

出國報告（出國類別：開會）

參加美國都寶工程公司國際年會  
**(International Conference of Doble  
Clients)**，及實驗室參訪。

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：化學工程師

李立棋

派赴國家：美國

出國期間：108年04月07日至04月15日

報告日期：108年06月05日

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加美國都寶工程公司國際年會(International Conference of Doble Clients)，及實驗室參訪。

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

李立棋/台灣電力公司/綜合研究所/化學工程師/(02)23601016

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：108 年 04 月 07 日~108 年 04 月 15 日 出國地區：美國

報告日期：108 年 06 月 05 日

分類號/目

關鍵詞：變壓器、絕緣紙、糠醛、油中氣體、聚合度、含水量、老化

內容摘要：

此次會議主要參加美國都寶工程公司舉辦之 2019 國際年會及其變壓器診斷相關之材料實驗室參訪。會議中，對 Doble 公司材料實驗室之管理、油浸式變壓器之各項絕緣油相關試驗診斷法及絕緣紙老化之評估法均獲得許多新知。

在材料實驗室管理方面，Doble 公司依客戶委託之樣品量不同有不同之報價，並從提供予委託試驗客戶之採樣容器至產出之數據報告皆進

行追溯管理。試驗結果報告，以 PDF 檔、EXCEL 檔之型式提供，並提供實驗室資訊管理系統 (Laboratory Information Management System, LIMS) 給顧客進行報告結果之網路閱覽。

油浸式變壓器之絕緣油含水量試驗之診斷，考慮採樣時變壓器頂部油溫帶給測值的影響，並於診斷時引入相對飽和度(%Relative Saturation, %RS)及變壓器絕緣紙含水量的概念，為整體變壓器濕度做更完整之評估。而在油耐電壓試驗，則同時考慮相關之油中金屬含量、微粒、極性物質、油溫等因素對其之影響。

變壓器絕緣紙老化之評估，在進行絕緣紙平均聚合度試驗時，建議採集至少包含繞組及高低壓引線共 26 個樣品進行。其進行老化診斷時，應綜合考慮包含絕緣紙類型、運轉狀況(包含負載、油溫等)、維護情形 (包含濾油等)，及其他試驗指標包含氧氣、二氧化碳、一氧化碳、糠醛、甲醇、含水量、界面張力、中和價等試驗結果。絕緣紙受氧氣、水份、線溫、油溫等因素之影響，而會在變壓器之不同部位有不同程度之老化分佈模式。

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	
壹、出國目的.....	5
貳、出國行程.....	5
參、會議內容.....	6
肆、心得與建議.....	20

## 壹、出國目的

1. 美國都寶工程公司(Doble Engineering Company) 為美國機電設備絕緣及特性試驗之權威機構，其國際年會可提供本公司最新電氣設備診斷研究資料。本次年會主要專題演講活動從4月8~12日，主題涵蓋電線電纜、套管、氣機、絕緣材料、變壓器故障案例、Doble 總部參訪(實驗室參訪)等多項主題，可全面性對各領域之最新研究獲取第一手資料。
2. 本公司綜合研究所在含水量診斷時依循變壓器使用與維護基準，其為參考 IEEE C57.106 標準訂定之。然而，診斷時常遇因取樣油溫不同引起之診斷結果變異造成困擾。希望能在此行參考 Doble 公司實驗室對此問題之因應方法。
3. 本公司應用變壓器油中糠醛作為絕緣紙老化指標已有多多年，目前從國際相關研究報告發現，變壓器油中糠醛作為傳統絕緣紙(適合溫升 55°C)老化指標較為可靠，但對於耐熱型絕緣紙(適合溫升 65°C)，則效果不佳，故有必要汲取國際最新絕緣材料劣化之研究資料，作為變壓器老化診斷參考。

