

静电防护 技术手册

张宝铭 林文荻 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

URL: <http://www.phei.com.cn>

静电防护技术手册

张宝铭 林文荻 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

内 容 简 介

本手册是一本理论与实际相结合的静电防护技术专著,比较系统地介绍了静电防护学科的基础理论和常用技术语言及其所表述的物理概念,全面论述了静电防护的实施方法,并提出了相应的资料和数据。对于静电防护中的一些重要技术,例如防静电器材的性能、制造和使用方法,接地技术,防静电标准化,器材的静电性能测量与静电放电敏感度试验技术等,均设专门章节介绍。

本手册适合于电子、通信、化工、石化、火工等行业中从事静电防护工作的工程技术人员、管理人员阅读,也可供有关研究与教学人员参考。

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,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

静电防护技术手册/张宝铭,林文获编著. - 北京:电子工业出版社,2000.5

ISBN 7-5053-4436-6

I. 静… II. ①张… ②林… III. 静电-防护-手册 IV. 0441.1-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 07369 号

书 名: 静电防护技术手册

编 著 者: 张宝铭 林文获

责任编辑: 徐 堃

排版制作: 电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者: 北京京安达明印刷厂印刷

出版发行: 电子工业出版社 URL: <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 28.75 字数: 728 千字

版 次: 2000 年 5 月第 1 版 2000 年 5 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-4436-6
TN·1112

印 数: 4000 册 定价: 42.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

Technical handbook for electrostatic discharge protection

The Summary of Contents

This handbook is a professional book that integrates theory with practice on electrostatic discharge (ESD) protection. It introduces systematically basic theory and technical know-how, terminologies in common use and physical concepts stated by such terminologies on ESD protection. The handbook discusses overall implementation methods for ESD protection and provides appropriate information and data.

Special chapters for detail introduction will be established for some important specialized techniques that are relevant to ESD protection, for example, properties, manufacturing and use method of ESD protection materials, grounding technique, standardization for ESD protection, measurement of electrostatic properties of materials and test of ESD sensitivity, etc.

This handbook is suitable for technologists, managers and workers that are engaged in ESD protection in electronics, communications, chemicals, petrochemicals and gunpowders industries. It is also suitable for reference by researchers and teachers concerned.

前 言

静电防护问题历来是火工、化工、石油、粉末加工、燃气等行业所关注的重点技术安全问题之一。近 30 年来,随着电子技术的飞速发展,特别是以构件物理尺寸日趋缩小和集成密度日趋增大为特征的集成电路、微组装技术的发展,以及许多新的高分子材料的广泛使用,静电防护问题为更多的行业所关注。产品静电防护已成为静电防护中的重要组成部分。静电危害是影响电子、纺织、印刷、造纸、塑料加工等行业工艺和产品质量的重要因素之一,尤其对许多高、精、尖电子产品的正常工作和使用寿命造成现实的及潜在的危害,例如造成军用与民用电子装备产品(通信设备、计算机与信息处理设备、控制、测量和显示设备等)的性能和可靠性降低等。

研究静电发生和积存的规律,了解和掌握静电防护的措施与技能,是有效开展静电防护的基础。为了向读者介绍有关静电防护的基本知识和技术,促进静电防护技术的普及与提高,我们编写了这本《静电防护技术手册》。它兼具理论性与实用性的特点,既是一本工具书,又是一本技术参考书。全书共分为 8 个章节,书后附有常用计量单位和换算表、常用物理常数值与防静电产品和技术的国内专利共 3 个附录。

