

## 出國報告(出國類別:實習)

電力變壓器用線上即時油中氣體分析設備  
之規格研討、現場安裝、遠端監視、運轉限  
制及故障形態診斷

服務機關：台灣電力公司綜合施工處

姓名職稱：林致聰/電機工程員

派赴國家：日本

出國期間：98.12.15~12.22

報告日期：99.1.21

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：電力變壓器用線上即時油中氣體分析設備之規格研討、現場安裝、遠端監視、運轉限制及故障形態診斷實習

頁數 67 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：

林致聰/台灣電力公司/綜合施工處電氣一隊/電機工程員

/(07)313-2601

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：98年12月15日至98年12月22日 出國地區：日本

報告日期：99年1月21日

分類號/目

關鍵詞：電力變壓器、線上即時油中氣體分析設備、可燃性氣體總量

內容摘要：

本次出國計畫任務為「電力變壓器用線上即時油中氣體分析設備之規格研討、現場安裝、遠端監視、運轉限制及故障形態診斷實習」。報告內容為本次在日本 Mitsubishi Corporation 播州赤穂工廠針對現場安裝、遠端監視、故障形態診斷等問題與現場工程師一同實習並參觀電力變壓器製造流程，及在東京丸之內辦公室針對規格研討、運轉限制等問題與設計人員進行討論。本文將就下列問題與 Mitsubishi Corporation 工程人員討論並整理如內文。

一、時至今日電力變壓器相關技術已趨成熟並且可穩定生產，但畢竟這樣的設備是由許多元件組裝而成，任何一個環節只要稍有疏忽就可能造成變壓器極大的傷害，更遑論對電力系統造成影響以致於單一區域甚至整個社會、國家造成無法彌補的損失。如何在設計之初或製造過程中利用各種儀器或是數據來評估產品的可靠度，本文將就設計問題與 Mitsubishi Corporation 工程人員討論。

二、設備生產完成後移至現場安裝、進行實驗無誤後交付到客戶手中營運，在未來的五年、十年甚至二十年當中，如何能在日常保養、維護上利用各種儀器或是數據來評估產品的效能、堪用度及潛在可能發生的問題，本文也將就維護問題與 Mitsubishi Corporation 工程人員討論。

## 目 錄

1. 前言	—	10
1.1. 目的	—	10
1.2. 行程	—	11
2. 變壓器簡介	—	12
2.1. 變壓器原理	—	12
2.2. 渦流損	—	16
2.3. 變壓器製程	—	20
3. Mitsubishi Corporation 簡介	—	28
4. 變壓器危害預防	—	31
4.1. 日常保養與檢查	—	32
4.2. 危害預防	—	40
4.2.1 線上即時油中氣體分析設備基本概念	—	42
4.2.2 Hydran 201i 線上即時油中氣體分析設備量測原理	—	45
4.2.3 N-TCG-6C 線上即時油中氣體分析設備量測原理	—	48
4.2.4 Hydran 201i 線上即時油中氣體分析設備數據分析	—	52
4.2.5 N-TCG-6C 線上即時油中氣體分析設備數據分析	—	54
4.2.6 Hydran 201i 油中氣體分析設備規格分析及安裝注意事項	—	57
4.2.7 N-TCG-6C 油中氣體分析設備規格分析及安裝注意事項	—	61

5. 心得	——	63
6. 參考文獻	——	67

## 圖索引

圖 2.1 亨利發現將磁能轉變成電能現象的實驗裝置	12
圖 2.2 法拉第實驗示意接線圖	13
圖 2.3 法拉第當時實驗所使用的線圈	13
圖 2.4 通過線圈磁場的改變引起感應電流（壓）示意圖	14
圖 2.5 導體板上產生一個反抗磁棒運動方向的渦電流示意圖	16
圖 2.6 變壓器鐵心示意圖	17
圖 2.7 變壓器鐵心橫切面示意圖	17
圖 2.8 單一矽鋼片橫切面放大示意圖	18
圖 2.9 低壓線圈製成圖	20
圖 2.10 高壓線圈製成圖	20
圖 2.11 導油構造及絕緣物	21
圖 2.12 卷鐵心自動纏繞設備圖	22
圖 2.13 捲鐵心成品圖	22
圖 2.14 V-notch、階疊型式的積鐵心成品圖	23
圖 2.15 心體裝殼過程圖	24
圖 2.16 大同公司電力變壓器製程示意	25
圖 2.17 士林公司電力變壓器製程示意	26
圖 3.1 Mitsubishi Corporation 延革	28

圖 3.2 三菱電力集團部門簡介	29
圖 3.3 MELCO 的 Shell-form 變壓器在日本市場佔有率	30
圖 3.4 MELCO 於全世界輸出的經驗	30
圖 4.1 台電電力系統流程圖	31
圖 4.2 油面與絕緣油溫度關係圖	34
圖 4.3 絕緣電阻容許值對照圖	35
圖 4.4 Tan $\delta$ 測定結果對照圖	36
圖 4.5 Hydran 201i 油中氣體分析設備外觀圖	40
圖 4.6 N-TCG-6C 油中氣體分析設備外觀圖	41
圖 4.7 絕緣油劣化產生的故障氣體圖	43
圖 4.8 纖維材質絕緣破壞產生的故障氣體圖	43
圖 4.9 Hydran 201i 利用薄膜透析出故障氣體並轉換成電氣信號圖	44
圖 4.10 選擇性滲透薄膜元件近視圖	45
圖 4.11 過濾出絕緣油內含的一氧化碳 (CO)、氫氣 (H <sub>2</sub> ), 透 過偵測器來偵測 CO、H <sub>2</sub> 濃度並轉成電氣信號, 經電 腦比對電氣信號大小後以 PPM 來顯示數值	46
圖 4.12 N-TCG-6C 油中氣體量測原理圖	48
圖 4.13 氣體偵測單元方塊圖	49
圖 4.14 氣體感知器(Sensor)偵測氣體分析圖	50

圖 4.15 Hydran 201i 油中氣體分析設備拆開外殼圖	57
圖 4.16 Hydran 201i 構造外觀	58
圖 4.17 滲透薄膜元件遭受外力導致破裂圖	59
圖 4.18 Hydran 201i 油中氣體分析設備應與地面保持水平	60
圖 4.19 油中氣體分析設備安裝地點建議圖	60
圖 4.20 N-TCG-6C 油中氣體分析設備外觀圖	61



## 表索引

表 2.1 變電工程設備(電力變壓器)試驗項目	27
表 4.2 變壓器檢查項目及週期表	32
表 4.2 變壓器檢查項目及週期表(續)	33
表 4.3 各電壓等級絕緣油中含水量上限表	37
表 4.4 各種鐵製螺栓所需的扭力表	39
表 4.5 各種木製螺栓所需的扭力表	39
表 4.6 變壓器的四種可能狀況	52
表 4.7 個別氣體限制表	52
表 4.8 個別氣體限制表(續)	53
表 4.9 Mitsubishi 建議使用者設定預警警報值表	54
表 4.10 Mitsubishi 建議使用者設定警告警報值	55
表 4.11 各部件的維護期間列表	62

# 1. 前 言

## 1.1 目的

電力變壓器是電力系統中不可或缺的重要設備，但不論是本公司或是民間電廠卻常有事故發生；特別是發電廠主變壓器，一旦發生事故無法運轉，將導致立即停機影響供電，如果這樣的事故發生在核能電廠，更將造成社會的恐慌，嚴重損害公司形象。本處除配合龍門計畫承辦核四各電力變壓器工程外，轄下所屬各工作分隊及工作站亦承接相關電廠、變電所之電力變壓器安裝監造，變壓器上均裝有線上即時油中氣體分析設備，利用這樣的設備可早期發現故障徵兆，供維護人員提早妥善因應。惟線上即時油中氣體分析設備為國外產品，國內廠家僅能整套採購使用並無生產，對其設計原理、運作特性、安裝技術、遠端監視及診斷應用只在於說明書上初步瞭解，無法深入探究。

考量本設備在各工程計畫中之重要性，及強化本處工程監造品質，讓線上即時油中氣體分析設備能充分發揮監測功能；希望藉由執行本次出國計畫，直接向原廠設備製造廠家請益、交流意見，以期獲得更完備之整體相關知識，進而提升本處監造能力及提高本公司系統運轉可靠度，增加營運績效。

## 1.2 行程

本次奉派出國至 Mitsubishi Corporation 公司位於播州赤穗工廠及東京丸之內辦公室實習，行程如下：

- (1) 98 年 12 月 15 日，從台灣桃園國際機場搭乘中華航空班機至日本大阪關西空港後轉乘接泊交通到關西地區三宮市。
- (2) 98 年 12 月 16 日至 18 日，每日搭乘鐵路至位於播州赤穗的 MELCO 工廠實習電力變壓器製造技術。
- (3) 98 年 12 月 19 日至 22 日，至東京都丸之內辦公室與 Mitsubishi 工程人員討論電力變壓器用線上即時油中氣體分析設備之應用及診斷。
- (4) 98 年 12 月 22 日從日本東京成田機場搭乘中華航空班機返回台灣桃園國際機場。

## 2. 變壓器簡介

在我們討論變壓器的製造及危害防護之前，首先介紹變壓器的基本概念與構造，以便後續討論能更契合問題所在。

### 2.1 變壓器原理

早在 1830 年由美國人亨利在一根鐵棒的中間纏繞線圈，並且讓這根鐵棒吸附在一個馬蹄形電磁鐵的兩極上，然後將線圈的引接線與檢流計串聯。此時打開或是關上馬蹄形電磁鐵的開關瞬間，會發現檢流計的指針產生偏轉，這是人類歷史上第一次發現將磁能轉變成電能的現象；也就是在一個封閉的線圈中，因線圈中磁場變化而產生感應電流或感應電動勢的現象。

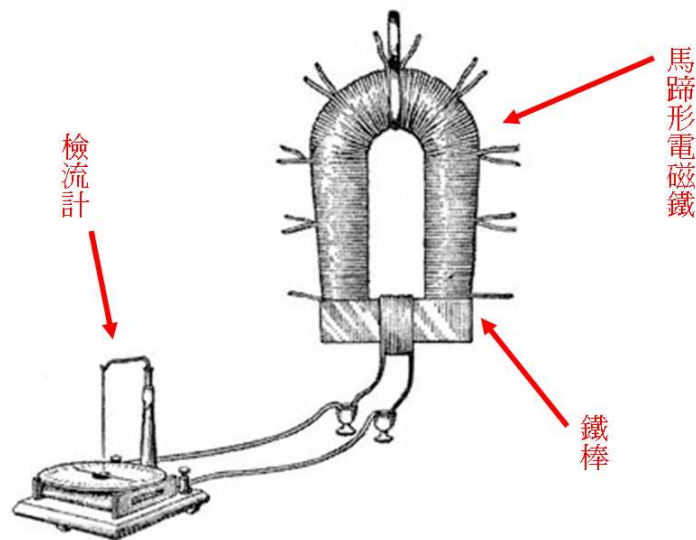


圖 2.1 亨利發現將磁能轉變成電能現象的實驗裝置

接著是法拉第在 1831 年 8 月 29 日的實驗中利用一個軟環上面繞

了 A 和 B 兩個線圈（如圖 2.2），A 線圈與電池串聯，B 線圈則與檢流計相接，當 A 線圈與電池接通或斷開的瞬間，B 線圈產生短暫的電流。

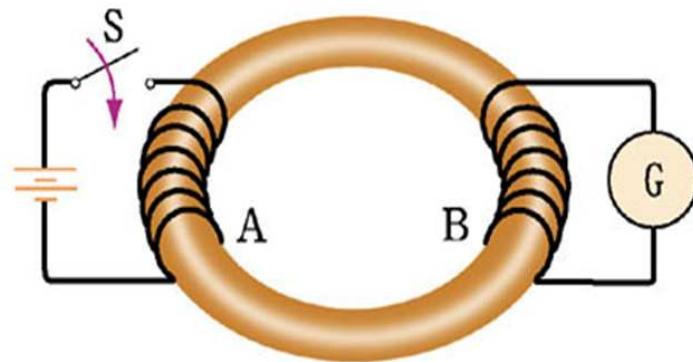


圖 2.2 法拉第實驗示意接線圖



圖 2.3 法拉第當時實驗所使用的線圈

將磁力線與感應電壓（流）用線條明顯的表現出來（如圖 2.4），

當線圈 A 以開關 S 接通和切斷電流  $I_A$  的瞬間，在其下方的另一線圈 B 會產生感應電流  $I_B$ ，但兩電流的方向相反。亦即可以利用改變通過線圈的磁場這樣的特性來引起感應電流（壓）。

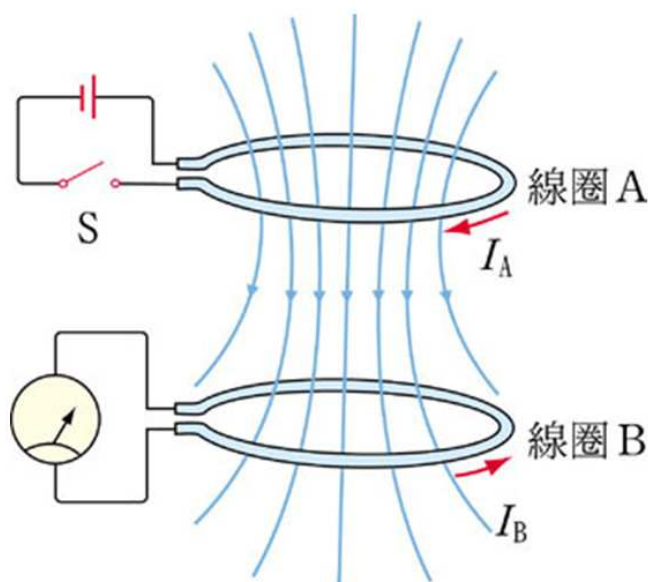


圖 2.4 通過線圈磁場的改變引起感應電流（壓）示意圖

但是一直到 1845 年才由德國人諾曼利用感應電動勢的觀念推導出電磁感應的數學表示式，接著在 1855 年英國人馬克士威將諾曼所建立的數學式加入磁通量的觀念來描述，這才成爲大家廣爲熟悉的法拉第定律。

$$\varepsilon = -\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$$

即線圈中所生的感應電動勢  $\varepsilon$ ，等於線圈內磁通量  $\Phi_B$  隨時間  $t$  的變化率。其中磁通量  $\Phi_B$  的單位爲韋伯 (*web*)，時間  $t$  的單位爲秒 (*sec*)，而感應電動勢  $\varepsilon$  的單位爲伏特 (*V*)，負號表示感應電動勢所生

