

经全国中小学教材审定委员会
2004年初审通过

普通高中课程标准实验教科书

物理

选修 1-1

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 1-1

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 1-1

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>

中青印刷厂印装 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3月第2版 2007年7月第22次印刷

ISBN 978-7-107-17807-8

G·10896 (课)

定价：8.20 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，请与出版科联系调换。
(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)

总主编：张大昌

副总主编：彭前程

主 编：申先甲

副主编：杜 敏

执笔人员：谷雅慧 李艳平 申先甲 陶 澄

绘 图：王凌波 张 良

责任编辑：谷雅慧

版式设计：张万红

审 读：王存志

目

录

致同学们 1

第一章 电场 电流



一、电荷 库仑定律 2
 二、电场 7
 三、生活中的静电现象 10
 四、电容器 14
 五、电流和电源 16
 六、电流的热效应 19

第二章 磁场



一、指南针与远洋航海 25
 二、电流的磁场 28
 三、磁场对通电导线的作用 32
 四、磁场对运动电荷的作用 37
 五、磁性材料 41

第三章 电磁感应



一、电磁感应现象 46
 二、法拉第电磁感应定律 51
 三、交变电流 55
 四、变压器 60
 五、高压输电 63
 六、自感现象 涡流 66
 七、课题研究：电在我家中 70

第四章 电磁波及其应用



一、电磁波的发现 77
 二、电磁波谱 80
 三、电磁波的发射和接收 86
 四、信息化社会 89
 五、课题研究：社会生活中的电磁波 95

附录 课外读物推荐 100

致 同 学 们

同学们！在学完共同必修模块后，你们已经领略了物理学冰山的一角。选修1系列的两个模块将继续向你们展示物理学的其他有趣的内容。在这个系列里我们将侧重物理学与社会科学和人文学科的融合，强调物理学对人类文明的影响。希望你们在本书的学习中，能主动地、生动活泼和富有个性地学习物理知识与技能，提高科学思维能力，发扬创新精神，为你们的终身发展及科学世界观、科学价值观的形成打下基础。

结合本教材的特点，先和同学们谈几个有关的话题。

物理学与人类文明

几千年的历史表明，物理学是人类文明的重要源泉。从茹毛饮血的原始社会到高度文明的现代社会，人类是伴随着包括物理学在内的科学技术的一次次突破，一步步地走过来的。在远古蛮荒的文明之初，投掷、尖劈、杠杆等知识帮助原始人群度过了漫长的旧石器时代。由于能力的低下，人类创造了听命于自然的图腾文化。弓箭、钻木取火的发明，是最早的技术革命，它催生了畜牧业以及制陶和冶金技术。金属农具的普遍使用，使人类进入到农业社会，产生了具有田园意趣、以自然启示人格和艺术的人文文化。

从近代欧洲的文艺复兴开始，科学实验开辟了科学革命的道路，理性精神深深地渗透到文化当中，把人类推进到科学文化的时代。17世纪的牛顿力学和18世纪中叶的量热学，导致了蒸汽动力的普遍应用，推动了近代第一次产业革命，人类进入到“蒸汽时代”，产生了资本主义的工业文明。19世纪40~60年代，能量转化和守恒定律的建立及电磁场理论的发展促进了“蒸汽时代”向“电气化时代”的转变。20世纪以来，以相对论和量子力学为理论支柱的微观物理学的发展，引发了现



元代耕织图



铁路通车典礼

致 同 学 们

代科学革命，推动了今日高科技社会的诞生。科学技术的高速发展，使人类改造自然的能力空前增强。

在古典神话小说《封神演义》中，作者幻想了许多超人的能力：雷震子肋生双翅翱翔长空，土行孙缩身入地日行千里，哼哈二将怒射白光杀敌制胜，千里眼顺风耳探事千里之外。今



全球定位系统接收器能够显示经度、纬度和海拔高度，能够引导飞机和船只辨别它们的确切位置。

天，飞机、地铁、激光、电视、互联网等技术已经使这些幻想变为现实。上天入地、腾空泛海、生光驭电、变幻万物，人类几乎达到了无所不能的地步。而这一切成就，都是基于科学技术的进展，可以说，物理学与其他学科一起创造了现代文明。

但是，一切技术应用，既可以成为打开自然宝库的钥匙，也可以成为对自然肆意施虐和毁灭人类文明的魔剑。今天，人们在惊叹高科技的辉煌成就的同时，似乎又听到了英国作家狄更斯（Charles Dickens 1812—1870）在《双城记》中发出的警世哲言：

这是最好的时候，这是最坏的时候；
这是智慧的年代，这是愚蠢的年代；
这是信仰的新纪元，这是怀疑的新纪元；
这是光明的季节，这是黑暗的季节；
这是希望之春，这是失望之冬；
我们将拥有一切，我们将一无所有；
……

今天，环境污染，生态破坏，新疾病不断发生，自然资源匮乏，人口爆炸……如果这些问题得不到控制，人类的前途就会陷入困境。

人是有理智、有感情的。在这种危机面前，我们必须重新思考人与自然的关系，重新评估科学技术的社会功能，重新规划科技发展的路线图，更多地考虑自然与人的关系，从人类文明史的经验教训和社会发展的未来出发，把自然文化、人文文化和科学文化整合起来，创造出人、社会与自然生态共荣，和谐发展的新的文化模式。

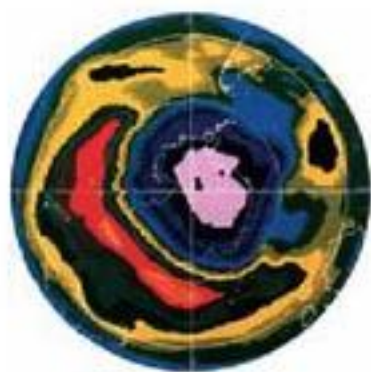
物理学之美

在一些人的心目中，物理学是那样枯燥，那样难懂，哪有什么“美”可言？事实并非如此。

美的源泉是大自然。美为什么会在物理学中泄露芳容呢？那是因为物理学之美源于自然美。



实现飞行的梦想



环境污染造成大气上层的臭氧空洞



大自然——美的源泉

大自然拥有丰富多彩、十分绚丽的环境，有色彩之美、风格之美、对称之美、音韵之美、奇特之美、奥秘之美。物理学研究的对象，正是这样一个自然界。自然界所拥有的各种美的品格，当然会在物理学的内容和理论形式中反映出来。

简单、普适、和谐、统一是物理学之美的最普遍特征。尽管自然万物五彩缤纷、斑驳陆离、瞬息万变，然而它们的存在状态和变化却遵从一定的规律。为数不多的规律支配着自然界的一切，体现了自然界质朴的统一与和谐之美，赋予了科学理论的审美价值。爱因斯坦说：“从那些看来同直接真理十分不同的各种复杂现象中认识到它们的统一性，那是一种壮丽的感觉。”牛顿定律、万有引力定律、库仑定律、熵增加原理等，都以其简洁性、普适性与和谐性给人以美的震撼。它们既向人们展示出一个个未知王国如何在杂乱中包含有序、在繁杂中包含简单、在对立中包含统一，又给人们一种美的冲动，启迪人们的灵感和智慧，去创造更为壮丽的科学杰作。

自然界存在多种多样的对称美。对称性不仅体现在绘画、建筑、园林、城市规划中，物理学中同样反映出大自然的这种对称性。很多物理学理论都有一种赏心悦目的对称美，本书中，我们可以通过电与磁的规律领略一二，而在微观领域，还将看到更多、更深刻的对称性。

物理学中美的特点，在绘画、音乐，甚至诗歌、舞蹈等各种艺术中都有相似的对应物。物理学中那种看不见、摸不着、充满智慧的理性之美，正是艺术中那种见得着、听得到的感性之美的相似物；物理学家和艺术家通过不同途径追求的正是相同的目标。



京剧脸谱中的对称美

物理学与科学文化素养

有一个看法：如果一个人没有读过唐诗宋词、《红楼梦》和莎士比亚的作品，会被认为文化素养不高；但是一个人不知道牛顿、爱因斯坦的理论，却不被看做缺少文化。20世纪下半叶波澜壮阔的现代科技革命，极大地冲击了这种偏见。物理学家拉比(L. I. Rabi, 1898—1988)指出：“只有把科学和人文学科融为一体，我们才能期望达到与我们时代相称的智慧的顶点。”

或许你将来从事与物理学没有直接关系的工作，但是也应该对物理学有一定的认识。这不是要求你死记硬背物理定律和公式，而是要求你了解一些重要概念和规律的科学实质，经历一些物理学的探索过程，体会一些物理学的思维方式和研究方法，知道一些与物理学相关的基本知识。这对你分析和处理问题能力的提高，甚至你的日常生活，都是十分重要的。今天，物理学已经深入到社会生活的各个方面，无论你从事何种职业，都离不开与物理学相关的技术和产品。汽车、飞机、电视、空调、电脑、网络、手机、磁卡……不具备基本的物理学知识和技能，如何能更好地适应这种现代生活呢？

当代物理学发展的特点之一，是它与社会科学之间的沟通与渗透。人类生活在大自然中，人类社会的发展不能不受制于自然的法则，因而社会领域的许多问题，也可以借用物理学的概念、规律、思想和方法来研究和处理。近年来，在社会科学中广泛采用了自然科学的研究方法，我们必须造就具有较高自然科学素养的一代公民。

我们思想的发展在某种意义上常常来源于好奇心。
——爱因斯坦^①

第一章 电场 电流



今天，我们闭合开关就可以接通电路，电灯发出柔和的光，收音机播放动听的乐曲，电视机播映声情并茂的节目……这一切早都习以为常，电的大规模应用基于人们对电的认识。然而，人类是怎样获得有关电的知识的？

关于电，人类是在好奇心的引导下，从研究神奇的静电现象开始的。

^① 爱因斯坦(Albert Einstein, 1879—1955), 20世纪杰出的物理学家。他建立了狭义相对论和广义相对论，提出了光量子的概念，以量子理论完满地解释了光电效应，并获1921年诺贝尔物理学奖。

一、电荷 库仑定律

接引雷电下九天

电闪雷鸣是常见的自然现象,有时甚至表现得神秘恐怖。虽然人们早就知道雷电现象能给人带来灾难,但又无法解释、无法抵抗。蒙昧时期的人们认为雷电是“天神之火”,在很长的历史时期内对它充满畏惧。欧洲的文艺复兴使得科学精神得到解放。活跃的科学思想和对丰富多彩的自然现象的好奇心,鼓舞着人们摆脱传统观念和进行独立思考的勇气,在对自然的研究上,也给了人们丰富的思想营养。



电闪雷鸣



富兰克林(Benjamin Franklin, 1706—1790),美国科学家、发明家、政治家,美利坚合众国的创始人之一。

18世纪,各种静电现象首先引起了学者们的关注和研究。莱顿瓶^①发明后,由于能产生强烈的电击和火花,静电现象也开始引起了贵族和一般市民的兴趣,他们喜欢观看这种新奇的东西,乐于亲身体验一下电击的滋味。所以在当时的欧洲流行人体带电和电击一类的“魔术”表演。这种表演使观众感受到了电的神奇和威力,激起了公众的好奇。

1746年,在美洲波士顿的街头上,富兰克林看到了欧洲人表演的电学实验。新奇的现象激发了他极大的兴趣,通过欧洲科学界的朋友,他很快就得到了一套实验仪器,并立即开始重复实验和研究。

人们对闪电的研究是由对火花放电现象的观察开始的。在记载了各种物质放电时产生的火花后,研究者们发现,火花的发声、发光和瞬间即逝的特点,跟天上的闪电非常相似。为了研究闪电与摩擦产生的电有什么异同,富兰克林勇敢地探索了雷电现象。

1752年6月的一个雷雨天,富兰克林冒着生命危险在美国费城进行了著名的风筝实验,要把天电引下来看一看。他用绸子做了一个大风筝,在风筝顶上安了一根细铁丝,一根麻线的一端连接铁丝,另一端拴一把钥匙并塞在莱顿瓶中。他和儿子一起把风筝放到天上,牵着风筝的一根丝绳系在遮雨棚内。当一阵雷电打下来,他看见麻线末端的纤维散开,并且莱顿瓶也带上了电。

富兰克林成功地将天电引入莱顿瓶,还用引下的电做了实验,证明了天电和摩擦产生的电是相同的。



同学们千万不要重复这样危险的实验!

^① 一种可以储存电荷的仪器,详见本章第四节。

富兰克林的实验证明闪电是一种放电现象，与摩擦产生的电没有区别。他统一了天电和地电，使人类摆脱了对雷电现象的迷信。

富兰克林为我们揭开了天电的奥秘——它跟地上的电是一样的。那么，地上的电有什么性质？它从哪里来？它的存在跟我们的生活有哪些关系？



图1.1-1 如果天气干燥，晚上脱毛衣时，会听到“噼啪”声，还会看到电火花。这时你已经制造了一些小小的“雷电”。

电荷 经过摩擦的物体，如塑料笔杆、玻璃棒，能够吸引轻小物体，我们说这些摩擦过的物体带了电荷(electric charge)。这些电荷静止在物体上，这类现象叫做静电现象。

人们最早注意到的静电现象是摩擦起电。公元1世纪，我国学者王充在《论衡》一书中记述了“顿牟掇芥”。顿牟指琥珀的甲壳。“掇芥”的意思是吸引芥子之类的轻小物体。古希腊人也发现了琥珀等物体经摩擦后能吸引草屑等小物体的静电现象。欧洲文艺复兴时期，由于思想的解放，人们对自然的好奇心很强，静电现象重新受到关注。英国学者吉尔伯特(William Gilbert, 1544—1603)崇尚实验研究方法，发现许多物体都有跟琥珀一样的性质，并把这类物体叫做“琥珀体”，在拉丁文中写做electrica，这也就是今天拉丁语系文字中“electricity”这个词的来源。



图1.1-2 左侧装置叫做验电器，金属杆下端的两片金属箔能因带同种电荷而张开，显示带了电。右侧是一种特殊的验电器，叫做静电计，指针偏转的角度可以表示带电的多少。

要想知道物体是否带了电，可以使用验电器(图1.1-2)。

在大量的摩擦起电实验中，人们发现：电荷有两种，正电荷和负电荷。用丝绸摩擦过的玻璃棒带正电荷，用毛皮摩擦过的硬橡胶棒带负电荷。同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引。

电荷的多少叫做电荷量(quantity of electricity)，用 Q (或 q)表示。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。通常，正电荷量用正数表示，负电荷量用负数表示。库仑是一个很大的单位，通常一把梳子与衣袖摩擦后所带的电荷量不到百万分之一库仑，但是闪电之前在巨大云层中积累的电荷，可以达到数百库仑。

我们已经知道，物质的原子是由带正电的原子核和带负电的电子组成的。原子核的正电荷数量与周围电子的负电荷数量一样多，所以整个原子对外表现为电中性。在摩擦起电过程中，一些被原子核束缚得不紧的电子转移到另一个物体上，于是失去电子的物体带正电，得到电子的物体带负电。在用丝绸摩擦玻璃棒时，玻璃棒上的电子跑到丝绸上去了，玻璃棒因缺少电子而带正电，丝绸因有多余的电子而带负电。

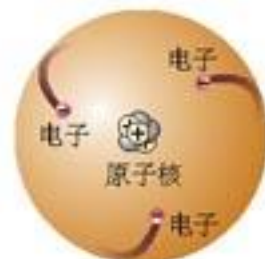


图1.1-3 原子电结构的示意图

人们还发现，除摩擦外其他方法也可以使物体带电。

演示

感应起电

取一对用绝缘支柱支持的金属导体A、B，使它们彼此接触。起初它们不带电，贴在它们下面的金属箔是闭合的(图1.1-4甲)。

1. 带正电荷的球C移近导体A，可以看到A、B上的金属箔都张开了，这表示A、B上都带了电(图1.1-4乙)。

2. 如果把A、B分开，然后移去C，可以看到A和B仍带有电荷(图1.1-4丙)。

3. 让A、B接触，金属箔就不再张开，表明它们不再带电了。

这说明A、B所带的电荷是等量的，互相接触时，等量的正、负电荷发生了中和。

把电荷移近不带电的导体，可以使导体带电的现象，叫做感应起电。感应起电使导体中的正负电荷分开，使电荷从导体的一部分转移到另一部分。

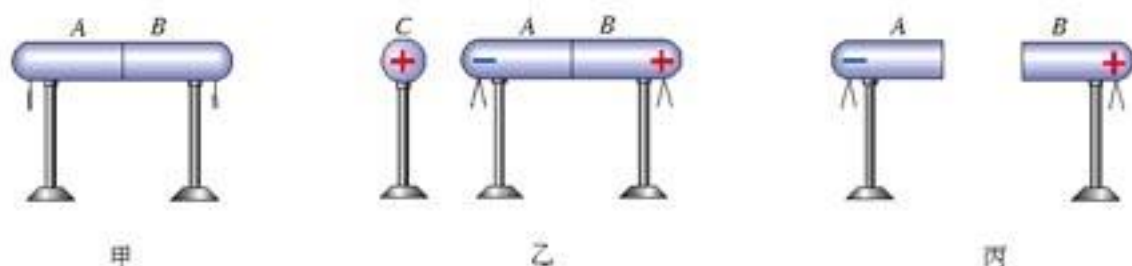


图1.1-4 感应起电

电荷守恒 大量事实表明，电荷既不能创生，也不能消灭，只能从一个物体转移到另一个物体，或者从物体的一部分转移到另一部分，在转移的过程中，电荷的总量不变。这个结论叫做电荷守恒定律(law of electric charge conservation)，是物理学中重要的基本定律之一。

到目前为止，科学实验发现的最小电荷量是电子所带的电荷量。质子、正电子带有跟电子等量的异种电荷。这个最小的电荷用 e 表示

$$e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

实验指出，所有带电物体的电荷量或者等于 e ，或者是 e 的整数倍。因此，电荷量 e 叫做元电荷(elementary charge)。

我们知道，同种电荷互相排斥，异种电荷互相吸引。这说明电荷之间存在作用力。电荷之间的作用力是怎样发生的？有什么规律？



图1.1-5 摩擦后的两张塑料片之间有力的作用

库仑定律 我们用实验来研究电荷之间作用力的大小与哪些因素有关。

实验

用软纸在两张塑料透明片上摩擦。然后把它们相互靠近。两张塑料片之间会发生什么作用？反复实验几次，说明它们之间作用力的大小可能跟哪些因素有关。

下面再看一个演示，检验我们的观察是否正确。

演示

把一个带正电的物体放在A处，另把一个带正电的轻质小球系在丝线上，先后挂在 P_1 、 P_2 、 P_3 等位置(图1.1-6)。小球所受电荷作用力的大小可以通过丝线偏离竖直方向的角度显示出来。观察小球在不同位置时丝线偏离竖直方向的角度，可以比较小球所受受力的大小。

再把小球挂在某个位置，增大或减小它所带的电荷量，比较小球受力大小的变化。

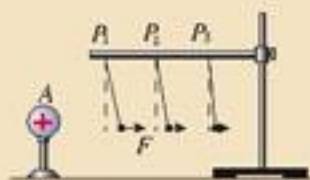


图1.1-6 根据丝线偏离的角度，可以比较带电小球在不同位置时受力的大小。



思考与讨论

通过对上面实验现象的观察，你认为电荷之间作用力的大小跟它们之间的距离有关吗？电荷之间作用力的大小跟电荷量的大小有关吗？

18世纪，许多科学家都在探索电荷之间作用力的规律，由定性实验表现出来的规律使一些科学家猜测，电荷之间相互作用力的规律可能与万有引力定律具有相似的形式。在前人工作的基础上，法国物理学家库仑用实验研究了电荷之间的作用力，证实了这个猜测。



库仑(C. A. de Coulomb, 1736—1806)，法国物理学家、工程师。

真空中两个静止点电荷之间的相互作用力，跟它们电荷量的乘积成正比，跟它们距离的二次方成反比，作用力的方向在它们的连线上。这个规律是库仑在1785年发现的，人们把它叫做库仑定律(Coulomb law)。

电荷间的这种相互作用力叫做静电力(electrostatic force)或库仑力。库仑定律中所说的“点电荷”指的是一种没有大小的带电体。一般来说，如果带电体间的距离比它们自身线度的大小大得多，以至带

第一章 电场 电流

电体的形状和大小对相互作用力的影响可以忽略不计，这样的带电体就可以看做点电荷。

如果用 Q_1 和 Q_2 表示两个点电荷的电荷量，用 r 表示它们之间的距离，用 F 表示它们之间的相互作用力，库仑定律可以表示为

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

式中的 k 是一个常量，叫做静电力常量(electrostatic force constant)。如果上式中各个物理量都采用国际单位制单位，即电荷量的单位用 C，力的单位用 N，距离的单位用 m，由实验可以得出 $k = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ 。

点电荷的概念与质点的概念一样，是理想化的物理模型。



库仑定律是电磁学的基本定律之一，它给出的虽然是点电荷间的静电力，但是任一带电体所带的电荷都可以看成是由许多点电荷组成的。因此，如果知道带电体上的电荷分布，根据库仑定律和力的合成法则，原则上就可以求出带电体间的静电力的大小和方向。

思考与讨论

看到库仑定律的数学表达式，我们有似曾相识的感觉。原来它跟万有引力的数学表达式在形式上相似。比较一下：它们在哪些方面相似？哪些方面不同？

关于库仑力与万有引力之间的相似，物理学家们早就在认真思考：它们之间是否有内在的联系？它们是不是同一种相互作用的不同表现？至今，一些物理学家还在致力于这方面的研究。

问题和练习

1. 验电器可以用来检验物体是否带电。同学们可以自己动手做一个简易的验电器(图1.1-7)。所用的材料很容易找到：一小段金属丝，两条长约2 cm、宽约4 mm的金属箔，一个带有塑料瓶盖的玻璃瓶。制作时要注意瓶盖和瓶子一定要干净，也不能潮湿。

使摩擦过的塑料梳子接触金属丝，如果金属箔张开一定的角度，就可以说梳子带电了。

找来各种不同材料的物体，摩擦以后看一看，哪些物体通过摩擦能够带电。

2. 一根带电棒能吸引干燥的软木屑。木屑接触到棒以后，往往又剧烈地跳离此棒。试着做这个实验。说说为什么木屑会跳离。

3. 不带电的梳子与羊毛衣袖摩擦后带有 10^{-7} C 负电荷。这些电荷的电子数目跟地球人口数相比，哪个大？相差多少倍？

4. 1 C 的电荷量究竟有多大？一位同学想从力学的角度来认识它：假设两个电荷量为 1 C 的点电荷相距 r 时它们间的静电力等于 F ，如果某两个质量都等于 m 的质点在相距 r 时它们的万有引力也



图1.1-7 简易验电器

等于 F ，这时 m 是多大？

5. 自然界的电荷只有正电荷和负电荷两种，而没有第三种、第四种，这已成了常识。请为此说出理由，你凭什么事实支持这种结论？

二、电 场

电场 弹力和摩擦力都是在两个物体互相接触的情况下产生的。而两个带电体没有接触，就可以发生静电力作用。那么，电荷之间的相互作用是通过什么发生的？

经过长期的科学研究，人们认识到，电荷周围存在着一种叫做**电场**(electric field)的物质，电荷之间是通过电场发生相互作用的。

只要有电荷存在，电荷的周围就有电场。电场的基本性质是对其中的电荷有力的作用。

场的概念的建立，是人类对客观世界认识的一个重要进展。现在，人们已经认识到，实物和场是物质存在的两种不同形式，虽然我们看不见电场和磁场，但它们也是客观存在的物质。



带电橡胶棒与水流没有接触，就可以发生静电力作用。

电场强度 电荷在电场中受到力的作用，由此可以判断电场的存在。

研究电场，必须在电场中放入电荷。这个电荷的电荷量要非常小，放入之后不致影响要研究的电场。它的体积也要充分小，便于研究电场中各点的情况。这样的电荷叫做**试探电荷**。

把试探电荷 q 放在图 1.2-1 的电场中，电荷 q 在电场中的不同点，受力的大小一般是不同的。这表示各点的电场强弱不同。电荷 q 在 A 点受到的静电力较大，表示这点的电场较强；电荷 q 在 B 点受到的静电力较小，表示这点的电场较弱。

但是，我们不能直接用某电荷所受静电力的大小来客观地表示电场的强弱，因为电荷不同时，它在电场中的同一点所受的静电力 F 是不同的。

实验表明，在电场中的同一点，电荷 q 所受的静电力 F 与它的电荷量 q 的比值 $\frac{F}{q}$ 是恒定的；在电场中的不同点，比值 $\frac{F}{q}$ 一般是不同的。这个比值由电荷 q 在电场中的位置决定，跟电荷 q 无关。在物理学中，用比值 $\frac{F}{q}$ 来描述电场的强弱。

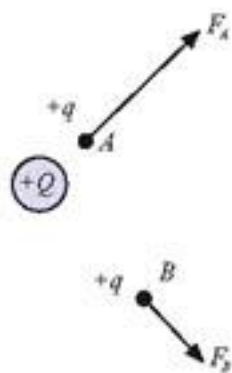


图 1.2-1 试探电荷在电场中

在物理学中，常常用比值定义物理量，用来表示研究对象的某种性质，例如，物质的密度 ρ ，运动速度 v ，压强 p 等等。

这个方法在其他领域也经常使用，例如，人均耕地面积、人均收入、货物的单价等等。

第一章 电场 电流

放入电场中某点的电荷所受静电力 F 跟它的电荷量的比值,叫做该点的**电场强度**(electric field strength),通常用 E 表示,也就是

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

如果力的单位用牛,电荷量的单位用库,电场强度的单位是**牛每库**,符号是 N/C 。

电场强度是描述电场性质的物理量,与放入电场中的电荷无关,它的大小是由电场本身来决定的。

电场强度是矢量,不仅有大小,还有方向。物理学中规定,电场中某点的电场强度的方向跟正电荷在该点所受的电场力的方向相同。按照这个规定,负电荷在电场中某点所受的电场力的方向跟该点的场强的方向相反。

电场线 利用画图的方法可以对电场各处电场强度的分布给出直观的图像,使我们形象地了解各种电场的分布。如果在电场中画出一些曲线,使曲线上每一点的切线都跟该点的电场强度方向一致,这样的曲线就叫做**电场线**(electric field line)。图1.2-2画出了一条电场线, A、B、C三点的电场强度方向在曲线这三点的切线方向上。

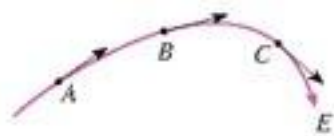


图1.2-2 这条电场线上A、B、C各点的切线方向代表该点的电场强度方向。

电场线不仅可以表示电场强度的方向,还可以表示电场强度大小的分布情况。几种电场的电场线分布情况可以用实验模拟出来。

演示

电场线的模拟

使头发屑悬浮在蓖麻油内,在油中放入电极。电极带电后,它周围产生电场。头发屑排列起来的形状显示出电场线的分布(图1.2-3)。

电场线是看不见的,这个实验只是用来模拟电场线的分布情况。

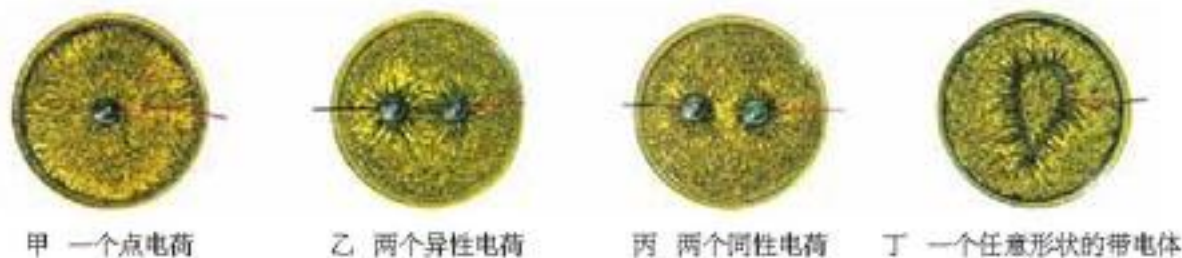


图1.2-3 模拟电场线

不同电场中，电场强度分布不同，它们的电场线形状也不一样。图1.2-4是几种电场的电场线。



图1.2-4 几种电场的电场线

电场线的特点是：

- (1) 电场线从正电荷或无限远出发，终止于无限远或负电荷；
- (2) 电场线在电场中不相交；
- (3) 在同一幅电场分布图中电场越强的地方，电场线越密。因此，用电场线不仅可以形象地表示电场强度的方向，而且在同一幅电场线分布图上，还可以大致表示电场强度的相对大小。



思考与讨论

假定两条电场线在某点相交，由此会得出什么荒谬的结论？

如果电场强度的大小和方向都相同，这个区域的电场叫做匀强电场(uniform electric field)。匀强电场是最简单的电场，在实验研究和理论研究中都常用到。两块靠近的平行金属板，大小相等、互相正对、分别带有等量的正负电荷，它们之间的电场（除边缘外）就是匀强电场。匀强电场的电场线是距离相等的平行直线（图1.2-5）。

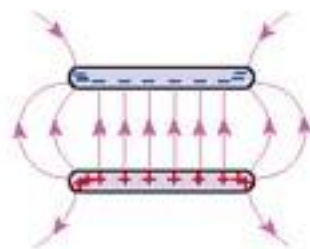


图1.2-5 匀强电场的电场线

问题和练习

1. 有人说，电场线一定是带电粒子在电场中受力的方向。你认为这种说法正确吗？为什么？
2. 地球表面附近通常存在着一个竖直方向的微弱电场。一个带负电的微粒在这个电场中受到向上的力，这个电场强度的方向是竖直向上，还是竖直向下？
3. 静止的带电粒子A、B在电场中的受力方向如图1.2-6所示。它们各带什么电荷？

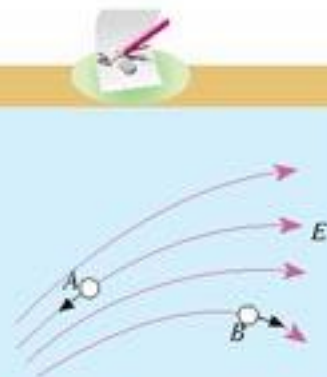


图1.2-6 它们各带什么电荷？

第一章 电场 电流

4 图1.2-7是某电场区域的电场线分布, A、B、C是电场中的三个点。

(1) 哪一点电场最强, 哪一点电场最弱?