本书第 4 章和第 8 章由林文获编写,其余章节由张宝铭编写。全书的协调和修改由二人共同完成。

鉴于静电防护技术相对来说还属于比较新的领域,涉及的知识面较宽,理论问题和工程实际问题都很多,加之编著者水平有限,错讹之处在所难免,衷心希望读者指正。

目 录

第 1 章 静电学基础	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 静电现象与静电学	(1)
1.2.1 静电	(1)
1.2.2 静电现象	(2)
1.2.3 静电的能量特征	(3)
1.2.4 静电学与静电防护研究的进展	(4)
1.3 与静电学研究相关的物理量	(5)
1.3.1 电荷与电量	(5)
1.3.2 电位与电压	(7)
1.3.3 电场与电场强度	(8)
1.3.4 电容	(10)
1.3.5 电阻(电导)和电阻率(电导率)	(11)
1.3.6 电流	(14)
1.3.7 介电常数	(14)
1.3.8 绝缘强度	(16)
1.3.9 逸出功	(17)
1.4 导体中的电传导	(18)
1.5 介质中的电传导	(19)
1.5.1 概述	(19)
1.5.2 气体介质中的电传导	(20)
1.5.3 液体介质中的电传导	(29)
1.5.4 固体介质中的电传导	(30)
1.6 固体物质带电	(32)
1.6.1 固体接触带电	(32)
1.6.2 固体分离带电	(35)
1.6.3 物体摩擦带电	(35)
1.6.4 静电序列	(36)
1.6.5 固态导体的感应带电	(38)
1.6.6 固体的其他带电方式	(39)
1.7 粉体物质带电	(40)
1.7.1 概述	(40)
1.7.2 粉体带电估算	(41)
1.7.3 粉体带电的潜在危险	(45)
1.8 液体物质带电	(49)

1.8.1 概述	(49)
1.8.2 液体带电机理	(49)
1.8.3 液体带电方式	(49)
1.9 气体物质带电	(55)
1.9.1 概述	(55)
1.9.2 气体带电量的计算	(57)
1.10 人体带电	(58)
1.10.1 概述	(58)
1.10.2 人体带电方式	(58)
1.10.3 人体带电参量的计算	(59)
1.10.4 人体静电的危害	(60)
1.10.5 影响人体带电的因素	(61)
1.11 静电荷的衰减和积累	(62)
1.11.1 概述	(63)
1.11.2 介质内电荷的衰减和积累	(63)
1.11.3 被绝缘的导体上电荷的衰减和积累	(64)
1.12 环境湿度对静电的影响	(65)
1.12.1 概述	(65)
1.12.2 湿度影响静电的机理	(65)
1.12.3 吸湿作用的数学模型	(65)
本章主要参考资料	(68)
第2章 静电防护领域常用的技术语言	(69)
2.1 概述	(69)
2.2 静电防护领域常用术语	(70)
2.2.1 术语来源及术语词条中的括号含义	(70)
2.2.2 基础术语	(71)
2.2.3 材料术语	(73)
2.2.4 静电起电术语	(75)
2.2.5 静电放电术语	(77)
2.2.6 性能参量术语	(79)
2.2.7 静电灾害与静电安全控制术语	(82)
2.2.8 静电放电试验术语	(85)
2.2.9 接地术语	(86)
2.2.10 包装防护术语	(88)
2.2.11 防静电器具、器材术语	(88)
2.3 静电防护有关标记和符号	(90)
2.3.1 静电防护标记、符号式样	(90)
2.3.2 符号和标记的图案设计与制作要求	(93)

