

上海市大学教材

# 基础物理

(工 科 用)

申 册

上海人民出版社

大学教材

# 基础物理

(工 科 用)

中 册

《基础物理》编写组

上海人民出版社

上海市大学教材  
基础物理  
(工 科 用)  
中 册

《基础物理》编写组

上海人民出版社出版  
(上海绍兴路5号)

新华书店上海发行所发行 上海市印刷六厂印刷

开本850×1168 1/32 印张6.375 字数154,000  
1974年2月第1版 1977年7月第1次印刷

统一书号: 13171·81 定价: 0.50 元

# 毛主席语录

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。

教材要彻底改革，有的首先删繁就简。

LAK 2011

# 目 录

## 第三篇 电 和 磁

第十一章	电场	4
第一节	生产实际中的一些静电现象	4
第二节	电场	6
第三节	电场强度	8
第四节	电位差	16
第五节	电场中的导体	20
第六节	电容器	25
第七节	电场的能量	31
第十二章	电流	38
第一节	简单电路	38
第二节	电流的形成	41
第三节	欧姆定律	43
第四节	电阻率	47
第五节	电阻的串联和并联	50
第六节	电桥	59
第七节	电流的功 电功率	62
第八节	电源的电动势 闭合电路的欧姆定律	67
第九节	电位差计	73
第十三章	磁场	81
第一节	磁电式电表	81
第二节	磁场	82
第三节	磁感强度 磁通量	86
第四节	几种通电导线的磁场	92
第五节	电磁铁及其应用	97
第六节	磁场对电流的作用	99

第七节	磁场对运动电荷的作用	107
第八节	磁化 铁磁性材料	115
第九节	磁路 安培环路定律	122
<b>第十四章</b>	<b>电磁感应</b>	<b>134</b>
第一节	发电和输电	134
第二节	电磁感应现象	136
第三节	电磁感应定律	141
第四节	交流发电机原理	146
第五节	互感现象 变压器原理	149
第六节	涡电流	154
第七节	自感	157
第八节	磁场的能量	161
第九节	电磁振荡和电磁波	164
阅读材料之五	非电量的电测法	175
阅读材料之六	半导体基本知识	183
附录一	电磁量的单位制	191
附录二	习题答案	193

## 第三篇 电 和 磁

在生产实践和日常生活中，我们经常要用到“电”。例如用电灯照明，用电话联系工作，用电动机带动各种机械，用电磁仪表进行测量等。此外，无线电广播、电视、电报等也都离不开“电”。恩格斯说：“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》）可见，电运动是一种普遍存在的物质运动形式。

人们通过长期实践，认识到自然界存在着两种性质不同的电荷：即正电荷（或阳电，以“+”号表示）和负电荷（或阴电，以“-”号表示）。实验表明，电荷间有相互作用，同号电荷相互排斥，异号电荷相互吸引。正电荷和负电荷是相互对立而又相互联系的矛盾的双方，它们同时存在于物体之中。我们知道，气体、液体和固体都是由分子组成的，而分子是由原子组成的。进一步的研究表明，原子是由一个带正电荷的原子核和若干带负电荷的电子所组成。电子有规则地分层分布在原子核周围，并且不停地一面自旋一面绕核旋转着。电子所带负电荷的总和与原子核所带的正电荷相等，因此对整个原子来说显示出中性。当原子失去一个或几个电子时，就显示出带正电；原子失去电子后形成的带正电的粒子叫做正离子。反之，当原子获得额外的电子时，就显示出带负电；原子获得电子后形成的带负电的粒子叫做负离子。由此可见，正负电荷是物体固有的，它既不能被创造，也不能被消灭，而只能从一个物体转移到另一个物体。当正负电荷在一定的条件下相互分离并发生转移时，物体就显示出带电现象。例如，胶木棒与毛皮相互摩擦

时,一些电子就从毛皮转移到胶木棒上,因此毛皮显示出带正电而胶木棒显示出带负电。除了机械摩擦外,其他作用也能使正负电荷分离,例如,加热电子管中的阴极或以光照射铯和铯等材料,可以使它们发射出一些电子;又如借助化学作用(如干电池中)或感应作用(如感应圈中)也可以使正负电荷分离而分别聚集到两极上。

带电物体所带电荷的数量叫做电量, 目前已知自然界中存在的最小电量是电子的电量。在实用单位制中, 电量的单位叫做库仑, 它等于 625 亿亿个电子所带的电量, 即

$$\langle\langle 1 \text{ 库仑} = 6.25 \times 10^{18} \text{ 电子电量} \rangle\rangle$$

