



IEC-62478概述-利用電磁耦合及 聲音量測局部放電

■范綱志/震江機電技術顧問股份有限公司

壹、現場局部放電檢測手法介紹

局部放電(Partial Discharge；又稱局放)為一種電氣設備內絕緣破壞現象，僅發生在絕緣材料中電場強度過大的局部區域。若未適切地處理局部放電，則將加速絕緣材料劣化，導致絕緣系統的整體崩潰。此現象往往伴隨著電磁波、聲波、光和絕緣材料的化學分解物質的產生，而這些現象都可透過不同檢測手法和適當的感測元件去檢測。除了國際電工標準 IEC 60270制定的傳統檢測手法以外，亦有多種“非傳統”檢測手法可檢測出局部放電。此文將根據 IEC 62478之標準探討利用電磁波及聲波的量測手法來檢驗電氣設備內的局部放電訊號。

首先提到的是電磁波量測手法，其訊號的量測依頻帶的分佈可區分為HF、VHF及UHF，對應的頻帶分別為3 MHz 至 30 MHz、30 MHz 至 300 MHz和300 MHz 至 3 GHz。在HF跟VHF的窄頻量測頻寬大多在3MHz內，而VHF的量測寬頻為50MHz或以上，UHF

於單一或多個獨立頻帶的zero span模式為3MHz到6MHz，或全頻和超寬頻模式(如圖1)。大多數HF跟VHF感測器的頻帶乃根據電容性、電感性及電磁場的感測原理。而UHF的感測器大多為近距離碟狀或錐狀的近距離天線。

在局部放電電磁波量測中，電纜周邊和旋轉電機等設備可透過HF頻帶到UHF頻帶來量測，利用電感和電容感測器或特殊設計的探測棒來擷取暫態電磁訊號，而電力變壓器、氣體絕緣開關和定子繞組所選用的量測頻帶通常在VHF到UHF。

感測器輸出的訊號一般為高頻震盪波，這些訊號可於時域上以震盪波呈現或在頻域上透過頻譜呈現此暫態脈衝。此類型感測器可被歸類為高頻阻抗，其結合了電容、電感和電阻分量值。高頻阻抗和其相對應的量測頻帶決定了感測器的量測模式，而其測得之訊號為局放所產生的暫態電壓或脈衝值。

依據IEC 60270測試法並不能於活電中測試診斷部分放電，因所有待測物皆帶電，故無法於活電中連接耦合電容，而現場亦無法隨時停電安裝耦合電容，因此透過IEC 62478非傳統測試法的電磁場耦合技術，便可在活電狀態下進行部分放電檢測。電磁場耦合技術主要分為電場、磁場及電磁波耦合，首先探討電場(電容性)耦合的主要原理，以終端電纜頭為例，當電纜頭內部發生部分放電時，部分放電的脈衝電流 $IE(t)$ 會產生暫態電壓 $UE(t)$ ，一部分的暫態電壓會散射在電纜頭周圍，此時利用電容性感測器，以空氣當雜散電容來測量暫態電壓的變化(如圖2)。

部分放電的脈衝電流 $IE(t)$ 在導線及接地線中會產生磁場，此時可利用電感性感應器，如HFCT和Rogowski線圈來感應測量脈衝電流產生的磁力線 $B(t)$ ，這就是磁場耦合的主要原理(如圖3)。

高壓設備內除了一般電壓電流訊號之外，當高壓設備發生局部放電時，會造成電壓及電流的暫態變化，電場的變化產生磁場，磁場的變化也會形成電場，即兩者交互作用的波動稱為電磁波，而電磁波簡單的說就是電磁場(Electromagnetic Fields簡稱EMF)的波動，因此電磁波會從放電的位置以向外輻射或利用導電體等兩種方式傳送，此電磁波的頻率從100 kHz一直到數百MHz左右不等，因此只要選擇適當的天線感應器，就可以接收到局部放電的電磁波訊號，如圖4為電磁波測試法示意圖。

