

出國報告（出國類別：實習）

智慧電網有關智慧化變電所規劃、建置
及設備狀態監視、預防維護等資產管理
實習報告

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：李偉宏 電機工程師 供電處

派赴國家：加拿大、美國

出國期間：102年11月25日至102年12月04日

報告日期：103年01月22日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

智慧電網有關智慧化變電所規劃、建置及設備狀態監視、預防維護等資產管理實習報告

頁數 48 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：102/11/25~102/12/04 出國地區：加拿大、美國

報告日期：103/01/22

分類號/目

關鍵詞：狀態監測與診斷、智慧電網、DGA、PAS

變電所為電力系統輸電網路的核心，務實推動本公司智慧電網執行面規劃，變電所智慧化扮演極為重要關鍵因素，因應國家新能源政策，未來再生能源占比逐漸提高，如何有效、經濟且可靠地提升設備利用率，減少無效損耗、避免過度投資浪費等，均有賴應用智慧電網技術、方案解決當前課題。本公司現階段運轉中的變電設備及監控系統尚未能符合智慧化整合之介面標準，現階段推動與未來全面整合可參酌國外類似情形之實務運轉經驗，此次實地造訪美、加電業，將有助了解國外電業智慧電網應用、發展與現階段實務面推動的成熟技術，可作為本公司智慧電網推動及規劃未來變電所智慧化之參考，以提升本公司電力技術及維持輸供電系統之高度競爭力。

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.....	2
壹、出國目的與過程.....	8
貳、出國行程說明：.....	9
參、參訪過程紀要.....	10
一、參訪加拿大卑詩省水電公司(BC Hydro).....	10
(一) BC Hydro 簡介.....	10
(二) 智慧電網規劃與進展.....	13
(三) 線上監測與診斷技術實務應用現況.....	17
二、參訪 GE 公司、WEIDMANN 公司（線上監測、診斷儀器暨智慧方案供應商）.....	27
(一) GE 公司簡介.....	27
(二) WEIDMANN 公司簡介.....	36
三、參訪美國舊金山太平洋瓦斯暨電力公司 PG&E 變電所.....	41
(一) PG&E Embarcadero 變電所簡介.....	41
(二) 觀察運轉中既設變電所智慧化推展情形.....	44
肆、心得與建議.....	46
五、參考文獻.....	48

圖目錄

圖 參-1 加拿大卑詩省 BC Hydro 公司	10
圖 參-2 英屬(不列顛)哥倫比亞省 (British Columbia, 簡稱: B.C.)	11
圖 參-3 BC Hydro 電力系統架構圖	12
圖 參-4 BC Hydro 電網互聯系統架構圖	12
圖 參-5 BC Hydro 引述北美地區電價比較圖	13
圖 參-6 BC Hydro 2013 預估未來 20 年至 2033 年用電成長	14
圖 參-7 BC Hydro 廣闊及複雜的電力系統.....	14
圖 參-8 BC Hydro 智慧電網願景及推展現況.....	15
圖 參-9 BC Hydro AMI 推展現況.....	15
圖 參-10 BC Hydro AMI 應用基礎架構示意圖.....	16
圖 參-11 BC Hydro AMI 應用範疇.....	17
圖 參-12 線上監測之部分放電應用示意圖.....	18
圖 參-13 BC 省 溫哥華島交、直流海纜及輸電系統架構.....	18
圖 參-14 BC 省 溫哥華島海纜連接開關站.....	19
圖 參-15 光纖終端引出裝置.....	19
圖 參-16 海纜(管道)溫度曲線.....	20

圖 參-17 AMI 應用雙向通訊於快速復電.....	20
圖 參-18 運用線上智慧表計及時監測線路利用及蒐集用電資訊 QiNETiQ 產品.....	21
圖 參-19 AMI 電表於主變及饋線計量統計應用於線損與竊電.....	22
圖 參-20 油中氣體分析報告.....	24
圖 參-21 GE Transfix TR Gas Analyzer 及衛星終端 Hughes 9502.....	25
圖 參-22 油中氣體分析資訊平台.....	25
圖 參-23 我方與 BC Hydro 參訪交流.....	26
圖 參-24 本次參訪 GE 公司 Montreal, 加拿大.....	27
圖 參-25 變壓器絕緣套管狀態監測/診斷.....	28
圖 參-26 絕緣套管 C 值變化狀態監測/診斷.....	29
圖 參-27 現行停電量測與診斷方式.....	30
圖 參-28 GE 公司解說設備迅速進展的故障案例.....	31
圖 參-29 Photo-Acoustic Spectroscopy (PAS) 技術於 DGA 之應用.....	33
圖 參-30 GE 公司狀態監測/診斷產品智慧方案.....	34
圖 參-31 GE 公司狀態監測/診斷產品網路通訊方案.....	35
圖 參-32 GE 公司討論過去於 TPC 新竹變電所產品裝設使用情形.....	35
圖 參-33 絕緣紙製造大廠 WEIDMANN 公司及其油品實驗室全球服務據點.....	36

圖 參-34 油絕緣紙材料所衍生出變壓器內部絕緣支持物件相關產品.....	37
圖 參-35 WEIDMANN 解說應用智慧絕緣之監測/診斷以杜絕風險.....	37
圖 參-36 應用變壓器線上監測與診斷產品.....	38
圖 參-37 InsuLogixB installation at BC Hydro Canada. (WEIDMANN)	39
圖 參-38 影響變壓器絕緣的關鍵因子T、M、F	40
圖 參-39 Smart Insulation/ InsuLogix- Family	40
圖 參-40 美國PG&E 位於舊金山市中心之Embarcadero 變電所.....	41
圖 參-41 職於美國PG&E 位於舊金山之Embarcadero 變電所.....	41
圖 參-42 PG&E Embarcadero Substation 地下輸電系統架構.....	42
圖 參-43 Embarcadero Substation 230kV、115kV 輸電系統示意圖.....	42
圖 參-44 PG&E Embarcadero 變電站供電範圍.....	42
圖 參-45 應用智慧化線上監測/診斷與變電設備資產管理	43
圖 參-46 變電所內線上監測數據/智慧診斷系統運作情形.....	43
圖 參-47 變壓器狀態監測/診斷系統 Dynamic Ratings.....	44

表目錄

表格 1 出國行程表	9
表格 2 評估絕緣套管電容變化參考對照表	29
表格 3 評估絕緣套管絕緣變化參考對照表	30
表格 4 PG&E Embarcadero 變電站停電時間與損失估計參考	43

壹、出國目的與過程

本公司智慧電網規劃依循國家智慧電網總體規劃藍圖，執行面供電處負責智慧輸電構面之輸、變電設備智慧化推動，其中規劃導入更多智慧型電網裝置於變電所，最終計畫建置完整之智慧化變電所及智慧輸電網絡，而智慧化變電所的完整內容應該涵蓋哪些，如何規劃、建置；另外如何結合最新資訊與通訊科技(ICT)發展，以達成公司在變電設備資產管理、狀態監視/診斷及預防維護等智慧型電網運用，進而提供更安全、穩定、可靠的供電品質。

此刻推動及未來整合可參酌國外類似情形之實務運轉經驗，此次實地造訪美、加電業，將有助了解國外智慧電網應用、發展與實務面推動階段的成熟應用技術，可作為本公司智慧電網推動及規劃未來變電所智慧化之參考，以提升本公司電力技術及維持輸供電系統之高度競爭力。

貳、出國行程說明：

表格 1 出國行程表

日期	地點	內容
11 月 25 日 (一)	台北→香港→溫哥華	往程 (台北- 加拿大 溫哥華 (宿))
11 月 25 日 (一)	溫哥華	參訪卑詩省水電公司 (BC Hydro) 有關智慧電網現況與電網規劃
11 月 26 日 (二)	溫哥華→蒙特婁	往程
11 月 27 日 (三) ~ 11 月 29 日 (五)	蒙特婁	GE 公司-智慧變電設備線上監測/診斷技術應用方展及解決方案觀摩。
11 月 30 日 (六)	蒙特婁-舊金山	往程 (加拿大-美國)
12 月 01 日 (日)	舊金山	赴沙加緬度 WEIDMANN 公司-參訪變壓器絕緣紙製造大廠有關智慧絕緣方案-套管線上監測/診斷技術與產品應用
12 月 02 日 (一)	舊金山	參訪美國太平洋瓦斯與電力公司 (PG&E)Embarcadero 變電所-了解有關線上監測診斷設備實際應用情形及變電所智慧化現況。
12 月 03 日 (二) ~ 12 月 04 日 (三)	舊金山→香港→台北	返程 (美國-台灣) 註:12 月 3 日夜宿飛機上

參、參訪過程紀要

一、參訪加拿大卑詩省水電公司(BC Hydro)

(一)BC Hydro 簡介



圖 參-1 加拿大卑詩省 BC Hydro 公司

英屬(不列顛)倫比亞省或稱卑詩省(下稱)(British Columbia, 簡稱:B.C.)是加拿大的一級行政區,位於加國最西部,西面靠太平洋,首府位於溫哥華島的維多利亞,該省最大城市是溫哥華;西鄰太平洋,西北與美國阿拉斯加接壤,北邊則是育空地區和西北地區,東邊為亞伯達省,南面為美國華盛頓州、愛達荷州和蒙大拿州;該省面積 944,735 平方公里,是加拿大面積第三大的省(大約是法國、德國和荷蘭的總和)。

加拿大 BC Hydro 電力公司之發電廠總裝置容量為 12GW,並擁有 500kV 之輸電網路,服務 BC 省 95%的用戶約 400 萬人、190 萬戶,其中 90%為住宅用戶。如圖參-3 所示為

BC Hydro 電力系統架構圖。加拿大電力公司輸電系統架構基本上是大陸互聯電網系統，不但與加拿大亞博達(Alberta)省電力系統互聯，更與美國華盛頓電網融通。



圖 參-2 英屬(不列顛)哥倫比亞省 (British Columbia，簡稱：B.C.)

透過 500kV 之輸電線直接與亞博達(Alberta)省併聯，其輸電容量可達 1.2GW；透過 500kV 及 230kV 之輸電線直接與美國華盛頓州併聯，其輸電容量可達 3.15GW，如圖 2 所示；得以見得 BC Hydro 電力已可自給自足外，尚可服務其他區之用戶，在供輸穩定可靠的互聯網絡系統架構下，奠定優良的系統體質加上優渥的地理條件，有著充沛的水力與富有天然氣的油頁岩開採，得已擁有良好的競爭優勢。

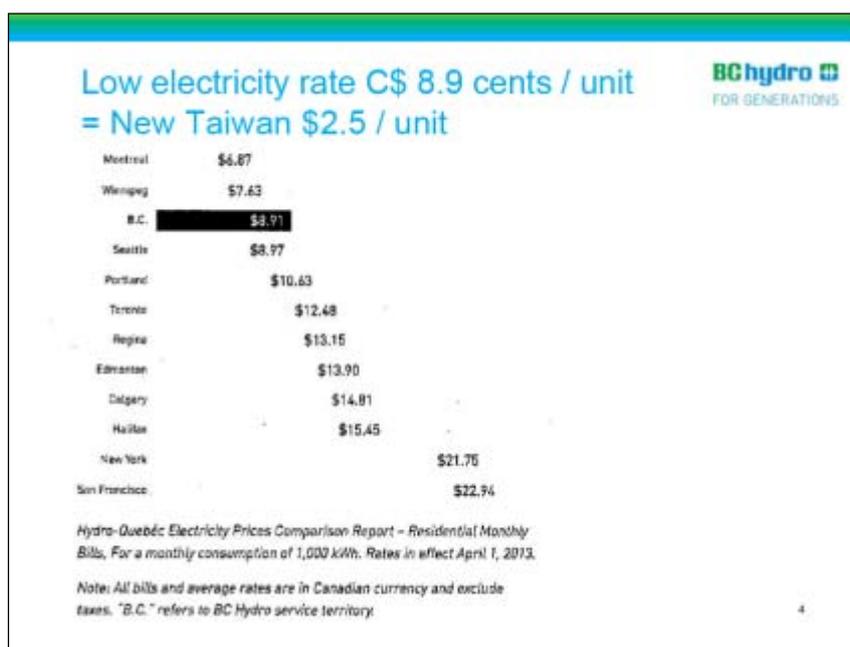


圖 參-5 BC Hydro 引述北美地區電價比較圖

(二) 智慧電網規劃與進展

BC Hydro 電力公司其發電方面擁有 41 個水壩、30 個水力發電廠、9 個火力電廠；輸電方面擁有 18,000 回線公里的輸電線、300 個變電站、22,000 個高壓鐵塔及一個控制中心協調四個區域系統，並與亞博達省(Alberta)及美國(USA)系統併聯；配電方面擁有 56,000 公里的配電線、約 90 萬個電線桿、30 萬具變壓器等；服務約 400 萬人口、190 萬戶，其中 90%為住宅用戶，

