



航天科技图书出版基金资助出版

# 电子工业静电 防护技术与管理

中国空间技术研究院静电防护认证中心组织编写

袁亚飞 主编



中国宇航出版社

航天科技图书出版基金资助出版

# 电子工业静电 防护技术与管理

中国空间技术研究院静电防护认证中心组织编写

袁亚飞 主编



中国宇航出版社

· 北 京 ·

版权所有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

电子工业静电防护技术与管理/袁亚飞主编;  
中国空间技术研究院静电防护认证中心组织编写. --北京:  
中国宇航出版社, 2013. 11

ISBN 978 - 7 - 5159 - 0528 - 0

I. ①电… II. ①袁… ②中… III. ①电子工业—静电防护  
IV. ①TN07

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 264221 号

责任编辑 马航 责任校对 祝延萍 封面设计 文道思

出版  
发行

**中国宇航出版社**

社址 北京市阜成路 8 号

邮编 100830

(010)68768548

网 址 [www.caphbook.com](http://www.caphbook.com)

经 销 新华书店

发行部 (010)68371900

(010)88534478(传真)

(010)68768541

(010)68767294(传真)

零售店 读者服务部

北京宇航文苑

(010)68371105

(010)62529836

承 印 北京画中画印刷有限公司

版 次 2013 年 11 月第 1 版

2013 年 11 月第 1 次印刷

规 格 880 × 1230

开 本 1/32

印 张 15

字 数 480 千字

书 号 ISBN 978 - 7 - 5159 - 0528 - 0

定 价 86.00 元

本书如有印装质量问题, 可与发行部联系调换

## 《电子工业静电防护技术与管理》

### 编审委员会名单

主 任：余后满

副主任：徐思伟 刘志宏 范燕平 杜国江

委 员：马志毅 路润喜 王南光 许丽丽

王志勇 张少楠 关志刚 顾世红

高志良 汤浩军 张絮洁

## 《电子工业静电防护技术与管理》

### 编辑委员会名单

主 编：袁亚飞

副主编：刘 民

编 辑：季启政 朱建华 张书锋 冯文武

## 航天科技图书出版基金简介

航天科技图书出版基金是由中国航天科技集团公司于2007年设立的，旨在鼓励航天科技人员著书立说，不断积累和传承航天科技知识，为航天事业提供知识储备和技术支持，繁荣航天科技图书出版工作，促进航天事业又好又快地发展。基金资助项目由航天科技图书出版基金评审委员会审定，由中国宇航出版社出版。

申请出版基金资助的项目包括航天基础理论著作，航天工程技术著作，航天科技工具书，航天型号管理经验与管理思想集萃，世界航天各学科前沿技术发展译著以及有代表性的科研生产、经营管理译著，向社会公众普及航天知识、宣传航天文化的优秀读物等。出版基金每年评审1~2次，资助10~20项。

欢迎广大作者积极申请航天科技图书出版基金。可以登录中国宇航出版社网站，点击“出版基金”专栏查询详情并下载基金申请表；也可以通过电话、信函索取申报指南和基金申请表。

网址：<http://www.caphbook.com>

电话：(010) 68767205, 68768904

# 前 言

随着电子技术的发展，微电子元件的集成度越来越高。静电放电（Electro static Discharge, ESD）的危害已经成为电子工业的重大问题。我国每年电子工业仅静电所造成的直接损失估计在 10 亿人民币以上。因此，防止和消除静电危害，研究和掌握静电防护的原理和技术，制定切实可行的静电防护措施，是十分必要的。

在静电防护问题上，人们往往太重视防护技术，而忽视管理方法，“重技术轻管理”的思想至今仍然根植在许多人的思想中。从国外实践看，从体系上建立、实施一套静电防护方案，或建立一套静电防护管理体系，形成一条不间断的静电防护链，是国际上最新 ESD 标准体现的新理念。本书结合国际上“技术+管理”的最新理念，介绍静电防护技术和管理方法，为从事静电防护的人员提供理论支持、技术参考和案例分析，切实做好静电防护，减少器件的静电损伤，提高产品的质量。本书把基础理论与实践紧密结合，把晦涩的术语通过“水槽”、“山坡”等通俗易懂的语言加以描述，介绍了“Shaw”环、“链条”等新概念、新思想、新方法，还重点关注了自动处置设备与带电器件的静电防护问题，因而具有较高的参考价值。

