

從保護電驛觀點 比較歐美電力系統之異同

■ 郭麟瑛

電力系統與電驛保護系統之構成，兩者常受信賴性、經濟性、歷史傳統及設計規畫者之偏好等主、客觀因素影響。台灣之電力系統因受歷史傳統、政經因素之影響，較傾向於美、日系統；但在目前產業國際化的潮流中，吾人實在有必要對歐美先進國家電力系統之構成，再做深入的瞭解與探討。本文敘述從保護電驛之觀點比較歐、美兩地電力系統之差別，以供參考、借鏡。

一、導論

保護電驛之信賴性(reliability)包括可靠度(dependability)與安全度(security)。當電力系統發生故障等不能忍受之擾動時，保護電驛需對自己保護區間(zones of protection)內之故障，應迅速、正確的反應動作，謂之可靠度；對於鄰近區間之故障，則應保持不動作以縮小停電範圍，謂之安全度。此乃保護電驛最基本的需求，也是歐、美兩地電驛工程師共同一致的觀點。但長久

以來，兩地的電驛工程師對於電驛保護系統之可靠度應較安全度為優先，或安全度應較可靠度為優先則爭論不休。事實上，對於HV及EHV系統<註>，歐陸較傾向於安全度；而美國則以可靠度較為優先。

無論在歐洲或美國，primary distribution system (大約 100KV)皆以輻射狀(radial type)為多，此種輻射狀系統之保護，大部份皆以時間過電流電驛(time over-current relays)為主。但此種過流電驛，美國工程師是使用具有省時特性(time-saving characteristic)的反時性電驛(inverse-time relays)；而歐陸工程師則使用具有容易標置特性的定時電驛(definite-time relays)。最近更因固態/靜態電驛(solid state/static relays)及數位電驛(micro computer based digital/numerical relays)的大量應市，此種具有非常精準劃分時級(grading)特性的定時電驛，與反時性電驛比較時，已大大的改善而廣為歐陸所使用。

在歐陸許多國家之 **primary distribution system**，大部份皆已互連 (**inter-connected**)，其標準保護方式為：線路差動保護 (**line differential protection**) 單一系統切換式測距保護 (**single-system switched distance protection**)，例如 ASEA 之 REZOR 電驛或 WH 之 LDAR 電驛 (羅東 P/S 與南港 P/S 曾經使用過該 LDAR 電驛四套)。這些國家中，該種系統之中性點，通常皆 **Isolated** 或經由 **Peterson Coil** 接地。因此其測距保護只需涵蓋三相短路故障、二相短路故障及二相短路接地故障等。由於歐陸已具有多年單一系統切換式測距保護經驗，因而在 **150KV** 以上之高壓系統亦使用該種保護方式。

二、中性點接地

在美國之 **100KV** 以上系統，大部份的系統變壓器及發電機用變壓器皆為直接接地，尤其是在 **110KV ~ 220KV** 系統，但並非所有變壓器之中性點皆為直接接地，所以單相接地短路電流必須有所限制。德國巴伐利亞之 **BAG (Bayernwerke AG)** 電力公司 **110KV** 系統便是直接接地之特例。在歐陸相當多的系統，其電壓在 **110KV ~ 150KV** 間，皆經由 **Peterson** 線圈接地，在該種系統中，因二相接地故障經常發生，且電源散佈在系統上各點，故需要特殊之保護措施。

三、自動復閉

在美國之 **HV** 及 **EHV** 系統，其早期之

自動復閉幾乎全是三相復閉形式，待閉時間 (**dead time**) 通常是在 **350ms** ($T_{dead} = 10.5 + KV/34.5 \text{ cycles}$)。但在歐陸 (尤其是德國)，則喜歡使用單相自動復閉方式，其單相復閉 (**400KV** 之輸電線亦使用之) 之優良運轉經驗，亦深深地影響電驛保護方式。在某些情況下，單相復閉 (**dead time** 約 **1 sec**) 亦具備有三相自動復閉之功能，但後者僅對二相或三相故障反應動作。

單相自動復閉在不需要通訊頻道的情況下，亦有可能獲得 **100%** 測距保護。其原理為：在單相接地故障時，測距保護之測量範圍，可延伸至線路長度約 **120%**，而在待閉期間又回縮至線路長度的 **90%**。