成的感應電流，與其所生成的磁場會反抗線圈內磁通量的變化。此外，爲了表示出線圈的匝數與感應電動勢之間也有一個比例關係，科學家們在法拉第定律中加入了係數  $N$ ，寫成

$$\varepsilon = -N \cdot \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$$

至此變壓器的原理大致上獲得確立。不過，有一個重要的現象需要在下面的單元提出來，事實上這次千里迢迢到日本 Mitsubishi Corporation 實習，主要就是爲了要解決這個重要的現象所引起的部份效應進而衍生出來的問題。

## 2.2 渦流損

導體上的磁通量發生變化時會產生感應電流，而在導體板上所產生的感應電流通常為環形且呈漩渦狀，稱為渦電流。當磁棒以垂直方向接近導體板時，導體板上產生一個反抗磁棒運動方向的渦電流（如圖 2.5 所示）。

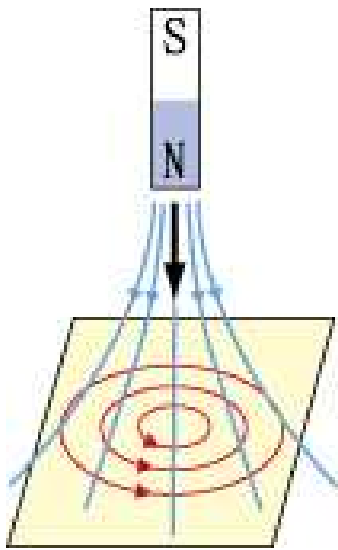


圖 2.5 導體板上產生一個反抗磁棒運動方向的渦電流示意圖

渦電流會產生不必要的電能損耗並且以熱的型式釋放出來，這樣的損耗稱之為渦流損 (eddy current lose)。為了改進這樣的缺點，通常把導體板的金屬塊儘可能的切成薄片，並在每一薄片與薄片之間再塗以絕緣材料阻隔開來，以降低渦流損所造成的影響。

利用以下的公式將渦流損推導出來，不過在推導之前先將變壓器鐵心示意圖表示在下面：



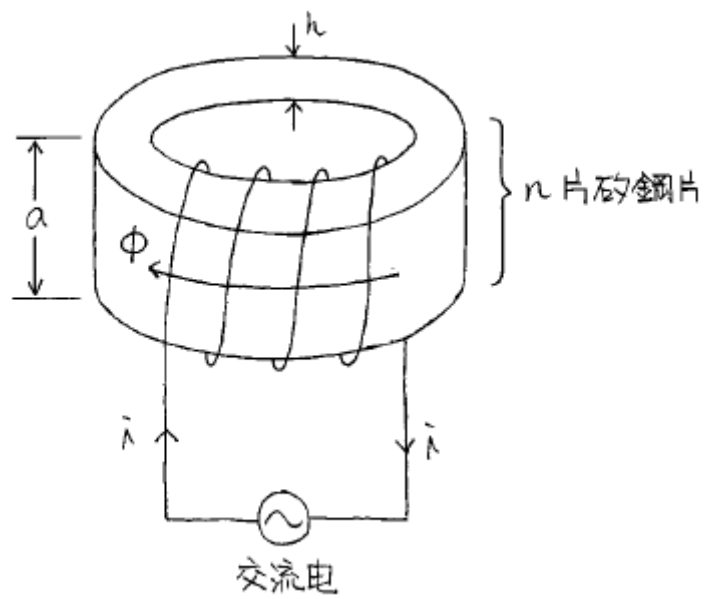


圖 2.6 變壓器鐵心示意圖

變壓器鐵心是由許多薄的矽鋼片堆疊組合而成並纏繞上線圈，在線圈上通入交流電，在某一個時間點就如同上圖表示的一樣，電流  $i$  流入並在矽鋼片上感應出磁通  $\Phi$ 。將鐵心橫剖切開可以看到類似下圖的橫切面，

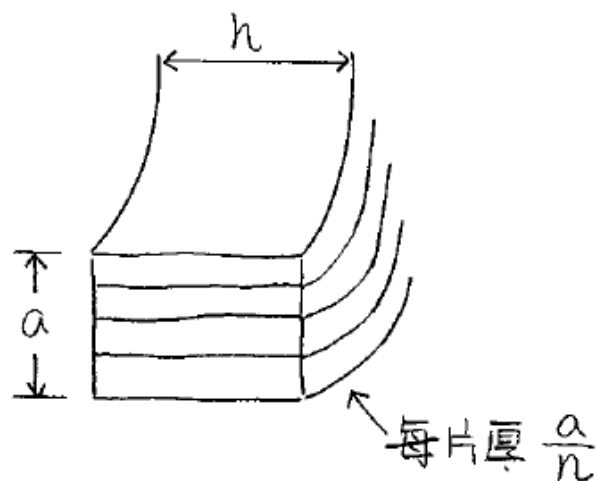


圖 2.7 變壓器鐵心橫切面示意圖

再進一步的將單一矽鋼片用放大例圖表現出來畫在下圖，

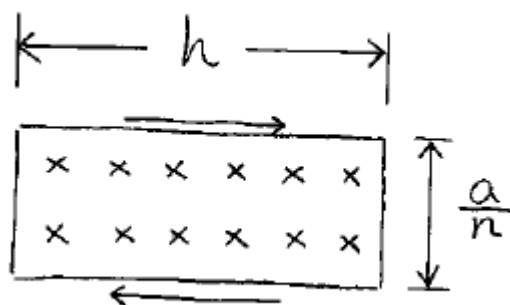


圖 2.8 單一矽鋼片橫切面放大示意圖

接著開始著手推導渦流損的相關公式了：

$$\because \phi = A \cdot B$$

$$\therefore \phi(t) = \frac{a}{n} \cdot h \cdot (B_{\max} \cdot \cos \omega t) \quad (1)$$

將(1)式代入法拉第定律後可以得到

$$e(t) = -N \cdot \frac{d\phi(t)}{dt} = \frac{ah}{n} \cdot \omega \cdot B_{\max} \cdot \sin \omega t \quad (2)$$

故

$$\begin{aligned} P(t) &= \frac{e^2(t)}{R} \cdot n \\ &= \frac{1}{4K\rho} \cdot (a \cdot h \cdot l) \cdot \left(\frac{a^2}{n^2}\right) \cdot (2\pi f)^2 \cdot B_{\max}^2 \cdot \left(\frac{1 - \cos 2\omega t}{2}\right) \\ &= V \cdot \frac{\pi^2}{2K\rho} \cdot d^2 \cdot f^2 \cdot B_{\max}^2 \cdot (1 - \cos 2\omega t) \end{aligned} \quad (3)$$

將(3)取平均功率

$$\begin{aligned} P_e &= \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt \\ &= V \cdot \frac{\pi^2}{2K\rho} \cdot d^2 \cdot f^2 \cdot B_{\max}^2 \end{aligned} \quad (4)$$

$$= k_e \cdot f^2 \cdot B_{\max}^2$$

至此，任一台變壓器只要一製造完成，所有的製造商可以利用上面的公式來算出這台變壓器的渦流損是多少；而且從公式(4)的結論可以得知渦流損的大小與厚度平方成正比，因此爲了要讓變壓器的損失降到最低，除了開發新的鐵心材料之外，最直接的做法便是儘可能把變壓器的鐵心（矽鋼片）切成越薄越好。

## 2.3 變壓器製程

整個變壓器的製造流程大致上可以粗分成幾個小部分：

(1)線圈製作：

①低壓線圈製作：

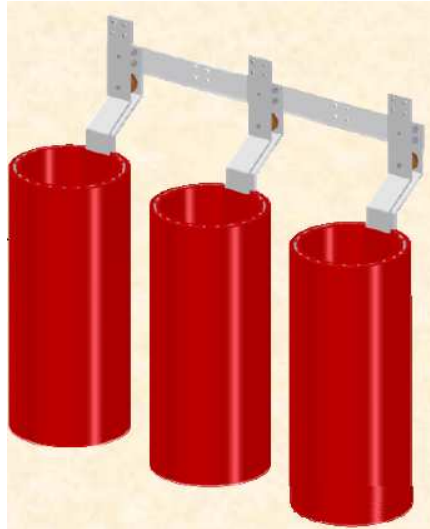


圖 2.9 低壓線圈製成圖

②高壓線圈製作：

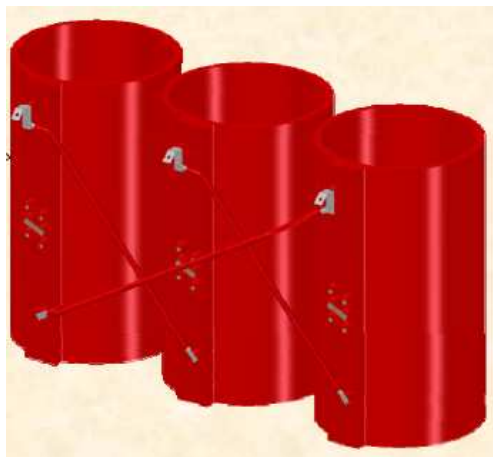


圖 2.10 高壓線圈製成圖

### ③線圈間之冷卻油道及絕緣

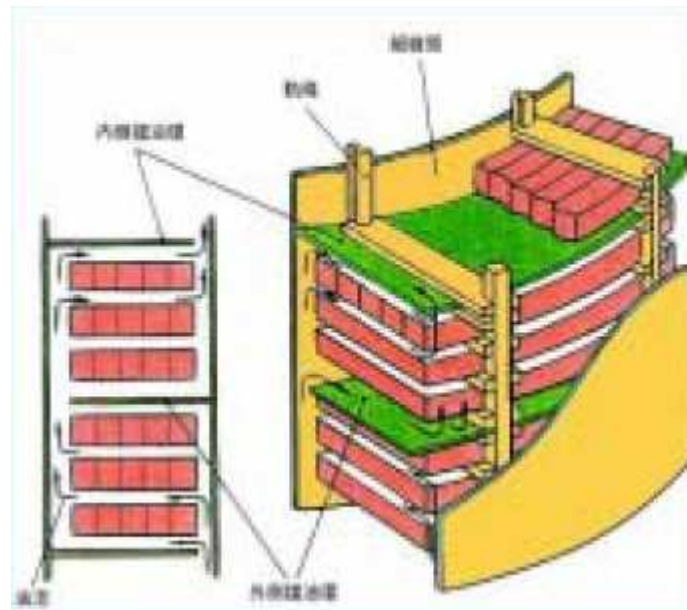


圖 2.11 導油構造及絕緣物

### ④分接頭及引出線

#### (2)鐵心製作：

- ①捲鐵心 (Strip-Wound Core)：具有較好的磁路特性及低鐵損值、低噪音特性，不過無法大型化製作及大量化製作是其缺點，一般使用於中小型單相及三相變壓器等類型的小型變壓器。



圖 2.12 卷鐵心自動纏繞設備圖



圖 2.13 捲鐵心成品圖

②積鐵心 (Stacking Core)：一般使用中、大型以上之三相變壓器，具有優良的機械強度及較佳的電磁特性，多數製造商會利用雷射表面處理矽鋼片來製作低鐵損的鐵心

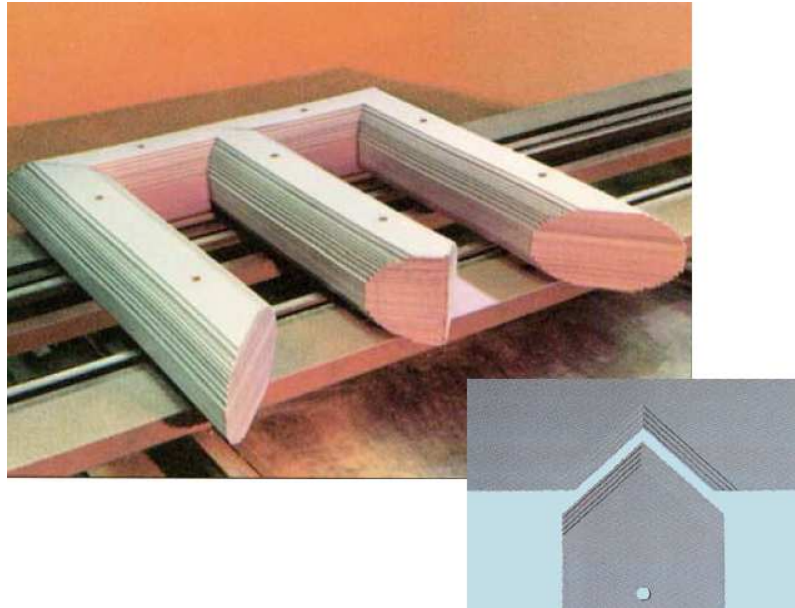


圖 2.14 V-notch、階疊型式的積鐵心成品圖

### (3) 心體裝配

- ① 安裝線圈支持物
- ② 安裝線圈與鐵心之間的絕緣物
- ③ 安裝軛鐵
- ④ 接線
- ⑤ 安裝端子接頭切換裝置

### (4) 心體烘乾及調整

- ① 心體烘乾
- ② 絕緣物調整
- ③ 心體附件調整

## (5) 裝殼



圖 2.15 心體裝殼過程圖

- ①分接頭切換裝置連接
- ②安裝套管並與分接頭連接
- ③安裝附屬設備，如儲油槽、冷卻器、呼吸器、各種計器

## (6) 檢驗

- ①構造檢驗
- ②製程檢驗，如鐵心試驗、匝比試驗、絕緣電阻測定、介質損失 ( $\tan \delta$ ) 測定
- ③絕緣油耐壓試驗
- ④成品試驗，如極性與相序試驗、無載損試驗、負載損試驗、阻抗電壓試驗、衝擊電壓試驗、短路強度試驗



