資深員工缺乏時間及誘因將其內隱知識外顯化，造成目前平台文件可能偏向一般操作性之文件，對於異常問題解決之技巧手法或是緊急應變措施之智慧型處置等可經驗累積之傳承文件偏少，導致使用知識管理平台的意願降低，無法形成知識分享文化。

建議知識管理之實施必須有常設組織之運作，研究計畫推動小組必須定時召開會議，各單位分散式知識社群之運作小組參與會議，將知識管理推行成效以季召開追蹤檢討會議，並由各單位一級主管於例行處務會議檢討追蹤，才能達至持續運作之成效。

(二) 業務流程面

結論效益(四)整合性專家諮詢與診斷系統，增進問題對策能力及最佳實務學習；

結論效益(五)減短新手學習曲線並減少資深人員教導負擔；

結論效益(七)發展台電集中式行動學習地圖與關鍵作業流程知識包；

1. 持續推廣在關鍵流程中之管理知識

目前部分單位已將單位重要之關鍵流程建置在新平台，例如材料處將採購、驗收 SOP 建置在平台可讓新進同仁更快速上手；配電知識社群之饋線自動化知識主題，利用學習地圖瞭解自動化饋線效益統計表製作流程之範例；營建處發展的火力發電工程全生命周期管控工作指引；發電處之工程委外作業程序等等，均是減短新手學習曲線並減少資深人員教導負擔的重要應用。建議除了原有流程項目之相關知識文件必須定時檢視其充份性及有效性外，也應配合季檢討會議張顯其功效，以為其他尚未應用單位起示範性作用。

2. 持續推廣專家諮詢與診斷系統

目前已構建綜研所、修護處等專家諮詢與診斷系統，以提供諮詢與輔導服務，加強推廣專家諮詢機制，及其相關誘因機制。惟此系統剛建立完成，必須有適當之推廣與宣傳，讓擔任專家之綜研所及修護處同仁熟悉系統之運作，讓其他單位提出諮詢之同仁熟悉此一管道，將供需雙方串連起來，以擴大知識分享與專家庫，使同仁有更豐富的資訊可參考與利用。

建議辦理供給面及使用面之巡迴說明會，作為推廣與宣傳之管道。

3. 內隱知識外顯化

除了目前盤點出之各式操作型文件外，建議新增創作型文件，例如方法技巧、案例分享、分析報告、教育訓練教材等，需要同仁花一些心思將其經驗予以外顯化。外顯化之形式可以文字、影像、聲音等綜合多媒體作為記錄。

(三) 文化變革面

結論效益(六)建置台電個人化及整體

組織的學習地圖與組織學習績效指標；

結論效益(八)落實關鍵工作流程及成果與知識管理制度結合；

結論效益(九)增進跨單位與跨領域職能以提升團隊後援能力與職涯擴展；

結論效益(十)提升員工協同溝通效能與說服力，以增進信任度；

1. 導正知識管理價值，辦理標竿學習教育訓練

由於各業務單位知識管理成熟度有所落差，因此亦缺乏對知識的正確認知，導致組織整體知識分享風氣明顯不足，故有效導正其知識管理價值至為重要，可藉由各單位教育訓練之實施，透過一些公私部門或台電內部成功案例的分享，加以修正知識管理價值，提高組織知識分享之意願。

2. 規劃具體獎勵制度

若能有效推行輔助之獎勵規劃，並配合客觀的評核機制，將能帶動員工知識分享之風氣。

激勵理論指出員工為了滿足需求才會有行動的動機，而期望理論指出員工行動前都會考慮或對報酬有所期望；對於員工報酬的許多方式，不論是透過升遷、表揚及嘉獎等，都在組織的掌握中。因此，組織如何以「有形」的酬償制度配合「無形」的文化規範來影響員工行為，便成了知識管理重要的管理議題。本年度之知識管理平台具備知識點數之設計，可記錄同仁在知識管理平台上之實際行為並結合知識點數之設計予以規劃具體獎勵制度。

(四) 資訊平台面

結論效益(二)建構全方位集中與分散雙軌制知識管理分享及組織學習系統平台；

結論效益(三)強化社群網站及檢索系統相關各項功能與應用；

1. 持續維護台電智庫

台電智庫系統資料一致性、程式瑕疵、資料庫過大導致效能低下，系統拆分

等問題解決。

2. 監控知識管理系統

有效的監控知識管理平台的運作，未來可加以規劃維運使用統計分析，可提供系統平台日常流量、使用量、最熱門知識或依時間別、區域別、單位別等不同維度統計分析等功能。

3. 優化知識文件

(1) 文件審核：填寫創作型文件此類表單都需經審核者確認後，才發佈至系統。

(2) 文件版本控制：知識文件需建立版本控制，知識文件儲存後即新增一版本。

(3) 文件評分與評論：瀏覽文件時可對文件內容發表建議或心得並可對文件內容評分。

4. 開發系統 API 功能

各處資訊人員可透過 API 方式將文件自行歸檔進專門議題討論社群，節省二次上傳時間，並開放系統全文檢索功能，使台電內部其他系統可以查到分散式知識管理系統的文件，將知識管理達到最大的成效。

陸、誌謝

分散式知識管理系統專案承接過去集中式知識管理之成果，在綜研所團隊共同努力下，兢兢業業讓各單位能在繁忙業務之餘共同建置推動 14 個分散式知識社群，更承蒙各單位知識管理運作小組及其副處長擔任召集人鼎力相助，而得以獲致豐碩的果實。有了大家的積極參與及努力，使得我們隱約已感覺到，一個優良的學習型組織文化，持續不斷的在台電公司內部成長、茁壯。

柒、參考文獻

- [1] 彼得 聖吉, 第五項修練 學習型組織的藝術與實務(The Fifth Discipline), 一版, 台北市: 天下遠見出版股份有限公司, 2010, 第 267-346 頁。

- [2] Carla O'Dell, and Cindy Hubert, The New Edge in Knowledge , 1st ed. New Jersey: John Wiley & Sons.Inc., 2011, pp. 143-154.
- [3] Art Markman, 向專家學思考(Smart Thinking), 一版, 台北市: 遠流出版事業股份有限公司,

- 2013, 第 150-186 頁。
- [4] 華倫 伯格, 大哉問時代(A more beautiful question), 一版, 台北市: 大是文化有限公司, 2015, 第 31-61 頁。

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

游離輻射致癌因果關係判斷與評估理論方法

Probability of Causation of Cancer from Occupational Radiation Exposure

謝明忠*

Hsieh, Ming-Chung

吳青育*

Wu, Ching-Yu

黃志仁**

Huang, Chin-Jen

張寶樹***

Chang, Pao-Shu

莊弘毅****

Chuang, Hung-Yi

(102~104 年度研究計畫論文)

摘要

游離輻射是誘發癌症的危險因子之一，已有許多探討輻射與癌症相關性的研究。若輻射工作人員罹患癌症，其是否與輻射曝露有關，則是另一項必須探討的議題。國際上許多國家採用病因概率(Probability of Causation, PC)作為職業性輻射致癌因果關係判斷依據，此方法為美國國家衛生研究院(NIH)在 1985 年所擬定。本文為彙整病因概率學理方法與國際應用病因概率判斷輻射致癌因果關係的方法。

Abstract

This study is to discuss the relationship between ionizing radiation and cancers. If the workers subject to occupational exposure of radiation are diagnosed as cancer, the relationship and causation between ionizing radiation and cancer is an issue worth exploring. Trying to resolve this issue, the U.S. National Institutes of Health (NIH) developed the probability of causation (PC) model and radio-epidemiological tables based on epidemiology in 1985. In this study, we collect the references of PC methodology, and illustrate the status that PC is worldwide methodology adopted in the determination of radiation carcinogenesis.

關鍵詞(Key Words)：游離輻射(Ionizing Radiation)、健康效應(Health Effect)、輻射致癌(Radiation Carcinogenesis)、病因概率(Probability of Causation)、風險評估(Risk Assessment)。

壹、前言

使用病因概率(Probability of Causation, PC)作為輻射致癌因果關係判斷的原因是在 1980 年代初期，美國有許多居住在早期大氣核試驗下風處的居民，聲稱他們所罹患的癌症與核試驗有關，而向政府提出補償。為了解決此案件，美國國家衛生研究院(National Institutes of Health,

NIH)在 1985 年提出估計癌症有多少百分比的可能性是由於游離輻射所導致的病因概率計算方式及發展放射流行病學表(Radio-Epidemiological Tables, PC 表)^{[1][2]}。NIH 發展病因概率(PC)及放射流行病學表(PC 表)的資料來源是利用第二次世界大戰時，受到原子彈爆炸後存活下來的日本居民日後的罹癌死亡率，也就是日本餘命研究世代(The Life Span Study Cohort, LSS 世代)作為主要依據，經過轉換後建立符合美國的放射流行病學

*高雄醫學大學公共衛生學系

**高雄醫學大學醫學系、高雄醫學大學附設中和紀念醫院放射腫瘤科

***高雄醫學大學醫學影像暨放射科學系、高雄醫學大學附設中和紀念醫院輻射防護室

****高雄醫學大學公共衛生學系、高雄醫學大學附設中和紀念醫院職業暨環境醫學科

表(PC 表)，作為計算病因概率公式模組中的係數之一^[3]。

一開始發布放射流行病學表(PC 表)時，由於輻射致癌病因受到性別、年齡、曝露劑量、曝露時間及環境因素...等相關因素及許多不確定因素所影響，有許多專家也注意到這個問題，並提出相關的質疑。美國國家輻射防護與度量委員會(National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP)建議此方法可以做為判斷某種惡性癌症與發生此癌症前受到游離輻射曝露之間的關聯性的輔助方法之一^[1]。1985 年 NIH 發表放射流行病學表(PC 表)時，表示希望能根據新增加的游離輻射相關流行病學的資料，每 4 年修訂一次^[4]。雖然將病因概率(PC)用於輻射致癌判斷還存在爭議，但近年來的發展顯示其適用性已逐漸受到肯定^[1]。不僅在美國，目前有許多國家採用病因概率(PC)作為職業輻射致癌的判斷指標及相關補償問題的判定依據^[1]。

病因概率(PC)並非用來預測輻射工作人員受到輻射劑量會發生某種癌症的機率，而是必須是已被醫師確認罹患癌症後，才能使用病因概率(PC)進行估計其所罹患的癌症可歸因於職業曝露的機率。也就是說，確認罹患癌症是使用病因概率(PC)進行評估的先決條件。

貳、游離輻射致癌病因概率

游離輻射為誘發癌症的危險因子之一，但因游離輻射曝露而誘發的癌症大多是由於非自然因素或人為疏失所造成的^[5]，再加上目前有許多癌症的主要危險因子被確定，如化學危害、物理危害和生活方式等因素。對許多癌症的貢獻顯著^[6]，如肺癌與抽菸有關、乳癌與賀爾蒙因素有關、子宮頸癌與人類乳突狀病毒有關^[7]。研究發現，僅 5-10%的癌症發生率可歸因於遺傳因素，90-95%的癌症發生率則與環境及生活習慣有關，包含抽菸、飲食(油炸食物、紅肉攝取量過高、蔬果攝取量過低等)、酗酒、過度曝露於陽光下、空氣汙染、病原體感染、壓力過大、肥胖及身體活動量太低等。全癌症死亡率中，與抽菸有關的

癌症就占了 25-30%，30-35%與飲食有關，約 15-20%是由於感染，剩下的百分比是由於其他因素，如輻射、壓力、身體活動量及環境污染物等^[8]。

由於曝露於游離輻射而導致癌症，與其他危險因子導致癌症所發生的效應，這兩者間並沒有特異性，因此難以將輻射曝露所導致的癌症，從自然發生或因曝露其他致癌物質所導致的癌症中加以區分^[6]。要正確判斷是否因曝露於游離輻射而導致癌症之間，又存在多種干擾因子。癌症發生風險與種族、年齡、性別、飲食習慣、生活習慣、醫療、環境及職業曝露等多種危險因子有關^[7-9]。不同組織器官對輻射致癌敏感度也有所不同^{[10][11]}。目前認為游離輻射為結腸癌、胃癌、肺(氣管及支氣管)癌、乳癌、甲狀腺癌及血癌(白血病)的危險因子，其餘癌症目前仍不能排除與輻射曝露無關^{[6][12-14]}。輻射曝露後導致癌症的發生，並不是曝露後立即就發生，是須要經過一段潛伏期，而潛伏期又受到曝露時年齡、器官或組織部位、輻射種類及劑量劑量率等相關因素所影響^[7-9]，由於以上因素，美國 Victor P. Bond 博士以病因概率(PC)的概念，發展用於評估曝露於游離輻射後，經過長時間潛伏期所產生的低概率風險的健康效應^[15]。

一、流行病學上評估健康風險常用指標

在介紹病因概率之前，須先了解在流行病學上評估健康風險常用的指標，包含相對風險(Relative Risk, RR)、發生率比或稱勝算比(Odds Ratio, OR)、可歸因風險(Attributable Risk, AR)、額外相對風險(Excess Relative Risk, ERR)，這些指標可用來評估討論曝露組(曝露於游離輻射)疾病率(R_e)和非曝露組(未曝露於游離輻射)疾病率(R_n)之間的關係^[14]。風險係數則是使用在不同研究間曝露值造成風險的比較，請見表 1 介紹。

