

中国兵器工业总公司质量技安局

安全技术普及教育系列教材之五

静电危害及其防护

王万禄 编

兵器工业出版社

中国兵器工业总公司质量技安局
安全技术普及教育系列教材之四

静电危害及其防护

王万禄 编

兵器工业出版社

(京)新登字049号

内 容 简 介

《静电危害及其防护》一书是以物理知识为主干,介绍了与静电学有关的电学基础知识;紧密结合工业生产的实际情况,阐述固体、粉体、液体等物料在生产工艺过程的加工、贮运中静电的产生、积累和流散的物理过程以及与静电密度密切相关的物理参量的测量方法和仪器设备。介绍了感度的概念和静电感度的测量方法。工业生产中的静电危害及其防护是本书的重点,通过大量实例的介绍和分析,论述了静电成灾的原因及针对性防灾措施。对自然界强有力的静电放电现象——雷电也作了介绍。

本书可作为职工安全技术教育的培训教材,也可供工业企业工程技术人员、管理人员、技安干部、大专院校安全工程专业师生参考。

静电危害及其防护

王万禄 编

*

兵器工业出版社 出版发行

(北京市海淀区车道沟10号)

太原机械学院印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/32 印张: 8.75 字数: 200千字

1992年3月第1版 1992年3月第1次印刷

印数: 1—3000 定价: 4.30元

ISBN 7-80038-513-2/Z·24

前 言

“安全第一，预防为主”的方针，反映了党与政府为人民服务的根本宗旨，是代表国家和人民长远利益的一项基本国策。兵器工业是易燃易爆危险性大、发生事故后果严重的行业，因而安全生产工作更具有特殊重要性。正因如此，我们兵器工业历来就有重视安全生产的好传统，当然这也是通过历史上一次又一次血的事故教训之后逐步形成的。当前，兵器工业正处在保军转民，建立军民结合新体制的第二次创业时期，产品结构的调整，新老人员更替，安全技术不断发展，新技术不断引进，更加重了安全技术教育培训的任务。我们必须采取多种形式，提高全体职工的安全生产意识和安全技术素质，以保障职工在劳动生产过程中的安全和健康，圆满地完成党和国家交给我们的军民品生产和科研任务，在治理整顿、深化改革的新形势下，开创兵工安全生产新局面。为此，中国兵器工业总公司质量技安局组织山西地区具有高级职称的工程技术人员和高校教授、副教授，编写了这套“安全技术普及教育系列教材”，共九个分册：

《法规与安全生产》

《安全工程学基础》

《安全评价基础》

《静电危害及其防护》

《危险货物的安全储运》

《防爆安全技术》

《三级安全教育》

《锅炉压力容器安全管理》

《防火与灭火》

这套系列教材的特点是，力求突出科学性、实用性、新颖性和系统性，对通用安全技术和管 理，有较全面的阐述，是一套通用的安全技术普及教育系列教材。但各册相对独立，自立其义，读者通读断览，各取其便。希望系列教材的出版会对读者有所帮助。

本系列教材在编委会指导下，确定了各分册的编写分工、编写大纲、主审人、特约编辑。编者在广泛搜集资料 and 调查研究的基础上，写出了初稿，并经过多次会议讨论修改。作者根据会议要求修稿后，由主编陆庆武同志审核统稿，最后由中国兵器工业总公司质量技安局解艾兰、张国顺、李淑新等同志终审定稿。

本系列教材在编写过程中，得到兵器工业出版社有关领导和编辑的多次指导，也得到山西省国防科工办、有关工厂、院校的领导和同志的大力支持。各册作者、主审人、特约编辑以及主编和审定的同志，基本上是利用业余时间写作和审稿的，做了大量工作，付出了辛勤劳动，完成了编审任务。尽管如此，由于编者和审稿者水平有限，书中错误和疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

中国兵器工业总公司
质 量 技 安 局
1990 年 8 月 10 日

编 者 的 话

《静电危害及其防护》一书，通过与静电学有关的电学知识介绍，阐述固体、粉体、液体等物质在生产加工、贮运中静电的产生、积累和流散的物理过程；介绍与静电密切相关的物理参量测量方法和仪器设备；通过大量静电成灾的实际事例的介绍与分析，论述了静电的危害及其针对性的防灾措施。

