

静电放电概论

第三部分—ESD控制基本流程及材料

© 2014, 静电放电协会, 纽约州罗马市

在本系列第二部份 (*ESD 控制原则及 ESD 控制方案建立*) 中, 我们讨论了研拟实施 ESD 控制方案的六个基本原则及六个关键要素, 第三部分将涵盖 ESD 控制方案中的静电控制基本程序和材料。首先回顾六个基本原则。

静电控制的基本原则

我们建议只要遵循以下六个基本原则, 便能有效建立及实施 ESD 控制方案:

1. **产品的保护设计:** 产品和组件的抗ESD力设计。
2. **定义静电控制目标:** 了解物体敏感度并使设备符合规格。
3. **辨识和界定静电保护区 (EPA):** 即操作ESD敏感器件 (ESDS) 之范围。
4. **减少静电荷产生:** 减少或排除会产生静电荷的程序, 将程序及材料保持在等电位, 并妥适接地, 以减少电荷的产生和累积。
5. **消散及中和电荷:** 接地、电离化, 或导电和消电性材料的利用。
6. **保护产品:** 适当的接地或分流, 及采用静电控制包装和材料处理产品。

ESD 控制方案六原则的后五项着重在厂区层面。第三部分将集中讨论哪些主要材料和程序有助于减少静电产生、电荷接地, 及中和电荷, 以保护敏感产品不受 ESD 影响。

找出问题区域并设定控制改善目标

我们首先应问: 「我们所制造或处理的零件或组件究竟有多敏感?」回答结果将可作为决定厂区中控制 ESD 的流程和材料的指引。

如何确定零组件的灵敏度, 或从哪里可以获得 ESD 分级或耐受电压的信息? 组件制造商或供货商所提供的数据表会是首要选项。取得人体模型 (HBM) 和带电器件模型 (CDM) 排序表相当重要。你可能会发现你需要将特定设备进行 ESD 敏感测试。但需注意, 用于合格试验的电压及场内测得的静电电压, 两者之间的相关性较弱。

第二个问题是: 「厂区中有哪些区域亟需 ESD 保护?」此问题有助于明确划出静电保护区 (EPAs) 范围, 并在范围内遵循 ESD 控制原则及处理敏感零组件。需保护的区域通常多于想象 (通常指操作 ESDS 设备的区域)。典型需 ESD 防护的厂房区域如表 1 所示。

表1 典型需ESD防护的厂房区域
收货区
测试和检验区
储藏室和仓库
组装区
检测区
研发区
包装区
现场服务维修
办公室和实验室
无尘室

接地

接地方式对有效的 ESD 控制尤其重要，应给予明确定义并定期评估。

设备接地导体可提供路径，使 ESD 防护材料及人员保持等电位。厂区所有导电和消电性材料（包括人员）应与一已知的共同接地点作电气联接，使所有物体和人员之间可建立等电位平衡。只要系统中所有物体都同电位，ESD 保护就可维持在高出地电位「零伏特」电压的电位水平上。请注意，绝缘体（即非导体），无法经由接地移除静电。

依据 *ESD Association Standard ANSI/ESD S6.1-Grounding (接地)*，EPA 的防静电物体接地有两步骤。

步骤一是将工作站所有组件和人员（以及工作表面、设备等）连接至共同接地点，此接地点之其定义是：「可连接两个或多个接地导体至同电位的系统或方法」。

图1：共同接地点标章



依据 *ESD Association standard ANSI/ESD S8.1-Symbols (标章)*，为清楚标识共同接地点，可使用如图 1 之标章。

步骤二是将共同接地点连接到设备接地导体（交流电地面）或接地线（绿色）。此种接地方式较佳，因为工作站的所有电子器件经已接至该地面。连接防静电材料或设备到设备接地，可将所有组件维持在同电位。修理静电敏感物时，若将焊铁接地，该静电敏感物又另经辅助接地，两种物体间将产生电位差，导致该静电敏感物受损。

