

中華民國電驛協會會刊

中華民國八十四年五月二十日創刊
中華民國一〇七年七月一日出版

發行者：官茂祥
 高等顧問：李河樟 李 群 許萬寶 張重湖
 簡文通 羅隆和
 顧問：許邦福 趙基弘 陳勇蒼
 法律顧問：吳仲立 游文華 賴青鵬
 編輯委員會：主任委員 黃慶林
 副主任委員 李錦槍
 編輯委員：白雲年 吳立成 洪世宇 洪敏捷
 周瑞年 林安志 林延修 李正芳
 李金鐘 范建誼 郭麟瑛 陳來進
 陳炳基 陳益財 許文興 許宸源
 張偉荃 黃英龍 黃惟雄 黃德華
 潘明路 謝建賢 蕭勝任
 （依照姓氏筆劃順序）

廣告組：陳仁忠 謝璧如
 地址：台北市羅斯福路三段 244 巷
 9 弄 1 號 2 樓

E-mail : relayaso@ms68.hinet.net

服務電話：(02) 2362-3993

傳 真：(02) 2363-0860

印刷者：文山打字印刷有限公司

地 址：台北市杭州南路二段 25 巷 13 號

本刊物為對內刊物、不對外發售

投稿文章、刊物不代表本會立場

※版權所有※

◎本刊物圖文非經同意不得轉載◎

目 錄 索 引

☆24 比壓器二次側中性點接線異常引發
電驛動作之案例分享 ----- 余承和

☆31 變壓器突壓保護電驛動作原因分析
與改善 ---- 吳立成、林閔洲、張達人

☆42 結合 Google Maps 建構變電所地理
圖資查詢系統平台 ----- 林正義

☆52 資料中心機房伺服主機電力建置方案
Data Center of Server Power Solution
----- 柯侑寬

☆57 高壓輸電線路各類型故障分析
----- 楊盛鐘

☆72 模擬分析發電機主變壓器組極性與
套管標示相異之風險
----- 鄭強、陳建富、王瑋民

☆81 談非核家園失策及其後遺症
----- 李國楨

☆86	會務報導	<h2 style="margin: 0;">廣告索引</h2>	
☆86	107年下半年度教育訓練計劃		
☆87	中華民國電驛協會獎學金辦法		
☆88	中華民國電驛協會獎學金申請表		
☆89	中華民國電驛協會保護電驛專業檢測團體認證規範		
☆91	保護電驛專業檢測團體技術員工作證		
☆92	保護電驛專業檢測團體認證申請表		
☆93	保護電驛專業檢測團體證照		
☆94	中華民國電驛協會獎學金捐款明細		
☆95	中華民國電驛協會第八屆第六次理事暨監事聯席會議紀錄		
☆98	中華民國電驛協會第九屆會員代表臨時會會議紀錄		
☆101	中華民國電驛協會會員代表大會代表選舉辦法		
☆102	中華民國電驛協會第九屆會員代表當選名單		
☆103	中華民國電驛協會沿革		
☆104	中華民國電驛協會個人、團體入會申請書		
☆105	中華民國電驛協會永久團體會員名單		
☆106	中華民國電驛協會團體會員名單		
☆108	中華民國電驛協會永久個人會員名單		
☆109	中華民國電驛協會個人會員名單		
☆113	107年1至6月新入會會員名單		
☆114	電驛協會會刊目錄總表		
		封面	計量企業有限公司
		封底	中華民國電驛協會
		封面裡	艾波比(股)公司
		封底裡	全城電業顧問有限公司
		1	盈昇有限公司
		2	健格科技(股)公司
		3	祥正電機(股)公司
		4	勇帥電氣技術顧問(股)公司
		5	亞力電機(股)公司
		6	台灣震江電力科技(股)公司
		7	維立電機(股)公司
		8	飛領電機顧問/飛羚電機工程(股)公司
		9	中友機電顧問(股)公司
		10	攝陽企業(股)公司
		11	大電力試驗中心
		12	預保科技(股)公司
		13	春源機電技術顧問有限公司
		14	中華民國電機技師公會全國聯合會

比壓器二次側中性點接線異常引發電驛動作之案例分享

供電處 余承和

壹、前言

保護電驛系統為電力系統安全穩定運轉的重要防線，並擔負著電力系統及設備安全運轉的重要職責。保護電驛系統由比流器(CT)、比壓器(PT)提供電力系統被保護設備的電壓、電流狀態，當保護電驛偵測到有事故發生時則動作斷路器(CB)隔離事故點。

在台電保護電驛系統中CT或PT多以三相Y接線方式量測電力系統的電流及電壓時，其二次側中性點接地仍以一點接地為原則，當有多點或無接地情形時，則會造成測距電驛或方向性過流電驛等電驛動作異常，可能導致事故時停電範圍擴大。

本文所提之案例主要分享PT二次側中性點接地迴路斷線及兩點接地等兩種情形時的事務波形分析及現場查修過程。

貳、PT二次側中性點接地迴路斷線

一、事故發生情形：

105年9月27日梅姬颱風期間在甲P/S 69kV轄區系統中的丙S/S 69kV用戶線於發生事故，該事故除了丙S/S#620相間保護電驛(51)動作跳脫外，同時，甲P/S #920測距電驛接地元件(21N)也動作跳脫，系統單線圖及故障點如圖1所示。

二、原因分析：

甲P/S #910線路之保護電驛採用線路差流電驛(87L)為主保護、測距電驛+過電流電驛(21/21N+51/51N)為後衛保護、乙S/S #620線路之保護電驛採用線路差流電驛(87L)為主保護、測距電驛+方向性過電流電驛(21/21N+67/67N)為後衛保護、丙S/S #620線路之保護電驛採用過電流電驛

(51/51N)，依本次事故點發生位置，若丙S/S #620線路保護電驛未正常動作時，依保護協調依序應先由乙S/S #620線路保護電驛動作跳脫，最後才是甲P/S #910線路保護電驛動作跳脫。

經下載#910電驛事故波形紀錄(如圖2)，依故障時之電流與電壓波形判斷，本事故類型為兩相短路事故，但#910的測距電驛測距接地元件(21N)第一區間(Zone1)卻動作，明顯與事故類型不符。另3V0電壓在事故前就有約15kV的紀錄，因此，研判為PT二次側中性點未接地所造成。

對圖3為某69kV輸電線路事故正常跳脫的波形紀錄，比較圖2與圖3的3V0電壓波形可發現，圖2在事故前3V0電壓明顯偏高、事故期間3V0電壓波形有畸變情形。

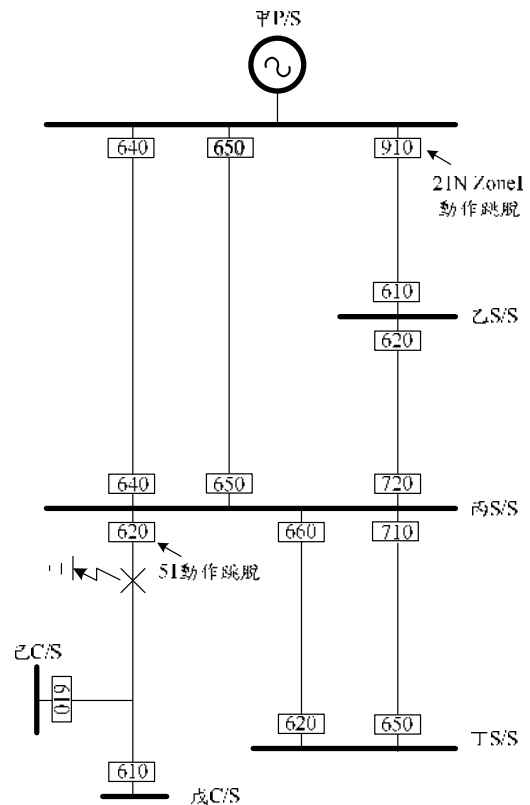


圖1 系統單線圖及故障點位置

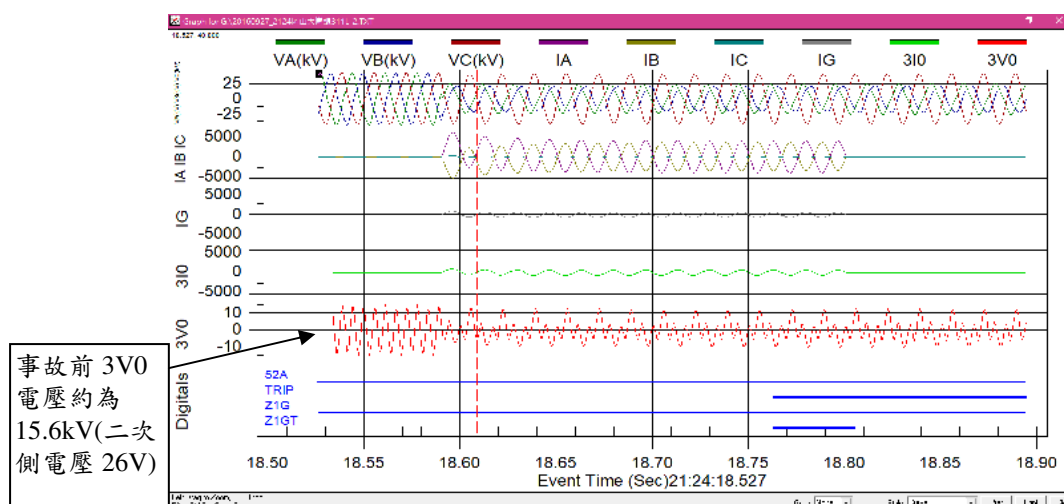


圖2 甲P/S #910測距電驛波形紀錄

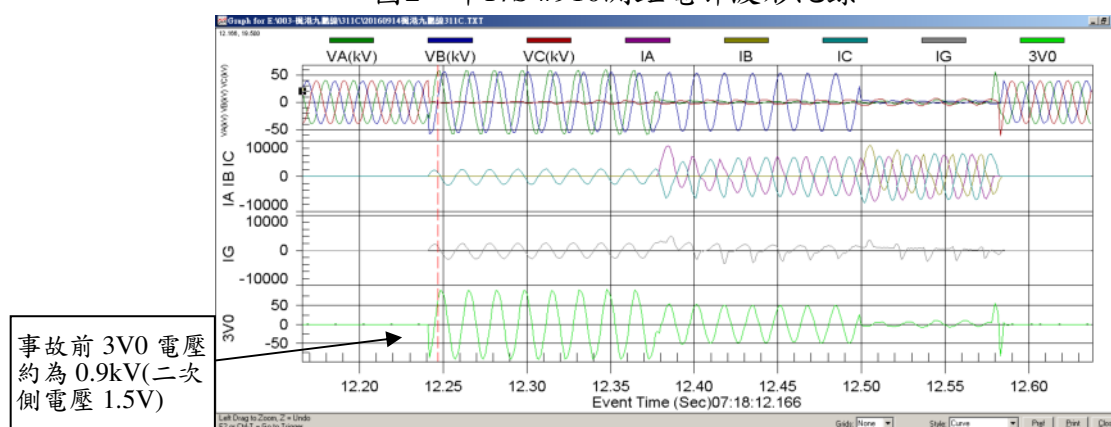


圖3 為某69kV輸電線路事故波形紀錄

三、現場查修過程

在甲P/S #910電驛盤以三用表量測端子台上1E0對地電壓，經量測其對地電壓約為8.395V(如圖4所示，正常的二次側對地電壓值應趨近於零)。故確定中性點迴路有斷線情形，開始進行逐盤檢查各電驛盤端子台上1E0對地電壓之情形，最後在相鄰電驛盤面PT二次側中性點發現有回路中斷情形。

以測試線在鄰盤1E0電壓端子進行臨時接地如圖5所示，再重新以三用表量測#910電驛盤端子台1E0對地電壓，其電壓已變為0V(如圖6所示)，確定該位置為PT二次側中性點迴路遭中斷之位置。會同現場維護人員依測試線所標示位置著手進行改善措施，完成後再以三用表確認1E0對

地電壓須為趨近於0V。

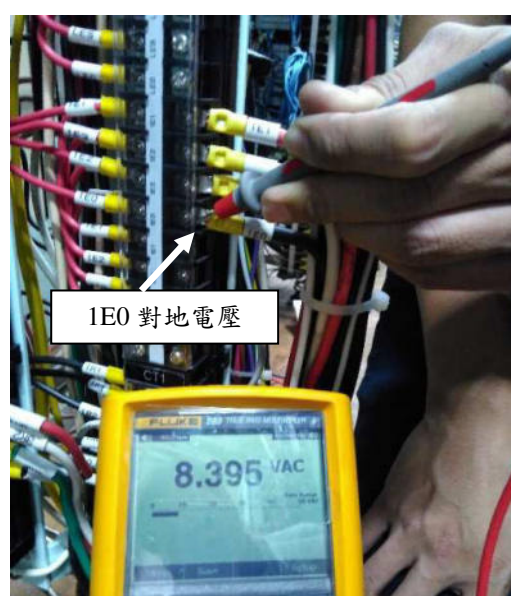


圖4 量測 1E0 對地電壓為 8.395V

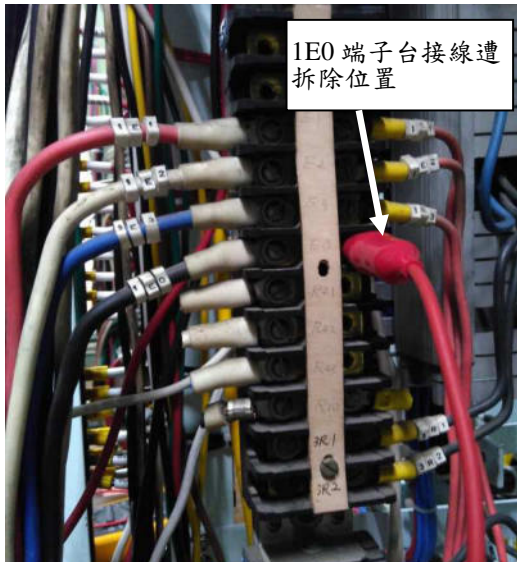


圖 5 以測試線進行臨時接地線測試



圖 6 重新量測1E0對地電壓為0V

參、PT二次側中性點兩點接地

一、事故發生情形：

106年1月8日乙P/S 69kV轄區系統中丁C/S用戶廠內設備故障，造成乙P/S #710 測距電驛接地元件(21N)第一區間(Zone1)動作跳脫斷路器後再由乙P/S #720 21N Zone1動作跳脫斷路器完成事故點隔離，系統單線圖及故障點如圖7所示。

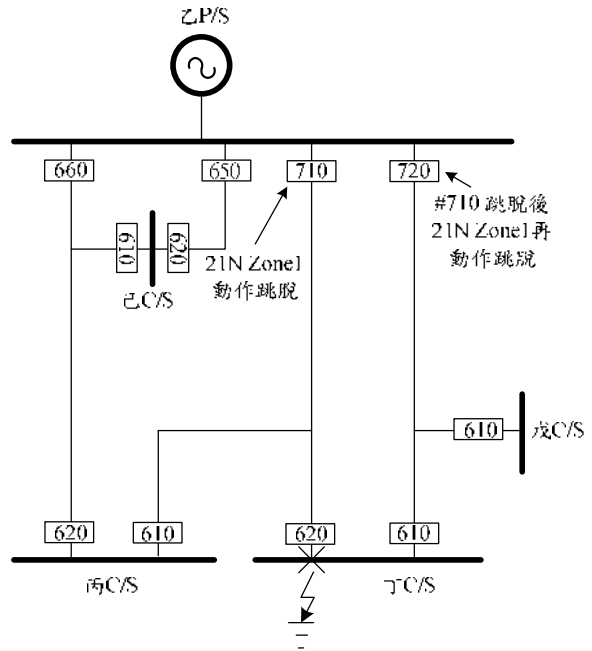


圖 7 乙P/S轄區系統單線圖及故障點位置

二、原因分析：

乙P/S #710及#720 兩用戶線路之保護電驛採用線路差流電驛(87L)為主保護、測距電驛+過電流電驛(21/21N+51/51N)為後衛保護，由本次事故之故障點位置因屬用戶廠廠區內設備故障，屬87L保護區間外，故87L未動作，須由後衛保護電驛動作清除故障。

依標置準則中對測距電驛設定之規劃，本次事故點位置應由21N Zone2或51N動作清除事故，但本次事故卻由乙P/S#710及#720的21N Zone 1清除事故有不符保護電驛規劃之情形。

經下載#710及#720電驛事故波形紀錄(如圖8、圖9所示)，並分析兩款電驛所紀錄到事故電壓波形，其69kV#1、#2滙流排二次側的事故電壓值約略相同。

另計算故障時保護電驛所測得的視在阻抗(Apparent Impedance)，以SEL電驛為例，其視在阻抗計算公式如下所示：

$$Z_{App} = \frac{V_{\phi}}{I_{\phi} + k_{\phi} \cdot I_g} \quad (1)$$

其中 V_{ϕ} ：故障相的相對地電壓

I_{ϕ} ：故障相的故障電流

k_0 ：補償係數

I_g ：殘餘電流

依式1公式計算，可計算出面#720保護電驛於事故時所測得的視在阻抗(Z_{App})值，以故障期間的51.98秒時間點保護電驛所顯示的電壓、電流值(如圖8-2所示)進行計算，其參數分別為 $V_{BG}=400 \angle 148^\circ \text{ V}$ 、 $I_B=938 \angle 105^\circ \text{ A}$ 、 $I_g=962 \angle 94^\circ \text{ A}$ 、其中 k_0 設定為 $0.889 \angle -2.4^\circ$ 。

經計算並將結果轉換至電驛側，其視在阻抗為 $Z_{App}=0.15 \angle 49^\circ \Omega$ ，明顯遠低於電驛接地測距元件設定值 0.28Ω 。另透過 ASPEN Oneline軟體模擬，在同一輸電線中以故障電流為961A為模擬條件，推估乙P/S的故障電壓，經模擬結果其故障電壓約為1.28kV(如圖10所示)，約為保護電驛所紀錄故障電壓的3倍，故研判現場PT二次側電壓迴路有異常。

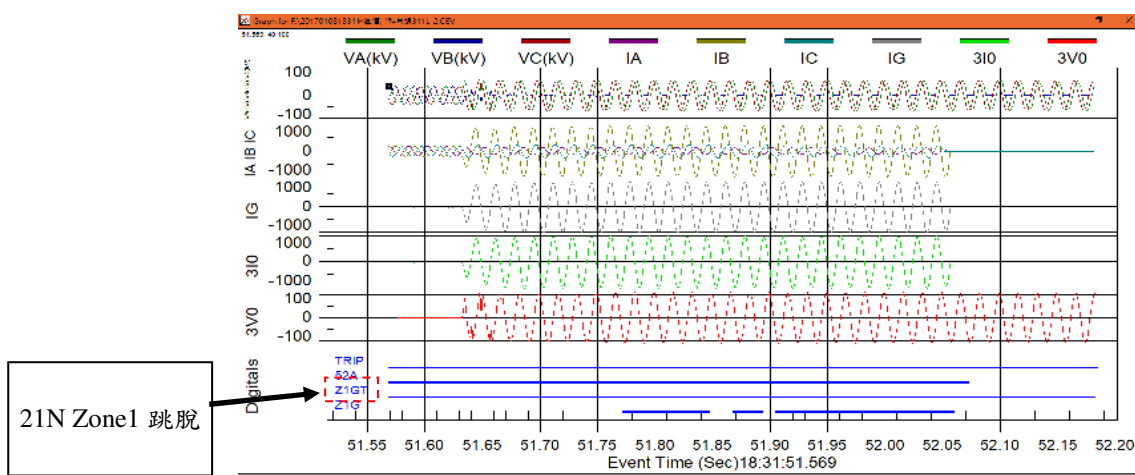


圖8-1 乙P/S #720電驛波形紀錄

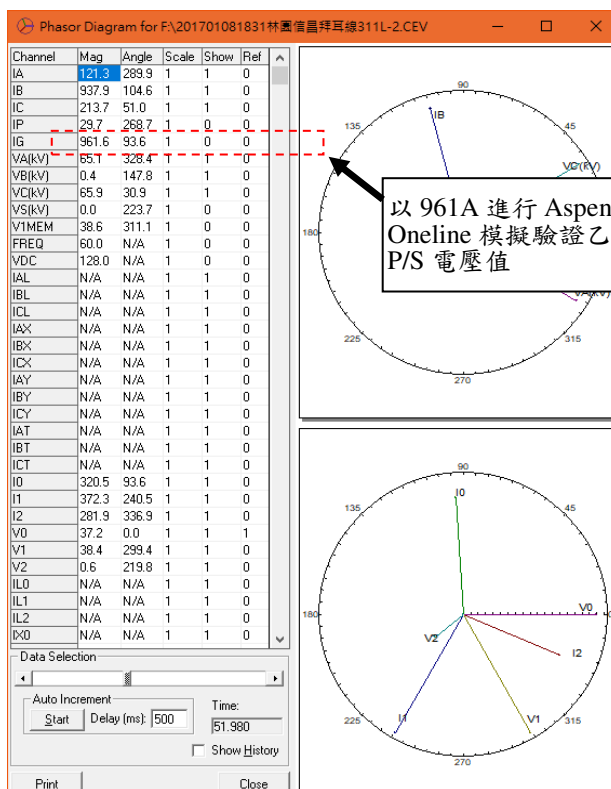


圖8-2 #720電驛事故時電壓、電流值

圖8 甲P/S #720電驛波形紀錄

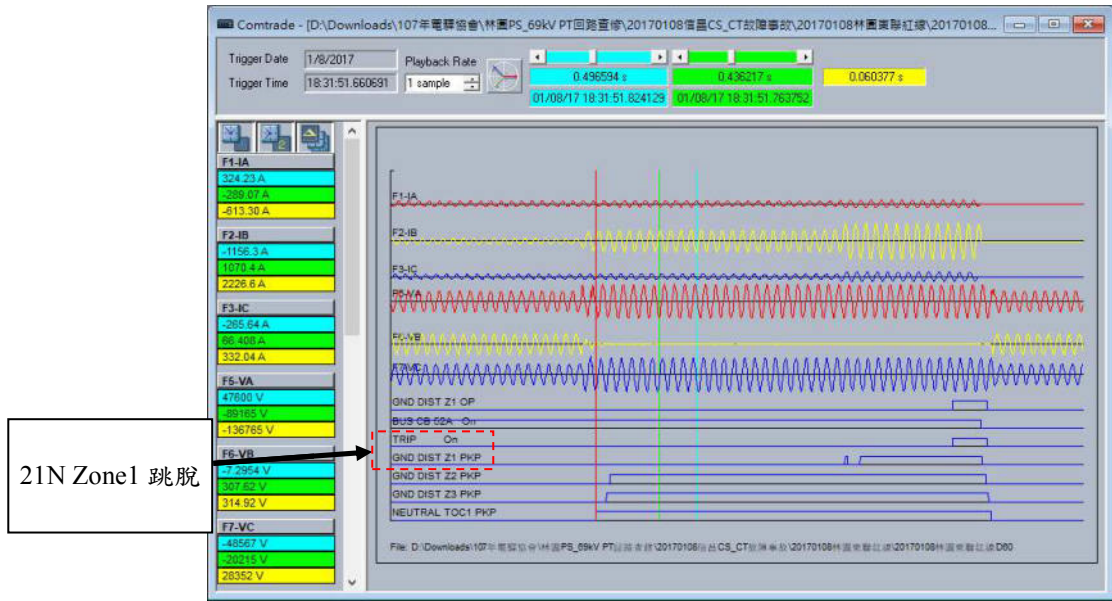


圖9 乙P/S #710測距電驛波形紀錄

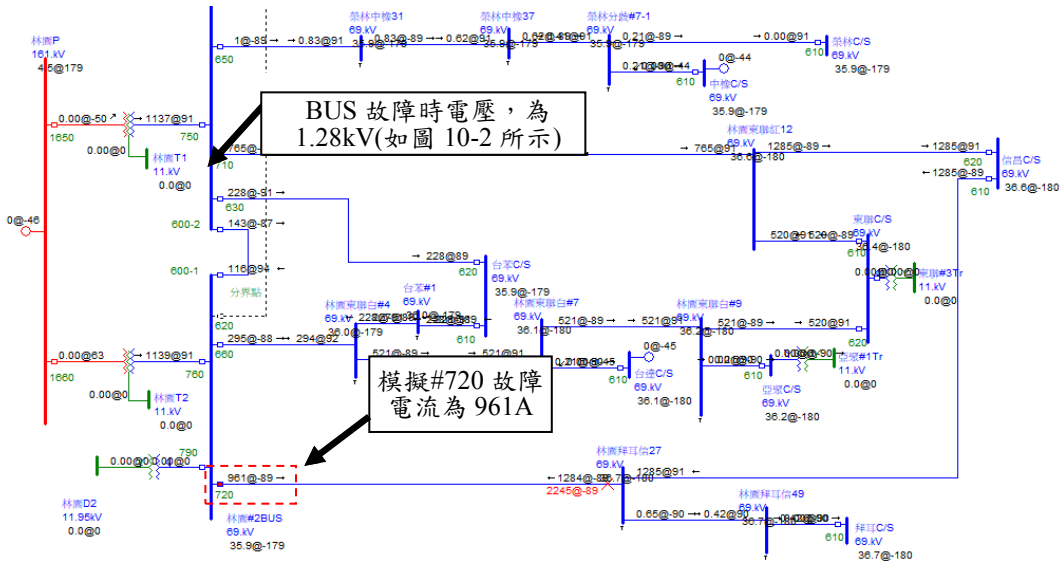


圖10-1 ASPEN Online軟體模擬

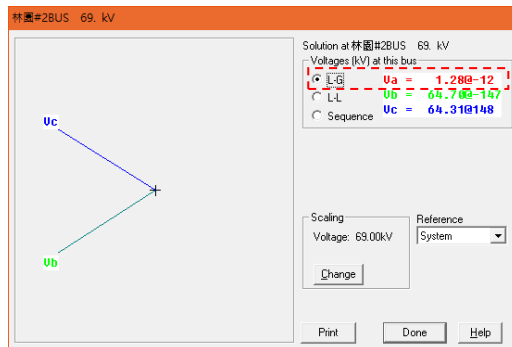


圖10-2 ASPEN Online軟體模擬的BUS電壓

圖10 ASPEN Online軟體模擬結果

三、現場查修過程

以勾式電流表量測#1、#2 BUS PT二次側中性點接地線，發現在#1 BUS PT二次側中性線接地線有0.169A電流通過(如圖11所示)。而量測#2 BUS PT亦有相同情形，故研判69kV #1、#2 BUS PT二次側中性點有多點接地情形亦是造成本次21N Zone1越區動作的原因。若PT二次側兩點接地時，在兩接地點間會因電位差而形成循環電流，而循環電流導致保護電驛端的中性點電壓產生偏移，事故時若往故障相偏移時會導致故障相電壓偏小。

經由上述分析，故開始逐盤檢查控制室內表計盤、電驛盤及開關場LCC箱內PT二次側中性點接地情形，最後於開關場LCC箱內發現有中性點接地情形，如圖10所示。

將開關場LCC箱中性點接地線拆除後，再以勾式電流表量測控制室#1、#2 BUS PT二次側中性點接地線之電流，再次確認量測結果電流值為0A，透過前述步驟確定本案例為PT二次側中性點為兩點接地。



圖11 量測#1 Bus PT中性點接地線

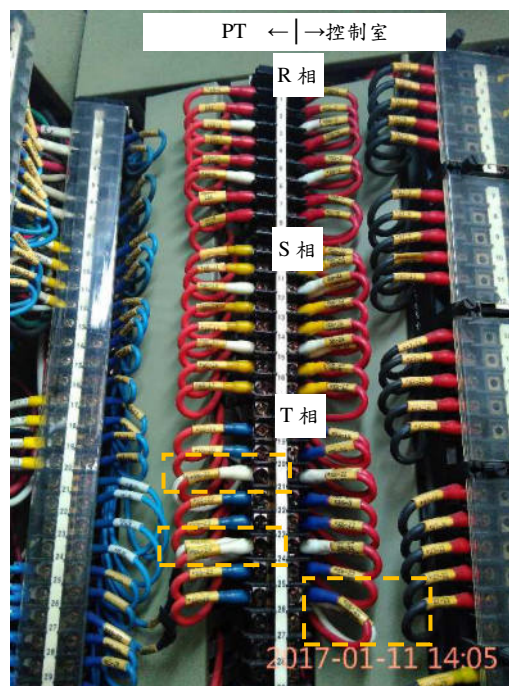


圖12-1 中性點接地線拆除前

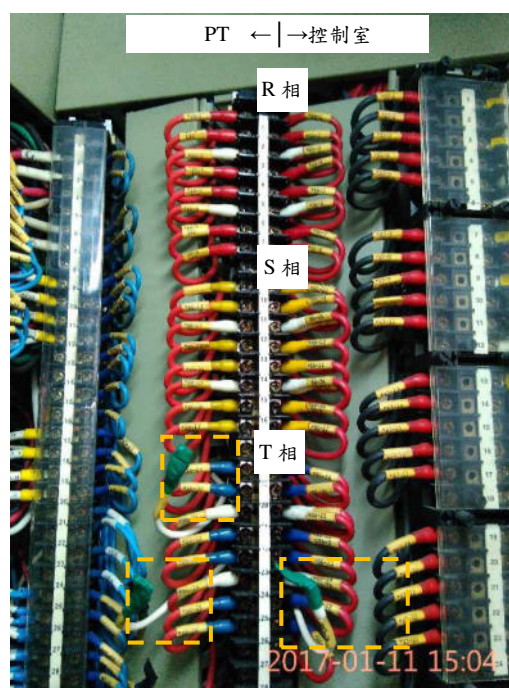


圖12-2 中性點接地線拆除後

圖12 開關場LCC箱PT二次側接線情形

肆、結論

PT二次側採三相Y接線方式其中性點正確接地可確保人員及設備安全，若未進行接地則會造成中性點電壓處於浮動狀態進而影響到三相對地電壓值的量測，而多點接地則會因循環電流造成中性點電壓偏移。故對於PT二次側中性點接地應落實一點接地的原則，平時保護電驛的定檢維護工作時，可透過使用勾式電流表及三用表等儀器的量測以確定PT二次側中性點接地是否正常，達到事故防範於未然的功效。

數位電驛在台電的電力系統已普遍使用，而使用數位式電驛所紀錄的事故波形進行事故分析，其中包含了故障時電流與電壓的大小、相位的變化量、電驛保護元件動作情形、斷路器動作情形等紀錄。當有電驛有動作不合理的部份，就必須進行模擬驗證，追根究底直到問題解決，才得以避免同一事故再發。

伍、參考資料

1. 李宏任，實用保護電驛，全華科技圖書股份有限公司，2002年10月。
2. 景敏慧，電力系統繼電保護動作實例分析，中國電力出版社，2012年12月。
3. 薛峰，電網繼電保護事故處理及案例分析，中國電力出版社，2012年2月。
4. SEL Inc., SEL-311L-1,-7 Relay Protection and Automation System Instruction Manual, 2006.
5. J. Roberts, A. Guzman, and E. O. Schweitzer, III, $Z = V/I$ Does Not Make a Distance Relay, 48th Annual Georgia Tech Protective Relaying Conference, Atlanta Georgia, May. 1994.

