

普通高中课程标准实验教科书

物理

选修 2-1

人民教育出版社 课程教材研究所 编著
物理课程教材研究开发中心



普通高中课程标准实验教科书

物理

选修 2-1

人民教育出版社 课程教材研究所 编著
物理课程教材研究开发中心



人民教育出版社

总主编：张大昌

副总主编：彭前程

主 编：宣桂鑫

执笔人员：曹 磊 付荣兴 潘邦楨 奚天敬 宣桂鑫

绘 图：高 巍

责任编辑：付荣兴

版式设计：刘 昀

审 读：王存志

普通高中课程标准实验教科书

物 理

选修2-1

人民教育出版社 课程教材研究所
物理课程教材研究开发中心 编著

人民教育出版社 出版发行

网址：<http://www.pep.com.cn>

××××印刷厂印装 全国新华书店经销

开本：890毫米×1240毫米 1/16 印张：7 字数：150 000

2007年4月第2版 年 月第 次印刷

ISBN978-7-107-18011-8

G·11100 (课) 定价： 元

著作权所有·请勿擅用本书制作各类出版物·违者必究
如发现印、装质量问题，影响阅读，请与出版社联系调换。

(联系地址：北京市海淀区中关村南大街17号院1号楼 邮编：100081)

目 录

致同学们	1
------	---

第1章 电场 直流电路 1

第1节 电场	2
--------	---

第2节 电源	7
--------	---

第3节 多用电表	14
----------	----

第4节 闭合电路的欧姆定律	18
---------------	----

第5节 电容器	24
---------	----

第2章 磁场 29

第1节 磁场 磁性材料	30
-------------	----

第2节 安培力与磁电式仪表	34
---------------	----

第3节 洛伦兹力和显像管	38
--------------	----

第3章 电磁感应 43

第1节 电磁感应现象	44
------------	----

第2节 感应电动势	48
-----------	----

第3节 电磁感应现象在技术中的应用	50
-------------------	----

第4章 交变电流 电机 54

第1节 交变电流的产生和描述	55
----------------	----

第2节 变压器	58
---------	----

第3节 三相交变电流	63
------------	----

第5章 电磁波 通信技术 67

第1节 电磁场 电磁波 68

第2节 无线电波的发射、接收和传播 70

第3节 电视 移动电话 75

第4节 电磁波谱 79

第6章 集成电路 传感器 83

第1节 晶体管 84

第2节 集成电路 89

第3节 电子计算机 92

第4节 传感器 98

课题研究 102

课外读物及网站推荐 103

致同学们

欢迎大家进入《物理》选修2系列的学习。这一系列的选修模块，侧重从技术应用的角度展示物理学，强调物理学与技术的结合，着重体现物理学的实践性、应用性。

包括物理学在内的自然科学以认识自然、探索未知为目的；而技术则以对自然的认识为根据，利用得到的认识来为人类服务。

尽管如此，人们还是习惯于把科学和技术联在一起，统称“科技”。这说明二者之间有着密切的联系。历史已经表明，没有科学发现，就没有技术进步；没有技术进步，科学也不能发展。真可谓“你中有我，我中有你”。

17世纪末叶出现的巴本锅和蒸汽泵，主要是一种技术发明。18世纪技术工人瓦特给蒸汽机增添了冷凝器、活塞阀、飞轮、离心节速器等，使蒸汽机真正成为—种广泛应用于纺织、轮船和火车的动力机，更是一种技术的进步。但那时的热机效率只有5%~8%，如何提高热机效率成为技术进步向科学发展提出的问题。它促使卡诺定理的提出和热力学第一、二定律的建立，推动了物理学的发展，并使热机效率得以大幅度提高。这就是近代史上第一次产业革命所反映出的科学与技术的联系。

19世纪70年代，在电磁理论的基础上，具有实用价值的电动机和发电机先后问世，继而又实现了电力的远距离传输。不久，马可尼和波波夫发明了无线电通信技术。这一切开创了第二次产业革命，使人类进入了电气化时代。

20世纪以来，以原子核能、电子计算机和空间技术的发展为标志，开始了第三次产业革命，即现代技术革命。特别是20世纪70年代以来，微电子技术的发展以及材料、激光、遥感、人工智能、多媒体信息技术等的长足进步，极大地拓展了人类利用、控制和保护自然的能力。

科学技术作为生产力的要素，它的发展和进步是同社会生产力的整体水平密切相关的。这也是不同国家和地区在科学技术发展上不平衡的重要原因。正是由于这种不平衡性，导致了科学技术中心在世界范围内的转移。所谓科学技术中心，是指这样的国家和地区，其开创性的科学技术成果超过全世界总量的

四分之一。归纳起来，近五百年来科学技术中心转移的顺序和时间大致是：

- (1) 意大利 1540 ~ 1640
- (2) 英 国 1660 ~ 1730
- (3) 法 国 1770 ~ 1830
- (4) 德 国 1870 ~ 1920
- (5) 美 国 1920 ~

历史上东方文明尤其是中国古代文明曾远远领先于西方，在近代科学技术兴起之前，中国的科学发现与技术发明也曾为世界范围产生巨大影响。有人曾经预言：中国再度觉醒之时，世界将会震颤。还有人说，中国近年的发展变化，正预示这一时刻的到来。不管这些说法的本意何在，无可否认的事实是，我国科学技术的发展不仅表明我们继承了中华传统文化的精华，而且在21世纪的初期，我们已经向着先进国家的行列迈出了坚实的步伐。中国科学技术的昔日风采再度展现在世人面前的日子正向我们走来……

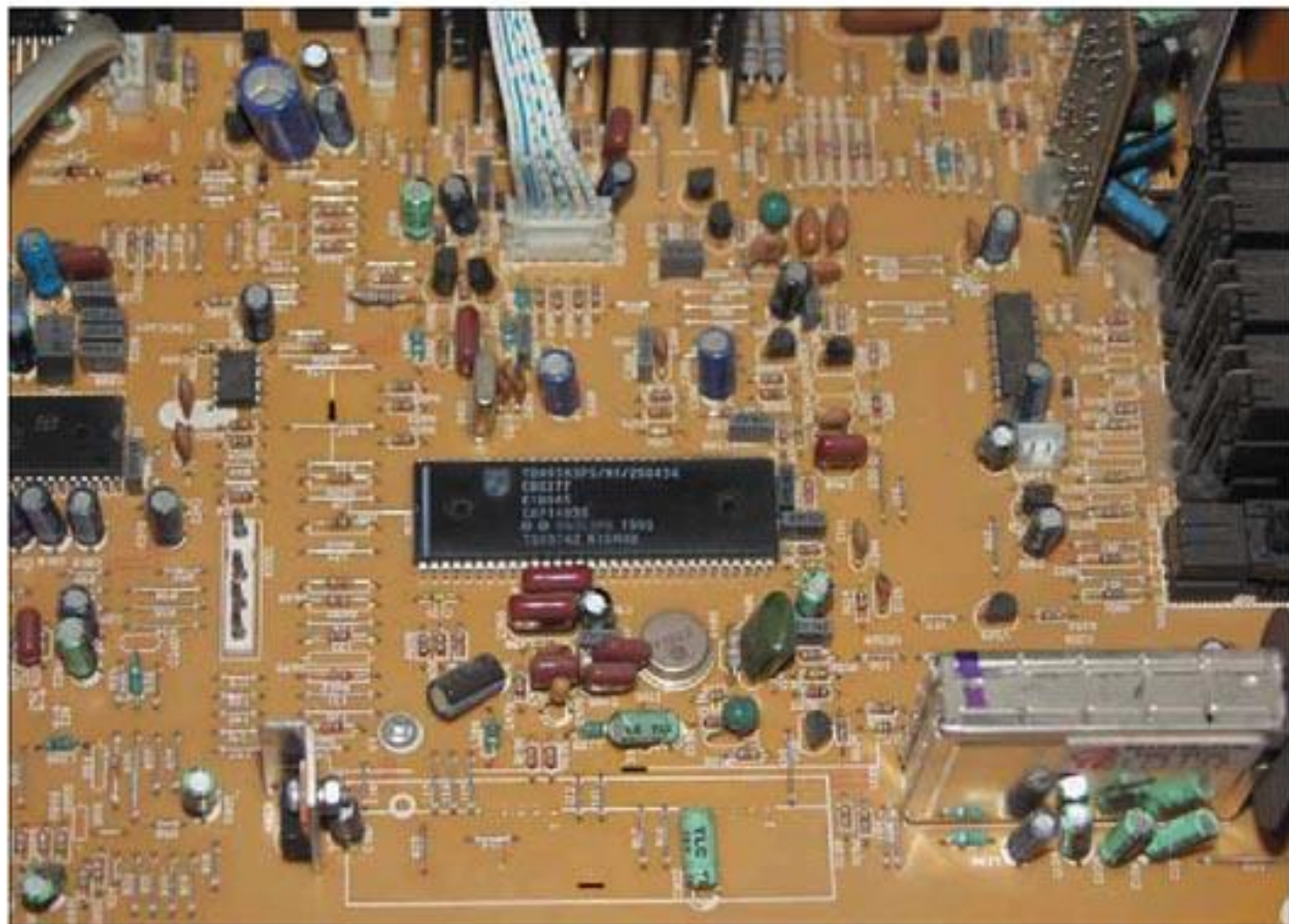
“我是昆仑的云，
我是黄河的浪，
……
我是涅槃的凤凰再飞翔。

我是屈原的梦，
我是李白的唱，
……
我是涅槃的凤凰再飞翔。”

讴歌中华民族伟大复兴的诗句，正在我们耳边回响、回响……
其实，诗在心中。不是吗？

第 1 章

电场 直流电路



电视机中的电路板

我们生活在电气化时代。

清晨醒来，只需一两分钟，微波炉就会为我们做好热腾腾的早饭；晚上回家，洗衣机会自动把脏衣服洗得干干净净；在酷热难耐的盛夏，空调给我们送来阵阵清凉；在久旱的农田，抽水机浇灌着干渴的禾苗；电视机前，我们观看新闻、足球比赛，对国内外大事发表意见……

微波炉、洗衣机、抽水机、电视机……它们的工作原理虽然不同，但是最基本的电磁学规律是一样的。如果看看各种电器的电路板，你就会发现它们是由许许多多电阻、电容、集成电路等元器件组成的。

要想知道这些电器以及组成它们的元器件是怎样工作的，就要对电磁学的基本知识有所了解。电场和直流电路的规律是电磁学的重要基础。

第 1 节 电 场

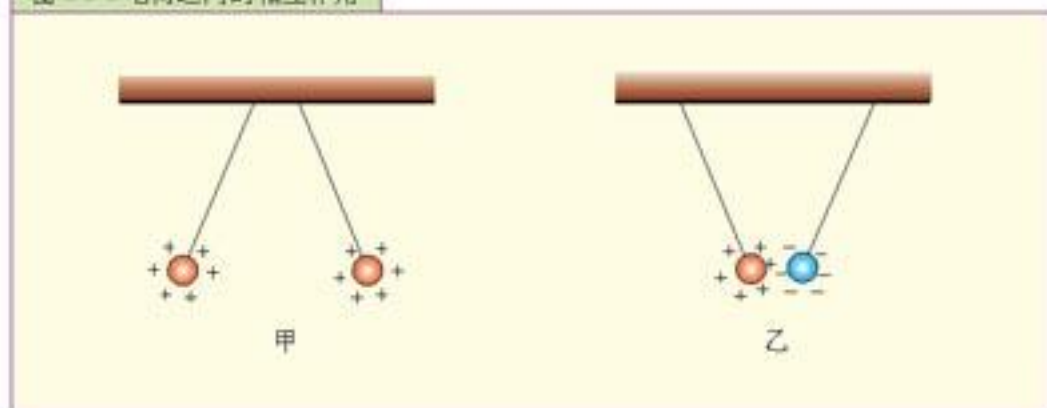
电荷及其相互作用 在空气干燥的时候，用塑料梳子梳头，头发会随着梳子飘起来；夜晚脱毛衣，有时会看到闪光，这些现象都是摩擦起电造成的。

摩擦起电是指用摩擦的方法使物体带上电荷（**electric charge**）的过程。这些电荷静止在物体上，这种现象就叫做静电现象。在自然界只存在着两种电荷：正电荷和负电荷。用丝绸摩擦过的玻璃棒上所带的电荷是正电荷，用毛皮摩擦过的橡胶棒上所带的电荷是负电荷。

摩擦为什么能使物体带电呢？这是因为物体都是由原子组成的，原子由带负电的电子和带正电的原子核组成。通常，原子核带的正电荷与核外所有电子带的负电荷在数量上相等，原子呈电中性，由原子组成的物体看起来不带电。但是不同物质的原子核束缚电子的本领不同，两种不同的物体相互摩擦时，一个物体的一部分电子会转移到另一个物体上，这样，得到电子的物体因获得多余的电子而带负电荷，失去电子的物体因缺少电子而带等量的正电荷。所以物体带电实际上就是物体失去电子或获得多余电子的过程。

电荷的多少叫做电荷量（**quantity of electricity**），用符号 Q 或 q 表示。电荷量有时简称电荷。电子所带电荷量是电荷的基本单元，叫做元电荷（**elementary charge**）。物体所带的电荷量都是电子所带电荷量的整数倍。在国际单位制中，电荷量的单位是库仑（**coulomb**），简称库，用符号 C 表示。1 C 的电荷量相当于 6.25×10^{18} 个电子所带的电荷量，一个普通大小的物体很难保持多于千分之一库仑的净电荷。

图 1.1-1 电荷之间的相互作用



演 示

如图 1.1-1 甲所示，将两个小通草球（或表面涂有石墨的泡沫塑料小球）用丝线悬挂起来，用丝绸摩擦玻璃棒，使玻璃棒带电，并把玻璃棒上带的电传给一个小球，然后使两个小球接触，带上同种电荷。可以看到什么现象？

如图 1.1-1 乙所示，将另外两个小球悬挂起来，并使它们分别带上正电荷和负电荷，又可以看到什么现象？

大量的实验告诉我们，电荷之间有相互作用：同种电荷相互排斥、异种电荷相互吸引。电荷之间的相互作用力，随着距离的增大而减小，随着电荷量的增大而增大。

电场 电场强度 我们过去学过的弹力、摩擦力都是当一个物体与另一个物体接触时产生的，但是，电荷之间的作用力并不要求带电体相互接触。那么，带电体到底通过什么发生相互作用呢？

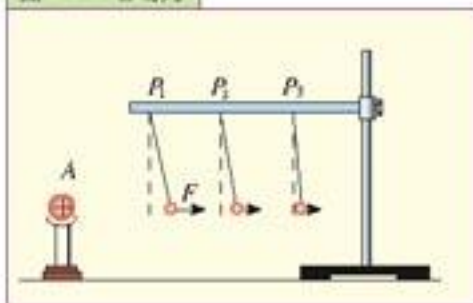
实际上，就像我们初中学过的磁体周围存在磁场一样，电荷周围存在着一种叫做电场(**electric field**)的物质，电荷通过电场发生相互作用。

电场的一个重要的性质就是对置于其中的电荷有力的作用，这个力称为电场力。

演 示

把一个带正电的物体放在A处，然后把挂在丝线上的带正电的小球先后挂在 P_1 、 P_2 、 P_3 等位置(图1.1-2)，比较小球在不同位置所受电场力的大小。(小球所受电场力的大小可以通过丝线偏离竖直方向的角度显示出来，偏角越大，表示小球受到的电场力越大。)

图 1.1-2 电场力



通常，同一个电荷在电场中不同位置所受的电场力往往是不同的。这说明电场中不同位置的电场强弱是有差别的。物理学中，用单位电荷在电场中不同位置所受的电场力来比较这些位置电场的强弱。或者说，用电荷所受的电场力大小与电荷所带电荷量的比值来表示某点电场的强弱。

电场中某点处电荷所受的电场力 F 跟它所带的电荷量 q 的比值叫做该点的电场强度(**electric field strength**)，用符号 E 表示

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

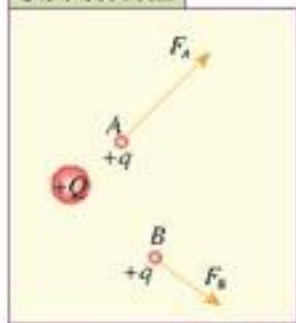
电场强度的单位是N/C，或V/m。如果1C的电荷在电场中的某点受到的电场力是1N，这一点的电场强度就是1N/C。

电场强度不仅有大小，而且有方向。如图1.1-3所示，同一正电荷 q 在电荷 Q 所产生的电场中不同位置所受的电场力方向不同，说明电场强度的方向也不同。物理学中规定：正电荷在电场中某点的受力方向为电场强度 E 的方向。因此，电场强度 E 是描述电场强弱和方向的矢量，反映的是电场自身的特性。

○ **例题** 一个电荷量为 $4.0 \times 10^{-8} \text{ C}$ 的正电荷在电场中某点所受的电场力为 $6.0 \times 10^{-4} \text{ N}$ ，求该点的电场强度。若将一电荷量

在物理学中，常常用比值定义一个物理量，用来表示研究对象的某种性质。例如，用质量 m 和体积 V 的比值定义密度 ρ ，用位移 Δx 与时间 Δt 的比值定义速度，等等。

图 1.1-3 电场强度具有方向性



为 $2.0 \times 10^{-8} \text{C}$ 的负电荷置于该点，该点电场强度是否变化？求它所受的电场力大小和方向。

解：根据电场强度的定义式有

$$E = \frac{F}{q} = \frac{6.0 \times 10^{-4} \text{N}}{4.0 \times 10^{-8} \text{C}} = 1.5 \times 10^4 \text{N/C}$$

该点电场强度大小、方向与该处是否放电荷以及电荷的大小、正负均无关，所以该点电场强度不变。负电荷在该点所受电场力大小为

$$F = Eq = 1.5 \times 10^4 \text{N/C} \times 2.0 \times 10^{-8} \text{C} = 3.0 \times 10^{-4} \text{N}$$

力的方向与该点电场强度方向相反。

电场线 电场看不见，摸不着，怎么能形象地来表示它呢？

还记得初中我们怎样形象地描述磁场吗？

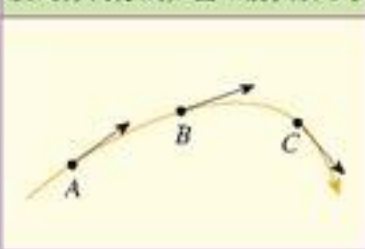
我们是用磁感线来形象地描述磁场的。类似地，也可以用电

场线(electric field line)来形象地描述电场。

电场线是这样一些曲线，它上面每一点的切线方向都跟电场中这一点的电场强度的方向一致(图 1.1-4)。

电场线是形象化描述电场的一种手段，实际电场中并不存在这样的线。

图 1.1-4 电场线上每一点的切线方向都跟这点电场强度的方向一致。A、B、C 各点的电场强度的方向分别如图中箭头所示。



演 示

用实验模拟电场线的分布

如图 1.1-5，在玻璃或塑料容器中盛一些蓖麻油，将两个电极分别连到感应起电机的正、负导电杆上。把头发屑撒在蓖麻油表面，转动感应起电机，在电场中头发屑会排列起来，显示出电场线的分布。

图 1.1-5 电场线分布

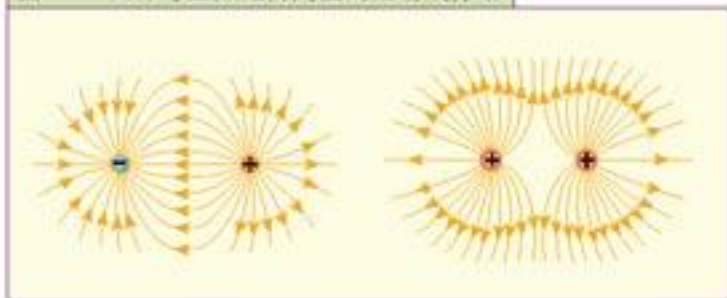


从图 1.1-6 可以看出，离电荷越近的地方，也就是电场越强的地方，电场线越密。所以，电场线不仅可以表示电场强度的方向，而且，在同一个电场线分布图上

可以大致表示出各处电场强度的大小。电场线越密的地方，电场强度越大，电场线越稀的地方，电场强度越小。看到

电场线分布具有这样的特点：从正电荷(或者从无限远)出发到负电荷(或者延伸到无限远)终止。

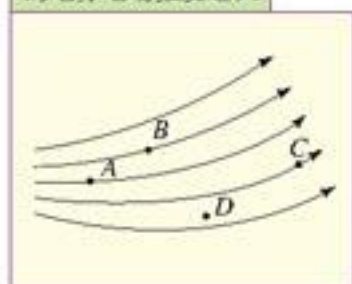
图 1.1-6 两个等量点电荷周围的电场线分布



某一区域的电场线分布情况，我们就可以比较具体地对这一区域的电场情况有个形象的了解。

图 1.1-7 中的 A、B、C 三点相比，A 点的电场强度最大，C 点的电场强度最小。

图 1.1-7 电场线越密的地方电场强度越大

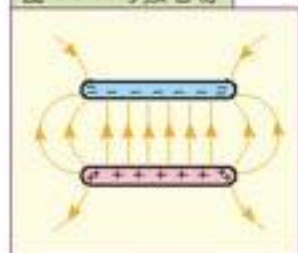


思考与讨论

在图 1.1-7 中的 D 点没画出电场线，是否该点电场强度为 0？为什么？若把一个负电荷分别放在 A、B、C 三点，请画出它所受的电场力的方向。

匀强电场 在电场的某个区域，如果各点电场强度的大小和方向都相同，这个区域的电场就叫做匀强电场（uniform electric field）。匀强电场是最简单的电场，也是很常见的电场。两块分别带等量正、负电荷，靠得很近的平行金属板之间的电场，除边缘附近外就是匀强电场（图 1.1-8）。

图 1.1-8 匀强电场



因为匀强电场中各点电场强度的方向都相同，所以电场线一定是相互平行的直线；又因为各点的电场强度大小都相同，所以电场线的疏密程度处处相同。因此，匀强电场的电场线是间距相等的平行直线。



放电现象的防止

当电荷在物体上大量积累时，在物体周围就会产生很强的电场。如果电场足够强，原来是绝缘体的空气被强电场击穿变为导体，这一现象称为空气的电离。强大的电流通过电离的空气时发声、发光、产生电火花并发出大量的热。实验室中感应起电机两个导电杆之间的电火花（图 1.1-9）云层之间和云层与地面之间产生的闪电和雷鸣、生活中由于毛衣积累了静电而发生的电击和火花，这些都是强电场使空气电离而产生的放电现象。

图 1.1-9 起电机导电杆之间的电火花



生产和生活中，放电火花会引爆易燃物，例如，矿井中的火花放电会引起可燃气体爆炸，造成重大矿难；在石油运输过程中产生的静电，积累到一定程度就会产生火花放电，引起爆炸。因此，油罐车都拖着一根铁链，它可以把车上的静电导入大地（图 1.1-10）。飞机降落时，它与空气摩擦而产生的静电必须通过

导电橡胶轮导入大地，纺织和印染车间内空气要保持一定湿度，因为潮湿的空气可以使静电散失。计算机房和大型电话交换机房的地板要用导电良好的材料制成，以防静电的积累。

由于导体的尖端部位特别容易积聚电荷，这使尖端附近空气中的电场特别强，从而发生尖端放电。为了防止尖端放电，高压输电设备的部件的表面都做得很光滑，以防损失电能并造成事故。而避雷针则利用了尖端放电，将强大的闪电电流引入大地，使建筑物免受雷击破坏。

图 1.1-10 红圈所示为接地的铁链



图 1.1-11 现代避雷针往往具有很多组金属尖棒，做成蒲公英花的形状以增强避雷效果。



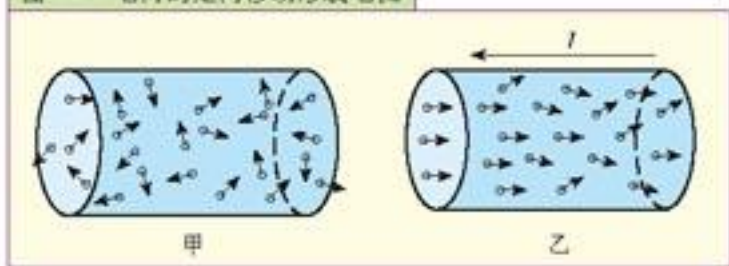
问题与练习

- 判断以下说法是否正确。
 - 电荷在电场中某点受到的电场力小，该处的电场强度就小。
 - 电场中某处电场强度的方向跟电荷所受电场力的方向相同。
 - 电场线越密的位置，电荷所受电场力越大。
- 下列哪些措施是用来防止放电的，哪些是利用放电的？
 - 汽车中汽油发动机的点火装置。
 - 飞机的机轮用导电橡胶制作。
 - 地毯中夹杂着 $0.05 \sim 0.07 \text{ mm}$ 的不锈钢丝纤维。
- 收集放电火花引起爆炸的事例，结合周围的实际情况说明应该采取哪些与静电有关的安全措施。
- 原来不带电的梳子与羊毛衣袖摩擦后，梳子上带有 10^{-7} C 的负电荷。梳子上获得了多少个多余的电子？

第 2 节 电 源

电流 我们在初中已经知道，电荷的定向移动形成电流。要形成电流，必须有能够自由移动的电荷。在金属导体中，有大量可以自由移动的电子，在酸、碱、盐水溶液中有大量可以自由移动的正、负离子，这些都是可以自由移动的电荷。当导体两端没有电压时，导体中没有电场，自由电荷做无规则的热运动（图 1.2-1 甲），向不同方向运动的自由电荷，数目大致相等，导体中不会形成电流。当导体两端存在电压时，导体中就存在电场，自由电荷会发生定向运动，从而形成电流（图 1.2-1 乙）。例如，将金属导体与电源正、负极相连，金属导体中的自由电子便会同时向电源正极方向移动。

图 1.2-1 电荷的定向移动形成电流



物理学中规定，正电荷定向移动的方向为电流方向。如果导体中做定向移动的是负电荷，那么负电荷定向运动的方向与电流的方向相反。

物理学中用电流（**electric current**）这个物理量来表示电流的强弱，用符号 I 表示，它等于每秒内通过导体横截面的电荷量，即

$$I = \frac{Q}{t}$$

在国际单位制中，电流的单位是安培（**ampere**），简称安，符号是 A。如果 1 s 内通过导体横截面的电荷量为 1 C，那么导体中通过的电流就是 1 安培，即 $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$ 。在初中我们学过，电流的常用单位还有毫安（mA）和微安（ μA ）。

$$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}, \quad 1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}.$$

下表是一些常用电器正常工作时电流的大小。

用 电 器	电 流
电子手表	约 $2 \mu\text{A}$
收音机	约 40 mA
电视机	约 500 mA
家用电脑	约 1 A
洗衣机	约 1~2 A

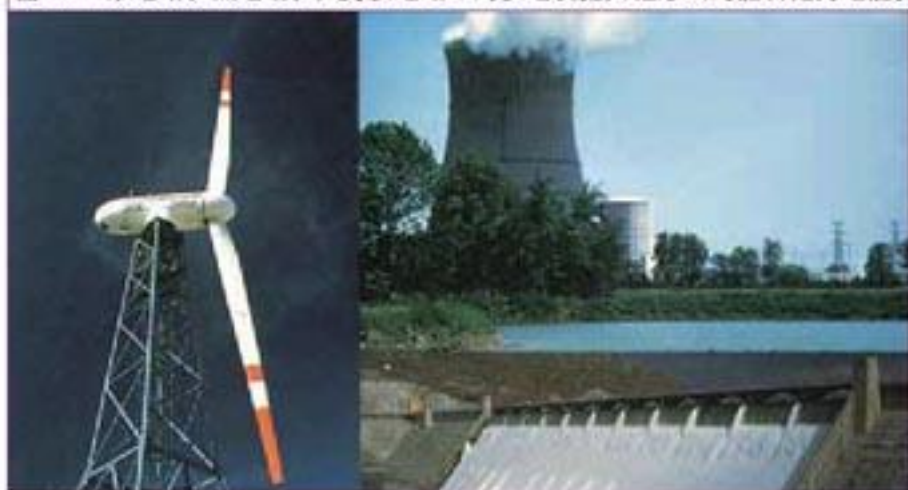
测量电流的仪表是电流表，使用时应把它串联在电路中，电流必须从“+”接线柱（或红接线柱）流进去，从“-”接线柱（或黑接线柱）流出来。

电源 电路中导体两端的稳定电压是由电源（**power source**）提供的。如果没有电源，电路没有稳定的电压，也就不能形成持续的电流。电池、发电机等，都是电源。电源能使电路中产生电流，是因为电源把其他形式的能量转化成了电能。普通电池把化学能转化为电能，发

电机把机械能转化为电能。

在电路中，电流从电源正极经过用电器流向负极。

图 1.2-2 水电站、热电站、风力发电站中的发电机把其他形式的能转化为电能。



电动势 电源接入电路后，电荷做定向移动，其他形式的能转化为电能，在电源外部电能经过用电器转化为内能、光能、机械能等。

不同类型的电源把其他形式的能量转化为电能的本领是不同的。物理学中我们用电动势（**electromotive force**）表示电源的这种本领。电动势用 E 表示，它的单位与电压的单位相同，也是伏特。电动势越大，说明这个电源将其他形式的能转化为电能的本领也越大。

干电池的外面印有 1.5 V 字样，这表示它的电动势为 1.5 伏。而大型发电机的电动势可达几十千伏。

尽管电动势与电压是两个不同的概念，但是如果电源没有跟用电器连接，用电压表测得它两端的电压，就等于电源的电动势。

电动势的单位虽然与电压的单位相同，它们的意义却不一样。电动势是专门表征电源特性的物理量，它与电路中的电阻、电流等无关。



探究影响电池电动势的因素

在初中，我们曾经制作过一种非常简单的电池——水果电池。这里我们再来制作水果电池，但研究的问题要比初中复杂一些。

要制作水果电池，一是需要两种不同的金属做电极，二是需要电解质溶液，也就是水果的汁液。将两种不同的金属丝或金属片插入一个水果中，就制成了一个水果电池。

使用不同的水果和不同的金属，水果电池的电动势并不

图 1.2-3 测量水果电池的电动势



一样。测定电动势之前，先要确定哪一个金属丝或金属片是正极。（想一想，应该怎样判断，才能既方便又安全？）把电压表接到电池的两极，测出水果电池两极间的电压，这样就可以测得水果电池的电动势（图1.2-3）。

当影响实验的因素比较多时，通常分几个阶段进行实验，在每个阶段都只让一个因素发生变化，这种做法就是我们在初中学过的“控制变量”，“变量”指的就是前面所说影响实验结果的“因素”。

可能有很多因素（称为实验变量）影响水果电池的电动势，例如水果的种类、两个电极所用的金属，以及电极埋入的深度、电极间的距离等。下面让我们逐一研究这些因素对水果电池电动势的影响。

1. 用不同的金属材料做电极，但总是使用相同种类的水果，保持电极的埋入深度和距离不变，分别测量电池的电动势，研究电极材料对电动势的影响。

电极材料	电动势
铜—铁	
铜—铝	
铝—铁	
……	

2. 用几种不同种类的水果，但总是使用铜丝和铁丝，保持电极的埋入深度和相互距离不变，分别测量下表中不同种类水果电池的电动势，研究水果种类对电动势的影响。

水果种类	电动势
苹果	
梨	
柠檬	
橘子	
……	

3. 自己设计实验，进一步研究电池两极距离、埋入深度及其他因素对电动势的影响。

结论：水果电池的电动势与_____有关，与_____无关。

大家做

对照实验室的学生电源，阅读它的说明书，了解它能提供的不同的电动势，了解它的使用方法和使用注意事项。

学会通过阅读说明书，使用某种仪器或设备，并养成习惯。

内阻 电源内部的导体，如发电机的线圈、电池内的电解液等，都有电阻，这部分电阻叫做电源的内阻（**internal resistance**）。

电池的内阻在使用过程中变化较大，一般不在外壳上标出。

电池的容量 生活中使用的电池，大多是化学电源，即在电源内部通过化学反应将化学能转化为电能。除了电动势和内阻这两个技术指标外，电池还有一个技术指标：容量（**capacity**）。容量的大小常用毫安小时（简称毫安时，符号是 $\text{mA}\cdot\text{h}$ ）或安培小时（简称安时，符号是 $\text{A}\cdot\text{h}$ ）表示。电池的容量越大，产生的电能越多，使用的时间越长。例如，某电池的标称容量为 $1\,000\text{ mA}\cdot\text{h}$ ，表示它能够以 $1\,000\text{ mA}$ 的电流放电 1 h ，或者以 500 mA 的电流放电 2 h 。使用时，如果放电电流比较小，或者是间断地放电，实际容量比标称容量大些；反之，如果放电电流很大，电池的实际容量达不到它的标称值。

图 1.2-4 这是移动电话中使用的一种电池。从标签上看，它的电动势是多少？容量是多少？



电 池

不要小看了电池，要想使用各种便携的设备，没它可不行。你真的会用电池吗？电池里的学问有多少？数百年的电池史，记载着许许多多科学家的心血。

1780年，意大利生物学家伽伐尼在一次偶然的实验中发现，两根相连的不同金属棒同时碰到死青蛙的大腿时，蛙腿的肌肉便抽搐一下。这个意外发现引起了物理学家的关注，他们认为，青蛙的肌肉之所以会抽搐，也许是肌肉中某种液体与金属反应，产生了电流。

意大利物理学家伏打，从1790年起就对这一收缩现象产生了浓厚的兴趣，并于1800年制成了世界上第一个电池，后人称为伏打电池。

伏打电池是把一块盐水浸透的纸片夹在铜板和铜板中制成的。用电线把两块极板接通，电路中就产生了电流。这种电池的电动势很低，不到 0.5 V 所以人们把许多电池串联在一起，增大电动势，这就是伏打电堆。

图 1.2-5 伏打电池

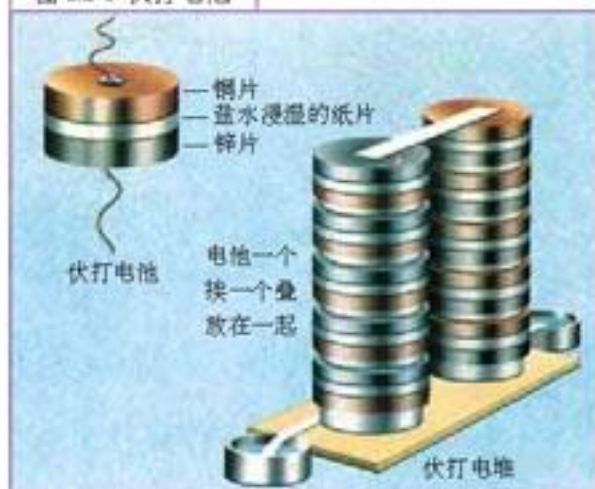
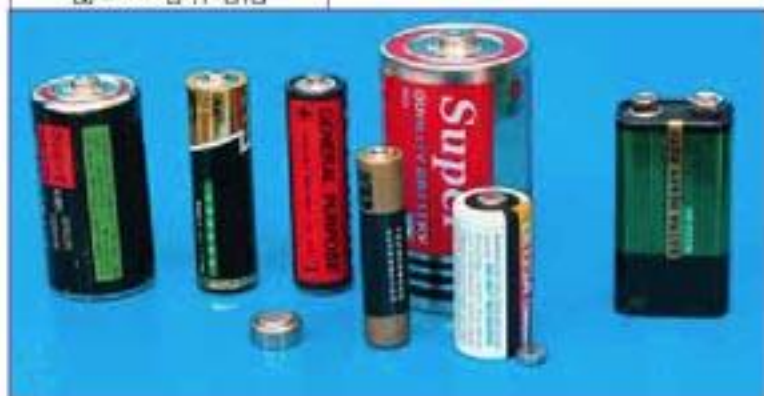


图 1.2-6 各种电池



在发电机发明之前，电池一直是提供持续电流的唯一电源。此后经过几代人的努力，诞生了电池家族中的许多成员。目前常用的电池有以下几种。

干电池 最普通的干电池是碳锌电池。它的负极是一个锌或锌合金的圆筒，正极是圆筒中的碳粉，碳粉与中央的碳棒相连。碳粉和锌筒用糊状的氯化铵、氯化锌水溶液隔开。碳锌电池的电动势在1.5 V左右。

为了获得较高的电压，可以把干电池做成薄片状，叠放起来，装在一个外壳中，成为“积层电池”，多用电表常用积层电池做电源。

目前广泛使用的另一种干电池是碱性电池。它的形状、电动势和碳锌电池一样，但是使用碱性电解质，化学反应中会释放更多能量，电池容量比碳锌电池大。

图 1.2-7 碱性电池，“ALKALINE”是英文词“碱性”。



图 1.2-8 纽扣电池。大的用在助听器中，小的用在电子表中。



图 1.2-9 多用电表用的一种积层电池。它的电动势是多少？



锌汞电池 锌汞电池的电解质是氢氧化钾，负极是氯化锌膏，正极是氧化汞。它的体积很小，制成纽扣形或圆筒形。这种电池的电压非常稳定，能在较高温度下使用，常用做电子仪表、手表的电源。缺点是含汞，会污染环境。

铅蓄电池 蓄电池是可充电的化学电池，可以反复使用，一般充放电数百次才报废。

铅蓄电池的电解液是硫酸，电极是铅板，其表面覆盖着硫酸铅。充电时，由于电化学反应，一个板上的硫酸铅变成二氧化铅，另一个板上的硫酸铅变成铅，分别成为正负极。它的电动势约为2 V，内阻很小，一般在0.1 Ω以下。

汽车启动时，蓄电池使电动机转动并带动内燃机转动，行驶中内燃机带动发电机给蓄电池充电。

图 1.2-10 汽车中的铅蓄电池



镍镉电池和镍氢电池 这两种电池的外形一样，它们的正极均为氧化镍。镍镉电池的负极为镉，两极用多孔薄膜分开，以氢氧化钾溶液为电解液。放电时，电动势约为1.2 V。镍镉电池的充放电具有记忆特性，也就是说，如果某次没有完全放电就进行充电，那么下次使用时只能放电到这个程度。因此，使用镍镉电池时，要将电池完全放电后再充电。镍镉电池充放电寿命大于500次。由于镉对环境的污染严重，我国正逐步停止使用这种电池。

