

静电放电概论

第二部分—ESD控制原则及ESD控制方案建立

© 2013, 静电放电协会, 纽约州罗马市

在本系列第一部份（*静电放电简介*）中，我们讨论了静电的带电和放电、产生电荷的机制、各种材料、ESD 损害类型，各种 ESD 事件及 ESD 敏感度等，结论如下：

1. 几乎所有材料，包括各种导体，均可摩擦生电。
2. 电荷量受材料类型、接触和分离的速度、湿度，以及其它因素所影响。
3. 带电物体具有静电场。
4. 静电放电会造成器件损害，并使参数立即失效；ESD损害亦可能只造成不利于检测时发现的潜伏性缺失，但也可能会导致器件过早发生故障。
5. 静电放电可能会发生在整个制造、测试、运送、装卸、及操作等过程中，甚或是发生于投入现场服务的操作期间。
6. ESD损害也可能是对器件放电、从器件放电，抑或是静电场电荷移转等情形所造成的结果。各种器件的ESD敏感度或ESD电纳系数均有显著不同。

为保护产品不受 ESD 损害，应先了解静电带电和放电的基本概念。有效的 ESD 控制端赖有效的培训计划，所有参与人员均需具备关键性的基础观念。有了这些观念，就可以着手建立有效的 ESD 控制方案。在第二部分里，我们将聚焦于有关「ESD 控制」及「ESD 控制方案建立」的一些基本原则。

静电控制的基本原则

静电放电（ESD）控制对电子制造业来说，是一项艰巨的挑战。但若掌握了六个静电控制的基本原则，建立实施 ESD 控制方案并不复杂，仅需记得，ESD 在墨菲定律中亦成立：「不管我们做什么，静电荷总在伺机放电。」

1. 产品的保护设计

控制 ESD 的首要原则是：**产品和零组件越具抗 ESD 能力越好**。步骤之一是使用低静电敏感度的器件，或采用适当的电源输入保护装置，包括各种电子装置、电路板、组件，及器材等。工程师和设计师常面临这样的矛盾：高科技产品平面规格小而复杂，但往往对 ESD 更敏感。ESD 等级目标产业委员会（The Industry Council on ESD Target Levels）及静电放电协会（ESDA）所制订的「**静电放电技术准则**」（*Electrostatic Discharge (ESD) Technology Roadmap*, 2010 年 4 月修订），咸认工程师不需像过去采用较高的静电保护标准，故调降 ESD 改善目标，人体模式之耐压位准调为 1000 伏特，带电器件模式之耐压位准则调为 250 伏特，未来亦有再下调的趋势。今天，产品的制造和处理采用国际产业标准（如：*ANSI/ESD S20.20* 或 *IEC 61340-5-1*）所制订的基本 ESD 控制方法来进

行，其改善目标被认为是务实且合理的。若需使用或操作较低 ESD 改善目标的器件，则需考虑本节所述原则作法以外的特定应用控制方案。

2. 确立厂区的静电控制目标

目前使用的 ESDS 中，哪种对 ESD 最敏感？制造或输送中产品的耐受电压等级为何？若想知道相关规定，最好先了解厂房内各种设备对人体模型（HBM）和带电器件模型（CDM）的敏感度。2007 年版的 *ANSI/ESD S20.20* 和 *IEC61350-5-1*，都有 HBM 100 伏特敏感物体控制方案的相关规定；未来在新版中会再增列 CDM200 伏特敏感物体。根据使用说明，这两种标准都允许视情况适当调整规格。

3. 辨识和界定静电保护区（EPA）

ESD 控制原则三，依据 *ESD ADV 1.0 Glossary*（*静电放电协会专有名词表*）之规范，明确划分厂区内的静电保护区（EPA）：「具备控制静电所需材料、工具及仪器，使 ESD 敏感物体损害达到最低的具体范围。」于保护区范围内操作 ESD 敏感物体时应执行基本 ESD 控制流程，亦即将所有导电和耗电性材料（包括人员），与一已知的共同接地点作电气联接。

4. 减少静电荷产生

若预测出来的 ESD 敏感度数据精确，已加入产品设计中的 ESD 保护措施将逐渐失效。ESD 控制原则四：「首重**减少静电荷的产生和累积**。」道理很简单：不带电，就不放电。尽量排除 EPA 范围会产生静电荷的过程或材料，尤其是高带电的绝缘体（如一般塑料）。用等电位相连接，或设备接地方式，将导电或耗电性材料维持在等电位。静电放电不会发生在等电位的材料间。在 EPA 范围，厂区常备品应以防静电物体取代，如工作表面垫料、地板涂装，工作服等，用接地方式减少电荷产生或累积。工作人员应配戴防静电腕带、踏在有接地涂装的地板上，或穿着防静电鞋。然而，就算完全遵循「控制静电使损害降至最低」的基本原则，实务上，想要彻底排除厂区内产生的所有电荷仍很困难。