變壓器突壓保護電驛動作原因分析與改善

吳立成 林岡洲 張達人

一、前言

突壓電驛分為油壓、氣壓及油壓氣壓混合型[1]三種，而台電公司通常使用油壓氣壓混合型又稱為布氏電驛或撲氣電驛(Buchholz, 96B)及衝擊油壓電驛或突壓電驛(96P)[7]；這類型電驛，為變壓器除電氣型保護電驛以外之主保護。其運用範疇，在國內、外常有爭議，因此將在此一文章針對過去發展、保護類型及功能原理、實際測試與產生不當動作原因及如何改善，做詳細研究分析。

二、文獻回顧

衝擊油壓保護電驛可用IEEE裝置編號63(Pressure Switch)或96來表示，在WSCC relay work group OCT. 21 1991結論及IEEE C37.92有談及電氣保護雖可以檢測突壓類型的故障，但總在設備很嚴重受損後才檢出甚至無法檢出；因此，在變壓器和電抗器保護通常會裝設突壓電驛(Sudden-pressure Relay)來保護[1][8]。

變壓器保護使用突壓電驛，未曾有一個清楚解答。從1947年起一些主要文獻(State of the art)內容，可摘錄如下[2]：

過去關於保護電驛方面之書籍，僅建議必須採用突壓電驛，來偵測匝間故障、鐵芯故障與變壓器箱內故障等；卻很少文獻談及當變壓器故障發生時，電氣型保護電驛與突壓保護電驛之靈敏度及速度之差異。

當變壓器內部故障發生時，其油箱內壓力之模型，在以下文獻中有相當多的探

討；Ringlee和Robert在1959年的文章已建立故障能量與油箱內壓力之基本關係，Goto和Miura在1987年再改善此一模型；1995年EPRI的報告是目前此一議題的參考指標。

僅有之電氣型保護電驛與突壓保護電驛之靈敏度及速度比較文獻，在1957的Klingshirn、Moore和Wentz只寫到作者自己的發現(突壓保護電驛比電氣型保護電驛更靈敏)，但其並沒有比較各種變壓器故障類型之電氣型保護電驛與突壓保護電驛之靈敏度及速度。

突壓保護電驛之安全議題，似乎在保護社群中卻被嚴重忽視。除了在日本及紐西蘭有研究突壓保護電驛振動安全分析，但似乎沒有正式規範突壓保護電驛動作安全。

三、變壓器保護類型

變壓器之內部故障可以分為油箱內和油箱外故障兩種。油箱內的故障包括繞組之的相間短路、接地短路、匝間短路以及鐵心之燒損等，對變壓器來講，這些故障都是十分危險。因為油箱內故障時所產生的電弧，將引起絕緣物質劇烈氣化，進而可能引起爆炸；因此，這些故障應該盡快加以切除。油箱外之故障，主要是套管和引出線上發生相間短路和接地短路。上述接地短路均係對中性點直接接地電力網路的一側而言。

變壓器的不正常運轉狀態主要有：由於變壓器外部相間短路引起的過電流和外部接地短路引起之過電流和中性點過電壓；由於負載超過額定容量引起之過

載，以及由於漏油等原因而引起油面降低等。

此外，對大容量變壓器，由於其額定工作時的磁通密度相當接近於鐵心的飽和磁通密度，因此在過電壓或低頻率等異常運行方式下，還會發生變壓器之過激磁故障。

根據上述故障類型和不正常運行狀態，對變壓器應裝設下列保護電驛：

1. 突壓保護

對變壓器油箱內的各種故障以及油面的降低，應裝設突壓電驛保護，它反應於油箱內部所產生的氣體或油流而動作。其中第一段保護(輕撲氣)動作於信號告警，第二段保護(重撲氣)動作於跳開變壓器各電源側的斷路器。

應裝設突壓保護的變壓器容量界限是：800kVA及以上的油浸式變壓器。同時對帶負載調壓的油浸式變壓器的調壓裝置(AVR)，也應裝設突壓保護。

2. 差動保護或電流瞬時保護

對變壓器繞組、套管及引出線上的故障，應根據容量的不同，裝設差動保護或電流瞬時保護。

差動保護適用於並聯運轉的變壓器，容量為6300kVA以上時；單獨運轉的變壓器，容量為10MVA以上時；發電廠廠用工作變壓器和工業企業中的重要變壓器，容量為6300kVA以上時。電流瞬時保護用於10MVA以下的變壓器，且其過電流保護的時限大於0.5sec時。對2000kVA以上的變壓器，當電流瞬時保護的靈敏性不能滿足要求時，也應裝設差動保護。對高壓側電壓為345kV及以上的變壓器，可裝設雙差動保護。上述各保護動作後，均應跳開變壓器各電源的斷路器。

3. 外部相間短路時，應採用的保護

對於外部相間短路引起的變壓器過電流，應採用下列保護作為後備保護。

- (1) 過電流保護，一般用於降壓變壓器，保護裝置的設定值，應考慮事故狀態下，可能出現的過載電流。
- (2) 電壓起動的過電流保護，一般用於升壓變壓器、系統聯絡變壓器及過電流保護靈敏度不滿足要求的降壓變壓器上。
- (3) 負序電流及單相式低電壓起動的過電流保護，一般用於容量為63MVA及以上的升壓變壓器。
- (4) 阻抗保護，對於升壓變壓器和系統聯絡變壓器，當採用第(2)、(3)的保護不能滿足靈敏性和選擇性要求時，可採用阻抗保護。對345kV系統聯絡變壓器高、中壓側均應裝設阻抗保護。保護可帶兩段時限，以較短的時限用於縮小故障影響範圍；較長的時限用於斷開變壓器各側斷路器。

4. 外部接地短路時，應採用的保護

對中性點直接接地的電力網路內，由外部接地短路引起過電流時，如變壓器中性點接地運行，應裝設零序電流保護。零序電流保護可由兩段組成，每段可各帶兩個時限，並均以較短的時限動作於縮小故障影響範圍，或動作於本側斷路器，以較長的時限動作於斷開變壓器各側斷路器。

對自耦變壓器和高、中壓側中性點都直接接地的三繞組變壓器，當有選擇性要求時，應增設零序方向元件。當電力網路中部分變壓器中性點接地運行，為防止發生接地故障時，中性點接地的變壓器跳開後，中性點不接地的變壓器(低壓側有電源)仍帶接地故障繼續運行，應根據具體

情況，裝設專用的保護裝置，如零序過電壓保護，中性點裝放電間隙加零序電流保護等。

5. 過負載保護

對400kVA以上的變壓器，當數台並聯運轉，或單獨運轉並作為其它負載的備用電源時，應根據可能過載的情況，裝設過載保護。過載保護接於一相電流上，並延時作用於信號。

6. 過激磁保護

高壓側電壓為345kV及以上的變壓器，對頻率降低和電壓升高而引起的變壓器激磁電流的升高，應裝設過激磁保護。在變壓器允許的過激磁範圍內，保護作用於警報信號，當過激磁超過允許值時，可動作於跳脫。過激磁保護反應於實際工作磁通密度和額定工作磁通密度之比(稱為過激磁倍數)而動作。

7. 其它保護

對變壓器溫度及油箱內壓力升高和冷卻系統故障，應按現行變壓器標準的要求，裝設可作用於警報信號或動作於跳脫的裝置。最後，我們可將以上變壓器之故障類型與其所需之保護裝置製成表1。

表1 變壓器之故障類型與其所需之保護裝置

故障類型	保護裝置
一次繞組相間故障	差動電驛、過流電驛
一次繞組相對地故障	差動電驛、過流電驛
二次繞組相間故障	差動電驛

故障類型	保護裝置
二次繞組相對地故障	差動電驛、限制型接地過流電驛
內部故障	差動電驛、撲氣電驛(BUCHHOLTZ)
鐵芯故障	差動電驛、撲氣電驛(BUCHHOLTZ)
油箱接地故障	差動電驛、撲氣電驛(BUCHHOLTZ)
過激磁	59/81(過激磁電驛)
過熱	溫度電驛

四、變壓器突壓保護

當在變壓器油箱內部發生故障(包括輕微的匝間短路和絕緣破壞引起的電弧短路)時，由於故障點電流電弧的作用，將使變壓器油及其他絕緣材料，因局部受熱分解產生氣體，因氣體比較輕，它們將以流向油箱(儲油箱)的上部。當故障嚴重時，由會迅速膨脹並產生大量的氣體，此時將有劇烈的氣體並染著油流沖向儲油箱的上部；利用油箱內部故障時的這一特點，可以構成反應於上述氣體而動作的保護裝置，稱為突壓(撲氣)保護。本章將突壓(撲氣)保護，細分為撲氣保護(Buchholtz relay)及衝擊油壓保護(Sudden pressure relay)。

1. 突壓保護電驛之動作量來源

突壓保護電驛有兩種主要之動作量來源為壓力和流力。壓力為動作量之突壓電驛，主要裝於變壓器的頂端，其由摺箱、微動開關及感測器所組成。流力為動作量之突壓電驛，安裝於油箱與儲油箱之

間的聯接管道上，例如撲氣電驛(BUCHHOLZ Relay)，此種電驛主要有兩種檢測器，一為氣體流量；第二種以油之流速為動作量。

2. 撲氣保護電驛(Buchholtz relay)

撲氣體電驛是構成撲氣保護的主要元件，它安裝自儲油槽與油枕之間的聯接管道上，如圖1所示，這樣油箱內產生的氣體必須通過氣體電驛才能流向油枕(儲油箱)。為了不妨礙氣體的流通，變壓器安裝時應使用頂蓋沿氣體電驛的方向與水平面具有4/100的升高坡度。

目前在台電電力系統中常用的氣體電驛，如福田計器製作所(日本)的RGA(Buchholtz relay)、PG-1 BLL(Sudden pressure relay)、P&B公司的Mk 10A(Buchholtz relay)，其RGA內部結構如圖2及圖3所示。正常運行時，上、下浮球F1和F2都浸在油中。當油箱內部發生輕微故障時，少量的氣體上升後逐漸聚集在電驛的上部，迫使油面下降，而發出”輕氣體”保護動作信號。當變壓器油箱內部發生嚴重故障時，大量氣體含油流直衝電驛，發出”重氣體”跳脫信號。當變壓器出現嚴重漏油而使油面逐漸降低時，首先是F1動作，發出報警信號，繼之F2露出油面後亦能動作，發出跳脫信號。

撲氣保護的原理及接線如圖3.3所示，上面的觸點S1表示”輕氣體保護”，動作後發出報警信號。下面的觸點S2表示”重氣體保護”，動作後跳脫變壓器高、低壓兩側斷路器。當油箱內部發生嚴重故障時，由於油流的不穩定可能造成彈簧觸點的抖動，此時為使斷路器能可靠跳脫，應用具動作後由斷路器的輔助觸點來解除跳脫迴路的自保持電路。此外為防止變壓器或進行試驗時引起重撲氣保護誤

動作跳脫，應加裝閉鎖迴路。

撲氣保護的主要優點為動作迅速、靈敏度高、安裝接線簡單及能反應油箱內部發生的各種故障。其缺點則是不能反應油箱以外的套管及引出線等部位上發生的故障。因此撲氣保護可作為變壓器的主保護之一，與電氣型變壓器保護相互配合、互補，實現快速而靈敏地切除變壓器油箱內外及引出線上發生的各種故障。

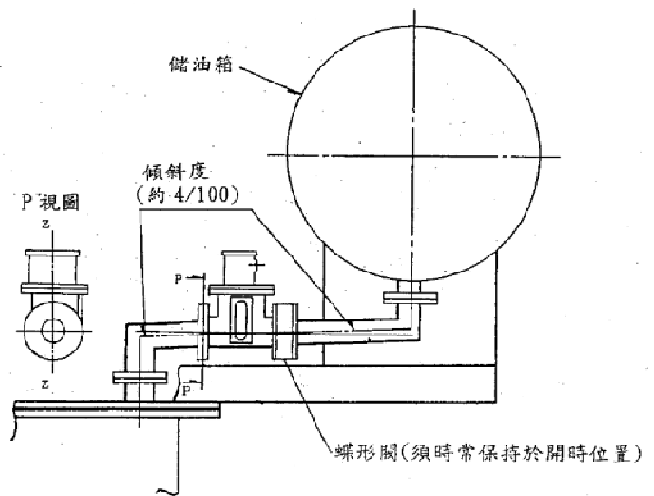
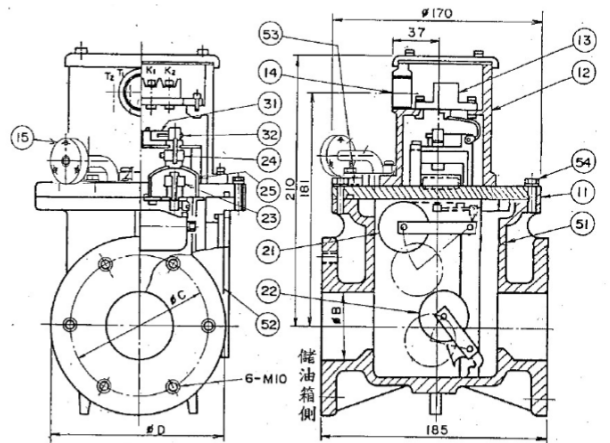


圖1 撲氣保護電驛安裝位置[9]



- | | | | |
|---------|----------|----------|---------|
| 11 上蓋 | 12 端子盒 | 13 端子 | 14 配線口 |
| 15 排氣法蘭 | 21 第一段浮球 | 22 第二段浮球 | 23 固定磁鐵 |
| 24 連合磁鐵 | 25 隔離箱 | 31 微動開關 | 32 磁鐵軸 |
| 51 外殼 | 52 檢視窗 | 53 銘牌 | 54 六角螺絲 |

圖2 撲氣保護電驛(RGA)內部結構[9]

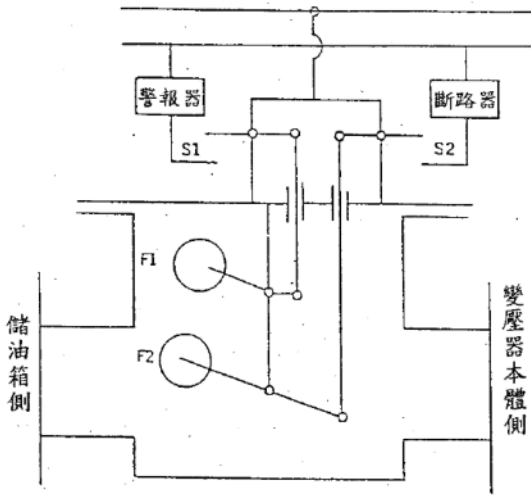


圖3 撲氣保護的動作接線[9]

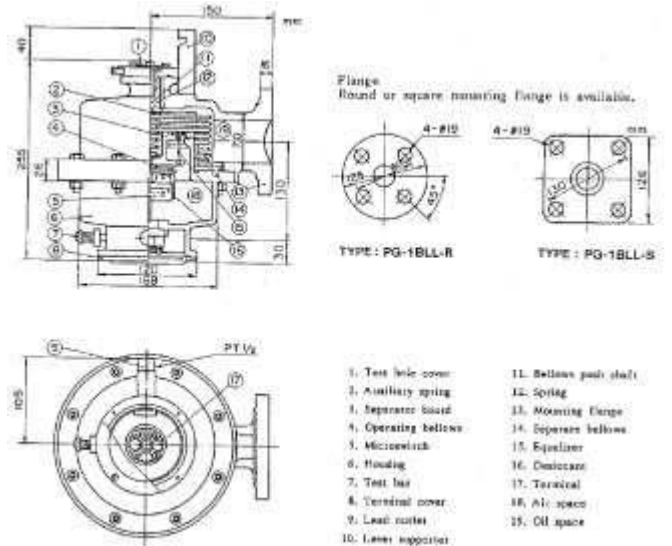


圖4 突壓電驛之構造

3. 衝擊油壓保護 (Sudden pressure relay)

此電驛之構造如圖4所示，其通常安裝於變壓器(25MVA)油箱油面以下1~3公尺處，如圖5所示。當變壓器內部發生故障時，內部壓力壓迫電驛隔離伸縮囊，使囊內空氣壓力上昇，微動開關動作；當壓力上昇率愈大，動作時間愈短，具反時型特性，如圖6所示。

台電公司用之衝擊油壓保護電驛(PG-1 BLL)之動作特性，於變壓器內部發生輕故障時，如變壓器箱內產生約 $1.0 \text{ kg/cm}^2/\text{sec}$ 之壓力上昇率時，電驛將在0.2~0.3秒後動作；若變壓器箱內產生約 $0.2 \text{ kg/cm}^2/\text{sec}$ 之壓力上昇率時，電驛將在1~1.55秒後動作。此電驛之最低動作壓力為 $0.25 \pm 20\% (\text{kg/cm}^2)$ ，最低動作壓力上昇率為 $0.02 \pm 25\% (\text{kg/cm}^2/\text{sec})$ 。

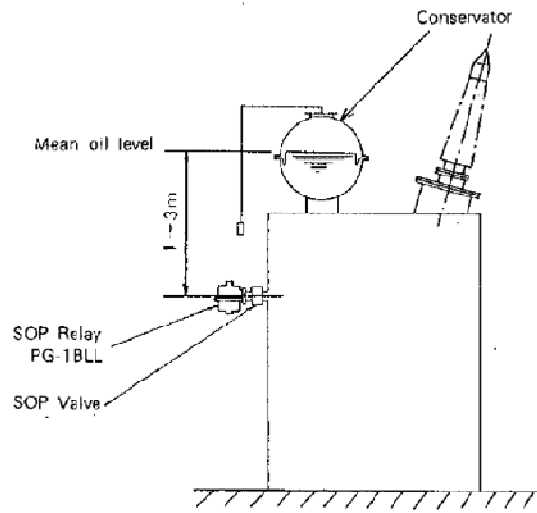


圖5 突壓電驛安裝位置

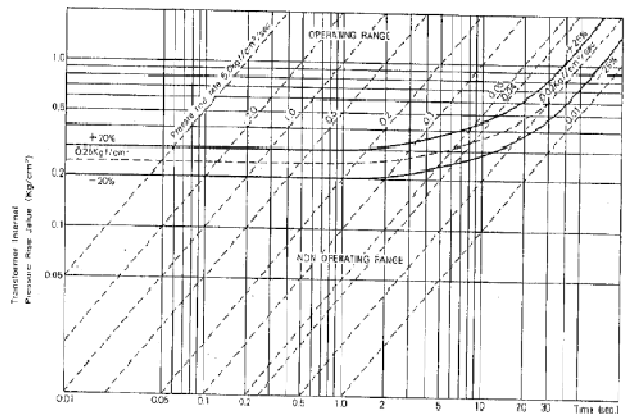


圖6 突壓電驛(PG-1BLL)動作特性曲線

五、變壓器突壓保護電驛不當動作原因分析

本章將討論變壓器突壓保護電驛不當動作原因，並提出改善方案。由於台電公司相關此電驛誤動作之樣本貧乏，故將參考國外電力公司之狀況，以評估其相關因素，如測試方法、是否加延時及電驛本體性能等等。

1. 變壓器撲氣(Buchholz Relay)保護動作原因分析

變壓器輕氣體保護動作，一般作用於警報，以告知變壓器運行異常，其原因歸納如下：

- (1) 因濾油、加油、換油及冷卻系統不嚴密，以致空氣進入變壓器。
- (2) 環境溫度驟然下降，變壓器本體，因很快冷縮造成油位降低或變壓器本體嚴重漏油引起變壓器內油位嚴重降低，即所謂油流引起撲氣電驛動作。
- (3) 因發生穿越性短路故障。
- (4) 因變壓器內輕微故障，而產生少量氣體。
- (5) 輕氣體迴路發生接地、絕緣損壞等故障，如變壓器內部存在放電或過熱故障，引起固體絕緣材料分解、變壓器油分解，產生氫氣、一氧化碳、二氧化碳及低分子氣體，這些氣體隨油的對流循環，逐漸變成大氣泡，並上升聚集在撲氣電驛上部，迫使油面下降，引起撲氣電驛動作。
- (6) 撲氣電驛二次信號回路故障，包括

信號電纜絕緣損壞短路、端子排接點短路，在信號迴路中因接線等問題引撲氣電驛動作。

- (7) 振動(如：地震)。

以下我們將討論使變壓器重撲氣保護動作之因素，同樣將其規納如下各點：

- (1) 變壓器發生嚴重故障，油溫劇烈上升，同時分解出大量氣體，使變壓器油很快流向儲油箱。
- (2) 當變壓器內部發生短路時。
- (3) 振動(如：地震)。
- (4) 二次線回路發生故障。

2. 突壓電驛動作後的故障判斷方法

變壓器油是礦物絕緣油，它是由許多不同的分子量的碳氫化合物分子組成的混合物，分子中含 CH₃、CH₂ 和 CH 化學基團，並由 C-C 鍵結合在一起。在變壓器運行過程中，如存在熱點和放電故障條件，其內部的絕緣油和有機絕緣材料會加速老化和分解，某些 C-H 鍵和 C-C 鍵撕裂，產生低分子烴類和 CO、CO₂ 等氣體，也可能生成碳的固體顆粒及碳氫聚合物。

運轉中變壓器內常發生的氣體故障，主要有過熱性故障和放電故障兩大類，故障類型及其能量密度，主要決定於故障的性質，不同故障類型產生的氣體見表2。

突壓電驛動作後，一方面要調查運轉及檢修情況；一方面應立即採油樣進行色譜分析，確定變壓器是內部故障，還是附屬設備故障，進而確定故障的性質、部位或配件，以便及時進行檢修處理。

判斷變壓器是否有內部故障的方法是：首先分析油中溶解氣體和突壓電驛中

的自由氣體的濃度，然後將兩者進行比較。

- (1) 當自由氣體含量約等於油中溶解氣體含量，且故障氣體成份含量很少時，則說明變壓器是正常的，一般認為溶解在油中的氣體是在平衡狀態下釋放出來的。
- (2) 當自由氣體含量大於油中溶解氣體含量時，則說明變壓器確實存在早期潛伏性故障；如果自由氣體含量明顯超過油中溶解氣體含量時，則說明釋放氣體較多，故障發展很快。這時可以通過特徵氣體法及氣體產生率，來判斷故障性質和發展速度。
- (3) 當自由氣體小於油中溶解氣體時，則說明變壓器內部不存在潛伏性故障，是主變壓器附屬設備有異常。

當自由氣體中氫、氧含量較高，而總乙炔含量較低，說明存在漏氣點，有空氣進入。因為油中有氣泡時，在電場作用下發生火花放電產生的主要氣體就是氫。

為更清楚瞭解問題所在，我們列出表3突壓電驛動作的原因和故障推斷，以利從突壓電驛動作訊息中(油中氣體分析)，快速找出變壓器之故障原因。

表2 不同故障類型產生的氣體

故障類型	主要氣體組成	次要氣體組成
油紙熱	CH_4 、 C_2H_4	H_2 、 C_2H_6
油和紙過熱	CH_4 、 C_2H_4 、 CO 與 CO_2	H_2 、 C_2H_6
油紙中局部放電	H_2 、 CH_4 與 CO	H_2 、 C_2H_6 與 CO_2
油中火花放電	H_2 與 C_2H_4	
油中電弧	H_2 與 C_2H_4	CH_4 、 C_2H_4 與 C_2H_6
油和紙中電弧	H_2 、 C_2H_4 、 CO 與 CO_2	CH_4 、 C_2H_4 與 C_2H_6

表3 突壓電驛動作的原因和故障推斷

動作類別	油中氣體	自由氣體	動作原因	故障推斷
突壓電驛動作	氣體成分 CO 、 CO_2 和 H_2 較高	有自由氣體，有少量 H_2 和 CO	鐵心強烈震動，導體短時過熱	過激磁時(如系統發溫時)
突壓電驛動作，放氣後立即動作，越來越頻繁	總氣量增高，氧含量 高， H_2 略增， 有時可見油 中有氣泡	有大量自由 氣體，有時 H_2 略高	附件洩漏，引入大量氣體(嚴重故障)	變壓器外殼、管道、突壓電驛、油泵等漏氣
運轉初期動作次數較多，逐漸減少，有時持續達半年之久	總氣量很高，氧含量 很高，有時 H_2 略增	有自由氣體，有少許 H_2	油中氣體飽和，溫度和壓力變化，釋放氣體	安裝時油未排氣和未真空注油
突壓電驛動作	含氧正常	無自由氣體	負壓下油流衝擊或油門過低(多發生在溫度和負荷降低或深夜時)	隔膜不能活動自如，充氣管路堵塞不暢，氬氣袋嚴重缺氣，油位太低
突壓電驛動作，幾小時動作一次	總氣量高，含 氧量低，總乙 炔高， C_2H_2 和 CO 不高	有自由氣體，無 C_2H_2 ， CO 少， H_2 和 CH_4 高	油熱分解(300度以上)產氣，溶解達到飽和	過熱性(慢性)故障，存在時間較長

3. 變壓器突壓保護國外之使用經驗

在美國的WSCC會議中，討論有關突壓電驛使用問題，有些電力公司不使用此類電驛，有些只用在大型或超高壓的變壓器上，有些是拿來當警告而不跳脫，或有些配合電流故障檢測器應用。會中並決議突壓電驛用於高振動區域時，不可使用含水銀接點之突壓電驛，如GE公司已停產的Type J。會中並提及氣壓型電驛，其撲氣電驛(Buchholz Relay)比突壓電驛(Sudden Pressure Relay)安全可靠[1]。

在美國西部保護電驛研討會(WPRC)[2]中提出突壓電驛(Sudden Pressure Relay)是不安全的；第一因為此電驛基本假設錯誤，它認為只有變壓器內部故障時才會使箱內壓力變化，但事實上如4-1節所描述，並非在變壓器內部故障時才會使箱內壓力變化，並且其壓力上昇率(dp/dt, psi/sec)，是呈非線性變化，如圖7所示之模擬結果；第二突壓電驛(Sudden Pressure Relay)會在非變壓器故障下動作，如振動事件、冷卻油泵的起動、穿越性外部故障(Through faults)及油採樣等；第三它會造成無預警大範圍和不必要的停電在低準位的振動下。

另外，自1960年使用至今之高速差動電驛，已有足夠靈敏度去檢測匝間故障，再者目前數位式電驛擁有固定時間跳脫特性，比機電式反時特性之差動電驛及突壓電驛(Sudden Pressure Relay)有更多好處。參考文獻[2]中談及受限變壓器樣本數，其研究結果表明，高速差動電驛對變壓器匝間故障檢測，一般快於突壓電驛(Sudden Pressure Relay)，此結果推翻了保護電驛工程師的觀點，這是由加拿大BC Hydro電力公司，在變壓器內部故障發

生時，其所有電驛皆使用下，所統計的結果。在防止變壓器油箱爆裂的觀點上，差動電驛和突壓電驛(Sudden Pressure Relay)多無法有效達成，因為變壓器油箱爆裂，主要是高電流(I^2t)造成，並且和油箱彈性及斷路器啟斷時間相關。

