

# 靜電放電概論

## 第二部分—ESD控制原則及ESD控制方案建立

© 2013，靜電放電協會，紐約州羅馬市

在本系列第一部份（**靜電放電簡介**）中，我們討論了靜電的帶電和放電、產生電荷的機制、各種材料、ESD 損害類型，各種 ESD 事件及 ESD 敏感度等，結論如下：

1. 幾乎所有材料，包括各種導體，均可摩擦生電。
2. 電荷量受材料類型、接觸和分離的速度、濕度，以及其它因素所影響。
3. 帶電物體具有靜電場。
4. 靜電放電會造成器件損害，並使參數立即失效；ESD損害亦可能只造成不利於檢測時發現的潛伏性缺失，但也可能會導致器件過早發生故障。
5. 靜電放電可能會發生在整個製造、測試、運送、裝卸、及操作等過程中，甚或是發生於投入現場服務的操作期間。
6. ESD損害也可能是對器件放電、從器件放電，抑或是靜電場電荷移轉等情形所造成的結果。各種器件的ESD敏感度或ESD電納係數均有顯著不同。

為保護產品不受 ESD 損害，應先瞭解靜電帶電和放電的基本概念。有效的 ESD 控制端賴有效的培訓計畫，所有參與人員均需具備關鍵性的基礎觀念。有了這些觀念，就可以著手建立有效的 ESD 控制方案。在第二部分裡，我們將聚焦於有關「ESD 控制」及「ESD 控制方案建立」的一些基本原則。

### 靜電控制的基本原則

靜電放電（ESD）控制對電子製造業來說，是一項艱鉅的挑戰。但若掌握了六個靜電控制的基本原則，建立實施 ESD 控制方案並不複雜，僅需記得，ESD 在墨菲定律中亦成立：「不管我們做什麼，靜電荷總在伺機放電。」

#### 1. 產品的保護設計

控制 ESD 的首要原則是：**產品和零組件越具抗 ESD 能力越好**。步驟之一是使用低靜電敏感度的器件，或採用適當的電源輸入保護裝置，包括各種電子裝置、電路板、組件，及器材等。工程師和設計師常面臨這樣的矛盾：高科技產品平面規格小而複雜，但往往對 ESD 更敏感。ESD 等級目標產業委員會（The Industry Council on ESD Target Levels）及靜電放電協會（ESDA）所制訂的「**靜電放電技術準則**」（**Electrostatic Discharge (ESD) Technology Roadmap**，2010 年 4 月修訂），咸認工程設計師不需像過去採用較高的靜電保護標準，故調降 ESD 改善目標，人體模式之耐壓位準調為 1000 伏特，帶電器件模式之耐壓位準則調為 250 伏特，未來亦有再下調的趨勢。今天，產品的製造和處理採用國際產業標準（如：**ANSI/ESD S20.20** 或 **IEC 61340-5-1**）所制訂的基本 ESD 控制方法來進行

，其改善目標被認為是務實且合理的。若需使用或操作較低 ESD 改善目標的器件，則需考慮本節所述原則作法以外的特定應用控制方案。

## 2. 確立廠區的靜電控制目標

目前使用的 ESDS 中，哪種對 ESD 最敏感？製造或輸送中產品的耐受電壓等級為何？若想知道相關規定，最好先瞭解廠房內各種設備對人體模型（HBM）和帶電器件模型（CDM）的敏感度。2007 年版的 *ANSI/ESD S20.20* 和 *IEC61350-5-1*，都有 HBM 100 伏特敏感物體控制方案的相關規定；未來在新版中會再增列 CDM200 伏特敏感物體。根據使用說明，這兩種標準都允許視情況適當調整規格。

## 3. 辨識和界定靜電保護區（EPA）

ESD 控制原則三，依據 *ESD ADV 1.0 Glossary*（*靜電放電協會專有名詞表*）之規範，明確劃分廠區內的靜電保護區（EPA）：「具備控制靜電所需材料、工具及儀器，使 ESD 敏感物體損害達到最低的具體範圍。」於保護區範圍內操作 ESD 敏感物體時應執行基本 ESD 控制流程，亦即將所有導電和消電性材料（包括人員），與一已知的共同接地點作電氣聯接。

