

行政院及所屬各機關出國報告

(出國類別：實習)

變電所安全運轉與維護技術之實習報告

出 國 人： 服務機關： 台灣電力公司
職 稱： 電機工程師
姓 名： 楊嘉濱(124521)
李偉宏(867325)

出國地點： 新加坡

出國期間： 104年12月13日~12月19日

出國計畫： 104-086-1

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

變電所安全運轉與維護技術之實習報告

頁數_36_含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司/陳德隆/(02)2366-7685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

李偉宏/台灣電力公司/供電處/主辦斷路器設備專員/(02)2366-6583

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習5 其他：_____

出國期間：104/12/13~104/12/19

出國地區：新加坡

報告日期：105/2/15

分類號/目

關鍵詞：狀態監測與診斷、資產管理、AHI、DCC、Waterfall TX Agent Host

電力供應可靠與品質需仰賴電力系統穩定與安全運轉，及設備有效維護技術作為後盾，如此才能降低事故發生機率，增進供電品質達成穩定供電目標。供電系統長期培植優秀的運轉值班及維護人力，並對設備維護、汰舊更新也逐漸透過狀態維護輔助週期維護，達到運、維與成本兼顧之要求。近來，面臨人力銜接與有鑑於部分變電所建物逐漸老化、老舊建物中變電所設備已屆面臨予以逐步汰換或重新建置等，是本次參訪新加坡電力實習國外電業經驗之課題。

藉由參訪實地觀摩對於值班人員培訓精進、調度運轉技術與瓶頸突破、進行設備資產汰換機制與維護策略討論彼此交換經驗了解彼此電業之精進之處，以衡酌借鏡，可相互提升電力技術及維持高度競爭力。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網（<http://report.nat.gov.tw/reportwork>）

目錄

行政院及所屬各機關出國報告提要	i
壹、出國目的與過程	1
貳、出國行程說明：	2
參、參訪過程紀要	3
一、參訪新加坡新能源有限公司	4
二、參訪 POWER AUTOMATION 公司	20
三、參訪 ALSTOM-GE 公司	24
肆、心得與建議	27
伍、參考文獻	30

圖目錄

圖 1 新加坡地理位置圖	3
圖 2 密度集中高度商業化的都會城市	3
圖 3 新加坡電力市場結構與新能源電網公司管理範疇	4
圖 4 新加坡電力之投資分布版圖	5
圖 5 新能源電力公司事業結構	5
圖 6 新加坡電壓等級分布示意圖	6
圖 7 新加坡電力網效能品質與國際前 5 名電業比較示意圖	7
圖 8 透過 SCADA 故障訊息列快速掌握事故現況縮短因應時間	8
圖 9 參觀 (SPPG DCC) 配電調度中心-背景為 MAIN Board 顯示幕	9
圖 10 值班運轉人員培訓與操作經驗以及客服中心客訴處置經驗交流	9
圖 11 新能源電網公司電力可靠度演進藍圖	10
圖 12 新能源電網公司極力推廣設備狀態監測/與診斷技術	10
圖 13 電纜終端局部放電線上監測系統與極低頻檢測	11
圖 14 電纜終端局部震盪波測試系統	11
圖 15 電力變壓器採行:線上油中溶解氣體分析	12
圖 16 開關設備採行:超高頻部分放電線上監測系統	12
圖 17 區域維護部門組織進行客服、維護與事故搶修因應以加速復電 ...	14
圖 18 配置行動發電機因應事故停電以加速復電縮短停電時間	14
圖 19 資產生命週期管理 Asset Life-Cycle Management	15
圖 20 資產更新策略 Asset Renewal Policy-SP Power Grid.....	15

圖 21 Asset Renewal Policy 資產更新政策(風險管制)主要評估指標 ..	16
圖 22 資產健康指標評估機制與風險呈現示意圖	16
圖 23 屋內式變電所變壓器設置處所不以變壓器室實體隔離，並保留足夠運 行空間	18
圖 24 室內變電所 230kV GIS 室 設備，室內尚餘約 1/2 面積空間	19
圖 25 參訪新能源電網公司總部、各分部單位駐地與變電所施工現場留影	19
圖 26 在 POWER AUTOMATION 合影	20
圖 27 運用單向網路閘道資料傳輸與接收端之示意圖	22
圖 28 單向網路閘道資料傳輸於 IEC 61850 廣域網路之安全應用	22
圖 29 ALSTOM-GE 維護現場合影	25
圖 30 ALSTOM-GE 的電網資產管理策略由戰術演進成戰略	26
圖 31 評估後資產健康指標、風險及維護與更新指標呈現	26

表 目 錄

表格 1 出國行程表	2
表格 2 新能源電網公司輸配電資產統計表	6
表格 3 DMS 系統架構及升級前後主要功能差異	23

壹、出國目的與過程

基於變電所調度運轉人員與設備之安全運行，藉由參訪交流電力系統線上運轉經驗，學習各項情境處理，達成穩定供電目標。

為達成變電所安全運轉，須有維護技術作為後盾，研討汰舊換新機制、開關設備之點檢與細檢週期與資產更新策略，降低事故發生機率，藉由實地造訪新能源電網公司(SP PowerGrid 簡稱：SPPG)及新能源電網公司技合之子公司 POWER AUTOMATION，以及設備廠家 ALSTOM(GE)公司，觀摩線上運轉實況、汰舊換新機制，並研討開關設備之點檢與細檢週期及了解建置中變電設備工程做法異同作為供電單位參酌。

同時藉由參觀配電調度中心，了解新加坡新能源電網公司在運轉調度方面嚴謹之態度，以及兢兢業業面對各項事故，降低用戶停電時間，做為本公司之借鏡。

貳、出國行程說明：

表格 1 出國行程表

日期	地點	內容
12月13日(日)	台北→新加坡	往程。
12月14日(一)	POWER AUTOMATION (SPPG 技合子公司)	DMS SCADA 系統維護、升級規劃及汰換策略說明。
12月15日(二)	新能源電網公司 SPPG	上午：歡迎及 SPPG 簡介會議。 下午：參觀 400kV 變電所、設備操作運行維護、狀態監測展示。
12月16日(三)	新能源電網公司 SPPG	上午：變電所變壓器汰換工程現場觀摩。 下午：參觀 AMI 電表部門及安裝現場。
12月17日(四)	新能源電網公司 SPPG	上午：參觀配電控制中心與客服中心 下午：電網設備管理、改建、更新策略及電磁場議題交流； 總結與回饋。
12月18日(五)	ALSTOM (GE)	上午：66kV GIS 點檢現場觀摩 下午：資產管理、更新及風險管理方案交流。
12月19日(六)	新加坡-台北	返程。

參、參訪過程紀要

新加坡簡介

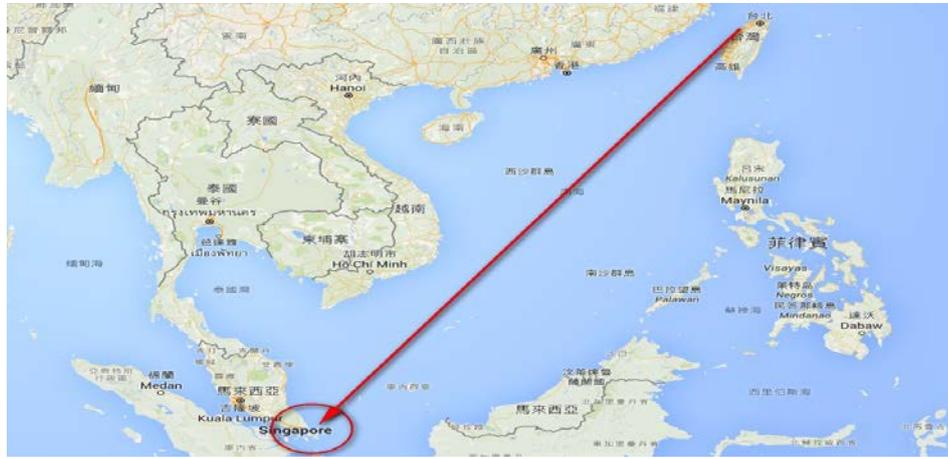


圖 1 新加坡地理位置圖

過去

1819 年，不列顛東印度公司在島上建立貿易港口。那個時候的主要聚居地是新加坡河河口的馬來漁村。新加坡成為香料貿易必經的地點，成為大英帝國最重要的商業和軍事中心之一。第二次世界大戰時期，新加坡被日軍占領時，溫斯頓·邱吉爾稱之為「英國的慘敗」。1945 年，新加坡復歸英國統治。1963 年，新加坡與馬來亞、北婆羅洲和砂拉越合併，建立馬來西亞聯邦。不到兩年後，新加坡脫離馬來西亞，於 1965 年 8 月 9 日成立新加坡共和國。同年 9 月 21 日，新加坡加入聯合國。