在有机玻璃、胶木、塑料等材料中, 原子内的电子受原子核的束缚作用较强, 不容易离开原子而自由运动, 因此, 这类物体的导电性能很差, 叫做绝缘体(或叫电介质)。与此相反, 在银、铜、铝等金属材料中, 原子内的外层电子受核束缚较弱, 在其他原子的影响下, 电子容易离开原子在物体内部自由移动而成为自由电子, 因此, 这类物体容易导电, 叫做导体。在一些电解液(如酸、碱和盐的溶液)中, 存在可以自由移动的正负离子, 因此它们也是导体。由上述可知, 绝缘体与导体的区别决定于物体内部是否存在大量的自由电荷(自由电子或离子)。应该指出, 绝缘体与导体的界限并不是绝对的, 在一定的条件下可以相互转化。例如玻璃在常温下是绝缘体, 高温时就转化为导体。此外, 还有硅、锗、氧化铜等类材料, 它们的导电性能介于绝缘体与导体之间, 并且随着外界条件(如加热、光照等)的不同而显著变化。这类物体叫做半导体。

当电荷定向运动形成电流时, 就在周围空间激起磁场, 而磁场对其他运动电荷也要施加作用。可见, 电和磁是紧密地相互联系、相互制约着的孪生现象。它们在一定的条件下, 例如在电磁振荡和电磁波中, 不断地进行着相互间的转化。

电和磁的运动与其他物质运动形式间, 也经常相互转化。例



如在电动机中,电运动以磁为媒介不断地转化为机械运动,在电灯照明时,电运动不断地转化为热和光。与此相反,在发电机中,机械运动以磁为媒介不断地转化为电运动;在热电偶、光电池和化学电池中,热、光和化学运动不断地转化为电运动。我们知道,能量是物质运动的量度,在电运动与其他运动形式间相互转化时,总是伴随着相应的不同形式能量间的转化。因此,电能可以转化为机械能、热能、化学能、光能等形式的能量。反之,这些形式的能量也可以转化为电能。

和其他形式能量相比较,电能具有便于转化、便于远距离输送、控制和调节等突出的优点。因此,在工农业生产和日常生活中,广泛使用电能作为能源。此外,由于电能还可以用电磁波的形式向外传播,因此电能也广泛应用于通讯、遥控和遥测等方面。

本篇着重介绍关于电和磁的一些基本知识,阐明电磁运动的基本规律以及与其他运动形式间的相互联系,为学习有关的后继课程打下必要的基础,也为今后更好地为工农业生产和国防建设服务准备有利的条件。

# 第十一章 电 场

本章以阴极射线示波管为例，讨论电荷与电场间的相互联系，着重介绍电场强度、电位差和电容等几个基本物理量。

## 第一节 生产实际中的一些静电现象

电荷在一般情况下总是不断地运动着的。例如，在电灯发光、电炉发热、电动机转动等过程中，有大量的电荷在物体内部移动。但在一定条件下，例如在摩擦起电、电容器充电等情况中，物体上所带电荷可以暂时处于相对平衡状态；处于这种状态的电荷叫做静电。恩格斯说：“自从我们已经学会利用发电机造成恒值电流，相反地，也会利用电流产生所谓静电，把来顿瓶充电等等以来，所谓静电（或称摩擦电）和动电（或称流电）之间的对立可算是已经调和了。”（《自然辩证法》）静电和动电是互相有区别而又有联系的辩证统一。

在生产实际中，一些静电现象是需要加以注意的问题。例如，运油车的后部总有一根铁链拖在地上，这是因为运油车开动时，由于冲撞和摩擦作用，会使运油车带电。如果不用铁链把电及时传到地上，车上电荷积累多了，可能会产生火花放电而引起爆炸。又如在纺制人造纤维的纱线时，纤维会因摩擦作用而带电，以至互相排斥而散开，不易捻成纱线。因此，必须采取措施来消除静电。如果我们掌握了静电的特性，就可以使它由不利因素转化为有利因素。例如，火花放电已广泛应用于汽油机的点火装置。目前，带静电的物体能对周围带电粒子产生作用的特性，在静电除尘、静电喷漆、静电植绒和静电纺纱等工业生产方面，已经获得广泛的应用。