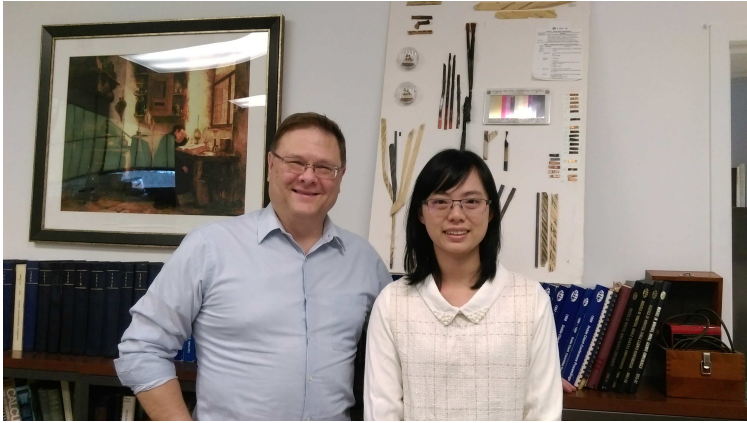
## 貳、出國行程

日期	拜訪公司	城市	工作內容
108年4月7日			往程 (台北—舊金山-波士頓)
108年4月8日 ~4月12日	都寶工程公司	美國 波士頓	參加美國都寶工程公司2019國際年會(2019 International Conference of Doble Clients)，及實驗室參訪。
108年4月13日 ~4月15日			返程 (波士頓-舊金山—台北)

# 參、會議內容

## 一、會議類型

- 1.1 技術演講(Technical Presentation)：新電氣設備診斷研究資料，主題涵蓋電線電纜、套管、氣機、絕緣材料、變壓器故障案例等。
- 1.2 訓練 (Tutorials, Training Track)：各種訓練課程或專題訓練，如本年度有變壓器事故鑑定 (Forensic Analysis of Transformers) 專輯訓練及變壓器功率因數試驗訓練課程等。
- 1.3 委員會會議 (Committee Meeting)：可在相關主題會議中互相交流遇到的問題及解決方式，但油品委員會僅開放與該會會員參加。
- 1.4 使用者群組會(Users Groups)：開放給特定產品之使用者於會議中討論使用經驗，如軟體使用者群組會等。
- 1.5 Doble 公司總部實驗室參訪。
- 1.6 變壓器諮詢會議。
- 1.7 產品展覽會(Expo)；各種廠牌之電力相關產品展示。
- 1.8 實驗室參訪(1.5 節)及變壓器諮詢會議(1.6 節)訪談主要成員：
  - Paul Griffin (Vice President, Global Professional Services, Doble Engineering Company)
  - Lance Lewand (Director, Insulating Materials Laborator, Doble Engineering Company)
  - David Koehler (Business Development/Technical Manager, Indiana Office, Doble Engineering Company)



圖：實驗室參訪合照



圖：變壓器諮詢會議合照

## 二、Doble 公司絕緣材料實驗室概況

### 2.1 Doble 公司絕緣材料實驗室規模與 ANAB (美國國家標準協會國家認證委員會 ANSI National Accreditation Board) 認證情形：

實驗室	人數	ANAB 認證項目
Watertown, MA, USA	25	ISO/IEC 17025
Morgan Schaffer, Canada	19	ISO/IEC 17025 ISO/IEC 17034 (DGA 標準絕緣油、含水量標準絕緣油)
Indianapolis, IN,	4	

USA		
Morrisville, NC, USA	4	
Houston, TX, USA	4	



圖: Doble 實驗室位置示意圖

2.2 主要客戶：電力公司、變壓器或套管等之製造商、服務公司 (現場設備安裝、濾油等工程)。

2.3 主樣樣品類型：

- 變壓器類型：美國變壓器以密封式 (Seal Type) 為主，80% 為內鐵式 (Core form)；加拿大變壓器以開放式 (Open Type) 為主。
- 絕緣油類型：抗氧化劑 DBPC 含量約 0.3%~0.4% 之礦物油。



- 絕緣紙類型：1945 年以前以傳統 Kraft 為主，1945 年以後以 TUK 為主。
- 變壓器負載：高負載

#### 2.4 絕緣油試驗委託之行政服務作業內容：

現場採樣	無
採樣容器	客戶可自備，但建議使用由 Doble 公司提供之容器。
採樣指引	提供客戶採樣操作方法之教學，以確保客戶採得具有代表性的樣品。
委託單	每個樣品填寫一份四聯複寫單，內容包含變壓器或有載分接頭切換器(LTC)之設備規格資料、樣品資訊(針筒 ID、採樣油溫、室內溫/濕度等)、測試項目。
樣品標籤	標籤貼紙，供客戶紀錄設備廠號、採樣日期、油溫、針筒 ID，及供實驗室內部紀錄報告編號、樣品編號資訊。
試驗價格	依客戶之委託樣品量之不同進行報價。
測試報告	不提供紙本報告，提供之測試報告形式包含 PDF、EXCEL 檔案，及 LIMS 線上報告閱覽平台。
設備狀態診斷	依 Doble 公告予客戶之診斷基準進行綜合診斷，並呈現於測試報告。

