



台電工程月刊

MONTHLY JOURNAL OF TAIPOWER'S ENGINEERING
 第813期 105年5月號 Vol.813 May 2016

台電70周年慶 專輯

● 煤灰工程應用

低碳趨勢下之電源開發挑戰.....王振勇 等.....(1)

● 水處理應用

台電邁向綠色企業之路.....蔡顯修 等.....(20)

智慧配電網路建置及營運策略.....王耀庭.....(29)

超臨界鍋爐技術介紹.....莊宗達 等.....(56)

二氧化碳地質封存先導場址地質調查及技術研發現況.....焦中輝 等.....(67)

核能發電的挑戰與展望.....徐自生.....(95)

台電核能火力發電工程.....陳慰慈.....(112)

台電輸電系統規劃回顧與新時代任務.....李清雲.....(141)

輸變電工程過去十年技術精進介紹.....顏德忠.....(159)

區域調度中心調度系統之過去、現在與未來.....李建德 等.....(196)

中央調度中心北高雙主控同步調度.....籃宏偉 等.....(209)

台電研究試驗業務經營規劃與展望.....蒯光陸.....(237)

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 813 期
中華民國 37 年 9 月創刊
中華民國 105 年 5 月出版

【出版宗旨】

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

【發行人】：朱文成
【主任委員】：蒯光陸
【總編輯】：林正義
【副總編輯】：徐豪傑
【外文編輯委員】：李琳娜 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 田丁財 李清雲 李清課 陳永享 陳慰慈
黃凱旋 張武侯 蔡顯修 顏德忠 簡福添 蕭勝任 籃宏偉
【執行編輯】：詹凱婷
【發行所】：台灣電力公司綜合研究所（100台北市中正區羅斯福路4段198號）
【展售門市】：國家書店松山門市（104台北市松江路209號1樓，02-2518-0207）
五南文化廣場台中總店（400台中市中山路6號，04-2226-0330）

【訂價】：全年 12 期 1200/1080/1440 元（紙本 / 電子 / 紙本 + 電子）
學生經校方證明，全年 12 期 360/360/480 元（紙本 / 電子 / 紙本 + 電子）
（國外郵資及手續費另加）

【帳號】：58115464909990（台灣銀行公館分行）
【戶名】：台灣電力股份有限公司

【投稿及訂閱地址】：100 台北市中正區羅斯福路 4 段 198 號
電話：(02)2360-1095 電子郵件：d53106@taipower.com.tw

【排版印刷公司】：九易數碼科技印刷有限公司
220 新北市板橋區府中路 175 號 1 樓 電話：(02)2966-0816

台北郵局許可證台北字第 2723 號

中華郵政台北誌第 544 號執照登記為雜誌交寄

低碳趨勢下之電源開發挑戰

Challenges of Power Development in the Low-Carbon Future

王振勇*

Wang, Jenn-Yeong

鍾輝乾*

Chung, Hui-Chien

鄭慶鴻*

Cheng, Ching-Hung

范淑雄*

Fan, Shu-Hsiung

劉秀容*

Liu, Hsiu-Jung

摘要

本文內容僅就過去 70 年來，有關電源開發發展沿革、現有電力系統、電業經營環境作一回顧，並闡述低碳趨勢下台電公司所面臨之挑戰及展望。

Abstract

This article aims to review the power development history in the past 70 years in Taiwan, including historical background, major system expansion activities, the present power system, the power policy, etc. In addition we outline Taipower's future challenges and probable solutions for the trend of global carbon reduction.

關鍵詞(Key Words)：電源開發(Power Development)、電力系統(Power System)、減碳(Carbon Reduction)、再生能源(Renewable Energy)、核能發電(Nuclear Power)、火力發電(Thermal Power)、第 21 屆聯合國氣候變遷綱要公約締約方大會(COP21)、細懸浮微粒(PM_{2.5})、國家自定預期貢獻(Intended Nationally Determined Contribution, INDC)、碳捕捉與封存技術(Carbon Capture and Storage, CCS)。

壹、前言

電力為近代科技進步之產物，也是人類從事各項活動及日常生活上不可或缺之產品，電與生活早已密不可分，台電不只是電力供應者，更是臺灣品質生活的推手。台電公司於民國 35 年成立以來，不斷擴充發、輸、配電設施，以友善環境及合理成本的方式提供社會多元發展所需的穩定電力。

公司成立初期，系統裝置容量為 27.5 萬瓩，年發電量 4.7 億度，至民國 104 年底全系統之裝置容量達 4,103.7 萬瓩，成長 149 倍，年發電量 2,191 億度，成長 466 倍。70 年來隨著經濟高速成長，需電量急遽增加，而臺灣地區自產能源有

限，進口能源占比由 25% 增加到 98%。電源開發也因國內外能源情勢變化，由水主火從的系統，轉變為水火並重，並進而引進核能與天然氣發電，達到能源多元化目標。

自民國 89 年政府宣布非核家園政策以來，核能發電計畫困難重重；而民國 94 年 2 月 16 日京都議定書生效後，台電燃煤發電計畫之環境影響評估迭遭溫室氣體排放管制為由而受阻；燃氣發電燃料成本高昂且價格波動性劇烈，而燃料供應鏈脆弱更不利能源安全，故燃氣發電占比應有一限度。即使開放民間設立電廠或電業自由化，亦將面臨類似難題。

減碳已成為趨勢，也是全球不得不面對的課題。民國 104 年 12 月 12 日閉幕的第 21 屆聯合國氣候變遷綱要公約締約方大會(COP21)，更是

*台灣電力公司電源開發處

昭示著「減碳」的迫切性。減碳最重要的工具是再生能源，但不是唯一的手段，如同我國過去發展能源多元化的脈絡，減碳多元化更是我國未來必須走的路。然而，工業及住商部門的減碳方式多仰賴電力的使用，因此未來電力需求仍將持續成長，若以再生能源做為主要的減碳工具，則在儲能系統尚未能完全配合的情形下，大量的間歇性再生能源進入系統而無完善配套的儲能系統將影響供電穩定性，需要更多的火力發電來備援，換言之，在再生能源發電背後，需要火力發電在未滿載的情況下，隨時因應其不穩定性而追隨其變動性，以確保系統穩定。此時火力發電未在最佳效率點，將導致更多的污染排放。因此，有關減碳之成效必須以系統整體層面思考，恐難以各種能源之理論碳排放強度予以計算。

除二氧化碳議題之外，空氣環境品質將直接影響人民健康，細懸浮微粒(PM_{2.5})議題更是電力業者必須面臨的挑戰，未來電業無論自由化與否，減碳、空污減量、再生能源併網、新能源科技的引入等議題，都是本公司經營上的關鍵課題。因此，本公司如何在穩定供電的情形下，又能達成國家減碳目標及國際減碳承諾，這將是本公司未來電源開發所必需面對的挑戰。

以下本文謹先回顧過去 70 年，再對未來電源開發規劃提出看法。

貳、台電 70 年回顧^{[1][2]}

臺灣電力公司自民國 35 年成立至今已歷經 70 年，用電的成長期也就代表著臺灣的發展史，隨著時空環境的變遷，電源開發的階段大致可分為修復、擴建、計畫開發、開放發電業競爭及低碳發電等時期，茲分述如次：

一、修復時期(民國 35 年至 39 年)

光復初期，電力系統總裝置容量約為 27.5 萬瓩，其中水力裝置容量有 22.1 萬瓩，火力 5.4 萬瓩，惟因日月潭水力發電設備受盟軍轟炸，破

壞甚劇；東部各處水力電廠則因受颱風洪水侵襲，受損嚴重；其他電廠亦因缺乏維護而出力銳減，致系統實際供電能力僅剩約 0.3 萬瓩。本公司成立後，即全力搶修與修復舊有設備，使已停止運轉之電廠全部恢復發電，發電能力不足者，則改善設備使其達原有之發電出力。本階段共完成大觀、鉅工、清水第一、大南、武界壩、立霧、萬大等水力電廠，以及松山電廠、北部電廠及高雄電廠等火力電廠之修復工程，並完成烏來、天輪等水力電廠之未完工程。至民國 39 年底，供電能力已大致復原。

二、擴充時期(民國 40 年至 41 年)

民國 38 年政府來臺，人口驟增，且大陸部分工業亦輾轉來臺發展，致電力需求增加。本公司為因應用電需求，自民國 40 年起著手開發新電源，以擴充供電能力，以消除限電為主要目標。本階段先後設置烏來、立霧及天輪等三座水力電廠第一號機，裝置容量共增加 5.4 萬瓩；火力方面，則擴充松山電廠，及裝設澎湖新機組。至民國 41 年底，系統總裝置容量達 33.2 萬瓩，其中水力為 27.7 萬瓩，火力為 5.5 萬瓩，水火比約為 5：1，屬於「水主火從」時期。

三、計畫開發時期(民國 42 年至 85 年)

為配合政府經濟建設之需要，推行長期電源開發計畫以因應電力需求之成長，自民國 42 年至 85 年間，共進行六期「四年經建計畫」、一期「新六年計畫」、三期「新四年計畫」及「國建六年計畫」。第一期「四年經建計畫」從民國 42 年至 45 年，除繼續擴充水力電廠外，更著手興建火力電廠，臺灣電力發展進入「水火並重」的階段。接著實施第二、三期「四年經建計畫」，至民國 53 年止，系統總裝置容量達 113 萬瓩，其中火力占 44%，但就系統發電量而言，火力自民國 51 年起首度超越水力占全系統發電量的 54%，水力發電則占 46%，從此電力發展進入「火主水從」的階段。

臺灣電力系統在經過三個四年計畫之開發後，系統裝置容量突破百萬瓩大關，但因工商業日益發達，用電需求與日俱增而呈現供不應求之現象，每年仍難免有限電情況發生。此外，政府賡續實施四年經建計畫，本公司之電源開發乃著眼於大型火力及施工期較短之氣渦輪機。第四、五、六期「四年經建計畫」，自民國 54 年至 64 年，共增加裝置容量 417 萬瓩，其中火力發電占絕大部分，是為大量擴充火力之始。

自民國 65 年至 70 年，本公司配合政府實施「新六年經建計畫」，為確保電源經濟及達成能源多元化目標，核一廠一、二號機分別於民國 67 年 12 月及 68 年 7 月開始商轉，核二廠一號機則於民國 70 年 12 月開始商轉，從此開啟臺灣核能發電嶄新的一頁，臺灣電業亦自此步入「能源多元化」時期。

第一期「新四年計畫」自民國 71 年至 74 年，本公司為發揮大型基載電廠之效益，於臺灣中部日月潭系統興建首座抽蓄水力發電，即大觀二廠亦稱明湖抽蓄水力，共 4 部機，容量計 100 萬瓩，以有效利用離峰電能，靈活系統調度及提高供電品質；火力方面陸續引進大容量高效率火力機組，並將若干燃油機組改為燃煤，以大幅減少對燃油之需求；核能方面則繼續完成核二廠 2 號機(民國 72 年 3 月商轉)、核三廠 1、2 號機(民國 73 年 7 月/74 年 5 月商轉)，使系統中核能機組數達 6 部，總容量為 514.4 萬瓩，占民國 74 年全系統裝置容量之 32.2%，總發電量之 52.4%。

因民國 68 年遭逢第二次石油危機，國內外經濟持續低迷，受到國內能源價格遽漲，部分耗能工業陸續關廠。民國 70 年更首度出現電力負載負成長之現象，故當施工中之興達、核三廠及明湖抽蓄水力陸續完工時，系統容量呈現暫時性的過剩情形，於民國 74 年備用容量率達歷史最高點為 55.1%。為有效運用既有電廠設備，嗣後幾年電源開發之步伐因而減緩，故第二期「新四年計畫」(民國 75 年~78 年)僅增加裝置容量 62.4 萬瓩，但自民國 74 年起經濟明顯復甦，電力需

求轉趨殷切，原來多餘之供電能力很快就被快速上升之電力負載所吸收。

第三期「新四年計畫」原應自民國 79 年至 82 年，但只執行 1 年即被國建六年計畫(民國 80 年~85 年)取代。該期間，雖然電力需求仍持續增加，但電源開發受環保及反核抗爭之影響，部分重要發電計畫之興建受阻，而自民國 75 年至 79 年間，又無大型機組加入營運，於是備用容量漸感不足，如遇大型機組跳機，即易造成限電之困境。為緩和此一壓力，除了積極推動大型火力並開發優良水力外，並積極推行負載管理，鼓勵汽電共生的使用，以抑低尖峰負載之成長，期望達成能源節約及電力供需平衡之目標。民國 80 年至 85 年間，裝置容量增加 687.7 萬瓩。

四、開放發電業競爭及推廣再生能源時期(民國 83 年迄今)

(一) 開放發電業競爭

自 80 年代起，電業自由化蔚為全球風氣，由於國內用電迅速成長，而電源開發工作因地狹人稠，及環境抗爭而愈顯艱難，政府乃順應世界潮流，開放民間興建電廠以加速電源開發，儘速解決缺電問題。

本公司於民國 83 年 3 月將開放程序，包括購售電合約範本、併聯調度技術及權利義務等相關細節陳報經濟部審核。經濟部於民國 83 年 9 月 3 日公布「開放發電業作業要點」，並於民國 84 年元月 1 日頒布「設立發電廠申請須知」，作為開放發電業之依據。考量電力成長需求，並以滿足電力系統 20% 備用容量率為基準，公告民國 86 年至 91 年之開放容量共 726 萬瓩。

第一階段申設作業於民國 84 年 4 月 30 日截止收件，共有 23 家民間業者提出申請，總申請容量達 3,136 萬瓩，經政府初審合格之業者有 16 家，合計容量約 1,700 萬瓩，嗣經本公司於 6 月 28 日辦理電價競比，計有麥寮、長生、苗栗、海渡、

嘉惠、花東、和平等 7 家業者獲選，得標總容量為 705 萬瓩。

由於 86、87 年未有民營業者獲選，短期仍有電源短缺現象，經濟部乃指示能源委員會(能源局前身)、國營事業委員會及本公司辦理第二階段開放民間申設電廠，並於 84 年 8 月 25 日再次公布「設立發電廠申請須知」接受申請。該階段共開放購電容量 300 萬瓩，分二期進行。第一期：民國 87 年 6 月 30 日以前，購電容量 180 萬瓩；第二期：民國 89 年 6 月 30 日以前商轉，購電容量 120 萬瓩，地點限於利澤工業區。第二階段申設於民國 84 年 11 月 25 日截止收件，共 20 家業者提出申請，總申請容量 1,679 萬瓩，其中 13 家申請第一期，7 家申請第二期。同年 12 月 28 日舉行電價競比，共有新桃、富保和中、富堡、長宏等 4 家業者獲選，得標總容量為 325 萬瓩。

兩階段開放結果，本公司購電總容量達 1,030 萬瓩，惟民間業者因電廠土地取得、資金籌措、環境影響評估及建廠技術等問題，致部分業者無法順利建廠，最後僅麥寮、長生、新桃、和平及嘉惠等 5 家民間電廠興建完成，總容量為 526.7 萬瓩，且實際商轉時間皆較合約時間延後。

由於第一、二階段開放結果未如預期，電力整體需求仍嫌不足，為滿足短期電力需求並提前達成民國 87 年全國能源會議訂定天然氣發電占比 27~29% 之目標，經濟部復於民國 88 年 1 月 21 日公告「現階段開放民間設立發電廠方案」及訂定「現階段開放民間設立發電廠購電辦法」，並指示本公司於每年 1 月公布電力供需及輸電系統資訊，供業者參考。

該資訊公告首次由經濟部發布，於民國 88 年 1 月 21 日公告 88~95 年間之電力供需，共有 9 家業者提出申請，經濟部審

查結果，有國光、星能、森霸及長昌等 4 家業者獲准籌設，總計容量為 291 萬瓩。嗣因長昌未繳交運轉前保證金，本公司遂終止雙方購售電合約，僅國光、星能及森霸等 3 家民營電廠完工商轉。

台電公司另於民國 93 年 2 月 26 日公告民國 93~98 年未來六年電力供需資訊，僅 98 年系統備用容量率低於 20%，需新增 34 萬瓩容量，星元電力(裝置容量 49 萬瓩)據此提出籌設申請，評選結果獲經濟部審查通過准予籌設，並順利完工商轉。

民國 86 年迄 104 年止，除前述新增民營電廠外，主要尚有本公司之台中電廠 8~10 號機，興達電廠複循環 1~5 號機，林口電廠氣渦輪 3 號機，馬鞍水力，通霄電廠複循環 6 號機，南部電廠複循環 4 號機，卓蘭水力，大潭電廠複循環 1~6 號機，碧海水力，萬大水力(四號機)及松林分廠等水、火力機組及民營之烏山頭水力，西口水力加入電力系統營運。

(二) 推廣再生能源

本公司歷年積極進行各類再生能源之應用評估，尤其水力發電之開發工作，70 年來一直持續辦理從未間斷，至於其它再生能源，因深受天候及地形條件之影響，且發電能源密度低，發電穩定性難以控制，故僅能作為輔助性電力或替代部分電力，目前本公司開發非水力再生能源之情形分別為：

1. 風力

民國 89 年開始在澎湖中屯興建風力機組，中屯風力第一、二期工程分別於民國 90 年 9 月 13 日及 93 年 12 月 31 日完工商轉，共設置 8 部單機容量 600 瓩之風力機組，由於運轉情況較預期為佳，故本公司於民國 99 年在湖西鄉再興建 6 部單機容量 900 瓩之風力機組。另離島地區尚有金門金沙於民國 99 年興

建有 2 部單機容量 2 千瓩之風力機組。

在本島地區，根據工業研究院能資所調查顯示，臺灣全年平均風速每秒大於 4 公尺的區域，例如臺灣中北部山區、西部沿海及離島等地區，極適合開發風力發電，總面積約占 2 千平方公里，估計可開發之總裝置容量至少可達 300 萬瓩以上。本公司已優先於臺灣西部沿海地區推動風力發電，目前已完成四期風力計畫詳如表 1，分述如下：

「風力發電第一期計畫」，於本公司核一(石門)、核三(恆春)、大潭、桃園大園觀音、台中等現有電廠，台中港區、新竹香山間之濱海防風林等地區，共設置 59 台風力發電機組於民國 94 年 1 月至 98 年 1 月加入系統，總裝置容量 9.7 萬瓩，民國 104 年發電量約 215 百萬度。

「風力發電第二期計畫」，本公司於彰化濱海工業區及雲林縣沿岸濱海防風

林帶等優良風力廠址設置 2 千瓩級風力機組，包括：彰工風力、雲林麥寮(II)、四湖、臺北林口及大潭海堤區(II-1)等廠址，共計 58 部風機於民國 96 年 4 月至 100 年 7 月加入系統發電，總裝置容量為 11.6 萬瓩，民國 104 年發電量約 286 百萬度。

「風力發電第三期計畫」，於彰化濱海工業區彰工(II)、雲林麥寮(II)、彰化王功及大潭海堤區(II-1)等廠址，共計 28 部風機於民國 99 年 12 月至 100 年 7 月加入系統營運，總裝置容量為 6 萬瓩，民國 104 年發電量約 154 百萬度。

「風力發電第四期計畫」，於桃園蘆竹興建單機容量 900 瓩級風力機組 8 部於民國 104 年 6 月商轉發電加入系統，總裝置容量為 0.7 萬瓩，民國 104 年發電量約 19 百萬度。

表 1 風力一~四期計畫明細表

計畫名稱	台數	裝置容量(瓩)	商轉日期	計畫名稱	台數	裝置容量(瓩)	商轉日期
風力一期計畫				風力二期計畫			
石門	6	3,960	94 年 1 月	彰工(I)	23	46,000	96 年 4 月
恆春	3	4,500	94 年 5 月	雲麥(I)	15	30,000	98 年 1 月
大潭(I)	3	4,500	94 年 6 月	四湖	14	28,000	99 年 10 月
大園觀音	20	30,000	95 年 5 月	林口	3	6,000	100 年 3 月
台中火力電廠	3	6,000	96 年 4 月	大潭(II-1)	3	6,000	100 年 7 月
台中港區	18	36,000	98 年 1 月				
新竹香山	6	12,000	98 年 1 月				
風力三期計畫				風力四期計畫			
彰工(II)	8	16,000	99 年 12 月	蘆竹	8	7,200	104 年 6 月
雲麥(II)	8	16,000	99 年 5 月				
王功	10	23,000	100 年 3 月				
大潭(II-2)	2	4,600	100 年 7 月				
風力一~四期計畫合計					153	279,760	

風力計畫截至民國 104 年底本公司包含離島及四期風力計畫，已完成 169 部機，總容量達 29.4 萬瓩，本公司持續開發本島及離島地區之陸上風力發電計畫，目前著手進行之計畫有澎湖低碳島

計畫擬於澎湖龍門、講美及大赤崁等廠址設置 11 部風力機組，總裝置容量約 3.3 萬瓩，及離岸風力發電第一期計畫之興建，擬於彰化縣芳苑鄉西側海域距岸 6 ~ 8 公里興建離岸式風力發電機組，總

裝置容量約 10.8 萬瓩~11 萬瓩。

2. 太陽光電：

太陽光電經過約 50 年的發展，設置成本大幅下降，目前雖仍偏高，但已經是相當便利的發電技術。隨著化石能源的日漸耗竭，加上減碳壓力日增，各國均積極尋找替代能源，先進國家乃積極透過政策手段補助，提高產業投資意願以大量生產來引導成本的下降。目前世界各國推動太陽光電發電之多重目的包括：溫室氣體減量排放、因應能源危機發展多元化再生能源、建立分散式電源網路區域自主供電、創造太陽光電產業與增加就業機會等。

臺灣位處熱帶及亞熱帶地理位置，日照豐沛，太陽光電系統每日發電量，

北部地區平均約 2.3~2.7 度/瓩，中部地區平均約 2.7~3.2 度/瓩，南部地區平均約 3.3~3.5 度/瓩，顯示臺灣具備良好的太陽光發電條件。本公司「太陽光電第一期計畫」於 99 年 103 年間完成了容量 1.8 萬瓩之太陽光電，興建廠址多分布於中部的中彰投地區、南部的雲嘉南地區及高屏地區。目前所建置之矽晶型太陽光電系統之轉換效率為 11%~15%，所需設置面積約 14 平方公尺/瓩，其平均發電量每天約 3~4 度/瓩；薄膜型太陽光電系統之轉換效率為 8%~10%，所需設置面積約 20 平方公尺/瓩，其平均發電量每天約 2~3 度/瓩。太陽光電第一期計畫詳如表 2：

表 2 太陽光電第一期計畫明細表

發電廠名稱	裝置容量(瓩)	商轉日期
中火太陽能	2,123	101 年 9 月~103 年 12 月
金門太陽能	528	99 年 7 月
中部儲運太陽能	92	101 年 10 月
民雄太陽能	60	100 年 10 月
新伯公太陽能	116	101 年 10 月
永安鹽灘太陽能	4,637	100 年 8 月
核三廠太陽能	1,458	101 年 5 月~102 年 3 月
路北太陽能	60	101 年 9 月
興達太陽能	1,628	100 年 8 月~103 年 9 月
澎湖太陽能	71	101 年 11 月
卓蘭太陽能	42	101 年 12 月
中大太陽能	40	101 年 8 月
七美太陽能	154	101 年 11 月
大潭太陽能	651	101 年 9 月
后里太陽能	91	102 年 4 月
龍井太陽光電	6,486	103 年 3 月~103 年 12 月
合計	18,237	

3. 生質能

生質能源屬於再生能源之一環，目前臺灣地區的生質能發電包括垃圾焚化發電及沼氣發電二大類，總裝置容量 62.2 萬瓩，其發電量則係依汽電共生系統實施辦法售予本公司，另目前尚有總

裝置容量 0.1 萬瓩的生質能，依下述「再生能源發展條例」售電予本公司。

4. 收購再生能源電能：

本公司基於企業責任，因應國際能源與環保趨勢，積極配合政府推動再生能源開發利用政策，帶動社會大眾善用

潔淨能源及永續發展理念，特於民國 91 年 11 月公布施行「再生能源電能收購作業要點」，俾在「再生能源發展條例」立法完成前之過渡時期可推動再生能源開發，依要點規定，以每度 2 元辦理再生能源電能收購，收購期限為 20 年，第一次簽約期限為 15 年，並以與本公司簽訂購售電契約之總容量 60 萬瓩為目標，即以再生能源條例通過或電業法修正公布、台電完成民營化為適用截止時間；故「再生能源發展條例」於民國 98 年 7 月 10 日開始施行後，原辦理再生能源電能收購之每度 2 元費率即停止適用，該要點業已完成階段性任務。

參、現有發電系統^[3]

一、供電能力

民國 104 年底，台電電力系統裝置容量為 4,103.7 萬瓩，淨尖峰供電能力為 3,972.0 萬瓩，其中淨尖峰供電能力另含汽電共生售與台電保證容量及核能電廠全黑起動氣渦輪機等，各類電源分述如下：

抽蓄水力有明潭及大觀二廠，裝置容量合計 260.2 萬瓩，淨尖峰能力為 239.2 萬瓩。

再生能源分為慣常水力及其他兩部分。慣常水力部分，大、小水力電廠有 44 座，依發電方式有川流式、水庫式及調整池式三類，裝置容量合計為 208.9 萬瓩，淨尖峰能力為 179.2 萬瓩；其他再生能源包括風力、太陽光電及合格汽電共生之垃圾、沼氣，其中風力發電場計有 27 座共 325 部風機，合計裝置容量為 64.2 萬瓩、淨尖峰能力為 3.9 萬瓩；太陽光電部分，合計裝置容量為 66.9 萬瓩、淨尖峰能力達 13.4 萬瓩；合格汽電共生之垃圾及沼氣發電，合計裝置容量為 62.2 萬瓩、淨尖峰能力為 44.7 萬瓩，另有漢寶農畜產企業公司(民營)2 百瓩，及石安牧場(民營)8 百

瓩，依再生能源電能收購作業要點加入生質能行列，生質能總計裝置容量 62.3 萬瓩，淨尖峰能力 44.8 萬瓩。

火力電廠部分，臺灣本島共 16 座(包含民營電廠麥寮、長生、和平、嘉惠、新桃、國光、星能及森霸)，有燃煤汽力、燃油汽力、燃氣汽力、複循環及氣渦輪等機組，離島地區有 16 座小型電廠，則以柴油機為主，合計火力裝置容量為 2,926.8 萬瓩，淨尖峰能力為 2,804 萬瓩。

核能電廠 3 座共 6 部機，裝置容量合計為 514.4 萬瓩，淨尖峰能力為 505.4 萬瓩。

其他供電能力部分有核能電廠全黑起動氣渦輪機與購入汽電共生。其中核能電廠全黑起動氣渦輪機為核能電廠全黑時作為起動之用，須定期測試以保持隨時可用狀態，平時不作調度發電，但於系統緊急需電時，仍可供電；購入汽電共生民國 104 年底躉售電能之業者計有 53 家，其發電設備之裝置容量合計為 571.8 萬瓩，除提供廠商自用外，多餘之電力則售予本公司，故以其保證售電容量 203.7 萬瓩，視為系統淨尖峰能力。

民國 104 年 7 月 2 日電力系統出現最高尖峰負載 3,524.8 萬瓩，與淨尖峰能力 3,930.8 萬瓩相較，備用容量率為 11.5 %。

二、發電量

民國 104 年發購電量為 2,191 億度，其中抽蓄水力 30.2 億度占 1.4%，慣常水力 44.5 億度占 2.0%，其他再生能源(含汽電共生中之垃圾及沼氣)48.4 億度占 2.2%，火力 1,654.2 億度占 75.5%(燃油 4.7%，燃煤 35.7%，燃氣 35.1%)，核能 351.4 億度占 16.0%，及汽電共生購電(不含垃圾及沼氣)62.3 億度占 2.9%。

肆、能源與電力政策

如前所述，臺灣自產能源貧乏，進口能源約達 98%；在經濟持續成長，民眾生活品質提高，

環保意識日益高漲的趨勢下，政府之整體能源及電力政策必須配合客觀環境演變適時予以調整。近年來，攸關我國電業經營政策有：

一、非核家園政策

行政院為打造非核家園，曾於民國 89 年 10 月 27 日宣布停止興建核四廠發電工程，引發政治爭議，經司法院大法官頒發釋字第 520 號解釋，行政、立法兩院在政治程序質詢後，行政院於民國 90 年 2 月 14 日發函宣布核四廠相關預算繼續執行，核能四廠爰復工續建；惟行政院另於民國 92 年 5 月 7 日通過非核家園推動法草案，將調整現有能源結構，減少核能發電之能源配比，並逐步停止核能發電。此草案於同月 12 日函送立法院，交付立法院科技及資訊、衛生環境及社會福利、經濟及能源三委員會審查。由於該草案對於核四廠計畫未來之執行方向未有清晰交代，曾再引發核四廠計畫是否順利進行之疑慮，民國 98 年第三次全國能源會議結論，明確宣示核四廠依計畫進行。由於民國 100 年 3 月日本福島事件(Fukushima Daiichi incident)發生後，政府即著手檢討我國國家能源政策，並於同年 11 月 3 日正式對外宣示國家能源政策，政策願景推動主軸在於「確保核安、穩健減核；打造綠能低碳環境；逐步邁向非核家園」。在穩健減核方面，既有核能機組採屆齡除役，核四安全商轉，在打造低碳環境方面，將擴大推廣再生能源及擴大天然氣發電的發展。

然民眾對於核電仍存有疑慮，行政院江前院長於民國 103 年 4 月 28 日召開國際記者會公開表示：(1)核四廠 1 號機不施工只安檢，安檢通過後封存，2 號機全部停工；(2)政府將儘速召開全國能源會議，以確保未來供電無虞。而日後核四是否運轉，必須經公投決定，沒有時程表，看日後需求決定。此舉為將來核四營運與否保留彈性，惟核四啟封與否及啟封後之商轉時程，尚屬未定。

核四廠於民國 104 年 7 月 1 日正式封存。隨

著政府核電政策改變調整，對於未來供電及二氧化碳減量目標產生重大的影響。

二、全國能源會議

為減緩溫室氣體排放量，政府於民國 87 年 5 月召開「第一次全國能源會議」，討論氣候變化綱要公約發展趨勢及因應策略等議題，研訂兼顧經濟發展、能源供應及環境保護之能源政策，並訂定我國具體減量期程與節能目標。京都議定書生效後，政府為籌謀整體發展之策略方針，除於民國 94 年 6 月召開「第二次全國能源會議」，討論京都議定書生效後，整體能源因應與策略方向，民國 95 年復密集於 4 月及 7 月分別召開「國家永續發展會議」及「臺灣經濟永續發展會議」，探討環境、產經、安全等永續議題。為達成永續能源政策綱領政策目標與各項能源議題之推動共識，行政院於民國 98 年 4 月間召開第三次全國能源會議，其中有關能源與電力發展方向達成共識部分，包括「建構低碳能源發展藍圖」和「低碳能源結構調整方向」。

為探討核四封存後之未來電力能源走向，政府於民國 103 年底至 104 年初以「未來電力哪裡來？」為主題召開第四次全國能源會議，邀各界共商可行之因應對策，會議結論將做為政府研提能源配套措施之參考，獲致之兩大共識為「節約能源」及「再生能源極大化」。

雖節電為第四次全國能源會議的共識，也是現代人的普世價值；政府方面已啟動「智慧節電」計畫，中央機關與地方政府共同努力節電，目標為民生與機關用電比民國 103 年低 2%，並期望全民參與，做到「自己的電自己省」，以抑低每年用電成長率，惟長時間低電價環境下，節電目標之達成恐需全體民眾極大的努力共同達成。

三、再生能源開發目標

民國 87 年第一次全國能源會議宣布在西元 2020 年時新能源規劃要達到 1~3% 占比的目標，經濟部能源局亦對我國再生能源的開發與利

用，完成「新及淨潔能源開發規劃」，擬訂再生能源的發展目標。另行政院於民國 91 年 8 月所通過之「再生能源發展條例(草案)」，訂定再生能源發電容量獎勵總量為 650 萬瓩。其後民國 94 年第二次全國能源會議初步結論為積極發展無碳之再生能源推廣使用，預計西元 2010 年再生能源發電裝置容量達到 513 萬瓩，西元 2020 年達到 700~800 萬瓩，西元 2025 年達到 800~900 萬瓩。

民國 98 年 7 月 8 日我國公布施行「再生能源發展條例」，於民國 99 年訂定西元 2030 年再生能源設置目標為 1,085.8 萬瓩，民國 100 年經修正提升至 1,250.2 萬瓩，民國 103 年進一步提高至 1,375 萬瓩，總計目標提升 26.6%。

因應民國 104 年第四次全國能源會議之結論，經濟部於民國 104 年 5 月完成規劃太陽光電西元 2030 年目標量由 620 萬瓩提高至 870 萬瓩，離岸風力發電目標量於西元 2030 年由 300 萬瓩提高至 400 萬瓩，據此西元 2030 年總裝置容量目標將擴大至 1,725 萬瓩，再生能源目標較民國 91 年再生能源發電容量獎勵總量 650 萬瓩擴增

2.65 倍。

四、國家減碳目標

我國目前公布的國家減碳目標，主要有兩個：一是「國家自定預期貢獻(INDC)」所訂西元 2030 年減量目標；另一為《溫室氣體減量及管理法》所訂西元 2050 年減量目標；而 INDC 的減量目標可作為達成我國溫管法西元 2050 年減量的階段性目標。

(一) 《溫室氣體減量及管理法》(以下簡稱溫管法)

溫管法於民國 104 年 7 月 1 日總統令公布施行，自此我國正式邁入減碳新時代。溫管法是我國第一部明確授權政府因應氣候變遷的法律，明定我國西元 2050 年長期減量目標為降至西元 2005 年排放量 50% 以下(我國二氧化碳排放量情形如圖 1)；並規定用電部門應負擔減量之責，而電力部門需負擔下面 4 項減量之責：(1) 事業用電；(2) 廠用電；(3) 線路損失；(4) 電力排放係數。



資料來源：能源局網頁(我國燃料燃燒 CO₂ 排放統計)^[4]

圖 1 臺灣燃料燃燒二氧化碳排放量情形圖(含 2050 年減碳目標)

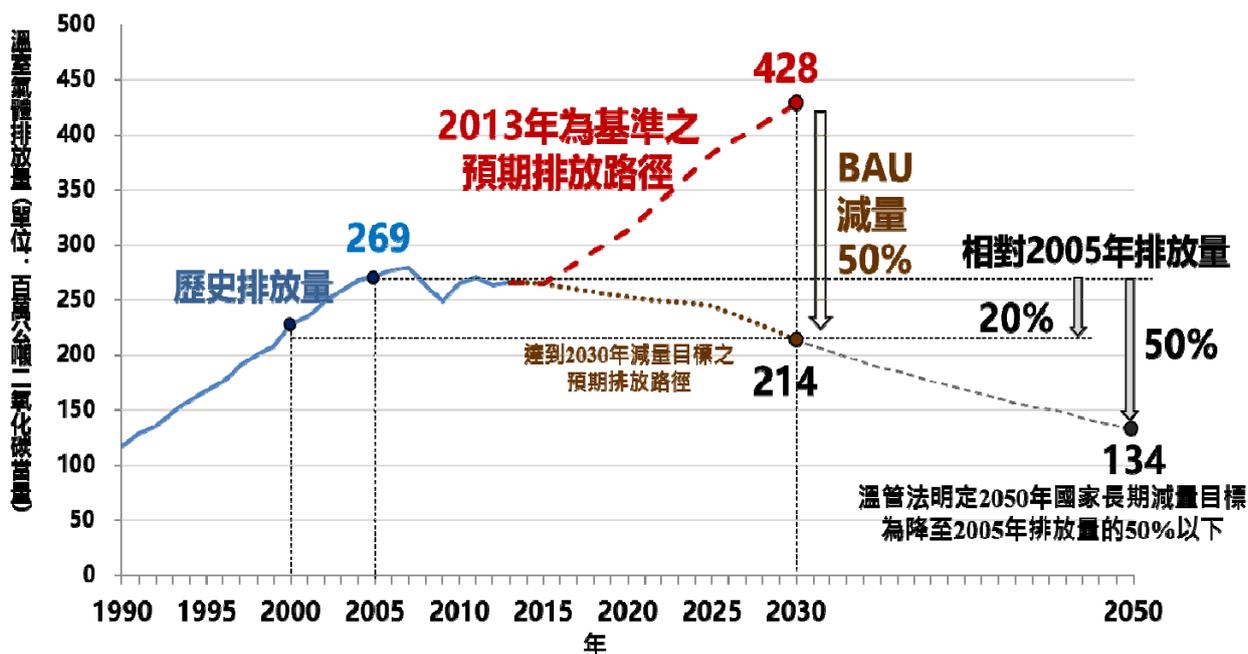
另溫管法將以 5 年為一期的階段管制目標，並搭配具經濟誘因的管理措施，逐步建立從免費核配到有價配售的總量管制與交易制度，未來將以減緩、調適及綠色成長 3 大主軸，推動我國因應氣候變遷的具體作為，以逐步落實我國溫室氣體減量目標。

(二) 「國家自定預期貢獻」(INDC)^[5]

全球對於節能減碳目標已有共識，亦即維持地球平均溫升不超過 2°C，因此，民國 104 年 12 月聯合國氣候變化綱要公約 (UNFCCC) 召開的巴黎會議 (COP21) 前，世界 180 餘國依據各國國情提交各自的「國家自定預期貢獻」(INDCs)，以共同創造一

個低碳經濟的未來，使得各國政府及企業、民間都朝向低碳綠色成長路徑發展。

基於沒有任何一個國家可以單獨面對氣候變遷，也沒有任何一個區域可以自外於氣候變遷衝擊；我國作為地球村成員，雖未具聯合國代表權，對於分擔溫室氣體減量責任，仍責無旁貸。因此，為呼應全球減碳行動，行政院於民國 104 年 11 月 17 日主動發布提出我國溫室氣體減量之 INDC 承諾，展現積極減碳的企圖心，並遵循「環境基本法」及「溫管法」，以穩健減核方式推動力行減碳，我國 INDC 及溫管法減碳目標如圖 2。



參考資料：環保署 2015 年 11 月 17 日「我國溫室氣體減量承諾：『國家自定預期貢獻』(INDC)草案」簡報^[5]

圖 2 我國 INDC 及溫管法減碳目標示意圖

政府於制訂我國 INDC 之 2030 年減碳目標時，在能源需求面，係採「前瞻節電」情境—未來 15 年尖峰負載年平均成長率僅約 1.1%；在能源供給面，採「穩健減核」情境—核四啟封商轉。因而規劃出我國 INDC 減量目標為：西元 2030 年溫室氣體

排放量將較基準情境(Business As Usual, BAU)減量 50%，較西元 2005 年排放水準再減 20%。而 INDC 減量目標或將作為達成「溫管法」規定西元 2050 年降至西元 2005 年排放量 50% 以下的階段性目標。

達成上述 INDC 減碳目標的關鍵是一

達成節電目標。為達此目標，政府須採取全面性與強制性之規範，亦即需依賴產業轉型、技術突破、成本降低，此外需加上政府採取強制規範配套，以及民間產業需相關大量資源投入及民眾行為改變等等。而這些都需要時間的投入及大量強制性措施，其達成的挑戰及困難度極高。又在能源供給方面，新政府的政策為非核家園，即核四不商轉。因此，無碳能源核四年發電量約 200 億度電，屆時需由其他低碳或高碳能源替補發電，更是加重達成我國 INDC 減碳承諾的困難度。

伍、低碳趨勢下的未來電源開發展望

現今各國電力供應仍以傳統火力發電為主，若以太陽光電及風力發電取代火力發電機組，恐難以兼顧供電穩定度，故在減碳方面則以核能為主，綠能為輔。

未來我國若再生能源持續增加，其發電不穩定之特性需由大量的儲能設施來彌補，假如無法克服其間歇性問題，尤其是太陽光電，則系統中需要更大量的火力發電做為備轉容量，若再考量故障、檢修及其他因素，預期未來系統的備用容量率目標值可能需由目前 15% 向上調整。

我國地狹人稠，缺乏自然資源，高度倚賴進口能源，因此在低碳趨勢下，更是面臨許許多多內外困境與挑戰，初步盤點如下：

一、未來電源開發面臨之關鍵挑戰

(一) 若非核家園，電力缺口將不及填補

隨著核一、二、三廠陸續除役及既有老舊機組退休，龍門(核四)廠是否啟封尚有變數，短期恐無法完全以再生能源發電填補負載增加及核能除役供電缺口。核能發電時不排碳，為穩定之低碳電源，非核後除了缺電風險增加外，我國減碳目標的達成將更為艱鉅。

(二) 間歇性再生能源占比增加的挑戰

由於臺灣本島四季多雨，強風多發生於平均用電量較低的冬季，無論是太陽光電或風力發電之發電量皆大幅受限於本島自然環境因素，且現今科技尚無可靠的大型儲能裝置，難以將平日多餘的發電量儲存至日照少或風力小的他日再用，或提供 24 小時的當日不間斷供電。因此，同等發電容量的太陽光電或風力發電系統，仍難與出力穩定、隨時可供調度之傳統火力及核能發電系統相比。

由於再生能源屬不可控且變動性高的電源，大量併網將對系統運轉與調度產生諸多影響，尤其太陽能在傍晚急遽減少至零出力，導致晚上尖峰時段升載量劇烈增加，因此，當再生能源占比增加到一定程度時，長期規劃之系統備用容量率目標值及每日運轉調度所考量之最低備轉容量，勢必需酌予調整增加，以資因應。

(三) 環保意識高漲及鄰避效應，燃煤基載電源開發不易

除了減碳之外，燃煤火力發展的瓶頸尚有區域空污總量管制的問題及 PM_{2.5} 議題，致中南部六縣市政府推動禁燒生煤及石油焦。也因此，目前除了台中電廠需配合降載運轉外，未來燃煤機組更新改建計畫的推動更是面臨嚴竣考驗。

(四) 天然氣安全存量偏低，不利於電力長期穩定供應

目前全臺 80% 的天然氣係用於發電，所需天然氣均由中油公司高雄永安及臺中港兩處接收站進口，並利用海管及陸管融通調度，已無餘裕再供應新增燃氣機組所需，必須投資增建液化天然氣接收站與輸氣管路，方可因應未來擴大使用天然氣之需要，惟天然氣接收站卸輸儲設施因興建安全條件限制，有增建不易之情形，使得增設燃氣機組受到限制。

目前高雄永安及臺中 2 廠儲槽融通合併計算之週轉天數為 15.4 天，但倘以夏季用氣尖峰期間計算，則其週轉天數僅為 7.5 天，存量天數偏低。

我國夏月期間颱風影響臺灣周邊，冬月則有強烈東北季風，均可能造成天然氣船無法靠港卸收，且若遭逢大型機組長期故障或極端炎熱氣候影響，用氣量將大幅增加。因此，若中油公司無法充分供應發電所需之天然氣及提高安全存量的話，則全臺供電將處於高度風險而有大规模停電之危機，故需提高全臺天然氣存量之週轉天數，以確保全臺天然氣的供應安全，進而確保全臺供電安全。

(五) 偏重的能源組合，影響機組調度及供電安全

隨著核能機組陸續除役及政府減碳目標下，未來電源將以再生能源及低碳燃氣機組為主，如此一來，能源缺乏多元化、發電結構失衡，基載機組嚴重不足，影響供電安全。

(六) 受限於二氧化碳捕捉及封存(CCS)及儲能設備科技進展

根據國際間研究顯示，雖有許多減碳選項，惟國際間若實施碳價或碳稅機制，我國經貿發展將受到高度衝擊與影響。為避免過度衝擊我國經濟發展之情形下，二氧化碳捕捉及封存(Carbon Capture and Storage, CCS)將會是大規模減碳的主要選項，我國宜及早因應國際間減碳要求，及早發展相關技術。

本公司火力電廠所排放二氧化碳量約占 1/3 全國總排放量的程度，未來高碳排放之燃煤機組的開發與營運更形艱困，惟若輔以 CCS 之燃煤機組，其排碳強度可抑低 9 成，可突破燃煤電廠推動不易之困境，因此本公司必須積極推動碳捕捉、封存與再利用。惟我國 CCS 仍處於規劃階段，在推動時仍有下列許多困難與挑戰待

解決：

1. 碳捕捉與封存複雜而困難：碳捕捉與封存技術複雜，投資龐大，牽涉技術、經濟、法規、民意等諸多層面。
2. 多樣專業人力需求：相關的技術評估、地質調查、經濟分析、法規溝通、公眾宣導都需要有專業人力來執行。
3. 碳捕捉與封存投資風險高：目前法規與碳計價機制不明，相關財務風險高。須及早進行相關技術評估與法規溝通，以避免電廠受到減碳要求影響運轉，亦需專設人力才能達成。

(七) 電業自由化

當我國電業走向國外的開放自由競爭時，將有許多民營發電業參加發電行列，現有的售電市場將面臨競爭，可能造成本公司客戶流失，公司未來的電力需求亦將受到影響，進而影響到公司未來的電源開發規劃，或造成日後新電源投資計畫苦無客源的局勢。惟未來市場架構仍存有相當大的不確定性。

二、未來長期電源開發因應策略

本公司使命係以友善環境及合理成本的方式，提供社會多元發展所需的穩定電力，故對於未來電力開發，仍需兼顧「穩定」、「乾淨」、「負擔得起」的普世價值。在綜考能源安全、區域供需平衡、空污總量管制、二氧化碳減量與燃煤電廠準備導入 CCS 之概念等，重新思考未來長期電源開發規劃，並考量不同情境的不確定性及決策時機點，擬定各計畫之重要及急迫性，分期評估推動電源開發規劃及原則如下：

(一) 「穩核」：確保核能電廠在除役前做出最大減碳貢獻

核電廠為低碳基載發電設施，核一、二及三廠於民國 103 年實際發電量共 408 億度，占當年度電力系統總發電量的 18.6%。此外，與相同擔任基載發電且效率

較好的燃煤超臨界機組排碳量比較，以每度核電可得到 0.839 公斤減碳量計算，3 座核電廠於當年度共約減少 3,423 萬公噸碳排放量，約等於 87,995 萬座大安森林公園每年 CO₂ 吸收量。即若核一、二、三廠提前停止運轉，每年電力系統將減少約 1/5 電力並增加約 3,423 萬公噸碳排放量。

運轉中的核一、核二、核三廠運轉執照將於民國 107~114 年間陸續屆期，在達成再生能源極大化前的過渡期間，仍須維持既有核能電廠在 40 年運轉執照效期內之持續運轉，除可確保過渡期間供電的穩定外，亦可藉核電較低成本維持電價穩定，以確保國內經濟繼續蓬勃發展，並可作為籌措推動再生能源所需龐大資金的推手。

目前政策未允許核電廠延役，惟核一、二廠因廠內用過核燃料池容量不足容納該廠運轉執照效期所產生的用過核子燃料，若不能即時補足貯存容量，預計 4 部機組於民國 105 年 11 月起將陸續提前停止運轉。如果核一、二廠提前停止運轉，則無法避免實施限電措施，勢必嚴重影響民眾生活之便利及經濟發展。因此台電公司參照歐、美、日、韓等核能先進國家作法，推動增建乾式貯存設施，並推動小規模國外再處理計畫等替代方案，以維持核一、二廠運轉 40 年之貯存需求。

至於核四廠，民國 104 年政府宣布封存時，其目的是為了保有未來能源的選項，因此封存作業之首要原則在於確保能在適當時機啟封，且維持設備於啟封後可用。同時，應以成本最經濟之方式辦理，以發揮封存最大效益。本公司將於封存期間依「龍門(核四)電廠停工/封存計畫」執行封存工作，使各項安全相關結構、系統、設備組件之維護保養及測試作業，於封存期間均在週延的品質保證方案下進行，確

保封存期間結構、系統、設備組件狀態良好，品質紀錄妥善保存及管理。本公司亦將持續盡力做好溝通，釐清社會對於核四安全的疑慮，並積極準備啟封之工程管理等，以為啟封預做準備。

(二) 優先開發再生能源

為提高能源自主及減碳需要，再生能源的開發已為共識，未來我國綠能發電容量將大幅成長。本公司身為電業龍頭，將帶頭積極開發再生能源，並打算在未來 15 年內投入 4 千億元以上，期能在西元 2030 年達到離岸風力 180 萬瓩、太陽光電 100 萬瓩、陸上風力及地熱共 70 萬瓩之目標。

展望未來，本公司將是離岸風力發電裝置容量最大、單一企業設置太陽光電容量最大、陸上風力發電機數量占全國一半以上，也是地熱發電容量占比達全國一半以上的公司。

除前述再生能源之外，小型及微型水力發電計畫亦屬環境友善的發電方式，各界皆有積極推動的共識。本公司擬利用堰壩、電廠尾水、灌溉渠道、自來水管路等現有設施，設置簡易的微型水力機組。具體做法包括：(1)積極辦理投資開發水利署中區水資源局所轄水庫與攔河堰小水力電廠之可行性研究，例如：鯉魚潭水庫、湖山水庫、集集攔河堰、石岡壩小水力發電計畫；(2)投資開發嘉南大圳微型水力機組可行性研究；(3)辦理全臺灣小水力普查及小水力發電計畫可行性研究；(4)辦理新型水流衝擊式水輪發電機組研究發展計畫，測試分析該型機組的特性與效能。

(三) 改善電網，創造友善的併網環境

1. 根據國際間的研究顯示，當間歇性再生能源占比低於某種程度，對於電網的影響較小，因此除了電源之外，電網的配合將是未來邁向再生能源極大化的過程中需面對的重要挑戰，台電公司將提早規劃因應

及持續努力排除障礙。為鼓勵全民一起參與再生能源的開發，本公司將創造建構友善的併網環境與安全調度能力來因應。

2. 再生能源的裝設地點，經常不是目前電網可及的地點。舉例來說，設置太陽光電的設置基本條件是要有良好的日照，且需有足夠的裝置空間，而南部郊區正符合要件，因此有發生設置區域集中之情形。集中設置後，若併網容量過高，將衍生太陽光電併接點電壓過高、導線容量不足、變壓器容量不足等問題，如雲林、屏東等部分地區就出現饋線已達併接容量限制的情形。除此之外，離岸風力發電場多遠離用電負載中心，以上的情形都有可能造成局部區域的負載不平衡及熱點集中現象。當有局部熱點集中的現象時，勢必要改善電網，諸如在配電端增加饋線、新設或換大變壓器、導線換大線徑、添加高(低)壓線、裝設電壓調整器及調整變壓器電壓分接頭，甚至需增加饋線容量。
3. 初步估算，若再生能源於西元 2030 年裝置容量為 1,725 萬瓩，在電網端至少需投資 300 億元進行改善。若從本公司配電系統的饋線容量推估，剩餘可併網的再生能源容量有希望達到 2,120 萬瓩，但即使所有再生能源可以均勻地分配在有剩餘容量的地區，部分地區仍然會有電力壅塞及電壓偏高現象，必需進一步研擬改善方案，假設 50% 再生能源容量目標併接至配電系統，相關電網改善之投資金額至少 440 億元以上。
4. 現階段本公司將先致力於創造再生能源併網的友善環境，讓大家更便利申裝，尤其是太陽光電(PV)。本公司在 104 年推出了以下三項重要的作為：

首先，改採新的簡明計費方式，讓業者併網申請時所需繳納的工程費以透明公平的固定容量計費，降低業者評估

投資成本的不確定性，以增加業者投資興建之意願。

第二，訂定「第三型再生能源發電設備屬屋頂型太陽光電發電設備併網工程費計費方式」於 104 年 7 月 9 日開始施行，太陽光電免收併網工程費的容量由原來的 10 瓩提高至 50 瓩。

第三項作為則是資訊透明公開化。透過建置再生能源管理系統(REMS)，有效管理再生能源申設者申請併網之案件，同時開發再生能源發電可併網容量查詢系統(REMQ)網頁及手機版，讓有意願申設太陽光電者可在本公司網站上輸入地址或電號，先線上查詢可併網容量，之後再進一步向設置區域所屬區營業處查詢實際可併網容量。

以上措施實施後，自 7 月 9 日統計至 11 月底止，太陽光電 40~50 瓩申請案件數較 103 年同期的 46 件倍增至 203 件，申請容量則由 2,133 瓩倍增為 9,725 瓩，而 50~500 瓩部分之案件數也由 272 件增為 644 件，申請容量由 5.5 萬瓩增加至 16.7 萬瓩。就整體趨勢而言，申請案件朝向免費最大容量(50 瓩)來進行，已達到吸引民間投資太陽光電之目的。

(四) 適時評估推動儲能設施之設置

如果間歇性再生能源占比再進一步提得更高，未來就需要大型且能快速起停的儲能設施。可變速的變頻抽蓄機組可以增加電力系統的調頻能力，亦可降低中、尖載機組因調整頻率所造成的熱耗率損失，故台電公司目前正在研究及評估是否能加裝或改裝變頻抽蓄水力機組來增加儲能及備轉服務等能力，本公司曾估算，改裝 2 部變頻抽蓄機組的投資在百億元以上。

未來如果裝設再生能源時都能搭配設置分散性的小型儲能設備，即可在配電端改善再生能源間歇性的問題，穩定再生能

源輸出電力，此時若能結合智慧電網來調控電力的供需平衡，將可容納更多的再生能源併入電網。然而，目前小型儲能設備多屬電池型，其成本價格仍居高不下，未來有待技術及價格的突破。

(五) 提升電力系統運轉彈性，以提高安全調度能力

除了友善併網作為之外，本公司因應再生能源發電不可控且變動性高之性質，除在供應面須準備額外的具快速起停能力機組來擔任備轉容量之外，在需求面亦須導入更即時之緊急型需量反應措施，以提升電力系統運轉彈性，並滿足短期間之發電差異。

本公司目前已設計有「30 分鐘、1 小時、2 小時、日前」等不同反應能力的緊急型措施，未來更將導入 15 分鐘型，以提供該措施因應短時間發電變化的功能。然而，相關措施若要發揮效益，仍需用戶端共同配合強化需量反應的即時卸載能力。未來本公司將與第三方用戶群代表 (Aggregator) 產業合作，將可依系統需要組合不同形態的抑低負載，也能建置或協助用戶端能源管理系統介接本公司調度平台，使需量反應執行自動化，達到快速反應、即時穩定供需之目的。

(六) 積極使用燃氣發電，做為重要之減碳過渡選項

燃氣發電具有低污染排放之優勢，相對於燃煤發電，燃氣發電之發展較被大眾支持與接受，國際間亦認為燃氣發電是過渡的減碳工具，因此我國也參照國際看法，將低碳的燃氣發電作為減碳政策措施之一。

未來若有大型再生能源，可能將引接到高壓的輸電端，此時調度的手法要更加靈活，傳統火力電廠將會轉變，需擔任更多的備轉角色，因此，系統中要增加具有

快速反應或起停能力的機組。根據美國電力研究院 (EPRI) 為本公司所做的研究顯示，隨著風力及太陽光電占比的增加，包括配合調頻、即時備轉及補充備轉等輔助服務所需額外增加的備轉容量即需隨之增加，這部分的新增投資及系統搭配是未來必須面對的課題。

在儲能設施沒有大量布署之前，需優先補足具有快速起停能力及工期時程較短之燃氣發電機組，方能滿足短、中期用電需求及兼顧區域空污總量管制及二氧化碳減量目標。

(七) 維持適度之燃煤發電，以兼顧能源安全及經濟性

燃煤發電因燃料蘊藏量較豐富，價格相對低廉且輸儲較易，燃煤安全存量達 30 天以上，故有助於能源供應安全及能源經濟性，惟燃煤發電亦有空污及碳排之缺點，故未來應著眼於潔淨燃煤發電技術。

本公司將盡最大努力降低污染排放，未來將引進高效率之超超臨界燃煤機組及更先進的二氧化碳減量與空氣污染防治技術設備，以符合硫氧化物、氮氧化物、粒狀污染物等空污總量之管制，俾維持適度燃煤發電比例。

在降低碳排方面，需發展燃煤機組搭配二氧化碳捕捉及封存措施。依據國際間各國評估二氧化碳捕捉及封存發展進度，西元 2015~2020 年期間將為二氧化碳捕捉及封存先導型電廠之學習與設計驗證階段，西元 2020 年開始進入商業設廠之初步階段，依此推估，預計西元 2025 年後二氧化碳捕捉及封存才有較大規模的商業化設廠完成，爰本公司未來於規劃新增燃煤機組時，將在廠址內預留二氧化碳捕捉及封存設備所需之用地，以供未來二氧化碳捕捉及封存技術成熟時，即可利用該預留地加裝相關設施，該觀念即為國際能源總署

所揭之 Carbon Capture Ready(CCR)觀念。

目前本公司正持續密切注意國際間二氧化碳捕捉及封存技術發展動態，一旦技術成熟且國內可供儲存二氧化碳的場址證實可行，將儘速引進，屆時二氧化碳的捕捉率可望達 90%。

CCS 是否可行，取決於封存地點。主要的碳封存方式有地質封存、海洋封存、碳酸鹽礦石封存及生物封存。地質封存是目前較為主流的研究技術，將二氧化碳注入通常位於地下 1~3 公里之間適當的地質構造，包括鹽水層及廢棄油田和天然氣田。經評估我國碳封存需求量及地質條件，以臺西盆地深部鹽水層較具大規模封存潛力，本公司已完成全臺最深(3 千公尺)之地質鑽探調查確認封存潛力，未來仍須逐步進行詳細調查與小規模灌注試驗，以確保長期封存之安全性。

(八) 積極降低火力發電碳排放

1. 提升燃煤機組發電效率

燃煤發電機組可依據發電用蒸氣條件(溫度及壓力)作區分，超過水的臨界狀態(壓力 22.1 MPa、溫度 374°C)之燃煤機組稱為超臨界(Super-critical, SC)機組，反之則稱為次臨界機組，蒸汽條件的提高可有效增加燃煤機組發電效率。

隨著科技的進步，不斷研發出較高溫之鋼材，因此蒸汽條件也隨之提高，今日超超臨界(Ultra Supercritical, USC)機組已逐漸取代 SC 機組成為主流機型，發電效率約 45%(LHV, Gross)，整體而言，USC 機組相比於 SC 機組，除設備材質、蒸汽條件、機組效率有所增進外，其單位發電量之燃料消耗較低，CO₂ 及各項空氣污染物排放量亦相對較低。

台電公司現有燃煤機組多為民國 60~80 年間設置之次臨界機組，為降低

CO₂ 等溫室氣體排放，未來將進行機組汰舊換新，以施工中之林口電廠及規劃中之興達電廠為例：

林口電廠燃煤機組除役前總裝置容量 60 萬瓩，機組發電效率 37.6%(LHV, Gross)，CO₂ 排放強度 1.012 公斤/度，目前正進行更新改建工程，施工中之超超臨界燃煤機組總裝置容量 240 萬瓩，機組發電效率 44.9%(LHV, Gross)，CO₂ 排放強度 0.806 公斤/度，在相同發電量下，每年可減少 CO₂ 排放量約 71.7 萬公噸。

興達電廠現有燃煤機組總裝置容量 210 萬瓩，機組發電效率 39.6%(LHV, Gross)，CO₂ 排放強度 0.907 公斤/度，目前正規劃進行機組汰舊換新，規劃拆除既有燃煤#1~#4 機，設置 4 部高效率之超超臨界燃煤機組，新設機組總裝置容量 400 萬瓩，並保留終期再設置 2 部機組之彈性，機組發電效率 45.6%(LHV, Gross)，CO₂ 排放強度 0.795 公斤/度，在相同發電量下，每年可減少 CO₂ 排放量約 171.7 萬公噸。

2. 提升燃氣機組發電效率

複循環機組之主要設備包括氣渦輪機、汽輪機、廢熱回收鍋爐、冷凝器及發電機等，其中氣渦輪機之性能目前仍持續發展及進步中，鑑於提高機組容量有降低成本及提高效率的效益，氣渦輪機均朝向大型化發展。

複循環機組透過廢熱回收鍋爐，將氣渦輪機排出之高溫廢氣回收再發電，因此具有效率高之優點，依目前各種機型及配比方式不同，複循環機組之發電效率約介於 56.7%~59.4% (LHV, Gross)，而新發展之 H 型及 J 型氣渦輪機搭配複循環發電方式運轉，發電效率更可達到 60%(LHV, Gross)以上。

因僅有氣渦輪機之燃氣機組效率低，故台電公司現有燃氣機組多為效率較高之複循環機組，隨著氣渦輪機技術不斷進步，未來亦將進行機組汰舊換新，以降低 CO₂ 排放，以興達及通霄電廠為例：

興達電廠現有燃氣複循環機組總裝置容量 222.6 萬瓩，機組發電效率 49.0%(LHV, Gross)，CO₂ 排放強度 0.420 公斤/度，目前正規劃拆除既有燃氣 #1~#5 機，並設置 4 部高效率之燃氣複循環機組，新設機組總裝置容量 360 萬瓩，機組發電效率 62.1%(LHV, Gross)，CO₂ 排放強度 0.333 公斤/度，在相同發電量下，每年可減少 CO₂ 排放量約 108.3 萬公噸。

通霄電廠現有燃氣複循環機組總裝置容量 185.7 萬瓩，其中既有燃氣 #1~#3 機發電效率 41.1%(LHV, Gross)，CO₂ 排放強度 0.504 公斤/度，施工中之更新改建工程內容為拆除既有燃氣 #1~#3 機，並設置 3 部高效率之燃氣複循環機組，新設機組總裝置容量 267.9 萬瓩，機組發電效率 62.1%(LHV, Gross)，CO₂ 排放強度 0.333 公斤/度，在相同發電量下，每年可減少 CO₂ 排放量約 39.3 萬公噸。

三、達成政府減碳目標下，電源規劃的選項

有鑒於再生能源之成本除本身發電成本之外，尚需考量其他輔助服務或儲能成本等配套措

施成本，方能在同一基準下與穩定之基載電力進行成本比較，而現階段相關配套成本尚不易估算，故無法在同樣之供電可靠度下就再生能源及穩定基載電力之減碳成本進行比較。因此，以下先就火力減碳成本的角度，作初步分析評估何種減碳措施可在滿足用電成長及供電安全的同時，並達成我國溫減法西元 2050 年二氧化碳排放量降至西元 2005 年排放量 50% 以下之減碳目標。

(一) 各類能源減碳成本

假設西元 2016~2030 年天然氣價格年均上漲率為 1.84%，煤炭價格年均上漲率為 2.68%，再生能源發電成本採 104 年能源局公告之躉售價格，以推估未來各類能源減碳成本。在各種能源減碳成本中，每減碳 1 噸，以離岸風力 5,158 元最高，太陽光電(屋頂型)4,951 元次高，地熱 4,140 元再次高，太陽光電(地面型)3,915 元次之；另以川流水力減碳成本最低為 1,250 元；其中燃煤搭配 CCS(碳捕捉率以 90% 計)之每噸減碳成本為 2,013 元，低於燃氣 2,879 元；再生能源除了川流水力及陸域風力外，其減碳成本亦皆高於燃煤搭配 CCS。不同發電技術減碳成本比較如表 3 所示。

依上述各類能源減碳成本可知，在我國再生能源開發量有其上限的情形下，未來我國以燃煤機組搭配 CCS 及燃氣發電來減碳較為經濟可行。

表 3 不同發電技術減碳成本比較圖(西元 2016 年價位，台電電源開發處估算)

減碳工具	川流水力	陸域風力	燃煤+CCS	生質能	燃氣
減碳成本(元/噸)	1,250	1,362	2,013	2,189	2,879
減碳工具	太陽光電(地面型)	地熱	太陽光電(屋頂型)	離岸風力	
減碳成本(元/噸)	3,915	4,140	4,951	5,158	

(二) 兼顧電力成長需求及減碳目標之能源選項

電力已是民生必需品，故無論各項電力設施的規劃，皆必須在確保不產生電力缺口之前提。然而，近年來因各項大型火力更新改建計畫皆遭遇各項不同之外在環境限制，未能順利完工商轉，導致系統備用容量率由西元 2010 年的 28.1%，下降至西元 2015 年之 11.5%，已低於合理之目標值 15%。西元 2015 年至西元 2025 年期間復有核一、二、三廠及老舊火力電廠共 1,079 萬瓩將面臨除役，其裝置容量占 2015 年之 26%。在內外環境的夾雜之下，如何滿足未來電力成長需求及老舊機組除役所產生之電力缺口，已是莫大難題。

雪上加霜的是，未來 10 年內退役容量中有一半以上(514.4 萬瓩)是發電過程不排碳的核能發電，其年發電量約 400 億度；政府西元 2015 年公布之再生能源發電量目標為西元 2030 年達 400 億度，扣除西元 2015 年實績值約 100 億度，則新增量約 300 億度，所餘 100 億度需由火力發電補足，故非核後勢必增加碳排放量。

電源開發之基本原則除前述電力供應穩定安全及低碳環境保護之外，尚需兼顧供電經濟性，其複雜性更高。惟本文暫先以我國溫管法所規定之減碳目標分析未來可能之能源選項，而未來我國燃煤電廠能否搭配 CCS 之使用，將是未來兼顧電力成長需求及減碳目標之關鍵選項之一。

我國西元 2005 年電力碳排放量約為 1.12 億噸；因此，依溫管法所規定之減碳目標，我國西元 2050 年電力碳排放上限值僅為 5,600 萬噸。因此，若依各類能源的排放強度，推估在符合碳排放上限值 5,600 萬噸限制下，其所相對應之發電量如下：

1. 以燃煤機組搭配 CCS 作為減碳工具，碳排放強度 0.0795 公斤/度下，2050 年碳排放額度下所對應之發電量為 7,000 億度；

2. 若以新建高效率燃氣複循環發電作為減碳工具，其碳排放強度為 0.333 公斤/度，所對應之容許發電量為 1,700 億度；

依政府再生能源開發目標，預計在 2030 年達成 1,725 萬瓩之裝置容量，年發電量約 400 億度。由於 2050 年之再生能源發電量暫無開發目標，惟考量我國再生能源開發量亦有其上限，因此，為簡化估算程序，茲暫保守假設 2050 年再生能源發電量亦為 400 億度。

經分析結果顯示，系統除了再生能源發電 400 億度外，其餘皆以燃氣複循環發電替代燃煤作為發電選項，則在符合 2050 年減碳目標下，系統僅能供應約 2,100 億度(1,700 億度加 400 億度)，亦即 2050 年的用電量需與 2015 年之售電度數 2,060 億度相當。換言之，2050 年用電量必須維持在 2015 年水準不成長，以燃氣取代燃煤發電方能達成減碳目標。若要在非核情形下，既要能兼顧電力成長需求，並能符合政府減碳目標，則需以燃煤機組搭配 CCS 作為減碳措施，再加計 400 億度之再生能源發電量下，2050 年總發電量約可達 7,400 億度。此方式不僅減碳成本較以燃氣減碳成本低外，更可供應滿足全國經濟成長及民生用電需求增加所需電力。前述減量額度對火力電源開發之影響如表 4 所示。

陸、結語

回顧本公司 70 年的歲月，自成立以來，台電人胼手胝足，修復殘破的電力系統，憑著一股追求國家進步的熱忱，默默耕耘為使社會每個角落獲得光明，改善了大眾的生活水準，然而近年經營環境丕變，環保蔚為社會風氣，造成本公司發、輸、配電工程推動困難。

表 4 減量額度對火力電源開發的影響

減量方式	燃氣替代燃煤	燃煤+CC S(捕捉90%)
減碳成本(元/噸CO ₂)	2,878	2,035
每噸CO ₂ 排放量對應發電量(度/噸CO ₂)	3,000	12,600
2050年碳額度下所對應發電量(億度)	1,700	7,000
2050年碳額度下所對應供電量(億度) (再生能源約400億度)	2,100	7,400

資料來源：台電電源開發處分析

全球已邁入積極減碳的時代，電源開發所面臨之困難日益增加，尤其核能雖是溫室氣體減量的利器，但在核四封存及新政府的非核家園政策下，我國又需達成溫管法及我國減量目標，及符合區域空污總量管制、PM_{2.5} 禁燒或管制生煤而限縮燃煤發電等環保限制。諸多外在因素使得本公司在 70 週年的同時，面臨了前所未有的嚴峻挑戰。

臺灣地區自產能源十分貧乏，98%能源仰賴進口，必須分散能源，以降低能源風險。過去我國歷經數十年推動並達成「能源多元化」之目標，有效分散各種能源供應風險並提供質優價廉之電力。未來我國亦需投入數十年推動並達成「減碳多元化」，以求在環境永續之前提下維持高水準的生活品質。

本文試圖就目前及未來電源供應及開發計畫所面臨之挑戰進行盤點之外，亦嘗試就現階段所掌握之資訊分析低碳趨勢下之長期電源開發因應策略。無論外在環境如何變動，不變的是，所有發電能源組合過程是冗長的、投資是龐大的，並非一蹴可及，必須審慎規劃、評估及推動。未來能源配比的選擇皆是價值觀的選擇，無關對錯，本公司將與全民共同慎思及面對。

柒、參考文獻

- [1] 臺灣電力公司，「臺灣電力發展史－臺灣電業百週年紀念特刊」，臺灣電力公司公眾服務處，民國 78 年。
- [2] 臺灣電力公司，「台電五十年」，臺灣電力公司，民國 85 年。
- [3] 臺灣電力公司「104 長期電源開發方案」，臺灣電力公司電源開發處，民國 104 年。
- [4] 經濟部能源局網站：「我國燃料燃燒 CO₂ 排放統計」，http://verity.erl.itri.org.tw/EIGIC/index.php?option=com_content&view=article&id=45&Itemid=29.
- [5] 行政院環保署：「我國溫室氣體減量承諾：『國家自定預期貢獻』(INDC)」，行政院環境保護署，民國 104 年。

台電邁向綠色企業之路

The Pursuit of Green Enterprise at Taipower

蔡顯修*
Tsai, Hsien-Shiow
林景庸*
Lin, Jing-Yong

劉源隆*
Liu, Yuan-Long
吳政宏*
Wu, Cheng-Hung

溫桓正*
Wen, Huan-cheng
王郁惠*
Wang, Yu-Hui

摘要

綠能、環保及永續已經是當今全球的普世價值，而企業經營也應該不再以追求股東最大利益作為唯一目標，因此綠色企業已成為企業經營的顯學。台電公司充分體認能源事業取之於地球，因此除了承諾珍惜資源、恪遵環保法規外，更將以積極的態度發展再生能源，導入低碳、低污染的電源並做好生態維護，此外也將培養同仁的綠色態度、履行綠色生活並與合作夥伴建立綠色供應鏈，進而將行動影響力擴及社會，這是台電公司的使命更是一條無悔之路。本篇文章旨在闡述台電全力邁向綠色企業發展之路的做法，包括綠色生活、建物節能、綠色採購、環境友善及社會公益等五個面向，並提出未來的展望。

Abstract

Green energy, environmental protection and sustainable development have come to be the universal values of the world nowadays. No longer should enterprises regard pursuing the best interests of shareholders as the sole target of business management. Therefore, green enterprise turns out to be the prominent knowledge in business management. Taiwan Power Company (Taipower) fully acknowledges that energy business takes values from the earth, so in addition to the commitment to cherishing resources, abiding by environmental protection regulations, we make efforts in developing renewable energy with a more positive attitude, introduce introducing low-carbon, low-pollution power source and carrying out ecological maintenance. Furthermore, we cultivate green attitude of our colleagues, fulfill green living and establish green supply chain with our partners, further extend the influence to the society. It is the mission of Taiwan Power Company and the pursuit without regret. This article presents the practices of Taipower towards green business development, including green living, energy saving of buildings, green procurement, environmental friendliness and social welfare, and also proposes prospects for the future.

關鍵詞(Key Words)：綠色企業(Green Enterprise)、台電綠網(Taipower Green Network)、綠色企業創意平台(Green Enterprise Innovation Platform)、友善環境(Friendly Environment)。

*台灣電力公司環境保護處

壹、前言

人類在致力發展文明的同時，也破壞了地球生態，近年全球氣候變遷與暖化問題更已引發舉世關注，「綠色」已被廣泛定義為環境保護、節能減碳及永續發展相關概念之代稱，在這場席捲全球的綠色浪潮衝擊下，台電的環保理念已從過去以符合國家法規要求，提升到注重友善環境，以逐步穩健地邁向永續綠色企業的目標邁進^[1]。

綠色企業文化是發展綠色企業的基礎^[2]，如何宣導綠色價值觀及改變員工行為，以型塑綠色企業文化。是本公司在著手進行企業綠化的改革，首要面臨的課題。

Gladwin(1994)曾將綠色企業之核心行動做了以下的定義：以生命週期以及永續發展的概念，將組織經營的理念及承諾與環境保護的思想加以融合，對組織內外皆做到與環境保護溝通及環境保護的事務聯盟，而在行為上產生使用創新的管理方式或工具，經調整組織架構後，將環保內化為企業組織之日常運作^[3]。並以「環境領導」將整個組織長期的環境永續願景加以實現，而所謂環境領導就是指企業之領導足以影響個人甚至帶動並改變組織的能力，而「綠色領導」則是將此能力實踐的領域更加拓展放大。這類的領導通常是由上而下，因為高階管理者的明確承諾是企業進行綠化改革最重要的動力來源^[4]。

爰此，我們認為台電公司要朝向綠色企業的長遠目標邁進，就必須型塑台電的綠色企業「心」文化。「心」意指 H.E.A.R.T，其內涵是「由高階主管(Head)發起，帶動並影響全體員工(Employees)來共同參與，藉由綠色行動(Act)帶出企業文化的變革(Revolution)，最終以建構綠色企業做為公司的總體經營目標(Target)」。

在層峰的帶領下，台電公司不僅已經成立了「綠色企業創意平台」(以下簡稱平台)，透過這個平台，我們已經開啟全員參與、揭開一系列創新綠色行動的序幕，此外，我們也建置了台電綠

網，透過網站向公司同仁及外界民眾展現我們的綠色創意成果。本文摘述台電綠色企業的推動現況，其中包括「平台推動成果」、「綠網推動成果」、「未來展望」及「結語」等項。

貳、綠色企業創意平台推動成果

轉型為綠色企業之前，必然有一些預先的投入，但所投入的不單是財務面向，更重要的是思想、觀念與態度的改變，因此台電公司黃董事長重球期許所有員工應該「想得更深、看得更真」，也許小小的看見就會帶來大大的轉變。在這樣的前提下台電公司「綠色企業創平台」於 103 年 4 月 9 日正式成立，透過這個平台希望激發更多同仁的創意，透過集體的智慧與力量，可以為台電公司帶來企業文化的轉變，綠色企業的理想終究可以實現。

一、平台運作與功能

平台初期每 2 週召開 1 次會議，由主管環境保護的鍾副總經理擔任召集人，主持會議，並恭請董事長及總經理列席指導。公服處、會計處及環保處為基本成員，另視議題內容，邀請其他相關單位與會。基本功能如下：

- (一) 整合各單位資源
- (二) 將綠色創意化為具體行動
- (三) 最終達到「一廠一特色、一處一綠點」之目標。

截至 104 年底平台共召開 22 次的會議，共計有 17 項已定案議題。透過這些議題逐漸發酵後，期望在 3 年內打造本公司綠色企業的形象。所推動的綠色行動涵蓋五大面向，內容如下：

- (一) 綠色生活－舉辦台電無車日活動、環保酵素推廣、不印寄紙本帳單、鐵馬休憩站建置。
- (二) 建物節能－舊有建築物節能改善、台電大樓綠色新思維、綜研所樹林所區導入 Green Campus 概念、都更建物融入綠能特色、舊建物改善後申請 LEED 標章、鳳山智慧綠社區。

- (三) 綠色採購－擴大綠色採購、公務信封採 FSC 認證印製。
- (四) 環境友善－南灣珊瑚生態培育、修剪樹木觀念推廣、大型會議碳中和、台電綠網建置。
- (五) 社會公益－捐贈舊電腦。

二、執行情形與成果說明

(一) 無車日推廣(圖 1)

基於環境保護與節約能源，本公司規劃響應世界無車日運動，然而因台電轄屬單位遍布全省，考量許多單位地處偏遠，交通不便又加上無法全員配合搭乘交通車，因此選擇優先從位在都會區的台電大樓開始推行，並分成兩部份來作推廣，除了 103 年 10 月從總處開始陸續舉辦相關活動，提供同仁體驗無車的機會；更搭配改善措施，如設置電動充氣站、專用淋浴間、增加停車格，提高同仁改變通勤方式的意願。進而接受並支持公司所推動的無車政策，逐步規劃出具體作為。



圖 1 台電無車日活動照片

(二) 環保酵素推廣

基於自製環保酵素簡單易行，安全不具化學毒性，可減少廚餘量及腐爛釋放的甲烷，開始大力推廣。截至 104 年底，全公司已有 64 個單位開辦環保酵素製作課程(圖 2)。並且總處大樓已開始用於植栽澆灌與廁所清潔。105 年度環保酵素競賽已如火如荼展開，預計在本(105)年度第 1 季

舉辦成果發表會，除公司內部使用外，未來更將推廣至電力社區鄰近社區，傳遞本公司友善環境之理念。

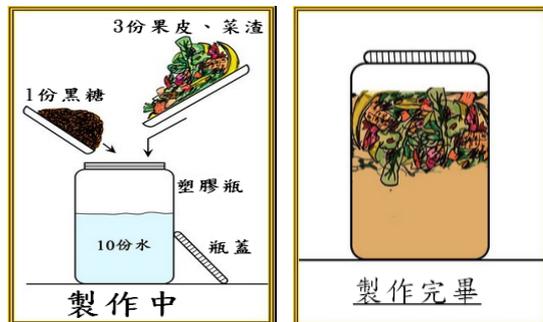


圖 2 酵素製作示意圖

(三) 鐵馬休憩站(圖 3)

經由平台會議多次討論共挑選出北部展示館、桂山發電廠、大甲溪發電廠、南部展示館、協和發電廠、台中區處大肚服務所、南投區處服務中心、高雄區處梓官服務所、輸工處南區施工處、花東供電區營運處、花蓮區處服務中心、花蓮區處瑞穗服務所及台東區處關山服務所等 13 處鐵馬休憩站，目前已有 10 處完成建置，另有 3 處建置中。初期以不增加現場人力為原則，於平日提供服務。未來將廣邀志工加入，擴大服務範圍。

各據點建置完成後，由各單位自行辦理揭牌啟用，如花東供電區處、大肚服務所及瑞穗服務所，廣為行經旅人及居民贊許，並獲得地方報導。



圖 3 鐵馬休憩站啟用照片

(四) 舊建物改善及智慧綠社區

由於既有建築物在建設規劃初期並未進行建築能源消耗評估與考量，造成極大比例之能源浪費，因此舊建築耗能改善已成為本公司在節能減碳工作所關注之重要議題。全公司目前既有建築物約 7,000 多棟，佔全公司建築物總量之 97%。因此選定從具改善效益，且具指標意義之台電大樓、核三廠南展館，以及位處於大都會地區之台中區營業處作為北中南三亮點建物進行節能改造，改善工程預計於 105 年完工，待相關能耗資訊量測及評估後，將爭取申請台灣與美國綠建築標章雙認證，尤其是總處大樓標定成為台灣最老獲得認證的建築物，並期許成為國內公部門取得 LEED 認證的示範案例，讓節能環保的企業形象深植人心。

而位於南部的鳳山基地範圍涵蓋大林、興達電廠、核三廠宿舍區及鳳山區處，目前已由綜研所展開可行性研究，預計 108 年展現初步成果，未來更以用電零成長為目標，作為本公司舊建物改善之推動亮點。

(五) Green Campus 概念導入

綠能供電站、海綿道路、生態池、植物工廠及微藻固碳等研究成果整合，未來將不僅是實驗場域，更進一步打造成為具台電特色之綠能智慧生態園區。其研發成果可推廣應用於電廠、供電區營運處與區營業處等，使電業與綠能、生態結合塑造綠色企業形象。

整體推動概念分為綠能智慧屋、綠能智慧生態園區及生態島等 3 階段進行。此構想分別透過應用於綜研所低碳大樓(第 1 階段)、綜研所樹林所區(第 2 階段)，擴大應用至公司內各單位(第 3 階段)等來達成目標(圖 4)。



圖 4 Green Campus 推廣三部曲

(六) 擴大綠色採購

鑒於優先購買對環境衝擊較少的綠色產品、研究使用替代性產品取代對環境造成衝擊之產品，是建立台電公司綠色企業形象非常重要的一環。本公司所推動擴大各單位的綠色採購項目，不侷限於一般事務性的採購，而是將具有巨大潛力的興建工程也納入範疇，在各工程單位的配合下，103 年總綠色採購金額為 4.98 億元、104 年總綠色採購金額為 5.01 億元，皆已達成目標(圖 5)。

未來則將持續探討「防腐木橫擔替代材質」、「變壓器改用植物性絕緣油」、「全面使用具環保標章油漆」等相關議題，以確實落實擴大綠色採購之理念。

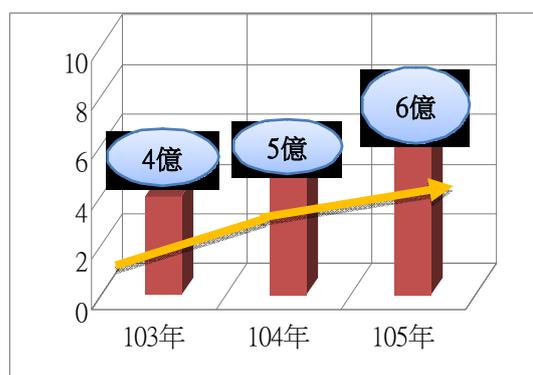


圖 5 擴大綠色採購目標示意圖

(七) 信封採 FSC 認證印製

除了全面擴大綠色採購外，更透過平台討論選擇對外傳遞的最佳表徵—公務信封，改採用由國際森林管理委員會 FSC 認證的紙張印製，確保紙張的來源和加工製

作過程沒有破壞性地毀林，以維護森林的永續經營。

全公司 110 個單位，截至 104 年 12 月底已全數完成 FSC 認證信封印製。未來除了公務信封外，平台也會再推動公司刊物與相關紙製品，採用 FSC 認證印製，以守護更多森林，這是責無旁貸的綠色使命。

(八) 會議碳中和

104 年度選定了「總管理處環境教育」、「溫室氣體內稽訓練」、「溫室氣體外部查證會議」及「台日韓馬燃煤營運會議」等 4 場會議作為碳中和會議的示範標的，先透過減少講義印製、日光燈照明減盞、開空調改為開窗戶、不製作開會用桌牌等各種的減碳方式，減少舉辦會議的排碳量，最後才透過抵換的方式，將所排放的量抵銷掉，使整場會議的溫室氣體排放量總和為零。

透過 4 場示範會議之執行及經驗分享，讓同仁瞭解最新減碳概念「碳中和」，並體認「落實減碳並不容易」，進而將此思維融入日常生活及工作決策中，為減緩暖化貢獻心力。後續將舉辦經驗分享，將各類型會議可採行之低碳措施，供各單位於舉辦會議採行。

(九) 南灣珊瑚生態培育計畫

核三廠坐落在南灣，為了維持保護鄰近海域珊瑚生態的豐富性，台電 30 多年來做了許多努力，除積極參與墾丁國家公園管理處推動的「恆春半島珊瑚礁綜合保育計畫」外，也委託海洋生物博物館進行「南灣海域珊瑚礁生態系調查監測」，在核三廠入水口海域內架設遙控監視系統，以網路全天 24 小時監錄核三廠入水口珊瑚礁生態實況，並於台電南部展示館及網站上對外開放珊瑚即時監測影像，103 年世界環境日於核三廠南部展示館舉辦的「繽紛珊瑚海，魚類伊甸園」活動，以及「瑚光珊

色，南灣珊瑚愛的教育」珊瑚培育成果發表會，展現了台電長期對珊瑚生態保育所投注心力。未來更規劃舉辦生態體驗營活動，以喚起關心與愛護之心，體驗海洋保育的重要。

(十) 舊電腦捐贈

「關懷」是台電公司經營理念的一環。除了提供穩定、質優的電力，為經濟發展奠定良好基礎外，也一直抱持著感恩回饋社會的心。此次，以「資源再利用」與「公益關懷」為出發點，規劃辦理二手電腦的捐贈，遴選適合之社會公益團體負責電腦檢整及運送等事宜，以節省公司人力。送給低收入家庭、偏遠地區學校及弱勢社福團體後，將請各區處服務所追蹤後續受贈者使用狀況。彰顯本公司對環保與社會關懷之公益意涵。

三、未來推動重點

綠色企業創意平台正逐漸發酵，未來將持續朝「深耕」與「擴散」，兩大面向推展，所謂「深耕」意即將既有 17 項議題再精進；「擴散」則是指將綠色行動擴大至全公司，有待各單位用心發掘，發現各單位的特色或綠點，以逐步朝向「一廠一特色、一處一綠點」之願景邁進(圖 6)。



圖 6 平台短中長期推動重點

參、台電綠網

強化並建立實體世界與網路世界的橋樑、善用網路科技技術，讓企業的重要營運成果對外揭露進而建立相互流通的管道，是台電公司建構綠

色企業中非常重要的環節之一。在網路的操作方向上，綠網相關內容是以台電公司各單位為主角，希望在單位間產生良性競爭逐步培植綠色企業文化。台電綠網(以下簡稱綠網，<http://greennet.taipower.com.tw>)於 104 年 3 月 31 日正式上線營運，透過綠色活動事蹟，將友善環境的熱情與態度傳遞到每個角落，讓利害關係人瞭解台電守護環境的用心。以綠色生活、人文采風、生態保育及低碳永續等 4 個構面作為綠網主軸。在此主軸下，目前網站包含有「綠網精神」、「行動足跡」、「焦點活動」、「台電之美」及「主題文章」等 5 個單元，其中主題文章與焦點活動為綠網最主要單元，茲分別介紹如下(圖 7)：

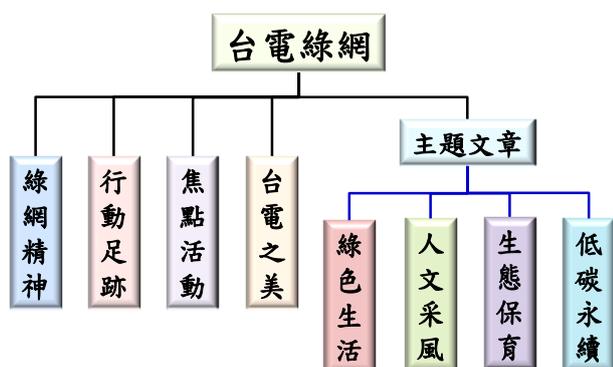


圖 7 台電綠網結構圖

一、綠網主題文章

「主題文章」為具主題性、篇幅較長的台電故事，係環境保護處編輯部門透過訪談及實地勘察，深入瞭解主辦單位對於報導標用心所在，進而將其轉化成圖、文故事，呈現在國人眼前。依據網站主軸可分為綠色生活、人文采風、生態保育及低碳永續 4 種類別。

(一) 綠色生活

收錄可供他人實踐綠色生活之參考作為。例如台北西區營業處為培育節能小尖兵，如何透過活動設計及空間改造，將既有的能源展示空間打造成一個吸引新北市幼兒園、國小從事戶外教學的園地。其他還有環境保護處的環保酵素推廣、台東區

營業處的媽媽教室節能宣導、業務系統的帳單 e 化、與遍及台電公司沿海單位已辦理長達 22 年的淨灘活動(圖 8)。



圖 8 台電公司致力淨灘活動 22 年^[5]

(二) 人文采風

收錄保存地方和企業人文(歷史、文化及藝術)之努力。例如大甲溪發電廠如何在 921 災後以「幼有所長、壯有所用、老有所終」的精神協助中橫地區進行重建。其他還有興達發電廠如何守護百年鹽業史蹟、萬大發電廠型塑人與自然結合的公共藝術品「活水・萬大」、台中-林口運煤鐵道與運煤火車頭的故事(圖 9)、以及綜合施工處如何善用地石材推廣澎湖地方特色。



圖 9 台電運煤火車頭情歸打狗鐵道故事館^[5]

(三) 生態保育

收錄保育環境生態之友善行動。例如大潭發電廠對於一隻飄入進水口的綠蠓龜

是如何展開救援行動，並意外開啟一段中、日生態外交的故事。其他還有萬大發電廠的台灣大豆復育、青山施工處的保留楓香百年老樹、第三核能發電廠的守護南灣珊瑚、及大甲溪發電廠推動生態電廠轉型事蹟(圖 10)。



圖 10 大甲溪發電廠轉型生態電廠^[5]

(四) 低碳永續

收錄台電公司各項低碳永續措施。例如發生在協和發電廠，一個 30 年前塵封在心中的變頻轉速控制夢想，如何在 30 年後實現的故事。其他還有訓練所的碳中和會議推動、再生能源處的風機裝設、大觀發電廠的抽蓄水力、及蛻變中的地標-台電大樓等(圖 11)。



圖 11 台電大樓低碳大變身^[5]

二、綠網焦點活動

環境友善工作是需要長時間的累積才能有的成果，例如萬大發電廠的台灣大豆復育就歷經

十多年的努力，而這樣的案例即便在有七十年歷史的台電公司內部也非隨處可得。為了讓各單位都能有所展現，綠網秉持著「不在事大事小，而在忠實記錄台電人友善環境點滴軌跡」的理念，也開闢了「焦點活動」單元(圖 12)，即時報導各單位所舉辦與綠網主軸有關的活動，例如節電宣導、環保酵素推廣、環境教育、淨山淨灘等活動，公司同仁可以透過幾百字的陳述、投稿，讓其他同事、在地鄉親瞭解或參與。



圖 12 台電綠網焦點活動單元^[5]

三、網站瀏覽情形

(一) 瀏覽量

綠網試營運以來，截至 104 年底，已刊載「主題文章」20 篇、「焦點活動」90 則，共吸引 35,043 人達成 131,082 瀏覽量。每月到訪人次約在 4,500 人上下，頁面瀏覽量則在 12,000~17,000 次左右(圖 13)。



圖 13 台電綠網瀏覽量統計

(二) 瀏覽途徑

瀏覽途徑精統計，自台電官網首頁連入者佔 39.2%、自員工自 W3 內網連入者佔 27.4%、直接鍵入網址或掃描 QRCode 者佔 28.6%、經由搜尋引擎進入則有 4.2%，以及運用社交網站分享者佔 0.5%(圖 14)。

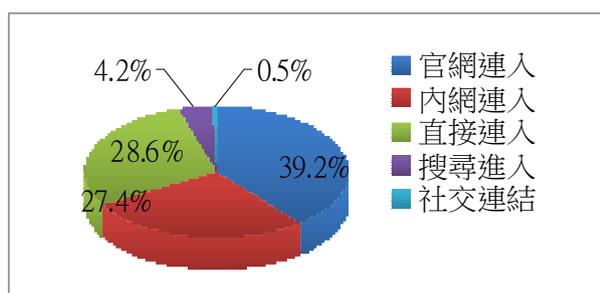


圖 14 台電綠網瀏覽途徑佔比

四、強化綠網運作之作法

綠網是本公司對外展現綠色企業形象之平台，在營運強化上將從「充實網站內容」與「擴展閱覽人數」兩大方向並進，故下階段營運工作將進行網站改版，除持續將本公司綠色行動事蹟轉成文稿上線外，並將開發更多精采的單元，包含介紹台電特有環教場址並提供導覽資訊的「環境教育設施場所」及刊載與綠網知識性文章的「綠網新知」等列為重點；在網站互動交流方面，將透過留言版、討論區的設置增加與民眾互動，並加強對外宣傳與行銷，促進各界對綠網的認同與支持，提高綠網的能見度。

肆、未來展望

一、綠色企業，從「心」出發

台電要成為綠色企業，必須員工從心開始，惟有從心深耕，這棵樹才能生根茁壯、綠意盎然。未來應從 5 顆心開始著手，用心挖掘發現各單位的特色與綠色創意，深化各單位的綠色企業文化，並對外展示我們在綠能環保的努力，以儘

早達成「一廠一特色、一處一綠點」的目標。

- (一) 用心—用心感受環境上有那些是我們要關注的地方。
- (二) 關心—用心之後要關心找出方法來。
- (三) 熱心—要熱心的去做。
- (四) 恆心—持續去做。
- (五) 愛心—對環境的心要很柔軟。

以訓練所為例：

- (一) 用心推廣環保酵素-訓練所充分利用廚房回收的果皮及回收舊洗衣粉桶製作環保酵素應用在環境綠美化，而且協助員工及學員快樂做環保，希望拋磚引玉、慢慢推廣達成綠生活。
- (二) 植栽原生樹種-訓練所自民國 70 幾年開始陸續種植台灣原生樹種，目前所內種植數量已達 200 種以上，且樹種生長及適應能力非常好，已深獲學者專家的好評。

二、堅持承諾「綠能、環保及永續」

建立公司綠色企業形象也應同時把環保資訊透明化；透明化不只是一種承諾，同時也告訴社會大眾我們是怎樣做環保，可改變外界對於本公司的看法。

例如談環境友善的議題時應具備「總體思維」及「動態共生」的觀念。例如太陽光電雖是綠能產業，卻也是高污染的產業，發展產業時，應從生命週期來思考，發揮優勢並去除其劣勢才是「總體思維」；而環境友善的作法應該要與時俱進，遇到困難或衝突點，即應發掘問題、滾動調整，達到「動態共生」。

談到堅持綠能，不只是再生能源佔比越多越好，它對於電網或調度的衝擊必須要妥善規劃與因應，這也應該是我們的堅持，如此才能真正做到互利、共生。

三、成立邁向綠色企業之路的專責部門

由於綠色企業的建構是持續性的，需要專責的人力來處理各項行政事務；未來與外界互動

後，現有兼職人力勢必不足，為成功塑造本公司綠色企業形象，建議進行組織重整(例如設立綠色企業組或永續發展組)，整合相關業務，如召開平台會議、推動各單位之綠色行動、永續報告書、環境友善措施(如推廣環保酵素、生態電廠)，以及綠網營運等；不僅有助於公司內相關業務推動之一致性，更可作為公司邁向綠色企業之路的專責部門。

伍、結語

工業革命後，人類不斷追求科技發展與富裕的生活，卻對地球環境留下無法抹滅的破壞與摧殘，近年大地的反撲力量也愈來愈嚴重，拯救地球除持續加速有效灌輸「環境友善」的重要性與必要性等相關知識外，日常生活中落實各項作為更為當務之急。

綠色企業理念的建立是紮根式、持續不斷的過程，隨著科技進步，公司財務也逐漸改善後，就可以逐步推動落實，但在逐步推動過程中又可能會遇到意想不到的困難，因此必須不斷滾動調整，如此才能深化於台電的企業文化中。

陸、參考文獻

- [1] 中華民國環境工程學會電子報 104 年第 1 期，
http://www.cienve.org.tw/epaper/104_1/focus.aspx.
- [2] 陳靜瑜，「企業綠化的組織變革和型塑綠色企業文化」，碩士論文。國立中山大學人力資源管理研究所，2010 年。
- [3] 李盈蒲，「綠色領導與綠色文化對綠色組織行為表現之影響」，碩士論文，國立中山大學國際經營管理碩士班碩士論文，2011 年。
- [4] Egri, C. P. and Herman, S. "Leadership in the North American Environmental Sector: Values, Leadership Styles, and Contexts of Environmental Leaders and their Organizations," *Academy of Management Journal*, vol.43, no.4, pp571-604, 2000.
- [5] 台電綠網，<http://greennet.taipower.com.tw/>.

智慧配電網路建置及營運策略

Construction and Operating Strategy of Distribution System Smart Grid

王耀庭*
Wang, Yao-Tin

摘要

因能源危機與環保意識抬頭，全球均陸續投入智慧電網研究與建置，我國政府為節能減碳及打造綠能發展環境，亦將智慧電網列入「國家節能減碳總計畫」標竿計畫之一。

台灣電力公司配電系統為建置完善的智慧配電網，近年來戮力推動智慧型電表(AMI)、二次變電所智慧型電子裝置、配電饋線自動化及配電調度自動化等建置，並積極建立配電系統資訊雲，以提升配電系統結構及可靠度。配合智慧配電網的建置，在營收行銷及用戶服務上推出精進需量反應措施、強化 AMI 應用效益及促進再生能源建置等營運策略。

未來將持續研究新穎電力技術，關注國際公共電力事業營運策略，建置更成熟的智慧配電網路。

Abstract

With the energy crisis and rising environmental protection awareness, people start to make the efforts in the research on or the construction of smart grid worldwide. In Taiwan, the smart grid has been listed as the one of "National Energy Saving and Carbon Reduction Educational Program," which is aimed at energy conservation, carbon reduction and green energy development.

To build a comprehensive smart grid system in Taiwan, Taipower has been pushing forward the installation of various automation equipment, such as AMI, IED of substation and feeder dispatch automation in recent years. Besides, our company is actively building a Cloud Distribution Information System to strengthen the structure and reliability of the distribution system. With the establishment of the smart grid, the company will be able to move forward with additional plans such as customer demand response scheme, AMI applications and renewable energy expansion program.

In the future, Taipower will continue to conduct research on state-of-the-art power system technologies and marketing plan of the national utility, and build more robust smart distribution systems.

關鍵詞(Key Words)：配電系統(Distribution System)、智慧電網(Smart Grid)、智慧型電表(Advanced Metering Infrastructure, AMI)、饋線自動化系統(Feeder Dispatch Control System, FDCS)、再生能源(Renewable Energy)、智慧型電子裝置(Intelligent Electronic Device, IED)。

*台灣電力公司配售電事業部配電處

壹、前言

民國 35 年 5 月 1 日台灣電力公司(以下簡稱本公司)成立,至今已夜以繼日地為國內各行各業及民眾服務 70 年。期間配電系統為因應負載迅速成長、改善電壓降、線路損失及提高供電可靠度等議題,歷經兩次高壓改壓、一次低壓改壓工程、引進地下配電技術、增訂時間電價機制、建置配電電腦圖資系統、高壓架空裸線被覆化、配電饋線自動化、二次變電所自動化及建置停限電運轉圖資系統等多項挑戰,均在本公司事前完善

規劃及同仁齊心協力下排除萬難,一一克服。

本公司配電系統供電方式可分為架空線路供電及地下線路供電,高壓部分有 6.9/11.4kV 及 13.8/22.8kV 兩種供電電壓等級,採三相四線式 Y 接多重接地系統,低壓部分有單相二線 110V、單相二線 220V、單相三線 110/220V、三相三線 220V、三相四線 110/220V 及三相四線 220/380V 等供電電壓型式,可配合用戶需求來選擇不同的供電方式。系統型態可分為放射聯絡型、常開環路型、常閉環路型、一次選擇型及重點網路型,依地區特性、用電需求及負載型態等因素規劃適用之配電系統型態,各系統型態比較如表 1。

表 1 配電系統各系統型態比較

系統型態	特 性	優 缺 點
放射型 (樹枝型)	只有單一回路電源,沒有備用回路電源,發生事故時,只能待故障修復後才能恢復供電。	1.建設成本低。 2.運轉與維護容易。 3.事故停電時間長。 4.供電可靠度差。
常開環路型	雙電源,平常由一回路電源供電,另一回路電源具備用性質,發生事故時,可改由備用電源持續供電。	1.建設成本稍高。 2.運轉與維護稍不易。 3.事故停電時間短。 4.供電可靠度中等。
常閉環路型	雙電源,平常即由兩不同回路電源供電,單一事故發生時,另一回路電源可維持繼續供電,用戶不會發生停電。	1.利用率須保持 50% 以下,建設成本甚高。 2.運轉與維護不易。 3.電力潮流與保護協調問題需特別考慮。 4.供電可靠度較高。
一(二)次選擇型	雙電源,饋線上裝設有 ATS,平常由一回路電源供電,另一回路電源維持備用性質,發生事故時,由 ATS 自動切換改由備用回路電源供電。	1.利用率須保持 50% 以下,建設成本高。 2.運轉與維護稍不易。 3.停電時間約數秒,採 STS 時可縮短至 1 週波以內。 4.供電可靠度高。
重點網路型	平常由雙回路以上電源供電,單一事故發生時,由其他回路繼續供電,不會發生停電。	1.設備利用率低,建設成本最高。 2.電力潮流與保護協調問題需特別考慮。 3.運轉與維護最不易。 4.供電可靠度最高

隨著化石燃料枯竭與能源需求的高度成長,加上環保意識逐漸抬頭,如何因應未來衍生能源危機及節能減碳議題,將是公共電力事業必須正視的問題。現行傳統電網由發電端單一向供給電能予用戶端,電力供需平衡皆由發電端進行調節的營運方式,已無法符合上述要求,期盼

藉由智慧電網推動改善。

智慧電網(Smart Grid)與傳統電網最大不同,在於電網具發電端與用戶端雙向溝通能力。利用先進的感測器、測量技術與雙向通訊控制等技術,可順利推行需量反應和提高再生能源滲透率等策略,再透過整合、分析電網內各項資訊,

追求電力資源的最佳配置，可有效改善現今傳統電網所遭遇之瓶頸。

本公司配電系統為建置完善的智慧配電網，已戮力推動饋線自動化、配電調度自動化及智慧型電表(AMI)布建等多項業務，並開發多項資訊系統，本文將簡述目前本公司智慧配電網路建置情形、策略及未來發展目標。

貳、智慧配電網路建置策略

一、智慧配電網概述

(一) 智慧電網定義

智慧電網是透過資訊、通信與自動化科技，藉由先進的感測器、測量技術及雙向通訊控制等技術，強調自動化、安全及用戶端與供應端密切配合，可達電網即時監控功能、提升供電品質與可靠度，並將電網內資訊加以整合分析，追求電力資源最佳配置，提高用電效率，藉以延緩或減少傳統電廠建置，並促進再生能源擴大應用與節能減碳之政策目標。

(二) 智慧電網總體規劃方案

因應全球大量再生能源導入與節能減碳趨勢，世界各國將現行電力網路再提升為「智慧電網」(Smart Grid)，並列為國家電力建設發展重點，我國為推動節能減碳政策，經濟部將智慧電網列入「國家節能減碳總計畫」標竿計畫之一，能源局自民國 100 年 8 月起，成立智慧電網框架規劃小組，召開智慧電網工作會議及智慧電網論壇籌備會議，邀請國科會、工業局、標檢局、技術處、本公司及國內研究機構與學者專家共同研訂我國智慧電網總體規劃。行政院於民國 101 年 9 月 3 日核定「智慧電網總體規劃方案」，正式啟動我國智慧電網建設，其願景、目標、建置時程、組織分工與主要任務及構面執行項目分工如下：

1. 願景：建立高品質、高效率 and 環境友善的智慧化電力網，促進低碳社會及永續發展的實現。
2. 目標：確保穩定供電、促進節能減碳、提高綠能使用、引領低碳產業。
3. 建置時程：前期布建(民國 100~104 年)、推廣擴散(民國 105~109 年)、廣泛應用(民國 110~119 年)。
4. 組織分工與主要任務：如圖 1。
5. 構面執行項目分工：如圖 2。

(三) 智慧配電網涵蓋範圍

面對我國政府「陽光屋頂百萬座」、「千架風力機」等政策，傳統型電網面臨再生能源日益增多、供電品質需求日益增加之挑戰，除加強電力系統基礎建設及提升設備技術外，亦積極推動智慧型電網因應，其中配電系統主要負責智慧配電及智慧用戶構面，此兩構面正是攸關智慧電網中配電系統之自動化、整合再生能源及加強節能減碳之關鍵，本公司為提供更高品質電力及讓用戶有感之服務，迎接電力市場自由化之變革，推動智慧配電及智慧用戶重點如下：

1. 智慧配電構面：智慧配電部分主要配合推動目標「確保穩定供電」項下「配電自動化指標」之達成，故朝向「提升配電安全與效能」、「強化分散式能源整合」2 個推動方向進行，各推動面向、重點與目標如表 2。
2. 智慧用戶構面：配合推動目標「確保穩定供電」項下「智慧電表基礎建設」之達成，故朝向「用戶/終端資訊建設」、「前瞻用戶服務規劃」2 個推動方向進行，各推動面向、重點與目標如表 3。

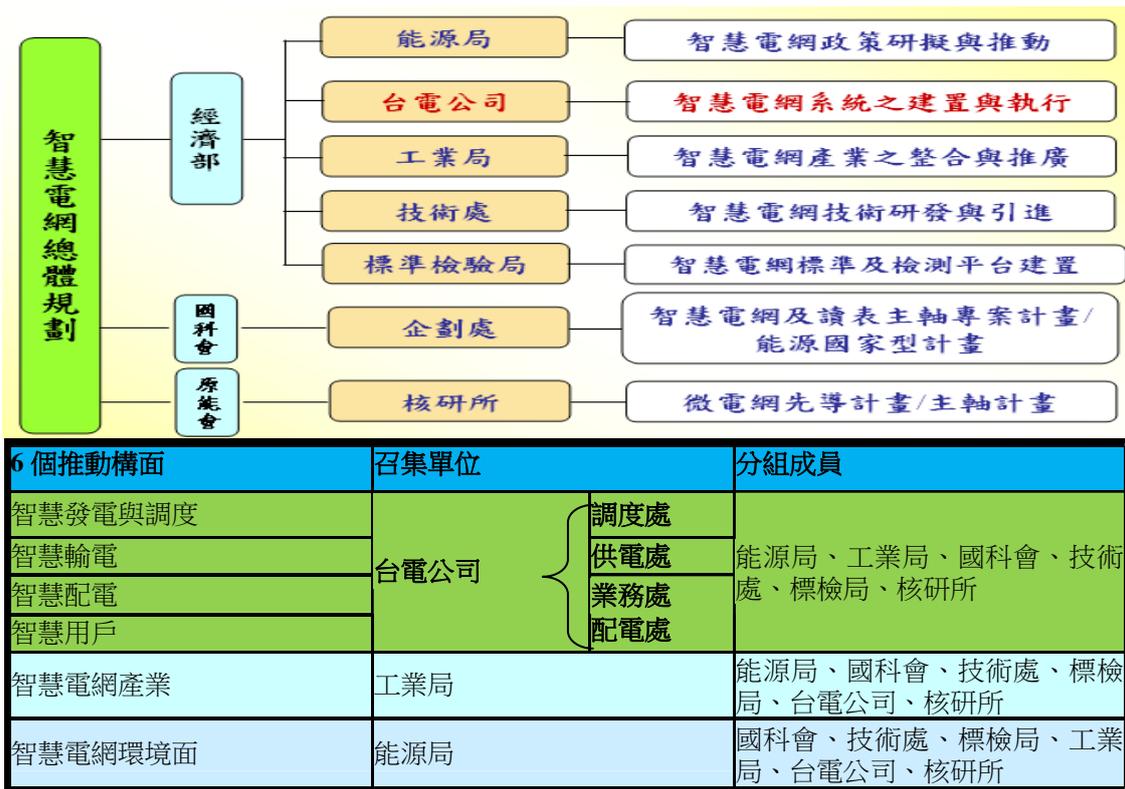


圖 1 智慧電網總體規劃方案組織分工與主要任務

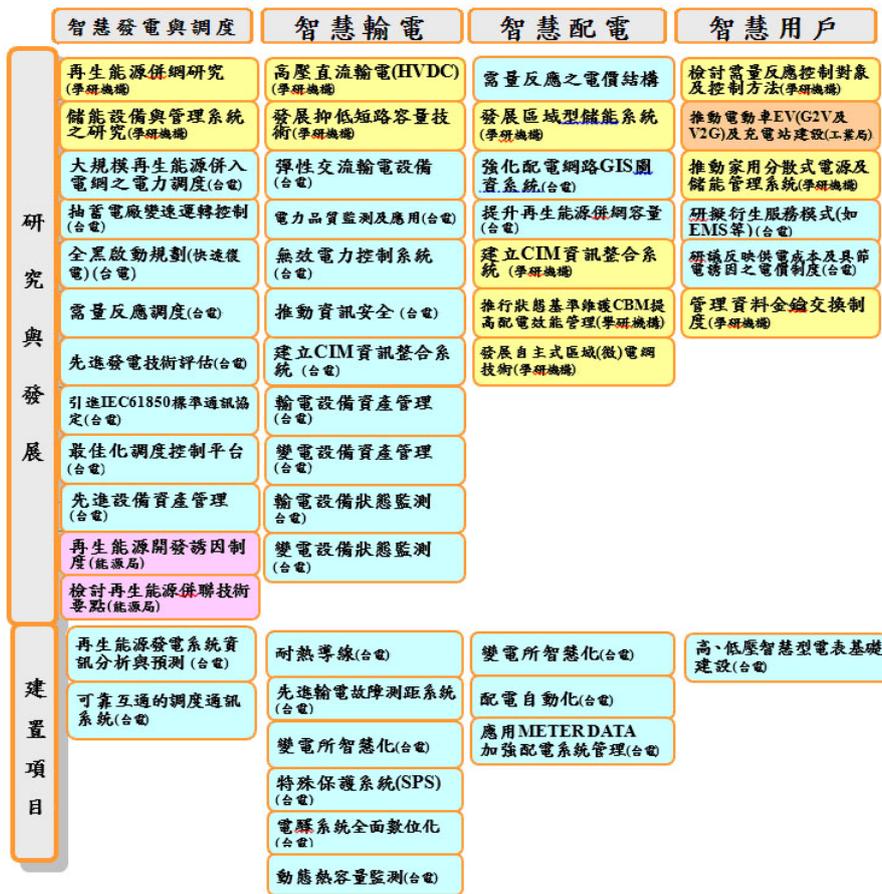


圖 2 智慧電網總體規劃方案構面執行項目分工

表 2 智慧配電構面推動面向、重點與目標

推動面向	推動重點與目標
1.變電所智慧化	(1)巡檢系統電腦化。 (2)澎湖馬公及湖西變電所全部更換為數位電驛。 (3)建置澎湖區營業處 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition) 網路資料倉儲系統。
2.配電自動化	新增 6,500 具以上自動線路開關並納入監控，以縮小事故障停電範圍、縮短事故停電時間及提高供電可靠度。
3.建立 CIM (Common Information Model) 資訊整合系統	完成標準採購規範定型化條文訂定。五年階段完成目標為 DDCC(Distribution Dispatch Control Center)二次變電所資料引入 CIM 可行性研究及示範之建立可操作性之資料交換系統及 SCADA 系統標準採購規範定型化條文。
4.強化配電網路 GIS (Geographical Information System) 圖資系統	研究 GIS 圖資整合方法及評估 (1)持續辦理配電圖資系統應用軟體維護。 (2)配合 AMI(Advanced Metering Infrastructure)系統建置引進之 GoogleEarth 或 GoogleMAP 等地理圖資平台，研擬如何與配電圖資系統整合連結應用方式，以協助搶修與維護作業等加值使用。 (3)利用配電網路圖資配合智慧化設備，強化配電設備管理系統。 (4)藉由通訊技術發展配電圖資及設備電子化及行動化。
5.應用電表資料(Meter Data) 加強配電系統管理	(1)評估 Meter Data 與配電自動化加值應用並分析其通訊需求。 (2)AMI 與 ADAS(Advanced Distribution Automation System)通訊與系統整合。
6.需量反應之電價結構	配合智慧電表基礎建設、相關法規修訂及電力交易環境之建立，研議反映供電成本及具節電誘因之電價制度、研議實施即時電價可行性，促使用戶依價格訊號進行能源使用控管。
7.提升再生能源併網容量與管理	完成「配電系統結構改善可行性研究」及「智慧配電網因應再生能源併聯發電及電動車充電之電力品質標準與管制技術」研究計畫，掌握再生能源之電力品質衝擊，改善配電系統結構以提升再生能源併網容量。

表 3 智慧用戶構面推動面向、重點與目標

推動面向	推動重點與目標
1.高、低壓智慧型電表基礎建設	(1)完成全國高壓用戶約 25,000 戶布建。 (2)完成 1 萬戶低壓 AMI 布建與技術驗證與成本效益評估作業，並持續依行政院決議滾動式檢討布建計劃，且俟行政院核定後辦理後續事宜。
2.檢討需量反應控制對象及控制方法	(1)需量反應控制對象的潛力調查研究。 (2)需量反應控制方法及控制策略研究。 (3)需量反應措施之效益評估與檢討修正。
3.管理資料金鑰交換制度	推廣本公司整體智慧電網管理資料解密金鑰交換制度。
4.研擬衍生服務模式	配合高、低壓智慧型電表基礎建設完成時程，研究相關衍生服務模式，如：透過簡訊回復用戶服務需求或問題反映、提供用戶用電資料(各時段用電度數及金額分析)、各時段電費費率、電價方案選擇、用電負載分析、負載管理等措施，以利用戶節約用電。

二、智慧型電表建設及應用

由於能源資訊技術(ICT)的進步，使得用戶端電力網路設備由單向通訊自動讀表系統(Automatic Meter Reading, AMR)演變為雙向通訊智慧型電表基礎建設(Advanced Metering

Infrastructure, AMI)，國外於建置智慧電網的過程中，往往會從建置 AMI 切入，而我國也不例外，本公司配電系統自民國 97 年開始建置高壓智慧型電表基礎建設。

AMI 主要係由智慧型電表(Smart Meter)、通訊網路(無線或有線通訊)及電表資訊管理系統

(Meter Data Management System, MDMS)所組成。其中智慧型電表為具有通訊功能之電子式電表，可以監視停電事故發生之時間、日期與持續時間等資訊，並可記錄異常電壓、電流與電力品質變化，對用電可靠度與供電品質的改善及提升具有相當助益；電表資訊管理系統主要負責收集和維護所有電表的讀表資料、事件日誌等資訊，並傳送讀表資料給計費系統進行計費及開票。AMI 除了可取代人工抄表外，亦可與電表進行雙向溝通，且提供諸多功能，例如：提供更多的加值服務、支援各種不同電價費率、提供用戶能源使用資訊以引導用戶自發性節能及停復電管理等。

(一) 國外智慧電表建置經驗及效益

過去 AMI 的主要推動因素是如何降低運轉成本與可靠度改善。發展至今，對公共電力事業及政府機構而言，已衍生更高的推動誘因，例如：藉由降低尖峰負載，降低或避免新的發電和輸電容量；藉由電能監測服務，減少整體能源使用成本和二氧化碳排放量；藉由需量反應容量的提升，改善電力系統運轉可靠度和彈性，降低停電成本；藉由自動監測和控制，取代人工可降低電費核算成本；結合電力產業與資通訊產業，建立新的服務及商業模式。

表 4 是國際智慧電網行動聯盟 (International Smart Grid Action Network, ISGAN)於西元 2014 年由參與的國家中所彙整之 AMI 建置功能，包括：遠端讀表、動態電價、需量量測、竊電偵測、停電檢測、遠端電表結接/斷開操作、用戶入口網站。表 4 中綠色部分表示不同 AMI 功能在全國布建，黃色表在部分區域布建，灰色表未實施。D 表示規劃中、部分布建或完成布建，P 則表示前期布建。部分國家建立 AMI 系統的主要商業模式是基於對低壓系統監測能力、停/竊電偵測、自動讀表及遠距連接/斷開電源的開關操作。這些業

務模式大部分是有關公共電力事業運轉效益，至於用戶端的效益則是提高用戶對電能使用及供電品質的了解等。

AMI 布建政策的成功與否跟經濟上的可行性、個人隱私和網路安全、用戶的參與、時間電價(TOU、CPP、RTP)的訂定及加值服務(IHD、用戶入口網站、行動應用程序)等有很強烈的關聯性，而用戶的參與是連接所有不同因素的關鍵因素。電表資料管理系統(MDMS)的主要功能是使讀表資料能被確認、估計及編輯以確保電費帳單的正確性及完整性。許多國家利用電表資料分析結果，了解現有及未來輸配電計畫與規則的有效性。除此之外，AMI 的主要效益包括提高對配電系統的監控、事故及竊電偵測能力。國外已有許多公共電力事業證實因配電系統即時系統運轉狀態資料視覺化顯示所帶來的衍生價值，包括在系統運轉成本的降低、更好的配電設備資產管理及投資，以及未來智慧電網布建策略性的規劃，如新的計價週期及方式、新費率、具智慧型換流器之分散式電源併網、需量反應及智慧家電控制，亦可由 AMI 資料衍生出應用價值。

(二) 我國智慧電表建置

本公司至民國 105 年 1 月底止，已完成全國高壓(11kV)以上用戶 24,858 戶之高壓 AMI 電表裝設，其售電量約佔全公司 60%，並將於未來對外開放「高壓用戶服務入口網站」，該網站除提供負載管理方案試算、電價轉換試算等功能外，可利用高壓 AMI 所蒐集用電資訊提供用戶進行用電量分析等功能，以使用戶能自主性進行節能及負載管理措施，達到移轉尖峰及節省電費目標。

低壓 AMI 部分業已於民國 104 年 9 月 15 日完成 1 萬戶建置，後續低壓 AMI 布建，仍以滾動式檢討持續辦理中。

表 4 ISGAN 會員國 AMI 布建情形及功能(2014)^[1]

Functionalities enabled								
	Remote meter collection	Dynamic tariffication	Interval metering	Theft detection	Outage detection	Remote connect/disconnect	Customer web portal	Meter-to-home
Australia	D	D	D	D	D	D	D	D
*Comment : Full infrastructure deployment in 1 State; tariffs and other products available								
Austria	D	P	D	D	D	D	D	P
*Comment : Full deployment all over Austria until 2020								
Belgium	P	P	P	P	P	P	P	P
Canada	D	D	D	D	D	D	D	P
*Comment : Full deployment in 2 provinces								
China	D		D	D	D	D	D	D
Finland	D	D	D	D	D	D	D	P
France	P	P	P	P	P	P	P	P
*Comment : Full-deployment should start at end of 2014								
Germany	P	P	P	P	P	P	P	P
India	D	P	D	D	P	P	P	P
*Comment : Remote meter collection, interval metering and theft detection for HT consumers under progress as part of RAPDRP								
Ireland	P	P	P	P	P	P		P
Italy	D	D	D	D	D	D	D	P
Japan	D	D	D	D ^(note)	D	D	D	D
*Note) deter illegal access to a meter and falsification of data								
Korea	P	P	P	P	P	P	P	P
*Comment : Pilot Project in Jeju Full deployment by 2020								
Mexico	P		P	P	P	P		P
*Comment : Pilots are conducted by CFE in some geographical areas								
The Netherlands	D	D	D	D	D	D	D	D
*Comment : Partial deployment. Dynamic tariffication not yet deployed								
Norway	D	D	D	D	D	D	D	D
*Comment : The majority of utilities will have these functionalities fully deployed								
Russia	P	D	D	P	D	P	P	P
South Africa	Data Pending							
Spain	Data Pending							
Sweden	D	D	D	D	D	D		P
Switzerland	P	P	P		P	D		
*Comment : No national smart meter law (in preparation new energy strategy 2050)								
United Kingdom	D	D	D	D	D	D		
*Comment : Some functionality GB wide only, some at Utility or consumer discretion. Mass Smart Meter roll out planned for completion by 2020								
United States	D	D	D	D	D	D		
*Comment : Full deployment in some states								

Nation-wide effort
 Jurisdictional effort (province or state)
 No coverage
 D = Planned, Partial or Full Deployment
 P = Pilot

(三) 國內外 AMI 布建比較

世界各國已開始陸續大量布建低壓 AMI，惟布建原因會因各國政經環境而有所不同，布建策略也會因各國採購制度及現場環境而不同，並無一定標準策略可供遵循，以國外布建經驗來看，AMI 欲長期有效率推動，必須先解決通訊問題。為了解國外如何解決通訊問題，本公司於民國 104 年派員至 AMI 建置經驗豐富之法國及日本蒐集資訊，彙整兩國布建情形與我國

比較如下：

1. 法國 ERDF 公司在西元 2011 年完成第一階段 30 萬戶低壓 AMI 布建後，西元 2011~2013 年進行電表規格及通訊技術再確認，西元 2015 年才開始進行第二階段 300 萬戶大量布建；日本東京電力亦花 2 年確認電表規格及通訊系統廠商後，以半年建置少量(3,000 戶)AMI 測試系統可行後，才開始大量布建(流程如圖 3)。



圖 3 法國及日本布建流程圖

2. 以國內原規劃之布建方式與法國、日本比較，可發現原 AMI 推動方案完成 1 萬戶低壓 AMI 布建後即進行大量布建作業，未確實考量國內採購制度及所需時程，亦未如法國及日本先選擇通訊技術廠商，再進行第一階段 Pilot 布建及確認可行後，才進一步大量布建(法國甚至進行第二次確認通訊技術作業)，此係國內在初期規劃布建期程時，未能通盤考量技術發展及實際建置過程面臨問題之結果。
3. 參考國外日本東京電力公司及法國 ERDF 公司推動 AMI 布建作法(先解決通訊及電表規格等問題後才開始進行後續大量布建)，本公司配電系統擬先完成「低壓 AMI 通訊技術」及「低壓 AMI 電表開發」之

研究，以利後續 AMI 建置推動。研究案內容包含委託專業服務廠商協助辦理選擇性招標之通訊系統投標廠商資格訂定及審查作業，且由未來得標之研究單位邀請產、官、學、研各界成立委員會進行公開審查作業，以便與法國及日本一樣，尋求適合我國之 AMI 通訊技術，以進行有效率的大量布建。

(四) 未來展望

由於智慧型電表基礎建設需整合電表、通訊及資訊等領域技術，各個技術間界接之處皆要有界面標準，而國內智慧型電表基礎建設的功能規範也影響到產業界研發的方向，這兩方面若是無法確認，各個領域的廠商把技術發展出來也無法立即

整合。

本公司正積極辦理「低壓 AMI 通訊技術」及「低壓 AMI 電表開發」研究案，尋求最適國內通訊方式，同時研訂標準化通訊模組介面與模組可插拔等整體解決方案 (Total Solution)，以展現推動決心，吸引優良廠商投入及培植國內產業，未來將結合時間電價等電價措施鼓勵用戶自主性節能，定可達成建置 AMI 為我國獲致節能減碳效益。

三、配電網自癒建置策略

(一) 饋線自動化建置現況

建置於本公司配售電事業部各區營業處之饋線自動化系統 (Feeder Dispatch Control System, FDCS) 經多年運轉，對於縮短事故處理時間助益甚大。系統除具備基本 SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) 功能外，並提供 FDIR (Fault Detection, Isolation, and Restoration) 專家系統支援，以協助調度員決策使用，並透過即時監控現場開關及變電所設備資訊，輔助配電調度中心調度值班人員隨時掌握現場設備狀況，於事故發生時，遙控投切開關，縮小停電範圍、提高事故搶修效率。

使用 FDCS 系統所能得到的最直接效益是當配電線路發生停電事故時，可於控制中心值班人員第一時間接獲事件警報後，直接進行遠端開關投切，將事故區間隔離並進行轉供復電，使用戶停電損失降到最低限度，提高供電品質，且因透過控制中心遙控操作現場開關，減少現場作業同仁接觸供電開關的需要，大幅改善工作安全，增進事故處理之效率。

FDCS 系統對於饋線分佈的監控範圍遼闊，因此必須投入許多人力與物力於 FDCS 現場設備及通訊之維護。本公司 FDCS 採用德國西門子 Spectrum 系統進行

運轉調度，透過圖資自動轉檔功能，將配電圖資資訊從停限電管理系統 (Outage Management System, OMS) 之配電圖資轉進 Spectrum 系統，此為一大創舉，避免人力花費在 OMS 及 Spectrum 系統上進行雙邊圖資繪製作業，節省人力開銷。

(二) 饋線自動化發展歷程

隨著饋線自動化運轉與維護經驗累積，開關設備改善與精進作為亦隨之而生，架空開關從原本除開關本體外，還含有電壓量測 VT、控制箱，造成電桿裝置複雜，增加施工及維護困難度，影響工作安全，因此除了提升開關功能外，並將相關器材進行整併，將 VT 併入開關，控制箱併入 FTU，以節省材料、安裝工量，並保留人員登桿作業空間。

而原本自動化開關皆需仰賴國外進口，也造成不同國家，不同廠商所提供之開關，其操作面板五花八門，造成現場維護及操作人員相當大的困擾，亦容易發生誤操作的情況，導致工安事故發生，因此為了將操作面板標準化，使控制及維護能有一致的做法，並配合政府政策扶植國內產業，將開關朝國產化的方向改進，以增進現場人員工作安全及工作效率 (如圖 4)。

在系統軟體方面的演進，從早期於台北南區營業處引進日本的 Nihon Vending 系統及台中區營業處引進的美國 ACS 系統，二者所建置之系統為僅具 SCADA 及 FD 之「傳統型饋線自動化系統」，之後為提升自動化功能，於台北南區營業處再次引進加拿大的 SNC 系統及高雄區營業處引進德國西門子的 Spectrum 系統，二者系統皆已具備 SCADA 及完整 FDIR 功能之「先進型饋線自動化系統」，系統功能均不斷升級。

然而考量各區營業處系統若不一致，區營業處維護技術人力難以訓練及傳承，

各區營業處間人力亦無法互相支援協助，因此決定擇優評選其中一個系統進行推廣，最終評選結果，決定採用 Spectrum 系統作為推廣系統，並分 3 階段陸續推廣至全省區營業處，以建立單一化的饋線自動化系統。

另於民國 93 年起配合能源局「提升供電可靠度 999」方案，需全面大量推廣建置饋線自動化系統，考量不同廠商所提供之自動化設備，恐會發生不相容之問題，率先規劃導入國際通信共通標準 DNP3.0，使不同廠家皆能有共同標準，提高設備間相容性，俾利後續之推廣建置作業。

經由系統推廣，在維護及調度人員使用後，提出包括系統效能、圖資轉檔及人機操作界面等許多改善建議，讓系統功能更進一步的提升。另為因應再生能源併網影響，系統亦配合增加電力品質的監控及故障方向判斷等，持續不斷改善軟體功能。

此外，Spectrum 系統具備之 FDIR 專家系統可謂推動智慧電網重要基石。Spectrum 系統已於民國 103 年底分三階段推廣至全省各區營業處，並配合 Spectrum 系統軟體提昇案，大幅提昇人機操作介面之友善程度，引進開關與電池控制排程功能，使 Spectrum 功能級別向上提升到一個新的境界(如圖 5)。



圖 4 饋線自動化建置現況與效益



圖 5 饋線自動化系統演進

(三) 饋線自動化未來發展

FDCS 系統雖於傳統電網下運行良久，但若作為智慧電網之骨幹基石，其功能勢必要有所更新及提昇。新的科技、新的需求仍持續不斷的發生，如分散式能源蓬勃發展，高占比的分散式能源併入電網，雙向潮流、負載控制、電壓變動...等，對配電系統而言皆是莫大的挑戰。

因此，本公司配電處亦持續不斷的檢討，並適時的導入新科技及新技術，如發展再生能源管理系統，監控再生能源發電量，降低對配電系統之衝擊，以提高再生能源併網容量；整合故障指示器於 FDCS 系統，藉由大量布建具備通訊功能之故障指示器，可讓故障區間之判斷更為精準，而系統所蒐集之現場大量運轉資訊，亦可加以分析及應用，以提昇系統可靠度，導入 SOA(Service Oriented Architecture)服務導向之架構，可讓分散各處的資訊系統有一共通標準進行資料交換及流通，發展 1+1>2 的功效^[2]。

