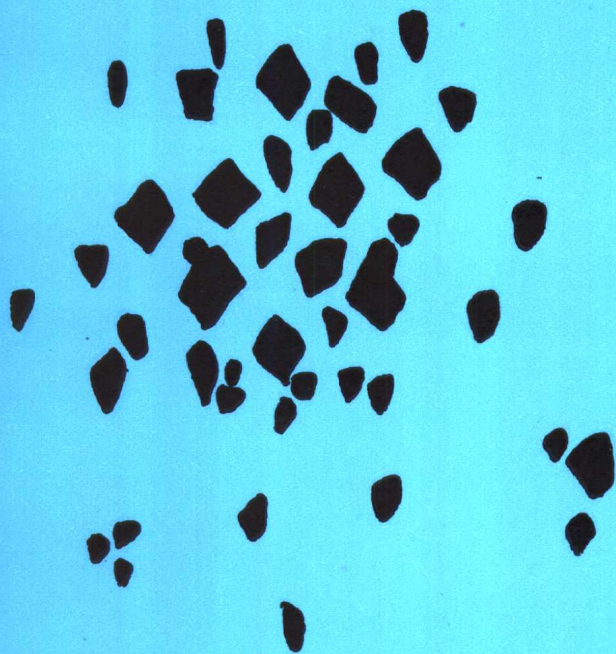


郭 治 编 著

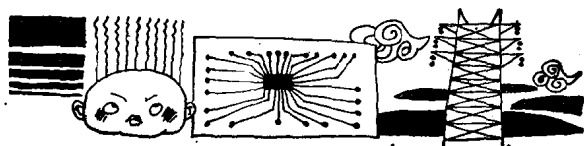
物理大观园

万能的电

江苏少年儿童出版社



静电·电流·电路



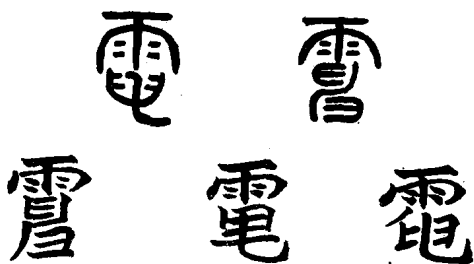
从“电”字说起

繁体字的电字是“電”。《康熙字典》上说古写的电字为“𩇑”，是“阴阳激耀从雨从申”。在西周时代(公元前11世纪到公元前771年)的青铜器上就出现了“电”字。可见，我们的祖先对电的认识是和雷鸣闪电中的电相关的。

在英语中，电是*electricity*。这个词来源于古希腊字 $\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\omicron\nu$ ，它原来的意思是“琥珀”。为什么呢？这还要从古代的琥珀说起。

琥珀是远古的松脂球变成的化石，它半透明，有着非常美丽的光泽，是一种珍贵的装饰品。

公元前600年，希腊有位哲学家兼数学家叫泰利斯，他的家里就有一块珍贵的琥珀。据说，有一天泰利斯坐在



电字的几种古写

桌边休息，看到了美丽的琥珀，便把它拿过来用自己的长袍反复摩擦，让它更加光彩夺目，最后把它放在桌上。突然，泰利斯发现，桌上的一片小羽毛自己向琥珀移去，最后粘到了琥珀上。泰利斯拿开羽毛，一松手，羽毛还是被琥珀吸住了。

细心的泰利斯立即进行了有趣的实验，把羊毛和其他细小的物体放在摩擦后的琥珀附近，发现这些物体都能被琥珀所吸引。

经过摩擦之后的琥珀为什么会吸引轻小的物体，泰利斯无法解释，但是，他认为这个现象很重要，便把它详细地记录了下来。

我们的祖先很早就注意到了琥珀的这个特性。三国时代吴国有个叫虞翻年的人，他小时候就发现“虎魄不取腐芥”，意思是说琥珀不能吸引腐烂的轻小物体。南北朝时的科学家陶弘景（公元452—536年）在他的著作《名医别录》中指出：“琥珀，惟以手心摩热拾芥为真。”意思是说，经过人手的摩擦才能吸引轻小物体的东西，才是真正的琥珀。这显然是应用静电知识去鉴别琥珀的真伪了。

