

出國報告（出國類別：考察）

考察電力變壓器故障與絕緣紙老化診斷技術

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：油料試驗課長

童 耀 宗

派赴國家：加拿大

出國期間：105 年 10 月 31 日至 11 月 9 日

報告日期：105 年 12 月 21 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：考察電力變壓器故障與絕緣紙老化診斷技術

頁數____ 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)23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

童耀宗/台灣電力公司/綜合研究所/化學監/(02)23601011

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：105 年 10 月 31 日~105 年 11 月 9 日 出國地區：加拿大

報告日期：105 年 12 月 21 日

分類號/目

關鍵詞：變壓器、絕緣紙、甲醇、糠醛、油中氣體、聚合度、老化、壽命

內容摘要：

此次出國考察主要是去加拿大 Quebec-Hydro 電力公司研究所 (IREQ) 訪問，由於本所參加 IREQ Dr. Jocelyn 主導之 IERE ” 利用變壓器油中之甲醇含量作為絕緣紙老化指標研究” 小組會議，所以 IREQ 同意本所派員參訪其實驗室，並討論未來研究方向，訪問期間參訪了絕緣紙模擬老化實驗，絕緣紙聚合度試驗，絕緣紙抗張強度試驗，絕緣油中甲醇分析，絕緣油中糠醛分析，獲取了許多寶貴技術，可提升本所相關

試驗的能力，另討論將來的研究方向，Dr. Jocelyn 建議本公司建立完整的絕緣紙聚合度與甲醇關係曲線，也就是能取到老中青變壓器絕緣紙與油中甲醇分析值做關係曲線，則能應用油中甲醇做為變壓器絕緣紙老化診斷。

此次出國並順道拜訪 Morgan Schaffer 公司與 Powertech Labs 公司，Morgan Schaffer 公司參訪了油中氣體分析與油品分析實驗室，變壓器線上油中氣體偵測器製造過程與校驗程序，並與 Dr. Stephan F. Brauer 討論本所採購之線上油中氣體偵測器所面臨的技術問題，獲得圓滿的答覆，使我們以後在儀器的使用與維護上有幫助。

powertech 公司為加拿大不列顛哥倫比亞省電力公司之研究單位，拜訪其化學試驗部門，該部門從事變壓器油分析與電力變壓器故障診斷、氣體絕緣開關場氣室故障之化學分析診斷、機械潤滑故障診斷及參與 EPRI 變壓絕緣紙老化指標研究，開發變壓器線上油中甲醇分析偵測器，某些業務與本所油煤組部份試驗工作非常相近，藉此次考察技術交流，獲得一些寶貴經驗。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網

(<http://report.nat.gov.tw/reportwork>)

報告目次

	頁次
出國報告審核表.....	1
出國報告提要.....	2
報告目次.....	4
報告內容	
一、 出國目的.....	5
二、 出國行程.....	5
三、 考察內容.....	6
四、 心得與建議.....	10

一、出國目的

1. IERE 『利用變壓器油中甲醇含量作為絕緣紙老化新指標研究』工作小組第一階段研究工作共進行 3 年，已過分別在加拿大、香港、墨西哥及台灣舉行會議，但原計畫推動之第二階段研究工作由於原主辦單位加拿大 Quebec-Hydro 電力公司研究所(IREQ)內部因素無法啟動，所以今年無 IERE 研究小組會議，為了延續之前的研究成果想進一步與 IREQ 合作研究，故擬派員至加拿大 IREQ 與原案計畫主持人 Jocelyn 博士探討繼續研究的合作機會，研究內容主要是尋找合適的汰舊變壓器，拆解後做絕緣紙聚合度試驗，以印證 Jocelyn 博士實驗室研究的成果，如果可行，變壓器油中甲醇將能成為絕緣紙老化的新指標，以提供未來變壓器絕緣紙老化與剩餘壽命研究之方向。
2. IREQ 在變壓器故障診斷有許多研究，像國際著名油中氣體杜威三角診斷法就是出自 IREQ 的杜威博士，所以藉此訪問機會也可與他們討論相關技術，並順道訪問 Morgan Schaffer 公司，與其探討變壓器線油中氣體偵測器相關技術問題，及訪問 Powertech 公司實驗室，探討變壓器油中糠醛與甲醇在變壓器絕緣紙老化診斷的應用，並討論變壓器及有載切換器油中氣體診斷技術。

二、出國行程

日期	拜訪公司	城市	工作內容
10月31日			往程（台北－紐約-蒙特婁）
11月1、2日	Hydro Quebec 電力公司 研究所	加拿大 Varennes	考察變壓器絕緣紙老化診斷技術
11月3日	Morgan Schaffer 公司	加拿大蒙特婁	考察變壓器故障診斷技術
11月4日			行程（蒙特婁-溫哥華）
11月5、6、7日	Powertech 公司	加拿大 Surrey	考察變壓器故障診斷技術
11月8、9日			返程（溫哥華-台北）