本书共分为静电基础知识、静电防护技术和静电管理方法等 3 篇。第 1 篇包括 1~5 章，第 2 篇包括 6~11 章，第 3 篇包括 12~16 章。

第 1 篇静电基础知识：主要从人类对静电现象的认识开始到静电学的形成、分支、以及近代静电防护工程学的形成过程，尤其突出静电防护工程学研究的内容和意义，也包括国内外相关标准和管理方法的发展。抛开晦涩难懂的定理、定义以及繁琐的公式推导过程，作者尽量用通俗易懂的、形象化的甚至科普的语言，描述、解释电荷、电场、电通和电通密度、电压、电流、电场储能、电阻、

电感等静电基本量的概念；包括类似库仑定律等必不可少的定理（定律）、电场中的物质（导体、绝缘体、半导体）等概念的解释。同时从微观结构上将静电起电分为得失电子（离子）起电和电荷重新分布起电两种类型，并分别对这两种类型进行了详细说明。尤其用水的流动过程作为比喻，形象地说明了接触起电的机理。对静电起电的因素进行了分析，并引入 Shaw 的环形带电序列，详细地说明了影响因素的综合作用。对静电放电和静电危害进行了介绍，进一步强调静电防护的重要性。

第2篇静电防护技术：从源、路径、敏感器件三要素入手，探讨静电防护的一般原则、方法。主要包括控制源的产生、切断传播路径、阻止 ESD 能量的耦合、提高器件抗扰度和进行良好的静电防护管理。对接地技术、静电中和技术、静电屏蔽技术的原则、技术要求、所需的仪器设备、检测方法等都做了详细的阐述，尤其在本篇中探讨了自动处置设备与带电器件的静电防护问题。

第3篇静电防护管理方法：结合国际标准 IEC 61340-5-1、美国标准 ANSI/ESD S20.20 的最新理念，阐述如何从体系上建立、实施一个静电防护方案，或建立一个静电防护管理体系，形成一条不间断的静电防护链；如何将管理纳入静电防护工作，让静电防护从单纯的技术要求上升为“技术要求加管理要求”。同时，结合具体的案例进行详细分析，并给出静电防护控制大纲的案例。

本书由中国空间技术研究院静电防护管理体系认证中心组织编写，作者均属北京东方计量测试研究所。第1章由刘民、袁亚飞编写；第2~8章由袁亚飞、刘民编写；第9章由刘民、冯文武、袁亚飞编写；第10~11章由袁亚飞、徐思伟、刘民编写；第12~13章由朱建华、刘志宏、季启政、袁亚飞编写；第14~16章及附录由季启政、朱建华、张书峰、袁亚飞编写。全书由袁亚飞修改、统稿。本书特邀请上海海事大学孙可平教授和北京理工大学鲍重光教授主审，在此表示衷心的感谢。

限于编者水平有限，书中难免存在一些不足之处或者错误，恳请读者和相关专家不吝赐教，E-mail: [gold-king@163.com](mailto:gold-king@163.com)。

