



台電工程月刊

MONTHLY JOURNAL OF TAIPOWER'S ENGINEERING
第814期 105年6月號 Vol.814 June 2016

再生能源：

台灣風力發電機雷擊防護等級之研究.....施易男 等.....(1)

火力發電：

林口發電廠試運轉E化管理發展與應用.....朱記民 等.....(16)

輸 變 電：

先進 161kV 輸電網路多功能自動故障定位系統.....劉志文 等.....(29)

建築資訊模型(BIM)於輸供電系統應用之探討.....陳狀琦.....(37)

公用事業公共關係衝突管理模式之研究-以台電輸變電工程抗爭為例....陳俊賢.....(52)

化學與材料：

水泥電桿應用於人工魚礁培育資源之調查研究(II).....詹榮桂 等.....(77)

其 他：

低壓路燈開關故障原因分析與改善研究.....陳建男 等.....(90)

誠信	關懷	服務	成長
Integrity	Caring	Service	Growth



台灣電力公司編印



台電工程月刊

第 814 期
中華民國 37 年 9 月創刊
中華民國 105 年 6 月出版

【出版宗旨】

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

【發行人】：朱文成
【主任委員】：蒯光陸
【總編輯】：林正義
【副總編輯】：王金墩
【外文編輯委員】：李琳娜 林宗賢
【財務委員】：張兆瓊
【編輯委員】：吳有基 吳明勳 徐真明 郭政謙 王金墩 呂天泰 沈宗華
吳瑞賢 何錦洪 林蒼喬 花敬翰 涂秀錦 侯明亮 洪紹平
范振理 曾重富 楊金石 蒲冠志 廖鴻徹 蔡世育 劉建勳
劉至瑄 鄭錦榮 鍾年勉 鍾輝乾
【顧問】：王振勇 王耀庭 李清雲 李清課 陳永享 陳慰慈 陳建益
黃凱旋 張武侯 蔡顯修 顏德忠 簡福添 蕭勝任 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

台灣風力發電機雷擊防護等級之研究

Research on the Lightning Protection Level of Wind Turbines in Taiwan

施易男*
Shih, Yi-Nan

吳元康**
Wu, Yuan-Kang

林俊良*
Lin, Chun-Liang

陳健賢***
Chen, Jian-Shyan

摘要

本文旨利用台灣風力機組所在地區實際之雷擊資料，並且依照國際標準所制訂之雷擊防護評估方式，比較本研究依據 IEC 62305 所定義的「雷擊防護峰值電流區間評估方式」與 IEC 61024-1(出版於：1993 年 8 月)所述「雷擊防護參數估算評估方式」兩者的不同。其評估結果顯示，利用歷史統計之雷擊能量資料，用來分析評估台灣地區風力發電機雷擊防護等級是一件十分重要的事情。除了建議將歷年雷擊能量資料加以妥善保存，作為日後大數據資料研究，也驗證本研究所使用的評估方式之可行性，並且可以應用在風力機組場址的選定、雷擊防護規格參數的制定、局部防護參考的依據、制定合理的年平均雷擊次數值，作為往後台灣風力發電研究改善及參考。

Abstract

This study makes use of the practical lightning data of the regions where wind turbines are located in Taiwan to formulate the evaluation of lightning protection in accordance with international standards, that is the “Evaluation Approach of Lightning Protection in Maximum/Minimum Current” as defined in IEC 62305, in comparison with the “Parameter Estimation Evaluation of Lightning Protection” as prescribed in IEC 61024-1. The evaluation shows that it is essential to analyze the Lightning Protection Level of wind turbines in Taiwan based on historical statistics of lightning energy data. In this paper, we propose properly keeping the lightning energy data over the years for big data research in the future, and also verify the feasibility of the evaluation approach adopted in this study. Furthermore, the study can be applied to the selection of the sites for wind turbines, the formulation of parameters for lightning protection specification, the reference basis for partial protection, and the formulation of reasonable annual average flashes of lightning, etc. for reference of further improvement and research of wind power development in Taiwan.

關鍵詞(Key Words)：風力發電廠(Wind Power Plant)、雷擊防護等級(Lightning Protection Level)、雷擊防護系統(Lightning Protection System)。

壹、前言

為了有效提升風力發電的發展，本研究將台灣地區歷年來各風力機組實際雷擊峰值電流利用「台電綜合研究所的整合型落雷偵測系統之雲

*國立中興大學電機系

**國立中正大學電機系

***台灣電力公司綜合研究所

對地雷電流資料庫」予以蒐集彙整並統計，進而評估適合用於台灣地區風力機組之雷擊防護等級(Lightning Protection Level, LPL)。

本次研究範圍，主要以台電目前營運的風力機組(台電一期至三期)共計 163 組風機為主要研究對象，並將各風力機組位置座標(經、緯度)及高度(含葉片)作為基本資料，參照國際標準 IEC 62305 所定義的雷擊防護系統為基礎，將 IEC 61024-1 所述的「雷擊防護參數估算評估方式」，與本次研究所提出的「雷擊峰值電流區間評估方式」進行比較，並分析兩者評估差異的結果。

透過「雷擊峰值電流區間評估方式」與「雷擊防護參數估算評估方式」比較結果發現，兩者所評估出來之風力機組防雷等級有很大的差異，因各國當地氣候不同，使用實際雷擊能量資料作為分析雷擊防護，驗證了用估算方式無法符合實際防護效能。因此，為了提升及發展台灣地區之風力發電，建議將「雷擊峰值電流區間評估方式」做為事前評估風場研究方式，應持續累積建立雷擊相關大數據資料庫，藉此制定出合理的年平均雷擊次數(N_d)之值，不同雷擊防護等級(LPL)所對應的風力機組雷擊防護系統(系統結構)上有不同的要求，對於建造風機時所用的材料也會影響其造價成本，可以將資料提供給製造商制定所需要的規格，作為生產與驗證適合台灣地區的風力機組，達到符合實際之經濟成本與防護效率。

貳、有關風機雷擊保護文獻回顧

國際標準對於雷擊防護系統(Lightning Protection System, LPS)有很多規範內容，根據 IEC 62305-3 內容所述，由外部防雷系統與內部防雷系統組合而成的防護措施稱為雷擊防護系統(LPS)，針對風力發電機組所制定的防雷標準，IEC TR 61400-24 標準有詳細的規定，綜合以上兩者國際標準規範所述的概念，作為規劃風力發電機組防雷系統的基礎。

本章節介紹過去文獻報導裡有關風力機組對於雷擊防護措施的資料，其防護範圍包含風力機組外部與內部系統結構、事故與實務分析、監控系統模擬、以及雷擊防護數據的驗證。文獻^[1]探討風力發電機組電氣系統的雷擊防護，並評估相關的突波保護器的應用：為了減少突波保護器(Surge Protection Device, SPD)安裝於風力發電機組上過於頻繁的維修，該文獻依據 IEC 62305-1 於不同防雷區域(LPZ 0A、0B、1、2)，針對 SPD 所安裝元件的位置類型進行壽命評估，使用「電壓限制型」與「電壓開關型」SPD 兩種類型，利用不同阻抗(1M Ω 、24 Ω 電阻、100nF 電容)進行模擬，對於風力機組安裝 SPD 進行雷擊防護，能更有效率的選擇適當的元件進行配置。文獻^[2]探討風場雷擊過電壓的分析。分析和討論一般在風場雷擊產生過電壓的趨勢，且研究雷擊所產生的過電壓是一件十分重要的事情，該文獻利用六台風力機組在等間距(1km)狀況下，依照不同排列方式所形成的四種類型風場進行研究，在研究中發現，大地電阻對於風力機組雷擊洩漏能力是有一定的影響力。文獻^[3]探討風力發電機組智能雷擊模擬系統。該文獻對於建立風力機組的雷擊防護等級之前，收集必要的雷擊資料是一件很重要的事情，除了釐清故障事故可能發生的原因之外，透過現場安裝的監控系統可以即時檢測遭受損害的程度，以便維護人員進行不同程度的維修，以避免造成風力機組產生潛在的危險，造成更大的損傷及經濟損失，並且也可以透過監控系統量測的數據，提供給製造廠商進行結構驗證，以滿足實際雷擊防護的需求。文獻^[4]探討風場的意外事故驗證防雷保護。該文獻透過遭受雷擊的事故進行資料分析，模擬試驗中可以發現不同接地系統連結的方式會造成電位上升及分流大小不一的狀況，透過本篇所設計的模擬方式，尋找風力機組適當的“電位平衡”，進而降低遭受雷擊時所產生的內部損失。文獻^[5]探討風力發電機組的雷擊防護—雷擊資料與 IEC 61400-24 的比較。該文獻主要將實際所發生的雷擊資料與 IEC 規範

內容所定義的一些狀況作分析與比較，除了驗證新版本的 IEC 所制定的標準不適用於較為大型的風力機組外，並且建議應該收集更龐大的資料，作為未來用於定義不同地形區域之參數值。文獻^[6]探討風力發電機組的雷擊防護。該文獻將一般雷擊造成風力機組的損害分為三種類型：直接雷擊、感應雷擊、雷擊波侵入，防護範圍則參照 IEC 標準內容所述，分別利用「等效面積」、「滾球理論」涵蓋垂直與水平面積，對於風力機組各結構防護也給予建議與方式。文獻^[7]探討風力機發電機組所使用的雷擊防護系統。該文獻研究當風力機組遭受雷擊時，保護系統經過洩放電流時所能允許的程度，並且不干擾電子儀器與機械結構，並且參照 IEC 62305 依據不同電流程度所定義的等級來比較，所述內容除了對於風力機組結構上、接地系統防護措施，也利用防雷區域 (Lightning Protection Zones, LPZ) 概念作為風力機組防護重要參考依據，即使位處亞熱帶地區氣候的風力機組也能達到一樣的效果。文獻^[8]探討風力發電機組雷擊電流監控系統。該文獻主要是藉由安裝至風場中各機組的電流監控系統，利用電磁線圈所產生的磁場與光電感應器做光電轉換，產生的信號用來分析各風機遭受雷擊所造成的損害程度，可以對於海上風場維護人員至現場的參考依據，除了減少不必要的停機狀態之外，也提高了機組運轉的效率。文獻^[9]探討有效的防雷對於風力發電機組。該文獻中風機雷擊防護系統包含雷擊接收器、引導體、接地系統、突波保護器來防護所有大小系統，降低雷擊風險的因素可以從「直接雷擊引起風機葉片損傷」、「突波電流引起的損傷」、「過電壓引起的損傷」這三方面著手，該文獻引用 IEC 61400-24 規範標準內，針對北歐國家所統計有關風機事故的建議與應用，介紹有效的防雷系統措施。但對於 IEC 61400-24 也提出五點改進建議事項：1. 雷擊參數：有關雷擊防護參數的定義是沒有科學根據的，應該利用實際的數據進行評估演算。2. 滾球方法：此方法無法保證能有效防護到風機結構，

建議等到驗證成功後再作為防護評估措施。3. 雷電保護區系統：防雷區域是很難作為實際的防護分界之用，這些定義的系統從未被實際驗證評估過，更不應該採用這樣的方式作為人員進場維護的保護措施。4. 人員保護：對於人員防護不應採用防雷區域的標準進行評估，應當避免產生雷擊時機情況下做為主要的考量。5. 防雷系統成本分析：對於「直接雷擊保護成本」及「間接保護模式計算成本」建議重新評估與考量。文獻^[10]探討風力發電機組的防雷保護—比較量測數據與所需的保護等擊。該文獻在許多的模組的驗證中，風機的葉片是最容易遭受雷擊的部位，本文獻採用峰值電流偵測器 (PCS) 安置於葉片上試驗，作為防雷評估資料數據的來源，PCS 的實驗結果發現，在實際電流 30~50kA 的環境下，PCS 偵測記錄到的電流值為 41kA，假若導體在有效距離範圍內，偵測到的數據可能還會更高，但是對於 5kA 以下的電流值卻無法偵測，而且研究數據僅以七年資料作為評估，很難適用於一組壽命 20 年為限的風力機組做為考量之用。雷擊分布資料顯示有大量低於 15kA 大量的峰值電流，但是對於 PCS 所能偵測的範圍，收集到的資料無法作為有效地分析依據，建議除了審慎比對其他偵測系統來源的資料，並且透過龐大累積的資料數據可以進行多元的分析研究。文獻^[11]探討風場在冬季雷擊的突波分析。該文獻透過風場內十組風機作為試驗模型，十組風機具備條件都一致，透過模擬接地點 20 Ω 或 50 Ω ，當各風機系統連結成風場時，接地電阻則變成 6.67 Ω 或 16.6 Ω 。利用雷電流累積的頻率分布來假設冬季雷擊資料，在實驗中發現冬季雷擊具有較長的波形能量，透過冬季雷電產生的突波電流分析，可以發現「逆流突波電流」如何進行傳導至風場內部的機組，分析結果有以下兩點說明：1. 冬季時雷擊即使發生在距離較遠的機組上，損毀的事件還是很容易發生。2. 較高的電阻或雷擊波形能量較長的冬季雷，是很有可能提高損壞事件的發生機率。因應閃電具有不規則變化的特性及高能量，對於事故發生的分

析研究，可以有助於未來防雷系統安裝在風力機組的評估考量。文獻^[12]探討回顧當前的葉片防雷保護問題在新一代風力發電機組。該文獻指出隨著風能發展的進步，新一代的機組發電容量越來越大，機組葉片面積及長度也越來越大，這對新世代的風力機組在防雷措施也將是一大挑戰，本文獻有以下幾項建議事項：1. 風險評估的考量依據 LPS 來設計需要，對於現今來說已經越來越困難，其主要分析為向下的閃絡雷擊，但目前造成風力機組主要損害的雷擊大多主要為向上的閃絡雷擊。因此，若仍忽略向上閃絡雷擊所造成的損害，對於風險評估上會有重大的疏忽。2. 對於大型風力機組而言，旋轉中的風機葉片遭受雷擊有很大的影響，分析考量評估發生的機率，可以透過運轉中與停機機組來比較。3. 因風力機組的結構較為高大，當遭受雷擊電流時會反射到機組風塔頂部、底部、以及發電機與葉片的交接處。所以對於計算內部電路遭受感應電流損害評估，是一件十分重要的事情。4. 隨著碳纖維材料的引進，對於風機防雷設計上出現一些新的問題，特別注意的是，碳纖維材料披覆沾黏在引下導體上。當處在具備較高靜電磁場的雷雲氣環境下，運轉中的碳纖維部分需要解決感應電壓的問題。5. 存在運轉風機機艙層板之渦流電流，會造成機械應力的損耗，為了降低這種影響，機組內部最好設計兩組引下導體，除了用來降低內部所產生的感應磁場，也能減少葉片內部的感應磁場。文獻^[13]有關風力發電機組多重雷電放電與鄰近雷雲對地的閃電。該文獻提供五個發生的雷擊事件中發現，運轉中的發電機組在產生電量時，容易有極高的機率引發向上雷擊事故，特別是當發生落雷時，這一類型的能量通常具有很高的電流。這方面的資訊收集比較少，所以也會造成對於防雷風險評估時會容易忽略這些情況，造成低估雷擊數量的分析。當發生多次低電流的向上雷擊時，風機內部發電機部分的電氣設備系統，長久下來容易降低元件的可靠度，造成非雷擊事件所引發的故障事故，這樣無法掌控的狀況，增加

維護人員檢測維修的困難。所以對於風場的風險評估時，這類型的資料訊息可以做為進一步的評估研究。

參、國際標準對於風力發電機雷擊防護等級之介紹

一、國際標準 IEC TR 61400-24

依據標準 IEC TR 61400-24 內容所述，有關雷擊防護系統的設計採納 IEC 61024-1-1 及 IEC 61662 標準，且此兩份技術報告內容對於雷擊防護評估，皆有規定風力機組雷擊風險部分的重要參數。這些重要參數依序列於下：^[14-16]

(一) 年平均雷擊次數(N_g)：

當風力機組要進行雷擊防護系統評估之前，應先蒐集該地區的落雷密度 (Grounding Flash Density, GFD)；假若無相關資料，IEC 61024-1-1 也提供了演算法計算「落雷密度(N_g)」做為評估參考，可以用公式(1)去試算：

$$N_g = 0.04 \times T_d 1.25 \quad (1)$$

N_g ：落雷密度 GFD

T_d ：年度發生雷雲風暴天數 (可由氣象單位獲得)

(二) 雷擊防護系統等級參數的定義：

依照 IEC 61024-1-1 規定，「預估可接受雷擊次數風險(N_c)」必須大於或者等於「年平均雷擊次數(N_d)」，且將 N_d 與整數 1 減去雷擊防護等級效率百分比做相乘，其計算式如公式(2)所示：

其中

$$N_c \geq N_d \times (1-E) \quad (2)$$

N_c ：預估可接受雷擊次數風險

E ：是雷擊防護等級的效率

N_d ：年平均雷擊次數

依照 IEC 61024-1 將雷擊防護等級的效率 (E)，分別為 E1：「攔截效率」、E2：「傳導效率」兩個參數相乘的結果，攔截效率意指攔截雷擊產生的閃絡事故的效率，傳導效率意指針對材料與尺寸將雷擊能量傳導至大地的效率，其定義如下列公式(3)所示：

$$E \geq 1 - N_c / N_d \quad (3)$$

或 $E \geq 1 - R_a / R_b$

其中，

R_d ：為風險評估傷害參數，亦可以本研究參數 N_c 代表。

R_a ：為可允許的傷害風險參數，亦可以本研究參數 N_d 代表。

其中 IEC 61024-1 更將雷擊防護等級的效率(E)，各等級分別提供概略參數做為評估之用，將 LPL-I~IV 的定義參數如表 1 所示：

表 1 IEC 61024-1 雷擊防護效率參數定義 [15]

雷擊防護等級	攔截效率 (E1)	傳導效率 (E2)	防護效率 (E)
I	0.99	0.99	0.98
II	0.97	0.98	0.95
III	0.91	0.97	0.90
IV	0.84	0.97	0.80

IEC 61024-1 提供了一組範例作為雷擊防護評估之用^[15] 如下：有一組風力機組至機艙頂端高為 60m，葉片旋轉直徑為 60m(半徑則為 30m)，安裝在平坦的陸地上(環境參數 $C_d=1$)，此區域(N_g)雷擊大地年平均密度 $GFD=0.2$ ，且預估可接受雷擊次數風險(N_c)=0.001：

$$\begin{aligned} & \text{首先計算出}(N_d) \text{ 年平均雷擊次數，} \\ N_d &= N_g \times \pi(3H)^2 \times C_d \times 10^{-6} \\ N_d &= 0.2 \times \pi(3 \times 90)^2 \times 1 \times 10^{-6} \\ N_d &= 0.046 \end{aligned}$$

其設定的預估可接受雷擊次數風險 (N_c)=0.001，因此 E 效率如下，

$$\begin{aligned} E &\geq 1 - \frac{N_c}{N_d} \\ E &\geq \left(1 - \frac{0.001}{0.046}\right) \times 100\% \\ E &\geq 97.8\% \end{aligned}$$

因此，根據演算結果該組風機的 LPS 效率至少要 97.8%以上，若要符合有效防護效率則須採用 LPL-I 作為本風力機組的防護等級。

二、國際標準 IEC 62305

依據 IEC 62305 規定進行評估雷擊防護等時，需要參照雷擊防護峰值電流參數進行防護等級的選定。規定參數如表 2 所示：

表 2 IEC 62305 雷擊防護峰值電流參數^[16]

雷擊防護等級		LPL			
		I	II	III	IV
I_{peak}	雷擊最大峰值電流 (kA)	200	150	100	
$I_{min-peak}$	雷擊最小峰值電流 (kA)	3	5	10	16

將採表 2 所制定 LPL 的雷擊防護峰值電流參數作為判斷依據，並與各地區風力機組所收集的落雷資料進行分析，分析出其適合的雷擊防護等級 LPL。

肆、台灣風力發電機附近落雷歷史統計

透過台電綜合研究所「整合型閃電落雷偵測系統之雲對地雷電流參數資料庫」所蒐集到的雷擊資料，主要分析的時間為 2004~2014 年(共計 11 年)，雷擊的落雷次數、台電風機位置(及編號)、較大雷擊峰值電流次數(100~200kA)、較小雷擊峰值電流次數(3~16kA)作為本次研究雷擊防護等級的重要數據資料，如表 3。上述落雷統

計資料是透過台電建置的整合型閃電落雷偵測系統 (Total Lightning Detection System, TLDS) 所查詢獲得, 此系統主要由現場 8 座雷電偵測站所構成的一套落雷偵測網, 可偵測台灣及鄰近海域所有雷雲放電之電磁輻射訊號, 利用台電公司微波通信電路, 將各站偵測訊號傳送至綜研所樹林所區落雷中控室之資料處理伺服器, 並以各偵測站 GPS 定位時間作為同步信號, 進行雲中放電、雲對地放電的交叉定位及雲對地雷電流參數之演算, 演算後的即時雷電資料, 再經由固接網路傳送至本公司電力調度處、供電處及相關落雷網站與工作站等, 供台電公司作為電力調度指引、雷事故預防、雷事故調查及雷害防制研究等應用; 同時亦透過電信局的數據專線, 將即時雷電資料傳送至中央氣象局、台北捷運等, 供為氣象及纜車安全營運等之應用; 另外對於學校機關等不同客戶亦提供相關的技術服務。

圖 1 至圖 3 分別顯示台灣大園風場(北部地區)、王功風場(中部地區)、以及恆春風場(南部地區)2004~2014 雷擊電流次數總和統計表。透過台灣各風力發電機組所在區域的雷擊統計資料可以發現, 大於 100kA 以上的雷擊峰值電流十分稀少, 小於 16kA 峰值電流所佔比重近 60~70%, 顯見台灣地區的落雷電流特性電流能量偏小, 對於較大電流的「直接雷擊」風險較小。

將各風場所建置風力機組遭受雷擊次數取平均值, 如表 3 所示, 可以發現:

- 一、中部地區遭受落雷(0~16kA)的次數占比十分高, 顯示當地區域氣候發生雷擊機率很高, 應著重加強風力機組的防護措施, 也對於往後場址的選擇上應重新評估考量。
- 二、在某個風場內部, 如彰工風場內 No.16 風機雷擊次數較少, 然而 No.21 的雷擊次數較大, 在同一風場中兩具風機差異很大, 其原因為雷擊形成呈現不規則分布, 如同放射狀、樹枝狀沒有固定或集中的方向性, 所以造成監測風機半徑三公里範圍內, 局部地區數據會有所差異。

三、經統計資料顯示, 台灣地區不論北、中、南部的風場雷擊年平均次數大於 100kA 的次數非常少, 大部分仍低於 16kA。

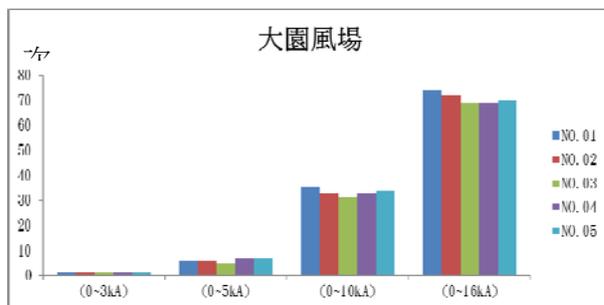


圖 1 大園風場 2004~2014 雷擊電流次數總和統計表

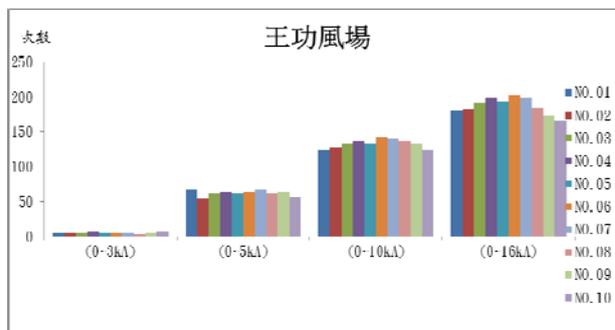


圖 2 王功風場 2004~2014 雷擊電流次數總和統計表

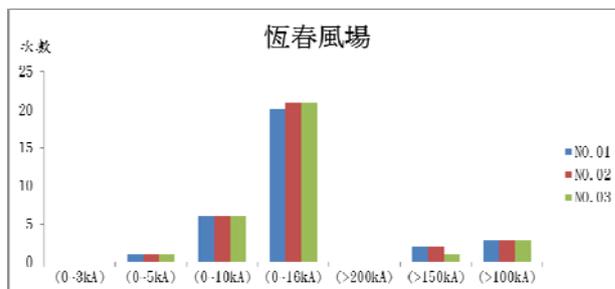


圖 3 恆春風場 2004~2014 雷擊電流次數總和統計表

表 3 的統計資料中出現小數點部分主要是將場內所有風機遭受落雷次數加總, 除以 2004~2014 年共計 11 年所得數值, 以致其計算結果部分風場產生小數點。表 3 中所指的平均雷擊次數是以風場為單位, 用以表示各個風場落雷的實際量測情形。而在第五章節所指之平均雷擊次數則是指各個風機所遭受雷擊次數的統計, 其值用以評估雷擊保護等級(LPL)之用。此外, 依據

IEC 62305 所定義的 LPL 雷擊能量範圍為 3~200kA, 5~150kA, 10~100kA, 16~100kA, 為有效防護雷擊能量範圍, 因此表 3 便以這些範圍

來定義, 而不使用 0~3kA, 3~5kA, 5~10kA,... 等的區間來表示。

表 3 台灣地區風場 2004~2014 雷擊平均次數^[17]

地區	場址	雷擊年平均次數(次/年)							風力機組 數量(組)	發電裝置 容量
		(0~3kA)	(0~5kA)	(0~10kA)	(0~16kA)	(>200kA)	(>150kA)	(>100kA)		
北部風場 (台北到苗栗)	石門	0	4	16.83	28.83	0	0	0	6	3.96
	大園	0	6.2	33.2	70.8	0	0	0	5	7.5
	大潭	0	4.13	35	56.75	0	0	0	8	15.1
	林口	2.67	5.17	23.67	40	0	0	0	6	6
	觀音	2.6	5.8	36.27	78.4	0	0	0	15	22.5
	香山	1	25	65.33	104.5	0	0	0	6	12
中部風場 (台中、彰化、 雲林)	中火	0	59.5	128.75	169.25	0	0	1.75	4	6
	中港	11.61	81.5	186.89	237.67	0	0	0	18	36
	王功	5.6	62.2	133.2	186.7	0	0	0	10	23
	彰工	0	55.19	214.97	316.77	0	0	0	31	62
	四湖	4.43	44.14	89.21	143.86	0	0	0	14	28
	麥寮	21.04	73.96	150.61	192.26	0	0	0	23	16
南部風場 (嘉義以南)	恆春	0	1	6	20.67	0	1.67	3	3	4.5
離島	中屯	0	4.25	74	126.13	0	0	8	8	4.8
	湖西	0	9.5	62.17	85.5	0	0	3	6	5.4

伍、台灣地區風力發電雷擊防護等級的評估

雷擊防護系統(LPS)的規劃, 除了考量雷擊或造成損傷到該地區的人事物的風險要素, 也要分析須保護設備的高度、當地地形、和當地雷擊活動等級的風險函數。雷擊損害也可能造成設備外部結構或其內部系統的外力傷害。該區域的雷擊的資訊應盡可能蒐集, 雷擊防護系統的目的主要是減少遭雷擊破壞至可容忍的程度。所有雷擊防護的措施並非百分百能完全抵禦, 依據國際標準 IEC 61024-1 及 IEC 62305-2 對於雷擊防護等

級的評估都有定義, 本次研究使用 IEC 62305-2 所定義的「雷擊峰值電流區間」做為評估方式, 並且與 IEC 61024-1 所定義的「雷擊防護參數估算評估」方式比較其各別評估結果。

一、雷擊峰值電流區間評估方式：

(一) 統計風機所在地區之落雷資料 GFD：

依據標準 IEC 62305-2 的雷擊風險評估方法, 首先將台灣目前營運的各風力機組(台電一至三期) 共計 163 組風力機組, 將 2004~2014 年共計 11 年這段期間的落雷數量資料統計出來, 蒐集風機三公里範圍

內的雷擊次數並計算所在地區 (N_g)「雷擊大地年平均密度」(次/ $\text{km}^2 \times \text{年}$)亦稱之為 GFD。這些 GFD 資料可利用「台電綜合研究所的整合型閃電落雷偵測系統之雲對地電流參數資料庫」進行查詢。

(二) IEC 62305-2 評估「年平均雷擊次數 (N_d)」:

風力機組遭受雷擊的有效面積計算方法，主要是以風力機組含葉片總高度 (H) 的 3 倍為半徑畫一個圓面積。在寬度部分則建議將風力機組視為一個直立竿子，圖 4 所示^{[14][15]}。因此應用風力機組時亦可利用公式(4)方式去評估。

$$N_d = N_g \times \pi(3H)^2 \times C_d \times 10^{-6} \quad (4)$$

其中

C_d : 環境參數—機組被樹或其他方式包圍=0.5

—機組處於空曠處=1

—機組位於高山或山丘處=2

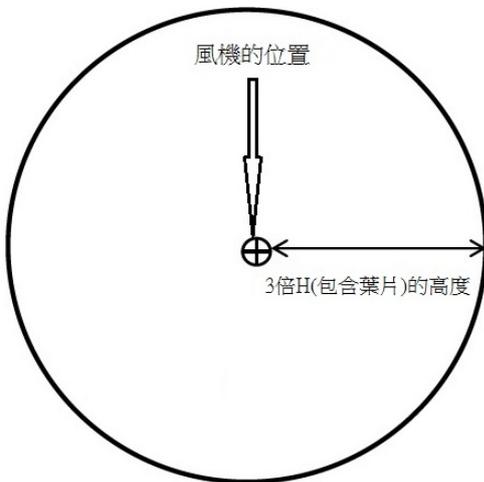


圖 4 風力機組遭受雷擊的有效面積

依據台電綜合研究所的整合型閃電落雷偵測系統之雲對地雷電流參數資料庫，將各風力機組地區所蒐集的 GFD 統計出來，並且將計算出來的 N_g 與風力機組(含葉片)高度利用公式(4)計算出 N_d ^[18]。圖 5

至圖 7 統計分別顯示台灣大園風場(北部地區)、王功風場(中部地區)、以及恆春風場(南部地區)2004~2014 年總落雷次數以及計算的雷擊次數 N_d 。此三個圖形僅為摘錄台灣風場中的三個位於北、中、南的風場。其他風場的相關統計亦已在本研究中分析完成。

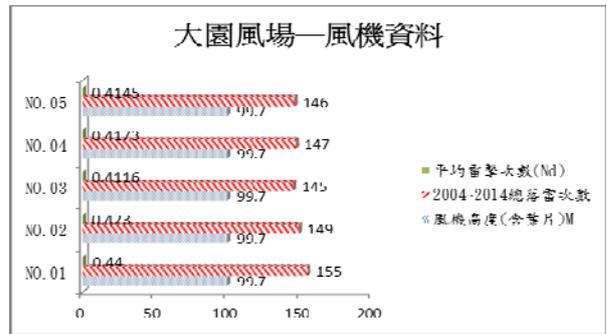


圖 5 大園風場各風機之高度、總落雷次數、以及平均雷擊次數

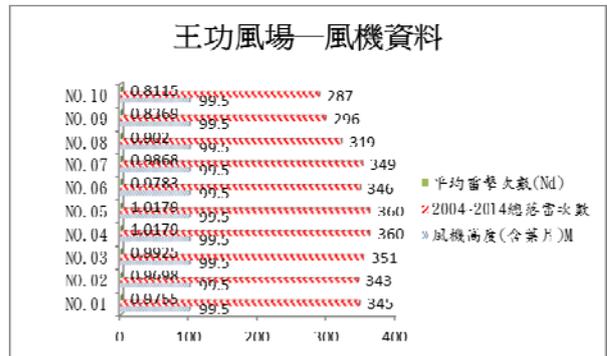


圖 6 王功風場各風機之高度、總落雷次數、以及平均雷擊次數

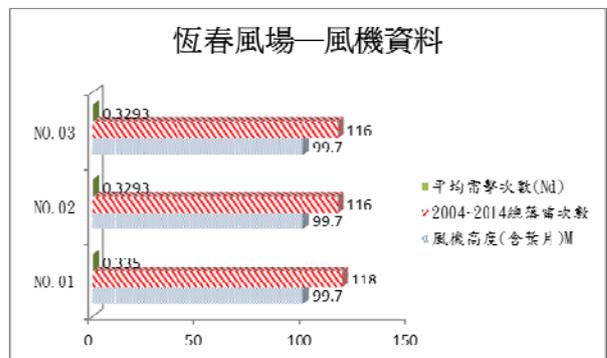


圖 7 恆春風場各風機之高度、總落雷次數、以及平均雷擊次數

如式(4)所示平均雷擊次數(N_d)與落雷密度(N_g)、風機高度(H)及所處環境參數(C_d)

相關連，若個別風機的 N_g 與 C_d 不同時，其 H 與 N_d 就沒有絕對的關係，並與圖 6 與圖 7 資料統計結果相符。另圖 8 及圖 9 表示，高度較高的風機，所遭受的雷擊次數不一定較多，主要是它們所處的地理環境不同，存在著不同的 N_g 及 C_d 。例如彰工與中港風場的雷擊次數較其他地方高，而北部與南部風場的雷擊次數相對較低。

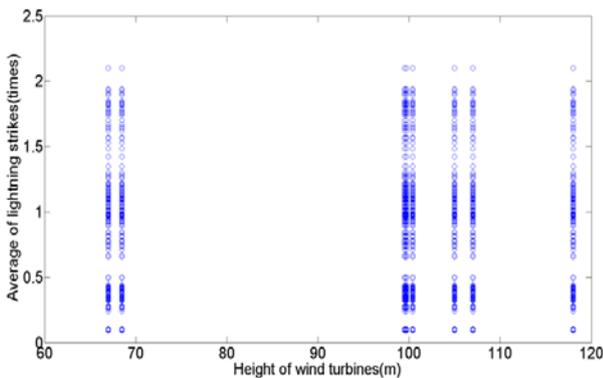


圖 8 風機高度與雷擊年平均次數的關係

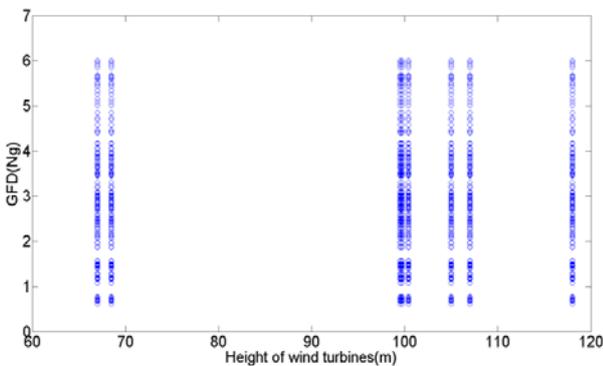


圖 9 風機高度與 GFD 的關係

表 4 表示風機高度與雷擊次數及 GFD 的統計關係，可以發現風機高度確實不一定與雷擊次數成正比。

(三) 設定「預估可接受雷擊次數風險(N_c)」進行評估：

針對預估可接受的雷擊次數風險 (N_c)，此參數是可以依照各國地形氣候去擬定及規劃，每國家風力機組的經營者可以根據不同環境及經濟考量因素自行擬

定。本次研究採用標準 IEC 62305-2 及中國標準 GB 50057-94 所規定的 N_c 值，進行雷擊防護等級 LPL 評估的重要依據參數，並將其結果相互比較，其中 IEC 62305-2 規定了幾種可接受的雷擊次數風險(N_c)數值，舉列了以三個類型作為代表性的參數因子，評估在雷擊引起人員的傷亡或公共建設、文化資產的損失，以及 GB 50057-94 所規定的 N_c 值，參數資料如表 5 所示：

表 4 風機高度與雷擊次數及 GFD 的統計關係

		風機高度(m)	67	68.5	99.5	99.7
雷擊次數	平均值		0.3223	0.0969	0.8459	0.3964
	標準差		0.0480	0.0038	0.2496	0.0339
GFD	平均值		2.5397	0.7306	3.0219	1.4103
	標準差		0.3782	0.0283	0.8917	0.1205
		風機高度(m)	100.4	105	107	118
雷擊次數	平均值		1.0236	0.7290	1.6441	0.9913
	標準差		0.1371	0.0515	0.2767	0.4365
GFD	平均值		3.5914	2.3384	5.0788	2.5179
	標準差		0.4810	0.1653	0.8549	1.1088

表 5 預估可接受雷擊次數風險(N_c)參數^{[16][19]}

IEC 62305-2	
人員傷亡	10^{-5}
公共建設的損失	10^{-3}
文化資產的損失	10^{-3}
GB 50057-94	
公共建設物體	1.2×10^{-2}

(四) 選定所需的雷擊防護等級：

依據各風場風機所統計的資料參數 N_d 並與選定好的假設參數 N_c 進行評估，當 $N_d < N_c$ 時，則表示該組風機不需要進行雷擊防護評估的必要性，若當 $N_d > N_c$ 時，則表示該組風機年平均雷擊次數大於 N_c 所規定的次數，需要依據 IEC 62305 規定雷擊防護等級定義進行評估。

本次研究方式將採「雷擊防護峰值電流區間」參數作為評估依據，並與「台電綜合研究所的整合型落雷偵測系統之雲對地雷電流參數資料庫」進行資料分析，使用方式如表 6 所示，將台灣地區各風力機組所

在區域所查詢的雷擊實際電流數據進行評估，並分析出其適合的雷擊防護等級 LPL。舉例而言，防護等級 I 代表當雷擊峰值電流大於 3kA 並小於 200kA 可防護，而落於此範圍之外的雷擊峰值電流將無法防護。

表 6 雷擊防護等級 LPL 與雷擊峰值電流區間評估方式 [16]

依照 IEC 62305 標準雷擊峰值電流規定區分			
LPL-I	< 3kA	3~200kA	< 200kA
LPL-II	< 5kA	5~150kA	< 150kA
LPL-III	< 10kA	10~100kA	< 100kA
LPL-IV	< 16kA	16~100kA	< 100kA
	無效防護區間	有效防護區間	無效防護區間

依照表 6 方式，先計算無效防護區間雷擊次數佔總落雷次數(2004~2014 年間發生次數)的百分比例，再將「無效防護區間所佔的百分比例」與「年平均雷擊次數」(N_d) 做相乘，即可得到「年平均危害雷擊次數」N_f，如公式(5)：

$$N_d \times (\text{無效防護區間佔比}\%) = N_f \quad (5)$$

再將所得到的新數值 N_f 與先前所設定的 N_c 逐一比對符合的數據，其評估的結果如以下各風場的圖形所示：例如以圖 10 石門風場為例，若風機防護等級以 II 級來設計，則六台風機之年平均危害雷擊次數如圖 10 紅色曲線所示。若我們設定預估可接受雷擊次數風險(N_c)參數依照 GB 50057-94 規定，公共建設物體的 N_c=1.2×10⁻²，則不需進行防護等級評估即符合標準。但若是設定可接受雷擊次數風險(N_c)參數為人員傷亡 10⁻⁵，則便需要防護等級 I。

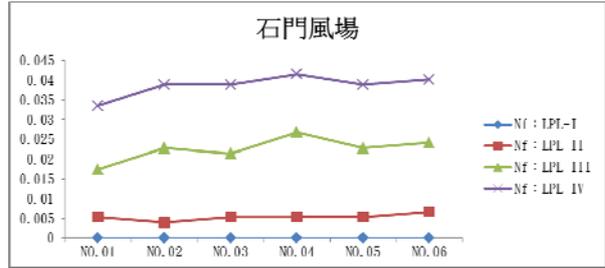


圖 10 依據雷擊防護等級計算石門風場各風機之 N_f 值

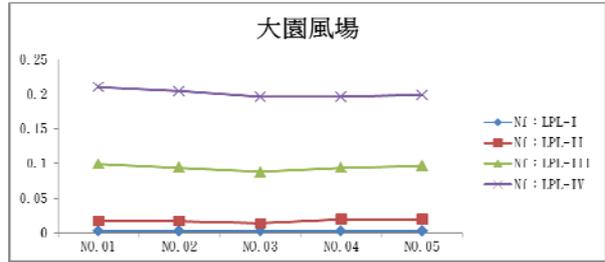


圖 11 依據雷擊防護等級計算大園風場各風機之 N_f 值

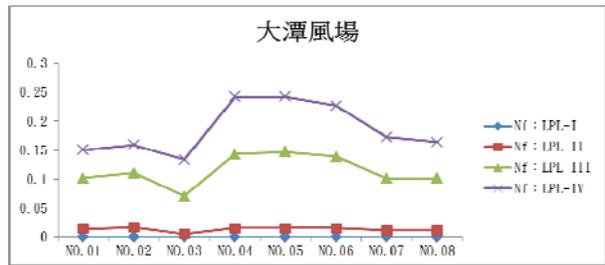


圖 12 依據雷擊防護等級計算大潭風場各風機之 N_f 值

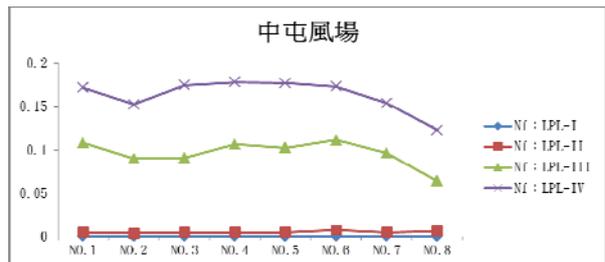


圖 13 依據雷擊防護等級計算中屯風場各風機之 N_f 值

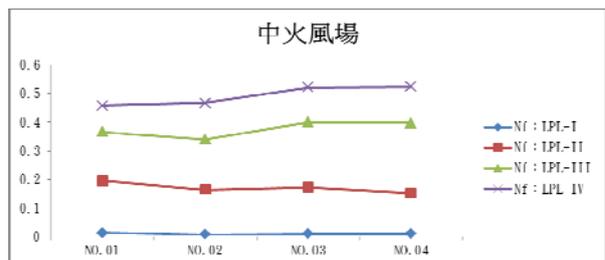


圖 14 依據雷擊防護等級計算中火風場各風機之 N_f 值

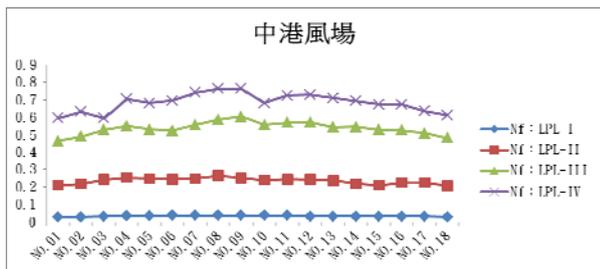


圖 15 依據雷擊防護等級計算中港風場各風機之 N_f 值

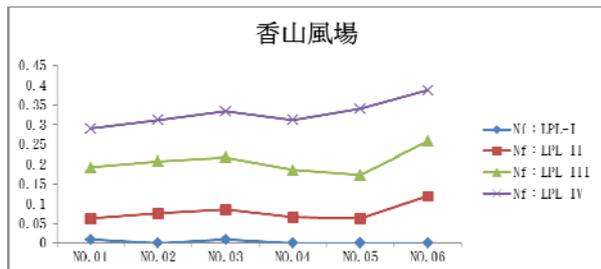


圖 20 依據雷擊防護等級計算香山風場各風機之 N_f 值

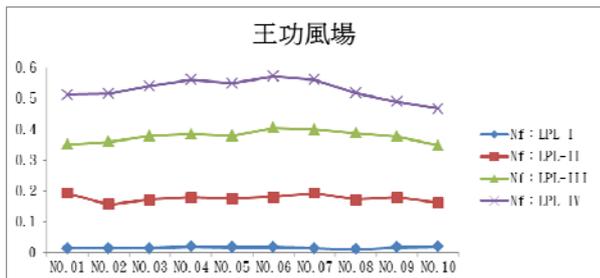


圖 16 依據雷擊防護等級計算王功風場各風機之 N_f 值

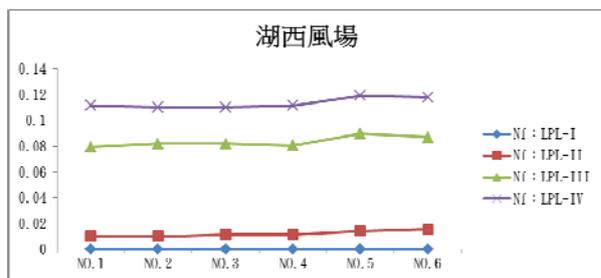


圖 21 依據雷擊防護等級計算湖西風場各風機之 N_f 值

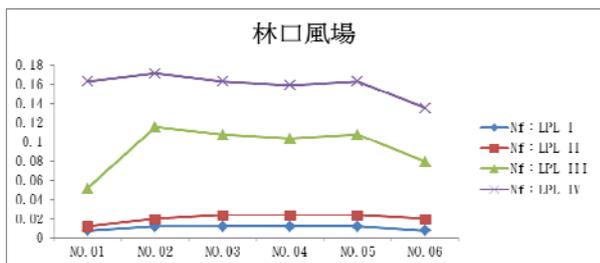


圖 17 依據雷擊防護等級計算林口風場各風機之 N_f 值

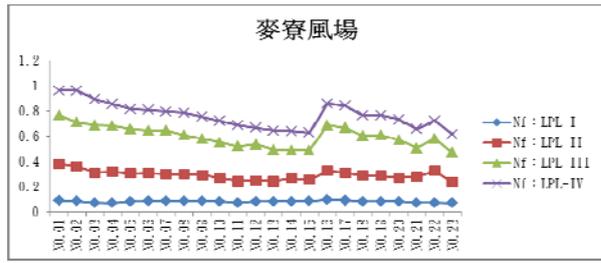


圖 22 依據雷擊防護等級計算麥寮風場各風機之 N_f 值

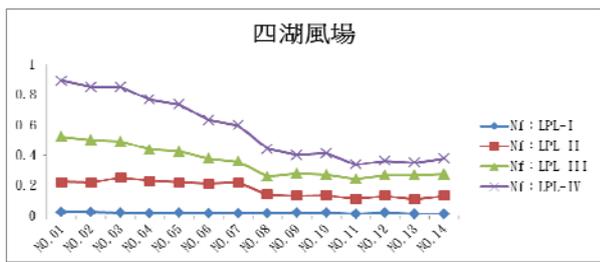


圖 18 依據雷擊防護等級計算四湖風場各風機之 N_f 值

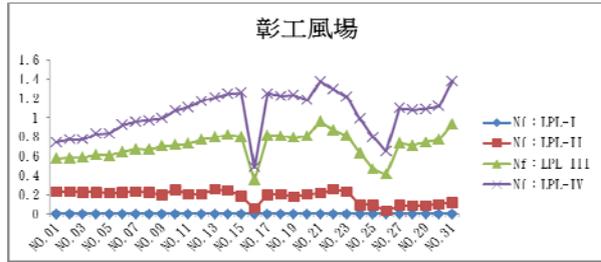


圖 23 依據雷擊防護等級計算彰工風場各風機之 N_f 值

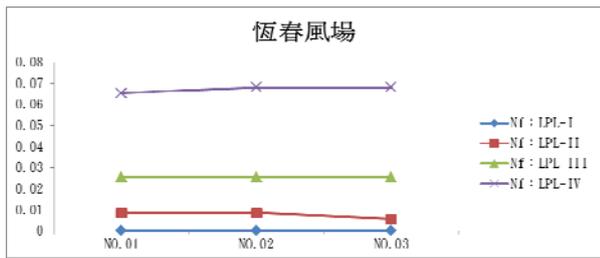


圖 19 依據雷擊防護等級計算恆春風場各風機之 N_f 值

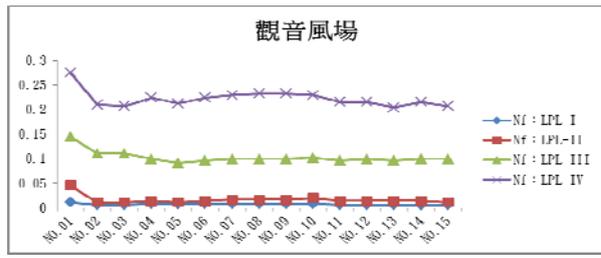


圖 24 依據雷擊防護等級計算觀音風場各風機之 N_f 值

(五) 雷擊防護峰值電流區間評估結果

依據圖 10 至圖 24 中各風場 N_f 參數的分析結果，將所設定之 N_c 參數逐一比對，當評估各 LPL I~IV 等級定義時 $N_f < N_c$ 即為有效防護，若當 $N_f > N_c$ 則表示風險過高不符合該等級防護能力，結果如下所述：

1. 當可接受雷擊次數風險值設定為 $N_c=10^{-3}$ 時，依照圖 10 至圖 24 所示的雷擊峰值電流區間進行評估，其中符合有效雷擊防護等級 I 共計 66 組，然而有 97 組不符合評估數值(大園、觀音、中港、中火、香山(No.1、3)、麥寮、林口、四湖、王功風場)，這些機組經過評估後， N_f 參數仍大於所設定的 N_c 參數，顯示該地區超出規劃的有效雷擊防護等級風險過高，應透過歷年落雷資料進行加強局部性防雷措施，或者於即將發生閃電雷擊天候時，透過暫時停止運轉方式來避免感應型雷擊所造成電氣及控制系統之損傷，再者也可對於該地區的天候與地理條件，重新考量評估選擇適當地風場場址。
2. 當可接受雷擊次數風險值設定為 $N_c=1.2 \times 10^{-2}$ 時，依照圖 10 至圖 24 所示的雷擊峰值電流區間進行評估，其中石門風場機組 N_d 小於 N_c 無需進行評估共計 6 組，符合有效防護等級 I 共計 72 組，符合有效防護等級 II 共計 23 組，然而有 62 組不符合評估數值(中港、中火(No.1)、麥寮、四湖(No.1~10、12)、王功風場(1~7、9、10))，這些機組經過評估後， N_f 參數仍大於所設定的 N_c 參數，顯示該地區超出規劃的有效雷擊防護等級風險過高，應透過歷年落雷資料進行加強局部性防雷措施，或者於即將發生閃電雷擊天候時，透過暫時停止運轉方式來避免感應型雷擊所造成電氣及控制系統之損傷，再者也可對於該地區的天候與地理條件，重新考量評估選擇適當地風場場址。