圖 2 密度集中高度商業化的都會城市

現在

新加坡位於馬來半島南端，落於赤道以北的 137 公里，是東南亞一處氣候晴朗的熱帶島嶼。這個城市國家佔地 710 平方公里(約 2.64 個台北市)是東南亞最小的國家是世界上剩下的幾個城邦之一，有華人(多數)、馬來人、印度人和歐亞混血人等四大族群、共約 5100 萬人民居住。自獨立以來，新加坡的生活水平有所提高，當地工業化與外商直接投資帶旺新加坡現代經濟，新加坡的轉口貿易、電子製造業、石油化工、旅遊業以及金融業都有所增長。按人均國內生產總值來算，她是全球第 17 個最富裕的國家，外匯儲備高達 2220 億新元 (1470 億美元)。

一、參訪新加坡新能源有限公司

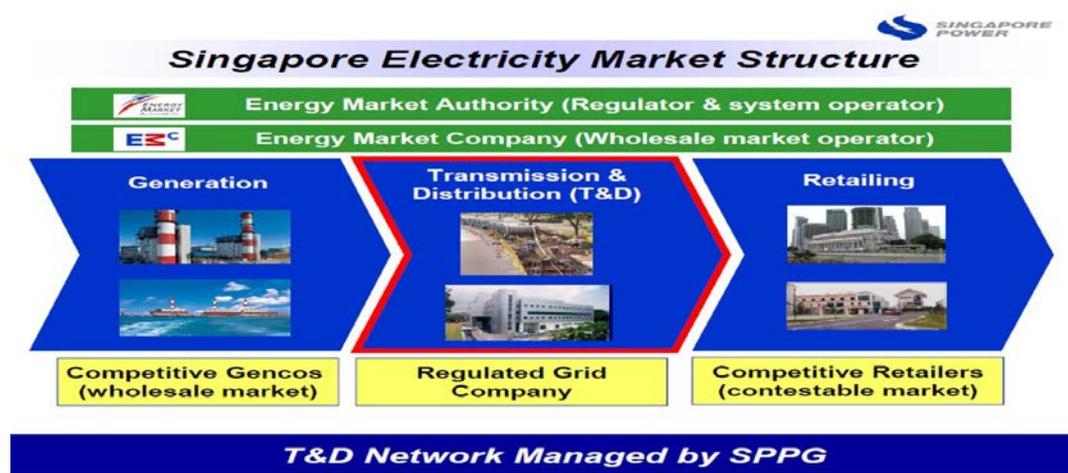


圖 3 新加坡電力市場結構與新能源電網公司管理範疇

1995 年 10 月 1 日，新加坡能源公司(Singapore Power, SP)成立，將負責電力及瓦斯之公用事業局公司化，PowerGrid 為 SP 之子公司之一，負責輸配電之供應。2003 年國家電力市場開始運作，由能源市場公司經營管理，電力市場結構包括：能源市場管理局 (Energy Market Authority(Regulator & system operator))負責管制及系統操作及 Energy Market Company 能源市場公司批發電力市場運營商 (Wholesale electricity market operator)。

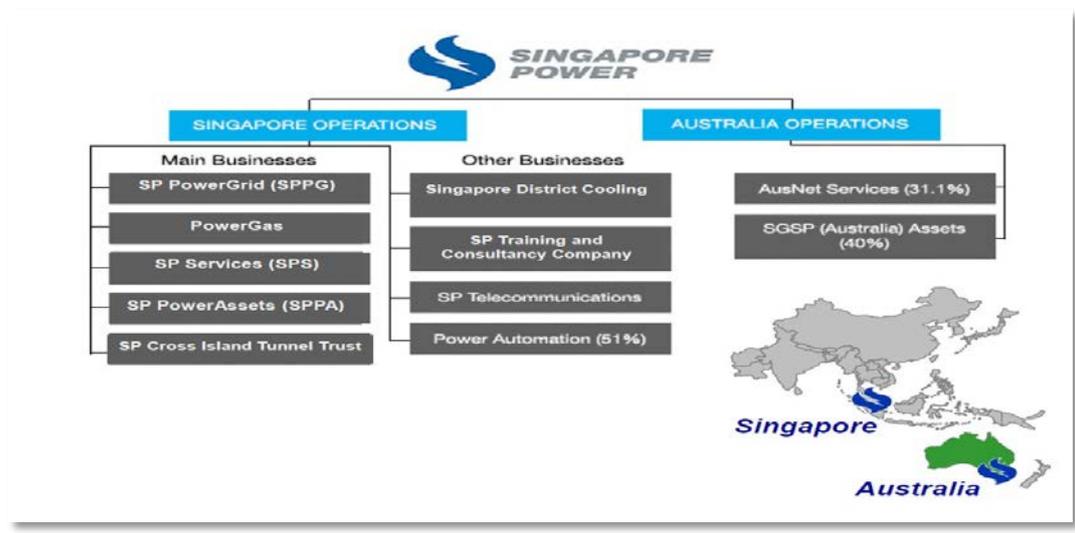


圖 4 新加坡電力之投資分布版圖

電力系統架構分為發電公司、輸配電公司及零售公司，發電公司共 7 家，總裝置容量 12,889MW。輸配電執照由新能源資產公司擁有，並委由新能源電網公司 SPPG 管理。2001 年 7 月 1 日起開放零售，電力零售商 6 家，非住宅用戶每月平均用電達 1 萬度以上者得為競價購買者。市場服務商提供抄表及售電服務。戶數達 140 萬，尖峰負載 6,849MW。



圖 5 新能源電力公司事業結構

新加坡電網的階層包括：400kV、230kV、66kV、22kV 及 6.6kV 以及戶 400/230V 低壓用電。前述的電壓等級中 400kV、230k 及 66kV 網絡屬於輸電系統；而本次參訪的新能源電網公司管理的是 22kV、6.6kV 及 400/230V 屬於配電網絡。

有關輸電及配電資產設備數據資料，如下：

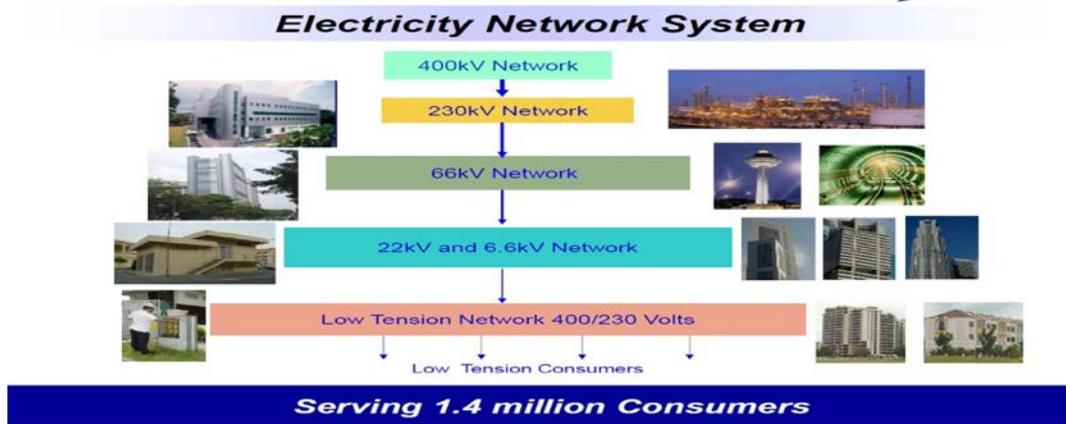


圖 6 新加坡電壓等級分布示意圖

表格 2 新加坡電網公司輸配電資產統計表

2015.June	變電站 Substation	開關設備 Switchgear	變壓器 Transformer	電纜 Cable(km)
輸電 Transmission	120	2,330	390	7,940
配電 Distribution	10,980	46,560	16,310	19,240
TOTAL	11,100	48,890	16,700	27,180