BC Hydro 已擘劃未來 10 年的電力系統智慧計畫，並跨出 Smart Grid 第一步。面對經濟增長相對電力需求增長，卑詩省水電價格於 2013 年 11 月 26 日由省政府宣佈的新 10 年計畫(價格 10 年計畫)繼以推動永續建設。此舉亦是為了日後營運能夠肩負得起、可靠的電力系統，同時作出正確的投資，以更新必要基礎設施、升級和維修，以滿足這種多元且日益增長的需求。

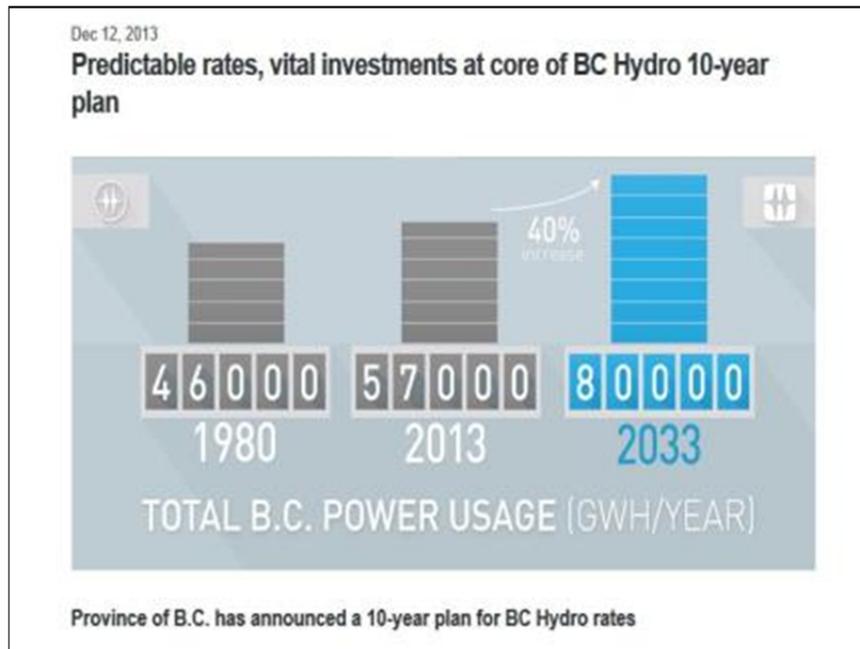


圖 參-6 BC Hydro 2013 預估未來 20 年至 2033 年用電成長

卑詩省的電力系統的大部分是 1960 年代至 1980 年代建的。電力系統上網絡的設備需要進行大修甚至汰換，以確保可以為客戶持續提供安全和可靠的電源與服務。此外，面臨現行系統的許多瓶頸，在面對處理日益增長的電力需求上也需要因應升級，就實際上所規劃需求未來 10 年需投注\$17 億元(加幣)，才足以應付每年遞增增加的傳輸容量。

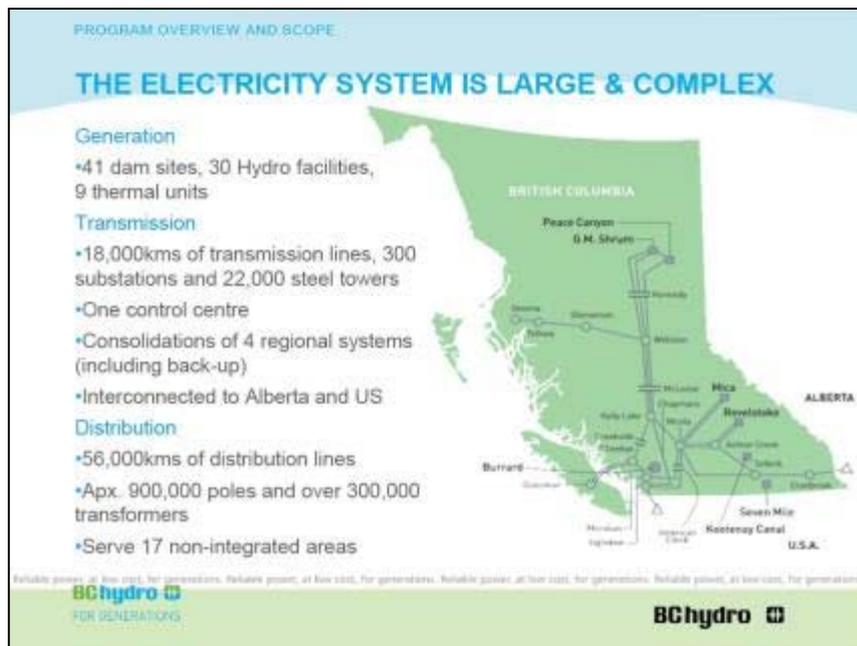


圖 參-7 BC Hydro 廣闊及複雜的電力系統

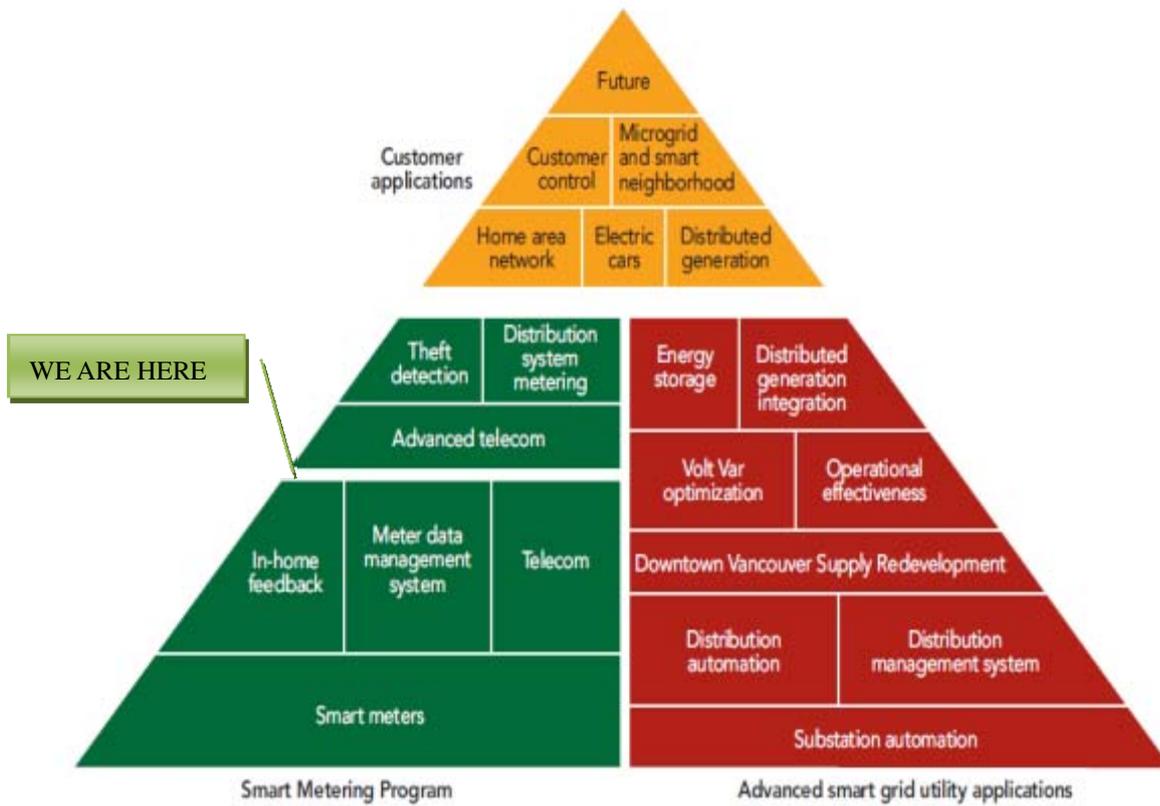


圖 參-8 BC Hydro 智慧電網願景及推展現況

CURRENT PROGRAM STATUS

WHERE ARE WE TODAY?

- Meter installation at over 96%
 - Full project installation of almost 1.9M meters
 - Revisiting communities throughout the province to complete installations
 - On budget
- Almost 1.6 million customers are able to access detailed energy use information
 - Through their MyHydro online account
- Network and communication upgrades continue
 - Router and range extender installations
 - Network stability and connectivity testing



Reliable power, at low cost, for generations. Reliable power, at low cost, for generations. Reliable power, at low cost, for generations. Reliable power, at low cost, for generations.

BChydro FOR GENERATIONS **BChydro**

圖 參-9 BC Hydro AMI 推展現況

於 BC Hydro 與 BC 省政府共同努力下，考慮了電費價格壓力因此提供給用戶正確且嚴謹的費率，計畫在未來十年的建設規劃上以精確投資抑低不必要支出，並盡可能在基礎設施方面的投資持續可能找到節約成本的方式。並確信電源智慧計畫，以減少電費率的影響。

BC Hydro 所規劃的智慧電網，在推動先進感測計量、資訊傳輸技術在電網的應用，包含智慧電表基礎建設、配電自動化、配電管理系統、變電所智慧化、分散式能源整合、電壓/虛功最佳化、竊電偵測、先進通訊商業服務、先進 SCADA 系統等，其他客戶未來衍生服務的應用。

在智慧電表基礎架構如圖參-8 所示，目前階段推展現況於 AMI 完整建置，目前已建置 190 萬戶，而約 160 萬戶可上線查詢用電詳細資料，其他通訊尚在調校中。AMI 完成建置後的下一步將深化與配電網路之資訊整合，著重於更新傳統電表為帶通訊功能之智慧電表，強化電表資料蒐集；此外在系統整合上強調與配電網路的計量電表應用建設，以確認竊電、線損及供電瓶頸區域之監控；在家庭方面強化家庭能源管理系統之應用，以並已初步試行結合 AMI 智慧功能於解決線路損失與竊電問題上獲得成效。未來也逐步朝向發展支援電動車、分散式電源及微電網應用等，衍生之附加價值。以成熟技術應用為階段目標，式需求定位循序漸進務實推動，此可供台電參考。

