

静电实用技术手册

JING DIAN SHI YONG
JI SHU
SHOU CE

罗宏昌 毕载俊 伍学正 主编

上海科学普及出版社

静电实用技术手册

罗宏昌 毕载俊 伍学正 主编
王寿泰 廖加复 校审

上海科学普及出版社

责任编辑 毕淑敏

静电实用技术手册

罗宏昌 毕载俊 伍学正 主编

王寿泰 廖加复 校审

上海科学普及出版社出版

(上海曹杨路500号 邮政编码 200063)

新华书店上海发行所发行 商务印书馆上海印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张24 字数 582000

1990年12月第1版 1990年12月第1次印刷

印数1—5000

ISBN 7-5427-0333-1/TB·2 定价:14.80元
科技新书目: 233—307

前 言

随着我国工业的不断发展,防静电危害和静电技术应用日益受到关注和重视。防静电危害和静电技术应用的试验研究正在广泛深入开展;各种各样的抗静电产品、静电测量仪器和消除静电装置应运而生;技术新颖的静电喷涂、静电除尘净化、静电复印和静电分选处理等遍及全国各地,获得了明显的效益。静电生物效应、静电纺纱植绒、驻极体材料的研究和应用也有很大进展。近年来,国内许多单位还开展了新型抗静电材料,以及防静电危害的综合工程等等方面的研究。展现出一派欣欣向荣、兴旺发达的广阔前景,有力地推动着四个现代化的建设。

《静电实用技术手册》综合了我国近十几年来上述静电科研成果和新型静电产品,展现我国目前静电危害防治和静电技术的水平和状况。手册还提供了大量的数据、公式、图表、线路和产品,详细综述了防静电危害措施和各种静电技术的应用的设计依据。

《静电实用技术手册》分为5篇共26章。第一篇是静电基础。从实用角度出发,简要叙述分析了静电电场、静电场中的导体和电介质、电容和静电能量、气体放电以及各种物质的带电。第二篇静电技术的应用,介绍了静电除尘净化、静电涂敷雾化、静电纺织、静电成像、静电分选、静电生物效应和驻极体等。第三篇防静电危害,列举了静电危害及其危险极限、防静电措施、抗静电材料、静电消除器,以及静电安全管理等。第四篇静电测量较详细地介绍了绝缘电阻、电容、介电常数、时间常数、静电电量、静电电位、静电电场强度和静电能量等物理参数和综合实例的测量原理、方法和仪表。第五篇是静电安全标准和专业规程,列举国内静电安全标准和专业规程的有关摘要,介绍国外有关静电安全标准和专业规程的目录注释。全《手册》50多万字,图表400余幅。材料新颖,内容丰富,系统性、实用性和通用性强,可供工矿企业、科研设计单位、安技职能部门和大专院校等有关人员开展静电危害防治和

静电技术应用工作时参考。

本《手册》是由交通部上海船舶运输科学研究所、中国石化总公司石油化工科学研究院、上海交通大学、西安交通大学、公安部西安武警学院、上海化工设计院、内蒙古大学、淮南矿业学院、西北纺织学院、上海合成纤维研究所、上海电阻厂、华中工学院等十二个单位有关从事静电科研设计人员共同编写的。第一篇由伍学正、陆承祖、张文华编写；第二篇由李静一、张家国、杨定君、王寿泰、梁运章、张国光、罗宏昌编写；第三篇由罗宏昌、宋广成、曹惠椿、王立群、熊继赟编写；第四篇由罗宏昌、王长英、王立群、熊继赟编写；第五篇由毕载俊编写。

编写中由于编者水平有限、时间匆促，不当之处在所难免，敬请批评指正。借此，向提供过资料、提供过建议的所有同志表示衷心感谢。

编 者

1990.3.