二、病因概率介紹

機率(概率)方法常被用來估計幾種可能因子中的一種導致特定效應的可能性，因此可以做為定量判斷危險因子與特定效應之間的因果關係，應用機率方法的前提是某種特定疾病或健康

效應必須是隨機的，而輻射致癌效應即是被認為因曝露於游離輻射所產生的隨機效應^[15]。因此這種估計法被美國國家衛生研究院(NIH)用來發展

輻射致癌病因概率及輻射流行病學表，以評估癌症和所受游離輻射之間的關聯程度，並作為補償依據^[3]。

表 1 流行病學評估健康風險常用指標介紹

名稱	說明	公式
相對風險 (Relative Risk, RR)	世代追蹤研究(Cohort Study)進行探討曝露與疾病之間的關聯，所得到的結果稱為相對風險(RR)，為曝露組疾病率(R_e)和非曝露組疾病率(R_n)之比例(Ratio)。	$RR=R_e/R_n$
發生率比 (Odds Ratio, OR)	病例對照研究(Case Control Study)進行探討曝露與疾病之間的關聯，所得到的結果稱為發生率比(OR)或稱勝算比，為病例組中曝露人數(a)與非曝露人數(b)的比值(a/b)除以對照組中曝露人數(c)與非曝露人數(d)的比值(c/d)。	$OR=(a/b)/(c/d)$ $=ad/bc$
可歸因風險 (Attributable Risk, AR)	一旦疾病與某種危險因子曝露之間具有因果關係，則必須進一步將此危險因子進行定量，通常是使用可歸因風險(AR)，可歸因風險又稱風險差(Risk Difference)、絕對風險(Absolute Risk)、額外風險(Excess Risk, ER)、額外可歸因風險(Excess Attributable Risk, EAR)、率差，用來表達曝露組與非曝露組疾病率之差。	$AR=R_e-R_n$
額外相對風險 (Excess Relative Risk, ERR)	另一種評估風險的方式是額外相對風險(ERR)，用來表達曝露組比非曝露組增加多少百分比的風險。	$ERR=(R_e-R_n)/R_n$ $=RR-1$
額外相對風險係數 (Excess Relative Risk Coefficient)	上述 RR、OR、AR(EAR)、ERR 無法提供輻射曝露劑量(劑量率)造成效應間的反應關係，且不同研究間不同基準所得到的 RR 值或 OR 值也無法直接進行比較 ^[1] ，故需要一個可在不同研究間進行比較的係數來表示曝露量與效應間的風險。 在輻射防護的劑量反應關係以表達為，每單位輻射曝露劑量導致額外相對風險(ERR)值，此為額外相對風險係數(Excess Relative Risk Coefficient, ERR_D)， ERR_D 可以在不同研究間直接進行比較。	$ERR_D=ERR/D$ D 為劑量(單位為 Gy 或 Sv)

病因概率是用來估計某一特定族群中，因曝露在某一種健康危害下，產生某種類型疾病或健康效應病例的百分比。換言之，某一特定族群中得某種特定疾病或健康效應的患者，是因曝露在某種健康危害下，而產生疾病的機率或可能性^[3]。利用病因概率方法進行輻射致癌病因概率即為受到輻射曝露下的癌症患者，所罹患的某種特定類型癌症，可歸因於曝露在一定劑量輻射環境下的概率(可能性)的估計值^[1]。由於概率相當於發生率，因此，也可以說是個人在經過一定劑量輻射照射後，發生某種特定癌症增加的風險(額外相對風險值，即 ERR)與發生這種特定癌症的總風險(全部相對風險值，即 1+ERR)之比值的百分比，亦即過去接受一定劑量的輻射曝露導致某種

癌症發生率的增加值與這種癌症總發生率之比^[16]。病因概率(PC)計算式為如下：

$$PC = \frac{\text{RadRisk}}{\text{BasRisk} + \text{RadRisk}} = \frac{\text{ERR}}{1 + \text{ERR}} \quad (1)$$

其中，RadRisk 為曝露輻射導致癌症的額外風險值，BasRisk 為癌症基礎發生率。從式(1)可看出病因概率(PC)是額外相對風險(ERR)的函數，病因概率(PC)實際上就是估計受到輻射曝露後被確診出罹患癌症患者的 ERR 的過程^[1]。

病因概率(PC)的定義為輻射導致特定癌症風險與此癌症基礎率加上輻射導致此癌症風險兩者之和的比值。病因概率(PC)是根據過去科學可靠的輻射流行病學研究調查結果，導出劑量回

應關係，結合受輻射曝露個人過去受到輻射曝露的類型(直線能量轉移、輻射種類)、劑量等，並考量曝露時年齡、確診時年齡、性別、是否抽菸等因素，經過複雜的計算後得到這個人所罹患的癌症與過去受到輻射曝露的可能性，並用百分比表示^[1]。

對於受輻射曝露族群，癌症的發生率隨曝露劑量的增加而增加。對已發生癌症的族群，其罹患的癌症若與曝露游離輻射有因果關係，則會隨之前所接收的曝露劑量增加而增加。這樣可以根據目前輻射流行病學所得到的輻射致癌風險值，以平均值估計出任何受到類似輻射曝露族群的癌症的額外風險，再對已罹患癌症的患者個人利用族群的額外風險值進行估計輻射致癌病因概率^[15]。

參、游離輻射致癌病因概率發展的概況

一、美國發展游離輻射致癌病因概率的概況

為了評估曝露於游離輻射後發生癌症的因果關係，美國國家衛生研究院(NIH)於 1985 年，最先發表病因概率計算方程式及放射流行病學表(PC 表)，以日本原子彈爆炸倖存者的死亡率相關資料為基礎進行推算，但當時並未對各種癌症風險的不確定因素進行充分的考量。

在 1985 年發表時只將 13 種癌症納入病因概率(PC)計算，之後隨著對日本原子彈爆炸倖存者的追蹤調查時間的延長，及游離輻射和癌症風險關係相關研究發展，及癌症風險模型的分析技術上也有重大進展，為了適時反應這些結果，美國國立癌症研究所(National Cancer Institute, NCI)和美國疾病控制與預防中心(Centers for Disease Control and Prevention, CDC)的研究團隊，在 2000 年依據最新的輻射致癌、不同類型輻射的生物相對效能、劑量與劑量率效應等相關研究結果更新放射流行病學表(PC 表)，並在 2003 年發表了修正的病因概率研究報告^[3]。

2003 年的更新，將除了惡性黑色素瘤(Malignant Melanoma)及慢性淋巴細胞白血病

(Chronic Lymphocytic Leukemia, CLL)以外的 27 種癌症納入計算^{[17][18]}，並請美國職業安全與健康研究所(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)發展線上互動式輻射流行病學程式(Interactive Radio-Epidemiological Program, NIOSH-IREP)，取代以人工計算病因概率(PC)的方式^{[2][5]}。2000 年美國國會通過能源員工職業病補償計劃法案(The Energy Employees Occupational Illness Compensation Program Act of 2000, EEOICPA, 42 U.S.C. 7384-7385, 1994, supp.2001)，正式將病因概率(PC)定為輻射工作人員罹患癌症申請補償的判決依據^[2]。目前 NIOSH-IREP 網頁程式(網址：https://www.niosh-irep.com/irep_niosh/)也為美國勞工部(DOL)依據 EEOICPA，裁定申請案例時使用^[2]。

由於病因概率(PC)是一個不斷在發展中的計算方案，美國國立癌症研究所(NCI)依據最新的輻射流行病學研究結果，在 2010 年為病因概率癌症風險模型進行修改並於 2013 年公布新的風險模型，這次將男性乳癌、惡性黑色素瘤及慢性淋巴細胞白血病等，共 33 種癌症全都納入計算，但新增加的癌症風險相關的參數值迄今(2015 年)尚未公布。

二、發展輻射致癌病因概率的相關程序

病因概率計算模型一開始是依據日本原子彈爆炸倖存者的癌症發生率及其相關數據為基礎。為了計算游離輻射致癌的病因概率，先依據日本原子彈爆炸倖存者世代的性別、曝露時年齡、曝露量、曝露後發病的經過時間等資訊，推估出癌症風險模型(Cancer Risk Model)。然而這些癌症風險模型的推算，包含統計上的不確實性，還有原子彈爆炸倖存者的曝露劑量的偵測誤差。若將推算的風險結果轉移到和日本人有著不同癌症基礎發生率的美國人時，也會產生誤差。

另外因大部分日本原子彈爆炸倖存者為曝露在急性、高劑量及高劑量率的中子與 γ 射線(比例為 10:1)輻射場，與大部份的游離輻射工作人員為曝露在慢性、低劑量及低劑量率及低直線能量轉移(Linear Energy Transfer, LET)的輻射條件

有所不同，也應考慮是否會導致高估輻射工作人員罹患癌症的風險的狀況。還有游離輻射和吸菸的交互作用對肺癌所產生的效應。

另外，病因概率(PC)主要是針對某特定器官或組織發生癌症後才進行計算，因此除了需要流行病學資料估計輻射曝露劑量對器官誘發癌症的額外相對風險(ERR)以外，還必須確定器官劑量^[1]，而器官劑量也存在不確定性。因此病因概率(PC)必須對上述各種型態的不確定性因素進行校正。考慮到這些不確定性的推算，因此並非以病因概率(PC)的點估計值的進行評估，而是以點估計值的信賴區間作為評估游離輻射致癌因果關係的依據^{[17][18]}。

發展輻射致癌病因概率(PC)的相關程序，依據上述，大致包含以下幾個步驟：

- (一) 計算日本原子彈爆炸倖存者世代研究(LSS)，曝露劑量 ≥ 10 毫西弗，50 名以上病例的癌症風險值，發展符合各種癌症的風險模型。
- (二) 校正癌症風險模型中所包含的不確定性因子，不確定性因子包含：
 1. 日本原子彈爆炸倖存者劑量測量隨機誤差與系統誤差的不確定性。
 2. 不同族群風險轉移(將日本原子彈爆炸倖存者的癌症風險轉換成美國人群的癌症風險)的不確定性。
 3. 調整不同劑量及劑量率、直線能量轉移(LET)輻射致癌風險的不確定性。
 4. 調整不同輻射類型致癌風險的不確定性。
 5. 調整其他干擾因子(如吸菸)。

肆、利用病因概率(PC)進行判斷輻射致癌因果關係的判斷參考依據

一、國際上利用病因概率(PC)進行輻射致癌因果關係的判斷參考依據

本範收集國際上已有相關職業性輻射致癌認定規定中，使用病因概率(PC)計算方式作為輻射致癌因果關係的判斷依據，不過本文的主題是

游離輻射致癌因果關係判斷與評估理論與方法，補償標準或方案並不在本文的範圍，且我國對於職業病補償及職業病的因果關係要件[職業疾病(職業病)：職業造成此疾病之貢獻程度大於百分之五十者]，在相關法令已有明確規定，因此僅供在國家未來進行相關研究或建立職業性癌症相關判斷標準時參考。

(一) 美國

美國國會為克服聯邦政府對勞工傷病補償程序缺乏一致性的問題，在 2000 年正式通過能源員工職業病補償計劃法案(The Energy Employees Occupational Illness Compensation Program Act of 2000, EEOICPA)，建立統一用在聯邦政府進行補償與職業輻射曝露有關的癌症的制度，並設立一個信託基金直接支付補償金，不須經由國會年度撥款。EEOICPA 的適用對象不僅限於能源部的員工，進行政府機構核能武器設施之相關公司、實驗室、試驗基地及承包商等的員工，在職滿 24 個月後，若發生疑似與輻射相關的癌症時，皆有資格提出補償申請^[2]。

在 EEOICPA 中的輻射致癌病因概率(PC)是取其信賴區間，即為各劑量反應曲線的範圍；依照 EEOICPA 規定，幾乎是所有癌症(目前為 33 種)皆可納入計算，在劑量回應曲線 99%信賴區間上限的條件下，如果工作者受到輻射曝露劑量造成癌症的病因概率(PC)相當於 50%或更高，即病因概率(PC)的 99%信賴區間上限值 $\geq 50\%$ 時，就會被判定其癌症的發生是因曝露於游離輻射工作場所中所造成，應予以全額補償^{[2][5]}。

若申請補償案件被拒絕，則申請人可以根據勞工部成功的案例申請重新審查，及向美國地方法院提出補償告訴。如果 NIOSH-IREP 獲得新的研究數據而進行修正，也會對過去被拒絕的申請人進行重新審查^[2]。