图 1.2-11 照相机用的一种锂电池，“Lithium”是英文词“锂”。



镍氢电池是新型蓄电池，它以储氢材料作为负极替代镉。镍氢电池的电动势也是1.2 V。充放电时没有记忆特性，存储的能量比镍镉电池高。

锂电池 锂电池由钴酸锂做正极，碳材料做负极，正负极之间是充满电解质的隔膜。锂离子在电解质中运动。锂电池是目前常用蓄电池中能量密度最高的电池，也就是说，电池的质量一定时，锂电池的容量最大。

锂电池分为一次性电池和可充电电池两类。目前在胶片相机、计算器等耗电量较低的电子产品中，常使用不可充电的纽扣状或干电池状的一次性锂电池。在摄像机、数码相机、笔记本电脑及移动电话等耗电量较大的电子产品中，则使用可充电的锂电池，它的出现是蓄电池历史上的一次飞跃。

太阳电池 太阳电池又称太阳能电池、光电池。半导体材料硅、砷化镓等在光的照射下会释放电子，利用这个特性，太阳电池可以直接将光能转化为电能。1959年它在人造卫星上首次使用，目前是人造卫星、宇宙飞船和空间站的主要能源之一。近年来，硅太阳电池已经应用于无人灯塔、浮标、山地气象站和地震观测站等，也有人用太阳电池为轻型飞机和汽车供应动力，但还都处于试验阶段。太阳电池的电动势较小、内阻较大，通常都是很多单元组合使用。

图 1.2-12 太阳电池驱动的汽车（试验型）



大家做

地 电 流

把两根相同的铁棒插在潮湿的地里，铁棒相距 10 m 以上，用导线把它们连接到一只比较灵敏的电流表上，可以看到电流表中有电流通过。两根铁棒的距离不同、它们接地点连线的方向不同，电流都不一样。

我们知道，如果电路中有电流，就一定要有电源。莫非两根相同的金属棒也可以成为一个电池的电极吗？不对！因为一个电池的两个电极，一定是用不同材料制作的。那么，这种地电流是从哪里来的？

地电流的成因非常复杂，请你查阅有关资料，尝试做出解释。

一般说来地电流是比较稳定的，随昼夜、季节有缓慢的变化。有的资料表明，地电流的突然大幅度变化可能与即将发生的地震有某种关系。

图 1.2-13 测量地电流



宁静校园驶出未来汽车

——国内首台燃料电池汽车“超越”一号问世

新华社上海1月12日电（记者刘军） 一辆名叫“超越”一号的未来汽车，11日在同济大学的校园中平稳行驶。它装着“绿色心脏”，以氢为燃料，排出纯净水，不产生任何污染环境的废气。

电动汽车是国家科技部“十五”期间12个重大科技专项之一，而在整个电动汽车专项中，燃料电池轿车项目意义最为重要，被世界公认为是汽车的一次全新革命。2001年底，燃料电池轿车项目落户上海后，由上海汽车集团、同济大学等10多家企业、高校、科研机构联合组成项目组，并成立燃料电池动力系统公司，进行项目攻关。

燃料电池汽车项目组负责人万钢教授介绍说，项目组的第一年计划圆满完成，“超越”一号已经通过科技部重大专项年度评审，各项性能指标都达到了要求。按预定时间表，燃料电池汽车将出现在2008年北京奥运会和2010年上海世博会上。他强调，燃料电池汽车的开发，对利用清洁能源、改善城市环境、促进汽车产业升级都具有十分重要的意义。

（摘自2003年1月13日 科技日报）

问题与练习

1. 蓄电池充电后如果不用，储存的电能也会逐渐丢失。图1.2-13是某电池的剩余电能随储存时间变化的曲线。由图可知：

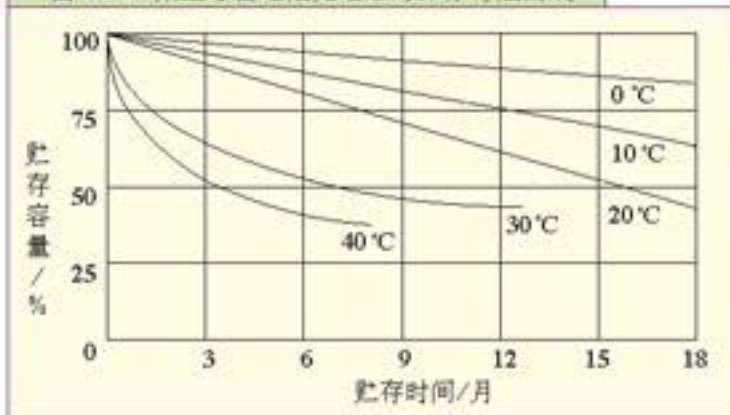
(1) 电池贮存的电能随时间的增加而_____；

(2) 在相同的贮存时间内，温度越低贮存效果越_____。

2. 某种移动电话电池的容量是500 mA·h，连续通话时间大约为6 h，连续待机时间大约为720 h，充电时间大约是3 h。根据这些数据可以知道，通话时电池的放电电流大约是_____，待机时电池的放电电流大约是_____，充电电流大约是_____。

3. 调查你家里的电池使用情况。想一想，为什么不同的电器要使用不同的电池？

图 1.2-14 某型号蓄电池充电后的保存特性曲线



第 3 节 多用电表

在初中以及前面的实验中，测量电流、电压，要分别使用电流表、电压表。如果一个电表既能测量电流，又能测量电压，那该多好！图 1.3-1 就是这样的电表。它不仅能测量电流和电压，还能测量导体的电阻（我们将在下一节学习）。无论是测量电流、电压还是电阻，它都有很多不同的量程，所以它的测量范围比单一用途的电表广泛得多。这种电表叫做多用电表（multi-meter），也叫多用表。

多用电表由一个十分灵敏的电流表（俗称表头）和若干其他元件构成。表头中有一块磁铁，磁极之间有个线圈。线圈中有电流通过时，在磁场力的作用下会偏转，根据偏转的角度就能知道电流的大小。

使用前的准备 如图 1.3-2，多用电表的上半部有表盘、指针和调零螺丝。表盘上有电流、电压和电阻等各种量程的刻度，多数刻度可以供几个不同的量程共用。下半部有选择开关和欧姆挡的调零旋钮。选择开关可以转动，它的周围标着各种测量项目和不同的量程，其中电压挡还分直流（以符号“-”表示）和交流（以符号“~”表示）两种^①。

使用前，要首先检查表针是否停在刻度盘左端“0”的位置。如果没有停在“0”的位置，测量时就会产生误差，这时要用螺丝刀缓慢地转动表盘下方的调整定位螺丝，使指针指0，这道程序叫做调整机械零点。然后，将红表笔、黑表笔分别插入正（+）、负（-）插孔。

电压的测量 测量直流电压时，要将选择开关旋到直流电压挡的某一量程上，还要考虑两枝表笔的位置：一定要使红表笔连在离电源正极较近的位置，黑表笔连在离电源负极较近的

图 1.3-1 多用电表的结构



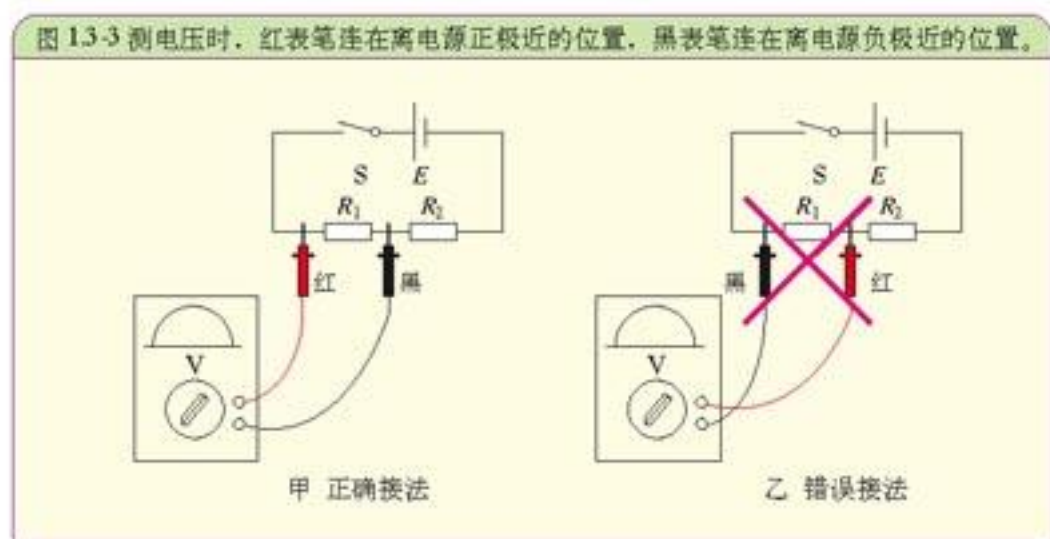
图 1.3-2 一种多用电表



! 测量时，手指不能接触表笔的金属部分；也不能在测量时转动选择开关！

^① 直流指方向一定的电流，例如电池产生的电流；交流指方向随时间变化的电流，例如墙上插座供给的电流。

位置（图 1.3-3），否则表针将向左摆动，有可能损坏表头。



使用电压挡测量时，要选择合适的量程。如果所选量程小于被测电压，表针要超过表盘的最右端，有可能把表针打弯，电压过大时甚至会烧毁表头；如果所选量程比被测电压大得多，则影响测量的精确度。如果事先不能估计被测电压的大小，为了安全，建议从最大量程开始，逐挡试测。

为了保证不损坏电表同时保证测量的精确度，应该先“试触”，就是先将一枝表笔接触待测点，然后将另一枝表笔短时间地碰一下另一个待测点，同时观察表针的摆向和摆幅。只有在表针的摆向正确和摆幅不超过最大刻度时，才能将两枝表笔紧紧地接到待测点上，并从表盘上选择相应的刻度读取数据。否则，应先纠正错误，方能重新测量。

思考与讨论

使用多用电表时，选择开关的挡位选取很重要。如果选择开关的挡位选取不正确，会使测量不准，甚至损坏电表。

1. 一个多用电表的直流电压部分有 2.5 V 10 V 50 V 250 V 挡，被测的是 4 节干电池串联组成的电池组，应该选择哪个挡位？使用其他挡位可能造成什么损坏或者有什么其他不利影响？

2. 对于一个不能事先估计的电压值，测量时应该如何选取选择开关的挡位？



实验 测量学生电源提供的直流电压和交流电压

用多用电表测量学生电源提供的多个直流和交流电压输出值，并对比其相应的标称值，看看是否有差别（学生电源直流和交流电压的标称值只供参考）。

多用电表的表头是十分灵敏的，微弱的电流就能使指针到达最右端。为什么用它的电压挡可以测量很高的电压呢？

原来，把选择开关旋到电压挡时，表头就与一个比表头电阻大得多的电阻串联起来了（图 1.3-4），电路中的总电阻就变得很大，所以实际流过表头的电流仍然很小。

转动选择开关选择不同的电压挡时，实际上是在改变不同的串联电阻。



大家谈

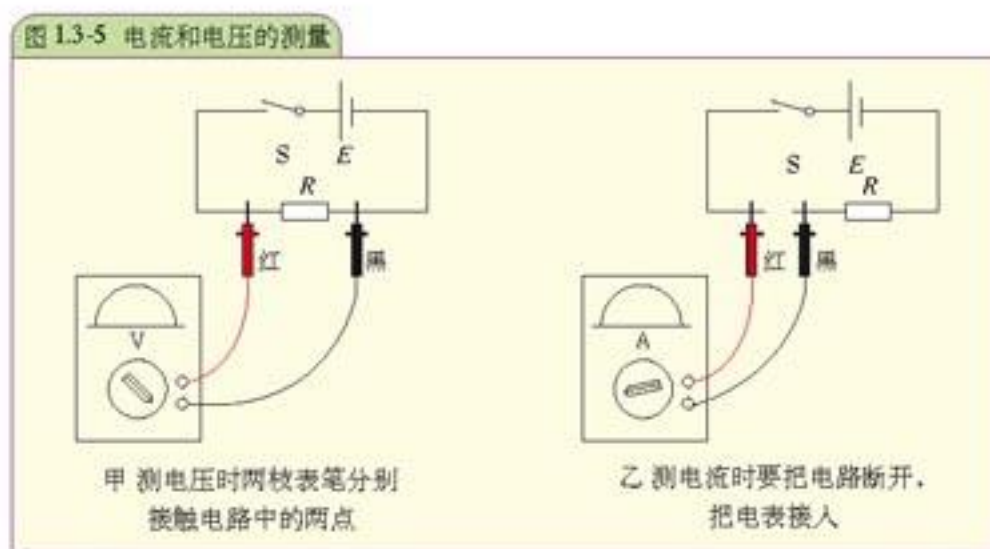
普通学生用电压表最大的量程为 $0 \sim 15 \text{ V}$ 。假设它的电阻是 R ，把它与一个电阻值也是 R 的电阻串联起来，根据我们初中学过的，串联电路中各部分电路的电压与总电压的关系，电阻和电压表两端可以承受的总电压是多大？

如果串联的电阻大小是 $2R$ ，它可以承受的总电压又是多少？

如果把电压表与电阻串联后的电路两端作为新的电压表的两端，它的最大量程就是它们可以承受的总电压值，改装电压表的道理就是如此。

如果想把原来的电压表改装成量程为 150 V 的电压表，这个串联进来的电阻跟原来电压表的电阻，应该有什么关系？

电流的测量 我们说到“电压”，指的是电路中某两点间的电压，因此测量电压时不必改变原来的电路，只要把两枝表笔分别接触待测的两点就行了（图 1.3-5 甲）。说到“电流”时，指的是流过某一点的电流，因此测量电流时要断开原来的电路，把电表接入，让电流流过电表（图 1.3-5 乙）。



测量电流时要注意电路中电流的方向，接入电表时要使电流从红表笔流入，从黑表笔流出。

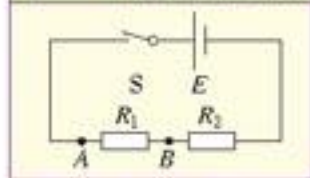
测量电流时，关于量程的选择以及读数方法的要求跟测量电压时一样。



测量电路中的电压和电流

1. 照图1.3-6连接电路,用多用电表分别测量 R_1 、 R_2 两个电阻两端的电压和电源两端的电压,然后测量流过A、B两点的电流。
2. 测量半导体收音机中几个电阻两端的电压,并算出通过各电阻的电流。

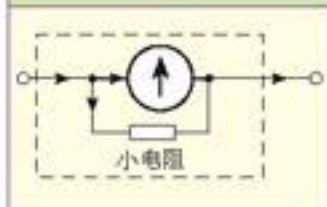
图 1.3-6 测量电压和电流



既然微弱的电流就能使指针到达最右端。为什么多用电表可以测量很大的电流呢?

原来,把选择开关旋到电流挡时,表头就与一个比表头的电阻小得多的电阻并联起来了(图1.3-7),测量时,尽管总电流很大,但

图 1.3-7 多用表测电流时的电路



由于并联的电阻很小,大部分电流通过这个并联电阻,流过表头的电流仍然很小。不过这时表盘上标的却是干路中的总电流。

转动选择开关选择不同的电流挡时,实际上是在改变不同的并联电阻。

表盘上标示的是流过表头和并联电阻的总电流,并不只是流过表头的电流。可以说是“表里不一”!

思考与讨论

两个同学用过多用电表后,分别把选择开关放在图1.3-8甲、乙所示的位置。你认为谁的习惯比较好?

图 1.3-8 谁的习惯比较好?



数字式多用电表

多用电表分为模拟式(指针式)和数字式两类。指针式多用电表的显示十分直观,易于表现被测物理量的变化趋势,价格较低,目前仍在广泛使用。

随着电子技术的飞速发展,多用电表已从模拟式向数字式发展。数字式多用电表有以下特点。

1. 数字式多用电表内部装有电子电路,有放大的功能,所以它的灵敏度高,而且在测量电压时电表本

身的阻抗比模拟式高得多，对被测电路的影响极小。

2. 各种被测物理量以数字形式显示，清晰易读，没有人为的读数误差（视差）。

3. 功能多、使用方便。数字式多用电表具有自动调零功能，同时它还能自动转换并显示极性，即当被测电压或电流的极性与表笔极性不一致时，能自动显示负号，而不必调换表笔，减少仪表损坏事故。

4. 体积小、重量轻、便于携带。

除了模拟式多用电表的一切测量功能外，有的数字式多用电表还可以测量交变电流的频率、温度、电容等，由电子蜂鸣器发出的声响还可以判断线路的通断。

数字式多用电表也有不足之处，它难以像模拟式电表那样直观地反映被测量的变化过程 and 变化趋势，另外，它的价格比较高，维修也比较困难。

图 1.3-9 数字式多用电表

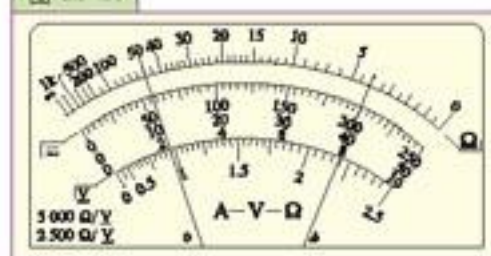


问题与练习

用多用表进行了两次测量，指针的位置分别如图 1.3-10 中 *a* 和 *b* 所示。若多用表的选择开关处在以下表格中所指明的测量挡，*a* 和 *b* 的相应读数是多少？请填在表中。

所选择的测量挡	指针读数	
	<i>a</i>	<i>b</i>
直流电压 2.5 V		
直流电流 100 mA		

图 1.3-10



第 4 节 闭合电路的欧姆定律

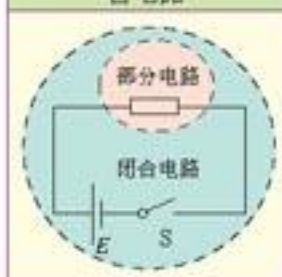
演示

把电压表接在半导体收音机电池的两端，打开收音机，开大音量。观察电压表，你有什么发现？

闭合电路的欧姆定律 在初中学习欧姆定律的时候，电流、电压、电阻的关系是指电路中的一部分而言的，例如一个灯泡、一个电热器。而这里所说的闭合电路（closed circuit），是指由电源、导线、用电器组成的全部电路（图 1.4-1）。

电池内部的极板、电解液，或者发电机内的线圈等，叫做内电路；电源接线端之外的用电器、导线、开关等，叫做外电路。上一节学到

图 1.4-1 部分电路与闭合电路



的电源的内阻，就是内电路的一个重要参数。内电路与外电路共同组成了闭合电路。图 1.4-2 中， r 表示电源内部的电阻，即内阻。

闭合电路欧姆定律所要研究的，是电路中的电流 I 与电源的电动势 E 、内阻 r 、外电路的电阻 R 的关系。

在研究闭合电路的欧姆定律时，要用到物理学中“电势”（electric potential）的概念，这里做些解释。

如图 1.4-3，两个电池串联，用电压表测得 B 、 A 之间及 C 、 B 之间的电压都是 1.5 V 。用电势的概念，这时可以说， B 点的电势比 A 点的电势高，两者的电势差（也就是电压）是 1.5 V 。如果把 A 点的电势定为 0 ，也可以说， B 点的电势是 $+1.5\text{ V}$ （正号常常省略）。同样的道理，可以说， C 点的电势比 A 点的电势高，两点的电势差为 3 V 。

至于电路中哪点的电势是 0 ，可以依使用的方便而定。想一想，如果 B 点的电势定为 0 ， A 、 C 两点的电势各应表示为多少？ A 与 B 、 C 与 B 的电势差各是多少？

图 1.4-2 内电路与外电路



图 1.4-3 两个相同的电池串联在电路中

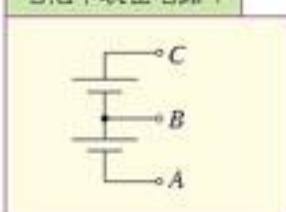
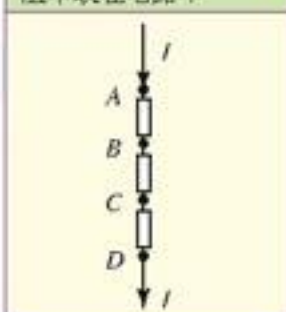


图 1.4-4 三个相同的电阻串联在电路中



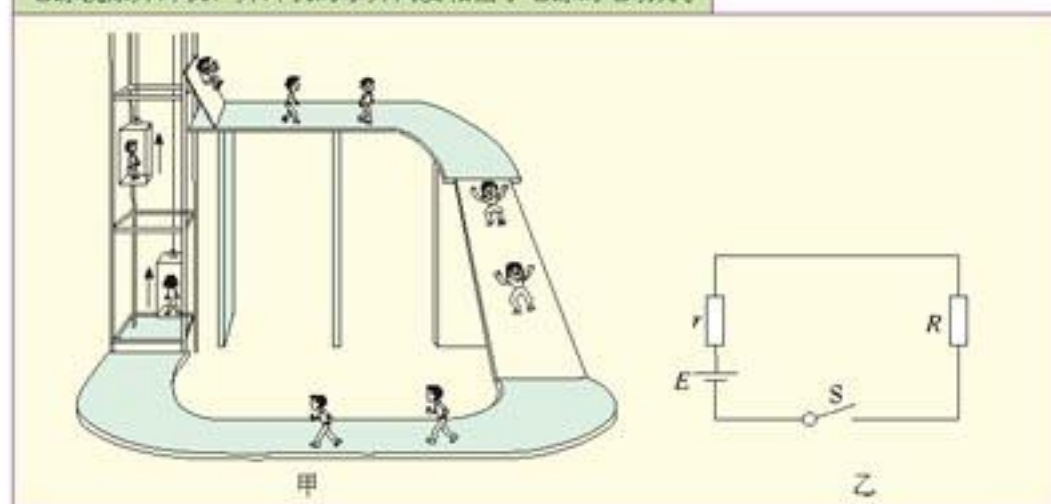
思考与讨论

如图 1.4-4 三个相同的电阻串联，用电压表测得它们各自的电压都是 2 V 。如果把 C 点的电势定为 0 ， A 、 B 、 D 三点的电势各是多少？

电路中有电流通过时，不但在外电路上有电势的变化，在电源内的电路上也有电势的变化。图 1.4-5 甲是闭合电路中电势升降关系的生动比喻。在外电路中，电流从电势高的位置流向电势低的位置，在内电路中，由于电源的作用，电流从电势低的位置流向电势高的位置。

可以通过“地势”的高低来想象电势的高低。

图 1.4-5 内外电阻两端的电势差就像滑梯两端的高度差，电源就像升降机，升降机的攀升高度相当于电源的电动势。



以上的类比和严格的理论分析都表明，电源的电动势 E 等于内阻上的电势降落 $U_{内}$ 与外电阻上的电势降落 $U_{外}$ 之和（图 1.4.5 乙）

$$E = U_{内} + U_{外} \quad \dots\dots\dots (1)$$

由部分电路的欧姆定律可知， $U_{内} = Ir$ ， $U_{外} = IR$ ，所以

$$E = Ir + IR \quad \dots\dots\dots (2)$$

从中可以解出

$$I = \frac{E}{R + r} \quad \dots\dots\dots (3)$$

这表示，闭合电路中的电流跟电源的电动势成正比，跟整个电路的电阻成反比。这就是闭合电路欧姆定律（**Ohm law of closed circuit**）。

“整个电路的电阻”，指的是电源的内阻与外电阻之和。

路端电压 电源两个接线端之间的电压，也就是外电路两端的电压 $U_{外} = IR$ ，又称为外电压（**external voltage**）或路端电压； $U_{内} = Ir$ 是电源内阻上的电势降落。这样，(1) 式的物理意义就是：电源电动势等于路端电压与内阻上的电势降落之和。由于内阻上有电势降落，电源提供给用电器的电压，在数值上小于它的电动势。一般情况下我们希望电源的内阻小些。显然，当电路中有电流通过时，外电压与内阻上电势降落之比等于它们的阻值之比，即

$$\frac{U_{外}}{U_{内}} = \frac{R}{r}$$

接在电源两端的电压表测得的电压是路端电压。当电路断开时没有电流，即 $I = 0$ ，这时内阻上的电压 $U_{内} = Ir = 0$ 。由于 $E = U_{内} + U_{外}$ ，所以 $E = U_{外}$ 。这表示：电源不接用电器时，路端电压与电源的电动势相等。此时可以用接在电源两端的电压表来直接测量电源的电动势。

平时，我们用电压表测得一节电池的两极之间的电压是 1.5 V，这是电池的路端电压，于是我们就可以认为这节电池的电动势是 1.5 V。

演 示

图 1.4-6 测量太阳电池的内阻

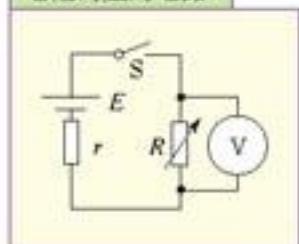


如图 1.4-6，将一个电动势约为 2 V 的太阳电池通过开关与一个电阻箱连接，电阻箱置于最大阻值位置。

先断开开关，用电压表测量此时的电压。再闭合开关，并将电阻箱的阻值调小，观察并解释路端电压的变化。

当电压的测量值等于开关断开时的一半时，变阻器的电阻与太阳电池的内阻有什么关系？

图 1.4-7 测量太阳电池内阻的电路



○ 例题 在图1.4-8所示的电路中，电源的电动势为1.5 V，内阻为0.3 Ω，外电路的电阻为2.2 Ω，电压表和电流表的读数各为多少？

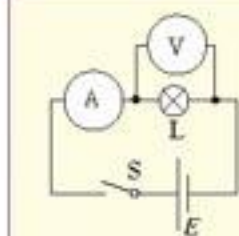
解：由闭合电路的欧姆定律可得电流表的读数

$$I = \frac{E}{R+r} = \frac{1.5}{2.2+0.3} \quad A=0.6 A$$

电压表的读数

$$U = I R = 0.6 \times 2.2 \text{ V} = 1.32 \text{ V}$$

图 1.4-8 电压表和电流表的读数应为多少？



电流较大时，由 $U_{内} = Ir$ 知，内阻上的电压比较大，而电源的电动势是一定的，所以外电压（即路端电压）就小。内阻越大，这个现象越明显。多数情况下这不是我们所希望的。有一种电源叫做稳压电源，当外电路电阻改变时，它的路端电压没有明显的变化。

大家谈

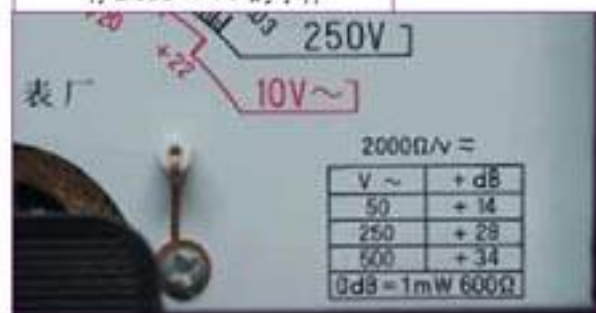
表盘上的“2 000 Ω/V”有什么意义？

用多用电表测电压时，会有很小一部分电流通过电表。表盘上的“2 000 Ω/V”称为电压灵敏度，它表示使用 1 V 量程时，电表本身的电阻是 2 000 Ω；而使用 10 V 量程时，电表本身的电阻是 $10 \times 2 000 \Omega$ ；使用 50 V 量程时，电表本身的电阻是 $50 \times 2 000 \Omega$ ……

不同电表的电压灵敏度不同，有 1 000 Ω/V、2 000 Ω/V、20 000 Ω/V 等多种规格。

在不接用电器的情况下（通常称为外电路开路），使用多用电表的电压档，并将表笔接到电源的两端可直接测量电池电动势。想一想，使用电压灵敏度高还是低的电表测量会更准确些？为什么？

图 1.4-9 这只多用表的表盘上标有 2 000 Ω/V 的字样



电源短路的危险性 如果电源两端短路，这时外电阻是 0， $R=0$ ，由 (3) 式可知电流

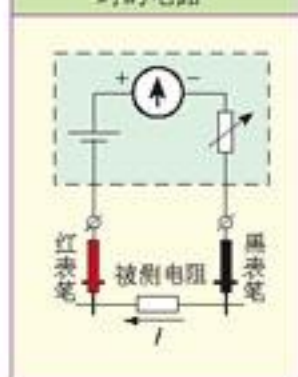
$$I = \frac{E}{R+r} = \frac{E}{r}$$

。实际电源的内阻 r 都很小，铅蓄电池、镍氢电池、锂电池等的内阻只有 0.005~0.1 Ω，即使是普通的新干电池，内阻也不到 1 Ω。所以，短路时电流很大，不但会烧坏电源，还可能引起火灾。因而决不允许将电源的两端用导线直接连在一起。

思考与讨论

半导体收音机电源输出电流的大小与音量有关，音量越大，电流也就越大。根据这一点，怎样解释本节开始的演示中观察到的现象？

图 1.4-10 多用表测电阻时的电路



用多用电表测量电阻 多用电表不但能测电流和电压，还能测量导体的电阻。多用电表内部都装有电池（图 1.3-1 乙），当选择开关旋到电阻挡时，电池与表头连接后接到两枝表笔上（图 1.4-10）。这时如果两表笔之间连着一个导体，根据闭合电路的欧姆定律，导体电阻的大小决定了电路中电流的大小，表针就指在不同的位置。

不同的电阻挡用表盘读数的不同倍数表示。例如，选择开关在“×100”挡，表盘的读数是 15，那么被测的电阻就是 $15 \times 100 \Omega = 1500 \Omega$ 。

使用电阻挡时，在调整机械零点之后，还要调整“欧姆零点”。让两枝表笔直接相连，它们之间的电阻就是 0，这时表针应该指示“0 Ω”（在表盘的最右端），如果没有指示“0 Ω”，转动欧姆调零旋钮，使其指 0 就可以了。换用欧姆挡的另一量程时，需要重新调整欧姆零点。

从图 1.4-10 可以看出，测电阻时，电池产生的电流从黑表笔流出，流过被测电阻后，经红表笔流回表内。记住这一点有时是很有用的。

⚠ 多用电表用后不要把选择开关放在欧姆挡，以防表笔相碰时表内电池漏电。

图 1.4-11 电阻表的刻度是不均匀的，而且左边数值大、右边数值小。



用多用电表测电阻

用多用电表测电阻箱的电阻，任选电阻箱的一个阻值，用多用电表测电阻，看看跟电阻箱所标的数值（比多用电表测的准确）相差多少？把选择开关置于不同挡位，对比测出的电阻值，看看什么情况下测量值最接近电阻箱上标的数值。



为什么汽车在启动发动机时，车灯会变暗？

汽车蓄电池组的简化供电电路如图 1.4-1 所示。当汽车启动发动机时，电池组供给启动电机非常大的电流，由于电流很大，蓄电池内电阻上的电压降会很大，使得外电路的路端电压减小，导致车灯变暗。汽车发动以后，启动电机停止工作，电流恢复正常，路端电压回升，车灯便恢复正常亮度。

图 1.4-12 汽车蓄电池供电电路



大家做

一、用水果电池点亮发光二极管

要使水果电池具有实用价值，那就要设法减小它的内阻，以减小内阻上消耗的电能。

找一节废弃的一号电池，取出中间的碳棒和外面的锌筒，用水清洗，将苹果皮削掉并切成圆柱的形状，大小与普通电池相仿（图 1.4-1 甲），将碳棒放在中间，外面用锌片裹紧，用线捆好（图 1.4-1 乙），注意不能让碳棒与锌片接触，以免电池的两极短路。这样，有实用价值的苹果电池就做成了。两节这样的电池串联，就能点亮一个发光二极管（图 1.4-1 丙）。



二、人体的电阻有多大

人体是导体，人体也有电阻。把多用电表置于电阻档，两手分别捏住两枝表笔，就能测出两手间的电阻。

在不同条件下测量自己的电阻，在相同条件下测量全班同学的电阻，你能从中发现什么规律吗？

问题与练习

1. 某同学有一节干电池，用电压表测得电池两端电压约为 1.3 V。当他将这节电池装入收音机后，发现收音机音量很小，调整音量旋钮也不能变大。这时用电压表测量这节电池两端的电压，只有 0.9 V。简要解释产生上述现象的原因。

2. 水果电池具有普通电池的所有特征，而且取材方便，但是实际电路中没有用水果电池的。请你说一说这是什么原因。

3. 电路不通是电器设备常见的故障，利用多用电表可以很方便地判断线路的通断。如果手头没有多用电表，请你设计一种装置，能快速判断电路的通断。

4. 某人按图 1.4-15 用多用电表测电阻。他错在哪里？在什么情况下他的操作会引起很大的误差？

5. 半导体二极管具有单向导电性。也就是说，电流沿某一个方向流动时受到的阻碍作用较小，而沿另一个方向流动时受到的阻碍作用较大。假如从它的甲端流向乙端时受到的阻碍作用较小，甲端称为二极管的正极，另一端则是负极。如果一个二极管两个方向的电阻都很小，或者两个方向都不能导通，这个

图 1.4-15 他错在哪里？



二极管一定是坏了。

想一想，怎样用多用电表的电阻挡判断它的正负极？写出操作步骤和判断方法，然后试一试。

多用电表都有不止一个电阻挡，试一试，使用哪个电阻挡时，二极管两个方向电阻的差别最明显？

图 1.4-16 二极管和它的符号



第 5 节 电容器

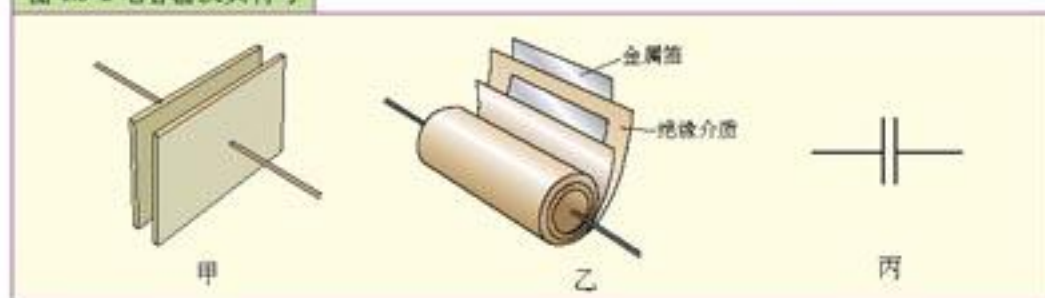
电容器 电视机、计算机的电路板上，有许多较大的圆柱状元件，叫做电容器 (capacitor)。它是电路中不可缺少的元件，在电子技术和电工技术中有十分重要的应用。

打开收音机、电视机、计算机和各种电子设备的外壳，你在线路板上会发现各种其他形状、其他颜色的电容器 (图 1.5-1)。

图 1.5-1 计算机主板上有许多电容器



图 1.5-2 电容器及其符号



两块靠得很近、用空气或其他物质绝缘的平行金属板就构成一种最简单的电容器，称为平行板电容器 (图 1.5-2 甲)。这两块金属板叫做电容器的极板。为了增大容量，减小体积，常常把极板和绝缘介质卷起来，把电容器做成圆柱状 (图 1.5-2 乙)。事实上，尽管形形色色的电容器大小、形状各异，它们往往都是平行板电容器的某种变形。图 1.5-2 丙是普通电容器的符号。

电容器的工作包括两个过程：充电和放电。

演 示

电容器充放电

1. 充电过程

按图1.5-3连接电路, 闭合开关, 观察充电电流的变化情况。

2. 放电过程

按图1.5-4连接电路, 闭合开关, 观察放电电流的变化情况。

在上面的电容器充电、放电过程中, 怎样用多用电表显示电容器两极板间电压的变化? 想一想, 做一做。

图 1.5-3 电容器充电过程

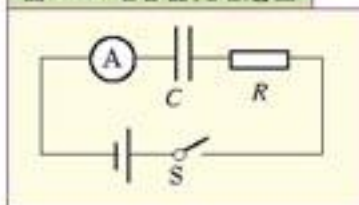
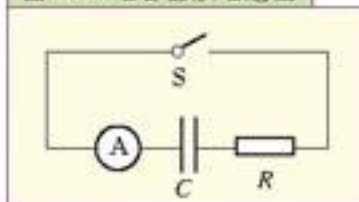


图 1.5-4 电容器放电过程



电容器的充、放电过程, 实际上是电场能与其他形式能量相互转化的过程。充电时, 电源的能量转化为电场能储存在电容器中; 放电时, 电场能又转化为其他形式的能量。所以电容器实际上是一个储能元件。

图 1.5-5 照相机外置闪光灯



用电源就可以直接供电了, 为什么还要用电容器把电能储存起来呢? 这是因为, 有的用电器需要提供很大的瞬时工作电流, 而一般小型电源难以应付, 此时大容量电容器可以解决这个问题。例如, 照相用闪光灯(图1.5-5)工作时间很短, 小于0.001 s, 而工作电流可达数百安培, 摄影时电容器通过闪光灯管迅速放电, 发出耀眼的白光, 之后电源以较小的电流经过几秒钟为电容器充电, 以供下次闪光使用。

图 1.5-6 声控—光控自动延时开关的内部结构

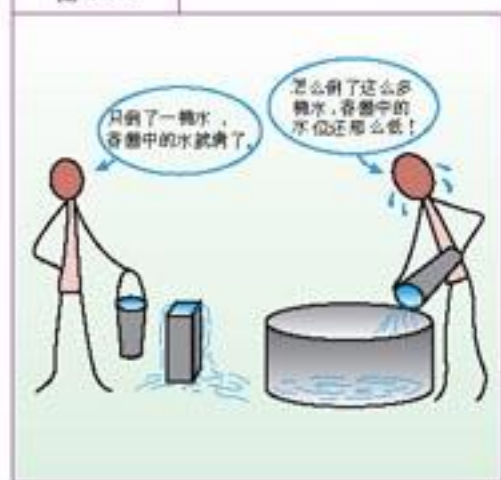


由于电容器充电、放电过程需要一段时间, 利用这个特性, 电容器常常用在延时电路中, 例如许多楼道灯自动开关(图1.5-6)就利用了电容器的延时功能, 当人走来时电灯点燃, 过一段时间才自动熄灭。

电容 不同电容器存贮电荷的能力不同, 物理学中用电容(capacitance)这个物理量来表示这种特性。就像不同大小的容器需要注入不同的水量才能达到相同的水位一样(图1.5-7), 不同电容的电容器充电到相同电压, 所需的电荷也不同。容器中的水位随着水量的增加而升高, 电容器两端的电压随着电容器极板所带电荷的增加而增加。对同一电容器, 它们的比值是一个常量, 称为电容器的电容, 用 C 表示

$$C = \frac{Q}{U}$$

图 1.5-7



电容的大小等于电容器两端电压每升高1 V时一个极板上增加的电荷。电容值表征了电容器的储能特性。在国际单位制中，电容的单位是法拉(farad),简称法,符号为F。实际上常使用较小的单位: μF (微法)、 pF (皮法)。

$$1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{F}$$

$$1 \text{pF} = 10^{-6} \mu\text{F} = 10^{-12} \text{F}$$

图 1.5-8 这是某种电容器的外观,它的电容量是多少?耐压值是多少?