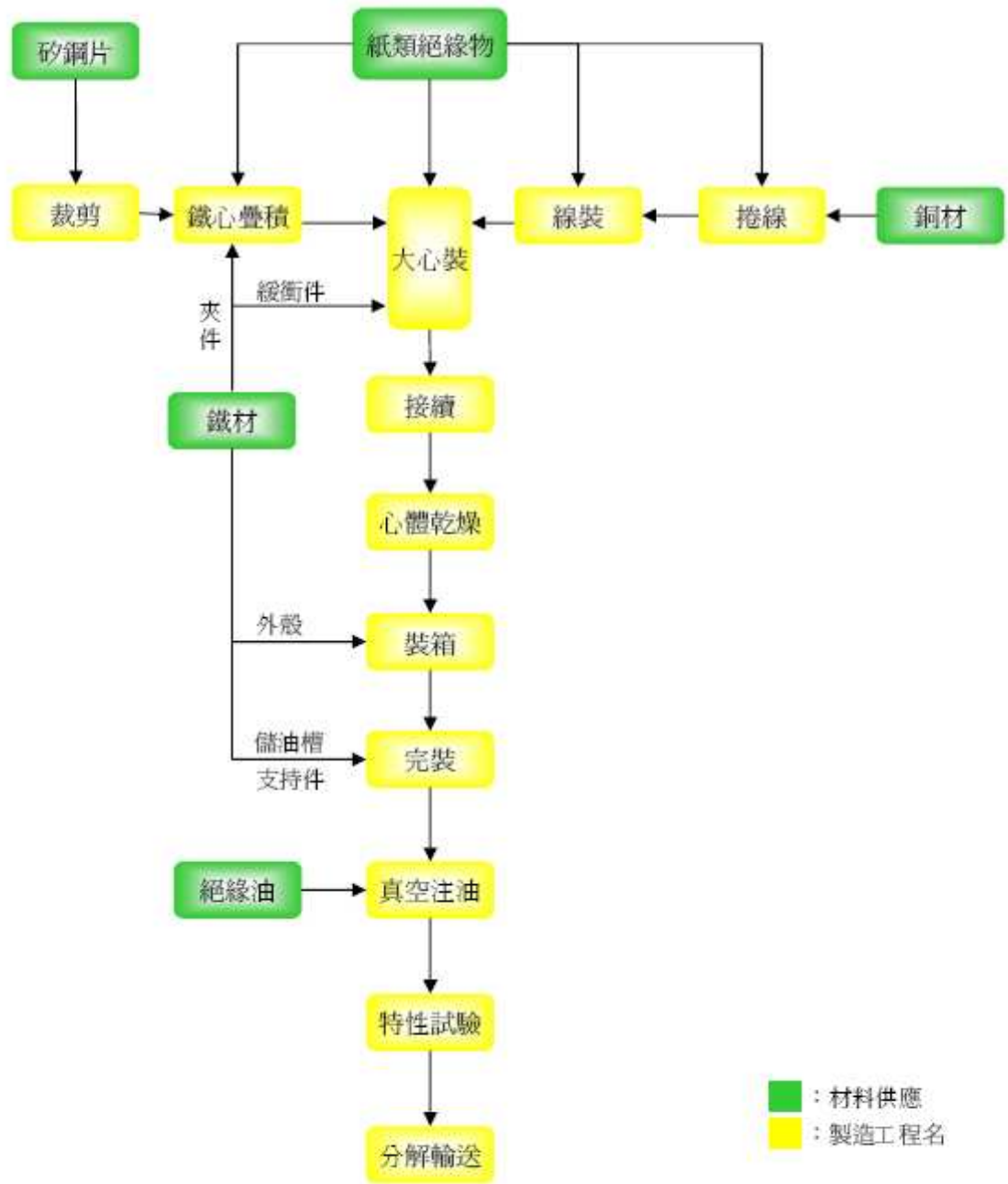


圖 2.16 大同公司電力變壓器製程示意圖

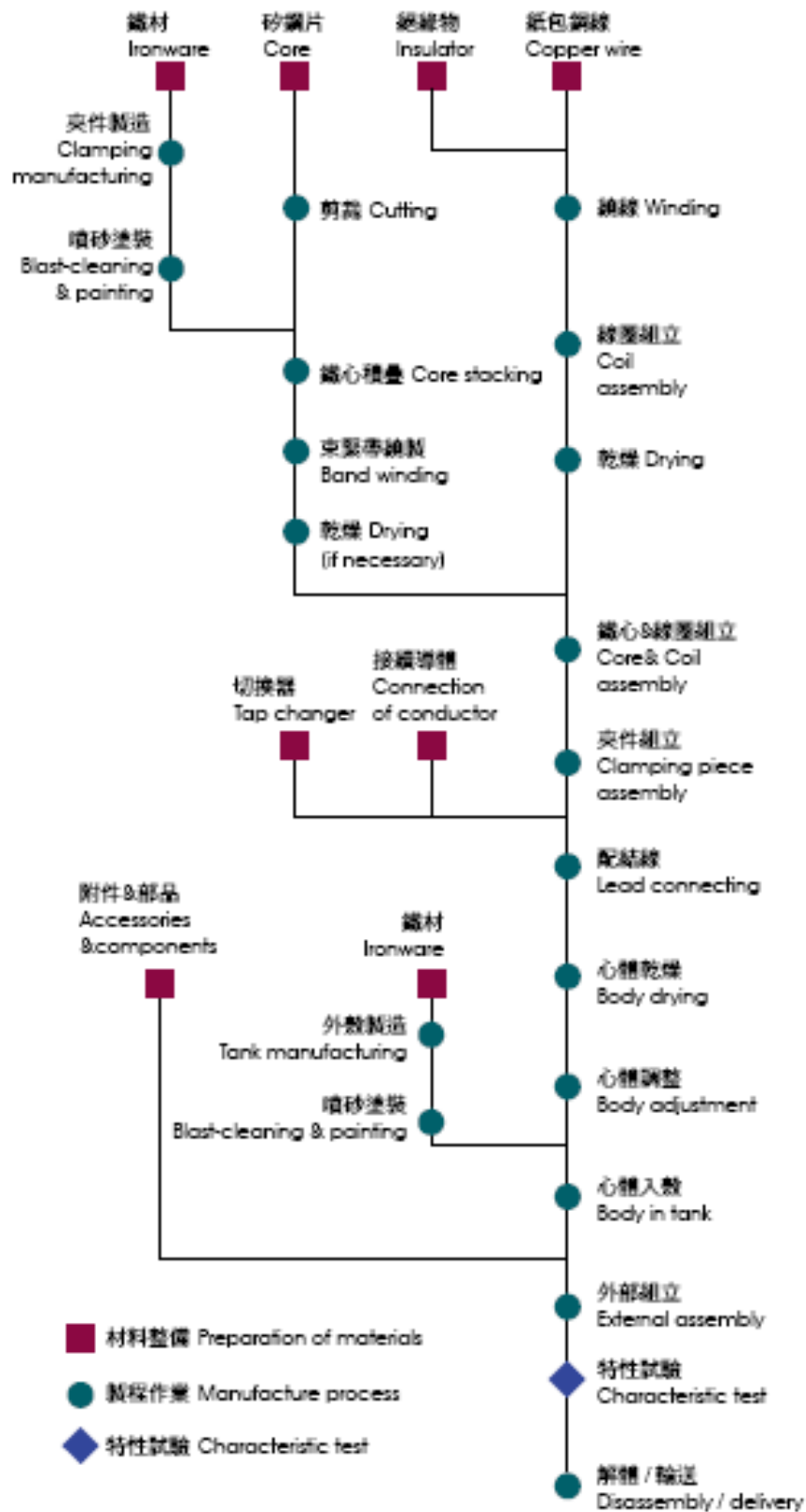


圖 2.17 士林公司電力變壓器製程示意圖

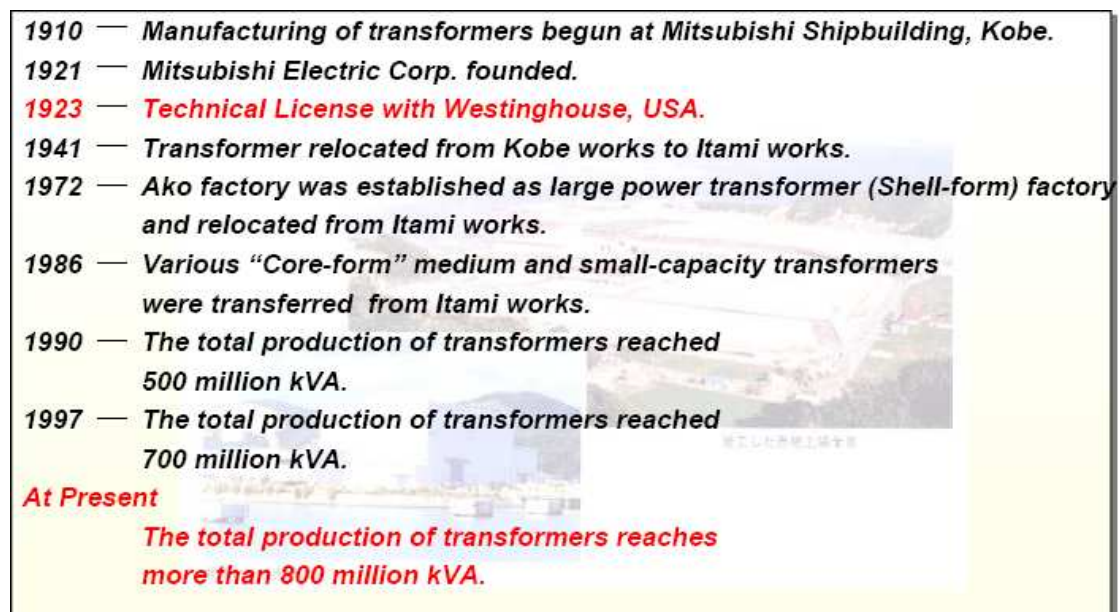
依照上面的製程，粗略的介紹幾個重要的大項目。不過，整台變壓器在製造完成後送至工地現場，並且加入使用者電力系統前仍需進行許多測試。根據台電輸變電工程處六輕計畫要求，下面的表格列出電力變壓器在加入系統前需進行的實驗：

	安裝前	施工中	竣工時
電力變壓器	絕緣油耐壓試驗	1. 套管電力因數試驗(P.F.) 2. 匝比(T.T.R)試驗 3. 油溫測定 4. 濾油後作油中溶解氣體分析	1. 電力因數試驗(P.F.) 2. 絕緣電阻試驗 3. 匝比及極性試驗 4. 低壓激磁電流試驗 5. 線圈直流電阻測試 6. 溫度指示校正試驗 7. 警報及操作回路測試(含 RY 及 SCADA) 8. 遞升加壓試驗 9. 電氣試驗完成後取油作油中溶解氣體分析

表 2.1 變電工程設備（電力變壓器）試驗項目

### 3. Mitsubishi Corporation 簡介

1910 年於神戶成立的 Mitsubishi Corporation 原先是靠生產電風扇起家，一直到 1921 年才正式跨足電力產業，經過不斷擴大營業項目及整併相關行業，目前 Mitsubishi 轄屬逾十個事業體共跨足電氣、機械、電子、交通、通訊及核能，生產項目十分廣泛，自 IC 積體電路，到火力及核能電廠、電力設備及航太設備等，甚至連平時在台灣所喝的麒麟啤酒也是 Mitsubishi 轄下所屬公司生產的產品。



**1910** — Manufacturing of transformers begun at Mitsubishi Shipbuilding, Kobe.

**1921** — Mitsubishi Electric Corp. founded.

**1923** — **Technical License with Westinghouse, USA.**

**1941** — Transformer relocated from Kobe works to Itami works.

**1972** — Ako factory was established as large power transformer (Shell-form) factory and relocated from Itami works.

**1986** — Various “Core-form” medium and small-capacity transformers were transferred from Itami works.

**1990** — The total production of transformers reached 500 million kVA.

**1997** — The total production of transformers reached 700 million kVA.

**At Present**  
The total production of transformers reaches more than 800 million kVA.

The background of the timeline features a collage of images showing industrial facilities, including large power transformer factories and power plants, with a prominent image of a large industrial building in the foreground.

