

中学物理教学参考丛书

静电场

张计怀 编

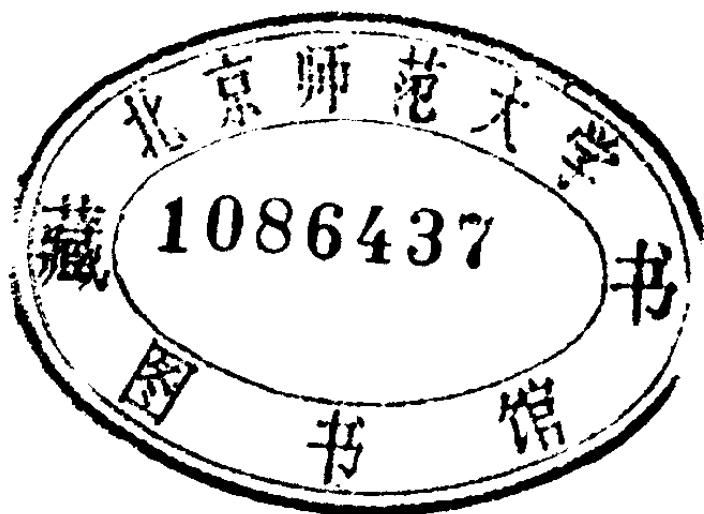
北京师范大学出版社

711185/13

中学物理教学参考丛书

静 电 场

张计怀 编



北京师范大学出版社

1982年

中学物理教学参考丛书

静 电 场

张计怀 编

*

北京师范大学出版社出版

新华书店北京发行所发行

西安新华印刷厂印刷

*

开本：787×1092 1/32 印张：3.375 字数：67千字

1982年9月第一版 1982年9月第一次印刷

印数1—29,000

统一书号：7243·59 定价：0.30元

编 者 的 话

本书是中学物理“静电场”部分的教学参考读物。主要包括电荷之间的相互作用规律、电场的产生及其描述、电场的性质、电场中的导体、电容器和静电的应用等内容。在选材方面，围绕着中学物理教学大纲，对不同内容作了如下三种处理：对中学物理教科书上比较详细的内容，本书尽量压缩或简单叙述；为了加深理解物理教科书上的教学重点，对相应部分的内容有所补充和扩展；本书编入了一些课本上没有或讲得很少的内容，以开阔学生的知识眼界。

本书的编写力求由浅入深，从直观的观察入手，简洁明了地叙述物理概念和规律及其应用，并适当考虑到了文字的趣味性。可供中学物理教师和小学自然常识教师参考，也可供在校中学生、知识青年学习。

对于书中的不妥或挂漏之处，欢迎读者批评指正。

一九八一年十二月

目 录

引言	(1)
(一) 人类对电的认识	(1)
(二) 人类被电包围着	(2)
(三) 使用电能的优越性	(3)
第一节 电荷的获得	(3)
(一) 摩擦起电	(4)
(二) 感应起电	(6)
(三) 电荷守恒定律	(11)
第二节 点电荷的相互作用规律——库仑定律	(12)
(一) 电量与点电荷	(13)
(二) 库仑定律	(14)
(三) 电量的单位及 k 值的确定	(15)
(四) 多个电荷之间的作用力——迭加原理	(17)
第三节 电场——物质的另一种存在形式	(20)
(一) 静电场与重力场的类比	(21)
(二) 电场强度	(23)
(三) 电场的形象化——电力线	(30)
第四节 电势	(35)
(一) 电场中的电荷所具有的电势能	(35)
(二) 电场力做功的特点	(37)
(三) 电场的电势及电压的实质	(42)
(四) 等势面	(45)
(五) 静电场中电场强度和电势的密切关系	(47)

