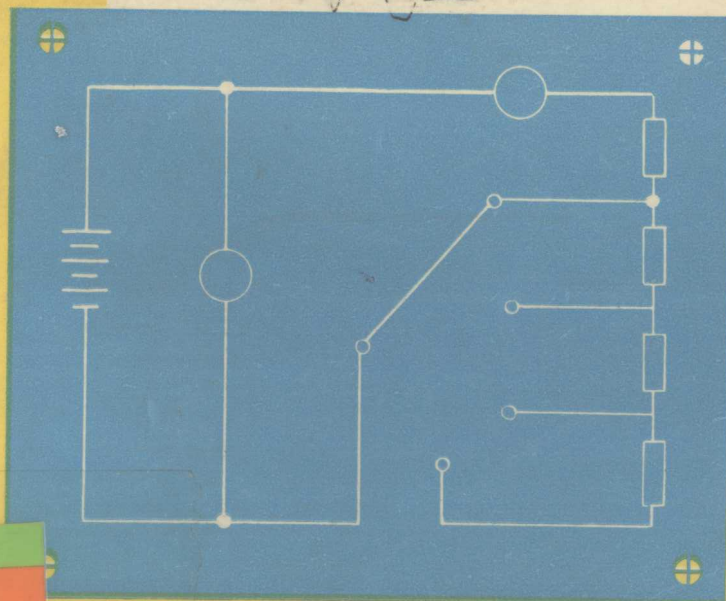


农村供用电实用技术丛书

# 农村电工基础

余红 编著

农村电工



中国农业科技出版社

TM  
27

# 农村电工基础



清华大学图书馆藏



(号0812) 1994年12月12日 星期四 第1212号

中国农业科技出版社

(京) 新登字061号

## 内 容 提 要

本书是为广大农村电工、农村青年和乡镇企业电工学习电的基本理论而编写的。全书共分七章，其主要内容有：电的基本知识，电路的基本知识，电容器，磁场和磁路，电磁感应，单相正弦交流电路，农村低压三相电路。为进一步学习电的专业知识和指导生产实践准备必要的基础理论知识。

本书可作为具有初中文化程度的农村电气工人的培训教材，也可以作为其他工业、农业、乡镇企业的电气工人的自学参考书。

农村供用电实用技术丛书

## 农村电工基础

余 红 编

责任编辑 张 锋 王恒祥

技术设计 刘淑民

\*

中国农业科技出版社出版（北京海淀区白石桥路30号）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

海丰印刷厂印刷

开本：787×1092毫米1/32 印张：8.125 字数：177千字

1993年10月第一版 1993年10月第一次印刷

印数：1—5000册 定价：6.10元

ISBN 7-80026-529-3/TM·2

## 写在前面的话

为适应农村产业结构改革的需要和农村电气化的发展形势，为尽快培养农村急需的供、用电技术人材，由北京电力高等专科学校农电函授教材编委会组织编写了农村供用电实用技术丛书。这套丛书包括《农村电工基础》、《农村常用电工测量仪表》、《农村电子技术应用》、《农村家用电器》、《农用电机与拖动》、《农用电器与乡镇企业变电所设计安装》、《农村电力网》、《农村室内外线路设计与安装》和《农用电气设备保护与安全用电》。本丛书结合以往农村办学的经验和农村的实际情况，着重介绍农村供、用电方面有关的基础知识，实用的设计、安装、维护知识和技能，具有科学性、实用性、普及性和系统性，深入浅出，通俗易懂，便于自学。

本丛书适合于具有初中以上文化程度的读者自学，或作为农村函授供用电专业(中专)的教材，也可供有关技术人员参考使用。

我们真诚地希望这套丛书，能为农村电力事业的发展起到促进作用，同时也希望广大读者能提出宝贵意见和要求，以进一步提高丛书的质量。

# 前 言

本书是为了适应我国农村电力事业及农电专业函授教育的迅速发展而编写的。目的在于提高广大农村电工、农村青年和乡镇企业电工的业务素质，使他们具备电力专业最基本的分析问题和继续学习电专业知识的能力。

本书在编写中立足于讲清电工技术中常用的物理概念，并结合实际由浅入深地讲解了电场、交流和直流电路、磁场和磁路、电磁感应现象等基础理论和分析方法。力求突出实用性、通俗性和科学性。书中还编入了一些与生产实际有关的典型例题。为便于自学，每章后都有小结，它对每一章的重点内容作必要的总结和概括，同时安排了形式多样的练习题，便于学练结合，巩固所学的基本知识。

在编写中，作者力求做到概念准确，通俗易懂，图文并茂，便于自学。

本书由王明思副教授主审。杨传箭教授和宗士杰副教授对本书的编写工作提出了宝贵意见，在此一并致谢。限于编者水平，缺点和不恰当之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

1993.1.