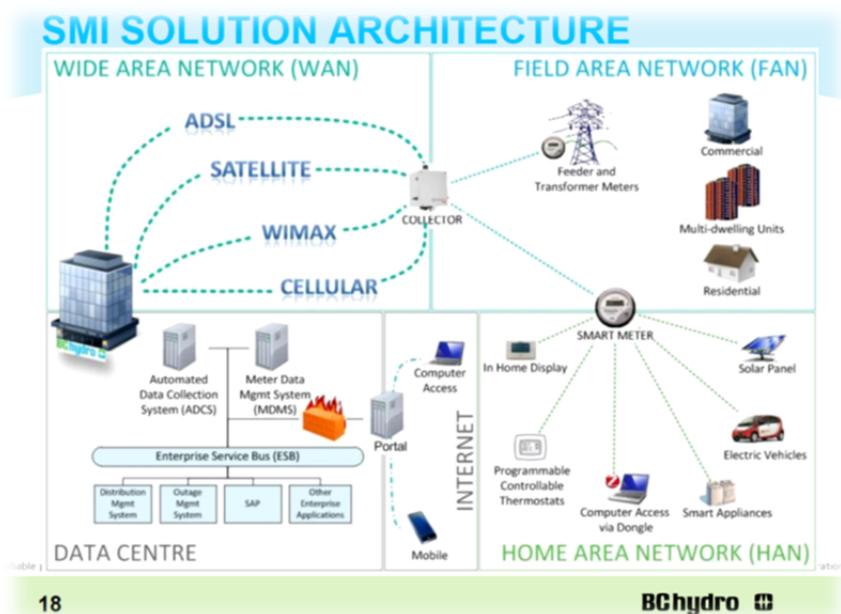


圖 參-10 BC Hydro AMI 應用基礎架構示意圖

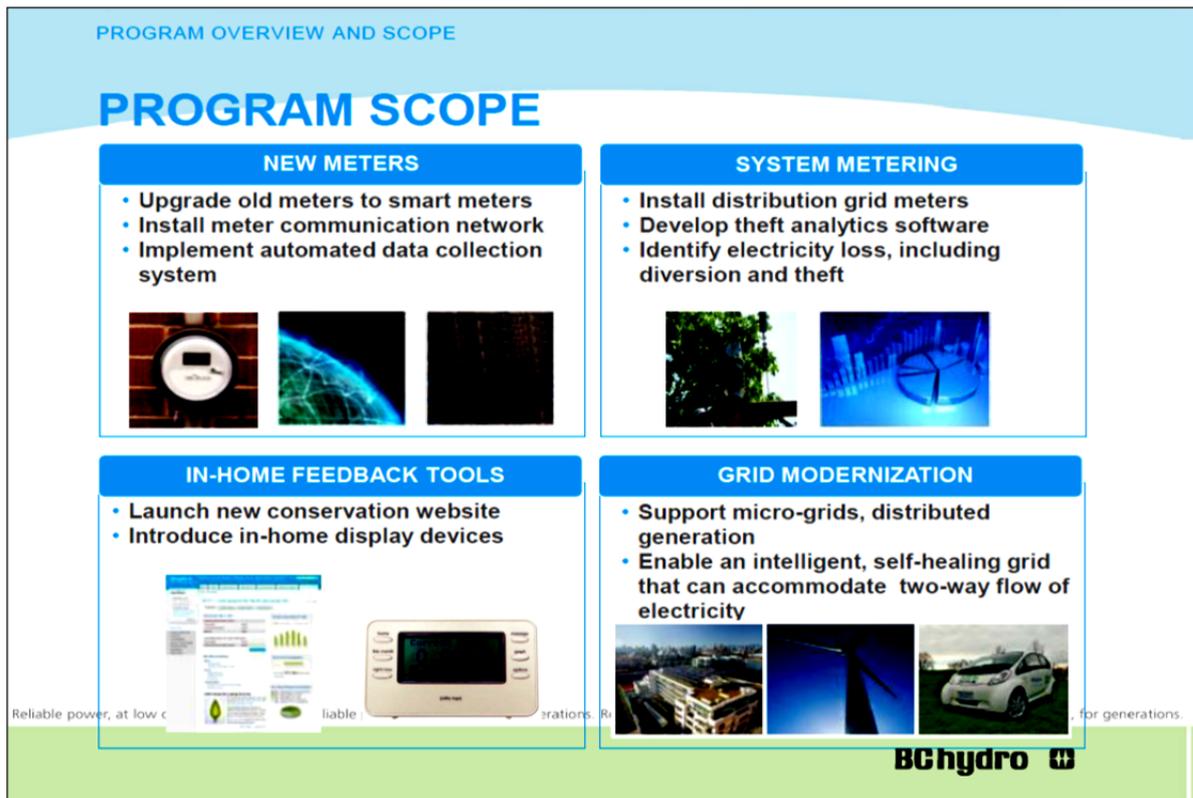


圖 參-11 BC Hydro AMI 應用範疇

(三) 線上監測與診斷技術實務應用現況

1. 線上即時部分放電監測於地下電纜之應用

部分放電(Partial Discharge)是處於高應力下電力設備出現微小或局部的絕緣固體或液體之電氣絕緣系統破壞，顯示該設備之絕緣應力強度已出現弱點，初期徵兆出現可能不明顯，隨著高應力及時間進展出現頻率及會增加情況亦將更形惡化，最後導致絕緣系統急速劣化崩潰以致設備故障，因此監測電力設備，PD 的徵兆是正確且有效的做法，同時要了解 PD 的發生是因絕緣能力承受不住高應力出現弱點之受破壞現象，出現時機未必長時間持續，但會隨時間成指數倍數發生，若僅單靠隨機檢測往往可能遺漏以致錯過發現故障之寶貴先機。

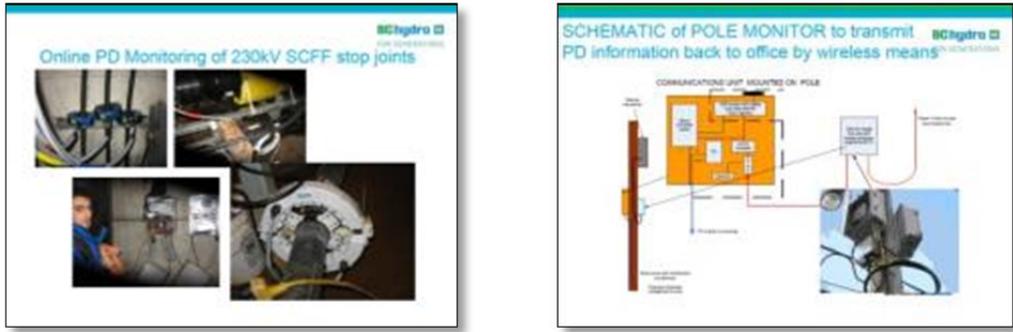


圖 參-12 線上監測之部分放電應用示意圖

2. 光纖偵溫於海底電纜應用

溫哥華島（英語：Vancouver Island）位於加拿大 BC 省的西南角。該島長約 460 公里（285 英里），寬 50-80 公里（30-50 英里），面積達 31,285 平方公里（12,221 平方英里），是北美大陸西海岸最大的島嶼，也是世界第四十二、加拿大第十一大島嶼。該島名字得自於喬治·溫哥華，這位前英國皇家海軍官員於 1791 年到 1794 年間考察了整個東北太平洋海岸。根據 2002 年的統計，溫哥華島總人口約為 750,000 人，其中近一半（約 326,000 人）居住在該島南端的維多利亞市。島上其它主要城市還包括納奈莫（Nanaimo），艾伯尼港（Port Alberni），科特尼（Courtenay），以及坎貝爾里弗（Campbell River）等。而不列顛哥倫比亞第一大城市溫哥華市並不在溫哥華島上。溫哥華市位於北美大陸，而溫哥華島是一個外島，兩者全無關係，只有名稱上的雷同，因為兩地皆為探險家喬治·溫哥華所發現。

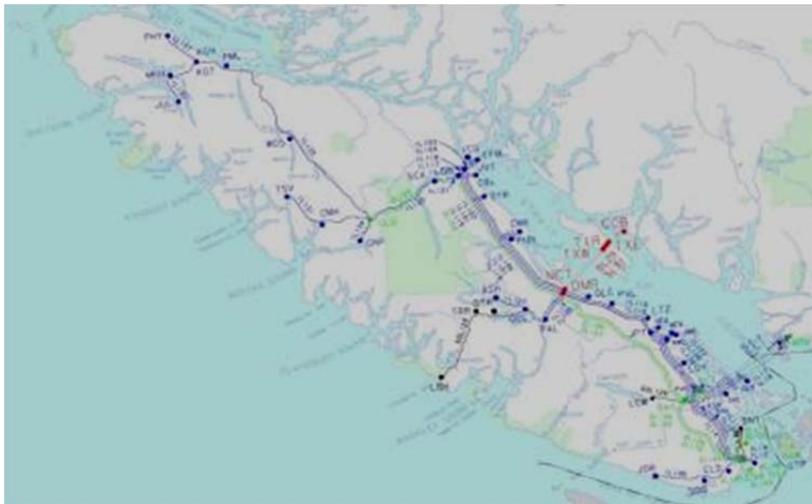


圖 參-13 BC 省 溫哥華島交、直流海纜及輸電系統架構

溫哥華島上的電力輸送骨幹為2回500kV 海纜，並且仍舊存在早期佈建的HVDC海纜，其中2回高壓直流輸電海纜更已建置運轉長達50年以上(D.C 300kV_1 建置於1969年、D.C 300kV_2 建置於1976年、IL-18、1L-17 建置於1950年，525kV 線路 5L-29 則於1984年加入運轉)。為有效監控運轉資訊，於海底電纜變電站管路引出至入海處，佈設光纖偵溫監測系統、電纜油壓偵測系統以及於人孔電纜接續處之部分放電監測系統，即時掌握海底電纜運轉情形回饋至運轉中心供調度人員及時有效資訊。



圖 參-14 BC 省 溫哥華島海纜連接開關站



圖 參-15 光纖終端引出裝置

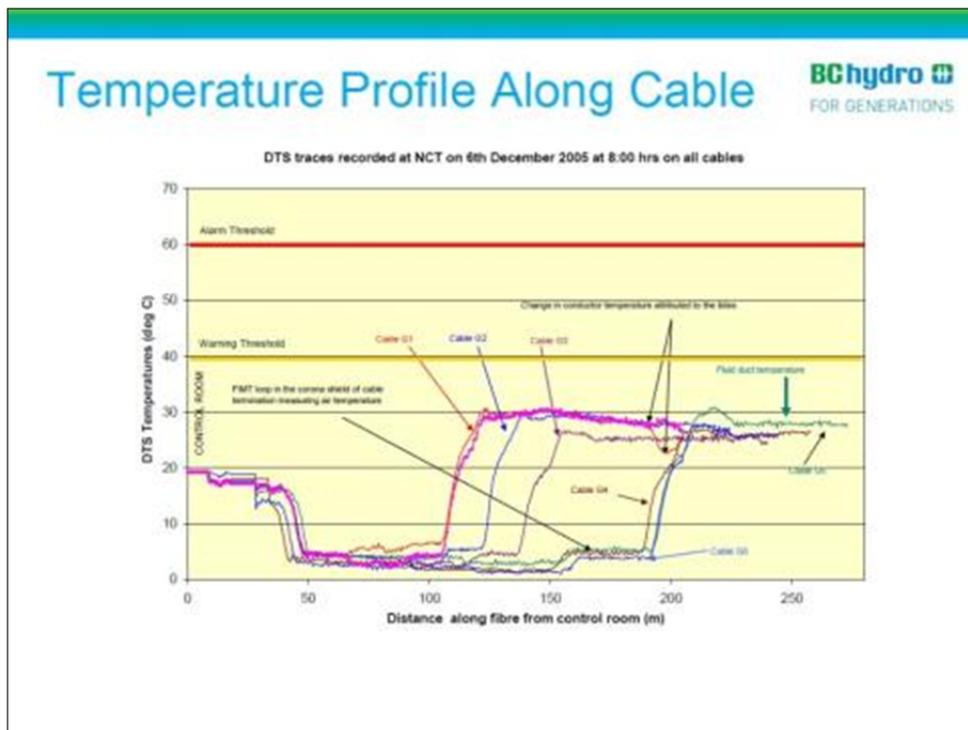


圖 參-16 海纜(管道)溫度曲線

3. AMI 於即時復電、抑低竊電、家戶用電資訊之應用

PROGRAM BENEFITS

GET LIGHTS ON FASTER, SAFER

- Meter reports disconnections to pinpoint outages faster

Ladner, BC outage (November 24, 2012)
caused by a severe winter storm

Reliable power, at low cost, for generations. Reliable power, at low cost, for generations. Reliable power, at low cost, for generations. Reliable power, at low cost, for generations.