### 三、採樣容器之管理：

3.1 採樣容器分為針筒、無顆粒玻璃瓶、鋁罐三種，用途分別說明如下：

50mL 針筒	○僅作油中氣體分析(DGA)、含水量。
---------	---------------------

	<p>○採樣時應使油完全充滿針筒。</p> <p>○在 IEEE PC57.162 中，比較 HDPE 罐、鋁罐、玻璃罐、針筒在採樣後放置不同時間所測得含水量的表現，發現 HDPE 有明顯的水分滲透現象將使含水量之測試明顯隨放置時間之延長而偏高，而數據最穩定的為針筒及鋁罐，其次為玻璃瓶。</p> <p>註：測試方法為，將絕緣油以乾燥氮氣吹驅乾燥至 5mg/kg 以下水份含量後，分裝至 40 個容器中，10 個 1L 的 HDPE 瓶，10 個 250mL 帶硬塑料蓋和紙襯玻璃瓶，10 個 1L 帶有鋁製襯裡 sure-lok cap 的鋁瓶，10 個 50mL 玻璃針筒。將容器打開蓋子並用壓縮空氣吸出以除去不需要的顆粒，然後轉移到預先充滿氮氣的手套袋中。所有容器都在手套袋內裝滿油後封蓋(只有玻璃瓶為防止容積變化造成破瓶無法完全裝滿)，先測試每組的第 1 及第 10 個充油的樣品含水量，再依序每週測試每組中的 1 瓶樣品含水量。</p> <p>○針筒重複使用，以有機溶劑蒸氣機進行洗滌後風乾。</p>
1L 無塵玻璃瓶	<p>○所有 DGA 及含水量以外的其他試驗均以此樣品完成。</p> <p>○採樣時建議客戶不將玻璃瓶完全充滿油，應使其上方保有少量空間，以避免油之熱漲冷縮導致玻璃罐的破裂。</p> <p>○經 Doble 公司內部研究之評估結果，認為玻璃瓶頂部保留空間所造成樣品水分之增加，並不會對樣品油在耐壓試驗中產生</p>

	<p>顯著的影響。</p> <p>○經 Doble 公司內部研究，容器製造過程於內部表面附著之微粒，或來自其他樣品油之微粒汙染，可能造成耐壓試驗在五次連續的測試中產生數據的跳動。因此 Doble 實驗室之玻璃瓶容器不重複使用，均提供客戶新品，並於新品採購時即特別採購「無塵」之玻璃瓶。</p>
1L 鋁罐	<p>○當考量運送過程較有可能造成玻璃瓶之破損時，所有 DGA 及含水量以外的其他試驗將改以鋁罐取代玻璃瓶之使用。</p> <p>○採樣時可使油完全充滿鋁罐，其並不會因為油之熱漲冷縮造成容器之破損。</p> <p>○鋁罐均以新品提供客戶，不重複使用，並為避免殘留之微粒會影響耐壓試驗結果，於寄出前會對鋁罐以噴射高壓氣體及下方局部排氣設備進行內部清潔處理。</p>

3.2 樣品追蹤鏈的建立：針筒等容器編有 ID，並貼以 ID 條碼。於樣品寄出予特定客戶前，會先將針筒 ID 利用條碼掃描登錄至實驗室 LIMS 系統。於收到客戶之樣品後，會核對採樣標籤上客戶紀錄的 ID 是否與 ID 條碼一致，並將樣品來源之變壓器與 ID 配對後登錄至實驗室 LIMS 系統。

