

劳动保护丛书

JING DIAN
AN QUAN
JI SHU

杨有启 编

静电安全技术

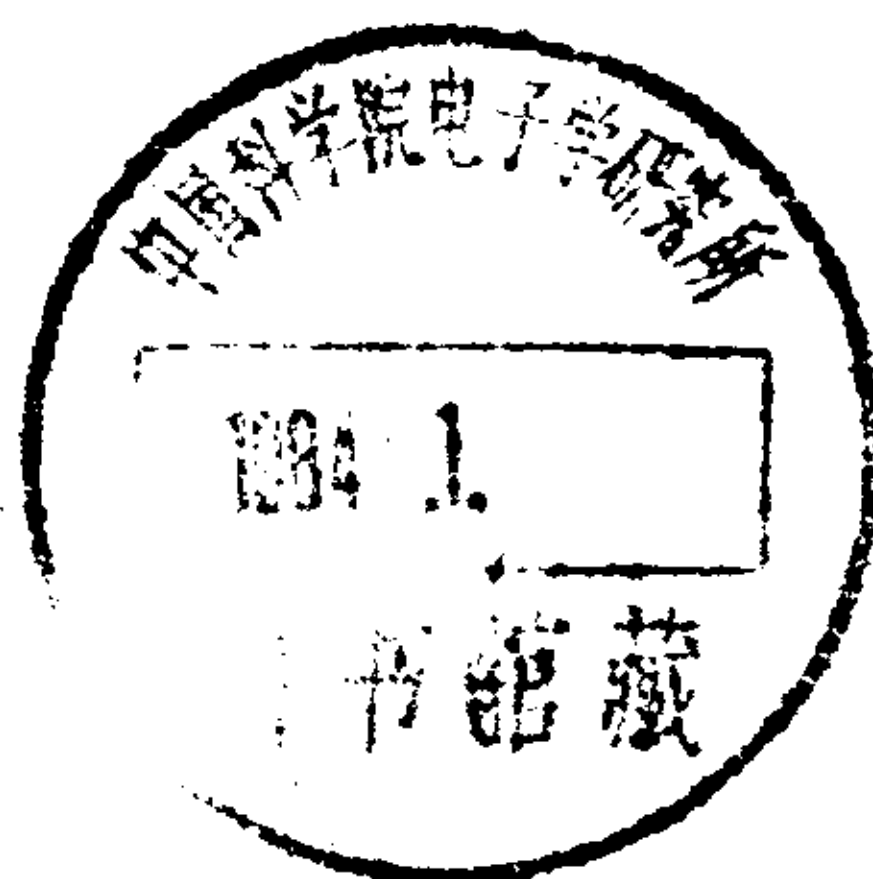
化学工业出版社

73.29
722

劳动保护丛书

静电安全技术

杨有启 编



化学工业出版社

1111108

11633-131
内 容 提 要

本书系统地介绍了各种静电的机理、研究方法和防护技术。全书共分六章，第一章介绍研究静电的基本理论和数学方法；第二章介绍静电产生和消失的物理过程和计算方法；第三章介绍和分析静电的危害；第四章介绍各种静电安全防护技术；第五章介绍各种有关静电的测量方法；第六章介绍防雷安全技术。为了便于查阅、分析、计算等实际应用，本书编入了有关静电的常用资料、公式、曲线图和图表，还编入了部分计算例题等。

本书可供与静电有关的生产技术人员、安全技术干部、电气技术工人以及科研人员和教学人员参考，并可作为静电安全方面的培训教材。

劳动保护丛书

静电安全技术

杨有启 编

化学工业出版社出版

(北京和平门内大街十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $11^{3/4}$ 插页1 字数257千字印数1-22,110

1983年9月北京第1版1983年9月北京第1次印刷

统一书号15063·3508定价1.25元

出版说明

建国三十年来，我国的劳动保护工作取得了很大成绩。企业里劳动条件有了很大的改善，职工伤亡事故、职业病和职业中毒显著下降，从而保障了广大职工在生产中的安全与健康，促进了我国社会主义建设的发展。这充分显示了我国社会主义制度的无比优越性。

1975年全国安全生产会议纪要中指出：为了搞好安全生产，作好劳动保护工作，对职工群众要加强安全教育，“对特殊工种工人，要进行专业安全技术训练”。为了适应这一需要，我们着手出版一套《劳动保护丛书》，这套丛书包括《用电安全技术》、《起重机及其安全技术》、《工业锅炉安全技术》、《焊接安全技术》、《工业噪声控制》、《通风除尘》、《工业防毒技术》、《压力容器安全技术》，并增加了《静电安全技术》一书。