在量測上，感測器的安裝位置亦相當重要，較差的安裝位置可能導致訊號擷取不易，甚至是毫無訊號，內建式感測器建議安裝在高壓設備內部或外部的開口處，如觀景窗或油閥(如圖5a)。此種類之感測器需在安全的情況下，越接近特定的局放探測點越為理想，且建議安裝逾金屬箱體內或高壓元件的屏蔽內以達最佳量測效果。在較大的高壓設備或系統內，建議安裝多個感測器以提升感度，並可於靈敏度測試和局放源定位時使用。電磁波感測器的安裝必須在“對絕緣設計及對高壓元件功能沒有負面影響的前提下”方可安裝。

聲波局放量測手法為此規範的第二種檢測方式，其量測手法在於捕捉局放所產生的聲波，這些聲波會在高壓設備內的結構不斷地傳遞直到傳導到外部表面(如圖5b)。不同類型的聲波會有不同的傳遞速率，且折射與反射亦會導致訊號衰減、被吸收或散射掉。透過多種感測器，包含壓電感測器、結構聲諧振感測器、加速度計、電容麥克風或光聲感測器，皆可量測到局放的聲波訊號，而一般量測到的聲波訊號可轉換成電信號以利分析。局放相關的聲波訊號亦可能由氣體絕緣設備內的自由移動粒子所產生。

局放的聲波量測一般為超聲波(約20 kHz 到 250 kHz)，而頻帶的選擇因絕緣系統(固態絕緣、液態絕緣或氣體絕緣)的不同而有所差異。於液態和氣體絕緣內，聲波的傳遞如球形壓力(縱向)波般傳遞，當接觸到固體絕緣部分或箱體結構時，則可觀察