四、二次變電所智慧化技術應用

(一) 結合智慧型電子裝置(IED)及通訊發展預知性維護

現今二次變電所(S/S)設備之維護方式，係根據設備之運轉週期與操作次數等條件，訂定「二次變電所機器設備檢查表」及「二次變電所變電設備維護週期表」，以時間為基準實施之週期性維護(Time Based Maintenance, TBM)，然而，此維護模式往往因未能周全考量設備真實運轉狀況及精準預估維護時機，而出現不必要之維護作業、徒增人力及財力負擔；亦可能因未能及時維護，導致無預警故障之風險。

於 S/S 運用智慧型電子裝置(Intelligent Electronic Device, IED)建置氣體絕緣開關設備(Gas Insulated Switchgear, GIS)之遠端條件式維護(Condition Based Maintenance, CBM)，透過遠端監視 GIS 運轉狀態作為判斷設備劣化與異常狀態之依據，可在設備開始劣化初期能及時提出警告，通知維護人員提早對設備進行檢測及維修，以達成設備預防性維護之目的。

1. IED 斷路器 CBM 監視功能

隨著科技進步，保護電驛已走向數

位化，本公司亦逐步推動傳統機電式 (E/M) 電驛汰換為 IED，而 IED 不僅具備保護、量測、控制、通訊及自我診斷等功能，亦能提供狀態基準維護監視功能，可利用內部邏輯及運算能力，以更科學的方式預估設備維護週期，且能藉由通訊網路，以警報提醒遠端調度人員將系統異常狀態轉知維護人員前往檢修。主要運用之斷路器 CBM 功能如下：

- (1) 斷路器主接點損耗監視功能
- (2) 斷路器跳脫迴路斷線監視功能

- (3) 斷路器彈簧儲能狀態監視功能
- (4) 斷路器啟閉時間逾時監視功能

2. 變電所至控制中心通訊網路構建

變電所至控制中心通訊架構如圖 6 所示，原既設控制中心 SCADA 網路之兩 S/S 分別使用 VLAN1 及 VLAN2 網路供各別 RTU 資料傳輸，透過中華電信 ADSL VPN 網路回傳區營業處控制中心 SCADA 系統；而 VLAN3 作為兩變電所間之光纖通訊。

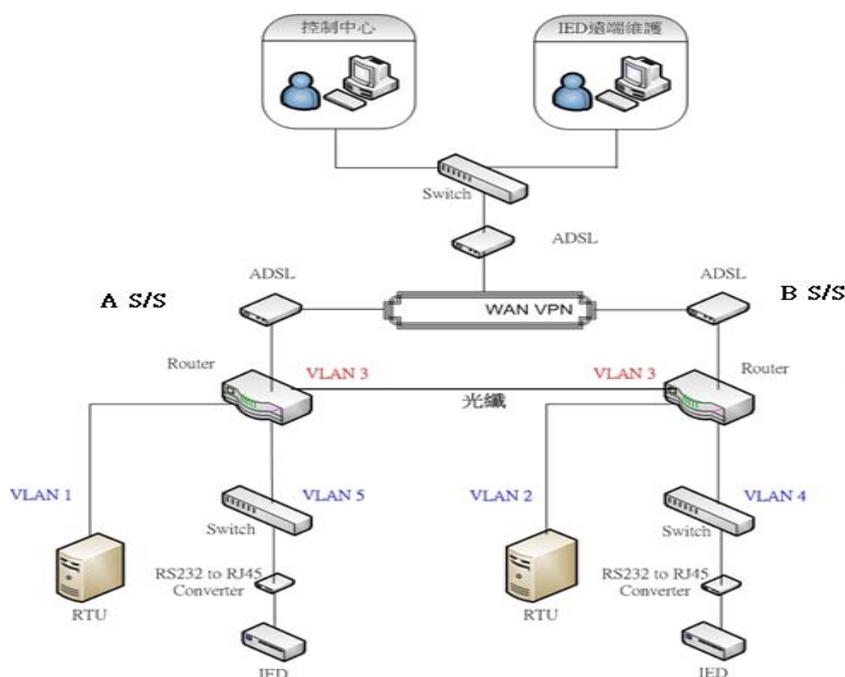


圖 6 變電所至控制中心 SCADA 系統通訊架構

另於兩 S/S 透過 ROUTER 各新增一個獨立 VLAN 作為各所內 IED 遠端維護之通信管道，VLAN4 及 VLAN5 供各別 S/S 使用，提供區營業處 IED 遠端維護工作站透過中華電信 ADSL VPN 方式連線變電所各個 IED。

3. IED 遠端維護功能及 CBM 監控

配合 S/S 內 IEDs 與控制中心間之通訊網路建構，使得變電所維護人員能直接於遠端對現場 IED 進行維護，如圖 7

及圖 8 之標置設定及擷取故障波形與事件紀錄，除節省人力與時間，更進一步提升了維護效率。

整合新增四項斷路器 CBM 監視功能，將 IED 四項 CBM 警報點合併後透過 RTU 傳送至控制中心 SCADA 系統，並於 SCADA 監控畫面新增 CBMA 警報點，納入既設控制中心 SCADA 系統即時監測，二次變電所 SCADA 之 CBM 監視畫面如圖 9。

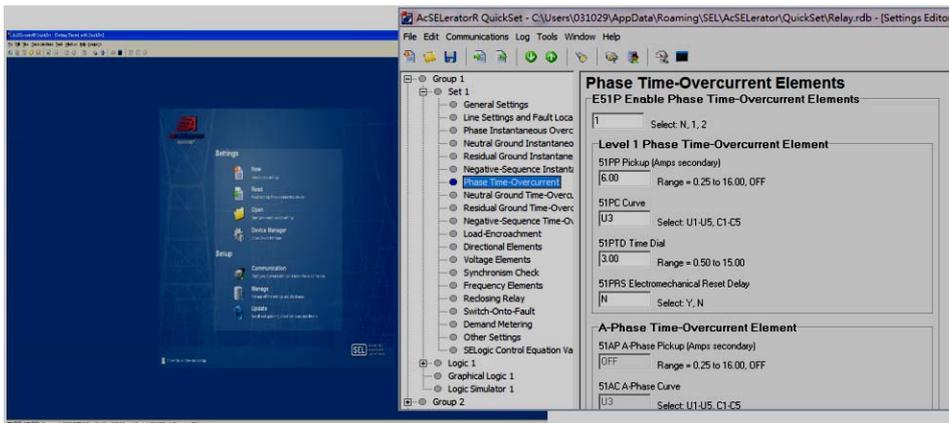


圖 7 遠端對 IED 標置設定

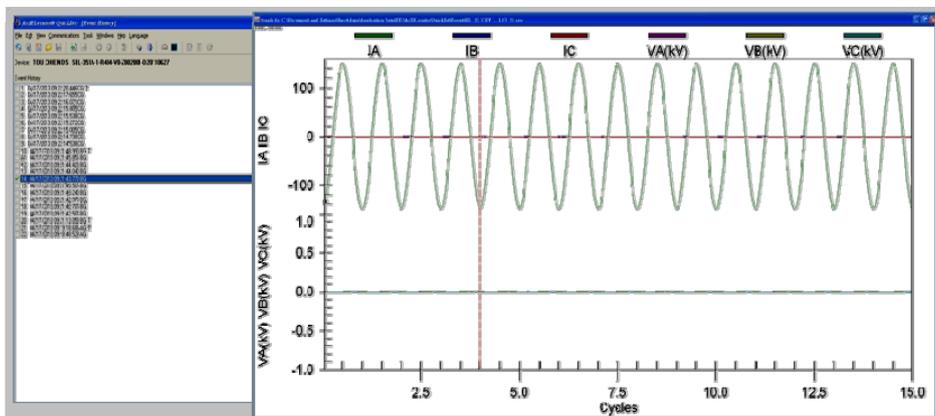


圖 8 遠端擷取故障波形與事件紀錄

湖西變電所 SCADA 系統顯示畫面

設備名稱 狀態 設備名稱 狀態 設備名稱 狀態

F11 CBMA	正常	F2A CBMA	正常	330 CBMA	正常
F12 CBMA	正常	F31 CBMA	正常	340 CBMA	正常
F13 CBMA	正常	F32 CBMA	正常	350 CBMA	正常
F14 CBMA	正常	F33 CBMA	正常	360 CBMA	正常
F15 CBMA	正常	F34 CBMA	正常	370 CBMA	正常
F16 CBMA	正常	F35 CBMA	正常	380 CBMA	正常
F17 CBMA	正常	F36 CBMA	正常	210 CBMA	正常
F18 CBMA	正常	F37 CBMA	正常	220 CBMA	正常
F19 CBMA	正常	F38 CBMA	正常	230 CBMA	正常
F1A CBMA	正常	F41 CBMA	正常	240 CBMA	正常
F21 CBMA	正常	F42 CBMA	正常	100 CBMA	正常
F22 CBMA	正常	F43 CBMA	正常	200 CBMA	正常
F23 CBMA	正常	F44 CBMA	正常	300 CBMA	正常
F24 CBMA	正常	F45 CBMA	正常	400 CBMA	正常
F25 CBMA	正常	F46 CBMA	正常	190 CBMA	正常
F26 CBMA	正常	F47 CBMA	正常	290 CBMA	正常
F27 CBMA	正常	F48 CBMA	正常	390 CBMA	正常
F28 CBMA	正常	310 CBMA	正常	490 CBMA	正常
F29 CBMA	正常	320 CBMA	正常		

電力系統圖 警報總覽 系統服務

圖 9 S/S 變電所 SCADA 之 CBM 監視畫面

4. 運用 IED 與網路之未來與展望

基於本公司資源整合規劃及提升核心技術能力需求，由本公司同仁組成小組，全程參與規劃、設計、接線、測試等作業，以期提升未來自行維護及建置之能力。

配合澎湖智慧電網示範場域，選定澎湖區營業處驗證可行性，於馬公 S/S 及湖西 S/S GIS 設備之 IED 建置 CBM 即時監視功能，並構建控制中心至變電所間、變電所內 IEDs 及 RTU 間網路架構，實地驗證二次變電所(S/S)設備，並經透過網路佈建及 CBM 技術能更即時地掌握現場設備之運轉狀態，適當地判斷維護時機，有效降低因週期性維護未能及早發現設備劣化徵兆而造成設備損傷之機率，且遠端維護功能亦可節省人員因交通路程額外花費之維護時間；當 IED 偵測異常狀況時，可立即發送警報訊號通知 DDCC 主站，轉知維護人員實施必要措施，以達成設備預防性維護之目的及降低突發事故發生機率。

未來考量本公司資源整合、設備汰換週期及安全性，將漸次建構通訊基礎建設優先達成 IED 遠端維護功能，配合二次變電所(S/S)MCSG 設備汰換為 GIS 設備新增 IED 具 CBM 功能，再延伸整合既有網路頻寬及網路設備資源，逐步結合 IED 及通訊發展預知性維護。

(二) 配電調度自動化系統整合及發展

隨著經濟成長與科技進步，民生及工業生產事業對於電力供應可靠度的要求均更加嚴苛，為因應此一趨勢，本公司積極研擬提高供電穩定度之策略，導入分階層級調度概念，其中與民生用電供電穩定度關連性最密切的，為配電系統階層調度，在此範疇本公司推動兩項自動化系統建置，包括配電調度控制系統(DDCS)及配電

饋線自動化系統(FDCS)，以提升供電可靠度。

首先建置 DDCS，配置控制中心 SCADA 系統、資訊末端設備(RTU)及通訊系統等設備，達成可於遠端集中監視控制，主要目的為縮短二次變電所事故時故障偵測、隔離及復電之時間，加速事故搶修，增加售電量；後續為擴大實施用戶供電可靠度，更由點擴大為面的層次，全面推動建置 FDCS，亦配置控制中心 SCADA 系統、資訊末端設備(RTU、FTU)及通訊系統等設備，針對配電線路事故發生時提供自動故障偵測、遠端隔離故障點及復電功能，大幅降低停電用戶數量，增加供電可靠度。兩系統於平時亦可即時監控配電系統電力運轉狀態及供電負載量，充份掌握配電運轉資訊及隨時調控外，於計劃性工作時遙控操作開關，節省現場操作時間與人力，有助於提升人力應用、減少線路損失、提高供電品質及工作安全，效益頗鉅；惟因採分階段推動建置，各採專屬系統進行分別調度，如能基於配電系統調度一體之原則，統合整體調度資源，可期望再度提升現行調度效率及用戶供電可靠度。

1. 配電調度自動化系統說明

現行配電系統之階層調度為採 DDCS 及 FDCS 分層調度，其調度權責以 11.4kV 與 22.8kV 饋線斷路器為分界。

DDCS 主要負責二次變電所主變壓器、饋線、電容器組及一次變電所、配電變電所 11.4kV 與 22.8kV 饋線斷路器之調度與操作，當變電所事故發生時，透過自動偵測，訊息回報等機制，調度員可遙控操作隔離事故點，並執行所內或所外轉供，減少停電範圍及停電時間，並運用無效電力控制功能(RPDC)或乏控制器(Q-CTL)控制電壓，自動控制

電壓及無效電力，減少無效電力的損失，提高供電品質。

FDCS 則主要負責 11.4kV 與 22.8kV 饋線斷路器下游配電線路之調度與操作，當饋線事故時，可透過自動化設備自動偵測故障點，訊息回報等機制，採遠端遙控隔離事故地點，及遠端遙控復電，以加速故障點判斷隔離減少停電範圍，加速增加供電穩定度。

2. 調度資源共享、主備援系統整合

DDCS 及 FDCS 因建置目的不同、負責監控範圍亦不同，但均需具備系統備援機制，以確保系統穩定。依監控範圍而言，DDCS 僅將變電所資訊納入監控，FDCS 則因屬後期建置之系統，建置時已規劃可納入 DDCS 調度設備數量及範疇；藉由推動將所有變電所資訊納入 FDCS 監視，則可將 FDCS 作為 DDCS 系統備援，達成調度資源共享，減少系統建置成本、備品費用支出、維護費用支出及人力成本支出等效益。

由配電系統事故案例之處理過程分析顯示，配電系統事故處理若能統合 DDCS 與 FDCS 之警報及操作訊息，強化即時警報訊息傳遞、綜合性分析輔助研判，可有效提升事故處理、轉供及搶修時效性，降低調度運轉壓力；於現行系統架構下，藉由 DDCS、FDCS 調度空間及調度系統重新配置使兩系統共享調度資源，確能有效提升調度效率。

為達成前述共享調度資源，正逐步推動將變電所資訊納入 FDCS 監視，試辦 FDCS 作為 DDCS 系統備援、調度空間及調度系統重新配置，以磨合系統差異、調度需求等因素，並驗證及調適未來新型態之配電調度模式。

3. 配電系統調度未來發展方向

本公司配電系統已全面建置配電調

度控制系統(DDCS)及配電饋線自動化系統(FDCS)，採遠端監視控制方式全面掌握配電系統供電狀態，遂行即時調度，對提升供電可靠度已有顯著效益，為智慧配電網路中不可或缺的基礎建設。

基於配電系統調度一體之原則，未來將以提升配電系統調度效率為前提，短期採用 FDCS 作為 DDCS 系統備援，以充分利用調度資源，進而整合系統功能(含介面)、推動雙證照值班及效率化聯繫作業等，長期則朝向使用單一配電調度系統為目標，以持續精進配電系統調度模式，符合構建智慧配電網路需求。

五、分散式電源併網因應策略

(一) 再生能源發展情形

台灣屬於島嶼型獨立型電網，98% 能源需仰賴進口，其中又以燃煤及核能發電為主。然核四發電廠已確定封存，核一發電廠及核二發電廠也將陸續停役，再生能源發展已成為政府重點推行能源政策。

為使再生能源推廣順利，目前本公司透過宣傳綠色能源及宣導綠色電價，鼓勵用戶踴躍認購，銷售綠色電力，其認購金額用於再生能源發展基金補貼再生能源建設，加大再生能源在電網中的比例。同時配合節能減碳及溫室氣體排放減量為社會的共同目標，藉由推動各界認購綠電支持再生能源發展，進而達成能源供給、產業發展與環境保護三贏局面。

(二) 再生能源併網與推動情形

配合政府推動再生能源，本公司兼具多元身分，在購電方面，業者如遭遇法規或技術難題，不論緣於法規不周延或電網安全考量，均會指責本公司消極抵制再生能源發展，使本公司蒙受批評。本公司在確保電網運轉安全前提，參考國際技術及

最新發展，本著開放態度，並考量本公司財務營運狀況，調整併網策略，因應國家推動擴大再生能源政策。

1. 併聯配電系統近況：再生能源發電系統與本公司完成簽約案統計如表 5。
2. 友善併網：為協助申設者成功併網，本公司配售電事業部設立再生能源併網工作小組及各區營業處指定主管擔任聯絡單一窗口，溝通解決併網相關問題。此外，針對再生能源具即發即用特性，應就近負載併接使用，申設者目前可至本公司對外網頁/業務公告項下查詢各區營業處再生

能源發電可併網容量外，亦可利用可併網容量查詢系統(REMQ)，透過電號或地址資訊查詢特定裝設位置之可併網饋線容量。另為減輕太陽光電業者併網工程費的負擔，於民國 104 年 7 月 9 日公告奉准訂定「第三型再生能源發電設備屬屋頂型太陽光電發電設備併網工程費計費方式」，且為鼓勵業者於自家屋頂設置太陽光電，將原不及 10 瓩免收併網工程費部分放寬至 50 瓩以下，提供業者友善併網環境。新併聯工程費計費方式施行後，同時期案件數、容量比較如表 6。

表 5 再生能源發電系統與本公司完成簽約案統計

發電類型	已簽約數(件)-佔比%		總簽約容量(MW)-佔比%	
	件數	佔比%	容量	佔比%
太陽光電	11797	99.59	900.084	79.28
風力發電	45	0.38	202.816	20.37
小水力	1	0.01	1.600	0.22
生質能	3	0.02	0.995	0.13
合計	11846	100	1105.495	100

統計至 105.02.02 止

表 6 新併聯工程費計費方式施行後，同時期案件數、容量比較

年度	項目	10kW 以下	10~40kW	40~50kW 以下	50~500kW 以下	合計
103.07.09 ~ 103.12.31	案件數(件)	1,083	590	69	500	2,242
	容量(kW)	7,673	14,202	3,197	121,785	146,857
104.07.09 ~ 104.12.31	案件數(件)	713	614	208	749	2,284
	容量(kW)	4,817	11,331	9,954	190,728	216,830

註：40~50 kW 之案件數由 69 件倍增至 208 件(約 3 倍)，容量由 3,197kW 增至 9,954kW(約 3 倍)。

50~不及 500 kW 之案件數由 500 件倍增至 749 件(約 1.5 倍)，容量由 121,785kW 增至 190,728kW(約 1.5 倍)。

(三) 再生能源併網所面臨問題與因應對策

1. 面臨問題

配電系統線路佈設係依用電戶申請用電之地點位置、設備容量大小及電壓等級參考相關法規設置，並未考量再生能源等分散式發電系統佈設纜線，故併網遭遇相關困難說明如下：

- (1) 再生能源業者因加強電網費用不符投資效益而不願負擔。惟依據再生能源

條例規定，併聯技術上合適者，以其成本負擔經濟合理者為限，且既有線路外，可以加強電網方式處理。

- (2) 地下配電系統因「路平專案」致電網擴建及維護困難；又，配電設備屬鄰避設施，因民意高漲造成設置困難，影響併網時程。

2. 因應對策與解決方案

- (1) 再生能源併網案件若需採用加強電力

網增加併網容量，其成本由本公司及設置者均攤；惟該饋線可併網容量已達極限須新設饋線併接，其費用往往不符投資效益，有關加強電力網及新設饋線增加併網容量之費用，應協助業者反映主管機關修訂「再生能源發展條例」等相關法規，由再生能源基金撥付或政府編列專案預算支應。

- (2) 「路平專案」及民意高漲造成設置配電設備及維護困難，「路平專案」部分應與地方政府溝通；另民意高漲部分

將持續加強與地方政府及民眾溝通解決。

(四) 擴大未來太陽光電設置目標

行政院民國 101 年 2 月核定「陽光屋頂百萬座」計畫，原規劃至民國 119 年推動我國太陽光電設置達 3,100MW，民國 103 年規劃目標調整為 6,200MW，民國 104 年再度擴大太陽光電設置目標至 8,700MW，以每年新增 500MW 為目標逐步滾動式檢討，藉此加速太陽光電推動(如圖 10)。

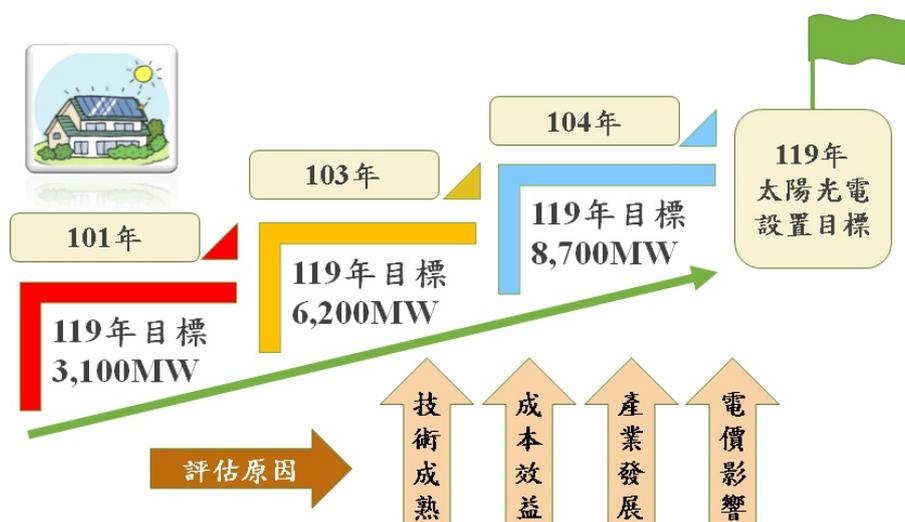


圖 10 太陽光電設置目標

(五) 檢討配合再生能源目標提升配電網路架構及政策優惠

若僅以配電網評估試算太陽光電可併網能力，不考慮設置地區之實務太陽光電建置問題，台澎金馬現有配電網路粗估約可容納 20GW 再生能源併網能力，惟個案併聯時，仍須依據本公司再生能源發電系統併聯技術要點檢討，故不建議單點、分散設置，應朝區域型建置後集結併於高壓以上之系統，以擴大再生能源併網容量。

台灣北部地區受限日照與土地等因素，推廣太陽能發電成效一直不如中南部，南部太陽能發電裝置容量占全國太陽

能發電總量的 75%，北部太陽能發電量偏低，但北部卻是國內最缺電的區域。政策如何誘導太陽光電朝中部以北區域設置，讓分散電源滿足中部以北地區負載需求，方可符合台灣電網負載特性，解決電網面臨之實務問題。

民國 105 年起能源局為鼓勵業者在北部投資太陽能發電，特別訂定在北部地區(包含臺北市、新北市、基隆市、桃園市、新竹縣、新竹市、苗栗縣、宜蘭縣及花蓮縣)設置太陽光電設備，且於中華民國 105 年 1 月 1 日起至 105 年 12 月 31 日止完工者，其電能躉購費率按規定費率加成百分

之十二點五，以提高一般民眾設置意願。

參、智慧配電網路營運策略

一、配電系統資訊整合

本公司配電系統推行電腦化已有多年的時間，配電資訊系統包含配電工程及配電圖資兩大系統。

(一) 配電工程資訊系統

現行「配電工程資訊系統(Distribution Construction Information System, DCIS)」於 IBM 大型電腦主機(Main Frame)開發運轉，主要提供配電工程作業之電腦化管理，處理業務涵蓋用戶申請之工程案件(如新增設、臨時電、路燈、變更改用電、廢止、復電等)及公司自辦工程案件(如線路改善、擴建、維護等工程)，並提供案件設計、工程施工、材料領退、施工管理、工程款核算、工程查核等功能。

DCIS 系統於民國 74 年開始試運轉，並於民國 78 年正式上線營運，迄今已逾 30 年；營運期間由於 DCIS 系統處理案件量龐大、流程複雜及使用需求日益增加，為提升系統功能、紓解 IBM 大型電腦資料處理及網路通訊負荷量，遂於民國 88 年開始將部分作業流程切離 DCIS 系統；前後陸續完成「營業櫃檯作業電腦化系統(CPS)」、「配電工程施工管理系統(DCMS)」、「配電工程查核管理系統(DCAS)」、「配電工程輔助設計系統(DADS)」及「配電工程檢驗輔助系統(DIAS)」等分散式主從架構應用系統，上述各項應用系統皆分散於各區營業處，透過區域內部網路改善系統回應時間，達成作業效率提升之目的。

(二) 新配電工程資訊系統

為重新整合配電工程相關應用系統及

引進新資訊科技，以提升整體配電工程施工品質及作業流程效率，爰於民國 102 年委外開發「新配電工程資訊系統(New Distribution Construction Information System, NDCIS)」°NDCIS 系統重新整合配電工程資訊作業平台，於本公司總管理處採用私有雲端伺服器架構，並於中部資料處理中心建構備援機制，不僅抑低區營業處伺服器數量及設備維護人力，也為公司節能減碳作出貢獻。

1. 硬體架構規劃：NDCIS 系統硬體架構及運作方式如圖 11，下列分為四個部分說明：

- (1) 應用程式虛擬化：應用程式虛擬化區的應用系統(如 IIS，報表伺服器、GIS 圖資應用伺服器、行動通訊平台及工作流程伺服器等)，利用虛擬化平台(Oracle VM)提供的高可用性(High Availability)功能建置本地端的應用系統保護。
- (2) 資料庫叢集架構：資料庫(Oracle)伺服器採用實體伺服器，並且以 Oracle RAC(Real Application Clusters) 叢集軟體建置雙活(Active-Active；AA)架構，自動管理磁碟組和優化系統監控及管理。
- (3) 備份及備援架構：備份架構分為本地端及異地端，以縮短恢復時間的備援架構來規劃。
 - A.本地端：在應用程式虛擬化區的備份方式，是將整個虛擬伺服器之系統及檔案，備份至儲存設備，亦可將伺服器的系統部分備份；當需要回復時將備份的虛擬機還原於備援伺服器，即可完成資料及系統的復原，所有過程可自動化完成。
 - B.異地端：由本公司總管理處備份伺服器，將應用系統資料同步複製至中部資料處理中心之備份伺服器，

兩地的同步網路以主幹光纖網路來進行；異地端備援資料庫是以待命 (Active) 的狀態隨時可提供應用系統連接使用。

(4) 負載平衡架構：廣域式負載平衡(Global Server Load-Balance, GSLB)可以偵測提供服務的主機狀態，排除一些無法提供服務的主機，避免使用者服務中斷。

GSLB 可依據使用者發出需求之本地端所在之 IP 位置，判斷出使用者所在之地理位置，從而回應給使用者最近或最適當之主機所在之 IP 位址，且能將使用者的要求平均分散至多台提供服務的主機來負擔，並能跨越兩地資訊中心，同時對使用者提供服務。

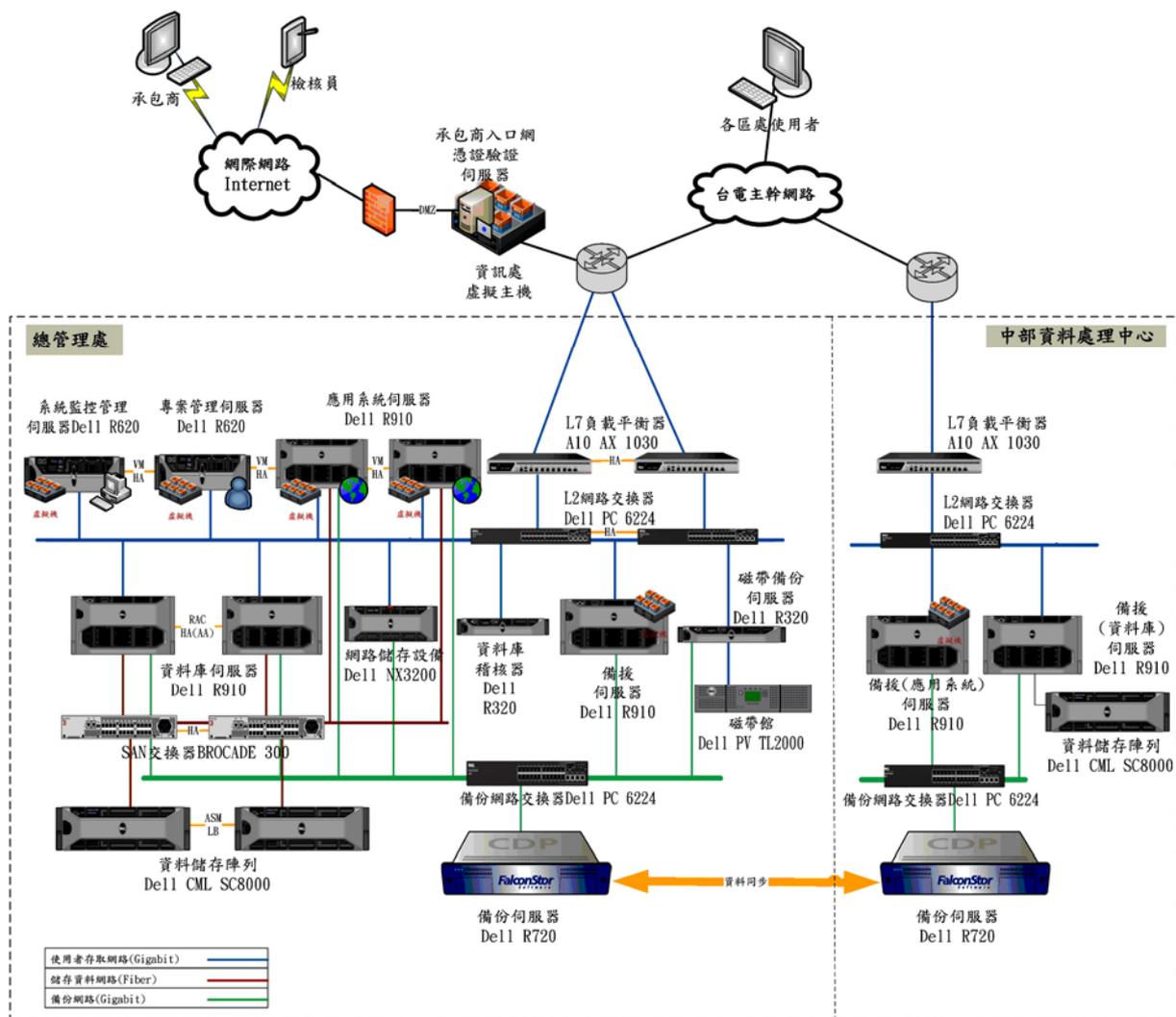


圖 11 NDCIS 系統硬體架構圖

2. 軟體架構：NDCIS 系統軟體架構及運作方式如圖 12，NDCIS 系統採用微軟公司 .NET Framework 平台發展應用軟體，並使用 C# 程式語言及 ASP.NET 撰寫軟體元件及網頁程式、使用 Visio 設計流程，

並使用 Visual Studio 開發工具開發系統，下列分為三個部分說明：

(1) 入口網服務層：NDCIS 使用者包括本公司員工及承攬商，登入介面分為 Intranet 單一登入窗口、Internet 對外服

務窗口以及行動裝置登入窗口等三種，內部員工透過 IE、Firefox 及 Chrome 等瀏覽器登入系統，承攬商須以工商憑證或自然人憑證登入。另

外，行動裝置使用者透過租用電信公司行動網路，以 App 連線方式登入系統。

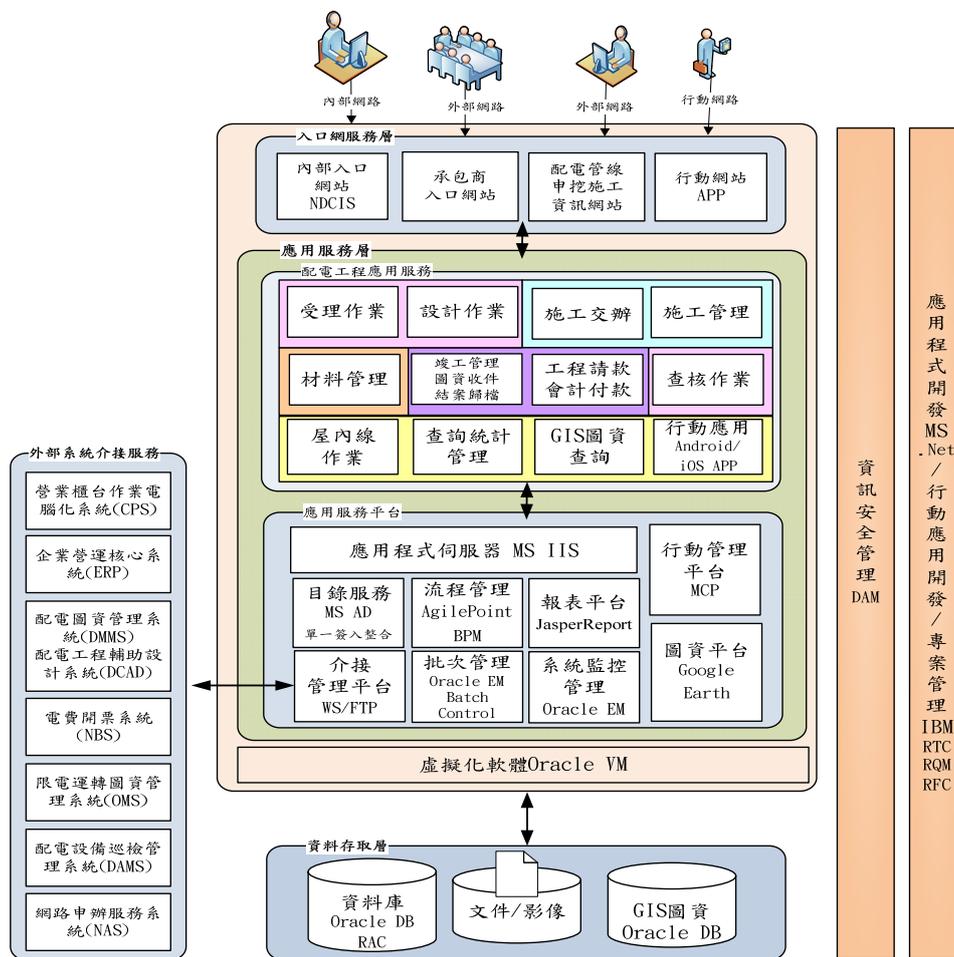


圖 12 NDCIS 系統軟體架構圖

(2) 應用服務層：應用服務層主要區分為配電工程應用服務及應用服務平台：

- A. 配電工程應用服務：主要以配電工程作業流程之系統功能為主，涵蓋受理作業、設計作業、施工交辦、施工管理、材料管理、竣工管理、工程請款及查核作業等。
- B. 應用服務平台：主要包含支援應用服務有關之服務平台，如資訊安全機制(微軟目錄服務 Active Directory)、作業流程管理(BPM)、圖資管理、報

表管理、文件管理、行動應用管理、系統管理(含網路、資料庫等)及介接管理等。

(3) 資料存取層：於系統資料庫伺服器的節點上，分別安裝 Oracle 資料庫軟體和 RAC 系統叢集，運行對應的 Oracle 資料庫服務及共用資料庫。當資料庫任何一個節點發生故障停機時，應用系統會自動切換到另外一個可用的資料庫伺服器節點，以保證資料庫系統的高容錯與可用性。採用 Oracle RAC 可

提高資料庫系統的處理效能，同時可根據業務需求，動態增加資料庫伺服器節點，使資料庫系統具備擴充能力。

3. 應用功能開發：

(1) 網頁應用功能：使用微軟 .NET Framework 之 MVC 架構作為開發軟體作業平台，運用其網頁程式之 Model、View 及 Controller 各自獨立和資訊互通特性，達到敏捷式軟體開發功能。

(2) 行動應用功能：以 Android 及 iPhone 系統之手機或平板等行動裝置為主要開發平台，開發各項施工管理、走動管理、查核管理等應用功能。

4. 資訊安全管理：NDCIS 與本公司單一登入整合，並依 NDCIS 權限管理機制、網際網路傳輸以數位憑證建立資料傳輸加密安全機制(RapidSSL)、系統存取安全管控採用 AES 加密模組、dbAgis 軟體紀錄資料庫存取之軌跡追蹤、敏感性資料存取稽核軌跡等，達到異常狀況即時監控警示與即時通報相關人員，以確保 NDCIS 資料及個資安全。

NDCIS 系統使用現行科技主流技術，提升配電工程作業效率，並採用現行主流雲端主機架構，建置多層次網路應用平台，亦透過智慧型行動裝置 APP 應用軟體，輔助現場工作人員即時回報工作成果，大幅提升配電工程作業效率。透過 NDCIS 系統可即時取得配電工程相關資訊(如工程進度、工程款統計、材料領用及需求量等)，提供各級主管作為管理決策應用或參考，致使配電工程資訊管理更臻完善。

(三) 配電圖資管理系統(Distribution Mapping Management System, DMMS)

配電系統分佈範圍遼闊，全省各地有人煙處，就有配電線路的裝置，其中配電設備亦是配電系統營運不可或缺的重要設

施，但配電設備的數量龐大、錯綜複雜且呈面狀的分佈，又每日異動頻繁，管理難度相當高，配電圖資管理系統(DMMS)就是將這些配電設備資料經過整理、核對及數值化建立 DMMS 資料庫，提供配電工程規劃、設計、維護運轉的服務。DMMS 為各項圖資應用系統之基礎系統，由本公司配電處負責系統管理，全省各區營業處套用應用軟體，維護轄屬所有配電工程竣工圖資，包括：配電系統圖、高低壓線路圖、高低壓管路圖、光纜圖、路燈系統圖、路燈台帳圖，以及人手孔資料卡、配電室資料卡等。

民國 97 年本公司完成電腦圖資之建置，各項應用系統應運而生，最具績效的圖資應用如停限電運轉圖資系統(OMS)、配電設備巡檢系統(DAMS)、天然災害輔助處理系統(NDD)、再生能源發電可併網容量查詢(REMQ)，茲簡述如下：

1. 停限電運轉圖資系統(OMS): OMS 係以配電系統圖建立配電設備電氣連結性及用戶資料相關的地理資訊系統，主要提供巡修部門之調度運轉人員所需之配電系統圖資，具有受理事故案件、派工、搶修等功能，並與本公司客戶服務系統(CCS)及網頁停電查詢及通報系統介接，可由用戶停電訊息連結供電設備，快速的找出預估故障點並顯示在配電系統圖，輔助派遣搶修人員赴故障點隔離故障區間，再搶修故障設備，儘速恢復供電。因資料庫建立之關連性，可將饋線、開關、變壓器等設備所供電之用戶詳細紀錄，亦可依實務上停電設備，展現停電用戶、停電饋線等資訊，且地理圖資的應用，將行政區里的圖形與變壓器的圖形比對，加上用戶地址的萃取，亦可提供行政區、路段等供電、停電設備資訊，提供其他系統整合應用，目前全國 24 個區營業處已全部運轉。

OMS 提供與對外網頁之「停電查詢及通報」功能核心資料，可將 OMS 停電處理情形如預估復電時間、搶修狀態等回復用戶，搶修資訊公開化，另計畫性工作停電時間及範圍，亦於本公司網頁對外公開揭露。

2. 配電設備巡檢系統(DAMS)：以 DMMS 建立之圖資，輔助建立巡檢工作計畫，將設備及圖面資料下載至平板電腦，攜帶至現場即時紀錄巡檢結果，現場巡檢路徑軌跡亦可一併紀錄至平板電腦，回辦公室後再上傳至伺服器，提供管理人員確認巡檢實績。
3. 天然災害輔助處理系統(NDD)：將颱風期操作 OMS 開關或饋線斷路器等設備後之影響用戶戶數，以行政區分類為「曾停電用戶」及「目前停電用戶」，以及「全停電饋線」、「部分停電饋線」等資訊，回傳本公司總管理處緊急供電中心，提供颱風災情訊息。
4. 再生能源發電可併網容量查詢(REMQ)：利用 OMS 建立之關連性，再配合饋線電流擷取系統(FCRS)、再生能源管理系統(REMS)等相關資料，於本公司對外網頁提供綠能業者，以電號或地址查詢該處饋線尚可申請再生能源發電可併網容量，此為本公司領先世界各國電業之資訊揭露。

目前圖資系統正朝建立「配電圖資雲」的方向前進，民國 104 年以開放原碼(Open Source)研發完成本公司各項繪圖(網頁、桌機及 Android 行動)平台及圖資緩存技術，可將 DMMS 圖資下載至 Android 行動平台儲存，因應離線圖資需求應用，以及將 DMMS 空間資料移轉至地理空間資料庫(GeoServer)，提供「地理配電圖資管理系統(GeoDMMS)」套疊 GoogleMap 或中央級通用版地形圖，以網頁查詢配電圖資。目前已規劃將 OMS

改為網頁版系統，再將各項搶修功能行動化，提供停復電災情視覺化系統建置的需求，逐步實踐「配電圖資雲」的目標。

二、運轉維護技術發展

(一) 配電系統維護現況

1. 各區營業處配電線路及設備每年皆會擬定經常性及計畫性之維護工作；其中於經常性維護工作方面，係每年至少辦理 2 次以上的巡視及檢點作業，尤於高風險區域變壓器(市場、夜市、商場等)，加強辦理負載量測與改善，以減少超載故障之風險；另颱風季前，通常再局部加強巡視並及時改善。計畫性維護工作方面，係針對關鍵性設備與重點區域(如科學園區、加工出口區及工業區等區域)，辦理預防性檢測(如紅外線偵測)，或於特定地區，有計畫的辦理防雷害、防鹽害或樹木修剪等改善作業。
2. 本公司為使巡視搶修及維護達到全面進化，各區營業處巡修部門採 24 小時輪班，來提升事故災害之搶修效率。並配合配電饋線自動化系統，透過網路系統掌控現場狀況，一旦發生事故異常，即刻將事故隔離，將電力切換到另一個回路，縮小事故範圍，加速恢復供電。除平時定期巡視檢點維護工作外，更運用高科技儀器如紅外線攝錄影像熱分析儀等，於配電線路設備施作非破壞性的預防檢測。透過高科技儀器監測，讓維護人員獲知狀況，就可以提前改善更換，避免停電狀況發生。
3. 為提升供電可靠度，加強用戶服務，本公司依經濟部能源局指示執行「推動供電可靠度 999 方案」計畫，自方案推動以來，配電系統「供電可靠度」指標中，平均停電實績由民國 93 年停電時間 30.141 分/戶·年及停電次數 0.269 次/戶·年，至

104 年平均停電實績降為 15.907 分/戶·年及停電次數 0.191 次/戶·年，顯已縮短用戶停電時間，大幅提升供電可靠度。惟近年因非本公司可控制之外在因素，如路平專案降埋孔蓋影響事故搶修復電時間、配電管線頻受外界施工挖損或擅自破壞，所伴隨而來之無預警停電案件持續發生，以及為辦理用戶用電申請及配合公共工程之擴建、遷移、桿線地下化及線路改壓等配電工程之工作停電案件逐年攀高，致配電系統停電實績值有微幅上升，目標管控面臨瓶頸。因此相關事故防範對策及精進作為，須持續要求各區營業處參酌擬訂年度重點工作，並落實管控辦理進度，以減少無預警事故停電發生，提升供電可靠度。

(二) 維護重點方向

1. 強化颱風來臨前整備工作：各區營業處於每年颱風季節來臨前，應依次落實辦理災害防救缺失檢討與改善追蹤、災害防救演練、搶修用車輛、機具檢查及器材保管地點、數量之清點與確認等事宜，且應適量儲備常用且足夠之器材，如熔絲鏈、開關及各式接頭等，以便利相關搶修作業；另，恐有交通中斷及降霰、雪之山區，亦應於適當地點儲放適量笨重器材，如電桿、變壓器及搶修車輛所須使用之雪鏈等裝備，以應不時之需。
2. 提升事故搶修效率：為提升配電線路事故搶修作業之技能及效率，除要求調度人員要熟稔電力系統運轉操作章則，恪遵緊急應變規定，以嚴謹審慎的態度面對事故調度處理，並確實建立事故搶修人力及支援機制，必要時建立「搶修人才資料庫」並妥予運用。服務所及中心服務所應檢討儲備緊急搶修用之必要器材，以支應事故復舊之需。辦理事故搶修，倘因人力不足、器材調度困難時，立即通報層級主管及尋求必要之協助。長時間停電事故無論案件大小均應通報區營業處正、副主管了解因應，並適時對外說明；另，培養當地化搶修能力，以加速線路事故之復電作業。
3. 提升自有核心技術人力：為提升維護核心技術，除積極培訓外線工作技能師資，定期辦理員工在職技能訓練外；亦訂定維護工作回收自辦機制，目前先以更換配電變壓器及線路開關工作為優先納入年度責任中心績效指標考評，藉以維持維護及搶修人員核心技術能力，以達技術傳承效果。
4. 巡檢電腦化之督導落實：「配電設備巡檢管理系統(DAMS)」係改革傳統配電設備人工巡視檢點工作走向 e 化(電子化)、m 化(行動化)作業方式，使配電設備巡檢維護工作之記錄、改修及管控等，均以電腦化作業完成，改善配電設備維護體質，使各區營業處巡檢部門能落實配電設備維護工作，以有效減少事故停電發生，提升公司營運績效。
5. 強化預知性檢測工作：配電線路設備因天然災害(如雷擊、鹽塵害等)、閃絡(Flash Over)、日久劣化、品質不良(含施工不良)及過負荷用電等，除設備本身極易故障外，亦可能造成周遭其他設備損害的停電事故，致使用戶發生製造、營業或用電器具的損壞及民眾生活不便等損失，影響本公司供電及服務品質，嚴重時更會造成人員傷亡。為防範配電線路事故，提高檢測能力與技術，近年來引進紅外線攝錄影像熱分析儀，以不停電方式，進行配電設備或線路接頭之預知診斷，檢測其運轉中之溫度狀態有否異常，並分析其劣化狀況，以期能及早發現劣化及時辦理改善，防範事故於未然，使用結果成效良好。另，本公司配電處近年所研定之「VLF 極低頻耐壓試驗技術規範」，各區營業處已陸續採

購適用儀器。因該試驗方法具備正負極交替之電壓源原理，施作電纜試驗後不會在絕緣體殘留空間電荷，嗣後各區營業處現有之 DC 耐壓試驗設備倘因老舊必須更新時，可以 VLF 耐壓試驗設備替代，除可進行裝置、核驗及維護試驗外，亦可搭配 TD(散逸因素)測試電纜及接頭之絕緣劣化程度進行預知性評估以利運維策略規劃，預期可有效提升供電可靠度。

6. 配電設備安全化：按計畫汰換老舊被覆線及開發高低壓鋼心鋁被覆線，減少斷線事故。另，開發熔絲鏈被覆罩、銅被覆線及桿上變壓器一次套管被覆罩，達成配電線路全被覆，減少外物碰觸事故。
7. 強化維護工作契約執行與落實：鑑於配電線路維護工作契約管控缺失事項，大部分屬相關承辦人員及主管未瞭解契約內容及未確實執行契約規定所致。本公司配電處除已函各區營業處重申相關規定及應注意事項，並請各區營業處召集相關人員落實辦理教育宣導。
8. 變壓器集中檢修：為精進配電變壓器檢修，已請台中、鳳山區營業處辦理中、南部地區之集中發包作業，發包工作應比照本公司電力修護處驗收作業與本公司 C035 材料標準規範、督導廠商落實自主品管，並辦理中間檢查、出廠試驗及每批抽樣送試等程序。
9. 因應極端氣候變遷對線路造成事故之搶修作為：受全球氣候變遷影響，除颱風、地震等天然災害頻繁外，未來出現嚴寒、酷熱等極端天氣之機會將大幅增加。其中，酷熱天氣將造成負載驟升，恐引發變壓器、線路等因過載而燒損；另，嚴寒天氣除因供電導體熱漲冷縮，增加接頭鬆脫、水氣侵入而發生故障之機率外，倘遇

降雪時冰雪附著在電線上，易造成電線承受過大重力荷載而斷線，融化時污水亦容易引起絕緣礙子等閃絡，使線路保護裝置跳脫而停電。依據本處「災害防救緊急應變作業標準程序書」規定，各區營業處於每年颱風季節來臨前，應依次落實辦理災害防救缺失檢討與改善追蹤、災害防救演練、搶修用車輛、機具檢查及器材保管地點、數量之清點與確認等事宜。此外，為因應上述極端氣候隨時所可能造成之損害，亦請各區營業處要求轄內各搶修部門經常儲備常用且足夠之器材，如熔絲鏈、開關及各式接頭等，以便利相關搶修作業。另恐有交通中斷及降霰、雪之山區，亦應於適當地點儲放適量笨重器材，如電桿、變壓器及搶修車輛所須使用之雪鏈等裝備，以應不時之需。請各區營業處要求轄內各搶修部門確實掌握器材存放處、管線埋設地點等資訊，經常清點、補充、更新及留存紀錄，俾發揮加速事故搶修之功效，減少對民生之衝擊。

(三) 如何結合各項工作優化維護效益

1. 建構停電災情通報網路化、手機 APP 化系統，未來可即時蒐集停電正確訊息，加速回應用戶通報事故案件處理流程如圖 13。
2. 建立故障指示器自動故障通報系統，結合 FDCS、OMS 等加速轉供復電，快速縮小停電範圍，縮短停電時間。
3. 於 NDCIS 建置案中，已將 DAMS 案件管控流程納入系統統籌管理，大大優化巡檢維護改善工作單之追蹤便利性，並避免遺漏。另，主流行動化應用軟體(APP)架構亦已納入，未來 NDCIS 上線後，區營業處可選用 DAMS 行動裝置硬體設備之規格更具彈性，有助於運用效益之提升。



圖 13 加速回應用戶通報事故案件處理流程

三、營收行銷及用戶服務策略

智慧電網是整合了發電、輸電、配電及用戶端之電力網路，本公司加強電網的各種軟硬體建設，都是希望提高電力品質讓供電更可靠並提升效率，同時在節能減碳方面有所貢獻。運用智慧配電網路，本公司在營收行銷及用戶服務上可進行不同於傳統的行銷與服務，具體的策略與作法包括：

(一) 精進需量反應措施

為確保供電可靠及抑低尖峰負載，本公司自民國 68 年起即著手推動負載管理，迄今實施之各項措施包括：季節電價、時間電價、儲冷式空調系統離峰用電措施、空調週期性暫停用電措施、減少用電措施及需量競價措施等，除於自由化市場方能實施之即時電價外，其餘均已採行。

配合高壓以上用戶全面布建智慧電表，本公司於民國 104 年修正需量反應措施，朝「簡併方案、放寬門檻、納入基線、提高扣減」之方向全面修正，俾使措施之功能與時俱進，以適應電力系統及市場需要，同時推動新一代需量反應方案－需量競價，讓用戶自訂減少用電之回饋價格參與競比，取代傳統由電力公司訂價方式，

解決誘因不足問題，同時藉由賦與用戶更多自主權，鼓勵用戶參與。為強化需求面管理因應供電短缺問題，本公司於民國 105 年建置需量競價平台，用戶可透過 E 化之流程，更方便能按日動態調整報價，競標過程也更為公開透明。另為強化低壓用戶參與需量反應，也將推動多元時間電價，引導住宅及小商店分散夏季尖峰用電，喚起民眾對供電可能不足之危機意識。

經統計民國 104 年需量反應措施抑低尖峰負載成效累計達 443.4 萬瓩，占系統尖峰負載 3,524.8 萬瓩之 12.6%，較美國(民國 102 年)抑低尖峰負載占系統尖峰負載之 9.2% 高，有助均衡系統負載及紓緩尖峰時間電力需求成長壓力。未來配合政府修正需量反應聚合商(DR Aggregator)相關法規、建立管理機制與市場環境，本公司亦可透過第三方代表(如 ESCO)集結用戶抑低量參與需量反應，並可更深入不同產業發展客製化、多元化及自動化之節能方案，大幅強化需量反應滲透率，有助穩定國內電力市場供需平衡。

(二) 強化 AMI 應用效益

智慧配電網路的建置藉由 AMI 系統的建置達成用戶服務系統的整合，亦促成

更多的加值服務運用如下：

1. 加速營收資金回收：即時傳輸用電指數，供憑計費、收費，以靈活運用行銷管道並可減少人工抄表作業及帳單處理成本。
2. 減少電力損失和竊電：智慧電表可提供更準確的用戶各相電壓、電流、功率、相角等，減少不必要的電力損失和竊電發生機會。
3. 即時用電度數提供服務：記錄一天中的不同時段之用電量(如每小時或尖/離峰用電度數)，透過智慧電表的通訊功能，可將用電情況即時傳送，讓用戶了解自身電力使用情形，進而改變用電習慣，用戶有了明確的用電數據與分析，亦能提醒自己調整電器使用時間，或是思考改用更省電的電器，不僅可降低電費進而意識到節能的重要，達到「主動」節電的效果。
4. 建置用戶服務入口網站：建置用戶服務入口網站提供用戶用電分析與需量反應負載管理措施試算等加值服務資料，有助用戶進行自主電能管理，達到抑低尖載及節約能源之成效，有效減低系統供電負荷。另提供用戶可做同類型用電量分析，依鄰近地區、契約用電種類、或行業別等分類，提供用戶了解相同類型用戶之用電量情形，以競爭心理，引導用戶改變用電行為。
5. 運用 AMI 資料篩選目標用戶：運用大數據技術篩選具採行需量反應負載管理措施潛力之目標用戶，以精準行銷推廣參與負載管理措施服務，助益達到抑低系統尖載之成效。

(三) 促進再生能源建置

配電智慧網路的建置可加強本公司對外網頁資訊揭露內容，自民國 103 年 12 月起提供全國各縣市再生能源太陽光電、風力、水力等正式購售電資料，並每月更新收購情形，另納入本公司自有機組資

料，完整表達本公司再生能源設置情形，提供更精闢的分析及資訊供外界參考。此外，利用配電用戶資訊，可精進本公司再生能源併聯審查機制，除提供各區營業處再生能源最大可併接裝置容量之公告外，於網頁提供業者可利用地址或電號查詢再生能源發電可併網容量，業者可優先規劃設置尚有饋線容量之地區，避開已無饋線容量之區域，有效節省申請時間及推動綠能。

肆、結語及未來展望

因應能源危機、環保意識抬頭、再生能源發展及強化電網結構等議題，智慧電網的建置已成為現今不可抵擋及無法逆轉的趨勢。

我國政府為進一步推動節能減碳及打造綠能發展環境，已將智慧電網列入「國家節能減碳總計畫」標竿計畫之一，並以推動智慧電表基礎建設、規劃智慧電網及智慧電力服務為重點，透過資通信與自動化科技，建置「智慧化」的整合性電力網路，強調自動化、安全以及用戶端與供應端雙向互動配合，而非傳統電網的單向供電，期許未來能大幅提升電力系統運轉效率、供電品質與可靠度，並促進穩定再生能源的應用，以達到「確保穩定供電」、「促進節能減碳」、「提高綠能使用」並「引領低碳產業」四大目標。

為配合政府政策及提供民眾更優質的供電品質，配電系統除陸續於智慧型電表(AMI)、二次變電所智慧型電子裝置(IED)、配電饋線自動化系統(FDCS)、配電調度控制系統(DDCS)、新配電工程資訊系統(NDCIS)、配電圖資管理系統(DMMS)、停限電運轉圖資系統(OMS)、再生能源發電可併網容量查詢(REMQ)...等軟硬體投入建置外，更推出如時間電價、季節電價、需量競價、減少用電措施...等各項行銷與服務策略，未來仍將持續瞭解各項新穎電力技術，關注國際公共電力事業營運策略，以及追求各類資通訊科技

界面結合運用，提高電力資訊雲與行動維護應用，強化各項預知性維護，期與國際接軌，營建更穩定的智慧配電網及最友善的用電環境。

伍、參考文獻

[1] 盧展南、黃佳文，「台電建置低壓 AMI 前期佈

建系統技術顧問、驗證及成本效益評估」，台灣電力股份有限公司 103 年度研究計畫：TPC-546-100-4840-0001。

[2] 王耀村、蘇冠華，「台電在 IEC 61850 資通訊標準結合 DMS 之技術探討」，中華民國電機技師公會雜誌，第 174 期，2015 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



超臨界鍋爐技術介紹

The Introduction to the Supercritical Boiler Technology

莊宗達
Chuang, Tsung-Ta

王從樞
Wang, Tsung-Shu

郭慧玲
Kuo, Huei-Ling

摘 要

超臨界鍋爐自 1950 年代發展迄今已有 60 多年的歷史，由於初期機組的技術不夠成熟，且當時歐美各國的基載電力大多以核能發電形式為主，因此超臨界壓力的技術發展因而受限。由於近年超臨界壓力機組的技術已發展成熟，尤其金屬材料耐熱性的突破使得發電效率能進一步提升，使得超臨界鍋爐逐漸被歐美主要工業國家所青睞而列為重點發展對象。

依據台灣電力公司「林口更新擴建計畫」，本發電計畫所採用機組的主蒸汽及再熱蒸汽操作壓力、溫度分別為 25.38MPa/604°C、4.67MPa/602°C，此蒸汽條件分類為超超臨界鍋爐的運轉條件。在此次計畫中，考量到機組效率、運轉人力、建廠複雜性與困難度、起停機時間、汙染物的排放等因素，於是採取先建後拆的做法，達到全面更新的目的。本文以下將闡述全世界超臨界鍋爐之發展情形及本案規劃，並針對本發電計畫所採用超臨界鍋爐之一般設計特徵做技術之說明，最後於文末提出總結。

Abstract

It has been more than six decades since the initial introduction of supercritical boilers in the 1950s. In this beginning phase, the development of technologies related to supercritical pressure was very limited due to the immaturity in the relevant hardware and the predominant use of nuclear power as the base load across the U.S. and Europe at the time. In recent years, supercritical boilers have become the mainstream development for the power industry in developed economies thanks to their well-developed hardware-related technology and the breakthrough in heat resistance ability of metal materials.

According to “Linkou Power Plant Renewal and Expansion Project,” the Linkou project is designed to adopt the boilers with 25.38MPa and 4.67MPa for the operating pressure, and 604°C and 602°C for the temperatures of main steam and reheat steam respectively. Taking into account the consideration factors such as operational efficiency, operational manpower, construction complexity unit startup and shutdown time, and pollutant emissions, the project is planned to use ultra-supercritical boilers and adopt a construction strategy of “build, scrap and build.” This study first introduces the history of ultra-supercritical boilers across the world, then goes to the planning of the project, and finally describes the main technical features of the ultra-supercritical boilers in the project. An overall review is presented at the end of this paper.

*台灣電力公司水火力發電事業部林口發電廠

關鍵詞(Key Words)：貫流式鍋爐(Once-through Boilers)、燃煤(Coal-fired)、超(超)臨界鍋爐(Super(ultra-super) Critical Boilers)。

壹、前言

林口電廠商轉至今已有四十餘年，考量舊機組發電效率不佳，且國家用電量每年呈現上升趨勢，為維護供電安全，台電公司開始著手規畫林口電廠更新擴建計畫。林口電廠位於台灣北部，肩負著供應北部區域電力供應及供電品質重任，為解決北部供電量不足的問題，擬興建三座 800MW 之新機組，為台電公司轄下電廠首次採用超超臨界鍋爐之設計，開始邁向超超臨界鍋爐發展之新紀元。依據 EPRI 的定義，凡鍋爐裡的水吸熱後，液相水直接轉為乾度為 100%之飽和蒸汽，直接超越汽化的臨界壓力 22.064Mpa 與溫度 566°C 而成為過熱蒸汽設備，即為超臨界鍋爐。而鍋爐出口蒸汽溫度超過 593°C 以上，則被稱為超超臨界鍋爐(Ultra-super Critical Boiler)。

林口新建機組之設計為燃煤基載機組，其最大連續額定運轉下，主蒸汽壓力可達 25.38MPa(g)、額定主蒸汽溫度為 604°C 與再熱蒸汽溫度 602°C，發電效率為 44.9% (Gross, LHV)，較舊有次臨界壓力機組效率(38.44%)高出許多，而現今許多先進國家之燃煤機組也均為超臨界鍋爐，更甚者還有超超臨界鍋爐，由此可見超臨界鍋爐已成為目前燃煤電廠的發電主流，以下本文針對超臨界鍋爐作一簡單介紹，主要分為兩大部分，其一為林口新建機組的介紹，其二則對超臨界鍋爐的技術作一簡扼說明。

貳、全球超臨界鍋爐之發展情形

目前美國、日本及一些歐洲國家已經形成各具特色的三個技術流派，大致上可分為承襲美國 Babcock and Wilcox(B&W)公司設計特色、原美國 Combustion Engineering(CE)公司設計特色及美國

Foster Wheeler(FW)公司，其主要特徵如下^[1]：

一、**B&W 系統：**屬於此流派之設計廠商包括 **Babcock-日立(BHK)、Ansaldo Enegia、三井-Babcock(MBEL)**等公司。其特色為：

- (一) 採用歐洲本生式直流鍋爐和通用壓力鍋爐。
- (二) 採用前牆、後牆或對沖布置之旋流式燃燒器。
- (三) 過熱器溫及再熱器溫多採用煙道擋板或煙氣再迴圈調溫。

二、**CE 系統：**屬於此流派之設計廠商包括**三菱重工、Tosi**等公司，其特色為：

- (一) 採用 Sulzer 直流鍋爐和複合迴圈鍋爐。
- (二) 採用角置切向燃燒可調整直流燃燒器。
- (三) 過熱器溫採用注水調節、再熱器溫採用可調式燃燒器加微量注水調節。

三、**FW 系統：**屬於此流派之設計廠商包括 **IHI**公司，其特色為：

- (一) 採用 FW-Benson 直流鍋爐。
- (二) 採用前、後牆或對沖布置之旋流式燃燒器。
- (三) 採用輻射過熱器、爐膛內設置全高的牆式過熱器或雙面曝光的過熱器隔牆，用煙氣擋板調溫。

未來次世代慣常火力發電將為溫度 700°C、壓力 35MPa 以上等級的先進型超超臨界貫流式鍋爐(Advanced Ultra Super Critical Generator, A-USC)，藉由提高過熱、再熱溫度及壓力改善整個機組效率，其發電效率將高達 48%~50%(LHV)(如圖 1)，首當其衝為壓力件材料的發展。在特定溫度範圍內選用適當材質，可以降低壓力件之重量及提升抗潛變能力進而延長爐管壽命及降低成本，提升鍋爐之可靠率。其他改進則在整個發電製程上做變化，如朗肯再生再熱式(廢熱回收)、提高各輔機設備效率等手段。

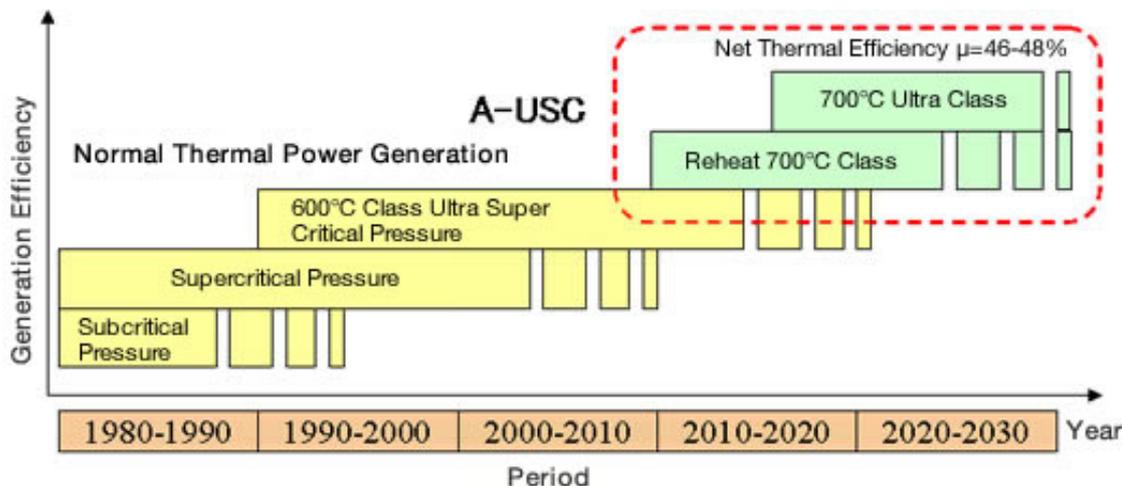


圖 1 700°C Class Advanced Ultra Super Critical Generator^[2]

在降低煙氣排放溫度方面，有鑒於未來機組之飼水溫度介於 280~300°C，為降低機組熱效率，不增加額外汽機抽汽，而直接由煙氣回收熱能。例如設置空氣預熱器旁通冷卻器和煙氣冷卻器直接將煙氣的熱能加熱飼水，進而將煙氣降低至 90°C，以利於機組後段靜電集塵器(ESP)及脫硫裝置(FGD)之運作。針對煙氣冷卻的部分，目前實際廣為運用的方式是作為通過 FGD 或 ESP 煙氣之冷卻-再熱器使用(如圖 2)，即循環動力式盤管系統(Run-and-Run Coil)。

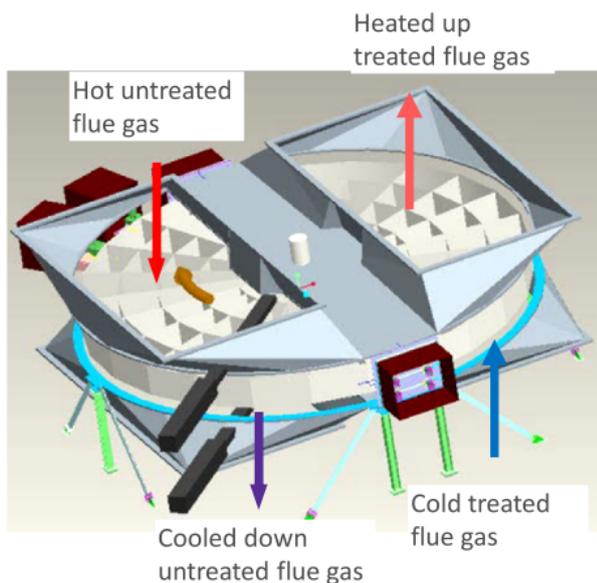


圖 2 海水脫硫系統的煙氣熱交換器示意圖^[3]

關於垂直式水牆管與螺旋式水牆管，兩種水牆管型態對鍋爐的整體性能而言究竟孰優孰

劣，至今尚未定論；不過垂直式水牆管低廉的製裝成本，卻始終吸引鍋爐製造廠家。根據西門子公司的研究報告指出近來所開發的垂直式水牆管，已經能夠以 20%的最小流量運轉而能有效保持鍋爐足夠且穩定的質量流率。這種設計不僅可以節約低載熱輸入，而且能夠降低製裝成本，其低載能力甚至超越安裝循環泵之貫流鍋爐。

在燃燒控制方面，燃燒診斷系統的導入可以即時分析燃燒的情況，利用特殊的攝影機對拍下火焰的光譜，再經由電腦進行光譜分析，即可計算焰溫及各種氣體的濃度，並分析燃燒過程(如圖 3)。其資料之準確較傳統以個別儀器收集煤、空氣量、煙氣量及各種成分的方式再以人工或類比的方式計算分析的結果既快又準確，故對燃燒器及粉煤機調整極有幫助，不但增加了燃燒效率且可以降低 NOx 的發生，於往後發展會將其併入燃燒器控制系統內。

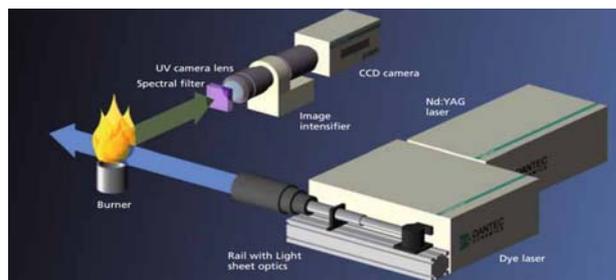


圖 3 Combustion diagnostics by laser-based imaging techniques^[1]

參、現今超臨界鍋爐之技術^[4]

超臨界壓力鍋爐與傳統次臨界壓力鍋爐最為明顯之相異技術如下：

一、無汽水鼓構造，飼水與蒸汽以貫流設計及運轉

二、垂直式水牆管與螺旋式水牆管

三、採用滑壓運轉

四、鍋爐材料選用考量

基於台電公司從未有超臨界機組之運轉經驗。本篇將著重於上述四點做說明：

一、貫流式鍋爐設計及運轉

由於在超臨界壓力的操作狀況下，飼水要完

全轉換成蒸汽的過程均在鍋爐水牆管內完成，其物理性質均會在此區域內連續及急遽改變，如：體積、溫度、壓縮性、比熱等，故原本具有調節及暫存液汽兩相的汽鼓便不再需要，但在換取機組發電高效率的同時，貫流式鍋爐必須注意以下事項：

(一) 水質要求嚴格

因為超臨界鍋爐需在鍋爐水牆管快速使液相轉變至汽相，因而採行小口徑水牆管、高質量流率設計，加上汽水流路結構並未設置汽水鼓可供汽水分離與不純物質之沖放，因此水質控管極為要求，而在飼水系統設計上須達無鹽分及設置高性能除氧設備(如表 1)。

表 1 超臨界與次臨界鍋爐水質差異^[2]

飼水水質			
導電度(25°C), $\mu\text{s}/\text{cm}$	汽鼓式(次臨界)	貫流式(超臨界)	
固體懸浮物		鹼性處理	複合水處理
pH 值(25°C)	≤ 0.3	≤ 0.2	
氧, ppb	Max 50	-	-
矽, ppb	8.8-9.2	Min 9.0	8.0-8.5
鐵, ppb	≤ 10	≤ 10	
銅, ppb	≤ 20	≤ 20	
硬度	≤ 10	≤ 10	

1. 消耗動力大

鍋爐操作壓力高，加上需要高質量流率，流體於鍋爐內爐管之壓力損失極大，需仰賴飼水泵供應足夠水頭以應對相關高程位能及管線壓力損失，且隨著蒸汽壓力提高而增加，因此泵浦消耗動力亦增大。

2. 鍋爐儀器精確度要求嚴格

燃燒控制不穩定時，可能導致過熱器進口之蒸汽溫度變化幅度過大，造成負載難以控制，故儀器之精確度要求較嚴格。

3. 停機後熱損快

因無汽水鼓儲水裝置，鍋爐水牆管內部爐水一旦洩水完畢，停機後冷卻較快，如要濕存，則需考慮如何維持爐水溫度。

二、水牆管構型之設計

貫流式鍋爐之受熱面是由許多並聯的爐管所構成，因此一旦燃燒不良將致使爐膛內部受熱不平均產生熱偏差現象，使得水牆管內流量不均，造成熱傳遞惡化發生過熱破管等問題。而流量分配不均大致可歸結於壓力件佈局、構造形式及工作流體壓力等因素。由上述因素的交互作用造成爐水動力不穩定，而實際上各水牆管的受熱情況與流量分配不可能均勻，其溫度分布亦同，因此在水牆管構型之設計盡可能抑制影響機組運轉之情況發生(如圖 4)。

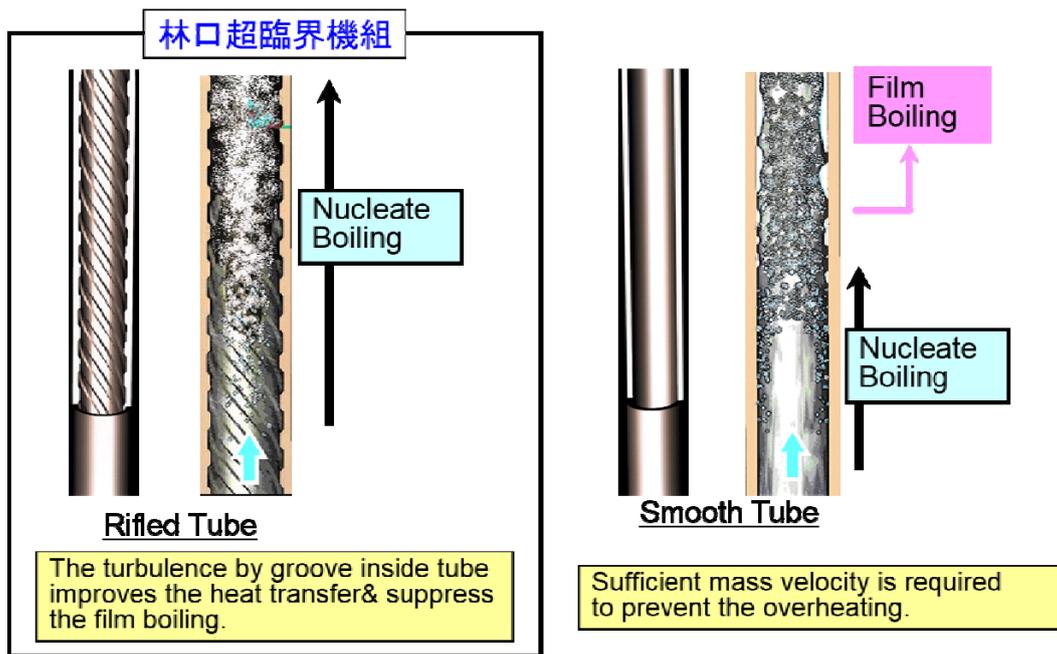


圖 4 垂直式萊福線管設計避免產生膜態沸騰之現象^[2]

為防止上述情況發生，提高水動力系統穩定度最好之方式為提高管內質量流率，不僅可增加穩定度且能有效抑制管內汽泡之產生，減少管內局部阻力。在提高質量流率同時，若於水牆管進口處對飼水進行節流，可使熱水段之流動阻力增加，對整個水牆管內穩定性有所幫助。在早期 Sulzer 鍋爐均於水牆管進口處裝設節流閥，並由水牆管出口處之壓力傳送器傳回鍋爐控制器來決定節流量，但目前大部分廠家均改以流孔板 (Orifice) 來取代，其主要根據爐膛內熱通量分佈來調整飼水流量，達到水牆管溫度分佈均勻的目的。

超臨界壓力螺旋管排常用之傾斜角度為 15°~25°，隨著設計容量之增大，所使用之傾斜角度亦增加。其在超臨界貫流式鍋爐之佈局，一般自飼水從省煤器出口進入爐膛前，先進入爐底環狀集管，再經由內含流孔板之歧管流入螺旋管排式水牆管。但是螺旋式水牆管因構造較為複雜，不論在預裝及吊裝銲接，相較於垂直式水牆管均極具難度且造價較為高，且螺旋式水牆管所需之飼水泵動力也較垂直式水牆管大，以及採用切線式燃燒系統在螺旋式水牆管安裝上亦有難度，因此

不少廠家也回頭重新設計並考量如何改善傳統垂直式水牆管之構型(如圖 5)。為了改善傳統垂直式水牆管存在水動力不穩定及受熱不均勻的問題，以小口徑爐管配合流孔板提升質量流率增加其穩定性，加上配置中間段集管改善受熱不均問題，光滑管內增加膛線以增加管內紊流強度提升熱傳效果等改善措施，此改良垂直式水牆管稱為垂直式萊福線水牆管。由於螺旋式水牆管及垂直式萊福線水牆管各有其優缺點(如表 2)，故各廠家會依自家鍋爐設計特性來選擇水牆管佈置方式。

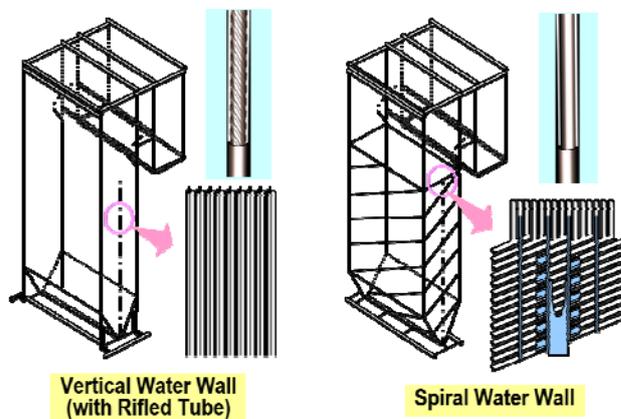


圖 5 垂直式萊福線水牆管與螺旋水牆管之比較^[2]

表 2 垂直式萊福線水牆管與螺旋式水牆管比較表

水牆管型式	垂直式萊福線水牆管	螺旋式水牆管
優缺點比較	<ul style="list-style-type: none"> ● 簡單、易於製造及吊裝 ● 施工時間短 ● 施工銲口少、製裝公差容易維持 ● 鍋爐背撐構造簡單 ● 易於維修保養 ● 採用膛線管、製造費時 適合單邊、對牆或切線燃燒器安裝	<ul style="list-style-type: none"> ● 較複雜、製造吊裝較困難 ● 施工時間長 ● 施工銲口多、製裝公差不易維持 ● 鍋爐背撐構造複雜 ● 維修保養複雜 ● 採用光滑管、製造容易 選用單邊、對牆燃燒器較佳
水力及熱力特性	<ul style="list-style-type: none"> ● 汽水側壓降小 ● 利用流孔板控制流量使其均溫 	<ul style="list-style-type: none"> ● 汽水側壓降大 ● 每根螺旋管均圍繞爐體位置，受熱均勻
灰渣去除能力	● 較佳	● 較差
泵浦動力消耗	來自垂直式萊福線管及進口流孔板	來自螺旋管及進口流孔板

三、滑壓運轉範圍

超臨界機組可以採用定壓及滑壓運轉等兩種方式，雖然在實際操作上可以同時兩種混用，但本質上仍有若干不同。

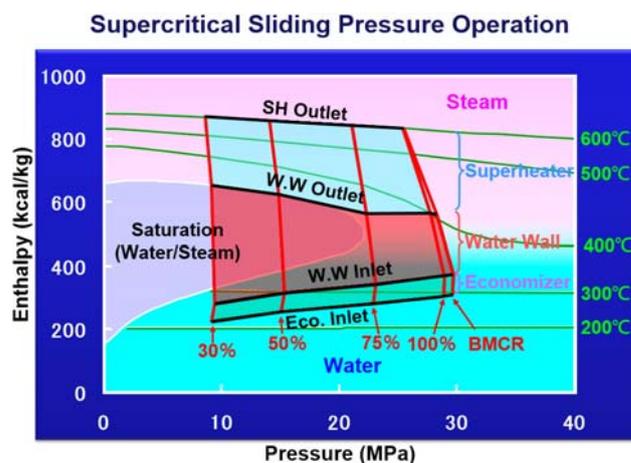
主要發電負載變化在於發電機組之定位，如是長時間已接近滿載容量輸出則以汽機控制閥作為節流控制來調整機組出力；如是調度性質則著重於快速升降載之性能。一般定壓運轉之機組在啟動與停機時整體來說效率較低，同時藉由汽機控制閥做節流會造成熱應力產生，引起壓力件與汽機高壓段部件金屬疲勞與脆裂。

採用滑壓方式運轉之機組，其節流閥保持 90%~100% 開度狀態，將負載控制改由鍋爐燃燒率、飼水流量及蒸汽壓力控制，使其變化與負載同步，不僅改善機組於部分負載時之效率，同時亦改善機組升降載速率。其優點有：

- (一) 改善全廠熱耗率。
- (二) 在低負載與啟動期間，操作較低之蒸汽壓力所引起熱應力較低。
- (三) 控制再熱蒸汽溫度範圍較大：汽機高壓段出口溫度於低負載時會提高，因此再熱蒸汽溫度可以於相當大之負載範圍內保持定值。
- (四) 低負載時操作壓力降低，有助於機組壽命延長。
- (五) 鍋爐與汽機各輔機用電量可減少。

不過在實際狀況下，大多以複合定壓

及滑壓方式運轉。由於滑壓運轉模式下，汽機進汽閥開度保持不變，於接近全載狀況下操作。若要隨負載變化調整機組出力，則必須要改變汽機進口壓力(即鍋爐出口蒸汽壓力)，其在滑壓-定壓運轉切換範圍考量可參考圖 6。

圖 6 滑壓運轉範圍^[2]

四、鍋爐材料選用^[5]

目前世界各廠均以提高溫度(蒸汽溫度上升 25°C，熱耗率可減少 1.25%)，再調壓力作為提升機組性能之手段，然而合金鋼材質組成與提升鍋爐操作溫度密切相關，故材料選用是影響機組設計及運轉關鍵因素之一。

常見之汽力機組鍋爐鋼材，主要採用沃斯田鐵系與肥粒鐵系兩大類。1960 年代選用之超臨界機組材料大多為沃斯田鐵系不鏽鋼，但在製造與

運轉中發現一系列問題，如設計壁厚較厚造成較大熱應力與疲勞損傷。另外 18%Cr-8%Ni 之 TP304H 材料之應力腐蝕敏感性高，其火側高溫腐蝕與汽側蒸汽氧化有運轉上之隱憂(如圖 7)，更甚者還有肥粒鐵系與沃斯田鐵系異種金屬銲接處破壞問題。



圖 7 爐管蒸汽側氧化

在傳統 Cr-Mo 耐熱鋼之基礎上，透過添加 V、Mo、Nb 等合金元素可以使材料耐性提高至 60MPa、600°C 程度，此規格合金鋼稱為第一代改良鋼種。如 T22 之抗潛變強度為 35MPa，但第一代改良鋼種之 T23 在 500°C~625°C 範圍內其抗潛變強度為 80MPa。不久之後第二代改良鋼種代表 ASME T91/P91/F91 誕生，其針對 9%Cr-1%Mo 鋼種添加 V 和 Nb。當其獲得 ASME 批准認可後，在世界各地迅速推廣應用，並在 625°C~650°C 條件下取代部分沃斯田鐵系鋼材。而後便在 9%~12%Cr 鋼種開發出第三代新型肥粒鐵系耐熱鋼，主要是減少 Mo 而增加 W，此階段鋼種稱為鎢強化鋼，代表性鋼種為 T92/P92 或 T122/P122，而目前正在開發中第四代改良鋼種為鈷強化鋼，透過添加 Co 使其在更高溫度範圍下增加抗潛變強度。另外目前世界超臨界鍋爐材料選用趨勢，在 600°C 以下盡量不使用沃斯田鐵系鋼種，例如過熱器段常被選用之 TP347HFG 或 TP304CuCbN 等，以防爐管抗氧化性不足。

肆、林口超超臨界鍋爐簡介

林口電廠新機組為超超臨界、燃煤貫流式鍋爐，並利用輕油作為啟動的燃料，其製造廠家為三菱重工。三菱垂直式水牆管的優點為水牆管出口溫度分佈均勻(包括後牆的懸吊管)，利用流孔板(Orifice)調整水牆管的入口流量，來達成水牆管出口溫度均勻分佈的目的。垂直式萊福線管 (Vertical water wall with Rifled tube) 結合流孔板 (Orifice) 設計，並經由三菱研發之超臨界滑壓鍋爐以及許多汽鼓式鍋爐的驗證，可以有效防止破管。

三菱鍋爐的主要特色有以下幾點：

- 一、三菱環狀超燃燒(Circular Ultra Firing, CUF) 允許低過量空氣的燃燒，並均勻地將熱釋放給水牆管表面(參考表 3 環狀超燃燒與四角燃燒之比較)。
- 二、採用超臨界貫流式滑壓鍋爐搭配垂直式水牆管之設計，來達到調控壓力的目的。
- 三、水牆管採用垂直萊福線管之設計，可降低膜沸騰之情形發生，且具有施工方便及維護容易等優點。

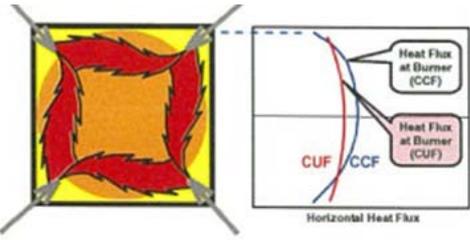
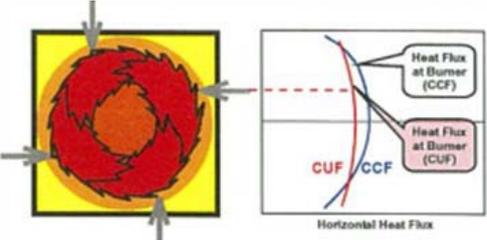
此鍋爐在鍋爐最大連續蒸汽量(BMCR)的條件下，可以產生溫度 604 °C 與壓力 25.38 MPa(g) 的蒸汽，並經由兩條主蒸汽管輸往高壓汽機。鍋爐從冷再熱蒸汽管(Cold Reheat Line, CR Line)接收從高壓汽機排出的蒸汽，將蒸汽再度加熱至 602 °C 後，經由熱再熱蒸汽管(Hot Reheat Line, HR Line)輸送至中壓汽機做功。

由於貫流式鍋爐沒有類似汽鼓式鍋爐的循環系統，水會先進入位於爐膛底部的爐膛水牆管入口集管箱，然後通過水牆管，水在水牆管中吸收爐膛火焰的熱量，變成蒸汽。為了避免水牆管過熱，飼水必須持續不間斷地送入水牆管中，飼水的最小流量必須維持在 25% 負載時的飼水量。在啟動的期間，帶有水的蒸汽從水牆管出口切線進入汽水分離器(Water Separator, WS)進行水與蒸汽的分離。分離後的水與蒸汽，水會往

下流到汽水分離器洩水槽(Water Separator Drain Tank, WSDT)，蒸汽則往上流向過熱器。汽水分離器洩水槽的水，會經由鍋爐循環泵(Boiler

Circulation Pump, BCP)回到省煤器入口進行循環，而不是直接流往冷凝器，減少了熱能的損失。

表 3 環狀超燃燒與四角燃燒之比較^[2]

燃燒系統	Circular Corner Firing (CCF) 爐體四角燃燒	Circular Ultra Firing (CUF) 環狀超燃燒
燃燒器排列方式與 燃燒形式		
燃燒效率	比較基準	相同
爐內結渣	比較基準	較少(適當、均勻且無高溫峰值的燃燒)
熱吸收	比較基準	較均勻
Nox 排放	比較基準	相同
點火與燃燒	比較基準	稍好(在燃燒器具有高热通量)
蒸汽溫度控制	比較基準	相同

在鍋爐的啟動期間，需要持續有 25%負載的流量通過省煤器以及水牆管，其中 5%負載的流量由鍋爐飼水泵(Boiler Feed Pump, BFP)提供，20% 負載流量由鍋爐循環泵提供。鍋爐循環泵是藉由抽取汽水分離器洩水槽的水來提供這 20%

負載的流量。在產生蒸汽之後，根據汽水分離器洩水槽的水位，會有超過 5%負載的流量經由汽水分離器水位控制閥(WSDT Level Control Valve)排至冷凝器，這一種在超臨界鍋爐的操作模式，稱為濕模式操作(Wet Mode Operation)，如圖 8。

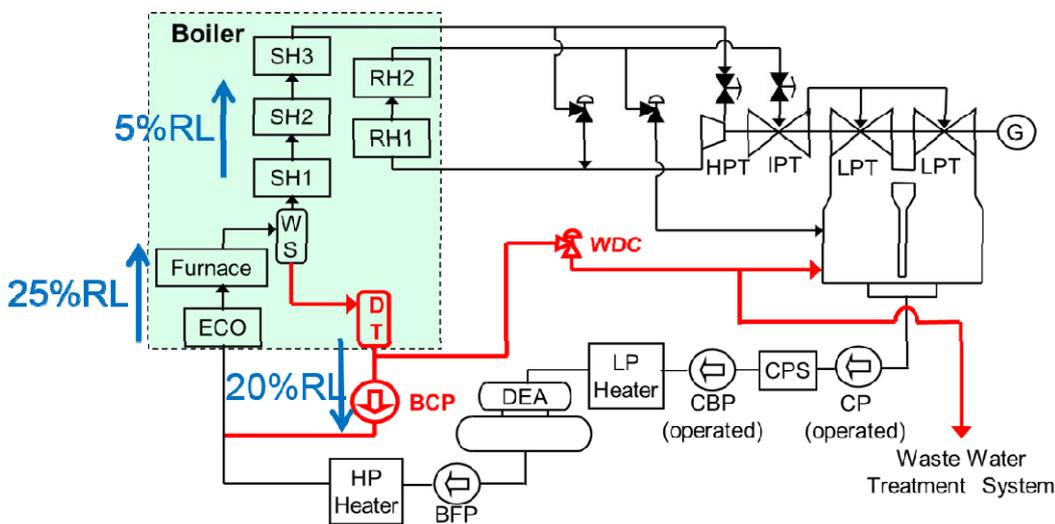


圖 8 濕模式操作(Wet Mode Operation)^[3]

當燃燒率進一步增加時，水牆管的出口溫度也會增加，並且產生更多的蒸汽，供給汽機啟動。當蒸汽的產生量增加，通過鍋爐循環泵的再循環流量會減少，而通過鍋爐飼水泵的流量會增加，但兩者合計的總流量仍維持在 25% 負載流量。當汽機開始併聯並持續升載時，水牆管的出口溫度會隨著燃燒率增加而進一步增加，之後達到乾蒸汽的狀態。此時汽水分离器只會接收到乾蒸汽，且蒸汽會直接進入過熱器中，這一種在超臨界鍋爐的操作模式，稱為乾模式操作，最後，鍋爐循環泵以及分离器洩水系統會轉換成閒置狀態。

上述的乾/濕態轉換，具有兩種操作型式，並由「鍋爐蒸汽流量(Boiler Steam Flow)／鍋爐最小飼水流量(Boiler Minimum Feed Water Flow)」作為區分的界線。當鍋爐蒸汽流量小於鍋爐最小飼水流量，稱為「濕模式操作(Wet Operation)」。當鍋爐蒸汽流量大於鍋爐最小飼水流量，稱為「乾模式操作(Dry Operation)」。濕模式操作如同是汽鼓式鍋爐，因此根據不同的操作模式應該要設計不同的操作方法。

為了維持所需要的蒸汽溫度，需要調整飼水流量，而飼水流量為變化鍋爐負載及燃料的基礎。基本上，鍋爐飼水量的變化首先是根據負載變動的命令訊號與燃料變化，以維持飼水與燃料的比率。鍋爐有提供其他的控制系統來微調過熱蒸汽的溫度(如圖 9)，如噴水減溫器控制系統，提供給過熱器噴水減溫器的水則來自於省煤器的出口。

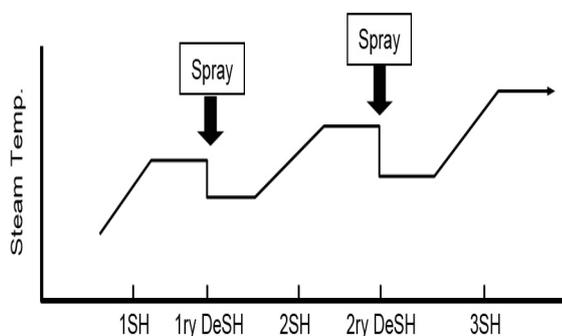


圖 9 利用噴水減溫控制主蒸汽溫度

爐膛水牆管分成上半部與下半部(鍋爐結構如圖 10，規範詳表 4)。水牆管中的爐水，會藉由燃燒器區域的輻射熱加熱，並在歧管內混合，以降低各水牆管的溫度差異。在爐膛中的每一高程提供 4 組燃燒器，總共有六個不同高程的煤燃燒器以及 3 個不同高程的輕油燃燒器。輕油燃燒器位於兩個煤燃燒器的中間，主要用於啟動與停機的時候以及在不穩定的鍋爐操作條件下，穩定煤燃燒器的燃燒。每一個機組中，總共有 24 支煤燃燒器與 12 支輕油燃燒器。煤燃燒器的排列方式為同一個高程下有四支煤燃燒器，相同高程的煤燃燒器煤粉來自同一台粉煤機，而不同高程的煤燃燒器則對應各自的粉煤機。電廠正式運轉後須注意的地方為，爐膛尺寸、燃燒器、輔助空氣口之配置均依據設計廠家提供之性能煤質所設計，故日後拌煤混燒時須注意此點，以避免機組運轉時發生鍋爐設備故障情事，影響電廠運轉安全。

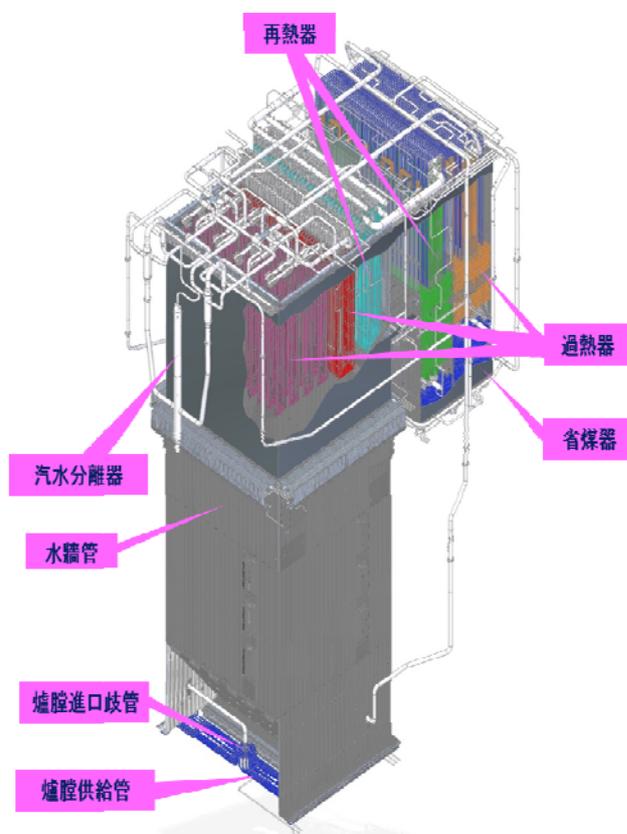


圖 10 林口超超臨界鍋爐本體結構^[2]

表 4 林口超超臨界鍋爐規範^[2]

項目		規格
鍋爐型式		超超臨界、滑壓操作、貫流式、輻射再熱型
主蒸汽流量 (BMCR)		2,404.061 t/hr (噸/小時)
主蒸汽壓力 (BMCR)		25.38 Mpa(g) (三次過熱器出口)
主蒸汽溫度 (BMCR)		604 °C (三次過熱器出口)
省煤器入口溫度 (BMCR)		265.4 °C
再熱器出口蒸汽壓力 (BMCR)		4.67 Mpa(g)
再熱器蒸汽溫度 (BMCR)		602 °C (二次再熱器出口)
過剩空氣量 (BMCR)		18% 之內
設計壓力	過熱器	26.7 Mpa(g) (末段過熱器出口)
	再熱器	5.7Mpa(g) (最終再熱器出口)
設計溫度	過熱器	612 °C (末段過熱器出口)
	再熱器	610 °C (最終再熱器出口)
通風系統		平衡式通風
環境溫度	平均值	32 °C
	最大值	38.3 °C
乾溼態操作轉換點		負載約 25%
燃料種類		煤 (在啟動與支援時使用輕油)

伍、結論與建議

台電公司現行之燃煤汽力機組於日後均會升級為超(超)臨界燃煤汽力機組，新一代的發電機組，除了能源使用效率有顯著的提升外，在減少 CO₂ 排放方面亦具相當之成效，新機組 CO₂ 排放係數約為 789 公克/度，遠遠低於現行台電燃煤機組的 926 公克/度(2015 年統計)，達到節能減碳目的。由於林口電廠為台電公司第一座採行超超臨界機組的電廠，因此穩定可靠運轉、發電成本降低、增加機組效率及減低維護營運費用為林口電廠必定的目標，有了這一次更新經驗，台電公司其他燃煤電廠由亞臨界機組進入高效率超臨界燃煤汽力機組會進行得更加順利。由於機組運轉壓力及溫度的大幅提升，維護及運轉情

形跟以往維護經驗會有所不同，且公司人員面臨技術斷層的問題，因此加強公司內部人員的教育訓練及維護、運轉經驗的重新建立將為當務之急。下一代先進型超超臨界貫流鍋爐(A-USC) 機組，就算較現階段次臨界機組的發電效率提升超過 20%(亦即 CO₂ 排放減少超過 20%)，發電效率雖可達 50%，惟其 CO₂ 排放強度，仍然超過 600 公克/度，無法符合巴黎峰會要求之最新 CO₂ 排放標準，因此，未來燃煤慣常火力機組裝置 CO₂ 捕捉系統(CCS)，似乎有其必要性。往後超臨界機組效率的大幅提升，應可相當程度平衡裝置 CCS 所增加的費用與大量的用電需求，在不久的將來使發電成本降至可接受的範圍，應該是可以期待。總而言之，未來超臨界機組搭配 CCS 系統應為燃煤慣常火力發電的發展趨勢，藉由 CCS 系統捕捉電廠發電所製造出的大量 CO₂ 封存於

地底之中，避免地球遭受氣候暖化之衝擊，以達成人類與地球永續共存之願景。

陸、參考文獻

- [1] IEA, “Power Generation from Coal- Measuring and Reporting Efficiency Performance and CO2 Emissions,” 2010.
- [2] MHI, Oversea training, Taipower company, 2013.
- [3] CTCI, 更新擴建計畫規範，林口發電廠，2014 年。
- [4] 林口電廠更新擴建計畫主廠區技術服務專案，核火工處，2006 年。
- [5] Application of Well-Engineered Weld Repairs for Grade 91 Steel and other CSEF Steels, EPRI Supplemental Program 87, 2015.

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



二氧化碳地質封存先導場址地質調查及技術研發現況

Current Status of Pilot Site Investigation and Technical Development
of Taipower Carbon Storage Project

焦中輝*
Chiao, Chung-Hui

黃連通*
Hwang, Lian-Tong

楊萬慧*
Yang, Wan-Huei

李宗德*
Lee, Tzong-Te

黃凱旋*
Huang, Kai-Hsuen

俞旗文**
Yu, Chi-Wen

摘要

為配合國家政策達成節能減碳及永續發展之最終目標，台灣電力公司於 2007 年度起，即成立專案，分段規劃辦理與二氧化碳捕獲與封存(CCS 或碳捕獲與封存)相關的計畫發展道路圖，期於政府所設定減碳各目標年，能漸進推動達到先導、示範、商業尺度的 CCS 發展，將燃煤火力電廠過度排放的二氧化碳捕獲後，加以安全封存至地下適當地質儲層，以因應國家減碳目標需求，並為緩解全球暖化盡一份心力。台電公司於 2008 年度起所實際推動於碳封存方面的研發計畫中，目前已陸續完成包括全台目標儲層地質資料庫之建置，與候選場址評選計畫；並於 2009 年提出以台西盆地南側深部鹽水層(地下 2000m~3000m 深砂岩地層)作為地質封存空間，此處封存的空間所具潛在可封存量至少約達四十億噸以上，研判應可滿足未來台電長期力行 CCS 減碳技術的地質可行性。於 2009 年後續的研發規劃工作，著重於以先導試驗來驗證目標封存空間的地層可注性與地質安全性。目前規劃於利用台電彰工電廠預定地作為進行先導試驗計畫之地表優選場址，擬透過先導試驗少量的二氧化碳注入，並於試驗場址透過深鑽井，以各種量測、監測技術，來進行驗證。截至 2014 年，先導試驗計畫前期已辦理 TPCS-M1 井(以下簡稱 M-1 井)之先導深鑽，透過深鑽探查確認目標層層序與各層頂部高程與厚度，並取得岩心進行分析試驗，初步成果用於評估確認台西盆地南側內的深部含鹽水地層，作為地質封存的永久貯留層的合適性。若場址下方目標地層經地質查證研究確屬可行，後續將繼續規劃利用本場址進一步辦理注入二氧化碳於目標層之先導試驗技術與驗證方法，俾以做為後續繼續推動台電碳捕獲與地質封存技術商業尺度發展之基石。本文旨在彙報既有 TPCS-M1 井深鑽成果，並檢討先導試驗場址地質調查及技術研發現況。

Abstract

In line with the national policy of achieving the ultimate goal of carbon reduction and sustainable development, Taipower launched in 2007 a plan for the carbon capture and storage (CCS) project, in which a comprehensive road map is set up covering the step-by-step developments of pilot, demonstration and commercial scale CCS, respectively. By this way, the carbon dioxide emissions from coal-fired power plants will be captured and sequestered into

*台灣電力公司營建處

**財團法人中興工程顧問社大地工程研究中心

safe underground geological reservoirs for storage, making a contribution in alleviating global warming. Up to now, Taipower has promoted carbon sequestration research in an aggressive way, and has completed the following work items: (1) selecting island-wide target reservoir geological candidate repositories, and (2) screening preferred sites for the upcoming test project. In 2009, a deep saline aquifer (2000m ~ 3000m deep underground sandstone formations) adjacent to south flank of Taihsi Basin was elected to be a good geological storage site, where the potentially available carbon storage capacity was estimated to be at least about four billion tons (4 Gt-CO₂) or more. This capacity is expected to be able to meet the future long-term requirement for Tai-power CCS development. The follow-up research in 2010, a pilot test to inject a small amount of carbon dioxide in the preferred site, was proposed; and then in this starting phase (Phase-1) a pilot 3000m deep drilling TPCS-M1 (hereinafter referred to as M-1 wells) was concurrently launched. This drilling work obtained 1397m cores and many tests and analysis were conducted. This work has confirmed the suitability of the selected aquifer as a site for permanent geological storage. If more geological data confirm that the site is feasible, subsequent undertakings (Phase-2) will be carried out for a pilot test, which includes one injection well and two monitoring wells. It is expected that a technology verification can be reached through the pilot test, and a CCS technology foundation can be made ready for developing demonstration and commercial scale projects. This article aims to report the integration of TPCS-M1 drilling results with other investigation data, and address current geological survey progress and Taipower technology development status.

關鍵詞(Key Words)：碳捕獲與封存(Carbon Capture and Storage)、深部鹽水層(Deep Saline Aquifer)、深鑽井(TPCS-M1)、地層可注性(Formation Injectivity)、封存安全性(Storage Safety)、先導試驗(Pilot Test)。

壹、前言

為配合國家政策達成節能減碳及永續發展之最終目標，台灣電力公司(以下簡稱台電)於 2007 年度起，即成立專案，分段規劃辦理與二氧化碳捕獲與封存(CCS 或碳捕獲與封存)相關的計畫發展，並設定發展道路圖。

此後，台電於 2008 年度推動辦理(1)「二氧化碳地下封存地質資料庫建置與候選場址評選計畫^[1, 2]」，作為台電力行減碳技術研發之第一階段工作，其成果除已建立候選場址二氧化碳儲存量評估方法，擬定封存場址評選條件之準則，並

於 2009 年計畫成果^[1]中提出以台電彰工電廠預定地為進行先導試驗計畫之優選場址建議。

承接上述工作之研究成果，台電續於 2010 年度起推動後續發展配套工作，針對優選場址辦理包括(2)「二氧化碳地質封存試驗場址調查規劃與研究^[3, 4, 5]」與(3)「二氧化碳地質封存二相流試驗設備之建立與功能驗證^[6]」兩項研究工作，以持續精進二氧化碳地質封存技術，落實後續先導型試驗計畫，逐步建立我國自有之地質封存關鍵技術，以配合國家政策達成節能減碳及永續發展之最終目標。推動二氧化碳地質封存計畫階段性成果，彙整如表 1 所示。

上述(2)階段利用中尺度反射震測探勘方

法，已初步測得台電彰工電廠預定地下方，台西盆地南側地質區內，上新世至更新世地層的大致地質層序與結構，確認其目標地層位態大致為水平，並略向東北方傾斜，傾角未超過 5 度；場址調查結果並初步確認目標地層內無斷層存在跡象，且區域地震活動性極低。經整合評估現有已知各項實測與地質文獻資料，以及綜合盱衡場址客觀條件，以彰工電廠預定地作為先導試驗場址，進行後續地質封存發展所需的工作規劃，應具高度可行性；惟場址下方目標儲層(桂竹林層)與蓋層(錦水頁岩)之頂部與底部高程，以及目標層實際厚度，仍需更多直接資料方能予以確認。

職是之故，台電乃於 2010 年度起，推動接

續計畫(4)「二氧化碳地質封存先導試驗場址地質調查及技術研發(一) [7, 8]」，旨在辦理 TPCS-M1 井(以下簡稱 M-1 井)深鑽，並透過深鑽探查確認目標層層序與各層頂部高程與厚度，並取得岩心進行分析試驗，初步成果用於評估確認台西盆地南側內的深部含鹽水地層，作為地質封存的永久貯留層的合適性。若場址地質經查證研究確認可行，後續將可繼續規劃利用本場址檢討進一步辦理 CO₂ 先導注入試驗之技術驗證方法，俾以做為後續繼續推動台電碳捕獲與地質封存 CCS 技術發展之基石。圖 1 所示為台電先導型試驗計畫發展道路圖。

表 1 台電推動二氧化碳地質封存計畫階段性成果

台電推動計畫名稱	起	迄	已達成目標
(1) 二氧化碳地下封存地質資料庫建置與候選場址評選計畫 ^[1, 2]	2008.7	2009.6	<ul style="list-style-type: none"> ● 封存場址篩選條件準則 ● 地質封存場址條件評估 ● 建置各候選場址 GIS 地質資料庫 ● 各候選場址有效封存量估算 ● 各候選封存場址 AHP 評選排序 ● 評選優先候選儲層：台西盆地(桂竹林層 14.56~45.18 億噸) ● 國際先導試驗案例蒐集
(2) 二氧化碳地質封存試驗場址調查規劃與研究 ^[3, 4, 5]	2010.3	2011.6	<ul style="list-style-type: none"> ● 試驗場址：彰工電廠預定地 ● 震測確認大致地質層序結構 ● 探查井鑽探深度探討 ● 有效封存量再估算(桂竹林層 39.8~56.7 億噸) ● 場址碳移棲特性、地層穩定性研究 ● 現地環境背景值監測、地質風險評估 ● 先導場址灌注試驗工作規劃
(3) 二氧化碳地質封存二相流試驗設備之建立與功能驗證 ^[6]	2010.6	2011.8	<ul style="list-style-type: none"> ● 相對滲透率參數求取研究 ● 二相流試驗設備建立 ● 設備功能驗證(信、效度)
(4) 二氧化碳地質封存先導試驗場址地質調查及技術研發(一) ^[7, 8]	2011.10	2014.4	<ul style="list-style-type: none"> ● 深鑽場址：彰工(崙尾區)電廠預定地 ● 完成 TPCS-M1 探查井 3000m 深鑽 ● 完成下段(1505~3005mRT)取心 1379m；(岩心回收率 92%) ● 盆地儲層有效封存量再估算(三處儲層) <ul style="list-style-type: none"> ■ R1: 49.3 億噸(卓蘭層) ■ R2: 62.7 億噸(桂竹林、觀音山層) ■ R3: 25.3 億噸(北寮層) ● 儲層可注性初步評估(R1~R3 儲層) ● 蓋層完整性初步評估(異質性參數) ● 盆地尺度封存安全與風險評析 ● 現地環境背景值監測



圖 1 台電先導型試驗計畫發展道路圖

貳、TPCS-M1 井深鑽計畫

一、深鑽計畫執行成果

本案於彰工(崙尾區)電廠預定地成功進行 M-1 井 3000m 泥漿工法深鑽與取心，為民間(豐宇鑽探)自力所完成，具有指標意義，並創下國內歷來連續取心最深紀錄。M-1 井施作現地概況如圖 2 所示，主井自 2012 年 7 月 25 日開始鑽掘，2013 年 11 月 14 日鑽達深度 3,000 公尺。井下 1500~ 3,000mRT 區間，以鋼索取心方式提取岩心。在經歷 677 岩心管取心回次(Run)後，共回收總長度約 1,379 公尺的岩心，平均提取率約為 92%^[9]。除取樣代表性岩心用於分析、試驗外，其餘岩心裝箱後(共 500 箱)，依合約規範進行長期處置。

圖 3 所示為 M-1 主井之完井構造圖。現地鑽取所有岩心，由台大陳文山教授協助進行岩性研判紀錄其沉積特性，並逐段進行岩心影像掃描與

物性掃描。適用岩樣則後送各相關試驗室用於全岩分析、二相流與水力傳導相關試驗，及岩石力學試驗。其中超微化石分析結果彙整後用於協助研判目標地層的層序特性以供修正精進地質模型之用。



圖 2 彰工(崙尾區)電廠預定地 M-1 井場

表 2 與表 3 所示分別為 M-1 井目標層分層鑽探「頂部高程」、「厚度」成果，本案目標層分層資料，目前暫採中油探採研究所協助本案依據超微化石分析(NN 時間層序)所研析建立之分層

建議，如兩表之最右欄位所示者^[7, 8]。M-1 井所有岩心分析、岩心試驗資料，可充分應用於評估建立地質模型中各目標層水文與力學特性參數，供總封存量估計、移棲情境數值模擬分析與風險評估之需。

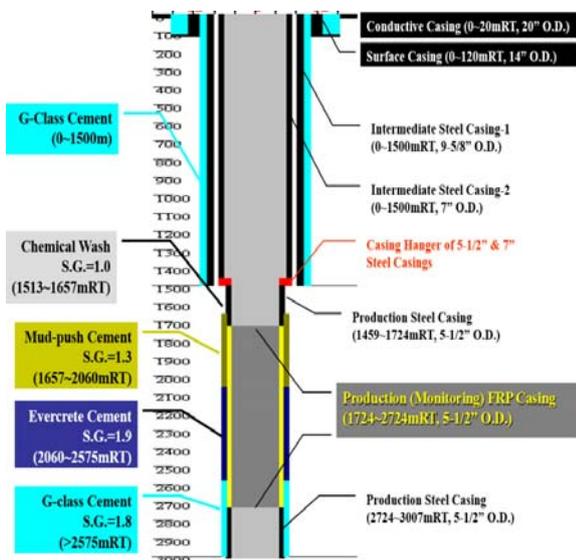


圖 3 M-1 主井完井構造圖

表 2 目標層分層頂部高程鑽探成果(M-1 井)

井下目標地層	鑽探前預估		鑽探過程預估		鑽探完成預估	
	(中大王乾蘆)	(台大陳文山)	(中油探探所)	(台大陳文山)	(中油探探所)	
	井深(m, from)					
頭崙山層 (TKS)	0	NA	841	NA	841	
卓蘭層(CL)	1500	1,507	1717	1505	1717	
錦水頁岩(CS)	2400	2,323.60	2,135.00	2020.8	2,135.00	
魚藤坪砂岩(U. KCL)	2500	2,397.60	2,295.00	2397.5	2,295.00	
十六份頁岩(S)	缺失	2,423.70	缺失	2423.6	缺失	
關刀山砂岩(KDS)	缺失	缺失	缺失	缺失	缺失	
上福基砂岩(SFC)	缺失	缺失	缺失	缺失	缺失	
東坑層(DK)	缺失	2,445.50	缺失	2,445.50	缺失	
觀音山砂岩(KYS)	2650	2,472.20	2,450.00	2,472.20	2,450.00	
打鹿頁岩(DL)	2750	2,568.80	2,577.00	2568.7	2,608.00	
北寮砂岩(PL)	2900	2,861.40	2,861.40	2843.6	2,800.00	

表 3 目標層分層厚度鑽探成果(M-1 井)

井下目標地層	鑽探前預估		鑽探過程預估		鑽探完成預估	
	(中大王乾蘆)	(台大陳文山)	(中油探探所)	(台大陳文山)	(中油探探所)	
	厚度(m)	厚度(m)	厚度(m)	厚度(m)	厚度(m)	
頭崙山層	NA	NA	876	NA	876	
卓蘭層	900	817	418	516	418	
錦水頁岩	100	74	160	377	160	
魚藤坪砂岩	150	26	155	26	155	
十六份頁岩	缺失	22	缺失	22	缺失	
關刀山砂岩	缺失	缺失	缺失	缺失	缺失	
上福基砂岩	缺失	缺失	缺失	缺失	缺失	
東坑層	缺失	27	缺失	27	缺失	
觀音山砂岩	100	97	127	97	158	
打鹿頁岩	150	293	284	275	192	
北寮砂岩	105	144	144	161	205	

二、地質模型查證與目標貯留層評估

透過深鑽探查取得初步目標層分層與岩心試驗分析成果，計畫(4)針對台西盆地南側內的深部含鹽水地層，進行進一步地質查證工作，以評估確認其作為台電地質封存的永久貯留層的合適性。

計畫(4)完成報告已歸納以砂岩次層為主要優先可注入次層之區段，作為候選儲集區劃分與目標灌入區間評比之根據，劃分成果詳表 4 所示，表中顯示三處候選儲集區 (Reservoir-I, Reservoir-II, Reservoir-III)與區內各優先可注入次層之區段之深度與層位資料。完成報告中，並透過初步數值模擬分析檢核，以評估盆地尺度封存安全與風險，圖 4 所示為候選儲集區內各優先可注入次層注儲情境初步模擬成果。注儲情境為單井，每一候選儲集區年注入二氧化碳量為一百萬噸，注入期為 20 年，監測期 500 年。圖中假設各注入次層為均質，地層側向展延為連續無尖滅(Pinch-out)。三處儲層注入碳流所顯示的空間移動範圍，經 520 年(注入 20 年加觀測 500 年)後最大移行距離向西約 3~5 公里間，由於地層傾角向東，向東移行距離大約僅約 1 公里左右。

經詳細檢視儲層(貯留層) 可注性與蓋層(遮蔽層)安全性，因此本階段完成報告已結論出：「本場址適合進一步發展為深部鹽水層碳封存場址」。包括可作為先導試驗場址或盆地尺度商轉場址之可能。

由於計畫(4)完成報告審查意見指出，本案尚需對砂頁互層的封存安全性，異質性(非均質)地層參數模擬情境分析，提出更完整論述，已釐清並加強地質查證研究。經彙集專家討論後，建議後續計畫補充地質查證，研提重點查證研究主要辦理項目，可歸納如下：

- (一) 深部含鹽水地層地質模型再精進。
- (二) 候選目標地層有效封存量再評估。
- (三) 候選目標地層貯留特性確認。
- (四) 儲層(貯留層)可注性評估。

(五) 蓋層(遮蔽層)完整性評估

(六) 盆地尺度封存安全與風險評估。

上述地質模型查證研究主要辦理項目，除可類比參考國際上(如國際能源總署 IEA)類似計畫案例^[10, 11]之作法外，也進一步參考國際著名風險管理與認證機構：挪威 DNV-GL 公司所建議之場址篩選基準、評估基準^[12]。查證研究階段，主要係根據本區有限之文獻發表 2-D 震測剖面與地層模型，綜合本階段 M-1 井所得之井下現有地質資料與持續新增岩心試驗與分析資料，並針對專家歸納建議項目，進行地質查證研究，以加強計畫(4)完成報告的不足之處。

一般而言，地質模型需隨調查資料之解析度增加而同步精進，目前鑽探取得大量岩心，可使本案之地質資料較之以往更為清楚，但因單孔

(M-1 井)資料仍屬有限，後續仍需透過近接鑽孔查明目標層之側向展延性，以及補充探查 1,500 公尺以上至地表之岩心地質資料，以精進地質模型，並可進一步降低地質不確定性風險。精確之數位地質模型或數值分析模型除灌注與監測效能預測外，亦有利於碳封存安全與風險之宣傳與溝通，提高大眾接受度(Public Acceptance)，因此，模型需再進一步加強。

後續近接鑽孔(暫簡稱 M-2 井)，除可結合 M-1 井可作跨井地質補充調查，擴大場址地質模型空間精度，M-2 井亦可轉作為先導試驗監測井。另為加強目標層之地質側向展延性，可考慮進行彰濱場址地表結合井下震測，鄰近海側與陸側(跨域)大範圍震測，取得 3-D 震測剖面，將可更進一步精進地質模型。

表 4 三處候選儲集區劃分與目標次層灌入區間評比(M-1 井)

候選儲集區	次層	層位	井深 (mRT* ¹)		厚度 (m)	孔隙率	滲透率* ² (mD)
			From	To			
Reservoir –I (R-1)	CL01	卓蘭層	1,958	1,967	9	0.42	710.0
	CL02	卓蘭層	1,990	2,010	20	0.32	17.5
	CL03	卓蘭層	2,050	2,095	45	0.35	59.3
	CL04	卓蘭層	2,095	2,129	34	0.32	17.5
Reservoir –II (R-2)	KCL01	桂竹林層	2,365.5	2,386.0	20.5	0.3200	19.0
	KCL02	桂竹林層	2,396.0	2,414.0	18.0	0.3200	18.5
	KYS01	觀音山砂岩	2,445.0	2,481.5	36.5	0.3286	30.5
	KYS02	觀音山砂岩	2,527.0	2,560.0	33.0	0.3400	40.0
Reservoir –III (R-3)	TL01	打鹿砂岩	2,712	2,727	15	0.31	11.4
	TL02	打鹿砂岩	2,750	2,766	16	0.35	59.3
	PL01	北寮砂岩	2,836	2,850	14	0.28	2.84
	PL02	北寮砂岩	2,861	2,898	37	0.29	4.59

*¹ 深度 mRT 係以井架轉盤(Rotation Table)為零深度基準，約高於地面 5m。

*² 一般而言，岩石孔隙率與滲透率大致呈現正相關，但例外亦不少。推測主因可能與地層之年代、岩性、沉積特性、試驗方式有關。本表所示某些井下次層砂岩區段之高孔隙率未能對應高滲透率，主要係因取區段平均結果所致。

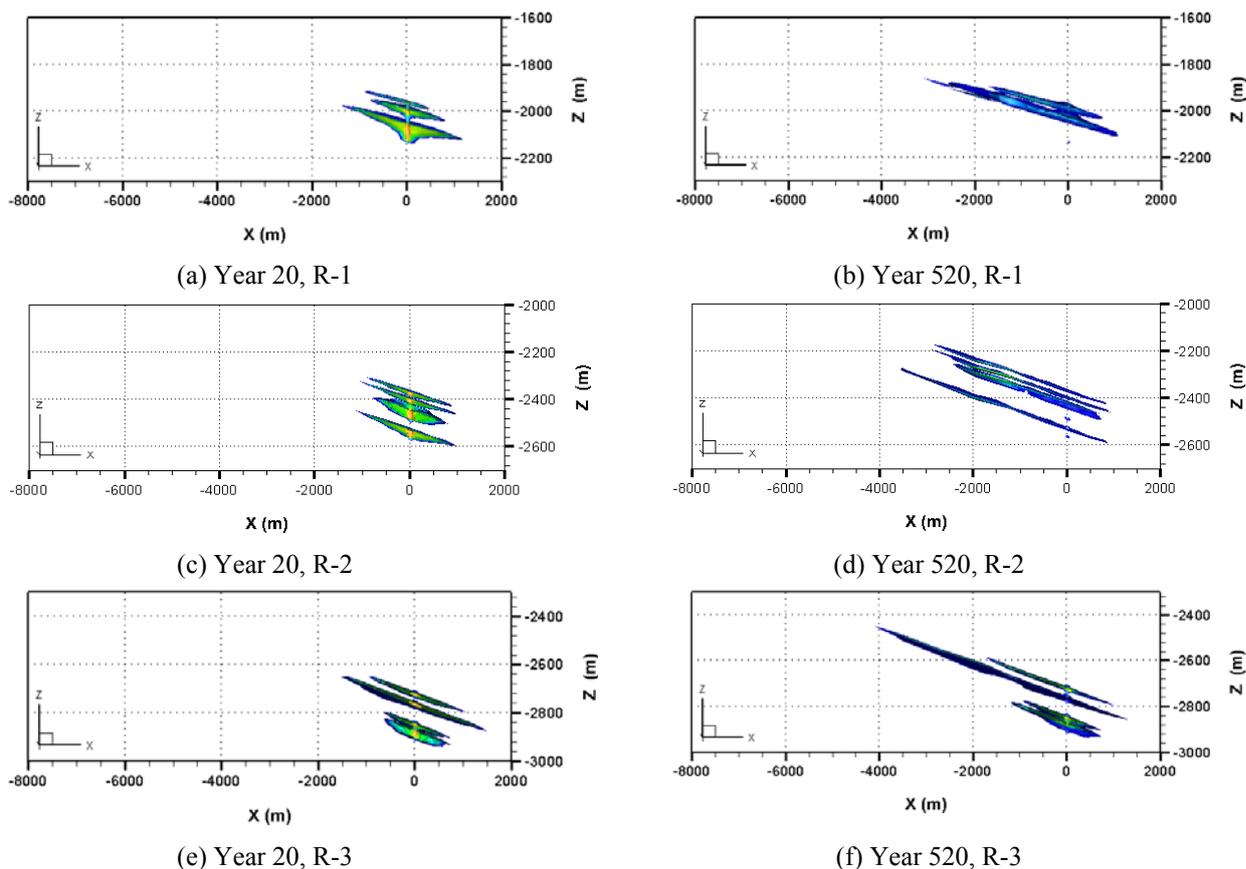


圖 4 三處(R-1, R-2, R-3)候選儲層各優先可注入次層注儲情境初步模擬成果(連續 20 年注入+注入後監測 500 年)

參、台西盆地區域地質架構

一、盆地沉積環境與地史

圖 5 為國內學者^[12]所統整中油深鑽井與震測資料(圖上方)所建立之台西盆地南側(接近台中地區陸域與西部海域)沉積環境與地史(圖下方)的概念模式。據此區相關地質研究^[13, 14]指出,南莊層及更老之漸新世與中新世地層係於被動大陸邊緣堆積,即為圖 5 之後張裂期(Post-breakup)地層。桂竹林層、錦水頁岩、卓蘭層、頭嵙山層為弧陸碰撞後的前陸盆地堆積,兩層序以前陸基底不整合(Basal-Foreland Unconformity, BFU)為界,年代約為 6.5 百萬元。

屬於早期前陸層序的桂竹林層堆積於前陸盆地、靠大陸之前凸起(Foreland Bulge)一側,沉積物來源為其西邊(現今福建沿海地區),錦水頁

岩堆積時期盆地加深後,於卓蘭層及頭嵙山層堆積時,沉積物主要來源轉為台灣造山帶。隨著前陸盆地的發展,沉積厚度增大且沉積地層呈東厚西薄,最終於台灣海峽中央尖滅。

前陸盆地沉積環境根據 M-1 井鑽探至 3005mRT 進入北寮砂岩(中新世早期)之成果,大致可得到驗證。

整體而言,台西盆地南側建議的二氧化碳封存的沉積系統,分別屬於較早期的被動大陸邊緣堆積(如北寮層、打鹿頁岩、觀音山砂岩等),以及較後期之前陸盆地沉積(如桂竹林層、錦水頁岩、卓蘭層等),其沉積環境大致為淺海至濱海環境,包括海岸(Coastal Area)、潟湖(Lagoon)、潮坪帶(Tidal Flat)、潮下帶(Shore Face; Sublittoral Zone)、近濱(Near Offshore)、內遠濱(Inner Offshore)、外遠濱(Outer Offshore)等。

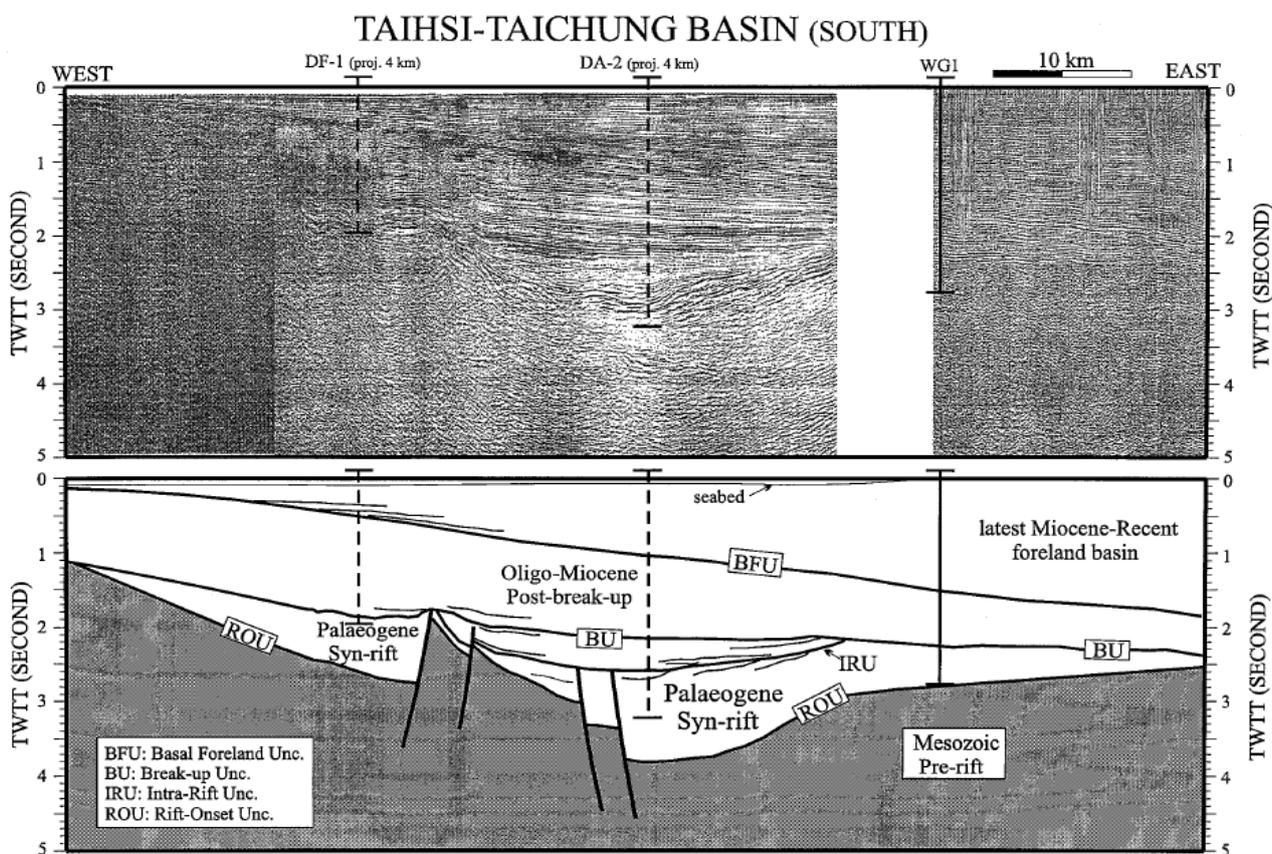


圖 5 台西盆地南側台中地區沉積環境與地史 (摘自林殿順等)

二、盆地與場址區域地質模型

(一) 盆地尺度

區域地質模型大致係以 M-1 井為中心半徑 30 公里平面區為研究查證範圍(Area of Interest)如圖 6(a)所示。經場址調查結果並初步確認目標地層內無活動斷層存在跡象，且區域地震活動性極低。查證範圍西側因沉積厚度東厚西薄，需考慮尖滅問題，東側則接近彰化斷層，該斷層為受弧陸碰撞造山體變形前緣最西側、斷層屬性為底部滑脫。由於尚未穿出地表，故為一盲斷層，離 M-1 井距離 15 公里以上，研判對封存安定性之影響應不大。

