

出國報告（出國類別：研習）

赴美國、加拿大研習電力設備
異常診斷化學技術

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：童耀宗課長

派赴國家：美國、加拿大

出國期間：97年10月13~26日

報告日期：97年12月8日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：赴美國、加拿大研習電力設備異常診斷化學技術

頁數 22 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/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/油料試驗課長/23601011

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：97年10月13~26日

出國地區：美國、加拿大

報告日期：97年12月8日

分類號/目

關鍵詞：變壓器絕緣材料除水技術、變壓器線上油中氣體偵測器、球塞

閥(globe valve)，ASTM D3612 Method C 油樣前處理自動化技術。

內容摘要：(二百至三百字)

研習內容(1)赴美國 Velcon 公司研習變壓器絕緣材料除水技術(2)赴 GE Syprotec 公司及 MORGAN SCHAFFER 公司研習變壓器線上油中氣體監測技術(3)赴加拿大 Powertech 公司研習實驗室 ASTM D3612 Method C—Headspace sampling 變壓器油中氣體分析技術。

建議(1) 藉油中水分試驗篩選高含水量變壓器做線上油中水分測試，經評估絕緣紙為高含水量變壓器應進行線上除水，以延長變壓器壽命及運轉安全(2)變壓器線上油中氣體偵測器出現氣體過高警報時，須送本所實驗室做油中氣體分析確認及診斷(3)建議新製變壓器如裝 GE Syprotec 公司 Hydran 201Ti 偵測器，建議油閥由 globe valve 改為 gate valve 以提升油對流效果，增進油中氣體偵測速度及準確度(4) MORGAN SCHAFFER 公司的 Calisto2 線上油中氣體分析儀，由於有油泵循環，偵測器較容易採到代表性的油樣，且可單獨測氫氣及一氧化碳，大致分辦事故類別，經評估其性能符合本公司需求，現場單位採購可參考(5) 變壓器油中氣體分析引進 ASTM D3612 方法 C HEADSPACE SAMPLING 法技術，及油樣前處理自動化設備，以提升油品分析自動化。

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

目 錄

頁次

壹、出國任務說明-----	2
貳、出國行程-----	2
參、工作內容-----	2
肆、心得與建議事項-----	3
伍、研習內容摘要-----	4

壹、出國任務說明

- 一、變壓器絕緣材料含水量偏高會加速絕緣材料劣化，當變壓器承受大電流時，水易起泡造成線圈短路，本所電力變壓器水分管理技術研究，擬針對絕緣材料含水量偏高變壓器進行除水，以維護變器運轉安全，故至美國 Velcon 公司研習變壓器絕緣材料除水技術。
- 二、為預防變壓器事故，本公司計畫於發電單位、核能單位、供電單位及業務單位安裝線上可燃性氣體偵測器，目前安裝最多的為供電處約 800 具，GE Syprotec 公司製 Hydran 201Ti 產品，故至原廠實習相關技術。
- 三、加拿大 MORGAN SCHAFFER 公司 Calisto 2 變壓器線上油中氣體監測偵測器，可同時分析油中氫氣、一氧化碳及含水量，目前本公司已開始引用，故至該公司研習相關技術，以了解使用與維護相關事宜。
- 四、目前本所實驗室變壓器油中氣體分析技術採用 ASTM D3612 Method B -Stripper Column Extraction，不易自動化，ASTM D3612 Method C—Headspace sampling 較易自動化分析，加拿大 Powertech 公司並已開發該方法之油樣前處理自動化設備，可提高試驗重覆性，減少人為誤差，故至該公司研習相關技術，以作引進該技術之評估。

貳、出國行程

起始日	迄止日	前往機構	所在城市	工作內容
971013	971013			去程
971014	971015	Velcon	美國 Colorado Springs	研習變壓器絕緣材料除水技術
971016	971016			Colorado Springs—丹佛—蒙特婁
971017	971021	MORGAN SCHAFFER	加拿大蒙特婁	研習變壓器線上油中氣體與水分偵測技術。
971022	971022	GE Syprotec	加拿大蒙特婁	研習變壓器線上油中氣體與水分分析技術。
971023	971024	Powertech	溫哥華	研習變壓器油中氣體分析及油樣前處理自動化技術。
971025	971026			返程

參、工作內容

- 一、美國 Velcon 公司
 1. 參觀工廠
 2. 查核本所所購 4 台濾油機是否符合採購規格
 3. 討論濾油機相關技術
 4. 實際測試濾油機功能
- 二、加拿大 MORGAN SCHAFFER 公司
 1. 參觀工廠

2. 參觀實驗室
 3. 研習 Calisto2 線上油中氣體分析及油中含水量分析技術
 4. 研習 Myrkos 攜帶型油中氣體分析儀
 5. 提問討論
- 三、加拿大 GE Syprotec 公司
1. Hydran M2 線上油中氣體分析及油中含水量分析技術
 2. 提問討論
 3. 參觀工廠
- 四、加拿大 Powertech 公司
1. 提問討論
 2. ASTM D3612 C 法油中氣體分析油樣前處理自動化設備功能了解
 3. 參觀實驗室

肆、心得與建議事項

一、心得

1. 濾油機安裝變壓器後主要是考慮濾油機管路中空氣去除，才能將油打入變壓器，否則油中帶入之氣泡如跑到線圈，易造成短路現象，Velcon 公司採用抽真空及進油擠壓空氣放氣等步驟能有效去除濾油機內殘存空氣。
2. 本所採購之 4 台濾油機之操作控制採用觸控式面板，是特別設的機種，面板上可顯示各種儀表數據、濾心累計除水量、濾心消耗百分比等，面板可顯示三向閥方向及油泵開閉，操作便利，另 Velcon 公司已開發軟體可遠端監控濾油機，未來可考慮引進。
3. 此次研習之 MORGAN SCHAFFER 公司及 GE Syprotec 公司變壓器線上油中氣體偵測器均屬簡易型，MORGAN SCHAFFER 公司測氫氣及一氧化碳，GE Syprotec 公司主要是測氫氣(其他氣體對偵測器靈敏度差無法各別量化)，氫氣是變壓器油中放電主要產生的氣體，一氧化碳是絕緣紙受熱產生的氣體，線上持續追蹤可達事故早期預警的果效。油中含水量偵測，必須測試本體油溫，才能評估變壓器絕緣紙含水量。
4. 變壓器線上油中氣體偵測器及水分偵測器均應安裝在油流效果好的地方，才能測得變壓器本體具代表性的油樣，測試結果也較快速準確，MORGAN SCHAFFER 公司線上油中氣體及水分分析儀偵測的油有循環(有進、出油管及油泵)，GE Syprotec 公司線上油中氣體及水分分析儀是安裝在一個油閥上利用熱對流達到循環效果，但本公司大都是安裝在球塞閥 globe valve(正確是安裝在閘閥 gate valve)孔徑比實際管徑小，油流效果差，因此常造成誤警報。
5. 油中氣體分析 ASTM D3612 Method C—Headspace sampling 分析技術，可使油

品分析自動化，但樣品前處理過程繁複，易出差錯，影響測試結果之重覆性，加拿大 Powertech 公司油樣前處理自動化技術，改良該方法前處理步驟，主要是採用抽真空及固定針技術可減少空氣污染，並採用氣動泵推針筒精確控制油樣體積，可減少人為出錯機會且增進油樣前處理效率。

二、建議事項

1. Velcon 公司已開發軟體可遠端監控濾油機，建議引進相關通訊設備及軟體，藉現場濾油機安裝無線發射器，發射到有通訊線路及接收器的地點，再透過通訊線路連接到主機，做遠端監控，以節省人力往返現場。
2. 當變壓器含水量偏低(濾心最多可將油濾到 10ppm)，濾油機濾心吸收水分的效率會偏低，建議處理方式為:(1)停下濾油機一週，讓水分從絕緣紙釋出後再濾油。(2)移到高含水量變壓器濾油。
3. 建議新製變壓器如裝 GE Syprotec 公司 Hydran 201Ti 偵測器，建議油閥由 globe valve 改為 gate valve 以提升油對流效果，增進油中氣體偵測速度及準確度。
4. MORGAN SCHAFFER 公司的 Calisto2 線上油中氣體分析儀，由於有油泵循環，偵測器較容易採到代表性的油樣，可單獨測氫氣及一氧化碳，可大致分辨事故類別，建議現場單位可參考採購。
5. 變壓器油中氣體分析引進 ASTM D3612 方法 C(HEADSPACE SAMPLING 法)，及油樣前處理自動化設備，以提升油品分析自動化，增加試驗產能。