我国古代科学家还发现了一些摩擦起电的现象。西汉有“瑇瑁(dài mào)吸楮”的记载，“瑇瑁”古人也叫“顿牟”，现代人称“玳瑁”，是一种海龟的甲壳，这种东西经过摩擦也能够带电。

东汉时代的科学家王充，在他的著作《论衡》里提出，经过摩擦的玳瑁所以能吸引芥(jiè)籽，磁石所以能吸针，是因为它们彼此有相同的“气性”，因而能互相吸引。“气性”是古人的一种说法，在这里我们可以理解为一种物理性质。

到了16世纪末，有位英国科学家吉尔伯特对琥珀吸引轻

小物体的现象(琥珀拾芥)进行了深入的研究,并且提出了英语中“电”的词语。

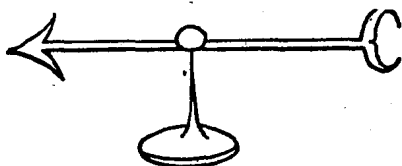
吉尔伯特是英国女王伊丽莎白一世的御医,他虽然医道高明,却对琥珀拾芥很感兴趣。泰利斯的故事对他有很大的吸引力,他为此还特地给女王表演过琥珀吸引羽毛。

吉尔伯特猜想,也许不只是琥珀有这种本领。他用同样的办法去摩擦各种物体,结果发现了其他许多物质也有这个本领。他在1600年出版的《论磁性》一书里这样写道:

“能吸引微粒(物质)的,不仅限于他们设想的琥珀和煤玉,钻石、蓝宝石、红宝石、虹彩石、蛋白石、紫石英、文氏石、英吉利玉(不列斯托尔石)、绿柱玉和水晶都具有同样能力。玻璃,特别是清亮的玻璃,玻璃晶体或水晶制成的人工宝石、锑玻璃、萤石和箭石也具有同样的吸力……岩盐、云母、明矾在适当干燥的大气中也有微弱的吸力。”

吉尔伯特还在他的著作中介绍了他发明的一种仪器,并且说:

“如将一块轻轻摩擦过的光亮琥珀或宝石靠近针的一端,你可以立即发现这针在转动。”



吉尔伯特实验电的仪器

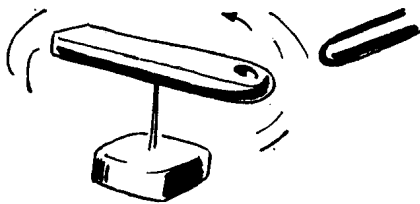
吉尔伯特先后用了17年的心血写出了这本书,详细地记载了他做过的实验,并且把琥珀的这种吸引作用叫作电。

吉尔伯特的思想和实验方法被后人接受下来,他细心观察得到的实验记录也被人们看做经典。吉尔伯特被人们称为“电学之父”。

捕捉雷电的人

让我们也学习吉尔伯特，做一做摩擦起电的实验。

【实验1】找一支塑料笔杆，和绒布反复摩擦多次，用它去吸小纸屑等轻小物体，看它有没有“琥珀拾芥”的本领。



【实验2】把一块

大些的橡皮放在桌子上作底座，上面插一根针。找一个塑料的废牙刷柄，切去有刷的那一头，在它的中心扎一个孔，不要扎透，把它安在针

尖上，使它能够转动，让它当检验电荷的仪器。

把塑料笔杆和牙刷柄都用毛皮(或绒布)摩擦一会儿，然后让它们相互靠近。瞧，它们好像谁都不乐意碰谁似的，牙刷柄躲开笔杆，就转动起来了。

再找一根玻璃棒，用绸子把它摩擦一会儿，再去靠近牙刷柄。情况恰恰相反：二者互相吸引了，亲热地凑到一起。

这种现象是1733年法国人德雨费首先发现的。他发现两块带电的琥珀或两块带电的玻璃是相斥的，而带电的琥珀和带电的玻璃是相互吸引的。德雨费大胆地断定：电有两种，一种叫“琥珀电”，一种叫“玻璃电”。当然，德雨费没有把带电的本质说清楚，因为电到底有几种，当时人们还存在着争论。

