

# 不同材料的靜電匹配度測試法

◎楊沛昇

## 前言

為了避免不同材質間因相互碰撞、摩擦產生靜電殘留而造成問題，在此標準中將提供，針對不同材質間匹配程度的測試與評估方法。

- a)來自材質靜電的大部分威脅，與局部表面的電壓產生有直接的關連。表面電壓點出了下項事項：藉由空氣的傳導(大於300V)的機會、藉由物件週圍的電荷感應的機會(“帶電元件模型”型式的損害事件風險)、藉由空氣中的微粒。
- b)下列三件事有直接的關連性：1.在實際表面藉由接觸與摩擦產生表面電壓時。2.充電衰退時間長短。3.由材質展現出來的電容負載。另外若發生下列條件，表面電壓值將被限制：表面電壓的充電衰退時間是非常短，且(或)由表面電荷產生的感應電容是非常大。
- c)不同材質在實際情況中的行為，將由量測採樣區的冠狀充電(corona charging)情形來表現出。

## 1.應用範圍

在此篇文章中，將對於不同材質間對於接觸、摩擦而產生的靜電，所產生的關係與影響提供評估的方法。而表面電荷的影響將由依據局部的表面電壓來觀察。

此標準中，將不考慮對材質的靜電放电或是材質的保護能力或是材質去除經由傳導接觸所產生電荷的能力。

這個方法適用於任何平滑表面材質(如薄板、薄膜、薄層)，而合適容器中的粉狀

與液狀材質也一併適用。

## 2.參考資料

2.1參考文獻  
請詳見附錄G。

## 3.相關定義

請詳見附錄A。

## 4.測試方法

測試將由材質上的單一層區開始，而此單一層區為平滑狀且接地的狀態。另外也必須提供另一條件為，未接地或無任何有電荷表面接近的情況，且整個測試區以乾淨接地金屬表面為背景。這些條件提供了實際應用情況的兩種極端模型。

局部性區域的電荷在短時間內被堆積在測試部位的中央。這堆積可由tribocharging或高電壓冠狀充電(corona charging)形成，此部分將在附錄B裡說明。冠狀充電(corona charging)相關研究顯示出材質的行為表現與由tribocharging產生的行為有相當好的匹配度。相關參考資料提供在附錄G。

我們將使用接地與開路兩種方式，來量測表面由電荷累積所產生的電壓其衰退時間，其詳述請參考附錄C。

我們也將量測，由充電所產生電荷轉移的量。其詳述請參考附錄D。

材質特性與週遭環境如溫度、濕度也有很大的關聯，對這些變數也要加以控制與測量，其詳述請參考附錄E。



## 5. 步驟

### 5.1 架設

將受測物置於冠狀充電(corona charging) 衰退測量儀，其詳述請參考附錄B。

### 5.2 環境條件

測試環境的溫度與濕度值請參考附錄E，並將受測物靜置在設定好的條件環境下，至少24小時以上。

### 5.3 表面電壓的先行測試

正式測試前，必須確定受測物的表面電壓相當低。低於預期值或是充電時的表面電壓峰值，需在以上兩種數據的2%以下。

### 5.4 充電衰退時間

量測充電衰退時間與電容負載值將使用+ve與-ve來對受測物充電，再依下表中的條件充電10ms或20ms，並進行兩次以上的量測。

+ve	-ve
	2.7kV
3.0kV	3.0kV
4.0kV	4.0kV
5.0kV	5.0kV

備註：在由表面電壓量測得到的corona discharge voltages範圍，與對於超過電荷量測範圍兩極的電荷相關量降至數毫微庫倫(nC)，這涵蓋了與tribocharging情況有關的條件。