伍、研習內容摘要

一、赴美國 Velcon 公司研習變壓器絕緣材料除水技術

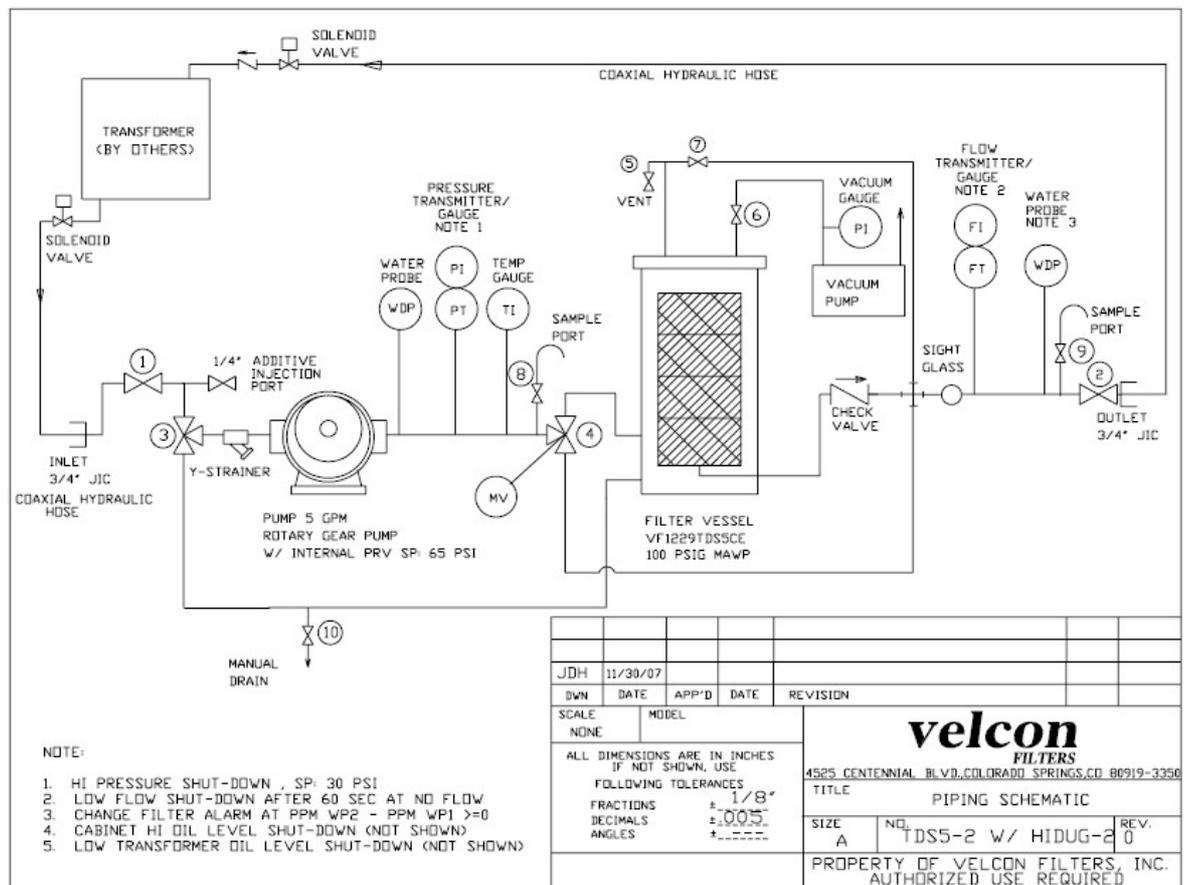
1. 概述

Velcon 公司是一家做濾心及設備的公司(主要用於燃油、潤滑油、絕緣油過濾)，其中航空燃油過濾設備是該公司主要業務。本公司採購之 TDS5 MK II 濾油機，其除變壓器絕緣材料水分技術，是在變壓器線上作業進行，藉著變壓器負載產生的熱，將紙中的水移到乾的油中，TDS5 MK II 濾油機的濾心 SuperDri™ cartridge (Velcon 公司專利技術)可將本體油在流速每分鐘 5 加侖條件下將油中含水量降到 10ppm 以下，線上持續運作，可降低變壓器絕緣材料含水量。

2. 濾油機的設計

- (1)濾油機連接變壓器上下油閥，藉由油泵將油從變壓器下油閥經過濾心乾燥，再經上油閥回到變壓器。
- (2)濾油機不須加熱及抽真空，濾油過程中不移除可燃性氣體（包括甲烷、乙烷、乙烯、乙炔及氫氣等）。
- (3)藉由濾心前後水分計、油的流速，可計算濾心濾除的水分。
- (4)真空泵是為抽除管路中所含的空氣，以免將氣泡帶入變壓器。
- (5)流量計及壓力計可用來保護系統。
- (6)濾心容器後的玻璃視窗是用來觀察油流。

3. 濾油機結構及流程圖



4. 濾油機安裝

接電源、接地、濾心安裝(共 4 個)、進出口閥管子連接。

5. 濾油機抽真空及注油(去除濾油機內空氣，避空氣跑到變壓器內)

- (1)將濾油機 V1、V2、V6 及 V7 打開，V3、V4 三向閥轉向過濾方向。
- (2)關 V5、V8 及 V9 閥，打開真空閥抽真空至少 30 分鐘(真空壓力如低於 22inch Hg，則須檢查濾心容器及閥是否關緊)，此時系統管路到 inlet 和 outlet 電磁閥前皆被抽真空。
- (3)接下來關 V6、V7 閥及真空泵
- (4)打開變壓器下油閥，打開油泵，此時 inlet 和 outlet 電磁閥會打開，油會開始充滿濾油機，約 60 秒系統因流量計流速過低而關機。
- (5)REST 系統並 RESTART 系統，直到系統因高油壓而關機(因變壓器上油閥沒有打開，油流不出去。)，此時靜置 2~3 分鐘，讓空氣浮上濾心容器上方，慢慢打開 V5，讓空氣吹出，直到油出現才關閉 V5。
- (6)重覆上一步驟 REST 系統並 RESTART 系統，直到打開 V5 只有油出現，如此可排除 inlet 和 outlet 油管及所有管路中的空氣。
- (7)打開變壓器上油閥，RESTART 系統，油開始在變壓器及濾油機間循環。

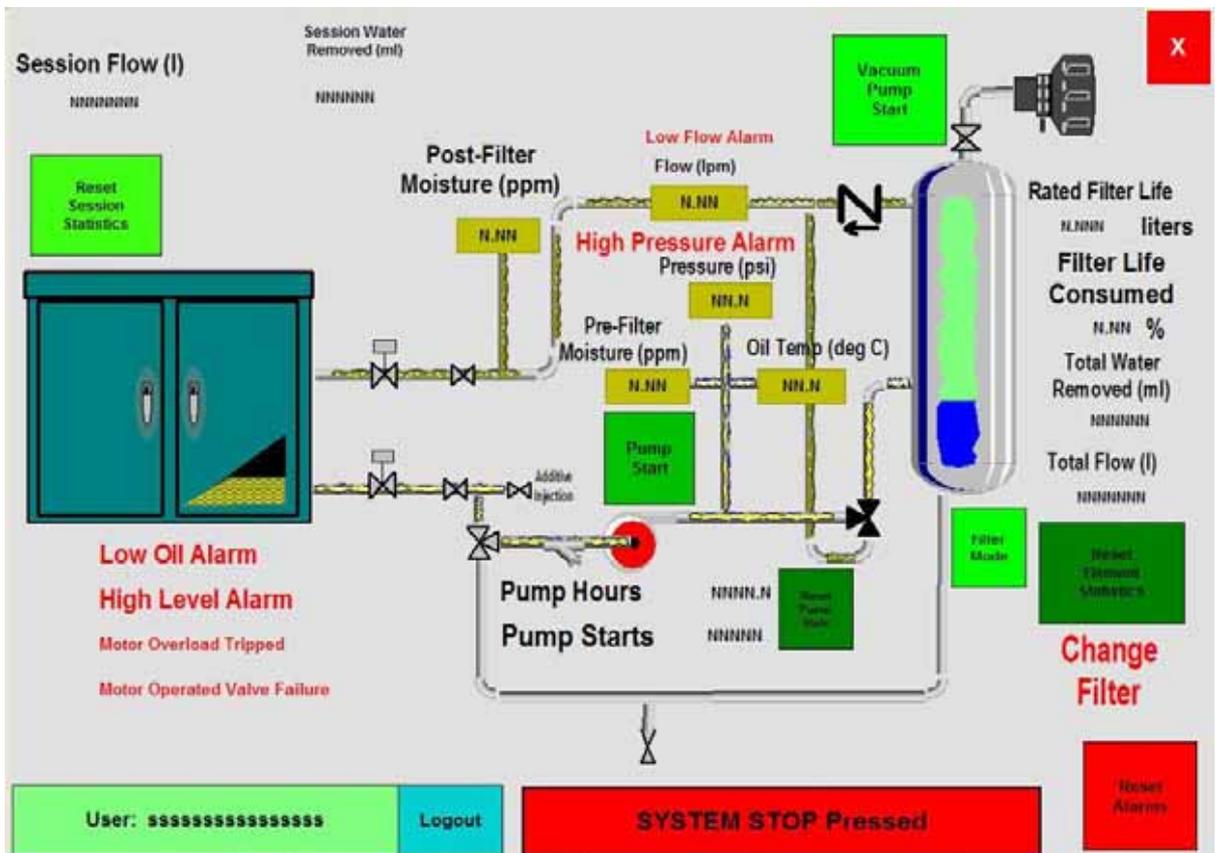
6. 濾心更換程序

- (1)系統關閉，關閉 V1，將 V3 及 V4 三向閥轉到排油位置。

- (2)將 V5 打開(通大氣)，RESTART 系統約 1 分鐘，油排入變壓器中，此時濾心容器油量約少於 1/2，注意不要把濾心容器內油抽乾，以免空氣跑到變壓器內。
- (3)RESET 系統，並關 V5 及 V2 閥，打開濾心容器，更換濾心，關閉濾心容器。
- (4)將 V3 及 V4 三向閥轉到過濾方向，打開 V6、V7 閥及真空泵，抽真空 15 分鐘。
- (5)關 V6、V7 閥及真空泵，打開 V1 閥，打開油泵，此時 inlet 和 outlet 電磁閥會打開，油會開始充滿濾油機，約 60 秒系統因流量計流速過低而關機。
- (6)RESET 系統並 RESTART 系統，直到系統因高油壓而關機(因變壓器上油閥沒有打開，油流不出去。)，此時靜置 2~3 分鐘，讓空氣浮上來，慢慢打開 V5，讓空氣吹出，關閉直到油出現。
- (7)重覆上一步驟 REST 系統並 RESTART 系統，直到打開 V5 只有油出現，如此可排除 inlet 和 outlet 油管及所有管路中的空氣。
- (8)打開變壓器上油閥，RESTART 系統，油開始在變壓器及濾油機間循環。

