

出國報告(出國類別：開 會)

參加美國電力研究院(EPRI) 2006
「變電所設備診斷」會議報告

服務機關：台灣電力公司供電處

姓名職稱：李副處長群

派赴國家：美國

出國期間：95.07.15~94.07.21

報告日期：95.09.01

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加美國電力研究院(EPRI) 2006「變電所設備診斷」會議

頁數 20 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/2366-7685

出國人員：姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

李群/台灣電力公司供電處/副處長/02-23688916

出國類別：1.考察 2.進修 3.研究 4.實習 5.其他：開會

出國期間：95年7月15日~95年7月21日

出國地區：美國加州

報告日期：95年9月1日

分類號/目

關鍵詞：問題基礎維護法 (Problem Based Method, PBM)、狀況基礎維護法 (Condition Based Method, CBM)、斷路器(Circuit Breaker)、氣體絕緣開關設備(Gas Insulated Switchgear, GIS)、有載分接頭(Load Tap Changer, LTC)、總可燃性氣體(Total Combustible Gas, TCG)

內容摘要：(二百至三百字)

2006年美國電力研究所(Electric Power Research Institute, EPRI) 於7月16日至7月19日在美國加州 San Diego Marriott Hotel 會議中心舉行「變電所設備診斷會議(Substation Equipment Diagnostics Conference)」，從1992年開始迄今已舉辦14屆，本次會議內容主要是研討有關變電所設備之最新診斷技術、儀器、測試方法與變電所設備診斷的警報無線化系統，會議主題分為變壓器、SF₆氣封開關設備洩漏診斷技術及其他變電設備等三個領域，並涵蓋變電所通訊、資訊管理及系統整合等相關技術。

參加此會議的主要目的，即希望透過各個主題研討，得到最新的變電設備診斷技術，並與 EPRI 及各國電力業界代表等就相關技術進行交流，從中取得各國針對設備預防性故障診斷所採取的對策及最新診斷技術，以供本公司參考。俾利

引進技術或儀器來對運轉中的變電設備實施不停電的外部診斷，做爲變電所設備的故障預防管理，以期避免運轉風險、抑制設備災難式的故障、提升設備可靠度、確保供電品質等。

目 錄

一、出國緣由與目的.....	第 1 頁
二、出國行程與主題.....	第 2 頁
三、會議內容.....	第 6 頁
四、心得及建議事項.....	第 15 頁

一、 出國緣由與目的

本公司於 2000 年元月開始，正式成爲 EPRI 會員，於 2005 年已奉准繼續參加 EPRI 電力傳送組 (PDG)，其中年會費之 25%可移作再投資費用 (Set-Aside Fund)使用;即 EPRI 提供給會員作爲計畫研究、人員訓練或技術轉移等使用。此次出國所需旅費，即動支系規處電力傳送組年費中再投資費用額度。

EPRI 於 2006 年 7 月 16 日至 7 月 19 日在美國聖地牙哥(San Diego)舉辦「變電所設備診斷」會議，會中討論主題包含商業案件研究、變壓器的診斷、 SF_6 氣封開關設備洩漏的偵測、無線化監控技術、資料管理及整合等項目。近年來，由於本公司面臨設備高齡化，驚人的維修費用與汰換成本及社會民眾、用戶對用電品質的要求提高等問題，如何採取有效的預防性策略及適當行動來防止設備災難性的故障發生，已成爲從事供電事業人員極重要的課題。本次出國參加此會議之目的，希藉此與 EPRI 及各國電力業界代表等，就相關技術與經驗進行交流，得到各國針對預防設備故障所採取的對策與經驗，以供本公司引爲借鏡，俾利引進設備外部診斷的儀器及技術，實施不停電外部診斷，做爲變電所設備故障的預防管理，以期降低運轉風險、防止設備災難式的故障發生、提升設備可靠度、確保供電品質等。

二、 出國行程與主題

日期	開會地點	主題內容
7月15日(六)	臺北-洛杉磯-聖地牙哥	去程
7月16日(日)	Marriott Hotel and Marina 會議中心	參加歡迎會及註冊
7月17日(一) 至 7月19日(三)	Marriott Hotel and Marina 會議中心	參加會議 (詳細議程如後)
7月20日(四) 至 7月21日(五)	聖地牙哥-洛杉磯-臺北	返程