(二) 英國

英國核能工業輻射相關疾病補償計畫(UK Nuclear Industry's Compensation Scheme for Radiation-Linked Diseases, CSRLD)是一項雇主與工會協商製定的協議，並不是英國政府所規定使用的補償計畫^[19]。CSRLD 補償計畫一開始是因英國核燃料公司(British Nuclear Fuels Ltd, BNFL)和其行業工會，在 1970 年代後期被幾位死於癌症的員工提出控告，而法律訴訟過程太過漫長(有的持續 5 年以上)，造成申請人家屬精神壓力及昂貴的法律及專家的費用，因此在 1982 年提出可以取代司法程序，且必須比申請人循法律途徑有更快速的判決時間、更慷慨的補償金額。在 CSRLD 網站(<http://www.csrlid.org.uk/default.php>)中有將參與這項協議的 15 家企業及 9 家工會列出，並成立一個執行秘書處(the Executive Secretariat, ES)進行接受補償申請及相關審查的工作^[19]。

CSRLD 所補償與輻射相關疾病(符合資格的疾病)為膀胱癌、骨癌、大腦和中樞神經系統癌症(腫瘤)、乳癌(女性)、結腸癌、血癌(不包括慢性淋巴性白血病)、肝癌、食道癌、呼吸系統癌症、前列腺癌、卵巢癌、子宮癌、皮膚癌(非黑色素瘤)、多發性骨髓瘤、甲狀腺癌、其他組織(原因不明的癌症)和白內障；而某些癌症被排除在外(不符合資格的疾病)，分別為霍杰金氏病(HD)、多毛細胞白血病(HCL)、慢性淋巴性白血病(CLL)、惡性黑色素瘤及間皮瘤，因為這些癌症目前尚未有令人信服的流行病學證據，證明其可被輻射所引發^[19]。此部分與美國 EEOICPA 幾乎將所有癌症皆納入與輻射相關癌症的作法明顯不同。

英國以歸因份額(Assigned Share, AS)取代病因概率(PC)，英國的 AS 計算方式及模型基本上和美國的病因概率(PC)一致，但做了一些在補償方法上的改變，以克服在計算病因概率(PC)過程中的不確定

性所導致的影響^[5]。CSRLD 並沒有確切說明判斷輻射導致癌症具因果關係的歸因份額(AS)為多少，而是按照歸因份額(AS)的比例來進行補償，請見表 2^[5]。補償從歸因份額(AS)的 20%開始起算，如果申請案件其計算的病因概率不到 20%，則會被判定為不合格，不予以支付任何補償金^[19]。

CSRLD 認為按比例補償能在一定程度上，彌補病因概率(PC)模型中不確定性因素的影響^[5]。雖然 CSRLD 對申請人的補償金額比例較法院判決寬鬆(法院判決標準為 AS 在 50%以上則全額補償，反之則不補償^[19])，以期使申請者能夠得到更好的補償，但利用 AS 的判定方法畢竟不是英國政府規定，該項方案也不能作為法律證據，而且其延伸性並不好，對沒有曝露劑量的人，會降低補償份額或是被認定為不補償^[5]，因此只要申請人不接受 CSRLD 判定方法，還是可以提出訴訟。

表 2 英國核能工業輻射相關疾病補償計畫中不同歸因份額的補償比例

歸因份額(%)	補償比例
<20	0
20~ 29.9	1/4
30~ 39.9	1/2
40~ 49.9	3/4
≥ 50	1

(三) 中國大陸

1994 年中國大陸開始使用病因概率(PC)作為輻射致癌判斷標準，歷經幾次修正，目前最新修正版本為 2009 年「放射性腫瘤病因判斷標準」^[16]，其為中華人民共和國的國家職業衛生標準。

中國大陸的方法是建立一個統一的職業輻射曝露致癌或非職業性事故輻射致癌的判斷方法，目的是為受曝露輻射後罹患癌症的工作人員的工傷保險和補償裁決提供依據^[5]。其判定標準為在曝露輻射經過一定的潛伏期後，罹患胃癌、結腸癌、肺癌、除了慢性淋巴細胞白血病以外的所有

類型白血病、急性白血病、乳癌(女性)、食道癌、膀胱癌、甲狀腺癌、骨骼和關節惡性腫瘤這幾類型的惡性原位癌症並經過確診的案例，根據相關資料計算罹患癌症的病因概率(PC)，當病因概率(PC)的 95% 信賴區間上限值 $\geq 50\%$ 者，則可被判斷為輻射致癌。經判定後確定通過輻射腫瘤補償，還要根據中國大陸「勞動能力鑑定-職業工商與職業病致殘等級」標準判定的等級，給予申請者補償金和醫療救助^[5]。

(四)日本

日本利用病因概率(PC)，進行受到原子彈爆炸影響的民眾是否有「原爆症」的認定工作，而非針對輻射工作人員進行判定。判定的疾病限於實體癌症、白血病及副甲狀腺機能亢進症。當病因概率(PC) $\geq 50\%$ 時，即確認輻射曝露為導致民眾健康受損的因果關係。當病因概率(PC) $< 10\%$ 時，則認為民眾的健康問題與輻射曝露無關。病因概率(PC)介於 10-50%的案例，則收集相關資料，以綜合判斷輻射導致健康問題的因果關係^{[20][21]}。2008 年日本取消以病因概率(PC)作為「原爆症」的判斷標準^[22]。

(五)韓國

2000 年韓國開發適用於韓國國內輻射工作人員的因果關係計算程式(Korea Radiation Risk and Assigned Share, KORRAS)，此程式提供病因概率的點估計值，而非信賴區間上限值，當作罹癌者的因果關係判斷使用^{[17][18]}。

韓國科學技術部 2001 年第 2001-35 號公告「游離輻射相關產業工作人員職業疾病認定範圍規定」(방사선작업종사자들의 업무상질병 인정범위에 관한 규정)第 8 條規定，游離輻射工作人員在第一次曝露後 2 年到最後一次曝露後 20 年間，發生除了慢性淋巴細胞白血病以外的白血病，病因概率為 33%時即認定為職業性癌症，但若有明確的證據指出是苯等化學物質、遺傳性因素等其他原因導致癌症發

生的情況，則不給予認定。第 9 條規定，游離輻射工作人員第一次曝露後 5 年，發生肝癌（肝硬化、B 型病毒性肝炎或 C 型病毒性肝炎除外）、甲狀腺癌、卵巢癌、腦瘤、多發性骨髓瘤、大腸癌、膀胱癌、非霍奇金氏淋巴瘤、食道癌、腎癌、女性乳癌、胃癌、胰腺癌、唾液腺癌、肺癌(必須事先考慮抽菸的影響)、皮膚癌等 16 種實體癌症的病因概率超過 50%，即認定為職業性癌症，但若有明確的證據指出是其他原因導致癌症發生的情況，則不給予認定。第 10 條規定，間皮瘤、霍奇金氏淋巴瘤、黑色素瘤等，不得被視為輻射引起的職業病^{[18][23]}。

(六)捷克

捷克是根據自己的病因概率(PC)計算方法，建立對礦工的職業補償模式^[4]。捷克利用最新的鈾礦工人的流行病學研究獲得相關風險係數，建立病因概率計算模型，對鈾礦工罹患肺癌、急性及慢性粒細胞白血病進行職業補償認定^[24]，規定雇主必須給予病因概率(PC) $\geq 50\%$ 者全額補償、支付 30 個月的平均工資和其他終身福利待遇，病因概率(PC)介於 40%~ 50%者則視情況給予部分補償，病因概率(PC) $< 40\%$ 者則無法獲得補償。經計算後病因概率(PC)達不到補償標準者卻經常直接訴諸法律，此時法院不一定採納捷克衛生部的職業肺癌認定結果，因此常發生病因概率(PC)很低，但法院認為不應排除輻射致癌的可能性，而判定其為職業性癌症的案例^[4]。

二、輻射致癌病因概率判斷因果關係的界限

上述國家是使用病因概率(PC)的 99%或 95% 信賴區間上限值或是以病因概率(PC)的點估計值 $\geq 50\%$ ，作為判斷輻射致癌的標準。使用病因概率(PC)判斷游離輻射致癌因果關係的界限，應考慮到科學技術及社會層面兩方面的因素。科學技術方面包含輻射致癌的風險、劑量回應關係、輻射敏感度等等；社會層面方面則包含民眾對游

離輻射致癌風險的認識及接受度、社會經濟發展及補償能力等^[15]。

美國將病因概率(PC)≥50%作為判斷標準是來自於侵權法案(Tort Law)的觀念：“at least as likely as not”，其意義在於「至少可能的機率與不可能的機率一樣」或「比不是更可能」^[15]或「至少可能是」^[5]，亦即可能的機率等於不可能的機率等於 50%^[3]。一般而言，病因概率(PC)小於 10%，認為癌症由過去輻射曝露所導致的可能性很小，或輻射不大可能是癌症的病因；病因概率(PC)介於 10%-50%之間，認為癌症可能是由過去輻射曝露所誘發^[15]；病因概率(PC)≥50%，即表示疾病可能由該曝露因子所引起的機率≥50%。應用在輻射致癌因果關係上即為某特定癌症可能由於輻射曝露所導致的機率≥50%^[3]，亦即輻射致癌的作用超過其他致癌因子的作用^[1]。這是目前美國及中國大陸在游離輻射誘發癌症的補償案例上應用的原則。

病因概率(PC)以 50%作為界限的原因還有，在表 1 的公式中：

$$ERR = \frac{(R_e - R_n)}{R_n} = RR - 1 \quad (2)$$

而式(1)中：

$$PC = \frac{ERR}{1 + ERR} \quad (3)$$

將式(2)帶入式(3)中，式(3)為：

$$PC = \frac{RR - 1}{RR} = 1 - \frac{1}{RR} \quad (4)$$

從式(4)可得知，當病因概率(PC)大於 50%或 0.5 時，則 RR 值須大於 2，RR 在統計上的意義為越大於 1，則表示疾病與曝露因子的相關性越高，具因果性的可能性越高。在流行病學上，RR 在 2 以下，則認為是弱相關，2-4 為中度相關，4 以上為強相關。因此當病因概率(PC)大於 50%，表示 RR 值大於 2，是可以確定癌症與輻射曝露之間的關係為中度相關以上若曝露因子與疾病的危險

性具劑量效應關係(Dose-response Relationship)，則探討的變項間屬因果相關的可能性更大^[25]。

此外，使用 99%或 95%信賴區間上限值(第 99 百分位數或第 95 百分位數)進行補償的判決，比直接利用點估計值，即為最佳估計值(第 50 百分位數)進行補償的判決，對員工較有利^[2]，亦即有助於最大程度的減少拒絕補償的可能性^[26]。如對一名特定的工作人員於特定癌症及輻射曝露史計算的病因概率(PC)點估計值為 0.38，其 99%信賴區間為 0.21 到 0.55；表示這位工作人員此癌症由這種輻射劑量所引起的可能性為 38%，且有 99%的信心可以說，這位工作人員的此癌症由這種輻射劑量所引起的可能性是介於 21%-55%。由於 99%信賴區間上限值為 55%，大於 50%，所以這名員工的癌症在至少可能的機率與不可能的機率一樣的條件下，將被認為是因曝露於輻射所導致而有資格獲得補償^[2]。當以 99%信賴區間上限值的病因概率(PC)取代點估計值的病因概率(PC)時，可能使原先病因概率(PC)點估計值不到 50%者，其 99%信賴區間上限值超過 50%，而使判定應予以補償的機會大大增加^[26]。

中國大陸學者提出病因概率(PC)判斷界限值的合理性，可經由下列三個條件進行綜合衡量^{[5][15]}：

(一) 病因概率(PC)確定的輻射致癌因果關係病例數應符合流行病學調查方法

特定輻射曝露族群所發生的特定癌症，依訂定的病因概率(PC)判斷界限值所確定的輻射致癌病例數，大致等於由流行病學調查方法，在該族群所發現的該癌症的額外發生病例數，或根據風險值估計出該癌症的額外發生病例數。

(二) 被判斷者的罹癌部位應吸收到一定的輻射劑量

以職業游離輻射曝露為例，平均年曝露劑量應接近或超過年曝露劑量上限值的一半，並同時有相當長度的工作年限，使罹患癌症部位的累積曝露劑量達到一定的劑量。

(三) 利用病因概率(PC)判斷輻射致癌的假陽性

率誤差應大於假陰性率誤差

假陽性率誤差應控制在 50%以下，即不該判定為輻射致癌卻判定為輻射致癌的案例數不超過判定案例數的 50%。假陰性率誤差應控制在 10%以下，即該判定為輻射致癌卻沒判定為輻射致癌的案例數不超過判定案例數的 10%。

綜合判定的結果對不同部位的癌症的病因概率(PC)判斷界限可能不一樣，對大

多數輻射致癌敏感度高的組織或器官，如血癌、肺癌、甲狀腺癌等的病因概率(PC)判定標準訂為 50%是合適的^[15]。按照 50%界限進行補償，基於至少可能是的民事過失法律概念應是合理的^[5]。

韓國學者^[17]指出，使用病因概率信賴區間上限值作為輻射工作人員職業性疾病的評估標準時，挑選不同病因概率賴區間上限值的優缺點及應考慮的事項，請見表 3 及以下敘述：

表 3 病因概率的各信賴區間上限值比較

考量事項		信賴區間上限值		
		99%	95%	90%
補償層面 ⁽¹⁾	無法獲得補償的可能性	+	++	+++
	獲得補償的可能性	+++	++	+
補償規模 ⁽²⁾	推測補償對象人數	+++	++	+
統計學考量 ⁽³⁾	誤差範圍的嚴格性	+++	++	+
社會性層面	改變和妥協的餘地 ⁽⁴⁾	+	++	+++
	社會抗拒性	+	++	+++

