

电子技术类职业教育丛书

2

无线电电工基础

林正豹 王明臣 刘学达 编



科学技术文献出版社

73.1
335

中国电子学会普及工作部
北京市职业教育研究会 组编

电子技术类职业教育丛书之二

无 线 电 电 工 基 础

林正豹 王明臣 刘学达 编

3428/14



科学技术文献出版社

1986

内 容 简 介

本书是电子技术类职业教育丛书之二，主要讲述了无线电电工基础知识。

全书共分十一章。第一章介绍了电和电场的基本概念；第二～四章分别讲述直流电路基础、复杂直流电路的分析与计算、直流磁场和磁路；第五章讲述电磁现象及其规律；第六～八章介绍正弦交流电的基本概念和正弦交流电路的计算，同时介绍了电路元件；第九、十章讲述非正弦周期电信号的产生及分析方法、暂态过程。第十一章介绍了万用表的基本原理及其使用注意事项。书中附录有介绍电声元件的性能、结构及习题解答等。

电子技术类职业教育丛书之二

无线电电工基础

林正豹 王明臣 刘学达编

科学技术文献出版社出版

保定列电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

787×1092毫米 开本16 印张：20.5 字数：505千字

1986年11月北京第一版第一次印刷

印数：1—14,800册

科技新书目：126—43

统一书号：15176.700 定价：4.20元

电子技术类职业教育丛书编委会

主任委员：边 拱

副主任委员：邵绪朱 施绍祺

委 员：白玉贤 时雅卿

杨光起 于洪波

左万昌 余国森

张秀英 宁云鹤

宋广陵 张道远

刘学达

zk402/7

前 言

为适应我国职业技术教育迅速发展的迫切需要,使教育更好地为四化建设服务中国电子学会普及工作部和北京市职业教育研究会共同组织编写出版这套《电子技术类职业教育丛书》。

丛书包括:无线电数学、无线电电工基础、模拟低频电子电路、模拟高频电子电路、数字电路基础、盒式收录机原理与电路解说、黑白彩色电视机原理与电路解说(上、下册),微型计算机原理和应用、家用录象机原理与电路解说,共十册。

这套丛书是参照电子技术类职业教育的教学计划和大纲编写的。它包括了电子技术专业的基础课、技术基础课和专业课,具有较强的系统性,每册内容又具有一定的独立性。丛书可作为职业教育参考教材,也可供具有中等文化程度的电子技术爱好者自学时选用。

在编写丛书过程中,编者注意到理论与实践密切结合,用具体应用实例来加深对理论概念的理解;以阐明分析问题的步骤和思路为线索突出物理概念,并有一定的理论分析以加深理解;在文字上力求深入浅出和通俗易懂。每章后面一般都有一定数量的习题,帮助读者巩固所学的内容。书后还附有习题解答或提示,以便于自我检查。

本套丛书部分内容曾作为中国电子学会举办的“全国电子技术自修班”教材使用过,充分听取了广大学员对本书的意见。对书中的遗漏和不妥之处进行了必要的修改,对部分内容也作了适当的调整和增删。

中国电子学会普及工作部和北京市职业教育研究会的有关领导,对丛书的出版给予了大力支持,并直接组织指导了全套丛书的选题、编写、定稿和印刷出版等事宜;有关工作人员和编者也为全套丛书尽早与读者见面做出了很大的努力。尽管如此,在较短的时间里,组织出版这样一套职业教育系列丛书,我们还是第一次尝试。书中的错误与不当之处在所难免,尤其是这套丛书是否能满足职业技术教育的要求,更有待于广大读者通过学习实践提出宝贵意见,以便于在此基础上编出更适合我国职业教育的丛书。