(2) 画出各点电场强度的方向。

(3) 如果把一个带负电的点电荷分别放在这三点, 画出它所受静电力的方向。

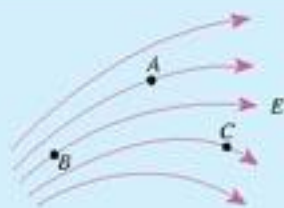


图1.2-7

三、生活中的静电现象

放电现象 火花放电是最常见的放电现象。在干燥的天气里脱去化纤衣服时, 由于摩擦, 身体上会积累大量电荷, 这时如果手指靠近金属物品, 会看到火花、听到噼啪声。这就是火花放电。实验室中感应起电机的两个导电杆之间也能发生火花放电。



图1.3-1 起电机导电杆间的火花放电

在生活生产中, 为了防止电荷在导体上过量聚集, 常常用导线把带电导体与大地连接起来, 进行**接地放电**。运输汽油等易燃易爆物品的车辆总有一条铁链拖在地面(图1.3-2), 可以把静电荷引入大地, 避免放电时产生的火花引起爆炸。飞机轮胎用导电橡胶制成, 也是为了在着陆时使机身积累的电荷流入大地。



图1.3-2 汽车拖的铁链能把电荷导入大地

雷电和避雷 云层之间或云层与地面之间发生强烈放电时, 能产生耀眼的闪光和巨响, 这就是闪电和雷鸣。闪电的电流可以高达几十万安培, 会使建筑物严重损坏。

防止雷害, 应该从科学入手。富兰克林通过一系列实验, 发现了**尖端放电(point discharge)**现象, 并且在1753年发明了避雷针。尖端放电跟电荷在导体表面的分布规律有关。

演示

观察电荷在导体上的分布

如图1.3-3所示, 把导体安放在绝缘支架上, 并使导体带电。然后用带绝缘柄的验电球P接触它的A点, 再与验电器接触, 检验A点的带电情况。

按同样的方法也可以检验B点、C点的带电情况。

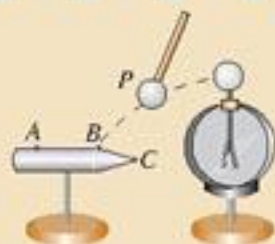


图1.3-3 检验A、B、C点的带电情况

如果电荷在带电导体表面分布是均匀的，在各次测试中，验电器张开的角度应该是相同的。实际情况怎样呢？

实验表明，验电球跟带电体的A处接触后，再接触验电器的小球，验电器的金属箔张角较小；跟B处接触后，验电器的金属箔张角较大；跟尖端C处接触后，验电器的金属箔张角最大。这表明，电荷在导体表面的分布是不均匀的：突出的位置，电荷比较密集；平坦的位置，电荷比较稀疏。

导体尖锐部位的电荷特别密集，尖端附近的电场就特别强，会产生尖端放电。高压电气设备的金属元件，表面要很光滑，就是为避免因尖端放电而造成电能损失或造成事故。

避雷针则利用了尖端放电的原理。



图1.3-4 高压电气设备的放电现象

演示

一种避雷针的避雷原理

图1.3-5是模拟避雷针作用的实验装置。如图所示，金属板M接高压电源的正极，金属板N接负极。金属板N上有两个等高的金属柱A、B，A为尖头、B为圆头。逐渐升高电源电压，当电压达到一定数值时，可看到放电现象。

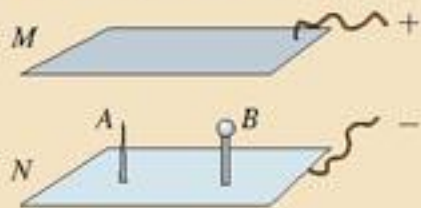


图1.3-5 避雷针模拟实验

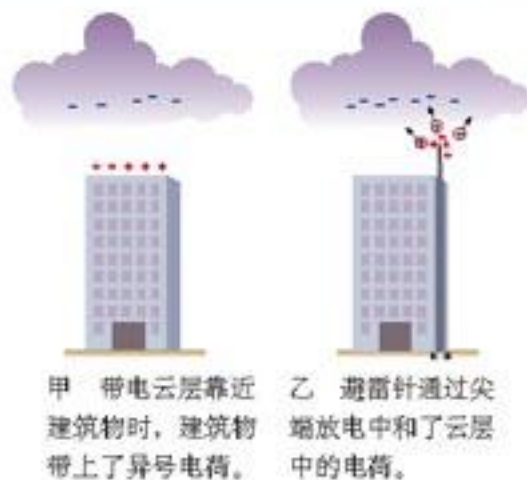
实验时身体要远离带电体，以防触电。

A、B两个金属柱，哪个容易放电？

带电云层靠近建筑物时，同号电荷受到排斥，流入大地，建筑物上留下了异号电荷。当电荷积累到一定程度时，会发生强烈放电现象，可能产生雷击。

如果建筑物安装了避雷针，在避雷针上产生的感应电荷会通过针尖放出，逐渐中和云中的电荷，保护建筑物，使其免遭雷击。

雷电对人类生活也会产生益处。闪电产生的高温促使空气中的氧和氮化合生成氮氧化物，随雨水降至地面，成为天然的氮肥。闪电产生的臭氧留在大气层中，能保护地球上的生物免遭紫外线的伤害。



甲 带电云层靠近建筑物时，建筑物带上了异号电荷。
乙 避雷针通过尖端放电中和了云层中的电荷。

图1.3-6 避雷针的原理



避雷针的发明与古建筑保护

富兰克林不仅发现了雷电现象的本质，还最早认识了尖端放电的重要性，并由此提出了避雷针的设想。他说：“尖端有这种本领，不是可以用于保护人类，保护房屋、教堂、船舶免遭雷击吗？它不是可以在云走到足够近、发生雷击之前，从云里悄悄地取走电火，从而使我们避免最突然和可怕的危害而得到安全吗？”富兰克林在他自己印刷发行的1753年的历书中详细介绍了避雷针的制作安装方法。到1782年，富兰克林居住的费城已有约400根避雷针在使用。避雷针是电学研究给人类带来的第一项有实用价值的发明。

有趣的是，由于富兰克林是美国《独立宣言》的起草人之一，愚蠢而狂妄的英王乔治三世1777年曾下令将白金汉宫的避雷针改为圆头，并要求英国皇家学会会长普林格尔(J. Pringle)在学会中批准圆头避雷针方案。普林格尔维护科学真理，拒绝了国王的要求，并因此被革去皇家学会会长职务。为此，富兰克林在1777年10月14日给他朋友的信中写道：“国王将尖头避雷针改为钝头避雷针，这对我来说倒无关紧要。我倒不如干脆宣布避雷针无效而完全取消。”当然，科学终究会战胜愚昧和偏见，英国也只能安装尖头避雷针。

避雷针的确保护了许多高大建筑免遭雷害，使得许多历史遗迹完好地保存了下来。



图1.3-7 应县木塔

我国是一个历史悠久的文明古国，有许多建于避雷针发明之前的古建筑，它们如何避雷呢？现在，保护世界文化遗产已经成为全人类的共同任务，人们争论的话题是：中国古建筑有没有避雷的措施？要不要给古建筑安装现代的避雷装置？

山西应县木塔是我国现存的最高的木结构建筑。900多年来，在开阔的平原上，这座高大的建筑是怎样避免雷击的？近年来，人们对木塔进行了实地考察和高电压模拟实验。有的研究者认为，木塔的塔基有很好的绝缘性，提出了应县木塔绝缘避雷的说法。

湖北的武当山古建筑群是世界文化遗产之一，在武当山主峰天柱峰上有一座金殿，是我国现存最大的铜铸鎏金大殿。这座金殿最为奇特的就是，每逢电闪雷鸣的时候，火球会在金殿周围滚动，但霹雳却击不毁金殿；雨过天晴后，大殿光彩夺目，像被洗过一样，这就是“雷火炼殿”奇观。后来，因金殿周围的一些建筑物常遭雷击，金殿也安装了避雷设施。此后，雷火炼殿奇观消失，没有水火的洗炼，金殿的色泽也黯淡了许多。



图1.3-8 武当山天柱峰上的金殿

一位葡萄牙传教士1668年写了一本《中国的十二大奇迹》，讲到他所见到的中国建筑避雷装置。他说，中国屋宇的屋角以龙头装饰，龙口吐出曲折的金属舌头，“巨兽的舌头指向空中，其腹内穿过金属条，金属条一端插入地里。”这样，闪电发生时，就不致伤害任何人。这本书写在欧洲发明避雷针以前，不可能是作者的想像或编造。遗憾的是，我们今天没有发现这样的古建筑，也许是由于300多年的战乱、灾难和贫穷，金属条被破坏了或者失窃了。

今天，世界各国都十分重视古建筑的保护。保护世界遗产，科学地保护文物，是一个十分艰巨而复杂的问题，也是历史赋予的责任。

静电的应用和防止 静电在工业和生活中有很重要的用途，有时又会带来很多麻烦，需要防止。在许多场合都可以发现人们应用静电的例子。同学们也可以发现许多防止静电的例子。关于静电的应用和防止，你知道哪些？

下面几幅插图介绍了应用静电的几个实例。同学们可以通过书籍查询、参观、调查等方式了解得更多。可以将你们学习的成果与同学交流。



图1.3-10 燃煤时会产生大量煤灰，污染大气。在烟囱底部安装静电除尘器就可以把煤灰除掉。



图1.3-11 当油漆从喷枪中喷出时，喷嘴使油漆微粒带正电，它们相互排斥，扩散开来形成一大团漆云，被吸附在带负电的物体表面。这种静电喷漆的方法省漆而均匀。



图1.3-12 复印机是利用静电的吸附作用工作的

这里简单介绍静电除尘的原理。除尘器圆筒的外壁连到高压电源的正极，中间的金属丝连到负极。圆筒中气体分子中的电子和带正电的部分由于受到方向相反的强大的静电力而分离（这个现象叫做“电离”）。粉尘吸附了电子而带负电，飞向筒壁，最后在重力的作用下落在筒底。这个方法不但可以净化废气，而且便于回收其中的有用物质。

关于静电的危害，前面已经谈到放电火花可能引起易燃物的爆炸。说一说，静电还有什么危害，或者给我们带来哪些不便？

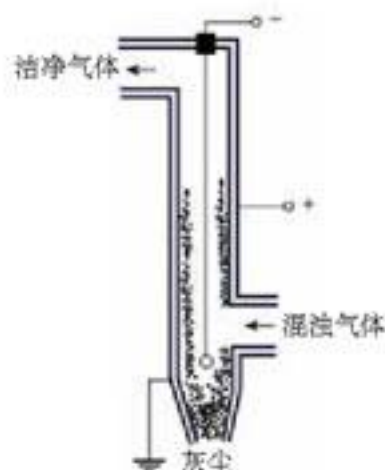


图1.3-9 静电除尘装置

问题和练习

1. 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安全措施避免类似的事例。

2. 在燃气灶上常常安装电子点火器，用电池接通电子线路产生高电压，通过高压放电的电火花来点燃气体。我们看到，图1.3-13中点火器的放电电极做成了针尖状。为什么放电电极做成针尖状而不是圆头状？

与此相反，验电器的金属杆上端却做成金属球而不做成针尖状，为什么？

3. 在气候干燥的季节，小明脱掉外衣后去拉金属门把手时，被电击吓了一跳。他赶紧缩回了手，觉得很奇怪。他决定再试一下，用手小心地去摸金属把手，然而又一切都正



图1.3-13 电子点火器的针状电极

常。这是什么原因？

4. 观察你家乡的高层房屋、高大电线杆和其他建筑物的避雷装置，写成简单的调查记录。

5. 讨论：雷雨来临时，怎样防止雷击，保障人身安全？在不同的场合（例如在旷野，在森林，在输电线附近……）应该采取什么可行的避雷措施？

四、电容器

1748年的一个晴朗的日子，在巴黎圣母院前有一场大型“魔术”表演，观众是法国国王路易十五的王室成员和大臣们。

“魔术师”诺莱特(A. J. A. Nollet, 1700—1770)调来700个修道士，让他们手拉手站成一排，全长约300 m，队伍十分壮观。装着水的大玻璃罐内有一根金属引线通到外面，与一个迅速转动并受到摩擦的大玻璃圆盘相连。随着诺莱特一个手势，排在最前面的修道士用手握住了从瓶口引出的金属线。一瞬间，700个修道士几乎同时惊叫着跳了起来，在场的人无不目瞪口呆。



图1.4-1 众僧齐跃

原来这是一场大规模的“电震实验”。玻璃大圆盘是起电机的一部分，而那个神奇的大玻璃罐，是一个能将电荷储存起来的“莱顿瓶”。

电容器 莱顿瓶是最早出现的**电容器(capacitor)**。电容器是储存电荷的装置。

电容器是电气设备中的重要元件，在实际中有广泛的应用。打开收音机、电视机、计算机等电子设备的外壳，在线路板上可以看到各种各样的元件，其中就有电容器。

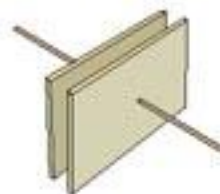


图1.4-2 平行板电容器



图1.4-3 电容器的符号

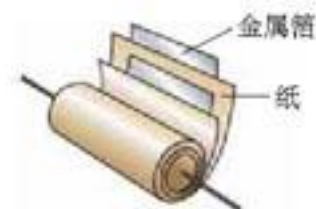


图1.4-4 纸介质电容器的结构

在两个正对的平行金属板中间夹上一层绝缘物质——**电介质(dielectric)**，就形成一个最简单的电容器，叫做**平行板电容器**。两个金属板是电容器的两个**极板(plate)**。把一个纸介质电容器拆开后会看到，它是由绝缘纸和金属箔叠在一起卷成的(图1.4-4)。实际上，两个彼此绝缘而又互相靠近的导体，都可以组成一个电容器。

把电容器的一个极板与电池组的正极相连，另一个极板与电池组

的负极相连，就能使两个极板分别带上等量的异种电荷。这个过程叫做电容器的**充电**。

充电后的电容器两个极板上，分别带有等量异号电荷(图1.4-5)。由于两极板相对且靠得很近，正负电荷互相吸引。电容器以这种方式储存电荷。

照相机的闪光灯，在不到 $\frac{1}{1000}$ s的短暂时间内发出强烈闪光，瞬时电流很大，各种电池都不能承受。在实际中，常常用电容器帮助闪光灯实现它的功能。拍照前先用较长的时间(一般是几秒)给电容器充电，拍照时触发闪光灯，使电容器通过灯管放电，发出耀眼的白光。然后电源又给电容器充电，为下次闪光做准备。

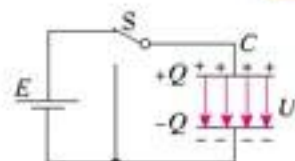


图1.4-5 电容器能存储电荷(示意图)



图1.4-6 照相机的闪光灯



图1.4-7 各种电容器



图1.4-8 可变电容器。两组铝片之间是互相绝缘的，动片旋入得越多，正对面积越大，电容也就越大。

电容器的电容

电容器带电时，两个极板间有电压。在一定的电压下，不同电容器的极板上储存的电荷有多有少，也就是电容器的电容有大有小。

一般来说，电容器极板的正对面积越大、极板间的距离越近，电容器的电容就越大。极板间电介质的性质也会影响电容器的电容量。

在国际单位制中，电容的单位是**法拉(farad)**，简称**法**，符号是**F**。法拉这个单位太大，实际上常用较小的单位：**微法(μF)**和**皮法(pF)**。它们的关系是

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

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

问题和练习

1. 找来几个常见的电容器，了解它们的用途及外面所写符号、数字的意义。
2. 图1.4-9中几个电容器的电容各是多少?
3. 请说出你家里的哪几种家用电器中有电容器。
4. 关于雷电的利用，你有什么“异想天开”的建议?



图1.4-9 这几个电容器的电容各是多少?

五、电流和电源



图1.5-1 意大利在1991年发行的纪念伽伐尼的邮票

18世纪末，很多人都在致力于产生令人激动的电火花。意大利医学教授伽伐尼(L. Galvani, 1737—1798)发现，用相连的两种金属分别接触青蛙肌肉的两个位置，会引起肌肉的收缩。伽伐尼认为这是一种“动物电”现象。金属只是起了导电的作用。他当时并不知道，这一发现奏响了电磁学辉煌发展的序曲。

意大利化学和物理学家伏打(A. Volta, 1745—1827)在重复了伽伐尼的实验后提出，产生电流的关键在于两种不同金属的连接，青蛙肌肉只是起到了检验作用。

基于这种思考，伏打于1800年春发明了能够提供持续电流的“电堆”——最早的直流电源。他的发明为科学家们由静电转入电流的研究创造了条件，揭开了电力应用的新篇章。



图1.5-2 伏打电堆：在锌片和铜片之间夹上浸透了盐水或碱水的厚纸、布片或皮革，再把几十个这样的单元叠置起来。

电流 电荷的定向移动形成电流

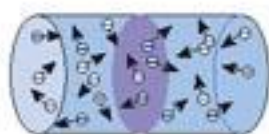
(electric current)。要形成电流，必须有能够自由移动的电荷——自由电荷。一切导体中都有自由电荷。例如，金属中的自由电子，酸、碱、盐水溶液中的正、负离子，都是自由电荷。

什么条件下自由电荷才能做定向移动呢？

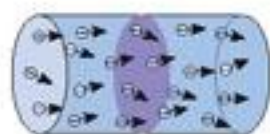
把导体的两端分别接到电源的两极上，导体两端有了电压，这时导体中也有了电场。导体中的自由电荷在电场的作用下发生定向移动，形成电流。

干电池、蓄电池、发电机等电源，它们在电路中的作用是保持导体上的电压，使导体中有持续的电流。

导体中的电流可以是正电荷的定向移动，也可以是负电荷的定向移动。习惯上规定正电荷定向移动的方向为电流的方向。常用的导线是金属制成的。在金属中，能够移动的是自由电子，电子带负电，所以，金属中电流的方向与电子定向移动的实际方向相反(图1.5-4)。



甲 无电压时，导体中的自由电荷做无规则热运动，在一段时间内向左、向右穿过横截面的自由电荷数相等。



乙 有电压时，导体中的自由电荷在电场作用下做定向运动。

图1.5-3 自由电荷的运动与电流的形成

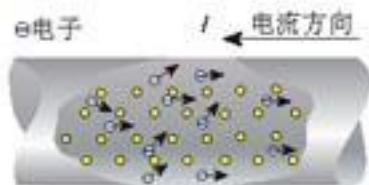


图1.5-4 金属中自由电子的运动

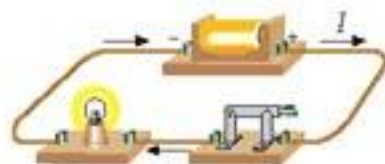


图1.5-5 外电路中电流的方向

在电源外部的电路中，电流从电源的正极流向负极（图1.5-5）。

电流有强弱的不同。如果在一定时间内通过导体横截面的电荷比较多，那么电流就比较强。物理学中用通过导线横截面的电荷量 Q 与所用时间 t 的比值来描述电流的强弱，这个物理量叫做**电流**(electric current)，用 I 代表：

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

在国际单位制中，电流的单位是**安培**(ampere)，简称**安**，符号是**A**。电流的常用单位还有**毫安**(mA)和**微安**(μA)：

$$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$$

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

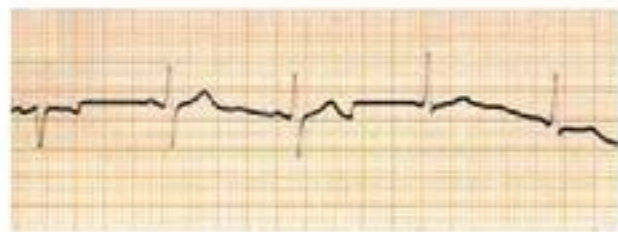


图1.5-6 心电图

身体内也有电流。由于心脏不断地进行有节奏的收缩和舒张活动，血液才能在循环系统中不停地流动。心脏在机械性收缩之前，心肌会产生微小电流并经过身体组织传导到体表。如果在体表放置心电图机上的电极，就能按时间顺序将体表的电压记录下来，形成连续的曲线，这就是心电图。通过心电图，医生可以了解心脏的工作是否正常。

电源和电动势

一个闭合电路由电源、用电器和导线、开关构成。电源的种类比较多，干电池、蓄电池、发电机等都是电源。把电源接到导体两端，导体中就建立了电场，电场使导体中的自由电荷做定向运动，就形成了持续的电流。

电池是生活中最常用的电源之一。它有两个极，两极间有一定的电压。不同的电源，两极间电压的大小不一样。不



图1.5-7 形形色色的化学电池



图1.5-8 积层电池，电池外壳上的“9 V”字样，表示它的电动势是9 V。

接用电器时，常用于电池两极间的电压大约是1.5 V，铅蓄电池两极间的电压大约是 2 V。电源两极间电压的大小是由电源本身的性质决定的。电源的这种特性，物理学中用**电动势**(electromotive force) 来描述，电源的电动势等于电源没有接入电路时两极间的电压。电动势的符号是 E ，单位与电压的单位相同，也是伏特。

演示

当电池不接用电器时，直接用电压表来触接电池的两个极，我们会发现不同电池的电动势不同。下面是一组测量结果。

1号干电池	5号干电池	铅蓄电池	手机锂电池	纽扣电池	...
1.5V	1.5V	2V			

干电池的电动势约为1.5 V，可充电的镍氢电池的电动势约为1.2 V。

电源把其他形式的能转化为电能，提供给用电器使用。各种化学电池把化学能转化为电能，发电机把机械能转化为电能，太阳能电池把太阳能转化为电能。



探索者

水果电池

像图1.5-9那样的水果电池，我们也可以自制一个。

同学们可以找来几种不同的水果和铜丝、铁丝，分别做一做。再用电压表测出它们的电动势。比较不同的水果电池的电动势大小。

水果电池具有普通电池的所有特征，而且取材方便，又不会污染环境，但是实际电路都不用水果电池。这是什么原因？



图1.5-9 水果电池

地电流

把两根相同的铁棒插在潮湿的地里，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，可以看到有电流通过。这就是地电流。两根铁棒的距离不同，它们接地点连线的方向不同，电流也不一样。

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？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，这个电流是从哪里来的？地电流的成因非常复杂，请你查阅资料，尝试做出解释。



图1.5-10 测量地电流

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联系。

问题和练习

- 你知道以下电流大概是多少吗？
 - 一般手电筒中通过小灯泡的电流
 - 电子手表工作时的电流
 - 彩色电视机工作时电源的电流
 - 人体能长时间承受的安全电流
- 同学们在日常生活和学习中使用了哪些不同种类和型号的电池？为什么不同的电器使用不同的电池？如果电子手表停了，修表师傅怎样判断是否需要换电池？
- 到市场上做调查，看看常用的可充电电池（包括手机使用的电池）有哪些种类，并从它们每次充电后可使用的时间、电池寿命、重量、价格、对环境的影响等方面进行比较。
- 相连的两种金属丝分别接触青蛙的肌肉，会引起肌肉的收缩。对此，伏打和伽伐尼的认识有什么不同？
- 图1.5-11是一块手机电池的标签。你从这个标签中可以了解关于电池的哪些信息？



图1.5-11 一种手机电池的标签

六、电流的热效应

电阻与电流的热效应 白炽灯泡通电以后，一会儿就热得烫手，电饭锅通电以后能把生米煮熟米饭。电流通过导体时能使导体的温度升高，电能变成内能，这就是电流的热效应。

导体通电时发热的多少与哪些因素有关？有什么关系？

最容易想到的是，发热的多少与通电的时间有关，通电时间越长，发热越多。我们还很容易想到，发热的多少与电流的大小有关，在其他条件一定时，电流越大，发热越多。

难以猜想的是另外一个问题：发热的多少与电阻有什么关系？在其他条件一定时，电阻越大，发热越多吗？电阻是阻碍电流的因素，怎么会是“电阻越大，发热越多”呢？

难道是“电阻越小，发热越多”吗？导线的电阻都很小，电炉丝的电阻比较大，通电时电炉丝热得发红，而导线的温度并不会明显上升。

这些疑问要通过实验解决。

演示

研究导体通电时发热的规律

实验装置和电路图如图1.6-1所示，实验步骤如下。

- 阻值不同的电阻丝A、B分别浸在质量相等的煤油里，两者串联起来，通过变阻器

和开关接到电源上。

2. 测量两烧瓶煤油的初始温度并做记录。

3. 闭合开关,过几分钟后再测煤油的温度并做记录。同时记下这次通电的时间。比较两烧瓶煤油的温度,可知哪个电阻发热较多。

由于两个电阻串联,它们的电流相等;也是由于它们串联,通电时间也相等。所以这样比较可以得知在电流相等、通电时间相等的条件下,发热量与电阻大小的关系。

4. 调整变阻器,增大电流,并使通电时间与上次实验相同。对比某烧瓶煤油这次上升的温度与上次实验上升的温度,可知在通电时间相等、电阻相等的条件下,发热量与电流大小的关系。

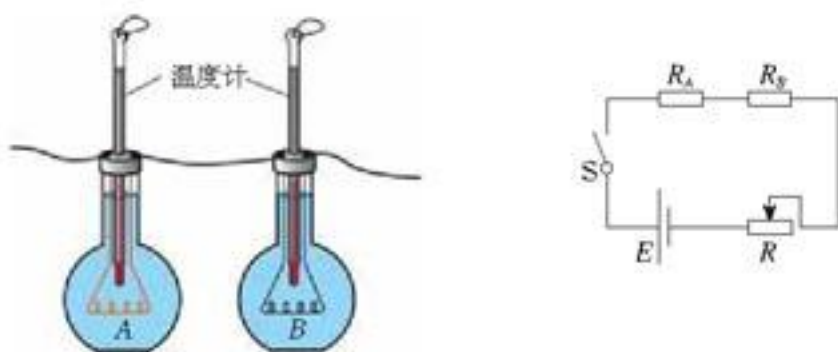


图1.6-1 比较电流热效应的装置图和电路图

英国物理学家焦耳 (James Prescott Joule, 1818—1889) 通过一系列实验发现,电流发热具有下述规律:电流通过导体产生的热量,跟电流的二次方、导体的电阻、通电时间成正比。这个规律叫做焦耳定律(Joule law)。

如果用 Q 表示热量,用 I 表示电流、 R 表示导体的电阻, t 表示通电的时间,焦耳定律可以用下式表示

$$Q = I^2 R t$$

在这个公式里, I 、 R 、 t 的单位分别用安培、欧姆、秒,热量 Q 的单位用焦耳。由焦耳定律知道,只要有电阻存在,电路中就会产生热。由于电阻的大小不同、电路中电流的大小不同,电路中产生的热量也就不一样。

根据电流的热效应,人们制成各种电热器,如电热水器、电熨斗、电热毯等。过去安装在电路上的保险丝,也是根据电流的热效应设计的,它在电流过大时会因发热而熔断,起到保护电路的作用。

我们知道,电热器使用的时间越长,产生的热越多,消耗的电能也越多。在物理学中,把电热器在单位时间消耗的电能叫做热功率。如果一个电暖器在时间 t 内产生的热量为 Q ,那么,它的热功率

$$P = \frac{Q}{t} = I^2 R$$

各种电热器上都有铭牌,上面标明的额定功率就是它的热功率。

在国际单位制中，热功率的单位是瓦特，简称瓦，符号是 W。

电动机、电灯泡的铭牌上都标有它们的额定功率。当电流通过电动机时，电能主要转化成机械能，只有一部分转化成内能，这时电功率大于热功率。而当电流通过白炽灯泡时，电能几乎全部转化成内能，这时电功率等于热功率。



图1.6-2 各种电热器

白炽灯 利用电流的热效应，使通电的金属丝温度升高，达到白热，从而发光。这就是白炽灯泡的发光原理。为了避免高温下金属丝迅速氧化折断，灯泡要抽成真空或充入惰性气体。白炽灯的发光效率比较低，浪费能源，逐渐被各种靠气体通电发光的灯管所代替。尽管如此，白炽灯依然具有巨大的生命力，并陆续出现了如卤钨灯等许多新型白炽灯。

现在，我们的生活中有各种各样的电灯。以美国发明家爱迪生和英国化学家斯旺为代表的一批发明家，发明和改进了电灯，改变了人类日出而作、日没而息的生活习惯。电灯不仅延长了人们的工作时间，而且使舞台光辉夺目、城市夜景灿烂炫目。



爱迪生 (Thomas Alva Edison, 1847—1931)，美国发明家。



思考与讨论

节约用电的途径

阅读以下文章。

新华网江苏频道南京1月13日电 2004年，南京市缺电的状况将有可能由去年的季节性缺电转变为全年性缺电，其中夏季三月份将是用电高峰。电力专家指出，普通市民也应掌握科学的用电方式，缓解目前电力紧张的压力。

家电不要待机

现在的家用电器大多有待机功能，每一台电器设备在待机状态下耗电3~10瓦不等。电视、音响、电脑以及其他多种家用电器，在电源开关未关闭的情况下，它们的红外线接收电路、控制电路处于工作状态，仍在耗电。因此，市民尽量不要使家电处于长时间待机状态，家电不用时要彻底断开电源。

换用节能灯

现在家庭都安装了漂亮的吊灯，有的吊灯要安十几个白炽灯泡。如果把白炽灯改成暖色调的节能灯，在同样的亮度下用电量可以减少很多。

.....

查一查家中的各种电器,你发现家里的哪些方面存在浪费电的现象?
你家有哪些可行的节约用电的途径?