其研究並談到釋壓閥和突壓電驛其跳脫速度相當，且釋壓閥比突壓電驛有較好的安全性。由這些研究結果，使加拿大BC Hydro電力公司決定不使用突壓電驛來保護變壓器，但電抗器還保留突壓電驛，但加上靈敏方向性接地電驛做監督。

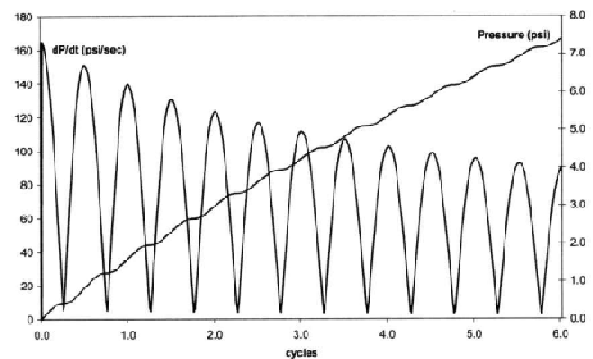


圖7 230kV/69kV, Y-Y變壓器內部電弧故障時之壓力與時間關係

4. 變壓器突壓保護電驛試驗

突壓電驛能否正常工作攸關變壓器及系統安全，因此定期之保養試驗是必備工作，突壓電驛可用如圖8圖9示之方式試驗，檢驗其特性是否和製造商所附之特性曲線一致，台電公司所裝之突壓電驛通常有一手動試驗開關，但較佳試驗方式應以圖8及圖9所示，一般現場實際試驗如圖10所示，將突壓電驛與變壓器相連之碟形閥關閉，後利用空壓機或氮氣機供給壓力，即可測試突壓電驛之性能正常否。

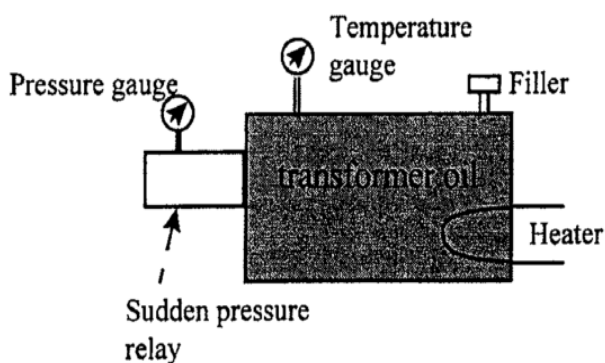


圖8 突壓電驛試驗一

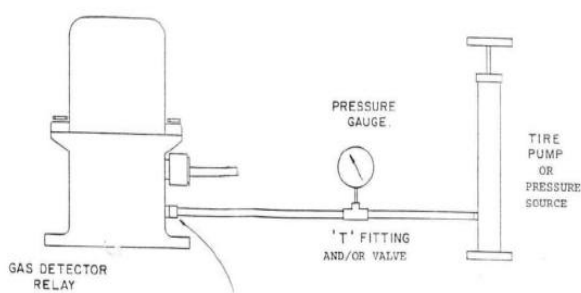


圖9 突壓電驛試驗二

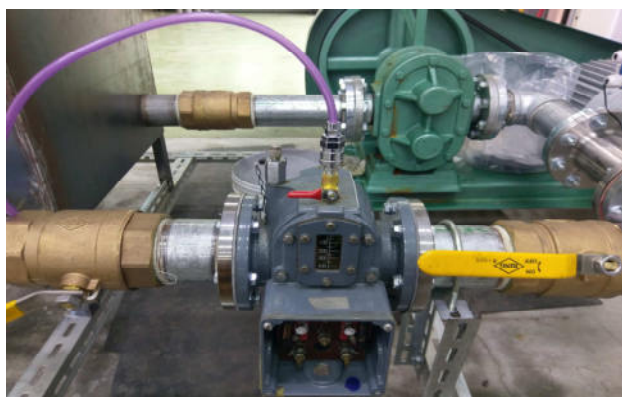


圖10 實際突壓電驛試驗三

六、變壓器突壓保護電驛不當動作之改善

當變壓器撲氣電驛(Buchholz Relay)動作後，先檢視電驛有無氣體聚集及氣體分析。氣體信號動作後，電驛內是否有氣體聚集，是區別信號動作原因中油位降低、二次回路故障、空氣進入變壓器、變

壓器內部發生故障的最基本原則。因二次回路故障，油位降低引起氣體信號動作不可能產生氣體，所以當電驛內無氣體聚集時，應逐步判斷。首先檢查變壓器是否有嚴重漏油點；若不是，則應判斷是否因環境溫度驟然下降引起油位降低，此時必須觀察變壓器油枕(儲油槽)油位指示位置是否正常，油道是否阻塞。若不是上述原因引起，則二次信號回路故障的可能性較大，須檢查消除二次回路缺陷。

撲氣電驛內聚集的氣體是空氣還是可燃性氣體，若撲氣電驛內的氣體是空氣，則應依次判斷是否因換油或補加油時空氣進入變壓器本體後沒有排淨，及是否因更換變壓器虹吸器吸附劑時淨置時間短空氣未徹底排淨，若是則採取從電驛放氣嘴排氣，後監督變壓器運轉情況。

若撲氣電驛內的氣體是可燃性氣體，則變壓器內部存在過熱、可能是放電性故障，或過熱兼放電性故障。此時應從撲氣電驛處同時取氣體樣本及油樣本(或預留取樣點)做色譜分析，根據變壓器油中溶解氣體分析判斷故障的性質、發展趨勢、嚴重程度，根據分析結論採取繼續監督運轉或停電檢修處理。

撲氣保護不正常動作之處理如下：

(1) 嚴格密封防止空氣進入

嚴格密封可以避免由於空氣進入，引起的撲氣保護動作，為檢查變壓器密封品質，在檢修後應對變壓器進行檢漏試驗；變壓器投入系統運轉前，要注意排除內部空氣，如套管法蘭、高壓套管升高座、油管路中死區及冷卻器頂部等處的殘留空氣。投入運轉前應儘早啟動油泵，借助油循環將殘留空氣排出。注油要採用真空注油方法。油泵大修時，重點檢查後端窺視孔的密封、引線盒的密封、油管路中各排

氣孔的密封及負壓區的密封是否完好。

- (2) 避免誤關閘門並保證呼吸系統暢通，以防堵塞

堵塞主要有兩種情況：一是誤關閘門，對此只要運轉人員重視，運轉前對每個閘門進行認真檢查，就容易解決；二是呼吸系統堵塞。目前現場的解決方法是：

- (1) 正確注油。
- (2) 改進呼吸系統。
- (3) 加強技術管理和維護，避免諸如端子箱和突壓電驛端子接線，因滲水或清洗造成的接點短路，導致撲氣保護動作，引起誤跳脫。

撲氣電驛雖然能反應變壓內部的各種故障、靈敏度高、動作迅速及安裝簡單，但運轉不夠穩定，有時會發生誤動作，為克服這一缺點，通常可採取以下措施：

- (1) 將撲氣電驛的下浮筒改為檔板式，觸點改為立式，這樣可以提高重撲氣動作的可靠性。
- (2) 撲氣電驛的引出線應採用耐油絕緣線。撲氣電驛的引出線和通往室內的二次電纜應經過接線箱，在箱內端子盤的兩側，引線應接在下面，電纜應接在上面，以防電纜絕緣被油侵蝕，引線排列應使重撲氣跳脫端子與正極隔開。
- (3) 外部假油位時，注意防止撲氣電驛誤動作。
- (4) 撲氣電驛的端蓋部分及電纜接線端子相應有防水措施。
- (5) 新投入的撲氣電驛浮筒應做密封試驗，在其運轉中應進行定期試驗。
- (6) 如果使用塑料電纜，應注意檢查是否有被老鼠，白螞蟻咬壞的情況。

另外，為防止突壓電驛(撲氣電驛)因變壓器外部穿越性故障，造成誤動作，可會外加電氣性電驛來閉鎖突壓電驛(撲氣電驛)誤動作，其閉鎖邏輯如圖11所示[11]。

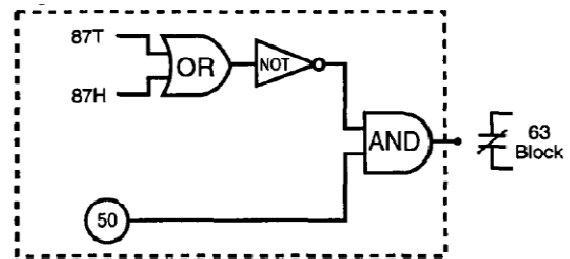


圖11 突壓電驛之閉鎖邏輯

七、結論

本文已對突壓電驛(96P及96B，衝擊油壓電驛及撲氣電驛)誤動作之可能原因及防範對策，並建立現場維護測試方法。

目前，突壓電驛皆具有防震功能，其抗震在5級以上，當地震達5級以上所造成誤動作，本應屬於“天災”，動作算正常行為；再者，依據業務處所提供之90年至94年7月事故資料(共9件)分析判斷，因地震而誤動之件數為1件，此樣本比例實屬微乎其微(因多數變壓器之突壓電驛多能正常工作)，作今若為防治因地震誤動作而加延時，是無必要。另因，目前氣象局無統計台灣地區5級以上地震之平均持續時間，但依據IEC 60076號標準之規定，其變壓器短路耐受能力為2秒(視故障電流而定)，如要外加一延時設定，此一時間必須小於2秒，對變壓器才能有較佳之保護。

在報告中吾提過，目前加拿大B.C. Hydro電力公司是全面停用突壓電驛，他們研究認為目前差動電驛已可滿足變壓器保護要求，並可含蓋突壓電驛，但此一研究在2003的WPRC會議上，仍有許多國家的專家對此不表贊同；因此，目前IEEE的

PSRC(Power System Relay Committee)也成立K6 Working Group對此一議題做進一步研究。

依據統計資料顯示，台電公司變壓器所裝設之機械保護有油衝擊突壓電驛(96P)、撲氣電驛(96B)及釋壓閥(96D)，其油衝擊突壓電驛(96P)誤動作情況看來比加拿大B. C. Hydro電力公司之統計數字好很多，並且台電公司最大誤動作問題是在跳脫迴路的防水問題，不像國外主要是人員問題佔30%(如加油、油中氣體採樣及電驛工作等等)，其次為變壓器外部事故佔15.8%，再者為防水及接線問題佔15.3%，而防水議題已在參考文獻[6]中獲得良好解決；另外，加拿大B. C. Hydro電力公司在撲氣電驛(96B)誤動作上，258次停電事故有41次是因撲氣電驛(96B)動作引起，其中有31次是因撲氣電驛(96B)誤動作引起，此電驛誤動作主要是防水問題29%，空氣進入25.8%，油流失或低油位19.4%，以上這些情況使加拿大B. C. Hydro電力公司全面停用突壓電驛。

因受限於事故樣本數量及事故資訊取得，僅能對現有資料做分析研究，故可能無法真正反應全公司有關突壓電驛問題，希望有關變壓器維護之單位，未來有事故發生時，能再提供吾更多資料以使此一議題能獲更完善之解決。

八、參考文獻

- [1] WSCC RELAY WORK GROUP, "Transformer Protection Sudden Pressure Relays", OCT. 21, 1991
- [2] Ralph P Barone and Gary H Young, "Sudden Pressure Relaying Revisited", WPRC 2003
- [3] IEEE Std C37.91-2000, "guide for protective relay applications to power transformers"
- [4] ABB, "Sudden Pressure Relay Installation, Operation and Maintenance Guide"
- [5] IEEE Std C37.108-2002, "Guide for the Protection of Network Transformers"
- [6] 嘉南供電區營運處, "防範水氣造成變壓器誤動作跳脫技術報告", 96年4月13日
- [7] [Http://en.wikipedia.org/wiki/Buchholz_relay](http://en.wikipedia.org/wiki/Buchholz_relay)
- [8] IEEE C37.91, "Guide for Protecting Power Transformer"
- [9] 長興電機, "撲氣電驛說明書"
- [10] ALSTOM, "Network Protection and Automation Guide", 2002
- [11] Mozina, C.J. , Largo, , "Protection of power plant transformers using digital technology", Transmission and Distribution Conference, 1999 IEEE
- [12] 華城電機, "衝擊油壓電驛使用說明書"

結合 Google Maps 建構變電所地理圖資查詢系統平台

台電南區施工處 林正義

摘要

鑑於目前變電所設計流程可分為超高壓變電所(E/S)、一次變電所(P/S)、一次配電變電所(D/S)、二次變電所(S/S)等四類，惟每一類設計流程不盡相同，除了依照本公司設計準則規劃設計外，須參考已加入系統變電所之相關圖面及其他技術文件，來輔助設計的準確性，初步規劃完成後，要聯繫維護單位召開現場會勘等作業流程。本研究將利用 Visual Basic 軟體開發人機介面系統，結合 Google 地圖(Google Maps)服務之功能，智慧搜尋變電所位置，並將該變電所相關圖面、設計準則、技術文件及聯繫維護單位等介面資料加以彙整連結，解決需花費時間去搜尋相關文件，有效縮短規劃時程。另外，為了自動更新資料庫，加入網路雲端平台，將該系統整合一套多功能查詢平台，有助於快速完成圖面設計，爰此，對變電所設計流程提出一種新的創意方法，改革目前作法，藉此提升本公司競爭力及設計效率。

一、前言

因台電公司考量財務成本及用電需求量，逐年減緩「第七輸變電計畫」之新、擴建變電所，將陸續啟動再生能源加強電力網、變電所整所改建計畫、區域電網及輸電網設備汰換工程等專案計畫。因此規劃汰換或新增變電所設備時，都必須知道既有變電所的裝置容量多寡，及基地空間大小是否可以新增開

關檔位或變壓器，必須先花費時間去查詢後，才能開始著手規劃變電所工程。

由於目前設計變電所流程，依照變電所不同等級(E/S、P/S、D/S、S/S)，其設計流程不盡相同，除了參考本公司自訂相關設計準則外，需參閱已加入系統變電所相關圖面，再配合其他技術文件，以及聯繫維護單位辦理現場會勘等作業流程，雖然大部分作業流程均已各自建檔，但並非完善整合，導致各自搜尋而得知。

將上述問題，利用 Visual Basic 軟體開發人機介面系統平台，再加入 Google Maps 服務之功能，有效解決設計上參照其他變電所之困擾，該系統不但能顯示各變電所地圖，並藉由智慧搜尋功能到資料庫內選取相關技術文件，供經辦人員參考閱讀，解決繁雜的設計問題，並且縮短設計時間，進而提升設計圖面的品質，同時培訓新進人員對於變電所設計核心技術有初步的提升。

另外，為了自動更新資料庫，加入網路雲端平台，將該系統整合一套多功能架構(包含 Google Maps、相關圖面、設計準則、技術文件及聯絡資訊等資料)，方便讓設計者快速查詢所需資訊，並分享本公司其他單位使用，達到本平台推廣之效能。

二、現況檢討

目前變電所之設計流程，首先參照本公司訂定相關圖面設計準則來規劃，並依新增設備之規模，尋找相似變電所

之圖面參考，必且對照其他技術文件來輔佐繪製圖面之設備平面空間大小、基礎開孔、機器配置等相關作業，惟設計過程中須參考不同等級變電所圖面來驗證所設計之圖面正確性，此作業方式對設計圖面是重要，而且藉由其他變電所之設計規劃優點來提升自己設計水準，具有相得益彰之功能，因此，如何縮短搜尋參閱相關文件時間，為目前檢討課題，先依序整理出設計變電所需配合工作項目如下所示：

- (一) 依照設計之圖面參閱本單位所發行的變電所設計準則[1]，並依照準則之規定配合設計規劃。
- (二) 搜尋已加入系統變電所之相關圖面對照目前所設計之圖面，並加以對照學習該圖面。
- (三) 設計新建變電所需評估項目較繁雜，不但參考圖面較多，繪製時間較長，而且還要考慮變電所地理環境空間大小及維護單位日後接管問題，避免變電所無法加入系統。
- (四) 評估變電所擴建工程，必須了解該變電所地理位置及現有裝置容量，先有初步認知，才能知道該變電所還可以擴充多少設備及後續規劃設計。
- (五) 設計變電所需要聯繫維護單位進行會勘工作，協商彼此間分工介面，當更換或新增大項設備，需由維護單位安排設備停電時程才能配合施作，與維護單位之間聯繫非常重要。

三、開發系統平台

首先針對變電所種類分為 4 類，如超高壓、一次、一次配電及二次變電所等型式，而且變電所位置皆分布於不同供電轄區，每個變電所歷史資料及維護

部門也不同，為提升經辦人員設計能力，需彙整出變電所相關之圖面、維護單位聯繫管道及設計準則等資料，而建立相關資料庫，供設計者查詢。

依照目前檢討狀況，分別找出解決方式並開發其系統，其步驟如下所示：

(一) 建置資料庫

考量變電所型式數量繁多，初步規劃系統架構分為 E/S、P/S、D/S、S/S，並利用微軟套裝軟體 OFFICE 之 EXCEL 表格彙整出各級變電所相關資訊，包含各轄區變電所經緯度、變電所地址、維護單位、連絡市話及微波、裝置容量及檔位配置等資料，並分門別類建置資料庫，詳圖 1~4。

變電所	緯度	經度	地址	維護單位	市話	微波
嘉民路S						
龍崎路S						
南林路S						
新港路S						
路北路S						
仁武路S						

圖 1 建立 E/S 變電所相關資訊

變電所	緯度	經度	地址	維護單位	市話
嘉善路S					
山上路S					
新管路S					
台南路S					
安南路S					
崎山路S					
社寮路S					
南工路S					
林園路S					
屏東路S					

圖 2 建立 P/S 變電所相關資訊

變電所	緯度	經度	地址	維護單位	市話
義竹D/S					
大湖D/S					
雙湖D/S					
仁愛D/S					
光富D/S					
柳營D/S					
下營D/S					
雙草D/S					
三竹D/S					
和順D/S					

圖 3 建立 D/S 變電所相關資訊

變電所	緯度	經度	地址	維護單位	市話
後湖S/S					
博愛S/S					
三和S/S					
大寮S/S					
水上S/S					
民雄S/S					
新子S/S					
竹崎S/S					
秀林S/S					
和順S/S					

圖 4 建立 S/S 變電所相關資訊

(二) 利用 Visual Basic 套裝軟體

應用 Microsoft Visual Basic 6.0 套裝軟體(以下簡稱 VB)，開發一套整合系統，主要分成四個選項(E/S、P/S、D/S、S/S)，並利用 VB 之內建功能下拉式選單，呈現各級變電所清單，並規劃點選某個變電所時，該系統能夠連結相對應資料庫，並將資料庫之變電所經緯度轉換為 Google Map 的地標，透過 Google Map 地圖服務之內建功能添加可移動的地標，來定位變電所之位置，方便經辦人員快速查詢那一所變電所地理資料，可以大幅節省查詢時間，俾利了解變電所之周遭環境。

1. Visual Basic 6.0 軟體介紹[2-3]

Microsoft Visual Basic，它是開發 Microsoft Windows 應用程式的最快方法，不論是對 Microsoft Windows 應用程式的專業開發者或初學者來說，Visual Basic 都是一套不可多得的快速開發應用程式。

何謂 Visual Basic？Visual 指的是開發圖形使用者介面 (GUI) 的方法。您不需撰寫大量程式碼來描述介面元件的外觀和配置，而只要把預先建立的物件添加到螢幕上的某一點即可。

Visual Basic 以原來的 BASIC 語言為基礎，做了更進一步的發展，至今包含了數百個陳述式、函數及關鍵字，其中有很多都和 Windows GUI 有直接關係。專業人員可以使用 Visual Basic 製作出任何其它 Windows 程式語言所能做到的功能，而初學者則只要掌握幾個基本要領，就可以建立實用的應用程式了。

Visual Basic 程式語言不僅只能用於 Visual Basic，包含在 Microsoft Excel、Microsoft Access 及許多其它的 Windows 應用程式中的 Visual Basic Applications(VBA)，也使用了與 Visual Basic 同樣的語言。Visual Basic Scripting Edition (VBScript) 是一廣泛使用的 scripting 語言，而它也是 Visual Basic 語言的子集合。所以學會 Visual Basic 之後，還可以應用到其它不同的領域中！

2. VB 規劃變電所地理圖資系統表單

配合目前變電所等級，分成四個選項(E/S、P/S、D/S、S/S)，並利用 VB 之環境表單設計程式，使用下拉式選單物件^[4]，呈現各級變電所清單，並規劃點選某個變電所時，該程式能夠抓取資料

庫(EXCEL)之該變電所之經緯度，且利用 Google Maps 地圖功能，開啟顯示該變電所位置，如圖 5 所示。

3.VB 物件建構各級變電所清單

利用程式抓取已建置完成資料庫(EXCEL)之 E/S、P/S、D/S、S/S 等四類變電所之清單，並展現於變電所地理圖資系統上，供設計者選取某變電所之功能，詳圖 6~9 所示。

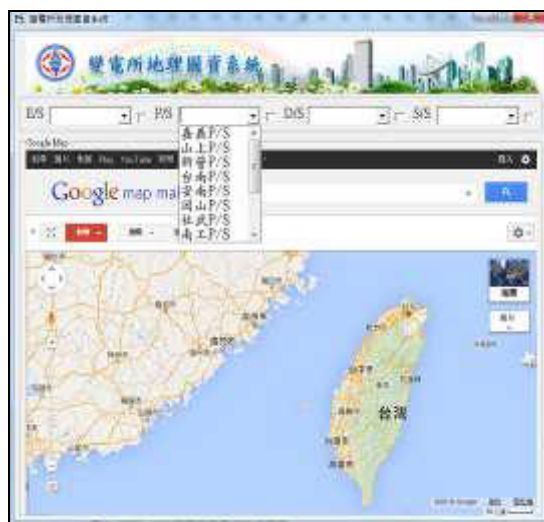


圖 7 選取”P/S”清單

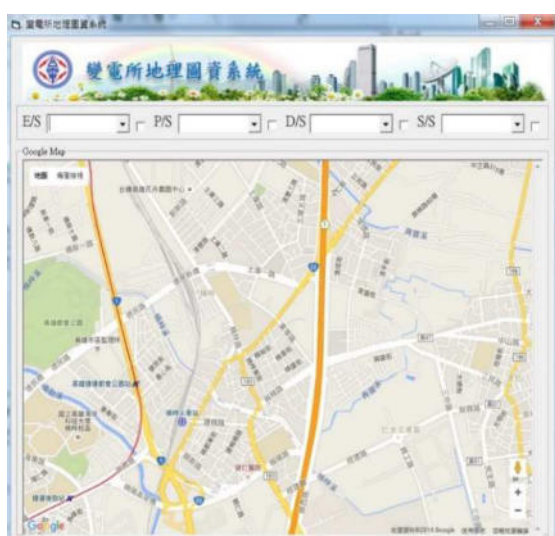


圖 5 VB 軟體建置變電所地理圖資系統

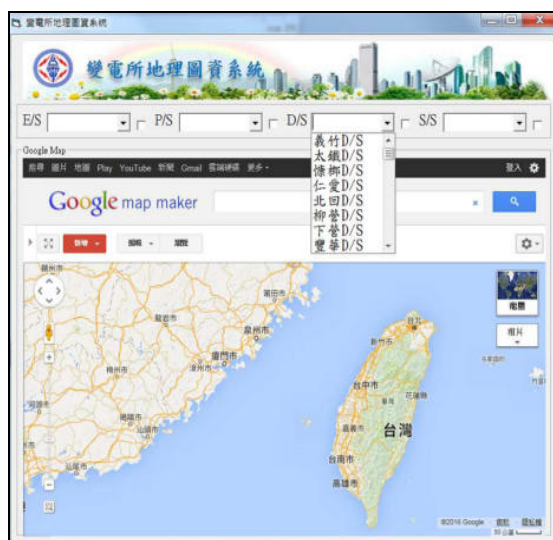


圖 8 選取”D/S”清單



圖 6 選取”E/S”清單



圖 9 選取”S/S”清單

(三) Google Maps 地圖服務

Google Maps 地圖搜尋服務，係因 Google 公司在 2006 年推出一款可以在網頁瀏覽器上搜尋、瀏覽地圖的服務軟體，它可以提供局部詳細的衛星照片，以及提供路線規劃的功能。Google Maps 採用非同步傳輸和無刷新技術，順暢解決資料的傳輸及網頁更新的問題，將用戶交互體驗提升到一個新境界。

Google Maps 提供了三種有彈性的地圖視圖，一為傳統之地圖提供行政區和交通以及商業信息，二是不同解析度的衛星照片(俯視圖或 45°視圖影像)，三是地形圖，可以用顯示地形和等高線。這些功能強大且獨有的特性，讓 Google 在電子地圖的領域中始終保持領先，無可取代的地位。

1. Google Maps 應用[4-5]

學習 Google Google Static Maps API (靜態地圖)，首先了解 Google 提供了一個簡易的作法，透過一串 http 的語法就可以將我們想要地標示出來，可以說是簡易版的 API。這個 API 的提供，讓我們容易將 Google Maps 放入我們的網頁中，完全不需 JavaScript 語法或任何動態網頁來載入。

Google Static Map 根據透過標準 HTTP 要求傳送的網址參數建立建立所規劃的地圖，並傳回該並可嵌入至利用系統 VB 所建置的系統中。

利用 Google Static Maps API 來製作圖，略顯單調且無變化，畢竟只是靜態的效果，考慮試著利用 Google Maps API v3 的語法，來搜尋變電所之位置，並顯示所屬住址及電話及裝置容量等資訊。

2. 撰寫 Google Maps 語法

將存取使用 Google Map API 該地圖

服務，其網頁程式將採用 HTML 及 JavaScript 語法編寫地圖服務狀態，HTML 是一種標記語言，配合 Internet 網頁，則網頁瀏覽器由 HTML 加入自己元素和標示，如微軟 IE。JavaScript 就是在 HTML 網頁加入 Google Maps 內建代碼，來驅動不同事件，並通過網頁之元素，引發一系列動作。

使用 Google Maps API 將 Google 地圖嵌入至件至變電所地理圖資系統內，由於第 3 版的 API 須要申請 Google Maps API key 才能使用，並且宣告 HTML5 HTML 格式，如：`<!DOCTYPE html>`。

最新的瀏覽器會將使用此 DOCTYPE 宣告的內容以「標準模式」呈現，定義 CSS 之 `<style>` 宣告，用來表示地圖容器 `<div>` 應使用 HTML 主體的 100% 高度，並載入 Google Maps API 格式，宣告一個 `div` 區塊用來擺放地圖，以設定地圖中心、縮放等級及地圖模式，在 Google Maps API 中我們對於地標的設定是採用 `google.maps.Marker` 結構函式，並用一個 `Marker options` 物件來指定地標的起始內容。

撰寫該功能程式碼，為能搜尋多個變電所之資料，並將所建置把每個變電所的經緯度，再編入一 `locations` 的陣列中，最後使用迴圈方式存取多個變電所地標，並建立每各地標之 `marker`，接下來處理的是 `click` 滑鼠按下的事件，事件發生後要使用函數之動作為打開地圖上該 `marker` 地標，將呈現文字內容視窗。

3. 學習 Google.Maps 策略選項指令

Google, Maps 策略選項指令提供多種參數，供更改圖層上線條樣式，包含粗細、顏色深淺、拖曳及增加資訊等，讓使用者能夠更自由的設定喜好參數，詳細參數，詳圖 10 所示。

Properties	
clickable	Type: boolean Indicates whether this Polyline handles mouse events. Defaults to true.
draggable	Type: boolean If set to true, the user can drag this shape over the map. The geodesic property defines the mode of dragging. Defaults to false.
editable	Type: boolean If set to true, the user can edit this shape by dragging the control points shown at the vertices and on each segment. Defaults to false.
geodesic	Type: boolean When true, edges of the polygon are interpreted as geodesic and will follow the curvature of the Earth. When false, edges of the polygon are rendered as straight lines in screen space. Note that the shape of a geodesic polygon may appear to change when dragged, as the dimensions are maintained relative to the surface of the earth. Defaults to false.
icons	Type: Array<IconSequence> The icons to be rendered along the polyline.
map	Type: Map Map on which to display Polyline.
path	Type: MVCArray<LatLng> Array<LatLng LatLngLiteral> The ordered sequence of coordinates of the Polyline. This path may be specified using either a simple array of LatLngs, or an MVCArray of LatLngs. Note that if you pass a simple array, it will be converted to an MVCArray. Inserting or removing LatLngs in the MVCArray will automatically update the polyline on the map.