(1) 使用病因概率上限值(Upper Limit)時，會因信賴區間設定過窄而使無法獲得補償的案例增多。

(2) 信賴區間設定過寬，會使獲得補償的人變得太多。

(3) 一般統計學使用的信心水準為5%，採用誤差範圍5%比1%更適當。

(4) 根據社會條件(經濟條件提升、社會福利基礎強化、工作人員增加等)改變補償範圍。

(一)採用 90%信賴區間上限值應考慮的項目

1. 根據未來社會及經濟發展趨勢，對於接受申請補償的條件及範圍會逐漸放寬，這時可能因無法獲得補償的案例增加，使社會認同度變弱。
2. 10%的誤差範圍不是一般統計學使用的誤差範圍。

(二) 採用 95%信賴區間上限值應考慮的項目

1. 韓國目前的經濟發展比美國低，在決定補償範圍時，應考量社會經濟環境。因為隨著未來社會及經濟的發展，95%信賴區間可使接受申請補償的條件及範圍逐漸放寬。
2. 在癌症與游離輻射無相關性時，獲得補償的案例比 99%信賴區間來的少，爭議性也較小。
3. 一般統計學使用的誤差範圍，5%誤差範圍比 1%誤差範圍更常被採用。

(三)採用 99%信賴區間上限值應考慮的項目

1. 直接採用美國的制度，比較不會有社會抗拒性和特別的爭議，社會接受度也比較高。
2. 無法獲得補償的案例少，對癌症與職業性游離輻射之間的相關性給予最大的認定。
3. 癌症與游離輻射無相關性卻能獲得補償的案例增加，和其他補償標準比較時，對其公平性會產生爭議。
4. 一般而言，統計學使用 1%誤差範圍太過嚴格。
5. 在決定補償範圍時，應考量社會經濟環境。因為隨著未來社會及經濟的發展，99%信賴區間會成為放寬申請補償的條件及範圍的限制。

伍、結論及建議

美國 NIH 在 1985 年首先發展病因概率(PC)計算模型及放射流行病學表(PC 表)評估癌症與所曝露的游離輻射之間的關聯程度並作為補償依據。計算病因概率(PC)伴隨著許多不確定性，且一開始使用的輻射風險估計值主要來自日本原子彈爆炸倖存者的研究數據，再進行轉換成較符合美國人群的風險估計值，因此在發展病因概率(PC)初期受到許多質疑，不過 NIH 後續將車諾比事故、核子實驗室、醫療輻射資料等曝露風險納入以修正輻射誘發癌症的風險，也將相關的癌症干擾因子納入考量，使計算病因概率(PC)的不確定性減到最小。目前美國、英國、中國、韓國與捷克等國均依自己國家的狀況，發展符合自己國家的病因概率(PC)計算方式及補償判斷標準。

由於病因概率(PC)計算包含線性劑量回應及非線性劑量回應，並納入許多不確定性因子進行校正。病因概率(PC)在判斷輻射致癌因果關係中，比 OR 值或 RR 值更為客觀嚴謹。雖然病因概率(PC)是輻射致癌因果關係較為客觀的判斷方式，但就目前的輻射流行病學及癌症流行病學研究結果，計算病因概率(PC)仍存在許多不確定性。美國國家癌症研究所(NCI)和美國疾病控制與預防中心(CDC)的研究團隊為反應先前所提的許多不確定性因素，在 2003 年發表大幅修正的病因概率研究報告，目前最新一次修訂為 2010 年，在 2013 年公布修訂結果，但是至今(2015 年)修定之參數值尚未全部釋出，因此需持續對 NIOSH-IREP 癌症風險模型及參數值進行追蹤。

各國在使用病因概率(PC)作為輻射致癌因果關係判斷標準時，會站在輻射工作人員的立場，使判定予以補償的機會提高。美國是以最寬鬆的方式進行申請補償者的劑量重建，並以病因概率(PC)的 99%信賴區間上限值 $\geq 50\%$ 作為補償標準。中國大陸以病因概率(PC)的 95%信賴區間上限值 $\geq 50\%$ 作為補償標準。韓國是當白血病的病因概率(PC)(非信賴區間上限值) $\geq 33\%$ ，其他實體癌病因概率(PC)(非信賴區間上限值) $\geq 50\%$ 作為補償標準。最近有韓國學者建議進行修改以

病因概率(PC)的 95%信賴區間上限值 $\geq 50\%$ 作為補償標準^[17]。

基本上，職業性疾病(癌症)的認定基準是以醫學研究結果為依據，但是實際上並沒有任何能準確判斷的方法。2009 年我國勞動部增列勞工保險職業病種類項目中，游離輻射線(Ionizing Radiation)為導致職業性癌症-血癌、皮膚癌、甲狀腺癌、骨癌、乳癌-的有害物質、危害因素、致癌物質或致癌特定製程。

另外我國依據職業災害勞工保護法規定所設計的職業病認定機制，從第一線的醫師診斷到地方、中央主管機關鑑定程序任一階段的認定結果，只要勞資雙方任何一方不接受，都可以表示異議，並進入下一個鑑定程序，必要時由司法程序做最後的裁判。如此設計，給予勞資雙方在法律攻防上同等的機會及充分的救濟管道，可以將認定過程中因專家專業廣度不足、個人偏見或疏忽導致錯誤的認定結果，損及其中一方合法權益的可能性降至最低。

在職業病認定制度下，仍難免可能出現某些游離輻射職業病認定過程的盲點，而導致錯誤認定的出現。國內目前針對游離輻射職業病診斷認定，除了要符合疾病的證據、職業曝露的證據、曝露在前得病在後的時序性、人類流行病學已知的證據及排除其他可能致病的因素，五項原則之外，依據勞動部辦理職業疾病鑑定，關於職業疾病鑑定結果，構成職業病因果關係要件必須為，因職業造成此疾病之貢獻程度大於百分之五十者才能判定為職業疾病(職業病)。因此針對職業病的因果關係認定標準應該保持一致，不能因不同行業別或職業原因造成的職業傷病而有不同的標準。

由於我國未發展職業游離輻射病因概率評估模型，本文目的為提供我國在將來建立職業游離輻射病因概率評估模型或成為判斷職業性輻射致癌之輔助方法之參考。

陸、誌謝

本文承台電公司支持，進行「游離輻射致癌

因果關係判斷與評估理論方法研究」計畫案，並感謝核能發電處保健物理組同仁給予指導。

柒、參考文獻

- [1] 寧靜，「放射性腫瘤病因概率及其計算方式研究」，博士論文，中國人民解放軍軍事醫學科學院，2009年。
- [2] Silver K, “The Energy Employees Occupational Illness Compensation Program Act : new legislation to compensate affected employees,” *AAOHN journal : Official journal of the American Association of Occupational Health Nurses*, vol. 53, issue 6, pp. 267-277, 2005.
- [3] Land C, Gilbert E and Smith JM, “Report of the NCI-CDC Working Group to Revise the 1985 NIH Radioepidemiological Tables,” National Cancer Institute at the National Institutes of Health, U.S. Department of Health and Human Services, United States, 2003.
- [4] 孫世荃，「輻射致癌病因概率的計算方法及其應用的進展」，中華放射醫學與防護雜誌，第 19 卷，第 2 期，第 135-137 頁，1999 年。
- [5] 任冠華、趙永成，「輻射腫瘤判斷及賠償標準的研究進展」，職業與健康，第 29 卷，第 16 期，第 2098-2101 頁，2013 年。
- [6] U.S.NRC, “Fact Sheet on Biological Effects of Radiation,” Oct. 2013, [Online]. Available : <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/bio-effects-radiation.html>.
- [7] John D. Boice, Jr., Rory Conolly, A. Bertrand Brill, Richard W. Hornung, Ranajit Chakraborty, Roy E. Shore, Charles E. Land, F. Owen Hoffman, David C. Kocher, Morton W. Miller, Cindy L. O'Brien and David A. Schauer, “Uncertainties in the estimation of radiation risks and probability of disease causation,” *National Council on Radiation Protection and Measurements*, Maryland, United States, no. 171, 2012.
- [8] Anand P, Kunnumakkara AB, Sundaram C, Harikumar KB, Tharakan ST, Lai OS, Sung B and Aggarwal BB, “Cancer is a preventable disease that requires major lifestyle changes,” *Pharmaceutical Research*, vol. 25, no.9, pp. 2097-2116, 2008.
- [9] UNSCEAR, “Effects of ionizing radiation : UNSCEAR 2006 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes-Annex A : Epidemiological studies of radiation and cancer,” *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*, New York, United States, 2008.
- [10] USNRC Technical Training Center, “Reactor Concepts Manual: Biological Effects of Radiation,” *United Nations Nuclear Regulatory Commission*, Maryland, U.S., n.d.
- [11] New York State Department of Health, “Radiation and Health,” Nov. 2013, [Online]. Available: <http://www.health.ny.gov/publications/4402/>.
- [12] J. VALENTIN, “The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection,” *International Commission on Radiological Protection*, Ottawa, Canada, ICRP Publication 103, 2007.
- [13] U.S.NRC, “Radiation Exposure and Cancer,” Oct. 2013, [Online]. Available: <http://www.nrc.gov/about-nrc/radiation/health-effects/rad-exposure-re-cancer.html>.
- [14] BEIR VII, “Health Risks from Exposure to Low Lvl. of Ionizing Radiation,” *Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation(BEIR VII)*, United States National Academy of Sciences, Washington, D.C. , U.S., BEIR VII phase II, 2006.
- [15] 王繼先、張景源，「病因概率方法在惡性腫瘤輻射病因判斷中的應用」，國外醫學放射醫學與醫學分冊，第 13 卷，第 3 期，第 97-100 頁，1989 年。
- [16] 中華人民共和國衛生部，「放射性腫瘤病因判斷標準(GBZ 97-2009)」，2009 年。
- [17] 임현술, 진영우, 정미선, 아병일, 조대형, 오장진, 김정인, 정청 and 이관, “A Study of the Modification on Guidelines for Occupational Diseases among Radiation Exposed Workers,” 동국대학교, Republic of Korea (South Korea), GOVP1200510187, 2004.
- [18] Jeong M, Jin Y-Wand Kim C-S, “Program for Estimating the Probability of Causation to Korean Radiation Workers with Cancer,” *Journal of Radiation Protection*, vol 29, no. 4, pp. 221-230, 2004.
- [19] UK Nuclear Industry's Compensation Scheme for Radiation-Linked Diseases(CSRLD), Jun. 2013,

- [Online]. Available: <http://www.csrlid.org.uk/default.php>.
- [20] 日本厚生労働省「原爆症認定の在り方に関する検討会報告」, 2007 年。
- [21] 日本厚生労働省「原爆症認定に関する審査の方針」, 2007 年。
- [22] 日本厚生労働省「原爆症認定審査の現状について」, 2011 年。
- [23] 교육과학기술부, 「교육과학기술부장관 : 교육과학기술부고시 제 2008-32 호」, 2008 年。
- [24] Müller T, “Occupational Diseases in Uranium and Ore Miners in Connection with Radiation Exposure in the Czech Republic,” Institute NRP, Prague, Czech Republic, 2003.
- [25] 陳建仁, 流行病學：原理與方法, 初版, 台北市：聯經出版事業股份有限公司, 2009 年。
- [26] 劉長安、葉常青, 「可用於游離輻射致癌病因概率計算的癌症種類的思考」, 中華放射醫學與防護雜誌, 第 27 卷, 第 6 期, 第 615-620 頁, 2007 年。

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

104 年 總 目 錄 (題 目 類 別)

(第 797 期 至 808 期)