二、雷擊防護參數估算評估方式：

依據標準 IEC TR 61400-24 內容所述，有關雷擊防護系統的設計採納 IEC 61024-1-1 及 IEC 61662 標準，且此兩份技術報告內容對於雷擊防護評估，皆有規定風力機組雷擊風險部分的重要參數，也因此其評估方式與本次研究方法有所不同，進而予以比較說明。

(一) 年平均雷擊次數 (N_g) 計算：

為了與本次研究方式做為比較之用，列舉四個風場之風力機組及安裝區域基本數據資料，如「表 7 台電風力機組基本資料及落雷參數」所示作為比較基礎資料，減少評估時所造成的差異過大。在此由於篇幅限制，僅列出四個代表性風場，這四個風場盡量挑選典型風場、參數影響變化少、估算落差大、局部且較小，這樣可以很清楚表達兩種方式結果的不同。

表 7 台電各風力機組基本資料及落雷參數^[18]

風場	編號	風機高度 (含葉片)M	2004~2014 總落雷次數	GFD (N_g)	平均雷擊 次數(N_d)
石門	NO.1	68.5	73	0.74	0.0978
	NO.2	68.5	75	0.76	0.1005
	NO.3	68.5	70	0.71	0.0938
	NO.4	68.5	69	0.70	0.0925
	NO.5	68.5	71	0.72	0.0951
	NO.6	68.5	76	0.77	0.1018
大園	NO.1	99.7	155	1.57	0.4400
	NO.2	99.7	149	1.51	0.4230
	NO.3	99.7	145	1.46	0.4116
	NO.4	99.7	147	1.48	0.4173
	NO.5	99.7	146	1.47	0.4145
香山	NO.1	105.0	209	2.11	0.6581
	NO.2	105.0	212	2.14	0.6675
	NO.3	105.0	241	2.43	0.7588
	NO.4	105.0	241	2.43	0.7588
	NO.5	105.0	241	2.43	0.7588
	NO.6	105.0	245	2.47	0.7714
王功	NO.1	99.5	345	3.48	0.9755
	NO.2	99.5	343	3.46	0.9698
	NO.3	99.5	351	3.55	0.9925
	NO.4	99.5	360	3.64	1.0179
	NO.5	99.5	360	3.64	1.0179
	NO.6	99.5	346	3.49	0.9783
	NO.7	99.5	349	3.53	0.9868
	NO.8	99.5	319	3.22	0.9020
	NO.9	99.5	296	2.99	0.8369
	NO.10	99.5	287	2.90	0.8115

(二) 「預估可接受雷擊次數風險(N_c)」的選定：

為了與本次的研究方法進行比較，將參照與本次研究設定之「中國標準 GB 50057-94」所規定的「預估可接受雷擊次數風險」參數($N_c=1.2 \times 10^{-2}$)，進行雷擊防護等級 LPL 選定的重要依據參數比較。

(三) 雷擊防護系統的選定：

比較 IEC 61024-1(雷擊防護參數估算方式)各雷擊防護等級的防護效率(E)與本研究採用 IEC 62305(雷擊峰值電流區間方式)實測統計資料之差異性，首先依據表 7

各風機型式與安裝區域的年平均雷擊次數(N_d)，作為兩者估算方式的基本參數資料，再將資料帶入公式(3)並計算出各風機所適用的雷擊防護等級，依照 IEC 61024-1 評估，當 $N_c=1.2 \times 10^{-2}$ 時，石門風場評估結果為 LPL-III，香山風場及王功風場(No.8) 評估結果為不符合。依 IEC 62305-2 評估結果兩者方式評估結果有許多不同之處，且對於超出有效防護效率的機組，實務上仍採用最高等級 LPL-I 為防護系統之考量，其結果如表 8 所示：

表 8 IEC 61024-1 雷擊防護參數評估 LPL

風場	機組	預估可接受雷擊次數(N_c)	平均雷擊次數(N_d)	雷擊防護等級的效率(E)	雷擊防護參數估算評估結果	雷擊峰值電流區間評估結果
石門	NO.01	0.012	0.0978	0.877	III	無須進行評估
	NO.02	0.012	0.1005	0.881	III	無須進行評估
	NO.03	0.012	0.0938	0.872	III	無須進行評估
	NO.04	0.012	0.0925	0.870	III	無須進行評估
	NO.05	0.012	0.0951	0.874	III	無須進行評估
	NO.06	0.012	0.1018	0.882	III	無須進行評估
大園	NO.01	0.012	0.44	0.973	I	I
	NO.02	0.012	0.423	0.972	I	I
	NO.03	0.012	0.4116	0.971	I	I
	NO.04	0.012	0.4173	0.971	I	I
	NO.05	0.012	0.4145	0.971	I	I
香山	NO.01	0.012	0.6581	0.982	不符合	I
	NO.02	0.012	0.6675	0.982	不符合	I
	NO.03	0.012	0.7588	0.984	不符合	I
	NO.04	0.012	0.7588	0.984	不符合	I
	NO.05	0.012	0.7588	0.984	不符合	I
	NO.06	0.012	0.7714	0.984	不符合	I
王功	NO.01	0.012	0.9755	0.988	不符合	不符合
	NO.02	0.012	0.9698	0.988	不符合	不符合
	NO.03	0.012	0.9925	0.988	不符合	不符合
	NO.04	0.012	1.0179	0.988	不符合	不符合
	NO.05	0.012	1.0179	0.988	不符合	不符合
	NO.06	0.012	0.9783	0.988	不符合	不符合
	NO.07	0.012	0.9868	0.988	不符合	不符合
	NO.08	0.012	0.902	0.987	不符合	I
	NO.09	0.012	0.8369	0.986	不符合	不符合
	NO.10	0.012	0.8115	0.985	不符合	不符合

陸、結論

台灣屬於海島型氣候，大氣變化也因此較為極端，然而依照 IEC 62305-2 與 GB 50057-94 標準所述之 N_c 參數作為判定依據，卻因各國當地天氣氣候有所差異，所以得到的結果亦有所不同，本研究採行兩種評估方式，其一為依照 IEC 61024-1 公式演算及概略參數來評估台灣地區風力機組雷擊防護等級，其二為使用「閃電落雷偵測系統」之台灣地區實際偵測雷擊峰值電流資料來評估，這兩種方式所得到的結果有很大的不同。

兩者研究方法皆符合 IEC 62305 及 IEC 61024-1 所制定的規範，為了避免產生過大的誤差，在評估研究所採用的基本資料，都與本次研究數據相同，盡可能將差異的參數縮小，減少落雷密度 N_g 採用估算方式產生誤差，這樣一來就能針對雷擊防護等級系統，在選定的評估方式上做比較。然而其 IEC 61024-1 評估的結果卻有許多不同之處，針對 IEC 61024-1 評估方式以下有幾點事項說明：

- 一、IEC 61024-1 它的估算方式效率極高，僅採用 GFD 參數便能進行雷擊防護系統的演算評估，對於環境進行初步的評估，有助於經營者在投入建設風力機組事前的參考，及雷擊防護系統對於當地雷擊狀況有初步的認知。
- 二、兩者對於評估結果上仍有著極大的差異，顯示 IEC 61024-1 它的估算方式，其定義的參數並未能充分顯現當地區域的落雷特性，並且無法有效地作為風力機組的雷擊防護依據。
- 三、對於評估有不符合的風力機組，依據 IEC 62305-1 所述，「最大及最小雷擊電流超過 LPL-I 不做考慮」、「最大和最小雷擊電流超過 LPL-I 的機率很小」，這兩種特殊情況不會納入考量範圍，而且在實務上皆會採取 LPL-I 的防護系統作為最後的考量。依據這

樣的結果，往往與風力機組製造商在判定風力機組故障時，有著極大的爭議，無法證明屬於天災所致或者防護系統失效。建議應大量收集雷擊電流數據，並提供給製造商在製造風力機組作為重要的參考資料，可以降低對於事故判定認知上的差異。

- 四、由於 IEC 61024-1 它的評估方式未能有效防護台電風機所在地區的落雷特性，且台灣地區的落雷屬於較多較小雷擊電流型態，除了造成故障判定的不明確，也往往對於較小雷擊電流的感應故障事故增加維護成本，降低風力機組的年發電量的效率，更無法進行局部強化。
- 五、IEC 61024-1 它的評估方式未能充分表示該地區的落雷特性，經與本研究評估相比較後，不建議作為風力機組場址的評估。
- 六、IEC 61024-1 它的估算方式對於雷擊防護的效率有許多不確定的因素存在，對於現場維護保養人員的傷害風險也相對提高。
- 七、從研究結果發現，台灣地區較大的雷擊峰值電流 200kA、150kA、100kA 十分稀少，應強化風力機組本身對於 IEC 所述雷擊防護等級 LPL 中，對於較小雷擊峰值電流所規劃出來的防雷區域(LPZ)滾球半徑，加強 3kA、5kA、10kA、16kA 較小的雷擊峰值電流之攔截效率，並可將台灣未來的風力機組預定場址，針對該地區 2004~2014 較小的雷擊峰值電流分布資料，提供給經營者與製造商作為製造屬於台灣地區的風力機組，作為提高有效防護的參考數據。
- 八、建議採用台電所建置完成的「即時雷雨胞追蹤預警系統」，除了作為風力機組遭受雷擊預警的作用之外，更可以有效提升人員的防護措施，並且建議台電公司對於降低風力機組的成本考量，針對現場人員進入風機的保養及維護，可以制定相關的 S.O.P 來避免現場人員傷亡與損失，也可以利用此套系統在風機遭受雷擊發生之前，可以事前規劃暫時

停機措施，用來避免較小的繞擊閃電閃絡感電事故，造成運轉中的風力機組內部控制系統、電氣設備損失，以減少經濟成本。

柒、參考文獻

- [1] Hansen, A.N. , Erichsen, H.V.,and Politis, Z.G.,” Lightning Protection of the Electrical Systems of WTG Evaluation Considerations Related to the Application of SPDs ,”*International Conference on Lightning Protection (ICLP)*”,2012.
- [2] Vahidi, B. , Mousavi, O.A., and Hosseini, S.H.,” Lightning Overvoltage Analysis in Wind Farm ,” *IEEE Region 10 Conference on TENCON 2007*, Oct. 30 2007-Nov. 2 2007.
- [3] Gong Ling , Yang Jun , Li Jie , Yang Guohua and Xie Mingxin,“Intellegent lightning monitoring system for wind turbine generator,” *2014 International Conference on Lightning Protection (ICLP)*, 2014, pp. 606-613.
- [4] Yamamoto, K. and Sumi, S., “Validations of lightning protections for accidents at a wind farm,” *2013 International Symposium on Lightning Protection (XII SIPDA)*,7-11 Oct. 2013, pp. 329-334.
- [5] Peesapati, V. and Cotton, I.,” Lightning protection of wind turbines - A comparison of lightning data & IEC 61400-24,” *2009. SUPERGEN '09. International Conference on Sustainable Power Generation and Supply*, 6-7 April 2009.
- [6] Yang Tingfang and Yang Xin,” Lightning Protection of Wind Turbines,” *2010 2nd International Conference on Industrial Mechatronics and Automation (ICIMA)*, 30-31 May 2010, pp. 60-63.
- [7] Zoro, R. and Purwadi, A.,” The use of wind turbine structure for lightning protection system,” *International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI)*, 17-19 July 2011.
- [8] Wetter, M. and Kiefer, A.; and Zirkel, A.,” Lightning current monitoring system for wind turbines,” *2011 International Symposium on Lightning Protection (XI SIPDA)*, 3-7 Oct. 2011 , pp. 251-254.
- [9] Glushakow, B., “Effective Lightning Protection For Wind Turbine Generators,” *IEEE Transactions on Energy Conversion* , vol. 22, issue 1, pp. 214-222 , 2007.
- [10] Peesapati, V. , Cotton, I. , Sorensen, T. , Krogh, T. and Kokkinos, N., “Lightning protection of wind turbines - a comparison of measured data with required protection levels,” *IET Renewable Power Generation*, vol. 5, issue 1, pp. 48-57, 2007.
- [11] Yasuda, Y. , Uno, N. ,Kobayashi, H. and Funabashi, T., “Surge Analysis on Wind Farm When Winter Lightning Strikes,”*IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 23, issue 1, pp. 257-262, 2008.
- [12] Rachidi, F. , Rubinstein, M. , Montanya, J. , Bermudez, J.-L. and Rodriguez Sola, R. , Sola, G. and Korovkin, N.,“A Review of Current Issues in Lightning Protection of New-Generation Wind-Turbine Blades,”*IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 55, issue 6, pp. 2489-2496, 2008.
- [13] Candela Garolera, A. , Cummins, K.L. , Madsen, S.F. , Holboell, J. and Myers, J.D.,“Multiple Lightning Discharges in Wind Turbines Associated With Nearby Cloud-to-Ground Lightning,” *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 6, issue 2, pp. 526-533, 2015.
- [14] 陳健賢、廖財昌，「台灣地區落雷特性與風力機組雷電防護之研究完成報告」，台灣電力公司綜合研究所研究報告，民國 99 年 1 至 12 月。
- [15] IEC 61024-1-1，1993 年 8 月。
- [16] IEC 62305 Ed.1，2006 年 1 月。
- [17] 整合型閃電落雷偵測系統，台灣電力公司綜合研究所高壓研究室，民國 93 年至 103 年。
- [18] 台灣電力公司風力機組座標位置與機組基本資料，台灣電力公司再生能源處，民國 102 年。
- [19] GB 50057-94(2000 版)「建築物防雷設計規範」，中國出版社。

林口發電廠試運轉 E 化管理發展與應用

The Development and Application of E-Management for Commissioning of Linkou Power Plant

朱記民*	蘇秋琪*	蕭聖文*	張文豪*
Chu, Chi-Min	Su, Chiu-Chi	Hsiao, Sheng-Wen	Chang, Wen-Hao
廖晉慶*	董毓才*	黃士銘*	陳信聰*
Liao, Chin-Ching	Tung, Yu-Tsai	Huang, Shih-Ming	Chen, Hsin-Tsung
陳右昫*	游瑞銘*	曾鴻裕*	蕭詠駿*
Chen, Yu-Yun	Yu, Jui-Ming	Tseng, Hung-Yu	Hsiao, Yung-Chun

摘要

林口發電廠新林一機為台灣電力公司首部超超臨界壓力之發電機組，也是本公司由亞臨界進化為超超臨界機組運轉之重要里程碑。有鑑於試運轉工作繁瑣的文書作業及新機組龐大資料的存取作業，需建立一套有系統、有效率之 E 化管理與追蹤機制。舉凡試運轉期間之運維手冊、操作程序書、教育訓練資料、試運轉檢核表單、試運轉作業流程、試運轉報告等相關資料，藉由該完整的 E 化資訊平台有效管理，讓林口發電廠的新進與資深同仁可以有系統且完整的傳承，並使各階段試運轉工作無縫接軌。E 化管理平台也可成為往後各電廠建廠試運轉之參考，藉以讓各項試運轉工作的推動更加順利。

Abstract

The new Unit No.1 of Linkou Power Plant is the first supercritical unit in the system of Taiwan Power Company (Taipower), and also marks an important milestone in power development of Taipower. It is essential to set up an efficient management and follow-up mechanism for easy retrieval from the complicated documents of commissioning and enormous data of the new Unit.

To ensure commissioning procedures of different stages being systematically and completely transferred from senior staffs to junior ones, an E-management and information platform has been built up for well managing the database of operation and maintenance guide, standard operation procedures, training courses, cross check items and complex procedures and report of commissioning, etc.

The E-management and information platform can also serve as a reference for all the thermal power plants of TPC to smoothly implement commissioning procedures in the future.

關鍵詞(Key Words)：林口發電廠(Linkou Power Plant)、E 化資訊管理平台(E-Management and Information Platform)、電廠試運轉 E 化管理(E-Management for Linkou Power Plant Commissioning)、電廠試運轉檢核表(Cross Check)。

林口發電廠自民國 57 年起為因應台灣工業起飛、電力急遽成長之需求，興建兩部容量各為

壹、前言

*台灣電力公司水火力發電事業部林口發電廠

30 萬瓩、可燃煤與燃油之亞臨界壓力機組，為台灣電力系統之穩定與經濟發展打下穩固的基石。機組至民國 103 年已運轉達 46 年，除役拆除後，原廠址更新改建為 3 部 80 萬瓩超超臨界高效率機組，將成為台電公司由傳統亞臨界機組轉換為首部超超臨界機組之重要指標。

由於新機組試運轉時工作繁重，且須兼顧測試品質與時程，故本廠於試運轉前，即著手進行各項試運轉 E 化資訊管理準備工作。

貳、試運轉準備

由於新機組試運轉工作非常繁雜，林口電廠於試運轉前即開始執行教育訓練、撰寫試運轉檢核表(Cross Check)、編譯新機組文件及成立試運轉小組等準備工作，來配合各項新機組之試運轉工作，以下將分項說明。

一、教育訓練

超超臨界機組對於林口電廠而言，乃是一個嶄新的發電系統，所以不論是新進與資深同仁都沒有相關的運轉與維護經驗，未來的運轉、維護以及相關資料等都必須重頭開始建立。為了讓所有同仁都能有計畫且循序漸進的學習新機組相關知識，須規劃一套完整且具系統性的教育訓練課程，藉由統包商之各項課程安排，及本廠相關技術部門之技術研討，來讓所有同仁都能學習到更多新機組的相關知識。

首先是出國訓練計畫：統包商在建造機組初期，就會安排台電公司員工出國訓練。經過原廠商之介紹與訓練，使受訓人員對新機組能有初步認識，並將原廠設計資料及相關資訊帶回各單位進行討論，作為未來台電公司與原廠設備商的溝通橋樑，讓之後的機組設計可以更符合電廠需求。

再者是林口電廠自辦的教育訓練課程：自統包商開始提送新機組資料起，本廠就陸續收集相關資料，作為各技術部門辦理相關教育訓練課

程之題材。藉由課堂上的相互研討與學習，讓舊機組的運轉經驗以及新機組的知識擦出更多的火花，找出更多未來運轉上可能發生的問題並回饋給原廠設備商，讓機組的設計更符合電廠需求。

最後是統包商所提供的教育訓練課程：統包商所提供的教育訓練在課程與內容的安排上相對比較完整，從一開始的機組各單元介紹、機組的運轉與保護、保養與維護以及最後的現場實習，讓同仁對新機組的認識更加全面，對於接下來的試運轉工作也能更加迅速的進入狀況。

二、試運轉檢核表(Cross Check)之撰寫

由於超臨界機組對於林口發電廠是一個全新型態的機組，所以在機組建造期間，進行了檢核表的編撰計畫，希望藉由檢核表建立的過程中達成下面的目標^{[1][2]} (如圖 1)：



圖 1 檢核表(Cross Check) 關係圖

(一) 創造共同語言

建立一個讓全廠同仁可了解的語言。

1. 依循共同格式

規劃一致性的檢核表格式，使每份文件均依循固定形式以便於閱讀。

2. 導入工安措施

工安是所有工作最優先考慮的項目，因此每份檢核表都標註工安注意事項，包含工具箱會議、各試運轉工作項目應注意之防護及安全事項等。

3. 彙整訓練教材

將資深員工之技術經驗，以文件化的呈現方式，彙整成訓練教材，使新進人員可以透過訓練課程或自我閱讀方式學習前人經驗，使往後的新進人員可快速傳承前人的技術經驗。

4. 建全圖資收集

藉由初期建立舊機組檢核表的模擬演練，因機組裝置久遠，原有圖資已部分遺失不齊全。因而開始思考未來新機組圖資應如何建立一套完整具有蒐集、管理功能的資料庫系統^{[3][4][5]}，以方便同仁搜尋。

(二) 試運轉前 1 個月完成檢核表

建立檢核表最主要的目的，乃是對試運轉設備，作預先的資料收集與了解，為使試運轉工作順利進行，故設定試運轉前 1 個月將檢核表製作完成。

(三) 技術經驗傳承

檢核表製作與演練編組，採資深與新進同仁混合編組方式，建構一座技術交流之橋梁，藉此提高彼此溝通的效率。

(四) 跨部門溝通協調

另檢核表編組，依各技術功能別，由試運轉設備各相關技術部門混編，用以加強各技術部門間的交流，以利未來跨部門的溝通與協調。

(五) 形成標準作業程序

檢核表文件完成後，可作為日後建立運轉作業標準/程序書(Standard Operation Procedure, SOP) 之參考，並以此為藍圖，編立教育訓練範本。

(六) 圖資文件收集管理

在建立檢核表文件時，首先遇到的問題即是圖資的蒐集，因舊機組建廠時，電腦資訊系統並不普及，故圖資僅以書面方式保存，致多數圖資收集不易，且因時間久遠，造成圖資顯示不清楚、損壞或遺失等問題，進而讓大家更進一步思考對新機組建立圖資系統需求。

檢核表撰寫與演練流程，首先依試運轉項目規劃小組數，並採資深與新進、運轉與維護混合編組模式，各小組推派資深同仁擔任小組長。

初期第一階段以舊機組的既有設備為主題，讓同仁可預先熟悉檢核表的編撰過程(因為同仁對舊機組的流程較熟悉與了解，所以在撰寫上面會比較熟練)。第二階段再以新機組設備為主題，此時可將撰寫舊機組檢核表的概念，套用至新機組上，如此可縮短撰寫時間與提升文件之正確性。

撰寫檢核表時，各小組引用原規劃之格式，確保檢核表文件的一致性，以方便同仁閱讀。於每月召開檢核表進度追蹤會議，追蹤各小組製作進度(試運轉前一個月完成)，並針對各小組所提出的問題，進行討論協調解決。

藉由檢核表文件的撰寫，不但讓全廠同仁對新機組設備預先了解外，更可於現場試運轉時，很快的進入狀況，加速試運轉進度，另該檢核表於日後機組運轉時，亦可迅速轉換成運轉操作標準，達一舉數得之效。

三、新機組文件編譯

廠商所提供之新機組文件，如設備規範書、操作程序書、維護程序書、管路與邏輯圖、測試程序書等原文資料，本廠依其屬性，分發各相關部門進行編譯。惟部分資深同仁對英文文件的閱

讀較不熟練，而新進同仁對於機組設備尚不熟悉，故採由新進同仁翻譯，再將翻譯後文件交予資深同仁審查，相互研討，即可達成文件編譯任務。藉此互補功能，能讓新進同仁學習到新機組的相關知識，資深同仁亦可了解新機組設備，不會因語言問題而對學習卻步，達到相輔相成的效果。

新機組文件編譯完成後，即著手依此資料，規劃的教育訓練課程，讓全廠同仁可以學習新機組的相關知識，而這些翻譯的文件，都將其置於電廠網路平台^[6]，讓同仁可搜尋到自己所需要的資料。

四、成立試運轉辦公室

為建立試運轉期間之流程制度、繁瑣之文件彙整、與統包商及施工單位間溝通協調等，故需成立一個跨部門、獨立的臨時編組來進行上述窗口任務，因此試運轉小組就因應而生，以免發生資訊流通不順與多頭馬車的現象，該小組功能簡述如下：

- (一) 依據試運轉程序書及統包商工程師之指導下參與設備試運轉會試工作。
- (二) 依統包商與施工單位所提試運轉項目，聯繫本廠各會試部門派員會試。
- (三) 管控試運轉連絡單(CCN)流程，確認電子檔及紙本文件之測試內容及測試 (Pre-commissioning) 紀錄是否齊全，以利各會試部門查詢。
- (四) 試運轉缺失項目(OPEN ITEM)及臨時設施開單平台維護，以利各缺失項目之管理、查詢及追蹤。
- (五) 教育訓練目前內容有新機組訓練自辦、統包商及廠辦，提供同仁若無法出席訓練時或複習可以由教育訓練裡獲得最新資訊。
- (六) 彙整陳報新機組裝設期間，各部門轄屬重要設備儲存/安裝情形，以便掌握施工進度，適時準備人力配合測試。
- (七) 設置試運轉紀事資料夾，記錄新機組試運轉期間工作情況、日/週報存檔、每日晨會紀錄等。

- (八) 本廠新機組試運轉正/副主持人臨時交辦與指示事項。

參、E 化資訊管理系統

企業 E 化的最大意義在於妥善利用科技產品及服務來加快企業組織流程的進行，讓企業的工作進行更有效率，並讓員工有更多的時間投注在自身的專業核心工作上^{[7][8][9]}。

企業要能利用各種資訊軟硬體設備，做為組織營運與流程之重要輔助工具，協助企業創造更有效率的工作流程、管理及內部行政作業、教育訓練等，進而有效降低企業組織的營運成本、增加企業組織獲利能力，達到提升企業競爭能力和確保競爭優勢^[10]。

目前林口發電廠正值更新擴建之際，由於試運轉工作內容及流程非常繁雜，須藉由一套完整之 E 化資訊管理系統^{[11][12]}，才能有效執行試運轉計畫。林口發電廠試運轉 E 化資訊管理系統概圖(如圖 2)，包括圖資管理系統、試運轉聯絡單管理系統 (Commissioning Communication Notice Management System, CCNMS)、試運轉改善通知開單系統、工程行事曆、試運轉紀事查詢系統 (Commissioning Logs Query System, CLQS) 等，如下說明。

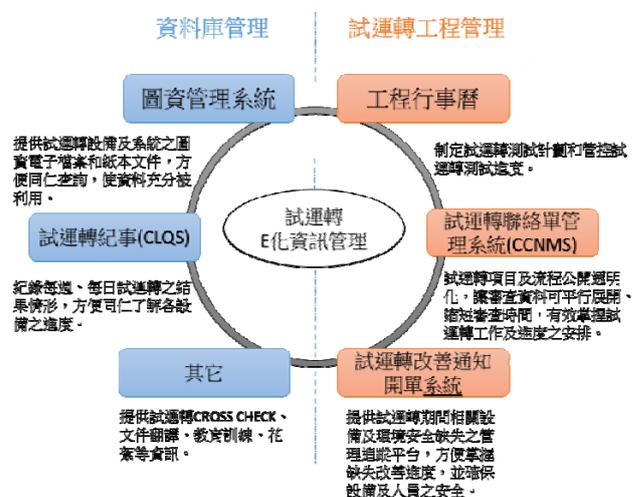


圖 2 試運轉 E 化資訊管理系統概圖

一、圖資管理系統

林口發電廠為有效管理新機組龐大之相關圖資，遂建置一套完善之圖資管理系統(如圖 3)，整合相關應用系統，並強化資料搜尋功能，將資料利用程度最大化。

圖資管理系統主要功能，乃為協助本廠管理更新擴建所需之實體及數位資源，包括設備及系統之電子檔和紙本圖資文件，使電廠同仁方便取得完整之資料，並讓一般作業流程更順暢，其直覺的操作介面，大幅縮短電廠人員尋找資料所需花費的時間，同時也有效提昇作業效率。

本系統之重要功能特色如下：

(一) 具可攜性設計

全系統採 Web 介面管理，具備跨電腦設備可攜性特性，系統可於 WINDOWS 作業系統上執行，而使用者或管理員端則僅需安裝瀏覽器即可使用此系統之所有功能，系統環境容易建立及維護。

(二) 具參數化設計

系統以參數化功能設計，系統管理員可依階段性需求彈性更改系統相關設定，並可隨時更改或擴增功能需求。

(三) 內含檢索引擎

此圖資管理系統具備功能完備且可處理巨量資料之檢索引擎，可依標題關鍵字、機組名稱、供應商、文件類別、圖資編號、傳送編號、傳送日期等文件資訊做為搜尋條件；為提高搜尋的精確度，使用者可組合各項不同的條件加以搜尋，系統可依使用者設定之條件迅速找到所要之數位內容。此外，系統支援中英文查詢，使用者可依其需求進行各方面查詢。

(四) 文件版本之辨識

依查詢條件搜尋到之文件，圖資管理系統中將會列出所有相關版本，使用者可輕易找出最新版本的文件。如有需要，使用者也可於新舊版本間進行差異比對，進一步了解文件修改的歷史紀錄。



圖 3 圖資管理系統

二、試運轉聯絡單管登系統(Commissioning Communication Notice, CCN) (CCNMS)

以往試運轉工作皆僅以紙本傳送簽核，造成流程掌控不易，審查時間受限，無法於預定測試時間前完成，嚴重影響試運轉進度。本廠為求改善，遂以資料庫形式開發試運轉聯絡單管登系統，除可將試運轉聯絡單流程透明化外，亦可於統包商發行 CCN 時，一併將該資料以紙本及電子檔形式同時送出，讓工程處及本廠會試部門，能第一時間於該平台下載資料預先審閱，不但可縮短審查時間，並且方便全廠同仁掌握試運轉工作，以便安排人力配合測試。

本系統自統包商提送 CCN 至設備試運轉結束，期間共設置 12 個檢核點，包含「CCN 管登流程圖」、「CCN 清單查詢」、「CCN 詳細內容」、「會試指派」等，使同仁能隨時查詢，以便了解與掌握每項設備試運轉之進度。試運轉聯絡單管登系統資料流程(如圖 4)。

三、試運轉改善通知單系統(Open Item System)

機組於設備試運轉期間，所發現之缺失待改善事項，以往皆以開立紙本試運轉改善通知單(Open Item)，送請統包商改善。但參考友廠試運轉統計資料，發現改善通知單之數量過於龐大，故本廠乃以資料庫形式開發試運轉改善通知單管登系統。試運轉改善通知單管登系統資料流程(如圖 5)。

在處理試運轉改善通知單的過程中，由於改善缺失單之數量過於龐大；以及為了即時維護工地人員的安全，所以對於影響維安因素的試運轉改善通知單之優先處理是很重要且迫切的！有鑑於此，故在執行處理的順序上就有優先與次要的分別。試運轉改善通知單之處理類別主要區分為 Class1 與 Class2。其中 Class1 歸類為一般改善事項，Class2 歸類為影響運轉安全及標準改善事項，此部分之缺失對現場安全恐會有立即性的影響，故應列為第一優先處理與改善之事項。

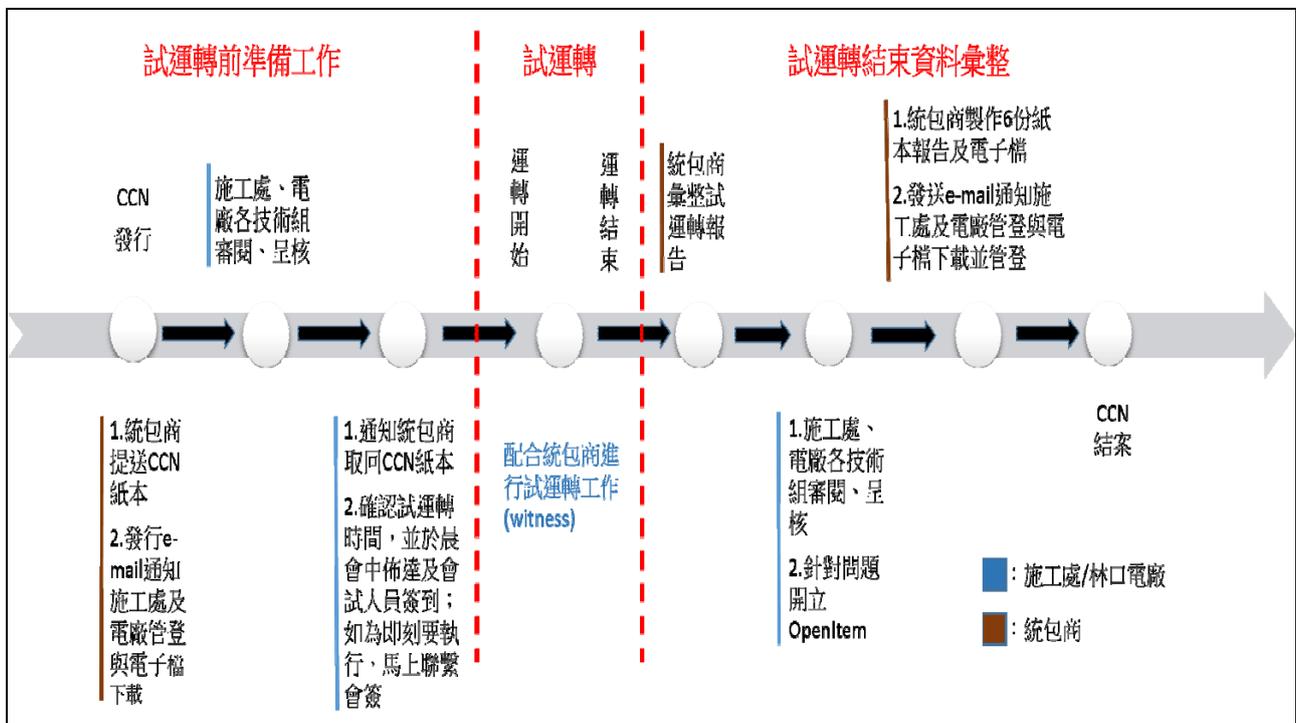


圖 4 試運轉聯絡單管登系統(Open Item System)資料流程



圖 5 試運轉改善通知單管登系統(CCNMS)資料流程

四、試運轉工程行事曆

近年來，市場的快速變遷與激烈的競爭、社會價值觀與商業行為模式的急遽改變、國際化及自由化腳步的加快，以及人與人之間的互動頻繁，使政府部門及公民營企業都必須面對突如其來的嚴峻挑戰。特殊個案如採用常規的運作管理是難以應付的，尤其需要在有限人力下有效處理一些非例行性、非永久性，且有預算限制及執行時程壓力的特殊專案時，都需要組成專門團隊，建立良好的管理制度加以管控時程。為了避免市場上電力短缺及區域供電不平衡，林口發電廠更新擴建計畫更是面臨龐大的時程壓力，因此必須建立一套良好的管控機制，以便確實掌握試運轉進度，工程行事曆資料流程(如圖 6)、工程行事曆系統網頁(如圖 7)。

試運轉測試進度管理的內含包含以下兩大部分：

(一) 制定試運轉測試計畫

在試運轉測試執行之前，必須先制定出一個可行且合理的測試計畫，而後按計畫逐步實施。為確保計畫的可行性和合理性，在制定計畫前，相關人員必須收集真實、可信的資料，以作為制定計畫的依據。這些資料包括測試條件、測試人員數量和技術水準等等。然而制定出一個可行、合理的測試計畫，並不等於測試進度的管理不會出現問題，於測試執行的過程中，由於外部環境和條件的變化，往往會造成實

際進度與計畫進度發生偏差，如不能及時發現這些偏差並加以糾正，試運轉測試的最終目標就一定會受到影響。所以，制定試運轉計畫後還必需加以管控。

(二) 管控試運轉測試進度

管理方法是以測試計畫為依據，於執行測試的過程中對實際情況不斷進行追蹤，收集所有相關資訊，比較和分析實際進度與計畫進度的偏差，而後進行小組討論並設法找出偏差產生的原因和解決辦法，決定修正措施後對原進度計畫進行修改，隨後繼續檢查、分析、修正；再檢查、分析、修正……直至試運轉測試於規劃時間內順利達成。

本廠為了達成上述試運轉測試進度管理的兩大目標，於是建立試運轉工程行事曆，以便管控試運轉測試進度。

試運轉工程行事曆的特色為將測試計畫以行事曆的方式呈現於 E 化平台，測試計畫的內容包括每日實際執行之試運轉測試項目、試運轉測試之月計畫表及統包商的自主檢查測試計畫等。

統包商每日依據實際測試情形修改計畫，並通知試運轉小組成員即時修改試運轉工程行事曆之內容。本廠同仁只需上網查看試運轉工程行事曆，即可清楚了解每日試運轉實際測試進度和當月預排之試運轉測試項目。



圖 6 工程行事曆資料流程

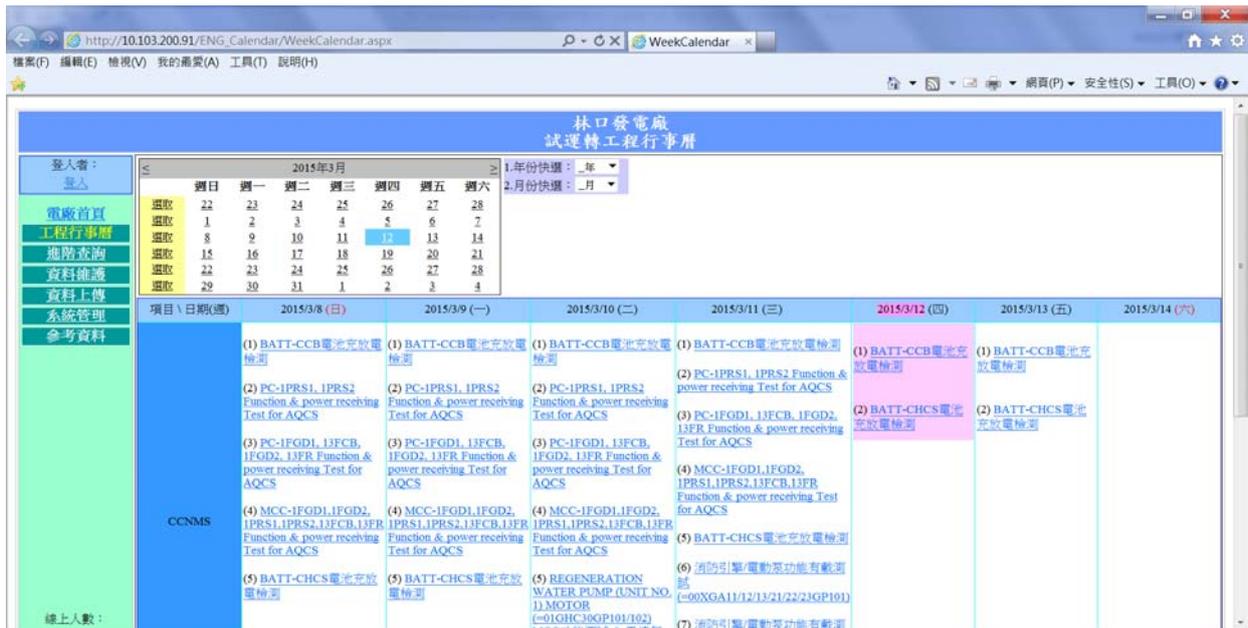


圖 7 工程行事曆系統網頁

本系統之重要功能特色如下

(一) 以行事曆的方式呈現試運轉測試計畫

每日執行之試運轉測試項目、試運轉測試之月計畫表及統包商的自主檢查測試計畫等，均由統包商編排並每日更新其內容；統包商必須制定合理的測試計劃並隨時比較和分析實際進度與計畫進度的偏差，找出偏差產生的原因和解決辦法。試運轉小組成員依據統包商制定之計劃追蹤其相關進度，若有差異，須立即和統包商討論解決方案和補救措施，以確保試運轉測試項目能於預定時間內完成。

(二) 內含檢索引擎

使用者可依測試工作類別、測試地點、測試現場負責人、測試開始日期、測試結束日期、

傳傳送日期等相關條件搜尋；為提高搜尋的精確度，使用者亦可組合各項不同的條件加以搜尋，系統可依使用者設定之條件迅速找到所需之試運轉測試相關資訊。

五、試運轉紀事查詢系統(Commissioning Logs Query System, CLQS)

試運轉記事為試運轉小組紀錄工作日誌的資料管理系統，共分晨會紀錄、工作日報、工作週報與其他記事四個子系統，而這四個子系統交織出相當豐富的各项工作資訊，以便隨時查詢，CLQS 網頁概要(如圖 8)、CLQS 管登流程(如圖 9)、CLQS 網頁(如圖 10)。以下將對這四個子系統的內容作詳細解說。

(一) 晨會紀錄

由試運轉小組紀錄每天晨會的討論及會議決議事項，並附上試運轉日報表、統包商試運轉日程表等。晨會目的在於分配當日的工作事項、針對試運轉工作碰到的各項問題進行討論與決議，在試運轉記事

(二) 工作日報

試運轉小組將每日之試運轉結果記錄在工作日報上，記錄了當天試運轉的工作情形與碰到的各項問題，並附於晨會紀錄上。

(三) 工作週報

試運轉小組依據當週的試運轉日報，彙整為試運轉工作週報表。工作週報中簡要紀錄了各試運轉項目與該項目的工作情形與說明、其他會議討論決議事項、查核

工作報告、及試運轉進度統計等。

(四) 其他記事

紀錄試運轉工作期間的各種重要會議，這些會議通常與試運轉前的施工進度、設備的安全維護相關，藉此了解各項工作時程與設備的維護狀態，來解決試運轉前、中、後可能碰到的各種問題，與判斷可能的試運轉進度。

以上四個子系統由最初始的紙本作業開始，惟因管理與使用上的困難，常常為了某個日期或是某個事件，花費大量的時間去尋找所需要的文件，使得行政作業曠日廢時。為了解決這一現象，本廠乃導入 E 化管理系統作業，CLQS 便因此而產成。利用 CLQS 我們可以很容易地找到某一天的記事，於資料的保存與搜尋省下了不少時間，以利往後的運轉維護工作。

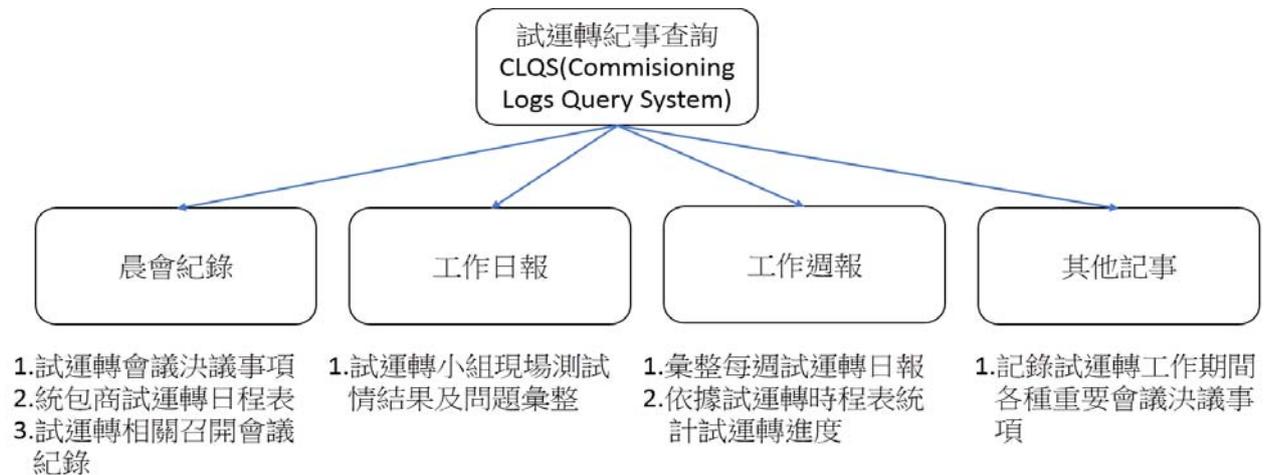


圖 8 CLQS 系統網頁概要



圖 9 CLQS 系統管登流程

日期	機組	CCN編號	CCN Title	簡述說明	登錄部門
2015/3/10	0			CHCS 蓄電池C1組件復初充。	值班B
2015/3/10	0	CCN-1-CC-EEC-BATT-004-R0	蓄電池絕功能測試 FOR CCB	1.CCB B-2絕cable接線中。	值班B
2015/3/10	1	CCN-1-CC-EEC-MCC-018-R0	480V 開關(Power Center PC-1PRS1) FEEDER ACB TO 480V 開關(MOTOR CONTROL CENTER MCC-1PRS1)INCOMING ACB控制功能與加壓檢核測試	PC-1PRS1、1PRS2及MCC-1PRS1、1PRS2 BUS加壓檢核完成。	值班B
2015/3/10	0	CCN-1-CC-EEC-LV-004-R0	LV POWER PANEL 控制功能測試 (ADP/NDP1/NDP2/EDP2 FOR AQCS AREA)	1.9:55~11:10 NDP1、NDP2功能測試。2.14:00~16:00NDP1、NDP2加壓檢核完成。	值班B
2015/3/10	0	CCN-C-CH-ES018-0001-R0	林口更新擴建計畫345kV開關場監控保護及輔助電力設備暨345/161kV開關場電力監控(SCADA)設備工程	1.345KV GIS D5/ES區間SF6壓力低警報測試	值班B
2015/3/10	0	CCN-1-CC-EEC-DW-003-R0	REGENERATION WATER PUMP (UNIT NO. 1) MOTOR SOLO RUN	13:30 MCC功能測試、絕緣量測。14:50~16:17馬達無載測試完成。18:00驗音檢測完成。	值班B
2015/3/9	0	CCN-1-CC-EEC-BATT-004-R0	蓄電池絕功能測試 FOR CCB	16:18開始C1組初充。144V、211.6A。	值班B
2015/3/9	0			B-1組回充完成	值班B
2015/3/9	0			1.16:55 TE13加壓。2.16:56~18:20 林一機廠內用電由MV1/2 POWER CENTER MCC復電完成。	值班B
2015/3/9	0	CCN-C-CH-ES018-0001-R0	林口更新擴建計畫345kV開關場監控保護及輔助電力設備暨345/161kV開關場電力監控(SCADA)設備工程	345KV GIS 各BAY之控制電源、CB SF6 壓力、CB操作壓力、失步、LA等 Alarm測試及LOCK 連鎖功能測試完成。	值班B
2015/3/8	0	CCN-C-CH-ES018-0001-R0	林口更新擴建計畫345kV開關場監控保護及輔助電力設備暨345/161kV開關場電力監控(SCADA)設備工程	345KV GIS 各BAY之控制電源、LA、SF6 壓力、緊急跳脫、失步等Alarm測試及LOCK 連鎖功能測試完成。	值班B

圖 10 CLQS 系統網頁

CLQS 相關文件的查詢方式分為綜合查詢與個別子系統的查詢。綜合查詢依照關鍵字的方式來做文件搜尋作業；而個別子系統的查詢除了依照關鍵字以外還增加了依照日期搜尋的方式，如此可以很輕易的找到該日的所有試運轉報表，方便備查，除節省了尋找紙本記錄所需花費的大量時間，更能夠很迅速地彙整各項資訊；而試運轉小組只需要將各種資料報表，登載進相對應的資料夾，即可輕易地做維護與管理的作業，落實 E 化管理的理念。

肆、運作概述

林口發電廠資訊管理系統的設立目的，在於使本廠試運轉工作能更有效率順利進行。本廠更新擴建計畫採先建後拆方式，機組新建之初，統包商已發行大量圖資送審，由於當時的既有機組仍在運轉中，為使值班人員有更佳的學習環境及效果，於輪值工作期間進行各項自辦訓練。為減輕同仁整理及尋找資料時的工作量，圖資管理系

統就此建立，將新機組的圖資以雲端方式保存，以利搜尋。而後針對試運轉工作，為使全廠同仁都能了解試運轉的各項程序步驟，安排了多個工作小組來進行重要設備的試運轉檢核表表單編寫，小組人員涵蓋運轉值班及維護保養部門，使本廠人員熟悉試運轉流層及各組協作，藉由全員參與實現運轉維護經驗的傳承^[13]。

當一項設備準備進行試運轉工作時，首先統包商會針對該項目開立試運轉連絡單(CCN)，並檢附相關資料如檢核表、測試程序書、測試範圍、設備資料與性能曲線、測試記錄表單、設備檢查紀錄、設備廠試資料等文件。當 CCN 紙本整理完畢，統包商須將其送至北部施工處及林口發電廠審閱陳核，同時將電子檔製作完成送至該公司雲端平台，林口發電廠於收到統包商寄送之 CCN 發行通知後，於 CCNMS 系統上登錄該 CCN 並將檔案下載，當紙本開始進行陳核流程時，林口發電廠的各相關組同仁即可於 CCNMS 系統瀏覽並先行審閱，使 CCN 的陳核流程縮短至 3 天內完成。

當同仁審閱 CCN 時，可同時於 CROSS CHECK 檔案中比對以往製作完成之試運轉表單內容，是否已納入所有應測項目；並可利用圖資管理系統查詢該設備相關之測試程序及 P&I 圖，核對確認統包商製作的試運轉聯絡單附件中的 Boundary 是否相符，測試時的管路是否合理，然後檢視設備資料，針對設備的各項數據與測試表單進行核對，判斷測試時的各項檢測規範是否符合標準，確認該 CCN 具備可執行性後，會電廠各相關部門及正/副主持人簽核完成，即通知統包商可依程序執行測試。

當試運轉項目準備測試時，統包商除發送 CCN 外，也會派員參加每日召開的試運轉晨會，於晨會中討論近期試運轉工作執行情形，使各與會單位溝通協調解決待突破的項目，每日的試運轉晨會皆會製作晨會紀錄，並於陳核後存查，存查時資料製作為電子檔案登載於試運轉紀事 (CLQS) 系統中。

設備試運轉當日，會先在設備測試現場集合所有會試人員作工作前確認，首先參與會試人員與統包商試俾人員確認今日的工作程序及範圍，若對其說明有疑問則請統包商釋疑，而後由林口發電廠的試運轉小組現場負責人對參與會試人員進行工具箱會議 (Tool Box Meeting, TBM)，使參與會試人員了解本次設備試運轉需特別注意之處，以及可能發生的危險，工具箱會議完畢後，人員依各自負責範圍分別前往 DCDAS 控制室、電氣室及設備現場進行會試工作。

當試運轉進行中，參與會試人員若發現任何關係到人員、設備安全的缺失，可立即叫停該測試直到確認安全無虞，不影響該設備測試結果的缺失，可當場改善的請其立即改正，其餘則由會試人員記錄下來，匯總交由試運轉辦公室人員，視該缺失程度開立(林口發電廠新機組依合約設有 5 種缺失等級，分別為一般改善事項、運轉及安全標準、保固改善事項、保證改善事項、其他改善事項) OPEN ITEM，開單時除將狀況詳細登

載於林口發電廠的 OPEN ITEM 系統外，當表單紙本開立後，會先於林口發電廠進行簽核後，再送至北部施工處以開立 SCN(Site Communication Notice)單，以維後續追蹤之用。

參與試運轉工作的人員於當日試運轉工作結束後，會將該日參與試運轉的重點細節，記錄於試運轉工作日報表中，並於陳核後掃描上傳至 CLQS 的試運轉日報中保存，往後進行設備運轉維護工作時，可以該設備試運轉之 CCN 編號查知其測試日期及測試狀況，作為往後運轉維護的參考。