电容器的主要技术指标是电容量和耐压值。电容器在使用时,它两端的电压必须小于耐压值,否则电容器极板间的绝缘材料会被击穿(绝缘性能被破坏)。

○ 例题 一个电容量为 $100 \mu\text{F}$, 耐压值为 10V 的电容器最多能存储多少电荷? 如果它两端的实际电压为 6V , 此时电容器的电容和所带电荷为多少?

解: 电容器能存储电荷的最大值 Q_{max} 由电容器的电容量 C 和耐压值 U_0 所决定, 因此

$$Q_{\text{max}} = CU_0 = 100 \times 10^{-6} \text{F} \times 10 \text{V} = 1 \times 10^{-3} \text{C}$$

当电容器两端实际电压为 6V 时, 电容器的电容仍为 $100 \mu\text{F}$, 而此时电容器的电荷为

$$Q = CU = 100 \times 10^{-6} \text{F} \times 6 \text{V} = 6 \times 10^{-4} \text{C}.$$

必须指出, 电容器电容的大小是由它本身的结构决定的, 而不是由它所带电荷的多少或两端电压高低所决定的。实验证明, 平行板电容器的电容由两极板正对面积、极板间的距离以及极板之间的电介质性质所决定。极板正对面积越大、极板之间距离越小, 电容就越大。

常用电容器 常用电容器按结构可分为: 固定电容器, 可变电容器。

固定电容器的电容是固定不变的, 它的种类很多, 常用的有聚苯乙烯电容器、瓷介电容器和电解电容器等。

在两层铝箔中间夹以聚苯乙烯薄膜, 一起卷绕成圆柱体, 就制成了聚苯乙烯电容器。改变铝箔的面积和聚苯乙烯薄膜的厚度, 可以制成电容大小不同的电容器。

瓷介电容器也称陶瓷电容器, 是以陶瓷为介质, 在陶瓷表面涂覆金属(通常为银)薄膜, 再经过高温烧结后作为电极。

电解电容器(图 1.5-10), 是用高纯度的铝箔和浸渍过电解液的导电纸作为极板卷制而成的。在制作过程中, 使铝箔表面产生一层极薄的氧化铝膜作为绝缘介质。由于氧化膜很薄, 所以电容量可以做得很大。电解电容器有一定的极性, 使用时不能接错。

可变电容器(图 1.5-11) 由互相绝缘的金属片构成, 固定的一组金属片称为定片, 可以转动的一组称为动片。转动动片, 它们的正对面积发生变化, 电容也随之改变。

图 1.5-9 形形色色的电容器



图 1.5-10 电解电容器

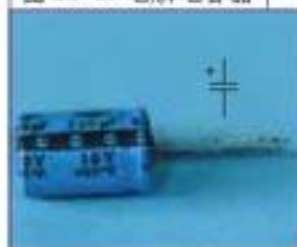


图 1.5-11 可变电容器



大家做

解剖电容器

取一个日光灯上的启辉器，将其拆开，把其中的电容器取出，小心将封装电容器的蜡去掉，并把组成电容器的各个部分分开，然后仔细观察。

1. 电容器由哪几种主要材料组成？
2. 电容器内有几片金属箔？
3. 电容器金属箔的面积约为多少平方厘米？



用多用电表检查电解电容器

先用一根导线将电解电容器的两条引线连接，释放残存的电荷。将多用电表拨至 $\times 1\text{k}\Omega$ 或 $\times 100\Omega$ 挡。当多用电表的两枝表笔接触电解电容器两极的引线时（红表笔接电解电容器的负极，黑表笔接正极），若指针不摆动，说明这个电容器已经断路，不能使用；若指针有大幅度摆动，然后回到某一数值（大约几百千欧），说明这个电容器正常；若指针摆到电阻为 0 的位置后不返回，说明电容器内部两极板已短路，也不能使用。若指针摆到某一非零位置，也不返回，说明电容器严重漏电。

这种方法只能用于检查大容量的电容器（例如 $1\mu\text{F}$ 以上），想一想，这是为什么？

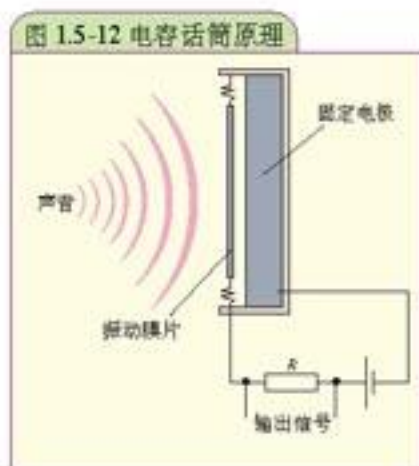
在测试电解电容器时，如果黑表笔接电容器的负极，红表笔接正极，充电完毕后，表针能不能回到最左端？试一试，这说明什么问题？



电容式传感器

电容器的电容受极板间距离、正对面积、介质性质的影响。外界因素（如压力、位移）的变化会使决定电容大小的因素发生变化。利用这一特性，电容器可以把非电学量（如压力、位移）的变化转换为电容的变化，进而变为电压或电流的变化，作为电信号输出。这样就做成了电容式传感器。在传感技术中，电容器是一种重要的传感元件。

图 1.5-1 所示的电容式话筒就是一种电容式传感器，其原理是：导电性振动膜片与固定电极构成了一个电容器，当振动膜片在声压的作用下振动时，两个电极之间的电容发生变化，电路中电流随着电容的变化而变化，这样声音信号就变成了电信号。



问题与练习

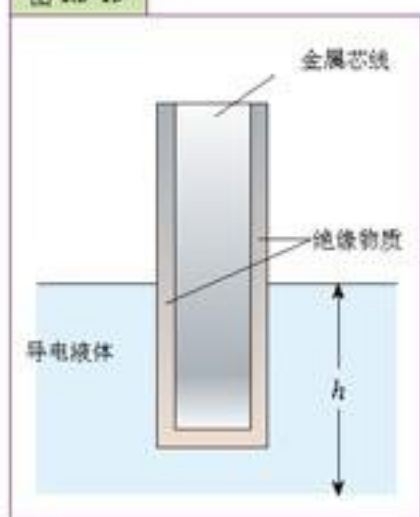
1. 图 1.5-10 照片中所示的电容器，最多能存贮多少电荷？把它接在电路中，测得两端电压为 9 V ，此时它的一个极板存贮了多少电荷？ 1 s 内该电容两端电压下降到 5 V ，有多少电荷从电容器的一个极板流走了？

2. 图 1.5-11 中的可变电容器动片旋出时，电容增大还是减小？为什么？

3. 如图 1.5-13 所示，在导线外涂上绝缘物，放入导电液体中。把导线和液体作为电容器的两极，设计一个测定导电液面高低变化的简单电路图，说明它的工作原理。

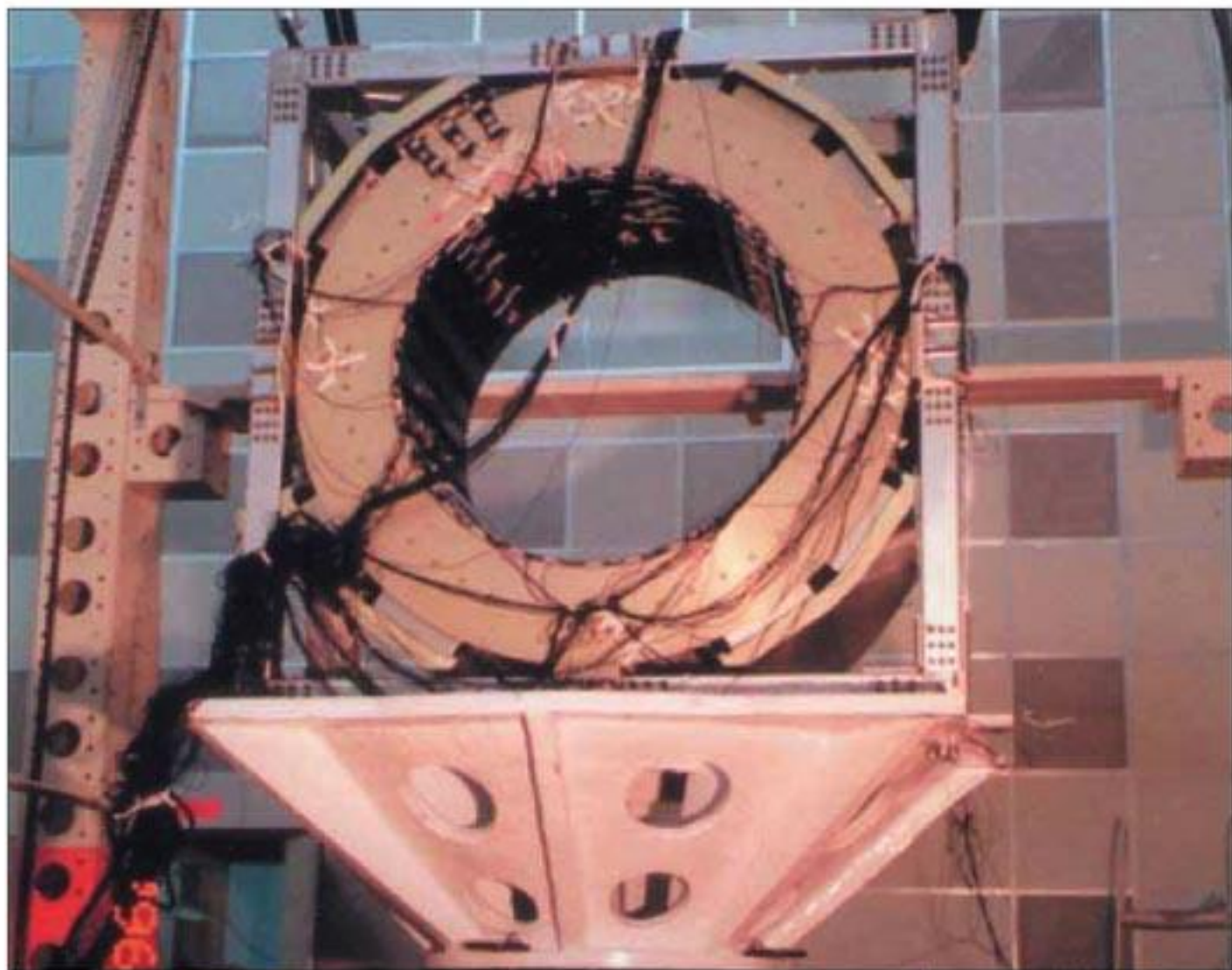
4. 天空中的云与大地都是导体，两者构成一个电容器。如果云中聚集着 1 C 的正电荷，云层和地面之间的电压为 10^5 V ，试求云层和地面构成的电容器的电容量。

图 1.5-13



第 2 章

磁 场



“阿尔法”磁谱仪永磁体系统

1998年6月2日，探索宇宙奥秘的一台重要仪器——“阿尔法”磁谱仪，搭乘“发现号”航天飞机直入太空。“阿尔法”磁谱仪的探测结果，有可能影响人类对宇宙的由来和发展的认识，以及对世间万物的构成的认识。阿尔法磁谱仪的核心部件是一个永磁体，它是由中国科学家研制的。

现代生活及科技领域中磁现象的利用越来越多，例如银行存款用的磁卡、电饭锅的自动断电装置、电视机显像管的磁偏转等。要想更好地使用这些现代化的产品，更好地利用磁来为我们服务，就要深入地了解磁现象及其规律。这一章我们就来学习磁场及与之相关的内容。

第 1 节 磁场 磁性材料

在距今两千多年前,人们就已经发现了磁现象。我国是世界上最早发现磁铁并首先应用磁现象的国家。早在战国时期,我国就发明了指南针。但在很长一段时间里,人们却把磁现象和电现象看成两种彼此独立的自然现象。直到1820年丹麦物理学家奥斯特(H. C. Oersted, 1777—1851)发现了电流的磁效应之后,人们才逐渐认识到电和磁之间的内在联系。近代,随着科学技术的发展,电磁学理论日趋完善,而电磁技术在各个领域中也得到了广泛的应用。

磁化现象 我们在初中已经学过简单的磁现象。如果将条形磁铁^①放入铁屑中,取出时可以发现,磁铁的两端吸引的铁屑特别多,这个磁性特别强的区域称为磁极(magnetic pole)。如果将条形磁铁或小磁针悬挂或支撑起来,使它能在水平面内自由转动,则静止时两磁极总是分别指向南北方向。指南的一端叫做南极(south pole),指北的一端叫做北极(north pole)。

将铁块放在一个永久磁铁的磁极附近,铁块也会显示出磁性,近端出现异名磁极,远端出现同名磁极。物体在外磁场作用下显示磁性的现象叫磁化(magnetization)。根据磁化现象我们可以制成如图2.1-1所示的干簧管(reed switch),作为磁控元件以实现自动控制。

干簧管由一对磁性材料制成的弹性舌簧组成,密封于玻璃管中,舌簧端面互叠,但留有一定间隙。当磁铁或通电线圈靠近干簧管时,两个舌簧被磁化而互相吸引,两个舌簧接触,开关闭合;一旦磁体移去或线圈断电,磁吸引力随之消失,舌簧因弹力作用又重新分开,开关断开。

图 2.1-1 干簧管



1. 用条形磁铁的一个磁极靠近干簧管的一端,然后将磁极向干簧管的中间移动,直到干簧管的另一端。观察两个簧片接触和分离的情况(即干簧管的闭合与断开两种状态),并解释观察到的现象。

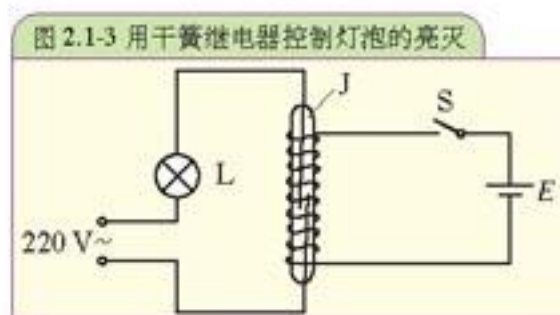
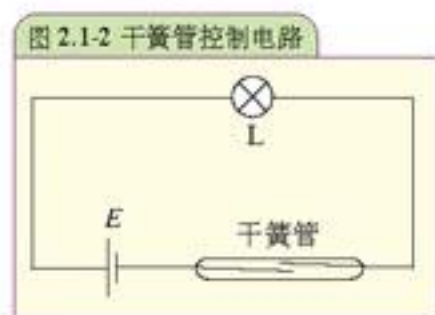
2. 尝试用多种方法调整磁铁和干簧管的相对方位,看看哪些方法能改变干簧管的开、关状态。

3. 按图 2.1-2 连接电路,用磁铁控制灯泡的亮灭。

^① 最初的永磁体都是用钢铁制成的。近年来出现了多种新的永磁材料,但习惯上有时也称之为“磁铁”。本书对“磁铁”和“磁体”两个名称不做严格区分。

4. 自制一个线圈(用直径0.15 mm的漆包线在比干簧管略粗的塑料套管上绕200匝即可), 将它套在干簧管上, 就制成了一个干簧继电器。

按图 2.1-3 连接电路。用干簧继电器控制灯泡的亮灭。

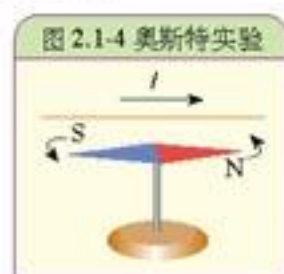


干簧管可以作为磁接近开关或者继电器使用, 它比一般机械开关体积小、速度快、工作寿命长。与电子开关相比, 它又有抗负载冲击能力强的特点, 工作可靠性很高。在移动电话机、微波炉、程控交换机、复印机、照相机、洗衣机、电冰箱中都得到很好的应用。电子电路中经常使用干簧管来做自动开关。

磁场 两个磁铁的磁极靠近时, 它们之间会产生相互作用: 同名磁极互相排斥, 异名磁极互相吸引。通过初中物理课的学习, 我们已经知道, 磁极之间相互作用的力是通过**磁场 (magnetic field)** 发生的。磁铁在空间产生磁场, 磁场对其中的磁体有力的作用。

磁铁并不是磁场的唯一来源。1820年丹麦物理学家奥斯特做过下面的实验: 把一条导线平行地放在磁针的上方, 给导线通电, 磁针就发生偏转 (图 2.1-4)。这说明不仅磁铁能产生磁场, 电流也能产生磁场, 电与磁是有密切联系的。

电流能够产生磁场, 那么通电导线在磁场中又会怎样呢?



演 示

如图 2.1-5 把一段直导线放在磁铁的磁场里, 使导线中通有电流, 观察导线的变化。

图 2.1-5 磁场对通电导线的作用



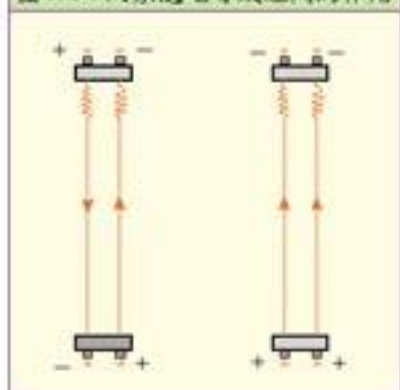
磁场不仅对磁极产生力的作用, 对通电导线也产生力的作用。

电流能够产生磁场, 而磁场对通电导线又有力的作用, 那么两条通电导线之间也应该通过磁场发生作用。

演 示

如图 2.1-6 所示，将两根导线靠近挂在一起，使导线中通有电流。观察导线的变化。改变其中一根导线的电流方向和大小，记下观察到的现象。

图 2.1-6 两条通电导线之间的作用



通电导线之间，就像磁极之间一样，也会通过磁场发生相互作用。

磁体和通电导线等，它们之间的相互作用，是通过磁场实现的。磁体或电流在空间产生磁场，而磁场对其中的磁极或通电导线有力的作用。

安培分子电流假说 磁铁和电流都能产生磁场，磁铁的磁场和电流的磁场是否有相同的起源呢？我们在初中学过，通电螺线管外部的磁场与条形磁铁的磁场很相似。法国学者安培由此受到启发，提出了著名的分子电流的假说。

安培认为，在原子、分子等物质微粒内部，存在着一种环形电流——分子电流，分子电流使每个物质微粒都成为微小的磁体，它的两侧相当于两个磁极（图 2.1-7）。一根铁棒，未被磁化的时候，内部各分子电流的取向是杂乱无章的（图 2.1-8 甲），它们的磁场互相抵消，对外界不显磁性。当铁棒受到外界磁场的作用时，各分子电流的取向变得大致相同（图 2.1-8 乙），铁棒被磁化，两端对外界显示出较强的磁作用，形成磁极。

图 2.1-7 分子电流

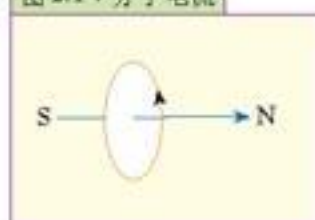
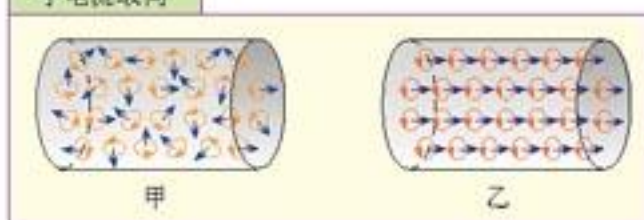


图 2.1-8 铁棒分子电流取向



磁性材料 实验表明，许多物质在磁场中都能够或多或少地被磁化，但铁、钴、镍以及它们的合金和某些氧化物在磁场中会被强烈地磁化，使空间的磁场大大加强，这种性质叫做铁磁性（ferromagnetism），这种物质叫做铁磁性物质，或者强磁性物质。

磁化后容易去掉磁性的物质叫软磁性材料，不容易去掉磁性的物质叫硬磁性材料。

软磁性材料的剩磁弱，而且容易去磁，适用于需要反复磁化的场合。软磁性材料可以用来制造半导体收音机的天线磁棒、录音机的磁头，以及变压器、电磁铁的铁芯等。干簧管的两个舌簧就是由软磁性材料制成的。硬磁性材料的剩磁强，而且不易退磁，适合制成永磁铁，应用在磁电式仪表、扬声器、话筒等电器设备中。

磁性材料和我们日常生活的关系越来越紧密。录音机、录像机用的磁带，电子计算机用的

磁盘，储蓄用的磁卡等，都含有磁性材料。这些磁性材料称为磁记录材料。利用磁记录材料，我们可以在磁带、磁盘、磁卡上保存大量的信息，并在需要的时候“读”出这些信息。磁记录材料在20世纪70年代以前采用磁性氧化物，1978年合金磁粉研制成功之后，开始采用金属磁性材料，从而大大提高了磁记录的性能。现在人们又在使用金属薄膜做磁记录材料，磁记录技术得到了进一步提高。

图 2.1-9 磁记录



从尖端的军事机械到普通的家用电器，几乎所有电动机械都离不开磁性材料。20世纪80年代，人们开发出了高品质的第三代钕铁硼永磁材料。使用钕铁硼材料，电动机的效率和产品的整体水平都能大幅度提高，并带动全社会工业水平的大幅度提高。



自动保温电饭锅温控原理

自动保温电饭锅在米饭烧好后能自动切断主电路，只保留较低的热功率为米饭保温。这个功能是由磁钢限温器实现的(图2.1-10)。当温度较低时，感温磁体具有较强的被磁化能力，当温度升到某一数值时感温磁体失去被磁化能力，物理学把这个温度叫做居里点。电饭锅采用的感温磁体的居里点约 103°C 。

图 2.1-10 电饭锅



烧饭时，先按下开关按钮，使磁体吸在感温磁体上，触点接通。饭熟之前，锅内有水，所以电饭锅内的温度不会超过 100°C ，感温磁体具有被磁化能力。当饭熟后，锅内水分蒸干，锅底温度升至 100°C 以上，此时紧贴于锅底的感温磁体的温度也随之上升到居里点而失去被磁化能力，这样，永磁体就在重力和弹簧的作用下跌落，下跌时，永磁体通过连杆使触点分离，于是电饭锅主电路切断，电饭锅转入保温状态。

思考并回答：如果用自动保温电饭锅烧开水，电饭锅是否会自动断电？

问题与练习

1. 把一根磁棒折成无论多么短的一段，每段仍然有两个磁极。试用安培分子电流假说解释这一现象。
2. 请你通过查阅资料或市场调查，了解继电器有哪几种类型，它们各有什么特点。利用其中的一种，设计一个控制电路。
3. 如果按照自动保温电饭锅的构造来制造一个自动保温开水锅，你认为感温磁体的居里点以多少为好？使用这种开水锅时可能出现什么问题？

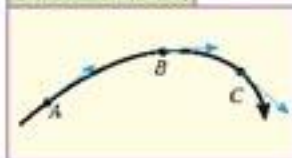
第 2 节 安培力与磁电式仪表

磁场的方向 磁感线 磁场的基本特性是对处在磁场中的磁极和通电导线有力的作用。

磁场具有方向，物理学中规定：在磁场中的某一点，小磁针N极受力的方向，即小磁针静止时N极所指的方向，就是该点的磁场方向。

初中我们学过，在磁场中可以利用磁感线（magnetic induction line）来形象地描写各点的磁场方向。所谓磁感线，是在磁场中画出的一些有方向的曲线，在这些曲线上，每一点的切线方向都与这点的磁场方向相同（图 2.2-1）。

图 2.2-1 磁感线



演 示

在磁铁上放一块玻璃板，在玻璃板上均匀地撒一层细铁屑，细铁屑在磁场里被磁化成“小磁针”。轻敲玻璃板使铁屑能在磁场作用下转动，铁屑静止时便规则地排列起来，就显示出磁感线的形状（图 2.2-2）。

图 2.2-2 模拟条形磁体的磁感线



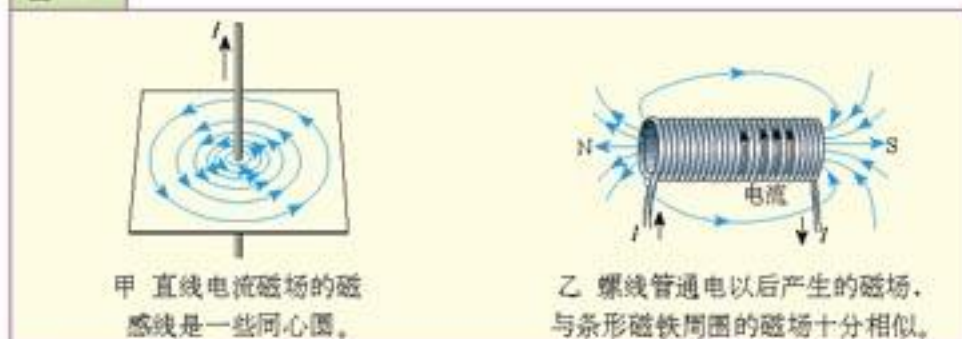
图 2.2-3 表示条形磁铁和蹄形磁铁的磁感线的分布状况。从图中可以看出，磁铁外部的磁感线是从磁铁的北极出来，进入磁铁南极。

图 2.2-3

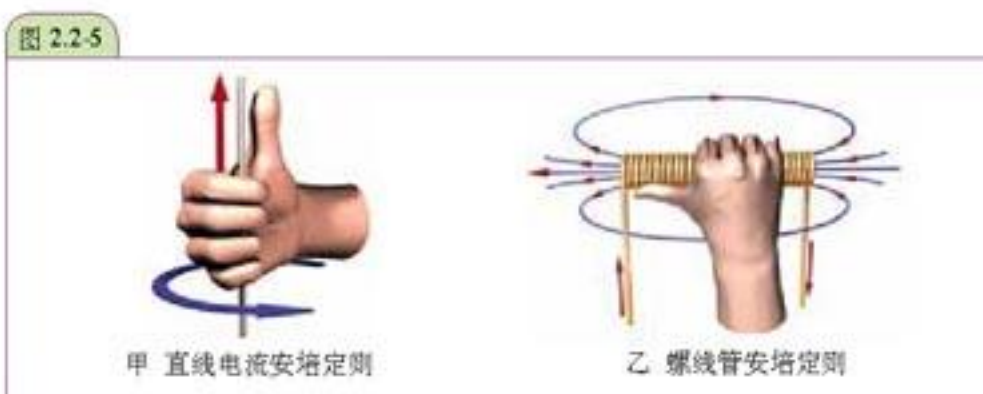


图 2.2-4 甲、乙分别表示直线电流磁场和通电螺线管磁场的磁感线分布状况。

图 2.2-4



电流周围磁感线的方向与电流方向之间的关系可以用安培定则(Ampere rule,也叫右手螺旋定则)来判定:对于通电直导线,用右手握住导线,让伸直的拇指所指的方向与电流方向一致,弯曲的四指所指的方向就是磁感线的环绕方向(图2.2-5甲);对于通电螺线管,用右手握住螺线管,让弯曲的四指所指的方向与电流的方向一致,拇指所指的方向就是螺线管内部磁感线的方向(图2.2-5乙)。



安培力 磁感应强度 磁场不仅有方向,而且有强弱的不同。大型的电磁铁能够吸起成吨的钢材,小的磁铁仅能吸起小铁钉。我们怎样表示磁场的强弱呢?

研究电场强弱的时候,我们分析电荷在电场中的受力情况,找到了表示电场强弱的物理量——电场强度。类似地,磁场对其中的通电导线有磁场力的作用,研究磁场的强弱,要从分析电流在磁场中的受力情况着手,找出表示磁场强弱的物理量。

我们以通电直导线为例,研究磁场对通电导线的作用及其规律。磁场对通电导线的作用力称为安培力(Ampere force)。

为了简便,我们研究导线方向与磁场方向垂直时,安培力的大小与什么因素有关。

将要研究的现象与我们熟知的现象进行类比,常常能给要研究的新现象提供有益的启示。

演 示

如图2.2-6所示,三块相同的蹄形磁铁并列放置,可以认为磁极间的磁场是均匀的。将一根直导线悬挂在磁铁的两极间,有电流通过时悬线将摆动一个角度,通过这个角度我们可以比较安培力的大小。分别接通“2、3”和“1、4”可以改变导线通电部分的长度,电流由外部电路控制。

图2.2-6 磁场对电流的作用



先保持导线通电部分的长度不变,改变电流的大小,然后保持电流不变,改变导线通电部分的长度。观察这两个因素对通电导线受力大小的影响。

通电导线长度一定时,电流越大,导线所受安培力就越大;电流一定时,通电导线越长,安培力也越大。实验发现,通电导线在磁场中受到的安培力的大小,既与导线的长度 L 成正比,又与导线中的电流 I 成正比,也就是说 F 与 I 和 L 的乘积成正比,用公式表示就是

$$F = BIL$$

或者

$$B = \frac{F}{IL}$$

上式中的比值 B 表示磁场的强弱，叫做磁感应强度(magnetic induction)。在国际单位制中，磁感应强度 B 的单位是特斯拉(tesla)，简称特，以符号 T 表示。

地面附近地磁场的磁感应强度大约是 $0.3 \times 10^{-4} \sim 0.7 \times 10^{-4}$ T，学校实验室所用永磁铁附近的磁感应强度大约为 $10^{-3} \sim 1$ T，在变压器和电机的铁芯中，磁感应强度可达 $0.8 \sim 1.5$ T，“阿尔法”磁谱仪的永磁体中，磁感应强度为 0.134 T。

我们定义了磁感应强度的大小，磁感应强度还有方向。前面说的“磁场的方向”，即小磁针北极受力时方向，指的就是磁感应强度的方向。磁感应强度 B 、电流 I 和安培力 F 三者的方向间有一定的关系。下面我们通过实验来研究它们的关系。

磁场对通电导线的作用力比电场对电荷的作用力复杂些，但是研究问题的思路是相同的。电场力与电场强度的关系是：

$$F = Eq$$

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



利用如图 2.2-7 所示的装置，对通电导线所受安培力的方向进行研究。通过调换磁铁两极的位置来改变磁场方向，通过改变电源正负极的连接方式来改变电流方向，将观察到的现象记录在表格中。

图 2.2-7 研究安培力的方向

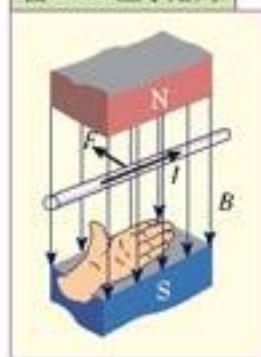


步骤	初始状态	改变磁场的方向	改变电流的方向	同时改变磁场和电流的方向
现象				
磁场方向、电流方向、安培力方向之间的关系				

大量实验表明：通电导线所受安培力的方向总是垂直于磁感线和通电导线所在的平面，安培力的方向跟电流的方向和磁场的方向三者之间的关系可用左手定则(left-hand rule)表示：伸开左手，使拇指与四指垂直并且在同一平面内，让磁感线垂直进入掌心，并使四指指向电流方向，则拇指所指的方向就是通电导线在磁场中所受安培力的方向。

正像在电场中可以用电场线的疏密程度大致表示电场强度的大小一样，在磁场中也可以用磁感线的疏密程度大致表示磁感应强度的大小。

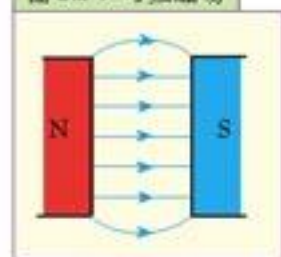
图 2.2-8 左手定则



在同一个磁场的磁感线分布图上，磁感线越密的地方，磁感应强度越大。这样，磁感线的分布就可以形象地表示磁场的强弱和方向。从图 2.2-2、图 2.2-3 可以看出，离磁体或电流越远的地方，磁感应强度越小。

如果磁场的某一区域里，磁感应强度的大小和方向处处相同，这个区域的磁场叫做匀强磁场 (uniform magnetic field)。匀强磁场是最简单但又很重要的磁场，在电磁仪器中有重要的应用。距离很近的两个异名磁极之间的磁场 (图 2.2-9)、通电螺线管内部的磁场(除边缘部分外)，都可以认为是匀强磁场。

图 2.2-9 匀强磁场



磁电式仪表的结构和原理 读电流表时，实际上是在看电流表指针偏转角度的大小。为什么指针偏转的角度可以表示电流的大小呢？让我们来观察电流表的内部结构。

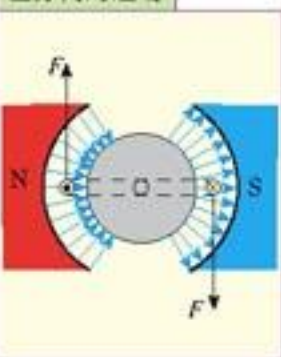
学校实验室使用的电流表是磁电式仪表，它是根据磁场对通电线圈的作用制成的。这种电流表的构造如图 2.2-10 所示。在一个磁性很强的蹄形磁铁的两极之间有一个线圈，线圈的两端分别接在两个螺旋弹簧上，被测电流经过这两个弹簧流入线圈。线圈绕在一个可以绕轴转动的铝框上，铝框的转轴上装有指针，铝框内部是固定的圆柱形铁芯。

图 2.2-10 电流表的构造



蹄形磁铁和铁芯之间的磁场是均匀辐向分布的 (图 2.2-11)，无论通电线圈转到什么位置，它的平面都跟磁感线平行。当电流通过线圈的时候，线圈上跟铁芯轴线平行的两边受到安培力的作用，线圈沿顺时针方向转动。线圈转动后，螺旋弹簧被扭动，弹簧扭动产生的弹力阻碍线圈的转动，当使线圈转动和阻碍线圈转动的作用相平衡时，线圈停止转动。

图 2.2-11 沿直径方向的磁场



线圈中的电流越大，安培力也就越大，线圈和指针偏转的角度也就越大。因此，根据指针偏转角度的大小，就可以测得电流的大小。

当线圈中的电流方向改变时，安培力的方向随着改变，指针的偏转方向也随着改变。所以根据指针的偏转方向，可以知道被测电流的方向。

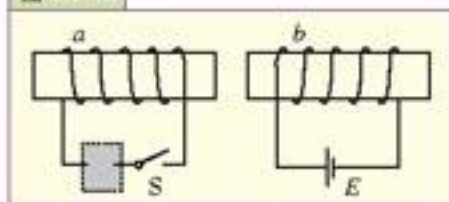
磁电式仪表的优点是灵敏度高，可以测量很弱的电流；缺点是绕制线圈的导线很细，允许通过的电流很弱 (几十微安到几毫安)，若通过的电流超过允许值，很容易把它烧坏，这一点一定要注意。

问题与练习

1. 一根长 1.5 m 的直导线，通有 1 A 的电流，把它放在 $B = 0.2 \text{ T}$ 的匀强磁场中，并与磁场方向垂直，这段导线所受的安培力有多大？

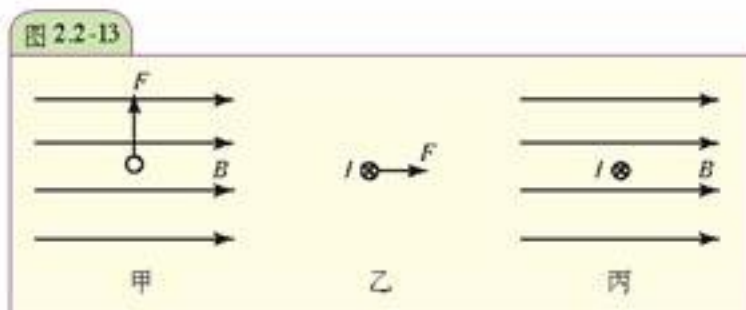
2. 如图 2.2-12，某同学制作了一个自动控制装置，他

图 2.2-12



想控制电磁铁 a 的电路开关 S ，使 S 闭合时把另一个靠得很近的电磁铁 b 推开。电磁铁 b 的电源已接好，请在图中虚线框内画出电磁铁 a 的电源极性。

3. 如图 2.2-13 表示一根放在磁场中的通电导线，图中甲、乙、丙中分别标明了电流、磁感应强度和安培力三个量中两个量的方向，试在图中画出第三个量的方向。本书用“ \cdot ”表示磁感线垂直于纸面向外，“ \times ”表示磁感线垂直于纸面向里；“ \odot ”表示电流垂直于纸面向外，“ \otimes ”表示电流垂直于纸面向里。



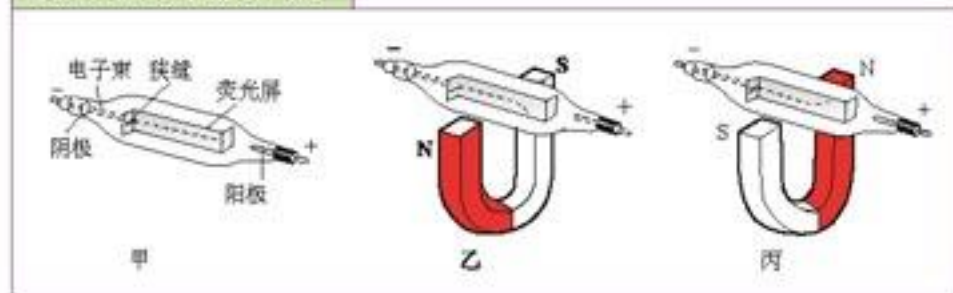
第 3 节 洛伦兹力和显像管

洛伦兹力 磁场对通电导线有安培力的作用，而电流是由电荷的定向移动形成的，所以安培力应该是作用在运动电荷上的力的宏观表现。

演示

图 2.3-1 是一个抽成真空的电子射线管，从阴极发射出来的电子束，在阴极和阳极间的高电压作用下，投射到长条形的荧光屏上激发出荧光，显示出电子束的径迹。在没有磁场时，电子束是沿直线前进的（图 2.3-1 甲）；把射线管放在蹄形磁铁的两极间，从荧光屏上可以看到电子束运动的径迹发生了弯曲（图 2.3-1 乙、丙）。