# 目 录

|                          |      |
|--------------------------|------|
| <b>第一章 电的基本知识</b> .....  | (1)  |
| 第一节 从摩擦谈起 .....          | (1)  |
| 第二节 电荷周围的电场 .....        | (6)  |
| 第三节 电位与电压 .....          | (11) |
| 第四节 静电感应与静电屏蔽 .....      | (13) |
| 小结 .....                 | (16) |
| <b>第二章 电路的基本知识</b> ..... | (19) |
| 第一节 由手电筒到一般电路 .....      | (19) |
| 第二节 电流 .....             | (21) |
| 第三节 怎样得到持续的电流 .....      | (24) |
| 第四节 电阻 .....             | (28) |
| 第五节 欧姆定律 .....           | (34) |
| 第六节 基尔霍夫定律 .....         | (36) |
| 第七节 简单直流电路的计算 .....      | (44) |
| 第八节 电功和电功率 .....         | (57) |
| 小结 .....                 | (64) |
| <b>第三章 电容器</b> .....     | (72) |
| 第一节 电容器 .....            | (72) |
| 第二节 电容器中的电场能量 .....      | (76) |
| 第三节 电容器的联接 .....         | (80) |
| 小结 .....                 | (84) |
| <b>第四章 磁场和磁路</b> .....   | (88) |
| 第一节 磁体及磁现象 .....         | (88) |
| 第二节 磁感应强度和磁通 .....       | (93) |

|            |                       |        |
|------------|-----------------------|--------|
| 第三节        | 电流的磁场及磁场强度 .....      | ( 95 ) |
| 第四节        | 铁磁物质的磁化和磁化曲线 .....    | (102)  |
| 第五节        | 磁路的基本知识 .....         | (109)  |
| 第六节        | 电磁力 .....             | (115)  |
| 小结         | .....                 | (117)  |
| <b>第五章</b> | <b>电磁感应</b> .....     | (124)  |
| 第一节        | 电磁感应现象 .....          | (124)  |
| 第二节        | 自感和互感 .....           | (129)  |
| 第三节        | 涡流和集肤效应 .....         | (137)  |
| 小结         | .....                 | (139)  |
| <b>第六章</b> | <b>单相正弦交流电路</b> ..... | (144)  |
| 第一节        | 正弦交流电的产生 .....        | (144)  |
| 第二节        | 正弦交流电的基本概念 .....      | (146)  |
| 第三节        | 正弦交流电的有效值和平均值 .....   | (152)  |
| 第四节        | 正弦量的相量图表示法 .....      | (155)  |
| 第五节        | 单一元件的交流电路 .....       | (161)  |
| 第六节        | 电阻与电感串联的交流电路 .....    | (178)  |
| 第七节        | 电阻、电感、电容串联的交流电路 ..... | (189)  |
| 第八节        | 降低农电损耗的措施 .....       | (198)  |
| 小结         | .....                 | (205)  |
| <b>第七章</b> | <b>农村低压三相电路</b> ..... | (213)  |
| 第一节        | 三相交流电的产生 .....        | (213)  |
| 第二节        | 三相电源的连接 .....         | (216)  |
| 第三节        | 三相负载的星形连接 .....       | (223)  |
| 第四节        | 三相负载的三角形连接 .....      | (235)  |
| 第五节        | 三相电路的功率 .....         | (241)  |
| 小结         | .....                 | (246)  |

## 第一章

# 电的基本知识

## 第一节 从摩擦谈起

### 一、摩擦起电

为了说明电是怎么回事，我们不妨从摩擦谈起。

远在公元前600余年，古希腊人就已经发现用毛皮摩擦过的琥珀能吸引羽毛、头发等轻微物体。对此现象我国东汉时期的学者王充，在《论衡》一书中也有记述。到17世纪英国人吉伯对这类现象作了研究，首先提出这是存在电的缘故。人类对电的认识就是从摩擦起电开始的。