5. 消散与中和电荷

由 EPA 范围内的静电荷无法彻底清除，ESD 控制原则五就相对重要：「安全消散或中和已产生的静电。」正确的接地和使用导电或耗电性材料能发挥极显著的作用。例如，已带电的工作人员移转电荷的方式包括：配戴防静电腕带，或穿着防静电鞋，铺设防静电地板等，电荷接地后就不致对敏感物体放电。为防止带电器件受损，电流大小可使用耗电性材料来加以控制。

有些物体，如一般塑料等绝缘体，由于无法在短时间内疏导电荷，故接地方式无法移转静电荷。若这些绝缘物体需留在 EPA 范围，可考虑以电离器中和其电荷。电离化过程中会产生负离子和正离子，同性电荷离子与带电物体相斥，异性电荷离子则被吸引至带电物体表面，该物体即属电性中和（参见图 1）。电离器在平衡状态时净电荷为零。

6. 保护产品

最后，ESD 控制原则六是：「防止对敏感性零组件的放电。」市面上有多种具 ESD 控制效果的包装处理产品，用于 EPA 范围内或外皆可。其一是以接地或分流消散电荷方式以保护 ESD 敏感产品及组件，还有一种是以导电或消电性材料包装，经接地方式移转电荷。此外，若要在 EPA 范围外移动 ESD 敏感物体，包装产品本身应具「放电屏蔽」之 ESD 控制设计，可削弱带电放电的影响，同时减少产品在包装盒内因移动而产生的电荷。

使ESD控制方案有效的关键要素

前述六项原则看似基本，却可作为选择合适材料和流程的明确指引，使 ESD 控制效率提高。大多数情况下，有效的 ESD 控制方案均须遵循上述所有原则。单一流程或产品并无法完成整个任务，越需发挥作用的静电控制越需完整的 ESD 控制方案。

如何套用这些基本原则来建立并维护 ESD 控制方案？如何开始？有哪些过程？应注意哪些地方？十位专家会给你十个不同的答案。但深入细究，不外几个要素。ESD 控制方案的执行和维护，恰似商业活动或计划，虽然每家公司对控制 ESD 的需求各异，但为了能够成功建立、实施和维护有效的 ESD 控制方案，应确实掌握以下 6 个关键要素（参见图 2）。

1. 委派ESD协调员和组成ESD团队

有效的 ESD 控制方案需一组可靠的团队，因为在一个企业中，ESD 防护大多跨越单位、部门、处室和供货商。ESD 团队由生产线人员、部门主管或其它管理人员所组成，牵涉到进料检验、品管、培训、自动化、包装和测试等单位。ESD 团队或委员会协助提供各角度意见、专业知识，并以任务成功为己任，积极地统合努力成果。

这个 ESD 团队的领导者称为 ESD 协调员（ESD coordinator），若能全职负责是最理想。事实上较少有这种情形，公司仍需以现有员工兼任此要职。ESD 协调员负责建立、编列预算和监管计划。ESD 协调员*也是所有控制方案实施区域的内部顾问。

2. 评估公司组织、厂区设施、制程和损失程度

下一步骤是透彻了解厂区环境对 ESD 的影响。利用质量损失和 ESD 敏感度等数据，来评估环境中可能引起 ESD 问题的区域和制程，例如产生静电的材料、ESD 敏感物体的人员处理流程，以及 ESD 敏感设备与导体的接触方式等。

将作业过程或工作指示作成纪录。观察人员和物料经过的区域。将最有可能发生 ESD 问题的区域作注记。请记住，ESD 可以发生在仓库，也可以发生在组装区。接着全面进行厂区设施稽核。对人员、仪器和物料等进行量测，以明订适当电阻范围及静电场。

寻找问题解决方案前，先确定造成的质量损失程度。损失反映在这以下些报告中：品保品管、客户退货、产品良率、故障分析，以及其它既有或需再收集的数据等。这些信息

不仅反映了问题的严重性，同时还有助于指出问题区域及其优先级。由于技术发展和内部产品革新的结果，未来问题的潜在性亦应视需要予以考虑。

记录实际和潜在性的 ESD 损失，包括缺损组件、重工、客户退货和未通过最终检测的比率等，参考外部数据或先期计划成果来增强说服力。预测实施 ESD 控制方案后可省下的各项费用。

最后，应确认哪些物体的 ESD 敏感最高，其组件、组件和成品之耐受电压为何？请注意，两个不同供货商的物体，即使功能相同，也不一定会有同样的 ESD 保护等级。

3. 建立ESD控制方案

完成评估后，即可开始建立 ESD 控制方案计划。在计划中，应设定 ESD 控制规模，并详载实施范围、各项任务、活动和流程等，以利在计划所设定（或高于之）的敏感度层级内达到保护 ESD 敏感物体的目的。文件拟妥后应分发各部门备考，以使人员对实施流程和规范内容能有清楚认知。越详尽的流程越能符合 *ANSI/ESD S20.20* 或 *IEC61340-5-1* 所规定的管理和技术需求，有助公司通过 ISO 9000 认证。