第五节	静电场中的导体	(55)
	(一) 电场对导体内自由电子的作用	(55)
	(二) 导体的静电平衡	(55)
	(三) 尖端放电及其应用	(62)
第六节	静电计	(69)
	(一) 静电计的原理	(69)
	(二) 静电计和验电器的区别	(72)
第七节	电容器	(73)
	(一) 孤立导体的电容	(73)
	(二) 电容器	(75)
	(三) 电容器的联接	(78)
第八节	静电的应用	(87)
	(一) 静电植绒	(87)
	(二) 静电喷漆	(88)
	(三) 静电除尘	(89)
	(四) 静电加速器	(92)
第九节	地球的电场	(93)
第十节	电子	(95)
	(一) 热电子发射	(95)
	(二) 电子管	(96)
	(三) 电子枪和示波管	(97)
[附]:	习题答案	(99)

引 言

当你于国庆佳节的夜晚，走到雄伟壮观的天安门广场时，你会感到如同白昼一样；当你来到现代化的工厂时，你会听到机器的隆隆声；当你坐在飞驰的电车上时，你会感到现代化的交通工具为你节约了宝贵的时间。所有这些，都是由于“电”做为动力为人类造福而贡献它的力量。在二十世纪的今天，真可以称为“电”的世界。

（一）人类对电的认识

人类对电的认识经过了一个漫长的过程，电现象是宇宙间的自然现象。在远古时候，由于雷电发生雷击，曾烧毁大片的森林、伤亡大量的人畜。这就必然给人们造成一种惧怕雷电的心理，在我国古代就有很多迷信的传说。古人把雷的产生归之于天宫中有一个青面獠牙的鬼神（称他为“雷公”），他一敲鼓，人间就打雷。古人又把闪电称为“打闪”，认为闪电的产生是因为天宫中有一个很美丽的“娘娘”，她有一面宝镜，镜子向人间一照，就是打闪。某些古画和古老的庙宇壁画上还存有这种形象的想像画面。在古代劳动人民虽然也发现了很多有关的电现象，但由于科学不发展不可能解开“电”之谜。

有关电知识的积累在古代就开始了。我国古代著名的伟大作品《论衡》中就有“顿牟掇芥、磁石引针”的记载。顿牟就是指琥珀；掇即是引取拾取的意思；芥指轻而小的物体。公元1600年英国医生吉伯提出了“电”这个神秘的名词，但它的谜底并没有被揭晓。直到1785年，库仑才利用扭

秤首次定量的实验测定了相距一定距离的两个点电荷之间的作用力，为静电学的发展打下了基础。

随着生产的发展，科学也在不断地向前迈进。继库仑之后，安培、欧姆、法拉第等人相继发现并建立了电与磁之间的联系。欧姆定律、电磁感应定律，为以后电工学的发展提供了理论根据。从而电能才开始普遍地为人类所利用。

到十九世纪末，麦克斯韦在前人的基础上，用数学形式统一了电场与磁场的关系，称为“古典电磁场理论”。为以后的无线电波发展奠定了基础。我们所研究的静电场，是电磁场中最基本、也是最重要的一部份。可以说现代所有带“电”字的学科，都是以静电场为基础的，因此学好静电场是学习自然科学很重要的一环。

(二) 人类被电包围着

我们人类是被电的海洋包围着的，地球本身就是一个带负电的极大带电体，带的电量大约为 5×10^5 库仑。而距地面几十公里高的地方又有一层带正电的离子层，这层电荷“云”，正好与地球上的负电荷相反。就地面上的人类来说，下面铺的是负电荷；上面盖的是正电荷，我们就处在这个电场之中，电场强度为130伏特/米。

在我们的工作、学习、生活中，“电”是我们经常的伴侣，生产需要电动机；照明需要电灯；运输需要电车；休息时可以打开收音机、电视机等等。可见“电”真是我们的好朋友。可以说自然界的任何一种变化，都和电现象有着密切的联系。从震撼大地的雷电到微型电池的细胞；从能吊万吨的吊车到用电获取食物的电鳗和食虫草，都包含着电的作用。就在我们时时刻刻也离不开的空气中，也含有大量的带

