

# 靜電放電概論

## 第三部分—ESD控制基本流程及材料

© 2014，靜電放電協會，紐約州羅馬市

在本系列第二部份（*ESD 控制原則及 ESD 控制方案建立*）中，我們討論了研擬實施 ESD 控制方案的六個基本原則及六個關鍵要素，第三部分將涵蓋 ESD 控制方案中的靜電控制基本程序和材料。首先回顧六個基本原則。

### 靜電控制的基本原則

我們建議只要遵循以下六個基本原則，便能有效建立及實施 ESD 控制方案：

1. **產品的保護設計**：產品和組件的抗ESD力設計。
2. **定義靜電控制目標**：瞭解物體敏感度並使設備符合規格。
3. **辨識和界定靜電保護區（EPA）**：即操作ESD敏感器件（ESDS）之範圍。
4. **減少靜電荷產生**：減少或排除會產生靜電荷的程序，將程序及材料保持在等電位，並妥適接地，以減少電荷的產生和累積。
5. **消散及中和電荷**：接地、電離化，或導電和消電性材料的利用。
6. **保護產品**：適當的接地或分流，及採用靜電控制包裝和材料處理產品。

ESD 控制方案六原則的後五項著重在廠區層面。第三部分將集中討論哪些主要材料和程序有助於減少靜電產生、電荷接地，及中和電荷，以保護敏感產品不受 ESD 影響。

### 找出問題區域並設定控制改善目標

我們首先應問：「我們所製造或處理的零件或組件究竟有多敏感？」回答結果將可作為決定廠區中控制 ESD 的流程和材料的指引。

如何確定零組件的靈敏度，或從哪裡可以獲得 ESD 分級或耐受電壓的資訊？組件製造商或供應商所提供的數據表會是首要選項。取得人體模型（HBM）和帶電器件模型（CDM）排序表相當重要。你可能會發現你需要將特定設備進行 ESD 敏感測試。但需注意，用於合格試驗的電壓及場內測得的靜電電壓，兩者之間的相關性較弱。

第二個問題是：「廠區中有哪些區域亟需 ESD 保護？」此問題有助於明確劃出靜電保護區（EPAs）範圍，並在範圍內遵循 ESD 控制原則及處理敏感零組件。需保護的區域通常多於想像（通常指操作 ESDS 設備的區域）。典型需 ESD 防護的廠房區域如表 1 所示。

表1 典型需ESD防護的廠房區域

收貨區
測試和檢驗區
儲藏室和倉庫
組裝區
檢測區
研發區
包裝區
現場服務維修
辦公室和實驗室
無塵室

## 接地

接地方式對有效的 ESD 控制尤其重要，應給予明確定義並定期評估。

設備接地導體可提供路徑，使 ESD 防護材料及人員保持等電位。廠區所有導電和消電性材料（包括人員）應與一已知的共同接地點作電氣聯接，使所有物體和人員之間可建立等電位平衡。只要系統中所有物體都同電位，ESD 保護就可維持在高出地電位「零伏特」電壓的電位水平上。請注意，絕緣體（即非導體），無法經由接地移除靜電。

依據 *ESD Association Standard ANSI/ESD S6.1-Grounding (接地)*，EPA 的防靜電物體接地有兩步驟。

步驟一是將工作站所有組件和人員（以及工作表面、設備等）連接至共同接地點，此接地點之其定義是：「可連接兩個或多個接地導體至同電位的系統或方法」。

圖1：共同接地點標章



依據 *ESD Association standard ANSI/ESD S8.1-Symbols (標章)*，為清楚標識共同接地點，可使用如圖 1 之標章。

步驟二是將共同接地點連接到設備接地導體（交流電地面）或接地線（綠色）。此種接地方式較佳，因為工作站的所有電子器件經已接至該地面。連接防靜電材料或設備到設備接地，可將所有組件維持在同電位。修理靜電敏感物時，若將錫鐵接地，該靜電敏感物又另經輔助接地，兩種物體間將產生電位差，導致該靜電敏感物受損。

工作站内任何現有的輔助接地（水管、屋架、地樁）皆應與設備接地導線結合，使兩接地面的電位差最小。有關 ESD 接地的詳細資訊，可參考 *ESD Association Standard*