到更為複雜的傳導模式，稱之為結構聲波傳遞路徑。在不同的媒介間傳導的速率亦有所不同，因此在聲波源與感測器間最短的傳遞路徑不見得會是最快的傳遞路徑。

聲波傳導的路徑的觀察一般包含了下列幾個重點：

1. 從聲波源到感測器的聲波傳導模式和傳

遞路線上的變化。

2. 因不同材料和狀態所導致傳遞速率的變化(如:在絕緣油中的傳導會因溫度而有很大的變化，但受溼度的影響則有限)。

3. 不同的絕緣材料和結構，及其聲波傳遞的速度和頻率，都有可能造成訊號衰減或消散。

4. 放電源與感測器的距離。

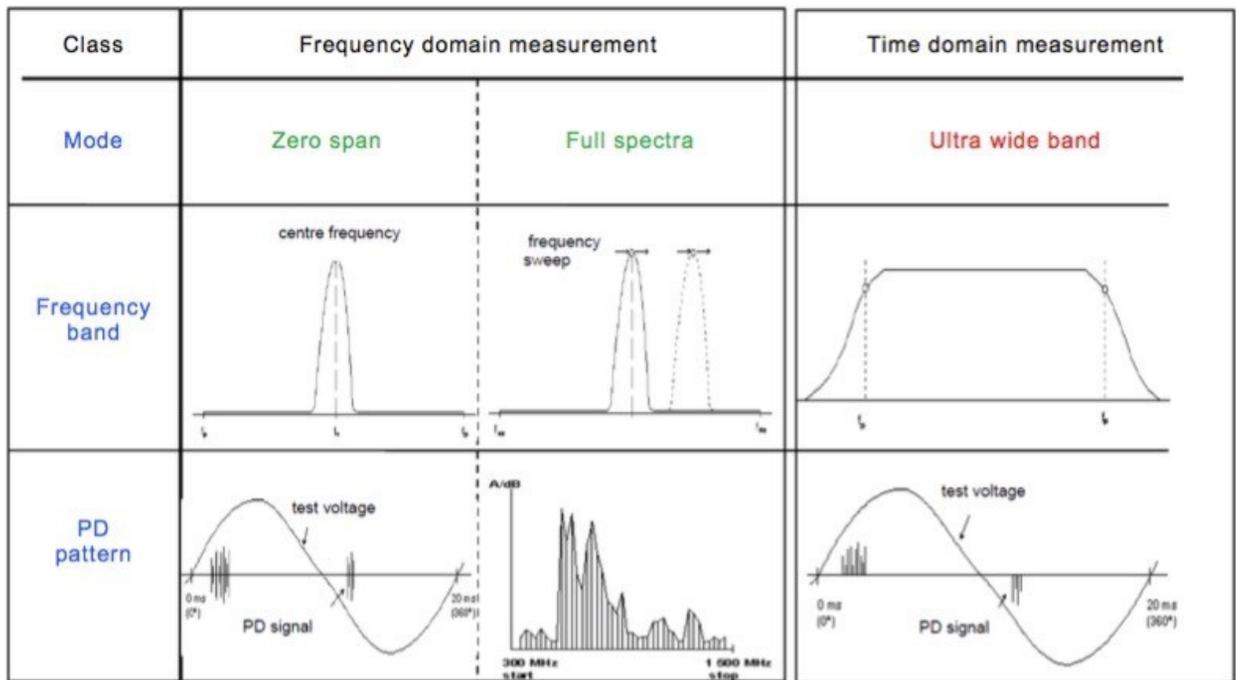


圖1 UHF訊號處理於不同頻帶的分類

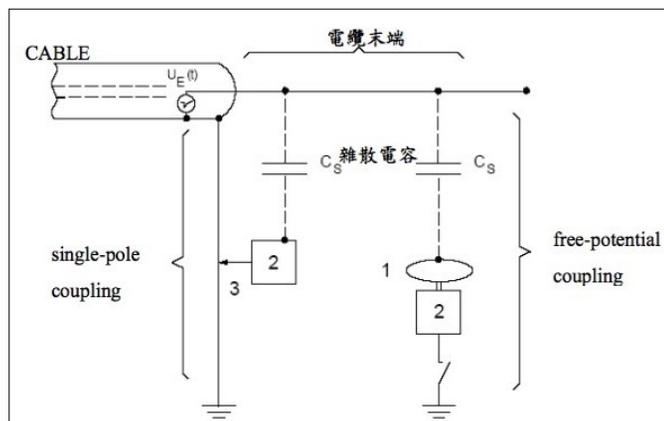


圖2 電場耦合等校電路

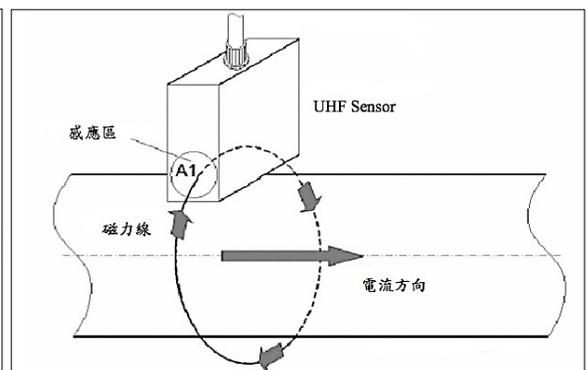


圖3 UHF 感測器工作原理

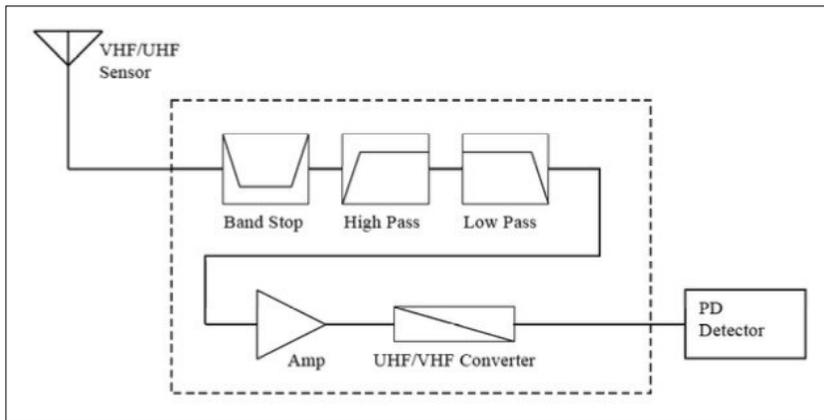
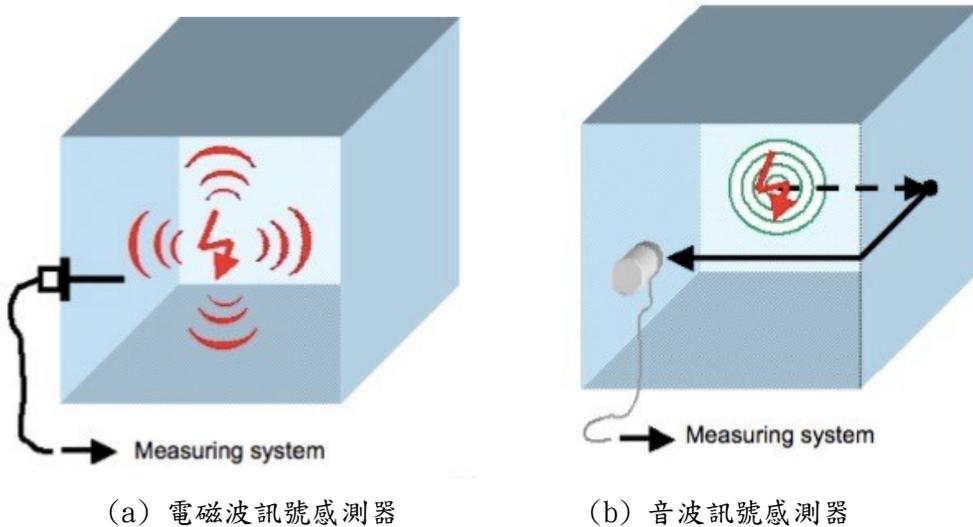