袁亚飞

2013年6月26日于北京

# 目 录

## 第 1 篇 静电基础知识

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第 1 章 绪论 .....        | 3  |
| 1.1 静电学 .....         | 3  |
| 1.2 静电防护工程学 .....     | 5  |
| 1.3 电子工业静电防护的意义 ..... | 7  |
| 1.4 静电防护的技术与管理 .....  | 11 |
| 第 2 章 基本概念 .....      | 13 |
| 2.1 电荷 .....          | 13 |
| 2.1.1 电荷守恒定律 .....    | 14 |
| 2.1.2 电荷的量子性 .....    | 14 |
| 2.1.3 电荷的相对论不变性 ..... | 15 |
| 2.1.4 点电荷 .....       | 15 |
| 2.2 电场强度 .....        | 16 |
| 2.2.1 库仑定律 .....      | 16 |
| 2.2.2 电场 .....        | 18 |
| 2.2.3 电场强度 .....      | 18 |
| 2.2.4 电场线 .....       | 19 |
| 2.3 电通和电通密度 .....     | 21 |
| 2.3.1 电通密度 .....      | 21 |
| 2.3.2 电通(量) .....     | 21 |
| 2.3.3 高斯定律 .....      | 22 |
| 2.3.4 计算实例 .....      | 24 |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 2.4 电压 .....               | 27 |
| 2.4.1 电场力的功 .....          | 27 |
| 2.4.2 电位 .....             | 28 |
| 2.4.3 电压 .....             | 29 |
| 2.4.4 电场、电位与电位差之间的关系 ..... | 29 |
| 2.5 电场中的物质 .....           | 30 |
| 2.5.1 导体 .....             | 31 |
| 2.5.2 电介质 .....            | 33 |
| 2.5.3 半导体 .....            | 38 |
| 2.5.4 静电工程学中的材料分类 .....    | 38 |
| 2.5.5 边界条件 .....           | 39 |
| 2.6 电流 .....               | 42 |
| 2.6.1 传导电流 .....           | 42 |
| 2.6.2 运流电流 .....           | 45 |
| 2.6.3 电流连续性方程 .....        | 46 |
| 2.6.4 电流密度的边界条件 .....      | 48 |
| 2.7 电场中的储能 .....           | 50 |
| 2.8 弛豫时间 .....             | 53 |
| 2.9 焦耳定律 .....             | 54 |
| 2.10 导体电阻 .....            | 56 |
| 2.10.1 电阻定义 .....          | 56 |
| 2.10.2 电阻的串联 .....         | 59 |
| 2.10.3 电阻的并联 .....         | 60 |
| 2.10.4 基尔霍夫电压定律 .....      | 62 |
| 2.11 电容器和电容 .....          | 63 |
| 2.11.1 电容器和电容的概念 .....     | 63 |
| 2.11.2 电容的充放电 .....        | 67 |
| 2.11.3 电容的串联 .....         | 69 |
| 2.11.4 电容的并联 .....         | 71 |