當試運轉工作執行一段時間後，針對執行進度落後的部分，會要求其製作 PUNCH LIST 供建造及試俾人員查對，並藉由時程表的檢討及調整，使工序合理，以縮短試運轉時程，同時，每隔一段時間會對試運轉時程表作一次階段性的審視，調查即將試運轉的項目是否有施作進度落後情形，並將調查結果行文北部施工處，作為督工查驗的參考。

伍、未來展望

目前林口發電廠的試運轉工作大抵穩定，藉由完善的試運轉準備，各單位同仁在試運轉工作前皆能透過教育訓練，再輔以豐富的運轉手冊等參考資料，充實電廠機組的相關知識。目前已將部份討論議題寫成專題報告並投稿至台電工程月刊 1 篇與發電通訊 19 篇。因此，我們能夠源源不斷的補充適合的人力至試運轉小組，再分配於各項試運轉工作上。這些試運轉小組的工作，對林口發電廠機組往後運轉的安全與維護上，起了非常大的功用。

隨著新林一機的各项試運轉工作進行如火如荼，工作期間產生了大量的文件報表。為了完善的處理與保存這些文件報表，試運轉辦公室對各項報表的管理做了完善規劃，使得各項工作有條不紊、逐漸步上軌道；新導入的 E 化管理系統，藉由電腦作業的便利性，我們隨時可以利用 E 化

管理系統，迅速、正確的找到所需要的資訊，使得試運轉工作能夠更順利的進行，而機組商轉之後的運轉與維護，利用此管理系統，對林口發電廠的同仁更是有莫大幫助。

將來新林一機投入商轉以後，值班單位將會進駐值班室，使得往後新林二機、新林三機的試運轉工作的人力資源更為吃緊；此外，值班單位的資深同仁在新機組建造期間將會陸續退休，在機組運轉上的豐富經驗也將隨之消逝。所以未來林口發電廠將面臨到人力斷層：新進人員需要經過數年的訓練方能對機組運轉上手，而屆齡的資深人員在更短的時間內退休。所以林口發電廠規劃了這次的試運轉準備及 E 化管理，精確地掌握各項試運轉工作的各種資訊，確保機組在商轉之後的穩定性，在往後的維修工作更能對機組的耗損狀態作出適合的診斷與維護；E 化管理系統所擁有的龐大資源，除了支持往後的運轉與維護工作，新進人員更能在短時間內對林口發電廠的機組系統有深入的了解，解決人力資源不足與經驗傳承的問題。所以往後試運轉人力越來越貧乏之時，在試運轉工作上還能夠維持相當水平以上的工作效率，這是這次進行試運轉準備及 E 化管理此議題所要達成的重要目的。

陸、結論

電廠於建廠階段試運轉工作非常繁雜，而此次林口發電廠更新改建計畫更以先建後拆的方式來進行，使得電廠的工作更為繁重，因此除了林口發電廠人員需要了解新機組各項設備知識及試運轉工作外，需要一套系統來管理試運轉工作及資料，這也是 E 化管理資訊系統逐漸建構的緣由。

在試運轉管理的過程中，要落實規劃、實踐、檢核等工作，即是由美國學者愛德華茲·戴明提出的品質管理循環：(Plan-Do-Check-Action, PDCA)。也就是對於管理工品質作上有計畫、執行、查核、行動的循環^{[4][15]}，應用於目前新機組

試運轉的工作上，以及在往後的運轉維護工作執行上，也可以延伸應用。

目前除了在試運轉流程上有系統化流程控管，在整個執行上因有試運轉辦公室的成立，有了一個單位來處理文件、試運轉情形追蹤與回報以及各項交辦事項的執行(如:清查及統計新機組建造情形、各項會議回報與追蹤、安排會議處理各項試運轉問題等)，逐漸落實 PDCA 的品質管理循環，將使得新機組的設備品質有所助益，試運轉的對內及對外的溝通建立起良好對話的橋樑；並且於每日的試運轉晨會中，試運轉辦公室彙整試運轉小組的工作情形，統包彙報各項試運轉日程及相關情形，更使得上級主管可確實了解現場試運轉情形，並試運轉辦公室彙整出晨會紀錄、每日工作之日報表、試運轉日程表等相關資訊，回報發電處且公布電廠首頁上，使得全場同仁皆可掌握試運轉進度及相關試運轉情形。

未來新機組試運轉完成，將轉交給電廠運轉維護，即是一個新電廠營運的開端，PDCA 的管理循環也可運用於未來電廠的運轉維護工作上，目前運作 PDCA 之方式，成為未來管理的基礎範本，也可以透過不斷的實踐修正的步驟，強化各項管理方式，未來應用於運轉維護之 PDCA 的循環也會更加得心應手。

柒、參考文獻

- [1] 呂文勝，「目標管理於中小企業之探討-以育華興業公司為例」，碩士論文，國立中山大學高階經營碩士班(EMBA)，2003 年。
- [2] 黃憲仁，如何推動目標管理，台北市，憲業出版社，2008 年 11 月。
- [3] 朝井淳、陳奕苓，SQL 語法範例辭典，一版，台北市，旗標出版股份有限公司，2007 年 02 月。
- [4] 陳祥輝，資料庫系統設計與實務：SQL Server 2012，二版，新北市，博碩，2013 年 4 月。
- [5] Aspin, Adam, SQL Server 2012 Data Integration Recipes, 2nd ed., New York, Springer-Verlag

- New York Inc, 2012。
- [6] Netask EIP - 辦公室 OA 管理系統網站，2010 年 5 月，<http://eip.netask.com.tw/>.
- [7] M.J. Skibniewski, and P. Nitithamyong, Web-based construction project management systems: practical advantages and disadvantages, Invited Keynote Paper, *Proceedings of 4th International Conference on Construction Project Management: Remarking Construction in the Knowledge-Based Economy*, Nanyang Technological University, Singapore, 4-5 March, 2004.
- [8] 徐宏文、吳銜容，「以網際網路為基底的多重設計專案管理審議」，設計與管理學術研討會，銘傳大學，2000 年，第 147-154 頁。
- [9] Project Management Institute Standards Committee, A Guide to the Project Management Body of Knowledge, U.S.A.: Project Management Institute, PMBOK Guide 2008 Edition, 2008.
- [10] Liker, Jeffrey K., and Franz, James K., The Toyota Way to Continuous Improvement: Linking Strategy and Operational Excellence to Achieve Superior Performance, 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 2011.
- [11] 施威銘研究室，新觀念 ASP.NET 網頁程式設計，台北市，旗標出版股份有限公司，2006 年。
- [12] 曹偉恩，「ASP.NET 網頁技術用於橋梁健康監測系統之應用」，碩士論文，中華大學土木與工程資訊學系，2009 年。
- [13] 朱記民等，林口發電廠更新改建機組試運轉經驗傳承及知識管理，台電公司 103 年知識管理標竿學習案例第一優勝案例，2015 年。
- [14] 科技產業資訊室—David，「再論 PDCA 戴明循環」，2013 年 12 月，http://cdnet.stpi.narl.org.tw/techroom/analysis/2013/pat_13_A062.htm.
- [15] 黃宗楠，「一個跨國營運專案實證管理研究：自起始、研究發展至產品化階段，以一種海運通訊專案為例」，碩士論文，國立成功大學高階管理碩士在職專班，2009 年 8 月。

台電工程月刊 819 期專輯徵稿啟事

- 本刊預定於 105 年 11 月發行以「需求面負載管理創新做法」為主題之專輯與讀者分享，歡迎有相關論著者踴躍投稿（截稿日為 105 年 8 月 15 日），每篇以 2 萬字（含圖、表）為原則。
- 稿件之撰寫格式、投稿方式及稿酬等悉依本刊原訂標準。
- 投稿相關事宜，若有任何疑問，請與我們聯絡，謝謝您！

☎ (02)2360-1095

✉ u117212@taipower.com.tw



先進 161 kV 輸電網路多功能自動故障定位系統

Advanced Multifunctional and Automatic Fault Locating System of
161 kV Transmission Network

劉志文* Liu, Chin-Wen	黃敏瑞* Huang, Min-Jui	楊俊哲** Yang, Jun-Zhe
俞齊山*** Yu, Chi-Shan	林子喬**** Lin, Tzu-Chiao	林沛吟* Lin, Pei-Yin
謝忠翰***** Hsieh, Chun-Han	葉香君* Yeh, Hsiang-Chun	廖清榮***** Liao, Ching-Jung
		蒲冠志***** Pu, Guan-Chih

(102~104 年度研究計畫論文)

摘 要

台電公司 161 kV 系統輸電線路保護電驛於 96 年底完成更換為電子式電驛，然而，161 kV 輸電線路數位保護電驛內建之故障點定位功能，只對於 161 kV 兩端單一線徑之輸電線故障時，可較準確測得故障距離。對於 161 kV 輸電線路諸多為地下電纜與架空線路混合、多種架空（電纜）線徑所組成之線路或三端子線路架構等，受到故障電流 in-feed 效應之影響，數位保護電驛在事故時並無法由內建的演算法準確得出故障距離，導致循線人員維修之困難，且相關人員也不能及時獲得故障位置之詳細資料。

為此本研究計畫進行研究與突破，以新的演算方式並結合台電公司的內部網路，開發一套具備視窗化及網路化之 161 kV 輸電網路多功能自動故障定位系統，可提供台電公司員工針對故障之地區於線上輸入資料、下載及修改等功能，以方便即時且快速地定位出事地點及顯示附近地形地物於 Google Map 上，並提供 GPS 導航功能，方便循線人員判別最佳前往路徑，達到大幅提昇 161 kV 輸電網路供電可靠度的目標。

Abstract

Taipower Company has completed the installation of digital relays on all of the buses of 161 kV transmission lines by the end of 2007. The embedded fault locating function of the installed digital relays, however, can be upgraded so as to decrease the equipment repair time for the crew and shorten power service restoration time.

Based on a new proposed fault location algorithm and the Taipower intranet technique, this project is intended to develop an advanced window- and web-based multifunctional fault locating system for 161 kV transmission lines. The developed system can provide the users with the function of acquiring and modifying the real-time power information in a convenient

*台灣大學電機工程學系暨綠色電能研究中心

**義守大學

***台北教育大學

****國家中山科學研究院

*****台灣電力公司綜合研究所

way by the websites, locating the fault easily and quickly, and thereby reaches the goal of enhancing the power reliability and security of the Taipower 161 kV transmission system.

關鍵詞(Key Words)：台電 161 kV 複合線徑輸電線路 (The Taipower 161 kV Nonhomogeneous Transmission Lines)、多功能故障定位系統(Multifunctional Fault Location System)、網路化平台(Web-base Platform)、地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)、行動裝置應用程式(Application Program, APP)。

壹、前言

台電公司 161 kV 系統輸電線路保護電驛已全面更換為電子式保護電驛，達到全面數位化之目標，且數位保護電驛均內建故障點定位之功能，如可正確測得故障距離，將可縮短維護人員巡查 161 kV 輸電線路之故障位置與復電時間。

為此本研究計畫將透過新的演算方式，配合台電公司內部網路，開發一套具視窗化及網路化之 161 kV 輸電網路多功能故障定位系統，可提供台電公司人員線上資料輸入、下載、修改及透過 APP 推播¹故障地點在 Google Map 上之功能，方便即時、快速定位以供維修人員維修，大幅提昇 161 kV 輸電網路之供電可靠度。

貳、研究方法

特高壓線路是電力傳輸的命脈，所以輸電線路的故障定位研究一直是一個重要且受重視的課題。而故障定位的準確性及幫助巡修人員快速尋找事故地點的便利性兩者都將會影響故障排除與復電時間，並進一步會涉及整體電力系統的供電可靠度及系統穩定度。尤其針對多端線路及複合線徑線路的複雜性，一般的故障定位無法應付此一問題。隨著電腦科技的進步，已經有很多的數位故障定位演算法被提出^[1-19]。但是其中大

多只有探討單一未分支線路的故障定位，一部份提到三端的線路的故障定位法^[11]。對於三端線路以上的故障定位更是少數^[17-18]。

在國外方面，電力系統故障定位技術研發一直是各電力公司、各大學及研究機構所重視之研究課題。但研究成果大半是學理上探討或國外電力系統特性分析，甚少針對台電系統進行研究分析。然而由國外文獻所彙整的故障定位分析方法^[1-9]，卻有助於本計畫之執行。

而在國內方面，台電公司及學術界皆投入相當大的成本及技術在電力系統故障定位技術研發上。其中在台電方面，綜研所及供電處對於數位電驛之故障定位誤差修正模型建立有深入的探討^[6]；而在學術界方面，比較大規模之相關研究計畫為本研究團隊之國科會多年期專題計畫「應用同步相量於多端輸電線故障定位研究」。該計畫提出一使用同步量測訊號適用於多端線路的故障定位法則^[17]，該法則計算簡單無需複雜的疊代，模擬的結果顯示有可靠的準確度，不受故障型式、故障電阻和故障位置等影響。此外，本研究團隊所研發之相關技術包含複合輸電線路故障定位演算法^[18-19]、非同步相量校正演算法^[20]、161 kV 輸電線故障定位平台技術^[21-22]，以及 MySQL 資料庫實作經驗等皆有助於本計畫之執行。

參、電驛事故資料與 GIS 系統與本計畫之結合應用

由於完成本計畫之 161 kV 故障定位系統需

¹ 推播(Push)，意指將使用者所需資訊透過企業或網際網路(Intranet or Internet)主動傳送、通知並顯示於個人電腦、工作站，以及智慧型行動裝置的一種網路簡訊技術名稱。

要透過網路蒐集事故紀錄檔以及傳送分析結果，將故障定位系統架設於一台獨立的主機上將失去其實用的價值，因此本計畫的規劃如圖 1 所示，採用雲端運算的方式完成。雲端運算的兩個主要關鍵技術是『網路性能』以及『虛擬化』技術，利用高速的網路互連，使資源得以集中，藉由資源的集中分配減少了資源的浪費與閒置，進而減少硬體的投资並增加系統的可用性；而利用虛擬化技術使資源可以依需求分配使用，為使用者提供所需的計算能力、儲存能力及應用服務能力。本章將架設 161 kV 故障定位功能於雲端系統，雲端系統內將虛擬出資料庫、網頁及演算/功能伺服器來完成本計畫之先進型 161 kV 故障定位系統。

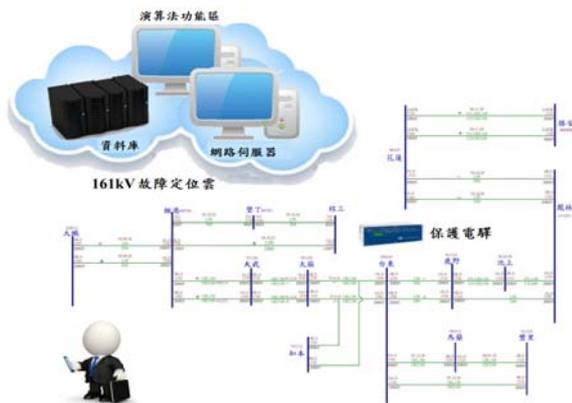


圖 1 161 kV 故障定位系統之雲端運算架構概念

台電所提供之 161 kV 線路參數、傳輸線座標位置資料以及電驛的事故紀錄檔將被存放於資料庫中，電驛的事故紀錄檔將可以由操作人員經由網頁上傳至資料庫中，或是將來情況允許，電驛的事故紀錄檔將可以由電驛直接上傳至資料庫。一旦資料庫的資料有更新，系統將利用推播方式來啟動複合線徑故障定位演算法進行故障位置的計算，計算完成的結果也會回存於資料庫中，並進一步將事故計算結果傳送至相關人員的智慧型手機上，而使用者可以進一步藉由其方便的上網裝置(手機、平板、電腦或筆電)上網觀看經由視覺化技術如圖 2 所呈現的故障位置。



圖 2 故障定位視覺化技術概念

肆、161 kV 輸電網路故障定位平台說明

161 kV 輸電網故障定位平台基本架構如圖 3 所示，主要由四個部分構成，分別為雲端資料庫、雲端伺服器、資料輸入端及行動裝置端，個別說明如下：



圖 3 161 kV 輸電故障定位平台基本架構

一、雲端資料庫

我們使用 MySQL 建立雲端資料庫，如圖 4，我們一共建立了四個資料表在雲端資料庫，分別為 161 kV 線路參數資料表、161 kV 輸電線鐵塔及人孔位置資料表、161 kV 輸電網事故紀錄表及使用者資料表。161 kV 線路參數資料表和 161 kV 輸電線鐵塔及人孔位置資料表主要是依據台電提供的資料建立，至於 161 kV 輸電網事故紀錄

表則是依照資料輸入端所輸入的事故建立，此外，為了避免重要資料外洩及有效管制使用者，對於每個欲讀取資料庫的使用者，我們設計了使用者資料表進行管控，使用者資料表內記載了使用者名單及密碼，以作為登入者的查驗使用。

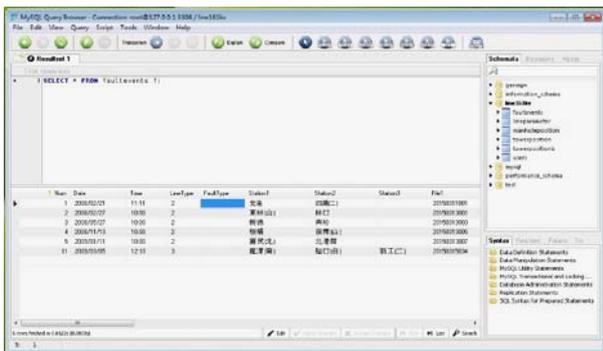


圖 4 MySQL 資料庫

二、雲端伺服器

操作畫面如圖 5 所示，為了提高安全等級，避免使用者可以直接存取資料庫，我們建立雲端伺服器作為資料存取的代理者，因此，使用者輸入或欲讀取的資料會經過雲端伺服器的篩選及過濾，確保使用者的存取範圍，此外進行計算故障定位的演算法^[18-20]及推播故障訊息的功能^[23]也內建於雲端伺服器內，如此一來，可以避免不必要的資料傳給使用者，若是演算法的版本更新或是推播訊息的控制均可以由雲端伺服器的超級使用者(Super User)進行，也完全不會影響到使用者。



圖 5 雲端伺服器

三、資料輸入端

主要進行事故資料的輸入及以 Google Map 顯示事故位置，本身沒有內建任何輸電網相關資料及相關演算法，上傳的資料會經過雲端伺服器檢驗，所需的資料也是雲端伺服器整理過後所提供。以主要功能故障定位為例，因為故障定位的計算是在雲端伺服器完成，因此使用者完全不需要(也得不到)線路參數相關資料。圖 6 為資料輸入端的登入畫面，一開始會先確認與雲端伺服器的連接狀況，若是連結失敗，將無法進行任何動作。一旦連結完成，使用者將可輸入帳號及密碼進行身分驗證，進入功能畫面，使用者可以根據事故選擇雙端或三端故障定位，並選擇端點名稱(如圖 7 所示)，端點名稱也是由雲端伺服器提供，此定位平台不內建，因此，只要資料庫的相關資料更新，此定位平台就透過雲端伺服器取的最新資料，無須進程式更新。事故資料輸入內容包括發生日期及時間，此外使用者也必須提供相對應的事故波形記錄檔(csv 檔)以及其取樣頻率。完成上述資料後即可上傳，上傳的檔案將被雲端伺服器重新命名，以確認沒有重複檔名的狀況，若是資料檢查無誤，輸入的事故將可以在事故列表中被看見，如圖 8 所示。在此畫面中，我們允許使用者更改註解，因為事故的狀態可能由維修中變成處理完畢，因此我們留給使用者自行修改，其它功能為要求雲端伺服器進行故障定位的計算，以及將事故訊息進行推播。若是故障定位的計算完成，使用者可以點選該事故以 Google Map 呈現^[24]，如圖 9 所示，藉由 Google Map 顯示事故位置，方便使用者立即知道故障點所在，配合相關地理圖資以方便維護人員快速抵達現場。

四、行動裝置端

為方便維護人員可以隨時取得事故訊息及進行導航，我們設計以推播方式讓行動裝置端(手機、平板)可以接收到事故地點及相關訊息，下一節中將有詳細說明。

伍、行動裝置應用程式開發

考量測試的便利性，以及方便未來台電對於可攜式應用程式(APP)散佈的掌控，我們將 APP 的平台限定在安卓(Android)作業系統。

本計畫規劃在台電發生故障事故時，伺服器會主動執行推播動作以啟動 APP 程式，APP 程式在接受推播後，會顯示故障資訊、故障地點與導航資訊以方便台電工程師前往事故地點進行處理。除此之外，電力工程師在平時也可利用 APP 檢視歷史事故資料。為了完成以上的服務，本計畫規劃的開發項目包含以下：

- 一、推播伺服器的設計
- 二、資料庫 PHP 程式設計
- 三、Android APP 程式設計

目前 Google 提供新一代的 GCM (Google Cloud Messaging)服務，以方便 Android 開發推播相關的功能。開發者只要在推播伺服器上建立資料庫以記錄手機的註冊識別碼(Registered ID, RegId)，即可建立推播服務。為了方便開發，本計畫採用廣為大眾選用的 Parse® 公司第三方開發環境^[23]，在 Parse® 中已經整合了推播伺服器以及 RegId 資料庫的開發，因此我們僅需在 Parse® 上註冊，即可進行單月一百萬次的免費推播。

本計畫開發的 APP 分為三頁，分別是圖 10 的歷史資料頁、圖 11 的當前事故頁以及圖 12 的導航頁。其中為了配合平板電腦大多採用橫式(Landscape)導覽，第三頁我們採用彈出式頁面設計。當輸電線發生故障事故時，伺服器端會執行 PHP 程式以啟動 Parse® 的推播功能，以提醒 APP 端有事故發生。PHP 程式同時也會發送 JSON 格式的故障資料，以便讓 APP 顯示故障資料。故障資料包含故障位置經緯度、輸電線資料、故障型態，以及變電站資料等等…。當台電工程師點選推播提醒，APP 程式會自動進入圖 11 的第二頁以方便檢視當前發生的故障資料，本頁故障資料包含地圖以及故障資料。在地圖之中，APP 會顯示輸電線、鐵塔、變電站以及故障位置。



圖 6 資料登入端輸入畫面



圖 7 事故資料輸入畫面

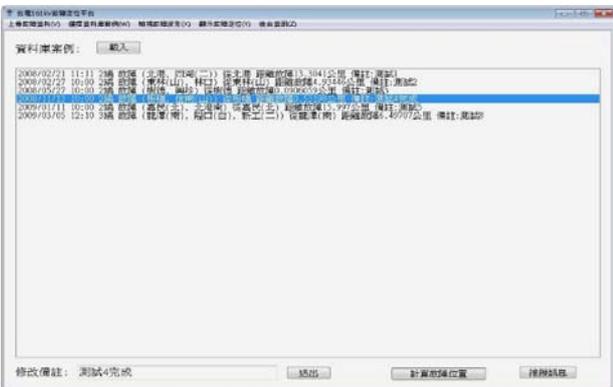


圖 8 事故資料列表

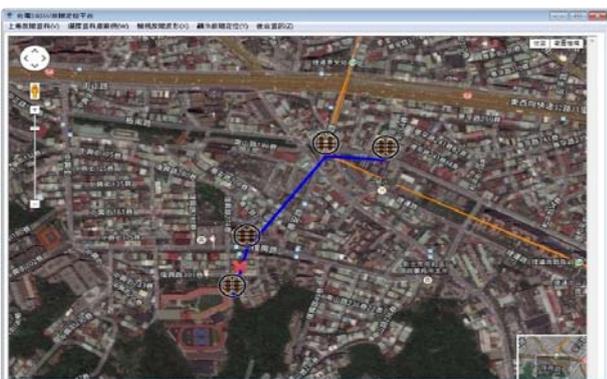


圖 9 顯示事故於 Google Map

當點擊故障位置標示，APP 會進入圖 12 導覽頁，此頁會顯示如何前往故障地點的導航資訊。在平時，電力工程師點選 APP 程式則會進入圖 10 的歷史資料，以導覽之前發生過的故障事件。

除了手機版本之外，本計畫所開發的 APP

針對以橫式導覽的平板電腦，也開發了如圖 13 的不同頁面配置。在橫式導覽時，我們將原本圖 10 與圖 11 的內容同時顯示在同一個頁面，以充分利用頁面空間。當點擊故障地點時，程式將會彈出圖 14 的導航頁面，以方便工程師前往故障地點。



圖 10 歷史事故頁面



圖 11 當前事故頁面



圖 12 導航頁面



圖 13 歷史資料與當前事故橫式顯示頁面



圖 14 橫式導航頁面

陸、結論與建議

一、結論

台電公司的 161 kV 輸電網路系統日益複雜與龐大，且由於含有大量的複合線路以及三端子系統，其故障定位的問題更為複雜。而當輸電線

路一旦發生故障時，需要快速且正確地測得故障距離，以縮短電力工程師巡查輸電線路的事務地點與復電時間。

本文依此為研究方向，完成了利用台電 161 kV 輸電線已架設的數位電驛原始波形資料，並搭配台電公司的內部網路，開發一套以新故障定位演算方式^[18-20]為基礎之視窗化、網路化，以及行動裝置化的 161 kV 輸電網路多功能自動故障

定位系統，其可提供台電公司人員進行遠端資料輸入及修改等功能，並經由雲端技術即時、快速、準確地進行事故地點定位，同時連結 Google 公司的地理資訊系統(GIS)^[24]，使得故障位置可以透過網頁以及可攜式故障定位應用程式(App)以視覺化地理圖資的方式直接呈現於個人電腦及智慧型行動裝置中。

以上成果能夠幫助電力工程師以更方便、更簡易、更直觀的方式完成故障定位、現場巡修與線路維護等工作，進而大幅縮短故障排除時間及增加台電系統的供電可靠度。

二、建議：

本研究團隊對於本計畫有以下建議：

- (一) 若將來可適當開放資安權限或提供整合介面，本平台可進一步結合至台電公司現有的輸電設備維護管理系統，將所計算的故障位置以網頁方式顯示於該系統之 GIS 平台。
- (二) 本計畫所開發的雲端平台技術除了可執行 161 kV 複合輸電線路的故障定位功能外，未來只要再依照 345 kV 及 69 kV 輸電線路的拓撲結構(Topology)進行功能修改，即可適用於該電壓等級輸電網路的故障定位，因此可依實際需求進一步整合所有電壓等級的輸電系統於本雲端平台。
- (三) 由於 161 kV 輸電線路各變電站與搭接點名稱的格式定義不一致，導致執行故障定位程式以及將事故線路顯示於電子地圖上的困難。目前本計畫之平台只能依據實測案例將站名依照六大供電區處分別列表，建議將來可以統一站名格式，以利線路參數資料庫的維護及故障定位程式的執行。
- (四) 建議本計畫之平台可與 Elipse E3 軟體進行結合。先由 Elipse E3 完成各廠牌電驛事故資料的遠端擷取後，再透過本平台功能將電驛的故障紀錄檔直接上傳至雲端資料庫並自動啟動故障定位與地圖標示等相關功能，達到自動化收送電驛的 Comtrade File 為匯入

資料之目的。

柒、誌謝

本計畫的執行承蒙台電公司各單位長官的鼎力相助，才得以獲得豐碩的果實。特別感謝綜研所謝忠翰先生的資料提供與全心投入，也感謝楊副所長金石、鍾彰榮專工、陳順斌主管、許家榮、黃彥閔先生，以及眾多熱心的台電同仁們，有了你們的寶貴意見與指教，使本計畫得以在最短時間內圓滿成功。相信有你們的熱忱與參與，本計畫的研究成果於將來實際運作之後必定能更加地穩健與茁壯，為台灣的電力盡一份心力。

捌、參考文獻

- [1] D. Novosel, D. G. Hart, E. Udren, and M. M. Saha, "Fault Location Using Digital Relay Data," *IEEE Comput. Appl. Power*, vol. 8, no. 3, pp. 45-50, Jul. 1995.
- [2] L. Eriksson, M. M. Saha, and G. D. Rockefeller, "An Accurate Fault Locator with Compensation for Apparent Reactance in the Fault Resistance Resulting from Remote-End Infeed," *IEEE Trans. Power App. Syst.*, vol. PAS-104, no. 2, pp. 424-436, Feb. 1985.
- [3] A. O. Ibe and B. J. Cory, "A Traveling Wave Based Fault Locator for Two- and Three-Terminal Networks," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 1, no. 2, pp. 283-288, Apr. 1986.
- [4] M. Kezunovic, and B. Perunicic, "An Accurate Fault Location Algorithm Using Synchronized Sampling," *Elect. Power Syst. Res. J.*, vol. 29, no. 3, pp. 161-169, May 1994.
- [5] A. A. Girgis, D. G. Hart, and W. L. Peterson, "A New Fault Location Technique for Two- and Three-Terminal Lines," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 7, no. 1, pp. 98-107, Jul. 1992.
- [6] R. K. Aggarwal, D. V. Doury, A. T. Johns, and A. Kalam, "A Practical Approach to Accurate Fault Location on Extra High Voltage Teed Feeders," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 8, no. 3, pp. 874-

- 883, Jul. 1993.
- [7] D. Novosel, D. G. Hart, E. Udren, and J. Garitty, "Unsynchronized Two-Terminal Fault Location Estimation," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 11, no. 1, pp. 130-138, Jan. 1996.
- [8] Masayuki Abe, Nobuo Otsuzuki, Tokuo Emura, and Masayasu Takeuchi, "Development of a New Fault Location System for Multi-terminal Single Transmission Lines," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 10, no. 1, pp. 159-168, Jan. 1995.
- [9] T. Nagasawa, M. Abe, N. Otsuzuki, T. Emura, Y. Jikihara, and M. Takeuchi, "Development of a New Fault Location Algorithm for Multi-terminal Two Parallel Transmission Lines," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 7, no. 3, pp. 1516-1532, Jul. 1992.
- [10] J. A. Jiang, J. Z. Yang, Y. H. Lin, C. W. Liu, and J. C. Ma, "An Adaptive PMU Based Fault Detection/Location Technique for Transmission Lines, Part I: Theory and Algorithms," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 15, no. 2, pp. 486-493, Apr. 2000.
- [11] C. S. Chen and C. W. Liu, "Fast and Accurate Fault Detection/Location Algorithms for Double-circuit/Three-terminal Lines Using Phasor Measurement Units," *Journal of the Institute of Chinese Engineers*, vol. 26, no. 3, pp. 289-299, 2003.
- [12] J. A. Jiang, C. S. Chen, and C. W. Liu, "A New Protection Scheme for Fault Detection, Direction Discrimination, Classification, and Location in Transmission Lines," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 18, no. 1, pp. 34-42, Jan. 2003.
- [13] C. S. Chen, C. W. Liu, and J. A. Jiang, "A New Adaptive PMU Based Protection Scheme for Transposed/Untransposed Parallel Transmission Lines," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 17, no. 4, pp. 395-404, Apr. 2002.
- [14] C. S. Yu, C. W. Liu, S. L. Yu, and J. A. Jiang, "A New PMU Based Fault Location Algorithm for Series Compensated Lines," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 17, no. 1, pp. 33-46, Jan. 2002.
- [15] Y. H. Lin, C. W. Liu, and C. S. Yu, "A New Fault Locator for Three-terminal Transmission Line—Using Two-terminal Synchronized Voltage and Current Phasors," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 17, no. 2, pp. 452-459, Apr. 2002.
- [16] 許萬寶、劉建勳、范姜茂勝、林正仁,「數位電驛故障指示誤差修正模型之建立」,台電工程月刊,第 669 期,第 70-76 頁,2004 年。
- [17] C. W. Liu, K. P. Lien, C. S. Chen, and J. A. Jiang, "A Universal Fault Location Technique for N-Terminal ($N \geq 3$) Transmission Lines," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 23, no. 3, pp. 1366-1373, Jul. 2008.
- [18] T. C. Lin, P. Y. Lin, and C. W. Liu, "An Algorithm for Locating Faults in Three-terminal Multisection Nonhomogeneous Transmission Lines Using Synchrophasor Measurements," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 5, no. 1, pp. 38-50, Jan. 2014.
- [19] C. W. Liu, T. C. Lin, C. S. Yu, and J. Z. Yang, "A Fault Location Technique for Two-terminal Multisection Compound Transmission Lines Using Synchronized Phasor Measurements," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, no. 1, pp. 113-121, Mar. 2012.
- [20] C. S. Yu, "An Unsynchronized Measurements Correction Method for Two-terminal Fault Location Problems," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 25, no. 3, pp. 1325-1333, Jul. 2010.
- [21] P. Y. Lin, T. C. Lin, and C. W. Liu, "An Intranet-based Transmission Grid Fault Location Platform Using Synchronized IED Data for the Taiwan Power System," *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 2013 IEEE PES*, Washington, DC, 24-27 Feb. 2013, pp. 1-6.
- [22] P. Y. Lin, T. C. Lin, and C. W. Liu, "Development of a Transmission Line Fault Location Platform Using Digital Relay Data," *PES General Meeting, 2012 IEEE*, San Diego, CA, 22-26 Jul. 2012, pp.1-5.
- [23] Parse[®]. [Online]. Available: <https://parse.com/>.
- [24] Google[®] Map. [Online]. Available: <https://maps.google.com.tw/>.

建築資訊模型(BIM)於輸供電系統應用之探討

Study on the Application of Building Information Modeling for
Power Transmission and Supply System

陳狀琦*
Chen, Chuang-Chi

摘要

本文藉由探究 BIM 內涵及特色，並進一步了解國內及本公司推展 BIM 現況，研析本公司導入 BIM 案例，及探討其於輸供電系統全生命週期應用之成效，對 BIM 「整合」價值(橫向整合各專業領域之資訊，縱向串聯工程全生命週期之管理)，實為肯定。

爰建議輸供系統應積極推動 BIM，並將 BIM 技術結合自動監測運用於設施監控、預警及防災，以確保供電品質及安全。同時，對推動 BIM 亦提出值得注意之處，俾供參考。

Abstract

This article reviews the essence and characteristics of Building Information Modeling (BIM), and examines the present status of its utilization in Taiwan and especially at Taipower. By exploring the effect of applying BIM to the transmission and distribution projects of Taipower, it reveals that BIM has positive values in both lateral integration of information among various professions and longitudinal connection with various stages of Life-Cycle Engineering for management.

It is suggested that BIM be further implemented in the Transmission and Distribution system of Taipower, and be incorporated with the application of automatic monitoring, early warning, and disaster prevention measures to assure the quality and safety of power supply.

關鍵詞(Key Words)：建築資訊模型(Building Information Modeling)、工程全生命週期(Life Cycle Engineering)、輸供電系統(Transmission and Distribution System)、自動監測(Automatic Monitoring)。

壹、前言

現今科技日新月異，3D 技術、虛擬實境等技術蓬勃發展，於航空、機械與製造等行業已普遍應用在產品設計、分析與製造上^[1]。而營建產業則至今仍多以 2D 平面視圖來做溝通工具，然擬真程度不足，使各領域協調不佳，常發生許多介面衝突或漏失，造成施工中設計變更不斷，重工浪費，致使工進延宕，影響工程品質^[2]。目前

許多國家都已大力推動 BIM 應用，並制定相關國家標準，以英國為例，要求 2016 年時，所有營建工程須全面推動使用 BIM 技術，甚至訂出 2025 時工程初期建造及全生命週期的成本降低 33%，及工程建造交付速度加快 50%^[3]。國內工程業界亦開始重視 BIM 技術的發展與應用，公部門以台北市捷運局為首，而其他主要大型顧問公司與營造廠，都已積極投入人力、甚至調整組織，進行 BIM 相關技術之部署與研發^[4]。

此時 BIM 技術引進對本公司正是一新契

*台灣電力公司輸供電事業部供電處

機，復鑒於輸供系統擔負維繫民生維生系統正常運作之重要任務，本文特以探討 BIM 技術於輸供電系統之應用，並提供難見以供參考，期拋磚引起更多迴響與重視，有助提升輸供系統工程品質與確保運維供電穩定，以利本公司永續發展並提升國家總體競爭力。

貳、建築資訊模型 BIM 內涵及特色

BIM 技術即將各領域設計者提供的專業知識、技術、資訊整合儲存至一個 3D 建築資訊模型，透過數位化虛擬實境模擬工程真實行為，以協助營建生命週期規劃、設計、施工、營運、維護工作中各項作業之管理^[1](詳圖 1)。



圖 1 BIM 整合概念^[5]

BIM 價值在於提供一個共享的知識資訊平台，其具有開放性且可互相操作的介面，在工程生命週期中各階段利益相關者(包括:決策、設計、施工、營運、管理等)可從該建築資訊模型中獲取所需的資料與欲處理的建物資訊，完成各自的任務，也同時把個人創建的資料反饋到 BIM 模型中，使工程中各參與專業人員透過 BIM 緊密的聯繫在一起，具體實現各專業資訊的傳遞準確、即時共享和資訊有效管理^[6](詳圖 2)。

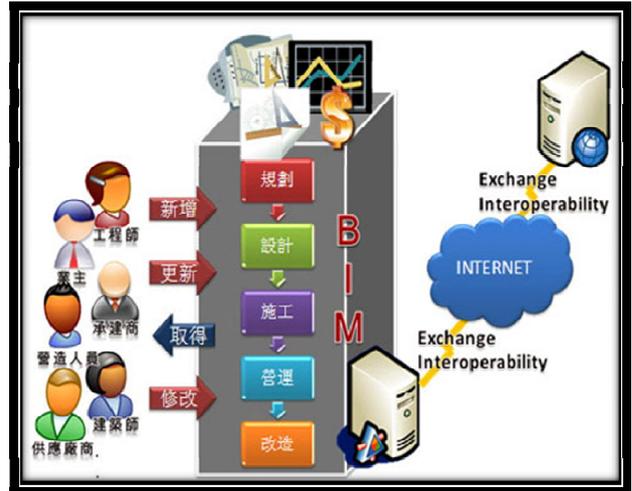


圖 2 BIM 技術運用^[7]

一、BIM 技術發展

BIM 相關技術的發展大致上可以分為資訊交換標準、建模技術、與模型運作技術三個方面^[1]：

(一) 資訊交換標準：

國際協同工作聯盟 (International Alliance for Interoperability, IAI)提出了一套建築資料整合標準(Industry Foundation Classes, IFC)。IFC 是一種開放性資料格式，作為資訊的交換以及共用、使用於整個營建管理上，讓所有參與方在各階段使用不同軟體產生出的資料，能夠相互流通、應用與整合。

(二) 建模技術：

透過類似「參數設變引擎」(Parametric Change Engine, 此名稱取自 Autodesk Revit)技術，使空間相關元件必要時能智慧式連動調整，背後也均有獨立的資料庫處理引擎，並能結合外在的資料庫。

(三) 模型運作技術：

模型運作的技術，主要是透過 BIM 團隊的協同作業，各專業工程師負責各自專業的模型建置，再統一彙整在一起。利用軟體碰撞檢測檢查出衝突介面，並經相關單位協調後再進一步修正調整模型之協同作業過程。

二、BIM 主要特性

BIM 強調工程全生命週期資訊集結與永續性運用、3D 視覺化的呈現與跨專業跨階段的協同作業、幾何與非幾何資訊的繫結、靜態與動態過程資訊的即時掌握、微觀與巨觀空間資訊的整合等^[1]。BIM 主要特性如下^[8]：

(一) 可視化：

BIM 可以將工程形態透過 3D 數位化虛擬實境完整真實地展現出來，大大減少由工程人員的腦力想像所產生錯誤與偏差，不僅節省溝通時間更可提高準確性。

(二) 參數化：

BIM 內建許多不同類型的參數提供使用，使用者也可依照專案需求定義新的參數，且會自動變更整個專案模型，提高了圖面表達一致性(如土木及機電版本一致)。

(三) 衝突檢查：

在傳統設計中，往往由於各專業的溝通不足，導致施工過程中衝突不斷，產生大量的設計變更與重工。BIM 可以實現的衝突檢測，包括：硬碰撞與軟碰撞，硬碰撞是指兩物體在空間中有所重疊而發生碰撞；軟碰撞則指兩物體在空間中雖未重疊，但因維修需求或其他設計與施工上之考量，必須要保持一定之空間距離卻無法滿足而發生碰撞。

(四) 分析模擬：

運用 BIM 技術可結合或驅動某些分析及模擬工作，並擴充其概念將資訊納入整合，擴充後之建築資訊模型將能同時運用於設計、專案管理、安全評估或監測的數位化系統，以顯著提高施工效率並降低風險，且亦能對於後續營運維護階段做更深化有效管理。

(五) 施工模擬：

BIM 可以幫助施工人員於工程開始前進行施工模擬，大大減少施工現場的空間衝突，直觀地幫助工程人員改善空間配

置，確保工程順利進行，減少不必要的二次運輸、場地內轉運等重工問題，提昇工程的品質、減少錯誤變更的成本浪費、有效縮短工期。

三、BIM 於工程全生命週期之應用

工程全生命週期基本上包括規劃、設計、施工及營運維護等階段，依 BIM 的特性將其應用於工程全生命週期之潛力探討如下^[9]：

(一) 規劃階段

工程專案在規劃時需考量工程與周遭環境間的相互關係，有關此專案所座落工址之宏觀地理環境中，包括現有或未來可能之周遭空間狀況、自然條件、資源等詳細資訊的蒐集、建模與分析的作業。透過 BIM 的基地分析作業，除了能幫助專案選址之最佳化，尚可利用 BIM 結合 3D GIS 軟體工具處理未來空間宏觀資訊之整合應用，如結構體(含地下線路、鐵塔等)方位配置之參考、工址地盤條件等，皆為本項工作重點。

(二) 設計方面

可以運用 BIM 技術對各設計方案進行各種性能模擬、分析，選定最佳方案。通過 3D 協同設計可預先對施工困難點進行模擬測試，檢查建築結構與設備間、管線與設備之間、管線自身之間的碰撞問題，消除施工障礙，確保施工圖與建築物之間沒有存在錯漏碰缺等現象。

(三) 施工方面

採用 BIM 技術，施工人員可於施工前進行施工模擬，對比分析不同施工方案，確定最佳的施工工序，並透過預先模擬以了解可能潛在的施工問題，減少施工錯誤及瑕疵，避免虛功與成本浪費。此外，運用 BIM 技術還可作施工進度 4D 模擬與時程概估，提升工作效率，有效控管工期，以及數量與成本計算，提高施工預算的精度。

(四) 營運維護方面

BIM 集成的建築訊息資料庫,有助於後續營運維護及拆除報廢階段之管理。建物所有設施設備從安置在建物空間開始,於虛擬空間建置和實體盡可能詳盡而同步的履歷資訊。履歷模型須能隨著建築物實體空間的動態情況而不斷地更新和改進,以及儲存更多關聯資訊的能力,此對長期的營運維護應用非常重要。並包含繫接施工前的規範,到完工後的使用說明等資訊,讓業主能夠有效而持續監控此專案提供的所有相關資料,而維護作業亦因能快

速從模型中獲取設備相關履歷資訊,使能縮短維修時間、降低維護成本。另可運用 BIM 技術擴充結合某些分析及模擬工作,以利設施設備之安全評估。

由以上探討可了解,業主是運用 BIM 技術的最大受益者。運用 BIM 技術,業主可以在工程早期預先模擬、比對與分析,來選擇最佳的建造方案。利用 BIM 集成建築全生命週期的履歷訊息,不僅可在建造階段精算成本、掌控工程進度,而且還可以為竣工後的營運維護管理提供有效的資訊(詳圖 3)。

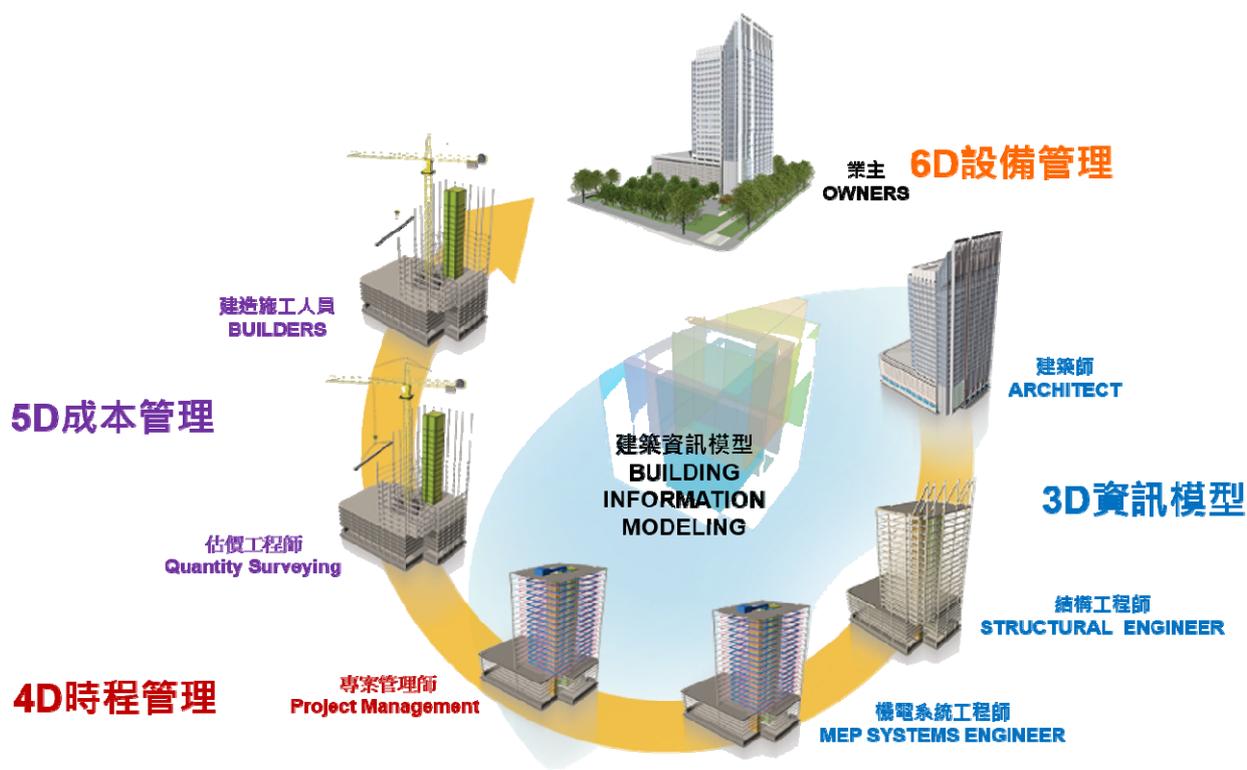


圖 3 BIM 於工程專案全生命週期應用^[10]

參、國內推展 BIM 現況

由於 BIM 帶來許多優點及優勢,已是不容忽視之趨勢,更為國際競爭力之基本門檻,許多國家的政府都已大力推動 BIM 應用,並將 BIM 列為設計及施工之必要條件。

在國內亦積極推動相關政策與強化實務經驗^[11],例如:台北市政府在 2010 年率先進行 BIM 技術導入建管請照自動審圖之可行性研究;新北市政府在 2012 年更是大力推動將 BIM 技術應用在運動休閒中心的新建工程上;內政部營建署在 2014 年初宣告要全力推動 BIM,並已推動在數個代辦建築工程案中應用 BIM(包括內政部營建

署、國立故宮博物院、臺北市政府、新北市政府、臺中市政府及金門縣政府等);公共工程委員會亦於 2014 年初開始組成 BIM 推動平台,並擇定不同類別的公共建設來推動 BIM 應用之示範案例;內政部建築研究所近年已逐步增加 BIM 相關

研究,並正爭取於科技發展中程綱要計畫中進行 BIM 應用相關研究與推廣。此外,國內許多中大型工程顧問公司與營造廠亦紛紛推動與導入 BIM,詳表 1。

表 1 業界導入 BIM 案件^[10]

導入公司	導入案例
台灣世曦	花蓮海洋度假園區、南港甲子園建案、柳營科技工業區、高等研究園區實質計畫、高雄鐵路地下化車站設計、CECI 新企業總部大樓。
中興工程	華航園區模擬機大樓、高雄捷運 R24 車站、南科汙水處理廠、中興大樓
達欣工程	捷運松山站及三民站、文華酒店及文華苑
大陸工程	MEGA HOUSE
根基營造	台灣光子源工程、捷五共構案、環球購物中心、台大兒童醫院等
建國工程	衛武營藝術文化園區案
其他案例	花博主場館、鐵改局高雄美術館站、三塊厝站、台肥甲子園等工程

肆、本公司推展 BIM 現況及導入 BIM 案例研析

本公司工程數量及預算執行額度皆屬國內龍頭,故應追求最先進之技術及工程管理工具。鑒於政府尚未訂定 BIM 標準規範,國內各界仍在摸索學習,實非一蹴可及,本公司 BIM 導入將依所訂計畫逐步採購軟、硬體、培訓專業人才外,亦持續篩選合適工程導入,採階段性方式導入(技術→介面整合→作業流程→合約管理→組織調整)^[10]。

目前本公司已於 104 年 11 月 13 日發布建築資訊模型推動小組作業要點,並擬增訂相關工作規範於本公司標準契約內,以提升工程品質及降低成本。

一、承商自行導入 BIM 案例

本公司工程由承商自行導入 BIM 案例^{[10][12]}包括:設計階段應用之「大林電廠循環水抽水機房」、「曾文水庫新建進水口機械設備操作平台設

計」、「既有核三廠 5,000 噸消防水池結構分析」、「通霄電廠取、排水頭設計」、「變電站 3D 電纜佈設」、「大林~高港 345kV 地下電纜」等工程(詳表 2);施工階段應用之「國家會展中心(南港展覽館擴建)」,藉由碰撞檢查出衝突介面並產出干涉表報,即時檢討並修正(詳圖 4)。

二、依契約規定於工程中導入 BIM 案例

輸工處北區施工處「林口~頂湖 345kV 電纜線路#41~#43、#56~頂湖 E/S 電纜終端土建暨附屬機電統包工程」係本公司首次將 BIM 納入契約執行之案例,本計畫工作內容如表 3^[14]。本案要求乙方於設計階段依細設成果建置土建及附屬機電之 3D 建築資訊模型(BIM),模型所使用之元件應具備資料多元及多層次的屬性,並進行各項設計之干涉檢查、空間檢查及碰撞分析等。施工過程須視工程實際情形(包含各項設計或施工變更)調整 3D BIM 數位模型,施工後應依施工成果修訂模型並提交甲方^[13]。本章節茲就本工程應用 BIM 成果及預期效益來作說明。