備註：如果在受測物上的某位置之多次測試結果有很大的變化，則需要額外的測試。

### 5.5 衰退時間的量測

量測方法為計算完成充電步驟後的0.1s開始計時，計時至表面電壓下降至0.1s時電壓值的10%為止。這段時間即為衰退時間。

備註：不必達到任何指定的初始表面電壓，只足夠於量測高標準的衰退時間。

### 5.6 電容負載

電容負載的計算，可經由每次的初始電壓值與它的電荷轉移量來計算出。詳述請參考附錄F。

### 5.7 電容負載值的分析

繪製出電容負載與充電量的關係圖。推斷出正負兩極到零電荷之變化量的斜率。詳述請參考附錄G。

## 6. 評估

主要將依據下面兩點來作出評斷

a)開路與接地情況下的衰退時間(完成充電後的0.1s至0.1s時電壓值的10%的這段時間)，均須少於特定時間t(a)。

且/或：

b)0.1s時表面電壓所推算的零電荷電容負載必須大於N，且表面電壓從0.1s至其值小於10%時的時間須少於t(b)。

在一般應用中，t(a)值為1s、N為40以上、t(b)為20s。

假設在正確實驗步驟下，測量出的電容負載值很低，低到不足以對表面電壓產生影響。我們就將焦點集中在充電衰退時間的量測。

假如只有衰退時間是有用的量測結果，那麼在量測結果小於t(a)的情況下(例如t(a)為1s)，衰退時間則可成為重要依據。

充電後的充電衰退與表面充電所產生的電容負載，影響了“充電完成後0.1s時的表面電壓值”。而選擇0.1s是與tribocharging 動作反應有關。

在0.1s後發生的充電衰退時間若小於脫離表面的時間，有可能是面表上存在漏電流路徑至地以致無表面電壓產生。

而表面電壓的最大值V<sub>max</sub>(volts伏特)，通常是由電荷q(nC)所產生。而V<sub>max</sub>與零電荷時的電容負載的關係可用下列式子表示：

$$V_{\max} = fq / (CL_q = 0)$$



其中 $f$ 為一參數， $CL_q=0$ 為冠狀充電(corona charging)電荷值為零時所測得的容電負載。一般狀況下 $q$ 的值小於 $50\text{nC}$ ，而參數 $f$ 的值大約為 $75$ 左右。

備註：電容負載值至零電荷的推測已被發現是配匹冠狀充電(corona charging)至tribocharging表現的最好方法。

由上述得到的 $V_{\max}$ 可與實際情況中的風險門檻電壓值等級作對照。舉例來說，假設可允許的表面電壓值為 $100\text{V}$ ，則電容負載值要大於 $40$ 。

除了以上電容負載要求，必須使區域性產生之電荷可流至地，如沒有造成表面電位逐步產生多重充電行為。假如材質上有一結合接地點，然後電荷衰退至 $0.10\text{s}$ 時之值的 $10\%$ 時的時間應小於 $20\text{s}$ 。以衣服為例，充電區域可能由接地接點橫跨接縫產生，然後需對被衣縫分離的接地點與測試區域執行量測，且當接地接點在布料上的同一區域如同直接充電(如附錄F所述)。

## 7. 測試報告

報告應包含下列內容資訊：

- 測試的日期與時間。
- 受測材質的描述與(或)定義。
- 參考材質的描述與(或)定義。
- 使用的冠狀充電(corona charging)條件。
- 樣品是否處於開路或接地狀態。
- 標明在充電動作完成後的 $100\text{ms}$ 時的初始表面電位能值。並以此為標準量出衰退至 $1/e$  ( $e$ 為自然對數的底 $2.7183$ )與 $10\%$ 的時間。繪製出不同電荷值造成充電衰退時間變動量。分別引述與表現出開路、接地的量測結果並結合不同極性量測。
- 標明出初始表面電位值與轉移電荷量及電容負載。描繪出電容負載變化量與電荷量的關係圖，並以此推斷出零電荷時的電容負載值。依據開路、接地與不同測試電壓將各測量結果合併並展示出來。

h)指出充電衰退時間與零電荷時的電容負載。

i)測試時的溫度、濕度，與測試前受測物在此環境下放置的時間有多長。

j)所使用的儀器型式、序號，與儀器最近一次詳細的校準資料。詳述請參考附錄H與J。

## 附錄A：(規範) 相關定義

### A1 電容負載

到達單位電荷量的表面電位，對被到達單位電荷量的表面分割的良好介電質薄膜，分佈在受測物的表面而形成電容負載。

### A2 充電衰退

由充電而在表面堆積的電荷，經材質流失並減少表面上的電壓。

### A3 充電衰退時間

充電衰退時間是指，對受測表面完成充電後的電壓初始值為起點開始計時，計時至電壓降至指定條件下時為止的時間。而初始電壓的取得為，完成短時間充電時，經過 $0.1\text{s}$ 時的電壓值，稱之為初始電壓值。

備註：為方便比較不同材質間的衰退時間，是從初始表面電壓到初始表面電壓的 $1/e$ 的時間( $e$ 為自然對數的底 $2.7183$ )與到初始電壓的 $10\%$ 的時間。

備註：當衰退進展時的充電衰退速度非常大時，對於表面電壓變化的形狀與時間的記錄將非常有用。

### A4 有傳導能力的材質

在此類材質上，電荷有很高的移動性，所以此類材質表面上的電位都只能保持非常短的時間。

備註：導體材質的充電衰退時間通常少於 $0.05\text{s}$ 。



### A5 冠狀(corona)

由兩極具有高地域性的電場的離子所產生的現象。

### A6 離散的材料

此類材質上允許電荷在其表面移動，且(或)電荷穿過其本身。而移動與穿過的時間，相較於產生電荷的行為的時間更短。

備註：對於與手工動作相關運作的風險與問題的防止，由0.1s時的初始表面電壓至0.1s時的初始表面電壓的10%所花的時間為衰退時間應少於1.0s。為避免燃燒火花的風險，衰退時間需大於0.01s。