图 2.3-1 电子束在磁场中偏转



思考与讨论

在上面的演示实验中，请你尝试用通电导线在磁场中受力的方法，判断电子束的偏转方向，讨论洛伦兹力与安培力的区别和联系。

提示：电子带负电，电子射线等效于相反方向的电流。

这一现象表明运动电荷受到了磁场的作用力，这种力称为洛伦兹力（Lorentz force）。磁场中通电导线所受的安培力是洛伦兹力的宏观表现。

洛伦兹力的方向可以用左手定则来判定：伸开左手，使拇指与其余四指垂直并且在同一平面内，让磁感线垂直进入掌心，并使四指指向正电荷运动的方向，则拇指所指的方向就是正电荷所受的洛伦兹力的方向。

理论和实验都表明，一个电荷量为 q 的粒子，如果它的运动速度 v 与磁场 B 的方向垂直，它所受的洛伦兹力的大小为

$$F = qvB$$

即电荷沿垂直于磁场的方向运动时，磁场对运动电荷的作用力的大小等于电荷的电荷量、速率、磁感应强度三者之积。在国际单位制中，上式的各个物理量的单位分别为 N、C、m/s、T。

显像管 运动电荷在磁场中受到洛伦兹力的作用，运动方向发生偏转的现象称为磁偏转(magnetic deflection)。磁偏转在现代技术中有广泛的应用，电视机显像管是利用磁偏转工作的最典型的器件之一。

显像管是电视机中重现图像的电真空器件，其构造如图 2.3-2 所示，电子枪发出的高速电子流撞在荧光屏上，激发出荧光。用放大镜观察，会发现荧光屏实际上是由大量细小发光点组成的。每个发光点为一个像素。电视机显像管是怎样把图像显现出来的？

我们看书时，视线是从每行字的左边移到右边，再从第一行依次下移到最后一行。如果把电子束想象成看书的视线，电子束对荧光屏自左向右、自上而下的运动称为电子束扫描 (sweep, scan)。水平方向的扫描称为行扫描，竖直方向的扫描称为帧扫描。若把书上的每个字想象成荧光屏上的每个发光点，电子束完成一帧完整画面要扫 625 行，每秒要扫 25 帧画面。画面的迅速变换和视觉暂留效应使我们看到了活动的图像。

显像管是利用装在显像管颈部的偏转线圈 (deflection coil) 产生的磁场来使电子束偏转的。

按图 2.3-4 配置的线圈可以使电子束沿水平方向扫描。电流通过偏转线圈时，它就产生了竖直方向的磁场。电子枪发射的电子束射向荧光屏时，其运动方向与磁场方向垂直。电子束受

图 2.3-2 显像管主要由电子枪、荧光屏和偏转线圈组成。

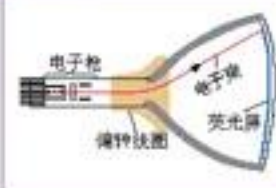


图 2.3-3 电子束扫描

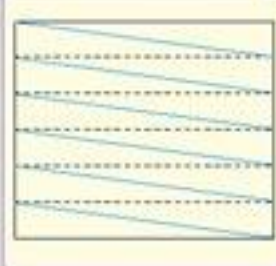
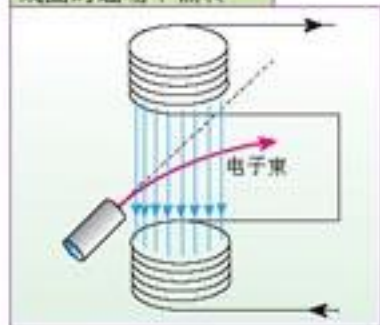
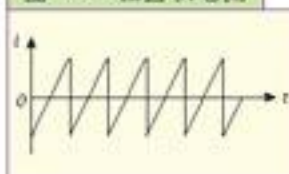


图 2.3-4 电子束在偏转线圈的磁场中偏转



到的洛伦兹力方向向右，因此向右偏转。如果线圈中电流方向与图示方向相反，则电子束就向左偏转。偏转线圈中通过的电流越大，产生的磁场越强，电子束偏转的角度也就越大。因此，只要在线圈中通以如图 2.3-5 所示的锯齿状电流，电子束便会自左向右匀速扫描，扫完一行后又很快回扫至左端。

图 2.3-5 锯齿状电流



实际的行偏转线圈都做成马鞍形，在显像管颈部上下各放一个，如图 2.3-6。

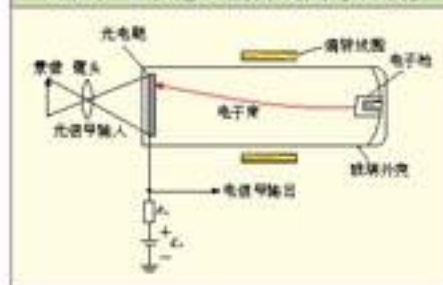
图 2.3-6 电视机中的偏转线圈



在显像管颈部还装有另一组偏转线圈，它产生沿水平方向的磁场，使电子束上下偏转。当线圈中也流过锯齿波电流时，电子束将完成帧扫描过程。这组线圈称为帧偏转线圈。实际的帧偏转线圈是绕在磁环上的（图 2.3-6）。

与显像管类似，电视摄像管（图 2.3-7）也是利用磁偏转实现电子束扫描的。摄像管的核心是一块光电靶，靶上有很多用光敏半导体材料（具有受光作用之后电阻变小的性能）制成的小单元。镜头把景物的像映在靶上，靶上各单元所受光照的强度不同，因而电阻也就不同。当电子束扫过光电靶时，在负载中就会有电流流过。由于靶面各单元的电阻不同，流过负载的电流也不同。这样由于电子束的扫描，一幅幅图像就转换成了强弱变化的电流，这个信号电流可以通过磁带保存下来，也可以经过处理后通过天线发射出去。

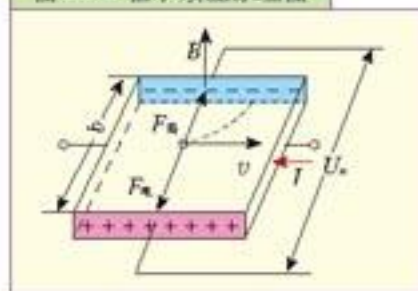
图 2.3-7 电视摄像管主要由镜头、光电靶、电子枪及偏转线圈等组成。



霍尔效应和霍尔元件

如图 2.3-8，在竖直向上的匀强磁场中，电流 I 自右向左流过长方形的半导体薄片，定向移动的电荷受到方向平行于侧面向里的洛伦兹力 $F_{洛}$ 的作用。在这个力的作用下，薄片两个侧面上会积累起正负电荷。随着电荷积累，在内外侧面间会形成一个逐渐增强的电场。定向移动的电荷同时受到洛伦兹力 $F_{洛}$ 和电场力 $F_{电}$ 的作用，当电场力增大到与洛伦兹力相等时，内外侧端面间就形成一个稳定的电场，此时两端面间形成一个稳定的电压 U_H 。这种现象称为霍尔效应（Hall effect），这个电压叫霍尔电压。霍尔电压的大小与通过薄片的电流 I 和磁感应强度 B 成正比。

图 2.3-8 霍尔效应原理图



如果保持通过薄片的电流 I 不变，将薄片置于磁场中不同位置，只要测出霍尔电压 U_H 的大小，便可测出该磁场不同位置的磁感应强度。



用霍尔元件测量磁感应强度

图2.3-9所示是一个霍尔元件，其大小仅为普通发光二极管的五分之一左右。霍尔元件是一个四端元件，其中AC端输入控制电流，BD端输出霍尔电压，可用多用电表的电压档来检测。

1. 如图2.3-10，将霍尔元件的BD端与多用电表的最灵敏的 $50\mu\text{A}$ 电流档相连（由于霍尔电压很小，把它直接加在电流表两端，通过测量电流的变化，就可以知道电压的变化。也可用数字多用电表直接测量霍尔电压），电源 E （6~12V）与可变电阻 R （470 Ω ）串联后连到霍尔元件的AC端，用以输入控制电流， R 的滑动端置于中间位置。将条形磁铁的磁极靠近霍尔元件H，观察多用电表指针读数的变化。

保持霍尔元件H与条形磁铁磁极的相对位置不变，改变 R 的大小，再观察多用电表指针读数的变化。

由此得出，霍尔电压与_____有关。

2. 使用这个简易检测装置，按图2.3-11检测收音机扬声器的磁场分布情况。

检测的结果是_____。

3. 若用上述装置检测一个通电变压器附近的磁场，多用电表指针的读数有何变化？为什么？

4. 怎样用霍尔元件制成的磁场检测器来粗略检测磁场中某处磁感线的方向？说出你的判断依据。

图2.3-9 霍尔元件



图2.3-10

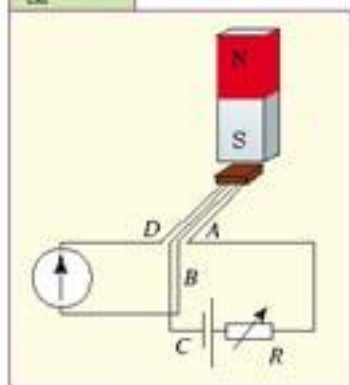


图2.3-11 检测一只收音机扬声器的磁场感应强度



折叠手机中的干簧管和霍尔元件

使用折叠手机的人，往往对开盖接听、合盖挂机都非常好奇。

手机中用来控制线路通断的器件有三种类型：开关、干簧管和霍尔元件。所不同的是开关由人工手动控制，而干簧管和霍尔元件则通过磁信号来控制线路的通与断。

干簧管在手机中常常用于手机翻盖电路中。通过翻盖的动作，使盖上的磁铁控制干簧管闭合或者断开，从而接听或者挂断电话。例如，一些手机在合盖后会有指示灯闪亮，这是由于盖上装有磁铁，当话机的盖合上后，磁铁片将键盘/显示板上的干簧管吸合，使话机识别到翻盖已合上，状态指示灯开始闪亮。如果这个指示灯不亮，多半是这个干簧管出现了问题。

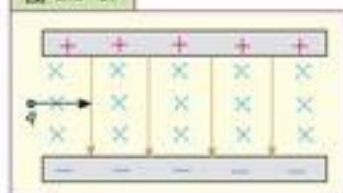
相对于干簧管来说，霍尔传感器更高级一些。但其在手机中的作用和干簧管一样，工作原理也非常相似，都是在磁场作用下产生通与断的作用。

与干簧管相比，霍尔传感器寿命更长，不容易损坏，而且对振动、加速度不敏感，开关响应的速度也比较快。

问题与练习

1. 有一个放在匀强磁场中的放射源，可放射出 α 射线（氦原子核）、 β 射线（电子流）和 γ 射线（不带电）。这些射线在外加磁场作用下发生如图 2.3-12 的偏转。试指出这三束各是哪种射线。

图 2.3-13

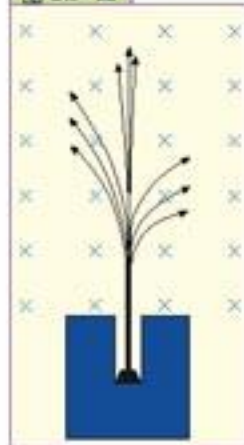


2. 如图 2.3-13 所示，上板带正电，下板带负电，电场强度 E 为 $3 \times 10^4 \text{ N/C}$ ，板间存在方向垂直纸面、指向纸内的匀强磁场，磁感应强度 B 为 0.02 T 。当一个带电粒子（不计重力），以某一速度水平射入时，恰能方向不变地经过这一区域。此带电粒子带何种电荷？其速度为多少？

3. 关于磁偏转的应用，从课本所给的技术实例中任选一例，从网上查找更详尽的资料和图片，整理成一篇墙报资料。

4. 在教师指导下，断开电源后，打开电视机后盖（或参观电器维修站），观看显像管颈部的行偏转线圈和帧偏转线圈。查找有关显像管的更多、更详细的图片、资料，整理成一篇科技报告。

图 2.3-12



第 3 章

电磁感应



正在工作的电磁炉

现在越来越多的家庭使用电磁炉来烧水、做饭。用电磁炉加热与用电阻丝加热不同，它是利用电磁感应的原理来工作的。生活和生产中利用电磁感应的地方太多了，例如日光灯的启动，录音机对声音的录、放，飞机场中检查乘客身上金属物品的安检门等，都利用了电磁感应的原理。

什么是电磁感应现象？电磁感应现象遵循什么样的规律？这一章我们就来学习这些非常重要、非常有用的知识。

第 1 节 电磁感应现象

自1820年发现电流的磁效应后，人们很自然地思考：既然电流能够产生磁场，反过来，磁场是不是也能产生电流呢？“磁场能不能产生电流”的疑问成为物理学家们探索的主题。英国物理学家法拉第经过10年的艰辛努力，终于发现了由磁场产生电流的条件和规律，由磁场产生电流的现象后来称为电磁感应（**electromagnetic induction**）现象，产生的电流叫做感应电流（**induction current**）。

感应电流的产生 用什么方法可以产生感应电流呢？让我们通过实验来研究。



实验一

如图3.1-1所示，把螺线管与电流表相连组成闭合电路，将磁铁插入螺线管，然后从中抽出。观察电流表。

磁铁插入螺线管时：电流表的指针_____。

磁铁插入后不动：电流表的指针_____。

磁铁抽出时：电流表的指针_____。

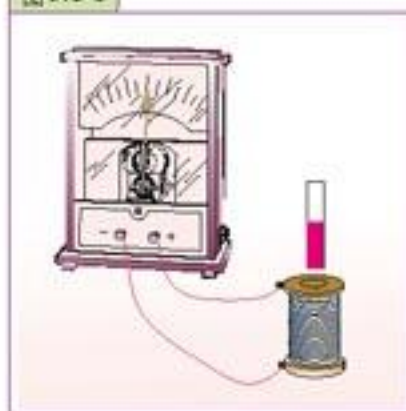
让磁铁不动，使螺线管套进磁铁，然后移去，观察电流表。

螺线管套进磁铁时：电流表的指针_____。

螺线管套进磁铁后不动：电流表的指针_____。

螺线管从磁铁处移去时：电流表的指针_____。

图3.1-1



实验表明：当螺旋管与磁铁发生相对运动时，电流表的指针偏转，闭合电路有电流。



实验二

如图3.1-2所示，把导体AB与电流表相连组成闭合电路，使导体沿不同方向运动，观察电流表的指针是否偏转。

导体AB不动时：电流表的指针_____。

导体 AB 向左运动时：电流表的指针_____。

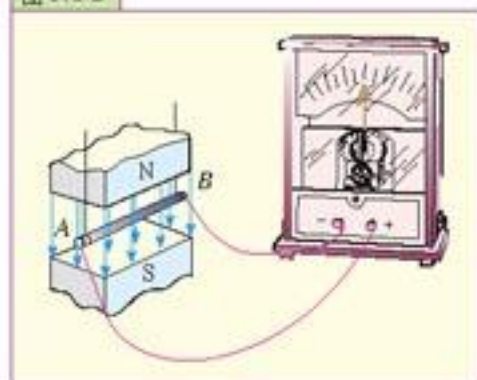
导体 AB 向右运动时：电流表的指针_____。

导体 AB 向上运动时：电流表的指针_____。

导体 AB 向下运动时：电流表的指针_____。

从导体 AB 与磁感线的相对运动关系看，实验现象表明：当导体 AB 做_____运动时，电流表的指针偏转，闭合电路有电流。

图 3.1-2



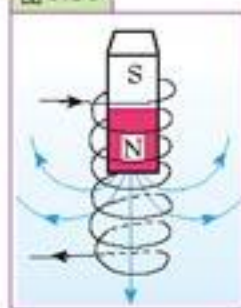
从实验二可以得出结论：当闭合电路的一部分在磁场里做切割磁感线的运动时，电路里就有电流。

这个结论是否也适用于前面的实验呢？

如图 3.1-3 所示，磁铁相对于螺线管运动时，螺线管的导线切割磁感线，可见，不论是导体运动，还是磁体运动，只要闭合电路的一部分在磁场里做切割磁感线的运动，电路里就有电流。

如果导体和磁体不发生相对运动，有没有办法产生感应电流呢？

图 3.1-3



实验三

如图 3.1-4 所示，将螺线管 B 与电流表相连；将螺线管 A 与开关和滑动变阻器串联后接到电源上。 A 置于 B 的内部。

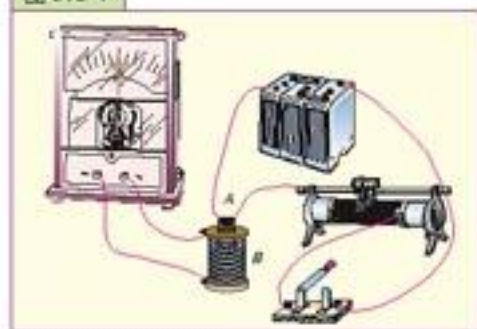
闭合开关的瞬间：电流表的指针_____。

闭合开关后：电流表的指针_____。

断开开关的瞬间：电流表的指针_____。

闭合开关后，移动滑动变阻器滑片时：电流表的指针_____。

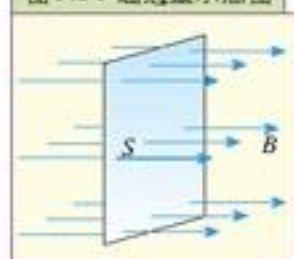
图 3.1-4



实验表明，如果导体与磁体不发生相对运动，也可以产生感应电流。看来，我们对产生感应电动势的条件需要做进一步的概括。为此，要学习一个新的物理量——磁通量。

磁通量 设在匀强磁场中有一个与磁场方向垂直的平面(图 3.1-5)，磁场的磁感应强度为 B ，平面的面积为 S ，我们把磁感应强度 B 与面积 S 的乘积，叫做穿过这个面的磁通量 (magnetic flux)。如果用 Φ 表

图 3.1-5 磁通量示意图



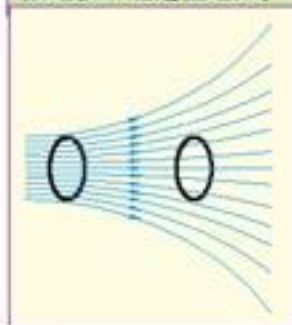
示磁通量，则有

$$\Phi = BS$$

在国际单位制中，磁通量的单位是韦伯，简称韦，用符号 Wb 表示， $1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot \text{m}^2$ 。

在研究产生感应电流的方法时，我们常常关注穿过闭合电路的磁通量是否变化。实际上只要穿过闭合电路的磁感线条数发生变化，穿过这个闭合电路的磁通量就发生变化。

图 3.1-6 在同一幅图中，穿过一个面的磁感线条数越多，磁通量越大。



大家谈

可以通过什么方法改变穿过闭合电路的磁通量？

感应电流产生的条件 现在，我们可以从“磁通量变化”的角度重新审视前面的实验。

在实验一中，当螺线管与磁铁之间发生相对运动时，穿过螺线管的磁感线条数发生变化，也就是说，穿过闭合电路的磁通量发生变化（图 3.1-7）。

在实验二中，其装置可以简化为图 3.1-8 所示的电路。磁场中的导体 AB 与电流计组成闭合电路 $ABCD$ 。当导体 AB 左右移动切割磁感线时，平面 $ABCD$ 的面积发生变化，通过该闭合电路的磁通量也发生变化。

图 3.1-7 磁铁插入螺线管时，穿过螺线管的磁感线条数发生变化

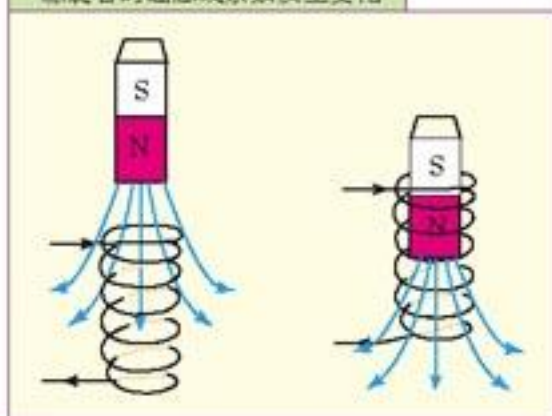
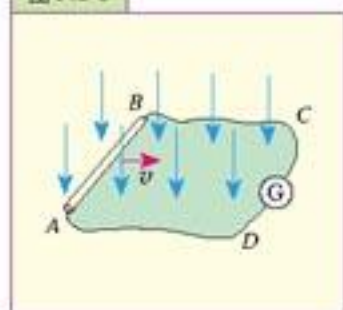


图 3.1-8



在实验三中，螺线管 A 、 B 间没有相对运动，却在闭合电路中产生了感应电流，用“磁通量变化”可以做出如下解释。

当闭合（或断开）开关的瞬间，通过螺线管 A 的电流从无到有（或从有到无）， A 的磁场由 0 增至最大（或由最大减少为 0），穿过螺线管 B 的磁通量也就由 0 增至最大（或由最大减少为 0）；当移动滑动变阻器的滑片时，由于通过螺线管 A 的电流发生变化， A 的磁场发生相应变化，于是穿过螺线管 B 的磁通量也就发生了变化。

以上几个实验都证明：不论用什么方法，只要穿过闭合电路的磁通量发生变化，闭合电路中就会产生感应电流。

电磁感应同样遵循能量守恒这一自然界的普遍规律。在实验一和实验二中，当导体和磁体

发生相对运动时，它们的机械能转化成电能。发电机就是根据这个原理制造的。在实验三中，电能通过变化的磁场由一个螺线管转移到另一个螺线管。变压器就是根据这个原理制造的。

大家做

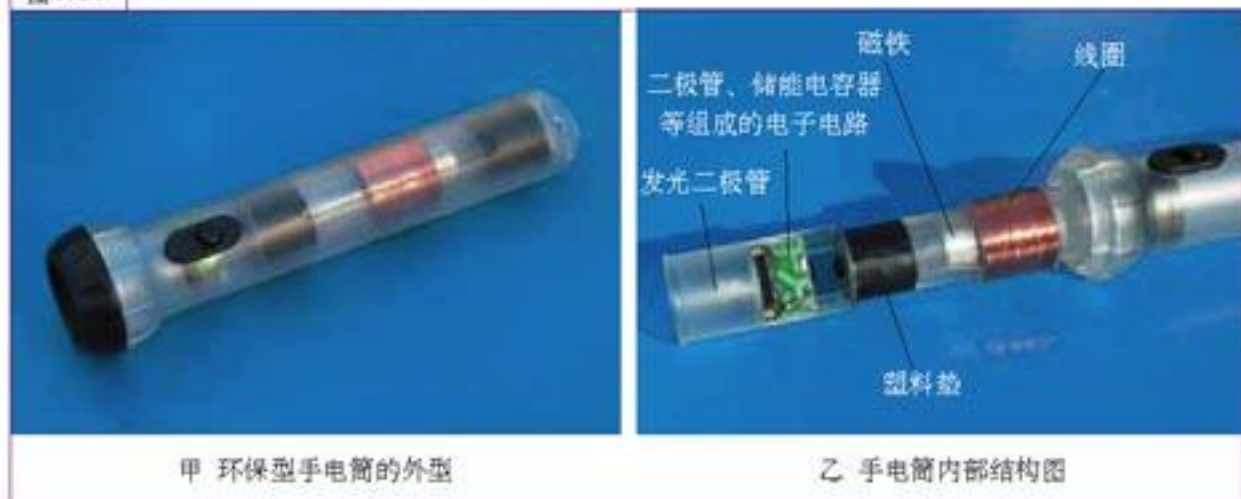
观察和研究环保型手电筒的结构和工作原理

图3.19甲是环保型手电筒的外形。环保型手电筒不需要任何化学电池作为电源，不会造成由废电池引起的环境污染。使用时只要将它来回摇晃一分钟，手电便可持续照明好几分钟。

你一定会对它的结构和工作原理感兴趣，请仔细观察图3.1-乙所示手电筒内部结构图。

1. 根据前面学过的有关电磁感应、半导体二极管单向导电、电容器储能的知识解释这种手电的工作原理。

图3.1-9



甲 环保型手电筒的外形

乙 手电筒内部结构图

2. 从能量转换角度说明手电的发光原理。如果来回很快摇晃手电，手电发光较亮，发光时间也相对较长，根据电磁感应原理从能量转化角度解释这一现象。

问题与练习

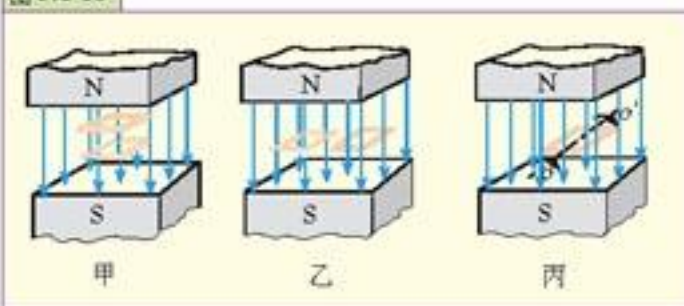
1. 在图3.1-10所示匀强磁场中有一个矩形闭合线圈，以下三种情况下线圈中是否有感应电流？为什么？

A. 如图甲所示，线圈平面与磁感线垂直，线圈沿磁感线方向运动。

B. 如图乙所示，线圈平面与磁感线垂直，线圈垂直于磁感线方向运动。

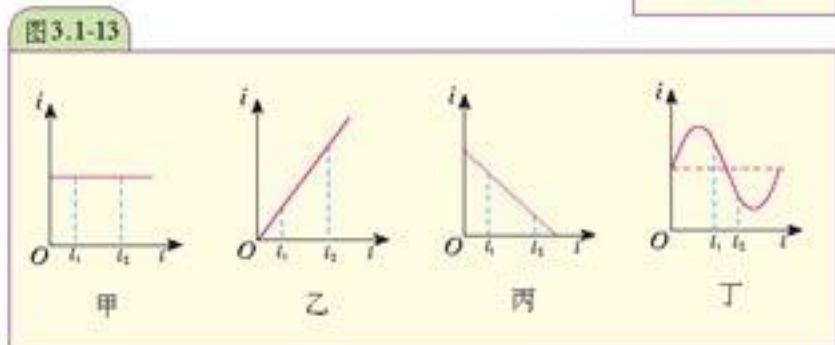
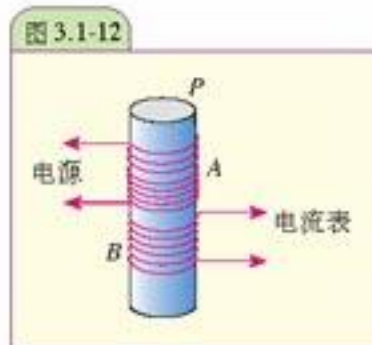
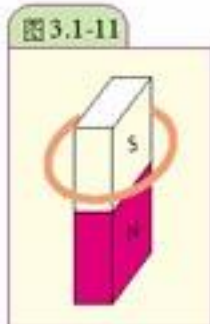
C. 如图丙所示，线圈平面绕 OO' 转动。

图3.1-10



2. 如图3.1-11所示, 一个导线环从条形磁铁的一极套入并下落。当它套入、在磁铁中央和落出时, 环中是否有感应电流? 为什么?

3. 某一实验装置如图3.1-12所示, 在铁芯 P 上绕着两个线圈 A 和 B , 如果线圈 A 中电流 i 和时间 t 的关系有图3.1-13所示的甲、乙、丙、丁4种情况。在 $t_1 \sim t_2$ 这段时间内, 哪种情况可以在线圈 B 中观察到感应电流?



第2节 感应电动势

要在闭合电路中产生电流, 电路中必须有电源, 电流是由电源电动势产生的。在电磁感应现象中, 既然闭合电路中有感应电流, 这个电路中就一定存在电动势。即使电路断开, 没有感应电流, 这个电动势也应该存在。

电磁感应现象中产生的电动势叫做**感应电动势 (induction electro-motive force)**。产生电动势的那部分导体就相当于电源。上节实验一中的螺线管、实验三中的螺线管 B 以及实验二中切割磁感应线的导体 AB , 都相当于电源。感应电流的强弱由感应电动势和闭合电路的电阻决定, 可以由闭合电路的欧姆定律算出。

影响感应电动势大小的因素 感应电动势的大小与哪些因素有关? 让我们通过实验来进一步研究。

演 示

(1) 用上节实验一的装置。当磁铁与螺线管之间相对运动速度大小不同时, 比较感应电流的大小。

(2) 用上节实验二的装置。当导体切割磁感线速度大小不同时, 比较感应电流的大小。

(3) 用上节实验三的装置。当滑动变阻器滑片滑动较快和较慢时, 比较感应电流的大小。

实验表明：感应电动势的大小跟磁通量的变化率有关。如果在时间间隔 Δt 内，磁通量的变化量为 $\Delta\Phi$ ，则磁通量的变化率为 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 。

精确的实验证明：电路中感应电动势的大小，跟穿过电路的磁通量的变化率成正比。这就是法拉第电磁感应定律(Faraday law of electromagnetic induction)。

如果用 E 表示感应电动势，则有

$$E = k \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

其中 k 为比例常数。在国际单位制中，上式各量的单位都已确定： E 的单位是伏特(V)， Φ 的单位是韦伯(Wb)， t 的单位是秒(s)，这时上式中的 $k=1$ ，所以上式可以写成

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

由单根导线组成的闭合电路可以看做只有一匝的线圈，如果线圈的匝数为 n ，每匝线圈中的感应电动势都是 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ， n 匝线圈串联在一起，整个线圈中的感应电动势 $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 。因此，为了获得较大的感应电动势，常采用多匝线圈。

导体切割磁感线时的感应电动势 根据电磁感应定律，可以分析直导线在匀强磁场中切割磁感线时所产生的感应电动势的大小。

如图3.2-1所示，把矩形线框 $abcd$ 放在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，线框平面与磁感线垂直。设线框的可动导线 ab 的长度是 L ，它切割磁感线的运动速度大小是 v ，方向向右。在时间 Δt 内，线框面积变化量 $\Delta S = Lv\Delta t$ ，穿过 $abcd$ 导线框的磁通量的变化量为 $\Delta\Phi = B\Delta S$

$= BLv\Delta t$ ，因此感应电动势 $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{BLv\Delta t}{\Delta t}$ ，即

$$E = BLv$$

所以，当导线在匀强磁场中做垂直切割磁感线的运动时，感应电动势等于磁感应强度 B 、导线长度 L 、导线运动速度 v 的乘积。

右手定则 导线中感应电流的方向可以用右手定则(right-hand rule)判定。如图3.2-2所示，伸开右手，使拇指与四指垂直并且在同一平面内，让磁感线垂直进入掌心，并使拇指指向导体运动的方向，则四指所指的方向就是感应电流的方向。

在图3.2-1的实例中，由于导线 ab 在磁场里做切割磁感线的运动，在闭合电路里产生了感应电流，感应电流流过导体 ab ，使它在磁场里又受到安培力。运用左手定则可以判断安培力的方向与导线 ab 的运动方向相反，即阻碍导线 ab 的运动。

注意区分变化的大小和变化的快慢。这跟以前学过的加速度概念相似。加速度表示速度变化的快慢，也可以说，加速度是速度的变化率。

图 3.2-1

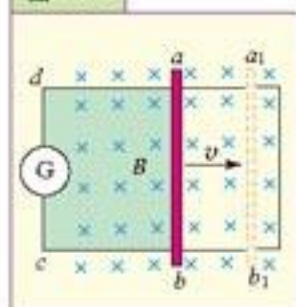
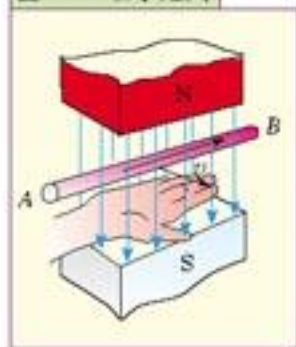


图 3.2-2 右手定则

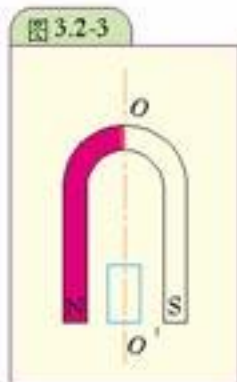


问题与练习

1. 关于感应电动势的大小, 下列说法中正确的是 ()

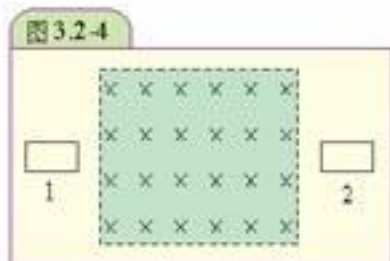
- A. 穿过线圈的磁通量为 0, 感应电动势也为 0。
- B. 穿过线圈的磁通量越大, 感应电动势也越大。
- C. 穿过线圈的磁通量变化越大, 感应电动势越大。
- D. 穿过线圈的磁通量变化越快, 感应电动势越大。

2. 如图 3.2-3 所示, 把一个闭合线圈放在蹄形磁体的两磁极之间, 蹄形磁体和闭合线圈都可以绕 OO' 转动。当转动蹄形磁体时, 线圈也跟着转动起来。解释这个现象。



3. 如图 3.2-4 所示, 让线圈由位置 1 通过一个匀强磁场的区域运动到位置 2, 下述说法中正确的是 ()

- A. 在线圈进入匀强磁场区域的过程中, 线圈中有感应电流, 而且进入时的速度越大, 感应电流越大。
- B. 整个线圈在匀强磁场中匀速运动时, 线圈中有感应电流, 而且电流是恒定的。
- C. 整个线圈在匀强磁场中加速运动时, 线圈中有感应电流, 而且电流越来越大。
- D. 在线圈穿出匀强磁场区域的过程中, 线圈中有感应电流, 而且穿出时的速度越大, 感应电流越大。

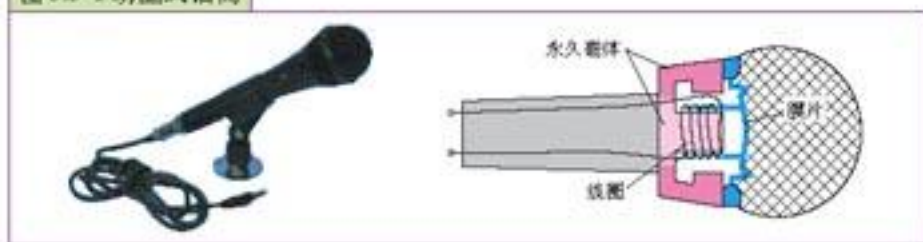


第 3 节 电磁感应现象在技术中的应用

电磁感应现象在技术中有许多应用, 以下是几个与我们生活密切联系的实例。

动圈式话筒 话筒有不同的种类, 动圈式话筒是其中的一种。它与动圈式扬声器、耳机的结构相似 (图 3.3-1)。小线圈与振动膜片相连, 它可以在圆柱形永磁体的磁场内振动。当声波使膜片振动时, 与膜片相连的小线圈也随之一起振动。由于它在永久磁铁的磁场中切割磁感线, 于是就产生了感应电流。感应电流的大小和频率随声波的振幅和频率而变化。这样声音信号转化成了随声音变化的电信号。电信号经扩音器放大后传给扬声器, 又还原成声音信号。

图 3.3-1 动圈式话筒



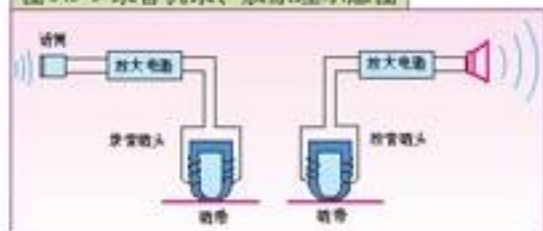
磁带录音和录像 磁带可以记录和再现声音和图像。在一条很长的塑料带基表面涂上一层薄薄的细磁粉就成了磁带。磁带的录、放音功能由同一个磁头完成。录、放音磁头(图 3.3-2)实际上是一个两极相距很近的蹄形电磁铁，封在金属壳内。

图 3.3-2 录、放音磁头



图 3.3-3 是录音机的录、放音原理示意图。录音时，随声音信号而变化的音频电流被放大后进入录音磁头的线圈，从而在磁头的缝隙产生随音频电流而变化的磁场。当磁带贴着录音磁头移动时，磁带上的磁粉被磁化而按一定的方式重新排列。这样就以磁的形式把声音信号记录在磁带上。

图 3.3-3 录音机录、放原理示意图



放音时，录有声音信号的磁带紧贴着放音磁头的缝隙通过(图 3.3-3)，磁带上磁化的磁粉使放音磁头的铁芯中产生随声音信号变化的交变磁场，它在放音磁头的线圈中感应出随声音信号变化的交变电流。被还原的音频电流经放大后用扬声器或耳机转换成声音信号。

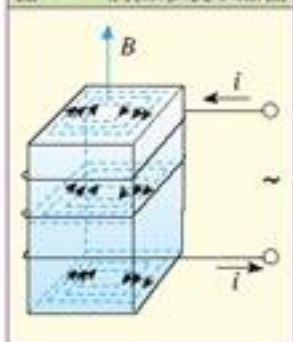
磁带录像与磁带录音的原理基本相同。录像时，随光信号变化的视频电流通过录像磁头使录像磁带磁化，从而把光信号记录在磁带上。

涡流及其应用 现在，不少家庭厨房用电磁炉来烹饪食物，不仅无明火，而且电磁炉本身不会发热，十分安全、方便。

电磁炉为什么会有这些“神奇”的特性呢？原来，电磁炉是根据电磁感应的原理工作的。

把金属块(片)放到变化的磁场中，金属块(片)内会产生感应电流。这种电流在金属块(片)内流动(图 3.3-4)，很像水的旋涡，因此叫做涡电流，简称涡流(eddy current)。整块金属的电阻很小，所以涡流有时很强。

图 3.3-4 涡流形成示意图



电磁炉的线圈内通有频率很高的交变电流，穿过放在炉上的金属锅的磁通量不断快速变化，在金属锅中产生很强的涡电流。涡流的热效应就能把水烧开，煮熟食物。用明火烧开一壶水大约需要 8~10 分钟，而用电磁炉 3 分钟即可。

涡流在技术上还有许多其他应用。

金属探测器(图 3.3-5)常在飞机场用于安全检查。交变电流通过金属探测器的线圈时，会产生变化的磁场。如果探测器周围有金属，金属内便产生涡流，涡流本身又会产生磁场反过来影响原有的磁场。这样就会引发探测器发出鸣叫声。