圖 6(b)所示為封存安全度高之研究查證範圍。查證範圍係採用地質單元網格法進行各地層封存系統之可封存體積圈劃，單元網

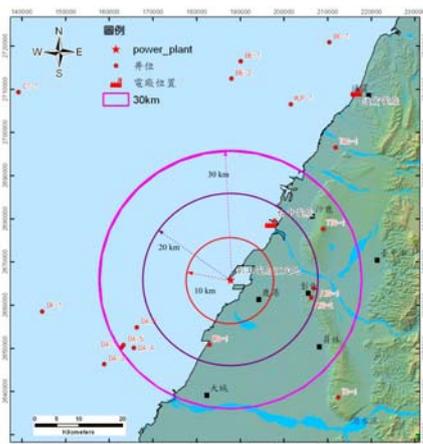
格大小採用 200 公尺 x 200 公尺。封存安全度高之可封存單元網格需同時滿足五項判斷標準包括：1.蓋層厚度可達 30 公尺，2. 遠離彰化斷層 5 公里，3.距灌注場址 30 公里範圍之內，4.封存深度大於 800 公尺，5.封存深度小於 3,000 公尺之條件。

(二) 場址尺度

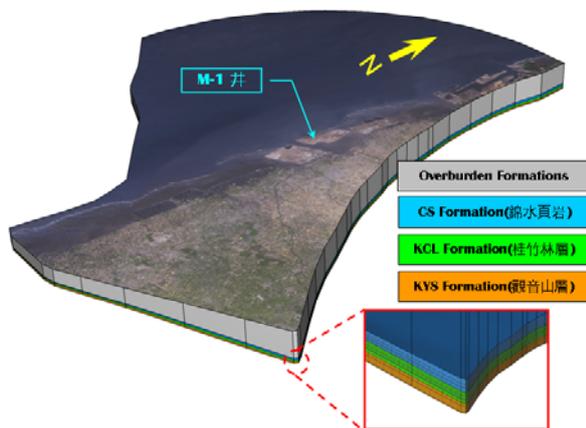
場址尺度之區域地質模型大致係以 M-1 井所在彰工電廠預定地之彰濱工業區崙尾分區範圍。此區曾於深鑽前利用中尺度反射震測探勘方法，進行崙尾分區填海造陸區內七條不同方向 2-D 震測，各震測剖面長度約介於 2~3 公里，震測成果略如圖 7(a)所示。經初步整合各震測剖面所解釋地質分層與側向延伸立體模型，略如圖 7(b)所示。可估測區內各目標地層位態大致為水平，並略向東北方傾斜，傾角未超過 5

度；場址調查結果並初步確認目標地層砂岩與頁岩界面，側向延伸良好，幾無斷層存在跡象，且據氣象局地震目錄統計資料顯示，臨近本區域地震活動性極低。據圖

7(a)震測剖面研判，北寮層可能於深度 2900m 出現，M-1 井實鑽後，北寮層頂部約於 2800mRT 出現，預估與實測兩者差距有限。

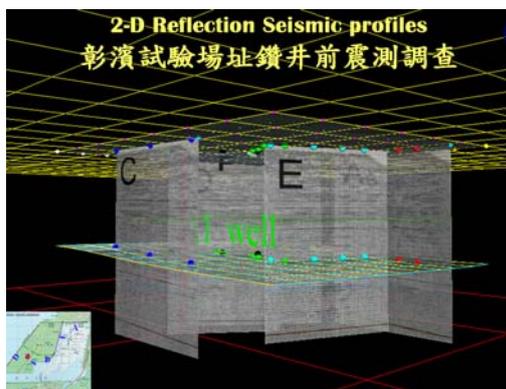


(a)查證範圍附近可能鑽井

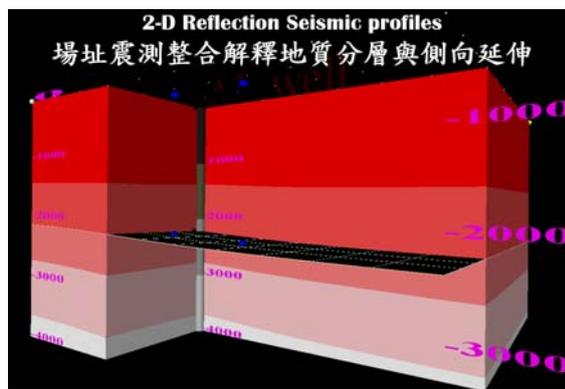


(b)安全度高之查證範圍(R-II 例)

圖 6 研究查證範圍(Area of Interest)



(a)場址七處震測剖面組合立體模型



(b)地質分層與側向延伸立體模型

圖 7 場址尺度中尺度反射震測成果

三、震測剖面與 TPCS-M1 深鑽井整合驗證

圖 8 所示為據科技部(原國科會)能源國家型計畫的淨煤主軸第一期計畫^[15]所建立之鄰近 TPCS-M1 深井(M-1 井)之時間域(Time Domain)震測合併剖面，為目前針對盆地尺度深部鹽水層封存場址之調查最新成果(2011)。剖面係蒐集 M-1 井鄰近之中油陸域既有震測剖面，並整合新增國科會 2011 年淨煤主軸第一期計畫海域震測

資料^[15]。M-1 井所在之地域為填海造陸之區，由於施測不易，目前陸域聯接海域震測資料缺口寬度仍約有 8.7km 左右。

盆地尺度震測合併剖面成果與崙尾分區場址尺度震測成果大致相符，目前本計畫再根據最新 M-1 井鑽探與試驗成果，據以修正前階段計畫之區域地質模型，由時間域震測剖面轉換為空間域(Space Domain)剖面，並初步確立盆地尺度可能之三大不同深度之潛在鹽水層地層封存系統。

經整合震測剖面與 M-1 井資料，驗證修正前階段計畫之盆地尺度區域地質模型顯示：於深度 800~3000m 空間中，可判別三大封存系統，包括：(R-1)卓蘭層上部頁岩段-卓蘭層下部砂岩

段；(R-2) 錦水-桂竹林砂岩段-觀音山砂岩；(R-3) 打鹿層頁岩段-北寮砂岩層。修正地質模型如圖 9 所示；各封存系統盆地尺度蓋層、儲層之岩石特性與優選可注層，綜合如圖 10(a)(b)(c)所示。

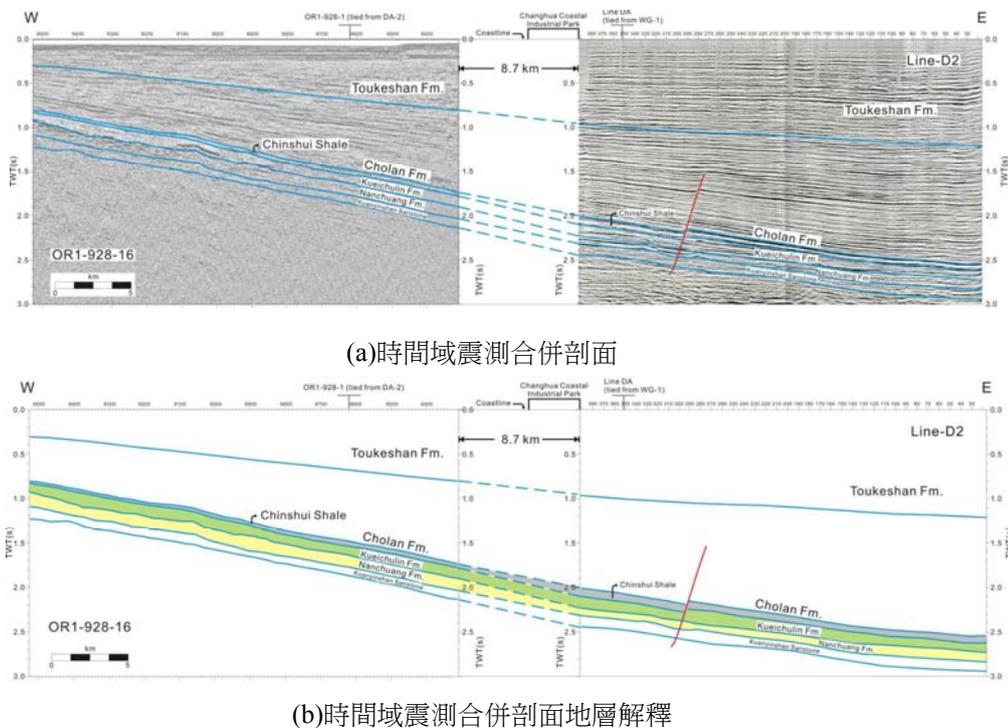


圖 8 封存場址時間域震測合併剖面調查成果(摘自淨煤主軸計畫成果，2011)

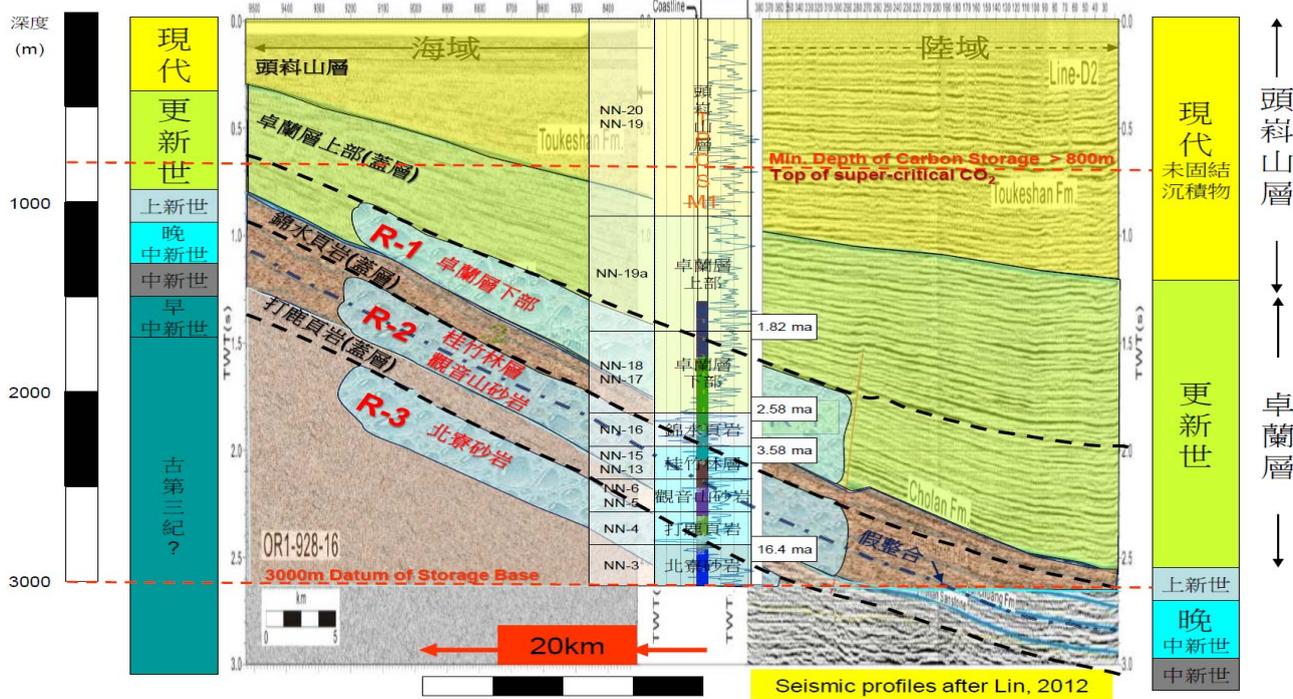
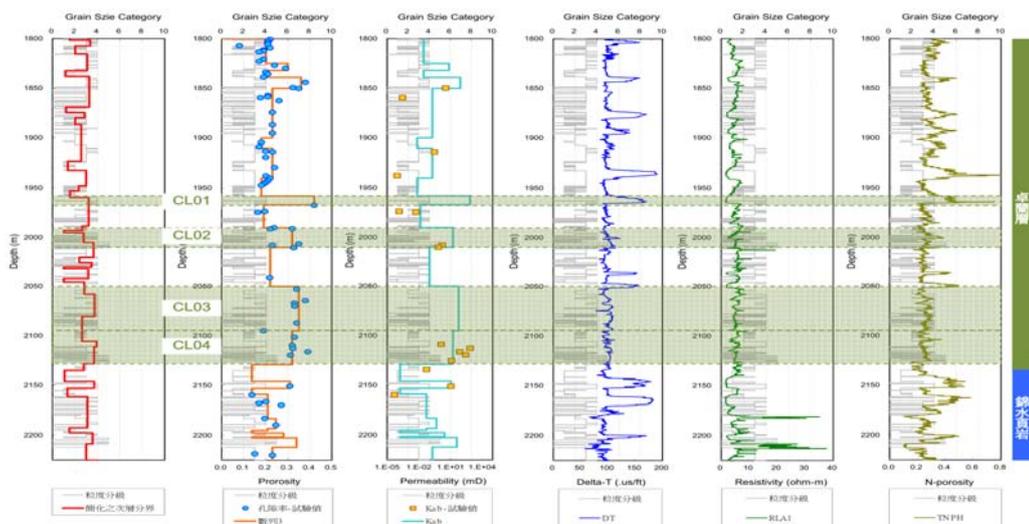
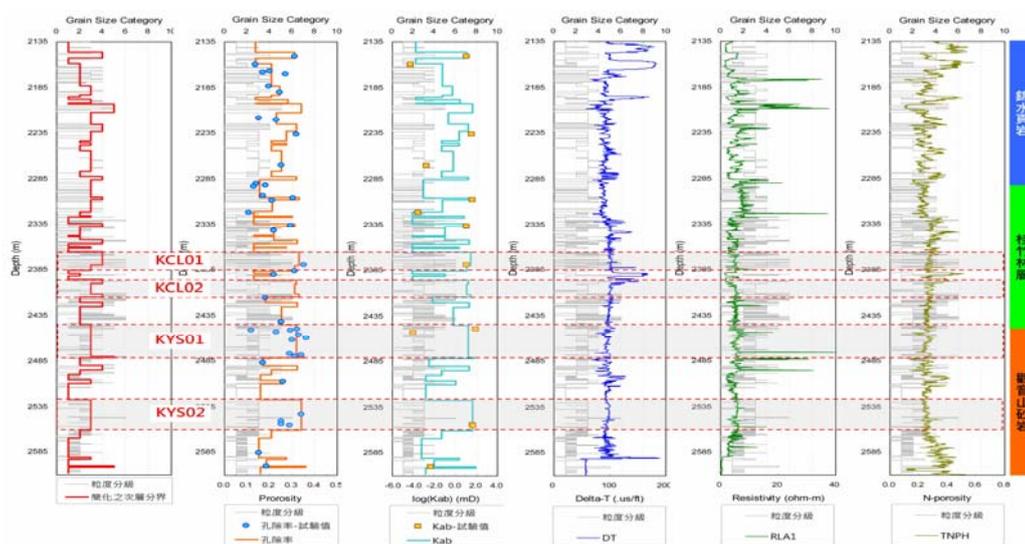


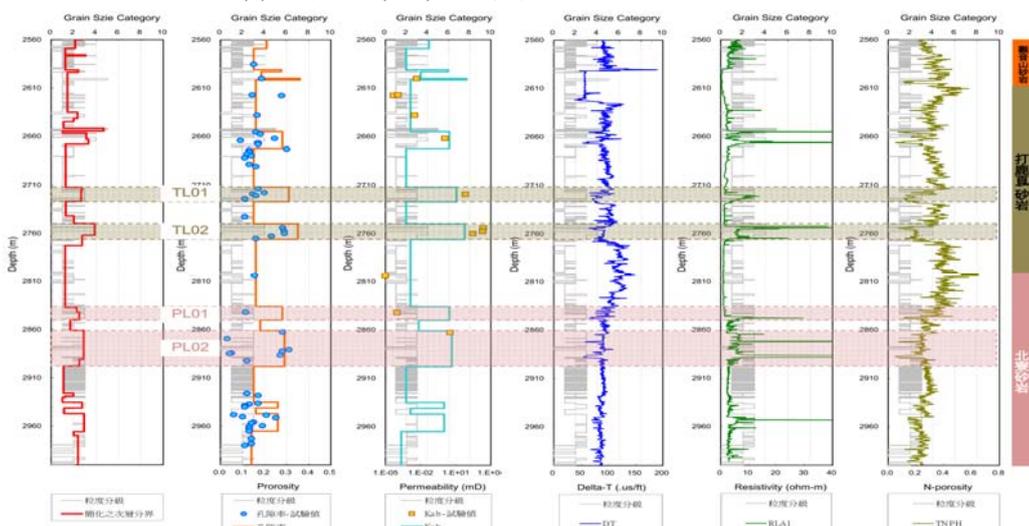
圖 9 經 M-1 井鑽探後修正二維地質模型



(a)封存系統(R-1)岩石特性與優選可注層位置



(b)封存系統(R-2)岩石特性與優選可注層位置



(c)封存系統 (R-3) 岩石特性與優選可注層位置

圖 10 本案盆地尺度不同深度之潛在鹽水層地層封存系統

肆、盆地有效封存量潛能評估

目前台西盆地南側下方砂岩地層，鄰近台電燃煤火力電廠大量二氧化碳排放源，應屬可行性高的「封存貯留層」。因缺乏直接地質資料，前期計畫目標僅鎖定錦水頁岩(蓋層)與桂竹林層(儲層)為有效封存層組合。取得 M-1 井岩心與直接井測資料後，本計畫需依據新地質模型進行有效(Effective)封存量潛能再評估。實際(Practical)封存量需考慮監測地層安全可承受度，並涉及工程、環保、法規、經濟性等層面之問題，實務上，實際封存量可能低於有效封存量，如向上金字塔型概念，但差距無法準確估算。

本案目前就震測剖面與 M-1 深鑽井所取得資料。驗證修正鑽井前各階段計畫之盆地尺度區域地質模型，進行有效封存量潛能再評估，成果^[7, 8]顯示：於深度 800~3000m 空間中之三大可行性高的「封存貯留層」封存系統，由地層深度由淺而深，分別包括：R-1 儲層，R-2 儲層，與 R-3 儲層。圖 11 所示為各封存系統之地表投影之評估查證範圍，圖 12 所示為各封存系統之整體層序分布。有效封存量潛能再評估取得之成果並說明如下：。

一、目標貯留層有效封存量

(一) [R-1 儲層]：卓蘭層下部

依據實際鑽井取得之岩心樣本，經檢視分析得知卓蘭層(井深 1,717~2,135 mRT)之井下厚度至少有為 418 公尺，其下部約有一厚約 200 公尺之較高孔隙率砂岩段，可為具潛能之二氧化碳有效儲層，而其蓋層即為其上部之頁岩段。評估之二氧化碳有效封存量約為 49.3 億噸(4.93 Giga-ton)，其安全蓋層為上部卓蘭層。

(二) [R-2 儲層]：桂竹林層與觀音山砂岩

儲層井深 2,295~2,608 mRT。前期計畫僅設定以桂竹林層為有效儲層，以錦水頁

岩為目標蓋層的情境，評估其有效盆地封存量為 40 億噸(4 Giga-ton)。經實際 M-1 井鑽井取得之岩心判釋，桂竹林層下方之觀音山砂岩條件，亦可考慮成為封存儲層。再評估桂竹林砂岩段之二氧化碳封存量為 30.06 億噸(3.006 Giga-ton)，相較前期計畫所推估之 40 億噸為小，而觀音山砂岩段為 32.66 億噸(3.266 Giga-ton)。評估兩層之合計二氧化碳封存總量約為 62.7 億噸(6.27 Giga-ton)，故合計後有效封存量較前期計畫所評估量為高。R-2 儲層之安全蓋層為上方錦水頁岩，與 R-1 上方之上部卓蘭層。

(三) [R-3 儲層]：北寮層

北寮層(2,800 ~ 3000 公尺) 實際井下厚度為未知，因此本層厚度以底部深度為 3,000 公尺(對應最大灌入深度)，視為北寮砂岩之底部。由於更深之北寮砂岩則加以忽略，故本封存系統之總封存量將較為保守，本層保守評估有效封存量約為 25.3 億噸(2.53 Giga-ton)。R-3 儲層之位於研究查證範圍最底部，因此安全蓋層除正上方之打鹿頁岩，尚有 R-2 上方之錦水頁岩，與 R-1 上方之上部卓蘭層。

二、儲層(貯留層)可注性潛能評估

儲層可注性潛能需評估儲層之可注性(Injectivity)。據澳洲 CO2CRC 的建議：儲層地層可注性應以注入率 (Injection Rate)為判別基準。此基準中可設定三項檢驗項目，包括：1.注入區間與地層接觸面積 (穿孔區間與井徑)；2.注入壓力(需控制)；3.地層滲透率。其中 1、2 項與注入井設計有關，需於先導注入試驗完成，方得以評估；地層滲透率可由岩心試驗與二相流試驗成果，加以評估。

現階段僅允許以地層滲透率為儲層可注性判別基準。各目標儲層(R-1, R-2, R-3)中，經專家岩心目視粒度統計分析，砂岩比例約在 69~81%

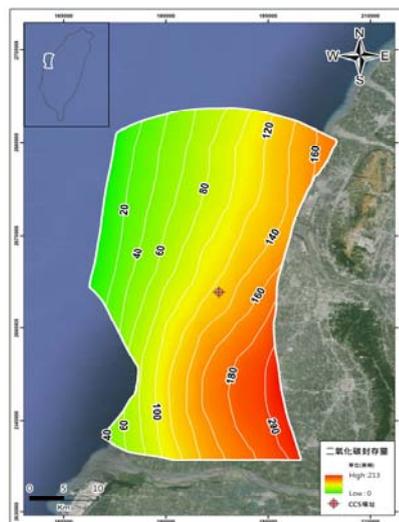
間，其餘則屬於泥質砂岩(粉砂岩)，與泥岩(或稱頁岩)。因沉積環境之變化，砂岩有(A)、(B)兩種型態出現，A型砂岩的岩性特徵是呈厚層且淘選度良好的砂岩，沉積環境通常屬於潮下帶。而B型砂岩的孔隙都充填有泥質沉積物，幾乎沒有孔隙，沉積環境通常屬上部遠濱帶。

就沉積環境的特性而言，R-1 與 R-2 儲層特性相近且整合相接，亦可合併視為一互層封存系統，而 R-3 則需視為單一蓋層封存系統。

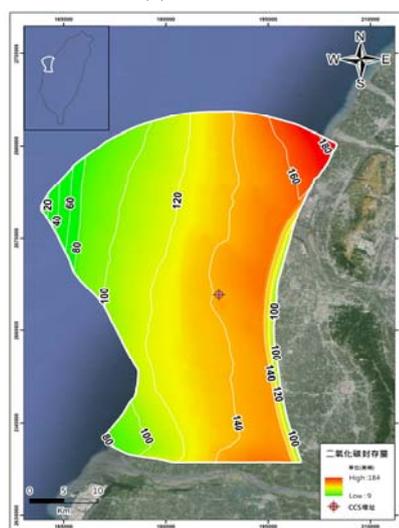
A型砂岩的砂粒之間的孔隙由顯微鏡岩相分析的觀察，發現通常沒有基質沉積物，因此地層滲透率非常高，另由肉眼辨識的目標儲層砂岩集中區之A型砂岩約有80%之高比率，因此評估各目標儲層均具可注性。

圖 13 為 M-1 井各目標儲層之井測所測得之孔隙率分布直方圖。於無直接井測地層滲透率之情況下，地層滲透率可由孔隙率透過岩心試驗經驗關係求取。圖 14 為 M-1 井之岩心試驗所建立之地層滲透率(Permeability)與孔隙率(Porosity)經驗關係。透過圖 14 所示經驗關係，推估各目標儲層之井測地層滲透率，概如圖 15 所示。圖中可觀察出甚高比例之地層滲透率介於 $1\sim 1000$ mD ($10^{-15}\sim 10^{-12}$ m²)之間，可輔助證明地層之可注性。

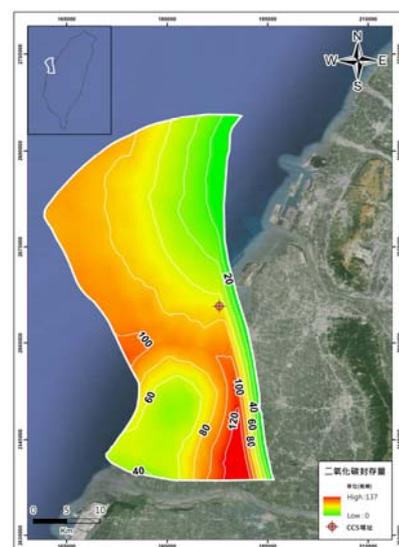
井下滲透率傳統上係由井測中子孔隙率值(Neutron Porosity)或聲波法(Acoustic Logging)間接推測。目前於井下直接測得滲透率之代表方法為 Schlumberger 井測服務公司所發展之磁性共振井測法(Magnetic Resonance Tool), 包括 CMR 或 NMR 法。直接井測法因具輻射性，操作成本高為其缺點。後續可綜合考量各種客觀因素，決定使用適合之方法。



(a) R-1 儲層



(b) R-2 儲層



(c) [R-3 儲層]

圖 11 三大封存系統頂部地表投影之評估查證範圍

井深1500m-3000m可封存區間評估

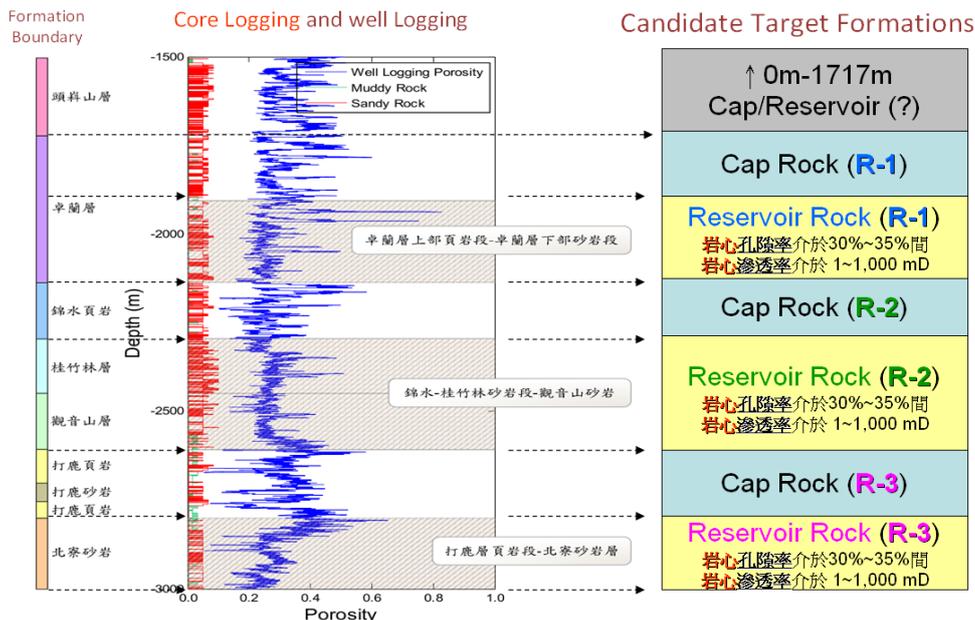
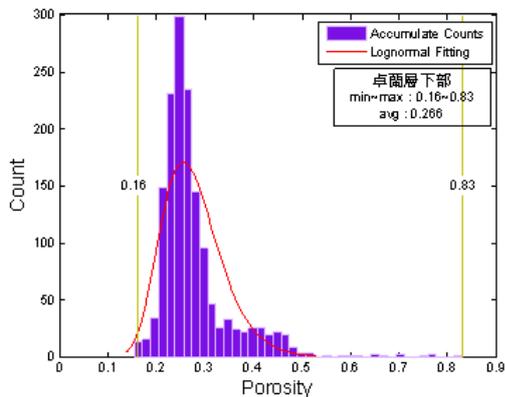
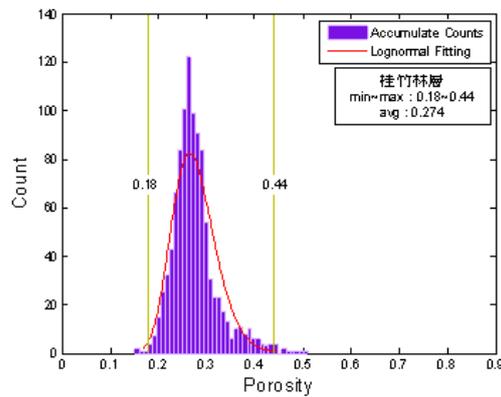


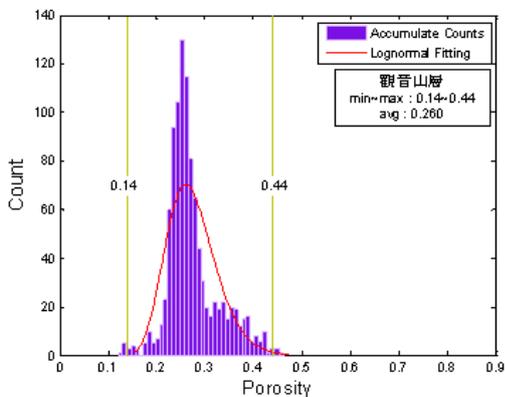
圖 12 三大封存系統之整體層序分布



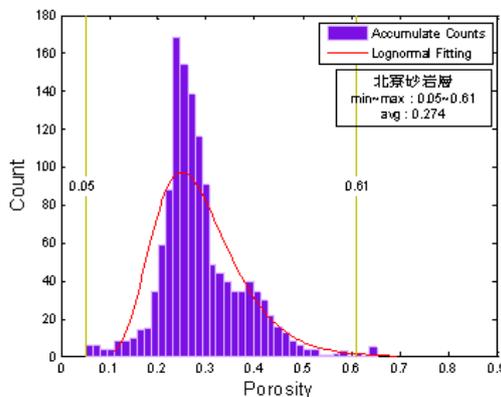
(a) [R-1 儲層]：下部卓蘭層



(b) [R-2 上方儲層]：桂竹林層



(c) [R-2 下方儲層]：觀音山砂岩



(d) [R-3 儲層]：北寮層

圖 13 M-1 井各目標儲層之井測孔隙率分布直方圖

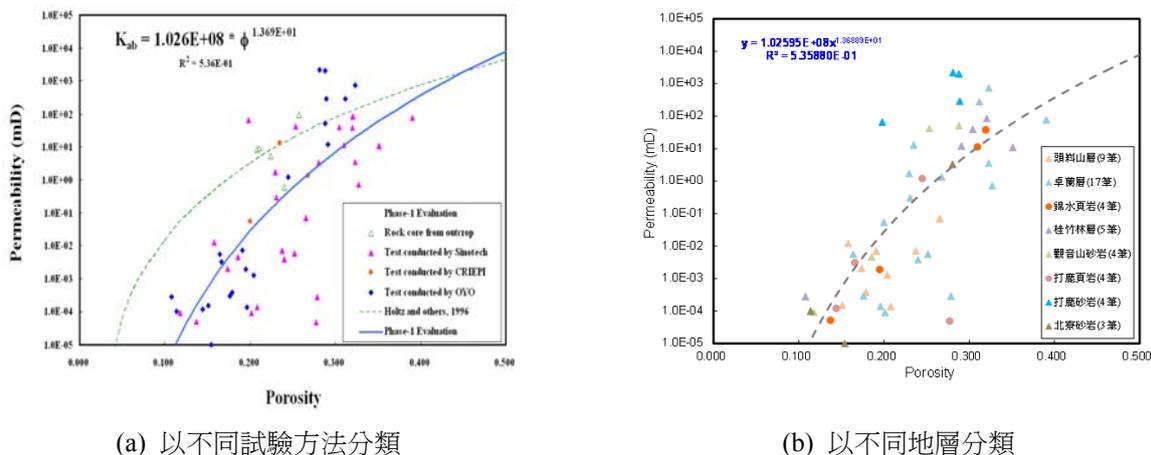


圖 14 岩心試驗建立地層滲透率與孔隙率經驗關係

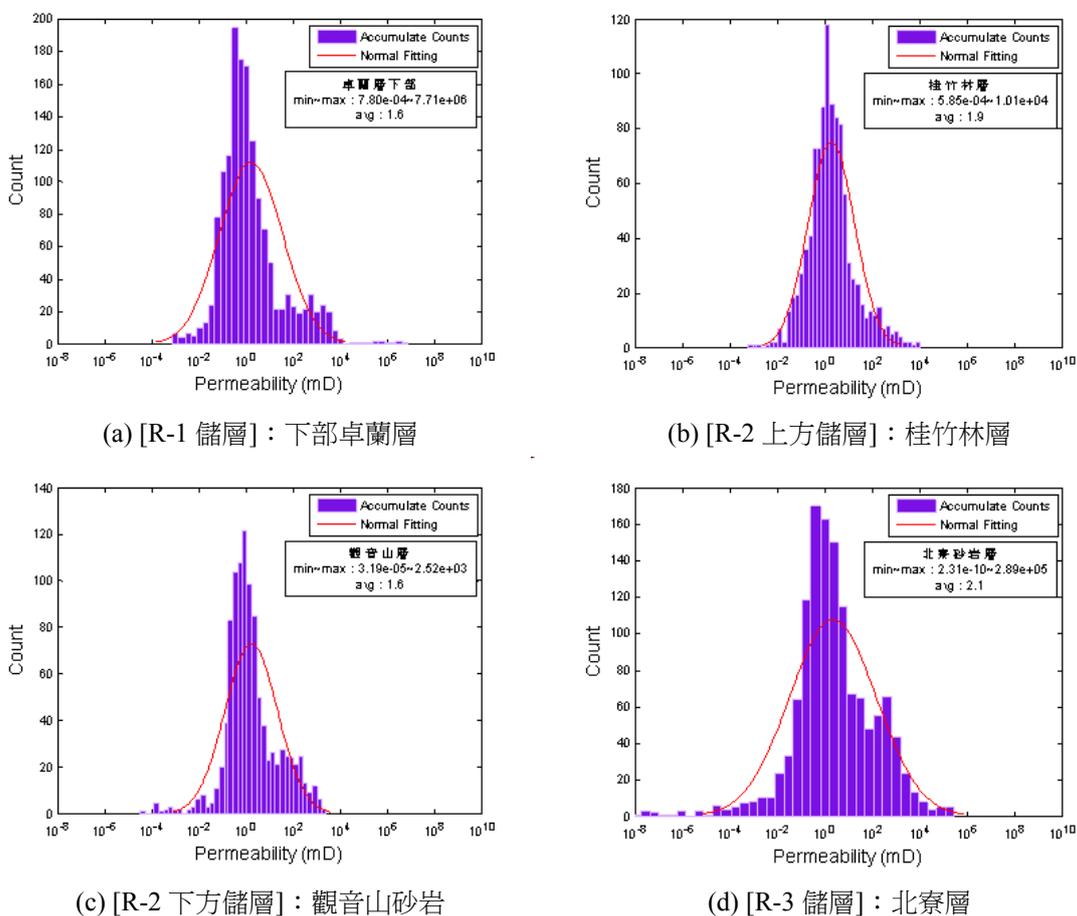


圖 15 M-1 井各目標儲層之井測滲透率分布直方圖

三、蓋層(遮蔽層)完整性潛能評估

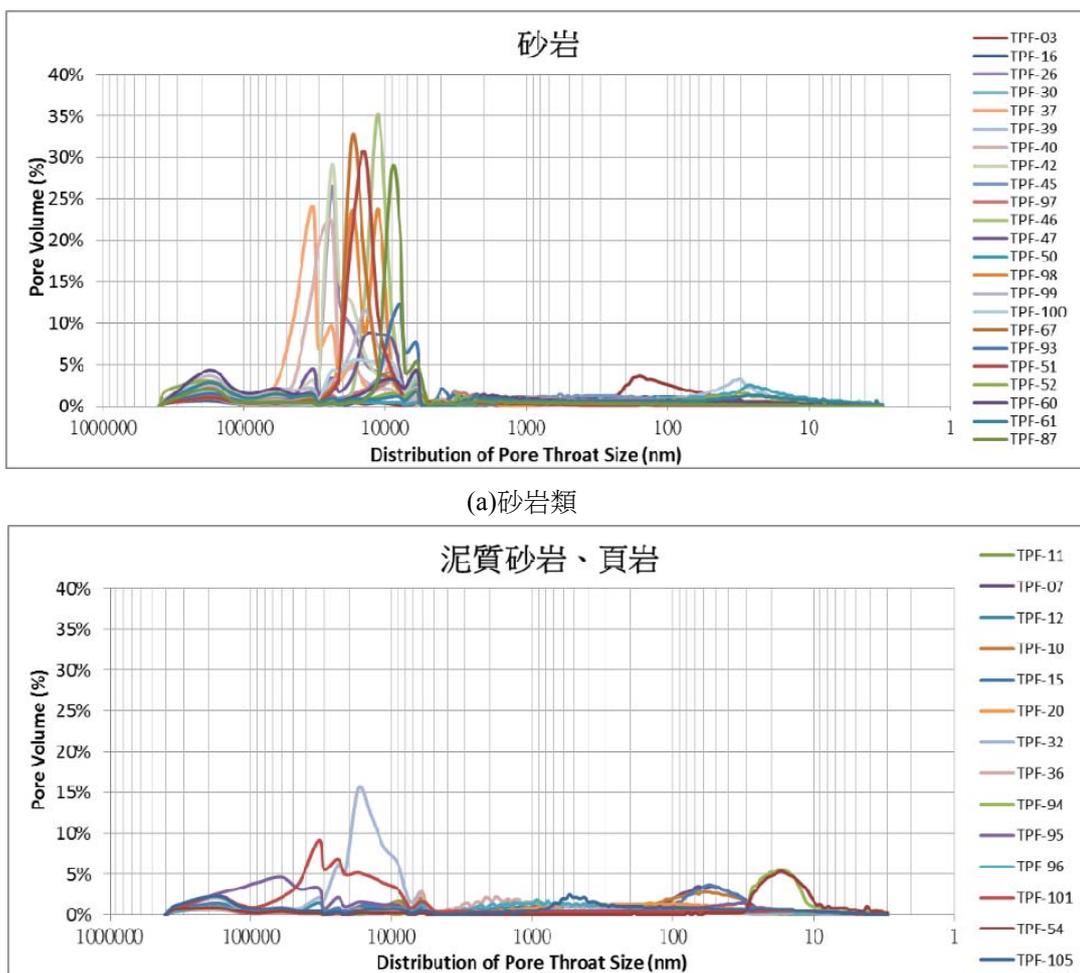
據 IEA 引述澳洲 CO2CRC 的建議^[1]：蓋層完整性潛能(Seal Potential)應設定三項基準作為評估檢驗之依據，包括：1.蓋層封堵能力(Seal

Capacity)；2.蓋層幾何條件(Seal Geometry)；3.蓋層完整度(Seal Integrity)。一般而言，蓋層之毛細進入門檻壓力(Entry Pressure)係由壓汞試驗求取，此值國際通稱為 MICP (Mercury Injection Capillary Pressure)，由岩心之 MICP 試驗值，即

可換算地層可承受之二氧化碳最大柱壓。蓋層封堵能力需檢驗蓋層可承受之 CO₂ 最大柱壓(Max CO₂ column that can be retained by caprock)^[16]。

蓋層幾何條件則需檢視蓋層厚度與側向延伸距離 (Thickness and lateral extent of the caprock)。蓋層完整度則由蓋層力學特性 (Geo-mechanical properties of caprock) 是否滿足所需而定。

M-1 井所有 MICP 試驗岩樣約有 37 個^[17]。岩樣就岩性來劃分可分為兩類，包括：1. 砂岩類、2. 泥岩類(泥質砂岩、頁岩)。兩類岩性試體孔隙體積與孔徑尺寸的分佈關係如圖 16(a), (b) 所示。依岩石孔隙尺寸、孔隙率特性，此類泥岩類樣本初步評估可承受之 CO₂ 最大柱壓可達 900m 以上，非常適合做為蓋層的層位。



(a)砂岩類
(b)泥岩類(泥質砂岩、頁岩)
圖 16 岩樣孔隙體積與孔徑尺寸的分佈關係

研究查證範圍內蓋層完整性評估，如表 5 所示。R-1 儲層位於研究查證範圍最頂部，因此安全蓋層為暫定僅有上方之上部卓蘭層(厚度約 218m)。據 M-1 井所採 39 組岩心試驗結果顯示：砂岩之 Entry Pressure 對應可承受之二氧化碳最大柱壓多小於 100m；多數頁岩最大柱壓可達

500~950m。R-1 儲層之蓋層可承受之 CO₂ 最大柱壓值偏低(66-152m)，應與頁岩採樣數量偏少有關，其代表性仍需保留，因此後續研究可再留意。由於 R-1 儲層之蓋層上方尚有 1717m 厚之地層覆蓋，當可額外提供蓋層封堵能力增加安全係數，唯建

議仍需直接取樣予以驗證。由於年代最輕，R-1 儲層之蓋層力學完整度，相對較差，評價為「需留意或進一步驗證」。但因地層覆蓋厚度近 2000m 深，其圍壓甚高，因此若泥質成分夠高，則蓋層完整性仍相對安全。

R-2 儲層的安全蓋層，可至少涵蓋 R-2 上方之錦水頁岩(厚度約 160m)，與 R-1 上方之上部卓

蘭層，除蓋層力學完整度為「尚可」外，蓋層完整性潛能評估均為「佳」。位於研究查證範圍最底部的 R-3 儲層，安全蓋層除正上方之打鹿頁岩(厚度約 192m)，尚有上方錦水頁岩，與 R-1 上方之上部卓蘭層，在多重遮蔽層效應下，足以有效提供安全屏障。一般而言，若封存深度愈深，故安全係數愈高、風險係數愈低。

表 5 研究查證範圍內蓋層完整性評估

評估基準	R-1 儲層 (平均厚約 200m)	R-2 儲層 (平均厚約 313m)	R-3 儲層 (平均厚約 200m)
(1) 蓋層封堵能力	66-152m* ○	583m* ⊙	967m* ⊙
(2) 蓋層幾何條件	厚 218m 延伸長向西變淺尖滅 ⊙	厚 160m 延伸長向西變淺 ⊙	厚 192m 延伸長向西變淺 ⊙
(3) 蓋層力學完整度	砂頁互層(強度弱) ○	砂頁互層 ⊙	砂頁互層 ⊙
* 壓汞試驗毛細壓力(MICP)換算 CO ₂ 最大柱壓。 符號意義：○需留意或進一步驗證 ⊙尚可 ●佳			

四、互層封堵(Intra-Formational Seal)

如前述，目標地層因位處前陸盆地沉積環境，大致均沉積於淺海至濱海相沉積環境，包括海岸、潟湖、潮坪帶、潮下帶、近濱、內遠濱、外遠濱，故 M-1 井取心多呈現以砂頁互層之沉積岩相為主。研究查證範圍內蓋層完整性評估中，三不同深度之儲層(R-1, R-2, R-3)之上覆主要蓋層(Ultimate Seal)力學完整度均評估為「需留意」或「尚可」，而非「佳」主要係蓋層之主要岩性均屬砂頁互層，因此本場址需以互層封堵(Intra-formational Seal)，一方面作為儲層(貯留層)之封存機制；另一方面遮蔽蓋層(Primary Seal)亦需以互層封堵機制，以「多重遮蔽」方式確保向上移動之碳流可被互層砂頁層有效封堵遮蔽，不致穿出封存地層，此點略不同於理論上或理想狀況下使用均質之厚度完整蓋層「單層遮蔽」方式。換言之，以往採單層均質(Homogeneous)模

型的封存安全分析，必需增加考慮異質性不均質(Heterogeneous)模型對封存場址研究查證之影響。

互層封堵「多重遮蔽」方式可提供與完整蓋層安全封堵的功能，其特點包括：(1)對垂直上移的碳流(Injected CO₂ Plume)有效的阻滯(baffling)或障壁(barrier)，降低垂直方向滲透率，(2)增加注入點碳流向水平側移擴散的機會，(3)增加儲層岩石中更高比例的孔隙利用，(4)碳流迂迴流動(Tortuous Migration Pathway)，可促進岩石孔隙內殘餘與溶解封存機會，因此可更完整利用整體儲層的有效封存體積。

上述論述已被國際能源協會溫室氣體組(IEAGHG)發表之報告^[1]：深部鹽水層碳封存之蓋層系統(Cap rock systems for CO₂ geological storage)所特別引用，報告中強調深部鹽水層封存多屬沉積盆地型，近海岸場址實無法避免砂頁互層之沉積岩相地層。

互層封堵作為盆地深部鹽水封存之機制，國外案例甚為普遍。著名案例如位於北海的 Sleipner 天然氣田(Sleipner Vest Field)於深部鹽水層進行商業等級的碳地質封存作業。注入後移動碳流最初以數值分析於兩相互垂直的分析剖面上，預測其於互層沉積地層空間之分層分佈情境，其後並以 4-D 大範圍海域追蹤震測，驗證屬實。

以下列舉主要 CCS 發展國，包括日本與澳洲為例，以其新近發展補充說明如下：

(一) 日本案例

日本財団法人地球環境産業技術研究機構(RITE)於「二酸化炭素地中貯留技術研究開發成果報告書」中(2003~2008) [18,19]，亦有詳細報告類似發展經驗。由於日本的地質條件較為近似台灣，因此更值得參考借鏡。日本於平成 17 年(2005)以前，配合長岡岩野原先導試驗(2003~2004)之施作，已完成全日本境內之「全國賦存量調查 1~3 版」，其後因考慮大規模排出源近傍之發展優先性，需進行進一步查證此類場址之貯留可能量，因此以伊勢灣與大阪灣為樣本，進行封存場址研究，建立查證調查評估準則，與考量不均質模型下之貯留可能量再評估(4 版)，其評估流程詳如圖 17 所示。

伊勢灣與大阪灣均近接大規模排出源密集區，若能鄰近取得適當之封存場址，當有助於日本 CCS 之大力發展。彰濱場址與日本伊勢灣、大阪灣周圍沉積盆地地質特性極為相近，候選封存層(貯留層、遮蔽層)均為上新世、更新世之地層，上覆第四系未固結堆積物層；基盤則為中新統先第三系，如圖 18 所示。貯留層範圍必需考慮砂頁互層之沉積岩相，貯留層可選擇砂頁互層中砂岩較為發達之「砂勝互層」；遮蔽層則選擇頁岩較為發達之「泥勝互層」，概念如圖 19 所示，遮蔽層頂部深度應有 800m。

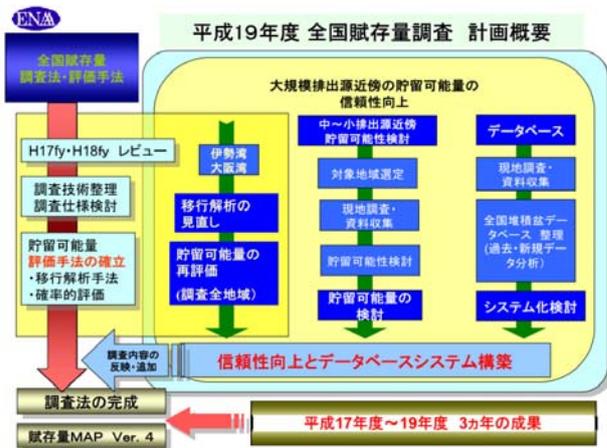


圖 17 日本不均質模型下貯留可能量再評估作業流程

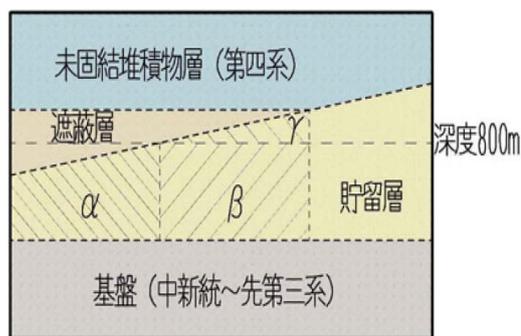


圖 18 日本候選封存層地質模式

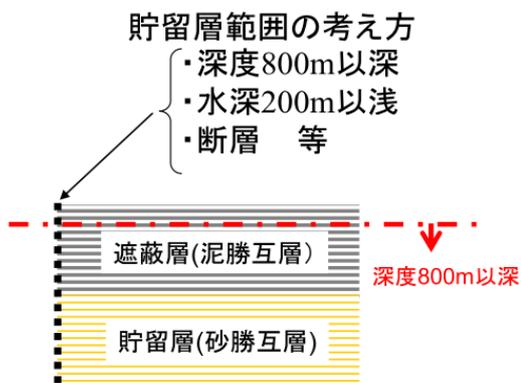


圖 19 日本候選封存層互層封堵概念

圖 20 所示為上述沉積盆地互層岩石內的互層封堵下之移動碳流典型情境之概念模型，其中包括互層具區域延伸性、封堵深度需至少有 800 公尺，以及碳流移棲千年後，最大移行距離與最近斷層仍需確保一安全「離隔距離」，典型互層封堵下情境中並不要求大厚度蓋層存在。

RITE 於平成 18 年度(2006)^[18] 針對伊勢灣與大阪灣「不均質模型」，進行了深入的移行解析數值模擬研究。移行解析中，儘可能設定各種不均質模型情境案例進行模擬研究；由於無法排除對於極端狀況發生之機率，因此續於平成 19 年度(2007)^[19] 進一步擴充移行解析情境案例個數，以感度分析(Sensitivity Study)確認不均質模型下統計最可能情境，包括最壞情況的可能情境。圖 21 所示為伊勢灣內南北向「貯留層」砂頁互層不均質模型之感度分析案例情況。其中圖 21(a)為斷面地質模型例；圖 21(b) 為模型內大規模灌注情境數值分析所得：碳流移行 1000 年後最大移行距離(最壞可能情況)的情境案例。

圖 22 所示則為以大阪灣內南北向「遮蔽層」砂頁互層不均質模型之感度分析案例情況。圖 22(a)為案例斷面地質模型例，其中遮蔽層內存在多層低滲透之海相黏土層，可提供互層封堵「多重遮蔽」，防止碳流垂直上移至地表；圖 22 (b) 為模擬大規模灌注情境於多重遮蔽效應下的可能情境範例，碳流垂直移行 1000 年後，受阻於第三層低滲透之海相黏土層。

RITE 機構由上述分析結果，不但可用以檢證再評估伊勢灣與大阪灣的貯留可能量，並從而再評估日本境內沉積盆地互層岩石內，考慮互層封堵下之貯留可能量，從而建立更精確的全國性查證調查評估準則。

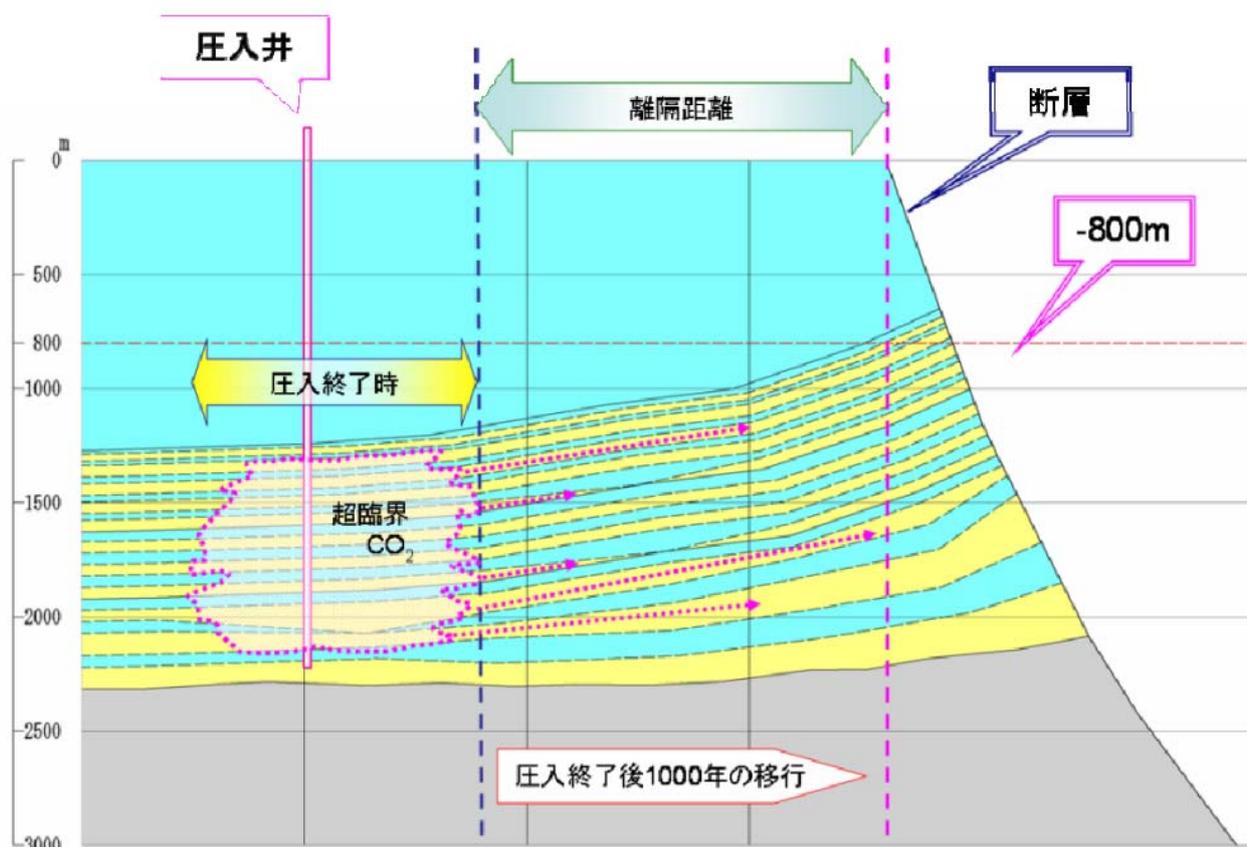
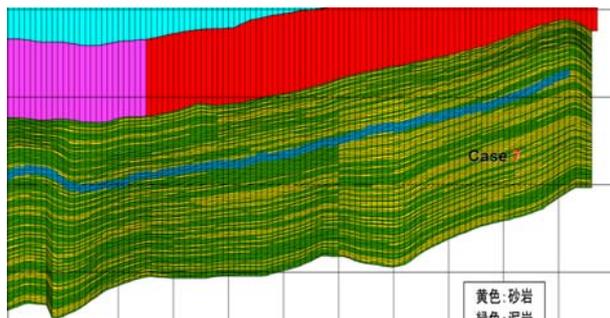
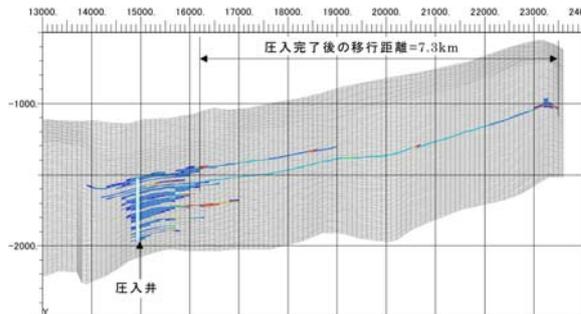


圖 20 日本沉積盆地互層岩石內碳流移動典型互層封堵情境概念模型

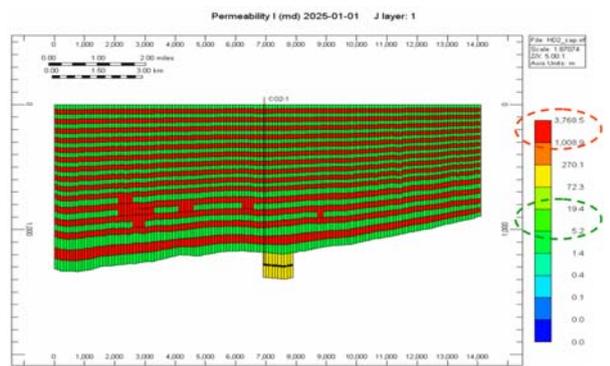


(a) 南北向某斷面地質模型例

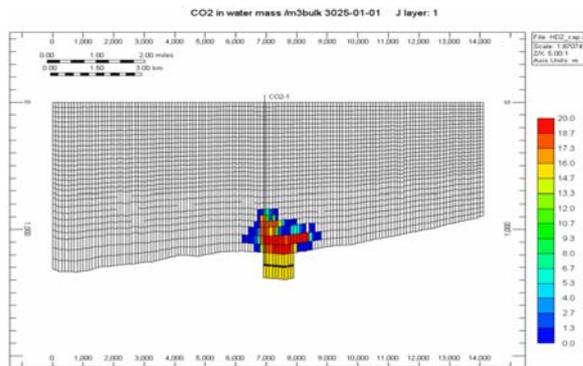


(b) 最壞可能情境(1000年後)

圖 21 伊勢灣內「貯留層」砂頁互層不均質模型感度分析案例



(a) 南北向某斷面地質模型例



(b) 最壞可能情境(1000年後)

圖 22 大阪灣內「遮蔽層」砂頁互層不均質模型感度分析案例

(二) 澳洲案例

澳洲學者(Gibson-Poole, et al., 2009^[16])研究蓋層特性成果特別指出，理論上蓋層內頁岩於薄膜等級厚度(公釐等級)，即可阻滯碳流往上方移棲，但厚度過小有側向尖滅(Pinch-out)之風險。為提供可靠之有效封存效果，澳洲油氣開發專家(Kaldi & Atkinson, 1997^[20])早先即建議可利用以震測訊號協助研判油氣蓋層所需厚度。只要檢視蓋層內部存在可由震測剖面判斷出延伸夠長之反射訊號層，即可滿足蓋層幾何條件之安全性，此種觀點已成為為澳洲政府與 IEA 所認同之有效蓋層判據。

澳洲許多沉積盆地的碳封存研究^[11]，常見所謂大規模具反覆式沉積循環之沉積岩層 (Large Scale Cyclic Sedimentary Sequences)，封存系統幾何條件甚少有單一

大厚度蓋層配合單一大厚度儲層之理想狀況，而以密集式小厚度遮蔽層/貯留層 (Reservoir/Seal Couplets)組合成之異質性地層構造 (Stratigraphic Heterogeneity) 為主。這類以砂頁互層地質條件下為主的沉積環境，通常對應包括河成之辮狀河系 (Braided Fluvial System)、潮坪帶 (Tidal Flats)、下濱面帶 (Lower Shore Face) 等沉積環境。

澳洲碳封存異質性地層構造案例研究最深入者殆屬澳洲大陸東南方近海之 Gippsland 沉積盆地。其異質性地層構造，與所需互層封堵之範例概念，略如圖 23 所示，圖中顯示盆地內互層岩石內碳流移動典型互層封堵情境。圖 24 所示沉積盆地案例地層厚度與區域側向延伸性於各種不同沉積環境下之經驗關係。圖中可見，單

一大厚度之岩性單位以分流河道間區 (Inter Tributary Bay) 厚度最小，河灘區 (Fluvial Overbank) 厚度最大，但基本上其厚度甚少大於 30 公尺；區域延伸性則以大陸棚區 (Shelf) 為最大，可達 10000km² 左

右，分流河道間區或河灘區岩性單位延伸性為最小。本案例可知，互層封堵之封存概念下，需特別考慮不同沉積環境特性對砂岩或頁岩的地層組成比例，以及其側向延伸性之可能影響程度。

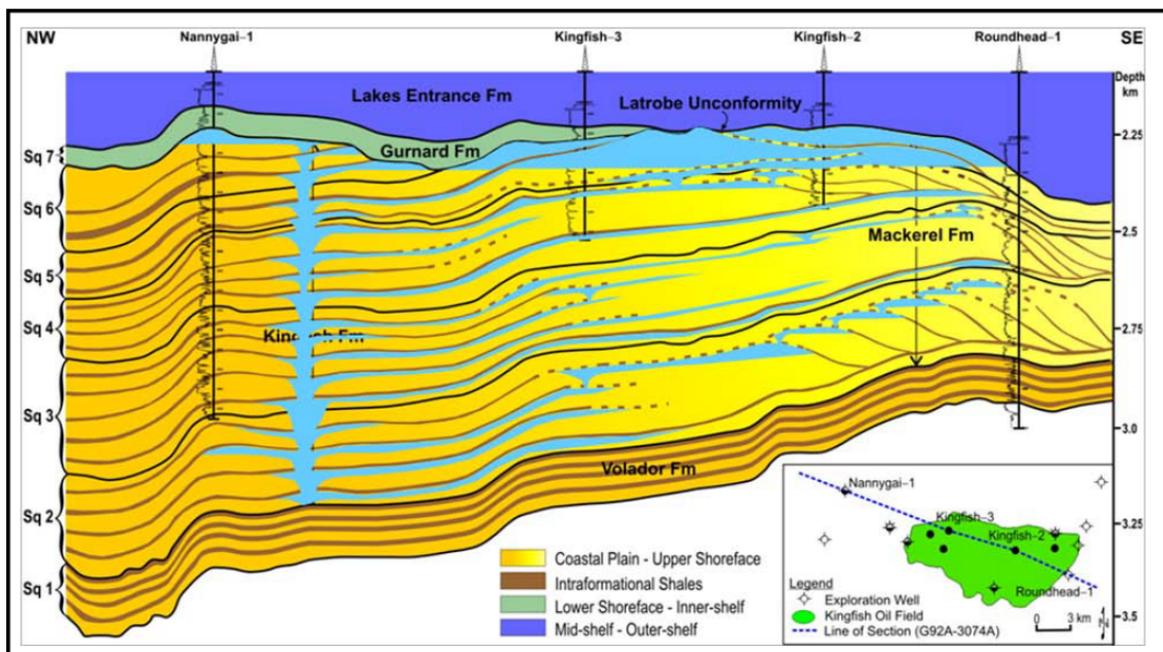


圖 23 澳洲沉積盆地互層岩石內碳流移動典型互層封堵情境

Analogue Data: Thickness/Areal Extent for Seal Depositional Environments

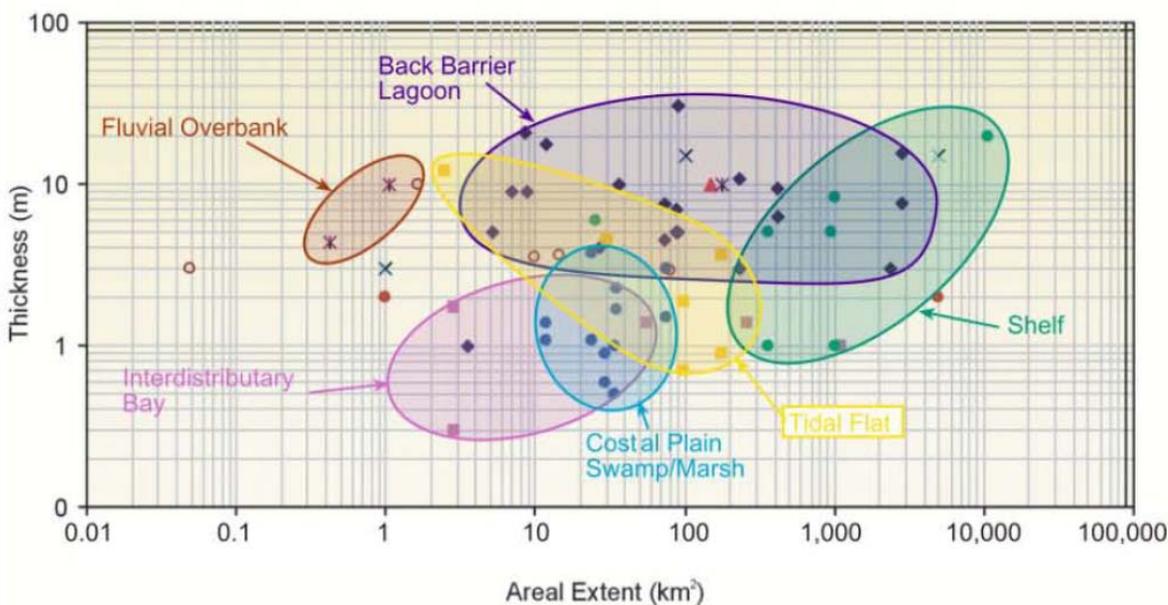


圖 24 澳洲沉積盆地案例地層厚度與區域側向延伸性之經驗關係

五、深部鹽水層碳封存碳流移棲情境預測

經參考 IEA(國際能源總署)所建議之地質封存安全性評估標準(Site selection criteria for ensuring the safety and security of CO₂ storage^[10])，並經詳細檢視儲層(貯留層) 可注性與蓋層(遮蔽層)安全性，因此台電現本階段於完成報告初步已結論出：「本案調查區範圍地質條件與有效封存量，適合進一步發展為深部鹽水層碳封存場址」。包括可作為先導試驗場址或盆地尺度商轉場址之可能。

以下就本案調查區台西盆地南側之盆地尺度深部鹽水層碳封存之安全性與風險性，整體性進一步補充說明如下：

(一) 單井注入之模擬

計畫(4)完成報告已就研究查證範圍(M-1 井為中心，30 公里半徑範圍)之區域儲層(包括 R-1, R-2, R-3)，透過選擇砂岩目標次層「均質模型」多層注入方式，使用 TOUGH2 程式 ECO2N 模組(Pruess, 2005^[21])，以 M-1 井驗證精進之地質模型，辦理 3-D 互層封堵情境模擬，檢證碳流移動方式與地層誘發壓力之規模。移行解析數值模擬研究，可足夠充份的資訊作為注入碳流之不同時空之地質安全評估與風險分析。對於碳流與深部岩石孔隙之地層水的互制，包括水動力(H)、地化(C)、熱傳(T)、力學(M)所可能引發之效應，於分析工具功能可行下，可充份進行個別影響分析與耦合(THMC Coupling)分析探討。

計畫(4)單井情境模擬分析中，每層儲層年注入二氧化碳量為一百萬噸，注入期為 20 年，監測期 500 年，累加總注入量共六千萬噸。計畫(4)完成報告的分析中，顯示三處候選儲集區(R-1, R-2, R-3)，透過初步數值模擬分析檢核評估成果，盆地尺度封存安全與風險，已說明如圖 4 所示。相關碳流移行情境模擬成果顯示：各儲層可

注性與互層多重遮蔽蓋層下，最大注入碳流移行距離向西約 3~5 公里間，由於地層傾角向東，向東移行距離大約僅約 1 公里左右。均遠小於安全查證範圍，並被互層頁岩有效遮蔽，因此可初步確認本場址之封存安全性。

因目前僅有一口先導鑽井(M-1 井)地質探查成果，分析評估所需資料尚屬有限。後續仍需針對各有效候選儲層，補充探查取得其地層側向地質資料，進一步以「非均質模型」驗證各目標蓋層側向延伸性與完整性後，再進行較為深入之參數的敏感度分析評估，俾以作為最終商用場址工程可行性規劃之重要參考。圖 25 為本案二維均質與非均質數值地質模型之比較。

(二) 模型材料異質性影響分析

由於「非均質模型」移棲情境分析需考慮較為精細的地質模型，以突顯砂頁互層異質性之影響。數值分析中，候選儲層與蓋層所需網格必需劃分細緻，且參數組合條件極為複雜。考慮分析的效率，現階段僅以本階段盆地尺度之 2-D 地質模型，先進行初步試探性分析，作為基況情境(Base Case Scenario)。

圖 26 為模型材料異質性影響分析所採數值分析之網格與模型材料空間分布，其中代表性網格每網格寬 x 向 $\approx 200\text{m}$ ，網格寬 y 向 $\approx 5\text{m}$ 。兩種模型材料為分「砂岩」與「頁岩」兩種，其情境(A、B)基本參數如表 6 所示。情境(A)「均質模型」為單層蓋岩遮蔽效應，為以往分析常見方式；圖 27 為「非均質模型」檢證於情境 B 注儲後不同時間點(10 年, 20 年, 200 年, 500 年)，碳流移動方式與水平最大移行距離之演化範例結果。兩情境分析均係模擬單井情境，每層儲層年注入二氧化碳量為一百萬噸，注入期為 20 年，監測期 1000 年。

圖 28 所示則為均質模型採單層遮蔽

(情境 A)，與非均質模型之多重遮蔽(情境 B)下，碳流移動方式(連續注入期為 20 年，加移行 1000 年後)結果之比較。模擬觀測顯示：碳流水平移行，已西向為主，均質模型最終最大移行距離達 10 公里；相對地，非均質模型因互層封堵的因素，最終最大移行距離僅有 3 公里左右。

推測本案真實情境將比較接近非均質模型。此外，圖 29(a)為日本方面^[22, 23]就情境 A(均質模型)與情境 B(非均質模型)之注

入分析結果比較，一般而言，「均質模型」分析所得顯示：儲層中，氣相(Gaseous Phase)CO₂ 比例較高；溶解相(Aqueous Phase)之 CO₂ 比例較低，此結果乃反映互層封堵下，碳流迂迴流動(Tortuous Migration Pathway)，促進其於岩石孔隙內殘餘與溶解封存機會，因此可更完整利用整體儲層的有效封存體積。圖 29(b)為本案「均質模型」與「非均質模型」之注入分析結果比較，與日本結果一致。

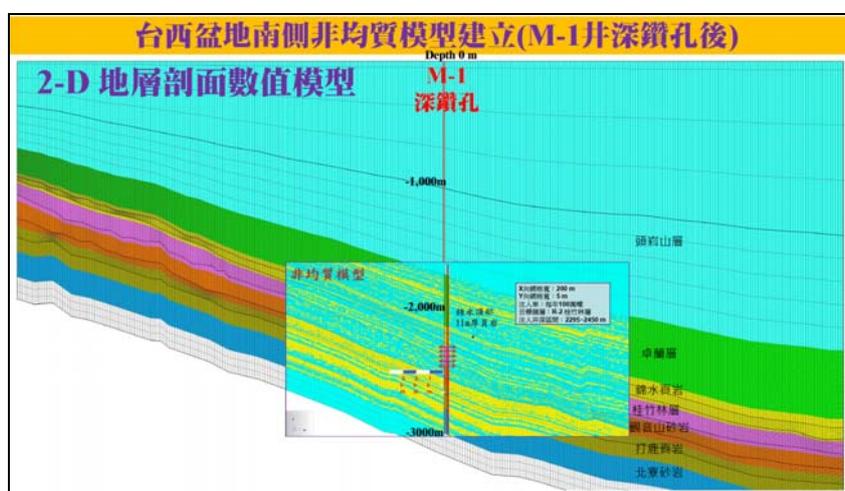
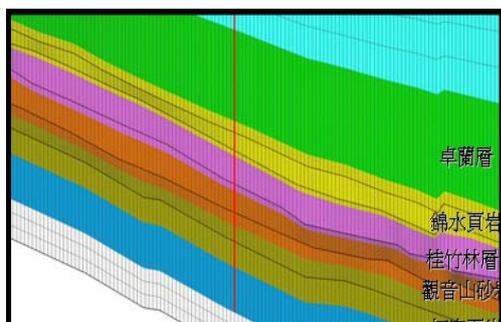


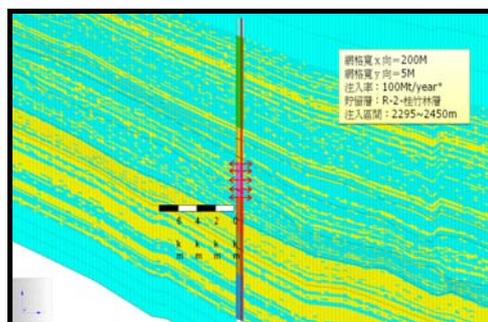
圖 25 模型材料異質性影響分析「均質」與「非均質」模型之比較

表 6 「均質」與「非均質」模型影響分析主要參數

模型	模型材料	情境 (編號)	孔隙率 (%)	滲透率 (m.D.)	年注入率 (萬噸 CO ₂)	注入區間
均質模型 (單層遮蔽)	砂岩	A	35	59	100	2295~2450m (桂竹林層)
	頁岩		20	0.0277		
非均質模型 (多重遮蔽)	砂岩	B	35	59	100	2295~2450m (桂竹林層)
	頁岩		20	0.0277		



(a) 均質模型(M-1 井標定後)



(b) 非均質模型

圖 26 異質性影響分析網格與材料空間分布

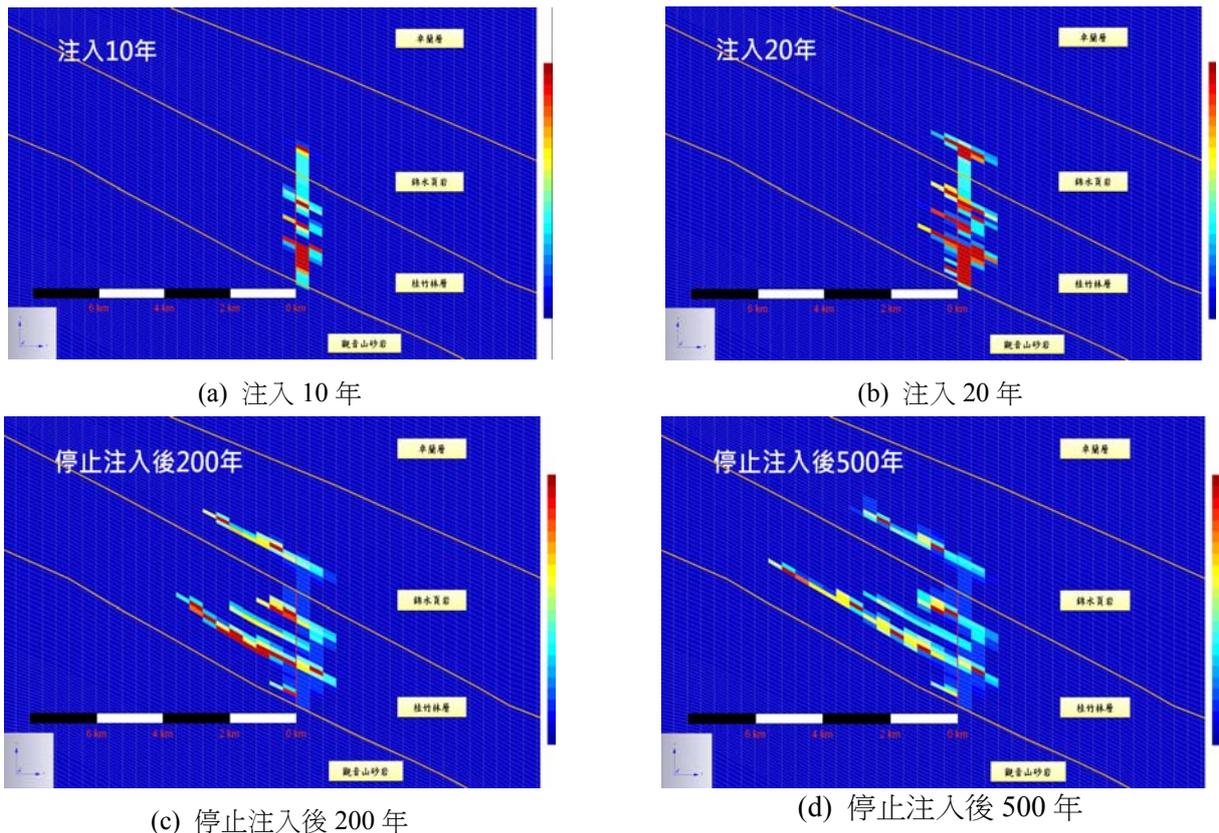


圖 27 情境 B 「非均質模型」檢證碳流移動方式之範例結果

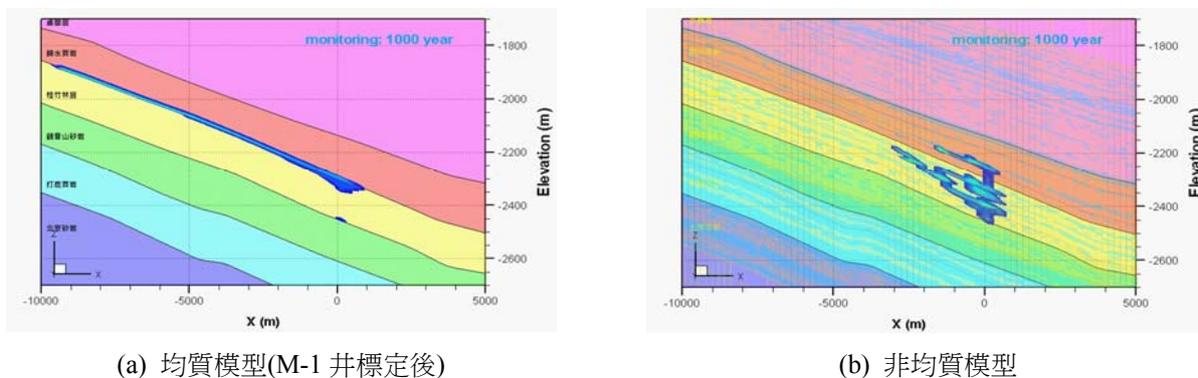
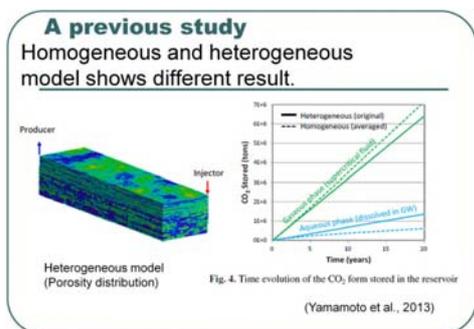
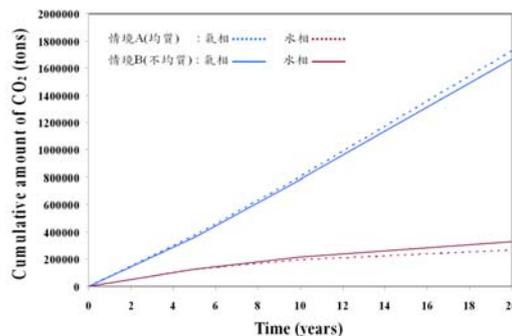


圖 28 單層遮蔽與多重遮蔽情境下碳流移動方式比較(注入 20 年，加移行 1000 年)



(a) 日本 3-D 案例



(b) 本案情境(A)與(B)

圖 29 「均質」模型與「非均質」模型分析結果比較

(三) 模型材料參數不確定性影響分析

基況情境下，由於參數不確定性高，因此異質性影響分析網格與材料空間分布，需廣泛考量各種出現之情境，以感度解析(Sensitivity Study)確認不均質模型下統計最可能情境，包括最壞情況的可能情境，辦理系統性參數不確定性影響分析(敏感度分析)。可列入考量的參數不確定性因子，如地層孔隙率、滲透率、相對滲透率、砂岩比例、頁岩側向延伸性、注入區間長度、注入井位置等。

本研究初步以基況情境下孔隙率與滲透率參數改變下之各種可能情境進行感度分析。表 7 為分析主要參數變化取值情形。「非均質」模型材料以砂岩、頁岩兩種，其中砂岩孔隙率取值為 35%，頁岩孔隙率取值為 20%。砂岩與頁岩滲透率則利用圖 30 所建立經驗關係，取高值、中值，與低值區間，為模型參數變化取值範圍，共九種組合^[24, 25, 26]。

表 7 所示為非均質模型感度分析九種情境不確定性影響分析下(Case-1~Case-9)的主要使用參數，並列示各分析情境於完成連續注入 20 年，累計注入共 2000 萬噸 CO₂ 後，後續碳流移行 1000 年後，最大移行距離監測成果比較。影響分析下，各情

境最大移行距離大約落在 0.9~4.7 公里左右，最大移行距離較大之情境，主要發生於砂岩之高滲透率(1312 mD)情形，移行最大距離(4.7 公里)為情境 Case-2 與 Case-3 之結果。此外，均質情況下情況對比非均質(Case-5)，顯示均質情況(參數同 Case-5)模擬結果之水平最大移行距離更大，約可達 9.7 公里左右，可見均質情況所模擬水平移行最終影響範圍比非均質將更為廣泛。

圖 31~圖 33 所示分別為九種情境注入的情境，模擬碳流移行 1020 年間的全過程，非均質地層於最大厚度頁岩蓋層下(高程約井下 2162mRT)處，所誘發之應力規模比較。整體而言，各種情境下，地層誘發應力規模於注入完成(20 年)後達最大值，其後壓力於停止注入後即漸漸下降。最大水平移行最終影響範圍愈大者(Case-1~Case-3)，其誘發應力愈小，如圖 31 所示。

透過上述研究，即可充分了解於本區盆地內深部鹽水層進行碳封存的碳流移棲安全情境的預測。後續研究應可考慮更多參數不確定性因子之影響下，進行更為深入更廣泛之非均質模型敏感度分析，據以評估封存安全性與可能風險性，以為工程規劃之參考。

表 7 非均質模型參數不確定性影響分析主要參數與最大移行距離比較

案例情境	模型材料	孔隙率(%)	滲透率(mD)	注入區間	水平最大移行距離
Case -1	砂岩	35	1312	2295~2450m (桂竹林層)	移行≈1.9 km
	頁岩	20	1.081		
Case -2	砂岩	35	1312	2295~2450m (桂竹林層)	移行≈4.7 km
	頁岩	20	0.0277		
Case -3	砂岩	35	1312	2295~2450m (桂竹林層)	移行≈4.7 km
	頁岩	20	0.0001		
Case -4	砂岩	35	59	2295~2450m (桂竹林層)	移行≈2.1 km
	頁岩	20	1.081		
Case -5	砂岩	35	59	2295~2450m (桂竹林層)	移行≈3.1 km
	頁岩	20	0.0277		
Case -6	砂岩	35	59	2295~2450m (桂竹林層)	移行≈3.3 km
	頁岩	20	0.0001		
Case -7	砂岩	35	4.5	2295~2450m (桂竹林層)	移行<1 km
	頁岩	20	1.081		
Case -8	砂岩	35	4.5	2295~2450m (桂竹林層)	移行<1 km
	頁岩	20	0.0277		
Case -9	砂岩	35	4.5	2295~2450m (桂竹林層)	移行<1 km
	頁岩	20	0.0001		

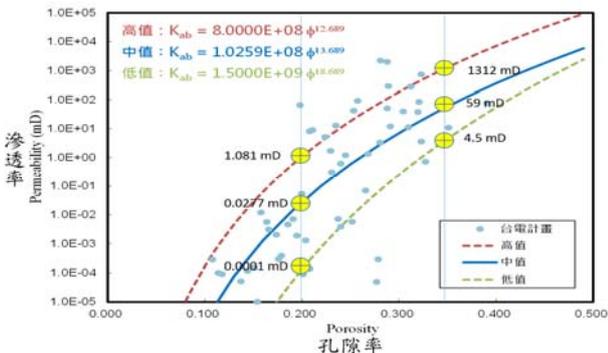


圖 30 孔隙率與滲透率參數變化取值範圍(高、中、低值)

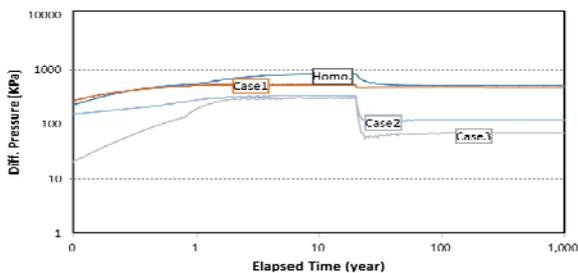


圖 31 非均質模型案例情境 1~3 預測移行 1000 年後地層誘發應力規模

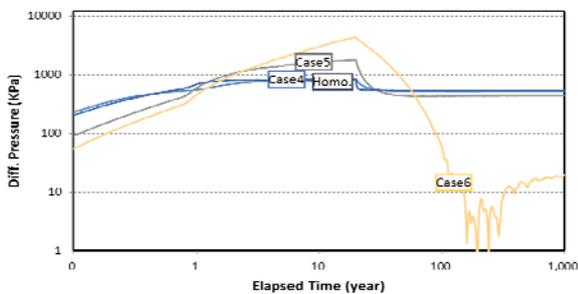


圖 32 非均質模型案例情境 4~6 預測移行 1000 年後地層誘發應力規模

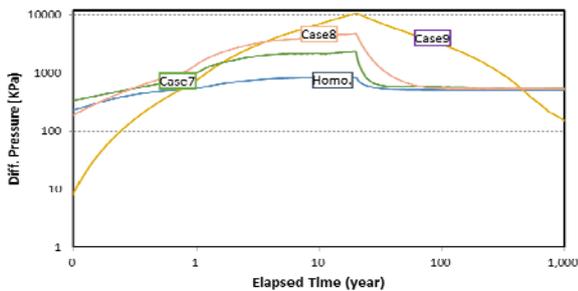


圖 33 非均質模型案例情境 7~9 預測移行 1000 年後地層誘發應力規模

伍、結論與建議

本文彙報 TPCS-M1 井深鑽成果，與先導試驗場址地質調查及技術研發現況。經詳細檢視本案目標儲層(貯留層) 可注性與蓋層(遮蔽層)安全性，並類比國外既有規範與實例，目前研究成果顯示：「本區地質條件與所具有效封存潛能，適合進一步發展為深部鹽水層^[27]碳封存場址」。包括可作為先導試驗場址或盆地尺度商轉場址之可能。此外，若取得土地合法使用許可，未來以 M-1 井所在崙尾場址，作為未來推動先導試驗小規模注入(10,000 噸以內)，進行科學監測驗證之場址，應屬可行。對於未來工作建議如下：

一般而言，地質模型需隨調查資料之解析度增加而同步精進，目前鑽探取得大量岩心，可使本案之地質資料較之以往更為清楚，但因 M-1 井單孔資料仍屬有限，因此仍需透過近接鑽孔(M-2 井)以資查明目標層之側向展延性，以及補充探查井深 1,500 公尺以上之岩心地質資料，以精進地質模型，並可進一步降低地質不確定性風險。未來 M-2 井除可結合 M-1 井，辦理跨井地質補充調查，並可轉作為先導注入試驗之監測井。

本案 TPCS-M1 井開鑽之前，已於崙尾場址進行大規模中尺度地表反射震測，旨在探測目標地層層位與本區地層位態與側向延伸性，對於鑽井之設計提供很大幫助。未來 TPCS-M2 井開鑽之前，建議規劃應用已取得中尺度地表反射震測資料，進行加值研究。例如透過聲波阻抗 (Acoustic Impedance) 之研究，取得更具體之分層與側向延伸地質模型，作為後續井群設計之參考依據。

為初步驗證封存貯留層之可行性與安全性，本文特別針對 R2 貯留層，以高解析度之數值情境分析進行全面檢核，並以建立砂頁岩互層均質與非均質敏感度分析標準作業流程。有鑑於砂頁岩互層之非均質模型異質性，對分析結果影響極大，未來可視更多之側向延伸性資料之取得，進一步釐清貯留層與遮蔽層之垂向與側向異

質性，建立更為精進地模型後，進行各種工況數值情境分析^[28]，可加強檢查確認砂頁岩互層封存之可行性與安全性。

震測對地層解析度實受震波特性和所影響。地表反射震測主要用於探勘地層側向延伸，對於二氧化碳注入後，地層內部流體移行之解析，有其應用侷限性。未來少量灌注之先導試驗，若需使用震測方法，建議考慮採高頻之井下受波器，並採用垂向井下震測(VSP)或跨孔震測(Cross-hole)技術，以提供足夠解析度俾以監測解析注入流體於地層內之移行。

現地深層地層孔隙水(Formation Water)，M-1井於完井套管水泥完工後，曾進行未穿孔井下裸井段區間水採樣分析。後續地層孔隙水取樣必須於完井後，透過穿孔(Perforation)作業，並使用精密井下取水儀器方能完成，因此直接資料尚未充分取得，尚待後續進一步深井開發時，予以適當規劃。

對於台電未來於國內推動大型 CCS 商業項目而言，需先以推行先導試驗研發過程，確認深部鹽水層封存主要的地質封存安全機制，以及驗證可行的安全的量測與監測方法，提供本土封存儲層評估的重要參考，如此，方能據以評估封存安全性與可能風險性，以為實際工程施行時風險管理與規劃設計之參考依據。

陸、參考文獻

- [1] 中興工程顧問股份有限公司，「二氧化碳地下封存地質資料庫建置與候選場址評選計畫期末報告」，台灣電力公司委託專業服務，2009年。
- [2] Yu, C.W., Chen, S., Shao, K.S., Chiao, C.H., Hwang, L.T., and Chen J.L., “Development of CCS Technology for Coal-fired Power Plant in Taiwan,” *Energy Procedia*, vol.4; pp.4806-4813, 2011.
- [3] 財團法人中興工程顧問社，「二氧化碳地質封存試驗場址調查規劃與研究期末報告」，台灣電力公司委託專業服務，2011年。
- [4] Ko, W.C., Yu, C.W., Chiao, C.H., Hwang, L.T., and Yang, M.W., “Seismic Reflection Survey to Allocate 3000m Deep Target Formation in a Preferred Carbon Sequestration Site,” *Energy Procedia*, vol.37; pp. 4954-4959, 2013.
- [5] Yu, C.W., Ko, W.C., Chiao, C.H., Hwang, L.T., and Yang, M.W., “Planning a Pilot Injection Test for a 3000m Deep Saline Aquifer in a Preferred Carbon Sequestration Site,” *Energy Procedia*, vol.37; pp. 4960-4967, 2013.
- [6] 財團法人中興工程顧問社，「二相流試驗設備之建立與功能驗證期末報告」，台灣電力公司委託專業服務，2011年。
- [7] 財團法人中興工程顧問社，「二氧化碳地質封存先導試驗場址地質調查及技術研發(一)期末報告」，台灣電力公司委託專業服務，2014年。
- [8] 俞旗文，葛文忠，焦中輝，黃連通，楊萬慧，楊明偉，「二氧化碳地質封存先導試驗場址地質調查及技術研發(一)」，台電工程月刊 第 798 期，2015 年。
- [9] Yu, C.W., Chiao, C.H., Hwang, L.T., Yang, M.H., and Yang, M.W., “A Pilot 3000m Drilling for Characterizing a Candidate Deep Saline Aquifer in Western Taiwan,” *Energy Procedia*, vol.63; pp. 5071-5082, 2014.
- [10] IEAGHG Programme “CCS SITE CHARACTERIZATION CRITERIA: Site selection criteria for ensuring the safety and security of CO₂ storage,” Technical Study Report No. 2009/10, 2009.
- [11] IEAGHG Programme, Cap rock systems for CO₂ geological storage, Report of IEA Greenhouse Gas R&D Programme (IEAGHG), 2011.
- [12] DNV GL., “DNV-RP-J203 Geological Storage of Carbon Dioxide and DNV-DSS-402 Qualification Management for Geological Storage of CO₂,” 2012, [Online] Available: Visit: http://www.dnv.com/industry/oil_gas/services_and_solutions/technical_advisory/process_integrity/ccs_carbon_capture_storage/recommended_practices/.
- [13] T. Lin, A. B. Watts and S. P. Hesselbo, “Cenozoic stratigraphy and subsidence history of the South China Sea margin in the Taiwan region,” *Basin Research* 15, pp.453-478, 2003.
- [14] 鄧屬予，「台灣第四紀大地構造」，經濟部中央地質調查所特刊，第 18 號，第 1-24 頁，2007 年。

- [15] 林殿順,「台灣二氧化碳地質封存量估算及台灣中部陸海域二氧化碳地質封存潛能評估」,國科會能源國家型計畫,淨煤主軸第一期計畫年度成果發表會,2007年。
- [16] Gibson-Poole, C.M., Svendsen, L., Ennis-King, J., Watson, M.N., Daniel, R.F., and Rigg, A.J., "Understanding stratigraphic heterogeneity: A methodology to maximize the efficiency of the geological storage of CO₂," In: M. Grobe, J.C. Pashin and R.I. Dodge (Editors), Carbon dioxide sequestration in geological media - State of the science. AAPG Studies in Geology, pp.347-364, 2009.
- [17] 楊智豪、俞旗文,「利用岩心壓汞試驗評估二氧化碳地質封存蓋層之封堵安全性」,2014 岩盤工程研討會論文集,霧峰朝陽科技大學,2014年。
- [18] 日本財團法人地球環境產業技術研究機構,「RITE:二酸化炭素地中貯留技術研究開發,平成17年度成果報告書」,平成18年3月,2006年。
- [19] 日本財團法人地球環境產業技術研究機構,「RITE:二酸化炭素地中貯留技術研究開發,平成18年度成果報告書」,平成19年3月,2007年。
- [20] Kaldi, J.G. and Atkinson, C.D., "Evaluating seal potential: example for the Talang Akar Formation, offshore northwest Java, Indonesia," In Surdam, R.C. (Ed.), Seals, Traps and the Petroleum System. AAPG Memoir 67, pp.85-101, 1997.
- [21] Pruess, K., "ECO2N: A TOUGH2 Fluid Property Module for Mixtures of Water, NaCl, and CO₂," Lawrence Berkeley National Laboratory Report LBNL-57952, Berkeley, CA, 2005.
- [22] Hashimoto, T., Hiramatsu, S., Yamamoto, T., Takano, H., Mizuno, M, Miida, H., "Evaluation of CO₂ Aquifer storage capacity in the vicinity of a large emission area in Japan: Case history of Osaka Bay," *Energy Procedia*, vol.1, pp. 2701-2708, 2009.
- [23] Yamamoto, H., Nanai, S., Zhang, K., Audigane, P., Chiaberge, C., Ogata, R., Nishikawa, N., Hirokawa, Y., Shingu, S., and Nakajima, K., "Numerical Simulation of Long-Term Fate of CO₂ Stored in Deep Reservoir Rocks on Massively Parallel Vector Supercomputer," VECPAR 2012, LNCS 7851, pp. 80-92, 2013.
- [24] 俞旗文,雷世璋,焦中輝,黃連通,楊萬慧,「不均質模型下地質封存碳流移行風險情境分析」,第十六屆大地工程學術研究討論會(Geotech2015),高雄市,2015年。
- [25] Chi-Wen Yu, and Shih-Chang Lei, "Risk Scenario Analysis for Heterogeneous Geological Model in a Carbon Sequestration Application in Central Taiwan," Proceedings, TOUGH Symposium 2015.
- [26] Chi-Wen Yu, Shih-Chang Lei, Ming-Wei Yang, Chung-Hui Chiao, Lian-Tong Hwang and Wan-Huei Yang, "Geo-Risk of Cap Rock System Associated with Heterogeneous Rock Formation Consisted of Interlaying Sandstone and Shale," *Journal of Energy and Power Engineering*, vol. 9, pp. 955-966, 2015.
- [27] IPCC, Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage, Technical Report, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Prepared by Working Group III, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2005.
- [28] Kameya, H., Ono, M., Takeshima, J., Azuma, H., Hiramatsu, S., and Ohmukai, N., "Evaluation for the capillary-sealing efficiency of the fine-grained sediments in Japan," *Energy Procedia*, vol. 4, pp. 5146-5153, 2011.

核能發電的挑戰與展望

The Challenge and Prospect of Nuclear Power

徐自生

Shyur, Tzu-Sheng

摘要

台灣在 70 年代開始發展核能發電，是厚植國力的十大建設之一，1980 年曾發行核一廠紀念郵票，慶祝這項建設對國家的貢獻。1985 年 52.4% 的供電來自核電，是核能發電達到最高峰的一年，也協助台灣順利度過 1990 年的第二次石油危機。1987 年政府宣布解除戒嚴，反核運動從此成為社會運動的焦點之一，直到 90 年代全球氣候變遷證據充足，聲勢稍緩。然而就在台電 60 年至 70 年(2007-2016)間的 2011 年，發生日本福島事件，導致全球各國以最嚴格的標準檢視核能發電，讓核能發電產業整體停滯，也成為台灣核能發電能否持續生存、發展，變化最大的 10 年。1997 年通過京都議定書後，至 2008 年議定書到期前，全球溫室效應並未明顯改善，為了避免全球氣候變遷進入不可逆的境地，聯合國要求各國需在 2015 年底巴黎會議前，自行繳交自主承諾的減量目標(INDC)。我國政府因應國際趨勢，也在 2015 年 9 月 17 日公布了台灣的 INDC，向國際社會昭告台灣的自主減碳承諾。此 INDC 目標，延續政府「穩健減核」政策，此一情境與將核能發電列為低碳能源選項，並大量投資的國際趨勢相左。我國能源產業的二氧化碳排放超過 9 成，在減少核能發電這一項低碳能源的情境下，如何達成 2030 年溫室氣體排放量，相當於 2005 年排放水準再減 20% 的國家自主減碳承諾，不確定性實在非常的高。瑞士國會於 2016 年 3 月決議廢核不設期限，認為關閉仍在運作且安全的核電廠，是沒有意義又錯誤的事。期望我國政府能借鏡瑞士，以理性、務實的態度，對影響台灣長遠發展的能源政策，做出最佳的選擇。在政策未改變前，台電核能從業人員，依照五大營運方向，完成延役及啟封準備工作，保持事業部的元氣，靜待鐘擺效應回頭，再創核能發電的榮景。

Abstract

Taiwan started to develop nuclear power in 1970s and listed the construction projects of nuclear power plant as one of the Ten Major Construction Projects of Taiwan. The government even issued commemorative postage stamps to celebrate the significant milestone of nuclear energy to the power supply. The production from nuclear power in Taiwan reached its peak in 1985, accounting for 52.4% of total power generation - the highest ratio in history. During the period, nuclear energy also helped our country to weather the second oil crisis. It was not until 1990s, a time when the evidence of global climate change was becoming obvious, that nuclear power emerged as an important issue in social movement. However, after the disastrous Fukushima nuclear event in 2011, the power industry was forced to slow down the pace of nuclear development, making huge impact on nuclear industry in Taiwan at the time. Although

*台灣電力公司核能發電事業部

Kyoto Protocol of United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) was signed in Dec. 1997, there were still no signs of decline in global climate change before 2008, and the UN requested the Party countries to be committed to the Intended Nationally Determined Contribution (INDC). Our country submitted the country's INDC on 17th, Sep, 2015 and announced that Taiwan is determined to become one of the contributors to the world in this respect. But, to our surprise, the INDC is based on a plan of reducing the nuclear power generation in Taiwan step by step. However, the reality facing our country is that more than 90% of greenhouse gas in Taiwan is being released from our energy sector. As such, without the nuclear power, the INDC will be a Mission Impossible. In view of the fact that, despite its previous anti-nuclear policy, the parliament of Swiss resolved in March 2016 not to close nuclear power plants and not to set a timetable for reaching the country's long-term target of No-Nuke Homeland, we still hope that our country can establish the energy policy in a reasonable and practical manner. Before that, we will continue doing our best to prepare for nuclear power plant life extension and activities related to restarting the Fourth Nuclear Power Plant, in the hope that the spring of nuclear power will come back again in Taiwan.

關鍵詞(Key Words)：核能發電(Nuclear Power)、能源政策(Energy Policy)、巴黎協議(Paris Agreement)、溝通(Communication)。

壹、前言

1970 年代台灣因欠缺公共基本建設，1973 年 10 月又發生第一次石油危機，因此政府在那個時期進行了一系列的基礎建設工程，核能發電即為當時引導經濟起飛厚實國力的十大建設之一。1978 年核一廠建廠完成並提供穩定電力，為了紀念這項建設，政府於 1980 發行核一廠紀念郵票。三個核能電廠運轉迄今逾 37 年，運轉績效卓著，長期以低成本穩定供電，每年減少二氧化碳排放 2000 萬公噸，對公司及社會的貢獻甚大。但 1979 年美國發生三哩島事件，1986 年再發生蘇俄車諾比爾事件後，整個核能產業就處在低盪的狀況。為了改善核能安全重建民眾對核能發電的信心，全世界核能產業及電力公司，分別成立了不同的國際性的組織，如全世界擁有核能電廠的電力公司，成立世界核能發電協會(World Association of Nuclear Operators, WANO); 美國核

能電廠及核能相關產業，成立核能運轉協會 (Institute of Nuclear Power Operations, INPO); 美國所有的電力公司及電力相關產業，成立美國電力研究院 (Electric Power Research Institute, EPRI)，產業製造商各自成立沸水式反應器及壓水式反應器擁有者聯盟(Boiling Water Reactor Owner Group/ Pressure Water Reactor Owner Group)等，期望透過全世界核能產業相關的設備製造商、使用者的共同努力，建立核能電廠營運的一致標準與績效指標，分享彼此的運轉經驗，以促進電廠營運績效及運轉的更安全。

1990 年以後，人類經濟活動排放出過量的 CO₂，造成氣候變遷的問題越來越明顯，在世界各國逐漸重視的情形下，核能電廠能提供人類經濟發展所需要的電力，又不會排放 CO₂ 的優點，逐漸被絕大多數的國家所認知，形成一股促成核能產業新興的力量。我國行政院也在 2008 年 6 月通過「永續能源政策綱領」，揭櫫「促進能源多元化，提高低碳能源比重，並將核能作為無碳

能源的選項」，此一行動，也讓台灣的核能產業開始充滿了希望與動力。因此 10 年前 60 週年慶時，核能系統以「台電核能營運」，說明台電公司核能發電的回顧與展望，結論還樂觀的認為：『亞洲的日本、韓國、大陸均持續發展核能，歐美各國核能發電亦逐漸復甦，從全世界核能營運傲人績效及各國能源政策轉向，在在都顯示核能春天的來臨。^[1]』

但不幸 2011 年 3 月 11 日發生了日本東海大地震引發超高海嘯，進而造成福島第一核能電廠 6 部機組中的 4 部核能機組，因為缺乏冷卻水導致核燃料破損引發氫爆。事故影片及照片，在世界各地的電視報紙等媒體上放送，終而導致全世界整個核能產業，從充滿希望的情景再次進入寒冬。為了防止類似事件再發生，全世界核能相關產業與政府管制機構，都以預防福島事件重複發生的安全標準，檢視營運中的核能電廠。台灣的情形更為嚴峻，社會民眾甚至是立法委員，反對核能的聲音甚囂塵上，社會氛圍對核能的發展極為不利，政府雖然極盡所能，以最嚴格的安全標準，檢視台電公司營運中及建造中的核能電廠，要求增加或改善許許多多的設施，以提升安全機率，但仍不能扭轉甚至減輕這個氛圍。

台電 60 年至 70 年即 2007 年至 2016 年，正是台灣核能發電能否持續生存、發展，變化最大的 10 年。10 年中，從谷底逐漸上升到充滿希望，又因日本福島事件，再次被打入廢核的輿論深淵，至今仍在穩健減核的谷底中徘徊。

貳、外在環境的變動與要求

一、第 3 次全國能源會議後的外在環境

2007 年至 2016 年的 10 年期間，政府為了整個國家的能源問題，召開了兩次全國能源會議，2008 年 6 月 5 日行政院核定「永續能源政策綱領」後，即在翌年 4 月召開了第 3 次全國能源會議，討論在「永續能源政策綱領」下，中長期性及爭

議性之能源基本議題。

2009 年第 3 次全國能源會議，因為正好面臨全球經濟蕭條、氣候變遷，及能源價格巨幅變動的衝擊，雖然這次會議，背負著需確立我國未來整體經濟、能源與環保發展定位的重大使命，但在反核及環保人士的強力反對下，只取得溫室氣體減量一項共識目標，對核能未來發展方向、低碳能源發展方向等尚有爭議的問題，仍難有共識。雖然如此，仍認同核能是無碳能源的選項，並將採用天然氣與核能，作為從高碳過渡到低碳的能源選項，同時建立以核電正常發展的成本優勢，協助與促進其他低碳能源的研究與發展。現有運轉中核一、二、三廠 6 部機組延役，並基於核能發電對節能減碳的貢獻，進行現有核電廠址內增建機組的可行性研究，以落實永續能源政策綱領的減碳目標。加強溝通尋求共識，解決低放射性廢棄物場址問題，並推動用過核子燃料境外再處理，尋求區域合作，及持續推動用過核子燃料乾式貯存計畫，以因應短期內用過燃料池容量不足的需求^[2]。

整體而言，這次的能源會議，因為 CO₂ 排放造成氣候變遷的證據越來越明顯，因此取得溫室氣體減量的共識。核能未來發展方向雖然沒有共識，但因為氣候變遷的問題，使得與會專家學者都認知到減少排碳的重要與急迫性，會議結論及整個社會氛圍，對核能發電及整個核能產業來說，是充滿了發展的希望，從谷底走出，黎明在即。

二、政策的轉變與對核能安全的要求

然而 2011 年 3 月 11 日日本東北地方太平洋近海發生了嚴重的地震，地震規模高達地震矩規模 9.0，引發高達 14.5 公尺的超高海嘯，淹沒了日本福島第一核能電廠的廠區。待海水退了以後，6 部機組中有 4 部機的緊急柴油機，因為安裝在地下樓層而被水淹沒，而無法提供安全系統所需的電力，加上外電在地震中被損毀，導致這 4 部機組因為沒有電力供應，使反應爐缺乏冷卻

水，進而使核燃料溫度上升到燃料護套銻合金與水發生水和作用產生氫氣，最終因為氫氣濃度達到爆炸濃度而引發氫爆。氫爆的事故影片及照片，在世界各地的電視、報紙等媒體上放送，且因燃料融毀及氫爆，導致福島第一核能電廠的鄰近區域，受到輻射污染，日本政府疏散了 20 公里範圍內的居民約 10 萬人。這個核意外事故，在核能發電產業中簡稱為「福島事故」，是繼美國三哩島事故、俄羅斯車諾比爾事故後，第 3 件嚴重的核意外事故，也是繼車諾比爾事故後，再次影響到鄰近地區民眾生活的核意外事故，終致全世界各國政府全面檢討核能電廠的安全性。

為因應福島核事故對核能發電所造成的衝擊，各國政府所提出的對策，多會考慮所處的地理位置、核能電廠的設計基準及施政理念，所採取的政策差異非常大。例如，在日本福島事件發生後不久，德國、瑞士及比利時很快的宣布其廢核的國家政策；美國的核能管制單位則訂定了許多短、中、長期強化措施，要求美國境內的核能電廠，必須在所規定的期限內完成檢視，不符合的項目要提出時程進行改善；歐盟(European Union, EU)國家與經濟合作暨貿易組織核能署(Organization for Economic Co-operation and Development Nuclear Energy Agency, OECD, NEA)則要求其會員國，需符合國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)的監督與要求下，依據歐盟之歐洲核安全監管組(ENSREG)所提出之壓力測試(Stress Test)規範，對所擁有的核電廠進行整體性的安全測試，並加強對天然災害(如地震、海嘯、水災、風災)和多重災害的防範；健全核安法規及加強設置輔助電源等提升核能電廠安全營運的要求。

我國的因應對策，則在核能管制機關---行政院原子能委員會(以下簡稱原能會)，根據馬總統於國家安全會議 311 專案第五次會議裁示：「三座運轉中核電廠及一座興建中核電廠，應再予以總體檢」，參考日本官方管制機構(原子力安全保安院)、東京電力公司及國際重要核能機構(國際

原子能總署、美國核能管制委員會、美國核能協會、歐洲核能安全管制者組織、世界核能發電者協會)等全世界相關機構，針對福島一廠事故提出應採行的加強安全措施，再依據我國核能電廠設計基準、地質環境及運轉狀況等特性，檢討現有機組因應類似福島電廠事故之能力以及異常天災發生後可能潛在之設備功能喪失危險等要項，彙總訂出我國核能電廠現有安全防護體制全面體檢的具體項目，期望透過強化現有核能機組抗地震、防山洪、耐海嘯之能力，使台灣不致發生類似日本福島電廠事故為目標。

上述因應對策的名稱為「我國核能電廠現有安全防護體制全面體檢方案」，此方案於 2011 年 4 月 19 日經原能會報請行政院核定，方案內容分為「核能電廠安全防護措施」與「輻射防護及緊急應變機制」兩部份。其內容係依據福島事件的八項經驗回饋：喪失所有廠區交流電源、海嘯之防範、用過燃料池之冷卻、氫氣排放及爆炸、嚴重事故之處理、地震之防範、廠區基礎設施及安全文化，再細分成 44 個子項，對核能電廠進行全盤性的檢視。台電公司在 101 年 8 月完成此項安全防護體制全面體檢方案並由原能會報行政院核備，原能會在八項檢視重點中，針對一些發生機率極低的事件，仍再提出希望再增強防範措施的要求。譬如海嘯問題，國科會委請學者執行台灣潛在高於預期之海嘯模擬與研究計畫，2011 年 12 月該計畫提出各核電廠的鄰近區域之海嘯溢淹可能範圍與高程報告，顯示我國 4 個核能電廠的地平面高程設計，足以因應可能的海嘯問題，但原能會仍要求本公司除依據調查結果檢討，並強化核能電廠的海嘯防範措施外，另外再要求本公司需依據美國核管會最新分析方法論，重新評估海嘯危害之設計基準，並要求依現行持照設計基準水位再提高 6 公尺築海牆或改善廠房為水密性能力，以涵蓋可能之不確定度^[3]。

除此之外，我國雖非屬 IAEA 會員國，但原能會為了因應外界反核團體，認為我國核能電廠現有安全防護體制全面體檢的執行與審查，是由

國內政府機關與專家學者完成的，在客觀性上有疑慮。因此原能會也邀請歐盟執委會/歐洲核能安全管制者組織，派遣執行歐洲核電廠整體性安全測試的專家學者，來台進行同行審查，以符合歐洲核安全監管組所要求的壓力測試，對台電公司的 4 個核能電廠進行相同標準的壓力測試。此項測試要求從電廠廠址設計與特性、地震、洪水、極端天然災害之威脅、喪失電源與最終熱沈、嚴重事故處理等六個面向，進行弱點檢討，並提出補強措施。我國的國家報告於 2013 年 6 月完成，歐盟執委會/歐洲核能安全管制者組織所派遣的專家，也在民國 2013 年 9 月 23 日至 10 月 3 日，親赴 4 個核能電廠完成同行審查的現場查訪作業，並於 11 月 7 日將正式報告及摘要報告送原能會。

從我國的國家報告的內容可知，舉凡行政院之命令、行政院高階審查會議的意見、美國核管會(Nuclear Regulatory Commission, USNRC)近期專案小組(Near Term Task Force, NTTF)的建議事項，USNRC 因應 911 恐怖攻擊的對策要求、原能會高階審查會議的意見、日本管制機關對核電廠要求、日本東京電力公司要求其所屬核電廠及其他日本核電廠採行的對策、ENSREG 行動計畫的建議、歐盟同行審查回饋的優良實務、我國特定的議題、及原能會要求依照美國標準測試方法(ASME)的危險度分析(PRA)標準完成整體 PRA 分析模型等等，皆為原能會檢視我國核能電廠安全檢測項目的依據，即可得知原能會對國內核能電廠在安全營運上的要求，是集世界核能安全要求的大成！因此國內四個核能電廠的安全檢測結論，符合世界核能電廠安全檢測的要求，是可預見的^[4]。

但是，原能會與台電公司的努力，並沒有被國內的民眾及反核團體普遍接受，行政院為因應近年來的反核情境，乃於 2014 年 4 月 27 日宣布：「核四安檢後封存，其後續運轉交由全民公投決定」。隨後行政院為確保國內能源安全，兼顧經濟發展、民生負擔及環境保護，並因應未來國際

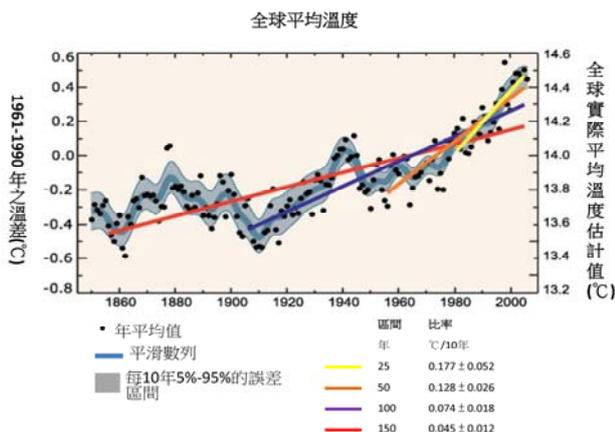
政經、能源情勢變動及核四安檢後封存的電力供需等，許多國內、外環境不確定性的挑戰，乃決定在 2015 年 1 月舉行第 4 次全國能源會議，主題訂為「未來電力哪裡來？」希望透過理性溝通，以多元的觀點，共同探討臺灣未來穩定、效率、潔淨、可負擔的電力發展。可惜的是，在反核人士、團體強力杯葛、反對之下，這次全國能源會議，除了節能及再生能源極大化這兩個項目有共識之外，核能議題仍然無法達成任何程度的共識。

最後，再看看福島事件的主要影響國家---日本，雖然在福島事件發生後的當下，日本政府就決定其境內的核能電廠，只允許運轉到燃料週期結束，停機後就需依據政府最新要求，進行安全檢測及改善作業。2012 年日本因為所有的核能電廠均停止發電，需要進口大量的天然氣等石化燃料，來填補這個電力空缺，當年發電燃料成本就增加了 3.2 兆日圓，導致電價大漲，產業成本大增，以致整體經濟衰落。日本雖然在 2011 年歷經了嚴重的核子災害，仍然務實的評估國家的發展與能源政策，並在 2014 年 4 月 11 日宣布其最新的能源基本計畫，將核能發電定位為「重要基本電源」，並且決定只要通過安全檢查的核能電廠，都可以申請重新起動。因此九州電力公司位於鹿兒島縣的川內核能電廠，2 部機分別在 2015 年 7 月及 9 月申請重新起動，並分別在 2015 年 8 月及 10 月達到商轉，結束了日本超過 3 年沒有核電的日子。

三、人類活動對環境的影響

90 年代，關心地球整體環境的氣象學家及環保人士，對人類活動影響地球環境所現象，所使用的名辭是「全球暖化」。因為 20 世紀中期以後，全球平均溫度上升更趨明顯，當時這個名辭是針對近地表面或海表面的全球平均氣溫，隨著時間逐漸升高的現象，今日全球平均溫度，與百年前相比，明顯偏高。2007 年聯合國政府間氣候變遷小組(簡稱 IPCC)出版第 4 次氣候變遷評估

報告^{[5][6]}，指出上一個世紀(1906-2005 年)全球平均溫度的上升幅度，約為一百年上升攝氏 0.74 度(0.74 ± 0.18 °C) (詳圖 1)。且溫度變化明顯的分為兩個階段，第一階段為 10 至 40 年代，氣溫平均上升攝氏 0.35 度;第二個階段為 70 年代至今，氣溫平均上升攝氏 0.55 度，明顯高於前一階段，且最近 25 年的氣溫上升更為明顯。



資料來源：聯合國「跨政府間氣候變遷小組」2007年第四次氣候評估報告 (UNIPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007.)

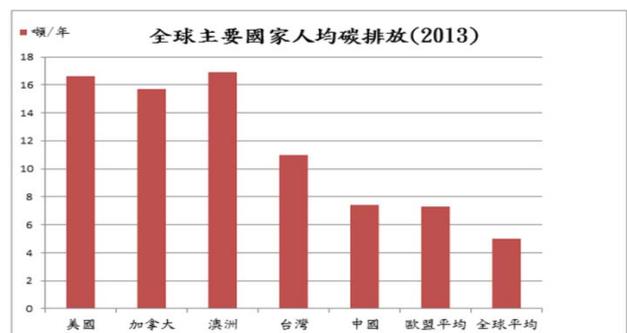
圖 1 上圖為觀測到的全球年平均溫度(黑點)及與資料的簡單擬合。左軸表示與 1961-1990 年平均溫度相比的間距，右軸顯示估計的實際溫度(°C)。該圖顯示與過去 25 年(黃色)、50 年(橙色)、100 年(紫色)和 150 年(紅色)的線性趨勢擬合，這些時間分別對應於 1981-2005、1956-2005、1906-2005 和 1856-2005 年。

從上面這個圖中我們發現，當以最近的時間為起點，所取的時間段越短，傾斜度就越大，這顯示全球平均溫度正在加速上升。上圖中藍色曲線是平滑後的表述，記錄了年代際的變化。為得到這些波動的意義，對該線以 10 年為單位訂出 5%-95% 的誤差區間(淺灰色) (每年的數值都不會超過這些極限值)。^[6]利用估算的 20 世紀輻射強迫驅動的氣候模式，算出的結果顯示，在約 1915 年之前幾乎沒有什麼變化，大部分 20 世紀初的變化可歸因於自然界發生的影響，例如太陽輻射

變化、火山爆發和自然變率。從約 1940-1970 年期間，快速的工業化以及隨後的二戰增加了北半球的污染，造成了降溫，在 20 世紀 70 年代中期之後，二氧化碳和其它溫室氣體的增加，主導了觀測到的升溫。而 1990 年，科學上獲得足夠且無法爭辯的證據，指出是人類的活動引發全球氣候變遷。

近年來「全球暖化」此一名辭已被「氣候變遷」所取代，改變的原因是，強調人類活動對地球的影響，不僅僅只是全球平均溫度的上升，而是整個地球的氣候活動趨向極端。極端氣候會改變降雨強度，進而造成洪水、土石流等天然災害，溫度上升也會影響生物的生存環境，例如原來生活在熱帶的病媒蚊，可以往北遷移使傳染病範圍擴大。另外，全球平均溫度上升 2°C，將會使南北極的冰溶解，使海平面上升約一公尺，也將導致全球的糧食危機。

回頭看看我們，台灣溫室氣體排放量從 1990 年的 1.36 億噸一路上升到 2010 年的 2.71 億噸 (CO₂ 當量)，20 年成長了一倍，現列為全球第 24 大溫室氣體排放國，人均排放在 190 多個國家中為前 20 名(EPA,2014)^[7]，屬超高排碳國(詳圖 2)。氣候變遷的現象越來越劇烈，2015 年 8 月蘇樂迪颱風，以可對抗百年洪泛建造的台北市環河北路堤防險遭越堤，從來不曾發生重大災害的烏來險遭滅村！我們真的聽到地球傳來的訊息，而認真的面對嗎？



資料來源：TRENDS IN GLOBAL CO₂ EMISSIONS 2014 Report, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.