2.3.3 标记和符号的标志处所	(94)
2.3.4 敏感标记、符号的使用和标志要求	(94)
2.3.5 接地标记	(95)
2.3.6 标准中曾经使用过的静电敏感符号	(95)
2.4 静电防护领域常用缩写词	(96)
第3章 静电防护	(103)
3.1 概述	(103)
3.1.1 静电防护的主要内容	(103)
3.1.2 静电防护工作的主要特点	(105)
3.1.3 静电防护工作的主要目的	(106)
3.2 静电的发生特性	(106)
3.2.1 影响静电发生的主要因素	(106)
3.2.2 减少静电发生的要点	(107)
3.3 静电危害模式	(107)
3.3.1 静电库仑力作用危害	(107)
3.3.2 静电放电危害	(108)
3.3.3 静电感应危害	(111)
3.4 静电放电对电子产品的危害	(112)
3.4.1 电子产品静电放电损害的特点	(112)
3.4.2 对静电放电危害在认识上的深化	(112)
3.4.3 电子产品静电防护领域的扩展	(114)
3.4.4 电子元器件静电损伤的失效类型	(114)
3.4.5 电子元器件静电放电损伤失效机理	(114)
3.4.6 静电放电损伤与元器件结构的关联性	(116)
3.4.7 电子产品生产、加工制造中的静电源	(122)
3.5 电子产品的静电防护	(123)
3.5.1 概述	(123)
3.5.2 电子产品的静电防护设计	(125)
3.5.3 电子产品的静电防护操作	(133)
3.5.4 敏感产品的静电防护包装	(143)
3.6 固体静电的防护	(153)
3.6.1 概述	(153)
3.6.2 固体静电的防护措施	(153)
3.6.3 橡胶制品生产中的静电防护	(156)
3.7 液体静电的防护	(158)
3.7.1 概述	(158)
3.7.2 液体静电防护的共性措施	(159)
3.7.3 各种装置的技术防护措施	(164)

3.8 气体静电的防护	(167)
3.8.1 概述	(167)
3.8.2 气体静电防护的主要措施	(169)
3.9 粉体静电的防护	(170)
3.9.1 概述	(170)
3.9.2 粉体静电的防护措施	(171)
3.10 人体静电的防护	(176)
3.10.1 概述	(176)
3.10.2 人体静电防护的主要措施	(177)
3.11 产品附着静电带电的防护	(178)
3.12 静电防护工作的组织管理	(179)
3.12.1 概述	(179)
3.12.2 静电安全防护管理	(180)
3.12.3 产品静电防护管理	(181)
3.13 静电防护培训	(187)
3.13.1 概述	(187)
3.13.2 静电防护培训大纲	(188)
本章主要参考资料	(191)
第4章 防静电制品	(193)
4.1 防静电制品所使用的方法	(193)
4.1.1 控制静电荷的产生	(193)
4.1.2 消除静电	(193)
4.2 防静电材料的分类	(195)
4.2.1 静电材料的划分	(195)
4.2.2 防静电制品所使用材料的分类	(196)
4.3 抗静电剂	(197)
4.3.1 抗静电剂作用机理	(197)
4.3.2 影响抗静电性能的因素	(199)
4.3.3 合成材料的抗静电与抗静电剂类型	(200)
4.3.4 抗静电剂的实际使用	(205)
4.3.5 国内外抗静电剂的发展概况	(209)
4.4 导电高分子混合料	(211)
4.4.1 概述	(211)
4.4.2 导电性填充料对高分子混合料性能的影响	(211)
4.4.3 填充料掺和工艺和混合料加工工艺对导电性的影响	(215)
4.5 防静电制品的其他防静电方法	(217)
4.5.1 镀金属层法	(218)
4.5.2 表面导电覆盖层法	(219)