内 容 简 介

本手册反映了我国最近十多年来的静电技术主要科研成果和静电新型产品。体现出我国目前静电技术应用、测量和防静电危害的水平。

全书共分五篇：第一篇静电基础；第二篇静电技术的应用；第三篇防静电危害；第四篇静电测量；第五篇收集了国内外静电安全标准和专业规程。

本书可供国防、石油、化工、轻工、纺织、冶金、矿山、电子、电力、粮食、公安、保险等行业的工程技术人员以及大专院校有关师生参考。

目 录

前言	1
第一篇 静电基础	
第一章 静电电场	3
1.1.1 电荷和电场	3
1. 静电电荷	3
2. 库仑定律	4
3. 电场和电场强度	5
4. 高斯定理	7
5. 电位和电压	8
1.1.2 典型静电电场的电场强度和电位	9
1. 均匀带电介质球的电场强度和电位	9
2. 均匀带电介质球面的电场强度和电位	10
3. 无限大均匀带电平板的电场强度	10
4. 无限大均匀带异号电荷量相等的平行板间的电场强度和电位	10
5. 无限长均匀带电圆柱体的电场强度和电位	11
6. 无限大均匀带电介质平面层的电场强度和电位	12
1.1.3 电场力	14
1. 电场力表示式	14
2. 平行平板介质电容器极板的电场力	15
3. 同心金属球内外带电球面的电场力	15
4. 平行平板电容器两介质界面的电场力	16
5. 纤维感应起电后所受的电场力	16
6. 带电介质(驻极体)电场力	17
第二章 电场中的导体和电介质	19
1.2.1 电场中的导体	19
1. 静电感应	19
2. 导体的静电平衡	19
3. 处于静电平衡的导体的基本特性	19
4. 电感应强度(电位移)	20

5. 静电屏蔽	20
6. 法拉第筒	21
1.2.2 电场中的电介质	21
1. 电介质的种类	21
2. 电介质的极化	21
3. 极化强度向量	25
4. 介电常数	27
1.2.3 电介质的电导	30
1. 导电性概述	30
2. 气体介质的电导	31
3. 液体介质的电导	32
4. 固体介质的电导	32
第三章 电容和静电场能量	36
1.3.1 电容及典型电容器的电容计算	36
1. 孤立导体的电容	36
2. 电容器的电容	36
3. 几个简单形状的电容	36
4. 复杂形状的电容	37
5. 典型电极的电容及其最大电场强度表	38
1.3.2 静电场能量和能量密度	42
1. 静电场的能量	42
2. 电场能量密度	42
3. 电场能量与静电危害	43
1.3.3 电场能量计算及其实例	43
1. 电场能量计算	43
2. 能量计算实例	44
第四章 气体放电	46
1.4.1 气体放电的分类	46
1. 按维持放电的条件分类	46
2. 按伏—安特性分类	46
3. 按击穿强度分类	46
4. 按电极间的电场分布分类	47
5. 按放电形状分类	47
6. 按经过时间分类	47
1.4.2 均匀电场中的放电	47
1. 气体放电的伏—安特性	47
2. 被激导电	48
3. 非自持放电的汤森理论	48
4. 非自持放电到自持放电的过渡	50
5. 辉光放电	51
6. 弧光放电	51
1.4.3 非均匀电场中的放电	52

1. 电晕放电	52
2. 火花放电	54
1.4.4 气体击穿电压(或击穿场强)的计算	57
1. 不同电场中的击穿电压	57
2. 气体击穿场强的测定值	58
3. 最小击穿电压计算式	58
1.4.5 固体介质在气体中的沿面放电	58
1. 均匀电场中的沿面放电	58
2. 极不均匀电场有强垂直分量时的沿面放电	59
3. 极不均匀电场有弱垂直分量时的沿面放电	59
第五章 物质的带电	60
1.5.1 固体物质的带电	60
1. 物质的功函数	60
2. 固体的接触带电	61
3. 静电序列	63
4. 固体导体的感应带电	65
5. 固体的其他带电形式	66
1.5.2 粉体物质的带电	67
1. 粉体气力输送的带电	67
2. 悬浮粉体的极限电荷质量密度	69
3. 散装炸药压气输送和装填中的带电	70
1.5.3 液体物质的带电	70
1. 液固界面处的偶电层	70
2. 液体的流动带电	71
3. 液体中的沉降起电	75
4. 液体的喷雾带电	75
5. 液体的溅泼起电	75
1.5.4 气体物质的带电	76
1. 喷雾带电	76
2. 喷出电流和壁电流	76
3. 高压气体喷出的带电量	76
1.5.5 人体的带电	77
1. 人体带电方式	77
2. 人体静电的积累和流散	77
3. 影响人体带电的因素	78
4. 人体电容	79
第二篇 静电技术的应用	
第一章 电除尘	83
2.1.1 电除尘概述	83
1. 电除尘的发展	83
2. 电除尘的特点	83
2.1.2 电除尘的工作原理	84