註：所有變電所皆為屋內式(House Type)，所有線路均為地下輸配電系統。

電力品質一直是 SPPG 在國際電業上引以為豪的一項指標，2014 年 SAIDI(System Average Interruption Duration Index):0.74，全球電業前 5 名平均是 4.59 min/customer，(參考資料來源:KEMA Grid Price Performance Benchmark Report 2014)

Electricity Network Performance Benchmarking

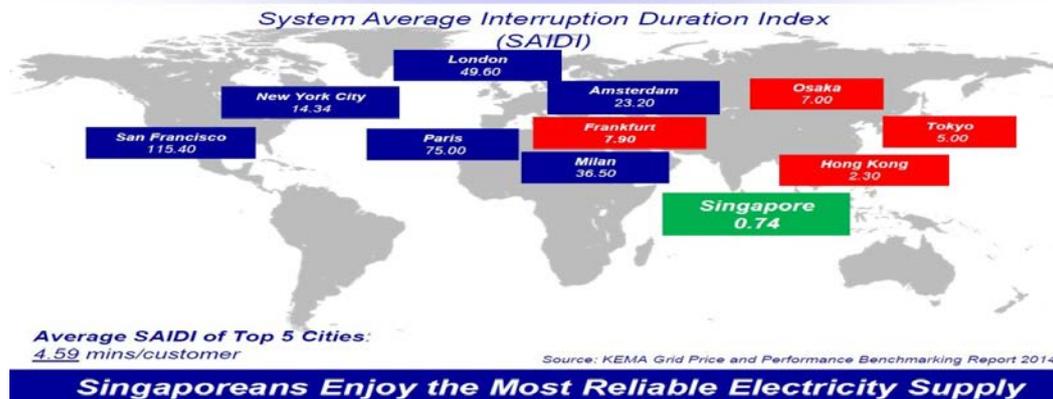


圖 7 新加坡電力網效能品質與國際前 5 名電業比較示意圖

達到如此高電力品質指標，作法是做到有效可靠與安全的系統調度、掌握運轉中設備之狀態與精確診斷技術以及確實做好資產管理，汰換高風險設備確保運轉安全可靠有效抑低風險。

(一) 穩定可靠與安全的系統調度

供電單位現有基隆 ADCC、台北 ADCC、新竹 ADCC、台中 ADCC、新營 ADCC、高雄 ADCC 共 6 處區域調度中心及各有人值班超高壓變電所及一次變電所(台東 P/S)，負責接收電力調度處 CDCC 指令操作 345kV、161kV 相關設備及自行調度 69kV 系統。隨著科技日新月異、通訊設備發達，無人變電所為時勢所趨，未來變電所之值班人員將持續合併，朝遠端遙控方式辦理。

此次前去新加坡新能源公司，該國電力系統電網潮流為能源市場管理局管控，緣慳一面未能前往拜訪，惟參觀了該公司配電調度中心。本公司調度中心由 1 位值班經理、2 位值班主任、1 位助理值班主任(基隆 ADCC 無)所組成，惟新加坡配電調度中心內就 3 位人員，位階皆為值班主任，3 員皆須操作停復電工作，且因新加坡轄區較小，3 員值班主任皆須對新加坡配電網絡執行操作，每日停復電工作則由 3 員中最資深值班人員負責分配工作量，若有事故發生，亦由該員負責下達操作命令。本公司值班經理肩負督導值班主任之責任，規定不可參與實際操作，於現行系統愈趨龐大情形下，仍由 2

位值班主任負責操作，或可由值班經理或助理值班主任協助執行簡易型停復電工作，減少現場工作人員等待時間。

新加坡新進值班主任經面試合格後，且經由該時段資深值班人員 6 個月監護下操作後可獲得終身證照(On Job Training)，證明擁有操作之能力。新加坡新能源公司亦有人員值班意願不高狀況，值班部門人力招募不易的問題。很特別的是，該公司值班人員為終身制度，並無輪調機制，惟該部門也僅 13 位職員，於尋找補充人力方面較為容易。

頻繁地操作亦同為新加坡電力公司相同之困擾，平均一年須操作 7000~8000 項次，日操作 20 項次以上，每項次約 5~10 鐘即可操作完畢。能源市場管理局操作部份為每日 5~10 項次，時間視操作複雜程度而定，短有約 30 分鐘，長可至 2 小時。本公司於停電前 30 分鐘致電調度中心，新加坡能源市場管理局要求 5 小時，顯示其謹慎程度。

Shorten Response Time through Remote Switching



圖 8 透過 SCADA 故障訊息列快速掌握事故現況縮短因應時間

新能源電網公司亦對開關設備進行試驗之動作，稱之為「晨操」，利用星期日至星期四夜間將開關設備做投切動作，來測試設備狀態是否完好，以每年將所有配電設備循環操作一次為目標。此法可行之處為新加坡配電網絡為花瓣形環路，投切時不會影響到用戶。新能源電網公司利用夜間較不影響系統及若發現異狀隔日即有人員可檢修，下降事故發生機率，本公司可借鏡此點，防範開關設備操作機構枯澀造成投切失敗情

形。

此次拜訪新加坡新能源電網公司之配電調度中心，其監控系統於近汰換完成，擁有自動產生操作備忘錄及事故時隔離故障點且轉供之建議操作程序，可緩解值班主任操作之壓力。見賢思齊，見不賢而內自省，此行所見之優缺點將內化為將來辦理運轉調度業務活力，冀望對公司有正面之幫助。

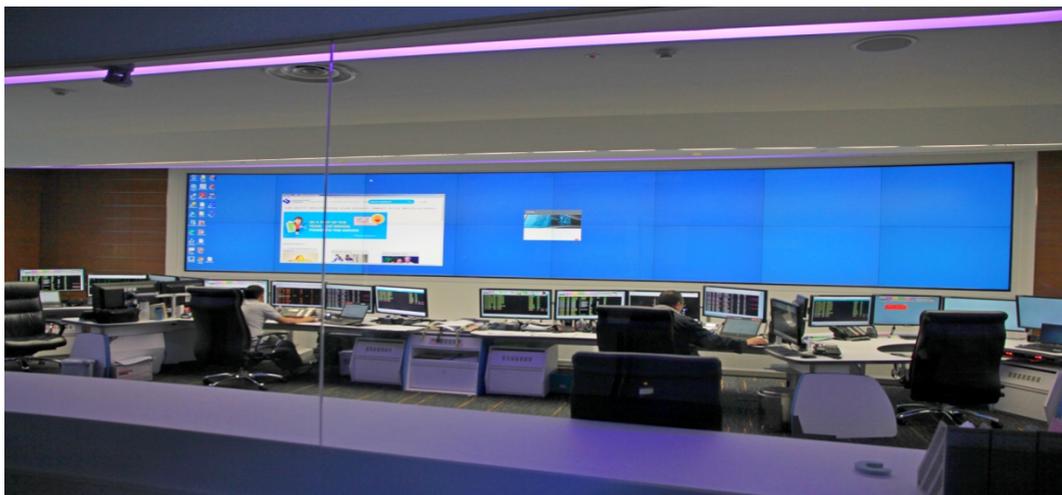


圖 9 參觀 (SPPG DCC) 配電調度中心-背景為 MAIN Board 顯示幕



圖 10 值班運轉人員培訓與操作經驗以及客服中心客訴處置經驗交流

(二) 電力可靠度藍圖-做好設備保護與有效事故抑制

新能源電網公司運用核心技術之強項，規劃新加坡電力可靠度執行之藍圖，即做好 1. 設備之保護(設備狀態監測與資產汰換計畫)以抑低停電與損失之風險。2.做到有效管控

與抑制故障影響(及做好快速自動故障隔離以及自動遙控與緊急復電)。



圖 11 新能源電網公司電力可靠度演進藍圖

新能源電網公司極力推廣設備狀態監測/診斷及維修技術，如此倡議此項做法的最主要原因係由累積的經驗與分析發現，運轉中的設備對於系統的變化所累積的狀態有不同程度的結果，因此有效地透過診斷儀器與設備取代人為取樣進行全面的科學診斷，如此可以及早發現微小肇因，即早研擬因應有效對策、消彌故障所引起之損失，同時有效的縮短處理停電的時間與設備復原的成本。