4.5.3 其他表面改性法	(220)
4.6 静电消除器	(221)
4.6.1 感应式静电消除器	(222)
4.6.2 交流型静电消除器	(225)
4.6.3 稳态直流型静电消除器	(227)
4.6.4 脉冲直流静电消除器	(228)
4.6.5 同位素静电消除器	(229)
4.6.6 各类静电消除器的比较	(230)
4.7 防静电建筑环境	(231)
4.7.1 防静电地坪	(231)
4.7.2 防静电墙面	(241)
4.7.3 防静电门	(241)
4.7.4 湿度控制设备	(241)
4.8 人体防静电系统	(242)
4.8.1 防静电腕带	(242)
4.8.2 防静电脚束	(243)
4.8.3 防静电工作服	(243)
4.8.4 防静电洁净工作服	(246)
4.8.5 防静电工作鞋、袜	(246)
4.8.6 防静电工作帽、手套	(247)
4.8.7 防静电工作椅(凳)	(247)
4.8.8 防静电地垫	(247)
4.9 防静电操作系统	(247)
4.9.1 防静电台垫	(248)
4.9.2 防静电软塑料包装袋	(248)
4.9.3 防静电硬塑料容器	(249)
4.9.4 防静电包装盒、条、管	(250)
4.9.5 生产线用防静电周转小推车	(250)
4.9.6 防静电维修包	(250)
4.9.7 防静电工具	(250)
4.9.8 防静电清洗机	(251)
4.9.9 其他防静电用品	(251)
本章主要参考资料	(253)
第5章 接地技术	(254)
5.1 概述	(254)
5.1.1 接地概念	(254)
5.1.2 接地问题的重要性	(254)
5.1.3 静电接地	(254)

5.2 工程接地	(256)
5.2.1 设施接地系统及其作用	(256)
5.2.2 各接地分系统的接地电阻要求	(256)
5.2.3 各接地分系统的简要比较	(257)
5.3 大地电极分系统	(258)
5.3.1 目的	(258)
5.3.2 组成	(258)
5.3.3 类型	(258)
5.3.4 电极形式	(259)
5.3.5 电阻要求	(261)
5.3.6 电极的强化	(261)
5.3.7 土壤电阻率	(264)
5.3.8 土壤电阻率的测量	(266)
5.3.9 接地电极的电阻特性	(270)
5.3.10 电极对地电阻的测量	(280)
5.3.11 埋设电极对地电阻计算示例	(283)
5.4 雷电保护分系统	(284)
5.4.1 基本要求	(284)
5.4.2 防护措施	(284)
5.5 故障保护分系统	(285)
5.5.1 概述	(285)
5.5.2 电力系统的故障现象	(286)
5.5.3 电力系统故障常见原因	(286)
5.5.4 故障保护装置	(286)
5.5.5 保护接地线	(286)
5.5.6 配置	(287)
5.5.7 工程实施中需特别注意的几个问题	(288)
5.6 信号参考分系统	(289)
5.6.1 概述	(289)
5.6.2 网络配置	(289)
5.7 静电防护接地分系统	(293)
5.7.1 概述	(293)
5.7.2 配置	(294)
5.7.3 人体静电防护接地系统	(295)
5.7.4 防静电地坪接地系统	(297)
5.7.5 静电防护操作装置接地系统	(297)
5.8 设施各接地分系统的选用及相互关系	(298)
5.9 若干特殊场合的静电接地	(302)
5.9.1 移动设备的静电接地	(302)

5.9.2 室外固定设备、装置的接地	(306)
5.9.3 其他特定场所或配置的接地	(307)
5.10 接地器具和材料	(307)
5.10.1 接地端子和接地端板	(307)
5.10.2 接地干线和接地体	(307)
5.10.3 接地支线和跨接线	(308)
5.10.4 连接器具	(308)
5.10.5 接地连接的方法	(308)
5.11 电子计算机房的接地	(309)
5.11.1 相关标准要求	(309)
5.11.2 各种接地系统的设置与作用	(310)
5.11.3 接地实施方法分析	(313)
本章主要参考资料	(316)
第6章 静电性能测量与静电放电敏感度(抗扰度)试验	(317)
6.1 概述	(317)
6.1.1 静电测量和静电放电敏感度试验的意义与目的	(317)
6.1.2 静电测量和试验的特点	(317)
6.1.3 静电测量和试验的主要项目和参数	(321)
6.2 静电电位(电压)测量	(321)
6.2.1 静电电位(电压)概念	(321)
6.2.2 测量方法与测量仪表	(321)
6.3 电阻与电阻率测量	(331)
6.3.1 概述	(331)
6.3.2 电阻率测量方法	(332)
6.3.3 接地电阻的测量	(339)
6.3.4 地板覆盖层和装配地板电阻的测量	(339)
6.4 人体静电参数的测量	(343)
6.4.1 概述	(343)
6.4.2 人体对地静电容的测量	(344)
6.4.3 人体静电位的测量	(344)
6.4.4 人体接地电阻的测量	(344)
6.5 材料静电半衰期的测量	(345)
6.5.1 概述	(345)
6.5.2 静电半衰期测量方法	(346)
6.6 静电电量的测量	(347)
6.6.1 概述	(347)
6.6.2 静电电量测量的法拉第筒法	(348)
6.7 电离器静电消除能力的测量	(349)

