

# 第一章

## 广义洛仑兹磁力的普适性

本章阐述广义洛仑兹磁力的普适性，按照这种广义性，一切电磁感应现象均可用洛仑兹磁力作出全面而准确的物理解释，无论是金属电子切割磁力线或是磁力线切割金属电子，其物理本质均是电荷受洛仑兹磁力  $F = qV \times B$  的作用结果。特别是当磁铁运动而线圈静止时，运动的磁力线切割了静止的金属电子，所受磁力是  $F = e(-v_B) \times B$ ，这里的“-”号不是本书随意加进去的，而是因为  $B$  的运动方向与线圈的运动方向相反之缘故。因此本章把  $F = ev_e \times B \oplus e(-v_B) \times B$  称为广义洛仑兹磁力 (式中  $\oplus$  表示“或者”)，也就是说，无论是线圈向右边运动或者是磁力线向左边运动，金属电子都切割了磁力线，在洛仑兹磁力的作用下，金属电子沿着导体漂移而形成感生电流  $I$ ，也正因为电子的漂移才在导体上建立起了感生电动势  $dU = \frac{-I}{\sigma s} dL$  (欧姆定律) 和感生电场  $E = \frac{dU}{dL}$  (电场的定义)。也就是说，在电磁感应中， $F$  是原因，导体内的  $I$ 、 $dU$  和  $E$  是现象。所以，电磁感应中先有电流后有电压。本章用这种广义洛仑兹磁力全面而完备的解释了所有的电磁感应 (包括电磁波的反射机理、电磁波接收机理、电子感应加速器、直流发电机、霍尔效应和一切电磁感应产品)；论证了其它任何观点 (包括导体上的感生电流、导体上的感生电动势、自由空间的感生电场以及相对论电磁学) 都不能全面完备的解释电磁感应；也用广义洛仑兹力定性说明了“黑洞”问题。全章论证表明，洛仑兹力是电磁感应的物理本质；法拉第电动势和楞茨电流是物理现象；而麦克斯韦的“空间感生电场”和爱因斯坦的“动磁场产生电场”是假象，而且与实验不符。

此外，本章还介绍了证明广义洛仑兹磁力的实验结论。

本章结论是：基于绝对时空观，考察谁在运动，只要承认  $F = e(v_q) \times B$  是正确的，则必然承认  $F = e(-v_B) \times B$  是正确的，因此广义洛仑兹力是电磁感应的物理本质，楞茨感生电流和法拉第电动势是事物的现象，而自由空间里的感生电场不存在、相对论电磁学是荒唐。

### 1.1 多家电磁感应理论的本质差别

### 1.1.1 电磁学发展史

早在公元前 770 年的春秋时代，中国人就发现了天然磁石，在东汉时代中国人发明了指南针，公元前 120 年前西汉刘安等编纂的《淮南子》中描述了“阴阳相薄为雷，激扬为电”。北宋时期陈微显描述了磁屏蔽现象，并有磁石治疗耳病的记载。17 世纪（牛顿年代）法国旅行家卡·戴马甘兰游离中国后对中国的避雷针进行了描述“中国屋宇顶上龙头中有伸出的金属龙舌，舌根有细铁丝直通地下，使房屋不受雷电的破坏作用”。虽然中国人发明较早，却无人去深入总结。在我们的教科书里全是洋名，不见华名，因为中国古人注重发现，但不大注重理论总结与宣传。

1800 年伏打给英国皇家学会会长班克斯写信介绍了电池的原理和构造。使之成为至今众所周知的伏打电池。

1820 年初奥斯忒发现电流的磁效应，并进行了深入研究和总结，而且首先传到德国和法国，在电磁学领域里，无人不晓奥斯忒这个大名。

1820 年 10 月毕奥和萨伐尔发表了关于载流长直导线的磁场的实验结果，经过数学家拉普拉斯的帮助，总结出电流元在空间某点处产生的磁感应强度的规律  $d\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I dl}{4 r^2} \mathbf{e}_l \times \mathbf{e}_r$ ，称之为毕奥-萨伐尔-拉普拉斯定律，简称毕-萨定律。

1824 年 12 月安培发现两传导电流之间的相互作用，并从毕-萨定律出发，描述了磁场环路公式  $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \sum I$ ，称之为安培环路定律。

1832 年法拉第发现磁铁与导体之间的感应，并认为是在导体中产生了感生电动势  $dU = -\oint \frac{\partial \Phi}{\partial t} d\mathbf{l}$ 。法拉第还在静电测量方面和电镀领域作出了显著贡献。

1834 年楞茨却认为是在导体中产生了感生电流  $I$ 。由于感生电动势  $\Delta U$  与感生电流  $I$  体现在欧姆定律  $\sigma s dU = -Idl$  方程的两端，哪一个是因？哪一个果？这正如当时哲学界所争论的鸡蛋与小鸡的因果关系一样，谁也说不清楚。

1840 年法拉第做了静电感应实验，麻绳系着一电量为  $q$  的带电体，并放入金属桶内，结果发现，金属桶外壁的电量为  $q$ ，然后，他用多个较大的金属桶套在外层，测量结果是：最外层桶的带电量仍为  $q$ ，这是著名的桶实验。当时被认为电是分布在整个以太空间的。

1856 年麦克斯韦在《论法拉第力线》一文中指出：当磁铁运动时，自由空间的磁状态发生改变，在以太空间产生了电动力  $E$ （后来称  $E$  为电场），沿  $E$  的环线积分便是感生电动势  $\oint E d\mathbf{l} = e$ （或  $dU$ ）；对  $E$  求取欧姆定律的微分形式，便是感生电流（密度） $\mathbf{J} = \sigma E$ 。因此，他认为感应中的本质是在以太空间产生了  $E$ ，感应电动势和感应电流只是电动力  $E$  的表现形式。这样似乎平息了楞茨定律与法拉第定律之间“原因”与“结果”的哲学争议。

1862 年麦克斯韦提出漩涡电场的概念，对感生电动力强度是  $\mathbf{E} = -\nabla \times \frac{\mathbf{A}}{t}$ （当时  $A$  称为磁

紧张态，后来称  $A$  为矢量磁位），两边取旋度运算便有  $\nabla \times E = -\frac{dA}{dt} = -\nabla \times \frac{B}{t}$ ，从此感生电场是漩涡场。

1865年麦克斯韦根据法拉第的桶实验，提出：电性既不是点也不是面或体，而是分布在空间的电位移，可见的介质和不可见的以太被电动力扭拉之后形成了电位移，电位移是位移电流的先兆，总结法拉第的桶实验得知，所谓电，它是分布在整个自由空间的物理量，流入金属球a中的电流并没有结束，而是继续流向四面八方，球a中的电量即没增加也没减少，因电荷守恒而使得S面上的电流连续；改造安培环流定律，引入空间电连续定律，并把泊松方程推广到整个自由空间而得到  $\nabla \times H = J + J_D$ 。从此麦克斯韦的旋度方程组形成，意指：时变电场感生出磁场与时变磁场感生出电场，同生共死的交替传播，预言以太空间有电磁波存在。

1888年赫兹通过一对放电球的实验证实了电磁波的存在，即证实了麦克斯韦的预言，使麦克斯韦的“互生场”理论一举成名。于是人们承认了麦克斯韦旋度方程组，因为当时没有其它理论讨论自由空间的电波问题。

1892年洛伦兹在他的有关电子论的论文中首先提出了电荷在磁场中运动时受磁力  $F = e\mathbf{v} \times \mathbf{B}$  的作用，当时他是通过理论推导而得到的，后来被大量物理实验所证明。

1896年洛伦兹提出电子论，创建了金属电子理论。相应地在导体内金属电子切割磁力线时受洛伦兹磁力而沿着导线漂移，形成感应电流，其感生电流的密度  $\mathbf{J} = ne\mathbf{v}$ （这里  $n$  是单位体积中的电子数， $e$  是电子电量， $\mathbf{v}$  是金属电子在磁力  $F$  作用下的漂移速度）。洛伦兹还批评麦克斯韦而指出“麦克斯韦从不相信电荷体，总是以他的电位移代替电荷，人们也很难理解他指的电荷是什么，他也从不问及电磁场是怎么产生的，在他的理论中，似乎电磁场来自无穷远处，一种不需要源的场，……电荷的运动才是产生一切电磁场的根源”。[再根据欧姆定律的微分形式  $\mathbf{J} = -\sigma \frac{dU}{dl}$ ，便得到导体内感生电动势  $dU = -\frac{\mathbf{J}}{\sigma} dl$ 。其本质是受力。]

1897年（麦克斯韦去世后的第18年，亥姆霍尔兹和赫芝去世后的第3年），J·J汤姆逊发现电子，证实了洛伦兹的电子论的正确性。

1905年爱因斯坦总结麦克斯韦电动力学，以麦克斯韦的旋度电场理论为依据而论述相对论，在他发表的首文中写道：根据麦克斯韦电动力学，当线圈禁止而磁铁运动时，空间磁场随时间改变，在线圈中产生了电流；而当磁铁禁止而线圈运动时，空间磁场并没有随时间改变，但线圈中仍然产生了电流，可见，空间本不该对称，它是相对的。

1905年，爱因斯坦根据洛伦兹电子论、J·J汤姆逊对电子的发现，考察光电二极管并联想到黑体辐射中的量子假设而提出波粒二象性。人们开始研究光电效应的应用。波粒二象性于1925年获得诺贝尔物理学奖，由于颁奖书上未提及相对论，因此颁奖当日的爱因斯坦远离奖台，跑到一个小镇上去宣讲他的相对论。

1935年~1945年是战争灾难年代，在“二战”时期，人们普遍感到空虚，一些学者写文章，对未解之谜戴上“相对论”的头衔，试图用相对论去解释，于是在上世纪中页出现了

“相对论高潮”。爱因斯坦的崇拜者声称“相对论电磁学与洛伦兹变换是协变的”。

上世纪 80 年代初，中国科学界在“科学春天”的精神鼓舞下，广泛开展了科学理论研究，人们开始怀疑相对论的正确性，发表了不少的质疑文章，许多人士质疑相对论。

上世纪 90 年代中国武汉测绘学院的学者、西安微电子技术研究所耿宪温先生、某海军部队黄德民先生等有志青年撰书立说驳斥相对论，还有互联网上公布的我国一些著名人士极力反对相对论。国外反对相对论的科学家就更多了，诺贝尔奖委员会拒绝为爱因斯坦的相对论授奖，爱因斯坦同时代的著名科学家洛伦兹、彭加勒和卢瑟福等全都不赞成相对论，迈克尔逊莫雷实验的主创人迈克尔逊因自己的实验“引出相对论这一怪物”而饮恨终生，国际著名科学家、诺贝尔物理学奖获得者阿耳文痛斥相对论“不过一小摆设”、“抹煞了科学与伪科学之间的界线”。本世纪中国北京一批有志人士成立了反相对论网站。然而，在中国却出现了学术乌云，迷信爱因斯坦的人士成了学术权威，居然禁令：不准刊登反相对论的文章。但我想信，乌云遮不住太阳，只要不像哥白尼那样遭受绞刑台，我就拨乱反正。

大家知道，相对论的思路是：用麦克斯韦的非对称方程组而认为“空间不对称”，用迈克尔逊-莫雷实验的零性结果而提出“光速不变假设”。如果论据不成立，则论点之结论就有问题。因此作者首先考察麦克斯韦旋度理论的依据，不难发现它的旋度电场理论来源于对电磁感应的总结并认为以太在电动力扭拉下形成位移电流。进一步再翻开电磁感应的书籍，可谓多家理论纷纭。仔细研究就会发现，多家理论存在本质上存在差别，没有统一的精髓。本质上是在导体内产生了感应电流？本质上是在导体内产生了漩涡电场？本质上是在自由空间产生了漩涡电场？本质上是金属电子受磁力作用而漂移才形成了感应电流？等等。根据欧姆定律  $dU = \frac{-I}{\sigma s} dl$  和电场定义  $E = \frac{dU}{dL}$ ，这几个物理量都出现在方程中，哪一个原因？哪一个结果是结果？更加犹如鸡蛋和小鸡的因果关系之哲学问题。总之，真理只有一个，哪一个是本质？哪一个是现象？甚至那一个是假象？目前人们没有定论，教科书只好原本照抄，谁也不得罪。这是一个纠纷问题，而且涉及到空间和时间的重大是非问题，你我他不得不回答！这是历史赋予科学界的使命，也是全球六十五亿人民赋予科学界的重大责任。

考虑到楞次定律是通过实验，对电磁磁感应确定电流方向而给出的一种实验定律，他不是一种理论。虽然法拉第定律也是一种实验定律，但他提出了场的概念而且有计算公式，因此从某种意义上讲，法拉第定律也是一种理论。所以本小节就来分析法拉第定律、麦克斯韦旋度理论、洛伦兹磁力、相对论电磁学这四种理论的本质差别。

### 1.1.2 法拉第、麦克斯韦、洛伦兹、爱因斯坦四家理论的本质差别

设线性时变磁场强度  $B(t) = kt$  仅仅分布在一个小圆盘内，圆盘外围有一积分围线  $L$ ，在积分线  $L$  上有一空间点  $P$ ，见图 1-1。让我们讨论法拉第、麦克斯韦、洛伦兹这三大巨头在本质上的差别。

#### 1 麦克斯韦旋度理论与法拉第定律在计算上的差别

按照法拉第的磁通量理论计算，得

$$\begin{cases} E = -\frac{d\phi}{dt} \neq 0 \\ \phi = \iint_s \mathbf{B}(t) ds \end{cases} \quad (1-1)$$

这里，法拉第的精髓是：“回路中感应电动势的大小与穿过回路的总磁通量对时间的变化率成正比”。也就是说，它与线圈内磁通量总数有关，而且是一个平均值。按照法拉第理论，图 1-1 的  $P$  点存在感生电场。感应是在导线  $L$  上产生的。

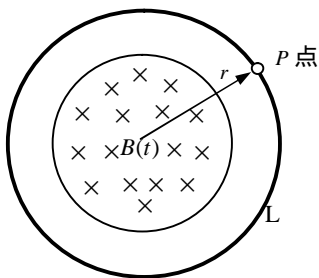


图 1-1 三科学家在本质上的差别

按照麦克斯韦的旋度场论理论计算，得

$$\nabla \times \mathbf{E}(r) = -\frac{\partial \mathbf{B}(r,t)}{\partial t} = 0 \quad (1-2)$$

式中  $r$  是在圆柱坐标中原点到空间  $P$  点的距离。麦克斯韦旋度理论的精髓是：“空间  $P$  点的磁场发生变化将在  $P$  点产生漩涡电场，哪里有时变磁场就在那里产生时变电场” 时变电场又产生时变磁场，如此交替产生，使得电磁波能流  $\mathbf{E} \times \mathbf{H}$  在以太媒质中振荡而传播。也就是说，根据麦克斯韦旋度理论，时变电场与时变磁场是同生共死的孪生兄弟。如果空间  $P$  点处没有时变磁场，也就没有时变电场，它与线圈内磁通量总数无关，与平均值无关，只与  $P$  点的场强变化率有关。由于上图  $P$  点的  $\mathbf{B}(r,t) = 0$ ，按照麦克斯韦理论，即使解边界条件，上图  $P$  点也没有感生电场。因此说，在计算上，麦克斯韦旋度理论与法拉第定律在计算上是不相等的，在概念上是不同的。注意，麦克斯韦理论的精髓是互生场，或  $\mathbf{E} \times \mathbf{H}$ 。

## 2. 麦克斯韦旋度理论与法拉第定律的物理本质存在差别

虽然由 (1-2) 式可以反推到 (1-1) 式，但两家理论的精髓是截然不同的，法拉第定律注重历史，强调磁通量总数；而麦克斯韦注重“现在进行式”，即，它在描述“空间某点  $P$  处的磁场发生变换将在  $P$  处产生旋度电场”。再看图 1-2 之分析。图中  $B_1(t)$  和  $B_2(t)$  来自同一个电流源驱动的两个激励磁场的线圈包，因线圈包的电流连接方法不同，使得两个线圈包的磁场方向相反，但大小相等。现在有一积分围线  $L$  包围了  $B_1(t)$  和  $B_2(t)$ ，使得围线  $L$  内的  $\phi = 0$  (大小相等而方向相反)，所以按照法拉第定律是  $E_p = 0$ 。

但由于空间一点  $P$  正好在环线  $L$  上，按照麦克斯韦旋度理论，空间  $P$  点处有时变磁场，那么在  $P$  处必然产生时变电场，这就是麦克斯韦“互生场”  $\mathbf{E} \times \mathbf{H}$  的缘故，其  $E_p \neq 0$ 。计算值

也不相等。虽然麦克斯韦也写出了法拉第的积分式，但他的理论精髓不是积分。

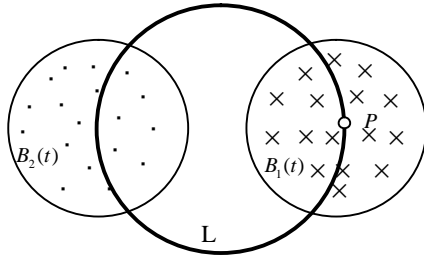


图 1-2 谁对谁错

关键问题是，虽然麦克斯韦也写出了积分形式，但这个积分形式是法拉第的，而且积分形式不能产生电磁波。麦克斯韦的贡献在于把法拉第的积分形式变成微分形式后，他认为：“空间  $P$  点处有时变磁场，那么在  $P$  点处必然产生时变电场，如此交替产生，使得电磁波能流  $E \times H$  在以太媒质中振荡而传播”。换言之，法拉第定律指在导线的围线积分上产生了感应电场，而麦克斯韦旋度理论只是在自由空间里的微分上产生了电场。两者的物理本质是不同的。而且以上两图的计算值也不同。

### 3 法拉第定律与洛伦兹磁力的物理本质截然不同

设磁力线静止，长为  $L$  的导体以速度  $v_q$  从左向右运动，如图 1-3 所示。这种情况下，导体切割磁力线实际上是导体中的金属电子切割了磁力线，于是金属电子受洛伦兹磁力： $F = qV_q \times B$ 。于是金属电子将沿着导体向  $b$  端漂移，即形成感生电流，电流恰是从  $b$  到  $a$ （由于历史原因把电子漂移的返方向定义为电流方向），从而使  $a$  端出现过剩的正电荷，在  $a$ 、 $b$  间建立起感生电动势  $dU_{ab}$ ，所以导体内的电场为  $E_{ab} = \frac{dU_{ab}}{dL}$ 。当洛伦兹的电力  $eE_{ab}$ （方向朝上，注意电子是负值）与洛伦兹的磁力  $eV_q \times B$ （方向朝下，注意电子是负值）的大小相等时，金属电子不再移动，此时为平衡态。这正是感生电动势的形成机理。

在平衡状态，因  $E_{ab} = \frac{U_{ab}}{L}$ ， $eE_{ab} = eV_q B$ ，所以  $U_{ab} = LV_q B$  这是大家熟悉的电磁感应公式。因此，我们说， $a$ 、 $b$  间产生出来的感生电动势  $dU_{ab}$  的原因是洛伦兹磁力。在形成过程中，先有电流后有电压。对应哲学问题是现有卵后有虫。

注意到上图虚线表示我们讨论的空间内，在此时此空间内没有时变磁场、也没有法拉第围线，显然，法拉第定律和麦克斯韦旋度理论无法解释之。

特别注意到，对于图 1-3A 的实验，相对论电磁学的“运动者看见了电场”似乎也能解释。即电子看见的电场  $E'$  也是指向上方，于是金属电子沿着导体向下方漂移，使得上端出现过剩的正电荷。但是两者的物理概念截然不同。爱因斯坦基于场的概念，他还要建立统一场；洛伦兹基于力的概念，目前有人提出四种力的统一。因此两个物理概念是不同的。更重要的是，你承认爱因斯坦的看见电场，就等于否定了洛伦兹磁力，二者必选其一。反之，你

承认洛伦兹磁力是正确的，那么你必须承认爱因斯坦看见电场  $E'$  是虚构的。二选一。

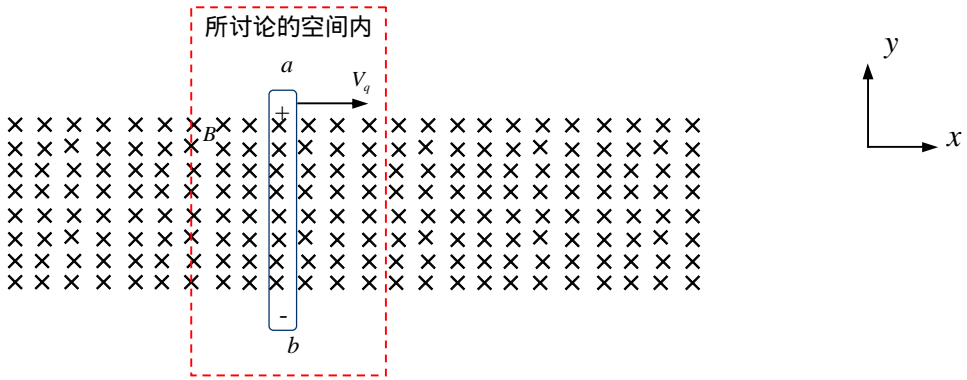


图 1-3A 金属电子切割磁力线

#### 4. 相对论电磁学与洛伦兹磁力不相容

基于绝对时空观，对照图 1-3A 与图 1-3B，我们分析两个等效的电磁感应事件。先将导体置于均匀磁场中，导体向右边运动，如图 1-3A。然后设导体静止，均匀磁力线以速度  $V_B$  向左运动，如图 1-3B 所示。由于  $V_e = -V_B$ ，将此式代入洛伦兹的  $F = qV_e \times B$  中立即得到

$$F = e(-V_B) \times B \quad (1-3)$$

这里的负号是因为  $V_e = -V_B$  之缘故（在 1.2 节有详细论证）。从而使金属电子在  $F$ （方向朝下）的作用下沿着导体向  $b$  端移动，即产生了感生电流（电流是从  $b$  到  $a$ ），从而使  $a$  端出现过剩的正电荷，于是在  $a$ 、 $b$  间建立起感生电势  $dU_{ab}$ ，导体内的电场为  $E_{ab} = \frac{dU_{ab}}{dL}$ （方向朝下）。当到体内洛伦兹电力  $eE_{ab}$  与洛伦兹磁力  $e(-V_B) \times B$ （方向朝下，注意电子是负值）相等时，金属电子不再移动，此时为平衡态。这正是感生电动势的形成机理及其物理过程。这里，“磁力线切割导体”与“导体切割磁力线”是同一个物理本质。