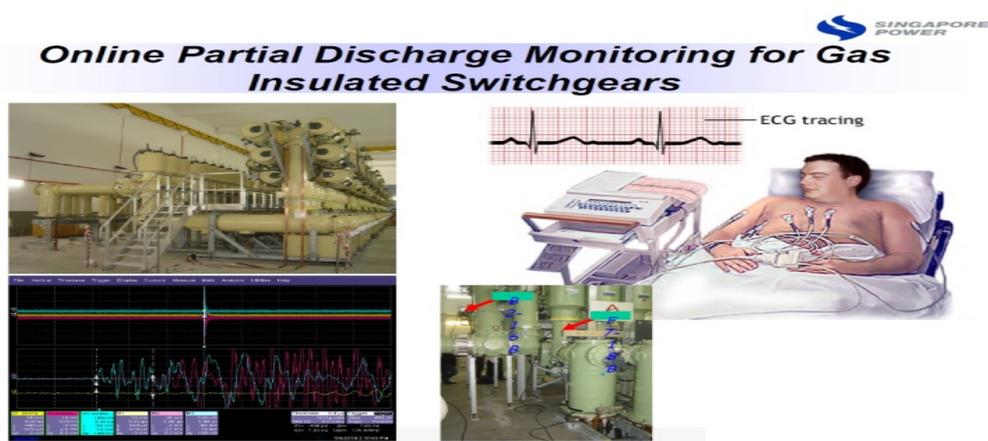


圖 12 新能源電網公司極力推廣設備狀態監測/與診斷技術

新能源電網公司的設備狀態監測(Condition Monitoring)其對電力系統主要元件，如 400kV

及 230kV 級之電纜(終端匣)、變壓器及斷路器等狀況的監測/診斷，以及次要元件狀況進行狀態監測，主要監控項目如下：斷路器氣壓、油壓系統監測、變壓器有載分接頭(OLTC)狀態監測、斷路器機構性能監測：診斷監測作法：

地下輸電電纜採行：



Condition Monitoring of Underground Cables Very Low Frequency ("VLF") Technology



- Started trial in 2014
- Suitable for cables with poor insulation resistance reading but showing no PD with OWTS
- Detects:
 - ✓ Moisture ingress in cable joints
 - ✓ PD in cable joints
 - ✓ water tree in cable insulation

圖 13 電纜終端局部放電線上監測系統與極低頻檢測



Condition Monitoring of Underground Cables Oscillating Waveform Testing System ("OWTS") Technology



- Introduced OWTS in 2006 for distribution cables
- Effective in detecting defective joints with partial discharge ("PD")

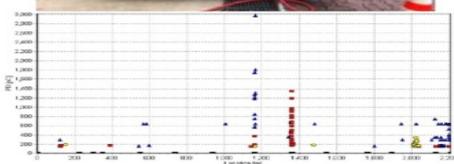


圖 14 電纜終端局部震盪波測試系統

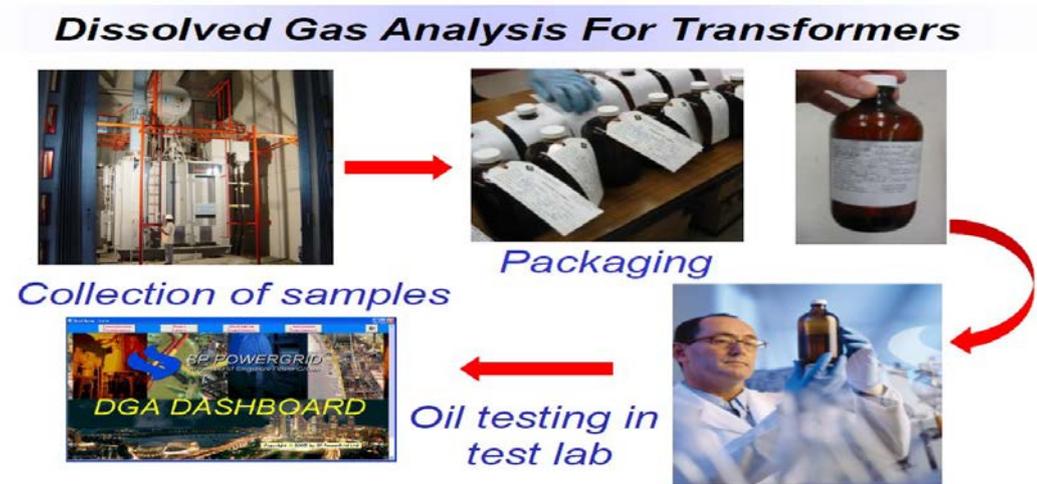


圖 15 電力變壓器採行:線上油中溶解氣體分析



圖 16 開關設備採行:超高頻部分放電線上監測系統

此外，對於整個系統全面的以紅外線熱影像顯示儀進行掃描(可有效發覺設備異常過熱)，充油電纜油壓監測(全時監視可檢出油壓異狀)，油中溶解氣體分析可有效分析油中不正常的物質進而研判肇因，分散式的熱點檢視(可以有效檢出設備發熱點判斷出異常加以處理)，部分放電檢測可以發現微小的放電與電流洩漏，操作機構的檢測可以發現不正常的機構動作。

(三) 積極前瞻性的進行設備資產更新作為

SPPG 之資產設備係由新加坡電網資產管理公司(SPPA)進行管理，所採行之資產更新之積極策略是運用資產健康指標架構(AHI, Asset Health Index Framework)有效地對於資產

老化狀況、運行效能及耐用年限評估，透過 AHI 工具可以科學量化出運轉中之健康狀況與殘餘壽命進行評估提出優先處置之順序建議，進而做出資產價值以及因為故障可能對於企業所衍生之直接損失與可預期之對用戶影響，這是一種風險量化的具體作法。

是以風險管控為前提進行資產量化評估以及提供設備維護、汰舊更新重置的合理依據，使得電業在對於資本支出與維護費用執行上得以在宏觀的基準上做出理性判斷即提出有力的說服力，SPPG 進行資產維修或重評估計劃時，運維有關的技術部門並無直接參與，完全是由資產公司參酌採以 AHI 客觀操作之基準法則進行公平性的評估作業，評估結果彙整後，每年即發布「未來 10 年運維重置計畫」向上級管理單位能源市場管理局(EMA, Energy Market Authority)進行書面報告。