## 4. 減少靜電荷產生

若預測出來的 ESD 敏感度數據精確，已加入產品設計中的 ESD 保護措施將逐漸失效。ESD 控制原則四：「首重**減少靜電荷的產生和累積**。」道理很簡單：不帶電，就不放電。盡量排除 EPA 範圍會產生靜電荷的過程或材料，尤其是高帶電的絕緣體（如一般塑膠）。用等電位相連接，或設備接地方式，將導電或消電性材料維持在等電位。靜電放電不會發生在等電位的材料間。在 EPA 範圍，廠區常備品應以防靜電物體取代，如工作表面墊料、地板塗裝，工作服等，用接地方式減少電荷產生或累積。工作人員應配戴防靜電腕帶、踏在有接地塗裝的地板上，或穿著防靜電鞋。然而，就算完全遵循「控制靜電使損害降至最低」的基本原則，實務上，想要徹底排除廠區內產生的所有電荷仍很困難。

## 5. 消散與中和電荷

由 EPA 範圍內的靜電荷無法徹底清除，ESD 控制原則五就相對重要：「安全消散或中和已產生的靜電。」正確的接地和使用導電或消電性材料能發揮極顯著的作用。例如，已帶電的工作人員移轉電荷的方式包括：配戴防靜電腕帶，或穿著防靜電鞋，鋪設防靜電地板等，電荷接地後就不致對敏感物體放電。為防止帶電器件受損，電流大小可使用消電性材料來加以控制。

有些物體，如一般塑膠等絕緣體，由於無法在短時間內疏導電荷，故接地方式無法移轉靜電荷。若這些絕緣物體需留在 EPA 範圍，可考量以電離器中和其電荷。電離化過程中會產生負離子和正離子，同性電荷離子與帶電物體相斥，異性電荷離子則被吸引至帶電物體表面，該物體即屬電性中和（參見圖 1）。電離器在平衡狀態時淨電荷為零。

## 6. 保護產品

最後，ESD 控制原則六是：「防止對敏感性零組件的放電。」市面上有多種具 ESD 控制效果的包裝處理產品，用於 EPA 範圍內或外皆可。其一是以接地或分流消散電荷方式以保護 ESD 敏感產品及組件，還有一種是以導電或消電性材料包裝，經接地方式移轉電荷。此外，若要在 EPA 範圍外移動 ESD 敏感物體，包裝產品本身應具「放電屏蔽」之 ESD 控制設計，可削弱帶電放電的影響，同時減少產品在包裝盒內因移動而產生的電荷。

## 使ESD控制方案有效的關鍵要素

前述六項原則看似基本，卻可作為選擇合適材料和流程的明確指引，使 ESD 控制效率提高。大多數情況下，有效的 ESD 控制方案均須遵循上述所有原則。單一流程或產品並無法完成整個任務，越需發揮作用的靜電控制越需完整的 ESD 控制方案。

如何套用這些基本原則來建立並維護 ESD 控制方案？如何開始？有哪些過程？應注意哪些地方？十位專家會給你十個不同的答案。但深入細究，不外幾個要素。ESD 控制方案的執行和維護，恰似商業活動或計畫，雖然每家公司對控制 ESD 的需求各異，但為了能夠成功建立、實施和維護有效的 ESD 控制方案，應確實掌握以下 6 個關鍵要素（參見圖 2）。

### 1. 委派ESD協調員和組成ESD團隊

有效的 ESD 控制方案需一組可靠的團隊，因為在一個企業中，ESD 防護大多跨越單位、部門、處室和供應商。ESD 團隊由生產線人員、部門主管或其他管理人員所組成，牽涉到進料檢驗、品管、培訓、自動化、包裝和測試等單位。ESD 團隊或委員會協助提供各角度意見、專業知識，並以任務成功為己任，積極地統合努力成果。

這個 ESD 團隊的領導者稱為 ESD 協調員（ESD coordinator），若能全職負責是最理想。事實上較少有這種情形，公司仍需以現有員工兼任此要職。ESD 協調員負責建立、編列預算和監管計畫。ESD 協調員\*也是所有控制方案實施區域的內部顧問。