最后,我们还应向为这套丛书及时出版而付出辛勤劳动的出版、印刷等部门,以及所有参与此项工作的同志表示衷心的感谢。

丛书编辑委员会

一九八六年四月

于北京

39419

目 录

第一章 电荷和电场	(1)
1-1 电荷	(1)
1-2 库仑定律	(4)
1-3 电场强度与电力线	(6)
1-4 电位、电位差与等位面	(9)
1-5 静电偏转和示波管	(15)
1-6 静电场中的金属导体与静电屏蔽	(19)
1-7 电容及电容器	(22)
1-8 电容器的并联、串联及混联	(26)
1-9 电容器电场的能量	(29)
第二章 电路分析的基本概念	(32)
2-1 电流	(32)
2-2 电源与电动势	(34)
2-3 直流电路	(37)
2-4 欧姆定律和电阻	(38)
2-5 电流的功和功率	(43)
2-6 电能转化为热能	(45)
2-7 电路中任意两点间电压的计算	(47)
2-8 电阻的串联与并联	(50)
2-9 电源的串联与并联	(57)
第三章 复杂直流电路的计算	(61)
3-1 基尔霍夫定律	(62)
3-2 线性电路中的叠加原理(重叠原理)	(67)
3-3 戴维南定理	(69)
3-4 负载获得最大功率的条件	(73)
3-5 电压源与电流源的等效互换	(74)
3-6 电桥电路	(77)
3-7 星形电路与三角形电路的等效互换	(80)
第四章 磁场和磁路	(86)
4-1 磁铁和磁石	(86)
4-2 磁场与磁力线	(87)
4-3 磁感应强度与磁通	(90)
4-4 磁场力对载流导体所做的功	(92)

4-5	磁场对运动电荷的作用力	(96)
4-6	两根平行载流导体间的作用力、导磁系数	(97)
4-7	磁场强度	(100)
4-8	铁磁物质的磁化	(101)
4-9	磁路的基本概念	(106)
第五章	电磁感应	(112)
5-1	电磁感应现象	(112)
5-2	电磁感应的基本定律	(114)
5-3	直导体在均匀磁场中运动的感应电势	(116)
5-4	机械能与电能的相互转换	(119)
5-5	涡流	(121)
5-6	自感现象与自感系数	(123)
5-7	互感现象与互感系数	(125)
5-8	线圈的串联	(130)
5-9	磁场的能量	(131)
第六章	正弦交流电	(134)
6-1	交流电及正弦交流电势的产生	(134)
6-2	交流电的相位与相位差	(138)
6-3	正弦交流电的有效值	(142)
6-4	正弦交流电的矢量表示法	(145)
6-5	正弦交流电的复数表示法	(148)
第七章	正弦交流电路的计算	(153)
7-1	正弦交流电路中的纯电阻	(153)
7-2	正弦交流电路中的纯电容	(155)
7-3	正弦交流电路中的纯电感	(159)
7-4	电阻、电感、电容串联电路	(164)
7-5	电阻、电感、电容并联电路	(172)
7-6	阻抗串、并联电路	(179)
7-7	交流电路的功率和功率因数	(182)
7-8	串、并联电路的互换	(186)
第八章	电路元件	(191)
8-1	电阻	(191)
8-2	电容器	(194)
8-3	线圈	(199)
8-4	高频电路中的电阻、电感线圈和电容器	(201)
8-5	变压器	(203)
第九章	非正弦周期电信号	(212)
9-1	非正弦周期电信号的产生	(212)

9-2	非正弦周期电信号的谐波分析·····	(213)
9-3	波形与谐波成分的某些关系·····	(215)
9-4	非正弦周期电信号作用下的线性电路·····	(218)
9-5	非正弦周期电信号的有效值及功率·····	(223)
第十章	电路中的暂态过程 ·····	(225)
10-1	电容、电感在换路时的情形·····	(225)
10-2	RC电路中的暂态过程·····	(227)
10-3	RL电路中的暂态过程·····	(234)
10-4	RLC串联电路的暂态过程 ·····	(237)
第十一章	万用表 ·····	(241)
11-1	万用表的基本原理 ·····	(241)
11-2	使用万用表的注意事项 ·····	(248)
自我检查题解答	·····	(251)
附录1	电声元件 ·····	(312)
一、	扬声器 ·····	(312)
二、	传声器 ·····	(315)
附录2	电工学中常用希腊字母及读音 ·····	(317)
附录3	常用电学物理量符号及其单位 ·····	(318)
附录4	电路图符号表 ·····	(319)