电粒子——离子。

我们与电是不能分割的，因此研究电现象是我们控制自然的一个重要部份。

(三) 使用电能的优越性

电能为什么能在日常生活、工业、农业、国防、医疗、科研等方面得到广泛的应用呢？它具有以下几个优点：

第一，电能比较容易转变成其它形式的能，例如利用电动机把电能转变成机械能；利用灯泡把电能转变成光能；利用电炉、电烙铁把电能转变成热能；给蓄电池充电把电能转变成化学能等。电能通过简单的用电器直接变成其它形式能量的优越性，为普遍应用电能创造了条件。

第二，电能的输送简便、迅速。电能的输送工具是高压输电线，它不用装卸，并且在瞬间就可以把发电厂的电能输送到用电单位，节约了大量人力、物力及时间。

第三，电能便于控制，电闸就是很有效的控制器，利用它可以随时使用和切断电能的电源，有效地达到充分利用电能为我们人类服务。

第四，便于测量各种电量，我们常用的各种电表就是测量各种电量的有效工具。例如安培计、伏特计、瓦特计等。这些仪表在测量中既方便，又准确。

第五，电能的利用效率比较高，这是任何其它形式的能量所不能比的。

第一节 电荷的获得

在我们的工农业生产、科学研究、国防建设以及日常的

生活中，既然电是我们最好的帮手，那么如何获得电就成了我们研究的重大课题。现在介绍捕获电的几种基本方法，现代化大规模的起电也都是利用这些基本原理，只是技术上更加先进和更加完善合理罢了。

(一) 摩擦起电

在天气干燥的夜晚，如果小妹妹用塑料制成的梳子去梳头时，她会惊叫起来！发现在梳头过程中，头发和梳子间有发亮的火花并伴随着轻微的嘶嘶声。这种现象就是摩擦起电引起的。

我们在实验室研究摩擦起电时多用玻璃棒与丝绸摩擦使玻璃棒带电；用橡胶棒与毛皮摩擦使橡胶棒带电。摩擦过的玻璃棒和橡胶棒都可以吸引原来不带电的轻小物体，如碎纸屑、毛发、通草球等。但是，当两根带电的玻璃棒，或者两根带电的橡胶棒相互接近时，它们有一种非常“敌对”的情绪，表现为相互远离，称为互相排斥。当一根带电的玻璃棒和一根带电的橡胶棒接近时，却表现的特别“友好”，它们互相靠近，称为相互吸引。从这种相互之间排斥和吸引的现象中可以看出：玻璃棒和橡胶棒所带的电是有不同性质的，为区别两种电的不同情况，称玻璃棒上所带的电为**正电**；橡胶棒上所带的电为**负电**。而且自然界也只有这两种性质的电。电荷之间表现为**同性电相斥，异性电相吸**。正电和负电通常用符号“+”、“-”来表示。

一个物体是否带电，带电多少，这是我们很关心的问题。验电器就是一种最简单的检验物体是否带电以及粗略地、定性地检验带电多少的仪器。它的构造如图1—1所示，把一个一端装有光滑金属球的金属杆，通过软木塞插入

玻璃瓶内，在杆的下端挂上两片锡箔，玻璃瓶的作用是防止因空气流动而影响锡箔的状态和位置。当带电体接触金属球时，带电体上的电荷就移到金属球上，然后传到锡箔上，使锡箔也带上同种性质的电。由于同性电相斥，使两片锡箔相互推开，即张开一定的角度。张开角度的大小，反映了带电体所带电的多少。