科学足迹

发明大王爱迪生

爱迪生 1847 年 2 月 11 日出生于美国中西部的俄亥俄州,7 岁时因患猩红热而耳聋。他仅读了三个月的书就被老师斥为“低能儿”而撵出校门。母亲是他的“家庭教师”。

12 岁的时候,爱迪生获得了在列车上卖报的工作。这期间,他用一架旧印刷机印刷《先驱报》,并用挣的钱在行李车上建立了一个化学实验室。1862 年 8 月,爱迪生在火车轨道上救出了一个男孩,孩子的父亲为了表达感激之情,教他电报技术。从此,爱迪生便与神秘的电世界结下了不解之缘,踏上了发明之旅。

1863 年起爱迪生担任电信报务员,1868 年,以报务员的身份获得了第一项发明专利。1869 年 6 月初,爱迪生以修电报机的技术谋得了一个比较满意的工作。之后,他发明了“爱迪生印刷机”。他用卖印刷机的钱建了一座工厂,专门制造各种电气机械。他通宵达旦地工作,培养出许多能干的助手,同时做出了诸如蜡纸、油印机等发明。

1876 年春天,爱迪生在新泽西州的“门罗公园”,建造了第一所“发明工厂”,它标志着集体研究的开端。1877 年,他改进了早期的贝尔电话,并使之进入实际应用。他还发明了留声机。到这个时候,人们都称他为“门罗公园的魔术师”。

在经历了无数次失败后,爱迪生对电灯的研究取得了突破。1879 年 10 月 22 日,爱迪生点燃了第一盏有实用价值的电灯。为了延长灯丝的寿命,他试用了 6 000 多种灯丝材料,才找到合适的发光体——碳化后的日本竹丝。这种导体可持续工作 45 小时,达到了实用的水平。

爱迪生使用一条胶片拍下一系列照片,将它们连续地、迅速地映到幕布上,产生出运动的感觉,这就是他于 1889 年在实验室里试验成功的电影。1891 年他申请了这项专利。1903 年,他的公司摄制了第一部故事片《列车抢劫》。

1887 年爱迪生开始创建通用电气公司。

由于缺乏系统的科学知识,爱迪生也曾对现代技术的发展做出过不正确的判断。19 世纪末,交流输电系统已经出现,但他仍坚持直流输电(尽管现在直流输电在某些方面显示了优越性,但在当时的条件下是一种落后的技术),并在与 G. 威斯汀豪斯的激烈竞争中丧失了承建尼亚加拉水电站的合同。他的实验室盲目试制磁力选矿设备,耗尽了发明电灯所得的资金,最后不得不放弃。尽管如此,爱迪生由于在电力开发、电器制造和推广电能应用等方面做出了杰出的贡献,仍然是伟大的发明家之一。



2000 年刚果共和国发行的纪念爱迪生的邮票

爱迪生的贡献巨大,“秘诀”是什么?是因为他有一颗好奇心,一种事事亲自试验的探索热忱,以及超乎常人的精力和顽强精神。当有人称赞爱迪生是个“天才”时,他却谦虚地说:“天才就是 2% 的灵感加上 98% 的汗水。”除此之外,他能把科学家、工程师、工人组织起来,靠集体的力量来进行技术“攻关”,这也是取得成就的重要原因。

他于 1931 年 10 月 18 日病逝,享年 84 岁。终其一生,爱迪生和他的实

实验室共获一千多项发明专利。

今天，当我们在灯下读书、观看电影、欣赏录音时，会不会想到这位对人类做出伟大贡献的发明家呢？

问题和练习



1. 你家有哪些电热器（如电热水器、电熨斗、暖风机……）？它们使用多高的电压？功率各是多少？
2. 到百货商场向售货员了解，除了电阻丝外，家用电热器还用到了什么新型电热元件？设法了解这些新型电热元件的工作原理。
3. 调查你家里有哪些家用电器经常处于待机状态？设法研究什么电器在待机状态下浪费的电较多。如果家用电器不再处于待机状态，你家每年大约可以节约多少电，少花多少电费？
4. 找来螺丝口和卡口的灯口各一个，观察和比较它们的构造和接线情况。把灯泡安在相应的灯口上，弄清楚灯泡的灯丝是怎样连通的（图 1.6-3）。安装哪种灯泡时，如果手触灯口，可能发生触电事故？



甲 螺丝口灯座



乙 卡口灯座

图 1.6-3 两种灯口的结构

火药、指南针、印刷术——这是预告资产阶级社会到来的三大发明……指南针打开了世界市场并建立了殖民地……
——马克思^①

第二章 磁场



最早的磁性指向器——司南。它由青铜盘和磁石琢磨的勺组成，磁勺头为磁体的北极，尾为南极。磁勺放置在盘的中心，受地磁作用，勺尾指向南方。

^① 马克思 (Karl Heinrich Marx, 1818—1883)，马克思主义的创始人，国际共产主义的奠基者。引文选自《马克思恩格斯全集》47卷427页，人民出版社1979年第1版。

到处都有磁现象，近至我们的身体、我们的地球，远至太阳和许多星系；小至原子、原子核和各种粒子，大至各种天体，都有或弱或强的磁性。在现代生活和生产中，磁的应用十分重要，磁录音、磁录像已经在生活中广泛应用，电话、电视、计算机都离不开磁，发电机、电动机、各种电气仪表也都跟磁有关。凡是用到电的地方，几乎都有磁相伴随。

一、指南针与远洋航海

茫茫大海，一望无际，洪涛接天，巨浪如山。远航的船只怎样掌握航向，顺利抵达目的地？用指南针导航、用尾舵掌握航向、有效地利用风力，是古代远洋航海的三大必要条件。

郑和下西洋 明永乐三年（1405年）的一天，江苏太仓城外刘家港的港湾里，一支庞大的船队正准备起锚远航。“宝舟体势巍然，巨无匹敌，棚帆锚舵，非二三百人莫能举动。”整个船队有官兵、水手、工匠、医生、翻译等两万多人。这是中国古代历史上规模空前的一次航海壮举，统帅船队的是郑和（1371—1433）。我国是最早在航海上使用指南针的国家。郑和下西洋的宝船上装备着罗盘，导航时兼用罗盘和观星，二者互相补充、互相修正。



图2.1-1 持罗盘者(宋俑)——艺术作品在不经意间记录了科技史实



图2.1-2 郑和船队的宝船

用罗盘指引航向，探索航道，将船舶航向的变动与指南针指向变动的对应关系总结出来，画出的航线在古代称做“针路”或“针径”。利用“针路”，船能够靠指南针导航。明清时期，我国海道针经一类书籍流传到国外，现在英国牛津大学图书馆仍然藏有我国16世纪末和17世纪有关航海的书籍。

1405~1433年间，郑和先后7次下西洋。他率领当时世界上最强大的远洋船队，先后到达了亚洲、非洲的三十多个国家，向南到了爪哇，向西到了波斯湾和红海的麦加，最远到了赤道以南的非洲东海岸。郑和“下西洋”也是世界航海史上伟大的壮举。

郑和下西洋产生的影响是多方面的。它开拓了我国在南洋群岛、印度洋沿岸国家的海外

第二章 磁 场

市场，刺激了我国的商品生产，特别是丝绸和瓷器生产的发展，对当时我国资本主义因素的增长有一定的推动作用。郑和的几次航行开辟了从中国到红海、非洲东海岸的航道，绘制了航海地图，总结了当时的航海技术和航海地理知识，对沟通东西方海路交通作出了重大贡献。郑和的航海图连同记载他们航行的几部著作，介绍了三十几个国家的风土人情和山川地貌，大大开阔了中国人的地理视野，不但是中国海上探险事业的巨大成就，也是世界地理发现史上的光辉记录。



图2.1-3 针路图

欧洲人的远洋探险 在宋、元两代，中外交往和贸易频繁。我国发明的指南针传到了欧洲和亚洲的许多国家，推动了世界航海事业的发展，使得近代欧洲的远洋探险用指南针（罗盘）导航成为可能。

希腊人关于大地是球形的学说，许多世纪以来为天文学家所熟知，也逐渐成为公众的信念。从这个信念出发，人们自然会想到由大西洋向西行驶就可以到达亚洲东岸，东方的黄金、香料、丝绸和瓷器便可由海道直接运抵欧洲。正是由于这种梦想，意大利航海家哥伦布（C. Colombo, 约1451—1506）在西班牙王室的支持下进行了远洋探险，1492年10月12日到达了巴哈马群岛。在这次远航中，哥伦布观测到了磁偏角（中国的沈括早他400多年已经观测到磁偏角）。1519年，在西班牙王室的支持下，葡萄牙航海家麦哲伦（F. Magellan, 1480?—1521）率领265名水手开始环球探险，3年后这支船队回到西班牙，完成了举世闻名的环球航行。



图2.1-4 早期航海者使用的罗盘

航海和地理发现使欧洲各国的工商业得到很大的发展，实现了资本的原始积累，也对近代科学的发展产生了深刻的影响。航海离不开精确的星图和海图，离不开坚固的船舰和威力巨大的火炮武器。所以，航海事业推动了天文学、大地测量学、力学和数学等学科的发展，航海中的观察记录也为这些学科的发展积累了大量数据资料。远洋航海促进了冶金、造船、机械制造等技术和行业的发展。远航和探险开阔了欧洲人的眼界和心胸。他们从欧洲走进广阔的亚洲、美洲和非洲东海岸，前所未见的自然现象丰富了他们的头脑，闻所未闻的各种不同地域的文化，启迪了他们的思想。

环球航行使大地球形的猜想得到了实践的检验，人类第一次真正认识了地球，确立了新的地球观。远洋探险的成功，使人类获得了解放思想和打破旧观念束缚的巨大精神力量。这些为近代科学在欧洲的诞生起到了促进作用。

所有这些远洋航行的成功，离不开磁学知识的最初应用——指南针。

磁场 在初中时我们已经知道，磁极之间的力，是通过一种场——磁场来传递的。磁体在空间产生磁场，磁场使磁体间不必接触便能相互作用。

把小磁针放在磁体的磁场中，小磁针受磁场力的作用，静止时两极指向确定的方向。在磁场中的不同点，小磁针静止时指的方向一般并不相同。这个事实说明，磁场是有方向性的。物理学规定，在磁场中的某一点，小磁针北极受力的方向，也就是小磁针静止时北极所指的方向，就是那一点的磁场方向。

在初中我们已经知道，可以用磁感线来形象地描述各点的磁场方向。所谓磁感线，就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该点的磁场方向一致。

实验中常用铁屑在磁场中被磁化的性质，来模拟磁感线的形状。

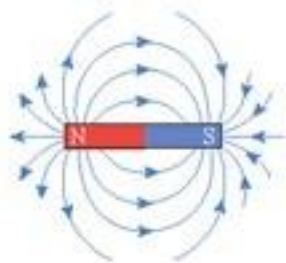


图2.1-6 条形磁体磁感线模拟图

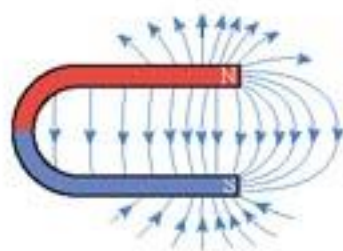


图2.1-5 条形磁体和蹄形磁体的磁感线

磁性的地球 发现磁针能够指向南北，这实际上就是发现了地球的磁场。指南针的广泛使用，又促进了人们对地球磁场的认识。

地球的地理两极与地磁两极并不重合，因此，磁针并非准确地指南或指北，其间有一个交角，这就是地磁偏角，简称磁偏角。磁偏角的数值在地球上的不同地点是不同的。不仅如此，由于地球磁极的缓慢移动，磁偏角也在缓慢变化。在使用指南针确定南北方向时，只有将磁偏角考虑在内，才能得出准确的结果。磁偏角的发现，对于科学的发展和指南针在航海中的应用都很重要。

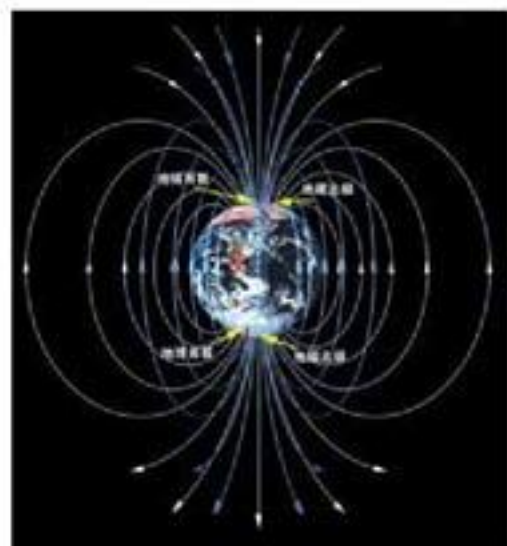


图2.1-7 地理两极与地磁两极不重合



图2.1-8 在太阳的单色照片上可以看到巨大的日珥，日珥的出现和变化与太阳的磁场有关。

地球具有磁场，宇宙中的许多天体都有磁场。太阳表面的黑子、耀斑和太阳风等活动都与太阳磁场有关。

月球没有全球性的磁场。阿波罗登月计划的重要科研活动之一，就是观测月球表面的磁场和月岩的磁性。这是用其他天文学方法不能做到的。卫星对火星磁场的观察显示，火星也没有地球那样的全球性的磁场，因此指南针不能在火星上工作。

问题和练习



1. 用缝衣针自制一枚简易指南针。

把普通缝衣针的尾部在永磁体的一个磁极上摩擦，使针磁化。再把这枚针穿过一个发泡塑料制成的小球，放在瓷盘中的水面上。当缝衣针静止后，观察它的指向。

2. 为你自制的指南针做一个标度盘。

3. 在网络上或书籍中查找你所在地区的磁偏角，用来修正你用自制指南针确定的南北方向。

4. 指南针对人类认识地球有什么贡献？请尽可能地通过具体事例，从多个角度来说明。



图2.1-9 自制指南针



探索者

野外定向

在野外寻找方向，你知道多少种方法？

使用指南针是最简单的方法。将指南针持平，红色指针就会指向北方（或南方）。在测试时，要远离刀子、铁制背包扣、铁轨、卡车、电线等物品，否则会影响测试结果。需要注意的是，指南针指出的“北”并不是真正的北，一般情况下，两者有细微的差别。在我国除部分磁力异常的地区外，指南针所指的北方都是离开地理北极而略向西偏。磁偏角还不断缓慢地变化着，地图上的磁偏角只是测绘此图时的数据。

还可以用手表来确定方向。在北半球，可将手表放平，使时针指向太阳，时针与12点形成的夹角的平分线即为南方。

太阳东升西落，我们在北半球观察到太阳在偏南的天空运动，由此也能确定出大致的北方；通过北斗七星“斗口”的两颗星的连线，朝斗口方向延长约两星距离的5倍远，就能找到北极星，即正北方向；积雪融化的地方向着南方，树桩上年轮相对密集的一面向着北方，树叶相对茂盛的一面向着南方，树皮粗糙的一面向着北方，我国西北地区的沙丘一般是从西北向东南方向移动……

二、电流的磁场

电现象和磁现象之间存在着许多相似性。例如，自然界中只有正负两种电荷，同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引。类似地，自然界中只存在南北两种磁极，同名磁极相互排斥，异名磁极相互吸引。电现象和磁现象之间是否具有某种联系？

电流的磁效应 18世纪,一些有趣的现象已经引起了科学家的注意。一名英国商人发现,雷电过后,他的一箱新刀又竟有了磁性。富兰克林也在实验中发现,在莱顿瓶放电后,附近的缝衣针被磁化了。电真能产生磁吗?许多人进行过实验研究,但是在稳定的电源发明之前,这类实验是不可能获得成功的。当时的一些科学家曾经断言:电和磁在本质上没有联系。

19世纪,随着对摩擦生热等现象认识的深入,自然界各种运动之间存在着广泛联系的思想逐渐在科学界形成。除了表面上的一些相似性之外,电和磁之间是否还存在着更深刻的联系?一些科学家相信,答案是肯定的,在实验中寻找这种联系,就成为他们的探索目标。后来,丹麦物理学家奥斯特首先获得成功。

我们知道,静止的电荷只能产生电场,不能产生磁场。那么,运动的电荷,也就是电流,能不能产生磁场?

1820年,奥斯特发现:把一根导线平行地放在磁针的上方,给导线通电时,磁针发生了偏转,就好像磁针受到磁铁的作用一样。这说明不仅磁铁能产生磁场,电流也能产生磁场,这个现象称为电流的磁效应(图2.2-1)。

电流磁效应的发现,用实验展示了电与磁的联系,说明电与磁之间存在着相互作用,这对电与磁研究的深入发展具有划时代的意义,也预示了电力应用的可能性。

电流磁场的方向 奥斯特的发现极大地地震动了科学界,人们不仅重复奥斯特的实验,还提出了新问题:当把小磁针放在电流的磁场中时,小磁针的偏转是否有一定的规律?偏转方向与电流的方向有什么关系?以安培为代表的法国科学家很快取得了研究成果。



奥斯特(H. C. Oersted, 1777—1851), 丹麦物理学家。

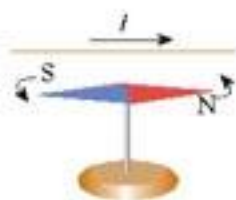


图2.2-1 电流能使磁针偏转



安培(A. M. Ampère, 1775—1836), 法国数学家、化学家和物理学家。

演 示

观察直线电流磁感线的形状

使直导线穿过一块硬纸板,在硬纸板上均匀地撒一层细铁屑。轻敲硬纸板,同时给导线通电,细铁屑在磁场里被磁化,并在磁场作用下有规则地排列起来。这时细铁屑排列的形状显示出直线电流磁场磁感线的形状(图2.2-2甲)。

从图2.2-2乙可以看出,直线电流磁场的磁感线,是围绕导线的一些同心圆。如果用小磁针来判定磁场的方向,可以得到下述的安培定则(Ampère law):右手握住导线,让伸直的拇指的方向与电流的方向一致,那么,弯曲的四指所指的方向就是磁感线的环绕方向(图2.2-2丙)。

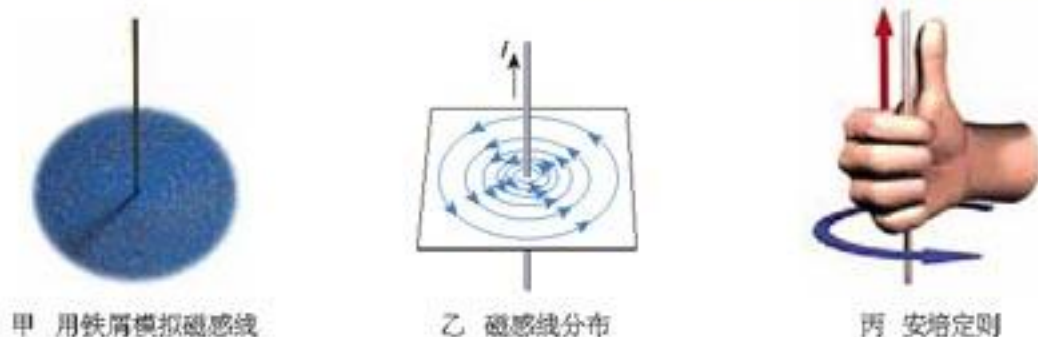


图2.2-2 直线电流的磁场

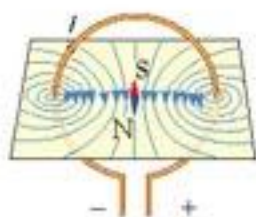
再来研究环形电流的磁场。

演 示

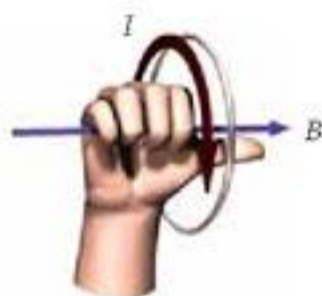
观察环形电流磁感线的形状

把环形导线穿过硬纸板，纸板水平放置，在纸板上均匀地撒一些铁屑。轻敲纸板，同时给导线通电，可以看到铁屑所显示的模拟磁感线。

如果把小磁针放在环形导线的中央，由磁针N极所指的方向可以知道环形电流中心附近磁场的方向(图2.2-3甲)。



甲 磁感线分布



乙 安培定则

图2.2-3 环形电流的磁场

环形通电导线中心附近的磁场方向，可以用图2.2-3乙所示的安培定则来判定。

由多个环形导线组成的螺线管，通电时产生的磁场如图2.2-4所示：磁感线从螺线管的一端出来，进入另一端，形成闭合的曲线。

通电螺线管的电流方向跟它的磁感线方向之间的关系，也可用安培定则来判定：右手握住螺线管，让弯曲的四指所指的方向跟电流的方向一致，拇指所指的方向就是螺线管内部磁感线的方向。在同一幅磁感线的示意图中，磁感线密的位置，磁场比较强。这一点，跟用电场线描述电场相似。

环形导线可以看做只有一匝的螺线管。



图2.2-4 通电螺线管的磁场

大 家 谈

根据通电螺线管外部磁感线的分布做出判断：什么位置的磁场最强？

通电螺线管外部的磁场与条形磁体十分相似。如果把它看做一个条形磁体，图2.2-4中拇指指的是条形磁体的N极。



科学足迹

电流磁效应的发现

奥斯特很早就相信，自然界各种现象之间存在着广泛的联系。他为寻找这种联系做过一些实验。1803年奥斯特断言：“我们的物理学将不再是关于运动、热、空气、光、电、磁以及我们所知道的各种其他现象的零散的罗列，我们将把整个宇宙容纳在一个体系中。”

在伏打电池发明后，奥斯特开始了电化学的研究。在自然力的统一性的思想指导下，奥斯特十分重视电与磁之间的联系。他曾经想到，既然电流经过较细的导线时会生热，那么导线的直径再小一些，就有可能发出光来；当导线的直径进一步缩小时，电流或许就会产生磁效应。但是，按照这个思路所做的实验没有成功。

1820年4月，在一次有关电和磁的演讲中，奥斯特把导线沿南北方向放置，导线下方有一枚小磁针。接通电源时，小磁针转动了。这个现象没有给台下的听众留下什么印象，却使奥斯特激动万分。他紧紧抓住这个现象，连续进行了3个月的实验研究，终于在1820年7月21日发表的论文《关于磁针上的电流冲突的实验》中，报告了他的实验装置和实验发现。他指出，在电流周围，小磁针的指向形成一个闭合的圆周。

在牛顿力学和静电学里，我们熟悉的力，如万有引力、库仑力，是一种“有心力”，只能作用在物体的连线上。但是，奥斯特发现的这种新效应却令人惊异：磁针的指向总是垂直于电流的方向，也就是说作用在磁针上的是一种“旋转力”。



奥斯特发现，电流能使附近的磁针偏转。

奥斯特的发现让人惊异的另一个特点是，静止电荷对磁针毫无作用，只有使电荷运动才能产生这种效应。这里我们第一次遇到了这样一种力，这种力与产生它的物体的运动有关。所以，奥斯特的发现开阔了人类认识的视野，超越了牛顿物理学的思想。

奥斯特还有一个看法，认为这种磁效应要扩散到很大的空间范围。这正是“场”思想的开端。

电流磁效应的发现，打破了电与磁不相关的传统信条，猛烈打开了一扇大门，使人们进入了电磁联系这个长期闭锁的研究领域，为实现物理学的一次大综合开辟了广阔的道路。

问题和练习

1. 如图2.2-5，把小磁针放在磁场中，说明小磁针将怎样转动并停在哪个方向。

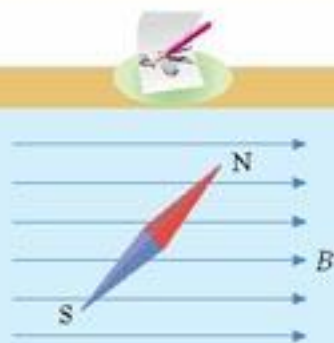


图2.2-5 判断小磁针的运动

第二章 磁 场

2 如图2.2-6,当接通电路后,小磁针指向什么方向?

3 有一个蓄电池,不知道它的正负极。把它像图2.2-7那样,通过电阻跟螺线管连接起来,发现小磁针的N极立即向螺线管偏转。判断哪一端是电池的正极,说明你的理由。

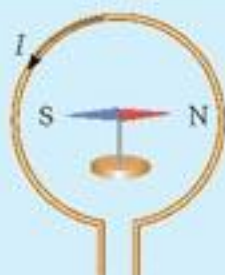


图2.2-6 小磁针指向什么方向?



图2.2-7 判断电池的正负极

4 某磁场的磁感线如图2.2-8所示。图中的M点和P点相比,磁场的强弱和方向相同吗?

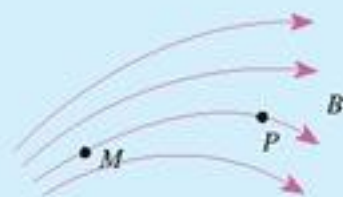


图2.2-8

三、磁场对通电导线的作用

安培力 既然通电导线能产生磁场,它本身也相当于一个磁体,那么通电导线在磁场中是否也受到力的作用呢?我们通过实验来研究。

演 示

观察安培力

如图2.3-1所示,把一段直导线放到磁场中,当导线中有电流通过时,可以看到原来静止的导线会发生运动。



图2.3-1 磁场对通电导线有力的作用

通电导体在磁场中受到的力称为**安培力**(Ampère force)。由于法国科学家安培最早研究了磁场对通电导线的作用,后人为纪念他而命名了这种力。

把一段通电直导线放在磁场里,当导线方向与磁场方向垂直时,它所受的安培力最大;当导线方向与磁场方向一致时,导线不受安培力;当导线方向与磁场方向斜交时,所受安培力介于最大值和0之间。我们只研究导线所受安培力最大的情形。

演 示

影响安培力大小的因素

如图2.3-2, 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, 电流的强弱由外部电路控制。

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。观察这两个因素对安培力的影响。



图2.3-2 研究影响安培力大小的因素

通过对大量实验事实的分析我们认识到, 通电导线在磁场中受到的安培力的大小, 既跟导线的长度 L 成正比, 又跟导线中的电流 I 成正比, 用公式表示就是

$$F = BIL$$

式中 B 是比例系数。

磁感应强度 对于不同的磁场, 上面的比例关系都成立, 但在强弱不同的磁场中, 比例系数 B 是不一样的。 B 反映了磁场的强弱, 叫做磁感应强度(magnetic induction), 即

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

磁感应强度 B 的单位由 F 、 I 和 L 的单位决定。在国际单位制中, 磁感应强度的单位是特斯拉(tesla), 简称特, 符号是 T:

$$1 \text{ T} = 1 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}$$

地面附近地磁场的磁感应强度只有 $0.3 \times 10^{-4} \sim 0.7 \times 10^{-4} \text{ T}$, 是很弱的磁场。永磁铁磁极附近的磁感应强度为 $10^{-3} \sim 1 \text{ T}$ 。在电机和变压器的铁芯中, 磁感应强度可达 $0.8 \sim 1.4 \text{ T}$ 。人体心脏工作时产生的磁场约为 10^{-10} T , 而人脑神经活动产生的磁场更微弱。

磁感应强度是个矢量, 它不仅有大, 还有方向。小磁针的 N 极在磁场中某点受力的方向, 就是这点磁感应强度的方向。过去所说的“磁场的方向”实际上就是磁感应强度的方向。

安培力的方向 在前面的实验中, 如果调换磁铁两极的位置而使磁场的方向改变, 导线受力的方向就相反; 磁场的方向不变而电流方向改变时, 导线的受力方向也相反。可见安培力的方向跟磁场方向和电流方向有关。

电场强度 E 用来描述电场的强弱, 磁感应强度 B 在磁场中的作用与此类似, 只是由于历史的原因, 它不叫“磁场强度”。



第二章 磁 场

分析大量实验结果后可以发现，安培力的方向既跟磁感应强度的方向垂直，又跟电流方向垂直；三个方向之间的关系可以用左手定则(left-hand rule, 图2.3-3)来判定：伸开左手，使拇指跟其余四指垂直，并且都跟手掌在同一个平面内，让磁感线穿入手心，并使四指指向电流的方向，那么，拇指所指的方向就是通电导线所受安培力的方向。

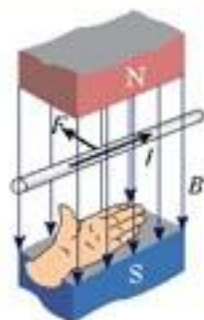


图2.3-3 左手定则

思考与讨论

线圈在磁场中如何运动

如果放在磁场中的不是一段通电的导线，而是一个通电的矩形线圈abcd(图2.3-4)，会发生什么现象？

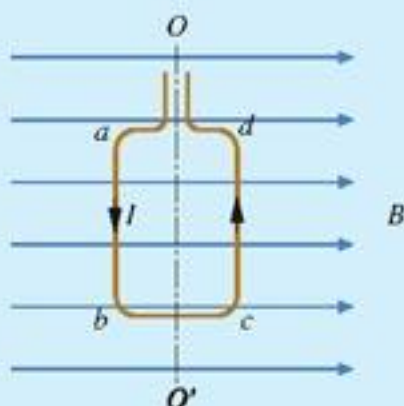


图2.3-4 通电矩形线圈在磁场中如何运动？

电动机 在磁场中，通电线圈受到安培力的作用，发生扭转(图2.3-5)。如果给线圈通以方向合适的电流，就可以使线圈转动起来。我们使用的电动机就是利用安培力来工作的。现在，电动机广泛应用于工厂、办公室、家庭里。



图2.3-5 通电线圈在磁场中受到安培力会扭转，电动机就是根据这个原理设计的。

各种电动机都有定子和转子。定子是电动机中固定不动的部分，可以是线圈，也可以是磁体，转子是电动机中转动的部分(图2.3-6)；线圈镶嵌在硅钢片的槽中。直流电动机中还有电刷和整流子，可以将电流持续地提供给线圈，并适时地改变流入线圈的电流方向，它们能使转子按一个方向持续地旋转。直流电动机广泛地使用在电动剃须刀、录音机、录像机、计算机、电动玩具、电力机车、电子钟表上，大功率的直流电动机使用在电车、高速电梯上。



图2.3-6 一种电动机的定子和转子



图2.3-7 时钟上的直流电动机

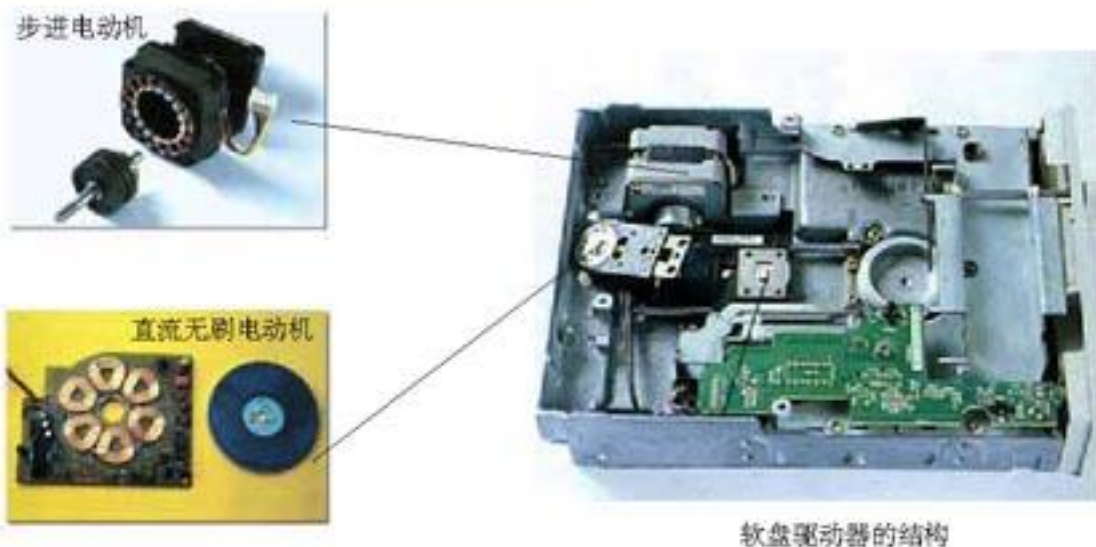


图2.3-8 计算机软盘驱动器中的电动机。直流无刷电动机使软盘转动，步进电动机用于变换磁道。

大 家 谈

电动机给家庭生活带来了什么变化

你家里哪些电器上有电动机？

如果没有电动机，你家里的哪些工作要变电动为手动？如果没有电动机，你家里的哪些工作根本就不能做了？



科学足迹

电学中的牛顿——安培

安培最有影响的科学工作是在电磁学领域。他在得知奥斯特的实验后，第二天就开始实验，并有了新的发现。安培把导线绕成圆筒状，制成螺线管。尽管螺线管不是用铁丝而是用铜线绕成的，但是，接通电源以后却能够吸引小铁钉。今天几乎任何电子仪器都离不开线圈，可见安培这一发现的重要性。

安培做了通电平行导线间相互作用的实验，证明通电导线间就像磁极和磁极之间一样，也会发生相互作用。他用不同形状的通电导体进行了许多精巧的实验，结合严密的数学推演，得出了关于电流之间相互作用力的大小和方向的安培公式。

安培对电学的贡献是多方面的，而且是奠基性的，麦克斯韦把安培称做“电学中的牛顿”。安培之所以能够取得重大的研究成就，是与他的数学修养分不开的。近代科学的重要特点之

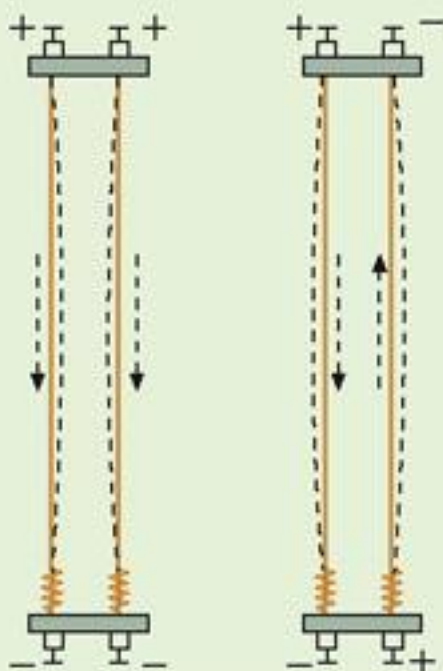


图2.3-9 安培的平行导线实验。你能判定通电后它们之间作用力的方向吗？

第二章 磁 场

一是定量分析。数学是科学的语言。系统地引用数学来研究物理学，这是19世纪物理学发展的重要特点之一，这为有数学才能的物理学家创造了用武之地。今天，数学在科学研究中的作用更为重要。另一方面，安培十分重视学术交流，他能敏感地从他人的工作中提出前沿性的课题，抓住机遇迅速进入新的研究领域。