圖4 電磁波測試法



(a) 電磁波訊號感測器

(b) 音波訊號感測器

圖5 感測器安裝示意圖

貳、功能性測試與靈敏度測試

無論是在局部放電的量測、監測或定位，功能性測試(performance check) 與靈敏度測試(sensitivity check)都是不可或缺的步驟，如圖6說明了非傳統測試法中的電磁波測試手法的流程。

在電磁波訊號的感測中，局部放電的視在電荷無法直接用來校正。

雖然針對不同的高壓設備，如氣體絕

緣開關、油浸式變壓器和定子繞組的功能性測試與靈敏度測試有些微的不同，但整體的測試步驟(如圖7)皆相去不遠。以電磁波量測法來說，靈敏度測試乃必要的步驟，若在執行上有困難，在最糟的情況下，可直接比較透過傳統測試法(IEC 60270)不間斷量測所得到的局放訊號。

而功能性測試的目的在於驗證整套的量測系統的功能皆能正常運作，與放電量

的強度並無直接的關係。功能性測試可透過單一感測器或兩個(以上)感測器來達成，而此測試亦可用來搜尋合適的窄頻量測頻帶。

音波量測法可透過時域或頻域來進行量測，靈敏度測試旨在驗證特定的量測設備，並以兩階段來執行 - 實驗室驗證與現場驗證。

以超高頻量測手法來說，實驗室驗證為第一個執行的測試，用來判定局放訊號的頻譜和訊號量。而音波測試法則是透過感測器和量測設備來記錄局放源的視在電

荷，甚至是放電訊號的頻譜。測試時會透過發射器來釋放人造音波訊號，再用音波量測設備來量測，而音波感測器(壓電晶體)亦可做為發射器使用。若人造訊號源的頻譜和訊號強度與真實的放電接近，則可用來做靈敏度測試的參考訊號。反之，當人造訊號源與真實放電訊號的特性相差太大時，則需在感測器與記錄設備間安裝濾波器，來將量測到的訊號限制在與真實訊號相近的頻率。於現場測試前進行的靈敏度測試，量測設備須處於和實驗室驗證時相同的環境。

