



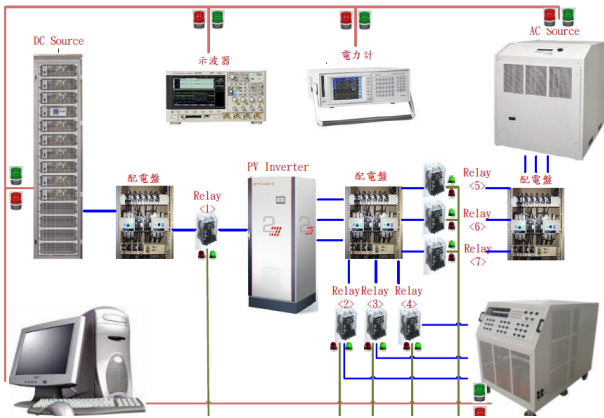
檢驗技術簡訊 43

INSPECTION TECHNIQUE

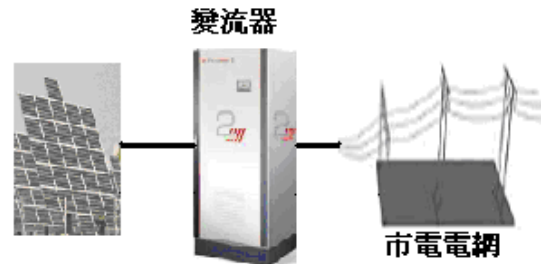
檢驗技術簡訊

第 43 期

每季出刊 1 期



變流器測試系統相關設備及架構



併網型分散式再生能源發電系統

◆ 專題報導

併網型變流器原理、檢測標準及實作之介紹

電氣科 技士 朱育民

◆ 檢驗技術

靜電測試(ESD)校正技術簡介

電磁相容科 技士 張彥堂

自來水中含鋁量之檢測

生化科 技士 葉志河

◆ 儀器介紹

直接進樣汞分析儀(Direct Mercury Analyzer)偵測極限測試

化學檢驗科 技正 詹康琴

出版資料

出版單位 經濟部標準檢驗局第六組
聯絡地址 台北市中正區濟南路1段4號
聯絡電話 02-23431833
傳 真 02-23921441
電子郵件 irene.lai@bsmi.gov.tw
網頁位置 <http://www.bsmi.gov.tw/>
發行人 謝翰璋

工作小組

主 持 人 陳光華
召 集 人 韋士勤
總 編 輯 賴滢如
編 輯 陳世昌 (化工領域)
謝佩君 (生化領域)
謝文馨 (化學領域)
黃宗銘 (高分子領域)
呂彥賓 (材料領域)
汪漢定 (機械領域)
陳秀綿 (電氣領域)
簡勝隆 (電磁相容領域)
顏士雄 (行政資訊)

總 校 訂 賴滢如
網 頁 管 理 王金標 吳文正
印 製 賴滢如

併網型變流器原理、檢測標準及實作之介紹

電氣科技士 朱育民

一、前言

世界能源日益短缺，油價居高不下，化石能源的使用造成二氧化碳的排放，使得地球的溫室效應更加明顯，因此兼顧環保與能源供應的再生能源成為人類未來能源的一個重要選項。而再生能源發電系統中，除了傳統的水力發電外，最主要包括太陽光電發電及風能發電兩種，太陽光電(PV)主要依靠太陽能模組經太陽照射後產生電力，所發電力的型式為直流(DC)；而風力發電的電力輸出，其型式可能是直流也可能是交流(但交流頻率及振幅會隨風速改變)，不論以上所述的 PV 或風力發電其電力型式除了少數應用情形可以直接利用外，大部份的情形下需要轉換成符合當地電力系統(市電)的型式來供應電器使用或透過併聯至公共電網(Utility Power Grid，以下簡稱電網)逆送功率，這時候變流器(Inverter)就可以達成這個功能。

傳統電力系統只會有一個供電來源(電力公司)，可是當變流器併聯至電網(併網)逆送功率時，每個變流器都將成為一個發電設備，而電網上連接的相關用戶端廣泛，且牽涉人員及用電設備安全，因此對於變流器安全性的要求更不同於一般電氣產品，諸如對異常電網環境(如電壓、頻率等)的跳脫，尤其是對於孤島發電(Unintentional islanding)的防止機制，更是非常的重要，本文除介紹變流器的主要技術規格，並探討依據國際及國家標準對於併網型變流器的性能及安全性的檢測方法及相關技術。

二、變流器介紹

變流器的功能是將直流電源輸入轉換為交流電源輸出，並普遍使用於再生能源發電系統的應用上，一般依照是否將再生能源所發電力轉換成交流電力後傳送至電網的不同應用，將變流器分為獨立型變流器及併網型變流器，以下說明變流器在系統中的角色及不同型式變流器所具有的特性。

1. 併網型及獨立型變流器

併網型發電系統

將直流電力轉換成交流電力，併聯逆送至電網

變流器輸出是一個電壓源，輸出電壓跟隨電網電壓具有防孤島發電功能



圖 1 併網型分散式再生能源發電系統

獨立型系統

將直流電力轉換成交流電力，直接提供給本地負載使用

變流器輸出是一個電壓源

需具有防孤島發電功能。

二、變流器相關規格簡介

以下介紹與變流器有關的專有名詞。

最大功率追蹤(MPPT)：

太陽電池(PV Cells)經過照光產生電力後，其行為可由一組直流電壓與電流組成一條曲線，一般稱為 I-V 曲線(圖 2)，此一曲線上可找到一個太陽電池的工作點，在這個工作點上太陽電池可以輸出在此光照強度下的最大功率，因為變流器主要以輸入功率為主，為了達到最大功率轉移，因此變流器必須持續追蹤直流輸入的最大功率點，以供後級的直流/交流轉換之用。