備註：材質的散失能力，與在接觸時將電荷從測試時的物體移除電荷的能力並無關連，材質的散失能力是由電阻式量測來決定。

### A7 絕緣性材質

在此類材質上，電荷有非常低的移動性，所以其表面上的電位能保持非常長的時間。

備註：絕緣材質的充電衰退時間通常大於10s。

### A8 感應電容

請參考電容負載部分

### A9 表面電壓

經由無接觸靜電伏特計，或已對電壓校準過的場效果量測計，與受測材質表面接觸讀取出數據。

### 附錄B：(規範)

測試儀器的設計與操作。

### B1 硬體設計特色

標準的準備工作與儀器的設置方式，請參照圖B1。

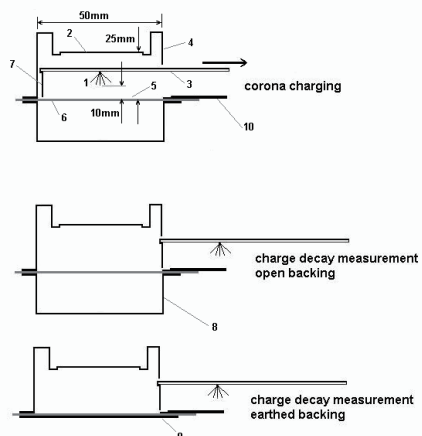
要量測電荷堆積的區域，其大小應為直徑50mm±1mm之圓，或是接近其大

小的方形區域。而corona點則設置在可移動平板上大小為直徑10mm±1mm的圓形，而其平板則置於測試區中央上方10mm±1mm處。

場效果量測計的探測器則置於測試區域中央上方的25mm±1mm處。當corona點已被完全移除時，測試區域應只有場效果量測計的探測器存在。

圖B1中的關鍵數字所代表之意義：

- 1.直徑10mm圓的corona點。
- 2.場效果量測計的探測器。
- 3.可移動的平板
  - 隔離corona點
  - 使上表面接地，以保護場效果量測計
- 4.已接地的盒子。
- 5.要量測的區域：直徑50mm-0/+5的圓形，或(50mm±5mm)\* (50mm±5mm)的區域。
- 6.受測物樣品。
- 7.空氣閘，以去除殘留的corona離子化空氣。
- 8.開路裝置。
- 9.接地裝置。
- 10.放置測試儀器的平台。



圖B1 量測冠狀充電(corona charge)衰退時間與開路、接地儀器準備圖例



### B2 受測材質的控制

受測材質與區域應直接置於測試平台表面上。

平板或有彈性的受測材質，應於開路與接地兩種狀況下測試。這兩種狀況(如圖B1)，表現出真實應用情況下的兩種極端情況。而這兩種情況下的衰退時間應拿來與一般可接受的尺度作比較。

在開路條件下的量測，可視為將受測材質完全與接地面隔離，例舉來說就像穿在身上遠離身體的外衣底部。而在接地條件下的量測，可視為將受測材質緊密地與接地表面連接在一起，例舉來說就像很合身的衣服與身體有緊密的接觸。以接地情況下使用的這類材質表面，有可能影響到量測，所以要採用合適的材質。

在以開路情況測試時，受測材質與區域必須距離測試平台至少5mm以上，而在距離受測區域25mm以上的地方進行接地。在以接地情況測試時，受測物則必須置於平滑的接地面與探測器附近。而接地表面則要求平滑、平坦的絕緣氧化薄膜。

假如電荷移動過程中，穿越本體的速度比經由表面為快，則在受測區域背面緊接著放置一接地金屬板，則可減少衰退時間。另一方面來說，若電荷很快地由表面移動，我們可以藉由增加電容負載來增加衰退時間。

在量測容易變形的薄膜時，則必須將薄膜緊緊固定，避免量測時發生變形。

粉狀與液狀的受測物，則可置於接地金屬杯，然後放在探測器下方。如粉狀物很容易四處飛散，則必須小心處理，以免污染測試環境。

### B3 冠狀充電(corona charge) 堆積

對於受測材質上的電荷堆積的精確大小與描述，我們很難作出定義。我們的方法則提供了一致的格式，來測量堆積電荷的衰退時間與電容負載。

冠狀充電(corona charge) 電荷堆積時間應為 $20\text{ms} \pm 10\text{ms}$ 。如測試需達到足夠的表面電位初始峰值，則可加長時間。一般來說充電時間不要超過100ms，因為過長的時間可能造成敏感表面的傷害。而受測樣品必須接受正負兩種電壓的測試。