會議細部議程	
Substation Equipment Diagnostics Conference Sunday, July 16	
TIME	TOPIC
17:00	Welcome reception and registration
Substation Equipment Diagnostics Conference Monday, July 17	
TIME	TOPIC
7:00	Continental breakfast, exhibits, and registration
8:00-10:00	Introduction and Welcome
	Plenary Session
	Opening Address
	Case Study: Business Case Development for Deployment of Wireless Sensor Mesh In A Large 69/161/500kV Switchyard
	Making the Business Case for Transformer On-Line Monitoring
10:00-10:30	Break and exhibits
10:30-12:00	Transformer Diagnostics Co-Chair: Robert Schwabe, New York Power Authority
	Nanodiamond Additive to Enhance Operation of Power Transformers and Breakers
	Chronicling The Evolution of Online Bushing Diagnostics
	Finally Fiber Optic Sensing of Power Transformer Winding Hotspots is Paying Off
12:00-13:30	Lunch and exhibits
13:30-14:30	Load Tap Changer Diagnostics Using Oil Tests for Condition-Based Maintenance
	The Use of Chemical Tracers to Determine the Extent of We in LTC and OCB Contacts
14:30-15:30	Break and exhibits
15:30-17:00	An Artificial Neural Network Approach to Transformer Dissolved Gas Analysis and Problem Notification at Arizoa Public Service Company
17:00	Reception and exhibits

Substation Equipment Diagnostics Conference	
Tuesday, July 18	
Time	Topic
7:00	Continental Breakfast And Exhibits
8:50-10:00	Transformer Diagnostics (Continued)
	Recent Developments In On-Line Transformer Frequency Response Analysis (FRA)
	Development of a Cost Effective Transformer Health Screening/Monitoring Tool Utilizing Acoustic Emission Techniques and Sensor Fusion
	The Presence, Fate and Removal of Corrosive Sulfur in Transformers
10:00-10:30	Break And Exhibits
10:30-12:00	1100 MVA GSU Transformer - Load Dropped After 21 Months Service Based on 8-Gas On-Line Analyzer Data
	Response of Solid-State MIS Sensors to Hydrogen in Transformer Oil
	On-Line Monitoring of Oil Dielectric Breakdown Strength at NSTAR
12:00-13:30	Lunch and exhibits
13:30-15:00	Circuit Breaker and Other Substation Equipment Diagnostics
	Diagnosing SF_6 Bus Problems At BCHydro's Seven Mile Generating Station
	Catastrophic Failure Prevention of High Voltage Instrument Transformers by On-Line and Off-Line Diagnostic Testing
	Field Experience of a SubstationWide Monitoring Array for Discharge Characterization and Location
15:00-15:30	Break
15:30-17:00	Detection Of SF_6 Gas Leaks by Passive Infrared Imaging
	Automated Monitoring of Substation Equipment Performance and Maintenance Needs Using Synchronized Sampling
	Implementing New Technology In An Aged Infrastructure: Case Study Of Accurate SF_6 Gas Monitoring With Wireless Communication
17:00	adjourn for the day

Substation Equipment Diagnostic Conference	
Wednesday, July 19	
TIME	TOPIC
7:00	Continental breakfast
8:00-10:00	Communications/Data Management/System Integration
	Use of Wireless In Substations
	Use of Bluetooth Data Transmission to Improve Substation Condition Monitoring
	Field Experience Of Backscatter Sensors In A Substation Environment
10:00-10:30	break
10:30-12:00	Computerized Maintenance Management Systems
	Managing Underground Distribution Cables Using the Industry-Wide Equipment Performance
	Summary Session
12:00	Adjourn

三、 會議內容

主要以變電所設備如變壓器、 SF_6 氣封開關設備的洩漏及其他設備等診斷為議題，研討內容彙整如下：

(一)變壓器

1. 就資產管理觀點而言，變壓器是成本很高(最起碼約 2700 萬元)的資產，而且因供電系統需求，運轉中的變壓器要依公司財會制度所訂定的耐用年限實施除役、汰換是困難的。由於變壓器是變電所最主要的設備，在高齡化影響及高可靠度的期待因素下，對運轉中的變壓器實施外部診斷時，必須考慮所需的監視成本正當性。
2. 由於線上監視的儀器成本昂貴，所以在安裝線上診斷設備時，須評估裝設之必要時機，主要時機為：
 - (1) 為提高供電可靠度，降低變壓器災難式的故障。
 - (2) 為延長變壓器運轉壽命，增加最初成本的投資報酬。
 - (3) 同型或同廠牌變壓器曾發生事故，運轉上有風險疑慮時。
 - (4) 特殊情況下，某些變壓器需要經常超載運轉且不致於對變壓器的壽命有嚴重衝擊時。
3. 可供線上監視的信號：
 - (1) 變壓器負載(電流、功率、無效電力)、高低壓側電流及電壓。
 - (2) 變壓器套管的洩漏電流。
 - (3) 絕緣油中的含水量。
 - (4) 絕緣油或繞組的溫度或本體與有載分接頭(Load Tap Changer, LTC)箱體的溫度。
 - (5) 絕緣油中的氫氣。
 - (6) 絕緣油中總可燃性氣體(Total Combustible Gas, TCG)。
 - (7) 絕緣油中多種氣體(Dissolved Gas Analysis, DGA)。
 - (8) LTC 的接觸壓力及磨損度。
 - (9) 變壓器的冷卻系統功能。