三、考察內容

(一) 拜訪 Hydro Quebec 電力公司研究所(IREQ)

1. 參加會談成員

Dr. Jocelyn Jalbert : IREQ 研究員

Dr. Michel Duval : IREQ 研究員

Marie-Claude Lessard : IREQ 研究員

Steve Duchesne : IREQ 技術人員

2. 討論主題

(1) 變壓器絕緣紙實驗室參觀

Dr. Jocelyn Jalbert(絕緣紙老化研究專家)介紹

- 是我見過規模最大的絕緣紙老化實驗室，有絕緣紙備樣室，絕緣紙模擬老化實驗室，及各種分析試驗。
- 絕緣紙預備室有 3 個煙櫥，一個是低濕無污染煙櫥做一般紙的處理，一個是可控制氧含量的煙櫥，一個是可控制濕度的煙櫥，可模擬含氧量，及紙中含水量。
- 絕緣紙模擬老化實驗室有各種溫度的烘箱模擬紙在油中老化，抗張強度試驗的紙不可摺，紙拉直放在線圈上放入盛油金屬罐，放入烘箱，做完再取出做拉力試驗。
- 有一台測紙中氮含量的 perkin elmer 元素分析儀。

(2) 本所變壓器 POST-MORTEN 經驗分享與後續在甲醇應用在絕緣紙老化研究的方向

Dr. Jocelyn Jalbert(絕緣紙老化研究專家)介紹

由於 IREQ 不願公開絕緣紙聚合度與甲醇關係模型，所以他建議我們要自己建立台電公司自己的絕緣紙聚合度與甲醇關係模型，之前他公告的 5 個廢棄變壓器油紙比都是 20:1(這裏的紙是纏在銅線上的紙)，如果台電 POST-MORTEN 變壓器的油紙比也是 20:1，則可以納入關係模型，IREQ 現在每年約做 10 台廢棄變壓器絕緣紙聚合度，有輕度、中度、重度老化，期使他的模型曲線更準確，他也建議我們多做一些變壓器，以能建立全範圍關係曲線。

(3) 絕緣紙聚合度試驗參觀

由 Steve Duchesne(IREQ 技術人員)介紹

- 一批次 9 個樣，1 個新紙，9 個樣品，約需兩個工作天，第一天索氏萃取與研磨，第二天用溶劑溶解，測黏度。

- 盛碎紙的 vial 瓶在實驗環境下放置 24 小時，同時你也要剪新紙(從銅導體纏裹之紙剪下)放在 vial 瓶中 24 小時為了測試紙中水份，實驗室溫度 24°C，濕度 20%(夏天有時會到 50%)，DP 0.1°C 記錄在記錄簿上。
- 第二天用平衡 24 小時後新紙測含水量，用加熱天平測試。
- 在新紙 vial 瓶後分別放置 1 個椎型瓶，9 個樣品 vial 瓶後分別放置 2 個椎型瓶，為了每個樣品分析二次，先將椎型瓶放入天平歸零，再將絕緣紙秤重，新紙秤約 30mg，中年齡(DP>350)秤約 50mg，老年齡(DP<350)秤約 100mg，記錄在記錄簿上，秤完後椎型瓶分別加白色磁石攪拌子放入煙櫃，在新紙椎型瓶前放置一個空的椎型瓶加入紅色磁石攪拌子為了測溶劑加水黏度，樣品兩個兩個整齊排列好。
- 每個椎型瓶加入 25 毫升溶劑與 25 毫升水，放置 90 分鐘。
- 在此同時將空白椎型瓶中溶劑與水及 20°C 黏度 1.2cst 標準油分別倒入黏度 vial 瓶中測試黏度。
- 90 分鐘結束後將椎型內溶解液倒入黏度 vial 瓶，用鋁箔紙包好，纏上橡膠圈，新紙椎型瓶液倒入兩個 vial 瓶(由於有兩台黏度計)，其他樣品各倒入一個 vial 瓶測試黏度。

(4) 油中糠醛試驗參觀

由 Steve Duchesne(IREQ 技術人員)介紹

- 先吸油通過前端有 filter 的針筒，再注入 2mL vial 瓶，放入自動採樣設備，直接把油打入 HPLC。
- 溶劑為 CAN 與水，分析停止時間為 75 分鐘，流洗液一瓶 C 為 ACN，另一瓶 D 為水:CAN(82.5:17.5)。
- 偵測極限為 1ppb
- 配置標準油使用稱重法，稀釋過程並未用到甲苯。