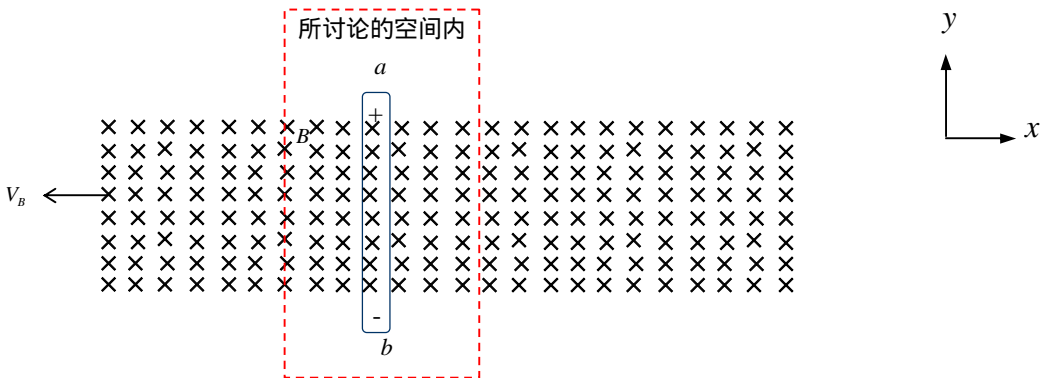


图 1-3B 磁力线切割金属电子

在平衡状态，因  $E_{ab} = \frac{U_{ab}}{L}$ ， $eE_{ab} = eV_B B$ ，所以  $U_{ab} = LV_B B$ ，这也是电磁感应公式，实验可证实。原因是洛伦兹磁力，先有电流后有电压。

我们再来看看爱因斯坦相对论是否也能解释图 1-3a 的电磁感应。相对论电磁学的论点是在磁场中运动的观察者看见了电场和磁场两种场：

$$E'_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{1-\beta}} (V \times B)_{\perp} \quad B'_{\perp} = \frac{B}{\sqrt{1-\beta}} \quad (1-4)$$

根据矢量运算的右手定则，似乎也解释了图 1-3a 的电磁感应。但是，这种解释使得金属电子受两倍力： $qE'$  和  $qvB'$ ，与实验不符，详见 6.3 节。如果去掉  $qv \times B'$  等于说：相对论不相信洛伦兹磁力，即，不相信电子感应加速器是真的。看来这个理论纠纷不小。

请注意，对于图 1-3B 中的磁力线切割金属电子这种情况，由于在所讨论的空间和时间里，恒有  $\frac{\partial B}{\partial t} = 0$ ，因此麦克斯韦旋度理论无能为力，法拉第定律也无能为力。而相对论电磁学与实验不符，也与电子感应加速器的工程实践不符（详见第 182-第 184 页）。

再来看一看图 1-4 之情况。设  $I dl$  的时变电流元，其  $i = kt$ ，图中的细线是屏蔽线，只有宽线才辐射了磁场，线性电流持续时间超过 1 秒钟， $P$  点到电流元  $I dl$  的距离  $r = 3 \times 10^8$  米，也就是说在讨论点  $P$  处的线性时变电场时，电流源仍然是线性增长的。图中细线被屏蔽，对外不辐射任何场，只讨论  $I dl$  辐射的磁场。这种情况下，由于  $B = Kt$ ，或  $\frac{\partial B}{\partial t} = \text{常数}$ 。

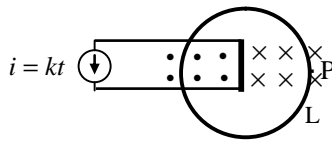


图 1-4 线性时变磁场

按照法拉第定律，由于左右对称使得围线内的  $\oint \vec{\phi} = 0$ （大小相等而方向相反），其  $E_p = 0$ 。但按照麦克斯韦旋度理论，其  $E_p = \text{常数}$ 。按照广义洛伦兹磁力的普适性，由于磁力线向外作“辐射”运动， $P$  点处的电荷或金属电子在  $F = eV \times B = e(-V_B) \times B = e(-c_0) \times B$  作用下漂移而形成感应电流，其本质是受力，其现象是感应电流，再根据欧姆定律的微分形式  $dU = \frac{-I}{\sigma_s} dl$  和电场定义  $E = \frac{dU}{dL}$ ，还可推导出感生电动势和导体内的感应电场。这里的感应只在导体上才有，而在真空中却没有。

总之，无论是金属电子切割磁力线或是磁力线切割金属电子，其物理本质均是电荷受洛伦兹磁力  $F = qV \times B$  的作用结果。特别是当磁铁运动而线圈静止时，运动的弯曲磁力线切割了静止的金属电子，所受磁力是  $F = e(-V_B) \times B$ ，这里的“-”号不是本书随意加进去的，而是因为  $B$  的运动方向与线圈的运动方向相反之缘故。因此本章把  $F = eV_e \times B \oplus e(-V_B) \times B$  称为广义洛伦兹磁力，也就是说，无论是线圈运动或者是磁铁运动，金属电子都切割了磁力线，



在广义洛仑兹磁力的作用下，金属电子沿着导体漂移而形成感生电流  $I$ ，也正因为电子的漂移才在导体上建立起了感生电动势  $dU = \frac{-I}{\sigma s} dl$  (欧姆定律) 和感生电场  $E = \frac{dU}{dL}$  (电场的定义)。也就是说，在电磁感应中， $F$  是原因，导体内的  $I$ 、 $dU$  和  $E$  是现象。因此，在电磁感应中，先有电流  $I$  后有电压  $dU = -\frac{J}{\sigma} dl$  (这不是外加电压，而是导体内部形成的电压降)。

总之，在科学史上，法拉第、麦克斯韦、洛仑兹及爱因斯坦这四位元老在电磁感应的本质上存在截然不同的本质差别，特别是楞茨、法拉第和洛仑兹是指：在导体上产生了感应。而麦克斯韦和爱因斯坦是指在自由空间产生了感应，本质差别就更大，没有一个统一的精髓。爱因斯坦认为动磁场产生电场，却与实验不符。目前书本将各家理论对电磁感应的描述分开讲述，没有任何一本书指出它们之间的差别与联系，囫圇吞枣，照本念经，津津乐道。

归纳起来讲，电磁感应存在纠纷。1832年法拉第认为磁铁与导体之间的感应是在导体中产生了感生电动势  $dU$ ，1834年楞茨认为是在导体中产生了感生电流  $I$ ，虽然都是导体上的感应，但因果关系不同，犹如鸡蛋与小鸡，谁是原因谁是结果的哲学问题。1865年麦克斯韦却认为磁铁运动时在自由空间产生了漩涡电场  $E$ ， $E$  的积分可得电动势， $E$  的微分可得电流，似乎平息了楞茨与法拉第之间的因果关系之哲学争议。但是仔细想，它与前两家定律的本质差别就更大，究竟是在导体上产生了感应或者是在自由空间中产生了感应，其物理本质截然不同，因为导体与以太有着本质上的差别。1892年洛仑兹创建了金属电子理论，因此金属电子受洛仑兹磁力而形成感应电流，其本质是力  $F$  而不是场  $E$ 。1897年 J·J 汤姆逊发现电子，证实了洛仑兹的电子论的正确性。其实，无论线圈运动或是磁铁运动，只要磁场与导体存在相对运动，则金属电子必然切割磁力线，即，“线圈静止而磁铁向左运动”与“磁铁静止而线圈向右运动”这两种情况是一样的，都属于金属电子切割了磁力线。因此电磁感应的物理本质可统一到洛仑兹磁力上面来。20世纪初又冒出来一个相对论电磁学，运动者看见了电场  $E$  和磁场  $B$ 。到目前为止，同样的磁铁与线圈之间的电磁感应本质仍然没有统一起来，五家观点不相融，真理却只有一个，而教科书也在原本照抄，孤立的讲授各自章节，不讲授它们之间的物理联系和区别，谁也没得罪。当我们全面思考时，就会发现，这到底谁是本质，谁是现象？谁是原因，谁是结果？甚至谁是真理，谁是假象呢？

本章后续各节在分析多家理论关于电磁感应的描述之基础上，将总结出广义洛仑兹磁力的普适性，唯有广义洛仑兹磁力才能全面而完备地解释所有的电磁感应现象，其他任何一家理论都不能为之。而相对论电磁学则更是荒唐。

## 1.2 广义洛仑兹磁力的证明

电荷或金属电子切割磁力线，受洛仑兹磁力而移动，这是大家都承认的真理。本节证明：当磁力线切割金属电子时，使金属电子受洛仑兹磁力而移动，从而产生感应电流。对

此，我们考察两个相同实验，见图 1-5和 1-6

### 1.2.1 金属电子切割磁力线中的洛伦兹磁力

如图 1-5所示，基于绝对时空观，均匀的静态磁场是静止的，导体以  $V_q$  速度向右边运动 ( $V_q = V_x$ )，根据大家都知道的洛伦兹磁力

$$F = qV_q \times B \quad (1-7)$$

由于电子的电量  $q$  是负值，根据楞慈右手定则，所以导体上金属电子向着  $y$  方向移动，正电荷向  $-y$  方向（穿进纸面）移动，故电流的方向如图中所示的  $-z$  方向。对于这个实验，是大家公认的真理。

### 1.2.2 磁力线切割金属电子中的洛伦兹磁力

如图 1-6所示，导体是静止的，均匀的静态磁场以  $V_B$  速度向左边运动，对照图 1-5的  $V_x = V_q$ ，就得  $V_B = -V_x$ ，即  $V_q = -V_B$ ，带入洛伦兹磁力  $F = qV_q \times B$  中，有  $F = q(-V_B) \times B$ ，这里的负号不是随意加进去的，而是由于磁场的运动方向与导体的运动方向相反之缘故。有

$$F = q(-V_B) \times B \quad (1-8)$$

所以两图的金属电子都是向下漂移，均匀恒定的磁力线切割了金属电子，也是洛伦兹磁力。因为“导体向右运动”与“磁力线向左运动”，两者是等效的，都属于电荷切割磁力线。

也许有的人认为：对于图 1-6，根据  $E'_\perp = \frac{1}{\sqrt{1-\beta}}(V \times B)_\perp$ ，从  $S'$  到  $S$  之反变换可改变  $v$  之负号。但是，来自旋度方程的相对论电磁学从逻辑上没有这个负号，仅仅靠改变负号来拼凑，等于承认了“谁在运动、谁在静止”的根本问题，即，承认了绝对时空观，违背了他自己观点。对于图 1-5，可用爱因斯坦看见的电场  $E'$  来解释。但是出现两倍偏差，要么与实验不符，要么与电子感应加速器不符，等于违背了人类 100年来的工程实践，详见第 182页 ]

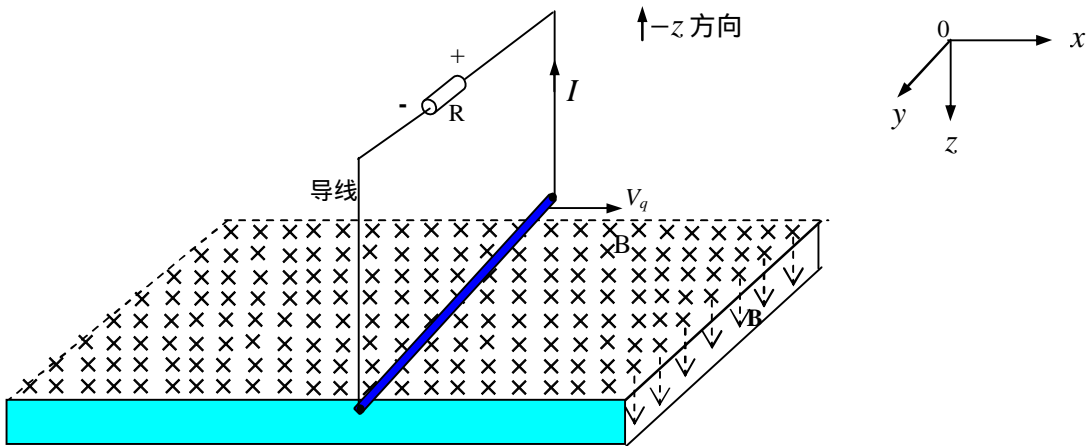


图 1 5磁力线静止而导体向右边运动

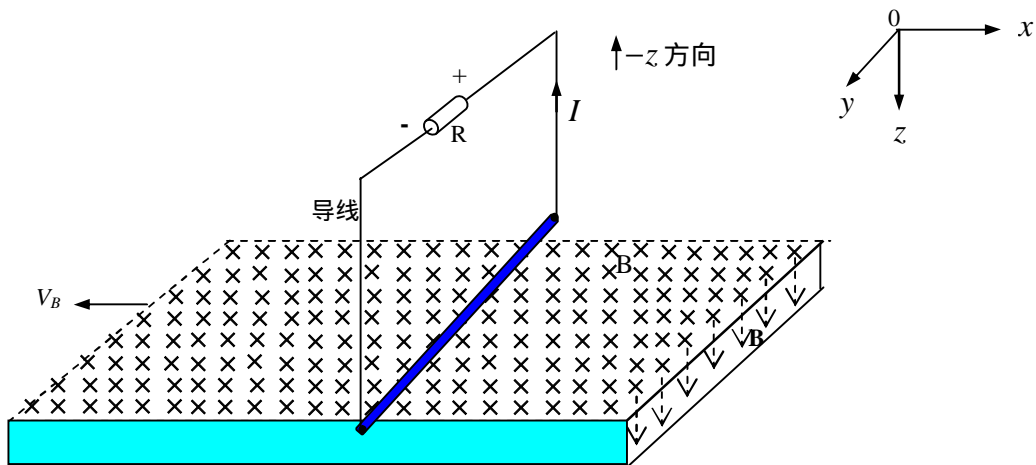


图 1 6导体静止而磁力线向左边运动

于是导体上金属电子向着  $y$  方向移动（或正电荷向着  $-y$  方向移动），故电流的方向如图中所示的  $-z$  方向。比较上述两个图，“导体向右运动”与“磁力线向左运动”，两者是等效的，同样受洛伦兹磁力。因此我们把

$$F = qV_q \times B \oplus q(-V_B) \times B \quad (1-9)$$

称为广义洛伦兹磁力。实验证明，上述两图的电流方向是一致的。符号  $\oplus$  表示“或”运算。注意：“导体向右边运动”与“磁力线向左运动”，这两者都是切割磁力线。

参见第 80 页的图 3-8 3-9 两图的实验解释，更能证明广义洛伦兹磁力的正确性。

### 1.2.3 Cenzhi Teng 的电磁感应实验

摘要：本论文对法拉第电磁感应定律的普适性提出了质疑。分析了在某种情况下，穿过闭合导体回路的磁通量没有发生变化时，却产生了感应电动势和感应电流；穿过闭合导体回路的磁通量发生变化时，却没有产生感应电动势和感应电流。（Cenzhi Teng 的电子邮件）。

关键字：电磁感应、磁通量、感应电动势、感应电流、磁场。

#### 1 引言

电磁感应定律表述为：感应电动势的大小与穿过闭合导体回路的磁通量的变化率成正比。

表达式为：
$$\varepsilon = -\frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

如果根据法拉第定律可以得出：穿过闭合导体回路的磁通量随时间不发生变化时，闭合导体回路不会产生感应电动势和感应电流；穿过闭合导体回路的磁通量随时间发生变化时，闭合导体回路会产生感应电动势，再根据欧姆定律便有感应电流。

本论文对此定律提出质疑。分析了在某种情况下，穿过闭合导体回路的磁通量没有随时间发生变化时，它却产生了感应电动势和感应电流。而穿过闭合导体回路的磁通量随时间发生变化时，它却没有产生感应电动势和感应电流。

2 实验过程

法拉第定律是：闭合线圈的磁通量发生改变，将在线圈上产生电动势。但是下面的实验则不然。见图 1-7和 1-8

图 1-7的实验：半开口屏蔽盒 (虚线) 的后壁在左端，一个闭合导体回路  $abcd$  置于均匀磁场中， $ab$  段导线在半开口的屏蔽盒之中， $cd$  段导线在屏蔽盒之外且暴露在磁场中，而且此屏蔽盒与这个闭合导体之间是绝缘的。屏蔽盒内的  $ab$  段长度与屏蔽盒外  $cd$  段长度相等。导体回路和屏蔽盒一起向右边运动，显而易见该实验的导体回路的磁通量没有变化。如果按照法拉第定律，则导体回路里没有感应电流。但是，事实上， $cd$  段的金属电子切割了磁力线，它产生了感应电流，此电流乘以导体内阻便有电动势。

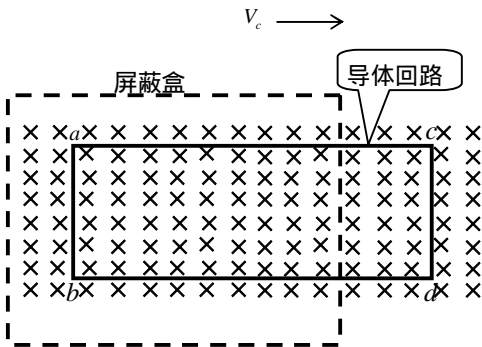


图 1-7屏蔽盒与导体回路一起向右边运动

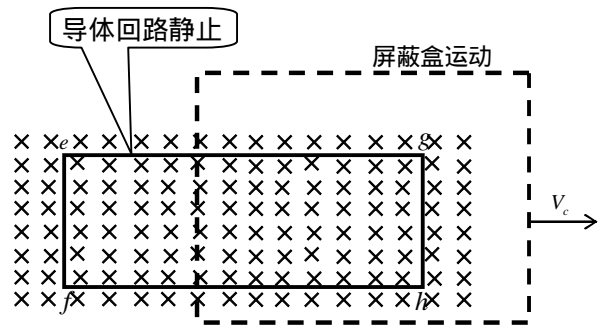


图 1-8导体回路静止而屏蔽盒向右边滑动

图 1-8 的实验：半开口屏蔽盒 (虚线) 的后壁在右端，一个闭合导体回路  $efghe$  置于均匀磁场中， $ef$  段导线在个半开口的屏蔽盒之外，且暴露在均匀磁场中， $gh$  在屏蔽盒之内且被屏蔽。而且此屏蔽盒与这个导体回路之间是绝缘的。这里，回路  $efghe$  和磁场都是静止的，只有半开口的屏蔽盒向右边滑动。(实验时注意放置方向)，使得回路  $efhge$  内的磁通量改变

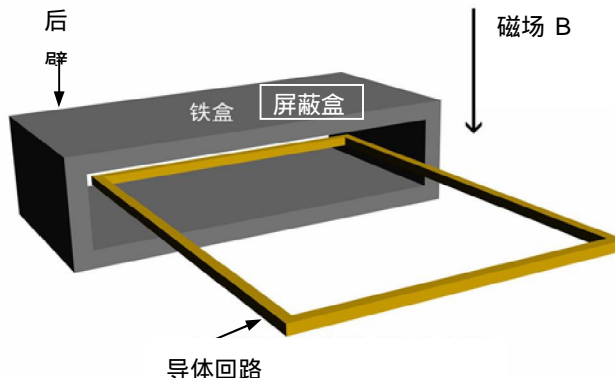


图 1-9 CenzhiTeng的屏蔽盒

即  $\varepsilon = -\frac{\partial\Phi}{\partial t} \neq 0$ ，如果按照法拉第定律，在导体回路里就该有电动势和感应电流，但是实验

结果没有感应电流。因为它没有切割事件发生。

对照与分析图 1-7和图 1-8的两个实验，我们可得出结论：闭合导体上的感应电流与回路中的磁通量的变化率无关，感应出来的电流取决于洛仑兹磁力 --- 金属电子与磁力线之间的切割。综合图 1-1图 1-8的实验，可否认为“广义洛仑兹磁力是电磁感应的物理本质，呢？

这里，图 1-9是磁屏蔽盒的形状结构。

#### 4 结论：

上面我们分析了图 1-7的实验在穿过闭合导体回路的磁通量没有变化时，闭合导体回路中却有感应电动势和感应电流；图 1-8的实验在穿过闭合导体回路的磁通量发生变化时，闭合导体回路中却没有感应电动势和感应电流产生。说明了法拉第定律并不具有普适性。

本书的观点如下：

对于图 1-7的实验，尽管闭合回路  $abcd$  内的磁通量没有变化，却有感应电流，这是因为  $cd$  段金属电子切割了磁力线，在洛仑兹磁力的作用下形成了电流。也就是说，感应电流与磁通量的变化率没有关系。

对于图 1-8的实验，虽然闭合回路  $efgh$  中的磁通量发生了变化，却没有感应电流，这是因为金属电子没有切割磁力线，所以没有感应电流。也就是说，感应电流与磁通量的变化率没有关系。洛仑兹磁力才是电磁感应的物理本质。但是需注意：铁盒被外磁场  $B_0$  磁化之后，如果铁盒后壁的磁导率较小，那么铁盒上下壁形成的磁力线向右运动时，也将部分的切割  $gh$  段导体，也会受广义洛仑兹磁力  $F = e(-v_B) \times B$  作用而部分的形成感应电流。准确测量的要求是，保障半开口屏蔽盒内没有磁力线。否则，实验数据不准确。

