

防静电

工程

袁亚飞 主编

国家静电防护产品质量监督检验中心 组织编写



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

防静电工程

袁亚飞 主编

国家静电防护产品质量监督检验中心 组织编写

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书从静电危害的三要素出发,给出静电防护的基本方法及建设 EPA 所需要的器材、设备、设施、工具等。通过分析大地、接体地、接地线、接地电阻等概念,比较并分析了几种静电接地的优缺点,给出最优的接地方案。结合国内外相关标准给出防静电瓷质地板、PVC(聚氯乙烯)贴面板、环氧自流地坪、三聚氰胺贴面板、水磨石、活动地板等各种地面的适用范围、技术要求、检测方法、施工方案、工程验收等,也介绍了防静电工作台面、服装、鞋、腕带、手套、离子风机、电烙铁、包材等的技术要求、检测方法等相关内容。同时分析了防静电工作区的湿度控制,包括湿度影响静电的原理、湿度控制的发展趋势及实际应用案例。本书尽可能地依据现有标准并从超越标准的角度引导读者去思考防静电器材、设备、设施、工具的选购标准、评价方法等问题。

本书可供航空航天、电子工程、通信工程、半导体技术、计算机与信息工程、企业管理、质量控制等相关专业的大专院校的师生和科研机构人员阅读,也可供 ESD 专业培训使用,对于相关专业的工程技术人员和管理人员也有一定的参考价值。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

防静电工程 / 袁亚飞主编. —北京: 电子工业出版社, 2018.9

ISBN 978-7-121-34828-0

I. ①防… II. ①袁… III. ①静电防护 IV. ①TN07

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 176798 号

策划编辑: 孟 宇

责任编辑: 章海涛

印 刷: 北京捷迅佳彩印刷有限公司

装 订: 北京捷迅佳彩印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

开 本: 787×980 1/16 印张: 17.25 字数: 358 千字

版 次: 2018 年 9 月第 1 版

印 次: 2019 年 4 月第 2 次印刷

定 价: 69.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: mengyu@phei.com.cn。



前言

1969年年底,荷兰、挪威、英国三艘20万吨超级油轮在洗舱时相继发生爆炸,引起人们对防静电工作的重视。近年来电子产品的静电敏感等级不断降低,电子工业中的防静电工作形势也日趋严峻。然而,我国的防静电产品生产规模比较小,高科技含量低,产品结构不合理,缺少与国际接轨的标准化实验方法和仪器设备,技术监督机制不够健全,致使许多静电防护工作没有可靠的保障,用户在采购产品时,陷入供应商的陷阱,造成不可挽回的经济损失。例如,某单位近万平方米的防静电地坪施工,经过几次返工仍不合格,直接经济损失近200万元;某单位采购的500把防静电工作椅,验收合格后投入使用,在进行半年符合性验证时,验证结果为全部不合格;某单位购买的近千件防静电服,清洗后全部不合格,等等。如何对电子产品进行静电防护,如何建立符合标准要求的防静电工作区,如何选购符合要求的防静电用品,如何检测防静电用品等一系列问题一直困扰着电子工程师及质量管理人员。本书主要从解决上述问题出发,依据最新的国内外标准,参考国际上实用的做法,给出切实可行的解决方案。

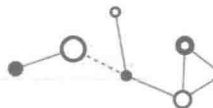
本书第1章绪论从静电危害的三要素出发,介绍静电防护的基本方法及建设EPA所需要的器材、设备、设施、工具等。第2章通过静电接地讲解大地、接地体、接地线、接地电阻等概念,比较并分析几种静电接地的优缺点,同时给出最优的接地方案。第3章介绍防静电地面的国内外技术要求,结合国内外相关标准给出防静电瓷质地板、PVC贴面板、环氧自流地坪、三聚氰胺贴面板、水磨石、活动地板等各种地面的适用范围、技术要求、检测方法、施工方案、工作验收等。第4~11章,分别介绍防静电工作台面、服装、鞋、腕带、手套、离子风机、电烙铁、包材等产品的技术要求、检测方法等相关内容。第12章介绍防静电工作区的湿度控制,包括湿度影响静电的原理、湿度控制的发展趋势及实际应用案例。