圖 2 全球主要國家人均碳排放

參、台電內部努力與組織變革

一、核能安全文化的建立與精進

2007 年至 2016 年是台灣電力公司成立 60 年到 70 年，這 10 年也是台電核能電廠的發展展望變化最大的 10 年，2007 年至 2011 年的前 5 年，是從谷底翻升到充滿希望的年代，2011 年至 2016 年的後 5 年，則是被日本福島電廠事件再次打入谷底，並且落入政策宣示穩健減核，致產業經營艱困。

綜觀反核者的言論，主要論點圍繞著核能安全營運與放射性廢棄物處理兩類事務。其實這兩類事務都是本公司非常重視的項目，歷年來的營運實績在全世界核能電廠排行裡也都是名列前茅。早在 1989 年 9 月，台電公司大會報即指示：『請研究如何建立核能電廠安全文化^註，做好安全工作。』，可知本公司很早就認知到核能安全的重要。由於核能安全是核能電廠能夠持續營運的最高指導原則，故需要建立一種安全凌駕一切的觀念，加上公司高層要求，核能發電安全處從 1990 年 3 月起，開始到各廠及總處舉辦核能安全文化講習，說明核能安全文化是：『組織與個人的種種特性和態度的總和，必須共同以最高關注與態度，確保所有安全問題得到應有的重視。』

隨後，為因應核能安全管制業務需獨立超然的立場，乃於 1992 年 9 月 1 日另外成立核能安全處，迄今已將近 24 年。從核能電廠開始營運起，相關的核能營運安全政策聲明、強化核能營運品質專案等，皆係由總經理頒布實施，明文要

求核能安全不能以符合法規最低要求為滿足，應以追求卓越的安全營運績效為目標。本公司為提昇核能發電安全營運績效，全體核能營運同仁必須以積極、負責的態度及高度的使命感、榮譽心，共同努力，塑造優良的核能安全文化，並展現於日常各項作業中，使本公司核能安全營運從優秀邁向卓越。

由於核能發電非常注重安全，因此從設計、製造、組裝建廠、試運轉、營運及除役各階段，都要求納入管理，並從各種法規、設計標準、安全分析、營運作業、設備設計及測試、人員行為、管理管制各方面落實安全的期望。因此為確保核四工程品質及人員、設備安全，核能安全處於 2009 年 7 月辦理「龍門施工處及龍門電廠『核安文化』宣導訓練」，再進一步從施工階段就將核安文化導入相關單位。由於全世界核能產業的努力，核能安全要求的標準不斷提升，台電公司也在 2011 年 6 月規劃完成「核安文化精進方案」，並陳報國營會，於 2012 年起正式實施核安文化精進方案的績效指標。2012 年 4 月再依據實施中的核安文化精進方案，提出「核安文化強化方案」以提升核安文化的量化指標，並列為各單位年度稽查核安文化執行情形的依據。2007 至 2016 年的 10 年，台電公司的核安文化也從普及性，升級到精進的層級，這也反應到相關的整體績效，如圖 3 所顯示發電績效的持續精進，其中 2015(民國 104)年發電量降低是因為核能一廠 1 號機，受政治力干擾不能起動發電所致。

二、放射性廢棄物營運精進

本公司在核能電廠營運早期，就認知到放射性廢棄物營運的重要性，在 1989 年於各核能電廠成立負責處理放射性廢棄物的專責部門，並開始推動放射性廢棄物減量計畫，2004 年放射性廢棄物減量納入核能發電關鍵績效指標，各核電廠亦訂定低階放射性廢棄物減量執行計畫，積極進行減廢作業。

本公司從成立專責部門後，第一階段的重點

註：1986 年 9 月 IAEA 所轄的核能安全諮詢小組於「車諾比爾事故後審查會議總結報告」中，首度提出安全文化(Safety Culture)一詞，1988 年 3 月再發行「核能電廠基本安全原則(基本管理原則、深度防禦原則、一般技術原則、特殊安全條款)」(75-INSAG-3)，表明核能電廠的管理，首條為安全文化，即「建立安全文化以主導從事核能發電有關工作活動的所有個人及組織之所作為」。也提出安全文化泛指所有從事有關核能電廠安全事項的人員之奉獻精神與負責態度，也即相關人員對作業一值保有強烈的安全意識，才採取行動。

是減少廢水量，進而減少固化放射性廢棄物，後續則與核能研究所合作，研發高減容固化方法，再進一步降低放射性廢棄物固化桶數。圖 4 是本公司從核能一廠開始營運，三個核能電廠放射性廢棄物的統計圖，1983 年是放射性廢棄物產量最

高的一年，從 1989 年專責部門成立後快速下降，至 2006 年已降至最佳營運狀態，核三廠的績效更是全球第一，最近 10 年是持續維持穩定的營運狀態。

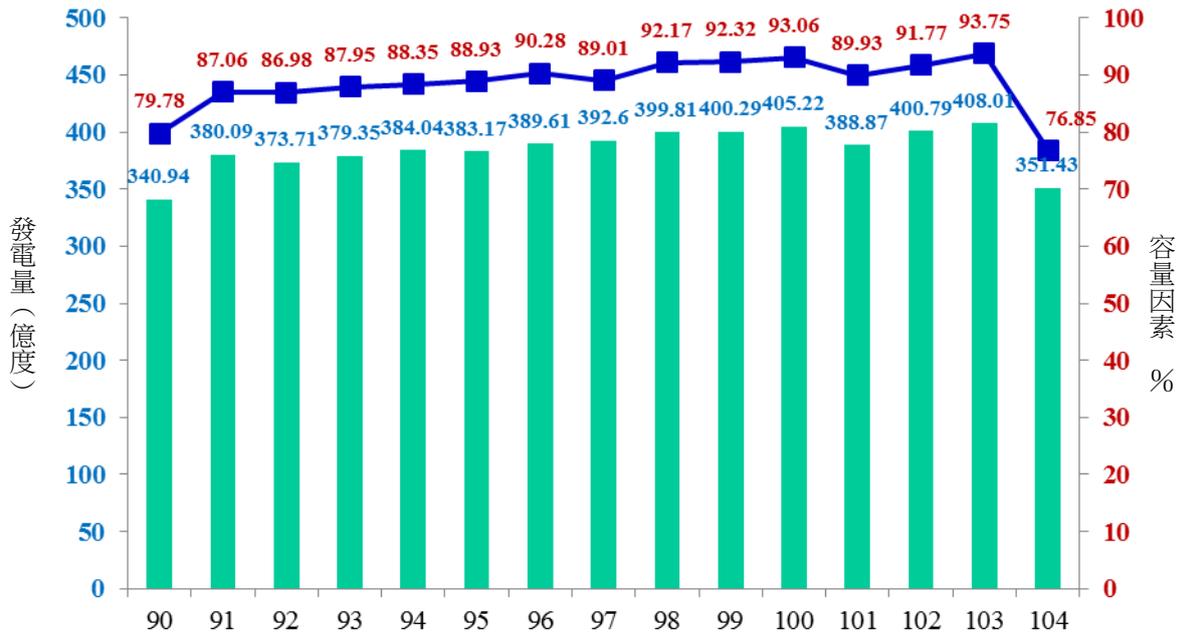


圖 3 歷年核能發電供電量及容量因素統計圖

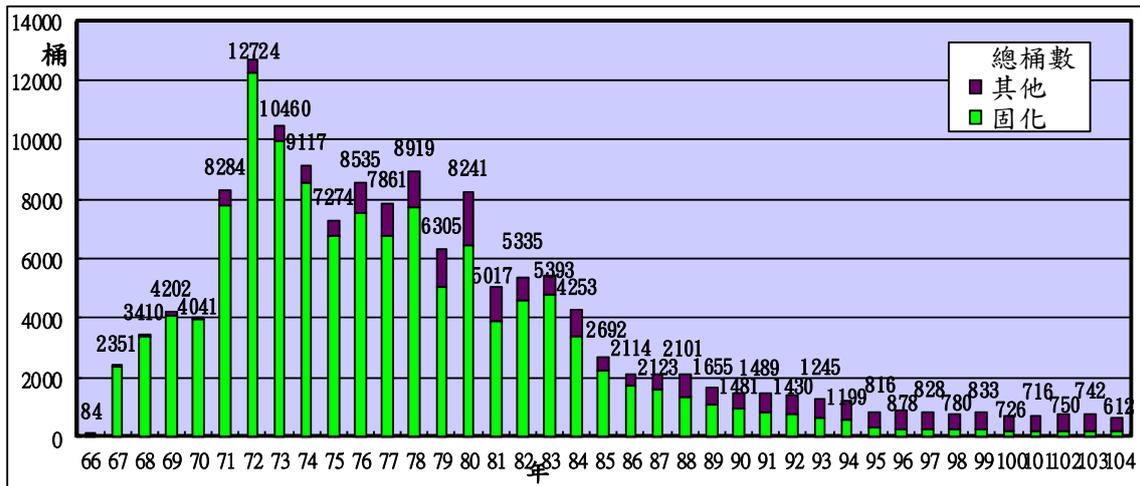


圖 4 台電公司歷年低階核廢料可經減容處理後之桶數

三、技術研發與成果

雖然核能發電及核能產業的外在環境險

峻，台電公司仍稟持安全營運理念兢兢業業，歷年的營運績效都在 WANO 評比核能電廠績效指標的前 25%。相關單位為提升核能安全、友善環

境，戮力同心透過自行研究，及與外界學者專家合作研發，追求技術創新、系統及設備改善以提升安全與營運績效。統計最近 10 年，僅僅發表在台電工程月刊上的研發案就有 164 件，經分析其中最多的就是提升核能安全有關的研究，共有 49 件；其次是與建立自有技術及技術改良有關的研究案，共有 43 件；再其次則是與民眾防護、減少環境衝擊有關的研究案，共有 30 件；與核燃料及爐心營運有關的研究案共有 22 件；與提升功率及績效有關的研究案共有 12 件；與火災防護有關的研究案有 9 件；發展新技術的研究案有 8 件；研究如何加強溝通的研究案有 1 件；不屬以上分類的研究案有 2 件。從上述研發案的統計分析，再次證實台電公司非常重視核能安全及與民眾、環境相關的事物。

以厚植核能事業部核心能力，建立對外競爭實力的觀點來看，發展新技術的 8 件研究案，就非常值得進一步說明其內容與成果。以下概略敘述這 8 件新技術發展研究案。

由於本公司對放射性廢棄物減量的重視，當以現有技術與方法，無法進一步減少放射性廢棄物的產量時，相關人員即思考是否有新技術，可以使放射性廢棄物的減量達到另一個新境界。台電公司核能電廠有沸水式反應爐與壓水式反應爐兩種形式，兩種電廠所產生的放射性廢棄物的組成份差異甚大，因此需以兩項研究案與核能研究所合作，進行放射性廢料固化系統的改善研究。這兩項研究除了期望得到放射性廢棄物的固化新技術以外，也希望同步解決現有設備、空間上的一些問題。研究結果空前豐碩，不但解決了現有設備、空間及固化體安定化的問題，也發展出獨步全球的高減容固化流程與設備。這兩個研究案的成效，已充分反應到台電公司放射性廢棄物固化桶數的大量減少，目前這項高減容固化技術已取得多國專利，且有多國核能電廠業者已與核研所接洽引進。

核能三廠的反應爐型式為壓水式，其蒸氣產生器為西屋公司所生產的 Model F S/G，93 年底

發生類似於美國 Surry 電廠之水位震盪現象，研判肇因為支撐板流道被積垢堵塞。為了解決這個問題，核能三廠相關人員即參考文獻、國際案例及製造廠家建議，研擬自行清洗的流程、設備、清洗藥劑等前置作業，利用電廠大修期間進行清洗作業，機組起動後熱效率良好，清洗效果顯著。由於第一次清洗所使用的設備皆臨時拼湊而成，且尚未建立相關的系統運轉作業程序。為改善上述缺失，核能三廠相關人員乃參考前一次積垢清洗經驗，重新設計積垢清洗系統與各項重要組件和配管，並將所有硬體設備整合安裝於貨櫃中，以利設備的移動與管理，並在後續的機組大修中驗證實際作業執行情形與成果。經過這 10 年的持續驗證，證實核能三廠自行建立的蒸氣產生器積垢清洗設備與運轉程序，清洗快速符合大修排程要求、設備運轉安全可靠、清洗藥劑對設備無不良作用、系統獨立工作人員劑量低、硬體設備安裝於貨櫃中移動機動性高，足可取代傳統污泥清洗系統。本項設備流程與清洗藥劑，正準備相關資料申請專利中，以利對外界廠家提供服務。

機械設備對核能電廠安全營運的影響重大，這 8 件研發案中有 2 件與機械設備有關，其中一件為汽機附屬設備的研究改善，另一件與監控閘桿扭力及軸向力有關。由於汽機附屬設備的閘在 280°C 左右的環境中使用，動作過程中，閘盤與閘座必然有相當程度的衝擊造成磨損而需要修補。本研究開發出上述閘盤、閘座鉚補技術，閘盤新品製造技術，及相關的作業程序與輔助設備，研究成果可提供對外界廠家的服務。至於，監控閘桿扭力及軸向力研究案，因每次大修需要量測上百支閘桿，每支量規組要價數萬元只能使用 1 次，所費不貲，因此進行此項研究案。本研究案已開發出本土製造的應變量規組，取代昂貴的進口設備，同時並探討不同黏著劑對量規組黏貼的耐用度，已近一步改善量規組的使用次數。

另外 3 件研發案，皆為建立龍門電廠儀控設

備的自有技術。由於龍門電廠從設計、設備採購到建廠，歷經近 20 年，所使用的儀控設備，已經陳舊過時且維護成本高，面臨需考慮設備取代或升級等問題。因為數位化系統的可靠度與可用度較類比系統高，且商業級數位設備具有合理的價格優勢，而國內核能同級品零組件檢證作業方法也行之有年，因此期望透過同級品檢證方式，可以將商用等級設備，應用於核電廠安全系統控制上。但因目前的檢證作業，主要是針對類比設備，並未涵蓋具有軟體的數位設備，因此本項研究的目的，是為了解決數位設備檢證作業的不足，訂定並建立一套完善的軟體檢證技術，用以評估數位設備軟體發展程序與產品的品質，確保軟體達到符合核能安全要求的品質標準。目前已完成軟體相關數位設備檢證作業與程序，尚待實際應用在所建立的數位儀控平台，以獲得適當的回饋讓檢證作業更完整。

龍門電廠安全系統儀控設備有 2 個廠家，前一項是處理有關英維思公司(Invensys)的設備，另一項研發案在處理有關美國 DRS 公司所提供的數位儀控設備，針對 DRS 公司在龍門電廠所使用的設備，研究如何建立數位控制模組(DCM)卡片之檢測環境與方法、檢測標準作業程序，以建立自主維護能力。目前 DCM 測試平台已研發成功，除可檢測至 DCM 模組卡片上功能規劃範圍內的零組件，亦可應用在其它系統輸出入信號模組或網路模組，達成建立自主維護能力的目標。

第 3 項研究案目的在降低試運轉系統測試可能遭遇的風險以加速試運轉測試工作的進行，目標是發展建立儀控設備的離線測試環境及平台，配合電廠購置的 Invensys 離線模擬設備(FSIM)，以離線方式，驗證龍門電廠儀控系統的邏輯與連鎖及畫面的正確性。研究方法係選擇 24 個龍門電廠 BOP 的儀控系統，以龍門電廠全域模擬器(Full Scope Simulator, FSS)和 FSIM，以資訊連線方式，整合建立一個可完整測試的動態閉迴路測試環境，進行上述驗證工作，目前已成功的完成驗證，且所發展出來的方法，可應用到

任何可移植到 FSIM 的所有 Invensys 分散式控制暨資訊系統(Distribution Control Information System, DCIS)。

四、台電組織變革

由於國際燃料價格自 2003 年以來持續大幅度上漲，電價費率卻受到管制，無法及時且充分反應國際燃料價格快速上升的現況，以致台電公司從 2006 年開始轉盈為虧。2011 年重油及燃煤價格皆暴漲 176%、天然氣上漲 63%，而同期間平均電價僅調增 26%，造成台電公司至 2012 年 5 月，公司累計虧損達 1800 億元，已超過資本額 3300 億元的一半以上。當時的國際燃料價格資料顯示，國際燃料價格仍將持續攀升，短期回檔不易，為確保台灣長久用電安全與公司的持續經營，台電公司乃在 2012 年 4 月提出調漲電價通告，卻引社會強力反彈。後經政府參考輿論反應，成立「台電經營改善小組」，全面檢討台電公司的營運效率、採購制度、人事制度、員工福利、及民營化進程等，將於 3 個月內提出檢討報告，以督促台電公司的經營改革。本公司也依照政府指示再提出電價合理化方案，依據發電成本，採取緩和漸進原則，分 3 階段合理調漲電費，第一階段在 2012 年 6 月 10 日實施，調幅為預定調漲幅度的 40%，12 月 10 月再按預定調漲幅度的 40% 調整；最後的 20%，要視台電提出的具體改革方案及成效後，再決定調整日期。但第 2 階段電價調整後，輿論反應激烈，第 3 階段的電價調整即被無限期延後。

由於 2012 年 4 月公司提出調漲電價通告後，外界質疑公司經營的聲浪不斷，經濟部乃在 2012 年 4 月 24 日指示：「現階段請台電公司研議聘請專業顧問公司評估在國營事業架構下的最適組織結構」。經聘請顧問公司評估，認為台電公司在國營事業架構下，以事業部的組織型態，透過廠網分離與分離會計，落實發、輸、配售電之經營權責，對內可強化各部門成本意識，改善組織效能，提升整體經營績效。對外可回應

社會改革期待，因應未來各種可能挑戰。經濟部乃於 2013 年 11 月 18 日函示：『無論為配合廠網分離或因應電業自由化，以事業部制作為台電公司組織轉型第一階段係屬可行方向。請台電公司儘速與員工及台電工會溝通加速推動，並預定於 104 年年底前完成組織調整作業，105 年起正式實施』。

2014-2015 年為規劃與建立事業部組織、制度、規章的準備期，2016 年 1 月 1 日公司正式成立水火力發電、核能發電、輸供電、配售電四個事業部，然而事業部的成立只是組織變革的開始，後續還有許多有關成本、人力資源、營運策略等作業需要規劃、執行。譬如：因為供電吃緊，核能電廠的緊急柴油發電機執行定期的起動測試時，亦提供系統電力、氣渦輪發電機接受調度供電，這些作業的成本，如何分擔，以合理反應這些工作項目的價值，都是尚待討論的項目。另外在事業部策略規劃拓展新興業務方面，如何以現有的技術開闢事業部的財源？例如：劑量配章的計讀及分析作業、非破壞檢測工作、自行研發的蒸氣產生器清洗技術、以現有廠館場地辦理會議及訓練工作、提供核能電廠營運/試運轉的整體訓練規劃及代訓服務等，皆為可以思考的方向與作業。

總之，事業部的成立，讓組織變革逐漸發酵，除了在同仁心中建立起更深的成本意識以外，也讓大家思考核能的經營風險因子是什麼？最佳的營運模式為何？倘若相關法規限制能做適當的開放，讓事業部有更大的運作空間，相信這項組織變革的成果將更為輝煌。期望事業部在公司新使命『以友善環境及合理成本的方式，提供社會多元發展所需的穩定電力』，新願景『成為具有卓越聲望的世界級電力事業集團』及新經營理念『誠信、關懷、服務、成長』的引領下出發，為台電及事業部未來的發展奠定堅實的根基。

肆、能源與氣候變遷

一、巴黎協議

90 年代起全球氣候變遷的證據充足，因此各國政府在 1992 年通過《聯合國氣候變化框架公約》，並於 1997 年 12 月在日本京都通過的一項議定書，但至 2008 年議定書到期前，全球溫室效應情況並未有明顯的改善。2009 年哥本哈根氣候會議失敗，歐盟主要國家雖自願在公約空窗期，延續京都協議精神持續減碳承諾，但是日本、加拿大、俄國則相繼退出，不願延續不再具效力的京都協議，全球媒體與氣候專家學者及國際環團，紛紛認為哥本哈根是個失敗的大災難^[7]。

哥本哈根氣候會議後，令人不安的新氣候變遷證據持續出現，特別是不斷發生的氣候災難與物種滅絕速度加快，全球最有影響力人士與團體紛紛發出呼籲，如天主教教宗方濟的《對抗氣候變遷通諭》；諾貝爾獎得主的共同呼籲等，讓各國政府及民眾重新檢視氣候變遷對人類生存的威脅。因此，2014 年底在利馬的第 20 次《聯合國氣候變遷綱要公約》締約國會議(the 20th UN Conference of the Parties, COP20)，各國決議在 2015 年底巴黎 COP21 會議前，自行繳交自主承諾的減量目標，包括減量基準年、時程、適用範圍與涵蓋面向等資訊，稱為「國家自定預期貢獻」(Intended Nationally Determined Contribution, INDC)，繳交期限為 2015 年 10 月 1 日，聯合國氣候變化綱要公約(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)秘書處會在 11 月 1 日提出綜合評估報告，作為訂定巴黎協議(Paris Agreement)具體承諾的基礎。

為了避免發生永久且不可逆的氣候變遷災難，全球各國以全球溫度不超過前工業時期 2℃，大氣 CO₂ 濃度不超過 450 ppm 為全球總目標。要達成這個全球目標，全球各國必須在 2050 年以前，減少以 2010 年為基準年排放量的 50-80%。台灣身為世界的一環，國家減碳目標自然必須與全球一致，我國政府也在 2015 年 9 月 17 日公布了台灣的 INDC，向國際社會昭告台灣

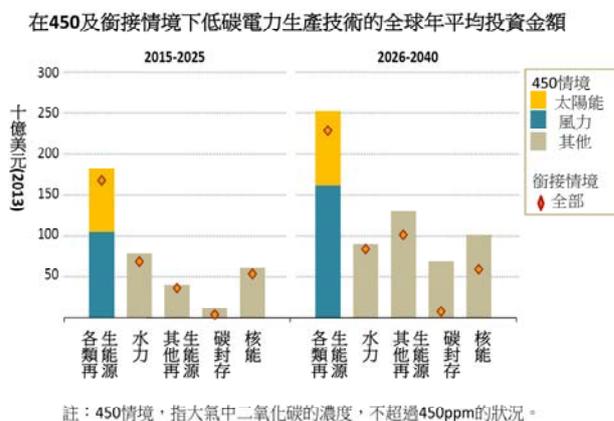
作為地球村一員的自主減碳承諾。此 INDC 目標，仍延續政府「穩健減核」政策，核能發電情境為核一廠、核二廠、核三廠皆除役，核四廠解封發電，2030 年溫室氣體排放量為現況發展趨勢 Business As Usual(BAU)減量 50%，相當於 2005 年排放水準再減 20%。

由於能源生產和利用所產生的二氧化碳排放，約占全世界溫室氣體排放的七成，意味 2015 年 12 月在巴黎舉行的 COP21，能源將成為討論的核心議題。因此在巴黎會議前，OECD 轄下的國際能源署(International Energy Agency/IEA)出版了一份能源與氣候變遷特別報告^{[8][9]}，從能源部門的角度，提出世界可持續發展的四大關鍵支柱，希望作為 COP21 會議成功的基礎。

為了達成大氣 CO₂ 濃度不超過 450 ppm 的終極目標，IEA 在上述特別報告中，提出實現這個目標的四大支柱：1.設定能夠儘早達到排放峰值的實現條件。2.每五年修訂一次目標，以定期審議各國貢獻，檢驗減排範圍，提升減排雄心。3.將已確立的氣候目標，轉變成長期集體排放控制目標，並建立與長期願景一致的短期目標。4.建立有效程式，以轉變及加強監測，追蹤目標實現的成果與進展。由於監測能源部門低碳化的進程非常複雜，需要一套更廣泛的收集和監測方式及測量資料，因此上述報告提出一套適宜的高級指標，以追蹤能源部門低碳化的進程。

特別報告依據現階段成熟技術及五項措施，提出一項名為銜接情境(Bridge Scenario)的短期策略，目標為使全球能源相關的 CO₂ 排放在 2020 年達到峰值，以清晰傳遞控制 2°C 溫升目標的決心。上述五項措施為：1.提高工業、建築和交通運輸業的能效。2.逐步淘汰並禁止新設最低效的燃煤電廠。3.電力行業對可再生能源技術的投資，需從 2014 年的 2700 億美元增加到 2030 年的 4000 億美元。4.2030 年前逐步淘汰對終端使用者的化石燃料補貼。5.減少油氣生產過程中的甲烷排放。為確保能源部門長期脫碳，採用銜接情境中的技術與政策非常重要，核能發電在此

情境中列為低碳能源項目，並說明在 2014 年有 74GW 的發電能量在建設中，且後續低碳發電技術投資中，核能發電的投資將持續增加(詳圖 5)。



參考資料：參文獻^[9]，p.110

圖 5 銜接情境低碳發電技術全球年平均投資金額

各方期待 COP21 巴黎會議能通過一份取代京都議定書，對所有締約方皆有法律拘束力的氣候協議，然而在 2015 年 12 月 12 日通過的巴黎協議草案，並未見具強制性之條文，可能原因是為了因應各國國內政治因素。IEA 特別報告建議所有減碳目標要公開透明且可測量，但由於許多國家基於隱私等因素強烈反對，因而改成成立專家委員會，關注各國國情上的差異，採用較軟性的透明化、非對抗、非懲罰的方式，促進締約國實現自身承諾。雖然計算 187 個國家 INDC(占全球排放量的 98.6%)僅能控制全球升溫於 2.7°C。但每五年重新檢查調整一次的機制仍留下一線希望，另外值得一提的是具有法律拘束的申報制度，且申報的減緩資訊需經過第三方查證^[10]。預期幾乎全球主要國家皆會簽屬此協議，我國為出口導向之國家，二氧化碳排放量又占全世界約 1%，若不跟隨國際腳步規劃執行，國際壓力必隨之而來。

二、國際趨勢

綜觀巴黎協議的內容，對化石燃料產業並未訂定限制其排放量的強制性條文，但依照目前條

文的精神和方向，預期對全球能源結構會帶來深遠的影響。未來石油和煤炭消費的增長，將會受到相當程度的抑制，化石燃料產業發展被限縮，部分國家將會終止化石燃料補貼政策，能源結構將會轉型為低碳能源。未來數十年內，電力生產的低碳能源主要選項有水力、風力、核能、生質能、太陽能，以及具有碳捕捉及封存技術(Carbon Capture and Storage, CCS)的燃煤和天然氣發電廠^[11]。這些低碳能源選項中，水力、風力、太陽能和生質能，隨各國地理條件的不同，其可用性差異很大。風力和太陽能因其間歇性發電的特性，不能作為基載電力來源，如用串聯電網和大規模儲能設施等補助方式，成本將快速增加。因此，想要有穩定且價格合理的電力，需要使用混合型的能源方案，而低碳發電技術中，除了核能，只有 CCS 能在缺乏水力或大規模生質能發電的地區，提供基載電力，但預估 2030 年才能完成符合經濟性可商業化的 CCS 技術。

2050 年全球電力需求將較今日高出 1 倍，因此就算大幅提升能源效率，仍需要大量投資各種發電設施。雖然大家都認知到，去碳電力是解決氣候變遷的關鍵，但看看實際電力發展的情形如何。以 2011 年底的電力投資數據來看，新增發電量仍以化石燃料為主，其中煤炭為最大宗約占 40%，天然氣占 20%，低碳能源只占了約 40%，其中水力發電占 16%，核能發電占 13%。或許有人會認為這是在巴黎協議前的事，但是巴黎協議並沒有強制減量的條文，而且今日新建的燃煤、天然氣、或核能電廠，無論以 2020、2030、或是 2050 年為期的碳排放計算，這些電廠仍在運轉不會就此消失或停用。為達成全球平均升溫在 2°C 以內的目標，全球必須快速扭轉以石化燃料為主力的發電現況，並以低碳能源供應絕大部份電力，才可能防止氣候變遷進入不可逆的困境。

除了研發創新的能源技術，設計周全的碳排放價格、碳稅或能源稅，是另一個普遍認為可以有效應對氣候變遷的方法。這個方法可同時達到鼓勵綠色電力、節能與抑制化石燃料補貼等目

的，遠比補貼再生能源更有效。世界銀行與歐盟等國際組織，過去十多年來積極推動為碳訂價 (Pricing Carbon, World Bank, 2015) 的協議，將碳交易市場視為最重要有效的減碳政策工具。歐盟不僅積極協助各會員國，成立各自國內的碳交易市場，也積極構思一個全球性的碳交易市場，從歐盟等先進國家的經驗顯示，合理的石化能源價格是控制碳排放最佳、最有效率的利器。只要政府將石化原料各種外部成本，如空污與健康傷害等加入石化燃料成本中，廠商及個人自然會積極透過各種方式，減少對石化燃料的依賴^[12]。巴黎會議期間，為碳定價的議題雖被高度討論，協議最後的版本並未將碳定價放入條文內，但可預期未來的碳排放將會是有價的，此費用也將會影響到高碳排放產業的供應鏈及其產品價格。例如，美國很多大型企業都宣示全部使用再生能源，若做不到則買碳權，可見碳定價、碳交易將會是未來趨勢。我國與國家減碳目標息息相關的《溫室氣體減量與管理法》，於 2015 年 6 月通過，國家減碳時程、路徑與目標；碳交易、碳稅、國際碳權抵換等，推動低碳國度的重要政策工具皆已入法，預期台灣碳交易市場、開徵碳稅，將與世界趨勢一致。

伍、未來的挑戰與因應

一、能源結構轉型

溫室氣量排放及氣候變遷，將導致後代子孫的生存風險增加，在目前仍是無解的難題。然而，從巴黎協議各國提報的 INDCs 來看(圖 6)，實際的承諾仍遠遠落後於限制升溫攝氏 2 度內的減碳目標^[13]。儘管在日本福島核災後，一些新核能電廠計畫因安全檢查而被延宕，但經過時間的沈澱與理性探討人類的生存問題後，許多國家決定繼續推動核能，目前已採用及計畫建設核能電廠的國家，較福島事件前增加 7 個國家，建造中的機組超過 65 部，計畫建造的超過 150 部，接

近現在運轉中 440 部機組的一半(Nuclear Power in the World Today/ World Nuclear Association)。

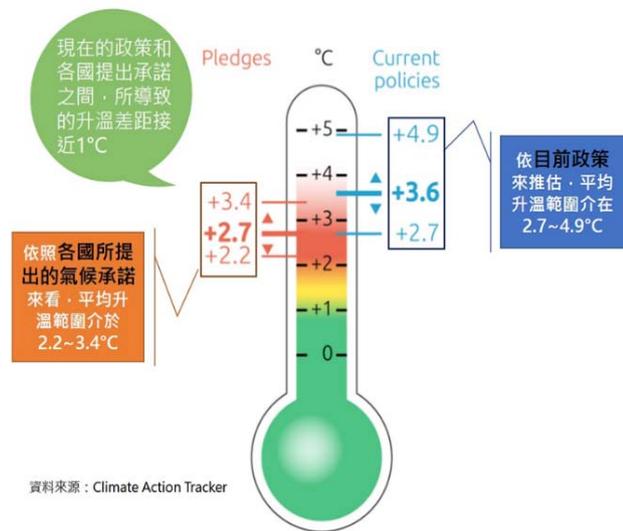


圖 6 各國提出 INDC 換算全球平均升溫估計圖

運用核能發電替代化石燃料，可大量減少二氧化碳的產生，對減緩氣候變遷有極大助益，故許多原來反核的知名環保人士，轉而支持用核能應對氣候變化。譬如：曾獲奧斯卡提名國際知名紀錄片製作人 Robert Stone，除在他最近的電影《潘朵拉的承諾》，記述幾個重要環保主義者面對氣候變化從反核到擁核的轉變，以及下一代核子反應爐技術的成功希望。他並且在巴黎會議前，撰寫了一篇為何讚成以核能應對氣候變化的文章，呼籲主導議程的全球主要的環保團體，認清風和太陽不能滿足全人類能源需求的事實，及假設全球能源需求急劇下降的荒謬。環保組織普遍認為，德國是以再生能源提供全國動力的榜樣，事實上，德國只有 5% 的電力來自太陽能，約 8% 來自風能，該國 87% 電力需求中的大部分，卻是來自化石燃料，而且德國是唯一繼續建設新燃煤電廠的歐洲已開發國家。煤不僅是目前最廣泛使用也是增長速度最快的能源，如果真要大大減少對化石燃料的依賴，清潔能源中只有核能有此能力，如果排除具有獨特潛力的核能，就是邁向災難。他並且以今日的法國為例，因為大部分的電力來源為核電，因而空氣幾乎零污染，

電價西歐最便宜，且提供了一個從化石燃料過渡到清潔能源的國家級規模實例^[14]。

將溫度升高控制在 2°C 以內的氣候安全唯一道路是「深度減碳」^[15]，就是透過能源效率提升、電網升級及大量採用低碳能源技術(再生能源、核能與 CCS)來實現，如果用燃氣代替燃煤，或者推廣更高效的燃油、燃氣車輛，就是再次落入高碳陷阱中。我國今年提出的 INDC 目標，係延續政府「穩健減核」政策，核能發電情境為核一廠、核二廠、核三廠皆除役，核四廠解封發電，這不但與 2025 年進入非核家園的政策矛盾，且大幅降低抑減國內 CO₂ 排放的可行性。以 2012 年能源部門 CO₂ 排放量超過全國 9 成來看，減少低碳能源的配比，就要依賴大量排碳的燃煤與燃氣電廠作為基載電力，而在 2030 年大規模部署 CCS 技術之商用電廠仍不確定下，未來如何實踐國際減碳承諾 INDC 及我國《溫室氣體減量與管理法》的減碳目標？

核能發電已被 IEA 列為低碳能源的主要選項之一，因此各國除了建置新核能發電機組外，現有核能機組的延壽計劃也普遍受到國際重視，美國就是一個非常好的例證。因應此一趨勢，除維持核電廠不提前停役，同步準備核能電廠延役與除役規劃，並同時做好龍門電廠啟封準備，當國際減碳壓力日益迫近，福島事件逐漸遠離的情勢下，期望國內社會能開始理性看待核能議題。瑞士國會於 2016 年 3 月決議廢核不設期限，認為：『關閉仍在運作，且安全的核電廠，是沒有意義又錯誤的事。』在此氛圍下，瑞士於 1969 年興建的第一座核電機組貝茲諾 1 號機，原來預計 2019 年將關閉(圖 7)，但目前該電廠所屬的阿克斯伯(Axpo)公司預估，該部機至少能運轉到 2023 年^[16]。我國核一廠 1 號機較瑞士貝茲諾電廠 1 號機晚 9 年興建完成，若以運轉執照期滿即除役的政策來估計，核一廠 1 號機將在 2018 年關閉，比貝茲諾 1 號機至少早 5 年除役，相較之下，核一廠 1 號機能為台灣社會提供安全穩定電力的時間少了 14 年以上。瑞士國會以理性的

態度，看待國家能源安全議題，做出了務實的改變，期望我國政府、國會，能借鏡瑞士理性評估我國能源問題，對影響台灣長遠發展的能源政策，做出最佳的選擇。

反應爐名稱	種類	額定發電量 (MWe)	啓用年	預計關閉年
貝茲諾第一 (Beznau 1)	壓水式反應爐	365	1969	2019
貝茲諾第二 (Beznau 2)	壓水式反應爐	365	1971	2021
戈斯根 (Gösgen)	壓水式反應爐	1010	1979	2029
米勒貝格 (Mühleberg)	沸水式反應爐	373	1971	2019
萊布施塔特 (Leibstadt)	沸水式反應爐	1220	1984	2034
共5座，總發電量3,333 MWe				

資料來源／世界核能協會 製表／陳韻涵

圖 7 瑞士現有核反應爐預計關閉時間表

二、深耕溝通

核能發電是安全可靠的低碳能源，對減緩氣候變遷非常有益，為什麼一件美好的事卻又有如此的爭議？嘗試從心理學來探討此現象的一二：「知識的反面就是不知，人類對不知道、不清楚的事物，會有一種本能上的恐懼，這與人類為什麼怕黑、怕鬼類似。因為不知道、不清楚，再加上害怕生命受到不可預期的外力威脅，因而興起一種心理上排斥、反對的自我保衛機制。而理性是現代文明發展的基礎，科學知識建立起人類的自信，認為人類可以主導自己的生活，甚至控制整個世界。理性求知的目的就是要確定事物真相，進而預測危機應變未來，並透過知識的力量，渡過危機恢復安定、繁榮的生活，最終是促進安全感。反之，當理性無助，不能確定事物的真相及因果關係，不安全感就會湧現，進而產生逃避、反對等等行為。」核能在知識的本質上，因為能量大、看不到、好像有危險，就容易落入不知的領域，進而讓人產生不安全感，以致逃避、反對。

揭開核能發電的神秘面紗，透過知識的力量促進民眾安全感，解除對核能發電的疑慮，進而接受核能電廠是我們努力的目標。從不知到有知

識，溝通是必須要做的事，而歷年來台電的溝通工作並沒有少做，但是為什麼成效似乎總是看不見？溝通檢討溝通，高層長官風塵僕僕的到四個核能電廠，進行「核能氛圍與因應之道」座談會，要讓電廠瞭解：「與地方共生共榮，電廠才能永續經營。」只有走出電廠與民眾博感情，才是能讓民眾瞭解進而支持的方法。漸漸的我們歸納出「深耕溝通」的概念，在已經建立地方良好形象的基礎上，納入符合公司經營理念「誠信、關懷、服務、成長」的作法，如：主動關懷地方弱勢團體、關懷獨居老人、認養學校球隊、課輔志工、長期科普教育傳達正確認知、深度媒體經營等活動，讓地方與電廠融為一體。並以新的思維進行溝通，以完整可行的對策打動各界，以積極、深度的耕耘模式，拉長溝通軸線，求取溝通深度極大化與廣度的無限化，將人與事融合，以求溝通工作的正面循環開枝散葉。

期望有一天，核能發電的知識，如同旱澇、颱風、雷雨等等大氣現象，從早期先民的不知，演變至今日為一般科普知識。當民眾普遍瞭解與認識核能的相關知識，認知到核能就是低碳能源的代表，是支持人類永續發展的基礎時，理智的民眾自然就不會再反對核能發電。

三、營運方向與對策

為因應社會政經環境的變化，核能事業部執行長明確提出五大營運方向，期望凝聚同仁向心力，完成事前準備工作保持元氣，靜待鐘擺效應回頭，引領核能事業部走出低潮，再創核能發電的榮景。此五大營運方向為：核安第一、核電廠不提前停役、延役除役規劃並行、做好龍門啟封準備、為核廢料找出路。

無論社會環境對核能發電是否支持，台電公司核能電廠的從業人員，從來不敢稍有懈怠，多年來從建立核安文化到核安文化精進，運轉 30 多年來，如今營運績效在世界名列前茅，核安的精神早已融入從業人員的心中。在追求核能安全上，基層同仁的努力與默默耕耘外，高階主管正

確的營運政策及經營理念，亦為極端重要且不可或缺的一環。例如，當 2012 年 7 月日本國會完成福島事故真相調查報告，結論為該事件主要係「人禍」，因當時日本政府與東電公司未能即時採取決策，將海水灌入爐心掩蓋核燃料，以致釀成核災。當時的副總經理得悉此一結果後，即於公司內的福島事件檢討中，立刻定下一個國際的優良典範策略——斷然處置，以確保在事件的黃金救援時間，不以搶救電廠設備為最優先考量，而是優先考量如何保障人民的生命財產安全，進行最適當的作業。沒有核安就沒有核能發電是普世價值，但核安非一夕間可養成，除了硬體持續不斷的改良外，人員精神與態度的養成更是關鍵，將核安精神更深入的融入同仁心中，打造一個以核安第一為經營理念的團隊，是踏穩因應變局的第一步。

核廢料的處理，一直是反核人士質疑的問題，但是科技上早已證明，只要做好管理，絕對能夠有效地讓核廢料，於未來貯放期間與人類活動的空間隔絕，不會造成污染環境及造成人類的危害。台灣已具備低階核廢料處理的技術能力，完成低階核廢料最終貯存場址的選址與建置，是為下代子孫負責的行為。英國在「面對能源的挑戰核電政策白皮書」明確表示：1.氣候變遷比核廢料的管理，對我們世代正義的挑戰更為明顯。2.我們對於如何處理核廢料的瞭解，更勝於對人為造成氣候變遷潛在威脅的瞭解。3.目前我們沒有辦法扭轉二氧化碳排放對全球環境的影響，但我們相信，使用地質處置，安全地貯存核廢料，在技術上是可行的，而它也已經被其他幾個國家採用。

營運核能電廠不可避免會產生核廢料，但是不用核能發電，與人類生存息息相關的醫、農、工、學、研也會產生低階核廢料，因此全世界有 34 個國家共有 77 座低階核廢料最終貯存場在營運，其中有 12 個國家沒有核能電廠。所以不論採不採用核能發電，現代社會都有低階核廢料要處理，因此為核廢料找到適當的出路，才是符合

世代正義的作為，也是核能事業部持續發展的要件。

為因應經營困境，保持事業部的元氣，現階段我們將依照核能事業部的五大營運方向，盤點核心技術評估外部競爭力，完成現有核電廠延役、龍門電廠啟封及對外營業準備工作，靜待鐘擺效應回頭時，能掌握契機再創風華。

陸、結語

氣候變遷將導致物種大量滅絕，人類生存環境更為險惡，但源於科技的限制與人性因素，目前仍是無解的難題。反核者批評現在的核能電廠，認為無法解決全球能源問題，但是他們忽略了核能科技進步的事實，下一代核能電廠可以用今天的核廢料當作燃料、從海水提鈾或改用更豐富的鈾為燃料，保證有取之不盡用之不竭的核燃料供應，並從根本上消除長半衰期核廢料的產生與積累。另外如融鹽式、小型模組化反應爐等，採用被動式安全系統及模組化的新發展，不但大幅提昇安全性，而且顯著改善核能發電的經濟性。這些新發展顯示，核能發電是唯一能永遠滿足地球上每一個人的電力需求，同時能夠滿足氣候變遷不再惡化的清潔能源，因此國際潮流已選擇核能發電為低碳能源之一，並且大量投資，作為達到氣候問題不再惡化的能源選項。

政府提出的 INDC 目標，仍延續「穩健減核」政策，情境為核一廠、核二廠、核三廠皆除役，核四廠解封發電，以我國能源部門 CO₂ 排放量超過全國 9 成的事實來看，要達成這個目標的困難度非常高。經濟學人在一篇「氣候變遷需要新思維」^[17]的文章中表示：『這個世界及其領導人，要以更有雄心及更務實的態度，處理氣候變遷的問題，雄心是指增加所有可能的選項。……一個放眼數十年乃至更長遠的文明，不應該把新核能型式排除在研究項目外。』我們樂見低碳能源世界潮流的轉變，也期望政府能如經濟學人的建議，及瑞士國會決定不對關閉核能電廠時間設限

的轉變，以務實的態度，處理氣候變遷低碳減碳的要求。

社會要求核能安全、核廢料處置、及溝通等項目的提升與公開透明，台電核能從業人員自當擔起責任，提升核能安全及營運績效，並以公開透明的態度說明溝通，以解除民眾對核能發電的疑慮。現階段台電核能從業人員，依照事業部執行長提出的五大營運方向，完成延役及啟封準備工作，保持事業部的元氣，靜待鐘擺效應回頭，再創核能發電的榮景。

柒、參考文獻

- [1] 蕭信堅，「台電核能營運」，台電工程月刊，60週年特刊，第83頁，2005年。
- [2] 核能簡訊，第3次全國能源會議結論—建立低碳家園擘劃節能減碳策略，118期，2009年6月。
- [3] 行政院原子能委員會，「國內核能電廠現有安全體制全面體檢方案總檢討報告」，民國101年8月。
- [4] 行政院原子能委員會，「中華民國核能電廠壓力測試國家報告」，民國102年6月25日。
- [5] 王漢國，對聯合國IPCC《第五次氣候評估報告》之解析與省思，戰略與評估，第五卷第二期，第49-70頁，2014年夏。
- [6] 中央氣象局，全球暖化與氣候變遷，http://www.cwb.gov.tw/V7/climate/climate_info/backgrounds/backgrounds_2.html。
- [7] 高志文，「台灣前進巴黎—全球新氣候秩序下台灣碳經濟與碳外交策略」，小英教育基金會，2015年10月08日。
- [8] 國際能源署，「世界能源展望特別報告」，摘要中文翻譯，2015年6月。
- [9] International Energy Agency, Energy and Climate Change- World Energy Outlook Special Report, June 2015.
- [10] 聯合國氣候變化綱要公約，巴黎協議，<http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09.pdf>。
- [11] International Energy Agency, World Energy Outlook 2015, Chapter 1, pp.43-45, 2015.
- [12] 工業技術研究院，「歐盟因應溫室氣體減量之發展趨勢」，2009年12月18日。
- [13] 林新雅，「巴黎協議後，企業的下一步？」，CSRone 永續報告平台，2015年12月15日。
- [14] Robert Stone，「氣候變遷世界觀點-核選擇：用核能應對氣候變化的理由氣候變化」，國際原子能機構通報，2015年6月。
- [15] 陳中舜、胡瑋元、洪煥仁、楊珍鈴，「後COP21對我國的影響與可能的因應」，核研所，2016年。
- [16] 蕭白雪，「國會決議瑞士廢核不設期限」，聯合報，民國105年3月5日。
- [17] Clear Thinking Needed: Global warming cannot be dealt with using today's tools and mindsets. So create some new ones, from Economist, 2015.11.28, [Online]. Available: <http://www.economist.com/news/leaders/21679193-global-warming-cannot-be-dealt-using-todays-tools-and-mindsets-so-create-some-new>.

台電核能火力發電工程

Taipower's Nuclear & Fossil Power Projects

陳慰慈*
Chen, Wei-Tze

摘 要

台灣自光復以來，台電核能火力發電工程單位已累積大量建廠實績，並擁有豐富專業技術人力與經驗，無論環境如何變遷，在未來電廠建廠工程中仍將扮演相當重要的角色。電力建設是經濟發展動力，際此台電 70 週年撰述本文，旨在接續描繪近 10 年來本公司重大之建廠工程，如林口與大林電廠更新擴建燃煤超超臨界機組計畫、通霄電廠更新擴建與大潭燃氣複循環發電計畫、核能四廠第一、二號機發電工程、興達一、二機空污改善工程計畫等新設或既有發電設備更新工程之簡介；除對本公司首度採用之筒式煤倉規劃、建廠工程重要組件設備之演進與施工特點記述外，持續地引進高效率之發電設備新技術，並設置先進之污染防治環保設備，早已成為本公司所有工程單位全力以赴強化技術經驗與務實敬業之經營理念。

Abstract

Since the recovery of Taiwan from Japan colonial rule, the Taiwan Power Company (Taipower) has made a lot of accomplishments in power plant construction, and has accumulated a wealth of technical expertise and skilled personnel. No matter how conditions change, power plant construction still plays a very important role for the future as power construction is the driving force of economic development. As Taipower marks its 70th anniversary, this paper aims to provide an overview of the power plant construction projects undertaken over the past ten years, including Lin Kou and Talin Power Plant Renewal Projects; Dah-Tarn and Tung Hsiao Power Plant Renewal Combined Cycle Power Projects; The Fourth Nuclear Power Project; Hsinta Power Station Units 1&2 Air Pollution Improvement Project. This paper also provide a brief overview of technical aspects in regard to the power plant construction, such as civil engineering in coal storage planning, construction of main equipment systems, and the characteristics of specific construction projects. In order to reduce the amount of air pollution emission from thermal power plants, DNFPP has put to use its expertise and professionalism to introduce high-efficiency power generation technologies and install advanced pollution prevention equipment.

關鍵詞(Key Words)：建廠(Plant Construction)、燃煤儲倉規劃(Coal Storage Arrangement)。

*台灣電力公司核能火力發電工程處

壹、前言

二次大戰結束後政府自日本手中接收已殘破、滿目瘡痍的電力建設，幸賴歷任電力建設主持人戮力經營與精心擘劃，台灣才能由矇矓邁入燈火輝煌，使國內經濟快速起飛，而轉瞬間已歷經七十個年頭。

台電公司在先進們經營下，整個電力系統機組之總裝置容量由光復初期的 27.5 萬瓩已擴展至民國 104 年的 4,103.7 萬瓩，截至 104 年底，大型核能及火力發電之結構占比已接近全部發電系統之 92.9%。可見電力建設非但間接助長經濟繁榮，核能及火力發電工程更直接促進電力供應成長，成為台灣發電設備的主力。

台灣歷經六〇年代兩次能源危機的衝擊，在能源多元化政策下，除核能發電外，火力發電工程更逐漸地配合國家建設採取燃煤、重油、天然氣傳統火力與燃氣複循環等多元發電組合，以因應電力需求的大幅成長及發電能源多元化，大型化之先進高效率火力機組更逐漸成為新建電廠趨勢。同時為促使生活水準的提升，環境品質的重視，在環保法規日趨嚴格下，將既有火力機組改良鍋爐燃燒系統及增加先進的後端處理環保改善設備，並以電廠公園化做為建廠追求目標。

近年來復以民情因素，使得電力建設新廠址取得困難，建廠工程除技術層面外，環境考量與管理因素，也逐漸凸顯成為焦點。尤其電業自由化，開放民間參與電廠建設後，台電工程單位之建廠將面臨更大之衝擊與挑戰。本文旨在接續記載「台電工程月刊」六十周年特刊後，近十年來之核能及火力發電工程之敘述，並就近十年來技術層面有關建廠土木工程之燃煤儲倉規劃及施工、建廠工程機械、電氣、儀控系統設備及施工、安裝技術加以描繪，藉此提供經驗之累積以為傳承。

貳、近十年來核能及火力計畫簡介

一、大潭燃氣火力發電計畫

大潭電廠地處桃園縣觀音鄉大潭村及保生村，位於桃園縣政府開發之大潭濱海特定工業區內，基地長約 2,300 公尺寬約 750 公尺，電廠廠址佔地約 102 公頃。該電廠西臨濱海保安林，北為桃 92 道路，南臨新屋溪，東西向快速道路、西濱快速道路及小飯廳溪穿越其間。

為因應北部地區電力需求，減少線路損失及配合政府能源多元化政策，於桃園縣觀音鄉大潭廠址規劃新設天然氣複循環電廠。大潭電廠 86 年 2 月奉准辦理，87 年 3 月環境影響評估報告獲准。本計畫新建六部複循環發電機組，前兩部機組於建廠初期兼具單循環及燃輕柴油能力，後四部機組純燃天然氣，總裝置容量 438.42 萬瓩，年發電量 13,245 百萬度，該計畫已提前於 99 年 12 月 31 日完工。

本計畫自 2005 年至 2010 年連續 6 年獲得經濟部評核為優等計畫，「循環水泵設備製造安裝工程」獲得 2008 年「第九屆公共工程金質獎」之設計品質優良獎、「大潭燃氣火力發電計畫」榮獲 2010 工程師學會工程優良獎及 Asia Power Awards 2011「年度亞洲電廠」銀牌獎。

二、林口電廠更新擴建計畫

林口電廠既有機組運轉超過 40 年，為提昇北部地區供電能力，規劃於現有廠址設置 3 部 80 萬瓩超超臨界壓力燃煤機組，總裝置容量 240 萬瓩，年發電量 15,810 百萬度。所需燃煤將由自建之卸煤碼頭以密閉式輸煤皮帶機，運至新設之 10 座各 7 萬噸之筒式煤倉儲放。

本計畫為台電公司首次採用超超臨界燃煤機組的電廠，將原有林口電廠舊發電機組，更新後為全國第一座已併聯且滿載發電中效率最高之超超臨界機組，除汰舊換新增進發電效率除維

持北部地區之電力持續供應及供電品質外，最重要的是新機組毛效率約 44.93%，較舊機組提升約 8.96%。新機組採用先進設備，每發一度電 CO₂ 排放量由 0.975Kg 降至 0.789Kg，有效降幅約 20%。計畫預定於 111 年 12 月完工。

三、大林電廠更新改建計畫

大林電廠既有#1~#5 機組運轉至今已達 40 年以上，考量電力供需情形、屆齡機組汰舊更新等相關因素，以大林電廠現有廠址及紅毛港遷村後部分土地，在有限建廠用地上及既有#3~#6 仍維持營運的情況下，採先建後拆方式，新建 2 部 80 萬瓩之超超臨界壓力燃煤汽力機組，總裝置容量 160 萬瓩，年發電量 10,540 百萬度，後續計畫用煤將就近利用高雄港 107 號碼頭卸煤，並儲放於更新後廠區內西北側之筒式煤倉。本計畫新機組使用高效率燃煤機組，毛效率約 45.59%，較舊機組提升約 5.57%，每度電產生之二氧化碳排放量約減少 15%；除了規劃使用高效率的環保設備，建築物設計以最先進的綠建築省能設計原則，導入環境透水化、建築通風節能之設計概念，配合減少能源消耗及增加綠地配置，於廠區適當地點種植喬木植栽綠化，並於廠區建物上方設置太陽光電系統，以達有效省電節能，計畫預定於 108 年 12 月完工。

四、通霄電廠更新擴建計畫

通霄電廠廠址係以海砂填築而成之新生地，南北長約 688m，東西寬約為 630m，面積約為 43 公頃，其東北側為通霄火車站，東側緊鄰西濱快速道路，快速道路與縱貫鐵路之間為佔地約 3 公頃之通霄舊廠。廠址南側臨南勢溪口，西側則為台灣海峽。廠址北側為已開發做為生態教育為主題之通霄海洋生態教育園區，廠區佔地共約 46 公頃(含通霄舊廠約 3 公頃)。

廠內現裝設 6 部複循環機組，目前全部使用天然氣發電，由於通霄電廠第 1 至第 6 號複循環機組已漸老舊，且原設計油氣雙燒的第 1 至 5 號

複循環機組業已全部改燒天然氣，廠區內原來重油儲存槽區已不再使用。為因應未來台灣電力系統整體需求，配合政府計畫使用潔淨天然氣發電政策，提升通霄電廠營運績效與競爭力，以及降低發電時之溫室氣體排放強度，遂規劃於通霄電廠進行分期(共二期)擴建及更新機組計畫。本計畫新機組毛效率約 61.95%，較舊機組提升約 20.91% (資料來源：台電公司 103 年度統計年報)。而第一期工程(即本計畫)之基地位置即規劃位於現在之重油儲存槽區以及既有第一至三號機拆除後之空地。

本計畫 99 年 11 月 24 日奉准辦理，98 年 4 月 8 日環境影響評估報告獲准，將新建 3 部 89.26 萬瓩之純燃氣複循環機組，總裝置容量為 267.78 萬瓩，年發電量 8,030 百萬度，計畫預定於 108 年 12 月完工。

五、核能四廠第一、二號機發電工程

為配合國家長期經濟發展目標，遵循政府能源多元化政策，持續擴充電源提供質優、價廉、可靠之電力，滿足區域供需電力平衡，乃在位於台灣東北角之核能四廠興建單機裝置容量 135 萬瓩之輕水式核能機組二部。

核四計畫於民國 69 年獲行政院同意辦理。但民國 71 年 7 月政府因用電成長趨緩指示延後執行，惟有關前期準備工作仍持續進行，並加強核能宣導溝通。民國 80 年 1 月因電力需求增加，本公司重新修訂「可行性研究報告」及「環境影響評估報告」再次陳報，於 81 年 7 月奉准恢復動工，民國 85 年 5 月核反應器標決標，89 年 5 月經濟部成立核四計畫再評估委員會對本計畫進行再評估作業，行政院於民國 89 年 10 月公開宣布停建核四，復於 90 年 2 月宣布核四復工。

核四計畫(龍門電廠)採用進步型沸水式反應爐(ABWR)，目前全球除該廠外，尚有日本之柏崎刈羽，濱岡、志賀等核電廠多部機組採用，其電廠相關設備或組件亦透過各專業領域廠家提供組合而成。龍門電廠之核反應爐由美國奇異公

司開發設計，因該型反應爐壁較厚，須以整體鍛造方式製造，當時全世界工業界只有日本日立及東芝兩家公司有能力承製，故由奇異公司委託日本日立及東芝兩家公司製造，其製造的能力、實績及品質可達設計規範與要求。

核能電廠工程龐大及複雜，核能電廠的設備成千上萬，必須集合各領域之專業技術共同建造，非單一國家或廠商之能力所能完成，核四廠的部分設備是由台電自行採購，需要符合政府採購法規定，不能限定廠商。根據招標結果，由合格的廠商提供符合功能要求的設備，因此，由不同廠商提供相同設計功能的設備，是正常的型態。

核四計畫執行過程中因國內外之核能產業蕭條、政府政策變動、營造物價指數大幅上漲、停復工、採購法實施後採購期程難掌控、主要承包商倒閉、因工期延長導致與各廠商之履約爭議等因素影響，因此，施工工程管理未能有效掌控相關複雜因素對時程及工序之交錯影響，致計畫執行之期程較長，為了祛除國人對核四廠安全性之疑慮，經成立策略指揮中心強化工程管理、整合工程介面，並要求國外顧問公司之資深技術人員駐廠等各項措施後，一號機在燃料裝填前需完成之 126 個系統試運轉測試作業，已於 103 年 7 月全部完成並符合規範要求，需提送原能會審查之系統功能試驗報告亦於 103 年 10 月 31 日提送完畢。

然配合行政院江院長於 103 年 4 月 28 日國際記者會宣布「核四一號機不施工、只安檢，安檢後封存；核四二號機全部停工」，一號機系統試運轉測試完成後之各項測試及二號機相關之發包作業均停止執行，並依經濟部要求提送停工及封存計畫，行政院已於 103 年 8 月 29 日函復經濟部同意依其審查意見辦理；停工及封存計畫經修訂送經濟部審查後，經濟部已於 104 年 1 月 8 日來文同意備查；另細部封存計畫經提報原能會審查後，原能會已於 104 年 1 月 29 日發文同意核備。

本公司依核備之封存計畫執行各項作業，依兩部機組之系統設備與環境之不同特性，採最適當且最經濟之封存方式，包括：乾式、濕式及設備拆除等方式，並定期進行維護保養及測試等，確保設備組件的品質與功能正常。於 104 年 6 月 30 日完成封存前準備作業，自 104 年 7 月 1 日起進入封存；封存期間龍門電廠及龍門施工處之人員均按封存相關之程序書進行維護、檢修、預防保養與偵測試驗之管控等作業，讓設備維持在最佳狀態，核安處亦已依封存品保計畫執行封存品保專案稽查，各項作為均在確保啟封後之可用性。

參、各型火力機組建廠技術簡介

一、土木系統—燃煤儲倉規劃及施工

各火力發電機組中，燃煤電廠為基載運轉機組，係攸關國計民生之重要設施；為確保穩定供電之企業責任，完善之供煤系統為電廠持續運轉之重要因素；燃煤供應多以煤輪於卸煤碼頭停靠後，經碼頭上之卸煤機卸下，再利用皮帶機系統輸送入燃煤儲存場，故燃煤儲存場是否妥善規劃，施工是否如期如質，為火力發電計畫順利併聯及電廠可靠運轉之關鍵。

本公司舊有之燃煤儲存場多為露天型，燃煤之儲存及搬運易因天候因素造成燃煤飄揚，影響鄰近區域之空氣品質，隨著環保意識日益高漲，台電公司為善盡環保責任，近來各燃煤機組之更新計畫，燃煤儲存場皆以室內型規劃，以杜絕粒狀污染物對民眾健康傷害。室內型燃煤儲存場之規劃，考慮機組運轉用煤量、儲煤容量、卸煤效率、皮帶機輸送效率等因素，可採用三種類型之儲倉：

(一) 棚式儲倉(Shed)

棚式儲倉之頂棚多採 A 型 (A-Frame)(如圖 1、圖 2)或拱型鋼結構，跨度多在 40~70m 左右，較大跨度可達 100m

以上，國內外實績最多，結構型式亦較簡單堅固，堆料設備通常在頂部裝設輸送帶配合移動式佈料機(Traveling Tripper)，取料設備常使用門型(Portal)刮取煤機、橋式(Bridge)刮取煤機、鼓型(Drum)或輪斗取煤機，目前本公司規劃新設之彰工計畫及台中供煤改善計畫即預計採用此型。

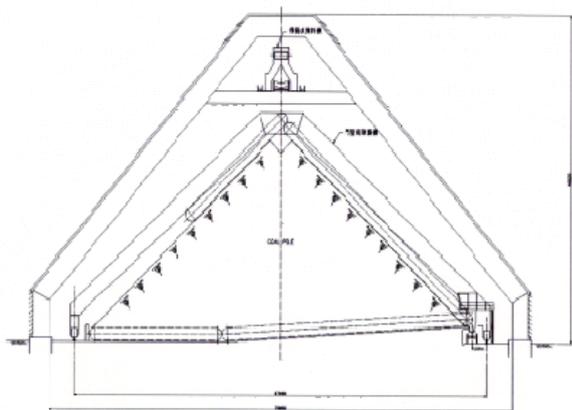


圖 1 A 型棚式儲倉配置門型刮取煤機示意圖



圖 2 日本東北電力能代發電廠實績照片

(二) 圓頂儲倉(Dome)

圓頂儲倉係由一系列或一群儲倉組成一儲料系統(圖 3)，多由頂部輸煤帶進料後，再由內部迴轉移動式堆取料機堆取煤，大型圓頂儲倉通常直徑在 70~120m 左

右，實績較少，台電公司目前於興達火力發電廠已設置 4 座 15 萬噸級之直徑 120m 圓頂儲倉(圖 4)。

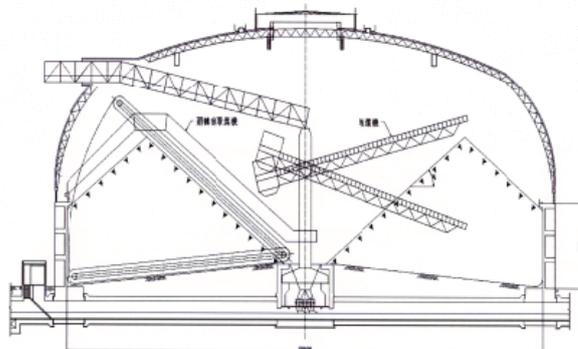


圖 3 圓頂儲倉示意圖



圖 4 台電公司興達發電廠室內煤場實績照片

(三) 筒狀儲倉(Silo)

筒倉儲煤系統多用一系列或一群筒倉組成(圖 5、圖 6)，輸煤皮帶由頂部進入倉頂鋼構後落料至混凝土筒倉內，取煤方式依設計及取料機械不同，主要可分為底部取煤及頂部取煤二種：底部取煤之設計為燃煤經槽型出口(Hopper)藉自重滑落底部，由位於倉底坑道之迴轉犁式供料機(Rotary Plow Feeder)刮煤送至出倉皮帶機運出，此類型煤倉以日本實績較多已約有 40 座，大容量可達 7~10 萬公噸。頂部取煤以歐洲廠商所發展之 Eurosilo 為代表，取料方式係由燃煤上方之取料螺旋輸送機(Reclaim Screw Conveyor)取料，隨倉內堆料高程而

昇降，取煤時將頂部燃煤向筒倉中心轉送，底部設置震動式供料機(Vibrating Feeder)控制燃煤出料量。考量煤炭堆置過久氧化引發自燃之風險，本公司多採用先進先出之底部取煤方式。

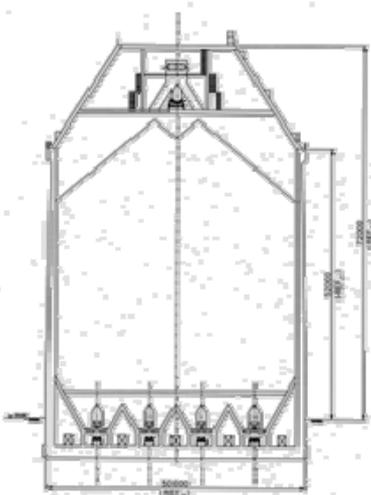


圖 5 7 萬公噸級底部取煤筒狀儲倉示意圖

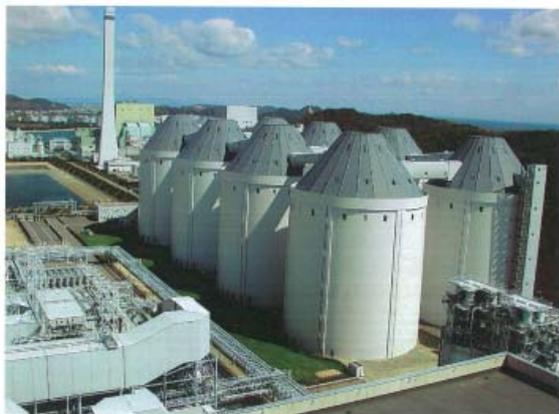


圖 6 日本 J-Power 橘灣發電廠實績照片

三種儲倉同樣儲煤量之條件下，筒狀儲倉雖工程費用較高，但單位面積儲煤量最高，倉體面積可最小，用地較彈性(如表 1)，本公司各改擴建計畫於既有電廠內尋找腹地已捉襟見肘，且施工中廠區常仍有其他機組運轉需求，在減少用地及干擾之條件下，筒狀儲倉係為首選，林口發電廠更新擴建計畫及大林發電廠更新改建計畫各採用 10 座及 8 座 7 萬公噸級之筒狀儲倉。

本公司之林口及大林煤倉工程案目前興建中，以此二工程為例，介紹煤倉各階段土木設計及施工概要。7 萬公噸級筒狀儲倉之尺寸規劃為地面上高度及直徑約 50m 之混凝土筒壁，頂部為高約 20m 之鋼構以容納機電設備，地下部分為約 5m 深之 4 條倉底坑道，單位面積之儲煤量高，重量也很大，淨載重將近 45~60t/m²。

表 1 相同儲煤量條件下各型式煤倉比較表

評比項目	棚式儲倉	圓頂儲倉	筒狀儲倉
1.用地面積	中	最大	最小
2.工程費用	中	中	最高
3.拌煤能力	佳	次佳	佳
4.工期	長	最長	長
5.施工複雜度	佳(基礎施工較單純，鋼構跨度中等且非高空吊裝)	可(地下輸煤隧道開挖最深且長，RC環牆須高架組模，頂蓋跨度最大且須高空吊裝)	中(基礎開挖面積大且深，RC牆體最高，頂蓋跨度最小，須高空吊裝)
6.景觀	中(量體較大但高度較低)	中(與棚式儲倉相當)	中-佳(用地最小，但量體較集中高聳)
7.運維特點	佳(設備位於室內地面)	次佳(設備位在懸空及隧道內)	中(設備在倉頂及隧道內)
8.實績	最多	最少	多

1. 基礎結構

筒狀煤倉之基礎結構，應以能有效支撐整座煤倉各項機械設備及土建結構物之各項載重，使不致發生過大之差異沉陷為原則，多採用 2~3m 厚之基礎版，將筒倉載重擴展至基礎版，再由基樁傳遞至地盤為宜。因林口及大林新機組煤倉座落地分別為煤灰及泥沙填築而成，堅實地層至少分別在 10 及 30 公尺以下，考量煤倉靜載重即將近 60 t/m²，原始土壤承载力不足，除使用樁基礎外，

分別以礫石樁及擠壓砂樁工法進行地層改良，以防止土壤液化，而折減基樁承载力。

設計之初，先於工址內選定一區塊進行地層改良工法之前期試驗，並進行 SPT 與 CPT 試驗以確認改良成效，由前期試驗結果來決定全區礫石樁/擠壓砂樁打設間距、樁徑等最適配置，並作為施工時之品質檢驗依據。

施工工期以大林計畫為例，擠壓砂樁地改全範圍施作約 6 個月，單座煤倉採打擊式基樁施作約 3~4 個月，基礎版約 2 個月，惟各處地質差異可能很大，所需費用及工期應視各案而定，應以前期鑽探確認地質情形。打擊樁之佈置若採小樁徑高密度之方式，應考量會擠壓土壤造成類似地改效果使打入作業會越來越困難之情形。此外，施工前應先探查舊有地下結構物狀況以免中斷打設作業。另考量振動對混凝土凝結之影響，若周邊約 50m 內進行混凝土澆灌時應暫停樁打擊作業。於林口新機組煤倉工程，因使用反循環基樁，則無打擊樁施工之困擾，惟仍須注意鄰近是否有礫石樁打設時產生之振動影響，如有，則須妥適安排施工區塊及時程規劃，以減少互相干擾。

2. 倉底坑道及筒體內部

倉底坑道上之筒體內部構造形狀複雜(圖 7、圖 8)，有卸料斗斜壁、棚屋、幕梁，橫牆等結構，將筒倉分割成多槽長方形格狀之卸料斗，以利儲煤呈靜止並蓬鬆的狀態，除斜面角度先經設備廠家認證確保落煤順利外，為讓筒體內部表面上能具有良好的流動性，避免出料不順堵塞之情形發生，筒體內部之卸料斗斜壁須進行襯層作業(Lining)，一般採用耐磨性較好的不鏽鋼材質。

各斜面無法採用一般之模版，施工空間狹小複雜，並需考量不鏽鋼襯版之鋪設及人員上下動線，尤其至高層時一般施工架搭設困難，使這部分施作須耗費大量人力及時間，期程約 6~8 個月。

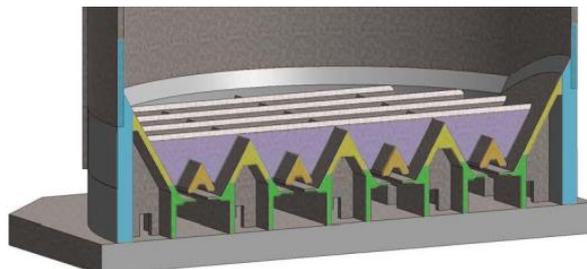


圖 7 筒體內部示意圖



圖 8 筒體內部照片

3. 煤倉筒體

儲煤筒倉在儲料荷載的作用下，倉壁的環向拉力較大，為滿足混凝土壁體抗拉強度，設計方面多採用預力方式，充分利用混凝土的抗壓強度和高強鋼絲、鋼絞線抗拉強度高的特點，對倉壁施加預應力，用高強度鋼材來承擔倉壁的環拉力，減少煤堆側向壓力對牆體造成之張力以防止開裂，並可減少牆厚及降低鋼筋使用量。因電廠位於近海之腐蝕環境，其防蝕處理除針對預力鋼線需確保套管內外灌漿緻密性及端錨區需具有足夠保護層外，倉壁混凝土採用 II 型抗硫水泥並符合該環境之水膠比及抗壓強度要求。

施工時採滑模系統(圖 9、圖 10)，雖模板費用較高，但可大幅縮短工期，滑模工作台構件組裝設置約 1 個月，理想上可與組立倉頂鋼構所用之臨時平台甚至倉頂鋼構預組併行，減少倉壁完成後倉頂鋼構組立之困難，筒倉壁澆置及工作台拆除約 1 個月，單一筒倉倉壁合計完成約需 2 個月。一般在施工可配合之條件下，決定滑模升速度之條件為混凝土初凝時間，其受環境溫濕度所影響，一般約為 15~35cm/hr。因滑模須連續施工，為確保施工品質，須妥善考量個案天候環境是否適宜、預埋件之安裝、混凝土配比及供應能力等因素，事先做好施工流程規劃。另倉壁施工亦可以採用系統模版(俗稱爬模)，有模具成本較經濟，減少組裝模版之時間、人力需求，作業標準化及品質穩定等特性，但需要較多量之重型起重機進行模版之吊升作業，及因混凝土澆置完成後才進行脫模與吊升之過程，使筒體結構體完成期程拉長至約 8~10 個月。



圖 9 滑模施工



圖 10 筒體完成照片

4. 倉頂鋼構

倉頂鋼構除自重外，倉頂皮帶機廊道亦承載於此，適當之伸縮縫甚至滑動裝置設計可減少轉運塔鋼構及煤倉剛性差異大造成之應力傳遞問題，構件材質依需求可採用熱浸鍍鋅防蝕，屋面採用 PVDF 面漆之浪板以增進耐候性。

鋼構件組立及拉升設備安裝(圖 11、圖 12)約 2 個月，吊升鋼構、倉底臨時平台拆除、托架安裝及鋼構定位約 1 個月，實務上高空作業須特別小心工安，為危險性工作場所審查暨檢查申請之重點。

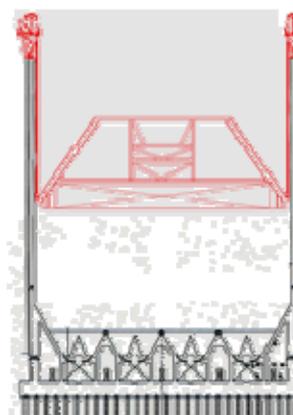


圖 11 倉頂鋼構拉升示意圖



圖 12 倉頂鋼構拉升照片

二、機械系統

(一) 鍋爐及相關輔助設備

近十年間深澳、林口、大林電廠等傳統燃煤火力機組陸續除役，開始著手的更新改建計畫均朝向有別於以往次臨界(Subcritical)鼓式鍋爐的超臨界(Supercritical)

貫流鍋爐，主要差異在於超臨界鍋爐無汽水鼓，以汽水分離器代替、無降水管、無沖放系統。目前建造中之林口新三部機，鍋爐係由日商 Mitsubishi Hitachi Power Systems (MHPS) Group 設計，鍋爐燃燒器佈置採用改良式四角切圓燃燒(Circular Ultra Firing, CUF)，(圖 13)，較一般四角切圓燃燒(Circular Corner Firing, CCF)，(圖 14)減少爐膛結渣，熱吸收較均勻，點火及燃燒上也有較佳之表現。

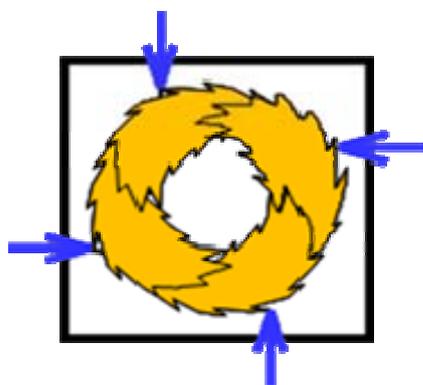


圖 13 Circular Ultra Firing (CUF)

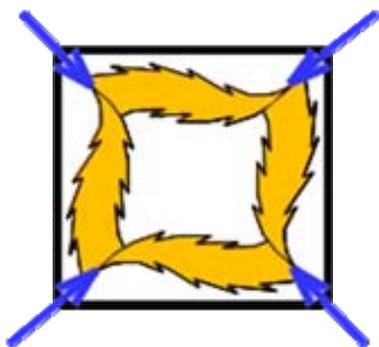


圖 14 Circular Corner Firing (CCF)

林口新三部機均裝設有選擇性觸媒脫硝設備 (SCR)，規劃為鍋爐出口 NO_x 排放為 150ppm，經 SCR 脫硝後排放為 23ppm，脫硝效率約 84.7%，但本公司以成為永續發展的「綠色企業」為己任，主動提昇新#3 機之脫硝效率至 90%以上，為環境保護善盡心力。

(二) 氣浮式皮帶輸送設備

本公司於林口電廠更新擴建計畫中，在運煤輸送系統方面採用新的輸送設備—氣浮式皮帶機，此設備為本公司第一次使用，其在世界上已發展超過十餘年，技術方面已相當成熟穩定，而國內亦有中鋼公司使用，惟運輸量較小；另外隨著此設備完成亦將使本公司未來於運煤輸送設備上有了新的選擇。

氣浮式皮帶機較傳統式皮帶機擁有一些優點，如：建置成本較傳統式皮帶機低、滾輪數量少、減輕維護成本及人力、輸送速度較快、有效防止煤塵溢散、較低噪音、設置所需空間較小等等。圖 15 為氣浮皮帶機之運轉原理，因皮帶與 Trough(導槽)間僅有極小間距，空氣經由氣孔進入皮帶與 Trough 間形成一層薄膜使皮帶浮於 Trough 上方，達到無需滾輪支撐即可載運原料的功能。氣浮式皮帶機基本設計型式約可分為三種：

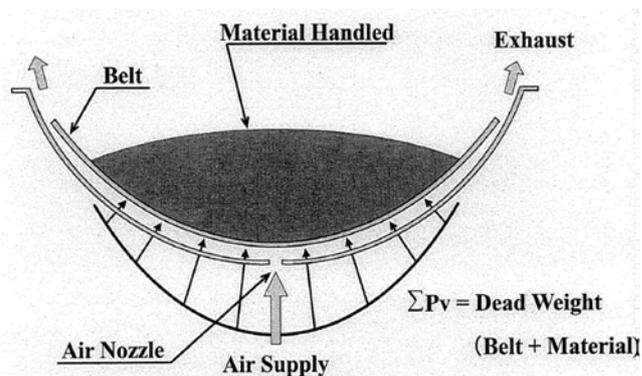


圖 15 氣浮皮帶機原理

1. 單管式(Type I): 於單管內配置有載運端及回程端皮帶，其配置較為簡單，但卻有製造不易、精度難控制且所需體積空間較大之缺點，目前已不常使用。
2. 雙管式(Type II): 載運端與回程端皮帶各自配置於輸送側及回程側之鋼管內，配置較單管式複雜，所需水平空間較小，但仍

有製造精度難以控制之缺點，現已不常使用。

3. 雙槽型(Type III)：亦稱 Trough Type，不同於 Type I 及 Type II 使用鋼管型式，Type III 之皮帶拉設於一特殊弧面(稱為 Trough)上方，所以製造及精度較易控制，且因 Trough 安裝於 Main Frame 上，故各段 Main Frame 於現場安裝時仍可進行細部調整，現為氣浮式皮帶機主流，目前林口電廠更新擴建計畫之氣浮式皮帶機即為採用此種形式。

(三) 底灰處理系統

本公司於林口電廠更新擴建計畫中，在底灰處理系統方面採用新式的處理技術，其不僅可以配合公司之環保政策，亦可提高燃煤電廠之煤灰資源化再利用目標及提升鍋爐效率。新式底灰處理系統之設計，說明如下：

乾式冷卻出灰法與沉水式刮板鏈條輸送機(Submerged Chain Conveyor，簡稱 S.C.C)同為二段式輸送帶，採用密閉式輸送系統，高溫底灰由金屬輸送帶輸送，金屬輸送帶以滾輪支撐底灰及金屬輸送帶之重量。冷卻空氣由第二段輸送帶出口與底灰輸送路徑相反方向進入，進入過程中可將高溫底灰冷卻，並將底灰所含未燃碳燃燒使進入的空氣溫度逐漸升高，最後進入爐內作為燃燒空氣。密閉式輸送系統中間設有微調孔，可調整進入之空氣量，控制送出之底灰溫度。

乾式出灰系統由於可燃燒底灰之未燃碳及底灰斗中無水不會吸收爐內熱量等特性，故可以提升鍋爐效率。此種處理方式亦利用機械輸送，惟其是利用空氣作為冷卻源，而非利用水的一種出灰方式，故稱為「乾式出灰法」。

台灣目前運轉中的燃煤電廠皆採用傳統濕式冷卻處理法，其最大缺點為高溫底

灰所夾帶之大量熱能無法回收，造成鍋爐之熱損失。乾式底灰出灰法與濕式冷卻處理法兩者最大之差異為所使用之冷卻源的不同(乾式底灰出灰法使用空氣，濕式冷卻處理法使用水)，乾式底灰出灰法其冷卻空氣溫度提升後再送入鍋爐作為燃燒空氣，具有回收底灰所夾帶熱量之優勢。

乾式出灰具有無需用水、可回收底灰熱量提升鍋爐效率(約 0.23%)、輔助設備少、所需空間小、皮帶使用壽命長及底灰可再利用等優點，故漸為新建機組採用，2010 年後全球已有 70 多座實績，其中 24 座運用於發電廠。

未來在設計規劃底灰處理系統時，建議採用乾式出灰方式並規劃中間暫存設施，以利底灰之資源再利用；雖其初期之設備費用較昂貴，惟後續之運作維護費用卻較低廉，加上其可回收底灰熱量提升鍋爐效率、底灰可資源化再利用、符合環保法規要求等優勢。

(四) 三菱 M501J 氣渦輪機簡介

配合政府能源多元化政策，採用天然氣發電之大潭複循環機組，除高效率機組具快速起、停供電外，對電力系統之穩定度亦有莫大助益，並秉持提昇環境品質之目標，嚴加管制各項污染排放，充分發揮天然氣潔淨發電之特性。

而近期興建中之通霄電廠更新擴建計畫，複循環機組毛效率高達 61.95% Gross 以上，為全世界效率最高之先進複循環機組。本公司得以連續採購到最先進之機組，此乃歸功於良好之招標規範，將機組效率值、強制備品、運轉維護及保固等因素納入招標評比，故能以最經濟之價格採購到高效率機組。此外，為廣邀廠商，拋棄過去要求須有實績才可投標之舊有包袱，改採用只需有訂單即可參標之招標策略，使新研發出來之先進機組可及早加入

本公司之投標工作，亦為能採購到先進機組之重要因素。

大潭電廠複循環發電機組採用之氣渦輪機為日本三菱重工製造之 M501F(#1~#2 機)及 M501G(#3~#6 機)，而通霄電廠更新擴建計畫所採用之氣渦輪機為最新一代之 M501J。各複循環機組之基本資料如表 2。

表 2 各複循環機組之基本資料

機組型式 單部 複循環 機組資料	MHI M501F (大潭#1 ~#2 機)	MHI M501G (大潭#3 ~#6 機)	MHI M501J (通霄更新 #1~#3 機)
氣渦輪機 (GT)數目	3	2	2
汽輪機(ST) 數目	1	1	1
機組淨出力, kW	720,000	708,050	874,500
機組淨熱耗率 (LHV), kJ/kWh	6,555	6,313	5,931
機組毛效率 (LHV)	56.65%	58.38%	61.95%
渦輪機進氣 溫度, °C	1,400	1,500	1,600
壓縮機級數	16	17	15
壓縮機壓縮比	16	20	23

由表中可明顯看出隨著複循環機組的演進，在發電效率上有明顯的提升。而要提高複循環機組效率最直接的方式，即為提升氣渦輪機空氣之壓縮比 (Pressure Ratio)，以及氣渦輪機進口溫度 (Turbine Inlet Temperature, TIT)。

最新型之 M501J 氣渦輪機，其壓縮機級數雖然較前兩代機組為少，但透過壓縮機葉片之改良，仍能提供更高之壓縮比。M501J 之壓縮機由十五級葉片組成，可提供 23 倍的壓縮比。其中第一到第三級的可變式靜葉片可以調整角度而改變空氣的流量及進氣角度，如此可避免氣渦輪機在低速運轉時(如起、停機過程)發生過多空氣

殘存於壓縮機而導致突壓使壓縮機失速。

三菱 M501J 複循環機組效率提升之另一關鍵為提升氣渦輪機進口溫度至 1,600 °C。雖然現今之金屬材料無法直接承受如此之高溫，但透過耐熱塗層以及良好之冷卻設計，仍能進一步提升氣渦輪機燃燒筒及葉片之溫度，以達到效率提升之目的。以 J-type 氣渦輪機第一級動、靜葉片為例，在表面皆有耐熱塗層作絕熱保護，葉片內則設計對流通道及氣膜冷卻的散熱方式讓葉片降溫。

如果將葉片剖開，由葉片的截面圖可以了解，內部有對流通道讓冷卻空氣通過，帶走葉片的熱量，達到降溫的目的。除了運用冷卻空氣的對流散熱之外，為增加降溫的效果，更運用了氣膜冷卻的技術。在葉片的壁面設計氣膜冷卻口，冷卻空氣經由葉片上的冷卻口噴出在葉片表面形成氣膜，因而對高溫的熱燃氣產生隔絕效果，並帶走高溫燃氣，對葉片表面達到很好的保護作用，如圖 16。

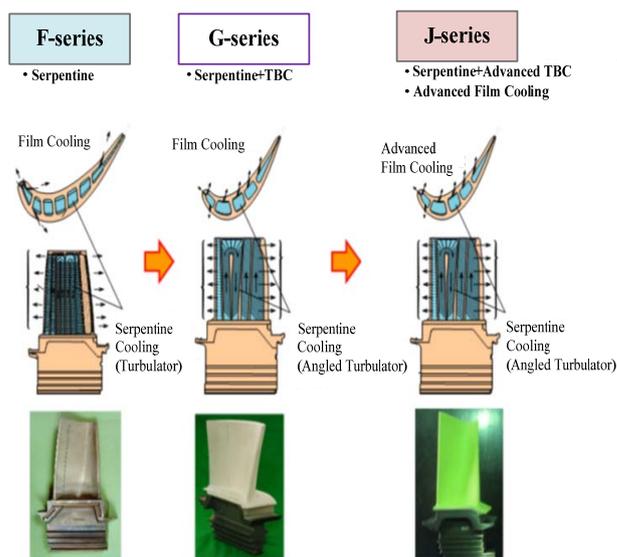


圖 16 第一級動葉片冷卻技術比較

M501J 之葉片散熱空氣來源，為從壓縮機中抽出溫度較低的空氣以做為冷卻渦

輪機的冷卻空氣。如下圖 17 所示，考量壓力的匹配性，避免熱燃氣倒灌，故在壓縮機第六級葉片設置歧管抽氣用來冷卻渦輪機第四級靜葉片，壓縮機第九級葉片設置歧管抽氣用來冷卻渦輪機第三級靜葉片，壓縮機第十二級葉片設置歧管抽氣用以冷卻渦輪機第二級靜葉片，而渦輪機第一級靜葉片則由壓縮機出口之空氣直接冷卻。壓縮機葉片歧管抽氣除了冷卻渦輪機葉片之功能外，還有抽取壓縮機內過剩空氣，避免於機組啟動時因突壓產生失速的用途。

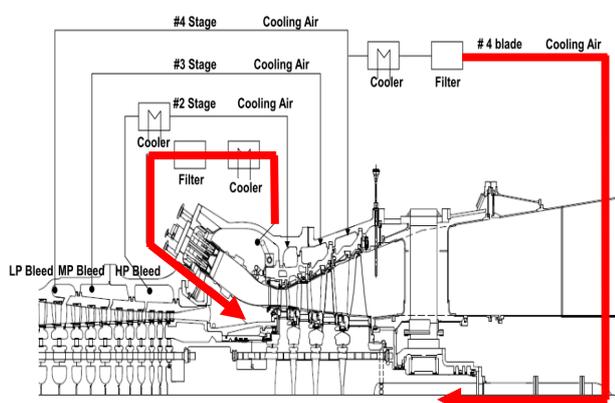


圖 17 葉片冷卻示意圖

氣渦輪機之各級動葉片同樣有專屬之冷卻系統負責冷卻。壓縮機出口之部份空氣被導入氣渦輪機冷卻空氣冷卻器 (Turbine Cooling Air Cooler) 冷卻後，用以冷卻氣渦輪機第一、二、三級動葉片。而第四級動葉片，則由第六級壓縮機抽出之部份空氣，經過冷卻器冷卻後導入第四級動葉片冷卻。

燃燒室位於壓縮機之後的燃燒室殼體中，是環狀排列的預混式低氮氧化物燃燒筒。M501J 與前二代之 M501F、M501G 同樣有 16 個燃燒室。由燃燒室殼體 (Combustor Casing) 及燃料噴嘴 (Fuel Nozzle)、燃燒內筒 (Combustor Liner)、穿

火管 (Cross Flame Tube) 等熱元件和冷卻系統 (Cooling System)、點火系統 (Ignition System)、火焰偵測系統 (Flame Detection System) 所組成。燃燒內筒的功用為提供空間讓預混的天然氣與壓縮空氣進行燃燒，然後將燃氣導入氣渦輪機作功。燃燒室內筒為了能承受燃燒時的高溫，同樣有耐熱塗層塗佈於導筒內側表面。筒壁上也製作散熱通道，將較低溫的蒸汽由廢熱回收鍋爐 (HRSG) 導入燃燒筒內，以達到降溫的作用。而為了吸收燃燒時的震波，在筒壁的外側有吸振內襯，以減少燃燒時產生的振動，如圖 18。

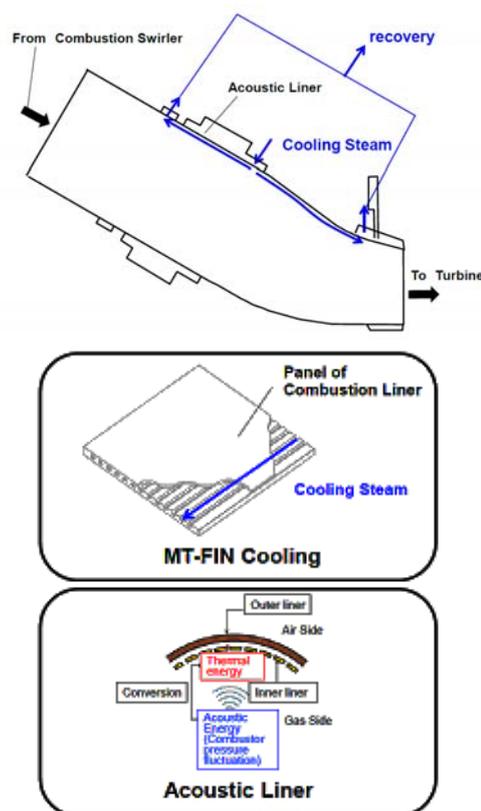


圖 18 燃燒室冷卻及減振機構

三菱公司 M501J 複循環機組透過更進步之改良設計，使發電效率進一步提升。本公司通霄新#1 機預計於 106 年 5 月接受調度，屆時將為全國效率最高之發電機組。

(五) 超超臨界燃煤機組之汽輪發電機

由於長期以來節能減碳及環保意識的抬頭，再加上燃料價格攀升的影響迫使各電力業者研發及應用許多不同的淨煤發電技術，其中超臨界設計之先進技術，屬具高效率且可歸為淨煤發電應用的指標技術。早期燃煤發電具有的效率低的缺點，同時造成 CO₂、NO_x、SO_x 大量空氣污染物排放的問題。因此，燃煤發電之淨煤技術的發展，一直朝向提昇機組效率及減少污染物排放等方面來努力。例如提高蒸汽溫度或蒸汽壓力的超臨界或超超臨界機組的研發與製造，進而提昇機組效率並降低污染物的排放。

為使超臨界燃煤發電機組發揮最佳經濟效益，蒸汽條件之參數選定具有相當重要之影響，機組之操作壓力及溫度亦對於投資成本、熱耗率、運轉及維護保養費用之高低有密切之關聯性。理論上而言，依據 Mollier 圖所示，較高之蒸汽壓力與溫度，有較高的可用能(Available Energy)，經由朗肯循環(Rankine Cycle)分析，在相同的汽機效率及背壓的條件下，汽機熱效率亦相對地提高。目前台電公司已商轉之燃煤發電機組均為次臨界汽力機組，如分別於民國 93 年及 94 年商轉的台中#9、#10 機，其汽輪機進口蒸汽條件為 16.55 MPag/537.8°C/537.8°C。倘以前述機組之熱耗率為基準，當汽輪機進口蒸汽壓力由次臨界壓力 16.5 MPag(2,400psig)提高至超臨界壓力 24.1MPag(3,500 psig)，汽機熱耗率大約可降低熱耗率之 1.7~1.8%，若再提高至 31.0 MPag(4,500psig)，汽機熱耗率則大約可再降低基準熱耗率之 0.9~1.0%。另一方面，當汽輪機進口主蒸汽溫度或再熱蒸汽溫度每提高約 27.8°C (50°F)時(如 538°C/538°C→538°C/566°C→566°C/566°C→566°C/593°C→593°C/593°C)，汽機熱

耗率則大約降低基準熱耗率之 0.7~0.8%，如圖 19 所示。

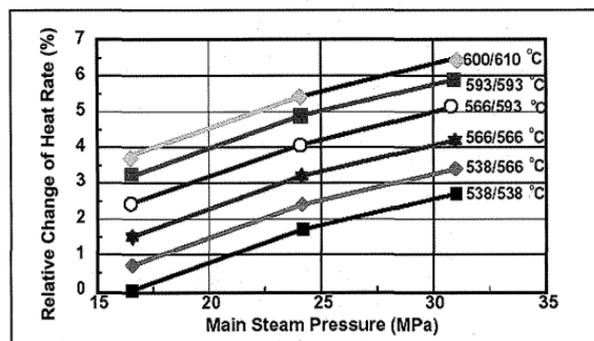


圖 19 蒸汽壓力與汽輪機熱耗率變化圖(由 Toshiba 公司提供)

至於蒸汽壓力及溫度分別對於機組效率之影響，若以提高蒸汽壓力之方式雖可增加機組效率，但相關系統及設備，如鍋爐飼水系統管閥及飼水泵、蒸汽系統管閥、鍋爐及汽輪機等，其設計壓力亦須相對地配合提高，因此大幅增加了初期投資成本，將會抵消部分機組效率提高之效益。而提高主蒸汽溫度或再熱蒸汽溫度，僅須適當地選用鍋爐爐管、過熱器、再熱器以及蒸汽系統管閥材質，初期投資成本僅稍微提高，但機組效率提高之效益較為明顯，近年來更由於材質技術不斷研究發展，各種適用於高溫高壓的爐管材質及蒸汽系統管閥材質亦應用在超臨界燃煤發電機組，使得提高蒸汽溫度之效益更加顯著。

林口更新擴建計畫設置 3 部 80 萬瓩之高效率超超臨界燃煤機組，使用單軸四缸串聯式汽輪機，汽輪機設計為四缸，包含 1 個高壓汽機、1 個中壓汽機及 2 個低壓汽機。主蒸汽壓力為 24.5MPa，主蒸汽溫度高達 600°C，再熱蒸汽進氣溫度亦高達 600°C，使發電機組毛效率提高至 44.93%。目前台電公司所有運轉中之汽力機組均為傳統汽力機組，以台中電廠九、十號機為例，屬於次臨界發電機組，其機組效率約為 39.93%，表 3 為林口新建機組

與台中電廠九、十號機之蒸汽條件及機組效率比較，由表可知，林口新建超超臨界機組之效率比台中電廠九、十號機組提高將近 5%。

表 3 林口/大林超超臨界機組與台中九、十號機次臨界機組比較

	林口	大林	台中九、十號機
額定出力(MW)	800	800	550
主蒸汽壓力(MPa)	24.5	25	16.5
主蒸汽溫度(°C)	600	600	537.8
再熱蒸汽壓力(MPa)	4.08	4.496	3.7
再熱蒸汽溫度(°C)	600	600	537.8
機組毛效率(%), LHV	44.93*	45.59*	39.93**

* 廠家提供之機組設計值

**為 103 年台電公司統計年報台中發電廠#9 機運轉實績

大林計畫採用單機容量為 80 萬瓩之超超臨界燃煤發電機組，其熱循環為一次再熱式之朗肯循環(Rankine Cycle with Single Reheat)，主要參數如下：串聯複合式四流 TC4F(Tandem Compound, Four Flow Exhausts)、四缸(HP×1, IP×1, LP×2)、一次再熱(Single Reheat)、衝動及反動式設計(Impulse and Reaction Design)，如圖 20。汽機葉片級數：高壓 1×12 級、中壓 2×9 級、低壓 4×6 級。

大林汽機葉片主要用鉻合金鋼實心材料機械加工成型，係因它具極佳的強度、抗疲勞及抗蒸汽侵蝕和沖蝕性質。另汽機葉片尖端與汽缸之間有設計徑向汽封(Radial Spill Strips)，可限制蒸汽洩漏量。其中動葉片尖端設計除高壓段第一級動葉片採用 Tenon-Integral Cover and Shroud 型式，如圖 21 外，其他皆採用 Snubber 型式，如圖 22。此型式葉片的優點是動葉片與覆環為同一鍛造件可一起加工，改善葉片尖端的汽封效果，且葉片間可連續 360

度連結，容易拆裝並減少振動應力、抗腐蝕疲勞，使葉片可靠度增加。



圖 20 串聯複合式四流(TC4F)四缸型式汽輪機模型

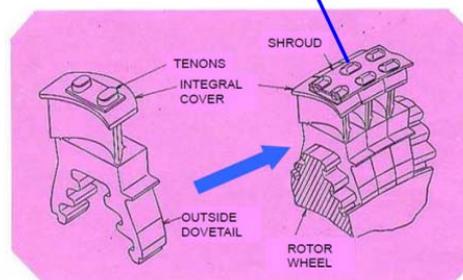
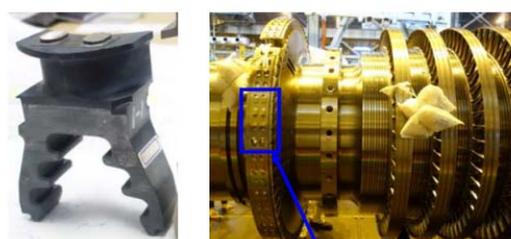


圖 21 第一級動葉片(Tenon-Integral Cover and Shroud Type)

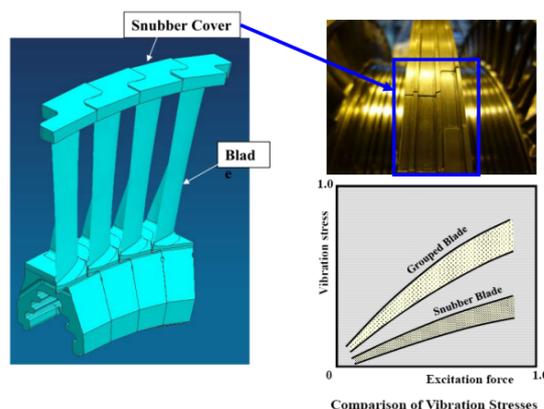


圖 22 Snubber 型式汽機動葉片

另外，因低壓汽機轉子末級葉片(L-0)長度較

長，為加強葉片間連結強度，過去舊型機組都是以繫線(Lashing Wire)焊接連結，所以每次大修均需作 PT 檢測焊道，若有龜裂則須研磨後，以 Inconel 82 焊條 TIG 焊接修補。而新建超超臨界機組低壓汽機轉子末級葉片(L-0)長達 40 吋，故設計低壓汽機轉子末二級葉片(L-0 及 L-1)時係採用 Lug 與 Sleeve 結合方式，作為葉片間的支撐連結，如圖 23，相對於舊型機組更容易維修拆解及安裝。

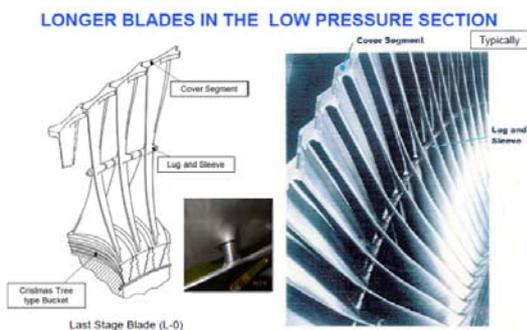


圖 23 新建機組末二級葉片連結方式

由於蒸汽係透過靜葉片(噴嘴)以適當的角度和速度導進動葉片，因此，為獲得汽機最佳性能，靜葉片輪廓形狀、面積、角度的設計需考量通過靜葉片的蒸汽體積、穿過靜葉片的蒸汽壓力降及相鄰動葉片速度等參數。大林新建超超臨界機組的汽機靜葉片係由鉻合金鋼材料機械加工成形，再經由鉚接或嵌入組裝而成一整體的靜葉環，如圖 24，以使靜葉片獲得高強度而足以抵抗蒸汽穿過靜葉片時的高壓力變化方式。

林口新建計畫之機組使用超超臨界條件之工作流體，使得機組效率及出力得以增加，為了使機組能承受高溫高壓之嚴苛工作環境，其設備材料、冷卻技術及防止蒸汽洩漏等技術皆須搭配改進。以下介紹林口新建計畫機組在高壓汽輪機上所採用之先進技術。

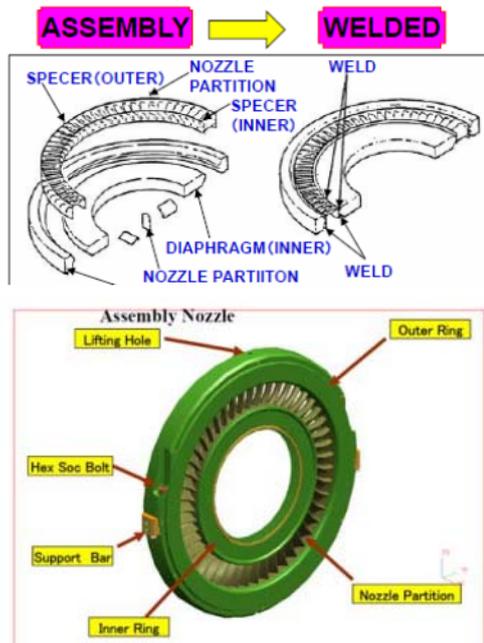


圖 24 新建機組汽機靜葉片設計與組裝方式

1. 高壓汽機葉片：

林口新建計畫之高壓汽機由一衝動式(Impulse)葉片及 9 級反動式(Reaction)葉片組成。葉片採用先進耐高溫材料—12%Cr (NiCoCr)合金鋼材質，其材料強度、蒸汽的侵蝕及抗疲勞(fatigue)性均較台中九、十號機之葉片—12%Cr (12 鉻鐵合金鋼)提升，故該汽輪機能在壓力及溫度為 24.6 MPa 及 600°C 之主蒸汽條件下長時間運轉做功。

2. Dummy Ring：

由於林口新建機組之高壓汽機為單流向設計，高溫高壓的主蒸汽除推動轉子轉動外，亦產生一軸向推力，此推力大小為 $F=(P_{in} - P_{out}) \times A_{avg}$ ，為了抵消此一軸向推力，在高壓汽機側設計一 Dummy Ring。Dummy Ring 高壓側為主蒸汽進口壓力、低壓側則由平衡管自高壓汽機出口排汽接引，使得 Dummy Ring 兩側壓力差亦為 $P_{in} - P_{out}$ ，並設計適當 Dummy Ring 厚度使得主蒸汽推動葉片產生之軸向推力能與 Dummy

Ring 產生之軸向推力大小相等、方向相反而互相抵銷，維持轉子在軸向位置上之定位，以確保汽機運轉時迴轉件與靜止件之間隙。

3. 耐磨型主動間隙控制汽封環(ACC Seal)：

林口新建機組高壓汽機之 Dummy Ring 使用新式耐磨型主動間隙控制汽封環(abrasable active clearance control seal ring, abrasable ACC seal ring)，如圖 25，此種技術主要的特色為使用耐磨材料使得在額定運轉時有最小的間隙值，並且根據不同運轉條件能主動調整間隙。除此之外，在汽封環表面以熱噴塗(thermal spray)技術噴塗一層多孔性材料，以達到耐磨且低熱傳導係數，即使汽封片與轉子鱗片接觸時亦能抗磨且不因摩擦產生高溫而使汽封片損壞，故能在最小間隙下運轉，以減少蒸汽洩漏，提高汽機熱效率。

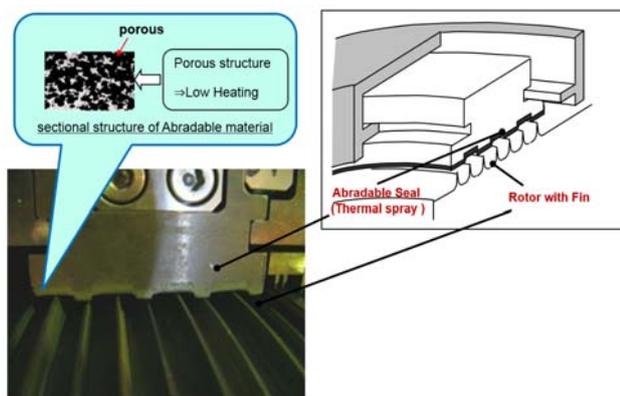


圖 25 林口新建機組之耐磨型主動間隙控制汽封環

圖 26 為傳統汽封及 ACC Seal 比較，傳統式之汽封間隙為固定型式，然而汽機轉子在不同轉速下的彎曲狀態並不相同，例如，在低轉速時、因受重力影響，轉子形成中間低兩側高的狀態，此時汽封間隙應較大以避免磨擦；在高轉速時，轉子軸直度較佳，此時汽封間隙應愈小愈好以避

免蒸汽洩漏造成能量損失。ACC Seal 汽封之設計使汽機在起動及停機等低轉速運轉時，蒸汽洩漏壓力小，因彈簧力向上頂升，汽封間隙較大；在正常運轉時轉速較高，蒸汽洩漏壓力克服彈簧力使汽封片向下壓，汽封間隙變小，減低蒸汽洩漏量。

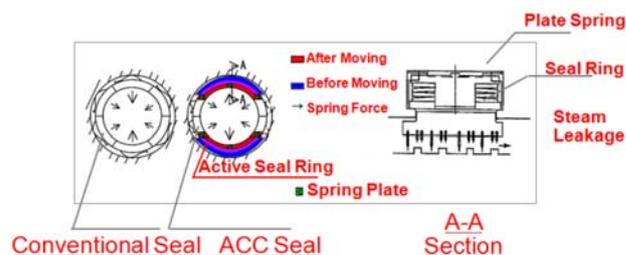


圖 26 傳統汽封及 ACC Seal 汽封示意圖

林口新建計畫機組之高壓汽輪機採用先進之耐熱材料、Dummy Ring 設計及耐磨型主動間隙控制汽封環(ACC Seal)等先進技術，使得新建超超臨界機組得以實踐其高效率之特性。

(六) 三壓再熱式廢熱回收鍋爐

大潭複循環及通霄更新擴建複循環發電計畫之廢熱回收鍋爐 (Heat Recovery Steam Generator, 簡稱 HRSG)均係由日本三菱重工設計，為非燃式、三段壓力、垂直燃氣流(大潭)或水平燃氣流(通霄更新)、採自然循環再熱式鍋爐。其原理以燃氣渦輪機(Gas Turbine)之燃燒反應熱燃氣進入廢熱回收鍋爐，熱燃氣與廢熱回收鍋爐中爐管之爐水以對流方式進行熱交換，產生蒸汽，推動汽輪機(Steam Turbine)葉片，以帶動汽輪發電機發電。汽機作功後，其蒸汽經過冷凝器(Condenser)冷卻，成為冷凝水飼水(Feedwater)系統，經過除氧器後再回到廢熱回收鍋爐加熱成為蒸汽，如此成為複循環發電模式。

大潭複循環發電計畫#1、#2 機 6 台 M501F 氣渦輪機、#3~#6 機 8 台 M501G

氣渦輪機及通霄更新擴建複循環發電計畫 #1~#3 號機 6 台 M501J 氣渦輪機分別配置的廢熱回收鍋爐(HRSG)，其主要設計規格比較表如表 4。

表 4 大潭#1~#6 機及通霄更新#1~#3 機複循環機組三壓再熱式廢熱回收鍋爐設計規格比較表

機組型式		大潭#1~#2 機 (M501F)	大潭#3~#6 機 (M501G)	通霄更新 #1~#3 機 (M501J)
機組資料				
HRSG 系統配置		6 座 [3 配 1 共有 2 部機組]	8 座 [2 配 1 共有 4 部機組]	6 座 [2 配 1 共有 3 部機組]
HRSG 型式		三壓式/自然循環/垂直燃氣流	三壓式/自然循環/垂直燃氣流	三壓式/自然循環/水平燃氣流
設計條件	淨出力	100% Load	100% Load	100% Load
	環境溫度	32°C	32°C	32°C
高壓蒸汽	流量	211 t/h	253.3 t/h	286.9 t/h
	壓力	13.31 Mpa (abs)	13.4 Mpa (abs)	15.2 Mpa (abs)
	溫度	540.9°C	538.2°C	600°C
中壓蒸汽	流量	23.8 t/h	51.4 t/h	59.1 t/h
	壓力	3.9 Mpa (abs)	4.3 Mpa (abs)	4.3 Mpa (abs)
	溫度	278.5°C	283.1°C	281.5°C
低壓蒸汽	流量	26.1 t/h	40.9 t/h	34.9 t/h
	壓力	0.687 Mpa (abs)	0.7 Mpa (abs)	0.54 Mpa (abs)
	溫度	271°C	271.6°C	253.7°C
再熱蒸汽	流量	228.7 t/h	257.3 t/h	286.1 t/h
	壓力	3.56 Mpa (abs)	3.6 Mpa (abs)	3.5 Mpa (abs)
	溫度	567.9°C	566.5°C	602°C
燃氣溫度	HRSG 入口	636.9°C	622°C	659.1°C
	HRSG 出口 (煙囪)	94.7°C	87°C	75.3°C

由此表可見，隨著氣渦輪機 M501F、M501G、M501J 的演進，其排氣溫度(即

HRSG 進口溫度)由 636.9°C 提高至 659.1°C，主/再熱蒸汽條件由 13.31 Mpa (abs)/540.9°C /567.9°C 提高至 15.2 Mpa (abs)/600°C/602°C，但 HRSG 出口溫度(煙囪)卻可由 94.7°C 降低至 75.3°C，顯見充分發揮 HRSG 廢熱回收的效果。

廢熱回收鍋爐三段壓力、再熱式系統概述如下：

1. 高壓系統：

熱回收鍋爐高壓系統包括高壓飼水系統、高壓節熱器、高壓汽鼓、高壓蒸發器、高壓過熱器等設備。高壓飼水係由高壓飼水泵經由電動進口關斷閥、進口逆止閥、飼水管路進入高壓節熱器。

高壓節熱器加熱飼水分成幾級，每一級節熱器係由附有鋸齒式鰓片之無縫管所製成，並確保正常運轉情況下，飼水無汽化發生。被加熱之飼水離開後級節熱器後經高壓汽鼓飼水管路進入高壓汽鼓。飼水控制閥則設於後級節熱器與高壓汽鼓之間，以控制飼水量。鍋爐初始補水則係由除礦水分配系統供水。氣機冷卻空氣冷卻器用水從高壓飼水系統進入氣機冷卻空氣冷卻器作熱交換後再流至後級節熱器出口匯流進入高壓汽鼓。

高壓汽鼓配置有汽水分離器、2 只安全閥附有排汽管及消音器、排水管、液位計、壓力錶、人孔...等組件。飼水由高壓汽鼓經下降管路進入高壓蒸發器進口集管器，部份循環水於蒸發器管路內蒸發成汽水混合，經上昇管路送回高壓汽鼓。高壓蒸發器爐管係由附有鋸齒式鰓片之無縫管所製成。為排放及間歇沖放，配以電動根閥及控制閥，間歇沖放管連接高壓蒸發器進口集管(位於蒸發器系統最低位置)。

飽和蒸汽自高壓汽鼓流入前級過熱

器後，藉由進入高壓噴水降溫過熱器(SH Desuperheater)噴灑飼水進入高壓蒸汽系統，目的在控制過熱蒸汽在噴水降溫過熱器出口溫度，然後進入後級高壓過熱器加熱至所需蒸汽溫度然後注入主蒸汽管路，推動高壓汽機作功。

2. 中壓系統：

熱回收鍋爐中壓系統包括中壓飼水系統、中壓節熱器、中壓汽鼓、中壓蒸發器、中壓過熱器等設備。中壓飼水係由中壓飼水泵經由電動進口關斷閥、進口逆止閥、飼水管路進入中壓節熱器。鍋爐初始補水則係由配有入口逆止閥、法蘭連接式短管及關斷閥之除礦水分配系統供水。法蘭連接式短管於正常運轉期間須拆除，以防飼水逆流。中壓節熱器係由附有鋸齒式鰓片之電阻銲縫管子所製成，並確保正常運轉情況下，飼水無汽化發生。被加熱之飼水離開節熱器後經中壓飼水管進入中壓汽鼓。飼水控制閥則設於中壓節熱器出口與中壓汽鼓之間，以控制飼水量。

天然氣加熱器(Fuel Gas Heater)用水從中壓節熱器出口進入天然氣加熱器作熱交換後再流回至低壓節熱器進口集管器。

中壓汽鼓配置有汽水分離器、2 只安全閥附有排汽管及消音器、排水管、液位計、壓力錶、人孔...等組件。飼水由中壓汽鼓經下降管路進入蒸發器系統。進入中壓蒸發器進口集管器，部份循環水於蒸發器管內蒸發成汽水混合，經上昇管路送回中壓汽鼓。中壓蒸發器管係由附有鋸齒式鰓片之電阻銲縫管所製成。間歇沖放管連接位於蒸發器系統最低位置中壓蒸發器進口集管器，為排放及間歇沖放，配以電動根閥及控制閥。

飽和蒸汽自中壓汽鼓流入中壓過熱

器進口集管器。中壓過熱蒸汽經蒸汽管到再熱系統，其餘至冷卻氣機燃燒器。

3. 再熱系統：

進入再熱系統之過熱中壓蒸汽與來自汽機之冷再熱蒸汽混合進入前級再熱器進口集管器流至再熱器噴水降溫過熱器(RH Desuperheater)。噴水降溫過熱器噴水控制閥係自動控制，藉由噴注飼水進入過熱蒸汽管線以控制前級再熱器出口之過熱蒸汽溫度，然後此蒸汽流經後級再熱器加熱至所需之再熱蒸汽溫度後進到中壓汽機蒸汽管。

4. 低壓系統：

熱回收鍋爐低壓系統包括低壓飼水系統、低壓節熱器、低壓汽鼓、低壓蒸發器、低壓過熱器等設備。

低壓飼水係由低壓飼水泵經由電動進口關斷閥、進口逆止閥、飼水管進入低壓汽鼓。鍋爐初始補水則係由配有入口逆止閥、法蘭連接式短管及關斷閥之除礦水分配系統供水。法蘭連接式短管於正常運轉期間須拆除，以防飼水逆流。低壓熱器循環水系統配有管路及水泵輸送來自低壓節熱器出口到其進口，以增加冷凝水進口溫度高於燃氣之露點溫度。

低壓飼水被提供至低壓節熱器進口集管器。低壓節熱器係由附有鋸齒式鰓片之電阻銲縫管所製成，並確保正常運轉情況下，飼水無汽化發生。被加熱之飼水離開低壓節熱器出口集管器後經低壓飼水管、低壓飼水泵進入低壓汽鼓。

低壓汽鼓配置有汽水分離器、2 只安全閥附有排汽管及消音器、排水管、液位計、壓力錶、人孔...等組件。飼水由低壓汽鼓經下降管路進入蒸發器系統。進入低壓蒸發器進口集管，部份循環水於蒸發器管子內蒸發成汽水混合，

經上昇管路送回低壓汽鼓。低壓蒸發器爐管係由附有鋸齒式鰭片之電阻銲縫管子所製成。間歇沖放管連接位於蒸發器系統最低位置中壓蒸發器進口集管，為排放及間歇沖放，配以電動根閥及控制閥。

飽和蒸汽自低壓汽鼓流入低壓過熱器進口集管。該過熱蒸汽流經低壓蒸汽管至低壓汽機。

5. 廢熱回收鍋爐沖放水閃化水槽系統 (HRSB Blowdown Flash Tank System) :

廢熱回收鍋爐沖放水閃化水槽收集來自熱回收鍋爐之排放水。該槽配置有排水歧管、蒸汽排放管附膨脹接頭及消音器、液位控制器、噴水管嘴及排放管嘴等組件。廢熱回收鍋爐沖放水閃化水槽之排水經熱交換器冷卻後，藉由閃化水槽洩水泵傳送至廢熱回收鍋爐沖放水回收水槽。

6. 廢熱回收鍋爐燃氣排放系統 (HRSB Flue Gas System) :

氣渦輪機排放之熱燃氣流進入廢熱回收鍋爐後，燃氣路徑經過再熱器與高中低壓過熱器、蒸發器、省煤氣等不同階段配置之傳熱面積做充分的熱回收，逐漸損失熱能的燃氣，最後藉由煙囪通往大氣。HRSB 燃氣排放系統係由阻止燃氣洩漏的組件構成，主要包含下列組件：

- (1) HRSB 進口/出口煙道與膨脹接頭。
- (2) 熱回收鍋爐牆板。
- (3) 壓力/溫度指示器、傳送器等。
- (4) 排氣風門、消音器。

以天然氣為燃料之氣渦輪機採用低氮氧化物燃燒器(Dry Low NOx Burner)，其氮氧化物(NOx)之排放含量在正常運轉情況下(除意外狀況及機組暖機、異常等特殊情況外)，排放濃度可低於環保法

規規定之排放標準。惟鑑於未來環保法規趨嚴，在廢熱鍋爐上裝置 SCR (Selective Catalytic Reduction, 選擇性觸媒還原)系統，將可進一步降低氮氧化物之排放值；由於選擇性觸媒還原系統屬煙氣處理方式，SCR 操作溫度約在 300~400°C 之間，為利於氣渦輪機高載或中載之煙氣反應，因此 SCR 須裝置於廢熱鍋爐中之適當位置。目前興建中的通霄更新擴計畫#1~#3 機已規劃在廢熱鍋爐上裝置 SCR 系統，而大潭電廠複循環機組#1~#6 機亦著手將在廢熱鍋爐既有空間內規劃裝置 SCR 系統的可行性。

(七) 海水法排煙脫硫系統

台電過去的燃煤火力電廠空氣污染防治(AQCS)設備，排煙脫硫系統(FGD)均採用濕式石灰石石膏法 FGD，雖然其具有脫硫效率高及技術成熟等優點，另外能產生副產品石膏。但設備佔地空間太大及石膏的去化一直是個很嚴重的問題，故在近年來的林口及大林計畫引進了海水法排煙脫硫系統以解決前述兩個問題。

海水法排煙脫硫系統係利用海水中含有鈣、鎂、碳酸鹽等鹼度當吸收劑，取部份冷卻海水與煙氣接觸，吸收煙氣中的硫氧化物(SOx)，後產生亞硫酸根離子及氫離子。吸收硫氧化物後之海水呈酸性，經過曝氣處理後提高海水的 PH 值，最後經由溫排水導流堤排入海域。脫硫效率可以高達 95%以上，隨煙氣排出的硫氧化物更是低於 23ppm。另外製程簡單、設備維護便利...等優點，另為了維護附近海域的生態，使用過的海水經過曝氣池曝氣消泡後，排出的海水 PH 值約 6.8 已接近中性。

海水法脫硫系統的另一項創新是有別於以往的金屬製吸收塔，改使用混凝土吸收塔，不僅建造便宜且堅固耐用，吸收塔內部使用玻璃鱗片內襯(Flake Glass

Lining)，管路及噴嘴等設備則使用六鉬鋼或 C276 等耐腐蝕材料皆能有效的抵抗硫酸腐蝕。另外使用洩漏率僅 1%的氣對氣熱交換器(GGH)，大大減少硫氧化物因熱交換而散逸到大氣中。

(八) 海水電解系統

本公司之火力發電廠都是汲取海水做為冷卻水來冷卻發電的餘熱，而海洋性的附著生物會藉此途徑進入冷卻系統中附著、生長及繁殖，如此不但會降低熱交換器之效率，且會造成管線堵塞、阻礙水流並引起管路之腐蝕、穿孔，嚴重時甚至會迫使機組停機繼而影響營運，故本公司採用海水電解設備產生次氯酸鈉來抑制及阻止冷卻水系統管路中海洋生物之滋生。海水電解設備最主要的消耗品為海水及電，由於海水取之不盡、用之不竭，而電廠又能穩定提供電力消耗，故海水電解設備為去除海洋生成物的首選。

海水電解設備是利用電解槽內正副極板構成的電極間通以直流電流產生電解反應，於正極產生氯氣，副極產生氫氧化鈉及氫氣，當氯氣與氫氧化鈉通過電極面會結合產生具高效殺菌力的次氯酸鈉(NaOCl)，藉由次氯酸鈉的弱酸性殺死冷卻系統內的生物，其化學反應式簡圖如 27 所示。

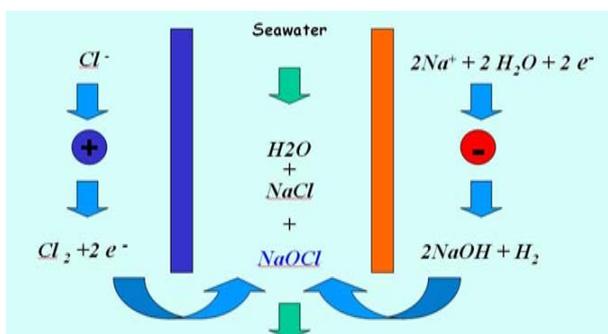


圖 27 海水電解化學反應式

海水電解設備共可分為六大系統：(1) 海水增壓系統、(2)海水過濾系統、(3)海水

電解系統、(4)氫氣釋放系統、(5)次氯酸鈉儲存及注入系統、(6)酸洗系統。

工作原理係利用海水增壓泵將循環水渠道入口之海水打到過濾系統，先經過海水過濾器過濾海水中大於 0.5mm 以上之雜質及海生物等後，再將海水打入海水電解系統製造出次氯酸鈉及氫氣，由於氫氣為易燃之危險氣體，須要經過氫氣釋放系統利用離心力原理將氫氣與含次氯酸鈉的海水分離，氫氣經過 Seal Pot 後緩緩釋放至大氣，而含有次氯酸鈉的海水則排入次氯酸鈉儲存槽中儲存，待次氯酸鈉儲存槽中水位到達預定之高度後，啟動次氯酸鈉加藥泵將海水打入指定加藥位置。另外當海水電解系統因電解伴生之沉澱物(MgOH₂ or CaCO₃)沉澱會導致電極板的效率降低，須利用酸洗系統注入 6%的鹽酸將沉澱物溶解，以維持系統正常運轉，其流程示意圖如 28。

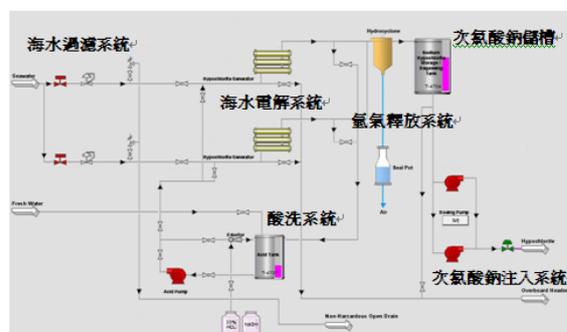


圖 28 海水電解設備流程示意圖

(九) 海水淡化系統

海水淡化系統係將海水經淡化處理，以獲得純淨淡化水之處理系統，其製程主要有蒸餾法(簡稱熱法)及薄膜過濾法(簡稱膜法)兩大模式，本公司皆有相關運轉經驗，熱法以「大林更新計畫海水淡化廠」為代表，容量達 2,000 噸/天；膜法以「龍門發電廠海水淡化廠」為代表，容量達 980 噸/天。其製程概述如下：

1. 熱法 — 多效蒸餾法-MED 原理介紹：

利用加熱蒸汽走管內而海水走管外的方式，進行熱交換，使部份海水受熱變為蒸汽並流入下一效蒸發器管內，而原管內蒸汽則冷凝成為海淡水。而所謂「多效」意為將多個單效蒸發器串聯組成，即將前一個蒸發器產生的二次蒸汽（既海水受熱所產生之蒸汽）引入下一個蒸發器作為加熱蒸汽並在其中凝結為水，如此依次進行，每一個蒸發器及其過程稱為一效，這樣就可形成多效過程。此外，配合熱力式蒸汽壓縮器(TVC)以具有一定壓力的蒸汽為動力，將低壓蒸汽壓縮升高其壓力，實現低壓蒸汽再利用進而提高能量的利用率，多效蒸餾法-MED 流程示意圖如 29 所示。

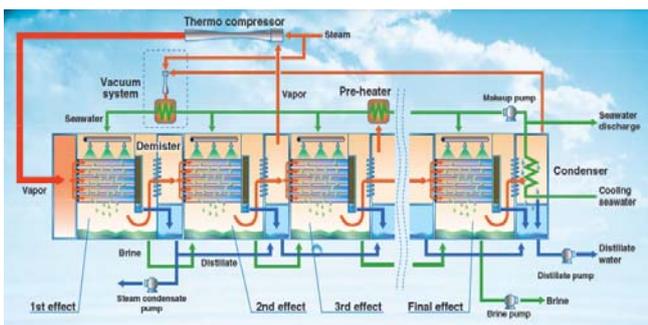


圖 29 多效蒸餾法-MED 流程示意圖

2. 膜法 — 逆滲透法-RO 原理介紹：

其原理係利用僅使溶劑透過、溶質不透過的半透膜，把海水和淡水分離，對海水側施以大於海水滲透壓之外壓，海水中的純水會反向滲透到淡水側中，藉此達成海水淡化目的（如圖 30）。

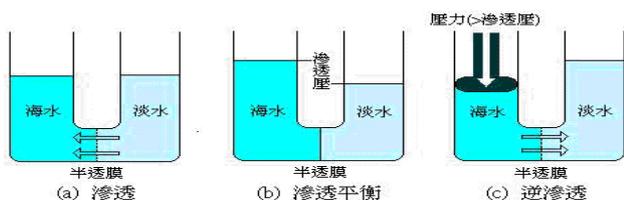


圖 30 膜法-逆滲透法-RO 原理

因為逆滲透膜對海水水質、溫度、

操作壓力、酸鹼值及氧化劑（如氯氣、氯氨等）相當敏感，如進水中有氧化劑存在，將破壞其材質，影響其功能，故使用前應了解其材質限制及使用條件外，還須有良好的前處理設備（例如 MF 及 UF 等），以保護逆滲透膜。另因 RO 海淡系統之海淡水水質較差，為符合電廠使用需求，通常 RO 海淡廠會設置兩道以上之 RO 過濾程序，標準逆滲透法-RO 流程示意圖(如圖 31)。

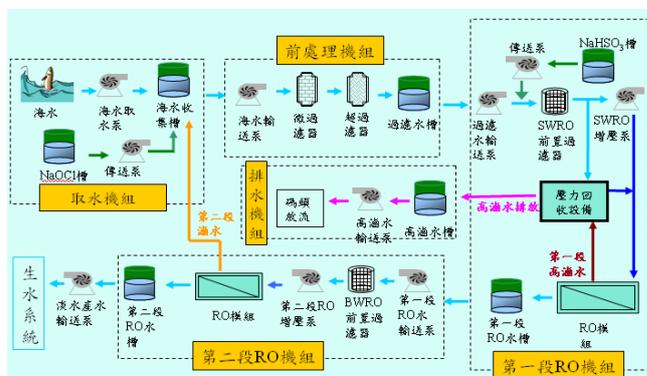


圖 31 逆滲透法 RO 流程示意圖

3. 多效蒸餾法-MED 與逆滲透法-RO 之比較 (詳如表 5)：

表 5 多效蒸餾法-MED 與逆滲透法-RO 之比較

項目	MED	RO
蒸汽消耗量	0.08~0.13 kg/ m ³	N/A
電力消耗	1.5~2.0 kWh/ m ³	4.0~4.5 kWh/ m ³
海水水質要求	低	高
海淡水水質 (TDS)	5~15 ppm	< 100 ppm
場址選擇	彈性低	彈性高
建廠時程	慢	快
操作人力需求	低	高(約 2 倍人力)
產能彈性	較高	較低
廠家選擇性	較低	高

三、電氣系統

本節將就本公司近年執行之火力發電機組工程概況電氣部分進行說明：

(一) 電氣規劃新觀念與環保節能

環保議題已成為全民共同關注焦點，電力設備由源頭燃料運輸、發電廠、輸電線路到末端配電設備，無不成為鄰避設施，但民眾對電力之依賴卻未曾改變，在用電需求下，目前本公司正推動林口、大林及通霄等發電計畫。惟攸關電力由發電廠輸送至系統之輸電線路在民眾抗拒下，其設置困難重重，由動員群眾阻撓、採取法律訴訟或進行行政干擾等，在在增加發電計畫推動的困難性。因此電廠之規畫理念已與過往不同，以機組降載(Run Back)功能為例，由原本其設置目的為鍋爐輔機粉煤機或大型風扇故障、鍋爐飼水泵減載、空氣預熱器故障、發電機定子冷卻水系統等重要設備異常時，為提升機組可用率，避免機組不當跳機，依據前述故障對機組之影響程度進行降載後繼續發電，再由運轉人員依故障排除之情形、機組安全及系統需求決定後續措施。現因輸電鐵塔或地下輸電線路之施工抗爭，在新建機組完成後原規劃之輸電線路仍無法完成，致使新建機組電力無法送出。為解決此一窘境，必須由既有之輸電線路系統進行修改或增設設備，如：聯絡變壓器等，作為臨時替代方案。既有輸電線路為供已除役之舊機組使用其容量較為不足，當部分線路故障或增設之聯絡變壓器故障時，將使其他線路、聯絡變壓器或電力設備嚴重超載，若此一狀況持續，相關線路、聯絡變壓器或設備之保護電驛動作以保護其所屬線路或設備，此將導致所有連接至機組之線路或設備相繼跳脫，最後機組因電力無法送出，保護系統動作而跳機。新機組容

量高達 800MW，失去此電力來源將增加系統停電風險，為解決此一風險，新建機組降載功能除考量電廠內相關重要設備外，亦必須將電廠外部臨時輸電線路及聯絡變壓器可能風險納入，針對臨時輸電方案各既有主輸電線路或聯絡變壓器發生故障時，對系統之影響進行分析。依據分析結論增設保護設備，當臨時輸電線路或聯絡變壓器故障，依據影響程度，即時進行機組降載，以確保其餘線路及設備不致超載，以維持整體供電穩定性。

節能減碳，使用高效率設備為全民之共識，經濟部於 104 年度辦理『高效率馬達示範推廣補助計畫』，鼓勵各國營事業使用 IE3 高效率馬達，本公司在經濟部計畫施行前早自 99 年辦理林口發電計畫已將高效率馬達納入招標文件，其後進行之大林、通霄發電計畫亦遵循此一理念進行規劃及採購。此外電廠內照明設備已全面採用高效率燈具，盤面各類指示燈改採 LED，各動力設備依個別需要裝設變頻設備，以落實節能政策。針對中壓開關箱、電力中心裝設智慧型終端設備，電廠運作中各類控制及監視信號經由數據網路將各類資料送至所屬分散式控制系統，如此可大量節省線路鋪設，減少各類控制、儀用電纜之使用除降低建廠成本，更可減少因製造此類產品產生之二氧化碳及污染。惟針對與機組跳機或安全有關信號仍採實體線路方式，營運安全不減損，運轉人員可經由工作站隨時掌握電廠內各類設備狀態並進行監控，瞭解各類輔機用電情況，事故時更可提供各項數據供研判。此外為提供綠能減少二氧化碳排放，依據各個地區日照、氣候、以及環境因素如鹽害問題等進行評估，在滿足上述條件後，新建發電機組在電廠內空間及配置允許情況下裝設太陽能發電設備，以大林發電計畫為例，

即在 345kV GIS 設備房、循環水泵室、海水電解室、維修廠房、行政大樓、模訓中心、事業用電力站、重件倉庫、修理廠等建物設置太陽能光電設備，通霄發電計畫亦依此原則進行規劃設計。

(二) 汽機電子油壓控制系統

林口、大林及通霄計畫汽機控制系統延續採用數位式電子液壓系統，在本系統中主要包含：系統控制器、專屬控制器，及閥控制介面三大部份。系統控制器主要進行數位式電子液壓系統程序控制及支援控制，主要控制功能包含：汽機自動起動、負載調整等，在硬體結構上系統控制器的 CPU 模組採雙重備份，故 CPU 模組故障時，可自動切換至備援之 CPU 模組。專屬控制器則進行調整控制、閥位控制、一次輸出輸入控制及機械與電功率不平衡控制，因此在專屬控制器中主要進行速度控制、負載控制等，在硬體結構上專屬控制器之 CPU 模組及輸出輸入模組均採三重備份。閥控制介面為汽機控制系統驅動主關斷閥、控制閥、與再熱器關斷控制閥之介面，本介面硬體結構上為三重備份，因此可分別驅動相關閥體上的三個線圈，故任一驅動電路或閥體線圈故障時仍不影響閥之控制。此外在本系統中，針對引起汽機跳脫之重要信號以三重備份方式進行判定，即當三個信號中有兩個信號成立時則該信號值被視為成立，此一方式可大幅降低探測器故障或受干擾時，汽機控制系統誤判而導致汽機跳脫，故可降低不必要的停機，提升機組可用率。

(三) 發電機與勵磁系統

林口、大林計畫發電機容量分別為 1039MVA 及 1050MVA，當發電機電壓在 25KV \pm 5%範圍內，可在落後功因 0.85 及功因越前 0.95 情況下連續運轉。發電機短路比(SCR)為 0.5，搭配高速反應型靜態式勵

磁系統。靜態勵磁系統由發電機匯流排取用交流電壓，經勵磁變壓器降壓後，送到閘流體盤(Thyristor Cubic)，由自動電壓調整器送來之控制信號，經點火器轉換為脈波信號送到閘流體之閘極控制導通角，進而調整送到發電機磁場線圈之電壓，控制發電機之輸出電壓及送出或吸入無效功率。因採用靜態勵磁系統，機組反應比(Response Ratio)以林口計畫為例提升至 7.2 pu/sec，可大幅改善暫態穩定度。又為避免高反應比機組在自動電壓調整器進行控制時，阻尼轉矩降低形成小訊號穩定度震盪，導致機組穩定度不佳的問題，在激磁系統中加裝電力系統穩定器(PSS)，以補償勵磁系統快速反應後，阻尼不足現象。

(四) 進相運轉

發電機輸出能力受轉子磁場繞組線圈溫升、定子電樞線圈溫升與定子兩端鐵心溫升，三大因素所限制。而發電機轉子磁場線圈溫升主要影響發電機運轉於落後功因，即送出無效電力之能力。定子兩端鐵心溫升則主要影響機組進相運轉能力，即機組吸收無效電力能力。因以往電力負載多為電感性負載（如：感應電動機等），故機組之規劃均偏重於送出無效電力之能力。

近年來因都市計畫景觀因素及為提升科學園區供電可靠度，大量輸電線路朝地下化方式規劃，輸電線路地下化後使用電力電纜，因電力電纜之電容效應遠大於架空導線，故電力系統中電容成分大量增加。在系統低負載時，將使部份區域發生電壓過高之情況，雖可在該區域變電所裝設電抗器，吸入系統多餘之無效電力，但此一方式所吸入之無效電力與電抗器投入數量有關，故其調整為步階方式，此外裝設電抗器將產生額外投資費用。

若改以將該區域之發電機組運轉於越

前功因，吸入系統多餘無效電力，就學理上為可行，不但無效電力之調整具連續性，又不需增加額外投資。惟就保護發電機觀點，當發電機運轉於額定負載時，若發生失磁現象，發電機將以感應發電機方式運轉，在此情況下若轉差率過大，瞬間將在轉子感應一大電流，將發電機轉子燒毀。故發電機均裝設失磁電驛，監視發電機端電阻及電抗變化情況，依據電抗變化情況判定屬電力系統擾動或發生失磁現象。若判定發生失磁現象，失磁電驛動作將發電機與系統切離。

又發電機進相運轉時，磁場線圈產生之氣隙磁通降低，機組處於較不穩定情況。為避免機組在越前運轉時，因系統產生擾動，而進入失磁電驛動作範圍，導致跳機情況發生。在勵磁系統之電壓調整器中加入 UEL (Under Excitation Limit) 功能，限制機組之進相運轉能力。又 UEL 數值之選定與發電機穩態穩定度及發電機運轉電壓有關，在林口計畫中係算出穩態穩定度 $P=0$ 時之 Q 值後，由原點算起減去穩態穩定曲線值乘上 10%，做為 MEL 設定。如此可兼顧穩定度問題並盡量發揮機組進相運轉能力。為確保機組安全，發電機兩端鐵心裝設偵測器，監測進相運轉時定子鐵心溫升，以確保進相運轉時發電機鐵心溫度不超過額定溫升值。

四、儀控系統

(一) 超超臨界鍋爐控制設計原則

1. 超超臨界機組的基本任務：

- (1) 以最快的速度滿足電網負載調度指令所需求的蒸汽量。
- (2) 保持過熱蒸汽和再熱蒸汽的參數(溫度、壓力)穩定。
- (3) 維持最佳的燃燒情況，使鍋爐具有最高的燃燒效率。