本书在编著过程中，国营晋东化工厂、国营庆阳化工厂、国营庆华电器厂等单位提供了不少宝贵资料。中国物理学会静电专业委员会主任委员、北京理工大学李瑞年教授对全书进行主审，太原机械学院副院长刘镇宁副教授和国营庆华电器厂柯林高级工程师作为本书的特邀编辑对全书进行了审阅，主编陆庆武教授以及参加本书审定的解艾兰、张国顺、李树行、李淑新、康维勇、张景林、王晚春、王文佑、周富林等同志都提出了宝贵的修改意见。对他们的热忱帮助表示衷心感谢。在编写过程中，得到太原机械学院及其专科部、山西机床厂、晋东化工厂、卫东化工厂、兴安化学材料厂以及北京理工大学、华东工程学院、机电部 217 所等单位有关同志的大力支持，在此表示诚挚的谢意。

由于本人水平有限、再加时间仓促，书中错误在所难免，欢迎广大读者批评指正。

目 录

绪论	(1)
第一章 电学基础知识	(4)
第一节 电荷与电量	(4)
第二节 库仑定律 电场 电场强度	(5)
第三节 电位与电位差	(8)
第四节 介质的极化	(11)
第五节 静电场中的导体	(14)
第六节 导体的电容	(17)
第七节 欧姆定律 电阻 电阻率	(24)
第八节 静电能量	(27)
第二章 静电的起电和放电	(28)
第一节 固体起电	(28)
第二节 粉体带电	(33)
第三节 液体静电	(63)
第四节 气体静电	(73)
第五节 人体静电	(73)
第六节 其它形式起电	(81)
第七节 静电的流散	(83)
第三章 静电测量方法与仪器设备	(91)
第一节 静电电位的测量	(91)
第二节 静电电量的测量	(104)
第三节 静电电荷密度的测量	(108)
第四节 静电电流的测量	(110)

第五节	放电火花电量的测量·····	(111)
第六节	放电时间常数的测量·····	(115)
第七节	电阻和电阻率的测量·····	(118)
第八节	电容的测量·····	(130)
第九节	介电常数的测量·····	(132)
第十节	电感的测量·····	(133)
第四章	静电感度·····	(135)
第一节	静电感度概念和分类·····	(135)
第二节	静电感度的试验方法及数据处理·····	(138)
第三节	可燃性气体(蒸气)与空气混合物的静电感度 ·····	(140)
第四节	火炸药的静电感度·····	(146)
第五节	火工品的静电感度·····	(153)
第六节	影响发火能的主要因素·····	(156)
第七节	最小点火能的确定·····	(168)
第五章	静电危害·····	(169)
第一节	静电放电引起的燃烧、爆炸事故·····	(169)
第二节	人体电击·····	(187)
第三节	静电引起的生产故障·····	(190)
第四节	静电放电引起仪器误动作·····	(192)
第六章	静电安全防护·····	(197)
第一节	生产工艺和设备的控制·····	(197)
第二节	静电接地·····	(205)
第三节	增加湿度·····	(215)
第四节	采用抗静电剂消除静电·····	(220)
第五节	正负电荷中和消除静电·····	(223)
第六节	防止形成爆炸性混合物·····	(233)

第七节	人体静电的防护	(235)
第八节	静电安全管理	(240)
第七章	雷电及其防护	(243)
第一节	雷电的种类及其危害	(244)
第二节	建(构)筑物防雷等级划分与防雷措施	(248)
第三节	防雷装置	(253)
第四节	防雷装置的检查管理	(257)
附录		(259)
附表1	部分物质电阻率	(259)
附表2	部分气体、液体和固体介质的相对介电常数	(261)
附表3	部分气体和蒸气与空气混合物的最小点火能	(262)
附表4	部分可燃性气体、蒸气的引燃危险性(和空气 混合)	(263)
附表5	部分可燃性气体的引燃危险性(和氧混合)	(264)
附表6	部分粉尘云和粉尘层的最小点燃能量	(264)
附表7	合成树脂粉体最小点燃能量与颗粒大小之间的 关系	(265)
附表8	部分可燃气体与液体的闪点、自燃点与爆炸极 限	(266)
附表9	某些粉尘与空气混合的爆炸下限	(267)
附表10	可燃混合物用惰性气体稀释后不发生爆炸时氧 的最高含量(21℃, 1个大气压下)	(268)
附表11	部分固体介质的导电性和击穿场强	(269)
附表12	典型静电序列	(270)
主要参考文献		(271)