工作站内任何现有的辅助接地（水管、屋架、地桩）皆应与设备接地导线结合，使两接地面的电位差最小。有关 ESD 接地的详细信息，可参考 *ESD Association Standard ANSI/ESD S6.1-Grounding (ESD 接地标准)*、*ESD Handbook ESD TR20.20 (ESD 静电放电手册)*，及 *CLC/TR 61340-5-2 User guide (用户指南)*。

控制人员及移动设备产生的静电

人是静电的主要产生源。一个简单的走动，或修理电路板的动作，都能够让人体产生几千伏特的静电荷。如果控制不当，这种静电荷很容易释放到 ESD 敏感器件上——即典型的人体模型（HBM）。同样的，人体也可以移转电荷到电路板或其它物体上，该物体后续可能发生带电器件模型（CDM）事件。

即使是高度自动组装和测试，过程中仍须处理 ESDS，如仓储、维修、实验室、运输等。因此，ESD 控制方案极重视控制处理人员的静电放电。同样的，厂区中的任何移动设备（如手推车或台车），或其它有轮工具，移动时都能产生可观的静电荷，并进一步移转到输送中的产品身上。

防静电手腕带

一般上，防静电手腕带是人员接地的主要方法。正确佩戴接手腕带，并连结接地线，可使人员保持接近地面电位。由于工作人员及其它接地物体是同电位或电位相近，就可避免放电的危险。此外，静电荷从人员移转到到面后并不累积。人员于非 EPA 中就坐应使用防静电手腕带接地。

手腕带由两个部分组成，一是腕部环状带，另一是将环状带连接至共同接地点的接地线。接地线与环状带的连接端通常会嵌入一组限流电阻器。电阻为 1 兆欧，额定功率至少为 1/4 瓦、额定工作电压 250 伏特。

手腕带经常故障，故应定期检测。无论是于特定检测站进行日常检测，或使用工作平面上的连续监测器皆可。

地板、地垫、地板涂装

人员接地的方法二是采用**地板/鞋**系统，包括并同使用可达到 ESD 控制的地板及防静电鞋（或脚接地器）。导电或消电性地板材料和防静电鞋的组合使用，可提供安全接地路径以消散静电荷，并减少人员电荷累积。此外，某些地板材料（包括装饰用之涂料）也有助降低摩擦生电。防静电**地板/鞋**系统尤其适用于有高度人员流动需求的区域。另外，地板材料可使椅座、输送设备（如手推车或抬车）、推高机，或其它在地板上移动的物体，其电荷累积量达到最低。但这些物体仍须靠消电或导电性的脚轮或其它轮子以与地板电性接触，且组件为电性连接。当系统用于人员接地时，人员、鞋和地板的对地电阻，需与防静电手腕带设定一致（<35 兆欧），而标准行动电压测试（参考 *ANSI/ESD STM97.2*）中的累积单体电压须小于 100 伏特。

鞋、脚接地器、脚轮

地板与防静电鞋、脚接地器、脚轮及其它有轮器具等之组合利用，可提供人、物和地板间必要的电气接触。防静电鞋、脚轮，或其轮子会阻止静电从人体或输送设备流至地板接地，故须避免。

衣物

衣物亦是静电保护区需考虑的一环，尤其在无尘室及极干燥环境内。一般衣物材质，尤其是化纤织品，会产生静电并放电到 ESDS，甚或产生静电场并吸附电荷。因衣物通常为绝缘性，故纤维上的电荷不会经由皮肤消散到地面。防静电工作服有助抑制或影响其下方衣物的静电场。依据 [ANSI/ESD S20.20] 和 [ANSI/ESD STM2.1]，ESD 控制工作服分为三类：

- ESD 1 类工作服：未接地的**防静电工作服**。因未接地，电荷可能积累在具导电或消电性（若有）的工作服上，形成一带电源。
- ESD 2 类工作服：**可接地的防静电工作服**。此类衣物接地后可更压制下方衣物电场的影响。
- ESD 3 类工作服：**可接地的防静电工作服系统**，将人员皮肤与已知的接地路径结合。**整个系统的电阻，包括人员、工作服和接地线，应小于35兆欧。**