第一章 电荷和电场

目 的 要 求

这一章主要研究由静止电荷所产生的静电场力和能的特性，以及导体和电介质对静电场的影响。

学习本章内容，要求掌握以下几点：

(1)了解电的由来以及正电荷、负电荷和自由电荷的性质。

(2)掌握库仑定律，能计算点电荷之间的相互作用力。

(3)明确电场是一种特殊的物质，理解电场强度是用来表示电场力性质的物理量。电位是用来表示电场具有能量性质的物理量。掌握电场强度和电位的定义、计算公式和单位；了解匀强电场的特点以及电力线、等位面的概念。

(4)掌握在电场内电荷移动的条件是两点间存在电位差，即有电压。电压在实际应用中是经常遇到的一个物理量，对它应有深入的理解。

(5)掌握带电粒子在匀强电场中的运动规律，解释加速和偏转原理。了解示波管的基本构造。

(6)了解静电屏蔽的方法及其原理。

(7)搞清电容和电容器的概念，掌握电容的串、并联计算公式。最后，要明确电场能量是储藏在电场内，而不是在电荷本身。

1-1 电 荷

在进入电子技术时代的今天，各行各业都在广泛使用电子技术。要想掌握电子技术首先应对电的基本知识有所了解。人类很早就发现物体带电现象，大约在2500年以前，希腊人退利斯就发现了用毛皮摩擦过的琥珀有吸引羽毛、头发等轻小物体的性质。我国东汉时代的学者王充在他的著作《论衡》一书中也记载了“顿牟掇芥”，顿牟就是琥珀，掇芥就是吸引轻小物体的意思。到了公元1600年，英国医生兼物理学家吉伯（1540—1603）发现，这种摩擦起电现象并不是琥珀所独有，其他物体如玻璃棒、火漆棒、硬橡胶棒、硫磺块及水晶等，用丝绸或毛皮摩擦后，也可以吸引轻小的物体（见图1-1）。他将这种吸引力称为电力。并把处在这种状态的物体称为带电体，就是说它带了电或说它荷上电。

为了对电进行科学的研究，需要建立一种能描述电的质和量的物理量，因此引入了电荷的概念，物体荷上电就可用它具有电荷来表达。从图1-1的实验可知，带电体可以吸引轻小物体。从图1-2的实验可知，带电体之间有相互作用力，或者说电荷之间有相互作用力。不过从图1-2的实验可以看到，这种作用力只有两种情况：一种是相互排斥，另一种是相互吸引。于是人们把电荷分成正电荷（常用 $+Q$ 符号表示）和负电荷（常用 $-Q$ 符号表示）两种

类型。根据实验的事实总结得到同型电荷（ $+Q$ 和 $+Q$ 或 $-Q$ 和 $-Q$ ）产生相互排斥作用，异型电荷（ $+Q$ 和 $-Q$ ）产生相互吸引作用。

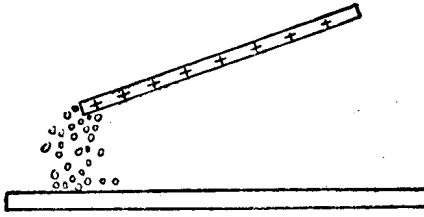


图1-1 用绸子摩擦过的玻璃棒能吸引轻小物体

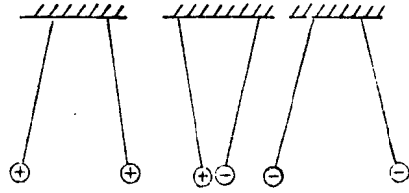


图1-2

根据带电体之间相互作用力的大小可以确定物体的带电程度，也就是物体所带电量的多少。一种最简单的测量电量的仪器叫做金箔验电器，其构造如图1-3所示。图中B是一个金属球，它和金属棒A相连接，两片极薄的金箔装在金属棒的下端，金属棒穿过用硬橡胶做的瓶塞，固定在玻璃容器里。当带电体与金属球B接触时，就有一部分电荷传到两片金箔上，它们就带了同样电荷，因而二者互相排斥而分离开来。这样就可以确定物体是否带电，并可从金箔张开角度的大小，来判断带电体所带电荷的多少。