大家知道，用胶木或塑料梳子梳头时，头发常常被梳子吸起，有时还会发出啪啪的响声；将塑料笔杆在衣服上摩擦后，可以吸引纸屑等细小的物体。这些都是由于摩擦产生了电的缘故。即在梳子、笔杆等物体上带上了电荷。

### 二、正电与负电

用毛皮摩擦两根橡胶棒，把其中一根用细线悬挂起来，拿另一根摩擦过的一端来靠近它，它们就会互相排斥，如图1-1(a)所示。另用丝绸摩擦一根玻璃棒后，将它靠近悬挂的橡胶棒，它们就会互相吸引，如图1-1(b)所示。这就说明电荷之间存在着相互作用的吸引力或排斥力，这种作用力叫做静电力。

橡胶棒上和玻璃棒上带着两种不同性质的电荷。17世纪



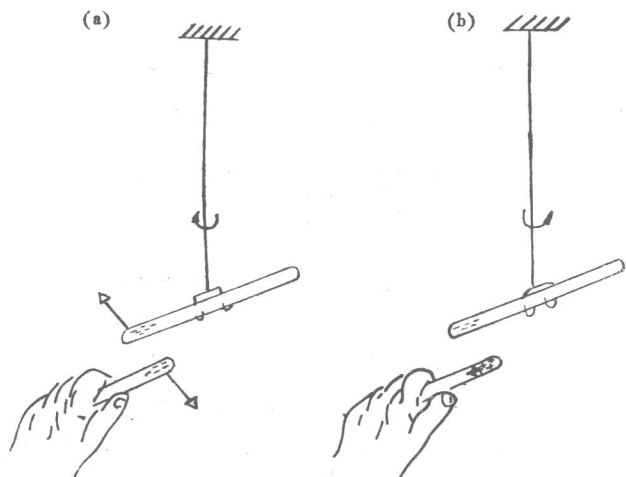


图 1-1 电荷之间存在着相互作用力

(a) 同性电荷相斥 (b) 异性电荷相吸

美国科学家富兰克林把玻璃棒上经丝绸摩擦所产生的电荷叫做正电荷，而把橡胶棒上经毛皮摩擦所产生的电荷叫做负电荷。实验表明：自然界中只有两种电荷。所有物体，无论用什么方法使其带电，所带的电荷不是正电荷就是负电荷。

处于带电状态的物体叫做带电体。带电体所带的电荷的数量，叫做电量，用符号 $Q$ 或 $q$ 表示。在国际单位制中，电量的单位是库仑，用字母 $C$ 表示。目前已经知道自然界中最小的负电荷是电子，而最小的正电荷是质子。它们的电量的绝对值相等。一个电子的电量为

$$e = -1.60 \times 10^{-19} \text{ 库仑} \quad (1-1)$$

实验证明，任何带电粒子所带的电量都等于电子或质子电量的整数倍，所以，人们把 $e$ 叫做基本电荷。而每库仑的电量含有 $6.25 \times 10^{18}$ 个电子。即1库仑的电量相当于 $6.25 \times 10^{18}$ 个电子所带的电量。

### 三、电荷守恒定律

正电荷与负电荷具有抵消对方性质的作用，当我们把带有等量异号电荷的物体相接触时，由于正、负电荷的数量相等，相互抵消，此时它们对外既不显示带正电，也不显示带负电，从而达到电的中性状态，这种现象叫做电中和。

一切物质，都是由分子组成，而分子又是由更小的微粒——原子组成。这些原子的中心由带正电荷的原子核与其周围带负电荷的若干电子所组成。在正常状态下，原子核所带的正电荷与电子所带的负电荷的总量是相等的，正好相互平衡。所以，原子对外呈现电中性。如果需使物体带电，需由外部施加能量，从原子中夺得电子。无论用什么办法使物体失去部分电子，则正电荷与负电荷就失去了平衡，结果，失去电子的原子具有正电的性质，而得到电子的原子具有负电的性质。例如，当丝绸摩擦玻璃棒时，在接触表面原子的热运动加剧，使玻璃棒中受束缚较弱的电子从原子中挣脱出来，而转移到丝绸上。结果，使失去电子的玻璃棒带正电，获得电子的丝绸带负电，如图1-2所示。由此可见，正、负