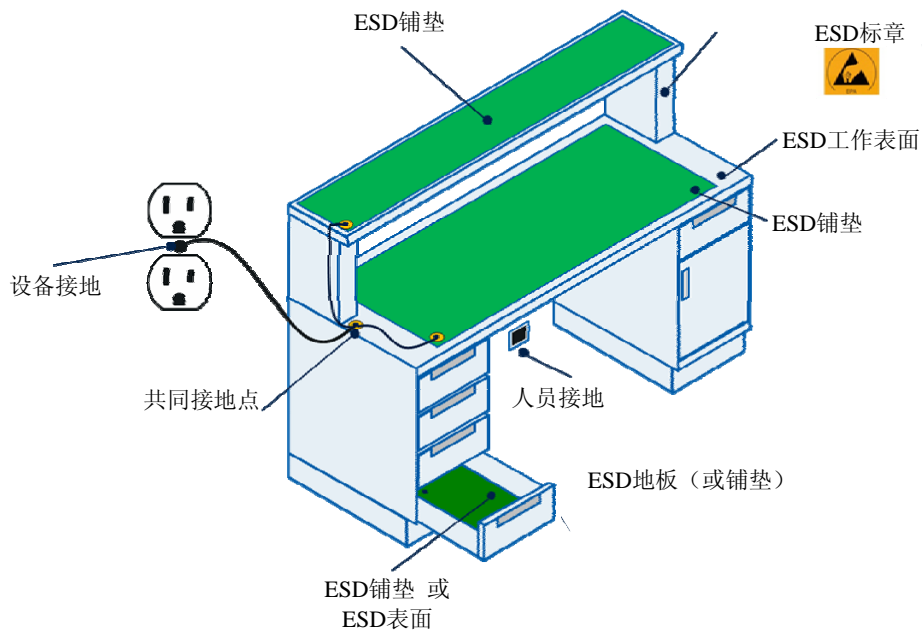
工作站和工作表面

ESD 防静电工作站是指个人工作场所中，建立并配备有防范 ESD 敏感器件损害的材料和设备。它可以是储存间、仓库，或装配区中的独立工作站，也可以是一个场域中的某个位置，如商用飞机里的计算机机架。工作站也可以位于控制区域，如无尘室。大多数防静电工作站的关键元素包括一张具消电性的工作表面、人员接地方法（通常为防静电手腕带）、共同接地点，以及适当的标志和卷标。典型防静电工作站如图 2 所示。

图 2 之防静电工作站可将所有工作表面、夹具、取放设备，以及接地装置，连接至一个共同接地点。此外，也可连接额外的人员接地装置、设备和周边配件（如固定或连续监测器、电离器等）。

接地电阻为 1 兆欧至 1 千兆欧电阻的静电防护工作表面，可提供一个与工作站中其它防静电物体等电位的表面。这种工作表面也提供电气接地路径，材料经与表面接触后所产生的静电荷受其控制后消散。这种工作表面也有助确认特定工作区域中需处理的 ESDS。工作表面连接到公共接地点。

图2：典型ESD工作站



连续或固定监测器

连续或固定监测器目的是提供防静电手腕带系统进行不断测试。目前有许多技术可资利用，目标都是一样的：于配戴者处理 ESDS 时，测试接地点、接地线、手腕带和人员身体间的电气连接。连续监测也可为 ESD 工作表面或其它连接地参考的设备，提供电路监控。

典型的测试方案建议若每天使用防静电手腕带，则应每天进行测试。生产中的产品若需连续、可靠的接地，则连续监测更是应考虑甚至必要的。若使用连续监测器，手腕带可免每天测试。