《丛书》可作为生产工人和技安人员的安全培训教材，也可供其他工作人员参考。

化学工业出版社

一九八〇年六月

前 言

人们对电的认识是从静电开始的。雷电实质上就是大自然中一种强有力的静电放电现象。古书中所谓“顿牟掇芥”，即琥珀（顿牟）吸引轻小物体（掇芥）的记载实质上就是静电现象的记载。

静电现象是十分普遍的电现象。用胶木梳子梳头时可能听到轻微的放电声、脱下毛衣或化纤衣服时除可能听到放电声外，在黑暗的地方还可能看到放电的闪光、穿着塑料底鞋行走在地毯上的人与地毯以外的人或物接触时可能发生放电，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。在生产中，传送或分离中的固体绝缘材料、输送或搅拌中的粉体材料、流动或冲刷中的绝缘液体、高速喷射的蒸气或气体都会产生和积累危险的静电。这在化工、石油、橡胶、纺织、印刷、电子等行业里是屡见不鲜的。

静电是通过电子或离子的转移形成的。构成物质基本粒子之一的电子不停的运动使得不存在绝对静止的电。我们所说的静电当然不是绝对静止的电。静电是与流电相比较而言的。静电是正电荷和负电荷在局部范围内失去平衡的结果。静电是在宏观范围内暂时相对静止的电。静电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是静电。

生产工艺过程中产生的静电有时会带来严重的危害，甚

至造成极为严重的灾害。在充满活性介质的生产场所，微弱的静电放电火花即可能引起迅猛的火灾或强烈的爆炸，造成生命财产的重大损失。苯罐及其他易燃液体、易燃气体容器爆炸、药粉及其他粉体爆炸、巨型油轮爆炸等静电成灾的例子是很多的。通过人体的静电放电，可能使人遭受电击。由生产工艺过程中的静电造成的静电电击虽然不致直接使人致命，但可能由此引起严重得多的二次事故；还会使工作人员精神紧张，不利于安全生产。橡胶、塑料等行业及其他有固体摩擦和分离过程的行业，可能发生比较强烈的电击。由于静电电场力的作用，化纤、印染、粉体加工等行业的正常生产可能受到很大的影响；由于静电放电，无线电通讯等电子设备的正常工作可能受到严重的干扰等等。静电的种种危害迫使人们不得不下功夫去研究它。特别是随着化学工业、石油工业、电子工业等现代工业的迅速发展，随着高分子材料的广泛应用，静电的危害变得非常突出，这使得静电研究工作在近二十多年来获得了较大的发展。再者，由于静电与流电有着不同的特点，静电安全与流电安全有着不同的防护技术，想要防止和消除静电的危害，不专门研究静电是不行的。

静电技术在生产上也得到了一定范围的应用，如静电除尘、静电分离、静电喷漆、静电植绒、静电复印等，都是应用静电技术的例子。但是，与流电技术比较起来，静电技术的应用要晚得多、应用的面也要窄得多。因此，虽然人们认识流电很久以前就认识了静电，而对静电的研究却远远落后于对流电的研究。

由于研究静电的时间还比较短，加之静电的规律又比较复杂，以致这门学科至今尚未成熟，还是一门年轻的、正在

发展之中的学科。

研究静电要做多种多样的工作：包括调查研究、现场测定、实验分析、理论推导等等。鉴于电荷与电场总是联系在一起的，静电的危害又都是同静电场的特征联系在一起的，本书第一章静电基础简要介绍了静电场的一些经典理论。了解静电产生和消失的机理对于研究静电和防止静电危害也是十分重要的，本书第二章着重介绍了不同状态物质静电产生的物理过程和一些定量计算方法；还介绍了与静电产生相反的效应，即静电消失的物理过程和计算方法。为了充分了解静电的危害，本书第三章介绍了静电危害的特点、种类和形成条件。本书第四章集中介绍了防止静电危害的措施，包括抑制静电产生的措施，也包括静电产生后，设法消除危险静电的措施。因为静电起电规律十分复杂，所以，对与静电有关的物理量的监测和测量是静电安全十分重要的一环。因此，本书第五章专门介绍静电测量技术。雷电是大自然中的静电现象，雷电与工艺过程中产生的静电有相似的特点，雷电防护措施与静电防护措施也有很多相似之处。因此，本书第六章介绍了雷电的性质和危害，并着重介绍了防雷装置和防雷措施。此外，为了便于查阅，本书附录编入了一些与静电安全密切相关的技术资料。