4.寻求管理高层支持

ESD 控制方案要成功，必先获得管理层的支持，层级越高越好。那么，需要何种程度的委托呢？为了取得委托权，您得先为计划研拟说帖。团队需向管理高层强调 ESD 对质量和可靠度、损害成本、售后服务和产品功能等面向的影响。若以其它公司作为实例仍无足够说服力，则可考虑执行「先期计划」，前提是该计划的成效能否如预期具有指标意义。

备妥一份概要性的 ESD 控制政策声明，并让高层与 ESD 协调员具名签署，定期重申这份声明书及高层的委托。Terry Welsher 所写的「*静电放电损害的「真正」成本*」(*The “Real” Cost of ESD Damage*)」等相关文章，不妨提供高层阅读。

5. 建立和实施培训计划

将人员培训和复训放进 ESD 控制及控制方案流程中，并以考试或其它方式验证人员对培训内容的理解度。生产线人员的培训尤其重要，因他们天天都跟静电控制流程为伴。训练的主要目标之一，就是让人员能够了解 ESD 控制方案非常重要且需持续投以心力。注意，ESD 培训计划可依受训者的不同而作适度调整。

*ANSI/ESD S20.20*规定应拟定培训计划，公司也可依实际需要弹性调整计划内容。

6. 建立和实施认证检验计划

方案建立后即可实施，但还需持续修订、稽核、分析、反馈及改进。稽核是很重要的，因为它能确保控制方案成功。您需持续地确认方案可获得财务投资上的回报及成本支出上的节约。科技的革新可不断协助改进并修正方案。给员工和高层反馈很重要。管理层的委托则需要再确认。

计划实施后，应将作业报告和反馈提供给管理层、ESD 团队及配合计划的员工，让管理层对时间金钱的投资报酬情形有所了解，包括产品质量、可靠度及利润等；作得好的ESD 团队成员获得相对赞赏；其余员工则很乐意知道遵从流程真的很值得。将改善程序整合进整体品管系统，并善用既有品管工具，如根本原因分析和修正方案报告等，都是有利的。任何待改进的地方都应作适当调整，方能将计划维持在轨道上。

定期进行计划评估和厂区设施稽核，可检视计划是否成功地带来预期收益，或是仍有缺失，需寻找支撑点，甚或计划有否被确实遵循。

ANSI/ESD S20.20和**IEC61340-5-1**规定应建立「认证检验计划」，惟公司可依实际需要弹性调整计划内容。有关验证流程，可参考「**静电放电防护产品和材料的认证检验**」

(ESD TR53-01-06 Compliance Verification of ESD Protective Equipment and Materials) 的说明，www.ESDA.org 提供免费下载。验证目的在于确认ESD防护产品和材料的表现有否随着时间而明显地改变。用户应依ESD敏感物体的关键特性，及ESD防护产品和材料的失败风险，来建立属于自己的一套验证频率。

结论

ESD 控制方案的成功关键，在于确实掌握六个基本原则及六个关键要素。

ESD 控制的六个基本原则为：

1. 产品的保护设计
2. 确立厂区的静电控制目标
3. 辨识和界定静电保护区（EPA）
4. 减少静电荷产生
5. 消散与中和电荷
6. 保护产品

ESD 控制方案的六个关键要素为：

1. 委派ESD协调员和组成ESD团队
2. 评估公司组织、厂区设施、操作程序和损失程度
3. 建立ESD控制方案
4. 寻求管理高层支持
5. 建立和实施培训计划
6. 建立和实施认证检验计划

第三部分将进一步说明 ESD 控制方案中的具体流程和材料。

参考文献:

- **ANSI/ESD S20.20-2007 – Standard for the Development of Electrostatic Discharge Control Program** (静电放电控制方案建立标准), ESD Association, Rome, NY.
- Dangelmayer, Theodore, **ESD Program Management: A Realistic Approach to Continuous, Measurable Improvement in Static Control** (静电放电控制方案管理: 一个管用的静电控制方法, 其改善是连续且可衡量的), 1999, Kluwer Academic Publishers, Boston, MA.
- **ESD TR20.20, ESD Control Handbook** (静电放电手册), ESD Association, Rome, NY.
- **ESD TR53-01-06, Compliance Verification of ESD Protective Equipment and Materials** (静电放电防护产品和材料的认证检验), 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” (个案—降低组件级人体模型/机器模型静电放电控制之规格及条件), 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” (个案—降低组件级人体模型/带电器件模型静电放电控制规格及规定), Revision 2.0, April 2010.
- ESDA Technology Roadmap (静电放电技术准则), March 2013
- IEC 61340-5-1, ed. 1.0, “**Electrostatics – Part 5.1: Protection of electronic devices from electrostatic phenomena – General requirements**”, (静电—第5.1部分: 电子器件的静电保护—一般规定) IEC, Geneva, Switzerland, 2007-08.
- Terry Welsher, **The “Real” Cost of ESD Damage** (静电放电损害的「真正」成本), InCompliance, May 01, 2010.