(4) 保持爐膛負壓為設定值。

2. 超超臨界鍋爐控制系統的特點：

- (1) 嚴格控制水燃比，保證中間點工作溫度或焓值穩定。
- (2) 各控制系統間協調聯繫較快，系統之調節要求配比準確，即普遍採用前饋 (Feedforward) 控制技術。在串級 (Cascade) 控制系統中，前饋和回饋 (Feedback) 信號的配比應儘可能準確，以減小主調節控制器的動作。
- (3) 採用變參數、變設定值、解藕合技術及基於被控對象特性辨識的自調適控制等技術。
- (4) 針對不同運轉情況下，依被控對象不同的動態特性，採用變結構控制技術。

(二) 火力電廠控制系統之架構與整合

1. 儀控系統階層架構將包括以下四個層級：

第一層：現場儀錶及控制裝置現場儀器 (Field Instrument) 之規劃設計主要有下列兩種型式：

(1) 機械式儀器

機械式儀器係提供指示現場製程參數之功能，其感測原理為透過機械裝置將製程參數物理變化量轉化成位移型之機械動作，如壓力計、溫度計、液位計、流量計等儀錶。現場指示計之錶頭係直接安裝於設備或製程管路上，所以原則上應設置於運轉維護人員可辨識讀值及易於維護之位置。

(2) 電子式儀器

電子式儀器係提供上層控制器執行遠端監視及控制功能所需之電氣信號，其感測原理為透過感測元件及電路裝置將製程參數物理變化量轉換為數位或類比之電氣輸出信號，如壓力/溫度/液位/流量等各種傳送器、各種感測器、各種感應開關、熱電偶、保護電驛、電力儀錶及分析儀器等儀錶。

傳送器及感應開關等儀表可利用延長感測管路(Sensing Line)達成遠端安裝方式(Remote Mount)以利執行運轉維護功能。其他無法遠端安裝之儀器應儘可能設置於靠近操作平台或走道之位置。

控制裝置係接收上層控制器輸出之數位或類比電氣信號控制指令執行控制功能，包含電磁閥、控制閥驅動器、馬達伺服器等裝置。目前智慧型儀錶及 Field Bus 已日趨成熟，此項新發展之技術可簡化現場繁雜管路施工，亦可經由數位傳輸技術上傳現場儀錶資訊至人機介面階層，以執行電腦化儀器裝置管理系統，使得操作人員可以更有效率進行維護工作，將在不影響電廠控制系統可靠性之前提下，使用智慧型儀錶。

第二層：控制器

本階層之控制器包括分散式控制及資料蒐集系統(DCDAS)及少許無法整合之獨立控制系統。此階層之控制器將執行所有製程控制的功能。為了提高系統運轉之可靠性及穩定性，控制器將採雙重備份(Dual Redundant)設計，其中包括控制器處理單元(CPU)、資料傳輸高速網路(Data Highway)、通信介面及電源供應系統等。然而重要之控制及保護系統，如汽輪機保護系統，將採用三重備份(Triple Redundant)之設計。

所有分散式控制及資料蒐集系統控制器將透過雙重資料傳輸高速網路(Redundant Data Highway)連線，並經由此網路與人機介面階層設備整合，以便傳輸交換控制及監視信號，網路將採用光纖電纜。

第三層：人機介面

此階層設備包括操作員工作站(Operator Station)、工程師規劃工作站(Engineer Station)、大螢幕顯示設備、歷史資料儲存設備(Historian)、機組效率計算單元(Performance Calculation Unit)及印表機週邊設備等裝置。人機介面將設置於電廠中央控制大樓，其中機組運轉人員監視控制人機介面，如操作員工作站、大螢幕顯示器等設備，規劃設置於中央控制室。而供維護人員執行維護、資料分析、系統規劃編輯之相關人機介面則設置於電腦室。此外，設有現場電子設備室之相關系統，亦將規劃設置操作員工作站及工程師工作站於現場電子設備室，以利操作人員就近執行試俾及維護工作。人機介面之配置必須符合人體工學之需求，並透過完善之圖控系統及各式報表來執行機組之監控。

本階層設備之系統作業平台將採用最新且已廣泛使用於電廠控制系統之作業系統，多數 Third Party 應用軟體皆支援此作業環境，有利未來使用相關應用軟體執行運轉維護管理工作。資料伺服器將採開放式架構，如符合 OPC Foundation 規格之 OPC Server。OPC Server 最大特點為提供統一介面 OPC Interface，同時透過主從式(Client/Server)架構，操作人員可執行客戶端之運轉資訊管理應用，如機組運轉效率計算、歷史資料存取等功能。為提高其可靠度，歷史資料儲存裝置將規劃為雙重(Redundant)架構設計。此外，亦將規劃歷史資料儲存備份裝置，如 DVD+/-RW 數位光碟燒錄機，以利長期歷史資料存檔管理。

傳統設置於主監視盤(Main Supervisory Panel)之記錄器、指示器及

圖解顯示盤(Mimic Panel)等設備將以大螢幕投影設備取代。此大螢幕投影設備將與分散式控制及資料蒐集系統整合，提供完整機組運轉資料。影像保全系統之監視設備亦將設置於主監視盤上，另螢幕設備將規劃預留視訊信號輸入介面，以供整合廠內影像保全系統。

第四層：資訊管理階層

此階層設備包含管理層級電腦、資料庫伺服器及資通安全系統，透過高速 TCP/IP 資訊網路與人機介面階層設備連結，以讀取整廠運轉資料，供分析管理使用。本階層將具備有資料庫及圖形顯示編輯工具軟體，供管理階層人員規劃整廠所有機組運轉資訊圖形。本階層之相關工具軟體與其他應用軟體可利用工業標準，如 ODBC、DDE、NetDDE 或 OPC 等執行資料交換功能。

2. 儀控系統之整合：

以往台電公司之燃煤機組雖有獨立規範採購 Power Block 之控制系統(DCDAS)，但鍋爐與汽輪機之相關安全控制系統，如鍋爐之 BMS/ILS 及汽輪機之保護跳脫系統 DEHC、TGSI、TAC 等均不在 DCDAS 範圍內，而是分別在鍋爐及汽輪機設備標中採購。另其他附屬設備包括排煙脫硫系統、靜電集塵系統、煤灰系統、水處理系統、海水電解系統、開關場、輸煤系統等之控制系統均與各附屬設備標一併採購，而 DCDAS 與這些控制系統僅作少數介面信號的介面整合。此種採購方式造成全廠控制系統種類過多、維修困難、備品管理不易、且控制室操作者人機介面種類數量太多之缺點，於是根據“新建機組之所有控制系統應規劃整合至單一化之分散式控

制及資料蒐集系統”案，這項需求之控制系統須儘量朝單一系統的原則規劃。

全廠控制系統之整合方式與全廠分為幾個採購標及主設備標之範圍有關。將規劃在主設備廠區(Power Block)統包規範採購一套分散式控制及資料蒐集系統(DCDAS)據以整合全廠控制系統，以簡化控制系統種類，設備維護，備品管理，以及減少中央控制室人機介面數量，進而達到降低運轉及維護費用之目標。

透過全廠控制系統之整合，將鍋爐(包括自動燃燒控制系統、飼水控制系統、爐心風壓控制系統、蒸汽溫度控制系統、燃燒器管理系統輔助設備邏輯控制系統、鍋爐旁通控制系統、排煙脫硝控制系統及吹灰器控制系統等)、汽輪機(包括汽輪機本體、冷凝器、冷凝水系統、飼水系統、洩水系統、抽汽系統及各級加熱器等相關控制，電氣液壓控制(EHC)、汽輪發電機監視儀(TGSI)、汽機自動控制(TAC)及汽輪機保護跳脫等特殊系統亦盡可能整合)、排煙脫硫系統、靜電集塵器(變壓整流器組(T/R Set)之自動電壓控制系統(AVC)除外)、水處理、冷凝水淨化、煤灰、迴轉式攔污柵系統、輸卸煤系統及開關場等全廠設備由分散式控制及資料蒐集系統來操控，少部分無法整合的系統，則透過分散式控制系統的操作介面來操作，或由設置於中央控制室獨立之操作員工作站執行操控。

經由控制系統的整合，運轉人員可使用相同一致的人機操作介面，有利跨系統操作及縮短學習與訓練時間，整合後控制系統之廠牌、型式及軟體種類大幅減少，可減少備品型式和數量，減輕維護人員維護工作之負擔，並使控制系統架構趨於單純化，提高了控制系統的

可靠度及可用率。

在規劃控制整合之過程中，亦須考量以下要點：

(1) 資料庫規劃方式

全廠控制系統整合後，系統資料庫勢必相當龐大，為避免資料傳輸高速網路(Data Highway)傳輸負載過重，資料傳輸高速網路將分別規劃各機組及共用系統設備等區域網路，並透過路由器連接各區域網路，所以資料庫伺服器亦依循上述原則，分別規劃各機組及共用系統資料伺服器，此架構亦可提升其即時資料處理功能。

(2) 儀器設備編碼方式

全廠儀器設備編碼方式必須一致，非屬主設備廠區統包採購規範之附屬系統設備如煤運系統、海水電解系統、開關場電氣設備及迴轉式攔污柵等設備，均應採用同一編碼系統以利整合。因為歐系與美系製造廠家各有其編碼系統，例如 KKS 及 ISA 系統，以致可能因為主統包系統設備與附屬系統設備分別由歐系及美系廠家提供，造成整廠同時有不同編碼系統的情況，因此在未來規劃設計階段必須將全廠編碼系統整合一致。

(3) 整廠控制系統時序同步

為了使所有系統設備控制系統時序(Clock)能夠在相同的時間基準下運作，電廠將設置 Master Clock 系統，此系統配置天線及接收器以接收全球定位系統(Global Positioning System - GPS)之時間信號，並將此時間基準信號分別傳送至全廠分散式控制及資料蒐集系統之工作站、伺服器、控制器以及獨立控制系統，執行時間同步功能，以利整廠運轉操作數據及事故之分析。

(三) 自動化運轉及資訊管理系統之建置

1. 自動化之需求

因超臨界壓力機組之起機時間短、升降載速率快及控制複雜度高之特性，在規劃控制系統時必須儘量提高自動化(Degree of Automation)之程度，亦即減少操作人員人為操作及判斷的機會，所有保護及製程連鎖條件均在控制系統之自動化程序控制中完成，如此將可減少運轉人力，並可避免誤操作，以增進機組運轉的安全性。

超臨界壓力機組之控制系統自動化架構需涵蓋下列階層或層級：

- (1) 每一現場驅動元件之控制層級(Drive Level Control)。
- (2) 啟動或停止與任一次系統有關之所有驅動元件之順序控制(Group Level Control)。
- (3) 現場驅動元件之調節控制回路(Modulating Control Loop)。
- (4) 系統層級(啟動或停止相關次系統)之順序控制(System Level Control)。
- (5) 高階調節控制回路，如機組協調控制或鍋爐機組啟動設定點控制(Higher Level Modulating Control Loop)。

在自動化之需求下，鍋爐—汽輪機之自動啟動順序，原則上可依系統分為以下輔助自動啟動順序：

- (1) 冷卻循環水系統
- (2) 汽輪機及其輔機系統
- (3) 冷凝水系統
- (4) 汽輪機真空系統(包括輔助蒸汽及汽輪機加熱)
- (5) 飼水系統
- (6) 空氣及煙氣系統
- (7) 清爐
- (8) 鍋爐系統
- (9) 汽輪機系統(包括機組併聯)

(10)機組協調控制

在自動化之需求下，鍋爐-汽輪機之自動停機順序，原則上可依系統分為以下輔助自動停機順序：

- (1)機組協調控制
- (2)汽輪機系統(包括機組解聯)
- (3)鍋爐系統
- (4)飼水系統
- (5)汽輪機真空系統
- (6)空氣及煙氣系統
- (7)冷凝水系統
- (8)汽輪機及其輔機系統
- (9)冷卻循環水系統

上述鍋爐-汽輪機之輔助自動起停順序斷點(Break Point)之數量，係為概略區分，可於規劃設計階段彈性增減。原則上上述鍋爐-汽輪機之輔助自動起停順序均可設為手動(Manual Initiated)或自動操作。

鍋爐-汽輪機之輔助自動起停順序係屬於上述控制系統自動化架構第四及第五項層級之 System Level Control 及 Higher Level Modulating Control Loop。其中每一輔助自動順序下所需涵蓋 Drive Level Control、Group Level Control 或 Modulating Control Loop 之數目及種類，須於規劃設計階段視製程的需求作決定。

2. 管理資訊相關系統之應用

近年興建之火力發電機組皆已採用分散式控制系統執行機組主要設備之監控，隨著分散式控制系統效能的日益精良，高階之管理資訊相關的系統逐漸納入分散式控制系統的範疇，電廠管理資訊系統的建置與應用，主要是由數據蒐集、即時/歷史資料庫、以及各種應用軟體所組成。運轉人員、維護人員及管理階層人員可透過通訊網路上各監視終端

機(Supervisory Terminal)及操作員工作站，獲取管理資訊系統中應用軟體所產生的管理資訊，供電廠相關人員運轉、維護及管理的研判參考或進一步分析研究之用。近年來下列幾項管理資訊系統已逐步實際地應用在火力發電機組上：

- (1) 製程資訊監測、數據彙整和產出報表：即時顯示和記錄各系統、設備運行狀態，並對歷史數據進行有效的統計與應使用者的要求產生適當的報表。
- (2) 機組性能計算 (Performance Calculation)：機組性能計算係依據 ASME 電廠性能計算標準，性能計算系統包含各設備及系統性能計算軟體模組，應用高速的電腦數值計算引擎，對各設備及系統之效能進行線上計算，量化其各項性能參數，從而達到性能監測的目的，性能計算之結果亦儲存於分散式控制系統的歷史數據庫單元(Historian Unit)中供運轉分析參考。
- (3) 煤場資訊管理系統：煤場資訊管理系統主要是提供各種煤場統計報表，包括輸煤量、煤儲存量、煤質、煤堆資訊、輸煤設備運轉電流/電壓值、輸煤設備跳脫和警報發生、主要設備運轉時數等。
- (4) 線上振動分析系統：完整的線上振動分析系統包括了振動偵測器(Vibration Sensor)、振動監視器(Vibration Monitor)及電腦化診斷軟體 (Computerized Diagnostic Software)等部分，提供監測及保護電廠重要大型迴轉機械設備。早年興建之電廠僅在控制室之振動監視器上監視及警示，近年來新建之電廠已逐步將大型迴轉機械設備振動相關訊號傳至分散式控制系統監視與記

錄，以及進一步在此基礎上建構線上振動分析系統，應用電腦化診斷分析系統判斷其是否正常運轉，並分析診斷振動故障原因，以達到早期監測及預防保養之目的。

- (5) 智慧型儀器及資產管理系統：近來多數火力發電機組均已應用許多智慧型儀器，包括各類型傳送器及控制閥定位器，智慧型儀器可以透過手持式通訊器(Hand Held Communicator)在不影響該儀器與控制系統信號傳輸下直接進行規劃、校正、診斷等工作。現階段規劃興建的機組更進一步在此基礎上建構資產管理系統，在分散式控制系統中採用與智慧型儀器相同通訊介面的輸入/輸出卡片及整合其他各式 Fieldbus、MODBUS、PROFIBUS、Device Net 儀器設備，使控制系統可進行智慧型儀器遠端規劃、校正、診斷、警示、紀錄等工作。
- (6) 圖資管理系統：從早期完全紙本式的工程圖面及說明書資料，逐漸演變成將工程圖面及各類說明書資料以電子化型式儲存於系統中，可以分類和搜索方式顯現圖文資料，便利使用者以最省力快捷的方式尋找和讀取需要之圖文資料。

肆、結語

核火工處在這十年來，為因應電廠的更新擴建需求，於林口、大林更新改建計畫中，開始採用 80 萬瓩之高效率超超臨界燃煤機組，其毛效率均較台電既有電廠的燃煤基載機組大幅提升，每發一度電 CO₂ 排放量減少約 20%，效率亦較現有民營電廠超臨界燃煤機組來的高。此外，為防止煤塵飛揚，於燃煤電廠旁就近自建卸煤碼頭，以密閉式輸煤皮帶機，將燃煤自煤輪卸運至

新設之筒式煤倉儲放，可有效減少煤塵逸散對環境之影響。

另配合政府優先使用天然氣政策，提升發電營運績效，及降低溫室氣體排放強度，於通霄電廠更新計畫中，籌畫興建 3 部 M501J 燃氣複循環機組，新機組效率較既有舊機組大幅提高，將繼大潭電廠#3~#6 機 M501G 機組，以維持國內效率最高燃氣複循環機組之寶座。

在近百年的台灣電力發展史中，倘若沒有諸多先賢前輩們筭路藍縷的堅苦奮鬥，完成電力系統中的大型核能火力發電機組，就無法享受到今日價廉及用電無虞的成果。核能火力發電工程處的發展榮枯與各個火力機組降低發電成本有著息息相關、密不可分的關係。發電工程單位人員所累積的技術經驗，已成為本公司得以連續採購到最先進之發電機組的基石，從慎選優質廠商參標到良好的評比機制，持續採購到先進高效的機組，可直接掌握發電事業部整體營運成本及提昇營運績效，亦是核火工處未來在組織變革與轉型過程中，能否持續扮演電力供應火車頭角色的一大挑戰，未來將以整體工程生命週期內採購發包所發生之總成本為考量，使本公司獲利效益更為顯著。

因此，除了積極改善採購效率，提高採購績效外，工程採購及施工人員應發揮穿針引線之效，拋棄傳統主觀思維，以其專業的設計與工程管理能力，透過價值工程的分析，選擇適當的工法及材料，並藉由豐富的施工監造經驗，整合採購發包與施工管理層面，落實工程施工品質，達到零工安事件，以確保工程施工順利進行，方能提供最佳的服務，以滿足發電事業部全方位的運轉、維護與環保排放之要求。

台電輸電系統規劃回顧與新時代任務

Taipower Transmission System Planning: Retrospect and New Era Challenges

李清雲*

Lee, Ching-Yun

摘要

適逢台電 70 周年，特撰本文以回顧輸電電網規劃及未來時代新任務。過去台電為台灣經濟發展，致力於第一至第六輸變電計畫規劃與建設，以建構安全可靠的輸電電網。然為因應燃料價格高漲導致台電公司鉅額虧損之財務問題，配合公司策略以提升計畫效益及降低成本為主軸，調整輸變電之編擬方式及計畫執行之管控，推動第七輸變電計畫，在供電安全不變下持續推動電網之建設。未來將配合政府節能減碳及再生能源極大化之政策，創新輸電電網的規劃思維，藉由智慧電網及新技術、新設備的應用，以有限預算打造友善環境的綠能電網，邁向電網之新時代。

Abstract

It has been 70 years since Taiwan Power Company was founded in 1946. This paper provides a review on grid planning efforts of Taipower in the past, and then reveals some great challenges in the future. Taipower has been devoted to the planning and execution of several Transmission and Substation (T&S) projects to guarantee a power grid to meet the planning criteria. Even though huge financial debts were accumulated due to high fuel price, Taipower still made its best efforts to promote grid construction and power development all the time to ensure reliable electricity supply. Therefore, the planning and execution of T&S projects have to be effectively carried out to cut down on construction costs and improve implementation efficiency. In the future, developing a friendly grid for renewable energy resource connections to meet the energy saving and carbon reduction targets of government will become a challenging mission for Taipower. To reach the goal, innovative measures of grid planning, such as new apparatus and smart grid technology, should be taken. With all these efforts, it is believed that Taipower can move towards a new era of utilizing the green power grid.

關鍵詞(Key Words)：輸變電計畫 (Transmission and Substation Project)、再生能源(Renewable Energy)、風力發電(Wind Generation)、台澎海纜(Taiwan-Penghu Submarine Cable)、智慧電網(Smart Grid)。

壹、前言

台電成立以來歷經 70 年的歲月，台電公司為促進國家經濟發展與人人有電可用，盡心盡力於發、輸、配等各項相關工程之建設提供充分及安

*台灣電力公司輸供電事業部系統規劃處

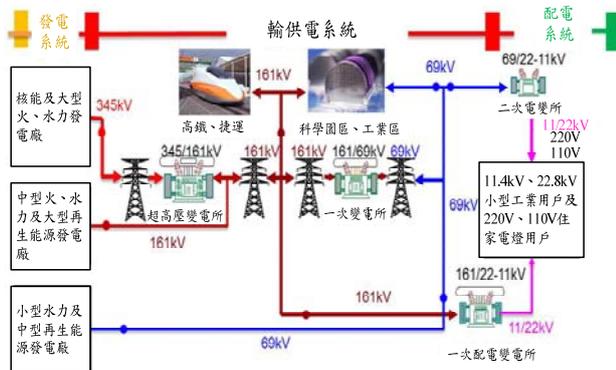
全可靠的電力，促使台灣經濟蓬勃發展，更致力於推動執行輸變電工程計畫、大力建構電網建設，為 70 年來台灣經濟成長的重要推手。

經濟部於 100 年 11 月提出新能源政策，倡導「確保核安、穩健減核，打造綠能低碳環境、逐步邁向非核家園」，並規劃再生能源年度發展目標，計畫 2030 年風力總裝置容量達 520 萬瓩；太陽能總裝置容量達 870 萬瓩。在政府政策鼓勵下，不論台電或民間業者將陸續於台灣各地及離島設置許多風力及太陽能發電廠，分散式電源之蓬勃發展，也改變了傳統電網之規劃概念。

再生能源大多為間歇性不穩定電源，其輸出之電力較傳統電廠易受環境(風量或日照量多寡等)影響而變化，若其規模太大發電量起起落落，電網之電壓維持、潮流控制等將受嚴峻考驗，進而影響區域電網之供電穩定。故未來面臨以再生能源為主之輸供電系統，電網規劃所面臨挑戰，更需發揮專業技能謀求解決方法，迎接電網新時代之來臨。

貳、輸變電計畫之沿革

台灣電力系統結構如圖 1 所示，可大致分為發電系統、輸供電系統及配電系統。輸供電系統之電壓層級共分為 345 千伏、161 千伏及 69 千伏三層級，民國 104 年底台灣 345 千伏輸電系統如圖 2 所示。



圖片來源：台電公司網站

圖 1 台電電力系統示意圖

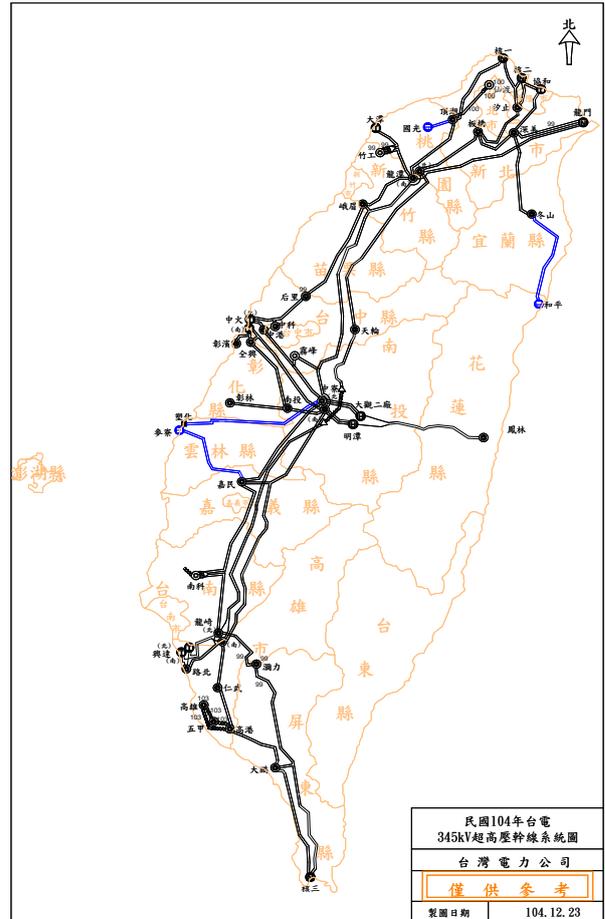


圖 2 民國 104 年台灣 345 千伏輸電系統圖

輸變電計畫主要投資輸電線及變電所等相關工程之建設。過去幾年來，電力系統的建設一直都是大眾所關心的議題，台電公司為提供台灣地區用戶質優、價廉、量足的電力，自民國 61 年起，已分別擬定第一、第二、第三、第四、第五、第六及第七輸變電計畫，據以執行輸變電之新擴建工程。由於輸變電工程興建時，有諸多內外因素影響，特別是土地取得不易與民眾抗爭等大環境因素，使得輸變電計畫工程推動進度落後實際所需，造成部分地區產生供電瓶頸。

原第七輸變電計畫(以下簡稱七輸計畫)，計畫期程為民國 99~104 年投資總額 2,389 億元，民國 101 年考量公司財務困境，減緩固定資產投資，著手進行七輸計畫之修正，計畫投資總額略下修為 2,369 億元，惟計畫期程延長 6 年至民國 110 年，七輸計畫之修正業於民國 102 年 6 月奉行政院核定執行^[1]，現正積極推動中。

參、重大輸變電工程建設成果

從民國 63 年啟動第一輪變電計畫 116 億元投資總額，至近期民國 99 年啟動第七輪變電計畫 2,389 億元投資總額，整體輸變電計畫投資成長將近 20 倍如表 1。

表 1 歷次輸變電計畫投資概要

計畫名稱	計畫期程	工程量(實績)	
		線路 (CKM)	變電 (MVA)
第一輪變電計畫	63.07~70.12	2,027	10,185
第二輪變電計畫	68.07~75.06	3,429	19,626
第三輪變電計畫	73.07~79.06	3,417	15,156
第四輪變電計畫	79.07~85.06	3,206	21,577
第五輪變電計畫	85.07~90.06	2,459	25,955
第六輪變電計畫	90.07~98.12	4,206	63,536
第七輪變電計畫	99.01~110.12	1,966 (目標)	18,554 (目標)

近年來完成之重大工程如下：

一、超高壓變電所與 345 千伏線路

為滿足負載成長需求與電源開發需求、改善供電瓶頸及強化系統運轉安全與可靠度，台電公司逐期擬訂中長期電網投資計畫，在陳報經濟部轉陳行政院核定後執行，適時擴充輸變電設備，充裕供電容量。

以第七輪變電計畫為例，於民國 102 年 6 月奉行政院核復同意辦理，計畫執行期間自民國 99 年 1 月起至民國 110 年 12 月止，第七輪變電計畫之規劃，除了符合台電公司輸電系統規劃準則規定之相關技術指標外，還同時提升可靠度、降低輸電損失、改善穩定度及分散風險等技術性效益，並可滿足如新竹科學園區、中部科學園區(台中基地及后里基地)、南部科學園區、南港經貿園區、觀音工業區、新竹工業區、芳苑工業區、斗六擴大工業區、雲林科技工業區、台南科技工業區及高雄加工出口區等全國重大工業區之用電，乃支持台灣經濟發展之國家重要基礎建設計畫。

在新建超高壓變電所部分，近年來再完成仙渡、竹工、后里、中科、路北、高雄、五甲及瀾

力等超高壓變電所，興建中之超高壓變電所有大安、松湖及竹園超高壓變電所。345 千伏線路擴充方面，較重要的工程有：

- (一) 完成超二路霧峰~中寮(北)線改接至中寮(南)工程以及 345 千伏龍潭(北)、峨眉~中寮(南)雙分歧霧峰新建工程，可大幅提升系統中北幹線送電能力 70 萬瓩以上，對目前北部地區負載大於電源之供需不平衡情形，有莫大助益。
- (二) 345 千伏板橋~龍潭(北)二回線擴建四導體工程：本線段原為超一路幹線，供電能力僅為 119.6 千千伏安*2，因北部地區負載日趨增加，北部新設電廠無法及時完成，故當北部幹線發生二回線事故時，將使超一路輸電能力受限而影響北部地區如板橋、汐止及深美等超高壓變電所轄區正常供電。為增加輸電能力故擴建超一路幹線容量為 218.7 千千伏安*2，以提供北部地區更充裕可靠的電力。

二、新興發電計畫電源線

台電公司因應長期負載需求擬訂之長期電源開發方案，目前已奉核定執行之電源計畫有林口、通霄、大林及深澳更新計畫，各電源線路規劃概述如下：

- (一) 林口火力發電廠更新計畫(已奉核定，執行中)：裝設 80 萬瓩燃煤機組 3 部，規劃 345 千伏林口~頂湖二回線電源線，預計民國 105 年 9 月完成如圖 3。

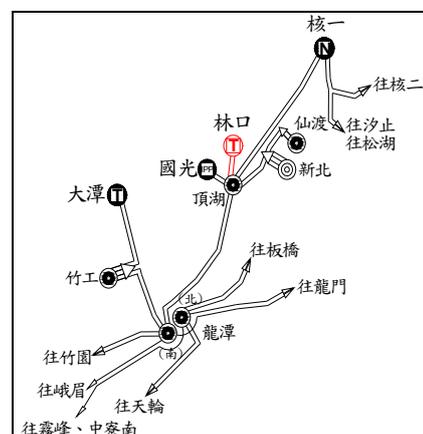


圖 3 林口火力發電廠更新計畫電源引接圖

(二) 通霄火力發電廠更新計畫(已奉核定，執行中)：裝設 89.3 萬瓩燃氣複循環機組 3 部，新建 345 千伏 TACS R 795MCM 四導體架空二回線電源線引接至義和開閉所，並將 345 千伏后里 E/S~峨眉 E/S 二回線二進二出引入義和開閉所，預定民國 110 年 12 月完成如圖 4。

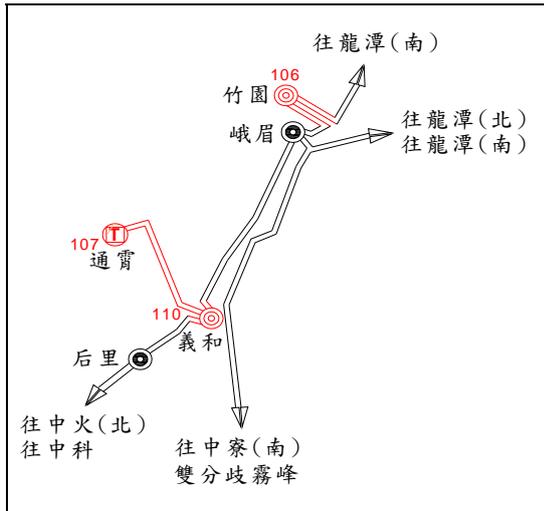


圖 4 通霄火力發電廠更新計畫電源引接圖

(三) 大林火力發電廠更新計畫(已奉核定 2 部機，執行中)：最終規劃裝設 80 萬瓩燃煤機組 4 部，規劃 345 千伏大林~高港四回線電源引出線，配合初期 2 部機，先建二回地下電纜線(管路四回線設計)預定民國 107 年 9 月完成如圖 5。



圖 5 大林火力發電廠更新計畫電源引接圖

(四) 深澳火力發電廠更新計畫:裝設 60 萬瓩燃煤機組 2 部，引接至 161 千伏開關場，將原龍門~坪林分歧一回線改為一進一出深澳如圖 6，列民國 114 年計畫。

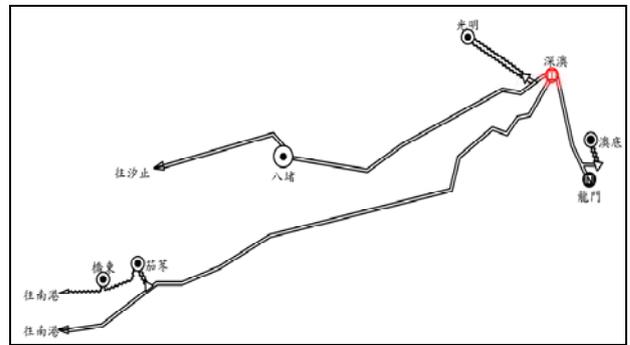


圖 6 深澳火力發電廠更新計畫電源引接圖

三、科學工業園區電網規劃成果

- (一) 竹科新竹園區供電電網：新竹園區自民國 69 年起分三期開發，一期、二期採配電 11.4 千伏或 22.8 千伏供電及 69 千伏 4 環路(龍明配電變電所 3 個環路、新竹一次變電所 1 個環路)供電。三期採配電 22.8 千伏及 161 千伏 4 環路供電(竹園加入後 4 環-龍松配電變電所 2 個環路、龍梅配電變電所 1 個環路、竹園超高壓變電所 1 個環路)。
- (二) 竹科龍潭園區供電電網：民國 89 年完成聖亭配電變電所，滿足園區配電及特高壓用戶之用电需求。
- (三) 竹科竹南園區供電電網：民國 95 年完成糖科配電變電所，再搭配頂園配電變電所，滿足園區配電及特高壓用戶之用电需求。
- (四) 竹科銅鑼園區供電電網：園區內已保留樟樹及九湖配電變電所用地，正興建之樟樹配電變電所完成(民國 107 年計畫)後，可供應園區 161 千伏及 22.8 千伏用戶用电。
- (五) 竹科宜蘭園區供電電網：民國 95 年完成員山配電變電所、民國 98 年完成宜府配電變電所，滿足城南基地園區配電用戶之用电需求。中興基地初期由信義二次變電所、宜府

配電變電所各二饋線 11.4 千伏供電，最終改由廣安配電變電所供電。

- (六) 中科台中園區供電電網：民國 94 年完成航太配電變電所、民國 98 年完成中科超高壓變電所，滿足園區特高壓及配電用戶之用電需求。
- (七) 中科后里園區供電電網：民國 99 年完成后里超高壓變電所，滿足園區特高壓及配電用戶之用電需求。
- (八) 中科虎尾園區供電電網：民國 96 年完成虎科配電變電所，滿足園區特高壓及配電用戶之用電需求。
- (九) 南科台南園區供電電網：配合一期開發已興建南科超高壓變電所(民國 91 年完成)、三竹配電變電所(民國 90 年完成)及豐華配電變電所(民國 94 年完成)引供特高壓及配電用戶(八環-南科東變電所 3 個環路、南科西配電變電所 1 個環路、三竹配電變電所 2 個環路、豐華配電變電所 2 個環路)。
- (十) 南科高雄園區供電電網：民國 92 年完成路北超高壓變電所、民國 94 年完成竹嶺配電變電所，滿足園區特高壓及配電用戶之用電需求。

四、台澎海纜計畫

台澎海纜計畫係依據民國 94 年台電公司完成之「台灣澎湖間海底電纜供電可行性初步研討報告」及先期工程調查結果，分別就工程、系統、及經濟等方面檢討不同輸電方案，並與擴建柴油機組案進行經濟比較後所擬定，其目的在滿足澎湖地區於民國 101 年後之用電需求。當時考量海纜 20 年之經濟壽齡，及澎湖地區之負載成長，選定「交流 161 千伏系統二回線，每回線送電容量 20 萬瓩****」之興建方案為經濟可行。

因應澎湖地區未來發展之用電需求及配合政府綠色能源島計畫之推動，台澎海纜計畫於民國 99 年 12 月奉行政院核定。本線路工程經評估後，海域部份採單芯 XLPE 630mm² 電纜，分為南、北兩路徑，長度約為 58.8 公里。台灣側海纜上岸點以 XLPE 2000mm²，陸纜由雲林縣境內既設之

北港~四湖 161 千伏線雙分歧引接，距離約為 8.8 公里，澎湖上岸點至澎湖配電變電所有 0.3 公里之陸纜，全線長度共約 67.9 公里。

台澎海纜整體計畫預計於民國 106 年陸續完成，屆時台澎海纜將開啟我國長距離海底輸電系統之新紀元，以連接台灣、澎湖間之電力網，除可降低目前澎湖尖山電廠供電成本、滿足澎湖長期用電需求外，同時可大量開發澎湖地區之風力、太陽能等再生能源，剩餘電力亦可經由海底電纜輸送回台灣，開啟政府推動綠色能源島計畫之可行契機。本計畫目前執行中，預計第一回線於民國 106 年 11 月完成，第二回線於民國 107 年 10 月完成。

肆、蛻變轉型動念

一、規劃轉型動機

依據「輸電系統規劃準則」編擬擴充系統之輸變電計畫，以往為全包裹式單一多年期工程計畫，近年來因應外在因素如下述，電網規劃有必要逐漸蛻變轉型之必要：

- (一) 新電價公式審議，外界要求營運效率，落實成本意識。
- (二) 配合全國能源會議，大量再生能源加入系統。
- (三) 101 年台電公司因燃料價格高漲，鉅額虧損，財務艱困。

以上原因驅使電網規劃需配合廠網界面運作、電網技術升級、跨單位專案管理、計畫型態及管控機制變更與電網投資策略等要素轉型蛻變。

系統規劃處除厚植及傳遞核心技術外，另逐漸步入更多管理性、協調性、策略性和制度性的電網經營與流程改造。單位任務除保留技術本位外，也著重於計畫管理與效能，朝向技術/管理/投資黃金三角合進的方向蛻變。電網規劃有其基本不變的部分，即單一電網、技術自主、供電安全與供電義務，惟實務作法則不斷與時精進。

二、嶄新策略與作法

參酌第六輪變電計畫(以下簡稱六輪)實際執行狀況，籌編第七輪變電計畫(以下簡稱七輪)時，有別以往，實施許多創舉，例如同步修正規劃準則、發佈計畫作業要點、評估計畫效益、排序工程項目和舉辦編擬諮詢會議。儘管如此，七輪核定過程備極艱辛，但也開啓電網規劃一系列的調適歷程如圖 7，由整備階段至深耕階段至今約歷時 8 年。

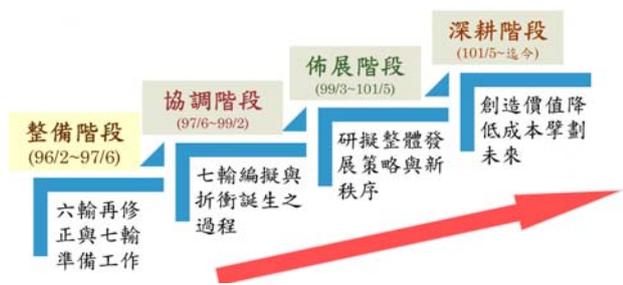


圖 7 電網規劃調適歷程

(一) 電網規劃之變革

為提昇電網規劃核心技術，建置更可靠、智慧、經濟、友善的電力輸送網。提出強化公司內外溝通、持續增進電網安全、提升投資經濟效益及配合低碳能源發展等 4 項發展策略；與溝通協調、經濟規劃、技術交流、風險管理、電網建設、供電安全、友善環境及節能減碳等 8 項關鍵議題，各項議題相互緊扣使電網規劃力求計畫效益，以友善環境的基本態度結合新技術、新設備等核心專業技術，從事電網建設，並確保電力供應之安全可靠。

(二) 輸變電計畫之新作法

配合公司經營改革，落實創造價值與降低成本原則，爰再聚焦深化當前 4 項關鍵策略如圖 8，其中評估需求變化包含對於電源、負載的掌握等；檢討投資規模包括規劃準則、工程排序、資訊整合等。



圖 8 聚焦深化關鍵策略與工作重點

由於現行輸變電計畫為全包裹式單一計畫模式，內容包括眾多不同目的，諸如：配合電源開發之輸電線路工程、配合特高壓用戶供電之輸電線路工程、配合負載用電需求之變電所及輸電線路興建工程、強化台灣 345 千伏幹線輸電能力之輸電線路工程、配合系統運轉所需電抗器、電容器及輸變電工程、配合變電所採多目標興建用途工程等項目。

然為使計畫目標更加明確，部分較具特色或特定目的工程項目另以採取獨立計畫方式辦理，以降低原輸變電計畫規模及量體。相關由輸變電計畫獨立出來各自辦理項目如圖 9 所示。

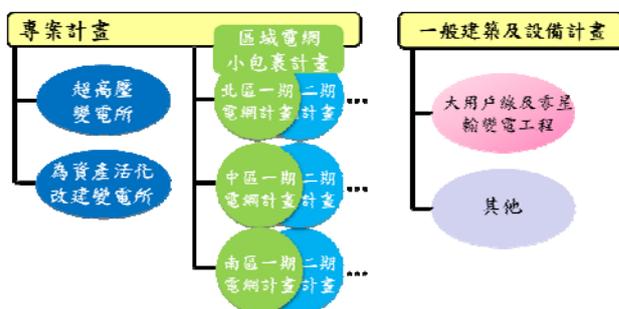


圖 9 轉換計畫型態

1. 配合電源開發之輸電線路工程

以往配合水、火力電源開發(如大潭電廠、通霄電廠、明潭水力電廠、興達電廠等)所需配合興建輸電線路工程計

畫，係以全納入輸變電計畫執行。然由於以往輸變電計畫為單一計畫模式，配合電源開發所需電源線工程通常超過計畫期程，尤以目前大環境的影響更顯嚴峻，因此造成計畫執行上整體預算執行及工程進度管控的困擾。有鑑於電源線係配合電源開發所需，因此規劃將該部分線路工程計畫改以納入電源開發計畫編列，除了可確實反應電源計畫的投資效益外，也可落實電源線工程計畫之執行。

2. 特高壓用戶供電之輸電線路工程

由於特高壓用戶線係配合每年特高壓用戶申請用電所施作之工程，因此大用戶線本身極具不確定性，實際工程所需之設備及其預算亦需視用戶申請個案情形評估，因此性質上應非屬於計畫性工程性質。故依據中央政府總預算附屬單位預算共同項目編列作業規範之乙、固定資產建設改良擴充應按專案計畫與一般建築及設備計畫劃分原則，統一改以一般建築及設備計畫方式辦理。

3. 強化 345 千伏幹線輸電能力之輸電線路工程

依據目前環境保護署所公布「開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準」，相關 345 千伏輸變電工程已需配合納入環評作業，而相關 345 千伏輸變電工程通常亦具有特定目的，如強化幹線輸電潮流、改善暫態穩定度、改善故障電流等目的。此外 345 千伏輸變電工程通常所需工程時程及預算亦比一般興建一次配電變電所(D/S)或二次變電所(S/S)所需經費高 3~5 倍。因此綜上所述，該部分配合 345 千伏所規劃輸變電興建工程，另以獨立專案計畫方式辦理，避免納入原輸變電計畫中執行，減少因相關外在因素不確定性而影響整體計畫工

程進度及預算安排。

4. 配合變電所採多目標興建用途工程

由於輸變電計畫主要目的在於兼顧系統供電運轉安全及滿足區域負載用電成長，因此須配合進行相關電網設備投資計畫，亦即計畫本身主要應以涵蓋系統供電上所需之變電所、建築物、開關場、匯流排、變壓器、電抗器、電容器、輸電線路、終端設備與其他相關附屬電氣設備等。

然由於部分都會地區土地取得不易，純以興建變電所方式又顯其空間上或用途上不足，而且都會地區變電所興建困難度又顯不易。因此為達土地活化利用及減緩民眾對輸變電設備疑慮，都會地區變電所採多目標使用規劃方式已逐漸成為變電所興建主流方式。諸如既設位於台北市基信變電所、新北市景星變電所與信南變電所、台中市德義變電所、高雄市旗山變電所與九曲變電所等皆有採不同使用目的之複合式多目標用途使用中。

綜上所述，也因多目標用途之效益估算與僅興建變電所之計算方式大大不同，因此為利未來此多目標變電所興建時可顯著其不同目的效益呈現，遂規劃另以獨立專案計畫方式辦理。

5. 加強輸變電計畫執行之管控

為確實反應包裹式輸變電計畫工程之需要性與計畫需求及執行落差之管控，在不增加投資總額下，執行預算及工期之管控，特訂定三級管控作業機制如圖 10。

- (1) 第三級管控之任務在於預算額度內依時程完成工程及依據工程進度提出相對應之預算使用情形。
- (2) 第二級管控為督導協調各區施工處所報專案計畫重要里程碑、工程進度、預

算使用是否於核定金額內。

- (3) 第一級管控則管控總體輸變電計畫之預算及執行實績，並對工程延後完成之影響提出供電因應對策。

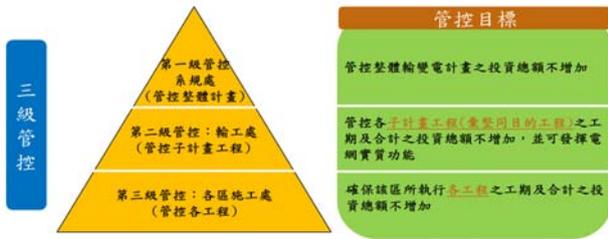


圖 10 三級管控機制

(三) 整合佈建優化電網投資新作法

為使電網投資更具合理且有效益，除訂定投資電網資源分配原則外，復又配合分離會計與廠網分工制度實施，為期有限預算發揮最大功效，故再精進提出現階段 5 項電網投資策略藍圖即安全性、經濟性、可控性、財務性及公平性如圖 11。



圖 11 投資策略藍圖

- 1. 配合以盤點線上系統納入電網應用整合平台，納入電網計畫檢討程序最後定期檢討及回饋之整合電網資產如圖 12 所示。



圖 12 電網整合佈建作法

- 2. 優化電網投資作法結合包含利用變電所空拱位、移用或擴建主變、複合新建及新建輸變電相關工程如圖 13，相關措施如利用聯絡線、移用主變等策略，做為投資原則。

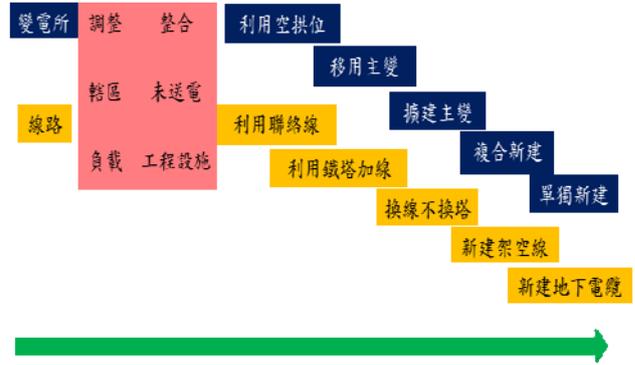


圖 13 優化電網投資作法

伍、電網投資策略與成效

今將未來台電公司精進提出現階段 5 項電網投資策略之藍圖概述如下：

一、安全性

因應公司財務困境，未來原則上超過規劃準則之系統擴充或強化工程將不再投資，為兼顧供電安全與電網投資，亦將適時修訂台電公司「輸電系統規劃準則」(102.04.01 完成部分修訂發佈)。

二、經濟性

將盤點整合並利用現有電網資產，建立線上可再規劃利用設備整合資訊平台，以期於規劃設計階段即可評估可再利用既有設備，以減少變電所與輸電線路之新建。在工程可行條件下，也優先考量低建造成本之工法及技術，同時滿足系統供電需求與兼顧降低電網投資成本。

三、公平性

針對民營電廠(IPP)及自用發電設備併網，因運轉安全及供電穩定性問題，而需加強電力網方得併網時，其所有加強電力網之費用應由業者全

額負擔，以符合使用者付費之公平原則，相關條文並已配合增訂於台電公司「發電業電廠併聯技術要點」之發電廠運轉規範(102.09.24 修訂)及「汽電共生併聯技術要點」之汽電共生系統併聯運轉事項(102.08.23 修訂發佈)等規範文件中。

四、可控性

為擷節輸變電計畫之投資，訂定了四階段的回饋機制如圖 14，加強投資必要性，避免設備閒置造成投資浪費，以及推動自總管理處至區施工處之三級管控機制，分級定期加強預算支出與工程進度之管控，並對預算或進度異常之工程檢討改善對策與評估供電受影響情形研提因應對策。相關管控機制條文已訂定於台電公司「新興輸變電計畫之規劃設計施工及營運作業要點」之中(102.10.18 發佈)。

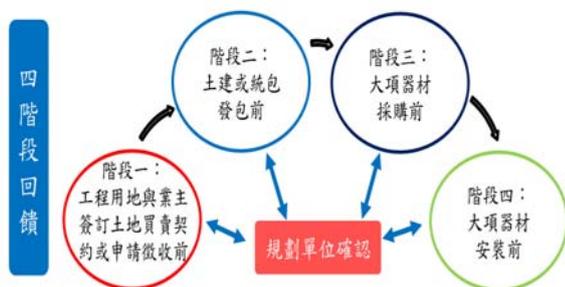


圖 14 四階段的回饋機制

五、財務性

因應台電公司財務艱困，未來相關投資預算將受限制，自民國 103 年度起台電公司訂出公司年度資本支出預算編列總額度，再進行系統額度分配。以有限投資達成最大效益，將是未來電網投資所必須優先考慮，故衡量固定資本投資效益、訂定電網投資計畫之相關分配原則、運作機制，以作為輸供電系統各單位編擬固定資本投資依據實有其必要性。

經由上述之電網投資策略，第七輸變電計畫工程與運轉維護部分均有其工作成效，茲就法規制度面、需求規劃面、設計施工面及運轉維護面，電網投資之主要工作成果摘述如下。

一、法規制度面

(一) 修訂輸電系統規劃準則

1. 345 千伏非主幹線採 N-1 準則^[2]。

- (1) 大安超高壓變電所 345 千伏電源引接線之松湖~大安二回線緩辦，惟因潛盾洞道已施工，完工後暫不鋪設 345 千伏電纜線。另原新建 345 千伏深美~大安一回線擴充為二回線。大安超高壓變電所轄區未來可由深美超高壓變電所 161 千伏系統支援供電，若大安超高壓變電所引接線發生 N-2，仍不致造成大規模停電。
- (2) 既設仙渡超高壓變電所之 345 千伏電源引接線已滿足非主幹線 N-1 準則，故原 345 千伏核二~汐止一進一出仙渡線取消興建。仙渡超高壓變電所轄區目前可由汐止及頂湖超高壓變電所 161 千伏系統支援供電，若仙渡超高壓變電所引接線發生 N-2，仍不致造成大規模停電。
- (3) 既設彰林超高壓變電所之 345 千伏電源引接線已滿足非主幹線 N-1 準則，故原彰林與南投超高壓變電所之 161 千伏連絡線彰林~員林二回線取消興建。彰林超高壓變電所轄區可由彰化一次變電所以 69 千伏系統支援供電，若彰林超高壓變電所引接線發生 N-2，仍不致造成大規模停電。
- (4) 既設鳳林超高壓變電所之 345 千伏電源引接線已滿足非主幹線 N-1 準則，故原規劃在鳳林超高壓變電所及台東一次變電所分別設置之靜態同步無效電力補償器 (STATCOM) 取消。鳳林超高壓變電所轄區可由大鵬超高壓變電所 161 千伏系統支援供電，若鳳林超高壓變電所引接線發生 N-2，藉由卸除部份負載，不致造成花東地區電壓崩潰。

2. 水、火力電廠電源線得採下列方式之一規劃：(1)採 N-1 準則或(2)線路停一回線時，如不符合 N-1 規定，得以停用機組或降載等方式因應以維持供電安全。惟以不超過該廠開關場最大機組一部為原則，且停用機組或降載後電源線不得超載。例如大潭電廠增建燃氣複循環機組發電計畫，採用彈性規劃方式重新檢討電源線引接方式，由原 345 千伏引接龍潭北超高壓變電所，改以 161 千伏引接至林口發電廠，除可避免電源過度集中龍潭超高壓變電所，工期亦較短，且工程經費可由 333 億元降至 222 億元，節省約 111 億元。
3. 69 千伏線事故後，可經轉供恢復供電者，得採 N-0。
 - (1) 69 千伏松樹~平鎮一回線機電緩辦，未來視需要優先編列中豐及聖亭等一次配電變電所擴建配電變壓器，以取載平鎮二次變電所負載（較為經濟方案）。
 - (2) 69 千伏台南~保安一回線取消興建，當 N-1 發生時，保安二次變電所負載可改由山上一變電所代送。
4. 地下電纜事故規劃值改採超載運轉 10 小時容量。
 - (1) 既設 161 千伏大豐~七張二回線單導體地下電纜擴充為複導體工程取消，惟因管線工程已接近完工，故仍持續完成管線工程，待完成後暫不埋設電纜線。
 - (2) 既設 161 千伏青溪~桃園二回線單導體地下電纜擴充為複導體工程取消，惟因管線工程已接近完工，故仍持續完成管線工程，待完成後暫不埋設電纜線。
5. 再生能源得提出包含 SPS 或 50+2 電驛等因應措施。
 - (1) 因再生能源業者加入而造成系統供電瓶頸，系統原為配合加強電力網而需興建之 161 千伏營盤~山佳線擴複導體，在再生能源業者同意採 SPS 或 50+2 電

驛解聯後，該工程可予取消。

- (2) 因再生能源業者加入而造成系統供電瓶頸，系統原為配合加強電力網而需興建之彰濱超高壓變電所原需配合擴建 2 台主變，可在再生能源業者同意採 SPS 或 50+2 電驛解聯後，該工程可予取消。

(二) 修訂營業規則第六條之一「不影響供電安全」之認定原則

為了解決供電瓶頸地區特高壓用戶無法供電的問題，在不影響整體供電安全及設備壽命情況下，若用戶承諾採用遙控卸載情況下，則同意用戶供電，避免用戶因無法供電而影響產業發展。

二、需求規劃面

(一) 緩辦無迫切需求工程

1. 萬隆一次變電所非屬系統需求，故於民國 110 年前僅完成土建部分，機電工程暫緩辦理，未來俟當地民情與產政情況再議。
2. 五甲超高壓變電所第二期工程因非屬系統需求，故予以緩辦。

(二) 縮小初期規模

1. 松湖超高壓變電所因負載需求減少，故原規劃設置 3 台主變壓器，下修為設置 2 台，並持續滾動檢討視需要再適時追列。
2. 新豐一次配電變電所因負載需求減少，故原規劃設置 4 台配電變壓器，下修為設置 3 台，並持續滾動檢討視需要再適時追列。

(三) 主動服務用戶提供經濟可靠供電方式

本著服務用戶之精神及節省特高壓用戶線投資之原則，主動連絡用戶討論並提供特高壓用戶最經濟可靠的供電方式，例如某用戶申請以 69 千伏供電，經台電公司檢討，並與該用戶溝通協調後，變更引接方式節省投資成本。

三、設計施工面

(一) 引接方式改變

1. 通霄電廠更新計畫之 345 千伏電源引接線原規劃引接至峨眉超高壓變電所，惟因架空線架設遭遇抗爭，如改以地下電纜埋設將造成電源線預算大幅增加，故在較經濟且工程可行下，重新檢討評估後，改以於超二路線下鄰近地區興建義和開閉所，再由通霄電廠以 345 千伏二回線引接至義和開閉所。
2. 新豐一次配電變電所鄰近湖北及新工一次配電變電所，原規劃由湖北變電所以 161 千伏二回線引接。經重新評估電纜路徑後，提出可利用既設管路改由鄰近之新工變電所引接以縮短路徑並節省成本，故引接方式改為 161 千伏新工~新豐二回線。

(二) 改變工法或應用新材料

1. 高港超高壓變電所改建工程原設計採氣封絕緣輸電線 (GIL) 將 345 千伏大鵬、仁武四回線連接至新 345 千伏開關場，變更設計改以交連聚乙烯 (XLPE) 電力電纜取代可行，減少投資金額。
2. 161 千伏后里~潭寶二回線新建工程配合翁子一次變電所既設架空線長期下地計畫，原設計採用潛涵河道跨越大甲溪，經重新檢討後，配合新規劃之豐洲一次配電變電所新建工程 (161 千伏后里~潭寶二進二出豐洲)，變更后里~豐洲~潭寶二回線路徑，改採施設傳統埋管路及架空線路跨越大甲溪，以減少投資。
3. 為解決既設冬山超高壓變電所轄區 161 千伏供電瓶頸，並配合廣安一次配電變電所新建工程，原規劃 161 千伏羅東~員山二進二出廣安及冬山~宜府二進二出廣安，經工程評估及系統分析後，改以 161 千伏員山~廣安二回線之架空導線抽換為超耐熱鋼芯鋁絞線 (ZTACIR)，取代新建 161 千伏宜府~廣安二回線。

(三) 沿用既有或移用庫存設備

1. 沙崙一次配電變電所之 161 千伏引接線仙渡~沙崙線可部份使用庫存電纜。
2. 頂湖超高壓變電所增建 161 千伏電抗器，其斷路器及鐵構部分使用庫存。

(四) 建立輸電線路地下化規劃準則減少投資

以往對於科學園區特高壓用戶，逕採地下電纜規劃引供，然考量營運現況及公平正義 (避免區內外用戶差別待遇)，依本規劃準則，部份路徑應改採架空。若用戶基於特殊考量，要求台電公司採行其他設計，則在系統及工程可行之條件下，超出一般設計標準之供電設備部分，由用戶負擔該超出之實耗工程費。

四、運轉維護面**(一) 延壽計畫**

1. 以系統供電安全及穩定可靠為前提，繼續精進維護技術推動開關設備延壽，並積極管理所轄各供電區營運處有關工程之安全、維護與施工品質，目前已實際完成 18 套開關設備之延壽。
2. 在變壓器安全可靠的前提下，供電系統內目前較老舊之變壓器約有 105 台 (約佔原供電系統 10%)，透過良好的維護及適度的更新老舊元件進行延壽，其中超高壓變電所主變壓器 12 台 (含備用共 41 台)、一次變電所主變壓器 39 台、配電變壓器 25 台，延長使用年限至 50 年。

(二) 去化庫存

輸變電計畫之所需要之設備，優先考慮使用閒置設備免購新料如既有鐵塔舊料等。

(三) 活化變電所用地及設備資產

1. 積極辦理尚未興建變電所之用地活化，目前已完成共 10 所，其中 5 所出租、5 所台電公司辦公使用，其餘尚有 22 所尚在辦理標租，並持續揭露標租資訊。
2. 因應系統需要提升斷路器遮斷容量，目前

供電系統已拆下 75 組 40 千安培斷路器。拆下之斷路器，再添購相容之隔離開關等組合為完整 GIS，規劃安裝於末端變電所或用於 69 千伏系統。預估 161 千伏 40 千安培斷路器改造後再利用情形；拆除之斷路器共 75 組，相關單位已改造使用 15 組，另 50 組已規劃，餘 10 組待規劃使用。

陸、因應電源不確定性之探討

對於未來電網規劃中，其電廠位置及機組容量大小尤其重要，故本節是以長期電源開發方案藉以了解未來北部、中部及南部供需平衡情況及幹線能力融通是否安全可靠。

一、電源開發方案概述

依據長期電源開發方案^[3]之民國 105~117 年商轉時程中，未來可開發之廠址與規模，規劃大型電源計畫。如表 2 所示。

二、核能電源開發規劃摘述

長期電源開發方案規劃核一~核三屆齡除役時程如表 3。

三、區域電力供需情形

依長期電源開發方案，在全系統機組全部滿載出力，不考慮任何降載或停用之情況下，民國 106~115 年台灣本島北、中、南三個區域之電力供需情形^[4]如表 4。

依長期電源開發方案，北部地區在 107~115 年呈現電源不足情形，以 113 年北部缺電 323 萬瓩最多。

表 2 大型電源計畫概要

電網	新興電廠計畫名稱	型式	機組編號	裝置容量(MW)	商轉時程
北部	林口火力電廠更新計畫	煤	林口新#1	800	105 年 7 月
			林口新#2	800	106 年 1 月
			林口新#3	800	108 年 7 月
	大潭火力電廠擴建計畫	氣	大潭 CC#7	800	111 年 7 月
			大潭 CC#8	800	114 年 1 月
			大潭 CC#9	800	114 年 7 月
			大潭 CC#10	800	115 年 1 月
中部	通霄火力電廠更新計畫	氣	通霄新 CC#1	893	106 年 10 月
			通霄新 CC#2	893	109 年 1 月
			通霄新 CC#3	893	109 年 1 月
			通霄新 CC#4	900	113 年 1 月
			通霄新 CC#5	900	114 年 7 月
南部	大林火力電廠更新計畫	煤	大林新#1	800	105 年 9 月
			大林新#2	800	106 年 7 月
	興達火力電廠更新計畫	煤	興達新#1	1,000	117 年 1 月
			興達新#2	1,000	118 年 1 月

表 3 核能屆齡除役時程

核能電廠	機組編號	裝置容量(MW)	除役或商轉時程
核一	#1	636	107 年 12 月除役
	#2	636	108 年 7 月除役
核二	#1	985	110 年 12 月除役
	#2	985	112 年 3 月除役
核三	#1	951	113 年 7 月除役
	#2	951	114 年 5 月除役

表 4 電力供需平衡

單位：萬瓩

年度	北部			中部			南部		
	負載	淨尖峰能力	電源餘裕	負載	淨尖峰能力	電源餘裕	負載	淨尖峰能力	電源餘裕
106	1,398	1,488	90	1,066	1,266	200	1,135	1,333	198
107	1,421	1,398	-22	1,093	1,355	262	1,163	1,338	175
108	1,443	1,344	-99	1,117	1,357	239	1,188	1,342	154
109	1,464	1,345	-119	1,141	1,533	392	1,213	1,346	134
110	1,484	1,346	-138	1,164	1,446	282	1,236	1,352	116
111	1,505	1,323	-182	1,186	1,449	263	1,259	1,358	99
112	1,525	1,222	-315	1,208	1,452	244	1,282	1,365	83
113	1,545	1,223	-323	1,229	1,543	314	1,305	1,274	-30
114	1,566	1,523	-43	1,251	1,634	384	1,327	1,183	-143
115	1,586	1,561	-25	1,272	1,624	352	1,349	1,188	-161

由於北部及南部為電源不足地區，中部則為電源充裕地區，因此可預期未來 345 千伏電力潮流融通情形將呈現為中電北送及中電南送。而為確保電力潮流可安全可靠的透過主幹線進行區域間之融通如圖 15，須符合 N-2 準則，意即北部及南部各年度之缺電量不得超過中北幹線安全送電能力及中南幹線安全送電能力。否則，必須在主幹線發生 N-2 事故時，卸除超過融通能力之負載。換言之，為避免卸載情形發生，電源開發

時即應注意各區域之電力供需平衡，其區域間融通電力不得超過幹線可靠融通能力為原則。因此，配合中北幹線安全送電能力及中南幹線安全送電能力，必要時電源開發方案應適度調整。

長期趨勢下於民國 114 年、115 年南部地區缺電逐漸嚴重，規劃上興建電廠更新計畫(四部 90 萬瓩)提前更新，將可有效改善南部缺電危機。

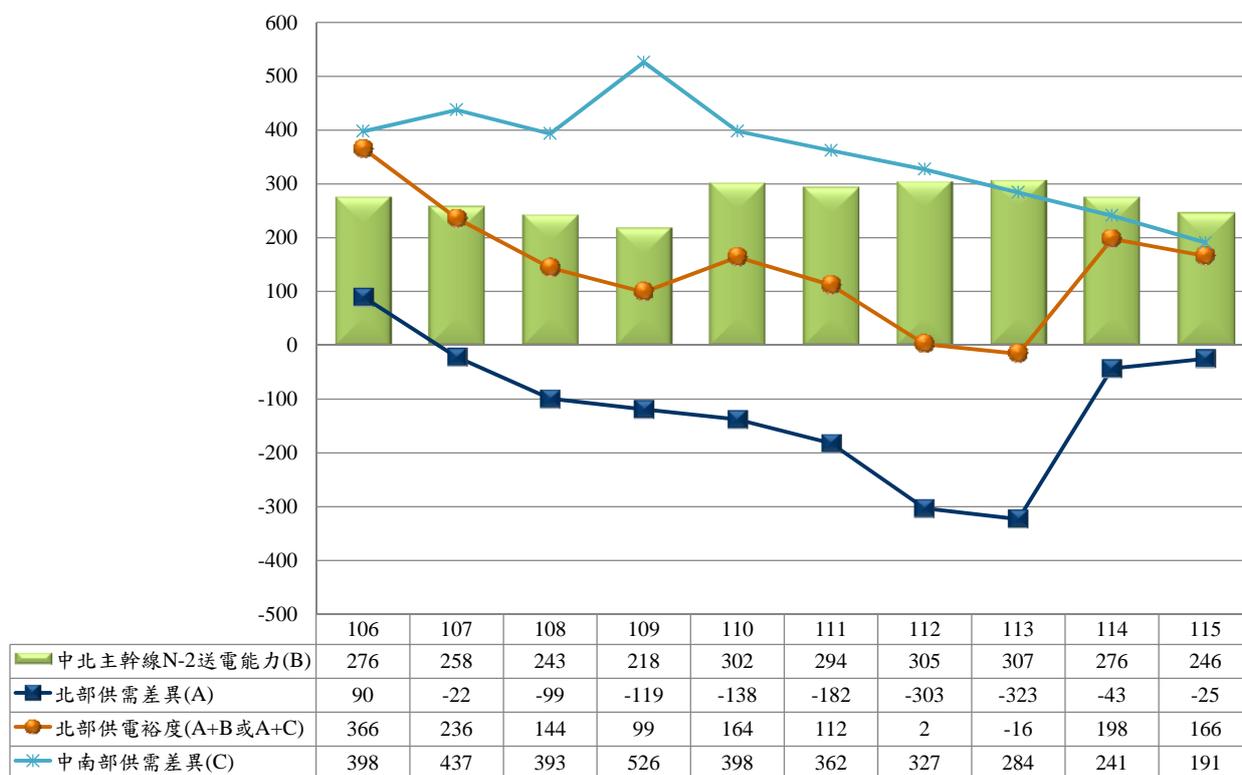


圖 15 中北幹線能力分析

柒、建構現代化智慧型電網

一、智慧電網推動架構

智慧電網^[5]依據電網之能量傳遞及供需關係特性，分成發電與調度、輸電、配電、用戶等層面。智慧電網主要係透過資訊、通信與自動化科技，建置具智慧化之發電、輸電、配電及用戶的整合性電力網路，強調自動化、安全及用戶端與供應端密切配合，以提升電力系統運轉效率、供電品質及電網可靠度，並促進再生能源擴大應用與節能減碳之政策目標。

台電公司考量智慧電網範圍廣泛，規劃 20 年推動期程，分為「前期布建(5 年：2011-2015 年)」、「推廣擴散(5 年：2016-2020 年)」、「廣泛應用(10 年：2021-2030 年)」3 個階段。

依電網特性分成發電與調度、輸電、配電、用戶 4 種類型之供需關係，配合產業推動及環境建構，形成 6 個構面具體推動，分別為「智慧發電與調度」、「智慧輸電」、「智慧配電」、「智慧用戶」、「智慧電網產業發展」、「智慧電網環境建構」。茲將前述智慧電網願景、目標、時程及推動策略(6 個構面)整理如圖 16。



圖 16 智慧電網總體架構分層規劃示意圖

二、推動策略具體作法

台電智慧電網之推動主要配合推動目標「確保穩定供電」及「提高綠能使用」，朝向「提高輸電效率」及「增加輸電安全」之方向推行包括

智慧輸電設備應用及智慧輸電設備研究。

(一) 智慧輸電應用

1. 推廣多相復閉技術，確保電源供電穩定

目前大型火、水力電廠因路權取得困難，興建不易，均規劃僅以一路兩回線引出，如按傳統保護方式，常因雷擊等因素造成單相或兩相瞬時性故障而使三相同時跳脫，影響電源供應之可靠度與穩定性。為避免此現象，特引進日本東電之多相復閉技術，應用於大潭電廠引出電源線上。於試驗階段運轉良好，對於穩定大潭電源有幫助，本計畫將推廣使用多相復閉，於各大型電廠架空引出電源線，以確保電源供應穩定。

2. 採用數位電驛，縮短故障清除時間

提高系統暫態穩定度可藉由改善保護系統設備採用數位式電驛，台電系統 345 千伏系統線路之保護電驛已全部更新為數位化，而考慮斷路器採購規範 Interrupting Time 為 2 週波，345 千伏線路保護電驛反應時間 1.5 週波(主變之主保護電驛反應時間則為 2 週波)，再加上線對地故障最後啟斷相斷路器啟斷時間考慮約 0.3 週波之延遲，合計故障清除時間最多為 4.3 週波。據此，345 千伏系統事故後之反應時間已可有效縮短及掌握，臨界清除時間將由原先之 5.5 週波修訂為 4.5 週波。在系統安全之有效維持下，減少系統因暫態穩定度因素所作之額外投資。

3. 自動復閉技術提升東部地區供電可靠度

東部地區因無大型電源，需藉由長距離輸電線將西部電源供應至東部，故短路容量小，電壓易因系統擾動而大幅變動，故本處規劃於東部裝設特殊保護系統。然 345 千伏東西幹線常遭遇雷擊，為降低 N-2 發生機率，於 345 千伏東西幹線採用自動復閉技術，可大幅提升東

部地區供電可靠度。

4. 耐熱導線提升送電容量

面對輸電線路權取得日益困難，新建線路抗爭烽煙四起之際，系統關鍵線路遭遇之瓶頸，以採用耐熱型導線紓解，避免需興建線路，以縮小計畫規模，因此部份新建線路採用耐熱型或高容量低弛度導線，提昇系統輸電能力。

台電公司智慧電網之耐熱型高容量導線之五年階段推動重點與目標，包括龍潭北~松樹及大鵬~楓港~大武~台東 161 千伏導線更換工程。

未來台電公司新建或更新電廠，整廠發電量超過原傳統線路之額定輸電容量，在系統檢討可行下，將採耐熱型高容量導線，以減少興建傳統線路回線數之投資。

5. 特殊保護系統提升系統可靠度

設置特殊保護設備，以防止線路、主變過載及維護系統穩定度為範疇。若有電壓穩定度、小訊號穩定度及暫態穩定度等不符合規劃準則規定者，得設置特殊保護設備。

台電公司智慧電網之特殊保護系統（SPS）之五年階段推動重點與目標，包括完成東部、大潭及冬山等 3 套 SPS 建置。

(二) 應用智慧輸電設備需求探討

1. 應用無效電力補償設備需求探討

由於地下電纜應用於輸電系統之比重日益增加，系統裝設大容量電抗器抑制地下電纜產生之充電電容，造成輸電線路或電抗器在投切時引起系統動態電壓變動；此外，未來北部電源不足，仍須由 345 千伏中北幹線將中部電力融通至北部。

本研究分析系統之動態電壓脆弱點，並檢討是否仍有潛在裝設動態無效

電力補償設備(如 SVC 或 STATCOM)之需求。

2. 應用整體潮流控制器裝置可行性檢討

本研究討論於台電系統設置整體潮流控制器(UPFC)之必要性及時機。民國 105 年至 112 年各年之合計中送北之最低送電量為 266.2 萬瓩，而於北部的龍潭(北)超高壓變電所增設 200MVA_r 之 UPFC 後，各年系統增加之容量介於 20.2 至 26.1 萬瓩，故各年之中送北送電容量在增設 200MVA_r 之 UPFC 後，最低為 292.3 萬瓩，此對於增加北部地區供電裕度之貢獻量有些許之助益。

初估增設 200 千千瓦安之 UPFC 所需費用約 12 億元。UPFC 可解決輸電線路潮流不平均時所產生的瓶頸，本次研究因 UPFC 價格太高，解決 161 千伏或 69 千伏系統瓶頸之效益較不利，未來若經濟比較可行，仍可考慮於 161 千伏或 69 千伏瓶頸採用 UPFC。

3. 應用故障電流限制器可行性研究

電網日漸龐大複雜，輸配電網路中某些匯流排或是線路故障，造成的故障電流恐超過既有斷路器啟斷容量，可使用故障電流限制器(FCL)來降低電力網路中某些線路的故障電流。FCL 的種類繁多，其安裝位置的選擇對電網故障電流的影響，安裝後與既有保護協調系統的動作影響等等，均必須進一步的加以釐清與檢討。因此，本研究針對不同形式的 FCL 的應用場合與時機、安裝 FCL 對電力網路故障電流的影響、FCL 裝設位置的選擇、及 FCL 安裝後對系統的保護協調等等問題加以探討，俾作為評估 FCL 整合至電力網路之參考及研擬所需之因應對策。

總之為提供用戶現代化生活及高科技產業所需之高品質電力，台電公司除

應充實電力基礎建設外，亦應加強輸變電設備維護，提升發輸變電管理品質，降低線路損失，保持穩定而合於標準之電壓與頻率，減少停電事故至最低程度，以提升系統供電品質。

智慧電網推動期間，將以減少全國停電時間、降低線路損失、改善供電瓶頸、變電所智慧化、配電自動化、智慧電表基礎建設、降低 CO₂ 排放、提升再生能源併接容量及發展智慧電網產業計 9 項預期效益指標，分階段衡量目標之達成。

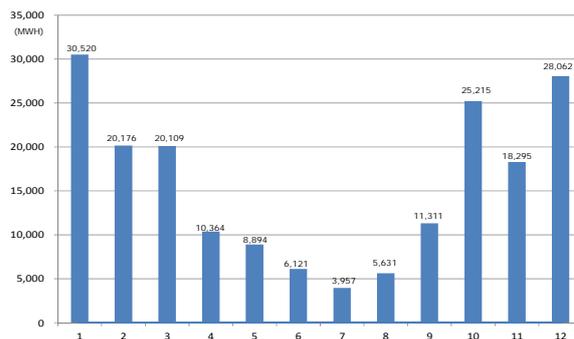
捌、友善環境推動再生能源併網

未來再生能源配置將於電網規劃中，有其舉足輕重地位，電網規劃將朝向再生能源極大化，擴大併網能力趨勢發展。

一、風力發電對於系統之調節能力

台灣地區之風況主要受季風影響，以民國 100 年每月彰工風場發電量統計如圖 17 所示，因台灣西海岸地區夏季之風速較弱，風機之發電量較低，其中 6~9 月共 4 個月之發電量僅占全年總發電量之 14.3%，而冬季則因盛行東北季風，風機之發電量較高，10 月至隔年 1 月發電量總和占全年總發電量之 54.1%。因此，風力發電具有反調峰特性，即夏季系統負載高，但風力發電量低；冬季系統負載低，但風力發電量高。

台灣風力發電占比目前最大瞬時占比約為 3%(澎湖地區約 30%)，即使至 2030 年亦僅約 15.5%，而能量占比更僅約 4.1%，考量台電系統大部份機組具調頻功能，且尚有大觀、明潭抽蓄電廠(10 部機，裝置容量 2,60.2 萬瓩)可作系統調頻及儲能功能，因此，依目前我國風力發展尚在起步階段，短期內系統尚可藉由傳統基載機組因應，以維持系統運轉穩定。



註 1. 11 月部份風機故障，故發電量較低。

註 2. 資料來源：調度處統計資料。

圖 17 民國 100 年彰工風場發電統計

二、區域電網輸電能力

調查結果顯示，台灣風力資源大都集中於西部沿海區域，由於該地區大多為人口較少之鄉鎮，因此電力需求較少，相對電力建設亦較少，屬於系統強度較弱區域。當未來離岸風場或同一區域集中許多風力發電併入區域電網同一併接點，可能造成電力設備過載或輸電線路壅塞，可能導致輸電能力(線路或主變容量)不足，或故障電流過大，造成斷路器容量不足等問題。

若因再生能源加入導致系統需改善電力網，以維持系統運轉安全，依據再生能源發展條例第八條規定，其加強電力網之成本由電業及再生能源發電設備設置者均攤。在此方面，亦可於規劃上考量採不同併接點，分散對系統之衝擊，或參考國外作法，考量風力發電為不穩定電源，當系統發生單一偶發事故時，採特殊保護系統跳脫風力機組，以維持電力網安全穩定運轉，不需額外再規劃電網改善工程，此作法可兼顧電網安全，亦可減少電網投資支出，提高併網可行性及減少併網時程。

三、風力發電預測與調度

風力發電出力的變化意味系統熱機備轉容量更不容易確定，而風力預測是系統運轉的基本工具之一，建立準確的風能預測可提升電力調度的精確度和增加電力系統容納風電的能力，有利於減少所需的備轉容量，及減輕風力發電發展的

成本。另一方面，為了產生可靠的預測值，需要取得再生能源即時數據，使預測系統區分發電和負載需求，以避免預測誤差。

依能源局公佈之風力發電離岸系統示範獎勵辦法，示範風場規模為 10 萬瓩~20 萬瓩 之間，因應未來離岸風力發電陸續併入系統，對系統之衝擊日益增大，未來大型風場加入系統時，應考慮具備即時預測機制，取得即時資訊，以有效掌握不可控制電源之出力，並接受系統調度。

四、風機併網規範要求

目前台灣之風力發電皆屬陸域風場，風場規模較小，大多為 4 萬瓩以下，且引接點較分散，佔系統容量比例很小，目前對系統運轉穩定之影響尚不顯著；惟未來離岸風力併入系統後，因風場規模大，尤其彰化沿海開發潛能大，採分期開發，極可能引接於相同併接點或同一供電轄區，故對系統之衝擊較大。配合未來離岸風力發電併入系統，須思考適度修訂現行之再生能源併聯技術要點，對於風場之有效功率控制、出力變動率限制，風力預測與調度等作進一步規範。另風力業者配合事項，例如，提供風機模型參數、裝設有效功率控制系統、配合提供再生能源即時資訊等，亦應納入法規面，俾利業者遵循。

五、台電公司對增進綠電併網所做之努力

- (一) 為推廣再生能源發展，達到經濟部設定目標，於民國 102 年 4 月修訂台電公司輸電系統規劃準則，可降低再生能源併網投資成本及增加併網容量。例如福海風力發電股份有限公司籌備處開發案，將可減少併網投資成本。另麗威風力公司籌備處桃園縣設置離岸風力發電計畫案，將以設置特殊保護系統之因應措施，增加併網容量。
- (二) 提供電力系統資訊服務案，協助業者評估開發案可行性。
- (三) 協助業者進行系統衝擊檢討，並提出建議併網方案。

六、研擬友善綠電併網工程費計費方式

台電公司已研訂「第三型再生能源發電設備屬屋頂型太陽光電發電設備固定併網容量計費方式」與「加強電力網按個案裝置容量及線路引接方式與距離均化分攤計費方式」。加強電力網之工程由台電公司先行建置興建，並先負擔全額工程費用，該地區再生能源發電設備設置者再按裝置容量分攤其費用。以上兩方案已報部核定後實施，實施後可望降低業者投資成本，增加業者投資興建之意願。

玖、電網新任務

未來分散式小型電源逐漸蓬勃發展，而傳統電廠廠址也因取得不易，機組需就地更新擴大，故電源有著極小分散式及極大集中式的雙重極端不同特性情形出現。

故未來電網規劃為讓電源滲透率提高，可讓分散式電源及傳統大型電源兩種容量併網容納能力提升。對於未來再生能源電網規劃策略，台電公司提出五大策略如策略電網併網檢討及資訊公開、因應再生能源增加研擬備轉容量因應機制、修訂併聯技術規範、因應再生能源增加修訂安全運轉與調度機制及建立風力與太陽光電發電預測系統並修訂併聯技術要點，以期創造友善綠能環境及確保穩定安全供電。

另提升友善環境方面，針對負載需求以 Top-Down 彈性規劃—全面性整合規劃，以「同心圓」供電能力檢討，以負載需求為圓心，向外擴展檢討鄰近供電區供電可行性。以轉供能力、擴建變電設備取代新建，克服新建變電所受阻。新電源電源線規劃在不影響供電可靠度情況下，將採客製化、彈性多元規劃方式，力求工程能如期完成發揮其功效。

而面對未來電業自由化，建立電力代輸平台，研擬電力代輸相關費用如網路管理成本、輸配電進出費、輔助服務、壅塞成本、線路損失、套牢成本等及試辦電力代輸機制，以期公司提早因應自由化之任務。

拾、結論

台電公司在經營環境變動的情境下，電網規劃相關工程將順勢調整作法，期在滿足用電需求兼顧供電安全原則下，利用電網規劃新作法，精進投資策略與降低成本，以提升輸電效能。

受到電源開發的不確定性及電網建設阻力仍大等因素影響，未來電網規劃到電網投資之路仍然艱辛，充滿挑戰，因此電網規劃的人才培育與知識管理需要繼續扎根。

電網規劃利用策略與作法的創新，期在有限預算的投資工程中來達到最大效益。獲得如法規鬆綁、計畫編擬、制度改良、電力規劃、併網作業及廠網分工等相關良好成效，邁向電網新時代。

面臨核能屆齡除役之壓力，若核能無法延役情況下之長期電源開發方案，113 年將嚴重缺電 323 萬瓩，北部恐有缺電危機，因此仍需藉由 345

千伏主幹線輸送中部電力支援北部負載。在自主能源短缺下，為降低能源進口，打造綠能環境，發展再生能源電網及進行相關議題探討，亦是規劃優化電網新任務，以期推動再生能源友善環境及維持供電穩定雙贏策略。

拾壹、參考文獻

- [1] 台灣電力公司，「第七輸變電計畫修正計畫」，2014 年 1 月。
- [2] 台灣電力公司，「台灣電力公司輸電系統規劃準則」，2015 年 8 月。
- [3] 台灣電力公司，「10405 長期電源開發方案」，2015 年 10 月。
- [4] 台灣電力公司，民國 104 年系統規劃處報告「配合長期電源開發方案之中北幹線送電能力檢討」，2015 年 10 月。
- [5] 經濟部能源局，「智慧電網總體規劃方案(核定本)」，2012 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



輸變電工程過去十年技術精進介紹

Introduction to Technical Sophistication in Power Transmission and Substation Projects over the Past Decade

顏德忠*
Yen, Te-Chung

摘要

本文係概述過去 10 年台灣電力公司輸變電工程之精進作為，如引進新技術、創新工法、採用世界先進器材及參考國外經驗等，以強化本公司供電可靠度及運維安全性，且規劃未來的研發與展望。

Abstract

This article presents an overview of technical sophistication in the power transmission and substation projects of Taiwan Power Company over the past decade, such as introduction of new technologies, innovative engineering methods, advanced equipment/material utilized in other countries and references to foreign experiences. By way of those measures, we aim to strengthen the reliability of power supply and safety of operation and maintenance. In addition, the prospect and planning for research and development are also depicted herein.

關鍵詞(Key Words)：防蟻電纜(Termite Proof Cable)、新型耐熱複合心鋁線(TACCSR)、靜態虛功補償器(SVC)、靜態閘控同步補償器(STATCOM)。

壹、前言

台灣自光復後，變電所的發展概分為四個階段：最早的屋外式開關場、早期屋內式、外觀造型融入地方環境的新屋內式、多目標使用暨地下型等。本公司成立以來，隨著社會經濟發展建置遍及台灣各地的輸電網路，是以變電所或地處偏僻荒陬，或大隱於市，截至 104 年底完成各級變電所共 607 所。

變電所土建工程自 1990 年代工程繪圖由手工轉為電腦製圖，近年來，建築資訊模型(Building Information Modeling, BIM)的新浪潮興起，本處目前導入 BIM 變電所工程計有「福和 D/S 暨綜

合大樓」及「板橋 P/S 改建專案計畫工程」，該模型可先期檢核，解決大部份之介面衝突，在施工過程中，亦可減少大大小小的設計變更。

輸電線路興建日趨嚴峻之情況，架空輸電線路採用鐵塔全建工法改建鐵塔及利用既有架空線路換架新型耐熱複合心鋁線(TACCSR)，在不新增鐵塔條件下，可提升輸電容量，並確保供電品質及可靠度；因現今許多道路下管線密布，地下輸電線路管路施工採「免開挖」工法如推管、潛盾等已為時勢所趨。

總之，輸變電工程因其民生必要性，逐漸對都會中各類型土地開發建設與都市整體景觀產生舉足輕重的影響。技術精進及創新工法是世界潮流與趨勢，台電必不能置身事外，反而要迎向

*台灣電力公司輸供電事業部輸變電工程處

浪潮，踏穩浪板立於浪頭之上，方能看見遠方美景。

貳、技術變革

一、架空輸電線路

(一) 開發「3D 分析圖台」

「3D 分析圖台」之開發，係利用空載光達航蒐之數值地貌及數值地形等點雲資料及空拍高解析度航空正射影像外，另行載入地籍圖、礦區範圍、地質潛勢區等圖資，自成一套全新客製化軟體，作為線路設計人員於架空線路設計中分析其最佳路徑，且快速取得剖面線進行縱斷分析之工具。因設計人員可藉由該圖台選定塔位後，電腦自動模擬各塔間之線下地形，並匯出縱斷面圖及塔基圖，供設計人員判斷地形是否適合設置鐵塔及檢討線下高度是否符合設計標準。如檢討發現不符設計原則或標準，再重新擇定塔位進行模擬，即可迅速完成塔位之初步擇定，大大地提升工作效率，並節省可觀之人力、物力。

(二) 鐵塔全包建工法

中火~彰濱 345kV 線路鐵塔因天候環境及鹽霧害等影響，造成鐵塔鋼材腐蝕嚴重而須加以改建汰換，原地改建鐵塔因須維持彰濱工業區電源供應而無法兩回線同時停電，亦因鐵塔或位於彰濱海岸線潮間帶無腹地設置臨時塔，或位於魚塢、大肚溪河口，其魚塢業主及烏溪河口地權主管機關不同意等因素而無法裝設臨時塔，故採兩回線輪流停電全包建工法改建鐵塔。

本工程為中火-彰濱 345kV 線#5(B5 型)、#6(B5 型)鐵塔全包建更換工程，採全外包建塔工法(含塔身、繼塔及塔腳整塔構件)建構完成後，原既設鐵塔拆除，外包建塔即替代為永久塔使用。

本工程地點均位於烏溪(出海口)行水區中，採搭設臨時施工構台、棧橋方式施工，考量環境保護及私地協商困難等因素無法另設他處臨時線路方式更換施工，施工時程配合可停電時程，通常在每年 2 月~4 月間進行施工，本工程全包建施工作業程序採 3 次停電，其裝建順序分為下列 12 個步驟，如圖 1 所示。

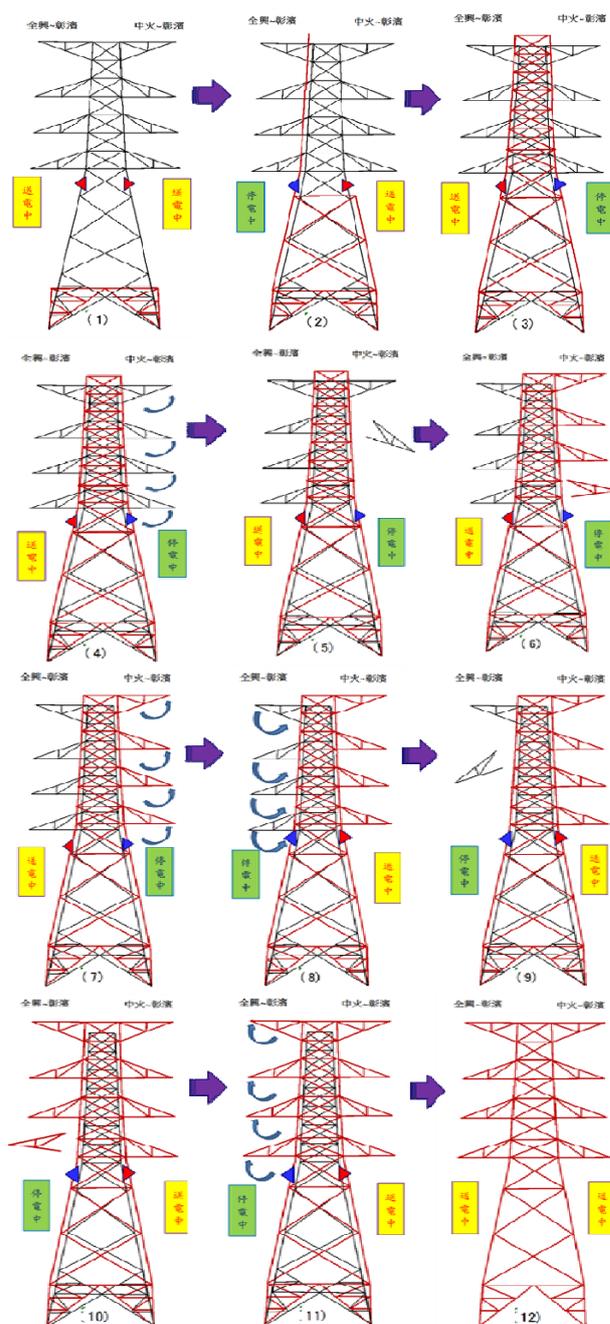


圖 1 施工作業程序圖

(三) 特殊基礎型式之電腦程式開發

新開發共構鐵塔如 BEP、DCEP、ECEP 及 XCEP 等 345/161kV 系列鐵塔、345kV 雙分歧鐵塔(T1C5 型)，或塔腳距離較大鐵塔如 DH 及 X5 等 345kV 系列鐵塔，因基礎承受負載太大及大梁懸臂太長等因素，現有的輸電線路單筒沉箱基礎及單基樁基礎已無法搭配使用，故開發輸電線路「雙筒沉箱」、「雙筒基樁」及「四筒沉箱」等基礎型式之電腦程式來輔助設計，並繪製標準圖面及製作基礎尺寸、數量及鋼筋數量之表單格式，以便能達到快速及統一設計標準之需求。

(四) 引進彈簧式鬆緊調整器

線路工程常遭受抗爭，往往需要以創新思維突破，如龍潭~竹園 345kV 線#11 鐵塔~#11A 連接站區段因地形及用地取得困難等因素，#11A 連接站須另開發特高 JE(TB=65m)型連接站鐵塔克服，惟考量該型鐵塔引下線較以往 345kV 最高標準塔 JE(TB=34m)型連接站鐵塔高約 2 倍(高度近 100 公尺)，且當前極端氣候比以前更明顯，故參考日本先進國家使用彈簧式鬆緊調整器多年之歷史經驗，本處特制訂「彈簧式鬆緊調整器規範」及設計手冊，以便使用於#11A 塔，可有效降低颱風狀況引下線張力，防止礙子連、電線、鐵塔構件等設備損傷，並因設有負載刻度，可供引下線拉設正確之拉力，以確保載體安全荷重。

(五) 新型耐熱複合心鋁線(TACCSR)

新建輸電線路面臨極大困難，如何確保輸電電網之供電可靠，滿足民眾及客戶需求，係當務之急。於是利用既有架空線路，在不需更新鐵塔支持物及確保不減少導線線下距離情況，以換架特別耐熱鋼心鋁絞線(XTACIR)或超耐熱鋼心鋁絞線(ZTACIR)等特殊導線之方式來提昇送電容量，為進一步提昇架空線路送電容量，

於是檢討引進先進之耐熱複合心鋁線 TACCSR(包括 ACCC 及 ACCR)其導線構造及主要特性如下說明：

1. 碳纖維複合心鋁線 ACCC 之構造特性：

係由高強度碳纖維複合心棒及外層之低強度軟鋁素線共同絞合而成，特性說明如下：

(1) 碳纖維複合心棒：

碳纖維複合心棒之外觀構造如圖 2 所示，心棒分為二層，內層包括高強度碳纖維及耐高溫樹脂 2 種材料組成，外層由玻璃纖維及樹脂組成，經加熱至約攝氏 200 度高溫固化成單根之心棒，其具有高強度、重量輕、極低之溫度膨脹係數等優點，本身並不具導電功能。

碳纖維心棒須靠外層之玻璃纖維及樹脂形成之保護層，以避免與外層鋁絞線發生電位腐蝕現象。



圖 2 碳纖維複合心棒之外觀構造圖

(2) 軟鋁素線：

為純鋁線經完全退火處理所製成，其導電率可高達 63%，但具有低強度及易磨損等特性，碳纖維複合心鋁線 ACCC 之外觀構造如圖 3 所示。

2. 陶瓷纖維鋁基複合心鋁線 ACCR 之構造特性：

係由陶瓷纖維鋁基複合心素線及外層之鋁合金素線共同絞合而成，素線特性說明如下：

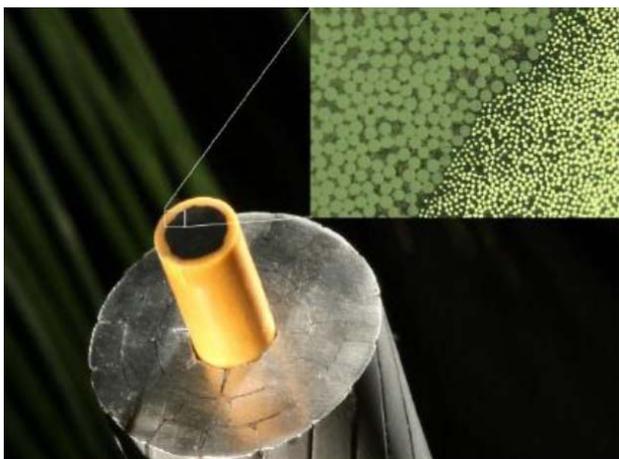


圖 3 碳纖維複合心鋁線 ACCC 之外觀構造圖

(1) 陶瓷纖維鋁基複合心素線：

素線係由陶瓷纖維鋁基纖維與純鋁燒結而成，具有高強度、低溫度膨脹係數等優點，心絞線與外層之鋁合金絞線同為鋁基材質，故彼此之間無電位差，不會形成電位腐蝕現象。心絞線導電率達 24%，有助於提升整體導線之送電電流，陶瓷纖維鋁基複合心素線之外觀構造如圖 4 所示。

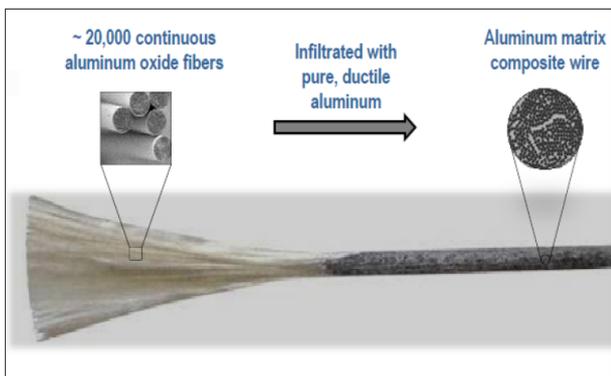


圖 4 陶瓷纖維鋁基複合心素線之外觀構造圖

(2) 鋁合金素線：

在鋁元素中加入鋇元素製成鋁合金線，可大幅提高耐熱性能，但導電率則略降為 60%。

3. 各型導線之特性構造比較：

(1) 耐熱複合心鋁導線與各型導線之特性構造差異比較如表 1 所示。

表 1 各型導線之特性構造差異比較

	鋼心鋁線 (ACSR)	耐熱鋼心鋁線 (TACSR)	超耐熱鋼心鋁線 (ZTACIR)	特別耐熱鋼心鋁線 (XTACIR)	陶瓷纖維心鋁線 (ACCR)	碳纖維心鋁線 (ACCC)
鋁素線	HAL	TAL	ZAL	XAL	ZAL	1350-O _(TM)
導電率	61%	60%	60%	58%	60%	63%
心線	鍍鋅(或鋁包)鋼線		鋁包 Invar 鋼線		陶瓷纖維	碳纖維
正常運轉溫度, °C	80	150	210	230	210	180
緊急運轉溫度, °C	105	180	240	290	240	200
構造						

(2) 耐熱複合心鋁導線與各型導線之素線機械特性差異比較如表 2 所示。

表 2 各型導線之素線機械特性差異比較

項目	鋼線/Invar 鋼線/陶瓷心/碳纖維心			HAL/ZTAL/1350-O		
	抗拉強度 (kgf/mm ²)	彈性係數 (kgf/mm ²)	線膨脹係數 (X10 ⁻⁶ /°C)	抗拉強度 (kgf/mm ²)	彈性係數 (kgf/mm ²)	線膨脹係數 (X10 ⁻⁶ /°C)
ACSR	125~135	20,400	11.5	16.2~17.9	7,030	23.0
TACSR	125~135	21,000	11.5	16.2~17.9	6,300	23.0
ZTACIR	105~110	15,500	3.7(230°C 以下) 10.8(230°C 以上)	16.2~17.9	6,300	23.0
XTACIR	95~105	15,500	3.7(230°C 以下) 10.8(230°C 以上)	16.2~17.9	6,300	23.0
ACCR	140 (1380MPa)	21,410 (210GPa)	6.3	15.8~16.8	4,950 (7040Ksi)	23.0
ACCC	220 (313Ksi)	11,470 (16.3Msi)	1.61	6.0 (8.5Ksi)	5,710 (8122Ksi)	23.0

4. 耐熱複合心鋁線之設計：

在相同的設計條件，耐熱複合心鋁線與傳統之 ACSR 導線相較，具有高送電容量及不增加弛度的優良特性，如何來檢討評估耐熱複合心鋁線性能及選擇適當的搭配線種尺寸，用以換架既設鋼心鋁絞線 ACSR 導線，達到使用既有支持物及不減低原來線下安全距離的情形下，儘量提高送電容量的目的，相關檢討事項說明如下：

(1) 送電容量：

架空輸電線路導線載流量計算依「IEEE 738 Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of bare Overhead Conductors」提供高溫時之空氣密度 ρ (lb/ft³)、空氣黏度 μ (lb/hr-ft) 及空氣導熱係數 k (watts/ft²) 等資料辦理。

(2) 弛度特性：

ACCC 利用 CTC 公司開發 Excel-Marten 程式，依台電公司架空輸電線路的設計條件，提供導線弛度與張力(Sag-Tension)特性之計算功能。

ACCR 採用商用軟體 PLS-CADD 進行導線弛度與張力(Sag-Tension)特性之計算，惟須修改相關參數輸入要求，以符合台電公司架空輸電線路的設計條件。

(3) 弛度張力(Sag-Tension)計算：

A. 台電公司架空輸電線路設計條件分為下列二種：

- (A) 基準風速：40 m/sec、50 m/sec。
- (B) 基準速度壓：200 kg/m²、230 kg/m²，另須考慮高度遞增因數及徑間係數。

B. 各型導線彈性係數之應用：

(A) ACSR：導線運轉溫度在遷移點(Knee Point)溫度以下，彈性係數採線性定值，弛度與張力特性之計算過程較為簡單。

(B) ZTACIR：導線運轉溫度在遷移點溫度以上，彈性係數為分段線性值，弛度與張力特性採用拋物線近似函數計算。

(C) TACCSR：導線運轉溫度在遷移點溫度以上，彈性係數分為心線及鋁線多項式數值，弛度與張力特性採用雙曲線函數計算。

(4) 計算應用：

A. 遷移點溫度與張力及跨距有關，非一定值。須先求出遷移點溫度。

B. 運轉溫度於遷移點溫度以下時，特性與一般 ACSR 導線相同。

C. 運轉溫度於遷移點溫度以上時，則導線之彈性係數與線膨脹係數以心線(Invar、碳纖維、陶瓷纖維)之彈性

係數與線膨脹係數取代。

5. 耐熱複合心鋁線之選用規劃：

(1) 線種之規格及性能，如表 3 所示。

表 3 線種之規格及性能

特性 值 線號	線徑 (Max) (mm)	單位重量 (Max) (kg/m)	破壞強度 (Min) (kgf)	正常運 轉電流 (Min) (Amp.)	正常運轉溫度 之導線弛度 (Max),(m) 跨距 300m 時	20℃時直 流電阻值 (Max), (ohm/km)
TACCSR 477Hawk	21.80	0.98	8,810	1,195	8.30	0.115
TACCSR 636Rook	24.82	1.22	10,250	1,395	8.40	0.095
TACCSR 795Tern	27.10	1.38	10,385	1,600	8.90	0.075
TACCSR 795Drake	28.20	1.63	14,150	1,650	9.30	0.075

(2) 換線線種搭配：

A. 345kV 導線規劃以耐熱複合心鋁導線 TACCSR 795Drake(包括 ACCC 及 ACCR)替換 ACSR 795MCM(26/7) ACSR，相關導線規格比較如表 4 所示。

表 4 替換 ACSR 795MCM(26/7)之導線規格比較

線種	原導線	高容量低弛度導線		
	ACSR 795MCM (26/7)	ZTACIR 340mm ² (30/7)	ACCC 1035MCM (524mm ²)	ACCR T23 715MCM (362mm ²)
線徑(mm)	28.143	26.6	28.143	27.94
單位重量(kg/m)	1.628	1.509	1.583	1.335
破壞強度(kgf)	14,152	12,910	18,690	14,288
正常運轉最高 電流(A/條)	913	1,151 (▲1.66 倍)	1,764 (▲1.93 倍)	1,651 (▲1.81 倍)
弛度(m) (跨距 300m)	9.20	9.04	8.08	9.0

B. 161kV 線若規劃以 TACCSR 795Tern(包括 ACCC 及 ACCR)替換 ACSR 795MCM(45/7)ACSR，相關導線規格比較如表 5 所示。

表 5 替換 ACSR 795MCM(45/7)之導線規格比較

線種	原導線	高容量低弛度導線		
	ACSR 795MCM (45/7)	ZTACIR 310mm ² (30/7)	ACCC 893MCM (453mm ²)	ACCR T17 763MCM (387mm ²)
線徑(mm)	27.0	25.62	26.40	25.15
單位重量(kg/m)	1.333	1.450	1.368	1.295
破壞強度(kgf)	10,387	11,980	15,876	14,152
正常運轉最高 電流(A/條)	896	1,445 (▲1.61 倍)	1,609 (▲1.80 倍)	1,604 (▲1.79 倍)
弛度(m) (跨距 300m)	8.69	8.68	8.291	9.201

C.161kV 線若規劃以 TACCSR 636 Rook(包括 ACCC 及 ACCR)替換 ACSR 636MCM(24/7)ACSR, 相關導線規格比較如表 6 所示。

表 6 替換 ACSR 636MCM(24/7)之導線規格比較

線種	原導線	高容量低弛度導線		
	ACSR 636MCM (24/7)	ZTACIR 210mm ² (24/7)	ACCC 725MCM (Ø67mm ²)	ACCR T23 557MCM (Ø82mm ²)
線徑(mm)	24.816	19.32	23.55	24.638
單位重量(kg/m)	1.219	0.9796	1.102	1.0373
破壞強度(kgf)	10,251	8,830	12,480	12,836
正常運轉最高電流(A/條)	788	1,070 (▲1.35 倍)	1,398 (▲1.77 倍)	1,397 (▲1.77 倍)
弛度(m) (跨距 300m)	8.19	7.13	7.384	8.256

D.161kV 線規劃以 TACCSR 477Hawk (包括 ACCC 及 ACCR)替換 ACSR 477MCM(26/7)ACSR, 相關導線規格比較如表 7 所示。

表 7 替換 ACSR 477MCM(24/7)之導線規格比較

線種	原導線	高容量低弛度導線		
	ACSR 477MCM (24/7)	ZTACIR 210mm ² (24/7)	ACCC 623MCM (Ø16mm ²)	ACCR T22 474MCM-TW (240mm ²)
線徑(mm)	21.8	19.32	21.79	20.60
單位重量(kg/m)	0.977	0.9796	0.948	0.844
破壞強度(kgf)	8,813	8,830	10,543	10,296
正常運轉最高電流(A/條)	664	1,070 (▲1.61 倍)	1,265 (▲1.91 倍)	1,199 (▲1.81 倍)
弛度(m) (跨距 300m)	8.24	8.20	7.434	8.144

E.69kV 導線若規劃以 TACCSR 795 Drake(包括 ACCC 及 ACCR)替換 ACSR 954MCM(45/7)ACSR, 相關導線規格比較如表 8 所示。

表 8 替換 ACSR 954MCM(45/7)之導線規格比較

線種	原導線	高容量低弛度導線		
	ACSR 954MCM (45/7)	ZTACIR 340mm ² (30/7)	ACCC 1025MCM (Ø25mm ²)	ACCR T23 715MCM (Ø62mm ²)
線徑(mm)	29.691	26.6	28.143	27.94
單位重量(kg/m)	1.6	0.509	1.583	1.335
破壞強度(kgf)	12,202	12,910	18,690	14,288
正常運轉最高電流(A/條)	1,001	1,515 (▲1.51 倍)	1,764 (▲1.76 倍)	1,651 (▲1.65 倍)
弛度(m) (跨距 300m)	10.24	9.99	8.26	9.66

二、地下輸電線路

(一) 電纜管路工程

早期因道路下管線較為單純且交通流量小, 管路工程明挖施工尚被接受, 現今許多道路下管線密布, 且交通流量亦逐年增加, 故管路施工採「免開挖(非明挖)」工法如推管、潛盾等已為時勢所趨。然「免開挖」工法雖大多於地底下施工, 但仍須於兩端開設「工作井」以利施工。茲將 RC 推管內之配管「單元輪進工法」、工作井之「壓入沉箱工法」介紹於後; 另為求供電期程之配合需求而發展之快速潛盾工法及快速接頭亦一併介紹。

1. 單元輪進工法:

一般 RCP 推管工作完成後, 人員須於推管內狹小空間進行後續 PVC 管組配作業, 因作業環境空間狹小, 人員於推管內組配 PVC 管不易, 組配完成後檢驗人員亦無法進入推管內檢視接合是否平順, 而容易成為檢驗死角。為避免狹小空間內作業問題, 參酌國外案例採「單元輪進工法」, 規劃於推管外即進行配管作業, 再以軌道輸送方式將每單元管路輸送進入推管內, 完成推管內之管路組配, 以改善推管內作業空間狹小而不易施工及檢驗之問題。

2. 壓入沉箱工法:

沉箱基礎在力學性質與結構品質方面, 都比其他於地面下施工之基礎結構物擁有更佳之使用性及耐震性, 惟傳統沉箱工法施工時需要超挖, 施工時常造成地面沉陷, 故不適宜在都會區作為工作井施作方式, 使用上受到極大的限制。壓入沉箱工法係利用地錨提供反力, 將沉箱貫入一定深度後才進行開挖, 對於防止地面沉陷之效果極佳, 大幅改善傳統沉箱之缺點。

由於壓入沉箱工法主要是由地錨提供將沉箱下壓之反力，並藉由竹節鋼棒、千斤頂及鋼壓梁傳遞，故施工前應確實檢核相關強度並適當增加安全係數，以確保當實際總壓入力大於計算值時，仍可順利施工。

壓入沉箱於國外已發展多年，國內亦有多個成功案例，惟大多為國外廠商施作或技術指導，故工程費用較高；目前已有國內廠商自行開發壓入系統且順利施工完成之案例，待使用普及後，工程費用應可大幅降低。

3. 快速潛盾工法：

一般潛盾施工，主要須確保潛盾施工過程所遭遇地層能保持穩定，因此，於開挖、出渣、掘進時，開挖面須保持平衡狀況，施工工率平均約為 180m/月，快速潛盾之施工工率可達 500m/月以上，為使工率提高後之流程順暢，必須要有完整之施工規劃、設備及快速組裝之配套措施。

快速潛盾施工方式之演進，由維持原作業程序之強化及提升相關潛盾附屬設備等方式開始，逐漸發展成精進改良作業程序之同步施工技術，包括環片之接合型式(快速接頭)、地中接合、可切削式 FRP 破鏡工法、土渣採管路泵送、環片自動搬運機等，以加快工程之工進。

由於快速潛盾洞道施工所採用之機具設備成本高，因此洞道直線段原則上其長度應在 1200m 以上，較能符合經濟效益。

4. 環片快速接頭：

目前國內潛盾工程環片之接合螺栓，於預鑄混凝土環片大多採用弧型螺栓、鋼環片大多採用直螺栓。

快速潛盾之預鑄混凝土環片，片間使用楔銷機械式快速接頭、環間使用插

榫式快速接頭結合，組合時相鄰環節左右交互，形成環片交錯配置以增加隧道剛度，並避免接合面共線形成弱點。

快速接頭施工均以環片組裝機將環片朝隧道軸方向插入，再利用環片組裝機及潛盾機千斤頂壓入即可組裝，而不需像以往使用弧形螺栓時需花費時間固鎖環片，故可進行快速施工；另因組裝容許誤差值較低，所需環片製作精度及工藝水準較高；目前國內無快速接頭製造廠商，需由國外進口，再由國內預鑄環片廠於製造時預埋接頭。

快速潛盾所使用環片之製作與檢驗與傳統環片並無太大差異，值得注意的係環片製作之精度需比傳統環片高，另需增加螺栓接合抗彎試驗，以確保螺栓接合強度。

(二) 交連 PE 電纜

1. 69kV 交連 PE 防蟻電纜：

本公司運轉中地下電纜線路，因地下電纜佈設於電纜管路內，當受到白蟻啃蝕時，平時不易察覺，一旦發現異常已損害嚴重，所造成停電之損失通常難以估計。另儲放於倉庫之電纜成品，因氣候多雨潮濕，其保護封板受潮後更成為白蟻喜愛的食物，並於電纜卷軸內築巢，電纜亦間接遭受白蟻啃蝕。為防範蟻害須投入相當可觀之人力及維護費用。由文獻資料顯示，白蟻在覓食及活動過程中，蟻酸確實可溶解包括白銀在內的金屬和水泥等，且以往也發生過許多鉛被套電纜遭蟻害破壞之案例，另外對於電纜構造中有積層金屬(鋁或鉛)帶、金屬被套結構者，則常因啃食後與周圍潮濕環境形成電蝕效應，導致被覆層加速惡化及電纜破壞。

(1) 防蟻電纜研發動機：

依據維護單位統計資料顯示，電

纜線路遭受蟻害地區以台灣中部以北及東部最為嚴重，其中科技重鎮-新竹科園區蟻害時有所聞，本公司每年編列預算為防止蟻害，於特定區域實施滅蟻劑噴灑工作及定期配電設備巡檢，但所噴灑之藥劑會對環境造成衝擊，目前許多國家已禁止使用藥劑，輸變電工程處接獲維護單位回饋要求研發具備防白蟻之電纜，故積極結合國內研發能力電纜製造廠進行防蟻電纜資料蒐集、研發試製、材料測試及進行相關研究與試驗，並預備參照相關研究結果制定規範，此規範擬具有長效性及兼顧環境生態保護之防白蟻地下電纜之各種測試及驗證程序，可稱之為環保型交連 PE 防蟻電纜。

環保型交連 PE 防蟻地下電纜，主要用來解決「藥物型」防蟻電纜存在時效性缺陷與有效性驗證之問題。防蟻被覆層不含任何有毒的添加劑、加工過程不會產生有毒成份、其化學成份不損害人體健康、運轉使用過程不會分解或水解任何有害物質而導致水源或環境污染，以及其物理特性能須符合 IEC 60840 ST7 電纜被覆規定，不影響交連 PE 電纜的各項性能，且具有防蝕性，能抵抗地下環境之化學腐蝕及白蟻分泌之蟻酸。物理特性上具有硬度高、耐磨擦、押出後表面光滑及材料具有可撓性，不影響交連 PE 電纜原有施工彎曲半徑。

(2) 防蟻電纜之開發：

開發過程針對各種被覆材料進行研究及組合，以提供適當材料組合作為防蟻被覆材料，所採用試製之材料包括 PVC、Nylon 12、LDPE、MDPE、HDPE、聚烯烴共聚物 (Polyolefin Copolymer) 等。前述各種材料除了防蟻

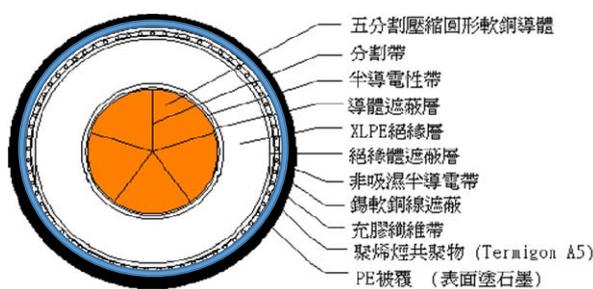
被覆材料特性且須符合國際規範，同時考慮被覆材料押出條件與穩定性及防蟻層與被覆層密著性。其硬度至少達 Shore D 55 以上，彎曲半徑須符合要求，材料表面要具備光滑、耐磨擦、不易吸溼及耐蟻酸等特性。

台灣最普遍使用之電纜被覆為 PVC 被覆，但國內 PVC 被覆之電纜遭受蟻害卻屢見不鮮，最主要原因為 PVC 材料本身硬度低，且材料本身易因環境潮濕而降低硬度。當 PVC 材料修正配方使呈半硬質 PVC 時，雖提升材料硬度，但電纜彎曲困難同時易產生皺折發生龜裂，導致無法被接受與使用。早期環保型防蟻電纜被覆材料朝提高密度方向研究，因效果有限，改朝提高硬度方向開發。由實驗結果發現：當被覆硬度低於 Shore D 50，則蝕孔深度通常大於 0.4mm；當被覆硬度介於 Shore D 50 到 60 之間，則蝕孔深度大約分佈於 0.2mm 附近；當被覆硬度高於 Shore D 70，則白蟻很難啃蝕電纜被覆。試驗時發現白蟻數量高達 500 隻以上啃蝕效果才會顯著。依據日本古河研究報告結果，以 Nylon 作為電纜被覆可有效防止白蟻啃蝕，因硬度提高，原最小彎曲半徑為 10 倍電纜完成外徑須變更為 12 倍。依據澳洲研究報告結果，以 Nylon 12 作為電纜被覆可有效防止白蟻啃蝕，但電纜被覆厚度至少須 0.25mm~0.3mm 才能通過彎曲試驗而不會產生皺紋，且電纜卷軸直徑至少須達電纜外徑 30 倍以上，被覆才不會產生皺紋。

蟻酸對於水泥、金屬及塑化被覆材料具有侵蝕能力，故於防蟻電纜之被覆材料選擇上，除了應具有相當之

硬度外，尚須考量蟻酸對被覆材料之侵蝕能力、電纜表面光滑度、蝕孔之電蝕效應、物理及電氣特性要求。由實驗發現，防蟻層與被覆層之密著性也會嚴重影響耐啃蝕能力，當防蟻層與被覆層無法密著時，因為彎曲造成被覆皺紋而使防白蟻啃蝕效果降低，故防蟻電纜須進行白蟻啃蝕試驗，將白蟻之棲息空間與環境、樣品對白蟻活動區域之阻撓、測試樣品會遭受白蟻有效啃蝕等因素一併納入評估。

歷經多種材料組合實驗，最後選定之材料組合為 MDPE(或 HDPE)及聚烯烴共聚物，其硬度適中，表面光滑，耐磨擦，可作為防蟻被覆，且 MDPE(或 HDPE)與聚烯烴共聚物材料分子間可相互鍵結形成一體，組成具有良好耐白蟻啃蝕能力之防蟻電纜，防蟻層和 MDPE 被覆層電纜成品如圖 5 所示。



被覆層由聚烯烴共聚物和 MDPE 組成

圖 5 防蟻電纜剖面圖

(3) 防蟻電纜特性驗證：

為驗證最後選定之材料組合 MDPE(或 HDPE)及聚烯烴共聚物，可組合具有良好耐白蟻啃蝕能力之防蟻電纜，特別檢送具有聚烯烴共聚物防蟻層之半成品(不含 PE 被覆層)及含有防蟻層和 MDPE 被覆層電纜成品試樣進行防啃蝕試驗。

試驗方式參照 GB2951.38-86 (電

線電纜白蟻試驗方法-實驗群體法) 進行試驗，試驗時將含有防蟻層之半成品(不含 PE 被覆層)及含有防蟻層和 PE 被覆層之成品兩種電纜，各取 3 段試樣長約 10 公分(實際長度請洽試驗機構)之試樣，試樣兩端頭採用環氧樹脂封閉，置於試驗缸進行測試，時間至少三個月。

實驗群體法來評估白蟻啃蝕狀態，啃蝕狀態分成 4 等級，等級 1：試樣表面均未見白蟻蛀蝕齒痕；等級 2：試樣表面被白蟻蛀蝕面積較小，深度小於護層厚度的 1/3；等級 3：試樣表面被白蟻蛀蝕較廣，某處蛀蝕深度等於或大於 1/3；等級 4：試樣表面護層已被蛀穿。若含有防蟻層半成品之試驗結果，其表面符合蛀蝕等級 1，兩端頭邊緣優於蛀蝕等級 2(含)，則視為合格。含有防蟻層和 PE 被覆層電纜成品試樣之試驗成績僅供參考。

由實驗群體法結果發現，兩種樣品表面皆未見白蟻蛀蝕齒痕，蛀蝕等級為 1 級，電纜樣品沿邊切口被輕微蛀蝕，蛀蝕等級為 2 級，由以上兩種材料組合發現，當樣品表面光滑且硬度 55 以上時，電纜表面不會遭受白蟻蛀蝕，電纜樣品沿邊切口會提供白蟻啃蝕之機率，由啃蝕程度發現以上兩種材料具有耐啃蝕能力。為有效防範白蟻損害電纜，除將防蟻電纜送公證單位做啃蝕試驗，並實施衝擊荷重試驗、擦傷試驗及彎曲試驗後之被覆解剖，來驗證防蟻層及被覆層之密著性、彎曲性及耐磨擦性。由實驗結果，發現 MDPE(或 HDPE)與聚烯烴共聚物材料之組合已符合規範要求。有關防蟻材料之特性比較如表 9 所示。

表 9 防蟻層相關測試

測試項目	測試要求	說明
硬度測試	依據ASTM D2240之Shore D規定測試	確保材料具有防蟻能力
抗張強度及伸長率試驗	符合IEC 60840 SI7要求標準	符合電纜使用及運轉壽命要求
加熱變形率	符合IEC 60840要求標準	防止材料高溫變形影響防蟻能力
白蟻耐啃蝕試驗	符合GB/T 2951.38-86規定測試	採實驗群體法驗證防蟻能力
彎曲試驗	彎曲半徑 $25(d+D)+5\%$ 360°正反方向纏繞共3次 D：電纜外徑(mm) d：導體外徑(mm)	確保複合防蟻被覆層不會因為彎曲或施工造成分離、皺紋或斷裂現象
擦傷試驗	試驗時以每分鐘約10公尺之速度拉動 900 / 1800 / 2700 / 3600 / 4500 kg荷重	確保複合防蟻被覆層不會因為施工造成表面嚴重擦傷、皺紋或分離斷裂現象

防蟻電纜試製完成及通過驗證後，將相關標準其中包括電氣特性、物理特性及防蟻相關測試等，編訂成 69kV 交連 PE 防蟻電纜器材規範(TSCD-165-006)，簽送材料處會同評鑑小組辦理定型作業，目前國內 11 家電纜廠商均已取得定型評鑑合格函。將俟使用情況計畫推及至 161kV 交連 PE 電纜，以提昇本公司供電穩定度。

2. 161kV 內置光纖複合電纜及附屬器材：

台灣夏季溫度甚高，送電中電纜釋出熱量，長期積熱易影響電纜絕緣壽命，為確保輸電電纜線路供電安全與品質，除涵洞內設置偵溫光纖監控洞道溫度外，電力電纜內置光纖即時瞭解電纜運轉溫度變化，進行安全監控，在國外地下直埋電纜及海纜工程已漸成趨勢。僅先就光纖及分散式光纖偵溫系統(Distributed Temperature Sensing, DTS)特性說明如下。

(1)光纖：

一種傳輸用媒介，可傳送音頻、警報、電腦數據等「光訊號」資料(非「電訊號」)，故具頻寬大、通訊量大、低損耗、重量輕、體積小、不受電磁場與電磁輻射影響等特性，一般應用於資料傳輸、通信及監控、偵溫、醫療等功能。依光纖傳輸模式可分為單模(Single Mode)及多模(Multimode)光

纖，多模光纖允許光以不同路徑(模式)傳播，故損失較大，適用於短距離傳輸。常用有 50/125 μm 及 62.5/125 μm 兩種(其纖殼 cladding 直徑相同)。單模光纖僅允許光以一個路徑(模式)傳播，所以損失較低、資料傳輸大，適用於長距離傳輸。相較於多模光纖，單模光纖之纖核(core)僅約 7~10 μm ，惟纖殼同為 125 μm ，構造圖面如圖 6 所示。

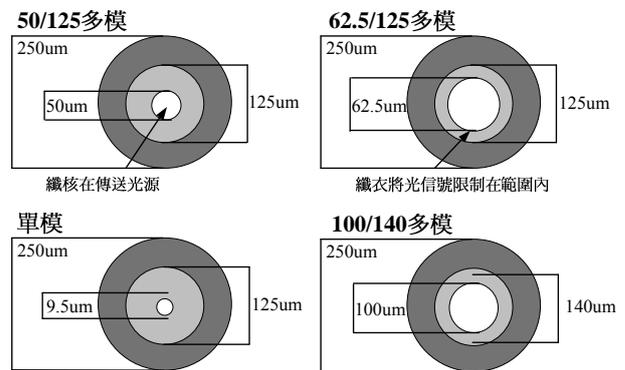


圖 6 單模及多模光纖構造圖

(2)分散式光纖偵溫系統(DTS)：

使用之光纖規格，經蒐集國外 DTS 廠商，無論單模(ITU-T G652)或多模(ITU-T G651)之光纖型式皆有使用，亦各有其優缺點。而 DTS 系統之特點部分，主要為光纖敷設範圍內，具有測量無盲點、測量距離長、取樣讀值密度高、遠程監控、測量週期短、響應快速、靈敏度高、測量精度高、誤報率及漏報率低等特點，加上獨特的電絕緣性賦予光纖傳感器的抗電磁干擾能力(EMI)，和在易燃易爆場合的安全性，以及快速回應與對腐蝕液體的抗拒性，光纖傳感器適用於各種極惡劣的工作環境；至於 DTS 系統架構，主要透過入射至光纖之雷射脈衝光，利用自光路之玻璃分子所發生拉曼散射光強度之溫度依賴性，藉由光時域反射技術 OTDR(Optical Time

Domain Reflectometry)，以光纖本身作為溫度傳感器，正確測定長距離之溫度分佈，系統架構如圖 7 所示。

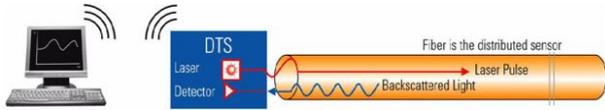


圖 7 DTS 系統架構圖

基於前揭光纖優點，每相電纜內置光纖將可即時反應電纜、接續匣及終端匣之溫度，且電纜因送電電流造成之溫度變化，亦可即時顯示於螢幕上，便於實現電纜動態載流量之監測作業。此外，應用光纖偵測技術於輸電電纜之故障檢測，具有方法簡便、定位準確及不受電磁干擾等優點，可掌握該輸電線路所有訊息，進而降低運轉維護風險及人力成本，並強化系統調度管理。爰此，經蒐集相關國內外規範和使用實績資料，以及與國內電纜器材廠商研討後確認內置光纖複合電纜器材可行；本處隨即著手進行規範草案編擬，完成後邀集公司內供電處、電力通信處、材料處及電纜廠商等開會討論，並依會議結論修正定案後函知國內廠商據以開發試製，光纖複合電纜剖面示意圖如圖 8。

考量內置光纖複合電力電纜對負載變化反應較快、偵溫效果好，加上電纜線路弱點大多集中於接續匣，若能將光纖內置於電纜內，將可有效精確偵測溫度，縮短事故查修時間、強化系統電力調度管理、驗證及探究國際規範理論與實際量測數據差異。此外，配合公司推動智慧電網，結合光纖偵溫系統，可掌控系統負載變化進行調控，朝向提升線路容量之使用效率及精簡或延緩線路投資興建之目

標，使電纜線路能發揮最大效能。

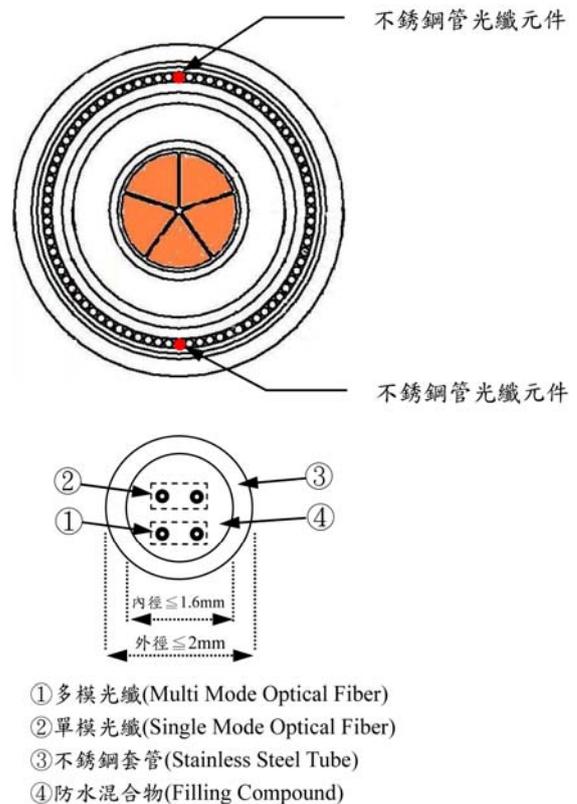


圖 8 光纖元件剖面圖及與電纜結合後之位置圖

另內置光纖複合電力電纜雖具上述優點，但相較於外置式，建置成本高及施工過程須更加注意為其缺點，但此部分可藉嚴謹的施工規範及完整的教育訓練把關，惟施工規範部分須透過實際施作方能進一步檢討是否仍有不完備之處，初步規劃先擇定送電時程較為寬裕之線路試推行，藉現場施工及運轉資料之回饋，確認調整規範及相關作業標準使之更加完妥。

3. 長距離 345kV 電力電纜採分段 AC 耐壓竣工試驗：

本案係應用於新高港~五甲~高雄 345kV 電纜線路，電纜工程於 102 年 10 月施工完成，102 年 11 月起辦理竣工耐壓試驗，惟本公司綜合研究所之既有試驗設備(截至 101 年底止)，345kV 級電力

電纜之竣工耐壓試驗能力僅達 4.7 公里，未能達到新高港~五甲(11 公里)、五甲~高雄(9 公里)及新高港~高雄(20 公里)等 3 條 345kV 線之試驗需求。

為解決本公司既有設備試驗能力不足之問題，曾購 1 套 4.93H/255kV/40MVAR 電抗器因應，試驗能力可增加 7 公里至 11.7 公里，惟新高港~高雄 345kV 線因線路長度約 20 公里，綜合研究所增購電抗器後之試驗能力仍無法滿足需求。

(1) 選擇分段 AC 耐壓試驗原因：

綜合研究所利用 AC 串聯共振原理辦理 AC 耐壓竣工試驗，係以柴油發電機產生定頻 60 Hz 3.3kV 的電源，經激磁變壓器升壓至 6kV，再以試驗用架空導線將所需之電抗器並接後與試驗電纜串接。