生产设备和生产辅助器件

虽然人员是静电的主要产生源，自动制造和测试设备也可构成静电问题。例如，ESDS 器件经组件送料器脱出时即可能带电。若该器件接着碰触插装头或另一导电的金属表面，便会快速放电给该金属物—即带电器件模型 (CDM) 事件。若无法避免 ESDS 带电—常发生于现代的生产装配线，因 IC 封装是绝缘的—利用电离器可降低带电量。此外，各种生产辅助器件，如手持工具、胶带、溶剂等，都会造成静电困扰。

接地是器材和生产辅助设备的主要静电控制方法。国家电气法规要求大部分的电器设备需连接至设备接地（即绿线）以传送故障电流。这种接地连接也适用于 ESD 控制。用于处理 ESD 敏感硬件的所有电动工具和设备需要 3 叉接地型交流电插头。非电动的手持

工具，如尖嘴钳、老虎钳、镊子等，一般是使用导电 / 消电性工具通过 ESD 工作表面和已接地的人员接地。撑托夹具应尽可能采用导电或消电性材料。取放极敏感设备时，消电性材料也常被建议采用。未连接 ESD 工作表面或未由过接地人员处理的导电或消电性夹具，需要一条另外的接地线。含有绝缘材料的物体，需使用电离器或敷抹抗静电液，才能控制静电的产生及累积。

手套和指套

处理的 ESDS 接地人员当然不应穿戴绝缘材料制成的手套或指套。如需穿戴手套或指套，该材料应具消电或导电性。有关如何为人员穿戴手套或指套时进行电阻测量，可参考认证检验 **ESD TR53** 所提供的测试程序。

包装和材料处理

在 EPA 中，包装和材料处理容器需低带电和消电或导电性。在 EPA 外，包装和材料处理容器尚需具静电放电屏蔽功能。

屏蔽袋、瓦楞纸箱，以及坚硬或半坚硬的塑料包装箱，可直接保护 ESDS 设备免受静电放电影响。使用这些包装主要是因为产品在离办厂后可获得保护，尤其是在运送给客户时。此外，材料处理产品，如杂物搬运箱及类似容器，主要是提供在厂内或厂际间的运输保护。

这些包装和材料处理产品的主要 ESD 功能是为了降低摩擦生电、直接放电、或静电场（某些情况下）等所引起的 ESD 冲击。这些功能特性包括：一、接触 ESD 敏感器件的材料为低带电。低带电性质有助控制因板片或组件进入包装或容器而引起的摩擦生电。其次为材料接地，使电阻范围具导电或消电性。第三，可在 EPA 外对直接的静电放电提供保护（即放电屏蔽）。

许多材料都可提供上述三种功能特性：低带电、有电阻，以及放电屏蔽。这些包装材料内都有低带电层，外层则具表面电阻导电性或消电性范围。依据 **[ANSI/ESD S541 (Packaging standard ANSI/ESD S541)] (包装标准)**，在 EPA 内包装或处理材料需使用低带电、导电或消散性的包装物。在 EPA 外的包装也须有放电屏蔽。有效性、成本和设备对各种放电机制的承受性等三种因素，应于包装决策时取得平衡。

电阻或电阻率测量有助于确定材料的静电屏蔽或电荷消散能力。静电屏蔽可削减包装表面的静电场，避免包装内部产生电位差。依据 **ANSI/ESD STM11.11** 方法测试时，放电屏蔽材料的表面电阻等于或小于 1 千欧；或依据 **ANS/ESD STM11.12** 测试方法，体积电阻率等于或小于 1.0×10^3 欧姆-厘米。此外，包装材料若能提供包装物与 ESDS 内容物之间足够的气隙，就属有效的屏蔽。

消电性材料具消散电荷的特性。依据 **ANSI/ESD STM11.11** 方法测试时，材料表面电阻大于 10 千欧、小于 100 千兆欧；或依据 **ANSI/ESD STM11.12** 方法测试，体积电阻率大于 1.0×10^5 欧姆-厘米、小于或等于 1.0×10^{12} 欧姆-厘米。有些包装应依据 **ANSI/ESD STM11.31** 来评估提供其放电屏蔽的能力，以测量转移至包装内部的电量。一种材料是否低带电，不见得能由其电阻或电阻率看出。