今天，在各种电器的标牌上常常可以看到安培名字的第一个字母A，那是人们用电流的单位来纪念安培。



颤抖的灯丝

用一块蹄形磁铁慢慢地接近发光的白炽灯泡（图2.3-10）。可以看到灯丝颤抖起来。

猜猜看，灯丝里通过怎样的电流，才能使灯丝颤抖起来？



图2.3-10 颤抖的灯丝

问题和练习



1. 图2.3-11表示一根放在磁场里的通电直导线，直导线与磁场方向垂直。图中分别标明了电流、磁感应强度和安培力这三个量中两个的方向，试标出第三个量的方向。用“·”表示磁感线垂直于纸面向外，“×”表示磁感线垂直于纸面向里；“⊙”表示电流垂直于纸面向外，“⊗”表示电流垂直于纸面向里。



图2.3-11 分别标出电流、安培力或磁感应强度的方向

2. 一根长2 m的直导线，通有1 A的电流，沿东西方向水平放置。试估算导线在地磁场中所受的安培力。

3. 左手定则是判断安培力方向的一个方法，也可以使用其他便于记忆的方法表明磁感应强度的方向、电流方向和安培力方向的关系。你能提出一个方法吗？

4. 赤道上的地磁场可以看成沿南北方向的匀强磁场，磁感应强度的大小是 $0.50 \times 10^{-4} \text{ T}$ 。如果赤道上有一根沿东西方向的直导线，长为20 m，载有从东到西的电流30 A。地磁场对这根导线的作用力有多大？方向如何？

四、磁场对运动电荷的作用

洛伦兹力 我们知道，电流是由电荷的定向移动形成的。在示波器、电视机、X射线机、电子显微镜等仪器中，都有一个真空玻璃管。在这个玻璃管内，电子束由阴极出发，穿过真空到达阳极，实际上也是一种电流。既然磁场对通电导线有力的作用，我们可以猜测，磁场对运动的电荷也有力的作用，而作用在导线上的安培力则是作用在运动电荷上的力的宏观表现。

为了检验这种猜测，我们看一个实验。

演 示

电子束在磁场中的偏转

在真空玻璃管内安装一个阴极、一个阳极。阴极接高电压的负极、阳极接正极。阴极能够发射电子，电子束在两极之间的电场力的作用下从阴极飞向阳极。这个管子叫做电子射线管(图2.4-1)。为了显示电子束运动的情况，管内装有长条形的荧光屏，屏上的物质受到电子的撞击时能够发光。

- (1) 没有磁场时，观察电子束的径迹(图甲)。
- (2) 把电子射线管放在蹄形磁铁的两极之间，观察电子束的径迹(图乙)。
- (3) 调换磁铁南北极的位置，再次观察电子束的径迹。

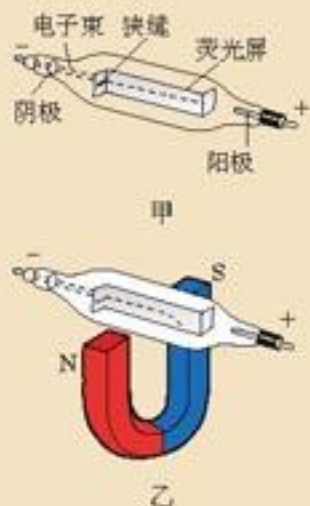


图2.4-1 电子束在磁场中的偏转

荷兰物理学家洛伦兹首先提出，磁场对运动电荷有力的作用。为了纪念他，人们称这种力为洛伦兹力(Lorentz force)。

洛伦兹力的方向 电流是导线中带电粒子的定向运动，带电粒子在运动时受到洛伦兹力，在宏观上表现为导线受到了安培力。



洛伦兹(H. A. Lorentz, 1853—1928)，荷兰物理学家，1902年诺贝尔物理学奖的获得者。



思考与讨论

假设某种导体中自由移动的电荷是正电荷，按照这个图景，仿照判断安培力方向时用的左手定则，说出判断洛伦兹力方向的方法。

在前面的演示中，实际上是电子在运动。电子带负电荷，它所受的洛伦兹力的方向应该与正电荷所受的洛伦兹力的方向相反。按照你得出的方法，判断图2.4-1乙中电子束的偏转方向。这个图中画的方向正确吗？

电子束的磁偏转

图2.4-2所示的实验装置叫做洛伦兹力演示仪，可以演示洛伦兹力的方向和大小。它由一个球形电子射线管和一组线圈组成。通过改变电子枪两极间的电压可以改变电子的速度；通过改变线圈中电流的强弱可以改变磁感应强度的大小。



甲 没有磁场时电子束沿直线运动。



乙 施加垂直于纸面的磁场后，电子束沿圆轨道运动。

图2.4-2 洛伦兹力演示仪

在演示仪中可以观察到，没有磁场时，电子束是直进的，外加磁场以后，电子束的径迹变成圆形。磁场的强弱和电子的速度都能影响圆的半径。

显像管的工作原理

电视机显像管也用到了电子束磁偏转的原理。显像管中有一个阴极，工作时它能发射电子，荧光屏被电子束撞击就能发光。可是，很细的一束电子打在荧光屏上只能使一个点发光，而实际上要使整个荧光屏发光，这就要靠磁场来使电子束偏转了。



思考与讨论

显像管基本原理

从图2.4-3可以看出，没有磁场时电子束打在荧光屏正中的O点。为使电子束偏转，

在管颈区域加有偏转磁场（由偏转线圈产生）。

1. 要使电子束在竖直方向偏离中心，打在荧光屏上的A点，偏转磁场应该沿什么方向？
2. 要使电子束打在图2.4-3的B点，偏转磁场应该沿什么方向？
3. 要使电子束打在荧光屏上的位置由中心O逐渐向A点移动，偏转磁场的强弱应该怎样变化？

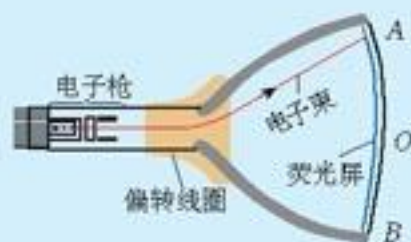


图2.4-3 显像管原理示意图

实际上，水平偏转磁场和竖直偏转磁场的强弱都在不断变化，因此电子束打在荧光屏上的光点就像图2.4-4那样不断移动，这在电视技术中叫做扫描(scan)。电子束从最上一行到最下一行扫描一遍叫做一场，电视机中每秒要进行50场扫描，所以我们感到整个荧光屏都在发光。

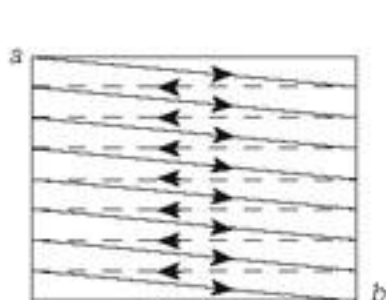


图2.4-4 电子束在荧光屏上沿水平方向扫描一行之后，向下移动少许，再做下一次行扫描，直到荧光屏的下端。



图2.4-5 显像管颈部的偏转线圈



科学足迹

正电子的发现

在粒子物理研究中，带电粒子在云雾室等探测装置中的径迹是非常重要的实验依据。根据粒子的径迹和不同粒子径迹的比较，科学家可以得到粒子的带电情况、运动情况等许多信息，甚至可以发现新粒子。

1930年，狄拉克（P. A. M. Dirac, 1902—1984）从理论上预言了正电子的存在。正电子与电子质量相同，但是电荷相反，也可以说，它是带正电荷的电子。

1932年，美国物理学家安德森（C. D. Anderson, 1905—1991）在宇宙射线实验中发现了正电子。他利用放在强磁场中的云室来记录宇宙射线粒子，并在云室中加入一块厚6 mm的铅板，借以减慢粒子的速度。当宇宙射线粒子通过云室内的强磁场时，拍下粒子径迹的照片，如图2.4-6所示。由于所加铅板降低了粒子的运动速率，粒子在磁场中偏转的轨道半径就会变小，所以根据铅板上下

粒子径迹的偏转情况，可以判定粒子的运动方向（图中的粒子是由下向上运动的）。这个粒子的径迹与电子的径迹十分相似，只是偏转方向相反。由此，安德森发现了正电子，并由于这一发现，获得了1936年的诺贝尔物理学奖。

在安德森之前不久，约里奥-居里夫妇也在云室照片中发现了与电子偏转方向相反的粒子径迹。如果他们意识到，这个粒子所带电荷与电子相反，就会把研究工作引向正电子的发现。但遗憾的是他们没有认真研究这一现象，只是提出了一个经不住推敲的解释，就把这一特殊现象放走了。他们认为，这是向放射源移动的电子的径迹，而不是从放射源发出的正电子的径迹。他们没有思考，向放射源移动的电子来自何处，也没有设法判断这个粒子的运动方向。得知安德森的发现后，约里奥-居里夫妇证实，他们使用的钋加铍源发射的射线能够产生正负电子对。后来也记录到了单个正电子的径迹。

正电子的发现证明了反物质的存在，对反物质世界的探索现在仍是物理学的前沿之一。

讨论：约里奥-居里夫妇为什么错失发现正电子的机遇？



图2.4-6 正电子在云室中的径迹



科学漫步

阿尔法磁谱仪

阿尔法磁谱仪是1998年人类送入宇宙空间的第一个大型磁谱仪，是当代宇宙磁学中的一项重要成果。美籍华裔物理学家丁肇中教授领导了这个国际合作项目，10多个国家和地区的科研机构参加，主要目的是寻找太空中的反物质和暗物质，研究粒子物理学和宇宙演化的一些重大问题。物质和反物质一个重要的不同点是电荷相反，将两者放置在同一磁场里，如果正电荷向左转，负电荷就向右转。如果探测器传回地球的信息中出现了不同的物质轨迹，就达到了试验的目的。

这套仪器主要由磁系统和灵敏探测器等构成，核心部件——稀土永磁体系统由中国科学家研制。太空实验中对磁体要求极为严格，要求磁场强、重量轻，而且能经受航天飞机起飞和着陆时的加速度和剧烈震动。这个永磁体的主结构为双层薄壳，自重300 kg，磁体中心磁场达到0.134 T，相当于地球磁场的2 800多倍。



图2.4-7 阿尔法磁谱仪的永磁体系统

问题和练习

1. 某种物质发射的射线在磁场中分裂为3束(图2.4-8),为什么?
2. 试判断图2.4-9所示的带电粒子刚进入磁场时所受的洛伦兹力的方向。



图2.4-9 判断洛伦兹力的方向



图2.4-8 放射性射线在磁场中分裂为3束

3. 图2.4-10是在液氦气泡室中拍摄的带电粒子的径迹。当带电粒子通过液氦时,在液氦中产生的气泡形成了可见的踪迹。如果有磁场存在,电子的径迹弯曲,成螺旋形。你有什么根据判断一对紧绕的螺线是两个具有相反电荷的粒子?



图2.4-10 气泡室中粒子径迹

五、磁性材料

磁化与退磁 缝衣针、螺丝刀等钢铁物体,与磁铁接触后就会显示出磁性,这种现象叫做**磁化(magnetization)**。原来有磁性的物体,经过高温、剧烈震动或者逐渐减弱的交变磁场的作用,就会失去磁性,这种现象叫做**退磁(demagnetization)**。

铁、钴、镍以及它们的合金,还有一些氧化物,磁化后的磁性比其他物质强得多,这些物质叫做**铁磁性物质(ferromagnetic substances)**,也叫强磁性物质。



图2.5-1 螺丝刀与磁铁接触后磁化

? 思考与讨论

你在生活中遇到过哪些磁化现象?你遇到过退磁现象吗?
根据你的经验,哪些材料容易磁化?哪些材料不容易磁化?

为什么铁磁性物质磁化后能有很强的磁性?

第二章 磁 场

原来，铁磁性物质的结构与其他物质有所不同，它们本身就是由很多已经磁化的小区域组成的，这些磁化的小区域叫做“磁畴”。磁化前，各个磁畴的磁化方向不同，杂乱无章地混在一起，各个磁畴的作用在宏观上互相抵消，物体对外不显磁性。磁化过程中，由于外磁场的影响，磁畴的磁化方向有规律地排列起来，使得磁场大大加强。

现代探测技术证明了磁畴的存在。磁畴的大小约 $10^4 \sim 10^7$ m。

有些铁磁性材料，在外磁场撤去以后，各磁畴的方向仍能很好地保持一致，物体具有很强的剩磁，这样的材料叫做硬磁性材料。有的铁磁性材料，外磁场撤去以后，磁畴的磁化方向又变得杂乱，物体没有明显的剩磁，这样的材料叫做软磁性材料。永磁体要有很强的剩磁，所以要用硬磁性材料制造。电磁铁要在通电时有磁性，断电时失去磁性，所以要用软磁性材料制造。

高温下，磁性材料的磁畴会被破坏；在受到剧烈震动时，磁畴的排列会被打乱，这些情况下材料都会产生退磁现象。



磁化前



磁化后

图2.5-2 磁 畴



图2.5-3 多种形状的永磁体。它们是用硬磁性材料制成的。

磁性材料的发展

19世纪末，随着电力应用技术的出现，发电机、电动机、电报、电话……几乎所有这些新设备都要用到磁性材料。技术的需求推进了磁学的基础研究。磁畴的设想就是在20世纪初提出来，而后才被证实的。

20世纪30年代，磁性材料的市场迅速扩大，在电话、扬声器、发电机和电动机，以及仪表制造业中，都需要磁性材料。当时普遍是在铁合金中加入少量的钴来制造硬磁性材料。由于钴的价格很贵，产量受到限制。

技术对科学提出了新的问题。

科学技术人员把磁性材料研磨成非常细的粉末，使它的大小与磁畴的大小差不多，所以这些小颗粒都具有“自发”的磁性。在外磁场的作用下，这些小颗粒的磁化趋向一致，在这时加压烧结，就可以获得磁性很强的永磁材料。这样生产的永磁材料的剩磁强度可以增加10倍左右。这个技术不仅降低了材料的成本，也为电器、仪表的小型化创造了条件。

第二次世界大战以后，一种新型的磁性材料——铁氧体，成为研究的热点。

铁氧体的主要成分是氧化铁。天然磁石是一种铁氧体，它的主要成分是 Fe_3O_4 。人工制作的铁氧体到20世纪初才出现。由于它的制造工艺与陶瓷相似，所以铁氧体也称磁性瓷。目前，已经生产出各种铁氧体材料，用途十分广泛。半导体收音机的天线磁棒、录音机的磁头等可以用铁氧体制造。

1978年，合金磁粉研制成功，金属磁性材料的应用范围越来越广。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发展。

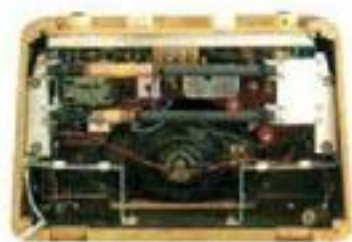


图2.5-4 半导体收音机内的线圈绕在磁棒上，可以省去外接天线。这样的线圈俗称磁性天线。

磁记录

随着社会的发展，信息记录的方法和技术也发生着急剧的变化。从远古的结绳

记事到文字产生、造纸和印刷技术的出现，录音、照相和录像技术的发明，都与人类文化的发展相伴。磁记录是信息存储技术发展中的一个里程碑，也是目前信息记录的重要方式之一。

银行、邮政、公交及其他许多机构发行的磁卡，其背面的磁条里记录着持卡人的账号等信息。使用信用卡购物时，把信用卡在计算机网络的终端机上擦一下，磁条中的信息被机器读取，并送到银行，银行的计算机查验后在主人的账户中减去消费的金额，一笔交易就完成了。

录音机和录像机上用的磁带、电子计算机上用的磁盘，都含有磁记录用的磁性材料。靠着磁记录材料，我们可以保存大量的信息，并在需要的时候读出这些信息。



图2.5-5 磁卡。背面的黑条是用做磁记录的磁条。



用磁带录音机随便录下一段音乐或语音，听一听录制的效果。然后从磁带盒内拉出一段磁带，长度大约十几厘米，用强磁铁在磁带上轻擦几次。再听所录的声音，你有什么发现？
通过这个实验，你想到了什么？

地球磁场留下的记录 在地面放置多年没有移动的铁器，会被地球磁场磁化而显微弱的磁性。

地磁场也会对含有磁性材料的岩石起作用。

地壳并不是“铁板一块”，它是由若干板块组成的，各板块之间的结合部相对较为脆弱（这一点凭肉眼和一般的地质钻探是看不出来的）。地壳下面的熔岩由于地球内部的压力，从板块之间的“裂缝”向上涌动，在接近地表时冷却变硬，形成岩石。后来形成的岩石把早年形成的岩石向裂缝的两侧推移，因此越是靠近板块间的裂缝的岩石就越“年轻”。

熔岩冷却变硬形成岩石的同时，其中铁磁性物质中的磁畴按照地球磁场的方向排列，并被固定下来。大洋底部不会受到大气的风化，因此，海底岩石忠实地记录了它形成时的地球磁场的方向。



图2.5-6 洋底岩石的磁性分布

地质学家发现，这些岩石的极性和磁化的强度，随形成的年代呈现周期性变化。

为什么会出现这种情况呢？科学家推测，地球磁场的强度和方向随着时间的推移在不断改变，大约每过100万年左右，地磁场的南北极就会完全颠倒一次。

第二章 磁 场

地球磁场为什么会改变方向呢？这个问题目前还没有令人满意的答案。一种观点认为，地磁场是由于地核中熔融金属的运动产生的，熔融金属运动方向的变化引起地磁场方向的变化。但是，科学家还没有搞清楚，熔融金属的运动方向为什么会发生变化。

对古代海洋与陆地岩石磁性质的研究，同其他科学研究一起，证实了大陆漂移和地壳板块结构等学说。

人类对地球磁场的研究一直抱有极大的兴趣，也取得了多方面的成果，并有广泛的应用。地磁定向和导航，地磁法探矿等技术早已在实际中应用，通过地磁场的观测研究太阳活动，进行火山活动和地震活动的预报，也取得了一些进展。



科学漫步

鸽子为什么迷失方向

鸽子能够利用多种外界线索确定飞行方向，其中一个线索就是太阳。但是夜晚或者阴天，许多鸽子也能顺利地飞回出发地。因此，人们猜测，鸽子能够利用地磁场“导航”。



图 2.5-7 戴“头罩”的鸽子

科学家对此进行了实验研究。他们试着在鸽子头上绑一个磁铁头罩，于是鸽子就会迷失方向。

另外有记录表明，当太阳活动异常，地球受到来自太阳的大量高速带电粒子流的影响时，也有很多鸽子迷失方向。但即使在这样的情况下，也有一些“聪明”的鸽子能够顺利地回到家里。

关于磁性与生物体的关系，我们不知道的还有很多很多。

问题和练习



1. 以下用途的物体应该用硬磁性材料还是软磁性材料？
 - a 录音机磁头线圈的铁芯
 - b 录音、录像磁带上的磁性材料
 - c 电脑用的磁盘
 - d 电铃上的电磁铁铁芯
2. 为了保护磁卡或带有磁条的存折上的信息，你认为应该怎样做？
3. 技术的需求促进了科学的发展，科学的发展推动了技术的进步。你是否能从磁性材料发展的历史来说明科学与技术的这种关系？
4. 你日常生活中的哪些器具使用了磁性材料？请通过观察、收集资料把它们列举出来，并尽可能比较这些材料的特点。

把高压电流在能量损失较小的情况下通过普通电线输送到迄今连想也不敢想的远距离，并在那一端加以利用……这一发现使工业几乎彻底摆脱地方条件所规定的一切界限，并且使极遥远的水力的利用成为可能，如果在最初它只是对城市有利，那么到最后它终将成为消除城乡对立的 strongest 有力的杠杆。

——恩格斯^①

第三章 电磁感应



1831年圣诞节的前夕，一次科学报告会上，法拉第当众表演了一个实验。

一个铜盘的轴和铜盘的边缘分别连在“电流计”的两端，法拉第摇动手柄使铜盘在磁极之间旋转，“电流计”的指针随之摆动，这是最早的发电机。

当时在场的一位贵夫人取笑地问：“先生，您发明的这个玩意儿有什么用呢？”法拉第平静地反问：“夫人，新生的婴儿又有什么用呢？”

后来，发电机这个新生的“婴儿”，果然成长为一个改变世界面貌的“巨人”，它开辟了人类社会的电气化时代。

^① 恩格斯(Friedrich Engels, 1820—1895), 马克思主义的创始人之一。恩格斯曾致力于研究自然科学中的哲学问题，对当时自然科学最重要的成就做了辩证唯物主义的概括，逝世后这些札记被辑录成《自然辩证法》一书。引文摘自《马克思恩格斯选集》第四卷436页，人民出版社1972年第1版。

一、电磁感应现象

划时代的发现

奥斯特在1820年发现的电流磁效应,使整个科学界受到了极大的震动。它证实电现象与磁现象是有联系的。探究电与磁关系的崭新研究领域,突然洞开在人们面前,激发了科学家们的探索热情。一个接一个的新发现,像热浪一样冲击着欧洲大陆,也激励着英国的科学界。

奥斯特的发现普遍引起了这种对称性的思考:既然电流能够引起磁针的运动,那么能不能用磁铁使导线中产生电流?

人们早就认识了磁化现象,知道磁体能使附近的铁棒产生磁性。人们还知道,带电体能在导体上感应出电荷来。英国科学家法拉第敏锐地觉察到,磁与电流之间也应该有这种“感应”。他在1822年的日记中写下了“由磁产生电”的设想,并为此进行了长达10年的艰苦探索。

最初,法拉第认为,很强的磁铁或很强的电流可能会在邻近的闭合导线中感应出电流。他做了多次尝试,经历了一次次失败,都没有得到预想的结果。但是,法拉第坚信:电与磁有联系,电流能产生磁场,磁场也就一定能产生电流。在这些信念的支持下,1831年他终于发现了电磁感应现象:把两个线圈绕在一个铁环上,一个线圈接电源,另一个线圈接“电流表”,当给一个线圈通电或断电的瞬间,在另一个线圈上出现了电流。他在1831年8月29日的日记中写下了首次成功的记录。

法拉第在奥斯特之后进一步揭示了电现象与磁现象之间的密切联系。

电磁感应现象

我们在初中学过,闭合电路的一部分在磁场中做切割磁感线的运动时,导体中就产生电流。物理学中把这类现象叫做电磁感应(electromagnetic induction),由电磁感应产生的电流叫做感应电流(induction current)。

电磁感应现象的发现为完整的电磁学理论奠定了基础,奏响了电气化时代的序曲。我们今天正在享受着电磁感应给人类带来的各种恩惠。

在什么条件下能够产生电磁感应?



法拉第(Michael Faraday, 1791—1867),英国物理学家、化学家。



图3.1-1 法拉第用过的线圈



图3.1-2 导体切割磁感线,产生感应电流。

电磁感应的产生条件 我们通过实验研究这个问题。

实验

探究产生感应电流的条件

如图3.1-3,把磁铁的某一个磁极向线圈中插入、从线圈中抽出,或静止地放在线圈中。观察电流表的指针,把观察到的现象记录在下面的表格中。

磁铁的动作	表针的摆动方向	磁铁的动作	表针的摆动方向
N极插入线圈		S极插入线圈	
N极停在线圈中		S极停在线圈中	
N极从线圈抽出		S极从线圈抽出	



图3.1-3 磁极插入、抽出和停在线圈中时,电流表指针如何动作?

归纳: 在这个实验中,什么情况下能够产生感应电流?

为了说清楚产生电磁感应的条件,要用到一个物理量——**磁通量(magnetic flux)**。什么是磁通量?我们可以用“穿过一个闭合电路的磁感线的多少”来形象地理解“穿过这个闭合电路的磁通量”。例如,在图3.1-4中,面积相同的两个闭合电路,穿过 S_1 的磁通量比较大,穿过 S_2 的磁通量比较小。

? 思考与讨论

利用磁通量的知识,我们是否可以把前面探究中归纳的结论引申一步,想一想:“产生感应电流的条件”与“磁通量”之间有什么关系?

与同学、老师交流,并把你们最后的观点写在下面的空栏中。

闭合电路中产生感应电流的条件是:_____

_____。

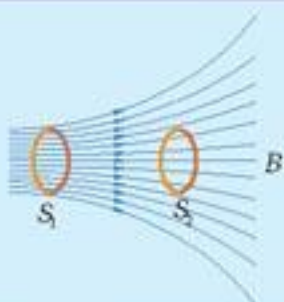


图3.1-4 两个闭合电路的面积相同,但穿过它们的磁通量不同。

在前面的探究中,由于导体和磁极的相对运动,穿过闭合电路的磁通量发生了变化,产生了感应电流。那么,磁通量由于其他原因发生变化,闭合电路中也能产生感应电流吗?

实验

进一步探究感应电流与磁通量变化的关系

如图3.1-5, 线圈A通过变阻器和开关连接到电源上, 线圈B的两端连到电流表上, 把线圈A装在线圈B的里面。我们观察下面几种情况下, 线圈B中是否有电流产生。



图3.1-5 由开关控制线圈中的磁通量变化, 也产生电磁感应现象吗?

1. 开关闭合的瞬间:

_____。

2. 开关断开的瞬间:

_____。

3. 开关总是闭合的, 滑动变阻器也不动:

_____。

4. 开关总是闭合的, 但迅速移动滑动变阻器的滑片:

_____。

归纳以上四项实验观察的结果, 你能得出什么结论?

大量实验事实表明: 只要穿过闭合电路的磁通量发生变化, 闭合电路中就有感应电流产生。

大家谈

遗憾出自哪里?

19世纪人们对电磁感应的探索, 是一场国际性的研究活动。1821年, 法国科学家安培已经开始探求磁生电的途径。安培做实验时总是保持线圈中的电流不变, 没有观察到电磁感应现象。

1825年, 瑞士年轻的科学家克拉顿(J. D. Colladon, 1802—1892)也用实验探索如何产生感应电流。克拉顿用条形磁铁在线圈中插进和抽出进行实验时, 为了排除磁铁对“电流表”

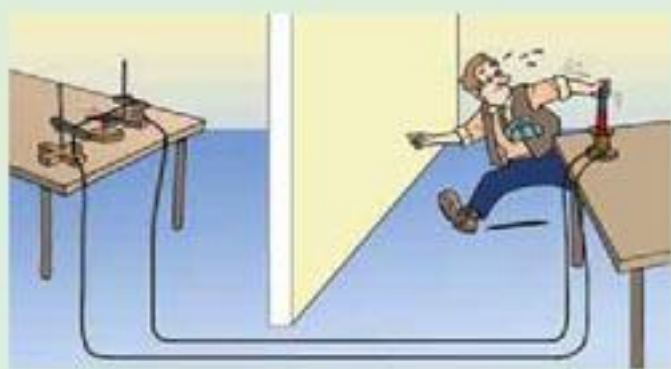


图3.1-6 跑来跑去的克拉顿

的影响，把“电流表”和线圈分别放在两个房间里。实验时，他在两个房间之间跑来跑去，没有观察到电磁感应现象。

问题：安培、克拉顿与电磁感应现象的发现擦肩而过，他们的遗憾出自哪里？



科学足迹

法拉第与划时代的发现

法拉第出生于英国的一个铁匠家庭，曾经在一家书店当过学徒。他利用这个条件，读了很多科学书籍，从中获得了丰富的知识。他喜欢做实验，还积极参加科学报告会。1813年，22岁的法拉第毛遂自荐，成了著名化学家戴维的助理实验员。

法拉第生活的时代，正值第一次产业革命完成。蒸汽机的普遍应用催生了资本主义大工业，人类进入了工业文明时期，而电力应用的前景已初见端倪。这是一个需要巨人并产生巨人的时代，法拉第生逢其时。当时的英国走在科学技术和工业发展的前列。法拉第看到，伏打电池昂贵、产生的电流小，而自然界中有不少天然磁石。如果可以由磁产生电流，就能获得廉价的电力。他说：“我因为对当时产生电的方法感到不满意，因此急于发现磁与感应电流的关系，觉得电学在这条路上一定可以充分发展。”

在10年的探索中，法拉第遭遇了多次失败。在他当年的日记中“未显示作用”“毫无反应”“不行”等词语，记录着艰苦的探索历程。几十年的经历使他在晚年仍然感叹：“世人何尝知道，在那些流过科学家头脑的思想和理论中，有多少被他们自己严格的批判和无情的质疑消灭了。就是最有成就的科学家，得以实现的建议、猜想、愿望和初步判断，也不到十分之一。”

法拉第发现电磁感应现象，是与他坚信各种自然现象是相互关联的，各种自然力是统一的、可以互相转化的思想相关的。他还认为电磁相互作用是通过介质来传递的，并把这种介质叫做“场”，他还以惊人的想像力创造性地用“力线”（即现代物理学说的“磁感线”）形象地描述“场”的物理图景。

法拉第鄙视金钱、地位和权势。他谦虚、朴实、安于清贫，谢绝了皇家学会会长、皇家研究院院长、伦敦大学教授等职位和头衔，也不肯接受贵族爵位。

1867年8月25日，法拉第坐在书房的椅子上平静地离开了人世。他的学生和好友丁铎尔（J. Tyndall, 1820—1893）在《作为一个发现者的法拉第》一书中感慨地写道：“在他的眼中，华丽的宫廷和布拉顿高原上的雷雨比起来，算得了什么？皇家的一切器具和落日比较起来，又算什么？我之所以说出雷雨和落日，因为这些现象在他的心里，都可以挑起一种狂喜……”

法拉第把一生献给了科学事业。生活在电气化时代的我们，应该永远缅怀法拉第。

问题：阅读这篇文章后，你认为，科学家对自然现象、自然规律的某些信念，在科学发现中起着重要作用吗？



法拉第 1856 年在英国皇家学会演讲



摇绳能发电吗？

把一条大约 10 m 长的电线的两端连在一个灵敏电流表的两个接线柱上，形成闭合电路。两个同学迅速摇动这条电线，可以发电吗？简述你的理由。

你认为两个同学沿哪个方向站立时，摇绳发电的可能性比较大？试一试。



图3.1-7 摇绳能发电吗？

问题和练习



1. 图3.1-8所示的匀强磁场中有一个矩形闭合导线框。在下列几种情况下，线框中是否产生感应电流？

- (1) 保持线框平面始终与磁感线垂直，线框在磁场中上下运动（图甲）。
- (2) 保持线框平面始终与磁感线垂直，线框在磁场中左右运动（图乙）。
- (3) 线框绕轴线转动（图丙）。