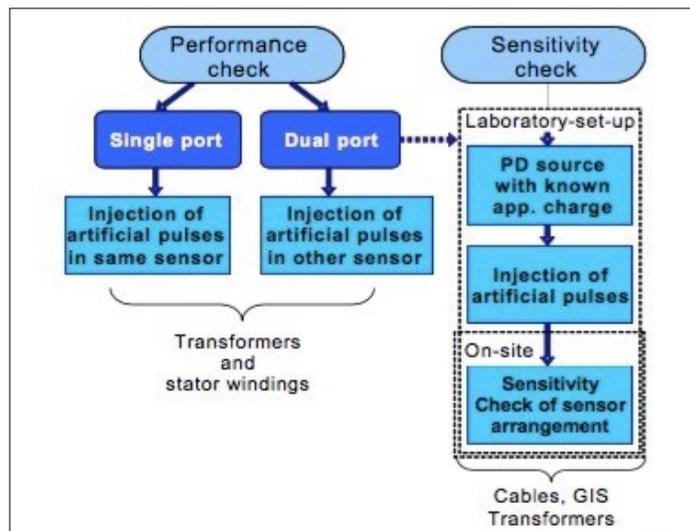


圖 6 非傳統檢測手法的量測流程

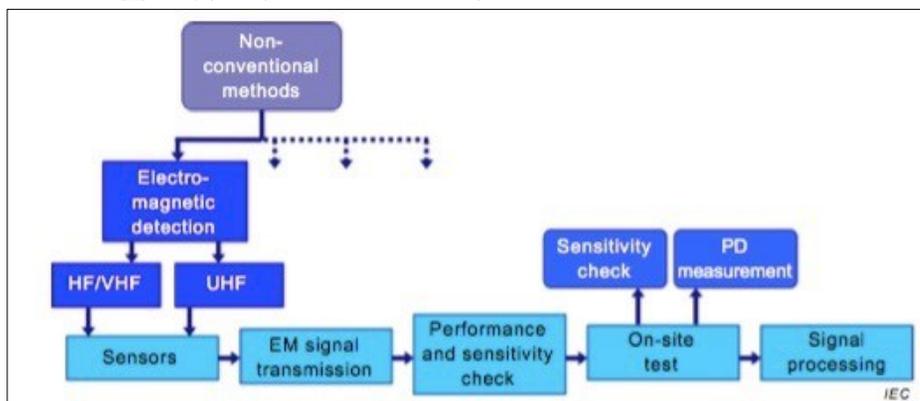


圖 7 功能性測試與靈敏度測試步驟

參、定位

局部放電的定位為局放量測中相當重要的環節，此段將禪述兩種檢測手法的重點。

局放的電磁脈衝訊號傳遞速度比其聲波的脈衝訊號傳遞速度要快上許多，因此在計算電磁訊號傳輸的時間差來做定位時，需要更高的解析度以達更精準的時間差量測。量測系統的整體頻寬亦影響空間定位解析度可達的最大值，因待測物的不同也有所差別，通常VHF與UHF需要更寬廣的量測頻帶。

根據待測物的訊號傳輸特性，對於計算模式的應用需要更小心謹慎，如UHF訊號

在直線傳輸路徑上的散射或衍射，若無適當修正其訊號抵達感測器時間(差)，極可能產生錯誤的定位結果。

所有的局放聲波定位皆可透過訊號量測(如圖8a)和(或)訊號抵達時間差(如圖8b)的方式計算。根據高壓設備的種類與電壓等級，量測的手法可細分為單一通道或多通道量測。其中透過時間差的計算來做局放源定位的方式需要同時記錄足夠的聲波訊號，方能實現。

因為所有的聲波局放量測手法都可能因為局放訊號較微弱或在絕緣系統深處而難以達成，因此需透過聲波觸發平均值來加強其靈敏度。而此手法成功的必要條件為需要重複量測至少一個通道的聲波訊號。