18世纪中叶，美洲有一位印刷工人，名叫本杰明·富兰

克林。他在一位博士那里看到了几种电学实验，对电现象产生了浓厚的兴趣。他设法从英国伦敦弄来仪器和图书，一面读书，一面亲手做前人做过的实验。在做摩擦起电的实验中，他看到了电火花，并且对这种现象做了研究。

如果你穿的是腈纶或尼龙的毛衣，夜里脱衣服时，便会听到啪啪的响声和一个个小火花。这就是放电现象。

1747年，富兰克林在《哲学报告》上发表了一封信，提出了“正电”、“负电”这两个名词，代替了“玻璃电”和“琥珀电”，并且规定玻璃所带的电荷叫正电荷。

在自然界里只存在正、负两种电荷，同种电荷

互相排斥，异种电荷互相吸引。

直到富兰克林之前，人们虽然对摩擦起电的现象做了许多研究，却没有人把摩擦起电的电和雷鸣闪电的电联系在一起。在我国和东方各国，人们大多认为雷电是“雷公发怒”；在西方，人们把雷电说成是“上帝之火”。

富兰克林在研究放电现象时，看到了电火花，立刻想到了“上帝之火”——雷电。他想，它们是多么相像啊！雷电是否就是天空中的带电物体放电引起的，正像梳子和头发摩擦起电后产生的响声和火花？

富兰克林不但敢于想象，而且勇于探索，他决心把天空中的雷电引下来，看看它和实验中的电是否相同。他知道，跟雷电打交道是十分危险的，但是为了探求真理，即使牺牲生命，他也在所不惜。

富兰克林大胆地决定用风筝把雷电引导下来。他用两块木条扎成一个十字，在上面绷上一大块绸子，这样即使在风雨中风筝也不会被扯破。风筝上还捆了一根细长的金属丝。富



兰克林认为大气中的电荷会集中到金属丝上来，然后再沿着被雨打湿的麻绳传下来。

1752年的一天，菲列得尔菲亚地方风雨交加，电闪雷鸣，富兰克林放出了风筝，开始了惊心动魄的实验。富兰克林在给伦敦友人彼得·柯林先生的信中是这样描写的：

“这种风筝（一译为“电鸢”）应该在雷雨将到时升到天空，牵线的人必须站在门内或窗内，或者在有遮蔽的地方，以免丝带受湿。还须注意，不能让麻绳触及门框或窗框。一当风筝的上空出现雷雨云时，那根尖端金属丝就会从那里取得电火，于是风筝连同麻绳都带电了，麻绳上未捆紧的细丝都向各方突出，用手指接近时它们就受到吸引。当风筝和麻绳全被雨点打湿时，它便能自由传导电火。电火会从麻绳底下系的金属钥匙大量涌出，并且使莱顿瓶充电。这样获得的电火可以点燃酒精，和用来进行所有其它的电实验。通常只要用一个摩擦过的玻璃球或玻璃管就可以做出实验，它能完全显示出同样的电与电闪。”

富兰克林冒着生命危险揭示了雷电的本质，“上帝之火”、“雷公发怒”等荒诞的说法被戳穿了，雷鸣闪电和摩擦起电的电，在本质上是相同的。

科学的道路充满了艰难险阻。富兰克林的论文遭到了教会的攻击和谩骂，说他“干扰上帝发怒”。但是，宗教并不能永远扼杀科学，一批相信科学的人成了他的追随者：康东冒着生命危险用尖竿从云中“曳(yè)电”；达利巴德当众重复风筝捉雷的实验；勇敢的俄国科学家里赫曼在表演风筝捉雷时，不幸为雷电击中，光荣牺牲。他的死也进一步证明，“天打雷劈”不过是人接触了天空中的电而发生的偶然事故。