6.7.1 概述	(349)
6.7.2 电离器消电性能测量方法	(349)
6.8 纺织品表面电荷密度测量	(350)
6.8.1 概述	(350)
6.8.2 表面电荷密度测量方法	(351)
6.9 液体介质电导率的测量	(353)
6.9.1 概述	(353)
6.9.2 液态烃类产品电导率测量方法	(353)
6.10 粉体静电性能的测量	(356)
6.10.1 概述	(356)
6.10.2 粉体静电参数的测量方法	(356)
6.11 包装材料静电性能的测量	(359)
6.11.1 概述	(359)
6.11.2 包装材料抗静电性能的测量	(360)
6.11.3 包装材料静电耗散性能的测量	(361)
6.11.4 包装材料静电屏蔽性能的测量	(362)
6.12 防静电器具静电性能的测量	(363)
6.12.1 概述	(363)
6.12.2 各种器具静电性能的简易测量方法	(363)
6.13 静电放电敏感度试验	(367)
6.13.1 概述	(367)
6.13.2 敏感元器件的静电放电敏感度试验	(376)
6.13.3 敏感设备的静电放电抗扰度试验	(377)
6.13.4 敏感组件的静电放电抗扰度试验	(379)
本章主要参考资料	(380)
第7章 静电防护工作的标准化	(382)
7.1 概述	(382)
7.1.1 静电防护是标准化工作的本质特征的一种体现	(382)
7.1.2 标准在静电防护工作中的基本作用	(382)
7.1.3 静电防护标准的两大类别	(382)
7.1.4 电子产品静电防护的系统工程特征	(383)
7.1.5 敏感电子器件是防护的中心	(383)
7.2 防静电标准体系	(383)
7.2.1 体系框图	(383)
7.2.2 明细表	(383)
7.2.3 关于防静电标准体系的两点说明	(388)
7.3 国际防静电标准化工作发展简况	(389)
7.3.1 国际电工委员会(IEC)防静电标准制订简况	(389)

7.3.2	MIL 防静电标准制订简况	(392)
7.3.3	美国电气过载/静电放电协会标准制订简况	(393)
7.3.4	其他国外防静电标准	(394)
7.4	国内有关防静电标准制订情况	(395)
7.4.1	国家标准(GB,GB/T,GBJ)	(395)
7.4.2	国家军用标准(GJB)	(395)
7.4.3	电子行业标准(SJ,SJ/T)	(396)
7.4.4	航天行业标准(QJ)	(396)
7.4.5	兵器行业标准(WJ)	(396)
7.4.6	化工行业标准(HG)	(396)
7.4.7	邮电行业标准(YD)	(396)
	本章主要参考资料	(397)
第 8 章	防静电产品技术性能介绍	(398)
8.1	沈飞工业集团通路地板厂	(398)
8.1.1	厂家简介	(398)
8.1.2	产品介绍	(398)
8.1.3	获奖情况	(398)
8.1.4	工程应用情况	(398)
8.2	浙江省乐清市防静电器材厂	(399)
8.2.1	厂家简介	(399)
8.2.2	产品介绍	(399)
8.2.3	获奖及应用情况	(399)
8.3	西安飞机工业五龙股份合作公司机房设施制造厂	(400)
8.3.1	厂家简介	(400)
8.3.2	产品介绍	(400)
8.3.3	获奖情况	(401)
8.3.4	工程应用情况	(401)
8.4	常州市三井防静电器材厂	(401)
8.4.1	厂家简介	(401)
8.4.2	产品介绍	(401)
8.4.3	工程应用情况	(402)
8.5	莱州宏侨机房材料有限公司	(402)
8.5.1	厂家简介	(402)
8.5.2	产品介绍	(402)
8.5.3	获奖情况	(403)
8.5.4	工程应用情况	(403)
8.6	北京兴特环保防静电器材厂	(403)
8.6.1	厂家简介	(403)