总之，我的观点是：在一切电磁感应中，广义洛仑兹磁力才是电磁感应的物理本质，而法拉第定律只是电磁感应的现象、麦克斯韦的旋度场理论是其假象（参见第三章）。

### 1.2.4 大型均匀磁场的制作

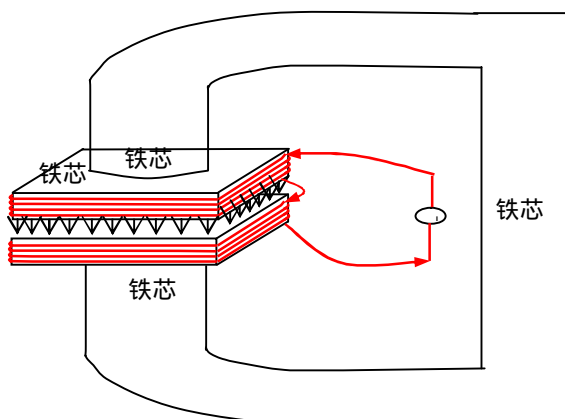


图 1-10 大型均匀磁场的制作

在上述的讨论中，可能个别读者会说，磁力线是弯曲的，哪来的均匀静态磁场。对此，本小节介绍均匀磁场的制作方法，如图 1-10 所示。两个线圈串联工作，产生的磁力线同方向，通过铁芯而闭合。这样一来，它实际上是构成一个电磁铁。

### 1.3 磁力线与直导体相互切割中的广义洛伦兹磁力

麦克斯韦、亥姆霍兹和赫兹离开人世 18 年之后，J.J 汤姆逊才发现电子，洛伦兹揭示了金属电子理论，才有了今天众所周知的洛伦兹磁力及对电磁感应的本质揭示。

#### 1.3.1 导体切割磁力线之洛伦兹磁力

设磁力线静止，长为  $L$  的导体以速度  $V_c$  从左向右运动，如图 1-11 所示。这种情况下，导体切割磁力线实际上是导体中的金属电子切割了磁力线，于是金属电子受洛伦兹磁力：

$$F = qV_c \times B \quad (1-10)$$

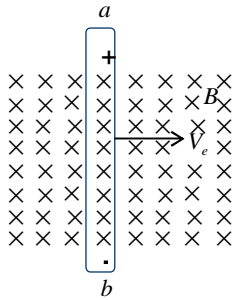


图 1-11 金属电子切割磁力线

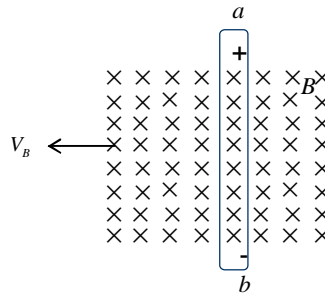


图 1-12 磁力线切割金属电子

于是金属电子将沿着导体向  $b$  端漂移，即形成感生电流，电流恰是从  $b$  到  $a$ （注意正电荷流动方向才是电流方向），从而使  $a$  端出现过剩的正电荷，在  $a$ 、 $b$  间建立起感生电动势  $dU_{ab}$ ，所以导体内的电场为  $E_{ab} = \frac{dU_{ab}}{dL}$ 。当洛伦兹的电力  $eE_{ab}$ （方向朝上，注意电子是负值）与洛伦兹的磁力  $eV_c \times B$ （方向朝下，注意电子是负值）的大小相等时，金属电子不再移动，此时为平衡态。这正是感生电动势的形成机理。对于图 1-6 可以直接用叉乘的右手定则来确定方向。

在平衡状态，因  $E_{ab} = \frac{U_{ab}}{L}$ ， $eE_{ab} = eV_c B$ ，所以  $U_{ab} = LV_c B$ ，这是大家熟悉的《普通物理》记载的电磁感应公式。

#### 1.3.2 磁力线切割导体之广义洛伦兹磁力

先将导体置于均匀磁场中，并设导体静止，然后设均匀磁力线以速度  $V_B$  从右向左运动，

如图 1-12 所示。比较图 1-11 与图 1-12 可知，导体以速度  $V_e$  从左向右运动，与磁力线以速度  $V_B$  从右向左运动，两者的物理行为是相同的，即图 1-12 中的静止导体中金属电子切割了运动中的磁力线。由于  $V_e = -V_B$ ，将此代入式 (1-10) 得到

$$F = e(-V_B) \times B \quad (1-11)$$

基于牛顿伽利略时空观，这里的负号是因为  $V_e = -V_B$  之缘故。从而使金属电子在  $F$  (方向朝下) 的作用下沿着导体向  $b$  端移动，即产生了感生电流 (电流是从  $b$  到  $a$ )，从而使  $a$  端出现过剩的正电荷，于是在  $a$ 、 $b$  间建立起感生电势  $dU_{ab}$ ，导体内的电场为  $E_{ab} = \frac{dU_{ab}}{dL}$  (方向朝下)，这或许是 W.Wiensuo 所说的动的磁场产生电场吧<sup>[1]</sup>，但是要注意，其物理本质是广义洛伦兹磁力，电荷移动之后才在导体内部产生的电场。当洛伦兹的电力  $eE_{ab}$  (方向朝上，注意电子是负值) 与磁力  $e(-V_B) \times B$  (方向朝下，注意电子是负值) 相等时，金属电子不再移动，此时为平衡态。这正是感生电动势的形成机理及其物理过程。在平衡状态，因  $E_{ab} = \frac{U_{ab}}{L}$ ， $eE_{ab} = eV_B B$ ，所以  $U_{ab} = LV_B B$ ，这也是电磁感应公式，实验可证实。

总之，无论是金属电子切割磁力线或是磁力线切割金属电子，其物理本质均是电荷受洛伦兹磁力  $F = qV \times B$  的作用结果。特别是当磁铁运动而线圈静止时，运动的磁力线切割了静止的金属电子，所受磁力是  $F = e(-v_B) \times B$ ，这里的“-”号不是本书随意加进去的，而是因为  $B$  的运动方向与线圈的运动方向相反之缘故。因此本章把  $F = ev_e \times B \oplus e(-V_B) \times B$  称为广义洛伦兹磁力，也就是说，无论是线圈运动或者是磁铁运动，金属电子都切割了磁力线，在广义洛伦兹磁力的作用下，金属电子沿着导体漂移而形成感生电流  $I$ ，也正因为电子的漂移才在导体上建立起了感生电动势  $dU = \frac{-I}{\sigma s} dl$  (欧姆定律) 和感生电场  $E = \frac{dU}{dL}$  (电场的定义)。也就是说，在电磁感应中， $F$  是原因，导体内的  $I$ 、 $dU$  和  $E$  是现象。故，先有电流后有电压。

### 1.3.4 麦克斯韦旋度理论无能解释此类电磁感应

大家知道，麦克斯韦电磁理论来源于他对法拉第电磁感应的总结，他讲到：磁铁的运动，使空间磁场发生变化，在空间产生了漩涡电场。那么，电磁感应的本质到底是什么呢？用哪种理论才能全面解释电磁感应现象？是麦克斯韦的总结吗？不是！这里，我们将证明  $F = e(-V_B \times B)$  是真理，所以我们将把麦克斯韦电磁理论的来源拿来比较一番。

按照麦克斯韦的说法：“导体上金属电子静止，而当磁力线运动时，在金属电子所在自由空间产生了旋涡电场  $\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$ ，电子在旋涡电场力  $eE$  的作用下作圆周运动”。看起来似乎有理，但实际上其旋度理论根本不能解释此种电与磁的相互作用。

为了清晰起见，现将图 1-12 重画于图 1-13 磁力线分布在一个很长的带内，并向左运动而切割金属电子。注意到，由于带状很长，在所讨论的时间和空间内，即在金属电子所在

的空间内恒有  $\frac{\partial B}{\partial t} = 0$ ，即没有时变磁场。特别是匀磁场扫过一个自由电子的情况，在电子所在空间里恒有  $\frac{\partial B}{\partial t} = 0$ 。因此说，麦克斯韦的旋度电磁场理论无法解释此类电磁感应。

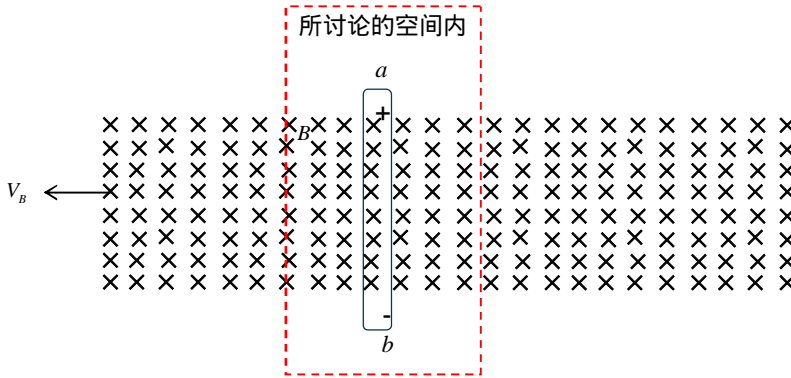


图 1-13 磁力线切割金属电子

因此，对于磁力线与导体相互切割中的电磁感应，即使您使用麦克斯韦的旋度理论，但也不能解释金属电子的移动原因。唯有洛伦兹力才能为之。

### 1.3.5 相对论论电磁学不能解释此类电磁感应

#### 1. 相对论与此类实验不符。

见图 1-14，设导体上的金属电子（这个观察者）为静系  $S$ ，并设磁场  $B$  为动系  $S'$ （即坐标  $S'$  架设在磁力线上）并以速度  $V_B$  相对于坐标  $S$  作运动，即磁力线的运动速度矢量是  $V_B$ 。根据相对论电磁学，得到

相对论的动磁场产生的电场是：

$$E'_y = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} (\times B) \quad (1-12)$$

相对论的坐标变换后的磁场是：

$$B'_z = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} B \quad (1-13)$$

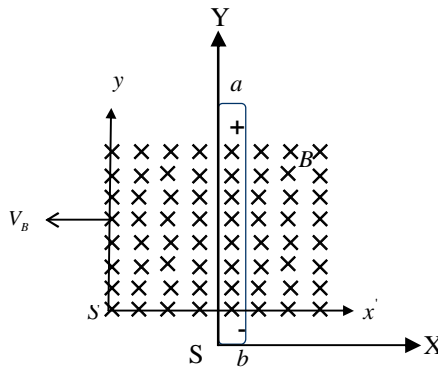


图 1-14 磁力线切割金属电子



值得注意的是：动磁场产生了电场  $E'_y$ ，是否受洛伦兹电力  $eE'_y$ ；见式 (1-12) 金属电子确实切割了磁场  $B'_z$ ，是否受洛伦兹磁力  $e \times B'_z$  呢？见式 (1-13)。

如果金属电子不受洛伦兹电力  $eE'_y$ ，何以见得“动磁场产生”电场  $E'_y$  呢。如果金属电子不受洛伦兹磁力  $e \times B'_z$ ，等于说爱因斯坦否定了洛伦兹磁力，却与电子感应加速器工程不符。显然，金属电子既受洛伦兹电力  $eE'_y$  又受洛伦兹磁力  $e \times B'_z$ 。才是相对论的本来面目。

那么，按此计算，静系  $S$  上的电子受到的洛伦兹电力和洛伦兹磁力分别是：

$$eE'_y = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} e(\times B) \quad (1-14)$$

$$e \times B'_z = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} e(\times B) \quad (1-15)$$

注意到  $e \times B'_z$  与  $e \times B_z$  是同方向同大小，这是 2 倍值。要想与实验吻合，恐怕是困难的。重要的是，由式 (1-14) 和 (1-15) 决定的电流方向与实验相反。也许有的人士认为，从  $S'$  到  $S$  的反变换可改变  $v$  之负号。但是，仅仅靠改变负号来拼凑，等于承认了谁是运动，谁是静止的根本问题，即，承认了绝对时空观，违背了自己观点。因为相对论电磁学来自旋度场方程，即使改变负号还是存在两倍误差。也许相对论辩解说“我只承认爱因斯坦看见的电场  $E'$ ，不承认洛伦兹磁力  $qv \times B$ ”。如此以来，这等于说相对论不相信电子感应加速器等人类工程实践。或即，相对论电磁学与人类 100 多年来的工程实践不符。

**2. 存在相对系数  $\beta = \infty$  之电磁感应。** 见图 1-15，设导体及其金属电子  $e$  和电流源  $I$  同为静系  $S$ ，并设磁场  $B = k(z) \cdot t$  为动系  $S'$ （即坐标  $y's'z'$  架在某条磁力线上，并以速度  $V_B = c_0$  相对于金属电子而运动。因为  $B$  的辐射速度是  $c_0$ ），即，坐标  $S'$  上的磁力线与坐标  $S$  上的电

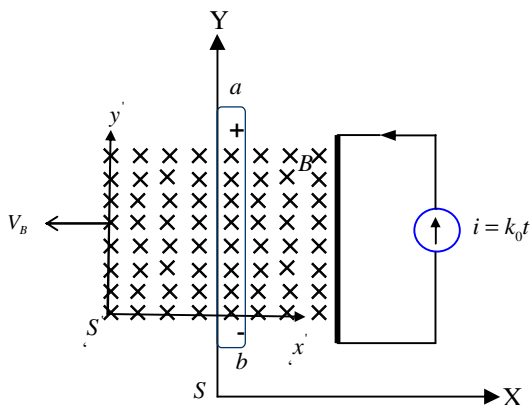


图 1-15 磁力线以光速  $c_0$  运动并切割金属电子

子的相对速度等于光速  $c_0$ 。这里  $S$ 、 $e$  和  $I$  是“静止”的， $S'$  和  $B$  是“运动”的。磁场  $B = k(z) \cdot t$  是由电流源  $I = k_0 \cdot t$  产生的。

注意到  $B = k(z) \cdot t$  有  $\frac{\partial B}{\partial t} = k(z)$ ，即磁力线的方向不变，而且以光速  $c_0$  相对于电子  $e$  相对运动。按照相对论原理<sup>[4]</sup>，有  
 动磁场产生的电场是：

$$\begin{aligned} E'_y &= \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \times B \\ &= \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} c \times B = \infty \end{aligned} \quad (1-16)$$

相对论看见的磁场是：

$$B'_z = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} B = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{c}{c}\right)^2}} B = \infty \quad (1-17)$$

那末，这种情况下，如何引用相对论系数  $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = \infty$  呢？恐怕是有困难的。简言之，当磁力线  $B$  与电子  $e$  的相对速度等于  $c_0$  时，相对系数为  $\infty$ 。然而，线性磁力线的运动（或所谓的传播）速度确实是光速  $c_0$ 。尽管这里的  $c_0$  是相对于源的辐射速度，但它的确也是磁力线  $B$  的运动速度，尤其是相对于  $e$  而运动的相对速度。可见相对论是荒谬的。也许有人会问，为什么列举这样的极限情况？然而，相对论就是违背人类工程实践的极限情况。其实，对于图 1-15 的  $B = kt$  是一个可实现的实验，线性磁场辐射到电子上，辐射速度是多少？动磁场产生的电场是多少？按照相对论电磁学必然是无穷大。

此外，虽然  $B = k(z) \cdot t$  是时变的，但矢量方向没变。即使您使用  $\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$  而认为它产生了旋涡电场，因为  $\frac{\partial B}{\partial t} = k(z)$  常数，与时间无关，那么此麦克斯韦的  $E$  与时间无关，即没有“交替传播过程”，磁场独立辐射，所以金属电子与磁力线的相对速度是光速  $c_0$ ，的确如此。因此，我说相对论电磁学是荒唐，一点也不过分。（ $c_0$  是相对于源的相对光速）

注意，例证图 1-15 不是我在钻牛角尖，而是相对论电磁学的本意：把麦克斯韦的变化之磁场产生变化之电场，通过洛伦兹变换之后，成为运动之磁场产生电场的相对论电磁学结论<sup>[1]</sup>。然而运动的磁场之速度确实是  $c_0$ 。同样的运动的电场之速度也确实是  $c_0$ 。

综上所述，麦克斯韦旋度理论和爱因斯坦狭义相对论均不能解释金属电子与磁力线作相对运动时的电磁感应，而楞次定律和法拉第定律只是描述物理行为的现象，唯有广义洛伦兹磁力才能全面解释此类电磁感应。

## 1.4 匀磁场与导体作正交转动时的广义洛伦兹磁力

本节介绍均匀磁场与导体做正交转动时的洛伦兹磁力。特别介绍，当均匀分布在圆面上的磁力线饶着圆心转动时，因磁力线切割导体，或及导体切割转动中磁力线，都属于磁力线与金属电子之间的切割，都存在洛伦兹磁力。

### 1.4.1 磁力线静止而导体转动之情况

见图 1-16, 静磁场均匀分布在一个圆面内, 导体以角速率  $\omega_e$  作顺时针转动, 导体中的金属电子在洛伦兹磁力

$$F = e(\mathbf{v}_e \times \mathbf{r}) \times \mathbf{B} \quad (1-18)$$

的作用下沿着导体漂移, 于是在  $a$ 、 $b$  间形成感生电动势  $dU_{ab}$ , 这就是直流发电机原理。这里, 切割速度是  $\mathbf{v}_e = \mathbf{v}_e \times \mathbf{r}$ ,  $r$  是金属电子到圆心的距离。金属电子在  $F$  的作用下沿着导体向  $b$  端漂移, 即形成感生电流 (电流恰是从  $b$  到  $a$ ), 从而使  $a$  端出现过剩的正电荷, 在  $a$ 、

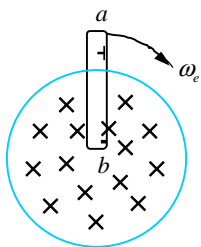


图 1-16 导体转动

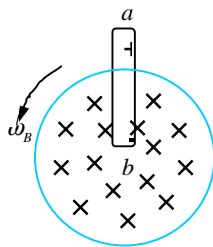


图 1-17 磁力线转动

$b$  间建立起感生电动势  $dU_{ab}$ , 那么导体内的电场为  $E_{ab} = \frac{dU_{ab}}{dL}$ 。当洛伦兹的电力  $eE_{ab}$  (方向指向  $a$  端, 注意电子是负值) 与洛伦兹的磁力  $e\mathbf{v}_e \times \mathbf{B}$  (方向指向  $b$  端, 注意电子是负值) 的大小相等时, 金属电子不再移动, 此时为平衡态。这正是感生电动势的形成机理。

### 1.4.2 导体静止而磁力线转动之广义洛伦兹磁力

见图 1-17, 设导体静止, 均匀分布的恒定磁场以角速度  $\omega_B$  作逆时针转动。比较图 1-16 与图 1-17 可知, 两者所发生的物理行为是等价的。即在图 1-17 中, 静止导体切割了转动中的磁力线。又由于  $\omega_B = -\omega_e$ , 于是将此式代入式 (1-18), 使得

$$F = e(-\omega_B \times \mathbf{r}) \times \mathbf{B} \quad (1-19)$$

这里  $r$  是金属电子到圆心的距离,  $\omega_B = -\omega_e$  是因为转向相反的缘故。金属电子在  $F$  的作用下沿着导体向  $b$  端漂移, 即形成感生电流 (电流恰是从  $b$  到  $a$ ), 从而使  $a$  端出现过剩的正电荷, 在  $a$ 、 $b$  间建立起感生电动势  $dU_{ab}$ , 那么导体内的电场为  $E_{ab} = \frac{dU_{ab}}{dL}$ 。当洛伦兹的电力  $eE_{ab}$  (方向指向  $a$  端, 注意电子是负值) 与洛伦兹的磁力  $e(-\omega_B \times \mathbf{r}) \times \mathbf{B}$  (方向指向  $b$  端, 注意电子是负值) 的大小相等时, 金属电子不再移动, 此时为平衡态。这正是感生电动势的形成原理及其物理过程。

总之, 无论是导体转动, 其金属电子切割磁力线或是转动的均匀磁力线切割金属电子,

其物理本质均是电荷受洛伦兹磁力  $F = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$  的作用结果。特别是当均匀磁力线横向转动而导体静止时，横向的磁力线切割了静止的金属电子，所受磁力是  $F = e(-\mathbf{v}_B) \times \mathbf{B}$ ，这里的“-”号不是本书随意加进去的，而是因为  $\mathbf{B}$  的转动方向与导体的转动方向相反之缘故。因此本章把  $F = ev_e \times \mathbf{B} + e(-\mathbf{v}_B) \times \mathbf{B}$  称为广义洛伦兹磁力，也就是说，无论是导体转动或者是磁力线横向转动，金属电子都切割了磁力线，在广义洛伦兹磁力的作用下，金属电子沿着导体漂移而形成感生电流  $I$ ，也正因为电子的漂移才在导体上建立起了感生电动势  $dU = \frac{-I}{\sigma_s} dl$  (欧姆定律) 和感生电场  $E = \frac{dU}{dL}$  (电场的定义)。也就是说，在电磁感应中， $F$  是原因，导体内的  $I$ 、 $dU$  和  $E$  是现象。

### 1.4.3 麦克斯韦旋度理论无能解释此类电磁感应

麦克斯韦电磁理论来源于对法拉第电磁感应的总结，为了证实洛伦兹磁力的真谛，或即证明  $F = e(-\mathbf{v}_B \times \mathbf{r}) \times \mathbf{B}$  才能对电磁感应作出全面的解释，所以我们把麦克斯韦电磁理论的来源拿来比较一番。