绪 论

人类对静电的认识是从研究静电现象开始的。雷电实质上就是大自然中一种强有力的静电放电现象。

日常生活和生产实践中，静电问题十分普遍。在北方的干燥季节，当你脱下化纤外衣或毛衣时，可以听到“劈啪”的放电声，在黑暗的地方可以看到密密麻麻的放电火花，当你再把衣服挂到金属衣架上时，会使你感到麻电；当你穿着塑料拖鞋在地毯上或塑料贴面、地板革之类的地面上行走，然后去接触水、暖、气等金属管道或者门的金属拉手，或者和刚进门的客人握手，都可以发生静电放电，给人以电击的感觉等等，这些现象都是生活中常见的静电现象。传送或接触分离中的固体材料（如纸张、塑料膜、传送带、皮带轮带等）；输送、粉碎、搅拌中的粉体物质（如火、化工生产中的制药等）；流动或冲刷中的液体（输油管道、油舱冲洗等）；高速喷射的蒸气或气体等等都会产生和积累大量的静电。在石油、化工、纺织、造纸、印刷、橡胶、电子、医药等行业中是屡见不鲜的，在军工生产中也很严重。

宇宙间一切物质都在不停地运动。构成物质的带有正负电荷的基本粒子也在不停地运动。静电是通过电子或离子的转移而形成，当然也不是绝对静止的。我们所说的“静电”是与流动的电相比较而言的。静电是正电荷和负电荷在局部范围内失去平衡，对外显示出带正电或带负电，是在宏观范围内暂时相对静止的电荷。静电荷周围的电场是稳定的静电场。材料界面上运动着的电荷达到一定动态平衡时，其周围

的电场也是稳定的静电场，这样的电荷也应该看作静电。

生产工艺过程中产生静电会带来严重的危害。在点火能量低的易燃易爆物品的生产场所，微弱的静电放电火花就可以引起活性介质的燃烧或爆炸，造成生命财产的重大损失；油罐、苯液及其它易燃易爆液体、氢气、煤气等易燃易爆气体和巨型油轮的爆炸等静电成灾事例不胜枚举。静电放电可能使人体遭受电击，虽然不致直接使人致命，但可能由此引起严重的二次事故。电击使工作人员精神紧张，很不利于安全生产；由于静电电场力的作用，使纺织、印刷、化纤、粉体加工、火工品装压药等的正常生产和产品质量受到很大影响；由于静电放电使电子器件击穿，造成计算机及其控制的设备正常工作受到严重干扰，从而使自动化生产失控，甚至使导弹、火箭发射失败。因此，在现代生产和科研中，静电造成的危害不能低估。

防静电危害的研究，是当代工业生产中安全技术研究课题之一。特别是随着新技术、新材料、新工艺、新设备的迅速发展，静电的矛盾更加突出。国内外学者近30年来对静电这门学科的研究做了很多工作，在静电应用、静电防灾等领域都有较大进展。大大推动静电学的发展。

《静电危害及其防护》一书是中国兵器工业总公司组织编写的安全教育系列教材中的一册。全书共分七章。第一章简要介绍与静电学有关的电学基础知识，它对于了解静电的产生、流散、积累的机理和理解生产工艺过程中的静电现象，对于静电的测量，对于研究静电的危害和防护措施的实施以及静电的应用，都是十分重要的。第二章结合生产实际，尤其是军工生产中的静电问题，着重介绍了固体、液体、粉体、人体以及其它形式产生静电的物理过程，还简单

介绍了静电的流散和积累的物理过程及其规律。静电起电、积累和流散规律是十分复杂的，必须要定量掌握生产过程中的静电现象才能对防灾有实际意义，所以对静电有关物理量的监测是静电安全十分重要的环节。本书第三章专门介绍静电参数的测试及其所用仪器设备。评估生产工艺过程安全与否，必须要了解掌握被加工介质的最小点火能量，而介质最小点火能的测量技术也是十分重要的。第四章专门介绍最小点火能的概念、测量方法等有关问题。第五章通过对大量实例的分析，介绍了静电在许多行业造成的危害。第六章着重论述防静电灾害的原则和通用的防护措施。第七章介绍了雷电及其防护。此外，为便于查阅有关数据，本书还编入了一些与静电安全密切相关的技术资料。