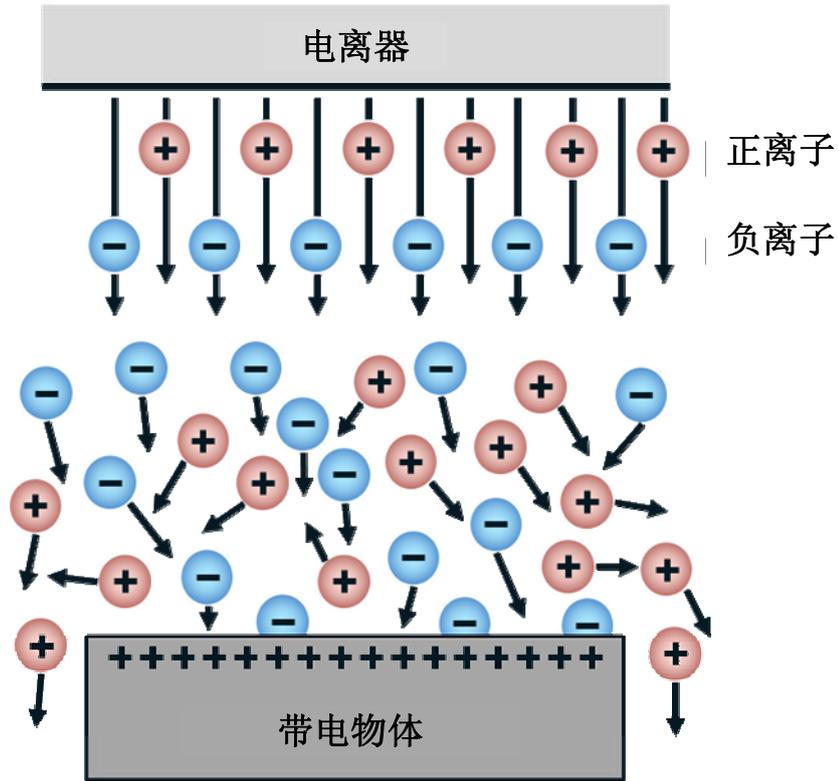


图1： 离电剂产生正负离子后将带电物体中和之原理。同性电荷离子与带电物体相斥，异性电荷离子则被吸引至物体表面，将其中和。

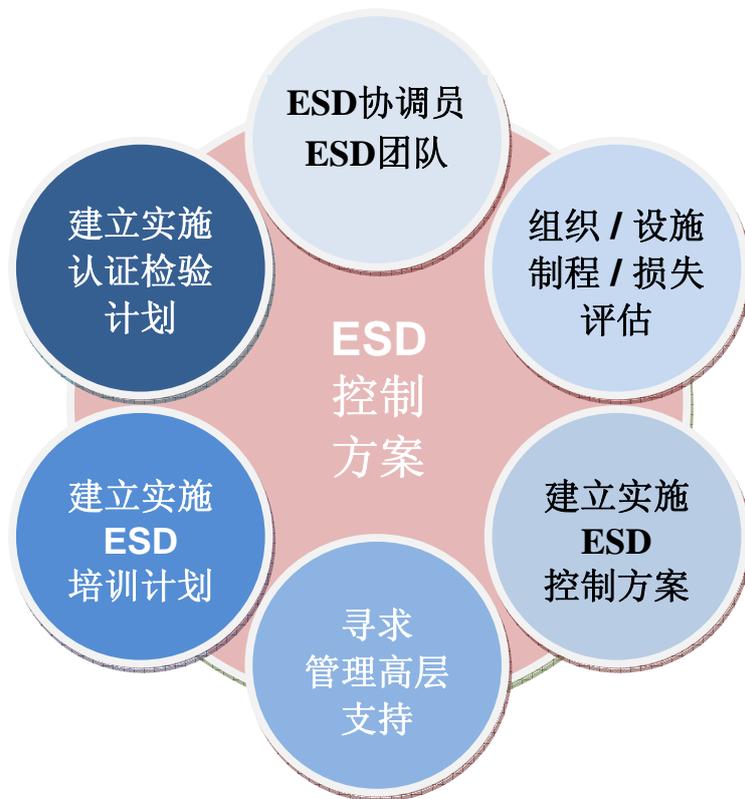


图2: ESD控制方案成功的六要素