电离化

静电控制方案多包含不接地的绝缘导体，或无法接地的绝缘材料（如一般塑料）。在某些情况下，抗静电液可以暂时消散静电。

空气电离化方法最为常用，它可平衡正、负离子，使绝缘物体的静电荷达到中和。透过从空气中吸引极性相反的电荷，物体上的任何静电荷都会减少，甚至中和。因仅使用工作环境里的空气，故在禁用化学喷雾剂和某些消电性材料的无尘室中，也可使用空气电离化方法。

空气电离化是整个 ESD 控制方案的其中一部份，且不可以接地或其它方法来取代。若所有物品都无法适当接地，电离器就会被采用，算是各种静电控制方法的备用方法。在无尘室，空气电离化是少数几个静电控制的方法之一。

有关测试补偿电压（或平衡电压）和电离器的放电次数，详见电离化标准 **ANSI/ESD STM3.1**、**ANSI/ESD SP3.3** 和 **ESD TR53**。

无尘室

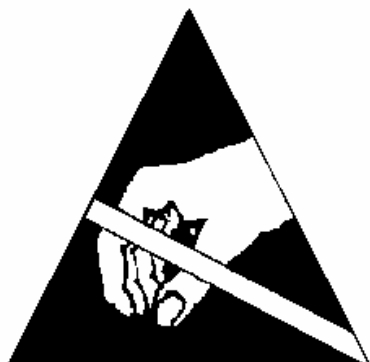
虽然这里所讨论的几种静电控制方法适用于大多数环境，但无尘室的生产环境则需另予考虑。

半导体制造过程所需的许多对象（石英，玻璃，塑料和陶瓷等）基本上都会产生电荷。但因为这些材料是都绝缘体，电荷无法用接地移除。许多静电控制材料因含有碳粒子或添加表面活性剂，而限制了其在无尘室的使用。人员移动和的无尘衣也常限制了防静电手腕带的使用。在这种情况下，电离化和地板 / 鞋接地系统成为了对抗静电的关键武器。

辨识

ESD 控制方案最后一个元素是利用适当标章来辨识 ESD 敏感器件，以及专业的静电控制产品。目前最为大家所使用的识别标章，是由静电放电协会所设计的 **ESDS** 及 **ESD 防护材料** 两种标章，请参考 **ANSI/ESD S8.1 — ESD Awareness Symbols**（警示标章）。

图3: ESD敏感度标



ESD 敏感度标章（如图 3）包括一个三角形、一支伸出的手，以及一条划过手的斜线。三角形代表「小心」，划过手的斜线表示「不要碰触」。因广泛使用，三角形内的手与静电放电可作直接联想，翻成文字就是：「静电放电敏感物件，勿碰。」

这件标章可直接应用于集成电路、电路板和组件等 ESD 敏感物品上，警告操作者若未小心处理或使用该物品，可能会导致 ESD 损害。操作者在处理前应先接地。若有需要，亦可于标签上加注物品的敏感度。

图4: ESD保护标章



ESD 保护标章（如图 4）包括一个三角形内伸出的手，和一个围绕在三角形外围的弧，与前述标章斜线不同，弧形代表「保护伞」，标示物品为防静电材料，适用铺垫、座椅、手腕带、工作服、包装，及其它可提供 ESD 保护的物品。也可用在手持工具、输送带，或自动处理器等工具上，表示器材已有防静电特性设计（低带电、导电 / 耗电性电阻，或放电屏蔽）。

总结

有效的 ESD 控制方案有赖各种流程与材料。ESD 协调员应定期公示控管方案允准使用的特定 EPA ESD 防护产品清单。我们已概要介绍了几种最为广泛使用的产品。若您想针对单一材料或流程取得更多深入探讨，可参考一些工具书，如：静电放电协会出版的 *ESD TR20.20 (静电放电手册)*，或 *CLC/TR 61340-5-2 User guide (用户指南)*。