*ANSI/ESD S6.1-Grounding (ESD 接地標準)*、*ESD Handbook ESD TR20.20 (ESD 靜電放電手冊)*，及 *CLC/TR 61340-5-2 User guide (用戶指南)*。

## 控制人員及移動設備產生的靜電

人是靜電的主要產生源。一個簡單的走動，或修理電路板的動作，都能夠讓人體產生幾千伏特的靜電荷。如果控制不當，這種靜電荷很容易釋放到 ESD 敏感器件上—即典型的人體模型 (HBM)。同樣的，人體也可以移轉電荷到電路版或其他物體上，該物體後續可能發生帶電器件模型 (CDM) 事件。

即使是高度自動組裝和測試，過程中仍須處理 ESDS，如倉儲、維修、實驗室、運輸等。因此，ESD 控制方案極重視控制處理人員的靜電放電。同樣的，廠區中的任何移動設備 (如手推車或臺車)，或其他有輪工具，移動時都能產生可觀的靜電荷，並進一步移轉到輸送中的產品身上。

## 防靜電手腕帶

一般上，防靜電手腕帶是人員接地的主要方法。正確佩戴接手腕帶，並連結接地線，可使人員保持接近地面電位。由於工作人員及其他接地物體是同電位或電位相近，就可避免放電的危險。此外，靜電荷從人員移轉到到面後並不累積。人員於非 EPA 中就坐應使用防靜電手腕帶接地。

手腕帶由兩個部分組成，一是腕部環狀帶，另一是將環狀帶連接至共同接地點的接地線。接地線與環狀帶的連接端通常會嵌入一組限流電阻器。電阻為 1 兆歐，額定功率至少為 1/4 瓦、額定工作電壓 250 伏特。

手腕帶經常故障，故應定期檢測。無論是於特定檢測站進行日常檢測，或使用工作平面上的連續監測器皆可。

## 地板、地墊、地板塗裝

人員接地的方法二是採用**地板/鞋**系統，包括併同使用可達到 ESD 控制的地板及防靜電鞋 (或腳接地器)。導電或消電性地板材料和防靜電鞋的組合使用，可提供安全接地路徑以消散靜電荷，並減少人員電荷累積。此外，某些地板材料 (包括裝飾用之塗料) 也有助降低摩擦生電。防靜電**地板/鞋**系統尤其適用於有高度人員流動需求的區域。另外，地板材料可使椅座、輸送設備 (如手推車或臺車)、推高機，或其他在地板上移動的物體，其電荷累積量達到最低。但這些物體仍須靠消電或導電性的腳輪或其他輪子以與地板電性接觸，且組件為電性連接。當系統用於人員接地時，人員、鞋和地板的對地電阻，需與防靜電手腕帶設定一致 (<35 兆歐)，而標準行動電壓測試 (參考 *ANSI/ESD STM97.2*) 中的累積單體電壓須小於 100 伏特。

## 鞋、腳接地器、腳輪

地板與防靜電鞋、腳接地器、腳輪及其他有輪器具等之組合利用，可提供人、物和地板間必要的電氣接觸。防靜電鞋、腳輪，或其輪子會阻止靜電從人體或輸送設備流至地板接地，故須避免。

## 衣物

衣物亦是靜電保護區需考量的一環，尤其在無塵室及極乾燥環境內。一般衣物材質，尤其是化纖織品，會產生靜電並放電到 ESDS，甚或產生靜電場並吸附電荷。因衣物通常為絕緣性，故纖維上的電荷不會經由皮膚消散到地面。防靜電工作服有助抑制或影響其下方衣物的靜電場。依據「ANSI/ESD S20.20」和「ANSI/ESD STM2.1」，ESD 控制工作服分為三類：

- ESD 1 類工作服：未接地的**防靜電工作服**。因未接地，電荷可能積累在具導電或消電性（若有）的工作服上，形成一帶電源。
- ESD 2 類工作服：**可接地的防靜電工作服**。此類衣物接地後可更壓制下方衣物電場的影響。
- ESD 3 類工作服：**可接地的防靜電工作服系統**，將人員皮膚與已知的接地路徑結合。整個系統的電阻，包括人員、工作服和接地線，應小於**35兆歐**。