下面我们用电理论简要地说明物体带电的原因。大家知道，自然界的一切物质，都是由极细微的质点——分子组成，而分子则是由更小的微粒——原子组成。原子由原子核和电子组成，原子核又是由质子和中子组成。一般认为中子不带电荷，质子带正电荷，电子带负电荷。每一个电子所带的负电荷量为 1.6×10^{-19} 库仑，每个质子所带的正电荷量也是 1.6×10^{-19} 库仑。电子围绕着原子核按一定轨道运动着。

实验证明，各种元素的原子核所含的质子数和中子数都是不相同的，因而原子核所带的电荷也不相同。但是无论哪种元素的原子，在正常状态下，原子核内质子的数目总是等于绕核旋转的电子数目，所以原子呈中性状态（图1-4）。这也说明没有带电的物体，其原子中的正、负电荷量一定是相等的，因而对外显不出带电现象。

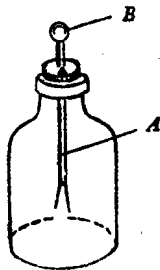


图1-3 金箔验电器

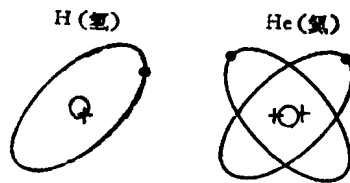


图1-4 氢、氦原子结构图

在靠近原子核的轨道上的电子与原子核的联系较强，也就是说，原子核对靠近的电子吸引力较大，在外层轨道上的电子与原子核的联系较松，也就是说原子核对外层电子的吸引力较小。因此，最外层的电子容易脱离自己的轨道。前面所说的摩擦起电，其实就是两个物体摩擦过程中，电子从一个物体转移到另一个物体上的缘故。得到电子的物体带负电，失去电

子的物体带正电，所以，摩擦时两个物体总是同时带异种电，而且所带电量相等。

根据以上的讨论，我们看到电荷具有以下一些性质：

(1) 电荷是用来表示物体带电的一种物理量。电荷之间存在相互作用力，同型电荷相互排斥，异型电荷相互吸引。

(2) 电荷量的大小标志着物体带电的多少，是衡量物体带电程度的量。

(3) 电荷不能制造出来或将其消灭掉（这种性质称为电荷守恒定律），人们只能用分开物体中原有的正、负电荷或使正、负电荷重新合并的方法来产生电或使电的作用消失。

最后，在这里顺便的介绍一下工程上所用的导体、绝缘体和半导体的一般区分方法。

根据传导电的能力可把物质分为三类：导体、绝缘体和半导体。

导体的特点是带电质点（电子或离子）能在物体的内部自由移动，因此它具有显著的导电性。导体有两种，第一种导体是金属和碳。在这种导体内，处于最外层轨道上的电子与原子核联系较弱，它们很容易脱离原子核的引力范围，而在原子间运动，这一部分电子称为自由电子。由于这些物质有大量自由电子可以移动，所以为导体。第二种导体是电解液，例如酸类、盐类或碱类的溶液，在溶剂的作用下将产生电离现象，把分子分解成正离子及负离子（在这类导体中，没有自由电子，但有缺少电子或电子过多的原子，我们把它叫做离子），这些离子如同金属中的自由电子一样，能在溶液内移动而参加导电。

还有一些物质，它的原子能使电子牢固地围绕原子核运动，不让它们自由地离开原子，因此自由电子或离子的数量极少，不能传导电荷，这种物质叫做电介质或绝缘体。

在正常情况下的气体，一部分液体（如矿物油、漆、树脂等）和大部分固体（除金属和碳之外，如云母、玻璃、瓷、纸、石蜡等）都是绝缘体。但在某种条件下（如在高温或高压的作用下），绝缘体内的分子也可分解为离子，这时，绝缘体就失去它的绝缘性而变为导体了。所以导体和绝缘体并不是截然分开的两类物质，它们之间是相互联系着的。

此外还有导电性能介于导体和绝缘体之间的物质叫做半导体。如硅、锗、锑、硒、硼、磷以及不少的氧化物（如氧化亚铜）和硫化物（如硫化铈）等，目前应用较广的是硅、锗。

半导体中电子与原子核的联系，既不象导体那样弱，也不象绝缘体那样牢固，自由电子的数目少于导体而多于绝缘体。

由于半导体有许多特殊的性质，因此半导体的应用非常广泛，尤其是在近代电子技术中，用它制成各种晶体管，起到整流、检波和放大等作用。近几年来半导体不论在理论或者应用方面，都得到了异常迅速的发展。