以新高港~高雄線為例，線路長 20 公里，電纜每公里產生之電容量 0.22 μ F，全線約有 4.4 μ F 電容量。當回路中之總電感抗與總電容抗大小相同時，便會發生共振，惟除上述利用調整總電感量，以可調電感電抗器與定電感電抗器並聯，使產生串聯共振外，電抗器的虛功容量亦是決定竣工耐壓試驗能力的重要因素：

$$V_C = Z_C I_{\max} = \frac{1}{2 \times \pi \times f_s \times C} I_{\max}$$

$$\Rightarrow I_{\max} = 2 \times \pi \times f_s \times C \times V_C$$

20km 345kV 電纜(新高港~高雄線)產生之超前虛功率：

$$I_{\max} = 2\pi \times 60\text{Hz} \times 0.22\mu\text{F}/\text{km} \times 20\text{km} \times$$

$$250\text{kV} = 415\text{A}$$

$$Q_C = 415\text{A} \times 250\text{kV} = 103.8\text{MVAR}$$

已超出目前綜合研究所既有電抗器能提供之落後虛功率，故僅能採分段耐壓

試驗方式。

(2) 試驗用終端氣封匣介紹：

本案使用之試驗用電纜終端氣封匣，主要部品包含氣封型終端匣外殼、環氧樹脂礙管、應力錐、導體引出棒、遮蔽環及 SF₆ 氣體等，其環氧樹脂礙管已固定於氣封匣外殼內，並在外殼內部與環氧樹脂礙管間形成之氣室充填 SF₆ 氣體，以達到絕緣要求，外殼外部並裝設氣體壓力表、氣體安全閥及調節閥，調節控制 SF₆ 氣體壓力；氣封匣是以 SF₆ 氣體作為絕緣，在組立安裝期間不用重複回收及充灌 SF₆ 氣體，及每次試驗完成後能迅速拆除氣封匣為其主要特色。

(3) 分段耐壓試驗說明：

施作線路分段耐壓試驗時，須於線路一端實施加壓，另一端則保持開路，如線路兩端均採用氣體絕緣方式施設，為確保試驗時有足夠絕緣空間及考量人員安全，試驗前須於線路終端施作氣封匣，加壓側另配合安裝套管後，兩端分別灌入 SF₆ 氣體作為絕緣，待完成後方可試驗。(加壓側如以空氣作為絕緣，如屋外型電纜終端匣，則無須施作氣封匣。)

(4) 分段耐壓試驗現場準備說明：

A. 分段耐壓試驗係採單條電纜輪流試驗，本線路規劃分二區間辦理，先行施作高港 E/S~M22 人孔間 6 條電纜，完成後再試驗 M22 人孔~高雄 E/S 間 6 條電纜。

B. 氣封匣施工時，仍比照電纜附屬器材組立，須設置施工台架，並準備支柱作支撐安裝，上面鋪設木板用尼龍繩固定，並鋪設 PVC 防塵布，於施工組立時控制其內之施工環境，使其達到溫度 28°C 以下、濕度

80%以下及防止落塵，以維護施工人員及器材組件之安全並阻絕外部塵埃。

(5) 竣工耐壓試驗：

俟完成試驗前準備動作後，因依照試驗標準，分別將高港 E/S~M22 人孔及高雄 E/S~M22 人孔區間每相電纜逐步遞升試驗電壓至 323kV(1.7U₀)持續 15 分鐘後，再遞減試驗電壓至 250kV 持續 45 分鐘完成電纜分段耐壓試驗。惟本試驗考量線路長度及耐壓設備容量，最終採用 250kV 持續 60 分鐘完成電纜分段耐壓試驗。

待完成分段試驗後，即拆除氣封匣，並切除預留供試驗用電纜條長，重新將電纜定位接續中心，再依接續匣標準作業流程辦理 M22 人孔接續作業，整條線路再採系統加壓(無載)持續 24 小時方式進行竣工試驗，無發生任何問題即可加入系統運轉。

本案為公司首次於 345kV 級電纜線路採用分段 AC 耐壓試驗，並使用 345kV 電纜「試驗用電纜終端匣」，作為試驗電纜於隔離點的臨時電纜終端匣，可有效解決長距離電力電纜竣工試驗設備能力不足的問題，減少購置長距離線路竣工耐壓試驗設備之成本。

三、變電所

(一) 土建工程

1. 利用雨水儲留滲透水箱提升基地保水：

以往變電所在基地保水(指建築後之土地保水量與建築前自然土地之保水量之相對比值)方面，常採綠地、被覆地、草溝及透水鋪面等設計手法；利用建築物筏基，規劃其中一區段作為雨水回收水箱用或另外於屋外空地以混凝土

構築雨水回收池，作為綠化植栽噴灌使用。現則採用新穎保水設計，使用雨水儲留滲透水箱加檢視井組合成地下雨水儲集滲透水箱(詳圖 9)，讓雨水透過基地周圍排水設施收集至儲水設備暫時儲集，再利用該設備之透水設計慢慢回滲土壤，增加基地保水效果。該雨水儲留滲透水箱具有容易組裝快速施工，且可配合現地空間組裝等優點，「王行 D/S」採 PCC 組合式地下儲水槽設計(詳圖 10)，不僅輕便、環保、可回收且組裝容易、施工時間短可經由串聯增加儲水容量等優點。PCC 材質具有抗腐蝕、耐酸鹼、耐震、不龜裂、不滲水等特性，可配合現地空間組裝，亦較傳統混凝土構造節省組模、養護時間。



圖 9 雨水儲留滲透水箱(網路照片)



圖 10 PCC 組合式地下儲水槽(網路照片)

2. 規劃太陽能光電系統：

現今世界各國對未來能源危機之憂慮日益加深，替代能源及再生能源的發

展，已成為全球關注且具急迫性的顯學，並且對再生能源的需求也因而日趨增加。故政府對再生能源政策的推動是刻不容緩的，因此本處辦理之「二甲 D/S」於台南縣都市設計審議階段，即配合其要求增設太陽能光電系統(詳圖 11)。

又部分地方政府自治條例，現已將太陽能光電系統之設置納入，如「高雄市綠建築自治條例」，要求公有建築物須於新建時納入設計施工。

在再生能源的選項中，太陽能電力是目前最具實用性且效率最佳的替代能源方案，因此本公司「台灣電力股份有限公司建築工程設計須知」規定「台中縣、花蓮縣以南地區之新建建築，其建築面積在 600m² 以上，且經評估可設置太陽光電設備 30kwp 以上容量者，均須預留管線供未來導入太陽光電設備。」及「變電所建築工程設計準則」規定「如有需要設置光電設備者，且經評估可設置光電設備 30kwp 以上容量者，均須預留管線，供未來導入光電設備」，日後新建變電所將依規定配合增設太陽能光電基礎、設備及相關管線。



圖 11 二甲 D/S 太陽能光電系統

3. 導入金屬建材之 KYNAR 500® PVDF 塗層：

變電所之圍牆、電動大門等為變電所與民眾接觸第一道藩籬，多年來皆採用冷冰冰的不鏽鋼原色或粉體塗裝處理表面，惟粉體塗裝之耐候性尚可，但時間久了，仍有退色之虞，為除去令人冰冷的意象及提高金屬構件之耐候性，近年來新建的變電所如「楠旗 D/S」、「府城 D/S」及「王行 D/S」皆導入高耐度表面塗裝 PVDF 類型(通稱 KYNAR 500)。

雖 KYNAR 500® PVDF 塗層早在 1965 年面世，但之前並無運用於變電所之金屬構件塗佈，因此對變電所而言係屬新材料，正因其用在金屬建材的表面裝飾塗層，其持久耐用性，具有優異保光性、抗粉化性，顏色歷久常新等特性是其它任何室外金屬面漆無法相比，且向來是高性能塗料要求無與倫比的耐候性黃金標準。

PVDF 的結構(詳圖 12)包含交互的碳/氟(C-F)和碳/氫(C-H)鍵，它提供了一種最適合的極性，使實際塗料能夠抵抗環境降解和污垢聚集。這樣的結構使 PVDF 能夠抵抗氧化、光化學老化、退色、粉化、開裂和氣載污染物。因此，PVDF 具有性質上的平衡，使得它特別適於用在塗料行業，特別是建築塗料。

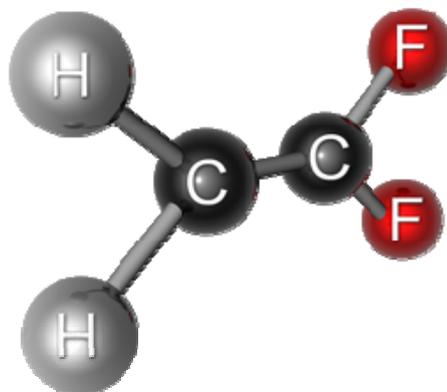


圖 12 PVDF(網路照片)

4. 運搬道路採用綠建材高透水耐磨鋪面：

為節約能源及減緩都市高溫化乾燥化的熱島效應，增加雨水截流與地下水之涵養，現施工中之「楠旗 D/S」將傳統 AC 或混凝土鋪面改採用綠建材「高透水耐磨鋪面」(詳附圖 13、14)，該鋪面除能承受重車及機具輾壓外，另可增加抗滑能力、降低日光反射及行車所生噪音等特性，又因具高透水性可減緩地表雨水逕流、降低排水設施負擔及淹水機率、增加基地保水性，且地下水資源可涵養土壤減少綠化灌溉水。

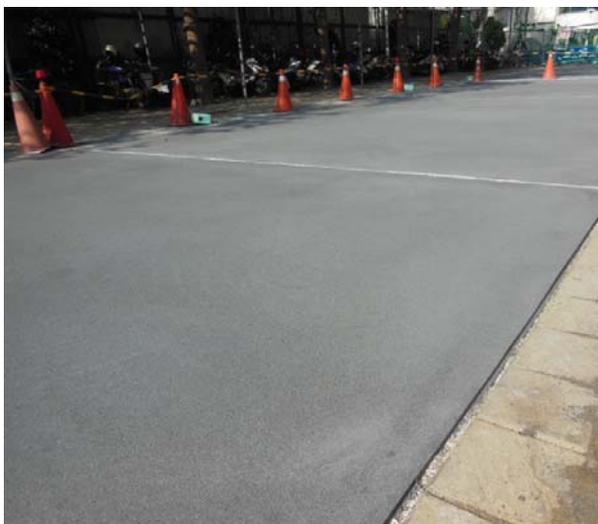


圖 13 高透水耐磨鋪面



圖 14 高透水耐磨鋪面

5. 採用低輻射(LOW-E)玻璃提升節能效果：

以往變電所綠建築標章申請，在九項指標中之「日常節能」指標，常採屋頂鋪設隔熱磚、施設屋簷遮陽、採用具節能標章空調設備等設計手法，為提高節約能源的需要，現施工中之「楠旗 D/S」於外牆開窗部分採用低輻射(LOW-E)玻璃並搭配外遮陽設計(詳圖 15)、節能複層玻璃利用其高透光率、低反射率、高熱阻絕，達到降低建築外殼耗能，同時解決日曬、眩光、耗能等環境問題，達成節約能源目標。



圖 15 楠旗 D/S 採用低輻射(LOW-E)玻璃搭配外遮陽設計

6. 導入建築資訊模型(Building Information Modeling, BIM)：

傳統工程係由設計部門繪製結構圖、建築圖、機電圖，而其中又區分為各種平面圖、立面圖、剖面圖及各部位施工詳圖，由於各項圖面均以 2D 平面呈現，因此大部份是憑藉繪圖人員本身對圖面認知的敏銳程度來決定圖面的完整性，不同人員繪製的圖面品質差異大，常造成各種圖面衝突，又無法先期檢核，在施工過程中，大大小小的設計變更不斷，徒增人力時間的浪費，也易造成工程品質缺失及工程進度延宕。

近年來，建築資訊模型的新浪潮興起，其概念係跳脫傳統平面製圖的觀念，於工程專案之初就將工程週期分為 LOD100(評估)、LOD200(規劃)、LOD300(設計)、LOD400(施工)、LOD500(竣工)等階段建立相應之建築模型，各階段之模型內容分述如下：

- (1) LOD100(評估)：建物位置、類型、面積、容積等概算。
- (2) LOD200(規劃)：以泛用型元件初步進行建物內部空間規劃。
- (3) LOD300(設計)：給予各元件精確之數值以確定其尺寸、形狀、方向、位置。非幾何之資訊也可建入模型(如元件性質、單價等)。
- (4) LOD400(施工)：除各元件精確之數值外，尚需具完整製造、組裝、細部施作所需資訊。
- (5) LOD500(竣工)：為含精確數值之尺寸、形狀、方向、位置等資訊之元件集合體，可供日後營運維護之用。

以上各階段之模型又可區分為結構、建築及機電部份，以實際建出實體元件的方式，進行各元件之衝突檢核，可於 LOD300 階段即解決大部份之介面衝突，並可以加入時間軸之參數，規劃各項施工工項順序，完整呈現建物從無到有之興建過程，因各項元件均有數量及單價之資訊，工程造價亦可確實掌握。

本處目前導入 BIM 之變電所工程計有「福和 D/S 暨多目標綜合大樓」及「板橋 P/S 改建專案計畫工程」，其中「福和 D/S 暨多目標綜合大樓」係傳統包，由於設計標並未放入 BIM 之工作項目，故技術服務廠商僅進行設計及平面繪圖，後續另於施工標中放入 LOD300~LOD500 之工項，目前已進行至 LOD300 階段，並已檢核出多項介面衝突，減少

後續施工時突發之各項變更；而「板橋 P/S 改建專案計畫工程」係屬統包最有利標工程，自設計階段就導入 BIM，目前已進行至 LOD200 階段。如同 1990 年代工程繪圖由手工轉為電腦製圖，工程業界又將迎來另一次巨大的變革，然而，這是世界的潮流與趨勢，台電公司必不能置身事外，反而要迎向浪潮，踏穩浪板立於浪頭之上，方能看見遠方美景。

7. 鋼構工程：

都會區變電所的空間利用向來是錙銖必較，受限於土地大小，必須在有限的空間中做出最充分的利用，且變電所常被視為鄰避設施，為降低附近居抗爭之強度，因此會盡可能以多目標大樓方式興建。即規劃地上層部分為多目標辦公室(萬隆 P/S、如福和 D/S、北北區營業區處及配電中心)、商務旅館(大安 E/S)、或提供為商業場所與辦公室混合使用(新民 D/S)，而盡量將變電所之變電設施往地下發展，化解抗爭之阻力，得以依計畫興建。

多目標大樓為本公司變電所邁向新紀元，創造公司與地方雙贏的計畫。今以大安 E/S 暨多目標大樓及福和 D/S 暨多目標辦公大樓工法簡介，以供工程界參考。

(1) 大安 E/S 暨多目標大樓工法特色：

大安多目標大樓地上 16 層(地上 1~5 層 SRC 造，6~17 層為 SC 造)地下七層(地下 31m，部分 RC、SRC 混合造)，周圍為高級住宅區環繞，又緊鄰捷運文湖線，基地外側即為高架捷運基樁，施工時務必須盡量降低因擋土設施施工所造成周圍地層下陷及可能的鄰損問題。本工程採用順打工法，以 1.5m 厚 61m 深之連續壁作為擋土設施，藉由搭配壁樁、地中壁及扶壁等

整合共構，以提高擋土設施整體勁度減少壁體變形。另於 GL.-31m 之開挖面以下，因土層有透水之疑慮，為防止地下水湧及開挖面隆起，設計三重管高壓噴射灌漿，施作厚 3.0m 的全面封底地盤改良，確保開挖時基底面之穩定性，維護鄰近結構物之安全。

目前工程施作至地下五層，根據監測系統觀測所得之變位量，壁體變位相當小，皆在容許值之內，與程式模擬分析結果相近。此案所採取的必要安全工法，可作為未來人口密集都會區變電所設計及施工之參考案例。

(2) 福和 D/S 暨多目標大樓工法特色：

本工程多目標辦公室為輸變電工程處、北區施工處、核火工處等辦公處所，地上十七層 SC 造，地下五層為變電所及停車場，地下五~地下四為 RC 造，地下一為轉換層 SRC 造。地下採逆打工法，可以節省施工時間。

本工程鋼結構特色，除採用韌性切削於地震時能充分吸收地震能量外，為確保鋼構施工品質及結構物之安全，並因應台北地區多雨潮濕，及高樓銲接時強風、濕度、銲工技術等影響銲接品質及工作進度，故於梁柱接頭處採用異於一般的拱頭接合，外伸拱頭接合長度約 50 公分，恰為樑之塑性轉角區。若以此方式施工，鋼樑上下翼板鎖固之蓋板勢必增強塑鉸區之勁度，降低樑柱接頭因銲道應力提高失去韌性而破壞的機率。

本工程樑柱接頭全採用延伸拱頭方式施工，將拱頭延伸至塑鉸區外一倍以上鋼樑深度距離，保持韌性切削區在拱頭內，未來施工時不受樑結合時上下翼板之蓋板勁度之影響，確保韌性安全。其優點為樑柱接頭之銲接

工作全部在工廠內進行，品質、精度均容易管制，不因工地遇陰雨天或濕度過大時影響鋼構組裝。所有樑在工地皆為螺栓結合，品質管控容易，其安全性以過去本處團隊在竹園 E/S 試辦鋼構拱頭接合試驗時，按此方式設計並送國家地震中心做全尺寸試驗，試驗結果符合韌性要求無誤！且該工程上萬顆高拉力螺栓接合精度達到完全無誤差，工地鋼樑無任一擴孔或動火現象，也期盼福和 D/S 延伸拱頭之工法能再度成功，作為未來多目標大樓施工縮短工期及提升品質之參考。

(二) 變電工程

1. 變壓器類設備改善及創新：

(1) 浸油型電力變壓器及並聯電抗器用「可燃性氣體檢出裝置」增訂分量型式及加入油中含水分量測：

A. 本處「69kV(含)以上浸油式變壓器及電抗器附屬規範：可燃性氣體檢出裝置(CG01)」原規定須可測氫(H₂)、一氧化碳(CO)、乙炔(C₂H₂)及乙烯(C₂H₄)四種或以上氣體之各單項被檢出量或與該氣體混合量之百分比(相對靈敏度)。

B. 本設備於 101 年 1 月經檢討並徵詢供電處、業務處、發電處及綜合研究所等單位之意見，增訂檢出裝置耐候性規定、油中含水分(H₂O)測量及前述四種氣體二種以上分量或混合量之每日 ppm 趨勢。

C. 104 年 12 月因應維護單位召開之「油中氣體監測設備運轉研討會」之決議事項，修訂全機保固由運轉後 3 年提高至 6 年，並針對該設備之前述四種氣體，分別訂定分量型及混合量型之量測範圍及誤差標準，更符合運轉需求。

(2)超高频型(UHF)部分放電偵測設備(PD)應用於多目標型地下變電所油浸式電力變壓器：

A.本偵測設備依「變電所電力變壓器防爆性能研討會」決議事項(三)辦理，針對大安 E/S 等多目標型地下變電所採用油浸式電力變壓器時，比照林口 G/S、大林 G/S 電廠更新案增設之變壓器線上即時預警機制，裝設超高频型(UHF)部分放電偵測設備(PD)。

B.本設備包含主機、感測器、相關連接配件及分析軟體等，其中感測器為內嵌式超高频型(UHF，300MHz~3GHz)，須符合 IEC 62478 及 IEC 60270 標準。每台變壓器之單相本體油箱須提供 4 組感測器，安裝方式不會使絕緣油洩漏或影響變壓器整體強度，變壓器運轉後須能耐受本體最高油溫及振動，若須拆卸及再安裝時，亦不得影響變壓器正常運轉。

C.偵測設備主機配備指示裝置，可顯示主機運轉狀態及自我檢測故障等資訊，內部除提供警報接點外，並能儲存 1 個月以上記錄放電波形等數值資料供下載分析，外部則提供乙太網路埠(或以 RS-485 轉接)，供遠端企業內網路監測主機存取資料。

(3)既設 161kV 60MVA 變壓器室可共通裝設 30MVA 變壓器：

A.緣由：為節省第七輪變電計畫變壓器設備購置成本，七輪修訂會議研議利用既設 161kV 60/60MVA 或 60/30+30MVA 變壓器基礎裝設 30/30MVA 變壓器，並由本處檢討其可行性。

B.目前 161kV 30/30MVA 變壓器一、

二次側係在不同側，依既有 60/60MVA 單繞組及 60/30+30MVA 雙繞組變壓器基礎配置及維護空間(一、二次側皆在同一側)，所以 30MVA 變壓器無法裝設於既有變壓器基礎上，因此本處邀集國內各變壓器廠商研討，請其配合依既有 60/60MVA 變壓器基礎設計新型式 30/30MVA 變壓器。因新型式 30/30MVA 變壓器基礎配置完全參照 60/60MVA 變壓器基礎設計，基礎不需作任何修改，廠家須配合既有冷卻器基礎位置調整冷卻油管配置。已制作成標準圖付諸實施。

(4) 345kV 100MVAR 並聯電抗器之使用：

A.本公司近來為減少架空輸電線興建時之抗爭及配合都市地區之景觀需要，逐漸採用地下電纜線路，部分地區更採用長距離之 345kV 電纜，由於電纜之充電電流(電容大)遠比架空線高，在系統離峰或輕載時，因電纜之電容效應造成線路末端電壓上升，嚴重時可能超過本公司調度規則，影響供電品質。

B.為抑制電纜線路引起之電壓上升問題，須裝設並聯電抗器來改善，藉由電抗器吸收無效電力的方式，於系統輕載時投入電抗器以消耗電纜所提供之無效電力，達到控制電壓於容許範圍內。

C.傳統使用之並聯電抗器規格為 33kV 40MVAR(裝設於超高壓變電所主變之三次側)及 161kV 80MVAR(裝設於一次配電變電所之 161kV 匯流排側)，然其容量對於吸收無效電力部分已不足因應，經系統分析後，部分新建超高壓變電所或電廠更新案之開關場端已開始裝設 345kV

100MVAR 大容量並聯電抗器。

D. 本公司採購前述設備，分別裝設於新高港 E/S × 2(103.7.8 加入系統)、高雄 E/S × 2(103.7.8 加入系統)、大林 G/S × 2(105.2.1 已交貨)及新高港 E/S × 2(104.12.18 已驗收完成)。

(5) 箱體強化技術及防止油箱破裂設施應用於油浸式電力變壓器：

A. 箱體強化技術：

箱體強化設計需自油浸式變壓器發生短路故障時，內部可能發生之最大壓力開始檢討箱體之耐壓強度設計，並運用隅角、C 型夾等補強技術，達到箱體強化目的。

目前針對變壓器箱體強化措施及提升 345kV 自耦變壓器內部壓力釋放效率，經參照「日本電氣協同第 30 卷第 6 號 2-1 節」及 2013 年 CIGRE(國際大電網委員會)Working Group A2.33「Guide for Transformer Fire Safety」第 6.6.4 節之建議，要求「變壓器油槽長短邊銲接處及油槽間之共通導口須設計隅角補強，變壓器油槽上蓋與側邊銲接處及其他銲接凸緣(Flange)處須設計使用 C 型夾(C-Clamp)或其他必要措施補強；345kV 自耦變壓器各單相油槽須分別設計裝置 96D 各二只，30+30MVA 變壓器各油槽須分別設計裝置 96D 各一只。」

B. 防止油箱破裂設施：

防止油箱破裂設施之應用，包括大容量快速釋壓裝置或利用變壓器儲油槽規劃避壓空間等作法，而目前常用之大容量快速釋壓裝置則包含破裂盤及破裂針等之應用。

為達預防火災發生時之先制目標，現行多目標地下變電所採用油

浸式電力變壓器時，均須裝設大容量快速釋壓裝置，以作為變壓器安全運轉之配套措施。

針對大安 E/S 等多目標型地下變電所，已於油浸式變壓器採購規範中要求，得標廠商須附變壓器防止油箱破裂設施(採用大容量快速釋壓裝置或利用變壓器儲油槽採避壓空間方式規劃)。

(6) 並聯電抗器之冷卻器採 2+1 組設計：

A. 緣由：

太鐵 D/S #1 並聯電抗器長期運轉溫度偏高，根據運轉單位現場量測結果，線圈繞組最高運轉溫度達 103°C 與本公司規範規定之最高溫不得超過 105°C 僅相差 2°C。

根據各國研究報告變壓器之壽命與其線圈繞組最熱點溫度(Winding Hot-spot Temperature)或稱絕緣導體最熱點溫度(Isolated Conductor Hot-spot Temperature)有密切關係，絕緣紙在長期高溫環境下容易焦黑、脆化而影響絕緣性能。因此，針對並聯電抗器一投入即全載運轉之特性及確保並聯電抗器之使用壽命，研討提升其冷卻器運轉可靠度及強化其冷卻效能。

B. 檢討與執行：

(A) 增加冷卻器之冷卻能力試算及說明：

以電抗器損失 245kW 估算並將滿載保證值為 base 參考值。

原冷卻器之冷卻容量：

270kW(90kW × 3 組)

提升冷卻器冷卻容量：

405kW(135kW × 3 組，2 組正常運轉，1 組備用)

冷卻器加裝前：

$$40^{\circ}\text{C} \times (245\text{kW}/270\text{kW}) = 36.2^{\circ}\text{C}$$

冷卻器加裝後：

$$40^{\circ}\text{C} \times (245\text{kW}/405\text{kW}) = 24.2^{\circ}\text{C}$$

改善前後溫度差異：

$$36.2^{\circ}\text{C} - 24.2^{\circ}\text{C} = 12.0^{\circ}\text{C}$$

考量不同個案之環境、負載等因素，預期可降低溫度約 8~10 $^{\circ}\text{C}$ 。

(B) 原國際標準 IEEE C57.21(2008)

對油浸式並聯電抗器之平均繞組溫升之規定為 65 $^{\circ}\text{C}$ ，本公司採購規範(SHR3_July, 2009 及 SHR2_July, 2009)亦有相關規定。惟為因應並聯電抗器之實際運轉狀況及投入即滿載運轉之特性，避免設備長時間於高溫區運轉，導致影響設備壽命之情形發生，建議降低平均繞組溫升之規定值為 55 $^{\circ}\text{C}$ 。

(C) 經檢討可行，新購案要求「345kV

及 161kV 並聯電抗器冷卻器組應採 2+1（三組冷卻器規格均應相同）設計，在任二組冷卻器運轉狀態下，其溫升值不超過 55 $^{\circ}\text{C}$ 且噪音值不超過規範規定；第三組係供冷卻器故障時切換使用或電抗器需長時間運轉時加強冷卻能力。」，俾提升並聯電抗器冷卻器之運轉可靠度及其冷卻效能。

2. 開關設備類改善及創新：

(1) 161kV 氣體絕緣開關設備(Gas Insulated Switchgear, GIS)室改採共同基礎型鋼設計：

以往設計部門提出 161kV GIS 設備採購需求時，會依基礎配置標準圖(TDS2-15-65011A)規劃設計，因各 GIS 廠商設備之開孔位置及型鋼數量、配

置不一，故圖面不標示型鋼數量、尺寸及相對位置，俟 GIS 設備廠商確定後再予修正，前後須出二張基礎圖面。

土木承商依上述基礎圖面施作 161kV GIS 室時，如 GIS 設備廠商仍未確定，通常會先澆置一次混凝土，不開設任何開孔，俟 GIS 廠家確定後再進行一次混凝土樓板開孔、埋設型鋼及二次混凝土樓板開孔及灌漿作業，或將澆置混凝土、埋設型鋼、預留開孔及鋪設 EPOXY 等作業項目全部辦理減做驗收，俟 GIS 設備廠商確定後再另行發包上述作業。

經整合各廠 GIS 設備共同基礎型鋼配置後，新版基礎配置標準圖(TDS2-15-65011B)之型鋼數量、尺寸及相對位置可適用於現行 161kV GIS 任一合格廠家，故土木承商不必等候 GIS 設備廠商，即可預埋型鋼、澆置一次混凝土，原基礎圖面亦不需修正，以減少發包作業及提升工作效率。

(2) 因應 102 年 327 及 602 地震，提升避雷器及耦合電容比壓器耐震能力：

民國 102 年 3 月 27 日及 6 月 2 日發生地震，均造成中寮 E/S 開關場設備受損，其中避雷器及耦合電容比壓器同屬細長型設備，安裝在台架上會產生搖晃放大效應。

為提升上述兩項設備之耐震能力，於採購規範中增列 144kV 級(含)以上之避雷器及 345kV 級之耦合電容比壓器，須送至國家地震工程研究中心(NCREE)施作耐震力試驗，測試時避雷器須放置於 2 公尺高台架上，經依 IEEE Std 693 Annex K Surge arresters 之“Time history shake-table test” (ZPA：水平 0.5g, 垂直 0.3g, 2% damping)測試，外觀無裂痕或破損且測

試前後之自然頻率變動不超過 20%者方為合格。另於台架弱軸部分增設斜撐，亦可達到輔助減震配置，如圖 16 所示。

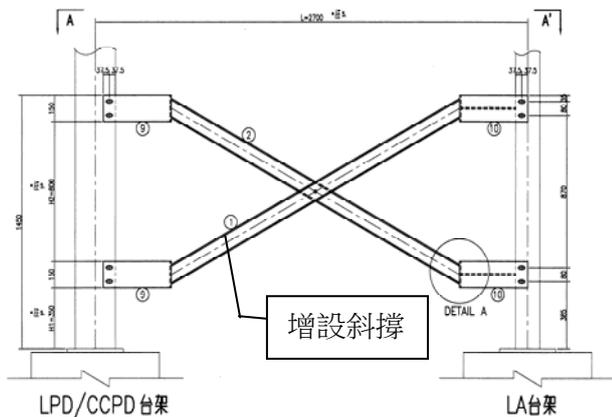


圖 16 台架增設斜撐輔助減震

- (3) 調整開關箱體材質及塗裝工序，提升塗裝品質：

開關箱未全面採用鍍鋅鋼板前，經脫脂、除鏽脫氧及水處理乾燥後，箱體表面先塗防鏽底漆，再塗以耐候性面漆，仍有發生從鋼材切割面開始生鏽情形。為提升箱體之防鏽能力，全面採用鍍鋅鋼板，調整塗裝工序，將其箱體銲接及切割面先做冷鍍鋅漆(含鋅量 85%以上)處理，再經脫脂、水洗、皮膜處理、水洗、乾燥等處理作業後，才進行上漆塗裝，塗裝前先以環氧樹脂系之氧化鐵(或三聚磷酸鋁)防鏽底漆塗裝，底漆厚度須達 $40\mu\text{m}$ 以上，再以適當面漆塗裝，上漆總膜厚度須達 $120\mu\text{m}$ 以上。

若採無底漆之粉體塗裝處理，則依 CNS 10756-1、10757 及 8886 等標準，要求廠商提供試片之光澤度、附著強度、鉛筆硬度、衝擊試驗、耐屈試驗、擠壓試驗、耐沸水性(1 小時)、耐酸性(300 小時)、耐鹼性(300 小時)

及鹽水噴霧試驗(500 小時)等試驗合格之報告供審查，確保設備塗裝品質。

- (4) 減少智慧型電子裝置(IED)備品及施工維護器具數量，以節省採購經費：

鑑於智慧型電子裝置(IED)價格高、施工維護器具使用率不高，且目前既設變電所均有 2 套以上之備品數量，取得或調撥無困難，故減少 23kV GIS 之 IED 備品及施工維護器具數量，可達到設備妥善利用及節流之目的，並呼應公司目前經營改善之政策目標。

以新建變電所 2D2S 最終設計估算，依往年設計方式(一個 MAIN 檔需一台 IED 備品)，每所變電所最少需購置 6 台 IED 備品，目前購案改以每所變電所購置 1 台同型式之 IED 備品，約可減少百萬元之購置成本；另每所變電所施工維護器具由 2 套減少為 1 套，亦可減少 10 萬元之購置成本，每年節省成本不菲。

- (5) 345/161/69kV GIS 減少 SF₆ 備用氣體及氣體填充車，以節省成本：

本公司各級變電所內 345/161/69kV GIS 使用已日漸普及，各運轉單位具備相關 SF₆ 備用氣體及氣體填充車，且可互為調撥、取得皆無困難，故減少 SF₆ 備用氣體及氣體填充車，以減少購置成本。

開關設備所需之 SF₆ 氣體與設備本體係一起提供，以往需另外提供設備全部需要量 10%之 SF₆ 氣體及 1 台氣體填充車作為備品，目前購案調降 SF₆ 氣體備品至 5%，附屬設備之氣體填充車修改為依標案需求提供，每購案可節省 64 萬元之購置成本。

- (6) 提升 23kV GIS 低壓端子板製造品質：
早期端子板規範要求絕緣體須為

黑色絕緣電木，惟「電木」質脆易碎，含人體有害物質，目前市面廠家已不再採用，且早期規範僅要求對端子板做溫升及耐壓試驗，無法確保其品質安全無虞。

為確保低壓端子板能符合本公司需求，就現行各種國際標準及市場狀況深入檢討，修訂新版規範，爾後購案採購之低壓端子板，將不再限定其絕緣體材質，改要求須通過獨立實驗室並依據國際標準測試認證，藉由國際規範較嚴謹試驗項目，要求供應廠家須提供完整定型報告，並落實品管，來確保低壓端子板之品質無虞，以確保系統供電安全。

(7) 改善變電所 23kV GIS 饋線檔位測試方法：

23kV GIS 於變電所現場安裝完成後，須經過一連串的測試方能加入電力系統中使用，而考慮饋線無法於 23kV GIS 設備加入系統時一併完整的引接，使得量測饋線輸送電流大小的比流器(CT)及執行饋線保護跳脫的智慧型電子裝置(IED)亦無法驗證其控制接線是否正確無誤，必須於饋線引入時一次又一次配合確認其接線。比流器接線相關設備簡圖如圖 17 所示：

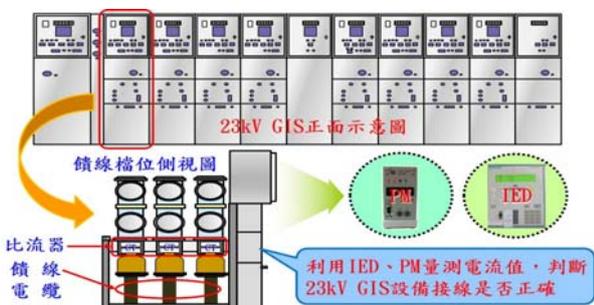


圖 17 比流器接線相關設備簡圖

饋線上的負載電流，經比流器感應負載電流大小後，轉換成較小的電

流值，經由控制接線引接至「比流器測試端子(CTT)」，再由引線至智慧型電子裝置(IED)及整合型數位表計(PM)，由 IED 及 PM 讀取量測較小的電流值後轉換回原始電流大小，並傳送到遠端監控站。

使用廠家工具在裝、拆除皆繁瑣，試驗時間未降低至預期，將改用創新工具經由試驗後效果良好，步驟如圖 18 所示。

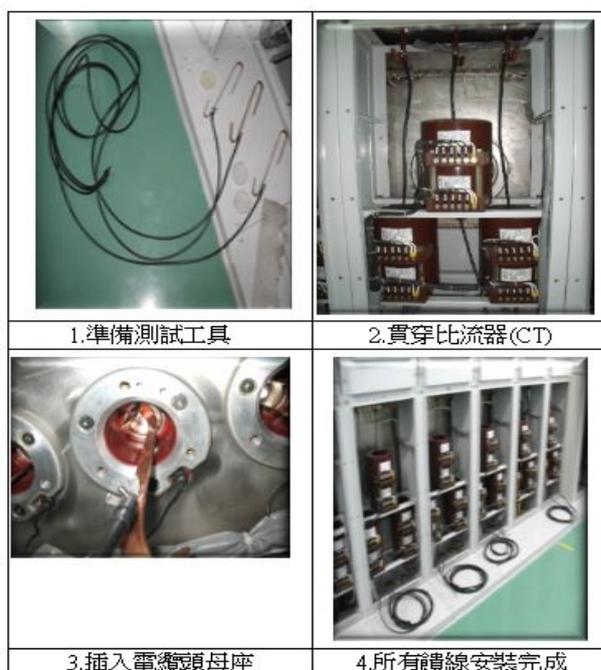


圖 18 使用創新工具進行試驗步驟

(8) 系統庫存及閒置設備活化利用：

配合公司建置線上供電設備資訊整合應用平台，爾後相關工程於購置新品前，均須先至平台選用閒置設備，若無適當器材方能購置新品，此方式可更清楚設備移用過程及節省設備投資金額，且設備媒合過程不再重複，有利提升設備移用效率，需求單位利用堪用器材也不再侷限於各分屬區域，使設備移用廣度增加。

除納入線上及庫存可再規劃利用

設備外，結合相關管控機制共同進行，使未來相關輸變電計畫與非計畫型計畫之設備投資，有全面性的控管程序，以提高電網投資效益，避免設備過度投資，並落實資產管理。

3. 電控設備類改善及創新：

台電規劃設計變電所的保護方式皆依據供電處保護電驛規劃準則，裡面對於公司各等級輸電線路、各等級變壓器、靜電電容器、電抗器及匯流排與斷路器都有保護電驛規劃，為配合不同於以往的匯流排保護設計，另設計「161kV 匯流排比壓器動態切換盤」(161kV BPT 自動切換盤)，以符合匯流排保護電驛保護區間動態切換使用。

- (1) 目前的匯流排電驛保護方式，各線路及設備皆依所屬之開關號碼而有固定的保護區間，若所掛接之匯流排改變，匯流排保護電驛無法配合即時修改，提供完整的保護。為解決這情形採動態的概念，線路及設備所掛接之匯流排改變，匯流排保護電驛立即自動配合調整其保護區間，可隨時提供完備保護功能。
- (2) 依據變電所匯流排及設備的架構，欲以動態方式選定區間，無法依斷路器 CB 來判定屬於何者區間，因此採用分段開關 DS 位置來決定保護區間是較為適合的方式。BPT 自動切換盤設計考量可依據分段開關 DS 的投入狀態來動態切換抓取的 BPT 訊號，此特性類似於輔助電驛(LA RY)動作線圈(OC)與重置線圈(RC)的運用。另外考慮若無法以動態方式自動變更抓取的訊號，須能夠以手動方式將其切換至正確的匯流排比壓器訊號，此特性類似於操作開關(CS)的運用。綜合前述故

採用可以結合兩種特性的控制切換電驛(CSR)。

- (3) 將單一線路或變壓器的控制，集中設計於一盤面，配合滿足一所變電所的設備需求：10 回線路、4 台變壓器的控制，並同時設有 Bus PT 燈號指示、Power Meter 及故障指示器以利現場人員掌握 Bus PT 的狀況。
- (4) 目前公司已有青山電廠及北區施工處的廣安 D/S(104.12)採此模式且加入系統運轉中；惟南區施工處的王行 D/S 及營建處統包之澎湖 P/S，因工程延宕或其他不可抗拒的因素，故尚未加入系統。
- (5) 總結 BPT 動態切換其特點如下：
 - A. 儀錶接 BPT Y 繞組 CSR，保護電驛接 BPT X 繞組 CSR，兩者 BPT 自動切換設計方式類似同步連動。
 - B. 原盤面安裝的 BVS 開關廢除。
 - C. 匯流排保護電驛會立即自動配合線路及變壓器設備所掛接之匯流排改變，而調整其保護區間。
 - D. 匯流排掛接方式改變，免配合控制回路改接工作。

4. 變電設備採購精進作為：

(1) 變電設備庫存管控：

以往採購變電所大項設備如變壓器及氣體絕緣開關設備等，交貨方式皆為製造廠驗收完成後立即入帳，如果變電所土建尚未完成以致設備無法安裝時，則先交倉庫或暫時寄放乙方製造廠，俟變電所土建完成後，再通知交工地安裝並辦理出帳。惟此舉往往因土建延誤而產生庫存，為改善上述情形，自 101 年 7 月起，大項設備採購之交貨方式改採驗收完成後，設備先不入帳，俟變電所土建完成後，再直接通知廠商交工地安裝並同時辦

理入帳及出帳，亦即設備入帳後立即出帳，如此可避免因土建延宕而造成設備庫存。

上述變更後，變電器材庫存金額由 102 年 1 月之 21.9 億元，逐年調降至 104 年 12 月之 3.34 億元，降幅達到 84.75%，可說成效卓著。

(2) 變更大項設備保固期限：

鑑於以往 GIS 因為廠商累積多年製程之經驗，加上設備運轉穩定，因此保固期限訂為驗收合格後保固 2 年，惟近年常因線路遭受抗爭，以致加入系統日期延誤，而產生送電前即已過保固期之窘境，同時也造成接收維護單位之困擾。經檢討後，修改採購規範，將 GIS 之保固期比照變壓器改為加入系統後保固 3 年，如此不僅可以避免上述問題產生，而且統一變電所全部大項設備之保固期限，也有利於契約之執行。

5. 變電設計(松江 D/S 新建工程)新思維：

(1) 土地限制：

本工程基地面積約為 2506m²、法定建蔽率為 40%、容積率為 200%、道路退縮 3.64 公尺，基地周遭環境如圖 19 所示並說明如下：

- A. 基地北側有既設截流站及自來水管橋，且有直徑 2 公尺之自來水輸水幹管自基地中間穿越。
- B. 基地南側有 69kV 架空線(大同~中山~士林分歧線)沿基地邊緣通過。
- C. 基地西側臨基隆河河堤，且有搭船台階伸入基地。
- D. 基地位於松山機場飛機航道正下方，建築物限高 19.499 公尺。

(2) 規劃限制：

- A. 地主(台北市政府養工處)以該抽水站將設置辦公大樓及抽水人員對變

電所設施產生之電磁場有疑慮，要求變電所電力變壓器設於鄰新生大排右岸與濱江街交會口之角隅，且不得任意變動變壓器位置，亦不得再擴建或更換較大容量變壓器，為順利推動本工程，勉予同意地主所提購地條件，後續規劃須依此條件設計，如圖 20 所示。



圖 19 松江 D/S 基地之位置圖



圖 20 自來水輸水幹管穿越基地及河堤與搭船台階基礎位置示意圖

- B. 基地北側設有自來水輸水管橋，經洽台北自來水事業處提供圖資，以確認直徑 2 公尺之自來水輸水幹管自基地中間穿越之埋設位置，另依自來水事業處之要求，該輸水幹管四周施工安全距離至少應為 1 倍管徑或 1 公尺以上，且輸水幹管上方需淨空以利日後修護。因基地遭自

來水輸水幹管分割為東、西兩塊土地，可規劃空間受到極大限制。

C. 基地西側設有河堤及搭船台階，經洽台北市工務局水利工程處提供圖資，該河堤每隔約 3.5 公尺設扶壁，且扶壁向基地伸入約 4~5 公尺，另水利工程處要求本工程開挖時不可破壞既有設施及維持大排側邊搭船台階之設置，故本處土建部門建議變電所配置應距河堤 1 倍以上之距離(10 公尺)，依前述要求規劃，將造成基地西側土地無法規劃變壓器室。

D. 161kV 榮星~松江、長春~松江、松江~民捷線電纜管路工程施工，因工作井開挖深度達 10~11 公尺，鋼鉸樁須打設 16 公尺，原預定位置與 69kV 架空線過近，又南側濱江街管路複雜，因此須向北移設。北移之 161kV 管路原應穿越自來水管設置於水管東側，因本處線路部門顧慮施工安全，將到達井變更至水管西側。直井位置限制變電所配置也影響變電所可配置空間，如圖 21 所示。

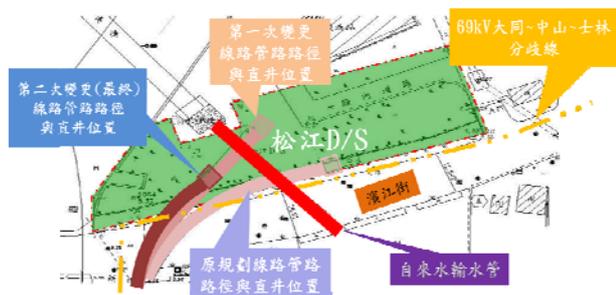


圖 21 歷次 161kV 線電纜管路與直井規劃位置圖

E. 依中油公司提供之圖資，該公司油管僅經過基地西南角一小角隅，惟本處線路管路直井試挖時發現該油管位置與圖資不符，經本處土建部門另案發包試挖後，該油管係由河

堤搭船台階穿越用地西南側至濱江街，如圖 22 所示，影響變電所原規劃設計。



圖 22 中油油管設計及實際埋設路徑示意圖

(3) 因應方案：

A. 協調變電所改採一棟興建：

因新生大排河堤基礎、自來水幹管等施工安全距離限制，基地西側用地已無足夠空間可供配置變電所設備，為讓工程能繼續進行，經多次與台北市工務局水利處溝通協商，並說明變電所變壓器室與其他變電設備室採分棟方式規劃設計，將遭遇前述問題而無法施工，建議採一棟規劃興建，如圖 23 所示，除對變電所施工及日後運轉維護較便利，西側亦可保留完整綠化空間，惟水利處仍堅持變壓器室設於鄰新生大排右岸與濱江街交會口之角隅。

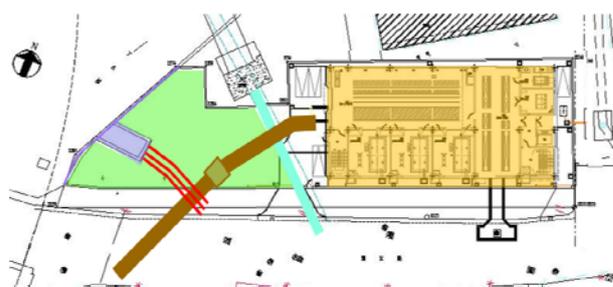


圖 23 採一棟規劃興建平面規劃圖

B. 廢除基地西側搭船台階：

因水利處堅持變電所採分棟設

計，故本處另提案廢除基地西側搭船台階，經協調後，水利處於 97 年 6 月 26 日函覆同意本處廢除松江 D/S 基地內之搭船台階訴求，如圖 24 所示，惟要求本處封閉搭船台階堤防缺口時，應對堤岸結構進行補強，並送相關圖說送水利處審查同意後，始可施作。



圖 24 基地內搭船台階廢除示意圖

C. 釐清中油油管施工限制：

因松江 D/S 基地西側於 161kV 線路施作直井時發現中油油管與圖資不一致，經邀請中油公司於 97 年 11 月 27 日開會研討，並說明變電所基地內之油管與本案規劃之變壓器室相重疊，如圖 25 所示，嚴重影響變電所規劃配置及施工，中油公司同意基地內之油管(廢管)、天然氣管及光纖等三條管路，如本處施工期間若有安全顧慮，將配合施行保護措施，且派人赴現場巡視、協助，萬一施工不慎損及管路，必要時將進行更換或放棄。



圖 25 基地內油管位置及建築基礎結構示意圖

D. 釐清自來水輸水幹管施工限制：

因松江 D/S 基地北側設有自來水輸水管橋，且有直徑 2 公尺之自來水輸水幹管自基地中間穿越，經多次與台北自來水事業處溝通協商能否遷移，該處表示，基地內之自來水輸水管係為北投輸水主要幹管，該幹管已於民國 75 年獲台北市政府工務局同意申請用地使用，且管線遷移將影響 60 萬人民生用水甚鉅，故不可行。

另該輸水幹管下游段曾因中油公司施工引起邊坡地層滑動，導致多處漏水，嚴重影響民生用水，考量本案基地屬地質軟弱之基隆河道，建議本公司於輸水幹管四周施工時，其施工安全距離至少為輸水幹管 1 倍管徑以上；另考量該輸水幹管日後維護需要，建議本公司電力電纜採架空方式跨越輸水幹管，如圖 26 所示，以預留修護空間。

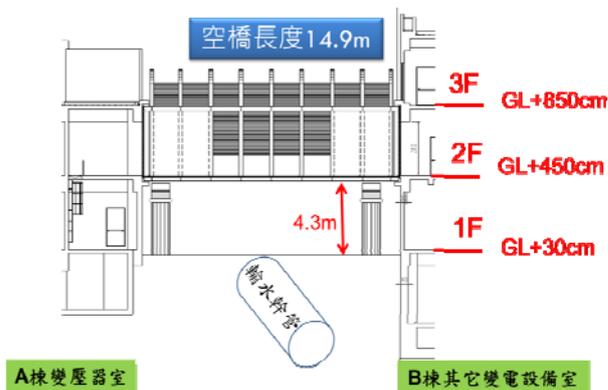


圖 26 電力電纜採架空方式跨越輸水幹管

E. 檢討變壓器室施工及維護空間：

水利處雖同意本處所提封閉搭船台階，惟須對堤岸結構進行補強，另基地中央有直徑 2 公尺之自來水輸水幹管埋設穿越，為避免土建施工時造成既有河堤及輸水幹管

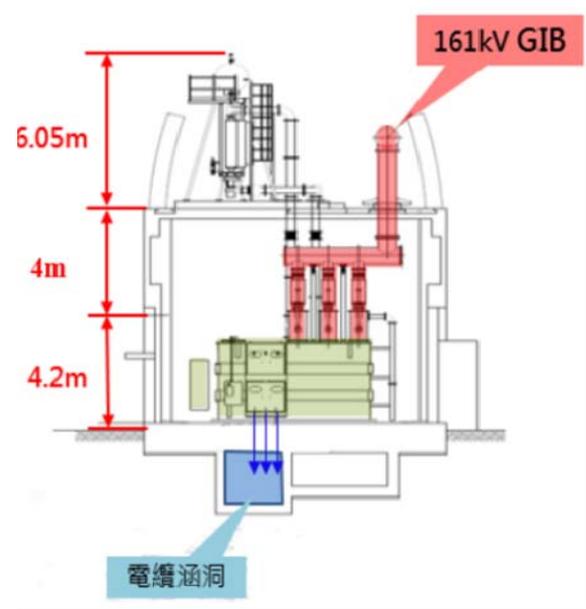
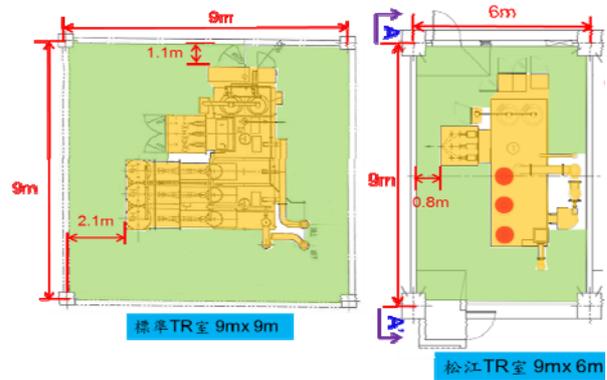
破壞，故須留設適當安全距離，惟基地西側基地可使用面積遭到限制，原規劃分棟配置於基地西側之 161kV 60/60MVA 變壓器室 9 × 9 公尺標準空間須檢討縮減，經本處變電技術組、線路技術組及各變壓器廠家協助檢討一次側水平套管改為垂直配置及電纜採垂直引接之可行性，以縮減原採水平套管之配置空間(約 3 公尺寬)，經檢討一次側套管改為垂直配置可行，惟考量電纜採垂直引接之電纜終端不易施工，亦不利於日後維護等因素，變壓器一次側選擇採用氣體絕緣匯流排(Gas Insulated Bus, GIB)引出至上方樓層，如圖 27 所示，而變壓器二次側仍維持原設計引接至下方 2 公尺高度之電纜涵洞，因此，變壓器室規劃空間可縮減為 9 × 6 公尺，除能降低西側基地開挖施工之風險，亦可滿足變電施工及運轉維護之空間需求，並可依興工單需求配置三台變壓器，及符合變壓器室設於基地西側角隅之要求。

F. 檢討變壓器與氣體絕緣開關設備連絡線路徑：

因基地中央有直徑 2 公尺之自來水輸水幹管埋設穿越，配合台北自來水事業處日後維護該輸水幹管需要，A 棟變壓器室與 B 棟建築物間須設置空橋，以利 161kV 電纜連絡線、控制電纜及 161kV 輸電線橫跨，如圖 28 所示。

該空橋二樓主要供 161kV 輸電線、變壓器二次側電纜及控制電纜托架用，空橋三樓則供變壓器一次側 GIB 用，如圖 29 所示，GIB 配置實況如圖 30 所示。空橋外觀配合變

電所作整體設計，並採自然通風，此外，除供電纜佈線外，還可供人員巡視。



A-A'側視圖

圖 27 變壓器一次側採用氣體絕緣匯流排引出至上方樓層

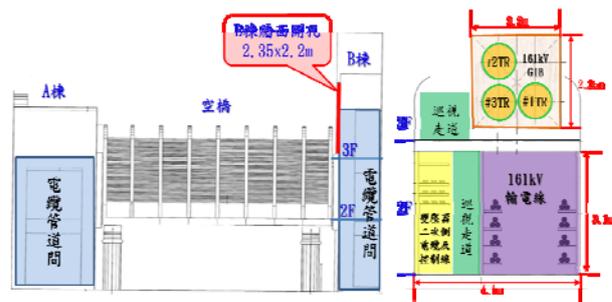


圖 28 A、B 棟空橋配置佈及剖面圖

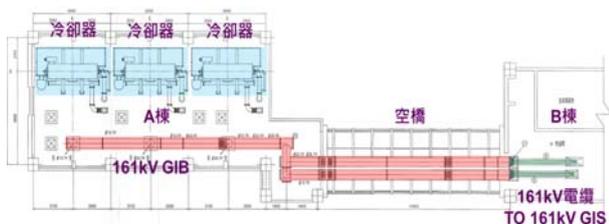


圖 29 A、B 棟三樓變壓器一次側用 GIB 配置圖



圖 30 變壓器一次側用 GIB 配置實況

本案基地屬地質軟弱之基隆河道，雖經地盤改良，但因 A、B 兩棟建物之沉陷量仍有不同，其中 B 棟主體結構最大沉陷量約為 2 公分，且空橋與 B 棟建物之 X、Y 向碰撞距離分別 10 公分及 15 公分，如變壓器一次側之 GIB 經空橋引接至 B 棟 161kV GIS，恐因兩棟建物沉陷量及地震時之變位量不同，而造成 GIB 錯位漏氣或變形，故 GIB 引入 B 棟建物時須改為電力電纜，另考量 GIB 與 B 棟建物銜接面之防水及變位量，該銜接面係採用彈性材質填充阻隔。

GIB 轉為電力電纜後，係採用水平插入式電纜終端，另考量 GIB 與電力電纜銜接面之重力及地震時之變位量，故要求將電力電纜與 GIB 間之第一只電纜固定座必須與 GIB 連結，如圖 31 所示，以避免該銜接面產生漏氣，亦利於釐清設備商與本公司之責任歸屬。

因 GIB 轉為電力電纜後，該電纜須自 3 樓垂直引至地下一樓，配合 GIB 配置高度與電力電纜彎曲半徑，電力電纜轉彎時之固定點須經檢討模擬，以符合彎曲半徑之規定，其設計如圖 31 所示。

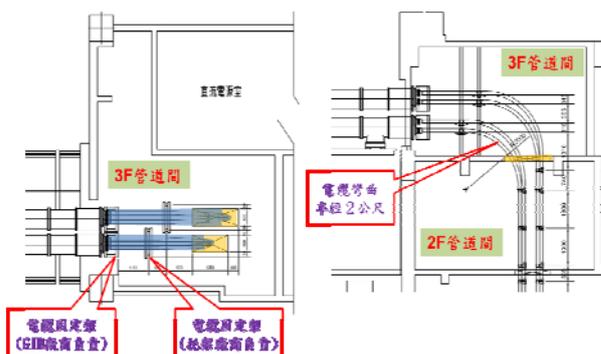


圖 31 電纜固定架責任分界點及固定點檢討

6. 開發變電所電控設計圖面自動繪圖系統：

目前變電所監控圖面，設計過於複雜且圖面繁多。開發以 AutoCAD 繪圖軟體為架構加入人機介面系統化平台，並以智慧搜尋資料庫選擇適當標準圖塊加以連結設計，不但解決複雜的設計問題，而且縮短繪製時間，提升設計圖面的品質。另建置雲端服務平台推廣至本公司相關單位使用，提升同仁作業效率，進而增加公司競爭力。

- (1) 變電所監控圖面之配電盤平面配置圖及配電盤底座槽鐵及電纜孔位置圖等圖面因牽涉變電所基地空間大小及建築結構等因素，不易建立標準設計暫不考慮，其中 161kV 及 23kV GIS 採購單線圖、161kV 及 23kV 系統單線圖、控制盤配置圖及電驛盤配置圖等 6 種圖面，將開發各自獨立自動繪圖程式。
- (2) 控制盤及電驛盤接線圖其種類非常多，而內部器材配置接線圖已趨向標準化，開發搜尋程式來縮短重複開啟

舊檔及找尋適當或相似可用的盤面時間。

- (3) 配合調度中心資料庫使用 EXCEL 格式之檔案，開發擷取 RTU 設計圖 (AutoCAD 格式)轉換為 EXCEL 檔案，以取代原本人工逐筆輸入方式。
- (4) 各盤面接線圖完成後，會有一張電纜分析表，紀錄該盤面需求之電纜芯數、線徑及長度等資料，開發統計程式將所有盤面(一般約 30~40 盤)相同規格之電纜予以加總，以利工務部門備料。
- (5) 透過本處網路伺服器建置雲端服務平台，分享至本公司其他單位使用，此平台具有更新程式碼功能，也提供使用者及時回饋機制，讓使用者操作程式時避免發生錯誤，提升整體設計監控圖面的效率。
- (6) 本系統已刊於 101 年 9 月 769 期台電工程月刊。

四、保護電驛

(一) 輸電線路保護電驛

1. 345kV 輸電線路保護電驛：

345kV 輸電線路電壓等級較高，且為重要之輸電線路，故採用更周全之雙重保護方式。

第一、二套保護電驛：數位式電流差動電驛(87L)為主保護(內含 Direct Transfer Trip, DTT：直接傳訊跳脫功能)，智慧型測距電驛為後衛保護(含復閉電驛功能)。

(1) 保護特性：

- A. 每套電驛設備使用之比流器、比壓器繞組、直流電源、控制回路及跳脫線圈，均須獨立。
- B. 兩套主保護運用不同路徑之通訊媒體。

C. 輸電線路之復閉電驛採 1+3(單相加三相)復閉系統，另 345kV 線路所內連接站到 GIS 之間為 XLPE 電纜須增設電纜區間事故時不復閉之判斷功能。(本案於 99.10.14 大潭~竹工 345kV 線路多相復閉功能變更討論會議紀錄形成共識，目前竹工~龍潭(南、北線)、竹工~大潭(一、二路)已規劃採用 GRL100-531B (1+3(單相加三相)用)及 GRZ100- 201B(測距用)電驛。

D. GRL100 是一種高速各相差動保護電驛，通信上使用專用光纖連接、64 kbit/s 多重通信通道或微波中繼裝置，可用於構成架空線、地下電纜、二端子或三端子輸電線路、短/長距離輸電線路等各種各樣的超高壓/高壓網路，不僅具有後衛保護功能、利用檢查同步化的自動重合閘功能等，還具有高精度的故障界定、測量、資料記錄、通信等擴展功能。在 SDH/SONET 通信網路，傳播延遲可能在發送/接收路徑間出現差異，GPS 同步模式就實際應用於網路上。

(2) 電流差動電驛之特點：

- A. 百分之百全線段保護。
- B. 設定及保護協調容易。
- C. 適用於各種電壓等級。
- D. 通信延遲藉由時間戳記或同步信號可自動補償。
- E. 無感應電壓問題。
- F. 無距離限制。

(3) 使用電驛廠牌、型號及外觀：

- A. SEL-311L(SEL 製)，外觀如圖 32 所示，特性如下：
 - (A) 使用於 345kV、161kV 及 69kV 輸電線路。

- (B) 取波樣 16 次。
- (C) 50% 設定值之動作電流下，平均動作時間小於 1 週波。
- (D) 12 芯鎧裝光纜(ST/PC-ST/PC 多模)及 2 只 SEL-2890 通訊埠(配合 SEL-311L×2)，保護電驛盤至電驛通信介面箱須使用乙太網路線(Cat.5E)連接。



圖 32 SEL-311L 之外觀圖

B.SEL-421(SEL 製)，外觀如圖 33 所示，特性如下：



圖 33 SEL-421 之外觀圖

- (A) 使用高速元件，動作小於一個週期，適用於單極或三極跳脫。
 - (B) 整合了雙斷路器，四次復閉功能，可依據不同的事故狀態、保護區間或其他條件來決定是否啟動復閉功能。
 - (C) 事故紀錄時間精確，可用來核對各變電所於事故時之負載角度及系統阻抗。
 - (D) 透過監視系統 DC 電壓及電驛本身自我故障偵測能力來提升可靠度。
- C. GRZ100-201B 及 GRL100-531B(TO-

SHIBA 製)，外觀如圖 34 所示，特性如下：



圖 34 GRZ100-201B 及 GRL100-531B 之外觀圖

- (A) 使用分相線路差動保護與數字通信系統。
- (B) 高電阻接地故障零序電流差動保護。
- (C) 架空線或地下電纜等。
- (D) 過電流後衛保護。
- (E) 單相/三相/單相和三相自動復閉之多相復閉雙回線功能。
- (F) 斷導線檢測。
- (G) 失步保護。
- (H) 斷路器失靈保護。

2. 161kV 輸電線路保護電驛：

採一套全線段快速跳脫主保護及後衛保護規劃。

(1) 差電流電驛保護方式：

92 年 6 月以後加入系統之 161kV 輸電線路規劃以一套獨立之差電流電驛(87L×1，採光纖傳輸訊號方式)為快速跳脫主保護，另以一套微處理式數位型測距電驛(21S：21/21N)為後衛保護。目前設計之 161kV 輸電線路規劃以雙差流電驛(87L1+87L2)保護。

161kV 輸電線路經系統穩定度分析如三相故障臨界清除時間大於 8 週

波而未達 12 週波者，除後衛保護功能外，必須裝設或規劃兩套全線段快速跳脫主保護電驛，即兩套獨立之差電流電驛(87L×2，採光纖傳輸訊號方式)為快速跳脫主保護電驛。

N-1 卸載用電驛係監視某些重點線路之負載變化，當線路發生 N-1 事故時，為了避免線路因過載跳脫引發連鎖骨牌效應，採取將變電所(E/S、P/S)或轄區 D/S、S/S 部分負載卸除之保護措施，因 SEL-311L 保護電驛具有 50+2 之功能，故依 103.11.26「配合林口新 #1 機及新 #2 機採 161kV 輸電相關配套措施討論會議」紀錄，於 103 年及 104 年輸變電工程處輸變電計畫線路電驛 SEL-311L 採購案，配合使用 SEL-311L 保護電驛。

(2) 電驛之特點：

數位型電驛通訊有以下幾種方式：數位多工器(87L 通信介面設備)網路、直接光纖引接、電話撥接、乙太網路。

(3) 使用電驛廠牌、型號及外觀：

A. SEL-311L(SEL 製)

B. GRL-100(TOSHIBA 製)

(A) 全面使用於 161kV 及部分 69kV 輸電線路。

(B) 每週取波樣 48 次(本端)，數位通道傳輸每週波 12 次。

(C) 在 300%設定值之動作電流下，平均動作時間小於 1 週波。

C. GEL-90(GE 製 L90 型) 及 GED-60(GE 製 D60 型)，外觀如圖 35 所示，特性如下：



圖 35 GEL-90 及 GED-60 之外觀圖

(A) 全面使用於 161kV 及部分 69kV 輸電線路。

(B) 通信方式：

a. RS-422(EIA-422)電介面

b. 多模 C37.94 光纖介面

c. 單模直通光纖介面

3. 高壓用戶線保護電驛：

環路供電或雙回線並聯引供之特高壓用戶線，必須裝設兩套全線段快速跳脫主保護電驛(雙差流 87L×2)及一套數位式測距電驛(21S：21/21N)為後衛保護等。使用電驛廠牌及型號如下：

(1) GRL-100(主保護電驛 TOSHIBA 製)

(2) GE-D60(後衛保護電驛 GE 製)

4. 69kV 輸電線路保護電驛：

自 97 年起供電處自行汰換一次變電所之 69kV 出口線路或重要的 69kV 線路為數位式雙差電流電驛(87L×2)保護等。使用電驛廠牌及型號如下：

(1) SEL-311L(SEL 製)

(2) GRL-100-711P(GE 製)

(二) 變電所保護電驛

1. 匯流排保護電驛：

變電所匯流排萬一發生接地、短路故障時，對於系統影響甚鉅，即屬於重大故障，故較為重要之變電所，匯流排均採雙匯流排設計，並以差動電驛作保護，即便發生事故也不致使變電所完全失效。

新型數位匯流排保護電驛自 96 年起，數位式匯流排電驛(87B)採用 B90(GE 製)、SEL-487(SEL 製)。

另 103 年再次換舊器材，採用 GE B90 數位式低阻抗匯流排保護電驛。使用電驛廠牌、型號、外觀如下：

(1) GE-B90(GE 製)



圖 36 GE-B90 之外觀圖

(2) SEL-487B(SEL 製)



圖 37 SEL-487B 之外觀圖

(3) GE-B90(數位式低阻抗匯流排保護電驛 SEL 製)



圖 38 GE-B90(數位式低阻抗)之外觀圖

特性如下：

- A. 多個差動區保護之系統。
- B. 動態母線模擬提供多差動區的保護，可用於多段重新配置的母線保護。
- C. 為 24 個斷路器提供末端故障保護及提供斷路器失靈保護。
- D. B90 系統每一電流輸入提供暫態過電流保護功能。

2. 變壓器保護電驛：

差動電驛基本原理係利用流入與流出被保護設備之電流向量(大小、相位)差，進而判斷是否該動作的一種保護電驛。345kV 500MVA 自耦變壓器主保護採兩套快速差動電驛(具諧波抑制功能)及 161kV 200MVA 主變壓器主保護採一套快速差動電驛(具諧波抑制功能)。

新型數位變壓器保護電驛自 95 年起，數位式差動電驛(87T)採用 SEL-387(SEL 製)、T60(GE 製)，數位式測距

電驛(21)採用 SEL-311C(SEL 製)、D60(GE 製)，數位式過流電驛(51/51N)採用 SEL-351(SEL 製)、F35(GE 製)。

另 103 年再次換舊器材，亦採用 GE T60 Transformer Protection System 保護電驛。使用電驛廠牌、型號及外觀如下：

(1)SEL-387(SEL 製)



圖 39 SEL-387 之外觀圖

(2) GE-T60(GE 製)



圖 40 GE-T60 之外觀圖

3. 並聯電抗器保護電驛：

新型數位電抗器保護電驛自 96 年起，數位式差動電驛(87R)採用 SEL-387A(SEL 製)，數位式過流電驛(51/51N)採用 SEL-351(SEL 製)。使用電驛廠牌、型號及外觀如下：

- (1)SEL-351(SEL 製)
- (2)SEL-387A(SEL 製)



圖 41 SEL-387A 之外觀圖

特性如下：

- A. 變壓器電流差動保護：帶有可程式設計設定的單斜率或雙斜率制動，帶有二次或四次諧波閉鎖或制動元件，還有五次諧波和直流閉鎖元件，用以安全保護變壓器的兩個繞組。可以選擇共同的或獨立的諧波閉鎖。
- B. 保護和控制邏輯：兩個限制接地故障(REF)元件用於星型接地繞組的接地故障保護。
- C. 使用一個 SEL-387A 電驛能保護任何一個兩繞組變壓器。
- D. 使用低電壓側繞組的過流元件作為母線和饋線的後衛保護。

4. 連絡斷路器保護電驛：

新型數位連絡斷路器保護電驛自 96 年起，數位式瞬時過流電驛(50)採用 SEL-351(SEL 製)。

5. 斷路器失靈保護電驛(Breaker Failure Relay, BF RY)：

在超高壓電力系統保護中屬於一種重要的後衛保護，是目前本公司在重要發電廠、超高壓變電所、一次變電所及一次配電變電所，對 161kV 以上斷路器所設計極重要且為後衛保護最終防線。

超高壓變電所之各 345kV 及 161kV 斷路器均須裝設斷路器失靈保護電驛。

新型數位斷路器失靈保護電驛自 96 年起，採用 SEL-351(SEL 製)及 C60(GE 製)。

另 103 年汰換舊器材，採用新型數位斷路器失靈保護電驛 ABB REF615 (ABB 製)，特性及外觀如下：

- (1) 新型數位 ABB REF615 斷路器失靈保護電驛支援多種通訊協定，通過這些協定可實現動作資訊警告及控制功能。

- (2) 主要功能為保護與控制，其特點為可抽取式的機械設計。
- (3) 設計主要用於三相電流過載保護與零相電流過載保護(另有三相延時、瞬時、接地及方向性接地過電流、三相低電壓、過電壓保護等)。
- (4) 通訊模組可選用弧光保護功能。
- (5) 擁有自我偵測信號之 IRF(內部電驛故障)數位輸出接點。
- (6) 當本體被拉出分離時，CT 二次側接點會自動短接。



圖 42 ABB REF615 之外觀圖

6. 饋線保護電驛：

為因應世界潮流，本處於民國 88 年起，新、擴(改)建變電所工程開始採用 11kV/22kV GIS 開關設備，並在 11kV/22kV GIS 開關設備箱面板上安裝智慧型電子裝置(Intelligent Electronic Device, IED)，以配合變電所自動化、智慧化及監控系統之需求，因此目前 22kV/11kV 級饋線保護電驛由 23kV G.I.S.用 I.E.D.取代。IED 主要特點如下：

- (1) 以微處理器(Micro Processor)為其運算中心。
- (2) 系統參數儲存在 Flash Memory，不因電源中斷而消失。
- (3) 具 PMCC 之功能。
 - P：Protection (保護)
 - M：Measuring (量測)

- C : Control (控制)
- C : Communication (通訊)

(4) 模組化設計。

(5) 軟體功能強大：

- A. 自我診斷
- B. 功能增減之彈性高。
- C. 參數(多組)設定、修改容易。

IED 安裝於 23kV GIS 各檔位控制箱內面盤上。使用電驛廠牌、型號及外觀如下：

(1) F650(GE)



圖 43 F650 之外觀圖

(2) SR-760(GE)



圖 44 SR-760 之外觀圖

(3) SEL-351(GE 製)



圖 45 SEL-351 之外觀圖

A. 可抽取式裝置，I/O 模組可從正面抽

出而不影響輸出線路，維護或更換無須拆除任何接線。

- B. 電驛保護有瞬時、延時、方向、欠壓及過壓、頻率、復閉、同步檢定等功能，使用者斷路器故障(BF)及相關的後衛保護規劃時，電驛將依照規劃程序執行必要的保護動作。
- C. 電驛正面裝設 16 個 LCD 顯示燈號，顯示電源、電驛動作狀態、故障種類、復閉狀態及電驛狀態自我偵錯。
- D. 具有兩個調變的 IRIG-B 時間校正用通信埠，可連接衛星定位，準確紀錄事件發生時間。
- E. 具有故障定位功能。

參、未來展望

近年來極力設法排除變電所開發阻礙，一路走來從變電所景觀改善、多目標使用、開放綠地及公益回饋等規劃著手，已解決諸多困難，但回顧仍未能完成之變電所，民眾抗爭是最主要因素，訴求多是變電所鄰避性質影響房地產價值，而多目標開發的經驗，不僅化解抗爭，更增加可觀的資產。

一、輸電線路增容電纜

電能在傳輸過程中產生的損耗，主要來自於輸電線電纜導體的交流電阻損失，損失與電流平方成正比，當傳輸電流或容量增加時，電能的損失將急劇地增大；所產生之熱量會使導體溫度升高，進而嚴重影響高壓電纜、超高壓電纜、及大傳輸容量電線電纜之絕緣壽命。開發增容導體、光纖複合及鉛被電力電纜，可有效降低導體之集膚效應及近接效應提高傳輸容量。

集膚效應為導體內部傳輸電流與導體內部渦流效應之重疊效應，近接效應為導體內部傳輸電流與導體外部渦流之重疊效應，以上兩效應會

使得導體產生電流梯度導致交流電阻增加，故降低集膚效應與近接效應，可提高導體使用率降低交流電阻。

增容電纜可以增加電纜送電容量，並加上光纖複合的結構作為監控及訊號傳輸，並以鉛被覆提高特定場合之防水防災功能，能達到提高輸電容量、減少導體損失、減少溫升、減少電磁干擾、降低災害、延長使用壽命、降低電纜導體(絕緣體等各層材料)等地球資源耗量。隨著電壓等級提升，故障率提高、可靠度降低、絕緣及製造技術面臨許多瓶頸，近期國際少數技術領先廠商紛紛提出導體增容技術，用以填補及銜接未來直流傳輸技術普遍化及超導傳輸技術商品化前之真空期，提高傳輸容量、降低導體溫升與損失之導體增容技術可望為電力傳輸開啟新里程。

二、變電所

(一) 閘控虛功率補償設備技術

由於經濟的發展，帶動電力的需求，使得輸變電容量不足，造成電力品質及穩定度下降，加上輸變電計畫常因輸電線路權、變電所地權之取得困難及民眾抗爭等因素，以致工程落後，危及電力系統安全，所以國外研究於變電所裝設靜態並聯補償器，以提昇輸變電容量及系統穩定度，改善輸變電系統電力品質，避免將來發生大規模停電或限電，造成嚴重經濟損失。由於靜態並聯補償器不需外部電源，且其輸出之電容性或電感性電流比傳統無效電力補償設備（固定電容器或固定電抗器）較不受系統電壓高低影響的優點，故該設備可使用於輸變電系統中尖載無效電力不足或輕載過多的地區，以強化系統控制及彈性主動調整系統電壓能力。此外，近年再生能源建置擴增迅速，因再生能源具有間歇性、不穩定供電特性，故靜態並聯補償器亦廣泛應用於再生能源系統。

靜態並聯補償器一般常用的設備包括

靜態虛功補償器 SVC(Static Var Compensator) 及靜態閘控同步補償器 STATCOM (Static Synchronous Compensator) 兩種，其中 SVC 是藉由啟斷或投入閘流體控制的電容器及電感器組，而產生可變的電抗，進而對輸電系統進行補償(供給或吸收虛功率)，以穩定系統。但因 SVC 由電容器及電感器等被動元件組成，容易產生共振、反應時間較慢及諧波成分高等缺點。新式的並聯補償設備(STATCOM)，藉由各種電力轉換器(Converter)，直接產生可控制的虛功率，而不需要使用電容器或電感器等儲能裝置，可以避免上述的缺點。其系統架構如圖 46、47 所示，SVC 與 STATCOM 之比較如表 10。

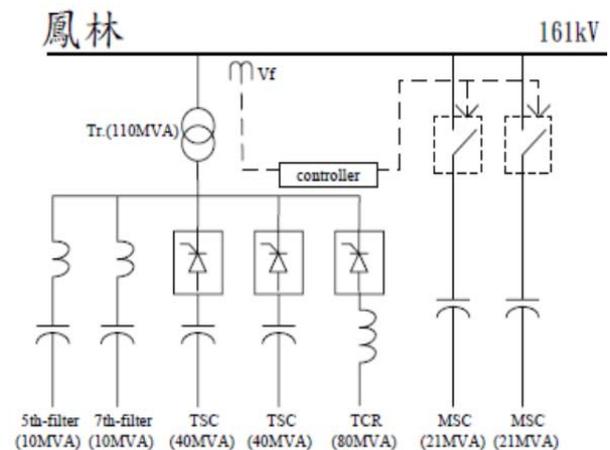


圖 46 SVC 系統架構示意圖

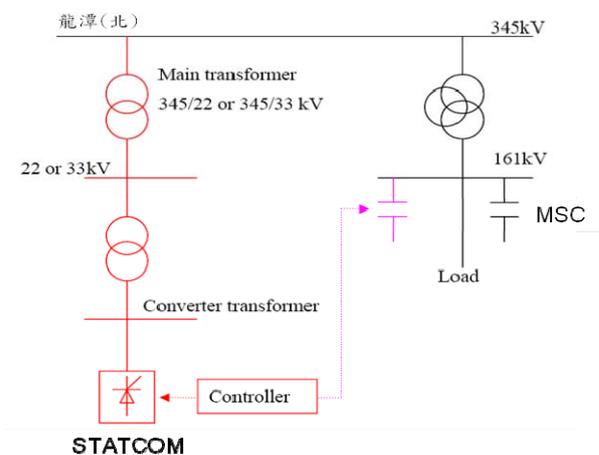


圖 47 STATCOM 系統架構示意圖

表 10 SVC 與 STATCOM 之比較

設備種類	靜態有功補償器(SVC)	靜態同步補償器(STATCOM)
閘流體型式	矽控整流體(SCR)	絕緣閘雙極電晶體(IGBT) 電子注入增強閘極電晶體(IEGT)
主要器材	閘流體閘 電力變壓器 閘流體切換電容器(TSC) 閘控電抗器(TCR) 濾波器/固定電容器(FC) 機械切換電容器(MSC) 機械切換電抗器(MSR) 控制、監視及保護設備	IGBT/IEGT 閘關 電力變壓器 變流器(日系)、電抗器(歐美系) 蓄電容器 濾波器 機械切換電容器(MSC) 控制、監視及保護設備
反應時間	50-60 ms	20-30 ms
對於短路容量	SVC 在防止電壓崩潰的過程中，相當於在系統併入了電容器，使發電機更趨向提高功率因素，這樣相當使短路的實際過渡電流加大。	STATCOM 是電流源，沒有加大短路電流的問題。
對於諧波諧振的影響	SVC 併入電抗器、電容器時，增加對諧波源可能的諧振。	STATCOM 是電流源，相當於併入一個無窮大的電抗，不可能發生類似 SVC 的諧振。
濾波器的使用	由於 TCR 閘流體閘的開關動作，會產生大量諧波，需使用較大容量的濾波器。	第一諧波頻譜位於開關頻率，然後會在開關頻率的倍數。不會產生低次諧波，相對來說濾波器的使用較小，約為 SVC 的 1/3。
使用歷史	SVC 用的元件發展比較早，經驗值與可靠值較高。	IGBT/IEGT 元件近年發展漸趨成熟，使用逐漸增加，為未來之趨勢。
維修保養	複雜且多特製規格，各元件之維修保養，費時且需較多人力。	多數為模組化設計，維修簡便，可拆卸獨立元件做單獨維修。
安裝設計	每個元件須作細部安裝調適，且須考量變電所用地及系統配合，無法單性運用。變壓器須具有耐諧波能力。	多數為模組化設計，現場僅須作定位安裝，各元件已在工廠測試完成，節省安裝時間及費用。可使用標準變壓器，不需特別考慮耐諧波能力。

雖然前述並聯補償設備(STATCOM)安裝計畫，因七輪計畫修正而暫停，但未來如電力系統品質有快速改善之需求時，該設備相信仍是最佳選擇。

(二) 電子式互感器應用於本公司智慧型變電所之可行性研究

目前變電所使用之電流互感器(CT)、電壓互感器(VT)係由鐵芯與線圈構成，體積龐大，且有飽和、鐵磁共振等問題。隨著科技進步，目前已有電子式互感器(ECT、EVT)應用於國外之變電站。因本公司尚無使用 ECT、EVT 之經驗，本可行性研究將進行電子式互感器之設計、施工、運轉維護之研究及提出電子式互感器與 IEC 61850 協定結合之整合方案，俾利公司未來智慧電網之建置。

(三) 變電所監控與保護系統符合 IEC 61850 之架構及建置模式之研究

變電所 SCADA 系統雖然具有易於資料收集分析、減少控制電纜數量、取代傳統配電盤、減少施工與測試時間等優勢，但由於各廠家採用的架構、介面格式、通訊協定等均不相同，且各廠家甚至同廠家不同版本之軟硬體互不相容，造成日後設備擴充不易及維護困難等問題，進而促使由代表歐洲地區的國際電工技術委員會(IEC)以及代表北美地區的美國電力研究所(EPRI)共同會商研討變電所自動化設備之國際標準通訊協定，最後結合 IEC 60870-5 與 UCA 2.0 標準的優點，訂定 IEC 61850 標準，以提升變電所自動化系統不同廠家設備間之互操作性及資料的互交換性，並提升系統整合度與未來擴充性。

依「本公司智慧電網設備採購規範統一作業要點」及國際通訊協定發展的趨勢，未來變電所監控與保護系統勢將走向 IEC 61850 標準，由於在 IEC 61850 標準架構下，變電所監控與保護系統具有數位化、智慧化、網路化及標準化之優點，亦利於監視及收集各變電設備之運轉狀態及資料，可實現設備狀態維護(Condition Based Maintenance, CBM)，故歐洲、美國及日本等國電力公司均積極建置符合 IEC 61850 之變電所監控與保護系統。

由於在 IEC 61850 標準架構下之變電所監控與保護系統，與目前本公司變電所以傳統監控盤面及控制電纜接線方式有極大差異，未來本公司導入 IEC 61850 標準後，將影響變電所監控與保護系統之規劃、設計、採購、運轉、維護及相關人員的訓練，有鑑於六輪計畫變電所 SCADA 系統因各廠家之通訊協定與架構不一，衍生本公司人員訓練及設備擴充不易等問題，因此本可行性研究希望能就本公司各

級變電所(E/S、P/S、D/S、S/S)監控與保護系統探討可行之架構及建置模式。期待未來能完成的事項為：

1.各級變電設備依可靠度、狀態監測等不同需求採用不同之智慧型電子裝置配置模式，以節省建置成本、提升系統可靠度及降低維護成本。

2.結合本公司各單位之需求及國外實際建置完成之案例與經驗，建構本公司未來變電所監控與保護系統及變電設備狀態監測系統採用 IEC 61850 標準之架構與建置模式，以加速智慧變電所之推動時程及利於新舊監控系統之銜接。

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



區域調度中心調度系統之過去、現在與未來

Past, Present, and Future of the Dispatch Systems of Area Dispatch and Control Centers

李建德*
Lee, Jian-De

郭豐誌*
Kuo, Fong-Jih

白雲年*
Bair, Yun-Nian

謝鋒勳*
Hsieh, Feng Hsun

摘要

本文簡要說明自首期電力調度自動化所建置之 CYBER 調度系統，至各個區域調度中心現行使用中之調度系統建置歷程，另說明台北區域調度中心之運轉中調度系統建置歷程，與針對此系統進行各項改善之現況。台電各區域調度中心之調度系統皆已運轉超過十年以上，因此文末簡述未來新一代調度系統汰換工作進程，及對該新系統展望與部分功能說明。

Abstract

This article briefs the building process of automation of the power system from the first generation of the dispatch system, namely, CYBER system, to the existing dispatch system of each Area Dispatch and Control Center (ADCC) Particularly, the construction process of the dispatch system presently in operation at Taipei Area Dispatch and Control Center (TADCC) and the current status of the improvement measures of the aforesaid dispatch system were presented in more details. As all the dispatch systems at ADCCs of Taiwan Power Company have been running for more than a decade, the progress of the replacement projects for the next generation of the dispatch system is then stated in the latter part of the article. Furthermore, the expectations and some specific functions of the new dispatch system are also described in this article.

關鍵詞(Key Words)：系統監控和資料擷取(Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA)、單線圖(One Line Diagram)、資料庫(Database)、末端資訊設備(Remote Terminal Unit, RTU)、區域調度中心(Area Dispatch and Control Center, ADCC)、台北區域調度中心(Taipei Area Dispatch and Control Center, TADCC)、變電所(Substation)。

壹、前言

台電自光復初期，承接日據時代遺留下的電力設備開始，便承擔供給台灣電力與光明的重任至今，轉眼間也過了七十個寒暑。隨著台灣的經濟與工業發展，電力供應的能力亦須隨之增長與

演進，才能符合各界用電的需求。

這段期間不斷、大量的電力建設，無非是希望能扮演好穩定供電的角色。然而，電力事業發展，不僅僅只有仰賴不斷的建設。事前廣泛的資料蒐集與縝密周延的規劃，及事後細心維護和謹慎運轉，每個環節緊密結合，才能使整個電力系統發揮其最大效益。

由於電力系統持續成長，原先傳統以人力為

*台灣電力公司輸供電事業部台北供電區營運處

主的電力設備運作方式，早已不敷實際需求。眾多仰賴人工逐一處理的作業，於各行各業，甚至是日常生活中，逐漸由電腦取代。電力系統的發展同樣無法抵擋這股資訊化洪潮，電力自動化的契機就此產生。

電力自動化在台灣電力供應的歷程中，扮演著極為重要的角色。除了代表諸多人力由電腦取代外，還代表電力系統設備的操作速度與反應能力就此迅速提升。當然，這個成就的背後，付出的人力、物力難以計算。

本文簡述台電電力自動化初期至二期全面自動化建置各區域調度中心之概況，另針對台北區域調度中心現有系統的建置過程，和各項提升、改善系統之措施做說明。最後因應各區域調度中心之系統老舊，接踵而至的新一代調度系統汰換作業積極推行中，本文將說明系統汰換的過程及對新系統的期望，迎接區域調度中心調度系統的下一個十年。

貳、電力自動化歷程簡述

一、第一期電力調度全面自動化工程^[1]

電力調度全面自動化由民國 73 年成立的自動化委員會及規劃小組，與民國 74 年 3 月 1 日成立的電力調度控制自動化推行委員會(以下簡稱電控會)進行規劃與推動的工作。台電之電力調度系統規畫成為階層調度控制系統(Hierarchical Dispatch Control System, HDCS)，由上至下分成三個階層：中央調度系統(Central Dispatch Control System, CDCS)、區域調度系統(Area Dispatch Control System, ADCS)，以及配電調度系統(Distribution Dispatch Control System, DDCCS)。

首期工程於台北建置中央調度中心(Central Dispatch Control Center, CDCC)，與建置台北及高雄區域調度中心(Area Dispatch Control Center, ADCC)、北市及高雄配電調度中心(Distribution

Dispatch Control Center, DDCC)，並將部分一次變電所(Primary Substation, P/S)、一次配電變電所(Distribution Substation, D/S)、二次變電所(Secondary Substation, S/S)納入監控。此工程顧問得標公司為美國麥可洛公司(MACRO)，於 74 年 9 月 9 日簽約；系統製造得標廠商為美國康大資訊公司(Control Data Corporation, CDC)，採用 CYBER 系統，於 76 年 3 月 15 日簽約，此系統於民國 79 年 9 月 30 日正式商業運轉。

首期工程完工後，電控會緊接著進行推展第二期工程，本工程分為兩個階段，原因為直接利用台北 ADCC 與高雄 ADCC 系統的餘裕，足可處理此兩區轄內包含未設立 DDCC 之相關變電所資料。調度系統有其使用年限限制，縮小工程範圍使其盡早完工，讓首期建置之系統達到最高效用避免浪費，故第一階段未包含 ADCC 建置工程^[2]。

第一階段工程由 CDC 公司議價承包，共設置北南、北西、北北、鳳山、屏東等 5 個 DDCC，及台北與高雄 ADCC 轄內首期工程未納入監控之變電所加入系統，此工程於民國 83 年完工。首期工程與第二期第一階段工程之 DDCC 主機皆置於 ADCC 內，故以調度系統而言，實為二階系統。

二、花東供電區 SCADA 系統

花東供電區之花蓮 P/S 監控站、台東 P/S 監控站、花蓮與台東 DDCC 由國內廠家健格科技承製，於民國 86 年完成。花蓮 P/S 為花東地區之 ADCC，但僅有 ADCC 設備之建置，無 ADCC 組織設置。鳳林超高壓變電所(Extra High Voltage Substation, E/S)加入系統後，原花蓮 P/S 監控站及值班人員便遷移至鳳林 E/S^[3]。花蓮 P/S 設置 SCADA 主系統^[4]功能，可同時監控鳳林 E/S 監控站轄內(花東供電區所轄 7 所，加花蓮 DDCC 所轄 6 所 S/S)、台東 P/S 監控站轄內(花東供電區所轄 8 所，加台東 DDCC 所轄 4 所 S/S)之所轄變電所，以及東部發電廠之 G/S 開關場與其相關 69kV 線路。

另於勝安 D/S 建置備援系統，此備援系統採用 DNP 3.0 over TCP/IP 之通訊協定，該系統僅監控花東供電區所轄之變電所，未將東部發電廠之 G/S 開關場、花蓮區處與台東區處轄內之 S/S 納入監控。當花蓮 P/S 之 SCADA 主系統系統異常時，勝安 D/S 之備援系統可接手監管電網，維持電力系統運轉穩定。

為提高系統可靠度，花東 SCADA 系統包含異地備援之設計：鳳林 E/S 監控站必要時可設定由台東 P/S 監控站代為監控，亦可由可由花蓮 P/S 主控站監控鳳林 E/S；台東 P/S 監控站必要時可設定由鳳林 E/S 監控站代為監控，亦可由花蓮 P/S 主控站監控台東 P/S。

三、第二期階層調度控制系統建置^{[5][6]}

於第二期第一階段工程進行時，第二階段工程亦同步展開。本工程將前述工程未包含在內之變電所自動化工程為首要重點，隨後進行第二期階層調度控制系統(HDCS II，以下簡稱二期工程)建置工程。本工程為配合推動國產化政策，乃由國內廠家大同公司承接，並由加拿大航電公司(Canadian Aviation Electronics, CAE)負責系統之設計與製造。

此工程於 87 年 9 月起開始進行，共設置基隆、新竹、台中、新營 ADCC 及此 4 個 ADCC 轄內共 12 個 DDCC，同時本工程並將 4 個 ADCC 所轄之各級變電所納入監控系統中。台中之系統於加拿大原廠進行組裝與測試，測試後由原廠派員於台中全程進行安裝與測試之工作；其他 3 套系統則先將硬體運送至國內大同公司後再行安裝軟體，隨後負責相關的組裝、測試、安裝等作業。二期工程之調度系統於民國 91 年 8 月開始商轉，而 DDCC 之主機同首期與第二期第一階段工程，皆設置於 ADCC 內，維持二階系統架構。

二期工程調度系統資料庫之建置、維護方式極為複雜，需要長久的訓練及相當的人力，方可確保系統長期運作無虞。然而供電系統的維護人力有限，人員輪調頻繁，為簡化調度系統資料庫

維護作業，由台中供電區營運處開發出「資料庫轉檔程式」^[7]，使資料庫的維護作業標準化與單純化，提高工作效率。此程式可用於所有二期工程的調度系統中(基隆、新竹、台中、嘉南)，故該程式對於二期工程調度系統往後之資料維護作業與系統運作助益甚大，且有極為深遠的影響。圖 1 為首期工程至二期工程完工之期程與系統連接圖。

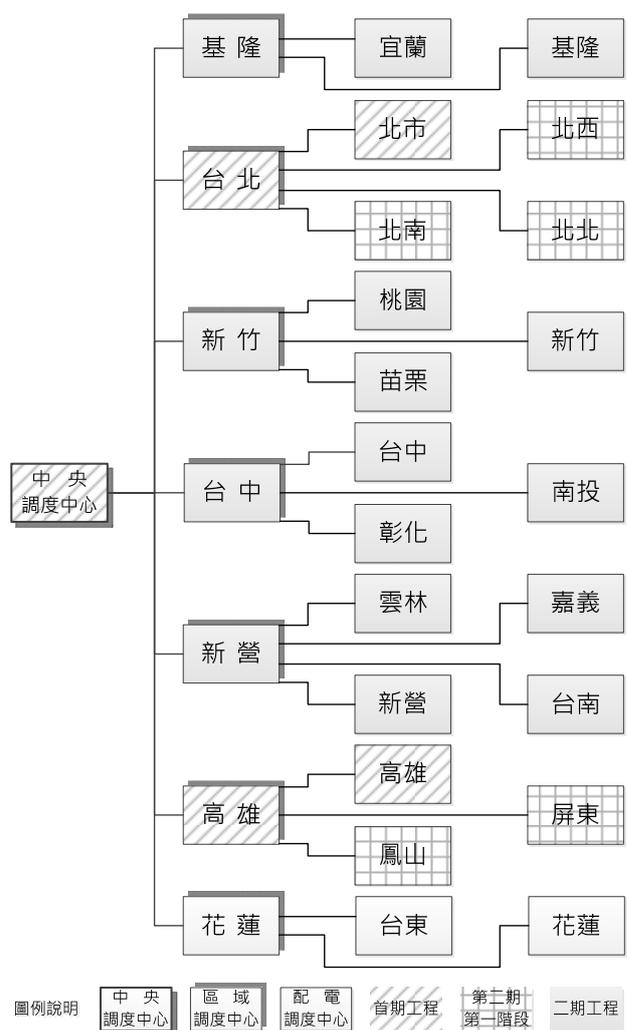


圖 1 首期工程至二期工程完工期程與系統連接

四、高雄區域調度控制系統汰換^[8]

二期工程陸續完工、運轉後，於首期自動化工程建置之高雄 ADCC 調度系統已啟用十多年的時間。老舊的調度系統維護不易且備品難尋，故高屏供電區營運處經考量各項因素後，決定由

供電單位自行招標此系統的汰換工程。

當時為推動饋線自動化，台電朝向調度主機三階設置的目標，高屏調度系統汰換便依循此方向。首要工作是末端資訊設備(Remote Terminal Unit, RTU)須支援多主站資料傳輸功能，使單一 RTU 可對多個主站(ADCC、DDCC)傳送變電所資料；另外，因 CDC Type II 通訊協定易受通訊線路串音干擾，引起電力設備誤操作之事故，故利用此次汰換系統的時機，把原本舊有僅能使用可靠度不佳的通訊協定 CDC Type II 之 RTU，升級為每埠可同時支援 DNP 3.0 與 CDC Type II 通訊協定之 RTU。

此調度系統汰換工程以首期工程之 CYBER 系統資料庫切換作業須派員值班、旬報無法自行產生、警報層級不足使重大警報查詢不易等問題作為借鏡，並期能避免二期工程初期發現之使用主機屆齡停產、通訊線路檢查與切換方式不便、報表處理效率不彰及查詢功能不足等缺失，另於本工程將調度員訓練系統 (Operator Training System, OTS)功能納入 ADCC 之調度系統中。本工程於 93 年完成安裝與測試工作。

參、台北 ADCC 調度系統汰換歷程與現況

一、台北 ADCC 調度系統汰換歷程

於首期工程同期完工的高雄 ADCC 籌備汰換作業時，民國 89 年 9 月起，台北供電區營運處亦針對台北 ADCC 老舊的首期工程調度系統進行汰換作業。本汰換作業初期以 E/S 為資料蒐集中心進行規劃，故本系統起先設計 3 台 ES 主機將分別用於板橋 E/S、深美 E/S、汐止 E/S，並負責蒐集其下變電所的資料。二期工程系統規劃納入監控汐止 E/S，與此汰換作業有部分重疊，本系統最終架構便排除汐止 E/S，僅有分別以板橋 E/S 與深美 E/S 為主的 ES1 主機(南平台)與 ES2 主機(北平台)。

本汰換作業共分為 3 期，承包商為國內的健格科技公司。各期作業項目說明如后：

(一) 板橋轄區 CYBER 主機備援系統裝置工程^[9]

現行台北 ADCC 調度系統的初期，為 CYBER 系統之備援系統。於 CYBER 系統監控之部分變電所增設末端處理器，未汰換舊有 RTU 的情況下，使其能支援 2 種通訊協定(CDC Type II 及 DNP 3.0)與 4 組通訊埠口。另在該處理器與 CYBER 系統間安裝通訊切換器，備援系統平時僅監視 1 條通訊線路且不可操作，必要時依 CYBER 系統狀態，手動切換兩個系統之間的通訊通道。

初期設置板橋 E/S 監控主機 ES1，將其轄內部分變電所(板橋等 4 所 P/S 及新民等 7 所 D/S，共 11 所)的資料建置在內。此主機為雙機運轉架構，以提高系統運轉之可靠度。另有以單機架構設置 ES2 與 ES3 主機，各別建置化成 D/S 與景星 D/S 資料。

ES1、ES2、ES3 主機合成一個 ES 平台。ES 平台透過乙太網路與 RS-232 之 2 種通訊通道連線至 ADCS 主機，ADCS 主機與 ES1 主機同為雙主機架構，另外可監控各 ES 主機轄內之各變電所。ES2 與 ES3 主機可視需要改移至各 E/S 自成一主控站，此模式將透過 RS-232 數據專線連接至 ADCS 主機之 RS-232 埠口。本工程於 90 年 6 月完工。

(二) 備援系統南區擴充工程^[10]

本工程將備援系統擴充 2 套雙機架構的資料收集器，或稱資料通訊單元(Data Communication Unit, DCU)。此系統共裝設 4 台 DCU(DCU01 至 DCU04)，使南區調度台(板橋 E/S 轄區)擁有完整的通訊能力，得以監控其轄內之電力系統。外加設置蘆洲 P/S、大同 P/S、華陰 D/S、板城 D/S 末端處理器(RTU Head)，以及秀朗 D/S 與永和等 10 所 S/S 之圖面與資料庫(共 15 所)。

本工程於 90 年 12 月完工。

(三) 備援系統北區擴充工程^[11]

由於汐止 E/S 納入基隆 ADCC 監控，故先前規畫之 ES3 主機與 ES2(深美 E/S) 合併，於兩台主機之間增設雙機控制切換器後，ES2 改為雙機運作架構。本工程還增設 8 所共 9 個末端處理器(因台北 P/S 有 2 套 RTU)，並建置北區(ES2)主機的 22 所(4 所 P/S、17 所 D/S、1 所 N/S)變電所圖面、資料庫、數據連線，38 所 S/S 加入數據連線及測試等工作。配合大量變電所納入調度系統，增設 DCU05 至 DCU08，此 4 台 DCU 亦成為 2 套雙機架構，確保通訊通道保有高可靠性。本工程於 91 年 10 月完工。

上述 3 項工程結束後，再將 CYBER 系統改為備援系統，最後將其淘汰後，利用該系統原有使用之通訊通道再建置一套備援系統(與主系統同廠牌)，自此台北 ADCC 調度系統完成新系統建置作業。

二、台北 ADCC 調度系統現況

目前台北 ADCC 主調度系統之組成，可分為 AD 平台(雙機)、ES1 平台(南平台，雙機)、ES2 平台(北平台，雙機)等三大平台為主要監視、控制的主機，另有 DCU(DCU01 至 DCU08，雙機)、MIRROR、調度圖控台、遠端超高壓圖控台、系統維護圖控台、E 化報表主機等，建構主調度系統。以裝設 RTU 之套數為基準，主系統至今共包含 2 所 E/S、9 所 P/S、39 所 D/S、2 所 N/S(同一變電所增設內第 2 套 RTU 與其數據通訊通道)、1 所 G/S(發電廠)、31 所 S/S。

為防範主系統當機或其他意外發生時，主調度系統無法監控電力設備的情況，利用 CYBER 系統汰換後保留之通訊線路，再另外設置備援調度系統^[12]，其組成僅有南平台(ES31，單機)、北平台(ES41，單機)，以及 DCU(DCU01 及 DCU02，單機)、調度圖控台等設備。備援調度

系統不監視 S/S，且不包含無效電力設備控制(Reactive Power Device and Control, RPDC)、ICCP(The Inter-Control Center Communications Protocol)、E 化報表製作、網頁報表資料查詢、簡訊系統等非緊急調度時所需之功能。

台北 ADCC 之主調度系統與備援調度系統皆為健格製，採用 OS 9000 為主機作業系統，另於安裝在 Windows XP 作業系統內的圖控瀏覽器連線至主機，以進行操作或監視的作業。圖 2 為台北 ADCC 之現有主調度系統架構圖。

肆、努力維護、持續運轉

台北 ADCC 之調度系統運轉至今已有多多年，與大多數的 ADCC 遇到同樣的問題：設備老舊且備品難尋。但台北 ADCC 之系統又與其他各區系統不同，發生任何問題時，除尋找廠商支援外，其餘僅能靠台北供電區營運處資控組(以下簡稱本組)同仁們的專業能力及豐富的實務經驗以排除萬難。原廠對此運行許久的調度系統，其實已著墨不多，排除問題的能力有限，大多數的問題還是得靠自己想辦法解決。

一、持續改進台北 ADCC 調度系統

本系統從運轉至今，這十多年來本組同仁不斷地從各方面改善本系統，其經驗與成果如下列簡述：

(一) 蒐集可用備品

為維持此系統能持續運作至新一代調度系統建置完工啟用，備品是否充足為最重要之關鍵。原廠積極將使用與此調度系統同樣為 OS 9000 之產品升級至 Linux 作業系統，利用此機會，本組同仁網羅其他區汰換下來為本系統可用之軟、硬體，除確保系統的長期運作外，還將現有資源作最大的運用，降低支出成本。

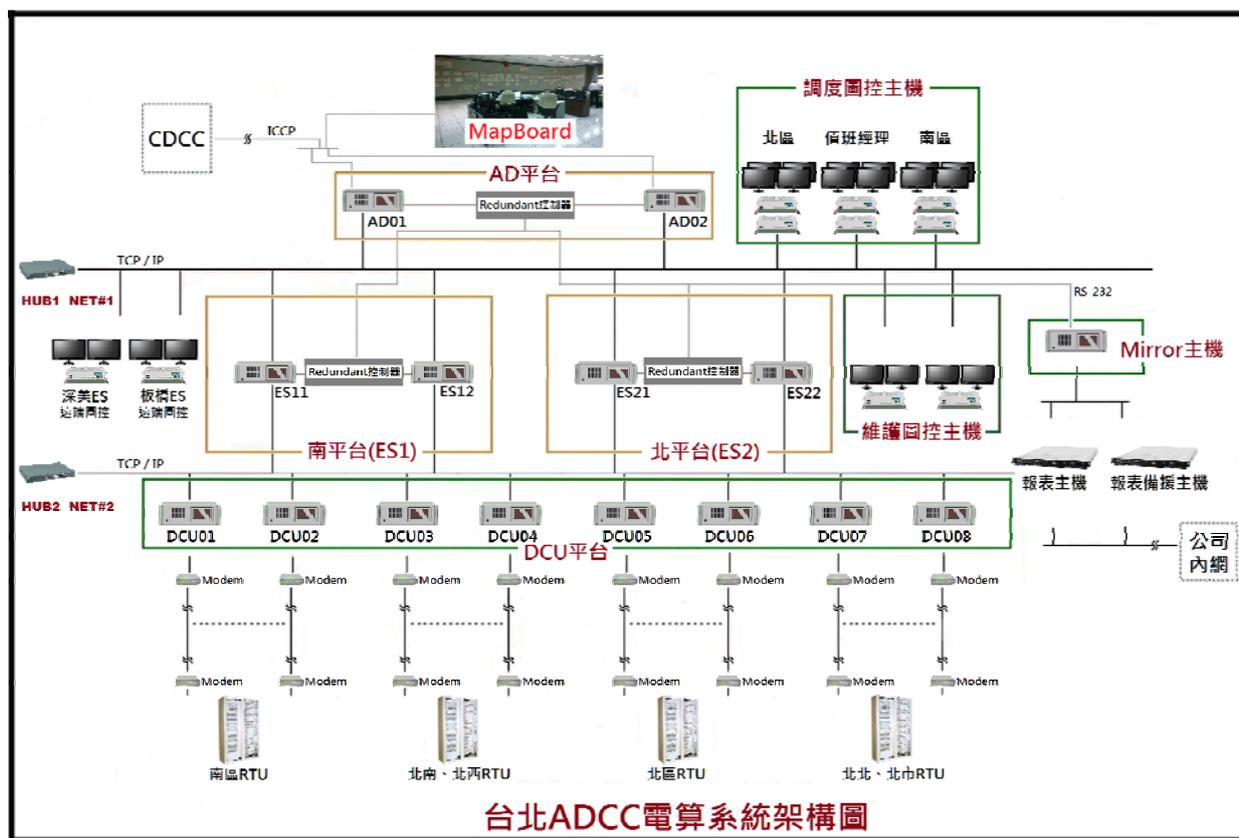


圖 2 台北 ADCC 之主調度系統架構圖

(二) 免維護圖控台

各種類型的圖控台，如維護、遠端、調度等，經評估過與測試過後，將原有的工業主機汰換成為無風扇、免維護之嵌入式(Embedded)工業主機。除了免除風扇之維護項目以提高主機可靠度外，安靜無聲的運作特性，使調度人員的工作環境品質大幅提升。

此主機採用固態硬碟(Solid State Disk, SSD)，另支援雙埠 DVI(Digital Visual Interface)、解析度皆為 Full HD(Full High Definition, 1920*1080)的輸出介面，圖控台之輸出畫面的各項細節清晰可辨，使用者觀看各種圖面與物件清楚不費力，影像品質極佳，不再發生如採用 VGA(Video Graphics Array)類比訊號時，許多線條會產生水波紋、扭動，或是影像有重疊、殘影的現象。

(三) 採用固態硬碟

調度系統所使用之磁碟數量眾多，但舊系統不支援市面上現有的大容量硬碟，且硬碟持續運轉的情況下，消耗量不容小覷。倘若磁碟備品不足，立即影響到的就是系統資料的可靠度。除了積極尋找與購買各地之庫存品，經本組同仁測試成功後，從 DCU 主機開始，將原有介面為 IDE(Integrated Device Electronics) 之 PATA(Parallel Advanced Technology Attachment)磁碟，逐漸改用以 SATA(Serial Advanced Technology Attachment)介面為主之固態硬碟取代之。

(四) 升級線上與資料庫主機

線上運行主機初期中央處理器採用 Intel Pentium III 系列，運作時脈為 600MHz 至 1GHz 等級的工業電腦，經測試現有調度系統功能皆可正常運作的情况下，將主

機升級至 Intel Pentium 4 3.2GHz 等級。本組測試過新版主機板之工業主機，但操作掛牌與警報無法正常運作，故以維持現狀為主。

原有報表主機經過數年後，轄區系統取樣資料不斷增加的情況下，報表查詢的效能逐漸為人所詬病，該主機運作不堪負荷，儲存容量已擴充至上限，單主機的系統與資料可靠度等問題一一浮現。為提升報表系統效能，於民國 100 年將採用老舊版本的 SQL(Structured Query Language) 2000 資料庫主機，汰換為 SQL 2008 資料庫之 2 部新資料庫伺服器。主機汰換後，報表查詢效能自此大幅提升，兩部主機的資料可互補有無，提升報表資料可靠度。此時推展 E 化報表查詢功能，取代現場實際讀表之抄表工作以節省人力。

(五) 區域網路重整

區域網路設備之良莠影響調度系統穩定度甚鉅。台北 ADCC 調度系統曾經歷數度主機無故當機或重新開機，雖然主機雙機架構使系統運轉不致中斷，但主機無端當機的情況，帶給值班人員與本組同仁極大的壓力。同時發現線上系統運作的主機傳送資料時，有數十點資料點出現無法使用或資料傳送失敗。

經本組同仁努力檢測後，終於發現兩個主要問題：一個是調度系統區網之 Switch Hub 埠口有部分故障，引起部分資料點無法運作；另一個為深美 E/S 遠端圖控台因控制室離通訊室較遠，將網路資料部分透過光纖傳送，但其光電轉換器故障造成封包不斷傳送至線上系統，導致主機當機。經過本次網路查修的過程，將本中心調度系統區域網路所有接線全面重整與處理，並更換故障的 Switch Hub 與光電轉換器，部分主機及圖控機因新 Switch Hub 升級支援 Gigabit Ethernet，資料頻寬從原

有的 100Mbps 大幅提升為 1Gbps。

(六) 新資料庫備份方式

台北 ADCC 調度系統採用多台主機結合而成，才能處理轄內大量的資料點。因此台北區域調度中心之調度主系統與備援系統的主機數量眾多，加上原廠提供的資料傳輸軟體功能簡易且操作不易，故系統主機資料備份作業極為繁複。對於作業人員而言，數萬個檔案備份與篩選之過程，皆仰賴人工逐一點選及操作。

新改善資料備份方式著重於新資料傳輸軟體的應用。該軟體提供多種功能使資料備份作業能大幅度縮短時間，如傳輸佇列、多主機同時連線，多檔案同時傳輸等。新軟體之可程式化檔案篩選器對於減少人工篩選作業有極大的幫助，本組自行開發出屬於台北 ADCC 調度系統專用之檔案篩選器，以程式處理替代多項人工作業。

除此之外，檢討原作業流程並予以修改及簡化。最後改善的成果顯著，作業時間大幅減少至一半以下，並可免除大量人工作業資料備份易產生錯誤的問題。圖 3 為改善成果比較長條圖，SwFTP 為使用原廠軟體作業時間，FileZilla_3 為最終改善備份方式之作業時間。

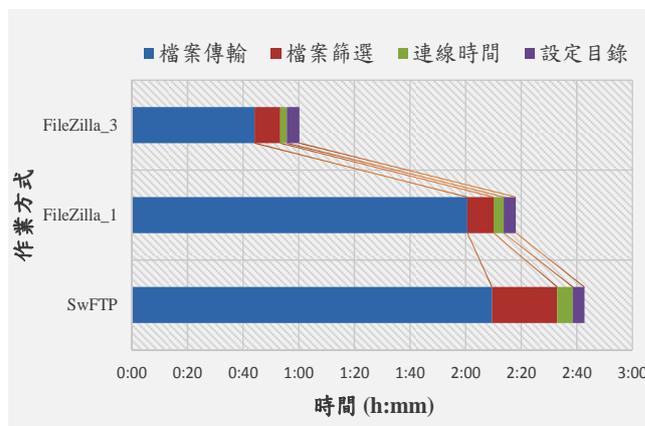


圖 3 資料備份改善成果比較長條圖

(七) 新變電所資料建置方式

建立新變電所資料須仰賴大量的人力

製作，工作期間既長且容易出錯；資料庫之點名稱時常因各人作業方式不同而有些許差異，導致相同設備可能有多種點名稱敘述呈現於調度系統之中，造成運轉同仁誤判與困擾。

本組移植自原先用於維護新桃供電區營運處新竹 ADCC 調度系統與備援系統所開發之程式^[13]，改成為適合台北 ADCC 調度系統之參考檔資料庫轉換程式、調度圖面資料點填入程式、資料庫與調度圖面檢查程式，以及資料庫與 RTU Point List 點名稱比對程式，使建置新變電所資料庫比照二期系統建立參考檔後，由轉換程式產出各式資料庫檔案，使各項設備之點名稱敘述呈現同樣的內容，讓使用者不致誤判。

轉換資料庫的同時，程式將一併產生變電所需要之電驛表、閉鎖表、警報表等。各式表單內的資料點已完成填入，表單內的物件排列亦由程式自動安排，使表單畫面之物件得以整齊呈現。

人工建置各式調度單線圖後，使用填入程式將資料點填入相對應調度圖面中之設備，再運用檢查程式確認圖面與資料庫是否相符，最後使用比對程式檢查 RTU Point List 與資料庫之間的差異作最後的確認，使所有的資料點能毫無遺漏、完整地建置於新資料庫中。

(八) 移動式 SCADA^[14]

本組自行建置之移動式 SCADA 系統，讓現場工作人員直接使用圖控台之調度圖面操作或監視設備的狀態，同時確認調度圖面、主機資料庫，以及 RTU 資料庫的正確性。測試人員發現設備動作或狀態有誤時，可立刻藉此套系統釐清為何處之問題。倘若為調度圖面連結或主機資料庫的問題，能隨即在本移動式 SCADA 系統更正後測試。

台北 ADCC 之主調度系統與備援調度

系統皆為相同廠家之設備，且本移動式 SCADA 系統亦由備援調度系統改裝而成，故經過現場工作人員測試完成後，將驗證且修正過後的調度圖面與主機資料庫之檔案，直接複製於調度中心之主調度系統與備援調度系統內即可，如此預先完整的測試可大幅度縮短 ON-LINE 測試的時間。

此移動式 SCADA 系統之組件採用本組現有之備品組裝，故無需額外花費，還能開發系統新應用方式，善用既有資源。

(九) 深美 E/S 遠端遙控板橋 E/S

電力系統自動化之後，長期以來皆呈現穩定、可靠之運轉效能。為因應值班人力即將面臨大量屆齡退離的情況，加上板橋 E/S 已完成傳統屋外式改建為屋內式之工程，配合供電處推動「既有屋外式 E/S 遙控新建屋內式 E/S」政策，台北供電區營運處亦開始著手進行相關作業。

有鑑於基隆 ADCC 轄區(同屬台北供電區營運處管轄)完成汐止 E/S 遙控仙渡 E/S^[15]的成功實例(以下簡稱汐止案例)，本組自主進行深美 E/S 遠端遙控板橋 E/S 建置作業(以下簡稱深美案例)。此項作業於架構上與汐止案例有所差別，主要的差別在於汐止案例與多數 E/S 遙控 E/S 之案例相同，採用於變電所內安裝一套 Local SCADA 系統的方式施作，此 SCADA 系統乃自仙渡 E/S 移設之。遠端接受遙控的仙渡 E/S，其原先引接至基隆 ADCC 調度系統之 RTU 通訊線，須改引接至汐止 E/S 之 Local SCADA 後，才能由汐止 E/S 遙控監視。

深美案例無須更動 RTU 通訊線路。原板橋 E/S 已裝設遠端圖控台，用以監視變電所 345kV 設備狀態、操作電力設備，及快速查詢設備動作歷史紀錄。板橋 E/S 之 RTU 通訊線連接至台北 ADCC 調度系統，

變電所各項資料透過 RTU 傳送至調度系統後，板橋 E/S 內之遠端圖控台再由電力通信處佈建之通訊網路登入台北 ADCC 調度系統，即可以該遠端圖控台進行監視、操作變電所內設備等作業。所有板橋 E/S 之各種資料庫、警報表，與調度圖面等等，只需使用原先建置於調度系統中的資料，變電所現場無須另行建置一套 SCADA 系統及其相關資料，即可滿足監視與操作 345kV 電力設備的需求。

為完成深美案例，必須在深美 E/S 建置板橋 E/S 之遠端圖控台。實際上，僅須向電力通信處申請深美 E/S 至台北 ADCC 之間的網路通道，再行採購遠端圖控台所需之軟硬體設備，由本組同仁設定、安裝完畢後，此遠端圖控台即可透過台北 ADCC 調度系統取得板橋 E/S 345kV 電力設備各種資料，並透過該圖控台與以監視及操作電力設備，達成遠端監控變電所的目標。深美案例於 104 年 8 月完成裝設與測試作業，隨即正式啟用。

對台北 ADCC 調度系統來說，深美案例完成後並無任何架構變更，所有的圖控台仍可視為相同網域。採用電力通信處設置之網路的連接方式，充分利用現有調度系統主機效能，無須另行建置 Local SCADA 系統及其相關資料與圖面，大幅降低另行建置新主機之成本與時間，使深美案例即可達成與 Local SCADA 系統同等功能要求。後續僅需維護台北 ADCC 調度系統內既有資料，無須另行維護或建置其他主機的資料，省卻維護人力。

(十) 部分變電所資料移撥

於板橋 E/S 改建後加入系統時，當時發現調度系統部分資料庫接近系統上限，且無法再擴充；頂埔擴建 D/S 與新民 D/S 加入系統後，AD 平台之 Mapboard 點燈資料庫更是呈現幾乎全滿的狀態，無法再容

納任何新設備加入。

因運轉人員希望維持 Mapboard 點燈資料庫與實際 Mapboard 點燈狀態可維持完整，對於調度人員值班工作時較易掌握電力系統現狀，但現有資料庫用盡且無法再行擴充，又要維持資料呈現完整性，經內部討論後，唯一的方法只有移撥部分變電所至基隆 ADCC 轄區，才能空出部分資料點給未來加入的新變電所使用。

變電所移撥工作，對台北 ADCC 調度系統與基隆 ADCC 調度系統而言，兩者系統完全不相容。故前者須全面檢視調度系統內多個資料庫，逐一移除移撥變電所之相關資料；後者僅能重新建置所有資料。移撥工作不僅僅是調度系統間的資料轉移，包含通訊線的申請與改接、調度工作分配、系統圖面與 Mapboard 調整、對 CDC 傳遞的資料修改、變電所 RTU 設定與取樣點測試等，多種工作需要與相關部門多次協調、開會，以及最後付諸實行順利成功，才算是完成移撥作業。目前已完成北轄區長春 D/S、敦化 D/S、榮星 D/S 之 3 所變電所的移撥作業，於 104 年 11 月正式加入基隆 ADCC 調度系統，使台北 ADCC 資料庫容量瓶頸暫獲紓解。至新一代調度系統加入前，此 3 所移撥後餘留的空間，足可從容應付台北 ADCC 擬加入變電所之需求。

二、對台北 ADCC 調度系統改進之肯定

本組近幾年努力的成果，陸續獲得肯定。新資料備份方式獲得 104 年度公司級品管圈優秀圈的肯定與獎勵，以及 104 年度標竿學習案例競賽評比活動第二優勝獎。移動式 SCADA 系統獲得 102 年度標竿學習案例競賽評比活動優勝之獎勵，另獲得台電工程月刊評為可刊登稿件並予以刊登；本成果另於 2015 年東亞電力研討會進行發表，和中國、日本、韓國與會代表們交流。

另外，本組投稿論文摘要至法國之國際大電力會議(Conseil International des Grands Réseaux Electriques, CIGRE) SESSION 2016 確認該摘要已獲大會接受。目前持續進行論文全文撰寫、簡報與海報製作等後續工作，一切順利完成後，將可赴法國巴黎發表成果，和國際與會人士進行資訊交流及分享。

伍、新系統、新希望

十多年的時間過去，各個 ADCC 面臨系統老舊、容量不足、備品不易取得等問題逐漸浮現。目前 6 個 ADCC 共有 3 種不同品牌的系統，若為少數系統(如台北、高雄)時，使用的人數較少，遭遇重大問題時除廠商之外無法對外求援，硬體備品亦無法互相支援，只能自立自強解決問題、面對困境。若能使各 ADCC 採用之系統能統一，擴大相同系統之使用者族群，眾人合力之下，多數的問題應能更順利解決，不會孤立無援。

統一各 ADCC 調度系統之廠牌的好處顯而易見，為達成此目標，在供電處主導下，發起新一代調度系統汰換的工作。初期以調度處最新汰換之 CDCC 調度系統規範為藍本，經過各區分工閱讀、整理、翻譯後彙集為一。彙集後的翻譯規範由供電處、台北、新桃、台中之資深經理、課長與數個資控年輕後進等 10 人，組成新一代調度系統汰換小組，共同訂定符合各區功能需求之新系統規範。

歷經多次奔波台北、新竹、台中開會與討論，並邀請國際調度系統大廠實際展示與說明，利用機會與廠商交流新知，讓新規範的訂定能與時俱進。小組成員們不斷的討論、修改，新系統之規範終於有雛型顯現。規範初稿完成後，公開徵求各個廠商意見，作為最終定稿之規範參考依據。

目前新一代調度系統汰換進程，正進行公開招標的前置作業階段。幾個新系統的功能與對新

系統的期望，本文擇要說明如下：

一、支援網路型 RTU

目前各供電區以及區處仍有許多 RTU 維持使用 CDC Type II 通訊協定，但各大調度系統廠商均已不支援，或者是必須作客製化設計才能達到相容此協定之要求。為了符合國際趨勢，本次調度系統汰換將 RTU 升級的工作列為首要執行項目。

本次供電系統 RTU 升級作業委由嘉南供電區營運處主辦，預計將 RTU 全面升級成支援 DNP 3.0 over TCP/IP(不包含無法升級之統包變電所或特殊廠牌 RTU，該類型之變電所或 RTU 仍保留 2 路通訊串列路由)。新一代系統支援網路路由與通訊串列路由，平時以網路路由為主，通訊串列路由保留作備用。各供電區之網路路由，採用電力通信處於各地建置的「新世代同步數位階層 (Next Generation Synchronous Digital Hierarchy, NG-SDH)光纖通信系統」^[16]。

RTU 升級工作曠日廢時，且本次須升級的 RTU 數量龐大，故必須及早規劃與分批進行，才能在新系統上線時進行連線測試。供電系統辦理 RTU 升級的同時，亦有提供訊息給區處等相關單位，期能將台電現有 RTU 全面升級，待新系統啟用運作後，台電電力調度自動化將達到另一個新的里程碑。

二、改用電視牆系統取代馬賽克模擬盤

目前各 ADCC 的調度系統圖，皆採用馬賽克模擬盤(Mosaic Mimic Panel)之顆粒逐一拼接及 LED 點燈的方式呈現電網現狀。此方式呈現電網之資訊極少，若有任何設備或電力系統線路變更，須額外耗費人力與時間進行修改，極為不便。

考量呈現即時資訊的重要性，國內、外各種類型的監控系統，包含電力、交通、防災、治安、水資源等相關機關單位逐漸改用電視牆影像系統。新一代調度系統改採用電視牆系統呈現電網即時資訊，電視牆系統由高屏供電區營運處主

辦。任何系統變更，將調度系統圖面修改後，可立即更新至各調度控制台，並同步更新電視牆的畫面，無須額外人力進行建置或修改作業。

即時影像除平時維持系統單線圖呈現外，還可依使用者需要，顯示指定的畫面或內容。調度人員可視情況調整適合的畫面輸出至電視牆系統，掌握電網最新、最全面的動態，確保電力供應穩定。

三、資料庫支援 CIM 格式

以往各家調度系統的資料庫與調度圖面，分屬各自特殊的架構，不但不同系統間資料交換困難，當調度系統面臨汰換時，把資料轉換至符合新系統支援的格式總要大費周章。調度圖面若是在不同系統間，幾乎無法完整轉換，甚至需要從零開始重新建置，後續衍生多種作業十分繁雜，增添汰換作業的難度及期程。

共同資訊模組(Common Information Model, CIM)用途之一為資訊交換。國外電網大多較國內複雜許多，且電網內的調度系統多元，資訊有效與快速交換是各大電網經常會面臨的問題。為使不同系統間的資料有統一的標準架構以利互相交換，支援 CIM 的資料庫可讓資料交換的過程更簡便與迅速。

除了資料交換便利外，支援 CIM 的資料庫對於每個電力設備都有詳細的敘述，包含該設備與其他設備之間的連接關係。新一代調度系統資料庫支援 CIM 之後，調度圖面將結合各設備間的相互關係，每個圖面物件包含的資訊更臻完整。倘若將來有不同系統調度單線圖傳遞、交換的需求，甚至是未來再一次調度系統汰換時，期望調度圖面不會是資料傳送、轉換排除在外或需額外費時處理的項目。

四、資料備份系統

調度系統為眾多資訊主機、設備組合而成的系統，既有調度系統的資料備份不外乎磁碟實體備份、磁帶備份、資料庫備份等作業。對任何資

訊系統而言，資料備份工作的極其重要，各項備份作業必須完整，否則不完整的備份資料，對於資料受損的情況毫無助益，徒增困擾。

現行多種不同的備份作業仰賴工作人員逐一確實執行，才能確保資料可靠及安全。新系統將包含專屬可排程的資料備份系統，以及專用的資料傳輸網路。排程備份設定可彈性調整備份的時間、頻率、完整程度、資料保留代數等，皆能自動進行作業，且該系統可針對調度系統資料進行備份，連各主機系統亦可備份。當主機系統發生異常時，藉由資料備份系統可迅速還原該主機系統，確保調度系統運作正常；另外設置備份資料專用網路，可避免大量備份資料傳遞時，影響調度系統效能。

五、緊急運轉系統

ADCC 是關鍵基礎設施之一，為掌握輸電線路、設備現狀最重要的專責部門。為防範主機運作異常或資料毀損，現有調度系統分別規劃雙主機系統與資料備份機制因應。倘若有任何不可抗力因素或天然災害發生，ADCC 被迫隔離而導致調度系統無法運作，甚至 ADCC 實體遭受毀損時，此刻電網之供電能力堪虞。

異地緊急運轉系統提供上述情況之解決方案，本次調度系統汰換作業之規劃包含緊急運轉系統。緊急運轉系統的主機規劃為單機配置，目的為使值班人員可於該系統繼續維持電網調度、監控等相關作業。緊急運轉系統的資料，由主調度系統自動同步，若有任何意外情況造成兩個系統分離，當意外排除後，調度系統須檢視兩邊資料庫的差異並予以處理，使兩個系統資料保持一致。

六、網路管理系統與支援 GbE 高速網路

新一代調度系統網路架構複雜度遠勝於現行調度系統，故新系統除須掌握電網狀態外，對網路狀態也須瞭若指掌，方能於系統之網路有任何異常時，能迅速找出問題點並予以排除，確保

調度系統之穩定運作。

新系統的網路管理軟體可完整呈現系統網路設備分佈的狀態及拓樸，好讓使用者能迅速掌握網路現狀。各類型的網路與設備資訊，如線路資料頻寬、埠口傳輸狀態、設備效能及利用率等，透過網路管理軟體能迅速清楚明瞭。

新調度系統的各项設備，除 RTU 相關網路外，其餘設備網路傳輸能力幾乎皆支援 Gigabit Ethernet。新調度系統的功能大幅增加，各設備互傳的資料量龐大，高頻寬的網路與高效能的網路設備，使新系統運作的效能不因資料傳輸瓶頸而受限。

陸、結語

本文主要敘述第一代區域調度系統至現行各區域調度系統建置概況，與未來新一代調度系統規劃進程及系統願景。筆者現有的工作為維護台北 ADCC 調度系統，故另外針對台北 ADCC 之調度系統建置歷程做較詳盡的敘述，以及台北供電區營運處資控組對此系統這十多年來持續維護，努力精進的成果展現。

從規劃初代 CYBER 系統至現行調度系統面臨汰換，已橫跨超過三十年，期間投入的人力、物力難以計數。由於前輩們的諸多付出，使得台電在電力自動化過程可持續推展、進步，讓台灣的電力用戶享有穩定與高品質的電力供應。

最後，以本文簡略紀錄電力自動化的歷程，誠摯感謝在此過程付出的各位長官、先進、同仁。另外還要感謝為新一代調度系統一同努力的長官、同仁，與汰換小組各成員，由於大家的無私奉獻，新調度系統的相關作業才能逐漸步上軌道。筆者有幸能參與及見證此歷程的一小部分，期許自己能貢獻一己之力，讓新一代調度系統於下一個十年繼續服務台灣的電力用戶，在電力自動化的歷史留下印記。

柒、誌謝

首先感謝資控組劉文欽經理提供台北 ADCC 調度系統許多重要的資料、羅明哲值班經理對台北 ADCC 調度系統推行的各項改進措施和程式撰寫、郭豐誌課長對台北 ADCC 調度系統諸多技術及架構方面的解說，與陳景隆課長對新一代調度系統提供的意見。另外感謝梁廷山值班經理、朱燕飛課長、王維川課長、張鈞西主辦、潘宜廷主辦、雷永昌主辦、黃家勳主辦，以及台中供電區營運處賴國英經理等多位長官與同仁在本文撰寫期間的意見提供及協助。

最後感謝台北供電區營運處白雲年副處長對本文撰寫架構的指導，以及謝鋒勳處長的信任與意見提供，讓本文最後得以順利完成。同時感謝供電處長官對本文的認可，使其得以付諸刊登。

捌、參考文獻

- [1] 電力調度控制自動化推行委員會，「全面自動化調度控制第一期工程竣工報告」，民國 82 年 12 月。
- [2] 電力調度控制自動化推行委員會，「全面自動化調度控制第二期計畫可行性研究報告」，民國 78 年 4 月。
- [3] 蕭石虎，「鳳林超高壓變電所加入系統對東部地區供電之影響」，供電技術報導，民國 88 年 05 月。
- [4] 徐明章，「花東供電區 SCADA 系統操作管理機制」，花東供電區營運處，民國 101 年 10 月。
- [5] 李錦槍、陳慶守，「第二期階層調度控制系概述」，台電工程月刊，民國 90 年 03 月。
- [6] 張志聲、賴國英，「台中 ADCS 第二期階層調度控制系統功能測試及改善」，台電工程月刊，民國 91 年 01 月。
- [7] 賴國英，「第二期階層調度控制系統資料庫轉檔程式開發完成報告」，台電研究報告，民國 92 年 12 月 31 日。
- [8] 李群、許國隆，「高雄區域調控系統主機汰換工

- 程概述」，台電工程月刊，民國 94 年 02 月。
- [9] 台北 ADCS 板橋轄區 CYBER 主機備援系統裝置工程，台灣電力股份有限公司工程採購承攬契約，民國 89 年 09 月 16 日。
- [10] 台北 ADCS 備援系統南區擴充工程，台灣電力股份有限公司工程採購承攬契約，民國 90 年 10 月 11 日。
- [11] 台北 ADCS 備援系統北區擴充工程，台灣電力股份有限公司工程採購承攬契約，民國 91 年 03 月 27 日。
- [12] 馬偉富，「區域調度中心備援系統及變電所 Local SCADA 之運轉及維護技術」，出國報告，民國 96 年 10 月 05 日。
- [13] 羅明哲、曾火龍，「ADCC 備援系統之維護技術創新與簡化完成報告」，台電研究報告，民國 95 年 12 月 31 日。
- [14] 李建德、郭豐誌、羅明哲，「移動式小型 SCADA 系統應用於新變電所測試」，台電工程月刊，民國 103 年 09 月。
- [15] 羅明哲、陳景隆、林君泰，「汐止超高壓變電所 SCADA 系統建置概述」，台電工程月刊，民國 103 年 09 月。
- [16] 李興國，「電力通信於電力監控之應用」，電力人：臺灣旅沙電力協會會刊，2015 年 6 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



中央調度中心北高雙主控同步調度

Dual-Master Synchronous Operation Scheme at Taipei and Kaohsiung CDCCs

籃宏偉*
Lan, Hung-Wei

蕭純育*
Hsiao, Tsun-Yu

摘要

十年前本公司 60 週年慶，本處鄭前處長金龍於台電工程月刊專輯發表「台電 60 年來之系統調度運用」，提供有關電力調度運用過去 60 年來之經驗。近 10 年來，電力調度面臨的變化與挑戰，尤勝於過去 60 年，不僅電力系統日趨複雜，各項外在因素不斷駕馭於調度專業，使得第一線調度值班人員遭受各項嚴峻的考驗，但都能化險為宜、渡過難關，使電力系統持續穩定安全地運轉，未曾發生過大區域停電事故。除本處全體同仁堅守崗位、共同努力外，中央調度中心(CDCC)所扮演的角色功不可沒，尤其於高雄建置新中央調度中心，實現世界首創之北、高雙主控同步調度運轉模式，使得調度運轉更穩健可靠。本文旨在介紹 CDCC 雙主控同步調度運轉模式之運作現況，近 10 年來電力調度運轉之創新變革與亮點成果，及未來展望與挑戰。

Abstract

Ten years ago, Mr. Cheng, Ching-Lung, the former Director of Department of System Operations, published a paper entitled "Taipower's System Operations for the Past Six Decades" in the Monthly Journal of Taipower's Engineering in commemoration of Taipower's 60th anniversary, stating valuable experiences in power system control and dispatch over the past 60 years. Ten years has elapsed since then. The power system operations have gone through changes and challenges more complicated than those in the foregoing 60 years. Not only does the power system become increasingly complex, but various external factors restrict the professional practices of system operation from time to time. The operators/dispatchers have appropriately addressed and responded to all the challenges and obstacles, to maintain the steady and secure operation of the power system without any record of wide area blackout. Apart from the efforts of our colleagues, the Center Dispatch Control Center (CDCC) has played a very important role. Particularly, with the establishment of new CDCC in Kaohsiung we realize the Dual-Master Synchronous Operation Scheme at both Taipei and Kaohsiung CDCCs. It is the first successful and operational model implemented in the world, which ensures more robust and reliable power control and dispatch operation. This paper presents an overview of the current status of the dual-master synchronous operation scheme, the innovation, evolution, and highlights of the power system operation over the recent ten years, together with the prospects and challenges.