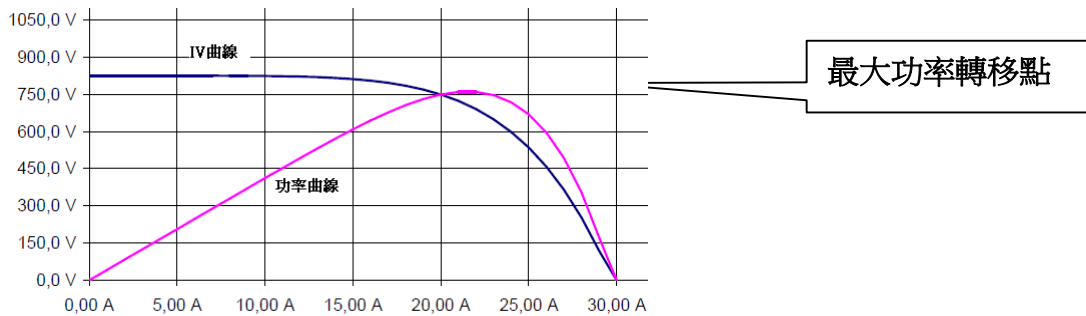


圖 2 太陽電池輸出特性曲線

最大功率點追蹤電壓範圍(MPP Voltage Range)：

係指直流輸入端的最大功率點的電壓追蹤範圍，超出此範圍，變流器將因無法追蹤最大功率點而停止輸出。

直流輸入端的數量(No. of DC input Port)：

直流輸入端的數量，為變流器所提供可以連接的直流輸入接頭(插座或端子)數目。

最大功率追蹤器數目(No. of MPP Tracker)：

變流器內部提供最大功率追蹤演算法的數目，必需搭配實體的直流輸入端。

歐洲效率(European Efficiency)：

一般評估太陽光變頻器轉換器的效率採用加權計算的平均效率，在不同的輸入直流電壓會測得不同的效率曲線。歐洲效率是根據 5 個工作點的效率予以加權計算而得。

三、變流器併網標準及其要求

1. 變流器併網安全有關之相關標準

變流器試驗中有關併網的相關標準簡單整理如下：

CNS：CNS 15382

美國：IEEE 1547、IEEE 1547.1、UL1741

IEC/德國：VDE 0126-1-1、IEC 62116-1-1

UL1741 內容較為完整，包含變流器安規等的要求，而其中有關併網安全方面則引用 IEEE 1547 的要求，IEC 62116 則主要針對應用於太陽光電發電的變流器有關併網的要求，CNS 15382 為調和 IEC IEC61727:2004。

2. 變流器併網安全要求的主要項目

異常電壓跳脫(Response of abnormal voltage conditions)：

併網型變流器都必須具備過壓/欠壓(OVP/UVP)保護方法，以便在電網電壓超出可接受的範圍時，防止變流器向電網供電，針對變流器檢測異常電壓的檢測項目，變流器跳脫時間須符合表 1 的要求（以 IEEE 1547 為例）。

Table 1—Interconnection system response to abnormal voltages

Voltage range (% of base voltage ^a)	Clearing time(s) ^b
V < 50	0.16
50 ≤ V < 88	2.00
110 < V < 120	1.00
V ≥ 120	0.16

^aBase voltages are the nominal system voltages stated in ANSI C84.1-1995, Table 1.

^bDR ≤ 30 kW, maximum clearing times; DR > 30kW, default clearing times.

異常頻率跳脫(response of abnormal frequency conditions)：

併網型變流器都必須具備過頻/欠頻(OFP/UFP)保護方法，以便在電網頻率超出可接受的範圍時，防止變流器向電網供電，針對變流器檢測異常頻率的檢測項目，變流器跳脫時間須符合表 2 的要求（以 IEEE 1547 為例）。

Table 2—Interconnection system response to abnormal frequencies

DR size	Frequency range (Hz)	Clearing time(s) ^a
≤ 30 kW	> 60.5	0.16
	< 59.3	0.16
> 30 kW	> 60.5	0.16
	< {59.8 – 57.0} (adjustable set point)	Adjustable 0.16 to 300
	< 57.0	0.16

^aDR ≤ 30 kW, maximum clearing times; DR > 30 kW, default clearing times.

直流注入(DC Injection)限制：

適用於不具備輸出變壓器(output transformer)的併網型變流器，限制變流器輸出電流中的直流成分(dc components)進入電網，以免造成電網上中性點的電位偏移，不同的標準要求的門檻不同，可參考下表。

表 3 輸出電流直流成分限制

IEEE 1547	CNS 15382(IEC61727)	VDE 0126-1-1
Idc < 0.5 % rated IRMS	Idc < 1 % rated IRMS	Idc < 1A

缺相(open phase)跳脫：

併網型變流器應能於偵測到電網缺相時跳脫並停止輸出電力。

異常跳脫後復閉(Reconnection after trip)：

併網型變流器因電網異常跳脫，待電網恢復正常一段時間後應能自動恢復併網供電。

防孤島發電功能：

當電網由於某種原因中斷後，並聯於電網上之分散式發電系統的變流器必須與電網斷開。

在上述各項要求中，較為特殊且重要性較大的項目是”防孤島功能”，因此以下將做更進一步的介紹。

3.孤島發電現象簡介

當市電電網供電中斷後，如果分散式發電系統(DR)仍持續獨立供電，此一現象稱為孤島發電，如果在孤島發電的情形下電網維護人員進行緊急修復動作時，極可能造成維修人員觸電的危險。

為了安全起見，併網型變流器應能發現電網電力中斷，然後進行後續停止輸出電力到電網的動作，要發現電網電力中斷的方法可大致分為以下兩種。

表 4 異常跳脫後復閉之條件參數

被動式偵測方法：

被動式偵測方法，圖 3 顯示了變流器與電網的典型連接。變流器的輸出功率為 $P + jQ$ ，本地負載為 $P_{ld} + jQ_{ld}$ ，其餘功率由電網 $\Delta P + j\Delta Q$ 提供。一但電網斷開後，如果在電網斷開前 $\Delta P \neq 0$ ，電網電壓的振幅將產生變化，被動式偵測裝置能夠檢測到這種電壓變化並停止變流器繼續輸出功率。如果在電網斷開前 $\Delta Q \neq 0$ ，電網的相位會產生突然轉移，被動式偵測裝置將能夠檢測到這種相位變化並停止變流器繼續輸出功率，以避免孤島發電情形的發生。

但是當變流器輸出電力與本地負載達到平衡時 ΔP 和 ΔQ 將變得很小，這個時候被動式偵測裝置要能發現電網斷開並避免孤島發電條件的困難度就大幅提高了。

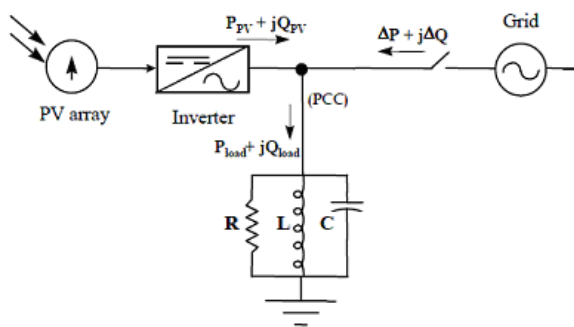


圖 3 變流器併聯電網之電力潮流(Power Flow)示意圖

主動式偵測方法：

主動式檢測法則是藉由併網型變流器主動產生一個干擾訊號送入電網，再觀察負載的端電壓是否受到影響，做為判斷是否發生孤島現象的依據。當發生孤島發電情形時，主動擾動將造成系統的不穩定，即使在系統之發電與負載實功率平衡的狀態下，也可藉由主動擾動達到破壞平衡狀態，使系統之電壓發生明顯的變動，而可由過電壓電驛或欠電壓電驛檢測出故障。