7. 濾油機的監控

濾油機的觸控畫面如下圖:



- (1)可顯示濾心容器前「油含水量」、「油壓力」及「油溫」。
- (2)可顯示濾心容器後「油流速」及「油含水量」。

- (3)可顯示濾心容器「油總流量」、「濾心消耗百分比」、「總除水量」。
- (4)可顯示變壓器濾心「批次流量」及「批次除水量」。
- (5)可顯示油泵、閥開閉狀態，綠色表示開，紅色表示關。
- (6)可顯示濾心容器前三向閥，是在過濾還是在旁路方向。
- (7)可觸控油泵開關、濾心容器前三向閥方向、系統開關。
- (8)Total Water Removed(指換一組濾心的濾除水量)歸零按右邊 RESET 鍵，
Session Water Removed(指換一批濾心的濾除水量)歸零按左邊 RESET 鍵。
- (9)可用 NB 下載資料：

NB 需安裝軟體(軟體畫面與濾油機面板軟體畫面相同)才可下載資料，資料格式是一長字串，再分割，分別代表油流量，水分，運轉時間等，也可由 NB 控制濾油機。

- (10)可遠端監控濾油機：

有兩個控制界面，一個在濾油機內，一個在濾油機外面(觸控式界面)，兩個控制界面用 ethernet 線連接，將內控制界面記錄的數據傳輸到外面面板控制界面。外面面板插孔用 ethernet 線接上 hub，再由 hub 連接 ethernet 線到 wifi 及放射器，另一端為 wifi 接收器(距離最遠 300 公尺)，如使用 wifi 及接收天線(距離最遠 10 公里)，另一端 wifi 再與光纖連接，本所主機可透光纖接收數據，主機安裝之軟體與濾油機控制面板顯示的畫面一致，可做濾油機遠端監控。

- (11)儀表數據的紀錄

濾油機內控制界面每 10 分鐘記錄一次，共可記錄 200 筆資料，外部控制面板，每 2 秒記錄一次，可紀錄 2000 秒(1000 筆數據)。

- (12)濾心已吸收水分之重量的計算

濾心吸收水分之重量=由過濾器前後含水量偵測器含水量差異 x 流量 x 時間計算的結果(每 0.5 秒計算一次，累積除水重量，因水分計每 0.5 秒記錄一次，流量計每 2 秒記錄一次)

- 8. 當變壓器含水量偏低(濾心最多可將油濾到 10ppm)，濾油機濾心吸收水分的效率會偏低，處理方式為:

- (1)濾油一段時間後停下濾油機一週，讓水分從絕緣紙釋出後再濾油。
- (2)移到高含水量變壓器濾油。

二、赴加拿大 MORGAN SCHAFFER 公司研習變壓器線上油中氣體與水分偵測技術

1. 概述

MORGAN SCHAFFER 公司起源於 Dr. James E. Morgan and Dr. Robert Schaffer 於 1965 發展的變壓器油中氣體分析技術，很快被電氣界採用作為變壓器故障診斷的基礎。1965~1990 從事變壓器油中氣體及油品特性試驗，1991~2000 開發變壓器線上及攜帶型油中氣體偵測器，2001~2003 製作油中氣體標準油，該公司實驗室有三套真空法油中氣體分析儀(ASTM D3612 A 法)，二套做變壓器本體油中氣體分析，一套做 OLTC 油中氣體分析。

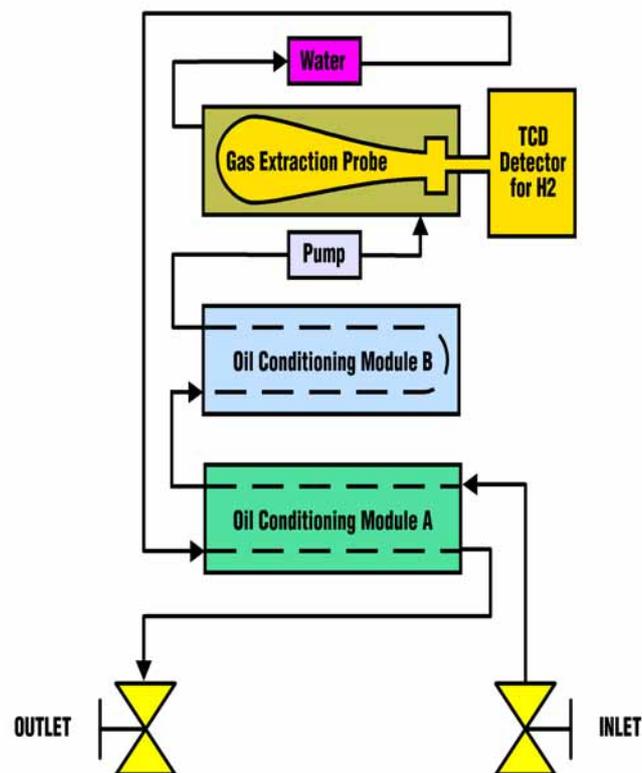
2. 變壓器線上油中氣體與水分偵測技術

(1) MS Calisto2 線上油中氣體分析儀簡介

MS Calisto2 主要是測變壓器油中氫氣、一氧化碳及水分，選擇變壓器兩個油閥接管線到 MS Calisto2 偵測器的入口端及出口端，MS Calisto2 本身有油泵，油經過偵測器再回到變壓器本體。



(2) 偵測原理



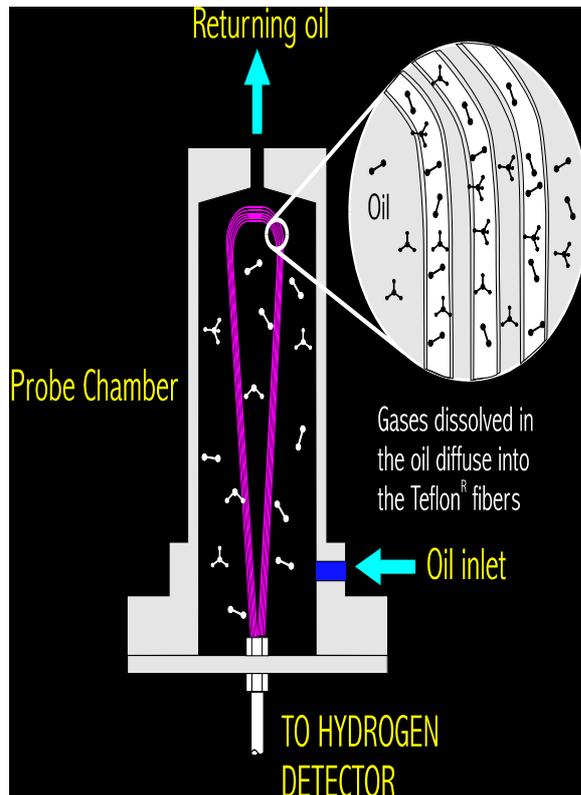
油在恆溫下(35°C)經過儀器內脫氣裝置，氣體脫出經偵測器偵測氫氣及一氧化碳濃度，油再經水分計偵測水分。

油脫氣裝置如下圖：



它是 Teflon fibers，每一根 fiber 像髮絲般細，可萃取油中氣體。

油中氣體由油擴散至 Teflon fibers 再到偵測器示意圖



氫氣及一氧化碳偵測器皆為熱傳導偵測器，它們對其他可燃性氣體的反應很小。油溫維持在 35°C 的理由是 PTFE 管氣體滲透的特性較為固定，故可測到穩定的值，不會產生上下起伏的現象，而不易看出氣體成長趨勢。

水分偵測器是 capacitive relative saturation sensor。

(3) 偵測器的校正

H2 偵測器用標準氣體調校，記錄 0 點、10ppm、250ppm 標準氣體的 mV 值，CO 偵測器用標準氣體調校，記錄 0 點、10ppm、500ppm 標準氣體的 mV 值，再到現場 H2 以 0ppm(黃色油管)、30~40ppm(綠色油管)、>500ppm(紅色油管)