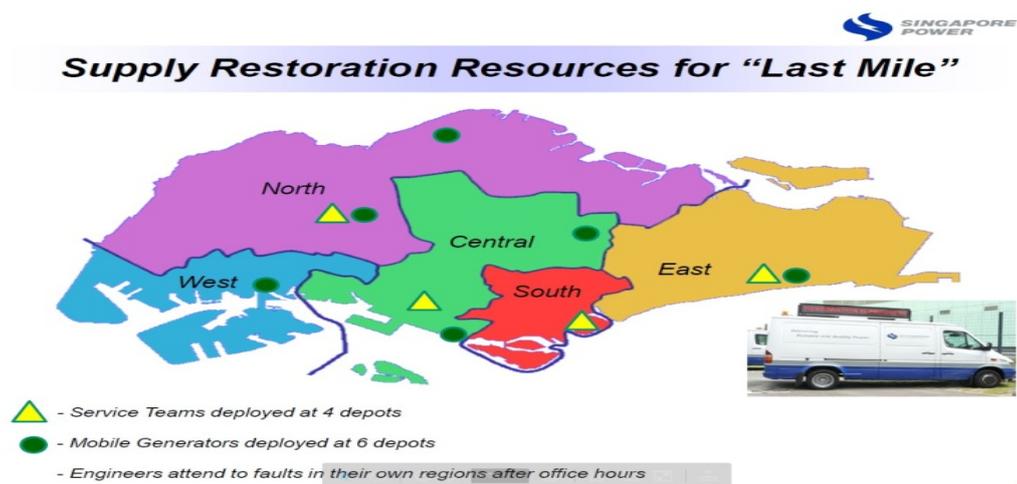
此項報告內所有子項計畫均須經由能源市場管理局 EMA 的審視，各項子計畫可能獲得認同可採納接受報告中的建議進行處置行動方案，亦可能因為綜合研判與考量下受到駁回而暫時擱置，此時受擱置之計畫必須按照 AHI 所評估出的參考指標程度，進行積極的運維作法(如:縮短維護時間、增加運轉監視/抽樣的頻率，或是對於重要用戶採行轉供、必要時積極準備緊急備品)，在在都是為事前因應，有效抑制設備故障時對於系統衝擊及用戶的影響。當然，因未採納 SPPG 汰換計劃所將承受可能衍生出的風險也藉由 AHI 評估具體呈現在給能源市場管理局的報告書中，使得電業減低承擔風險所承受之無形壓力。

此外，對於尚未達汰換年限之設備已可透過 AHI 評估根據了解使用狀態以及剩餘使用年限(及所對應之風險量化值)，可以用來對維護計畫進行經濟效益評估，使公司運維之決策部門將有限的維護費用正確有效的投資在刀口上，以抑低投資成本，發揮維護成效。

■ 停電時間遏止作法

透過自動化的隔離故障設備(區域)，以及自動化的開關操作進行復電縮小停電區域以及停電對於用戶衝擊，同時啟動緊急處置與因應方案，包括設備搶修以及停電區用戶電

源供應，SPPG 係以移動式發電機對停電用戶進行臨時性的供電處置。



23

圖 17 區域維護部門組織進行客服、維護與事故搶修因應以加速復電



圖 18 配置行動發電機因應事故停電以加速復電縮短停電時間

新加坡能源市場管理局對於 SPPG 因應故障停電處置作為的要求極為嚴苛，其要求包括：停電後開始處置起，要求 2Hr 內達到 90%復電，3Hr 內要達到 100%復電，其中若是因為電業人為(操作)疏失導致事故(停電)者，配電系統每件罰款高達〇〇萬新加坡幣，值班人員若失誤釀成公眾安全涉及法律者，嚴重即得離職。(SPPG 值班人員應是進入工作之後至退休僅可以從事值班業務，並無其他機制可調離至不同屬性工作)。



圖 19 資產生命週期管理 Asset Life-Cycle Management

SPPG 資產部門參酌英國資產標準機構(BSI)制定之資產管理標準 PAS55，並依據 SPPA 資產管理決策演進成 ISO55000 標準更為完整的資產管理標準(Adopt an Integrated asset management system)，演進後之資產管理框架如下圖所示：