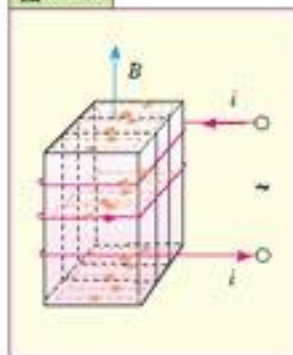
图 3.3-5



在磁电式仪表中，为了使摆动的指针很快停下，往往把电表的线圈绕在铝框上。当铝框在磁场中摆动时会产生涡流，涡流又在磁场中受力，这个力的方向总跟指针摆动的方向相反，从而使指针较快地停在某个位置上。

涡流的热效应在许多场合是有害的。例如，为了增强磁场，电机、变压器的绕组都绕在铁芯上。当绕组中通过交变电流时，在铁芯中会产生涡流。这会使铁芯过热、浪费电能、破坏绝缘。为了减少涡流，这些铁芯都用很薄且电阻率较大的硅钢片叠成，硅钢片表面有氧化层，互相绝缘。由于截面的减小，不仅能使产生涡流的感应电动势下降，而且将涡流限制在狭窄的、电阻很大的回路中(图3.3-6)，从而大大减小涡流。对于在高频电流下工作的元件，如收音机的磁性天线、中频变压器等，为了减少涡流损失，多采用电阻率更高的铁氧体做磁芯。

图3.3-6



思考与讨论

用手晃动电流表，观察指针摆动的情况。用导线将电流表的+、-接线柱连接后，再晃动电流表，你会发现什么变化。这是什么道理？这种做法有什么实用价值？



“金属探测器”趣谈

谈起金属探测器，人们就会联想到探雷器，工兵用它来探测掩埋的地雷。

金属探测器是一种专门用来探测金属的仪器，除了用于探测有金属外壳或金属部件的地雷之外，还可以用来探测隐蔽在墙壁内的电线、埋在下的水管和电缆，甚至能够地下探宝，发现埋藏在地下金属物体。

世界十大宝藏中的第三大宝藏（“阿托卡夫人”号沉船）和第九大宝藏（霍克森钱币）都是利用金属探测器发现的。

近年来，为了加强安全措施，各国的安检已不限于机场，凡是重要场所和重要活动，都要对人员进行检查，甚至某些新电影的首映式，为了防止盗版，所有到场的影迷及嘉宾都要接受金属探测器的测试。

如今任何工作都能用上高科技，废品回收也不例外。据报道，在湖南和江苏有捡拾废钢铁的青年，拿着金属探测器，在干涸的河床内和地面上探测金属，然后将挖出来的金属卖给废品站，收获颇丰。

更有意思的是，由于实行新的月饼生产标准，有的月饼生产厂甚至将有探雷器之称的金属探测器也用到了月饼的生产中，用来防止细小的金属颗粒混入月饼馅中。据了解，这种金属探测器可以探测到最小0.5 cm的金属颗粒。

近来，英国的科学家发明了一种金属探测器，也许可以给父母和医生们帮不少忙。据路透社报道，这种探测器是把军事上的地雷探测技术转化到民用医疗设施上而制成的，它能帮助医生探测儿童吞食或扎到手脚中的金属物。

图3.3-7 探雷器

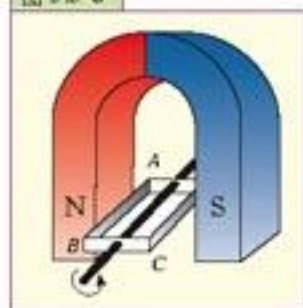


问题与练习

1. 如图3.3-8, 用手转动铝框 $ABCD$, 使它在磁铁的两极之间旋转。试分析图示位置时 AB 和 CD 两条边中感应电流的方向和这两条边所受安培力的方向。松开手后, 铝框的转速会有什么变化? (摩擦和空气阻力可以忽略。)

2. 通过查找资料 and 阅读说明书, 了解家用电磁炉的结构和工作原理, 以及使用注意事项。

图 3.3-8



第4章

交变电流 电机



三峡电厂发电机转子

朝辞白帝彩云间，千里江陵一日还。
两岸猿声啼不住，轻舟已过万重山。

这首耳熟能详的唐诗，曾给我们带来多少快乐与幻想呀！如今诗人李白笔下的三峡，不仅风景秀丽依然，更在为祖国做着巨大的贡献。200年，三峡电厂总装机容量已近1 000万千瓦，亘古不变，千年流淌的滚滚长江正在焕发着青春。

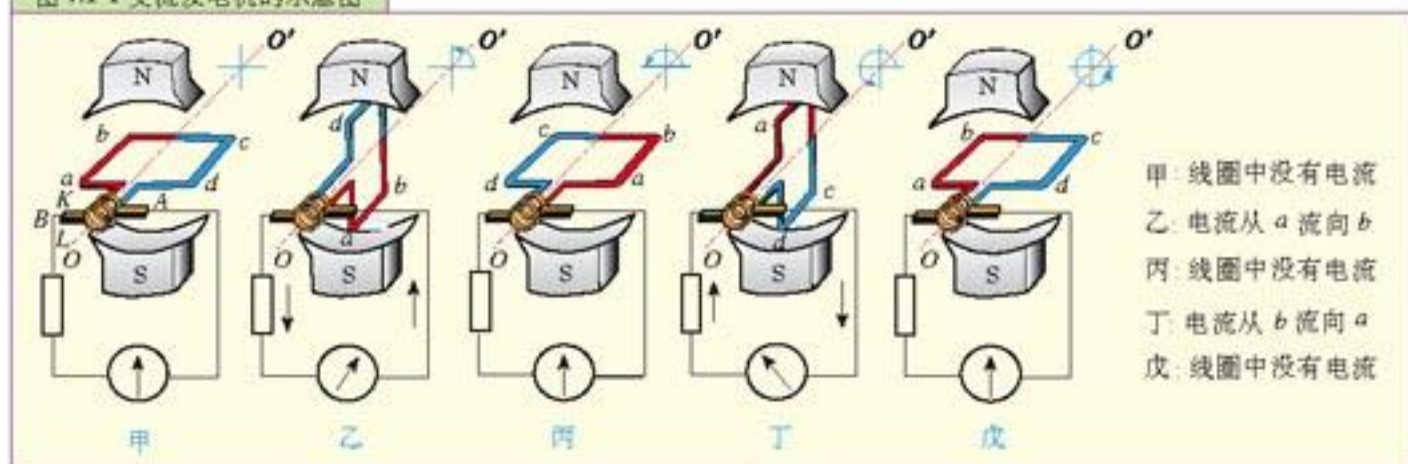
你知道发电机是怎样工作吗？发电机发出的电是如何输送到千家万户的？这一章我们就来学习交变电流产生的原理以及与之相关的知识。

第 1 节 交变电流的产生和描述

交变电流的产生 在初中我们就知道，手摇发电机发出的电流，大小和方向在不断地变化，这种电流就叫做交变电流（**alternating current, AC**），简称交流。

交变电流是从交流发电机发出的。图 4.1-1 是交流发电机的示意图。交流发电机的最基本结构是线圈和磁极，线圈可绕中心轴 OO' 转动。线圈两端连接在彼此绝缘的两个滑环上，固定的电刷 A 、 B 压在滑环 K 、 L 上，由电刷把电流引出。

图 4.1-1 交流发电机的示意图



由图 4.1-1 可知，当矩形线圈 $abcd$ 在匀强磁场中沿逆时针方向转动时， ab 、 cd 边将同时切割磁感线，产生感应电动势。当线圈转到图甲、丙、戊的位置时，各边均不切割磁感线，此时的感应电动势为 0，这个位置称为中性面；当线圈转到图乙、丁的位置时，边 ab 、 cd 均垂直切割磁感线，产生的感应电动势最大；当线圈转至其他位置时，感应电动势介于 0 与最大值之间。不但如此，每当线圈经过中性面一次，电动势的方向就改变一次。由此可见，线圈转动一圈，所产生的电动势无论是大小还是方向都发生一次周期性变化。

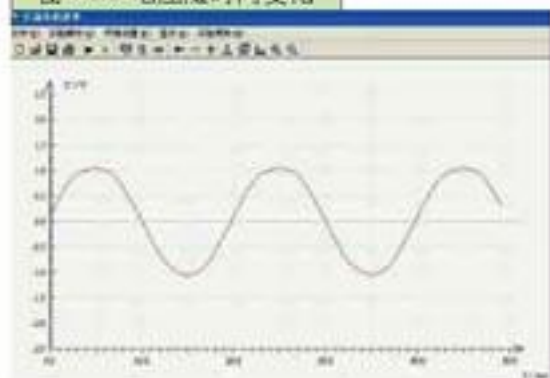
线圈转动过程中，感应电动势的变化究竟遵循什么定量的规律呢？

利用电压传感器可以在计算机上显示电压随时间变化的图像。

演 示

把学生电源输出的交流电压输入电压传感器，经数据采集器处理后，在计算机的显示屏上可以观察到交变电压随时间变化的图像（图 4.1-2）。

图 4.1-2 电压随时间变化



从演示中，我们看到交变电压随时间变化的图象是正弦曲线，这说明发电机线圈中产生的感应电动势也是按照正弦规律变化的，它可以写做

$$e = E_m \sin \omega t$$

式中的 e 随着时间而变化，不同的时刻有不同的数值，称为电动势的瞬时值， E_m 是它达到的峰值 (peak value)。

如果发电机连接负载，通过电路中的电流也是按照正弦规律变化的，因此叫做正弦式电流 (sinusoidal current)，它也可以用三角函数式表达

$$i = I_m \sin \omega t$$

式中的 i 随着时间而变化，称为电流的瞬时值， I_m 是它能达到的峰值。

当交变电流通过电阻 R 时，根据欧姆定律，电阻两端的电压跟通过电阻的电流成正比，所以电压也按正弦规律变化，其表达式是

$$u = U_m \sin \omega t$$

发电厂里的交流发电机比图 4.1-1 复杂得多，但是其基本结构也是线圈（通常叫电枢）和磁极。电枢转动、磁极不动的发电机，叫做旋转电枢式发电机；如果磁极转动、线圈不动，叫做旋转磁极式发电机。不论哪种发电机，转动的部分叫转子，不动的部分叫定子。

大型交流发电机一般采用旋转磁极式。由于线圈固定，输出电流就不需要滑环和电刷，故能够产生高压交变电流。本章的章头图是待吊装的三峡左岸电厂 7 号水轮发电机组转子。

表征交变电流的物理量 交流电路中的电动势、电压、电流的大小、方向都随时间做周期性变化，实际中常用有效值、周期和频率来描述交变电流。

交变电流的有效值是根据电流的热效应来定义的。让交流和直流分别通过同样的电阻，如果它们在同一时间里产生的热相等，就把这一直流的数值叫做这一交流的有效值 (effective value)。交流的电动势、电压、电流的有效值分别用 E_e 、 U_e 和 I_e 表示（有时下标 e 也可省略），峰值分别用 E_m 、 U_m 和 I_m 表示。实验和计算表明，正弦交变电流的有效值与峰值间存在着如下关系。

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \approx 0.707 E_m$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \approx 0.707 U_m$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \approx 0.707 I_m$$

这种关系只限于正弦式电流，对于其他形式的交变电流并不适用。

照明电路的电压是 220 V，指的是有效值。各种交流电气设备铭牌上标的电压、电流值，一般交流电压表、电流表测量的数值，也都是有效值。

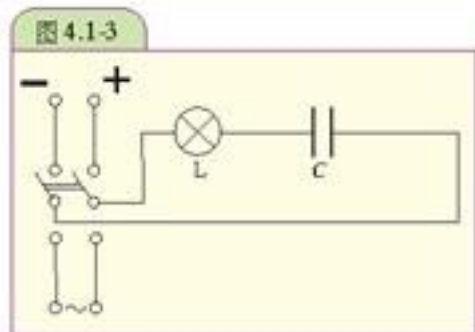
交变电流与其他周期性运动一样，是用周期或频率来表示变化快慢的。从图 4.1-1 可知，线圈转动一周，电动势、电流均按正弦规律变化一周。交变电流完成一次周期性变化的时间称为交变电流的周期 (period)，常以字母 T 表示。交变电流在 1 s 内完成周期性变化的次数称为交变电流的频率 (frequency)，常以字母 f 表示。周期和频率的关系为 $T = \frac{1}{f}$ ，我国电网中

的交变电流，周期为 0.02 s，频率为 50 Hz。

电容器对交变电流的作用 我们知道，电容器有两个被绝缘介质隔开的极板，直流是不能通过电容器的。那么，交变电流能够通过电容器吗？

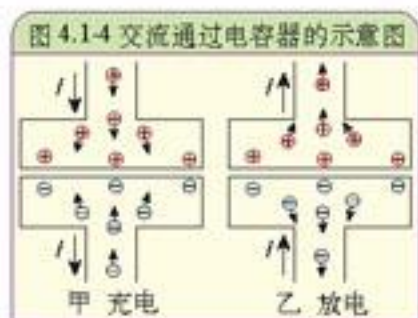
演 示

如图 4.1-3，把白炽灯泡和电容器串联在电路里，接到学生电源上。接通直流电源时，灯泡不亮，说明直流不能通过电容器；而接通交流电源时，灯泡就亮了，说明交变电流能够“通过”电容器。



怎样解释演示中的现象呢？

当电容器接到交流电源上时，实际上自由电荷并没有通过电容器两极板间的绝缘介质，只不过在交变电压的作用下，当瞬时电压升高时，电容器充电，电荷向电容器的极板上集聚，形成充电电流；当瞬时电压降低时，电容器放电，电荷从电容器的极板上放出，形成放电电流（图 4.1-4）。电容器交替进行充电和放电，电路中就有了电流，表现为交流“通过”了电容器。



在图 4.1-3 的实验中，如果把电容器从电路中取出，使灯泡直接与交流电源相接，可以看到，灯泡要比接有电容器时亮得多。这表明电容对交流有阻碍作用。

实验表明，电容器的电容越大、交流的频率越高，电容器对交流的阻碍作用就越小。由此可知，电容有“隔直流，通交流；阻低频，通高频”的作用。

问题与练习

1. 有一个正弦交流电压 $u = 220\sqrt{2} \sin 100\pi t$ V，该交流电压的峰值、有效值、周期和频率各为多少？

2. 一个电容器耐压 250 V，能否接在 220 V 的交流电路上？为什么？

3. 一台微波炉说明书中所列的部分技术参数如下表，请回答：

(1) 这台微波炉使用的是哪一种电源？

(2) 这台微波炉输入电流的有效值是多大？输入电流的峰值是多大？

型号	WD800(MG-5579MT)
输入电源	220 V、50 Hz
输出功率	800 W
微波频率	2 450 MHz
输入功率	1 250 W
.....

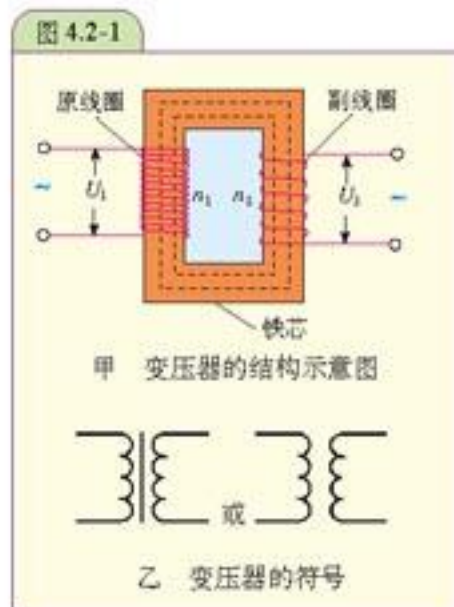
第 2 节 变压器

在交流的实际应用中，为了满足各种负载的正常运行，常常需要改变电压。我国家庭供电系统的电压为 220 V，而不同的用电设备需要的电压多种多样，如机床上照明灯使用 24 V 或 36 V 安全电压，某些电视机内部的电子线路需要 12 V 电压，而显像管的工作电压需要万伏以上；远距离输电需要几十万伏的高压。变压器就是用来改变交流电压的设备。

变压器的结构和原理 图 4.2-1 甲是变压器结构的示意图，图 4.2-1 乙为它在电路图中的符号。变压器由铁芯和绕在铁芯上的两个线圈组成。铁芯由硅钢片叠压而成，线圈由绝缘导线绕制而成。与电源相连的线圈称为原线圈（或初级线圈），其匝数常用 n_1 表示；与负载相连的称为副线圈（或次级线圈），其匝数常用 n_2 表示。

在原线圈加上交变电压时，原线圈中就有交变电流通过，在铁芯中产生交变磁通量。这个交变磁通量既穿过原线圈，又穿过副线圈。于是，在副线圈中引起交变电动势。如果把用电器连接在副线圈两端，副线圈中就有交变电流通过。

变压器的电压跟匝数有什么关系呢？让我们通过实验来研究。



探究变压器的电压跟匝数的关系

取一个专供学生拆装的小型变压器，小心地将铁芯、线圈和塑料护壳分离。硅钢片应 2~3 片一组叠好，见图 4.2-2。

将 120 匝和 240 匝的两个线圈套在一起，再将硅钢片一对一对地插入线圈中，拼成日字形。为了尽量减少漏磁，要使各组硅钢片交叉对插。插入硅钢片时要对正，要将全部硅钢片都插入并且插紧。

图 4.2-2 变压器和硅钢片



在装好变压器后,选120匝线圈为原线圈,240匝线圈为副线圈, $n_1:n_2 = 1:2$ 。用学生电源在它的两端依次加上不同的交变电压,用多用电表的交流电压档分别测量初级、次级的电压(见图4.2-3)。将测量数据填入下表,并回答问题。

图4.2-3



实验序号	交流电源电压标称值/V	初级电压 U_1 /V	次级电压 U_2 /V	$U_1:U_2$
1	4			
2	6			
3	8			

这时变压器起升压作用还是降压作用?

电压与线圈匝数的关系是 $U_1:U_2 =$ _____

选120匝线圈为原线圈,60匝线圈作为副线圈, $n_1:n_2 = 2:1$ 。重复上述步骤。

实验序号	交流电源电压标称值/V	初级电压 U_1 /V	次级电压 U_2 /V	$U_1:U_2$
1	8			
2	6			
3	4			

这时变压器起什么作用?

电压与线圈匝数关系是 $U_1:U_2 =$ _____

通过实验可以知道,降压变压器副线圈的匝数比原线圈的少,升压变压器副线圈的匝数比原线圈的多。在变压器的能量损耗很小时,原副线圈两端的电压之比近似等于这两个线圈的匝数之比。如果变压器的能量损耗可以忽略不计(这种变压器称为理想变压器),变压器的电压跟匝数的关系是

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

实用变压器大多可以看做理想变压器。

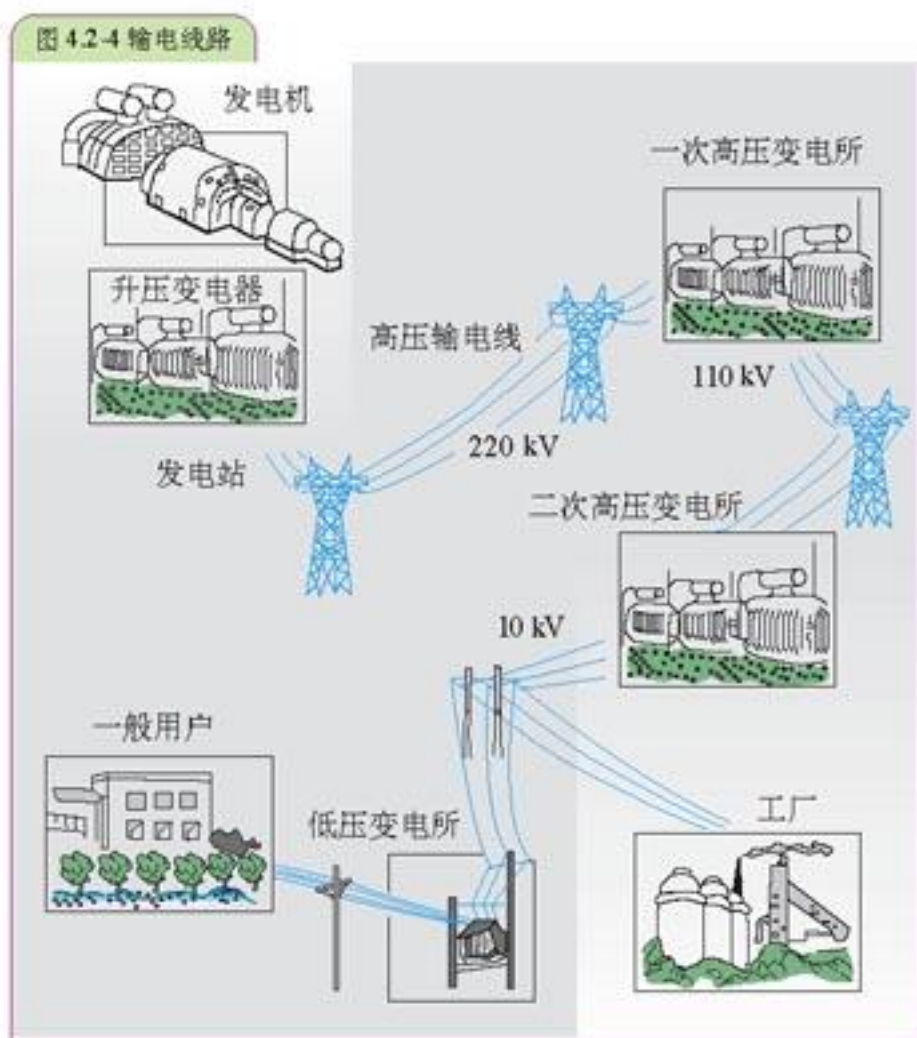
电力网 电能由发电机发出,沿着导线输送到几百千米甚至几千千米之外。电流沿着导线流动时,能量会有损失,主要损失是由电流的热效应引起的。为了减少输送中电能的损失,应尽量减小导线的电阻。由于输电距离不能改变,只能使导线粗一些,但导线过粗不但会消耗大量的金属材料,而且给架线带来困难。另一种办法是减小导线中的电流。由 $P=UI$ 可知,在输送电功率不变的前提下,要减小电流,必须提高电压。所以,远距离输电大多采用高压输电。

目前我国远距离输电采用的电压有110 kV、220 kV和330 kV,有的线路已开始采用500 kV

的超高压输电。

大型发电机输出的电压等级分别为10.5 kV、13.8 kV、15.75 kV、18.0 kV。这样的电压不符合远距离输电的要求，所以要用变压器升压。发电厂发电机发出的电，经过升压站升高电压，由高压输电线向外输送，到达用户一方时，先在一次高压变电所降到110 kV，再由二次高压变电所降到10 kV，其中一部分送到需要高电压的工厂，另一部分送到低压变电所降到220 V / 380 V，送给一般用户。图4.2-4为从发电厂到用户的交流输电线路的示意图。

生活中，用户用的电不是从某一个电厂直接供给的，而是经过电网的统一管理、调度分配才得到的。



包含各种电压的线路将发电厂、变电所、电力用户联系起来，形成电力系统，它包括发电、输电、变电、配电和用电部分。在发电厂和用户之间，扮演输电、变电、配电作用的整个系统称为电力网（power grid），简称电网。组成电力网，可以统一调配电力资源，降低电力生产成本，提高供电的可靠性和提高电能的质量。

我国拥有东北、西北、华北、华东、华中5大电网和独立省（区）电网，为用户提供优质、可靠的供电服务。

直流输电 由于导线有电感、电容，当交流输电功率很大时，电感和电容引起的电能损失是很大的，所以现在有些大功率输电线路已经开始采用高压直流输电。

现代的直流输电，只是输电这个环节使用高压直流，发电、用电及升、降电压仍然是交流。发电机发出的交流经变压器升压后，由换流设备将交流变为直流，高压的直流经远距离传输后，再由换流设备将直流换为交流。然后，配电所的变压器再将高压交流降压成适合用户的电压，送给用户。

STS

“大面积停电”引发的思考

“8月14日，美国东北部和加拿大部分地区发生大面积停电事件。长达29小时的停电使纽约损失10.5亿美元。8月28日傍晚，英国伦敦和英格兰东南部地区发生两个多小时的重大停电事故。约25万人被困在地铁中。12月20日晚，美国加利福尼亚州的旧金山市又出现大面积停电，导致全城约三分之一的用户断电。”

以上是新华社评出的2003年十大国际新闻中的第五条。下面是关于这些地区停电情景的新闻摘录。



“在纽约，成千上万乘客被困在漆黑的地铁隧道里。办公楼内电梯停运、空调无法运转，许多上班的人和商场内的顾客陷入恐慌，不顾一切地冲到曼哈顿的各条大街上。公路堵塞，公共汽车无法运营。当时气温高达33摄氏度，但由于公路被堵，他们只好忍耐酷热步行回家。想给家人通告一下吧，可是移动电话网络也中断了，原因很简单，成千上万的人同时用手机打电话！总之，纽约生活的方方面面都已经被完全打乱，全市在很长一段时间内没有一辆汽车、火车、地铁在运行。”

“在有200万居民的加拿大第一大城市多伦多，交通系统也陷入瘫痪，地铁站已经关闭，数千人无奈地冒着30摄氏度的高温徒步行进。多伦多北部的萨德伯里还有100多名矿工被困在井下，好在他们还有充足的水，井下通风的电也可由备用电机提供。加拿大安大略省已宣布进入紧急状态，要求人们没有急事暂时不要出门。”

“危机就是商机，美加大停电给当地人带来了混乱和恐慌，同时也激活了备用发电机市场。人们纷纷赶往五金店购买应急发电机，生意立刻红火起来。”

大面积停电事故的频繁出现已为各国电网安全敲响警钟。

美国媒体认为，这次北美洲有史以来最大规模的停电，暴露了全美电网的脆弱不堪，需要对整个国家的供电系统进行全面整修。

《日本经济新闻》的社论认为，美国没有建立起一旦停电时最低限度的安全防护系统。应该考虑发挥燃料电池及太阳能电池等小型、分散电源的作用。这次北美停电事故向全世界表明了完全依靠大规模电力的现代文明的脆弱的一面。

俄报认为美国没有统一的电力系统和调度中心，也没有完善的备用电力系统是造成大面积停电的重要原因。

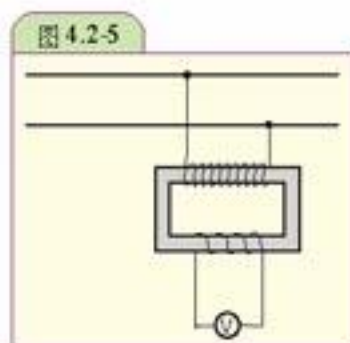
从另一方面看，应对突发事件的预案和相应的训练近两年来得到了重视，这在停电事故中发挥了重大作用。在纽约，警方曾就如何疏散困在地铁通道和高楼大厦里的人员，进行了几个月的训练。从克利夫兰到底特律，休假的警察按照预先拟订的程序被紧急召回，引导公交车在没有红绿灯的情况下穿行于城市各条街道。警察、消防人员和紧急情况处理人员在这次危机中表现良好，原因之一是他们对突发事件做了全面准备。

问题

1. 在防止类似事故发生，以及出现后减少事故损失这两方面，你作为一个公民，可以做一些什么事情？
2. 通过以上事例，以及你对科学技术与社会关系的体会，你认为人类有必要在这样大的程度上依赖技术吗？

问题与练习

1. 一个变压器的原线圈是 1200 匝，接在 220 V 的交流电源上。要得到 6 V 的输出电压，求副线圈的匝数。
2. 要测定导线中很高的交流电压，不能用电压表直接测量，用图 4.2-5 所示的降压变压器把高电压变成低电压就可以测量了，这一装置称为电压互感器。已知这个变压器的匝数比为 50 : 1，若电压表两端的实际电压为 24 V，表盘上指针所指位置的刻度应该是多少？
3. 调查你生活地区比较大的停电事故是什么原因造成的。这些现象对你有什么启示？
4. 请你通过因特网查找资料，对比直流输电与交流输电的特点，调查我国及其他国家直流输电的发展情况。



第 3 节 三相交变电流

三相交变电流的产生 像图 4.1-1 那样，只有一个线圈在磁场中转动，电路中只产生一个交变电动势，这样的发电机称为单相交流发电机。

如果在磁场中有三个互成 120° 的线圈同时转动，电路中就产生三个交变电动势。如果在定子中安排三个互成 120° 的线圈，磁体在它们中间转动，也能产生三个交变电动势，如图 4.3-1 所示。这样的发电机称为三相交流发电机，它发出的电流称为三相交变电流，简称三相交流。

如果像图 4.3-2 那样把每一个线圈分别与负载 1、2、3 连接起来，三相发电机就相当于三个独立的电源同时供电。这三个线圈中的电动势虽然峰值和周期均相同，但是它们不能同时为 0 或同时达到峰值。由于三个线圈的平面依次相差 120° 角，它们到达 0 值（即通过中性面）和峰值的时间，依次落后 $1/3$ 周期。如果取如图 4.3-1 所示的瞬间作为时间的起点，即 $t=0$ 时，线圈 U_1U_2 位于中性面上，三个线圈中的电动势就可以用图 4.3-3 中的三条正弦曲线来表示。在实际应用中，三相发电机和负载并不如图 4.3-2 所示以六条导线连接，而只用四条或三条导线连接。

星形联结 (Y) 如果把图 4.3-2 中线圈的 U_2 、 V_2 、 W_2 端和负载之间的三条导线合在一起，照图 4.3-4 那样用一条导线连接，就可以节约两条导线，这种连接方法称为星形联结，用符号 Y 表示。从每个线圈始端引出的导线称为端线，也称相线 (L)，在照明电路里俗称火线。从公共点引出的导线称为中性线 (N)，也称零线。

在三相电路中，每个线圈两端的电压称为相电压，两条端线之间的电压称为线电压。在星形联结中，端线与中性线之间的电压就是相电压。在我国民用电路中，相电压为 220 V，线电压为 380 V。

为了尽量使三相电路用电平衡，在一座大楼（或大院）中，三相均匀分配于各楼层的用户。对于每个用户，入户的只是三相中的某一单相电路。进入每户的是三根线，一根相线 L，一根中性线 N 和一根起保护作用的接地线 PE。

在每个用户中，都装有单相双孔插座和单相三孔插座。如图 4.3-5

图 4.3-1 三相交流发电机



图 4.3-2 发电机和负载连接原理图

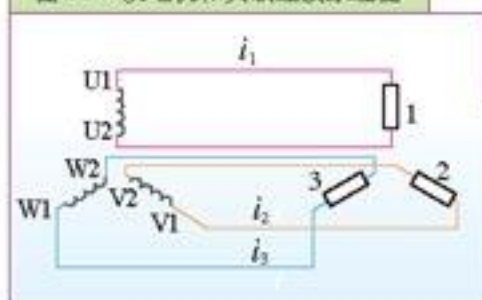


图 4.3-3 三相交变电流图线

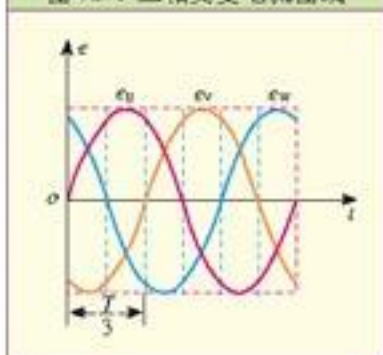


图 4.3-4 星形联结原理图



图 4.3-5 单相双孔插座和单相三孔插座

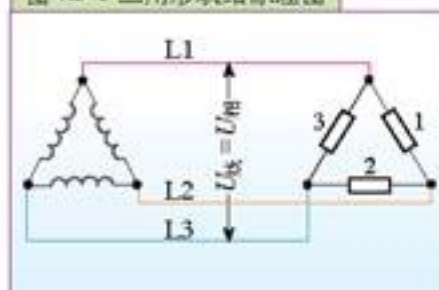


所示，双孔插座从正面看过去，左孔接中性线N，右孔接相线L；三孔插座从正面看过去，左孔接中性线N，右孔接相线L，上边的孔接保护接地线PE，简称接地。

三角形联结 (Δ) 若把发电机的三个线圈的始端和末端依次相连，并按照如图 4.3-6 所示与负载相连，这种连接方法称为三角形联结，以符号 Δ 表示。在三角形联结中，每两条端线之间的电压就是其中一个线圈的相电压，所以线电压等于相电压。

感应电动机 在初中，我们已经学过直流电动机，现在来学习另一种常用的交流电动机——三相感应电动机。

图 4.3-6 三角形联结原理图



演 示

照图 4.3-7 那样，在蹄形磁铁中间放一个铝框，如果转动磁铁，造成一个旋转磁场，铝框就随着转动。这种电磁驱动现象，在前一章的习题中已经知道了。

不仅转动磁铁可以产生旋转磁场，用三相电流也可以产生旋转磁场。

如果照图 4.3-8 那样，使三个相同的线圈互成 120° 角，线圈中央放一枚小磁针。接入三相电流后，小磁针就旋转起来，这表明三相电流可以产生旋转磁场。如图 4.3-9 所示，若将小磁针换成一个日光灯启辉器的铝质圆柱形外壳，当接入三相电流后，同样可以看到铝壳旋转起来。感应电动机就是根据这个原理制成的。

图 4.3-7 电磁驱动

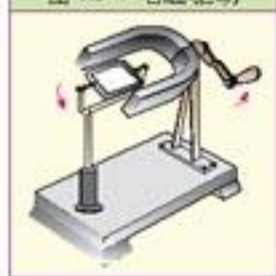


图 4.3-8 三相电流的旋转磁场

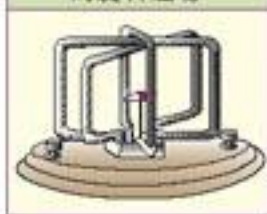


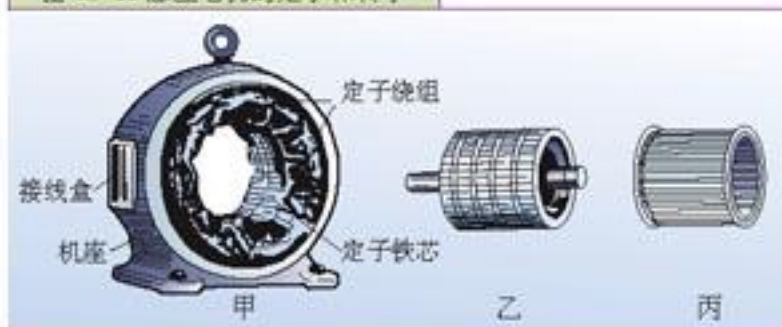
图 4.3-9 旋转磁场能使铝壳转起来



三相感应电动机由定子 (图 4.3-10 甲) 和转子 (图 4.3-10 乙) 组成。在定子内侧的凹槽里，嵌有互成 120° 角的称为定子绕组的三组线圈。把三组线圈用星形联结法或三角形联结法连入三相电路，就可以产生旋转磁场。

三相感应电动机的转子是由铁芯和嵌在铁芯上的闭合导体构成的。凹槽中的铜条 (或铝条) 和两个铜环 (或铝环) 连在一起构成了闭合导体，外形像一个鼠笼 (图 4.3-10 丙)，所以这种电动机又称为鼠笼式感应电动机。这个闭合导体相当于图 4.3-9 的铝壳，有了旋转磁场，它就转动起来。

图 4.3-10 感应电机的定子和转子



采用特殊的方法也可以使单相交变电流产生旋转磁场，制成单相感应电动机。洗衣机、电风扇等家用电器安装的是单相感应电动机。

三相感应电动机要改变转动方向，只要把定子线圈三个接线端中的任意两个互换就可以。这种电动机在制造、使用和保养上都比较简单，广泛应用在工农业生产上。



磁浮列车

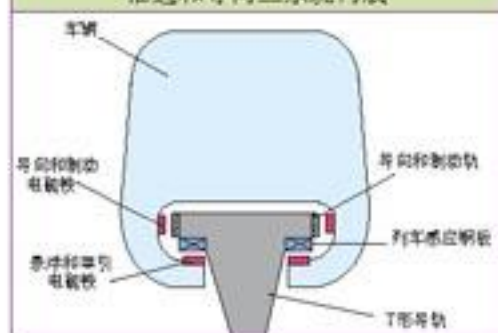
2003年10月1日，世界上第一条磁浮列车（图4.3-11）在上海正式运行。从浦东的龙阳路站至浦东机场33km的行程，仅用7.5 min 最高速度为430km/h。磁浮列车的车身与轨道没有接触，摩擦阻力小、速度快、噪音低。从综合效益看，磁浮列车是很有前途的一种交通工具。

磁浮列车主要由悬浮、推进和导向三个系统构成。这三部分的功能均由磁力完成。

图4.3-11 上海磁浮列车



图4.3-12 常导型磁浮列车主要由悬浮、推进和导向三系统构成



悬浮系统：如图4.3-1所示，磁浮列车运用电磁铁异名磁极相吸的原理实现悬浮。电磁铁安装在车体底部，感应钢板设置在T形导轨伸臂部分的下方。通电后，电磁铁与感应钢板之间产生强大的磁吸引力，使列车悬浮。悬浮的间隙由高精度的气隙传感器控制，一般为10 mm

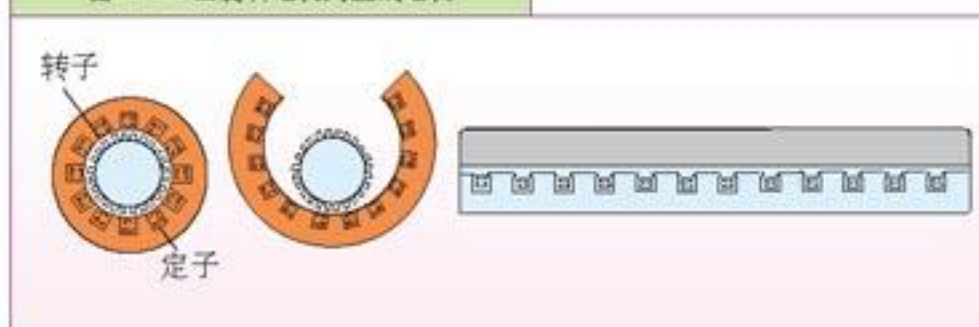
推进系统：怎样使磁浮列车获得前进的动力？

我们设想把三相感应电动机沿着半径方向剖开，并且展平（图4.3-13）列车下部装有线圈，整个列车就像“展直”的电动机转子，地面轨道内侧的线圈就像电动机的“展平”的定子；由沿线布置的变电所向“定子”提供三相交变电流。我们知道，在三相感应电动机中，三相交变电流产生旋转磁场，那么，在“展平”的定子中，三相交变电流就产生“平移”磁场，列车下部的线圈在“平移”磁场作用下就做直线运动。