題 目	作 者	期 數	頁 次	題 目	作 者	期 數	頁 次
再 生 能 源				複循環發電機組之沿革及其發展 楊 文 宙...804...16			
風力發電機齒輪箱維修趨勢與初階檢修.....	邱文寶 · 林榮貴 · 許華濱	799	1	燃煤火力電廠燃料供應系統規劃	連 震 松	806	10
太陽光電支援政策轉型分析	周桂蘭 · 張瓊之	800	7	核 能 發 電			
風速計檢測與校驗系統介紹	邱文寶 · 吳宗亮 · 張朝正 · 許華濱 · 廖錦棋 · 鐘裕亮	800	1	龍門電廠緊急應變計畫區民眾防護措施分析及規劃檢討	卓裕仁 · 張建彥	799	17
永磁同步風力發電機 PSCAD 模型建立與模擬分析	吳元康 · 許文華 · 葉冠廷 · 鄭憲陽	802	1	龍門核電廠緊急應變計畫區檢討修正評估	王誌瑋 · 周郁翔 · 林駿丞 · 張淑君 · 鄭敬瀚 · 盧仲信	802	31
永磁式小型風機的模型建立與模擬分析	吳元康 · 林輝政 · 楊元豪	803	1	核能溝通策略之研究 - 以南台灣為例 ..	楊永年 · 郭彥廉 · 廖翊詠 · 蘇怡帆	803	30
高占比再生能源的系統衝擊以及相關的技術研究	吳元康 · 李東璟 · 林偉民 · 謝廷彥	804	1	核電廠用過燃料池喪失冷卻事故分析之 MELCOR 模擬	徐郁芬 · 周鈴曜 · 梁國興 · 陶盛輝 · 楊惠君	803	45
水 力 發 電				核三廠反應爐壓力槽鋼材中子照射脆化監視樣品重組技術	張承漢 · 胥耀華 · 陳新儒	806	20
氣候變遷下水力發電對電力系統與產業之脆弱度與風險評估	郭彥廉 · 郭振民 · 陳裕揚 · 游保杉 · 楊道昌 · 歐靚芸	806	1	核二廠失火對策計畫更新及消防系統失效評估	許文勝 · 白寶實 · 李宜娟 · 李明聰 · 詹國楨 · 謝耀輩	808	1
火 力 發 電				輸 變 電			
多轉子軸系聯軸器對心最佳化方法研究	蔡 坤 泰	798	1	電子式互感器應用於本公司智慧型變電所之可行性研究	黃昭裕 · 柯喬元 · 陳坤隆 · 陳南鳴 · 楊金石 · 楊政和 · 蒲冠志	797	1
以旋轉填充床進行火力發電廠煙道尾氣二次脫硫之研究	陳奕宏 · 林鼎倫 · 曹志明 · 陳茂景 · 蔡竣良	800	20	應用 IMS 儀器量測 SF ₆ 氣封設備氣體分解物與雜質之預防維護研究	劉 至 瑄	797	12
基因演算法在撓性轉子動平衡之應用 ..	蔡 坤 泰	802	18	研發 345kV/161kV 輸電線測距保護電驛標置程式之研究	劉志文 · 林子喬 · 林沛吟 · 林群峰 · 陳又琨 · 陳冠霖 · 辜志承 · 葉香君 · 廖清榮 · 蒲冠志	798	14
火力發電之電力水足跡盤查分析與應用	黃哲信 · 李春齡 · 周宏泰 · 周嫦娥 · 林武煌 · 陳峙霖 · 蔡顯修	803	20				

題 目	作 者	期 數	頁 次	題 目	作 者	期 數	頁 次
霧峰 E/S MCC IED 斷路器投入邏輯研究與改善	陳 銘 宗	799	32	台電建置低壓 AMI 前期佈建系統技術顧問、驗證及成本效益評估	黃佳文 · 王金墩 · 李信璋 · 沈日恆 · 沈正杰 · 卓明遠 · 施 恩 · 陳裕清 · 陳寶玄 · 黃奕儒 · 劉文雄 · 盧展南	799	50
屋外式二次變電所避雷器安裝位置探討	張瑋育 · 卓明遠 · 張喜翔 · 郭麟瑛 · 陳聯登 · 費肇宗 · 蕭力維	800	39	配電變壓器設置地點之規劃設計研究	張文奇 · 王金墩 · 王清平 · 古佩弘 · 林萬福 · 張智涵 · 黃世杰 · 廖昭銘 · 劉憲宗 · 蔡森洲 · 戴德育 · 蘇偉府	800	50
應用同步相量量測系統於常開併網之潮流判斷	黃澤勇 · 王俊雄 · 石吉亮 · 洪永輝	800	32	微電網系統工程整合技術之研究	李奕德 · 何元祥 · 張永瑞 · 詹振旻 · 賴文馳	802	90
「文心-中西(白)161kV 交連 PE 電纜線路」修復及電力系統操作面對接續匣故障的影響評估	鄭 強 · 吳承翰 · 郭政謙 · 陳汝吟	802	77	無線射頻識別技術應用於配電中心物料管理之研究	蔡森洲 · 張文奇 · 陳志成	804	23
地下電纜管線圖資雲端資料庫之系統規劃及建置	王俊仁 · 方玉階 · 王春木 · 林安志 · 胡榮聰 · 謝憲坤	802	66	配電系統結構改善可行性研究	蘇偉府 · 古佩弘 · 周映君 · 許炎豐 · 黃世杰 · 蒲冠志 · 劉憲宗 · 戴德育	806	34
連接站避雷器線上監測及維護系統研發	沈政毅 · 王俊仁 · 王淳德 · 卓明遠 · 林楷司 · 徐永騰 · 張銘鑑 · 陳泓翔 · 陳建男 · 蔡立宗 · 謝憲坤 · 藍榮進	802	39	電力系統			
整合佈建優化電網投資	邱國智 · 白一凡 · 張忠良 · 陳建堂	802	58	2012 印度世紀大停電事故分析探討	蕭 純 育	797	56
台電公司更新改建電廠之電源線相關檢討	姚竺君 · 林啟明 · 張忠良 · 陳建堂	803	53	大規模太陽光電併入電力系統之衝擊分析	吳元康 · 王耀村 · 鄒明諺	798	26
161kV 並聯電抗器可靠運轉之實用改善案例	徐嘉鴻 · 石吉亮 · 李河樟 · 陳永源 · 陳來進 · 陳慶守 · 鄭凱中	805	19	三相配電系統不平衡負載補償：從靜態虛功率補償器(SVC)至靜態同步補償器(STATCOM)	張偉能 · 張智皓 · 吳佩寰	799	66
電力調度監控系統開放式運轉資料庫與行動查詢 APP 建置之研究	劉至瑄 · 吳孟昌 · 呂世彬 · 蕭勝任	805	1	電網規劃與設計之聯繫管控	吳世傑 · 張忠良 · 黃張鴻	799	79
配 電				南部發電廠即時發電燃料成本資訊平台建構概述	戴志宇 · 田丁財 · 呂明鐘 · 林坤泉 · 邱吉生 · 邱鴻順 · 曾俊傑 · 鄭天德 · 鄧明宗	800	78
密封型桿上變壓器構造暨保護設備之研究	郭宗益 · 吳博安 · 呂梅毓 · 周至如 · 唐 勝 · 陳昭榮 · 馮輝正 · 葉朝義 · 蔡孟伸 · 鄭 強	797	27	提升中北幹線送電能力之超一路改接及擴線研討	白一凡 · 邱國智 · 張忠良 · 陳建堂	800	89

題 目	作 者	期 數	頁 次	題 目	作 者	期 數	頁 次
345kV 輸電線路復閉對大潭汽機發電機組轉軸扭振之影響	廖清榮·陳瑞麒	803	59	台電公司投入能源技術服務業之可行性與相關規劃研究	陳鳳惠·余嘉閔·洪紹平·楊顯整	808	34
69kV 靜態電容器組減容量運轉分析	謝璟和·林建宏	804	52	台灣便利商店能源使用效率影響因素分析	林晉昺·朱珊瑩·李秀娟·林師模	808	48
電廠併網作業程序檢討	陳俊明·張忠良	804	46	在 GoldSim 安全評估平台上發展生物圈劑量評估技術	陳 智 隆	808	21
特高壓用戶供電檢討與改進	莊政宏·王芝映·張忠良	805	27	化 學 與 材 料			
探討環境因素影響高壓設備放電行為之研究	張勝棋·朱記民·黃士銘·董毓才	805	33	格狀改良工法應用於煤灰塘之抗液化成效	邱進隆·邱善得·郭麗雯·曾志富·廖洪鈞·劉明霖·鄭世豪	798	52
德國電力備轉容量市場與虛擬電廠提供電網輔助服務機制之探討	許志義·黃俊凱	805	44	全煤灰 CLSM 用於隔堤工程之施工品質可靠度評估	賴正義·郭麗雯	800	97
考量區域負載差異與電力需求不確定之電力規劃研究	黃韻勳·吳榮華·許郁如	806	73	長期輻射對 304L 不銹鋼爐心組件材料性質的影響-IASCC 效應	沈安婷·胥耀華	804	99
穩定供電管理與重大議題管控	謝豐吉·張忠良	806	65	壓水式反應爐水環境下不銹鋼應力腐蝕裂痕安全評估	李宜親·張漢洲·郭泰良·馮克林·謝楊正	805	82
提升電網營運績效	王喬弘·張忠良·許國隆·黃張鴻	808	13	核電廠埋管導波檢測技術之應用研究	徐鴻發·李秉鴻·李紹喜·陳勝雄·童振昌·裴廣智	806	94
能 源 與 環 境				燃煤電廠混燒生質燃料之概述	賴正義·李文伯·郭麗雯	808	68
經濟與產業結構外生變數預測模式	林晉昺·林師模·姜樹翰·翁永和·陳仕偉·馮君強·溫珮伶	797	72	資 訊 與 電 腦			
貢寮地區九孔養殖業之動態	劉光明·吳健德·李國添·林武煌·蔡顯修	798	45	電力需求端管理技術探勘分析之研究	楊新全·季延平·許志義·黃致祥·賈方霈·戴台平	797	93
因應不確定性因素情境下電力負載預測之研究	陳玟如·吳昭吟·林唐裕·洪育民·曾禹傑	804	72	用戶負載量測與辨識資訊系統建置研究	黃佳文·王金墩·卓明遠·周家暘·林楷司·陳建男·陳裕浩·陳裕清·曾德雄·鄒明宴·蔡立宗	799	85
澳洲廢除碳稅的原因及影響分析	梁 弘	804	92	台電物質流管理系統規劃與建置之研究	蘇秋華·吳政宏·沈華榮·溫桓正·蔡顯修	803	74
我國推動電業自由化之最適市場運作模式研究	孫承祥·王京明·洪紹平·許志義·郭婷璋	805	61				
歐盟電力業碳資產管理實務	石信智·林武煌·林景庸·洪皖琳·溫桓正·趙德琛·蔡顯修·顏素絹	806	83				

題 目	作 者	期 數	頁 次	題 目	作 者	期 數	頁 次
智慧型電網基礎架構及系統發展程序 —資訊科技觀點	郭宗益·王 瀚 林純鑫	803	87	IEC 61850 標準對我國智慧變電及配 電之影響	許世哲·唐永奇 曾台輔·葉子涵 廖焜州	801	43
工 程 技 術				IEC 61850 變電所架構及建置模式之研 究			
二氧化碳地質封存先導試驗場址地質 調查及技術研發 (一)	俞旗文·焦中輝 黃連通·楊明偉 楊萬慧·葛文忠	798	62	MU 在智慧變電所之應用	柯喬元·李兆惠 林哲毅·陳思瑤 廖政立	801	119
壓入式沉箱工法於輸電工程之應用	竺文彥·徐獻榮	802	105	非傳統式互感器之相關應用及發展	黃昭裕·柯喬元 陳坤隆·陳南鳴 楊金石·楊政和 蒲冠志	801	1
核一、汐止~松湖 345kV 地下電纜線 路土建工程施工探討	李雨澤·江承家 黃政雄·廖吉雄 蔡英聖	803	103	智慧電網資訊通訊安全標準 IEC 62351 ... 之簡介與探討	賴裕昆·李定謙 周一萱·唐永奇 陳士麟·曾台輔 謝秉芳	801	31
其 他				智慧變電所資安問題與實施簡介			
應用 TIMES 能源工程模型規劃長期 電力負載	郭瑾璋·周裕豐 洪明龍·劉子銜	798	93	傳統變電所改造為數位化變電所評估 研究	陳思瑤·林哲毅 柯喬元·廖政立	801	99
台灣電力公司饋線用 D2BPO**A 型 電度表準確度校驗缺失探討	揭志文·林孟穎 林國棟·孫志雄 蔡孟承·蔡宗霖	802	113	新社先導型 IEC 61850 變電所之建置 ...	李兆惠·林哲毅 廖政立	801	127
低耗能動態彩色廣告板之設計	吳有基·王勝清 林錦垣·陳盟仁 葉天賜·劉哲安	805	95	火力電廠選擇性觸媒還原脫硝技術介 紹	柯喬元·李兆惠 林哲毅·張志聲 陳思瑤·楊金石 廖政立·蒲冠志 賴國英	801	107
台電因應氣候變遷衝擊之風險管理與 調適研析	王京明·邱齡慧 洪紹平·黃軒亮	808	85	台中燃煤電廠煙氣除硫設備維修經驗 談	林 榮 松	807	18
專 輯				同步控制燃煤電廠煙道氣中微量汞 /So _x /No _x 創新控制技術介紹			
CNS 變電所自動化標準之制定	吳 烈 能	801	19	我國煤灰控制性低強度材料之研發與 應用	席行正·邱俊祥 許哲榮·劉冠宏	807	46
IEC 61400-25 風機監控系統與網路服 務實作之研究	蔡進發·周亞諄	801	9	海水法煙氣脫硫技術介紹	曾 志 富	807	34
IEC 61850 SCADA/HMI 在 IEC 61850 變電所之應用	劉俊宏·辜志承 廖政立·劉繼遠	801	58	脫硫石膏的再利用	李 建 平	807	78
IEC 61850 實驗室建置經驗	蕭錫堂·林哲毅 廖政立·蒲冠志	801	69	煤灰在混凝土之應用	李明君·王韓蓓 李明倫·李 釗 黃怡碩·蘇育民	807	86
IEC 61850 標準相關重要通訊協定測試 與解析	林哲毅·柯喬元 陳思瑤·廖政立	801	80				

