

工农业余中等学校高中课本

物理

下 册

人民教育出版社

220

362#2

工农业余中等学校高中课本

(试用本)

物 理

下 册

工农教育教材编写组编

*

人民教育出版社出版

北京出版社重印

北京市新华书店发行

北京印刷二厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 12.75 字数 261,000

1980年8月第1版 1981年2月第2次印刷

印数 109,001—149,000

书号 K7012·0250 定价 0.80 元

说 明

教育部工农教育局组织十六个省市的一些教师及有关人员，根据全日制中小学教材的基本要求，结合工农学员的特点，编写了工农业余中等学校语文、数学、物理、化学课本和业余初等学校语文、算术课本，供各地试用。

工农业余中等学校高中物理课本分上下两册，教学总时数约需 200 课时，上册约 90 课时，下册约 110 课时。

这套课本除基本的教学内容外，还编入了一部分标有“※”号的机动教材，教学时可以根据学员的实际情况选学。

这套课本根据国务院 1977 年 5 月颁布的《中华人民共和国计量管理条例》(试行)，一律采用国际单位制(SI)。为了便于学员阅读有关参考资料和实际应用的需要，课本中附有实用制与(SI)制的单位换算说明和例题。

由于编写人员的水平和经验有限，编写时间比较匆促，这套课本在内容的取舍、体系的安排等方面是否合适，例习题的内容和分量是否恰当，希望各地在试用过程中多多提出批评和建议，以便再版时修改。

1980 年元月

第九章 电 场

电磁运动是物质的一种基本的运动形式。研究电磁运动的规律不仅能使我们认识周围的物质世界，更重要的是使我们能应用这些规律来改造自然，为社会主义建设事业服务。

本章在库仑定律基础上研究静电场的性质，认识静电场对电荷有力的作用和电荷在电场中运动时电场力对它要作功，从而引入描述电场性质的两个重要物理量——电场强度和电势。

本章还要讨论静电场中导体和电介质的性质以及它们对电场的影响，并简述电容器的电容，电容器串联和并联的计算。

9-1 库 仑 定 律

我们已经知道自然界只存在二种电荷：正电荷和负电荷，而且同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引。

摩擦起电和感应起电方法都是使电荷从一个物体（或物体的一部分）转移到另一物体（或同一物体的另一部分）。

摩擦起电过程中，一个物体失去了电子就带正电，另一个物体得到了电子就带负电。

感应起电过程中，导体内自由电子因受带电体作用而移向一端，结果导体的这一端就因电子过多而带负电，另一端则

因电子过少而带正电，所以感应起电实际上是导体内部电荷重新分布的过程。

物体所带电荷的量值叫做电量，常用符号 Q 或 q 表示。电量的单位为库仑，中文代号“库”，国际代号“C”。实验表明：物体所带的电量总是某一基本电荷 e ^① 的整数倍。

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ 库,}$$

$$1 \text{ 库} = \frac{1}{1.602 \times 10^{-19}} e = 6.24 \times 10^{18} e.$$

对同种电荷相斥和异种电荷相吸的定量研究，最早是由法国科学家库仑在 1784 年—1785 年通过扭秤实验总结出来的。扭秤结构如图 9-1 所示，在细金属丝下悬均匀的绝缘杆，它的一端有一带电木髓小球 a ，另一端为平衡纸片，而在 a 附近有一带电体 b ，它作用在 a 球上的电力使杆偏转，转动

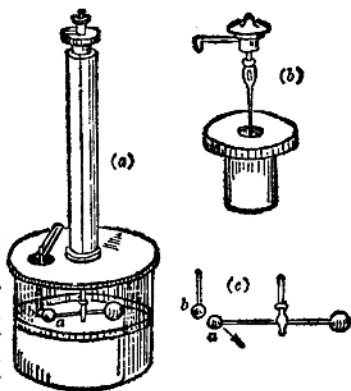


图 9-1

悬丝上端的旋钮使小球回到原来位置。这时悬丝的扭力矩等于施于小球 a 上电力的力矩。如果悬丝的扭力矩与扭角之间关系已事先校准、标定，则可从旋钮上指针转过的角度读数和已知的秤杆长度，得知在此距离下 $a \cdot b$ 两球的相互作用力，并