單相自動復閉只有在被控制的斷路器具有 **IPO** 操作機構 (**Independent Pole-Operated mechanism**) 時方有可能實現；換句話說，該斷路器需為 **live-tank** (對早期之斷路器而言)，而該種斷路器很早以前在歐陸便開始使用。但在美國之 **HV** 系統，因其早期之斷路器大部份皆為 **dead-tank**，不具有 **IPO** 操作機構，故不能以單相自動復閉方式運轉操作。目前 **345KV** 以上系統之斷路器，因相間距離及大容量發電機穩定度之要求等因素，無論是 **dead-tank** 或 **live-tank**，皆已具有 **IPO** 操作機構，可遂行單相自動復閉功能。

四、線路

歐陸人口分佈情形可說明 **HV** 及 **EHV**

輸電線路相當密集，該人口密度亦可解釋為電力系統需要相當穩定的互連運轉。在西歐除了瑞典外，因地理環境因素，串聯電容器組，並未被使用於補償線路電抗；但在美國由於輸電線路非常長，為了系統穩定度的需要，該種電容器組，則非常廣泛的被使用著。又因為暴風雨及洪水之故，雙回線共架線路在美國較少使用，而較傾向於單一輸電線路，這使得系統穩定度問題更是加劇呈現。在歐陸因有為數甚多之短距離架空線路及電纜，在評估測距電驛保護方式時，充份的電弧承受耐力(**efficient arc tolerance**)乃成為重要的設計標準。

歐、美兩地之 EHV 系統通常皆使用複導體(**bundle conductors**)，輸電線路視其設計、地形，有些有換位(**transposed**)，有些則無。為補償輸電線路之充電電容，在兩端皆無可避免的必需使用並聯電抗器。其裝置地點分為設在主變壓器三次側或與輸電線路直接並接二種。串聯電容器組的設置地點，亦有位於輸電線兩端或線路中間兩者之分：當 $X_c > 0.5X_L$ 時，以後者之設置方式較經濟；但當 $X_c < 0.5X_L$ 時，則以前者方式設置之。

五、匯流排

一又二分之一斷路器(1 1/2 CB)型式，為美國 EHV 變電所之匯流排標準配置方式。此種配置在投資成本的觀點上，及構內

故障時，最多僅有一輸電線路或一組變壓器被切離系統的運轉觀點上，皆非常經濟有利。為使保護區間能相互重疊，每一回線至少需有二具比流器。此種配置對於裝在 **dead-tank** 斷路器上之套管型比流器(BCT)而言，其價格甚為便宜有利；但對於 **live-tank** 斷路器而言，若欲使其保護區間亦相互重疊保護，則因單獨設置之獨立 CT 較為昂貴，裝置成本相當昂貴不利。一個較可能被接受的折衷方式，如圖一所示：每一拱位(**per bay**)二回線使用四具比流器(在圖一中代表 CT 之圓圈被圈黑者)。

在歐陸之 HV 及 EHV 變電所，偏好使用多匯流排(**multi-bus**)系統，尤其是備有匯流排分段斷路器(**bus sectionalizers**)及匯流排連絡斷路器(**bus tie**)之二或三匯流排配置方式。其雙匯流排單斷路器(**double bus one circuit breaker**)之配置方式，比流器設在線路側，兼具線路及匯流排保護功能，此與台電 161KV 系統之配置方式完全相同。在歐陸大部份電力公用事業，皆輔以電腦控制(EMS 或規模較小之 SCADA 系統)來操作、切換此種匯流排配置方式。

六、高頻通訊傳輸

為達高速 100 %線路保護，需在被保護線路兩側間，設置交換資訊之高頻通訊傳輸(**high-frequency links**)設備。在歐陸及美國，若由於線路長度之原因，而排除差動保

護方式時，則電力線載波(PLC, Power Line Carrier)耦合方式較被廣泛使用；在歐陸以微波方式，作為交換資訊之通訊設備則非常少見。

將載波耦合至高壓輸電線路上，歐、美間有一重大差別；美國以單相連接為主；而歐陸則為雙相經由同一系統或並聯系統連接，如圖二所示。顯然的，當發生單相短路故障時，歐陸所使用之耦合方式，其高頻訊號較不易被短路掉；而美國所使用之耦合方式則反之。因此，美國已逐漸改採歐陸之載波耦合方式。