导向系统也是利用了电磁铁的作用力，使列车左右方向都不会碰在导轨上。

由于悬浮和导向实际上与列车运行速度无关，所以即使在停车状态下，磁浮列车仍然可以处于悬浮状态。

图4.3-13 由旋转电机到直线电机



问题与练习

1. 某同学居住的小区安装输电线时引来了 a 、 b 、 c 、 d 四根电线，量得 ab 、 bc 、 ac 之间的电压都是 380 V ， ad 之间的电压是 220 V ，电工把 b 、 d 两根电线引到该同学家作为生活用电的电源。你认为是否能使家用电器正常工作？如果要对小区中的一个大的电动抽水机供电，需要引哪几根电线？

2. 观察你家附近的供电线路。有的电线杆上只有两根电线，有的是 3 根，还有 4 根的。你能说出这是怎么回事吗？

3. 一栋楼房有四个单元。一、二单元的用电量较多，三、四单元每个的用电量大约只有一单元或二单元的一半。该楼房从电网引入的是三相电流。请你为这栋楼房的用户简略地设计一个供电电路。

第 5 章

电磁波 通信技术



上海东方明珠电视塔

现在电视越来越普及，城市居民多用有线电视，偏远地区的用户多用卫星天线直接接收卫星发来的电磁波。电磁波不仅可以用来传播电视信号，而且可以用来加热食品，实现远程控制，进行医疗诊断等等。电磁波的使用越来越多，越来越广，它已经深入到我们生活的各个角落。

你知道电磁波是怎样产生的吗？不同频段的电磁波有哪些不同特性？怎样更有效地利用电磁波？这一章我们就来学习、研究、探讨这些内容。



第 1 节 电磁场 电磁波

在初中物理课上我们已经学习了一些电磁波的知识，知道微波炉用微波来加热食品，广播和电视利用电磁波来传递声音和图像，移动电话用微波来传递信息。我们生活在电磁波的海洋里。“海洋”里的电磁波除少部分来自遥远的天体外，绝大多数是人类用自己的设备产生的。

电磁波是如何产生的？有哪些用途？

电磁场 通过前面电磁感应的学习我们知道，如果一个闭合电路置于变化的磁场中，电路中就会有感应电流流过(图 5.1-1 甲)。英国物理学家麦克斯韦 (J. C. Maxwell, 1831—1879) 从场的观点思考这一现象，认为电路中之所以有感应电流，是因为变化的磁场产生了电场，这个电场使得导体中的自由电荷定向移动。麦克斯韦还进一步认为，变化的磁场产生电场是一种普遍现象，跟闭合电路是否存在无关(图 5.1-1 乙)。

既然变化的磁场产生电场，那么变化的电场能否产生磁场呢？考虑到电现象与磁现象的对称性，麦克斯韦做出了肯定的假设，认为变化的电场也可以产生磁场(图 5.1-2)。

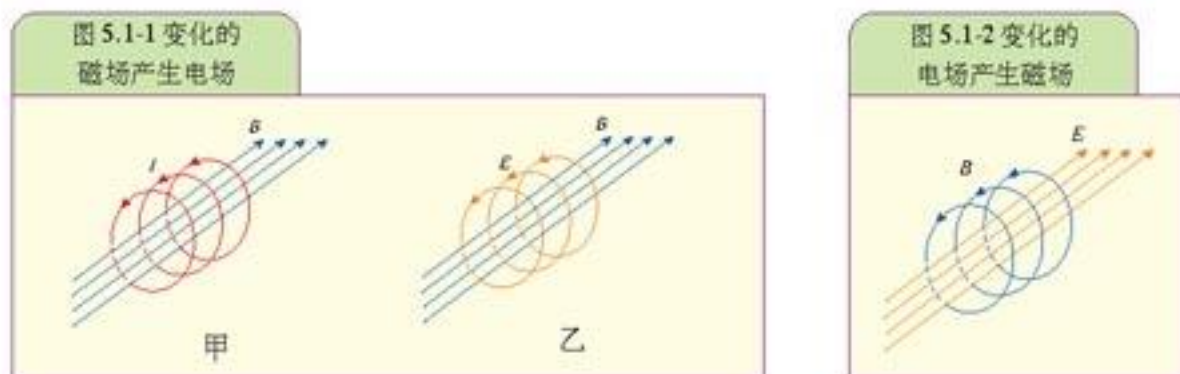


图 5.1-1 变化的磁场产生电场

图 5.1-2 变化的电场产生磁场

19世纪60年代，麦克斯韦深入研究了电场与磁场的内在联系，建立了统一的电磁场理论，这一理论成为物理学的支柱之一，对现代技术的发展起着重要的推动作用。麦克斯韦电磁场理论的两大基本要点是：(1)不仅电荷能够产生电场，变化的磁场也能产生电场。(2)不仅电流能够产生磁场，变化的电场也能产生磁场。按照这个理论，变化的电场和磁场总是相互联系的，形成不可分离的统一的场，这就是电磁场 (electromagnetic field)。

电磁波 由上面所说的麦克斯韦电磁场理论可以知道，如果在空间某处产生了随时间变化的电场，这个电场就会在空间产生磁场，如果这个磁场也是变化的，那么它又会在空间产生新的电场……这样，变化的电场和磁场就会由近及远传播出去(图 5.1-3)，形成电磁波 (electromagnetic wave)。

电磁场具有能量，在电磁波发射过程中，电磁能不局限于空间某区域，而是随电磁波一起向外传播。

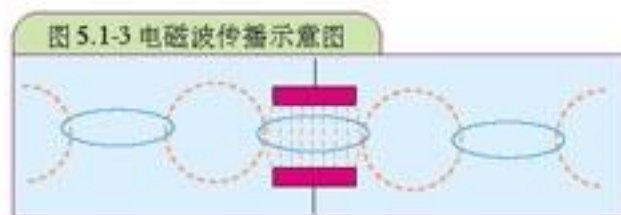


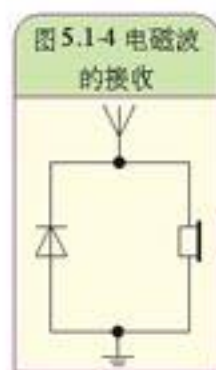
图 5.1-3 电磁波传播示意图

大家做

接收电磁波

将一个二极管和一个高阻抗的耳机按图 5.1- 连接好，戴上耳机，你听到了什么？这一现象说明了什么？

图中的天线用一条四五米长的导线架在高空即可；接地部分可将导线接在大铁钉上，然后将大铁钉插入潮湿的土壤中，也可将导线与自来水管相连。



麦克斯韦不仅预言了电磁波的存在，他还推断出，电磁波在真空中的传播速度等于光速。麦克斯韦据此认为，光本身（以及热辐射和其他形式的辐射）也是电磁波。麦克斯韦把表面上似乎毫不相干的光现象与电磁现象统一了起来，使人类进一步认识了光的本质。

在麦克斯韦预言电磁波的 20 多年以后，1888 年，德国物理学家赫兹（H. R. Hertz, 1857—1894）通过实验证实了电磁波的存在。他还测定了电磁波的波长和频率，得到了电磁波的传播速度，证实这个速度等于光速。赫兹实验不仅证实了麦克斯韦的电磁理论，更为其后的无线电报、无线电广播、电视和雷达等无线电技术的发展奠定了实验基础，开创了无线电电子技术的新纪元。

波长、频率和波速 如果以 f 表示电磁波的频率， λ 表示它的波长，它们与波速 c 的关系是

$$c = \lambda f$$

这个关系我们在初中已经学过，以后会经常用到。

问题与练习

1. 根据麦克斯韦的电磁场理论，怎样的磁场可以产生电场？设想一种获得这样磁场的方法。怎样的电场可以产生磁场？设想一种获得这样电场的方法。
2. 月球与地球表面的距离为 $3.84 \times 10^5 \text{ km}$ ，电磁波把人类登月画面传到地球，要用多少时间？
3. 我国第一颗人造卫星用 20.009 MHz 和 19.995 MHz 的无线电波发送信号，求这两种频率电磁波的波长。它们属于什么波段（参考下页表格）？
4. 根据收音机上 MW、SW、FM 波段的频率范围，计算三个波段相应的波长范围。查阅电视机说明书上接收频率一栏中 VHF(L)、VHF(H)、UHF 三个波段的名称，记录它们的频率范围，计算相应的波长范围。

第 2 节

无线电波的发射、接收和传播

大家谈

在初中我们就学习了无线电波的发射和接收的一些知识，你能不能在这个基础上，结合自己从其他途径学到的知识，谈谈广播和电视是如何工作的？

无线电波 无线电通信中使用的电磁波称为无线电波。根据波长或频率范围，无线电波分为长波、中波、中短波、短波和微波几个波段（见下表）。无线电波主要用于广播、电视、通信和导航等方面。

波段	波长	频率	传播方式	主要用途	
长波	30 000 ~ 3 000 m	10 kHz ~ 100 kHz	地波	超远程无线电通信和导航	
中波	3 000 ~ 200 m	100 kHz ~ 1 500 kHz	地波和天波	调幅(AM)无线电广播 电报 通信	
中短波	200 ~ 50 m	1 500 kHz ~ 6 000 kHz			
短波	50 ~ 10 m	6 MHz ~ 30 MHz	天波		
微波	米波 (VHF)	10 ~ 1 m	30 MHz ~ 300 MHz	近似直线传播	调频(FM)无线电广播 电报 通信
	分米波 (UHF)	1 ~ 0.1 m	300 MHz ~ 3 000 MHz	直线传播	电视 雷达 导航
	厘米波	10 ~ 1 cm	3 000 MHz ~ 30 000 MHz		
	毫米波	10 ~ 1 mm	30 000 MHz ~ 300 000 MHz		

无线电波的发射 发射无线电波是为了利用它来传递信息。根据声音变化而来的电信号，频率很低（图 5.2-1 甲），不能以电磁波的形式远距离传播。如果要把这种信号传播出去，就要想办法把它搭载在能够传播足够远的电磁波——载波（图 5.2-1 乙）上，而无线电波正好具备这样的特性。

要把信号搭载到载波上，就要满足一定的要求，即发射出去的无线电波要根据信号的变化规律而变化，无线电技术上将这一过程叫做调制（**modulation**）。调制就好像将货物装载到运输工具上一样。

一种调制方式是使高频载波的振幅随信号而改变（图 5.2-1 丙），这种方式称为调幅（**amplitude modulation**），用 AM 表示。中波和短波波段的广播及电视的图像信号都是调幅

信号。另一种调制方式是使高频载波的频率随信号而改变(图 5.2-1 丁),这种方式称为调频(**frequency modulation**),用 FM 表示。调频广播和电视伴音都是调频信号,这些广播通常使用微波中的甚高频(VHF)和超高频(UHF)波段。

在广播电台、电视台和各种无线电通信设备的发射机中,都有一个称为振荡器的关键部件,它能产生高频交变电流。高频交变电流被调制后,通过天线发射出去。

无线电波的接收 电磁波在空间传播时,如果遇到导体,如收音机的天线,由于电磁感应,就会在其中产生微弱的感应电流。这个信号经放大和处理后就能得到所需要的信息。

不同的广播电台、电视台各自用确定频率的载波发射信号,这一频率称为载波频率。接收设备必须首先将所需的载波从大量不同频率的电磁波中挑选出来,这一过程称为调谐(**tuning**)。选择不同频率的电台或电视台,就是在进行调谐。

接收设备还必须从所接收的高频电流中分离出所需的音频或视频信号,这一过程称为解调(**demodulation**)。解调是调制的逆过程,就像把货物从运输工具上卸载一样。解调获得的音频、视频信号经放大后由扬声器、显像管还原成声信号、光信号。图 5.2-2 是无线电广播示意图。

无线电波的传播 不同波段的无线电波有不同的传播特性。无线电波有三种传播方式:地波、天波和沿直线传播的波。

地波是指沿地球表面附近空间传播的无线电波(图 5.2-3)。波长较长的长波、中波和中短波主要以地波方式传播,地波能绕过地表的山岭和障碍物。地波的传播比较稳定,不受昼夜变化的影响,能够沿着弯曲的地球表面达到地平线以外的地方。地波在传播过程中能量损失较大,特别是波长短的中波和中短波,因此中波和中短波广播的传播距离只在几百千米范围内。收音机在这两个波段一般只能收听到本地或邻近省市的电台。长波沿地面传播的距离要比中波、中短波远得多,但是发射长波的设备庞大,造价高,所以长波很少用于广播,多用于超远程无线电通信和导航。

天波是指靠电离层反射来传播的无线电波(图 5.2-4)。电离层存在于大气高层,对波长较长的长波和中波有较强的吸收作用,而波长很短的微波能完全穿过它,只有短波能被它

图 5.2-1 无线电波的调制

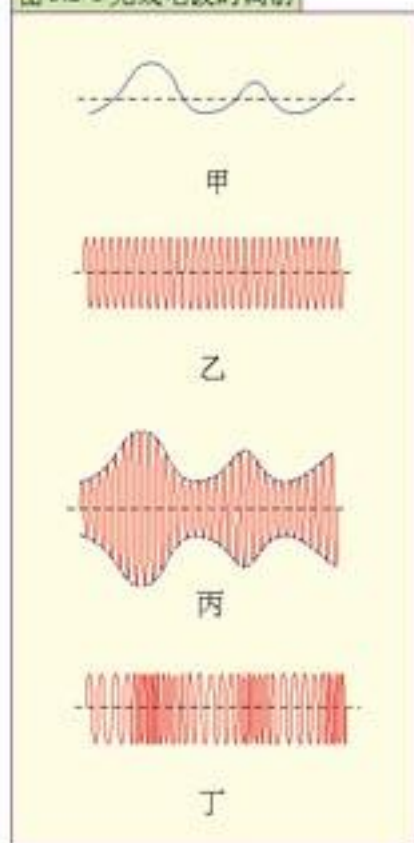


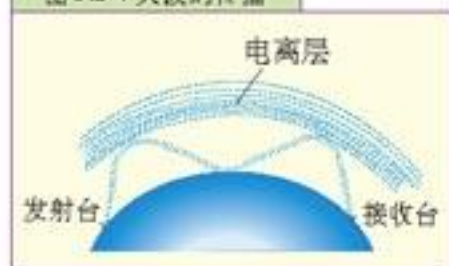
图 5.2-2 无线电广播示意图



图 5.2-3 地波的传播



图 5.2-4 天波的传播



190年马可尼提出向大西洋彼岸传送无线电信号的设想时，曾遭到许多人的嘲笑，他们认为这是不可能的，因为电磁波沿直线传播而地球是圆的，但马可尼坚持实验，并获得了成功。实际上，实验的成功还靠了当时并不知道的电离层的帮助。这一有趣的事实说明：技术的发明有时会走在科学的前面。

反射。因此短波可以被电离层反射到数千千米以外。由于电离层不稳定，夜间它的电离程度降低，对中波和中短波吸收减弱，此时中波和中短波也能以天波的方式传播。收音机在夜晚能够收听到许多远地的中波或中短波电台，就是这个原因。

微波只能沿直线传播，地面上的高山和高大建筑物都会阻挡微波的传播，因此微波的发射和接收天线都建得很高。如果要用微波进行远距离通信，就必须设立中继站。由某地发射出去的微波，被中继站接收，进行放大，再传向下一站。这就像接力赛一样，一站传一站，把电信号传到远方（图 5.2-5）。直线传播方式受大气的干扰小，能量损耗少，所以收到的信号较强，而且比较稳定。电视、雷达采用的都是微波。

现在可以用同步卫星做中继站来传送微波。由于同步通信卫星静止在赤道上空 36 000 km 的高空，用它来做中继站，微波可以直接到达卫星覆盖的任何地方。

我国是个发展中国家，许多地方还很不发达，一些偏远的农村、牧区通信设施很差。自从我国有了通信卫星，通信的发展可以说是一日千里。即使在偏远地区，人们不仅可以看新闻、体育比赛，还可以通过卫星进行学习。

图 5.2-5 微波中继站

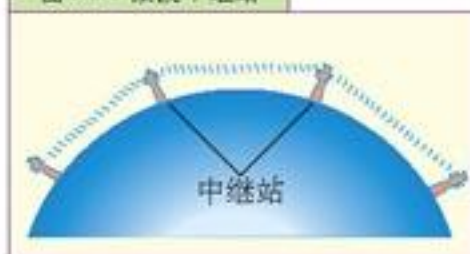


图 5.2-6 卫星电视



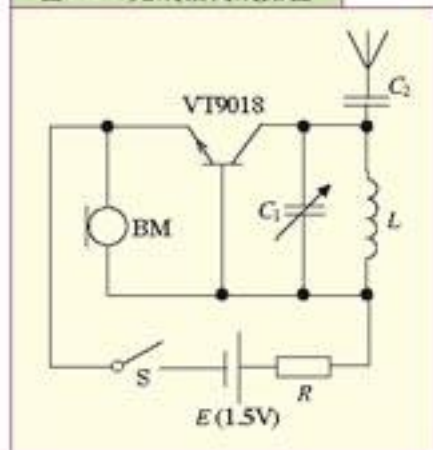
大家做

制作简易无线话筒

话筒输出的电信号比较弱，不能直接驱动扬声器发声，所以还需要扩音机。话筒与扩音机之间通常采用导线连接，这样在远距离传输时会感到不便，因此很多场合就要使用无线话筒。本实验介绍的无线话筒，它的发射频率在 100 MHz 左右，用调频收音机做接收机，最大工作距离可达 30 m。

图 5.2-7 是调频无线话筒的电路图，三极管 VT、电感 L 和电容 C_1 构成高频振荡电路，其作用是输出一种频率随声音变化的高频电磁波，振荡电路的中心频率由 L 、 C_1 的数值决定。电源 E 和电阻 R 给三极管 VT 和驻极体话筒 BM

图 5.2-7 无线话筒线路图



供电。当话筒输出的音频信号加到三极管时，振荡频率也随着音频信号变化，从而达到调频的目的。调频波经电容 C_2 通过天线发射出去。

按线路图在老师的指导下设计、制作一块电路板，将检测好的元件焊接在线路板上。整机工作电流调为 0.4 mA 振荡频率调在远离调频电台的地方，调好后用调频收音机检验效果。

简易无线话筒基本元件及参数表（供参考）

序号	名称	规格型号	元件说明
1	三极管 VT	9018	NPN 型高频三极管
2	电容 C_1	18 pF 半可变电容	高频瓷介质电容器
3	电容 C_2	4.7 pF 瓷片电容	
4	电感 L	自制	用 1 mm 漆包线在圆铅笔上绕 4 匝
5	电阻 R	1.8 k Ω	1/8 W 金属膜电阻
6	发射天线	直径 1 mm、长 30 cm	1 mm 漆包线
7	电源 E	干电池	
8	驻极体话筒 BM	CRZ-2 型	



模拟信号与数字信号

现在数字信号用得越来越多。数字信号在许多方面比模拟信号优越。什么是模拟信号，什么又是数字信号呢？

我们来看以下两个例子。打电话的时候，话筒把声音变成电流，电流的波形反映了声音的响度、音调和音色，这样连续变化的音频电流信号就属于模拟信号(图 5.2-8)电报信号要简单得多，它用长短不同的脉冲传递信息。例如，可以用一个短脉冲和一个长脉冲“·-”代表数字 1，用短、短、长“··-”

图 5.2-8 音频电流的大小模拟声压的变化，是模拟信号。



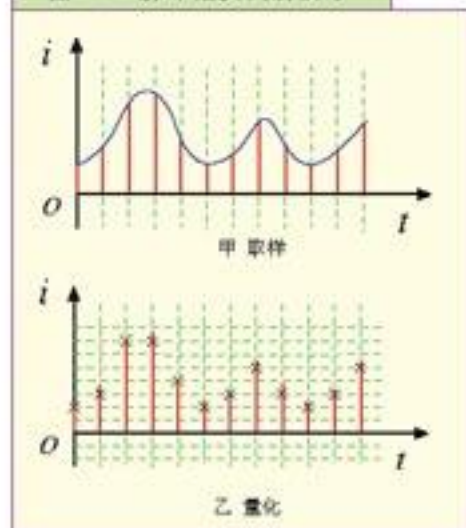
“-”代表 2……另一方面，把汉字编码，例如用“7193 代表“电”字。这样，一系列长短不同的脉冲就代表了一系列汉字，可以传递各种信息。

丰富多彩的声音也能用脉冲信号传递吗？回答是肯定的。有关声音的响度、音调和音色的信息包含在音频模拟信号里，我们给音频模拟信号编码，问题就解决了。

首先，把话音的模拟信号“截断”成一个个短脉冲(图 5.2-9 甲)，即变成幅度不同的脉冲信号——脉冲幅度调制信号，这个过程叫做取样。如果取样的次数足够多，这种脉冲信号可以令人满意地代表原来的话音信号。

取样信号虽然是时间轴上离散的信号，但仍然是模拟信号，其

图 5.2-9 脉冲幅度调制信号



幅度在一定的取值范围内，可有无限多个值。显然，对无限个幅度样值一一给出数字码组来对应是不可能的。为了以数字码表示样值，必须采用“四舍五入”的方法把样值分级“取整”，使一定取值范围内的样值由无限多个值变为有限个值。这一过程称为量化（图 5.2-9）。

量化后的幅度值再转化为易被计算机处理的二进制代码，这一过程称为编码。

二进制是表示数的一种方法，它只需要 0 和 1 两个数字。例如十进制中的数 5，在二进制中表示为并列写出的“1”“0”“1”三个数字。如果我们在电路用“有电流”表示二进制中的“1”，用“无电流”表示二进制中的“0”，那么，任何一个二进制数可以很方便地用一系列脉冲来表示。这样，一系列脉冲代替了声音模拟信号，这就是现代电信所用的脉冲编码调制信号，或者简称为数字信号。数字信号和模拟信号一样，可以用有线或无线方式传输。

数字信号有一系列优点。

数字信号抗干扰能力强，可以长距离传输。信号传输过程中会变弱，同时有各种干扰混进来。对于模拟信号，可以在中途设增音器，也就是放大器，但是干扰信号同样会被放大，而且放大器本身也会引起失真，所以长距离传输的语音质量是比较差的。对于数字信号来说，尽管也有信号的衰减和外界的干扰，但是只要没有把信号脉冲“抹平”，我们都可以用再生中继器把它恢复。在长距离传输和许多次中继之后，数字信号几乎和传输时的一模一样，这样就保证了通话质量。

除了声音之外，图像和各种其他数据也都可以转变成数字信号，因此，同样的线路可以综合传输声音、图像和各种数据。

数字电子计算机也是以数字的方式工作的，信号数字化后就可以利用电子计算机进行处理和交换。人们常说的程控电话，就是计算机程序控制的电话交换系统。

信号数字化以后还可以利用一定的技术使得多路信号在一个电话线路上同时传输。

数字通信技术的关键是模拟信号和数字信号之间的转换。模拟—数字转换器(ACD)是把模拟信号数字化的装置。数字—模拟转换器(DCA)能解码数字信号，将它还原成模拟信号。CD 播放机就是通过数字—模拟转换器把激光头读取的数字信号转换成可以由耳机或扬声器播放的模拟信号。

普通电话线传送的是模拟电信号^①，计算机通过普通电话线传递信息时必须使用调制解调器(modem)它实际上就是将 DCA 和 ACD 合在一起的数字模拟转换器。计算机输出的数字信号首先通过调制解调器(图 5.2-10)转换成模拟信号，由电话线传送到另一方，另一方的调制解调器将模拟信号再转换成数字信号。

图 5.2-10 调制解调器。现在生产的计算机大多已把调制解调器作为标准配置安装在机壳内部了。



问题与练习

1. 如果把正在工作的收音机用金属脸盆盖起来，还能听到收音机的声音吗？如果用塑料或木质盆盖着又会怎样。动手做一做，并解释为什么会这样。
2. 解释以下现象。
 - (1) 收音机中波段在白天只能接收本地和邻近的电台，而在夜间能收听到较远的电台。

^① 电信局的 ISDN 业务和 ADSL 业务现在已经能把数字信号送到用户家中。

(2) 如果你家周围有高层建筑，直接用天线接收电视信号时电视机的收视效果会很差，而且有重影。

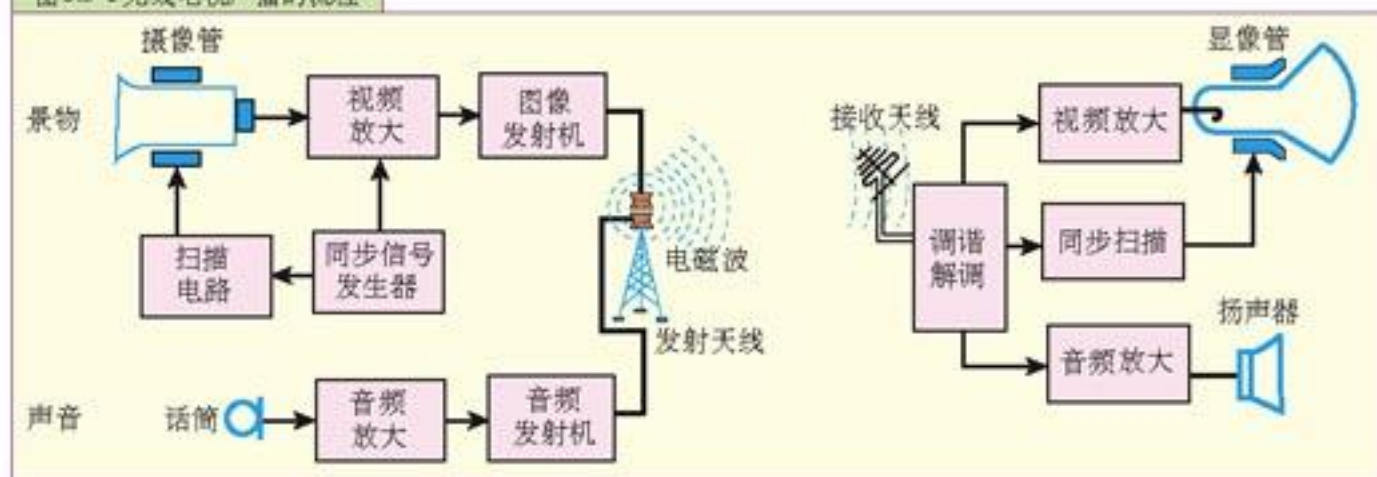
3. 录音带、录像带中的节目转录了几次之后，便会有很大的失真，但电脑磁盘中的文件，即使拷贝很多次，或者发送电子邮件到很远的地方，都能保持与原文件一样。这是为什么？

4. 在方格纸上任意画一条曲线，对曲线做10次取样，并把每次取样的幅度（不必转换成二进制数）告诉一位同学。这位同学在另一张方格纸上按照你说的幅度值描点，最后把点连成曲线。比较他画的曲线与你画的曲线是否相同。

第 3 节 电视 移动电话

电视 电视在我们的生活中扮演着越来越重要的角色，我们通过电视来了解天下大事，观看文艺表演、体育比赛。现场或演播室里实际的活动如何变成了电视上活生生的画面？

图 5.3-1 无线电视广播的流程



无线电视广播的流程大致如图 5.3-1 所示。在电视发射端，摄像管（图 2.3-7）把来自景物的光转换为电信号，经过处理后再调制成高频图像信号，同时伴音信号也调制成高频声音信号，天线则把带有图像信号和声音信号的电磁波发射出去。

在电视接收端，天线收到电磁波后产生感应电流，经过调谐、解调等处理，分别将得到的图像信号和伴音信号送到显像管（图 2.3-2）和扬声器。显像管里的电子枪发射电子束的强弱受图像信号的控制，并且与用摄像管的电子枪以相同的方式和步调进行扫描。这样，当电子束射到荧光屏上时，在屏上便出现了与摄像管屏上相同的像。电视机天线接收到的伴音信号经解调取出后送到扬声器，扬声器便伴随电视屏幕上的影像发出声音来。

我国电视广播中，摄像机 1s 拍摄并传送 25 帧画面，电视机以相同的速率显现这些画面。由于视觉暂留效应，人们感觉到的便是电视机荧光屏上活动的图像。

彩色电视机 如果电视广播中用的摄像管和显像管只有一枝电子枪，那么它传播和接收的就只是明暗程度变化的黑白图像，而我们在生活中常见到的彩色电视是怎么实现的呢？

我们先来分析彩色电视机的显像管是如何产生彩色图像的。

图 5.3-2 是彩色显像管的结构示意图。彩色显像管的后部有三枝电子枪（或一枪三束），每枝电子枪对应光的三原色（红、绿、蓝）的一种颜色。显像管的前端是彩色荧光屏，荧光屏内表面所涂的荧光材料——磷光体，按红、蓝、绿三点一组排列，每组中间是黑色边界（图 5.3-3）。对应不同颜色的视频信号被送到电子枪，引起每枝枪在适当的时间里瞄准相应的磷光体，每枝枪发出的电子信号强弱不同，每个三原色点的亮度也就不同，三原色不同亮度的搭配使每一组点呈现出不同的颜色，这样我们在电视屏幕上就能看到彩色的图像了。

彩色电视的摄像管也有三枝电子枪，每枝枪对应着摄像管屏上每个像素中不同的三原色，这样在彩色电视发射端，发出的就是对应着不同颜色的三组视频信号。

图 5.3-2 彩色电视机显像管示意图



图 5.3-3 用放大镜观看彩色电视机屏幕，可以发现屏幕是由红、蓝、绿三原色小点组成。



数字电视

现在我们经常听到“数字电视”这个名词。什么是数字电视？

数字电视是相对于模拟电视而言的。过去的电视系统在信号的产生、处理、记录、传送和接收过程中，使用的都是模拟信号。数字电视则是指在电视信号产生后的处理、记录、传送和接收的过程中，使用的都是数字信号，相应的设备称为数字电视设备。

电视台播出数字信号后，电视接收机如果是模拟式的，还需要接一个数字解码器（又称机顶盒，图 5.3-4）将数字信号转换为模拟信号。解码器兼有记录并向电视台传递用户信息的功能。

采用数字技术不仅能够提供更清晰的图像和优美的音质，而且可以提供多种服务，能够实现信息交互、数据广播和与计算机联网等功能，使电视技术进入崭新时代。

数字电视是近年来发展起来的，我国在这个领域处于比较先进的地位。我国正在积极推进数字电视的应用。目前上海、北京等城市已经开始试播数字电视。国家广播电影电视总局已经明确表示：2009年部分地区实现高清晰数字电视信号播放；到 2010 年全国基本实现数字电视信号播放；到 2015 年全国停止模拟电视信号的播放。

图 5.3-4 模拟电视机加一个机顶盒就能接收数字信号



移动电话 如果在外出途中需要打电话，可以使用移动电话（俗称手机）。移动电话不需要电话线，比固定电话更便捷。移动电话怎样工作呢？

原来，每一部移动电话既是无线电发射台，又是接收台，称为移动台（MS）。但是，移动台之间不能直接通话。它跟其他用户的通话要依靠较大的固定无线电台转接，这种固定的电台称为基站（BS），城市中高大建筑物上常常可以看到移动通信基站的天线（图 5.3-5）。基站发射功率一般为 5~10 W。每个基站的服务范围约为 2~10 km，称为小区。由若干个相邻的小区组成一个大区（城市），而各个小区组成了蜂房样的图案（图 5.3-6），所以这样的移动通信方式称为蜂房式移动通信。

我国目前采用的是数字蜂房移动电话系统。该系统由移动台（MS）、基站（BS）、移动业务交换中心（MSC）及与市话网（PSTN）相连的中继线等组成，如图 5.3-7 所示。通话过程中，移动台与附近的基站建立联系，再由基站与移动业务交换中心连接。移动业务交换中心的主要功能是信息的交换和整个系统的集中控制管理。通过基站、移动业务交换中心和中继线转接传输信号，就可以实现任意两个移动用户之间的通信联系，从而构成一个自成体系的移动电话网。移动业务交换中心再经过中继线与市话局连接，就能实现移动用户与市话用户之间的通话，从而构成一个有线与无线相结合的复杂的通信网。

如果正在通话的移动台从一个小区进入另一个小区，移动业务交换中心会自动将信号切换到另一个小区，以保持通话的连续性。

图 5.3-5 移动通信基站天线



图 5.3-6 蜂房样的图案

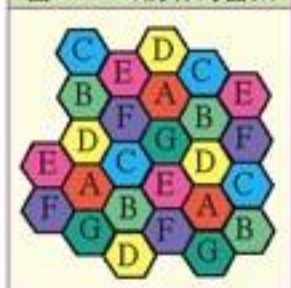
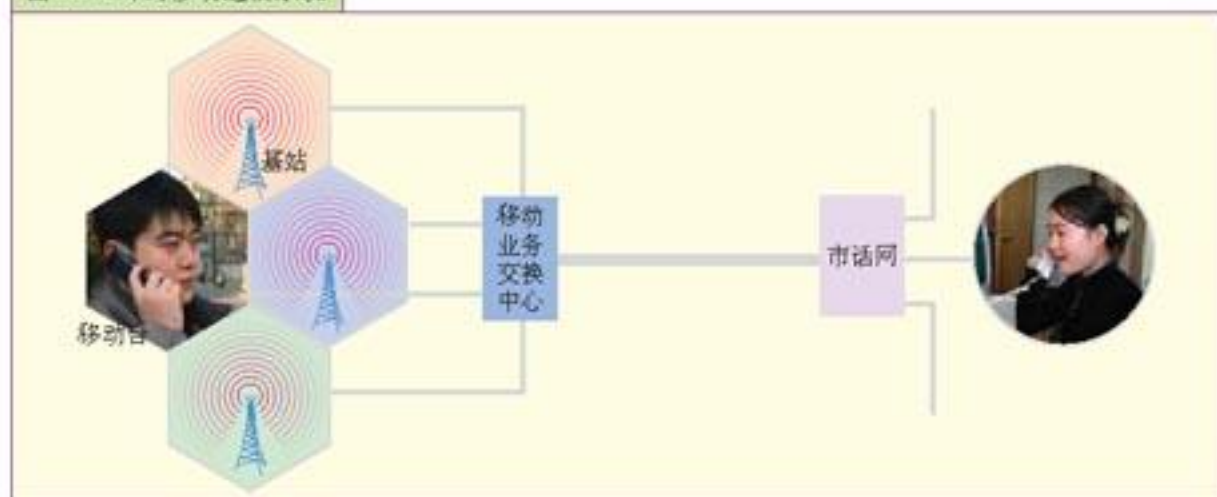


图 5.3-7 蜂窝移动通信系统



STS

手机与文明

在我们享受手机带来的方便与乐趣时，它也在给我们带来新的问题。

首先，手机噪音已成为城市新公害。在安静的图书馆里，在高雅的音乐会上，在严肃的会议中，在挤满乘客的公交车里，突然响起“叮叮咚咚”的手机铃声和对话声，听起来格外刺耳，使人感到很不舒服。

还有，使用手机不分场合。有许多人不知道飞机、医院和加油站都是手机的“禁区”。因为飞机、医院的电子医疗设备、加油站的加油机都是采用电脑控制的。手机工作时发射的无线电波可能对设备造成影响。

至于利用手机考试作弊，传播不良短信等更是屡见不鲜，手机泄密也不是危言耸听。

……

手机使用中的不文明现象，暴露了一些人对公共秩序的淡漠和对他人的不尊重。另外，对于安全的忽视，也是一些人经常违反规定使用手机的原因之一。

许多学校、图书馆、剧院和餐馆等公共场所都有关掉手机的标志。日本东京的电车车厢内就有劝阻乘客不要使用手机的告示：“请勿使用手机，以免骚扰旁人”。神户从2004年起，将在每列电车上单设一节车厢为静音车厢。这种车厢里不仅不能使用手机，而且不能大声讲话。瑞士铁路当局应社会各界的强烈要求，终于就电气列车使用移动电话做出限制：除增加禁烟车厢外，又增设禁止打电话的车厢，在车厢里，任何人不准使用移动电话。在我国，在一些教室里，也有“请关手机”的提示，不少人在公交车里改用耳机接听。

对于手机使用中的不文明现象，除了制度规范，还要靠社会公德和舆论监督来制约，这就像随地吐痰等行为一样，应当受到人们的谴责。

图 5.3-8 加油站禁止打手机



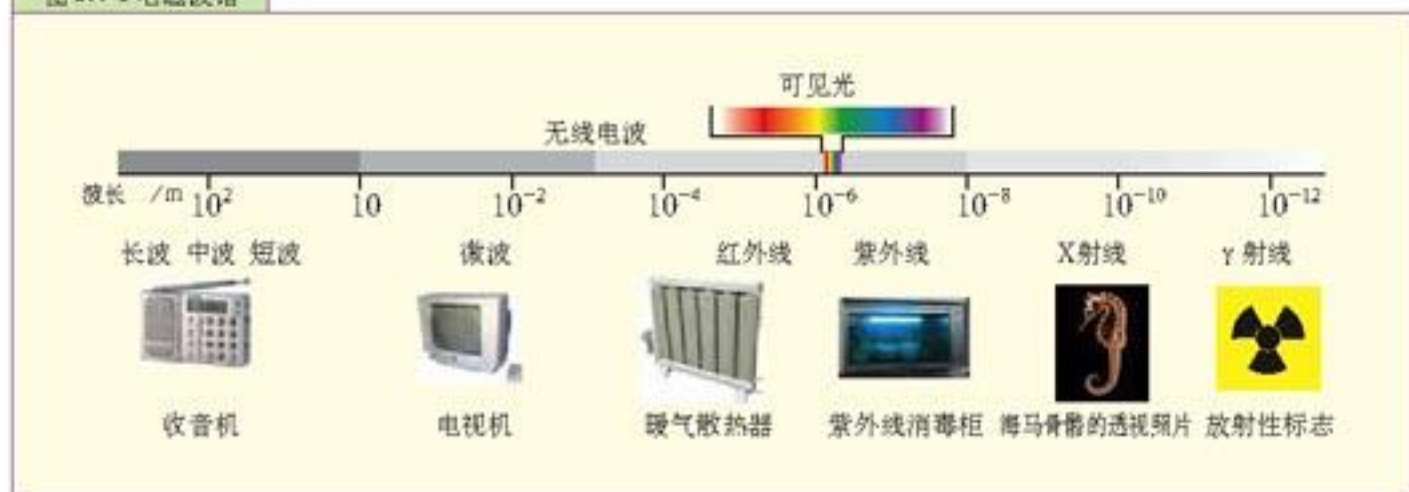
问题与练习

1. 请你查找资料，了解移动电话的常用功能和术语，如呼叫转移、自动应答等。
2. 查找资料，看看移动电话使用者打长途电话是怎样的一个过程。两个异地注册用户A和B在异地打长途电话与在同一城市打电话有何不同？A、B在同一城市打电话，为什么还要收漫游费？