自我检查题

- 1.1.1 复习物质的构造。
- 1.1.2 说明金箔验电器的工作原理。
- 1.1.3 什么叫导体、绝缘体和半导体？
- 1.1.4 什么是第一种导体？什么是第二种导体？

1-2 库仑定律

前面已经提到, 两个带电体之间存在着作用力, 同性电荷相斥, 异性电荷相吸。实验表明, 两个带电体间的相互作用力, 不仅与两个带电体所带的电量有关, 而且还与它们的大小、形状及周围电介质的性质有关, 情况比较复杂, 因此我们只讨论两个点电荷之间的相互作用。所谓点电荷是指那些带电体, 它们的大小和它们之间的距离相比时, 小到可以忽略的程度。

1785年法国科学家库仑, 通过多次实验, 总结出电荷间相互作用的基本规律, 这就是有名的库仑定律。库仑定律指出: 在任一均匀电介质中, 两个点电荷之间的相互作用力, 和两个点电荷的电量的乘积成正比, 而和它们之间距离的平方成反比, 力的方向(不论相斥或相吸)是在两个电荷的连线上(见图1-5)。力的大小可用下式表示

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

式中, F 表示两个点电荷之间的相互作用力,

q_1 、 q_2 分别为两个点电荷的电量,

r 为两个点电荷之间的距离,

k 是比例常数, 它随式中的力、电量和距离的单位选择以及电介质的性质而有不同的量值。

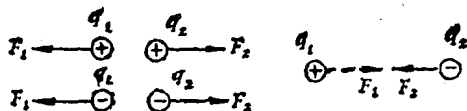


图1-5 两个点电荷的相互作用力 ($F_1 = F_2 = F$)

如果是两个同性电荷, 那么 q_1 和 q_2 的符号相同, 公式中力 F 就是正的, 表示两个电荷互相排斥。如果是两个异性电荷, q_1 和 q_2 的符号相反, 力 F 就是负的, 表示两个电荷互相吸引。

如果两个电荷处在真空中并采用实用单位制(简称MKSA制, 即米·公斤·秒·安单位制), 那么常数 k 等于

$$k = 9 \times 10^9 \frac{[\text{牛顿}] \cdot [\text{米}]^2}{[\text{库仑}]^2}$$

从式中可看出, 在这种单位制中, 力的单位为牛顿, 电量的单位为库仑, 距离的单位为米。

在电磁测量中常用实用单位制。为了得到便于计算的公式和方程式, 将常数 k 写成 $k = \frac{1}{4\pi\epsilon}$, 这时库仑定律变为下列形式

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon r^2}$$

式中 ϵ 叫做电介质的介电系数, 是一个表示受介质影响的量值。根据实验, 真空的介电系数(用 ϵ_0 表示)最小, 它的数值和单位是

$$\begin{aligned}\epsilon_0 &= \frac{1}{4\pi k} = \frac{1}{4\pi \times 9 \times 10^9 \frac{[\text{牛顿}] \cdot [\text{米}]^2}{[\text{库伦}]^2}} \\ &= \frac{10^{-9}}{36\pi} \frac{[\text{库伦}]^2}{[\text{牛顿}] \cdot [\text{米}]^2} \\ &= \frac{10^{-9}}{36\pi} \frac{[\text{库伦}]^2}{[\text{焦耳}] \cdot [\text{米}]}\end{aligned}$$

以后我们还要讲到电压；它的单位是伏特，1伏特 = 1 $\frac{\text{焦耳}}{\text{库伦}}$ ，所以 $\epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi} \frac{[\text{库伦}]}{[\text{伏特}] [\text{米}]}$ 。

某一物质的介电系数与真空介电系数的比值叫做相对介电系数（或简称介电系数），用 ϵ_r 表示，即

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

所以在引入相对介电系数后，库仑定律便可写成下列形式

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon r^2} = \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r r^2}$$