#### 四、絕緣油及絕緣紙中含水量之診斷

##### 4.0 變壓器中水份的來源：

4.0.1 處理過程的殘留：(1) 變壓器製造；(2) 變壓器安裝；(3) 變壓器維護。

4.0.2 洩漏：變壓器的結構弱點。

4.0.3 變壓器維護系統：(1) 乾燥失效的呼吸器；(2) 破裂的密封用氣袋或隔膜。

4.0.4 絕緣紙劣化產物。

4.1 含水量對絕緣油之影響，在於相對飽和度越高的絕緣油，會使其耐電壓下降造成變壓器的絕緣不良。依據 IEEE C57.106 (2015) 內容，對不同電壓等級之變壓器有不同的含水量濃度值 (ppm) 診斷基準。然而，大部分的水分均存在絕緣紙中，並在絕緣油與絕緣紙兩相的介面發生動態平衡。當油溫上升時，水分將從絕緣紙釋放至絕緣油中，使樣品在絕緣油中含水量之測試值升高；反之，當油溫下降時，絕緣油中含水量之測試值將降低。這導致絕緣油含水量之測試結果忽高忽低，有時溫度低時採樣將符合合格標準，而溫度高時採樣將不符合標準，此現象的發生將造成使用者的困擾，因高溫時雖然含水量濃度值增加，但其相對飽和度也會增加，因此實務上其對相對飽和度及當下之絕緣能力的（耐電壓）的影響並不如濃度值本身的變化那麼大，但在診斷上卻將於高溫取樣時判定為不符合標準。

4.2 Doble 公司在含水量診斷之處理方式，利用油溫先將含水量測試值換算為相對飽和度，依不同相對飽和度分為數個等級（極佳、好、尚可、濕、極濕等）的狀態診斷結果。

4.3 水份在油/紙中的平衡對相對飽和度的影響：

水份在變壓器中會於固體絕緣材料（包含支持木 wood，絕緣紙 paper，絕緣板 pressboard）與絕緣油中平衡，此平衡隨溫度而變化。當溫度上升時，由於絕緣油對水的飽和溶解度上升，將使平衡趨向絕緣油，水分將從絕緣紙中釋出。當溫度下降時，則反之使水份重新平衡回絕緣紙。大部分的水分均存在固體絕緣材料中，僅<1%水份在絕緣油中。利用水分平衡曲線，可利用不同油溫下取樣所得之絕緣油含水量測值，對照出絕緣紙中含水量。

然而，在實際變壓器中，水份在油與紙間的平衡速度無法跟

上油溫變化速度。在升溫時，飽和溶解度升高，水份未及從絕緣紙釋放至絕緣油中，相對飽和度下降，再漸隨水份釋放至絕緣油中而緩慢上升。降溫時，飽和溶解度降低，水份未及從絕緣油平衡回絕緣紙中，相對飽和度上升，再漸隨水份平衡回絕緣紙中而緩慢下降。因此在降溫過程可能造成過高的相對飽和度，增加絕緣不良的風險。而此絕緣不良風險之提高，又以絕緣紙含水量高的高濕度變壓器更為顯著。

#### 4.4 高濕度變壓器可能面臨的風險：

- (1) 絕緣油耐壓強度會因水分相對飽和度(%RS)上升而下降。
- (2) 絕緣紙老化速率的提升。
- (3) 過載時可能產生氣泡之風險：如遇事故大電流有可能使線圈溫度急遽升高，使絕緣紙釋放水蒸汽氣泡，產生部分放電等故障風險。
- (4) 降溫時可能產生水凝結之風險：運轉時溫度變化劇烈之變壓器或電抗器，當降溫時油中飽和溶解度下降，水份卻未及平衡回絕緣紙中，造成相對飽和度上升，油耐壓不良。

4.5 Doble 公司鼓勵其客戶盡量於高油溫時採樣，認為高油溫之含水量數據定量上是更為準確的。在高油溫下採樣的樣品，Doble 公司將進一步利用其內部使用之絕緣油/紙水分換算公式，計算出絕緣紙中水分，提供客戶對變壓器濕度進行評估。

## 五、絕緣油耐壓試驗及診斷

5.1 絕緣油之耐壓試驗 (dielectric breakdown voltage) 為評估絕緣油絕緣能力的一項重要指標，而造成耐壓不良的主要因素包含過高的絕緣油中金屬含量、微粒、極性物質 (包含抗氧化劑、水分及其他劣化產物如糠醛及甲醇、乙醇)。其中，水份相對飽和度越高油耐壓越低。