---

|                         |           |
|-------------------------|-----------|
| 2.11.5 静电电容 .....       | 71        |
| 2.12 电感 .....           | 74        |
| 2.12.1 电感元件 .....       | 74        |
| 2.12.2 二阶电路的放电过程 .....  | 75        |
| <b>第3章 静电起电</b> .....   | <b>79</b> |
| 3.1 摩擦起电 .....          | 79        |
| 3.1.1 接触起电 .....        | 80        |
| 3.1.2 分离起电的过程 .....     | 82        |
| 3.1.3 摩擦的作用 .....       | 87        |
| 3.1.4 影响因素 .....        | 88        |
| 3.2 固体起电 .....          | 98        |
| 3.2.1 电荷得失的起电方式 .....   | 99        |
| 3.2.2 电荷重新分布的起电方式 ..... | 101       |
| 3.3 液体和气体起电 .....       | 103       |
| 3.3.1 液体的偶电层理论 .....    | 104       |
| 3.3.2 冲流起电 .....        | 105       |
| 3.3.3 沉降起电 .....        | 106       |
| 3.3.4 喷射起电 .....        | 107       |
| 3.3.5 冲击起电 .....        | 107       |
| 3.3.6 溅泼起电 .....        | 108       |
| 3.3.7 气体起电 .....        | 108       |
| 3.4 静电消散 .....          | 108       |
| 3.4.1 体电荷的消散规律 .....    | 109       |
| 3.4.2 面电荷的消散规律 .....    | 109       |
| 3.4.3 消散途径 .....        | 110       |
| 3.5 人体静电 .....          | 110       |
| 3.5.1 人体静电的起电方式 .....   | 111       |
| 3.5.2 影响人体静电累积的因素 ..... | 112       |
| 3.5.3 人体静电的储能 .....     | 116       |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 3.5.4 人体静电的主观感受 .....     | 116 |
| <b>第4章 静电放电</b> .....     | 118 |
| 4.1 电离静电放电 .....          | 118 |
| 4.1.1 气体的电离 .....         | 118 |
| 4.1.2 气体电离放电的类型 .....     | 123 |
| 4.1.3 静电场和静电放电的效应 .....   | 127 |
| 4.2 静电放电模型 .....          | 129 |
| 4.2.1 人体模型 .....          | 130 |
| 4.2.2 机器模型 .....          | 133 |
| 4.2.3 带电器件模型 .....        | 135 |
| 4.2.4 人体—金属模型 .....       | 138 |
| 4.2.5 模型的比较与分析 .....      | 140 |
| 4.3 静电放电模拟器 .....         | 142 |
| 4.4 静电放电敏感度 .....         | 144 |
| 4.4.1 分级 .....            | 144 |
| 4.4.2 确认方法 .....          | 147 |
| 4.4.3 典型器件的 HBM 敏感度 ..... | 148 |
| <b>第5章 静电危害</b> .....     | 149 |
| 5.1 危害的特点 .....           | 150 |
| 5.2 失效类型 .....            | 151 |
| 5.2.1 突发性失效 .....         | 151 |
| 5.2.2 潜在性失效 .....         | 152 |
| 5.2.3 翻转失效 .....          | 154 |
| 5.3 失效机理 .....            | 155 |
| 5.3.1 热二次击穿 .....         | 155 |
| 5.3.2 金属导电层熔化 .....       | 156 |
| 5.3.3 介质击穿 .....          | 157 |
| 5.3.4 气体电弧放电 .....        | 157 |
| 5.3.5 表面击穿 .....          | 158 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 5.3.6 体击穿 .....             | 158 |
| 5.4 失效分析 .....              | 159 |
| 5.4.1 MOS 结构 .....          | 159 |
| 5.4.2 半导体结 .....            | 160 |
| 5.4.3 膜电阻器 .....            | 162 |
| 5.4.4 金属化条 .....            | 164 |
| 5.4.5 带非导电性盖板的钝化场效应结构 ..... | 164 |
| 5.4.6 压电晶体 .....            | 165 |
| 5.4.7 近距离电极 .....           | 166 |
| 5.4.8 小结 .....              | 166 |
| 5.5 典型案例分析 .....            | 167 |
| 5.5.1 薄膜电阻失效的案例 .....       | 167 |
| 5.5.2 双极性分离器件失效的案例 .....    | 169 |
| 5.5.3 器件场效应失效的案例 .....      | 169 |
| 5.5.4 肖特基 TTL 电路失效的案例 ..... | 170 |
| 5.5.5 军用 CCD 失效的案例 .....    | 170 |
| 5.6 危害事故 .....              | 171 |