下面,我们以阴极射线示波管为例,说明如何利用静电来控制带电粒子的运动。

阴极射线示波管是示波器(图 11-1)中重要的显示部件。它是一个抽成真空的玻璃管泡,结构原理如图 11-2 所示。 $F$  为灯丝,外面套着阴极  $K$ 。当灯丝通电发热使阴极温度升高时,在阴极上就会发射出电子。 $A$  为阳极。当阴极带负电而阳极带正电时,从阴极上发出来的电子就向阳极加速运动。一部分电子穿过阳极中心的小孔而射到荧光屏  $P$  上;由于高速电子的轰击,在荧光屏上产生一个亮点。阴极  $K$  和阳极  $A$  组成一个电子枪,它的作用就是产生一束高速运动的电子流——阴极射线。 $X_1$ 、 $X_2$  和  $Y_1$ 、 $Y_2$

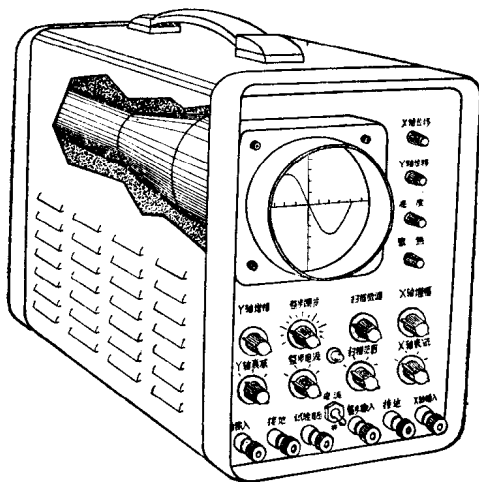


图 11-1 阴极射线示波器

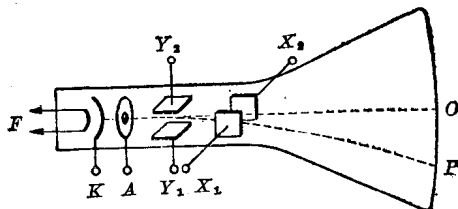


图 11-2 示波管的结构原理

是相互垂直放置的两对偏转电极。当一对偏转电极分别带正电和负电时,电子的运动方向就会偏转,在荧光屏上亮点的位置也就相应改变。因此,当两对偏转电极所带电荷按一定规律随时间变化时,电子运动方向就会作相应的变化,从而在荧光屏上显出相应的图形。

为什么电子枪能使电子加速运动?为什么偏转电极能使电子改变运动方向?其中有哪些具体规律?这些问题我们将在本章中加以阐明。

## 第二节 电 场

### 一、电场对带电粒子的作用

在阴极射线示波管中,当电子束经过带电的偏转电极时会改变方向。为了直接观察这个事实,让我们做一个实验。图 11-3 是演示用的阴极射线管, $K$  是阴极, $A$  是阳极,左方的挡板上开有狭缝。当用感应圈(原理见第十四章)使  $A$  和  $K$  两极分别带正电和

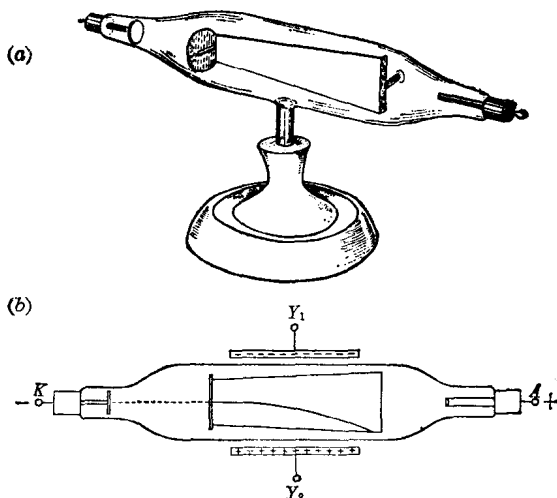
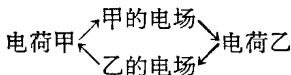


图 11-3 电子在电场中的偏转

负电时,就会产生一束电子流从阴极  $K$  穿过狭缝掠过荧光屏射向阳极  $A$ , 因此在荧光屏上可以显示出电子束运动的径迹。在管壁外装上一对偏转电极  $Y_1$  和  $Y_2$ 。我们可以看到, 当偏转电极不带电时, 电子束的径迹是一根直线, 说明这时电子没有受到力的作用。当偏转电极分别带正电和负电时, 径迹弯曲(图 11-3b), 说明这时带电的偏转电极对电子有力的作用。