*台灣電力公司電力調度處

關鍵詞(Key Words)：電力系統(Power System)、中央調度中心(Central Dispatch Control Center, CDCC)、雙主控同步調度運轉模式(Dual-Master Synchronous Operation Scheme, DMSOS)、電能管理系統(Energy Management System, EMS)、資料收集與監控系統(Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA)、資訊末端設備(Remote Terminal Unit, RTU)、調度員訓練模擬器(Operator Training Simulator, OTS)、智慧電網(Smart Grid)、緊急應變中心(Emergency Operation Center, EOC)。

壹、前言

近幾年，廣域性的停電事故在國際間層出不窮，例如 2011 年日本 3/11 地震海嘯複合型災害引起之大停電、9/8 美國西南區(加州聖地牙哥)大停電、9/15 韓國緊急分區輪流停電、9/24 智利大停電、10/30 美國東北雪災停電；2012 年 7/30-31 印度連續 2 次大停電事故、10/26 巴西大停電、10/29 美國紐約颶風(Sandy)停電；2013 年 5 月間菲律賓、泰國、越南等東南亞國家多起停電事故；2014 年 11/1 孟加拉全國大停電；2015 年 4/21 南非計畫性輪流停電、7/15 美國加州長堤市停電等。尤其是印度 2012 年盛夏期間連續 2 天發生 2 次大停電事故，停電負載達 48GW，受影響人數估計高達 6.7 億(約占當時全國總人口一半)，遠比 2003 年美加大停電影響規模大上十幾倍，可謂人類有史以來規模最大、影響人口數最多的世紀大停電事故^[1]。此等停電事故有些是天災引起的，有些則可歸咎於人禍，因此電力系統極端事故的管理顯得格外重要。

台灣地處歐亞板塊及菲律賓海板塊、環太平洋地震帶上，四面環海且多山，因此易受地震、颱風、豪雨、海嘯等天災影響導致停電事故發生，民國 88 年 729 和 921 兩次大電事故即是豪雨和地震所引起的^[2-5]。而在停電事故的預防及復電的過程，電力調度中心的功能扮演極為關鍵的角色。尤其未來再生能源(風機、太陽光電等)的增加及智慧電網(Smart Grid)的應用，調度中心的功能及運作更形重要，新世代的智慧型調度中心將孕育而生^[6-8]。

本(台電)公司中央調度中心(Central Dispatch

Control Center, CDCC)為全國電力系統運籌帷幄之樞紐，亦是全台電源、電網調度操作之核心。基於電力系統與國家安全考慮，防範 CDCC 因天災、人禍或其他事件無法正常運作時，將對國家安全、社會安定及民生經濟造成重大之衝擊影響，本(電力調度)處於 98 年更新台北中央調度中心既有之電能管理系統(Energy Management System, EMS)，提升相關即時系統應用功能；並增設高雄 CDCC 及調度員訓練模擬器(Operator Training Simulator, OTS)。於 98 年 7 月 10 日完成以北、高兩中心「雙主控同步調度」運轉模式正式商轉，成為世界首創之電力調度新運轉模式。除因應電力系統日趨複雜及用電快速成長之調度需求，可強化危機管理與應變，並符合行政院國家資通安全會報之規定。

「雙主控同步調度」運轉模式(Dual-Master Synchronous Operation Scheme, DMSOS)於 2013 IEEE PES General Meeting 夏季年度會議中正式對外發表^[9]；並投稿 *IEEE Transactions on Power Systems* 電力頂尖期刊，於 103 年 5 月份(May, 2014)正式刊登^[10]。顯示本公司電力調度創新技術、提昇供電安全可靠及降低天然災害對電力調度衝擊之努力，獲得國際學者專家肯定。本文旨在介紹 CDCC 雙主控同步調度運轉模式之運作現況，近 10 年來電力調度運轉之創新變革與亮點成果，及未來展望與挑戰。

貳、電力系統現況

一、發電與負載

十年前本公司 60 週年慶，本處鄭前處長金

龍於台電工程月刊專輯發表「台電 60 年來之系統調度運用」，提供有關電力調度運用過去 60 年來之經驗^[11]。當(94)年底本公司發電總裝置容量(包括離島及金、馬)共 36122 千瓩(MW)，其中水力與再生能源佔 12.5%、火力佔 73.2%、核能佔 14.2%。本公司自有 28644MW 佔 79.3%、購電容量 7478MW(不含汽電共生)佔 20.7%。系統尖峰負載 30943MW(7 月 12 日)，備用容量率 16.3%，恰好符合當年目標值從 20%降至 16%之水準。

去(104)年底發電裝置容量 41037MW，較 10 年前(94 年底)36122MW 僅增加約 5GW，主要新增機組為台中#10、大潭複循環(#1CC~#6CC)、星元 IPP、谷關復建、碧海、萬大#4、松林及青山復建等；另深澳、林口及大林#1、#2 除役。其中抽蓄水力佔 6.3%、火力佔 71.3%、核能佔

12.5%、再生能源(含傳統水力)佔 9.8%，如表 1^[12]。本公司自有 31419MW 佔 76.6%、購電容量 9618MW(不含汽電共生)佔 23.4%。系統尖峰負載於 7 月 2 日(大學指考期間)再創歷史新高紀錄 35248MW，備用容量率降至 11.5%。近 10 年來系統裝置容量及負載詳如表 2，歷年變化趨勢如圖 1，系統備用容量率如圖 2。

表 1 104 年底系統裝置容量類別構成比^[12]

類別	裝置容量(千瓩)	構成比(%)
抽蓄水力	2,602	6.3
火力	29,268	71.3
核能	5,144	12.5
再生能源	4,023	9.8
合計	41,037	100.0

表 2 近 10 年系統裝置容量及負載^[12]

民國(年)	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
裝置容量	37,371	38,082	38,634	40,247	40,912	41,401	40,977	41,181	40,787	41,037
尖峰負載	32,060	32,791	31,320	31,011	33,023	33,787	33,081	33,957	34,821	35,248
平均負載	21,904	22,535	22,345	21,642	23,262	23,915	23,734	23,956	24,607	24,587

註:1.平均負載 = (年發購電量 - 年抽蓄用電) / 年小時數。
2.本表係更新至104年12月底之實績值。



圖 1 歷年系統裝置容量及負載趨勢圖^[13]



圖 2 歷年系統備用容量率^[13]

由圖 1、2 顯示近 10 年負載成長並不如預期，主要因為金融海嘯、歐債危機等因素影響全球及國內景氣，使得系統尖峰負載在 97 年首度出現負成長，並延續至 98 年，也讓 97、98 年的備用容量率分別高達 21.1%及 28.1%；而 101

年負載再度負成長，備用容量率也高達 22.7%。惟近 3 年因氣候異常，夏季溫度飆高，冷氣負載遽增，使得夏季尖峰負載持續正成長，甚至秋天的負載偶有創高之記錄；加上無大型機組完工，僅有再生能源加入系統，且部分老舊機組陸續除

役(林口及大林#1、#2)，去(104)年裝置容量41037MW 較 100 年(41401MW)不增反減，導致備用容量率降至 11.5%，已低於目標值 15%。7 月 2 日負載破紀錄達 35248MW (瞬間35385MW)，當日實際調度運轉之備轉容量率僅剩下 1.9%，顯示未來電源不足限電之陰霾將日益惡化。

近 10 年來，雖然民生電熱器於冬季使用之比例逐年增加，惟系統尖峰仍發生於夏季期間，因此系統負載破紀錄創新高之情形仍集中在夏季期間，詳如表 3，而典型之夏季日負載曲線(以 104/7/2 為例)如圖 3。

表 3 近 10 年負載創新高紀錄表^[13]

年別(民國)	序號(NO)	日期(月/日)	尖峰負載(MW)	增加量(MW)	序號(NO)	日期(月/日)	平均負載(MW)	增加量(MW)
104年	*1	7/2	35,248.4	427.0	*1	7/2	30,711.1	205.4
	合計			427.0	合計			205.4
103年	*1	7/3	34,004.4	47.0	*1	7/3	29,857.3	311.8
	*2	7/7	34,622.6	618.1	*2	7/4	29,873.8	16.5
	*3	7/9	34,743.4	120.8	*3	7/7	29,891.0	17.2
	*4	7/15	34,821.4	78.0	*4	7/9	30,144.5	253.5
	合計			864.0	合計			960.2
102年	*1	8/9	33,957.4	170.5	*1	8/9	29,545.5	157.1
	合計			170.5	合計			157.1
100年	*1	8/16	33,259.7	237.1	*1	8/16	29,124.6	126.7
	*2	8/17	33,308.5	48.8	*2	8/17	29,292.1	167.5
	*3	8/18	33,786.9	478.4	*3	8/18	29,388.4	96.3
	合計			764.3	合計			390.5
99年	*1	7/5	33,015.0	224.2	*1	7/5	28,470.1	132.9
	*2	7/7	33,022.6	7.6	*2	7/6	28,954.0	483.9
					*3	7/7	28,997.9	43.9
	合計			231.7	合計			660.7
96年	*1	7/9	32,320.6	260.2	*1	7/19	28,102.6	219.0
	*2	7/19	32,418.9	96.3	*2	7/20	28,136.8	34.2
	*3	7/23	32,790.8	371.9	*3	7/23	28,337.2	200.4
	合計			730.4	合計			453.6
95年	*1	6/27	31,016.8	73.9	*1	6/29	26,885.5	174.9
	*2	6/30	31,052.8	36.0	*2	6/30	26,922.5	37.0
	*3	7/3	31,351.5	298.7	*3	7/4	27,468.4	545.9
	*4	7/4	31,588.3	236.8	*4	7/5	27,715.7	247.3
	*5	7/5	32,060.4	472.1	*5	7/6	27,883.6	167.9
	合計			1,117.5	合計			1,173.0

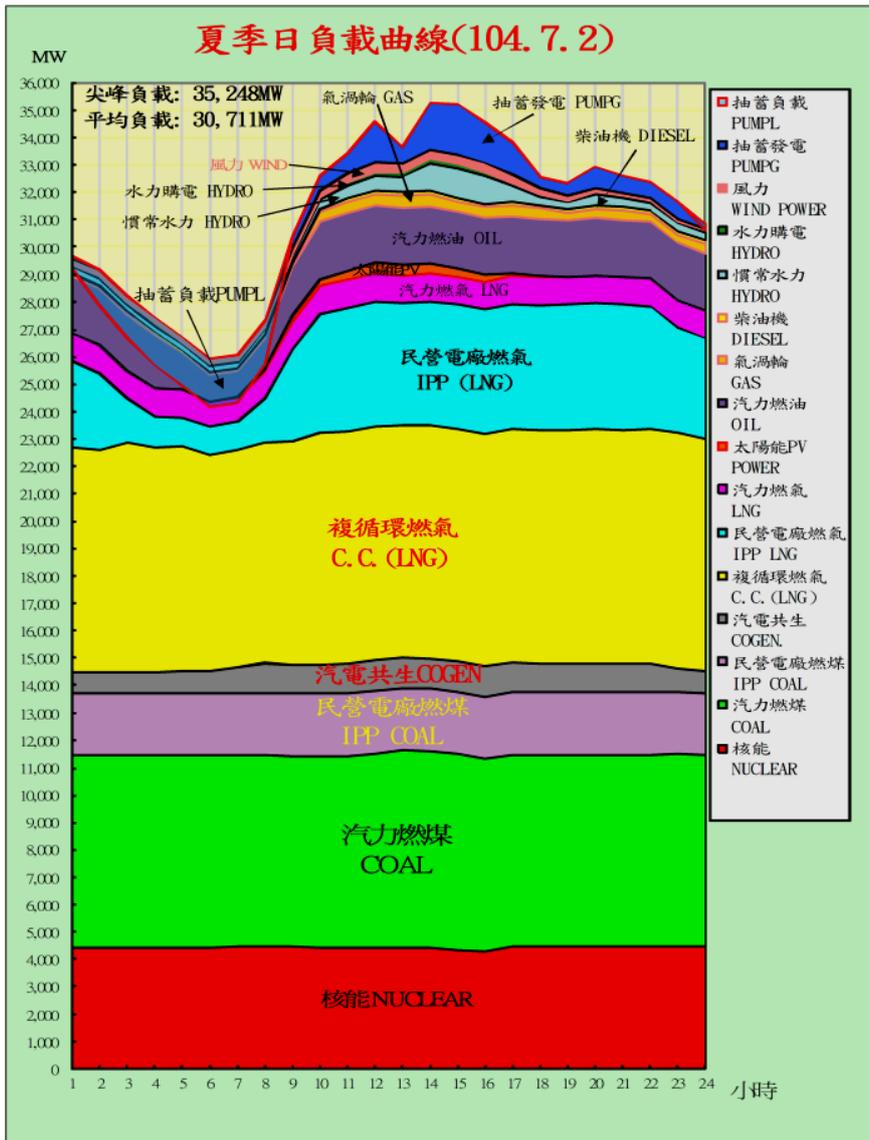


圖 3 104 年夏季日負載曲線圖^[13]

二、輸變配電系統

為因應台灣地區負載成長，輸送大量電力至負載中心，提高電壓品質，及降低線路損失之需要，本公司分別於民國 63 年、74 年及 91 年，完成 345 仟伏(kV)第一路、第二路及第三路超高壓主幹輸電線路；三路六迴線完成加入系統後，南北區域間融通電力正常最高可達 6500MW，對電力系統安全運轉及穩定供電有極大的助益。

近 10 年來超高壓主幹線除第二、三路中、北段分別雙 T 引接至霧峰超高壓變電所(E/S)增加南北傳輸能力外，大致無新增超高壓主幹線。以往系統大量電力經超高壓線路南電北送之情形(北部負載約佔 4 成)，在北部大潭發電廠 6 部機完成商轉後(總裝置容量 4384MW)，逐漸緩和。目前北部地區由極度缺電轉為稍為不足，仍需部分電力由中南部融通因應，去(104)年底超高壓輸電系統(含發電配置)詳如圖 4。

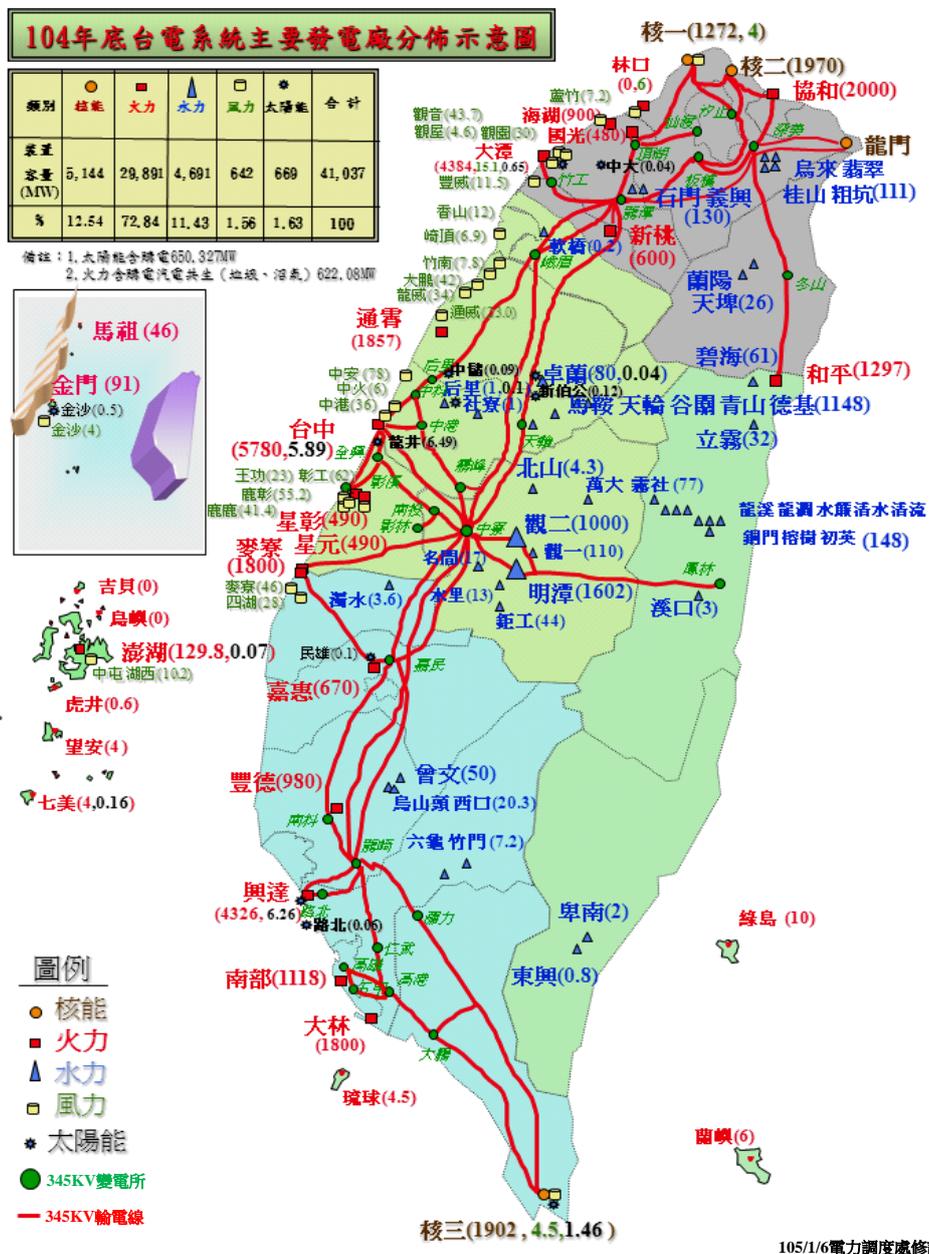


圖 4 104 年底超高壓輸電系統圖^[13]

94 年全系統超高壓變電所(E/S)共 21 所，10 年來共新增北部仙渡、竹工，中部后里、中科、霧峰、彰林，南部瀾力、五甲、高雄等 9 所，合計超高壓變電所 30 所；另一次(P/S+D/S)及二次(S/S)變電所分別為 282 及 293 所，輸電(69/161/345kV)及配電線路(11/22kV)分別為 17412 及 371161 回線公里，如表 4。

表 4 104 年底各級變電所數量及線路長度^[12]

項目	所數	容量(千仟伏安)
超高壓變電所	30	63,000
一次變電所	282	74,201
二次變電所	293	20,646

項目	回線長度(公里)
輸電線路(回線長度)	17,412
配電線路(回線長度)	371,161

參、雙主控同步調度計畫緣由

本公司為了提昇電力系統運轉安全、供電可靠與電力品質，避免因天災人禍，如 921 地震、美國 911 恐怖攻擊、SARS、禽流感及 H1N1 新流感等因素，導致位於台北的中央調度中心無法正常運作，影響電力系統運轉安全，造成國家安全與經濟的重大損失；因此，積極規劃更新汰換 EMS，並計劃設立異地備援機制。

本處於 92 年 8 月簽陳林前董事長能白核定同意本處在南部地區建立『副調度中心』，使其具備與「主調度中心」完全相同功能，平時即需分擔調度、監控電力系統之工作，並非是備而不用之備援系統。當時為方便區別兩調度中心而稱為「主、副調度中心」，但實際上之運作則為兩個可完全獨立作業且互為備援系統之調度方式，並無主、從之分別，只有業務分工輪流替換。如此，當任一調度中心因故無法正常運作時，另一調度中心之人員及設備可立即接手所有即時調度任務，確保系統運轉安全，故稱為「雙主控同步調度」運轉模式較為貼切。

94 年 7 月 21 日，黃前董事長營杉陪同國家安全會議高層長官視察中央調度中心時，指示本處因應國際防恐情勢，配合國家安全考量，應加強各項因應措施。本處於 94 年 8 月 1 日專案簽陳採取之因應措施為：『加速籌設高雄中央調度中心（採取與台北中央調度中心相同規模及安全管制）之組織與調度運轉人力，日後台北與高雄兩調度中心落實雙主控同步調度運轉模式，兩地隨時可單獨承擔電力系統即時調度任務，以確保系統運轉安全』。經陳報相關副總經理及總經理，黃前董事長營杉於 8 月 8 日核定在案。其後 94 年 9 月本公司提報行政院「經濟部反恐怖行動重要工作」，亦以「雙主控同步調度」為台北與高雄兩中央調度中心之調度運轉方式陳報大部在案。

經本處各級長官及同仁的積極努力測試調校下，終於 98 年 7 月 10 日正式商轉，實現了世界首創的「雙主控同步調度」運轉模式(DMSOS)。接著 PJM(ISO)於 2011/11/08 亦完成 Dual-Primary Control Centers 架構正式商轉，成為北美目前唯一、世界第二個雙調度控制中心案例。

肆、電力調度中心運轉模式分類

為了穩定電力供需，提供良好的電力品質，及確保發電、輸變電、配電系統運轉操作的安全可靠，本公司採階層調度控制方式，主要分中央調度中心(CDCC)、區域調度中心(ADCC)及配電調度中心(DDCC)三個階層分別負責 345/161kV、161/69kV 及 22/11kV 的系統調度控制工作。CDCC 為全國電力系統運籌帷幄之樞紐，除掌管 345kV、161kV 電網的調度操作外，更是全台電源(包括水力、火力、核能、再生能源及 IPP 民間電廠等)調度控制的核心。

一般電力調度中心的設立及運作主要可分為以下四種運轉模式：

一、單一調度中心(Single Site)

本公司 CDCC EMS 運轉至今共歷經三代更新，第一代 EMS 完成於民國 69 年，採用美國 L&N 系統(如圖 5)；第二代 EMS 完成於民國 79 年，採用美國 CDC 公司 Cyber 電腦系統(如圖 6)。當時(98 年前)僅台北單一中央調度中心，設備雖採雙套備援系統，惟若發生雙套設備同時異常或調度場所毀損(包括人員及設備)，全國電力調度工作將無法持續正常運作，恐造成系統大停電，甚或全停電；而電力系統相關資料庫亦難以復原。因此，單一調度中心之可靠度是值得憂慮的。



圖 5 台北 CDCC(第一代)



圖 6 台北 CDCC(第二代)

二、主副調度中心(Master & Backup)

此模式為世界大部分電力公司或 ISO/TSO 採行之模式。資料收集與監控系統(Supervisory Control And Data Acquisition, SCADA)資料通常由主調度中心接收，並傳送至後衛副調度中心備援，以利資料庫之同步及復原程序。例如新加坡

EMA 在距離主調度控制中心 PSCC(如圖 7)約 5 公里處之另一超高壓變電所內設置有後衛控制中心(BCC)，平常僅有維護人員進行日常維修工作，並未設置調度值班人員，緊急時調度人員再進駐。因主、副兩中心距離短，EMA SCADA 資料係同步傳送至兩中心如圖 8。



圖 7 新加坡 EMA PSCC

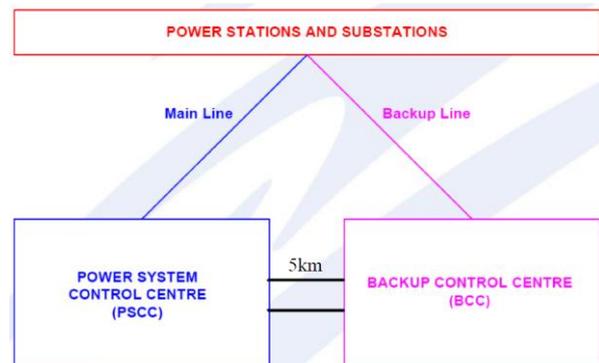


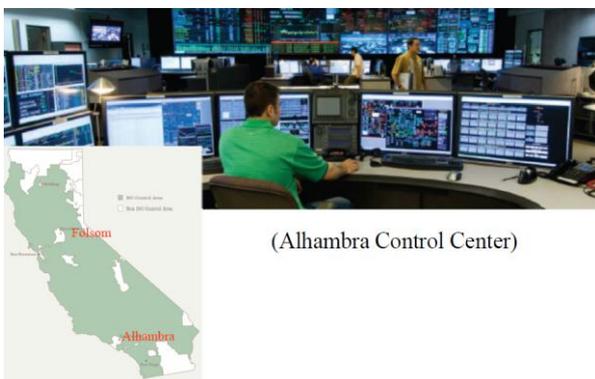
圖 8 新加坡 EMA SCADA

三、主次調度中心(Main & Secondary)

SCADA 資料之傳送可能與主副調度中心模式相仿，或者如新加坡 EMA 同步傳送至主、次兩個調度中心。例如加州 ISO 調度控制中心分主、次兩地，主調度控制中心(如圖 9)位於舊金山東邊，每值配置 7 名線上調度值班人員；次中心(如圖 10)則位於洛杉磯區，為一具備與主中心相同之設備，惟平時僅配置 3 人，透過視訊系統彼此連線通話，並分擔主中心部分次要業務。當主中心失去功能時，次中心僅能短暫取代主中心之功能，必要時主中心人員需移動至次中心繼續執行調度運轉任務。



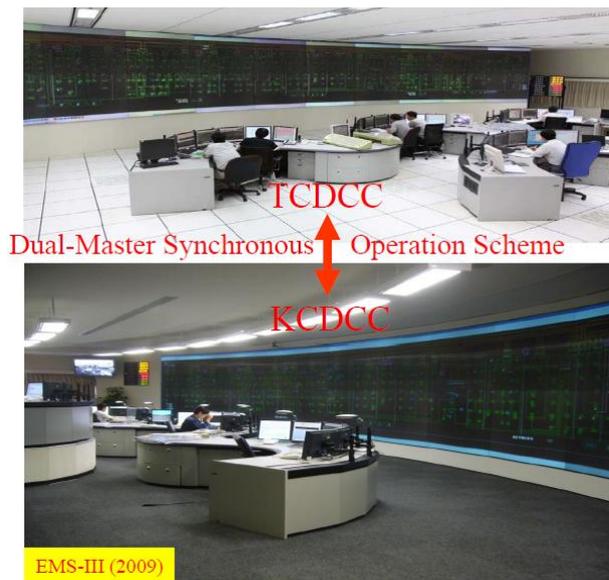
(Folsom Control Center)
圖 9 加州 ISO 主調度中心



(Alhambra Control Center)
圖 10 加州 ISO 次調度中心

四、雙主控調度中心(Dual Master)

本公司目前第三代新 EMS 於 98 年 7 月 10 日正式商轉，取代服役近 20 年之第二代系統。目前台北與高雄中央調度中心(T/KCDCC)採「雙主控同步調度」運轉模式(DMSOS)，如圖 11 所示。SCADA 資料基本上同步傳送至兩調度中心，負責接收該資料之中心於收到後會儲存，另一中心收到後則捨棄，兩中心之間再以專用通訊網路相連彼此同步交換接收之資料。台北、高雄兩中心互為異地備援(非一般主、副調度中心架構)，包括 EMS 設備、資料庫、調度值班人員及部分後勤幕僚人員，以執行全台電系統電源及電網的調度任務。當任一調度中心因故無法運作時，另一調度中心之人員及設備可立即接管所有即時調度工作(獨立運作)，不會有空窗期，以確保系統運轉之穩定、安全與可靠。



EMS-III (2009)
圖 11 台電 CDCC(目前第三代)

伍、EMS 硬體架構^[14]

目前新 EMS 採用西門子 SINAUT (Siemens Network Automation) Spectrum 3.x，並建置於 IBM AIX 5 作業系統上，採用開放式通訊協定及分散式系統平台架構。配合雙主控同步調度的目標，於北、高各建置一套可獨立運轉的 EMS(如圖 12)，透過高頻寬之廣域網路(WAN)互相連接。兩套系統均可分別透過獨立之通訊線路進行電力設備運轉資料之收集、交換及控制，如圖 13。

北、高兩個中心各設置約 40 台 IBM 伺服器(Server)分別負責不同的功能，彼此經由乙太區域網路(LAN)連接。為滿足高可用性及高可靠度，關鍵性功能在每個中心均有兩套備援機制(Hot-standby)，亦即主 server 若發生故障，備援 server 會立即自動取代，以維持相關功能運作之連續可用性。除了調度控制人機界面工作站提供值班人員各項功能的監控外，前端更設置 84 吋 20 台(2x10)背投影式顯示系統(VPS)，以協助調度員掌握全系統設備故障或停用之狀況，尤其在颱風襲台期間或系統發生分裂，可快速判讀並採取因應措施。

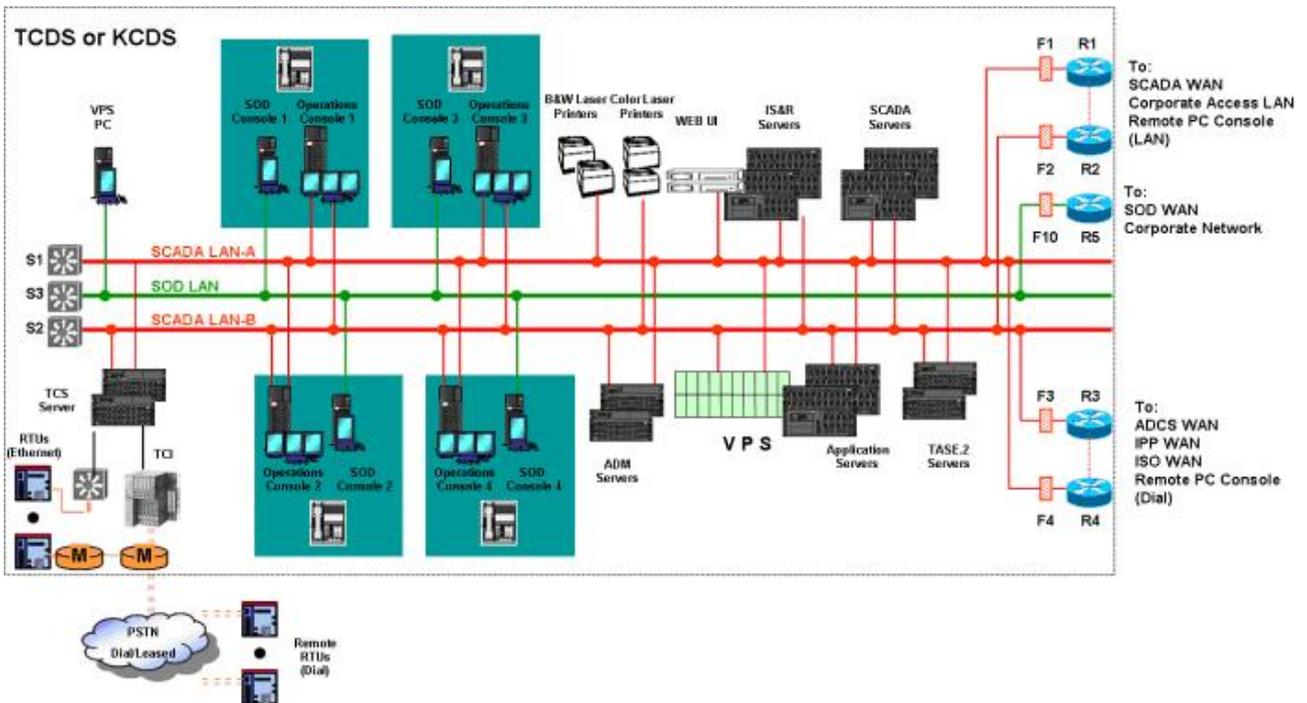


圖 12 EMS 硬體單站架構^[13]

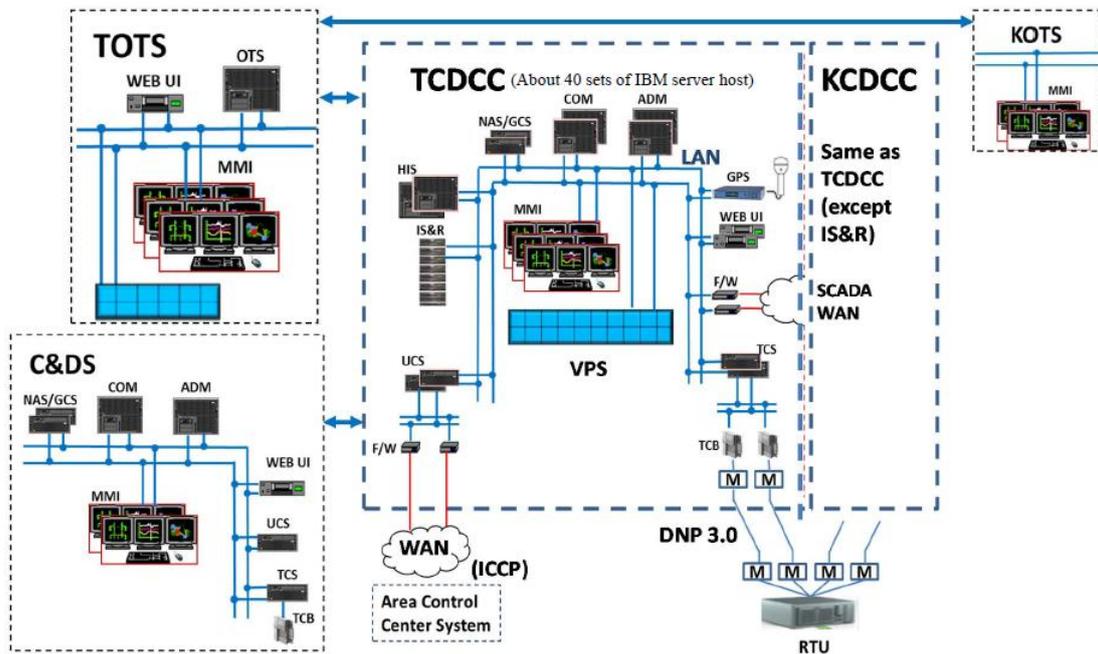


圖 13 EMS 硬體整體架構

EMS 伺服器及設備功能簡述如下：

- 一、COM(傳播伺服器)為 EMS 最主要的伺服器，主要負責即時自動發電控制(AGC)功能，並搭配 TCI 完成 SCADA 資料的收集、處理、傳送及遙控功能。

- 二、TCI(遠端遙控介面)包括遠端遙控伺服器(TCS)和遠端遙控模板(TCB)，為遠方變電所及電廠的資訊末端設備(Remote Terminal Unit, RTU)透過 DNP3.0 通訊協定將即時資料傳輸回 Spectrum 主系統。

三、ADM(管理伺服器)負責原始資料庫、關聯資料庫之建立、存取、維護和管理，以及圖形編輯與管理功能。

四、UCS(通訊伺服器)負責調度中心間的電力系統資料交換，包括 CDCC 和 ADCC 間，還有 CDCC 和 IPP 間的資料交換，使用 56Kbps 的 WAN 專線透過 TASE.2(ICCP)通訊協定進行即時資料傳輸。

五、NAS(網路分析伺服器)負責電力系統電網應用功能，具有三種運用模式，即時模式(Real Time)、研究模式(Study Mode)及維護模式(Maintenance)。

六、GCS(發電排程伺服器)負責機組排程、負載估計應用軟體功能，亦具有 NAS 三種運用模式。

七、HIS(歷史資訊系統伺服器)負責歷史運轉資料收集與儲存，及異常擾動記錄功能。

八、IS&R(資料存與取設備)負責提供 EMS 資料給其他外系統用(例如審修 PMS)。

九、Web UI(網路人機界面伺服器)的功能在於回應來自於網路服務請求，以提供整個調度中心用戶端請求的 WEB 頁面格式資料，如 SA、NA 及 OTS。

十、MMI 或 HMI(人機界面工作站)提供調度員使用 Spectrum 各項功能，以全圖形顯示螢幕為核心，顯示電力系統運轉資料、開關狀態及警示資料，並輸入操作指令及參數，以達到監視及控制之目的。

十一、VPS(背投影式顯示系統)可以依調度員需求，隨時更新更多元的電力系統圖資到大型的背投影式電視牆上。

除上述主系統架構外，於台北中心另設置 C&DS(發展系統)及 OTS(調度員訓練模擬器)整套系統，配備相關伺服器及功能，可提供發展系統測試驗證及模擬訓練用。而整個網路係採用封閉式架構，對外設置多層防火牆(F/W)，以符合國家資安最高等級安全需求，並通過 ISO-27001 ISMS 驗證。

陸、EMS 軟體功能^[14]

EMS 功能除了 SCADA 資料收集監控外，應用軟體包括電力應用(Power Application, PA)、電網應用(Network Application, NA)及發電排程應用(Scheduling Application, SA)，功能架構如圖 14。其中 NA 及 SA 可分即時及研究模式，分別供值班及幕僚人員使用，利用這些先進軟體功能與設備，可在即時系統安全前提下，提高供電品質及降低運轉成本。主要功能(如表 5)簡述如下。

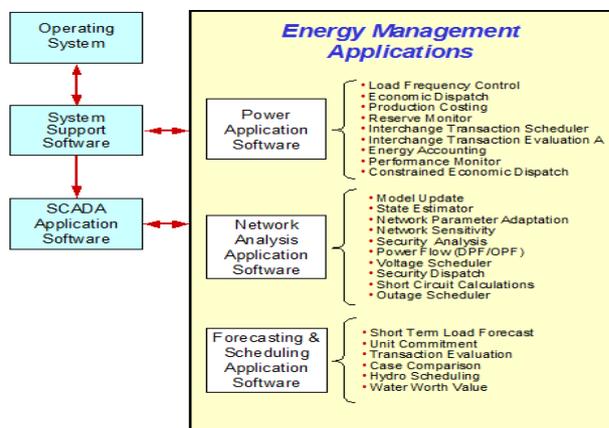


圖 14 EMS 軟體功能架構^[13]

表 5 EMS 軟體主要功能

Subsystems (server)	Functions	RT mode	Study mode
Power Application (COM)	Automatic Generation Control (AGC)	V	
	Economic Dispatch (ED)		
	Reserve Monitoring (RM)		
	Production Cost Monitoring (PCM)		
	others...		
Network Application (NAS)	State Estimator (SE)	V	
	Power Flow (PF)		V
	Contingency (Security) Analysis (CA/SA)	V	
	Voltage Stability Analysis (VSA)	V	V
	Dynamic Security Assessment (DSA)	V	V
	Fault Calculations (FC)	V	V
	Network Parameter Adaptation (PA)	V	
	Network Sensitivity (NS)	V	
	Voltage Scheduler (VS)	V	
Optimal Power Flow (OPF)		V	
Scheduling Application (GCS)	Unit Commitment (UC)	V	V
	Hydro Scheduling (HS)		
	Hydro-Thermal Scheduling (HTS)		
	Short Term Load Forecast (STLF)		
	others...		

一、PA(電力應用)主要功能為自動發電控制(AGC)，每 4 秒鐘會依據實際負載用電情形，以電力系統標稱頻率(60Hz)或控制效能標準 1(CPS1)為指標，發出控制訊號，自動

調整發電機組的發電量，以滿足用電需求並維持優良電力品質。另每 20 秒鐘依據各機組發電成本曲線資料，自動計算出各機組最適的發電量，用作 AGC 經濟調度(ED)控制時之指標。其他功能尚包括備轉容量之監視(RM)及燃料成本之計算(PCM)。

二、NA(電網應用)包括多項電網分析功能^[15]，利用 SCADA 資料進行狀態估計(SE)，並進行相關電力系統穩態分析，如電力潮流(PF)、偶發事故安全分析(SA)、故障計算(FC)、電壓穩定度評估(VSA)等；另具備電力系統動態安全評估(DSA)分析，可判斷系統於設備故障跳脫後，是否仍能回復同步穩定狀態。最佳電力潮流 OPF(Study Mode)及電壓排程 VS(RT mode)則可執行系統運轉最佳化，達到線損或成本最低之目標。此外，電網靈敏度(NS)資料可提供 AGC 在考慮線損情況下之 ED 計算指標。

三、SA(發電排程應用)主要功能包括機組排程(UC)、水力協調排程(HS)及水火力協調排程(HTS)，以每 15 分鐘間距，進行機組起停及發電量大小的排程，以滿足負載需求、系統安全及成本最佳之目的。另外短期負載預測(STLF)利用歷史氣候及負載資料，配合最新氣象資料，以迴歸分析等方法，可預測未來 15 天每 15 分鐘之負載大小，作為未來 UC 之依據。

除上述應用功能外，調度員訓練模擬器(OTS)分享 EMS 應用軟體、顯示圖資、資料庫及以電力系統的數學模型，模擬各種調度操作和系統狀況，提供調度員一個仿真的訓練環境，達到不影響實際電力系統的運作又可以培訓調度員的目的。OTS 可用來訓練調度運轉人員一般調度操作，亦具備訓練事故模擬、事故重演、系統全黑時的加壓啟動模擬、電網分析、機組排程、負載預測等功能。中央調度員為負責電力系統第一線之調度人員，擔負電力系統即時安全與經濟調度之重任，除了平時利用 OTS 持續訓練外，尚需

通過調度員證照考試。OTS 主伺服器位於台北中心(如圖 15)，提供調度員近似中央調度中心之上機實習環境，另可連線高雄中心 OTS MMI 同步進行視訊教學與測驗。



圖 15 台北 OTS 模擬室

柒、雙主控同步調度運轉模式

「雙主控同步調度」運轉模式(DMSOS)之整個架構如圖 16。其中除了傳統調度架構於台北及高雄中央調度室設置 MMI 以外，另分別於鄰近地點設置緊急行動調度中心(ERCC)，利用 Remote PC 的調度控制台功能，配合專用廣域網路(WAN)，供調度人員因故無法進入調度室時使用；RPC 功能亦可提供各級長官遠端監看運轉資訊之用。另於台北(T-site)建立簡易後衛系統(SBS)備援(高雄中心亦將於 105 年完成建置)，監看關鍵變電所及電廠機組出力資訊，以因應 EMS 當機時緊急使用。

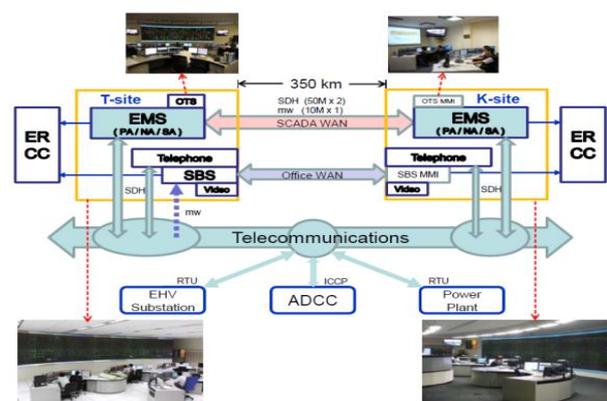


圖 16 DMSOS 架構

在雙主控模式下，EMS/SCADA 及相關應用軟體(PA/NA/SA)，可由調度人員即時切換資料或伺服器以決定由那一個中心執行即時(RT mode)調度任務(如圖 17)，包括：

- 一、定義由那一個中心連接現場之 RTU/ICCP。
- 二、可即時切換定義由那一個中心為主伺服器執行相關應用軟體(PA/NA/SA)。
- 三、選擇其中一個中心全部取代(take over)所有功能。
- 四、資料庫切換至另一中心。
- 五、檢查所有功能在那一個中心執行。

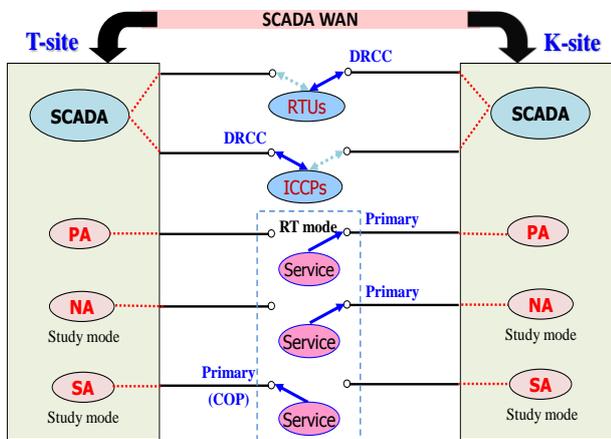


圖 17 DMSOS 雙站功能切換

在 DMSOS 架構下，台北及高雄中央調度室共同負責電源及電網調度，並定期輪換所負責之任務。即同一時刻由兩個調度室各 3 名(共 6 名)調度員負責調度控制，每位調度員輪流各司其職。其中 2 位值班經理每日輪流擔任總督導及電網安全監控分析(NA)；4 位值班員負責 AGC 電源調度、電源監視(含 IPP 協調)、北部及南部電網監控操作，並且定期輪換負責工作，如表 6 所示。調度電話係採用觸控式 IP 電話，當現場撥打任何一中心時，另一中心亦同步響鈴，負責之值班員將優先接聽處理。

表 6 DMSOS 值班調度輪值方式

Day	Day+0				Day+1				D+8		D+9	
	1	2(08-16)	3(16-22)	4	1	2(08-16)	3(16-22)	4	2(08-16)	3	2(08-16)	3
Shift (hr)	T-site	K-site	T-site	K-site	T-site	K-site	T-site	K-site	T-site	K-site	T-site	K-site
Operation Supervision	A1T		B1T			A1K		B1K	A1T			A1K
NA Security Assessment		A1K		B1K	A1T		B1T		A1K	A1T		
Generation Dispatch (AGC)	A2T			B2K	A3T			B3K	A2K			A3K
IPP & Gen Coordination		A2K	B2T			A3K	B3T		A2T			A3T
Network(North) Control	A3T			B3K	A2T		B2T		A3K			A2K
Network(South) Control		A3K	B3T			A2K	B2K	A3T		A2T		

例如台北 A 班值班經理(A1T)當日第 2 值負責總督導指揮，隔日便輪換負責 NA 安全監控，高雄值班經理(A1K)則相反；值班主任(A3T)當日第 2 值負責北部電網監控操作，隔日輪換負責 DAY 電源調度，下一個週期(8 天後)的 2 天第 2 值則分別改負責南部電網監控操作及電源監視(含 IPP 協調)。此外，每值交班兩中心輪流執行 AGC 電源調度並伴隨切換 PA(AGC)伺服器，例如當日第 2 值由台北 A 班值班主任(A2T)主控 AGC，第 3 值(B 班)即改由高雄值班主任(B2K)主控 AGC。

上述輪值方式，可使調度值班人員熟悉並隨時掌握全系統的各项特性及動態，培養電源及電網全方位之調度能力，因此當系統遭遇緊急狀況兩中心即可互相支援。此外，台北或高雄調度中心如因故當機或無法執行調度業務時，另一中心可立即接手所有的調度業務，不會有空窗期，可大幅提高系統供電安全及可靠度。

捌、調度創新與變革

近 10 年來，由於新 EMS 的汰舊換新，各項分析工具的完備精進，北、高雙主控同步調度的實現，加上黃董事長重球近幾年接任本公司之後，即企圖改善本公司體質，扭轉員工觀念，以企業導向取代機關思維，尤其重視民眾知的權力，因此在電力調度工作領域上，除了前述北、高雙主控同步調度為世界首創，另有多項與以往不同的創新與變革，茲依時程先後摘述部分要項如后。

一、設備維護及審修業務在地化

民國 88 年 729 大停電事故促使保護電驛維護業務在地化，由原來本處(台北)集中派員至全省各地進行維護，改由各供電區營運處就近維護，以提高工作效率及維護品質，並節省營運成本。本處台北、高雄 EMS 及調度後衛系統所屬資訊末端設備(RTU)之管理維護及故障檢修，在 DMSOS 運作初期仍由台北電能資控組負責，自高雄 CDCC 成立，幕僚人力補充穩定運行後，自 98 年下半年起逐步將嘉義以南地區(5 所發電廠、10 所超高壓站)之 RTU 維護檢修，移調高雄資控系統組負責，以提供南區快速服務，提升設備可用率及維護效率。此外，審修業務(電源、電網)以往也均由台北調度組負責審查，自 100 年 9 月起嘉南供電區處以南地區(含花東)電網的審修業務逐步移由高雄運轉組負責，可就地緣關係與現場單位作更貼近的溝通協助，增進審修作業的流暢性。

二、電力調度系統事件檢討會

以往 EMS 出現異常或發現弱點，由調度值班人員於電力系統設備審修作業電腦化系統(簡稱審修系統, PMS)填報請修聯絡單，由相關維護部門儘速處理解決問題；惟事後並未共同討論以留下異常發生的肇因及改善紀錄。有鑑於新 EMS 運轉初期不穩定或仍需調校，因此本處比照本公司機電事故檢討會機制，於 98 年 12 月起每月辦理「電力調度系統事件檢討會」之召開、追蹤及統計事項，針對電能管理系統及調度運轉狀況出現之異常事件，檢討事件發生之肇因，尋求改善措施防止再發，以確保電能管理系統相關軟/硬體及周邊設備正常運作，及電力調度安全運轉穩定運行。因異常事件逐年遞減，顯示本會議之成效卓著，因此自 104 年起改為每 2 個月舉行一次。

三、電子(E)化 PMS 交班資訊

在 DMSOS 運作初期，調度值班人員僅藉由

視訊系統彼此口頭交換訊息，而另於紙上北、高各自作業標記，易造成交班資訊不同步之弱點。本處致力於 99 年 3 月起改於 PMS 系統將交班資訊電子化，同步顯示於 VPS 上。並更進一步建置「圖資同步系統」，將目前紙本系統操作圖電子化，並以觸控式電腦螢幕於北、高兩調度中心同步顯示，可避免雙主控操作之同步性，並可提供 EMS 故障期間調度人員對於系統的掌握度。

四、當日即時電網安全分析

新 EMS_NA 具備多項線上即時(Real Time)安全評估分析功能，如 SA、FC、VSA、DSA 等，即便是歐、美、日、加等先進國家之調度中心或 ISO/TSO，亦未必擁有如此完整的即時電網安全分析工具。與以往需由幕僚後勤人員以離線(off line)PSS/E 程式分析不同，功能強大的 NA 讓線上調度員可 24 小時隨時獲得最新即時的電力系統電網安全分析結果，預知系統潛在供電瓶頸，及早採取相關因應措施，確保 N-1、N-2 不致發生大區域停電事故。自 99 年 3 月起調度值班人員每日將即時分析結果(含因應措施)填報於「電網安全性分析日報表」，亦回饋後勤幕僚人員及陳處內長官裁示，並將此報表資訊同步上網分享 ADCC 參考，強化單位間垂直縱向聯繫，俾利真正事故發生時能迅速應變，將衝擊影響降至最低。

五、即時備轉容量監視系統

在機組種類及特性日趨複雜的台電系統，本處於 99 年 6 月完成建置「即時備轉容量監視系統」，對於不同冷/熱機機組狀態所能提供的備轉容量作更正確的運轉資訊彙整，提供調度員即時掌握快速備轉容量(1、3、10、30、60min)。另依據系統淨尖峰供電能力及即時系統負載，於 VPS 顯示即時之可用備轉容量及可用備轉率提醒調度員，以利系統電源調度及早因應。

六、處內訓練管理系統

對於員工在職教育訓練，除本公司訓練所面授課程、網路學院(E-learning)教學外，本處於 99 年 12 月自行建置完成教育訓練管理系統(TMS)，課程涵蓋本公司各領域專業課程超過 700 門以上，區分一般訓練、專案教育訓練及調度員證照課程(一般課程、調度章則彙編及 OTS 課程)，可提供調度員維持證照有效之訓練管道來源之一。

七、日前短期電網安全預警分析

除前述調度值班人員執行即時電網安全分析，監控系統供電瓶頸外，自 100 年 4 月起後勤幕僚人員更創新辦理電網安全預警分析。每日快照(Snapshot)即時系統運轉資料，並依據隔日尖峰負載預測、電源排程及電網設備停用情況，以 EMS_NA 進行日前(Day-ahead)短期電網安全預警分析，預先檢討次日(含例假日)尖峰系統運轉情況。若發現因停電檢修而導致嚴重供電瓶頸，可立即終止該設備停止要求書，避免系統陷入不安全狀態(印度 2012 年大停電事故原因之一)，分析結果亦可提供調度員預警性運轉參考，提前研擬最佳防範因應策略。

八、EMS_NA 比對驗證分析

電力分析程式在離線規劃及線上運轉使用之數學模型、演算方法、運算速度等或有不同需求及考量，因此分析結果不盡相同。如前述 EMS_NA 為即時及預警分析之重要工具，為了解其與離線分析程式差異所在，並提供調度人員即時正確之分析判讀，作為調度運轉之因應參考，自 100 年起辦理每半年(5 月及 11 月)EMS_NA 線上程式與既有之 PSS/E 離線程式之比對驗證模擬分析，包括電力潮流(PF)基本案例及 SA、DSA、FC 分析結果。據以調校 NA 相關參數，驗證 EMS_NA 程式功能及分析結果之可信度，並提出相關改善建議。例如完成 DSA 轉子角度時域圖由絕對角度改為相對角度，及 SA 設備載流量百分比由額定容量(MVA)改為額定電流為基準之

自行改善工作，以符合實務應用，並節省大量請原廠家修改之費用。

九、電網安全運轉準則

為確保電力系統運轉正常安全，提供用戶穩定、可靠之電力，本處於 100 年新制訂「電網安全運轉準則」，於本公司穩靠會議報告討論修改後，於 101 年 1 月正式納入「電力系統運轉操作章則彙編」第肆篇，作為調度員即時運轉因應及設備停電審查作業之依據，解決長久以來調度運轉實務與規劃準則之間存在的疑慮，使調度人員在兼顧安全及經濟情況下，執行即時調度任務有所依循。本準則基本精神為系統運轉需考慮下一個單一輪變電設備事故(N-1)不致引起大停電事故，且合理考慮下一個可能發生之雙重(N-2)輪變電設備事故。在系統正常運轉時仍需提高警覺、作好預知危害之風險管理，經評估分析系統發生偶發事故後無法維持正常運轉時，即採取相關因應措施，以確保電力系統供電安全。後於 102 年 12 月考量公司經營狀況因窘下，爰依據穩靠會議及專案會議決議修訂本準則相關條文，回歸「輸電系統規劃準則」及「輸電系統特殊保護設備設置作業要點」相關規劃為原則。

十、OTS 模擬訓練及調度員證照制度

本處參考北美 NERC 及本公司相關發電單位證照制度，自 101 年起新制定調度員考照制度。CDCC 調度員藉由 OTS 訓練及學、術科之測驗，取得專業之證照(分調度員及高級調度員)，提升相關調度運轉及緊急應變等專業能力。目前 OTS 訓練每半年實施一次，其效益在幾次的天災事件逐漸顯現成效。未來 OTS 還可應用在系統全黑或系統分裂合聯的模擬訓練上，並推廣至本公司其他各級調度中心(ADCC、DDCC)，朝統一之調度員證照制度辦理。惟需強化調度員訓練機制，設立專職講師，補充調度值班人力，才能達到真正訓練效果。自證照制度實施至今，共有 40 人次考照，合格率約 97.5%，至 104 年底本處合

格調度員共 27 人，合格高級調度員共 10 人。

十一、EMS 可視化技術應用於系統分裂研判

民國 84 年發生一次偶發性電網分裂事故，當年因 EMS 未具備可視化的電力系統分裂研判工具，使得調度員在不清楚電網分裂狀況下進行系統併聯操作，最後演變成全停電事故。本處於 101 年 4 月完成將新 EMS 的可視化技術「拓樸邏輯」功能，應用於電力系統快速分裂研判之技術，能清楚地確認分裂後孤網的邊界，同時配合 NA/SE 分析結果，將原本需耗時數 10 分鐘研判電力系統分裂的時間，大大地縮短至數 10 秒，不僅能協助調度員迅速掌握事故後系統的電網狀況，且對於後續的電源調度亦有很大的助益。本項創新技術於 102 年 3 月 27 日與 6 月 2 日二次的南投地震中，成功地發輝功效^[16]，並獲得當年度亞洲電力獎銀牌的殊榮。

十二、頻率品質改以 CPS1 為指標

本處經委託學術單位研究建議^[17]，並依據本公司 101 年第 17 次經營會議決議，自 102 年起變革改採頻率控制效能標準 1(CPS1)作為評量頻率品質良窳，以頻率一分鐘偏差平均值作計算，用來定義電力系統對於頻率變動量的影響是否在可允許的範圍，年度 CPS1 實績大於 100%即符合頻率控制效能門檻。以 CPS1 取代實施多年 $60\pm 0.1\text{Hz}$ 為頻率管控目標，在兼顧用戶頻率品質維持在一定之水平下，提高發電機組效率，降低 AGC 維護成本。

十三、高雄中心 OTS 建置改善

本處於 102 年 7 月完成改善高雄中心 OTS 調度員模擬訓練 MMI 伺服器數量不足之問題。建置「Remote PC 工作站」取代 MMI 伺服器，估計效益節省約 5 百萬元的軟、硬體費用。並使得高雄 OTS 擁有與台北 OTS 相同之架構，可單獨進行完整訓練；同時更進一步透過網路設置，將高雄 OTS 納入台北 OTS 網域。如此，講師可

於任一中心同步對兩中心學員發布狀況進行團隊協同訓練，更能針對雙主控同步調度，進行更仿真、更多元的模擬訓練。

十四、EMS 異常自動通告系統

以往 EMS 故障需由維護或調度值班人員於系統運作異常時方能察覺。本處於 102 年 9 月完成將 EMS 導入 Cacti (Freeware)圖型化監控軟體之創新應用，自行建置即時監控與主動告警機制。結合簡訊系統建立主動式警報發送機制(可發送 Email 與手機簡訊)，監控 EMS 軟體系統、硬體設備運作情形，提供相關長官及維護人員第一時間異常狀況掌握。另估計可節省約 7 百萬元的軟體費用，並改善維護效率、簡化作業、自訂監控管理、提高系統安全。

十五、日前市場規劃及輔助服務競價制度^[18-20]

本公司於今(105)年正式實施事業部之組織架構，以落實廠網分工及會計分離之精神。如何確實有效的估算電能及輔助服務的實際成本，使發電事業部的成本及收入得以確實反應，將是分離會計作業的一大挑戰。因此，本處先前即參考北美的電力市場機制，考量事業部之組織架構，於 103 年 3 月完成自行開發最佳化程式，提出一可行之日前市場(Day-ahead Market)火力電廠試行競價機制，進而估算電能及輔助服務之真實成本，反映合理輔助服務成本。其中包括建置「火力機組競價暨輔助服務成本估算作業平台」及「競價資訊系統」，完成「輔助服務運作原則與管控辦法草案」，並於訓練所舉辦教育訓練。

自 104 年 1 月 1 日起，由本公司 8 家火力電廠依據其會計成本進行每日報價，透過自行開發之競價平台進行最佳化機組排程，以估算「調頻備轉容量」、「即時備轉容量」及「補充備轉容量」等輔助服務之成本，為未來廠網分離、廠網獨立及電業自由化預作準備。104 年 10 月更啟動「強化現行輔助服務估算機制及作業平台」3 年計畫，加強短期負載預測、機組排程程序、網路安

全分析、結算作業平台等功能。

十六、資訊揭露透明化^[12]

因應民眾知的權力及資訊透明化，本處於公司對外網站資訊揭露預估當日及近期系統尖峰備轉容量率(Percent Operating Reserve, POR)。103 年 7 月 31 日起推出供電預警燈號新制，以紅(POR ≤ 6%)、黃(6% < POR < 10%)、綠(POR ≥ 10%)燈號顯示系統之電源供應狀況；後於 104 年 6 月 25 日更新為 5 燈號，以黑(OR ≤ 500MW)、紅(OR ≤ 900MW)、橘(POR ≤ 6%)、黃(6% < POR < 10%)、綠(POR ≥ 10%)燈號更精緻地表達系統之電源供應狀況及可能限電機率。本燈號除提供上級長官掌握供電概況，可用以提醒各電廠加強機組運轉之監控巡視，並籲請用戶節約用電。

十七、智慧型特殊保護防衛機制

本公司針對區域性過載或不穩定等問題，除於多處地點裝設 50+2 延時跳脫機制，早期亦裝設全系統型、冬山、大潭簡易型 SPS、明潭系統及中部系統 SPS，作為系統最後一道防衛機制，避免大範圍停電事故發生。為增進 SPS 可靠度與安全性，於 104 年 3 月陸續完成大潭、東部(鳳林)系統及冬山之新設智慧型 SPS 加入系統；另核三系統之 SPS 亦積極採購中。因目前無全系統型不穩定問題，且舊 SPS 已過保固期維護不易，因此早期既設之 SPS 均已除役。

目前建置之 SPS 大都為 Event based 設計，亦即利用離線分析在系統最惡劣的情況下，檢討分析偶發事故發生後應採取之動作決策表(Look-up Table)。因此每年需檢討更新既設 SPS 之動作決策表或系統新設 SPS 之需求，以提供電力系統在運轉上更可靠的防衛保護。未來可研究相量量測設備(PMU)之應用於 SPS 解決暫態穩定度問題，以 Response based 取代 Event based 採用之決策表，可減少離線分析過於保守導致之不必要卸載或跳機動作。

十八、緊急應變中心

本處對智能科技的應用已有多多年。有鑑於大型天然災害的規模與次數逐漸加劇，先進緊急應變中心(Emergency Operation Center, EOC)日趨重要。本處 104 年 4 月於總處 2504 室建置「緊急應變中心」，如圖 18。新建「緊急應變中心」為一多功能作業室，配備「災害應變管理系統」，其結合先進資通訊技術(ICT)及地理圖資平台(GIS)等軟硬體設備，並整合公司內部發、輸電等圖資，及介接外部機關發布防救災相關資訊如氣象、水庫水位、河川水位、淹水潛勢、土石流潛勢、公路交通等，於災害發生即時提供災情資訊予相關進駐人員應變、公司高層及鈞部長官，以利於即時掌握並規劃防救災作業。該系統平時亦可從事相關資訊蒐集分析，如颱風與電力災損、各水庫進水量等，俾利採取預防措施、精進水庫運用及電力調度運用技術等功能。



圖 18 緊急應變中心(EOC)

十九、需量反應與需量競價措施

本公司推動需量反應相關措施迄今逾 30 年，措施實施效益逐漸趨於飽和，功能亦無法適應電力系統及市場需求。為擴大用戶參與，激發用戶抑低用電潛能，爰配合高壓以上用戶全面布建 AMI 電表及參酌國外電業作法，修正既有各類減少用電措施，同時新增需量競價措施。除計畫性減少用電措施(原 4 種措施整併為 3 種)、臨時性減少用電措施(原 4 種措施整併為 2 種)外，

於 104 年開始 5 至 8 月期間(後因秋季負載居高不下延長至 10 月)增訂需量競價措施,採用戶(高壓以上經常電力用戶)自訂抑低用電每度報價參與需量競價方式,改善傳統供給面訂價無法吸引用戶參與需量反應等問題。需量競價分為經濟型及可靠型,本處於執行前一日就用戶報價與本公司機組進行競價,競價結果於當日 18 時前公佈後由 ADCC 及 DDCC 直接通知得標用戶隔日配合執行抑低用電。

二十、IPP 運轉資料管理系統

自民國 85 年第一家 IPP 業者加入系統後,相關合約指令及結算均採人工紙本作業方式,自 95 年開始委外建置運轉資料管理系統,啟用電腦化管理,惟 IPP 合約執行日趨複雜,在近年黃董事長帶領下與民營電廠談判過程中,發現原系統在統計及自動化上可以更精進。本處遂於 103 年積極規劃並委託本公司資訊系統處自行開發程式撰寫、網頁設計及資料庫建立,經不斷測試修改以符合實際調度與購售電合約(PPA)精神,新 IPP 管理系統於 104 年 7 月 1 日正式啟用。

新 IPP 運轉資料管理系統特點,包括快速建立雙方調度指令,於確認過程中紀錄修改的歷程資訊,即時釐清有爭議之指令,進而消除計費上的爭議。此外,加強運轉資料紀錄及圖形展示,新增機組排程、輔助計算天然氣用量、機組大修/檢修規劃之功能,計算配合/未配合停減供或增加出力調度之電能度數及相關罰則的判定等,消除結算上的爭議。未來可進一步應用於業務處結算報表之 E 化作業,並為電業自由化預做準備。

二十一、調度運轉暨輔助服務月報^[13]

配合前述競價制度之實行,自 104 年 7 月起每月統計彙整於本處網站提供調度運轉暨輔助服務月報,包括備轉容量、頻率控制效能標準(Control Performance Standard 1, CPS1)實績、抽蓄用電成本/替代效益分析、需量競價得標情況、再生能源發電量、發電機組溫室氣體(CO₂)排放

量預估及水庫運用規線等調度運轉類共 16 項,及輔助服務每度電平均成本、電能及輔助服務成本、各項備轉輔助服務得標量及各電廠競價結果分析等輔助服務共 7 項資訊。另提供輔助服務成本及計算明細資料,供各級長官參考及了解各電廠機組最佳定位,以應未來自由化之競爭優勢。

二十二、運轉資訊即時掌握

電力系統調度運轉相關資訊繁多,且均分散於各主辦部門中,為使相關資訊能夠即時掌握,本處成立專案小組,規劃開發行動資訊網頁,旨將相關調度資訊集中,以即時方式揭露。目前已於今(105)年 1 月 25 日自行開發完成能安裝於行動裝置(例如手機 APP)之「行動調度處」,內容包括即時掌握、洞悉未來、停電資訊及歷史資訊四大部分,提供即時資訊及預估未來一周資料,更可於電源不足時期,提供停電時間、區域、戶數等資料,以提供上級長官最即時的資訊。

二十三、其他調度策略精進

近幾年來,電力調度不斷面臨新的變化與挑戰,不僅氣候變化異常,電力系統備轉容量偏低,各項外在因素更不斷駕馭於調度專業,使得第一線調度值班人員遭受各項嚴峻的考驗,相關調度策略也需跟著調適因應,以降低燃料成本並維持穩定供電。例如基載機組計畫發電量管控、大修工期管控、第三階段 IPP 超過 40% 容量因數運用、台塑汽電償還短發電量、大潭天然氣用量極大化、執行抽蓄電廠「週調度運轉」、水庫資源精準調度、LNG 複循環機組實施每日起停(DSS)運轉,及以「電源端」事故責任與成本歸屬,大幅改善事故次數與時間等等,均替本公司創造極大的效益。

玖、運轉亮點與成果

除了上節電力調度多項與以往不同的創新與變革,在系統運轉面也主辦或協助完成了耀眼

的亮點與成果，茲摘述部分要項如后。

一、本公司 KPI 績效指標成果

本公司線路損失(Line loss)及用戶停電指標(SAIFI·SAIDI)等主要績效指標(KPI)，在 DMSOS 實施後均有顯著之精進。世界銀行《2016 經商環境報告》(Doing Business 2016)於去(104)年再度肯定本公司的供電效率與品質，在「電力取得」指標(Getting Electricity)超越德國、瑞士、新加坡等先進國家，連續兩年榮獲排名第二。

(一) 線路損失(Line loss)

在本公司全體同仁努力執行各項降低線路損失措施之情況下，全系統線路損失率近 10 年來均低於 5%，近 5 年來更呈現連續下降趨勢，至去(104)年創歷史新低僅 3.72%(如圖 19)，對節省營運成本及減少 CO₂ 排放量均有顯著之成效。例如近 3 年(102~104 年)節省營運成本分別約 13.5、13.28 及 20.6 億元。

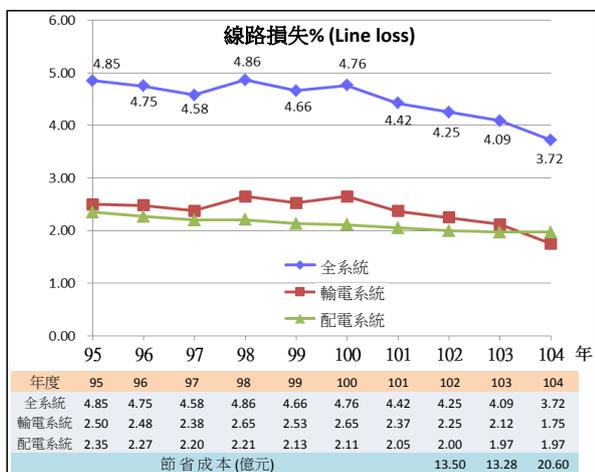


圖 19 近 10 年線路損失

(二) 用戶平均停電次數(SAIFI)

在本公司各級維護單位努力下，用戶每年平均停電次數(SAIFI)有顯著之下降趨勢，尤其 98 年 DMSOS 實施後，近幾年均在 0.3 次以下，如圖 20，對穩定供電有顯著之成效。

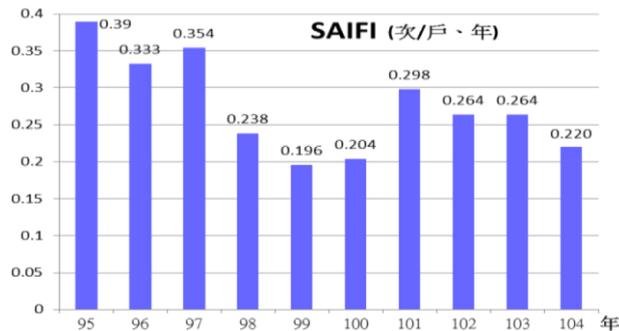


圖 20 近 10 年用戶停電次數指標(SAIFI)

(三) 用戶平均停電時間(SAIDI)

在本公司各運維及調度相關單位努力下，用戶每年平均停電時間(SAIDI)亦有顯著之下降趨勢，尤其 98 年 DMSOS 實施後，近幾年均在 20 分鐘以內，如圖 21，對用戶造成不便之影響有顯著之成效。

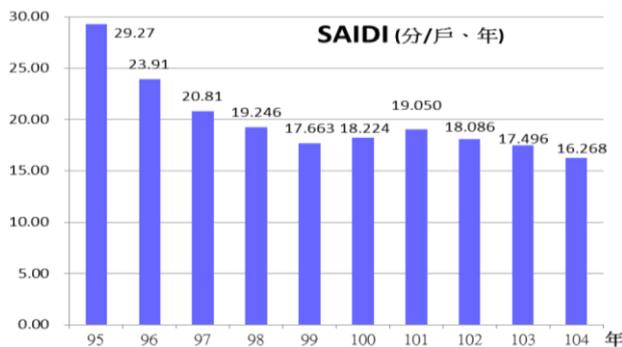


圖 21 近 10 年用戶停電時間指標(SAIDI)

二、本處 ISO-9001 品質目標成果

「安全運轉、經濟調度」為本處 ISO-9001 品質政策，為落實執行品質政策及持續改善，本處品質目標為「高品質、低成本」，主要目標成果分述如下：

(一) 供電頻率品質(高品質)

為提供用戶優良頻率品質，本處應用自動發電控制(AGC)及機組調速機功能，並定期測試相關功能及使用情形，確保系統一、二次頻率響應功能正常。近 10 年來，在本處及發電單位同仁共同努力下，供電頻率品質均滿足目標值，如圖 22。其

中 95~101 年以頻率運轉在 $60\pm 0.1\text{Hz}$ 以內佔比為評估方式，每年目標日趨嚴格。自 102 年改以 CPS1 作為評量頻率品質良窳，大於 100% 即符合頻率控制效能門檻；近 3 年(102~104 年)頻控指標改 CPS1 抑低頻控成本效益分別約 1.39、7.1 及 10.78 億元(以大潭 101 年發電實績效率為基準)。

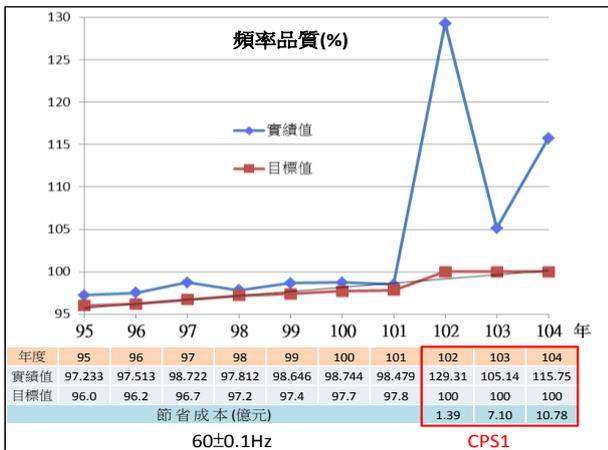


圖 22 近 10 年供電頻率品質目標與實績

(二) 燃料成本管控(低成本)

近 10 年國際燃料價格不斷攀升，造成本公司燃料成本也跟著上揚，而在電價無法合理反應，也造成本公司多年營運虧損，近 2 年才轉虧為盈。本處落實各項調度因應策略，將燃料成本管控在目標值，近 10 年來均達成經濟調度績效指標，如圖 23。

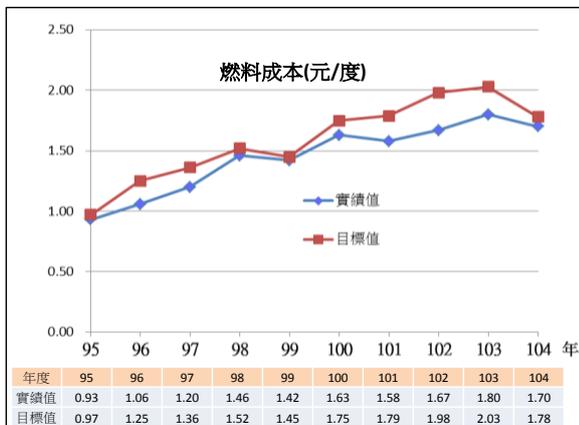


圖 23 近 10 年燃料成本目標與實績

三、本處 ISO-27001 資安目標成果

本處 ISO-27001(ISMS)資通安全目標為「資安管理(適法性)、謹慎周延(機密性)、安全運轉(完整性)、永續經營(可用性)」，以落實本處資通安全政策及持續進步。近幾年資訊安全績效指標及執行實績，除適法性及機密性符合計畫目標外，完整性及可用性成果分述如下：

(一) RTU 資料正確率(完整性)

電力系統即時運轉監控，除電話聯繫指令外，CDCC 調度人員必須依靠 RTU 回傳 EMS 之超高壓變電所及發電廠的即時運轉資料，做必要之因應，因此相關資料的正確性至為重要。在北、高維護人員的努力下，近幾年(99~104) RTU 資料之正確率如表 7，均遠高於目標值 97.8%。

表 7 近年 RTU 資料正確率(%)

年度	99	100	101	102	103	104
台北維護	99.90	99.90	99.90	99.98	99.90	99.87
高雄維護	99.96	99.90	99.78	99.67	99.89	99.98
目標值	97.80	97.80	97.80	97.80	97.80	97.80

(二) EMS 運轉可靠率(可用性)

DMSOS 運轉經歷不斷的精進調校及檢討改善，目前已達穩定狀態。EMS 自商轉以來，歷經幾次的極端事件，因有著雙調度中心人員設備異地備援，電力調度任務仍然無縫接軌繼續正常執行。近幾年(99~104)雙中心 EMS 最主要的伺服器(COM)之運轉可靠率如表 8，均高於 99.75%(每年中斷時間 21.9 小時)目標值。其中除 102 年 6 月上旬雙中心有 8 分鐘同時停用外，其餘時間 EMS COM 可靠率均達 100%。

表 8 近年 EMS 運轉可靠率(%)

年度	99	100	101	102	103	104
雙中心EMS	100	100	100	99.998	100	100
台北EMS	100	100	100	99.94	100	99.99
高雄EMS	100	100	100	99.96	100	100
目標值	99.75	99.75	99.75	99.75	99.75	99.75

施，嚴格控管大修時程，並計算提前或延後所造成之燃料替代成本。103、104 年基載機組大修工期提前效益約分別為 9.37 及 4.84 億元。

(六) 需量競價效益

自 104 年開始實施之需量競價制度，經統計 104 年 5~10 月份總計抑低用電實績約 22 萬瓩小時，效益合計約 210 萬元。各月份用戶參與報價及抑低容量情形詳如圖 25。未來幾年在備用容量仍偏低的情況下，需量競價仍具成長潛力，對抑低尖峰負載之效益指日可待。



圖 25 104 年需量競價申請概況

拾、調度回顧與未來展望

一、極端事件回顧

(一) 強烈地震

台灣地處環太平洋地震帶上，地震發生頻率極高，平均每年約 1000 次有感地震，造成人民及財產極大的傷害。例如 88 年 921 南投集集大地震造成兩千餘人死亡、上萬人受傷及難以估計的財產損失；也造成本公司中部地區電力設施嚴重毀損，及中北部地區大規模輪流限電事件。近年如 99 年 3 月 4 日高雄甲仙地震、102 年 3 月 27 日與 6 月 2 日二次的南投地震；尤其今(105)年春節除夕前一天，2 月 6 日凌晨 3 時 57 分高雄美濃發生芮氏規模 6.4

大地震，雖然震央周邊的災害並不大，卻造成鄰近之台南永康單一大樓倒塌，超過百人以上罹難，為繼 921 集集大地震以來傷亡最慘重的地震。地震影響除人民及財物的損傷外，亦可能對電力系統造成瞬間之衝擊及後續之因應。

以 102 年 3 月 27 日南投發生規模 6.2 地震事故為例^[21]，電力系統中部重要超高壓線路跳脫 13 條(此次事故線路跳脫數量僅次於 921 集集大地震)，中北部僅剩中寮～霧峰線系統連接且嚴重超載。當時電力系統開始搖擺不穩定，有可能導致崩潰，若此線路再跳脫將重現中北部大區域停電之夢魘。所幸除線上當值調度人員緊急因應外，本處即時投入北、高支援人力，進行系統是否分裂之研判及 NA 線上分析，採取有效且安全之措施，才能穩住系統，避免事故惡化釀成大區域限電，甚至全停電之災難。

本極端事件之經驗，顯示第一時間系統分裂研判及 EMS_NA 線上即時分析工具之重要性。此外，台灣無論地震發生在北部或南部地區，在高雄 CDCC 成立並與台北 CDCC 異地互為備援情況下，若其中一個中心因震災無法執行調度時，另一中心可立即接手所有調度任務，將天災對電力調度運作之影響降至最低。

(二) 超級颱風

台灣位於西太平洋，平均每年約有 3 至 4 個颱風侵襲台灣陸地，近幾年颱風所造成之損失平均每年達百億元以上。其中印象較深刻如 96 年柯羅莎、97 年辛樂克、98 年莫拉克、99 年凡那比及梅姬、101 年蘇拉及天秤、102 年蘇力及天兔、104 年蘇迪勒及杜鵑颱風。颱風雖可帶來充沛的雨水，提供水庫發電效益及民生工業灌溉用水需要；惟負面影響除人民及財物的損傷外，亦造成部分電力供應中斷及對電力調

度之衝擊。

以去(104)年 8 月 8 日中颱蘇迪勒為例^[22]，颱風挾紮實結構及豐沛雨量重創台灣電力系統，除造成 161kV 以上輸電線超過百次跳脫，也發生電源線 N-2 致使和平 IPP、麥寮 IPP 整廠全停，甚至協和電廠 345kV #1BUS 事故亦造成四部機全停。這三所電廠全停事故發生在當日 2:58~5:18 之間，並造成低頻卸載電驛(UFLS)第一/二段動作，即抽蓄機組抽水時之低頻設定自動跳機。惟如此之極端事故，竟無造成大停電或電力系統全黑情況，此種電力調度經驗誠屬難得。因此，本處於今(105)年技能競賽中以「電力調度模擬展示」為新亮點，藉由狀況模擬，重現蘇迪勒颱風時之事故狀況與處置作為，讓外界瞭解電力調度人員如何運用專業，因應氣候變遷及瞬息萬變的電力系統狀態，以維持供電穩定。

本事件也突顯抽蓄機組於抽水運轉時對電力系統免於全黑之助益。此外，台灣颱風之影響範圍大多亦是區域性，在高雄 CDCC 成立後，無論颱風由北或南接近，可與台北 CDCC 異地且互為備援，並合理分配值班及支援人力，在事故處理的過程中，可充分發揮人力運用，將天災對電力調度運作之影響降至最低。

(三) 極端氣候

台灣地處副熱帶季風區，加上島內地形複雜，天候多變難以預測，夏季天氣炎熱、有時秋天氣溫仍居高不下，冬季氣溫也時有反常。尤以今(105)年初霸王級寒流發威，全台由北到南極速冷凍，體感溫度接近冰點，1 月 23 日陽明山繼 98 年之後再度下雪，許多低海拔地區亦飄下百年難見之瑞雪。

未來系統負載每年仍將持續增加，尤其是極端氣候之影響不可輕忽，加上未來本公司多部老舊機組陸續除役，電源或備

轉不足問題，可能導致類似 2011 年秋天韓國緊急分區輪流限電之危機。103 年夏季供電已提早出現警訊，備轉容量率已低於 6% 以下，例如當年 7 月 15 日歷史最高負載 (34821.4MW) 當日備轉容量率僅 5.41%、7 月 17 日更降至 4.71%；9 月 15 日秋老虎發威負載居高不下，加上林口電廠 #1、#2 機組 8/31 除役(600MW)及南部電廠因高雄氣爆事件 8/1 停機(1100MW)等因素，9 月 15 日當日備轉容量僅約 100 萬瓩，創下近十餘年來新低 3.44%，只要任何一部大型機組故障跳機，就極可能引發無預警限電事件。事實上 9 月 15 日當日已緊急實施多項負載抑低或管理應變措施(降壓、降頻運轉及大用戶臨減措施)，才避免了限電危機。去(104)年系統尖峰負載於 7 月 2 日(大學指考期間)再創歷史新高紀錄 35248MW，備轉容量率降至歷史新低 1.9%；10 月 5 日秋老虎發威，備轉容量率亦僅 2.9%，在北、高兩中心調度值班人員的共同努力應變下，渡過嚴峻的考驗，避免限電的發生。

(四) 北、高調度中心斷聯

北、高調度中心雙主控同步調度係透過三路高頻寬之廣域網路(WAN)互相連接。101 年 9 月 15 日~16 日因龍門~龍潭線 345kV 鐵塔倒塌引發南北通信主幹全喪失事件，導致台北調度中心因外部因素無法對外通信，且調度人員無法掌握並控制電力系統。當時幸賴高雄中心調度人員，身兼數職，在亂度頗高的環境中，將相關功能及監視系統逐步切換至高雄側，單獨負擔起全系統的調度重責，才未使電力系統失控。本事件也驗證雙主控同步調度在兩中心斷聯情況下，因調度員平時訓練有素且定期輪換所負責之任務，仍可各自獨立擔負全國電力供應之重責大任。

(五) 單調度中心失效

99年3月16日台北中心因設備接地電驛誤動作，導致台北側電源喪失，雖COM伺服器未受影響仍正常運作，惟其他調度顯示相關資訊非預期失效，靠著訓練有素的調度員即時切換全系統至高雄中心，才避免系統在負載突變的階段失去控制。類似的情形在99年12月10日高雄通信中心之直流電源喪失事件中，也造成了高雄中心將所有調度權限切換至台北的困擾。去(104)年也發生因總處大樓電源切換測試及供電饋線電壓驟降，加上UPS蓄電池失效，導致台北EMS功能異常。

在高雄CDCC成立後，配合雙主控同步調度人員之輪流分工配置，EMS設備亦具備隨時切換功能，以確保其控制系統可靠度，故當系統遭遇緊急狀況(無論是外在因素、或是內在因素)，調度人員即可互相支援；例如台北或高雄中心因故當機或無法執行調度業務時，另一中心可立即接手所有的調度業務，不會有調度空窗期，亦即兩地隨時可單獨承擔電力系統即時調度任務。事實上，近年來單一中心發生失效次數不下10次，都未對電力系統造成任何不可控制的傷害，再度驗證CDCC北、高雙主控同步運轉之效益。

(六) 雙中心EMS COM失效

102年6月5日北、高雙中心因資料庫異常且不一致，經重啟台北中心仍無法解決問題，進一步以雙中心重啟後恢復調度功能，以致於有8分鐘雙中心COM同時停運，造成當(6)月北高雙中心可用率為99.98%，當(102)年為99.998%。此事件於6月1日即已出現異常徵兆，6月4日高雄alarm messages無法正常顯示，但台北顯示正常，為配合高雄解決問題，操作切換COM導致台北cm2t硬體故障，經維護廠商即時搶修後，cm2t作業系統(AIX)正常運作，但是spectrum系統可能因有大量異

常資訊湧入或其他原因造成SOFTBUS發生overflow，仍無法運作。依西門子專家建議，在這種情況下必須4台COM之spectrum系統全停後再啟動，以徹底重建SOFTBUS BUFFER及程式之間的連結，方能確保COM伺服器順暢運轉。為防止此事件再發生，經本處「電力調度系統事件檢討會」充分討論後，以加強監控COM system log及HIS system file使用率超過8%時，利用cacti監控程式發送Email及簡訊立即通知相關同仁處理，並且每日檢視COM之系統CPU loading狀況，若有異常即刻處理。

在雙中心EMS失效當下，調度員立即採用備援之後衛系統，監看關鍵變電所及電廠機組出力資訊，繼續執行調度任務，系統安然渡過危機。本事故顯示即便雙中心重要伺服器共有4台，仍有全部失效之可能。故除台北後衛系統外，本處亦將於今(105)年建置高雄中心後衛系統，以因應極端事件調度需要。

二、104年度電力調度回顧

(一) 重大事件回顧

去(104)年電力調度在驚濤駭浪中渡過，所幸天佑台灣未造成大停電事故，主要影響調度運轉之事件回顧如表9。

1. 備轉容量嚴重不足

回顧近3年系統備轉容量嚴重不足，104年第2季氣溫偏高，10月後因暖冬導致負載偏高，全年備轉容量率低於6%之天數共33天，供電吃緊日趨嚴重，其中3天更破天荒降至3%以下，面臨停限電邊緣，如圖26。

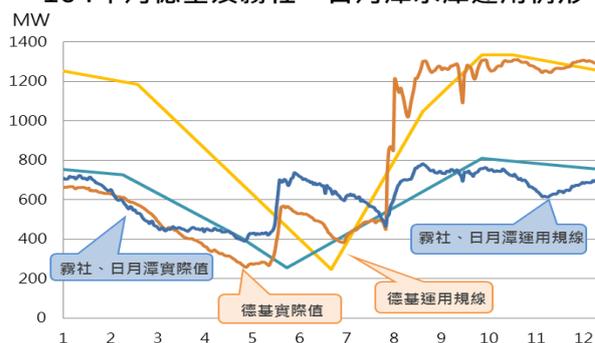
2. 核一#1機問題影響整體供電

核一#1機大修後無法併聯，影響整體供電，104年全年減少發電約50.48億度。

表 9 104 年重大事件回顧

日期	事件回顧
01/14	核一#1機大修完成後停機
04/26	核三#2機輔變失火停機
05/06	推行需量競價措施
06/25	雲林縣政府通過減燒生煤政策
07/02	負載創新高35248MW、備轉容量率創新低1.9%
07/10	昌鴻颱風
08/08	蘇迪勒颱風
09/27	杜鵑颱風(協和、和平跳機北送潮流4200MW)
10/05	秋老虎發威、備轉容量率2.9%
11/09	中火首次因環保因素(PM2.5)降載
12/07	核三#2機螺樁退出異常無法併聯

104年日月潭及德基、日月潭水庫運用情形



註：1.德基滿水貯存電能1334.95MW一旬
2.霧社、日月潭滿水位貯存電能810.47MW一旬

圖 27 104 年水庫運用情形

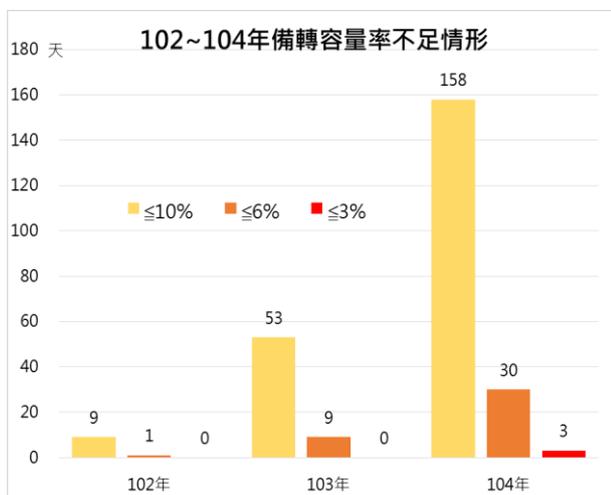


圖 26 近 3 年備轉容量率

3. 環保加嚴

大林#3、#4 機受環保法規加嚴限制，原每季可運轉 34 天，經進口低硫燃油混燒因應後增加至 54 天。另雲林縣政府宣布實施禁燒生煤政策，第 4 季台塑石化汽電發電量減少 20%。

4. 水力運用情形

104 年上半年降雨少，導致水力機組發電能力大幅降低，所幸 5 月梅雨季及時紓解供電壓力。第 3 季雖颱風帶來豐沛雨量及氣溫較低，反造成天然氣調度困難。104 年德基及霧社、日月潭水庫運用情形如圖 27。

(二) 基載機組營運分析

基載機組(核能、燃煤)發生許多重大營運事件，影響供電情形如表 10 及 11，電廠容量因數(%)則如圖 28。

表 10 104 年基載機組營運事件

電廠	重大營運事件	影響期間
核一廠	#1機因燃料棒連接桿斷開無法如期再起動	104/01/14~
核三廠	#2機輔變礙子絕緣劣化製造瑕疵 #2機螺樁退出異常	104/04/26~104/05/15 104/12/07~105/01/12
興達廠	#3高壓充油電纜絕緣劣化 #1低壓段葉片故障降載	104/05/01~104/05/26 104/01/16~
麥寮廠 和平廠	爐管破裂、設備劣化等設備相關問題	104年期間多次停機檢修

表 11 104 年基載電廠機組停用天數

	核一廠	核二廠	核三廠	台中廠	興達廠	麥寮廠	和平廠
平均每部機組大/檢修天數(天/部)	200.5	18	42	29.7	30.5	33	43
平均每部機組故障天數(天/部)	0	1.9	18.3	1.6	7.8	3.6	2.3

基載電廠容量因數(%)



圖 28 104 年基載電廠容量因數

(三) 發購電結構變化

104 年核能發電總計 351.4 億度，較 103 年減少 13.9%，主要由燃油機組增加因

應，年發電 93.7 億度，成長率為 71.3%，
 燃煤及燃氣則無重大變化，近 3 年發購電
 結構如圖 29。



圖 29 近 3 年發電結構

(四) 主要營運亮點

104 年主要營運亮點，除需量競價及
 抽蓄調度精進項目外，節省之成本或效益
 合計達百億元，彙整如表 12。

表 12 104 年主要營運亮點效益

項次	營運亮點項目	效益(億元)
1	線路損失節省成本	20.60
2	抑低頻控成本	10.78
3	汛期水力運用節省燃料費用	29.54
4	水庫排砂效益	9.04
5	IPP容量因數大於40%效益	5.84
6	大潭用氣極大化節省成本	20.15
7	基載大修工期提前效益	4.84
合計		100.79

(五) 調度精進作為

1. 輔助服務成本估算

104 年輔助服務成本估算每度電
 0.0459 元，分配情形如圖 30。

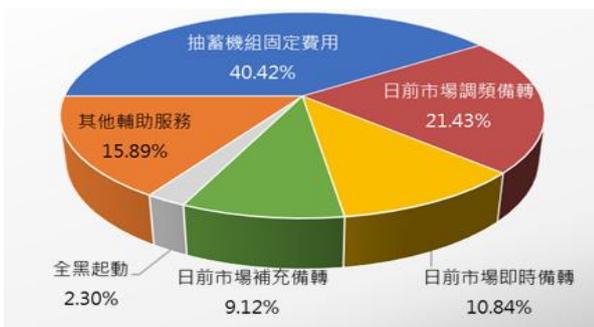


圖 30 104 年各項輔助服務費用佔比

2. 需量競價

104 年 5~10 月份需量競價總計抑低
 用電實績約 22 萬瓩小時，效益合計約
 210 萬元。

3. 精進抽蓄調度

抽水用電模式從日調度改為週調
 度，可降低抽水用電之成本，效益約
 123.6 萬元/週。

三、105 年度電力調度展望

展望今(105)年電力調度仍將面臨多項不利
 因子及影響因素的挑戰，各項不確定因素仍在，
 本處必須採取相對應之調度因應措施。例如隨時
 檢討並調整大修排程、燃料供應等策略；配合業
 務處推動精進需量競價及各項收購電力措施，以
 抑低尖峰負載及擴大電源供給。在新機組如期商
 轉前提下，若無重大事故且尖峰負載用電未大幅
 成長情況下，系統供電應可滿足負載需求。

(一) 電力供應預估

考慮林口新#1 機於負載尖峰前加入
 系統，今年系統備用容量率亦僅 12.5%；
 而各月份預估備轉容量率則如圖 31。



圖 31 105 年各月預估備轉容量率

(二) 不利因素

1. 汽電共生減量

台塑汽電共生為滿足能源熱效率
 52% 規定，不斷下修躉售發電量，依
 104/12/10 提供之數據，105 年汽電共生
 購電量將降為 65.18 億度(104 年實績為

87.58 億度)，如圖 32，將對電力調度造成重大不利之影響。



圖 32 105 年台塑汽電共生預估發電量

2. 核一#1 機延後起動

核發處評估核一#1 機 6 月後方能重新起動，造成上半年部分備轉容量不足。如前圖 31，今年 4、5 月備轉容量率僅 8.48、7.97%。

3. 大林#3、#4 機停機

大林#3、#4 機於今年 8 月以後將因無法滿足環保法規加嚴標準而無法運轉，預估降低 2% 備轉容量率。8 月備轉容量率將降至 7.17%。

4. 新機組延後商轉

大林新#1 機無法於今年 10 月如期商轉。夏季過後 10、11 月備轉容量率仍然偏低，分別為 8.63、8.60%。

(三) 影響因子

1. 工程因素

林口新#1 機已於 104 年 11 月正式併聯發電，預計今年夏季商轉提供 80 萬瓩發電量；林口新#2 機預計 8 月試運轉；通霄#1~#3 機預計 11 月除役。

2. 氣候因素

依據中央氣象局聖嬰展望，今年 2 月至 4 月氣候偏濕偏暖機會高，預期負載較去年同期成長機率高。

3. 環保因素

因縣市府禁燒生煤政策，加上細懸浮微粒(PM2.5)空污問題，台中電廠、麥寮電廠可能將減少發電。

(四) 調度因應措施

1. 調整大修工期

滾動檢討供電狀況，並視需要隨時召開臨時大修工期會議，調整大修工期因應。

2. 動態調整發電計劃

分月預排各受管制機組發電量，必要時調整調度順序，確保供電安全。

3. 機動調整燃油發電量

目前預估今年天然氣用量已達 890 萬公噸，未來如基載發電量不如預期，將以用燃油機組替代。

4. 擴大需量競價措施

配合業務處導入用戶代表群模式，精進需量競價程式，擴大推動需量競價，以降低系統尖峰負載，穩定今年夏天的供電。

拾壹、結語

今(105)年本公司邁入 70 週年，組織上亦有重大改革，1 月 1 日起正式以「廠網分工」、「分離會計」核心措施，將組織由總管理處集權，轉型為「政策集權化，管理分權化」。成立水火力發電、核能發電、輸供電、配售電 4 大事業部開始運作，邁向企業化經營，提升全員成本意識與服務效率，努力在國營事業體制下做出最大改變，持續強健台電體質，以積極面對未來變化與挑戰。520 新政府就任後，電業自由化、電價調整、能源政策、核安問題、環保加嚴、再生能源衝擊、極端氣候影響、溫室氣體抑制等等議題，電力調度將面臨前所未有之挑戰。

自 98 年本公司電力調度已邁向歷史的新紀元，本處同仁發揮所長不斷創新，藉由新 EMS 多項應用程式之功能發揮、CDCC 設備及人員的異地備援、雙主控同步調度的運作、OTS 的訓練及調度員證照的實施、緊急行動調度中心之建置，並配合相關調度精進措施，相信除了可增進

供電安全可靠、降低營運成本、提昇經營績效、提供用戶優良品質及專業服務外，更可應付劇變天災所帶來之衝擊影響，將大停電事故發生之機率降至最低，以維護國家安全及經濟穩定之發展。展望未來，本處除了在先前的創新變革基礎上，更要不斷地成長精進，才能跟上時代變遷的腳步，迎接未來更嚴峻的挑戰。

拾貳、誌謝

感謝電力調度處前輩及全體同仁的努力，得以成就本文的撰寫。包括張木軍及吳士襄兩位副處長、吳進忠及莊雄誠兩位中央調度監、劉坤城副研究員、各部門主管及同仁之協助，特此一併致謝。

拾參、參考文獻

- [1] 蕭純育，「2012 印度世紀大停電事故分析探討」，台電工程月刊，第 797 期，第 56-71 頁，民國 104 年 1 月。
- [2] 台灣電力公司，「民國 88 年 7 月 29 日系統停電事故報告」，民國 88 年 9 月 3 日。
- [3] C. H. Lee and S. C. Hsieh, "Lessons learned from the power outages on 29 July and 21 September 1999 in Taiwan," *IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib.*, vol. 149, no. 5, pp. 543-549, Sep. 2002.
- [4] T. Y. Hsiao, C. N. Lu, Y. H. Liu, C. L. Cheng, and B. S. Chang, "Safety Net Design and Implementation in Taiwan Power System," *IEE Proceedings of the 5th International Conference on Power System Management and Control (PSMC)*, pp. 41-46, 17-19 April 2002.
- [5] Tsun-Yu Hsiao, Chan-Nan Lu, and Yui-Hong Liu, "Defense Plan Design in a Longitudinal Power System," *Proceedings of the 14th Power Systems Computation Conference (PSCC)*, Sevilla, 24-28 June 2002.
- [6] F. F. Wu, K. Moslehi, and A. Bose, "Power system control centers: past, present, and future," *proceedings of IEEE, Invited paper*, vol. 93, no. 11, pp. 1890-1908, Nov. 2005.
- [7] P. Zhang, F. Li, and N. Bhatt, "Next-generation monitoring, analysis, and control for the future smart control center," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 1, no. 2, pp. 186-192, Sep. 2010.
- [8] J. Giri, M. Parashar, J. Trehern, and V. Madani, "The Situation Room: Control center analytics for enhanced situational awareness," *IEEE Power & Energy Magazine*, pp. 24-39, Sep./Oct. 2012.
- [9] T. Y. Hsiao, J. Fan, M. C. Chang, and H. W. Lan, "Dual-Master Synchronous Operation Scheme in Taiwan Power System," *Proceedings of IEEE PES General Meeting*, Vancouver, BC, Canada, 21-25 July 2013.
- [10] Tsun-Yu Hsiao, J. Fan, M. C. Chang, and H. W. Lan, "Dual-Master Synchronous Operation of Control Centers for Disaster Recovery," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 29, no. 3, pp. 1429-1430, May 2014.
- [11] 鄭金龍，「台電 60 年來之系統調度運用」，台電工程月刊，第 693 期，第 95-109 頁，民國 95 年 5 月。
- [12] 台電外部網頁：<http://www.taipower.com.tw>.
- [13] 台電內部網頁：<http://10.5.200.5/sodhome/>.
- [14] 翁伯東，「電能管理系統簡介」，中國電機工程學會電工通訊季刊，99 年第三季(Sep. 2010)，第 50-57 頁，2010 年。
- [15] 邱文賢、蕭純育、李青霖、莊雄誠、藍宏偉，「台電 EMS 電網應用分析程式(NA)簡介與應用」，中國電機工程學會電工通訊季刊，99 年第三季(Sep. 2010)，第 18-27 頁，2010 年。
- [16] 藍宏偉、張木軍、李青霖、林琦軒，「應用電能管理系統的可視化技術於電力系統分裂快速研判」，中華民國第三十四屆電力工程研討會，台中市，2013 年 12 月 6-7 日。
- [17] 台灣電力股份有限公司，「台灣電力系統控制效能標準制定與 AGC 控制策略分析」期末報告，民國 99 年 12 月。
- [18] 徐琨璋、黃維綱、胡宗豪、蔡金助、吳進忠，「在電業自由化環境下台灣電力系統日前市場機制之探討與設計」，台電工程月刊，第 795 期，第 90-102 頁，民國 103 年 11 月。
- [19] 黃維綱、胡宗豪、徐琨璋、蔡金助、吳進忠，「台灣電力系統輔助服務價格之模擬競價結果分析-以火力電廠為例」，台電工程月刊，第 796 期，第 103-110 頁，民國 103 年 11 月。

[20] 胡宗豪、吳進忠、蔡金助、黃維綱、徐琨璋，「台灣電力系統日前市場最佳化程式開發」，台電工程月刊，第 796 期，第 104-115 頁，民國 103 年 12 月。

[21] 李青霖，「南投大地震的電力系統歷險記」，台電月刊，第 606 期，第 20-24 頁，2013 年 6 月。

[22] 蔡文達等，「極端事故之電力調度實務-以蘇迪勒颱風為例」，中華民國第三十六屆電力工程研討會，桃園市，2015 年 12 月 12-13 日。

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



台電研究試驗業務經營規劃與展望

The Planning and Prospect of Research and Testing Businesses in Taipower

蒯光陸

Koai, Kwang-Lu

摘要

台電公司研發試驗系統乃直屬於總經理指揮及管轄之特殊組織，一向以宏觀視野及創新思維來協助處理企業體在經營管理與電力技術兩層面之挑戰性議題並致力於提升整體競爭力。綜合研究所為此系統之核心組織也是職司研究發展及試驗檢測業務的專責單位，在遵循公司總體經營目標與策略之下，除持續擔任「技術支援者」之角色外，也將進一步成為公司的「專業領導者」及「經營階層智庫」。為此，綜研所從根本面檢討，進而強化具備上位思維之研發業務管理規劃，配合經營策略風險管理、永續經營發展需要、強化系統營運維護及基礎建設創新評估等四大研究構面需求，以提升研究試驗的質與量、為台電在面臨困難與挑戰時提供創新技術或解決方案，提升本公司經營績效及降低營運成本，並使其成為卓越之世界級電力事業集團。

Abstract

Taipower's Research and Testing System is a unique branch of the company under the direct supervision of the President. Based on macro vision and innovative thinking, it has been assisting the enterprise to manage challenging issues in both the business operation and the power technology areas with a goal to promote the company's overall competitiveness. Taiwan Power Research Institute (TPRI) as the core organization of the system is responsible for research and testing business of Taiwan Power Company (Taipower). Under the guidance of Taipower's overall business objectives and developing strategies, TPRI, in addition to its conventional role as a "supporter in technology", is expected to turn into the new roles as a "leader of professional teams" and a "think-tank to the top management". For this purpose, TPRI has begun to enhance its R&D management and planning based on the "top-down" viewpoints in parallel to the original "bottom up" perspectives in order to meet the requirements of four research dimensions, namely (1) operational strategy and risk management, (2) demands of sustainable development, (3) efficiency of the system O&M, and (4) innovation and evaluation of infrastructures. TPRI is making every effort to achieve its objectives for its further advancements, such as improving the quality and quantity of research and test businesses, providing the innovative technologies and solutions in response to the company's difficulties and challenges, enhancing performance and reducing operational costs for Taipower, and so as to assist Taipower in advancing toward a prestigious world-class electric utility group.

*台灣電力公司綜合研究所

關鍵詞(Key Words)：台電綜合研究所(TPRI)、研發規劃(R&D Planning)、試驗檢測(Testing and Inspection)、績效考評(Peer Review)、分散式能源(Distributed Energy Resources, DER)、全鈦氧化還原液流(all Vanadium Redox Flow Battery, VRFB)、開放性自動需量反應(OpenADR)、部分放電(Partial Discharge, PD)。

壹、前言

台電公司成立於民國 35 年 5 月 1 日，經營範圍涵蓋發電、輸電、配電與售電等業務，70 年來持續且穩定提供民生及經濟發展所需的電力。本公司以成為具有卓越聲望的世界級電力事業集團為持續努力之目標，綜研所歷年來致力於電力科技之研究發展與試驗檢測業務，除了多方面協助發、輸、配、售等電力部門現場單位解決技術問題外，更可藉逐漸強化中之公司「專業領導者」及「經營階層智庫」角色，以促進本公司加速企業化及永續經營發展之步調。

電力是經濟發展的動力，更是現代化生活的必需品，藉由各方督導及本公司員工的努力，台電系統裝置容量由民國 42 年的 36.3 萬瓩成長至 104 年的 4,103 萬瓩(含民營電廠)，主要以火力及核能發電為主，搭配抽蓄水力及再生能源，除此之外，各項重要經營績效指標與世界上其他標竿電業相比，絲毫不遜色，而隨著科技發展進步快速，各種電力相關設施趨於精密複雜，為確保電力工程及系統品質與可靠度，提升供電安全，強化電力系統，及提高國內電力技術水準，本公司於民國 90 年 9 月整合「電力綜合研究所」與「試驗所」改組成「綜合研究所」，藉由研究與試驗資源的整合，持續提升創造研發試驗績效並增加公司競爭優勢。綜合研究所為本公司具有核心技術與專業技能的單位之一，在依循本公司總體發展目標與策略方向下，致力於建構本公司短中長期研究規劃與試驗技術創新應用方向，為公司面臨的困難與挑戰尋求創新或改進的解決方案，以提升經營績效降低營運成本。本所之經營策略為審慎選擇研發試驗課題、妥善規劃資源配置應用及持續推動知識分享傳承，為達成此經營策略，

我們在各研究室建置技術平台，透過研發活動，引進新知識並將研究成果應用落實，同時提升試驗組的技術水準與效率，以顧客需求為導向，強化顧客服務。

值此台電邁向 70 週年，值得歡欣之際，卻由於經營環境之快速變遷，本公司同時正面臨電業自由化、非核家園、新能源政策、組織變革、環保生態、電價公式、財務赤字…等多重挑戰與困難，但是危機就是轉機，本公司於 103 及 104 年在積極提昇經營績效與改革等努力下，繳出了一張「轉虧為盈」的漂亮成績單，展望未來，本所將繼續透過技術的精進及設備的改善來協助本公司提升電廠與電網效率、推動新發電技術，進行節能負載管理，提供配合事業部需求、以及先進讀表基礎建設、巨量資料應用、再生能源開發、綠能低碳技術建立、永續發展等議題，建立核心技術與長期競爭優勢，為公司締造佳績。

貳、台電研究發展概況

一、研究試驗依據、策略與經營規劃

綜合研究所在本公司組織下直屬總經理，綜理本公司研發及試驗業務。目前組織包括 6 個研究室，6 個試驗組及 6 個行政支援部門，在所長帶領及同仁努力下，以達到(1)電業科技研究發展方向之擬定及研究發展業務之推動、(2)發電、輸變電、配電各項設備之試驗與檢校、(3)電業相關科技之技術服務為任務。

本公司研究試驗業務之主要推動依據為公司面臨挑戰與因應對策、公司未來經營策略、各事業部營運維護需要及參考國外電業研究方向，實際執行時則分別從經營管理策略、永續經營發展需要、各系統營運管理需求、及基礎建設

創新評估等四個研究構面擬訂工作方向及重點，其中約 50% 研發費用運用於各系統營運管理需求上，以協助各系統提高效率並解決運轉與維護問題，另約 15% 用於經營管理策略、25% 用於永續經營發展需求及 10% 用於基礎建設創新評估。

關於研究試驗經營規劃則分為 3 部分：(1) 調整綜研所的角色定位：除繼續擔任「技術支援者」角色外，逐步邁向成為公司「專業領導者」及「經營階層智庫」，以因應電業經營環境變化及公司經營變革措施。(2) 從根本面檢討全公司之經營管理(Top Down)與營運需要(Bottom Up)兩層面研發需求，依照研發業務四個構面特性分別加強管理，並強化各重點研發計畫之協調與整合、增加自行研究之質量、擴大委外研究規模、排除委外研究程序障礙。(3) 未來將持續聚焦綜研所總體經營目標 8 綱領與 30 項重點，並同時推動 10 項大額投資項目業務擴充。

本公司之研究試驗策略主要為：(1) 10 個經營管理(Top Down)課題，分別為：溫減管理法通過後本公司之減緩與調適策略規劃、電價公式通過後發購售電成本管控與電力供需模式、組織變革須建立之經營策略與績效管理方案、如何因應電業自由化所帶來之轉機與衝擊、核電政策改變及民眾核安疑慮、用戶電能資訊服務與需量反應推動策略、輸配電系統智慧化及相關資通訊平台之布建、電源開發策略與規劃、推動低碳發電及儲能技術應用之評估與布局、建立資產風險管理機制以支援資源分配決策。(2) 8 個營運需要(Bottom Up)課題，分別為：強化電網系統營運績效與資產管理、提升發電系統營運績效與資產管理、配電設施管理優化及用戶智慧用電節能技術應用、加強核能電廠營運績效及核四廠封存停建過程安全維護、環評防污、資源管理與落實友善環境議題之策略與布局、兼顧燃料供應安全穩定與經濟性之採購策略、提升本公司新建與更新工程品質之相關研究、其他之系統性營運維護議題。依此 18 議題為重點進行研究，此外並推動

研究業務改革及加強管考工作。

近程將聚焦核心工作於(1)提昇電廠可用率及供電品質、(2)提高營運效率及降低成本、(3)解決運轉、維護及工程技術問題、(4)全方位利基市場導向加值服務、(5)建立核心技術與技術平台、(6)開發引進電力新科技、(7)加強知識管理，建立知識諮詢系統等為目標。

二、研究發展執行績效

本公司重視研究發展，近年來持續聚焦於提升公司經營能力、促進環境保護與資源有效利用、推動低碳發電及儲能技術應用、加強用戶端之電能管理與服務、強化電網系統性能、提高發電營運績效(含水火力、再生能源) 及提高核能發電安全性與營運績效等領域研究工作之推動，研發總費用每年約 35 億且逐年穩定成長、其中自行研究與合作研究約占專案研究費用 40% 以上，本公司亦逐漸提高自行研究比例。為配合政府綠能低碳科技發展政策，亦正積極引進潔淨能源技術，將再生能源與化學環保類研究費用提高至約 30%。

本公司研發成果之產出，歷年來均有穩定成長；且其績效表現在上述各聚焦領域均屢獲表揚及公司各階層之肯定，101~104 年 5 年內共完成 882 本研究報告、發表 396 篇論文、完成 483 件技術服務、進行 186 件產品開發與 94 件製程改善。

三、試驗業務執行績效

本所為本公司唯一執行檢測技術服務之單位，目前已具備 TAF 及環境檢測等多項認證資格，可提供相關試驗業務包含：1. 化學綜合試驗與環境檢驗、2. 燃料、油料與氣體試驗、3. 高電壓試驗、4. 電度表、變比器及相關計量與保護設備試驗、5. 儀器校驗、檢修、電驛維修與電量標準維、6. 電力設備試驗等。本所「綜合檢驗服務中心」主要乃本「顧客為尊」的經營理念，提昇檢驗服務水準與品質為目標，滿足顧客需求的目的而籌組。中心主要工作為：整合本所精細分工

的試驗工作項目、推動單一窗口受理委試、推動本所各種試驗工作項目之證照檢定。希望能藉由此類工作的執行，達到客我雙贏的境界。試驗業務件數也由 96 年的每年約 20 萬件成長到 104 年的約 23 萬件，呈現上升的趨勢。

四、強化國際交流

本公司除對內求新求變外並長期與國際間交流合作，適時引進與掌握最新電力科技知識，提升核心技術及研發能力，相關之研究發展科技交流與管理，如下：

- (一) 參加 IERE GWG/NWG 技術委員會、CRIEPI 技術交流年會、亞太電協年度會議、東亞電力技術研討會、EPRI 研發管理運作研習等會議進行合作交流分享成果經驗，並引進新技術、新產品、新創意，以解決電力相關問題。
- (二) 與國外電力研究機構簽訂合約，雙方除交換資料外亦派遣人員互訪進行技術交流或合作研究。例如與 CRIEPI 簽訂技術交流合約定期舉辦交流年會、參與 EPRI 研究計畫分享研究成果，執行成效良好。
- (三) 赴國外發表研究論文，進行成果分享、交流與提昇本公司國際形象。
- (四) 辦理研究計畫外界專家諮詢績效考評(Peer Review)、研究計畫成果 5 年考成追蹤、參加 EPRI 計畫 KPI 填報及 5 年效益追蹤等。

五、研究著作與專利

智慧財產為人類運用智慧創作所得的成果，亦為企業永續發展之基礎與動力，本公司為成功運用研發試驗之智財成果與提升智財應用價值，除持續鼓勵同仁撰寫研究試驗成果報告、進行國內與國外論文發表外，並協助同仁進行專利申請保護，落實成果應用，以發揮本公司智慧財產效益。近 5 年來共完成 882 本研究報告、發表 396 篇論文與申請 24 件專利。

參、研究方向總綱領及重點工作

一、電力經濟與社會研究室

立法院於 104 年 1 月通過新電價公式，決議每半年檢討一次，應由「電價費率審議會」考量台電公司經營效率等因素，審議其合理值。雖然可藉由電價公式反應供電成本，但審議委員關注各項成本是否有不當轉嫁消費者的情形，例如是否過度或不當投資、民營電廠購電、燃料採購以及用人費用等等，因此對各項負載管理措施、電廠營運、外購電力與再生能源等進行效益分析，以掌握發購售電成本與電價公式的影響。

立法院復於 104 年 6 月通過「溫室氣體減量與管理法」，明訂長期減排目標-於 2050 年將溫室氣體排放量降至 2005 年排放的 50% 以下；環保署亦於 2015 年 9 月提報我國國家自主預期貢獻 (INDC) 報告書，預估若 2016-2030 年能源消費平均年成長率抑低至 0.3%，電力消費平均年成長率抑低至 1.1%，再搭配能資源整合、地熱發電、碳捕存等低碳技術應用，並參與境外減量，則 2030 年溫室氣體排放量可降至基線(BAU)的 50%，相當於 2005 年排放量再減 20%，作為達成「溫室氣體減量及管理法」的階段性目標。此外，公司屬能源供應業，擁有許多重要維生基礎設施，面對未來氣候變遷之衝擊，必須事前擬訂調適計畫，方能避免極端氣候造成公司與民生損害。

再者，台電公司於 105 年 1 月起正式轉型事業部，未來經營管理之研發方向將朝向如何落實事業部責任中心制度之分權化與目標管理精神，給予事業部適當之授權，建立合理有效之績效評估制度結合誘因制度，鼓勵事業部達成績效目標，並強化前瞻性與創新性策略規劃方案，進而達成公司總體發展。因此，如何建構事業部制下可有效運作之經營績效分析制度，並有效釐清各種經營績效的因素來源，正確評估各事業部與員工的貢獻，進而針對各事業部建置評核指標及長期且周延的追蹤/紀錄管理系統，將成為未來公司經營管理之研發重點。

此外，電業自由化可能是公司近來所面臨的最重大經營環境變動，公司無論是使命願景、組織結構、權利義務都將有所轉變，必須揚棄過去傳統獨占公用電業之思維與經營模式。「電業法修正草案」已被列為 105 年立法院新會期的優先法案之一。為創造能源事業之公平競爭環境，提升能源事業之服務品質與經營效率，將打破現有電力市場獨占局面，推動發、輸配、售分離，並成立獨立監管機構、電力調度中心(ISO)、電力交易所(PX) 等機構，勢必將導致電業經營模式全面改觀。

最後，本公司設備繁多且複雜，數量龐大且資本密集，為了使各項設備資產能正常運作，本公司各發電及相關部門一向熟悉電力設備與維護與保養工作，惟為使資源的分配、風險分析與設備維護保養之間能取得最佳平衡，需要有一個良好資產風險管理機制，能連接資源分配與風險分析，按 20 與 80 法則進行重點管理，並以預防管理的精神，每年定期設備體檢與比較分析，瞭解設備資產的維護與保養的結果，俾防範未然作好條件基礎的資產管理(資產的維護與保養)。因此落實資產風險管理，則成為確保資產管理成功的關鍵因素，而為建構並維持有效的風險管理制度，使可能事故發生之衝擊最小化，擬建置風險管理系統以推動公司全體之風險管理。

基此，電經室未來遠程業務規劃如下：

- (一) 分散式知識管理之推動
- (二) 資產管理系統智慧化轉型之開發與建置
- (三) 環境變遷下電業經營模式之創新與構建
- (四) 因應汙染排放與電業經營效益之發購售電策略探討
- (五) 評估溫室氣體減量政策對電力供需之衝擊
- (六) 電業自由化政策之衝擊

另，對應本所之重點研試工作項目，電經室規劃如下：

1. 知識管理系統與業務整合應用：分散式知識管理之推動與建置、巨量資料之研究規劃。
2. 資產管理系統智慧化：設備維護管理系統

智慧化、設備監控管理系統智慧化、設備故障診斷系統智慧化、資產風險管理系統智慧化。

3. 台電經營模式最適規劃研究
4. 住商部門用電調查與資料探勘分析
5. 電力供需資源整合規劃研究
6. 企業價值與社會效益研究
7. 購電效益分析研究
8. 需量反應措施效益探討
9. 考量汙染排放發電成本分析
10. 組織變革、經營策略與績效分析之研究
11. 電業自由化與民營化研究
12. 電業經營環境變動下永續發展相關策略之研究

二、化學與環境研究室

為配合公司提升發電、輸、配電營運效率並加強環境品質，本所化學與環境研究室負責公司各單位污染防治技術及環保新科技以及儲能電化學應用科技之研發，主要分為 4 大組別(圖 1)：電業水資源處理組、電力儲存與擴大應用再生能源組、二氧化碳捕捉封存與再利用組、電廠煙氣淨化與固體副產物處理組，以這 4 大方向來提升發電廠空氣污染防治設施之性能、廢水回收處理、超超臨界機組水處理、固態廢棄物的資源化、二氧化碳減量、輸供配電系統材料改善等能力。



圖 1 化環室主要 4 大組別相關業務

三、負載管理研究室

(一) 研究方向總綱領

本公司推動節能減碳與永續經營發展，以及配合部署智慧電表系統與發展綠能產業等政府政策，皆促使本公司在電力需求端之經營管理愈形重要。近年來由於種種因素造成電力供應端設施興建及更新遇到眾多阻礙。為了減輕公司營運壓力，負載端的管理扮演了救援投手之角色，負載管理相關措施的研究與施行日益增多，並將成為常態。

因應未來需求端管理的重要性大幅增加，負載室調整業務方向，以符合公司目前經營環境：1.巨量資料建置、分析及運用；2.持續進行負載特性研究；3.設計具效益與效果之需量反應方案；4.優化配電系統與配電器材管理系；5.規劃用戶服務增值應用；6.智慧用電標準研究及負載智慧控制應用；7. AMI 相關資通訊。研究如何提供用戶電能管理與需量反應、智慧用電與節能應用，並透過配電系統與設備管理優化與增值服務技術應用，以提高能源使用效率，需精進規劃「加強用戶端之電能管理與服務」研究領域。

本研究領域內含三項核心技術：1.需求面電能分析與運用技術；2.用戶智慧用電與節能應用技術；3.配電系統與設備管理優化技術。配合公司已建置完成之高壓用戶 AMI 系統及建置中之低壓用戶 AMI 進程，逐步規劃並導入上述核心技術，強化負載管理能力與整合用戶增值服務。

1. 需求面電能分析與運用技術平台

近年來由於種種因素造成電力供應端設施興建及更新遇到眾多阻礙，電力需求面管理即顯得相當急迫且重要。電力需求面管理包含負載管理及節約能源，應用用戶需求端需量 Big Data 與服

務商業智慧技術，建置智慧用戶電能服務資料倉儲系統，提升 AMI 資料之附加價值，進行用戶需量分群特徵與管理措施設計之商業智慧應用研究，加強用戶與負載特性及負載管理措施之誘因設計與抑減成效研究，並提出前瞻性之負載管理系統及商業智慧應用。其中為加強顧客導向服務，維持與用戶良好溝通管道，需整合強化現行『售電業務系統』及『客戶服務系統』，研擬更符合本公司用戶服務之作業流程改造及自由化後之行銷新策略。為推廣宣導各項負載管理措施及節能做法以降低尖峰負載及減少用電需求，需設計及製作活潑、高親和力互動式電力需求面管理之多媒體推廣工具，並運用行動載具提供用戶創新服務，提昇與用戶互動效果，增進電力需求面管理推廣成效。

本技術平台研發重點為負載研究、用戶電能網路服務與資訊技術、智慧用電服務配套措施與用戶需求端需量與服務商業智慧應用，持續建立需求面電能巨量資訊分析基礎建設及運用平台，進行定時定範疇及不特定各種負載特性分析與服務，以協助業務部門設計及規劃系統級及地區型之需量反應措施、測試與驗證；未來將逐步提出前瞻性之負載管理系統及商業智慧應用。

2. 用戶智慧用電與節能應用技術平台

近年來由於種種因素造成電力供應端設施興建及更新遇到眾多阻礙，加上未來多座電廠即將除役，電源端的供電瓶頸之情況顯得電力需求面的管理相當急迫且重要。為提昇用戶服務品質及推廣節能減碳，本平台參考歐美先進國家電力公司之用戶端智慧用電端標準及各種最新能源管理通訊技術之發展，驅動用戶端自動化與行動化之需求，建立結

合本公司抑低尖峰負載之策略於各種智慧家庭、智慧大樓、智慧場域與應用系統結合自動需量反應技術及用戶節能獲利誘因，以達成抑低本公司電力供應端備轉容量之壓力。

本技術平台研發重點為 1.智慧用電端標準研究與應用：建立符合智慧電網標準之智慧用電之資通訊技術測試模擬實驗室、智慧場域需量反應方案配合 Open ADR 2.0 技術研究與智慧用電端雲端服務之技術。2.智慧場域負載電能與再生能源結合之需量反應管理建置推廣：建立樹林所區智慧屋、智慧大樓、智慧場域之用電管理與自動需量反應方案等最新 ICT 相關技術，結合智慧場域整合再生能發電應用管理之加值服務系統，建立 ESCO/Aggregator 營業模式之推廣展示。結合 AMI 與用戶端智慧用電趨勢，建立具節能與負載端管理之應用技術，系統與應用架構，例如 HEMS、BEMS、CEMS 之技術節能分析及需量交易管理，建立運作 ESCO 與 Aggregator 商業模式之技術與利基，進行電業自由化過程中之各種用戶服務與互動應用。

3. 配電系統與設備管理優化技術平台

隨著智慧電網和物聯網技術的不斷發展，資通訊技術、自動化、通訊、網路等技術與配電業務的結合也愈加緊密，因此，電力市場環境下配電系統的自動化，將是供電方與用戶連動的配電自動化，配電管理自動化，及用戶自動化之整合。配電自動化著重於控制功能的自動化，包括配電、饋線自動化。配電管理自動化著重於配電系統運行管理和資訊化，包括地理圖資系統、設備管理等。用戶自動化主要包括遠方自動讀表、負載管理、即時電價資訊、及用戶電力技術等。未來電動車、分散式儲能

和小型分散式再生能源都將藉由用戶端接入電網，將電力公司與用戶之間建立互動關係，用市場方式，基於即時電價機制及負載的直接雙向控制，充分發展可調度與不可調度的負載服務技術，引導用戶避開用電高峰，實現電能的移轉，提高發電和輸電設備的效率，減少碳排放。

本技術平台研發重點為配電系統及設備因應再生能源與先進讀表基礎架構建設(AMI)之併網，持續協助配電處在技術面建立系統及設備管理優化與自動化之技術。並提升配電網因應能力，以管理配電網連結 AMI 延伸至用戶端之負載電力潮流與資訊潮流；進而研發各種應用技術與加值服務。