BC Hydro

圖 參-17 AMI 應用雙向通訊於快速復電

歐美國家電力企業普遍為民營企業，為了電費計價通常將 AMI 列為智慧電網的先行建設，然而國營的 BC Hydro 也是如此，因為基於智慧電表上的應用已趨成熟，因此於普及 AMI 電表的同時，一面也將各種應用完善建構，其中具體應用的包括以下：

■ 快速安全的復電

運用智慧電表雙向的基礎功能，可以更快更精準地回報停電區域、用戶與範圍呈現，相較於以往的通報方式可以大幅縮短搜尋即回應處理的時間。

■ 有效抑止竊電

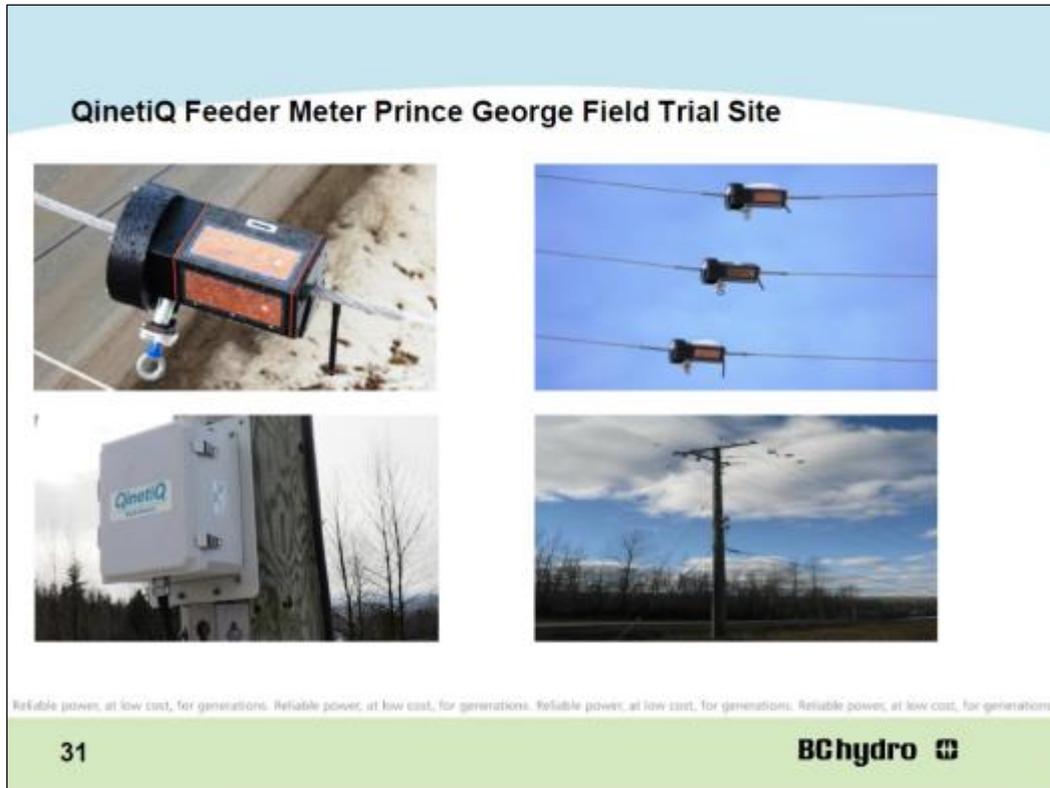


圖 參-18 運用線上智慧表計及時監測線路利用及蒐集用電資訊 QINETiQ 產品

運用智慧電表累計傳輸量在與各分量進行比較，可輕易的將線路系統上電力傳輸損失與系統受竊電的損失加以區分，再進而打擊竊電之不法行為。此方面的應用成效與貢獻最卓著。

- 安全:保障電業員工及公眾用戶的安全
- 財務:有效抑制竊電可每年達\$100M/CAD
- 保護:降低約 7%的家戶用電負載
- 可靠:避免每年超過 100 件非自然因素之變壓器故障

■ 有效的保護配電設備

對於配電線路上的設備如變壓器等，在其過負載情形下及早發覺，可有效避免因此形成故障進而影響用戶用電及電業公司的設備。

■ 有效的降低成本提升效能改進供電品質

再充分蒐集用戶用電資訊及地區用電負載模型，可以進額提供長程的配電供應規劃，並且有效精準預估負載需求，避免設施過度建置或不足，如此一來不僅降低成本更提升了用路用電的品質。

■ 增加用戶用電安全

較早期的數位電表提供 385V 的耐壓，而更早的傳統類比電表則無任何保護，對的現今使用的智慧電表在電壓上提供了更高(575V)的突壓保護，以及過負載偵測使電業了解用戶在用電設備上已過當初規劃服務的用電需求，同時在安裝 AMI 電表的同時也一併檢測表計的插座，此曲可以大幅降低用戶電氣火災，雖然過去也有進行檢查，但此項工作卻無法做得徹底。

■ 線上提供檢視/追蹤每個用戶的用電情形

使每個用戶在線上透過自己的帳號可以得知自己的用電情形，也提供用戶節地計畫並可依設定自動給予通知，就過去的研究分析，透過家戶了解用電特性資訊，並參造時間用電規劃，可以節省 15%的用電。

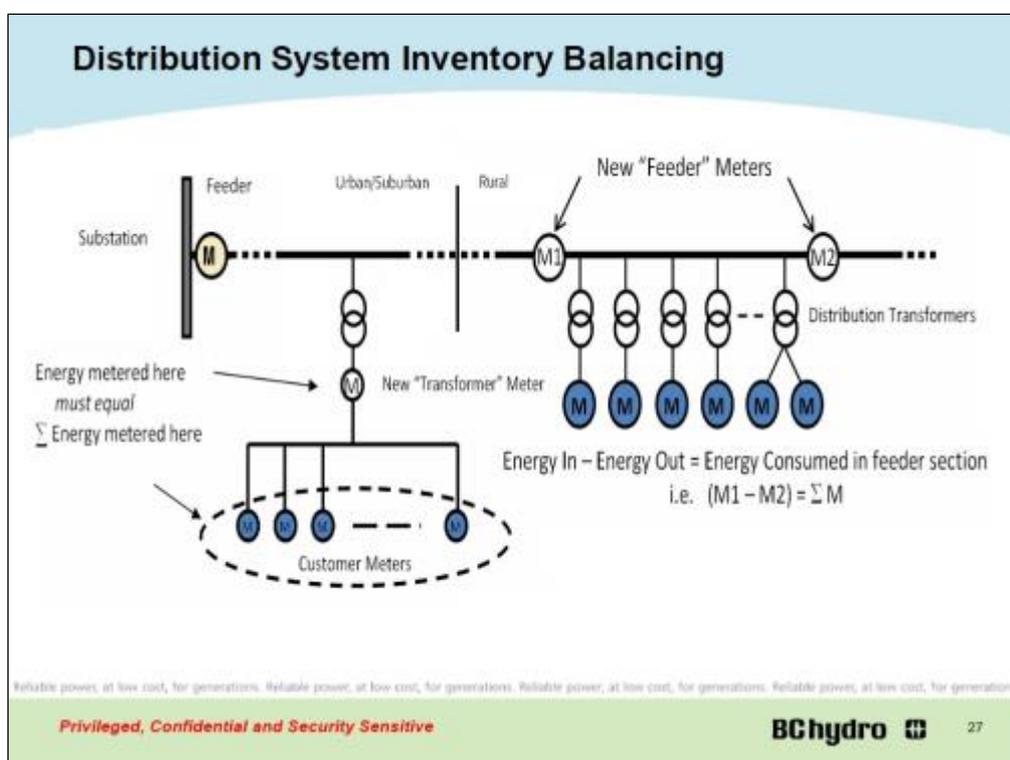


圖 參-19 AMI 電表於主變及饋線計量統計應用於線損與竊電

4. 變壓器油中氣體分析 Dissolved Gas in Oil Analysis(DGA)

對於變壓器油中氣體分析的監測與診斷上，BC Hydro 同樣是使用我們所熟悉的 DGA 線上監測儀器(形式包含 GE Hydrans、GE/Kelman 8 gas monitors)，對於使用變壓器油絕緣進行分析診斷的主因更是無庸置疑，因為此種方式有 2 項主要優點即(1)以非侵入式的方式可以有效正確可靠的診斷變壓器內部運轉組件的狀況 (2)在電氣量測上無法檢測出結果時便能有效發覺的設備故障初期的細微特徵，使得以有效因應，防止設備不預期故障所造成停電損失。

DGA 氣體分析是透過絕緣油取樣本中各種氣體分量、衍生增加率及可燃氣體總量(TCG)等資訊藉由成熟的分析方式間接診斷出變壓器內部出現異常之可能原因與部位。

標準 DGA 油中氣體檢測包含了 9 種溶解於油中之特徵氣體(包含: C₂H₂、C₂H₄、C₂H₆、CH₄、CO、CO₂、H₂、O₂、N₂)以及油中含水量 H₂O，國際間利用 DGA 分析診斷方式包含中 IEC、IEEE 之診斷模式可診斷出內部過熱及異常放電現象，而對於設備內部異常部位診斷，可輔以日本電協(2009)發表之等效過熱面積、趨勢圖、線型 SVM 等加以驗證並結合前述診斷提出綜合診斷方式應用，此方面應用本以提升診斷結果之準確性。

BC Hydro 目前在執行 DGA 分析應用上出現以下困擾：

- (1) 供電範圍廣闊設備建置處所遙遠，卻仍須靠技工親赴現場進行變壓器絕緣油取樣(離線分析)成本可觀。
- (2) 取樣後的油樣本同樣仍得大費周章送至電力油品實驗室進行分析。
- (3) 須等電力試驗室出具 DGA 分析報告，自取樣至報告出爐時間往往長達 1 個月。
- (4) DGA 試驗分析成本可觀。

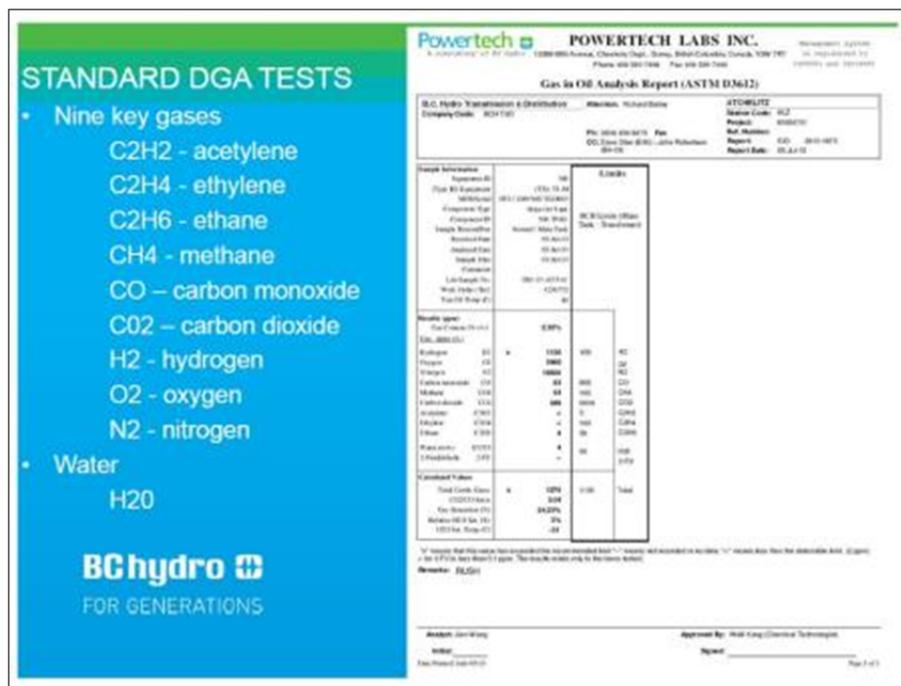


圖 參-20 油中氣體分析報告

應用線上 DGA 監測儀器則可以解決 BC Hydro 前述困擾？得到的答案：不完全是。

出乎意料，BC Hydro 僅有極少數的變壓器監上監測系統運行（除部分高風險設備），理由是目前使用的為老一代的 GE Hydrans，以及部分較新的 GE/Kelman 8 gas 監測產品（約 5 部與輸電系統）。未大量建置線上診斷設備的原因之一：是以過去基於輸、變電設備本身已具良好可靠性，考量建置成本分析投資之效益。原因之二：在監測通訊上為使監測設備達到所要求可靠度應投資建置之成本費用高昂。