主動式檢測法與被動式檢測法相比，可以較有效的發現電網斷開的情形，但缺點是所送出的干擾訊號對電網的電力品質會有一點影響。

4.變流器測試系統簡介

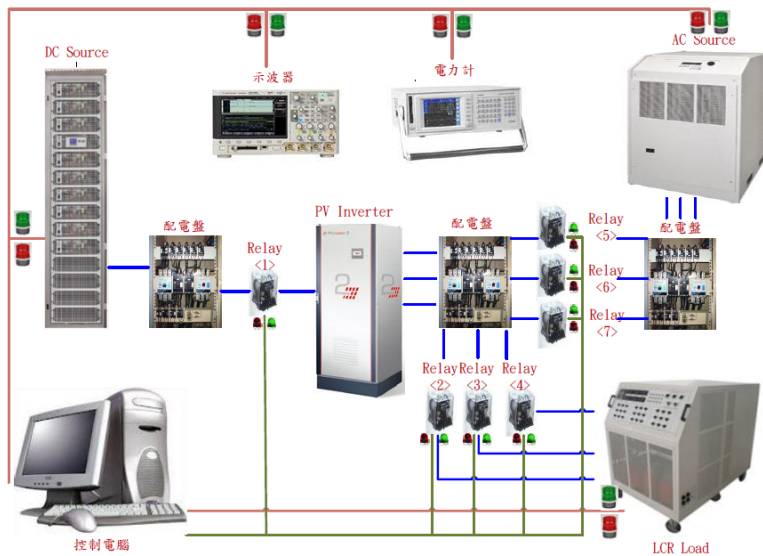


圖 4 變流器測試系統相關設備及架構

4.1 變流器測試系統測試項目

- 輸入電壓上限、下限量測
- 最大功率追蹤電壓上限、下限量測
- 靜態最大功率追蹤效率之量測
- 輸出電壓 Vrms、電流 Irms、頻率之量測
- 輸出有效功率、無效功率、功率因數等之量測
- 電能轉換效率、最高轉換效率、CEC 轉換效率
- 直流注入電流(DC Injection current)之量測
- 電流諧波、總諧波失真量測
- 過電壓保護、欠電壓保護之反應量測(OVP/UVP trip time)
- 過頻保護、欠頻保護之反應量測
- 防孤島保護之反應量測
- 缺相試驗之反應量測
- 復閉試驗之反應量測

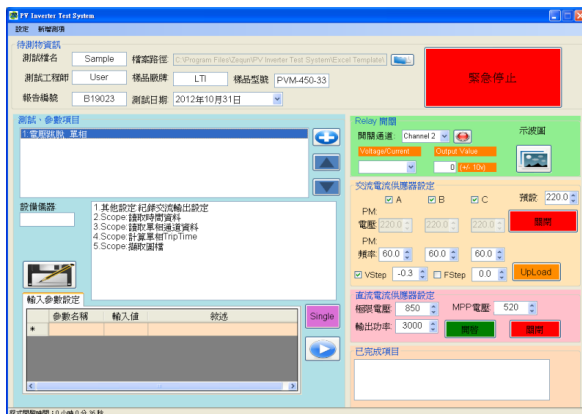


圖 5 變流器測試系統軟體主控程式

4.2 防孤島發電試驗裝置

在以上各項試驗中，”防孤島保護之反應量測”的試驗項目其試驗條件最為複雜且重要性較大，量測所需設備以圖 6 簡述如下：

直流輸入源：待測變流器的直流電力輸入來源，作為模擬 PV 模組或風力發電機電力輸出

RLC 交流負載：被動式 R(電阻)、L(電感)、C(電容)可獨立調整交流負載

交流輸入源：區域電力系統模擬器 (Simulated area EPS) 或實際電力系統(電網)的電壓諧波要求，其電壓總諧波失真(THD)需小於 2.5%，其個別電壓諧波失真需小於表 5 所列數值的 50% (以 IEEE 1547 為例)。

表 5 交流輸入源諧波要求之參考參數

Table 3—Maximum harmonic current distortion in percent of current (I)^a

Individual harmonic order h (odd harmonics) ^b	h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 ≤ h	Total demand distortion (TDD)
Percent (%)	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

^a I = the greater of the Local EPS maximum load current integrated demand (15 or 30 minutes) without the DR unit, or the DR unit rated current capacity (transformed to the PCC when a transformer exists between the DR unit and the PCC).

^b Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

波形監視裝置：用來量測待測變流器的電力輸出波形及跳脫時間 t_r

變流器 EUT：待測變流器

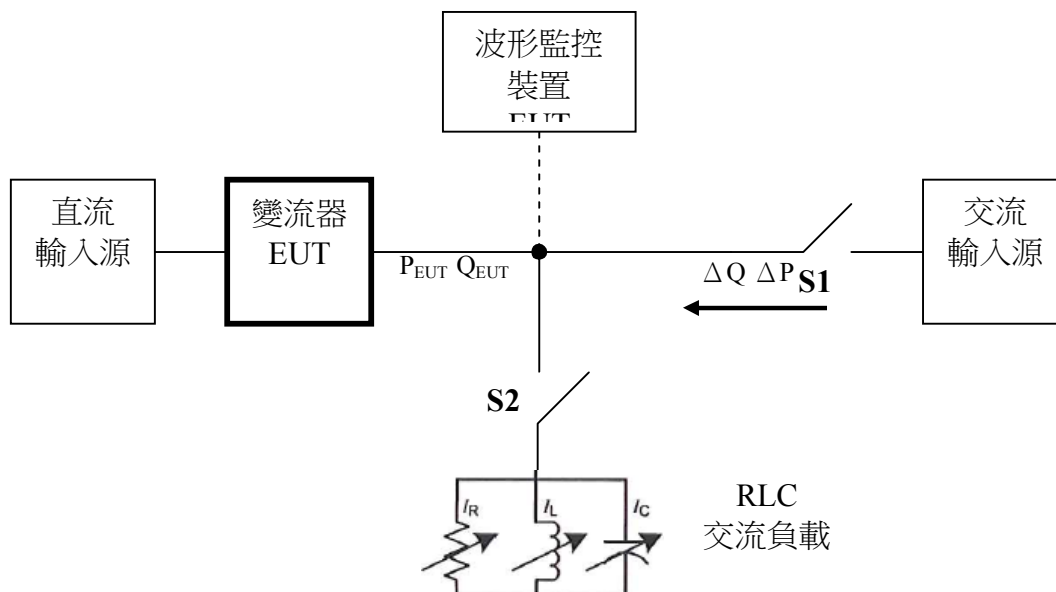


圖 6 防孤島發電試驗(Unintentional islanding test)裝置示意圖

變流器投入發電後，需不斷偵測電網條件，如果發現電網上的電力供應消失(工程維護斷電、故障跳脫．．．)，變流器應於一定時間(一般要求小於 2 秒)內跳脫並停止輸出電力，偵測電網上的電力供應消失的方法如前述可分為被動式及主動式技術，不論採用何種偵測技術，此一偵測的功能最困難的條件在於，當再生能源發電的電力剛好等於本地負載所需，因此所發電力全部在本地消耗掉，既不送電力到電網上，也不從電網上取得電力，甚而在本地負載內還包含與實功大小相當的電感正虛功及電容負虛功形成共振條件(品質因數 $Q_f \cong 1$)，以使偵測的困難度提高。