本书由国家静电防护产品质量监督检验中心组织编写,作者均来自北京东方计量测试研究所。第1章由袁亚飞、刘民、季启政编写;第2章由袁亚飞、刘民、周黎编写;第3章由袁亚飞、周黎、高志良编写;第4章由袁亚飞、季启政、董悻博编写;第5~6章由袁亚飞、张卫红、季启政编写;第7~8章由袁亚飞、马姗姗、高志良编写;第9~10章由袁亚飞、高志良、张卫红编写;第11章由袁亚飞、张絮洁、季启政、周蜡琴编写;第12章由袁亚飞、张絮洁、高志良、周蜡琴编写。全书由袁亚飞修改、统稿。

由于编者水平有限,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,作者联系方式:luardust@126.com。

编者

2018年6月26日于北京



目录

第 1 章 绪论.....	1
1.1 防护原则.....	2
1.2 控制静电源.....	3
1.3 切断耦合路径.....	4
1.4 防静电工程.....	4
参考文献.....	5
第 2 章 静电接地	6
2.1 地.....	7
2.1.1 地的概念.....	7
2.1.2 接地.....	8
2.1.3 接地的分类.....	9
2.2 接地体.....	9
2.2.1 自然接地体与人工接地体.....	10
2.2.2 共用接地系统.....	13
2.3 接地线.....	14
2.3.1 TN 系统的安全原理及类别.....	15
2.3.2 保护接零的应用范围.....	16
2.3.3 静电接地点.....	18
2.3.4 地线接法与线径.....	20
2.4 接地电阻.....	23
2.4.1 接地电阻的概念.....	23
2.4.2 电位降法测量原理.....	24
2.4.3 影响接地电阻测量的因素.....	28
参考文献.....	28
相关标准.....	29

第3章 防静电地面	30
3.1 防静电瓷质地板	31
3.1.1 概述	31
3.1.2 技术要求	33
3.1.3 施工与验收	41
3.2 防静电PVC贴面板	44
3.2.1 技术要求	45
3.2.2 施工与验收	47
3.3 防静电环氧自流地坪	51
3.3.1 概述	51
3.3.2 技术要求	54
3.3.3 施工	58
3.4 防静电三聚氰胺贴面板	62
3.4.1 技术要求	62
3.4.2 施工	66
3.5 防静电水磨石	66
3.5.1 技术要求	66
3.5.2 施工	70
3.6 防静电活动地板	72
3.6.1 概述	72
3.6.2 技术要求	75
3.6.3 施工	82
3.7 防静电电阻检测	87
3.7.1 表面电阻与体积电阻	87
3.7.2 点对点电阻与点对地电阻	90
3.7.3 影响因素	91
3.7.4 测试仪表	93
3.8 静电地面工程验收	94
参考文献	95
相关标准	95
第4章 防静电工作台面	98
4.1 结构组成	99
4.2 技术要求	100

4.2.1	主要尺寸	100
4.2.2	外形尺寸偏差及形状位置公差	102
4.2.3	外观质量	103
4.2.4	用料要求	104
4.2.5	有害物质限量	104
4.2.6	安全性要求	104
4.2.7	阻燃性	105
4.2.8	台面理化性能	106
4.2.9	表面理化性能	107
4.2.10	力学性能	109
4.3	安装	112
4.3.1	单个工作台的连接	113
4.3.2	单个工作台配置的连接	114
4.3.3	多个工作台的连接	115
4.3.4	单个工作台及配置接辅助地的连接方式	116
4.3.5	防静电货架的连接方式	117
4.4	防静电性能检测	118
4.4.1	电阻检测	118
4.4.2	残余电压与衰减时间	121
4.5	可移动式设备	123
4.5.1	防静电工作椅	123
4.5.2	储物架与手推车	124
4.5.3	工作椅的检测	125
4.5.4	小推车的检测	127
	参考文献	127
	相关标准	127
第 5 章	防静电服	129
5.1	基本要求	130
5.1.1	基本性能	130
5.1.2	释放机理	131
5.1.3	穿着要求	132
5.2	技术要求	133
5.2.1	面料	134