圖 10 Google.Maps 策略選項指令

4.建置 Google Map 程式碼

使用 Google Maps API 應用程式都需要申請一組金鑰才能使用，每個 API 都是唯一，但可搭配數個服務或網站使用，或是登入 Google Developers Console 網站依步驟取得 API 金鑰後，進行開發。

接下來依上述各項 JavaScript 語法之設定撰寫成網頁格式，並載入資料庫變電所經緯度，設定該變電所之地標，API 提供數種公用程式，透過各種服務操控地圖，就如同網頁一樣，並為選取地圖標示，顯示新增之內容，進而整合於系統中，能開啟所建置網頁，其程式碼，詳圖 11 所示。

```

<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<meta name="viewport" content="initial-scale=1.0,
user-scalable=no" />
<style type="text/css">
html { height: 100% }
body { height: 100%; margin: 0; padding: 0 }
#map_canvas { height: 100% }
</style>

<script type="text/javascript"
src="http://maps.google.com/maps/api/js?key=AlzaSyCxDt
7bHBvKTuI9tMPqnFKwuKlj5hXCK8&sensor=SET_TO_TRUE
_OR_FALSE">
</script>
<script type="text/javascript">
function initialize()
{
var myLatLng = new google.maps.LatLng
(22.591903, 120.331235);
var mapOptions = {
center: myLatLng,
zoom: 15,
mapTypeId: google.maps.MapTypeId.ROADMAP
};
map = new google.maps.Map
(document.getElementById("map_canvas"),
mapOptions);
var image = 'K:/變電所地理圖資系統/sub.png';
var marker = new google.maps.Marker({
map: map,
icon: image ,
position: map.getCenter() });
.
.
.
}
</script>
</head>
</body>
</html>

```

圖 11 建構各級變電所 JavaScript 程式碼

(四)整合 VB 及 Google Maps 系統

將 JavaScript 語法寫成所需功能，並建置於 VB 所規劃系統的表單上，讓表單顯示 Google Maps 之變電所地圖座標，點選該變電所之座標，則出現提示框視窗，其內容呈現訊息該變電所地址、連絡電話、維護單位、裝置容量、檔位配置、設計準則及相關圖檔等相關資訊，並將檔位配置、設計準則及相關圖面另作超連結，方便設計人員更快速查詢相對應資訊。

1.呈現變電所地理標示

利用 VB 所建置下拉式選單的功能，選取變電所四個種類其中之一，導入 GoogleMaps 內建標示，顯示該變電所地理環境地圖，詳圖 12 所示。

2.內建各變電所資訊

將建置完成各變電所之地址、電話、維護單位、裝置容量、檔位配置、設計準則及相關圖檔等相關資訊，利用 JavaScript 程式碼呼叫各變電所之資料庫，並載入在 Google Maps 上，點選箭頭標示，出現該視窗，此視窗就顯示該變電所相關資訊，詳圖 13 所示。

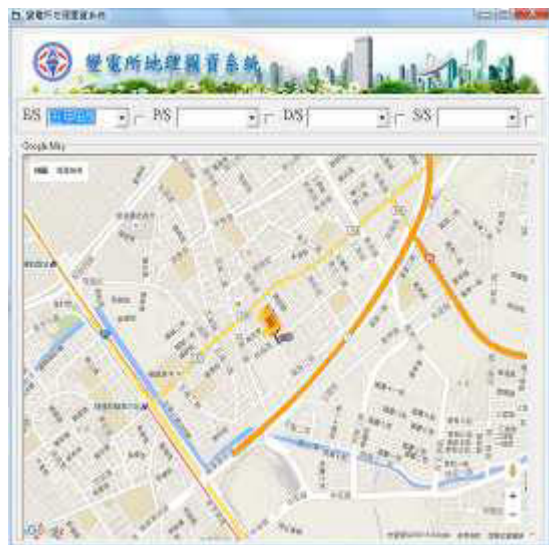


圖 12 點選五甲 E/S，顯示 Google Maps

地圖



圖 13 點選五甲 E/S 標示，顯現提示框視窗訊息

3.建置檔位配置視窗

將先前建檔之各變電所 345/161/69kV 開關設備檔位配置，利用 JavaScript 程式碼撰寫開啟提示框，點選「檔案配置」標示並顯示該變電所各檔位配置，詳圖 14 所示。

4.開啟設計準則網頁

使用 JavaScript 程式碼開啟本單位設計準則網頁，讓設計員可以點選「設計準則」標示，開啟該網頁查詢變電所相關圖面之設計準則，詳圖 15 所示。

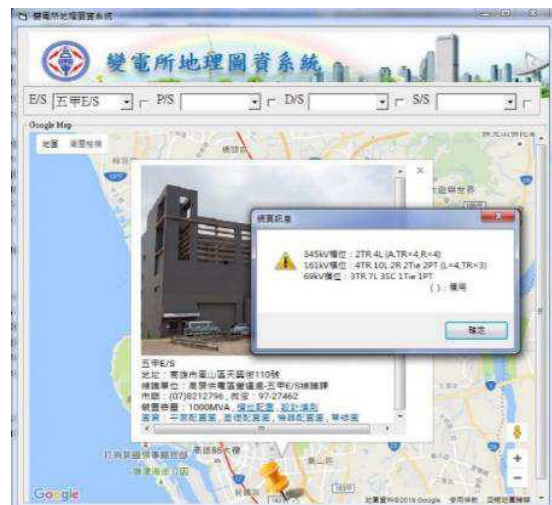


圖 14 點選「檔位配置」標示，呈現該所檔位視窗

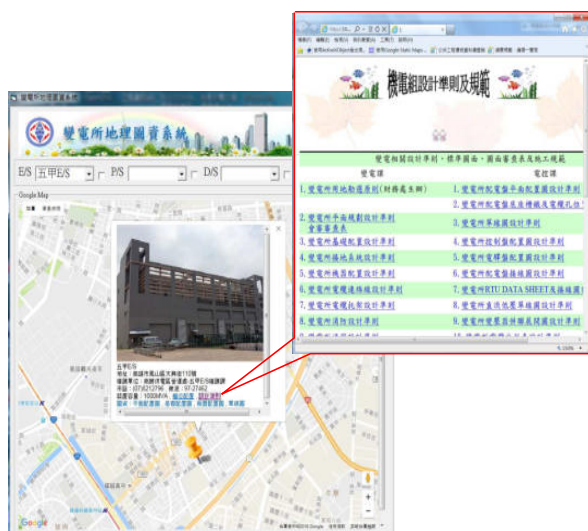


圖 15 點選「檔位配置」標示，呈現該所檔位視窗

5. 開啟設計圖檔

使用 JavaScript 程式碼呼叫本平台來開啟該變電所之平面規劃圖、基礎配置圖、機器配置圖、單線圖等供設計者參考，詳圖 16 所示。

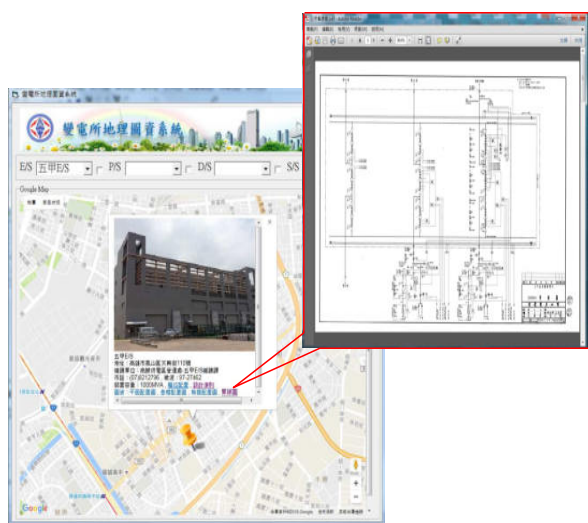


圖 16 點選「單線圖」標示，呈現單線圖檔

6. 顯示超高壓變電所維護轄區一次配電變電所

首先透過 VB 系統中建置核取方塊選單，判斷核取方塊是否勾選，呼叫資料庫之 JavaScript 程式碼網頁，載入所建置變電所清單，當點選「E/S」下拉式

選單，選擇某一所變電所，並勾選核取方塊，VB 系統所呈現多所變電所之 Google Maps 上，詳圖 17 所示。

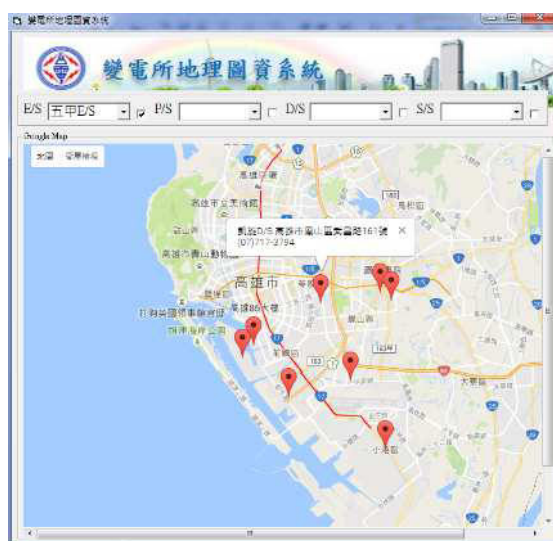


圖 17 點選五甲 E/S，呈現相關維護轄區變電所

四、建置系統雲端平台

最後利用本處網路伺服器建置雲端服務平台，其系統開發步驟如圖 18 所示，分享至本公司其他單位使用，此平台具有更新資料庫功能，也提供使用者容易使用 Google Maps 地圖服務，更方便搜尋到想要資訊，提升整體設計圖面的效率。

設定本單位伺服器為 K 槽，並將資料庫之變電所相關資訊(EXCEL 檔案)及變電所的地圖(Javascript 程式碼)放入 K 槽，再利用 VB 系統呼叫開啟所指定變電所地圖，最終將 VB 系統轉成執行檔(EXE)，供不同相關人員使用，達到資源分享，提升設計水準，也就是說利用變電所地理圖資查詢系統連接本單位雲端網路伺服器，查詢某個變電所相關資訊，其系統流程圖詳圖 19 所示。

(一) 系統開發步驟

開發步驟分為 5 個步驟，①建置各級變電所相關訊息，②轉入本單位伺服器，開發 VB 系統，③撰寫 JavaScript 程式碼來，④結合 Google Maps，⑤導入雲端服務平台。

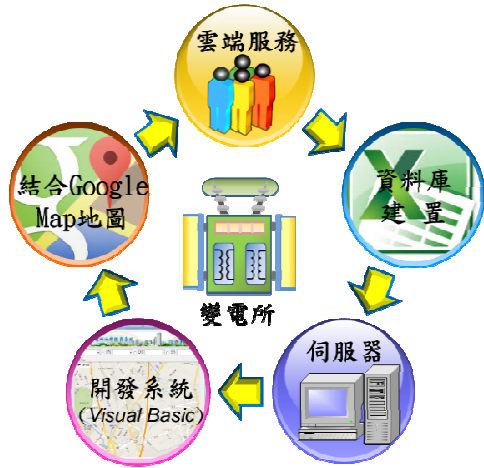
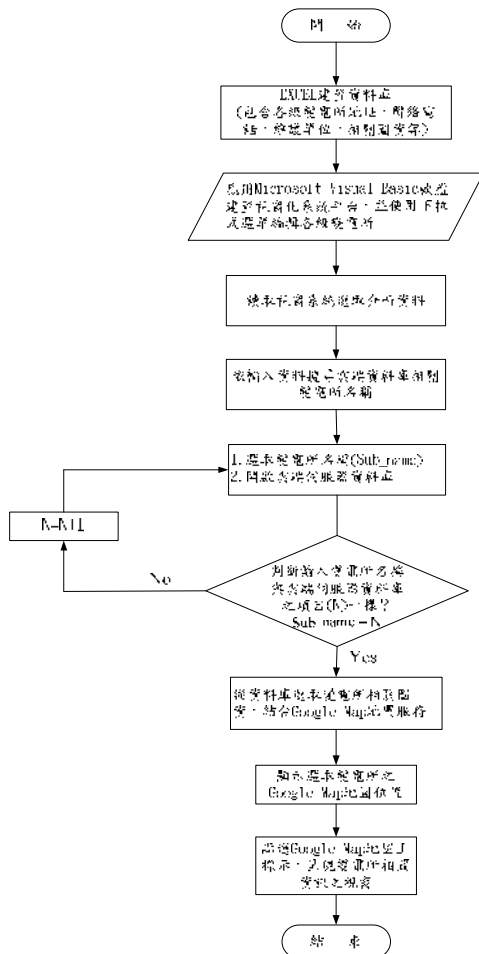


圖 18 系統開發步驟圖

(二) 系統架構流程圖



結合 Google Maps 建構變電所地理圖資查詢系統平台

圖 19 系統架構流程圖

(三) 建置雲端平台

本系統主要透過雲端平台連接本單位伺服器內資料庫，達到即時更新資料庫，惟目前該資料庫所建置圖檔，只有變電所之平面規劃圖、基礎配置圖、機器配置圖及單線圖等 4 種圖面，當本公司供電單位接管新建變電所後，只能利用本系統查詢上述圖面，達到資源分享之功能，詳圖 20 所示，相對地若要查詢其他圖資，則須向設計部門索取相關圖檔。

(四) 建置資通安全管控機制

為符合本公司資通安全之法規，將制定變電所地理圖資查詢系統操作程序書供設計者或維護者參辦，為避

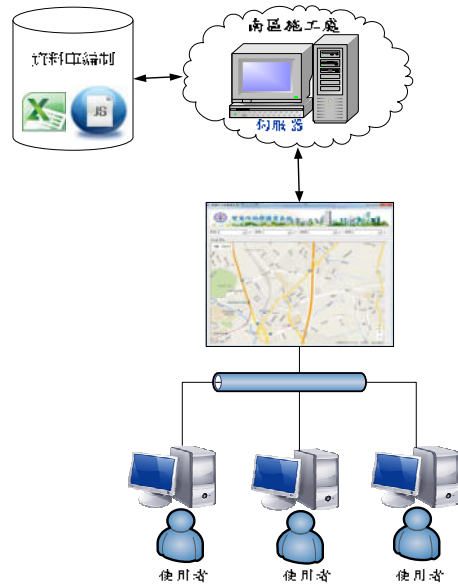


圖 20 雲端平台示意圖

免本公司資訊洩漏，事先依程序書步驟來申請使用者或維護者帳號，經管理員經審核通過後將申請人資料登錄資料庫(EXCEL 檔)才能使用本系統，由於本系統之安裝執行檔(*.exe)只需要安裝一次就可以，後續若有新建變電所加入系統無須再安裝執行檔，係因本系統開啟後透過雲端網路自動連

接本單位伺服器資料庫並下載檔案，無須手動去下載，惟需管理員定期更新資料庫圖檔。

本系統除了提供設計者查詢之功能，也可分享給維護單位使用，但須建置使用者管控機制，因此規劃新視窗供使用者輸入帳號及密碼，經由系統驗證後才能使用該系統，詳圖 21 所示。



圖 21 顯示輸入帳號及密碼視窗圖

五、結論

變電所設計經過多年，從一開始人工繪圖到使用電腦繪圖(AutoCAD)，大幅提升設計效率，惟配合本公司成本政策，新建變建所已逐年降低，取而代之再生能源電力網、區域電網及汰換輸電設備等工程，整體設計觀點就從新建部分轉為汰換工程，而汰換工程除了基本規畫設計，還需參考其他變電所既設圖面及考慮土建結構重量，空間大小、加入時程及預算支出等事項，花費設計時間遠比規劃新建工程較冗長。

運用新科技輔佐設計變電所新/擴建工程，提升工作效率，開發 VB 系統整合變電所相關資訊及圖面，提供設計者參考價值，來節省設計時間，如變電所檔位配置、設計準則及維護單位聯繫等項目，也是設計中重要一環，缺一不可，為能大幅縮短設計時間，著手開發

變電所地理圖資系統，改善設計流程。

該系統藉由納入 Google Maps，可以更快速明確知道所搜尋該變電所周遭環境、交通狀況，讓設計者掌握整體設計面所需文件，而且透過資料庫更新，建置雲端服務平台之功能，且考量資通安全規定，本單位配合制定該系統操作程序書，建請設計者或維護者向管理者(目前由本人擔任)申請開通，確切落實本公司重要資訊防護措施及實施本系統管控機制。

由於本系統只能應用個人電腦上，無法轉換置行動裝置上使用，未來將另行開發行動裝置應用程式(Mobile Application, APP)，利用資料通訊功能運用實際輸電系統設備，讓原本分散的資料整合數據化資訊，並轉換成智慧型行動載具查詢工具，以縮短搜尋輸電設備地理圖資時間，並作為設計者的最佳助手，不管現場或辦公室皆可透過手機或平板電腦隨時隨地查詢到變電所地理空間及設計圖資，輕鬆掌握現場變電所狀況，達到最佳設計作業。

六、參考文獻

- [1] 台電公司輸變電工程處，變電所平面規劃設計準則，2014 年 5 月。
- [2] 志佳工作室，Visual Basic 6.0 程式教學手冊，第二版，台北市：博碩文化股份有限公司，2004 年 2 月。
- [3] 杜仕斌，Visual Basic 6.0 範例腳本，第二版，台北市：學貫行銷股份有限公司，2004 年 6 月。
- [4] 馬謙、飛思科技產品研發中心監製，Google 地圖核心開發揭密，初版，台北市：松崗電腦圖書資料股份有限公司，2011 年 3 月。
- [5] R. Amal W.、黃詩涵譯，「Google 地圖與 Android 應用程式開發」，博碩文化股份有限公司，2016 年 6 月。

資料中心機房伺服器主機電力建置方案

Data Center of Server Power Solution

國立臺灣海洋大學 柯侑寬

摘要

資料中心伺服器主機電力建置，做法中考量到電力用電不斷電之要求外，也對於資料中心機房之空調、機櫃及用電設備等使用之條件設立準則，透過機房電力設置中導入智慧化配電機櫃，使其將不斷電系統設備、主機伺服器用電管理模組、控制器、智慧排插、空調系統及溫度調節等做法，並搭配人機介面及監控系統做管理監視使對所屬設備、用電及空調等訊息即時掌握。智慧化配電機櫃中目前更導入偵煙系統警報裝置，並且對機櫃做溫度安全性運轉，做自動化控制機櫃門操控，使其機櫃內空調或是用電裝置在機櫃內溫度感測器溫度高於正常值時，能立即開啟機櫃門，使其達到機櫃內散熱效果，並確保資料中心伺服器主機用電穩定，及有效控管資料中心伺服器主機用電溫度，散熱使其資料中心伺服器主機穩定運轉。

關鍵詞：智慧化配電機櫃、不斷電系統設備、人機介面、不斷電系統設備、智慧排插、偵煙系統、溫度感測器

壹、前言

由於國內能源意識已將再生能源及工業 4.0 做法加上互聯網及人工智慧化結合在智慧應用平台上，對於資料中心伺服器主機電力建置之方案中導入智慧化配電櫃輔以裝置不斷電系統設備、主機伺服器用電管理模組、控制器、智慧排插、冷卻空調系統來使其溫度調節最佳化，及偵煙系統裝置並透過智慧化配電櫃之溫度感測器，來自動開啟配電櫃門，使其在智慧配電櫃在較高溫或是異常溫度下，經由門軸之感測器來做控制門開啟之自動做法。

本文主要探討將資料中心伺服器主機智慧化配電櫃建置方案，做詳細說明及功能應用，當中結合互聯網之概念要點及大數據資料分析要點，做監視系統之資料告警之拓樸運算，並結合遠端操控及遠程郵件伺服器自動發送警報訊息，使其人員在即時狀態下，對資料中心伺服器主機之運轉能有更佳之穩定效率及管理平台。

貳、智慧化配電櫃建置

一、智慧化配電櫃

資料中心機房智慧化配電櫃建置，如圖 1 所示，機房內依伺服器數量而建置智慧化配電櫃，資料中心伺服器主機用電是由市電提供電力，供給伺服器主機用電使用，為使伺服器主機用電不受市電之偶發事件斷電，或是突發狀況之壓降電力影響，伺服器主機用電會建置不斷電系統裝置，來確保市電突發之電力異常之後備機制，保證資料中心伺服器主機用電不受斷電影響，因此在資料中心建置智慧化配電櫃中電力示意圖，如圖 2 所示，將市電引接至智慧化配電櫃內電力用電管理模組，並經由不斷電系統裝置之輸入端，引接市電電源，及輸出端引接至智慧排插用電及空調系統用電，透過智慧排插中每個插座接至各伺服器主機迴路用電[1]，如圖 2 所示。



圖 1 資料中心機房智慧化機櫃圖

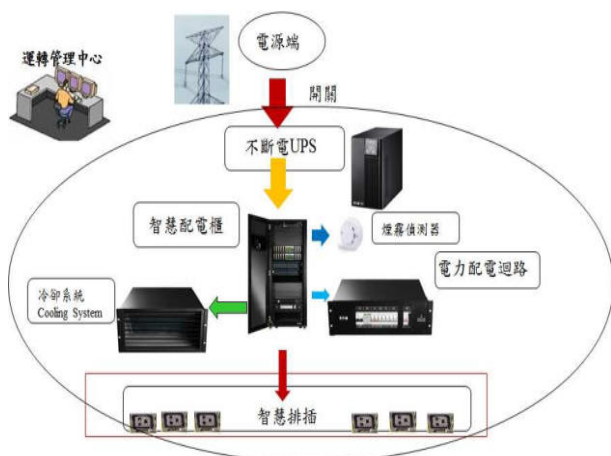


圖 2 資料中心智慧化機櫃電力示覽圖

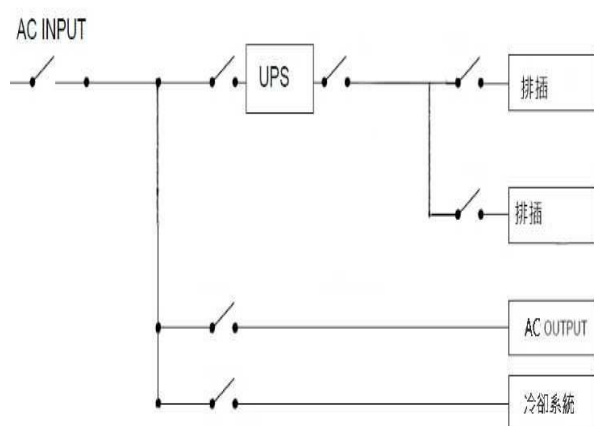


圖 3 智慧配電櫃用電管理模組圖

智慧配電櫃門把由控制器依配電櫃內之過高溫度告警時，會自動將門把自動開啟打開，具有智慧彈門裝置功能，使其藉由門把開啟時將配電櫃之溫度過熱情況排送出去，以防止冷卻系統之備用溫度過高之第二道防線，作為管理智慧配電櫃內之溫度調控。智慧配電櫃同時也搭配人機介面，做為人員現場時讀取或顯示狀況之數值呈現，當告警發生時透過人機介面顯示告警狀況做告警或是故障排除，如圖 4 所示，智慧配電櫃搭配人機介面顯示器。

圖 4 智慧配電櫃及人機介面顯示器
(資料來源:伊頓飛瑞)

二、不斷電系統裝置

不斷電系統 (UPS-Uninterruptible Power Supply)，如圖 5 所示，應用於電力之作法及技術上主要確保負載不受電力事故影響，造成斷電使負載用電仍持續在穩定之電力供電條件下運轉[2]。市電異常時不斷電系統能承受短暫之市電品質異常，而保有持續穩定輸出，供電給伺服主機用電，電池做為市電中斷時，經由電池放電，在電池放電時間中持續供給伺服主機用電。而不斷電系統裝置也建置自我保護，當發生內部異常時，也會經由行為切換模式切換至旁路模式，使其市電供電至伺服主機用電，因此建置不斷電系統裝置，以確保伺服主機用電之可靠度提升。

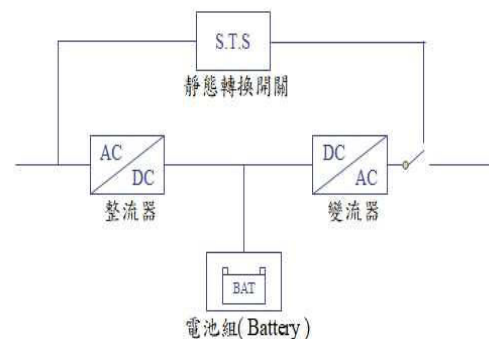


圖 5 不斷電系統裝置架構

整流器之整流方式，具有輸入功因校正功能，做為提高輸入電源的功率因素用，並提供給充電器做為充電器的輸入電源，為避免電池之充電電流過大，充電器的輸出電流應具有限流功能，用來限制電池的充電電流並能調整其充電電流大小，以配合電池容量設計。變流器中，將自整流器或電池組之直流電壓轉變為穩定之正弦波交流，穩定不斷電輸出電壓並可改善輸出電壓總諧波失真之效果。

三、智慧排插

智慧排插設計各分路插座組的伺服主機電力與用電量，確保伺服器的配置及負載平衡並可配備全單式的斷路器做為過載保護之功能，可輕易地確認每個斷路器與對應的插座組使用狀態，並可防止因負載不平衡造成斷路器跳脫的情況發生。而智慧排插設計上都有撥桿式固定栓，以防止插頭因震動或碰撞而造成意外鬆脫，提供智慧排插安全性之使用，如圖 6 所示。



圖 6 智慧排插圖
(資料來源:伊頓飛瑞)

在應用到節能之成效中，智慧排插可透過在插座層級的耗電量量測，可分析每個迴路伺服器的用電量，能更深入的取得各設備的用電量，了解用電效率，以制定出降低能量損耗之做法，達到節約能源之效果[3]。目前不斷電系統使用在資料中心機房中會考量到機房伺服主機用電載量而建置不斷電系統之容量建置，小容量之伺服主機也可規劃為 3KVA/6KVA 容量之不斷

電系統之建置，大容量伺服主機用電，如科學園區大用戶等，會規畫三相機較大容量約 25KVA-80KVA 等不同容量之建置。

四、冷卻空調系統

智慧配電櫃內空調系統中，氣流管理示意圖，如圖 7 所示，由智慧配電櫃門前引氣流進，透過空調系統中 (Cooling System) 在由智慧配電櫃門後排出使其伺服器運轉之溫度有其控制在適溫的環境下運轉不發生過熱情況，冷熱通道全封閉設計，有效隔離冷熱氣流，從而提高製冷效率，此設計方式中也應用於節能成效中，透過溫度之控制[4]，達到如同家用型變頻冷氣之節能做法；而空調運轉之溫度都可透過人機介面或監視軟體呈現。冷卻空調系統最大容量是約 3KW，冷卻空調系統會帶有溫度感測器之連動，作為判斷機櫃內溫度是否有正常之現象，因此，冷卻空調系統會因溫度之情況做冷卻空調之適當處理，採用冷熱通道全封閉系統，是對機櫃內溫度調節具有良好之適當溫度運轉之環境溫度調控，並具有節能之效益。設計中並具有備用之作法，當冷卻空調系統如溫度過高之異常之狀況時，進風溫度偵測會將在機櫃內溫度感測溫度高於臨界值時，機櫃前後門板會自動彈開始其機櫃內之溫度能加以散熱。



圖 7 智慧配電櫃空調氣流示意圖

五、偵煙系統感測器

智慧配電櫃內偵煙系統感測器可偵測到冒煙之情況，及時送出警報透過人機介面顯示及監視軟體，立即得知警報訊息以使人員能立即處置，建立管理制度之模式，如圖 8 所示。



圖 8 智慧配電櫃偵煙感測器圖

七、控制器

控制器是智慧配電櫃之核心，所有資料都會由控制器做收集，並作狀態判讀後依訊號所產生之警告事件，而做出顯示並利用網路管理，結合網域連接將數據傳送至遠方雲端平台，或是系統建置平台上，讓操作人員透過軟體之立即資訊反應接收到即時之現場資訊做快速處理。控制器將各元件設備之資料做為傳輸外，也在所屬資料庫中，建立各設備之通訊資料庫，因此，大數據之資料收集後，可透過人機介面 HMI 做畫面顯示讀值及狀態顯示，並透過雲端管理建置資料庫於系統中使其遠方之監控及數值等資料，保有方便使用者管理及資料保存之功用。而設備均建置有互聯網之作法，將 UPS 或是配電系統設備等均有可以透過控制器做連網之功用，使其遠方之平台可以單一進入所屬設備，做資料讀取及事件之收集等用途管理。

智慧配電櫃內建制有控制器，做為資料收集及狀態判別之數據處理及分析，並由控制器建制警報系統分類及階級，透過監視軟體將即時之狀態呈現在軟體平台中，並以顏色區分來讓人員輕易變別正常或是異常情況，如圖 9 所示。透過控制器並收集紀錄事件之列表，做為管理事件之數據資料庫。控制器中更可藉由郵件信箱

即時將警報之資訊發送到使用者中，使用者也可藉由遠方清楚得知資料中心機房伺服器主機機櫃內之裝置或是電力異常之情況。

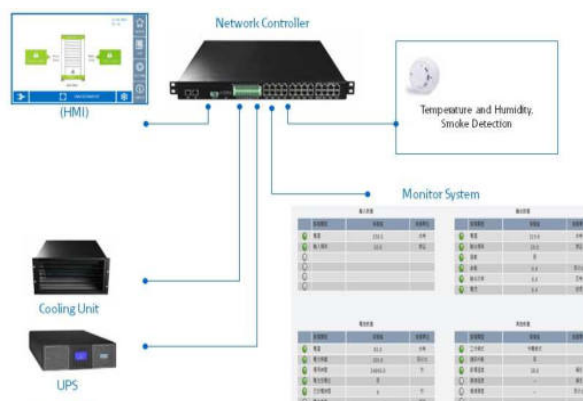


圖 9 智慧配電櫃控制器資料處理及資料收集平台架構圖

(資料來源:伊頓飛瑞)

八、人機界面(HMI)