題 目	作 者	期 數	頁 次	題 目	作 者	期 數	頁 次
煤灰塘之再利用和地盤改良工法探討...	邱進隆·郭麗雯 曾志富·廖洪鈞 鄭世豪	807	110				
臺灣再生綠建材標章的發展及應用.....	李 明 賢	807	69				
燃煤火力發電廠空污防制設備概述.....	劉 源 隆	807	1				
燃煤電廠細懸浮微粒排放	陳怡伶·張翰青	807	57				

104 年 總 目 錄 (作者類別)

(第 797 期至 808 期)

作者	題 目	期 數	頁 次	作者	題 目	期 數	頁 次
方玉階	地下電纜管線圖資雲端資料庫之系統規劃及建置	802	66	吳元康	高占比再生能源的系統衝擊以及相關的技術研究	804	1
王 瀚	智慧型電網基礎架構及系統發展程序—資訊科技觀點	803	87	吳世傑	電網規劃與設計之聯繫管控	799	79
王京明	我國推動電業自由化之最適市場運作模式研究	805	61	吳有基	低耗能動態彩色廣告板之設計	805	95
王京明	台電因應氣候變遷衝擊之風險管理與調適研析	808	85	吳佩寰	三相配電系統不平衡負載補償:從靜態虛功率補償器(SVC)至靜態同步補償器(STATCOM)	799	66
王芝映	特高壓用戶供電檢討與改進	805	27	吳孟昌	電力調度監控系統開放式運轉資料庫與行動查詢 APP 建置之研究	805	1
王金墩	用戶負載量測與辨識資訊系統建置研究	799	85	吳宗亮	風速計檢測與校驗系統介紹	800	1
王金墩	台電建置低壓 AMI 前期佈建系統技術顧問、驗證及成本效益評估	799	50	吳承翰	「文心-中西(白)161kV 交連 PE 電纜線路」修復及電力系統操作面對接續匣故障的影響評估	802	77
王金墩	配電變壓器設置地點之規劃設計研究	800	50	吳政宏	台電物質流管理系統規劃與建置之研究	803	74
王俊仁	地下電纜管線圖資雲端資料庫之系統規劃及建置	802	66	吳昭吟	因應不確定性因素情境下電力負載預測之研究	804	72
王俊仁	連接站避雷器線上監測及維護系統研發	802	39	吳烈能	CNS 變電所自動化標準之制定	801	19
王俊雄	應用同步相量量測系統於常開併網之潮流判斷	800	32	吳健德	貢寮地區九孔養殖業之動態	798	45
王春木	地下電纜管線圖資雲端資料庫之系統規劃及建置	802	66	吳博安	密封型桿上變壓器構造暨保護設備之研究	797	27
王淳德	連接站避雷器線上監測及維護系統研發	802	39	吳榮華	考量區域負載差異與電力需求不確定之電力規劃研究	806	73
王清平	配電變壓器設置地點之規劃設計研究	800	50	呂世彬	電力調度監控系統開放式運轉資料庫與行動查詢 APP 建置之研究	805	1
王勝清	低耗能動態彩色廣告板之設計	805	95	呂明鐘	南部發電廠即時發電燃料成本資訊平台建構概述	800	78
王喬弘	提升電網營運績效	808	13	呂梅毓	密封型桿上變壓器構造暨保護設備之研究	797	27
王誌瑋	龍門核電廠緊急應變計畫區檢討修正評估	802	31	李文伯	燃煤電廠混燒生質燃料之概述	808	68
王耀村	大規模太陽光電併入電力系統之衝擊分析	798	26	李兆惠	傳統變電所改造為數位化變電所評估研究	801	127
王韡蓓	煤灰在混凝土之應用	807	86	李兆惠	新社先導型 IEC 61850 變電所之建置	801	107
古佩弘	配電變壓器設置地點之規劃設計研究	800	50	李兆惠	IEC 61850 變電所架構及建置模式之研究	801	119
古佩弘	配電系統結構改善可行性研究	806	34	李秀娟	台灣便利商店能源使用效率影響因素分析	808	48
田丁財	南部發電廠即時發電燃料成本資訊平台建構概述	800	78	李定謙	智慧電網資訊通訊安全標準 IEC 62351 之簡介與探討	801	31
白一凡	提升中北幹線送電能力之超一路改接及擴線研討	800	89	李宜娟	核二廠失火對策計畫更新及消防系統失效評估	808	1
白一凡	整合佈建優化電網投資	802	58	李宜親	壓水式反應爐水環境下不銹鋼應力腐蝕裂痕安全評估	805	82
白寶實	核二廠失火對策計畫更新及消防系統失效評估	808	1	李明君	煤灰在混凝土之應用	807	86
石吉亮	應用同步相量量測系統於常開併網之潮流判斷	800	32	李明倫	煤灰在混凝土之應用	807	86
石吉亮	161kV 並聯電抗器可靠運轉之實用改善案例	805	19	李明賢	臺灣再生綠建材標章的發展及應用	807	69
石信智	歐盟電力業碳資產管理實務	806	83	李明聰	核二廠失火對策計畫更新及消防系統失效評估	808	1
朱珊瑩	台灣便利商店能源使用效率影響因素分析	808	48	李東璟	高占比再生能源的系統衝擊以及相關的技術研究	804	1
朱記民	探討環境因素影響高壓設備放電行為之研究	805	33	李河樟	161kV 並聯電抗器可靠運轉之實用改善案例	805	19
江承家	核一、汐止~松湖 345kV 地下電纜線路土建工程施工探討	803	103	李秉鴻	核電廠埋管導波檢測技術之應用研究	806	94
何元祥	微電網系統工程整合技術之研究	802	90	李雨澤	核一、汐止~松湖 345kV 地下電纜線路土建工程施工探討	803	103
余嘉閔	台電公司投入能源技術服務業之可行性與相關規劃研究	808	34	李信璋	台電建置低壓 AMI 前期佈建系統技術顧問、驗證及成本效益評估	799	50
吳元康	大規模太陽光電併入電力系統之衝擊分析	798	26	李奕德	微電網系統工程整合技術之研究	802	90
吳元康	永磁同步風力發電機 PSCAD 模型建立與模擬分析	802	1				
吳元康	永磁式小型風機的模型建立與模擬分析	803	1				

作者	題 目	期 數	頁 次	作者	題 目	期 數	頁 次
李建平	脫硫石膏的再利用	807	78	林哲毅	IEC 61850 實驗室建置經驗	801	69
李春齡	火力發電之電力水足跡盤查分析與應用	803	20	林哲毅	IEC 61850 標準相關重要通訊協定測試與解析	801	80
李 釗	煤灰在混凝土之應用	807	86	林師模	經濟與產業結構外生變數預測模式	797	72
李國添	貢寮地區九孔養殖業之動態	798	45	林師模	台灣便利商店能源使用效率影響因素分析	808	48
李紹喜	核電廠埋管導波檢測技術之應用研究	806	94	林晉昺	經濟與產業結構外生變數預測模式	797	72
沈日恆	台電建置低壓 AMI 前期佈建系統技術顧問、 驗證及成本效益評估	799	50	林晉昺	台灣便利商店能源使用效率影響因素分析	808	48
沈正杰	台電建置低壓 AMI 前期佈建系統技術顧問、 驗證及成本效益評估	799	50	林純鑫	智慧型電網基礎架構及系統發展程序—資訊 科技觀點	803	87
沈安婷	長期輻射對 304L 不銹鋼爐心組件材料性質的 影響-IASCC 效應	804	99	林偉民	高占比再生能源的系統衝擊以及相關的技術 研究	804	1
沈政毅	連接站避雷器線上監測及維護系統研發	802	39	林國棟	台灣電力公司饋線用 D2BPO**A 型電度表準 確度校驗缺失探討	802	113
沈華榮	台電物質流管理系統規劃與建置之研究	803	74	林啟明	台電公司更新改建電廠之電源線相關檢討	803	53
卓明遠	台電建置低壓 AMI 前期佈建系統技術顧問、 驗證及成本效益評估	799	50	林景庸	歐盟電力業碳資產管理實務	806	83
卓明遠	用戶負載量測與辨識資訊系統建置研究	799	85	林棻司	用戶負載量測與辨識資訊系統建置研究	799	85
卓明遠	屋外式二次變電所避雷器安裝位置探討	800	39	林棻司	連接站避雷器線上監測及維護系統研發	802	39
卓明遠	連接站避雷器線上監測及維護系統研發	802	39	林萬福	配電變壓器設置地點之規劃設計研究	800	50
卓裕仁	龍門電廠緊急應變計畫區民眾防護措施分析 及規劃檢討	799	17	林群峰	研發 345kV/161kV 輸電線測距保護電驛標置 程式之研究	798	14
周一萱	智慧電網資通訊安全標準 IEC 62351 之簡介 與探討	801	31	林鼎倫	以旋轉填充床進行火力發電廠煙道尾氣二次 脫硫之研究	800	20
周至如	密封型桿上變壓器構造暨保護設備之研究	797	27	林榮松	台中燃煤電廠煙氣除硫設備維修經驗談	807	18
周宏泰	火力發電之電力水足跡盤查分析與應用	803	20	林榮貴	風力發電機齒輪箱維修趨勢與初階檢修	799	1
周亞諄	IEC 61400-25 風機監控系統與網路服務實作 之研究	801	9	林輝政	永磁式小型風機的模型建立與模擬分析	803	1
周映君	配電系統結構改善可行性研究	806	34	林錦垣	低耗能動態彩色廣告板之設計	805	95
周郁翔	龍門核電廠緊急應變計畫區檢討修正評估	802	31	林駿丞	龍門核電廠緊急應變計畫區檢討修正評估	802	31
周家揚	用戶負載量測與辨識資訊系統建置研究	799	85	竺文彥	壓入式沉箱工法於輸電工程之應用	802	105
周桂蘭	太陽光電支援政策轉型分析	800	7	邱文寶	風力發電機齒輪箱維修趨勢與初階檢修	799	1
周裕豐	應用 TIMES 能源工程模型規劃長期電力負 載	798	93	邱文寶	風速計檢測與校驗系統介紹	800	1
周鈴曜	核電廠用過燃料池喪失冷卻事故分析之 MELCOR 模擬	803	45	邱吉生	南部發電廠即時發電燃料成本資訊平台建構 概述	800	78
周嫦娥	火力發電之電力水足跡盤查分析與應用	803	20	邱俊祥	同步控制燃煤電廠煙道氣中微量汞/So _x /No _x 創新控制技術介紹	807	46
季延平	電力需求端管理技術探勘分析之研究	797	93	邱國智	提升中北幹線送電能力之超一路改接及擴線 研討	800	89
林子喬	研發 345kV/161kV 輸電線測距保護電驛標置 程式之研究	798	14	邱國智	整合佈建優化電網投資	802	58
林安志	地下電纜管線圖資雲端資料庫之系統規劃及 建置	802	66	邱善得	格狀改良工法應用於煤灰塘之抗液化成效	798	52
林沛吟	研發 345kV/161kV 輸電線測距保護電驛標置 程式之研究	798	14	邱進隆	格狀改良工法應用於煤灰塘之抗液化成效	798	52
林坤泉	南部發電廠即時發電燃料成本資訊平台建構 概述	800	78	邱進隆	煤灰塘之再利用和地盤改良工法探討	807	110
林孟穎	台灣電力公司饋線用 D2BPO**A 型電度表準 確度校驗缺失探討	802	113	邱鴻順	南部發電廠即時發電燃料成本資訊平台建構 概述	800	78
林武煌	貢寮地區九孔養殖業之動態	798	45	邱齡慧	台電因應氣候變遷衝擊之風險管理與調適研 析	808	85
林武煌	火力發電之電力水足跡盤查分析與應用	803	20	俞旗文	二氧化碳地質封存先導試驗場址地質調查及 技術研發(一)	798	62
林武煌	歐盟電力業碳資產管理實務	806	83	姜樹翰	經濟與產業結構外生變數預測模式	797	72
林建宏	69kV 靜態電容器組減容量運轉分析	804	52	姚竺君	台電公司更新改建電廠之電源線相關檢討	803	53
林唐裕	因應不確定性因素情境下電力負載預測之研 究	804	72	施 恩	台電建置低壓 AMI 前期佈建系統技術顧問、 驗證及成本效益評估	799	50
林哲毅	智慧變電所資安問題與實施簡介	801	99	柯喬元	電子式互感器應用於本公司智慧型變電所之 可行性研究	797	1
林哲毅	IEC 61850 變電所架構及建置模式之研究	801	119	柯喬元	IEC 61850 標準相關重要通訊協定測試與解 析	801	80
林哲毅	新社先導型 IEC 61850 變電所之建置	801	107	柯喬元	IEC 61850 變電所架構及建置模式之研究	801	119
林哲毅	傳統變電所改造為數位化變電所評估研究	801	127	柯喬元	非傳統式互感器之相關應用及發展	801	1