5.2.2	服装.....	136
5.2.3	洁净要求.....	138
5.2.4	检验规则.....	139
5.3	电阻测试.....	140
5.3.1	出厂检验.....	140
5.3.2	入厂验收.....	147
5.3.3	周期检测.....	147
5.3.4	现场检测.....	149
	参考文献.....	150
	相关标准.....	150
第 6 章	防静电鞋	152
6.1	技术要求.....	153
6.1.1	一般要求.....	153
6.1.2	基本测试项目.....	155
6.1.3	技术要求与检测方法.....	157
6.2	电阻测试.....	160
6.2.1	实验室测试.....	161
6.2.2	现场检测.....	162
6.3	行走电压测试.....	163
6.3.1	地板—鞋束系统的电阻选取.....	164
6.3.2	人体静电电压的测试.....	166
6.3.3	结论.....	168
	参考文献.....	169
	相关标准.....	169
第 7 章	防静电腕带	171
7.1	基本要求.....	172
7.2	测试方法.....	174
7.2.1	实验室检测.....	174
7.2.2	现场检测.....	175
7.3	腕带监控系统.....	176
7.3.1	电容(单线)式腕带监控系统.....	177
7.3.2	电阻(单线)式腕带监控系统.....	178
7.3.3	电阻(双线)式腕带监控系统.....	178

7.3.4 电压式腕带监控系统	179
7.3.5 注意事项	180
参考文献	181
相关标准	181
第 8 章 防静电手套	183
8.1 技术要求	184
8.1.1 内在质量要求	184
8.1.2 外在质量要求	186
8.2 电阻测试方法	189
参考文献	190
相关标准	191
第 9 章 静电消除器	192
9.1 工作原理	193
9.1.1 空气中的离子	193
9.1.2 空气的衰减特性	194
9.1.3 电荷中和	195
9.1.4 放射电离	195
9.1.5 电晕电离	196
9.2 静电消除器的分类	196
9.2.1 无源自感应式静电消除器	197
9.2.2 交流高压式静电消除器	197
9.2.3 直流稳压式静电消除器	198
9.2.4 脉冲直流式静电消除器	199
9.2.5 静电消除器的实物图片	200
9.3 技术要求	201
9.4 检测仪器	203
9.5 检测方法	205
9.5.1 验收测试	205
9.5.2 周期验证	209
9.6 空气离子对人体的影响	214
参考文献	214
相关标准	215

