

静电及其应用

艾荆江 编著

科学出版社

1978

内 容 简 介

近年来,古老的静电学在应用领域逐渐活跃起来。本书从常见的静电现象入手,介绍了静电的基本知识和静电在工农业生产和科学技术中的多方面应用。内容比较新颖,文字比较生动,可供广大青年读者阅读。

静 电 及 其 应 用

文荆江 编著

熊存强 插图

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1978年11月第一版 开本:787×1092 1/32

1978年11月第一次印刷 印张:3 3/8

印数:0001—116,650 字数:74,000

统一书号:13031·859

本社书号:1225·13—3

定价: 0.25 元

目 录

我们生活在静电的海洋里	(1)
发电机的祖先	(2)
不受欢迎的客人	(4)
和静电危害作斗争	(9)
桅杆上的“神火”	(11)
自然发电厂的秘密	(13)
降服闪电	(17)
巧用静电屏蔽	(19)
“静电”与“动电”	(23)
决不让烟尘为害	(25)
牵住牛鼻子	(26)
什么形状的电极最好	(27)
是谁转动了电轮	(30)
最严密的口罩	(32)
从沙里淘金谈起	(34)
自由电子——导体上的“摆渡船”	(35)
长途票和短途票	(38)
摩擦电的新贡献	(40)
感应、极化与滞后	(43)
在水里也有用武之地	(47)
捕捉无机盐	(48)
防患于未然的水垢控制器	(52)
看不见的队列线	(54)

怒发冲冠与静电植绒	(56)
纺纱新工艺	(58)
生产优质高效的砂纸	(61)
不瞄自准的水枪	(63)
喷云吐雾多自如	(64)
为农业丰收出力量	(66)
电泳与电镀	(69)
会写字的墨滴	(71)
“蜂蜜”与“蚂蚁”	(73)
人体与静电	(76)
植物在电场中	(81)
出色的种子检验员	(84)
参加了向宇宙太空的进军	(86)
物理学家的好帮手	(89)
车刀闪闪唱新歌	(93)
以动求静的电防腐	(95)
静电与化学	(97)
结束语	(101)

我们生活在静电的海洋里

有人把我们现在生活的二十世纪叫做“电的世纪”，这是很有道理的。不过，在这个以电为标志的时代，许多人虽然知道不少电的知识，却常常忽略了一种最普通、最大量也是最基本的电现象——静电。在人类认识、研究和利用电的历史中，静电曾经是一个先行者，但长期以来，它却受到忽视和冷落，在实际应用方面落到了后面。现在，这种情况正在改变，静电学已在应用领域中大步赶了上来。

我们最熟悉的电现象——导体中的电流，只是电的一种形式。实际上，我们整天都生活在一个静电的海洋里。伟大导师恩格斯说过：“电和热一样，也具有某种无处不在的性质，只不过方式不同而已。地球上几乎没有一种变化发生而不同时显示出电的现象。”（《自然辩证法》）科学发展的事实无可辩驳地证明了恩格斯的论断。自然界的一切运动，从一粒灰尘的飘荡沉浮，到震撼天地的雷鸣电闪，无不包含有电的作用。动物中的电鳗、植物中的食虫草，更是把电作为获取食物、维持生命的手段。就是我们人类的身体，也是由成万成亿个微型电池——细胞所组成。我们平常呼吸的空气，平均每立方厘米含有 100 至 500 个带电粒子——离子。而我们居住的地球，更是一个巨大的电场，地面电场的平均强度达到每米 130 伏，就是说，我们头顶的空气和脚下的地面之间，竟有高达 220 伏的电位差。如果一片带电云经过，电场强度还会骤然上升到每米 10,000 伏以上。

大自然确实确实是一个静电的海洋。但“静电”不静，这

个海洋里既有风起云涌,又有涛滚浪翻。在本书中,我们不但要涉及雄伟壮阔的天然静电,还要碰到人造的电火花,离子潮,遇到美如朝霞的电晕,驱动电轮的电风,看一看人类怎样逐步了解了自然界静电的奥秘,又怎样在利用这些知识改造着自然。

发电机的祖先

树有根,水有源,要探索静电的秘密,还得从摩擦电谈起。

远在两千五百多年前,古希腊的玉工就发现了摩擦电。那时,他们整天和琥珀打交道,把它磨成珠子、耳环和手镯。年深日久,玉工们发现刚磨好的琥珀有一种奇异的特性,它能吸引绒毛、头发、细草一类轻小的物体。我国古代的优秀哲学和科学著作《论衡》中也有“顿牟掇芥,磁石引针”(顿牟即琥珀;掇:拾取;芥指细小物体)的记载。可是在当时,谁也说不出原因来。