4.3 防孤島發電試驗(Unintentional islanding test)程序

併網型變流器之防孤島功能之檢測，主要是調整使得變流器輸出全部為本地負載吸收，亦即電網不提供實功及虛功的條件下（參考圖 6 的 ΔP 和 ΔQ 於 S1 斷開前接近於 0 時），從電網突然斷開開始計時，記錄直到變流器跳脫的時間。

為了方便說明，以下綜合 CNS 15382、IEEE 1547、IEEE 1547.1、IEC 62116 等標準對於防孤島發電試驗的要求，將試驗程序整理如下：

閉合 S1，斷開 S2，啟動變流器。通過調節直流輸入源，使變流器的輸出實功 PEUT 等於額定交流輸出功率，此時量測到的變流器輸出虛功定義為 QEUT。

使變流器停機，斷開 S1。

依照以下步驟調節 RLC 負載使得 $Q_f = 1.0 \pm 0.05\%$ 。

使 RLC 交流負載電路消耗的電感虛功滿足關係式： $Q_L = Q_f * PEUT = 1.0 * PEUT$;

接入電感 L，使其消耗的虛功等於 Q_L ；

併入電容 C，使其消耗的電容性虛功滿足關係式： $Q_C + Q_L = -QEUT$ ；

最後併入電阻 R，使其消耗的實功等於 PEUT；

閉合 S2 接入 RLC 交流負載，閉合 S1，啟動變流器，確認其輸出功率符合步驟 c)

調節 R、L、C 直到流過 S1 的基頻電流小於穩態時變流器額定輸出電流 1%；

斷開 S1，記錄從 S1 斷開至變流器輸出電流下降並維持在額定輸出電流的 1% 以下之間的時間 t_r ，此一時間須符合 $t_r \leq 2$ 秒。

變流器輸出功率須依據下表調整負載使其實功與虛功刻意調為不平衡(Load imbalance)條件下執行測試，調整範圍為 95%~105%間，以每 1%的間隔調整，重復以上試驗步驟。

表 6 不平衡負載試驗條件(實功與虛功的偏離比例)

實功與虛功變異相對額定功率的百分比
0, -5
0, -4
0, -3
0, -2
0, -1
0, 1
0, 2
0, 3
0, 4
0, 5

按以上順序依次調節直流輸入源使得輸出的功率分別等於變流器額定功率的 100%，66%，33%，所記錄的時間都應滿足步驟 e) 的規定。

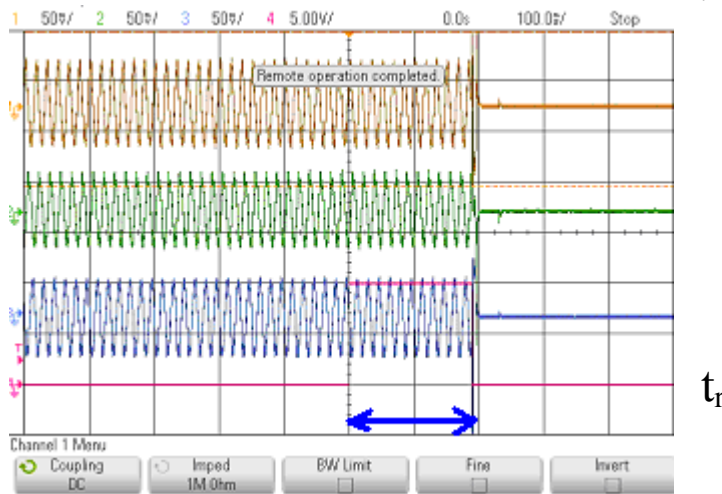


圖 7 防孤島發電試驗變流器(三相)跳脫電流波形圖 (跳脫時間約 200 mS)

4.4 變流器測試系統有關孤島試驗之規劃重點：

由於每次防孤島功能試驗都需各自調整 R、L、C 以改變實功與虛功之間的關係，以滿足試驗條件的要求，然後才可以進行交流輸入源斷開至變流器停止輸出的時間量測，一個完整的防孤島發電試驗至少要有 31 種不同的量測條件，需耗費相當多的時間，如果待測變流器是三相的型式時，則調整的複雜度相對於單相的變流器將又提高數倍，有鑑於此，本測試系統規劃採用半自動的調整方式，由電腦程式協助計算變流器各相現有功率條件(實功與虛功)與預定調整目標的估算值之間的差異，並依此計算變流器各相所須調整的 R、L、C 值，這樣作法的優點在於 R、L、C 可同時計算後設定新值，更使得試驗條件調整的複雜度不論三相或單相變流器都變得差不多了。



圖 8 RLC 被動式負載操作介面

5 結語

風力發電、太陽光電等再生能源發電雖然已經有長久的歷史，但真正被普遍而大量地透過併網型變流器將電力饋入市電電網的應用也不過是近十年來的事，因此對於變流器併網後所需採用的安全措施及要求也還仍處於不斷演進的過程中，尤其當再生能源

發電規模佔整體電網的比例越來越大時，其對傳統電力系統造成的衝擊就不能忽視了。

例如，目前的變流器併網的安全要求規定當電網發生電壓過低時變流器必須能於一定時間內跳脫，並於電網恢復正常經過一段時間(復閉時間)後重新投入併聯發電，以目前相關變流器併網安全的要求下極可能形成同一區域內所有再生能源變流器有同時跳脫以及隨後同時復閉投入併聯發電的情形發生，此一情形會造成對電網的衝擊致使電力系統不穩定。

有鑑於此，目前國際上也正研擬新的規範與技術，如低電壓穿越技術(LVRT, Low Voltage Ride Through)，當電網電壓發生驟降時，變流器不再只是因偵測到過低電壓後跳脫，而是必須視電壓異常程度仍提供相對比例實功供電，或提供虛功發電(虛功補償)饋入電網，支撐電網電壓直到電網恢復正常，部分廠商也已提供具備LVRT功能的產品，至於相關的國際標準及相對應的檢測方式還需要不斷地隨著應用面的經驗回饋及業界實務需求來做更進一步的探討與調整。

參考文獻

CNS 15382：太陽光電系統－電力傳輸網界面之特殊要求：99年9月

IEEE 1547：IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems：2003

IEEE 1547.1：IEEE Standard Conformance Test Procedures for Equipment Interconnecting：2005

IEC 62116：Test procedure of islanding prevention measures for utility-interconnected photovoltaic inverters：2008-9