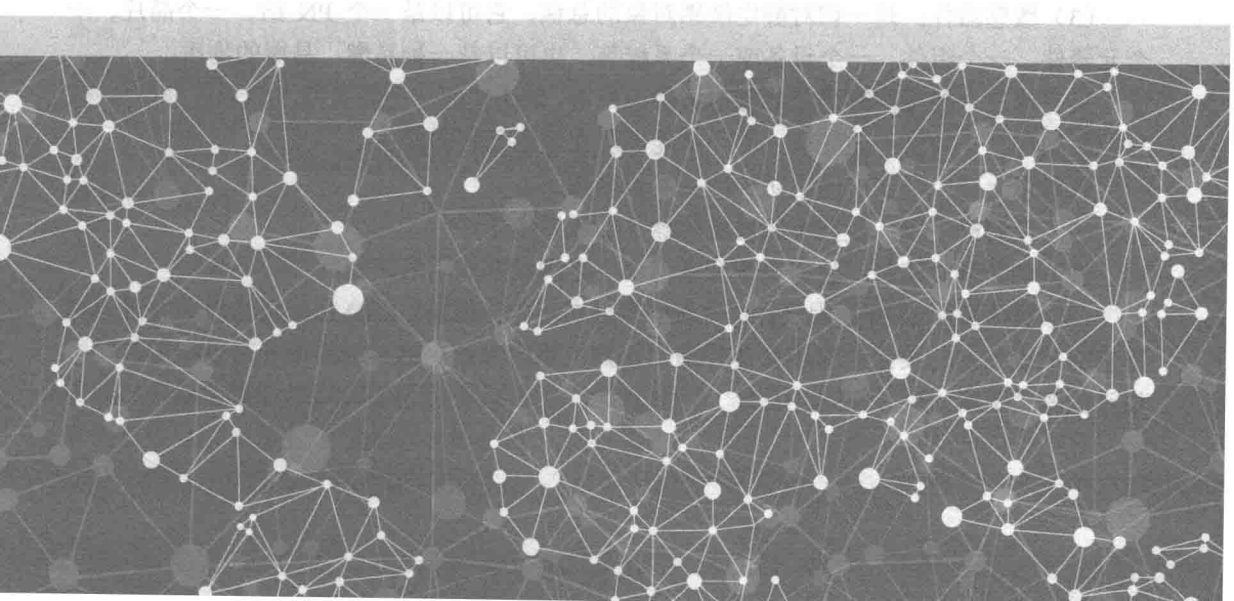
第 10 章 防静电设备与工具	216
10.1 基本要求	217
10.2 防静电电烙铁	218
10.3 自动化设备	223
10.4 防静电镊子	225
参考文献	226
相关标准	227
第 11 章 防静电包材	228
11.1 材料特性	229
11.1.1 导体	229
11.1.2 电介质	231
11.1.3 半导体	232
11.1.4 静电工程学中的材料分类	233
11.2 包材特性	233
11.2.1 周转过程	233
11.2.2 分类	234
11.2.3 技术要求	236
11.3 包装屏蔽性能	238
11.4 防静电包装管	241
11.5 防静电周转容器	244
11.6 包装的使用	245
参考文献	247
相关标准	247
第 12 章 湿度控制	249
12.1 湿度影响静电的机理	250
12.1.1 吸湿作用的数学模型	250
12.1.2 高分子的水蒸气吸附(吸湿)与导电	252
12.1.3 半导体表面的水蒸气吸附与导电	252
12.1.4 小结	253
12.2 湿度控制的发展阶段	254
12.2.1 EPA 湿度从严控制的阶段	254
12.2.2 放宽 EPA 湿度控制要求的阶段	256

12.2.3 EPA 湿度控制从测量抓起的阶段	257
12.2.4 更新静电防护理念	257
12.3 结论.....	258
12.4 湿度利用.....	259
参考文献.....	260
相关标准.....	261

第1章

绪论

张瑞华 主编



早在公元前 600 多年,人类就开始记录静电现象。1969 年年底,荷兰、挪威、英国三艘 20 万吨超级油轮在洗舱时相继发生爆炸,防静电工作引起了人们的重视。随着电子技术的发展,微电子元件的集成度越来越高,一个极端微弱的静电放电就可能击穿元器件,造成断路或短路,使元器件失效或报废。静电放电的电磁脉冲也可能引起逻辑电路的异常翻转、数据错误或丢失,电子元器件的损伤进一步影响到组件、设备和系统的可靠性。日本曾对不合格的电子产品进行解剖、分析,发现 45% 的不合格品都是由静电造成的;近期美国公布的涉及 10 多个行业的调查结果显示,平均每年因静电造成的直接经济损失高达 200 多亿美元,仅电子工业部门每年因静电危害损坏电子元器件的损失高达 100 多亿美元;英国的电子产品,每年因静电造成的损失近 20 亿英镑;我国的电子产品因静电所造成的直接损失也在 10 亿元人民币以上。总之,静电危害已经成为电子工业中的不可忽视的问题。