第 4 节 电磁波谱

我们知道，电磁波是变化的电磁场在空间的传播，它在真空中的传播速度等于光速。光也是电磁波。其实电磁波是一个很大的家族，像红外线、紫外线等都属于电磁波。频率低的电磁波，波长比较长；频率高的电磁波，波长比较短。不同频率(波长)的电磁波组成了连续的电磁波谱 (**electromagnetic wave spectrum**)。电磁波谱的频率(或相应的波长)范围很广，目前已经探测到的电磁波，频率约为 $1 \sim 10^{24}$ Hz，波长约为 $10^8 \sim 10^{-16}$ m。

图 5.4-1 电磁波谱



不同频段的电磁波，一般出自不同的辐射源，具有不同的物理特性，用途也不相同。

无线电波 无线电波的范围从几千米到几毫米，是一个比较宽的波段。广播、电视、通信、雷达和微波炉等都使用无线电波来工作。

大家谈

请你查找资料，看看广播、电视、移动电话、雷达和微波炉各在什么频率(波长)范围内工作。

红外线 红外线波长约从 1 mm 到 700 nm。一切物体都能辐射不可见的红外线，物体的温度越高，它辐射的红外线越强，波长较短的辐射也越多。利用红外线热效应的技术有红外遥感、红外成像、红外测温和红外线夜视(图 5.4-2)等。电视机等家用电器的遥控器也是通过红外线脉冲信号来实现遥控的。红外线灯能进行理疗和加热。

图 5.4-2 红外夜视仪



人体的体温升高时,尽管看起来外表跟原来一样,但它辐射的红外线的强度和频谱发生变化,因此可以用红外线温度计测量体温(图5.4-3)。红外感应装置还广泛用于洗手间的自动冲洗、烘干以及自动门的开关等。

图 5.4-3 红外测温



可见光 在电磁波谱中,能使人的眼睛产生视觉效应的只是范围很窄的波段,称为可见光。可见光波长范围约从 700 nm 到 400 nm^①。从红光到紫光,它们的波长从长到短。不同波长的单色光组合也能产生不同的颜色。人类的眼正是通过这一波段的电磁波,获得外部世界的大量信息。这一波段的电磁波能使感光胶片产生化学反应,可以使植物进行光合作用。

紫外线 紫外线的波长约从 400 nm 到 5 nm,紫外线的波长比可见光短。紫外线有荧光作用,荧光物质受紫外线照射时能发出可见光。日光灯管壁上和大额纸币上都涂有荧光物质。紫外线能促使人体合成维生素D,有助于钙的吸收。紫外线能杀灭多种细菌,医院、饭店等常用紫外线来消毒(图 5.4-4)。

图 5.4-4 紫外线消毒柜



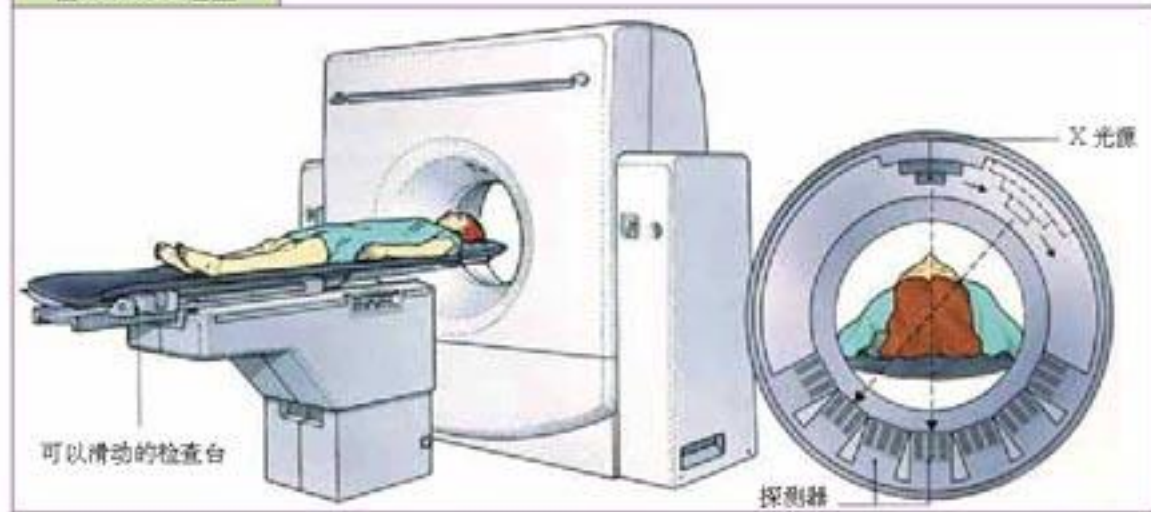
X 射线 X射线的波长约从 5 nm 到 0.01 nm。X射线具有较强的穿透能力,它能穿透除骨骼和牙齿以外的人体组织,医院里常用X射线拍照。过量的X射线对人体有伤害,铅对X射线能起防护作用。

图 5.4-5 医院拍摄 X 光片



医院里常用的CT(即X射线计算机辅助断层摄影)检查,也是利用X射线来成像的(图5.4-6)。做CT检查时,病人躺在CT机的床上,X射线管发出X射线,穿过人体后被探测器接收,产生的数据存储在计算机中。使X射线管绕人体旋转,X射线就从不同方向照射人体,这叫做扫描。扫描时探测器收到一系列信号,产生的数据经计算机按一

图 5.4-6 CT 检查



^①不同人所能感受的光的波长范围有差异,因此各种资料所载的可见光波长范围不完全一致。

定程序进行运算，形成数字图像，由显示器显示出CT图像，也可以将CT图像印在胶片上。

γ射线 γ射线是某些放射性物质发出的波长极短的电磁波，它的波长约从0.01nm到 10^{-4} nm。γ射线具有很高的能量和穿透能力，能检查出金属内部的伤痕。过量γ射线对细胞有伤害，医疗上利用γ射线来杀死癌细胞。γ射线还用于杀灭食品中的微生物，使食品长时间保质(图5.4-7)。

图5.4-7 保存7天后的草莓



经过γ射线照射

未经过γ射线照射



微波炉

日常生活中，我们常用微波炉来加热食品。一般灶具加热食品时通过加热锅底来使热量从食物表面传递到内部，而微波炉利用电磁波(微波)来加热食品，加热过程在食品内部和外部同时进行，使用微波炉加热食品既卫生，效率又高。

微波炉的外形和结构如图5.4-8所示，它主要由磁控管、微波加热室、炉门、变压器、控制系统等几部分组成。磁控管中有微波发生器，它产生的微波由矩形的波导管传输到加热室。加热室内壁由金属材料制成，微波遇到这些金属会反射，而遇到炉内的食品时，会被食物中的水分子吸收，使水分子高速振动，水分子的高速振动和与邻近分子间的相互作用，把电磁能转化为内能，使食物在很短时间内加热。

微波属于高频电磁波，为避免微波炉对雷达、微波通信等造成干扰，通常规定几个专用频率用来加热，例如，我国工业用微波炉的工作频率为915 MHz家用微波炉的工作频率为2 450 MHz

图5.4-8 微波炉



微波在传输过程中遇到不同物质时，就会产生反射、吸收或穿透现象。铜、铁、铝等金属易反射微波；空气、陶瓷、玻璃等材料能透过微波；含有水、脂肪和糖的食物则容易吸收微波能并将其转化为内能。

大家做

微波炉的实验与研究

1. 将一只已煮熟的凉粽子放入微波炉中加热，将另一只大小、冷热程度都相同的同类粽子放入盛水的铝锅中用相同功率的电炉加热，加热时间均为2分钟，然后打开观察加热后的温度，从节能角度来看用_____加热方式效果较好，这是因为_____。

2. 将一只废旧的环形日光灯管或短小的灯管(灯丝断裂也无妨)直接放在微波炉内的转盘上，关闭炉门后启动微波炉数秒钟(时间不宜过长)，这时可通过微波炉的玻璃炉门观察到日光灯发光(图5.4-9)如果转盘上的灯管在有些位置较亮，有些位置较暗，这可能是微波炉内_____强度不均匀所造成的，工业生产过程中经常用这种方法检查微波炉是否合格。

微波激发荧光粉发光的现象已引起许多科学家的重视，随着超小型晶体微波发生管的开发成功，将微波发生管直接置于日光灯的内部，由它来激发日光灯发光，这已成为可能，这种无灯丝、长寿命、高效率日光灯，称为无极灯，它可能引起电光源的革命性变化。

图5.4-9 微波点亮灯管



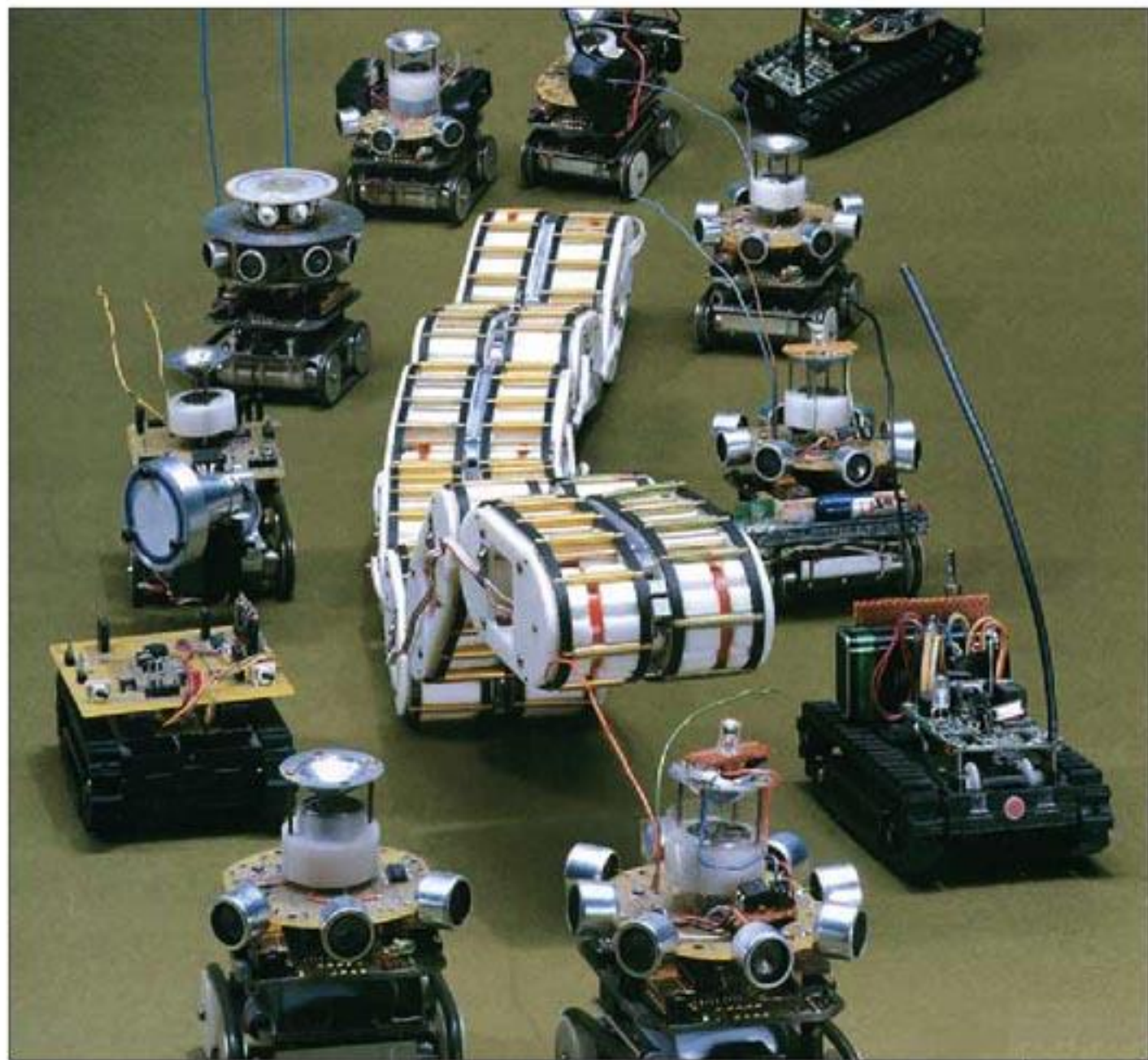
问题与练习

1. 除可见光外，红外线、紫外线、X射线、 γ 射线、无线电波都是电磁波大家族中的一员。请把以上这些看不见的电磁波，每种选一个跟你关系最密切、或者令你印象最深刻的实例。按照波长由长至短的顺序，列举出来。

2. 请设法了解一个“远红外”烤箱的红外线波长，对照课本上的电磁波谱的数据，解释为什么要用一个“远”字。

第 6 章

集成电路 传感器



袖珍机器人

电子计算机的发展和应用是科学技术大变革的重要标志之一，它强烈地冲击着人类社会的各个领域和人类生活的各个方面，被人们誉为高技术发展的基础和社会信息化的动力。计算机技术的飞速发展、迅速普及和广泛应用，使其成为当代社会不可缺少的工具。计算机正在推动着社会进步，改变着人类的工作、生产和生活方式。本章就来学习一些与计算机有关的知识。

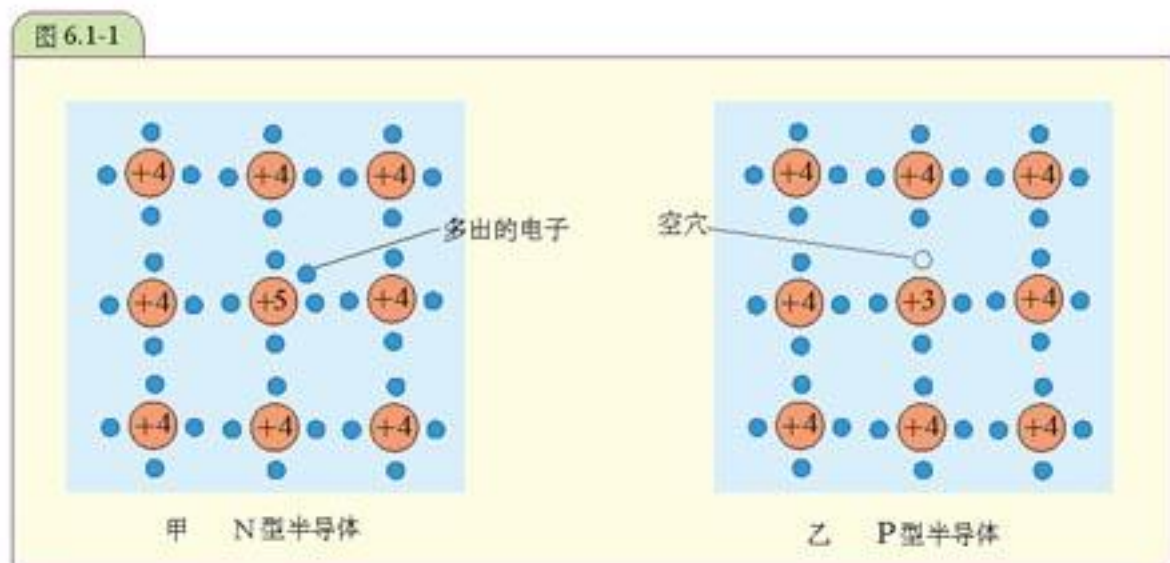
第 1 节 晶体管

计算机技术能如此迅速地发展，离不开一项支柱技术，这就是微电子技术。微电子技术指的是微小型电子元器件和电路的研制、生产和应用的技术。这个领域中最活跃的就是集成电路技术，而集成电路的诞生首先要归功于晶体管的发明。

半导体 在初中我们就已经知道，自然界里有导体和绝缘体，导体导电性能好，绝缘体导电性能差。还有导电性介于导体和绝缘体之间的半导体（**semiconductor**）。常用的半导体有硅、锗、砷化镓等。半导体的导电性能可以由外界条件控制，并能改变。例如，使半导体受热或光照，或者在半导体中加入其他微量杂质，就会使半导体的导电能力成百万倍地变大。

半导体具有导电粒子，这些导电粒子叫做载流子，根据导电类型的不同，载流子有电子和空穴两种。

在4价的纯净硅中掺入微量的5价元素磷，在磷原子与硅原子组成共价键时就多出一个电子，这个电子很容易成为自由电子。这种半导体的载流子以电子为主，叫做**N型半导体**（图6.1-1甲）。如果在4价的纯净硅中掺入微量的3价元素硼（或镓、铟等），在硼原子与硅原子组成共价键时就缺少一个电子，形成一个空穴，附近的电子很容易移动过来填补这个空穴，又形成一个新的空穴。移补空穴的运动，如同一个带正电的粒子在移动。这种半导体的载流子以空穴为主，叫做**P型半导体**（图6.1-1乙）。



二极管 单纯的P型或N型半导体只能作为电阻来使用。如果把它们紧密结合在一起，在P型和N型半导体的结合部就会形成一个十分特殊的区域——PN结。PN结是构成晶体二极管和三极管的基础。

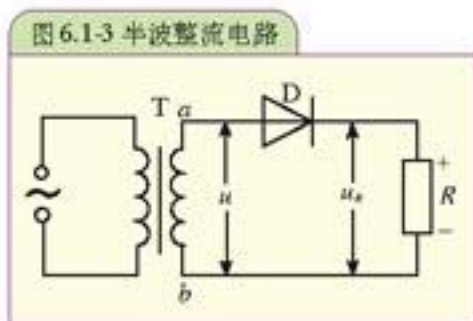
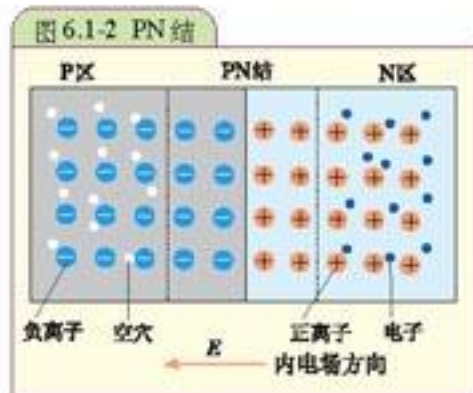
在P型和N型半导体的交界处，由于两种载流子之间的浓度差，P区的空穴要向N区扩散，N区的电子要向P区扩散，也就是电子和空穴都要从浓度大的区域向浓度小的区域扩散。这种载流子的扩散运动，使交界处P区附近由于失去空穴而带负电，N区附近由于失去电子而带正

电。这样交界区因带电而形成了内电场，电场方向由N区指向P区（图6.1-2），我们把这个特殊的区域叫做PN结（PN junction）。

如果在PN结的两侧分别焊接两根引出线，再罩上管壳，就构成了一个二极管（diode）。跟P区相连的引线是二极管的正极，跟N区相连的引线是二极管的负极。

整流 电网供给的是交变电流，但在生产和生活中很多地方要用直流。例如，电解、电镀、蓄电池充电、直流电动机等都要用直流电，这就需把交流变成直流。把交流变成直流的过程叫做整流（rectification）。在第一章已经知道，晶体二极管具有单向导电性，只许电流单方向通过，可以用来整流。

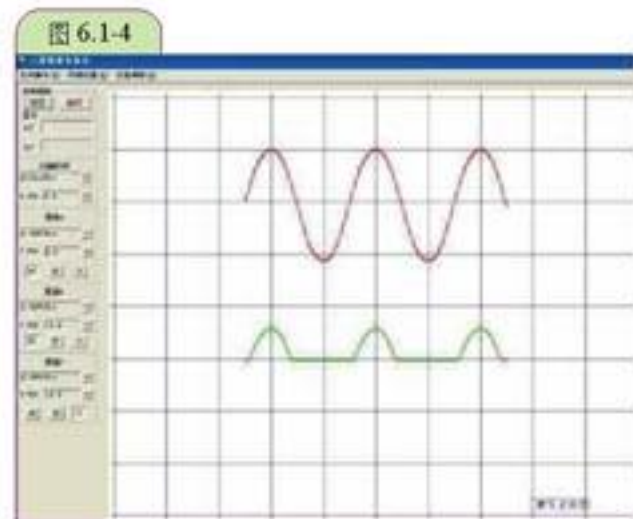
图6.1-3是最简单的整流电路。T是电源变压器，D是二极管，R是用电器的电阻，也叫负载电阻或负载。



演 示

整流前后的电压波形

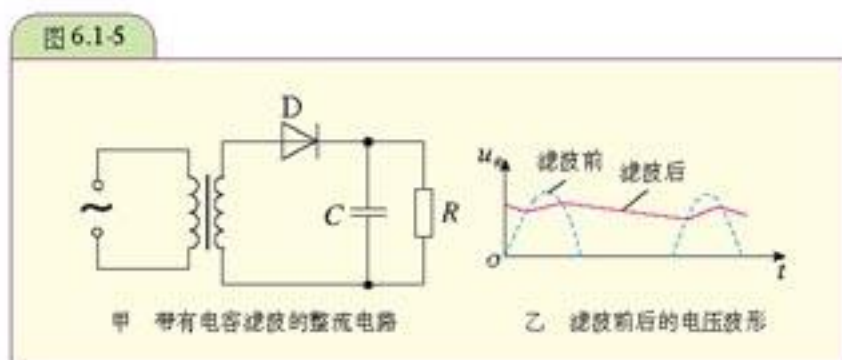
利用电压传感器，在计算机的荧光屏上可以观察到a、b两点间的电压的波形（上）和负载R上电压的波形（下）。



变压器的副线圈输出的电压随时间变化的图像（又称波形）如图6.1-4中上部曲线所示。当变压器输出的交变电压处于正半周时，a正b负，二极管因加正向电压而导通，电流方向由a经D、R到b。二极管导通时正向电阻很小，这时负载电阻上的电压波形与变压器输出的电压波形相同；当变压器输出的交流电压处于负半周时，a负b正，二极管因加反向电压而截止，电路中的电流几乎为0，负载电阻上的电压为0。

图6.1-4下部曲线是负载电阻两端的电压波形，整流后负载电阻获得的是强度随时间变化的直流，也叫脉动直流。脉动直流可以看做由大小和方向都不随时间变化的直流成分与大小和方向都随时间变化的交流成分组成的。脉动直流含有交流成分，往往不能适应实际需要，例如用来做收音机的电源，收音机就会发出嗡嗡的交流声。为了使脉动直流电变得比较平稳，需要把其中的交流成分滤掉，这叫做滤波（filtering）。电容器具有通交流、隔直流的作用，可以用

做滤波元件。图 6.1-5 甲是带有电容滤波的整流电路，电容器 C 与负载电阻 R 并联，脉动电流的交流成分大部分通过电容器而滤掉，直流成分和一小部分交流成分通过负载电阻。因此，负载电阻的电压和电流就平稳多了。电容器的电容越大，负载电阻的电压和电流就越平稳。同样，利用电压传感器，在计算机的显示器荧光屏上可以观察到滤波前后的电压波形。图 6.1-5 乙的实线是经过电容滤波的电压波形。



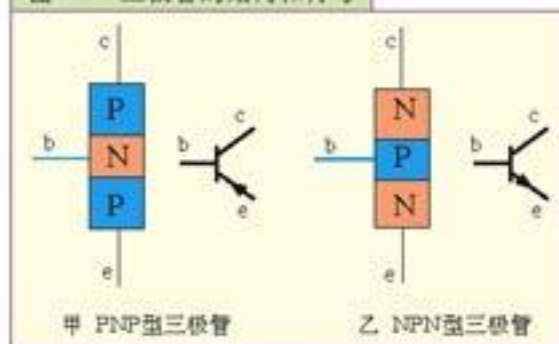
晶体三极管 人们用 PN 结制成晶体二极管后，又研制成功晶体三极管，使 PN 结的应用有了一个质的飞跃。

如果在同一块半导体中，通过不同的掺杂方法制出两个 PN 结（图 6.1-6），就构成了晶体三极管（transistor），或者叫三极管。根据 PN 结组合方式的不同，三极管分为两类。如图 6.1-7 甲所示，半导体材料两边是 P 型半导体，中间是 N 型半导体，这种三极管叫做 PNP 型三极管；如图 6.1-7 乙所示，半导体材料两边是 N 型半导体，中间是 P 型半导体，这种三极管叫做 NPN 型三极管。



三极管内部有三个区，分别为发射区、基区和集电区，相应引出三个极，分别叫做发射极 e 、基极 b 和集电极 c 。图 6.1-7 三极管符号中发射极的箭头方向表示发射极的电流流向。我们可以看到，两种类型的三极管发射极的箭头方向不同，PNP 型的箭头向里，NPN 型的箭头向外。

图 6.1-7 三极管的结构和符号

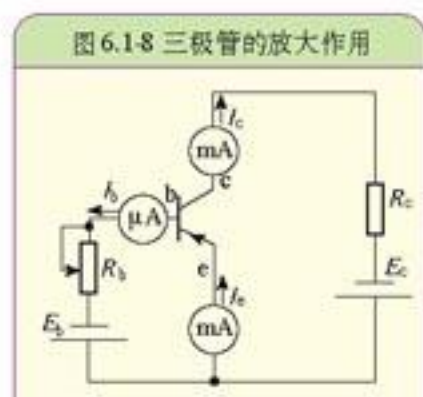


发射区和集电区是同一类型的半导体，但它们并不完全相同。发射区的杂质浓度较大，跟基区的接触面积较小。集电区的杂质浓度较小，跟基区的接触面积较大。基区很薄，杂质浓度更小。由于在结构上有这些特点，三极管并不等于两个二极管的简单组合，而有许多新的性质。

三极管的放大作用 PNP 型和 NPN 型三极管的工作原理是相同的，我们以 PNP 型为例来研究它的放大作用。

演 示

把一个PNP型三极管按照图6.1-8那样连接在电路中，从串联在电路中的毫安表和微安表可以读出通过各极的电流。当改变电阻 R_b 的阻值时，基极电流 I_b 就改变，同时集电极电流 I_c 和发射极电流 I_e 也随着改变。



实验表明，基极电流发生很小的变化，会引起集电极电流的较大变化。这就是三极管的放大作用。在实际使用三极管时，利用它的放大作用，从基极输入一个较小的交流，在集电极就会获得较大的交流。例如，将收音机检波后得到的微弱的音频信号加在三极管的基极和发射极之间，在集电极和发射极之间就会得到较强的音频信号。

集电极电流变化量 ΔI_c 与基极电流变化量 ΔI_b 的比值叫做三极管的电流放大系数 β ，用公式表示就是

$$\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}$$

三极管的开关作用 集电极电流 I_c 是受基极电流 I_b 控制的，但是，如果我们一味地增加基极电流 I_b ，使其达到一定值以后，集电极电流 I_c 的增加就会变慢，以致最后不受基极电流 I_b 的影响， I_b 再大， I_c 也不再增加，这种状态叫做“饱和状态”。

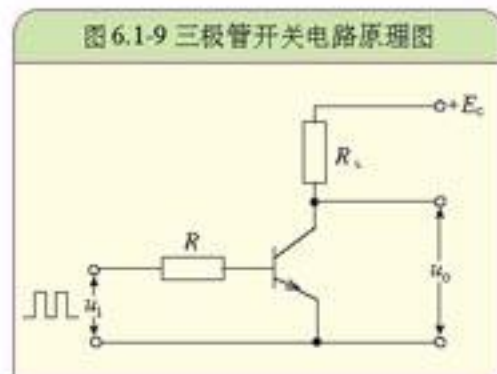
当发射结电压为0或加上反向电压时，电流 I_b 和 I_c 近似为0，三极管的这种工作状态，称为“截止状态”。三极管处于饱和状态或截止状态就没有放大作用了，因此使用三极管放大时，一定要避开它的饱和状态和截止状态。

但是，在数字电路中，三极管不是工作在放大状态，而是工作在开关状态，即饱和状态和截止状态。三极管作为开关元件被广泛使用在各种数字系统、计算机，以及自动控制等领域中。

图6.1-9就是典型的晶体管开关电路原理图。图中 R_L 代表输出端的负载电阻， E_c 是电源电压，控制信号由基极输入，它一般是矩形脉冲信号，也称方波信号。

当没有脉冲输入时， u_i 等于0，基极没有输入电流 I_b ，集电极电流 I_c 很小，近似为0，三极管工作在截止状态，相当于一个断开的开关。此时 R_L 中没有电流流过，输出电压等于电源电压 E_c 。

当输入方波到来时，发射结因加正向电压而导通，由于输入信号幅度大， I_b 和 I_c 也就很大， R_L 上压降 $I_c R_L \approx E_c$ ，三极管集电极和发射极之间的电压接近于0，三极管处于饱和状态。此时三极管集电极和发射极间的电压降接近0，三极管相当于一个导通的开关，输出电压等于0。



从上面的分析可知，晶体三极管的开关作用是通过基极的控制信号，使晶体管在饱和状态（导通）与截止状态（断开）之间往复转换来实现的。

问题与练习

1. 利用晶体二极管的_____可以进行整流；晶体三极管具有把电信号_____的作用，以及_____作用。

2. 简易收音机的电路如图6.1-10所示，表6-1中列出了所用元件的参数。准备好元件，按照电路图将电路连接好，收音机就做成了。旋动可变电容进行选台，当电容调整到某个合适位置，就可以收听到电台的广播了。请你动手试一试。

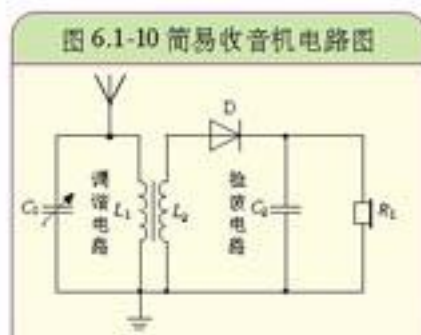


表 6-1 简易收音机基本元件及参数表(供参考)

序号	名称	规格型号	数量
1	可变电容器 C_1	60/190 pF	1
2	磁性天线（自制）	长度 70 mm 左右扁平磁棒， L_1 用漆包线绕 90 圈， L_2 用漆包线绕 10 圈。	1
3	二极管 D	2AP 系列	1
4	电容 C_2	0.047 μ F	1
5	耳机 R_L	800 Ω	1

3. 参照图6.1-11，按元件参数准备好材料并连接好电路，一个三极管放大器就制作完成了。为了检验电路的功效，可以将前边制作的简易收音机作为信号源，连接到放大电路的信号输入端，在信号的输出端接好耳机或小喇叭。试一试，看看收听效果如何！

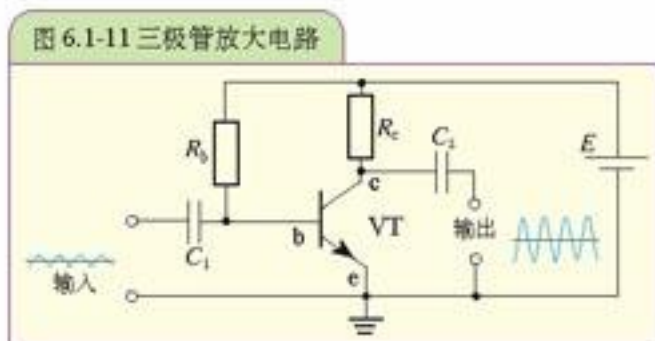


表 6-2 三极管放大电路基本元件及参数表(供参考)

序号	名称	规格型号	数量
1	电容 C_1	10 μ F	1
2	电容 C_2	10 μ F	1
3	电阻 R_b	470 k Ω	1
4	电阻 R_c	1.8 k Ω	1
5	三极管 VT	9014	1
6	电源 E	1号电池	2

第 2 节 集成电路

打开电脑的机箱，主机板上有各种各样的集成电路块，包括 CPU、存储器、各种接口电路等，这些都是已经封装好了的集成电路。如果打开它们的封盖，可以看到在管壳内有一块小小的硅片，称为芯片(图 6.2-1)。

从晶体管到集成电路 前面我们学习了晶体二极管、三极管以及电阻、电容、电感等，这些都是电子电路中常用的元件。这些分立的元件，总要以各种方式组装成一定的电路才能工作。对于稍微复杂一些的电路，总要经过调试才能使用，而调试工作复杂而且费时，降低了工作效率。1958 年，得克萨斯仪器公司的杰克·基尔比 (Jack Kilby) 成功地研制出世界上第一块集成电路，从根本上解决了大量使用单个元件带来的麻烦。集成电路的发明和应用使电子设备的体积、重量大大减小，可靠性提高，成本降低。电子技术迈入了微电子技术的新时代。

图 6.2-1 集成电路



集成电路 (integrated circuits)，符号为 IC，它是以半导体材料为基片，将晶体管、电阻、电容器等和连线集成在同一基片上，成为具有一定功能的微型化电路。从宏观上看，已经分不清集成电路中哪些部分是元件，哪些部分是连线，它们已成为一个统一体。与集成电路相对应的是分立元件电路，其中的元件都是独立的，需要通过导线相互连接而组成完整的电路。

模拟集成电路和数字集成电路 集成电路按功能及用途可以分为模拟集成电路和数字集成电路两大类。

模拟集成电路处理的是模拟信号。常见的模拟集成电路有运算放大器、音响集成电路、稳压集成电路等。

数字集成电路处理的是数字信号。电子钟、数字万用表等都是由数字电路组成的。数字信号通常用电路中脉冲的有无或电平的高低表示 0 和 1 这两种对立的状态。数字电路是由开关电路组成的。

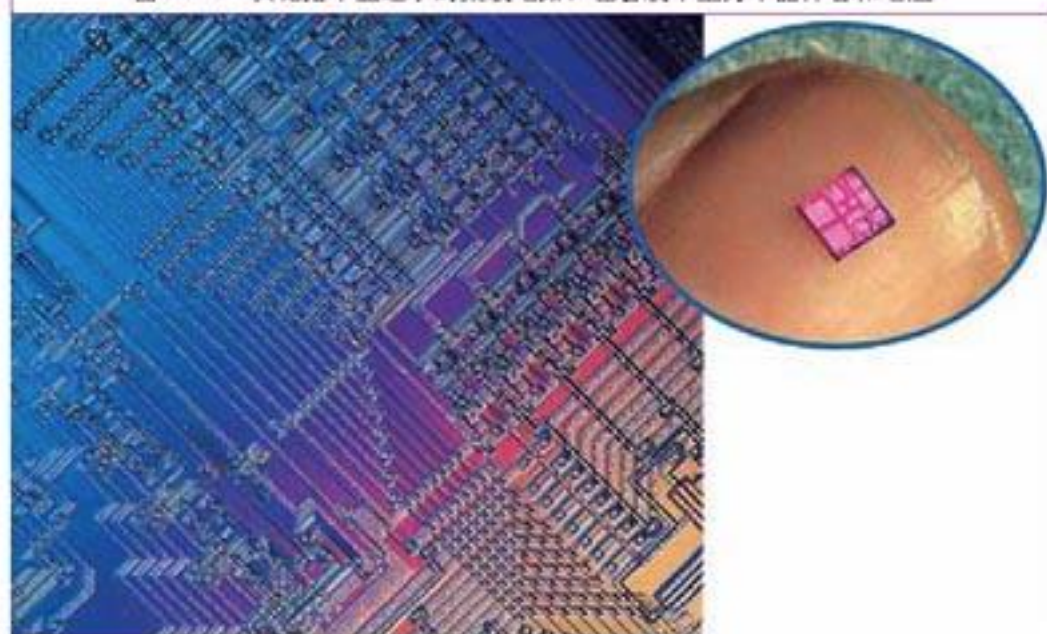
还有一些集成电路内含模拟和数字两种电路，构成专用集成电路，如调速、音乐、遥控等专门用途的集成电路。

集成电路的优点 集成电路与分立元件电路相比，不仅体积小了几个数量级、重量轻了几个数量级，而且具有分立元件电路无可比拟的其他优点。

1. 体积小,重量轻

现代微电子技术可以在手指甲大小、不到 1 克的半导体硅片上，制造出 20 亿~30 亿个晶体管。由超大规模集成电路制成的超轻、超薄笔记本电脑，质量只有 1 千克左右，厚度不到 4 厘米。而世界上第一台电子管式电子计算机，仅用 1.8 万多只电子管，就占地 170 平方米，重 30 余吨，由此可见集成电路体积小、重量轻的特点。

图 6.2-2 一块比指甲盖还小的集成电路，包含成千上万个晶体管和电阻



2. 可靠性高,运算速度快

分立元件电路不仅元件用量大,还需要进行电路焊接和使用大量插接件,难免出现故障。况且像电子管一类器件寿命短,制成的电子计算机平均故障间隔时间短,仅有几小时。集成电路将成千上万个元件集成在同一个硅片上,外围电路焊点和接点大为减少,可靠性大大提高,平均故障间隔时间可达上万小时。由于集成电路具有内部集成度高、接线短等特点,因而运算速度很快,每秒可达几十亿次。而世界上第一台电子管式电子计算机,运算速度只有每秒 5 000 次。

3. 耗电少,寿命长

世界上第一台电子管式电子计算机耗电 200 kW,而笔记本电脑的耗电仅为前者的万分之一,况且这些功率大部分消耗在显示设备上,而集成电路本身功耗是很小的。此外,电子管一类器件的灯丝,经过几百小时就会衰老,发射电子的能力大大降低。集成电路从理论来说,不存在衰老问题,因此寿命很长。

4. 成本低,便于大批量生产

制造电子管器件或分立的半导体器件需要大量的原材料,只能一个一个地进行制造和安装,而集成电路一次制造成千上万个晶体管等元件,成本大大降低。随着微电子技术的发展,集成度越高,成本下降得也就越快。

集成电路的应用 随着微电子技术的发展,集成电路已经广泛应用于国民经济的各个领域以及人们日常的工作和生活中。例如,卫星、导弹的控制系统,汽车、船舶的电子装置,人们看的电视、打的手机、听的音响,其核心部件无一不采用集成电路。微电子技术已经成为所有现代技术的基础之一。

微电子技术和广泛应用,标志着国家现代化水平和人民生活质量的提高。以电视机为例,集成电路替代了电视机中的大多数分立元件电路,使电视机变得结构简洁、性能稳定、价格低廉、维修方便。另外,由于采用了微电子技术的数字调谐技术,电视机的可选频道多达 100 个以上。同时,电视机的图像和声音的质量大大提高。