備註：冠狀充電的典型電壓介於3kV至10kV間。

而充電的設施必須在30ms內，完全離開場效果量測計所要觀測的範圍。

備註：絕緣材質的初始表面電位在冠狀電壓值高於10kV時會升至約3kV，對於有快速充電衰退速度且(或)高負載電容值的材質的初始表面電位，將會低的多-例如只有50V至100V。關於低冠狀電壓充電量降至3kV將是適當的。

### B4 場效果量測計

場效果量測計必須達到 $\pm 5\text{V}$ 的精確度或更好，而反應時間必須小於10ms。在零點的穩定度必須足夠到，在其精確度下長時間的量測衰退時間。

備註：在低冠狀電壓與初始表面低量充電時量測電容負載將會相當低，這將有助於假如執行表面電壓量測可在 $\pm 1\text{V}$ 降至零伏特的精準度。

場效果量測計的敏感度，則依據附錄B中的校準程序。

備註：以旋轉葉片“電場強度計”型式的場效果量測計為優先，截波穩定感應器(Chopper stabilized sensors)可被接受，假如敏感度、雜訊等級與零穩定性是合適的。感應探針設備可能不太合適，即使對於快速充電衰退量測，因為即使略有剩餘的冠狀空氣游離亦會造成零偏差-且這方面的缺乏將需要被測試以驗證。

在冠狀充電期間與測量衰退時間時的場效果量測計探測器，必須與任何連接或相關表面保持隔離。在場效果量測計與測試區域間不應有被隔離的材質存在。



在初始表面電位峰值小於200V的測量情況下，由於裝置冠狀充電(corona charge)點的平板必須抽離，在抽離過程中會產生被離子化的空氣，我們必須將這些被離子化的空氣移除。有個合適的方法就是在被抽離的板子上，裝上空氣隔離板。殘存的被離子化空氣對表面電位的量測所造成的影響，必須小於30V。也可藉由量測乾淨接地金屬表面來得知其影響值。

裝置有冠狀充電(corona charge)的可移動板，其移動速度會影響受測表面初始電位峰值，所以也對電容負載產生影響。

為了達到對材質本身合適度的評估，可藉由觀察tribocharging的行為將其建立模型，而其使用的初始電壓，可由充電完成後的0.1s時取得的電壓值來定義。

#### 附錄C：(規範)

#### 對於衰退時間的量測

##### C1 衰退時間

衰退時間是指，對受測表面完成充電後的電壓初始值為起點開始計時，計時至電壓降至指定條件下時為止的時間。

由於tribocharging 將附近物品對受測物表面0.1s時的電荷的影響去除。當充電衰退現象的科學性影響，對實際行為與其可能造成的風險，已無關連。而初始電壓值的設定，就在充電完成後的0.1s取得。

衰退時間的終點則可能是1/e或是10%。這兩個時間點可被標示成 $t_{1/e}$ 與 $t_{10\%}$ 。

備註：從初始電壓至初始電壓的1/e所需的時間不應被視為“時間常數”，被視為“時間常數”將會暗示衰退曲線是沿著指數型式進行-而這通常並非是事實。

##### C2 初始電壓值

在充電完成後的表面電壓變化形狀，其對電荷的轉移量的變化並不大。所以訂定充電完成後的0.1s電壓值為初始電壓值，並無直接重要性。我們要對以初始電壓值的10%為衰退時間計時終點，作出好的決定。

備註：當量測會被訊號雜訊嚴重影響振幅的小訊號之充電衰退時間時，必須要小心注意，任何訊號平均技術需要考慮到，對於在短衰退時間曲線的快速初始瞬變(fast initial transients)上的快速響應需求。

##### C3 電壓衰退曲線

記錄電荷的衰退曲線對我們是有用的。在很多情況中，衰退的速度很慢且有大量的表面電荷殘留很長時間。這將影響我們比較10%或是1/e作為衰退時間的終點。

備註：充電衰退時間曲線的記錄允許未來重新考慮其表現。

##### C4 時間量測

衰退時間的量測，可藉由電路或是由視波器觀察。有時訊號等級過小易受雜訊影響，我們將對局部的訊號用平均的方式取得，而非只取最大值與最小值。

##### C5 量測步驟

少於100s的衰退時間，有助於我們在相同地點，進行重覆不同充電電壓，與不同極性的量測實驗。這些量測將對材質的行為模式、電荷變化量，作出一致性的驗證。

備註：進行量測以檢查假若冠狀(corona)正導致樣品特性的任何變化，包含充電衰退時間與電容負載將會是非常重要的。

充電衰退曲線圖，與電荷堆積量可能有些不同。對於一整區域的電荷量，是否比得上其在實際情形中可能地生成量進行測試，是一個聰明選擇。由摩擦產生的tribocharging，其生成的電荷量介於10~50nC。所以由50nC開始量測電荷的量，是一個適當的選擇。