按照麦克斯韦的说法：导体上金属电子静止，当而磁力线转动时，在金属电子所处的自由空间产生了旋涡电场  $\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$ ，使电子在旋涡电场力  $e\mathbf{E}$  的作用下作圆周运动。看起来似乎有理，但实际上其旋度理论根本不能解释此种电与磁的相互作用。

我们必须注意到，在图 1-17 中，尽管磁力线以  $\mathbf{B}$  在转动，但在导体所在空间乃至整个空间的  $\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = 0$ 。换言之， $\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$  和  $\oint \mathbf{E} d\mathbf{l} = -\frac{\partial \psi_m}{\partial t}$  在这里无效，因为  $\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = 0$ 。进一步讲， $\mathbf{B}$  是加速的，但在整个空间仍然是  $\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = 0$ ，因为  $\mathbf{B}$  是均匀静磁场。因此说麦克斯韦旋度理论和法拉第定律无能解释此类电磁感应。

### 1.4.4 相对论无能解释此类电磁感应

我们再来看一看爱因斯坦的相对论是否能解释此类电磁感应。在相对论中，动系与静系是所设的两个有相对运动的参考系，没有绝对的静系。坐标系  $S$  认为坐标系  $S'$  在运动，反过来，坐标系  $S'$  则认为坐标系  $S$  在运动。即运动是相对而言的。因此，分析图 1-18 与分析图 1-16 是一样的。为了清晰起见，我们将图 1-16 重画于图 1-18 中的左图。

见图 1-18，设磁场  $\mathbf{B}$  为静系  $S$ ，并设导体上的金属电子 (这个观察者) 为动系  $S'$  (即坐标  $S'$  架设在磁力线上) 且以速度  $(-\mathbf{v}_\varphi = -\mathbf{v}_e \times \mathbf{r})$  相对于坐标  $S$  作圆环运动，即磁力线与金属电子在柱面坐标中相对速度是  $(-\mathbf{v}_\varphi)$ 。注意这里柱面坐标所规定的方向， $\mathbf{B} = (-\mathbf{B}_\varphi)$ 。根据相对论<sup>[1]</sup>，导体上的金属电子 (这个观察者) 看见了电场和磁场。

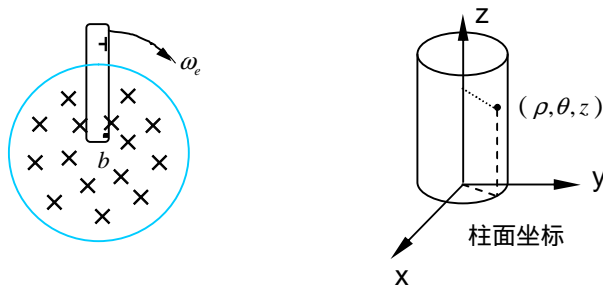


图 1.18 磁力线转动

看见的电场是：

$$E_{\rho} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{-\varphi}{c_0}\right)^2}} \left( (-\varphi) \times (-B_z) \right) \quad (1-20)$$

看见的磁场是：

$$B = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{-\varphi}{c_0}\right)^2}} (-B_z) \quad (1-21)$$

但值得注意的是：电子看见了电场  $E_{\rho}$ ，是否受洛伦兹电力  $eE_{\rho}$ ？看见了磁场  $B$ ，是否受洛伦兹磁力  $eV \times B$ ？

如果金属电子这个观察者不受洛伦兹电力  $eE_{\rho}$ ，何以见得它“看见了”电场  $E_{\rho}$  呢。如果金属电子这个观察者不受洛伦兹磁力  $eV \times B$ ，何以见得它“看见了”电场  $B$  呢。回答是简单的，它既看见了  $E_{\rho}$  又看见了  $B$ ，也即，它既受洛伦兹电力  $eE_{\rho}$  又受洛伦兹磁力  $eV \times B$ 。这才是相对论的本来面目。

照此计算，导体上金属电子受到的洛伦兹电力和洛伦兹磁力分别是<sup>[1]</sup>：

$$eE_{\rho} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{-\varphi}{c_0}\right)^2}} e \left( (-\varphi) \times (-B_z) \right) \quad (1-22)$$

$$eV \times B = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{-\varphi}{c_0}\right)^2}} e \left( (-\varphi) \times (-B_z) \right) \quad (1-23)$$

注意到  $eE_{\rho}$  与  $eV \times B$  是同方向同大小，这与实验事实相比，仍然是两倍值。实难理喻。

综上所述，麦克斯韦旋度理论和爱因斯坦狭义相对论均不能解释金属电子与磁力线作相对运动时的电磁感应，而楞次定律和法拉第定律只是描述物理行为的现象，唯有广义洛伦兹磁力才能全面解释此类电磁感应。

## 1.5 磁铁与线圈作相对运动时的广义洛伦兹磁力

关于磁铁与线圈之间的感应，1832年法拉第认为是在导体中产生了感生电动势  $U$ ，1834年楞茨却认为是在导体中产生了感生电流  $I$ 。由于感生电动势与感生电流体现在欧姆定律  $s dU = -I dl$  方程的两端，哪一个是因？哪一个果？这正如当时哲学界所争论的鸡蛋与母鸡的因果关系一样，谁也说不清楚。后来，于1856年麦克斯韦重新总结归纳电磁感应而认为，在物理本质上是在自由空间产生了感应电场  $E$ ，电场的欧姆定律微分形式  $J = \sigma E$  是楞茨定律，电场的围线积分形式  $U = \oint_L E dl$  是法拉第定律。这看起来很合理。但是，本节将否定麦克斯韦的归纳总结，将其感应的原因统一在洛伦兹磁力这个本质上来。

### 1.5.1 线圈切割弯曲磁力线之情况

设磁铁 (磁力线犹如喇叭花形状) 静止，线圈以速度  $V_e$  从左向右运动，如图 1-19所示。线圈切割磁力线实际上是线圈上的金属电子切割了磁力线，于是金属电子受洛伦兹磁力

$$F = eV_e \times B \quad (1-24)$$

后将沿着线圈漂移而形成感生电流  $I = snev$  (这正是楞茨定律)，式中  $s$  是线圈导体的截面积， $n$  是金属电子密度， $e$  是电子的电量， $v$  是金属电子沿线圈漂移的速度。再由欧姆定律微分形式，于是其感生电动势  $dU = -\frac{I}{\sigma s} dl$  正是法拉第定律，式中  $\sigma$  是电导率， $dl$  是线圈长度的微分变元。这就是著名的电磁感应。注意到，感生电流的楞茨定律和感生电动势的法拉第定律只是描述物理现象，并非物理本质。洛伦兹磁力才是本质。

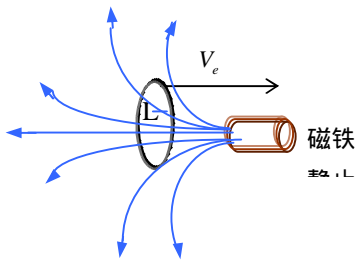


图 1 19 线圈运动

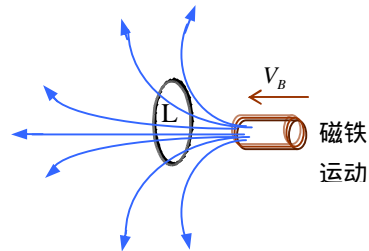


图 1 20 磁铁运动线圈静止

### 1.5.2 磁力线切割线圈的广义洛伦兹磁力

设线圈静止，磁铁 (磁力线犹如喇叭花形状) 以速度  $V_B$  从右向左运动，如图 1-20所示。比较图 1-20与图 1-19可知，线圈以速度  $V_e$  从左向右运动，与磁力线以速度  $V_B$  从右向左运动，两者的物理行为是相同的。即在图 1-20中，静止线圈切割了运动中的磁力线。由于  $V_e = -V_B$ ，将此代入式 (1-24)中，于是静止线圈上的金属电子受广义洛伦兹磁力：

$$F = e(-V_B) \times B \quad (1-25)$$

使金属电子在  $F$  的作用下沿着线圈漂移而形成感生电流  $I = snev$  这 (正是楞茨定律)，式中  $s$

是线圈导体的截面积， $n$  是金属电子密度， $e$  是电子的电量，小写的  $v$  是金属电子沿线圈导体漂移的速度。再由欧姆定律微分形式，于是其感生电动势  $dU = -\frac{I}{\sigma_s} dl$  (描述现象的法拉第定律)，式中  $\sigma_s$  是电导率， $dl$  是线圈长度的微分变元。这也是著名的电磁感应，其本质是洛伦兹磁力。事实上，只要承认  $F = e(v_q) \times B$  是正确的，则必然承认  $F = e(-v_B) \times B$  是正确的。

结论是：无论是金属电子切割磁力线或是磁力线切割金属电子，其物理本质均是电荷受洛伦兹磁力  $F = qV \times B$  的作用结果。特别是当磁铁运动而线圈静止时，运动的磁力线切割了静系的金属电子，所受磁力是  $F = e(-v_B) \times B$ ，这里的“-”号不是本书随意加进去的，而是因为基于绝对空间，明确谁是运动，谁是静止的概念下， $B$  的运动方向与线圈的运动方向相反之缘故。因此本章把  $F = ev_e \times B \oplus e(-v_B) \times B$  称为广义洛伦兹磁力，也就是说，无论是线圈运动或者是磁铁运动，金属电子都切割了磁力线，在广义洛伦兹磁力的作用下，金属电子沿着导体漂移而形成感生电流  $I$ ，也正因为电子的漂移才在导体上建立起了感生电动势  $dU = -\frac{I}{\sigma_s} dl$  (欧姆定律) 和感生电场  $E = \frac{dU}{dL}$  (电场的定义)。也就是说，在电磁感应中， $F$  是原因，导体内的  $I$ 、 $dU$  和  $E$  是现象。还可参见图3-8与图3-9的论证。

### 1.5.3 麦克斯韦感生电场不能解释电磁感应

关于磁力线非均匀分布的情况，1856年麦克斯韦在《论法拉第力线》一文中指出：当磁铁运动时，自由空间的磁状态发生改变，在自由空间产生了电动力  $E$  (后来称  $E$  为电场)，沿  $E$  的环线积分便是感生电动势  $\oint_l E dl = \mathcal{E}_v$ ；对  $E$  求取欧姆定律的微分形式，便是感生电流 (密度)  $J = \sigma E$ 。因此，他认为感应中的本质是在自由空间产生了  $E$ ，感应电动势和感应电流只是电动力  $E$  的表现形式。感生电动力强度是  $E = -\frac{\partial A}{\partial t}$  ( $A$  称为磁紧张态，后来称  $A$  为矢量磁位)，两边取旋度运算便有  $\nabla \times E = -\frac{\partial(\nabla \times A)}{\partial t} = -\frac{\partial B}{\partial t}$  这就是时变磁场产生旋涡电场的著名结论。这里，我们要否定的就是这个旋度场理论的结论。

**1 空间并无旋涡电场。** 见图 1-21，木框对地是静止的。假如某个空间 (比如木框附近) 存在旋涡电场  $E$  (暂且不考虑  $E$  是怎么产生的)，那么根据现代金属电子理论，当线圈  $L$  以速度  $v$  运动至木框附近时，线圈  $L$  中应该有电流。因为电场作用于线圈  $L$  中的金属电子而形成

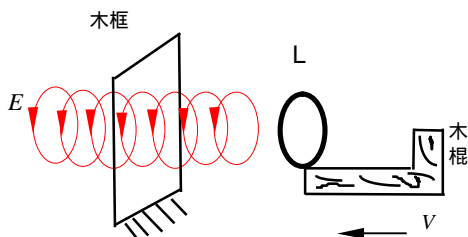


图 1-21 线圈运动至旋涡电场中

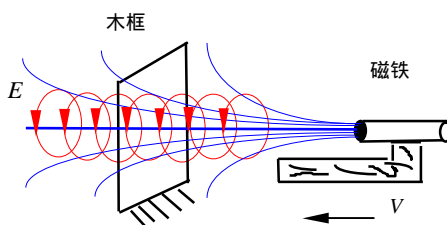


图 1-22 磁铁运动时产生‘旋涡电场’

电流。

再看图 1-22, 木框对地是静止的, 磁铁以速度  $v$  从右到左向着木框运动。如果根据麦克斯韦的第一类总结: 磁铁以速度  $v$  向着木框运动, 则木框附近的磁状态发生改变 (从弱到强), 按照他的  $\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$  得知, 将在木框附近产生旋涡电场  $E$ 。在磁铁越过木框之前, 涡电场  $E$  的方向不变, 只是大小变。

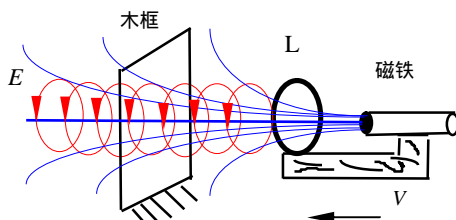


图 1-23 线圈与磁铁一起向木框运动

再看图 1-23 所示。现在我们把图 1-21 与图 1-22 联合起来考虑, 就得到图 1-23。磁铁与线圈  $L$  一起以速度  $v$  向着木框运动。根据麦克斯韦的总结, 磁铁从右向左运动, 在木框附近产生了电场  $E$  (图 1-21); 又根据金属电子理论, 当线圈  $L$  到达木框附近时, 金属电子在涡电场的作用下必然形成涡电流 (图 1-22)。但是, 实验结果表明, 这种情况下 (图 1-23) 线圈  $L$  中根本无电流。这正说明, 木框附近虽有时变磁场但并未产生电场。

## 2. 回顾科学历史<sup>引自 [2,3]</sup>

1820 年奥斯忒发现电流的磁效应。1824 年安培发现两传导电流之间的相互作用。1832 年法拉第发现磁铁与导体之间的感应, 并认为是在导体中产生了感生电动势  $dU$ 。1834 年楞茨却认为是在导体中产生了感生电流  $I$ 。由于感生电动势与感生电流体现在欧姆定律  $\sigma_s dU = -Idl$  方程的两端, 哪一个是因? 哪一个果? 这正如当时哲学界所争论的鸡蛋与母鸡的因果关系一样, 谁也说不清楚。

1856 年麦克斯韦在《论法拉第力线》一文中指出: 当磁铁运动时, 自由空间的磁状态发生改变, 在自由空间产生了电动力  $E$  (后来称  $E$  为电场), 沿  $E$  的环线积分便是感生电动势  $\int_l E dl = \epsilon v$ , 对  $E$  求取欧姆定律的微分形式, 便是感生电流 (密度)  $J = \sigma E$ 。因此, 他认为感应中的本质是产生了  $E$ , 感应电动势和感应电流只是电动力  $E$  的表现形式。感生电动力强度是  $E = -\frac{\partial A}{\partial t}$  ( $A$  称为磁紧张态, 后来称  $A$  为矢量磁位), 两边取旋度运算便有

$\nabla \times E = -\frac{\partial \nabla \times A}{\partial t} = -\frac{\partial B}{\partial t}$ 。这个空间旋度电场似乎平息了法拉第与楞茨之争。

但是, 1892 年洛伦兹在有关电子论的论文中首先提出了电荷在磁场中运动时受磁力  $F = eV \times B$  的作用, 当时他是通过理论推倒而不是实验得到的, 后来被大量物理实验所证明。1896 年洛伦兹提出电子论, 创建了金属电子理论。相应地在导体内金属电子切割磁力线时受洛伦兹磁力而沿着导线漂移, 形成感应电流, 其感生电流的密度  $J = neV$  (这里  $n$  是



单位体积中的电子数  $\rho$  是电子电量,  $v$  是金属电子在磁力  $F$  作用下的飘移速度), 再根据欧姆定律的微分形式  $J = -\sigma \frac{dU}{dl}$ , 便得到导体内感生电动势  $dU = -\frac{J}{\sigma} dl$ 。其本质是受力; 同理, 我们认为磁场在导体中运动即磁力线切割导体时也同样受洛伦兹磁力而形成感生电流  $J = nev$  或感生电动势  $dU = -\frac{J}{\sigma} dl$ 。大量实验与工程应用已经证明洛伦兹磁力的可靠性。如果 J·J 汤姆逊和洛伦兹早于麦克斯韦出生, 那么麦克斯韦就不会炮制出所谓的旋度电场。

现在的问题是, 对于磁铁运动, 到底是空间产生了漩涡电场而使得线圈中有电流? 或者是运动的磁力线切割了金属电子而受洛伦兹磁力才形成了电流? 两者只有一个是正确的。我们必须选择其一。

退一万步讲, 即使有人认为麦克斯韦旋度理论可以解释图 1-20 中的电磁感应现象, 但请思考一下这样一个事实: 第一、洛伦兹磁力能够全面解释电磁感应, 第二、即使认为麦克斯韦理论解释图 1-20 之情形。那么, 在这两者之间到底哪一个才是真理呢? 也许有折中认为: “洛伦兹磁力和麦克斯韦旋度理论都对, 只不过洛伦兹磁力适合于所有情况, 而麦克斯韦旋度理论只适合于图 1-20 之情况”。那么, 照此说法, 在图 1-20 中线圈上的金属电子承受了两种力, 一是洛伦兹磁力  $e(-V_B) \times B$ , 二是麦克斯韦漩涡电场力  $eE$ 。谁能用实验证明这两个力都作用在线圈金属电子上呢? 不能! 您不能, 我更不能。我坚定的认为, 唯有洛伦兹磁力才是电磁感应的本质, 法拉第定律和楞次定律只是粗略地描述现象, 而麦克斯韦感生电场是在没有发现电子的低科学水平环境下的错误总结。第三, 重要的是图 1-23 否定了麦克斯韦的旋度理论。事实上, 上述的图 1-21 图 1-22 图 1-23, 已经证明自由空间并无感生电场。

**3. 地磁场否定麦克斯韦理论。**麦克斯韦理论基于当时的以太媒质, 以太代表了当时的静止空间, 麦克斯韦的旋涡电场理论  $\nabla \times E(P) = -\frac{\partial B(P)}{\partial t}$  的内涵是: 当以太空间  $P$  点的磁场强度发生改变时  $\frac{\partial B(P)}{\partial t}$ , 则在此空间  $P$  点上产生了旋涡电场  $\nabla \times E(P)$ 。

见图 1-24 磁铁和线圈跟随地球一起运动, 在以太空间  $P$  点的磁场强度发生了改变, 则

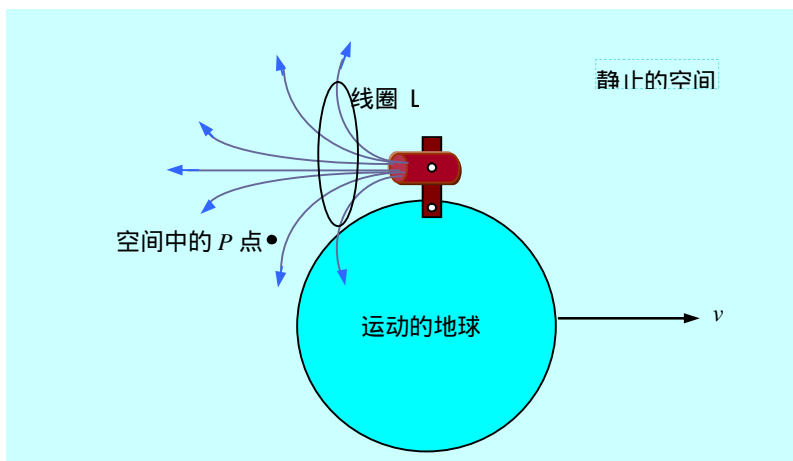


图 1-24 磁铁和线圈跟随地球运动

在该空间  $P$  点产生了旋涡电场。也即，即使磁铁放在地上不动，但由于磁铁跟随地球运动，则以太空间的磁场强度也发生了改变，所以在以太空间也产生了旋涡电场，那么经过这个旋涡电场的线圈就应该有电流。事实上，这种情况下线圈中没有感生电流。可见，麦克斯韦对电磁感应的总结结果是错误的。其实呀，大家稍加想一想，便可明白麦克斯韦对电磁感应的总结是多么的错。地球以相当高的速度 ( $v \geq 3 \times 10^4 \text{ m/s}$ ) 在自由空间中运动，南北地极所构成的非均匀地磁场在自由空间中运动，按照麦克斯韦对电磁感应的总结，那么地球轨道所在空间有大量的旋涡电场。真的吗？没有！您测不着，我更测不着。

### 1.5.4 相对论无法解释电磁感应

在相对论中，动系与静系是所设的两个有相对运动的参考系，没有绝对的静系。坐标系  $S$  认为坐标系  $S'$  在运动，反过来，坐标系  $S'$  则认为坐标系  $S$  在运动。即运动是相对而言的。

将图 1-20 重画于图 1-25 中，设线圈上的金属电子 (这个观察者) 为静系  $S$ ，并设磁场  $\mathbf{B}$  为动系  $S'$  (即坐标  $S'$  架设在磁力线上) 并以速度  $v$  相对于坐标  $S$  作运动，即磁力线与金属电子的横向相对速度是  $v$ 。根据相对论，线圈上的金属电子 (这个观察者) 既看见了电场又看见了磁场<sup>[1]</sup>。

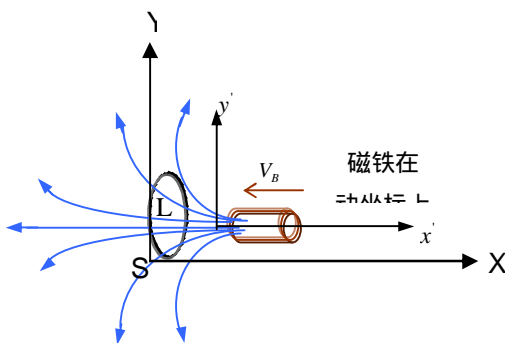


图 1-25 磁铁运动而线圈静止

相对论看见的电场是

$$E' = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (1-26)$$

相对论看见的磁场是

$$B' = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \mathbf{B} \quad (1-27)$$