作者	題 目	期 數	頁 次	作者	題 目	期 數	頁 次
柯喬元	·新社先導型 IEC 61850 變電所之建置	801	107	張建彥	·龍門電廠緊急應變計畫區民眾防護措施分析及規劃檢討	799	17
柯喬元	·智慧變電所資安問題與實施簡介	801	99	張偉能	·三相配電系統不平衡負載補償：從靜態虛功率補償器(SVC)至靜態同步補償器(STATCOM)	799	66
洪永輝	·應用同步相量量測系統於常開併網之潮流判斷	800	32	張淑君	·龍門核電廠緊急應變計畫區檢討修正評估	802	31
洪育民	·因應不確定性因素情境下電力負載預測之研究	804	72	張智皓	·三相配電系統不平衡負載補償：從靜態虛功率補償器(SVC)至靜態同步補償器(STATCOM)	799	66
洪明龍	·應用 TIMES 能源工程模型規劃長期電力負載	798	93	張勝棋	·探討環境因素影響高壓設備放電行為之研究	805	33
洪紹平	·我國推動電業自由化之最適市場運作模式研究	805	61	張喜翔	·屋外式二次變電所避雷器安裝位置探討	800	39
洪紹平	·台電公司投入能源技術服務業之可行性與相關規劃研究	808	34	張智涵	·配電變壓器設置地點之規劃設計研究	800	50
洪紹平	·台電因應氣候變遷衝擊之風險管理與調適研析	808	85	張朝正	·風速計檢測與校驗系統介紹	800	1
洪皖琳	·歐盟電力業碳資產管理實務	806	83	張瑋育	·屋外式二次變電所避雷器安裝位置探討	800	39
胥耀華	·長期輻射對 304L 不銹鋼爐心組件材料性質的影響-IASCC 效應	804	99	張漢洲	·壓水式反應爐水環境下不銹鋼應力腐蝕裂痕安全評估	805	82
胥耀華	·核三廠反應爐壓力槽鋼材中子照射脆化監視樣品重組技術	806	20	張銘鑑	·連接站避雷器線上監測及維護系統研發	802	39
胡榮聰	·地下電纜管線圖資雲端資料庫之系統規劃及建置	802	66	張翰青	·燃煤電廠細懸浮微粒排放	807	57
唐永奇	·智慧電網資通訊安全標準 IEC 62351 之簡介與探討	801	31	張瓊之	·太陽光電支援政策轉型分析	800	7
唐永奇	·IEC 61850 標準對我國智慧變電及配電之影響	801	43	曹志明	·以旋轉填充床進行火力發電廠煙道尾氣二次脫硫之研究	800	20
唐 勝	·密封型桿上變壓器構造暨保護設備之研究	797	27	梁 弘	·澳洲廢除碳稅的原因及影響分析	804	92
孫志雄	·台灣電力公司饋線用 D2BPO**A 型電度表準確度校驗缺失探討	802	113	梁國興	·核電廠用過燃料池喪失冷卻事故分析之 MELCOR 模擬	803	45
孫承祥	·我國推動電業自由化之最適市場運作模式研究	805	61	莊政宏	·特高壓用戶供電檢討與改進	805	27
席行正	·同步控制燃煤電廠煙道氣中微量汞/SO _x /NO _x 創新控制技術介紹	807	46	許文勝	·核二廠失火對策計畫更新及消防系統失效評估	808	1
徐永騰	·連接站避雷器線上監測及維護系統研發	802	39	許文華	·永磁同步風力發電機 PSCAD 模型建立與模擬分析	802	1
徐郁芬	·核電廠用過燃料池喪失冷卻事故分析之 MELCOR 模擬	803	45	許世哲	·IEC 61850 標準對我國智慧變電及配電之影響	801	43
徐嘉鴻	·161kV 並聯電抗器可靠運轉之實用改善案例	805	19	許志義	·電力需求端管理技術探勘分析之研究	797	93
徐鴻發	·核電廠埋管導波檢測技術之應用研究	806	94	許志義	·我國推動電業自由化之最適市場運作模式研究	805	61
徐獻榮	·壓入式沉箱工法於輸電工程之應用	802	105	許志義	·德國電力備轉容量市場與虛擬電廠提供電網輔助服務機制之探討	805	44
翁永和	·經濟與產業結構外生變數預測模式	797	72	許炎豐	·配電系統結構改善可行性研究	806	34
張文奇	·配電變壓器設置地點之規劃設計研究	800	50	許郁如	·考量區域負載差異與電力需求不確定之電力規劃研究	806	73
張文奇	·無線射頻識別技術應用於配電中心物料管理之研究	804	23	許哲榮	·同步控制燃煤電廠煙道氣中微量汞/SO _x /NO _x 創新控制技術介紹	807	46
張永瑞	·微電網系統工程整合技術之研究	802	90	許國隆	·提升電網營運績效	808	13
張玉金	·火力電廠選擇性觸媒還原脫硝技術介紹	807	10	許華濱	·風力發電機齒輪箱維修趨勢與初階檢修	799	1
張志聲	·新社先導型 IEC 61850 變電所之建置	801	107	許華濱	·風速計檢測與校驗系統介紹	800	1
張忠良	·電網規劃與設計之聯繫管控	799	79	連震松	·燃煤火力電廠燃料供應系統規劃	806	10
張忠良	·提升中北幹線送電能力之超一路改接及擴線研討	800	89	郭宗益	·密封型桿上變壓器構造暨保護設備之研究	797	27
張忠良	·整合佈建優化電網投資	802	58	郭宗益	·智慧型電網基礎架構及系統發展程序一資訊科技觀點	803	87
張忠良	·台電公司更新改建電廠之電源線相關檢討	803	53	郭彥廉	·核能溝通策略之研究 - 以南台灣為例	803	30
張忠良	·電廠併網作業程序檢討	804	46	郭彥廉	·氣候變遷下水力發電對電力系統與產業之脆弱度與風險評估	806	1
張忠良	·特高壓用戶供電檢討與改進	805	27	郭政謙	·「文心-中西(白)161kV 交連 PE 電纜線路」修復及電力系統操作面對接續匣故障的影響評估	802	77
張忠良	·穩定供電管理與重大議題管控	806	65				
張忠良	·提升電網營運績效	808	13				
張承漢	·核三廠反應爐壓力槽鋼材中子照射脆化監視樣品重組技術	806	20				

作者	題 目	期 數	頁 次	作者	題 目	期 數	頁 次
郭振民	氣候變遷下水力發電對電力系統與產業之脆弱度與風險評估	806	1	陳昭榮	密封型桿上變壓器構造暨保護設備之研究	797	27
郭泰良	壓水式反應爐水環境下不銹鋼應力腐蝕裂痕安全評估	805	82	陳茂景	以旋轉填充床進行火力發電廠煙道尾氣二次脫硫之研究	800	20
郭婷瑋	我國推動電業自由化之最適市場運作模式研究	805	61	陳勝雄	核電廠埋管導波檢測技術之應用研究	806	94
郭瑾瑋	應用 TIMES 能源工程模型規劃長期電力負載	798	93	陳智隆	在 GoldSim 安全評估平台上發展生物圈劑量評估技術	808	21
郭麗雯	格狀改良工法應用於煤灰塘之抗液化成效	798	52	陳新儒	核三廠反應爐壓力槽鋼材中子照射脆化監視樣品重組技術	806	20
郭麗雯	全煤灰 CLSM 用於隔堤工程之施工品質可靠度評估	800	97	陳瑞麒	345kV 輸電線路復閉對大潭汽機發電機組轉軸扭振之影響	803	59
郭麗雯	我國煤灰控制性低強度材料之研發與應用	807	95	陳盟仁	低耗能動態彩色廣告板之設計	805	95
郭麗雯	煤灰塘之再利用和地盤改良工法探討	807	110	陳裕浩	用戶負載量測與辨識資訊系統建置研究	799	85
郭麗雯	燃煤電廠混燒生質燃料之概述	808	68	陳裕清	用戶負載量測與辨識資訊系統建置研究	799	85
郭麟瑛	屋外式二次變電所避雷器安裝位置探討	800	39	陳裕清	台電建置低壓 AMI 前期佈建系統技術顧問、驗證及成本效益評估	799	50
陳又琨	研發 345kV/161kV 輸電線測距保護電驛標置程式之研究	798	14	陳裕揚	氣候變遷下水力發電對電力系統與產業之脆弱度與風險評估	806	1
陳士麟	智慧電網資通訊安全標準 IEC 62351 之簡介與探討	801	31	陳銘宗	霧峰 E/S MCC IED 斷路器投入邏輯研究與改善	799	32
陳仕偉	經濟與產業結構外生變數預測模式	797	72	陳鳳惠	台電公司投入能源技術服務業之可行性與相關規劃研究	808	34
陳永源	161kV 並聯電抗器可靠運轉之實用改善案例	805	19	陳慶守	161kV 並聯電抗器可靠運轉之實用改善案例	805	19
陳汝吟	「文心-中西(白)161kV 交連 PE 電纜線路」修復及電力系統操作面對接續匣故障的影響評估	802	77	陳聯登	屋外式二次變電所避雷器安裝位置探討	800	39
陳志成	無線射頻識別技術應用於配電中心物料管理之研究	804	23	陳寶玄	台電建置低壓 AMI 前期佈建系統技術顧問、驗證及成本效益評估	799	50
陳來進	161kV 並聯電抗器可靠運轉之實用改善案例	805	19	陶盛輝	核電廠用過燃料池喪失冷卻事故分析之 MELCOR 模擬	803	45
陳坤隆	電子式互感器應用於本公司智慧型變電所之可行性研究	797	1	揭志文	台灣電力公司饋線用 D2BPO**A 型電度表準確度校驗缺失探討	802	113
陳坤隆	非傳統式互感器之相關應用及發展	801	1	曾台輔	智慧電網資通訊安全標準 IEC 62351 之簡介與探討	801	31
陳怡伶	燃煤電廠細懸浮微粒排放	807	57	曾台輔	IEC 61850 標準對我國智慧變電及配電之影響	801	43
陳泓翔	連接站避雷器線上監測及維護系統研發	802	39	曾志富	格狀改良工法應用於煤灰塘之抗液化成效	798	52
陳玟如	因應不確定性因素情境下電力負載預測之研究	804	72	曾志富	海水法煙氣脫硫技術介紹	807	34
陳俊明	電廠併網作業程序檢討	804	46	曾志富	煤灰塘之再利用和地盤改良工法探討	807	110
陳冠霖	研發 345kV/161kV 輸電線測距保護電驛標置程式之研究	798	14	曾俊傑	南部發電廠即時發電燃料成本資訊平台建構	800	78
陳南鳴	電子式互感器應用於本公司智慧型變電所之可行性研究	797	1	曾禹傑	因應不確定性因素情境下電力負載預測之研究	804	72
陳南鳴	非傳統式互感器之相關應用及發展	801	1	曾德雄	用戶負載量測與辨識資訊系統建置研究	799	85
陳奕宏	以旋轉填充床進行火力發電廠煙道尾氣二次脫硫之研究	800	20	游保杉	氣候變遷下水力發電對電力系統與產業之脆弱度與風險評估	806	1
陳峙霖	火力發電之電力水足跡盤查分析與應用	803	20	焦中輝	二氧化碳地質封存先導試驗場址地質調查及技術研發(一)	798	62
陳建男	用戶負載量測與辨識資訊系統建置研究	799	85	童振昌	核電廠埋管導波檢測技術之應用研究	806	94
陳建男	連接站避雷器線上監測及維護系統研發	802	39	費肇宗	屋外式二次變電所避雷器安裝位置探討	800	39
陳建良	MU 在智慧變電所之應用	801	48	辜志承	研發 345kV/161kV 輸電線測距保護電驛標置程式之研究	798	14
陳建堂	提升中北幹線送電能力之超一路改接及擴線研討	800	89	辜志承	IEC 61850 SCADA/HMI 在 IEC 61850 變電所之應用	801	58
陳建堂	整合佈建優化電網投資	802	58	馮克林	壓水式反應爐水環境下不銹鋼應力腐蝕裂痕安全評估	805	82
陳建堂	台電公司更新改建電廠之電源線相關檢討	803	53	馮君強	經濟與產業結構外生變數預測模式	797	72
陳思瑤	智慧變電所資安問題與實施簡介	801	99	馮輝正	密封型桿上變壓器構造暨保護設備之研究	797	27
陳思瑤	新社先導型 IEC 61850 變電所之建置	801	107	黃士銘	探討環境因素影響高壓設備放電行為之研究	805	33
陳思瑤	IEC 61850 標準相關重要通訊協定測試與解析	801	80	黃世杰	配電變壓器設置地點之規劃設計研究	800	50
陳思瑤	IEC 61850 變電所架構及建置模式之研究	801	119				