##### C6 克服預充電(pre-charging)

在準備測試時，可能經由接觸而造成受測物表面形成預充電情況。當受測物設



置完成後，可經由場效量測計來觀察是否有預充電情況發生在受測物上。為了減少受測物上的預充電量，在接觸與滑動受測物時必須更小心謹慎。

預充電對受測物表面的電壓值影響量，有超過初始峰值的2%以上，則預充電對受測物表面的電壓值影響量，可能對衰退時間的量測結果有10%的影響。

若有發生可觀的預充電現象，我們有兩項主要的選項來選擇：

- 等待預充電現象消失，也就是等到初始表面電壓下降。
- 對無施加冠狀充電的預充電現象的衰退進行研究。這表示以0V進行冠狀充電(corona charge)並進行量測。有一點要注意，預充電的衰退時間有可能比冠狀充電(corona charge)的衰退時間短，這仍然是有用的量測觀察。

由上述可知，若受測物上已被充電，就很難進行好的實驗量測過程。

一般來說比較推薦以等待的方式來消除預充電產生的電壓。

### C7 避免非預期的生成物

有三項可能產生的非預期生成物

- 可移動板上所設置的空氣閘，在移動板移動過程中會經過受測物表面上方，而產生tribocharging。這種現象可能發生在測試重量很輕的布料時。布料表面應緊緊且平坦地固定在探測器下方，但仍有可能因為空氣的移動而產生。要確認是否有此一現象產生，可經由無冠狀充電(corona charge)的實驗來確認。另外也可能經由將測試時的平台稍微輕輕的抬起，以遠離受測物來避免。
- 有些材質的表面電位峰值存在時間很短(1ms to 2ms)，而這確實是可能發生的。這種瞬時峰值的發生，會對軟體的時間量測產生影響。此被認為是材質扭曲時所造成。
- 若有靜電電荷存在於可動平板上，則在

移動至受測物上方時，可能經由感應電場將受測物的電荷吸引走。此現象可由將可動平板上的底部之非接地區域極小化來避免。

### C8 校準

請參考附錄H。

### 附錄D：(規範)

量測經由冠狀充電(corona charge)而轉移的電荷量

受測物表面由冠狀充電(corona charge)產生的電荷，可藉由圖D1中的量測設備來量測。

受測物的受測區域必須大於測試平台上所提供的區域，以避免corona充電時電荷流入平台，這可藉由檢查受測物的微小接觸電荷訊號來發現。量測設備應參考附錄C中的介紹來進行校準程序。

被傳導進入受測物表面的電荷，應分為兩部分來進行量測：

- 1)電荷直接耦合至受測物固定板。
- 2)由堆積而留下的電荷。

備註：使用顯而易見的簡單方法量測離開充電衰退測試單元的電荷，將無法提供正確的電荷數值。無法正確提供的理由是，假如電荷保留在測試材質的表面上且無法快速移動至樣品固定板，這將會反饋(couple back)單元結構而無法完全量測。

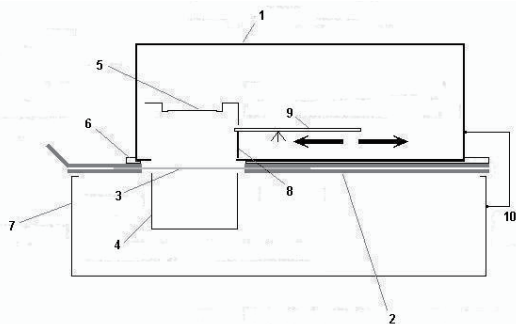


圖 D1 量測電荷轉移的設備



圖D1中的關鍵數字所代表意義

- 1 充電衰退的測試單元。
- 2 測試平台。
- 3 受測物。
- 4 感應電極。
- 5 場效量測計的探測器。
- 6 隔離充電衰退測試單元與固定受測物的平台。
- 7 隔離箱。
- 8 空氣閘門。
- 9 設置有冠狀充電(corona charge)設備的可移動板。
- 10 連接測試單元與隔離箱。

在觀察期間傳導電荷被直接耦合至固定板，可由虛接地迴路來量測。而留在受測物表面的堆積電荷，可由將受測物設為開路狀態，然後由感應電極來感測。假如感應電極區域較充電衰退量測裝置之下的受測區域的機械區域為小，則留下的電荷約有一半會耦合到儀器上，另一半耦合至感應電極。感應電荷的成分會是由感應電極產生之電荷的兩倍。感應電荷量測所需之靈敏度與測試設備的校準，請參考附錄J。