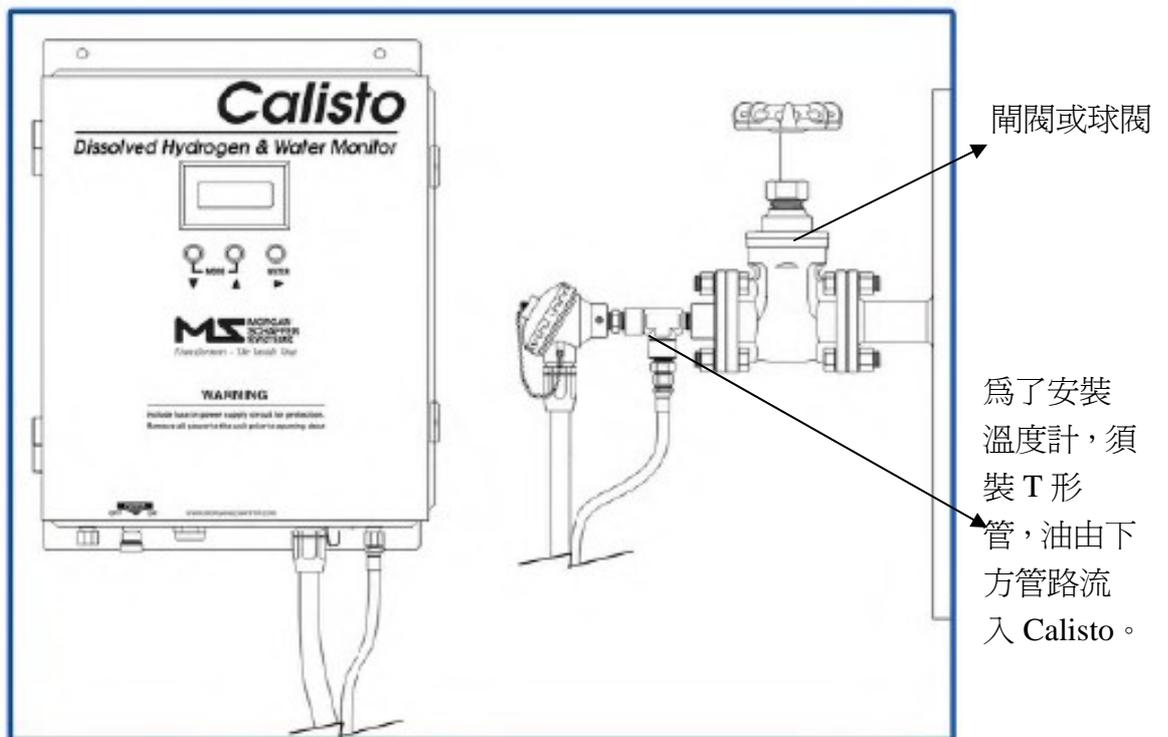
配置之標準油與查核件 Calisto-2 綠色油管一台，紅色油管一台比對，油同時送實驗室及攜帶型氫氣偵測設備測試比對。CO 與 30、600、2500ppm 標準油比對。H₂O 以乾燥空氣脫氣之標準油做 0 點比對，H₂O 偵測器之校正係依據原廠校正，本身不做校正。

現場不做校正，每 3 小時只對電子訊號 baseline 做歸零動作，零點是在實驗室建立的。

(4) Calisto-2 安裝進出口油閥的位置

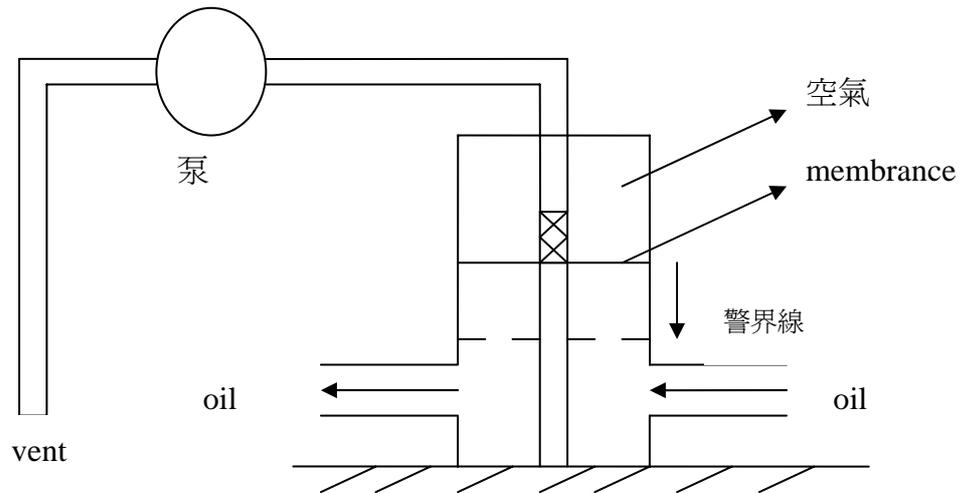
進口油閥的位置最好在變壓器底部 46cm 以上，以免抽到油泥損壞油泵，如果只測氫氣，最好由上油閥進，下油閥入。如果同時測氫氣及水分，最好中油閥進，下油閥入。進出口油閥的距離最好超過 1 公尺。

(5) Moisture measurement 的表示方式 %RS at Tt，溫度測棒的安裝位置。



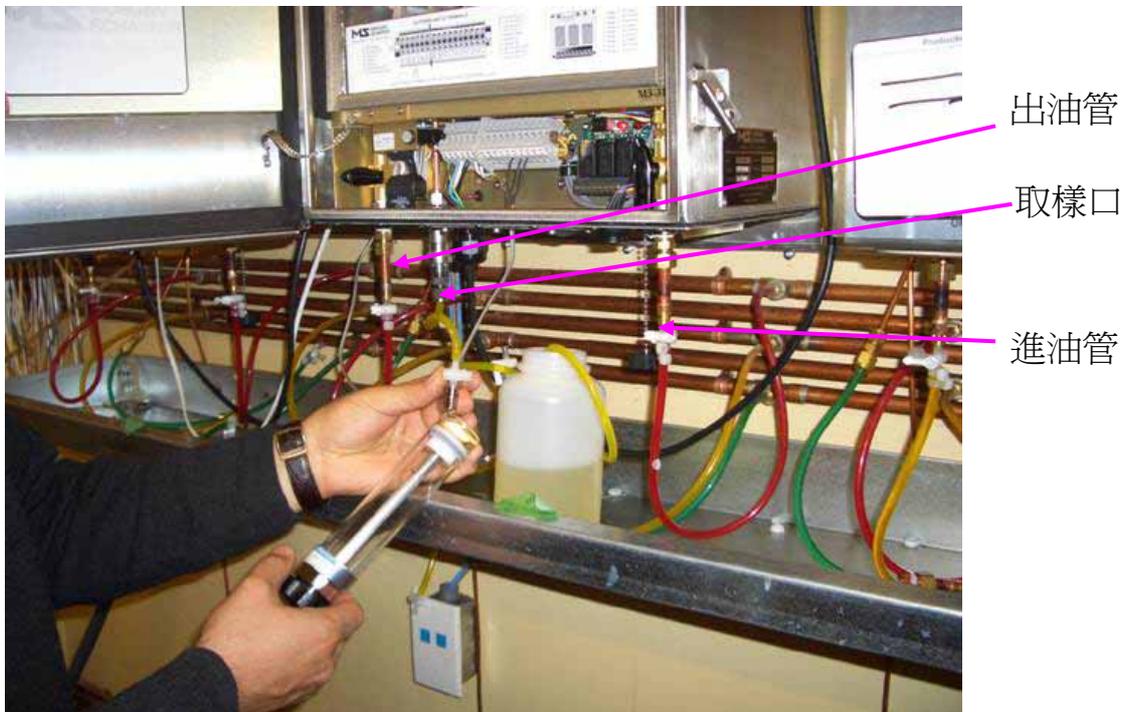
油閥必須爲閘閥或球閥，溫度測棒才能穿過，由於有本體油溫，可用來計算本體油 %RS，此數據可用來評估變壓器絕緣紙含水量。

(6) Calisto-2 如何排除管路中的氣泡



在 inlet valve 與 outlet valve 間有 automatic bubble removal 設備，當油管中有氣泡，氣泡會在滲透膜上方累積使油位下降，當下降到警界線，就會有訊號通知泵將空氣抽走，如此可避免空氣進到變壓器中。

(7) 有進油管與出油管與採油樣口，由於油的循環，較容易採到代表性的油樣。



(8) Calisto-2 維護費用

每年每一個 Calisto 監視器應檢查外觀，確認無明顯問題(灰塵、昆蟲、鳥巢等)，4~5 年 Calisto 泵及偵測器可免費更換，6~10 年一小部分監視器需維修包括更換零件，如需維修，一台 Calisto 原廠修理費用約在 8~11 萬。