我们知道, 一个物体对另一个物体的作用力, 或者是通过直接接触发生的(如人拉车), 或者是通过中间物体为媒介而发生的(如人通过绳子拉车)。在图 11-3 的实验中, 带电的电极并没有与电子直接接触, 那末它是用什么东西为中间媒介对电子施加作用的呢? 人们经过长期的实践, 认识到电荷周围存在着某种具有客观实在性的东西, 叫做电场。电荷间的相互作用就是通过电场进行的。例如甲、乙两电荷间的相互作用, 是由于电荷甲周围存在的电场对电荷乙施加作用, 同时电荷乙周围存在的电场也对电荷甲施加作用。即



在示波管中, 当偏转电极带电时, 在电极间的空间里就存在着电场, 因此对进入电场中的电子施加了作用力而使它的运动方向改变。同样的道理, 当电子枪的电极带电时, 在电极间也存在着电场, 因此对电子施加了作用力, 并且对它做了功, 使它获得动能而高速运动。

由上述可知, 电场对电荷的作用主要表现在: (1) 在电场中的电荷受到电场所施加的作用力, 这个力叫做电场力; (2) 电荷在电场中移动时, 电场力要对它做功。所以, 我们可以通过电场对电荷的作用来认识电场。进一步的研究表明, 电场具有能量, 能以电磁波的形式向外传播, 也能与其他物质运动形式相互转化。这些事实说明, 电荷周围存在的电场, 是能为我们所认识的客观实在, 这

就是说,电场是一种物质。

## 二、静电除尘

电场对电荷的作用来控制带电粒子的运动,已广泛应用在生产实践和科学研究中,下面我们以静电除尘为例来加以说明。

在生产精密仪器(如电表、手表等)的车间和进行精密测量的实验室中,空气中的灰尘含量不能超过一定的限度,以免影响产品质量和测量精确度,这就要采取空气净化措施。此外,工厂烟囱排出的浓烟中,含有大量灰尘,它会污染大气,影响周围环境,这就要

对烟气进行除尘处理。静电除尘就是有成效的处理方法之一。

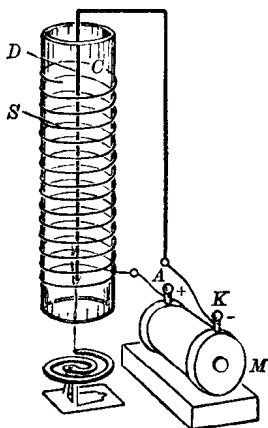


图 11-4 静电除尘模拟实验

为了弄清静电除尘的原理,我们先做一个模拟实验。如图 11-4 所示,在一个长玻璃管  $C$  内,悬挂一根导线  $D$  作为一个电极,在管外用一根导线  $S$  缠绕作为另一个电极。使烟气(点燃蚊香或木屑)充入管内,把  $S$  和  $D$  两个电极分别和感应圈  $M$  的正负两极  $A$ 、 $K$  相连。当感应圈工作时,在管内存在着强电场,它使空气电离而产生电子

和离子。电子在电场力作用下向管壁的正极移动时,碰到烟尘微粒而使它带负电。因此,带电尘粒在电场力作用下向管壁移动并附着于管壁,这样就消除了烟气中的尘粒。

在工厂烟道的静电除尘器中,负电极是一根(或若干根)拉直的细金属丝,正电极做成管形或板形,围在负电极的四周,灰尘就附着在正电极上,再用振动法使灰尘剥落,或用水流把灰尘冲走。

## 第三节 电场强度

前面讲过,电荷周围存在的电场对其他电荷会产生作用,例如

示波管中偏转电极间存在的电场，会对电子施加作用力而使电子的运动方向改变。本节就从电场力的角度来研究电场的性质。

## 一、电场强度

为了研究带电体  $A$  周围的电场，我们可用一个体积和电量都很小的正电荷放到电场里作为试验电荷，根据它所受电场力的大小和方向来认识电场的性质。

实验表明，对同一个试验电荷来说，在电场中不同点所受电场力  $F$  的大小一般是不同的，在靠近带电体的各点所受电场力较大；在远离带电体的各点所受电场力较小（图 11-5）。这反映了在电场中的不同点，电场的强弱程度有所不同。但是由于电场力  $F$  的大小不但与试验电荷所在点的电场强弱程度有关，而且还与试验电荷本身所带的电量  $q$  有关，因此