(5) SF6 成份分析試驗參觀

由 Marie-Claude Lessard(IREQ 研究員)介紹

- 目前剛購置一台 Agilent GC Mass，分析主要目的是新品驗收，由於他們有許多氣室是 SF6 與氮氣混合或與 CF4 混合，比例約 6:4，所以許多樣品是在分析氮、CF4 與 SF6，由於要分析 SF6，所以其分流比很大，SO2 偵測極限為 9ppm，至於 SOF2 與 SO2F2 分析尚在開發中。
- 鋼瓶約 300CC，無鈍化處理，採樣方式為先用 GIS SF6 purge 管路 bypass 到一個鋼瓶，避免 SF6 排到大氣，再將 SF6 氣體通入已抽真鋼瓶。
- 用一支 column 分析所有成分，包括氧、氮、CF4、SF6 和 SO2，column 由 Agilent

提供。

- 進樣系統管線經鈍化處理
- 標準氣體廠牌 Linda，有氧、氮、CF₄、SF₆ 和 SO₂ 配在 He 中。

(6) OLTC DGA 診斷相關問題

由 Dr. Michel Duval(IREQ 研究員)介紹

- 11/2(三)很幸運 DUVAL 博士有到辦公室，並且願意與我晤談，DUVAL 博士說 MR OLTC 並不是無需測 DGA，後來 MR 也承認 DGA 對他們是有幫助的。
- 有的 OLTC 乙炔會越測越低？你們也有遇到這種問題嗎？是什麼原因造成的呢？DUVAL 博士回答這是正常現象，至為何會這樣他也不知道原因尚在研究，他說 MR OLTC 有些 type 起先在 DUVAL 三角 N 位置，但隨著切換次數加會從 N 位置經過 X3 到 N1 位置，時間約 3 年，建議前 3 年每 6 個月做一次 DGA 並記錄切換次數，找出他們之間的關係。

(二)拜訪 Morgan Schaffer 公司

1.參加會談成員

May L. Scally：行銷處長

Dr. Denis Lafrance：實驗室服務經理

Dr. Stephan F. Brauer：研發經理

Michel Belanger：製程品管經理

2.討論主題

(1) 變壓器絕緣油實驗室參觀

Dr. Denis Lafrance (實驗室服務經理)介紹

- 實驗室有分析絕緣油中金屬，主要是針對油斷路器與變壓器有載切換器 OLTC，主要是分析銅、銀、鐵、鋁…等相關金屬材料元素，建立這些資料目的主要是釐清可能故障的組件。
- 有開發 insideview 軟體，客戶分析的資料可鍵入資料庫，其油中氣體故障診斷技術主要是應用 Duval 三角與五邊形法。

(2) 線上油中氣體偵測器製程參觀

C5 與 C9 出廠前，品管會用約 200ppm, 2000ppm 標準氣體對偵測器作校正(據 Stephan 博士說他們有做過 25 點校正)，再用約 200ppm, 2000ppm 標準氣與空白油混合成標準油查核，同時標準油會送實驗室用 GC 分析確認。油中氣體濃度的氣液分

配係數預設是 ASTM D3612 C 法的分配係數，但你可以選擇儀器內建各種廠牌油的係數，也可以自建係數。

(3) 線上油中氣體偵測器 Calisto9 技術問題討論

Dr. Stephan F. Brauer (研發經理)介紹

- MS 公司油樣是透過二次稀釋過程進行樣品測試。3 小時，第一小時為原樣，第二小時稀釋比例為 10 倍，第三小時稀釋比例為 100 倍。
- C5 或 C9 不可 download 出層析圖譜，由於他們會根據各成分稀釋後最佳定量濃度選擇圖譜，所以各成分最終結果不會在同一張圖譜上。
- 除了出廠前的標準氣與標準油校正外，C5 或 C9 線上偵測器每天另外以標準氣體進行校正 1 次。每天的定量是以線上校正為主，出廠的校正只作比較，看是不是差異太大，其 RT 會重抓並直接對面積作單點校正，Stephan 博士表示由於其 column 是用 packed column 且髮絲脫氣幾乎擋掉重成分的氣體，所以不會造成 column 污染，所以以他的經驗儀器使用多年 RT 仍很固定。
- MS 公司 C9 標準品選擇 200ppm，由於其樣品有經過稀釋，會選擇濃度接近檢量線濃度定量。