檢驗技術

靜電測試(ESD)校正技術簡介

電磁相容科技士 張彥堂

一、前言

靜電放電(ElectroStatic Discharge, 簡稱ESD)一般是兩物體經由接觸而突然產生大電流的現象，也是造成大多數電子元件或電子系統遭受破壞的主要因素，這樣的破壞會造成積體電路永久毀壞，所以是市售電子產品必須面對與克服的難題之一。為測試電子產品的靜電耐受程度，必須使用能產生ESD干擾電流的儀器(例如靜電槍)以便對產品進行測試；因此IEC 61000-4-2靜電耐受測試標準中規範了儀器產生之ESD電流波形、參數以及電壓級數等條件，同時為確保ESD測試之品質與重複性，測試儀器的校正是必須的。根據標準附錄B內容，首先確認校正靶件(calibration target)之規格，接著進行ESD放電波形量測，最後檢視波形之參數是否符合標準，校正之細節如下所述。

二、校正靶件規格

校正靶件外觀為一圓形之校正器件(圖 1)，主要功能為將來自靜電槍的大電流轉換成電壓訊號以供高速示波器擷取 ESD 波形，其內部組成主要為 2Ω 到地之電阻。首先確認校正靶件輸入阻抗之直流規格，必須小於或等於 2.1Ω ，使用 LCR 表或是歐姆表可以輕易量測出校正靶件之輸入阻抗，要注意的是在量測直流輸入阻抗時，校正靶件的 SMA 接頭必須連接 20 dB 衰減器(attenuator)、同軸導線以及 50Ω 終端附載，為此，在接下來的頻率響應測試乃至正式的 ESD 測試時，校正靶件、衰減器以及同軸導線的組合應被視為一整體的測試鏈(chain)以簡化個別校正的麻煩，同樣的，若是測試鏈中的任一項設備有更換、鬆動或是重接，必須再次對更動過的測試鏈進行校正以確認符合標準之要求。

因 ESD 為寬頻訊號，也需要確認校正靶件的頻率響應，IEC 61000-4-2 規範了插入損耗(insertion loss)的偏移條件必須在 ± 0.5 dB(頻率小於 1 GHz)以及 ± 1.2 dB(頻率介於 1-4 GHz)之內，其量測程序如下：

首先進行網路分析儀的校正，將量測參考面校正至如圖 2 位置，為確保銜接之穩定度，可將測試鏈鬆開與重接並進行重複量測。

將轉接頭與測試鏈相接如圖 2 所示。

進行插入損耗量測。

圖 3 為量測之結果，可以看到量測結果符合標準要求。在確認完校正靶件的直流與頻率響應後，即可使用靶件來量測 ESD 放電波形。

三、ESD 放電波形量測

首先確認使用之儀器設備如下：

具備 2 GHz 以上類比頻寬之示波器。

同軸電流測試鏈(校正靶件、衰減器以及同軸導線)。

能測量至少 15 kV 之高電壓表。

垂直校正平面(校正平面之每邊需距離校正靶件中心至少 0.6 m 以上)。

具備足夠功率承受度之衰減器。

典型的 ESD 校正測試配置如圖 4，校正靶件需置於垂直校正平面上，靜電產生器之接地插座需置於校正靶件下方 0.5 m 處，接地線需將中點向後拉呈等腰三角形，不可任意將接地線置於地板上。最後依照下表步驟完整紀錄波形與相關參數：

步驟	說明
進行每一測試等級的 ESD 測試並紀錄結果	兩種極性各作 5 次
量測每個波形之 IP、I30、I60 以及 tr 等參數	每一測試等級須作確認
確認 30 ns 之電流值(I30)	確認 $I30 \pm 30\%$

確認 60 ns 之電流值(I60)	確認 $I_{60} \pm 30\%$
確認峰值電流之電流值(IP)	確認 $I_P \pm 15\%$
確認上升時間(tr)	確認 $t_r \pm 25\%$
註：不同測試等級的電流值參數與上升時間須參照 61000-4-2 表一。	

圖 5 為 4 kV 測試等級之實際量測電流波形，再根據 $I_{ESD}=5 \times V_m$ 公式將示波器讀取到的電壓值(V_m)轉換成電流值(I_{ESD})，可得到 I_{30} 、 I_{60} 、 I_P 以及 t_r 約為 7.5 A、3.9 A、12.5 A 以及 0.8 ns。

四、結論

進行 ESD 評估的校正是相當重要的，特別是使用不同製造商所生產之 ESD 產生器進行測試時或是進行長時間測試時，校正的目的在於使不同場地、不同製造商之儀器所測試之 ESD 條件一致，這樣的結果才能比較且具再現性以確保 ESD 測試之品質，經由儀器規格之確認、校正靶件之使用、完整 ESD 校正場地之使用以及放電電流參數之確認，可以建立標準之 ESD 測試能量以供使用者或相關實驗室依循及比較。

五、參考資料

1. IEC 61000-4-2 Edition 2.0 (2008-12) Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-2: Testing and measurement techniques - Electrostatic discharge immunity test
2. CTR 2 ESD calibration target specification, EM TEST
3. ESD30C/P30C ESD simulator specification, EM TEST