七、變比器

變比器包括比壓器及比流器，在歐陸之 HV 及 EHV 系統，通常皆將比壓器設置在被保護線路之線路側，電容耦合型(CCVT, Capacitor Coupling Voltage Transformer, 以前稱之為CCPD, Capacitor Coupling Potential Device)或電感型(VT, Voltage Transformer, 以前稱之為 PT, Potential Transformer)皆有之，但以後者較常用，前者僅使用在 EHV 系統。與美國不同的是，其保護設備之電壓源，甚少由匯流排比壓器取得。使用 CCVT 時，應考慮 subsidence transient, 尤其是與固態測距電驛配合使用時，第一區間(Z_1)極易因瞬時之電壓突降而誤動作。

至於比流器(CT)，美國之 dead-tank 斷

路器其 BCT 較便宜，故使用高額定之 VA 值並無問題；但在使用 live-tank 斷路器之歐陸，因其獨立式 CT 較昂貴，故大部份皆為低額定 VA 值。又許多歐陸之電力公司，習慣上將多種保護設施裝置在同一鐵心之 CT 上，故其電驛製造業者，不得不生產消耗功率較少之保護電驛。例如，對於一個相位比較(PAC, Phase Comparison)電驛而言，其額定 VA_{rated} 只有 1VA。

近年來，由於保護系統之暫態現象，被更加深入的重視研討，電驛工程師已將 CT 及保護電驛視為一個單元，因而線性鐵心(linear core)已被廣泛的使用於保護電驛領域裡。所謂線性鐵心，乃在最大短路電流之極端情況下，其所產生最大之相位移及最大之直流成份時間常數亦不會使鐵心飽和。因此種 CT 鐵心具有多間隙(air gap)，故其剩磁密度(residual flux density)較無間隙鐵心之 CT 為小。此種優點，非常適用於線路自動復閉之保護。蓋此種 CT 二次側之直流成份衰減時間常數較一次側小得很多，故其直流成份較一次側衰減得更快，使得連接於其上之保護電驛能作出更正確的決定。前 WH 公司(現為 ABB 公司)之線性耦合器(LC, Linear Coupler)更是一種沒有鐵心的 CT，可完全不考慮鐵心飽和現象。可惜因使用彈性(flexibility)之限制及價格昂貴(LC:CT 約為 4:1)而不被廣為使用。最近因光電技術之應用，所研發出之 MOCT(Magneto-Optic

Current Transducer)、MOV(T(Magneto-Optic Voltage Transducer)、EOVT (Electro-Optical Voltage Transducer)等變比設備,使得保護系統之暫態現象可以更為容易的解決。

八、結論

本文論述,是站在保護電驛系統之觀點來觀察歐、美兩地之電力系統。因傳統觀念及地理因素之影響,在美國因輸電線路甚長,單一輸電線路、三相自動復閉、載波以單相耦合等皆與歐陸之線路短而密集,單相自動復閉、載波多相耦合等特性大不相同。雖然,近來因歐陸單一市場(EU)之演化,各大企業為搶食此一龐大市場而相互購併,例如 ABB 收購 WH 之電驛部門,在同一個大老板的管理下,已使歐、美兩地電驛工程師相互截長補短、相輔相成,觀念漸驅雷同。但因 Relaying Is an Art,各電力系統與電驛保護系統,仍然還是一個引人入勝的彩色世界。

<註>:

依瑞士 SEV

(Schweizerischer Elektrotechnischer Verein — Zuerich)

及德國 VDE (Verband Deutscher Elektrotechniker e.V.— Frankfurt/M)

之規定,電壓等級劃分為:

小電壓(Kleinspannung): 60V 以下 (瑞士 50V 以下)。

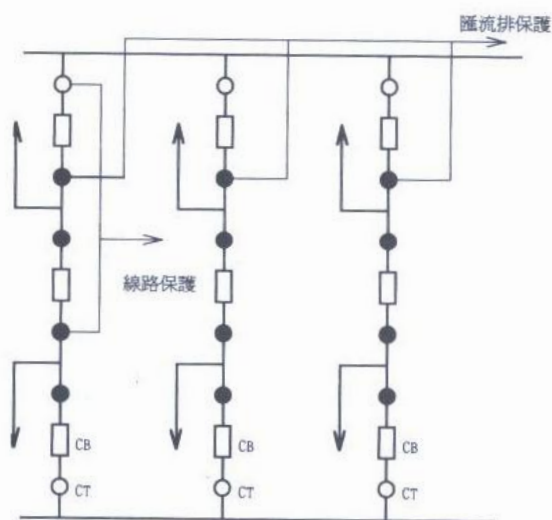
低電壓(Niederspannung): 60V (瑞士 50V) ~ 1KV。