人機界面是輔佐現場人員對智慧配電機櫃之運行狀態及數值可以透過面板顯示查詢得到資料及相關之運行數值。透過人機界面畫面，使用者可利用所要觀察之設備經由人機界面觸控方式帶入所屬之設備畫面得到及時運行之資訊，如下圖 10 所示。

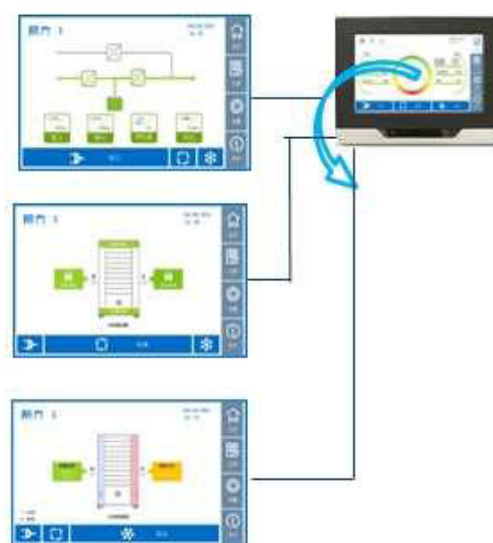


圖 10 智慧配電櫃人機畫面

(資料來源:伊頓飛瑞)

參、結論

資料中心伺服器主機電力建置中，導入智慧化配電櫃並輔以不斷電系統設備、主機伺服器用電管理模組、控制器、智慧排插、空調系統、溫度感測器、偵煙系統感測器、人機介面、監視軟體平台做為資料中心伺服器主機電力建置方案，如圖 11 所示，也透過智慧化配電櫃之導入在資料中心新機房中，帶來機房之節能效益。透過解決方案中，以控制器資料收集及數據分析結果，做為事件或警報之觸發使管理人員及遠方人員，有便利及立即性之管理及處置，以雲端管理，透過伺服器主機之模式將所屬之發送之資料等上傳，做管控及資料讀取及建置，更有助於資料中心機房電力管理。

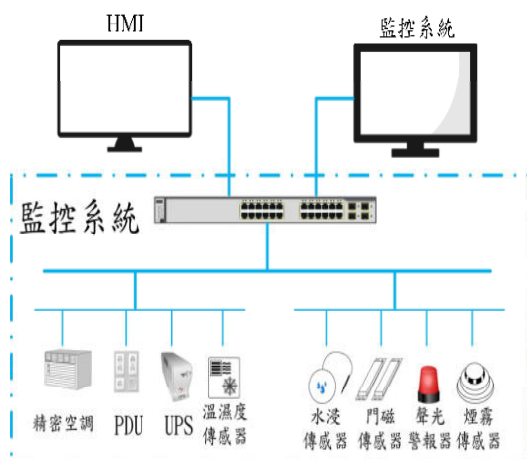


圖 11 資料中心伺服器電力解決方案

參考文獻

- [1] 伊頓飛瑞慕品股份有限公司，
<http://www.eaton.com>。
- [2] 江榮城，“電力品質”，全華圖書，2011年。
- [3] 台灣智慧能源產業協會，
<http://www.taiseia.org.tw>。
- [4] 經濟部能源局，
<https://www.moeaboe.gov.tw>。

高壓輸電線路各類型故障分析

臺北供電區處 楊盛鐘

摘要

由於電力來自發電廠而發電廠均設置在偏遠地區遠離負載中心，為了提升電力輸送能力並減少線路損失，往往須要先將發電廠輸出電力的電壓升高以利長距離輸送，然後再依用電需求逐段降低電壓供下游用戶使用。而電力的輸送任務由架空輸電線路與地下電纜負責，由於台灣地窄人稠架空輸電線路都架設在荒郊野外，使得線路因天然災害或外物碰觸所造成的事故頻傳。另因都市美觀及民眾抗爭地下電纜有越來越多趨勢，由於地下電纜終端匣與接續匣都在工地施工，因施工品質管制不良致故障時有所聞，本文介紹架空輸電線路與地下電纜故障類型與事故時故障相電壓及電流波形變化供相關運轉維護人員做事故分析用。

一、前言

輸電線路是電網的骨幹非常重要，由於涵蓋範圍很廣，經過重山萬嶺維護環境暨惡劣又複雜，很容易遭受天然災害或鳥獸等外物碰觸而引發事故，高壓輸電線路的短路故障會給電網帶來嚴重衝擊，同時也會威脅電網的安全穩定運轉。當輸電線路發生任何短路事故時，居於電力系統第一道防線的保護電驛可以迅速正確的動作，將故障線路兩端的斷路器跳開後將故障隔離消彌事故於無形，由於目前台電公司的輸電線路均採用快速動作的差電流87L保護方式，由於87L電驛的快速動作，可能導致故障線路閃絡痕跡不明顯，增加輸電線路故障後事故點尋找的困難度。如

果在輸電線路因事故跳脫後能夠準確、即時的判斷出故障的可能原因，同時結合目前數位式測距電驛具有的故障距離顯示功能，根據測距位置以及當地地理環境，可以幫助輸電線路維護人員快速準確的發現故障點，縮短停電時間，提升電力系統的供電可靠度及運轉穩定性，具有重大的經濟利益與社會效益。架空輸電線路是電力系統中電網的主要部分，雖然地下電纜也是輸電線路的一部分，但是長距離的高壓輸電線路還是以架空輸電線路為主。架空輸電線路是電力系統中最容易發生故障的設備，架空輸電線路故障依照性質劃分，可以分為暫時性故障與永久性故障，其中暫時性故障主要有雷擊過電壓引發的閃絡與鳥獸碰觸所導致的短路等，永久性故障多是由於氣候或設備本身等原因所引起，如由冰雪天氣或線路老化等所引發的暫時過電壓擊穿輸電線路的絕緣裝置，颱風、地震等所引發的輸電線路永久性短路故障。電纜早在150年前就已經開始使用，由於地下電纜有其顯著的優點目前被廣泛的應用在世界各國電力供電系統中，相較於架空輸電線路地下電纜由於埋在地底下，因此更加安全可靠受當地的氣候及地理環境因素影響較少，隨著城市建設的發展與都市環境的美化，地下電纜在城市供電中所占的比量有越來越高的趨勢，甚至在部分城市裡地下電纜已經完全取代架空輸電線路，使得電力電纜在供電系統中使用得越來越廣泛越普遍，但是隨著電纜數量的增加及長時間的運轉，造成電纜的故障越來越頻繁，由於地下電纜線路的隱蔽性使得電纜故障的查找非常困難，如何準

確迅速的找到電纜故障點縮短搶修停電時間，成為電纜維修人員最重要的課題。當輸電線路發生事故時會產生很大的短路電流，同時使系統中電壓大幅降低，短路點的短路電流及短路電流的熱效應和機械效應會直接損壞電氣設備，電壓下降會影響使用戶的正常工作更影響產品品質，短路更嚴重的後果會因為電壓下降可能導致電力系統與發電廠之間並聯運轉的穩定性遭到破壞，引起系統振盪甚至整個系統瓦解，因此輸電線路的短路故障診斷與分析是一個重點。本文針對架空輸電線路常見的雷擊、風偏、鳥獸碰觸、汗閃、樹閃、外物碰觸以及山火等所引發的架空輸電線路故障特徵進行剖析，利用相關資料對架空輸電線路故障的外部特徵與內部特徵分析說明，外部特徵包括故障發生時對應的天氣、季節以及時間特徵等，內部特徵則為反應故障相電壓與故障相電流的波形變化以及自動復閉的成功機率，另外針對地下電纜接續匣的故障特徵與故障原因提出說明，希望能夠滿足運轉與維護人員的實際需求。

二、架空輸電線路故障類型及故障特徵

架空輸電線路是電力系統與電網的骨幹，它負責工業與民生輸電任務，由於分佈範圍廣且位於荒郊野外人煙稀少地帶，在各種艱困地理環境，致使架空輸電線路是電力系統中最容易發生故障，影響供電穩定嚴重時甚至會造成大範圍的停電造成經濟重大損失，因此提供架空輸電線路各種故障類型及故障特徵對事故後的分析有所幫助以下分別說明各事故特徵。

(一) 鳥害故障的分析與特徵

鳥類會經常降落在架空輸電線路上休息，這對架空輸電線路也會造成危害，其

危害主要來自於鳥糞閃絡、鳥巢材料短路以及鳥類身體的碰觸短路，其中因為鳥糞引起的線路跳脫事故有 348 次^[2]，成為了鳥害故障的主要原因，而鳥巢材料所引起的跳脫則居次，鳥類身體的碰觸短路及鳥啄絕緣礙子所引起的跳脫則相當少見，根據鳥害故障的形成原因說明如下：

1. 鳥糞閃絡

鳥一般在凌晨覓食前排出大量的糞便，因此鳥糞閃絡事故多發生在這段時間，這也是鳥糞閃絡故障的一個特徵，鳥糞是一種極具導電性的混合液體，當鳥起飛的一剎那長長的稀糞會沿著礙子串表面下滑，使絕緣礙子串上形成一條黏稠狀的稀糞短路回路，當鳥稀糞短路 4 片以上的絕緣礙子時就會引發一次單相接地故障。鳥糞所造成的閃絡事故沿礙子串約占 70%^[2]，沿空氣間隙約占 30%，沿礙子串閃絡是由於鳥類糞便順著礙子串下滑造成單相接地，沿空氣閃絡大都是由於風吹鳥糞，使鳥糞對引下線或對橫擔與帶電體放電閃絡，鳥類停在桿塔橫擔上或在桿塔附近飛翔時，其排泄物呈流體狀飄落在絕緣礙子表面而導致閃絡約占 10%^[2]，沿空氣間隙閃絡大都是因為風吹落鳥巢上的樹枝、雜草、草藤、繩索、金屬線等。鳥類對跳線或對橫擔與帶電體的放電閃絡，沿空氣間隙閃絡約占 90%^[2]，鳥糞主要透過短接空氣間隙造成閃絡，鳥糞閃絡是由棲息在桿塔上方的鳥類排泄物所引起的電網閃絡事故是鳥害故障形成的主要原因，鳥糞閃絡可以分為兩種情況，一種是鳥糞污染絕緣礙子引起的閃絡；另一種是因為鳥糞掉落而造成絕緣礙子串周圍的電場畸變所引起的閃絡。由於高導電率的鳥糞會短接部分空氣間隙，即使鳥糞沒有貫通全部通道也可能造成閃絡，由於線路電壓等級不同故障的特徵也不同，對於≤161kV 電壓

等級的線路絕緣礙子串較短，高導電率的鳥糞可以形成較長的短路通道，使空氣間隙的有效絕長度變短，造成空氣電場發生嚴重畸變，在帶電體與糞道末端之間的空氣間隙放電，對於 $\geq 161\text{kV}$ 電壓等級的線路鳥糞通道所占的空氣間隙相較於整個絕緣礙子串比例較小，導致空氣間隙閃絡的機率較低，鳥站在絕緣礙子上的橫擔向下拉稀糞並沿絕緣礙子串下流時會造成單相接地，或是鳥糞隨風吹向帶電體造成空氣間隙擊穿引發閃絡。在垂直排列的導線上如果停留大猛禽鳥時，由於這種鳥排出的糞便較多很容易形成較長的糞流，使兩相導線間絕緣距離不足而發生相間短路事故。鳥害故障具有繼發性某處故障會在同一天或相隔幾天再次甚至多次發生，鳥糞閃絡是一種突發性事件，閃絡前沒有任何徵兆閃絡時也極少為人所見，只能事後巡視登桿塔檢查。因此，鳥糞痕跡一直是作為判斷是否為鳥糞閃絡的重要依據，當絕緣礙子高壓側與鳥糞通路間的空氣間隙被擊穿時所造成的閃絡，會有較大的接地電流並造成線路電壓下降，進而導致線路保護電驛動作跳脫線路，由於鳥糞的導電率較高其所形成的鳥糞通路電阻較小。因此，絕緣礙子的高壓側與鳥糞通路空氣間隙被擊穿時形成的接地電流較大且故障相電壓降幅也較大，反應在故障波形上為後續波形穩定，當線路切除後絕緣礙子周圍電場強度自動恢復絕緣放電通路消失，因此鳥糞故障一般都能夠復閉成功。

2. 鳥類築巢故障

在春季的時候很多鳥類會在輸電線路上進行築巢孵化傳宗接代，鳥類築巢穴的材料多為雜草，雜草在乾燥的天氣對線路的影響不大，但是碰到陰雨天氣時，這些築巢雜草被雨淋濕後如果掉落到導線上或絕緣礙子上，很容易造成架空輸電線路的

接地短路事故，鳥類在進行築巢的時候喜歡銜著雜草、樹枝等物體在輸電線路周邊或是導線之間來回飛行，當雜草等物體掉落在導線之間或是橫擔和導線之間可能會引起線路的故障，在颶大風的時候鳥巢很容易被風吹散若掉落在帶電導線或絕緣礙子上，也會造成短路接地故障。

3. 鳥類捕食故障

鳥類捕食的時候一般都是小型動物如蚯蚓，在飛行的期間都採用口叨的方式，很容易讓小動物的內臟或蚯蚓觸碰導線而引起線路事故。

4. 鳥類飛行故障

鳥類飛行期間口叨著的樹枝等物體很容易掉落到輸電線路上，一旦這些物體掉落在絕緣礙子均壓環或桿塔與導線絕緣之間的縫隙時，很容易形成線路故障，鳥類活動時細長身體停留或短暫停留在架空線路的某些地方，由於細長身體的絕緣性能沒有空氣的絕緣性能好會引起導線與導線間、導線與桿塔絕緣礙子串之間短路，或大型鳥類在導線附近飛行時，有可能造成相間短路。另外，當鳥類停留在絕緣子串附近的導線或絕緣礙子上方橫擔時，有可能會造成空氣間隙變短，使導線對橫擔空氣間隙沿絕緣礙子表面放電而發生單相接地事故。

5. 捕食鳥類故障

由於鳥類在桿塔上築巢或停留在桿塔上休息，會吸引蛇向桿塔上的鳥巢攀爬來捕食鳥類，因蛇本身體型較長在向塔頂攀爬時，很容易形成導線經蛇體放電的接地短路事故，同時故障時的電弧也會把蛇體燒焦。

最近幾年由於生活環境的日益改善鳥類活動頻繁，由鳥害所造成的故障時有所聞，鳥類主要棲息在河道、沼澤地、林區、

水庫、養魚池等有食物有水源的地段，因此鳥害也多發生在這些地區。從時間上看鳥害多發生在春天及秋天的 19 時至次日凌晨，另外從設備情況來看鳥害主要發生在桿塔的礙子串上，因此在天氣良好的春天及秋天的夜晚線路發生故障後，在排除外力故障的情況下應優先判斷為鳥害。由鳥害所引起的輸電線路故障和一般的雷擊、風偏以及山火等故障不同，其故障點多為直線桿塔在懸垂礙子串上經常可以找到一些鳥糞或者鳥類築巢的雜草，在架空地線的線夾或接地螺栓的連接處會有放電現象，在故障點的地方還可以找到鳥類的羽毛或少許的白色粉末。下面圖 1 圖 2 是架空輸電線路鳥害事故波形

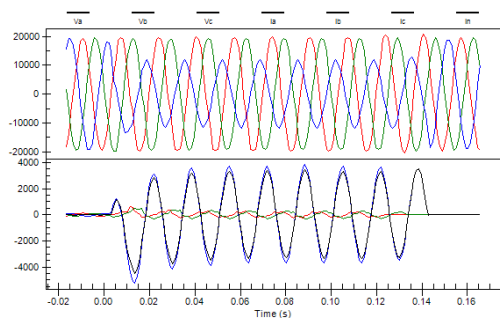


圖 1 鳥害事故波形⁽¹⁾

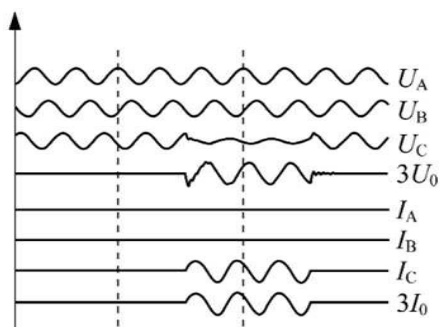


圖 2 鳥害事故波形⁽³⁾

(二)雷擊故障的分析與特徵

由於架空輸電線路架設在空中經過環境惡劣區域最容易遭受雷擊，根據 2011~2013 年間大陸國家電網所屬輸電線路故障原因主要有：雷擊占 42.57%、風偏

占 4.51%、冰害占 7.99%、汗閃占 0.42%、鳥害占 10.36%等⁽²⁾，故雷擊成為輸電線路故障的主因，由於輸電線路本身具有導電能力，當自然界發生雷擊時在輸電線路周圍形成感應電流，致使輸電線路出現雷擊閃絡，輸電線路的雷擊閃絡是由雷雲放電造成的，雷電過電壓經過線路桿塔鐵構放電通路導致線路的絕緣被擊穿，雷擊主要是構建一個放電洩流的通道而讓大地的感應電荷與雷雲中的異常電荷相互中和，其放電過程中所釋放的能量很大，電壓高達數百萬伏特瞬間電流達到數千安培，具有強巨大的電磁力、機械力以及熱效應會破壞電氣設備的絕緣性能，其衝擊電流會讓導線等金屬物體升溫而熔斷，另外雷擊還會導致輸電線路出現震顫，由雷擊電波引起對周圍輸電線路造成干擾。雷擊架空輸電線路會在線路內部形成過電壓，此過電壓來自電力系統外部也被稱為外部過電壓，通常分為感應與直接雷過電壓兩種，當輸電線路發生感應雷過電壓時電流行波為感應電流三相基本相同，發生反擊時在絕緣礙子未擊穿之前電流為電磁耦合電流，擊穿之後線路電流由電磁耦合電流突變為直擊雷電流，發生繞擊時線路電流為直擊雷電流分量。過電壓最容易導致線路內部出現閃絡，而雷擊閃絡放電會在輸電線路絕緣礙子表面形成較為明顯的放電痕跡，當絕緣礙子受到雷擊與放電的影響後會發生鐵件熔化的現象，瓷質材料表面會燒傷脫落，玻璃材質會形成網狀裂紋。由於雷電流很大雷擊後可能造成絕緣礙子閃絡或絕緣礙子炸裂，雷擊和汗閃在導線上留下的燒傷痕跡特徵為：汗閃留下的燒傷痕跡集中僅在線夾或靠近線夾的導線上留下燒傷痕跡，但面積不大痕跡較深燒損較重，雷擊燒傷往往面積較大且分散燒傷程度相對較輕。雷擊有可能造成輸電線路的

永久性故障，此類故障通常是在雷擊過程中造成輸電線路的絕緣礙子整串脫落或架空地線斷線等。雷擊分為直擊、繞擊和感應雷擊三種，直擊又分為直擊桿塔和直擊架空地線兩種，對 69kV 和 161kV 的線路雷擊故障多為直擊反擊現象(通常指遭受直擊雷的金屬體，在引導強大的雷電流流入大地時，在它的引下線接地體，以及它們相連的金屬導體上會產生非常高的電壓，這電位差會引起閃絡。)，至於大跨距線路發生繞擊導線的機率比較高，345kV 線路，由於其空氣間隙較大，鐵塔接地電阻要求較嚴格，發生直擊的反擊現象機率較低大部分都為繞擊導線，架空地線或桿塔遭雷擊後常有下列現象發生：

1. 直線桿塔的懸垂絕緣礙子串遭雷擊放電後，礙子串邊緣會有燒傷痕跡且呈直線分佈，尤其在橫擔側與導線側絕緣礙子燒傷最嚴重，橫擔與掛礙子鐵件之間的聯接點會有燒熔痕跡，懸垂線夾或導線有明顯的銀白色斑點，如果有安裝均壓環則主放電點在均壓環上，導線垂直排列時一般上層絕緣礙子被擊穿的機率較高，導線水平排列時兩邊導線被擊穿的機率較高。

2. 耐張桿塔但無跳線，導線在遭雷擊後，因放電沿最小空氣間隙前進，因跳線是不規則的半圓形，一般不會沿絕緣礙子串擊穿，而是沿直線燒傷橫擔側若干片絕緣礙子後對跳線放電，如果跳線弧垂較大也可能沿耐張絕緣礙子串放電，絕緣礙子串或空氣間隙被擊穿後，由於故障電流的作用橫擔側燒傷最嚴重。

3. 雷擊後絕緣礙子表面放電痕跡明顯燒傷點中間呈白色或白色夾雜黑點，部分瓷釉會有脫落痕跡，邊緣呈黃色或黑色，玻璃鋼絕緣礙子放電痕跡不明顯，對於懸式絕緣礙子如礙子串中有水分，在雷擊大電流的作用下水分發熱膨脹，會使鋼帽鋼

腳分離而發生斷線的事故。

架空線路遭受雷擊故障一般分為繞擊及直擊的反擊現象，在繞擊時雷電繞過架空地線後再擊中導線，由於雷電流具有很高的電壓，超過了線路絕緣礙子的絕緣電壓，因而造成該相導線上的礙子絕緣遭擊穿而發生閃絡進而造成線路跳脫，一般都為單相接地故障，在絕緣礙子閃絡初期雷電流的波頭幅值較大然後會迅速衰減故障相電壓會有擾動情形，隨後雷電流逐漸穩定下來反應在故障波形上為整齊穩定的正弦波，當線路保護電驛動作後將故障切除，由於雷電流已經消失因此雷擊故障一般自動復閉都會成功。至於反擊現象時雷直接擊中桿塔頂部或是架空地線的中央部位，雷電流由塔身經接地線流入大地，由於雷電流的幅值很大，會在塔身上產生較高的電壓，當塔身掛礙子處與導線間電位差超過絕緣礙子的絕緣強度時，會造成該相線路事故跳脫，因此雷電反擊現象故障可能是單相接地故障，也可能是兩相或是三相接地故障，更可能造成同一鐵塔多回線路的多相接地故障，雷反擊現象所造成的絕緣礙子閃絡，其後續過程與雷繞擊所造成的絕緣礙子閃絡過程類似，反應在故障波形上也是前期電壓帶有擾動，後期為整齊穩定的正弦波線路自動復閉成功機率很高。下面圖 3 圖 4 是架空輸電線路雷害事故波形。

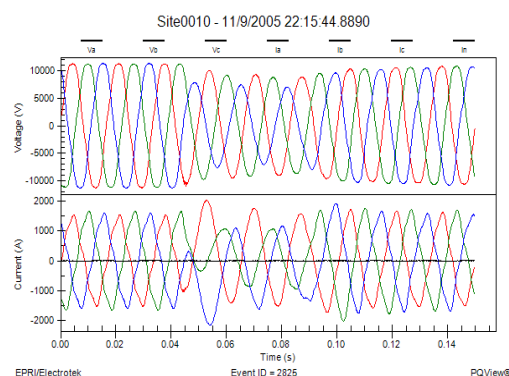


圖 3 雷害事故波形^[1]

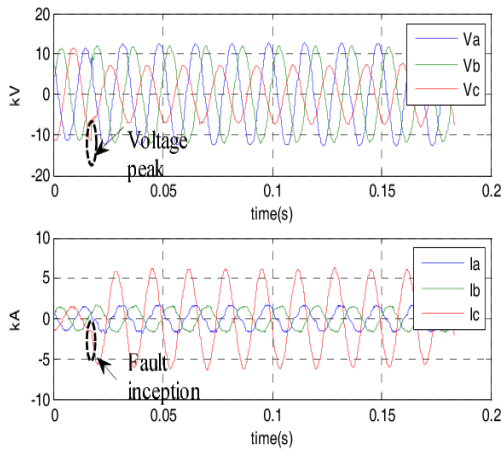


圖 4 雷害事故波形⁽¹⁾

(三) 導線覆冰閃絡故障的分析與特徵

導線覆冰主要發生在冬季或溫度比較低的地區，導線覆冰初期發生在導線的迎風面，當導線迎風面的冰覆蓋到一定厚度時，在重力的作用下導線扭轉而有新迎風面旦生，導線經過多次的扭轉最後在導線上形成橢圓形或圓形的覆冰，在單體導線覆冰時由於扭轉強度小在偏心覆冰作用下，導線發生較大扭轉使覆冰接近圓形，而分裂導線覆冰時由於間隔器的作用使得導線的扭轉很小造成導線覆冰的不對稱，當導線上覆冰不均勻時由於其斷面的不對稱，風吹導線時就會產生舞動，導線舞動將引起差頻荷重，導致鐵件損壞導線斷股及相間短路等事故、由於覆冰層會隨著溫度降低而逐漸加厚，覆冰層一旦形成將會對輸電線路產生荷重過大及絕緣礙子冰閃絡等現象，進而造成桿塔變形、桿塔倒塌或絕緣礙子受損閃絡的故障，輸電線路覆冰造成的事故可以分為：

1. 線路覆冰的過荷重事故：當導線上的覆冰重量到一定程度時會造成導線和架空地線從壓接套管內拉出，也可能導致整根拉斷的事故，甚至破壞基礎引起塔身傾斜或桿塔倒塌導致事故，當線路覆冰時因重力增加而造成弧垂變大，以致導線對地

間距變小而造成接地閃絡，也會因導線舞動而引起導線間的線間閃絡。

2. 不均勻覆冰或不同步脫冰事故：覆冰導線在氣溫升高或自然風力作用下以及人為振動敲擊下，會產生不均勻脫冰或不同步脫冰，導線不均勻脫冰也會使線路產生機械或電氣事故對導線傷害很大，因為導線不均勻覆冰或不同步脫冰都會產生張力差嚴重時會造成導線斷線，不均勻覆冰和不同步脫冰的區別在於，不均勻覆冰其張力差是靜荷重會造成導線的線股斷口有內縮現象，其次因鄰檔張力不同致使絕緣礙子串產生較大的偏移，會造成絕緣礙子損傷或破裂。

3. 絕緣礙子串冰閃事故：在絕緣礙子嚴重覆冰的情況下，會造成礙子串礙子與礙子之間的邊緣因冰柱而短接，絕緣強度降低洩漏距離縮短，在冰融化的過程中，冰表面的水膜很快溶解汙穢中的電解質，使冰面水膜的電導率增加，造成絕緣礙子串電壓分佈及單片絕緣礙子表面電壓分佈的畸變而降低其閃絡電壓。在惡劣天氣和特殊地理環境下，大氣中的汙穢顆粒進一步增加冰面水膜的電導率最後形成冰閃，在閃絡過程中電弧會燒傷絕緣礙子，致使絕緣礙子絕緣強度下降，這將對輸電線路的安全可靠運轉產生直接影響。當絕緣礙子表面被冰雪覆蓋造成貫通性閃絡時會形成接地放電通路出現較大的接地電流，造成線路電壓下降進而引起線路保護電驛動作。由於絕緣礙子表面的融冰水膜使得接地電阻相較於金屬性接地要大很多，因此冰閃絡所引起的線路電壓降和短路電流幅值比金屬性接地故障要小，而其貫通性閃絡所造成的短路電流較穩定，反應在故障波形上是整齊穩定的正弦波形，當保護電驛動作線路跳脫後因放電通道消失，同時故障電流通過時所產生的熱量一併將覆蓋

在絕緣礙子上的水膜蒸發掉了，因為覆蓋在絕緣礙子表面的水膜已消失不再形成貫通性閃絡因此自動復閉能夠成功。當絕緣礙子發生冰閃後，一般沿絕緣礙子表面形成的冰柱放電，未被冰柱短接的絕緣礙子會有燒傷，尤其是橫擔側第一片絕緣礙子表面會有明顯燒傷痕跡，被冰柱短接的絕緣礙子由於短路電流直接通過冰柱導通，故絕緣礙子表面一般不會有明顯燒傷痕跡，尤其是玻璃鋼絕緣礙子其燒傷痕跡更不明顯，至於導線覆冰閃絡其故障點的查找可參照風偏故障。下圖 5 是導線覆冰閃絡事故波形

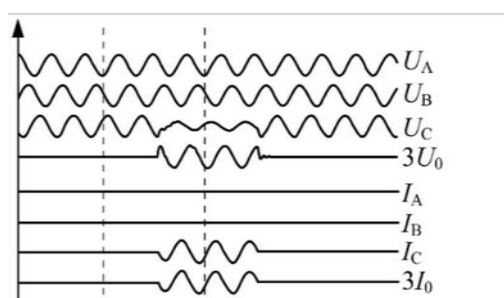


圖 5 導線覆冰閃絡事故波形⁽³⁾

(四)絕緣礙子污穢閃絡的分析與特徵

輸電線路的絕緣礙子要在大氣過電壓與內部過電壓和長期運轉電壓下都能可靠運轉，但沉積在絕緣礙子表面的污穢物在潮濕天氣作用下，將使絕緣礙子的電氣強度大幅降低，輸電線路在運轉電壓下發生污穢閃絡事故。污閃是指輸電線路長期暴露在空氣中，其表面會吸附空氣中的污染物，受污染絕緣礙子在受潮後含在污穢層中的可溶性物質逐漸溶解於水中，並在絕緣礙子表面上形成一層薄薄的導電薄膜，這層導電薄膜的導電率取決於污穢物的化學成分和潤濕程度，在潤濕飽和時污穢層的表面電阻會降低，使得絕緣礙子的洩漏電流劇增，導致輸電線路絕緣層的絕緣能力大幅降低，在電場作用下會發生強烈的