如果电子这个观察者不受电力  $eE'$ ，何以见得它“看见了”电场  $E'$  呢。如果电子这个观察者不受磁力  $e \times B'$ ，何以见得它“看见了”磁场  $B'$  呢。回答是简单的，它既看见了  $E'$  又看见了  $B'$ ，也即，它既受电力  $eE'$  又受洛伦兹磁力  $e \times B'$ 。这才是相对论的本来面目。

照此计算，静系  $S$  上的电子受到的洛伦兹磁力和洛伦兹电力分别是：

$$e \times B' = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} e(\times B) \quad (1-28)$$

$$eE' = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} e(\times B) \quad (1-29)$$

注意到  $eE'$  与  $e \times B'$  是同方向同大小，这是近两倍值。要想与实验吻合，恐怕是困难的。

特别指出，读者可自行演算：如果按照相对论的“动磁场产生电场”来解释图 1-25 的实验，其电流方向与实验相反，相对论违背了矢量叉积的右手定则。也许有的人士认为<sup>[1]</sup>，从  $S'$  到  $S$  之反变换可改变  $v$  之负号。但是，仅仅靠改变负号来凑数，等于承认了谁是运动，谁是静止的根本问题。即，承认了绝对时空观，他违背了自己的观点。你既然是相对论，就使用式 (2-28) 和式 (2-28) 的“动磁场产生电场”的叉积法则去计算式。必然出现反方向之错。

综上所述，麦克斯韦旋度理论和爱因斯坦狭义相对论均不能解释金属电子与磁力线作相对运动时的电磁感应，而楞次定律和法拉第定律只是描述物理行为的现象，唯有洛伦兹磁力才能全面解释电磁感应，才是电磁感应中的物理本质。

## 1.6 电子与磁力线作相对运动时的广义洛伦兹磁力

电子切割磁力线受洛伦兹磁力，已众所周知。但磁力线切割电子时，也同样受洛伦兹磁力。因为磁力线切割电子，实际上，仍然是电子切割了磁力线。

### 1.6.1 电子切割磁力线之情况

设均匀磁场静止 (以地球为参考静系，下同)，电子以速度  $V_e$  从左向右进入恒定均匀磁场  $B$  中，见图 1-26，则根据洛伦兹磁力

$$F = qV_e \times B \quad (1-30)$$

可知，电荷  $q = -e$  的运动轨迹如图 1-26 所示 (注意：电子的电量是负值，这是众所周知的)。

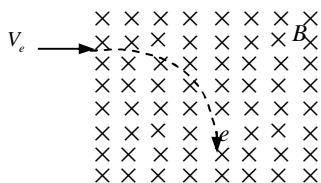


图 1-26 电子切割磁力线

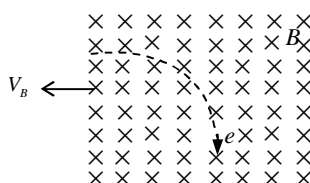


图 1-27 磁力线切割电子

### 1.6.2 磁力线切割电子之情况

首先说明，当磁铁运动时，磁力线必然跟随磁铁一起运动。也就是说磁力线是可运动

的，不会停留在“始发站”，也不会被压缩成磁饼。因此，我们可设电子是静止的，均匀磁场从左向右匀速运动，如图 1-2 所示，注意到尽管磁力线在运动，但在电子所在空域的磁场是均匀的而且是不随时间变化，即  $\frac{\partial B}{\partial t} = 0$ ，这种情况没有什么所谓的“漩涡电场”。此时电子也同样切割了磁力线，也同样受洛伦兹磁力。

对照起来，本章认为：电荷切割磁力线与磁力线切割电荷，属于同一个物理行为。其本质也应是洛伦兹磁力。在图 1-12 中  $F = qV_e \times B = q(-V_B) \times B$  仍然是洛伦兹磁力。我们可以把

$$F = q(-V_B) \times B \tag{1-31}$$

起名为广义洛伦兹磁力，以示区别。但实际上，由于  $V_e = -V_B$ ，它就是洛伦兹磁力。参见 1.2 节的论证。

### 1.6.3 麦克斯韦旋度理论无能解释此类电磁感应

大家知道，麦克斯韦电磁理论来源于他对法拉第电磁感应的总结，他讲到：磁铁的运动，使空间磁场发生变化，在空间产生了漩涡电场。我们的目的是证明洛伦兹磁力是本质，或即证明  $F = e(-V_B) \times B$  才能对电磁感应作出全面的解释。所以我们将麦克斯韦电磁理论的来历拿来比较一番。

按照麦克斯韦的说法：电子静止，而当磁力线运动时，在电子所处的自由空间产生了旋涡电场  $\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$ ，电子在旋涡电场力  $eE$  的作用下作圆周运动。看起来似乎有理，但实际上其旋度理论根本不能解释此种电与磁的相互作用。

为了清晰起见，现将图 1-2 重画于图 1-28。磁力线分布在一个很长的带内，并向左运动而切割电子。注意到，由于均匀磁场分布在很长的带状面积内，在所讨论的时间和所在的空域内，均有  $\frac{\partial B}{\partial t} = 0$ ，即没有时变磁场。因此这种情况下，即使你使用麦克斯韦的旋度理论，但也不能解释电子的曲线轨迹。只有广义洛伦兹磁力  $F = qV_e \times B$  即  $F = q(-V_B) \times B$  才能解释图中的电子轨迹。

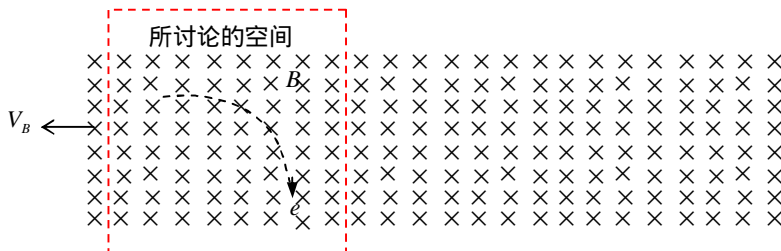


图 1-28 磁力线均匀分布在很长的带内并运动而切割电子

综上所述，本章认为：无论是电子切割磁力线或是磁力线切割电子，其物理本质均是电荷受洛伦兹磁力  $F = qV \times B$  的作用结果。特别是当磁力线运动而线圈静止时，运动的磁力线切割了静止的电子，所受磁力是  $F = e(-v_B) \times B$ ，这里的“-”号不是本书随意加进去的，而

是因为  $B$  的运动方向与线圈的运动方向相反之缘故。因此本章把  $F = ev_e \times B + e(-V_B) \times B$  称为广义洛伦兹磁力，也就是说，无论是电子运动或者是磁力线运动，电子都切割了磁力线，在广义洛伦兹磁力的作用下，电子有法向运动分量。

### 1.6.4 相对论电磁学的缺陷

#### 1. 电子运动的情况。

见图 1-29，设磁场  $B$  (这个观察者) 为静系  $S$ ，并设电子为动系  $S'$  (即动坐标  $S'$  架设在电子上) 并以速度  $v$  相对于坐标  $S$  从左向右运动，即磁力线与电子的横向相对速度是  $v$ 。按照相对论电磁学，则电子这个观察着看见的电场和磁场分别是<sup>[1]</sup>：

$$E'_y = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} (v \times B_z) \quad (\text{正 } y \text{ 方向}) \quad (1-32)$$

$$B'_z = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} B_z \quad (-z \text{ 方向}) \quad (1-33)$$

因此电子这个观察着受到的洛伦兹电力和洛伦兹磁力分别是

$$eE'_y = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} e(v \times B_z) \quad \text{【电子向下运动】} \quad (1-34)$$

$$e \times B'_z = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} e(v \times B_z) \quad \text{【电子向下运动】} \quad (1-35)$$

这种情况下，电子的运动方向与实验一致，但受力大小相差两倍偏差。

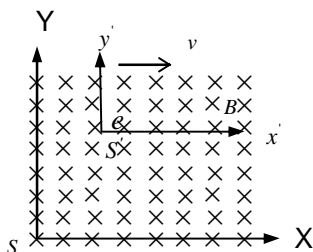


图 1-29 电子运动

这里特别强调指出：如果电子 (这个观察者) 不受洛伦兹电力  $eE'_y$ ，何以证明它“看见了”电场  $E'_y$  呢；如果电子 (这个观察者) 不受洛伦兹磁力  $e \times B'_z$ ，何以证明它“看见了”电场  $B'_z$  呢？因此我们的回答是自然的：按照相对论电磁学，电子这个观察者既看见了  $E'_y$  又看见了  $B'_z$ ，也即，它既受洛伦兹电力  $eE'_y$  又受洛伦兹磁力  $e \times B'_z$ 。这才是相对论电磁学的本来面目。如果有人认为  $eE'_y$  就是  $e \times B'_z$  的替代品，这等于否定了洛伦兹磁力、一切用电场来统一。但是，一方面，统一场是失败的，另一方面他无法解释电子感应加速器 (参见 1.8 节)。

综上所述，麦克斯韦旋度理论和爱因斯坦狭义相对论均不能解释电子与磁力线作相对运动时的电磁感应，而楞次定律和法拉第定律只是描述物理行为的现象，唯有洛伦兹磁力才揭示了本质。

也许有的相对论者会强词夺理的说：看见了洛伦兹电力、没有看见洛伦兹磁力。那么，但这种说法等于否定了电子感应加速器的工程实践。它是一种错误的说法。我们在 1.6 节中论述了相对论电磁学与电子感应加速器的实验不符。

### 2 磁力线运动的情况。

见图 1-30, 设电子 (这个观察者) 为静系  $S$ , 并设磁场  $B$  为动系  $S'$  (即动坐标  $S'$  架设在磁力线上) 并以速度  $v$  相对于坐标  $S$  从右向左运动, 即磁力线的运动速度是  $v$ 。根据相对论电磁学, “运动磁场产生的电场” 是<sup>[1]</sup>

$$E'_y = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} (v \times B_z) \quad (-y \text{ 方向}) \quad (1-36)$$

磁场被相对因子改变为

$$B'_z = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} B_z \quad (-z \text{ 方向}) \quad (1-37)$$

但值得注意的是：动磁场产生了电场  $E'_y$  则电子必然受洛伦兹电力  $eE'_y$ , 而电子确实切割了磁力线  $B'_z$  则必受洛伦兹磁力  $e \times B'_z$ , 这是两倍偏差, 与实验不符。

更重要的问题是, “运动磁场产生电场” 表明上式中的  $v$  是磁场运动的速度矢量, 那么根据数学叉积定理或右手定则, 则  $E'_y$  的矢量方向是  $-y$  方向, 导致电子向上运动, 这与实验结果相反。因此我可以这样说, 相对论电磁学是荒唐的。也许有的人士认为<sup>[1]</sup>, 从  $S'$  到  $S$  之反变换可改变  $v$  之负号。但是, 仅仅靠改变负号来迎合, 等于承认了谁在运动, 谁在静止的根本问题。即, 承认了绝对时空观, 违背了相对论自己观点。如果你是相对论, 就该用矢量法则的“动磁场产生的电场” 变换式去计算, 必然出现电流方向之错误问题。

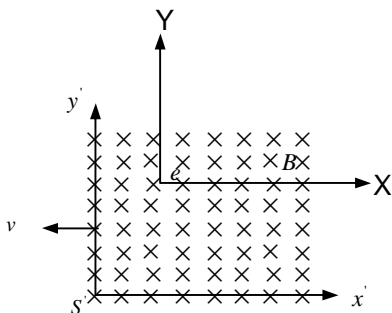


图 1 30 磁力线运动

## 1.7 广义洛伦兹力是电波反射中的机理

电波不是弹性皮球, 它为什么会反射呢? 是像机械波那样的作用力和反作用力吗? 是波子的弹性碰撞吗? 都不是, 然而至今无人深究其反射机理。本章节论述, 其实质是电波作用于金属, 金属电子在洛伦兹电力和广义洛伦兹磁力的作用下形成面电流而产生了二次辐射,

或者电波作用于介质，有极分子或无极分子在洛仑兹电力和广义洛仑兹磁力的作用下形成分子电流而产生二次辐射。这个反射机理只有洛仑兹电力和广义洛仑兹磁力才能解释之，其它理论无能为力。

### 1.7.1 电波垂直入射时的广义洛仑兹磁力

设一时变磁波垂直入射到金属平板上，如图 1-31所示，假设三条磁波矢量与金属板平行。根据广义洛仑兹磁力可知，金属电子在洛仑兹磁力  $F = e(-V_B) \times B = e(-c_0) \times B$  的作用下，形成壁电流  $i(t)$ ，正因这壁电流  $i(t)$ ，使得金属壁上有聚集电荷  $Q(t)$ 。一方面壁电流  $i(t)$  将产生新的磁场  $B'$ 、另一方面壁电荷  $Q(t)$  将产生新的  $E'$ ，这就是反射波的形成机理。

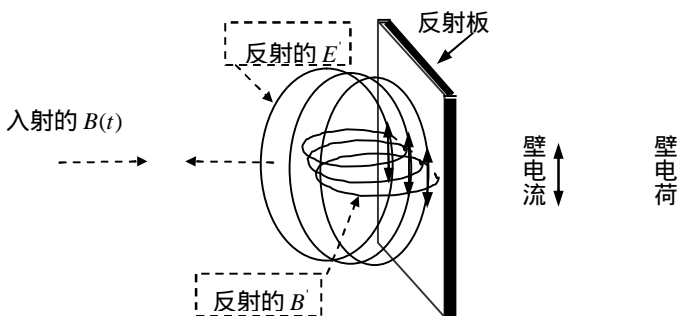


图 1 31 磁场波垂直入射到金属板立体图

同理，实际上入射波中既有磁场波又有电场波，我们可假定电场波矢量垂直于磁场波矢量，见图 1-32。所以金属电子在洛仑兹电力  $F = eE$  的作用下，所形成的壁电流  $i(t)$  和壁电荷  $Q(t)$ ，作用机理与上述相同。

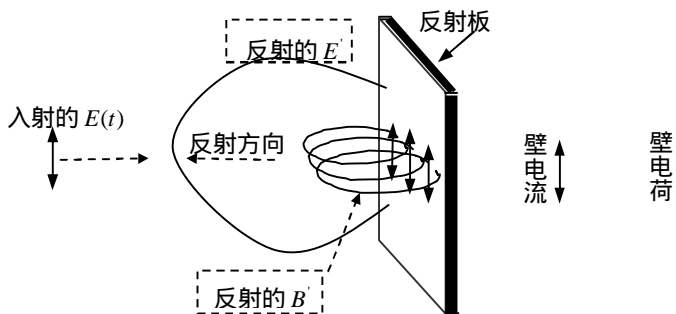


图 1 32 电场波垂直入射到金属板立体图

图 1-33展示了反射磁波壁电流的俯视图。从 (a)图我们还可看出，各个细窄壁电流产生的磁力线，在相切处的磁场线大小相等而方向相反，抵消后为零。因此，波前平行于金属板平面。图中只画了三条壁电流，而实际上壁电流就是一个面电流，而面电流所产生的磁力线如图 (b)所示。从 (b)图可以看出，除了微弱的边缘效应（散射）以外，磁场的传播主要集中在金属板的正面方向（即辐射方向）上。因此电磁理论书籍上的面电流正是洛仑兹磁力作用的结果。雷达界认为反射就是二次辐射，二次辐射的频率就是一次接收到的单位时间里的波

数。图 1-34展示了反射电场波的俯视图。从 (a)图我们可看出，各条子午线形状的电场线在中部相互迭加之后，电场矢量集中在金属板正面方向上。除了微弱的边缘效应（散射）以

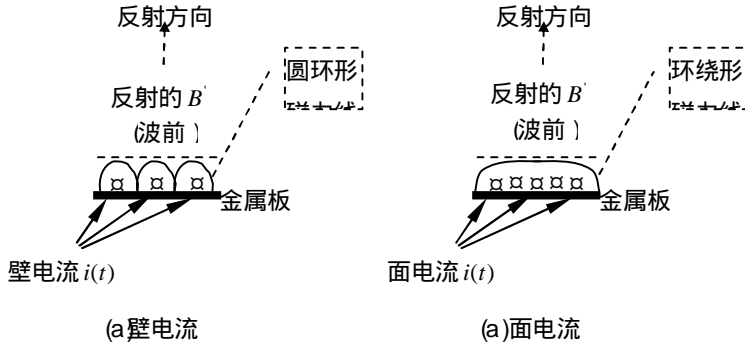


图 1-33 反射磁波的俯视图

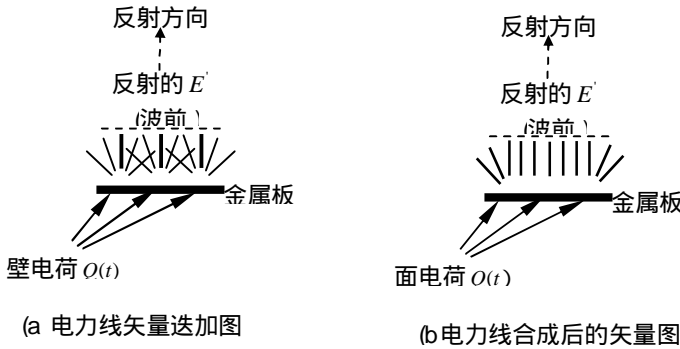


图 1-34 反射电场波俯视图

外，电场的辐射主要集中在金属板的正面方向（即辐射方向）上。

### 1.7.2 电波斜入射时的广义洛伦兹磁力

设时变磁波以入射角  $\theta$  入射到金属板上，如图 1-35所示。入射角和反射角都是  $\theta$ 。为了分析方便，假设有两条入射电磁矢量以  $\theta$  入射到到金属板上，见图 1-36，电场矢量垂直于纸面。对于入射波，在波前即波振面上，各条辐射线上的电场强度相等、相位相同。但是斜射到达金属板上的时刻是不同的，存在着波程差  $\Delta R$ 。在本小节，我们将根据洛伦兹磁力和洛伦兹电力的作用机理，来证明“反射角等于入射角”这一原理。

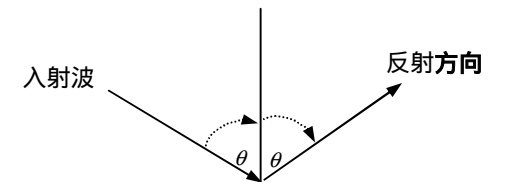


图 1-35 众所周知的反射角等于入射角



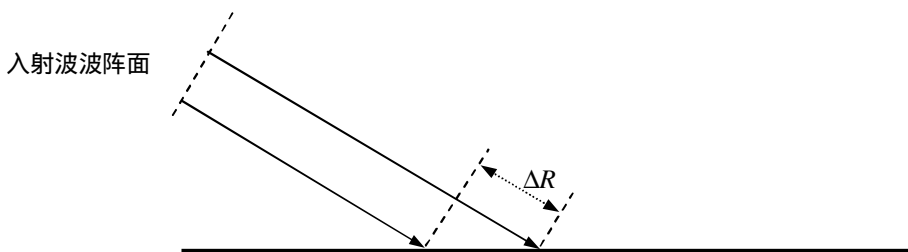


图 1-36 来自同一源的两条入射波的波程差

### 1 水平极化波情况

如图 1-3 所示，金属电子在洛伦兹电力  $F = eE$  的作用下形成壁电流  $i(t)$ ，而壁电流  $i_1(t)$  和  $i_2(t)$  又产生新的磁场  $B'_1$  和  $B'_2$ ，即反射磁波。由于两条斜入射的电场波到达金属板上时存在波程差，所以在某时刻拍摄下来的二次辐射磁波出现了两个不同半径的磁力线环，只有在  $R_1 - R_2 = \Delta R$  的所有点上，磁力线强度才是大小相等、方向相同，矢量叠加后最强。而在其它方向的磁场，因相互抵消，几乎为零。这就是反射角等于入射角的根本原因。同时，正因为这个壁电流  $i(t)$ ，使得金属壁上聚集有时变电电荷  $Q(t)$ 。而壁电荷  $Q_1(t)$  和  $Q_2(t)$  又产生新的电场  $E'_1$  和  $E'_2$ ，即为反射电场波。由于两条斜入射的电场波到达金属板上时存在波程差，所以二次辐射的电场  $E'_1$  和  $E'_2$  也存在波程差，只有在  $R_1 - R_2 = \Delta R$  的所有点上， $E'_1$  和  $E'_2$  才有同相位叠加，叠加成波阵面。如图 1-38(a) 所示。这就是反射角等于入射角的机理。注意：根据平行四边形计算，几个图的  $\Delta R$  是相等的。

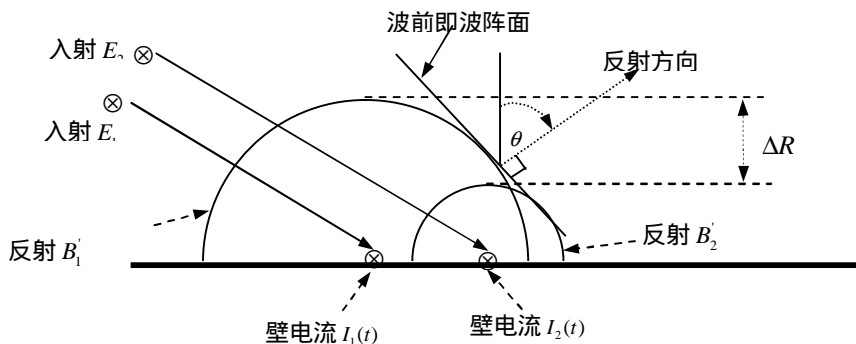


图 1-37 二次辐射的磁场波阵面

在这里，我们认为电场是独立辐射的（其证明见后述章节）。如图 1-38(b) 所示，单就正电荷而言，它辐射的电场是纵波，在  $R_1 - R_2 = \Delta R$  的所有点上， $E'_1$  与  $E'_2$  才有同相位。