① 电荷量值是不连续的，有一个基本单元，即一个质子或一个电子所带电量的绝对值 e 。基本电荷的电量首先由美国科学家密立根油滴实验测定，油滴所带电荷都是某一基本电荷的整数倍，即 $q = ne$ ， n 为整数， e 即基本电荷。

不断改变两球之间距离, 测量出电作用力与距离之间的关系。

当带电体间距离比它们直径大得多时, 这种带电体的形状和电荷在其中分布已影响不大, 就跟电荷全部集中在一点一样, 我们把它抽象为一个点电荷。

库仑通过多次实验总结了点电荷相互作用力的规律——库仑定律。

两个点电荷 q_1 和 q_2 相互作用力 F 的大小和它们的电荷量 q_1 及 q_2 的乘积成正比, 和它们之间的距离 r 的平方成反比。作用力的方向沿着它们的连线, 同种电荷相斥, 异种电荷相吸(图 9-2)。库仑定律的表示式为

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

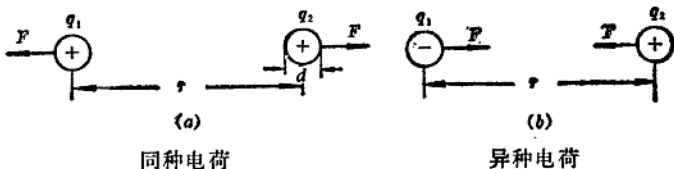


图 9-2 $r \gg d$, 带电体看成点电荷, 同种电荷 F 为相互排斥力, 异种电荷 F 为相互吸引力。

在国际单位制(SI)中, 电量 q 单位是库(C), 库仑是一个非常大的电荷单位, 实用中常用到微库(μC),

$$1 \text{ 微库} = 10^{-6} \text{ 库}.$$

距离 r 单位为米(m), 作用力 F 单位为牛(N), 其中 k 为比例系数(它的值决定于所用单位制), 可由实验确定, 在 SI 制中, 真空中这个系数为

$$\begin{aligned} k &= 8.987 \times 10^9 \text{ 牛} \cdot \text{米}^2 / \text{库}^2 \\ &\approx 9.0 \times 10^9 \text{ 牛} \cdot \text{米}^2 / \text{库}^2. \end{aligned}$$

由库仑定律得出电荷之间的相互作用力常称为库仑力或静电力,因为这是相对静止的电荷之间的作用力。

库仑定律只适用于点电荷,如果相互作用的电荷在两个以上,则任何一个点电荷所受的合力就等于其他各点电荷对它作用力的矢量和。

在空气中 k 的值可以认为与真空中相同,其他介质中的情况以后再讲述。

〔例题 1〕 小球 A 和 B 各带正电荷 Q 库仑,相距 r 米时,相互排斥力为 F 牛,求: (1) 当 A 球与 B 球相距为 $2r$ 时,相互排斥力为多少? (2) 若 A 球带电量增为 $2Q$,则它们之间排斥力为多少?