(10)運轉中變壓器的震動（分析變壓器內部機件固鎖程度及夾件鬆脫情形）。

(11)部份放電(Partial Detect)(可以早期預警變壓器潛在故障)。

(12)其他因特殊情況需做監視的信號。

4. 大型變壓器安裝多種氣體分析(DGA)監視的益處如下：

(1) 藉具體的技術，提升變壓器的可靠度。

(2) 分析、預警多種氣體變化，可以降低變壓器運轉的風險，減少故障的衝擊。

(3) 可達到變壓器最大勘用壽命，而非財會體系所訂的耐用年限。

(4) 由多種氣體分析曲線，可以確認急需修理或更換的變壓器機件。

(5) 有效地降低整台變壓器的操作風險。

(6) 對投資報酬有正面回收，延長資金使用效益的經濟性。

5. 安裝線上監視的評估重點及決策模式如下

(1) 必須評估變壓器故障的模式及安裝差異性，來決定所使用的偵測儀器。

(2) 考慮直接成本，例如：變壓器與附屬設備損失及重置費用。

(3) 附加間接成本，例如：因事故造成民眾、用戶用電損失、受到地方政府的罰金、保險理賠、須對其他變壓器展開改善的營運壓力及對供電系統的衝擊。

(4) 要能真正降低運轉中變壓器的風險。

(5) 有助於對曾經故障過的同型變壓器急須更換的衝擊。

6. 多種氣體分析的故障類型指標

氣體別	指標
氫氣	部份放電、熱源、發弧等現象
甲烷、乙烷、乙烯	熱金屬發生
乙炔	發弧現象
二氧化碳	纖維性的絕緣劣化

7. 各類氣體診斷儀器及功能。

儀器種類	功能
單一讀值-氫氣	成本低、無法做遙測診斷、基本上做為手動 DGA 分析
單機使用多種氣體	安裝在變壓器本體 的多種氣體 線上監視
雙機使用多種氣體	可安裝在變壓器本體及 LTC 的多種氣體線上監視

8. 使用絕緣油測試診斷法，作為 LTC 的狀況基準維護(CBM)

- (1) LTC 是可依據負載改變而維持電壓在規定範圍內的重要機件，其機械的劣化狀況，如固定及活動接觸子的壓力喪失或磨損、接觸子接觸的一致性、真空管故障或介質與溫度性的故障：如過度濕氣、過多的導電顆粒量、開關及接觸子焦黑，氣孔塞住等，故需要定期維護。
- (2) 施作絕緣油測試，具有可以對運轉中設備實施及早期偵知問題的優點，是一種低成本的測試方式。絕緣油測試項目包括油中溶解性氣體分析、顆粒數量、顆粒形狀(檢查濾網)、含水量、介質破壞強度及油中總金屬量，如接觸子磨損之銅、銀、鎳。

9. 電力變壓器狀況監視之優缺點：

- (1) 電力公用事業被要求需持續供電，導致必須安裝監視儀器來預警，同時也基於減少維護或汰換成本，增加競爭優勢。
- (2) 延長變壓器的維護週期，進而實施減少維護或甚至免維護。
- (3) 傳統上變壓器的維護執行係以時間、操作及設備型式來排程，但是越來越多趨勢朝向採取設備狀況基準維護(CBM)，而不是依據時間排程。
- (4) 延長維護週期，維修工作變為罕有性的工作，長期下來導致員工實務經驗缺乏，僅剩下極少數的專家及有技術的員工。

10. 電力變壓器運轉狀況監視產生的效益：

- (1) 以知識庫系統，累積先進監視及診斷技術。
- (2) 配合書面技術資料、維護實務文件等發展為知識庫。
- (3) 以企業可靠度為中心的維護及資產管理計畫。
- (4) 確認關鍵設備及其性能監視。
- (5) 建立通訊系統，藉無線傳輸監視設備情報。
- (6) 確認現場設備性能及運轉、維護資料的收集。
- (7) 編定對不正常狀況的反應程式，通常監視系統會發出警報而無控制機制。
- (8) 朝監視及診斷整合成單一平臺。
- (9) 建立 CBM 之維護目標。