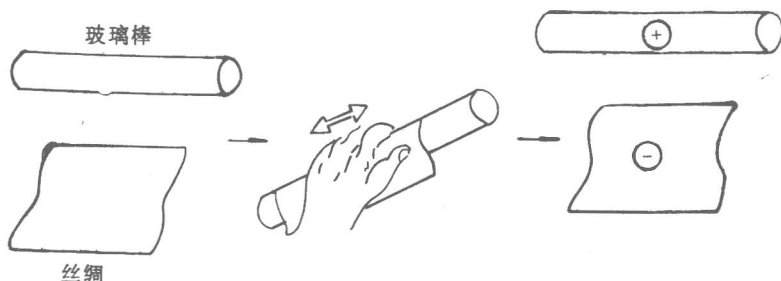


图 1-2 玻璃棒和丝绸的带电过程

电荷是一种客观存在的物质，它既不能被创造，也不能被消灭。它只能从一个物体转移到另一个物体，或者从物体的一部分转移到另一部分。这个规律叫做电荷守恒定律。

#### 四、库仑定律

电荷之间有相互作用力，同性相斥，异性相吸。如何确定这种力的大小呢？1785年法国物理学家库仑，通过大量实验得出了如下结论：在真空中，两个点电荷间的作用力，与它们的电量的乘积成正比，与它们之间距离的平方成反比。作用力的方向在连接两电荷的直线上。

如图1-3所示，用 $q_1$ 、 $q_2$ 表示两个点电荷的电量， $r$ 表示它们之间的距离， $F$ 表示它们之间的作用力，则库仑定律可写成

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1-2)$$

式中 $K$ 是比例常数，其值取决于所采用的单位及电荷周围的媒质的性质。

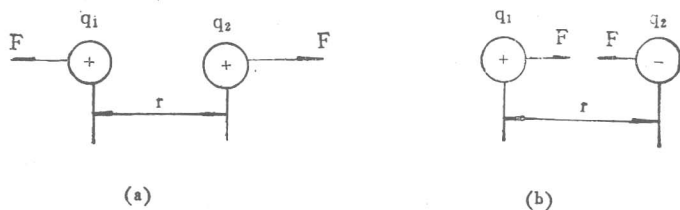


图 1-3 两个点电荷之间的作用力

(a) 同性相斥 (b) 异性相吸

在国际单位制中，电量 $q_1$ 和 $q_2$ 的单位是库仑（C）， $r$ 的单位是米（m）， $F$ 的单位是牛顿（N），那么 $K = 8.98755 \times 10^9$  牛顿·米<sup>2</sup>/库仑<sup>2</sup>，在实际计算中一般取 $K = 9 \times 10^9$  牛顿·米<sup>2</sup>/库仑<sup>2</sup>。

必须指出，我们经常用到的点电荷的概念，只是带电体的理想模型，真正的点电荷是不存在的。在具体问题中，只有当带电体的形状和大小可以忽略不计时，才可能把带电体看作点电荷。比如说，带电体本身的大小，比带电体之间的距离小很多时，带电体就可以看作点电荷。

式1-2是真空中库仑定律表达式，如果把点电荷放在无限大的均匀电介质中，则库仑定律表达式为

$$F = K \frac{q_1 q_2}{\epsilon_r r^2} \quad (1-3)$$

式中 $\epsilon_r$ 叫做电介质的相对介电常数。真空的 $\epsilon_r = 1$ ，空气的 $\epsilon_r \approx 1$ ，其它介质的 $\epsilon_r > 1$ 。

在应用库仑定律时，电荷的正、负号不用带入公式，计算出结果后，再据电荷的正负确定相互作用力的方向。库仑定律不能用于任意形状带电体之间作用力的计算。

例题1-1 有两个点电荷，其电量均为2库仑，试求它们之间的相互作用力，设两个点电荷分别在真空中相距1米和1000米。

解：由公式(1-2)求得两个点电荷之间的相互作用力为：

$$\begin{aligned} \text{当 } r=1 \text{ 米时, } F &= K \frac{q_1 q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 2}{1^2} \\ &= 3.6 \times 10^{10} \text{ 牛顿} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{当 } r=1000 \text{ 米时, } F &= K \frac{q_1 q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 2}{1000^2} \\ &= 3.6 \times 10^4 \text{ 牛顿} \end{aligned}$$