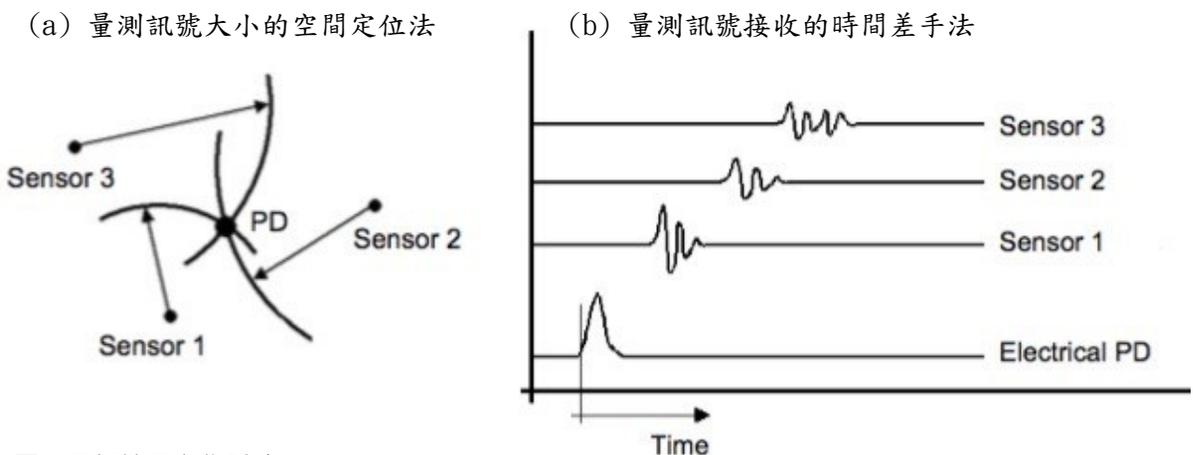


圖8 局部放電定位手法

肆、電磁訊號量測的優勢與劣勢

一、相較於IEC 60270傳統檢測法，VHF與UHF的局放量測優勢包含：

1.對於雜訊干擾有較佳的抗性，因此局放量測可套用交流電(本身帶有雜

訊)或其他電源系統來完成。此法大大地降低了局放測試的成本，同時提高測試結果的可靠性。

2.VHF與UHF經常被用來定位放電源，透過空間解析度來找出瑕疵點。

3.因VHF與UHF的特性，可透過電磁波

訊號的脈衝形狀與相關頻率來判別放電種類。

4. 雜訊抑制能力:由於電力系統內的雜訊大多落在幾 MHz 以下，因此 VHF/UHF 有著相當優異的訊號雜訊比。亦可使用兩個以上的感測器，透過其訊號傳遞的時間差來分辨雜訊與局放訊號。
5. 因 VHF 與 UHF 較寬的頻帶特性，可透過不同的頻率與時域特性來幫助局放訊號的分析和(或)放電源定位。

二、劣勢:

1. IEC 62478 制訂之電磁波量測手法主要的劣勢在於無法將放電強度轉換為視在電荷(pC)。
2. 由於 VHF 與 UHF 之量測系統的量測頻率較高，因此量測系統的設備成本亦高於傳統檢測手法。
3. 為了在現場的活電測試中達到雜訊分離和(或)較佳的雜訊抑制效果，通常感測器的配置上會針對不同的高壓設備去做設計，換而言之，GIS 的局放感測元件往往無法拿來做變壓器或定子繞組的局放量測使用。

伍、局放聲波量測的優勢與劣勢:

一、優勢:

1. 低成本(感測器與量測設備)。
2. 操作簡單。
3. 非侵入式量測:於量測時，僅需將感測器置於量測目標的表面上即可擷取訊號。

4. 不受電氣室內的電磁雜訊影響。
5. 可利用局放的電氣訊號來增加靈敏度。
6. 執行現場聲波系統的功能性測試難度較低。

二、劣勢:

1. 由放電源至感測器的途徑上所產生的訊號衰減較大，因此需要較多的時間來進行量測。
2. 對於電力變壓器的現場量測有著較低的靈敏度。
3. 無法根據 IEC 60270 之法規進行聲波訊號校正。

電磁波與音波的局部放電量測技術已行之有年且有不錯的成效，但過往僅能根據 IEC 60270 之傳統檢測法，然而檢測技術的快速進步與發展，特別是活電下的量測在近代的崛起並被廣泛接受卻一直苦無規範參照。因此針對此兩種局放量測手法，在近幾年亦納入了 IEC (62478) 之規範，探討不同頻帶的差異，並針對兩種檢測方式於不同設備別進行分析與比較。電磁波量測具有相當好的雜訊抑制能力，且可以偵測與分辨不同的放電種類並進行定位，唯獨量測設備的成本略高與通用性較低，導致普及率尚不及音波測試。相較於電磁波量測法，音波測試手法的成本與操作門檻較低，且屬非侵略性測試，因此實用性較高。但此法較容易受到雜訊干擾，另外對深層的放電訊號的靈敏度不佳較為可惜。綜觀兩種手法，可針對不同的設備別，來選擇較合適的量測手法，往往都能獲得不錯的效果。

陸、參考文獻

- [1] IEC 60270:2000 Standard | High-voltage test techniques - Partial discharge measurements.
- [2] IEC 62478:2016 Standard | High-voltage test techniques - Measurement of partial discharges by electromagnetic and acoustic methods.