不過基於健全智慧輸電網發展，仍與時俱進引用部分新型的變壓器 DGA 線上分析產品 GE Transfix Transformer Gas Analyzer，此項展新產品結合衛星通訊資料傳輸終端及天線模組 Hughes 9502，以及 GE Perception 專家診斷軟體。

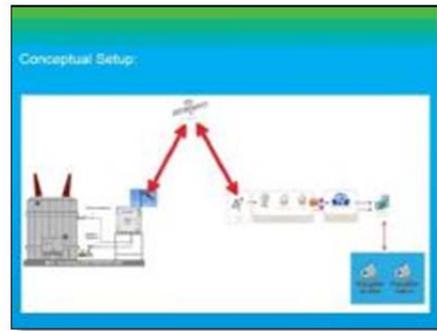


圖 參-21 GE Transfix TR. Gas Analyzer 及衛星終端Hughes 9502

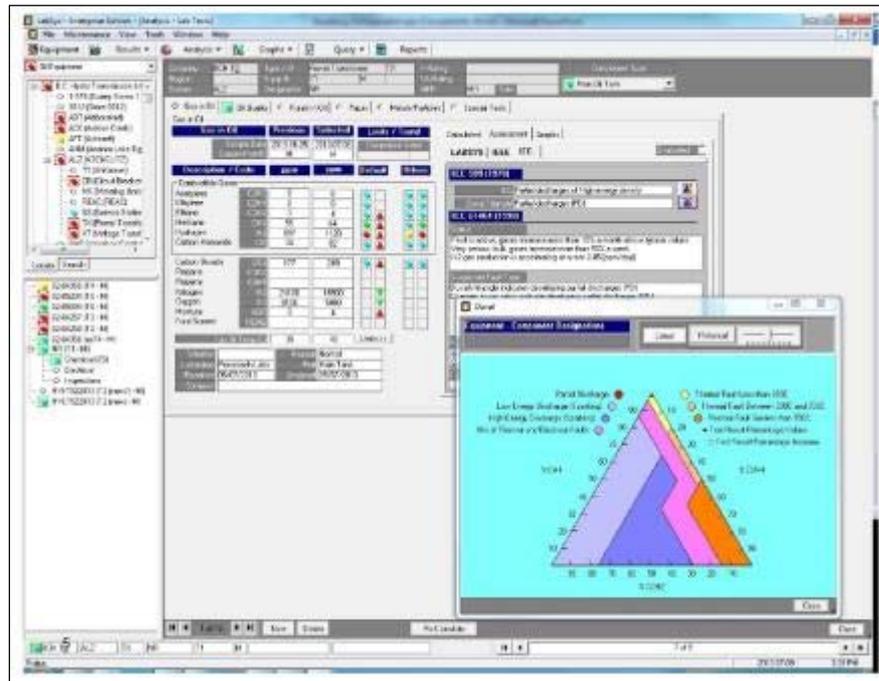


圖 參-22 油中氣體分析資訊平台

討論中 BC Hydro 也分享了使用 GE Transfix Transformer Gas Analyzer 的優缺點分析供本公司參考：

優點：

- (1) GE Transfix Transformer Gas Analyzer 使用的是 GE 公司展新技術應用，利用內建式 Photo Acoustic Spectroscopy (APS)分析技術原理，此種內建式分析可有效避免(針筒)油樣本取樣過程汙染，影響分析結果。
- (2) 對於供電系統幅員廣闊的 BC Hydro，結合 Hughes9502 衛星訊終端模組可以輕易快速建置此診斷設備。

- (3) 透過專家系統分析軟體，可以有效隨地下載分析紀錄資料進行分析。
- (4) 大幅節省變壓器絕緣油取樣及送試之人力、成本與時間。

缺點：

- (1) 相較油樣本送實驗室分析結果仍有差異。
- (2) 衛星通訊的安全考量是一項新的議題，同時並有些變壓器設置處所並非開放空間此影響的衛星通訊傳送。
- (3) 衍生出高額的衛星通訊費用。



圖 參-23 我方與BC Hydro 參訪交流

二、參訪 GE 公司、WEIDMANN 公司（線上監測、診斷儀器暨智慧方案供應商）

（一）GE 公司簡介

通用電氣公司（General Electric Company，簡稱 GE），又稱為奇異公司：世界上最大的電器和電子設備製造公司及提供技術和服務業務的跨國公司。GE 是一家多元化公司，產品和服務範圍從飛機發動機引擎、發電系統、金融服務、水處理到醫療影像及媒體，全球的 GE 員工致力於將創意轉化成優勢的產品和服務，幫助客戶解決最棘手的問題。一直以來，湯瑪斯·愛迪生以其發明天分被人們稱頌。鮮為人知的是，愛迪生在商業領域的卓越開創才華。他將多種業務整合併將發明應用於市場，而這正是今日 GE 發展的基石。

GE 公司與台灣的發展與建設息息相關。1940 年代，GE 提供我國空軍飛機引擎及相關服務；1950 年代，GE 與台灣電力公司合作，全力供應發電機組；1960 年代，GE 投身參與台灣十大建設，包括中山高速公路、大煉鋼廠、鐵路電氣化，以及核能發電廠。



圖 參-24 本次參訪 GE 公司 Montreal, 加拿大。

1970 年代，GE 正式在台設立分公司，由世界各地派遣專業人員來台，提供各行業專業的商品與服務；1980 及 1990 年代，GE 與台灣產業攜手進行產業技術合作升級，並擴大提供民生相關產品服務。

1. 線上監測與診斷產品應用

(1) 絕緣套管狀態監測/診斷技術與智慧方案

變壓器套管是由數個 condenser 層就像是電容器（串聯的電容器）所組成，使電壓均勻地分佈在套管絕緣上。當電容器層短路時，總的電容（C1）增加。電容 C1 是中心導體（內部電容器）和分接頭（外部電容器）之間的電容因此，任何在分接點測得的電流增加，意味著串聯電容器中的一個是劣化的，因此可用來監測在電容 C1 的變化在盡早階段提供故障預警給運轉及維護人員，提供變壓器套管的狀態健康訊息。



圖 參- 25 變壓器絕緣套管狀態監測/診斷

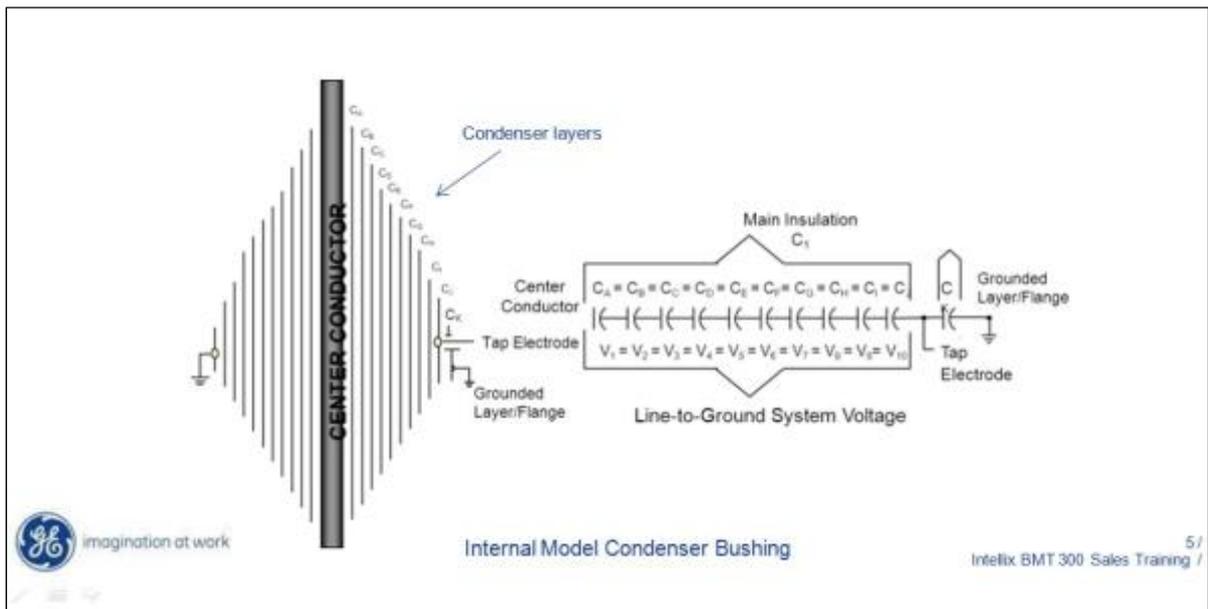


圖 參-26 絕緣套管 C 值變化狀態監測/診斷

使用評估絕緣套管的兩個重要因素 2 個關鍵參數：「電容變化」及「絕緣變化」：

電容變化：

C1 值(或漏電流)的%變化 表示套管中電容的減少，表示電介質效率不佳，可能是污染問題造成（濕氣進入，油污染）或電容器層的擊穿和短路，電容變化的參考對照係銘牌電容值的變化率。

表格 2 評估絕緣套管電容變化參考對照表

銘牌的電容值	診斷及對策
+/-5%以下	套管可接受
+/-5% ~ +/-10%	密切監控套管
+/-10%或更高	更換套管

絕緣變化：

功率因數 PF 值（或 Tan Delta)的 % 變化系指絕緣整體的劣化。這是最廣泛使用的測試，但它可能會掩蓋只有電容的改變。

表格 3 評估絕緣套管絕緣變化參考對照表

銘牌的 PF 值	診斷及對策
銘牌 PF 的 150% 以下	套管可接受
銘牌 PF 的 150%到 200%	密切監控套管
銘牌 PF 的 200%以上	更換套管

目前絕緣套管維護方式採用的是定期進行離線測試的方式來驗證套管，例如：密切檢視套管裂縫/缺陷、監視內部的油位、測量套管電容 (C1) 及測量套管的功率因數 (PF) 等，並且透過量測的測量值與之前的測試值做比較，尋找任何增加值或趨勢的增加藉以比對判斷。存在的缺點是定期檢測亦隱藏著維護成本，諸如：它需要花時間，維護人員人力成本同時承擔工作風險，另需變壓器設備停電，且是在較低的電壓和與運轉時不同的溫度條件（由於無負載情況下）下進行，因此可能無法呈現所有故障徵兆，最重要的是，因為需要安排設備停電檢測，一般有每隔數年周期進行測試。套管的關鍵問題都可能在一個相當短的時間內，及在兩次檢查之間發生，定期測試將無法檢測到迅速進展的故障問題。然而透過線上監測與診斷設備(系統)可以持續檢查和檢測故障的早期階段發展，使能計劃性停機維修/更換，防止災難性故障的發生。