因为不同部门、不同工种、不同文化程度、不同科技水平的工作人员都可能遇到静电问题，而不同的读者对书本内容有着不同的要求，所以，在本书编写中，在不影响全书系统性的前提下，尽量考虑到深浅兼顾的原则，力求提高本书各部分的实用范围。例如，第四、五、六章没有复杂的计算和理论推导，第二、三章虽有一些理论分析和数学计算，但编有必要的计算例题，以便中等以上科技人员阅读；第一章

目 录

第一章 静电基础	1
第一节 物质的电性质	1
一、原子	1
二、分子	3
三、导体和绝缘体	5
四、高分子化合物	6
第二节 电荷和电场	9
一、电荷与能量守恒定律	10
二、库仑定律	11
三、电场强度	14
第三节 高斯定理	19
一、电场强度通量	19
二、高斯定理	20
三、高斯定理的应用	23
第四节 电位	28
一、电场力的功	28
二、电压	30
三、电位	30
四、电位的计算	33
第五节 电场中的电介质	36
一、电介质的极化	36
二、电介质的介电常数	37
三、电介质的电阻率	42
第六节 静电场中的导体	44

一、导体静电平衡的特点	44
二 静电感应	45
三、静电屏蔽	46
第七节 电容	48
一、电容的计算	48
二、电容串联和并联	60
三、电容器充电和放电	62
第八节 静电能量	66
一、电场能量和电场能量密度	66
二、静电力	70
第九节 静电场的基本方程式	72
一、静电场计算的基本问题	72
二、静电场方程组	72
第二章 静电的产生和消失	79
第一节 静电起电的基本过程	79
一、双电层和接触电 位差	80
二、吸附带电	84
三、电 解起电	85
四、压电 效应起电	85
五、感应起电	87
第二节 固体静电	89
一、固体静电的产生	89
二、界面上的电荷密度	92
三、人体静电	96
四、固体静电的积累	98
第三节 粉体静电	101
一、粉体静电 的产生	101
二、粉体气力输送静电的计算	105
第四节 液体静电	112

一、液体静电的产生	112
二、液体静电的计算	113
三、影响液体静电的因素	121
第五节 蒸气和气体静电	124
第六节 静电的消失	125
一、静电中和	125
二、静电泄漏	129
第三章 静电危害	132
第一节 静电的特点	132
一、静电电压的特点	133
二、静电泄漏的特点	135
三、感应静电放电的特点	135
第二节 静电爆炸和火灾	136
一、静电爆炸和火灾事故实例及分析	136
二、静电爆炸和火灾发生的条件	142
三、燃烧和爆炸的基本过程	145
四、危险物品的性能参数	153
第三节 静电电击	169
第四节 静电对生产的影响	173
第四章 静电安全防护	176
第一节 场所危险程度的控制	177
一、取代易燃介质	177
二、降低爆炸性混合物浓度	178
三、减少氧化剂含量	178
第二节 工艺控制	180
一、材料的选用	180
二、降低摩擦速度或流速	181
三、增强静电消散过程	183
四、消除附加静电	186

第三节 接地	188
一、导体接地	188
二、导电覆盖层	193
三、导电性地面	193
四、消除人体静电	195
第四节 增湿	196
第五节 抗静电剂	199
第六节 静电中和器	202
一、感应式中和器	203
二、高压中和器	213
三、放射线中和器	224
四、离子流中和器	227
第五章 静电测量	233
第一节 静电电压的测量	234
一、电压的检验	234
二、接触式仪表测量电压	235
三、感应式仪表测量电压	237
四、集电式仪表测量电压	249
第二节 静电电量的测量	251
一、导体电量的测量	251
二、绝缘体电量的测量	252
第三节 静电电荷密度的测量	254
一、面电荷密度测量	254
二、体电荷密度测量	257
第四节 静电电流的测量	259
一、测量仪表及其安全要求	259
二、电流测量方法	259
第五节 静电放电电量的测量	264
一、冲击电流计测量	264

二、示波器测量	265
三、静电电压表测量	267
第六节 静电时间常数的测量	268
第七节 电阻的测量	269
一、绝缘电阻测量	269
二、接地电阻测量	272
三、人体电阻测试	273
第八节 电阻率和导电率的测量	274
一、固体电阻率测量	274
二、液体导电率测量	277
三、粉体导电率测量	279
第九节 电容的测量	280
一、交流测量法	280
二、直流测量法	282
第十节 介电常数的测量	284
一、电容法和电容比较法	284
二、泄漏法	286
第六章 防雷	288
第一节 概述	288
一、雷电形成及分类	288
二、雷电参数及测量	291
三、雷电的危害	297
四、建筑物和构筑物分类	298
第二节 防雷装置	301
一、接闪器	301
二、避雷器	309
三、放电记录器	318
四、引下线	319
五、接地装置	320