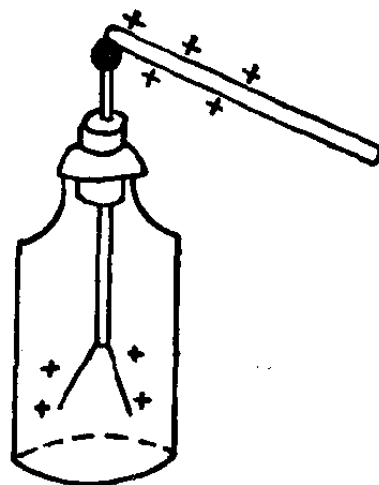


图 1—1

为什么摩擦能使物体带电呢？为了回答这个问题，我们首先介绍一下“电子论”，即谈谈电的根源。我们所看到、摸到的实物，都是由微小的分子所组成，而分子又是由更小的原子所组成，原子由带正电的原子核和围绕原子核转动的带负电的电子所组成。原子核又由带正电的质子和不带电的中子所组成。原子核的半径约为 10^{-12} 厘米，而电子绕核转动的半径约为 10^{-8} 厘米。这种经典的原子模型就相当于：原子核是一个半径为1米的球，在此球10公里远的轨道面上，有若干个“小球”围绕着运动。在正常状态，原子核所带的正电数和周围电子所带的负电数相等，一旦某种物质失去部份电子，该物质就带正电，得到电子的物质就带负电，这就是物体带电的原因。物质失去电子的原因很多，我们将在以后的有关部份介绍。

现在让我们再回过头来研究摩擦起电的问题，即谈谈为什么摩擦能使物体带电。不同性质的两种物体紧密的相接触时，离原子核较远的电子可以从一个物体的表面跑到另一个

物体表面，根据不同物质的性质，有的喜欢夺取电子，有的容易失掉电子，正因为这种原因，得到电子的带负电，失去电子的带正电。物体表面都是凹凸不平的，通过摩擦可以大大的增加紧密接触的面积，这样可使某一种物质的表面电子有更多的机会向另一种物质表面跑去。另外在摩擦过程中，外力要对物体做功，这个功转变成物体内电子的动能，使得电子的平均速度加大，也促成了电子向外跑的机会，这就是摩擦起电的实质。

(二) 感应起电

摩擦起电是得到电荷的一种基本方法，也是最早被人民所采用的方法。但是，要想得到大量的电荷，摩擦起电的方法是很难完成的。感应起电的方法要比摩擦起电优越的多。为了说明感应起电现象和物理实质，先介绍一下导体和绝缘体。

导体是能够传递电荷的物体；绝缘体是不能或者很少传递电荷的物体。介于导体和绝缘体之间的一些物体理所当然的就是半导体，半导体现在已成为一门专门的学科领域，我们不去讨论它。我们平常说的导体是指金属导体，如金、银、铜、铁、铝等，以及液体导体，如酸、碱、盐的水溶液和不纯净的水。在静电场中所研究的导体主要是指金属导体。这里特别要说明的是人体也是导体，可以传导电荷，从而在人身体内形成电流，时间长了会致人于死地。根据“电子论”，金属导体内的电子可以解脱原子核的束缚，在金属体内自由移动，这些电子称为自由电子。自由电子的存在是金属导电的根本原因。自由电子的多少是判定金属导体导电性能的内因。绝缘体内的电子不容易挣脱原子核的束缚，因

此在绝缘体内自由电子很少，当然它的导电性能很差。从以上情况可以看出，金属导电是电子带着它的电荷运动，而带正电的原子核是不动的。液体导电和金属导电的实质是不同的，液体导电是溶液中的正、负离子带着它的正、负电荷向相反方向运动形成电荷的移动。

导体和绝缘体并没有严格界限，有些物体在某种情况下是绝缘体，而在另一种情况下可能是导体。例如陶瓷在电工上是良好的绝缘体，而在静电场中由于漏电很快却变成了导体。又如玻璃在常温下是绝缘体，而在高温时是导体。干燥的木头是绝缘体，而潮湿的木头是导体。因此：所谓导体和绝缘体是相对而言的，不能绝对化。

感应起电是利用带电的物体去接近（不是接触）一个有自由电子的导体，如图 1—2 所示。当带正电的物体 A ，接近导体 B 时，由于同性电排斥，异性电吸引，导体 B 中的自由电子很高兴的都向靠近 A 的一端跑。远离 A 的一端就缺少了电子。近端和远端相比，近端电