圖 3.1 Mitsubishi Corporation 沿革

我們以三菱電力集團為中心介紹電力方面相關部門：

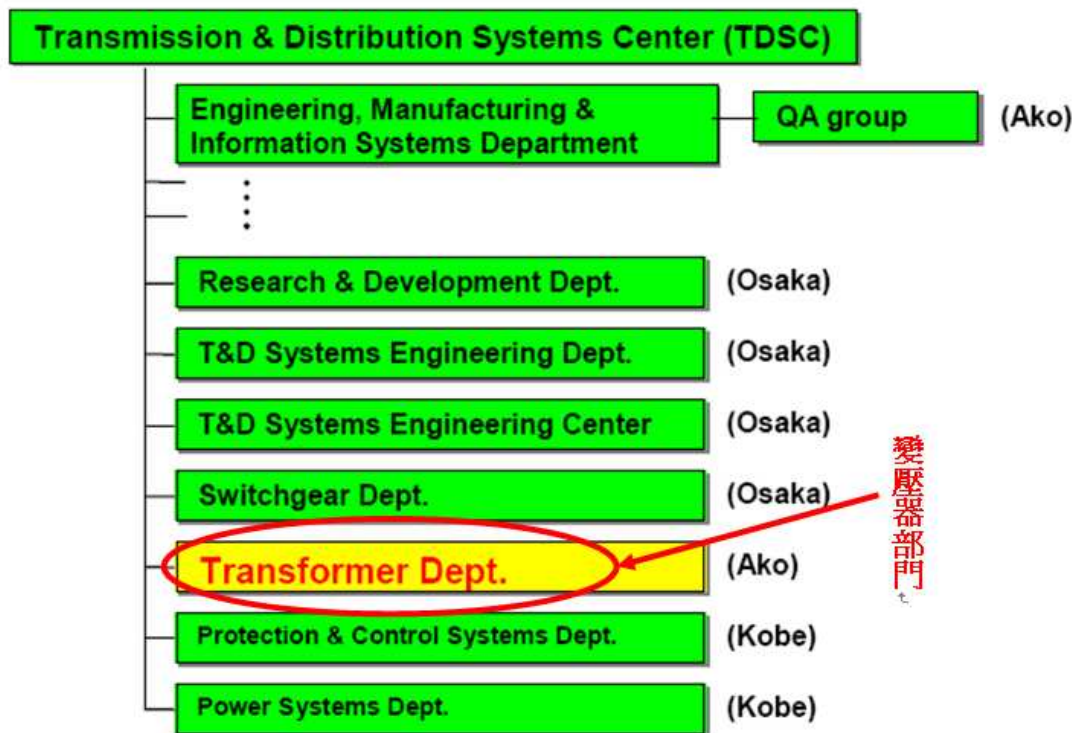


圖 3.2 三菱電力集團部門簡介

其中變壓器部門位於播州赤穗（Ako），主要生產的項目有外鐵式（Shell-Form）及內鐵式（Core-Form）兩種型式的變壓器，年產量達 25 GVA（Shell-Form）及 9 GVA（Core-Form），截至目前為止總共產出 800 GVA 的電力設備。根據 MELCO 在簡報中所提出來的數據，以 Shell-Form 為例，在日本的佔有率高達 48%，幾乎是市場的一半（詳如圖 3.3）；此外，在全世界也有許多國家使用 Mitsubishi 變壓器（詳如圖 3.4），因此清水利雄先生（變壓器製造部門海外設計課長）表示 Mitsubishi 對於變壓器方面的製造及安裝非常有經驗，此次在龍門電廠使用 Mitsubishi 的變壓器是正確的選擇。

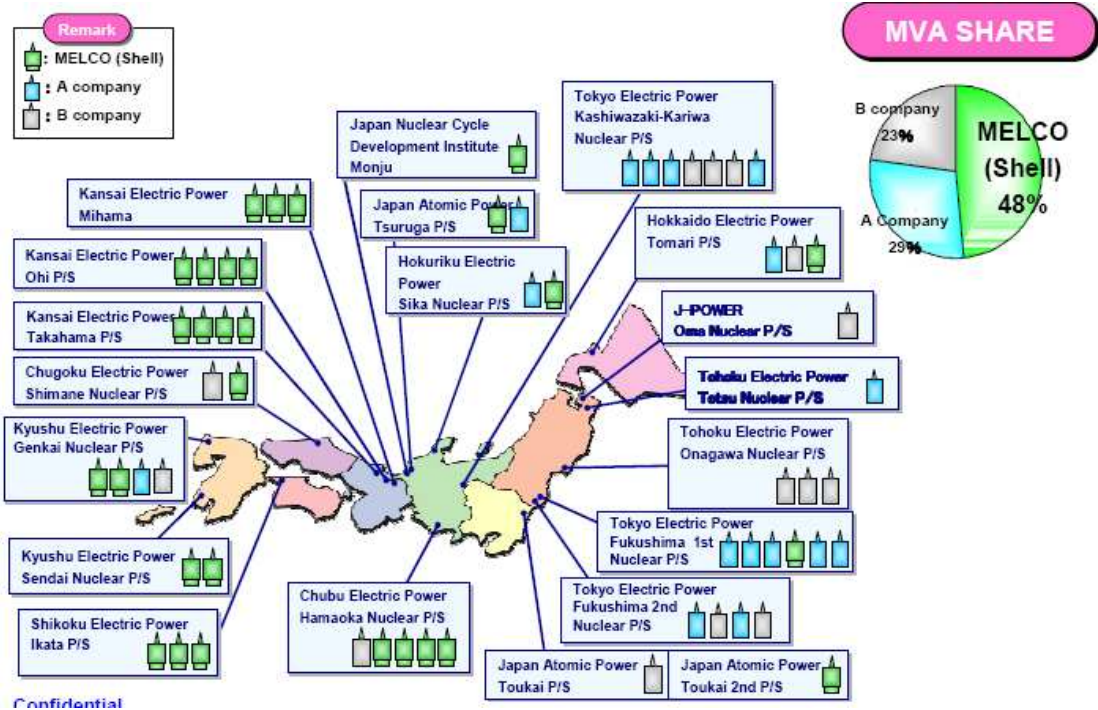


圖 3.3 MELCO 的 Shell-form 變壓器在日本市場佔有率

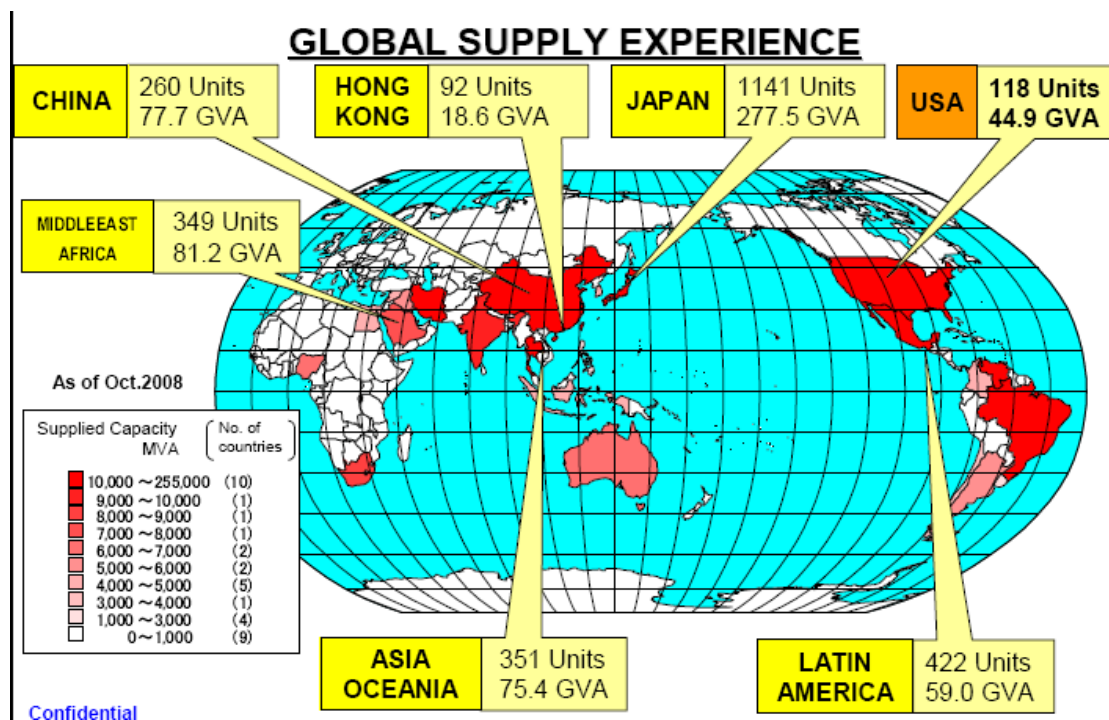


圖 3.4 MELCO 於全世界輸出的經驗



## 4. 變壓器危害預防

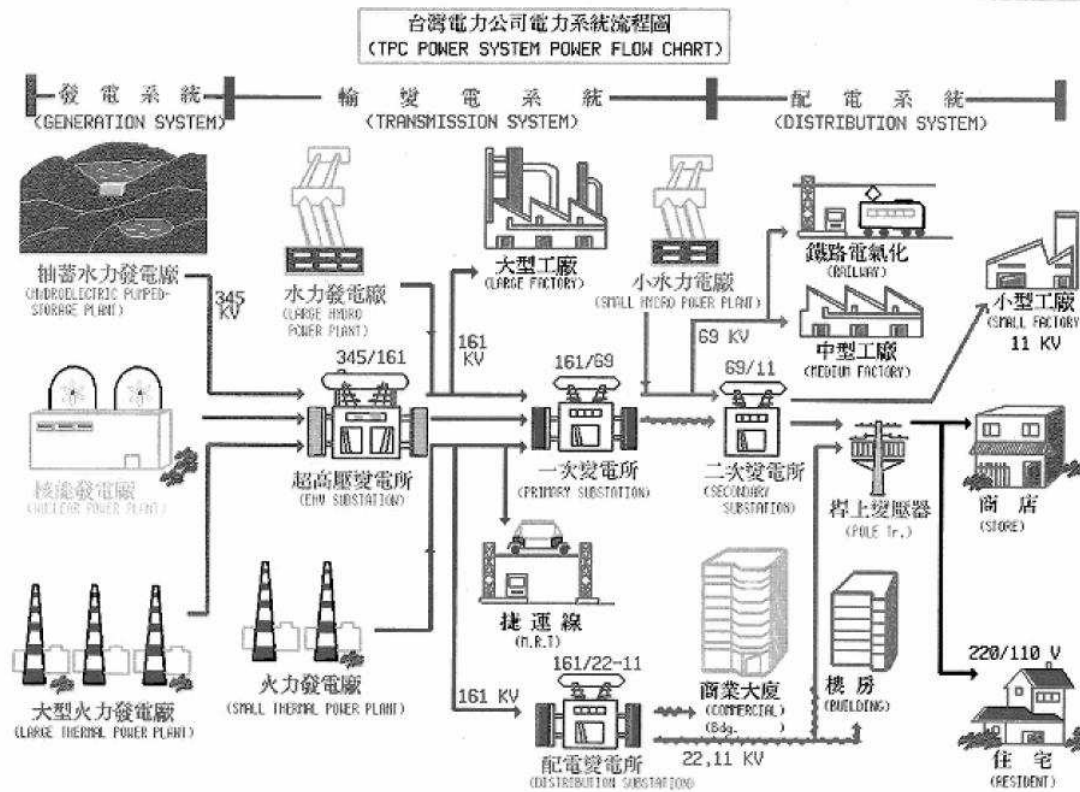


圖 4.1 台電電力系統流程圖

誠如報告開宗明義所言，電力變壓器是電力系統中不可或缺的重要設備，一旦發生事故無法運轉將導致立即停機影響供電，除了造成社會不必要的恐慌也嚴重損害公司形象。但畢竟一台電力變壓器是由許許多多重要的單元組合而成，或許在製造過程中可以傾全力將設備做的盡善盡美，不過誰也無法保證在使用五年、十年甚至廿年之後不會因為小問題發生，最後導致無可避免的災難。這時候需要的就是靠日常例行保養，配合監控儀器的運作，這樣做或許可以防範事故於未然，萬一發生事故亦可將災害控制到最低程度。

#### 4.1 日常保養與檢查

依照電力變壓器的使用狀況，在下面的表格裏詳列出變壓器例行

檢查項目及週期：

編號	檢查項目	檢查週期
1	運轉記錄整理	每隔一小時
2	油量	日常檢查
3	漏油	日常檢查
4	噪音	日常檢查
5	吸濕呼吸器	日常檢查
6	溫度計	日常檢查
7	散熱器控制裝置	日常檢查
8	放壓閥(管)	日常檢查
9	套管(Bushing)	日常檢查
10	撲氣電驛(Buchholz relay)	日常檢查
11	絕緣電阻之測定	運轉開始後第 6 個月，此後 2~3 年一次
12	Tan $\delta$ (Dielectric loss)之測定	運轉開始後第 6 個月，此後 2~3 年一次

表 4.1 變壓器檢查項目及週期表



編號	檢查項目	檢查週期
13	油耐壓試驗	運轉開始後第 6 個月，此後每年一次
14	油性能試驗	每二年一次
15	油中氣體分析	於 4.2 章節說明
16	絕緣油過濾	每 3~5 年一次
17	各部份釋氣閥檢查	1. 每 3~5 年一次 2. 灌油時
18	內部檢查	每 10 年一次
19	負載情況記錄	日常檢查
20	溫度情況記錄	日常檢查

表 4.2 變壓器檢查項目及週期表(續)

- (1)運轉記錄整理：按時記錄配電盤各儀表顯示的電壓、電流、功率、功因、週率以及針盤溫度計所指示的絕緣油或繞組溫度，並專卷管理，以供日後保養及故障原因判斷之參考。
- (2)油量：油量的多少將會影響冷卻及絕緣的效果（詳如圖 4.2），因此必須經常注意。當油面異常降低時，有可能是因為漏油現象所造成的結果。