六、电离防雷装置	332
七、防雷装置检查	334
第三节 防雷措施	335
一、直击雷防护措施	335
二、雷电感应防护措施	340
三、雷电侵入波防护措施	341
四、人身防雷措施	349

附 录

附录一 电磁学单位	350
附录二 橡胶的电气性能	351
附录三 塑料的电气性能	352
附录四 绝缘油的电气性能	355
附录五 静电序列	356
附录六 液体粘度	357
附录七 可燃物质燃烧温度	358
附录八 爆炸压力及其增长速度	358
附录九 人体电阻	359
附录十 全国年平均雷暴日数分布图	插页
主要参考文献	

第一章 静 电 基 础

大家知道，生产上和生活上广泛应用的是流电，即交流电和直流电。对于流电，极小的带电粒子沿着一定的途径不停地运动。这里要研究的静电与流电不同，静电的带电粒子一般没有定向的运动。但是，不要误认为静电就是静止的电。自然界也不存在绝对静止的、永恒不变的电。所谓静电，只不过是与流电比较起来，宏观上暂时停留在某处的电。

静电产生的过程、静电消失的过程、静电危害的方式、静电的安全措施和测量均与流电大不相同。同时，在研究静电过程中所遇到的一些概念，如绝缘、电荷移动等概念与流电比较也不尽相同。因此，为了防止和消除静电的危害，不能采取一般流电领域应用的常规方法，而必须探索一些新的方法。这就要求对静电的物理性质、对静电和静电场的一些规律预先进行必要的研究。这就是本章的任务。

第一节 物质的电性质

气态、液态或固态物质都是由分子组成的。分子是由原子组成的。而原子又是由原子核和核外的电子组成的。由此可见，电是物质的重要属性之一。

一、原 子

原子是组成分子的基本单元。原子中心有一原子核，外围有若干个绕着核运动的电子。

1111109

原子核由一定数量的两种基本粒子——质子和中子组成。质子带正电，中子不带电。原子核外的电子也是基本粒子之一。电子带有负电。一个电子的电量是自然界中存在的最小电量。这就是说，带电物体所带电量必须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，即1库仑电量相当 6.3×10^{18} 个电子所带电量的绝对值之和。

由实验测得，原子的直径约为 10^{-8} 厘米数量级，电子的直径约为 10^{-13} 厘米数量级，原子核的直径约为 $10^{-14} \sim 10^{-12}$ 厘米数量级。如果把原子假想为一个直径10米的大球，那末原子核不过只有针尖那样大小罢了。

质子和中子的静止质量约 1.67×10^{-24} 克。电子的质量仅 9.1×10^{-28} 克，差不多是质子质量的 $\frac{1}{1840}$ 。由此可见，

原子的质量几乎全部集中在原子核内。

在正常情况下，由于原子核的正电与核外电子的负电相互吸引，原子中的电子是不能脱离原子的。而且核外电子数与核内质子数是相等的，即负电和正电是相等的，使得原子保持为中性粒子。

附带说明一下，由于原子中的电子总是不停运动的，有绕核的运动，也有自旋运动，使得物质除具有电的性质外，还具有磁的性质。

原子核外电子的运动情况是很复杂的，电子也没有宏观中那样恒定的轨迹，但电子的能量有一定值。各电子能量不同，呈跳跃式变化。这就是说，原子核外的电子各处于一定的能级。因此，按照电子所处的能级，可将其看作分布在不同的层，构成所谓壳层分布。里层能级比外层能级低。原子核外电子的排列有一定的规律，即由于电子在原子内处于最

低能级时最稳定，使得电子总是尽先排列在能级最低的壳层上。各层能容纳的电子数是有限的，例如，第一层能容纳两个电子，第二层能容纳 8 个电子，第三层一般能容纳 18 个电子，第四层最多能容纳 32 个电子等。

中性的原子、原子团或分子失去电子时，正电和负电失去平衡，成为带正电的所谓正离子；得到电子的原子、原子团或分子成为带负电的负离子。原子、原子团或分子失去或得到电子的难易主要决定于其外层电子所处的能级，能级愈高者愈容易失去电子。就原子而言，失去或得到电子的难易，主要决定于原子的电子层结构（特别是最外层的电子数目）、原子半径的大小以及原子核内质子的多少。除惰性气体外，原子最外电子层上电子愈少者，愈容易失去电子；原子半径愈大或原子核内质子愈少者，由于原子核吸引电力愈小而愈容易失去电子。反之，如果原子最外电子层上电子愈多、原子半径愈小或原子核内质子愈多，则得到电子形成稳定电子层的能力愈强。