〔解〕 (1) 因为小球 A 与 B 距离从 r 变化到 $2r$ 时,从库仑定律可以知道,它们带电量没有变化,所以库仑力与距离平方成反比,即

$$\frac{F_1}{F} = \frac{r^2}{(2r)^2} = \frac{1}{4},$$

所以 $F_1 = \frac{1}{4}F$ 。

(2) 当距离 r 不变时,由库仑定律知道,库仑力与电量乘积成正比,即

$$\frac{F_2}{F} = \frac{2Q \cdot Q}{Q \cdot Q} = 2,$$

所以 $F_2 = 2F$ 。

〔例题 2〕 两个带有等量同种电荷的小球,质量各为 1.0×10^{-4} 千克,各用 0.5 米长的细线挂在同一点上,两球因彼

此相斥而张开，在平衡状态下相距 0.2 米，求每个小球所带的电量。（图 9-3）

〔解〕 取 A 球研究，设 A 球带电量为 q ，小球受重力 mg ，细绳张力 T ，和库仑力 F 相平衡，由平衡力图可知

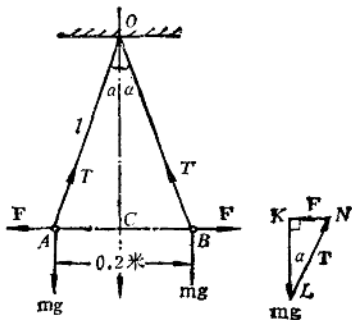


图 9-3

$$F/mg = \operatorname{tg} \alpha = \frac{KN}{KL} = \frac{AC}{OC},$$

而 $AC = 0.1$ 米， $OC = \sqrt{AO^2 - AC^2} = 2\sqrt{6} \times 10^{-1}$ (米)，

根据库仑定律 $F = k \frac{q^2}{r^2}$ ，得

$$\begin{aligned} q &= r \sqrt{\frac{F}{k}} = r \sqrt{\frac{mg \operatorname{tg} \alpha}{k}} \\ &= 0.2 \sqrt{\frac{1.0 \times 10^{-4} \times 9.8 \times 0.1}{9 \times 10^9 \times 2\sqrt{6} \times 10^{-1}}} \\ &= 3 \times 10^{-8} \text{ (库)}. \end{aligned}$$

〔例题 3〕 氢原子由一个质子和一个电子组成，电子绕核作圆周运动，轨迹半径是 5.29×10^{-11} 米，已知质子质量 $m_H = 1.67 \times 10^{-27}$ 千克，电子质量 $m_e = 9.11 \times 10^{-31}$ 千克，电荷分别为 $\pm e = \pm 1.60 \times 10^{-19}$ 库，万有引力常数 $G = 6.67 \times 10^{-11}$ 牛·米²/千克²，求：(1) 电子所受的库仑力，(2) 库仑力与万有引力的比值，(3) 电子的速度大小。

〔解〕 (1) 对质子和电子带电量 q 的计算中可只取绝对值：

$$q_1 = q_2 = e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ 库.}$$

它们之间库仑力为

$$\begin{aligned} F &= k \frac{q_1 q_2}{r^2} = k \frac{e^2}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2}{(5.29 \times 10^{-11})^2} \\ &= 8.23 \times 10^{-8} \text{ (牛)}. \end{aligned}$$

(2) 它们之间的万有引力为

$$\begin{aligned} F_G &= G \frac{m_e m_H}{r^2} = 6.67 \times 10^{-11} \frac{9.11 \times 10^{-31} \times 1.67 \times 10^{-27}}{(5.29 \times 10^{-11})^2} \\ &= 3.63 \times 10^{-47} \text{ (牛)}. \end{aligned}$$

库仑力与万有引力比值为

$$\frac{F}{F_G} = \frac{8.23 \times 10^{-8}}{3.63 \times 10^{-47}} = 2.27 \times 10^{39}.$$

可以看出原子内部库仑力远远大于万有引力，所以在原子中电子绕核运动可不计入万有引力影响，作用在电子上的力主要为库仑力。

(3) 因为核与电子间库仑力作为电子圆周运动的向心力，所以

$$F = k \frac{e^2}{r^2} = m_e \frac{v^2}{r},$$

得到

$$\begin{aligned} v &= e \sqrt{\frac{k}{r m_e}} \\ &= 1.6 \times 10^{-19} \times \sqrt{\frac{9 \times 10^9}{5.29 \times 10^{-11} \times 9.11 \times 10^{-31}}} \\ &= 2.19 \times 10^6 \text{ (米/秒)}. \end{aligned}$$

习 题 9-1

1. A 、 B 两点电荷原来距离 r ，各带等量同种电荷，若 A

的电量增为原来的3倍，它们之间的距离也增为原来的3倍，求两次库仑力之比。

2. 小球A和B各带正电荷 q ，放在相距0.1米处，第三小球C带电荷 $2q$ ，当(1)C带正电荷，(2)C带负电荷时，C球应放在何处，才能使B球所受电力平衡？

3. 氢原子是一个带正电荷的核和一个绕核旋转的电子所组成，如果电子轨迹半径为 3×10^{-10} 米，电子质量为 9.1×10^{-31} 千克，求每秒钟电子绕核旋转次数？

4. 在真空中有二个点电荷，其中一个电荷所带的电量是另一个的四倍，它们相距 5×10^{-2} 米时，相互斥力为1.6牛，求：(1)它们相距0.10米时，相互斥力是多少？(2)两点电荷的电量各为多少？