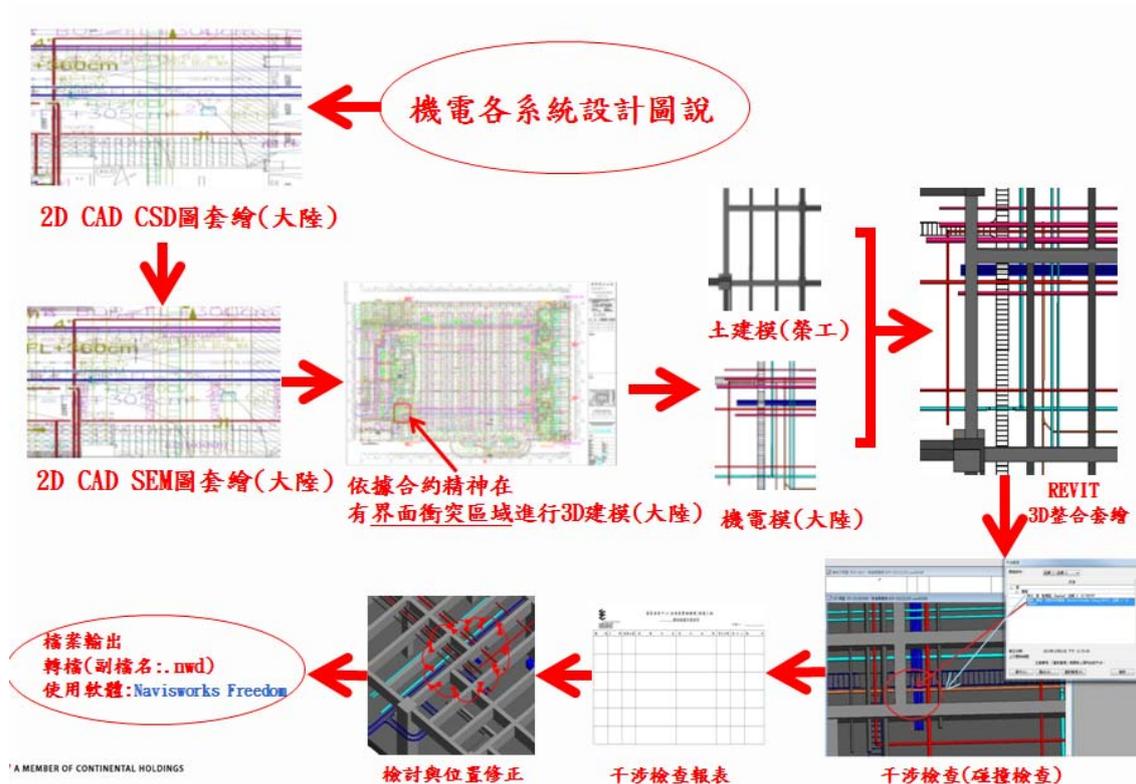
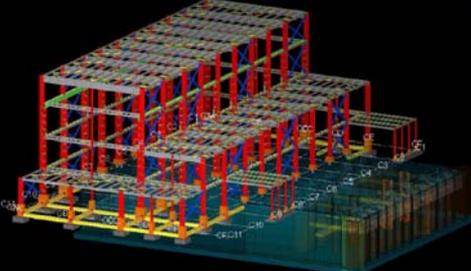
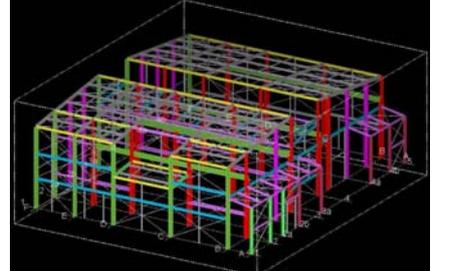
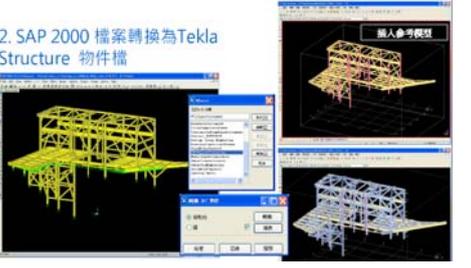
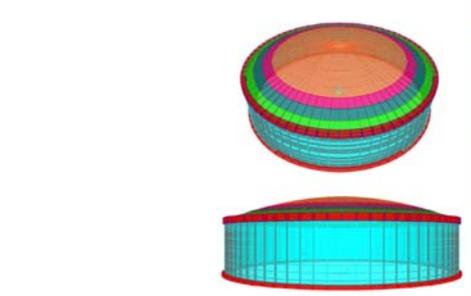
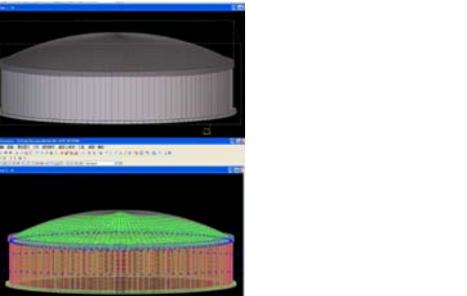


圖 4 國家會展中心(南港展覽館擴建)施工階段導入 BIM^[10]

表 2 本公司於設計階段導入 BIM 案例^[12]

<p>大林電廠循環水抽水機房</p>		
<p>曾文水庫新建進水口機械設備操作平台設計</p>		 <p>立體鋼構架系統 正面分別有9.2m、9.8m及9.2m等3個時度 平台以上高度約9.65m，6m處設置天車軌道梁，供天車運行</p>
<p>既有核三廠 5,000 噸消防水池結構分析</p>		

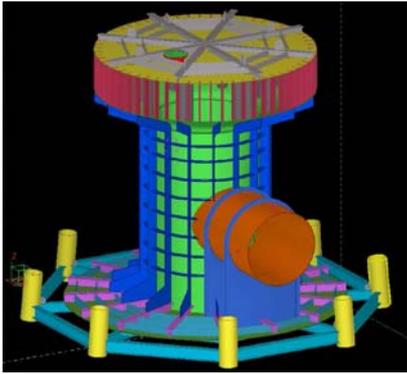
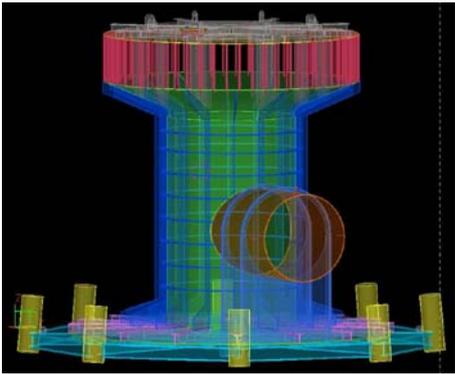
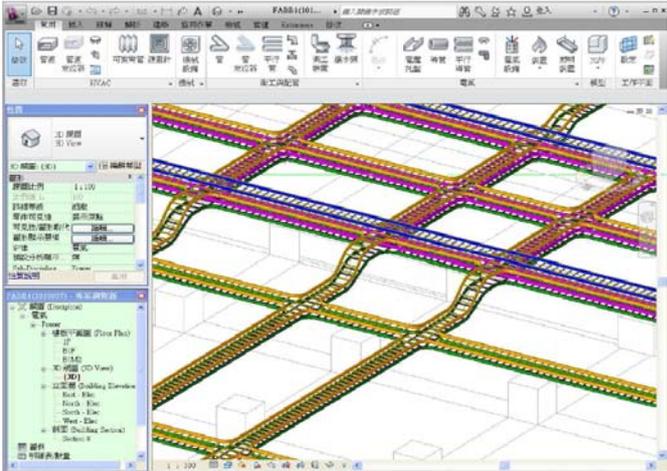
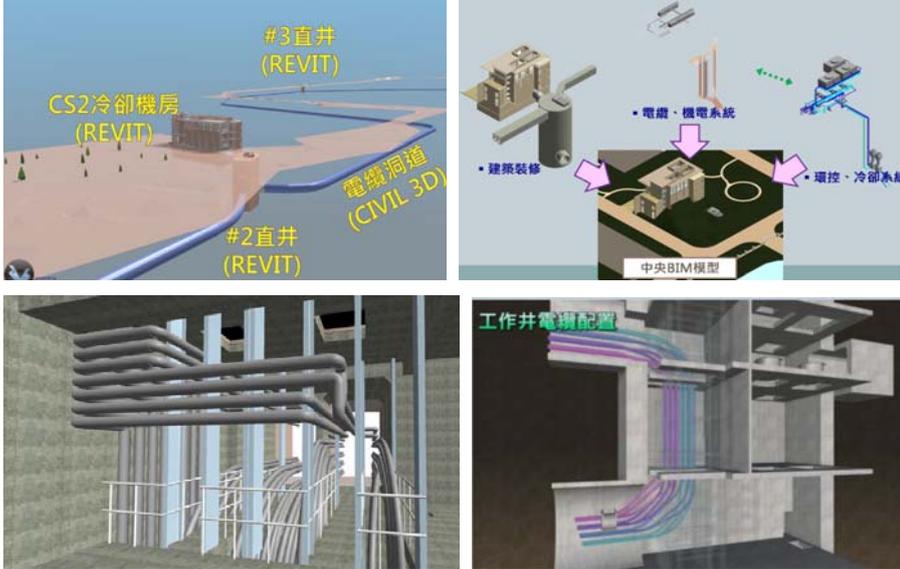
<p>通霄電廠取、排水頭 BIM 軟體 (Tekla Structure)設計</p>		
<p>變電站 3D 電纜佈設 (Revit)</p>		
<p>大林~高港 345kV 地下電纜</p>		

表 3 「林口~頂湖 345kV 電纜線路#41~#43、#56~頂湖 E/S 電纜終端」計畫工作內容^[14]

工區範圍	土木工程		附屬機電
第一工區 #41~#43 連接站	連接站： 直井、涵洞、塔基、台架、 鐵塔裝建等	潛盾洞道： φ 3.9m 潛盾洞道 (790m)	照明、監控、插座及接地、配電、 通風、消防給排水、通訊等
第二工區 #56 連接站~頂湖 E/S 電纜終	連接站、電纜終端： 直井、涵洞、塔基、台架等	推管洞道： φ 2.4m 轉彎推管洞 道(361m)	照明、監控、插座及接地、配電、 通風、消防給排水等

(一) 應用成果

因本工程連接站之鐵塔基礎、直井、涵洞及洞道係屬地下結構物，故須考量地質、以避免管線衝突及降低施工之潛在地質風險。經調查本工程穿越高鐵林口隧道，顧問公司利用 BIM 相關軟體建置 3D 線形，並經檢核未有衝突(如圖 5)。另本案位於林口台地，地層以林口紅土礫石為主，分布單純，不影響設計及施工，故未進一步建置 3D 分層地質作分析。

本案利用細設成果各自建置土木(如圖 6~圖 10)及附屬機電之 3D 建築資訊模型(如圖 11~圖 15)後進行設計協同整合(如圖 16、圖 17)，並利用整體 3D 設計模型進行碰撞檢查(如圖 18)，針對有衝突之介面加以調整，透過 3D 檢視預留開口位置^[15]。另藉由參數同步化設計即時產出相關設計圖說、各工項數量，以提供後續施工參考。本案 BIM 設計流程及介面整合作業(如圖 19)。

(二) 預期效益分析

本工程於規劃階段利用 BIM 軟體建置 3D 線形，使電纜路徑能有效避開障礙物，並經檢核確認未與穿越本工程之高鐵林口隧道造成衝突；又本工程之 3D 模型係依各項設施的實際尺寸建置，應用 BIM 技術讓 3D 模型透過動態檢視，並透過土建與機電空間碰撞檢測，可直接在建築資訊模型中協調所有衝突介面，對各領域設計協同作業方面展現明顯效果(包括：3D 化確認開口預留位置、管線衝突狀況協調之正確性與時效性等)。

本工程應用 BIM 技術主要係在規劃及設計階段，未來可視各專案之特性及需要擴展 BIM 相關服務，透過模型達到施工模擬、設施之監測預警、維護更新管理、設備異常通知等輔助功能，將可實現 BIM 應用於建物全生命週期的長遠目標^[14]。

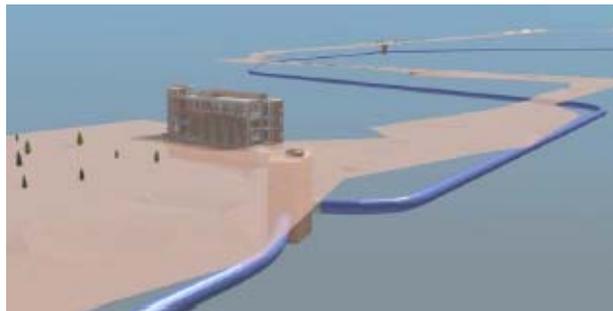


圖 5 建立 3D 線形^[15]



圖 6 鐵塔基礎、沉箱及洞道模型^[15]



圖 7 台架及基礎模型^[15]



圖 8 銜接涵洞及角鋼模型^[15]

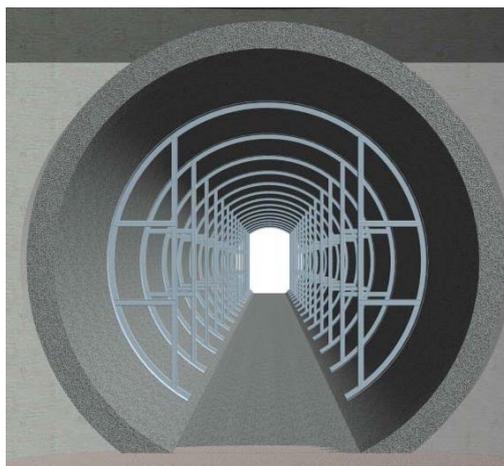


圖 9 洞道及環形角鋼模型^[15]

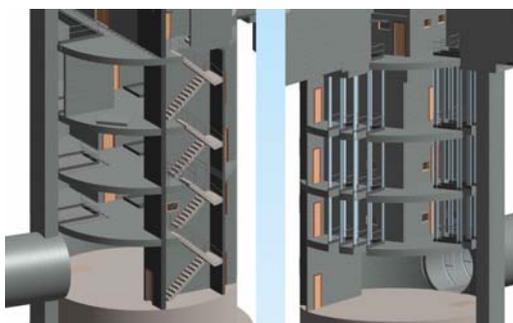


圖 10 直井內建築裝修模型^[15]

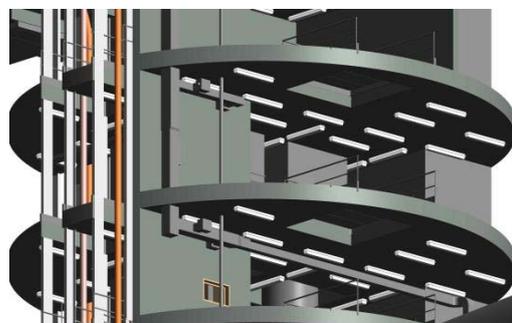


圖 13 照明設備模型^[15]



圖 11 設備箱體及管線模型^[15]

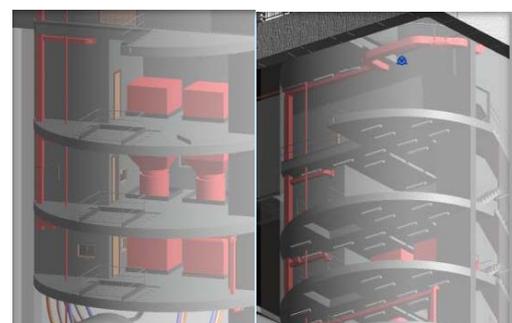


圖 14 通風設備模型^[15]

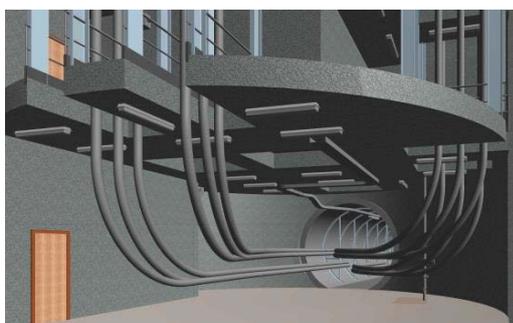


圖 12 電纜模型^[15]

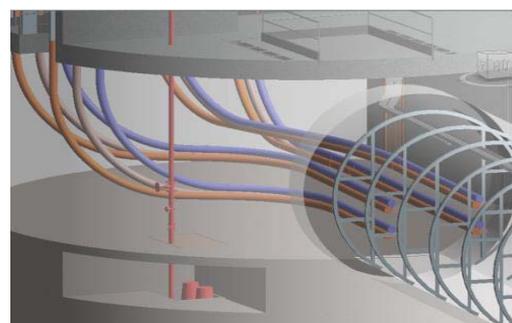


圖 15 排水設施模型^[15]

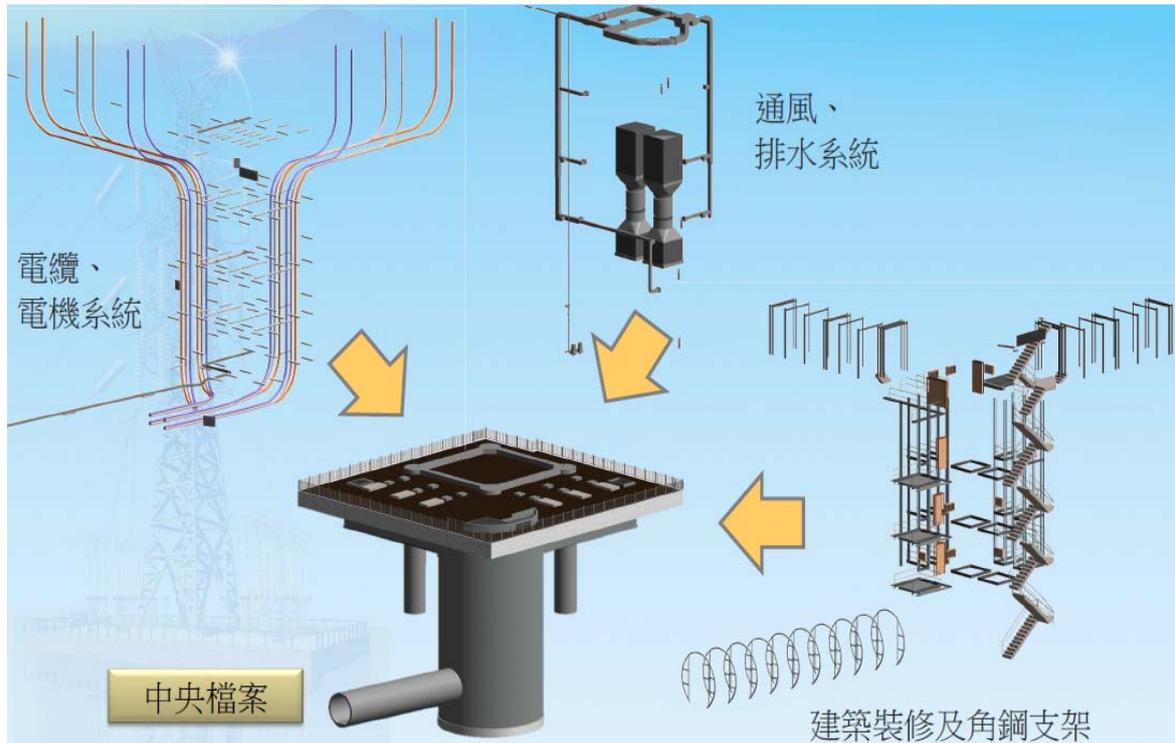


圖 16 各設計協同整合^[15]

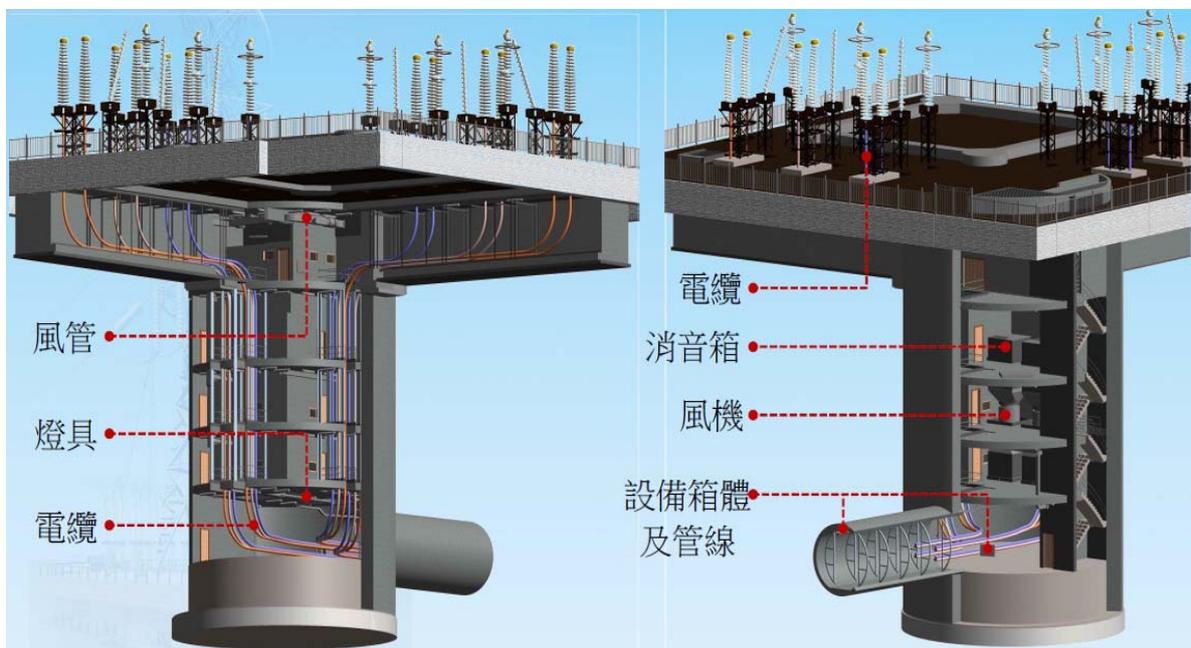


圖 17 附屬機電工程建置成果^[15]

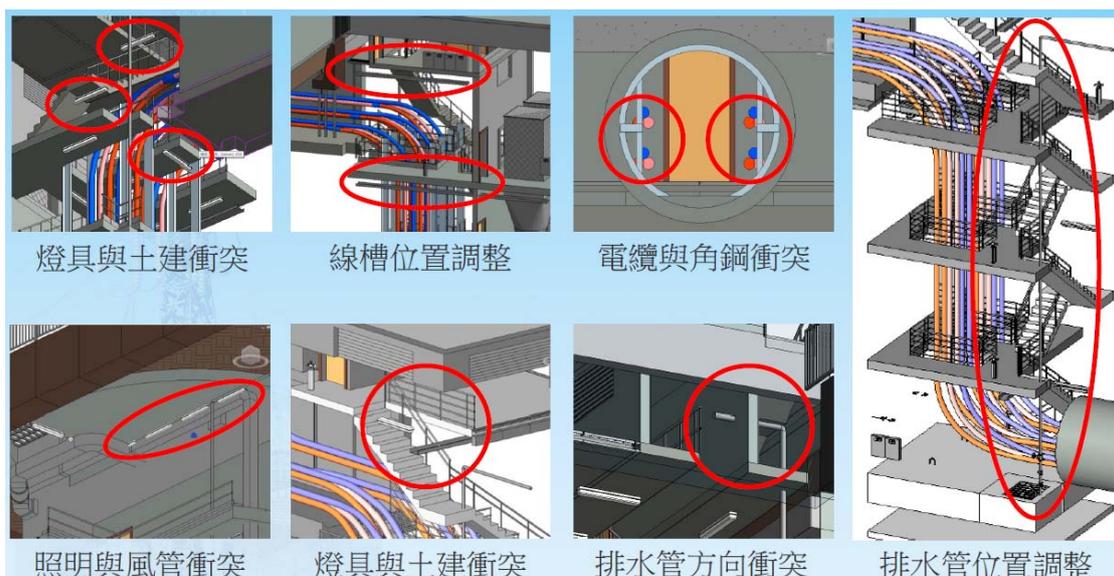


圖 18 碰撞衝突檢查^[15]

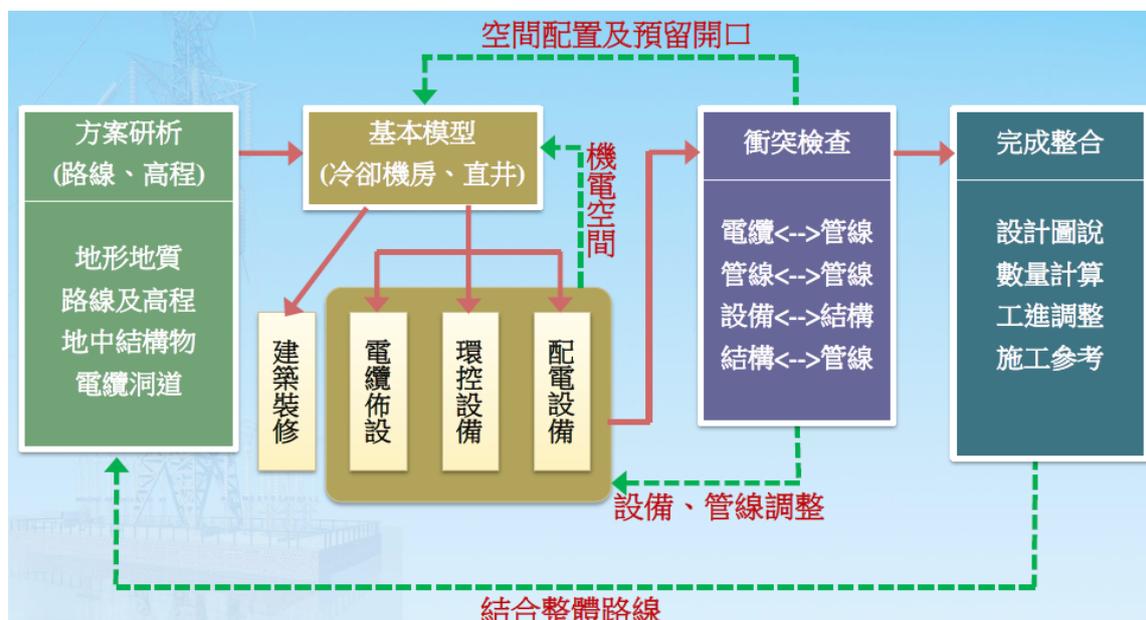


圖 19 BIM 設計流程及介面整合作業^[15]

伍、輸供電系統應用 BIM 技術於全生命週期之探討

輸供電工程是電力建設重要的一環，為提供可靠電力之骨幹，猶如人體中輸送血液維持命脈的血管，若無法提供穩定充足電力，將對國家經濟造成衝擊，阻礙社會的發展。故輸供電系統於建設期間對工程品質提升及在運維階段電力供應穩定，均為重要的課題。本章試探討應用 BIM

技術於輸供電系統全生命週期之前瞻性及所能帶來的效益，茲說明如下：

一、規劃應用

輸供電工程一般概分為變電所工程、架空輸電線路工程及地下電纜輸電線路工程等三大類^[16]，其中架空輸電線路工程與地下電纜輸電線路工程於線路規劃設計時，須結合地理環境特點來做通盤考量。利用 BIM 技術整合 3D GIS，把微觀領域的 BIM 資訊和宏觀領域的 GIS 訊息進行

交換和相互操作，可將 3 維建築資訊模型設計成果套疊於 Google Earth 上^[17]，透過三維虛擬實景的方式動態呈現，可直觀檢視順向坡或是崩塌等不良地質區域，使於架空線路選址時能有效避開地質敏感區，為災害預防建立第一道防線。若利用 BIM 相關軟體整合 GIS 圖資，可針對各種情境進行模擬分析(如:土石流模擬、地震模擬、洪水溢淹分析模擬等)^[18]，以作為架空線路選址及塔基設計之依據。運用 3D GIS 宏觀視野全盤掌握沿線之地形地貌，並在尋找最佳路徑時，可隨時作假設分析，以協助在多種方案中規劃出最佳路線及優化設計成果。

而地下電纜輸電線路工程大多位於人口密集的都會區，電纜路徑規劃除應考量沿線交通、民情、道路管理單位要求及地下既有管線與鄰近工程結構體等複雜因素外，施工時更須面臨地質不確定性因素之挑戰。又地下電纜線路如採洞道方式佈設，其開挖面積較大且埋設位置深，不可預知風險提高，更增添其施工技術困難度。在應用 BIM 技術於初步規劃過程中，可將先行蒐集整理工址各項基本資訊(包含：地形、地物、地貌、地籍、地下管線、地中障礙物及鄰近結構體...等)匯入 BIM 3D 模型，據以進行線形廊道 3D 設計(如圖 20)，以利電纜路徑佈置、地中障礙物的處理對策、施工方法選擇與各項結構體配置等相關決策。另為提供人員出入、電纜延放需求，地下電纜洞道須銜接至直井、機房，因此地形、洞道與相關建物須建置在相同的座標系統並經整合界面資訊，以提升設計品質^[18]，如圖 21。

地下電纜洞道施工方法及機具選擇常為工程成敗之關鍵，除須確保轉彎段施工品質及考慮通過敏感性結構物(如捷運或高鐵之結構)與鄰房安全性外，對其沿線多變的地層狀況更應有效掌握^[19]。透過事前地質鑽探調查，再利用 3D Civil BIM 軟體建置三維地質模型，如圖 22，藉以了解地層變化使能進一步決定洞道鑽掘所須採用機型與面盤選擇，並作為日後施工方法的參考。

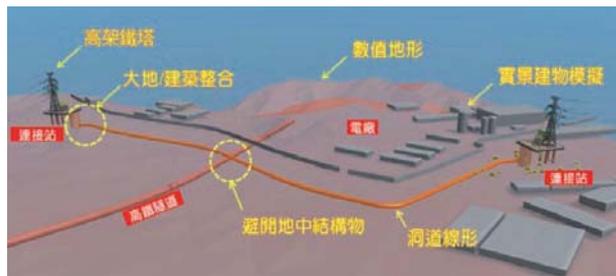


圖 20 廊道線形、地物設計整合^[18]

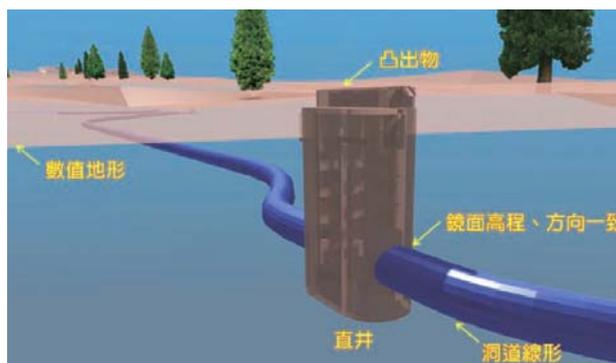


圖 21 地下線路工程 Revit、Civil 3D 等之 BIM 整合成果^[18]

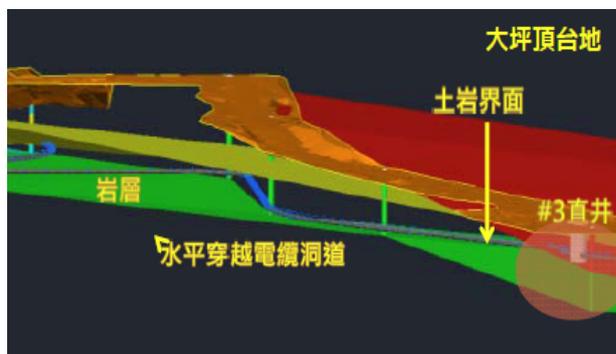


圖 22 大林~高港 345kV 3D 地質模型^[18]

二、設計應用

輸供電系統所涉及專業領域較多(包括土木、建築、機電、空調...等)，傳統土建與機電設施於空間設計的協同，係以 2D 平面圖為溝通工具，惟 2D 視圖擬真度不足，常會有許多簡化、遺漏或介面衝突等情形^[1]，進而衍生許多爭議或重工，影響施工進度及工程品質。若於設計階段將各領域設計整合於同一 3D 模型，並可隨時由此模型獲取所需資料，可避免訊息斷層，使設計

模型能得到即時的更新和傳遞，有助提高設計品質與效率。設計師利用 BIM 模型進行協同設計，可預留合理之設備維修空間，並針對介面作碰撞檢測，可將施工可能遇到的衝突問題先行排除，減少日後設計變更的次數。

三、施工應用

輸供電系統工程中，以地下電纜土建工程施工困難度較高且考慮因素較為複雜，又因於地下空間施築結構體，一旦建成，很難拆除改造，所以施工方案選擇尤其重要。施工單位可於前期運用 BIM 技術模擬多個施工方案，進行比對分析，查找錯誤設計，降低施工風險，選擇最佳施工方案。

施工階段須克服多變的地質風險，且對於通過敏感性結構物與鄰房的結構都應該特別謹慎，故除了於施工前作周詳的調查與規劃外，施工時仍須再試挖比對確認^[19]，並將實際情形反饋至 BIM 模型，藉 BIM 模型可與施工成果同步更新之特性，可隨時在施工中模擬工地現況。施工過程中對於機具鑽掘方向控制與維持方式，以及轉彎段施工品質確保，可利用 BIM 技術建置鑽掘機具之 3D 模型，預先模擬鑽掘過程，對於有技術困難地方可事先採取有效對策。另為避免鑽掘時對所通過之重要交通(高鐵或捷運)營運或鄰房結構體之安全造成影響，除透過 BIM 技術預先模擬鑽掘過程，預測施工可能引致之應力應變行為外，另將施工時對地表沉陷量監測數據即時回饋 BIM 模型，再加以分析檢討是否超出警戒值，並設定管理基準值，做次階段施工參考，以提升每一輪進之施工效能。

由於地下施工空間有限，施工單位可以根據施工現場條件與資源，運用 BIM 技術做進度管理，將進度資訊與 3D 建築資訊模型結合成 4D 模型，以進行施工模擬作業，確定最佳施工工序及機具施工動線與人員活動範圍，協調各專業之工作，避免各專業施工衝突，有效提升施工效率。若輸入成本資料可結合建築元件部位資訊而

成 5D 模型，可以讓管理者了解，結構物建設的每個階段所花費用。

施工階段藉由 BIM 技術可加強施工過程風險管控、造價控制，及對整體施工計畫執行情形加以追蹤分析，使能精進進度控管，進而縮短工期。

四、營運維護應用

輸供電系統在漫長的營運使用期間，其輸供電設施設備皆各有其耐用年限，或因空間運用與佈局之需求演變，或天然災害造成破壞等，設施設備維護檢修及土建結構之修建、改建、增建等行為會不斷發生，若能優化設施設備管理系統，提升維護人員巡檢效率，並對災害事故發生能即時搶修迅速復電，甚至對潛在之高風險利用自動監測預警系統將災害防患於未然，使能確保維護社會大眾用電權益。

運用 BIM 技術集成、整合工程全生命週期各階段的訊息資料，在竣工後形成完整的資訊庫，其除包含 BIM 模型空間資料，相關設備維護手冊外，還可整合各設施的維護管理流程，可供維護人員參考。另對於壽命即將到期的設備能提早預警，提醒更換；針對災害事故搶修，專業人員可即時由 BIM 模型獲取所需資源(如:原設計圖說、材料數量來源、機電資訊、地址環境等)，以加速搶修時效及安全性。

BIM 亦可結合相關監測系統，如於管線設置防挖監控設備，可根據 BIM 模型可迅速掌握事故位置，有助突發狀況即時通知與應變作為；而對於輸供電既有之監控系統(包括:變電所監控系統、輸電線溫度監測等)^[20]，可藉由 BIM 資訊模型結合專家系統軟體使能自動辨識問題並作初步判斷，協助專業人員作更精確迅速之故障分析；另針對本公司架空輸電鐵塔因其矗立在大自然環境中，容易受環境變化(如地層滑動、地震或洪水侵襲)而遭致破壞。近年來極端氣候頻繁，致使塔基受不確定因素影響更高，故強化塔基安全監測效能將災害防範於未然實刻不容緩。考量目

前供電單位委外建立「輸電設備維護管理系統」，其內容雖已包含鐵塔台帳、地震/氣象資訊、GIS 查詢、巡檢管理等面向，然對於有安全疑慮之塔基尚無自動監測異常警訊反饋之預警機制^[21]，致無法於災害逐漸或即將形成前，甚至於災害發生的第一時間作應變處理。故可針對重點塔基各別建立自動化預警監控系統並結合 BIM 技術，利用三維激光掃描儀(三維激光掃描技術為一通過高速激光掃描測量的方法，高解析度地快速獲取測量標的之表面三維坐標數據，為快速建立物體之三維影像模型技術)快速擷取鐵塔(含塔基)及周圍環境影像，經過專業軟體處理，轉換為 BIM 資訊模型，並將鐵塔相關資訊(包括塔型及塔基設計資料等)儲存至 BIM 模型中，另把現場配置之自動化監測儀器所測得數據(如：地表的變位量、地表的傾斜角度，現地降雨量等)回傳儲存至 BIM 模型，當變位異常超過警戒值自動發信警報，專業部門可即時視覺化透過 BIM 模型了解異常鐵塔之相關訊息，並利用軟體進一步分析藉以判斷其塔基結構安全性，以作塔基維護決策或緊急應變處理之依據，預防可能災害的發生^[22]。BIM 模型資料儲存愈完善，其後續營運維護階段應用效益也會愈大，然其龐大的資料庫則須仰賴雲端科技，利用雲端空間可建構一專案資源管理中心，其可讓所有知識訊息朝集中式管理，且可應付後端依需求不斷擴充軟硬體，而不影響既有系統的持續操作，並使能於任何時間地點隨時利用各種移動設備(如：平板、手機等)進入雲端平台對 BIM 模型作運用^[9]，可實現工程人員無空間零時間界線帶著 BIM 到處走，將以提升維護人員之巡檢效率。

陸、結語與建議

二十一世紀物流、雲端、人工智慧、行動化時代已為人類生活方式帶來改變，傳統工程產業更因 BIM 技術引進已成功邁向智慧型數位化的第一步。值此之際，對擔負民生維生系統正常運

作之輸供電系統，首先建議應積極推動 BIM，並將 BIM 技術結合自動監測運用於設施監控、預警及防災方面，以確保供電之品質及安全。其次，輸供電系統導入 BIM 時，有以下幾點值得注意：

- 一、導入前，應先了解本身條件，清楚需求及期望，才不致盲目投資而造成浪費，故建議應依輕重緩急有系統的規劃短中長期目標，逐步導入為宜。
- 二、整合輸供系統各領域人才當 BIM 運用推廣之種子，建議計畫性的培訓，對工程人才 BIM 技術扎根奠基。
- 三、建議輸供電系統運維階段人員宜於工程建設之規劃設計階段即參與投入，以利 BIM 模型於竣工後移交營運接管單位能真正發揮效益。

以有效整合「工具」、「人才」及「流程」三個領域^[2]，貫徹實施並達成 BIM 的預期效益。

柒、誌謝

感謝本處林處長俊宏、王副處長玉銘及陳經理思忠等主管的指導與支持及本處同仁協助，讓本人得以順利完成本文。也感謝北施處涂俊宏工程師及台灣世曦公司提供資料並回饋工程案例，使本文能就實務面驗證 BIM 技術應用之效益。另外，更感恩李前處長漢泉、蘇前處長正我及許檢核明福提供寶貴的意見並持續的給予鼓勵，讓本人能堅定信念持續到最後完成本文。

捌、參考文獻

- [1] 郭榮欽、謝尚賢，「BIM 技術與公共工程」，公共工程電子報第 038 期，民國 100 年 9 月 1 日發刊。
- [2] 郭榮欽、謝尚賢，「BIM 概觀與國內推行策略」，中國土木水利工程學會會刊第三十七卷，第五期，第 8-20 頁，2010 年。
- [3] Sir David Higgins, "Our vision for 2025,"

- CONSTRUCTION 2025, pp.19, July 2013。
- [4] 劉青峰，「BIM 技術開發與推廣應用規劃概況」，建築研究簡訊第 77 期《專題報導》，<http://www.abri.gov.tw/utcPageBox/CHIMAIN.aspx?ddsPageID=CHIMDCA&EprHadDBID=65&DBID=1388>。
- [5] 謝博全，「BIM(建築資訊管理)於建築全生命週期實施」，第 2 頁。
- [6] 林文進、張棟梁，「BIM 在捷運供電系統規劃設計之應用與探討」，捷運技術半年刊第 47 期，第 73-92 頁，2014 年。
- [7] 周天穎、蔡惠如、袁嵐焜，「3D GIS 的應用新趨勢：BIM(Building Information Model)」，第 47 頁，民國 99 年。
- [8] 石晉方、黃宣詔、劉立士，「BIM 及 GIS 運用於鐵路養護管理之探討」現代營建雜誌社第 425 期，104 年 5 月，第 63-74 頁。
- [9] 郭榮欽，「BIM 在建築物生命週期資訊共享的應用」，BIM 專題講座簡報，民國 103 年 12 月 2 日。
- [10] 營建處建築組，「BIM 成果說明會」簡報，民國 103 年 1 月 14 日。
- [11] 謝尚賢、陳美迪，「以 BIM 促進台灣營建產業升級」中國工程師學會工程雙月刊，第 85 卷 05 期，第 59-63 頁，2014 年。
- [12] 中興工程顧問股份有限公司，「Total BIM」簡報，2012 年 12 月。
- [13] 台灣電力公司輸變電工程處北區施工處，「林口~頂湖 345kV 電纜線路#41~#43、#56~頂湖 E/S 電纜終端土建暨附屬機電統包工程」特定條款，第 14-15 頁，2014 年。
- [14] 台灣電力公司輸變電工程處北區施工處，「地下線路工程 BIM 之應用」簡報，民國 103 年 12 月。
- [15] Shang-Hsien (Patrick) Hsieh, "A CIM Example @ Taiwan", ICCBEI 2015, pp.3-18.
- [16] 蕭志勝、陳文欣，「論輸變電工程在營建業的角色」，現代營建，303 卷，第 51-59 頁，民國 94 年 3 月。
- [17] 周坤賢等，「3D 視覺化工程設計方法導入-應用 Civil 3D 於土木工程之同步實作」，中華技術專題報導 No.88，第 43-55 頁，民國 2010 年 10 月。
- [18] 許耀仁等，「BIM 在大地工程設計之應用」，中華技術專題報導 No.105，第 128-135 頁，2015 年 1 月。
- [19] 楊世琛，「台北市都會區最深之地下電纜隧道施工監造」，中華技術專題報導 No.104，第 101-119 頁，2014 年 10 月。
- [20] 黃郁文等，「輸變電系統智慧化監控」，中華技術專題報導 No.74，第 98-110 頁，2007 年 4 月。
- [21] 蕭宇能，「輸電鐵塔自動化安全監測及預防維護技術與應用」，台灣電力公司供電處出國實習報告，第 5 頁，民國 104 年 2 月 13 日。
- [22] 台灣電力股份有限公司，「輸電鐵塔及塔基安全監測即時預報系統之研究」，104 年度研究期末報告，第 145-176 頁，民國 104 年。

公用事業公共關係衝突管理模式之研究 — 以台電輸變電工程抗爭為例

The Study of Conflict Management Models of Utilities' Public Relations
— Public Protests against TPC Transmission and Substation Projects

陳俊賢*
Chen, Chun-Hsien

摘要

本文以輸變電工程為例，探討公用事業如何應用衝突管理理論，處理民眾抗爭。並探討發生衝突事件之因素、意涵及正面意義與結果，並提出衝突處理策略模型供參考。研究採文獻資料歸納法，蒐集自 1991 年至今等 20 多年來，台電公司工程抗爭案例，分析其衝突回應策略及溝通談判模式。研究結果將歸納民眾抗爭訴求分為：「經濟訴求型」、「非經濟訴求型」及「藉非經濟訴求型」三類，以及根據民眾抗爭激烈程度與經濟訴求的多寡，建立「衝突矩陣」解決策略。經由專家問卷訪談，印證其實用性。此外，研究亦發現除法規不合時宜外，技術官僚試圖以專業理論說服抗爭者，忽略抗爭者感受之溝通模式，以及民眾對輸變電設備損害利益之風險知覺，為發生衝突之主因。

Abstract

This study applies conflict management theories to explore public protests against Taiwan Power Company (TPC) transmission and substation projects. It explores the factors of the inherent meaning, implications, and conflict management strategies in each conflict event and proposes a new conflict model in the end. The study adopts the literature review for analysis, in which representative protest events from 1991 to 2015 against TPC were collected. The study investigates the response patterns and negotiation strategies adopted in each conflict case and finds that the demands of the public in those protests can be classified into three categories: "economic demands", "non-economic demands" and "by non-economic demands". According to the intensity of public protests and the amount of economic demands, the study establish a "Conflict Matrix Solving Strategy". The effectiveness of this "Conflict Matrix" has been confirmed by interview with outside experts and analysis on the questionnaires of this study. Moreover, the studies on the major causes of the conflict events indicate that some of existing laws and regulations have been outdated, and that a lot of technocrats tried to persuade the protesters merely by using professional knowledge, neglecting the public's feelings or perception toward the likely damages that might result from the installation of power transmission equipment.