#### 附錄E：(規範) 環境條件

##### E1 標準環境條件

材質的充電衰退特性與溫度及相對濕度有很大的關連性。所以我們必須知道這些參數的大小，並將其控制在量測的標準統一值。

不論那一種材質都必須在兩種條件下進行測試，一種為相對濕度50%與另一種為相對濕度25%以下。若材質必須在上述濕度範圍外工作(特別在低相對濕度時)，則這些材質必須在更極端與危險的嚴厲環境下測試，並作出報告。

在標準化的實驗室量測，材質在進行

量測前必須先置於表E1中的環境條件，或其它可接受條件下至少24小時。

		Temperature °C	Relative humidity %
1	High relative humidity	23 ± 2	50 ± 3
2	Low relative humidity	23 ± 2	12 ± 3

表 E1 測試環境條件

在實際情形中的量測，必須將溫度與相對濕度記錄下來。

受測物必須在每一個面都有空氣流動下，進行上述環境條件下的測試。

測試時的儀器設備有可能產生熱能，這些熱能會改變溫度與相對濕度，而受測物即曝露於這些環境中。所以必預採取預防措施來減少這些改變。

備註：量測測試設備內的溫度、濕度以確保沒有問題發生是非常重要的，將樣品保存在空氣易於流通且不在測試位置上也是非常重要的。

##### E2 受測物的控制與準備

用小鑷子來控制操作受測物，且避免呼吸氣息直接接觸受測物。

受測物表面須保持乾淨而無灰塵，若有灰塵則用刷子輕輕刷去或用乾淨、乾燥的空氣吹去。若受測表面有明顯的污染，並在有污染的條件下進行測試，則須在報告中註明有此情況發生。

備註：當可能改變表面條件時，不建議使用溶劑或化學品清洗。

在實際情形或應用時，材質在測試時應避免“特殊的清潔”。如果清潔是使用過程中的一部分，如衣物的清洗，則量測必須如同在實際情形中一樣，在清潔前與





清潔後都進行量測。材質與清潔方式在報告中也都要載明清楚。

#### 附錄F：(規範) 電容負載量測的評估

##### F1 計算出“電容負載值”

受測物上的電荷分佈所造成的效應，可相似為電容效應。而電容效應的定義則為，受測物表面每單位電荷所達之電位，與由表面電荷分佈所造成的每單位電荷所達之電位來分割良好薄膜狀介電質的比例。這可能被視為電容負載或是相對電容。由表面電荷所造成的電容負載，可經由量測表面電荷量 $Q$ ，與表面初始電壓 $V$ 來取得。

另外將非常薄的良好介電質定義為參考材質(如保鮮膜)。而受測物的表面電容與參考材質的表面電容分別定義成 $C$ 與 $C^*$ 。下列算式將展示出如何計算出電容負載：  
非常薄的良好介電質的表面電容：

$$C^* = Q_{ref} / V_{ref} \quad (1)$$

受測物的表面電容：

$$C = Q/V \quad (2)$$

電容負載：

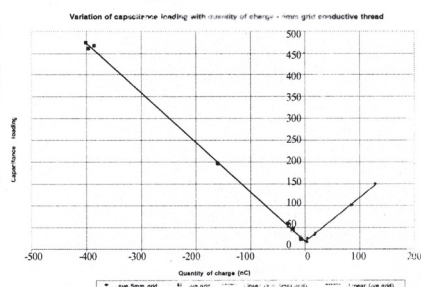
$$CL = C/C^* \\ CL = (Q/V) / (Q_{ref}/V_{ref}) \quad (3)$$

其中 $Q_{ref}$ 是參考材質上的總接收電荷， $V_{ref}$ 是參考材質上所觀察到的初始表面電壓， $Q$ 是受測材質的總接收電荷， $V$ 是受測材質上所觀察到的初始表面電壓。

在相同測試條件下， $C^* = Q_{ref}/V_{ref}$ 將可一直被使用來計算不同材質的電容負載。

##### F2 電容負載的闡明

由不同兩極的充電實驗與量測，可得到如圖F1所示。而正負兩邊在零電荷有了交叉，並以此推斷出零電荷時的電容負載。零電荷時的電容負載，將是比較冠狀充電(corona charge)與tribocharging的最好方法。