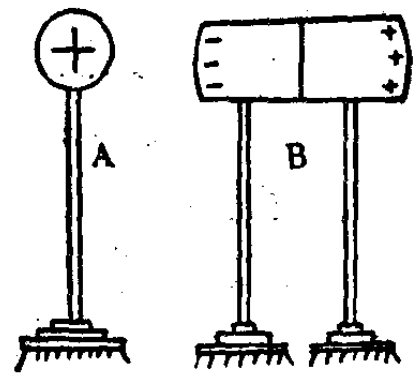


图 1—2

子过剩，表现出带负电，远端缺少电子，表现出带正电。如果在移去带电体之前把导体 B 从中间分开，两部分就分别带上负电和正电，这就是感应起电。

如果导体 B 的中间不能分开，又如何使 B 带电呢？请看下面的过程：首先使带正电的物体 A 移近导体 B ，使 B 左端带异性电（负电），右端带同性电（正电），如图 1—2 所示。这时把远端和地接触一下或用手摸一下，如图 1—3

(a) 所示。在这过程中，地球上的电子就有一部份跑到导体B右端，和正电中和。于是只剩下左端的负电荷，如图1—3 (b) 所示。当撤去接地导线或手后，再移去带电体A，B就显示出带负电，如图1—3 (c) 所示。

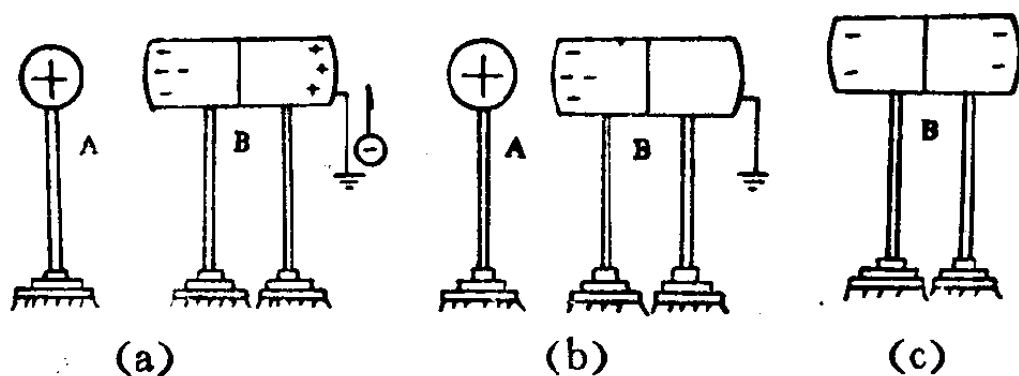


图 1—3

感应起电可以得到比摩擦起电多得多的电荷，实验室中的感应起电机就是根据感应起电原理制造的，如图1—4所示，它有两个带电小球A、B。当电荷足够多时，两球之间可以发生劈劈啪啪的火花放电。这就是实验室中的“雷电”。感应起电机是实验室中进行静电实验的主要仪器，它能连续地产生高电压，供给我们去完成各式各样的静电实验。图1—4是感应起电机的外形，上面有两个绝缘材料做成的圆盘，转动摇柄带动圆盘绕其中心轴转动。要特别注意，在摇动转柄时，电刷与转盘会有嘶啦嘶啦的摩擦声，千万不要误认为是由于摩擦起电，否则，感应起电机的“感应”二字就没有意义了。图1—5是感应起电机起电的原理示意图。为了便于看清楚，我们把两个大小相等的圆盘，分别画成大小不等的 C_1 和 C_2 。在绝缘圆盘的边缘等距离地牢固地粘上锡箔金属条。如图1—5 (a)。