*台灣電力公司輸供電事業部輸變電工程處南區施工處

關鍵詞(Key Words)：衝突管理(Conflict Management)、衝突矩陣(Conflict Matrix)、公共事業(Uilities)。

壹、緒論

2015年9月18日本公司大林~高港345kV線潛盾工程施工意外，造成高雄市林路及鄰近廠房塌陷，搶修復舊尚未竟功，於同年10月5日同一工程又在鳳林路與光路口造成路面塌陷，造成交通大亂，引起社會關注。公用事業公共關係及民眾衝突處理再度成為熱門話題。

「公共關係是一種特殊的管理功能，從事協助建立維持機構與群眾間的雙向溝通、瞭解、接納及合作。並參與解決公共問題，協助管理階層促進群眾瞭解事實真相。協助管理階層隨時因應外界變化^[1]。」

研究指出，「個人影響模式」乃至於「靠關係」的人際交往行為，這種公共關係的運作模式，在東方國家非常普遍^[2]。另外研究發現，透過「關係」的中介效果，藉由公共關係管理促進有效的溝通，可以幫助組織化解與公眾間的衝突^[3]。

依據學者對衝突所下之定義：「衝突是指兩個以上相關連的主體，因為相互行動所導致不和諧的狀態^[4]。」衝突之發生可能是利害關係人對若干議題的認知、看法不同，需要、利益不同，或是基本道德觀、宗教信仰不同等因素所致。廣泛地來說，由於社會上資源、權力稀少，不足以分配，以及社會地位與結構上的差異，不免帶來不調和甚至敵對性的互動，衝突由之不斷產生。

綜合上述學者研究可見，在公用事業公共關係的議題上，適當運用衝突管理理論，透過良好的策略規劃，善用溝通、談判技巧，做好公共關係管理，應可有效化解公共工程與民眾間之衝突。

公用事業(中油、台水、台電等)，配合政府經建發展計畫，膺負穩定國內物價厚植國家競爭基礎之使命。然因台灣社會民意高漲，公用事業

除了要有良好的內部管理，爭取優良經營績效、維護股東合理權益，作為企業經營成功之基外，對外亦需契合民意、滿足社會大眾期待。故如何與外界溝通做好衝突管理維持良好公共關係，更是企業能否永續經營的一大關鍵。

本文以台電輸變電工程為研究對象，透過訪談歷年來有實際參與台電輸變電工程抗爭處理之相關當事人，包括台電公司輸變電工程處中、高階主管及從事溝通業務之第一線人員，整理歷年抗爭原因及解決對策，試圖導入衝突管理理論，研擬出一套衝突處理之策略模式，對不同之衝突樣態提供處理建議。

研究目的如下：

- 一、探討公用事業公共工程發生衝突事件之因素。
- 二、探討公用事業公共工程發生衝突事件之意涵。
- 三、探討公用事業公共工程發生衝突的正面意義及結果。
- 四、建立「衝突矩陣」，為公共事業不同之衝突型態提供處理之策略模式。

貳、文獻探討

本研究係以「台電輸變電工程衝突抗爭」為主題。其衝突抗爭的主要原因來自對台電公司輸電線路及變電所等設施所產生的鄰避情結(No In My Backyard. 簡稱NIMBY)。換言之，由於民眾的自利心態，只要認知上感覺將不利於己之公共設施皆抱持反對的態度。其反對的背後夾雜者彼此之間認知及價值觀差距、利益的衝突、公權力不彰及台灣特殊政治環境中各級民代的介入，可謂錯綜複雜。本章蒐集諸如「衝突管理理論」、「溝通策略模式」及「談判策略模式」等過去學者之研究及著作論述，以諸多前輩之研究成果做為本研究之理論基礎，用以探討台電電力設施衝突抗

爭適合之處理策略模式。

一、衝突管理理論

(一)衝突的因素^[4]

如圖 1 所示，衝突的發生來自於利害關係人對事件本體的價值觀、意見、需求、認知、利益及個人宗教信仰有關。根本原因歸納包括：

- 1.程序衝突
- 2.資料或資訊衝突。又稱為誤解型的衝突。
- 3.價值判斷衝突
- 4.利益衝突
- 5.關係衝突
- 6.情緒衝突



圖 1 衝突的發生

(二) 衝突的發展過程

「衝突」是如何發展出來？根據過去學者研究成果顯示：衝突是一個動態的過程，其中 Pondy 所建立的衝突模式(詳圖 2)，將衝突分為下列五個階段^[5]：

1. 潛在性衝突(由不同條件所引起)。
2. 認知衝突(導因於認知的差異)。
3. 感覺衝突(受到經驗或外來資訊的影響)。
4. 外顯衝突(經由實際行為表現其不滿)。
5. 衝突結果。

據筆者抗爭處理經驗，在衝突結果階段，會因衝突雙方於衝突外顯期之溝通或意見交換、情緒發洩及時間淡化，而使衝突程度略為下降。了解衝突的五個階段，

將有助於筆者研究輸變電工程抗爭事件，於各階段應採取何種衝突回應策略，並可提供面對公眾時進行溝通策略模式如何動態調整。

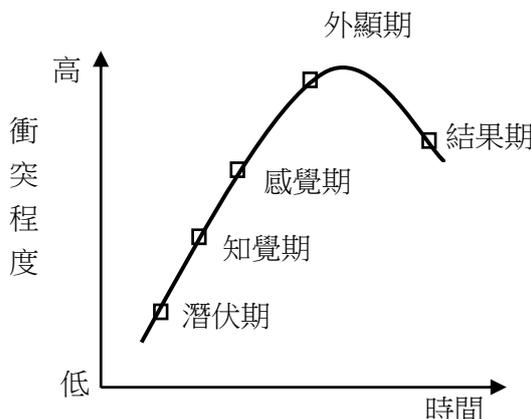


圖 2 衝突發展五個階段

(三) 衝突管理^[4]

1. 衝突管理定義：

衝突管理是以系統、科學的方式來消除認知與價值差異障礙，以達成協議的過程，其目的在衝突過程中減少可能的或是不必要的傷害，以促進有利衝突雙方的結果。

2. 衝突管理步驟：

(1) 開始

- A.了解問題
- B.研討衝突管理實務
- C.對何資訊需收集或交換了解
- D.對參與改善者關係及可改善之認知

(2) 數據收集及分析說明

以觀察、紀錄、面談與問卷取得相關爭端內容及人員間關係，以為規劃階段之參考。

(3) 策略規劃擬定

- A.規劃雙方可接受之仲裁方案
- B.全面了解衝突因素

- (4) 執行策略建立程序共識
 - A.對內宣佈利益替代方案
 - B.對內教育及組織
- (5) 協議
 - A.保證協議之執行
 - B.監測系統
 - C.處理程序

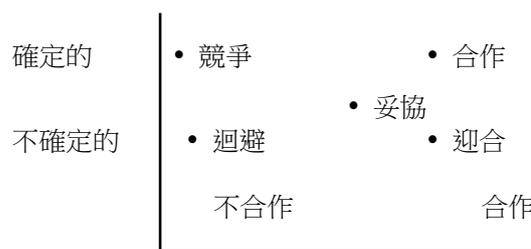


圖 3 衝突管理回應策略模式^[4]

3. 面對衝突回應的策略：

Gareth Morgan 在他所著的「組織印象」(Images of Organization)一書中，說明了在一個組織中的管理者在面臨衝突時，面對了五種模式的選擇(參見圖 3)。

在這五種模式特徵可經由以下的行為表現出來：

- (1) 迴避
 - A.忽略衝突並希望衝突儘快過去
 - B.思考問題
 - C.以緩慢的程序來平息衝突
 - D.以寡言來避免面對衝突
 - E.以官僚政策作為解決衝突的方式
- (2) 妥協
 - A.談判
 - B.尋求交易
 - C.尋找滿意或可接受的解決方案
- (3) 競爭
 - A.產生贏一輸的情境
 - B.敵對競爭
 - C.利用權威以達成目的
- (4) 迎合
 - A.強迫服從
 - B.讓步
 - C.順服且屈從
- (5) 合作
 - A.解決問題的姿態
 - B.面對差異且分享意念與知識
 - C.尋求完整的解決
 - D.尋求人人皆贏的局面
 - E.視問題與衝突為一種挑戰

4. 衝突管理規劃

衝突管理規劃是設計關於潛在爭論，克服不必要的衝突，及將真正差異導入問題解決之建設性管道的方法與步驟。衝突管理之六個階段為：

- (1) 檢討衝突分析：用來取得衝突中之有關問題、動態與人員資料等，並設計一適當管理策略的基本實質問題。分析可以揭示各團體利害關係的強度。
- (2) 評估利益團體的目的：每一個團體對其有關的利益或需求的爭論，都希望獲得滿意的解決。利益包括三種型態：即實質的利益、程序上的利益以及心理上的利益。
- (3) 將策略與利益相配合：
 - A.競爭一輸／贏的解決方法：
 - 競爭策略包括：訴諸法律與仲裁。決定使用競爭策略時，一團體必須衡量其衝突行為之成本與得到的利益。
 - B.迴避一僵局的方法：
 - 迴避的理由有：懼怕、缺少處理過程知識、缺乏相互依賴的利益或對爭論問題漠不關心。迴避的策略也分為：「中立」、「隔離」及「撤退」三個層次。
 - C.迎合一對別人的利益讓步。
 - D.談判一教育和磋商的策略。
 - E.合作解決問題一達成所有團體的要求。合作解決問題一般用於下列情

形較易成功：

- (A)彼此相互信賴。
 - (B)彼此依存度高。
 - (C)有同等或優勢的一方願合作。
 - (D)合作結果有相當大的誘因。
- (4) 與問題一致的處理方法：發展與衝突層次相稱之特定方法。
- (5) 選擇處理方法：四個一般性的衝突管理的處理方法為：
- A.衝突預期：在早期即確認爭議，標定潛在團體，教育有關問題，並協力地設計開創性回應來降低衝突的破壞性效應。
 - B.合作解決問題－適用於立場不是非常對立時。
 - C.談判。
 - D.調處－適用於高度對立的爭議。是由一為雙方接受且公平，但無決策權的第三者介入談判過程，與爭議

之雙方共同謀求一解決之道。

- (6) 發展特定計劃－在數據已蒐集，問題已分析，利益已經過評估，一個一般性策略已被選擇，且處理方案已被界定之後，衝突管理者一定要發展一執行策略的特定計劃。

本研究將「台電輸變電工程衝突抗爭」界定為：凡屬因民眾之認知差距、意見不一、阻撓、對抗等行為過程，造成輸變電工程無法如期推展者均屬之。而面對衝突應採何種策略回應，首要應正視衝突之存在，進而了解衝突的內容與性質。方能藉由「衝突管理理論」化解公用事業與民眾間的各式衝突。

二、溝通策略模式理論

(一) 溝通的定義

「溝通」是一種傳遞訊息、交換意見、建立共識的過程。經整理過去學者對「溝通」的詮釋表^{1[6]}：

表 1 溝通的定義

作者	年代	定義
Brown	1961	溝通在於傳遞和交換事實、意念、感覺和行動；是一種思考程序、往返式的連續歷程，也是一種社會程序符號化的過程。
Simon	1976	溝通是指組織的一份子將自己的意思傳達給另一份子的過程。
涂崇俊	1977	溝通是一個動態歷程：為個人或團體將觀念、意見、態度或感情，利用各種媒介或工具(如語文、符號)，傳遞予他人或其他團體，以建立相互瞭解的一種心理及社會的歷程。
舒緒緯	1990	溝通係指送訊者將語言、符號等訊息，經由適當的表達方式，使收訊者表現出預期反應的一種歷程。
徐木蘭	1994	溝通除了思想與觀念交換的過程外，它的最高目的是藉回饋的手段，達到彼此瞭解的境界。

(資料來源：<http://ortho.clmed.ncku.edu.tw>)

(二) 危機與風險溝通

本研究前述鄰避情結的產生主要是民眾對輸變電工程及設施感到危機風險之存在，而這個危機風險在專家的眼中確可忽略，這種彼此間的認知差距造成溝通的障

礙。「專家」對風險評估通常是以出版的科學文獻為參考依據，一般習慣以專業的語言來表達對風險的看法。然而，「民眾」對風險的評估是以直覺及其有限資訊來源為基礎，以日常生活經驗來判斷，用普通語

言表達。由於基礎不同，專家與民眾對風險經驗描述語言的衝突，常是導致無法互相溝通的障礙(圖 4)^[7]。

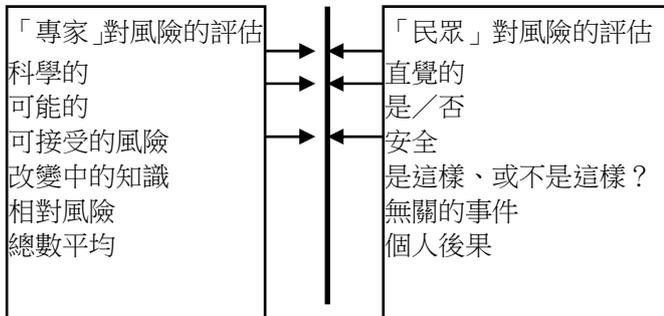


圖 4 專家語言和民眾語言相互了解的障礙^[7]

依據之前學者研究風險溝通的過程(如圖 5)，認為風險資訊並非價值中立，而

是受文化所決定的；它是在社會和政治情境中被產製出來的^[8]。

有效的風險溝通基於相互的尊重與信任。因此對於風險承受者如何認知風險，和風險管理者如何有效進行溝通，將風險資訊正確傳達予風險承受者是為關鍵要素。

在這過程中所進行的風險溝通方式對社會公眾型塑其風險感知與價值判斷相當重要。也就是說，互動、參與的風險溝通將能夠提高公眾對於爭議性科技的理解，並且在自我參與的過程之中，除了具有民主的意涵之外，也形成了一個民眾信任的建構過程。

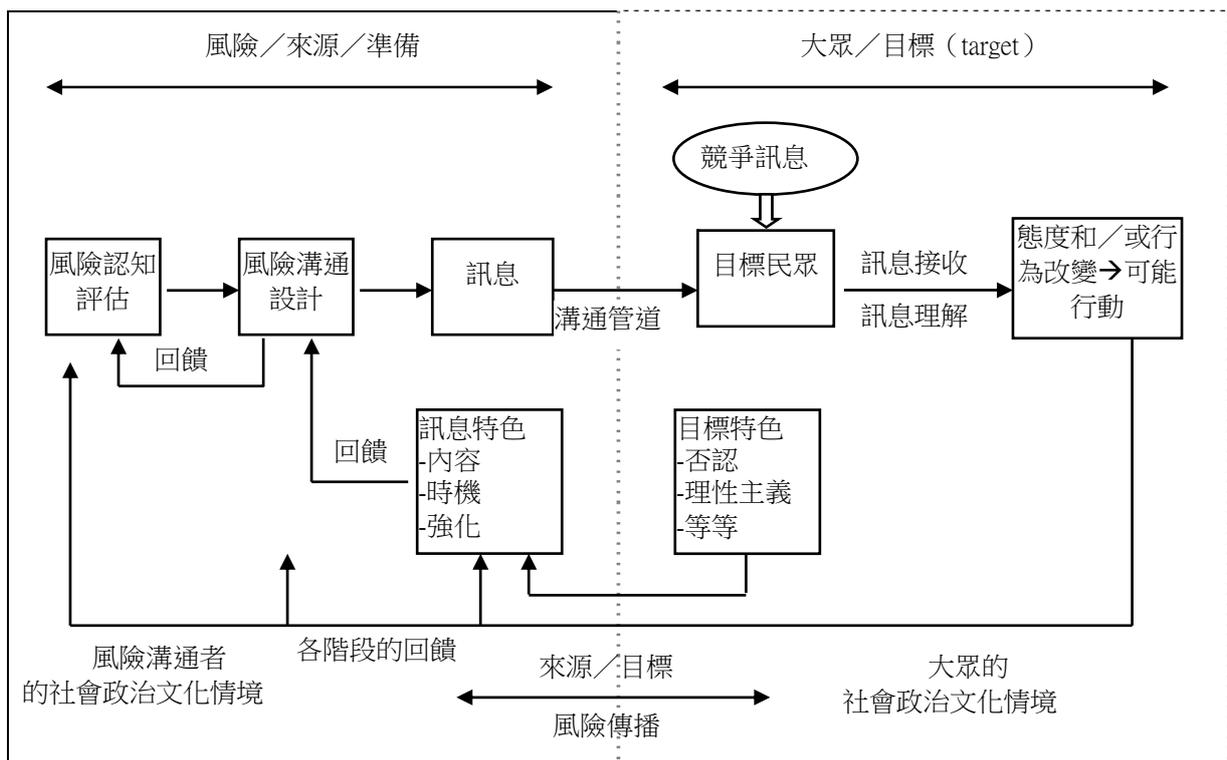


圖 5 風險溝通的過程^[8]

(三) 溝通策略與模式

公共關係之目的在建立企業與公眾間的雙向溝通及相互了解。因此，公共關係在組織系統中扮演著邊際角色，作為組織

對內、對外的溝通橋樑，並利用各種溝通管道解決問題，促使組織在溝通過程的順利運作。

當抗爭事件發生時，組織之正常機制

運作可能受到干擾，無法立即反應突發事實，公共關係在此時所扮演的角色，對內即在蒐集外界資訊以供決策者做出反應，說明組織決策結果可能會對公眾產生之影響，以協助決策者進而修正決策品質，對外則利用各種溝通管道對溝通公眾說明，以示組織負責的決心，藉以挽回組織聲譽並恢復正常運作，而此時的工作重點即在於溝通。而因民眾危機風險意識引起的公共工程衝突抗爭，其溝通策略可應用 Coombs (1995) 所發展出的五大「危機回應策略」。其分別為「不存在策略」；「距離性策略」；「迎合策略」；「屈辱策略」和「哀兵策略」^[9]。

1. 不存在策略

「不存在策略」是一種消弭於無形的策略。該策略前提認為，假使危機不存在，危機所產生的負面殺傷力也就無法損及組織形象。因此，該策略目標是要凸顯組織和危機之間，並沒有任何連結關係，亦即極力強調不存在。

2. 距離性策略

「距離性策略」雖然承認危機存在，但卻希望創造一個使溝通公眾較能接受的說法，藉此弱化組織與危機間關係。這個策略前提認為，危機發生原因如能為溝通公眾所接受，那麼就能減緩公眾因危機而對組織產生的負面評價。換言之，藉由弱化危機與組織間的關聯，自能降低危機所產生的形象損害。

3. 迎合策略

「迎合策略」主要尋求溝通公眾對組織的認同。換言之，組織希望藉由具有正面評價的事件與組織相互連結，尋求公眾對組織的認同與支持。

4. 屈辱策略：

「屈辱策略」主要是求取溝通公眾諒解，接受危機事件既已發生的事實。

5. 哀兵策略

「哀兵策略」是危機回應策略中較為獨特的策略使用，此策略儼然將組織在危機事件中描繪成受到不公平待遇的受害者，希望藉此博取溝通公眾之同情。

簡言之，Coombs 在危機回應策略中所提及的「不存在策略」、「距離性策略」、和「哀兵策略」，皆是組織企圖影響溝通公眾對組織在危機事件中的責任歸因。「不存在策略」基本主張在於，假使危機不存在，組織自然不必對危機帶來的負面影響負責。「距離性策略」主要將危機責任導向組織非蓄意，或是外在原因所造成。此策略基本主張在於，假使危機能被公眾解讀為組織並非蓄意所為，或是造成危機的原因是由外在因素所導致，組織自然不必承受較大的危機責任。至於「哀兵策略」，同樣是將危機起因界定於外在因素所導致，並且為組織所無法事先掌控，該策略使用之目的也是希望減少溝通公眾對組織在危機事件中的責任歸因。

另外，「屈辱策略」和「迎合策略」皆組織企圖利用過去正面形象，抵銷溝通公眾在危機事件中對組織產生的負面歸因。「屈辱策略」的基本主張在於，組織如果能在一定程度範圍內負起責任，並採取實際行動作為危機事件之賠償，將有助組織重新建立起正面形象。「迎合策略」則是組織提供一些對其有利之正面舉動，希望藉此抵銷溝通公眾對組織形象產生的負面歸因。然而，迎合策略中所謂有利之正面舉動，通常無關危機事件本身。

茲將學者研究之溝通策略與模式整理如表 2。

表 2 溝通策略與模式

溝通策略	溝通模式
不存在策略	技術模式
距離性策略	民主模式
迎合策略	
屈辱策略	
哀兵策略	

本研究將溝通及談判策略模式視為衝突管理中化解衝突的一個次級管理過程。此過程是一種持續發展的動態管理行為，目的在於以衝突管理理論基礎之架構下，因應抗爭民眾之類型、特質及訴求，配合不同情境及可運用資源下，選擇一種或數種溝通策略模式交互運用，期能以對等雙向溝通，進行雙方意見之充分交流，一方面讓公眾了解公用事業工程之性質，一方面也讓公用事業更貼近民眾想法，以達到雙贏為目的。有關談判之策略模式所應用之相關學者論述，將於下一節中加以介紹。

三、談判策略模式理論^[10]

談判是一種策略性的溝通，目的在於化解衝突，但它只可視為解決衝突的途徑之一。根據黃鈴媚於其所著「談判與協商」一書指出：儘管哈佛大學教授薛林主張(Schelling, 1960)，“絕大多數的衝突情境本質上都是談判情境”；但是，是否採取談判來解決衝突，還是應該先進行評估。什麼情況下，談判才是一種適當的衝突解決途徑呢？約翰霍普金斯大學教授札特曼和波爾曼為(Zartman & Breman, 1982, pp. 46-47)，適用談判的衝突情境至少必須具備兩個特徵，第一，衝突當事者都同意，衝突無法再繼續拖延下去，需要一個解決方案；第二，衝突應該如何被解決，必須每一個衝突當事者一致贊成。換言之，大家都沒有辦法再忍受既存問題不被解決，又都有意願解決問題；但是，單方面的努力或擁有的資源卻又都不足以單獨解決問題，因而需要每個衝突當事者共同參與。很重要的是，最後衝突如何被解決的決策機制，並非像投票般採取多數決或由最高權威決定，而是每個衝突當事者都具否決任何提案(包括最後協議)的權力。一個衝突情境若具備上述特徵，它便具備可談判性。

由此可知，一個衝突事件若因雙方認知差距過大，在沒有任何交集之前仍需運用前節所述的溝通策略與模式，以為雙方創造交集，才有利於進一步進行談判，以謀求衝突之化解。

(一) 談判的定義^[10]

1. 談判情境就是一個參與者達成自己目標的能力，大幅度地依賴其他參與者的選擇或決定(Schelling, 1960, p. 5)；
2. 提出具體的提案以達成交換的協議，或即使存在許多衝突利益也能完成一個共同利益的協議之過程(Ikle, 1964, pp. 3-4)；
3. 兩個或以上的當事者間存在一些明顯的衝突，透過策略性互動而產生聯合決定的行動，可以獲取比其它行動方式更好的結果之過程(Lax & Sebenius, 1986, p. 11)。

(二) 談判策略與戰術

談判策略與模式的擬定，必須考慮衝突事件的本質及其背後隱含的關係與利益，以深入了解衝突所爭的是利益或立場，處理事件本身比較重要，還是處理人比較優先。有了事前的分析才能選用適當的談判策略與戰術。研究指出，根據衝突學者的分類，積極處理策略包括競爭策略、解決問題策略和退讓策略，除了上述三種策略外，其他衝突學者有時候會在相關論述中包括迴避策略和妥協策略^[10]。

由於一個策略通常包括不同的具體執行戰術，衝突當事者在選用同一類策略的戰術時，傾向先使用其中強度比較弱者，假如先前戰術沒有產生預期效果時，後續戰術再逐漸加強。以競爭策略而言，相關戰術由弱而強的排序如下：阿諛奉承、惹人生氣、情感勒索、強勢說服、威脅、鎖死立場，因而當衝突當事者使用競爭策略時，相關戰術出現的順序大致也會依循以上由左而右的排序。然而最佳的談判策略如何選擇呢？依據美國賓州大學謝爾教授所著《談判優勢》^[11]一書中所提的資訊導向談判法指出，衝突必須因個案的獨特性加以考量，沒有一個可以一通用的衝突解決策略，依據雙方未來關係的重要性及資源衝突的程度為變數劃分出四個談判情

境，並分別建議適當的衝突解決策略如下：

1. 當未來關係之重要性和資源衝突程度都很低時，屬於默契式統合情境；此時最佳的策略是迴避。
2. 當未來關係之重要性較低而資源衝突程度比較高時，屬於商品交易情境；此時最佳的策略是競爭。
3. 當未來關係之重要性較高而資源衝突程度比較低時，屬於關係至上情境；此時最佳的策略是退讓。
4. 當未來關係之重要性和資源衝突程度相等時，屬於關切平衡情境；此時最佳的策略是解決問題。

(三) 談判模式^[10]

依據過去學者研究，歸納談判模式有

1.完全利益衝突賽局模式。2.固定大餅迷思模式。3.最大私利化模式三種。介紹如下：

1. 完全衝突賽局模式

談判是一種競賽，有人贏就有人輸，雙方的利益呈現完美的負相關關係，亦即增加一方之獲利必同時減少一方之獲利，所以學者也稱其完全衝突賽局(Thompson, 1998)；在賽局理論中它還有另一個名字，那就是零和賽局。根據賽局理論，賽局種類係按照效用(參賽者賦予各選項的主觀價值)的分配情況而定，當所有參賽者的聯合效用總值為零時，亦即某些參賽者的獲利剛好與其他參賽者的損失互相抵消，這就是一種零和賽局；相對地，假如所有參賽者的損失與獲利的總和可能為負值或正值時(亦即總和不一定為零)，就是一個非零和賽局(Hopmann, 1996)。換言之，完全衝突賽局也是一個總和固定賽局，也就是說可供分配的資源是固定的，因此衍生出談判者二個假設：固定大餅迷思。

2. 固定大餅迷思模式

一般人比較熟悉的衝突情境通常只

涉及一項單獨爭議(例如，跟夜市地攤業者為一個皮包的價錢討價還價)，這種情形就像是搶占“僅有的一塊大餅”，唯一一方的利益被犧牲，另一方才能獨享大餅，亦即“有利於對方的，一定對自己有害”。這種假定自己的利益一定和對方的利益互相衝突的想法，就是學者所說的固定大餅迷思(Bazerman & Neale, 1992, p. 16)。雖然只涉及一項單獨爭議之衝突情景並不代表所有可能發生的衝突，但是美國西北大學凱洛格企管研究所的湯普森教授(Leigh Thompson)卻發現，固定大餅迷思大部份未受過訓練的人了解談判主要基模(Thompson, 1991)。

認知學派的衝突學者指出，固定大餅迷思使得衝突雙方推定，彼此間不可能存在任何可以創造聯合利益的解決方案，因而也不會花心思去發現或創造具備聯合利益的解決方案(Pinkley, Griffith, & Northcraft, 1995; Thompson & Hastie, 1990a, 1990b)。其次，即使彼此在某項爭議上有相同利益時，最後也會找不出兩全其美的解決方案，因為受到不能相容的偏見(亦即假設一方之利益與另一方之利益一定無法相容或共存)之影響，雙方面將假設要達成協議必須有一方妥協(Thompson, 1991)。

3. 最大化私利模式

談判者除了假定可分配資源屬於固定總和，以及雙方所追求的目標完全衝突，也假定所有的談判者理性的，亦即會選擇可以最大化自己的利益或者將損失降至最低的行動方案。然而，如何才能作出理性的決策行為呢？關於理性行為原則的討論，最著名的莫過於預期效用理論(von Neumann & Morgenstern, 1944)。根據這個理論，一個理性的行為者所採取的行動必須能夠提供最大主觀

預期效用，而所謂的主觀預期效用受到兩個因素的影響：行動方案成功的可能性、行動方案的效用。換言之，理性的行為者會捨棄一個具備很高效用而成功機率十分渺茫的行動選項，但選擇一個具備相對上效用較低而成功機率很高的行動選項。

理論上，這個假設也是賽局理論的基本假設。受到這個基本假設的影響，每一個談判者在選擇策略時，主要的考量是自己立即的利益。此時，談判者不為了長期利益(譬如，維持雙方關係)而接受一個比較差的選項。換言之，談判者是以追求自己的最大獲利為主要目標，並不在乎對手的獲利多寡。因此，談判者會極度關切行動結果對自己的負面影響，但是並不關切行動結果對另一方的負面影響。

茲將本節學者研究之談判策略與模式整理如表 3。

表 3 談判策略與模式

談判策略	談判模式
競爭策略	完全利益衝突賽局模式
解決問題策略	固定大餅迷思模式
退讓策略	最大私利化模式
迴避策略	
妥協策略	

此外由表 2 及表 3 可知，總結有關溝通及談判之策略大抵與汪明生^[4]衝突管理之面對衝突 5 大回應策略一致。故本研究將以汪明生衝突管理之面對衝突 5 大回應策略為主，加上溝通及談判模式為橫軸，以過去台電輸變電工程衝突個案為縱軸，歸納以往工程抗爭案件最後大抵採用何種策略模式來化解衝突，並觀察其策略模式之應用趨勢，提供抗爭處理者做為未來處理抗爭之參考。

參、研究方法

一、文獻資料歸納法

本研究將透過文獻資料歸納法，蒐集台電輸變電工程過去 20 年多來遭遇民眾抗爭之案件，歸納其訴求與後來處理之結果，預期能達到下列目的：

- (一) 透過民眾抗爭訴求之歸納，對應學者衝突回應策略理論於台電輸變電工程抗爭之應用，分析民眾衝突事件之意涵。
- (二) 根據民眾衝突事件之意涵，將民眾訴求型態分為「經濟訴求型」、「非經濟訴求型」及「藉非經濟訴求型」3 類，做為「衝突矩陣」X 軸。再對應工程抗爭激烈程度為 Y 軸，採用學者衝突管理理論中之--「迴避策略」、「競爭策略」、「迎合策略」、「妥協策略」建立 3 大 2 維「衝突矩陣」，提供抗爭處理者面對不同抗爭型態，建議應採取適當之衝突回應模式。
- (三) 本研究由下列途徑蒐集相關文獻資料：

1. 過去學者相關領域之研究資料：

本研究將在郭晁坤(2001)碩士論文^[12]之基礎上，參考其他學者有關衝突管理上之研究成果，對應當前輸變電工程抗爭，建立適當之衝突回應模式。

2. 台電公司內部網站資訊：

將從相關統計數據(如架空線路地下化層度及變電所設計進化)，了解過去台電輸變電工程面對民眾抗爭，是否在工程規劃設計上做出調整，以為正面回應降低衝突，或抑僅就專業考量進行規劃設計，忽略民眾抗爭訴求，以探討民眾抗爭衝突是否帶來正面之意義與結果。

3. 政府法規及相關補償規定：

法規制定是否合時，將直接影響公共工程遭遇抗爭之強度。過時之法令不

僅造成民怨，亦使公用事業執行窒礙難行。本研究將檢視「電業法」及「台灣電力股份有限公司促進電源開發協助基金執行要點」，對下列議題加以探討：

(1) 電業法：了解面對抗爭，法規是否隨時代演進做出相關修改，並探討其於工程衝突中所扮演之角色。

(2) 台灣電力股份有限公司促進電源開發協助基金執行要點：了解工程抗爭是否有因本要點之實施，而對降低衝突有所助益。

4. 台電輸變電工程衝突抗爭事件歷史檔案整理：

本研究將抽樣 1991 年至今台電輸變電工程處所負責興建之變電所工程及輸電線路工程各 40 件，了解各別工程民眾抗爭激烈程度及訴求強弱，是運用衝突管理理論中何種衝突回應策略化解抗爭，並分析 20 年多來台電輸變電工程衝突回應策略之運用趨勢。為本研究「衝突矩陣」建立依據提供基本資料。

二、專家問卷訪談法

(一) 訪談對象：

訪談對象包含歷年來有實際參與台電輸變電工程抗爭處理之相關當事人，包括台電公司輸變電工程處中、高階主管及從事溝通業務的第一線人員 8~10 人。

(二) 訪談預期目的：

經由受訪人之問卷填答除協助探討「衝突矩陣」X 軸：訴求型態與 Y 軸：民眾抗爭激烈程度之關聯性，及印證本研究「衝突矩陣」之實用性與調整建議，另對衝突策略應用妥適性提出看法；另外亦請受訪者面對日後之工程衝突，請其在現行制度面及法規面下，提供前瞻性之改善建議。

(三) 訪談對象擇取之條件限制：

為印證「衝突矩陣」之實用性，及考量問卷填答之有效性。本研究所擇取之訪談對象必須有一定之抗爭處理經驗及衝突管理理論基礎，方能有效印證本研究「衝突矩陣」之信度。

1. 須受過台電公司自辦訓練：「談判、協商與抗爭處理班」或「中階主管培訓班」結訓成績合格者。

由於上述訓練課程，內容規劃包含衝突管理理論之策略運用及溝通、談判相關技巧，使受訪對象初俱相關理論基礎，有助於理解本研究問卷設計之意義，使受訪者易於了解研究者真正想要獲取之資料為何，並可有效協助受訪者進行問卷填答。

2. 抗爭處理經驗必須 5 次以上：

透過上述課程訓練，受訪者雖初俱問卷填答能力，但若有實際從事抗爭處理經驗，可協助受訪者根據本身過去經驗，對本研究建立之「衝突矩陣」中，衝突回應策略應用之妥適性加以印證。

3. 目前從事相關抗爭業務處理者：

本研究目的之一在於建立「衝突矩陣」，為抗爭處理者提供一套化解衝突之策略運用模式，受訪者若為目前從事相關抗爭業務處理者，透過問卷填答，可根據受訪者現在經驗，印證「衝突矩陣」中，衝突回應策略應用之妥適性。

4. 受訪者應屬不同工作領域之精英：

本研究系以台電輸電線路及變電所工程衝突為研究標的，由於二者工程屬性不同，前者線路距離長，途經穿鄉過鎮影響層面廣。同是抗爭者，其抗爭型態與訴求，極可能因文化背景及認知差距，造成衝突回應策略之應用上有顯著不同。而後者屬點的工程，受影響者僅限於變電所週遭一定範圍內之居民，民眾文化同質性較高，在衝突回應策略之

運用上可能相對單純。

由於上述工程差異，抗爭處理人員對於抗爭處理模式及思考邏輯亦會產生差異，為印證本研究建立之「衝突矩陣」在不同工程屬性之應用上均俱有效性，對於受訪者之擇取將考慮其從事之工作屬性，平衡選擇受訪對象。

(四) 專家問卷訪問題綱

專家問卷主要在於證實「衝突矩陣」之實用性及對現行制度面及法規面提供前瞻性建議。故首先必須經由受訪者證實「衝突矩陣」X、Y 軸之關聯性，再者是衝突回應策略運用於不同矩陣中對應性及妥適性之看法，因此問卷設計題目如下：

1. 請問您認為輸變電工程產生抗爭時，民眾的訴求與抗爭激烈程度之關聯性？
2. 請問您在處理輸變電工程抗爭時，最先考慮之因素？
3. 請問您對於上述三種「衝突矩陣」的策略應用對應性看法？
4. 依您過去處理抗爭之經驗，請您試舉相關案

例，印證上述三種「衝突矩陣」之實用性。

5. 請問若要降低輸變電工程衝突的程度，在現行制度面及法規面下，您有何前瞻性之改善建議？

肆、工程衝突事件分析

一、輸變電工程定位與發展

(一) 輸變電工程之定位

台電公司之電力系統從發電、輸電、配電及至售電，整個過程均由台電公司自行投資興建。電力由發電廠輸出後，為提升能源利用效率、減少電力傳輸損失，必須以高電壓方式加以輸送。因應此一需要，台電公司於 1954 年成立輸配電工程處（現已改制為輸變電工程處），專責相關變電所與輸電線路之興建迄今。

有關本研究探討之輸變電工程於電力系統之定位詳圖 6。

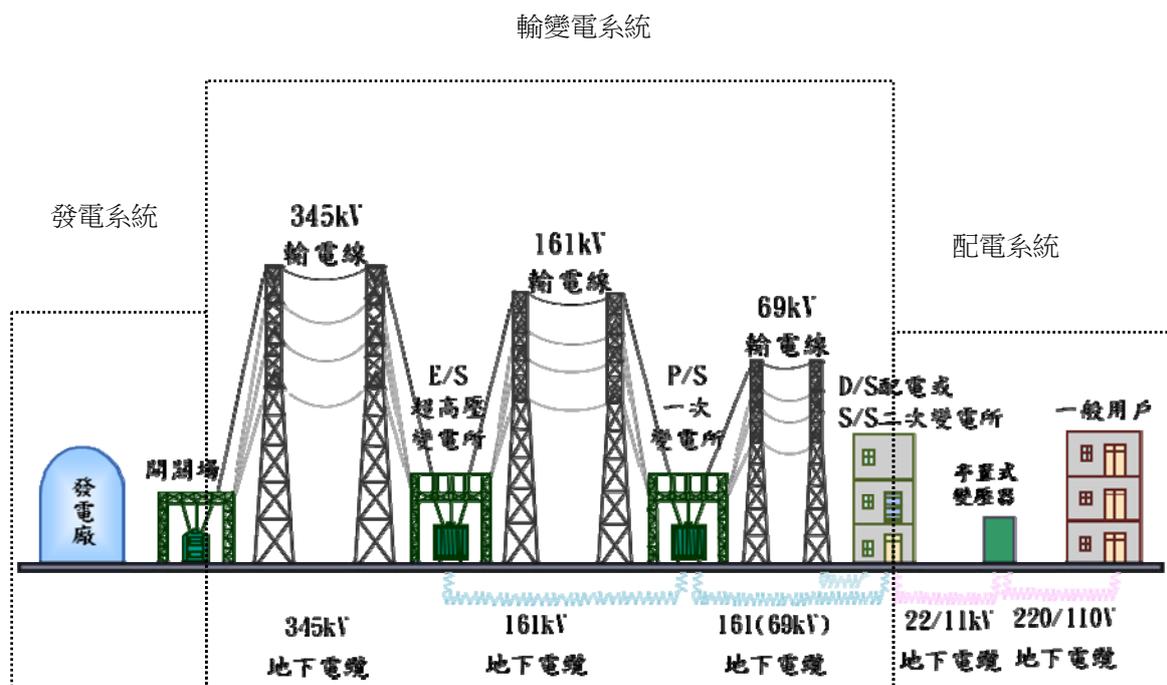


圖 6 輸變電工程於電力系統之定位

二、歷史衝突事件整理分析

由於台電輸變電工程衝突係自 1991 年起方有逐漸擴張之現象，故本研究蒐集自 1991 年起自今，台電輸變電工程抗爭事件中較具代表性者共 80 個樣本，做為研究分析之對象。為分析方便將依工程性質分為變電所工程及輸電線路工程等 2 大類，並依抗爭先後年份加以概略排序，試圖由年代演進找出過去台電公司衝突管理、溝通及談判策略模式運用之演變趨勢。

三、資料分析與研究發現

(一) 資料分析

根據抽樣整理台電輸變電工程 80 件抗爭工程個案，對應文獻探討中衝突回應策略、溝通及談判模式，將台電歷年變電所與輸電線路工程衝突管理策略模式運用概況分析整理如表 4 及表 5。

(二) 研究發現

觀察表 4 變電所抗爭 40 個樣本中，採用「妥協策略」共 27 件，採用「迎合策略」共 7 件，採用「競爭策略」共 4 件，採用「迴避策略」共 2 件，可知近 20 年來台電變電所抗爭所採用之衝突回應策略大抵以「妥協」為主，而溝通模式以「技術」為主「民主」為輔，而談判模式以「最大私利化」為主，並沒有因時間演進而影響台電公司策略模式之應用。

但觀察表 5 輸電線路抗爭 40 個樣本中則有明顯變化。採用「妥協策略」共 19 件，採用「迎合策略」共 9 件，採用「競爭策略」共 12 件，並無採用「迴避策略」。由年代演進顯示，輸電線路抗爭早年採用之衝突管理策略以「妥協」為主，而近年則漸由以「競爭」取代「妥協」，顯示台電公司在處理線路工程抗爭有逐漸強硬之趨勢，雖然溝通模式與處理變電所抗爭一致，但談判模式卻由「最大私利化」偏向

「完全利益衝突賽局」。經研究分析，此現象生成之原因有二：

- 1.由於近年來民眾對生活環境重視度提高，因而對諸如電磁場等知覺風險較以往敏感，再者民眾對土地價值認知相較過去更為重視，導致台電採取溫和之衝突管理回應策略透過溝通仍無法將抗爭者導入談判階段，面對供電壓力，故台電公司改採強硬之競爭策略，迫使工程進行。
- 2.另外近年各地由於工業園區及科學園區紛紛設立，地方政府基於發展經濟需電孔急，在衡量抗爭勢力(選票壓力)與經濟發展熟輕熟重相較下，對台電輸電工程轉趨支持，而以公權力介入支持台電強制施工。

然而依目前台灣社經情勢，民眾環保意識抬頭、產業投資趨緩、大型經建計劃不再及台灣供電系統建構逐漸穩定之情況下，地方政府近年來對於台電輸變電工程之支持度，經筆者實際從事接觸之觀察，已有轉趨保守之態勢，這對台電面對抗爭民眾應採之衝突回應策略有何影響，仍有待觀察。另外根據歸納民眾衝突訴求，對應台電公司採取之衝突回應策略整理如表 6。

經由表 6 可一窺公共工程發生衝突事件之意涵，其分析說明如下：

- 1.以「輸電設備電磁場會影響健康」為例：

此訴求在 80 個工程樣本中共佔 45 件，為衝突訴求中最高者，經統計本訴求化解衝突之方式高達 26 件係採取回饋地方(妥協策略)加以解決。依正規衝突回應策略，台電公司若能配合降低電磁場者，應採取迎合策略以滿足民眾訴求，若屬抗爭者之無理要求者，應採競爭策略強制施工或採迴避策略忽視衝突之存在，然採用此二種策略處理衝突者合計僅佔 19 件。顯示過去民眾以此議題做為抗爭訴求，其大部份並非抗爭之真正目的，而是獲取利益之手段。

表 4 台電變電所工程衝突管理策略模式運用分析表

年代	編號	衝突化解策略					溝通模式		談判模式		
		競爭	迴避	妥協	合作	迎合	民主	技術	完全利益 衝突賽局	固定大 餅迷思	最大私利化
1991 年	A1			●		○	○	●			●
	A2			●				●			●
	A3	●						●	●		
	A4	●						●	●		
	A5			●				●			●
	A6	●						●	●		
	A7			●			○	●			●
	A8			●			○	●			●
	A9			●		○	○	●			●
	A10	●		○			○	●	●		
2000 年	A11			●			○	●			●
	A12			●			○	●			●
	A13			●			○	●			●
	A14					●	○	●	●		
	A15					●	○	●	●		
	A16			●			○	●			●
	A17			●			○	●			●
	A18			●		○	○	●			●
	A19			●		○	○	●			●
	A20					●	○	●	●		
2001 年	A21			●		○	○	●			●
	A22			●			○	●			●
	A23			●			○	●			●
	A24			●			○	●			●
	A25			●			○	●			●
	A26			●			○	●			●
	A27			●			○	●			●
	A28			●			○	●			●
	A29			●			○	●			●
	A30			●			○	●			●
迄今	A31			●			○	●			●
	A32					●	○	●	●		
	A33					●	○	●	●		
	A34					●	○	●	●		
	A35			●			○	●			●
	A36			●			○	●			●
	A37			●			○	●			●
	A38		●					●	●		
	A39		●					●	●		
	A40					●	○	●	●		

●：代表主要策略模式 ○：代表次要策略模式

表 5 台電輸電線路工程衝突管理策略模式運用分析表

年代	編號	衝突化解策略					溝通模式		談判模式		
		競爭	迴避	妥協	合作	迎合	民主	技術	完全利益 衝突賽局	固定大 餅迷思	最大私利化
1991 年	B1			●		●	○	●			●
	B2					●	○	●			●
	B3			●			○	●			●
	B4					●	○	●	●		
	B5			●		○	○	●			●
	B6			●		○	○	●			●
	B7			●		○	○	●			●
	B8			●		○	○	●			●
	B9			●			○	●			●
	B10	●		○			○	●			●
2000 年	B11			●		●	○	●			●
	B12					●	○	●	●		
	B13					●	○	●	●		
	B14			●			○	●			●
	B15			●			○	●			●
	B16			●			○	●			●
	B17			●			○	●			●
	B18					●	○	●	●		
	B19	●					○	●	●		
	B20	●					○	●	●		
2001 年	B21					●	○	●			●
	B22			●			○	●			●
	B23					●	○	●			●
	B24			●			○	●			●
	B25	●					○	●	●		
	B26	●				●	○	●	●		●
	B27	●						●	●		
	B28			●			○	●			●
	B29			●			○	●			●
	B30			●			○	●			●
迄今	B31	●					○	●	●		
	B32	●					○	●	●		
	B33					●	○	●	●		
	B34			●			○	●			●
	B35	●					○	●	●		
	B36	●					○	●	●		
	B37	●					○	●	●		
	B38			●			○	●			●
	B39	●					○	●	●		
	B40	●					○	●	●		

●：代表主要策略模式 ○：代表次要策略模式

表 6 台電輸變電工程衝突抗爭訴求與衝突管理回應策略對應表

抗爭訴求	個案數 (註)	衝突管理回應策略(個案數)					訴求背後另有目的(件)	訴求為抗爭真正目的(件)
		競爭	迴避	妥協	合作	迎合		
1. 輸電設備電磁場會影響健康	45	10	2	26	0	7	26	19
2. 輸電設備運轉有安全顧慮	23	4	1	14	0	4	14	9
3. 影響房、地價	30	10	0	15	0	5	0	30
4. 回饋地方	24	2	0	22	0	0	0	24
5. 電價優惠	7	0	0	5	0	2	0	7
6. 輸電設備地下化	6	0	0	5	0	1	5	1
7. 未尊重地方事先溝通	2	0	0	2	0	0	2	0
8. 影響生態環境	11	0	0	5	0	6	5	6
9. 施工品質不良造成鄰損	3	1	0	1	0	1	1	2
10. 破壞風水地理	4	2	0	1	0	1	1	3
合計		29	3	96	0	27	54	101

2. 以「輸電設備運轉有安全顧慮」為例：

此點在衝突訴求中雖只佔 23 例，但其中高達 14 例是以回饋地方(妥協策略)解決衝突。依照人類趨吉避凶之行為本能而言，面對有安全顧慮之情況下，應是逃避或起身反抗。回饋、補償等金錢獲得應無法消除實質之安全威脅，是故本訴求亦可視為民眾獲取利益之手段。

3. 以「影響房、地價」為例：

此點在衝突訴求中佔 30 例，其中 15 例是以回饋地方(妥協策略)解決衝突，5 例迎合地方易地興建，10 例因地方要價太高，溝通無效因而採取競爭策略強制施工。本訴求全數為抗爭者真正目的。惟此訴求在 80 個工程樣本中只佔 30 件，顯示民眾在面對風險展開抗爭時，對於內心真正訴求，由於文化因素，多數仍不願直接表達，此點與其它衝突訴求諸如「回饋地方」於 80 個工程樣本中僅佔 24 例、「電價優惠」80 個工程樣

本中僅佔 7 例可得到實證。此一研究發現對於處理衝突事件在與民眾接觸時，溝通人員是否能正確掌握抗爭者心態，及了解抗爭背後之真正意圖，緩和現場衝突張力達到預期效果提供重要參考。

其它抗爭訴求諸如：「輸電設備地下化」與「未尊重地方事先溝通」等，由衝突管理回應策略統計數字來看，均可視為民眾獲取利益之手段。而「影響生態環境」及「施工品質不良造成鄰損」之訴求則因訴求背後另有目的及訴求為抗爭真正目的之件數差異較小，無法明顯指出其衝突含意之趨向。

此外從「破壞風水地理」訴求 4 件個案中發現，僅有 1 例以回饋地方(妥協策略)解決衝突，另 2 例因溝通失敗採競爭策略強制執行；另 1 例採迎合策略移位興建，可見台灣民眾對風水地理之重視程度，不易由溝通改變其風險知覺，是故台電公司在從事輸變電設備建設之

位置勘選及規劃時，對於當地人文地理及風土民情之資料蒐集，建議應予重視，方可避免一些不必要之衝突。

伍、工程衝突矩陣

一、衝突矩陣維度

(一) 衝突訴求型態之屬性分類

由表 6 顯示，台電輸變電工程抗爭訴求約可分 10 大類。經分析其訴求意涵或為抗爭者真正想達到之目的，或僅是抗爭者獲取利益之手段。然若以抗爭屬性分類，筆者認為可大略分為「經濟訴求型」及「非經濟訴求型」二大類型。而「非經濟訴求型」依其訴求真實性或背後另有目的可再分出「藉非經濟訴求型」。本研究茲將此 3 種訴求類型分別定義如下：

1. 「經濟訴求型」：

凡抗爭者與台電抗爭之訴求，明顯有獲取實質利益之表示者(如以地價下跌要求賠償或電價優惠為訴求)。

2. 「非經濟訴求型」：

凡抗爭者與台電抗爭之訴求，與獲取實質利益無關者。(如以電磁場影響健康為訴求)

3. 「藉非經濟訴求型」：

凡抗爭者與台電抗爭之訴求，係為獲取實質利益之談判籌碼者。(如表面以質疑變電所安全性為訴求，背後以要求回饋為目的。)

根據以上 3 種類型，筆者將表 6 台電輸變電工程抗爭訴求與衝突管理回應策略對應表，依工程個案所使用之衝突管理回應策略，轉換成台電輸變電工程抗爭訴求型態表，如表 7 所示。

表 7 台電輸變電工程抗爭訴求型態表

抗爭訴求	訴求型態		
	經濟訴求型	非經濟訴求型	藉非經濟訴求型
1. 輸電設備電磁場會影響健康		✓	✓
2. 輸電設備運轉有安全顧慮		✓	✓
3. 影響房、地價	✓		
4. 回饋地方	✓		
5. 電價優惠	✓		
6. 輸電設備地下化		✓	✓
7. 未尊重地方事先溝通			✓
8. 影響生態環境		✓	✓
9. 施工品質不良造成鄰損	✓		
10. 破壞風水地理		✓	✓

(二) 衝突矩陣之建立

本研究所建立之「衝突矩陣」將以「抗爭訴求型態」之強弱為 X 軸，對應「抗爭激烈程度」之高低為 Y 軸，其建立依據說明如下：

1. 依本研究蒐集 80 件工程個案，根據其「抗爭激烈程度」、「抗爭訴求型態」及最後化

解衝突所採之策略為基本資料。如表 8 及表 9。

2. 依上述，再結合筆者過去處理抗爭之經驗及受訪者提供之抗爭處理案例。
3. 依上述，本研究建立之 3 大 2 維矩陣如圖 7、8 及 9。

表 8 台電變電所衝突策略與「抗爭程度」、「抗爭訴求」對應表

年代	編號	衝突化解策略					抗爭激烈程度		抗爭訴求型態					
									經濟型		非經濟型		藉非經濟型	
		競爭	迴避	妥協	合作	迎合	高	低	強	弱	強	弱	強	弱
1991 年	A1			●			●			●	●			
	A2			●			●				●			
	A3	●						●		●		●		
	A4	●						●		●		●		
	A5			●				●				●		
	A6	●					●	●	●			●		
	A7			●			●			●				
	A8			●				●		●				●
	A9			●			●			●	●			
	A10	●						●			●			
2000 年	A11			●				●		●				●
	A12			●				●		●		●		●
	A13			●				●		●		●		●
	A14					●	●		●		●			●
	A15					●	●		●		●			
	A16			●			●			●				●
	A17			●				●		●				●
	A18			●			●			●	●			●
	A19			●				●		●				●
	A20					●	●			●				
2001 年	A21			●			●			●			●	●
	A22			●				●					●	
	A23			●				●		●				
	A24			●				●						●
	A25			●				●						●
	A26			●			●			●			●	
	A27			●			●			●			●	
	A28			●			●			●				●
	A29			●				●		●				
	A30			●				●				●		
迄 今	A31			●		●	●		●	●			●	
	A32					●	●		●		●			
	A33					●	●		●		●			
	A34					●	●		●		●			
	A35			●			●			●		●		
	A36			●				●			●			
	A37			●				●			●		●	
	A38		●					●		●				●
	A39		●					●				●		
	A40					●	●		●		●			

表 9 台電輸電線路衝突策略與「抗爭程度」、「抗爭訴求」對應表

年代	編號	衝突化解策略					抗爭激烈程度		抗爭訴求型態					
									經濟型		非經濟型		藉非經濟型	
		競爭	迴避	妥協	合作	迎合	高	低	強	弱	強	弱	強	弱
1991 年	B1			●				●					●	
	B2					●	●	●		●				
	B3			●			●			●				
	B4					●	●				●			
	B5			●			●			●		●		
	B6			●			●			●				
	B7			●			●			●				
	B8			●			●			●		●		
	B9			●			●			●				
	B10	●						●		●			●	
2000 年	B11			●			●	●						●
	B12					●	●				●			
	B13					●	●				●			
	B14			●			●			●		●		
	B15			●			●			●		●		
	B16			●			●			●				
	B17			●			●			●				
	B18					●	●				●			
	B19	●						●			●			
	B20	●						●		●				
2001 年	B21					●	●				●			
	B22			●			●							●
	B23					●	●				●			
	B24			●			●			●				
	B25	●					●		●		●			
	B26					●	●				●			
	B27	●					●				●			
	B28			●			●				●			
	B29			●			●				●			
	B30			●			●				●			
迄今	B31	●						●			●			
	B32	●						●			●			
	B33					●	●			●				
	B34			●			●				●			●
	B35	●					●				●			
	B36	●						●	●			●		
	B37	●						●	●					
	B38			●			●			●		●		
	B39	●					●		●		●			
	B40	●					●		●					