8.6.2 产品介绍	(403)
8.7 上海惠华防静电工程公司	(404)
8.7.1 单位简介	(404)
8.7.2 服务能力介绍	(404)
8.7.3 承办工程介绍	(405)
8.8 电子工业防静电产品质量监督检测中心	(405)
8.8.1 单位简介	(405)
8.8.2 服务能力介绍	(405)
8.9 浙江省金华市天开电子材料有限公司	(406)
8.9.1 厂家简介	(406)
8.9.2 产品介绍	(406)
8.9.3 工程应用情况	(406)
附录 A 常用计量单位和换算表	(407)
附录 B 常用物理常数值	(421)
附录 C 防静电产品和技术国内专利情况	(422)

第 1 章 静电学基础

1.1 概 述

高科技的发展历程中,电子技术和高分子化学技术是两个重要的方面。

电子产品设计的小型化和高集成化,相应的加工技术日趋微、细、精、薄,使得对静电危害不可忽视。随着电子技术和产品向国民经济各部门的广泛渗透,静电的影响面越加普遍。

正是由于高分子化学技术的发展,促成了高分子材料在工业、国防和人民生活各个方面的广泛应用。普通高分子材料的特点之一就是它具有很高的电阻率,使其特别易于产生静电。

静电造成的故障与危害,通称静电灾害。从传统的观点来看,它是火工、化工、石油、粉碎加工等行业引起火灾、爆炸等事故的主要诱发因素之一,也是亚麻、化纤等纺织行业加工过程中的质量及安全事故隐患之一,还是造成人体电击危害的重要原因之一。因此,静电防护是各行业最为关注的安全问题之一。

随着高科技的发展,静电灾害所造成的后果已突破了安全问题的界限。静电放电造成的频谱干扰危害,是在电子、通信、航空、航天以及一切应用现代电子设备、仪器的场合导致设备运转故障、信号丢失、误码的直接原因之一。例如,电子计算机和程控交换机是两种有代表性的现代电子设备,如安装、使用环境不当,它们的工作都会受到静电的困扰。此外,静电造成敏感电子元件的潜在失效,是降低电子产品工作可靠性的重要因素。据日本 80 年代中期的一项统计资料,在失效的半导体器件中,有 45% 是因静电危害造成的。

降低静电灾害的最有效手段是实施防护。因为,静电作为一种自然现象,不让它产生几乎是不可能的,但把它的存在控制在危险水平以下,使其造成的灾害尽可能小,则是可能的。有效地进行静电防护与控制,依赖于对静电现象的认识和对其发生、存在、清除的控制,依赖于掌握和了解静电与环境条件的关联性和静电发生的规律。

以上观点是从静电危害的防护角度而言的。对静电的应用研究本身就是一项重要的高科技门类,但鉴于不属于本书讨论的范围,在此不再赘述。

1.2 静电现象与静电学

1.2.1 静电

根据分子和原子结构的理论,自然界中的一切物质都是由分子构成的,而分子又是由原子组成的。单质的分子由一个或几个相同的原子组成,化合物的分子由两个或两个以上不同的原子组成。高分子材料具有更复杂的原子结构点阵排列,并含有更多种类及数量的原子。原子是构成一切化学元素的最小粒子,它由带正电的原子核和带负电的围绕原子核旋转的电子组成,