为了比较各种原子得到或失去电子的能力，常用到电负性的概念。电负性愈大者愈容易得到电子。例如，若以锂（Li）的电负性为 1，则铝（Al）的电负性为 1.5，氢（H）的电负性为 2.1，碳（C）的电负性为 2.5，说明氢比铝容易得到电子，而碳又比氢容易得到电子等。

二、分 子

分子由原子组成。分子是保持物质化学性质的最小粒子。物质的分子由同一种原子组成者，叫做单质；由不同原子组成者，叫做化合物。

在分子中，原子之间存在着强烈的相互作用。这种强烈

的相互作用叫做化学键。化学键有三种，即离子键、共价键和金属键。

离子键又叫电价键，是正、负离子间的引力构成的化学键。当原子间发生电子转移，形成正离子和负离子时，由于正、负离子间的引力，亦即由于离子键的作用结合成分子。例如，NaCl就是由Na原子失去电子变成正离子、Cl原子得到电子变成负离子，相互吸引结合成的。由离子键构成的分子，其正电荷中心与负电荷中心不相重合而带有极性，属于极性分子。

共价键又叫原子键，是相同或不相同的中性原子共有电子对所构成的化学键。在共价键构成的分子中，只有原子，不存在离子，但各原子间有共用的电子。作为例子，图1-1给出了几种分子的共价键构成示意图。图中，每条短线表示两个原子共用一对电子。其中， H_2O （水）、 SO_2 （二氧化硫）、 NH_3 （氨）属于极性分子。这是由于其不同原子的原子核对共有电子的引力不同，共有电子对偏向引力较强的一方，使两种原子分别略带有负电性或正电性而造成的。 H_2 （氢）、 CO_2 （二氧化碳）、 CH_4 （甲烷）三种，由于其分子结构对称，正电荷中心与负电荷中心保持重合，而属于非极性分子。

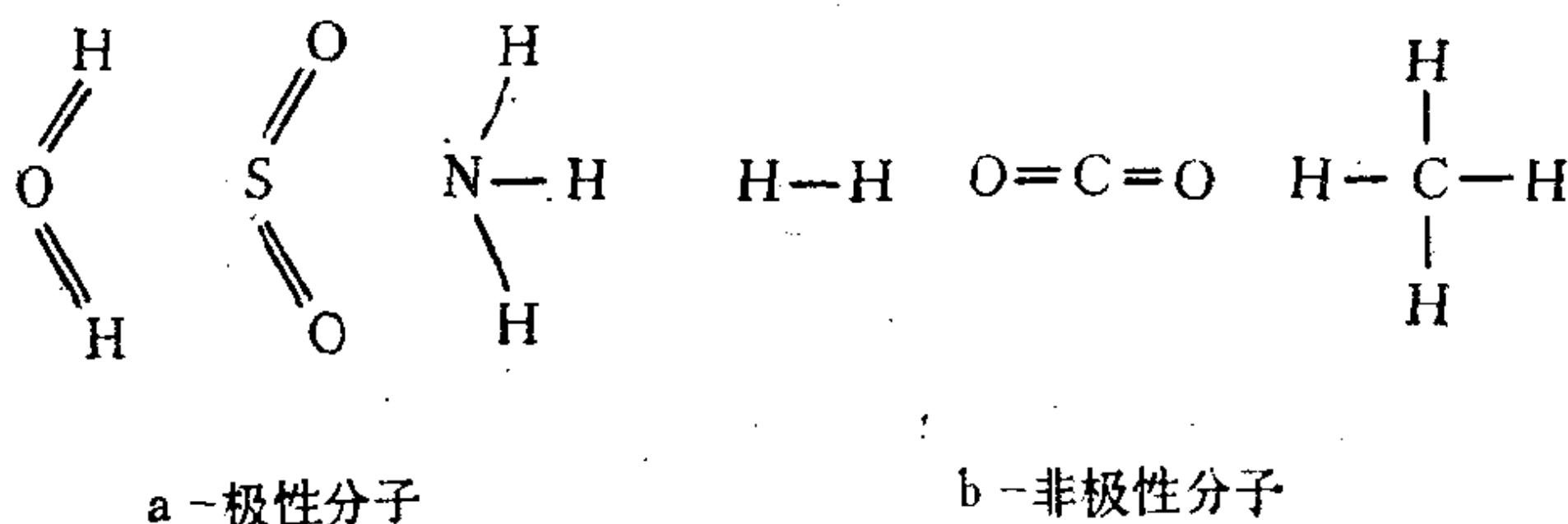


图 1-1 共价键构成示意图