

电 工 要 诀 丛 书

静电安全防护

要诀

郎永强 等编著

第2版



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



电工要诀丛书

静电安全防护要诀

第 2 版



机械工业出版社

本书按照最新国家标准和行业要求,从静电防护实际工作需要出发,详细讲述了静电的产生和消散、危害与防护、测试与计算、控制及消除等知识。内容全面翔实、贴近实际、易懂易学。

本书可作为静电防护工程技术人员,以及电子工业企业、石油化工企业的工厂电工阅读使用;另外,专门从事静电防护培训的职业院校也可以参考本书。

图书在版编目(CIP)数据

静电安全防护要诀/郎永强等编著 —2版 —北京:
机械工业出版社,2011.3
(电工要诀丛书)
ISBN 978-7-111-33171-1

I. ①静… II. ①郎… III ①静电-安全技术-基本知识 IV. ①TM08

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第012080号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:付承桂 责任编辑:任鑫

版式设计:霍永明 责任校对:张莉娟

封面设计:姚毅 责任印制:杨曦

北京京丰印刷厂印刷

2011年3月第2版·第1次印刷

130mm×184mm·7875印张·174千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-33171-1

定价:23.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

《静电安全防护要诀》一书自2007年9月出版以来，受到了广大读者的欢迎，在此感谢各位读者对本书的支持和热爱！为了帮助广大读者更好地学习静电安全知识，也为了更进一步增强本书的实用性，我们在第1版的基础上做一些修订和补充，对静电的测试和计算重新做了详细的介绍，加入了大量实用的图表，将一些过时的标准目录删除，并将静电学常用名词解释和定律做了更新整理。同时，还考虑到了一些热心读者的良好建议，一并做了修改，并再次向这些读者表示感谢！

我们相信修订后的《静电安全防护要诀》一定能帮助您技术进步，能力提高！

参加本书编写的还有马德明、郎丰坤、秦丽月、魏守昌、郎卫卫等，郎永强负责全书的统稿工作。

另外，限于自身能力，书中如有不当之处，敬请广大读者批评指正，以便再版时修改。

编著者

目 录

前言

第1章 静电的有关概念	1
1.1 静电学常用名词解释	1
1.1.1 电学、静电学基本概念	1
1.1.2 静电起电、静电积聚和静电消散	5
1.1.3 静电放电现象	9
1.1.4 防静电材料及制品	15
1.1.5 静电事故及其防护	17
1.2 静电感应与静电屏蔽	21
1.2.1 静电感应	21
1.2.2 静电屏蔽	23
1.2.3 法拉第筒(笼)	24
第2章 静电的产生和消散	27
2.1 静电的产生	27
2.1.1 液体静电的产生	27
2.1.2 固体静电的产生	37
2.1.3 粉体静电的产生	41
2.1.4 气体静电的产生	43
2.1.5 人体静电的产生	44
2.2 静电的消散	46

IV

2.2.1	静电的泄漏	46
2.2.2	静电的气体放电	47
2.2.3	静电耗散材料	53
2.2.4	静电绝缘材料	54
第3章	静电的危害	55
3.1	静电放电的特点	55
3.1.1	静电放电可形成高电位、强电场和瞬时脉冲大电流	55
3.1.2	静电放电过程会产生强烈的电磁辐射形成电磁脉冲	55
3.2	静电放电的类型	56
3.2.1	电晕放电	56
3.2.2	火花放电	57
3.2.3	刷形放电	58
3.2.4	传播型刷形放电	59
3.2.5	表面放电	60
3.2.6	电场辐射放电	60
3.3	静电效应的作用危害	61
3.3.1	静电力学效应的危害	61
3.3.2	静电放电热效应的危害	62
3.3.3	静电放电对人体的电击效应	63
3.3.4	静电的强电场效应危害	65
3.3.5	静电放电的电磁脉冲效应危害	65
3.4	静电放电引起的燃烧、爆炸危害	66
3.4.1	静电积聚的安全界限	66
3.4.2	静电的最小点火能量	67
3.5	静电对工业生产的危害	74
3.6	静电对电子行业的危害	76
3.6.1	静电放电对电子行业的危害形式	76