相对介电系数没有单位。空气介电系数和真空介电系数的量值相同，所以空气的相对介电系数等于1。其他物质的相对介电系数都大于空气的相对介电系数（见表1-1）。

表1-1 常用介质的相对介电系数

物 质	ϵ_r	物 质	ϵ_r
空 气	1	瓷	5.8
矿物油	2.2	青 石	6.7
橡 皮	2.7	云 母	6~7.5
蜡 纸	4.3	大理石	8.3
人造云母	5.2	赛璐珞	4~16
玻 璃	5.5~5.8	水	80~81

库仑定律表明了两个点电荷之间作用力的大小，至于力的方向可根据同性相斥、异性相吸的原理来确定。必须特别指出，库仑定律只适用于点电荷，而任意的两个带电体则不能应用库仑定律来计算它们的相互作用力。

【例题1】设在空气介质中有两个点电荷， $q_1 = 4 \times 10^{-7}$ 库伦、 $q_2 = 25 \times 10^{-7}$ 库伦，彼此相距为0.1米，试求它们相互间的作用力。

【解】根据库仑定律

$$\begin{aligned}F &= \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r r^2} \\ &= \frac{4 \times 10^{-7} \times 25 \times 10^{-7}}{4\pi \times \frac{10^{-9}}{36\pi} \times 1 \times (0.1)^2} \\ &= 0.9 \text{ 牛顿}\end{aligned}$$

【例题2】在空气介质中两个正点电荷的电量分别为： $q_1 = 2 \times 10^{-7}$ 库仑， $q_2 = 4.5 \times 10^{-7}$ 库仑。若作用于 q_1 上的力为0.1牛顿时，试求这两个点电荷间的距离。

【解】由库仑定律可得到

$$r = \sqrt{\frac{q_1 q_2}{4 \pi \epsilon_0 \epsilon_r F}}$$

因为 $\epsilon_r = 1$ ，所以

$$4 \pi \epsilon_0 \epsilon_r = 4 \pi \epsilon_0 = \frac{1}{9} \times 10^{-9} \frac{[\text{库仑}]}{[\text{伏特}] \cdot [\text{米}]}$$

又因为

$$1 [\text{牛顿}] = 1 \frac{[\text{焦耳}]}{\text{米}}$$

于是，我们求得

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{\frac{2 \times 10^{-7} \text{库仑} \times 4.5 \times 10^{-7} \text{库仑}}{\frac{1}{9} \times 10^{-9} \frac{\text{库仑}}{\text{伏特} \cdot \text{米}} \times 0.1 \frac{\text{焦耳}}{\text{米}}}} \\ &= \sqrt{81 \times 10^{-4} \text{米}^2} = 9 \text{厘米} \end{aligned}$$

自我检查题

1.2.1 什么叫点电荷？

1.2.2 在库仑定律的表示式中， k 的量值与什么有关？

1.2.3 在真空中有两个带着同性电荷的点电荷，一个带的电量是 2×10^{-7} 库仑，另一个带的电量是 3×10^{-7} 库仑，二者的距离是10厘米，试求它们的相互作用力。

1.2.4 在真空中有两个固定的点电荷，它们带的电量分别是 $q_1 = 16 \times 10^{-3}$ 库仑 和 $q_2 = -1 \times 10^{-3}$ 库仑，二者的距离是15厘米。现在再引入第三个带正电的点电荷，应该把它放到什么地方，它才能处于平衡状态？

1.2.5 ϵ 、 ϵ_0 和 ϵ_r 各表示什么？ ϵ_r 的大小说明什么？

1-3 电场强度与电力线

我们已经看到两个带电体之间有相互作用力存在，为了研究这种作用，引入一个称为电场的概念。简而言之，电场可以看作是电能占有的场地。大家知道，能量是自然界中不以人们意志为转移的客观存在，所以电场也是一种客观存在。

不随时间变化的电场称为静电场，静电场是一种有源的场，即它有发源的地方（正电荷）或归宿的地方（负电荷）。

电场的建立和消失需要有一定的时间，也就是说，电场在空间的传播需要一定的时间。不过其传播的速度很快，由实验得出，电场的传播速度与光速（ $C = 300,000$ 公里/秒）相同。当然静电场是指已建成达稳定状态后的电场。