十六世纪末,一位英国医生根据希腊文“琥珀”的字根,制定了一个新名词:“电”。但是,这不过是为一种神秘的现象加上了一个神秘的名字,并没有解决任何问题。这个被人们猜测了两千多年的琥珀之谜,只是到了人类开始认识原子的时候,才逐渐露出谜底。

现代物理学和化学告诉我们,每一种物质都是由一种特定的分子组成的;而分子又是由一种或几种原子构成的;原子由带正电的原子核和带负电的电子组成。每个原子有一个原子核,但不同的原子核所带的正电量不同,所以它所具有的电子数目也不同。氢原子有一个电子,氧原子有8个电子,铁原子有26个电子,铜原子有29个电子。不管哪一种原子,它的所有电子所带的负电量的总和都等于原子核所带的正电量,

所以,从整体来说,它们是呈电中性的,既不显正电性,也不显负电性。

原子中的电子围绕着原子核在自己的轨道上运动,这与太阳系的行星绕太阳旋转多少有点相象。电子多的原子中,这种轨道有好几层,越外层的电子,受原子核吸引力越小。当两种不同物体接触时,两者之间就存在着一个电位差,叫做接触电位。由于有了电位差,电子就会从一种物质跑向另一种物质,就象水从高处流向低处一样。这时两种物质中,一种的电子增加了,另一种的电子减少了,因而在每一物体上原来的电性平衡已不复存在。电子多的带上了负电,电子少的带上了正电。

由此可知,物体不经摩擦也能带电。不过,接触电位只在相互接触的分子之间产生。但是我们肉眼看上去很平的表面,在显微镜下却显出凹凸不平,凹处实际上没有发生接触。所以,一般接触只能产生很少的电子移动,电子位移的距离也很小,只相当于原子间的距离,即 10^{-8} 厘米,使人难以察觉。而摩擦会使接触面积大大增加,起电效果也就非常明显。归根结底,所谓带电现象,不过是电子的重新分配,使一种物体表面电子过剩,另一种物体电子不足。正如恩格斯精辟指出的:“静电或摩擦电,是使自然界中以电的形式存在着、然而处于平衡状态、处于中性状态的现成的电转入应力状态。”(《自然辩证法》)

带电荷的物体,叫带电体或荷电体。电荷有正、负两种,电子过剩的物体带负电,电子不足的物体带正电。一个电子的电荷是自然界中最小的电量,也叫做元电荷。最常用的电量单位叫库仑,一库仑静电足足含有 6,250,000,000,000,000 (6.25×10^{18}) 个电子,却只能从标准的硝酸银溶液中分解 0.001118 克白银。

谁都知道，电是现代生活中一个极其重要的角色。无论带动机器的马达，熔铁的电炉，还是照明的电灯，都需要大量电能。这些电能从发电机产生出来，通过高压输配线路到达千家万户，工厂矿山。我国屹立在黄河上游的刘家峡水电站，装机容量一百二十二万五千瓩，一年发电五十七亿度供应陕、甘、青三省。看着这样雄伟壮观的发电设备，人们恐怕很难想象发电机最老的祖先，竟是一架简陋得近于滑稽的摩擦式静电起电机。1660年，英国科学家奥托把一只琉璜球装在轴上，用手摇柄转动起来，另一只手放在球面上摩擦，于是琉璜球上生成了大量电荷。这就是世界上第一架发电机。现代的发电机早已远远胜过了它们的祖先，而未来的发电装置，必定会使它们现在的前辈相形见绌。

不受欢迎的客人

既然摩擦电能在任何两种不同物体间产生，也就不能不和我们的生活发生最密切的联系。遗憾的是，在许多情况下，它却是个不受欢迎的“不速之客”。

在气候干燥的季节，如果你穿着塑料底鞋在干净的地板或地毯上长时间行走后，伸手去抓一只金属门柄，它常常会给你一个意想不到的“礼物”——一个小火花跳到你手上，麻得你半天不自在。你越是疑神疑鬼，缩手缩脚，它越要找你的麻烦。这就是摩擦电的恶作剧。一到阴雨季节，空气潮湿，它就自动消声匿迹了。