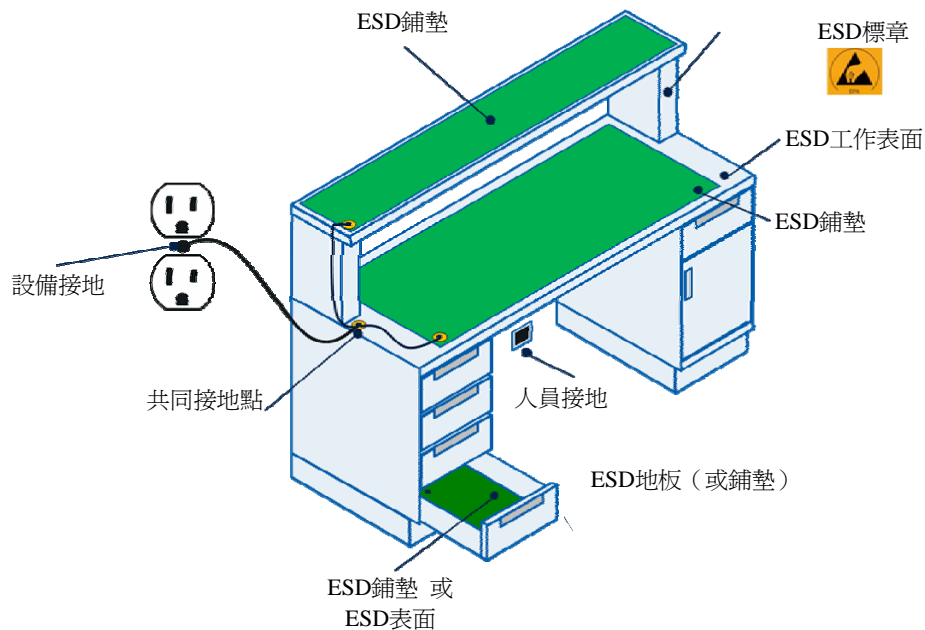
## 工作站和工作表面

ESD 防靜電工作站是指個人工作場所中，建立並配備有防範 ESD 敏感器件損害的材料和設備。它可以是儲存間、倉庫，或裝配區中的獨立工作站，也可以是一個場域中的某個位置，如商用飛機裡的電腦機架。工作站也可以位於控制區域，如無塵室。大多數防靜電工作站的關鍵元素包括一張具消電性的工作表面、人員接地方法（通常為防靜電手腕帶）、共同接地點，以及適當的標誌和標籤。典型防靜電工作站如圖 2 所示。

圖 2 之防靜電工作站可將所有工作表面、夾具、取放設備，以及接地裝置，連接至一個共同接地點。此外，也可連接額外的人員接地裝置、設備和周邊配件（如固定或連續監測器、電離器等）。

接地電阻為 1 兆歐至 1 千兆歐電阻的靜電防護工作表面，可提供一個與工作站中其他防靜電物體等電位的表面。這種工作表面也提供電氣接地路徑，材料經與表面接觸後所產生的靜電荷受其控制後消散。這種工作表面也有助確認特定工作區域中需處理的 ESDS。工作表面連接到公共接地點。

圖2：典型ESD工作站



## 連續或固定監測器

連續或固定監測器目的是提供防靜電手腕帶系統進行不斷測試。目前有許多技術可資利用，目標都是一樣的：於配戴者處理 ESDS 時，測試接地點、接地線、手腕帶和人員身體間的電氣連接。連續監測也可為 ESD 工作表面或其他連接地參考的設備，提供電路監控。

典型的測試方案建議若每天使用防靜電手腕帶，則應每天進行測試。生產中的產品若需連續、可靠的接地，則連續監測更是應考慮甚至必要的。若使用連續監測器，手腕帶可免每天測試。

## 生產設備和生產輔助器件

雖然人員是靜電的主要產生源，自動製造和測試設備也可構成靜電問題。例如，ESDS 器件經組件送料器脫出時即可能帶電。若該器件接著碰觸插裝頭或另一導電的金屬表面，便會快速放電給該金屬物—即帶電器件模型 (CDM) 事件。若無法避免 ESDS 帶電—常發生於現代的生產裝配線，因 IC 封裝是絕緣的—利用電離器可降低帶電量。此外，各種生產輔助器件，如手持工具、膠帶、溶劑等，都會造成靜電困擾。