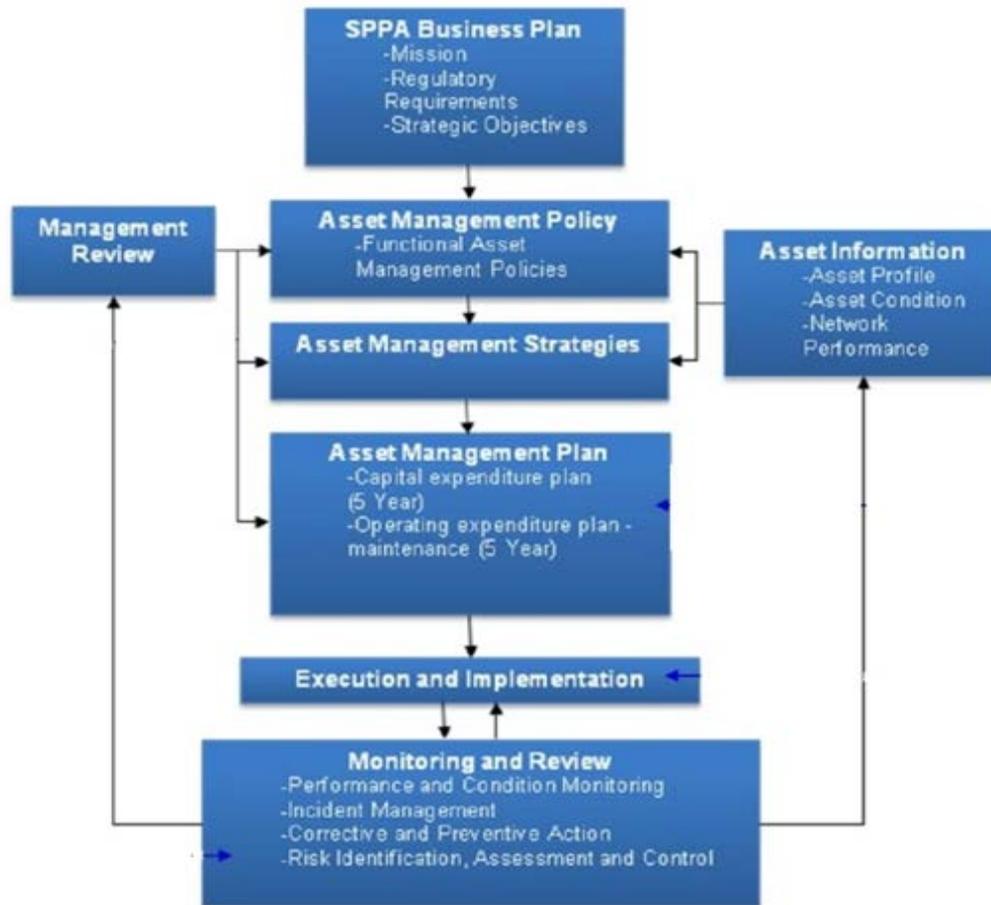


圖 20 資產更新策略 Asset Renewal Policy-SP Power Grid

在公司整體之資產政策下將會有具體的資產管理策略因應，於是直接呈現在資產更新

政策上的做法。

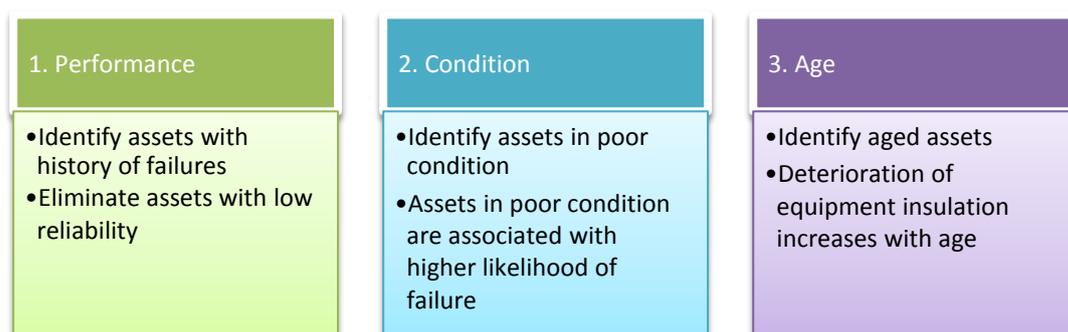


圖 21 Asset Renewal Policy 資產更新政策(風險管制)主要評估指標

- 依據指標「性能、狀態、壽齡」進行評估，目標一致均以維持設備運轉安全及系統的高可靠度(Maintaining High Reliability)。

上述指標歸納重點做法如以下：

性能(Performance)：積極辨識資產(設備)過去不良之記錄，汰換低可靠度之資產(設備)。

狀態(Condition)：掌握資產(設備)運行之不良狀態，狀態不良之設備可能有較高可能導致故障。

壽齡(Age)：針對老化之資產鑑別資產殘餘壽齡。

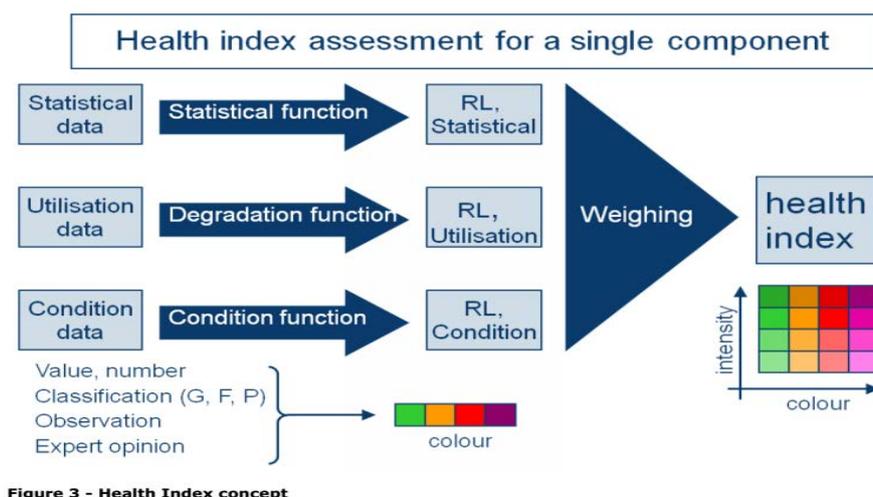


Figure 3 - Health Index concept

圖 22 資產健康指標評估機制與風險呈現示意圖

做好以上風險管控，進而抑低系統或設備故障對於用戶的衝擊以確保資產運行高可靠度。同時進而形成 SPPG Transmission Network 資產更新框架，井然有序滾動循環運作：包含資產健康指數系統 (Asset Health Index (AHI) Tool,2014)、每年複審資產優先更新秩序 (Annual review and prioritization of renewal projects with growth projects)以及提交能源市場管理局批准之「10 年(滾動)發展與更新計畫(Rolling annual 10-Year Development & Renewal plan for EMA approval)。

■ 變電所改建更新策略

此次與新能源電網公司資產管理部門交流另一議題係「變電所改建」策略。新能源電網公司變電所建物資產使用年限是 30 年，正當訪問期間 SPPG 正好有 1 所屆 30 年之變電所完成健康指標風險評估，因此 SPPG 資產管理部門提出資產維護更新策略方案包括 1. 得進行必要性之結構補強。 2. 依據資管理年限提改建計畫。

據參訪時得到的最新進度是新能源公司董事會否決建物結構補強方案，獲准採用建物改建方案。

此外，新能源電網公司帶領參觀進行變壓器汰換工程之「○○ 變電所」，該變電所位置雖非緊鄰大樓林立的市中心，但供電範圍包括藝術觀光及娛樂重點區域，鄰近範圍的商業設施包或文化中心、國際展演廳、城市花園展覽館(室內)、捷運地鐵、F1 賽車場及許多國際酒店等。

SPPG 表示該變電所裝設變壓器 2 台，常年變壓器平均負載利用率為不高，最高峰值紀錄為○○%，本次進行主變壓器汰換工程，負載可所內 1 台變壓器轉供，但因考量位處重要商業活動區，因此要求汰換工期由原本 3 個月縮短為 2 個月內。

此次有關變電所設備與建物資產更新策略交流內容及變電所現場觀察提問重點整理如下：

- ✚ 新能源電網公司對於變電所建物更新看法支持『改建策略』。此舉一方面符合規定，另一方面於更新建物時一並針對需求導入新的設備與應用科技(如：能源效率等)。老舊變電所改建方式有在一旁新建再切換，但多數為原址重建(考慮既有用地及地下輸電線路)

- ✦ 變電所雖為屋內式，特色上是變壓器設置處所對內、對外均保留寬敞搬運動線可容納大型搬運車輛、機具進出，有利工程進行(如圖示)
- ✦ 供電上要求高可靠度、設備運轉安全性，完全滿足 N-1 安全運轉規劃，強調的內容包括:230 及 400kV 全採用充油電纜並使用線上監測、22kV 饋線網路為閉環可隨時轉供、一般用戶 3 小時達 100%復電要求；但變壓器設並特別無強調高利用率。
- ✦ 變電所內變壓器設置處所並無以變壓器室之實體磚牆隔離設備，變壓器與變壓器之間係以防火牆隔離，特別是散熱器側則鏤空無屏障，因此有良好的散熱效果同時無建物換通風氣量疑慮(此項對變電所節能具有良好效果)
- ✦ 變電所內開關設備處所也同樣預留較大的備用空間，有利於未來設備擴建與汰換時運用。
- ✦ 變電所建物外保留綠地並以鐵絲網圍籬與外界綠地接壤，圍籬懸掛加上標示與標語警示牌；惟 911 恐怖攻擊事件後，能源市場管理局要求變電所大門、圍籬內需加裝防衝撞裝置。



圖 23 屋內式變電所變壓器設置處所不以變壓器室實體隔離，並保留足夠運行空間



圖 24 室內變電所 230kV GIS 室 設備，室內尚餘約 1/2 面積空間

■ 威脅與挑戰(同時也是台電所面臨的艱困處境)

現今社會發展趨勢下，高科技及高服務性產業取代傳統技術與基礎勞力，在此趨勢下新加坡電力面臨到了經營的威脅與挑戰包括：設備及原件成本的大幅上揚、人力成本上揚、組織人力老化以及人力萎縮與資產設備的膨脹課題。



圖 25 參訪新能源電網公司總部、各分部單位駐地與變電所施工現場留影

二、參訪 POWER AUTOMATION 公司

■ 策略結盟投資技合，培植人力建立後盾。

此行參訪行程規劃之初，我們在蒐集有關調度中心安全運轉有關資料時，得知新加坡新能源電網公司合資技合一家子公司名稱為 POWER AUTOMATION，SPPG 投資該公司成立背後的主要意義為：透過與廠商技合在變電所自動化以及電源管理與監控系統上得以資源整合，並提供系統維護升級及汰換更新之有關作業(按:新能源電力公司之輸電調度中心 EMA EMS 及配電調度中心之調度監控系統 DCC DMS 均為 SIEMENS 公司系統產品)，因此也透過 SPPG 聯繫，爭取順道參訪這家任務型(Task Force)的公司。

新加坡新能源公司考量過去在 EMA EMS 及 POWER GRID 的 DCC DMS，兩系統採購時順利得標恰巧均是同一公司的系統，由於 EMS SCADA 系統從加入運轉至汰換週期一般約為 10 年，為降低對廠商的依賴程度，以及積極有效培育企業內部之核心技術人力，以及抑低風險，於是新能源電網公司策略性的投資 POWER AUTOMATION。



圖 26 在 POWER AUTOMATION 合影

經過造訪 POWER AUTOMATION 得知，本質上是屬於 SPPG 股份 51%及外商公司股份

49%的一家電力自動化管理科技電機有限公司，其業務內容包括電驛技術服務、電力諧波抑制、電力品質規劃、SCADA 系統維護與升級等，雖然 SPPG 具有 51%的投資額，但平時 POWER AUTOMATION 就如同一般外界商務公司，對外一樣公平的參與 SPPG 招標業務之承攬競標，並且提供包括：電力管理監控系統之規劃、升級、建置、測試；傳統變電所之自動化之規劃、設計、建置及提供無縫接軌的解決方案；對於運轉中之調度中心軟硬體以及自動化變電所之系統進行升級維護以及功能測試等均為其商務範疇。而此次參訪新能源電力新升級完成配電調度中心 DCC 的調度監控 EMS SCADA 系統，即是由 POWER AUTOMATION 承攬進行專案升級計畫，升級的項目包括 SCADA 系統軟、硬體及資安強固內容部分，但不包括 DCC 調度室裡的大型監控電視牆。於是如同前期規劃與設計進程，整個專案自推動置完成投入運轉在預期下於 18 個月內即期完成，同時日後對於子系統開發建置、人員訓練與維護服務等，都有原廠家以及技合投資子公司的雙重奧援，讓調度監控系統更新運行順利完成亦快速可靠地符合值班運轉的需求。