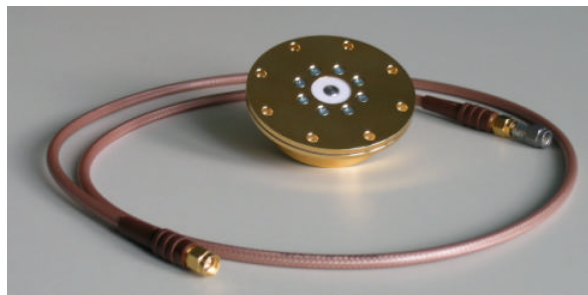


圖 1、校正靶件、衰減器以及同軸電纜線

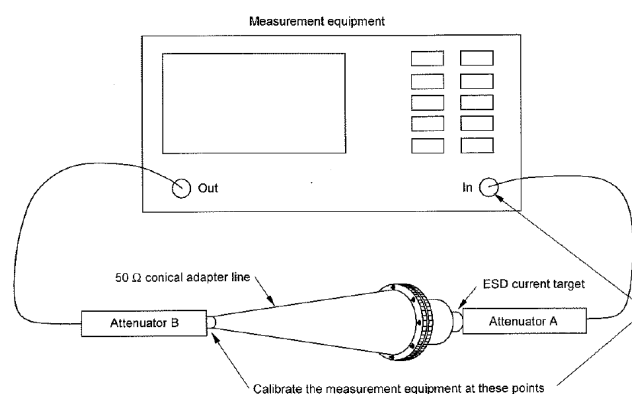


圖 2、量測鍵之插入損耗量測示意圖

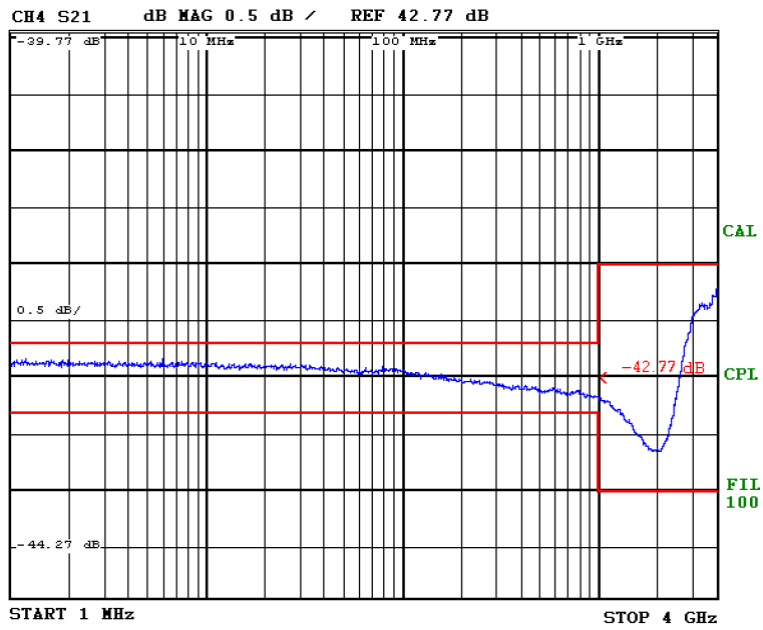


圖 3、插入損耗量測結果

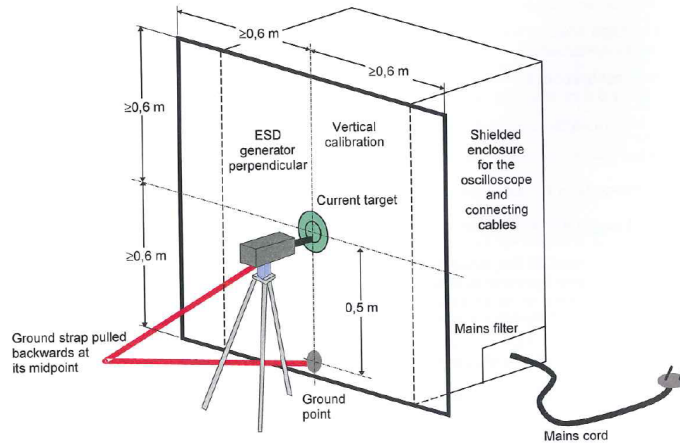
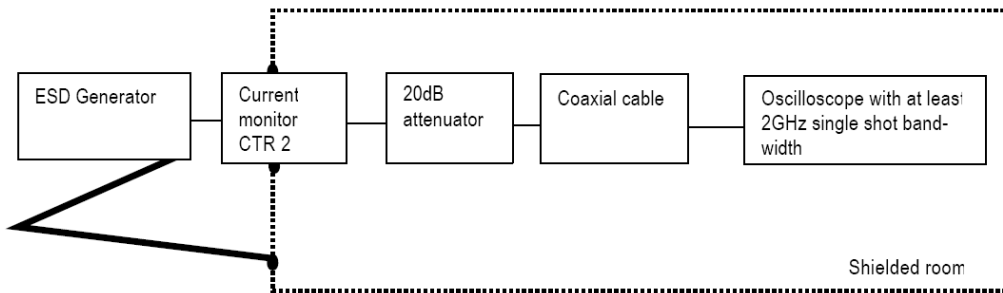


圖 4、ESD 校正測試配置

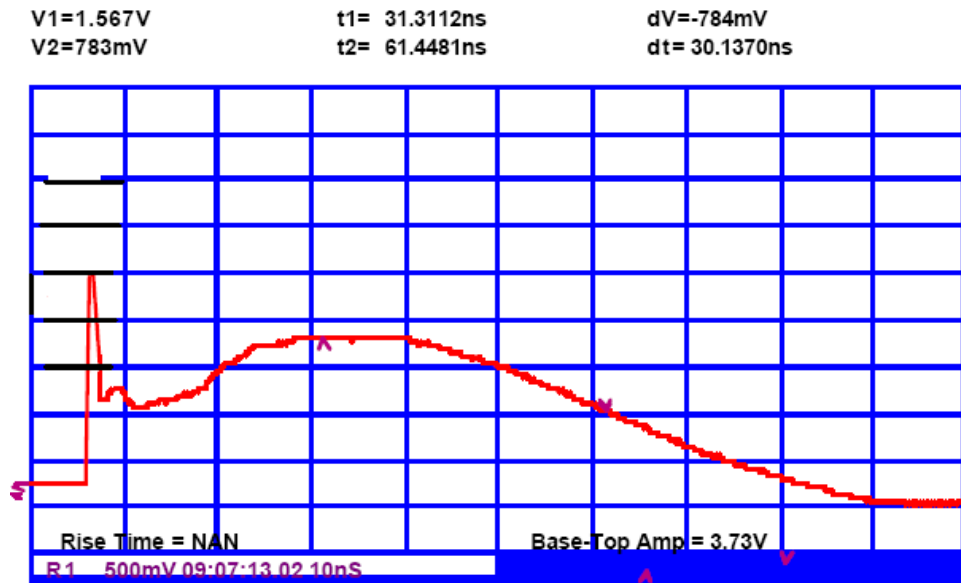


圖 5、1 kV 測試等級之 ESD 放電電流波形

自來水中含鋁量之檢測

生化科 技士 葉志河

一、研究緣起

2012 年 4 月 5 日中時電子報發表 1 篇新聞報導「129 萬戶自來水含超標鋁 易痴呆」，主要內容為「台灣自來水公司委託成功大學調查發現，全台多達十八所淨水場清水含鋁超出警戒值，大多集中雲嘉南地區，台南楠玉淨水場其中一次抽驗更超過國際標準七倍，十八家淨水場總供水用戶高達一二九萬戶，都暴露在慢性中毒的危機下！」

有鑑於此，為能隨時為消費者提供自來水中含鋁量之檢測，本研究參考環保署之 NIEA W31152C「水中金屬及微量元素檢測方法—ICP 法」1，選擇合適的儀器設備，建立自來水中「含鋁量」之檢測方法，並依 NIEA-PA107「環境檢驗方法偵測極限測定指引」2 評估出符合檢測需求之偵測極限，同時建立其品保制度，將檢測方法一致性，做為本局未來檢測自來水中含鋁量之依據。

研究方法

1. 建立檢量線

檢量線依序配製 0.1 ppm、0.2 ppm、0.3 ppm、0.4 ppm、0.5 ppm 等 5 點濃度以 ICP-SES(Al 396.152 nm)進行測試，以濃度(ppm)對強度(Intensity)作圖，經過迴歸可求得鋁之檢量線如圖 1 所示，為 $y=4118.2x+148.88$ (相關係數 $r=0.998$)，顯示標準品溶