5.2 當於高油溫取樣時，由於水分將從絕緣紙中往絕緣油中平衡，導致取樣時的含水量濃度值 (ppmv) 的提高。雖然於高

油溫時因飽和含水量較高使其相對飽和度並不會因此變動太大，而也使耐電壓於高油溫時變動亦不會太大，然而，因樣品為降回室溫後才進行實驗室分析，此時之飽和含水量較低使其相對飽和度升高，而將導致耐電壓之測試結果可能被低估，因此診斷時應同時考慮油溫變動帶來的影響程度。

- 5.3 目前 Doble 公司實驗室對耐電壓之診斷方法，如被判定為不符合時，將再進一步確認絕緣油中金屬含量、微粒、含水量之測試結果，確認是哪一個項目引起耐電壓測試值之不良。如綜合診斷後，發現此樣品之耐電壓測值不良為含水量過高導致，將進一步確認是否屬於高含水量變壓器（計算絕緣紙含水量），以進一步評估是否為高風險變壓器。

## 六、油中糠醛試驗

- 6.1 Doble 公司在 Watertown 實驗室使用的為 ASMT D5837 Method A 固相萃取法。

- 6.2 目前該實驗室兩種廠牌之 HPLC 之使用經驗，MDL 均可達到  $1 \mu\text{g/L}$ 。

- 6.3 Doble 以該公司數據資料庫統計值 95% 變壓器糠醛年增加率值作為診斷之正常值基準。

- 6.4 Doble 公司進行傳統 Kraft 紙的開放式歐洲製變壓器之絕緣紙 DP 和糠醛試驗結果計算 DP 值(Chendong equation)之比較，在不同部位（包含繞組線、HV 引線、LV 引線、LTC 引線、套管引線）採樣比較的結果，HV 引線的 DP 量測值與糠醛計算 DP 值最具趨勢符合性。多數利用 2-糠醛計算 DP 的結果高估實際 DP 值。造成糠醛計算結果偏差可能的原因分析如下：

- 局部的絕緣紙劣化，造成 2-糠醛釋出量不足。
- 絕緣紙劣化的高溫導致 2-糠醛的裂解。
- 絕緣紙熱升級的製程加入之成分，可能使產生的 2-糠醛裂解。

## 七、絕緣紙平均聚合度(DP)

7.0 新型絕緣紙發表：一種無黏合劑之單一壓實片複合材料被發表，透過 aramide 在纖維素表層達到提升纖維素性能的功用。以 IEEE C57.100-2011 (Standard Procedure for the Thermal Evaluation of Insulation Systems for Liquid-Immersed Distribution and Power Transformers) 測試，其於礦物油中之系統耐熱等級為 B 級 (130°C)。在油中氣體試驗結果顯示，其整體而言比 TUK 釋放較少量的 CO 及 CO<sub>2</sub>。在 DP 試驗結果顯示，會有將近 26% 殘餘固體 (aramide 纖維) 無法被溶解，僅有約 74% 纖維素可被溶解。在改良的 DP 試驗中，發現此新型絕緣紙與 TUK 有相似的 DP 值，但在 DP < 400 時其抗拉強度仍優於 TUK，而在 DP 270 時其抗拉強度約為 TUK 四倍。這顯示透過 aramid 的表層修飾，無法保護纖維素的老化劣解，但仍可強化其抗拉強度，因此 DP 200 的測試結果無法視為其壽命的終點。

7.1 Doble 公司絕緣紙破碎處理以剪刀人工剪為主，較少使用機械設備處理。

7.2 溶於乙二胺銅後，部分相當老舊的變壓器樣品在絕緣紙表面出現 varnish，會導致實驗時殘留量過高的問題。此殘餘物因無法溶解於任何溶劑，無法進行進一步測試，故無從確認其成分或成因。