圖F1 電容負載變化量與冠狀充電(corona charge)量的相對關係例子圖

#### 附錄G：(規範) 參考書目

- [1] R. Gompf "Standard test method for evaluating triboelectric charge generation and decay" NASA Report MMA-1985-79 Rev 2, July 1988
- [2] J. N. Chubb "Instrumentation and standards for testing static control materials" IEEE Trans Ind. Appl. vol 26 (6) Nov/Dec 1990 p1182.
- [3] J. N. Chubb and P. Malinverni "Experimental comparison of methods of charge decay measurements for a variety of materials" EOS/ESD Symposium 1992 p5A.5.1

- [4] J. N. Chubb "Dependence of charge decay characteristics on charging parameters" 'Electrostatics 1995', York April 3-5, 1995 Inst Phys Confr Series 143 p103
- [5] J. N. Chubb "Corona charging of practical materials for charge decay measurements" J. Electrostatics 37 1996 p53
- [6] J. N. Chubb "The assessment of materials by tribo and corona charging and charge decay measurements" 'Electrostatics 1999' Univ Cambridge, March 1999 Inst Phys Int Confr
- [7] R. Gompf, P. Holdstock, J. N. Chubb "Electrostatic test methods compared" EOS/ESD Symposium, Sept 26-30 1999
- [8] J. N. Chubb "Measurement of tribo and corona charging features of materials for assessment of risks from static electricity" IEEE Trans Ind. Appl. 36 (6) Nov/Dec 2000 p1515.
- [9] J. N. Chubb "New approaches for electrostatic testing of materials" J. Electrostatics 54 March 2002 p233 (Proceedings ESA2000 Annual meeting, Brock University, Niagara Falls, June 18-21, 2000)
- [10] J. N. Chubb, P. Holdstock, M. Dyer "Can cleanroom garments create electrostatic risks?" 'Cleanroom Technology' 8 (3) March 2002 p38
- [11] J. N. Chubb, P. Holdstock, M. Dyer "Can surface voltages on inhabited garments be predicted" Inst Phys 'Electrostatics 2003' Conference, Heriot-Watt Univ 23-27 March 2003
- [12] J. N. Chubb, P. Holdstock, M. Dyer "Predicting maximum surface voltages on inhabited cleanroom garments in practical use" ESTECH Phoenix 18-21 May 2003
- [13] P. Holdstock, M J D Dyer, J N Chubb "Test procedure for predicting surface voltages on inhabited garments" EOS/ESD Symposium 2003. Las Vegas. 21-25 Sept 2003
- [14] J. N. Chubb "Comments of methods for charge decay measurement" To be published in J. Electrostatics 2004
- [15] J. N. Chubb "Experimental comparison of the electrostatic performance of materials with tribocharging and with corona charging" Submitted for publication in J. Electrostatics 2004
- 附錄H：(規範)  
冠狀充電(corona charge)衰退量測設備的校準
- H1 需被校準的方面  
充電衰退量測設備的校準包含兩部分：  
1)對於量測表面電位的場效量測計之敏感度校準  
2)衰退時間量測表現的校準
- H2 設備



校準衰退時間量測儀器時，是用包含了整個測試孔區域的平坦導體表面，且與測試孔區域的相隔距離少於0.5mm。由於平坦導體表面位於測試孔區域的下方，而校準電壓將施加在平坦導體表面上。

### H3 表面電壓靈敏度校準

我們將在平坦導體表面上施加均勻的電壓，來校準表面電壓靈敏度。

電壓源必須提供至少 $\pm 1000\text{V}$ 的穩定與低跳動(low ripple)的電壓。用衰退時間量測儀器，量測平坦導體表面所得的電壓值，其誤差必須小於0.2%。所以校準電壓也必須有至少0.2%的穩定度。

### H4 衰退時間量測校準

用來校準的電阻與電容將並連於地和校準導體平板之間，而電阻與電容對電壓要有良好的線性特性，且電阻與電容必須耐壓3000V以上。

衰退時間值由電阻值與電容值來取得，而衰退時間值必須包含儀器的主要工作範圍。為了因應不同的材質特性，我們必須在0.1s至100s範圍內，對於衰退時間提供穩定控制。

正規的校準中，電阻與電容應與校準用設備一同組成。

### H5 校準步驟

將充電衰退量測設備與校準用設備做連結，打開開關並確保穩定度。將校準平板連接至地，並用場效量測量測出表面的電壓值，此定義為初始零表面電壓。將範圍50V至1000V的電壓作適當間距後，分別將電壓加至校準平板並讀取數據，將電壓極性顛倒後重複量測動作。