电场具有两个重要性质：第一，在电场中的电荷会受到电场力的作用；第二，位于电场某一点的电荷需具有一定的能量（称为电位能）。为了研究电场各点的性质，需用电何量极小，以致将它放入电场中不会影响原电场的分布，这种小电荷被称为试验电荷。

从很多实验中可以看到，在静电场中某一确定点（见图1-6），正试验电荷所受的作用力和它所带电量之比是一个常数，我们用这个比值作为标志电场力性质的物理量，称为该点电场强度，用符号E表示。

$$E = F/q$$

式中：q 为放入电场中试验电荷所带的电量；

F为试验电荷所受的电场力。

因此，电场中某一点的电场强度是单位正试验电荷在该点所受的力。由于电场力是一个向量（矢量），因此电场强度也是一个向量（或矢量）。电场强度的方向与正试验电荷所受力的方向相同。

在实用单位制中，电场强度的单位是 $\frac{\text{伏特}}{\text{米}}$

$$1 \frac{\text{伏特}}{\text{米}} = \frac{1 \text{ 焦耳/库仑}}{1 \text{ 库仑}} = \frac{1 \text{ 牛顿}}{1 \text{ 库仑}}$$

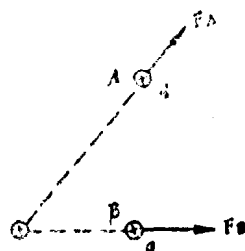


图 1-6

为了形象地说明电场的分布情况，引入电力线这一辅助概念。所谓电力线就是在带电体周围画出许多条线，使这些线上每一点的切线方向，与该点电场强度的方向相同。同时稀密程度表示电场强弱的情况，电场强度大的地方电力线密，电场强度小的地方电力线稀。

图1-7为孤立带电体周围的电力线分布，图1-8为两个带电体周围的电力线分布。从图可知，电力线是不封闭的，它从正电荷出发终止于负电荷，是有头有尾的。另外，任何两根电力线不能相交于一点，因为电场中每一点电场强度只有一个方向。

由于在点电荷（或多个点电荷）的电场中各点电场强度不同，故称为非均匀电场。如果电场中各点的电场强度不仅在数值上一致，并且方向也相同，则称为均匀电场或称匀强电场。在匀强电场中，电力线彼此平行，并且其密度各处一样（图1-9）。

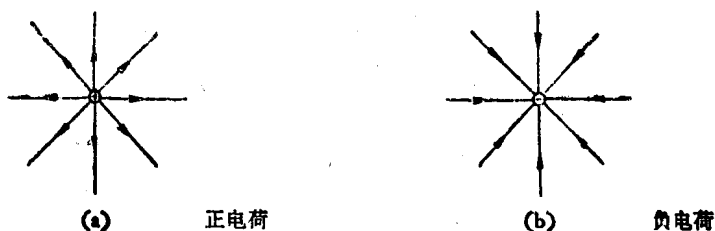
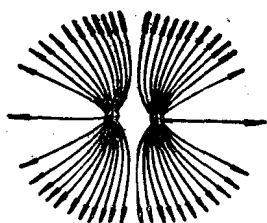


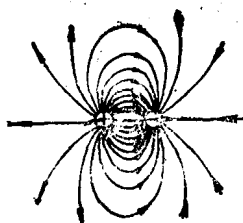
图 1-7 带正电与带负电的孤立球体的电场

值得指出的是，在实际上电力线并不存在，它是人们为了使电场形象化而设想出来的。



(a)

两个同性电荷周围的电力线



(b)