11. 各廠商之電力變壓器狀況監視儀器特點：

- (1) GE-TMAP 3100: 氫氣、可燃性溶解氣體、含水量、溫度(頂端、底部、周圍)、部份放電(音頻)、冷卻風扇運轉、負載、熱點等資料在 TMAP 3100將 EPROM 升級後，資料可以經檢討及整合為資產管理計畫內容。而在偵測油洩漏及氫氣的感測器部分，需要定期校正其敏感度。

- (2) SERVEON TRUEGAS 分析器：有能力提供 8 種氣體分析、線上色層圖分析等，資料可以經檢討及轉換為資產管理計畫內容，需要定時升級及維護服務(光偵器、氮乾燥器、氣體管重新裝配、PUMP 清潔等)及校正氣體鋼瓶更換。
- (3) KELMAN TRANSFIX 及 TRANSPORT X: TRANSFIX 可以相片方式將音頻光譜展現，TRANSPORT X 則為可攜式氣體及水份分析設備，係使用在單點量測。

12. 變壓器繞組線上頻率響應法 (Frequency Response Analysis, FRA) 發展近況

變壓器遭到突發短路時，如果短路電流小或保護電驛快速動作隔離故障，對變壓器繞組的影響是輕微的；如果短路電流大或保護電驛動作時間較長，甚至未動作，則將嚴重損傷的對變壓器繞組，甚至有可能造成變壓器損壞。對於輕微的繞組變形，如果不及時檢修，在多次短路衝擊後，累積效應將會使變壓器損壞。因此，正確地診斷變壓器繞組變形程度，合理檢修變壓器是提高變壓器抗短路能力的一項重要措施。目前，國內、外主要係採用低壓脈衝法、頻率響應法或阻抗電壓法等進行變壓器繞組變形測試。NEETRAC 公司的線上 FRA 診斷主要原理及特性為：

- (1) 利用現行廣泛採用的雷擊及正常開關突波測試波形，產生 FRA 測試用脈動，經套管輸入到變壓器繞組以進行變壓器繞組變形診斷。
- (2) 選定一相為輸入脈動源。
- (3) 決定輸入源輸入是高壓繞組 H 或低壓繞組 X 。
- (4) 從合成的中性點波形分析對 3 相繞組的影響作用。
- (5) 使用 JMX 軟體作濾波及分析頻率響應特性曲線的諧振點位置資料。
- (6) 實務上已對 230/138KV 、400MVA 自耦變壓器的 17 位置 LTC 的 1 個端接位置改變時，線上 FRA 靈敏度測試。

(7) 一般功因測試、絕緣電阻測試、TTR 測試均正常時，可以偵測發現內部繞組變形故障的程度。

實際的使用中，可透過比對變壓器承受短路電流前、後的繞組頻率響應特性曲線的諧振點位置差異及兩條曲線的相關係數來判斷變壓器繞組的變形程度。若無原始頻率響應特性曲線，僅經由相間的比較來判斷變壓器繞組變形程度，有時會發生錯誤判斷，故診斷時要特別注意，可用阻抗電壓法搭配頻率響應法，在判斷變壓器繞組存在變形時，可進一步確定繞組變形程度、防止錯誤判斷的有效方法。

(二) SF_6 氣封開關設備洩漏對環境影響。

1. 六氟化硫是破壞大氣臭氧層的因素之一， SF_6 以高度絕緣特性而被廣泛使用在氣封開關及氣體變壓器，對 SF_6 洩漏的偵測診斷也是此次會議的重要議題， SF_6 氣封開關設備的洩漏偵測診斷不但有助於事先發現設備異常、提升其可靠度且可藉偵測，減少 SF_6 洩漏量以降低對環境的衝擊。

2. SF_6 氣封開關設備洩漏與環境影響

(1) 推薦洩漏率： SF_6 絕緣的電力設備規定標準上限每年為 1%(CIGRE 1997，IEC 60694 5.15.2)。

(2) IEEE 規定最大每年 1%。

(3) CIGRE 提議未來朝向每年低於 0.1%(CIGRE 1997)與研討 SF_6 洩漏相關之問題。

(4) 以保護環境的觀點而言， SF_6 是影響最大的溫室氣體，已經列入 GWP 項目，以目前環境估計 SF_6 在大氣中的壽命為 3200 年。

(5) 在 GWP 項目中，1 公斤 SF_6 是相當於 23900 公斤的二氧化碳溫室效應，例如，1000 公斤的 SF_6 氣體，每年洩漏率為 1%時，其溫室效應相當於 239000 公斤的二氧化碳(CO_2)。