电 量

【实验1】 把一块洗净擦干的玻璃板，架在平放在桌上的两本练习簿上，在玻璃板的下面、两本练习簿中间的桌面上，放一些剪得很碎的纸屑，用干燥的手帕在玻璃板的上面摩擦，并且仔细观察：

你首先用手帕轻轻地摩擦一下玻璃板，看看板下纸屑被吸引的情况；你再稍重地摩擦几下，再看看纸屑被吸引的情况；最后再连续地用力摩擦多次——你会发现，玻璃板吸引纸屑的能力，一次比一次强。这是为什么呢？

大家知道，玻璃板能把纸屑吸上来，是因为它带上了电荷。这是摩擦起电。根据摩擦的轻重程度和次数的不同，我们可以想象到，玻璃板所带



的电荷一次比一次多，所以吸引纸屑的能力也就一次比一次强了。

这就是说，带电体吸引轻微物体的能力跟它所带电荷的多少有关。所带电荷越多，吸引轻微物体的能力越强；反过来，带的电荷越少，这种能力就越弱。

这样，我们可以想象到，在上面那个实验中，轻轻擦一下时，玻璃带的电荷很少；稍重擦几下时，带的电荷就多了；重重地反复地摩擦，带的电荷更多——因为它吸的纸屑多。

物体所带电荷的多少叫电量。

那么，带电体吸引轻微物体的能力是不是只和它所带电量有关系呢？我们可以再做一个实验。

【实验2】 准备两块玻璃板。在一块玻璃板底下每头垫两本书，在另一块玻璃板底下每头垫一本书（这些书的厚薄要一样），下边放上同样的纸屑。实验时，用手帕分别摩擦两块玻璃板，摩擦的轻重程度和次数尽量相同。看，只垫一本书的玻璃吸的纸屑多。

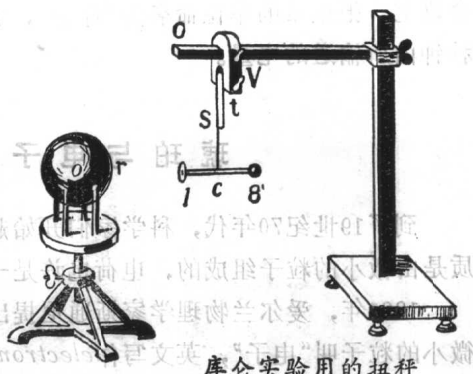
这个实验说明，带电体吸引轻小物体的能力，不仅和它所带电量有关，还和它离开轻小物体的距离有关系。

带电体能够吸引轻小物体的现象，是由于电荷间相互作用的吸力和斥力引起的。吸引轻小物体的能力强，就说明电荷间的相互作用大；吸引轻小物体的能力弱，就说明电荷间的相互作用小。

电荷间相互作用力的大小，究竟和电量、和距离有什么关系呢？

18世纪的法国物理学家库仑(1736—1806)经过多年的研究，改进了一种叫扭秤的仪器，利用它做了多次实验。并在

1785 年度《法兰西皇家科学院研究报告集》中,发表了实验结果,提出了“电力定律”,后来人们就把他的发现称做库仑定律。库仑定律是电学中最基本的定律之一,它的内容是:



库仑实验用的扭杆

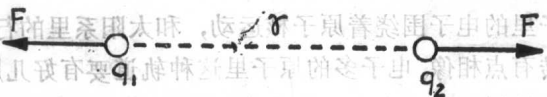
在真空中,两个点电荷之间的相互作用力,沿同一直线且着它们之间的连线,大小相等,方向相反;作用力的大小跟两个电量的乘积成正比,跟两个点电荷之间的距离的平方成反比。

下图,以 q_1 和 q_2 表示两个点电荷的电量, r 表示它们之间的距离, F 表示它们之间的相互作用力,那么库仑定律的代数表达式就是:

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

式中的 K 是比例常数。

为了纪念库仑,在1881年召开的国际电工委员会第一次



库仑定律示意图

会议上，把电量的单位命名为“库仑”，它是1安培电流在1秒钟内所输送的电量。

琥珀与电子

到了19世纪70年代，科学家们开始越来越多地想到，物质是由微小的粒子组成的，电荷也许是一种微小的粒子。

1891年，爱尔兰物理学家斯通尼提出，每个组成电的最微小的粒子叫“电子”，英文写作electron，这和希腊文的“琥珀”一词有着关系，它是带负电的。这个建议得到了学术界的赞同，“电子”这个词便诞生了。

经过几代科学家的努力，人们终于发现了电子，并且弄清楚了“琥珀拾芥”的秘密。

事情是这样的，每种物质都是由特定的分子组成的，而分子又是由一种或几种原子构成的，原子则是由带正电的原子核和带负电的电子组成的。

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1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运动，和太阳系里的行星绕太阳旋转有点相像。电子多的原子中这种轨道要有好几层。

原子的质量差不多完全集中在原子核里，核外电子的质量是很小的。电子的质量是 9.11×10^{-28} 克，约合氢原子质量

的 $1/1840$ 。

每个电子所带的电量，是已知的最小电荷，我们叫它基本电荷。

基本电荷 $e = 1.6 \times 10^{-19}$ 库仑

当两个物体相互摩擦时，一个物体里的电子会跑到另一个物体上。失去了电子的物体就显出带正电，得到多余电子的物体就显出带负电。所以在摩擦起电时，两个物体总是同时带有异性等量电荷。

古代希腊学者泰勒斯用长袍摩擦琥珀时，在长袍和琥珀之间就发生了这样的情况：长袍里的电子脱离开自己的原子核，跑到了琥珀上边，把它们分开以后，琥珀上就存在着许许多多的多余电子，负电荷的电量远远大于正电荷的电量，于是琥珀就显出了带负电的性质。

用绸子摩擦玻璃时，玻璃里的电子跳跃到了绸子上。绸子离开玻璃后，玻璃因为缺少了电子，而带正电的原子核还是那么多，正电荷的电量远远大于负电荷的电量，于是就显出了带正电的性质。

摩擦起电的过程就是物体间电子重新分配的过程。一个物体失去一定数量的电子，必有另一个物体得到相等数量的电子。

管住静电兄妹

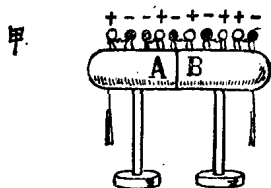
带电体既然能吸起纸屑、绒线，当然更能吸引小得多的灰尘。玉工们早就注意到，刚刚做好的玉器本来光彩夺目，玲珑剔透，过不久就会变得灰蒙蒙的，越擦越会变得灰，吹都

吹不掉那讨厌的灰尘。

我们穿的化纤衣服，用的塑料制品，都是摩擦电的良好栖息处所，使用不久就会沾上一层灰尘，让它们黯然失色了。

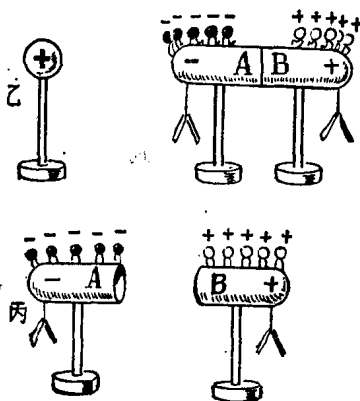
在纺纱机上，摩擦电使纤维带电后互相排斥散开，给加拈成纱造成困难；在印刷机上，受滚筒挤压而摩擦带电的纸张常常吸在铅板或滚筒上，影响连续印刷；在煤矿里，摩擦起电放出的电火花会引起瓦斯爆炸……