注意到图 1-38(b) 的电场线是截面图，实际上聚集的壁电荷有正有负，即： $\{+Q_1(t)、-Q_1(t)\}$  和  $\{+Q_2(t)、-Q_2(t)\}$ ，正负时变电电荷所形成的电场线是子午线，如图 1-

38(c)所示。图 1-38(d)是电力线分布的立体图，图中只画了两条电场线，一条是由  $\{+Q_1(t)、-Q_1(t)\}$  形成的子午线，一条是由  $\{+Q_2(t)、-Q_2(t)\}$  形成的子午线。所以看起来，电场像是横波在传播。而实际上是正负电场线合成的子午线之结果。

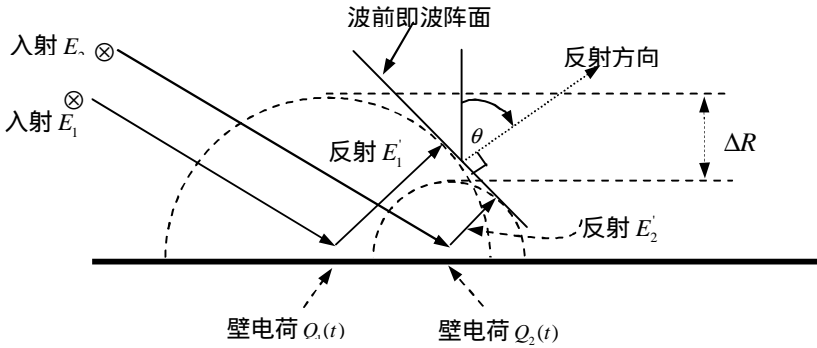


图 1-38(a) 二次辐射的电场波波阵面

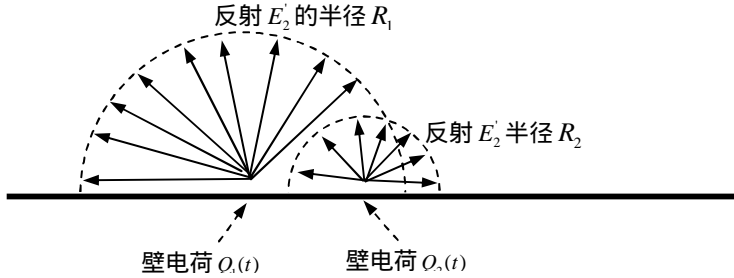


图 1-38(b) 二次辐射电场的同相位点 截面图

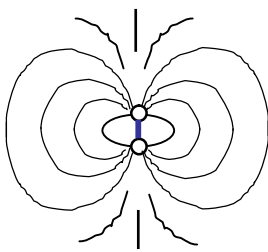


图 1-38(c) 子午线时变电场俯视图

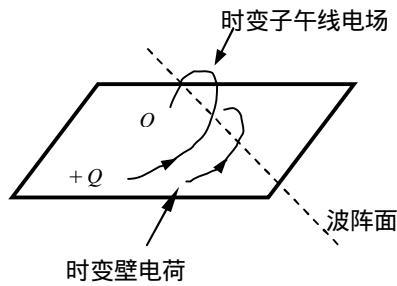


图 1-38(d) 反射时变电场立体图

## 2 垂直极化波情况

如图 1-39所示，金属电子在广义洛伦兹磁力  $F = e(-V_B) \times B = e \cdot (-c_0) \times B$  的作用下形成壁电流  $i(t)$ ，而壁电流  $i_1(t)$  和  $i_2(t)$  又产生新的磁场  $B_1'$  和  $B_2'$ ，即反射磁波。由于两条斜入射的磁场波到达金属板上时存在波程差，所以在某时刻拍摄下来的二次辐射磁波出现了两个不同半径的磁力线环，只有在  $R_1 - R_2 = \Delta R$  的所有点上，磁力线强度才是大小相等、方向相同，矢量叠

加后最强。而在其它方向的磁场，因相互抵消，几乎为零。这就是反射角等于入射角的原理

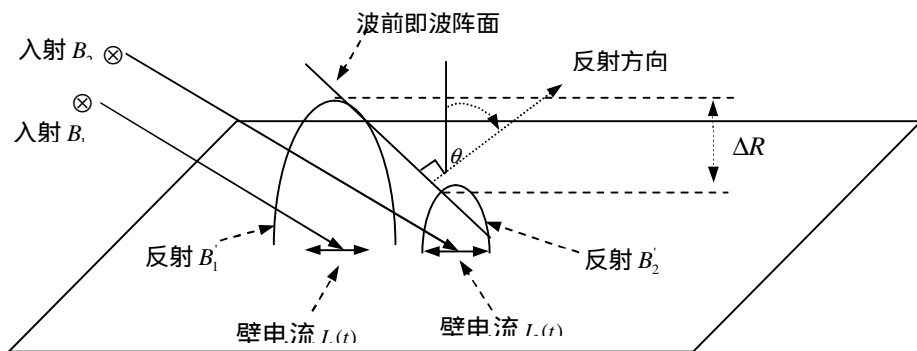


图 1 39 二次辐射的磁场波阵面

同时，正因为这个壁电流  $i(t)$ ，使得金属壁上聚集有时变电荷  $Q(t)$ 。而壁电荷  $Q_1(t)$  和  $Q_2(t)$  又产生新的电场  $E_1'$  和  $E_2'$ ，即为反射电场波。由于两条斜入射的磁场波到达金属板上时存在波程差，所以二次辐射的电场  $E_1'$  和  $E_2'$  也存在波程差，只有在  $R_1 - R_2 = \Delta R$  的所有点上， $E_1'$  和  $E_2'$  才有同相位叠加，叠加成波阵面。如图 1-40 所示。这就是反射角等于入射角的机理。

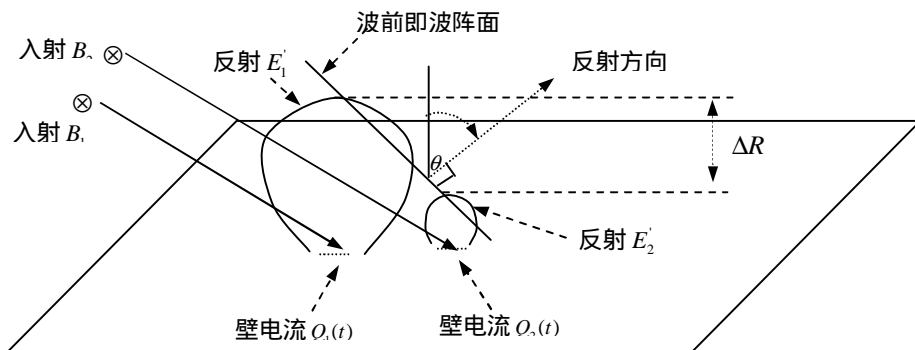


图 1 40 二次辐射的电场波阵面

注意到图 1-40 的电场线是子午线，因为实际上聚集的壁电荷有正有负，即： $\{+ Q_1(t)、- Q_1(t)\}$  和  $\{+ Q_2(t)、- Q_2(t)\}$ ，正负时变电荷所形成的电场线是子午线，所以看起来，电场像是横波在传播。而实际上是正负电场线合成的子午线之结果。我们说，电场和磁场主要集中在反射角上，并不排除存在边缘效应，即散射波的存在。但反射角上的电场是主要的。

总之，金属电子在广义洛伦兹磁力  $F = e(-V_B) \times B(t) = e(-c_0) \times B(t)$  的作用下或者洛伦兹电力  $F = eE(t)$  的作用下形成壁电流  $i(t)$ ，正因为这个  $i(t)$  又使得金属板上聚集有时变电荷  $\pm Q(t)$ 。于是，一方面  $i(t)$  产生新的磁场  $B'(t)$ ，即反射的磁场波；另一方面  $\pm Q(t)$  产生新的  $E'(t)$ ，即反射的电场波。这是电磁波为什么会反射的物理过程所在。在这个二次辐射过程中，由于波程差的缘故，使得二次辐射的波阵面之改变，导致了反射角等于入射角。

无论是洛伦兹磁力  $F = e(-V_B) \times B(t) = e(-c_0) \times B(t)$  或是洛伦兹电力  $F = eE(t)$  作用于金属

板，金属电子的移动都将形成时变壁电流和时变壁电荷。时变壁电流必将产生时变磁场，时

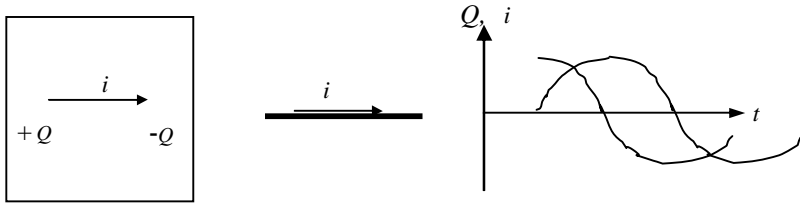


图 1-41 时变壁电流与时变聚集电荷的形成

变壁电荷必将产生时变电场。因此，对于二次辐射 (反射)，它既辐射了时变磁场又辐射了时变电场。或者说，任何电辐射都辐射了两种场 --- 时变电场和时变磁场。如图 1-4 所示。

### 1.7.3 其它反射中的广义洛伦兹电力

1. 当电波或磁波作用于介质时，见图 1-42。当电场波作用于介质时，电场对介质产生极化，使介质表面形成分子电流和分子电荷，这个时变的分子电流和时变的分子电荷，也将产

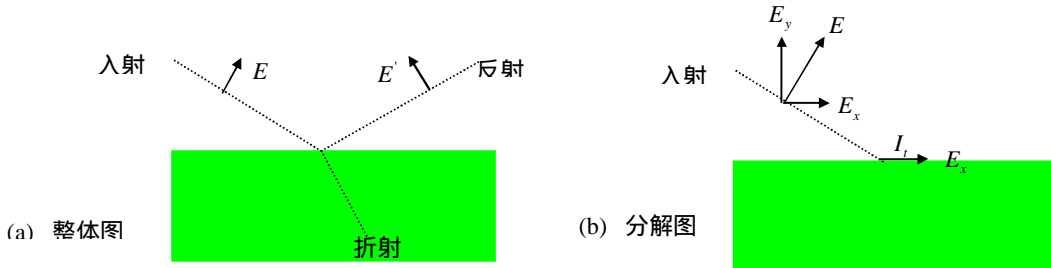


图 1-42 平行极化波作用于介质

生时变磁场和时变电场。即，二次辐射形成反射波。运动的磁场作用于介质详见 1.10 节。

整个场强的计算是基于洛伦兹力的场矢量迭加原理的。见图 1-43。在入射点上有法向电场  $E_{ni}$ ， $E_{nL}$ ， $E_{nr}$  和有切向电场  $E_{ti}$ ， $E_{tL}$ ， $E_{tr}$ 。下标  $n$  是  $y$  方向、 $t$  是  $x$  方向。考虑边界条件的连续性，于是有

$$\begin{cases} \epsilon_1 \vec{E}_{ni} + \epsilon_1 \vec{E}_{nL} = \epsilon_2 \vec{E}_{nr} \\ E_{ti} - E_{tL} = E_{tr} \end{cases} \quad (1-29)$$

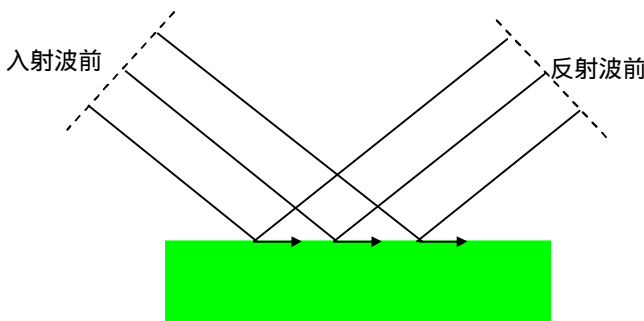


图 1-43 二次辐射的波阵面

即

$$\begin{cases} \varepsilon_1 E_i \sin \varphi + \varepsilon_1 E_L \sin \varphi = \varepsilon_2 E_r \sin \theta \\ E_i \cos \varphi - E_L \cos \varphi = E_r \cos \theta \end{cases} \quad (1-30)$$

式中  $\varphi$  是入射角， $\theta$  是折射角。联解此方程组，便得到著名的菲涅尔公式。

2. 当电磁波作用于金属波导时，其传输过程也是广义洛仑兹磁力的作用结果。我们已经基于矢量分析论证了电场波和磁场波的反射都是洛仑兹磁力的作用结果而形成的二次辐射，并用洛仑兹力证明了反射角等于入射角。这里，我们仍然用广义洛仑兹力来说明波导传输电场波和磁场波的物理过程，并指出波导中最佳传输频率。

设波导如图 1-44 所示，波导的宽边尺寸是  $a$ 、窄边尺寸是  $b$ 。

基于上述反射传输原理，不难看出：

第一，传输机理如前所述，电场波和磁场波在波导中的传输，就是多次反射而向前传输。而反射机理又是洛仑兹力的作用结果而形成的二次辐射。

第二，为了得到高效率的传输，波导内壁必须是光洁的良导体，特别是  $b$  边更应如此。

第三，如果电波或磁波在自由空间的辐射速度是  $c_0$ ，那么电磁波沿着波导的传输速度必然小于  $c_0$ ，因为它是多径反射的传输。

第四，因为反射实为二次辐射，而二次辐射时，由于半波振子的辐射效率最高，所以  $b$  边的最佳尺寸是  $b = 0.5\lambda$ 。否则传输时出现多模而降低传输效率。

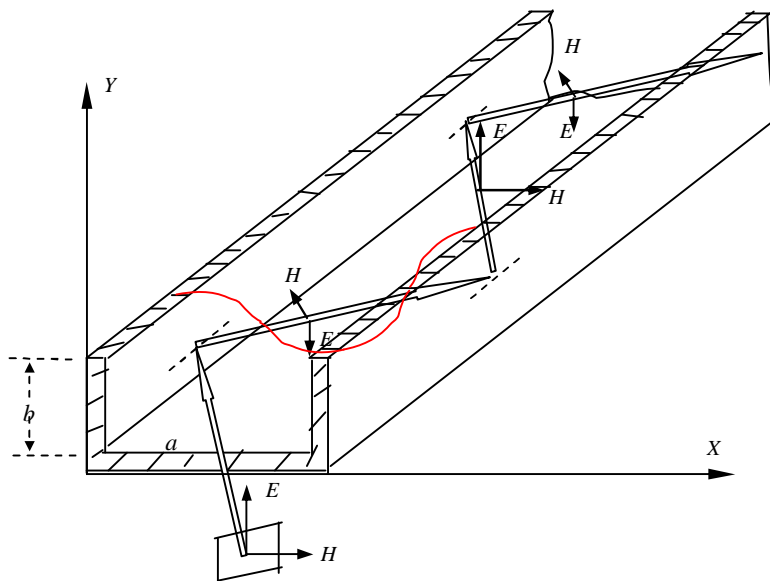


图 1-44 电波和磁波在波导中的传输

第五，由于波导左右对称，为了避免散射波相互抵消，最好是使得左壁电流与右壁电流同时同相变化，为此，电波或磁波在波导中传输的斜距离应当为波长  $\lambda$ ，而且入射角为 45 度为佳，于是， $a$  边的尺寸应为  $a = \frac{\lambda}{\sqrt{2}} = 0.707\lambda$ ，才是最佳传输。

第六，结合第四、第五两条，可以看出：当  $a$ 、 $b$  尺寸较大，则传输的波长较长，才可传输较低频率的电磁波；当  $a$ 、 $b$  尺寸较小，则传输的波长较短，则只能传输较高频率的电磁波。因此波导是一个高通滤波器。

以上六条结果与工程实践一致。这里虽然没有给出传输模型，但基于洛伦兹磁力的解释是正确的。其物理概念是清楚地。

## 1.8 电子感应加速器中的广义洛伦兹磁力

人人都说电子感应加速器的理论依据是麦克斯韦的旋涡电场力 + 洛伦兹磁力。本节先介绍法拉第、麦克斯韦、洛伦兹三家理论在概念和内涵上的分歧，重点介绍电子感应加速器并未运用麦克斯韦的旋度电场，如果运用麦克斯韦的旋度电场，将出现严重的错误，只有运用广义洛伦兹磁力才是电子感应加速器的最佳选择。

### 1.8.1 法拉第定律 + 洛伦兹磁力

这是教科书上的内容，不妨重写一下。即有：法拉第电磁感应所获得的电场  $E$  用作切向力  $F_t = eE$  (洛伦兹电力)，洛伦兹磁力  $F_n = eV \times B$  用作法向力。

见图 1-45，在半径为  $R$  的圆面上通过的磁感应通量为  $\Phi = \pi R^2 \bar{B}$ ，平均磁场  $\bar{B}$  是时变的 ( $\bar{B}$  是圆面中平均磁感应强度)。

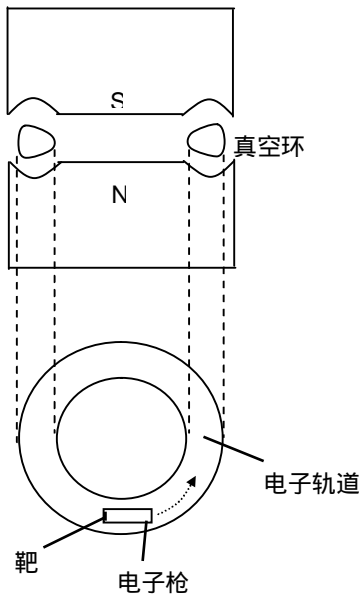


图 6-45 电子感应加速器结构图

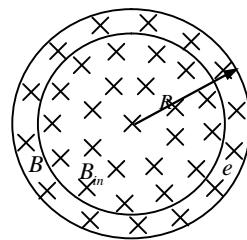


图 1-46 电子感应加速器剖面图

电场的定义是：单位长度上的电压 (或电动势)，并考虑到圆对称分布，即有

$$E_\phi = -\frac{U_\epsilon}{L} = -\frac{U_\epsilon}{2\pi R} \quad (1-38)$$

法拉第定律是：

$$U_\epsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\pi R^2 \frac{dB}{dt} \quad (1-39)$$

将式 (1-39) 代入式 (1-38)，得到：

$$E_\phi = \frac{R}{2} \frac{dB}{dt} \quad (1-40)$$

式中  $E_\phi$  是真空环上的电场， $R$  是圆面的半径， $\overline{B}$  是圆面上的磁场平均值（注意到真空环上的磁场  $B$  小于环内磁场  $B_m$ ）。电子受到的洛伦兹电场力  $eE_\phi$  恰是切向力，电子受到的洛伦兹磁场力  $eV_\phi \times B_z$  恰是向心力（ $e$  是负值），于是根据牛顿第二定律，便有

$$eE_\phi = m \frac{dV}{dt} \quad (1-41)$$

$$eVB = m \frac{V^2}{R} \quad (1-42)$$

式中  $V$  是电子被加速后在真空环中的切向运动速度。联解式 (1-40)、(1-41) 和 (1-42)，有

$$B = \frac{1}{2} \overline{B} \quad (1-43)$$

即电子感应加速器的设计条件是：真空环上的磁场强度应为整个圆面上平均磁场强度的一半。这是目前物理书籍上根据法拉第定律得到的电子感应加速器的设计条件。

### 1.8.2 麦克斯韦旋度电场 + 洛伦兹磁力

此设计方法指的是，麦克斯韦旋度方程  $\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$  所获得的电场  $E$  用作切向力  $eE$ ，洛伦兹磁场力  $evB$  用作向心力。

麦克斯韦电磁场理论的精髓是“互生场”，即  $\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$ （和  $\nabla \times B = \frac{1}{c_0^2} \frac{\partial E}{\partial t}$ ），它表示空间某点的磁场变化在该点产生电场，与过去和未来无关，只与此时刻、此地点的场强变化率有关。由于图 1-43 是圆对称的，所以在圆柱坐标上表示为

$$\begin{aligned} & \left( \frac{1}{\rho} \frac{\partial E_z}{\partial \phi} - \frac{\partial E_\phi}{\partial z} \right)_{a_\phi} + \left( \frac{\partial E_\rho}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial \rho} \right)_{a_\phi} + \left( \frac{1}{\rho} \frac{\partial(\rho E_\phi)}{\partial \rho} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial E_\rho}{\partial \phi} \right)_{a_z} \\ & = -\frac{\partial(-B)}{\partial t} \quad a_z \end{aligned} \quad (1-44)$$

由于  $E_z = 0$ ， $E_\rho = 0$ ，而且在加速器中  $\frac{\partial E_\phi}{\partial z} = 0$ ，于是上式成为

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial(\rho E_\phi)}{\partial \rho} = \frac{\partial B}{\partial t} \quad (1-45)$$

$$\frac{\partial(\rho E_\phi)}{\partial \rho} = \frac{\partial B}{\partial t} \rho \quad (1-46)$$

$$\rho E_\phi = \frac{\rho^2}{2} \frac{\partial B}{\partial t} + k_o \quad (1-47)$$