3.6.2	电子器件静电损伤的失效形式	78
3.6.3	电子器件静电放电损伤机理	81
3.7	静电危害的预测	84
第4章	静电的测试与计算	87
4.1	静电测试的重要性	87
4.1.1	影响静电测试的因素	87
4.1.2	静电测试的主要项目	89
4.2	基本静电参量的测试与计算	90
4.2.1	静电电量的测试与计算	90
4.2.2	用法拉第筒测试静电的方法	90
4.2.3	微小电流的测试	92
4.2.4	静电电压（电位）的测试与计算	96
4.2.5	静电电容的测试与计算	106
4.2.6	静电电压衰减时间的测试	111
4.2.7	电阻、电阻率的测试与计算	114
4.3	人体静电参量的测试与计算	128
4.3.1	佩戴腕带时人体对地电阻的测试	128
4.3.2	人体综合电阻测试	129
4.4	防静电设施及器具的性能测试	130
4.4.1	防静电工作服的性能测试	131
4.4.2	防静电鞋的性能测试	133
4.4.3	防静电腕带、鞋束（足跟带）静电性能 测试	134
4.4.4	工作椅、运转车、存放架、工作台的 对地电阻和表面电阻测试	136
4.4.5	手套、指套对地电阻的测试	138
4.4.6	防静电地板、地垫的测试	139
4.4.7	静电消除器消除静电能力的测试	140
4.4.8	防静电设施及器具的检测周期	143

4.5	防静电织物的性能测试	145
4.5.1	防静电织物摩擦起电电压的测试	146
4.5.2	防静电织物面电荷密度测试法	147
4.6	防静电包装材料的性能测试	149
4.6.1	防静电包装材料的静电屏蔽性测试	151
4.6.2	防静电包装材料静电泄漏（衰减）性能 的测试	154
4.6.3	防静电包装材料摩擦起电性能的测试	155
第5章	静电的控制及消除	157
5.1	静电控制法	157
5.1.1	减少静电荷的产生	157
5.1.2	降低静电场合的危险度	159
5.1.3	合理选择工艺过程的材料及设备	164
5.1.4	控制降低摩擦速度或流速	164
5.1.5	控制人体静电	165
5.1.6	静电屏蔽	170
5.2	静电泄漏法	174
5.2.1	自然泄漏法	174
5.2.2	防静电接地	175
5.2.3	增湿	178
5.2.4	添加抗静电剂	181
5.2.5	安装静电中和器	184
5.3	电子工业特殊生产环境内静电灾害的控制 及消除	212
5.3.1	生产环境内的静电防护要求	212
5.3.2	操作人员的静电防范要求	223
5.4	石化工业特殊环境内静电灾害的控制及消除	225
5.4.1	油罐区的静电防范要求	225
5.4.2	油罐车的静电防范措施	233