3. SF_6 氣封開關設備洩漏及外部偵測診斷方式
 - (1) 可用 SF_6 的充填紀錄來計算其洩漏率或以肥皂泡偵測 SF_6 的管路及接合處是否有洩漏。
 - (2) UHF 測試：一種手提式測試組，先以耦合器安裝在 GIS 礙子相對位置，測試其 PC 值。有線上單點、循環及峰值停留之功能。
 - (3) 化學性測試：可抽取 SF_6 做 SO_2 分析、偵測 SF_6 經電弧分解後的產物、氣體色層分析及實驗室色層分析。
 - (4) 音頻測試：轉換器安裝在匯流排外殼，測試其 PC 值，並逐一紀錄、分析其變化的趨勢以作為比較。
 - (5) 藉可攜式被動紅外線影像儀偵測 SF_6 氣體之洩漏。

4. 以 UHF、化學測試及音頻測試，可以診斷 GIS 匯流排內部的狀況及問題，但是僅以一種方法測試時，無法提供所有需要的資訊來判定 GIS 匯流排的狀況，若配合紅外線影像偵測則有助於判定 GIS 匯流排內部的狀況。

5. SF_6 氣封開關設備洩漏點，依經驗分析，一般在斷路器法蘭密封面、充填凡而、管路耦合處、連接視窗、壓力表或密度計、磁質或法蘭水泥接合面、釋壓膜、多孔性鑄鐵或焊接處、壓縮機軸承密封處及處理車、儲存鋼瓶。

(三) 變電所運轉維護資料的管理及整合。

1. 要應付變電所龐大的業務及圖資管理，唯有利用資訊科技來實施管理維護業務。

2. 變電所龐大的業務及圖資管理，目前面臨的挑戰即因應對策有：
 - (1) 變電所逐漸老化的設備基礎結構、設備故障率行為、使用即時系統的挑戰、整體情況評估、設備的效能維持或提升、維護預算逐年縮減、預防性預測故障的需求及採用設備少維護策略造

成核心技術及專家缺乏。

- (2) 從無理性的以定時為基礎的維護方式(TBM)轉移到以問題為基礎的維護方式(PBM) ，以防止及時性的故障。
- (3) 藉不需停電的外部診斷儀器來實施非侵入性維護，避免造成故障的機會。
- (4) 必須不斷的發展因應策略去處理人力及金錢的問題。
- (5) 藉不需停電的外部診斷儀器，實施線上監視以期在形成問題趨勢前，即時回應處理以避免故障的發生。
- (6) 利用資料庫，排定工作及藉由例外管理方式來處理所發現的問題。

3. 利用電腦化之維護業務管理

- (1) 實施資料蒐集。
- (2) 使用 NB 或 PDA 可以在工作現場實施資料自動轉換、收集。
- (3) 建立維護管理工作平臺。

4. 電腦化維護管理系統必須建立維護業務管理平臺，其中包含歷史性資料，如日報表、採購單、會計、人力時間、大型計畫管理、變壓器負載、LTC 監視、R&D 計畫、主要設備資料、變壓器油中氣體、停電時程系統、工作管理系統及環境報告等，其優點如下：

- (1) 自動下載、上傳資料。
- (2) 減少輸入資料時間。
- (3) 資料收集標準化。
- (4) 資料收集的品質可靠。

(四)變電所設備診斷資料無線化的傳輸

1. 在變電所內無線化的使用，可分為電力及資訊二種運用，這種運用係未來管理上所必須的，缺一不可。而變電所內使用無線通訊來作為設備診斷及利用無線通訊傳輸到監視平臺，存在著兩個極端觀

點，即認為是魔鬼或天使：

- (1) 魔鬼觀點：認為變電所內以無線傳輸資料容易被偷聽竊取、未授權控制指令、駭客入侵、中毒，而且在變電所的噪音環境中存在著不可靠問題。
- (2) 天使觀點：認為變電所內以無線傳輸資料可以省略控制電纜等硬體，同時，無線傳輸係低成本、可以快速安裝、避免接地電位上升影響、具有移動性、安全遙控操作等等附加的能力。