■ 電源管理調度監控系統之資通安全技術規劃與建置

由於資通訊技術與產業的快速演進，大量運維資料在傳遞、複製、存取及演算上已經邁入大數據運用的時代，企業(產業)網路對外連網的趨勢與需求已無庸置疑，惟一旦將原本封閉的數據線路網路連結至開放之企業商用網路,無疑地就等於間接將封閉網路開放連結到 Internet 以及其他數據聯外管道上，這些連結間接方便的為駭客打開了利用遠端線上手法攻擊關鍵基礎設施的大門，對於電力系統之安全可靠及背後肩負國防經濟及廣大用戶之資產安全帶來無法估計之潛在隱憂。

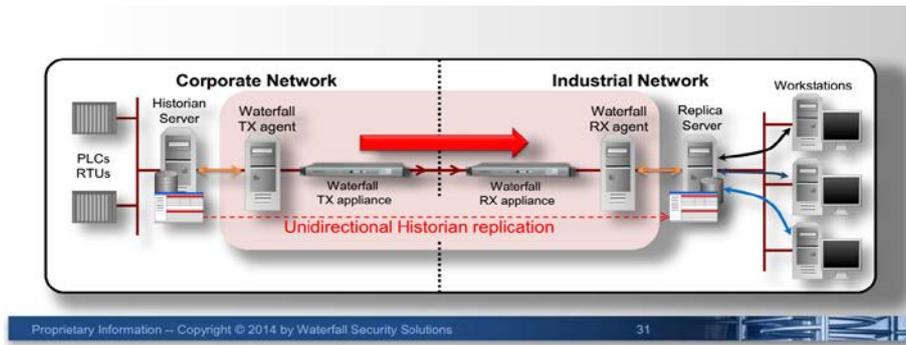


圖 27 運用單向網路閘道資料傳輸與接收端之示意圖

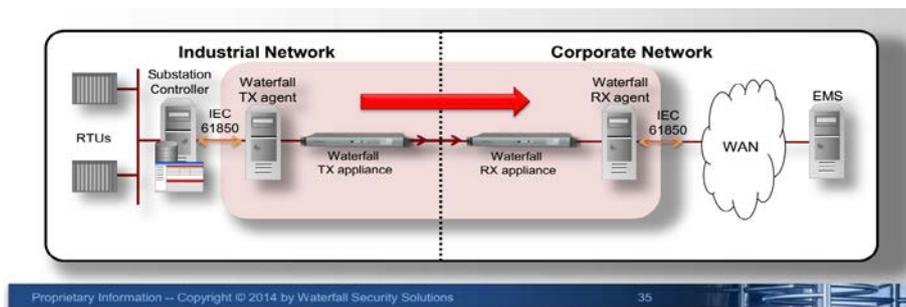


圖 28 單向網路閘道資料傳輸於 IEC 61850 廣域網路之安全應用

因此，新加坡能源市場管理局即對 SPPG DCC 中心 DMS SCADA 汰換升級審查時，即要求落實資安規劃，確實做到運用運用單向網路閘道技術來達成電網資控應用實體隔離需求，於是在完整的 DMS SCADA 配電調度監控系統進行高規格的硬體資安防護，採用業界目前科技最新穎有效的 WATER FALL 單向網路閘道技術(單向:即意味著資料僅出不進或僅進不出)以確保系統聯網之資料安全存取做到資安防護。

此項資安硬體防護技術之建置應用，在我們到訪 SPPG DCC 中心時獲得資控維護人員大力讚賞，並實地介紹單向網路閘道技術硬體防護之特色與安全性；交流中也說明對於電力業者在規劃建置新的調度中心或是企業資訊中心時，務必提高對資安危害之風險意識，強調在追求資通訊大數據應用的時代單靠傳統防火牆的資安防禦已不敷應付網路攻擊型態，特別是調度中心監控系統係以監控功能導向，系統建置後經長年使用相較外界資訊之快速演進凸顯版本陳舊，自我防禦力薄弱，並甚少有機會因應弱點同

步升級更新，而成為受攻擊的弱點所在。

表格 3 DMS 系統架構及升級前後主要功能差異

SPPG DMS 系統架構及升級前後主要功能差異		
項次	舊系統	新系統
1	Obsolete Hardware - Hardware cannot be bought in open market	New Hardware - Hardware can be bought in open market
2	No Cyber Security Mechanism in place	Enforce Cyber Security rules (NERC CIP, ISO27001)
3	RISC Architecture (e.g. SPARC) - Becomes a problem when buying workstation	CISC Architecture (e.g. x86) - Flexibility in buying workstation
4	32 bit system - Limited data computation	64 bit system - Unlimited data computation, able to support graphs intensive interfaces
5	Proprietary Protocol from Control Center to RTU	Open Protocol (e.g. IEC101) from Control Center to RTU
6	Poorer performance	Better performance
7	Hardware dependent (Solaris UNIX and SPARC) - Can only buy SPARC hardware if you are using Solaris (SPARC) UNIX	Hardware Independent (LINUX and x86, SPARC etc) - Able to buy any hardware without restriction

本公司在資通安全作業規範要求上亦有明確規定:包括：需要特別保護之設備，應考量與一般之設備區隔，安置在獨立之區域以及對於特別敏感性或是特別重要之系統，應採取額外強化之安全措施等，新加坡能源市場管理局與 SPPG 對於資安之重視與落實做法可供參考借鏡。

三、參訪 ALSTOM-GE 公司

此行最後一站是聯繫參訪國際知名設備製造廠商 ALSTOM (GE) 公司，內容包括參觀正在執行 69kV GIS (AEG TYPE)定期維護合約之現場，以及交流有關資產(設備)風險評估之專家系統。

■ 運用狀態指標評估進行設備週期點檢(著重機構保養的維護合約)

首先是進行 69kV GIS 設備點檢現場之參訪，本次爭取的合約內容是包括 4 個變電站約超過 60 檔位的 69kV GIS 定期檢測維護工程合同，內容包括 GIS 設備的內檢、與開關設備動作機構細檢、特性量測、耗件更新及設備外部油漆等項目。

據了解，此次維護的 SF₆ 氣封開關設備是邁入第 20 年的運轉中設備，執行的是第二次維護細檢，新能源電網公司採行的維護策略作法是以整所發包委託原廠家進行週期定檢維護保養作業：

- (1) 全所 69kV GIS 設備進行機構操作、量測、拆解、潤滑及必要耗件更換
- (2) 進行指標性設備抽檢，進行遮斷部內部細檢

合約要求係由 SPPG 維護部門提供每一變電所中效能較差的 1 檔位為內檢標的，再參考過去運行及維護紀錄由該檔設備之 R、S、T 三相中，擇取其中 1 相進行遮斷部內部細檢，經過討論了解其指標檔位內檢結果，設備主要遮斷部原件狀況均良好無須更換，此策略亦大幅節省維護成本。

參訪當日已是本項工作於該所之尾聲，隨後即連繫設備加入之復電作業，現場先由承商工作負責專人逐一清點接地開關狀態、設備工作電源、人員、工具及儀器，將點檢工作中設備完成清單比對確認，並逐一拆解清點裝置於工作現場之安全鎖(該所係為有效確保點檢工作間，部分接地開關操作箱及現場電源之安全必要管制)，在清點確認工作後，將現場該項工作之核准工作單填上完成時間，送交 SPPG 之工作監管人員再進行確認覆核之後連繫送電。



圖 29 ALSTOM-GE 維護現場合影

■ 電業設備資產健康指標風險管理方案

類似於 SPPG 資產管理 AHI 的手法，ALSTOM 的 Asset Management Solution 似乎也有不錯的方案，同時提供更友善的人機介面，這個管理工具結合了許多重要參考參數於演算工具之中，包含:評估的範疇界定、設備維護歷史值及運行狀態、設備供應範圍之重要產業對象重要性、資產受命的臨界值以及專家評斷的參數等，最後會以設備殘餘壽命、資產承受風險之量化金額指標、以及殘值等做出維護與汰換之建議。簡言之，透過他的分析與管理，資產管理部門能了解:

- 哪些資產(設備)有立即更換之必要性(殘餘壽命=0)。
- 依照建議清單若該設備當下故障時，所需承擔的風險損失量化金額。
- 提供資產設備折舊及健康評估後之殘值，可做為進行維護成本效益評估。