1. 尘粒荷电	84
2. 收尘	85
3. 清除捕集的尘粒	86
2.1.3. 电除尘器分类	86
1. 按对尘粒处理方式分类	86
2. 按气体在电除尘器中流动方向分类	86
3. 按集尘极板的结构分类	87
4. 按集尘极和放电极的匹配位置分类	87
5. 特殊型式的电除尘器	87
2.1.4 电除尘器结构	88
1. 电除尘器的本体结构	88
2. 电除尘器高压供电装置	92
2.1.5 国内电除尘器	98
第二章 静电喷涂和喷雾技术	100
2.2.1 喷涂概述	100
1. 喷涂的工作原理	100
2. 涂料粒子的带电过程	100
3. 涂覆效率	101
4. 静电喷涂的类型	101
2.2.2 液体涂料的静电涂敷	112
1. 栅网式静电喷涂法	102
2. 旋杯式静电喷涂法	103
3. 转盘式静电喷涂法	105
4. 静电喷涂手枪	106
5. 塑壳喷漆生产线	107
2.2.3 粉末涂料的静电喷涂	108
1. 粉末涂料	108
2. 静电粉末喷涂法	110
3. 静电流化床法	113
4. 静电振荡法	115
5. 影响粉末涂料静电喷涂及其质量的因素	117
6. 国内粉末涂料和涂装生产单位	118
2.2.4 静电喷涂在其他方面的应用	119
1. 静电喷涂防锈油	119
2. 砂纸的静电涂敷	119
2.2.5 电喷雾	120
1. 非水溶液的微粒化	120
2. 水溶液的微粒化	120
3. 电喷雾在农业上的应用	121
第三章 静电纺织	123
2.3.1 静电植绒	123
1. 概述	123

2. 原理和工艺流程	124
3. 静电植绒织物的三个组成部分	124
4. 影响植绒产品质量的诸因素	129
2.3.2 静电纺纱	131
1. 概述	131
2. 原理和工艺流程	131
3. 几个问题的讨论	132
第四章 静电成像	135
2.4.1 概述	135
2.4.2 静电复印	135
1. 静电复印的发展和静电复印机型的分类	135
2. 静电复印过程和原理	136
3. 国产静电复印机	144
4. 复印机的选用	144
2.4.3 静电制版	148
1. 静电制版方法	148
2. 静电制版过程和要求	148
3. 国产静电制版机	150
第五章 静电分选技术	151
2.5.1 概述	151
2.5.2 静电分选技术的基本原理	151
1. 荷电方式及其应用	151
2. 静电分选装置的四个基本部分	154
2.5.3 静电分选的应用	154
1. 矿石分选	154
2. 煤炭和煤灰的分选	156
3. 从废弃物中分离有用物	156
4. 分选在食品工业中的应用	158
5. 作物种子的精选	159
2.5.4 固液分离和电泳应用	160
1. 电泳力作用下的静电分离	160
2. 介电电泳力作用下的静电分离	160
3. 油品的静电处理和精炼	160
4. 原油静电脱盐、脱水装置	164
5. 静电水净化器	167
6. 静电水垢控制器	167
第六章 静电生物效应	169
2.6.1 概述	169
1. 静电与生物的关系	169
2. 空气离子的产生和消失	169
3. 静电生物效应的定义	170
2.6.2 静电生物效应	170

1. 促进农作物和花的生长	170
2. 静电处理种子	170
3. 静电保鲜	172
4. 空气负离子发生器	174
5. 静电电疗法	177
2.6.3 静电技术在生物技术工程领域中的应用展望	178
1. 利用脉冲高电压对液体中的浮游细胞实施破坏	178
2. 生物无菌室用的空气过滤器	179
3. 静电技术操作遗传基因	179
4. 电刺激细胞融合法	179
第七章 驻极体	181
2.7.1 概述	181
2.7.2 驻极体的制备方法	181
1. 热充电法	181
2. 电晕注入法	181
3. 脉冲电压注入法	182
4. 射频低温等离子体注入法	182
5. 电子束注入法	182
6. 光注入法	182
7. 液体接触充电法	182
2.7.3 驻极体原理	182
2.7.4 驻极体电荷的测量	183
1. 感应法	183
2. 交变电流法	183
3. 去极化法	183
2.7.5 驻极体的应用	184
1. 驻极体话筒	184
2. 骨愈膜与电子伤筋膏	184
3. 驻极体空气过滤器	184
4. 静电口罩	184
5. 驻极体放射性剂量仪	184
6. 其它	184
第三篇 防静电危害	189
第一章 静电危害	189
3.1.1 静电危害的特点和类型	189
1. 静电库仑力作用的危害	189
2. 静电放电的危害	190
3.1.2 静电危险极限	194
1. 电击极限	194
2. 产生爆炸、火灾的极限	196
第二章 防静电危害的措施	200
3.2.1 防静电危害的原则	200