5. 为了得到一库仑电量大小的概念，试计算两个都是一库仑的点电荷在真空中相距一米时和相距一千米时的相互作用力。

6. 图9-4所示正方形的两个对角上各放一电荷 Q ，其他两个对角上各放电荷 q ，如果使 Q 受合力为零，则 Q 与 q 关系如何？

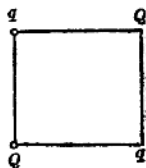


图 9-4

9-2 电场 电场强度

电场 电荷之间的相互作用力可以相隔一定的距离，它们的作用力究竟怎样传递的呢？经过长期的科学研究，人们终于认识到：凡是有电荷，它的周围就存在一种特殊物质叫做**电场**，电场对于处在其中的其他电荷都有力的作用，因此电荷

之间是通过电场发生相互作用的。电荷间相互作用的静电力，实际上就是电场对电荷的作用力，所以静电力常叫做电场力。

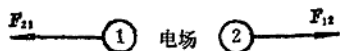


图 9-5 所示，带电体

1 周围电场给带电体 2 一个电场力的作用，而带电体 2 周围电场也给带电体 1 一个电场力的作用。

电场和其他物质一样，也是客观存在的。我们可以通过实验来认识它。例如，在玻璃缸内放入蓖麻油，油内均匀散放一些头发丝，然后放入两个极板 A 、 B 。把 A 、 B 分别接在电源正负极上，使两板分别带上正负电荷，我们观察到两个极板间原来杂乱无章的头发丝有规则地排列起来了（图 9-6）。这说明了带电极板的周围存在着电场，头发丝的有规则的排列就是由于电场作用的结果。图 9-6 表示不同带电体的实验情况。

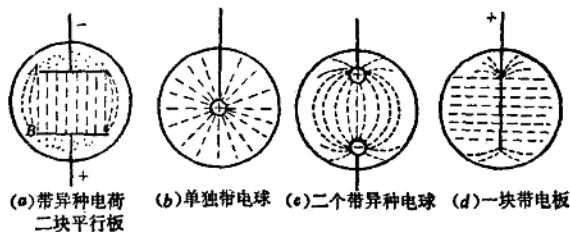


图 9-6 在电介质中由头发丝显示的电场

实验告诉我们，电场是分布在一定范围的空间中的，因此，要描述电场，就必须研究电场中每一点的情况，并且要从电场给电荷的力的作用和电场对运动电荷做功的问题来进一步研究电场的性质。

电场强度 为了研究一个带电体周围电场的强弱，我们必须要在电场中引入一个电量 q 的正电荷，它的电量很小，是为了使它的电场不致影响原来的电场，这样才可用它来确定空间各点的电场性质。这个 q 电荷，我们叫它试验电荷。我们做一个如图 9-7 所示的实验，在带电体 Q 电场中，把试验电荷

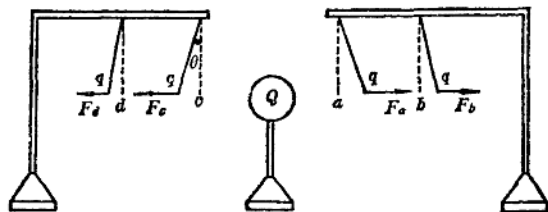


图 9-7 用试验电荷测场强

先后放在 a 、 b 、 c 、 d 各位置，测量电场对它作用力 F_a 、 F_b 、 F_c 、 F_d (F 的大小可从丝线对铅垂线偏角大小确定)。可以看出，在电场中不同点处所受电场力的大小一般是不相同的，而且方向也可能是不同的。这说明电场中不同的点，电场强弱、方向是不同的。

现在再研究电场中任一点 a 的性质，根据库仑定律， q 在 a 点所受的库仑力设为 F_a 。如果将试验电荷增大为 $2q$ 、 $3q$... nq 时，则它所受的电场力将增大为 $2F_a$ 、 $3F_a$ 、... nF_a ，而力的方向不变。因此，对于电场中固定的某点来讲，比值 $\frac{F_a}{q} = \frac{2F_a}{2q} = \frac{nF_a}{nq} =$ 恒量，它不随试验电荷的电量改变而改变。同样，在电场中的不同点 b 、 c 、 d 可以知道 $\frac{F_b}{q}$ 、 $\frac{F_c}{q}$ 、 $\frac{F_d}{q}$ 也各都是恒值，但不同点，这个比值一般是不相等的。可以看出，如果试验电荷相