广大读者因专业、工种、文化水平、技术领域不同，而对书中的内容有不同要求，因此，在编写过程中，力求通俗易懂，以便扩大本书的适用范围。本书可作为广大职工，特别是火化工行业职工安全培训教材。对工程技术人员、安全管理干部和从事静电教学、科研的人员也有重要参考价值。

必须指出：静电应用在近年来有很大发展，如静电除尘、静电植线、静电分选、静电喷涂、静电生物效应等。只要我们掌握静电发生发展的规律，兴利除弊，人们不仅要看到静电危害的一面，也可以利用静电原理造福于人类。

第一章 电学基础知识

第一节 电荷与电量

一、物质的电结构

宇宙间一切物质，不论是气态、液态还是固态，都是由分子组成的。分子是由原子组成的。而原子是由原子核和围绕原子核不停运动的电子组成。原子核由一定数量的质子和中子组成。质子带正电，中子不带电，电子带有负电荷。一个电子的电量是自然界中存在的最小电量。带电体所带电量是电子电量的整数倍。一个电子的电量很小，只有 1.6×10^{-19} 库仑。

电荷的数量称为电量，电量的单位是库仑。在正常情况下，由于原子核所带的正电与核外的电子所带的负电相互吸引，原子中的电子是不能脱离原子的。核外的电子数和核内的质子数是相等的，等量的正负电荷中和，使得原子通常呈电中性。

呈电中性的原子、原子团或分子失去电子或得到电子时，它们的正负电荷不再相等，分别变成带正电或带负电。因此，当物体中的正负电荷在一定条件下相互分离并发生转移时，物体就“带电”了。由于通常是电子转移，所以两物体接触（或摩擦）分离后，得电子的物体带负电，失电子的物体带正电。不同的物质得电子或失电子的能力不同，因此，有些物质易于带正电，有些则易于带负电。

二、电量守恒定律

当一个物体所带正电荷与负电荷相等时，该物体就不显

带电特性，叫做电中性。如果跟另一物体接触分离后，带上了一种电荷，则另一物体必带有相反的电荷，且数量相等。两中性物体接触分离后，一个物体失去电子带了正电，则另一物体必得到这些电子而带有数量相等的负电。因此，系统内电量的代数和总是保持不变的。这就叫做电量守恒定律。

第二节 库仑定律 电场 电场强度

一、库仑定律

电荷之间有相互作用力，即同性电荷相排斥，异性电荷相吸引。

在真空中，两个点电荷通过电场互相作用时，作用力 F 的大小与它们所带电量 Q_1 和 Q_2 的乘积成正比，与它们之间的距离 r 的平方成反比，即

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (\text{N}) \quad (1-1)$$

作用力的方向沿着两个点电荷连线的方向。如果 Q_1 和 Q_2 是同性电荷，则作用力 F 为斥力；如果 Q_1 和 Q_2 是异性电荷，则作用力 F 为吸力。这就叫库仑定律。

表达式中 K 是比例常数，其大小和单位与所采用的单位制有关。在国际单位制中，电量的单位是C，长度单位是m，力的单位是N，则在真空中，

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

式中 ϵ_0 叫做真空中介电常数，其大小为

$$\epsilon_0 = 8.845 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / (\text{N} \cdot \text{m}^2) = 8.845 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

将 K 代入前式，可以得到

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (\text{N}) \quad (1-2)$$

库仑定律是以研究点电荷开始的。这是指带电体的尺寸比带电体之间的距离小得多，而可以看作是集中在没有体积的一点上的电荷。

〔例题1〕真空中两带电小球，电量分别为 $q_1 = 5 \times 10^{-9} \text{C}$ 和 $q_2 = -3 \times 10^{-8} \text{C}$ ，距离为 10cm ，求相互作用力 F 。