接地是器材和生產輔助設備的主要靜電控制方法。國家電氣法規要求大部分的電器設備需連接至設備接地（即綠線）以傳送故障電流。這種接地連接也適用於 ESD 控制。用於處理 ESD 敏感硬體的所有電動工具和設備需要 3 叉接地型交流電插頭。非電動的手持

工具，如尖嘴鉗、老虎鉗、鑷子等，一般是使用導電／消電性工具通過 ESD 工作表面和已接地的人員接地。撐托夾具應儘可能採用導電或消電性材料。取放極敏感設備時，消電性材料也常被建議採用。未連接 ESD 工作表面或未由過接地人員處理的導電或消電性夾具，需要一條另外的接地線。含有絕緣材料的物體，需使用電離器或敷抹抗靜電液，才能控制靜電的產生及累積。

## 手套和指套

處理的 ESDS 接地人員當然不應穿戴絕緣材料製成的手套或指套。如需穿戴手套或指套，該材料應具消電或導電性。有關如何為人員穿戴手套或指套時進行電阻測量，可參考認證檢驗 *ESD TR53* 所提供的測試程序。

## 包裝和材料處理

在 EPA 中，包裝和材料處理容器需低帶電和消電或導電性。在 EPA 外，包裝和材料處理容器尚需具靜電放電屏蔽功能。

屏蔽袋、瓦楞紙箱，以及堅硬或半堅硬的塑料包裝箱，可直接保護 ESDS 設備免受靜電放電影響。使用這些包裝主要是因為產品在離開工廠後可獲得保護，尤其是在運送給客戶時。此外，材料處理產品，如雜物搬運箱及類似容器，主要是提供在廠內或廠際間的運輸保護。

這些包裝和材料處理產品的主要 ESD 功能是為了降低摩擦生電、直接放電、或靜電場（某些情況下）等所引起的 ESD 衝擊。這些功能特性包括：一、接觸 ESD 敏感器件的材料為低帶電。低帶電性質有助控制因板片或組件進入包裝或容器而引起的摩擦生電。其次為材料接地，使電阻範圍具導電或消電性。第三，可在 EPA 外對直接的靜電放電提供保護（即放電屏蔽）。

許多材料都可提供上述三種功能特性：低帶電、有電阻，以及放電屏蔽。這些包裝材料內都有低帶電層，外層則具表面電阻導電性或消電性範圍。依據「*ANSI/ESD S541 (Packaging standard ANSI/ESD S541)*」（**包裝標準**），在 EPA 內包裝或處理材料需使用低帶電、導電或消散性的包裝物。在 EPA 外的包裝也須有放電屏蔽。有效性、成本和設備對各種放電機制的承受性等三種因素，應於包裝決策時取得平衡。

電阻或電阻率測量有助於確定材料的靜電屏蔽或電荷消散能力。靜電屏蔽可削減包裝表面的靜電場，避免包裝內部產生電位差。依據 *ANSI/ESD STM11.11* 方法測試時，放電屏蔽材料的表面電阻等於或小於 1 千歐；或依據 *ANS/ESD STM11.12* 測試方法，體積電阻率等於或小於  $1.0 \times 10^3$  歐姆-厘米。此外，包裝材料若能提供包裝物與 ESDS 內容物之間足夠的氣隙，就屬有效的屏蔽。

消電性材料具消散電荷的特性。依據 *ANSI/ESD STM11.11* 方法測試時，材料表面電阻大於 10 千歐、小於 100 千兆歐；或依據 *ANSI/ESD STM11.12* 方法測試，體積電阻率大於  $1.0 \times 10^5$  歐姆-厘米、小於或等於  $1.0 \times 10^{12}$  歐姆-厘米。有些包裝應依據 *ANSI/ESD STM11.31* 來評估提供其放電屏蔽的能力，以測量轉移至包裝內部的電量。一種材料是否低帶電，不見得能由其電阻或電阻率看出。

## 電離化

靜電控制方案多包含不接地的絕緣導體，或無法接地的絕緣材料（如一般塑料）。在某些情況下，抗靜電液可以暫時消散靜電。

空氣電離化方法最為常用，它可平衡正、負電離子，使絕緣物體的靜電荷達到中和。透過從空氣中吸引極性相反的電荷，物體上的任何靜電荷都會減少，甚至中和。因僅使用工作環境裡的空氣，故在禁用化學噴霧劑和某些消電性材料的無塵室中，也可使用空氣電離化方法。