我们知道，人是生活在静电的海洋里，在地面附近的空

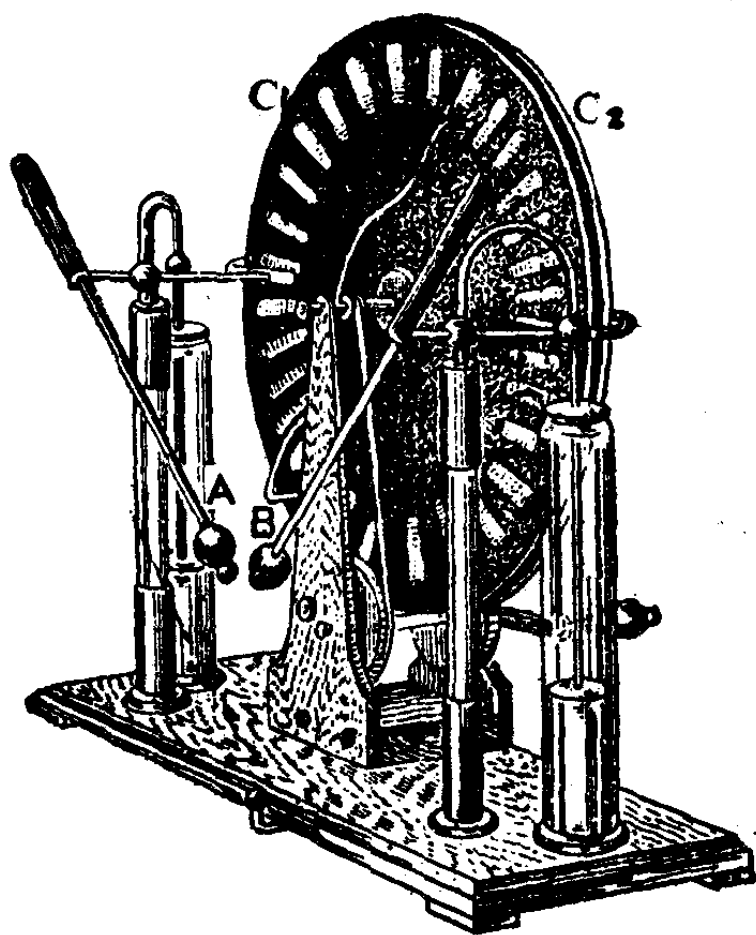


图 1-4

间里由于种种原因，总存留着少量的正电荷或负电荷。假如在我们转动圆盘之前，锡箔 a 上有一些正电荷，那么，根据感应原理，在圆盘 C_2 上对应于 a 的 b 点一定有等量的负电荷伴随着。若用一个金属杆 E_2 ，两端固定上用细铜丝做成胡须状的电刷，把 b 点和 b' 点连起来，则在 b' 点上一定有一个失去电子后的正电荷。假如圆盘 C_2 按图 (a) 所示的方向顺时针转动，而 C_1 暂设它不动。当 C_2 转动半周以后，凡 C_2 上经过与 a 对应的点锡箔上都出现一个负电荷陪伴一个 a 上的正电荷，于是就出现了如图 1-5 (b) 所示的带电现象。这里要特别提醒读者注意，在圆盘 C_1 上安装的金属杆 E_1 垂直于金属杆 E_2 ，它的两个电刷和 C_1 上的锡箔 a_1 及 a_1' 接触。由