放電現象。由於空氣中漂浮的塵埃微粒會在輸電線路的表面漸漸累積，隨著時間的增加就會形成一層污穢層，這層污穢層在比較乾燥的天氣下，電阻會非常大對絕緣的破壞性不大，對輸電線路不會造成太大的影響，但是在比較潮濕的大霧天候下污穢層容易受潮，污穢層內部的電解質就會游離出更多的電解質，增加污穢層的導電性造成污穢層的放電而發生污閃事故，污閃的主要特徵是沿絕緣礙子表面放電，因此發生污閃後大部分絕緣礙子表面都會有不同程度的燒傷，放電通道形成的燒傷痕跡不會呈直線，而是不規則的分佈在絕緣礙子表面，在絕緣礙子的鋼帽、鋼腳等連接處也可能會有輕微燒傷痕跡，導線一般不會有明顯燒傷痕跡。污閃一般發生在鹽份或灰塵偏高的重污染地區及絕緣距離較低的線路上，瓷質或玻璃鋼絕緣礙子容易發生污閃，複合型絕緣礙子因有較好的抗水性不易發生污閃，瓷質絕緣礙子發生污閃後痕跡明顯，玻璃鋼絕緣礙子痕跡不明顯，放電點在玻璃表面會有輕微變色，污穢絕緣礙子在大雨中一般不會發生污閃，因為絕緣礙子表面被雨水完全淋濕後，雨水形成連續的導電層洩漏電流大幅增加使沿面閃絡電壓降低，而且大雨把污穢沖洗掉一部分，對絕緣礙子表面的導電膜有稀釋作用，在大雨時很難形成烘乾帶而引起局部電弧，絕緣礙子表面沉積的污穢物種類繁多，按污穢物來源大致可分為兩大類：第一類自然污穢：該類污穢主要來自於海洋、沼澤和土壤等自然環境，如塵土、鹽霧等。

第二類工業污穢：工業污穢是在工業生產過程中由煙囪排出的氣體、液體和固體等污穢物質大氣環境中污穢按形狀可以劃分為顆粒性污穢和氣體性污穢兩類。顆粒性污穢包括灰塵、煙塵、金屬粉塵、液

滴、雨滴、霧滴等；氣體性汙穢呈氣態彌漫在空氣中，具有很強的覆蓋性能，此類型汙穢包括各種化工廠排出的氣體、海風帶來的鹽霧等。絕緣設備汙閃是指由於表面積聚的汙穢物在特定條件下發生潮解，沿設備表面的洩露電流急劇增加，導致設備發生閃絡的現象，汙穢閃絡必須經過4個階段：汙穢的沉積、汙穢的濕潤、烘乾區的形成及局部電弧的產生、由局部電弧發展成完全閃絡，至於發生汙閃的特徵有：1. 汙閃在絕緣礙子串兩端各1~2片絕緣礙子表面留有明顯閃絡痕跡。2. 大霧、毛毛細雨、細雨加雪是汙閃最容易發生的天氣。3. 雙串絕緣礙子比單串絕緣礙子容易汙閃。4. 汙閃會導致絕緣礙子炸損。5. 絕緣礙子串有覆冰、積雪現象時，在冰雪融化時更容易發生閃絡。由汙穢所引起的絕緣閃絡事故目前在電網總事故中占第二位僅次於雷害事故，汙閃發生多重故障跳脫機率很高因此復閉成功率很低，而且汙閃大都有區域性很容易發展成電網大面積停電事故，嚴重威脅電網安全穩定運轉。下圖6絕緣礙子汙閃事故波形

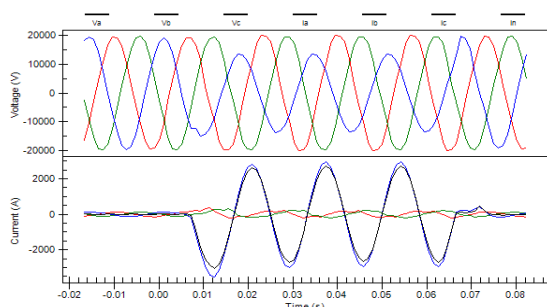


圖6 絕緣礙子汙閃事故波形⁽¹⁾

(五) 吊車碰觸架空線的故障分析與特徵

吊車碰觸架空線的故障屬於外力破壞之一，是指人們有意或無意而造成的線路故障，台灣地區的外力破壞都是由於人們疏忽大意所造成。近年來，輸電線路遭到

人為過失破壞的問題越來越嚴重例如：竹木碰觸、山火濃煙、吊車碰觸、動物碰觸以及風箏等。在輸電線路附近吊車吊起重物時吊臂離輸電線路距離太近，導致輸電線路與吊車間安全距離不足而發生導線對吊車放電的閃絡事故，很容易導致大面積停電嚴重時甚至造成人員的傷亡。當吊車吊臂在接近帶電導線時，電流擊穿導線與吊臂之間的空氣間隙，並且通過吊臂與吊車的接地線分流進入大地，一般吊臂都為金屬導體，因此在線路的故障瞬間，吊臂與導線的距離以及吊車的接地電阻大小，都會影響故障相電壓和故障相電流的變化數值，反應在故障波形上故障相電壓和故障相電流的變化幅度不完全相同，而且變化範圍較大但波形突變很明顯，即故障相電壓有效值迅速減小，而故障相電流有效值迅速增大。發生故障後吊車吊臂一般無法迅速移開，因此自動復閉往往無法成功，一般吊車碰觸導線的故障以單相接地故障或兩相接地故障居多，而其故障相電壓與故障相電流波形突變明顯，變化幅值依接地電阻大小而定在較大範圍內變化，故障相電壓降幅大約20%~85%⁽²⁾，而3V0及3I0有明顯增大現象。下面圖7~圖9是吊車碰觸導線事故波形

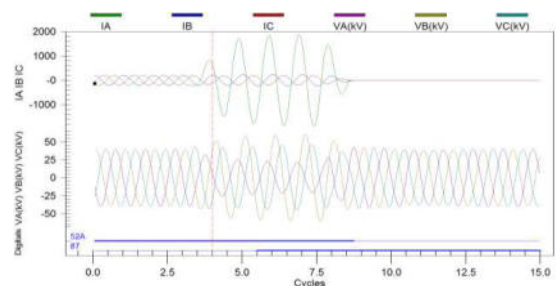


圖7 吊車碰觸導線事故波形

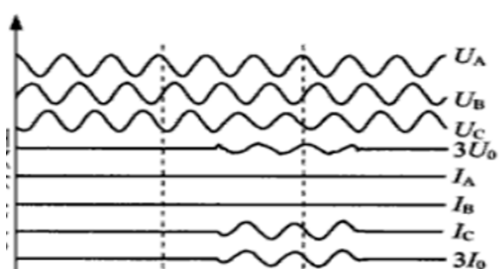


圖 8 吊車碰觸架空線事故波形(單相接地)⁽³⁾

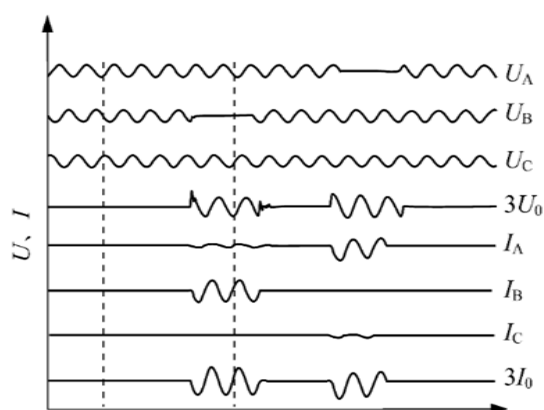


圖 9 吊車碰觸架空線事故波形
(兩相短路接地)⁽³⁾

(六) 異物碰觸架空線的故障分析與特徵

風將物體吹起碰觸帶電導線與地之間，破壞空氣絕緣而造成絕緣擊穿因而引起事故，另外異物將導線相間短路，甚至異物碰觸兩回帶電線路而引發事故，而異物有金屬物體、塑膠布、鋁箔紙或紡織品等，反應在故障波形上故障相電壓與故障相電流波動較大，電壓降幅約 20~90% 而故障電流約 2KA~10KA 不等，由於碰觸的異物材質不同、天候條件不同、放電通路不同，因此故障相電壓與故障相電流變化幅度較大，在強風吹襲下大型塑膠布或屋頂鐵片等大型異物碰觸導線經常會造成相間短路，甚至是同鐵塔雙回線同時跳脫，若碰觸異物面積大故障時短路電流不易燒斷造成復閉不成功，在故障過程故障相電壓降幅較大約 50%~90%⁽²⁾，如果碰觸異物較小短路電流可將異物燒斷因此復閉可以成功，異物較小電壓降幅較小短路電流也較

小。下面圖 10 及圖 11 係異物碰觸架空線導線事故波形圖

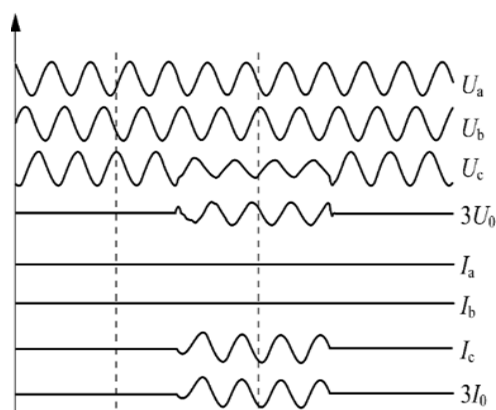


圖 10 異物碰觸架空線事故波形
(單相接地)⁽³⁾

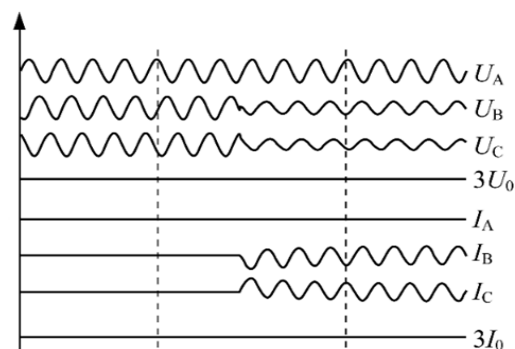


圖 11 異物碰觸架空線事故波形
(兩相短路)⁽³⁾

(七) 山火濃煙的故障分析與特徵

當架空線路下方發生火災時，因空氣在高溫下的熱游離作用及燃燒後產生的導電顆粒降低空氣絕緣強度，當空氣絕緣強度無法承受線路高壓時就會被擊穿，而造成單相接地故障或相間短路故障，濃煙故障空氣間隙較長接地電阻相較於金屬性接地要大得多，擊穿後的短路電流較為穩定反應在故障波形上為整齊穩定的波形，由於火災一般會持續一段時間空氣中的導電顆粒也會持續存在因此濃煙故障很難復閉成功。線路山火跳脫通常是因為導線空氣間隙被擊穿或絕緣礙子損壞如果是熱游離造成空氣間隙被擊穿，那麼最有可能被擊

穿的應該是導線與桿塔之間的空氣間隙，在線路山火跳脫事故中導線對地放電約占 90%⁽²⁾，導線對桿塔放電約占 9%，山火跳脫分四個階段：

1. 火焰抬升階段：火焰在風力作用下燃燒強度增加同時火燄高度增加，煙霧和灰燼被火焰捲入相與地以及相與相之間的空隙中。
2. 導線對火焰發生放電階段：當火焰靠近高壓導線時電暈流注放電產生活性基加速燃燒，並形成爆炸性火球促進放電發展。
3. 電弧形成階段：在磁場的作用下火焰化學電離和熱游離，造成導線附近的顆粒觸發導致放電產生的電荷聚集到放電通道形成電弧，最後發生跳脫。
4. 線路重合閘階段：火勢較強處容易發生山火擊穿，復閉時間短火勢沒有減弱，且復閉過程產生的電壓可能導致導線放電形成短路故障而復閉失敗，線路山火跳脫通常是導線間空氣間隙被擊穿或絕緣礙子損壞等造成。

一般由山火濃煙所引發的故障有下列特徵：

1. 復閉成功機率低，當輸電線路因山火事故跳脫後復閉電驛一般約在 1 秒後動作，因山火高溫 and 煙塵濃度往往會持續幾十秒以上，在這時間內線路間隙的絕緣強度大幅降低，因此線路運轉電壓或復閉後產生的操作過電壓都可能將間隙再次擊穿，導致復閉後斷路器再次跳脫，如果火勢掠過後煙塵變得稀薄，空氣間隙絕緣強度可迅速自動恢復則復閉成功機率較高。
2. 山火放電距離較長，空氣間隙中的放電大都發生在帶電體與接地體的最短路徑之間，由於山火的火焰和煙塵形成的通道絕緣強度大幅降低，因此放電不會

沿導線對桿塔間隙或絕緣礙子串發生，而是沿著距離較長的煙火通道發生。下面圖 12 是山火濃煙事故波形

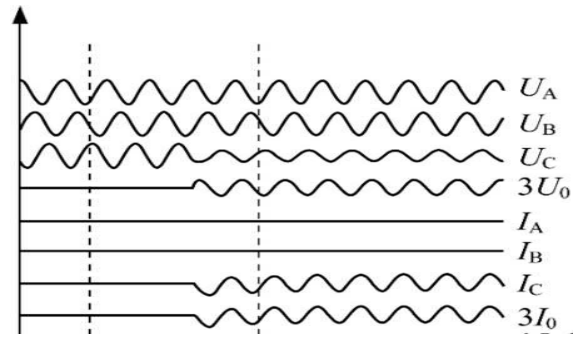


圖 12 山火濃煙事故波形⁽³⁾

(八) 竹木放電的故障分析與特徵

當氣溫升高成重載時導線會下垂，使得導線與線下樹木安全距離不足而發生單相接地故障，一般以最接近地面的導線最容易發生，因為空氣間隙較長其接地電阻相較於純金屬性接地要大很多，因此竹木放電故障所引起的線路壓降和短路電流相較於純金屬性接地故障要小，由於樹枝擺動和燃燒等原因，在擊穿後的故障電流較不穩定，反應在故障波形上為不整齊的波形，短路電流造成的高溫會把樹枝燒掉增加樹木與導線間的空氣距離，因此，竹木放電故障多為暫時性故障所以復閉成功機率很高。

下面圖 13 是竹木放電事故波形

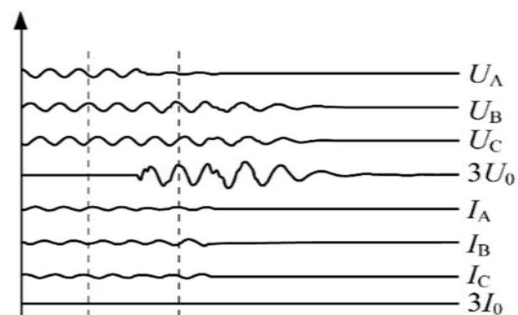


圖 13 竹木放電事故波形⁽³⁾

(九) 風偏的故障分析與特徵

輸電線路所處環境較為複雜大部分位

於複雜的山區地形，同時輸電線路較長所經的路段一旦有大風出現，則輸電線路直接在風的作用下會發生搖擺，導致導線對鐵塔或導線對導線之間的空氣間隙距離變小，當此間隙距離的電氣強度無法忍受系統最高運轉電壓時便可能會發生擊穿放電即風偏閃絡事故。

1. 微風振動：微風振動是在風速不大的情況下產生的垂直有規律的一上一下波浪狀高頻低幅的往返運動，微風振動的能量及振幅雖然都不大，但是發生振動的時間卻很長，約占全年時間的30%~50%

⁽³⁾，當懸垂線夾處的導線長期處於這種反復波折的狀態，容易引起導線的耐受疲勞強度降低導致斷線。

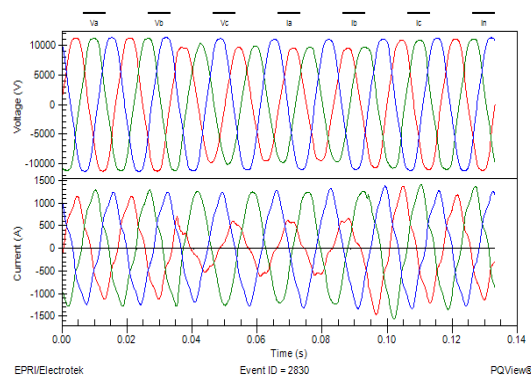
2. 舞動：舞動是指由水平方向的風對非對稱截面導線所產生的升力而引起的一種低頻大振幅的自激振動，舞動會造成導線的相間距離縮短或碰撞而產生閃絡燒傷導線，

3. 風偏故障：風偏是指輸電線受風力的作用偏離其垂直位置，很容易造成導線相間距離不足而放電，導線對桿塔、邊坡、樹木、凸出的岩石或其它物體放電，一旦發生風偏跳脫後自動復閉的成功機率較低。

4. 大風故障：大風故障即大風影響輸電線路的安全運轉，通常由大風造成的故障有兩類：(1)風力超過桿杆塔的機械強度而發生桿塔傾斜或傾倒所引起的事故。(2)風力過大使導線承受過大風壓產生導線擺動，而引起導線之間相互碰觸而造成導線相間放電的閃絡事故。

5. 次檔距振盪：次檔距振盪是在採用分裂導線的線路，在大風的情況下發生兩間隔器間線段的振盪，次檔距振盪會造成同相分裂導線間互相碰撞而造成導線損傷。

導線或跳線因垂直荷重不足，在大風作用下對桿塔鐵構放電這種放電現象的特點是：絕緣礙子不會燒傷但導線側1~2片絕緣礙子會有輕微燒傷；導線、導線側懸垂線夾或防振錘燒傷痕跡明顯，直線桿塔的導線放電點比較集中，跳線放電點比較分散，物體的放電痕跡一般為燒焦狀的黑色，由於部分輸電線路位於樹木附近，當這些樹木不斷生長而突破與輸電線路之間的安全距離，一旦樹木受強風吹襲則會導致接地故障發生。下面圖14是風偏事故波形



Transmission Line tripped during a major storm..

圖 14 風偏事故波形⁽¹⁾

三、地下電纜的故障分析與特徵

在電力系統中電能的輸送主要透過架空線路和地下電纜，隨著經濟的發展及都市美觀地下電纜所占比率越來越高，台灣夏季炎熱多雨潮濕是電纜最容易發生故障的季節，而電纜的故障性質與分類如下：

(一)以故障材料特徵分類

可分為串聯故障、並聯故障及複合故障三類。

1. 串聯故障

串聯故障是指電纜一個或多個導體(包括鉛、鋁外皮)斷開的故障，它是廣義的電纜開路故障，因纜芯的連續遭到破壞形成斷線或不完全斷線，不完全斷線不容易發現串聯故障分為：一點斷線、多

點斷線、一相斷線、多相斷線等。

2. 並聯故障

並聯故障是指導體對外皮或導體之間的絕緣能力下降，無法承受正常運轉電壓而發生的短路故障，它是廣義的電纜短路故障，這類故障主要由纜芯之間或纜芯對外皮間的絕緣破壞而形成的短路、接地、閃絡擊穿等，在現場出現機率較高並聯故障可以分為：一相接地、兩相接地、兩相短路、三相短路等。

3. 複合故障

複合故障是指纜芯與纜芯之間的絕緣均出現故障，它包括一相斷線並接地、兩相斷線並接地、兩相短路並接地等。

(二)以故障點絕緣特徵分類

根據電纜故障點絕緣電阻 R_f 與擊穿間隙 G 的情況，電纜故障又可分為開路故障、低阻故障、高阻故障、閃絡故障等，其中間隙擊穿電壓 U_G 的大小取決於故障點放電通道即擊穿間隙的距離 G ，絕緣電阻 R_f 的大小取決於故障點電纜介質碳化程度，分佈電容 C_f 的大小取決於故障點受潮程度。

1. 開路故障

電纜金屬部分的連續性受到破壞形成斷線，且故障點的絕緣材料也受到不同程度的破壞，現場利用高阻計測量其絕緣電阻 R_f 為無窮大(∞)，但在直流耐壓試驗時會出現電擊穿，檢查芯線導通情況會有中斷點，現場一般以一相或二相斷線並接地的方式呈現出來。

2. 低阻抗故障

電纜絕緣材料受到損傷而出現接地故障，現場利用高阻計測量其絕緣電阻 R_f 值小於 $10 Z_0$

(Z_0 為電纜的波阻抗，一般取 $10 \sim 40 \Omega$)。

3. 高阻抗故障

電纜絕緣材料受到損傷出現接地故障，現場利用高阻計測量其絕緣電阻 R_f 大於 $10 Z_0$ ，在直流高壓脈衝試驗時會出現電擊穿，高阻抗故障是高壓電力電纜出現機率最高的故障，其故障率達總故障的 80%⁽²⁾ 以上。

4. 閃絡故障

電纜絕緣材料受到損傷出現閃絡故障，現場利用高阻計測量其絕緣電阻 R_f 為無窮大(∞)，但在直流耐壓或高壓脈衝試驗時會出現閃絡性電擊穿，閃絡故障點比較難測特別是新敷設的電纜進行預防性試驗出現閃絡故障時，現場一般使用直流閃絡法進行探測。

(三)以故障觸發原因及故障點特徵分類

根據電力電纜在運轉或預防性試驗中，電纜和電纜頭及中間接續匣出現不同特徵的絕緣破壞，可分為放炮故障、擊穿故障和運轉故障。

1. 放炮故障

運轉中的電纜由於各種原因絕緣出現嚴重損壞造成跳脫事故稱為電纜放炮，這類故障的特徵是：電纜故障點大都有鉛包或銅皮破裂，外部有不同程度的變形，電纜故障形態為兩相短路接地或兩相斷線並接地其接地電阻一般較小，解剖故障點可以發現電弧擊穿的碳化點或樹狀放電碳道與裂痕，電纜放炮故障其故障特徵明顯，只要確定是單相接地或短路接地或斷線接地後再利用聲測法就可以測得故障點。

2. 擊穿故障

實際工作中因為預防性試驗而觸發的電纜絕緣破壞事故習慣稱為電纜擊穿，該類故障都發生在直流電壓測試時，其絕緣破壞為電擊穿接地點，一般鉛包或銅皮完好外部無明顯變形，電纜擊穿故障多為接地故障其接地電阻較大，解剖故

障點絕緣材料無碳化點，但透過儀器可以發現碳孔和水樹老化。

3. 運轉故障

這類故障的最大特點是不明確，電纜運轉故障的極端形式就是電纜放炮(如兩點接地引發的相間短路)，另外在做停電檢查時由於耐壓不良而發展成電纜擊穿故障(如電纜老化、絕緣不良等)，這類故障一般外部也沒有明顯變形，接地電阻也不太高(一般幾十至幾百歐)，電纜解剖後故障點有細微的碳化點。

(四) 高壓電纜頭與接續匣的故障原因分析

與電纜本體相比電纜頭及接續匣是較薄弱部位其故障率約占電纜線路故障的95%⁽²⁾，由於電纜頭與接續匣製作施工过程中有很多中間導體連接部位，若連接點接觸電阻過大溫升加快發熱大於散熱促使接頭的氧化膜加厚、連接鬆動或開焊導致接觸電阻變大溫升加快，如此惡性循環最後導致電纜接頭的絕緣層破壞形成相間短路、對地擊穿放電或著火最後引發電纜頭燒毀或爆炸事故等，

1. 根據電磁熱效應原理電纜頭在運轉中會消耗一定的電能而產生一定的熱量，由於通風不良等原因，引起電纜頭局部溫度異常升高最終引發電纜頭事故。

2. 由於電力系統內電力電纜和非線性用電設備快速增加改變系統中L、C的運轉參數，致使系統中發生鐵磁共振的機率升高，由於串聯諧振或並聯諧振產生的過電壓和過電流，造成電纜頭的絕緣加速劣化最後導致電纜頭故障 3. 電纜終端三相固定在支架上因電纜頭及電纜重量會有下拉力量及機械擠壓等造成接頭鬆動變形，導致電纜接頭電阻增加而誘發故障，若電纜頭三相電纜彎曲半徑不足導致電纜線芯與電纜頭絕緣附件機械損傷導致電纜頭局部出現發熱及絕緣強度降低導致故障發生。

3. 戶外電纜終端頭或接續匣製作必須在天氣晴朗空氣乾燥，相對濕度在70%以下時進行，如果在空氣濕度大於70%的環境下作業，終端頭的配件材料和絕緣體表面都會附有水氣，在電場作用下就會產生水樹劣化，在高溫和交流電場作用下逐步轉移向電樹，最後絕緣強度降低形成內閃直到絕緣擊穿造成故障，電力電纜在使用過程中會因上述原因產生故障有：

短路性故障：有兩相短路和三相短路都是在製造過程中留下的隱患所造成的。

接地性故障：電纜某一芯或數芯對地擊穿絕緣電阻低於10kΩ稱低阻抗接地高於10kΩ稱為高阻抗接地，主要由電纜腐蝕、鉛皮裂紋、絕緣乾枯、接續匣製作和材料不良所造成。

斷線故障：電纜某一芯或數芯全斷或不完全斷線，電纜受機械損傷、地形變化的影響或曾經發生過短路事故都可能造成斷線。

混合性故障：上述兩種以上的故障組合。下面圖15圖16是電纜故障時電壓與電流波形

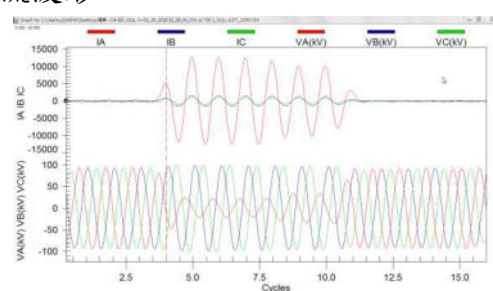


圖 15 161KV 電纜接續匣故障波形⁽¹⁾

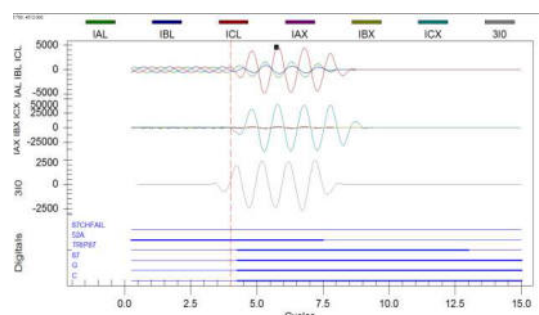


圖 16 161KV 電纜遭挖損故障波形

四、各類型故障的故障波形比較

吊車碰觸導線的故障多為單相接地或兩相接地故障，強風吹襲異物碰觸導線的故障多為單相接地或相間短路及兩項同時發生的故障，至於雷擊故障多為單相接地或兩相接地和三相接地故障，至於冰雪所造成的閃絡與鳥害和竹木放電故障一般都為單相接地故障，濃煙造成的短路故障一般為單相接地或者相間短路故障。就故障後復閉電驛的動作成功機率而言，吊車碰觸導線復閉的成功率約 2 成，而強風吹襲異物碰觸導線的復閉成功率約 6 成，至於雷擊事故的復閉成功率高約 8 成，冰雪、鳥害、竹木放電復閉成功率約 9 成，而濃煙造成的短路故障其復閉成功率較低約 3 成左右⁽²⁾。

根據故障時故障相電壓和故障相電流的波形分析，吊車碰觸導線與強風吹襲異物碰觸導線其波形變化幅度大而且複雜，主要是吊車碰觸導線與強風吹襲異物碰觸導線其故障形態複雜，並且與故障點位置、接地電阻、短路方式、接觸性放電、空氣擊穿放電、異物材質、吊車本身的接地情

況有關，每一次故障都不相同反應在故障電壓和故障電流的波形上沒有規則性，而且故障電流與故障電壓的幅值變化較大，至於雷擊或其他類型故障其波形相對的較為整齊，但彼此之間很難透過波形上的特徵來區分，至於故障相電壓和故障相電流的狀態量變化主要與故障類型有關，相間故障主要是故障相電壓下降和故障相電流上升，至於接地故障除了故障相電壓和故障相電流變化之外還會有零序電壓 $3U_0$ 與零序電流 $3I_0$ 的產生，吊車碰觸產生的故障其電壓降幅約 20%~85%⁽³⁾，強風吹襲異物碰觸導線的故障其故障相電壓降幅為 20%~90%⁽³⁾，至於雷擊輸電線路的故障其故障相電壓降幅約 10%~80%⁽³⁾，冰雪覆蓋導線所引發的故障其故障相電壓降幅約 20%~60%，鳥害故障其故障相電壓降幅約 70%~90%⁽³⁾，濃煙故障時其故障相電壓降幅約 35%~55%⁽³⁾，竹木放電故障其故障相電壓降幅約 70%⁽³⁾。