(三)拜訪 Powertech Labs 公司

Powertech Labs 公司是加拿大 BC Hydro 電力公司之研究部門，與本次拜訪有關的是絕緣油與氣之部門。

1.參加會談成員

Ian Wylie(化學部門技術與試驗經理): 本次訪談之聯絡人

Weili Kang (絕緣油試驗專家):絕緣油實驗室主管

2.討論主題

(1) 變壓器油試驗相關技術

Weili Kang (絕緣油試驗專家):絕緣油實驗室主管介紹

- powertech 之變壓器油實驗室規模與本組相仿，油中氣體分析一年測試約 8000 件。
- OLTC 油樣有做油中氣體分析，但不是很多，主要是針對乙烯，如果乙烯含量大於乙炔則有可能有接點結焦過熱問題。
- 油的 power factor 變差會測油中金屬含量，一般 Cu 含量在 0.2ppm 以上，就會影響 power factor 變差，油中金屬有檢測 Cu、Zn、Pb、W 等元素，測定之方法是將變壓器油直接上 ICP 分析，我們應可參考。

(2) 以油中氣體分析作變壓器故障診斷技術

Ian Wylie(化學部門技術與試驗經理)負責介紹

- 以油中氣體分析診斷變壓器的標準主要依據 IEEE C57.104 與 IEC 60599，並有自己開發的診斷方法。
- Powertech 花了 10 年的時間，將變壓器油物理、化學、電氣特性，及油中氣體分析、糠醛等數據整合成一個電腦軟體，配合相關診斷基準，在螢幕上可分析及進行變壓器故障診斷。
- 軟體完全由自己的工程師開發，現在功能還在不斷進步。

(3) 以變壓器油中糠醛與甲醇作為絕緣紙老化指標相關技術討論

- 對於糠醛之分析，Powertech 用自行研發之試紙比色法簡單篩選 $>0.1\text{ppm}$ 之變壓器油，可減少樣品分析量，減輕實驗負荷。
- 有開發線上偵測器偵測甲醇，分別放在變壓器油呈褐色的老變壓器上與新變壓器上，觀察其差異。

(4) 事故 GIS 中 SF6 分解氣體分析技術

- SF6 實驗室分析設備 agilent，氧、氮、CF4 是用 capillary column，偵測器 TCD，分解氣體偵測器是用 halogen 偵測器，由於它對 SF6 反應不靈敏，但對分解氣體反應靈敏，分析低濃度要先用高濃度與 capillary column 反應過才有好的靈敏度，標準氣體有 SO₂, SOF₂, SO₂F₂, COS 各別儲存在鋼瓶內，如要使用則稀釋到 1%，可儲存 1~2 個月，若稀釋至 10ppm，則 2~3 天濃度就會變化。
- 有攜帶式 SF6 GC，只有 TCD 偵測器，主要是分析氧、氮、CF₄，但分解氣體偵測極限為 50ppm，一般是用於設備加入系統前測試，測試純度並做為背景值，將來測試如 CF₄ 有明顯增加，則可能有 Teflon 材料過熱。

四、心得與建議

1. 後續油中甲醇做為絕緣紙老化新指標研究，由於 IREQ 不願公開絕緣聚合度與甲醇關係模型，我們需自己建立絕緣紙聚合度與甲醇關係模型，目前累計了 IREQ 論文公告的 5 台變壓器及本公司 4 台變壓器絕緣紙聚合度與甲醇資料，初步作關係圖，甲醇對紙聚合度的線性優於糠醛與二氧化碳等指標，由於缺少 20°C 甲醇分佈約 50-500 ug/L 之報廢變壓器絕緣紙聚合度資料，所以建議未來規劃篩選 20°C 甲醇分佈約 50-500 ug/L 之報廢變壓器，採線圈絕緣紙做聚合度試驗，期使本公司模型曲線更準確。
2. 絕緣紙聚合度試驗，以往一批 9 件樣品約測試四天，但 IREQ 約二天可以測試完成，瓶頸在紙樣的破碎，之前紙樣是用剪刀剪成 1~2mm² 的碎片，極費人工及時間，IREQ 是用研磨機研磨，破碎速度快，且 IREQ 自從研發此方法，紙幾乎完全被溶劑溶解，紙殘留量少，所以建議能增購研磨設備，另絕緣紙含水量測試建議改用加熱天平測試則時間可由 4 小時縮短為 10 分鐘，效率可明顯改善。

3. 建議變壓器附屬 OLTC 設備運轉頭 3 年每 6 個月做一次油中氣體分析並記錄切換次數，以後每年做一次，觀察它們之間的變化，建立每種 OLTC 型式的 DUVAL 三角正常分佈範圍，以做為後續故障診斷依據。
4. Morgan Schaffer 與 Powertech 實驗室皆有 ICP-OES 設備分析絕緣油中金屬，主要是針對油斷路器與變壓器有載切換器 OLTC 等設備，分析油中銅、銀、鐵…等金屬元素，建立這些資料目的是要釐清可能故障的組件，縮小檢查範圍，建議本所能買直接上油的 ICP-OES 設備分析 OLTC 油中金屬成分，並建立資料庫，以協助 OLTC 之故障診斷。