### 2. 評估公司組織、廠區設施、製程和損失程度

下一步驟是透徹了解廠區環境對 ESD 的影響。利用品質損失和 ESD 敏感度等數據，來評估環境中可能引起 ESD 問題的區域和製程，例如產生靜電的材料、ESD 敏感物體的人員處理流程，以及 ESD 敏感設備與導體的接觸方式等。

將作業過程或工作指示作成紀錄。觀察人員和物料經過的區域。將最有可能發生 ESD 問題的區域作註記。請記住，ESD 可以發生在倉庫，也可以發生在組裝區。接著全面進行廠區設施稽核。對人員、儀器和物料等進行量測，以明訂適當電阻範圍及靜電場。

尋找問題解決方案前，先確定造成的品質損失程度。損失反映在這以下些報告中：品保品管、客戶退貨、產品良率、故障分析，以及其他既有或需再收集的數據等。這些資訊

不僅反映了問題的嚴重性，同時還有助於指出問題區域及其優先順序。由於技術發展和內部產品革新的結果，未來問題的潛在性亦應視需要予以考慮。

記錄實際和潛在性的 ESD 損失，包括缺損元件、重工、客戶退貨和未通過最終檢測的比率等，參考外部數據或先期計畫成果來增強說服力。預測實施 ESD 控制方案後可省下的各項費用。

最後，應確認哪些物體的 ESD 敏感最高，其元件、組件和成品之耐受電壓為何？請注意，兩個不同供應商的物體，即使功能相同，也不一定會有同樣的 ESD 保護等級。

### 3. 建立ESD控制方案

完成評估後，即可開始建立 ESD 控制方案計畫。在計畫中，應設定 ESD 控制規模，並詳載實施範圍、各項任務、活動和流程等，以利在計畫所設定（或高於之）的敏感度層級內達到保護 ESD 敏感物體的目的。文件擬妥後應分發各部門備考，以使人員對實施流程和規範內容能有清楚認知。越詳盡的流程越能符合 *ANSI/ESD S20.20* 或 *IEC61340-5-1* 所規定的管理和技術需求，有助公司通過 ISO 9000 認證。

### 4. 尋求管理高層支持

ESD 控制方案要成功，必先獲得管理層的支持，層級越高越好。那麼，需要何種程度的委託呢？為了取得委託權，您得先為計畫研擬說帖。團隊需向管理高層強調 ESD 對品質和可靠度、損害成本、售後服務和產品功能等面向的影響。若以其他公司作為實例仍無足夠說服力，則可考慮執行「先期計畫」，前提是該計畫的成效能否如預期具有指標意義。

備妥一份概要性的 ESD 控制政策聲明，並讓高層與 ESD 協調員具名簽署，定期重申這份聲明書及高層的委託。Terry Welsher 所寫的「靜電放電損害的「真正」成本」（*The “Real” Cost of ESD Damage*）」等相關文章，不妨提供高層閱讀。

### 5. 建立和實施培訓計畫

將人員培訓和複訓放進 ESD 控制及控制方案流程中，並以考試或其他方式驗證人員對培訓內容的理解度。生產線人員的培訓尤其重要，因他們天天都跟靜電控制流程為伴。訓練的主要目標之一，就是讓人員能夠瞭解 ESD 控制方案非常重要且需持續投以心力。注意，ESD 培訓計畫可依受訓者的不同而作適度調整。

*ANSI/ESD S20.20* 規定應擬定培訓計畫，公司也可依實際需要彈性調整計畫內容。

### 6. 建立和實施認證檢驗計畫

方案建立後即可實施，但還需持續修訂、稽核、分析、反饋及改進。稽核是很重要的，因為它能確保控制方案成功。您需持續地確認方案可獲得財務投資上的回報及成本支出上的節約。科技的革新可不斷協助改進並修正方案。給員工和高層反饋很重要。管理層的委託則需要再確認。