同,在这个比值大的点,电荷所受的电场力就大,表明该点的电场强,所以比值 F/q 是反映电场本身性质,而与试验电荷电量无关的量,表示了电场在每点的强弱,我们叫它**电场强度**,简称**场强**,用符号 E 表示。写成公式

$$E = \frac{F}{q}$$

即电场中某点试验电荷所受的电场力 F 跟它的电量 q 之比,定义为该点的电场强度 E 。

因为力 F 是矢量,所以电场强度也是矢量,其方向为正电荷在该点所受电场力的方向。

在国际单位制中, F 单位为牛顿, q 单位为库仑, E 的单位为牛顿/库仑,国际代号为 N/C 。

在点电荷 Q 的电场内,距离 Q 为 r 处的电场强度 E 。

因为
$$F = k \frac{Qq}{r^2},$$

所以
$$E = \frac{F}{q} = k \frac{Q}{r^2}.$$

点电荷的电场中,各点场强是与形成电场的电荷量成正比,而与该点到点电荷的距离平方成反比。图 9-8 表示单个电荷周围的场强的

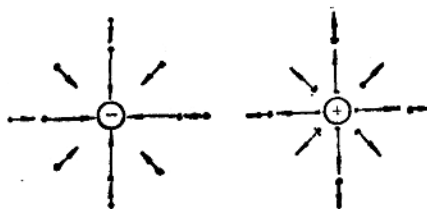


图 9-8 点电荷场强

方向以及场强大小随离 Q 的距离 r 增加而迅速减小。

如果要求点电荷组所形成的电场中某点的场强,可以先求出各点电荷单独存在时该点场强 E_1 、 E_2 、 E_3 等,然后求

出它们的矢量和, 即该点的场强

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \cdots + \mathbf{E}_n.$$

〔例题〕 在真空中有两个点电荷 Q_1 和 Q_2 , $Q_1 = 1.2 \times 10^{-8}$ 库, $Q_2 = -1.2 \times 10^{-8}$ 库, 求电场中 a 、 b 两点的场强(图 9-9).

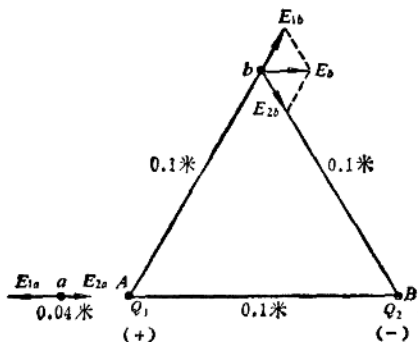


图 9-9

〔解〕 (1) 在 a 点, 正电荷 Q_1 电场在 a 处场强 E_{1a} , 方向向左, 大小 $E_{1a} = k \frac{Q_1}{r_1^2}$.

负电荷 Q_2 电场在 a 处场强 E_{2a} , 方向向右, 大小 $E_{2a} = k \frac{Q_2}{r_2^2}$.

假设取方向向右为正, 则在同一直线上二矢量和为它们的代数和.

$$\begin{aligned} E_a &= E_{2a} - E_{1a} = kQ \left(\frac{1}{r_2^2} - \frac{1}{r_1^2} \right) \\ &= 9 \times 10^9 \times 1.2 \times 10^{-8} \left(\frac{1}{0.14^2} - \frac{1}{0.04^2} \right) \\ &= -6.21 \times 10^4 \text{ (牛/库)}. \end{aligned}$$

负号说明 E_a 方向向左.

(2) 在 b 点, 正电荷 Q_1 电场在 b 处的场强 E_{1b} , 方向在 A, b 两点连线向外, 负电荷 Q_2 电场在 b 处的场强 E_{2b} , 方向在 B, b 两点连线指向 B , 两者相隔 120° , 且大小相等, 所以合场强 E_b 大小为

$$E_b = E_{1b} = E_{2b} = k \frac{Q_1}{r^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 1.2 \times 10^{-8}}{0.1^2} \\ = 1.08 \times 10^4 \text{ (牛/库)}.$$

根据矢量合成, E_b 方向为水平向右.