(二) 重點工作

1. 負載研究

強化用戶用電特性調查技術，建構「台電各類用電負載特性調查研究系統」。

2. 用戶電能網路服務與資訊技術：

針對高壓用戶，結合高壓用戶 AMI 與雲端硬體運算管理技術，開發快速反應的雲端需求面管理與負載控制技術，建置高壓用戶電能監控管理雲端分析服務平台，以及建構高壓用戶動態負載分析線上服務系統，以提昇高壓用戶加值服務功能，進而達成節能減碳目標。

3. 智慧用電服務配套措施

進行需量反應控制對象的潛力調查研究、需量反應控制方法及控制策略研究與負載管理推動策略與誘因設計研究，調整現行需量反應措施及實施方式，以負載管理推動策略進行需量反應措施之效益評估與再檢討修正。

4. 用戶需求端需量與服務商業智慧應用

應用用戶需求端需量 Big Data 與服務商業智慧技術，建置智慧用戶電能服務資料

倉儲系統，初期以提升 AMI 資料之附加價值為發展重點，進行用戶需量分群特徵與管理措施設計之商業智慧應用研究，加強用戶與負載特性及負載管理措施之誘因設計與抑減成效研究，使降低尤其夏日之尖峰負載。

5. 智慧用電端標準研究與應用
建立符合智慧電網標準之智慧用電之資通訊技術測試模擬實驗室、智慧場域需量反應方案配合 Open ADR 2.0 技術研究與智慧用電端雲端服務之技術。
6. 智慧場域負載電能與再生能源結合之需量反應管理建置推廣
建立樹林所區智慧屋、智慧大樓、智慧場域之用電管理與自動需量反應方案等最新 ICT 相關技術，結合智慧場域整合再生能源發電應用管理之加值服務系統，建立 ESCO/Aggregator 營業模式之推廣展示。
7. 用戶配電設備管理自動化技術
整合公司配電地理圖資資訊系統，建置配電地理圖資網頁系統與配電地理圖資編輯軟體。
8. 用戶端用電設備負載調查
結合 AMI 基礎建設建立用戶用電設備負載調查技術，快速與準確之掌握用戶端用電設備負載特性。
9. 電能效率提升技術
建置防止導線失竊及用戶違章用電之整合資訊系統，強化導線失竊以及違章用電查緝效果。

四、電力研究室

目前電力系統設計的特性乃由大型集中式電廠、輸電系統與配電系統，然後將電力送至用戶端。但隨著分散式能源 (Distributed Energy Resources, DER) 的快速成長，此種型態將會改變，因為大量 DER 的併接到配電系統，將會衝擊到目前的電網，所以透過各種科技的應用(低傳

輸損失如超導傳輸或無線傳輸等，強健控制系統)，強健目前電網，同時將 DER 與用戶端用電行為也納入系統規劃與運轉，將會是考量重點，這就是整合型電網，如圖 2 所示。

為因應國際趨勢與配合國內能源發展氛圍，目前公司將朝綠能、節能與品質 3 方面努力。基於此，本領域(強化電網系統性能) 主要將電力系統最佳化，提供安全、可靠、實惠與有環保意識之電力。另由於再生能源發展是政府能源政策重點，為配合此能源發展重點，本公司將必須考慮如何接受大量再生能源的併網，同時又能確保整個系統的穩定，所以研發方向主要包含四個重點，(一)聯網規則及通訊技術與標準，(二)發展與管理先進可靠配電技術，(三)整合 DER 到既有網路規劃與運轉策略與(四)有利的政策與法規。

然而本公司因為事業部的成立，各事業部為本身利潤績效考量，對於研發與中長期問題可能不會像以往熱中。基於此，本所必須從以往各單位委託問題中先審視各單位立即性問題而主動出擊，然後提出誘因(效益)而引導往中長期規畫進行。

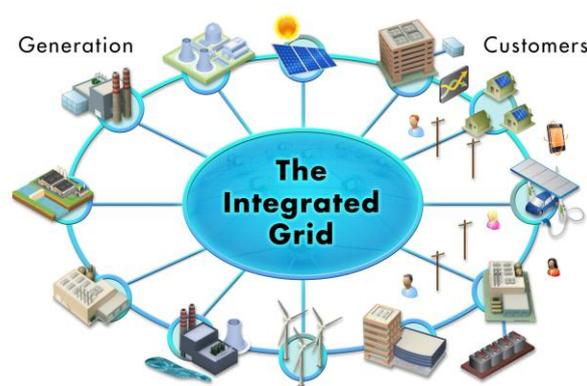


圖 2 未來整合型電網

為達上述目標，電力室未來遠程業務規劃如下：

- (一) 智慧整合型電網
- (二) 因應大量再生能源併網技術與規則

- (三) 未來的通訊技術與標準
- (四) 發展先進電力設備之監診與檢測試驗技術
- (五) 引進電力設備新發明產品
- (六) 新興的固態變壓器(SST)
- (七) 無線電力傳輸
- (八) 電力設備資產管理
- (九) 巨量資料的普及應用

另對應本所之重點研試工作項目，本室規劃如下：

- (一) 「電力系統智慧化與電力設施資產管理」
 1. 變電所智慧化與標準化(如：IEC-61850)
 2. 高電壓電力設備故障分析、壽命評估、資產風險評估與維護管理平台
 3. 巨量資料的普及應用
- (二) 對台灣太陽光電政策未來發展建議如下：
 1. 大量再生能源併網技術與規則
 2. 智慧型變流器
 3. 先進配電自動化系統

五、能源研究室

能源研究室共有 6 項核心技術平台，涵蓋機械、材料與儀控等專業，主要業務長期著重於水火力機組與再生能源發電設施相關技術研究，並以提高機組可用率與降低機組運維成本做為研發目標，研發服務需求多數來自本公司發電端相關部門，如發電處、修護處、開發處、再生能源處與各電廠等。

為因應本公司外部有關減核、減碳與再生能源極大化之等經營環境變化，以及公司內部有關新電價公式實施、事業部成立、燃煤電廠困境等經營議題，本研究室研究業務方向除繼續以專業技術支援各式現有電廠運維、提升效能外，先進再生能源研發佔比將逐漸加強，期待成為公司內相關技術先行與領導者；因此訂定「低碳發電與先進材料技術研發與推廣」作為本研究室研究方向總綱領，發展重點項目與目標將朝向發電端綠能、效能、節能以及減碳、固碳、低碳兩大面向規劃，具體內容則涵蓋再生發電預測系統建置與

離岸風電技術(再生能源發電技術)、SOFC 發電系統與 ORC 發電技術(分散型發電技術)、先進整合氣化複循環與超臨界發電技術(先進發電技術)、先進複循環機組葉片維修與新製技術(先進材料技術)、先進鍋爐材料壽命評估與焊接技術(先進材料技術)、先進電廠效能即時監測與診斷系統(發電效能提昇技術)，推動策略與路徑規劃擬分成三大面向：(1)技術升級，由維修層次提升至設計層次，(2)研究標的，由設備組件擴大至系統，(3)服務對象，由顧客關係加強成為策略聯盟關係，並以 RACaR(Reliability、Availability、Cost-down and Recycle)做為績效指標。

近程研究業務重點如下：

- (一) 新型氣渦輪機機組葉片再生製程開發與提升量產效能。
- (二) 建立氣渦輪機組燃燒運轉監診中心與運作模式。
- (三) 開發燃煤鍋爐運轉效能最適化分析與試驗技術。
- (四) 開發超臨界機組鍋爐材料檢測與驗證技術與設備。
- (五) 建立大型汽輪機破損壽評分析技術與監測設備。
- (六) 開發再生能源發電即時預測系統與太陽光電技服模式。
- (七) 建立風機噪音分析及離岸風電結構安全評估技術。

遠程研究業務重點：

- (一) 「低碳發電技術與先進材料研發」(綠能與節能)。
 1. 先進再生能源發電監測與大數據應用
 2. 深海離岸風力發電技術
 3. 餘熱回收 ORC 發電技術
 4. ORC 發電系統設計與重要組件製備技術
 5. 超臨界 CO₂ Braton 循環發電技術
 6. IGSCC 發電技術

7. IGFC 高效率發電技術
8. 富氧與 CO₂ 回流燃燒與氣化技術
9. 高效率微型複合發電系統
10. Biomass 鍋爐混燒技術

(二) 「低碳發電技術與先進材料研發」(效能)

1. 低品質燃料轉換與先進燃燒技術
2. 能資源整合高效能發電技術
3. 先進超超臨界發電與材料技術
4. 先進鍋爐高溫材料焊接與壽命評估技術
5. 先進燃氣複循環發電技術
6. 先進複循環機組葉片維修與新製技術
7. 先進複循環機組葉片設計分析與測試技術
8. 先進高溫合金材料加工與熱處理技術
9. 先進電廠系統動態模擬與分析技術
10. 先進電廠運轉效能監診與大數據應用系統

六、高壓研究室

(一) 電力設備監測診斷與壽命評估

1. 本公司發電廠主變壓器、變電所電力變壓器、配電變壓器及數量倍增的高壓地下電纜，近年來頻頻發生故障而造成系統停電事故，須藉由高電壓技術分析找出其肇因及提出因應對策。
2. 近年來再生能源、智慧電網、微電網、電動汽車等產業蓬勃發展，由於再生能源極端不穩定的電源特性，將對電力設備之設計與應用造成衝擊。故電力設備需加以標準化、小型化、智慧化方可適應經營環境變化。
3. 因應都市發展及公司資產管理，配電變壓器數量且採購金額高，若採用標準化則可降低價格且確保品質，106 年度高壓室將執行「標準化、小型化、智慧化之配電變壓器設計與製作」研究計畫，並配合目前研發「配電變壓器之維護管理系統」供為運轉維護人員之配套工具。

(二) 綜合性天然災害輸電預警系統

1. 台電輸電系統事故以天然災害為主約佔 54%，其中雷害約 46%、風害約 5%、鹽害約 2% 及震害(含坡地災害)約 1%。由於全球溫室效應逐漸朝極端劇烈氣候變化，上述天然災害對輸電系統之線路碍子、鐵塔及塔基之衝擊勢必更形加劇。
2. 基於現有「即時雷害預警系統」及「碍子鹽害分區使用」基礎上，新增極端劇烈氣候下輸電系統受風害、震害、坡地災害等預警系統。
3. 高壓室將致力於建立雷害、鹽害、風害及震害(含坡地災害)等綜合性天然災害輸電預警系統，以提升本公司供電品質與可靠度。

肆、精進檢測技術(強化服務品質)

一、電力設備試驗組

秉持專業檢驗經驗、持續精進檢驗技術、提供優質服務內容、滿足顧客品質需求；以期建立一專業性、優質性的電氣檢驗團隊為目標。

- (一) 取得 ISO/IEC 17020 檢驗機構認證，配合本公司及公、民營各工程、發電、供電、業務系統等單位，執行各項電力設備裝置竣工、加入系統前之各項絕緣、特性試驗及運轉後之定期維護試驗，促使各電力設備達到符合品質規範要求，確保系統供電安全。
- (二) 執行公司內外發變電所電力設備(發電機、變壓器、開關設備等)電氣維護、完工試驗。
- (三) 執行水力電廠發電機組調速機、水輪機效率等機械特性試驗。
- (四) 執行發變電所電力設備(變壓器、開關設備等)加入系統前試驗，包含短路電流、交流遞升加壓及對相等試驗項目。
- (五) 執行發變電所電力設備(發電機、變壓器、開關設備等)部份放電量測。
- (六) 執行發變電所電力設備(發電機、變壓器、開

關設備、線路等)紅外線、紫外線量測。

- (七) 執行輸電線路(架空線、電纜等)加入系統前試驗，含線路常數及對相等試驗項目。
- (八) 執行發變電所接地網大地電阻係數、接地電阻等試驗。
- (九) 協助執行電力變壓器、開關設備等電力設備出廠查驗。
- (十) 協助執行電力設備故障調查試驗。
- (十一) 協助加入系統試驗操作程序書審查及支援參與電廠電力設備採購規範草擬。

二、高壓試驗組

本所高壓組高電壓試驗技術包含交流高壓、直流高壓、雷電衝擊電壓、操作衝擊電壓、衝擊電流和短路電流等等測試，主要係確認電力設備絕緣狀態，以評估是否能承受現場運轉中之各種衝擊(雷擊突波、瞬時過電壓、開關突波及短路衝擊等等)。目前，本組已通過 TAF 認可之 10 項高電壓試驗電性領域，測試能力如下：

- (一) 直流耐電壓試驗：5kV~600kV。
- (二) 交流耐電壓試驗：5kV~600kV。
- (三) 衝擊電壓試驗：10kV~2000kV。
- (四) 衝擊電流試驗：500A~60kA。
- (五) 變壓器特性試驗：1 ϕ 13.8kV 300kVA、3 ϕ 24kV 1000kVA。
- (六) 電容器特性試驗：1 ϕ 10kV 100kVAR。
- (七) 絕緣油電介質強度特性試驗：1kV~80kV。
- (八) 絕緣油、矽油膏功率因數及電阻係數試驗：1 $\times 10^{15}\Omega - cm$ 、0.001%~1%
- (九) 溫升試驗：10A~2000A。
- (十) 導電率試驗：50%~103%。

常見的高電壓試驗應用包含：(1)電力器材與其絕緣物質的絕緣耐壓試驗：如配電變壓器、GIS、配電盤、斷路器、避雷器、懸垂礙子、電力電纜、絕緣油…等電力器材。(2)施工人員保護設備的絕緣耐壓試驗：如絕緣手套、升空車…等。(3)電力器材的短時耐電流試驗與啟斷試驗：如配電變壓器、GIS、配電盤、斷路器、熔絲…

等電力器材。

比較特殊的高電壓試驗技術包含：介質電力因數($\tan\delta$)量測與部分放電量測。 $\tan\delta$ 量測主要量測絕緣物的交流電壓與交流電流的相位角度， $\tan\delta$ 的量測反映絕緣物質的劣化情況。部分放電(如圖 3)量測可以在不停電的情況來診斷絕緣物質的劣化情況，部分放電量測可以檢測以下電力器材的絕緣狀態：變壓器、變比器、GIS、配電盤、電力電纜、電力電纜接頭；若蒐集夠多部分放電的資料，則可以由部分放電預測絕緣將可能擊穿的時間點，運轉維護單位可由此資訊安排最佳檢修時間點，從而解決檢修不足造成電力事故之問題或檢修過度造成停電時間浪費之問題。

目前各先進國家皆注重高電壓電量標準的維持與校正，目前台灣民間或國家標準實驗室之高電壓電量校正未遵循 IEC 60060-2，為了使台灣的高電壓量測與校正與國際接軌，本組正建置符合 IEC 60060-2 且受財團法人全國認證基金會(TAF)認證之高電壓電量校正實驗室，而未來將朝向申請成國家標準高電壓電量實驗室而努力。



圖 3 高壓部分放電(Partial Discharge, PD)實驗室

三、儀器組

以精進檢測技術、強化服務品質，達成電網規劃的期許－供電安全、充裕、穩定的電力品質為需求目標。

- (一) 配合公司內既有申請 ISO 系列認證通過之各單位，協助其執行相關電量量測儀表之檢驗與試驗維護用儀器設備的定期校正服務。

- (二) 提供各單位工程竣工各式儀表、轉換器、多功能電表、保護電驛、智慧型電子裝置(IED)等試驗。
- (三) 協助發電廠及變電所電力監控系統儀表轉換器等定期或大修之現場校驗。
- (四) 提供物理量儀器如紅外線輻射測溫槍、熱電偶功能校正器、密度計(恆溫壓力計)之校驗及自動電壓調整器(AVR)等試驗。
- (五) 提供各單位符合 IEEE Std 644-1994 規定之電力頻率磁場計，工安環保領域之特殊儀器如噪音計、照度計等定期品管校驗。
- (六) 提供各區營業處耐壓試驗台、特性試驗台及電表試驗台校正。
- (七) 協助發電廠及變電所智慧型保護電驛及系統試驗、直流電源系統之諧波量測與分析。
- (八) 提供發輸配單位電力監控系統脈波降頻轉換器、同步位置轉換器等之校驗服務。
- (九) 協助執行電力變壓器、開關設備等電力設備出廠查驗。
- (十) 為了精進檢測技術、強化服務品質，本組目前已建置符合 TAF 認證通過之實驗室包括
 - 1. ISO/IEC 17025 電量校正實驗室
 - 2. ISO/IEC 17025 電驛測試實驗室
 - 3. ISO/IEC 17020 檢驗機構，並持續正常運作提供服務各單位中。
- (十一) 另外本組還協助各單位的財產管理部門整編 3707(試驗及檢驗設備)之「財產單位說明增(修)訂建議書」新增/修訂主要項目編號，供財務處建檔及更新資料庫，幫助各單位新購財產設備結算建檔之工作。
- (十二) 104 年度本組共完成各單位委託試驗維護類儀器、保護電驛、磁場、噪音計等校修共計 32761 件。

四、電表組

肩負公司計量系統裝用元件校修試驗，秉持優良傳統及不斷精進修校試驗技術、研發導入自動化試驗設備及配合公司 AMI 建置，維護計量準確性強化服務品質，以確保公司售電利益。

- (一) 主要工作項目如下：
 - 1. 電力用戶及發變電所電度表與變比器之校修。
 - 2. 新購電度表與變比器之驗收試驗、特性試驗及新型式之定型試驗。
 - 3. 瓦時、交流高壓、交流大電流標準之建立與維持。
 - 4. 電力用戶事故鑑定與分析。
 - 5. 新測試設備研發。
 - 6. 高低壓智慧型電表 AMI 性能測試平台之建立。
- (二) 實驗室 TAF 認證計有：
 - 1. TAF(0850)電能校正實驗室運作維持，接受各界電度表準試驗及能力比對。
 - 2. TAF(1945)電度表與變比器實驗室，提供電度表與變比器定型、驗收及一般外界委託試驗。
 - 3. 能源局「檢驗機構」認證(401 條款)參與能源局「檢驗機構」監督評鑑。
- (三) 協助並提供高、低壓電子表定型特性試驗、穩定性試驗、中間檢查及複評。
- (四) 開發裝用中電子式電度表性能試驗，提供及時 online 檢測。
- (五) 提供電度表試驗台試驗設備校正，確保修校試驗品質。
- (六) 建置裝用後電度表修校生產線，提供舊表維護及一般修校試驗。
- (七) 具備工程車接受委託申請裝用現場盤面式電度表校驗。
- (八) 提供外界及學術界參訪本公司高壓 AMI 測試平台建置現況與討論。
- (九) 提供 AMI 讀表介面單元功能檢測及驗證，並參與建置各項技術討論規範製定。
- (十) 提供高、低壓 AMI 電子式電表、讀表介面單元及集中器技術服務試驗。
- (十一) 協助電度表與變比器檢定檢查技術規範及 C003 及 C006 材規等修訂。
- (十二) 104 年度共完成各單位委託電度表與變比

器等修校試驗共計 98,785 件。

五、化檢組

持續以專業技術與新穎試驗設備，辦理本公司各單位所委辦之各種電力器材及環保相關之化學及物理特性試驗，104 年在同仁努力下，完成各單位委託申請件數共 26,889 件。並辦理下列重要業務。

- (一) 參加環檢所績效評鑑樣品檢測、ERA-RTC 國際實驗室間水質等環境檢測項目能力比對計畫及 ASTM-PTP 低合金鋼與鋁合金化學成分分析試驗能力比對計畫，成績良好。
- (二) 辦理燃煤電廠煤灰中主、次要成分、毒性溶出試驗及微量重金屬成分檢測。
- (三) 辦理電力設備器材製造廠廠商資格定型見證試驗共 15 廠次 61 人天。
- (四) 電力設備器材中間檢查 21 廠次 26 人天、在廠驗收共 315 人天。
- (五) 電力設備器材製造廠廠商資格審查、定型試驗及承製能力書面審查共 3 案。
- (六) 辦理發電處委託之「日月潭、霧社、明潭下池及馬鞍壩等水庫水質調查試驗」工作。
- (七) 辦理本公司火力燃煤電廠燃煤中汞含量調查檢測。
- (八) 104 年度本組之公司外營業收入共 422 萬元。

六、油煤組

執行本公司各類燃料、油料及氣體之試驗與檢測業務，包含(1)燃料採購驗收時進行質、量之查核比對(2)於電力設備例行維護管理或故障診斷作業中負責化學與物理特性指標之檢測與評估。

- (一) 開發新技術與技術交流
 1. 化學部門與中鋼公司化學試驗組於 104 年度辦理化學測試技術交流活動。
 2. 參與 IERE 絕緣紙老化甲醇新指標開發工作小組，並於本所辦理 104 年度小組會議。

3. 參加澳洲 BMA 燃煤試驗、ASTM 絕緣油試驗、ASTM 油中氣體分析與糠醛分析等國際實驗室能力測試比對活動。

(二) 強化實驗室品質

1. ISO 17025 TAF 認可測試實驗室，認可項目包括煤炭、天然氣、絕緣油品質、絕緣油油中氣體等特性測試項目，共 21 項。
2. ISO 17025 TAF 認可校正實驗室，濕度露點 -80°C ~ 10°C 校正範圍。

(三) 潤滑油監測與機械潤滑故障診斷

提供液壓油、冷凍油、齒輪油、潤滑脂等機械潤滑診斷，為公司內外服務，發現機械潤滑異常，或油質異常，提醒運轉單位及早處理，避免機器設備故障，成效良好。

(四) 電力變壓器故障診斷系統

電力變壓器故障診斷系統，整合油中氣體分析 DGA、糠醛、絕緣紙水分、油溫等數據，並應用各種診斷方法，提供變壓器維護與診斷技術。

伍、研發成果及其具體實現與服務成長

一、電力經濟與社會研究室

- (一) 台電知識管理具體成果包括建立 106 個業務協同園地、245 個知識社群、7,205 知識專家、18,395 筆知識文件、467 個標竿學習案例及台電策略知識管理案例 169 個、分散式知識社群 18 個，有助於台電公司未來轉型之發展。
- (二) 台電整合檢索系統具體成果包括總瀏覽量為 99,350 次，總檢索量為 27,271 次，具備整備資料庫多維度整合查詢，可於新系統進行知識之連結、存取、回饋或討論，以創造新知識或產出關鍵知識，產生知識加值效果。
- (三) 完成火力電廠資產管理系統、核三廠設備維護報表管理系統、變電設備商業智慧系統、風力發電風險管理系統、變壓器資產風險管

理系統、開關設備資產風險管理系統、高壓馬達資產風險管理系統等，落實發、變電力設備護管理工作之執行，提昇設備維護之品質及設備安全運轉，並推動資產風險管理之機制。

- (四) 構建「電力生產計畫優化資訊系統」：針對電力生產規劃之需，考量實際機組運轉限制及各燃料合約，建立長期水火力機組協調最佳化模型，納入資訊科技技術，構建成決策支援系統，提供現場調度參考使用，提升原有作業績效。
- (五) 開發「家用電器普及狀況網路查詢系統」，以利使用者透過瀏覽器(Browser)即可上網使用本系統，查詢本系統所提供的加值資訊。系統查詢功能針對 36 項涵蓋食衣住行育樂等相關用電器具，提供使用者家電普及狀況多維度查詢功能。普及率查詢維度包括：彙總分析、營業區處、用電器具別、營業用戶別、省市別、地理位置、和住戶類型等。
- (六)「台灣家用電器使用趨勢分析研究」：應用歷年主要家電器調查資料，分析住商部門用戶家用電器發展和使用趨勢。研究結果顯示，鑑於科技的快速發展，家電產品的發展和使用趨勢有朝向網絡化、節能化和智能化方向發展之趨向。此種趨勢對於電力負載的可能影響，將有助於電力公司更精準地預測負載變化，尤其是區域別的耗電功率和耗電量推估更能掌握區域電力供需狀況，有利於電力公司的運轉規劃。
- (七)「減少用電措施效益分析」：減少用電措施藉由抑低尖峰時段用電需求以降低所需設備投資，提高離峰時段設備使用率，降低平均供電成本。需求面管理措施需考慮誘因及其成本，誘因不足則用戶參與意願不高，成本過高，相對於增加設備投資而言效益不佳，因此由減少用電措施節省的燃料成本、優惠措施成本與減收的電費等分析各項措施的

效益，做為檢討改善的參考。

- (八)「電動車與充電站營運模式對電能補充影響分析研究」：電動車將車輛對燃油的倚賴轉為對電力的需求，提供穩定可靠電力是台電公司的主要任務，然而不同的電動車電能補充方式與服務營運模式將對台電公司電力系統改善、參與電能補充服務的程度以及承擔的風險等產生相當程度的影響，因此針對不同電動車電能補充營運模式對電能補充的影響預作探討。
- (九)「台灣電力公司 7.03MW 級光電廠計畫抵換專案」：本所主辦之「7.03MW 級光電廠計畫抵換專案」，於 102 年 1 月獲得環保署審查通過，完成抵換專案註冊申請，為國內首例通過之光電再生能源類型抵換專案。本案目前已進入查證階段，後續經環保署審查通過即可獲得核發減量額度，預估於 7 年計入期內可取得約 43,099 公噸 CO₂ 當量之額度。
- (十)「經濟與產業結構外生變數預測模式」：利用投入產出線性規劃模型，建置「總體經濟及產業結構預測模型」，預測未來總體經濟趨勢及產業結構，同時分析特定產經、環境、能源政策對產業結構之影響。藉由本研究所建置的模型，能夠提供公司負載預測時所需的產業結構及經濟成長外生變數。此外，本研究亦開發貝氏整合系統，藉由專家意見修正模型預測結果，可將未來不確定性因素藉由專家意見反映到預測結果中。

二、化學與環境研究室

(一) 電業水處理技術與水資源管理方法

本公司新建電廠將全面採用超超臨界發電技術以提高機組效率及降低有害氣體排放，為因應面臨的水質及材料問題，有必要建置自有水處理相關技術，協助運轉單位提昇機組運轉效率。台灣屬水資源短缺地區，有必要研究廢水回收技術以降低發電水足跡，另因應廢水排放加嚴的環保

壓力，水處理及生物固碳技術整合更加重要，可望同時解決固碳及廢水處理問題。

1. 電業水資源管理支援系統之開發及現場應用

- (1) 薄膜技術(圖 4)：薄膜技術可減少化學藥品用量，降低廢水排放量達到環境保護及水資源有效利用之目的。
- (2) 系統水加氧處理(圖 5)：亞臨界汽鼓式

鍋爐目前飼水處理採添加聯胺(N₂H₄)除氧並分解為氨的方式來調整 pH 值 (AVT)。若改採加氧處理以氨控制 pH，使管材表面形成較平整之 Fe₂O₃，可改善壓降之問題。

- (3) 海水脫硫系統(圖 6)：海水排放之生態驗證為後續重點。

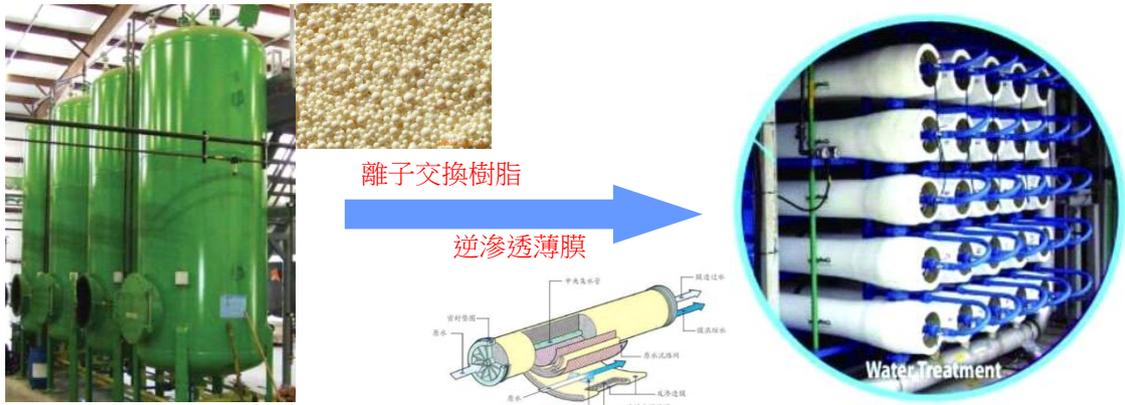


圖 4 薄膜技術引用

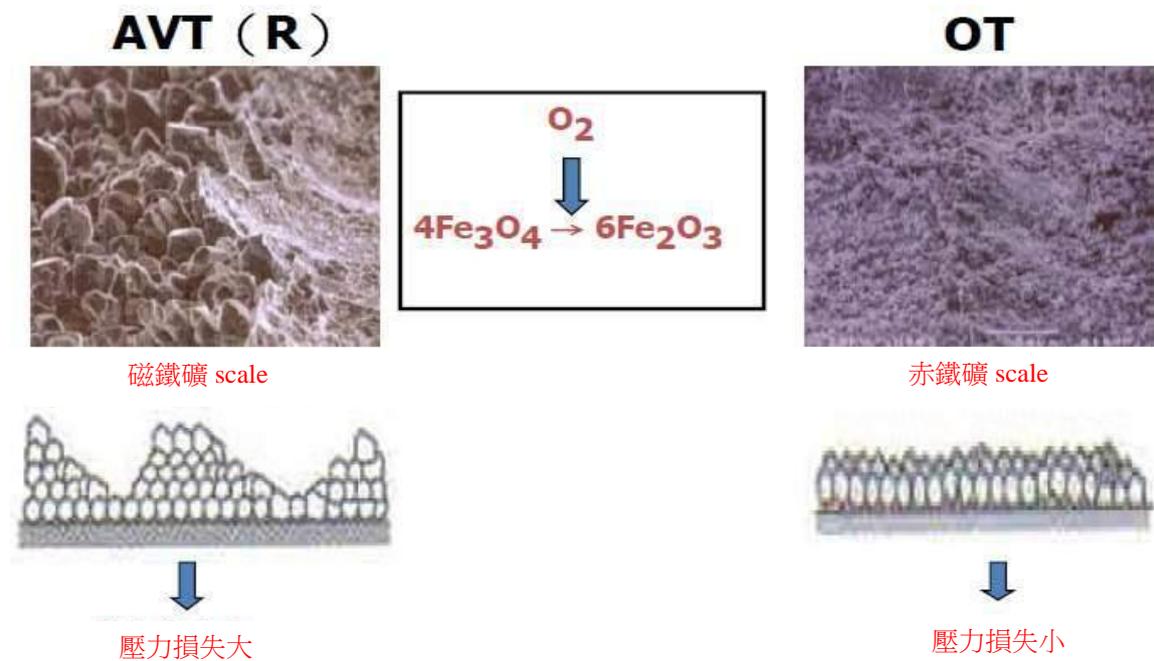


圖 5 系統水加氧處理

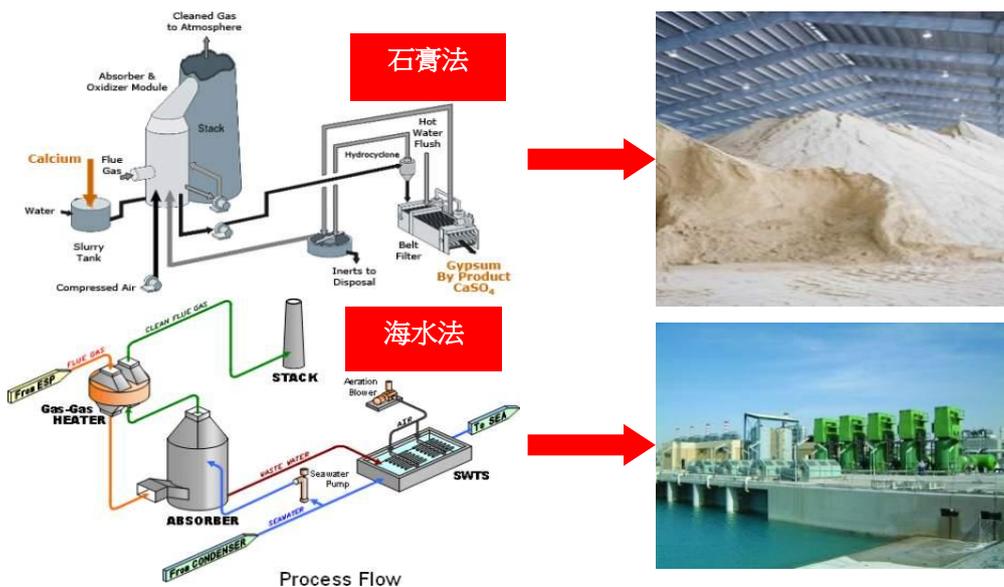


圖 6 海水脫硫系統

2. 超超臨界機組水質及材料試驗設備建立及雲端管理系統開發

生產過程中有許多水源，如冷凝水、鍋爐飼水、除礦水、系統水、排放水等，故開發一水處理技術，並建立線上水質分析系統，使各水源之成分能即時分析並自動記錄，且追蹤各單元之水質狀況，能夠藉由水質變化診斷各設備之使用概況(圖 7)。

3. 電廠廢水回收與海洋牧場整合系統(圖 8)之研發及推廣應用

生態電廠之概念起源於，用來發電之原材料(如煤、石油、核燃料等)沒有污染，此沒有汙染是指其開採過程對環境沒有負面影響；且在發電過程中不污染環境；發電後產生的廢物皆會得到妥善處理，使其對生態環境等的威脅降能夠到最低(圖 8)。

而海洋牧場是由生態電廠研發的長期目標，透過各階段的原物料研發，使電廠的發電過程更趨近環境友善，如燃煤電廠

排放之二氧化碳及廢水，可以藉由海洋牧場內之藻類，來進行固碳或其他淨化功效。而在此生長之藻類，不僅可用於資源再利用，如應用於高價化妝產品，或是製成生質燃料作為能源使用，也可做為海洋中魚類生長所需食物來源，增加海洋中生物之營養來源。藉由海洋牧場，將燃煤電廠之可資源化廢棄物整合應用，達成生態友善電廠之目標(圖 9)。

☆ 近年成果或實績之佐證或搭配

1. 林口電廠--生態電廠技術研發平台建置及脫硫海水之處理與養殖試驗。
2. 台中電廠(圖 10a)--廢水全量回收規劃及經濟效益評估(結晶法+薄膜法+微藻除氮磷)(回收 10 萬噸生水/年)。
3. 興達電廠--海水降溫減少石灰石法 FGD 系統之生水用量。
4. 大潭電廠(圖 10b)--閃化蒸氣水份回收整合應用及煙氣水份回收研究(回收 10 萬噸鍋爐洩水/年)。



圖 7 超超臨界機組水質及材料試驗設備

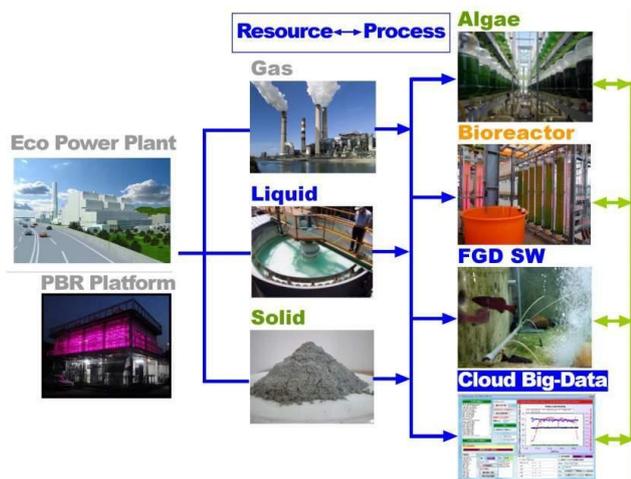


圖 8 電廠廢水回收與海洋牧場整合系統



圖 9 生態電廠技術研發



圖 10a 台中電廠



圖 10b 大潭電廠

(二) 電力儲存與擴大應用再生能源發電議題

氣候變遷、溫室氣體排放對人類生存的影響與日遽增，綠色能源被認為是阻止環境惡化的一帖良藥。然而，對以電力供應者為角色定位的台電而言，在推動綠能過程中，如何妥切地維護當地生態，同時巧妙地減緩既有使用化石燃料發電過程所產生對於環境衝擊的因子，進而轉化成為有利於生態維護的元素，為重要的研究方針。為達成綠能生態低碳島願景，宜先從小規模來開發關鍵技術，累積實務經驗，來降低研發成本，並減縮實證空間與時程。因此由規模較小的綠能智慧屋、綠能生態園區、智慧綠社區逐擴大到綠能生態低碳島，體現綠色能源開發與環境生態友善共存之理念。以發展可應用於分散式能源、微電網及 IGFC 之儲能技術為目標，應用端以評選適當的儲能技術以提高綠色能源的使用率、推動低碳能源的開發，確保穩定的供電品質導入電能管理技術；研究端以投入具潛力之儲能技術進行關鍵材料元件開發，發展自有技術為目標。與本議題相關的研究項目有：

1. 固態氧化物燃料電池測試平台技術建立
2. 全鈳氧化還原液流儲能電池研發
3. 綠能智慧屋應用
4. 綠能生態園區應用
5. 智慧社區規劃建置

☆ 近年成果或實績之佐證或搭配

1. 固態氧化物燃料電池測試平台技術建立

綜合研究所固態氧化物燃料電池 (Solid Oxide Fuel Cell) 研究計畫始於 97 年，以建構 SOFC 之測試評量技術為目標。由於國際上 SOFC 技術成熟度尚未達到實用化的階段，因此本公司的研發規劃以 SOFC 性能評估能力之建置與國際技術發展現況之掌握為主，希望在國際技術達成熟時能適時引進，為公司創

造最大之利潤為目標。因此目前朝微電網系統與再生能源作緊密之結合或與 IGFC 系統進行整合之應用為長程目標，目前研發成果雖然尚未實際應用至電廠，但各階段之研究成果，預期可於 SOFC 技術引進過程中，協助本公司再生能源處、發電處、電源開發處等單位，提供設備建置規劃、採購規範制定、維護保養、性能平台測試與電源開發規畫綜合評估等技術支援。

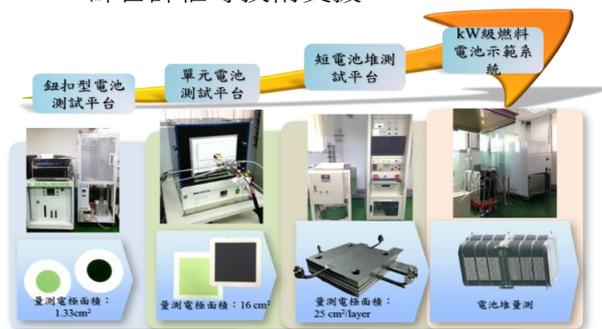


圖 11 固態氧化物燃料電池測試平台開發路徑圖

2. 全鈳氧化還原液流儲能電池研發

本研究項目開發了單電池、3Cells 電池堆、10 Cells 電池堆、20 Cells 電池堆測試平台，以及 1kW-2kWh、7kW-35kWh 儲能系統。單電池性能評估裝置的設計，除了供為本研究進行電解液、離子膜、石墨雙極板、石墨氈電極等電池材料評選、電解液離子價數分析、電解液流速以及流體流道等設計參數探討的依據。同時也提國內大專院校如元智大學、雲林科大、明志科大、健行科大等校做為教學研究的設備，有很好的評價及效益。所研製的各種尺寸的電池性能在 60mA /cm² 的充放電速率之下都能夠達到庫侖效率 95%，能量效率 80% 現階段的國際水準。顯示本研究已能掌握本領域的重點技術，具有大型系統的研發能力。本項項目的研發路徑圖說明如圖 12。

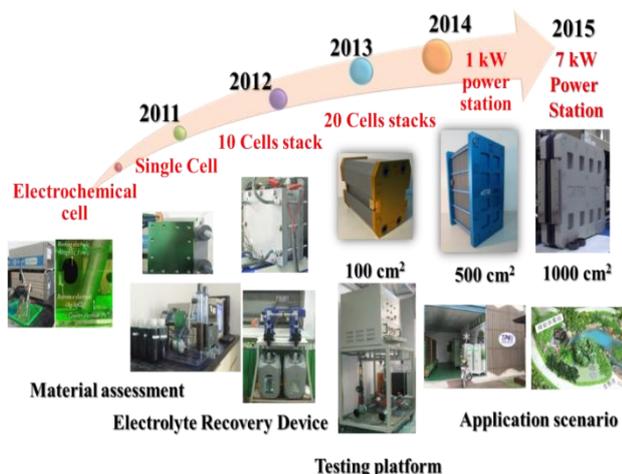


圖 12 全鈦氧化還原液流電池開發路徑

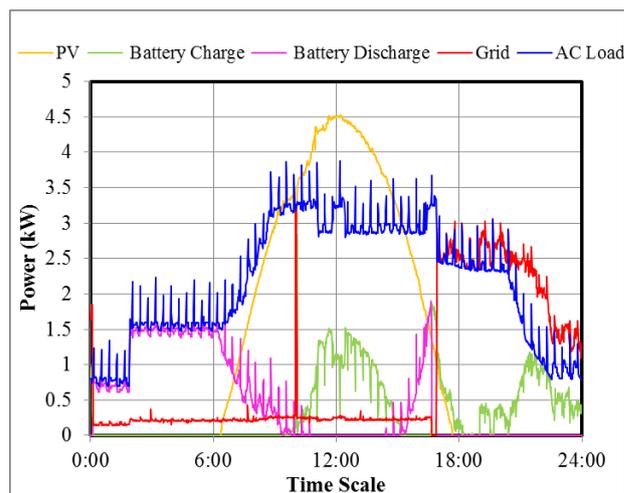


圖 13 綠能智慧屋實驗系統在典型的夏季 1 天之電功率分佈曲線

3. 綠能智慧屋應用(圖 13、圖 14)

2012 年底台電綜合研究所自日本住友電工引進一套全鈦氧化還原液流(all Vanadium Redox Flow Battery, VRFB)儲能系統，據以建置應用於家庭情境的複合型供電系統。為便於系統測試，本系統安裝於樹林所區之低碳發電研試中心頂樓，命名為綠能智慧屋實驗系統 (Green Energy Smart Home Experimental System, GESHES)。GESHES 的電源供應為一再再生能源併聯市電的複合型系統，本實驗系統乃由輔助電力固態氧化燃料電池(Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)試驗區、儲能電池與電能管理試驗區、負載管理與需量反應試驗區，以及火力電廠副產物資源化利用示範區所組成。經由實測數據，探討儲能系統的效能、用電成本分析等以做為最適化電能管理的基礎。從實驗結果得知，在真實負載下儲能電池能量效率平均值在 72.8% 左右，再生能源佔用電量的配比達 29.2%，太陽能發電成本分別為 5.5 /kWh (不含儲能)，38.8/kWh (含儲能)。



圖 14 綠能智慧屋資源化利用示範區

4. 生態園區應用

綜合研究所之綠能生態園區建置計畫啟始於 104 年，係以樹林所區的原有的景觀花園整建為綠能生態園區，完成後設定為技術展示與教育的園區。園區中以綠能智慧屋的技術基礎應用到生態園區中，並引進台電公司特有之元素，來進行能源與環境生態友善技術的佈植。所建置之項目(圖 15)，包括太陽能停車棚、綠能供電站、煤灰透水鋪面、底灰植草磚、飛灰塑木座椅、煤灰生態

池，以及綠電生活館等，預計到 106 年可以完成。



圖 15 綠能生態園區模型及示範項目

5. 智慧社區規劃建置(圖 16)

配合行政院推動「標竿節電智慧城市」及「永續智慧城市方案」之智慧節能政策發展，本研究項目以整合並擴大舊有建築物之節能改善技術，選定包含鳳山區營業處以及大林電廠、興達電廠、核能三廠之備勤宿舍區(面積約 6.75 公頃)，結合國內發達的 ICT 產業技術發展行智慧綠社區之建置研究，除以節能減碳為主要目標外，並期望提升居民之生活環境品質、員工之辦公環境品質。



圖 16 智慧社區規劃位置

本研究是以將鳳山社區建置為國內第一座智慧綠社區，期望成為宣示本公司全面啟動節能減碳之標竿案例，並期望可複製本建制經驗做為後續改善本公司各社區之範例，並成為外界之借鏡案例。所佈植的技術涵蓋再生能源、智慧電網、底飛灰綠建材、需量反應分析、能源可視化、雨水回收利用、基地保水等台電自有技術，以及健康醫療、監控維安、設備維護、停車資訊、空間導引、環境監測、公共資訊、建築智慧外殼以及綠色運輸等跨領域整合項目引進。

(三) 二氧化碳捕捉、封存與再利用技術研究

自工業革命以來，全球二氧化碳平均濃度不斷上升，在美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)2015 年 3 月的觀測紀錄中(圖 17)，全球大氣二氧化碳平均濃度創下歷史新高，高於 400 ppm，可得知自前工業化時代以來，人類燃燒石化燃料已導致全球平均大氣二氧化碳濃度上升超過 120 ppm，而這「400 ppm」等於是一個里程碑，代表了現今人類活動所造成之二氧化碳濃度增加速度已來到前所未有的程度。

各國也為此尋求解決辦法，我國溫減法中訂出 2050 年溫室氣體排放量應降為 2005 年排放量 50%，並規定整體國家排放目標應以每五年為一期，組成諮詢委員會，經討論跟公聽會等程序訂定。

根據國際間研究顯示，雖有許多減碳選項，如果國際間實施碳價或碳稅機制，我國經貿發展將受高度衝擊，在不過度衝擊經濟發展之情境下，CCS 將是大規模減碳的主要選項，我國宜及早因應國際間減碳要求，及早發展相關技術。考量本所角色定位，應當配合國家發展策略，積極推動碳捕捉與封存相關研究發展，滿足本國對於二氧化碳減量之貢獻程度。

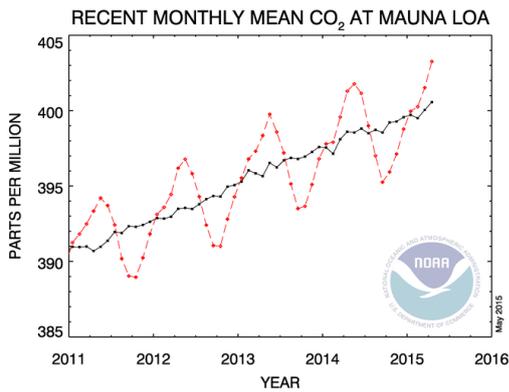


圖 17 NOAA 觀測紀錄

1. 二氧化碳捕集技術商轉化

碳捕集之設施資金較高，且對於電廠發電量與蒸氣用量會有龐大需求，發展碳捕集電廠(圖 18)時皆須考慮到。另，碳捕集設施可應用於負載跟隨技術，以此降低尖載電廠之使用率。



圖 18 SaskPower 之碳捕集廠

2. 地質封存二氧化碳技術研發

所捕獲之二氧化碳會以超臨界流體之形式打入地下約 3000m 之深度，並以超臨界狀態封存於地底，並建立一商轉規模廠場址營運之全方位安全監控及應對方針確保廠址之營運安全無虞(圖 19)。

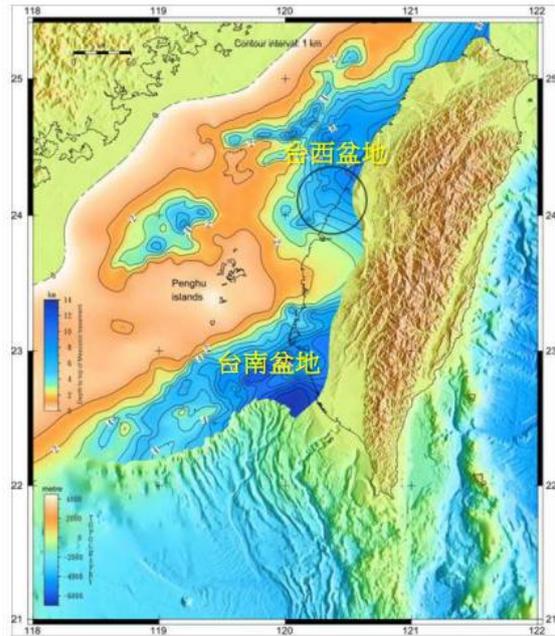


圖 19 地質封存場址篩選

3. 近年成果或實績之佐證或搭配

(1) 先導試驗 TPCS-M1 地質探查井深鑽與特性分析(圖 20、21)。



圖 20 TPCS-M1 井鳥瞰圖

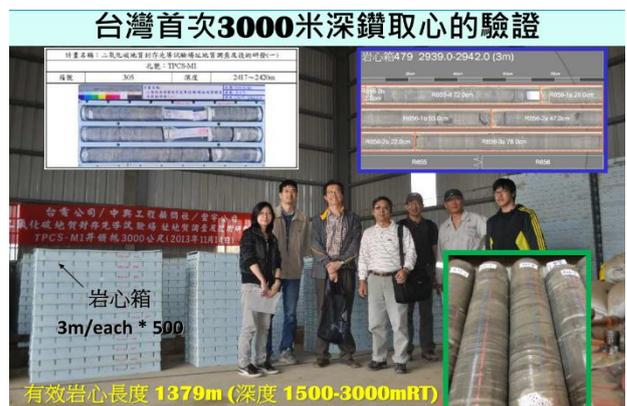


圖 21 TPCS-M1 井之工作團隊

(2) 林口、南火微藻進行二氧化碳固定處理技術

碳捕集在現今相並無經濟效益，而藻類產品可用於開發藻藍蛋白、萃取精華液等高價產品，以此創造經濟效益(圖 22)。



圖 22 微藻固碳系統

(3) 二氧化碳捕集封存與再利用技術與經濟風險評估模組(TEA)建立

碳捕獲與封存之投資皆為資金需求龐大之投資，從捕獲廠的選定、捕獲規模大小、封存場址評估、運輸管路所需距離等因子皆須納入考量，故開發 TEA 模組，此模組可輸入各項技術與經濟之細部參數，再以蒙地卡羅法做不確定機率模式之模擬預估，最終可獲得淨現值、平均發電成本等經濟相關參數(圖 23)，可利用此資料作為推動 CCSU 時，於各決策點進行決策之參考依據。

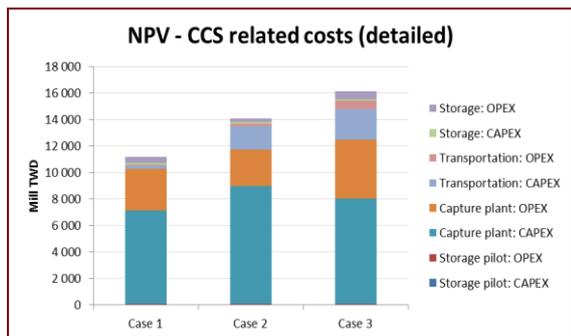


圖 23 淨現值- CCS 相關成本-期望值

(四) 電廠煙氣淨化與固體副產物處理技術研究

隨著全球環保意識日益高漲，我國環保法規也不斷跟隨世界潮流修改，火力發電業一直是被嚴加管制的目標，電廠所排放煙氣中的氮氧化物(NOx)、硫氧化物(SOx)、汞等重金屬，都面臨更嚴格的排放管制及減量排放要求，基於電廠煙氣屬固定排放源，若能建立適當的煙氣淨化處理減量技術，則火力電廠所排放煙氣，不僅可符合相關法規的管制標準，更有助於本公司善盡社會責任，並建立優良企業形象。

由於非核家園的推動，台電燃煤機組發電量占自發電系統總發電量 37% 以上，為低成本之基載電源，台電每年燃煤採購量約 2,600 萬公噸，而燃燒燃煤所產生的煤灰與石膏等將是為數不少的副產物。在市場環境因素不斷變化情況下，持續找尋固體副產物新的去化管道為重要研發項目，若能配合節能減碳要求開發具綠色內涵之營建材料、或是做為煙氣及水處理等功能性材料，降低電廠汙染排放、增加副產物資源化利用管道、降低電廠營運成本。達到零廢棄物、創新思維、環境友善設計的綠色工廠目標(圖 24)，因而形塑台電燃煤電廠綠色的形象。

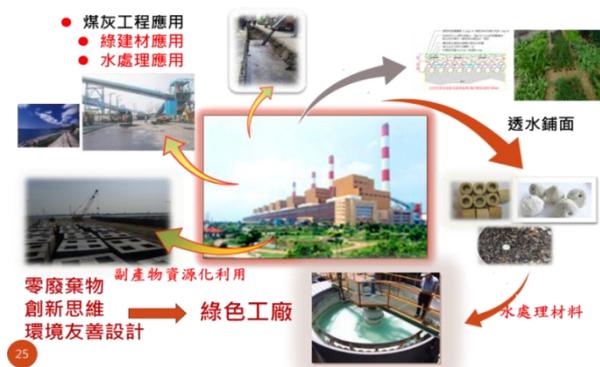


圖 24 台電綠色電廠之目標

☆ 相關的研發重點：

1. 排煙脫硫、脫硝、汞污染、PM2.5 防治技術

- (1) SCR 觸媒特性評估
- (2) 海水 FGD 汞流佈

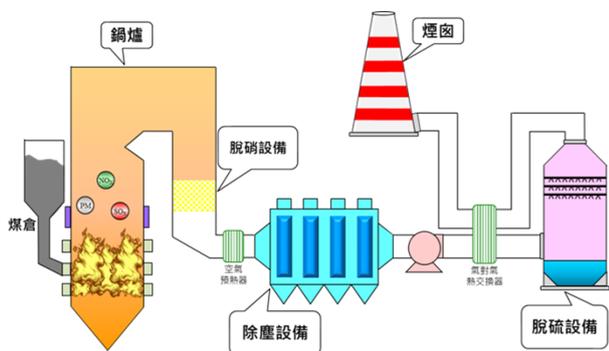


圖 25 電廠煙氣處理設備示意圖

2. 生質燃料混燒飛灰之性質分析及 CNS 規範修改

為因應節能減碳與降低二氧化碳排放，燃煤火力發電鍋爐混燒生質燃料為較直接且簡易的減碳方式，本公司目前初步規劃自國外採購木質顆粒燃料，作為混燒的原料，惟本公司燃煤電廠所產生之飛灰作為水泥及混凝土攪和物已行之有年，而我國現行針對水泥及混凝土攪和物相關的國家標準嚴格限制必須由粉煤或碎煤燃燒後所產生之飛灰方能作為建築用水泥及混凝土攪和物因此未來若採用生質燃料混燒所產生之飛灰將無法適用於現行國家標準，將嚴重影響電廠煤灰去化，因此需針對混燒後的飛灰進行性質探討，進而推動 CNS 相關規範之改版工作(圖 26)。



圖 26 為推動 CNS 相關規範改版進行之研究

3. 灰塘煤灰層之地層改良工法研究

灰塘煤灰層一直延續傳統的擠壓砂樁工法進行地改，擠壓砂樁工法對於軟弱的灰塘地盤具有一定的改良成效，然地改過程中，不僅使用了天然開採的砂石資源，砂石也占據了寶貴的灰塘空間，而且工程經費較為昂貴，因此擬就(1)底灰拌合擠壓樁；(2)煤灰動力夯實工法；(3)格狀改良工法；進行煤灰去化，同時達到灰塘地改工法精進之目的。

4. 煙氣淨化副產物資源化創新技術

固體廢棄物應用於具綠色內涵之營建材料與具有多功能之材料開發(圖 27、28)，創造電廠副產物多元利用管道。

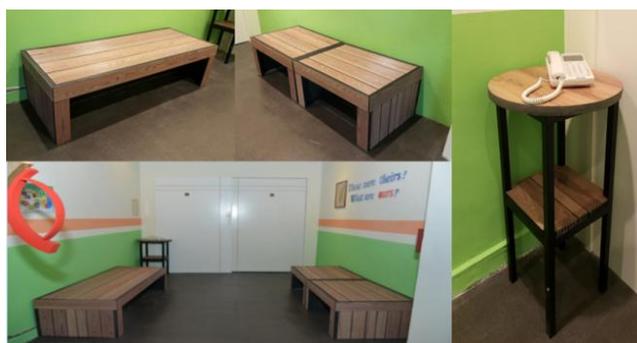


圖 27 飛灰塑木

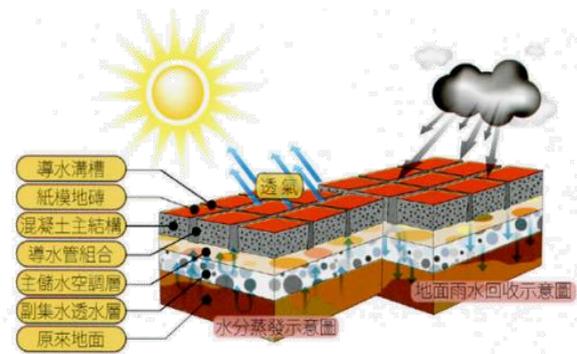
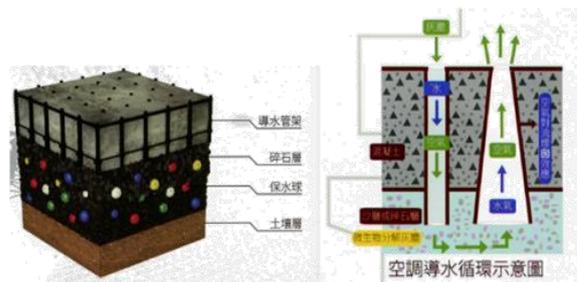


圖 28 煤灰管式透水鋪面

☆ 近年成果或實績之佐證或搭配

1. 興達電廠、台中電廠與尖山電廠等 3 座電廠選擇性觸媒還原脫硝系統評估(圖 29)。

2. 新型全煤灰控制性低強度材料(CA-CLSM)應用於台中電廠灰塘隔堤工程(圖 30、31)。

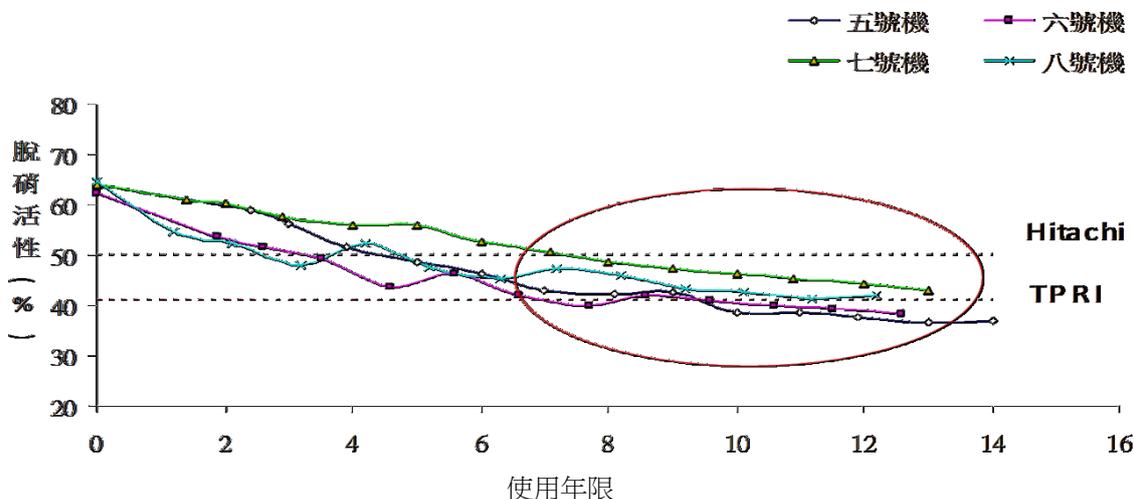


圖 29 電廠脫硝觸媒活性評估與使用年限



圖 30 防止水面下澆置造成材料析離之特密管施工過程



圖 31 完成之煤灰 CLSM 隔堤道路

三、負載管理研究室

(一) AMI 巨量資料倉儲規劃與建置

104 年完成規劃與建置 AMI 巨量資料倉儲，主要內容為建置基礎 AMI 巨量資料倉儲系統運作環境如圖 32 所示，引進 Hadoop 巨量資料系統與導入 Greenplum 分散式巨量資料倉儲，將先期階段資料倉儲之關聯式資料庫轉換為巨量分散式資料庫 (Column-oriented Database)，處理效能與現有 Oracle 資料倉儲之資料匯入速度相比可提升約百倍(以 AMI 高壓用戶之資料介接

匯入速度為評比)。AMI 巨量資料倉儲已介接本公司數個資料源，除原有高壓 AMI 與 NBS 資料外，另再新增低壓 AMI 資料與 NBS 完整開票(包括異動檔)資料、FDSC 饋線系統資料、氣象資料、經濟指標及高壓入口網站用戶點擊資料等，更加豐富本所巨量資料倉儲價值。引進 SAS 公司視覺化分析軟體 Visual Analytics，較現有分析工具更具分析彈性、功能更多與更快的處理速度。新 AMI 巨量資料倉儲已實際分析產出「AMI 用戶依行業分類之電力負載時段別分析資料」，並以技術服務方式交付給

工研院使用。建立用戶服務巨量資料與商業智慧應用所需之智慧用戶服務巨量資料倉儲，可做為公司多樣化資料庫整合與資訊共享，並創造商業智慧應用價值，讓研究分析人員可更投入於商業分析，創造更多元的商業應用與價值。進行台電用戶用電特性分析，需量反應措施潛力調查，驗

證及各種負載特性分析、預測等。未來亦可在巨量資料探勘應用中，找出用戶群組行為模式，進而預測未來可能的用戶行為。並可提昇本公司多項業務諸如負載特性推估、負載預測、線路損失推估等之準確性。

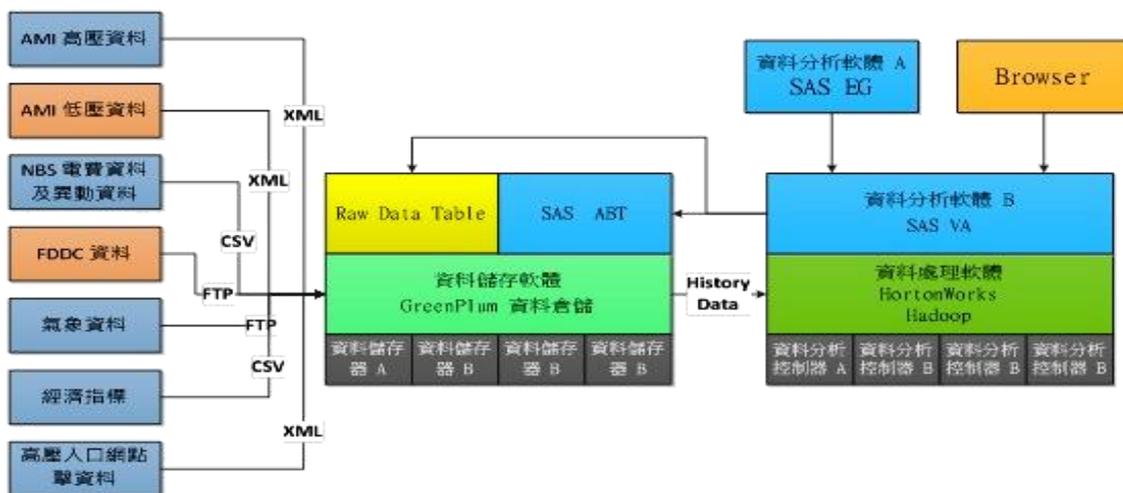


圖 32 AMI 巨量資料倉儲軟體架構示意圖

(二) 台電系統負載特性分析

避免扭曲各類售電成本，誤導電價調整之考量，乃進行系統化的負載特性調查，分析台電各類售電成本，以負載特性作為分攤固定成本之基礎。分析方法包括1.依據都市化程度等級與用電規模綜合指標作為母體，共計在北、中、南、東部12個區處的十種契約類別抽樣用戶端安裝調查電表，並推導全系統最高尖峰負載日之各類售電24小組分時負載組成資料，以計算時間電價各類售電成本。2.利用統計學皮爾森相關分析法進行用戶耗電量與溫、濕度之相關性分析，推導各類型用戶之負載溫度敏感度，並以類神經網路方法推導不同溫度下台電系統之負載量及溫度變化下之系統負載變化量，推估溫度每上升1℃時負載量之變化。

本項調查分析成果，每年提供會計處

及業務處分時用電資料，以計算時間電價售電成本所需要的各類用電折算負荷(負載)資料。另自103年起以AMI讀表資料提供業務處年度「二段式特高壓AMI用戶於尖峰、半尖峰、週六半尖峰及離峰時段用電度數統計估算」資料；提供工業技術研究院-綠能所「AMI用戶依行業分類之電力負載時段別資料分析」報表；提供企劃處年度尖峰負載日行業別負載特性分析資料。

(三) 空調自動需量反應系統

空調自動需量反應系統為以開放性自動需量反應(OpenADR)資料協定為主且能執行自動需量反應之平台，其主要目的為降低尖峰負載以及解決區域性供電不平衡問題，本系統應用範圍為全電力系統，但目前以系統供電瓶頸地區為區域，受控設備為用戶大型中央空調冰水主機。如圖33

所示，空調自動需量反應系統基本上分為控制中心端，即所謂 VTN(Virtual Top Node)，用戶群代表(Aggregator)及用戶端(Virtual End Node, VEN)等三部分，當控制中心執行事件(Event)時，控制訊號傳送路徑有兩種方式，

1. VTN 會將事件訊號經由公共網路傳至用戶群代表，再由用戶群代表將訊號傳至用戶端；
2. VTN 直接將控制訊號經由公共網路傳至單一用戶端。

當用戶端收到控制訊號時便自動依照訊號內容進行負載管理以達到事先與台電公司約定之降載量，此降載行為即為自動需量反應方案。自動需量反應方案基本上可分為獎勵型及緊急型之需量反應方案，獎勵型方案之通知時間為前一日通知，緊急型方案為當天通知。本系統目前選擇以汐止超高壓變電所至民權變電所之間轄區以及幾個高壓用戶用戶為示範範圍，參加之用戶數為 22 戶，空調主機計有 73 台中央空調，11 台箱型空調，可控制容量約為 4,668kW。本系統平台試驗結果將可做為公司日後推行自動需量反應方案之參考。

(四) 能源管理應用系統之建置及研究—以綜研所樹林綠色園區(Green Campus)為例

本系統整合高壓用戶端 AMI 電表與公司企業網路通訊系統，完成自動需量反應結合建築能源管理系統之建置。透過用電資訊視覺化 Dash Board 與 Smart User TPRI BEMS Web/APP 操作介面軟硬體系統開發，可即時監控與記錄大樓各區電容需量與電能使用量，讓使用者平日主動節電，並利用 OPEN ADR2.0 自動需量反應機制，系統於整體供電負載尖峰時，實施需量反應方案，自動降卸載可控之用電設備，以抑低整體負載需量。目前已完成建置樹林所區第一試驗大樓之 BEMS 建築能

源管理系統，搭配 Open ADR 自動需量反應，將可在指定時段抑低指定需量，抑低率為 20%，並可模擬「尖峰需量卸載」方式，用戶端依照先前簽訂的契約抑制用電，向外界提供展示需量反應的成效(圖 34)。

(五) 配電圖資應用於地理空間資料網路服務研究

依據本公司配電業務的資料規模及地理圖資之需求，透過定性與定量的測試分析，遴選出開放標準架構的 uDig (單機圖台)與 GeoServer (網頁圖台)，作為配電圖資單機與網頁標準繪圖台開發的基礎，然而所選定的開放式圖台是以 GIS 為核心的系統架構，其圖例(圖 35)是以圖層為基礎單元呈現樣式，不同於電腦輔助繪圖(CAD)是以單一圖元呈現圖例樣式，因此，為達本公司的需求，首解決的難題是要能夠將電力設備多樣化的圖例符號呈現於圖台，進而建構符合本公司業務單位使用的圖資編輯功能。

繪圖平台開發過程可分為需求功能蒐集、應用功能規劃、開放式圖台原始碼下載整理、編譯圖台原始程式碼及其相關函式庫、圖台功能開發等五個程序。參考現行業務單位使用商業圖台的編輯習慣，經需求訪談彙整歸納基礎功能得知，單機圖台(udig)功能有 46 項，網頁圖台(GeoServer)功能有 11 項，然而為使本計畫開發之標準繪圖平台與業務單位現行配電圖資作業能順利銜接，選擇使用本公司現行的空間資料庫(PostGIS)及關聯式資料庫(Oracle)，進行整合開發相關函式庫與功能，在行動應用圖台軟體(Android)開發方面，已完成開發透過網頁圖台所提供之地理圖資服務(WMS)，運用緩存技術及圖磚(Tile)架構，針對所需範圍擷取下載配電圖資，以達到行動裝置離線覽圖之需求。

AC ADR系統架構

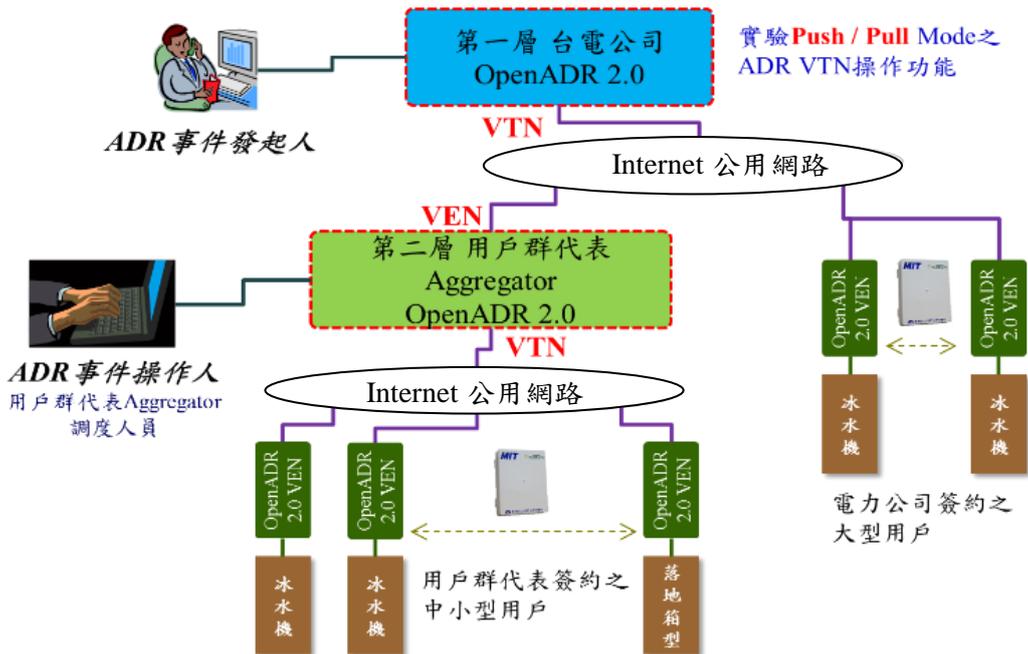


圖 33 空調自動需量反應系統架構圖

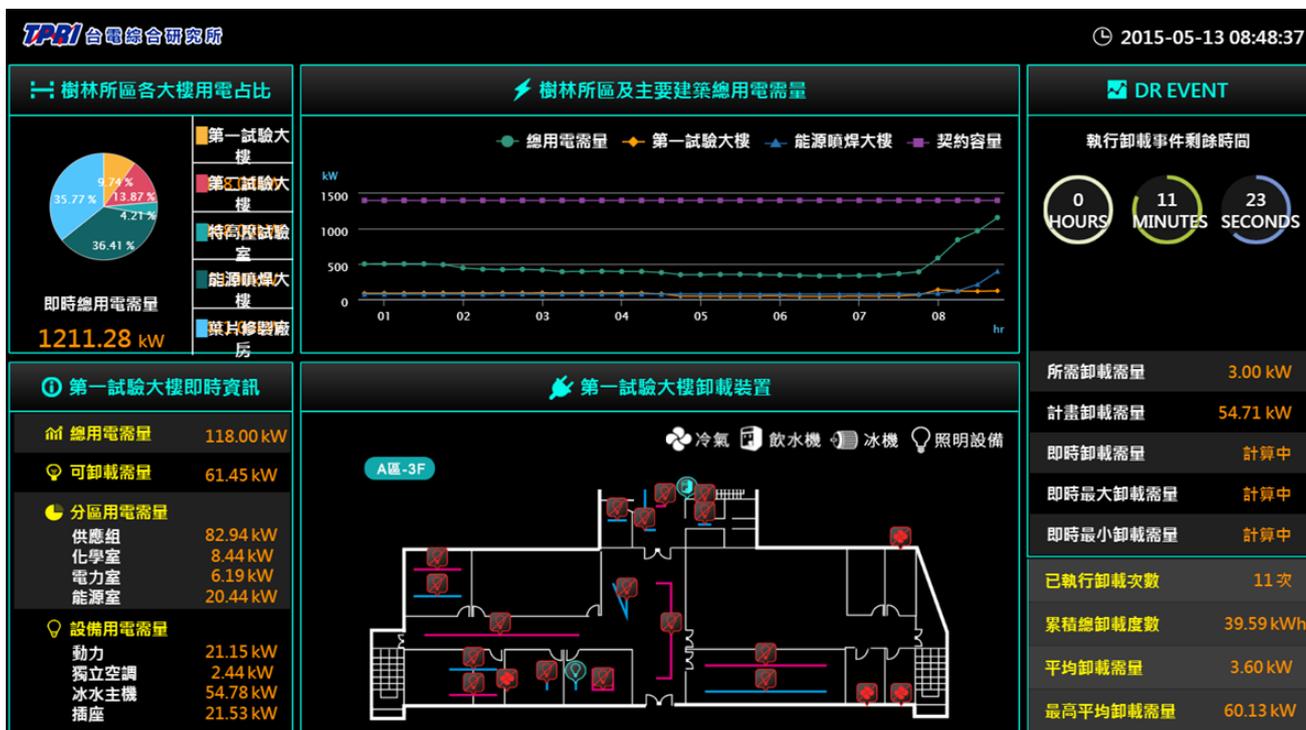


圖 34 能源管理應用系統

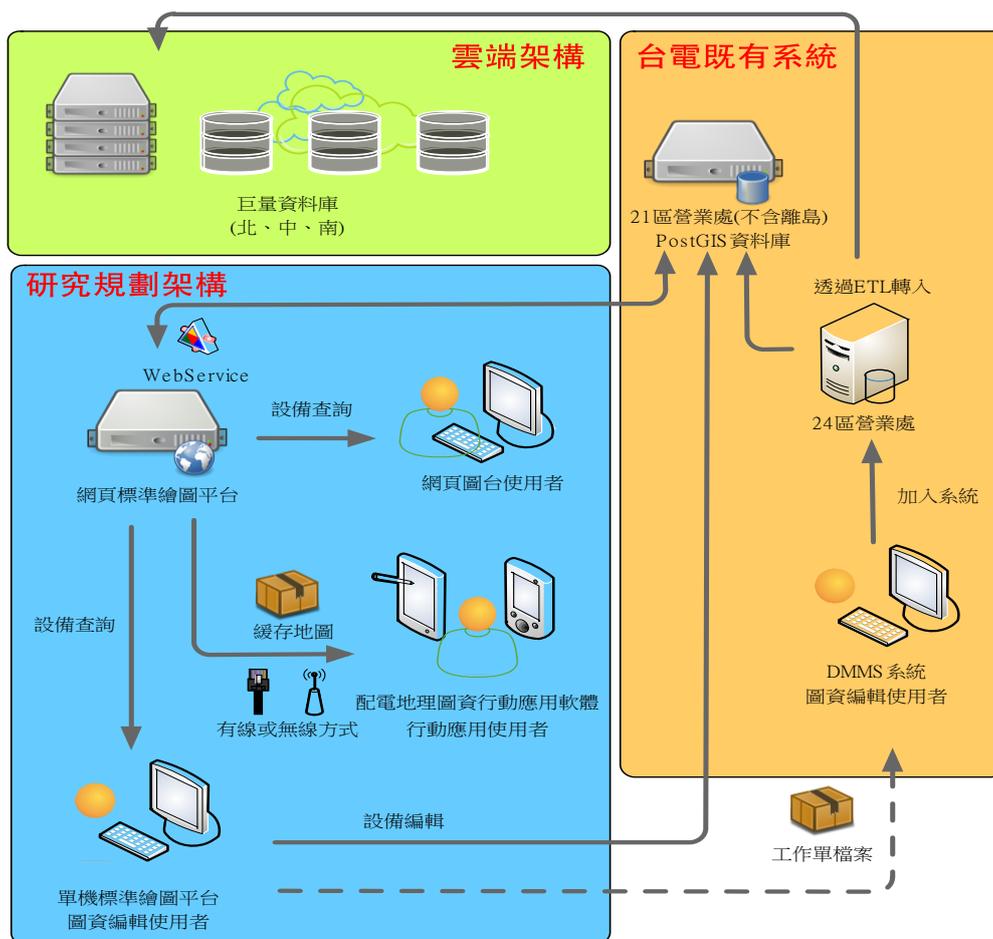


圖 35 系統架構圖

另外，對於巨量資料(Big Data)的運用探討以及應用方面，已針對不同特性開放源始碼的雲端資料庫，依本公司配電圖資應用軟體類型，安排資料庫的效能評估與測試，評估作業規劃以資料查詢(單一資料、模糊資料、單一饋線)及空間查詢(1/600、1/1200、1/3600)等 6 項腳本，架設單一主機與三台主機進行效能測試，選出較合適應用於配電圖資的雲端資料庫(MongoDB)，並開發以圖台連接顯示圖形基本元素(點、線、面)，以達到未來雲端應用。在加盟內政部國土資訊圖資服務平台(TGOS)方面，經訪談得知其他單位主要所需資訊為配電管路圖資，故參考台電公司既有配電圖資管理系統(DMMS)的 GML 匯出格式，透過資料萃取工具(ETL)定期轉出管路圖資料，以進行加盟的資料交換。

四、電力研究室

- (一) 完成未來再生能源大幅增加對台灣輸電系統影響及因應策略研究。透過國外再生能源併網相關規範之蒐集，深入了解並作為我國現行規範之增修參考；藉由蒐集國外應用其他設備於再生能源之策略，並配合我國再生能源併網後之系統衝擊模擬分析，從中研擬我國未來再生能源併網後的規範與可行策略。
- (二) 完成台電系統負載模型參數量測與驗證計畫。透過實際量測建立系統負載模型，以貼近實際負載特性，使電力系統模擬分析結果更為精確。使輸變電計畫之規劃符合實際需求，達成輸變電系統同時兼顧經濟效益及強健可靠之目的。
- (三) 完成先進 161kV 輸電網路多功能自動故障

定位系統。開發適用於 161kV 等級之輸電線路故障定位系統。除透過本系統，自動利用相關數位保護電驛故障技術資料，建立事故定位系統外，另開發具視窗化、網路化之使用者界面，線上進行資料輸入、修改、下載等功能，並可透過本系統，將故障定位結果與供電處現有故障定位簡訊系統整合。

- (四) 完成塔山電廠柴油發電機組參數確認與更新。利用廣域量測系統監測資料，發展發電機組模型線上量測技術，進而推導發電機組模型參數。建立發電機組線上量測驗證平台，俾利未來進行系統衝擊分析、機組排程規劃以及機組擴建之可靠度分析。
- (五) 完成大金門特殊保護系統維護以及邏輯驗證。藉由更新後之機組參數回復系統事故狀態，以更能符合系統響應的條件下來增加特殊保護系統之邏輯判斷。維護目前已不敷使用之輔助設備，以提升運轉可靠度，避免大金門系統因事故導致系統全黑之事件發生。
- (六) 完成 IEC 61850 資安相關研究文獻、標準、規範與產品資料蒐集。藉由了解 IEC 61850 實驗室與新社變電所 IEC 61850 架構與 MMS、GOOSE、SMV、IEEE 1588 與 Sntp 封包格式，以利明年度資安測試平台開發。明年度預計完成研究文獻、標準與規範閱讀，此有助於未來公司訂定滲透測試規則與應用資通安全相關標準與法規。
- (七) 完成第一階段台中新社先導型 IEC 61850 智慧變電所建置。本案以原始 IEC 61850 標準各部(Part)規範為依據，調查及實驗已認證具互通性之不同廠家的硬體設備及軟體系統。經採購規範訂定、討論修正、採購評審、測試驗收等程序，以有限經費所建立的新社 D/S 全功能先導型 IEC 61850 標準變電所，支援新版 IEC 61850 標準資料模型及服務與相關通訊協定(含 IEC 61850-9-2)，並實作伺服器(IED)端變電所量測、保護、控制等功能，及建立監控人機介面系統於控制室，也

可在台中供與綜研所端監控系統。

- (八) 完成台中電廠地下電纜管道間即時監控系統建置。當有不正常人員進出時，利用無線傳輸技術(Zigbee、4G)發布警報至位於電廠開關廠控制室的人機監控平台，當警報發生時，位於控制室的值班人員可通報現場人員進行勘查。本系統架設完成後，可防阻電廠電纜隧道內電力接地線偷竊情形、降低竊盜後維護成本及提高隧道人員進出管理。
- (九) 透過蒐集國外電力公司發展巨量資料之相關調查，提出數項台電公司未來可發展的巨量資料應用構想。並藉由架設巨量資料分析平台，實現台電公司內部資料之分析應用案例，並發展資通安全應用與電力相關應用，目前主要研究成果如蒐集與研究 EPRI、Phoenix Forums、eMeter、Smart Grid Update 等電力事業在巨量資料的發展、研究台電公司各單位之資料特性，並提出 APT 分析、用戶分析、饋線斷路事故分析、風機健康狀況估測、虛功配置最佳化、需量反應潛在用戶分析、配電設備狀態診斷及電力品質監測等數項可發展之應用構想等。
- (十) 完成 22.8kV 架空配電裝置建置研究。透過國外資料蒐集及實地勘察取得各國線路設計規範及圖面資料，作為我國架空線路設計準則修訂之參考；並檢討現行 22.8kV 架空線路設計準則以符合能源局新規定之電業供電線路裝置規則。
- (十一) 完成輸電設備巡檢及地理圖資環域分析系統之開發。開發相關應用程式，搭配智慧型手持裝置及地理圖資系統，提供快捷、友善及便利之操作、管理介面，提昇整體工作效率及達到預防性維護之目標。
- (十二) 完成智慧電表現場通訊技術研究。依照委託單位配電處之需求，進行全省(含澎湖)共 10 萬顆低壓電表環境參數量測、通訊品質量測(包括有線及無線通訊技術)、測試工具開發(應用程式及管理平台)並提出

各類通訊技術成本分析評估報告，做為後續建置(如澎湖 1500 戶)之規範及費用訂定依據。

- (十三) 完成 AMI 智慧型電表混合通訊傳輸技術研究。針對 LAN、WAN 端之通訊技術進行評估，並實際於樹林所區建立混合型通訊組合架構，收送實際電表用電資料，同時取得相關專利。
- (十四) 完成夏興電廠運轉資料庫建置，讓夏興一、二廠 6 部發電機運轉資料，統一儲存於本資料庫，一、二廠 4 台人機介面主機，改自本資料庫擷取歷史資料，使整廠運轉歷史資料一致，且能長期儲存。
- (十五) 完成 167kVA 亭置式變壓器小型化熱流模擬，並完成具有施工方便性、放置便利性與外觀標準化設計，向原型機之製造再邁進一步。將來通過驗證後可設置於狹窄之人行道，使行人有足夠之通行空間，協助創造無障礙環境。
- (十六) 完成全國第一次強制解聯與重新併聯饋線上所有再生能源發電實證試驗，搭配現場監錄功率、電壓變化，據以印證目前所使用三相潮流程式之準確性，使再生能源發電系統衝擊評估更加務實合理。
- (十七) 完成再生能源發電對配電線路影響程度分布地圖，並針對電壓變動率過高之地區，提出務實且容易推動之具體改善方案與優先順序，將來可據以降低電壓變動率，進而增加 PV 發電併網量，達到擴大再生能源併網量與維持電力品質之雙贏局面。
- (十八) 完成大量太陽光電及電動車併入配電網後的系統衝擊模擬分析，根據分析結果並參考國外因應做法，擬定國內可行性較高之配電結構改善方案，並進行各面向之效益評估，可據以務實改善配電結構。
- (十九) 總共對各單位完成 35 個技術服務案。

五、能源研究室

(一) 能源室 104 年度優良事蹟

- 1. 葉片再生處理技術本年度完成相關研產「M501F 氣渦輪機第 1、2 級動、靜葉之再生製程」等共 9 項，節省委託原廠再生費用約 12,000 萬元，節省購置新品之維護支出約 71,000 萬元。
- 2. 協助通霄電廠進行#6-1 號機第 1~4 級動、靜葉片之損傷評估、葉片斷裂原因分析及緊急再生處理提供電廠葉片回裝使用，以因應系統供電須求，協助電廠節省新購葉片維護支出約 2 億台幣以上。
- 3. 研發協助興達電廠#2 機低壓轉子 L-1 級更換鈦合金葉片 14 支，並協助建立現場榫頭鉚合製程與實驗室驗證，提升轉子壽命與運轉可靠度，節省委託原廠維修費用與替代電力損失。
- 4. 協助本公司建立「大林與林口電廠新建機組鍋爐高溫材料資料庫」，並參與「大林電廠新 1 機一次過熱器進口集管與短管間銲道於水壓試驗中洩漏」乙案檢測工作，專業表現優異，有助提昇本公司超臨界機組設備可靠度及營運績效，獲公司高層與相關單位高度肯定。

(二) 能源室其他優良事蹟

- 1. 西門子氣渦輪機機組之葉片塗層與銲修再生維護製程技術及量產產線(圖 36)：應用材料科學評估技術，反駁原廠訂定葉片僅能使用 34000 小時壽命之規定，節省公司葉片再生維護費用(約台幣 13 億元以上)及減少購置新葉片維護支出(約台幣 33 億元以上)。
- 2. 鍋爐壽命評估計畫迄今總計完成公司內約 30 部機組，節省成本逾 3 億元，並協助電廠汰舊更新組件及保養維護(圖 37)，另提供民營電廠近 10 部機組壽命評估及破損分析服務，營業外收入逾千萬元台幣。

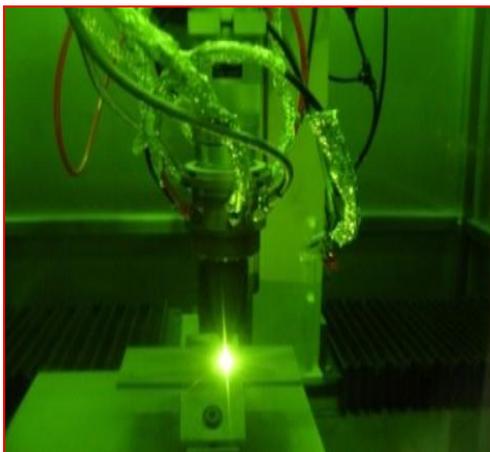


圖 36 葉片再生設備



圖 37 鍋爐壽命評估

3. 煤質對機組運轉衝擊評估與購煤策略分析結果供燃料處與發電處參採，燃煤鍋爐澳洲 高熱煤與印尼低熱值煤分倉混燒最適比例為 2：3，該配比为目前電廠配煤及燃料處購煤的基準，兼顧運轉效能並有效降低燃煤發電成本。
4. 氣渦輪機穩定運轉分析與調整技術協助發電部門建立氣渦輪機燃燒自主調校能力，估計可降低營運成本每年約 18.7 億元。另分別獲得 101 年度技能競賽創新成果類首獎、101 年新工序新工法首獎、及 2013 亞洲電力獎 Environmental Upgrade 類銀質獎。
5. 林口高壓轉子校直研究實際協助電廠將高壓轉子彎曲值由 0.42mm 降低至

0.12mm,並顯著降低轉子運轉之振動值，直接維護效益節省約 2200 萬元。

6. 風力發電預測(圖 38)研究完成本公司 161 部風機 1-6 小時短期出力預測系統及部分風場 1-48 小時中期風力發電出力預測系統，目前正常運作中。已提供再生處與調度處應用參考。

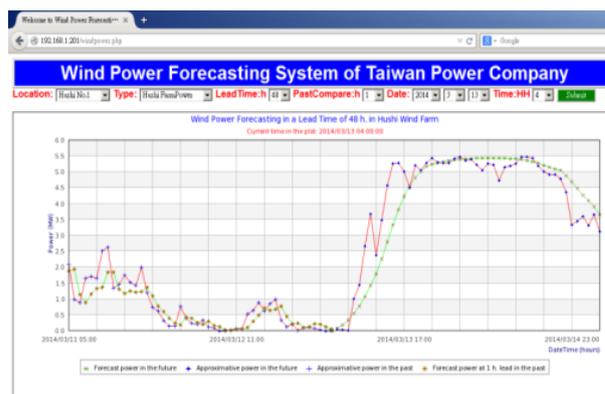


圖 38 風力發電預測曲線圖

7. 風電工程分析提供「彰工 1 期風機葉片 8 支受損事件」報告供中修處作為向保險公司要求理賠有力依據，確保公司利益。提供「台中港 2 號風機蓄蜜颱風倒塌事件肇因分析與螺栓更換規格」予再生處改善工程參考，提升機組安全度。

六、高壓研究室

(一) 電力設備預防診斷與延壽評估

1. 配電變壓器自動檢測系統之開發

亭置式變壓器為本公司配電上使用量很大的配電變壓器之一，為提昇採購變壓器驗收品質及效率，需建立一套簡化及標準試驗流程。蒐集配電變壓器材規、各試驗儀器及自動化控制等文獻資料，包含試驗項目、內容、判定標準、加壓設備、功率計資訊等，利用 Lab-VIEW 撰寫自動化配電變壓器檢測程式，搭配資料擷取卡(DAQ)，以達試驗自動化之目標。程式共四部分，包含

(1)量測數據輸入及輸出控制訊號。(2)試驗自動昇降壓、擷取試驗量測值。(3)計算試驗值並與材規 C001 規範值比較,判斷是否通過試驗並記錄試驗原始數據 (Raw Data)。(4)匯出試驗報告及試驗時加壓波形圖。上述四個電氣試驗程式可自動控制升壓、降壓、試驗結果判定及輸出報告等功能。試驗前僅需以人力方式接線,可以提升試驗效率,減少人力,簡化試驗步驟。

自動化檢測系統介面及操作流程如圖 39 及圖 40 所示。程式主畫面依流程圖階層區分為三層,第一層為前置設定,有三個主要功能:(1)使用者帳密設定。(2)讀/存試驗相關資料及數據。(3)設定變壓器規格、編號與試驗環境參數等,提供程式計算試驗相關數據。

第二層為自動化試驗,試驗畫面如圖 41 所示。包含開路試驗、短路試驗、感應電壓試驗、漏磁試驗自動化。試驗完後除自動判定通過外,也會顯示出完整波形圖。所有試驗結果都會自動匯入試驗總表,試驗波形圖及試驗原始數據會自動存入硬碟中預設資料夾。

第三層為試驗後工具,共三個功能。刪除試驗功能是為了避免緊急狀況導致停止試驗,可以刪除試驗紀錄,重新試驗。觀看試驗波形可顯示試驗結果、此試驗完整波形、試驗時間、試驗結果等,如圖 42 所示。輸出報告功能將試驗總表的所有試驗數據及所有試驗完整波形加上該試驗變壓器編號、時間、試驗員帳號基本資料匯出成圖檔,以 Excel 格式產出報告,最後轉換成 pdf 格式。

自動化亭置式變壓器檢測試驗程式,係參照國內變壓器廠商廠內測試儀器配置,改良功能撰寫而成,考量建置成本及困難度,尚未達成全自動化之目

標。將來可加入國外自動化試驗經驗及設備,如試驗全程皆以輸送帶運送被試物至指定試驗位置,及變壓器所有量測點接線後,利用開關控制試驗接線之迴路。如此可節省更多人力成本及試驗效率。

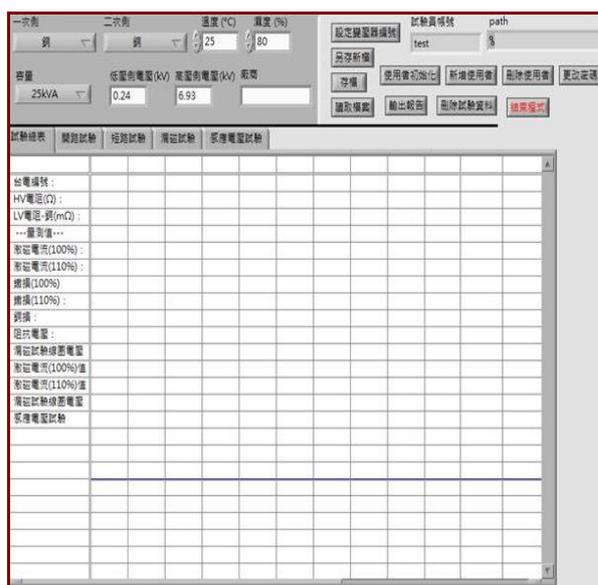


圖 39 自動化檢測系統操作介面

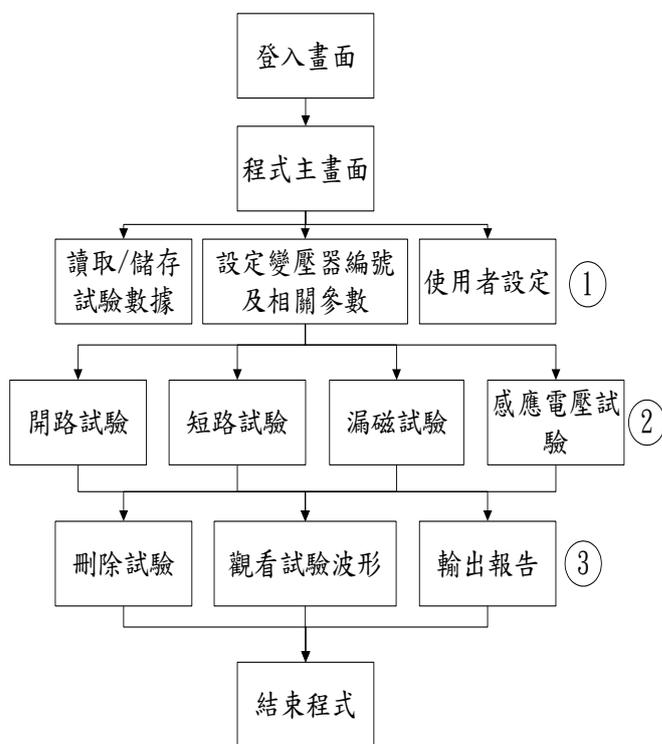


圖 40 自動化檢測系統操作流程

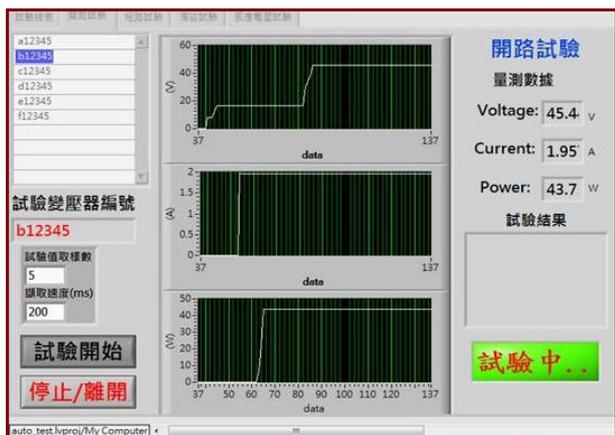


圖 41 自動化檢測中畫面

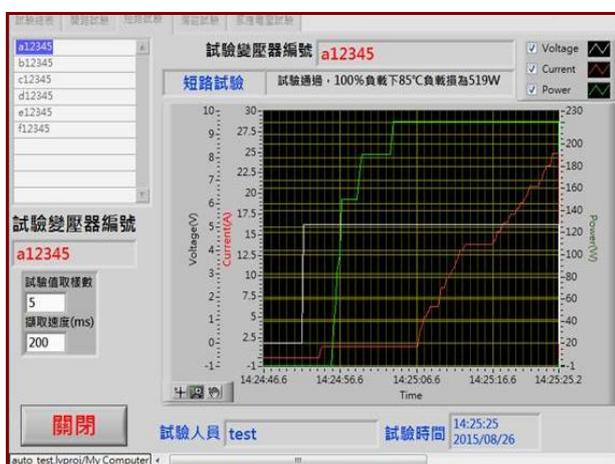


圖 42 觀看完整試驗波形

2. 高頻度運轉操作之 GIS 線上監測資料研究

過去普遍認為 GIS 屬於無須維護或檢修週期長之電力設備，但以 40 年國際運轉經驗看來，絕緣故障仍是影響 GIS 可靠度的重要因素之一，1998 年 CIGRE 統計國際上由 1967 至 1992 年間 GIS 之絕緣故障率，所得結果如表 1 所示，各種電壓等級均超過 0.1 次/百間隔年。深入研究 GIS 之部份放電前須了解 GIS 過去絕緣故障原因與發生比例，GIS 之事故中，進行故障分析可得到各種不同絕緣故障原因所造成絕緣事故之統計表，如表 2 所示，部份放電檢測可有效發現下列潛在故障。

明潭電廠之 345kV 開關設備操作頻

度高，為了降低損失與提高供電穩定度，因此建置 345kV 開關場的 GIS 部份放電線上監控系統(PDM)，此系統每 15 分鐘蒐集一次資料，將現場 150 個感測器所擷取到部份放電訊號儲存於資料庫中，PDM 系統擁有一個可將事件資料自動分類的專家系統，此系統會先將背景雜訊過濾掉，再對以 50 個單週期為基礎的事件資料進行分析，並計算出故障原因(例如：尖端放電、浮動電極、金屬微粒、絕緣體表面放電)之百分比，當初為了蒐集大量且完整的事件資料，將雜訊門檻值降至最低，PDM 系統每天都可蒐集到上千筆的事件資料，雖然專家系統每天分析上千筆的事件資料並儲存於資料庫中，但 345kV 開關設備並無重大事故發生，PDM 系統受到環境中外部訊號的干擾影響。

表 1 GIS 絕緣故障統計

電壓等級 (kV)	間隔數	絕緣故障次數	絕緣故障率 (次/百間隔年)
125~145	9334	24	0.26
245	6133	41	0.67
420	3351	61	1.82
550	1109	43	3.88
其他電壓	17734	165	0.93

表 2 不同絕緣故障原因統計

故障類型	故障比例(%)
自由顆粒與異物	20
主觸頭接觸不良	11
屏蔽罩接觸不良	18
潮濕	7
高壓導體尖凸	5
絕緣間隔器故障	10
其他	11

(二) 雷害與鹽害防制

1. 閃電追蹤功能於輸電線路雷害防制之運用

雷擊是造成輸電線路事故的主要原因之一，圖 43 為 89 年至 103 年台電輸電線路事故分析圖，其中雷擊造成之事故高達 46.47%，顯示每年雷害對輸電線路所造成之影響甚大，嚴重影響供電品質。

台電綜合研究所為因應輸配電線路雷害防制等落雷業務發展之需要，在 1989 年 6 月建置第 1 套雷擊對地閃絡觀測系統 (LLS)，以偵測台灣地區雷雲對地的落雷資訊。另於 2002 年 11 月更

新為 SAFIR3000 型及 2012 年 12 月更新為 TLS200 型之整合型閃電落雷偵測系統(TLDS)，以偵測台灣本島及鄰近海域的所有雷雲放電現象，包括雷雲中放電(含雷雲內、雷雲對雷雲、雷雲對空氣等)與雷雲對地放電所產生的電磁輻射信號，以建立台灣地區雷電流參數歷史資料庫。此新型的 TLDS (TLS200 型)有效偵測範圍約直徑 700 公里，偵測效率高達 95%以上，其台灣本島偵測精度小於 300 公尺，除了可偵測台灣上空及鄰近海域所有雷雲放電現象外，亦可準確即時追蹤雷雨胞行進的速度及方向，提供 254 個特定警戒區作為雷擊預警之應用。

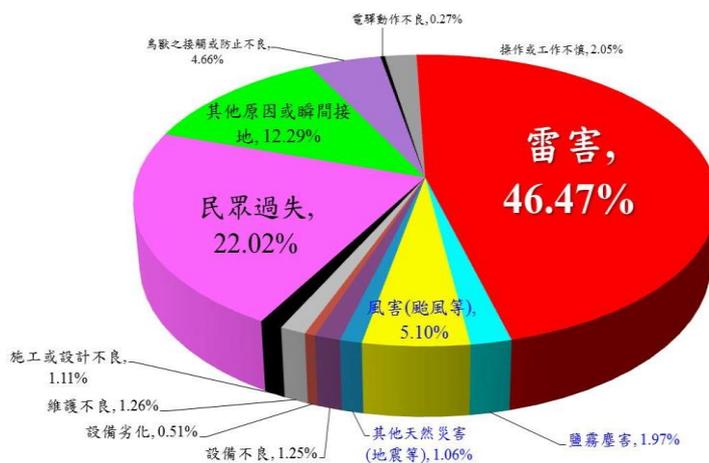


圖 43 台電輸電線路事故分析圖(89 年至 103 年)

目前綜合研究所使用 TLS200 型閃電落雷偵測系統，可偵測台灣本島與附近海域所有的閃電活動，當有 IC 或 CG 閃電發生時，採用 VHF 陣列天線(頻寬 110~117MHz)利用干涉儀法(Interferometry Method)對 IC 發生位置進行三角定位，而 CG 回擊雷電流之定位及參數演算，則採用 LF (約 100kHz)的磁場與電場兩種偵測天線，進行 CG 發生位置的磁向測向(MDF)與到達時間差(TOA)之結合定位，同時偵測遠場的 LF 電場強度，進行

CG 回擊雷電流參數之演算。現場偵測的雷電資料將藉由網路傳送至綜研所樹林所區高壓研究室的落雷資料處理伺服器(TLP200)，依據各雷電偵測站的 GPS 時間同步信號，針對同一筆閃電資料進行交叉定位及雷電流參數演算，最後得到具有經緯度的閃電位置與雷電流參數的即時閃電落雷資訊。

為分析落雷資訊與台灣地區環境與地理之影響，本系統將落雷資料與台灣地區地理圖資相結合，將落雷資料以圖

資的方式在地圖上顯示，並藉由閃電追蹤軟體(LTS2005)之放電、密度及雷雨胞等三種模式進行落雷資料之觀測、查詢與分析。閃電追蹤軟體(LTS2005)可依使用者需求定義多個警戒區，並追蹤雷雨胞核心行進的速度和方向，以估算其雷雨胞抵達警戒區的時間，進而對使用者發出預警，將有助於閃電預警及預防雷擊。

台電綜合研究所於 2014 年 7 月起陸續在台電各供電區處區域調度中心(ADCC)安裝即時閃電追蹤軟體，提供調度運轉人員與現場同仁即時查詢落雷資料，以進行即時輸電線路防雷調度操作與掌握雷擊事故時間及地點，讓搶修人員能快速抵達事故點位置，有助於縮短事故故障排除與復電時間。

實際應用案例：每年雷雨季期間由高屏供電區處 ADCC 主任及調度運轉人員即時監視雷雨胞活動情形，當有雷雨胞出現於「KADCC」警戒區時，系統自動對使用者發出「KADCC」警報，並告知運轉人員即將有雷雨胞進入「龍崎嘉峰」警戒區，當雷雨胞已進入「龍崎嘉峰」警戒區時，系統將對「龍崎嘉峰」發出警報，此時調度員將視系統運轉狀況聯絡中央調度室(CDCC)並適時開啟嘉峰 D/S #1570 及#1560，以防止龍崎~楠梓、龍崎~嘉峰等線路雷害導致南科高雄園區發生電壓驟降(如圖 44)。

當雷雨胞已離開或消失於「龍崎嘉峰」警戒區且達 20 分鐘(1200 秒)後，系統將對「龍崎嘉峰」發出警報清除，調度員將可恢復嘉峰 D/S #1570 及#1560 之閉合，以避免長時開啟而增加線路損失(如圖 45)。

以上是利用即時雷雨胞預警功能，以預防輸電線路雷害事故之調度操作，

可有效降低高雄園區雷害事故與電壓驟降問題。

台電綜合研究所目前於閃電落雷偵測系統的應用項目包括：即時雷電追縱預警資料之服務、歷史雷電流參數資料庫建立、台灣地區雲對地落雷密度分佈圖更新、台電輸電線路碍子電網雷害分佈圖之更新，以及手機 APP 落雷警示系統建置等，並自 2014 年陸續連線至電力調度處、供電處、各供電區營運處等單位，作為電力調度、絕緣設計、線路規畫、雷事故調查等方面之應用，亦提供至中央氣象局、國家災害防救科技中心、空軍氣象聯隊、台北捷運貓空纜車等供其運用。未來將依據各單位使用之情況，適當調整系統參數之設定，以期更符合台電公司於雷害防制，並推廣至其他單位之應用。

2. 降低輸電線路碍子之鹽霧害事故損害之研究

台灣早期並未建立全面性且詳細鹽害程度分佈圖，為施行鹽害防制對策及輸配電器材耐鹽害標準及運轉維護參考，本所於 2002 年起進行相關研究，並完成台灣地區鹽害程度分佈電子圖資，提供供電處、各供電區處、輸工處、業務處，且納入鐵塔、電桿之衛星定位資訊供維護及設計運用。另供電處使用為數不少之 69 及 161kV 聚合碍子，依據研究及維護經驗顯示，其劣化原因與非水溶性物質附著密度(NSDD)之關係密切，必須於現場進行較大量之 NSDD 量測，以供現場維護運用之依據。為加強不溶性物質之分析以建立聚合碍子適用範圍，於 2011 年起進行為期 3 年台灣地區鹽害程度分佈圖更新之研究，使鹽害程度分佈圖在應用上更臻完備。

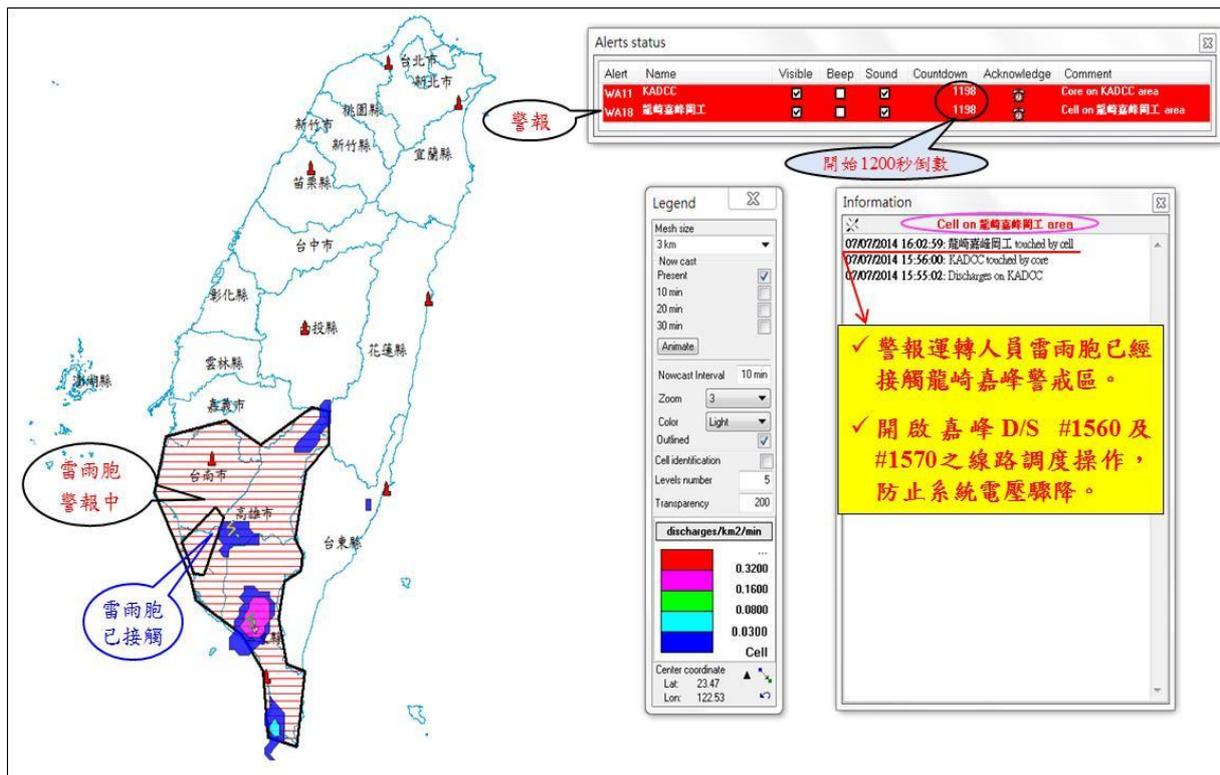


圖 44 高屏供電區處 KADCC 與龍崎嘉峰之雷雨胞警

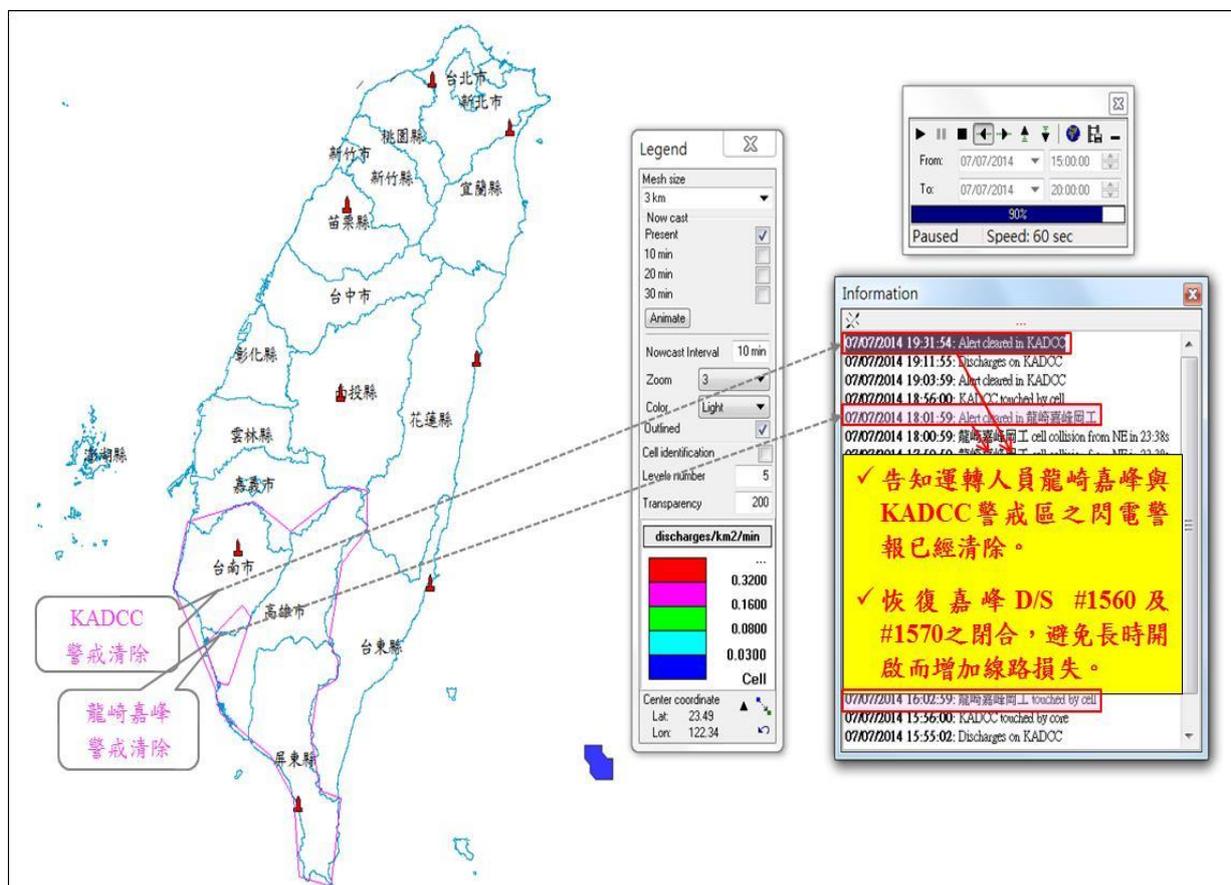


圖 45 雷雨胞警報清除(1200 秒倒數結束)

為應台灣地區鹽害嚴重特殊地區及不適合裝設聚合碍子區域之使用，本所對各供電區處拆撤聚合碍子測試分析結果、現場維護經驗及環境調查、送電中聚合碍子紫外光放電觀測、彰濱測試場測試結果、鹽害調查測試分析更新資料以及參考 IEC 規範有關聚合碍子之相關資料，將台灣地區 NSDD 鹽害調查完成時將另以「F-特重度」來加以表示此種現場污損度(SPS)屬於極限值之地區，建立台電輸電線路盤形懸垂絕緣碍子污損分區之關係圖(如圖 46)，圖中 6 個污損等級(包括輕微度、輕度、中度、重度、極重度及特重度)，其污損等級之 ESDD 最大值、相對 NSDD 值及兩者關係式如下表 1；並依圖 45 與表 3 建立之台灣地區 ESDD 與 NSDD 鹽害分布圖如圖 47 所示。

綜合研究所經由參考台灣地區鹽害程度(ESDD/NSDD)分佈資料、建立鐵塔裝設碍子洩漏電流與表面放電活線監視系統，對線上使用之各類碍子進行監測、各供電區處 69kV 及 161kV 輸電線路拆撤聚合碍子進行電性及材料分析、各供電區處送電中聚合碍子紫外光放電檢測、蒐集現場維護經驗及環境調查，以及參酌 IEC 有關聚合碍子與鹽害相關技術資料，經綜合彙整後獲致結論及建議事項歸納如下：

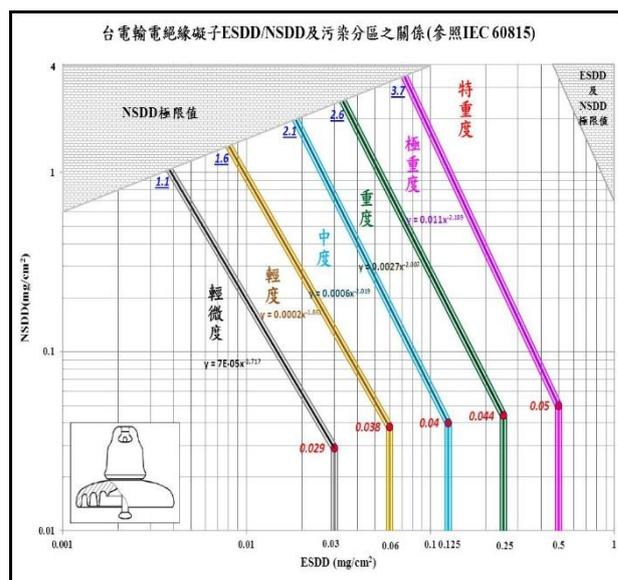


圖 46 ESDD/NSDD 及污損分區之關係圖

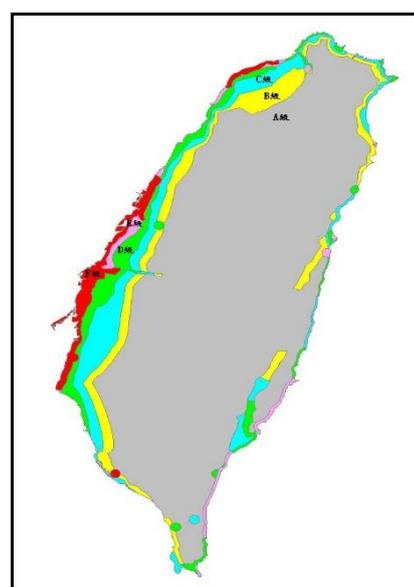


圖 47 ESDD/NSDD 鹽害分布圖

表 3 污損等級之 ESDD 與 NSDD 兩者關係式

污損等級	ESDD 最大值	相對 NSDD	ESDD 與 NSDD 之關係式
A(輕微度)	0.030	0.029	$NSDD = 0.00007 \times ESDD^{-1.717}$
B(輕度)	0.060	0.038	$NSDD = 0.00020 \times ESDD^{-1.861}$
C(中度)	0.125	0.04	$NSDD = 0.00060 \times ESDD^{-2.019}$
D(重度)	0.250	0.044	$NSDD = 0.00270 \times ESDD^{-2.007}$
E(極重度)	0.500	0.050	$NSDD = 0.01100 \times ESDD^{-2.189}$
F(特重度)	1.000	0.700	不適用

1. 依據碍子洩漏電流監測系統長期量測結果，聚合碍子電力損失最小其次為陶瓷碍子塗佈矽油膏，半導電釉碍子最大，其比例約為 1 : 1.6 : 7.7。
2. 鹽害程度分布調查結果對於依據鹽害區分選擇適用之碍子種類極為重要，此項調查工作應隨大氣周期及環境之改變而定期更新，本案參酌「供電系統鹽害程度分佈資料更新之研究」分析資料，納入 NSDD 對鹽害級數變動之影響，對適合裝掛聚合碍子之範圍有較明確之界定。
3. 聚合碍子定期拆撤試驗機制之分析結果，大致能反應線路聚合碍子實際使用情況，並據以參考訂定聚合碍子適當使用範圍，惟拆撤數量仍佔全系統使用量極少之比例，建議定期拆撤試驗仍應持續實施，並應針對此次劃定為「F-特重度」鹽害區域而尚未拆試聚合碍子之線路拆試分析，以供未來更精確調整或改變適用範圍之參考。
4. 依據聚合碍子拆撤分析、更新鹽害程度分布資料、以往事故案例、現場觀測及維護經驗之結論，台灣地區 NSDD 鹽害調查完成時將另以「F-特重度」來加以表示此種 SPS 屬於極限值之地區，「F-特重度」鹽害區域內的某些特定範圍均建議避免使用聚合碍子。

陸、研究試驗業務之精進及展望

未來能源價格劇烈變化、使用綠色能源的呼聲日益響亮、友善環境的需求、社會輿情的動態消長等，均促使電業經營的困難度不斷提升，為因應此等環境變化，如何藉由研究發展以提供解決的方法，乃本系統之重點課題。綜研所的角色亦須與時俱進，由過去協助處理各系統營運問題為主/偏向由下往上[Bottom Up]思維提供本公司各系統技術服務之技術支援者的角色，亟需轉化

為全公司專業領導者及經營階層智庫的角色。捲軸式檢討本公司下列四個構面之需求。

- 一、經營策略風險管理
- 二、永續經營發展需要
- 三、強化系統營運維護
- 四、基礎建設創新評估

因時、因政治與社會環境精選研究重點，為迎向未來的 10 年，本所除推動技術層次的議題外，也逐步強化與利害關係人之溝通並兼顧世代交替與經驗傳承，訂定出下列變革方向。

一、聚焦綜研所的總體經營目標於下列 8 項、並加強研究與試驗業務相關議題之動態管理

- (一) 電業經營環境變遷下電力經濟分析與經營策略研擬
- (二) 綠色電廠環境友善技術
- (三) 先進需求端管理與用戶互動推展
- (四) 電力系統智慧化與電力設施資產管理
- (五) 低碳發電技術與先進材料研發及推廣
- (六) 承載高滲透率再生能源之多功能配電網優化
- (七) 電力設施試驗檢修與監測診斷技術提升
- (八) 行政管理革新及本所之經營改善

二、強化與利害關係人之溝通及經營管理

三、重視經驗傳承及傾聽新生代的聲音

四、逐年增加研發經費與人力

預計未來 5 年內逐步將研發經費擴充一倍(本項擴充僅就本公司之研發費用部分，不含分攤能源基金及參與 EPRI 計畫等之費用，其於民國 110 年將研究計畫與常設單位費用合計將提高為 104 年預算數之兩倍，並於民國 114 年再擴充為四倍)。目前本所已編列 106 年之研究計畫與常設單位費用，較 105 年已經擴充約 16%。

目前本所共有 289 位員工，其中研究部門人員僅 95 位(其餘屬於試驗部門或行政部門)，因人力不足，致使本所許多研究成果未能擴大推廣(如

葉片再生、需量反應、配電自動化、廣域量測等技術)，為求最佳人力配置，擬於未來 5 年內逐步增加約 40% 研究人力。

因應本公司經營環境變化，本公司面臨多重挑戰(自由化、組織變革、溫減法、環保生態、再生能源發電、電價公式、財務赤字…)，研發體系將強化具上位思維[Top Down]之研發規劃，並聚焦於 8 項總目標、盡全力經營。本所遵照指示及經濟部對本公司擴大研究業務規模之期待，已擬訂具體研發預算、人力、研究專題之擴充規劃，希望全體同仁憑藉著台電人對電力科技的熱誠，全力投入上述研發議題，使台電成為電力相關產業領導者。

五、提升電力設施之試驗監診技術

以公司成立四個事業部後之新經營模式：

(一) 核心試驗業務定位

1. 專業人員：具備專業知識、技術、經驗及經驗證認定之專業人員。
2. 專業技術：需符合品質、完整性及前瞻性等需求，且能與國際現行技術接軌。
3. 專業知識：含專業性、系統性等方面知識應用、歷史經驗整合及先進科技知識吸收。

(二) 未來挑戰(考量成本因素)

1. 測試規劃：項目、週期

2. 測試執行：自行或外部
3. 品質：能力與能量
4. 效率：時程與態度
5. 附加價值

(三) 未來業務規劃(圖 48)

1. 技術整合效率提升
 - (1) 單一服務窗口，客制化服務，提升客戶滿意度
 - (2) 整合所內資源，降低成本，提高設備利用率
 - (3) 人力應用彈性化
 - (4) 掌握試驗市場趨勢
 - (5) 試驗水準國際化
2. 業務分工資訊共享
 - (1) 減少重複投資，提升整體效益
 - (2) 掌握核心技術，傳承無間斷
 - (3) 資訊分享共同成長
 - (4) 資產管理有效運作
 - (5) 國際接軌引進新知
3. 技術創新迎向未來
 - (1) 檢測能力與能量之提升
 - (2) 整合型檢測技術平台(如 PD)
 - (3) 線上即時監測與診斷技術
 - (4) 掌握電力特殊性核心技術
 - (5) 國際認證提高公信力

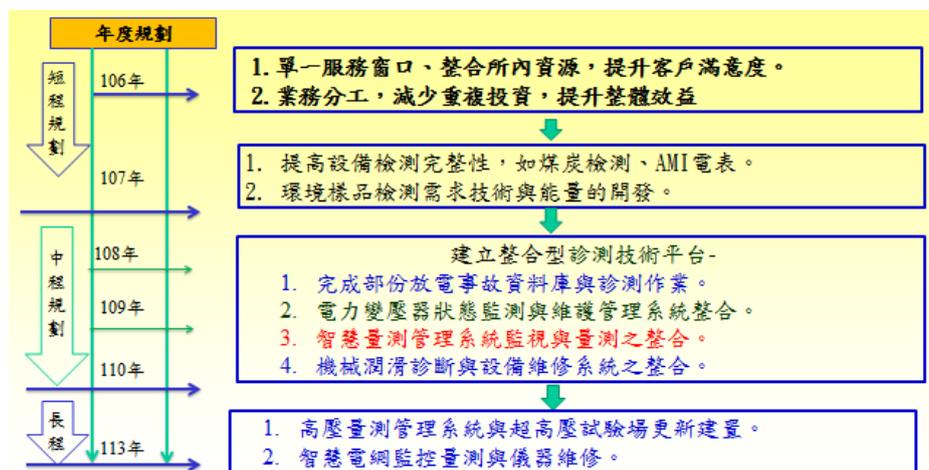


圖 48 未來業務規劃圖

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、.....

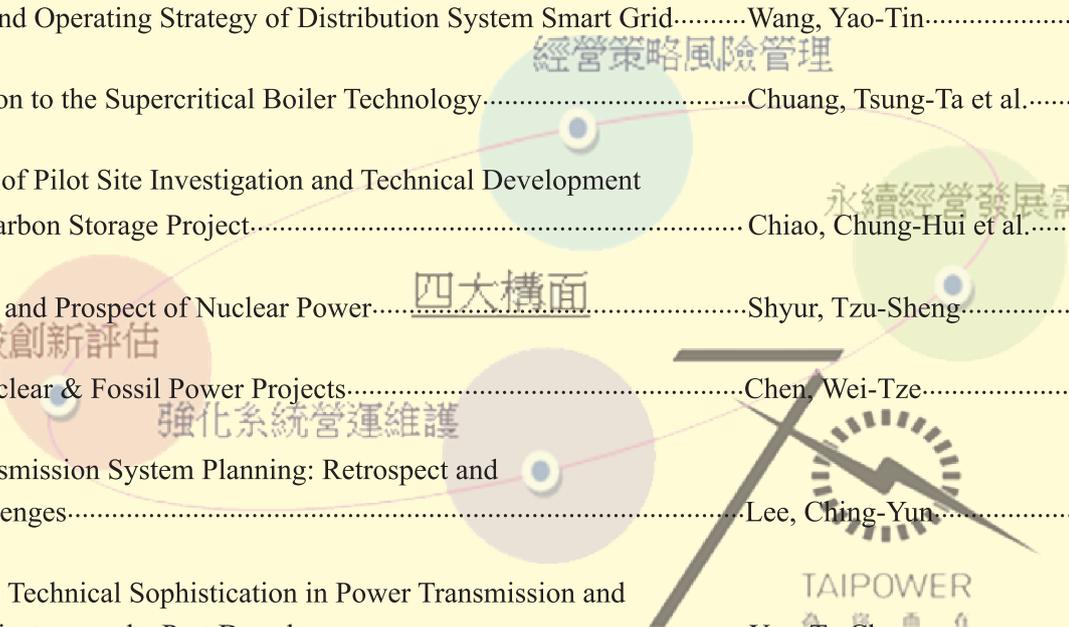
伍、誌謝

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

Special Issue : The 70th Anniversary of Taipower

Challenges of Power Development in the Low-Carbon Future.....	Wang, Jenn-Yeong et al.....	(1)
The Pursuit of Green Enterprise at Taipower	Tsai, Hsien-Shiow et al.....	(20)
Construction and Operating Strategy of Distribution System Smart Grid.....	Wang, Yao-Tin.....	(29)
The Introduction to the Supercritical Boiler Technology.....	Chuang, Tsung-Ta et al.....	(56)
Current Status of Pilot Site Investigation and Technical Development of Taipower Carbon Storage Project.....	Chiao, Chung-Hui et al.....	(67)
The Challenge and Prospect of Nuclear Power.....	Shyur, Tzu-Sheng.....	(95)
Taipower's Nuclear & Fossil Power Projects.....	Chen, Wei-Tze.....	(112)
Taipower Transmission System Planning: Retrospect and New Era Challenges.....	Lee, Ching-Yun.....	(141)
Introduction to Technical Sophistication in Power Transmission and Substation Projects over the Past Decade.....	Yen, Te-Chung.....	(159)
Past, Present, and Future of the Dispatch Systems of Area Dispatch and Control Centers.....	Lee, Jian-De et al.....	(196)
Dual-Master Synchronous Operation Scheme at Taipei and Kaohsiung CDCCs.....	Lan, Hung-Wei et al.....	(209)
The Planning and Prospect of Research and Testing Businesses in Taipower.....	Koai, Kwang-Lu.....	(237)



GPN : 2003700005
定價：新台幣100元