三、KL 赴加拿大 GE Syprotec 公司研習變壓器線上油中氣體與水分偵測技術

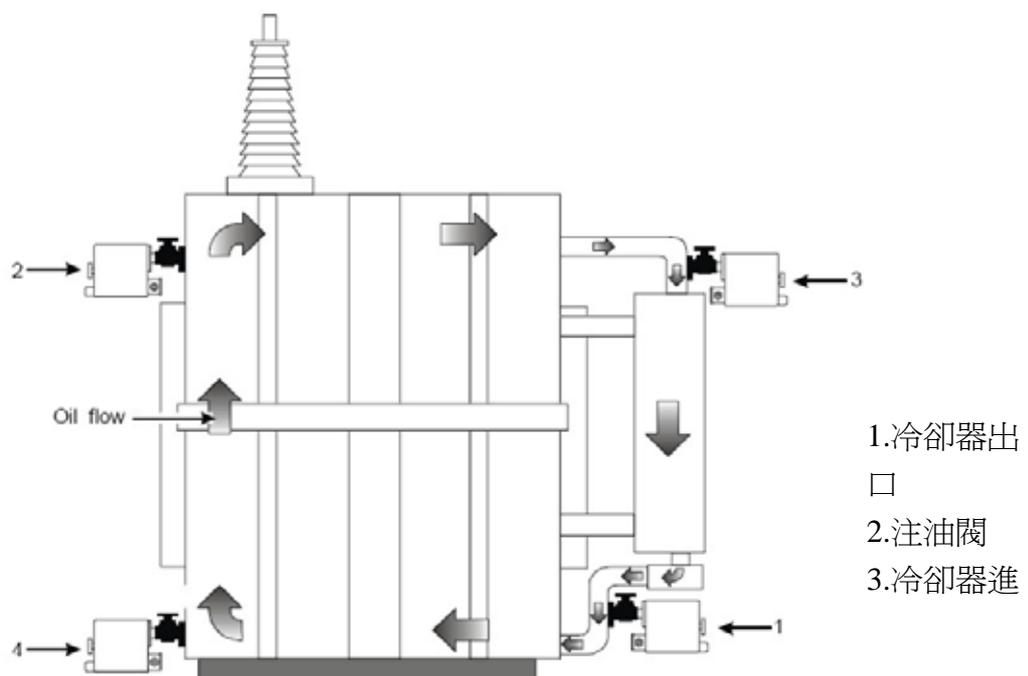
1 · Hydran 201Ti、Hydran M2 簡介

Hydran 201Ti 主要是測變壓器油中可燃性氣體(=H₂ 濃度 x100%+CO 濃度 x18%+C₂H₂ 濃度 x8%+C₂H₄ 濃度 x1.5%)，Hydran M2 除了測油中可燃性氣體還可測水分，安裝在現有的閥組上，利用本體油溫與偵測器加熱器間的油溫差產生熱對流，將油引自偵測器，以偵測油中氣體及水分。

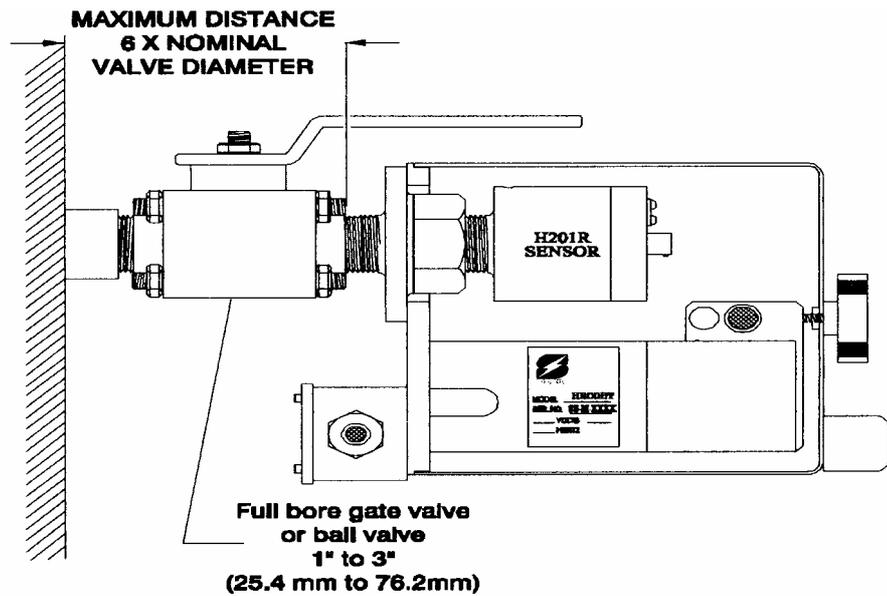
Hydran 201i 現場安裝相片



2 · Hydran 201i 及 M2 建議安裝位置

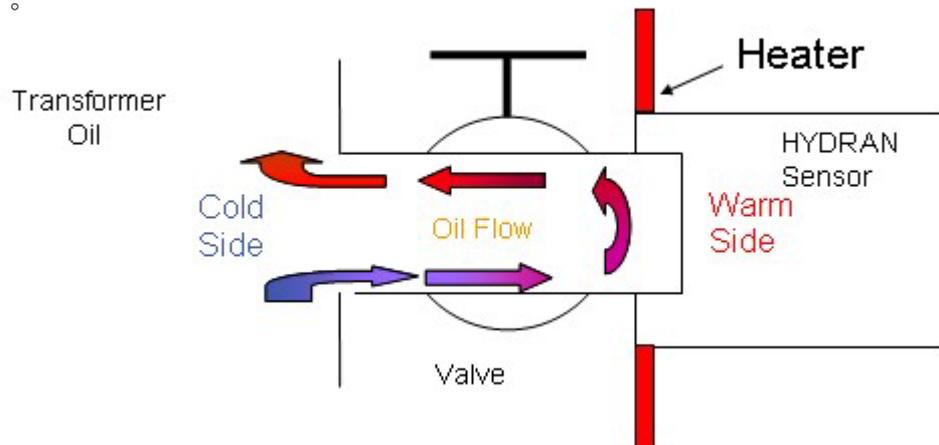


感測器與變壓器之最大距離須小於管內徑之 6 倍，如下圖：

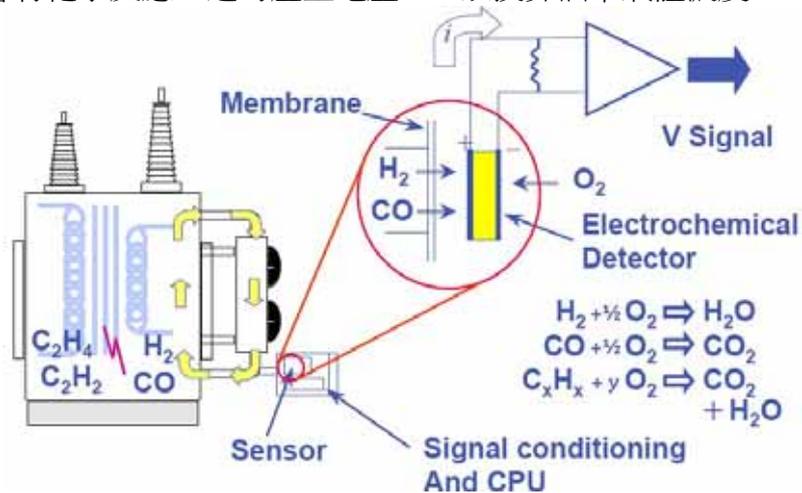


3 · Hydran 201Ti 油中氣體的偵測原理

利用偵測器加熱板與本體油溫的溫差，將變壓器本體油用對流的方式引進偵測器。



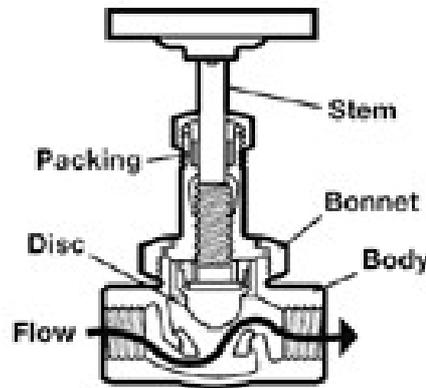
此時油中可燃性氣體都會通過薄膜，燃燒電池反應機構如下圖，H₂ 及 CO 較輕速度快易與週圍 O₂ 產生反應，C₂H₄、C₂H₂ 也會與 O₂ 反應，在燃料電池中會有化學反應，這可產生電壓 V，以換算油中氣體濃度。



氣體反應靈敏度，H₂ 是濃度的 100%，CO 是濃度的 18%，C₂H₂ 是濃度的 8%，C₂H₄ 是濃度的 1.5%。

4 · Hydran 201Ti 的校正

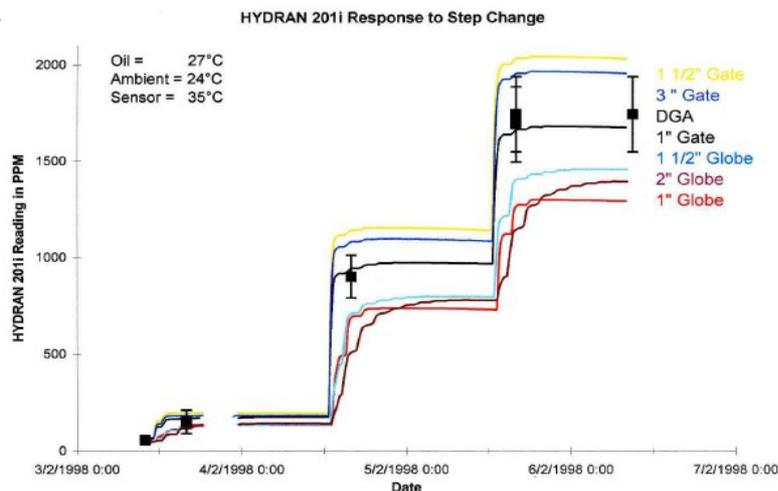
- (1)出廠前校驗只針對 H₂，由於 CO、C₂H₄、C₂H₂ 不是全反應，未做校正，H₂ 針對不同溫度 10、45、70°C 及不同油中 H₂ 濃度 0、100、350、1000、2000ppm 用兩週時間測試，決定校正參數。現場 Hydran 201Ti 每兩週會送出電子訊號，檢查 sensor 功能是否正常，如不正常 sensor 須更換。
- (2)目前台電公司 Hydran 201Ti 都是安裝在 globe valve 上，而非 gate valve 或 ball valve，對測試結果之影響。按原廠規定 Hydran 201Ti 應安裝在 gate valve 或 ball valve，這是全開閥油可以有較好的循環，但 globe valve 由於管徑小，油的對流效果變差，會遲緩氣體到達偵測器的時間，及使測值變小，原廠針對 globe valve 會調高校正後的值約 40~50%，到現場安裝後油樣要送樣到實驗室比對測值，再調校一次。