习 题 9-2

1. 在电场中某点, 分别放置电量为 q 、 $2q$ 、 $3q$ 的试验电荷, 该点的场强会不会发生变化? 为什么? 移去试验电荷, 该点的场强还有吗?

2. 在地球表面上某处, 电子受到的电场力与它本身的重量相等, 求该处的电场强度. (已知电子质量 $m = 9.1 \times 10^{-31}$ 千克, 电子电量 $e = -1.60 \times 10^{-19}$ 库)

3. 一个 $q = -2 \times 10^{-9}$ 库的电荷, 放在电场中的 A 点, 它所受到的电场力大小为 $F = 7.0 \times 10^{-5}$ 牛, 方向竖直向下, 求该点的场强.

4. 有二个正电荷, 甲电荷电量是乙电荷电量的 4 倍, 相距 20 厘米, 求在两电荷间电场的强度为零的那点的位置.

5. 一点电荷带有电量 $Q = -2 \times 10^{-7}$ 库, 求离点电荷 10 厘米处的场强是多少? 方向如何? 如果该处有一个 $q = 10^{-11}$ 库仑的电荷, 求这个电荷受到电场力大小及方向?

6. 两个点电荷 $q_1 = 8$ 微库, $q_2 = -16$ 微库, 相距 20 厘

米,求离它们都是 20 厘米处的电场强度。

7. 有一边长为 a 的正六边形,六角顶点都放有电荷,试计算如图 9-10 所示的四种情况下,在六边形中点处的场强。

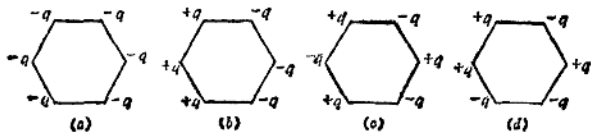


图 9-10

9-3 电力线 匀强电场

电力线 对电场的研究,最重要的是要知道电场中各点电场强度的大小和方向。上述对蓖麻油中头发丝显示有规则排列的电场实验中,要我们画一些假想的线来研究电场。英国物理学家法拉第(1791-1867)曾提出一个用电力线来表示电场的方法。

研究电场时,我们可以画出一系列的曲线,使它们上面任何一点的切线方向都跟该点的电场强度的方向相同,这些曲线就叫**电力线**。由图 9-11 可见,根据电力线就可以知道每一点的场强的方向,也就表示出放在该点上的电荷所受到的电场力的方向。

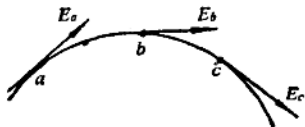


图 9-11 一条电力线

由此可知,在点电荷的电场中,孤立正电荷的电力线的形状如图 9-12 所示;孤立负电荷的电力线如图 9-13 所示。

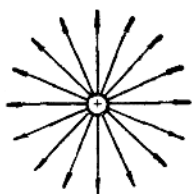


图 9-12 正点电荷电力线

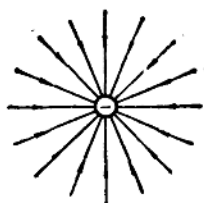
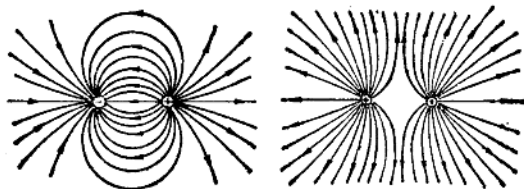


图 9-13 负点电荷电力线

在两个电量相等的点电荷的电场中, 电力线的形状如图 9-14 所示.



(a) 两个异种点电荷

(b) 两个同种点电荷

图 9-14

从这些电力线的图形可以清楚看出: (1) 静电场中电力线大都是从正电荷发出, 终止于负电荷, 但不会在没有电荷的地方中断. (2) 任何两条电力线不会相交, 因为如果相交, 则交点处场强有二个方向, 这不符合电场中任何一点场强只有一个确定的方向.

利用电力线不但可以形象地表示出电场中各点电场强度的方向, 还可以表示出各点电场强度的大小, 从图 9-12 和图 9-13 就可以看出, 距点电荷越近的地方, 电场强度就越大, 电力线就越密; 距点电荷越远的地方, 电场强度就越小, 电力线就越稀.