7.3 在殘餘物的過濾試驗中，使用的濾膜為不鏽鋼材質，並以水及實驗室用清潔液洗滌後重複使用。

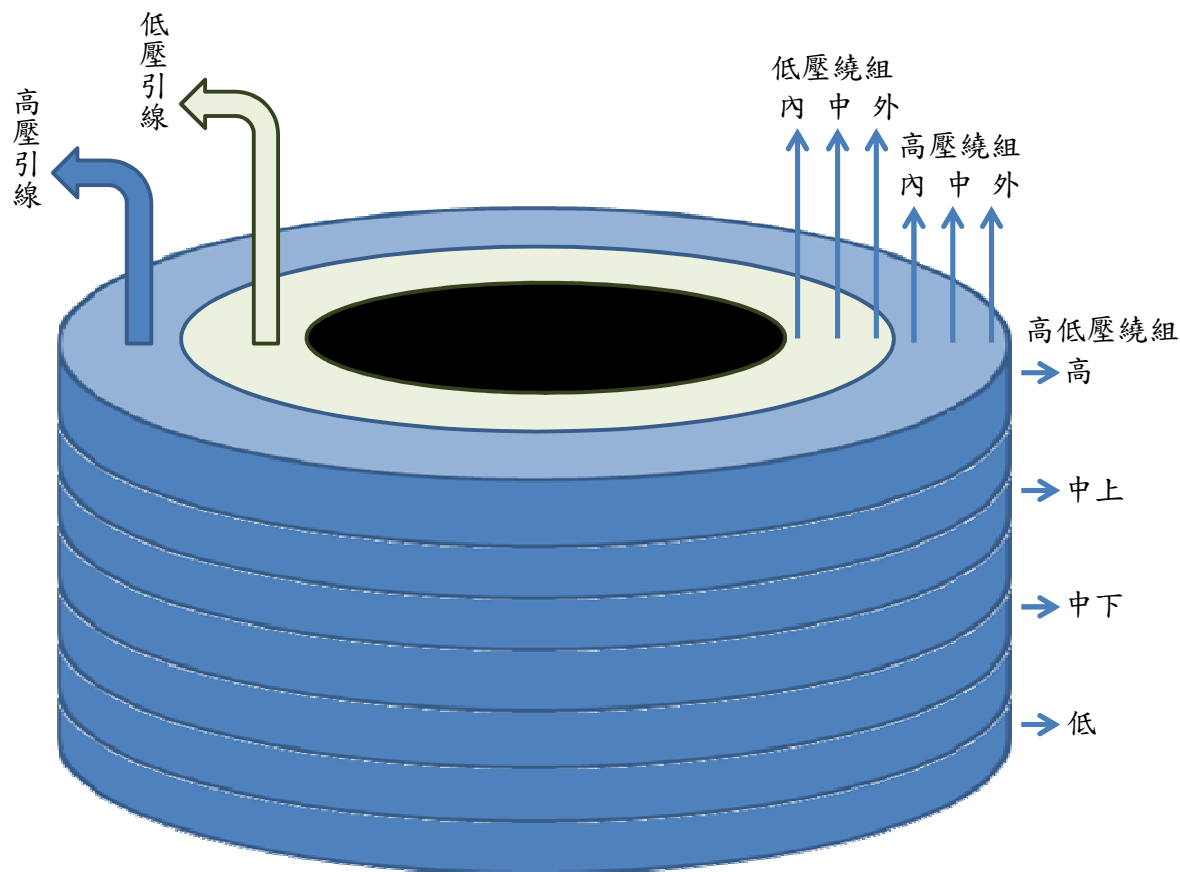
7.4 當殘餘物因此過高 (超過 5%) 且無法在重複試驗中下降時，會由人工評估挑選殘餘物嚴重過高之試驗結果 (例如高達 30%)，扣除其對重量的影響後重新計算 DP 值。

7.5 當重複性超過 ASTM D4243 允收值時，若重新試驗結果仍無法允收，則將把兩次試驗結果均呈現於報告中，並註明其重複性未通過。

## 八、絕緣材料老化診斷相關議題之討論

8.1 一般 Doble 變壓器絕緣紙 DP 試驗現場採樣選擇變壓器其中

一相進行，採樣數為 26 個。採樣點建議於高/低壓線圈之高/中上/中下/低四層，每層分別採內/中/外三種採樣點，共 24 個樣品，再加上高/低壓引線共 2 個樣品。



圖：Doble 建議之絕緣紙聚合度試驗採樣點示意圖

8.2 在進行絕緣材料殘餘壽命評估時，以平均聚合度最低的樣品作計算。

8.3 影響絕緣紙老化速率的因素包含：

- 溫度：變壓器產生的溫升來自線圈的銅線因負載而產生的熱能，又因溫度高時油密度較低，因此一般變壓器上部油溫較高，故溫度主要帶給變壓器老化的影響部位為靠近銅側的絕緣紙層及上部的絕緣紙。
- 氧氣：存在絕緣油中的氧氣與酸性物質，所有接觸到絕緣油的絕緣紙均受影響。而對單一銅線來看，靠油側之影響較靠銅側多。