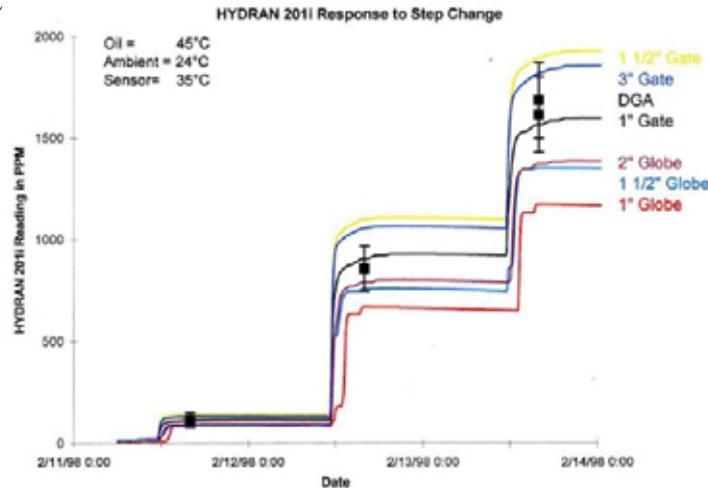
globe valve 管徑變小且油路徑呈 S 形，並不是直通，會影響本體與偵測器之間油的對流

- (3)為了配合 globe valve 將 sensor 加熱器溫度由 35°C±10°C 提升至 45°C±10°C，可否改善 globe valve 口徑過小，對流效果差的缺失。要看變壓器取樣點的油溫與偵測器油溫的溫差，溫差愈大對流效果愈好，曾做過偵測器油溫 45°C 模擬試驗，但數據已遺失，能改善 globe valve 的缺失，但不能完全。以下為 GE 公司模擬變壓器不同油溫及不同尺寸 gate valve、globe valve 對維持 35°C Hydran sensor 測值的影響：

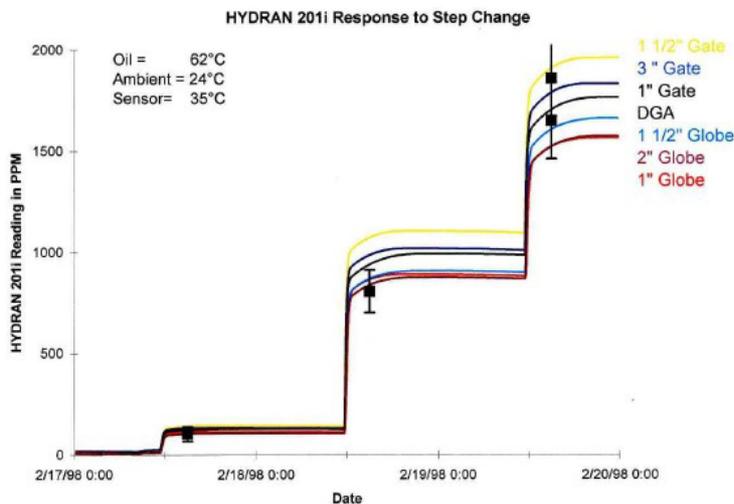
a.油溫 27°C



b.油溫 45°C



c.油溫 62°C



結論:本體油溫愈高 globe valve 與 gate valve 偵測器反應速度與測值愈接近，至於偵測器溫度由 35°C±10°C 提升至 45°C±10°C，油循環的效果則是要看本體油溫與偵測器溫度間的差異，但有一個事實用 globe valve 偵測器的測值比用 gate valve 偵測器的測值低。

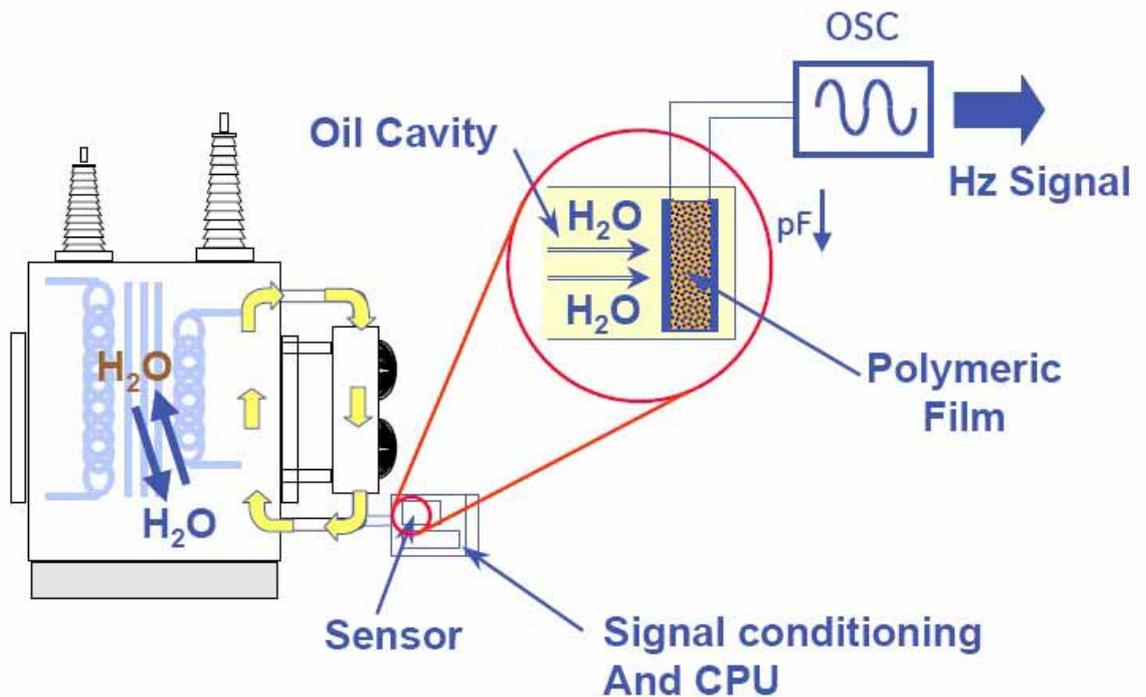
- (4)偵測器薄膜如何製造，偵測器薄膜一般壽命及壽命縮短的原因：
用鐵弗龍材質製造，新的 sensor 由於與鐵片結合，已可耐真空；一般薄膜壽命 10 年。加熱器溫度由 35°C 提升至 45°C 可能會縮短薄膜使用壽命。
- (5)最近台電常發生可燃性氣體值超過第一段警報值 100ppm，但送實驗室測出結果又正常，原因為何?上述狀況，為何在 Hydran 201i 取樣口放流 1 公升以上後會恢復正常讀值?也許是因安裝位置是變壓器死角，且閥是 globe valve，易積存氫氣在偵測器位置，其他可燃性氣體偏高原因可能是突波、偵測器故障。
- (6)採油樣作 DGA，透過 Hydran 201Ti 採樣口的步驟。
GE 公司的做法是將針筒插入 Hydran 201Ti 採樣口，讓油沖洗針筒兩次，舉起針筒 PURGE 上方空氣，完成取樣。取油畫面如下圖，可採到與偵測器很接近之的油樣，但無法採到本體代表性油樣。



(7)Hydran 201Ti 維護費用

由於安裝在 globe valve 需將油樣溫度自 35°C 提高到 45°C，因此氣體滲透膜的壽命有減少之虞，如每 3~5 年更換 1 次每次約 9 萬元；氣體偵測器通常 6~7 年更換，費用約 9 萬元，尚有其他組件有時也可能損壞，像 CPU 模組等。

(8)水分偵測器的偵測原理



水分表示方式%RH 或 ppm

(9)水分偵測器的校正

在 35°C 用 0.5%、6.4%、11.3%、22.4%、32.7%、43.1% 及 75.2%RH 不同溼度飽和溶液校正，計算出最適合的轉換參數。儀器準確度 +/-2%RH 或 +/-10%rdg +/-25ppm。

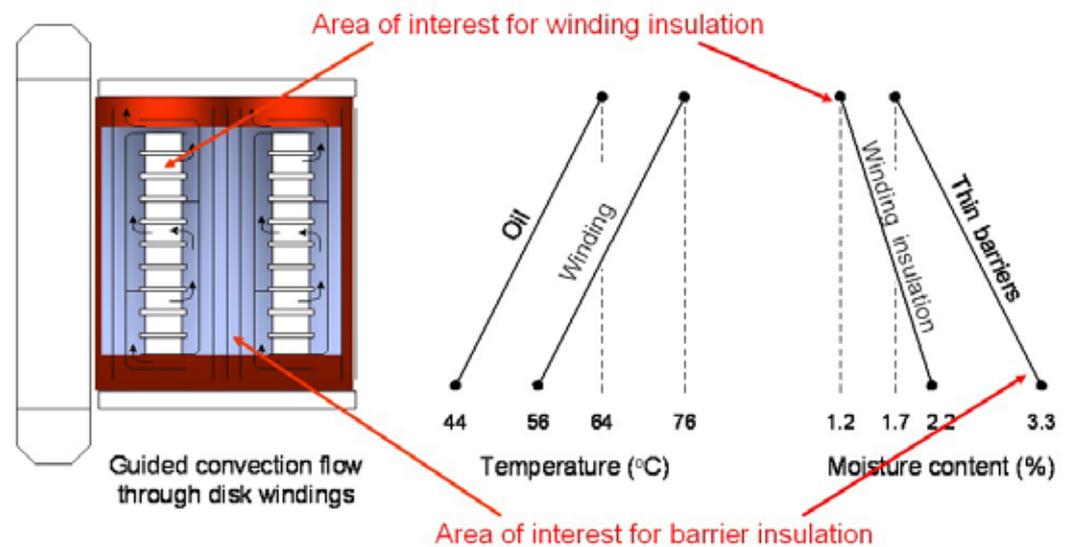
(10)由於油樣是經由熱交換對流方式取得，循環速度稍慢，無法得到本體油正確油溫。故需溫度計外接，溫度計與偵測器位置不同，如何正確安