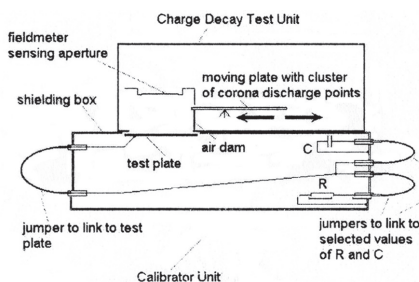
將用於校準的電阻與電容組連接至地與校準平板間，利用充電衰退量測設備將電荷加至校準平板上，使其表面初始峰值達到量測衰退時間時所需的電壓值。表面

初始峰值通常介於100V至1000V的範圍內。使用衰退時間量測設備，取得電壓由表面初始峰值降至 $1/e$ 的時間。若有電子儀器與軟體分別量測時間，則也要一起校準。對於每一種極性與衰退時間之設定，至少要執行三次的量測。對每一種設定取得6次數據後，算出其平均值與所得到的標準誤差。

### H6 校準證書內容

校準證書應包含下列內容：

- 發出證明的單位名稱。
- 證書編號。
- 客戶名稱。
- 儀器型號。
- 儀器序號。
- 校準日期。
- 批准人員姓名與簽名。
- 使用的校準方法。
- 準確度評估。
- 日期與校準設備來源，校準準確度。
- 結果報表。
  - 所使用的電壓與正負極。
  - 所得到的數據：衰退時間與標準誤差表與校準中所使用的電阻與電容值。



### 附錄J：(規範)

冠狀充電(corona charge) 轉移量測試設備校準

#### J1 那些方面要被校準

校準可包含下列兩部分：

- 感應與傳導電荷量測電路的電荷敏感度校準。



## 2) 感應電荷觀察校準。

### J2 感應電荷與傳導電荷量測靈敏度

我們藉由對一個已校準的電容器充電至一設定電壓，來定義出電荷的量。電荷校準包含了對這個電容進行，含有感應與傳導量測的直接電極放電。若充電量測電路為虛接地輸入電路，則電容上的所有電荷會被傳送至量測電路中，而量測電路的輸出訊號可以和已知的電荷輸入量來做比對。

### J3 感應電荷量測的相對靈敏度

觀察感應電荷的相對靈敏度，是由已測出的電荷訊號來比較受測物表面上特定位置的堆積電荷量。將充電衰退測試組結合在量測薄形受測物電荷組之上，並以此對感應電荷量測的相對靈敏度做出最好的決定。

充電衰退時間為數秒的同質介電質，充電量測用的訊號將被初始單一化為感應電荷訊號，它也將逐步成為傳導電荷訊號。因為總電荷是一固定值，而參數“相對靈敏度”與衰退中的感應訊號有相乘關係，且與增加中的傳導訊號相加就成為總電荷量，此總電荷量在觀察期間保持穩定。正確的感應電荷量測，可藉由使用分散性材質(如紙、玻璃紙、薄膜狀材質)與其數秒中的衰退時間來評估。

感應訊號變化量 $Q_i$ 與傳導訊號變化量 $Q_c$ ，在充電衰退的初始時間內，被以數據化的方式記錄下來。

使用電子數據表模型(spreadsheet modelling)來找出數字化參數 $f_1$ ，將 $f_1$ 與瞬時感應訊號相乘並與相對應的瞬時傳導訊號相加得到總訊號 $Q_{tot}$ ， $Q_{tot}$ 在整個觀察時間內是沒有變化的。

$$Q_{tot} = Q_c + f_1 * Q_i \quad (1)$$

這個過程請參考圖J2。

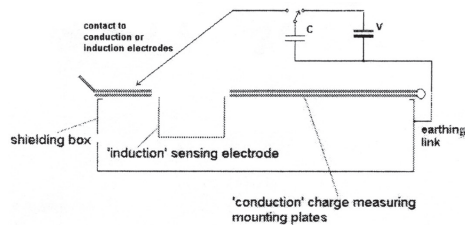
在相同的測試環境中， $f_1$ 可一直在電荷量測中使用。

### J4 校準證書包含的內容

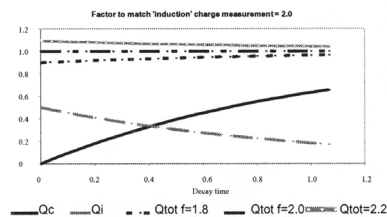
校準證書應包含下列內容：

- 發出證明的單位名稱。
- 證書編號。
- 客戶名稱。
- 儀器型號。
- 儀器序號。
- 校正日期。
- 批准人員姓名與簽名。
- 使用的校準方法。
- 準確度評估。
- 日期與校準設備來源，校準準確度。
- 結果報表。

表列出所使用的不同電荷量與相關連的感應與傳導對正負兩極的讀數。



圖J1 電荷靈敏度校準儀器



圖J2 調整參數 $f$ 對感應與傳導匹配量測的影響

(資料來源：譯自ESD Journal)