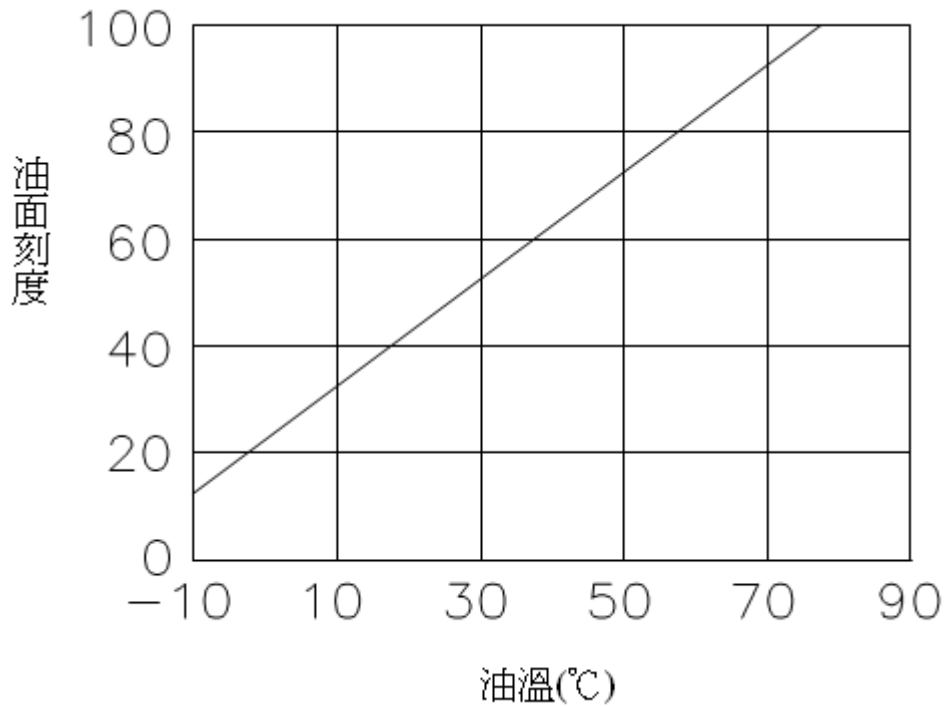


圖 4.2 油面與絕緣油溫度關係圖

- (3)漏油：閥類、套管、外殼及散熱器之管接頭襯墊安裝位置最容易發生漏油處，應於日常檢查時詳加注意，並隨時保養、防漏。
- (4)噪音：日常應注意變壓器產生的噪音，若發現振動聲音或異常音響時須儘速調查原因，適當處理。
- (5)溫度計：日常保養檢查需將玻璃表面擦乾淨，並確實記錄指示溫度，平時應避免水蒸汽或不潔物侵入玻璃內部。
- (6)放壓閥(管)：檢查的重點在閥之保護蓋是否被打開(或安全膜是否破裂)、插銷是否折斷等。

(8) 套管(Bushing)：日常檢查時應注意套管表面是否損傷，且無淤積塵埃或其他污損現象，在鹽害嚴重地區尤須定期申請停電進行清洗作業。

(9) 撲氣電驛(Buchholz relay)：變壓器剛開始運轉或施行濾油時，由於油流異於平時，可能發生誤動作(跳脫或警報)現象。因此，最好能將電驛之接點鎖緊(lock)。

(10) 絕緣電阻之測定：測定絕緣電阻之目的在推定絕緣劣化程度，通常使用 1kV 高阻計測定一次繞組與二次繞組間及一次繞組與大地間之絕緣電阻。測定工作應選在晴天將外線拆除後，套管表面清淨後實施，並儘可能在相同之油溫下行之。

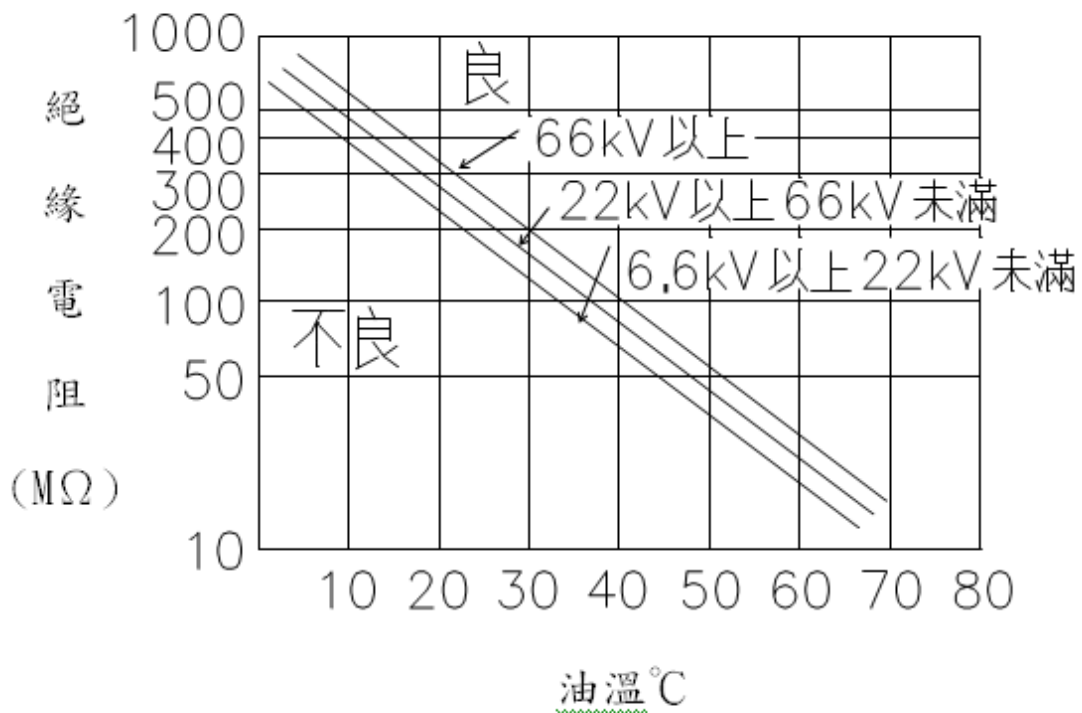


圖 4.3 絕緣電阻容許值對照圖

(11)  $\tan \delta$  (Dielectric loss)之測定：本方法為絕緣物之洩漏電流與充電電流判定絕緣劣化現象之正規方法。測定儀器有數種，其中以 schering bridge 為最常用。本項測定方式應在晴天進行，但測定數值受溫度影響很大，故應於變壓器各個部位溫度均勻分佈時測定，且每次測定時的油溫應相同。參考圖 4.4，如果測定值位於「絕緣良好」範圍時，無須任何處理；如果在「要注意」範圍時，應縮短檢查週期並注意測定值之變化；如果測定值在「絕緣不良」範圍時，宜將油過濾後再測定  $\tan \delta$ ，當結果仍惡劣時，須對繞組施行再乾燥處理。

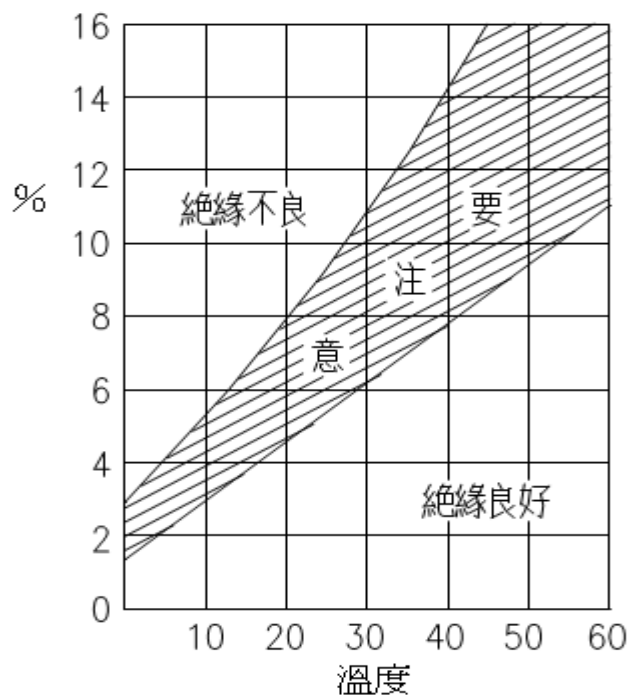


圖 4.4  $\tan \delta$  測定結果對照圖

(12)油耐壓試驗：取樣宜在晴天及油溫高於周圍溫度時較佳，並使用深褐色透明玻璃容器當成取樣容器，盛油前應以良質之變壓器油充分洗滌、乾燥，務必將水份完全去除以免影響測試結果。樣本須自外殼底部抽取，初期流出之絕緣油含污物可能較多，須待清潔的油流出時再採樣。依照 IEC 60165 規定電極於間隙 2.5mm 時耐壓為 27,500V 以上者為良好，如低於上述數值，需將油過濾後再試驗之，如耐壓強度仍未提高則應濾油再生或更換新油。

(13)油性能試驗：

①油酸價測定

②界面張力

③含水量測定：油中之含水量增加時，會造成絕緣強度降低的結果，故應依於規定期限間進行。

電壓等級	>69kV	>69kV 且 <161kV	345kV
測定值	35PPM	25PPM	20PPM

表 4.3 各電壓等級絕緣油中含水量上限表

(14)絕緣油過濾：如果實施各種試驗，其結果呈現「不良」或「要注意」時應將油過濾再重新實施試驗。一般絕緣油過濾須於變壓器停電時施行，且宜於低濕度的環境下行之。值得注意

的是將變壓器絕緣油抽出或灌入時，因變壓器外殼內部壓力變動，恐將破壞釋壓閥。因此，宜將儲油槽之吸濕呼吸器卸下呈開放狀態，同時亦須準備相同特性的良質絕緣油，以便補充濾油過程中損失的油量。

(15)各部份釋氣閥檢查：過濾完絕緣油以及灌油工作完成後，應打開套管座及各配件之放氣栓，以便確認氣體完全充分排出，且儲油槽內應存有適當之油量。

(16)內部檢查：

- ①調查變壓器外殼側板及鐵心、夾件等金屬類是否生鏽，如果發現鏽蝕的情況時，務必除去並確認生鏽原因處理之。
- ②調查心體表面是否有泥狀物 (oil sludge) 之附著，有油泥時以噴油清洗之，特別嚴重的部份以甲苯滌。
- ③檢查線圈是否完整，並以手觸絕緣物及間隔片，檢查是否出現鬆動的情況，鬆動時須將線圈上部之締緊螺樁或木製楔片再締緊。
- ④檢查所有鐵製、木製締緊螺栓定位記號線是否移位，如有移位時應以所需扭力締緊。下表列出各種螺栓所需的扭力：

(1 N · m = 10kg · cm)

螺栓規格	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M35
所需扭力	12N · m	25N · m	40N · m	100N · m	180N · m	310N · m	770N · m	1000N · m

表 4.4 各種鐵製螺栓所需的扭力表

螺栓規格	M12	M16
所需扭力	7N · m	15N · m

表 4.5 各種木製螺栓所需的扭力表

⑤施行分接頭切換器接觸部份之檢查，試行旋轉操作桿，接點接觸情況是否良好，是否淤積泥狀物等

(17)負載情況記錄：每日記錄變壓器之負載與電壓，並檢查或確認變壓器是否在規定額定下正常運轉，因為在不適當之分接頭接線下運轉，容易造成過激磁現象而增加鐵損。

(18)溫度情況記錄：將運轉情況下之溫度確實記錄，以便配合電壓、電流等記錄來分析變壓器是否發生異常現象。除記錄溫度計指示溫度外，亦須同時記錄當時之周圍溫度供比對。

## 4.2 危害預防

世人常用「天有不測風雲、人有旦夕禍福」來形容世事難預料，儘管在前面的文章述敘了許多日常及定期應進行的各項檢查，但不論現場工程師做了多少事前防範，所有坐在控制台前面的管理人員仍舊會擔心此時此刻在現場的電力變壓器會不會因為不明原因而導致事故。此外，因為所有的數據量測、取樣樣本報告都要一段時間的分析才能知道結果，那麼有沒有一種東西可以在短時間之內就將電力變壓器大致上的趨勢表現出來，這樣的儀器不必太精密但能提供相關數據供電廠人員判讀，此時油中氣體分析設備因運而生。

在下面的章節，我們以台電電力系統中常使用的二種油中氣體分析設備——Hydran 201i 及 Mitsubishi Corporation 自行生產的 N-TCG-6C（詳如圖 4.5 及圖 4.6）來做為本章節研討對象。



圖 4.5 Hydran 201i 油中氣體分析設備外觀圖





圖 4.6 N-TCG-6C 油中氣體分析設備外觀圖

#### 4.2.1 線上即時油中氣體分析設備基本概念

首先先來介紹油中氣體分析設備這個儀器的基本概念，在之前曾提到爲了減少渦流損，因此必需將矽鋼片儘可能的簿化，而製造商在堆疊矽鋼片做成變壓器心體時，會在矽鋼片與矽鋼片之間放入絕緣物，可能是玻璃纖維或是浸漬絕緣充油紙等等這一類絕緣良好的介質，最後整個心體與外殼之間再注入絕緣油，基本上這樣的作法非常方便而且有效，只不過隨著變壓器經年累月的運轉，絕緣物與絕緣油在長時間、高溫的環境下運轉，漸漸地會有一些元素溶解出來。

這些元素中，我們比較在乎的是碳 (C)、氫 (H)、氧 (O) 等元素，因爲這些元素產生後容易結合成一氧化碳 (CO)、氫氣 (H<sub>2</sub>)，更進一步再反應成甲烷 (CH<sub>4</sub>)、乙烷 (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)、乙烯 (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)、乙炔 (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) 等這一類劇烈反應的氣體，若是等到這些氣體累積一定數量後可能會引發爆炸，這也是大家最不願意見到的。