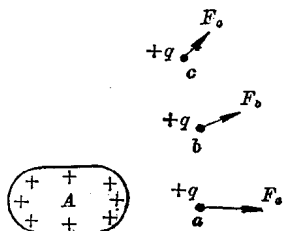


图 11-5 电场中试验电荷所受的力

我们还不能直接用电场力  $F$  作为电场强弱的量度。进一步的研究表明，当试验电荷的电量  $q$  增大一倍时，电场力  $F$  也相应增大一倍，即电场力  $F$  与电量  $q$  是成正比的，因此它们的比值  $F/q$  是与试验电荷本身无关的量。这个比值可以用来衡量试验电荷所在点的电场强弱。我们把比值  $F/q$  叫做电场强度，简称场强，用符号  $E$  表示，即

$$\underline{E = \frac{F}{q}}, \quad (11-1)$$

所以，电场中某给定点的电场强度，在数值上等于单位正电荷在该点所受到的电场力。

在实用单位制中， $F$  的单位用牛顿， $q$  的单位用库仑，则电场强度  $E$  的单位为牛顿/库仑。

试验电荷在电场中的给定点,所受的电场力有一定的方向;而在电场中的不同点,电场力的方向一般是不同的。这表明电场是具有方向性的。我们规定,电场中某给定点电场强度的方向就是正电荷在该点所受电场力的方向。因此,电场强度是同时具有大小和方向的量,它是一个矢量。

在电场中放入负电荷进行试验时,它所受电场力的方向和正电荷所受电场力的方向刚好相反(图 11-6)。

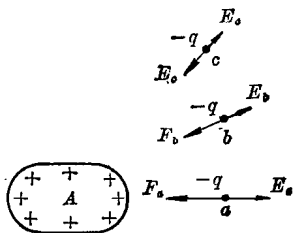


图 11-6 电场中负电荷所受的力

如果已知电场中某点场强  $E$  的大小和方向,由式(11-1)就可以知道,电量为  $q$  的电荷放在这一点时所受电场力的大小

$$F = qE。$$

如果  $q$  为正电荷,那末电场力  $F$  的方向和场强的方向一致;如果  $q$  为负电荷,则方向相反。

## 二、点电荷的电场

我们研究带电体周围空间某点的电场时,如果该点到带电体的距离比带电体本身的大小大得多,这时可以近似地把带电体看成是一个“点”,这种简化的带电体模型叫做点电荷。

实验证明,在真空中两个点电荷通过电场相互作用时,作用力  $F$  的大小与它们的电量  $Q$  和  $q$  的乘积成正比,而与它们之间距离  $r$  的平方成反比,作用力的方向沿着它们的连线方向。这个结论叫做库仑定律。写成等式得

$$F = K \frac{Qq}{r^2},$$

在实用单位制中,比例常数  $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ ,上式可写为



$$F = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \cdot \frac{Qq}{r^2}, \quad (11-2)$$

式中  $F$  的单位用牛顿,  $r$  的单位用米,  $Q$  和  $q$  的单位用库仑,  $\epsilon_0$  叫做真空中的介电常数。根据实验测定得

$$K = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} = 9 \times 10^9 \text{ 牛顿} \cdot \text{米}^2 / \text{库仑}^2,$$

即  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ 库仑}^2 / \text{牛顿} \cdot \text{米}^2$ 。

因此, 根据式(11-1)和式(11-2)可以求得, 距点电荷  $Q$  为  $r$  的一点, 场强的大小为

$$E = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}, \quad (11-3)$$

方向如图 11-7 所示。

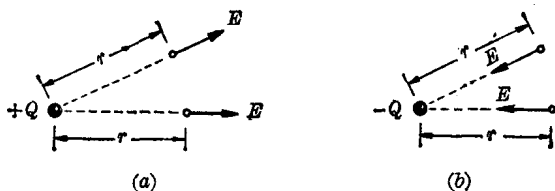


图 11-7 点电荷的场强方向

式(11-3)是计算若干个点电荷和带电体的场强的基础。在计算带电体的电场时, 我们可以把分布在带电体上的电荷分割成许多小部分, 每一小部分都可看作一个点电荷。在若干个点电荷或带电体周围的电场中, 某给定点的场强就是这许多点电荷在该点场强的迭加。不过要注意, 由于场强是矢量, 因此场强迭加时应按照平行四边形法则进行。

**[例 1]** 如图 11-8 所示, 一对电量相等的异号点电荷  $+Q$  和  $-Q$ , 相距为  $l$ , 在中垂线上的  $a$  点到两点电荷联线中心点的距离为  $r$ , 设  $r \gg l$ , 试计算  $a$  点的场强。

解  $a$  点的场强是由  $+Q$  和  $-Q$  分别产生的场强迭加而成。由式(11-3)可知,  $+Q$  和  $-Q$  在  $a$  点的场强分别为