附录	237
附录 A 防静电标志牌	237
附录 B 防静电工作区内的防静电装备用品配置表	238
附录 C 静电防护三句半	240
参考文献	242

第 1 章 静电的有关概念

1.1 静电学常用名词解释

1.1.1 电学、静电学基本概念

1. 静电

一种处于相对稳定状态的电荷。由它所引起的磁场效应较之电场效应可以忽略不计（静电可由物质的接触与分离、静电感应、介质极化和带电微粒的附着等物理过程而产生）。

2. 静电学

研究静电的相互作用及其所呈现的有关现象的学科。

3. 静电场

静电荷在其周围空间所激发的电场。它是一种特殊的物质，其最基本的特征是对位于该场中的其他电荷施以作用力，且不随时间而改变。

4. 静电位

静电场的标量函数。其梯度冠以负号等于电场强度。静电场中某点的静电位值等于把单位正电荷从该点移至无限远处静电场力所做的功，它也等于单位正电荷在该点的电位能。

5. 静电感应

在静电场影响下引起物体上电荷重新分布的现象。

6. 库仑定律

表示两静止点电荷间相互作用力的定律。其值与两点电荷的电荷量的乘积成正比，而与它们距离的二次方成反比。同性电荷相斥，异性电荷相吸。力的方向沿着两个点电荷的连线。

7. 静电力

亦称库仑力。由于带电体的静电场作用，使其附近的带电体受到的电的作用力。

8. 静电现象

由于带电体的静电场作用而引起的静电放电、静电感应、介质极化以及静电力作用等诸物理现象的统称。

9. 导体的电容

导体的电荷除以其电位，假定所有其他导体的电位为零。

10. 电场强度

描述静电场本身性质的物理量。静电场中任一点的电场强度等于单位电荷在该点所受的作用力，其方向为单位正电荷在该点所受作用力的方向。

11. 电荷

组成实物的某些基本粒子（如质子和电子等）具有的固有属性之一。电荷有两种，即正电荷和负电荷。两静电荷之间存在相互作用，其相互作用规律是同性电荷相互排斥，异性电荷相互吸引。

注：因电荷的量值是以电量来度量的，依此意义，电荷是电量的同义语。

12. 体电荷密度

一体积元内包含的电荷与此体积元之比，当此体积的尺寸趋于零时的极限值。

13. 面电荷密度

一表面元内所包含的电荷与此表面元之比，当此表面的尺寸趋于零时的极限值。

14. 质量电荷密度

物质的单位质量所带的电荷量。

15. 导体

其内部具有大量的能够在电场作用下定向移动的带电粒子（电子、正负离子），因而能很好地传导电流的固态、液态或气态物体。

16. （电）绝缘体

其内部没有可以自由移动的带电粒子（电子、正负离子），因而不能传导电流的物体。

17. （电）介质

（电）绝缘体的学名。在外电场的作用下能发生极化是（电）介质的基本电学特性。

18. （电）（介质）极化

呈电中性状态的电介质，在外电场的作用下，其表面或内部出现正、负束缚电荷的现象。

19. 介电常数，电容率

描述电介质极化性能的物理量。其与电场强度之乘积等于电位移（电通密度）的一个标量或张量。

$$\epsilon E = D$$

注：各向同性介质电常数为—标量，而各向异性介质的介电常数为—张量。

20. 相对介电常数，相对电容率

一种介质的介电常数与真空的介电常数之比。

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \quad (\varepsilon_r \text{ 无量纲})$$