您的方案即将启动运作。该如何确定它是否是有效？如何确保员工会遵从？在第四部分，我们的讨论主题将涵盖稽审和培训。

进一步参考信息：

静电放电协会标准 (ESDA Standards)

- *ANSI/ESD S1.1: Wrist Straps (防静电手腕带)*, ESD Association, Rome, NY 13440
- *ANSI/ESD STM2.1: Garments-Characterization (工作服分类)*, ESD Association, Rome, NY 13440
- *ANSI/ESD STM3.1: Ionization (电离化)*, ESD Association, Rome, NY 13440

- **ANSI/ESD SP3.3: Periodic Verification of Air Ionizers** (空气电离器之定期检测), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ANSI/ESD S4.1: Worksurfaces-Resistance Measurements** (工作表面—电阻测量), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ANSI/ESD STM4.2: ESD Protective Worksurfaces - Charge Dissipation Characteristics** (防静电工作表面—消电的特性), 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** (材料电阻特性—地板材料), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ANSI/ESD S8.1: Symbols-ESD Awareness** (标章—ESD警示), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ANSI/ESD STM9.1: Footwear-Resistive Characterization** (鞋类—电阻特性), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ESD SP9.2: Footwear-Foot Grounders Resistive Characterization** (鞋类—脚接地器电阻特性), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ANSI/ESD SP10.1: Automated Handling Equipment** (自动取放设备), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ANSI/ESD STM11.11: Surface Resistance Measurement of Static Dissipative Planar Materials** (消电性平面材料的表面电阻测量), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ANSI/ESD STM11.12: Volume Resistance Measurement of Static Dissipative Planar Materials** (消电性平面材料的体积电阻测量), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ANSI/ESD STM11.13: Two-Point Resistance Measurement** (两点电阻测量), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ANSI/ESD STM11.31: Evaluating the Performance of Electrostatic Discharge Shielding Bags** (静电放电屏蔽袋性能表现评估), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ANSI/ESD STM12.1: Seating-Resistive Measurement** (座椅—电阻测量), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ESD STM13.1: Electrical Soldering/Desoldering Hand Tools** (电焊 / 电拆焊手持工具), 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电阻测量标准操作), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ANSI/ESD S20.20: Standard for the Development of an ESD Control Program** (静电放电控制方案建立标准), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ANSI/ESD STM97.1: Floor Materials and Footwear - Resistance in Combination with a Person** (地板材料和鞋类 - 与人员组合的电阻测量), ESD Association, Rome, NY 13440

- **ANSI/ESD STM97.2: Floor Materials and Footwear - Voltage Measurement in Combination with a Person** (地板材料和鞋类 - 与人员组合的电压测量), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ANSI/ESD S541: Packaging Materials for ESD Sensitive Devices** (静电放电敏感器件之包装材料), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ESD ADV1.0: Glossary of Terms** (静电放电协会专有名词表), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ESD ADV11.2: Triboelectric Charge Accumulation Testing** (摩擦生电累积测试), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ESD ADV53.1: ESD Protective Workstations** (静电放电防护工作站), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ESD TR20.20: ESD Handbook** (静电放电手册), ESD Association, Rome, NY 13440
- **ESD TR53: Compliance Verification of ESD Protective Equipment and Materials** (静电放电保护设备和材料之达标验证), ESD Association, Rome, NY 13440

其它

- System Reliability Center, 201 Mill Street, Rome, NY 13440
- **ANSI/IEEE STD142, IEEE Green Book** (IEEE绿皮书), Institute of Electrical and Electronics Engineers
- **ANSI/NFPA 70, National Electrical Code** (国家电气法规), National Fire Protection Association, Quincy, MA
- **CLC/TR 61340-5-2 User guide** (用户指南), European Committee for Electrotechnical Standardization, Brussels