1.1 防护原则

任何静电危害的发生都必须具有静电源、路径、敏感器件三个基本要素,如图 1-1 所示。

(1) 静电源:是由不平衡电荷产生的,在静电放电时,提供必要的电场、电压、电流或能量。有时一个器件既可以是静电源,又可以是敏感器件。

(2) 路径:是指静电源和敏感器件之间能量的耦合路径,可以通过传导耦合,也可以通过辐射耦合,有时也可以是电场力的作用。

(3) 敏感器件:是一切对静电敏感对象的总称,它可以是一个 PN 结、一个晶片、一个元器件、一个组件、一个设备或一个系统等,也可以是一种易燃、易爆的物质。

只有这三个要素同时满足才能形成静电危害,缺少任何一个要素都不能形成静电危害。只要控制这三个要素中的任何一个,就能够防止静电危害的发生。

针对以上三个要素,静电防护的基本原则如下。

(1) 控制静电源:使其不超过敏感器件的敏感电压。

(2) 切断耦合路径:使静电源和敏感器件之间没有作用的路径。

(3) 敏感器件 ESD 加固设计:使敏感器件对静电不敏感。ESD 加固设计技术有时也称静电防护设计,主要是针对敏感器件增加保护电路的方法。感兴趣的读者可以参考防静电设计的相关资料。

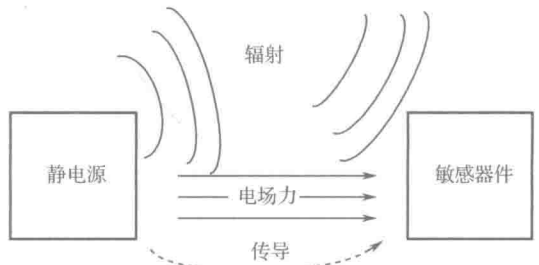


图 1-1 静电危害的三要素

1.2 控制静电源

当防静电小车在地面上移动时，小车上累积的电荷量 q_3 应为小车移动时产生的电荷量 q_1 与小车泄漏的电荷量 q_2 之差，如图 1-2 所示。在发生静电放电的时刻，小车的带电荷量为 $q_3 = q_1 - q_2$ 。防静电的目的就是要减少小车上的残留电荷量 q_3 ，要减少 q_3 ，无非有两条途径，即减小 q_1 或增大 q_2 。但在具体实施时，减小 q_1 与增大 q_2 这两种做法对小车和地面的要求是不一样的。在实际工作时，增大 q_2 （减小电阻）的方法比较容易实现，这也是 EPA 尽量采用静电耗散材料的原因之一。

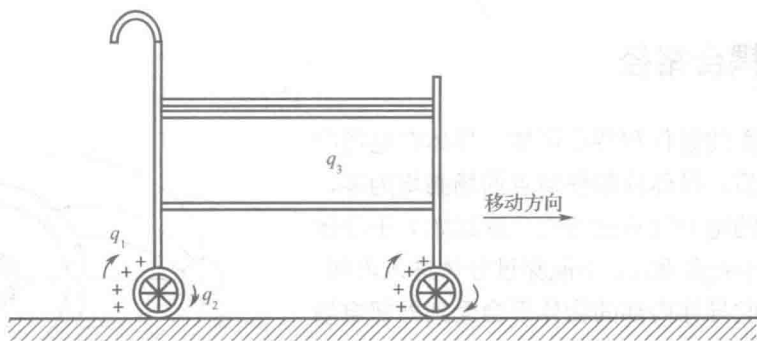


图 1-2 防静电小车上电荷移动

1. 减小起电量

减小静电起电量 q_1 ，首先要分析静电起电的主要方式，以及影响静电起电的主要因素，针对具体的方式和影响因素，进行具体控制。一般而言，在 EPA 工作内最常见的起电方式有摩擦起电和感应起电两种。减少起电量的方法又称抑制起电法。

减少摩擦起电量的实用方法有：① 配置防静电服、帽等；② 尽量减小物体之间的分离速度，使相对运动速度降低；③ 尽量减少物体之间接触和分离的次数；④ 升高温度，增加相对湿度等。

减小感应起电量主要采用远离静电源的方法。因为影响感应起电量大小的主要因素是静电场的强弱，而静电场的大小与其距离静电源的远近成反比，即离静电源越远，感应起电量越小。