圖 參-27 現行停電量測與診斷方式

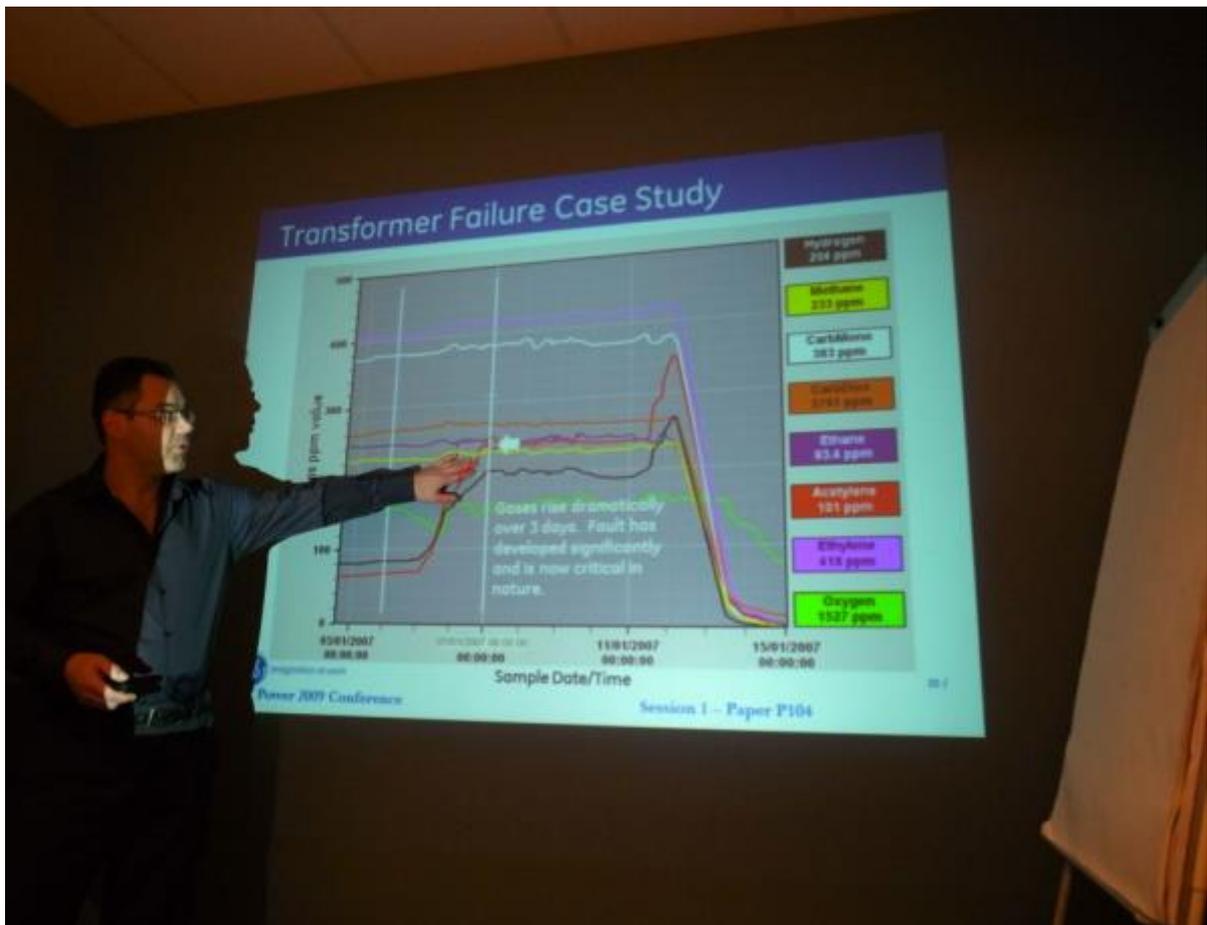


圖 參-28 GE 公司解說設備迅速進展的故障案例

(2) 油中氣體監測/診斷技術與智慧方案

市面上變壓器油中氣體線上監測設備主要分為兩大類：簡單成份油中氣體偵測器、多成份油中氣體偵測器。簡單成份油中氣體線上監測設備通常利用半滲透膜將油與油中氣體分離，然後直接測量氣體濃度，主要的特徵是線上監測變壓器油中如 H_2 、 CO 等單一特性氣體成份含量或者是以它為主的混合氣體濃度。例如加拿大 GE Syprotec 公司的 Hydran 201Ti 即是此類產品。

目前廣泛應用於 DGA 線上監測變壓器多成份油中氣體線上監測方法主要有以下幾種：

(1) 氣相層析法 (GC, Gas Chromatography)

為現今使用較廣泛的分析方法。該法運用於電力變壓器油中氣體線上監測時，由於現場環境較為嚴苛，易遭遇儀器校正不易、分離管老化故障、維修困難等問題。

(2) 薄膜滲透油氣分離法

基於氣體的擴散原理，使用只滲透氣體分子而不能滲透油的高分子膜，利用膜兩側的變壓器油和氣室內氣體壓力的不平衡性，使氣體自動從變壓器油中向氣室擴散而達成油氣分離。目前研究出的能夠用於油氣分離的滲透膜主要是高分子聚合物分離膜，有聚酰亞胺、聚六氟乙烯、聚四氟乙烯等。例如 GE Syprotec 公司的 FARADAY Transformer Nursing Unit (TNU)。TNU 內部應用傅立葉轉換紅外光譜儀(FTIR)根據不同氣體在特定波長處的紅外吸收量，可以檢測出 C₂H₂、C₂H₄、CH₄、C₂H₆、CO、CO₂ 等紅外活性氣體，由於 H₂ 不具有紅外活性，TNU 使用 HYDRAN 偵測器來檢測 H₂。

(3) 光聲光譜法 (PAS, Photo Acoustic Spectroscopy)

為利用光與物質間相互作用的光譜法。將變壓器油中分離的氣體置於密閉容器中，用具有與該物質的吸收波長相同頻率的光，間歇性的照射，油中氣體將間歇吸收其放出的熱，使氣體發出疏密波及聲波，該聲波用壓力感測器，如揚聲器與壓電元件，檢測出來的光譜即稱為光聲光譜法(PAS)。它在靈敏度、選擇性、動態檢測範圍及維護費用低廉等方面顯示了獨特的優點，其在變壓器油中溶解氣體線上監測具有應用潛力。

採用溶解氣體分析(DGA)進行變壓器狀況分析的重要性已廣為人知。傳統的做法是採用氣相色譜(GC)技術分析油中溶解的七種主要的故障氣體。而最近，英國凱爾曼(Kelman)公司則成功實現了將光聲光譜(PAS)技術應用於溶解氣體分析。

光聲效應是由氣體分子吸收特定波長的電磁輻射(如紅外光)所產生。氣體吸收輻射後導致溫度上升，此時如將氣體置於密閉容器，溫升相應導致氣體壓力增高。如採用脈衝光源照射密閉氣體，利用靈敏的微音器即可探測到與脈衝光源頻率相同的壓力波。

但若將光聲效應用於實際檢測，則須滿足兩個前提條件，首先需要確定每種氣體特定的分子吸收光譜，從而可對紅外光源進行波長調製使其能夠激發某一特定氣體分子；其次則是確定氣體吸收能量後退激產生的壓力波強度與氣體濃度間的比例關係。

因此，通過選取適當的波長並結合檢測壓力波的強度，就不僅可驗證某種氣體是否存在，更可確定其濃度。甚至對某些混合物或化合物也可作出定性、定量分析。而

這也正是應用光聲光譜技術 (PAS) 的優點，此即 GE 公司應用於 DGA 之線上監測診斷產品上之革命性技術。

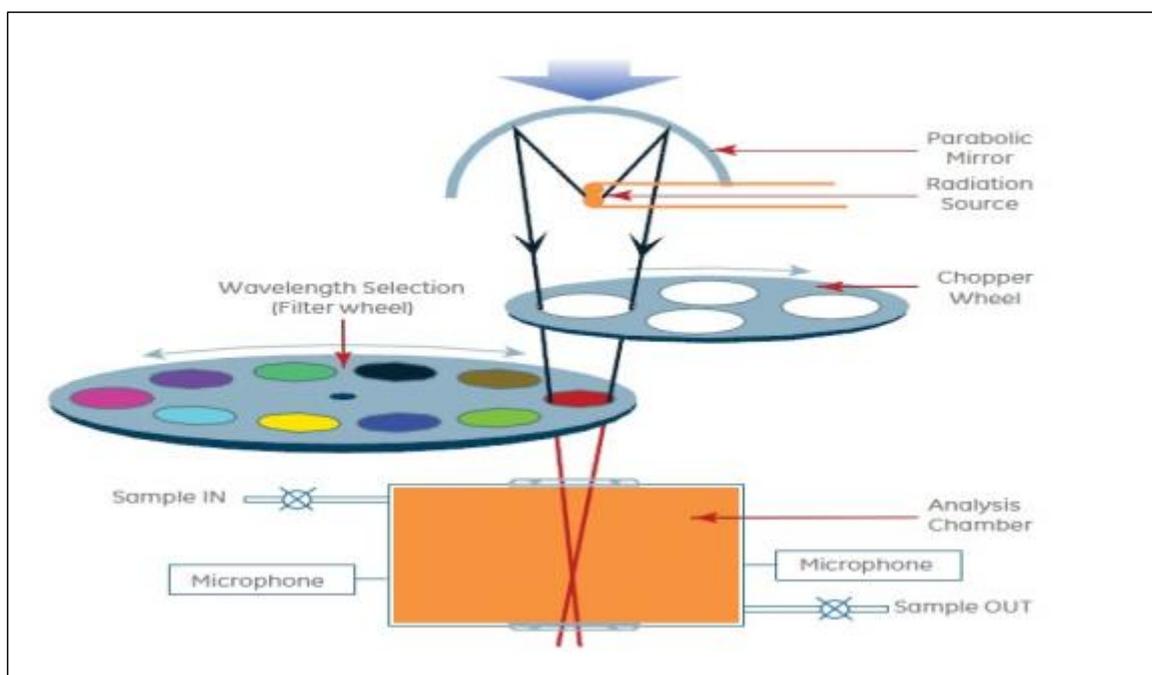


圖 參-29 Photo-Acoustic Spectroscopy (PAS) 技術於 DGA 之應用

依據設備廠商 GE 公司提出的 Photo-Acoustic Spectroscopy (PAS) DGA 白皮書，光聲光譜法和傳統的變壓器油中氣體檢測儀器相比較有以下一些優勢

- 由光聲光譜測量部件特性而知，較傳統的氣相層析儀(GC)而言，光聲光譜分析儀所需的校驗工作將大為減少。
- 光聲光譜檢測無需氣相層析儀中所需的消耗品，如載氣與標準氣體等。
- 採用光聲光譜的儀器內光聲室（一般僅 2-3mL）容積較小，僅需少量樣品即可進行測試，且便於迅速清理光聲室以滿足快速、連續測量的要求。通常光聲室的清理時間僅為 1-2 分鐘，而多數實驗室氣相層析儀則需要十分鐘的清理時間。
- 目前產品 TRANSFIX 能夠檢測變壓器油中 8 種故障氣體，及油中的水分含量。操作簡單，不易產生污染。
- 由於系統採用光聲光譜測量氣體含量，因此沒有傳統的分離管老化、污染、

飽和等缺點。

- 系統在運行過程中，不需要頻繁校準。
- 充分考慮變壓器現場的惡劣工作環境，因此系統具有較好的抗振性，較高的防護等級。由於內部具有溫度補償功能，因此其受環境溫度影響小，在 -40°C ~ $+55^{\circ}\text{C}$ 都能正常的工作。

光聲光譜法 Photo-Acoustic Spectroscopy PAS 應用於 DGA 的手法，已經明確的解決線上線測上過去基於氣相層析法 (GC, Gas Chromatography) 的基本缺點。並且 GE 公司認為其新穎的線上監測技術應用，提供了一個真正的替代氣相層析法並且已成功在油氣體分析領域運作。