裝溫度計，對油%RS 測值之正確性影響甚大。

(11)變壓器絕緣紙含水量最關心的位置

主要是線圈上方熱點及線圈間間隔板下方位置的絕緣紙含水量，線圈熱點絕緣紙含水量偏高，易起泡使線圈短路，線圈間間隔板下方位置的絕緣紙含水量偏高，由於電磁場在紙上產生部分放電現象，線圈上方熱點溫度是根據負載電流計算出來，下方線圈間間隔板溫度可貼溫度計在變壓器壁上測得。絕緣紙含水量的計算方式係根據油溫的相對溼度求得紙的相對溼度，再根據紙的厚度計算平衡時間，由監控水分儀的紀錄，可求得絕緣紙的含水量。

變壓器絕緣紙含水量並不是均勻分布，關心的位置線圈上方熱點及線圈間間隔板下方位置如下圖。



四、赴加拿大 POWERTECH 公司研習變壓器油中氣體分析及油樣前處理自動化技術

1. 變壓器油中氣體分析

加拿大 POWERTECH 公司油中氣體分析是採用 ASTM D3612 方法 C HEADSPACE SAMPLING 法，原理是將油樣注入已用氫氣充滌的密封容器，油樣會上方氣相(headspace)接觸，結果一部分油中溶解的氣體會跑到氣相端(headspace)，當油中氣體在氣液相間平衡時油中溶解的氣體濃度(CL)，油上方空間的氣體濃度(CG)與原來油中氣體濃度(CoL)的關係如下：

$$CoLVL = CLVL + CGVG$$

VL 是油樣體積，VG 是 headspace 體積

油中氣體在氣液相的平衡關係如下：

$$CL = KCG$$

K 是平衡係數

經運算可得原來油中氣體濃度(CoL)如下：

$$CoL = CG (K + VG/VL)$$

2. 分析方法

主要是先用氬氣趕出 20cc Vial 瓶內的空氣，再注入 15cc 的油樣，使 Vial 瓶在 70°C 下振盪 30 分鐘，再將油面上的氣體注入氣相層析儀做分析。ASTM D3612 C 法範例如下：

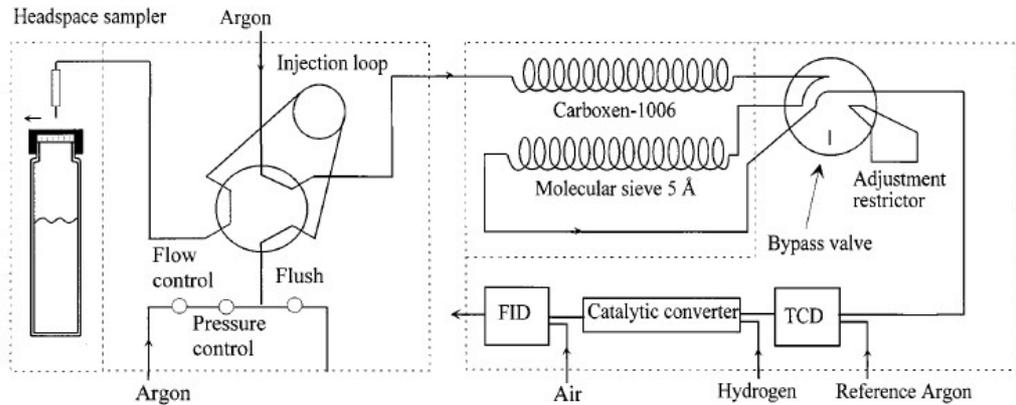


FIG. 7 Diagram of the Test Assembly (waiting mode representation).

TABLE 4 Instrumental Conditions

Headspace Sampler		Gas Chromatograph	
Temperatures:	Sample 70°C Transfer line 150°C Injection valve 150°C	-bypass valve 120°C -FID 250°C -TCD 250°C -catalytic converter 350°C	
Pressure:	vial overpressure 70 KPa (0.7 bar)		
Times:	equilibration at 70°C with shaking 30 min pressurization 0.25 min pressure equilibrium 0.25 min expansion in injection loop 0.25 min injection 0.90 min	-oven 40°C for 3 min 24°C/min to 170°C for 2 min 24°C/min to 250°C for 5 min bypass valve: (indicative values) 0-4 min 4-11 min 11-13 min 13 min to the end	columns in series molecular sieve bypassed columns in series molecular sieve bypassed
Shaking power:	Maximum level		
Carrier gas:	Argon @ 12 mL/min		

(1) 變壓器油中氣體分析技術資料

- ASTM D3612 方法 C 表 4，氣樣傳輸到注射閥的管路維持 150°C 是爲了維持樣品在氣體狀況態。
- 樣品環(sample loop)的體積是 1cc
- 關於乙炔的最低偵測濃度，自動積分約 1ppm，人工積分可到較低偵測極限。
- 油中氣體各成分氣體自動積分最低偵測極限，分別是碳氫化合物 1ppm，CO、CO₂ 10ppm，O₂、N₂ 50ppm。
- ASTM D3612 方法 A，採真空脫氣法，由於油量多且脫氣率高，所以有較好的偵測極限(碳氫化合物 0.1ppm)，但 ASTM D3612 方法 A 已漸被 ASTM D3612 方法 C headspace 法取代，因爲方法 A 有水銀污染的問題且無法自動化。
- GC 層析管再生時機與做法:原則上每兩週做一次層析管再生，或 H₂、O₂、N₂ 形狀改變，滯留時間改變，載流氣體壓力改變，層析管就需再生，再生時間利用晚上，不會耽誤工作。
- GC 校正:不用標準油校正，用標準氣體每週做一次單點校正。
- Check sample 用標準氣體查核，每 20 個樣品做一次查核，並做管制圖管制。
- 一台 GC 最大工作量每日是 40 幾件。

- GC 維護時間，2~3 月更換甲烷化器 1 次，3 年更換 column，油中若含有 SF6 氣體會毒化甲烷化器，縮短壽命。
- 使用 GC 之廠牌型號，Agilent 5890,7890GC 各一台。
- Naphthenic Tr Oil 和 Paraffinic Tr Oil 在 Method C 之氣液相平衡係數 k 值差異不大。

(2) ASTM D3612 method C 樣品前處理自動化

A. ASTM D3612 method C 樣品前處理步驟

30.2.1 節使用適當工具將 20-mL 小玻璃瓶用可穿透的含 TFEfluorocarbon -faced butyl septum 鋁蓋夾緊，並檢查蓋子有無夾緊。

30.2.2 節插入兩支 18G1 針穿過小玻璃瓶蓋 septum 在不同位置，一支是用來充入氣體另一支是讓氣體跑出，用氬氣充每一個小玻璃瓶流速 2 L/min 約 30 s. 先拿出讓氣體排出的針再拿出氣體進入的針（這個步驟是讓小玻璃瓶建立壓力）

30.3.1 節插入兩支 18G1 針穿過小玻璃瓶蓋 septum 在不同位置，一支是用來充入標準氣體另一支是讓氣體跑出，流速 2 L/min 至少 30 秒先拿出讓氣體排出的針再拿出氣體進入的針（這個步驟是讓小玻璃瓶建立壓力），再插入 26G1/2 針一下就拔出，使小玻璃內氣壓與大氣壓平衡。