計畫實施後，應將作業報告和反饋提供給管理層、ESD 團隊及配合計畫的員工，讓管理層對時間金錢的投資報酬情形有所瞭解，包括產品品質、可靠度及利潤等；作得好的 ESD 團隊成員獲得相對讚賞；其餘員工則很樂意知道遵從流程真的很值得。將改善程序整合進整體品管系統，並善用既有品管工具，如根本原因分析和修正方案報告等，都是有利的。任何待改進的地方都應作適當調整，方能將計畫維持在軌道上。

定期進行計畫評估和廠區設施稽核，可檢視計畫是否成功地帶來預期收益，或是仍有缺失，需尋找支撐點，甚或計畫有否被確實遵循。

**ANSI/ESD S20.20**和**IEC61340-5-1**規定應建立「認證檢驗計畫」，惟公司可依實際需要彈性調整計畫內容。有關驗證流程，可參考「**靜電放電防護產品和材料的認證檢驗**」(**ESD TR53-01-06 Compliance Verification of ESD Protective Equipment and Materials**)的說明，[www.ESDA.org](http://www.ESDA.org) 提供免費下載。驗證目的在於確認ESD防護產品和材料的表現有否隨著時間而明顯地改變。用戶應依ESD敏感物體的關鍵特性，及ESD防護產品和材料的失敗風險，來建立屬於自己的一套驗證頻率。

## 結論

ESD 控制方案的成功關鍵，在於確實掌握六個基本原則及六個關鍵要素。

ESD 控制的六個基本原則為：

1. 產品的保護設計
2. 確立廠區的靜電控制目標
3. 辨識和界定靜電保護區 (EPA)
4. 減少靜電荷產生
5. 消散與中和電荷
6. 保護產品

ESD 控制方案的六個關鍵要素為：

1. 委派ESD協調員和組成ESD團隊
2. 評估公司組織、廠區設施、操作程序和損失程度
3. 建立ESD控制方案
4. 尋求管理高層支持
5. 建立和實施培訓計畫
6. 建立和實施認證檢驗計畫

第三部分將進一步說明 ESD 控制方案中的具體流程和材料。

參考文獻：

- **ANSI/ESD S20.20-2007 – Standard for the Development of Electrostatic Discharge Control Program** (靜電放電控制方案建立標準), ESD Association, Rome, NY.
- Dangelmayer, Theodore, **ESD Program Management: A Realistic Approach to Continuous, Measurable Improvement in Static Control** (靜電放電控制方案管理：一個管用的靜電控制方法，其改善是連續且可衡量的), 1999, Kluwer Academic Publishers, Boston, MA.
- **ESD TR20.20, ESD Control Handbook** (靜電放電手冊), ESD Association, Rome, NY.
- **ESD TR53-01-06, Compliance Verification of ESD Protective Equipment and Materials** (靜電放電防護產品和材料的認證檢驗), ESD Association, Rome, NY.
- Industry Council on ESD Target Levels, White Paper I: “A Case for Lowering Component Level HBM/MM ESD Specifications and Requirements” (個案－降低組件級人體模型／機器模型靜電放電控制之規格及條件), Revision 2.0, October 2010.+
- Industry Council on ESD Target Levels, White Paper II: “A Case for Lowering Component Level CDM ESD Specifications and Requirements” (個案－降低組件級人體模型／帶電器件模型靜電放電控制規格及規定), Revision 2.0, April 2010.
- ESDA Technology Roadmap (靜電放電技術準則), March 2013
- IEC 61340-5-1, ed. 1.0, “**Electrostatics – Part 5.1: Protection of electronic devices from electrostatic phenomena – General requirements**”, (靜電－第5.1部分：電子器件的靜電保護－一般規定) IEC, Geneva, Switzerland, 2007-08.
- Terry Welsher, **The “Real” Cost of ESD Damage** (靜電放電損害的「真正」成本), InCompliance, May 01, 2010.