3.2.2 防止和减少静电产生的措施	200
1. 一般原则	200
2. 防止和减少固体产生静电的措施	201
3. 防止和减少液体产生静电的措施	201
4. 防止和减少粉体产生的静电措施	205
5. 防止和减少气体产生静电的措施	206
3.2.3 加速静电释放、泄漏的措施之一——接地	207
1. 接地的目的和类型	207
2. 接地的对象和范围	207
3. 接地电阻和跨接电阻	208
4. 接地的效果	208
5. 接地用具和材料	209
6. 接地连接的方法	210
7. 固定设备的接地	211
8. 移动设备的接地	212
9. 旋转体的接地	215
3.2.4 加速静电释放、泄漏的措施之二——掺杂	215
1. 增大材料的体电导	216
2. 增大材料的表面电导	216
3.2.5 加速静电释放、泄漏的措施之三——增湿	216
3.2.6 中和、消除静电的措施——使用缓和器	216
1. 缓和器的作用	217
2. 缓和器的结构尺寸的选择	217
3. 缓和器的效果	218
3.2.7 中和、消除静电的措施——使用静电消除器	218
1. 静电消除器的作用和种类	218
2. 静电消除器的选用	218
3. 静电消除器的安装	219
4. 使用静电消除器的效果	220
3.2.8 防止放电着火	220
1. 安装放电器,降低带电能量	220
2. 屏蔽带电物体	220
3. 加强静电检测报警	221
4. 防止生产作业中的放电着火	221
5. 防止爆炸性混合物的形成	223
6. 防止人体放电	224
7. 拆除带电装置	225
第三章 抗静电材料	226
3.3.1 静电材料的划分和抗静电制品	226
1. 静电材料的划分	226
2. 抗静电制品	226
3.3.2 抗静电纤维和抗静电织物	227

1. 防静电的途径	227
2. 导电纤维	227
3. 防静电织物	228
3.3.3 防静电橡胶及其制品	230
1. 导电性物质的选用	230
2. 炭黑的选用	230
3. 防静电橡胶的分类	231
4. 防静电橡胶制品	231
3.3.4 防静电塑料及其制品	232
1. 防静电塑料的制作方法	232
2. 防静电塑料的性能、用途和组成	233
3. 防静电塑料制品	233
3.3.5 防静电活动地板	236
1. 防静电活动地板的类型	236
2. 防静电活动地板产品	236
3. 防静电活动地板的特点及其有待解决的问题	237
3.3.6 防静电剂	238
1. 防静电剂的作用	238
2. 防静电剂的种类	238
3. 防静电剂产品	239
3.3.7 防静电胶粘剂和涂料	240
1. 防静电胶粘剂	240
2. 防静电涂料	240
第四章 静电消除器	242
3.4.1 感应式静电消除器	242
1. 基本原理和结构	242
2. 种类和特点	242
3. 性能及影响因素	243
4. 锯齿形的静电消除器	244
5. 管道油品静电消除器	244
3.4.2 高压静电消除器	247
1. 基本原理和种类	247
2. 工频高压静电消除器	247
3. 脉冲式高压静电消除器	248
4. 高频高压静电消除器	249
5. 直流高压静电消除器	249
3.4.3 同位素静电消除器	250
1. 基本工作原理和结构	250
2. 同位素放射源及其电离空气能力	250
3. 钋(Po)-210 静电消除器	251
3.4.4 离子流静电消除器	251
1. 基本工作原理和结构	251