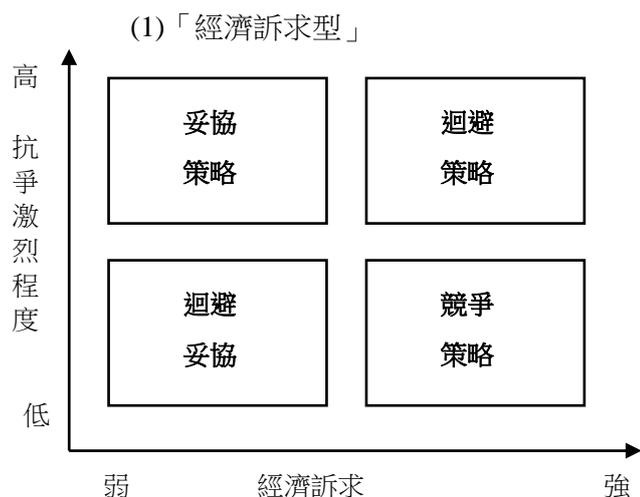


圖 7 「經濟訴求型」衝突矩陣

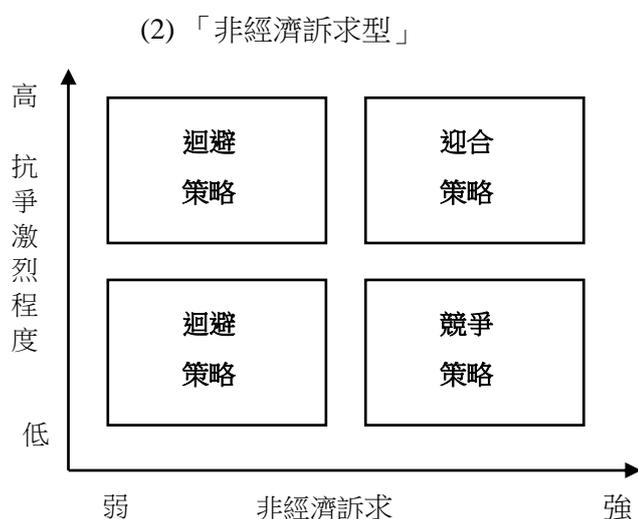


圖 8 「非經濟訴求型」衝突矩陣

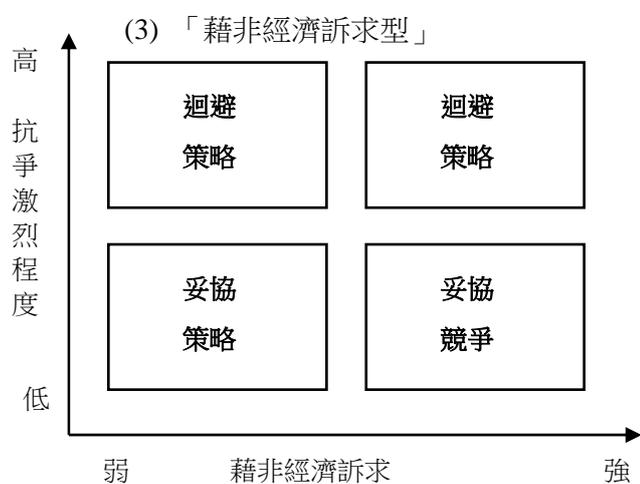


圖 9 「藉非經濟訴求型」衝突矩陣

二、實證研究

藉由專家訪談印證本研究「衝突矩陣」之實用性及探討其是否應加以調整；另外面對輸變電工程衝突，在現行制度面及法規面下，也請受訪者提供降低衝突之前瞻性改善建議。

有關受訪者個人基本資料整理如表 10，專家問卷(略)。

根據回收受訪者問卷，針對「衝突矩陣」實用性印證與調整，分述如下：

(一) 「衝突矩陣」X 軸--「抗爭訴求型態」與 Y 軸--「抗爭激烈程度」之關聯性：

經由受訪者問卷回收證實，「抗爭訴求型態」與「抗爭激烈程度」屬正相關，初步為本研究「衝突矩陣」建立架構之妥適性提供支持。

(二) 關於上述三種「衝突矩陣」的策略應用對應性看法：

以受訪者意見，本研究所建立之 3 種 2 維矩陣，其策略應用之對應性尚稱適當，惟 NO.1、NO.2、NO.9 受訪者認為，就以往抗爭處理經驗，民眾抗爭激烈程度及抗爭訴求型態，會隨抗爭處理人員溝通能力及民眾抗爭可用資源做動態變化，故三種衝突矩陣必須審時度勢靈活運用。另外，NO.5 受訪者認為，「非經濟訴求型」衝突矩陣在抗爭激烈程度高及準非經濟訴求強時應先採取「迴避策略」，藉由溝通技巧及資源運用，放慢處理程序試著緩和抗爭強度。若無效，方才考慮採取「迎合策略」。筆者認為此論點在實務上有其實用性，故採納其建議將「非經濟訴求型」衝突矩陣調整如圖 10。

(三) 以受訪者相關案例，印證上述三種「衝突矩陣」之實用性：

1. NO.1 受訪者以松湖 E/S 為例，一開始適用「非經濟訴求型」及「藉非經濟訴求型」衝突矩陣。經過溝通後，以「經濟訴求型」衝突矩陣內妥協策略化解衝突。

表 10 受訪者個人基本資料表

編號	任職單位	職稱	抗爭處理經驗 (次)	任務型態	
				第一線人員	幕僚人員
NO.1	台電公司總經理室	研究員	10	✓	✓
NO.2	台電公司輸變電工程處溝通策略小組	秘書兼副研究員	20	✓	
NO.3	台電公司輸變電工程處	副處長	10	✓	✓
NO.4	台電公司輸變電工程處	副處長	5	✓	✓
NO.5	台電公司南區施工處	經理	6		✓
NO.6	台電公司南區施工處	經理	15	✓	
NO.7	台電公司南區施工處	課長	5	✓	
NO.8	台電公司南區施工處	課長	20	✓	✓
NO.9	台電公司南區施工處	課長	80	✓	✓
NO.10	台電公司南區施工處	溝通專員	50	✓	

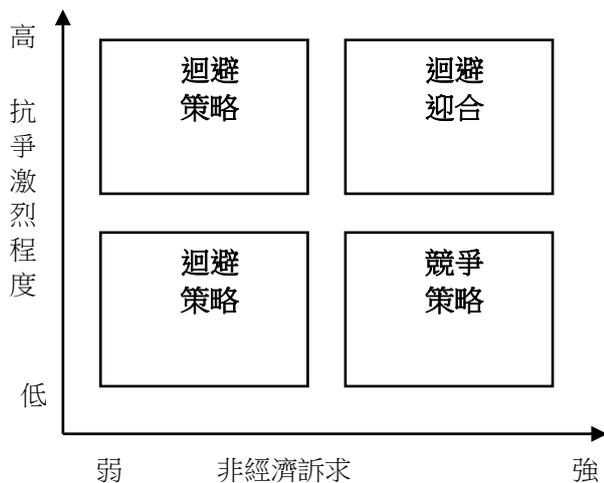


圖 10 修正後「非經濟訴求型」衝突矩陣

- NO.3 受訪者以環河 D/S 為例，因民眾非經濟訴求及抗爭激烈，在溝通無效下，以「非經濟訴求型」衝突矩陣之迎合策略取消興建。
- NO.4、NO.9、NO.10 受訪者以瀾力~旗山 161kV 線為例及 NO.5 受訪者以北港~東石串接水林 161kV 線為例，民眾以線路經過土地上空將造成地價下跌要求補償，屬「經濟訴求型」衝突矩陣之適用案例。一

開始對於經濟訴求強、抗爭激烈之民眾先採迴避策略，以緩慢之溝通及談判程序降低經濟訴求後，採妥協策略化解衝突。對於少數經濟訴求仍強但抗爭氣勢已被削弱者，採競爭策略申請警力強制施工。

- NO.5 受訪者以南投~彰林 161kV 線為例，民眾以電磁場危害健康為由進行高強度抗爭，惟經了解係以要求補償為目，屬「藉非經濟訴求型」衝突矩陣之適用案例，採用迴避策略以緩慢程序來平息衝突。
- NO.5 受訪者以台南~裕農 161kV 線為例，民眾以電磁場危害健康為由激烈抗爭，在溝通無效下，以「非經濟訴求型」衝突矩陣之迎合策略，採變更工法及路徑，獲取地方認同。
- NO.7 受訪者以北港~東石 161kV 線為例，民眾以電磁場危害健康為藉口進行低強度抗爭，實際是要求鉅額金錢補償其地價貶值。台電一方面妥協策略對地方進行活動捐助，一方面採競爭策略籌劃強制施

工，最後完成架線，屬「藉非經濟訴求型」衝突矩陣妥協策略及競爭策略混合運用之適用案例。

7. NO.7 受訪者以鉅工~嘉義串接斗工 161kV 線為例，民眾以電磁場危害健康為由進行高強度抗爭，藉由迴避策略以緩慢溝通程序來平息衝突。
8. NO.8 受訪者以新營~佳里 69kV 線 #71~#72 線下業主要求高額樹木砍伐補償為例，屬「經濟訴求型」衝突矩陣競爭策略之適用案例。
9. NO.8 受訪者以嘉義~竹崎~奮起 69kV 線為例，地方以破壞風水龍脈為由強烈要求改為地下電纜，經溝通無效採「非經濟訴求型」衝突矩陣之迎合策略化解衝突。

小結：綜上受訪者問卷回饋顯示，本研究建立之 3 大 2 維「衝突矩陣」確有其實用價值存在，可供台電輸變電工程做為抗爭處理，衝突回應策略選用之參考。

陸、結論與建議

一、結論

公用事業之存在價值係在為民謀利，其所興辦工程係以國家整體經濟利益為考量，過程損及少數人利益在所難免。在以往民智未開、政治控制思想之年代，為國家公益犧牲個人私利之行為或有所聞，民眾或視支持公共建設乃為愛國表現，或受制於威權而不敢抗爭。然而今日社會進步、民主深化的結果，個人主義逐漸抬頭，國家公益已演變成建立在個人利益之基礎上，是故為維護自身生命財產及生活品質，人民起而爭取權益，造成抗爭衝突似乎成為社會常態。對應目前社會情勢回歸到本研究結果，經由筆者蒐集過去資料分析及專家訪談之探討，回應本研究之研究目的做出以下結論：

(一) 公用事業公共工程發生衝突事件之因素：

以輸變電工程抗爭為例，由於台電公司賴以執行公權力之法源-「電業法」未隨時代變遷而修改，在目前人民是主的社會情勢下，其適用性自然倍受民眾挑戰。再者由於台灣地狹人稠，土地、房屋不再僅限於生產、居住之功能，而被視為極俱交易價值的商品，是故輸變電設施若有使民眾產生危及利益之風險知覺，以現今個人利益凌駕於公共利益之社會價值觀下，抗爭必然發生。

由於「民眾」對風險的評估是以直覺及其有限資訊來源為基礎，以日常生活經驗來判斷，用普通語言表達。在公共工程決策過程中，從計劃擬定到付諸實行並未讓民意參與，又面對衝突之溝通模式，技術官僚常急於用專家立場，試圖以專業數據說服抗爭者，而忽略抗爭者對風險的直覺觀感與認知，不了解民眾長期生活在傳播媒體缺乏專業知識又擅以極俱聳動之渲染報導下，民眾對台電公司所謂的「專家」早已缺乏信任感。民眾與其相信台電公司對輸變電設備之再三安全承諾，倒不如相信自己所聽所聞。衝突雙方之間長期存在著巨大認知差距，是故溝通障礙難以排除。因此輸變電工程衝突事件近年來層出不窮、屢見不鮮。

(二) 公用事業公共工程發生衝突事件之意涵：

從歸納歷年來 80 件工程抗爭案例中之民眾衝突訴求顯示，輸變電工程民眾衝突訴求有以下兩種意涵：

1. 衝突訴求為抗爭者真正想達到之目的。
2. 衝突訴求為抗爭者想獲取利益的手段。

由本研究樣本案例顯示，經由溝通後只要民眾提出「回饋地方」之訴求，其實民眾在某種層度上實已接受輸變電設備之設置，台電公司大抵可採衝突回應策略之妥協策略，透過談判策略模式之應用來化解衝突。由此可知，輸變電工程所發生的

衝突事件，大部份民眾真正要表達者並非阻止公共工程之進行，而是藉由抗爭之手段，實現他們所希望得到的利益或政治目的。唯經由研究發現，由台電歷年輸電線路工程衝突管理策略模式運用分析表顯示，近年間，台電公司輸電線路工程採取衝突回應策略之競爭策略強硬排除衝突案件有增加趨勢，這代表民眾針對輸電線路引發之衝突訴求，如電磁場安全疑慮等為抗爭者真正想達到之目的，用「回饋」並無法排除民眾自覺之風險知覺。在台電公司無法藉由溝通化解雙方認知差距時，基於工程個案重要性大到可忽略民眾抗爭所帶來衝擊時，台電公司選擇與民眾對抗，而出現完全利益衝突賽局。雖台電公司一時獲勝，但民怨應僅是暫時遭壓制，將於何時何地會以何種方式渲洩，為下次衝突埋下火種，此點值得公用事業體深思及防範。

(三) 公用事業公共工程發生衝突的正面意義及結果：

以台電輸變電工程為例，面對衝突，台電除一再強調工程之合法性及必要性外，在另一面則著手法規修改並投入大量經費進行輸變電設備之改善與更新，期能事先預防或有效化解衝突得到實證。

在法規修改方面，由於台電公司輸變電工程長期以來，賴以執行之法源依據為 1947 年 12 月 10 日公布之「電業法」，由於其在彌補民眾因電業工程蒙受損失時，其彌補程度與民眾認知差距頗大，時時為人垢病。因此，在衝突的化解上，多以另行捐助地方政府為輔。惟捐助金額無一定標準，均採個案談判、討價還價方式處理。直至 2002 年 12 月 14 日公佈「台灣電力股份有限公司促進電源開發協助基金執行要點」補充「電業法」之不足，方使「回饋地方」之支出經費有法令依據，惟因其內

容並不適用於地下電纜工程，且地方捐助額度及經費動支辦法，亦無法符合民眾期待，故筆者認為仍有修改空間。

在變電所改善與更新方面，台電公司配合地方景觀與人文特色，其變電所在造型設計及功能規劃上已從屋外式單一使用功能，逐漸成為外觀柔和可融入社區之屋內式多使用目標之綜合式大樓。在台北市都會區以目前運轉中之「基信」變電所為例—其地下 3 層為變電所機房，地上 14 層則分別規劃成辦公室、室內球場、會議中心等。在高雄市都會區則以目前運轉中之「楠梓」變電所為例—其地下 1 層至地上 3 層為變電所機房，地上 4~9 層則規劃成輸變電工程處南區施工處辦公處所，由台電員工進駐辦公，以實際作為化解民眾對變電所安全及健康顧慮。

在輸電線路改善與更新方面，由於地下電纜工程投資金額為架空線路之 10 倍之多，故除了都會區或都市計畫預定範圍內會採地下電纜設計外，一般農林漁牧區及山地均以架空線規劃設計。然由於架空線路穿鄉過鎮抗爭日益瀕繁，造成工程進度嚴重落後，變電所完工無法運轉，輸電鐵塔散佈鄉間無法發揮效用，國家資產因而閒置，區域供電調度出現困難。有鑑於此，部份原本規劃以架空設計之輸電線路，在技術及經濟許可之下，逐漸改以地下電纜設計。其中以 C7：「南科~龍崎、七股 345kV 線路工程」，因抗爭由地方政府專案開闢道路，要求台電公司改為地下電纜設計最俱代表性。

公用事業興建工程之出發點並非要與民爭利而是要為民謀利，然而因與抗爭者立場不同及認知差異而引發衝突，此並非事業單位所願。藉由衝突事件之發生，雙方相互學習由競爭走向妥協甚至合作雙贏，是為筆者期待往後面對衝突，公用事

業應有之態度。

(四) 「衝突矩陣」之實用性

本研究所建立經調整之 3 大 2 維「衝突矩陣」如圖 11 所示，透過受訪者證實，

在處理台電輸變電工程抗爭，其策略運用針對不同民眾訴求型態與抗爭激烈程度，確有其實用性。

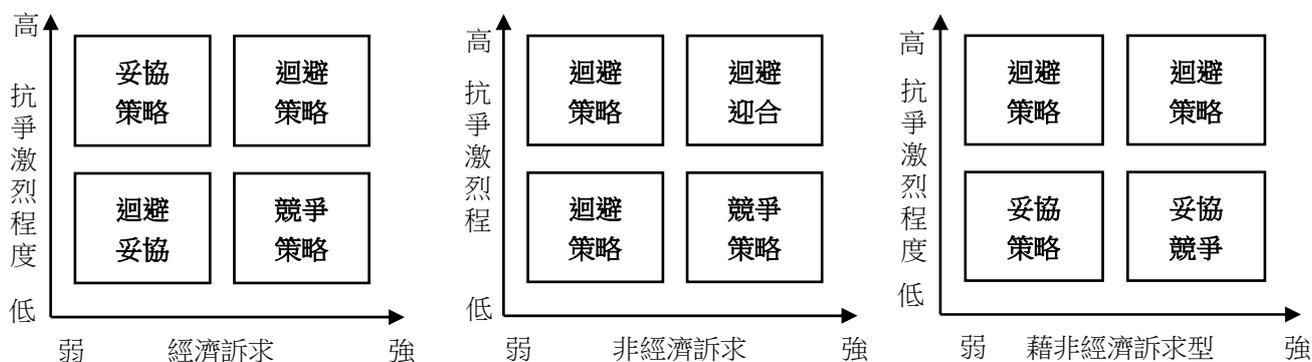


圖 11 3 大 2 維「衝突矩陣」模型

二、建議

在民主社會裏，衝突最好之解決策略是在於衝突未發之先，採「合作策略」透過健全法令及地方參與取得共識以預為化解，其次才是依 Pondy 所述的衝突五個階段，於各階段依情勢動態調整，採取溫和適當之衝突回應策略，對公眾進行誠意溝通。下策方是採取競爭策略，以公權力介入和抗爭者一較高下。

在衝突之實證研究中透過專家問卷訪談，整理多位長期處理台電輸變電工程抗爭人員之經驗，參酌其意見加上筆者之看法，證實「衝突矩陣」對台電現行輸變電工程抗爭之化解確有一定參考價值。而「衝突矩陣」之運用方式，建議如下：

- (一) 先深入了解衝突回應策略定義及運用時機。
- (二) 再熟悉衝突管理之次級管理—溝通及談判策略模式之技巧。
- (三) 於實際面對抗爭時，首重研判民眾之訴求型態。
- (四) 3 大 2 維「衝突矩陣」內對應之策略靈活運用。
- (五) 善用溝通將民眾訴求儘量導向「經濟訴求型」。

- (六) 於體制內利用「經濟訴求型衝突矩陣」中之對應策略化解衝突抗爭。

柒、誌謝

本文感謝國立高雄第一科技大學龍仕璋副教授指導，以及台灣電力公司秘書處處長蘇惠群先生資料提供。

捌、參考文獻

- [1] 張在山，公共關係學，台北市：國立編譯館，2004 年。
- [2] Huang, Y. H., "OPRA: A cross-cultural, multiple-item scale for measuring organization-public relations," *Journal of Public Relations Research*, vol. 13, issue 1, pp.61-90, 2001.
- [3] Huang, Y. H., "Values of public relations : Effects on organization-public relations mediating conflict resolution," *Journal of Public Relations Research*, vol.13, issue 4, pp. 265-301, 2001.
- [4] 汪明生，衝突管理，台北市：五南圖書出版公司，2000 年。
- [5] 許哲雄，「民營電廠興建衝突管理之研究」，台北大學碩士論文，2000 年。
- [6] 嚴竹華，溝通能力與溝通態度對溝通效能影響

- 之研究，2010 年 12 月，<http://ortho.clmed.ncku.edu.tw>.
- [7] Jardine, C. G., and Hrudey, S. E. "chapter 7: What is risk," in D.J.Briggs, R.Sten & T.L.Tinker eds. Environmental Health for All, Boston : Kluwer Academic Publishers,1999.
- [8] 陳麗分，「鄰避現象與風險溝通-以大臺北地區基地臺管制爭議為例」，臺北大學碩士論文，2007 年。
- [9] Yi-Hui Huang, "Is Symmetrical Communication Ethical and Effective," Kluwer Academic Publishers. *Journal of Business Ethics*, vol. 53, pp. 333-352, 2004.
- [10] 黃鈴媚，談判與協商，台北市：五南圖書出版公司，2004 年。
- [11] Shell, G. R., "Bargaining for advantage. Negotiation strategies for reasonable people," New York: Viking, 1999.
- [12] 郭晁坤，「台電輸變電工程設施衝突事件之探討」，交通大學碩士論文，2000 年。

台電工程月刊 819 期專輯徵稿啟事

- 本刊預定於 105 年 11 月發行以「需求面負載管理創新做法」為主題之專輯與讀者分享，歡迎有相關論著者踴躍投稿（截稿日為 105 年 8 月 15 日），每篇以 2 萬字（含圖、表）為原則。
- 稿件之撰寫格式、投稿方式及稿酬等悉依本刊原訂標準。
- 投稿相關事宜，若有任何疑問，請與我們聯絡，謝謝您！

☎ (02)2360-1095 ✉ u117212@taipower.com.tw



水泥電桿應用於人工魚礁培育資源之調查研究(II)

Electric Power Poles Used as Artificial Reefs: An Investigation and Study
of the Resource Enhancement (II)

詹榮桂*
Jan, Rong-Quen

張崑雄**
Chang, Kun-Hsiung

劉毓興*
Liu, Yu-Hsing

陳靜怡*
Chen, Ching-Yi

江鴻虎***
Jiang, Hong-Hu

沈宗華***
Sheen, Tzong-Hwa

蔡顯修***
Tsai, Hsien-Shiow

(101~102 年度研究論文)

摘要

台電公司於民國 86~98 年間，於台灣本島周圍海域 22 個魚礁區/保護區內共投放電桿人工魚礁 18,517 座，以改善魚類的棲生環境，達到培育漁業資源的目的。為了瞭解這些電桿礁的效益，經於民國 99~102 年間，於基隆市大武崙、望海巷、新北市野柳、深澳、澳底、苗栗縣白新、台中市五甲、高雄市永安、花蓮縣鹽寮、台東縣竹湖、宜灣、小港、龜灣及屏東縣海口等 14 個魚礁區實地進行潛水調查，蒐集得標準化資料共 95 筆。分析後得知，魚礁的效益受到所處的地理位置及魚礁類型所影響。在地理位置的差異上，投置在東部海域的魚礁的效益最佳，魚類現生量的平均量為 182 公斤(中量為 102 公斤)；其次為南部海域的平均量 161 公斤(中量為 81 公斤)，西部海域的平均量 80 公斤(中量為 60 公斤)。北部海域相對較低，平均量為 47 公斤(中量為 42 公斤)。在魚礁類型的差異上，電桿礁的魚類總重量平均為 127.1 公斤(中量 87.1 公斤)，鋼鐵礁的魚類總重量平均為 151.6 公斤(中量 84.8 公斤)，水泥礁的魚類總重量平均為 80.6 公斤(中量為 14.4 公斤)，軍艦礁/漁船礁的魚類總重量平均為 64.3 公斤(中量 44.1 公斤)，亦即棲息在電桿礁與鋼鐵礁區的魚類資源，其總重量的平均量及中量彼此相近，並優於軍艦礁/漁船礁與水泥礁者。由於目前電桿礁的建造成本相對較低，建議未來可將電桿礁作為主要的投礁類型，所搭配的其他礁體則可因地制宜，期使整體魚礁區能夠發揮最大的效益。

Abstract

During 1997~2009, Taiwan Power Company installed 18,517 units of electric power pole reefs (EPR) in total at 22 artificial reef (AR) sites in the waters around Taiwan to improve fish habitats and inshore fishery resources. During 2010-2013, a number of underwater surveys were carried out at 14 artificial reef sites, including Da-wu-lun, Wang-hai-xiang (off the shores of Keelung City), Ye-liu, Shen-ao, Ao-di (off New Taipei City), Bai-xin (off Miaoli County), Wu-jia (off Taichung City), Yong-an (off Kaohsiung City), Yan-liao (off Hualien County), Zhu-hu, Yi-wan, Xiao-gang, Gui-wan (off Taitung County), and Hai-Kou (off Pingtung

*中央研究院生物多樣性研究中心

**財團法人國際海洋永續文化經濟及環境保護基金會

***台灣電力公司環境保護處

County). In total, 95 sets of standardized data were obtained from these surveys. The data showed both the geographical location and reef type affected fish assemblage. As far as the locations are concerned, the ARs in the eastern waters had an average 182kg of fish standing stock (with a median of 102kg) - ranking as the most effective ones in terms of fishery resources enhancement. The ARs in the southern waters (with an average of 161kg and a median of 81kg) came in second, followed by those in the western waters (with an average of 80kg and a median of 60kg) and the northern waters (with an average of 47kg and a median of 42kg). As far as the types of AR are concerned, the EPRs recorded an average stock of 127.1kg (with a median of 87.1kg), the steel-frame reefs recorded an average stock of 151.6kg (with a median of 84.8kg), the concrete blocks recorded an average stock of 80.6kg (with a median of 14.4kg), and the warships/junk-boats recorded an average stock of 64.3kg (with a median of 44.1kg). It demonstrates that the EPRs and steel-frame reefs had similar higher averages and medians in its fish stock than those at the concrete block reefs and warships/junk-boat reefs. Since building a steel-frame reef costs more than a EPR of equal space, the EPR is therefore recommended as the main type of artificial reef for the future application. Other types of artificial reefs can be selected as supplementary materials, depending upon varying site conditions, so as to optimize the effectiveness of AR installation.

關鍵詞(Key Words)：人工魚礁(Artificial Reef)、魚類群聚(Fish Community)、漁業資源(Fishery Resource)、資源再利用(Resource Reuse)。

壹、前言

人工魚礁是將天然或人造結構體投置於適合的海域，用以改善或營造海洋生物之棲息環境，而達到培育漁業資源，增進漁業經營等目的^[1]。台電公司本著推動資源回收再利用及漁業永續經營之理念，委託專業單位利用退而不用水泥電桿轉製作成人工魚礁，以增裕漁業資源，復育海洋生態。台電公司於民國 86~98 年間於本島周圍海域 22 個礁區/保護區共投放電桿人工魚礁 18,517 座(台灣電力公司網站)(此數目不包括早期的試驗礁(漁業署網站))，為沿海魚類提供棲息環境，更新改造漁場，防止漁場老化及提高沿近海域之基礎生產力。

在 99~100 年間所進行的「水泥電桿應用於人工魚礁培育資源之調查研究」，共調查基隆市

大武崙、望海巷、新北市野柳、深澳、澳底、台東縣宜灣、小港、竹湖、龜灣及屏東縣海口等 10 個魚礁區。成果顯示，電桿礁培育漁業資源的效果卓著，在礁體效益的比較上，平均來說電桿礁的效益約為水泥礁的 7.0 倍，鋼鐵礁的 1.5 倍，漁船礁的 1.9 倍^[2]。

在本期研究計畫中，為了瞭解地區性的影響，擴大將西部以及南部海域的魚礁區納入，亦即除了前期的新北市深澳、台東縣宜灣、小港、竹湖、龜灣(綠島)、屏東縣海口之外，新加上苗栗縣白新、台中市五甲、高雄市永安(興達港外)、花蓮縣鹽寮等四個魚礁區，共 10 個魚礁區的實地潛水調查。

在執行上，根據在上述共 14 處人工魚礁區所蒐集到的魚類群聚與生物量資料，比較不同地理位置及不同礁型對魚礁效益所造成的影響，同時推估導致差異的因子^[3-9]，並對電桿魚礁後續

執行方式提出建議。所得結果將作為日後持續辦理電桿人工魚礁投放之參考，以期繼續推動電桿的資源再利用，製成合適魚礁，培育沿海魚類資源，增加漁民收益。

貳、材料與方法

一、所調查的魚礁區範圍

本計畫於民國 99~102 年間針對已經投放有電桿礁的人工魚礁區進行調查，所調查的礁區包括基隆市大武崙、望海巷、新北市野柳、深澳、澳底、苗栗縣白新、台中市五甲、高雄市永安、花蓮縣鹽寮、台東縣宜灣、小港、竹湖、龜灣(綠島)、屏東縣海口等 14 個魚礁區(圖 1)。

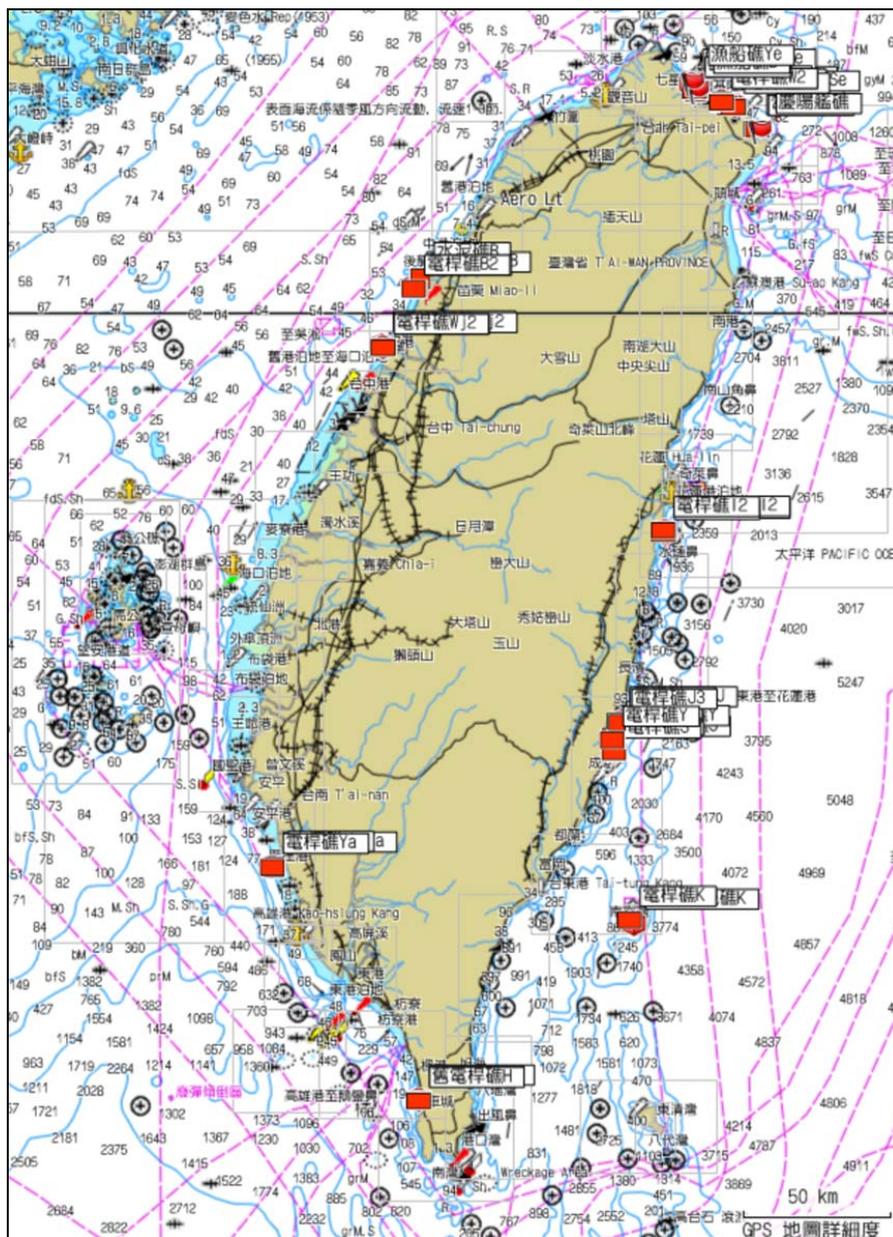


圖 1 所調查的礁區包括基隆市大武崙、望海巷、新北市野柳、深澳、澳底、苗栗縣白新、台中市五甲、高雄市永安、花蓮縣鹽寮、台東縣宜灣、小港、竹湖、龜灣(綠島)、屏東海口等 14 個魚礁區的位置分布圖(底圖來源：Taiwan BlueChart v5, Copyright 2003 Garmin Corp.)

在這些魚礁區中，除了電桿礁之外，均至少選擇一處其他類型的礁體做調查，後者包括 2.0M 雙層式水泥礁、A 型鋼鐵礁、B 型鋼鐵礁、軍艦礁、漁船礁等等。所蒐集的資料包括魚礁區的底棲生物群聚、魚類群聚與生物量調查，以及電桿人工魚礁與其他礁體效益之分析比較等等。詳細的調查方法參照(詹等 2008~2013)^[10~16]。

魚礁效益的評估係以生物量為介量。經將調查所得的魚類群聚資料經由各魚種之體長-重量公式轉換得到估算重量，總和後可以得到魚礁區之生物量。所使用的統計分析參考 Ludwig & Reynolds^[17]及 Clarke & Warwick^[18]進行。

二、水泥電桿人工魚礁政策問卷調查

為了瞭解各地區漁業從業人員(即漁民)對於水泥電桿人工魚礁的看法，設計一份有關水泥電桿人工魚礁政策的問卷，進行廣泛調查。調查所用的問卷共包含十個題目，內容主要在於反映漁業從業人員對於人工魚礁提昇經濟效益的感受度，以及他們對於政府投放魚礁的接受度。

實際調查工作於 2012 年 12 月 20 日開始進行。共計發出 300 份問卷。調查範圍主要為台灣沿海縣市，包括基隆市(20 份)、新北市(40 份)、桃園縣(40 份)、苗栗縣(20 份)、台中市(20 份)、嘉義縣(20 份)、高雄市(20 份)、屏東縣(20 份)、宜蘭縣(20 份)、花蓮縣(20 份)、台東縣(40 份)及澎湖縣(20 份)等。問卷經親送至各地區，經由共 15 位漁民，協助徵求當地相關漁業從事人員各 20 名，填寫調查問卷，之後復由發卷者統一收回、寄返研究室。截至計畫結束止，共收回 254 份有效問卷，回收率 85 %。回收的問卷進行統計與分析，所得結果可顯示出目前漁業從事人員對魚礁的認識及看法，並提供作為未來擬定水泥電桿人工魚礁政策的參考資料。

參、結果與討論

一、電桿礁體完整度分析

在所調查的 14 個魚礁區內，電桿礁的完整度在 30 %~99 % (圖 2)，其中以最早期(89~91 年)於竹湖魚礁區所投放的破壞較為嚴重，平均完整度僅有 45 %。大部分礁體呈現變形扁塌，平鋪在沙地上。隨著製作工藝的改良，之後幾年(93~95 年)所投放的電桿礁均有較高的完整度(平均 77 %)，除了以分散投放的龜灣魚礁區因為不受礁體重力擠壓，所以有較高的完整度(90 %)；也在大武崙、望海巷、白新、五甲、永安魚礁區出現堆疊成塔，而完整度仍高達 80 % 以上，顯示結構強度已經初步具備克服礁堆底層容易被擠壓變形的能力。不過在澳底魚礁區礁盤上的電桿礁即使單層排列，完整度依然偏低(30 %)，堅硬底質依然無法避免造成礁體的嚴重破壞。

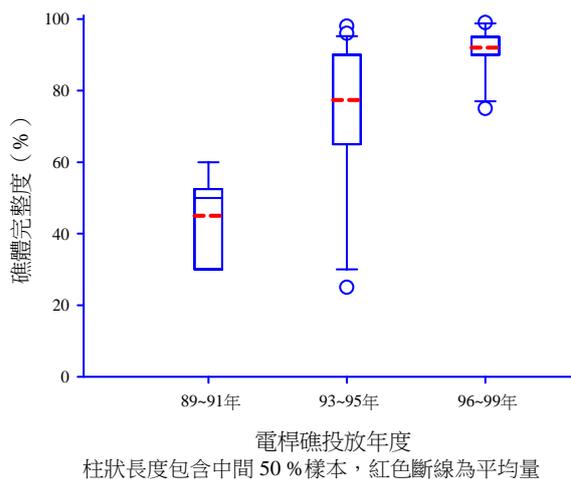


圖 2 不同電桿礁投放年度的礁體完整度分布圖

近年(96~99 年)投放的電桿礁，結構強度有長足的進步，雖然集中堆疊成大型礁堆，完整度平均仍高達 92 %，礁堆底層少見礁體出現破損、碎裂、變形等問題。其中僅有鹽寮電桿礁(96~97 年投放)的礁堆底部變形的比例高達 15~25 %，不過投放初期礁體堆疊集中高聳(漁民資料)。推測可能是深度太淺，加上位於東部，容易遭受颱風及太平洋長浪侵襲，導致礁體堆疊及結構受到破壞，此也可能是導致同區小港、宜灣電桿礁完整度不高的原因之一。相較之下，位於西部的白新、五甲及南部的永安、海口魚礁區，受到颱風

的衝擊較小，新型電桿礁的結構強度足敷面對，因此受到的破壞相對較小。

二、礁體類型與附著生物關係分析

累積 4 年計畫所記錄到大型底棲生物經初步鑑定共有 11 門 18 綱 31 目 60 科 85 種，其中以水螅、網孔苔蟲、海綿、牡蠣、藤壺、海鞘、海羊齒、圓管星珊瑚等最為常見，幾乎每次調查均有記錄到。

以計畫期間所得各種礁型的底棲生物種類數來看，電桿礁在 9~40 種之間，水泥礁在 19~33 種之間，而鋼鐵礁在 2~44 種之間，軍艦礁/漁船礁在 22~27 種之間，彼此的差異並不明顯(圖 3)。而比較同一魚礁區中的不同類型礁體，在部分魚礁區中，電桿礁的底棲生物種類數高於同魚礁區中的另一類型礁體，例如澳底、五甲、永安、鹽寮、竹湖、小港等魚礁區；大武崙、望海巷、野柳、深澳、白新、宜灣魚礁區則是水泥礁或船礁最高、電桿礁其次、鋼鐵礁最少；海口及龜灣則為電桿礁的底棲生物種類數低於鋼鐵礁，由此看來，礁體類型對附生生物的種類數似未具明確的影響力。

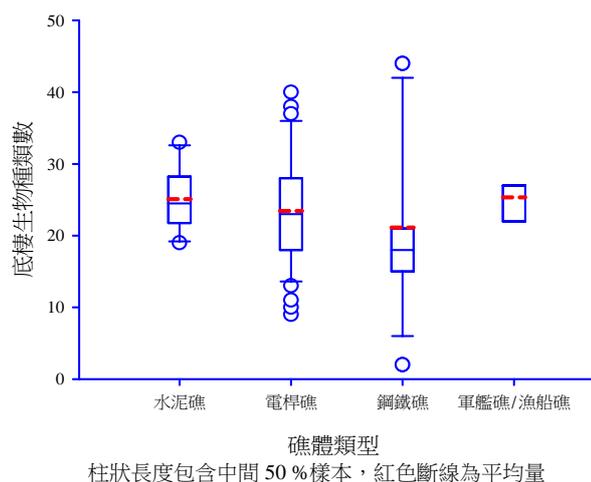


圖 3 不同魚礁類型上的底棲生物種類數量分布圖

所投放年份的長短會影響底棲生物出現的種類數；投放時間越長，其上的底棲生物越豐富多樣。調查過程中，深澳、永安魚礁區的鋼鐵礁

為 100 年投放，至調查將近一年，其上的底棲生物種類數及覆蓋面積仍明顯偏低。五甲、竹湖、小港等魚礁區的鋼鐵礁為 99 年 4~6 月期間投放，至今已超過 2 年，其上的底棲生物種類數、覆蓋面積仍略低於更早期投放的電桿礁。反之，在白新、龜灣及海口魚礁區則是鋼鐵礁投放時間早於電桿礁堆，底棲生物種類也是前者高於後者。由此顯示投放時間長短對底棲生物群聚的影響大於礁體類型/材質。不過底棲生物種類並非一直持續增加，而是會隨著時間達到穩定的動態平衡。例如宜灣及永安魚礁區，水泥礁及電桿礁體均已投放超過 6 年以上，加上兩種礁體均為水泥材質構成，因此差異較不明顯。

在附著生物的覆蓋面積方面，在電桿礁上的覆蓋面積在 5~98% 之間，水泥礁在 40~90% 之間，而鋼鐵礁在 5~99% 左右，軍艦礁/漁船礁在 65~85% 左右，彼此間差異並不明顯。在調查中也發現，在礁體的水平上表面最容易堆積沈積物，而該處的生物也是最為稀落。相對而言，礁體的垂直面上通常附著生物最為旺盛繁茂。

電桿礁的沈積物厚度在 0~3.0 公分之間，水泥礁在 0.5~2.0 公分之間，而鋼鐵礁在 0~2.5 公分之間，軍艦礁/漁船礁在 1.0~1.5 公分之間，四者之間並無明顯差別。比較同礁區的兩種礁型，其沈積物厚度大多差異不大，因此無法推定何種類型礁體較易發生沈積物堆積。

一般在礁體/礁堆最高層處，附著生物生長較為旺盛，最底層較為疏落。礁體/礁堆的高度越高，這類的分層差異越明顯。礁體/礁堆的高層容易受到海流衝擊，海流為海洋生物帶來食物及溶氧，也會沖刷沈積物(厚度最薄)。相對而言，海流在低層會擾動底質表層，使得海水混濁度變大，不利生物呼吸作用；複雜礁體干擾海流，反而加劇沈積物堆積，因此大型電桿礁堆(深澳、白新、永安、海口魚礁區)的底層礁頂通常只有厚厚的沈積物，罕有大型生物在此生存。在空曠處的鋼鐵礁，底層鋼板上通常僅有沙質堆積覆蓋，或露出空白基質，亦不利於生物在此生長。至於單

層排列的水泥礁或電桿礁，則分層差異較不明顯，附著生物生長狀況優劣參半。

基於以上的觀察結果，以增加附著生物豐富度而言，建議礁體/礁堆應向大型化、高度化發展。此外，在所調查的鋼鐵礁，表面均有出現鏽蝕，情況嚴重者會造成整片連同附著生物一起剝落。鋼鐵礁上可供附著生長的面積本就較電桿礁及水泥礁為少，若再加上此種情況，鋼鐵礁的環境並不利於附著生物生長發展。

由前期研究^[2]發現地理區位對魚類群聚組成的影響最大，而在不同的地理區位中，礁體類型的影響程度不一。為了減少大尺度地理條件差異的干擾，進而突顯礁體類型的影響程度，在進行生物群聚分析之前，先將所有資料依魚礁區所在位置分為 5 大區，分別為：北部沿海魚礁區，包含新北市野柳、深澳、澳底、基隆市大武崙及望海巷；西部沿海魚礁區，包含苗栗白新及台中五甲；南部沿海魚礁區，包含高雄永安及屏東海口；東部沿海魚礁區，包含花蓮縣鹽寮、台東縣宜灣、小港及竹湖；以及綠島龜灣魚礁區。

以多介量空間分布圖(MDS，圖 4)探討各處魚礁的底棲生物組成特性。此分布圖係利用空間排序法將複雜的資料根據某一些原理重新排列而顯示規律性，以幾何學來說，空間排序是座標軸中心的位移與座標軸角度的轉換。而 MDS 是採用多度空間尺度分析，能夠將各次調查的生物群聚種類組成以二度或三度空間的方式，表現彼此間的相互關係與變化趨勢，可以展示出較樹狀分析圖(Cluster Analysis)更容易理解的方式。

分析結果顯示綠島龜灣的魚礁區處於珊瑚礁海域，環境較為特殊，因此自成一群。至於其他海域則無法再依地區或是礁體類型來加以區別，因此無法推定礁體類型或是海域環境何者對底棲生物群聚影響較大。

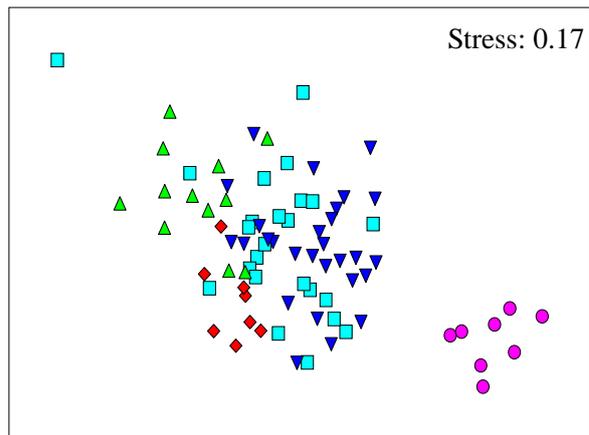


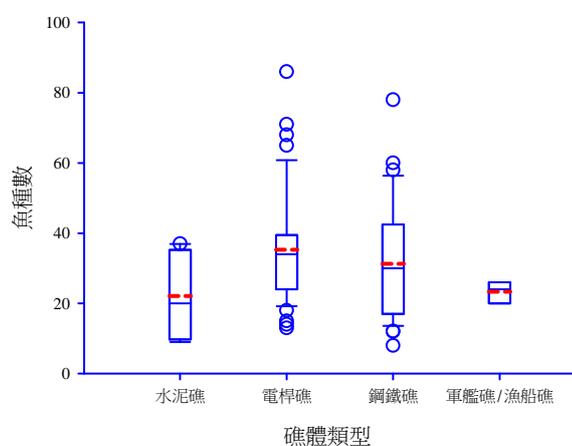
圖 4 99~102 年各次調查間以底棲生物群聚相似度 Bray-Curtis Similarities 所繪成的多介量空間分佈圖(MDS)。其中「淺藍方塊」為北部沿海魚礁區，「紅色磚塊」為西部沿海魚礁區，「綠色正三角形」為南部沿海魚礁區，「藍色倒三角形」為東部沿海魚礁區，「粉紅圓形」為綠島龜灣魚礁區

三、礁體類型與魚類資源量關係分析

累積 4 年計畫共記錄到 50 科 152 屬 348 種 82,845 尾魚類。其中以隆頭魚科(Labridae)種類最多，共記錄到 54 種；其次為鮨科(Serranidae)、雀鯛科(Pomacentridae)及蝴蝶魚科(Chaetodontidae)，分別記錄到 27 種、26 種及 22 種。在數量上以四帶雞魚(Pomadourys Quadrilineatus)數量最多，共記錄到 14,470 尾，佔全部魚種的 17.5 %；其次為金擬花鱸(Pseudanthias Squamipinnis)、三線雞魚(Parapristipoma Trilineatum)及燕尾光鰓雀鯛(Chromis Fumea)，各記錄到 6,590 尾(8.0 %)、6,417 尾(7.7 %)及 5,969 尾(7.2 %)；再其次為箭天竺鯛(Rhabdamia Gracilis)、鯷魚(Clupeidae Gen. sp.)及雙帶烏尾鮫(Pterocaesio Digamma)，分別記錄到 5,900 尾(7.1%)、5,400 尾(6.5 %)及 3,446 尾(4.2 %)。在出現頻率上，僅有 7 種(2.0 %)出現在半數以上的調查，其中包含白吻雙帶立旗鯛(Heniochus Acuminatus)、裂唇魚(Labroides Dimidiatus)、金擬花鱸、克氏蝴蝶魚(Chaetodon

Kleinii)、六斑二齒魮(Diodon Holocanthus)、三線雞魚及藍新雀鯛(Neopomacentrus Cyanomos)。以上均屬於台灣人工魚礁區的常見魚種。

以各種礁型的魚種數來看，電桿礁的魚種數在 13~86 種，水泥礁的魚種數在 9~37 種，鋼鐵礁魚種數在 8~78 種，軍艦礁/漁船礁魚種數在 20~26 種。電桿礁的魚種數略多於其他三種礁型，不過四者之間並無明顯差異(圖 5)。若比較同一魚礁區的不同礁型，在大多數的魚礁區中，有較多的魚種會在電桿礁區棲息。



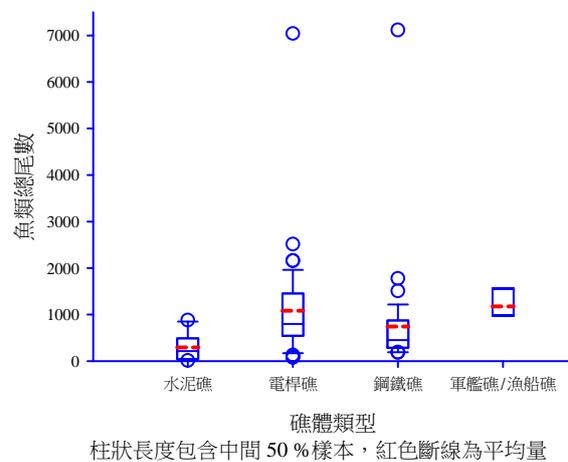
柱狀長度包含中間 50% 樣本，紅色斷線為平均量

圖 5 不同魚礁所出現的魚種數量分布圖(軍艦礁/漁船礁只有三筆資料)

在尾數方面，電桿礁的總尾數在 80~7,039 尾，水泥礁的總尾數在 14~881 尾，鋼鐵礁的總尾數在 188~7,116 尾，軍艦礁/漁船礁的總尾數在 976~1,560 尾，顯示電桿礁的總尾數與軍艦礁/漁船礁相近，並多於鋼鐵礁及水泥礁(圖 6)。

由多介量空間分布圖(圖 7)來看，依魚礁區所在地理位置區分，其中北部與西部較為相近，南部、東部與綠島較為相近，兩大群之間有明顯區隔。而以各大群來看，北部沿海與西部沿海各自成群，區分較明顯；南部沿海與東部沿海雖然各自約略成群，不過兩者互有重疊；綠島魚礁則明顯自成一類，並與東部沿海較為相近。結果呈現出海域環境的地域性確實對魚類群聚產生明

顯影響。在大群之下無法再以礁體類型進行區分，顯示礁體材質或構型對魚類群聚組成的影響並不明確。



柱狀長度包含中間 50% 樣本，紅色斷線為平均量

圖 6 不同魚礁所出現的魚類尾數分布圖(軍艦礁/漁船礁只有三筆資料)