作者	題 目	期 數	頁 次	作者	題 目	期 數	頁 次
黃世杰	配電系統結構改善可行性研究	806	34	葉朝義	密封型桿上變壓器構造暨保護設備之研究	797	27
黃佳文	台電建置低壓 AMI 前期佈建系統技術顧問、 驗證及成本效益評估	799	50	葛文忠	二氧化碳地質封存先導試驗場址地質調查及 技術研發(一)	798	62
黃佳文	用戶負載量測與辨識資訊系統建置研究	799	85	董毓才	探討環境因素影響高壓設備放電行為之研究	805	33
黃怡碩	煤灰在混凝土之應用	807	86	詹振旻	微電網系統工程整合技術之研究	802	90
黃俊凱	德國電力備轉容量市場與虛擬電廠提供電網 輔助服務機制之探討	805	44	詹國楨	核二廠失火對策計畫更新及消防系統失效評 估	808	1
黃奕儒	台電建置低壓 AMI 前期佈建系統技術顧問、 驗證及成本效益評估	799	50	賈方霈	電力需求端管理技術探勘分析之研究	797	93
黃政雄	核一、汐止~松湖 345kV 地下電纜線路土建 工程施工探討	803	103	鄒明宴	用戶負載量測與辨識資訊系統建置研究	799	85
黃昭榕	電子式互感器應用於本公司智慧型變電所之 可行性研究	797	1	鄒明諺	大規模太陽光電併入電力系統之衝擊分析	798	26
黃昭榕	非傳統式互感器之相關應用及發展	801	1	廖吉雄	核一、汐止~松湖 345kV 地下電纜線路土建 工程施工探討	803	103
黃致祥	電力需求端管理技術探勘分析之研究	797	93	廖政立	傳統變電所改造為數位化變電所評估研究	801	127
黃哲信	火力發電之電力水足跡盤查分析與應用	803	20	廖政立	IEC 61850 變電所架構及建置模式之研究	801	119
黃軒亮	台電因應氣候變遷衝擊之風險管理與調適研 析	808	85	廖政立	智慧變電所資安問題與實施簡介	801	99
黃張鴻	電網規劃與設計之聯繫管控	799	79	廖政立	IEC 61850 標準相關重要通訊協定測試與解析 之應用	801	80
黃張鴻	提升電網營運績效	808	13	廖政立	IEC 61850 SCADA/HMI 在 IEC 61850 變電所 之應用	801	58
黃連通	二氧化碳地質封存先導試驗場址地質調查及 技術研發(一)	798	62	廖政立	IEC 61850 實驗室建置經驗	801	69
黃澤勇	應用同步相量量測系統於常開併網之潮流判 斷	800	32	廖政立	新社先導型 IEC 61850 變電所之建置	801	107
黃韻勳	考量區域負載差異與電力需求不確定之電 力規劃研究	806	73	廖昭銘	配電變壓器設置地點之規劃設計研究	800	50
楊元豪	永磁式小型風機的模型建立與模擬分析	803	1	廖洪鈞	格狀改良工法應用於煤灰塘之抗液化成效	798	52
楊文宙	複循環發電機組之沿革及其發展	804	16	廖洪鈞	煤灰塘之再利用和地盤改良工法探討	807	110
楊永年	核能溝通策略之研究 - 以南台灣為例	803	30	廖清榮	研發 345kV/161kV 輸電線測距保護電驛標置 程式之研究	798	14
楊明偉	二氧化碳地質封存先導試驗場址地質調查及 技術研發(一)	798	62	廖清榮	345kV 輸電線路復閉對大潭汽機發電機組轉 軸扭振之影響	803	59
楊金石	電子式互感器應用於本公司智慧型變電所之 可行性研究	797	1	廖翊詠	核能溝通策略之研究 - 以南台灣為例	803	30
楊金石	非傳統式互感器之相關應用及發展	801	1	廖錦棋	風速計檢測與校驗系統介紹	800	1
楊金石	新社先導型 IEC 61850 變電所之建置	801	107	廖焯州	IEC 61850 標準對我國智慧變電及配電之影響	801	43
楊政和	電子式互感器應用於本公司智慧型變電所之 可行性研究	797	1	蒲冠志	電子式互感器應用於本公司智慧型變電所之 可行性研究	797	1
楊政和	非傳統式互感器之相關應用及發展	801	1	蒲冠志	研發 345kV/161kV 輸電線測距保護電驛標置 程式之研究	798	14
楊惠君	核電廠用過燃料池喪失冷卻事故分析之 MELCOR 模擬	803	45	蒲冠志	IEC 61850 實驗室建置經驗	801	69
楊新全	電力需求端管理技術探勘分析之研究	797	93	蒲冠志	非傳統式互感器之相關應用及發展	801	1
楊萬慧	二氧化碳地質封存先導試驗場址地質調查及 技術研發(一)	798	62	蒲冠志	新社先導型 IEC 61850 變電所之建置	801	107
楊道昌	氣候變遷下水力發電對電力系統與產業之脆 弱度與風險評估	806	1	蒲冠志	配電系統結構改善可行性研究	806	34
楊顯整	台電公司投入能源技術服務業之可行性與相 關規劃研究	808	34	裴廣智	核電廠埋管導波檢測技術之應用研究	806	94
溫珮伶	經濟與產業結構外生變數預測模式	797	72	趙德琛	歐盟電力業碳資產管理實務	806	83
溫桓正	台電物質流管理系統規劃與建置之研究	803	74	劉子衡	應用 TIMES 能源工程模型規劃長期電力負載	798	93
溫桓正	歐盟電力業碳資產管理實務	806	83	劉文雄	台電建置低壓 AMI 前期佈建系統技術顧問、 驗證及成本效益評估	799	50
葉子涵	IEC 61850 標準對我國智慧變電及配電之影 響	801	43	劉光明	貢寮地區九孔養殖業之動態	798	45
葉天賜	低耗能動態彩色廣告板之設計	805	95	劉至瑄	應用 IMS 儀器量測 SF ₆ 氣封設備氣體分解物 與雜質之預防維護研究	797	12
葉冠廷	永磁同步風力發電機 PSCAD 模型建立與模 擬分析	802	1	劉至瑄	電力調度監控系統開放式運轉資料庫與行動 查詢 APP 建置之研究	805	1
葉香君	研發 345kV/161kV 輸電線測距保護電驛標置 程式之研究	798	14	劉志文	研發 345kV/161kV 輸電線測距保護電驛標置 程式之研究	798	14
				劉明霖	格狀改良工法應用於煤灰塘之抗液化成效	798	52
				劉俊宏	IEC 61850 SCADA/HMI 在 IEC 61850 變電所 之應用	801	58

作者	題 目	期 數	頁 次	作者	題 目	期 數	頁 次
劉冠宏	同步控制燃煤電廠煙道氣中微量汞/ SO_x/NO_x 創新控制技術介紹		807~46	賴正義	全煤灰 CLSM 用於隔堤工程之施工品質可靠度評估	800	97
劉哲安	低耗能動態彩色廣告板之設計		805~95	賴正義	我國煤灰控制性低強度材料之研發與應用	807	95
劉源隆	燃煤火力發電廠空污防制設備概述		807~1	賴正義	燃煤電廠混燒生質燃料之概述	808	68
劉憲宗	配電變壓器設置地點之規劃設計研究		800~50	賴國英	新社先導型 IEC 61850 變電所之建置	801	107
劉憲宗	配電系統結構改善可行性研究		806~34	賴裕昆	智慧電網資訊通訊安全標準 IEC 62351 之簡介與探討	801	31
劉繼遠	IEC 61850 SCADA/HMI 在 IEC 61850 變電所之應用		801~58	戴台平	電力需求端管理技術探勘分析之研究	797	93
歐靚芸	氣候變遷下水力發電對電力系統與產業之脆弱度與風險評估		806~1	戴志宇	南部發電廠即時發電燃料成本資訊平台建構	800	78
蔡立宗	用戶負載量測與辨識資訊系統建置研究		799~85	戴德育	配電變壓器設置地點之規劃設計研究	800	50
蔡立宗	連接站避雷器線上監測及維護系統研發		802~39	戴德育	配電系統結構改善可行性研究	806	34
蔡坤泰	多轉子軸系聯軸器對心最佳化方法研究		798~1	謝廷彥	高占比再生能源的系統衝擊以及相關的技術研究	804	1
蔡坤泰	基因演算法在撓性轉子動平衡之應用		802~18	謝秉芳	智慧電網資訊通訊安全標準 IEC 62351 之簡介與探討	801	31
蔡孟伸	密封型桿上變壓器構造暨保護設備之研究		797~27	謝楊正	壓水式反應爐水環境下不銹鋼應力腐蝕裂痕安全評估	805	82
蔡孟承	台灣電力公司饋線用 D2BPO**A 型電度表準確度校驗缺失探討		802~113	謝憲坤	地下電纜管線圖資雲端資料庫之系統規劃及建置	802	66
蔡宗霖	台灣電力公司饋線用 D2BPO**A 型電度表準確度校驗缺失探討		802~113	謝憲坤	連接站避雷器線上監測及維護系統研發	802	39
蔡英聖	核一、汐止~松湖 345kV 地下電纜線路土建工程施工探討		803~103	謝璟和	69kV 靜態電容器組減容量運轉分析	804	52
蔡森洲	配電變壓器設置地點之規劃設計研究		800~50	謝豐吉	穩定供電管理與重大議題管控	806	65
蔡森洲	無線射頻識別技術應用於配電中心物料管理之研究		804~23	謝耀暉	核二廠失火對策計畫更新及消防系統失效評估	808	1
蔡竣良	以旋轉填充床進行火力發電廠煙道尾氣二次脫硫之研究		800~20	藍榮進	連接站避雷器線上監測及維護系統研發	802	39
蔡進發	IEC 61400-25 風機監控系統與網路服務實作之研究		801~9	顏素絹	歐盟電力業碳資產管理實務	806	83
蔡顯修	貢寮地區九孔養殖業之動態		798~45	蘇育民	煤灰在混凝土之應用	807	86
蔡顯修	火力發電之電力水足跡盤查分析與應用		803~20	蘇怡帆	核能溝通策略之研究 - 以南台灣為例	803	30
蔡顯修	台電物質流管理系統規劃與建置之研究		803~74	蘇秋華	台電物質流管理系統規劃與建置之研究	803	74
蔡顯修	歐盟電力業碳資產管理實務		806~83	蘇偉府	配電變壓器設置地點之規劃設計研究	800	50
鄭天德	南部發電廠即時發電燃料成本資訊平台建構概述		800~78	蘇偉府	配電系統結構改善可行性研究	806	34
鄭世豪	格狀改良工法應用於煤灰塘之抗液化成效		798~52	鐘裕亮	風速計檢測與校驗系統介紹	800	1
鄭世豪	煤灰塘之再利用和地盤改良工法探討		807~110				
鄭 強	密封型桿上變壓器構造暨保護設備之研究		797~27				
鄭 強	「文心-中西(白)161kV 交連 PE 電纜線路」修復及電力系統操作面對接續匣故障的影響評估		802~77				
鄭凱中	161kV 並聯電抗器可靠運轉之實用改善案例		805~19				
鄭敬瀚	龍門核電廠緊急應變計畫區檢討修正評估		802~31				
鄭憲陽	永磁同步風力發電機 PSCAD 模型建立與模擬分析		802~1				
鄧明宗	南部發電廠即時發電燃料成本資訊平台建構		800~78				
盧仲信	龍門核電廠緊急應變計畫區檢討修正評估		802~31				
盧展南	台電建置低壓 AMI 前期佈建系統技術顧問、驗證及成本效益評估		799~50				
蕭力維	屋外式二次變電所避雷器安裝位置探討		800~39				
蕭純育	2012 印度世紀大停電事故分析探討		797~56				
蕭勝任	電力調度監控系統開放式運轉資料庫與行動查詢 APP 建置之研究		805~1				
蕭錫堂	IEC 61850 實驗室建置經驗		801~69				

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。
- 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).....
- 參、.....
- 肆、.....

伍、誌謝

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。
- 註 4：附圖、表之文字說明均請以中文打字。
- 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.809 January 2016

FOSSIL POWER GENERATION :

Thermophysical Properties of Supercritical Water and its Thermal Characteristics
in Boiler TubesLiaw, Shih-Pin et al.(1)

NUCLEAR POWER GENERATION :

Construction and Test of New High-density Polyethylene Pipelines for
Chinshan Nuclear Power Station.....Li, Qing-Long et al.(10)

Quality System Improvement for Radiochemistry Laboratory of
Lungmen Nuclear Power Plant.....Chen, Liang-Cheng et al.(18)

TRANSMISSION AND TRANSFORMATION :

Study of the Integrated System for Fault Diagnosis of
Power Transformers.....Li, Cheng-Kang et al.(24)

A Study of Networked RTU and Establishment of Network Management
SystemLiu, Chih-Hsuan et al.(36)

ENERGY AND ENVIRONMENT :

The Impact of Climate Change and Vulnerability Assessment of
the Taiwan Power Company's Power Supply Facilities.....Lee, Chia-Chi et al.(51)

INFORMATION AND COMPUTER :

Information Platform Applications to Grid Planning.....Chang, Chung-Liang et al.(66)

OTHERS :

Study of Distributed Knowledge Management System Implementation
and Applications in Taiwan Power Company.....Hong, Shao Ping et al.(74)

Probability of Causation of Cancer from Occupational Radiation Exposure.....Hsieh, Ming-Chung et al.(83)

2015 INDEX.....EDITOR(95)



GPN : 2003700005
定價：新台幣100元