經過長時間的應用分析，PAS 儀器是非常穩定的，可重複的監控適合於嚴格的環境和運作手段與遠端監控變壓器相關的要求。PAS 是監測關鍵變壓器的嶄新的高階技術標準。



圖 參-30 GE 公司狀態監測/診斷產品智慧方案

通訊方式 - 多位使用者

- 乙太網路連接 (10 Mbps only)
- 透過Modbus TCP, 最多3個主控站

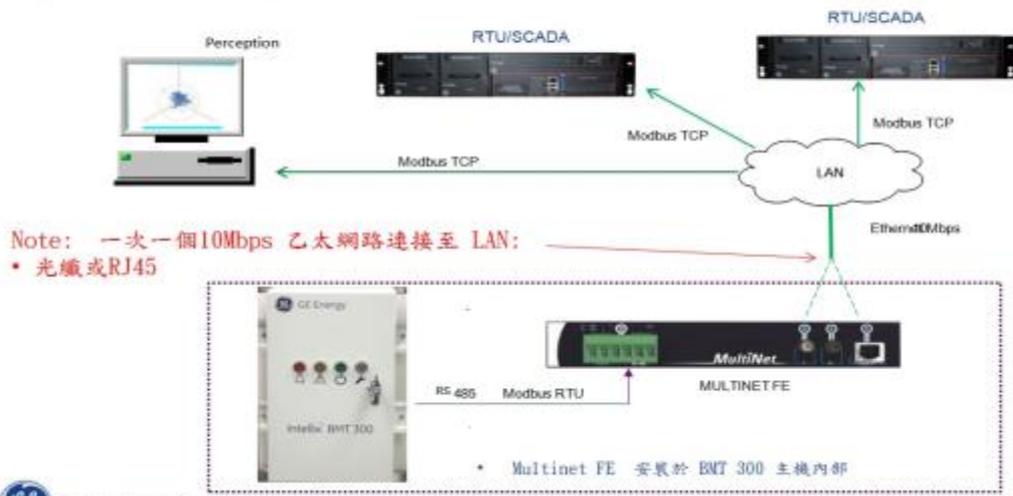


圖 參-31 GE 公司狀態監測/診斷產品網路通訊方案



圖 參-32 GE 公司討論過去於 TPC 新竹變電所產品裝設使用情形

(二) WEIDMANN 公司簡介

WEIDMANN 公司是1877年Heinrich Weidmann所創立的，主要從事絕緣紙等材料生產，於二次世界大戰期間為高壓絕緣材料供應商，WEIDMANN 公司在絕緣材料上已有超過120年的歷史，現在公司主要業務除供應全球變壓器絕緣紙之生產外，更提供變壓器設計服務、檢測、維護等服務。而在智慧電網方面提供智慧絕緣材料、絕緣檢測及異常訊號回報等技術服務等，具體說明參考圖33所示實驗室檢測性服務、絕緣油檢測技術服務、電機工程設計技術服務及教育事業等。



圖 參-33 絕緣紙製造大廠 WEIDMANN 公司及其油品實驗室全球服務據點

參訪 WEIDMANN 公司位於 Sacramento 的技術研發中心，主要從事電力變壓器之動態監測及變壓器絕緣油檢測實驗室，而技術細節主要應用光學技術與絕緣油檢測分析技術(摻雜、裂化、環保等)，整合相關技術以開發油中氣體檢測設備，併入變壓器中做

壽命監控設備達成智慧變壓器的功能之一，透過資訊互通性相關資訊回傳系統之設備資產管理系統，以達成智慧變電所之變壓器設備智慧化。



圖 參-34 油絕緣紙材料所衍生出變壓器內部絕緣支持物件相關產品

1. 線上監測與診斷產品應用



圖 參-35 WEIDMANN 解說應用智慧絕緣之監測/診斷以杜絕風險

變壓器劣化情況視運轉中之溫度、溼度、氧氣等絕緣物影響程度，以及受雷擊、開關突波之異常電壓、外部短路事故等電磁應力的累積等，上述因素減弱其介質及機械強度而增加變壓器故障潛在風險。

在智慧監測與診斷產品發展策略上，WEIDMANN 所提出的是一個稱為「智慧絕緣」解決方案 Smart Insulation，主要是結合一系列主力產品，其中包括油中濕氣含水量監測、變壓器套管絕緣介質監測診斷、光纖智慧偵溫熱點偵測、油中溶解可燃氣性體分析、智慧診斷、智慧電子銘牌等所提出的一個整合型方案，可有效在變電設備絕緣物質生命週期中，故障發生的細微微兆出現之初期即提供檢出告警，使設備運轉處於一個安全控管監視的一個狀態，以有效抑制潛在風險發生。這些告警能夠提示區分是設備絕緣物質的缺陷產生、運轉老化衍生或是因為系統運轉超過變壓器負荷如應力破壞等所致。

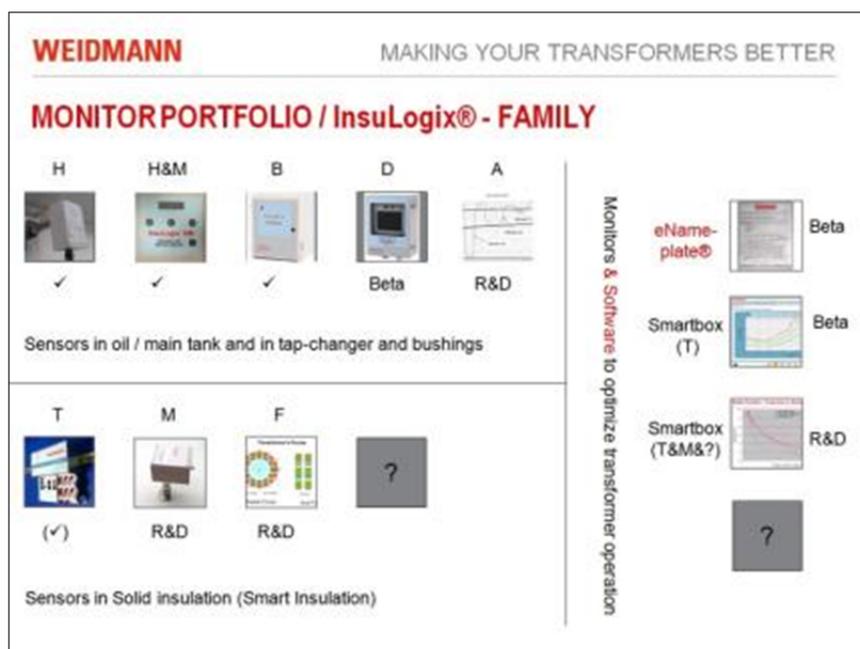


圖 參-36 應用變壓器線上監測與診斷產品

在電力供應系統中，電力變壓器一直是最受重視的核心設備，若變壓器在運轉期間由於絕緣劣化、自然老化或是故障外力等行成設備弱點造成電力中斷，電力供應之安全、可靠將造成極大的衝擊並影響對社會經濟生產力。



圖 參-37 InsuLogixB installation at BC Hydro Canada. (WEIDMANN)

2. 智慧絕緣方案

WEIDMANN 認為，借助於其一系列智慧絕緣監視/診斷設備整合，以目前各國電業應用實例上來看，確實可有效達到做好變壓器在電力系統中之資產管理。

並著重於及早預防與即時診斷維護，以有效遏止突發事故的發生。建立一個以即時監控資訊整合之變壓器智慧維護保養管理平台，輔助電業資產管理部門人員能快速的有效彙整設備監控資訊，給予設備維護診斷建議及剩餘使用壽命評估，以降低突發事故發生機率，做好變電設備潛在風險管理，這也是進展中智慧化變電所資產管理務實的手法。

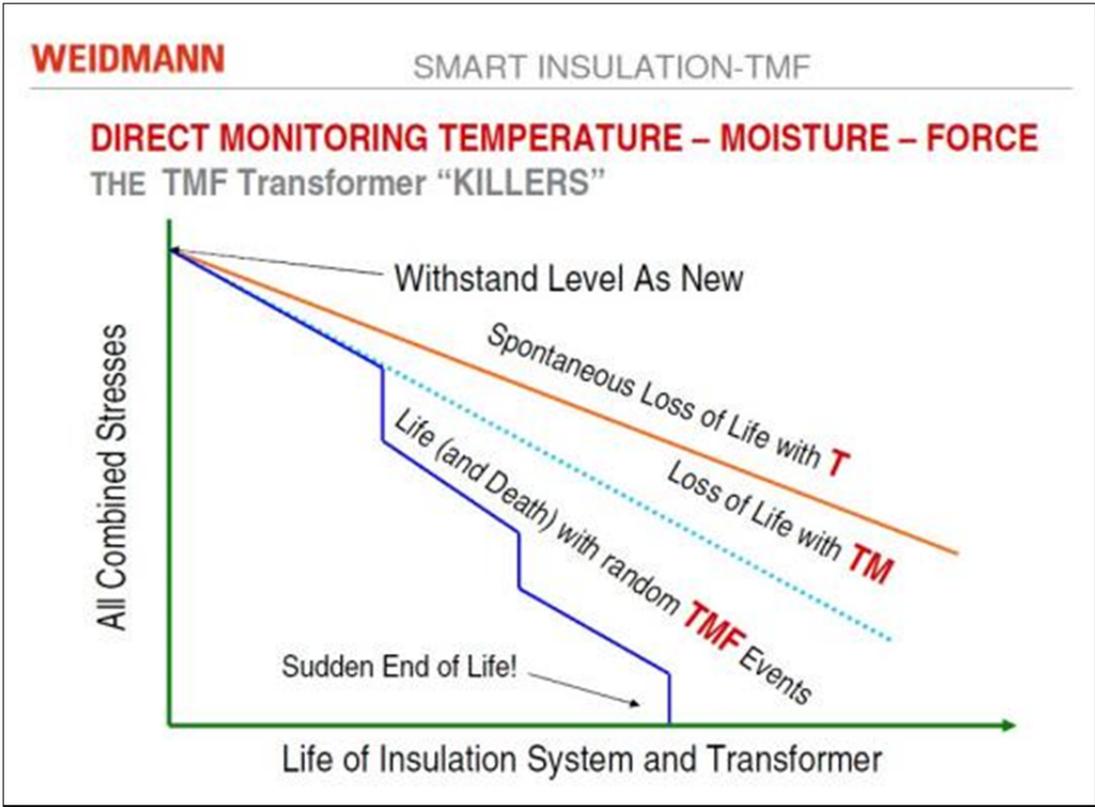


圖 參-38 影響變壓器絕緣的關鍵因子T、M、F

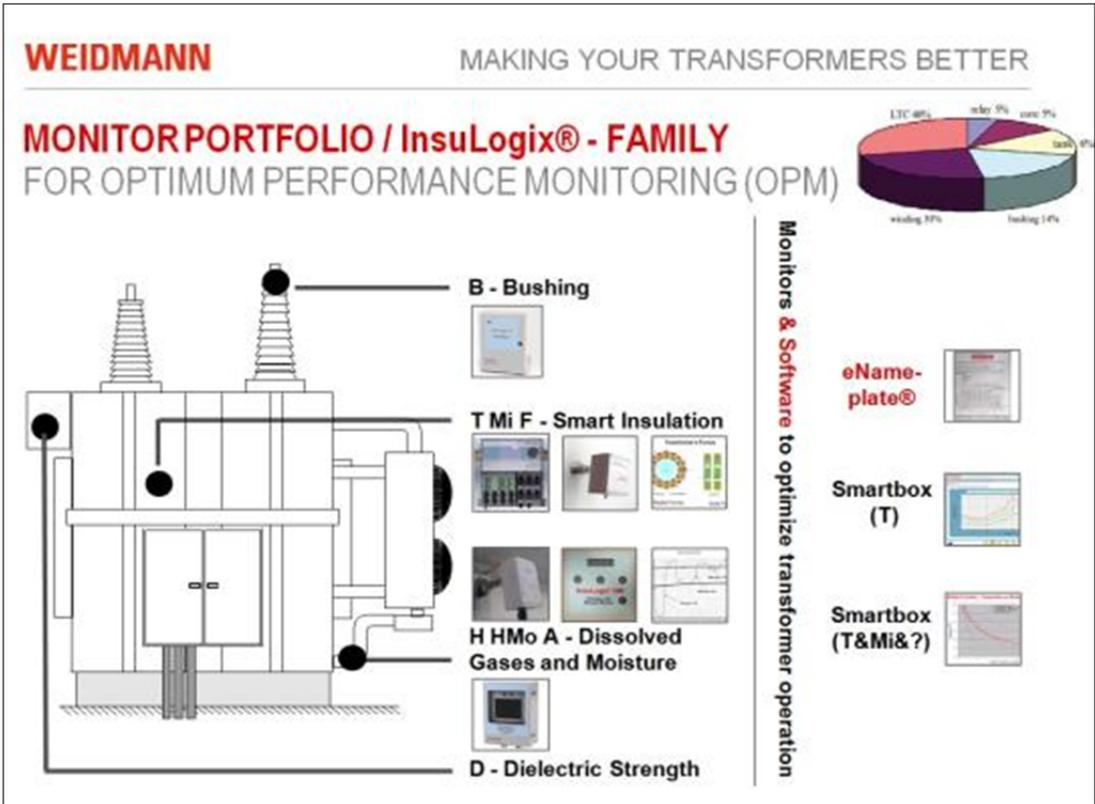


圖 參-39 Smart Insulation/ InsuLogix- Family

三、參訪美國舊金山太平洋瓦斯暨電力公司 PG&E 變電所

(一)PG&E Embarcadero 變電所簡介



圖 參-40 美國 PG&E 位於舊金山市中心之 Embarcadero 變電所

本次參訪透過 WEIDMANN 公司協助，實地考察 PG&E 於舊金山之 Embarcadero Substation 瞭解智慧化變電所資產管理之「智慧絕緣」線上監測/診斷應用的實例。