解边界条件：当  $\rho=0$  时，有  $E_\phi=0$ ，则  $k_o=0$ ，于是上式成为

$$E_\phi = \frac{\rho}{2} \frac{\partial B}{\partial t} \quad (1-48)$$

所以，在  $\rho=R$  的真空环上的电场是

$$E_\phi = \frac{R}{2} \frac{\partial B}{\partial t} \quad (1-49)$$

式中  $E_\phi$  是按旋度方程求解的真空环上的电场， $B$  是真空环上的磁场， $R$  是整个圆面半径。

此式表明：真空环上  $P$  点的磁场  $B(P)$  发生变化，在该  $P$  点产生了电场  $E_\phi(P)$ 。注意到  $\frac{\partial B}{\partial t} =$  常数，则  $E_\phi$  是非时变的。电场力  $eE_\phi$  恰是切向方向，用作加速电子。法向力即向心力仍为洛伦兹磁力  $eVB$ ，于是运用牛顿第二定律，便有

$$eE_\phi = m \frac{dV}{dt} \quad (1-50)$$

$$eVB = m \frac{V^2}{R} \quad (1-51)$$

联解式 (1-49)、(1-50) 和 (1-51)，得到

$$\frac{dB}{dt} = \frac{1}{2} \frac{\partial B}{\partial t} \quad (1-52)$$

即

$$B = \frac{1}{2} B \quad (1-53)$$

显然，此式不成立。这正是本章要达到的目的。无论如何，如果使用麦克斯韦旋度方程  $\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$  的本意来设计电子感应加速器，必然存在无法弥补的缺陷。因为式 (1-53) 并不成立。由此可见，麦克斯韦旋度场理论经不起检验。

### 1.8.3 广义洛伦兹磁力 + 洛伦兹磁力

上述 1.8.1 节是法拉第电场  $E$  作切向力，而洛伦兹磁力  $e\mathbf{V}_e \times \mathbf{B}$  作法向力，是目前大家熟悉的电子感应加速器设计原理，奇怪的是，其法向力使用了洛伦兹磁力而切向力却使用了法拉第电场的电力，所得结论与质量和初速无关。如果那样，不妨设想一下，一枚带电粒子、重  $1\mu\text{g}$ ，以初速  $V_0$  进入  $B = \frac{1}{2} B$  的加速器中；另一枚电子、重  $1.6 \times 10^{-19}\text{g}$ ，也以初速  $V_0$  进入  $B = \frac{1}{2} B$  的加速器中，两种情况的加速效率一样吗？不可能！质量大者肯定其加速较小。可是公式 (1-43) 中没有描述加速度与质量的关系。这就是目前的理论缺陷。



因此本小节设计方法定义为：不仅法向力是洛伦兹磁力，而且切向力也是洛伦兹磁力。

在设计之前，先看一下广义洛伦兹磁力的广义性：

见图 1-47，恒定磁场均匀地分布在圆面上，导体以角速度  $\omega_e$  作顺时针转动，导体上某点的电子的切向速度  $V_e = \omega_e r$ ， $r$  是某电子到圆心的距离。显然金属电子切割了磁力线，受洛伦兹磁力

$$F = eV_e \times B \quad (1-54)$$

在此  $F$  的作用下向圆心  $a$  端移动，使  $b$  端出现了过剩的正电荷。于是说，电动势  $U_{ab}$  的形成机制是电子受洛伦兹磁力的必然结果。

见图 1-45，设导体静止，并设均匀磁场  $B$  以角速度  $\omega_B$  作逆时针转动。显然，导体上金属电子切割磁力线的速度是  $V_e = -V_B$  (对照图 1-44)，这必然受洛伦兹磁力：

$$F = e(-V_B) \times B \quad (1-55)$$

电子  $e$  在  $F$  的作用下向  $a$  端移动，使  $b$  端出现了过剩的正电荷。因此，这种情况下，电动势  $U_{ab}$  的形成机制仍然是电子受洛伦兹磁力的必然结果。

无论如何，在图 1-48 中，尽管  $B$  在转动，但因  $\frac{\partial B}{\partial t} = 0$ ，所以既不能使用法拉第定律，也不能使用麦克斯韦旋度论，只能推断出洛伦兹磁力的另一种形式即式 (1-55)，换言之，式 (1-54) 和式 (1-55) 属于“同样切割”的两种对称情形。

进一步，我们讨论自由电子的两种受力情况。见图 1-49，设磁场静止，电子  $e$  以速度  $V_e$  从内向外作径向运动，显然电子受磁力：

$$F = eV_e \times B \quad (1-56)$$

这恰是切线方向。

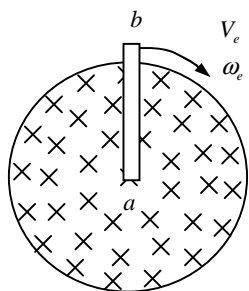


图 1-47 导体转动

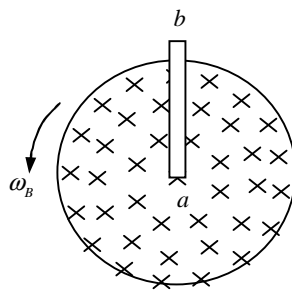


图 1-48 磁场转动

据此，让我们推断“同样切割”的另一情形：见图 1-50，设电子静止，磁场  $B$  以速度  $V_B$  从外向圆心运动 (向圆心收缩)。比方说，环形线圈施加电流  $i = k_1 t$ ，产生的磁场  $B = k_2 t$ ，那么在瞬态过程， $B$  必然是从外向圆心运动的，而且  $V_B = c_0$ 。事实上，电子加速过程是一个瞬态过程，如图 1-50 所示，真空环中的磁场是电流产生的，而线圈中电流速度  $\leq c_0$ 。对于高速电子来说，要想从磁力中获得加速，这必然属于瞬态过程。

虽然磁场向圆心运动，而且大小 ( $B = kt$ ) 是时变的，但磁矢方向没变。类比图 1-49 与图 1-50，不难看出，在径向方向上  $V_e = -V_B$ ，电子切割了高速运动的磁力线。所以图 1-50 中的磁力线以  $V_B$  速度切割了电子，则电子必受广义洛伦兹磁力：

$$F = e(-V_B) \times B \quad (1-57)$$

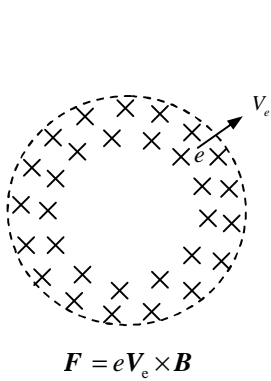


图 1-49 电子从内向外运动

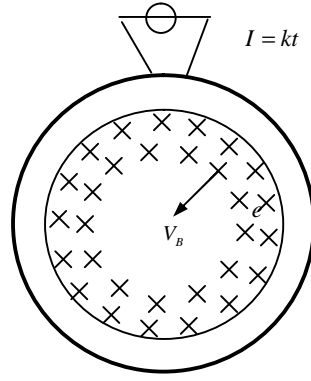


图 1-50 磁力线从外向内运动

这恰是切线方向。只要电子与磁力线存在相对运动，则电子必然切割磁力线而受洛伦兹磁力  $F = eV_e \times B$  和  $F = e(-V_B) \times B$ ，这是对称的缘故。

无论如何，本章认为作这种推理是合理的：只要认可图 1-47，就必然认可图 1-48；只要认可图 1-49，就必然认可图 1-50；只要认可图 1-51，也就必然认可图 1-50。而图 1-50 中的  $F = e(-V_B) \times B$  恰是切线方向，这正是本文要应用的切向加速之力，即洛伦兹磁力的普适性。既然，线性时变电流辐射磁场，其辐射速度是  $c_0$ 。故被加速的  $e$  不可能超出  $c_0$ 。

所以，由于磁场的运动速度不是无穷大，磁力线在作向心辐射运动的过程中，磁力线切割了电子或即电子切割了运动中的磁力线，受洛伦兹磁力  $F = e(-V_B) \times B$  而作切向加速运动；正因电子作切向加速运动  $V_e$ ，又切割了磁力线，所受磁力  $F = eV_e \times B$  恰是法向力。这样一来，切向力和法向力都是洛伦兹磁力。再运用牛顿第二定律，并考虑到  $V_B = c_0$ ，于是有

$$\text{广义洛伦兹磁力作切向力：} \quad ec_0 B = m \frac{dV_e}{dt} \quad (1-58)$$

$$\text{经典洛伦兹磁力作法向力：} \quad eV_e B = m \frac{V_e^2}{R} \quad (1-59)$$

式中  $V_e$  是电子在真空环中的切向速度。联解此两式，得

$$\frac{dB}{dt} = \frac{c_0}{R} B \quad (1-60)$$

即

$$B = k e^{\frac{c_0}{R} t} \quad (1-61)$$

解边界条件： $t=0$ 时， $k=B_0=\frac{mV_0}{eR}$ ，所以

$$B = \frac{mV_0}{eR} e^{\frac{c_0 t}{R}} \quad (1-62)$$

式中  $B$  是真空轨道环上所需磁场强度， $m$  是电子的质量 (这里  $m$  是牛顿质量，在 9.5 节将看到，不存在爱因斯坦的动质量)， $V_0$  是电子进入真空环的初速， $R$  是轨道距离圆面中心的半径， $c_0$  是磁场向圆心运动的辐射速度，这是运用广义洛伦兹磁力而设计出来的电子感应加速器。式 (1-62) 表明：所加磁场强度按指数函数增加；被加速电荷的质量越大，则所需场强越大；被加速电荷的初速越大，要想进一步加速，则所需场强越大；被加速电荷的电量越小，则所需场强越大；加速器轨道半径越小，则所需场强越大。式 (1-62) 表明：第一，证明了广义洛伦兹磁力；第二，否定了法拉第的感生电场；第三，否定了爱因斯坦的相对电磁学。我在这里请求电子感应加速器的科学家们检验式 (1-62) 的合理性。

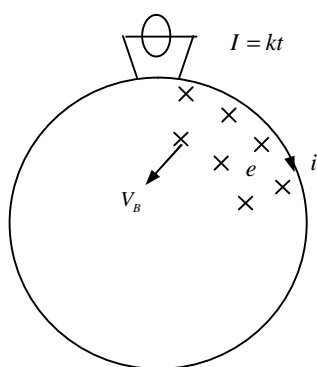


图 1 51 电流与磁场运动

检验式 (1-55) 正确与否的关键是初始磁场  $B_0$  值，因为目前书上介绍，所使用的“法拉第感生场 + 洛伦兹磁力”的设计中没有初始值。如果按照式 (1-62) 给出的磁场，使电子得以加速而且效率最高，则说明该式是正确的，即广义洛伦兹磁力的普适性进一步得到检验。从而也就否定了法拉第的感生电场。

此外，按照式 (1-62) 的设计条件，电荷所获得的速度是  $v = V_0 e^{\frac{c_0 t}{R}}$ ，它将小于光速。这是因为线圈中励磁电流的速度小于光速，那么电子不可能跑到励磁电流的前面，参见图 1-51，所以切向速度  $v$  小于电流的速度，即小于光速。

归纳起来讲，电子感应加速器是客观存在的事实，其理论基础有三种：(1) 如果应用法拉第的  $E_\phi = -\frac{U_\phi}{L} = -\frac{1}{L}(-\frac{d\Phi}{dt})$  和洛伦兹的  $F_n = eV_e \times B$ ，则设计条件是  $B = \frac{1}{2}B$ ，目前都认为这个是设计思想；(2) 如果应用麦克斯维的  $\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$  和洛伦兹的  $F_n = eV_e \times B$ ，则设计条件是  $B = \frac{1}{2}B$ ，因为此式并不成立，所以麦克斯维的旋度方程不是电子感应加速器的设计基

础；(3)如果应用洛伦兹的  $F = e(-V_B) \times B$  和  $F_n = eV_c \times B$ ，则设计条件是  $B = \frac{mV_0}{eR} e^{\frac{c\omega_r}{R}}$ ，本章认为是正确的。即，广义洛伦兹磁力是真实的。

特别注意的是，楞茨定律和法拉第定律仅仅是描述物理行为的现象，它们并非物理本质。到底那一种设计思想是真正的本质？哪一种设计方法能反映客观？可以肯定地说，方法二中的设计条件  $B = \frac{1}{2}B$  是不成立的，因为此式并不相等，可见麦克斯韦的旋度论

$\nabla \times E(p) = -\frac{\partial B(p)}{\partial t}$  不能用于电子感应加速器。大胆的说，麦克斯韦的旋度理论是一错误。

比较方法一与方法三，我认为方法三具有高效性，因为设计条件  $B = \frac{mV_0}{eR} e^{\frac{c\omega_r}{R}}$  与电荷的电量、质量、初速和轨道半径都有关。但方法一只是囫囵吞枣的现象，居然与电荷的质量及电量无关。不妨设想一下，一枚带电钢珠、重 1Kg，以初速  $V_0$  进入  $B = \frac{1}{2}B$  中的加速器过程，加速效率如何？显然无法加速！因此我认为电子感应加速器的设计条件  $B$  应该与带电粒子的电量、质量、初速和真空环的半径有关。即 (1-62) 式是正确的。

## 1.9 广义洛伦兹磁力在电气产品中的应用

本节通过一些工程应用的变压器的变压原理、涡电流的形成机理、霍尔效应以及其它有关物理现象的物理过程进行描述，进一步阐述洛伦兹磁力的广义性。

### 1.9.1 广义洛伦兹磁力在磁发电机中的应用

设导体静止，均匀分布的恒定磁场以角速度  $\omega_B$  作逆时针转动。比较图 1-16 与图 1-17 可知，两者所发生的物理行为是等价的。即，在图 1-17 中，静止导体切割了转动中的磁力线。金属电子在  $F = e(-V_B \times r) \times B$  的作用下沿着导体向  $b$  端漂移，即形成感生电流 (因电子是负电量，则电流恰是从  $b$  到  $a$ )，从而使  $a$  端出现正电压。同理在图 1-52 也是如此。

这是一种直流发电机。需注意的是，闭合电路中的磁通量变化率等于零，除了广义洛伦兹磁力来解释此物理过程以外，没有别的理论可以解释之。

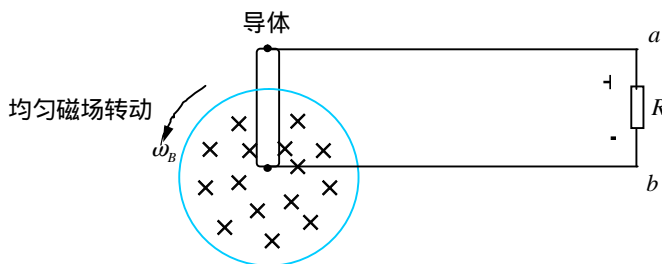


图 1 52 直流发电机

反过来讲，均匀磁力线静止，让导体作顺时针转动（导体与外接线用电刷链接），道理是一样的。直流发电机的物理本质是广义洛伦兹磁力。对于交流发电机，物理本质仍然是洛伦兹磁力，这里不再赘述，读者自行讨论。除了洛伦兹磁力之外，没有任何理论能够解释之。

### 1.9.2 广义洛伦兹磁力在变压器中的应用

#### 1. 两条载流线间的电磁感应

设有两根导线，一根加有线性时变电流或线性时变电压（初级），另一根则为接收线（次级），见下图 1-53。初级辐射的线性时变磁场  $B = k_1 t$  以光速  $c_0$  从左向右运动，并切割次级导线，在广义洛伦兹磁力  $F = e(-V_B) \times B = e(-c_0) \times B$  的作用下，金属电子沿着导线向  $b$  端移动，使端  $a$  出现过剩的正电荷，于是在  $a-b$  两端建立起电动势  $U_{ab} (> 0)$ ，其输入输出波形如图 1-54(a)所示。

同样的，当初级加有线性增加时变电流和线性减少时变电流时，初级辐射的交变磁场以辐射速度  $c_0$  从左向右运动，并切割次级导线，在广义洛伦兹磁力  $F = e(-V_B) \times B = e(-c_0) \times B$  的作用下，金属电子沿着导线而移动，在  $a-b$  两端建立起交变的电动势  $U_{ab}$ ，其输入输出波形如图 1-54(b)所示。这里，虽然它是三角波，但实际上就是线性增加和线性减少的两种时变

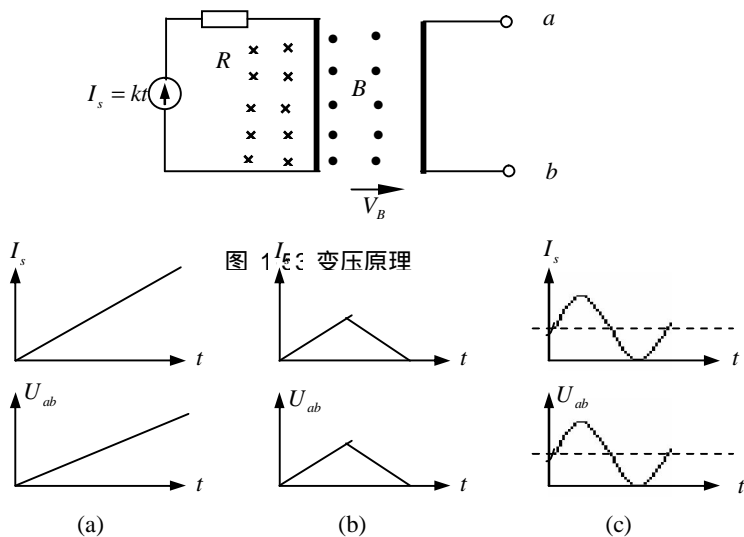


图 1 54 变压器物理本质

情况的组合。既然三角波是这样的感应原理，那么正余弦波的感应原理是相同的。即，当初级加有正余弦时变电流或正余弦时变电压时，初级辐射的正余弦时变磁场以光速  $c_0$  从左向右运动，并切割次级导线，在洛伦兹磁力  $F = e(-V_B) \times B = e(-c_0) \times B$  的作用下，金属电子沿着导线作上下移动，在  $a-b$  两端建立起交变的正余弦电动势  $U_{ab}$ ，其输入输出波形如图 1-54(c)所示。这就是单线变压原理。

这里，我们的考虑是，既然线性时变感应是广义洛伦兹磁力的作用结果，那么三角波时变感应也是广义洛伦兹磁力的作用结果，因为三角波实际上是两个线性时变感应的迭加。与三角波雷同，正余弦波可看作是三角波的“平滑函数”，其输入输出波形如图 1-51(c)所示（对于负半周，由于  $B$  反相，所以感应出来的电流也反相）。这就是单匝变压原理。

2. 两个单匝线圈间的电磁感应。

设有两个单匝线圈，一匝加有线性时变电流或线性时变电压（初级），另一个则为接收线（次级），见下图 1-55，初级辐射的线性时变磁场  $B = k_1 t$  以光速  $c_0$  运动，并切割次级导线，导线在广义洛伦兹磁力  $F = e(-V_B) \times B = e(-c_0) \times B$  的作用下，金属电子沿着导线向  $b$  端移动，使端  $a$  出现过剩的正电荷，于是在  $a-b$  两端建立起电动势  $U_{ab} (> 0)$ ，其输入输出波形参见图 1-54(a)，它表示初级与次级波形。

同样的，当初级加有线性增加的时变电流和线性减少的时变电流时，初级辐射的两种线性时变磁场以光速  $c_0$  运动，并切割次级线圈，次级线圈在洛伦兹磁力  $F = e(-V_B) \times B = e(-c_0) \times B$  的作用下，次级线圈上金属电子沿着导线而移动，在  $a-b$  两端建立起交变的电动势  $U_{ab}$ ，其输入输出波形可参见图 1-54(b)，它表示初级与次级波形。这里，虽然它是三角波，但实际上就是线性增加和线性减少的两种时变情况的组合。

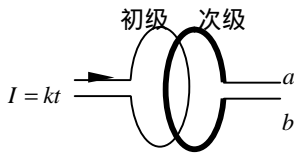


图 1-55 单匝变压器

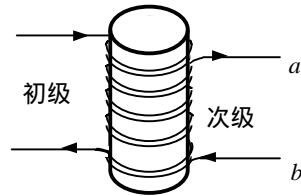


图 1-56 多匝变压器

既然三角波是这样的感应原理，那么正余弦波的感应原理是相同的。即，当初级加有正余弦时变电流或正余弦时变电压时，初级辐射的正余弦时变磁场以光速  $c_0$  运动，并切割次级导线，在广义洛伦兹磁力  $F = e(-V_B) \times B = e(-c_0) \times B$  的作用下，次级线圈上金属电子沿着导线作时变移动，在  $a-b$  两端建立起交变的正余弦电动势  $U_{ab}$ ，其输入输出波形如图 1-54(c)所示。这就是单匝变压原理。

这里，我们的考虑是，既然线性时变感应是广义洛伦兹磁力的作用结果，那么三角波时变感应也是洛伦兹磁力的作用结果，因为三角波实际上是两个线性时变感应的迭加。与三角波相比，正余弦波可看作是三角波的“平滑”，其输入输出波形如图 1-54(c)所示。这就是单匝变压原理。

3. 变压器的变压原理。设有两组线圈，每一组有多匝，一组加有正余弦时变电流或正余弦时变电压（初级），另一组则为接收次级，见下图 1-56，初级辐射的正余弦时变磁场以光速  $c_0$  运动，并切割次级导线，次级导线在广义洛伦兹磁力  $F = e(-V_B) \times B = e(-c_0) \times B$  的作用下，次级线圈上金属电子沿着导线作时变漂移，最终在  $a-b$  两端建立起交变的正余弦电动势  $U_{ab}$ ，其输入输出波形如图 1-54(c)所示。这就是多匝线圈变压原理。

这里，我们的考虑是，既然线性时变感应是洛伦兹磁力的作用结果，那么三角波时变感应也是洛伦兹磁力的作用结果，因为三角波实际上是两个线性时变感应的迭加。与三角波相比，正余弦波可看作是三角波的“平滑”，其输入输出波形如图 1-54(c)所示。这就是变压器的变压原理。

### 1.9.3 广义洛伦兹磁力在涡电流中的应用

设一线圈加有时变电流 (线性增加的、线性减少的、正余弦型的) ,如图 1-54所示，根据上述分析可知，磁场一方面向着线圈四周辐射，另一方面磁场向着线圈中心运动。

在一些电器设备中，常常遇到大块金属体在运动的磁场中，即磁场在大块金属体中运动。见图 1-58, 在一圆柱形铁芯上绕有线圈，当线圈中通有时变电流时，电流产生的磁场向