带电琥珀既然能吸起纸屑、绒线，当然也能吸住小得多的灰尘。玉工们早就注意到，刚刚做好的玉器，本来光泽耀眼，玲珑剔透，但很快就变得灰蒙蒙的。有些地方吹也吹不掉，擦也擦不着，让人伤透了脑筋。

精美的雕刻毕竟可以用玻璃罩起来，但我们使用得越来越广泛的塑料制品，化纤衣物，也都是摩擦电良好的栖息地，使用不久就沾上一层灰尘，多鲜艳漂亮的用具、衣服也黯然失色了。

但这些还都是小事，在有些情况下，问题就严重多了。在纺纱机上，摩擦电使纤维带电后互相排斥散开，给加拈成纱造成困难。在印刷机上，受滚筒挤压而摩擦带电的纸张常常吸在铅板或滚筒上面，影响连续印刷。摄影用的胶片，在生产过程中经过导辊时常常会留下火花放电的痕迹。在煤矿矿井里，摩擦电放出的火花会引起瓦斯爆炸，给人们的生命财产带来巨大损失。在手术台上，静电火花引起麻醉剂乙醚爆炸，使不只一个病人死在手术台上。汽车上的收音机，在炎热干燥的季节里常因轮胎和路面摩擦产生的静电干扰而无法接收。狂风卷起的沙砾，往往携带大量摩擦电荷，中断无线电通讯，有时还会引起铁路、航空等自动信号系统的信号错误，造成严重事故。

摩擦电在于这些坏事的时候，还有一个形影不离的帮凶——感应电。金属门柄捉弄人时，就有感应电参加。我们来看图 1 中的感应起电试验。架在绝缘支柱上的金属导体 A 和 B 紧挨在一起构成一个整体，分别粘有两片铝箔。两片铝箔带电后，会由于同电相斥而张开，使人们知道导体已经带电，因此被叫做验电器。当导体不带电时，铝箔无精打采地垂着，而一旦带电球 C 靠近 A 端，两端的铝箔验电器立即同时张开了。拿开带电球 C，铝箔又合拢，再靠近 A，铝箔又张开。这时，如果把导体 A-B 从中间分开，两个铝箔验电器仍然张开着，即使撤去带电球 C，A 和 B 上的电荷也不会消失。这是为什么呢？

恩格斯曾形象地把带电现象比做“应力状态”，就是说，物

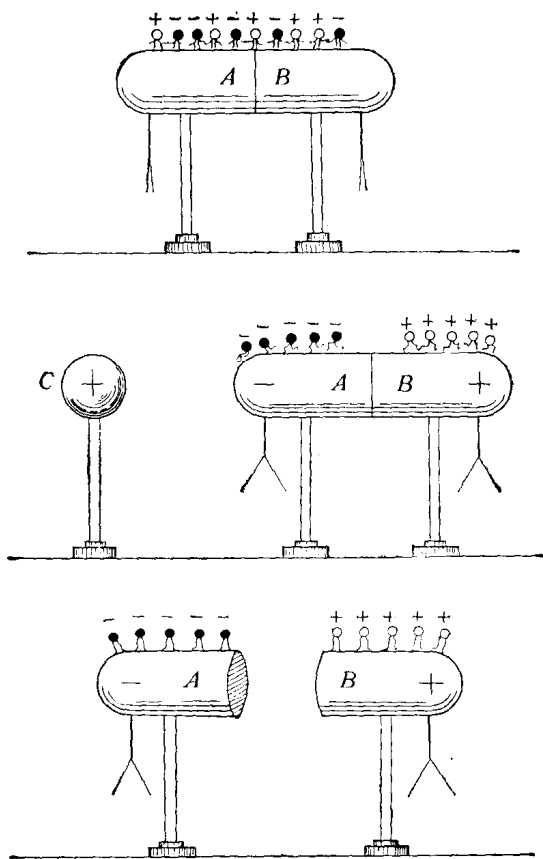


图1 感应起电

体带电后,就象拉紧的弹簧一样,有一种随时准备回复原状的趋势. 正电荷缺少电子,总想从什么地方“捞回来”,负电荷电子过多,就象背着包袱一样,总想找地方卸掉,相同的电荷在一起总闹冲突,电性相反的电荷却能互投所好,特别愿意凑到一起. 这就是人们常说的“同电相斥、异电相吸.”只要相互作用力达得到,正电荷和负电荷总要向一起靠拢,即使道路不