微电子技术对于推动经济增长也产生了重大的影响。随着微电子技术的发展，微电子产品的功能越来越强大，价格越来越低，计算机、手机已经走入千家万户。各种功能广泛、质量可靠、体积小、重量轻的微电子产品，越来越受消费者的青睐。电子技术进入了各式各样的普及型产品之中，如，数码照相机、数码录音笔、电子玩具、游戏机以及其他家电产品等。就连汽车这种传统的机械产品也渗透了微电子技术。采用微电子技术的发动机综合控制系统、显示综合控制系统、汽车安全防盗系统、全球定位系统等已得到广泛的应用。虽然多年来汽车的外形变化不大，但汽车性能却大大提高。

图 6.2-3 琳琅满目的电子产品



集成电路的发展 在集成电路发明后 40 多年的时间里，集成度迅速提高。所谓集成度就是指在一定尺寸的芯片上所集成的晶体管个数的多少。一般将集成 100 个晶体管以下的集成电路称为小规模集成电路；集成 100~1 000 个晶体管的集成电路称为中规模集成电路；集成 1 000~10 万个晶体管的集成电路称为大规模集成电路；集成 10 万~1 000 万个晶体管的集成电路称为超大规模集成电路。

集成电路发展的初期仅能在一个芯片上制造十几个到几十个晶体管，电路的功能是很有限的。到 20 世纪 60 年代中期，集成度提高到几百个甚至上千个元器件。70 年代是集成电路飞速发展的时期，出现了集成 20 多万个元器件的芯片。

大规模集成电路不仅仅是元器件集成数量的增加，集成的对象也发生了根本的变化，它可以是一个复杂的功能部件，也可以是一台整机，即单片计算机。

20 世纪 80 年代是超大规模集成电路的时代，芯片上元件的集成数量已经突破了 100 万大关。1993 年出现了集成 5.6 亿个晶体管的芯片。这样多的元器件集成在一小块硅片上，元器件所占的线度及元器件间的连线细到 $0.25\mu\text{m}$ 。当然，集成度的提高、特征尺寸的缩小并不意味着较小规模的集成电路不再需要了，相反地，在现实生活中是多代并存，各自以最高的收益投入比占领不同的应用领域。

21 世纪的社会是信息化的社会，对电脑的需求将继续推动集成电路的发展。与因特网相结合的、可移动的、网络化的、智能化的、多媒体的实时信息设备将是主要的驱动力。集成电路将会根据设备和系统性能的要求不断进行技术和产品的升级。

微电子技术发展的另一个重要趋势是通过与其他科学技术的结合，诞生出一系列崭新的科学领域和重要的经济增长点。作为与微电子技术结合的成功典型，已有微电子机械系统、微光电机械系统以及生物芯片等。



IC 卡

IC 卡是由法国人罗兰德·穆瑞拉 (Roland Moreno) 发明的，他第一次将可编程设置的 IC 芯片放在卡片中，使卡片具有更多功能。“IC 卡”和“磁卡”都是从技术角度起的名字，不要将其和

图 6.2-4 各种各样的 IC 卡



“信用卡”“电话卡”等从应用角度起的名字相混淆。

IC卡的“卡基”是一块塑料片，通常还印有各种图案、文字和号码。在卡基的一定位置上嵌装IC芯片，就成为我们通常所说的IC卡。嵌装不同的芯片，就产生了各种类型的IC卡。

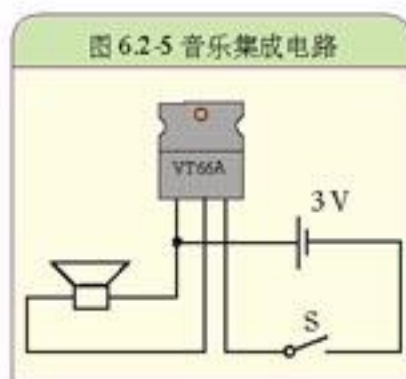
IC卡的概念是70年代初提出来的，法国布尔(BULL)公司于1976年首先创造出IC卡产品，并将这项技术应用到金融、交通、医疗、身份证明等多个行业。它将微电子技术和计算机技术结合在一起，提高了人们生活和工作的现代化程度。

IC卡具有存储数据的能力，它一出现就以其超小的体积、先进的集成电路技术以及可靠的保密措施受到普遍欢迎。

问题与练习

1. 集成电路相对分立元件电路来说，有哪些优点？
2. 请你关注一下：在你的生活中，哪些地方用到了集成电路？把你了解的情况列举出来。

3. 音乐集成电路是一种大规模集成电路，使用时通过简单的外接电路即可获得简单的乐曲、语音或各种音响，可以用来制作音乐门铃、音乐贺年卡、音乐报时钟等。音乐集成电路一般采用软封装，也有的做成了三极管一样的外形。按图6.2-5连接电路，闭合开关看看能否发出声音。



第 3 节 电子计算机

电子计算机的运算速度快，记忆能力强，有逻辑判断能力和自动工作能力，其应用早已超出了数字计算的范围，广泛用于控制、管理、办公和生活等各方面。由于电子计算机具有人脑的某些思维能力，能代替人脑的部分工作，因此有了“电脑”的美称。

微型计算机的发展 按规模和功能的不同，电子计算机有小型机、中型机、大型机、巨型机、微型机和单片机几大类。

这里特别要提出的是微型计算机(微电脑)，它是在大规模集成电路和外部设备小型化的环境中诞生的。微型计算机与小型、中型计算机在计算机结构和程序设计方面变化并不大，但由于它体积小、功能全，而成为人们工作和生活中不可缺少的工具。图6.3-1是一台以微处理器为基础的微型计算机。由于微型计算机适合个人使用，

图 6.3-1 台式微型计算机



故又称个人计算机，即 PC (Personal Computer)。

随着大规模集成电路的迅速发展，微型计算机的核心部件微处理器得到了飞速的发展。美国 Intel 公司 1971 年产品 4004 微处理器字长为 4 位，一块芯片上集成了 1 200 个晶体管，运算速度每秒 10 万次；1993 年又推出了 80586，即“奔腾”(Pentium) 微处理器，字长 64 位，一块芯片上集成了 310 万个晶体管，运算速度为每秒 11 200 万次。配备了新型微处理器的微型计算机，其工作性能大大提高，已具有与过去的中、大型机相当的性能，而价格则要低得多。

实际应用的计算机是由计算机硬件系统、软件系统以及通信网络系统组成的一个整体系统。硬件与软件很好地结合，才能使计算机正常运行，发挥作用。

计算机硬件系统 计算机硬件系统是指构成计算机的所有实体部件的集合，是计算机系统的物质基础。通常这些部件由电子元件、电路、机械部件等组成，它们都是看得见摸得着的，故通常称为硬件 (hardware) 或硬设备。主机由运算器、控制器、存储器组成；外部设备由输入设备和输出设备组成；其中的核心部件是运算器(图 6.3-2)。

1. 输入设备

人通过眼睛(视觉)、耳朵(听觉)、鼻子(嗅觉)、手和皮肤(触觉)接受外界的各种信息，计算机也有相应的设备，称它为输入设备，它们将数据、程序、文字符号、图像、声音等输送到计算机中。

计算机必备的输入设备有：键盘、鼠标器。

键盘是计算机上最重要的输入设备，通过电缆与主机连接。用户可以使用键盘输入文字和各种数据，并用它来发布命令，让计算机完成各种操作。

鼠标器的外形是一个小盒子，通过电缆与主机连接，像一只拖着尾巴的老鼠，故由此得名。鼠标器在平面上移动，显示屏上的光标也跟着移动。鼠标器上设有左键和右键，以不同的方式按动不同的键，可以进行菜单或绘图工具的选择，十分方便。

现在，在许多公共场所，例如邮局、展览馆和信息亭，计算机都采用触摸屏(图 6.3-3)，它可以检测到手指位于计算机显示屏上的位置，从而方便地将确定的操作命令输入计算机中。

常用的输入设备还有传声器、扫描仪、数码相机、摄像机以及各种传感器等。

传声器相当人的耳朵，能把声音信息和操作命令输入计算机。

扫描仪、数码相机、摄像机相当人的眼睛，能把固定的或活动的图像信息输入计算机。

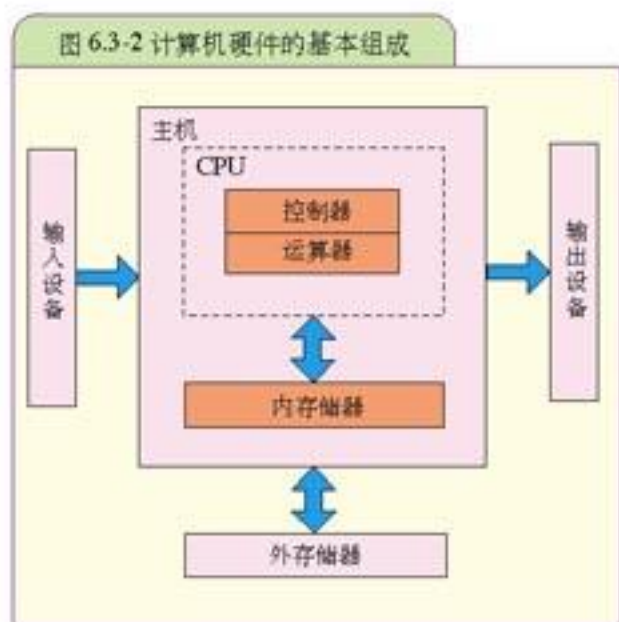


图 6.3-3 一位市民正在电脑上查询信息



传感器在功能上与人的感觉器官相似。人通过感觉器官将体外的物理状态传给大脑，计算机也可以通过传感器检测各种物理参数的变化。

2. 输出设备

人通过口说、笔写、各种动作和表情传达各种信息，而计算机通过其输出设备将计算机的运算结果或者中间结果显示或打印出来。

常用的输出设备有显示器、打印机、绘图仪等。

显示器也称显示屏，用来显示计算机的提示信息 and 程序的运行结果，是计算机向用户提供信息的重要手段。

显示器虽然也能输出计算机信息，但其得到的不是永久的记录，而且一帧屏幕容纳不了大量的数据。所以，在需要永久保存记录或观察大量数据的时候，都使用打印机。

常用的打印机有针式打印机、喷墨打印机（图6.3-4）和激光打印机等。

图 6.3-4 打印机



3. 存储器

人的大脑是靠脑记忆细胞记忆信息的。然而，大脑的记忆细胞是有限的，因此，人脑的记忆力也是有限的。人们在学习时，只记住那些必须记住的东西，而把一些一时用不着的信息记在书和笔记本中，各种书籍存储的信息几乎是没有什么限制的。

计算机的存储器也承担着存储信息的重要作用。

目前，计算机的内部存储器采用半导体器件来存储信息。

半导体存储器的存储容量较小，因此计算机中又配备了存储容量更大的磁盘存储器和光盘存储器，称为外存储器，简称外存。相对而言，半导体存储器称为内存储器，简称内存。

内存储器速度快，读写方便，但其容量较小，而且内存储器只有在通电时才能反映存储状态，断电后信息就会丢失，不能长期保存。外存储器是内存的后备，它的速度较低，但容量大。计算机工作时将一些常用的信息放在内存，计算的中间结果也存入内存，只有在内存中的信息不再使用，或者要将其转存到外存进行保护时，才与外存打交道。因此，可以说外存是内存的延伸和扩大，它的容量几乎是没有什么限制的。外存既是计算机主要的信息源地，又是被处理信息的归宿，计算机的各种软件，正是通过外存得以转移，甚至作为商品销售的。

常用的计算机的外部存储器有软磁盘存储器、硬磁盘存储器、光盘存储器以及闪存存储器。

软磁盘存储器由软盘片和软盘驱动器组成。软盘片的直径为3.5英寸。其存储容量为1.44 MB。

硬磁盘存储器的盘片是用铝合金、陶瓷或玻璃作基片，上面涂上磁性材料制成的。近年来，硬盘的容量越来越大，已经很容易做到200 GB。

光盘存储器是指利用光学方式进行读写信息的存储器，目前常用的是激光光盘存储器。光盘有三种类型：(1) 只读型光盘 CD-ROM，这种光盘盘片由生产厂家事先写入信息，用户只能读取信息；(2) 一次型只写光盘 CD-R，这种光盘可以由用户写入一次信息，多次读出；

(3) 可擦写型光盘，这种光盘类似磁盘，可以重复读、写。目前计算机用户使用的光盘多为 CD-ROM，其容量为 650 MB。

闪烁存储器是一种使用闪存 (flash memory) 芯片作为存储媒介的便携移动存储设备，俗称 U 盘或闪存盘，可以用于存储任何类型的数据文件并在计算机间交换资料，通常使用 USB 接口。它具有容量较大、体积小、使用方便、速度较快、价格适中等特点，受到了广大用户的青睐，并有取代软磁盘存储器的趋势。

4. 运算器

计算机的运算器由逻辑部件及逻辑电路组成，是完成各种算术运算和逻辑运算的装置，能做加、减、乘、除等数学运算，也能做比较、判断、查找等逻辑运算。

5. 控制器

控制器也是由逻辑部件和电路组成的，它根据事先给定的命令(存放在存储器中)发出各种控制信号，使整个运行过程按步骤自动进行。控制器是计算机指挥各部件协调工作的机构，其工作过程与人的大脑指挥人的各器官一样。

在微型计算机中，运算器和控制器是集成在一个芯片上的，叫中央处理单元 (Central Processing Unit)，简称 CPU (图 6.3-5)。CPU 是计算机系统的核心，它的品质高低直接决定了一个计算机系统的档次。

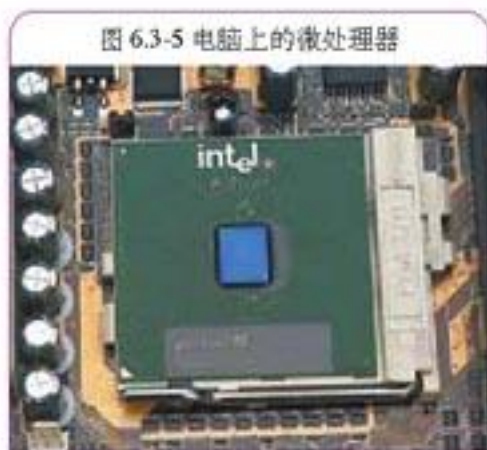


图 6.3-5 电脑上的微处理器

计算机软件系统 人生下来就有大脑，但是，如果没有接受思维的训练，大脑是不会思考的。

跟人脑一样，如果计算机只有硬件，并不能进行运算，只有通过计算程序，计算机才能完成各种运算。人们将解决问题的方法用程序进行描述。程序通常存储在介质上，人们可以看到的是存储着程序的介质，而程序则是无形的，所以称之为软件 (software)。

软件通常分为系统软件和应用软件。

系统软件是为了使计算机能更有效地运行和更方便地使用而编制的程序，用于实现计算机系统的管理、调度、监视和服务等功能，其目的是方便用户，提高计算机使用效率，扩充系统的功能。这种软件有通用性，通常由计算机制造商供应，如计算机语言处理程序、操作系统等。

应用软件是为解决各种具体问题而编制的程序，如文字处理程序、图形加工程序、工程设计程序、数据处理程序、企业管理程序、科学计算程序等等。随着计算机的广泛应用，这类程序的种类越来越多。

没有系统软件，现代计算机系统就无法正常地、有效地运行；没有应用软件，计算机就不能发挥效能。

硬件和软件的不断更新和发展，使计算机的应用日益广泛，如科学计算、数据处理、自动控制、信息管理、智能仪表、计算机辅助设计 (CAD)、计算机辅助制造 (CAM)、计算机辅助教学 (CAI)、办公自动化 (OA) 等等。电子计算机技术已深入人类社会的各个领域，它将为推动人类进步做出不可估量的贡献。



“联想深腾 6800” 超级计算机研制成功， 每秒运算 4 万亿次，效率位居世界第二

本报讯（记者李冬梅）昨天，科技部在京发布了国家“863计划”重大科技成果——国家网络主结点万亿次超级计算机“联想深腾6800”。这是目前世界上综合性能最高的计算机之一，整机效率78.5%，打破了发达国家垄断高性能计算机的局面。

“863计划”全称为“国家高技术研究发展计划”，常被人美国的“星球大战计划”、西欧的“尤利卡计划”相提并论，是我国高技术发展的旗帜。“863计划”的网络专项研究目标是建设新一代国家信息基础设施试验床——中国国家网络。联想计算机公司“深腾6800”的研制成功，表明国家网络主结点主体部分已经完成，使我国超级计算机的产业化提高到一个新的水平。“深腾6800”将安装在中国科学院计算机网络信息中心，供全国科技人员使用。

“联想深腾6800”超级计算机峰值运算速度达每秒5.32万亿次，实际运算速度为每秒4.18万亿次，是目前世界上综合性能最高的计算机之一。在系统测试阶段，“深腾6800”已经运行了一批石油、气象、SARS病毒分析、流体力学等领域的应用软件，表现出很高的性能。例如，它能在半小时内精确预报奥运会主会场及周边地区36小时内的天气。在信息服务应用中，它用16个处理机一天可以处理18亿次点击。作为通用的高性能计算机，“深腾6800”可以广泛用于科学计算、事务处理和信息服务、石油勘探开发等领域。

据悉，近日公布的全球最新超级计算机500强（TOP500）排行榜中，“深腾6800”实际运算速度居世界第14位，效率位居高端超级计算机第二位，这也是迄今为止中国制造的超级计算机在这一排名中取得的最好成绩。

（摘自2007年12月15日《北京日报》）

STS

信息技术与人类社会

人类社会已经经历了几次巨大的时代变迁，第一次是从原始蒙昧时代进入农业时代。在此之后是漫长的几千年，直到18世纪，才开始了第二次时代变迁。先进的资本主义国家开始经历工业化过程，即以制造业为主的工业取代传统农业而在社会产业结构中居于主导地位，这标志着人类进入了工业时代。

工业时代延续了200多年，到了20世纪70年代，计算机技术、微电子技术、通信技术以及软件技术的综合发展，使整个信息技术成为当代新技术群中最活跃、影响最大的领域。以信息技术为主角的第三次技术革命正在引起一场新的产业革命，从而又一次掀起时代变迁的大潮，这次产业革命最终将使信息产业取代以制造业为代表的工业，从而取得在产业结构中的主导地位，最终形成以信息产业为中心的新兴的产业群。

18世纪开始的工业化过程经历了两个阶段。以蒸汽机为标志的第一次技术革命引起了社会生产的机械化，这是第一阶段；以电力技术为标志的第二次技术革命引起了社会生活的电气化，这是第二阶段。

伴随着第一次技术革命的发生，社会产业结构产生了巨大变化，机械化生产成为新时代的主题。第二次技术革命的发生又进一步强化了工业的主导地位，使得工业在经历了机械化阶段之后，又步入更高的阶段——电气化阶段。

历史是有其自身的延续性和继承性的，机械化的进展为电气化准备了条件，奠定了技术基础。如果没有第一次技术革命开创的机械制造手段，诸如电机、变压器、钢结构等这些电气化大厦的“砖石”就难以问世。

在时代变迁的过程中，电气化技术也起到了承上启下的作用，它既推动了机械化的发展进程，也为当代的信息技术奠定了基础。如果没有电，任何电子计算机都无法工作。此外，如果没有电的广泛应用和建立在大量应用电能基础上的现代化工业，许多现代新技术便成了“空中楼阁”。

诸多新技术的广泛应用，引起了生产力的飞跃发展和生产结构的改变。信息技术正在形成产业并正在取代人的部分脑力劳动，从而达到社会生产、管理等方面的最优化、自动化，进而导致生产方式的改变。

目前，信息技术已经全面渗入社会生活和生产的各个角落，特别是计算机和微处理器的广泛应用，带来了一个面貌全新的社会，引起社会生产力、社会结构、劳动方式、就业结构、产业结构的巨大而深远的变化。

问题与练习

1. 说一说人脑和电脑的共同点和不同点。
2. 有人说：“电脑永远不能代替人脑”，请你评价这种说法。
3. 某两种品牌的PC机对其配置的介绍如下：

PC机型	1	2
台式机类型	家用	商用
处理器类型	Intel Pentium 4	Intel Celeron
处理器主频 /MHz	2 600	1 700
内存容量 /MB	512	128
硬盘容量 /GB	120	40
显示器类型	液晶	普通
显示器尺寸 /英寸	15	15

请你仿照以上项目，到电脑市场调查不同品牌PC机的配置，并对其性能和价格做出对比。

4. 列举你所知道的应用软件，说一说这些软件能让PC机完成哪些任务。

第 4 节 传感器

现代信息技术的三大基础是信息的拾取、传输和处理，也就是传感技术、通信技术和计算机技术。现代电子技术和计算机为信息转换与处理提供了十分完善的手段，但如果没有各种精确可靠的传感器去检测原始数据并提供准确的信息，那么，计算机将无法发挥作用。

什么是传感器 在前面几章中，我们已经学习和使用了一些传感器。再看以下几个实例。

晚上，当你进入黑洞洞的楼道时，一跺脚，楼道灯自动开启，但是这种情况在白天却不会发生。这是为什么？原来，楼道的灯安装了“声控—光控开关”。这个开关会感知环境的亮度和声音的强弱。只有环境的亮度低于某一数值，同时声强高于某一数值时，“声控—光控开关”才会接通，灯才会亮。

一些宾馆安装了自动门，当人走近时，自动门上的传感器检测出反射红外线的变化，使自动门的开关启动（图 6.4-1）。

你到商店购买散装糖果时，售货员将糖果放到电子秤上，将这种糖果的单价输入，电子秤会立即显示出糖果的重量和总价（图 6.4-2），打印机会自动打出价签。这又是为什么？原来，电子秤上安装了“力传感器”，它能感知被称物的重量，并将其转变为电信号，输入电子秤的计算机系统，完成以上操作。

你从电视新闻中经常看到，交通警察在检查司机是否酒后开车时，让司机对着“便携式酒精检测仪”呼气，这个仪器即显示呼出气体中的酒精浓度（图 6.4-3）。这是因为检测仪上装有“乙醇传感器”，它能感知乙醇的浓度。

以上器材都安装了传感器，它们的功能与人的视觉、听觉、触觉、嗅觉等功能相似。

实际上，有些传感器还具有“超人”的本领。这里所说的“超人”的本领是因为传感器不仅可应用于高温、高压、辐射等恶劣环境，还可以检测出人类“五官”不能感知的各种信息，如微弱的磁、电、离子和射线的信息等。利用传感器的这些本领，可以制成形形色色的机器人，承担人类难以完成的任务。

图 6.4-1 自动门



图 6.4-2 电子秤在称物，显示出糖果的重量和总价



图 6.4-3 酒精浓度检测



常见传感器 传感器的种类很多，原理各异，下面介绍两种常用的传感器。

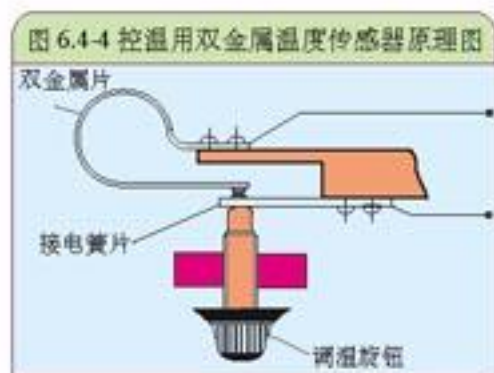
(1) 双金属温度传感器

温度是一个与人们日常生活环境有密切关系的物理量，也是人们在科学实验和生产活动中需要控制的重要物理量。因此，在各种传感器中，温度传感器是应用最广泛的一种。这里介绍常用的温度传感器之一——双金属温度传感器。

双金属温度传感器是将两种具有不同热膨胀系数的金属用压延的方法贴合在一起制成的。当它受热时，会因为两种金属伸长不一样而发生弯曲变形，从而使接点接通或断开。

双金属片常用镍铁合金和黄铜来制作，并要求其弯曲度均匀，且具有良好的弹性。

图6.4.4所示为控温用的双金属温度传感器。它由双金属片、接电簧片及调温旋钮等组成，控温用的电开关信号从双金属片和接电簧片输出。由于双金属片和接电簧片上装有大容量银质触点，可以直接控制执行机构的工作。双金属片温度传感器具有结构简单、成本低等优点，广泛应用于工农业生产的温度检测、控制及报警。



大家做

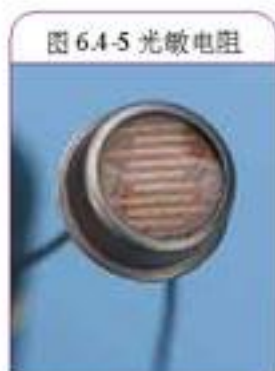
将日光灯启动器从日光灯上拿下，去掉启动器的外壳。在确认日光灯开关断开的情况下，将去掉外壳的启动器安放在启动器底座上，闭合开关，观察启动器双金属片的变化情况，体会双金属传感器的工作原理。

(2) 光敏电阻

光传感器是利用光敏元件将光信号转换为电信号的传感器，它的敏感波长在可见光附近。光传感器是目前产量最多、应用最广的传感器之一。这里介绍一种常用的光敏元件——光敏电阻。

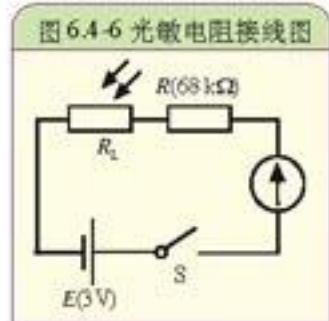
光敏电阻又叫光导管，它是由半导体材料制成的。光敏电阻没有极性，纯粹是一个电阻，可以在直流电压下工作，也可以在交流电压下工作。无光照时，光敏电阻的阻值（暗电阻）很大，流过电路中的电流（暗电流）很小。当光敏电阻受到光照时，它的阻值（亮电阻）减小。

光敏电阻的结构很简单。图6.4.5为金属封装的硫化镉（CdS）光敏电阻，它是在玻璃底板上均匀地涂上一层薄薄的半导体物质而制成的。表面做成梳状图案，目的是提高灵敏度。由于半导体材料怕潮湿，因而光敏电阻常用带透光窗口的外壳密封起来。



大家做

按图 6.4-6 把光敏电阻连接在电路中，观察有光照和没有光照时灵敏电流表指针的变化，根据灵敏电流表测出的电流值，便可得知光线的强弱。



光控路灯开关

光控路灯开关的原理如图 6.4-7 所示。无光照时，光敏电阻 R_L 的阻值很大（大于 $1M\Omega$ ），因此三极管的基极电流 i_{b1} 很小，集电极电流 i_c 也很小，继电器 J 不会动作，此时可利用继电器的常闭触点作为路灯的开关，使路灯点亮；天亮了有光照射时， R_L 的阻值变得很小（小于 $3k\Omega$ ），于是 i_{b1} 也增大，从而使继电器工作，吸动衔铁，使常闭触点断开，路灯也就关闭了。

先设计并制作线路板，按电路图将元件一一焊好。全部完成后，需通电试验调试。接通电源后，当光线照射光敏电阻时，观察继电器是否吸合。然后用手遮盖光线，看继电器是否释放，并重复几次。调试结束后，把线路板装入合适的小盒内，并让光敏电阻的感光面伸出盒外。以继电器触点引线代替开关与外面安装的路灯电路连接，最后将小盒固定在某一合适的位置就可以了。

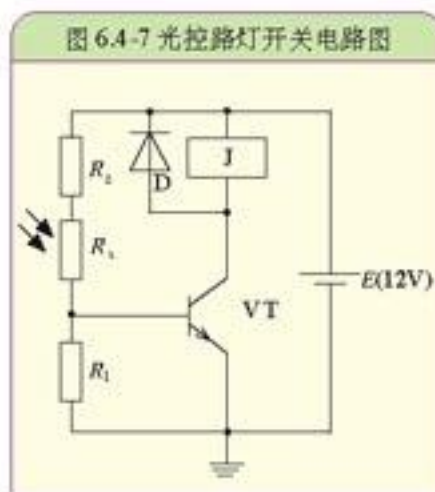


表 6-3 光控路灯开关基本元件及参数表

序号	名称	规格型号	数量
1	电阻 R_1	1/8 W 10 k Ω	1
2	电阻 R_2	1/8 W 68 k Ω	1
3	光敏电阻 R_L	暗电阻 > 1 M Ω ，亮电阻 < 3 k Ω	1
4	三极管 VT	9014	1
5	继电器 J	4098 12 V	1
6	二极管 D	1N4001	1
7	电源	直流稳压电源	1

问题与练习

1. 日光灯启动器内的氖泡中有一个双金属温度传感器(图6.4-8)。找一个失效的启动器,拆开外壳,小心敲破玻璃泡,可以看到一个弯曲的金属片连在启动器的一个接线柱上,另一个接线柱固定着一根硬金属丝,作为双金属片的触点,常温下它们是分离的。用打火机的火焰靠近双金属片,可以看到双金属片的形状明显变化,两接线柱被接通。火熄灭后,双金属片逐渐恢复原状,两接线柱断开。

把这个启动器作为开关,用导线、电池和一个小灯泡串联,把打火机的火焰靠近双金属片时,小灯泡被点亮,熄灭打火机,过一会儿,小灯泡熄灭。

2. 你认为“力传感器”可以用在哪些场合?提出应用“力传感器”的设想。
3. 以“传感器”为关键字在因特网上搜索有关网页,看看传感器在哪些方面有应用。
4. 请你利用学过的物理学原理,自己制作一个传感器。
5. 调查你家中用到了哪些传感器。哪些装置中可能有传感器?它们可能是怎样工作的?设计实验,在不破坏设备的情况下,证实或否定你的判断。
6. 请你利用本章第二节“问题与练习”中的音乐集成电路以及干簧管和磁铁,制作一个防盗报警装置。

图 6.4-8



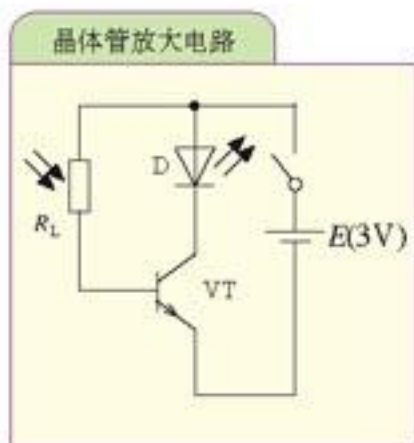
课题研究

研究遥控器

在结束本模块学习时，让我们通过一个有趣的课题研究，感悟物理学与技术的紧密联系，体会它对改变我们的生活所起的作用。

遥控器的使用为我们带来了许多便利，你可以用遥控器控制电视机、VCD机、空调等等。那么遥控器是怎样工作的呢？下面我们通过一组实验进行综合研究。

1. 常用遥控器利用什么波段的电磁波对用电器进行遥控？你的实验依据是什么？
2. 将遥控器指向不同方向，它能否起到遥控作用？观察到的现象说明什么？
3. 在遥控器前用纸、布或金属片等不同物品遮挡，遥控器还能不能起到遥控作用？
4. 将遥控器对准一台开启的收音机（置于中波段），会出现什么现象？再在遥控器前用不同物体遮挡，是否还能观察到上述现象？这说明什么？
5. 制作一个如下图所示的晶体管放大电路，VT为三极管，将遥控器对准光敏电阻 R_L ，为什么发光二极管会闪烁？
6. 通过实验，探究遥控器的有效工作距离与哪些因素有关。
7. 将电路板上光敏电阻的两端接到示波器上，观察遥控器发出信号的波形，并研究不同按键所对应的不同波形。
8. 判断上述实验中遥控器发出的信号是数字信号还是模拟信号。
9. 利用现有的遥控器，设计制作新的家用遥控接收装置，例如遥控窗帘、遥控门、遥控电灯等，并结合市场调查，分析其市场前景。



课外读物及网站推荐

1. 《电》，王春霞等 编译，人民教育出版社2003年5月第1版。

探究式学习丛书中的一本，根据“探索”频道有关内容编译，图文并茂，配有VCD光盘1张，告诉你许多和电有关的故事，让你了解电的惊人威力。

2. 《磁》，王春霞等 编译，人民教育出版社2003年5月第1版。

探究式学习丛书中的一本，根据“探索”频道有关内容编译，图文并茂，配有VCD光盘1张，带你重新发现磁性谜团是如何破解的，了解磁在现代科技中的神奇妙用。

3. 《图说电气知识与应用》，[日]松原洋平 著，庞馨萍、田志坤 译，科学出版社2003年2月第1版。

本书是“轻松跟我学”系列之一，主要内容有生活与电、电子世界、电与信息通信、电的故障分析及电的基础知识等，为那些对技术、工程感兴趣的非专业人士或相关专业技术人员提供从必要的基本原理到相关领域技术发展最新动态等信息。

4. 《科学探索者 电与磁》，[美]帕迪利亚 主编，王耀村、应必锋 译，浙江教育出版社2003年2月第1版。

美国中学普遍选用的综合理科教材。

5. 《科学家谈物理 磁的世界》，李国栋 著，湖南教育出版社1994年12月第1版。

本书在介绍了磁的普遍性的基础上，分别介绍了各种磁性材料的应用，是一本从广阔的视野和丰富的实例介绍广义磁学全貌的科普著作。

6. 《创造发明1 000例（物理卷）》，郭奕玲、沈慧君 著，广西师范大学出版社2001年4月第1版。

发明大王丛书中的一本，本书以片段的形式把物理学家的创造性活动做了一些通俗的讲解和介绍，书中不仅讲了公式、定理的来历，而且重点阐述了科学家发明发现的过程、思想和方法。

7. 《家用电子产品维修工（初级）》，家用电子产品职业技能鉴定教材编委会主编，人民邮电出版社2002年11月第1版。

本书为初级家用电子产品维修工的职业技能鉴定教材，内容包括电工学基本知识、电子元件基本知识、电子电路基础、仪器仪表的使用、电路焊接及机械拆装技术等。

8. 《新编实用电子技术入门》，薛文、华慧明 编著，福建科学技术出版社2001年9月第1版。

本书着重介绍各种简单而又实用的电子元器件和电路，并从一些典型产品或制作入手加以引申，使读者对电子电路的工作原理、元器件使用、读图方法以及维修、调试有一个全面认识。

9. 《漫谈我们身边的自动化》，王家楨 编著，清华大学出版社2001年9月第1版。

青少年科学教育丛书中的一本，本书为面向中学生的课外科普读物，在中学物理基础上，结合日常所见所闻，介绍有关自动化的基本原理和实用技术。

10. 中国科普网<http://www.cpus.gov.cn/>

这是由中国科学技术部主办的政府网站，它以生动的形式讲述了科学发展的历史，展示最前沿的科学动态，介绍科学常识与基本科学原理。

11. 中国科普博览<http://www.kepu.com.cn/>

这是一个综合性的以宣传科学知识、提高全民科学文化素质为目的大型科普网站。它利用中国科学院科学数据库为基本信息资源，以中国科学院分布在全国各地的一百多个专业研究所为依托，并扩散到全国一些著名的科研机构、科普机构，系统采集全国各具特色的科普信息，内容包括数学、物理、化学等学科。

后 记

根据《基础教育课程改革纲要（试行）》的精神，我们按照《普通高中物理课程标准（实验）》的要求编写了共同必修及其他三个系列的全套教科书，本册经全国中小学教材审定委员会2004年初审通过，供普通高中试用。

这套教科书在编写中，得到了诸多教育界前辈和各学科专家学者的热情帮助和大力支持。在本套教科书同课程改革实验区的师生见面时，我们特别感谢担任教科书总顾问的丁石孙、许嘉璐、叶至善、顾明远、吕型伟、王梓坤、梁衡、金冲及、白春礼、陶西平同志，感谢担任教科书编写指导委员会主任委员的柳斌同志和编写指导委员会委员的江蓝生、李吉林、杨焕明、顾泠沅、袁行霁等同志。

这套书的编写者以教育部物理课标组的核心成员为基础，由高校教师、中学教师和出版社的编辑人员三结合组成。共同必修部分和三个选修系列的编写小组分别起草，然后全体编写人员反复讨论、相互修改，因此，本书是编写组集体创作的成果。

在本书的编写过程中，由奚天敬、刘彬生、汪维澄、廖洋组成的实验研究小组做过了全书所有的实验，检验和改进了书稿中的实验部分；由黄恕伯、李友安、叶柯、毛宗致组成的习题研究小组筛选和设计了全书的“问题与练习”。

张同恂、董振邦、窦国兴、扈剑华在编写的不同阶段审阅了书稿，提出了重要修改意见。

我们还要感谢使用本套教材的实验区的师生们。希望你们在使用本套教材的过程中，能够及时把意见和建议反馈给我们，对此，我们深表谢意。让我们携起手来，共同完成教材建设工作。

我们的联系方式如下：

电 话：010-58758389

E-mail: jcfk@pep.com.cn

网 址: <http://www.pep.com.cn>

人民教育出版社 课程教材研究所
物理课程教材研究开发中心
2004年5月

谨向为本书提供照片的人士和机构致谢

图1.2-2.《Physics》Merrill Publishing Company/第2章章首图，中国科学院电工研究所/第4章章首图，新华社/图5.4-2，《21世纪军事科技》新华出版社/图5.4-7，《Physics for You》Stanley Thornes(Publishers)Ltd./图6.2-1，《Physics at Work》Oxford University Press/第1章章首图，图1.4-6，图1.4-13，图1.4-14，图1.5-1，图4.2-2，图4.2-3，图5.2-10，图6.4-2，付荣兴/图1.1-5，图1.3-1，图1.5-6，图1.5-8，图1.5-9，图1.5-10，图1.5-11，图2.2-7，图5.4-3，图6.2-4，图6.4-5，图6.4-8，朱京/图1.1-9，图2.1-1，图1.1-9，图2.3-11，图3.3-5，图5.4-4，图5.4-9，奚天敬/图1.1-11，图2.1-9，图2.3-9，图6.2-3，图6.3-1，图6.3-4，图6.3-5，张颖/图1.2-3，图1.2-4，图1.2-6，图1.2-7，图1.2-8，图1.2-9，图1.2-10，图1.2-11，图1.3-8，图1.3-9，图1.4-9，图1.4-15，图1.5-5，图2.1-10，图2.3-6，图3.1-9，张大昌/图1.2-14，图6.4-1，杜敏/第3章章首图，彭前程/图5.3-4，图5.3-7，谷雅慧。