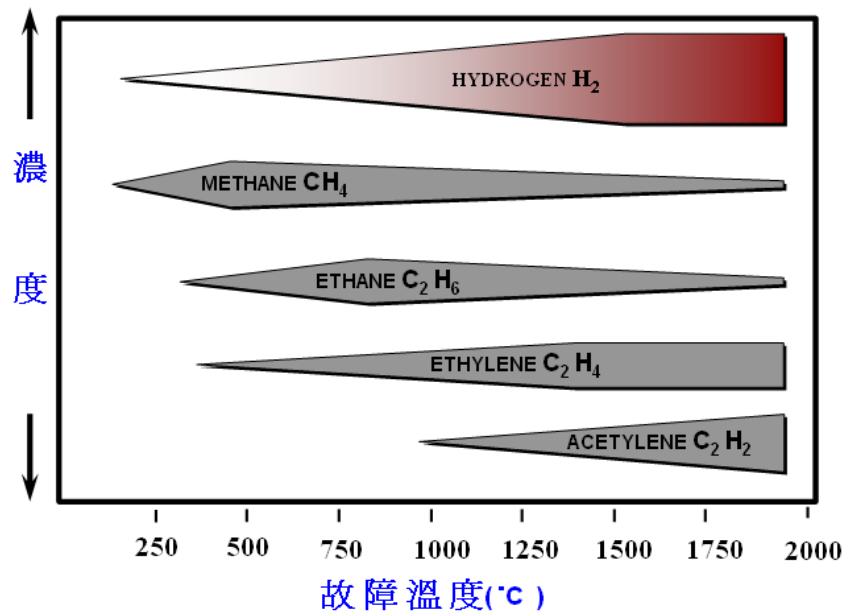


圖 4.7 絕緣油劣化產生的故障氣體圖

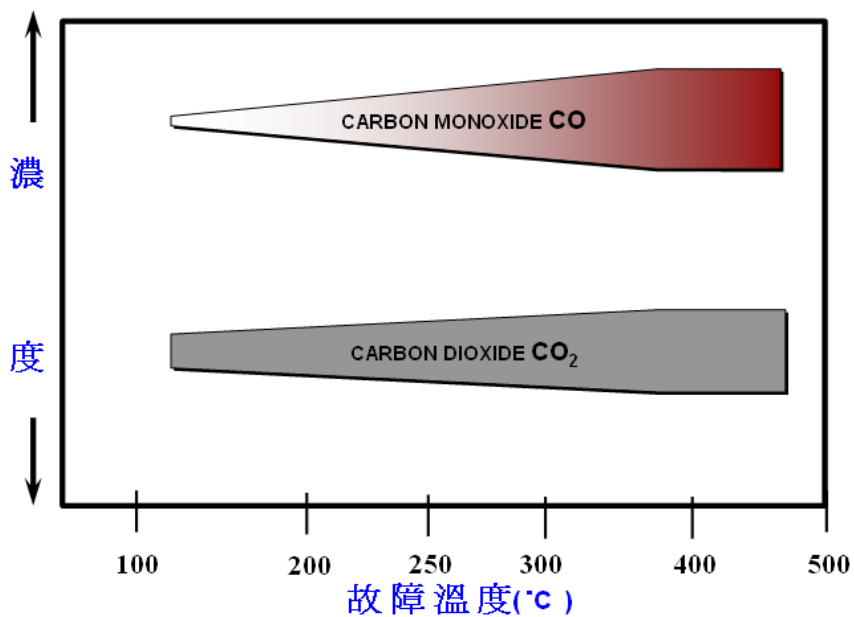


圖 4.8 纖維材質絕緣破壞產生的故障氣體圖

所以希望有一個儀器能夠一開始就在源頭把關，在變壓器運轉一段時間後，如果裡面的一氧化碳（CO）、氫氣（H<sub>2</sub>）濃度到達某個程度並且持續上升，就代表這個變壓器如果沒有馬上進行適當的補救處

理，接下來形成事故的機會非常大。根據這樣的特性，設計出油中氣體分析設備來監測變壓器油中主要的故障氣體濃度，如一氧化碳（CO）、氫氣（H<sub>2</sub>），並且將監測的氣體濃度轉換成電氣信號送到監控電腦中。如此一來，不論變壓器有什麼異常狀態出現，管理者或是日常維護人員都能很輕鬆的在電腦前監視並評估變壓器故障趨勢。

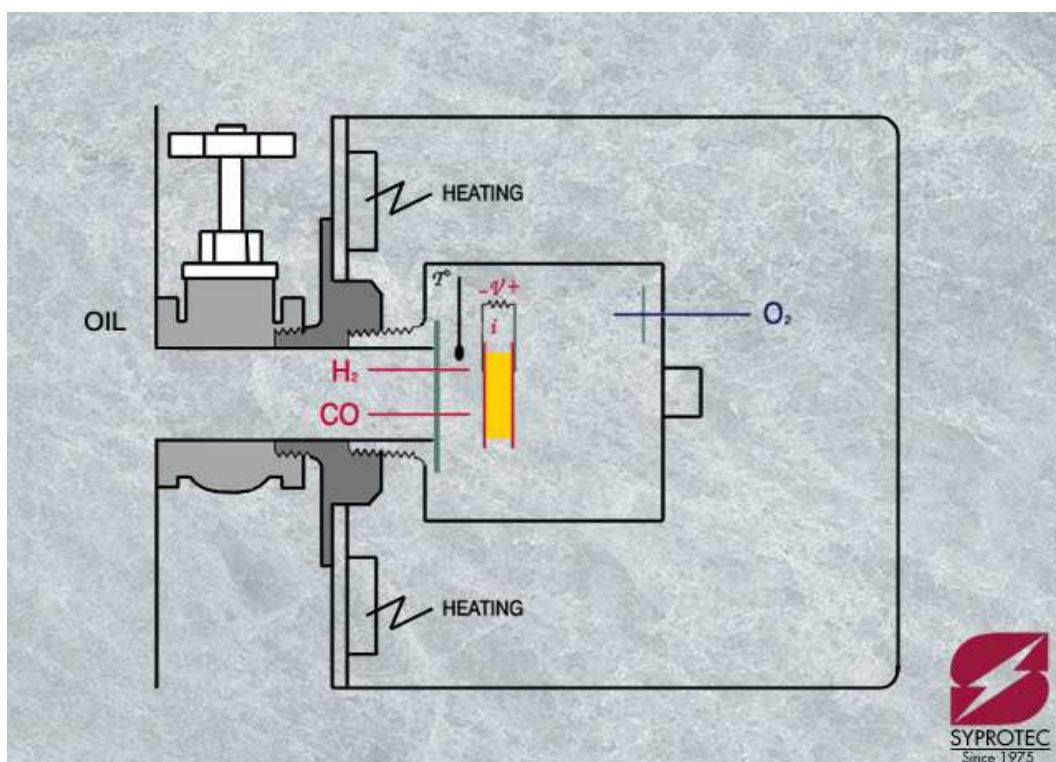


圖 4.9 Hydran 201i 利用薄膜透析出故障氣體並轉換成電氣信號圖

#### 4.2.2 Hydran 201i 線上即時油中氣體分析設備量測原理

首先我們以 Hydran 201i 為例介紹油中氣體分析設備的量測原理，由於所有故障氣體在變壓器運轉時均會溶解於絕緣油中，因此必需利用選擇性滲透薄膜當成變壓器與油中氣體分析設備之間的介質（詳如圖 4.9），也就是利用選擇性滲透薄膜來過濾出絕緣油裡面的一氧化碳(CO)、氫氣(H<sub>2</sub>)，再利用氣體偵測器來偵測一氧化碳(CO)、氫氣(H<sub>2</sub>)這些故障氣體的濃度並產生一定比例的電氣信號，經過電腦比對電氣信號的大小後轉化成以 PPM 來顯示數值（詳如圖 4.10）。

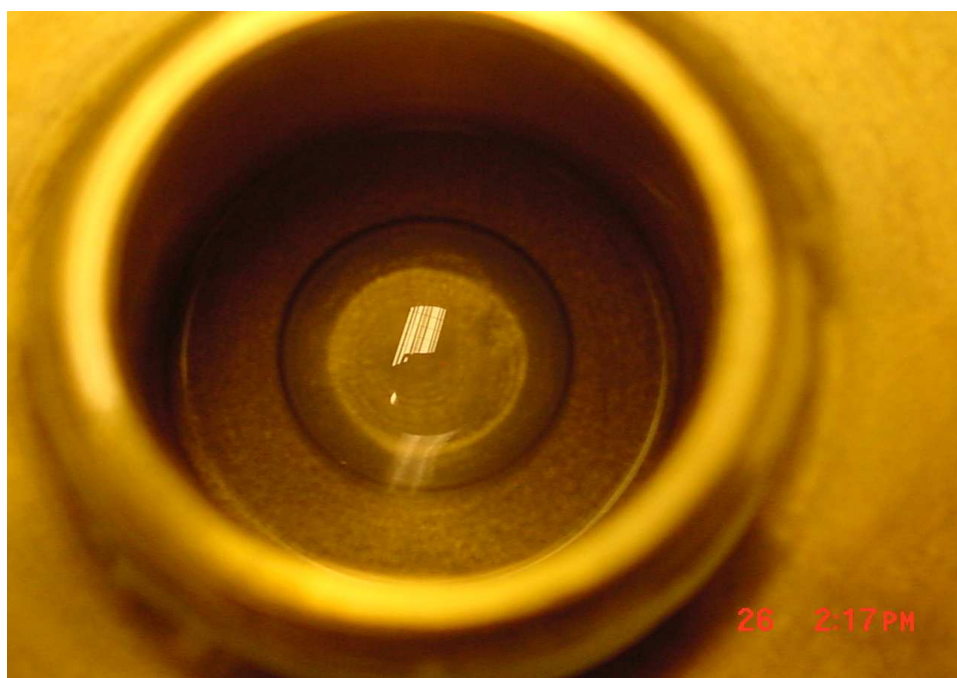


圖 4.10 選擇性滲透薄膜元件近視圖

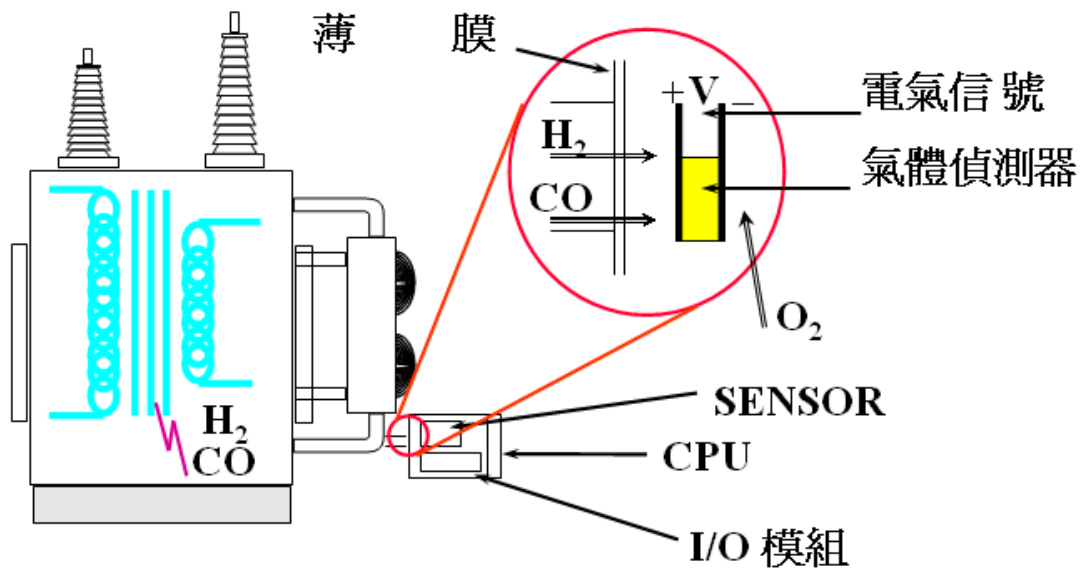


圖 4.11 過濾出絕緣油內含的一氧化碳 (CO)、氫氣 (H<sub>2</sub>)，透過偵測器來偵測 CO、H<sub>2</sub> 濃度並轉成電氣信號，經電腦比對電氣信號大小後以 PPM 來顯示數值

不過針對檢測出來的氣體的濃度多寡才會形成變壓器事故，許多學者、學術團體紛紛提出個自的看法，在業界中常有以下幾種規範：IEEE C57.104-1991、DOERNENBURG、ROGERS、IEC 599、DUVAL、GE 等幾種。這幾種規範的適用度並不在本文討論範圍中，本文只是拿其中一個最常用的規範來用：IEEE C57.104-1991。

依照 IEEE C57.104-1991 規範指出，將一些具有指標性的故障氣體依照各自比例加總權來算出可燃氣體總量 (TDCG)，最後管理者可以由 TDCG 的數據趨勢 (也就是可燃性氣體總量的增加率，ppm/day) 來評量變壓器目前的狀況是保持在好的狀態亦或朝不良的情況。

測量的公式如下：

$$\text{TDCG} = \text{H}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_6 + \text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_2\text{H}_2$$

值得一提的是，Hydran 201i 油中氣體分析設備這項設備並非完全依照 IEEE C57.104-1991 規範來計算 TDCG，而是依照不同氣體的權重比例來加總和當成 TDCG 之值。

		DGA Results		Hydran 201i display
Hydrogen(H <sub>2</sub> )	100%	×	100ppm	= 100
Carbon Monoxide(CO)	18%	×	300ppm	= 54
Acetylene(C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	8%	×	5ppm	= 0.4
Ethylene(C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	1.5%	×	30ppm	= 0.45
				= 155ppm (TDCG)