在干燥的环境里，如果你穿着塑料底鞋在干净的地板或地毯上长时间行走之后，伸手去抓一只金属门把，也许会发生这样意外的事：啪，一个小火花跳到你手上，把你电了一下。

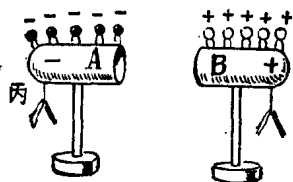


下。

电你的原因，有摩擦电，还有摩擦电的帮凶——感应电。



在中学物理实验中，有一种感应起电的实验。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，像个枕头，叫枕形导体。A和B分别粘有两片铝箔，它们带电后会由于同性相斥而张开，使大家知道导体已经带电，因此叫验电器。



感应起电

当导体不带电时，铝箔无精打采地垂下来（图甲）。我们把带电体C靠近A端，两

个验电箱就张开了(图乙)。拿开 C , 铝箔又没有了气力, 再拿来 C , 它们又张开。

我们把 C 靠近 A 端, 然后把枕形导体分开, 这次再拿开 C , 瞧, A 和 B 上的电荷并没有消失, 验电箱仍然有气力张着(图丙)。这时 A 和 B 所带的电荷是相反的, 我们让它俩再接触, 便会发生中和, 验电箱又垂下来了。

这个实验过程中, 枕形导体里的电子是这样运动的: 带正电的 C 靠近枕形导体, 由于异种电荷相互吸引, 缺少电子的 C 便吸引导体中的电子, 电子纷纷涌到 A 端, 验电箱 A 因带负电而张开; B 端的电子都跑到 A 那边去了, 由于缺少电子而显了正电, 验电箱 B 因带正电而张开(图乙)。

被带电体 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, 这个过程叫做感应起电。

现在我们再回忆一下你摸金属门把手时挨电的情景。你穿着绝缘的塑料鞋走来走去, 由于摩擦, 在身上带了不少电荷。当你靠近金属门把的时候, 你就成了施电体, 在门把上集中了大量的感生电荷。啪! 放电了……如果这时空气里弥漫着汽油蒸气, 便会引起爆炸; 如果这种情况发生在煤矿, 那也是有危险的。

摩擦起电和感应起电会给电子工业带来很多麻烦。集成电路中的微型元件会因一点额外的电荷造成信号失真, 引起事故。

受静电威胁的还有石油工业。运油车在行驶中会因摩擦而起电、放电, 引起火灾, 因此运油车总是拖着一条金属链子, 把电荷送给大地。

为了防止塑料和化纤制品等绝缘体上聚集摩擦电荷，人们还研制成功了各种静电防止剂，甚至造出导电橡胶、导电塑料、导电纤维……导电纤维已被广泛用来制作防电工作服及手套、地毯、包装袋等等。

静电防护已经成了一门工程技术，在劳动保护和环境保护中起着重要的作用。这种技术使我们管住了静电“兄妹”——摩擦电和感应电。

擒拿灰尘的小勇士

蒸汽机使人类进入了工业社会。瓦特发明的往复式蒸汽机把火变成了动力，引起了第一次工业革命，人类文明得到了一次飞跃。从此，烟囱如雨后春笋，火车如长龙奔驰。

然而，蒸汽机不但使英国进入了煤和铁的工业时代，也使它进入了烟尘世界，一座座烟囱如同伸向天空的“黑笔”，涂抹了蓝天。瓦特没有想到的现象发生了：在蒸汽机进入实用阶段近90年的时候，1873年、1880年和1882年，在伦敦发生了由于燃煤造成的烟雾事件。直到1952年，烟雾还在杀人。那年12月5日，伦敦上空处于息风状态，工厂烟囱的烟尘弥漫天空，笼罩了全城，许多市民咳嗽不止，4000人毙命，事后又有8000人病亡！在美国宾夕法尼亚州的多诺拉镇，也发生过类似事件。1948年10月的一天，在这烟囱林立的工业小镇中出现了“杀人雾”，5900余人咳嗽，喉痛，胸闷，17人当场毙命……