- 水：存在絕緣油中的水分，因水比重較絕緣油重，因此於變壓器下部會較上部之影響稍微高。而對單一銅線來看，靠油側之影響較靠銅側多。

## 九、油中甲醇相關議題討論

- 9.1 糠醛在 TUK 絕緣紙的早期劣化中指標效果並不顯著，而在晚期劣化中則有明顯的指標效果，可作為殘餘壽命評估的工具。甲醇在 TUK 絕緣紙的晚期劣化中指標效果並不顯著，而在早期劣化中則有明顯的指標效果，可作為早期發現設備設計不良、油閥未開等狀況以進行早期改善的工具。兩者可分別在不同腳色上提供變壓器老化診斷的協助。
- 9.2 甲醇指標雖然會在線上除水濾油中被移除而失去指標功能，但所有化學指標或油品特性都可能因為不同的油處理方式而失去指標功能。不同的指標可於不同時機、狀況、面相提供診斷上所需的參考。
- 9.3 甲醇已為 Doble 公司建議客戶進行例行測試的項目，並建議約 3~5 年進行一次採樣測試。Doble 公司認為目前國際發展潮流甲醇必將成為各國際診斷基準常規測試的項目之一。

## 十、油中氣體分析試驗

- 10.1 Doble 公司目前僅使用 ASTM D3612 C 法。
- 10.2 每一台分析設備均以標準油校正獨立之油氣轉換用的校正參數 (Multiplier)。
- 10.3 每三週均以標準油重新校正一次分析設備之校正參數，每批樣均執行標準油及標準氣之品管。

## 十一、油中 CO 相關議題之討論：Doble 公司對 CO 濃度值的升高此提出四個方向供參考。

- 11.1 檢查設備冷卻設計，並同時包含檢查 CO<sub>2</sub>、糠醛、甲醇之指標值。

- 11.2 檢查絕緣油之 stray gassing 產物。
- 11.3 確認 paper life 測試結果：將絕緣紙加熱至 150°C、165°C、180°C 並分別測試 DP 值。
- 11.4 確認絕緣油與設備使用之材料相容性問題。

十二、Stray Gassing 測試 (ASTM D7150 Method A) 實做參訪及步驟摘要：

- 12.1 如絕緣油有可見之顆粒，應先以 1~1.2  $\mu$  m cellulose ester filter 過濾。過濾時取 225mL 絕緣油，捨棄前 25mL 過濾之絕緣油後，取剩下之絕緣油。過濾後所裝盛的燒瓶，應先去離子水洗淨後 100°C 烘乾 4 小時。
- 12.1 將絕緣油後以裝入 2 支針筒 (30mL 針筒裝 25mL 油, 50mL 針筒裝 40mL 油)，若模擬開放式變壓器則以乾燥空氣 200mL/min 吹驅 30±3 分鐘進行除氣，若模擬密封式變壓器則以乾燥氮氣 200mL/min 吹驅 30±3 分鐘進行除氣。
- 12.2 將針筒推桿裝回後，卸除三通閥，改裝封口金屬頭後入烘箱加熱 120±2°C 經 164 小時±15 分鐘後，取出回室溫降溫至少 1 小時。
- 12.3 卸除封口金屬頭，改接三通閥並排氣後，進行 DGA 測試。
- 12.4 以上重複之測試結果應可符合：

N2 和 O2	±12% 平均值
碳氫化合物	±10% 平均值 和 ±2ppmv
氫氣	±10% 平均值 和 ±3ppmv



圖：第 12.2 節封口金屬頭

十三、變壓器風險監控軟體：變壓器風險監控軟體透過變壓器的各項測試數據或運轉資料為變壓器進行風險評估，多數線上監測設備都有附加的風險評估軟體。現行的風險評估軟體除了線上數據之即時監控功能，亦強調之重要功能概述如下。