### 4.2.3 N-TCG-6C 線上即時油中氣體分析設備量測原理

接下來介紹三菱公司所生產的 N-TCG-6C 線上即時油中氣體分析設備量測原理。

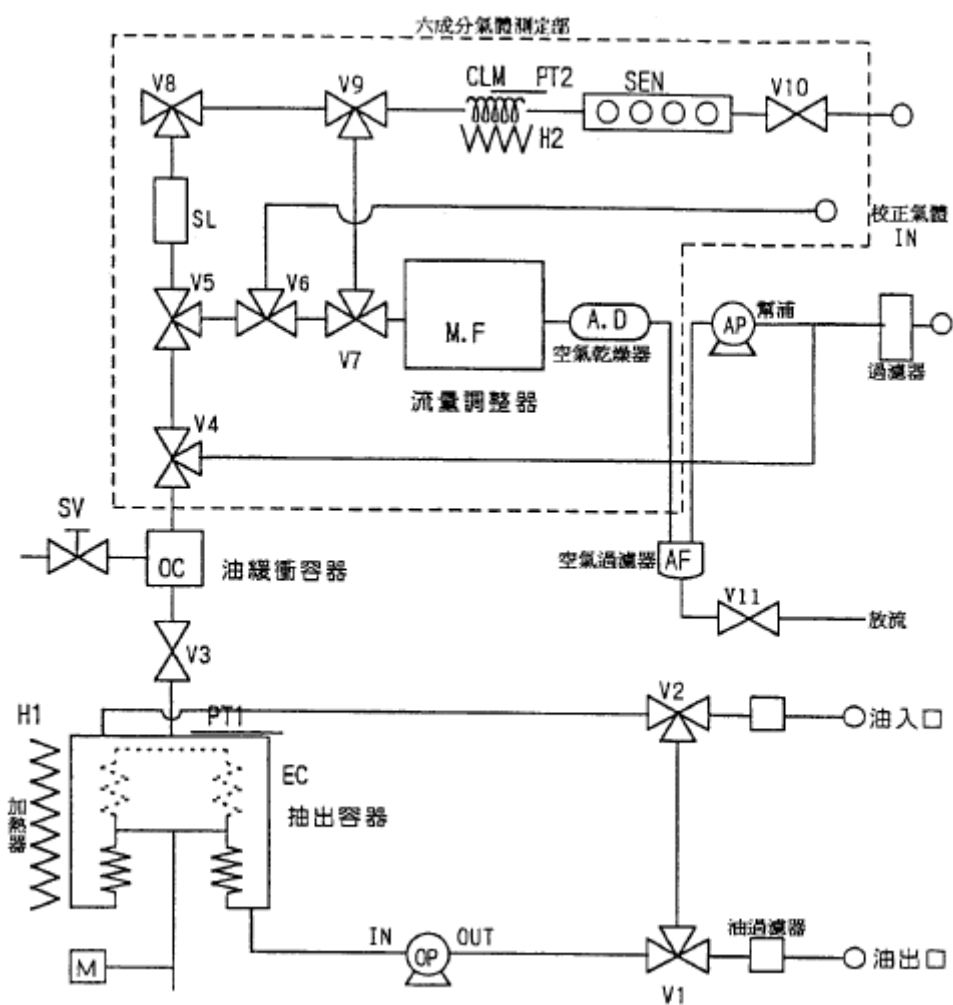


圖 4.12 N-TCG-6C 油中氣體量測原理

如上圖所示，N-TCG-6C 從變壓器本體利用油幫浦將絕緣油抽出後送至風箱式氣體抽出容器並將溶解在絕緣油中的氣體抽出，而整個油中氣體分析設備最重要的便是氣體抽出這項技術；將抽出來的氣體



先經過空氣過濾器 and 空氣乾燥器去除水分再送至氣體偵測單元 (Gas detection Unit, 詳如圖 n.n) 後將六種成分氣體檢出, 並轉換成電壓形式輸出至資料處理單元 (Amplifier + A/D converter + Data processor), 接著資料處理單元依照氣體的成分及濃度進行定性、定量分析後將油中氣體資訊顯示出來供使用者判讀。

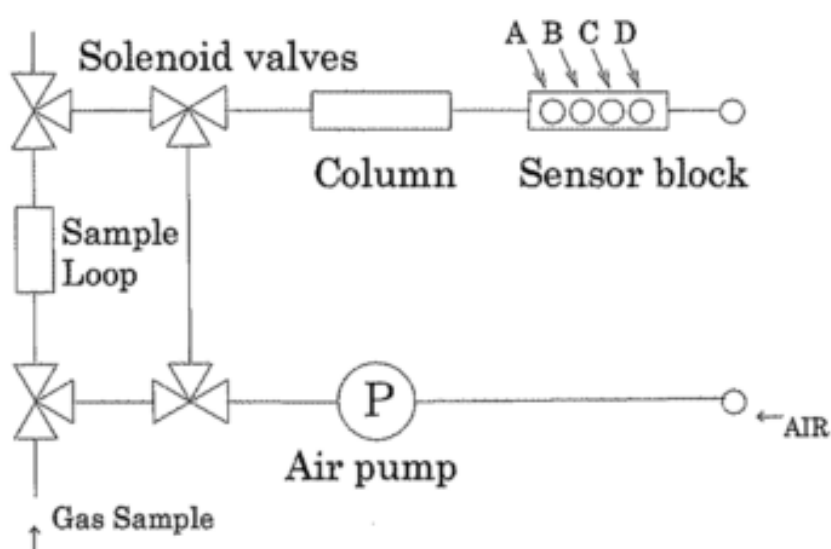


圖 4.13 氣體偵測單元方塊圖

我們進一步討論氣體偵測單元的運作原理, 其中氣體感知器 (Sensor block) 是這個單元內最重要的元件, 不同的感知器 (sensor A~D) 對不同氣體的靈敏度也不一樣, 感知器 A 能測出  $\text{CH}_4$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{C}_2\text{H}_4$ 、 $\text{C}_2\text{H}_6$ 、 $\text{C}_2\text{H}_2$ 、 $\text{C}_3\text{H}_6$  及  $\text{C}_3\text{H}_8$  等氣體, 但對於  $\text{H}_2$ 、 $\text{CO}$  及非飽合碳氫化合物 ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) 具有較高的靈敏度; 感知器 B 能測出  $\text{CH}_4$ 、 $\text{C}_2\text{H}_6$  等氣體, 但對於飽合碳氫化合物 ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) 具有較高的靈敏度; 感知器 C 對於  $\text{H}_2$

具有較高的靈敏度；而感知器 D 則是對於 CO 具有較高的靈敏度。

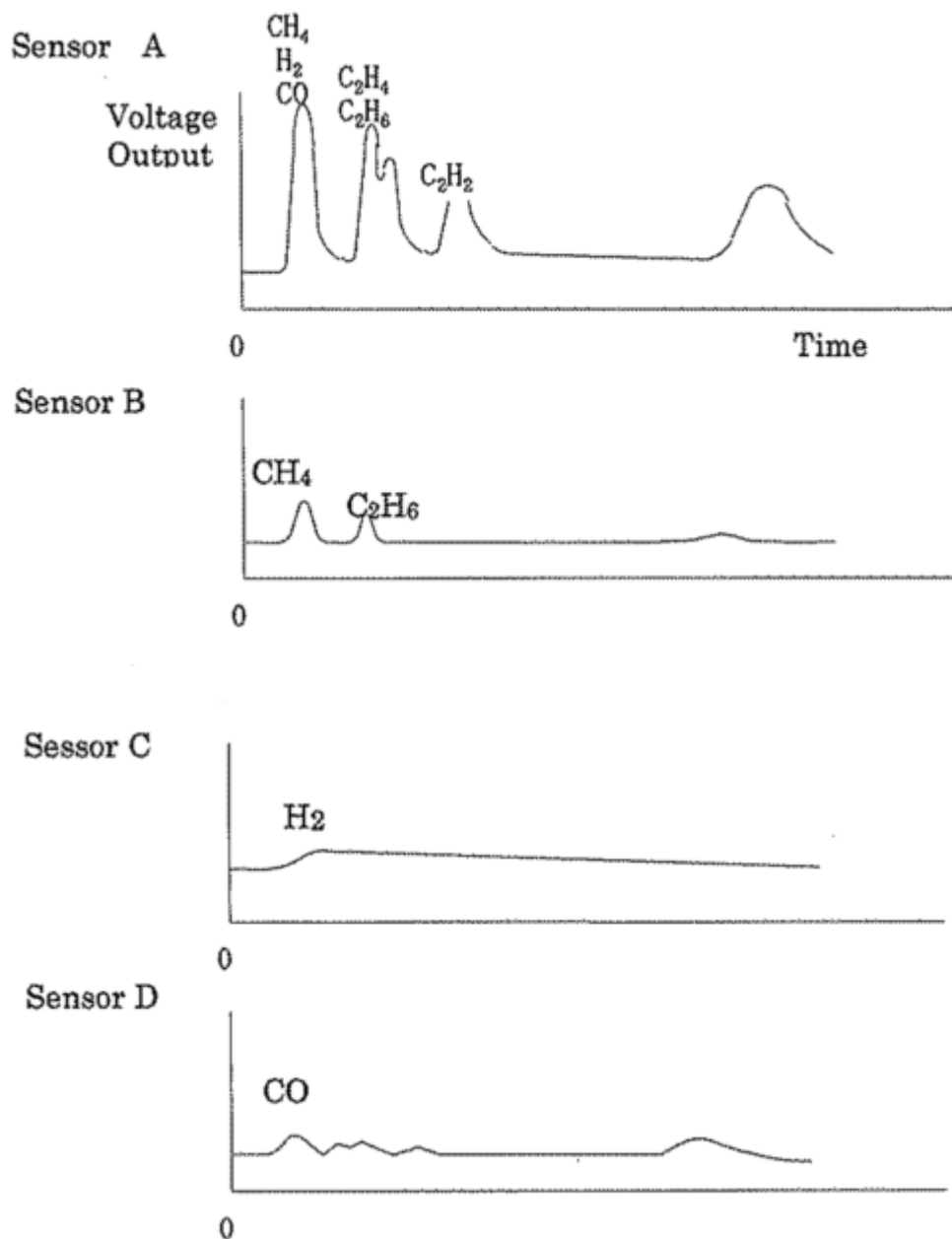


圖 4.14 氣體感知器 (Sensor) 偵測氣體分析圖

利用這些特性，可以將感知器 A 量測出來的結果作為 TCG 樣本數據；感知器 B 量測出來的結果作為甲烷氣體樣本數據；感知器 C 量測

出來的結果作為氫氣氣體樣本數據；而感知器 D 量測出來的結果作為一氧化碳氣體樣本數據，資料處理單元（Data processor）會將這些樣本數據乘上氣體濃度抽出率，進而換算出各種油中氣體濃度並顯示出來供使用者參考。

#### 4.2.4 Hydran 201i 線上即時油中氣體分析設備數據分析

Hydran 201i 線上即時油中氣體分析設備使用 IEEE C57.104-1991 規範來規範 TDCG 數值，籍此可以將變壓器分成四種可能狀況：

狀況	TDCG (TCG)	表現狀況
1	< 720 ppm	正常運轉
2	721 ppm ~ 1920 ppm	未來可能發生問題
3	1921 ppm ~ 4630 ppm	可能目前已發生問題
4	> 4630 ppm	持續運轉將導致故障

表 4.6 變壓器的四種可能狀況

另外除了這四種狀況，IEEE C57.104-1991 規範也建議使用人員也需要同步檢測絕緣油中的個別氣體，並針對這些氣體個別設下限制值，如下表：

氣體	狀況 1	狀況 2	狀況 3	狀況 4
氫 (H <sub>2</sub> )	< 100	101~700	701~1800	> 1800
甲烷 (CH <sub>4</sub> )	< 120	121~400	401~1000	> 1000
乙炔 (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	< 35	36~50	51~80	> 80
乙烯 (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	< 50	51~100	101~200	> 200

表 4.7 個別氣體限制表

氣體	狀況 1	狀況 2	狀況 3	狀況 4
乙烷 (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	< 65	66~100	101~150	> 150
一氧化碳 (CO)	< 350	351~570	571~1400	> 1400
二氧化碳 (CO <sub>2</sub> )	< 2500	2500~4000	4001~10000	> 10000

表 4.8 個別氣體限制表(續)

利用上面兩道關卡來保障變壓器能夠在良好的狀況下運轉，要是在某一道關卡出現狀況 2 以上的情事發生，建議應立即與變壓器原廠來聯絡，要求變壓器原廠立即派人進行絕緣油濾油，要是濾油之後狀況沒有改善，就要警覺可能是變壓器本身已有故障產生，此時應立即停機並採取必要的檢驗。

#### 4.2.5 N-TCG-6C 線上即時油中氣體分析設備數據分析

N-TCG-6C 提供二種警報方式（預警警報及警告警報）來監控可燃性氣體及 TCG 趨勢，並且建議使用者可以依照下表建議值來設定警報值：

	預警警報(ppm)		
電壓等級	275kV(含)以下		500kV
容量等級	10MVA(含)以下	10MVA 以上	
CO	300	300	200
H <sub>2</sub>	400	400	300
CH <sub>4</sub>	200	150	100
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	300	200	100
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	150	150	50
TCG	1000	700	400

表 4.9 Mitsubishi 建議使用者設定預警警報值表

	警告警報(ppm)		
電壓等級	275kV(含)以下		500kV
容量等級	10MVA(含)以下	10MVA 以上	
CO	600	600	400
H <sub>2</sub>	800	800	600
CH <sub>4</sub>	400	300	200
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	600	400	200
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	300	300	100
TCG	2000	1400	800

表 4.10 Mitsubishi 建議使用者設定警告警報值表

此外，上述列表並沒有建議 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 的預警警報值及警告警報值，不過依照過去經驗，使用者可以設定為：

預警警報值：2 ppm;

警告警報值：5 ppm

而 Mitsubishi 建議使用者針對 TCG 趨勢部份設定預警警報值及警告警報值為：

預警警報值：30 ppm/day;

警告警報值：60 ppm/day



#### 4.2.6 Hydran 201i 油中氣體分析設備規格分析及安裝注意事項



圖 4.15 Hydran 201i 油中氣體分析設備拆開外殼圖

- 準位：0~2000 PPM
- 反應： $H_2$ ,  $CO$ ,  $C_2H_4$ （選購） and  $C_2H_2$ （選購）
- 精度： $\pm 10\%$  of reading  $\pm 25$  ppm
- 可利用 RS-232 與 SCADA system 連線，並具有自我診斷測試功能