## 第二节 电荷周围的电场

### 一、什么叫电场

如图1-4所示，为一个带电体 $q$ ，当在它的周围空间放置一些电荷时，由于静电力的作用，同性的电荷要远离带电体，异性电荷要靠近带电体。因此，带电体周围的空间，就是静电力作用的空间。我们把这个静电力作用的空间叫做电场。

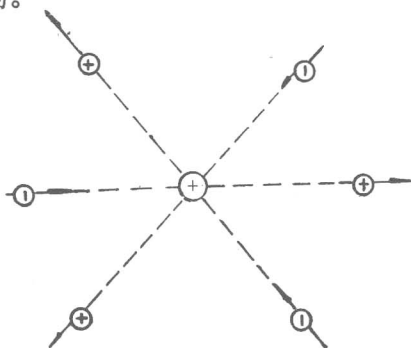


图 1-4 静电力作用的空间

为什么带电体与它周围的电荷没有直接接触却能产生排斥力或吸引力呢？实践证明：在电荷周围存在着一种叫做电场的特殊物质。电荷之间的相互作用是通过电场发生的。也就是说，一个电荷 $q_A$ 对另一个电荷 $q_B$ 的静电力，实

际上是电荷 $q_A$ 的电场对电荷 $q_B$ 的作用力，这种作用可表示如下：

电荷 $q_A \rightarrow q_A$ 的电场  $\rightarrow$  电荷 $q_B$

可见，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，所以静电力又叫做电场力。

电荷和电场是一个不可分割的整体，只要有电荷存在，它周围的空间就一定有电场存在。

### 二、电场的性质

既然电场是一种特殊的物质，那么它象其它物质一样，也具有自己的性质。电场具有以下两个重要的性质：

1. 电场对场中任何带电体都会产生作用力。
2. 当带电体在电场中移动时，电场力要对带电体做功，这表明电场具有能量。

### 三、电场强度

#### (一) 什么叫电场强度

利用电场对电荷有作用力的性质，可以对电场进行定量地讨论。如图1-5所示，在正电荷 $q$ 所产生的电场中，引入另一个正电荷 $q_0$ ，用来测量 $q$ 的电场对 $q_0$ 的作用力。为了使 $q_0$ 不影响 $q$ 的电场分布， $q_0$ 必须是一个带正电且电量足够小的点电荷，这个点电荷叫做检验电荷。

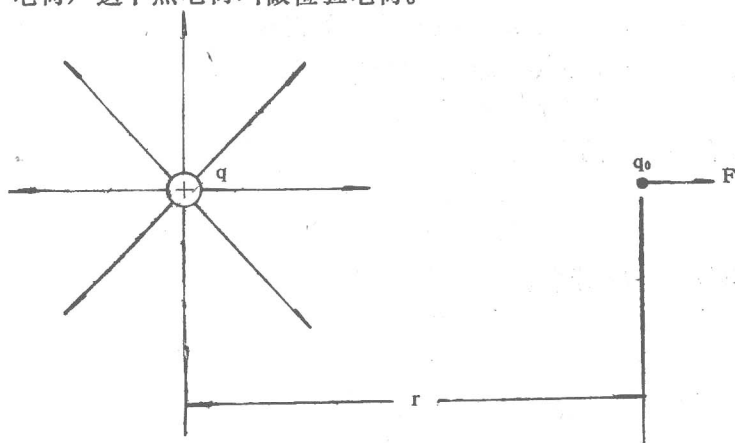


图 1-5 带电体 $q$ 的电场

我们引入电场强度来表示带电体周围电场的强弱，以符号 $E$ 表示，用公式表示为：

$$E = \frac{F}{q_0} \quad (1-4)$$

式中  $F$ ——检验电荷在电场中某点所受到的电场力，单位为牛顿；

$q_0$ ——检验电荷的电量，单位为库仑；

$E$ ——电场强度，单位为牛顿/库仑，也可写成伏特/米。

从式1-4可知，所谓电场强度，就是检验电荷 $q_0$ 在电场中某一点所受到的电场力 $F$ ，与检验电荷 $q_0$ 的比值。也就是说，电场中任一点的电场强度，在数值上等于放在该点的单位正电荷所受到的电场力。