2. 增大泄漏量

增大泄漏量就要减小对地（或对另一个物体）的电阻值。这样，如何增大泄漏量的问题就转化为如何减小对地泄漏电阻的问题。而电阻太小又可能发生静电放电或静电能量集中释放，因此控制泄漏速度能够有效地控制泄漏电阻。泄漏电阻既不能太大又不能太小，需要在规定的范围内，这是静电防护的一般要求。

减小泄漏电阻的方法有很多种，而最常用的方法有以下三种。

(1) 接地：又称泄放法，即将可能产生静电源的器件、组件、设备、设施等进行接地处理。EPA 内人体接地的方式主要有腕带系统、地板—鞋束系统两种。

(2) 中和：又称中和法，因为绝缘材料上的静电荷无法通过接地技术消除，所以只能采用中和技术进行消除，即采用静电消除器中和绝缘体上的静电荷。

(3) 提高环境温度，增加环境的相对湿度：相对湿度的增加可以大大降低物体表面的电阻率；温度升高可增加带电粒子的热能，带电粒子更容易移动，同时也降低了物体表面的电阻率。

1.3 切断耦合路径

由静电平衡的条件和特点可知，导体在电场中达到静电平衡后，导体内部任何点的场强均为零，因此导体外部的电力线只能终止（或起始）于导体表面，并与导体表面垂直，不能穿过导体进入内部。也就是说，空腔导体内部的物体不会受到外部电场的影响。于是，可以将静电敏感器件放入封闭空腔导体的内部，如图 1-3 所示，敏感器件就不会受外界静电源的干扰。根据这个原理，制成了防静电屏蔽包装袋，可以在 EPA 外使用。该方法是切断耦合路径的方法，也称屏蔽法。

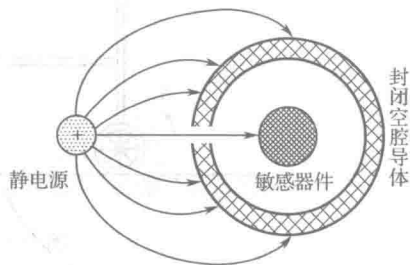


图 1-3 防静电屏蔽包装袋的工作原理

1.4 防静电工程

根据静电危害的三要素，防静电的方法有抑制起电法、泄放法、中和法和屏蔽法 4 种。这 4 种方法都需要通过配置符合要求的器材、设备、设施或工具才能够实施，如抑制起电法需配置防静电服、防静电帽；泄放法需配置腕带系统、地板—鞋束系统、防静电工作台面、防静电设备、防静电工具等；中和法需要配置离子风机等；屏蔽法需要配置防静电包材、防静电屏蔽包装袋等。防静电工程系统如图 1-4 所示。

然而，我国的防静电产品生产规模比较小，高科技含量低，产品结构不合理，缺少与国际接轨的标准化实验方法和仪器设备，技术监督机制不够健全，致使许多部门的静电防护工作没有可靠的保障。1997 年 12 月 29 日，光明日报在报道我国防静电装备行业存在的问题时指出：“生产规模小，产业结构不合理，技术含量低的产品出现了一哄而上的情况。”这可能导致用户在采购产品时，陷入供应商的陷阱，造成不可挽回的经济损失。例如，某单位对近万平方米的防静电地坪施工，经过几次返工仍不合格，直接经济损失近 200 万元；

某单位采购的 500 把防静电工作椅，验收合格后投入使用，在进行半年符合性验证时，验收结果为全部不合格；某单位购买的近千件防静电服，清洗后全部不合格，等等。



图 1-4 防静电工程系统

参考文献

- [1] 袁亚飞.电子工业静电防护技术与管理[M]. 北京:中国宇航出版社, 2013.
- [2] 刘尚合,魏明.我国静电防护研究的进展和存在的问题与建议[J]. 西安:中国物理学会第八届静电学术年会, 2011.

第2章 静电接地