## 第 2 篇 电子产品静电防护技术

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 第 6 章 基本原则 .....     | 175 |
| 6.1 控制静电的措施 .....    | 176 |
| 6.1.1 减小起电量 .....    | 176 |
| 6.1.2 控制静电泄漏速度 ..... | 177 |
| 6.2 切断耦合路径的措施 .....  | 178 |
| 6.3 静电防护管理 .....     | 180 |
| 第 7 章 静电接地 .....     | 181 |
| 7.1 接地原则 .....       | 181 |
| 7.1.1 保护地 .....      | 182 |
| 7.1.2 辅助地 .....      | 187 |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 7.1.3 等电位连接 .....         | 189        |
| 7.1.4 人员接地 .....          | 190        |
| 7.2 技术要求 .....            | 192        |
| 7.2.1 接地技术要求 .....        | 193        |
| 7.2.2 腕带系统技术要求 .....      | 195        |
| 7.2.3 地板—鞋束系统技术要求 .....   | 198        |
| 7.2.4 防静电服装技术要求 .....     | 201        |
| 7.2.5 防静电工作表台面技术要求 .....  | 203        |
| 7.2.6 防静电工作椅技术要求 .....    | 204        |
| 7.2.7 储物架、手推车技术要求 .....   | 205        |
| 7.2.8 防静电设备(工具)技术要求 ..... | 206        |
| 7.2.9 腕带连续监控系统技术要求 .....  | 207        |
| 7.3 检测仪器 .....            | 208        |
| 7.3.1 电阻 .....            | 208        |
| 7.3.2 静电电压 .....          | 219        |
| 7.3.3 电荷量 .....           | 228        |
| 7.4 检测方法 .....            | 228        |
| 7.4.1 接地检测 .....          | 229        |
| 7.4.2 腕带系统检测 .....        | 230        |
| 7.4.3 防静电地板检测 .....       | 235        |
| 7.4.4 防静电鞋检测 .....        | 237        |
| 7.4.5 防静电服检测 .....        | 241        |
| 7.4.6 防静电工作表面检测 .....     | 244        |
| 7.4.7 防静电工作椅检测 .....      | 248        |
| 7.4.8 防静电电烙铁检测 .....      | 251        |
| <b>第8章 静电中和</b> .....     | <b>257</b> |
| 8.1 空气电离 .....            | 257        |
| 8.1.1 空气中的离子 .....        | 257        |
| 8.1.2 空气的衰减特性 .....       | 258        |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 8.1.3 电荷中和 .....              | 259        |
| 8.1.4 放射电离 .....              | 260        |
| 8.1.5 电晕电离 .....              | 262        |
| 8.2 静电消除器 .....               | 262        |
| 8.2.1 无源自感应式 .....            | 262        |
| 8.2.2 交流高压式 .....             | 264        |
| 8.2.3 直流稳压式 .....             | 265        |
| 8.2.4 脉冲直流式 .....             | 266        |
| 8.2.5 实物图片 .....              | 267        |
| 8.3 技术要求 .....                | 269        |
| 8.4 检测仪器 .....                | 271        |
| 8.5 检测方法 .....                | 273        |
| 8.5.1 验收检测 .....              | 273        |
| 8.5.2 周期验证 .....              | 279        |
| 8.6 空气离子对人体的影响 .....          | 285        |
| <b>第9章 静电屏蔽 .....</b>         | <b>287</b> |
| 9.1 静电防护工程学与电磁兼容技术的交叉关系 ..... | 287        |
| 9.2 静电屏蔽 .....                | 289        |
| 9.2.1 结构 .....                | 289        |
| 9.2.2 技术要求 .....              | 290        |
| 9.2.3 防静电包装材料分类和使用 .....      | 292        |
| 9.2.4 测试方法 .....              | 293        |
| 9.3 小结 .....                  | 299        |
| <b>第10章 湿度控制 .....</b>        | <b>301</b> |
| 10.1 湿度影响静电的机理 .....          | 301        |
| 10.1.1 吸湿作用的数学模型 .....        | 301        |
| 10.1.2 高分子的水蒸汽吸附(吸湿)与导电 ..... | 304        |
| 10.1.3 半导体表面的水蒸汽吸附与导电 .....   | 305        |
| 10.1.4 小结 .....               | 307        |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 10.2 湿度控制的发展阶段 .....              | 308 |
| 10.2.1 EPA 湿度从严控制的阶段 .....        | 308 |
| 10.2.2 放宽 EPA 湿度控制要求的阶段 .....     | 310 |
| 10.2.3 ESD 控制从测量抓起的阶段 .....       | 312 |
| 10.2.4 更新静电防护理念 .....             | 313 |
| 10.3 结论 .....                     | 314 |
| <b>第 11 章 自动处置设备与带电器件模型</b> ..... | 315 |
| 11.1 自动化设备的静电防护 .....             | 316 |
| 11.1.1 接地原则 .....                 | 316 |
| 11.1.2 安装位置 .....                 | 318 |
| 11.2 带电器件测试与防护 .....              | 319 |
| 11.2.1 带电器件测试 .....               | 319 |
| 11.2.2 带电器件防护 .....               | 321 |
| 11.2.3 探讨 .....                   | 322 |

### 第 3 篇 静电防护管理

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| <b>第 12 章 质量管理基础</b> ..... | 325 |
| 12.1 管理与管理学 .....          | 325 |
| 12.1.1 管理 .....            | 325 |
| 12.1.2 管理学 .....           | 325 |
| 12.2 质量与质量管理 .....         | 329 |
| 12.2.1 质量概念的发展 .....       | 330 |
| 12.2.2 质量管理 .....          | 331 |
| 12.2.3 全面质量管理 .....        | 332 |
| 12.2.4 质量管理理念 .....        | 334 |
| 12.3 质量管理与标准化 .....        | 336 |
| 12.3.1 质量管理体系标准的产生 .....   | 336 |
| 12.3.2 ISO 9000 族标准 .....  | 337 |
| 12.4 八项质量管理原则 .....        | 340 |