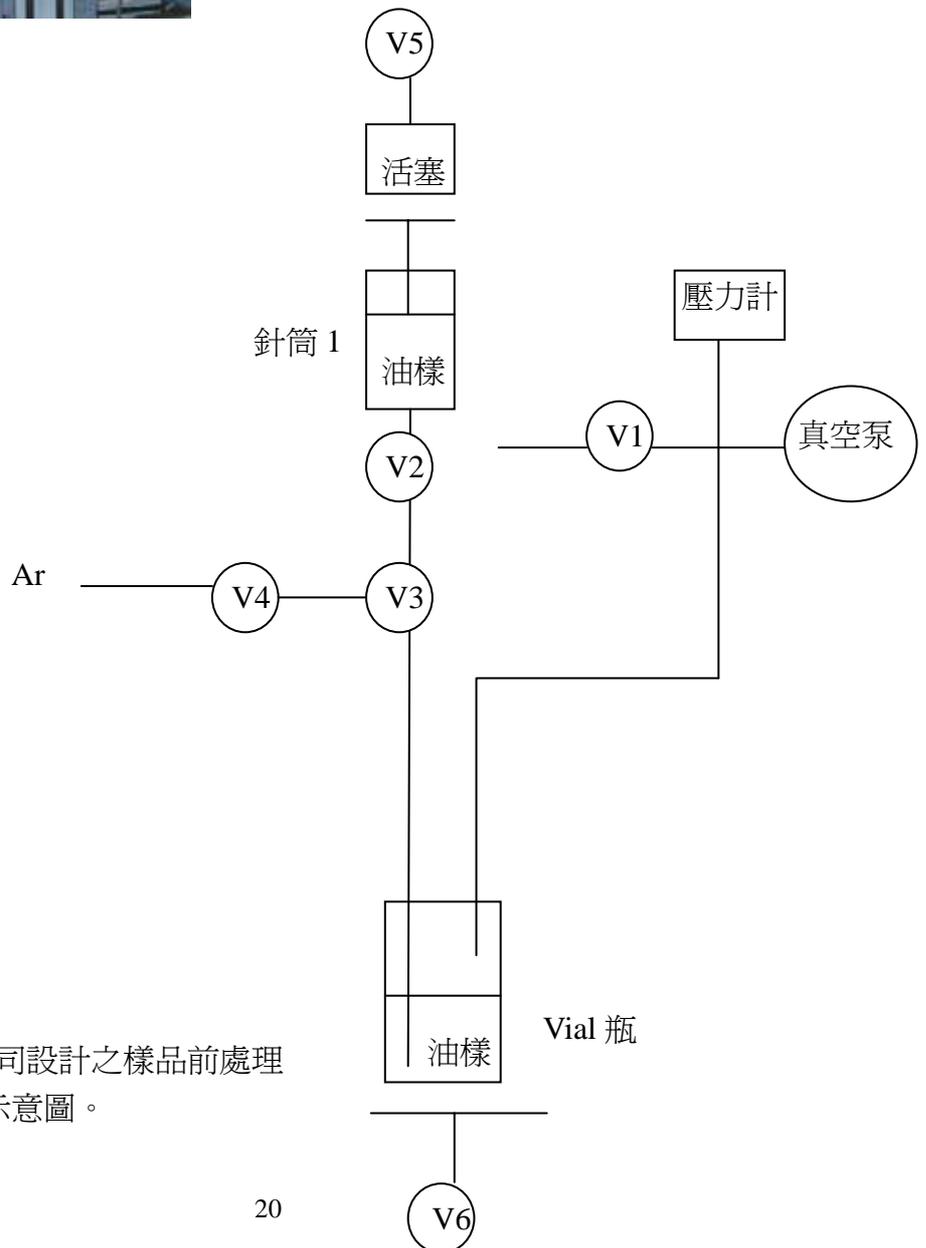
30.4.1 節將針筒三通栓插入 18G1 針，將針插入 30.2.2 節小玻璃瓶蓋 septum 之前兩支 18G1 針插入之不同位置，以釋放氬氣壓力，旋轉針筒三通閥桿 45 度，注入油樣 5mL 到小玻璃瓶，再插入 26G1/2 針在之前針插入之不同位置，注入油樣到小玻璃瓶 10mL，拔出 26G1/2，注入油樣到小玻璃瓶 15mL，將針筒三通閥桿指向針筒，如此多餘的壓力會從針筒三通閥側孔跑出而與大氣平衡，隨即取出針筒。

B.Powertech 公司 ASTM D3612 method C 樣品前處理自動化設備

由於樣品前處理過程繁複，有許多插針，拔針動作，插針位置還要避免重覆插在同一位置，最後人為打入油樣 15cc 易出差錯，故 Powertech 公司改良作業程序，發展自動化設備，採用抽真空及固定針技術可減少空氣污染，並採用氣動泵推針筒精確控制油樣體積，可減少人為出錯機會且增進油樣前處理效率。



Powertech 公司設計之樣品前處理
 自動化設備 HSPA (Headspace sample
 preparation apparatus)



Powertech 公司設計之樣品前處理
 自動化設備示意圖。

Powertech 公司 ASTM D3612 method C 樣品前處理自動化步驟：

- (1)將 30cc 針筒 1 放入固定位置，將針筒 1 三向閥 V2 推桿向右，及三向閥 V3 推桿向右，打開 V5 氣動閥下降開關(此時保護蓋會落下保護安全)，氣動推桿推針筒約 10cc 到廢油燒杯中，關閉 V5 氣動閥。
- (2)將三向閥 V3 推桿向上，打開 V4 氣動閥，讓 Ar purge 針內殘餘油樣到廢油燒杯中，關 V4 閥。
- (3)將空 Vial 瓶放入固定位置，打開 V6 氣動閥上升開關，Vial 瓶上升，針穿過 septum 插入 Vial 瓶中，關 V6 閥。
- (4)打開真空泵，將系統抽真空，關閉真空泵。
- (5)打開 V4 及 V1 閥讓 Ar purge Vial 瓶 10~15 秒，關 V4 及 V1 閥。
- (6)打開 V5 氣動閥下降開關及 V1 閥，氣動推桿推針筒約 15cc 到 Vial 瓶時關閉 V5，多餘 Ar 氣從 V1 跑出，關氣動閥 V5。
- (7)啓動 V6 閥下拉開關，Vial 瓶脫離系統。

C. HSPA 與 ASTM D3612 method C 對照表

ASTM D3612 method C 需求	HSPA (Headspace sample preparation apparatus)
30.2 Headspace 小玻璃瓶預備:	
30.2.1節使用適當工具將 20-mL vial瓶用可穿透的含TFEfluorocarbon -faced butyl septum鋁蓋夾緊，並檢查蓋子有無夾緊。這些Vial瓶用在30.2.2節 and 30.3.節	Vial瓶買的是已經帶打好蓋的vial瓶
30.2.2節插入兩支18G1 針穿過vial瓶蓋septum在不同位置,一支是用來充入氣體另一支是讓氣體跑出,用氬氣充每一個Vial瓶流速2 L/min約30 秒. 先拿出讓氣體排出的針再拿出氣體進入的針 (這個步驟是讓Vial瓶建立壓力)	插入兩支 18G1 針穿過 vial 瓶蓋 septum 在不同位置,一支是用來充入氣體另一支是讓氣體跑出, vial 瓶抽真空 15 秒 , 然後用氬氣以 2 L/min 流速 purge 每個 vial 瓶 15 秒。兩支針仍留在 vial 瓶內爲了下一步驟。 優點: 1. 減少空氣污染。 2. 氬氣消耗量減少 50% 。 不產生新的針孔因針仍留在 septum 上。
30.3校正:	
30.3.1節插入兩支18G1 針穿過小玻璃瓶蓋septum 在不同位置,一支是用來充入校正氣體另一支是讓氣體跑出,流速2 L/min至少30秒先拿出讓氣體排出的針再拿出氣體進入的針 (這個步驟是讓小玻璃瓶建立壓力),再插入26G1/2針1~2秒就拔出,使小玻璃內氣壓與大氣壓平衡。	Powertech 公司目前是將校正氣體直接注入 GC,如客戶需要,校正氣體之充填可加入 HSPA 系統。
30.4 分析樣品一注入油樣到vial瓶是藉著玻璃針筒頭上裝三通閥,三通閥桿指向的位置關閉,其他	針筒安裝在儀器內,三通閥桿轉向側邊,約 5 mL 的油先purge掉,經過連接管、閥和針,然後流到

兩孔是通的。	燒杯。
30.4.1節將針筒三通栓插入18G1 針	30.2.2.氫氣 purge vial 瓶後兩支 18G1 針仍留在 vial 瓶內
30.4.2將針插入30.2.2節小玻璃瓶蓋septum之前兩支 18G1針插入之不同位置，以釋放氫氣壓力。	30.2.2.氫氣 purge vial 瓶後兩支 18G1 針仍留在 vial 瓶內.
30.4.3 ，旋轉針筒三通閥桿45度，注入油樣5mL到小玻璃瓶，插入26G1/2針在之前針插入之不同位置，注入油樣到小玻璃瓶10mL，拔出26G1/2，注入油樣到小玻璃瓶15mL，將針筒三通閥桿指向針筒，如此多餘的壓力會從針筒三通閥側孔跑出而與大氣平衡，隨即取出針筒。	vial 瓶一步驟充油到 15mL ，多餘的氣體從第二支針跑出 。 優點: 1. 精確的體積控制 2. 減少空氣污染

D. 樣品前處理自動化設備技術資料

- Vial 瓶不重覆使用，僅解開蓋子，倒油，丟棄。
- 樣品前處理自動化設備的消耗品有氫氣、Vial 瓶，Pump(使用 3 年曾換過一次)
- 樣品前處理自動化設備的準確度為±2% for the volume 。
- 樣品前處理自動化設備的消耗 Ar 的量約 2000 件/瓶，比人工操作約可節省一半用量。
- 樣品前處理自動化設備的操作比人工操作可節省人力，原 4 個小時的工作，自動化約 1 個小時完成，電纜聚丁烯油，黏度高，氣動推桿可輕易推動針筒推桿。
- 樣品前處理自動化設備的操作上應注意事項，針筒鎖上針，注意針不要傾斜，以免針頭插到 septum 鋁質部，造成針頭損壞。
- 樣品前處理自動化設備一次只能製作一個 Vial 瓶樣品，一台 Agilent GC 5890 一次可裝 40 個樣，一台 Agilent GC 7890 一次可裝 70 個樣。
- 每個 Vial 瓶樣品製作約 2~3 分鐘，1 小時約 25 個樣，1 天 6 小時計約 150 個樣。
- 1 台樣品前處理自動化設備可供應 2 台以上 GC 試驗之樣品量。
- 使用 Argon 的純度等級 99.9995%。
- 樣品前處理自動化設備目前沒有充填校正氣體功能，新設備將含有此功能，且使用觸控式螢幕，區別兩項操作。