液的線性關係良好，另外配製 0.25 ppm 查核其檢量線，可得到 $25.836/25 \times 100\% = 103.3\%$ 之良好結果。

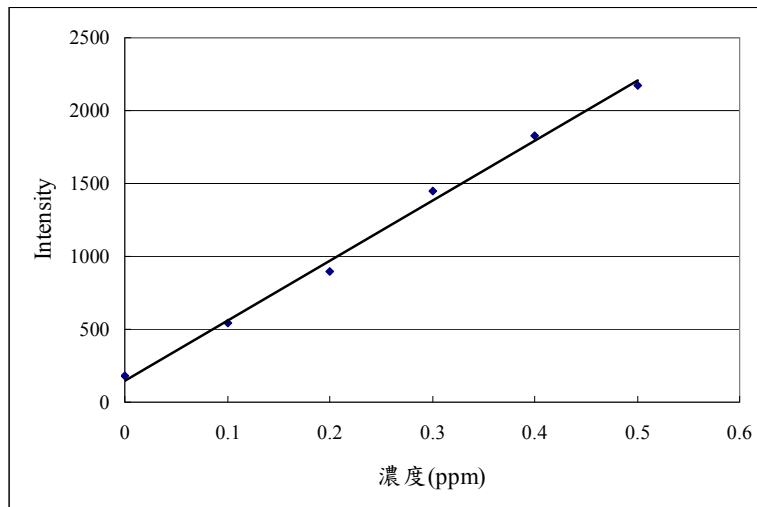


圖 1 Al 396.152 nm 之檢量線

2. 品質管制

參考 NIEA W31152C 「水中金屬及微量元素檢測方法—ICP 法」之品質管制方法，依序有下列幾項：(1)檢量線之線性關係及確認；(2)檢量線查核；(3)空白樣品分析；(4)查核樣品分析；(5)重複樣品分析；(6)添加樣品分析；(7)精密度及準確度。

3. 方法偵測極限(MDL)之評估及計算

本研究依 NIEA-PA107 「環境檢驗方法偵測極限測定指引」之第 2 種方式，以產生儀器訊噪比 (S/N) 為 2.5 至 5.0 之待測物濃度來預估 MDL，再配製其濃度為預估 MDL 之 1 至 5 倍之待測樣品共 7 個，進行後續一系列之評估，最終可計算出其 MDL 為 0.01 ppm。

三、結果與討論

1. 光譜性干擾發生的原因有兩種，其一是因基質中其他元素與待測元素的測定波長相同，而造成譜線完全重疊之干擾；另外一種情況則是當干擾元素與待測元素的波長相近，且干擾元素濃度很高時，造成譜線變寬，而與待測元素之譜線產生部份重疊的干擾。此類型之干擾，可以藉由選擇元素之其他測定波長、使用干擾校正係數或儀器廠商所開發之電腦自動譜線干擾解析軟體來進行校正，為了考量可能產生光譜性干擾並採用 ICP-AES 之同時式及分析多元素之優點，選擇較佳之鋁分析波長 396.152nm 進行測試。

2. 參考 NIEA W31152C 「水中金屬及微量元素檢測方法—ICP 法」之品質管制方法，相關測試項目及其測試結果詳見表 1，其測試結果皆符合其管制範圍，顯示以本研究探討之 ICP-AES 方法測試自來水中之含鋁量為一可行之檢驗技術。

表 1 品質管制數據

品管項目	規 範	分析結果
檢量線確認	線性相關係數($r > 0.995$)	0.998
	標準品(相對誤差值 $\leq \pm 10\%$)	3.7%

檢量線查核 (0.25ppm)	相對誤差值(<±10 %)	7.8 %
檢量線空白分析	空白分析值(<2MDL=0.02ppm)	0.01 ppm
查核樣品分析 (0.25ppm)	相對誤差值(<±10 %)	4.6 %
空白樣品分析	空白分析值(<2MDL=0.02ppm)	0.011 ppm
重複樣品分析	重複樣品 1	0.051 ppm
	重複樣品 2	0.050 ppm
	相對差異百分比(<20 %)	2.9 %
添加樣品分析(添加 0.1 ppm)	回收率(80 %~120 %)	101.0 %
精密度	平均濃度(ppm)	0.051
	相對標準偏差(<20 %)	2.1
準確度	添加濃度(ppm)	0.1
	平均回收率(%)(80 %~120 %)	104.2

3. 台水公司對鋁制定之建議警戒值為 0.15 ppm，但環保署目前並未對飲用水制定鋁之容許量規定，不過可先參考國際間對其管制之標準，歐盟規定飲用水每公升鋁含量不得超過 0.1 毫克 (0.1 ppm)，加拿大、澳洲係將鋁列為影響飲用口感之物質，管制標準值為 0.1~0.2 ppm，美國則將鋁列為次要水質標準，另日本、德國等國的管制標準則為 0.2 ppm，若以國際上目前對鋁管制的情形來看，本研究求得之 MDL 0.01 ppm，應可符合其要求。

四、參考文獻

1. NIEA W31152C 「水中金屬及微量元素檢測方法—ICP 法」，中華民國 100 年 11 月 15 日環署檢字第 1000099370 號公告，自中華民國 101 年 1 月 15 日生效。
2. NIEA-PA107 「環境檢驗方法偵測極限測定指引」，中華民國 93 年 10 月 04 日環署檢字第 0930072069G 號公告修正，自 94 年 01 月 15 日起實施。

儀器介紹

直接進樣汞分析儀(Direct Mercury Analyzer)偵測極限測試

化學檢驗科技正 詹康琴

一、前言

以直接進樣分析儀(Direct Mercury Analyzer, DMA)檢測汞含量，所分析樣品不須經前處理，固、液體樣品可直接置於樣品船(sample boat)直接進樣檢測。汞為一有害物質，對於儀器在分析總汞含量之各種偵測極限值管數值實須詳加討論，以確保測試數據之正確性與可信度。

二、儀器偵測極限測試

係參照環保署 NIEA 文件「環境檢驗室儀器及方法偵測極限測定指引」檢測步驟試驗。依據儀器標準操作程序與檢測方法之規定先行校正儀器，製備待測物定量用檢量線，分析 7 個待測空白樣品測定值之標準偏：

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / n - 1} \quad \text{其中：} X_i = \text{待測空白樣品之個別測定值}$$

\bar{X} = 待測空白樣品測定值之平均值

n = 測定次數 (7 次)

儀器偵測極限(IDL) $IDL = 3 \times s$

三、方法偵測極限測試

係參照環保署 NIEA-PA07「環境檢驗室儀器及方法偵測極限測定指引」檢測步驟試驗。

1. 預估 MDL：選擇已知相當於 IDL 濃度值。
2. 以泡泡水玩具樣品做為基質，並選擇空白基值樣品或其待測物濃度至少小於預估偵測極限 5 倍濃度之樣品。添加待測物(Hg)進行分析測試，測試之 3 倍標準偏差 (S_A)為第一次 MDL₁。
3. 確認 MDL₁ 及後續 MDL₂ 之合理性
 - (1) 再將樣品添加第一次 MDL₁ 濃度之汞(Hg)。執行第二次 MDL₂ 確認分析測試，其測試 3 倍標準偏差 (S_B)為第二次 MDL₂。
 - (2) 利用本次 MDL₂ 與前次 MDL₁ 之標準偏差平方值，計算 F 比值。
F 比值之計算，係將前述較大之標準偏差平方值做分子，另一為分母，兩者相除而求之。
 - (3) 當 $S_A^2/S_B^2 < 3.05$ ，則利用下述公式計算共同標準偏差 (Pooled standard deviation, S_{pooled})：

$$S_{pooled} = \left[\frac{6S_A^2 + 6S_B^2}{12} \right]^{1/2}$$

若 $S_A^2/S_B^2 > 3.05$ ，則重新添加相當於本次測得之 MDL 濃度之待測物於樣品基質中，重複執行 MDL 之測定至 $S_A^2/S_B^2 < 3.05$ 為止。