2. 在變電所內使用無線的技術包括藍芽、ZIGBEE、WIMAX 或 GSM
3. 大型變電所使用新型無線網目的監視優勢，有三個主要益處：
 - (1) 變電所內使用無線監視，可以隨時重建無線，也不必挖電纜溝及使用導管。
 - (2) 變電所內使用無線監視，可以因此降低與其他基礎建設互相干擾的可能及降低電腦被攻擊之風險。
 - (3) 變電所內使用無線監視，減低電力消耗，可以延長變電所內蓄電池壽命
4. 變電所內使用無線監視，目前已應用在 CB 本體溫度量測、CB 啓斷時間、 SF_6 密度變化趨勢、變壓器及本體的溫度等等監視。
5. 變電所內使用無線監視，確實可以達到減少維護及降低成本之效果。

(五)變電所設備診斷技術的發展趨勢。

1. 材料加入奈米鑽石粉，強化電力變壓器及斷路器的運用：使用 1~2% 奈米鑽石粉加入 LTC 選擇器接觸子及斷路器接觸子銅(5%)表面，比現行使用銅加鎢更有硬度及耐磨，但材料最佳化及部分放電測試正在進行中。

2. 利用化學追蹤法判定 LTC 及 CB 接觸子磨損程度：利用追蹤材料埋入接觸子的預定深度，當磨耗到一定程度時可追蹤材料暴露程度，作為離線檢視或與光纖、光半導體結合為連續性線上監視系統。
3. 在變壓器內腐蝕性硫磺的存在、變化及移除：
 - (1) 自 2000 年以來，有 25 具以上電力變壓器在沒有警報顯示下，發生未預期性的故障。經探討、分析後發現在變壓器內有腐蝕性硫磺的存在。
 - (2) 這種腐蝕性硫磺，以傳統多種氣體(DGA)線上監視也無法偵測。
 - (3) 用其他絕緣油測試方法也無法偵測。
 - (4) 電力變壓器的未預期性故障，懷疑其發生原因係油中腐蝕性硫磺侵襲銅及形成 Cu_2S 沉積在導體及絕緣紙上所造成。
 - (5) 目前這種研究正在進行中，預期會在期刊陸續發表。

四、心得及建議事項

(一)電力變壓器的診斷

從以上會議內容可以瞭解，此次會議主題大部份的報告是以電力變壓器的診斷為主，從這區塊的各項報告中，可以瞭解變壓器在正常工作電壓下發生事故的統計，有 25% 是不知道確切原因的事故，比照本公司發生在樂善變電所 2 號變壓器的事故，雖然經電力修護處組成專案小組鑑定為高壓引線配置不宜，但這也是依據變壓器事故後的殘骸及經驗推論，因本公司大部份變壓器未安裝線上診斷儀器，又該台在未發生事故前係正常運轉中，不必要花費那筆錢去安裝昂貴的診斷儀器，所以未抓到事故前的醞釀過程，只好以變壓器事故後的殘骸及經驗推論。開會回來以後以專案小組的運作，分析變壓器的事故分類，針對樂善變電所變壓器事故，做水平展開，不只同型的及不同型的大同製變壓器，其他廠牌的變壓器也必須展開。

變壓器的絕緣事故，一般分為以下 4 類：①繞組絕緣事故：指主絕緣、匝絕緣、段間絕緣、引線絕緣以及端絕緣等放電、燒損引起的絕緣事故。

②套管絕緣事故：指套管內部絕緣放電引起絕緣損壞，甚至瓷套管爆炸，還包括套管外絕緣的沿面放電和空氣間隙擊穿。③分接開關絕緣事故：主要是指由於切換開關油室內油的絕緣強度嚴重下降，在切換分接頭時不能消弧，引起有載分接開關燒毀。另外，還有無載分接開關和有載分接開關裸露的導體之間放電而引起相間、相對地或級間短路事故。④鐵心絕緣事故：一是指鐵心的矽鋼片對地絕緣損壞，引起鐵心多點接地。另一是指鐵心的框架連接點間的絕緣損壞，產生環流引起局部過熱故障。上述 4 類事故中，繞組絕緣事故的危害最大。

正常工作電壓下，出現的事故有 2 種方式：①一種稱作突發式事故，其特點是按現行的預防性檢測過程所進行的預防性試驗合格，其他線上的監測也未發現事故的預兆。但在正常運轉條件下，變壓器內部突發絕緣擊穿事故，保護機件動作跳脫。由於故障能量有大有小，或保護機件動作的時間有快有慢，因此變壓器損害的嚴重程度不大相同。②另一種稱作垂危式故障，這種事故的特點是預防性試驗的絕緣性能試驗合格，但從油中溶解氣體的色譜分析中發現乙炔。經分析確認與絕緣部分存在放電現象有關。於是停電進行測量局部放電的試驗。試驗結果顯示放電狀況異常。將局部放電試驗和其他試驗結果進行綜合分析，可以作出正確診斷，開蓋解體後可以找到絕緣發生不可逆損害的故障點。