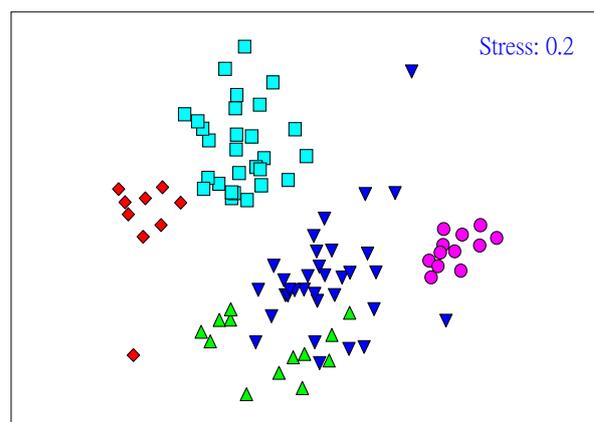
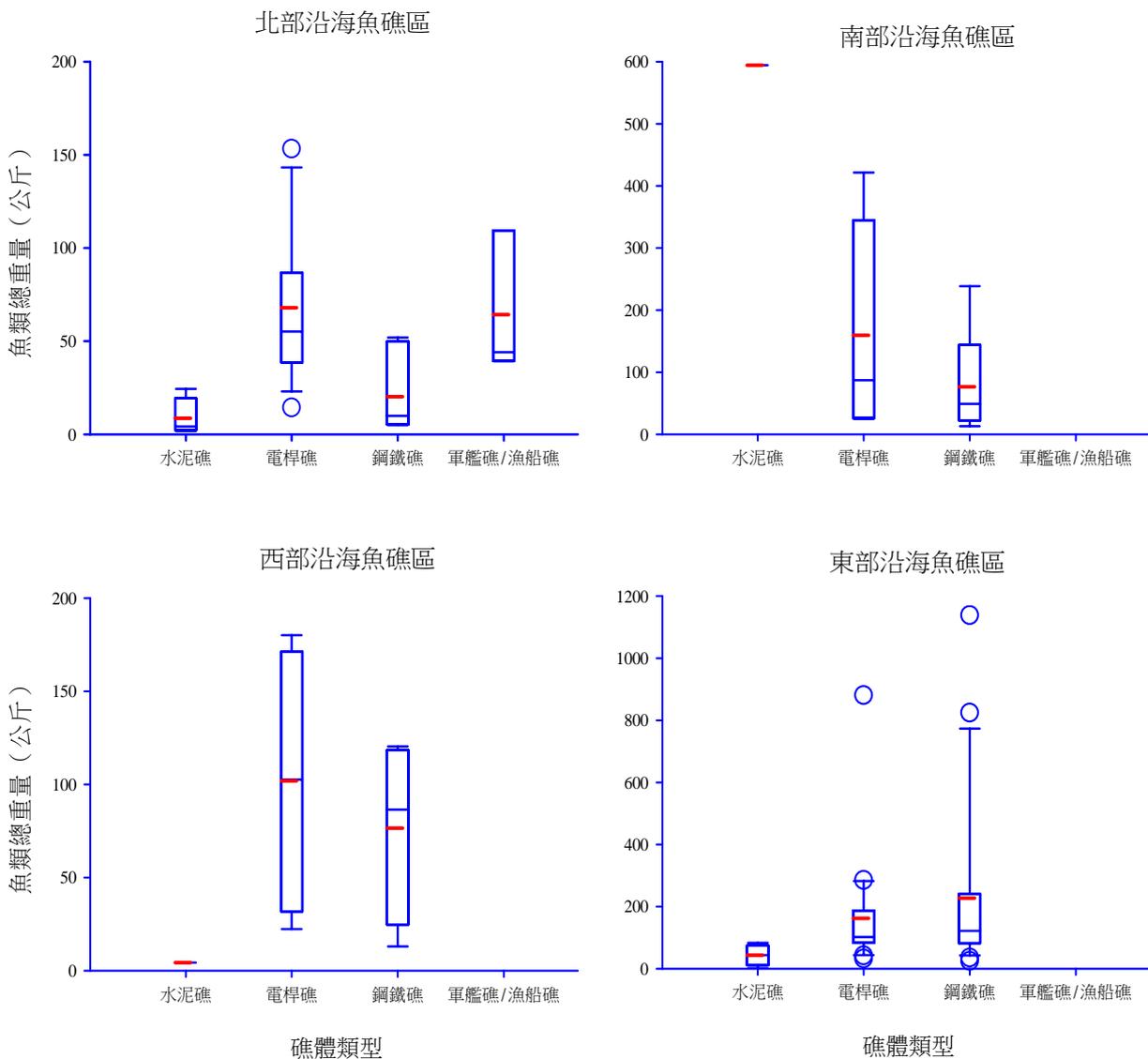


圖 7 99~102 年各次調查間以魚類群聚相似度 Bray-Curtis Similarities 所繪成的多介量空間分佈圖(MDS)。其中「淺藍方塊」為北部沿海魚礁區，「紅色磚塊」為西部沿海魚礁區，「綠色正三角形」為南部沿海魚礁區，「藍色倒三角形」為東部沿海魚礁區，「粉紅圓形」為綠島龜灣魚礁區

在總重量的估算方面，計畫中魚礁的資源量是以調查所得的魚類現生量作為代表，為了比較效益，在資料上做以下的標準化：

1. 鋼鐵礁係以座為單位(10m×10m×5~8m)；
2. 軍艦礁高低起伏很大，以潛水時間 25 分鐘所收集的資料為度；
3. 電桿礁以 400 m² 面積為單位；
4. 水泥礁若遇礁堆大者，以 30 座左右為度。
5. 若以天然礁區做比較，亦以 400m² 為單位。

經綜合 99~102 年所得資料，若將魚礁區分為北部、西部、南部及東部等四區分別檢視(圖 8)，投置在東部沿海的魚礁的效益最佳，魚類現生量的平均量為 182 公斤(中量為 102 公斤)；其次為南部沿海的平均量 161 公斤(中量為 81 公斤)，西部沿海的平均量 80 公斤(中量為 60 公斤)。北部沿海相對較低，平均量為 47 公斤(中量為 42 公斤)。

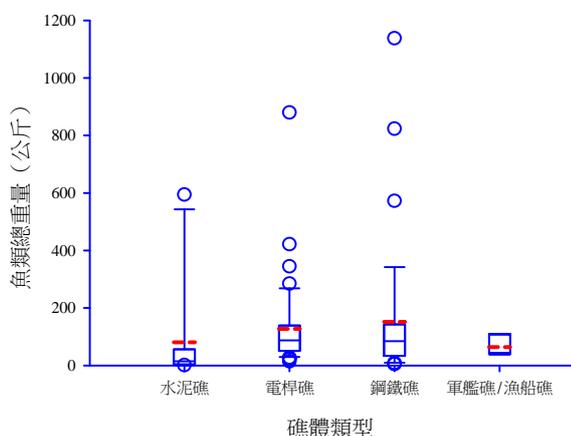


柱狀長度包含中間 50% 樣本，紅色斷線為平均量

圖 8 分區檢視不同魚礁所出現的魚類總重量分布圖。柱狀長度包含中間 50% 樣本，紅色斷線為平均量

在北部沿海魚礁區中電桿礁與軍艦礁/漁船礁的效益相仿，並優於鋼鐵礁及水泥礁；在西部及南部沿海魚礁區中電桿礁的效益略優於鋼鐵礁；而在東部沿海魚礁區中電桿礁的效益則略低鋼鐵礁，明顯高於水泥礁。由此顯示各種礁型在不同海域環境下的效益有所差異，電桿礁在各海域均有較高的魚類生物量，可以作為主要的投礁類型，其他搭配礁體的類型選擇可因地制宜，使整體魚礁區能夠發揮最大的功效。

在不同礁體類型方面，電桿礁的魚類總重量在 14.4~880.2 公斤(平均 127.1 公斤，中數 87.1 公斤，樣本數 45)，水泥礁的魚類總重量在 1.3~594.5 公斤(平均 80.6 公斤，中數 14.4 公斤，樣本數 10)，鋼鐵礁的魚類總重量在 5.1~1138.2 公斤(平均 151.6 公斤，中數 84.8 公斤，樣本數 37)，軍艦礁/漁船礁的魚類總重量在 39.4~109.4 公斤(平均 64.3 公斤，中數 44.1 公斤，樣本數 3)。電桿礁與鋼鐵礁的平均量及中量相近，並優於軍艦礁/漁船礁與水泥礁。(圖 9)。



柱狀長度包含中間 50% 樣本，紅色斷線為平均量
圖 9 不同魚礁所出現的魚類總重量分布圖

如果比較同一魚礁區的不同類型魚礁，在許多魚礁區中(包括大武崙、望海巷、野柳、深澳、白新、海口、宜灣、竹湖魚礁區)，呈現出電桿礁的魚類資源較同時間調查的其他類型魚礁豐富，總重量差距達 1.1~48.6 倍。在五甲、鹽寮、

龜灣魚礁區中電桿礁與鋼鐵礁的魚類資源量互有高低；而在永安、澳底、小港魚礁區則是電桿礁的效益較低。

在各魚礁區的不同礁體中，均出現有較大體型的魚類個體(體長超過 25 公分)，其中不乏高經濟性魚類，例如三線雞魚(圖 10)、笛鯛、石鯛、石鱸、石斑魚(圖 11)、鸚哥魚等，顯示各種魚礁均具備漁業經濟效益，惟並無法界定魚礁類型對這些大體型魚類的出現是否有關。



圖 10 棲息在宜灣電桿礁區的三線雞魚魚群



圖 11 棲息在白新電桿礁區的瑪拉巴石斑魚
(*Epinephelus Malabaricus*)

四、電桿魚礁對經濟、漁業生態及社會面關係分析

本研究製作問卷，蒐集漁民對本項電桿魚礁投放工作觀感之資料，以做為持續推動電桿魚礁投放之參考。由問卷題 1：在適當海域中投放人

工魚礁能夠改善海洋生物的棲地環境，增加礁岩性魚類及海洋生物資源，您是否同意？其中同意者共 92.1%，沒意見者 6.3%，反對者 1.6%。顯示受訪者普遍肯定人工魚礁能夠增加當地海域的生物資源量(圖 12)，不僅能夠增加收益，也對休閒漁業的經營有幫助。

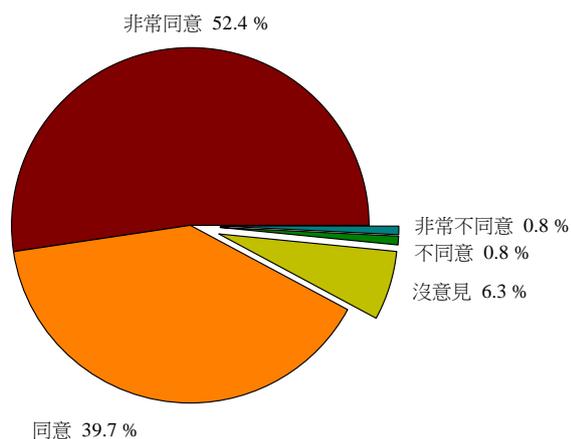


圖 12 問卷題 1 之結果餅圖。受訪者普遍認為在適當海域中投放人工魚礁能夠改善海洋生物的棲地環境，增加礁岩性魚類及海洋生物資源

在調查過程中發現多數漁民能夠明確指出作業區域內的魚礁位置及礁體類型。除了區漁會提供的資料以外，有經驗的漁民可以根據漁探機的影像、配合過去投礁的資料、釣魚的經驗等，研判出天然礁或人工魚礁，礁體的類型，堆疊的範圍情形。也因此他們可以根據長時間在不同礁體類型的漁獲經驗，得知其效益的優劣。根據問卷題 4：投放報廢漁船、報廢軍艦、大型鋼鐵礁、水泥礁或由退而不用的水泥電桿製成的魚礁，都有增加海域漁業生物資源量的功能，您是否同意？其中同意者共 89.3%，沒意見者 7.9%，反對者 2.8%。顯示有將近九成的漁民認同不同的魚礁類型皆有增加海域漁業生物資源量的功能(圖 13)，並無明顯優劣之分別。這些漁民熟悉作業海域，可以本身的經驗得知創造魚礁效益最佳的位置、適合的礁體堆疊(電桿礁)或排列(鋼鐵礁)方式，對投礁工作有相當幫助，值得深入訪談瞭解。

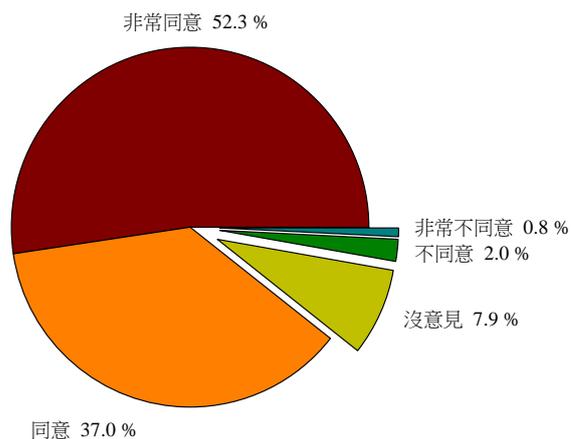


圖 13 問卷題 4 之結果餅圖。將近九成的受訪者認為各種人工魚礁類型都有增加海域漁業生物資源量的功能，並無明顯優劣之分

以問卷題 9 徵詢漁民對投放電桿礁的意願：在貴區海域或您作業海域的人工魚礁區，進行規劃並長期持續投放水泥電桿人工魚礁，您是否同意？其中同意者共 84.6%，沒意見者 11.8%，反對者 3.6%。顯示有八成五的漁民贊同利用水泥電桿製作魚礁，並長期持續投放在自己的作業海域(圖 14)。

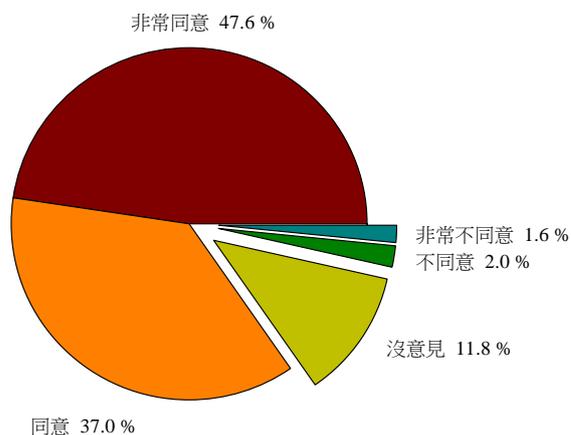


圖 14 問卷題 9 之結果餅圖。有八成五的漁民同意在自己作業海域的人工魚礁區，進行規劃並長期持續投放水泥電桿人工魚礁

而問卷題 10 探查漁民對推廣電桿礁的態度：利用退而不用之水泥電桿製作成人工魚礁，廣泛的投放於全省各地適當海域，增裕漁業資

源，您是否同意？其中同意者共 86.2%，沒意見者 9.8%，反對者 4.0%。顯示漁民相當認同電桿礁的效益，值得廣泛的推廣到全省各地(圖 15)。如此高比例的支持度顯示有相當多數認同電桿礁成效卓著，可以增裕漁業資源。

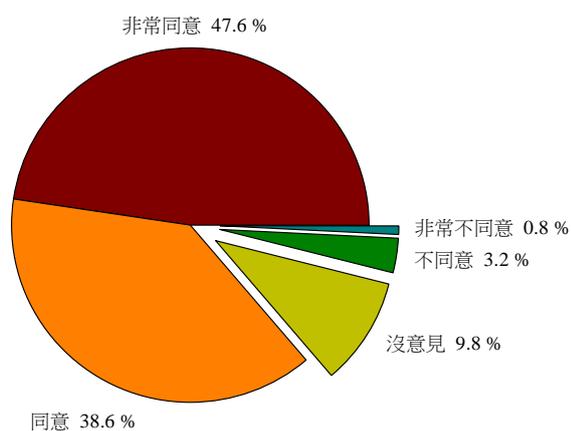


圖 15 問卷題 10 之結果餅圖。有八成六的漁民贊成將電桿礁廣泛的投放於全省各地適當海域，增裕漁業資源

根據部分資深漁民的經驗，各種類型的魚礁並非無明顯優劣之分。早期投放的水泥礁效果普遍不佳，多數已遭沙埋，或是過於分散，不易尋獲。鋼鐵礁雖然目標明顯，不過受潮汐水流的影響，漁獲量好壞差異很大，主要釣獲鰱科、梭魚、刺尾鯛、三線雞魚、烏尾鮫等，偶而可以釣獲石斑或石鱸；漁船礁及電桿礁堆普遍有較佳且穩定的漁獲，可以釣獲底棲習性的石斑、石鱸、石鯛、笛鯛、鸚哥魚、臭肚魚等，尤其位處水深，投放高聳成堆的電桿礁，還會吸引鰱科、梭魚、三線雞魚、烏尾鮫聚集。這些經驗資料與本研究結果大致符合，顯示調查所得的資料確實反映魚礁區的真實狀況。不過這些漁民普遍認為電桿礁還有相當改進的空間。早期分散投放的效益較差，已經逐漸被成效良好的集中堆疊方式所取代，但仍有部分特別堆高的礁堆逐年變矮，不像鋼鐵礁可以長期維持不變，效果也會逐漸變差，甚為可惜。

就分區來看，問卷中所提出的論點在南部地

區的支持度普遍最高，其次為東部地區，這兩區均無反對意見；再其次為西部地區。北部地區的支持度雖然相對較低，但贊同者(非常同意及同意合計)亦普遍達到七成以上。澎湖地區的受訪者較多表示無意見，支持者比例較低。上述結果可以提供未來投放水泥電桿人工魚礁在地點選擇上做參考；在南部及東部，可以獲得較高的支持及配合；西部、北部及澎湖則要考慮避免魚礁成效不彰、利用度偏低的區域，配合適當的宣導，增進漁民對水泥電桿人工魚礁的多方位利用。在推廣方面，將籌劃製作宣導短片，具體陳述投放電桿魚礁之理念、過程、效益，除了要說明研究成果資料，也將加入漁民訪談資料，納入他們的經驗感受，以提昇公信力。此外，要明確揭示魚礁區中電桿礁的確切位置，讓漁民能夠充分使用，以其自身的經驗，體認水泥電桿人工魚礁的實際效益。

肆、結論與建議

一、電桿魚礁具備多項優點，亦廣獲漁民認同，值得推廣使用

電桿礁屬於小型單元礁體，透過投放技術改善，在海中能堆疊出大型金字塔狀礁堆，發揮大型化礁體的優點。不僅目標明顯、方便利用及後續維護，也可以抵抗沙埋，延長礁體的使用年限。若與鋼鐵礁或漁船礁相比較，電桿礁的造價相對較低，材料來源充裕，適合做為主要的投放礁體類型。

礁體類型對附生生物的種類數未具明確的影響力；一般在礁體/礁堆最高層處，附著生物生長較為旺盛，最底層較為疏落。礁體/礁堆的高度越高，這類的分層差異越明顯。沈積物厚度對附生生物的覆蓋面積沒有明顯影響，不過在沈積物厚度很低的情況下，底棲生物種類數會較多。因此若電桿礁採用大型化、高度化礁堆方式，可以增加附著生物豐富度。

棲息在電桿礁的魚種數略多於其他三種礁型，不過四者之間並無明顯差異。若比較同一魚礁區的不同礁型，在大多數的魚礁區中，有較多的魚種會在電桿礁區棲息。惟對魚類組成而言，海域環境的地域性會對魚類群聚產生明顯的影響。此外，不同礁型在不同海域環境下的效益有所差異，棲息在電桿礁與鋼鐵礁區的魚類資源，其重量的平均量及中量彼此相近，並優於軍艦礁/漁船礁與水泥礁者。由於電桿礁的效益在各海域均相對為佳，建議將電桿礁作為主要的投礁類型，所搭配的其他礁體則可因地制宜，使整體魚礁區能發揮最大的功效。

問卷調查結果顯示接近九成比例的漁民支持利用退而不用之水泥電桿製成魚礁，其中大多數希望能長期持續投放在自己的作業海域，而且也認為值得廣泛的推廣到各地，顯示為了增裕漁業資源，電桿魚礁的設置值得大力推動。

二、電桿魚礁的投放建議

目前新型電桿礁的結構強度足數面對礁體集中堆疊所產生的重力壓迫，也可以應付一般颱風的自然風浪力量破壞。不過在未來投礁地點選擇上，仍需特別考量自然破壞因素，避免堅硬底質(礁盤、大石區)區域，在風浪、海流較強勁處盡量選擇較封閉海域，避免堆疊過高、或是改採特殊強化結構的礁體。在投置電桿礁的深度方面，為了避免投礁太淺容易受到海面劇烈風浪所影響，建議以 25~35 公尺的深度較為合適。

礁堆高度與魚礁效益之間的關係並不明顯，不過礁堆在 6 公尺高度左右的魚礁效益較佳。以構成礁堆的礁體數量而言，數量越多，魚類資源量越豐富(圖 16)。根據回歸分析的結果顯示礁體數量在 50 座以下的礁堆，這樣的關係最為明顯，礁堆越大，魚礁效益越顯著；而超過 60 座礁體以上，魚類資源量的增幅明顯趨緩，顯示此時已經接近效益的飽和點。太大的礁堆會在內部形成過度封閉的空間，缺乏魚類棲息利用，徒然浪費魚礁資源。

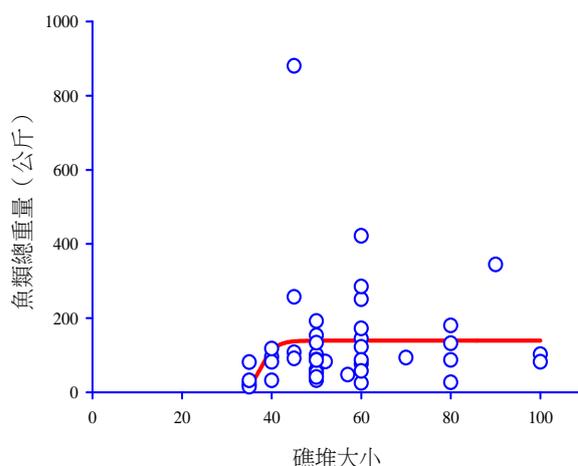


圖 16 礁堆大小與魚類總重量關係圖。圖中橫軸代表礁堆大小，以礁堆的礁體數量表示。資料並經迴歸分析得出兩者之關係(如圖中紅線所繪)。

由經濟效益的觀點來看，60 座礁體所構成的電桿礁堆可能是最合適的大小，能夠發揮較大的效益。不過以目前的投礁技術規範，單元礁體的堆疊度不易達成，因此建議礁堆以 80 座電桿礁構成較為合適。投放過程要嚴格要求定位精準度，選擇工作平台船同側，以集中單點投放方式，力求堆疊出金字塔狀，高度 3 層(6 公尺)以上的礁堆，以因應之後礁堆所出現滑落穩定現象。若礁體數量足夠，建議選擇 300~500 公尺左右距離，另外設點投放。依此方式所投置的電桿礁堆，不僅能夠發揮最大的魚礁效益，也具備抵抗劇烈風浪破壞的能力，長期維持礁堆的穩定；同時具備前述大型化礁堆的各項優點。

三、人工魚礁發展呈現多元化

在本計畫的效益評估中，主要是以魚礁區現棲魚類的總生物量做介量。由於資源利用的多元化，以及對生物多樣性的重視，設置保護區，生態旅遊以及棲地復育等等思維的興起，人工魚礁的設置在觀念上已經有所變化；為因應不同的目的，人工魚礁不但在礁體設計上可能不同，同時對效益的認知也會有所差異，以投放魚礁乃至電桿礁來維護生物多樣性，是生態保育上的一個新

趨勢，值得進一步評估、推動。

經過適當的設計，電桿礁的投放，除了培育漁業資源之外，也可以裨益海洋保護區的設置，促進生態旅遊以及進行棲地復育。這一點，在未來做規劃時，值得進一步考量。

伍、誌謝

感謝台灣電力公司環境保護處提供經費與協助。在各區海域執行潛水作業期間，以及進行問卷調查前後，承蒙諸位船長們提供各項協助與寶貴意見，在此亦表示感謝之意。

陸、參考文獻

- [1] W. Seaman Jr (ed), *Artificial Reef Evaluation: with Application to Natural Marine Habitats*, Boca Raton, London, New York: CRC Press, 2000, pp. 246.
- [2] 詹榮桂、劉毓興、陳靜怡、江鴻虎、李建平、蔡顯修，「水泥電桿應用於人工魚礁培育資源之調查研究」，台電工程月刊，第 769 期，第 84-92 頁，台北，2012 年 9 月。
- [3] 詹榮桂，「台灣周邊海域人工魚礁區之整體規劃(第二年)」，中央研究院生物多樣性研究中心，台北，2004 年 12 月。
- [4] K. H. Chang, S. C. Lee, and K. T. Shao, "Evaluation of artificial reef efficiency based on the studies of model reef fish community installed in northern Taiwan," *Bulletin of the Institute of Zoology, Academia Sinica*, vol. 16, pp. 23-36, 1977.
- [5] 張崑雄，「人工魚礁(第三號)」，中央研究院動物研究所，台北，專刊第 7 號，1979 年。
- [6] 邵廣昭，「北部海域設置人工魚礁之規畫研究」，中央研究院動物研究所，台北，專刊第 12 號，1988 年。
- [7] 邵廣昭，「台灣海域設置人工魚礁之規畫研究」，中央研究院動物研究所，台北，專刊第 13 號，1989 年。
- [8] 邵廣昭，「台灣人工魚礁的理論與功能」，台灣周邊海域人工魚礁區整體規劃研討會論文集，台北，2004 年 9 月，第 1 - 31 頁。
- [9] R. Q. Jan, Y. H. Liu, C. Y. Chen, M. C. Wang, G. S. Song, H. C. Lin, and K. T. Shao, "Effects of pile size of artificial reefs on the standing stocks of fishes," *Fisheries Research* vol. 63, pp. 327-337, 2003.
- [10] 陳哲聰、詹榮桂、戴昌鳳、劉仁銘，「屏東及台東海域人工魚礁區調查評估工作」，國立高雄海洋科技大學，高雄，2008 年 12 月。
- [11] 詹榮桂、劉仁銘，「人工魚礁漁業效益調查研究(期末報告)」，中央研究院生物多樣性研究中心，台北，2009 年 12 月。
- [12] 詹榮桂、劉仁銘，「人工魚礁漁業效益及可行性評估(期末報告)」，中央研究院生物多樣性研究中心，台北，2010 年 12 月。
- [13] 詹榮桂、劉仁銘，「人工魚礁漁業效益及可行性評估(期末報告)」，中央研究院生物多樣性研究中心，台北，2011 年 12 月。
- [14] 詹榮桂，「水泥電桿應用於人工魚礁培育資源之調查研究(期末報告)」，中央研究院生物多樣性研究中心，台北，2011 年 12 月。
- [15] 詹榮桂、劉仁銘，「人工魚礁漁業效益及可行性評估(期末報告)」，中央研究院生物多樣性研究中心，台北，2012 年 12 月。
- [16] 詹榮桂、劉仁銘，「人工魚礁漁業效益及可行性評估(期末報告)」，中央研究院生物多樣性研究中心，台北，2013 年 12 月。
- [17] J. Ludwig, and J. F. Reynolds, *Statistical Ecology, a Primer on Methods and Computing*, New York: John Wiley & Sons, 1988.
- [18] K. R. Clarke, and R. M. Warwick, *Change in Marine Communities: an Approach to Statistics Analysis and Interpretation*, 2nd ed. Plymouth: Primer-E Ltd., 2001.

低壓路燈開關故障原因分析與改善研究

Fault Analysis and Improvement of Low Voltage Street Light Switches

陳建男*
Chen, Chiang-Nan

卓明遠**
Cho, Ming-Yuan

吳欣泰**
Wu, Shin-Tai

王俊元**
Wang, Chun-Yuan

張文曜***
Chang, Wen-Yao

吳世忠****
Wu, Shen-Chung

陳堯輝****
Chen, Yao-Huei

丁彥宏****
Ting, Yen-Hung

龐貴鴻*****
Pang, Kuei-Hung

(102~104 年度研究計畫論文)

摘要

本計畫目的在於分析路燈開關之各類型路燈燈具負載啟閉特性，探討其對路燈開關可能造成之影響及其事故可能肇因，並研提防治方法，提供材料規範修訂參考。計畫首先蒐集近年來各區營業處發生路燈開關損壞案例資料，分析其損壞之原因以及蒐集國外(如歐、美、日)至少三國之路燈管理相關資料，檢討現行路燈開關電路設計及零件規格。再者，分析各類型路燈燈具(如水銀燈、鹵素燈、螢光燈、鈉燈、複金屬燈及 LED 燈)之啟閉特性對路燈開關之影響，對路燈開關進行負載分析，並提出負載管理方法。此外，利用設備以實驗方式分析電力品質、溫度、濕度對路燈開關之影響，並提出改善措施。最後由案例資料選定特殊區域 5 處(含)以上，進行現場監測，每一量測點監測 7 天(含)以上，並提出低壓路燈開關材規修正建議。

Abstract

The purpose of this project is to analyze the load on-off behavior of various types of street lights and their effect on street light switches as well as the possible fault causes of street light switches. Meanwhile scenarios of fault prevention will be proposed in order to make modification of the specifications of light switches material. The first step of this project is to collect the damage causes of street light switches and analyze the damage causes. This project also collects information of street light management and discusses the design of current street light switches circuit and their specifications. Moreover, the effect of the on-off behavior of various types of street lights (including mercury lamp, halogens lamp, fluorescent lamp, sodium lamp, metal halide lamp and LED) on street light switches is analyzed. Load analysis of street light switches as well as the load management strategy will be executed. Besides, relevant equipment is used to conduct experiments to analyze the effect of power quality,

*裕能科技股份有限公司
**國立高雄應用科技大學
***台灣電力公司綜合研究所
****台灣電力公司配電處
*****興勤電子股份有限公司

temperature, and humidity on street light switches in order to propose an improved inspection procedure. Finally, at least 5 locations pertaining to particular fault cases are selected for field tests, each with more than 7-day of testing duration, and suggestion will be proposed about material specifications for street light switches.

關鍵詞(Key Words)：路燈開關(Street Light Switches)、負載分析(Load Analysis)、材料規格(Material Specification)。

壹、前言

隨著經濟快速發展時代變遷，城市現代化建設步伐加快，人們對城市道路照明及亮化工程需求提昇，對於路燈穩定性、運轉品質要求也更為嚴格。在民國 60 年台灣工業發展初期，路燈控制開關以油浸式交流接觸器為主，因不便維護及容易漏油等缺點而逐漸受到市場淘汰。民國 70 年初期左右改以彈簧機械式開關取而代之，由於安裝地點多在路邊，觸點容易塵土汙損，造成觸頭飛弧、沾黏，且機械結構零組件繁多，易引起機械故障，動作特性易使接點磨損，也易引起噪音汙染等問題，因此在民國 70~80 年間逐漸被水銀式開關所取代。水銀開關雖然運作特性良好，但故障時會滲漏毒性強烈的水銀液體，而造成生態環境的污染，因此，隨著近年來環保意識抬頭，在民國 89 年也逐漸被市場所淘汰。民國 89 年初期台電公司引進 SCR 控制開關作為路燈控制開關，但其本身購置成本高、電路損害時也易對電網造成諧波及環境汙染等問題，而且抗過電壓能力不佳，以致於當發生故障時易引發高電壓，而造成大面積整流器和氣體放電燈具損害，單次故障損失甚鉅，這幾年台電也發生過許多實際損害案例，因此 SCR 控制開關也逐漸沒落。民國 89 年後迄今，台電開始採用真空式接觸器作為控制開關的元件。交流真空斷路器的主觸頭密封在真空中，所以觸頭不會受到塵土的汙損，真空介質也具有優良的絕緣性能、介質強度恢復快及熄火滅弧能力強的優點，所以啟斷電流能力

大大提升，安全性也更高，且驅動設計架構採電磁鐵直流操作線圈方式，沒有交流的振噪音問題，而高功率啟動、低功率保持電路不僅節能，更可保持線圈的電流減少，減少因溫升而降低接觸器壽命的頻率機會，可啟動的次數壽命也可達幾十萬次以上^[1]。

然台電公司開始採用真空接觸式路燈開關以來，故障狀況層出不窮，尤其多以接觸器不正常工作為大宗，台電公司也為此勞心勞力，除要多次到現地進行路燈開關更換，還得不斷接受民眾來電抱怨。因此為解決真空接觸式開關故障率居高不下之問題，須加以進行研究，尋找出詳細故障原因，並檢討現行路燈開關材料規範不足之處，針對各項問題點提出補強策略或解決方案，以提供用路人良好的道路照明品質。

貳、路燈管理機制探討

一、國內外各國路燈管理機制

研究團隊蒐集各方資訊以了解我國與世界各國在路燈控制方式、管理權責及電費計價上的實務作法，提供給台電公司相關部門參考，如表 1 為本案自行整理的對照統整表。在表中羅列中華民國、中國大陸、歐洲、美國、日本及韓國等多國在路燈管理機制上的對照作法，其比較向度包含控制方式、權責單位、管理單位、維護單位、路燈開關類型、計費方式及付費單位等項目作為指標。台電公司可以參考表內資訊作比較，觀察國外相關單位在路燈開關各方面的管理是否值得我們借鏡，檢討我國不足的部分。

表 1 國內外各國路燈管理機制統整表

向度	我國	大陸	歐洲	美國	日本	韓國
路燈控制方式	除地下道及隧道照明採 24 小時供電外，路燈供電係以中央氣象局公布之全年日出、日沒時間設置定時開關管控；路燈點滅則由地方行政管轄單位執行。在偏遠山區及鄉間零散路燈及郊區則採自動點滅器控制供電。	幅員廣大，控制方式也較多元，部份城市路燈由安裝於路旁控制箱的感光控制器來開關，開關根據光照度，當光照值低於設定數值時，系統自動向各個監控點發送開燈指令，當光照值高了，系統自動向各個監控點發送關燈指令。集中控制的路燈控制箱的時間控制器是程式式的，區分為微處理機自動管理和人工時鐘管理。	路燈大都採自調適控制方式，在歐盟地區的絕大部分是由感光光電控制開關或時控開關來控制；部份先進城市已採小區域性智能先進路燈遠距監控系統導入便於維護與管理，並大幅換裝低耗能的 LED 路燈，並結合再生能源燈具的導入與併網。	依照各地方州郡政府需要由於道路照明的用電大部分都是從電網直接接入。為方便管理其路燈的控制普遍採用自適性調光控制。部分郊區小城市仍有採用真空斷路式或油路開關進行小區域集中照明控制。近年來，LED 路燈大幅換裝，由於新的 LED 路燈能接受調光控制。與歐盟等先進國家類似，部份區域性智能先進路燈監控系統已有導入實績。	點滅器：控制小區域燈具，依日照情形自動開啟。時控開關：為集控常用方式，固定時間開啟。目前區域性智能先進路燈遠距監控系統已在部份城市開始推廣，LED 路燈亦開始大幅換裝。	點滅器：控制小區域燈具，依日照情形自動開啟。大城市採時控開關：為集控常用方式，固定時間開啟。裝置於桿上的傳統路燈開關內規範必須配備漏電斷路器。
供電權責單位	統一由台灣電力公司(公營)供電	依照區域及財產類別由各區域公營電力公司或民營電力公司供電，或簽訂契約合同之能源公司負責提供。	公共路(街)燈由區域簽約購電之能源公司供電，私有路燈則由投資之能源公司負責供電。	依照區域及財產類別由各區域公營電力公司或民營電力公司供電，或由簽訂售電契約之電力供應商提供。	依照區域及財產類別由各區域公營電力公司或民營電力公司供電，或由簽訂售電契約電力供應商提供。	統一由韓國電力公社(公營)供電
路燈管理單位	路燈設備的產權屬於地方政府，如果是供電電源方面的問題，主管機關就會立即通知台電公司迅速派員修理。	1996 年國務院發布的《電力供應與使用條例》規定，公用路燈應由鄉、鎮以上地方政府有關部門負責建設(路燈管理局/所/中心)，並負責運行維護與交付電費。	中央政府投資公共財：國家高速公路管理局/交通運輸管理部門 地方投資公共財：地方政府/州郡	中央政府投資公共財：國家運輸部 地方投資公共財：市政府與州政府交通運輸部管轄	國道：國家(國土資源部，基礎設施和運輸)。 國道和縣道：縣市政府。 城市道路：城市路燈管理課科。 車道和城市道路(私人財)：當地居民協會/自治會	中央政府投資：韓國道路公社 地方政府投資：各地方政府
路燈開關維護單位	台灣電力公司(公營)	由負責之供電之電力公司負責，但部份私有路燈由合同承攬商負責維護。	由負責之供電之能源公司負責，但部份私有路燈由合同照明承攬商負責維護。	由負責之供電之能源公司負責，但部份私有路燈由合同照明承攬商負責維護。	由負責之供電之能源公司負責維護。	韓國電力公社(公營)
路燈啟閉控件	主要為真空接觸器	主要為交流接觸器，部份採真空接觸器	主要為交流接觸器	主要為交流接觸器，部份仍採真空接觸器及傳統油路開關	主要為交流接觸器	主要為交流接觸器
路燈維護單位	路燈設備的產權屬於地方政府，所以路燈之電設備或燈桿傾倒、折損、位置不當等問題，都必須由路燈主管機關出面解決，如果是電源方面的問題，主管機關就會立即通知台電迅速派員修理。	由各鄉鎮地方政府路燈管理部門/局/所負責維護，一般以開立契約合同方式委外給相關技術維護廠商或區域電力及照明能源公司。	由各鄉鎮地方政府路燈管理部門負責維護與建設，一般以開立契約合同方式外包給相關技術維護廠商或區域電力及照明能源服務公司。	由各市政府與州政府交通運輸負責維護與建設，一般開立招標契約合同外包給相關技術維護廠商或區域電力及照明能源公司執行。	國道：地方整備局國道事務所保持分公司。國道和縣道：縣市民用建築工程辦公室。城市道路：城市創意部管理科。車道和城市道路(私人財)：當地居民協會會議和其他商店。	電力及控制開關箱：韓國電力公社 各地方政府負責管理路燈設備

向度	我國	大陸	歐洲	美國	日本	韓國
電費計費方式	以"包燈"及"表燈"的方式來計價電費。台電路燈電費採用「包燈制」,以包燈核定電費五折計收,用路燈之數量來計費,而不計算實際用電量。電價表區分為傳統白熾燈和 LED 燈具計費方式。	依照用途類別(非居民照明電價)與申請容量分級,採每度單一費率制。電價內已城市公用事業附加費,城市公用事業應用於補貼城鄉路燈照明電費專款專用。	依照管轄權責與用途分類: 1.能源公司管轄的路燈費率:採固定費率包月制。2.城市(鎮)或其它公共機構管轄的路燈費率。3.僅適用於地下服務涉及客戶與公司管轄的路燈收費。4.任何客戶已購買指定路燈照明設備服務,或符合資格路燈照明電費收取的零售配送服務的任何客戶。5.由客戶(包含政府機構或其它公共機構所提供)的路燈。6.同意現有的白熾燈和汞燈光源轉換成鈉燈的客戶,能源公司擁有路燈的管轄。	路燈電費由兩個主要部分組成:電能商品成本(與發電和採購相關的成本)和電力配電公司的輸配傳輸服務相關費用。主要有三類: 1.能源公司管轄的路燈費率:採固定費率包月制,收費取決於燈具的瓦數。2.用戶管轄的路燈費率:針對不同類型燈具分類而不同,資費採以不計量客戶擁有的數量而是基於功率數包月制。3.用戶管轄的路燈費率:依照用戶擁有的數量採每日計量方式。	主要分為定額電燈、從量電燈、臨時電燈、公眾街路燈四類。 1.定額以使用之燈具瓦數大小區別單價,以具數計價。2.從量則設定有基本契約容量費用,依照實際使用度數計價收費。3.臨時則依容量分為以日計及從量兩種費率可供客戶選擇。4.公眾則包含定額與從量兩種費率。2011年12月1日起開始實施新增10W以下電燈的電費劃分,此將有助於LED路燈導入與推廣。	區分為 Demand charge (KRW/kW) 和 Energy charge (KRW/kWh) 兩類用途, Demand charge 是依路燈設備的瓦數計費, Energy charge 則是依路燈使用的度數收費。其下收費方式又分為固定單一(flat)和計量(meter)兩種費率。
付費單位	目前除了省道行經都市計畫區內路段的路燈電費由中央付費外,餘均由省道沿線的鄉鎮市公所來付電費。	市政路燈由市政管理部門繳納,不同的地區可能略有差異。比如有的城市綠化、路燈等由統一的市政局管,有的城市由公用事業局管,但是這筆費用一般由政府撥款;私人物業用途則由業主或使用者自行負擔與分攤。	屬於中央政府管轄之路燈由中央編列預算繳納,市政路燈公共路燈統一由地方政府/州郡繳納,私人物業用途則由業主或使用者自行負擔。若由企業捐助之公共路燈則有補貼減免措施。	市政路燈公共路燈統一由地方政府/州郡編列預算繳納,私人物業用途則由業主或使用者自行負擔。	屬於中央政府管轄路燈由中央政府繳納,各市政路燈公共路燈統一由地方縣市政府繳納,私人物業用途則由業主或使用者自行負擔。	市政路燈公共路燈統一由地方政府繳納,私人物業用途則由業主或使用者自行負擔。

二、路燈開關管理維護建議作法

在現行路燈開關的管理上,因轄下路燈負載未妥適列管,再加上未建立自動監控和線上維護履歷查詢系統之機制,因此對於路燈是否失明與無帳私接之情形無法完全掌握,均須透過人為現場派員勘查和回報,再由區處維護單位派員維修處理;而備用料件的庫存管理和維修紀錄亦多採傳統紙本或單一電子文件記錄交接模式,很難有效長期比對故障點樞紐原因並加以分析,找到治本問題點。故須從作業面、制度(法制)面、人員技術提昇面及資訊與通信科技應用面等多方手段或措施來著手,配合進行管理與維護實務上的變革來因應^[2]。以下研究團隊將路燈開關區分為管理和維護面向兩個部份來分述,提供建議之未來可行之路燈開關管理與維護作法分列於表 2 及表 3。

參、路燈開關故障原因探討

一、區處訪談

訪談宜蘭、北南、彰化、嘉義、鳳山、高雄及屏東區處後,了解目前台電使用之路燈開關大多為真空接觸器。而各單位皆表示路燈開關大多是因為電子元件損壞而無法正常動作,可能為突波耐受度較低所致;另外也有路燈開關箱體積水而造成鏽蝕損壞。有幾處區處試以電磁接觸器來替代真空接觸器路燈開關,發現成效不錯故障率低,故建議引入電磁接觸器的使用。屏東區處則推廣將兩路開關的設計納入路燈開關基本箱內配置,主要為當路燈開關無控制電源時,台電維護人員可以至現場,扳動兩路開關做強制的動作,使後段路燈先正常運行。

表 2 管理建議作法

建議方向	預期成效
材規修訂及發佈，落實品質/制度/維護管制	透過材規的修訂將有助迫使供應商提供較高品質及故障率較低的產品，並加速技術及同業競爭力之提昇，也可俾助第一線作業人員維修時之便利及安全性。
導入智能路燈開關監控系統，強調設備管理向度 ^[3-7]	<p>(一)路燈雲端地圖管理：系統整合雲端地圖，將路燈管理圖資化，管理人員可透過 Web based 網頁，隨時監控各區域路段開關及轄下路燈負載變化，能即時了解目前的照明狀況並可於特殊狀況進行即時緊急調控。</p> <p>(二)路燈雲端資料管理：建立路燈開關系統資料庫，包含轄下燈具資訊、安裝資訊、作業/維護紀錄之追蹤管理，並可透過雲端進行資料交換。</p> <p>(三)燈具智慧控制：可具體實現群組控制、排程控制、電腦調光、分時間段控制等功能，並提供維護控制模式減少維護期間之民眾抱怨。</p> <p>(四)路燈設備資訊化管理：建立路燈的電子履歷，從燈具的規格標示、使用狀況到使用期間的外在因素變化都可列入追蹤，推測路燈異常。</p> <p>(五)路燈維修作業自動化管理：提供損壞通報、處理狀況、工作連繫、竣工連繫等作業查詢與紀錄報表。</p> <p>(六)路燈異常智慧化識別與警示：依照燈具運作狀態(電壓/電流/功率)及環境參數(溫/濕/照度)等複雜事件，提供異常前後之資訊比對並進行智慧辨識，當發現路燈有異常時，系統會自動通報管理人員，增進維修效率。</p> <p>(七)路燈監測用電計算估算：提供用電度數計量統計估算功能，因應未來可能調整照明計價結構所需，且可避免私接情事造成莫名損失。</p>
電價表修訂反映成本，以價制量	台灣與世界各先進國家電價相比仍屬低廉，電價制定除著重於妥善照顧民生、節能減碳及穩定物價外，應考量企業經營追求利潤中找尋平衡，以充分落實使用者付費精神與社會公平正義原則。為避免能源價格扭曲及不當轉嫁，行政院擬具之「電業法修正草案」已明訂取消對公用事業用電之優惠，惟因修法時程冗長，為提早實現企業化經營，合理反映經營績效，在電業法修正案尚未通過前，台電公司肩負之各項政策性任務仍宜儘速解除或得到合理補貼。移除補貼優惠，除了資助台電公司可反映成本外，亦可有效抑低不必要的路燈設置，達到節能減碳的目標，同時對於路燈開關的有效負載稼動效率上亦能得到提高，確保路燈開關能在設計規範內運作，以降低因可能過載造成故障發生的機率。
推廣 LED 節能高效燈具導入(低 THD%、高功因及節能)	LED 燈具比起傳統燈具有低諧波、高功因、壽命長及節能等多方優點，在同照度下，LED 可較白熾燈泡節省約 40%以上電能效益，若全面推廣則對於路燈開關可掛載燈具數量的裕度提供更彈性靈活的空間，相對於路燈開關負載的管理上助益頗大。若各縣市政府大量推動 LED 路燈措施，針對 LED 節能路燈提供換裝補貼的價格誘因相輔相成下，在有限人力與經費下維持路燈設備高妥善率，以期使民眾感受政府的用心。
走動式管理及配電線路巡視(無帳路燈汰除)，減少線損	落實路燈普查作業，無帳路燈者請地方政府會同查對，地方政府認帳者則補辦增設路燈，地方政府不認帳者則予以剪除。利用走動管理及現場工作或巡視稽查機會，發現有帳路燈白天放亮，即依區處「路燈白天放亮回饋機制」通知有關部門派員處理。點滅器失能者則當場予以換新。逐年編列預算將使用點滅器控制之路燈設計納入集中控制以消除路燈白天放亮的情事。

表 3 維護建議作法

建議方向	預期成效
路燈開關維護作業流程標準化及 e 化	設備養護資訊化是政府提升行政效率之有效作為，目前國內已有許多機關和縣市政府都有導入相關管理機制與系統進行管理，對於傳統路燈負載之養護管理成果確實可行且有效，此外，透過路燈編號定位成果之基礎建設，亦可擴大政府其他便民服務之應用，確實掌握路燈負載的數量，發揮投資效益。再論，目前路燈開關維護流程在台電各區處因地制宜，沒有統一標準，多依照各區處維護單位實務需求調整，路燈開關設備及轄下路燈類型、規格及數量都未妥適列管，雜亂複雜的私接配線方式也易造成路燈開關過載或損害。故建議可以研擬建構一套台電公司標準的路燈開關維護作業規定並建構線上維護履歷暨備品庫存管理系統，除可互通有無靈活調度庫存品支援外，也可確實掌握與統計各區處故障與報修狀況。
接地電阻落實檢測，確保突波保護能力	<p>根據屋外供電線路裝置規則，接地電阻應小於 100Ω 以下，而接地電阻良窳對於暫態突波(落雷或開關等造成)能量的釋放有很大的影響。現行真空式路燈開關其故障不良率偏高之因也與控制電路板之交直流轉換電路的電子零件對突波耐受度不佳有關，除可於路燈開關電源側主動強化加裝突波吸收器或低壓 SPD 等突波保護元件進行預防外，應提供一良好接地(能量洩放)路徑進行匹配才能發揮其防治效益。</p> <p>設置於路邊的地面式路燈開關箱若能定期檢測其接地電阻，必要感重度區甚至可實施單獨接地方式以確保接地系統之穩健，除可確保突波防護能力外亦可避免感電危害及縮小突波危害之路燈開關區域，同時增進行人和維護人員施工作業之安全。</p>
強化備料(組件)、維護技術精進與訓練交流	本家中實際訪查了多個區處負責維護路燈開關的第一線人員，在現今路燈開關故障率偏高造成缺料嚴重的狀況下，各區處皆開始自主導入備料或改裝控制組件(例如:導入電磁開關式)的機制來加以因應。而目前台電基層維護作業人員正值斷層銜接階段，各區處許多寶貴實務經驗與技術應妥適分享與傳承，未來亦應定期舉辦維護技術交流、檢定課程或研討會來提昇各區處維護人員技術與培訓專技人員實務經驗，並強化備料措施因應缺料之衝擊，可有效降低故障維修時間，減少民怨。

二、路燈開關結構與零件分析

研究團隊向區處取得路燈開關樣品後，對路燈開關進行結構與元件規格的分析。圖 1 為 A 廠牌真空開關內部結構組成圖，主要由動作線圈、控制電路板、B 接點和主迴路接點(真空接觸器)構成。圖 2 則為 A 廠牌控制電路圖，當系統控制線端輸入交流 220V 電壓訊號時，會經由橋式整流器(KBP10)將交流電信號轉為直流電信號供給控制真空開關投切的激磁線圈，其電壓約為直流 118V，線圈通電後產生磁力將鐵柱吸住，使真空開關導通，當鐵柱被吸住時迫使 b 接點(Normal Close)動作，此時線圈電壓約為直流 9V，線圈電壓會從直流 118 降至 9V 是因為 b 接點動作，而讓電容產生分壓作用，使橋式整流器輸出端電壓降低，這樣的功能可使線圈不至於運作太久而過熱燒毀。投切的瞬間可能產生的電弧效應則會因真空開關內置真空消弧室設計而滅弧。

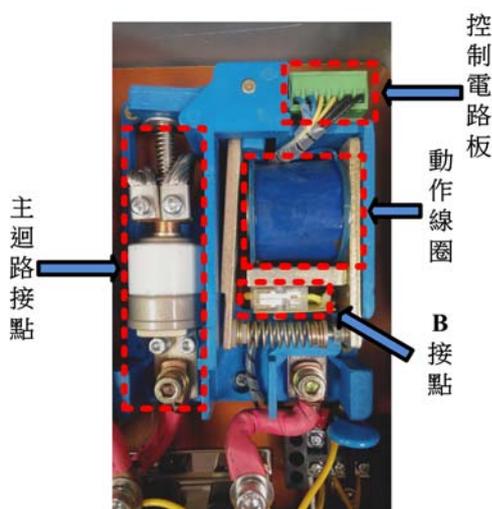


圖 1 A 廠牌真空開關內部結構組成

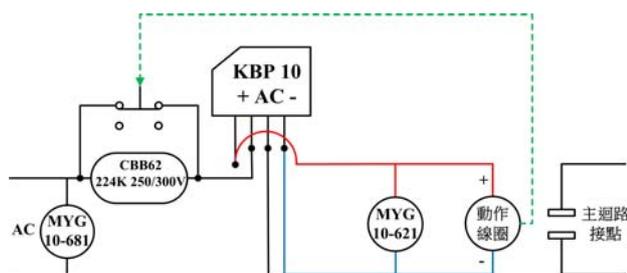


圖 2 A 廠牌控制電路圖

再者，研究團隊也有向區處商借幾具已換下之故障 A 廠牌路燈開關來研究並探討其損害處為何，目前發現其故障狀態為當送電時鐵柱會產生一直彈跳的動作，診斷為電容損壞造成，導致橋式整流器輸出端電壓過低，使線圈產生的作用磁力不夠，造成鐵柱無法完全吸住而彈開，當彈開瞬間，B 接點不動作且電容短路，此時線圈電壓約為直流 119V，線圈磁力強度又使鐵柱吸住，但當鐵柱吸住時，B 接點動作而電容異常分壓，使線圈磁力又變低，迫使鐵柱彈開，此時量測到的線圈兩端電壓也只約為直流 3V，這樣來回反覆動作使開關呈現一直彈跳的現象，故抽換正常之電容元件後，始能恢復正常運作。