电场强度是一种既有大小又有方向的物理量，习惯上规定，检验电荷在电场内某点受力的方向，为该点电场强度的方向。电场强度简称为场强。

例题1-2 在真空中有一个点电荷 $q$ ，试求任一点 $P$ 处的电场强度，设 $P$ 点与点电荷之间的距离为 $r$ 。

解 设想在 $P$ 点放一检验电荷 $q_0$ ，按库仑定律， $q_0$ 所受到的电场力的大小为

$$F = K \frac{q q_0}{r^2}$$

再据式1-4，求得 $P$ 点场强的大小为

$$E = \frac{F}{q_0} = K \frac{q}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{q}{r^2}$$

场强的方向在点电荷 $q$ 与 $P$ 点的连线上，且与 $q_0$ 在 $P$ 点所受的电场力的方向一致。如果点电荷为正，则 $E$ 的方向是背离 $q$ 的，如图1-6(a)所示，如果 $q$ 为负，则 $E$ 的方向指向 $q$ ，如图1-6(b)所示。

## (二) 电力线

电场是一种看不见、摸不着的特殊物质。为了使电场能

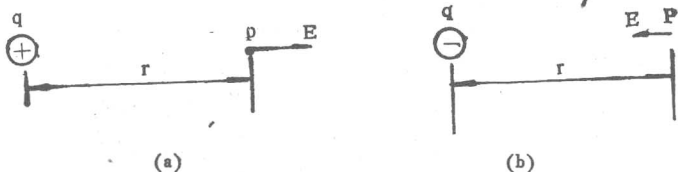


图 1-6 点电荷的电场

(a)  $q > 0$       (b)  $q < 0$

形象化、具体化，法拉第提出用电力线来表示电场，即：在电场中画出一系列曲线，使这些曲线上每一点的切线方向都和该点的电场强度的方向一致，这些曲线叫做电力线。图 1-7 就表示某电场中的一条电力线。

我们还规定用电力线的稀密程度来表示电场强度的强弱，即：场强大的地方电力线密，场强小的地方电力线稀。这样，根据电力线的形状和分布就可以知道电场中各处场强的强弱和方向。

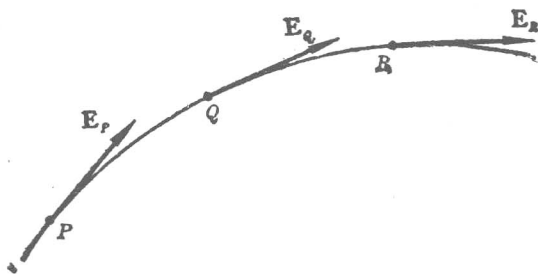


图 1-7 某电场中的一条电力线

图 1-8 展示了几种常见电场的电力线。从这些电力线，我们看到静电场的电力线具有以下两个重要性质：

1. 电力线总是起始于正电荷，而终止于负电荷，它不形成闭合回路，也不会突然中断。



2. 任何两条电力线都不会相交。

图1-8(e)所示,为两块大小相等的平行金属板,分别带等量异号的电荷,当两板的距离足够近时,除边缘附近之外,两平行板之间的电场强度处处大小相等、方向相同。这种电场叫做均匀电场。

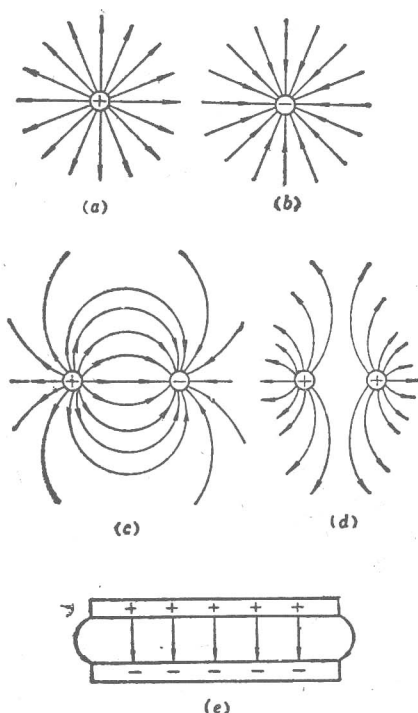


图 1-8 电力线

- (a) 正电荷; (b) 负电荷; (c) 等量异号电荷  
(d) 等量同号电荷; (e) 平行带电板