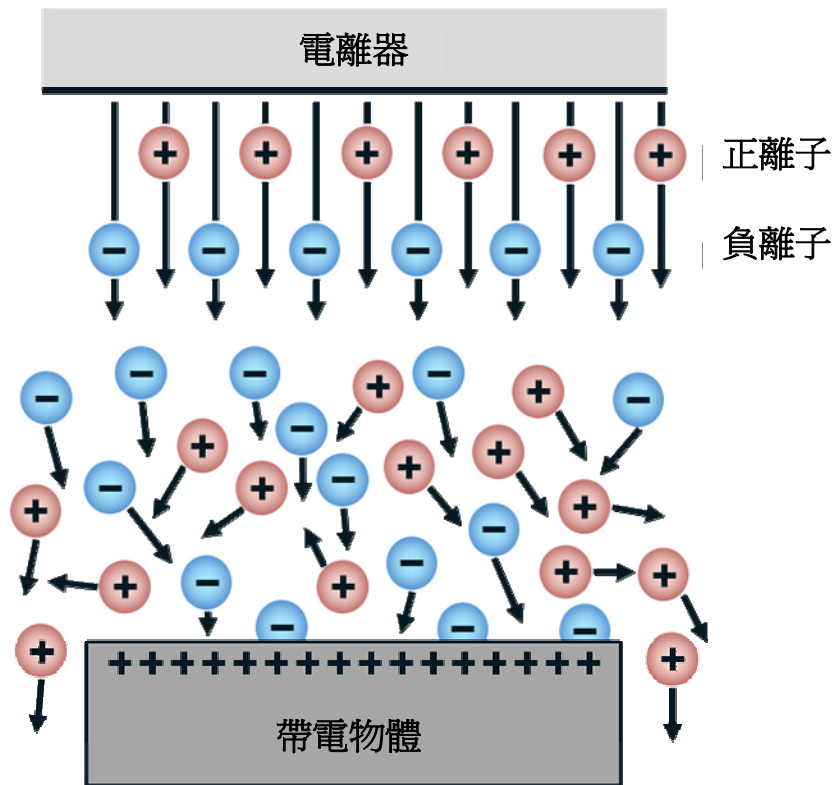


圖1：離電劑產生正負離子後將帶電物體中和之原理。同性電荷離子與帶電物體相斥，異性電荷離子則被吸引至物體表面，將其中和。

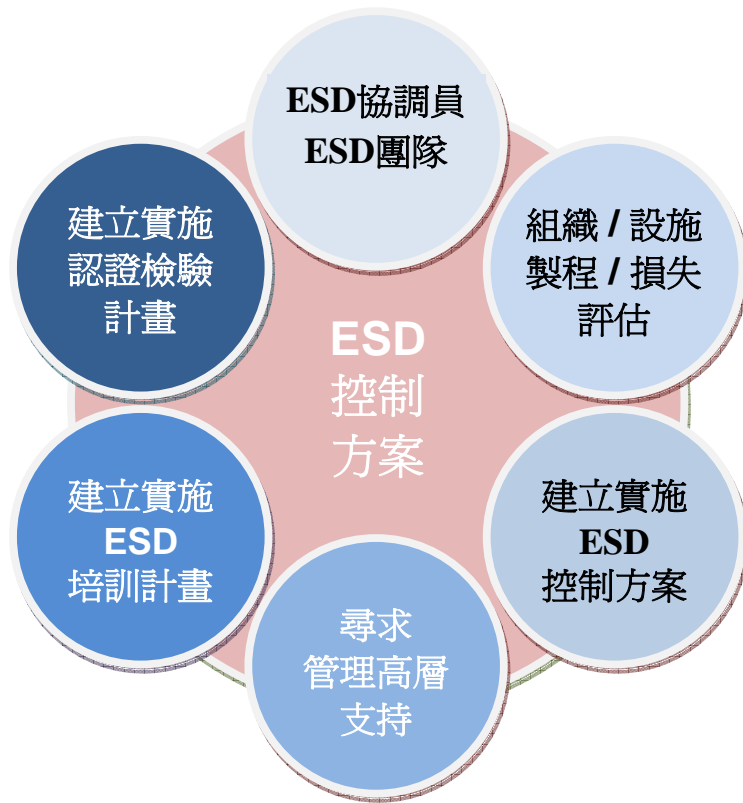


圖2：ESD控制方案成功的六要素