(4) 利用 S_A 及 S_B 計算得到之 S_{pooled} 值，依下述公式計算最後之 MDL 值。

$$MDL = 2.681 \times S_{pooled} \quad (\text{式中 } 2.681 \text{ 係等於 } t(12, 1-\alpha=0.99) \text{ 值})$$

四、測試結果說明

- 儀器偵測極限 (IDL) 之定義為待測物之最低量或最小濃度，足夠在儀器偵測時，產生一可與空白訊號區別之訊號者。亦即該待測物之量或濃度在 99% 之可信度 (Confidence level) 下，可產生大於平均雜訊之標準偏差 3 倍之訊號，而此 IDL 主要為用來衡量儀器之偵測能力，本次測試儀器偵測極限 (IDL) 為 0.0088 ng Hg
- 方法偵測極限 (MDL) 為待測物在某一基質於 99% 之可信度下中以指定檢測方法所能測得之最低濃度；指待測物在某一基質中，以指定檢測方法所能測得之最低濃度。依據汞分析儀 DMA80 儀器偵測極限值 0.0088 ng Hg 含量，預估第一次測試樣品 Hg 濃度應 0.1 ng/mL，測試結果 $MDL_1 = 3 \times S_A = 0.042$ (ng/mL)，第二次測試樣品 Hg 確認濃度配置 0.05 ng/mL，測試結果 $MDL_2 = 3 \times S_B = 0.024$ (ng/mL)。 $S_A = 0.042$ ， $S_B = 0.024$ 其 $S_A^2/S_B^2 = 0.3331$ ， $(S_{大})^2/(S_{小})^2 < 3.05$ ，利用公式計算共同標準偏差 (Pooled standard deviation, S_{pooled})： S_{pooled} 為 0.011，依據 F test 統計 99.9% 可信度範圍內 $MDL = 2.681 \times S_{pooled}$ 。因此本次試驗最後的方法偵測極限值 (MDL) 為 0.031 ng/mL。
- 定量極限 (Limit of Quantification, LOQ) 等於 10 倍的標準偏差值， $LOQ = (MDL / 3) \times 10 = 0.1$ (ng/mL)。

表 1. 方法偵測極限測試資料

第一次 MDL 測試 (Hg 配製濃度 0.1 ng / mL)		第二次 MDL 測試確認 (Hg 配製濃度 0.05 ng / mL)	
Test	相當濃度 (ng/ml)	Test	相當濃度 (ng/ml)
1	0.1500	1	0.0807
2	0.1277	2	0.0822
3	0.1312	3	0.0720
4	0.1331	4	0.0939
5	0.1037	5	0.0920
6	0.1369	6	0.0767
7	0.1357	7	0.0774
平均值	0.1312	平均值	0.0821
S_A	0.014	S_B	0.008
$3 S_A$	0.042	$3 S_B$	0.024

$$S_A^2/S_B^2 = 0.3331$$

$$S_{pooled} = 0.011 \text{ (ng/mL)}$$

$$MDL = 2.681 \times S_{pooled} = 0.031 \text{ (ng/mL)}$$

五、結果與討論

1. 檢驗室於執行各類儀器之儀器偵測極限(IDL)測定，利用各項檢測方法於各種不同介質(Media)與基質(Matrix)樣品中添加待測試物汞(Hg)，以進行方法偵測極限(MDL)測定。其中 IDL 測試主要為用來衡量檢測儀器的偵測能力，而方法偵測極限則為待測物在某一基質中，於 99%之可信度下中以指定檢測方法所能測得之最低濃度。
2. 本次試驗儀器偵測極限為 0.0088ngHg、方法偵測極限為 0.031ng/mL 另定量極限為 0.1ng/mL。

表 2. 偵測極限說明

偵測極限項目	儀器偵測極限 ¹ (IDL)	方法偵測極限 ² (MDL)	定量極限 ³ (LOQ)
數據值	0.0088 ng (Hg)	0.031ng/mL	0.1 ng/mL

- 備註：1. 依據環保署「環境檢驗室儀器及方法偵測極限測定指引」測試。
2. 依據環保署「NIEA-PA107」測試。
3. LOQ (Limit of Quantification)； $LOQ = (MDL / 3) \times 10$ 。

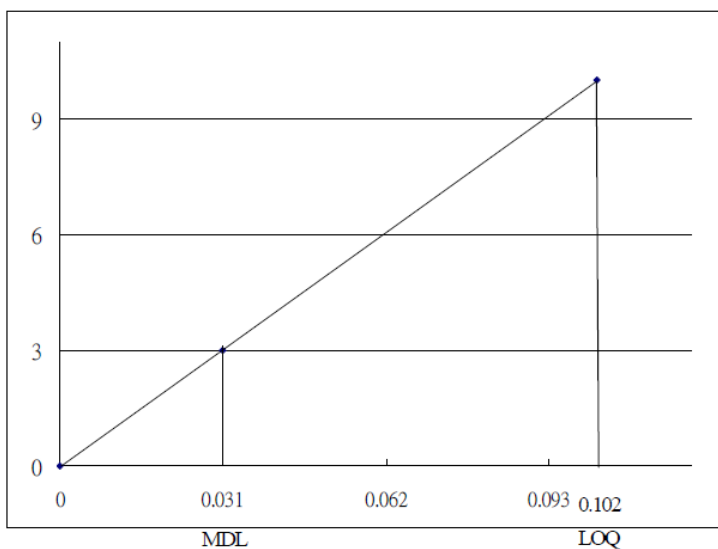


圖 1. MDL 與 LOQ 的曲線關係

3. 直測式汞分析儀儀(DMA)具有靈敏度(ppt-ppb level)，且可直接測定出原始樣品的待測濃度，適用各種樣品，對於其他材料基質；如鐵氟龍(Teflon)、聚丙烯(PP)或其他高分子材料、金屬氧化物...等難以消化處理的樣品亦可適用，且可避免產生大量的實驗室廢液，提升實驗室人員的安全工作環境。

六、參考資料

- 1、環保署公告檢測方法「固體與液體樣品中總汞檢測方法—熱分解汞齊原子吸收光譜法」(NIEA M318.01C)，101.08.31。
- 2、環保署公告檢測方法「環境檢驗方法偵測極限測定指引」(NIEA-PA107)，94.01.15。

3、環保署公告「環境檢驗室儀器及方法偵測極限測定指引」

4、DMA-80 Operator Manual, MILESTONE (<http://www.milestonesrl.com/analytical/>)。