



人类对电现象的认识始于静电。从古希腊哲学家塞利斯记载的木头摩擦琥珀能吸引草屑，到十六世纪英国的吉尔伯特的各种摩擦电实验，基本上都是对静电现象的观察和定性的总结。定量研究则始于十八世纪英国的卡文迪许和法国的库伦。自从1800年意大利的伏打发明电堆、获得了持续、稳定的电流之后，静电似乎已完成了历史的使命而与技术无缘。然而进入二十世纪，特别是50年代以来，随着石油化工的兴起，高分子绝缘材料的涌现，静电科学逐渐转向静电技术，其应用领域日趋扩大，静电已成为物理学领域中既古老而又年轻的一门分支学科。

### 一、静电的产生

一切物体，不论是导体还是绝缘体，不论是固体、液体或气体，经过接触、摩擦、分离、破碎或者冻结等相

对运动，都能产生静电。物体产生静电并不意味着物体就带有静电。众所周知，绝缘体上能长期保留静电，而各种导体上几乎都不能带有静电。其原因并不在于导体不能产生静电，而是导体产生的静电泄漏太快。

固体、液体、气体产生静电的机理是不相同的。固体介质产生静电有如下几种形式：

1. 两种不同金属体接触带电。1796年伏打发现两种不同的金属A、B接触后，产生电势差 $U_{AB}$ ，其值在十几伏到几伏之间。同时还发现不同金属的带电极性存在一定的关系，排成一个序列为：(+)铝、锌、锡、镉、铅、铋、铊、黄铜、汞、铁、钢、铜、银、金、铂、钨、二氧化铅(-)。按此序列，前后两种固体接触时，前者带正电，后者带负电。

人们一般以为两种物体只有摩擦时才能产生电。其实摩擦只不过是接触的一种特殊形式。因为摩擦能增加两物体间的接触面积。

为什么不同金属体接触能带电？从微观机理看，金属中的价电子在金属内部具有的势能比在金属外要小，这种势能差称为势阱。不同金属的势阱深度不同。当两种不同金属接触时，势阱浅的金属中电子势能高于另一种金属，从而引起金属间电子的转移，在不同金属间形成一定的电势差。

2. 绝缘体与导体的接触带电。绝缘体与金属一样存在着势阱，因而与其他材料(金属或其他绝缘体)接触也能带电。只是绝缘体上能带电荷通常只局限于部分表面。如果发生摩擦，则绝缘体带电更为显著。

某些绝缘体与金属间发生摩擦时其带电符号会随压力而变化。如人造纤维与不锈钢摩擦时，压力小时

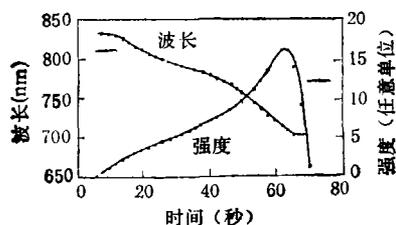


图2 多孔硅荧光波长和强度与阳极氧化时间的关系。

极氧化时间的关系。实验条件是在1M盐酸水溶液中，电流密度为 $1\text{ mA/cm}^2$ ，多孔硅层厚度为2微米。从图2可看到，发光波长从氧化过程开始时的830 nm移到氧化结束时的700 nm。英国的研究小组称，他们观测到绿色的发光。目前，还没有文献报导多孔硅发光效率水平的精确数据。

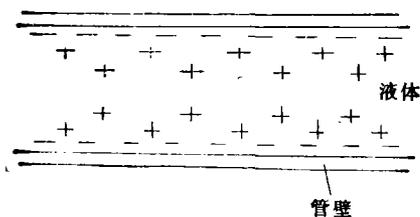
关于多孔硅的荧光和吸收谱的兰移现象、荧光强度、喇曼光谱等光学特性已有不少研究，从理论上应用量子线模型可以对这些现象进行较好的解释，理论计算与实验符合较好。