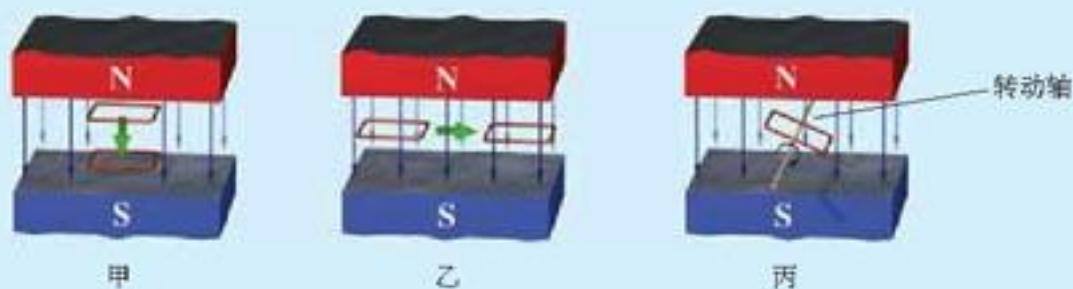


图3.1-8 闭合线框中是否产生感应电流？

2. 如图3.1-9，在磁场中有一个闭合的弹簧线圈。先把线圈撑开（图甲），然后放手，让线圈收缩（图乙）。线圈收缩时，其中是否有感应电流？为什么？

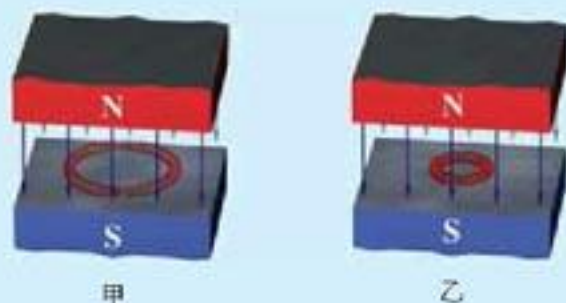


图3.1-9 弹簧线圈收缩时有感应电流吗？

3. 我们在初中学过：“闭合电路的一部分导体在磁场中做切割磁感线运动时，导体中就产生电流”。现在我们说“只要穿过闭合电路的磁通量发生变化，闭合电路中就有感应电流产生”。这两种说法是否一致？结合图3.1-10分析，导体AB向左、右移动时穿过闭合电路ABEF的磁通量如何改变。

这种情况是否也符合“只要穿过闭合电路的磁通量发生变化，闭合电路中就有感应电流产生”的说法？

4. 在一根直导线旁放一个闭合的矩形线圈，以下情况中矩形线圈中是否有感应电流？

- 线圈平面与导线垂直，导线中通过变化的电流。
- 线圈和导线在同一平面内，导线中通过变化的电流。
- 线圈和导线在同一平面内，导线中通过恒定的电流。

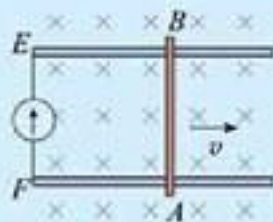


图3.1-10 导体切割磁感线，改变磁通量吗？

二、法拉第电磁感应定律

电气化需要强大的电力。要利用电磁感应现象来获得大规模使用的电，还有许多规律要探索。例如，怎样使电磁感应获得的电压高一些，就是一个必须解决的问题。法拉第电磁感应定律的建立，为解决实际问题指明了方向，叩开了电气化的大门。

感应电动势 在电磁感应现象中，既然在闭合电路中产生了感应电流，这个电路中就一定有电动势。我们把电磁感应现象中产生的电动势叫做**感应电动势(induction electromotive force)**。在闭合电路里，产生感应电动势的那部分导体相当于电源。

我们知道，在一个简单电路中，两节干电池串联起来产生的电流大于一节干电池产生的电流。这说明，电源的电动势高，电路中流过的电流就大。因此在电路组成不变的情况下，根据感应电流的大小，可以判断感应电动势的大小。

在电磁感应现象中，感应电动势的大小跟什么因素有关呢？

演示

怎样使感应电动势大一些

1. 我们仍然用图3.1-2和图3.1-3的装置做实验，研究影响感应电动势大小的因素。在图3.1-2中，使导体棒以不同的速度切割磁感线，观察电流表指针偏转的幅度。我们发现：为了使感应电动势大一些，可以_____。

2. 在图3.1-3中，使磁铁以不同的速度插入线圈和从线圈中抽出，观察电流表指针偏转的幅度。我们又发现：为了使感应电动势大一些，可以_____。



思考与讨论

通过前面的实验，我们知道了在不同情况下获得较大的感应电动势的方法。在这两种情况下，感应电动势的大小都与磁通量的变化有关。能不能利用磁通量的概念，把两种情况概括起来，用一句话说明什么条件下可以获得较大的感应电动势？

许多实验都表明，感应电动势的大小跟磁通量变化的快慢有关。我们用磁通量的变化率来描述磁通量变化的快慢，它是磁通量的变化量跟产生这个变化所用时间的比值。

如果时刻 t_1 的磁通量是 Φ_1 ，时刻 t_2 的磁通量变为 Φ_2 ，在 t_1 到 t_2 这段时间里磁通量的变化量就是 $\Phi_2 - \Phi_1$ ，记为 $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ 。这个变化是在 $\Delta t = t_2 - t_1$ 这段时间内发生的，磁通量的变化率应该表示为 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 。

看来，磁铁与导体的相对运动速度越大，产生磁通量变化 $\Delta\Phi$ 所用时间 Δt 就越小，所以 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 就越大，产生的感应电动势也越大。

请复习必修物理课中关于学习速度、加速度时关于变化率的说明。



法拉第电磁感应定律 大量实验表明：电路中感应电动势的大小，跟穿过这一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，它的单位是伏特 (V)，磁通量和时间的单位分别用韦伯 (Wb) 和秒 (s)，法拉第电磁感应定律可以用公式表示为

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

实验

多匝线圈的感应电动势

我们探究线圈的匝数与感应电动势的关系。

首先想一想，线圈的匝数与感应电动势可能有什么关系？

一个闭合电路可以看做由 1 匝线圈组成。如果线圈是多匝的，由于每一匝线圈中都会产生感应电动势，在多匝线圈上产生的感应电动势大概要比 1 匝线圈产生的感应电动势大！

我们仍然用前面的实验装置来研究，但这次选用匝数不同的两个线圈。

实验时把条形磁铁插入一个线圈和从这个线圈中抽出，然后以相同的速度插入另一个匝数不同的线圈和从这个线圈抽出。

将观察到的现象，记录在下面的表格中。

线圈匝数	指针摇动的幅度	
	磁体N极插入	磁体N极抽出
10匝		
100匝		

从上面的记录看，你认为感应电动势的大小跟线圈匝数的多少有什么关系？

精确的实验告诉我们，在 n 匝线圈组成的电路上，产生的感应电动势是

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

在实际工作中，为了获得较大的感应电动势，常常采用几百匝甚至几千匝的线圈。

法拉第电磁感应定律进一步揭示了电与磁的相互联系，同时也告诉我们：电能的产生一定以消耗其他形式的能量为代价的。在前面的实验中，无论导体切割磁感线，还是把磁铁插入线圈或从线圈中抽出，都是消耗了机械能才获得了电能。而在电池中，是将化学能转变成了电能。

今天，我们使用的电能从各种形式的能转化而来：风力发电，是把空气流动的动能转化为电能；水力发电，是利用水的机械能带动发电机来发电；火力发电，是利用石油、天然气或煤燃烧时的内能，推动蒸汽轮机再带动发电机来发电……随着社会对电力需求的不断增大，人们一直在探索获取电能的更好方法。但是到目前为止，各种获得大规模电能的实用方案，都是以法拉第电磁感应定律为理论基础的，不同的只是如何来推动发电机而已。



探索者

开门时线圈中会有电流吗？

分别给门的四角钉上大钉子，用电线沿着4个钉子绕制一个几十匝的大线圈，如图3.2-1所示。线圈的两端连在一个电流表上。开门、关门时能不能发出电来？试试看！

如果发电效果不明显，想一想，应该怎样改进？



图3.2-1 开门时能有电流吗？

问题和练习



1. 电路中感应电动势的大小,是由穿过这一电路的_____所决定的。

- a. 磁通量
- b. 磁通量的变化量
- c. 磁通量的变化率

以上填空的三个选项,正确的显然是c,但你能说明选项a和选项b的含义吗?你认为当年安培实验时最初的猜想是哪个选项?

2. 在图3.2-2中,闭合矩形线圈不动,磁体在线圈中转动,如果磁体转动的速度不同,线圈中产生的感应电动势相同吗?

3. 两个匝数不同的线圈绕在同一个圆筒上,如图3.2-3所示,它们的匝数 $n_A > n_B$ 。当一个条形磁体穿过圆筒时,哪个线圈产生的感应电动势大些?



图3.2-2 磁体转动速度不同时,线圈中的感应电动势相同吗?



图3.2-3 哪个线圈中的感应电动势大些?

4. 某自行车上有一个如图3.2-4所示的装置,滚轮靠在自行车轮胎的边缘上。自行车行驶时,滚轮带着其中的磁体转动。这个装置有什么用途?

5. 桌面上放着一个单匝矩形线圈,线圈中心上方一定高度上有一竖立的条形磁体(图3.2-5),此时线圈内的磁通量为 0.04 Wb 。把条形磁体竖放在线圈内的桌面上时,线圈内磁通量为 0.12 Wb 。分别计算以下两个过程中线圈中的感应电动势。

- (1) 把条形磁体从图中位置在 0.5 s 内放到线圈内的桌面上;
- (2) 换用10匝的矩形线圈,线圈面积和原单匝线圈相同,把条形磁体从图中位置在 0.1 s 内放到线圈内的桌面上。



图3.2-4 自行车所用“电滚子”

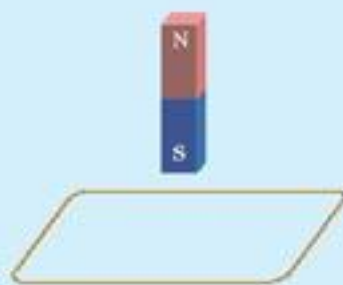


图3.2-5 计算线圈中的感应电动势

三、交变电流

19世纪初，蒸汽机改变了自古以来依靠人力、畜力的生产形态。蒸汽动力推动着火车和船队，加快了不同国家、不同民族的物资流通和文化交流。大片农田变成工厂……

法拉第电磁感应定律的发现，激励着一批科学家和工程师进行机械能转变为电能的探索。他们设想：厂房中巨型发电机发出的电也许会比蒸汽动力更强大，它能够通过导线跨越千山万水，让家家户户都用电流照明，机器、火车都由电流提供动力……

到了1895年，美国利用尼亚加拉大瀑布发出了巨大的电能。一年后，电能被传输到20英里外的布法罗市，使得全城大放光明。现在，电能已流淌到人们生活的各个领域。

如今，人类的电气化理想已经实现，电能不仅使我们的社会生活更加丰富多彩，而且已经成为支撑现代社会发展的重要支柱。

交流发电机 现代化的发电厂中工作着的发电机，能够源源不断地发出电来。各种发电机都由固定不动的“定子”和能够连续转动的“转子”组成。

图3.3-1是发电机的原理图。在实际中，有的发电机的磁体转动，线圈不动（线圈是定子）；有的发电机的线圈转动，磁体不动（磁体是定子）。无论是线圈转动，还是磁体转动，都是转子的转动使得穿过线圈的磁通量发生变化，在线圈中激发出感应电动势。这时，如果线圈的两端连着用电器，形成闭合电路，电路中就会产生电流。

教学用手摇发电机的定子是磁铁，用来产生磁场，转子是一个线圈。



图3.3-1 线圈转动时，穿过线圈的磁通量发生变化，线圈中产生感应电动势。

实验

交流发电机发电

按照图3.3-2把灯泡与电流表串联起来接到手摇发电机的两端，转动摇把，可以看到灯泡被点亮。

在转动过程中，灯泡的亮度有什么变化？电流表的示数有什么变化？

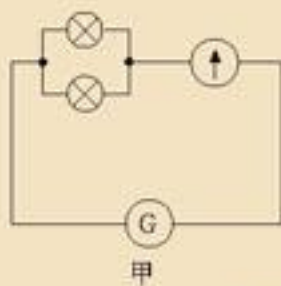


图3.3-2 手摇交流发电机

大小、方向随时间做周期性变化的电流叫做**交变电流(alternative current)**，简称交流(AC)。各种电池供给的电流只沿一个方向流动，叫做**直流(direct current, DC)**。

交流的变化规律 家庭用于日常生活的电灯、家用电器，使用的电是由**电网(power grid)**送来的。电网送来的电也是交变电流，它的大小、方向都在随时间不断地变化。交流变化的规律可以用示波器^①显示出来。

演示

观察交流的波形

电网供给的交流经过降压后能使小灯泡发光。把示波器的两个输入端接到小灯泡的两端(图3.3-3)，在荧光屏上会看到灯泡两端的电压随时间变化的曲线，如图3.3-4所示。

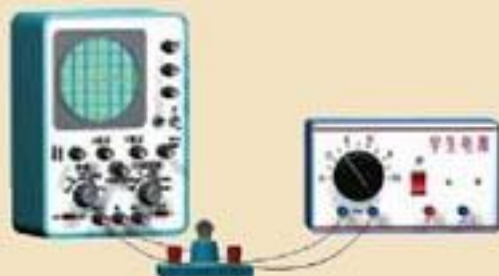


图3.3-3 观察小灯泡两端电压的波形

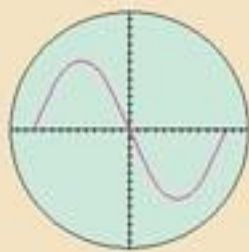


图3.3-4 小灯泡两端电压的波形

如果以时间 t 为横坐标，以电流 i 或电压 u 为纵坐标，把电流或电压变化的规律用曲线画出来，会得到图3.3-5那样的正弦曲线。

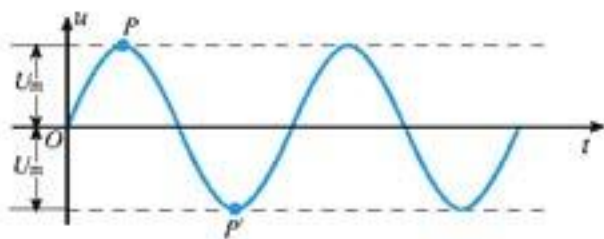


图3.3-5 正弦式电流的图象

严格的数学分析表明，电网中的交变电流，它的电流、电压随时间按正弦函数的规律变化，叫做**正弦式电流(sinusoidal current)**。正弦式电流在某一时刻的电流、电压可以表示为

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

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

式中 I_m 、 U_m 分别是电流和电压的最大值，叫做交流的**峰值(peak value)**。

交变电流的大小和方向在不断地变化，我们把交流完成一次周期性变化所用的时间叫做交流的**周期(period)**。周期通常用 T 表示，它的单位是秒。交流在1 s内发生周期性变化的次数，叫做交流的**频率(frequency)**。频率通常用 f 表示，它的单位是赫兹(hertz)，简称赫，符号是Hz。

^①示波器是一种可以在荧光屏上显示图象的仪器，它能快速测量电流、电压，显示电流、电压随时间变化的曲线。

频率和周期有以下的关系

$$T = \frac{1}{f} \text{ 或 } f = \frac{1}{T}$$

我国使用的交变电流，频率是 50 Hz。

大家谈

为什么看不到电灯中电流大小在变化?



图3.3-6 在日光灯下挥动白色细棍，你能看到什么?

转动手摇交流发电机时，可以看到小灯泡一闪一闪，电流表指针左右摆动，说明它产生的是交变电流。

家里电灯用的电也是交变电流，为什么看不到这种现象？想想看！

有什么办法证明家用交变电流的大小也在变化？

用白纸卷成一个细棍，晚间在日光灯下挥动这个细棍，可以看到它在暗色背景下形成一个个白色细道，就像折扇的扇骨一样（图3.3-6）。如果在自然光下挥动这个细棍，看到的是一个连续的扇面。解释这种区别。

交流能够通过电容器

电容器的两个极板是被绝缘介质隔开的，正是由于极板间的介质不导电，两个极板上的电荷才能“储存”起来，不致中和。然而，交变电流却能“通过”电容器。

如图3.3-7甲，电容器接在交流电源的两端，这时交流的电压正在升高，电荷流入电容器的极板。经过峰值以后，交流的电压逐渐降低，于是电容器极板上存储的电荷通过导线释放（图3.3-7乙）。尽管电荷实际上并没有越过两极板间的介质，但从外电路看来，导线中的电荷确实在流动，所以说，交流能够通过电容器。

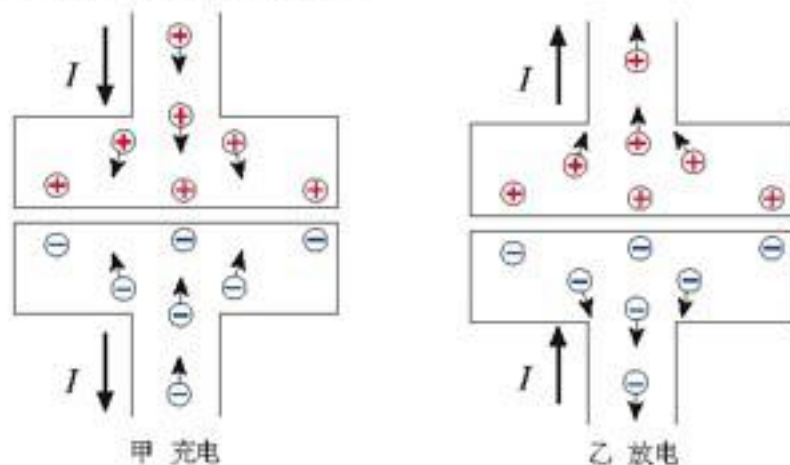


图3.3-7 电容器的充电和放电表现为交流通过了电容器。金属中的电流是由于负电荷的定向移动形成的，它等效于正电荷向相反方向的移动。这幅图用到了这样的等效画法。

电容器能够“隔直流、通交流”，这一点在电子技术中有重要应用。

台式收音机、录音机都用电网中的交流代替电池供电，所以机内都有“整流”电路，把交流变为直流。但是整流后仍有一部分交流成分，这部分电流通过扬声器时会产生嗡嗡的声音。为了解决这个问题，在整流电路和收录机的工作电路之间要安装电容器(图3.3-8)，整流后的交流成分大部分流过这个电容器，流过收录机工作电路的就是比较稳定的直流了。

声音通过话筒形成的电流也是交变电流，它的频率与声音相同，叫做音频电流。收录机要把音频电流做几级放大，才能送到扬声器发声。各级放大器的工作状态并不相同，分别需要稳定的直流，而音频信号却要从一级传到下一级，它们之间也要用到电容器(图3.3-9)。

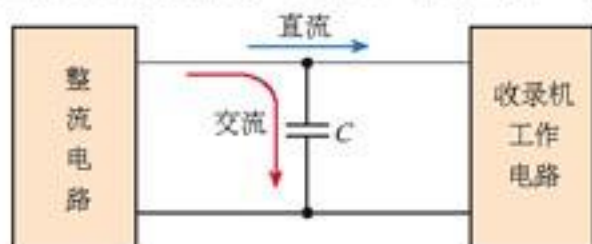


图3.3-8 电容器能把混杂在直流中的交流成分滤掉。

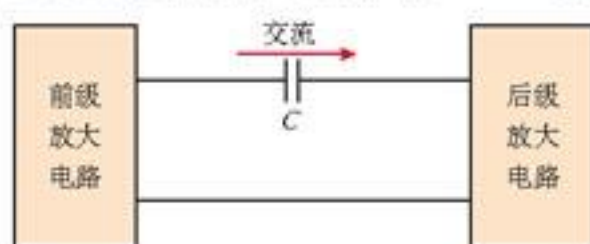


图3.3-9 电容器把音频信号传到下一级，而不让直流通过。

交流的有效值

交流的电压、电流在不停地变化。那么，我们通常说“电灯两端的电压是220 V”，指的是什么电压？

从图3.3-5可以看出，交流的电压或电流只有某些时刻达到峰值(图中的最上端P和最下端P')。如果按照峰值来标志交流的大小，存在许多不合理的因素。例如，在计算用电量时，如果用峰值计算，所得结果必然超过实际用电的数量。因此在描述交流的电压、电流时，要找一个合理的数值，这就是交流电压、电流的有效值(effective value)。

交流的有效值，是根据电流的热效应规定的：把交流和直流分别通过相同的电阻，如果在相等的时间里它们产生的热量相等，我们就把这个直流电压、电流的数值称做交流电压、电流的有效值。

按正弦规律变化的交流，它的有效值和峰值之间有确定的关系。如果用 U_e 、 I_e 分别代表交流电压、电流的有效值，那么正弦式电流的有效值和峰值之间的关系是

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

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

在各种使用交变电流的电器设备上，所标注的额定电压、额定电流值，都是交流的有效值。



科学足迹

发电机的发展历程

电磁感应现象被发现之后，人们在想：如果能使线圈或磁体不停地转动，就能用电磁感应的方法产生持续的电流。于是，出现了研制发电机的浪潮。

1832年，法国电器制造商皮克蒂制成了使用永久磁铁的发电机，并进行了公开演示。1837年，英国物理学家惠斯通（C. Wheatstone, 1802—1875）使线圈在永久磁铁的磁场中旋转，也产生了电流。后来，人们按照这个原理研制出了好几种类似的发电机。但是，即使利用最强的永久磁铁也无法产生强大而稳定的电流。直到19世纪50年代，用电的费用仍是使用蒸汽动力的25倍。

1865年，英国电机制造家怀尔德（H. Wilde, 1833—1919）用电磁铁代替永久磁铁制造发电机。然后用它发出的电流激发第二个发电机的电磁铁，第二个发电机产生的电流再用来激发第三个发电机的电磁铁……这样，电磁铁的磁场一个比一个强，产生的电流也一级比一级大。他的方法引起了人们的极大兴趣。1866年，德国发明家西门子（W. von Siemens, 1816—1892）发明了自激式发电机，即利用发电机产生的一部分电流，反馈给自身的电磁铁，使得设备结构简化，发电效率大大提高。后来，科学家们又改进了转子的结构，把线圈绕在环状的电枢上，这是现代发电机的雏形。



图3.3-11 水轮机中的叶轮，在水电站中用它带动大型发电机。

“忽如一夜春风来，千树万树梨花开”！西门子发电机的出现，意味着人类可以获得大量廉价的电能了，这是继瓦特改进蒸汽机之后，人类使用动力历史上的又一个里程碑。它标志着人类社会开始进入电气时代。大量廉价电能的获得促进了新型电器的研制，各种新型电器迅速地改变了人们的生活，也改变了人类社会。

讨论：你认为科学成果要为人类的生活和生产服务，必须跨越哪些障碍？阅读这篇文章之后，你在这方面受到了什么启发？



图3.3-10 法拉第的铜盘发电机模型



图3.3-12 电力机车



电动机可以发电吗？

找一个玩具上的小电动机，把一条棉线缠在它的轴上，用导线把电动机的两个接线端连接到小灯泡上。一只手握住电动机的机身，另一只手迅速拉动棉线，观察小灯泡是否发光。

电动机和发电机在结构上有什么相似之处？怎样解释观察到的现象？能不能利用这种现象为我们做事？



图3.3-13 电动机可以发电吗？

问题和练习



1. 正弦式电流在一个周期内出现几次峰值? 我国电网的交变电流在1 s内共出现多少次峰值? 电流方向发生多少次改变?

2. 照明用的正弦式电流的电压是220 V, 动力线路用的正弦式电流的电压是380 V. 它们的有效值、峰值各是多少?

3. 一个电热器接在220 V交流电路上, 发热功率为1 kW, 如果把它接在直流电路中, 使其功率也是1 kW, 直流电路的电压必须是_____V. 一个电容器接在交流电路上, 击穿与否, 取决于交流电压的瞬时值是否超过电容器的耐压值. 连接在220 V交流电源两端的电容器要能正常工作, 其耐压必须大于_____V.

4. 一位同学细心观察工人师傅修理收录机, 发现电烙铁碰到电路中的某个位置时, 出现了很强的交流声, 这种声音明显是由50 Hz交流电所引起的. 这位同学很奇怪: 电烙铁的铜焊头和里面的电阻丝是绝缘的, 铜焊头根本没有跟交流电路接通, 收录机为什么会出现交流声? 请你解释这个现象.

5. 世界上许多国家都有纪念法拉第的邮票, 图3.3-14是马达加斯加共和国1990年发行的纪念科学家邮票中的一枚.

说一说, 人们为什么纪念法拉第?



图3.3-14 纪念法拉第的邮票

四、变压器

世界第一高水坝——长江三峡大坝, 巍然耸立在湖北省宜昌市. 三峡电厂的投产, 改善了我国一些地区的电力供应. 远在几千千米之外的你家, 也许使用的就是三峡电.

电从发电机发出, 可以沿着导线输送到几千千米之外, 输电电压达到数百千伏. 而大型发电机发出的电, 按等级一般有10.5 kV、13.0 kV、15.75 kV和18.0 kV几种, 都不符合远距离输电的要求. 因此, 发电站要把电压升高后才向远方输电.

我们还知道, 家里使用的电压是220 V, 地铁机车的电压是750 V……远距离送过来的电压太高, 不能直接使用, 要在变电站把电压降低才能送给用户.



图3.4-1 2003年我国发行的纪念三峡工程发电的邮票

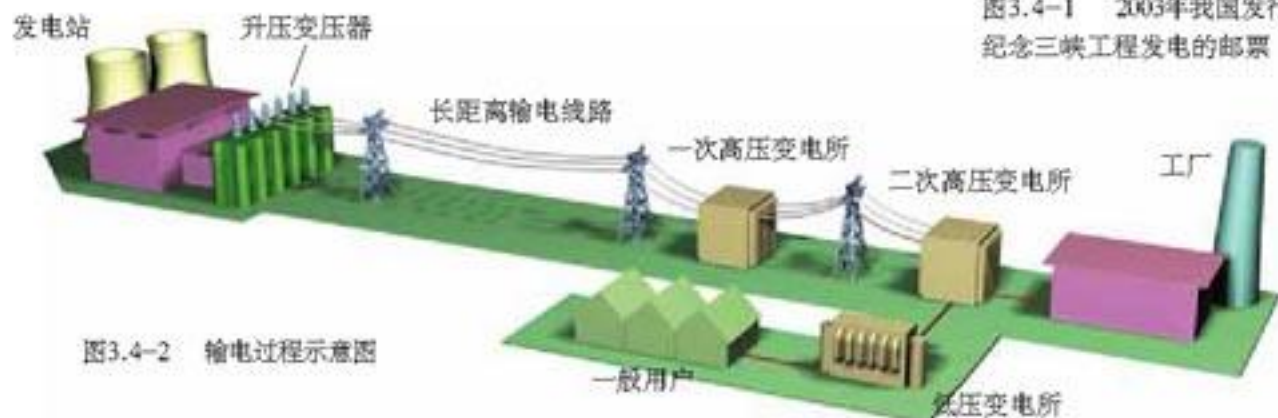


图3.4-2 输电过程示意图

在输电过程中，各种变压器(transformer)发挥着极其重要的作用。变压器是电气化社会不可或缺的重要设备。我们身边有形形色色的变压器(图3.4-3)。



甲 变电站的大型变压器



乙 街头变压器



丙 半导体收音机中的小变压器

图3.4-3 变压器

变压器的结构 图3.4-4是示教变压器，它像各种变压器一样，是由铁芯和绕在铁芯上的线圈组成的。铁芯由硅钢片叠合而成，线圈由漆包线绕成。

使用时，变压器的一个线圈跟前一级电路连接，叫做原线圈(primary coil)，也叫初级线圈。另一个线圈跟下一级电路连接，叫做副线圈(secondary coil)，也叫次级线圈。



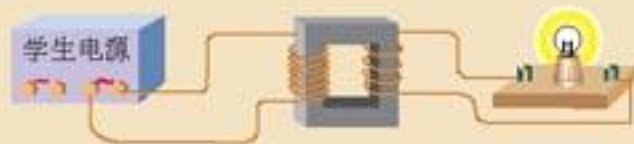
图3.4-4 变压器的结构

演示

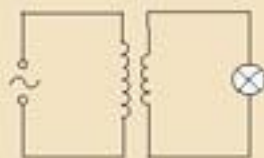
变压器的作用

把示教变压器的两个线圈分别套到铁芯的两个立柱上，一个线圈连接学生电源的交流输出端，另一个线圈连接小灯泡的两端(图3.4-5)。闭合学生电源的开关，会看到小灯泡发光。

小灯泡没有直接跟电源连接，为什么能发光？



甲 实物示意图



乙 电路图

图3.4-5 变压器的作用

下面，我们通过实验，探究变压器两个线圈的电压关系。

实验

探究变压器两个线圈的电压关系

实验器材：学生电源、可拆变压器（配备几个不同匝数的线圈）、多用电表。

以下课文给出了实验的主要思路及应该注意的事项，阅读之后要结合自己的实际器材设计具体、详尽的操作步骤，设计记录表格，然后才能进行实验操作。

1. 把两个线圈套到可拆变压器的铁芯上。一个线圈作为原线圈，连到学生电源的交流输出端。另一个线圈作为副线圈，两端可以不接用电器。
2. 闭合电源开关，用多用电表的交流电压挡分别测量两个线圈两端的电压（图3.4-6）。测量时，先用量程比较大的交流电压挡，例如交流50 V挡，如果电压读数表明实际电压不太大，可以改用较小一级的电压挡。测量完毕时断开学生电源的开关。
3. 改变学生电源的电压设置，重复以上实验。
4. 原线圈与副线圈对调，重复以上实验。
5. 换用其他线圈，重复以上实验。

讨论

1. 变压器的原线圈、副线圈的电压与两个线圈的匝数之间有什么关系？试着写出它们之间的关系式。
2. 要使电压通过变压器后降低，副线圈的匝数应该比原线圈的匝数多些还是少些？要使电压升高呢？如果要你给变压器命名，哪种变压器叫做升压变压器？哪种叫做降压变压器？
3. 在实验中，你还发现了哪些（声音、温度的变化）现象？应该如何解释？

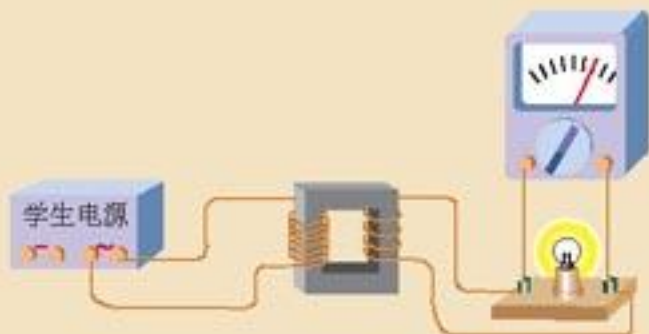


图3.4-6 探究变压器两个线圈上的电压关系



图3.4-7 如何用多用电表测交流电压？

变压器为什么能改变电压

变压器的副线圈与原线圈之间，并没有导线相连，但在副线圈内却产生了电动势，使得与副线圈相连的灯泡发光。这是为什么？

原来，原线圈中通过电流时，铁芯中产生磁场，由于交变电流的大小和方向都在不断变化，铁芯中磁场的强弱和方向也都在不断变化。副线圈与原线圈是套在同一个铁芯上的，通过副线圈的磁场也在不断变化，于是就在副线圈内产生了感应电动势。

线圈的各匝导线之间是相互串联的,每匝的感应电动势加在一起,就是整个线圈的感应电动势。因此,在同一个铁芯上,哪个线圈的匝数多,哪个线圈的电压就高。

问题和练习



1. 为什么给变压器的一个线圈接入交流,就能在另一个线圈内产生电动势? 变压器能够改变直流电压吗? 为什么?
2. 大多数变压器的两个线圈的匝数都不相同,为什么?
3. 某机床上用的照明灯电压为36 V。如果要用220 V的电压降压得到,机床上变压器的原线圈匝数是1 140,副线圈匝数应该比原线圈多些还是少些?
4. 变压器原线圈和副线圈之间是绝缘的。如果副线圈多接了几个用电器使得电流增大了,你认为原线圈中的电流会变化吗? 说出你的道理。
5. 把你知道的跟生活有关的变压器列举出来。如果是在家用电器中的,请说出是哪种电器的,是升压变压器还是降压变压器?