2. 特点和种类	252
3. CJDF-1A型除静电风机	252
4. XJG-1B型感应式静电消除器	253
3.4.5 各类静电消除器的比较	253
第五章 静电安全管理	255
3.5.1 静电安全管理基本事项	255
1. 安全管理的目的	255
2. 安全管理要领	255
3. 安全管理的管理体制	255
3.5.2 生产场所作业操作的安全管理	255
1. 确定需要采取防静电措施的地点	255
2. 确定需要采取防静电措施的生产作业	256
3. 防静电措施设备的维修和保养	257
4. 防静电安全操作环境	257
3.5.3 静电检测的管理	257
1. 测量管理的目的	257
2. 测量管理工作的方法	257
3. 用观察来检测	258
4. 测试报告的要求	258
3.5.4 生产作业的静电安全管理指标	258
1. 导体带静电管理指标	258
2. 人体带静电管理指标	259
3. 静电非导体的带静电管理指标	259
3.5.5 事故的分析处理	260
1. 事故报告	260
2. 事故调查	261
3. 防止发生重复事故	261
3.5.6 安全教育和培训	261
1. 安全教育与培训的实施	261
2. 安全教育及培训的实施方法	261
3.5.7 规章和标准的完善	261
1. 规章、标准的制定与系统化	261
2. 规章与标准的完善	262
第四篇 静电测量	
第一章 介质材料绝缘性测量	265
4.1.1 介质绝缘电阻的测量	265
1. 介质绝缘电阻的定义	265
2. 测量方法	265
3. 影响测量的因素	268
4.1.2 固体电阻率的测量	268
1. 固体介质电阻率测量原理	268

2. 测量方法	269
3. 影响测量值的因素	270
4. 高绝缘固体电阻测量仪表	271
4.1.3 液体介质电导率的测量	271
1. 液体介质电阻率的测量	271
2. 液体介质的电导率	272
3. 液体介质电导率仪测量原理	272
4. 电极常数 k 的标定方法	273
5. 测量方法	273
6. 影响测量的因素	273
7. 国内三种电导仪	273
4.1.4 粉体比电阻的测量	274
1. 粉体比电阻的测量方法	274
2. 影响测量的因素	275
4.1.5 纤维及其织物绝缘电阻的测量	276
1. 表面电阻和体积电阻的测量	276
2. 质量电阻的测量	276
3. 比电阻的测量	276
4.1.6 抗静电或导电的软固体绝缘电阻的测量	276
1. 片板材的电阻率测量	277
2. 管材电阻率的测量	277
第二章 电容、介电常数和时时间常数的测量	279
4.2.1 电容的测量	279
1. 电容测量方法、类型	279
2. 交流测量方法	279
3. 直流测量方法	280
4. 电容测量注意事项	282
4.2.2 介电常数的测量	283
1. 电容法	283
2. 电容比较法	284
3. 时间常数法	285
4. 影响测量的因素	285
4.2.3 放电时间常数的测量	286
1. 测量原理	286
2. 测量方法	286
第三章 静电量的测量	287
4.3.1 静电电荷的测量	287
1. 静电电荷测量的一般方法	287
2. 表面电荷的测量	288
3. 带电物体电荷量的测量	289
4. 空间电荷的测量	291
4.3.2 微小电流的测量	292

1. 微小电流测量的一般方法	292
2. 产生电流的测量	294
3. 放电电流的测量	295
4. 测量介质微小电流时应注意事项	296
4.3.3 微小电流测量仪表	297
1. 不需外加电源的直流毫安表和直流微安表	297
2. 直流辐射式检流计	297
3. 微小电流测试仪器	297
第四章 静电位的测量	298
4.4.1 导体电位的测量	298
1. 测量原理	298
2. 测量仪表	298
3. 测量方法	299
4. 测量精度	299
4.4.2 表面电位测量	300
1. 测量原理	300
2. 测量仪表	300
3. 测量方法	306
4. 测量精度	306
4.4.3 空间电位的测量	307
1. 测量原理	307
2. 测量仪表	308
3. 测量方法	308
4. 测量结果	308
第五章 电场强度的测量	309
4.5.1 电场强度的测量方法	309
1. 电场强度测量一般方法	309
2. 各类电场强度测量方法的一览表	309
3. 几种电气计测法的原理	309
4.5.2 测量电场强度的仪表	312
1. JD-A型场强仪	312
2. E-1型空间静电场强度测量仪	312
3. 偶极子型场强表	313
4. 国内目前使用的几种国外电场强度仪	314
第六章 能量的测量	315
4.6.1 静电积蓄能量的测量	315
1. 测量原理	315
2. 测量方法	315
4.6.2 静电放电火花能量的测量	316
1. 气体放电火花能量的测试	316
2. 固体板料表面放电能量的测试	316
3. 液面放电火花能量的测试	317