因此之故，目前供電系統在變壓器設備診斷方面，也有類似與會報告的診斷作為，舉例如下：

- (1) 超高壓變電所的超高壓變壓器安裝線上診斷變壓器絕緣油油中總可燃性氣體(TCG)分析器列為新裝超高壓變壓器必備要件，若運轉中的變壓器其TCG 超過設定值，必須派員巡視並定期派員抄錄顯示值分析判斷。
- (2) 對於曾發生事故的變壓器，其同型的變壓器也必須安裝 TCG，實施線上監視。
- (3) 對於關鍵性地區的變壓器，也列入安裝 TCG 實施線上監視，例

如大豐變電所的變壓器。

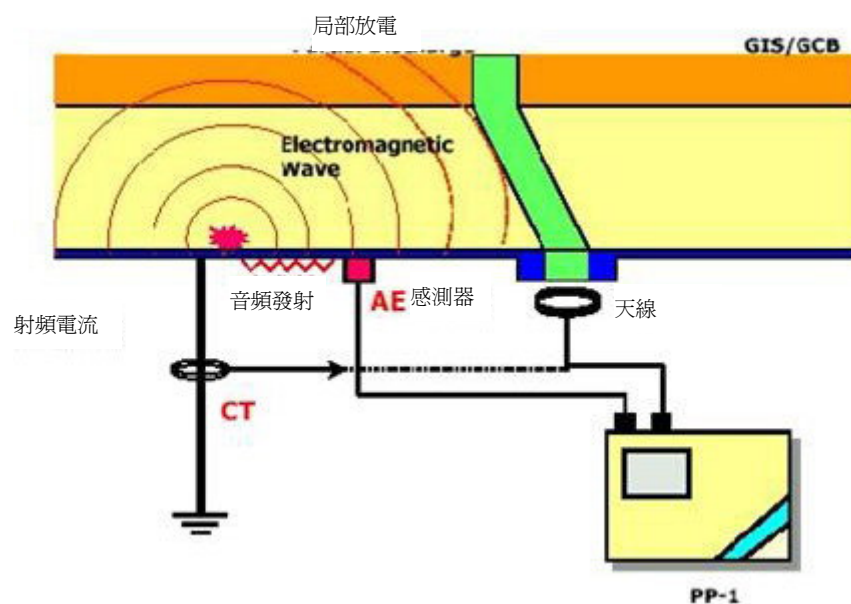
- (4) 對於嚴重出現乙炔 (C_2H_2) 的變壓器，其值超過公司規定注意值者，在未處理修復前，安裝 DGA 實施線上監視。
- (5) 對於出現乙炔 (C_2H_2) 的變壓器，也實施紅外線熱影像診斷量測。
- (6) 對於出現乙炔 (C_2H_2) 的變壓器，也實施超音波定位測試診斷，找出異常音源。
- (7) 根據本公司綜合研究所報告，目前常用的幾種廠牌絕緣油經新版 ATSM D1275-B 法試驗，均未發現有腐蝕性，而本公司也將儘快修改採用新版的腐蝕硫測試方法，並請各相關單位做變壓器內部檢查時，若發現金屬表面有黑色沉澱物時，應取樣送綜研所確認是否有腐蝕硫問題，另外如有不明原因的繞組匝間短路或 OLTC 選擇器故障時，調查時也應該考量腐蝕硫得可能性。

(二)GIS 設備局部放電檢測診斷技術

1. GIS、GCB 及 GIT 等 SF_6 氣封電力設備沒有外部露出的帶電部份，採用 SF_6 氣體絕緣，可靠性較高，檢修工作量小，但透過發展外部診斷、監視方可減少不必要的拆卸檢修工作量；即一種不須拆解設備而用確切、簡易的辦法從外部進行各種（線上的、離線的、帶電的、停電的）測量，監視、診斷設備內部狀態及性能的好壞，包括故障定位。GIS、GCB 及 GIT 等 SF_6 氣封電力設備的絕緣性能是確保其安全運轉的重要條件。設備內部中的金屬微粒、粉末和水分等導電性材質是引發 GIS 等設備故障的原因。設備存在導電性材質時，因局部放電而發出不正常聲音、振動、產生放電電荷、發光、產生分解氣體等異常現象。因此局部放電是 GIS、GCB 及 GIT 等設備狀態監測重要對象之一。
2. SF_6 氣封開關設備診斷技術：
 - (1) 電磁波檢測法：利用局部放電在 GIS 氣室內產生傳播的電磁