表一為各類型故障的故障波形比較一覽表

表一各類型故障的故障波形比較一覽表

故障類型	故障型態	故障相電壓降幅	故障相電壓電流波形	復閉成功率
雷擊	1Φ-G; 2Φ-G; 3Φ-G	10%~80%	前期擾動後期整齊	80%
鳥獸碰觸	1Φ-G	70%~90%	整齊穩定	90%
吊車碰觸	1Φ-G; 2Φ-G	20%~85%	變化大且複雜	20%
風吹異物	1Φ-G; Φ-Φ	20%~90%	變化大且複雜	60%
竹木放電	1Φ-G	70%	不整齊有擾動	90%
山火濃煙	1Φ-G; Φ-Φ	35%~55%	整齊穩定	30%

五、結論

輸電線路故障原因大致可分為自然因素和外力破壞兩類，其中自然因素又分雷

擊、強風、鹽霧害、覆冰等，外力破壞根據破壞行為分為：施工作業吊車碰觸、樹木碰觸、鳥類災害、線路周邊焚燒或山林大火、空飄物等。雷擊故障往往引起絕緣

礙子閃絡放電，鐵件部分有明顯的融化燒痕，絕緣礙子表面瓷釉燒傷脫落，合成絕緣礙子傘裙護套燒白氧化，均壓環燒出孔洞，有時因接地電阻較高接地螺栓連接部位出現燒黑或點焊痕跡。大部分鳥害故障發生在春凌晨時段，因鳥類排泄物為高導電介質鳥糞沿著橫擔或絕緣礙子隨風墜落形成放電通路，鳥害事故一般屬暫時性故障，鳥類在桿塔上築巢引發蛇類向桿塔攀爬往往造成電氣安全距離不足也會引發線路故障。空飄物故障特點是故障發生前有大風，線路周邊有塑膠棚、垃圾場、建築工地等廢棄物較多場所，故障後一般復閉成功機率高電氣部位有放電痕跡導線斷股或燒痕明顯在春秋兩季較常發生。焚燒或山林大火故障的特點是經常發生在天乾物燥的夏季，焚燒不僅烘烤桿塔使強度下降造成桿塔倒塌或斷線的嚴重事故，另外燃燒後的物質在空中懸浮極易引發電氣部位安全間隙不足而放電造成線路跳脫。線路風偏故障都發生在暴雨強風天候極端惡劣時，大都為單相接地或兩相接地故障，復閉成功機率低，絕緣礙子有閃絡痕跡或接地線斷股斷線現象。樹木放電故障一般發生在高溫重載的夏季中午時段，大都發生在離地面最近的導線，以單相接地故障居多而且復閉都會成功，線下樹木被燒焦樹皮爆裂炸開，地面易燃物引燃後有灰燼導線有燒傷放電痕跡。電力電纜和架空線路主要用於電力傳輸，由於電力電纜具有受外界因素如雷害、風災等影響小，對市容環境影響小及供電可靠性高，發生事故不易影響人身安全等優點，電力電纜本體是由純淨的材料在乾淨環境裡連續製造而成品質有保障，通常可以簡化為理想同軸電容器結構。但是，電纜的中間接續匣和終端接頭通常是在工地由現場施工人員製作安裝，很容易因現場施工品質管制不周詳，

遺留隱藏缺失導致日後故障，電纜故障的主要原因有外力破壞（約占電纜故障總數的 58%），電纜附件製造品質不良（約占電纜故障總數的 27%），電纜安裝品質不良（約占電纜故障總數的 12%）和電力電纜本體製造品質不良（約占電纜故障總數的 3%）^{〔2〕}。當電力電纜在投入運轉後的 1~5 年內很容易發生電纜故障，其故障的主要原因是電纜及配件產品的品質問題及電纜敷設安裝問題，運轉年限大於 25 年後電纜本體的樹枝狀老化現象嚴重水樹轉變成電樹導致電力電纜故障率大幅上升。故障波形紀錄在故障發生時可以有效的記錄，輸電線路故障前與故障過程中的電流、電壓的波形變化，以及斷路器的動作情形，亦可經由計算測得故障距離供線路故障點查找，對故障後能夠迅速恢復供電有很大幫助。由於故障波形紀錄器所提供的有效資訊有限，因此故障錄波系統有其侷限性，當故障發生時由於故障原因的複雜性，要準確判斷故障原因除了要結合故障錄波系統提供的資訊外，還要根據天氣、環境等因素，以及故障點現場狀態綜合分析判讀，才能夠得到正確的故障訊息做出正確的判斷。

參考文獻

- 〔1〕 DOE/EPRI, National Database Repository of Power System Events
- 〔2〕 胡毅,「輸電線路運行故障分析與防治」,中國電力出版社,2007
- 〔3〕 網路資料-百度文庫, (wenku.baidu.com)

模擬分析發電機主變壓器組極性與 套管標示相異之風險

台電公司 鄭強
成功大學 陳建富
崑山大學 王瑋民

摘要

發電機主變壓器是發電廠系統結構中的重要元件，影響電力變壓器運轉壽命週期的因素，包括製造、運輸、裝配、運轉老化以及設備維護狀態。變壓器於上述製造、運輸、現地裝配、加入系統運轉等不同的時期中，若製造商、工程組裝單位、運轉維護單位未能適時檢測出變壓器的異常現象，都可能導致變壓器故障。發電廠新建工程，主變壓器於現地裝配階段，必需依據施工規範執行檢驗，驗證變壓器及其附屬器材組裝品質，並建立未來運轉維護之狀態評估基準。本文依據三相變壓器組套管極性相異之罕見工程案例，應用 ATPDraw 軟體建立三相變壓器組模型，分析變壓器組套管極性相異之電壓、電流、相角及相序變異特徵，評估系統加壓試驗之風險，以及改善極性連接可行性。

關鍵詞：三相變壓器組、極性、相角位移、相序、相間絕緣匯流排(IPB)

一、前言

發電廠新建工程中，有關主變壓器 (unit transformer; UT)、輔助變壓器、激磁變壓器、起動變壓器等各型式之電力變壓器，工廠製造組裝以及現地裝配品質，有賴通過停駐檢驗點、出廠試驗、現地工程檢驗、系統加壓、加入系統等諸多試驗項目後，方得以併入系統運轉服役。故提升電力變壓器品質檢驗技術，有其必要性與重要性。

有關電力變壓器設計、製造、出廠試驗與現場試驗標準，臚列如下：IEEE C57.12.00、IEEE C57.12.10、IEEE

C57.12.70、IEEE C57.12.80、IEEE C57.12.90、IEC 60076 等。發電機主變壓器組依設計於工廠中製造、組裝與測試後，再運輸至現場完成 Dyn 11 結線之組裝。工程品質有賴於現場確實執行極性試驗 (polarity test) 與相角位移試驗 (phase-relation test) 維繫；Dyn 11 變壓器高壓側三相線電壓，超前低壓側三相線電壓 30° 相角位移的正確性，係三相變壓器組 (three-phase banks) 以安全的方式併入系統的保障 [1], [2], [3], [4], [5], [6]。

本文依發電廠新建工程變壓器組之現場檢驗異狀，電力變壓器組一具單相變壓器極性連接不符名牌減極性標示之工程案例，研討電力變壓器組於極性相異連接狀態下，以 345 kV 系統全壓試驗之風險。

若單相變壓器分別屬於減極性與加極性結構，在極性與套管正確標示情況下，可參考 IEEE 標準臚列變壓器 Dy、Yd、Yy、Dd 等變壓器相異極性之連接規則，藉以修正變壓器組減極性與加極性的連接方案 [5]。

大型發電機主變壓器，多採三具單相變壓器於現場應用 IPBD 連接組成 Dyn11 型式之電力變壓器組。各個單相變壓器高低壓側套管與極性標示，須符合 IEEE 標準之 HV_{H1}、HV_{N-H2}、LV_{X1-X2} 套管排列順序。另 IPBD 亦依發電機定子線圈、第二群變壓器之高壓側繞組線電壓，超前低壓側繞組線電壓 30° 之連接，設計現地組裝規則。故變壓器組於極性連接錯誤情況下，僅能自變壓器內部修正極性連接，而無其他可採行的極性修正妥協方案。同步發電機系統圖，如圖 1 所示。

本文依發電機新建工程三具單相主變壓器極性相異案例，依據變壓器參數、

Dyn11 繞組結構，應用 ATPDraw 軟體建立 Dyn 11 變壓器組於高壓側中性點直接接地，兩具變壓器為減極性組裝，一具變壓器為加壓極性組裝之開路試驗模型，分析變壓器組以 345 kV 系統電壓執行加壓試驗之響應；藉變壓器開路試驗之三相電壓、電流模擬波形與數值，觀察三相變壓器組於各相磁路獨立情況下，Dyn 繞組間感應電壓、零相序循環電流特徵；並藉模擬結果分析評估三相變壓器組不符極性與套管標示準則之加壓風險與影響。變壓器組 Y 側輸入三相電流與 D 側零相序循環電流，如圖 2 所示。

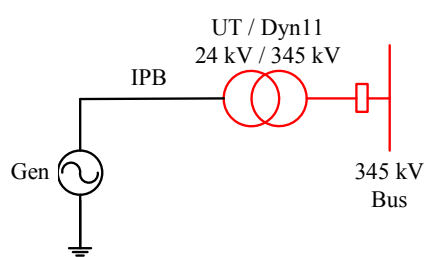


圖 1 同步發電機系統圖

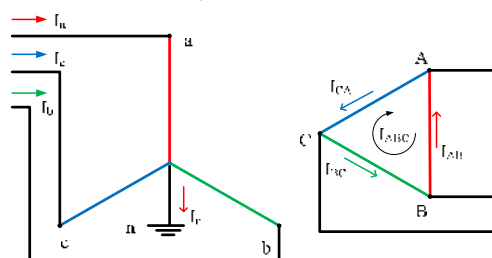


圖 2 Dyn 11 變壓器組 Y 側加壓開路試驗，D 側之相序循環電流示意圖

二、變壓器參數計算

變壓器磁路、電路參數，可藉由激磁電流、鐵心磁路長度、磁通、線圈匝數、矽鋼片導磁係數、開路試驗及短路試驗等電量量測數值，計算變壓器相關參數。變壓器開路試驗可提供激磁電流參數；線圈匝數及磁路平均長度，故可要求製造廠家，將變壓器參數臚列於送審技術資料中[7]。

變壓器磁路係由線圈中流動的激磁電流(I_m)，於鐵心中產生磁場所組成。電流流入線圈方向，應用右手定則，即可定義磁通(ϕ)之方向；激磁電流、磁通、線圈匝數(N_m)、感應電壓(E)及磁通鏈(λ)等參數。安培定律係說明磁場強度(H)、單位長度與激磁電流間的關係，以激磁電流、線圈匝數

與磁場強度、磁路長度(ℓ)的關係式表示如下；

$$I_m N_m = H \ell \quad (1)$$

參考矽鋼片材料參數表，可取得材料之導磁率(μ)、磁通密度(B)參數，藉導磁率及磁場強度(H)的乘積，導出磁通密度值；

$$B = \mu H \quad (2)$$

磁通密度及鐵心截面積(A)係決定磁通(ϕ)參數，表示如下：

$$\phi = BA \quad (3)$$

變壓器匝數及磁通對時間的變化量，決定線圈之感應電壓(E)，表示如下：

$$E = N_m \frac{d\phi}{dt} \quad (4)$$

將 1~3 式帶入，重新整理上式，可呈現出感應電壓與線圈匝數、鐵心截面積、導磁率及激磁電流對時間的變化等參數有關：

$$E = N_m \frac{d(BA)}{dt} = AN_m \frac{d(\mu H)}{dt} = \mu AN_m \frac{d}{dt} \left(\frac{I_m N_m}{\ell} \right) = \frac{\mu AN_m^2}{\ell} \frac{dI_m}{dt} \quad (5)$$

繞組之感應電壓亦為線圈電感(L)與激磁電流對時間變化的函數：

$$E = L \frac{dI_m}{dt} \quad (6)$$

將上式帶入 5 式中，依鐵心導磁率、截面積、匝數及磁路平均長度等參數，可導出線圈電感：

$$L = \frac{\mu AN_m^2}{\ell} \quad (7)$$

利用線圈電感與激磁電流參數，即可計算出在線圈中的儲能值；

$$Energy = \frac{LI_m^2}{2} \quad (8)$$

變壓器之設計參數、計算及量測參數，整理如表 1：

表 1. 變壓器計算及量測參數表	
設計參數	鐵心磁路平均長度
	線圈匝數
	最大磁通密度
	鐵心導磁率
	鐵心截面積
	鐵心重量

計算參數	磁場強度 磁場密度 磁通 飽和磁通密度 線圈電感
量測參數	激磁電流 感應電壓 膝部電壓 鐵損、銅損及雜散損失

三、三相變壓器組極性連接案例模擬與分析

本文應用 ATPDraw 電磁暫態軟體，模擬中性點接地之 Dyn 11 三相電力變壓器組極性正常及異常連接之響應。有關變壓器組飽和鐵心磁路參數、高低壓線圈漏電感及電阻等參數，係參考變壓器開路與短路出廠試驗報告，輔以計算求得變壓器組之模擬參數。

在模擬模型中，忽略變壓器鐵心磁路分線性阻抗、變壓器組低壓側繞組之相間絕緣匯流排(insulation phase bus; IPB)，以及高壓側交連聚乙炔地下電纜等傳輸線阻抗；經評估忽略傳輸線阻抗，並未影響飽和變壓器激磁特性與感應電壓模擬結果。故得以依模擬結果，分析比較 Dyn 11 變壓器組正常極性連接、異常極性連接感應電壓與激磁電流特徵值，以及變壓器組極性異常連接於系統全壓加壓試驗之潛在風險。ATPDraw Dyn 11 變壓器組三相正常極性連接模擬電路，如圖 3 (a)所示；b 相繞組極性異常錯誤模擬電路，如圖 3 (b)所示。

變壓器組的電氣規格如下：單相變壓器容量 333 MVA；無載激磁電流 0.0325 %、Y 側額定相電壓/線電壓與電流 199.2 kV / 345 kV / 1,672 A；D 側額定線電壓與相電流/線電流 24.0 kV / 13,875 A / 24,032 A；變壓器漏阻抗 Z 等於 24.8%，其中電阻 R 小於漏電抗 X_L ；故依電壓與漏阻抗標么值，計算求得的三相短路電流值，Y 側為 6.74 kA、D 側相電流為 55.95 kA、線電流為 96.8 kA。此變壓器設計為單相三柱式鐵心

(three-legged core)結構，鐵心由主鐵心柱(有線圈者)與側軛鐵(無線圈者)組成。

變壓器組採 60 Hz 固定頻率、a-b-c 旋轉相序、三相對稱且平衡的電壓源受電。令變壓器組 Y 側額定電壓 199.2 kV、額定電流 1.672 kA；D 側 24.0 kV 額定電壓、額定相電流 13.875 kA、額定線電流 24.032 kA 等為 1.0 p.u.；以變壓器阻抗 24.8%，計算 Y 側額定短路電流為 6.74 kA、D 側 55.95 kA 相電流及 96.8 kA 線電流等，而其標么值為 4.032 p.u.。

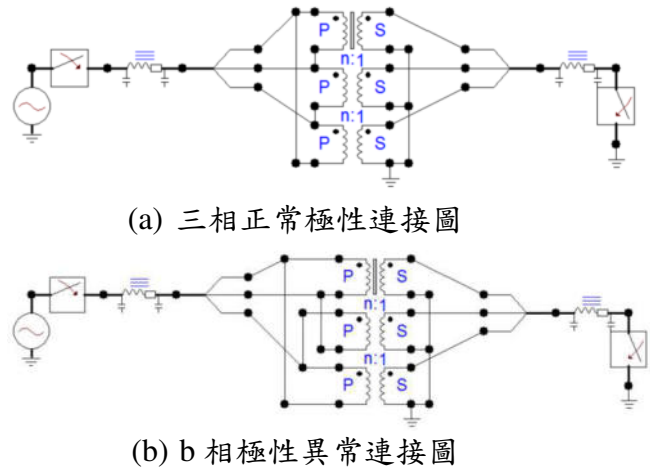
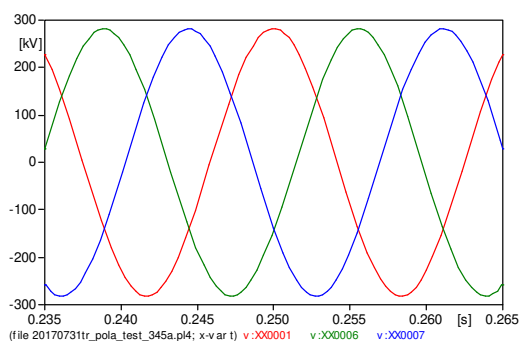


圖 3 Dyn11 變壓器組 ATPDraw 模擬電路圖

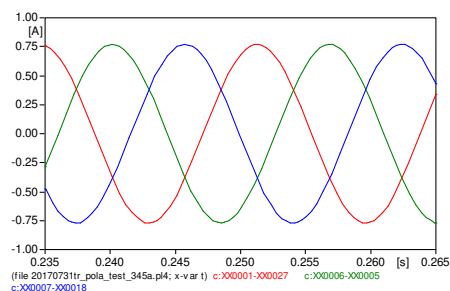
(一) 模擬變壓器組開路試驗

模擬正常極性連接之 Dyn 11 主變壓器組，於變壓器組 345 kV 側輸入 a-b-c 旋轉相序、對稱且平衡的 1.0 p.u.之 199.2 kV 三相電壓；變壓器組於額定電壓激磁下，無載激磁電流 0.544 A 為額定電流之 0.0325 %、滯後激磁電壓 29.2°；觀察 D 側 24 kV 三相繞組之旋轉相序、感應電壓振幅大小及相角位移等電量。模擬結果顯示 Dyn 11 主變壓器之高低壓側線圈，在共享磁通的情況下，亦依匝比關係於一、二次側線圈上，產生對稱相序的感應電壓。

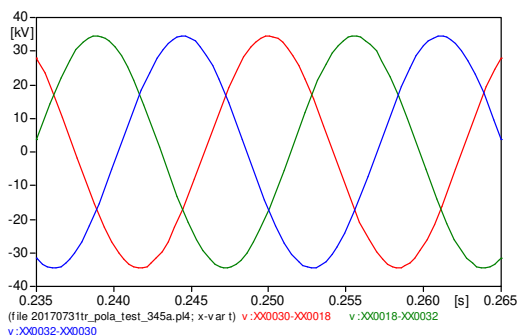
觀察一、二次側線圈極性點之三相感應電壓波形，呈現同相位特徵；故可描繪出變壓器組高壓側的線電壓，超前低壓側線電壓 30°，符合 Dyn 11 變壓器之相角位移規則。主變壓器高低壓側之三相電壓模擬波形，如圖 4 所示。



(a) 345 kV 側輸入 1.0 p.u. 之三相相電壓波形



(b) 345 kV 側輸入額定電壓之三相激磁電流波形



(c) 24 kV 側 1.0 p.u. 三相感應線電壓波形

圖 4 Dyn11 變壓器組三相感應電壓、激磁電流波形

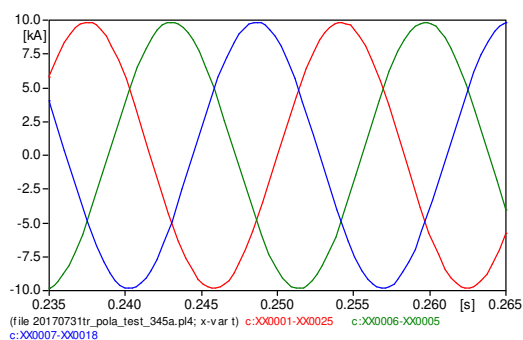
(二) 模擬變壓器組 24 kV 側短路分析

1. 三相短路

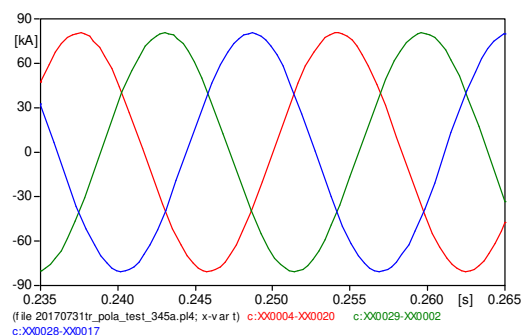
模擬變壓器組連接於 345 kV 無限匯流排上，Y 繞組自系統輸入 1.0 p.u. 額定電壓。假設於變壓器組 D 繞組出口端發生三相短路故障，且短路點阻抗趨近零，藉以觀察 Dyn 11 變器組三相短路電流特徵值。

模擬結果分析如下：345 kV 匯流排提供之三相短路電流，自 Y 繞組極性點流進，短路電流幅值為 6.74 kA，等於變壓器額定電流的 4.032 p.u.。在 D 繞組內亦有 55.95 kA 之相電流融通，等於額定電流之 4.032 p.u. 之相短路電流；經由傳輸融通至故障點

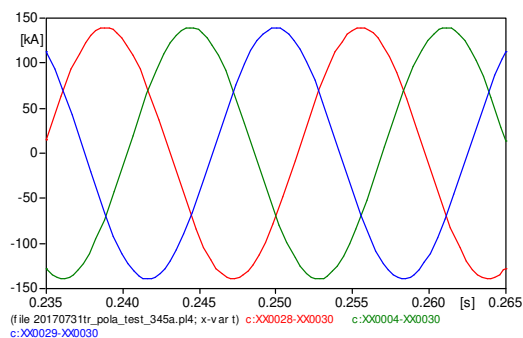
的線電流振幅為 96.8 kA，等於 4.032 p.u.。模擬變壓器組 24 kV 側三相短路故障，高低壓側三相短路電流波形，如圖 5 所示。



(a) D 繞組出口端三相短路，Y 側繞組 4.032 p.u. 線電流波形



(b) D 繞組出口端三相短路，4.032 p.u. 相電流波形



(c) D 繞組出口端三相短路，4.032 p.u. 線電流波形

圖 5 主變壓器 D 繞組出口端三相短路故障電流波形

2. 兩相短路

模擬變壓器組連接於 345 kV 無限匯流排上，Y 繞組以 1.0 p.u. 額定電壓受電，假設變壓器組於低壓側 D 繞組出口端發生 B-C 相間短路故障，而短路事故之阻抗趨近零。

模擬變壓器組 D 繞組出口端兩相短路故障結果分析如下：345 kV 系統提供之短路電流，自變壓器器組 Y 繞組經磁路耦合融通至 D 繞組，在 Y 側 a-b-c 三相繞組上融通之故障電流，與 D 繞組相電流之合成與分配有關；Y、D 繞組融通之故障電流分佈情況整理如下：

$$I_{a\ 345} = I_{c\ 345} = 3.3708\text{ kA} = 2.016\text{ p.u.}$$

$$I_{b\ 345} = 6.7415\text{ kA} = 4.032\text{ p.u.}、I_{n\ 345} = 0\text{ A.}$$

D 繞組之相電流及線電流分析如下：

$$I_{AB\ 24} = I_{CA\ 24} = 27.972\text{ kA} = 2.016\text{ p.u.}$$

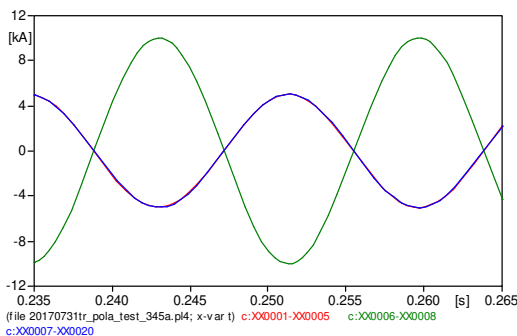
$$I_{BC\ 24} = 55.944\text{ kA} = 4.032\text{ p.u.}$$

$I_{AB\ 24}$ 與 $I_{CA\ 24}$ 同相位與 $I_{BC\ 24}$ 相角差 180° 。

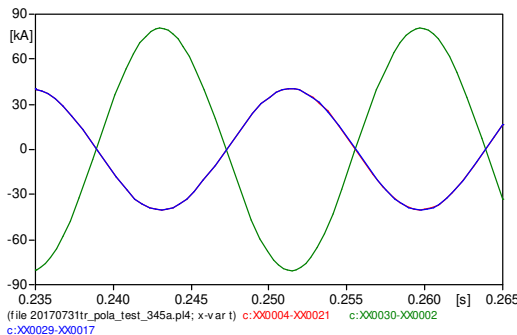
D 繞組出口端 B-C 相間短路故障，由 B-C 相繞組提供 4.032 pu 的短路電流，A-B、C-A 相繞組分配 2.016 pu 之反向電流；而相間短路情況下，D 繞組之線短路電流振幅表示如下：

$$I_{A\ 24} = 0\text{ A}、I_{B\ 24} = -I_{C\ 24} = 86.904\text{ kA} = 3.621\text{ p.u.}$$

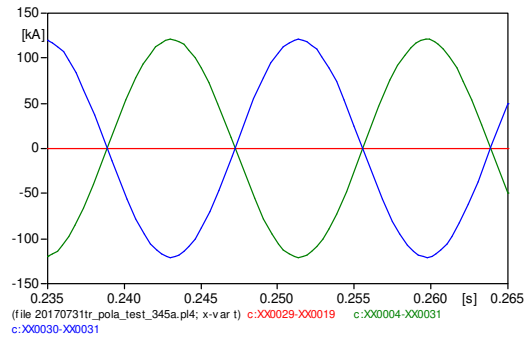
兩相短路故障 Y-D 繞組之短路電流波形，如圖 6 所示。



(a) D 繞組 B-C 相短路故障，Y 繞組線電流波形



(b) D 繞組 B-C 相短路故障，D 繞組相電流波形



(c) D 繞組 B-C 相短路故障，D 繞組線電流波形

圖 6 主變壓器兩相短路故障電流波形

(三) 模擬 I、III 變壓器繞組為減極性、II 為加極性、中性點接地之加壓響應

參考 ANSI/IEEE Std. C57.12.70-1978 (R1987) 標準，變壓器三相繞組連接為 DYn11 結構者，具有下列優點；(1)流進 D 繞組之相電流最小化；(2)在 Y 側繞組線間感應電壓最大化；(3)可降低變壓器體積及製造成本。

電力系統廣泛應用電力變壓器昇壓、降壓的性質，建置系統電壓階層。系統各電壓階層中的三相電力變壓器，需遵從相角位移規定，以 Ynyn+d、Yd、Dy 線圈結構予以結線。故同一階層中的三相變壓器，其極性 (polarity) 與相角位移 (phase displacement)，必需滿足相序、相角、三相電壓瞬時值一致的併入系統運轉條件。

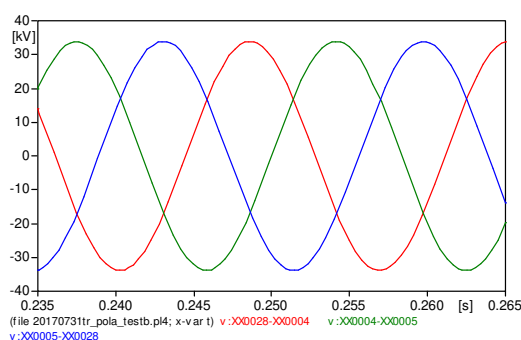
1. 變壓器組於 24 kV 側加壓之響應

模擬發電機 Dyn 11 結線之主變壓器組，其 I、III 繞組為減極性，II 為加極性連接狀態，於 24 kV 低壓側以電源電壓為 a-b-c 旋轉相序、三相對稱且平衡的 1.0 p.u. 電壓加壓。

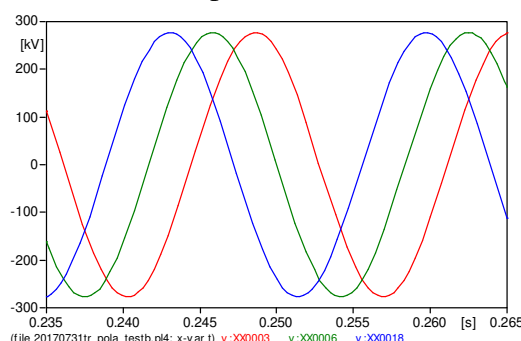
模擬結果顯示：變壓器組 Y 側三相繞組，雖可維持 1.0 p.u. 之感應電壓，但三相電壓之相位角度，未能維持互差 120° 的相位角度，故未能呈現三相系統對稱、平衡及 a-b-c 旋轉相序之瞬時波形特徵。主變壓器 Dyn11 繞組之三相電壓波形，如圖 7 所示。

以 24 kV 側 $V_{AB}\ 24.0\text{ kV}\angle 0^\circ$ 之電源電壓為基準，Y 側繞組中性點接地，解析 345

kV 側之三相相電壓如下： V_{an} 196.11 kV $\angle 0^\circ$ 、 V_{bn} 196.11 kV $\angle 60^\circ$ 、 V_{cn} 196.07 kV $\angle -240^\circ$ ；三具三柱式單相變壓器，因其鐵心磁通各自獨立，故於 II 變壓器加極性連接狀態下，I、II、III 變壓器磁路獨立，且未相互干擾與影響。故 II 變壓器依激磁電流，自非極性點流入，藉鐵心磁通反向的性質，於 II 變壓器 345 kV 側繞組非極性點上產生感應電壓降，因而感應電壓極性反向。故 Y 側繞組三相電壓，不再維持對稱與平衡關係。