---

|         |                              |     |
|---------|------------------------------|-----|
| 12.4.1  | 以顾客为关注焦点 .....               | 341 |
| 12.4.2  | 领导作用 .....                   | 342 |
| 12.4.3  | 全员参与 .....                   | 343 |
| 12.4.4  | 过程方法 .....                   | 344 |
| 12.4.5  | 管理的系统方法 .....                | 345 |
| 12.4.6  | 持续改进 .....                   | 345 |
| 12.4.7  | 基于事实的决策方法 .....              | 346 |
| 12.4.8  | 与供方互利的关系 .....               | 346 |
| 12.5    | PDCA 循环方法 .....              | 347 |
| 12.5.1  | PDCA 循环的概念 .....             | 347 |
| 12.5.2  | PDCA 循环的内容 .....             | 348 |
| 12.5.3  | PDCA 循环的特点 .....             | 350 |
| 12.6    | 质量管理体系 .....                 | 351 |
| 12.6.1  | 管理体系 .....                   | 351 |
| 12.6.2  | 质量管理体系的概念 .....              | 352 |
| 12.6.3  | 其他管理体系简介 .....               | 353 |
| 12.6.4  | 认证与认可 .....                  | 356 |
| 12.6.5  | 认证制度的起源与发展 .....             | 357 |
| 12.6.6  | 我国认证的发展历史及现状 .....           | 359 |
| 12.6.7  | 认可制度的起源与发展 .....             | 360 |
| 12.6.8  | 我国认可的发展历史及现状 .....           | 361 |
| 12.6.9  | 认证与认可的区别 .....               | 363 |
| 12.6.10 | 质量管理体系认证 .....               | 363 |
| 第 13 章  | ESD 标准及认证 .....              | 365 |
| 13.1    | IEC ESD 标准 .....             | 365 |
| 13.2    | 美国 ESD 标准 .....              | 367 |
| 13.2.1  | 美国军用标准 (MIL) ESD 相关标准 .....  | 367 |
| 13.2.2  | ANSI 和 ESDA 的 ESD 标准体系 ..... | 368 |
| 13.2.3  | 美国电子工业协会 (EIA)、固态技术 .....    |     |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 协会 (JEDEC) ESD 相关标准 .....            | 370 |
| 13.2.4 汽车电子工业协会 (AEC) ESD 相关标准 ..... | 371 |
| 13.2.5 美国其他组织 ESD 相关标准 .....         | 371 |
| 13.3 其他国际组织和国家 ESD 标准发展情况 .....      | 372 |
| 13.4 我国静电防护标准现状 .....                | 374 |
| 13.4.1 国家 ESD 标准 .....               | 375 |
| 13.4.2 国防、军用 ESD 标准 .....            | 376 |
| 13.4.3 行业 ESD 标准 .....               | 378 |
| 13.5 静电防护管理与质量管理 .....               | 381 |
| 13.5.1 静电防护管理趋势 .....                | 382 |
| 13.5.2 静电防护 (管理) 体系与质量管理体系 .....     | 383 |
| 13.5.3 静电防护 (管理) 体系的意义 .....         | 383 |
| 13.5.4 静电防护体系认证 .....                | 385 |
| 第 14 章 策划 .....                      | 387 |
| 14.1 制定 ESD 防护目标 .....               | 387 |
| 14.2 开展 ESD 防护识别 .....               | 388 |
| 14.3 建立 ESD 管理组织 .....               | 390 |
| 14.3.1 我国通行的做法 .....                 | 390 |
| 14.3.2 国际现行的做法 .....                 | 391 |
| 14.3.3 美国 NASA 现行的做法 .....           | 391 |
| 14.4 编制静电防护文件 .....                  | 392 |
| 14.4.1 静电防护管理手册 .....                | 393 |
| 14.4.2 程序文件 .....                    | 393 |
| 14.4.3 记录要求 .....                    | 394 |
| 第 15 章 运行与管理 .....                   | 395 |
| 15.1 人员培训与管理 .....                   | 395 |
| 15.1.1 培训要求 .....                    | 395 |
| 15.1.2 人员认证 .....                    | 397 |
| 15.1.3 分包方和供应商的 ESD 培训 .....         | 397 |