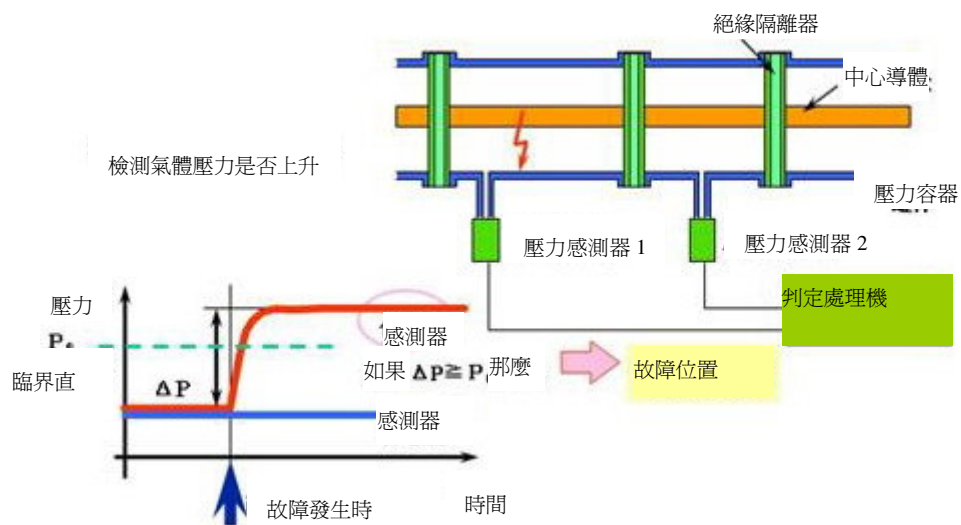
波，選擇電磁波拾取天線來檢測從 GIS 腔體盆式絕緣子處洩漏出來的電磁波，以判斷局部放電和故障定位。

- (2) 特高頻檢測法：GIS 放電引起的脈衝電信號上升，頻譜中高頻分量可達 GHz 量級。可選擇特高頻段進行局部放電的檢測和定位。
- (3) 高頻接地電流法：高頻電流被局部激勵，而電流流入地線，通過測量接地電流值，評判 GIS 安全狀況。
- (4) 聲音發射/振動法：局部放電會發生聲波，監測由此引起的腔體振動，判斷局部放電情況。



- (5) SF_6 氣體的監測： SF_6 氣封設備是採用 SF_6 氣體作絕緣和消弧的，其性能狀態將是影響設備的重要參數，因此其將是 GIS 等設備狀態監測重要對象之一。通過對 SF_6 氣體特性的監測，判斷設備的健康狀況，主要包括：
① 氣體壓力監視：GIS 局放會引起該區域溫度升高，表現為該腔體的壓力值陡升，通過監視

SF_6 氣體的壓力變化，來判斷局放和故障定位。②氣體洩漏監測：用檢漏儀器監測 SF_6 氣體的洩漏量或監測器氣室壓力下降量判斷洩漏。③氣體含水量監測：根據露點法等原理，用含水量儀器監測 SF_6 氣體的微含水量。④氣體化學分析：分析 SF_6 在內部放電作用下的分解物成份（如 HF 、 SO_2 、 SOF_2 等含量）來判斷局部放電情況。也可以簡易地通過檢測物質的顏色變化來檢測局部放電所產生的微量分解氣體。



對重要的電氣設備進行狀態監測，不但是保證設備長期安全穩定運轉的關鍵，更是國際標準有關內容和檢視環境的基本要求。

依據各單位元的具體實際情況，選擇適合於自己實際的檢測方法，制定具體方案並實施，以提高設備的狀態檢測水準，有效地避免事故的發生，提高設備運轉的安全性和可靠性，最終提高企業的經濟效益。

(三)建議事項

1. 由此次與會的報告，大部份認為以時間為基礎的維護方式(TBM)，除了會創造事故的機會外，在人力短缺限制及高度成本、費用昂貴之考量下，將會產生無法持續推動的現象且安排大量停電也越來越難

做到，所以供電系統推動以狀況基準維護方式仍然可以與世界接軌，惟新的維護觀念除了 Condition Based Method外也要推動以問題為基礎的維護方式(Problem Based Method, PBM)，是今後重要之課題。

2. 實施以狀況為基準的維護(CBM)，可藉著非侵入性方法去決定設備狀況及依需求來維護，以減少停電時間。但必須投資一些昂貴的儀器等軟、硬體設備，以電力變壓器或氣封開關設備等數千萬元的電力設備而言是值得投資安裝的，但必須派專人維護、擷取內部曲線分析、判定所處之狀況。