五、高压输电

在城郊和农村,常常可以看到高压输电线在一根根高压杆塔的支撑下蜿蜒而去。在静静的高压输电线中,电压甚至高达几百千伏!

火力发电厂通常建在煤炭产地,水力发电厂则建在水利资源丰富的地方,但是电力用户可能在几百千米甚至几千千米之外,这就有输电的问题。输电时,导线上会有电能损失,损失的电能主要是由电流的热效应引起的。怎样才能减少这种损失呢?

我们知道,导线的电阻越大、导线通过的电流越大,在导线上产生的热就越多,也就是损失的电能越多。因此,要减少电能输送时的损失,有两个途径:1. 减小输电线的电阻;2. 减小输送的电流。

降低导线电阻 在导线长度一定的情况下,要使导线的电阻小些,应该尽量采用导电性能好的材料做导线,还应该使导线粗一些。但是如果导线太粗,不仅要消耗大量金属材料,而且会给架线工作增加困难。实际上,许多高压输电线是多股绞线拧成的,中心是钢线,它的机械强度大,使输电线不易拉断;钢线的周围是铝线,它不仅导电性能好,而且密度小,使输电线不致太重。

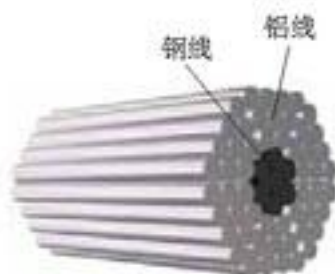


图3.5-1 高压绞线的截面

降低输电电流 在输送一定功率的电能时,要减小输送的电流,就必须提高送电的电压!



思考与讨论

为什么一定要用高电压输电

下面,我们以一个实际问题为例,探讨高压输电的意义。

一台发电机,输出的功率为 $1\,000\text{ kW}$,所用输电导线的电阻是 $10\ \Omega$ 。当发电机接到输电线路的电压分别为 5 kV 、 50 kV 时,分别计算:

1. 导线上的电流;
2. 在导线上损失的热功率。

输送一定功率的电能,电压越高,输电线中的电流越小,导线因发热而损失的电能也就越少。

我国远距离输电采用 110 kV 、 220 kV 和 330 kV 的电压,少数线路已经采用 550 kV 的超高压送电。

输电电压是否可以无限提高呢?不是的。输电电压过高,会增加绝缘的困难,因而架线的费用增加,输电线路还容易向大气放电,增加电能的损失。因此,在设计输电线路时,要综合考虑各种因素,选择合适的输电电压。

一般大型发电机组发电电压是 10 kV 左右。输送时,要将电压升到 110 kV 、 220 kV 、 330 kV 或 550 kV 后经高压架空线送出。到了用电区,又要逐级把电压降下来。

电网供电

与煤、天然气、石油、太阳能相比,电力是由消耗其他能源产生的二次能源。现在,城市使用的电能,大多是从电网输送过来的。将多个电厂发的电通过输电线、变电站连接起来,形成全国性或地区性输电网络,这就是电网。



图3.5-2 高压输电线

采用电网送电,是输电技术的重要发展。现在,在一次能源丰富的国家,除了形成本国的电网外,与邻国也采取电网互联技术,组成国际化的电网。用电网送电,可以在一次能源产地使用大容量的发电机组,减少发电设施的重复建设,降低运输一次能源的成本,获得最大的经济利益。

电网可以保证发电和供电系统的安全与可靠,调整不同地区电力供需的平衡,保障供电的质量。使用电网,可以根据火电、水电、核电的特点,合理地调度电力。这样,可以使得电气化社会的主要能源——电力的供应更加可靠、质量更高。



输电的发展历程

1882年，爱迪生在美国修建了第一个电力照明系统，用直流电点亮了几千盏电灯。那时，输电距离很近，每隔3 km左右就要建立一个发电厂，否则灯泡因电压过低而不能发光。

同一年，一个法国工程师修建了第一条远距离输电电路，将一个水电站发出的电送到57 km之外的慕尼黑，在博览会上用来驱动一台水泵，造了一个人工喷泉。

爱迪生的助手特斯拉发明了第一台实用的变压器。

1886年，发明家G.威斯汀豪斯利用变压器成功地在6 km的线路上实现了交流输电。大名鼎鼎的爱迪生，怕把原来的系统改建成交流输电系统要花大笔费用，也怕自己的成果被取代，竟阻止交流的推广。爱迪生的这一失误，给光辉的一生留下了瑕疵。

1891年，德国建成170 km的15~30 kV的高压输电线路，效率高达70%~80%。

1893年，美国修建尼亚加拉水电站时，经过反复论证，决定采用交流供电系统。

1909~1912年，美国、德国建造100 kV的高压输电线路，从此高压输电技术迅速普及。

随着电力系统的扩大，交流输电遇到了一些技术困难。例如，用甲、乙两台交流发电机给同一条线路供电，如果某时刻甲达到正的最大值时，乙恰好是负的最大值，它们发的电在电路里恰好互相抵消，不仅电路无法工作，甚至会烧毁设备。要使电路正常工作，给同一条线路供电的所有发电机都必须同步运行，即同时达到正的最大值，同时

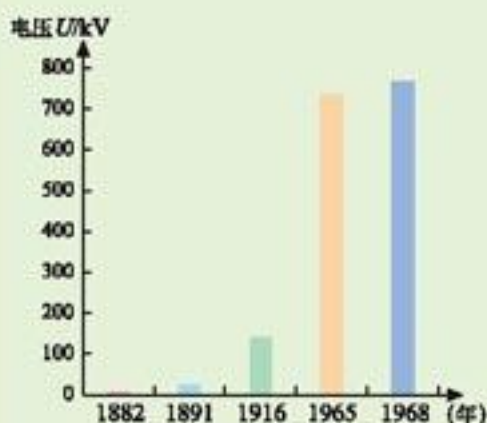


图3.5-3 高压输电电压的变化

达到负的最大值。现代的供电系统是把许多电站连成一个电网，要使电网内的许多发电机同步运行，技术上有一定困难。此外，长距离输电时，线路上的电容、电感对交变电流的影响也不能忽略，有时它们引起的损失甚至大于导线电阻引起的损失。为了解决这些问题，现在直流电又重新受到重视。

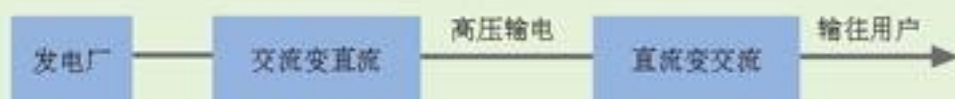


图3.5-4 现代直流输电示意图

按照现代的直流输电模式，发电机发出的电和用电器用的电，仍然是交流，只在输电环节使用直流。在发电端和用电端有专用的换流设备，进行交流、直流的变换，而且仍用高压输电方式。

高压直流输电主要用于远距离大功率输电、海底电缆输电、非同步运行的交流系统之间的联络等方面。随着大型水电站的开发和坑口电站的建设，以及大电网的互相连接，远距离大功率的直流输电将得到发展。三峡电站将使我国长江上游成为全球最先进、站线最密集的直流输电中心。2003年底，三峡至华东、华南的两条500 kV直流输电线路已经并网运行。

问题和练习



1. 长距离输电为什么要用高电压?
2. 与电网供电相比,一个发电厂只为一批用户供电,这样做有什么缺点?
3. 查阅资料,了解我国电力事业发展的情况及与社会生活的关系,写一篇小论文。
4. 阅读下面文章并发表你的见解。

石墨炸弹是一种用来破坏敌方供电网络的炸弹,它在爆炸时放出大量石墨丝,使电网短路,造成瘫痪。

100~200个与饮料罐相仿的小罐组成一个母弹,母弹炸开时释放出小罐。引爆装置使小罐底部弹开,释放出石墨纤维线团,并在空中展开,互相交织,形成石墨丝网,千丝万缕,如丝如絮,像一团团飘浮的云。每根碳丝的直径仅有几分之一厘米。因此,可在空中长时间飘浮。

碳是导体。碳丝经过加工,又经过化学清洗,因此,导电性能很好。碳丝一旦落在裸露的高压线或变电站等电力设备上,就会使导线短路。强大的短路电流流过石墨纤维,产生高温使其汽化,于是空气也变成了导体,产生电弧。汽化的石墨涂覆在电力设备上,使短路加剧。高温还使导体局部熔化,供电设备失火,使被攻击的电网瘫痪,引起大范围停电。

1999年5月2日,以美国为首的北约在对南斯拉夫的空袭中,使用了石墨炸弹,造成南斯拉夫70%的地区断电。随后在5月7日,美军再次使用石墨炸弹对南斯拉夫刚刚修复的供电系统实施打击,结果令贝尔格莱德和其他城市的电网瘫痪。

——根据《化学教学》(沪)2001年第6期改写,原作者薛秀学

问题:有人说,石墨炸弹是“人道的”武器,因为它不直接造成人员伤亡,对房屋等基础设施也不造成破坏,战后恢复比较容易。你同意这种说法吗?为什么?

六、自感现象 涡流

走在大街上,在无轨电车转弯时,常常可以看见电车的弓形拾电器与电线接触的位置打出火花来,这种现象是怎么产生的?学过这节课你就能找到答案。



图3.6-1 自感使电车拾电器产生电火花

自感现象 在做图3.1-5的实验时我们已经知道,由于线圈A中电流的变化,它产生的磁通量发生变化,磁通量的变化在线圈B中激发了感应电动势。我们很自然地会想到,变化的磁通量是不是也会在线圈A本身激发感应电动势?实际情况的确如此。即使没有线圈B的存在,线圈A中电流的变化引起的磁通量变化,也会在它自身激发感应电动势,这个电动势叫做自感电动势,这种现象叫做**自感现象**(self-induction phenomenon)。

自感现象对电路有什么影响?我们观察两个演示实验。

演 示

开关闭合时的自感现象

按图 3.6-2 连接电路，灯泡 A_2 与变阻器 R 串联，灯泡 A_1 与带铁芯的线圈 L 串联，它们都连到同一个电源上。闭合开关，调整变阻器使两个灯泡亮度相同，然后断开开关。

重新闭合开关，注意观察开关闭合瞬间两灯亮度的差异。

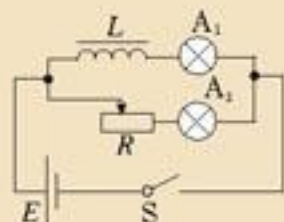


图 3.6-2 由于线圈的自感，开关闭合时电灯 A_1 不能马上达到正常亮度。

开关闭合时， A_1 不能马上达到正常亮度。这是由于与 A_1 串联的线圈 L 的影响。灯泡 A_1 的亮度是逐渐增加的，由此可以判断，线圈 L 的自感电动势阻碍电流的增加。

当电路断开时，自感电动势对电路有什么影响？

演 示

开关断开时的自感现象

按图 3.6-3 连接电路。开关闭合时，电流分为两个支路，一路流过线圈 L ，另一路流过灯泡 A 。灯泡 A 正常发光。

把开关断开，注意观察灯泡的亮度。

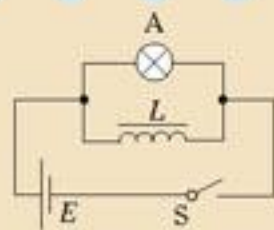


图 3.6-3 开关断开时，线圈中的自感电动势使得灯泡闪亮。

开关断开时，灯泡没有立即熄灭，如果线圈选得合适，灯泡甚至会很亮地闪一下再熄灭。这也是由于线圈自感的作用。灯泡没有马上熄灭，说明自感电动势阻碍线圈中电流的减小。

综合以上两种情况我们可以说，电路中自感的作用是阻碍电流的变化。

在开关断开的一瞬间，线圈内有自感电动势，它作为一个临时电源为灯泡供电。



电感器

在许多电路中都有线圈，它们叫做电感器(inductance)。电感器的性能用自感系数(self-induction coefficient)来描述，简称自感。线圈越大、匝数越多，它的自感系数越大。给线圈中加入铁芯，自感系数比没有铁芯时大得多。

交流是不断变化的电流。交流通过电感器时，由于线圈中的自感电动势总是阻碍电流的变化，所以电感器对交流有阻碍作用。

上节学到的变压器，实际上也是电感器，为了与自感线圈相区别，有时说变压器是一种互

第三章 电磁感应

感器。

自感现象在电工技术和电子技术中有广泛的应用。图3.6-4是日光灯电子镇流器的照片，可以看到它里面有电阻器、电容器、电感器。



图3.6-4 日光灯电子镇流器，其中有电阻器、电容器、电感器。

自感现象有时也会带来危害。无轨电车的弓形拾电器如果瞬间脱离电线，由于车内电动机的线圈实际是个自感系数很大的电感器，这时很大的自感电动势会在拾电器与电线之间产生电弧。在自感系数很大、电流很强的电路中，切断电源的瞬间都会产生很大的自感电动势，使开关两端出现很高的电压，形成电弧（图3.6-5）。电弧不仅会烧蚀开关，有时还会危及人员的安全。因此，在需要切断高压电源的电路中，现在都要采用特制的安全开关，以防止产生电弧，保障安全。



图3.6-5 有自感的电路被切断时可能产生有害的电弧

涡流及其应用

在学习变压器时你可能注意到，变压器的铁芯是用硅钢片叠合而成的。为什么不用整块的铁做铁芯呢？



图3.6-6 硅钢片是一种很好的软磁性材料

通过上面的学习我们认识到，变压器原线圈中的电流不仅在副线圈中产生感应电动势，还会在原线圈自身产生感应电动势。其实，变压器铁芯也是导体，变化的磁通量也会在铁芯中产生感应电流。一般说来，只要空间有变化的磁通量，其中的导体中就会产生感应电流，我们把这种感应电流叫做涡流(eddy current)。

涡流同其他电流一样，通过电阻时会产生热。利用涡流的热效应可以制成一种新型炉灶——电磁炉（图3.6-7）。在电磁炉的炉盘下有一个线圈，里面通过交变电流，它能使炉盘上面的金属中产生涡流，从而生热。



图3.6-7 电磁炉

金属探测器也是利用涡流工作的，常用于飞机场、火车站的安全检查，以及扫雷、探矿等工作。

涡流的热效应在许多场合是有害的。例如，在电机、变压器中，为了增强磁场，它们的绕组都绕在铁芯上。当绕组中通过交流时，在铁芯中会产生涡流，这会使铁芯过热，消耗电能，破坏绝缘。为了减少涡流，铁芯都用电阻率很大的硅钢片叠成。硅钢片的表面要经过处理，生成不导电的氧化层，可以进一步减小涡流。



图3.6-8 用于安全检查的“门”。导线沿着“门框”绕成线圈，金属物品通过“门”时产生涡流，涡流的磁场又反过来影响线圈中的电流，引发报警。

问题和练习



1. 一根铁棒套上匝数不同的两个线圈，如果给一个线圈通以交变电流，在另一个线圈上能产生感应电动势吗？为什么？

2. 一个滑动变阻器由几百匝密绕的电阻丝组成，电阻丝外涂着绝缘漆。如果其中相邻的两匝短路了，这个变阻器仍然可以正常工作。一个电感器（例如变压器）的线圈由几百匝导线绕成，如果其中某两匝之间短路了，它还能正常工作吗？为什么？

3. 线圈中插入一根铁棒，线圈的自感系数将增加。试说明其中的原因。



图3.6-9 感应炉

4. 图3.6-9是一种冶炼金属的感应炉的示意图，炉内装着需冶炼的金属。交变电流通过线圈后，炉内的金属中产生了很强的涡流，涡流产生的热使金属熔化。在电流有效值相等的情况下，电流频率的高低对涡流的发热将有什么影响？试说明道理。

5. 课文中图3.6-3，当开关断开以后，灯泡还可以延长发光，甚至于还会闪亮一下。某同学对此困惑不解：“开关断开后电源已经不工作了，灯泡继续发光，岂不是说能量可以创生？”对此，你怎么解释？



“大面积停电”引发的思考

美、加、英发生重大停电事故

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，纽约市当晚发生60起火灾。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分地区也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。



城市的运转依靠强大的电力

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℃，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汽车、火车、地铁在运行。

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。

大面积停电事故频繁出现已为各国的电网安全敲响警钟。



停电后，纽约摩天大楼失去往日炫目的色彩，只有滚滚车流的灯光映红道路。

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，应对突发事件的预警方案和相应的训练近两年来得到了重视，这在处理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。在克利夫兰和底特律，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. 当遇到一些突发事件时，你认为应该如何应对？
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？

七、课题研究：电在我家中

（一）课题的提出

目前我国大部分地区，电已经成为社会生活的重要能源。

电的广泛使用，推动了生产的发展，也给人们的生活带来方便。但是，如果用电不当，也会造成生命财产的重大损失。

了解常见用电器，能够安全用电，已经成为现代生活不可缺少的基本素质。在这个课题研究中，同学们要通过自己的活动增长知识，提高正确用电、安全用电、节约用电的意识。

（二）研究形式与方法

调查身边的用电器，了解它们的原理，研究合理使用的要领，分析可能出现的安全隐患。了解安全事故的案例，从中吸取教训。

可以通过调查、访问、向内行的人请教、在教师指导下看书、在因特网上查询、做实验等多种形式进行研究。

（三）研究的内容

下面一些课题供参考，你可以从中选择一个题目，也可以自己确定其他研究课题。

- ◆ 对某种家用电器的分析。例如，它工作的物理原理是什么？使用时要注意什

么？可能存在哪些安全隐患？

- ◆ 你家的照明电路、家用电器的供电电路等是怎样配置的？随着家用电器的发展，供电电路是否需要改造？
- ◆ 在你的生活环境中，包括家庭、学校，以及交通、购物等环境，安全用电方面应该注意哪些问题？
- ◆ 用电时，常见的触电事故有哪些？它们是怎么发生的？
- ◆ ……

（四）研究成果的表现形式

在教师指导下，分组或独立地就自己的课题进行学习和调查。写出大约 3000 字的研究报告，在汇报会上进行交流。

以下资料可能对这些课题研究有用，供你参考。你应该自己通过各种途径获得更多的资料。

课题研究参考资料

1. 建议进行调查的家用电器及调查的项目

（同学们可以对表中电器的种类和项目进行增添）

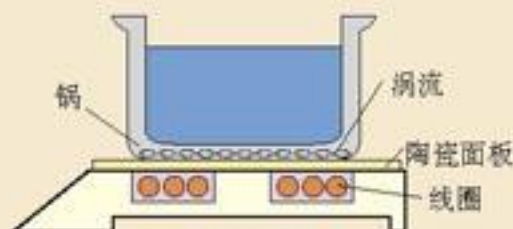
电器的名称	主要功能	直流/交流	额定电压	额定功率	发生过安全事故吗?
电动自行车					
电熨斗					
微波炉					
计算机					
电风扇					
电饭锅					
电热水器					
电视机					
洗衣机					
电冰箱					
台灯					
空调					
电烤箱					
手电筒					

2. 电磁炉使用常识

阅读电磁炉说明书的以下内容，回答后面的问题。

电磁炉工作原理

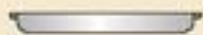
电磁炉是利用涡流加热的。它利用电流通过线圈产生磁场，当磁场内的磁感线通过锅的底部时，即会产生无数小涡流，使锅体本身自行高速发热，从而达到烹饪食物的目的。



适用的锅类、容器



不锈钢锅



烧烤铁板



平底铸铁炒锅



不锈钢水壶

不适用的锅类、容器



底部直径小于12 cm



锅底附脚高于5 mm



上弧形锅底



下弧形锅底

.....

注意事项

1. 本产品的适用电压为220~240 V。
2. 请不要在同一个插座上同时接插两个以上大功率的电器进行使用。
3. 切勿在手上有水时插拔电源插头。
4. 切勿以拉扯电源线的方式拔出电源线；当发现电源线破损时，请停止使用，应及时联系维修。
5. 烹饪完成后请将电源拔离。
6. 请不要自行拆装或改造电磁炉。出现故障时请及时与我公司在当地的售后服务部或直接与我公司的售后服务中心联系。
7. 切勿把金属物体插入电磁炉内，以免发生事故。
8. 清洁保养。先将电源切断（先拔电源插头，再拔接连产品的插尾），勿用水冲洗或泡在水中清洗。

问题

- (1) 电磁炉与传统加热方式的主要区别是什么？
- (2) 用电磁炉烧饭时应该使用什么材质的锅？为什么？哪些材质的锅根本不能用？平底锅、凸底锅、带脚的锅……哪种锅的效果最好？
- (3) 电磁炉的优点是什么，缺点是什么？它适合在什么场合使用？
- (4) 从人身安全和保护电磁炉这两方面考虑，使用时要注意什么？

3. 与安全用电相关的参考材料

★ 电路的基本常识

电力公司将220 V的交流送到家里。电流从室外经过入户线进入各户，接到电能表上，再经室内配线通往室内。家庭电路大致如图3.7-1所示。

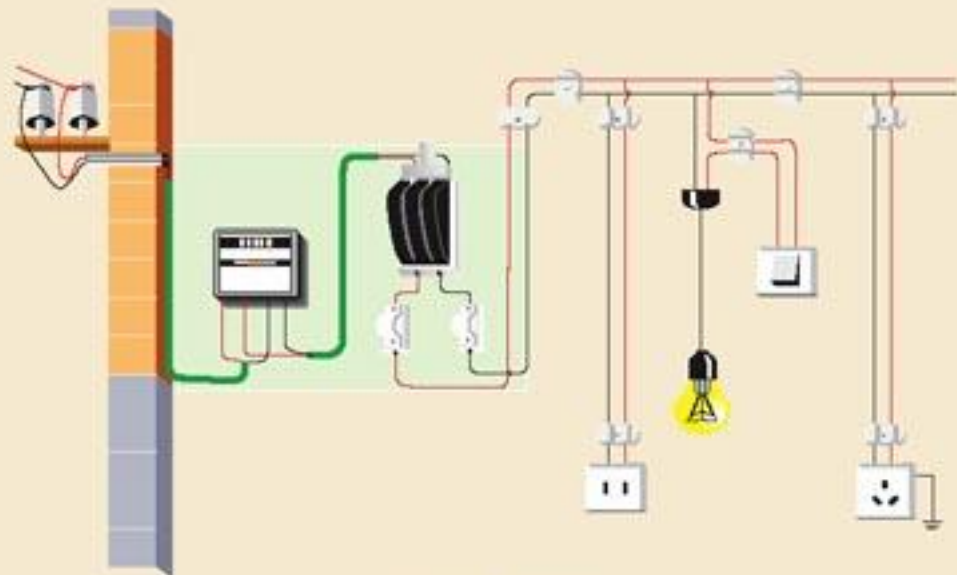


图3.7-1 家庭电路

墙上的电源插座有的有两个插孔，有的有三个插孔。两个插孔的一个孔连接着相线（俗称火线），另一个连接着零线（也称中性线），零线在供电端与大地相连。人体不小心接触端线时，电流即由端线经人体与大地构成通路，极为危险。

有的家用电器的插头是两脚的，把它们分别接在端线与零线上就能工作。电器内部的电路与外壳完全绝缘，所以接触外壳不会触电，但是万一绝缘不好就有漏电的危险。为了保证人身安全，洗衣机、电冰箱等的外壳都要接地。也就是用一条导线连在金属板上埋入地里，另一端与电器外壳连接。一旦漏电，电器外壳的电荷即可导入大地，使用者不致触电。

有的家用电器的插头是三脚的，出厂时外壳已经连在中间脚上。这就需要有三个插孔的电源插座。三孔插座中间那个孔在建设房屋布线时已经与大地相连，插头插入后机器的外壳就自然与大地相连了。

一定粗细的电线允许通过的电流是一定的，这在电线的产品说明书上都有标注。应该按房间

里用电的多少配置相应规格的电线。早年建房时没有预见到现在家用电器的发展,电线比较细,多个家用电器同时使用时电流过大,电线会过热,有发生火灾的危险。这点应该引起注意。

为防止意外,家庭电路中都有保险装置,电流过大时可以自动切断电源。早期的保险装置是安在总开关之后的保险丝。保险丝由熔点很低的合金制成,流过的电流超过一定值时即可熔断而切断电路。保险丝应与室内用电器串联后接在火线上,熔断后用电器与火线断开,即使不慎碰触电器内部,也不致触电。保险丝越粗,熔断所需的电流越大,更换时要注意其规格。绝不能用铜丝、铁丝等代替保险丝。

电力用户和新建楼房大都改用电磁保险装置。当电流超过安全值时,电磁铁发生作用使电路自动断开。排除故障后只须把开关再扳回去。这样的开关叫做无熔断开关,选用时,需注意所标的额定电流值。额定电流过大则起不到保护作用。

★ 触电是危及生命的用电事故

触电对人体造成的危害包括电伤和电击。电伤是对人体外表的伤害,如皮肤烧伤。电击是电流通过人体使人发生生理和病理反应,如肌肉痉挛、呼吸麻痹,心室纤维性颤动甚至停止跳动。通常说触电主要指电击。

电流对人体造成的伤害程度与通过人体电流的大小有关。微电流对人体是无害的,但电流较大,通过时间较长,可能造成对人体的伤害甚至生命危险。人体对交流的耐受程度比对直流要差一些。

不同电流通过人体时人的感觉

电流 I / mA	电流对人体的作用特征	
	交流 f / 50~60 Hz	恒定直流
0.6~1.5	开始有感觉,手轻微颤抖	没有感觉
2~3	手指强烈颤抖	没有感觉
5~7	手部痉挛	有痒和热的感觉
8~10	手剧痛,勉强可以摆脱带电体	热的感觉增强
20~35	手剧痛,不能摆脱带电体,呼吸困难	热的感觉更强,手部轻微痉挛
50~80	呼吸困难,麻痹,心室开始颤动	手部痉挛,呼吸困难
90~100	呼吸麻痹,心室颤动,经3 s可使心脏停止跳动	呼吸麻痹

触电的发生还与以下因素相关。

1. 我国北方夏秋季节为触电事故多发季节

这个季节北方天气潮湿,设备绝缘性能低;天热人体多汗,皮肤电阻小;天热着装少,防护

服装等穿戴不全。因此，夏秋季节触电概率比较大。

2. 电流通过人体部位的影响

电流通过人脑会使人昏迷致命；电流通过脊髓会导致瘫痪；电流通过心脏会引起心室纤维性颤动，以致心脏停止跳动而致命。事实证明从左手到脚是最危险的电流途径，因为心脏直接处在电路之中。

3. 频繁移动电器

如电饭锅、热水器、电熨斗、电风扇、台灯等，由于电源线经常缠绕、扭曲、折叠，如果绝缘塑料皮老化变硬就会使金属导线外露，容易发生触电事故。

★ 安全用电必须注意的几点

1. 高度重视，谨防触电

接触、搬运电器时头脑中要时刻想到避免触电，不能大意。要定期检查用电器的插头。大功率用电器的插头（如电饭锅插头）极易因过热而损坏，更要注意。

2. 避免短路

短路时电路中的电流非常大，轻则电源、电线烧毁，重则发生火灾酿成大祸。从插座拔出插头时要手握插头，切勿用力拉扯电线，以免电线绝缘皮破损或插座接头脱落，形成短路。

3. 电器金属外壳应该接地线

容易潮湿的电器如洗衣机、洗碗机等更要接地。

4. 不要在同一插座上同时使用几个大功率的用电器

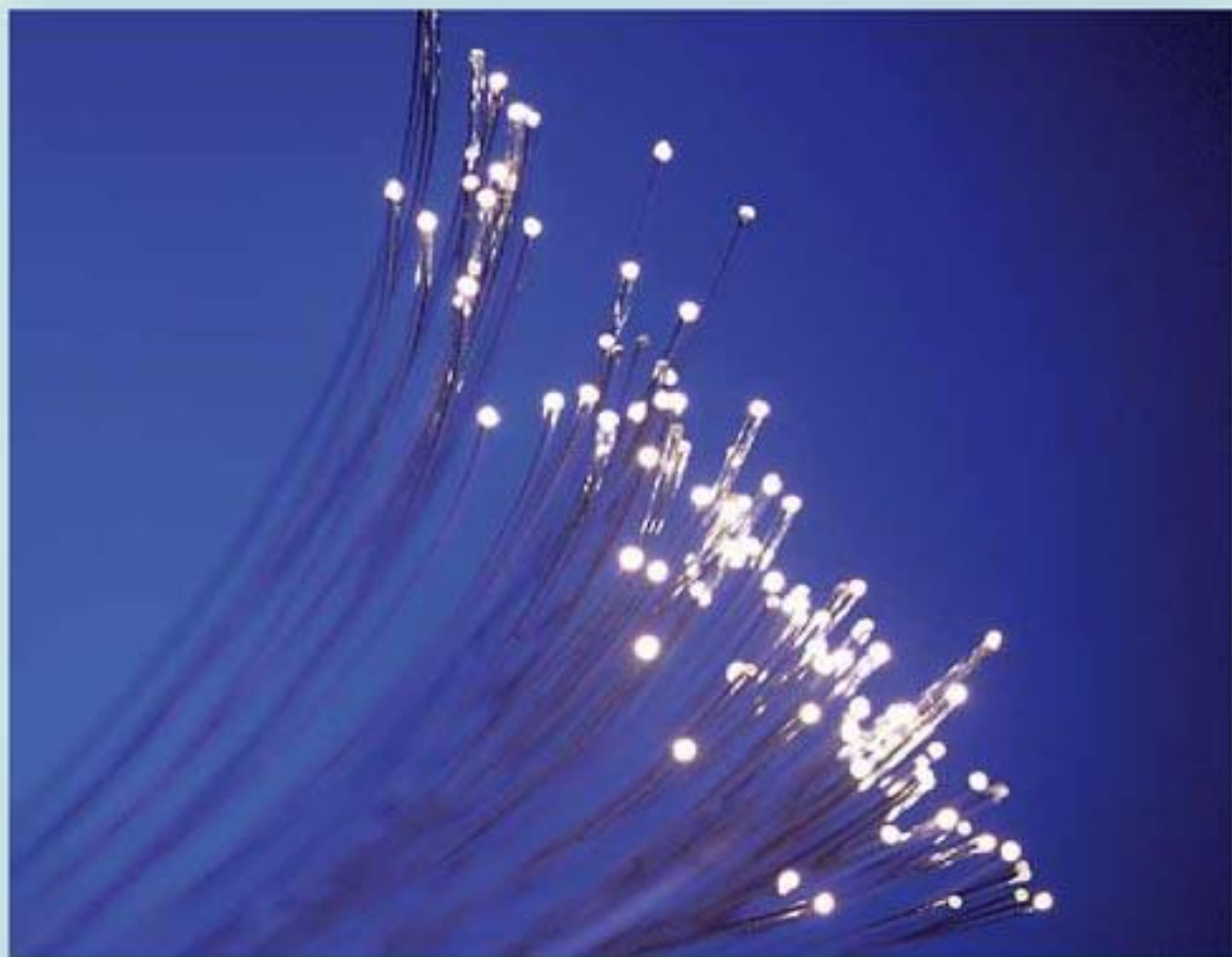
在同一插座上用电器的总功率过高时，流过插座的电流太大，容易引起火灾。

5. 不要让纸张等易燃物过分靠近电灯、电饭锅、电炉等电热器

电学已经改变了我们的生活方式，并且产生了一个巨大的工程应用领域……但是电波和无线电通信，却需要对麦克斯韦理论的了解来解释它们。

——埃米里奥·塞格雷^①

第四章 电磁波及其应用



人类社会已经进入了信息时代，信息爆炸式地产生，通信成了信息时代的生命线。现代通信离不开电磁波，从电磁波的发现在到信息高速公路的出现，我们仅仅用了100年。可以说，麦克斯韦的伟大预言和赫兹的电火花，照亮了人类利用电磁波通信的道路。

^① 埃米里奥·塞格雷 (Emilio Gino Segrè, 1905—1989)，美国物理学家，因与张伯伦一起发现反质子而获1959年诺贝尔物理学奖。

一、电磁波地发现

法拉第发现电磁感应现象那年，麦克斯韦在英国爱丁堡诞生了。麦克斯韦从小热爱科学，喜欢思考，不到十岁就随父亲到皇家学会听科学讲座，15岁就发表了他的第一篇数学论文。

1854年，麦克斯韦从剑桥大学毕业。他精心研读了法拉第的著作，被法拉第关于“场”和“力线”的思想深深地吸引住。他也同时看到了法拉第定性表述的弱点。这位初出茅庐的青年科学家决定用自己的数学才能来做些弥补。1855年麦克斯韦发表了第一篇电磁学论文《论法拉第的力线》，把法拉第关于场的思想翻译成数学语言，给出了精确的数量关系。他的工作使法拉第的“力线”概念由一种直观的想像上升为科学的理论。1860年初秋，麦克斯韦专门去拜访法拉第。两人虽然在年龄上相差四十岁，在性情、爱好、特长方面也迥然不同，可是对物质世界的看法却产生了共鸣。法拉第鼓励麦克斯韦：“你不应该停留在用数学解释我的观点，而应该突破它！”法拉第的话，激励着麦克斯韦以更大的热忱投入了新的探索。



麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879)，英国物理学家。麦克斯韦少年时受过很好的教育，显示出数学和物理学方面的才能。他在物理学上的主要贡献是建立了分子运动速度的概率分布理论和电磁场理论。麦克斯韦建立了著名的卡文迪许实验室。

伟大的预言 麦克斯韦系统地总结了人类在19世纪中叶对电磁规律的研究成果，其中既有库仑、安培、奥斯特、法拉第和亨利的开创之功，也有他自己创造性的努力。他相继发表了《论物理力线》和《电磁场动力学理论》，最终以一组今天称为麦克斯韦方程组的电磁场方程，宣告了完整电磁场理论的建立。

麦克斯韦方程组深刻地指出了电场与磁场的密切联系。

变化的磁场产生电场

在变化的磁场中放一个闭合电路，由于穿过电路的磁通量发生变化，电路里会产生感应电流（图4.1-1），这是法拉第发现的电磁感应现象。麦克斯韦从场的观点进一步想到，产生感应电流时，一定是有了促使导体中自由电荷做定向运动的电场。因此，麦克斯韦认为：这个现象的实质是变化的磁场在空间产生了电场。如果在这个空间有一个闭合电路，那么电路中的自由电荷就在这个电场作用下做定向运动，形成电流；即使在变化的磁场中没有闭合电路，也同样要在空间产生电场。磁场变化时产生电场，这是必然的。

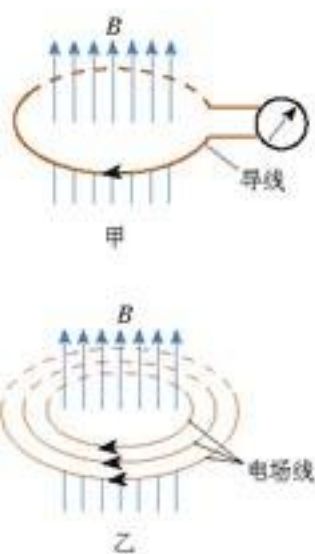


图4.1-1 变化的磁场产生电场

变化的电场产生磁场

既然变化的磁场能够在空间产生电场，那么，变化的电场能不能产生磁场？麦克斯韦确信自然界规律的统一与和谐，相信电场与磁场具有对称之美。他大胆地提出假设：变化的电场也相当于一种电流，也在空间产生磁场，即变化的电场在空间产生磁场(图4.1-2)。

根据上述两个基本论点，麦克斯韦进一步推断：如果在空间某区域有不均匀变化的电场，那么这个变化的电场就在空间引起变化的磁场；这个变化的磁场又会引起新的变化电场和磁场……于是，变化的电场和磁场交替产生，由近及远地传播。麦克斯韦方程组深刻地指出，这种电场和磁场的传播是一种波动过程。由此，一个伟大的预言诞生了——空间可能存在**电磁波(electromagnetic wave)**!