通，临“沟”跨“水”，它们也要隔岸守望，挤着闹着不肯走开。这是电荷的一个怪脾气。感应起电就由此而来。

当带正电的金属球C靠近A端时，导体A-B上的电子就向A端集中，使A端带上负电，B端失去大量电子，就带上了正电。被带电球C“感应”到A端的负电荷和在B端形成的正电荷叫做感生电荷，C上的电荷叫做施感电荷。当A-B分开时，两端的电荷保留下来，这个过程就叫做感应起电。

根据感应起电的原理，英国科学家开耳芬曾经设计过一架非常有趣的发电机——滴水起电机。我们来看图2。图的上部是一个绝缘架设的水箱，它有两个滴水管，管口大小使流出的水刚好断成水滴而又不间隔过长。正对滴水管的两个蓄

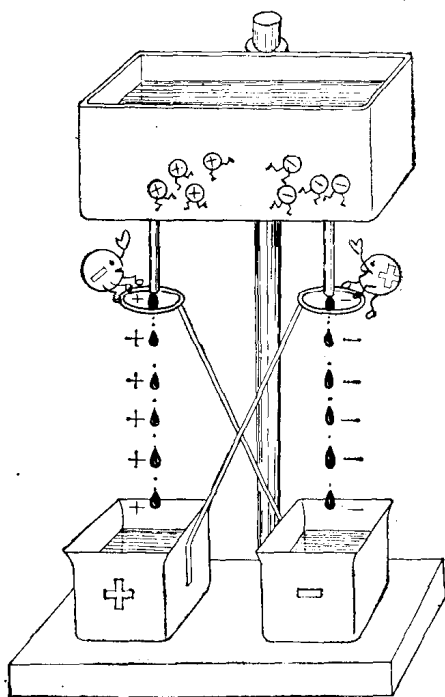


图2 滴水起电机

水罐,相当于起电机的两极,放在绝缘板上。每个管口下方还有一个金属环,叫做感应器,分别用导线与另一个管口所对的蓄水罐连接。起电以前,可以先用摩擦起电的方法使左边的集水罐带上少量正电,与它连接的右边的环状感应器也就带上了正电。在这些正电荷的感应下,右边的滴水管口出现了负电荷。当水滴下落时,就把负电荷带到右边的蓄水罐里。这样,与右边蓄水罐相连的左边的感应器也带上了负电,把水中的正离子(缺少电子的水分子)召唤过来,随着水滴落入左边的蓄水罐中。俗语说“积少成多,滴水成河”,随着两极的正、负电荷越积越多,两个正、负感应器上的施感电荷越来越多,两个管口的感生电荷也就越来越多。所以,每滴水所携带的电荷不断增加,电荷分离的速度逐步加快。这样,一会工夫就能在两蓄水罐间建立起一万五千伏以上的高压,可以进行许多静电试验。

有人会问,一箱水里能蕴藏那么大电量?光凭想象确实很难理解,但计算一下就会知道:如果从一升水中的每一个水分子上取下一个电子,即使把这些电子和剩下的水离子分别放到地球南极和北极,它们之间的静电引力也高达650,000吨。滴水起电机之所以不能建立起更高的电压,不是因为水中的“电”不够,而是因为高压下的电晕放电会把电压限定在一定范围内,这一电压叫做电晕极限电压。

摩擦电和感应电“狼狈为奸”,给电子工业造成了不少麻烦。尤其是集成电路中的微型元件,抵抗静电的能力特别弱,一点额外电荷就会造成信号严重失真,使动作器动作错误,甚至整个电路完全失效。实际测量表明,作为电子元件和集成电路组件的封装材料广泛使用的聚乙烯塑料,在25℃,相对湿度35—45%的条件下,仅仅经过厂内搬运,就会带静电达500—1200伏。填充装箱后,电压升到1500—2000伏。而装箱后

一小时，竟测得电压 1500—2500 伏。真是不可等闲视之。

受静电危害最苦的是石油工业。石油产品及其蒸汽，是危险的易燃易爆品。实验证明，300 伏以上的火花放电，就足以引起含有汽油或煤油蒸汽的空气燃烧爆炸。而石油生产和储运过程中，几乎处处有静电。石油在管路中流动，在管壁上产生静电；石油从管口流出，冲击金属容器，会产生静电；石油液滴飞溅与空气摩擦，会产生静电；石油通过过滤网，会产生静电；石油在油罐车、油船中连续颠簸，会产生静电；石油液面上有漂浮物，会产生静电；运油车行驶时，轮胎和路面摩擦，也会产生静电。甚至在向油罐中加入不同规格的新油时，也会产生大量静电。在有些场合，静电常常高达二、三万伏，防静电措施稍有疏忽，就可能造成不可挽回的损失。