圖 參-41 職於美國 PG&E 位於舊金山之 Embarcadero 變電所

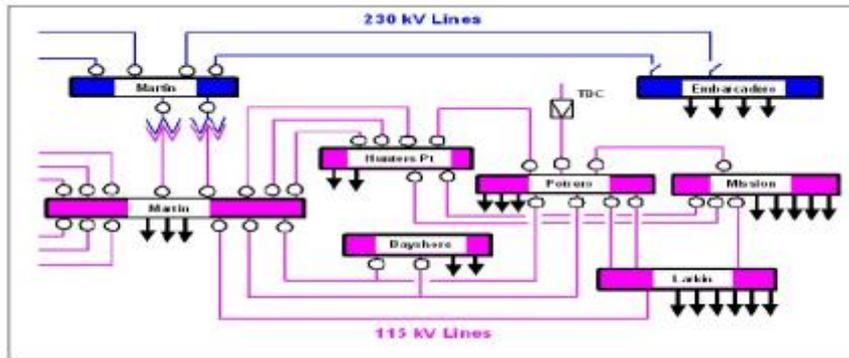


圖 參-42 PG&E Embarcadero Substation 地下輸電系統架構

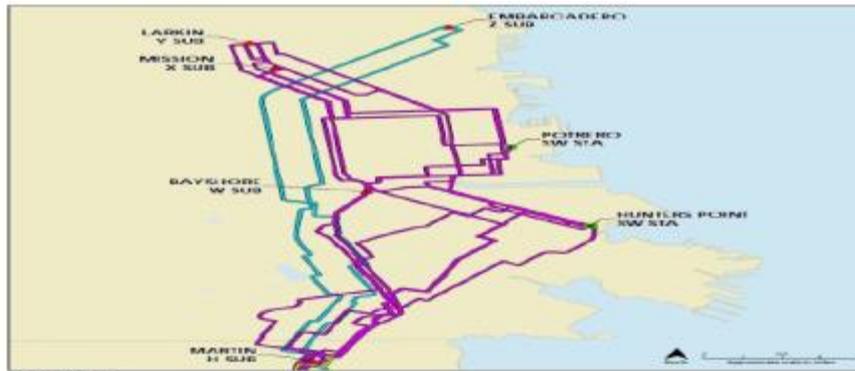


圖 參-43 Embarcadero Substation 230kV、115kV 輸電系統示意圖



圖 參-44 PG&E Embarcadero 變電站供電範圍

表格 4 PG&E Embarcadero 變電站停電時間與損失估計參考

Outage Duration	Direct Cost (\$ Millions)	Indirect Cost (\$ Millions)	Total Outage Cost (\$ Millions)
24 hours	\$125.7	\$62.9 to \$251.4	\$188.6 to \$377.1
4 days	\$407.4	\$203.7 to \$814.8	\$611.1 to \$1,222.2
3 weeks	\$1,417.0	\$708.5 to \$2,833.9	\$2,125.5 to \$4,250.9
7 weeks	\$2,922.6	\$1,461.3 to \$5,845.2	\$4,383.9 to \$8,767.8



圖 參-45 應用智慧化線上監測/診斷與變電設備資產管理

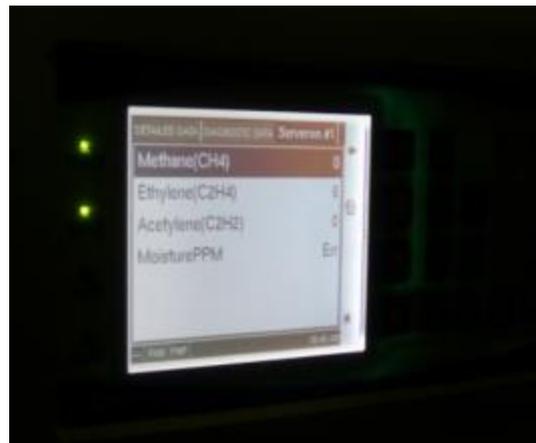


圖 參-46 變電所內線上監測數據/智慧診斷系統運作情形

PG&E 位於舊金山之智慧變電站(Embarcadero Substation)，其線路輸電系統為 115kV 及 230kV 地下輸電網絡所構成，供電區域包括舊金山之金融區(Financial

District)、聯合廣場(Union Square)、北灘(North Beach)、中國城(Chinatown)、諾布山(Nob Hill)、電報山(Telegraph Hill)、南市場(South of Market)，電力供應服務 3 萬個用戶(含 2.5 萬個住宅用戶)，目前最高尖載容量為 280MW，若停電可能造成 44 億~88 億美元的損失(如上表 2 所示之停電成本估算數據)，屬於舊金山區相當重要的變電站。

(二)觀察運轉中既設變電所智慧化推展情形



圖 參-47 變壓器狀態監測/診斷系統 Dynamic Ratings

Embarcadero 變電所位於舊金山市中心，主要輸電系統地下 230kV 及 115kV 並包含舊金山之配電饋線系統，負責該地區 500kV 及 230kV 輸電暨部分配電系統，而所內設備保護電驛除了部分幹線輸電線路使用數位電驛，配電饋線盤面等大多仍維持傳統式機械電驛，並未大量汰換傳統機械式改使用數位化設備；但監測與診斷設備在變壓器設備上的應用，則因變壓器裝機時已與變壓器製造廠商取得協議，由製造廠家主動安裝線上監測與診斷設備已取得應用時機與經驗；其中包括選擇安裝西門子、WEIDMANN 及 Dynamic Rating 等多家線上監視/診斷整合系統，並透過 RTU 連線至區域

控制中心提供即時監測功能，以及提供變電設備線上診斷監視平台供既設變電所設備資產管理應用。

惟 PG&E Embarcadero 變電所內這些裝置有線上監測/診斷的變壓器多屬近年新設，在運行過程監測設備尚未收集到有具體異狀資料，正如同 EPRI (EPRI Transformer :The Copper Book) 專家建議，為了評估變壓器的運轉狀況(資產管理)，已發展出許多檢測的方法。近年許多變電設備已漸漸導入線上偵測的系統，雖然線上監測的結果不能完全直接用在生命週期的預測，仍須參考其他的試驗紀錄及歷史運轉資料輔以參考判讀，但明確的是可即時預知設備劣化的情形(趨勢)，評估變壓器剩餘壽命的方法很多，每一種方法都有其限制，但總要開始去做，因為這是學習同時也是進步的過程。

肆、心得與建議

心得：

本次參訪感謝單位主管 李河樟處長之提攜，提供職一個寶貴的實習機會，能藉由此次任務走訪美國、加拿大知名電業及世界聞名的設備製造商，從中學習獲益良多。在準備過程中更感謝 陳來進副處長，就親身參訪經驗於行程規劃、事前資料準備、寒冷國家生活、作息上給予指導，更特別要提起的是透過陳副處長親自連繫加拿大 BC Hydro 電力電纜部門主管 Mr. Hon Suen 安排參訪事宜，才得以讓此行收穫更加豐實。返國資料整理期間也要感謝變電組陳永源組長及陳邦封課長、同事們的指導，使報告內容更臻至完善。

智慧型電網(Smart Grid)已被全世界電業電網發展普遍採用的名詞，目前各國電業對此名詞詮釋因系統背景與基礎建設需求不同，並無法給定共同的定義。明確的是結合科技發展與成熟實務應用，目前所謂的智慧型的電網(Smart Grid)是不斷地與時俱進，朝向整合訊息技術、通信技術、計算機技術及既有輸配電基礎設施進而演進為成新型電網，滿足期許具有更高能源效率、減少對環境的影響、提升供電穩定安全可靠、抑低輸電網的電力消耗等優點。

同時未來發展成熟之『智慧型電網』具有之功能特性包括下列：

- 安全（抵抗攻擊）：不論系統本體或計算機系統遭受到外部攻擊造成中斷運轉，智慧型電網可以快速恢復運轉。
- 高效（資產優化）：引進最先進的訊息和監控技術，提升設備和資源的使用效益，可以提高單位資產的利用率，降低運轉維護成本和投資。
- 優質（電力品質）：在數字化、高科技主導的經濟模式下，電力用戶的電力品質能夠得到有效保障，就可實行電力品質差別定價。
- 交互（電力用戶）：電網與用戶設備輸送用電行為，著重於電力運轉及環境保護。
- 自癒（穩定可靠）：無須或僅需少數人力即可解決電力系統故障問題，使設備

恢復正常運轉。

- 兼容（發電資源）：電網可容納不同類型電網或儲能裝置。
- 協調（電力市場）：電力系統管理能力的提升可促進電力市場競爭效率的提高。
- 彙總（訊息系統）：收集包括監視、控制、維護、能源管理系統（EMS）、配電管理系統（DMS）、企業資源規劃（ERP）等和其他各類訊息系統之間的彙總，並發展建構於此基礎的業務。

供電系統運維實務已累積豐富的經驗，並參酌國際電業設備運維成熟做法，目前嘗試推動開關設備及變壓器之延壽作為已初見成效，延長設備運轉之生命週期需要運用更有效的監測與診斷技術，以及早發掘設備老化或劣化徵兆，抑低潛在問題發生故障之風險，惟資產管理投資上亦應基於供電安全、可靠上做好效益評估，審慎衡酌才能於技術與企業永續經營上得以兼顧。

建議：

一、應積極研議AMI如何帶給用戶便利，以使本公司智慧電網鉅額投資獲得支持：

建議本公司可參酌美、加就運用智慧電表功能衍生的親民便民功能與資訊介面，使民眾對於智慧電網推動具體有感之務實作法加以借鏡，以期許本公司永續經營推動智慧電網所投注龐大成本獲得國家社會支持。

二、建議可尋求設備製造廠商的支持或設備上支援共同研發提升技術引領產業：

供電系統對於狀態監測技術已有多項試點及研究計畫試行，亦獲得很良好的成效，惟基於本公司經營成本效益及實際需求等考量，如何有效推動狀態維護做好設備延壽，可思考如 PG&E 於 Embarcadero 變電所之作法，尋求設備製造廠商主動建置線上監測與診斷系統共同合作，提高運轉維護可靠度，特別是對於該系統上評估有高潛在風險的設備優先試行以做好風險管理。

五、參考文獻

[1] BC Hydro 公司提供之講義資料, NOV. 2013

[2] GE 公司提供之講義資料, NOV. 2013

[3] WEIDMANN 公司提供之講義資料, DEC 2013

[4] PG & E COMPANY EMBARCADERO-POTRERO 230 KV TRANSMISSION PROJECT Vol. 1, 2013