空氣電離化是整個 ESD 控制方案的其中一部份，且不可以接地或其他方法來取代。若所有物品都無法適當接地，電離器就會被採用，算是各種靜電控制方法的備用方法。在無塵室，空氣電離化是少數幾個靜電控制的方法之一。

有關測試補償電壓（或平衡電壓）和電離器的放電次數，詳見電離化標準 *ANSI/ESD STM3.1*、*ANSI/ESD SP3.3* 和 *ESD TR53*。

## 無塵室

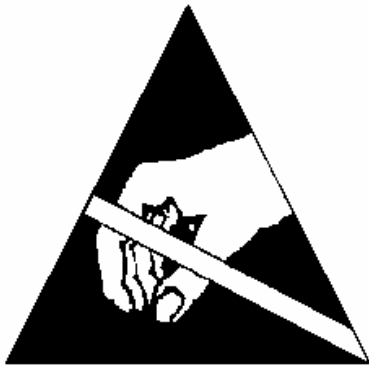
雖然這裡所討論的幾種靜電控制方法適用於大多數環境，但無塵室的生產環境則需另予考量。

半導體製造過程所需的許多物件（石英，玻璃，塑膠和陶瓷等）基本上都會產生電荷。但因為這些材料是都絕緣體，電荷無法用接地移除。許多靜電控制材料因含有碳粒子或添加表面活性劑，而限制了其在無塵室的使用。人員移動和的無塵衣也常限制了防靜電手腕帶的使用。在這種情況下，電離化和地板／鞋接地系統成爲了對抗靜電的關鍵武器。

## 辨識

ESD 控制方案最後一個元素是利用適當標章來辨識 ESD 敏感器件，以及專業的靜電控制產品。目前最爲大家所使用的識別標章，是由靜電放電協會所設計的 *ESDS* 及 *ESD* 防護材料兩種標章，請參考 *ANSI/ESD S8.1 — ESD Awareness Symbols*（警示標章）。

圖3：ESD敏感度標



ESD 敏感度標章（如圖 3）包括一個三角形、一支伸出的手，以及一條劃過手的斜線。三角形代表「小心」，劃過手的斜線表示「不要碰觸」。因廣泛使用，三角形內的手與靜電放電可作直接聯想，翻成文字就是：「靜電放電敏感物件，勿碰。」

這件標章可直接應用於積體電路、電路板和組件等 ESD 敏感物品上，警告操作者若未小心處理或使用該物品，可能會導致 ESD 損害。操作者在處理前應先接地。若有需要，亦可於標籤上加註物品的敏感度。

圖4：ESD保護標章



ESD 保護標章（如圖 4）包括一個三角形內伸出的手，和一個圍繞在三角形外圍的弧，與前述標章斜線不同，弧形代表「保護傘」，標示物品為防靜電材料，適用鋪墊、座椅、手腕帶、工作服、包裝，及其他可提供 ESD 保護的物品。也可用在手持工具、輸送帶，或自動處理器等工具上，表示器材已有防靜電特性設計（低帶電、導電／消電性電阻，或放電屏蔽）。

## 總結

有效的 ESD 控制方案有賴各種流程與材料。ESD 協調員應定期公示控管方案允准使用的特定 EPA ESD 防護產品清單。我們已概要介紹了幾種最為廣泛使用的產品。若您想針對單一材料或流程取得更多深入探討，可參考一些工具書，如：靜電放電協會出版的 *ESD TR20.20 (靜電放電手冊)*，或 *CLC/TR 61340-5-2 User guide (用戶指南)*。

您的方案即將啓動運作。該如何確定它是否是有效？如何確保員工會遵從？在第四部分，我們的討論主題將涵蓋稽審和培訓。

進一步參考資訊：

靜電放電協會標準 (ESDA Standards)

- *ANSI/ESD S1.1: Wrist Straps (防靜電手腕帶)* , ESD Association, Rome, NY 13440
- *ANSI/ESD STM2.1: Garments-Characterization (工作服分類)* , ESD Association, Rome, NY 13440
- *ANSI/ESD STM3.1: Ionization (電離化)* , ESD Association, Rome, NY 13440