原来，煤在燃烧中大约有原重量的10%变为烟尘排入大气。那黑烟中，就有无数粒径10微米以上的没有燃烧的小碳

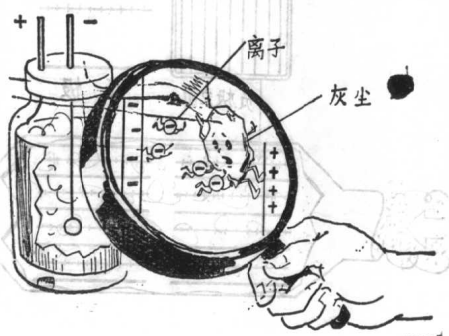
粒，它们在空中飘不多久便落到地面上。这就是落尘，也叫降尘。

降尘固然可恶，飘尘更为可恨。飘尘是粒径在10微米以下的颗粒，有的比细菌还要小，能长期在空气中飘浮。粒径大些的被人吸入后能遭到鼻毛的阻挡并随呼吸道的粘液排出；稍小些的粒子要靠痰排出。人吸入这样的颗粒多了，就被逼得一个劲儿咳嗽、吐痰。再小的飘尘是吐不出来的，它们会到达肺细胞而沉积，甚至会进入血液游遍人体。这些不速之客的表面常带有致毒甚至致癌物质，它们像一把把尖刀刺向了人的五脏六腑。

各种有害的烟粒、粉尘、液滴以及飘尘混在空气里，造成了危害人类生存的大气污染。能不能把这些污染物捉住呢？

于是，人们想到了静电——要是让成千上万的尘粒带上某种电荷（例如负电荷），再用一个带异性电荷的极板来吸它们，那些尘粒不就能乖乖地到极板上集合了吗？

科技工作者做过这样一个静电除尘演示实验。找一个带透明有机玻璃盖的广口瓶，紧贴瓶内壁放一个铁皮卷成的圆筒。瓶盖中心插进一根下端焊有金属球的铜丝。铜丝和铁皮分别接静电起电机的负极和正极。准备好以后，点燃一张纸，把瓶子倒扣在纸上，等里面充满灰蒙蒙的烟

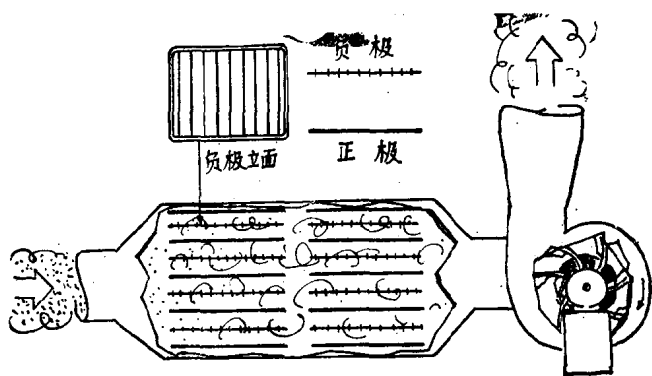


雾后盖好盖子放正。起电机开动以后，瓶内的浓烟立刻急剧地翻腾起来。只一会工夫，烟消了，雾散了，玻璃瓶内变得清彻透明了。再看看铁皮上，挂了薄薄一层脏东西，它们都是被擒拿来的烟尘。

谁是捉拿灰尘的勇士呢？

原来，利用电晕放电可以造成数不清的离子，这些离子源源不断地涌出来，它们通常带负电，叫做负离子。负离子在电极的排斥下飞出来撞到灰尘粒上，附着在上边，使灰尘带上了负电。这灰尘一带电，就身不由己了，那边有强大的正电极板，于是便乖乖地去那里集合了。

我们做的静电除尘演示实验，实际上就是一种小型静电集尘器。在实际工程中的静电集尘器，正极做成板式用来吸尘，负极做成栅栏，最易于电晕放电。炉火里的烟尘从那里通过，浓黑的烟雾就会变成一股股白烟，对大气的污染就大为减轻了。



静电除尘器内部构造