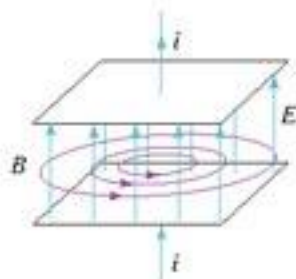


图4.1-2 变化的电场产生磁场

麦克斯韦的工作集电磁学研究成果之大成，不仅预言了电磁波的存在，而且揭示了电、磁、光现象在本质上的统一。麦克斯韦建立的完整电磁场理论，足以与牛顿力学理论相媲美，是物理学发展史上的一个里程碑式的贡献。

电磁波真的存在吗？在那时，有许多人不相信。

电磁波

我们熟悉声波和水波，它们都是机械波。耳朵能够听到声波，是因为耳朵和声源之间有空气，水波的传播则需要水。空气、水，是声波和水波传播的介质。没有介质就没有机械波。

与机械波不同，电磁波可以在真空中传播，这是因为电磁波的传播靠的是电场和磁场的相互“激发”，而电场和磁场本身就是一种形式的物质。

那么，电磁波以多大的速度传播？麦克斯韦推算出一个出人意料的答案：电磁波的速度等于光速！他还由此提出了光的电磁理论：光是以波动形式传播的一种电磁振动。

赫兹的电火花

遗憾的是，麦克斯韦英年早逝，他没有见到科学实验对电磁场理论的证明。把天才的预言变成世人公认的真理，这是赫兹的功劳。

1886年，赫兹制成了一种仪器。这个仪器上有两个抛光的金属球，两球之间有很小的间隙。两个金属球接到一个感应圈^①的两端。由于两球之间电压很高，间隙中的电场很强，空气分子被电离，从而形成一个导电通路。当一簇电荷通过时，看上去就是火花。

赫兹还把一根导线弯成环状，导线两端安装两个小金属球，其间留有空隙。当把这个导线环放在距离感应圈不太远的位置时，他观察到：当感应圈两个金属球间有火花跳过时，导线环两个小球间也跳过了火花。

这是一个令人振奋的现象！



赫兹(H. R. Hertz, 1857—1894)，德国科学家。赫兹对人类的最大贡献是用实验证实了电磁波的存在。

^① 感应圈是一种利用电磁感应产生数十千伏高电压的装置。

赫兹推断，当火花在感应圈两个金属球间跳动时，必定建立了一个迅速变化的电磁场。按照麦克斯韦的理论，这种变化的电磁场以电磁波的形式在空间传播。当电磁波经过导线环时，迅速变化的电磁场在导线环中激发出感应电动势，使得导线环的空隙中也产生了火花。因此，这个导线环成了电磁波的检测器。

赫兹在人类历史上首先捕捉到了电磁波。在以后的一系列实验中，他悉心研究了电磁波的反射、折射、干涉、衍射和偏振等现象，证明了电磁波与光具有相同的性质。他还测得，电磁波在真空中具有与光相同的传播速度 c 。这样，赫兹证实了麦克斯韦关于光的电磁理论。

赫兹关于电磁波的实验，为无线电技术的发展开拓了道路。因此，他被誉为无线电通信的先驱。后人为了纪念他，把频率的单位定为赫兹。



图4.1-3 令人振奋的电火花



德国于1994年发行的纪念赫兹的邮票

演示

捕捉电磁波

感应圈 G 上安装两根长约 1 m 、带有球形电极 Q 的铜管 a 、 b ，两球的间隙约 0.5 cm (图 4.1-4)，构成发射天线。绝缘柄 B 上固定同样的两根金属管 c 、 d ，两管成一直线，中间连接一个氖泡，作为接收天线。

使感应圈工作，在两个球形电极间产生放电火花。让接收天线与发射天线相距 $1\sim 2\text{ m}$ ，可以看到氖泡发光。

如果将一台收音机放在附近，在任何频率都可以听到“喀喀”声，表示收到了感应圈放电时发射的电磁波。

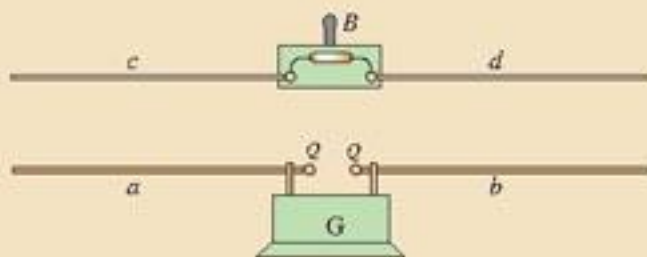


图4.1-4 实验装置



无线电通信

在赫兹证明电磁波存在后的第二年,当有人来信问到利用电磁波进行通信的可能性时,他竟在回信中这样写道:“如果要利用电磁波进行无线通信,那非得有一面和欧洲大陆面积差不多的巨型反射镜才行。”赫兹顽强的探索精神和卓越的实验才能令人惊叹,但他却不是一位优秀的工程师或商业经营者。由于仅仅活了37岁,赫兹没有看到电磁波广阔应用的宏伟图景。

1895年,俄国青年波波夫和意大利青年马可尼分别完成了自己的无线电通信实验。马可尼把他的成果发展为完整的系统,从而成功地实现了商业上的运用。1897年5月18日,马可尼实现了横跨布里斯托尔海峡的无线电通信。

由于无线电通信不需要昂贵的地面线路和海底电缆,因而很快受到人们的重视。它首先用在难于铺设电缆的海上通信。第一艘装有无线电台的船只是美国的“圣保罗”号邮船。随后,海上无线电通信初露头角,接二连三地在海难救援中发挥作用。

1901年,无线电波越过了大西洋,人类首次实现了越洋无线电通信。两年后,无线电话试验成功。其他利用无线电波的技术也像雨后春笋般地相继问世。无线电广播、电视、微波通信、卫星通信……它们使整个世界面貌发生了深刻的变化。



图4.1-5 1915年,美国开通第一条跨越大西洋的无线电通信线路。

问题和练习

1. 麦克斯韦从什么现象认识到变化的磁场能产生电场?关于“变化的电场能够产生磁场”的观点,他是在什么情况下提出的?
2. 麦克斯韦关于电磁场理论的主要论点是什么?请你用麦克斯韦电磁场理论说明由近及远的电磁波是怎样产生的。
3. 能否用实验说明电磁波的存在?
4. 为什么人们要纪念麦克斯韦和赫兹?



墨西哥于1967年发行的纪念麦克斯韦和赫兹的邮票

二、电磁波谱

水波的涟漪,音乐的律动,光的缤纷色彩,这些不同的事物有共同之处吗?有。它们都是波动。



图4.2-1 水波

波长、频率和波速

小木棍上下振动时给平静的水面激起涟漪

的水波。水波不停地向外传播着，它要用波长、频率和波速来描述。

在一列水波中，凸起的最高处叫做波峰；凹下的最低处叫做波谷。邻近的两个波峰（或波谷）的距离（图4.2-2）叫做**波长(wave length)**。在1s内有多少次波峰或波谷通过，波的**频率(frequency)**就是多少。

水波不停地向远方传播，用来描述波传播快慢的物理量叫做**波速(wave velocity)**。波速、波长、频率三者之间的关系是

$$\text{波速} = \text{波长} \times \text{频率}$$

对于电磁波，有同样的关系。如果用 λ 表示电磁波的波长， f 表示它的频率，那么，电磁波的波速 c 与 λ 、 f 的关系是

$$c = \lambda f$$

电磁波在真空中的速度

$$c = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$$



图4.2-2 单位时间里有多少次起伏通过，波的频率就是多少。



思考与讨论

频率与波长

1. 家用微波炉中使用的微波频率为2 450 MHz。它的波长是多少？
2. 某广播电台发射的电磁波的波长是500 m。它的频率是多少？

电磁波谱

电磁波的频率范围很广。无线电波、光波、X射线、 γ 射线，都是电磁波。其中，可以看见的光波——可见光，只是电磁波中的一小部分。按电磁波的波长或频率大小的顺序把它们排列成谱，叫做**电磁波谱(spectrum of electromagnetic wave)**，如图4.2-3所示。

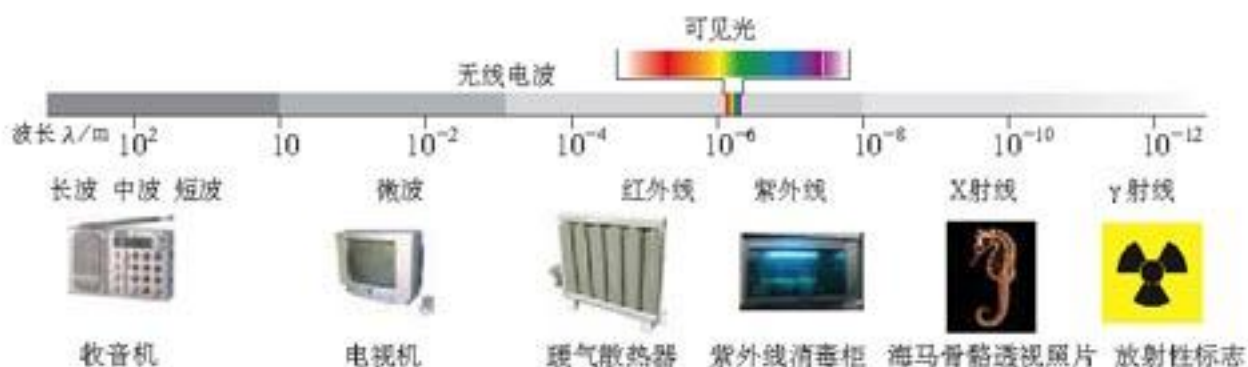


图4.2-3 电磁波谱

电磁波是一个很大的家族。有的电磁波的波长很长，例如无线电波；有的电磁波的波长很短，例如X射线和 γ 射线。不同电磁波由于具有不同的频率（波长）^①，才具有不同的特性。

^①描述电磁波谱的不同区段时，可以用波长，也可以用频率。对于无线电波，特别是微波以外的无线电波，习惯上用频率，对于其他电磁波，习惯上用波长。

第四章 电磁波及其应用

无线电波(radiowave)

波长大于1 mm(频率小于300 000 MHz)的电磁波是无线电波。无线电波用于通信和广播。微波炉中使用的微波也是一种无线电波。

广播电台和电视台都有发射无线电波的设备，微波炉中的微波也是由它内部的微波发射设备——磁控管发射出来的。许多自然过程也辐射无线电波。天文学家用射电望远镜接收天体辐射的无线电波，进行天体物理研究。

红外线(infraredray)

红外线是一种光波，它的波长比无线电波短，比可见光长。所有物体都发射红外线。热物体的红外辐射比冷物体的红外辐射强。我们看不见红外线，但能够感受它。当你在炉火旁感受到温暖时，你的皮肤正在接收红外线。

红外探测器能探测出物体的红外辐射，这是夜视仪器和红外摄影的基础。用灵敏的红外探测器吸收远处物体发出的红外线，然后用电子仪器对信号进行处理，可以显示被测物体的形状。这种技术是红外线遥感。利用红外线遥感可以在飞机或人造地球卫星上勘测地热、寻找水源、监视森林火情、预报风暴和寒潮。红外线遥感在军事上的应用也越来越重要。



图4.2-4 电视塔能发射无线电波



图4.2-5 人体也发射红外线。体温越高，发射的红外线越强。根据这个原理，红外体温计不与身体接触也可以测体温。

大家谈

许多动物具有发达的红外感受器官，可以感受红外辐射，在夜间也可以看到物体。你知道哪些动物具有这方面的功能吗？

可见光(visiblelight)

可见光的波长在700~400 nm之间^①。

阳光是由各种色光组成的。科学研究发现，不同颜色的光是波长(频率)范围不同的电磁波。



图4.2-6 大气中的水滴把阳光分解为七色光

^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。

光的颜色	红	橙	黄	绿	蓝—靛	紫
真空中的波长 λ/nm	700~620	620~600	600~580	580~490	490~450	450~400

大气把阳光向四面八方散射,波长较短的光比波长较长的光容易被散射。傍晚的太阳颜色发红,是因为傍晚的阳光在穿过厚厚的大气层时,蓝光、紫光大部分被散射掉了,剩下红光、橙光透过大气射入我们的眼睛。

光波进入眼睛,落在视网膜上。视网膜上覆盖着感光细胞。感光细胞有视锥细胞和视杆细胞两种,视锥细胞对不同波长的光有不同的响应,这样我们就能分辨颜色了。

紫外线(ultraviolet ray)

人眼看不到比紫光波长更短的电磁波。在紫光之外,波长范围在5~400 nm的电磁波是紫外线。紫外线具有较高的能量,足以破坏细胞中的物质。因此,可以利用紫外线灭菌消毒。太阳光里有许多紫外线,人体接受适量的紫外线照射,能促进钙的吸收,改善身体健康。但过强的紫外线会伤害眼睛和皮肤。



图4.2-7 紫外线消毒柜

在紫外线的照射下,许多物质会发出荧光。根据这个特点可以设计防伪措施。

X射线(X-ray)和 γ 射线(γ -ray)

波长比紫外线更短的电磁波就是X射线和 γ 射线。

人们用X射线管来产生X射线。X射线对生命物质有较强的作用,过量的X射线辐射会引起生物体的病变。X射线能够穿透物质,可以用来检查人体内部器官。在工业上,利用X射线检查金属部件内部有无缺陷。机场等处进行安全检查时,X射线能轻而易举地窥见箱内的物品。

波长最短的电磁辐射是 γ 射线,它具有很高的能量。 γ 射线能破坏生命物质。把这个特点应用在医学上,用以摧毁病变的细胞,可以治疗某些癌症。 γ 射线的穿透能力很强,也可用于探测金属部件内部的缺陷。

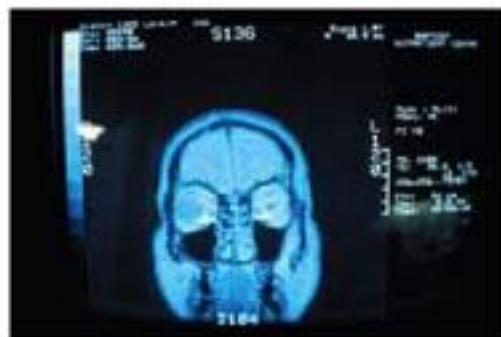


图4.2-8 “CT”是“计算机辅助X射线断层摄影”的简称。X射线以不同角度照射人体,计算机对其投影进行分析,给出类似于生理切片一样的人体组织照片。医生可以从其中看出是否发生了病变。

电磁波的能量

法拉第用“力线”形象地描述了电磁场,麦克斯韦用数学语言表述了电磁场。但在当时,人们只把电磁场看做研究电磁现象的一种方法。赫兹通过实验证实了电磁波的存在,这意味着,电磁场不仅仅是一种描述方式,而且是真正的物理实在。

第四章 电磁波及其应用

微波炉的工作应用了一种电磁波——微波。食物中的水分子在微波的作用下加剧了热运动，内能增加，温度升高。食物增加的能量是微波给它的。可见电磁波的确具有能量，电磁波是物质存在的一种形式。

除了可见光外，虽然我们看不到其他电磁波，却能通过它们的能量而感觉到它们。播音员的声音为什么能到达我们的收音机？因为电台发射的电磁波在收音机的天线里感应出了电流。有电流就有能量，能量是从哪里来的？它来自电台发射的无线电波。

我们有各种各样的仪器，能够探测到许许多多电磁波。所有这些都表明电磁波具有能量，电磁波是一种物质。



图4.2-9 微波炉

太阳辐射

太阳辐射中含有可见光、红外线、紫外线，同时还有X射线、 γ 射线、无线电波。太阳辐射的能量集中在可见光、红外线和紫外线三个区域内（图4.2-10）。从图上可以看到，波长在黄绿光附近，辐射的能量最强。我们的眼睛正好能感受这个区域的电磁辐射。眼睛把太阳在最强辐射区的辐射作为自己的接收对象，这样就能看到最多的东西，获得最丰富的信息。读到这里，你是否又一次感受到了自然万物的绝妙与和谐？这是巧合呢，还是人类进化的结果？

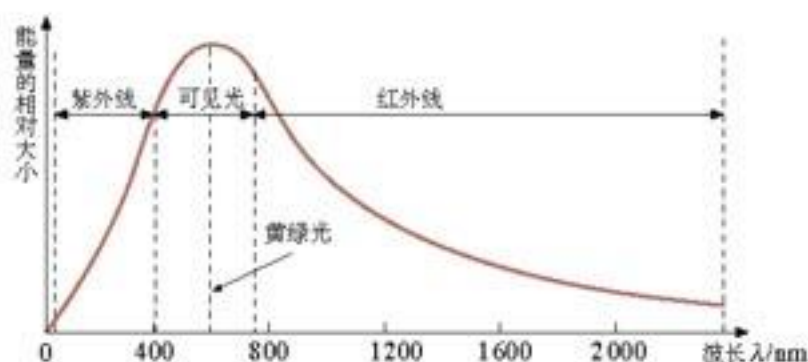


图4.2-10 太阳辐射能大部分集中在可见光和红外线、紫外线区域



科学漫步

寻找地外文明



图4.2-11 射电望远镜天线阵

天文学家不仅可以用眼睛“看”宇宙，也可以用耳朵“听”宇宙。这个“耳朵”就是射电望远镜。从外观上看，大多数射电望远镜都有抛物面形状的金属天线。我们知道，折射望远镜靠凸透镜会聚光线，反射望远镜靠抛物面形状的反射镜面会聚光线。金属制成的抛物面天线，能把来自遥远天体的无线电波会聚到一点，从而捕捉来自太空的信息。

射电望远镜越大，会聚的无线电波越多，于是就能观察更弱的射电源。望远镜越大，分辨能力也越高。射电望远镜可以造得很大，几十米直径的射电望远镜在技术上也能够实现。建造很多小射电望远

镜，再把它们组合起来，其分辨能力也能达到大口径射电望远镜的效果。20世纪60年代，很多重大的天文学发现都与射电天文学有关。

人类探索自然奥秘的活动从来就没有停止过。20世纪，“外星人”成了科幻小说的主题之一。1960年美国国立射电天文台开始了一项计划：寻找“外星人”。执行者们使用一台直径26 m的射电望远镜，接收21 cm波长的无线电信号。他们认为宇宙中最多的元素是氢，21 cm波长是氢原子辐射的波长之一，任何智慧生物都会对氢元素做透彻的研究。同年4月8日，这架射电望远镜开始搜索。遗憾的是至今没有发现什么有价值的信息。研究人员又在1972~1975年用两台直径更大的射电望远镜和更精密的仪器，在同一波段对660颗与太阳类似的恒星进行无线电监听，结果仍未发现有价值的信息。现在，有人准备建造更多、更大的射电望远镜天线，完全用电子计算机控制，来搜索更为遥远的天体发射的无线电波。

除了千方百计接收来自太空的“外星人来电”之外，地球上的人也主动向宇宙发射过几次无线电信号。1974年11月16日，设在波多黎各的一个天文台用波长12.6 cm的调频电磁波第一次向银河系发送了人类对外星人的友好问候。

人类亲自登门拜访其他星球可能更有意义。1957年苏联的第一颗人造卫星上天，人类便开始飞出地球造访宇宙了。1969年7月20日，美国宇航员乘坐“阿波罗”11号飞船登上月球，没有发现月球上有生命。后来，几艘飞船肩负人类的重托飞向太空，拜访了金星、火星，甚至离开太阳系去寻找人类的知音。1977年8月和9月，一对“孪生兄弟”——宇宙飞船“旅行者”1号和2号出发了，它们携带的“介绍信”是一套灌满“地球之音”的铜制唱片。这套唱片在宇宙中经历10亿年时间也不会变音，可放音乐120分钟。唱片收集了雨声、风声等地球上35种自然界的音响、27首世界名曲、60种不同语言的问候声(包括汉语“祝你们大家好”)。这套唱片还介绍了地球的山川海空、树草花卉、飞禽走兽，以及人体、人的DNA、太阳系的情况等等，共有115张图片。人类派出的这对探测器已经在太阳系内漫游了二十几年，现在差不多飞到了太阳系的边缘，它们将担负起寻访地外文明和传递人类信息的使命。

时至今日，人们还没有找到地外文明。现在人类发现，文明星球目前只有一个——地球。生活在地球上的人们应该更加爱护自己的地球母亲。



图4.2-12 1974年人类给外星人发送的电报的内容

问题和练习



1. 光和无线电波之间有什么区别和联系?
2. 波长为 $0.6\ \mu\text{m}$ 的红光，从10 m外的交通信号灯传到你的眼睛，大约需要多长时间？在这个距离中有多少个波长？
3. 地球向月球发射电磁波，经过多长时间能在地球上接收到反射回来的电磁波？已知地球到月球的距离是 $3.84 \times 10^5\ \text{km}$ 。
4. 电磁波是个大家族，生活中有许多场合会涉及电磁波，请举出几个跟你关系密切或者令你印象深刻的实例。

三、电磁波的发射和接收

自古以来，人类一直在用自己的智慧解决远距离通信的问题。大约3 000年前，在我国的周代就出现了利用火和烟传递信息的设施——烽火台。然而，直到100多年前，信息主要还是依靠人或动物的移动来传递，即便使用车、船，速度仍然很慢，不能适应社会对通信的需求。19世纪末，电磁波的发现为信息插上了飞翔的翅膀。100多年来，通信技术得到了飞速发展，电报、电话、广播、电视等通信技术的应用，大大加快了现代化生活的节奏，使古代人“顺风耳”“千里眼”的梦想成了现实。

大家谈

现代化通信与我们

跟你爷爷奶奶小时候的生活相比较，现代通信给我们的生活方式带来了哪些观念上的变化？

进行无线电通信，需要发送和接收无线电波。天线是发射和接收无线电波的必要设备。我们在城市里可以看见矗立在高楼顶上的天线。利用电磁波通信要经过怎样的过程？下面是简要的介绍。

无线电波的发射 进行无线电通信，首先要发射无线电波。无线电发射机中有一个叫做振荡器的重要部件，它能产生频率很高的交变电流。高频交变电流流经天线时，在空间产生高频率的电磁场。由于这个电磁场在做周期性的变化，在周围又产生新的电磁场……于是，电磁波就发射出去了。

无线电广播传递的是声音，电视广播传递的不仅有声音，还有图像。振荡器产生的高频交变电流，是用来携带声音、图像等信息的，叫做载波。把要传递的信息加到载波上并发射出去，信息就可以传到远方。把信息加到载波上，就是使载波随信号而改变，这种技术叫做调制(modulation)。

一种常见的调制方式是使高频载波的振幅随信号改变，这种调制叫做调幅(amplitude modulation, AM)，如图4.3-2所示。



图4.3-1 形形色色的天线

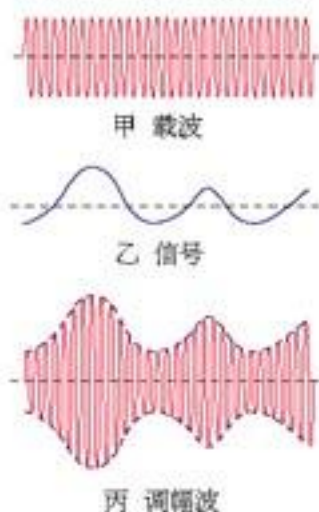


图4.3-2 调幅示意图

演示

用示波器观察调幅波

由信号源输出高频等幅信号、低频信号和高频调幅信号。将它们依次输入示波器的“Y输入”和“地”两个接线柱。调节机内扫描频率，可以看到图4.3-2甲、乙、丙所示的波形。

中波和短波波段的无线电广播，使用的是调幅方式。在微波波段，电视广播的图像信号也使用调幅方式。

另一种调制方式是使高频载波的频率随信号改变，这种调制方式叫做调频(frequency modulation, FM)，如图4.3-3所示。调频波的振幅不变，抗干扰的能力比较强，传递过程中的失真比较小。但调频接收机的结构比调幅机复杂，服务半径也比较小。目前许多城市都已经建立了调频广播电台，播送高质量的音乐和语言节目。

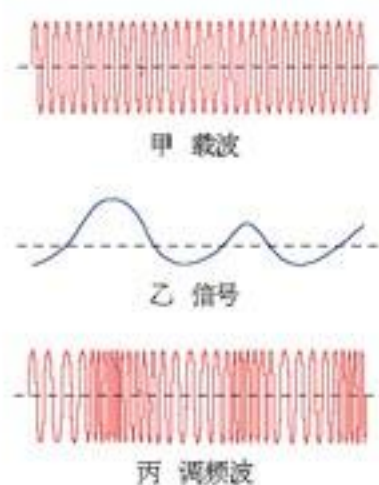


图4.3-3 调频示意图

无线电波的接收 世界上有许许多多电台、电视台，它们

每时每刻都在发射电磁波。接收无线电广播时，首先要从众多的电磁波中把自己需要的选出来。我们转动收音机的旋钮选择电台，实际上是在选择我们需要的电磁波，这在技术上叫做调谐(tuning)。

经过调谐，接收机得到的是带有信息标记的高频电流。这种高频信号电流，还不是所需的信号本身。要得到所需的信息，必须从高频信号电流中把它们“取”出来，也就是要进行解调(demodulation)。通过解调得到的信号，还要经过放大。如果传递的是声音信息，可以使扬声器发出声音；如果传递的是图像信息，可以使显像管显示图像。

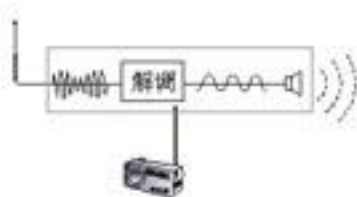


图4.3-4 解调示意图

电视 1927年，英国发明家贝尔德在伦敦公开表演了从远处传来的一些活动图像。虽然这些图像小而暗淡，并且摇晃不定，但却是人类第一次用电来传递活动图像。这个表演标志着电视的诞生。

在电视发射系统中，首先由摄像机将来自景物的光转变为电信号。摄像镜头把景物的像投射在摄像管的感光屏上(图4.3-5)，感光屏涂覆着一层光敏物质，各处受到的光照不同电阻也就不同。使电子枪发出的电子束对屏上的图像进行扫描，扫描的方式与电视接收机的显像管的扫描方式相同(第二章图2.4-3)。由于屏上各点的电阻不同，于是就产生了强度不断变化的电流。这个电流叫做视频电流，它包含着一帧图像的所有信息。扫描一帧图像需要 0.04 s ^①，随后又开始下一帧图像的扫描。接收端收到信号后进行解调，从中得