氧化电流密度，随着阳极氧化时间增长，发光波长向短波方向兰移，而且强度增加。图2是多孔硅荧光波长和强度与阳

### 四、多孔硅的应用前景

尽管目前对多孔硅的形成机制还不清楚，多种制备方法还在探索，物理性质还有待深入认识，但多孔硅发光现象的发现本身就已引起人们的极大关注。如果能用硅来制作发光二极管，将会产生一个很大的突破。它对光电子存储系统及显示系统两者都有很大意义。一个有效的电泵浦的新设计方案可能会使发光二极管工艺的成本大大降低。但要制造一个实用的光电子系统，不只可以采用激光激发的方法，也可用电流注入的方法。目前，究竟能否用电学方法来泵浦系统还是一个未解决的问题。法国一个研究小组报导，他们在用电化学方法腐蚀材料并通以电流时，曾观测到发光，但当腐蚀停止时，发光也停止了。究竟采取哪种有效的方法，还有待进一步探索。

可以预言，多孔硅的研究将是凝聚态物理研究的一个新的生长点，它将开辟单晶硅材料应用的新领域，同时也将促进低维系统理论的发展。



带正电,压力小时带负电。

摩擦带电的符号也会因物体表面状态而发生变化。如煤与金属接触时,新采煤块表面带正电,而长期暴露在空气中氧化了的煤则带负电。

3. 相同材料间摩擦带电。两种相同材料间接触产生静电的现象比较轻微,除非这两种材料的不均匀性比较明显。然而,如果同种材料间发生摩擦,由于摩擦的非对称性,在材料间会引起温差,不对称形变等一系列物理性能变化,从而产生接触电势差。

4. 材料破裂带电。一般说来,摩擦带电量要大于接触带电量。这里除了因摩擦增加了接触面积的因素以外,固体材料表面组织因摩擦而发生机械破碎,从而使材料中带电粒子被分离。此外,摩擦热还能使分子分解成离子的作用。在许多固体材料粉碎过程中,破裂带电是常常出现的静电现象。

5. 电解质离子移动带电。摩擦带电有时也来自电解质离子。强碱性的树脂材料带正电,强酸性树脂带负电。这是由于被摩擦物体表面吸附微量的水,碱性树脂产生  $\text{OH}^-$  离子,酸性树脂产生  $\text{H}^+$  离子。离子的浓度差造成扩散而留下了相反符号的电荷。

6. 静电感应带电。这是中性导体受到电场作用而产生带电的现象。一般教科书中对这种现象均有详尽的介绍。

对于液体来讲,当它与固体、气体或另一种不相混溶的液体之间,由于搅拌、沉降、过滤、摇晃、冲击、流动、喷射、飞溅以及发泡过程发生接触、分离的相对运动,同样会在液体介质中产生静电。这种静电对易燃液体(如石油制品)以及苯、二甲苯等化工原料有潜在的危险。

液体静电产生机理主要是电偶层,这是德国人亥姆霍兹于 1879 年提出来的。实验表明:在液体介质与金属管壁的分界面上,存在着一个电偶层(图)。其中有一种符号的电荷(图中为负电)紧靠着管壁,而相反符号的电荷分布在靠液体的一方。两层电荷分布厚度不同。其中固定在管壁的电荷层厚度约一个分子直径的大小。而另一层异号电荷则扩散到离界面有几十个分子直径的地方,因而称为扩散层。电偶层的形成是一个复杂的物理-化学过程。简单说来,其直接原因是由于正、负离子的转移。因为在液体介质中,极性分子(如水)与杂质分子都可以直接离解,而中性分子

(如烃)可以通过氧化过程间接离解。当液体与固体表面接触时,产生化学或物理性质的非静电性吸附,从而在液体固体接触面处形成电偶层。其次,金属管道表面离子与液体分子发生水化或溶剂化作用,也会促使电偶层的形成。因此,液-固接触面处的电偶层性质与管壁金属种类、液体的分子结构、离子浓度以及离子迁移率等因素有关。

当液体在管道中流动时,电偶层中的固定层被束缚着,而扩散层中的异号电荷则随液体一起流动形成电流。液体的流动使原来的电偶层发生变化,原来在管壁内侧的束缚电荷有可能转移到管壁外侧成为自由电荷,而新补充进来的液体立即形成新的电偶层。这样金属管壁上开始积累静电,而流动的液体也带有异号电荷。