圖 3 及圖 4 分別為 B 廠牌真空開關外觀示意圖和控制電路圖，以真空瓶做為接觸器之路燈開關，電源為交流 220V，經整流器電路將交流電轉為直流電，再供給動作線圈，此時電流極大 (550mA)，產生一大力矩將主迴路接通、直控接點被斷開，因此電流經過分壓電容，將電流限制在 55-65mA 之間。在電路設計部分，因主要電路前端有限流電阻，雖然突波吸收器在突波發生時吸收掉大部分能量，但剩餘能量仍將限流電阻燒毀而造成斷路，成為主要故障原因之一^[8]。

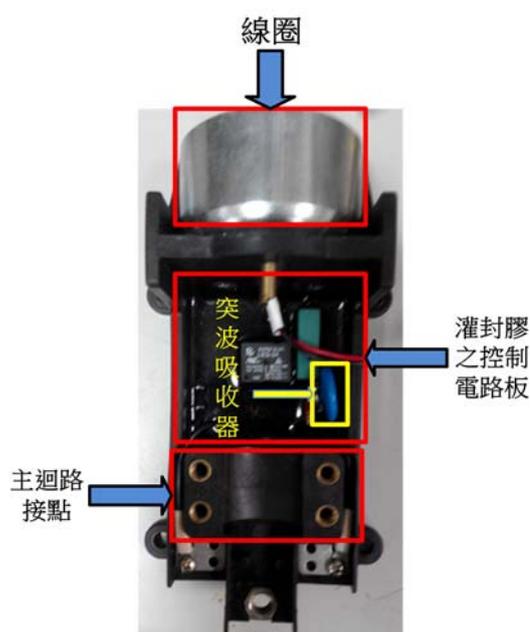


圖 3 B 廠牌真空開關外觀

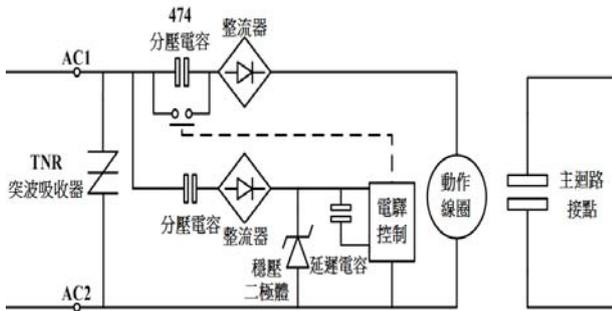


圖 4 B 廠牌路燈開關控制電路

三、路燈開關特性試驗

(一) 路燈開關啟動電壓與電流量測

分別對 A 廠牌路燈開關、B 廠牌路燈開關及 C 廠牌電磁接觸器做啟動電壓電流量測。首先引入市電 220V 經由無熔絲開關 ON/OFF 切換，將電源訊號送至自耦變壓器一次側，經由自耦變壓器調整電壓大小，二次側輸出至 A 廠牌、B 廠牌真空斷路器及 C 廠牌電磁接觸器之線圈控制接點，觀察真空斷路器、電磁接觸器是否有導通及斷開之動作，並使用電表量測工作時之電壓電流值，測試架構如圖 5 所示。

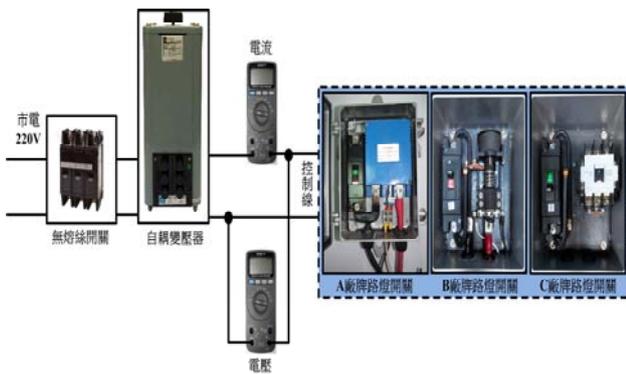


圖 5 路燈開關啟動電壓與電流量測示意圖

量測到之電壓值範圍為 A 廠牌 150~220V、B 廠牌 130~220V、C 廠牌 140~220V；而量測到電流大約皆在十到數十毫安培不等。另外針對故障的路燈開關量測其開關啟動特性。B 廠牌路燈開關呈現故障現象是當真空開關的控制電壓達交

流 180V 時，真空斷路器導通瞬間馬上又斷開，則無法維持導通狀態；A 廠牌路燈開關故障時則是當真空開關的控制電壓若低於交流 165V 時，真空開關會有一直彈跳的現象。

(二) 路燈開關突波測試

突波測試試驗主要是模擬雷擊突波對路燈開關運作上可能造成的影響，實驗中分別對路燈開關控制線端裝設突波吸收器與未裝設突波吸收器的 A 廠牌與 B 廠牌路燈開關及未裝設突波吸收器的 C 廠牌接觸器做動態突波測試^[9-10]圖 6 為突波測試示意圖，實驗中將市電 220V 經由突波產生器輸出至路燈開關控制線端，而路燈開關接收到控制訊號其主接點導通時，再將突波產生器產生的突波訊號送入路燈開關控制線端，並使用示波器量測此時開關箱體內控制線兩端的突波電壓與突波電流。實驗中突波電壓採用電阻分壓方式量測，將突波電壓分壓為十分之一，以確保過大突波電壓不會使示波器損壞。

表 4 為統整所有突波實驗之量測數據與結果，從表中得知裝設突波吸收器的 A 廠及 B 廠路燈開關可以承受短暫 1kV、2kV、3kV 及 4kV 突波電壓。

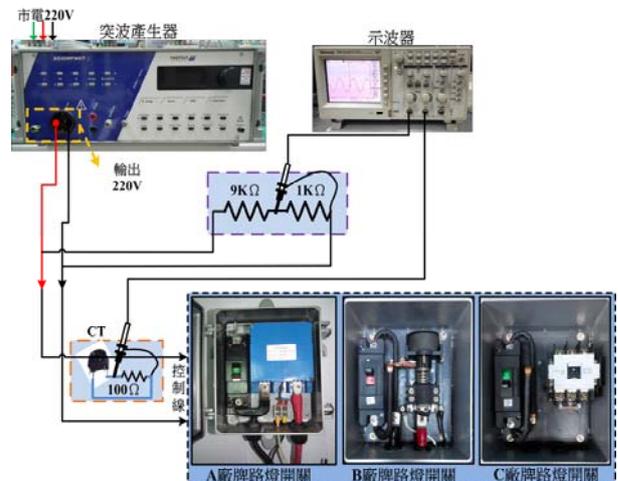


圖 6 突波測試量測示意圖

表 4 有無裝突波吸收器突波電流量測統整表

廠牌	項目	儀器輸出突波電壓			
		1kV	2kV	3kV	4kV
A 廠牌路燈開關(裝設突波吸收器)	突波電壓	900V~920V	960V~1kV	940V~1.06kV	1.14kV~1.2kV
	突波電流	15.4A~19.6A	235A~285A	435A~620A	1005A~1050A
B 廠牌路燈開關(裝設突波吸收器)	突波電壓	740V~760V	900V~1.28kV	780V~1kV	740V~1.28kV
	突波電流	66A~71.5A	420A~520A	735A~825A	1030A~1100A
C 廠牌路燈開關(未裝設突波吸收器)	突波電壓	1kV~1.02kV	1.92kV~1.94kV	2.88kV~2.92kV	3.90kV~3.96kV
	突波電流	1.55A~1.8A	1.62A~2.675A	2.525A~3.75A	4.55A~9.75A

再者，研究團隊對 A 廠牌及 B 廠牌電路板進行破壞性突波測試，考慮路燈開關投入及非投入時以及電路板前端是否加裝突波吸收器的狀況，使用突波產生器分別對控制線及中性線打入 4kV(2kA)突波做電路板耐受性試驗，觀察電路板是否損壞，其損壞元件為何？釐清損壞原因並作電路及元件規格分析，作為後續材規制定之參考。

以表實驗數據結果來看，A 廠牌在電路板前端加裝突波吸收器的確有突波加強保護的效果，可延長電路板耐受突波壽命。圖 7 為模擬白天路燈開關未動作時引入突波，發現損壞的元件為電路板後端突波吸收器與橋式整流器，能量衝擊使突波吸收器先破裂失去保護作用後突波再擊穿橋式整流器。圖 8 則為模擬夜晚路燈開關動作時引入突波，發現能量衝擊使突波吸收器先破裂失去保護作用後突波再擊穿電容器。

至於 B 廠牌與 C 廠牌在測試 500 次內皆無損壞現象，研判由於 B 廠牌在近年來不斷提升路燈開關突波吸收器規格，故已可承受 4kV 突波的多次衝擊。而 C 廠牌則無多餘電子元件，4kV 突波可能也不足以燒融交流線圈，故無損壞現象產生。

表 5 A 廠牌突波測試數據

	控制線打入突波	中性線打入突波
開關投入 加裝突波吸收器	500 次未壞	500 次未壞
開關投入	158 次 金屬薄膜電容、前端突波吸收器損壞	112 次 金屬薄膜電容、前端突波吸收器損壞
開關未投入 加裝突波吸收器	276 次 橋式整流器、後端突波吸收器損壞	73 次 橋式整流器、後端突波吸收器損壞
開關未投入	125 次 橋式整流器、後端突波吸收器損壞	24 次 橋式整流器、後端突波吸收器損壞

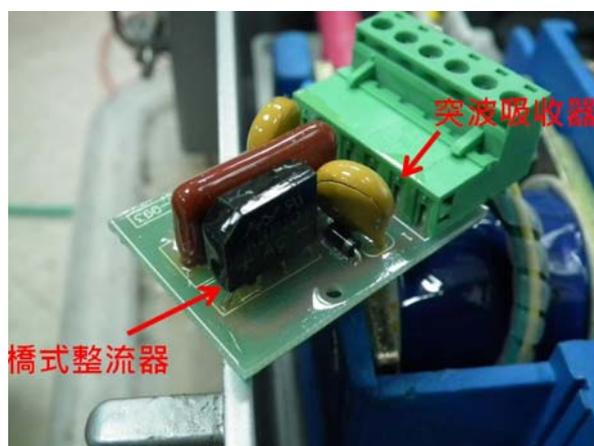


圖 7 A 廠牌電路板損壞元件示意圖 I



圖 8 A 廠牌電路板損壞元件示意圖 II

台電現行低壓路燈開關接地方式是控制線的中性線與開關箱外殼共同接地，而此實驗設計主要模擬當有暫態突波由地線端產生時，會不會湧入路燈開關內部造成損壞。另外，也考慮接地良窳條件進行模擬，依據電工法規第三種接地規範，低壓用電設備對地電壓 151V 至 300V 者，其接地電阻為 50Ω 以下；而屋外供電線路裝置規則規定之接地電阻則為 100Ω 以下，故本實驗以 50Ω 和 100Ω 為基準，設計兩種不同接地狀況，測試突波湧入之影響及其差異。圖 9 所示為路燈開關對地突波測試架構圖，其主要量測流入地線之突波電流與控制線的中性線電流，分析流入地線的突波電流，在不同的接地電阻情況下，其突波電流是否會回灌至路燈開關。實驗一開始，將市電 AC220V 經自耦變壓器輸出到路燈開關控制線端，使路燈開關啟動，再經由突波產生器輸出最大值 4.2kV 的突波電壓至地線，並使用示波器分別量測流入地線的突波電流與中性線電流。從表 6 中，可以發現地線突波電流與中性線突波電流數值相近，推測突波響應時間太短，導致其地線湧入的突波會有直接回灌至路燈開關內部的現象。雖然測試以上對地突波試驗過程中，三廠牌路燈開關皆能正常

啟動運行，並未損害其電路元件，但已可證實突波可能伴隨系統由地線侵入路燈開關，故建議應於電源側(L-N)加裝突波吸收保護元件作適當保護與強化。

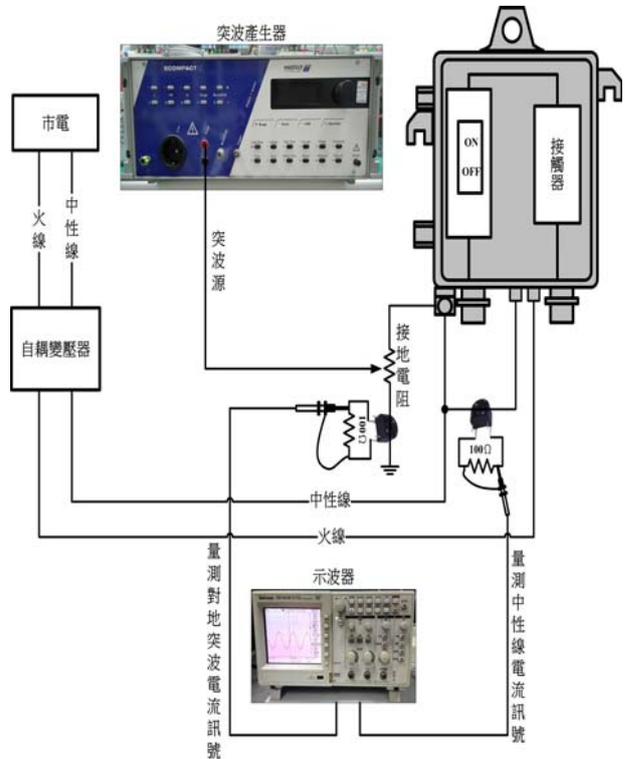


圖 9 路燈開關對地突波測試架構圖

表 6 三廠牌路燈開關對地突波測試彙整表

		廠牌		
		A 廠牌	B 廠牌	C 廠牌
47Ω	地線突波電流	34A~38A	34A~38A	46A~50A
	中性線突波電流	32A~35A	30A~34A	34A~38A
98Ω	地線突波電流	36A~40A	36A~40A	44A~49A
	中性線突波電流	28A~32A	30A~34A	36A~40A

(三) 路燈燈具啟閉特性

本路燈燈具啟閉量測實驗主要量測的燈具為 160W 水銀燈、250W 水銀燈、300W 鹵素燈、250W 高壓鈉氣燈、250W 複金屬燈、112W LED 燈，量測流程架構如圖 10 所示。

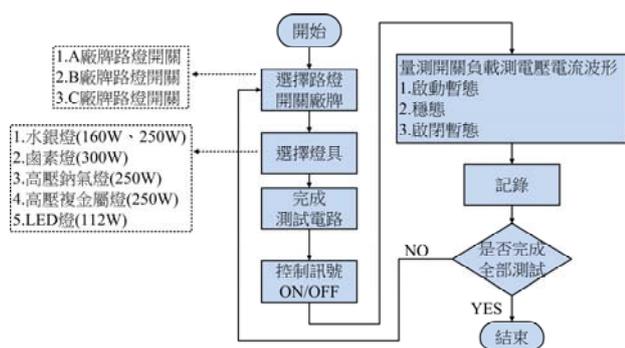


圖 10 各類型燈具測試實驗流程圖

量測後發現各類型燈具不管在任何路燈開關下，啟閉時皆會有些微的暫態響應，而穩態時在電壓部分波型為正常的正弦波型，電流部分以 250W 的高壓鈉燈、複金屬燈及水銀燈有較明顯的諧波成分。

後續研究團隊針對路燈開關啟閉時，負載側產生之暫態突波是否會對控制線路線圈造成感應，而對前端電路造成破壞情形做模擬分析。個別在 A 廠牌、B 廠牌及 C 廠牌路燈開關激磁導通的情況下，從負載側打入突波，觀察控制側線圈電路是否會有感應電壓，簡易實驗架構如圖 11 和圖 12 所示。

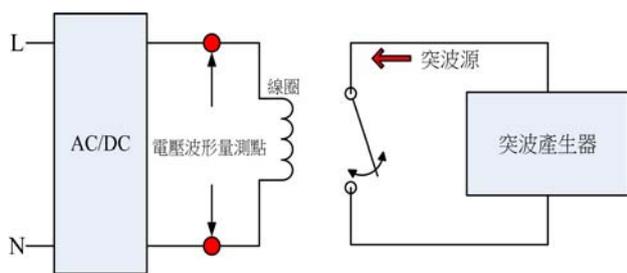


圖 11 A 廠牌及 B 廠牌負載突波模擬

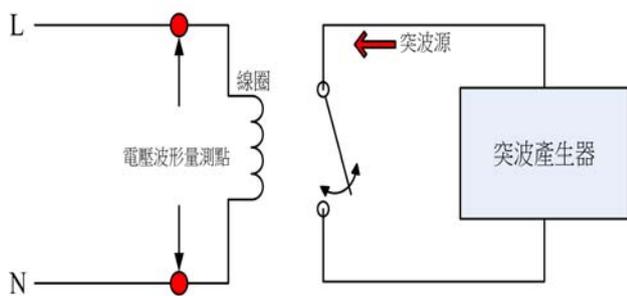


圖 12 C 廠牌負載突波模擬

A 廠牌於突波提升至 3kV 打入負載端時，控制側線圈開始有感應電壓產生，如表和圖所示；而 B 廠牌及 C 廠牌突波提升至 4kV 打入負載端時，控制側仍無感應電壓產生。對於 A 廠牌而言來自負載側的突波的確會對控制側線圈產生感應電壓，但是在 4kV 突波投入負載側時，在控制側僅會產生最大峰值約 30V 左右的感應電壓，且持續時間為微秒級，而且實際上負載側能湧入 4kV 突波的情況並不多見，對於控制側的電路應不會產生太大影響。

表 7 各突波電壓下 A 廠牌控制端線圈感應電壓

次數	突波電壓 4kV		突波電壓 3.5kV		突波電壓 3kV	
	最大值 (V)	時間 (μs)	最大值 (V)	時間 (μs)	最大值 (V)	時間 (μs)
1	27.2	4.40	25.2	3.76	28.0	3.60
2	24.4	3.52	28.0	3.92	26.4	3.92
3	22.8	6.24	28.0	3.68	24.8	3.84
4	29.2	3.52	30.8	3.92	24.4	4.40
5	27.6	2.56	30.8	6.40	25.6	4.48
6	34.0	4.00	24.0	5.04	25.6	4.48
7	27.6	5.20	25.6	4.32	28.4	3.68
8	29.6	4.48	28.4	4.08	26.0	4.00
9	32.8	4.56	25.6	3.92	26.0	3.44
10	28.8	4.56	24.4	5.68	27.2	3.76
平均	28.40	4.304	27.08	4.472	26.24	3.96

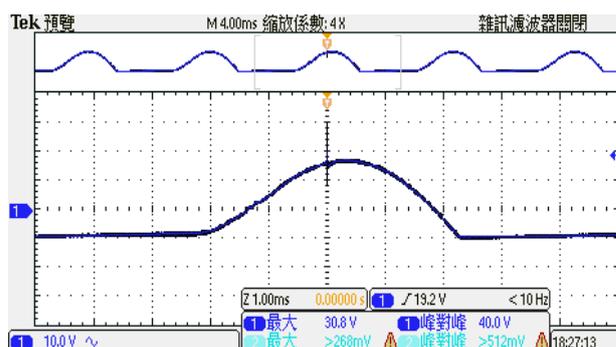


圖 13 A 廠牌控制側線圈感應電壓波形

(四) 諧波試驗

依照 IEC61000-3-2 諧波電壓管制值標準分佈在 1.5%~5%之間，諧波實驗設計如圖所示，主要為利用諧波產生器產生 3、5、7、9 次的諧波，其諧波電壓失真率為 10%、15%、20%三種不同諧波成份，對路

燈開關進行破壞性的諧波試驗，將諧波源輸入至三種廠牌的路燈開關控制線端，使路燈開關運行，其運行時間為 6 小時，每一小時紀錄路燈開關之啟動狀態，分析諧波源是否會影響路燈開關^[11-13]。



圖 14 諧波試驗接線圖

三廠牌路燈開關皆進行諧波試驗連續 6 小時後，發現 A 廠牌、B 廠牌和 C 廠牌路燈開關在 3、5、7、9 次電壓諧波成份 10%、15%、20%條件下，每小時的啟動電壓電流特性並不會受到影響，但是 A 廠牌路燈開關和 C 廠牌路燈開關在 3、5、7、9 次電壓諧波成份 10%時，就會產生噪音，而 B 廠牌路燈開關在一樣的條件下並不會產生噪音。上述三廠牌諧波測試其控制源帶有諧波成份的電壓，其結果為 3、5、7、9 次電壓諧波成份 10%、15%、20%的條件下，測試期間內，路燈開關仍可正常運行啟動。

(五) 路燈開關電力品質實地量測

1. 路燈開關暫態量測

針對路燈開關啟閉和轉供時可能產生突波之疑慮，研究團隊於高雄市旗津及鳳山兩區選擇不同環境性質的路燈開

關做現場實地量測，利用暫態分析儀於選定之地點處進行實地監測與紀錄，分別量測啟閉或轉供時路燈開關控制線、負載、中性線之電壓及電流，量測方法如圖 15 所示，了解若有引入暫態突波產生時對於路燈開關運作特性及控制電路電子元件之影響。另外，量測當地接地電阻值，觀察兩地若接地電阻不同，對路燈開關暫態啟閉或轉供時產生的影響為何。

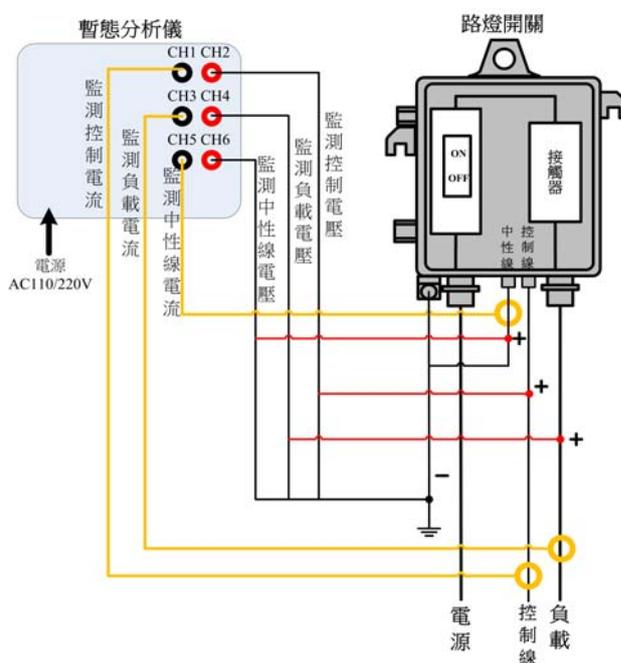


圖 15 路燈開關暫態量測示意圖

量測兩處現地結果大致相同，以旗津站點量測結果作說明：若實施負載啟閉行為時，其暫態之控制最大電流為穩態之 20 倍(515mA)，暫態之最大負載電流亦提升了約 1.2 倍(150.5A)，暫態之最大中性線電流則上升了約 27 倍(13.45A)，由於暫態響應持續時間極短，僅數十毫秒不等，估計不會造成危害。監測控制/負載/中性線電壓部份並無明顯暫態響應發生。另外，若於有載下實施轉供作業時其除了暫態之負載電流略

為上升了 1.1 倍外，其餘通道監測之電壓/電流並無明顯暫態響應發生。

2. 路燈開關諧波量測

研究團隊為探討諧波對電力設備造成危害情形，而欲了解台電對路燈開關控制啟閉線路提供之電源品質是否符合國際認證之諧波標準，故請台電新竹區處協助找尋一故障率較高之路燈開關站點架設電力分析儀，量測此路燈開關控制線電源諧波是否符合規範，架設方式如圖 16 所示。本實驗規劃約一周的量測時間，每分鐘紀錄一次電源平均電壓及電流之諧波含量。

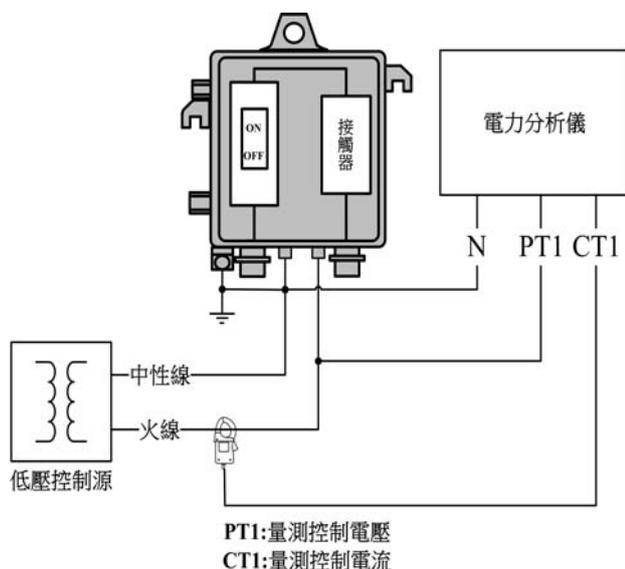


圖 16 路燈開關諧波量測示意圖

研究團隊利用電力分析儀監測台電路燈開關控制線供電品質，如圖 17 及圖 18 所示，發現供電時的電壓諧波大部分時間並無超過規範 THD%=5%的標準，最大也僅超出 0.7%。而供電時控制線電流極小，THD%最大高達 134%，主因為控制線輸入經單相雙脈衝整流電路產生畸變，其中主要為 3 及 5 次諧波成份，符合預期結果。實地量測的結果僅能表示此監測點之供應電源品質尚符合管制規範，監測期間並無設備異常作動與元件損害問題發生。

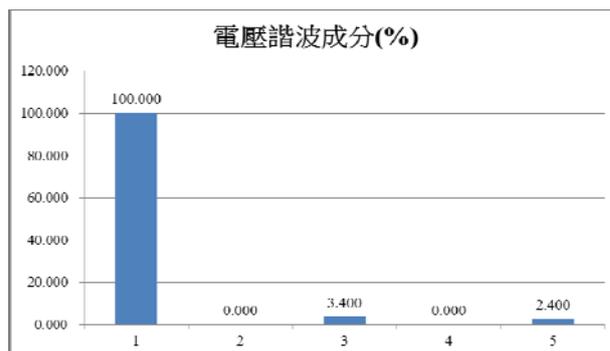


圖 17 電壓諧波成分 (%)

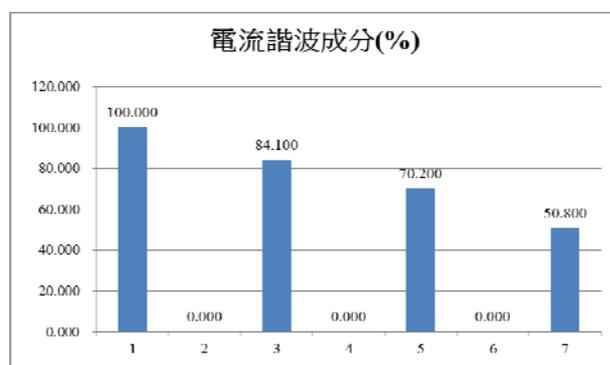


圖 18 電流諧波成分 (%)

(六) 溫度與濕度環境試驗

戶外式路燈開關可能會受到外在環境溫度溼度變化而影響路燈開關正常運行。為驗證路燈開關控制電路板電子零件是否會受到溫度濕度環境影響而損壞故障，故依照國際 IEC 6008-2-1、IEC 6008-2-2 規範來設計溫溼度實驗來探討溫度與濕度對路燈開關的影響，實驗架構如圖 19 所示 [14-15]。

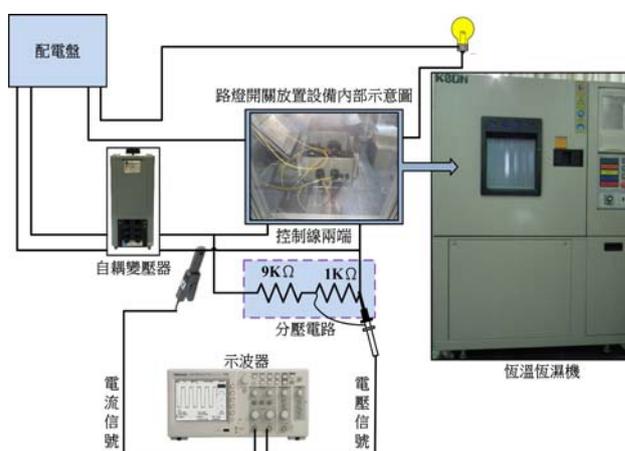


圖 19 溫溼度實驗架構圖

溫度實驗結果，其條件為路燈開關於測試溫度下運行兩小時並做多次實驗測試，其溫度對三種廠牌路燈開關電壓電流之影響量測數據如表 8 所示，得知 A 廠路燈開關在溫度 70°C 時，最低啟動電壓從 160V 升至 200V 才能啟動，其啟動電流在溫度 70°C 時是升高的，但在溫度 85°C 時，啟動電流降低約 5mA，但仍可正常啟動；而 B 廠路燈開關在溫度 55°C 時，最低啟

動電壓從 135V 升至 145V 才能啟動；在溫度 85°C 時，最低啟動電壓從 146V 升至 150V 才能啟動，從中發現 B 廠路燈開關特性是啟動電壓升高，其啟動電流就會降低，則 C 廠路燈開關最低啟動電壓與電流不受溫度影響。但如果三種路燈開關在電力公司低壓系統下運作時，其啟動電壓 220V，路燈開關是都可正常運作的，不會受到溫度影響而改變啟動電壓電流。

表 8 溫度實驗對路燈開關電壓電流影響比較表

開關廠牌	濕度		50%						
	溫度		5°C	25°C(室溫)	30°C	40°C	55°C	70°C	85°C
A 廠牌路燈開關	開關最低啟動	電壓	160V	159V	160V	160V	160V	200V	200V
		電流	16.8mA	16.6mA	17mA	16.8mA	16.8mA	20.4mA	15.9mA
	開關於台電低壓系統下運作	電壓	220V	220V	220V	220V	220V	220V	220V
		電流	23mA	23mA	23mA	22.8mA	22.6mA	22.6mA	17.3mA
B 廠牌路燈開關	開關最低啟動	電壓	134V	135V	136V	135V	145V	146V	150V
		電流	17.1mA	15.6mA	15.6mA	15.3mA	14mA	13.5mA	11.9mA
	開關於台電低壓系統下運作	電壓	221V	220V	220V	220V	220V	220V	220V
		電流	11.4mA	10.9mA	11mA	10.7mA	10.7mA	10.4mA	10.4mA
C 廠牌路燈開關	開關最低啟動	電壓	140V	140V	140V	140V	140V	140V	140V
		電流	56.8mA	56mA	57mA	55.8mA	56.6mA	56.4mA	55.8mA
	開關於台電低壓系統下運作	電壓	218V	220V	220V	220V	219V	220V	221V
		電流	98mA	98.6mA	99mA	100.4mA	99.8mA	99mA	98mA

表 9 濕度實驗對路燈開關電壓電流影響比較表

路燈廠牌	溫度		40°C				
	濕度		50%	60%	70%	80%	95%
A 廠牌路燈開關	開關最低啟動	電壓	160V	160V	161V	160V	160V
		電流	16.9mA	17mA	16.9mA	16.8mA	16.9mA
	開關於台電低壓系統下運作	電壓	220V	220V	220V	220V	220V
		電流	22.8mA	23mA	22.8mA	22.8mA	22.6mA
B 廠牌路燈開關	開關最低啟動	電壓	135V	135V	135V	135V	136V
		電流	15.3mA	15.5mA	15.5mA	15.8mA	15.4mA
	開關於台電低壓系統下運作	電壓	220V	220V	220V	220V	220V
		電流	10.7mA	10.6mA	11mA	10.8mA	10.7mA
C 廠牌路燈開關	開關最低啟動	電壓	139V	141V	140V	141V	140V
		電流	56mA	56.8mA	55.6mA	56.2mA	56.2mA
	開關於台電低壓系統下運作	電壓	220V	220V	220V	221V	220V
		電流	98.6mA	98mA	96.8mA	99.4mA	98.2mA

濕度實驗條件為路燈開關於測試濕度下運轉 4 天，其濕度實驗對三種廠牌路燈開關電壓電流量測數據如

表 9 所示，其 A 廠、B 廠及 C 廠路燈開關電壓電流為穩定狀態，也就是說三種路燈開關廠牌在溫度固定為 40°C 時，其濕度改變並不會影響到路燈開關最低啟動電壓狀態與於電力公司低壓系統下運作時的狀態。

肆、路燈開關監測系統規劃設計

考量實際路燈開關安裝環境與分佈特性，本方案中採行的監控系統係設計透過 GPRS 無線通訊作為傳輸媒介；且為考慮資訊存取便利性，後端則採用 Web based 網路式伺服架構，輔以 SQL 為核心資料庫技術開發的人機操作界面，可滿足遠端同時多位客戶端(Client)存取路燈即時狀態數據和查詢歷史資料的需求，監控系統架構如圖 20 所示^[16-18]。而主要納入監控的參數為路燈開關之四點電壓(開關一次側電壓、開關二次側電壓、線圈電壓及負載側電壓)、兩點電流(激磁電流、負載電流)及環境溫/濕度等參數。

圖 21 為路燈開關監控系統人機介面之即時資訊，圖中上方可得知路燈開關目前開關狀態、四點電壓及兩點電流、箱體溫濕度等資訊參數即時值。即時監控畫面左下方嵌入 Google Map 地圖顯示方式標註此路燈開關實際的經緯度位置；畫面的右下方則可執行特定時段區間之各資訊參數的查詢作業，方便後續報表的調用與問題追查。

圖 22~圖 25 為其中一架設點裝設期間數據彙整的曲線圖，選定損害率較高、鹽霧害區與雷擊區等特殊地緣屬性區域做安裝，當路燈開關故障時，能夠透過遠端 bypass 對路燈供電。藉由長期採集溫溼度資料來做為路燈開關壽命的參考，也能透過長期負載電流觀察是否有私接的可能，如圖負載電流在監測期間有提高的現象，疑

似有加裝負載的情況發生。一旦監測數據發生異常，路燈維護相關人員便可至現場進行查看與處理。

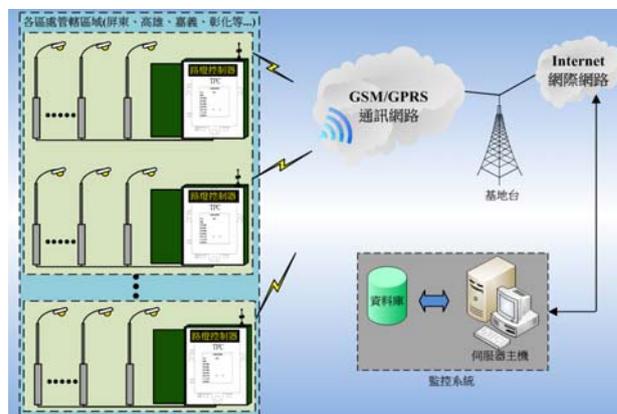


圖 20 路燈開關監控系統架構圖



圖 21 路燈開關監控系統人機介面

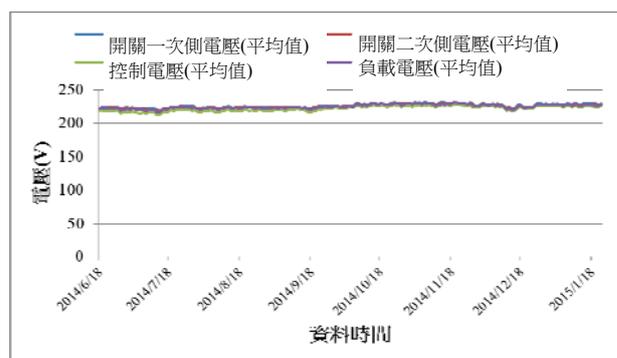


圖 22 電壓曲線圖

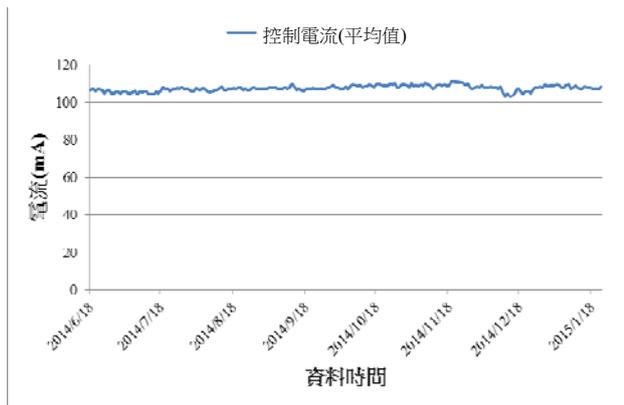


圖 23 控制電流曲線圖

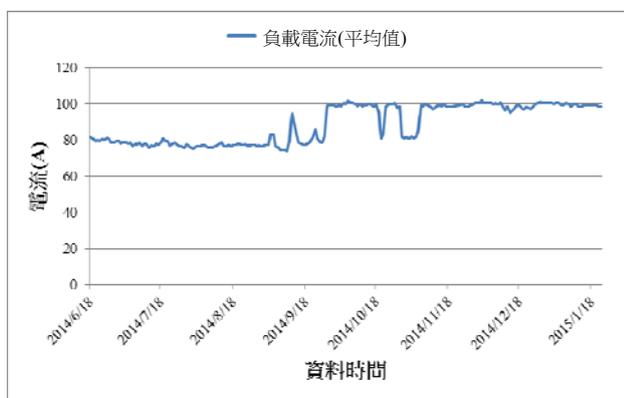


圖 24 負載電流曲線圖

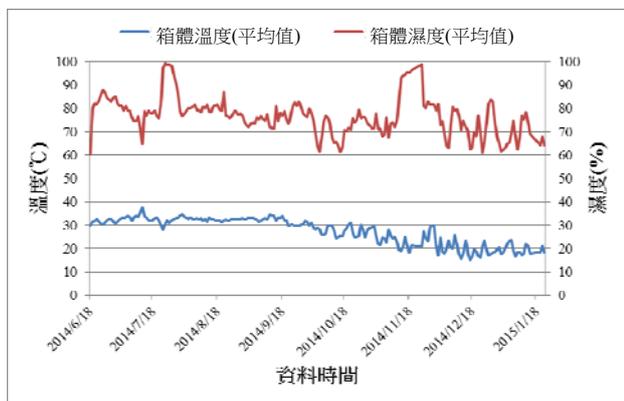


圖 25 溫溼度曲線圖

伍、材規訂定

表 10 所示為材料標準修訂對照表，此表簡易地將現行材規中針對適用條件、適用標準、外觀/箱內配置、防水/防潮、特性試驗項目及附錄-採購規範等向度進行分類並羅列其不足之處，並

將建議之材規修訂項目簡要的補充呈述，備註則註明修訂之採行原則考量目標，修訂之原則主要以圖 26 所示三面向(品質/制度/維護)之概念來執行^[19-22]。

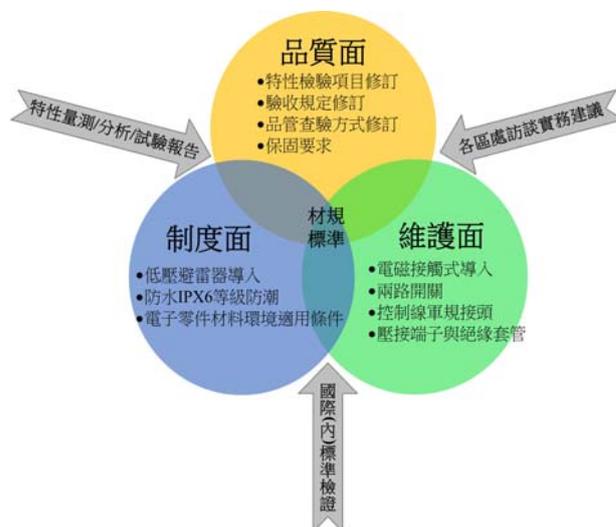


圖 26 建議之材規標準構建概念

陸、結論與建議

一、結論

經過蒐集各方資料、詢問區處之意見，以及綜合以上實驗結果驗證，推斷路燈開關之故障主要多為控件損壞所致，普遍對於突波衝擊及環境耐受度不足，部分則為開關箱內積水造成機件鏽蝕，但仍屬小宗個案。為達成路燈開關使用壽命之提升，認為廠商在整體開關設計及材料選用上皆須有所改進，特別強調防潮、耐溫及突波防治等面向，引入各項材料及組件相關認證規範，以要求路燈開關出廠品質的提升，並期望能達到全方位之強健設備環境與異常耐受度之目標，大幅降低路燈開關故障率，保障用路人的安全。除此之外，建立起有效的路燈管理及維護辦法，可以有效掌握路燈運作情況，定期追蹤巡查或維護，並且強化備料及維護技術以提升路燈開關搶修效率。

表 10 材料標準修訂對照表

評鑑類別	現行材料標準 C041(93-06)	建議修訂項目	備註
適用條件	僅規範適用範圍(屋外低壓線路燈之點滅控制用)，無明確條列規定環境條件。	1. 增列電子零件材料應採用工業級標準。 2. 明確規定系統組成要求可適用之環境條件。	明確材料/環境適用規範
適用標準	除本規範另有規定者外，應符合 CNS 2931(79-06)、IEC 60947-4-1(2002)、ASTM-B85(1999)或同等品之標準。	1. 增列 IP 防護等級：IEC60529(2001) 2. 增列 突波測試標準：UL1449-4 th (2014)	強化品質管制標準
外觀/箱內配置	1. 針對箱體外觀/材質/尺寸規定。 2. 僅規定內部接觸器、使用線材及無熔絲斷路器三單元組件作簡易規範(安全額定)。	1. 加入電磁接觸式配置(適用真空式)。 2. 修正外觀/箱內配置圖。 3. 多配置兩路開關設計，以方便緊急維修。 4. 加裝低壓避雷器，強化異常突波耐受能力。 5. 系統控制線採用軍規接頭，強化耐用性。 6. 電源側/負載側導線採用壓接端子/絕緣套管包覆。	強化耐受能力/考慮維護性
防水/防潮	1. 僅針對箱體作簡易要求，須加附橡膠防水墊圈。並無防潮規定。 2. 防水試驗僅針對箱體周圍，並無針對進出線孔氣密進行檢驗，亦無國際通行之 IP 認證要求。	1. 箱體之密封性須符合 IEC 60529 IPX6(或同等級)之規定，完全密封前其內部應作乾燥及防潮處理，以防止內部配件銹蝕。 2. 規定電子零件材料須做防潮處理。	強化防水/防潮要求
特性試驗項目	1. 包含外箱材質分析、激磁試驗、動作試驗、絕緣電阻試驗、防水試驗、耐電壓試驗、溫升試驗、接通負載試驗、切斷負載試驗及電氣壽命實驗等十項。 2. 驗收方式採公司自定義之隨機抽樣分配方式，僅有一種正常查驗水準。	1. 增列銅(匯流排)成份試驗、低壓避雷器試驗及 MTBF 壽命計算實測試驗報告三項及試驗要求規範。 2. 防水試驗規範明確規範須符合 IPX6 驗證。 3. 驗收抽驗檢驗遵循 MIL-STD-1916 標準制定(業界普遍品管標準)，依據驗收數量多寡決定每批次抽樣查驗樣品數，查驗水準區分為正常檢驗、減量檢驗及加嚴檢驗三類。	強化品質管制/驗收機制
附錄-採購規範	僅規定包裝、驗收及保固進行簡易規範與宣告。	1. 增列品質及驗收檢查規定。 2. 驗收各項試驗報告應予委託第三方經政府認證單位(如 TAF)認可之機構試驗合格為準。 3. 增列保固、責任歸屬及懲罰規定。	品質管制/驗收/保固

二、建議

- (一) 低壓突波保護/避雷裝置規格適當的選定與設計是門專業的學問，必須匹配後端要保護之電路設計才能達到預期效果，目標設計應包含風險評估，換言之現行包含 A 廠牌及 B 廠牌採用之突波吸收器(壓敏電阻器)設計亦須配合電子電路元件規格選定適當規格因應，而非隨意用試誤法觀念來進行材規的調整，實務設計應考慮包含連續工作電壓、尺寸和保護電路特性來選適宜規格。
- (二) 研究團隊所研製之路燈開關監控系統具備可實用性，其技術可應用於未來各類型區域智能監控領域上，提供智慧電網相關應用之前端感測必要的技術支援。
- (三) 材規之制定除應兼顧嚴苛環境之耐受性與維護便利外，其採購成本及廠商達成能力亦須納入考量取其平衡，讓材規能更符合實用性與因地制宜性之彈性目標。因此，合理效益評估下，可採用性能更好的裝置作為較保守的辦法以補償一些未知的條件變化與干擾。

柒、誌謝

低壓路燈開關故障原因分析與改善研究一案自 102 年 8 月開始推動以來，配電處郭芳楠副處長、孫志雄組長、吳世忠課長、陳垚輝主辦、丁彥宏主辦、台北南區營業處、彰化區營業處、嘉義區營業處、鳳山區營業處、高雄區營業處、屏東區營業處、宜蘭區營業處對本案密切關注並提供協助與支持，特此致謝。

捌、參考文獻

[1] 崔安吉，「路燈線路故障點偵測方法之分析」，碩士論文，崑山科技大學電機工程系，2008 年 6 月。

[2] 楊蔭民，「市區道路照明功能維持機制之研究—以台北市路燈維護管理為例」，碩士論文，國立臺灣大學工學院土木工程學研究所，2007 年 6 月。

[3] 鄒爾敏，「路燈之資訊化管理—新一代路燈自動監測回報系統之建置」，<http://pwbgis.kcg.gov.tw/light/content.htm>。

[4] 黃銘宏，「配電調度與公路燈點面控制-應用於台電系統」，碩士論文，國立中正大學工學院，2004 年 7 月。

[5] WU Yue, SHI Changhong, ZHANG Xianghong and YANG Wei, "Design of New Intelligent Street Light Control System," IEEE International Conference on Control and Automation, June 9-11, 2010.

[6] 林志勳、李麗玲、李宏俊、李芷氫、朱明孜、鄭弘珮、吳侑倫、陳一昌、孔垂昌，「符合節能目標之道路設施安全標準評估與應用」，交通部運輸研究所，2012 年 2 月。

[7] 卓明遠、藍榮進、顧家勇、林三福、蕭秉中，「路燈照明自動化監測管理系統」，照明學刊，第 23 卷，第 4 期，第 22-30 頁，2006 年 12 月。

[8] 「路燈開關異常檢討報告」，B 廠牌電機股份有限公司，民國 101 年 2 月 29 日。

[9] IEC Standard 61643-11:Low-voltage surge protective devices.

[10] IEC61000-4-5:2005-Surge immunity test.

[11] IEC61000-3-2:Limits for harmonic current emission.

[12] 李源全，劉榮華，「電力品質不良因素與管制標準研究」，中華技術學院，2007 年 7 月 30 日。

[13] 淡淑恒，唐新龍，王季梅，「系統諧波對真空開關截流性能的影響」，國際標準，第 39 卷，第 3 期，2003 年 7 月。

[14] IEC Standard 6008-2-1-Test A: Cold.

[15] IEC Standard 6008-2-2-Test B: Dry heat.

[16] 林嘉宏，張文曜，卓明遠，李財福，「輸電線路氣候與鹽霧害汙染遙測監控技術之研究與系統建立」，台電公司，2010 年。

[17] 卓明遠，張文曜，「輸電線路航空障礙燈及蓄電池壽命遙測監控系統運轉分析」，台電公司，2008 年。

[18] 朱啟宏，「路燈監測管理系統使用成效之研究—以楠梓區清福公園與高雄第一科技大學為例」，碩士論文，國立高雄第一科技大學營建工

程系，2011年7月。

[19] 陳三木，「架空輸電線路雷擊閃絡之防止對策」，碩士論文，國立成功大學電機工程系，2006年6月。

[20] IEC Standard 60529:Degrees of protection provided by enclosures.

[21] UL 1449 Standard for Safety:Surge Protective Devices.

[22] MIL-STD-1916:Department of Defense Test Method Standard--Dod Preferred Methods for Acceptance of Product.

台電工程月刊 819 期專輯徵稿啟事

- 本刊預定於 105 年 11 月發行以「需求面負載管理創新做法」為主題之專輯與讀者分享，歡迎有相關論著者踴躍投稿（截稿日為 105 年 8 月 15 日），每篇以 2 萬字（含圖、表）為原則。
- 稿件之撰寫格式、投稿方式及稿酬等悉依本刊原訂標準。
- 投稿相關事宜，若有任何疑問，請與我們聯絡，謝謝您！

☎ (02)2360-1095 ✉ u117212@taipower.com.tw



徵稿簡則

- 一、本刊歡迎電力工程相關之論述、譯述、經驗談及特約稿等。
- 二、來稿需簡潔明瞭、字數以不超過2萬字為原則（含圖、表；惟圖表篇幅以不超過全文20%為原則），並請附書面稿件乙份及微軟Word建檔之光碟片乙份。
- 三、來稿格式及章節編號等請依照所附之「稿件撰寫範例」撰寫。
- 四、文責自負；作者應簽署「台電工程月刊申請投稿暨著作財產權讓與聲明書」；譯稿請附原文及著作權人書面同意書。
- 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.814 June 2016

RENEWABLE ENERGY :

Research on the Lightning Protection Level of Wind Turbines in Taiwan.....Shih, Yi-Nan et al.....(1)

FOSSIL POWER GENERATION :

The Development and Application of E-Management for Commissioning
of Linkou Power Plant.....Chu, Chi-Min et al.....(16)

TRANSMISSION AND TRANSFORMATION :

Advanced Multifunctional and Automatic Fault Locating System
of 161 kV Transmission Network.....Liu, Chin-Wen et al.....(29)

Study on the Application of Building Information Modeling
for Power Transmission and Supply System.....Chen, Chuang-Chi.....(37)

The Study of Conflict Management Models of Utilities' Public Relations
— Public Protests against TPC Transmission and Substation Projects.....Chen, Chun-Hsien.....(52)

CHEMISTRY AND MATERIAL :

Electric Power Poles Used as Artificial Reefs: An Investigation and Study of
the Resource Enhancement (II).....Jan, Rong-Quen et al.....(77)

OTHERS :

Fault Analysis and Improvement of Low Voltage Street Light Switches.....Chen, Chiang-Nan et al.....(90)



GPN : 2003700005
定價 : 新台幣100元