Asset Management: From Tactical to Strategic

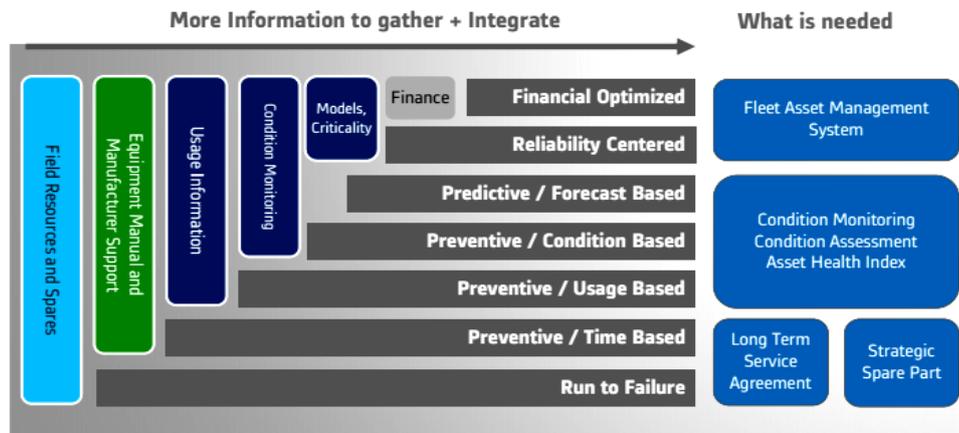


圖 30 ALSTOM-GE 的電網資產管理策略由戰術演進成戰略

Asset Health, Completeness & Maintenance Indexes



GRID | ALSTOM

圖 31 評估後資產健康指標、風險及維護與更新指標呈現

不過相較於新能源電力公司使用之 AHI(KEMA)管理工具系一個 EXCEL 試算軟體檔案工具，ALSTOM 管理工具應用上更具國際企業宏觀，原因是當資產規模由數十個變電所增加到數百近千個變電所時，資產標的演算與比較之複雜度以及資料輸入的作業便利性等，ALSTOM 在資產管理者的使用介面考量上顯得相對親和。

討論中我們也共同發現，此套資產管理方案工具目前尚存在一些可改進的空間，整理如下：

- ✚ 資產管理參數涉及諸多敏感資料(供電範疇、重要用戶等)。
- ✚ 雲端資料庫(本案例目前在法國)，存在風險及維護自主性考量。
- ✚ 依預算提報編列需在 2 年前提報，此系統工具應可再提供演算未來數年之風險及殘值以利決策考量。

肆、心得與建議

變電所安全運轉與維護做法上，是包含人員培訓、核心技術養成以及設備資產管理手法之精進，國外電業實務上係結合現今高度電力工業發展與資通訊科技工具輔以傳統的做法才得以兼顧，值班運轉人員的培訓除一定時間得在職學習外與資格考核外，如何記取運轉經驗，設計改善調度監控系統以科學有效的方法來防止人為的錯誤也是一個理想的機制，如新能源電網公司配電調度中心，其新升級完成之監控系統所擁有自動產生操作備忘錄及事故時隔離故障點且轉供之建議操作程序便是利用人工智慧的得功能減少錯誤，提升作業效率並可有效縮短事故復電時間。此外，對於資安的重視也從基本規劃設備建置、新穎防駭科技的應用與人員資安認知的素質提升等，均是務實的做法，而不是空有規定淪為談的與做的卻存有落差。

新能源電網公司的資產管理策略與資產健康指標工具，是此行讓我們認為可有效降低風險與可減少過度投資的管理手法，由其是以資產健康指標評估排出優先汰換之順序以及訂出維護保養的重點項目均能掌握系統運轉中設備風險關鍵，將每一分投資用在刀口上，而且減少因故障所引發之損失與社會成本。

此外與西門子公司技合而投資的子公司日一種任務導向的策略合作，在培植內部員工技術領域的專長外，也大幅減低對於廠家依賴的程度，這是一種積極進取的思維，同時投資的公司也具有對外競爭的實力，意味著許多業務可不假手他人甚至可透過子公司的承攬增加許多業外收入，這或許也可以供作本公司未來涉略業外的投資思維。

新加坡的背景、能源條件極度缺乏，但在透過努力與嚴謹的做法所獲得的成功，

卻是令人刮目相看，多元的包容與思惟或許是為自己帶來更開闊的空間的一種做法，此次交流過程發覺，新能源電網公司並不以自己已是高度發展的電業而自居，對於是本公司供電單位值班人員在人力調度與人才培植上的一些做法與思維模式也深感認同，多元的種族、語言與生活方式得融合，也讓新加坡具有更開放的胸襟與世界觀也贏得更多進步的空間，這些審慎評估與大膽的嘗試是以一種具投資眼光的積極作法，經過時間驗證新能源電力確的風險管理手法得到預期的成效，值得本公司衡酌借鏡。

建議：

一、可衡酌國外作法研議以資產健康指標 (Asset Health Index (AHI)) 作為設備汰換決策參考之一項參數

電力設備資產管理維護及更新策略上，應可衡酌國外作法研議以資產健康指標 (AHI)作為決策參考之其中一項參數，輔以現行設備耐用年限作法，以有效掌握設備風險程度做為維護與汰舊更新決策有力依據。據新能源公司表示目前應用的 AHI 工具系 KEMA 協助開發，仍須由電業逐步累積收集所需參數，建議初期可委請研究蒐集有關國外應用產品及成效做為未來採用或自行開發之參考。

二、參酌委由設備原廠家批次進行完整性點檢維護作法

供電單位長期以來對於設備建置及維護以核心技術自營為策略，以兼顧品質、效率、技術傳承及經濟性，成效卓著。惟設備隨時間及使用條件等因素，自然形成材料疲乏或受應力影響其耐用臨界等，實非維護同仁於設備點檢現場即能拆解研判或比對，因建議可參酌國外作法，於設備加入達耐用年限一定時間(如達 2/3 耐用年限以上者)之設備進行批次維修作業，優點是可借由原廠家對原材料製造與加工特性專業性進行研判進行維護內容，日後對批次加入系統或是使用同期間加工生產批號料件之設備，可以一致性掌握設備之性能水準。此以作法也有其缺點即維護費可能比自營維護高，但新能源電力公司認為自營工作潛在的隱形成本其實不低而且通常因難以估計被刻意忽略，為達供電設備可靠安全運轉，於必要時委託原廠家專業進行亦具有經濟性；而隨著專業分工電業自營能力可著重於應變或搶修之處置力。

致謝：

本次參訪感謝單位長官蕭勝任處長及石吉亮副處長之提攜，提供職如此寶貴的實習機會，能藉由此任務走訪新加坡新能源電力公司及其電網合作之商業夥伴與世界聞名的設備製造商 ALSTOM-GE，從中學習獲益良多。在過程中更感謝同行夥伴楊嘉濱同事於出外期間對於資料蒐集、提問分析與解答上充分合作與支援，就親身參訪經驗於行程規劃、事前資料準備、熱帶國家生活、作息相互關照，更特別要提起的是透過供電處變電組鄭凱中課長及蕭石虎智慧電網執行秘書主動連繫新加坡新能源電網公司，使得本次參訪行程與內容之質與量上均獲得相當高規格的接待，也顯現出本公司過去無論在國際電業上參訪或是參與國際學術會議上之交流，所累積出的寶貴資源與成績。在此友誼基礎之上對於，得以讓此行收穫更加豐實。返國資料整理期間也要感謝運轉組張志聲組長、變電組劉至瑄組長組內同仁們的指導，使報告內容更臻完善。

伍、參考文獻

- [1] SP PowerGrid 提供之資料 Taipower Visit Introduction, DEC.2015
- [2] SP PowerGrid 提供之資料 Taiwan Power Visit Renewal Strategy_1, DEC.2015
- [3] Power Automation 公司提供之講義資料, DEC.2015
- [4] ALSTOM GE 公司提供之講義資料, DEC 2015
- [5] DNV-GL 公司 KEMA-Asset Management System and Tools DEC 2015