和静电危害作斗争

在静电危害面前，劳动人民并不是束手无策、无能为力的。他们想出了许多办法和静电危害作斗争。

“烟往高处走，水往低处流”，这是人们历来消烟治水所利用的规律。在有些情况下对人们有害无益的静电，当然也可以用导线引走。用良导体把容易产生静电的部件接地，是一种简单易行而又安全可靠的方法。这种方法在石油储运中应用最多。输油管每隔 100—300 米就要接地一次。大型油罐要有好几个很深的接地极。向铁路油罐车装卸油料的桥台、栈桥、钢轨以及油轮码头，都要有专门的接地设施。油罐汽车的轮胎是绝缘的，为了在行驶中保证油罐接地，人们不得不给运油车安上一条“尾巴”——一根拖地的金属链条。不过，这种方法有很大局限性，即只适用于消除导体上的静电。

湿度调节是控制静电的另一有效办法。根据试验，汽油

装卸时,空气湿度为 35—40% 时,油罐电位达 1,100 伏;空气湿度为 50% 时,降到 500—600 伏;空气湿度为 72—75% 时,电位就基本上消失了。在其它条件允许的情况下,适当加大空气湿度,确实不失为一项切实可行的消静电措施。

卤水点豆腐,一物降一物。为了防止塑料和化纤制品等绝缘体上聚集摩擦电荷,人们研制成功了各种静电防止剂,或叫抗电剂。这种抗电剂的主要成分是表面活性剂,它能赋予塑料或化纤制品以吸湿性(亲水性)和电离性,从而增强导电性能。人们发现,活性剂中含有正离子或负离子(带正、负电的原子或分子),消除静电的效果会大大增强。

还有一种方法叫“以电治电”,这实在是一个聪明的主意。在胶片生产和印刷生产中,湿度不宜过大,就可以设置“静电消止器”。它的工作原理是造成大量与由于摩擦带上的静电电性相反的离子,把摩擦电中和掉。如果在放电的电热丝上包上氧化钽、氧化铯或氧化钡等金属氧化物,然后通上高压电,静电消止器产生离子的能力还会大大提高。有些放射性物质如钋的同位素,不需通电就能大量放射 α 粒子,具有很强的离化空气的能力。它效率高、稳定性好,在易燃易爆条件下也是安全的。有了这雄厚的实力,静电消止器就能和摩擦电荷打一场长期的“消耗战”。它专门用来解决绝缘体的消电问题。在粉状物的管道运输中,为防止摩擦电引起的粉料爆炸,还可向管内喷入“离子风”。

对于容易产生静电的机械零件,可以尽量采用导电材料。必须使用橡胶、塑料等材料的零件,也可在加工工艺或配方中进行适当改变,做成导电橡胶、导电塑料、导电纤维等。另外,还可为绝缘材料穿上“导电衣”,涂上一层金属粉末或导电漆。前面提到的聚乙烯塑料,如果包上一层叫做“隆斯推特——P”的导电薄膜,就能使原来 1000—2500 伏的电位基本降至零。

这样的方法一点不会影响零件强度、刚度、弹性等性能。导电纤维已被广泛用来制作防电工作服、手套、地毯、包装袋和缝纫线等。

人们还注意到，同一物体分别和几种不同物体摩擦后，会产生完全不同的带电效果：有时带正电，有时带负电，有时带电显著，有时则微不足道。人们根据物体的摩擦起电性质排出了一个“摩擦序列”。这个序列中的任何两种物质摩擦时，排在前面的总带负电，排在后面的总带正电。两者的序列位置相距越远，带电效果越显著，越近则越微弱。根据这种性质，如果对一些经常产生静电的零部件，比如纺纱机中的刺辊、罗拉等所用的材料进行适当选择，就能大大破坏静电产生的条件。

在集成电路的制造、检验、组装作业中，为了使静电防护工作精益求精，人们还采用了在地板、工作台上铺设铝箔、铝板、导电橡胶、导电薄膜；提高环境湿度；在手腕上戴接地锁链、戴导电橡皮手套等许多措施。随着静电防护研究的不断发展，静电危害是一定可以克服的。