解：因为 $r = 10 \text{cm} = 0.1 \text{m}$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 (\text{N} \cdot \text{m}^2) / \text{C}^2$$

$$\begin{aligned} \text{所以 } F &= 9 \times 10^9 \frac{(\text{N} \cdot \text{m}^2)}{\text{C}^2} \cdot \frac{5 \times 10^{-9} \text{C} \times (-3 \times 10^{-8} \text{C})}{(0.1)^2 \text{m}^2} \\ &= -1.35 \times 10^{-4} \text{N} (\text{吸力}) \end{aligned}$$

二、电场强度

静止电荷周围的空间，叫做电场。当把其它电荷放入电场时，该电荷就受到力的作用。为了定量地反映电荷周围各点电场的强弱，表征电场各点的性质，引进一个新的物理量——电场强度。

设一个试验电荷 q_0 在电场中所受的静电力为， F 则

$$E = \frac{F}{q_0} (\text{N/C}) \quad (1-3)$$

称为电场中 q_0 所在地点的电场强度。它在数值和方向上都等同于单位正电荷在该点所受的静电力。

〔例题2〕真空中有一点电荷 $q = 5 \times 10^{-9} \text{C}$ 。试计算在距离它为 $r = 20 \text{cm}$ 的地方（如图1-1A点）的电场强度 E 。

解：由库仑定律(1-3)式可知，单位正电荷在A点所受的

力即场强 E 为

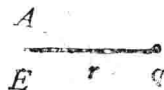


图1-1

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0 r^2} \quad \text{在真空中 } \epsilon_r = 1$$

$$\begin{aligned} \text{所以 } E &= 9 \times 10^9 \frac{(\text{N} \cdot \text{m}^2)}{\text{C}^2} \cdot \frac{5 \times 10^{-9} \text{C}}{(0.2)^2 \text{m}^2} \\ &= 1.125 \times 10^8 \text{N/C} \\ &= 1.125 \times 10^8 \text{V/m} \end{aligned}$$

电场强度是矢量，其方向与试验正电荷受力方向是一致的。

同电场力一样，电场强度也符合叠加原理。如果空间有许多个电荷，则某点 A 的电场强度 E 等于几个点电荷分别在 A 点产生的电场强度 E_1 、 $E_2 \cdots E_n$ 的矢量和。

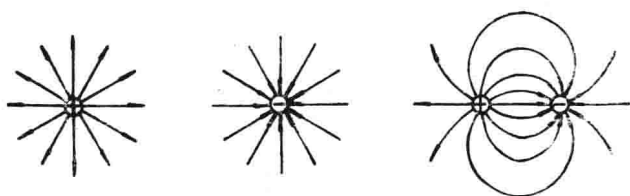
三、电力线

电力线是形象地表示电场分布的常用图线之一。它具有如下性质：

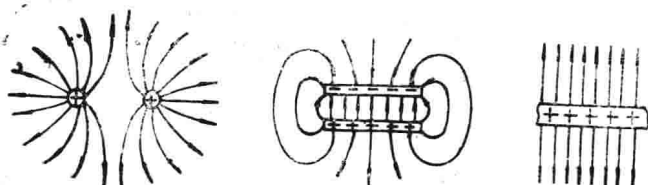
(一) 既不闭合，也不中断，起始于正电荷，中止于负电荷；

(二) 任何电力线都不会相交。

电力线上某点切线方向即该点电场强度的方向；电力线的疏密程度即表示电场强度的大小，即垂直穿过单位面积的电力线根数与该面积法线方向的电场强度成正比。显而易见，均匀电场的电力线是相互平行、疏密程度相同的电力线。图1-2是几种简单电场的电力线。



a—正点电荷 b—负点电荷 c—等值正、负电荷



d—等值正点电荷 e—带异性电荷平板 f—无限大带正电平板

图1-2 简单电场的电力线

第三节 电位与电位差

电荷在电场力的作用下发生运动时，电场力即对电荷做功，这同物体在机械力作用下发生运动的情况是相似的。

一、电场力的功

如图1-3所示

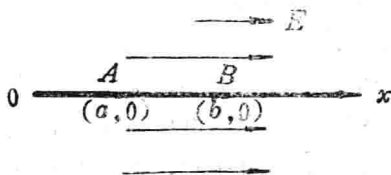


图1-3