(a) 24 kV 側 1.0 p.u. 三相激磁線電壓波形



(b) 345 kV 側 1.0 p.u. 三相感應相電壓波形

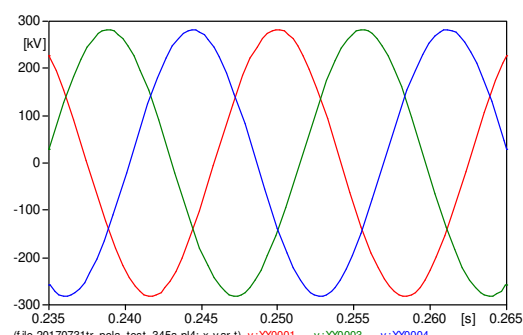
圖 7 Dyn 11 變壓器組三相電壓波形

2. 變壓器組 345 kV 側加壓之響應

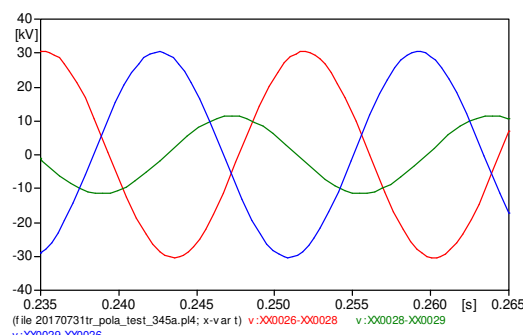
模擬變壓器組於 I-III 繞組為減極性，II 繞組為加極性，Y 繞組之中性點直接接地之現地組裝條件，以 ATPDraw 軟體模擬變壓器組 Y 側 345 kV 繞組以 1.0 p.u. 對稱且平衡的三相電壓激磁，觀察變壓器組 D 側三相出口端開路之響應，模擬結果說明如下：

Dyn11 變壓器組於高壓側輸入 $V_{an\ 345} = V_{bn\ 345} = V_{cn\ 345} = 199.2$ kV 之 1.0 p.u. 對稱平衡三相額定電壓激磁情況下，觀察 I、II、III 變壓器 D 接低壓側線圈感應電壓振幅與相位角度，呈現非對稱與非平衡現象；如

$V_{AB\ 24}$ 0.896 p.u. / 21.496 kV $\angle -39.5^\circ$ 、 $V_{BC\ 24}$ 0.338 p.u. / 8.118 kV $\angle 62.0^\circ$ 、 $V_{CA\ 24}$ 0.896 p.u. / 21.109 kV $\angle -197.6^\circ$ ；其中 I、III 變壓器之二次側感應電壓振幅一致，相位角度差 $\angle 158.9^\circ$ ；但 24 kV 側不平衡且非對稱的三相感應電壓瞬時值之和為零。變壓器組一、二次側三相電壓模擬波形，如圖 8 所示。



(a) 345 kV 三相感應相電壓波形



(b) 24 kV 三相感應線電壓波形

圖 8 D 側 II 繞組加極性之三相感應電壓波形

於 24 kV 側開路情況下，變壓器組加壓瞬間，即觀察到一次側電流大於激磁電流，且大於額定電流；同時中性點電流亦同時驟增，顯示變壓器組存在異常狀態。

模擬結果顯示 345 kV 側相關 a-b-c-n 相別之電流及相位角度分析如下： $I_a\ 345$ 2.780 p.u. / 4.648 kA $\angle -30.3^\circ$ 、 $I_b\ 345$ 2.780 p.u. / 4.648 kA $\angle -210.2^\circ$ 、 $I_c\ 345$ 2.780 p.u. / 4.648 kA $\angle -30.3^\circ$ 、 I_{ng} 2.780 p.u. / 4.648 kA $\angle -30.4^\circ$ 。依模擬波形解析 Y 側電流，a 相、c 相自變壓器一次側極性點流入，b 相電流自非極性點流出，與 a、c 相電流相差 180° ，同時 Y 側中性點亦流動著 2.780 p.u. 之零相序電流；因此藉對稱分量之零相序電流公式，計算

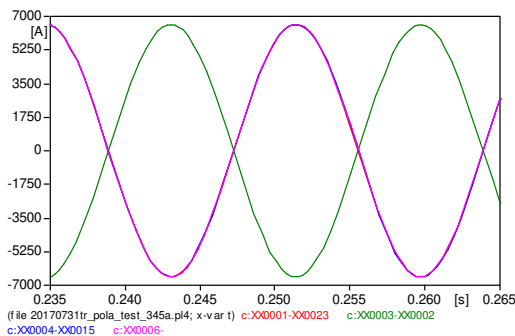
I_a 、 I_b 、 I_c 之零相序 $3I_0$ 電流值為 2.780 p.u. $\angle -30.3^\circ$ ，Y 側之零相序電流計算如下：

$$\begin{aligned} 3I_0 &= I_a + I_b + I_c \\ &= 2.780 \angle -30.3^\circ + 2.780 \angle -210.2^\circ + 2.780 \angle -30.3^\circ \\ &= 2.780 \angle -30.3^\circ \end{aligned}$$

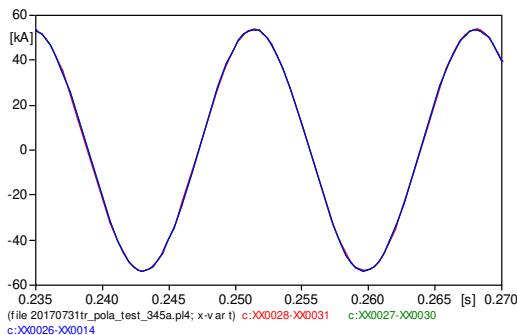
D 側之模擬結果顯示 A-B-C 相之相電流為 2.738 p.u.，因振幅大小一致，相角無變化且為同相位關係，亦屬於零相序電流特徵。24 kV 側相電流數值整理如下： $I_{AB\ 24} = I_{BC\ 24} = I_{CA\ 24} = 2.738$ p.u. = 37.986 kA $\angle -29.2^\circ$ 。

在 D 側三相繞組內的相電流，屬於零相序電流，因而於 I、II、III 變壓器軛鐵上，發展出零相序磁通，並由一、二次側繞組共享此一零相序磁通的合成作用，藉感應電壓驅動零相序循環電流及能量於 Y-n、D 繞組間。因 24 kV 端未連接負載，故 D 側 A-B-C 相之線電流等於零。變壓器組 Y 側及 D 側三相循環電流波形，如圖 9 所示；依對稱分量法，求得 2.738 p.u. 之零相序電流，計算如下：

$$\begin{aligned} 3I_0 &= I_{AB} + I_{BC} + I_{CA} \\ &= 2.738 \angle -29.2^\circ \end{aligned}$$



(a) 345 kV 側 $I_{a-b-c-n}$ 之線電流波形



(b) 24 kV 側 $I_{AB-BC-CA}$ 相電流波形

圖 9. Dyn11 變壓器組 II 線圈為加極性之三相電流波形

四、三相變壓器組極性連接案例之分析與比較

(一) 三相變壓器極性連接正常

變壓器組極性正常連接者，無論屬於 Dyn11 或是 Dyn1 之主變壓器組，於 345 kV 側加壓，或是於 24 kV 側以對稱且平衡的三相電壓加壓時，變壓器組可於主鐵心柱產生對稱且平衡的磁通鏈，故二次側繞組亦產生對稱且平衡的三相感應電壓。

變壓器組 Y 側加壓，D 側外部發生三相短路故障時，變壓器組一次側及二次側繞組間 24.8% 的漏電抗，將限制在變壓器一、二次側繞組間融通額定電流 4.032 p.u. 的外部故障電流；其 1 秒時間的能量常數等於 16.3，顯示此變壓器組繞組之機械強度與結構相當可靠。

(二) 三相變壓器極性異常連接

1. 變壓器組於 24 kV 側加壓

Dyn 11 主變壓器組 I、III 繞組為減極性，II 為加極性連接狀態，於 24 kV 低壓側以三相 a-b-c 旋轉相序之電源、對稱且平衡的 1.0 p.u. 三相電壓加壓。因其鐵心磁通各自獨立，故於 II 變壓器加極性連接狀態下，I、II、III 變壓器磁路間無相互作用關係，故未相互干擾與影響。故 II 變壓器激磁電流，自一次線圈非極性點流入，鐵心磁通方向因而與 I、III 變壓器鐵心磁通反向。故以 II 變壓器 345 kV 側繞組極性點為參考點，可觀察到感應電壓相位反向。雖然變壓器組 Y 側繞組，可維持 1.0 p.u. 之感應電壓振幅，但三相電壓間，相位角度未能保持互差 120° ，故未能呈現三相系統對稱、平衡及 a-b-c 旋轉相序之波形特徵。

若變壓器組加壓後，若未經同步檢定程序，而將 Y 側繞組併入系統，在三相電壓相位相異情況下，將引起變壓器組併入系統取載時，發生短路事故。

2. 變壓器組於 345 kV 側加壓

變壓器組自 Y 側以 345 kV 系統電壓加壓時，於 II 變壓器極性異常連接情況下，加壓瞬間變壓器組 Y 側湧入 2.780 p.u. 之零

相序電流，而在變壓器組二次D側繞組上，產生 2.738 p.u.之零相序循環電流，雖然此一電流振幅，僅為 4.032 p.u.最大三相短路故障電流的 0.689 p.u.，由電流對繞組產生的機械應力，相對小於最大短路電流，各變壓器繞組應具有充分餘裕以承受此一異常電流。

五、三相變壓器組極性與相角位移試驗

電力變壓器製造工廠須依循 IEEE Std. C57.12.70 標準，設計符合標準規定的極性與套管連接方案，以利變壓器併聯運轉。變壓器銘牌具有提供重要電氣參數與資訊功能，如有關三相變壓器繞組匝比、極性、連接與相角位移關係。因此電力變壓器於現地完成組裝工程後，系統首次加壓前，必需於現場執行變壓器匝比(Transformer turns ratio; TTR)、極性、相序連接與相角位移試驗，藉檢測結果與出廠試驗數據的差異性，評估變壓器工廠製造、運輸、現地安裝之工程品質，亦可作為變壓器定期運轉維護試驗的基準。

參考 IEEE C57.12.90 標準第二類 Dyn11 三相變壓器組之相角位移試驗指引：需將第二類 Dyn11 三相變壓器組之 I 繞組 H1-X1 高低壓側線圈極性點予以連接，再以適當電壓進行加壓試驗，分析比較 H3-X2、H3-X3、H1-H3、H2-X2、H2-H3 等端點間的電壓值，並觀察激磁電流以及感應電壓的波形特徵值；故於現場執行三相變壓器相角位移試驗有所侷限。圖 10 顯示相角位移試驗連接與電壓相量圖；

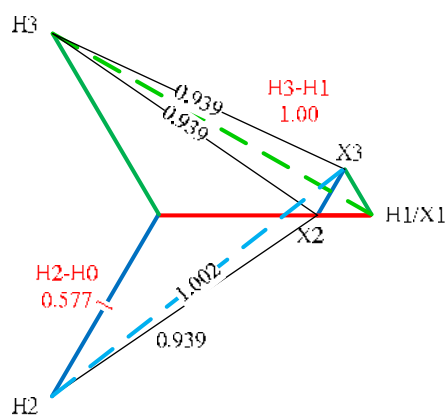


圖 10 Dyn11 變壓器組極性連接與相角位移試驗之三相電壓相量圖

IEEE Std. 62-1995[8]係油浸式變壓器執行診斷性試驗的技術指導書，另 IEEE Std. C57.152-2013[9]標準係提供油浸式變壓器現場整合性試驗的診斷方案的重要指引方針與技術文獻。例如可將具有關連性的三相變壓器的匝比、極性、相角位移及磁通平衡等試驗予以整合，應用圖形化介面呈現匝比、極性、輸入相序、相角位移及鐵心磁通平衡等檢測結果；相對可將傳統變壓器繁瑣的現場試驗準備作業予以簡化，同時可採適當電壓進行變壓器相角位移試驗，有助於改善三相變壓器現場高壓試驗之工安環境。Dyn11 變壓器組極性連接與相角位移試驗圖形化介面之連接與三相電壓相量圖，如圖 11 所示。

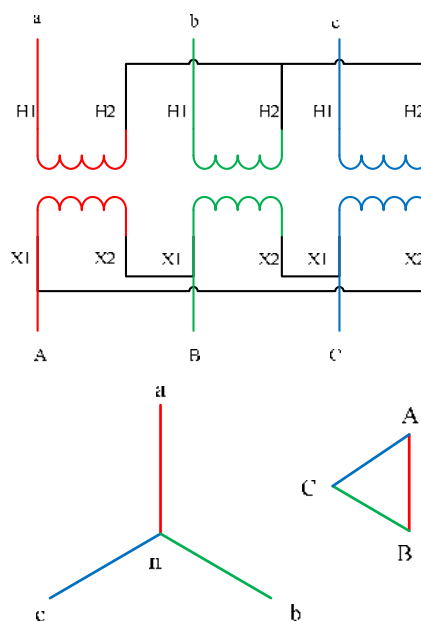


圖 11 Dyn11 變壓器組匝比、極性與相角位移圖形化介面示意圖

六、結論

三相變壓器組之運輸與現地裝配作業，技術層面相對較工廠組裝作業簡單，故需要借重變壓器現場測試程序書，管理變壓器組現地裝配品質，以確認現地正確配置變壓器、附屬器材及其灌注絕緣油，各現場試驗的結果，可用以建立變壓器運轉狀

態評估之基準。

三相變壓器組極性標示錯誤之工程案例相當罕見，在此特殊的工程案例上，本文依 IEEE 三相變壓器準則，應用 ATP 軟體模擬解析三相變壓器組極性連接與激磁電流、鐵心磁飽和、相角位移之關係。依據模擬結果：建議三相變壓器於現地組裝後，確認繞組極性與連接之正確性，係三相變壓器得以正常加壓、併入系統及並聯運轉的保障。故電力變壓器組於出廠以及竣工檢驗中，輔以極性、相角位移、短路試驗以及遞升加壓試驗等多重檢驗技術與程序，確認變壓器組相序、極性、連接與相角位移的正確性，有助於預防變壓器組於系統全壓加壓或併入系統時，產生短路過電流、鐵心軛鐵過度磁飽和、線圈之機械應力、熱應力驟然升高之風險。

Power Apparatus - Part 1: Oil Filled Power Transformers Regulators, and Reactors.”

- [9] IEEE Std. C57.152-2013, “IEEE Guide for Diagnostic Field Testing of Fluid-Filled Power Transformers, Regulators, and Reactors,” Revision of IEEE Std 62-1995.

參考文獻

- [1] IEEE Std C57.12.00TM-2006, “IEEE Standard General Requirements for liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers.”
- [2] IEEE Std C57.12.10-1997, “American National Standard for Transformers - 230 kV and Below 833/958 through 8333/10 417 kVA, Single-Phase, and 750/862 through 60 000/80 000/100 000 kVA, Three-Phase without Load Tap Changing; and 3750/4687 through 60 000/80 000/100 000 kVA with Load Tap Changing-Safety Requirements.”
- [3] IEEE Std C57.12.70TM-2011, “IEEE Standard for Standard Terminal Markings and Connections for Distribution and Power Transformers.”
- [4] IEEE Std. C57.12.80-2002, “IEEE Standard Terminology for Power and Distribution Transformer.”
- [5] IEEE C57.12.90TM-2010, “IEEE Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers.”
- [6] IEC 60076-1, “Power Transformer – Part 1: General.”
- [7] George G. Karady, Keith E. Holbert, “Electrical Energy Conversion and Transport”, JOHN WILEY & SONS, INC., 2005. p.p. 253~256.
- [8] IEEE Std 62-1995, “IEEE Guide for Diagnostic Field Testing of Electric

談非核家園失策及其後遺症

常務監事 李國楨

一、引言

深澳燃煤電廠早於1960年代就開發啟用，該廠滿載發電高達40萬瓩，曾經一度居台電火力廠之首席，供應北台灣用電需求，直到2007年機組老舊報廢除役，2011年拆除完畢。

回顧2007年機組報廢時，也附帶提出汰舊換新計劃，並於當年通過環評，然卻遭遇到當地漁民強烈反對在蕃仔澳灣興建卸煤碼頭，深恐影響當地漁船作業及海岸生態，因此計畫延宕迄今。

去年台電變更原址擴建既有計畫，改新設兩座60萬瓩的超超臨界燃煤機組，擬分別在2025、2026年商轉，與2025年「非核家園」政策接軌，完成占比30%燃煤機組之預設目標。

今年申補送審計畫變更後環差評估，新計畫改採燃煤耗量與較低空污排放量的超超臨界燃煤機組，同時壓縮卸煤碼頭至深澳灣，以縮小受影響環境為由，換取環衛署迅即通過環差評估。

針對此案新北市環保局委請興大環工系莊秉潔教授重新評估，其仍沿用臺電報告書內空氣模擬設定及煙道條件，並以2013年氣象資料重新進行空氣品質模擬。莊教授闡述此係將超超臨界機組與天然氣標準值相比，但國內制定的天然氣排放標準原本就過於寬鬆。根據換

算燃煤、燃氣機組每度電排放汙染量，林口廠超超臨界燃煤機組，其氮氧化物排放是大潭廠天然氣機組的1.84倍，二氧化硫排放是138倍，粒狀物則是48倍。

今年5月13日新北市環保局發出新聞稿通告，依據台電深澳廠環評報告中的空氣品質模擬結果，PM2.5日平均值最大濃度值落點在新北市九份老街、黃金博物館至陰陽海一帶，但報告書中對此部分未予以詳細評估。

另空氣品質模擬，台電使用一般ISC高斯擴散模式，與深澳廠處於非平坦地形，對比不符評估失準，因此莊教授選用針對非平坦地形有較精準評估的GTx軌跡模式。評估結果發現，深澳廠污染的主要影響範圍，除了原認知的雙北市、基隆市外，桃園市、新竹縣及宜蘭縣竟也在高度影響範圍中，尤以宜蘭縣影響竟然最高達 $7.499 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，桃園市則為 $6.871 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，新北市雖位列第三，但PM2.5最大日平均值貢獻量是 $6.075 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，比台電評估報告值 $1.933 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 足足高達三倍以上。

基於區域電源平衡分散原則，莊秉潔、詹長權等空污學者建議，深澳廠可暫定為燃氣廠，併入台電未來改建協和燃油為燃氣廠時通案規劃，在基隆港建造天然氣接收站時再專設天然氣管道引接

到深澳廠。遇窒礙難行時，才回復深澳燃煤廠，但為保護居民健康之前提下，平時輕載發電充當備轉容量，預供系統電力不足時，再升載緊供缺口。

二、核電、燃煤與風電差異分析

前吉興工程顧問公司董事長陳立誠最近在媒體上侃侃言談『核四、深澳燃煤電廠與離岸風電』三案例發電效益及成本分析，詳如下表所示：

	核四	深澳電廠	離岸風力
裝置容量 (萬瓩)	270	120	550
夏日尖峰 電能(萬瓩)	270	120	33
北部尖峰 電能(萬瓩)	270	120	0
A 每年發電 度數(億度)	200	90	200
已耗成本 (億元)	2800	0	0
預耗成本 (億元)	500	1000	10,000
B 每度成本 (元/度)	1.7	1.5	5.1
A*B 每年總 成本(億元)	340	135	1,020

其中核四廠兩部機組已竣工封存中；深澳廠預設待新建兩部燃煤機組；離岸風力審標後預定興建工程計劃。參酌列表數據，評估彼此優劣如下：

1. 供電穩定性：核四廠與深澳廠均可穩定達成全天候每日24小時滿載發電，但離岸風電秋冬期間有

強烈東北季風，可能滿載發電，但未必全天候；且盛夏期間風力微弱，粗估只剩6%風能效率，意即僅能供電 $550 \times 6\% = 33$ 萬瓩，必須仰賴核電及火力發電解決絕大部分電力需求。

2. 空污風險：核能由撞擊鈾原子分裂釋放出能量，沒有燃燒氧化反應過程，故不排放空污微塵及氮硫氧化物和汞重金屬等致癌物，不違反聯合國氣候巴黎協定，故對環境污染而言，核電大致上還可稱得是乾淨能源。

燃煤機組因燃燒煤碳過程會排放空污及排碳，即使經過濾清淨排放，仍有殘留PM2.5懸浮微粒子，及CO₂破壞大氣臭氧層引發溫室效應，造成氣候異常，成為聯合國氣候變遷綱要公約強制設定排放限制的對象。

離岸風電之風險在於建置於海上平台的變電所及海底電纜，必須設防漁船撈網作業或警示海上航線安全區隔。尤其颱風侵襲期間海象惡劣，更須避免碰撞電力設備的悲劇；另各年度海上風電設備維修檢驗亦是一項高難度及高風險挑戰。

(三) 電力品質：核能及燃煤機組輸出電壓、頻率偏差可經由人為調控達到品質穩定。但離岸風電受外在環境影響，呈間歇性發電，即電壓、頻率飄忽不定，變化差異甚大，且無法人為調控，一旦大量風能電力併聯會嚴重影響系統供電品質，故調度運轉必須隨時關注與因應。

(四) 經濟效益；核四每年發

電 200 億度，慣例上每次運轉大約持續 18 個月就停機歲修；深澳燃煤廠每年發電 90 億度，每次運轉一般持續 12 個月就停機歲修；離岸風電每年發電預估 200 億度，但盛夏期間效率 6%，對系統經濟效益最差。評判上述發電續航力，核電優於火力，成為供電穩定且經濟效益最佳的選擇方案。

三、非核家園政策的缺失

前述電力系統只有核電及火力發電才具備穩定可靠供電能力。但核電成本不隨滿載發電而增加；而火力發電燃料費用卻隨輸出電能而成正向比例增加。因此全球各電力公司均選擇核電優先滿載運轉，盡可能調低火力發電量，進而有效節省燃料成本，奉此為電力調度經濟模式之主臬。

政府訂 2025 年為非核家園政策，排除核電改以燃氣、燃煤火力發電為基載運轉，並訂出配比燃氣 50%、燃煤 30%、綠能 20%。在非核前提下，因綠能供電穩定性不足，必須仰賴 80% 火力機組運轉發電，大量燃煤、燃氣產生更大量空污，擴大危害健康，大量排碳加劇氣候變遷暖化異常，違反氣候變遷綱要公約，將來必受到國際組織要求強制減量排放的噩運。

至於綠能必須結合外在環境完美理想狀態下，才可能滿載發電，此可遇不可求，相當於靠天吃飯，無法有效掌控，故歸屬不可調度能源。

目前台電輸電網之建置都是依

核電及火力發電等可調度電源而設計，未來電力系統加入大量不可調度之綠能，對輸電系統會造成很大的衝擊。2016 年 2 月版的台電工程月刊載《未來再生能源大幅增加對台灣輸電系統影響及因應策略研究》探討技術、規範將面臨前所未有的艱鉅挑戰。

談到高占比燃氣發電，也有不可預知的風險。從台電調度處網站公告：長年統計尖峰負載大多出現於每年 7、8 月份，而氣象局長年統計 7、8 月份正好是颱風密集好發期間。台灣係一海島孤立的國家，沒有接鄰國家可以支援電力，所需電力要完全自主發電。本身不產天然氣，完全倚賴進口液化天然氣(LNG)靠船海運輸入，受船艙容積限制，安全存量通常只有 7~14 天。假如颱風不可預測在 2 週密集突發滯留，海運船舶無法如期靠岸，那燃氣供給就 gg(good game)好戲結束了，重現 815 大停電的夢魘。

綜上所述，非核家園政策暗藏諸多不確定因素，在沒有十足科學憑證下就貿然排核，反製造大量排碳和空污，危害更多人體健康，和加速氣候異常變遷反撲大地。孰令之？孰以致之？一言以蔽之，係非核家園失策惹禍。其有如婦孺之見，只見樹不見林，妄想以偏概全，未深入理解核能、燃煤、燃氣發電之優缺點及彼此間可相互調和因應。缺少核電，電源布局拼圖，永遠不會完整。

四、全球核電運作概況

談到美國目前有 5 部核電正在

興建中，已有 99 部核電運轉中，其中 81 部核電已獲准延役到 60 年，而超齡 40 年核電已占三成。假想核電確存潛在安全疑慮，難道美國政府對核安問題不加聞問、管制嗎？杞人憂天，庸人自擾。

日本在川內核電廠重啟後，陸續有 20 餘座核電加入運轉，占比約 20%。日本政府理解 311 福島核安事件主因歸屬天災。當天大地震、海嘯等大自然吞噬，非人力所能抗拒，核電受波及可視為「此天之亡我，非戰之罪也。」故深信重啟核電只要按照正常程序運轉，一切安然無恙如平常。反觀台灣少數人士道聽塗說，就誤判核電安全有疑慮，完全缺乏核技新知概念及實事求是精神。

當日本重啟核電後，韓國 23 台佔 40%，英國估將建數十台也佔 40%，新興國家如印度、越南、沙地阿拉伯、阿聯酋、土耳其、埃及、南非、巴西、阿根廷等前呼後應地推動營建核電計劃。

五、全球燃氣發電運轉概況

當年俄羅斯入侵烏克蘭後，德國選擇支持烏克蘭，遭到俄羅斯採「斷氣」報復。德國被迫決定逐年降低對俄羅斯燃氣進口，如今限定燃氣發電僅作為尖載備用的電源，降低被斷氣風險。

至於美國電源政策，參照其能源情報署（EIA）資料顯示，核電占總發電量比例約 20%、再生能源（含水力）占 16.5%，燃煤與燃氣發電不相上下，各約 30% 左右。但當美國頁岩氣開發成功，天然氣產

量大增得以降低成本，推升燃氣占比超越燃煤，是全球唯一擁有得天獨厚、供氣無虞及燃氣價廉的大咖。

韓國保留核電 40%，同時也發展再生能源與天然氣發電，預估 2030 年天然氣發電佔比 27%，再生能源則為 20%。可推知韓國仍以核電為主，以燃氣、燃煤、再生能源為輔助電源。

新加坡全部都採用燃油、燃氣複合，或純天然氣發電，由馬來西亞與印尼直接透過天然氣、油管道供應，成本相對低廉且供應也比船運穩定可靠。

即使事實如此，但新加坡仍對鄰國維持某種高度警戒心態，寧可花費投資興建天然氣接收站，遠從中東卡達等國家進口液化天然氣來發電。其道理如同德國降低對俄羅斯的天然氣採購如出一轍，過度依賴有時會造成被「斷氣」的風險。孟子曰：「生於憂患，死於安樂。」平時心存憂患意識，才能臨危不亂。

六、結語

今年 5 月 17 日工總理事長交接，新任工總理事長王文淵當面向賴揆提出對台灣經濟的「五大憂心」。其語重心長，針貶時弊「以綠能取代核電、以天然氣取代燃煤發電」的政策值得商榷，對電力穩定供應將造成不可預知的風險，若一味堅持非核，將不利於台灣長遠經濟發展。

翌日經濟部長沈榮津在立法院受訪首次透露，燃氣、燃煤配比

「隨時可能調整」，但火力發電占比 8 成目標不變。

日本在 311 核安事故後，一度選擇以燃氣發電替代核電，致使天然氣佔總發電量的四成以上，增加沉重的天然氣進口成本，導致發生嚴重的貿易逆差。2014 年，日本內閣會議通過《戰略能源計劃》重啟核電，再生能源佔比 25%，天然氣與燃煤各佔 25%，天然氣從主角退縮成配角。

日本活生生的案例，便是我們省思借鏡其困獸求生作法—『保留核電，調降 50% 燃氣發電。』

近來全國民眾環保意識覺醒抬頭，抗議燃煤空污危害健康；燃氣雖可行，但大量運儲有其潛在風險，只能適可而止；核電仍居世界電力潮流中不可或缺的角色，尤其對缺乏天然資源的國家，如日韓大陸印度等，既要提升高精密產業發展，又要推行電動汽車研製，未來電力成長都需要穩定可靠電源，所以電力建設須要完善規劃，穩扎穩打，步步為營。

最近遠見雜誌公佈「重啟核四」民意調查，民眾對於核電的態度逐漸轉向務實理性，有 57.9% 的受訪者支持核電，其中年輕族群（18 至 29 歲）比例更高達到 70.5%。整體受訪者則有 54.7% 同意重啟核四；50.7% 同意暫緩送出核四燃料棒。

綜觀全球各主要國家，能源規劃必須考量來源、安全、價格與風險，做適度的調整與規劃，凡事以偏概全，必乖離中道。核電擁有穩定可靠廉價且無空污、不排碳及不排放汞重金屬致癌物等諸多優質特

性，試問燃煤、燃氣、綠能如何取而代之？

以上援引全球各主要國家電力發展趨勢及國內大多數民眾不信任非核家園政策，極力反對新建燃煤電廠徒增危害人群，政府又無法客觀析釋疑慮。如強渡關山，造成日後電力供應不足或危機突發、系統擺盪衍生跳機、停電、限電等後遺症接踵而來，引發全國輿論沸騰撻伐，恐無寧日，深盼主政者三思再三思。

七、參考文獻

- 〔1〕 新北市政府網站—市政新聞 2018.03.13
- 〔2〕 前吉興工程顧問公司董事長 陳立誠
- 〔3〕 台電調度處網站
- 〔4〕 遠見雜誌
- 〔5〕 台電工程月刊 2016.2