桅杆上的“神火”

大自然是一个巨大的静电试验场，它以许多壮观的自然景象显示出来的静电效应，很久以来就在引起人们的注意了。

在航行于地中海上的水手中间，长久流传着一个“神火”的故事。他们在阴霾满天，暴雨将临的危急时刻，不止一次地发现，在桅尖上有一种不祥的火光。开始时，水手们把它看做末日来临的征兆。但当他们一次又一次平安脱险以后，这火光反而变成了安慰的源泉。水手们把它命名为“埃尔摩火”，用来象征他们所信仰的圣徒埃尔摩的保护。正如列宁所指出

的，这是人们“由于没有力量同大自然搏斗而产生对上帝、魔鬼、奇迹等的信仰”（《社会主义和宗教》）。

“埃尔摩火”有时还会出现在飞机的引擎和翼尖上，在这种情况下，假如人们对这种现象缺乏认识，没有思想准备，更难免大吃一惊。

那么，这种神秘的火光到底是什么呢？原来就是感应电。它和在地毯上行走过的人体在金属门柄上感应出来的感生电荷毫无两样。只是作用于桅尖的带电云带电要强烈得多，致使桅尖上的感生电荷采取了“电晕放电”的形式。

电晕仅仅出现在桅尖上，无疑与桅尖最高，距带电云最近有关。但这种现象还显示出电荷的另一个怪脾气，就是“死心眼”，爱钻牛角尖。在无论什么导体上，电荷总是大量集中在尖尖稜稜上，什么地方最细、最尖，它越是愿意挤在那里，直到这些地方被占满了，其余电荷才很不情愿地在一边“排队等候”，一旦稜角上有位置空出来，它们立刻向那里转移。这种现象可用同电相斥来解释。由于相同的电荷聚集在同一导体上，必然要互相排斥分开，但越是弯曲度大的部分，电荷间的排斥力沿导体表面的分力越小，电荷就都被推到这里来了。物体表面的弯曲度叫“曲率”，稜角上，特别是尖端上曲率最大，所以电荷最集中。当天空的带电云带电强烈，又离水面很近时，这一带水面上的感生电荷就会通过浪花溅湿的船舷集中到最突出的桅尖上，大家你“挤”我，我“挤”你，到一定程度，就会把最尖端上的电荷“挤”到空气中去。空下的位置被源源不断的感生电荷占满，后面的继续把前面的挤出去。这种现象叫做尖端放电。

这里我们要介绍一个物理概念——电场。电荷之间互不接触，就会发生相互间的排斥和吸引作用，这是因为每一电荷都在自己周围形成一个“电场”，电荷间的相互作用，如感

应起电等，都是通过电场来实现的。用来表示电场作用大小的概念叫做电场强度，简称场强。实验证明，场强的大小与形成电场的电荷所带电量成正比。带电物体的尖端部分电荷最集中，场强也就最大。

人们早就发现，空气中总是存在着一定数量的缺少电子或多出电子，即带负电或带正电的空气分子，他们把这种带电的分子叫做离子。地面空气中一立方厘米一般含有 100—500 个离子。但比起导电的金属中能自由运动的电子——自由电子来，这个数目实在少得可怜，相差几百亿倍，所以空气不导电。在同一电场中，空气中的正、负离子受到方向相反的作用力，向相反方向做加速运动，和周围的中性空气分子发生碰撞，就会把中性分子的一个或几个电子撞掉，形成新的正离子。而被撞出去的电子附着到其它中性分子上，就形成了新的负离子。电场越强，这种碰撞越厉害，一个撞两个，两个撞四个，就象连珠炮一样，形成一场“碰撞电离”，有人形象地把它叫做“连珠电离”或“雪崩电离”，使空气中的离子数量急剧增加，被“离化”得能相对导电了。桅尖部位电荷最集中，电场最强，空气的离化程度也最高，大量电荷通过离化空气跑到空中，就形成了“尖端放电”。“尖端放电”电荷加入战斗，反过来又促进了空气的离化。当桅尖附近的空气被高度电离化，又有昏暗的天幕做背景时，人们就看到了美丽、柔和的雾状光辉。这就是电晕。

电晕放电是一种非常有用的静电现象。我们在后面的静电应用中要经常和它打交道。

自然发电厂的秘密

带电云的出现是产生天然电晕必不可少的条件。大家都