- *ANSI/ESD SP3.3: Periodic Verification of Air Ionizers* (空氣電離器之定期檢測), ESD Association, Rome, NY 13440
- *ANSI/ESD S4.1: Worksurfaces-Resistance Measurements* (工作表面－電阻測量), ESD Association, Rome, NY 13440
- *ANSI/ESD STM4.2: ESD Protective Worksurfaces - Charge Dissipation Characteristics* (防靜電工作表面－消電的特性), ESD Association, Rome, NY 13440
- *ANSI/ESD S6.1: Grounding* (接地), ESD Association, Rome, NY 13440
- *ANSI/ESD S7.1: Resistive Characterization of Materials-Floor Materials* (材料電阻特性－地板材料), ESD Association, Rome, NY 13440
- *ANSI/ESD S8.1: Symbols-ESD Awareness* (標章－ESD警示), ESD Association, Rome, NY 13440
- *ANSI/ESD STM9.1: Footwear-Resistive Characterization* (鞋類－電阻特性), ESD Association, Rome, NY 13440
- *ESD SP9.2: Footwear-Foot Grounders Resistive Characterization* (鞋類－腳接地器電阻特性), ESD Association, Rome, NY 13440
- *ANSI/ESD SP10.1: Automated Handling Equipment* (自動取放設備), ESD Association, Rome, NY 13440
- *ANSI/ESD STM11.11: Surface Resistance Measurement of Static Dissipative Planar Materials* (消電性平面材料的表面電阻測量), ESD Association, Rome, NY 13440
- *ANSI/ESD STM11.12: Volume Resistance Measurement of Static Dissipative Planar Materials* (消電性平面材料的體積電阻測量), ESD Association, Rome, NY 13440
- *ANSI/ESD STM11.13: Two-Point Resistance Measurement* (兩點電阻測量), ESD Association, Rome, NY 13440
- *ANSI/ESD STM11.31: Evaluating the Performance of Electrostatic Discharge Shielding Bags* (靜電放電屏蔽袋性能表現評估), ESD Association, Rome, NY 13440
- *ANSI/ESD STM12.1: Seating-Resistive Measurement* (座椅－電阻測量), ESD Association, Rome, NY 13440
- *ESD STM13.1: Electrical Soldering/Desoldering Hand Tools* (電焊／電拆焊手持工具), ESD Association, Rome, NY 13440
- *ANSI/ESD SP15.1: In-Use Resistance Testing of Gloves and Finger Cots* (使用中手套和指套的電阻測量標準操作), ESD Association, Rome, NY 13440
- *ANSI/ESD S20.20: Standard for the Development of an ESD Control Program* (靜電放電控制方案建立標準), ESD Association, Rome, NY 13440
- *ANSI/ESD STM97.1: Floor Materials and Footwear - Resistance in Combination with a Person* (地板材料和鞋類 - 與人員組合的電阻測量), ESD Association, Rome, NY 13440

- **ANSI/ESD STM97.2: Floor Materials and Footwear - Voltage Measurement in Combination with a Person** (地板材料和鞋類 - 與人員組合的電壓測量), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ANSI/ESD S541: Packaging Materials for ESD Sensitive Devices** (靜電放電敏感器件之包裝材料), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ESD ADV1.0: Glossary of Terms** (靜電放電協會專有名詞表), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ESD ADV11.2: Triboelectric Charge Accumulation Testing** (摩擦生電累積測試), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ESD ADV53.1: ESD Protective Workstations** (靜電放電防護工作站), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ESD TR20.20: ESD Handbook** (靜電放電手冊), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ESD TR53: Compliance Verification of ESD Protective Equipment and Materials** (靜電放電保護設備和材料之達標驗證), ESD Association, Rome, NY 13440

#### 其他

- System Reliability Center, 201 Mill Street, Rome, NY 13440
- **ANSI/IEEE STD142, IEEE Green Book (IEEE綠皮書)**, Institute of Electrical and Electronics Engineers
- **ANSI/NFPA 70, National Electrical Code (國家電氣法規)**, National Fire Protection Association, Quincy, MA
- **CLC/TR 61340-5-2 User guide (用戶指南)**, European Committee for Electrotechnical Standardization, Brussels