影响液体带电的因素很多,主要的有液体介质本身的电阻率  $\rho$ ; 液体中所含杂质的种类及含量;管道材料种类以及管壁的粗糙度;液体的流动状态(如流速)等。

气体分子一般呈中性,是不导电的。但在外界条件发生变化,如存在电场、加热、光照、放射性作用或化学物质的挥发与扩散等条件下,气体中就可带有离子,从而导电。气体中的离子对周围固体、液体介质能产生巨大的影响(可产生静电感应,或使介质直接带电)。同时,液体、固体介质所带静电也常常通过气体介质进行泄漏或交换。

## 二、静电的消除

物体带了静电,周围空间即存在电场。在电场作用下,可以产生种种物理现象。这些物理现象有的有害,有的有利。静电引起的危害主要有三方面:

1. 对生产的危害。由于静电对轻小物体有明显的力学作用,因而在某些生产部门中会引起严重的障碍。如在某些粉末状物体生产过程中,静电力能使筛孔或管道堵塞;在薄膜、纸品或纺织品生产中,静电斥力能使产品离散而无法整理,而静电引力又能使产品互相吸附而无法分离;静电力能吸引尘埃,因而会严重影响某些电器外壳的喷涂质量,也会影响某些超净工作场所环境的净化。而带有几千伏甚至上万伏静电电位的人体、设备或工作服,更可能使一些比较精密的电子设备、微电子元件、计算机等正常工作带来不利影响,或者使感光胶片失效等。这些都只是静电对生产的危害,然而更严重的是静电所引起的危害。

2. 物体带有静电总要泄放。对于电阻率特别大(如电阻率大于  $10^{12}$  欧·米)的物质,静电电荷不易散逸,静电电位越积越高,可以引起静电放电。静电放电是电能转换成热能的过程,静电火花可使易燃易爆物引燃、引爆,因而是十分危险的。国内外因静电引起火灾事故屡见不鲜。日本从 1962 年至 1971 年十年间,每年因静电引起火灾平均约 100 起(1971 年为

139 起)。我国石油工业从 60 年代以来飞速发展,伴随而来的静电事故如火灾、爆炸等也时有发生。

3. 静电放电引起的电击。人在绝缘良好的地毯上行走,可带上 3000~5000 伏的静电。一接触门把,使人感受到电击而有惊悸和痛感。在其他生产现场,如卷绕绝缘薄膜、收送印刷品、粉体装袋作业等,都会发生电击伤害事故。静电电击虽难以直接致人死命,但由此而引起的恐怖情绪会使生产效率下降,精神受到损害。此外,静电电击引起的二次伤害事故也不可忽视。

为了减少静电的产生,必须研究生产工艺流程中发生静电的因素,然后对症下药采取措施,如纸张在印刷与传输过程中,静电发生是随压力和送纸速度而变,适当控制压力和送纸速度就可控制静电的产生;石油工业中因油品在管道中的流动而产生静电,其影响因素有油品所含杂质、管道材料性质和横截面积、表面粗糙度以及流速等。为了控制石油静电,可以采取控制流速和加油方式,避免水、空气与油品的混合等措施。

静电一经产生,如能及时泄漏,也不致于造成隐患与灾害。如前所述,静电泄漏取决于物体的电阻率,若石油产品中加入微量(1 ppm)的抗静电添加剂其电阻率可降低  $10^{-3}$  左右。我国石油工业规定,从 1979 年起采用抗静电添加剂。

各种高分子合成纤维材料是优良的绝缘材料,容易积累静电。现今我国各纺织品研究单位已研制出种类繁多的各种新型的抗静电合成化纤材料。

气体如能泄漏静电,则是良好的途径。气体导电的机理是要将中性原子或分子电离成带电粒子。目前使气体电离的有效手段有利用放射性同位素和安装消电器两种。前者在符合安全剂量要求条件下能有效地消除某些具有特别危险可燃物所造成的静电隐患,后者则利用金属外壳的电晕放电来消除静电,两者均已获得广泛应用。