13.1 線上數據即時監控，包含數據趨勢圖、危險等級。

13.2 資料儲存之安全性及備份問題。

13.3 數據之自動診斷功能，如：油中氣體分析之杜威三角、Rogers 診斷法等。

13.4 資料庫間（不同監控軟體系統）之整合後的綜合評估：包含不同試驗結果之綜合評估、整合實驗室數據與線上數據資料、整合測試數據與實際位置及線路間關係等。

13.5 進行各項試驗或巡檢之排程提醒。

13.6 資料庫統計分析功能：包含多重條件篩選之統計、篩選後之資料進行分類及標竿分析。



圖(左): 數據趨勢監控



圖(右): 衛星圖與監控設備資料之結合

## 肆、心得與建議

1. 隨資訊之進步，本所多數試驗項目之管理皆已電子化，並建有實驗室資訊管理系統。在 2017 新版之 ISO/IEC 17025 對測試與校正實驗室能力之要求事項中，亦增加對實驗室資訊管理系統之使用要求，此顯示電子化的作業方式已然成為國際實驗室管理之主流。在本次參訪之 Doble 實驗室亦採電子報告方式已逾 10 年，然本所之試驗報告現仍採紙本簽核後郵寄給委託試驗客戶之方式進行。建議可在確保資訊安全之前提下，朝向報告無紙化的形式邁進。無紙化措施不僅可對環保盡一份心力，更可透過提供報告電子檔 email 寄送、line 傳送、線上報告閱覽平台等方式，縮短報告交期，並將更完整之資訊一次於報告中呈現給客戶，並便於客戶文件整理及自行利用數據進行設備管理。相信在無紙化措施下，可使本公司試驗業務對委託客戶有更佳的服務品質，並提升試驗業務之競爭力。
2. 本公司目前參考現行 IEEE C57.106-2015 標準，對絕緣油中含水量之試驗結果，直接以採得樣品之油中含水量濃度值進行診斷。然而，在油浸式變壓器中，油溫變化會對其水份在變壓器絕緣紙及絕緣油中的平衡產生顯著影響，進而會影響到絕緣油之含水量與耐電壓之測試結果及符合性判定結果。建議將採樣時之「頂部油溫」列為含水量及耐壓試驗之必要附加資訊，以在診斷時可同時考量溫度造成的平衡效應對測試結果之影響程度。並建議於診斷時，亦同時利用油溫換算出水份在油中的相

對飽和度及絕緣紙含水量，以對油中水份對變壓器運轉安全之影響程度，以及該變壓器整體濕度，進行更深度之評估。

3. 變壓器油中一氧化碳濃度，一般為變壓器內部絕緣紙是否過熱之重要指標之一。然而，絕緣紙過熱並非產生一氧化碳的唯一可能來源。建議對一氧化碳較高變壓器，挑選適當樣品進一步做油品 stray gassing 試驗，並檢視變壓器採購規範內容是否涉及材料相容性問題，以進一步釐清高一氧化碳變壓器之氣體產生原因。
4. 目前變壓器之一氧化碳診斷基準值為參考國際標準 IEC 60599:2015 及 IEEE C57.104-2008 所訂定，然而 IEC 60599:2015 提及近年密封式變壓器或呼吸作用較低的開放式變壓器，可能有一氧化碳蓄積情形會使測值較高。建議對目前之一氧化碳值及增加率進行統計分析，提供更適當且適合台電公司變壓器設計之管制建議值，供實驗室測試結果診斷及線上監測設備警報值設定用。
5. 變壓器油中糠醛濃度，一般為變壓器內部絕緣紙是否老化之重要指標之一。目前變壓器之糠醛值診斷基準為參考美國內政部 2003 年發表之變壓器診斷方法。然該文件僅針對糠醛之濃度絕對值做診斷建議，當糠醛濃度有異常上升速率時，無法在低濃度的絕緣紙老化前期就進行警告。建議學習 Doble 公司材料實驗室糠醛基準之建立方式，利用統計方法計算糠醛濃度分布或增加率分布情形，納入診斷之異常值判定或再試間隔判定之考量。
6. 建議進一步將絕緣紙老化相關化學指標 CO<sub>2</sub>、CO、糠醛、甲醇、含水量、界面張力、酸價，建立出現劣化徵象之先後順序、成長速率，及其和負載形式、油溫、DP 值與 DP 分布間之關係，以利未來利用化學指標對變壓器壽命作更精準之評估。