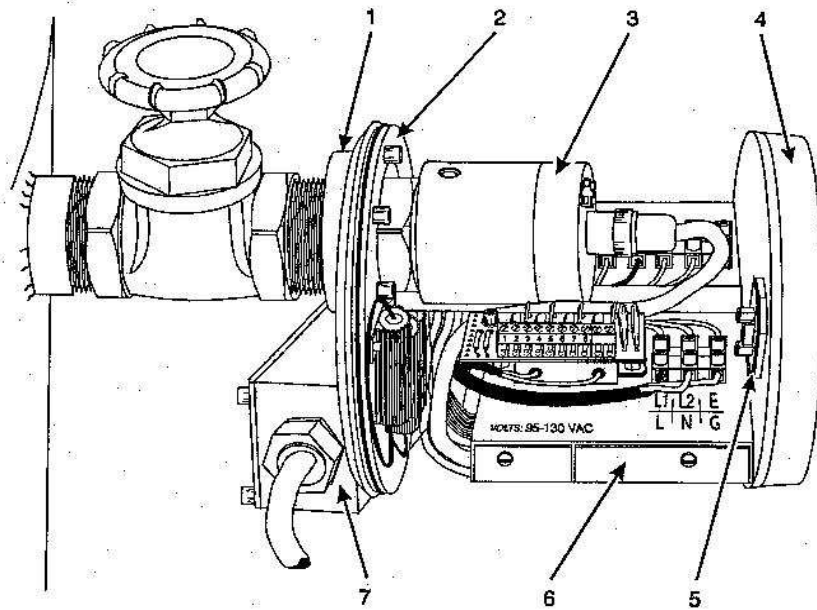


圖 4.16 Hydran 201i 構造外觀圖

- |                  |              |
|------------------|--------------|
| 1.黃銅轉接頭          | 5.RS-232 連接頭 |
| 2.加熱板            | 6.I/O 模組     |
| 3.Hydran 201 感測器 | 7.連接盒        |
| 4.主模組(CPU)       | 8.監控線連接端     |

安裝時應注意以下幾點：

- ①使用的閘閥口徑不可小於 1 英吋，避免形成負壓損傷滲透薄膜元件。
- ②最大距離為 6 倍的管徑，避免形成負壓損傷滲透薄膜元件。
- ③油中氣體分析設備探測器及滲透薄膜元件因屬精密設備故需

小心取放，滲透薄膜元件尤其禁止以手或物件碰觸以免造成滲透薄膜破裂（詳如圖 4.13）。

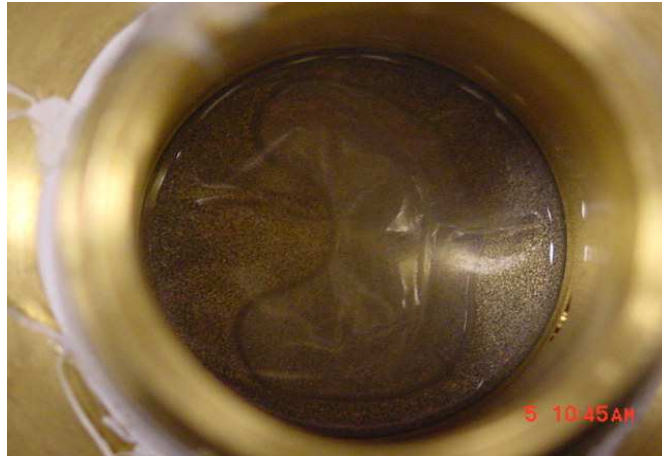


圖 4.17 滲透薄膜元件遭受外力導致破裂圖

- ④使用的管路應避免安裝在彎管上，避免內、外壓不足，減低取樣可靠度。
- ⑤使用的管路應避免為分支管路，避免內、外壓不足，減低取樣可靠度。
- ⑥通訊線路及接地線路，為保持訊號正常及防範突波、雷擊造成異常，相關線路建議使用遮蔽線，並與變壓器使用同一接地網。

Hydran 201i 油中氣體分析設備安裝時需與地面保持水平（詳如圖 4.13）；此外，為了讓油中氣體分析設備在取樣絕緣油時，其絕緣油具代表性，故應特別注意安裝在變壓器本體上的位置，可以參考圖 4.14 安裝地點。



圖 4.18 Hydran 201i 油中氣體分析設備應與地面保持水平

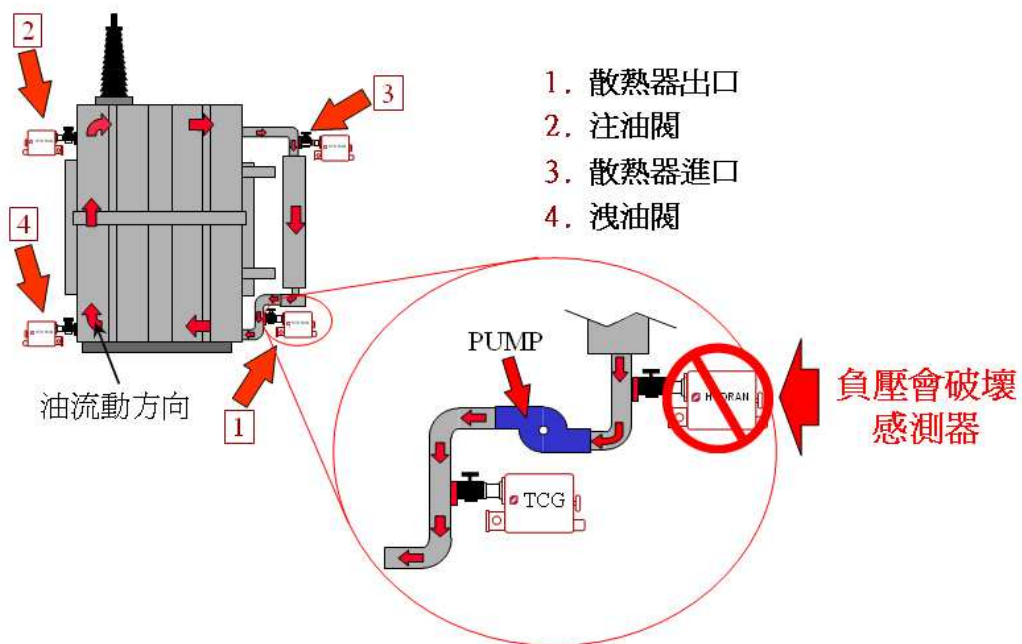


圖 4.19 油中氣體分析設備安裝地點建議圖

安裝時需要一再提醒，油中氣體分析設備裝設的地方不能有負壓產生，否則會造成滲透薄膜元件內、外壓力不平均而破裂。

#### 4.2.7 N-TCG-6C 油中氣體分析設備規格分析及安裝注意事項



圖 4.20 N-TCG-6C 油中氣體分析設備外觀圖

- 500mm(寬度) × 360mm(深度) × 630mm(高), 重約 80 公斤
- 準位：
  - TCG : 20~9999 PPM
  - C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> : 0.5~500 PPM
  - C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> : 10~2000 PPM
  - H<sub>2</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、CO : 20~2000 PPM
- 反應 : CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> and C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>
- 精度 : ± 20%
- 可利用 RS-232C 與 SCADA system 連線

安裝過程中需注意以下三點事項：

- (1)務必於安裝完成後才能提供設備電源，否則將造成感知器輸出不穩定或是誤動作。
- (2)即使因為停電，不過相關量測資料及相關警報設定值仍舊儲存在記憶體中。重新復電後，系統會自動重啓量測動作。
- (3)如果停電情況持續超過 4 個小時，重新復電後需待 12 個小時之後才能得到穩定的感測值。

其餘各部件的維護期間列表如下：

各部件名稱	維護期間
電池	9 年
直流電源供應器	9 年
氣體感知器	6 年
空氣幫浦	6 年
風箱驅動馬達	9 年

表 4.11 各部件的維護期間列表

## 5. 心得

時間過的很快，赴日本受訓八天像箭一樣就過去了，雖然去日本已經不是第一次了，不過單獨一個人去日本又是另外一回事。我將這幾天所見所聞的一些事物以心得方式列在下面：

### 1. 態度方面：

- ①日本街道很清潔，這並不是因為衛生單位派很多人在清掃，而是全民自然而然所養成的習性，不需要另外靠立法來規範；反應在工作上自然也就將工作環境整理的有條不紊，堆放貨物的地方層次分明並且有清楚的標示，使用完的工具在當日立即歸位。也因此，讓人第一眼就覺得這個公司是個有制度的公司。
- ②大家做事的方法一絲不苟，那怕只是巡視廠區在定點簽到也一定會先將儀容整理完畢，並依著時間順著一定的路線進行，不會因為走快了一點就早點結束，不會因為旁邊有小路就抄近路走，我想也唯有這樣的表現才能讓人安心的使用製造出來的產品。
- ③大家都很認真的執行交付工做，這點可以從路邊小巷的施工情況看得出來，因為那是一條不起眼的小巷子，可是出入口指揮的人員可是站得直挺挺的，早上經過是這樣，晚上經過

時也是如此，沒有因此而躲在路旁休息，更何況那天天氣只有攝氏 4 度左右呢。

④大家在工作時會注意小細節部份，進到 Mitsubishi Corporation 的工廠，首先映入眼簾的是飄揚在空中的中華民國國旗，在詢問之後才知道只要有外國人員到訪，工廠便會掛上到訪人員的國家國旗以示尊重；這一點頗讓我驚訝，因為這幾天只有我一個人會來，不過對方卻大張旗鼓的將門口、走道旁的旗子全換成了青天白日滿地紅的國旗。進到會議室之後，接待人員首先表示歡迎之意，接著告知因為商業保密問題，在這幾天的訓練課程不能使用任何記錄媒介，包括紙筆、相機、錄音筆，只能使用工廠提供的講義及一支特別準備的碳筆；另外為了管理方便，還需更換成 Mitsubishi Corporation 為賓客準備的服裝以便區分。每一個細節都替你準備好了，讓人沒有任何藉口。

## 2.工作所見所聞：

電力系統在某方面來說，其技術已經到達穩定的境界，加上電力系統運轉順利與否攸關整個國家各個層面的命脈，也因此任何一個電力新發明，在推廣時都會受到極大的考慮及質疑。Mitsubishi Corporation 雖然在日本甚至在全世界都有



極高的佔有率，但仍致力開發新型變壓器，譬如利用 Silicon 絕緣油來取代目前所使用的礦物絕緣油，雖然 Silicon 絕緣油也會劣化，但是由於 Silicon 容易先與其他跑出來的元素結合，而且 Silicon 結合物不具可燃性，故可保變壓器安全。目前已有案例使用在日本新幹線火車上，是一項值得開發的產品。

另外一款就是 SF<sub>6</sub> 變壓器，由於 SF<sub>6</sub> 為一種無嗅、無味、無毒害、無侵蝕、不易燃且不活潑的氣體，在相同條件下其密度為空氣的 5 倍，故比空氣重。雖然 SF<sub>6</sub> 是一種溫室氣體對環境會有不好的影響，但只要管制得宜不讓它排放到大氣中的話，其優勢仍比油浸室變壓器來得好，加上 SF<sub>6</sub> 變壓器小型化及重量輕，故適用於都市或交通工具上。目前甚至在台北捷運信義、松山線主變電站均已使用 SF<sub>6</sub> 氣體式絕緣變壓器。在這邊另外有一個插曲，由於在受訓的課程中提到這一款的變壓器，使用 SF<sub>6</sub> 的好處是再也不必擔心 SF<sub>6</sub> 氣體會與其他元素結合，不會產生可燃性氣體自然也不必擔心變壓器會爆炸，但是如此一來如何偵測變壓器本身發生故障呢？像是線圈短路、部分放電、電弧之類的問題，在一時好奇之下詢問對方工程師，對方也說不出個所以然，只表明目前大家著重的重點都在於防

止變壓器因事故而爆炸，而沒有人特別去注意變壓器本身發生問題要怎樣偵測、預防。本以為這樣回答就告一段落，沒想到回國之後，對方特地用 e-mail 來信告知，當天對方將這問題向上面研究單位反應，研究人員便開始著手處理這個問題，首先他們模擬在密閉容器中填入 SF<sub>6</sub> 來代表變壓器，並且讓電弧在容器中產生，SF<sub>6</sub> 因為高溫會解離是大家都可以預知的結果，接著研究人員去捕捉解離出來的 F<sup>-</sup> ion，雖然 SF<sub>6</sub> 是一種穩定的氣體故一下子就結合回去，但是如果能夠持續捕捉到 F<sup>-</sup> ion 則可以懷疑一定是在變壓器內部發生故障持續產生電弧造成，他們會持續注意這個問題並改良設計出偵測器。只是隨口問一個問題，但相關人員卻是認真思考並找出解決方法，我想這更是自己要學習的地方。

從頭到尾礙於對方有許多製造技術及實驗結果不能記錄的原則，只能自己看完之後回到飯店時儘量把所見到的東西寫下。故建議下次類似的實習課程應安排二人以上同行，一方面有個照應，一方面才能把學到的東西忠實的反應出來。

## 6. 參考文獻

- [1] 黃智明, “電力系統”
- [2] “大同電力變壓器型錄”, 大同公司
- [3] “士林電力變壓器型錄”, 士林公司
- [4] “變壓器油中氣體監測系統操作手冊”, 儀測科技
- [5] “ON-LINE GAS MONITORING APPARATUS INSTRUCTION MANUAL”,  
MITSUBISHI ELECTRIC
- [6] 李松文, “SF6 氣體式絕緣變壓器之優點”, 捷運報導第 247 期