两个异性电荷周围的电力线

图 1-8 带有等量的正、负电荷和带有等量的正电荷两个球体周围电场

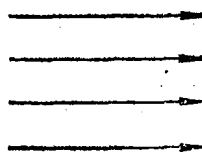


图 1-9 匀强电场

自我检查题

1.3.1 什么是电场？电场强度是描述什么的物理量？为什么说电场强度是矢量呢？

1.3.2 什么是试验电荷？为什么要用试验电荷？电场中某一点的电场强度与试验电荷的电量有无关系？

1.3.3 在真空中有一个点电荷 Q ，它的电量是 2×10^{-7} 库仑。求离它10厘米处的电场强度。

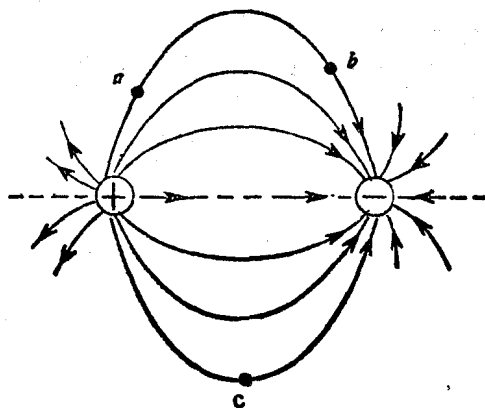
1.3.4 在煤油($\epsilon_r = 2$)中有一个点电荷 Q ，离它5厘米处的电场强度是900伏/米。求 Q 的电量是多少？

1.3.5 在电场中的某一点放一个电量 $q = 15 \times 10^{-8}$ 库仑的试验电荷，它受到的电场力等于0.01牛顿，求这一点的电场强度。

1.3.6 在电场中的负电荷所受的电场力的方向跟电场强度的方向是不是相同？

1.3.7 电力线能说明什么？

1.3.8 在下图中，你能画出a、b、c三点处的电场强度的方向吗？



1.3.9 若在上图中的a点处放一正电荷(或负电荷)时，它必受力而移动，电力线是不是它的移动轨迹？

1-4 电位、电位差与等位面

在前面几节里我们研究了描述电场力的性质的物理量——电场强度，以及用来表示电场强度大小和方向的电力线。现在我们要从电场力对移动电荷做功这一表现，来描述电场中各点能的性质，并进而引入电位与电压的概念。

一、电场力所作的功

假设在正点电荷 Q 所产生的电场中，有 M 、 H 两点，如图1-10所示。如果在 H 点有一正试验电荷 q ，要把 q 从 H 点移到 M 点，就一定要有外力作用于试验电荷 q ，来反抗电场力使它移动。这就是说，外力要克服电场力做功。结果这个功就增加了试验电荷在电场中的位能（或称电势能）。这和物理学中物体在引力场内运动时的功能转变情况相似，例如当人们推车上坡时，要用一定的力来克服地球对车的吸引力。在车从坡下向上移动的过程中，外力要不断的克服重力而对车做功。由于外力做功的结果，使车的势能不断增加。当车到达坡上某点时，它便具有了一定的势能。必须注意，电荷只有在电场中才能获得位能，离开了电场，电荷就不再受到电场力的作用，当它移动位置时不必做功，因此也就没有位能变化和位能了。

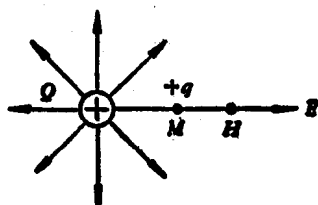


图1-10 点电荷电场的电位

如果在上述电场中的正试验电荷 q ，由于电场力的作用而从 H 点移到电场范围之外，那么，电场力对试验电荷 q 一定也作了功，而且这和把同一试验电荷从电场范围外移到电场中的 H 点，外力所作的功完全相同。

一般规定电荷在电场力作用下移动时，电场力所做的功为正值，电荷在外力作用下反抗电场力移动时，电场力所作的功为负值。电场力作正功，电荷的位能减小，电场力作负功，电荷的位能增加。

如果把正试验电荷 q 放在正电荷 Q 的电场中的 M 点，那么，作用于试验电荷 q 上的电场力为

$$F = E_M q = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r_M^2} \cdot q$$

式中 E_M 表示 M 点的电场强度， r_M 表示点电荷 Q 到 M 点的距离。

在电场力的作用下，试验电荷 q 将沿着电场力的方向移动，一直到退出电场范围（即 $r = \infty$ 处）。经计算，这时电场力对试验电荷 q 所作的功为：

$$W_M = \frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 r_M}$$

如果把试验电荷在电场之外的位能视为零，那么 W_M 也就是试验电荷在 M 点所具有的位能。另外，上式不仅适用于正点电荷的电场，也适用于负点电荷电场；不仅适用于正试验电荷，也适用于负试验电荷。