电子的个数及排列层次因元素而异。

在自然状态下,原子中的这种正、负电荷是相等的,物质处于电平衡的中性状态,即不带电。在静电学中称不带电的物体为电的中性体。

在某种条件下,当物质原子中的这种电平衡状态被打破,丢失或获得电子,物质即由中性状态改变为带电状态。处于带电状态的物体在静电学术语中称为带电体。物质在获得电子而形成带电体时称为电子带电,所带电荷称为负电荷;因失去电子而形成带电体时,称为空穴带电,所带的电荷称为正电荷。

物质呈现带电的现象,称为带电现象。物质的带电现象是一种自然现象。按照物质所带电荷的存在与变化状态可分为动电(流电)现象和静电现象。静电现象指相对于观察者而言,所带的电荷处于静止或缓慢变化的相对稳定状态,动电现象则与此相反。

显然,在静电情况下,由于电荷静止不动或其运动非常缓慢,故它所引起的磁场效应较之电场效应来说可以忽略不计。

静电可因多种原因而发生,例如物体间的摩擦、电场感应、介质极化、带电微粒附着等许多物理过程都有可能产生静电。

1.2.2 静电现象

静电现象广泛存在于自然界、工业生产和人们的日常生活中。

1) 自然界中的大气静电现象

人类生活的地球本身,就是个极大的导体,它存储了大约 $9.02 \times 10^5 \text{ C}$ 的负电荷量。在距地面 60~350km 的电离层区建立了方向垂直于地面的电场。空气中的电场离地面越远强度越低。在海平面,晴天时的场强达到 120V/m;在 3km 高处场强为 25V/m;在 80km 高处,已处在空气导电的电离层区域内,其场强为 $4 \times 10^{-8} \text{ V/m}$,对地电位 200~213kV。大气闪电是最具代表性的自然界静电现象之一。此外,自然界中的电解、气流、风沙、冰雪、烟尘等都呈现静电现象。因此,可以毫不夸张地说人类生活在静电的海洋之中。

2) 工业中的静电现象

工业生产中,由于物体间的机械分离、与带电的物体接触或孤立导体上的静电感应作用,存在着大量的静电现象。

a. 在纺织工业中使用的自由端静电纺纱,具有工艺流程短、产量高、噪音低、用电省、飞花少、织物耐磨性强等优点,它利用静电场将单纤维伸直、排列和凝聚,用自由端加捻成纱。由于电晕放电、摩擦、接触、极化、电离等方式,使纱织纤维带有静电位。例如棉花电位为 -50V,人造丝电位为 -100V,维尼纶电位为 900V,尼龙电位为 1.05kV。

b. 在橡胶工业中,合成橡胶从苯槽中出来时,表面电荷密度达 $7 \times 10^{-6} \text{ C/m}^2$,静电位可达 250kV。橡胶压延机压出时,产品静电位高达 -80kV。涂胶机的静电位为 -30kV。

c. 在印刷和造纸工业中,纸离开辊筒时静电位可达 10~20kV,经过加光机达 50kV。印刷时,纸张静电位可达 1.0kV。在照像凹板印刷的场合,纸张带电密度为 $10^{-8} \sim 10^{-10} \text{ C/m}^2$ 。

d. 在石油工业中,汽油在金属管道中流动时带负电荷,而管道带正电荷。汽油流经棉制品材料时电位为 2.6kV。槽车装油时,油面电位高达 10kV 以上。在石油精炼过程中,油品经反复加压、加热、喷射、冷却和压送等工序,将使油料带有大量电荷。油罐车在马路上行驶时轮胎摩擦起电,油料本身由于摇晃也起电,油品经过地阀门、泵、过滤器和其他截面改变之处也剧烈起