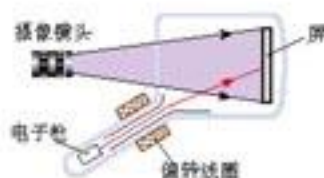


图4.3-5 摄像管

① 实际上，为了减少荧光屏的闪烁，每帧图像都要扫描两次，所以1 s内实际上完成50场扫描，每场用时 0.02 s 。

第四章 电磁波及其应用

到视频信号，并按摄像管的方式让电子束在荧光屏上与它同步地扫描，于是在显像管中出现了与摄像管中相同的图像。

摄像机在1 s内传送25帧图像，电视接收机也以相同的速率在荧光屏上显现这些图像。由于画面更换迅速，眼睛又有视觉暂留作用，我们感觉到的是连续的活动图像。

电视机天线接收到的电磁波除了载有图像信号外，还有伴音信号。伴音信号经处理之后送到扬声器便可以发出声音。图4.3-6是电视广播发射和接收过程的示意图。

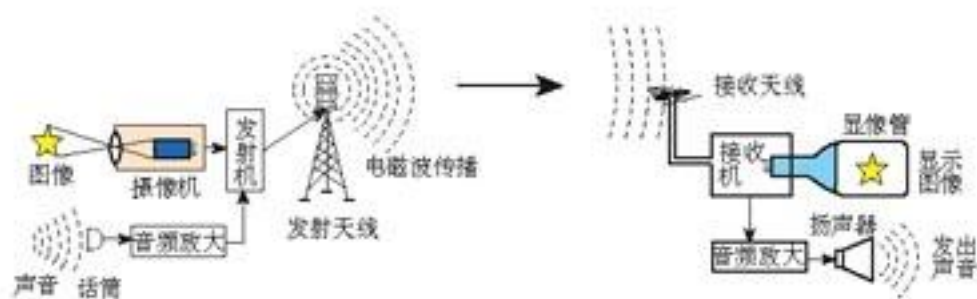


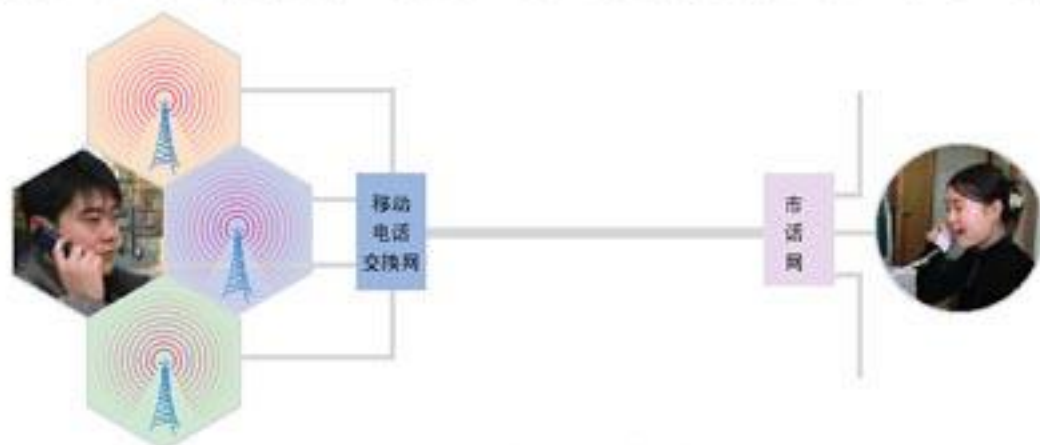
图4.3-6 电视广播的发射和接收过程

移动通信

移动通信诞生在19世纪末，最早用在船舶通信上。随着汽车的增加，1921年美国出现了汽车电话，专供警车使用。20世纪中叶以后，移动电话快速发展，现在个人移动电话正在迅速普及。

每个移动电话都是一个电磁波发射器，它通过电磁波把你讲话的信息发射到空中，同时它又是一个电磁波接收器，在空中捕获电磁波，使你得到对方讲话的信息。

手持移动电话的体积很小，发射功率不大。它的天线也很简单，灵敏度不高。因此，当手持移动电话与其他用户通话时要靠较大的固定无线电台转接。这种固定的无线电台叫做基站，它与电话交换机相连。城市中高大建筑物上常常可以看到移动通信基站的天线。



4.3-7 移动电话靠基站转接

大家谈

什么场合不宜使用移动电话

许多地方都有禁止使用移动电话的标志。据你所知，在哪些场合不宜使用移动电话？为什么？



问题和练习

1. 有5个容易混淆的名词：调制、调幅、调频、调谐、解调。请简要说明它们的含义。并说明调幅和调频的主要区别。
2. 请向你的同学描述：调幅波（经调幅后的波形）的形状是怎样的？描述时，要求用到“载波”和“低频信号”这两个术语。
3. 查一查有关说明书，甚高频(VHF)和超高频(UHF)波段的波长和频率各是多少？你所收到的电视节目中，哪些频道是甚高频的，哪些是超高频的？

四、信息化社会

社会越发展，人与人之间的联系越广泛，信息的产生、传递、处理和运用就越频繁，对信息技术的要求也就越高。现代信息技术的三大基础是信息的拾取、传输和处理。人类社会已经进入了信息化时代，传感技术、通信技术和计算机技术应运而生。

信息的拾取和传感器 人类为了从外界获取信息，必须借助于感觉器官。通过五种感觉（视觉、听觉、触觉、嗅觉、味觉）接收来自外界的信息，并由神经系统将这些信号传递给大脑，在人脑中将这些信息进行处理，然后发出命令传递给肌体，做出动作。

随着科学技术的发展和人类社会的进步，只靠这些感觉器官就显得很不够了。于是，各种代替、补充、延伸人的感觉器官功能的科学技术手段发展起来，出现了各种用途的传感器(sensor)。

其实，传感器并不神秘。你家里可能就有很多传感器。例如，当冰箱内的温度高于设定值时，制冷系统自动启动，而当温度低于设定值时，制冷系统又会自动停止。冰箱的控制，是通过温度传感器实现的。

信息化时代的生活，许多地方都需要传感器。例如，要用光和声来控制楼道电灯的开关，就要用到声光传感器（图4.4-2）。为防止火灾的发生，在宾馆房间的天花板上大多有一个小盒子（图4.4-3），当房间失火时它能感知出现的烟雾，通过电路发出警报。这个小盒子就是烟雾传感器。

传感器的使用，使我们的生活更加方便、安全和舒适。



图4.4-1 人的感觉器官与对应的传感器



图4.4-2 声光控开关



图4.4-3 天花板上的烟雾传感器

大家谈

哪些地方使用传感器

在生活中，你还发现哪些地方使用了传感器？

请你根据需要大胆地设想，在家里、学校和生活的社区，什么地方应该安装传感器？这个传感器要起什么作用？安装这样的传感器，在财政、技术、社会等方面可能遇到什么困难？

现在，传感器已广泛使用在社会生活中。下面简单介绍几种传感器的工作原理。

双金属温度传感器

图4.4-4是控制温度用的双金属温度传感器。把两种不同热膨胀系数的金属片贴合在一起，制成一条双金属片，温度变化时，因为两种金属片伸长不一样而发生弯曲，使电路的开关闭合或断开。

光敏电阻传感器

光敏电阻的阻值能随光照的强度而变化。无光照时，光敏电阻的阻值很大，流过电路的电流很小。有光照时，光敏电阻的阻值变小，电路中的电流增大。因此，根据电流的大小，可探知光的强弱。也可把光敏电阻连到电路中进行自动控制。

你认为什么地方可以使用光传感器？

压力传感器

电容器的电容随两极板间距离的变化而改变。根据这个原理可以制成压力传感器。

如图4.4-5，使待测压力作用于膜片上，膜片发生形变，使电容器两极板间的距离发生变化，引起电容器电容的变化，通过电子电路就能测出压力的变化。

电容式话筒也是利用电容量与极板间距离的关系来工作的。话筒的振动膜涂有薄薄的金属层，膜后相距几十微米有一个金属片，它们构成电容器的两个极板。声波使振动膜发生振动，电容器的电容不断变化，电容器产生充放电电流，声信号就被话筒转化为电信号输出。



图4.4-4 日光灯启动器里有一个双金属温度传感器

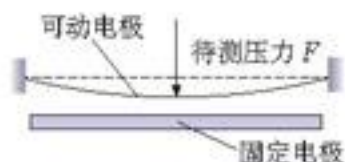


图4.4-5 电容式压力传感器

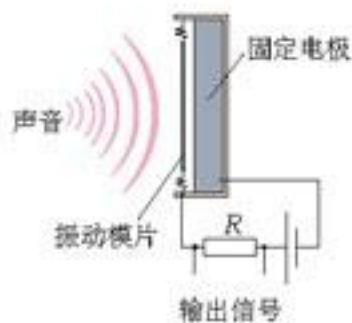


图4.4-6 电容式话筒

信息的传递

从语言的出现到文字的创新，人类文明的每一次重大进步都伴随着信息交

流的发展。纸和印刷术的发明使得信息能够大量流通，书籍、报纸、杂志因此发展起来了。

由于电磁理论和技术的发展，人们又利用电来传递信息了。1844年电报的发明揭开了电信的序幕，电磁波的应用又使无线电通信成为现实。

电磁波可以通过电缆、光缆进行有线传输，也可以进行无线传输。电磁波的频率越高，相同时间传递的信息量越大。光的频率比无线电波的频率高得多。因此光缆可以传递大量信息。



图4.4-7 我国最初的文字——甲骨文，它记载的信息流传至今。

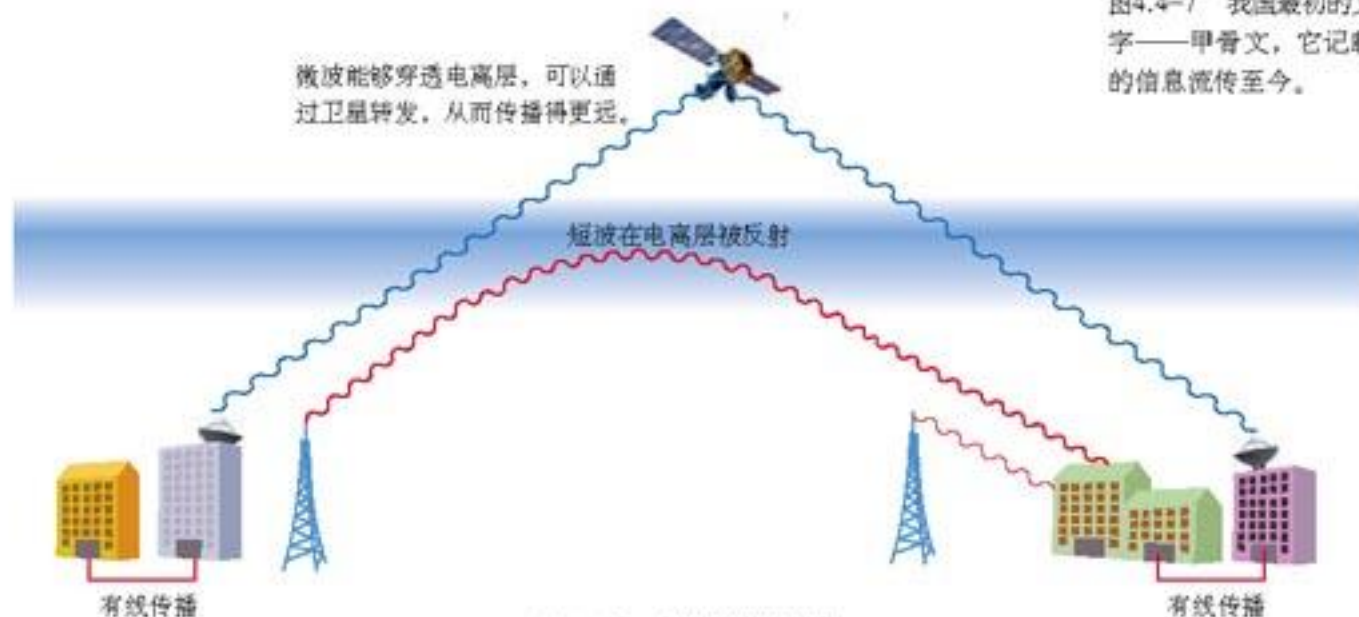


图4.4-8 信息传递的途径

信息的处理和数字通信

我们对着话筒讲话，话筒输出音频信号，音频信号电流（或电压）的振幅是随着声振动而变化的，电信号在“模拟”着声信号，叫做模拟信号(analog signal)，如图4.4-9所示。

电报的工作方式与电话不同，它只有点“·”与画“—”。不同的点与画的组合，代表不同的意思。电报的信号是一种数字信号(digital signal)。

数字信号抗干扰能力强、容易加密，便于用计算机处理。此外，不仅声音，图像和各种其他数据都可以转变成数字信号。因此同一条通信线路可以综合传输声音、图像和各种数据。

信息的记录

随着信息存储技术的发展，存储容量迅速增加，信息的存储和读出速度大大提高，信息存储的可靠性也不断增强。这样我们就可以把各种信息大量存储起来，方便地提供给不同的人。不仅如此，结合计算机网络技术，还可以实现信息的广泛交流和共享。例如，过去为了查找某个科学数据，我们可能要到图书馆查找专门的工具书或最新的科学期刊；现在，在网上就可以从专门的数据库中很快查出结果。在银行的计算机系统中储存着客户的重要信息，



甲 声音信号



乙 模拟信号

图4.4-9 话筒输出电压的变化模拟着话筒膜片所受声压的变化，所以是一种模拟信号。

第四章 电磁波及其应用

在所有联网的计算机终端，客户都可以办理业务。民航和铁路的计算机系统中，记录着各个航班、车次的售票情况，每一个售票处都可以随时了解某一线路是否还有余票。

大量信息的集中存储和多用户使用，对信息安全提出了严峻的挑战。由于计算机系统发生故障而导致经济损失的事例时有所闻，甚至还有利用信息技术进行犯罪活动的案件。计算机病毒传播造成的信息丢失事件每天都在发生。信息加密和防病毒等各种安全技术，在社会信息化过程中接受挑战、得到发展。

数字电视 正在兴起的数字高清晰度电视，可以给我们提供更清晰的图像、更富临场效果的声音。不仅如此，由于使用了与计算机及现代通信兼容的技术，通过数字电视线路可以跟电视台进行交互式的信息传输，并赋予电视许多新的功能。例如，通过数字电视可以在因特网上浏览，可以收发电子邮件，可以实现网上购物和网上银行等业务。

目前，我国在逐步推广数字电视，并计划于2015年在全国范围内停止模拟电视的广播。数字电视正在迅速进入我们的家庭。

过去的电视机只能接收模拟信号，不能接收数字信号，但是这个问题可以解决。如果我们生活的地区已经有了数字电视广播，只要加装一个“机顶盒”，电视就可以接受数字电视信号，收看数字电视节目了，不过无法全部实现数字电视的高清晰度、高音质以及其他多项功能。



图4.4-10 模拟电视机加一个“机顶盒”就能接收数字电视信号

信息时代 人类历史经历了农业社会、工业社会，正在步入信息社会。在信息社会，信息作为一种重要的资源和财富，影响着人们的社会生活，加速了社会的运转。当今的社会竞争越来越激烈，胜负在很大程度上取决于对信息的获取和运用。

1946年，世界上第一台电子计算机诞生了。20世纪90年代中期，世界最大的计算机互联网——因特网(Internet)出现了爆炸式的发展，数据通信的业务量以指数的规律飞速发展。一个世纪以来，电信业的主要业务是电话。21世纪初期，它将演进为主要是以因特网为基础的信息业务。这将从根本上改变我们的生活和工作方式。我们可以通过互联网听音乐、看电影、聊天、购物；可



互联网改变了我们的生活和工作方式

以通过互联网查阅各种资料，进行远程教学、远程医疗，甚至可以为身处世界各地的人召开电视会议。现代通信使我们的地球真的成了“地球村”。亿万个人用信息联系起来，通过资源共享和最有效的全球合作，使更多人的生活得到改善。

大家谈

你的信息化生活

信息的掌握与军事、生产、日常生活以及学习等方面有着很重要的关系。可以通过处理具体事务的方法，展示你利用信息化社会资源的能力。与同学交流，从而进一步提高自己对于信息化社会的适应力。可参考下面的题目：

1. 去千里之外的一个城市看望朋友；
2. 报名参加全国电视歌手大赛；
3. 给远在英国的一个朋友介绍一项最新发明；

.....

要做这些事，你应该完成哪些与信息相关的准备工作？



信息化时代的“住房”

上古之世，人们就“构木为巢，以避群害”。陕西西安半坡遗址的地面建筑，是我们祖先的房子。经过了几千年的发展，从氏族部落到村落，房子建得越来越坚固、越漂亮了，但是那个时代人们日常交流的范围非常小。

工业化的大生产促进了城市的发展，高楼大厦鳞次栉比，住房也不再是孤零零的建筑物。房子里通了水、电、煤气，有了电灯、洗衣机、电冰箱，机械替代了人的部分体力劳动。由于生活的便利，住在大楼里的邻居很少来往。人们更多地奔走于家和学习、工作的场所之间。



现代社会的楼房



半坡遗址的房子

在信息化的今天，住房除了水、电、煤气外，又有了与外界沟通信息的电话网、有线电视网、计算机互联网。人们可以在家里与遥远的朋友交流，钢筋水泥墙不再阻隔人们的交往了。人们不一定都住在拥挤的大城市，住在郊区仍然可以方便地跟办公室联系，实现家庭办公。实际上，信息化时代的房子已经联通了全世界。

时尚的现代人，能在网上建立虚拟的家：用个人主页展示自己的风采和魅力。人们可以显现自己的爱好：如果你喜欢文学，可以把古今中外的名著全放在自己的

第四章 电磁波及其应用

“家”里，让与自己有相同爱好的伙伴阅读；如果你喜欢歌曲，可以收集从古典到最现代的歌曲，把“家”建造为歌曲的天堂；如果你喜欢体育……在虚拟的家中还可以展现自己的能力；如果把你的创造和发明放到网上，可以与同学、朋友交流……在信息时代，网上的“家”可以是一个人所有信息的“居所”。

除了个人的“家”，还有更大的供“部落”活动的场所。你可以开办一个论坛，选择自己关心的话题畅所欲言，结识很多兴趣相近的朋友。虽然你们可能从来没有见过面，甚至居住在地球的两边，但是你们会为了同一幅漫画而开怀大笑，也会为了同一个感人的故事而流泪。



个人网页

当你遇到困难，这些看不到的朋友往往更能设身处地为你着想，给你一个“别出心裁”的建议。对于被高楼大厦隔离的人们，网络中的“家庭”温暖，实实在在地存在着。再比如，当发生了一起感人的事件时，看着那些激昂的支持者的留言，特别是看到他们的IP地址来自世界各地，确实由衷地感到“海内存知己，天涯若比邻。”互联网使人们突破了地理上的局限和工业化产生的隔阂，给人们一个前所未有的、广阔的自由交流空间。

大家谈

1. 你用互联网做过什么，将来还会做什么？
2. 互联网给我们带来哪些麻烦？怎样趋利避害？

问题和练习



1. 要完成以下工作，你认为要用什么传感器？
 - (1) 电子秤称量物体的重力。
 - (2) 恒温孵化器要保持禽蛋的温度在一定范围内。
 - (3) 楼道自动开关的功能是：晚上，有人经过楼道，开关自动接通；白天，不管是否有人经过楼道，开关都是断开的。
2. 请你列一个方框图，说明从古代到现代信息记录的各种方式，并在每个方框下，标注该记录方式的特点。
3. 某同学想做一个火警报警器，他的设想是当环境温度到达60℃左右就使电铃鸣响。请你帮他设计一个获取信息的方案。

五、课题研究：社会生活中的电磁波

现在许多方面应用了与电磁波相关的技术，社会生活因此有了很大的变化。通过社会调查或从书籍、报刊、因特网中查找资料，同学们可以做一些相关问题的研究。下面的题目和资料仅供参考：

1. 与电磁波有关的家用电器的使用方法；
 2. 无线电技术的发展与军事思想的改变；
 3. 与电磁波相关的技术给我们的生活带来的变化；
 4. 电磁污染；
-

将你的研究结果及感受向全班同学介绍，与同学交流。

课题研究资料

★ 家电使用常识

下面以微波炉为例提出与家用电器相关的研究内容、研究方法的建议，供你参考。

一、一种微波炉的说明书（节选）

微波是一种高频率的电磁波，其本身并不产生热，在宇宙、自然界中到处都有微波，但自然界中的微波，因为不集中，故不能加热食品。微波炉是利用其内部的磁控管，将电能转变成微波，以 2 450 MHz 的振荡频率穿透食物。当微波被食物吸收时，食物内的极性分子（如水、脂肪、蛋白质、糖等）会以每秒 24.5 亿次快速振荡，使得分子间互相作用而产生大量热。微波炉利用食物分子本身产生的热，里外同时快速加热食物。



受到微波照射时



被含水食物吸收



穿过陶瓷器、玻璃等



被金属反射

使用微波炉的一般知识

1. 切勿让微波炉空着运转，因为没有食物或水分在炉内吸收能量时，微波能量会不停地炉内反射。

2. 如果炉内起烟、着火，请关紧炉门，并按“停止/再调校”键或关掉“时间/重量”选择旋钮。然后拔下电源导线，或关闭电源总门。

3. 不要在炉内烘干布类、报纸或其他东西。

4. 不可使用再生纸类制品，因其含有容易引起电弧和着火的杂质。

5. 不可将报纸或纸盒用于微波炉内。

6. 不可敲打控制面板以免控制器失效。

7. 取出已煮完的食物时必须使用锅夹，因为热量会从高温的食物传至烹调容器，然后再由烹调容器传至玻璃转盘。此时，烹调容器和玻璃转盘都很烫。

8. 不可将易燃物品放在炉内、炉侧、炉顶，以免起火。

9. 没有放入玻璃盘和转盘时，不可使用微波炉。

10. 如非食谱所指定，不可直接在玻璃盘上烹煮食物。食物必须放入合适的烹调器皿中。

11. 不可使用微波炉加热化学剂或其他非食物制品。不可用含有腐蚀性化学剂的制品清洗微波炉。在炉内加热腐蚀性化学剂可能引起微波外泄。



二、关于微波炉的原理

微波炉中微波的频率是多少？为什么选用这样的频率？

微波炉中的电磁波是怎样产生的？它从什么地方进入炉腔？

微波炉内为什么要安装电风扇？

微波炉门为什么安装网状金属片？

……

三、与微波炉使用有关的问题

为什么干燥食物在微波炉中不易加热？

为什么带壳鸡蛋、肉皮等不宜放在微波炉中加热？

为什么带“金边”的瓷器在微波炉内会损坏？

为什么微波炉内不能使用金属餐具？

关于微波炉的国家安全标准是怎样规定的？

……

四、微波炉使用中的几项禁止行为

使用微波炉时有哪些禁止行为？这些行为可能产生什么危害？

从说明书可以获得家用电器的原理、使用常识、安全要求等知识。但这些还不够，还应该从书籍、杂志、因特网，以及懂技术的人那里寻找更多的信息。

★ 电磁波的其他应用

雷 达

电磁波遇到障碍物要发生反射,雷达就是利用这个特性工作的。

雷达使用的电磁波在微波波段。雷达有一个可以转动的天线,能向一定的方向发射无线电脉冲,每次发射的时间约为百万分之一秒,两次发射的时间间隔约为万分之一秒,天线在这个时间间隔内接收反射回来的无线电波。



雷达天线



雷达荧光屏

无线电波的传播

速度是已知的,测出从发射无线电脉冲到接收到反射波的时间,就可以确定障碍物的距离。根据天线的方位和仰角,还可以确定目标的方向。实际上,障碍物的距离、方向等数据是由雷达的荧光屏直接显示出来的。

雷达可以用来为飞机、船只导航,探测台风、雷雨、云层。在军事上可以用来发现飞机、舰艇等目标。

隐形飞机

隐形飞机所谓的“隐形”,是指它能够避开对手的雷达、红外线和激光等各种电磁波探测手段,其中主要是对雷达“隐形”。各种隐形飞机有共同的特点。例如,外形近于多面体,由几个几乎是平面的金属板构成,当电磁波传递到这些平面时,会被反射到另外的方向,使雷达天线不能接收。飞机的外涂层要能最大限度地吸收电磁波,减少反射。为了对付红外线和光学探测,战斗机设计中还要大幅度减少发动机喷口的红外辐射,并采用反光率低的表面涂料等。



一种隐形飞机

E 炸弹

E炸弹又叫电磁脉冲炸弹,爆炸后会产生强大的电磁脉冲。电磁脉冲实际上是一种强大的电磁波,能使半径数千米内的飞机、雷达、电脑、电视、电话、手机等几乎所有电子设备都因强大的感应电流而损坏。可以设想,如果一座城市遭到E炸弹的袭击,所有电子设备都不能正常运转,城市夜间一片黑暗,军事指挥系统瘫痪,人们无法互相联系……



飞机投下了E炸弹



电磁学发展大事记

对电现象和磁现象的认识是人类探索自然的一个重要方面，历史上电磁学的发现促进了技术的进步，改变了世界的面貌。

1. 指南针的发明

人类对电现象和磁现象的认识是从摩擦起电和磁石引铁等现象的观察开始的。在古代中国和古希腊，都有关于电现象和磁现象的记载。我国古代指南针的发明和应用是古人静磁学知识的集中体现。我国是最早把指南针用于航海的国家。成书于1119年的《萍洲可谈》在世界上最早明确记载了航海用的指南针。



2. 《论磁》的出版

文艺复兴时期，由于思想的解放，人们对自然的好奇心受到激发，电和磁现象的实验研究也受到了重视。英国学者吉尔伯特的《论磁》是这个时期的重要成果。在系统的实验研究的基础上，吉尔伯特建立了电学和磁学。通过对天然磁石球的研究，他大胆地提出，罗盘之所以有用，是因为地球本身就是一个巨大的磁体。

3. 富兰克林的风筝实验

1752年，美国科学家富兰克林进行风筝实验，证明天上的电和摩擦产生的电在本质上是一样的。1753年，富兰克林发明了避雷针。到1782年，富兰克林居住的费城已有约400根避雷针在使用。避雷针的使用为人类避免了无数次生命和财产的损失，也使人类从对雷电的恐怖中解脱出来，推动了思想的解放；人们认识到雷电是一种放电过程，认识到大气平时也处于带电状态，从而大大开阔了关于电的观念。



4. 伏打电堆的发明

意大利科学家伽伐尼最早发现了电流。1800年，意大利科学家伏打发明了直流电源——伏打电堆。利用电堆可以方便地演示多种电学实验，甚至可以引起像莱顿瓶放电时所感到的电击。电流的发现和电源的发明，把电学的研究从静电推进到电流的领域，奏响了电磁学辉煌发展的序曲。

5. 电与磁联系的发现 19世纪20~30年代，奥斯特和法拉第的研究发现，电与磁是相互联系的。法拉第利用这些知识创造出了发电机和电动机的雏形，为电力技术发展和第二次技术革命奠定了科学基础。

6. 电磁场理论的建立

法拉第具有卓越的实验才能和深刻的物理思想，他创造性地指出电磁力



是靠介质传递的，麦克斯韦发展了法拉第的场的模型，把全部电磁现象归结为一组数学方程，建立起统一的电磁场的概念。麦克斯韦的理论不仅预言了电磁波的存在，而且揭示了电、磁、光现象在本质上的统一性。这一理论成果，为近代电子科学技术的诞生和发展奠定了理论基础。



7. 白炽电灯的发明



1879年，爱迪生完成了实用白炽灯的发明。这种灯是把炭丝安装在真空的玻璃灯泡内，寿命约45小时。1881年，在巴黎博览会上，爱迪生同时点亮了1 000盏电灯，他的发明轰动了世界。电力应用于照明是电力技术革命的一项重要进展，它给人类带来了没有黑暗的新时代。

爱迪生被称为“发明大王”，而他创办的工业实验室被人们赞誉为他发明中的最大的发明。从1876~1910年，这个实验室获得了白炽灯、电影、留声机等一千多项专利。

8. 电磁波与无线电通信的实现

1887年，赫兹证实电磁波能穿越空间传播。这一事实使意大利人马可尼幻想“让电信号系上像光一样快的电磁波，为人们通信。”他终于在1895年实现了无线电通信。20世纪，无线电广播、电视、卫星通信等等新技术的出现，对世界经济、军事、政治产生了深远的影响，也改变了人们的生活。



9. 半导体与微电子技术的发展

20世纪50年代以后，随着晶体管的发明、集成电路的制造成功，一个全新的技术领域——微电子技术出现了。微电子技术实现了电子、通信、计算机、自动控制等器材的小型化，加快了信息化时代到来的步伐。



10. 磁记录技术的发展



20世纪50年代，用磁记录信息的技术出现了。科学家在了解了磁畴理论之后，他们成功地在非常小的空间储存大量的数据。录音带、录像带、电子计算机上用的磁盘、各种磁卡等，都利用了磁性物质存储信息。磁存储是信息存储技术的一个里程碑，也是目前信息存储的重要方式之一。

11. 磁共振技术的发明

20世纪80年代，磁共振技术出现。这项技术在物质微观结构的探测中有重要应用，它与计算机结合制成的核磁共振扫描仪已经成功地应用在医学诊断上。



12. 磁浮技术的商业化

2002年12月，世界上第一条商业运行的磁浮列车线路在上海顺利诞生，全长33千米的行程运行时间仅用7.5分钟。磁浮列车的车身与轨道脱离接触，因而速度快、噪声低、运行平稳、能耗较低，是很有前途的一种交通工具。



附录

课外读物推荐

1. 《阿西莫夫最新科学指南》(上), [美] I. 阿西莫夫著, 朱岚等译, 江苏人民出版社2000年2月第1版。

2. 《文明之源: 物理学》, 吴翔、沈 蕊、陆瑞征、羊亚平、吴於人编著, 上海科学技术出版社2001年9月第1版。

本书用深入浅出的笔法阐明物理学的基本知识, 是贯通理科和文科的一本参考书。

3. 《物理与头脑相遇的地方》, [美] 柯尔著, 丘宏义译, 长春出版社2002年3月1版。

4. 《理性的狂欢》, 姜振寰著, 东北林业大学出版社1996年12月第1版。

本书以人与自然关系为基本视角, 深入而通俗地展示了自英国产业革命以来近代科学技术与近代技术文明的兴起与发展过程。

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. 《普通人的物理世界》, [美] 罗杰·S·琼斯著, 明然、黄海元译, 江苏人民出版社1998年2月第1版。

本书为《剑桥文丛》中的一册, 通俗生动地介绍了普通人应有的物理知识, 特别是科学思考世界的方法和科学精神。

7. 《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。

8. 《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。

9. 《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。

美国中学的一种综合理科教材中的一本。它以丰富的内容引导读者探索电与磁的奥秘, 指导研究性学习。

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、袁行霈等同志。

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，由刘彬生、汪维澄、刘军组成的实验研究小组做过了全书所有的实验，检验和改进书稿中的实验部分；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、臧荣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

第一章章首图, collections of the Science Museum, London / 图2.5-4, Patsy Kelly / 奥斯特像, Science Museum photo Library / 安培像, Mary Evans Picture Library / 法拉第像, Science Museum photo Library / 图3.1-1, collections of the Science Museum, London / 58页左上图, Royal Institution, London / 库仑像, Ann Ronan Picture Library / 图2.3-7, 图2.3-8, 《生活科技 下》龙腾文化事业公司 / 爱迪生像, 《改变世界的大科学家》上海译文出版社1996年9月第1版 / 图2.1-1, 图2.1-2, 图2.1-3, 元代耕织图, 《图说中国古代科技》大象出版社1999年第1版 / 图1.1-2, 图1.1-13, 图1.4-7, 图1.4-8, 图4.2-5, 图4.4-2, 图4.4-4, 宋京 / 图1.4-6, 图1.4-9, 图1.1-2, 图1.5-9, 图3.3-13, 图3.4-3, 图3.4-4, 图3.4-7, 图3.6-4, 图3.6-6, 图1.5-7, 图1.5-8, 张大昌 / 图1.3-12, 图1.5-11, 图4.4-10, 104页右下图, 谷雅慧 / 图1.5-10, 图2.5-5, 图3.3-2, 图3.6-7, 图4.2-7, 图4.4-3, 杜敏 / 图1.3-1, 莫天敬 / 书中所用的邮票由秦克诚提供。