21. 电导率

表征材料导电性能的物理量。其与电场强度的乘积等于传导电流密度的一个标量或张量。

$$\sigma E = J$$

22. 静止电导率

绝缘性液体在静止的、不带电状态下的电导率。

23. 有效电导率

绝缘性液体带电后的电导率。

24. 电阻率

表征材料导电性能的物理量，其倒数为电导率。

25. (表) 面电阻率

沿试样表面电流方向的直流电场强度与单位长度的表面传导电流之比。

26. 体(积)电阻率

在试样体积电流方向的直流电场强度与该处电流密度之比。

27. (电) 中性体

在常态下，正负电荷数量相等（即电荷代数和为零），对外界不显示电的特性的物体或体系。

28. 带电体

正负电荷数量不相等（即电荷代数和不为零），对外界显示电的特性的物体或体系。

29. 带电体上的电荷

一个带电体中，一种极性的电荷的总量与另一种极性的

电荷的总量之代数和。

30. 带电区

带电体上积聚静电的部位。

31. 导电性

某些物质所具有的传导电流的性质。

1.1.2 静电起电、静电积聚和静电消散

1. (静电)起电

使电介质或绝缘导体产生静电荷的过程。

2. 摩擦起电

用摩擦的方法使两物体分别带有等值异号电荷的过程。

3. 冲流起电, 流动起电

液体类物质与固体类物质接触时, 在接触界面形成整体为电中性的偶电层。当此两物质作相对运动时, 由于偶电层被分离, 电中性受到破坏而出现的带电过程。

4. 剥离起电

剥离两个紧密结合的物体时引起电荷分离而使两物体分别带电的过程。

5. 喷射起电

固体、粉体、液体和气体类物质从小截面喷嘴高速喷射时, 由于微粒与喷嘴和空气发生迅速摩擦而使喷嘴和喷射物分别带电的过程。

6. 吸附起电

人体由于吸附场所中的带电微粒而使之产生静电的过程。

7. 沉降起电

各种固体微粒、液体、气体在相互混合接触时, 由于密

度差异发生沉降，使在不同物质交界面上形成的偶电层发生电荷分离而产生静电的过程。

8. 溅泼起电

溅泼液体时，微小的非湿润液滴落在物体表面并在其界面产生偶电层。由于液滴的惯性滚动而发生电荷分离，使液滴及物体分别带上不同符号电荷的过程。

9. 喷雾起电，飞沫起电

喷射在空间的液体类物质由于扩展分散和分离，使之形成许多微小液雾和新的界面，当此偶电层被分离时而产生静电的过程。

10. 感应起电

利用静电感应原理，使导体带电的过程。

11. 破裂起电

固体或粉体类物体破裂时发生电荷分离，由于正负电荷平衡受到破坏而产生静电的过程。

12. 碰撞起电，冲撞起电

粉体物体由于粒子与粒子或粒子与固体之间发生碰撞，形成快速的接触和分离而产生静电的过程。

13. 滴下起电

附着在器壁等处的固体表面上的珠状液体逐渐增大，由于自重形成液体（或小滴），在坠落脱离时而产生静电的过程。

14. 极化起电

在外电场作用下，由于介质极化而使其内部及界面上出现束缚电荷的过程。

15. 静电（起电）序列

根据两种物质相互接触时产生静电的极性，将各种物质

依次排成的序列（根据这种序列，前、后两种物质接触时，前者带正电，后者带负电）。

16. 功函数，逸出功

一个电子从金属或半导体表面逸出时克服势垒所必须做的功。

17. 接触电位差

在没有电流的情况下，两种媒质界面或两种不同种材料接触面间的电位差。

18. 偶电（荷）层

两种物质接触时，在界面上由于电荷迁移而出现大小相等、符号相反的两层电荷。

19. 沉降电位差，沉积电位差

当悬浮于液体中的微粒沉降时，产生沉降起电，使容器内液体的上、下部分分别带上异号电荷而形成的电位差。

20. 冲流电流，流动电流

在流动的液体中，由随液体而流动的电荷所形成的电流。

21. 固定（电荷）层

在固体-液体类接触界面所形成的偶电层中，紧密吸附于固体表面，与固体表面约一个分子直径距离，且不随液体流动的极薄的电荷层。

22. 扩散（电荷）

在固体-液体类接触界面所形成的偶电层中，深入液体内部具有扩散性分布，且随液体流动而移动的一种电荷层。

23. 静电电压

在固体-液体类接触界面所形成的偶电层中，固定（电荷）层与扩散（电荷）层之间的电位差。

24. 静电积聚

由于某种起电使电介质或绝缘体上产生电荷的速率超过电荷的消散速率而在其上呈现同性电荷的积累过程。

25. 静电消散

带电体上的电荷由于静电中和、静电泄漏和静电放电而使之部分或全部消失的现象。

26. 静电中和

带电体上的电荷与其内部和外部相反符号的电荷（电子或离子）的复合而使所带静电部分或全部消失的现象。

27. 静电泄漏

指带电体上的电荷通过带电体内部和其表面等途径而使之部分或全部消失的现象。

28. 泄漏电流

指带电体上的电荷通过各种泄漏途径向大地泄漏的电流。

29. 杂散电流

任何不按制定的通路而流动的电流，这些非制定的通路可以是大地、与大地接触的管线和其他金属物体或构筑物。

30. （电荷）弛豫时间，（电荷）缓和时

带电体上的电荷（或电位）消散（或下降）至其初始值的 $1/e$ 时所需要的时间。

31. （电荷）半值时间，（电荷）半衰期

带电体上的电荷（或电位）消散（或下降）至其初始值的一半时所需要的时间。

32. 静置时间