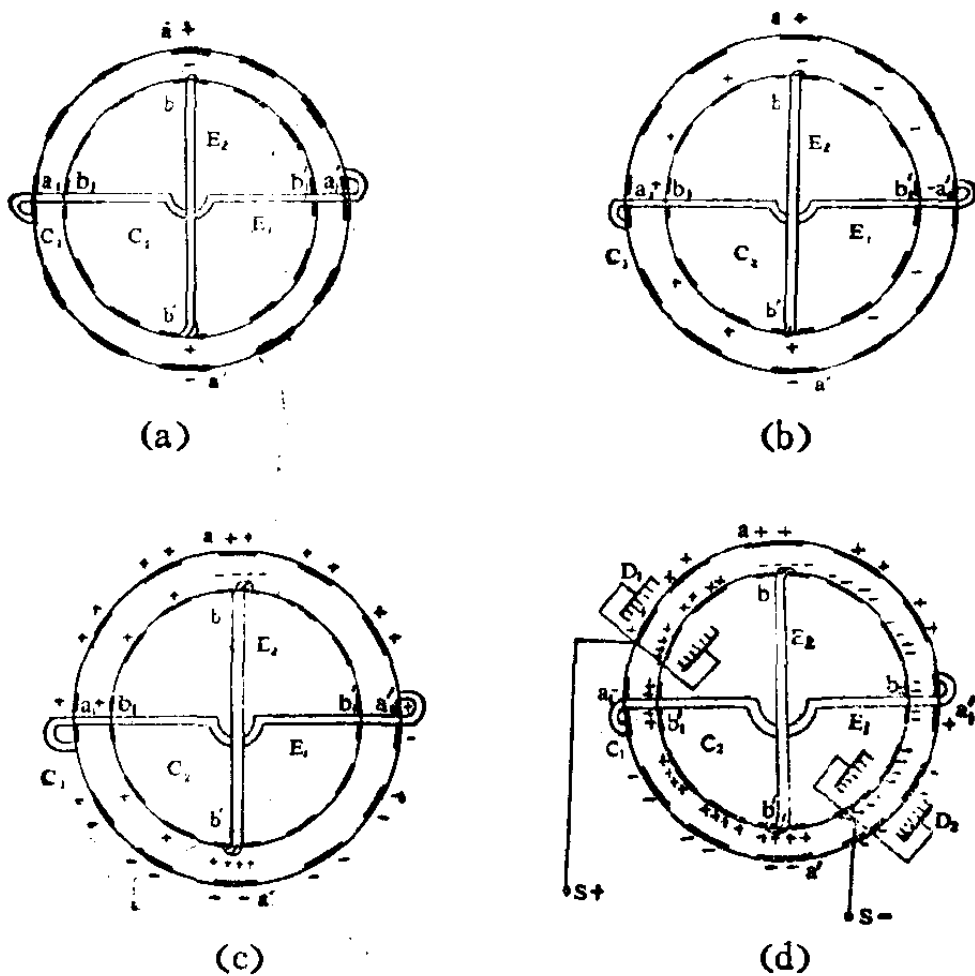


图 1—5

于 a_1 、 a_1' 与圆盘 C_2 上的 b_1 和 b_1' 两者都起感应，所以在锡箔 a_1 、 a_1' 上的电荷要增多。若假设 C_2 不动， C_1 按逆时针方向也转半周，两圆盘上的锡箔带电现象如图(c)所示。实际上两个圆盘是同时转动的，感应起电的情况与上述相似，只是加快了起电过程。从图(c)带电的情况来分析，只要我们在圆盘的第二和第四象限加上个搜集电荷的集电梳，由于两圆盘上的锡箔在第二象限都带正电，而在第四象限都带负电，就可以分别得到正电与负电。集电梳由一排针尖组成，如图(d)中的 D_1 、 D_2 。成排的针尖并不接触锡箔，由于感应，针尖上也感应上与锡箔异性的电荷，在针尖与锡箔之间的空气就被电离（实际是在针尖与锡箔之间形成强电场把空

气电离)，被电离的正、负带电离子，由于同性相斥，异性相吸，分别跑到针尖和锡箔上去，于是相当于锡箔上的正、负电荷跑到了所对应的针尖上，然后收集到两个金属球上。当不断摇动转柄时，就可以不断的使小球增加电荷的数量，可使两球之间的电压达几万伏特。

以上我们介绍了摩擦起电和感应起电，这是静电场中两种主要的起电方法，除此之外利用强光去照射金属（如锌）或使金属导体在磁场中运动而改变磁通量都能起电。关于这部份内容，将在光学和电磁感应中详细讨论，这里就不谈了。

（三）电荷守恒定律

使物体带电的方法很多，物体可以带正电，也可以带负电。但是，无论用什么方法使物体带电，电荷决不会无故产生和消灭。例如，在摩擦起电过程中，失去电子的物体带正电，得到电子的物体带负电，两物体所带电量的绝对数值是相等的。在静电感应过程中，导体两端感应电荷的绝对数值也是相等的。

有时中性的粒子在外界作用下变成了带电的粒子，好像是“产生”了电，其实不然。所谓中性粒子，是它们所具有的正负电荷数相等，因此对外不显电性。当把它们的正、负电荷分开时，它们被分开的正、负电荷对外都显示出电性来。这种被分开的带电粒子，称为正、负离子。正、负离子总是成对出现的，并且两离子所带的电量总是数值相等、符号相反。一个中子可以变成一个带正电的质子和一个带负电的电子，它们所具有的电量也是等值而反号的。总之，在这类过程中，前后的总电量都等于零。