中電壓(Mittelspannung): 1kV ~ 60KV (瑞士 50KV)。

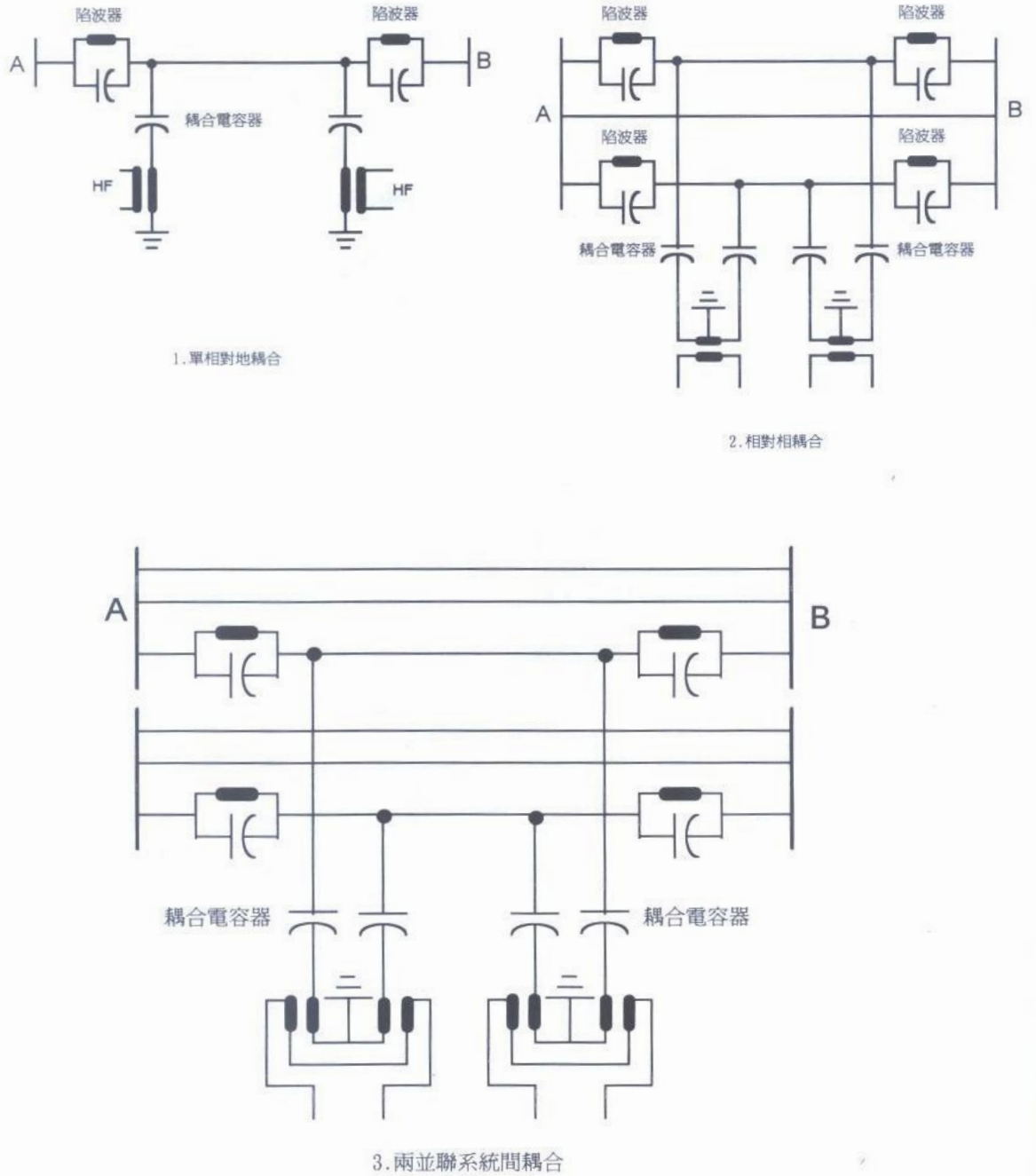
高電壓(Hochspannung): 60KV (瑞士 50KV) ~ 150KV。

超高壓 (Hochstspannung): 150KV ~ 380KV。

極高壓(Ultrahochspannung): 380KV ~ 1500KV。



圖一 1 1/2 CB匯流排配置保護方式



圖二 PLC載波耦合方式