增加空气湿度能够减小某些物体的表面电阻率,对于某些局部封闭性环境来说,增湿是一种简便易行的消静电手段。

对于存在金属外壳的容器、设备、管道来讲,接地与跨接(各容器、管道与设备之间用金属线相连)是消除静电的另一种有效方式,静电接地的电阻值一般取  $10^2$  欧~ $10^6$  欧范围就可以了,它比普通安全用电接地及防雷接地要求低。然而,有一点必须强调说明,容器或管道接地并不能消除去容器或管道中流动的液体或粉体内部积聚的静电。

### 三、静电的应用

静电的种种物理效应,既能对生产造成危害,又有极其广泛的应用。

1. 静电除尘。其基本原理是有一组接负高压的电晕电极产生尖端放电,使周围空气电离,带有尘埃微粒的烟气通过气体电离区域成为带电粒子。在电晕电

极和外壳之间加上静电高压,形成电场,带电微粒在电场力作用下飞向异性电极,电荷消除后下落到集尘器中。静电除尘器是目前效率最高、应用最广的除尘设备,它适用于粉尘比电阻为  $10^4 \sim 10^{13}$  欧姆·米的各种尘埃消除,广泛应用于电力、钢铁、建材、有色金属冶炼等工业部门。

2. 静电喷涂。利用静电作用力将某些固体粉末粒子(如塑料、树脂等)喷涂到金属构件表面,然后加热熔化在金属表面形成一层牢固涂膜层。静电喷涂技术的优点是工艺简单,一次成型,涂料浪费少,不污染环境,且涂层均匀、牢固,外观美,目前已取代部分喷漆工艺,广泛应用于家用电器、仪器仪表等生产工艺中。

3. 静电复印。这是现代复印技术中发展与应用最为迅速的一种新技术。其工作原理有五个步骤:①充电。在暗处用静电高压对无定形硒或氧化锌纸等底版充电,使底版上获得表面静电荷;②曝光。将待复印件通过光学系统聚焦在已充电的底版纸上,使底版纸上的静电荷密度随复印件图象上光照强度而变化,从而获得静电潜影;③显影。让墨粉被底版纸上残留的静电荷所吸附,形成显象;④转印。再度利用静电高压将底版纸上的墨粉显象转移到白纸上,从而获得原件的复制品;⑤固化。将复印件在高温( $140^\circ\text{C} \sim 160^\circ\text{C}$ )下固化,使墨粉牢固粘结在白纸上。

4. 静电的生物效应。一切生物肌体均含大量水份。水分子是极性分子,在电场作用下,极性分子要发生运动、变化,而引起生物电势的变化,诱发 DNA、细胞染色体结构变异,进而使细胞发生融合或畸变。静电场对生命体的作用是无可置疑的。目前,在机制研究与开发应用技术方面均获得了长足的进步。目前已见到用静电场处理过的棉花、蔬菜、水果、花卉、水生植物等获得显著增产的成果,且产品质量(如蛋白质、维生素、纤维含量等)有所提高。此外,静电对动物肌体的作用也已广泛开展研究,静电保鲜技术是其应用的一个重要方向。在人体保健方面利用静电也已开展研究。总之,静电生物效应研究前途广阔,方兴未艾。

### · 出版消息 ·

#### 欢迎订阅 1991 年《现代物理知识》合订本

1991 年《现代物理知识》合订本,现已出版发行,欢迎各界朋友订阅。每本 15 元,通过当地邮局汇款至:北京 918 信箱秋埔收。

### · 物理学家小故事 ·

#### 别忘了思考 尧水

一天深夜,卢瑟福去实验室,发现有人做实验。他小声问:“你上午干啥?”那人答:“做实验。”又问:“下午呢?”答:“还做实验。”再问:“晚上呢?”学生以为卢瑟福会称赞他,兴奋地说:“也是做实验。”许久,卢瑟福严肃地问:“你整天做实验,那有时间去思考?”