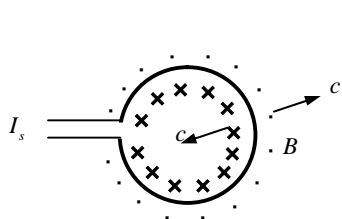


图 1-57 磁力线运动

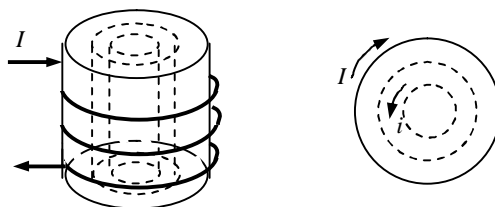


图 1-58 铁芯线圈

图 1-59 涡电流

内向外运动，在磁场向内运动时，金属电子在广义洛伦兹磁力  $F = e(-V_B) \times B = e(-c_0) \times B$  的作用下，使金属体内部产生感生电流，这种电流在金属体内部自成闭合回路，称为涡电流。这里，虽然铁芯是块状，但我们可以设想把铁芯看成是与线圈同心的很多圆筒状的薄壳所组成，每个薄壳自成闭合的导电回路，如图 1-59所示。注意，电流之所以成涡状，完全是因为线圈是环状，多匝线圈向内辐射的磁场是圆筒状。根据  $F = e(-V_B) \times B = e(-c_0) \times B$  可判断出 (注意电子的电量是负的)，感应电流的方向与线圈电流方向相反且平行。这就是铁芯中的涡电流。为了减小涡电流引起的发热，因此需将铁心做成薄片状，减少发热量。

单就涡电流而言，由于麦克斯韦旋度理论是对导体内部的电磁场描述 (见第三章)，因此就计算大小而言可用旋度理论来计算，但物理本质不是场产生场，而是电荷的运动产生场。

### 1.9.4 相互感应中的广义洛伦兹磁力

设有两根导线，一根加有线性时变电流或线性时变电压 (初级)，另一根则为接收线 (次级)，见下图 1-60，初级辐射的线性时变磁场  $B = k_1 t$  以光速  $c_0$  运动，并切割次级导线，在广义洛伦兹磁力  $F = e(-V_B) \times B = e(-c_0) \times B$  的作用下，金属电子沿着导线向  $b$  端移动，使端  $a$  出

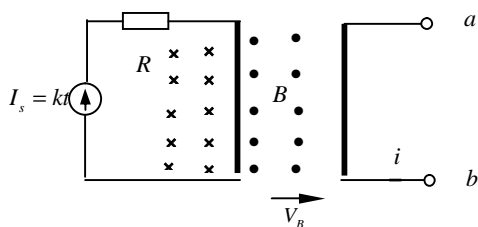


图 1-60 初级辐射磁场

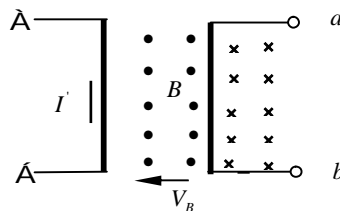


图 1-61 次级辐射磁场

现过剩的正电荷，于是在  $a$ 、 $b$  两端建立起电动势  $U_{ab} (> 0)$ 。这里，次级的金属电子向下运动，而电流  $i$  却是向上流动的。

同样的，次级产生的感应电流也会产生磁场，并且其磁场以速度  $c_0$  向外作扩展运动，并切割左边导线，如图 1-6 所示。从而使左边导线 (原初级，现为次级) 产生新的感应电流  $i'$ ，与 (图 1-60 中的) 原电流方向相反，这个  $i'$  称为反电流，并在  $-$  端建立起反电动势。这就是反电动势形成原理的根本所在。

### 1.9.5 广义洛伦兹磁力在接收天线上的应用

设一微波发射机所发射的电场波和磁场波如图 1-62 所示，并设远处有一接收天线与发射天线平行。现在我们来研究接收天线上的信号电流的形成原理。我们在第四章中已经介绍了，偶极子天线上的时变电流产生了向外辐射的时变磁场、偶极子天线上的时变电荷产生了向外辐射的时变电场。现在参见图 1-62，讨论接受电流的信号形成原理。

1. 广义洛伦兹磁力的作用。设磁矢量到达接收天线上时的矢量方向如图中所示，则接收天线上金属电子在广义洛伦兹磁力  $F = e(-V_B) \times B = e(-c_0) \times B$  的作用下，向上移动 (漂移)，

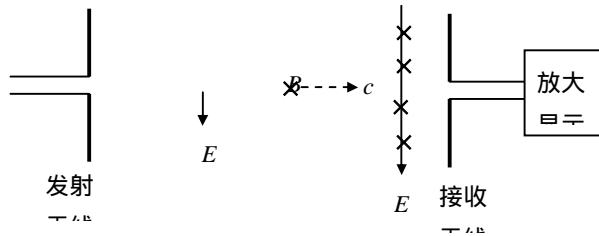


图 1-62 接收矢量场

(注意电子是负值) 从而形成向上的信号电流  $i$ 。如果  $B$  是时变的，则  $F$  和  $i$  也是时变的。

2. 洛伦兹电力的作用。设电场矢量到达接收天线上时的矢量方向如图中所示，则接收天线上金属电子在洛伦兹电场力  $F = eE$  的作用下，向上移动 (漂移)，(注意电子是负值) 从而形成向上的信号电流  $i$ 。如果  $E$  是时变的，则  $F$  和  $i$  也是时变的。

这就是接收天线上信号电流的形成原理： $F = q(-V_B) \times B$

此外麦克斯韦旋度理论无能解释接收天线上的信号电流之形成过程，参见 2.2 节。

### 1.9.6 洛伦兹磁力在霍尔效应中的应用

如图 1-63 所示，导体和磁场都静止，但导体内施加直流  $I$ ，直流方向从  $b$  端到  $a$  端，实验结果发现了电势差  $V_{CD}$ ，原因何在？洛伦兹磁力！由于电流从从  $b$  端到  $a$  端流动，实际上是金属电子从  $a$  端向  $b$  端飘逸，则金属电子受洛伦兹磁力  $F_{横} = eV_q \times B$ ，使  $C$  边出现过剩的正电荷，从而产生电势差  $V_{CD}$ 。

综上所述，洛伦兹电力  $F = qE$ 、洛伦兹磁力  $F = qV_q \times B$ 、广义洛伦兹磁力  $F = q(-V_B) \times B$  在各个电磁学领域中得到了广泛的应用，我们把这后两种洛伦兹磁力写成一个式



子，即为

$$F = q(-V_B) \times B \oplus qV_q \times B \quad (1-63)$$

该式称为广义洛伦兹力。我敢打赌，此式是正确的，因为它与所有电磁学物理行为完全吻合，我们没有任何理由怀疑它的正确性。

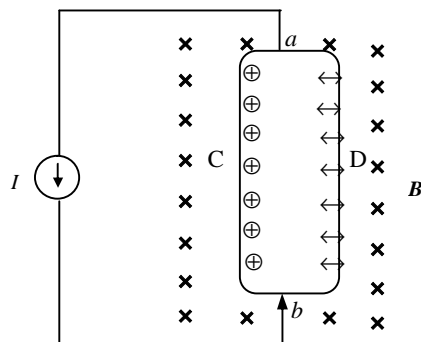


图 1-63(a) 霍尔效应

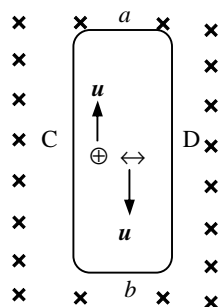


图 1-63(b) 洛伦兹磁力  
产生霍尔效应

图 1-63 霍尔效应

以上分析得出结论如下：无论是金属电子切割磁力线或是磁力线切割金属电子，其物理本质均是电荷受洛伦兹磁力  $F = qV \times B$  的作用结果。特别是当磁铁运动而线圈静止时，运动的磁力线切割了静止的金属电子，所受磁力是  $F = e(-v_B) \times B$ ，这里的“-”号不是本书随意加进去的，而是因为  $B$  的运动方向与线圈的运动方向相反之缘故。因此本章把  $F = ev_e \times B \oplus e(-V_B) \times B$  称为广义洛伦兹磁力，也就是说，无论是线圈运动或者是磁铁运动，金属电子都切割了磁力线，在广义洛伦兹磁力的作用下，金属电子沿着导体漂移而形成感生电流  $I$ ，也正因为电子的漂移才在导体上建立起了感生电动势  $dU = \frac{-I}{\sigma_s} dl$  (欧姆定律) 和

感生电场  $E = \frac{dU}{dL}$  (电场的定义)。也就是说，在电磁感应中， $F$  是原因，导体内的  $I$ 、 $dU$  和

$E$  是现象。本章用这种广义洛伦兹磁力全面而完备的解释了所有的电磁感应 (包括电磁波的反射机理、电磁波接收机理、电子感应加速器和一切电磁感应产品)，并论证了其它任何观点 (包括导体上的感生电流、导体上的感生电动势、自由空间的感生电场以及相对论电磁学) 都不能全面完备的解释电磁感应。全章论证表明，洛伦兹力是事物本质，法拉第电动势和楞次电流是事物的现象，而麦克斯韦的空间感生电场和爱因斯坦的运动者看见电场则是假象。

通过本章论证，电磁感应的本质被统一到“力”上来了，或许有人问我“力的本质”又是什么，我就难以对答了，因为异性相吸是力，同性相斥还是力，两个中性的物体居然也有吸引力，除此之外还有强力、弱力和核力，等等，这就是世界充满“力”的缘故。

还需要补充说明的是，磁力线切割导体，在洛伦兹磁力的作用下形成电流，导体内电流的漂移而形成感生场。同样地，当磁力线切割非导体，在广义洛伦兹磁力的作用下形成分子电流，物质内分子电流的漂移而形成感生场。所谓的运动磁场 (均匀的或非均匀的) 产生电

场，只在物质中才有，这是物质被磁力线激化的结果。两者的差别是量的大小，也就是说导体内感应最强，介质内感应最小。在真空中没有所谓的感生电场。

## 1.10 电介质中的广义洛伦兹力

洛伦兹磁力一般都是指电荷切割磁力线之情况，本章前几节论述了磁力线切割电荷也是洛伦兹磁力。本章节进一步指出，当电介质与磁力线发生“切割”时，分子的等效电矩受洛伦兹磁力的作用发生偏转，在电介质里（特别是面上）将出现正负束缚电荷。

### 1.9.1 介质中的洛伦兹电力

电介质不同于金属导体，在静电平衡条件下，电介质的内部仍能有电场存在。

从物质的电结构看，每个分子都是由带负的电子和带正电的原子核组成，一般地说，正负电荷在分子中都不集中在一点。但是，在远比分子线度为大的距离处，分子中全部负电荷的影响将与一个单独的负电荷等效。这个等效负电荷的位置，称为这个分子的负电荷的中心。同时，每个分子的全部正电荷也有一个相应的正电荷中心。同理，每个分子的全部正电荷也有一个相应的正电荷中心。如果分子的正负电荷的中心不相重合，这样一对距离极近的异号等值的正负点电荷称为分子的等效电偶极子。

我们可把电介质分成两类，在一类电介质中，分子在外电场不存在时，正负电荷中心几乎是重合的。这种电介质称为无极分子电介质，在另一类电介质中，即使在外电场不存在时，分子的正负电荷中心也不相重合。这种电介质称为有极分子电介质。这两类电介质的电极化过程并不相同，现在讨论电极化现象：

由无极分子组成的电介质，例如  $H_2$ 、 $N_2$ 、 $CH_4$  等气体，在外电场作用下，分子的正负电荷中心在洛伦兹电力  $F = qE$  的作用下将发生相对位移，形成电偶极子，这些电偶极子的方向都沿着外电场的方向，因此在电介质的表面上将出现正负束缚电荷，在宏观上，电介质中出现束缚电荷的现象，即所谓电极化现象，外电场愈强，每个分子的正负电荷中心的距离愈大，分子电矩也愈大，在宏观上，电介质表面出现的束缚电荷也愈多，电极化的程度也愈高。

由有极分子组成的电介质，例如  $SO_2$ 、 $H_2O$ 、 $NH_3$ 、有机酸等，虽然每个分子都有一定的等效电矩，但是，在没有外场时，由于热运动，电矩的排列是十分纷乱的，整个电介质呈中性，对外不起作用，如图 1-64 所示。当这种电介质放在外电场中时，每个分子都将受到力矩的作用，即在洛伦兹电力  $F = qE$  的作用下使分子电矩有转向外电场方向的趋势。由于分子热运动，这种转向也仅是部分的，不可能使所有分子全部整齐地按外电场的方向排列。外电场愈强，分子偶极子的排列就愈整齐，在宏观上，电介质表面出现了束缚电荷愈多，电极化的程度也就愈高。如图 1-65 所示。

由无极分子中正负电荷中心相对位移而引起的极化称为位移极化，而由等效偶极子转向

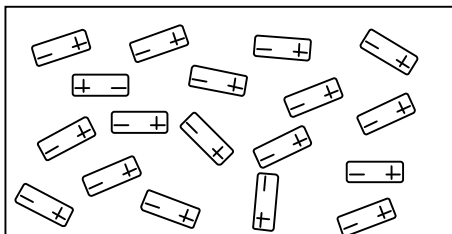


图 1-64 未极化的电介质

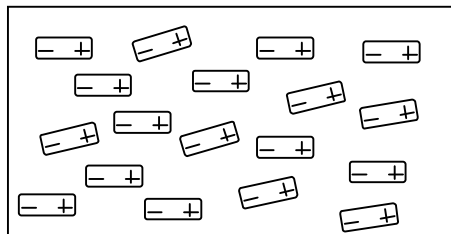


图 1-65 极化后的电介质

外电场而引起的极化称为转向极化。一般来说，在电介极化过程中，这两种极化是可以同时存在的。

由此可见，所谓电极化过程，就是电矩在洛仑兹电力  $F = qE$  作用下的形成过程。如果介质在洛仑兹电力的作用下形成分子电流，则分子电流还可产生磁场。

### 1.9.2 介质中的的广义洛仑兹磁力

对于有极分子如上图 1-66所示，每个分子都有一定的等效电矩，这些电矩在洛仑兹磁力的作用下将发生偏转，我们把电矩的偏转成为磁极化。

**1.有极分子在磁场中运动时的洛仑兹磁力。**如图 1-66所示，磁力线方向垂直于纸面，磁力线从里向外穿出纸面。当有极分子在磁场中向右运动时，电矩在洛仑兹磁力  $F = qV_q \times B$  作用下，正端向下偏转，负端向上偏转，直到电矩与  $F$  平行时，偏转停止，于是有极电介质中几乎所有电矩都整齐的排列成直线，“上负下正”。这就是有极分子中的洛仑兹磁力之作用结果。

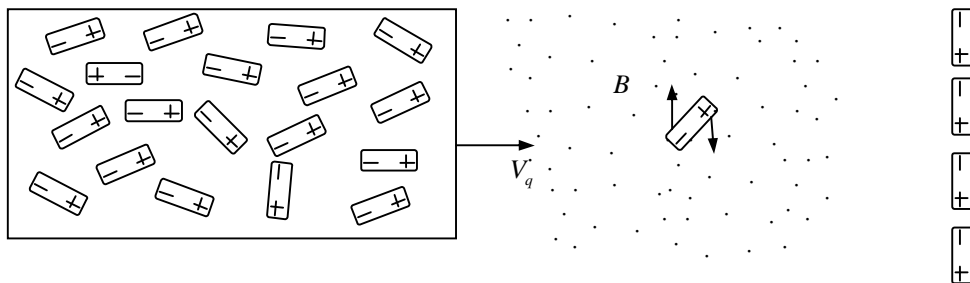


图 1-66 电矩切割磁力线

**2.磁场在有极分子中运动时的广义洛仑兹磁力。**如图 1-67所示，磁力线方向垂直于纸面，磁力线从里向外穿出纸面。当磁场在有极分子中向左运动时，电矩在洛仑兹磁力  $F = q(-V_B) \times B$  作用下，正端向下偏转，负端向上偏转，直到电矩与  $F$  平行时，偏转停止，于是有极电介质中几乎所有电矩都整齐的排列成直线，“上负下正”。这就是有极分子在广义洛仑兹磁力作用下的结果。即，所谓的“动磁场产生电场”。

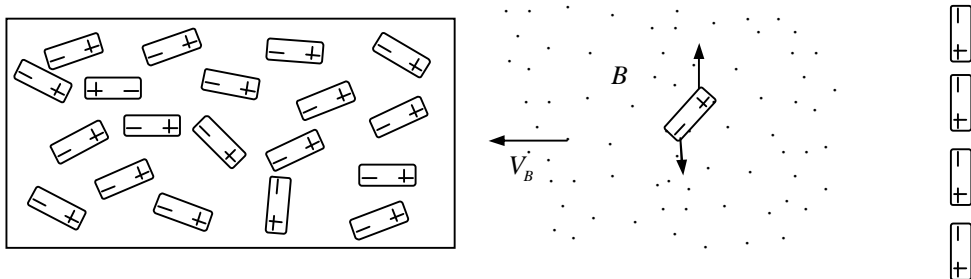
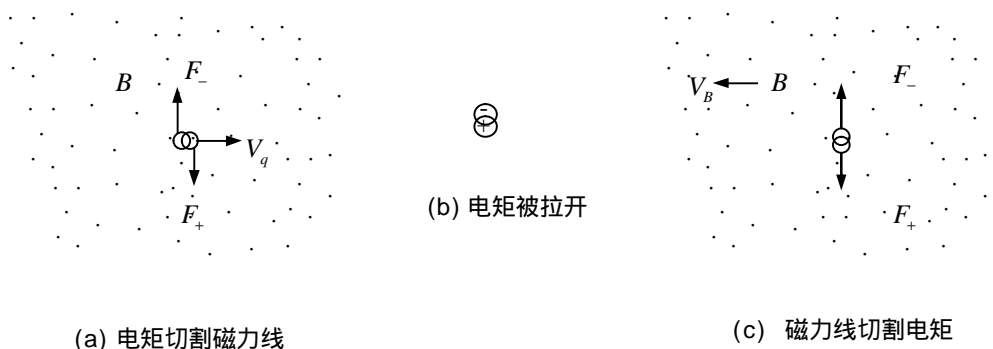


图 1-67运动的磁力线切割电矩

**3. 无极分子中的广义洛伦兹磁力。**如前所述，从物质的电结构看，每个分子都是由带负的电子和带正电的原子核组成，一般地说，正负电荷在分子中都不集中在一点，对于无极分子，虽然正负电荷中心几乎是重合的，但也不是牢不可破的。既然洛伦兹电力能够把正负电荷中心拉开，同样的，洛伦兹磁力也能把正负电荷中心拉开。如图 1-68(a)所示，磁力线



(a) 电矩切割磁力线

(b) 电矩被拉开

(c) 磁力线切割电矩

图 1-68 无极分子受到的广义洛伦兹磁力

穿出纸面，当介质的无极分子向右运动时，无极分子在洛伦兹磁力  $F = qV_q \times B$  的作用下，其正电荷受到向下的拉力，其负电荷受到向上的拉力，使得介质中的等效电矩有规律的排列，这就是磁极化现象，洛伦兹磁力愈强，每个分子的正负电荷中心的距离愈大，分子电矩也愈大，在宏观上，介质表面出现的束缚电荷也愈多，磁极化的程度也愈高。

同样地，如图 1-68(c)所示，磁力线穿出纸面，当磁力线向左运动时，无极分子在广义洛伦兹磁力  $F = q(-V_B) \times B$  的作用下，其正电荷受到向下的拉力，其负电荷受到向上的拉力，使得介质中的等效电矩有规律的排列，这就是磁极化现象，广义洛伦兹磁力愈强，每个分子的正负电荷中心的距离愈大，分子电矩也愈大，在宏观上，介质表面出现的束缚电荷也愈多，磁极化的程度也愈高。磁矩被上下排列之后，这就是 W.Wiensuo 所发现的“动的磁场产生电场”（见文 [1]p45）之原因 -- 广义洛伦兹磁力。

换句还说，无极分子的磁极化与有极分子的磁极化的原理是一样的，区别在于磁极化的结果上有量的大小之差别。有极分子受到的磁极化效果较明显，而无极分子受到的磁极化效果很微弱，甚至无法难以测量。

这里描述的“磁极化”不是“磁化”，一字之差不可混淆。磁极化讲的是介质与磁场发生相对运动时在广义洛仑兹磁力的作用下，介质中电矩发生偏转，从而在介质内部形成电压或定义为单位长度上的电压（电场）。如果洛仑兹磁力是时变的，则在介质中产生的电场也是时变的。也就是说，广义洛仑兹磁力对电介质的作用与洛仑兹电力对电介质的作用，在本质上两者是相同的，其差别仅仅是数量上的大小。进一步，如果介质在广义洛仑兹磁力的作用下形成分子电流，则分子电流还可产生磁场。

在 1.7.3 节中，我们讨论了时变电场在介质表面所发生的反射和折射，其本质是广义洛仑兹电力的作用原理。同样的，时变磁场在介质表面也将发生反射和折射，其作用原理也是广义洛仑兹磁力的作用原理。本章后续内容讨论中，为了节省篇幅，将措词“用独立矢量  $H$  来分析是一样的”，其道理在于此。

作为广义洛仑兹力的新的应用，我们从吸波材料入手，定性解释黑洞问题。假如某种材料对光波或电磁波的反射率很小、吸收率很大。我们能看到这个物质构成的形状吗？显然不行。对于一个由弱反射的物质构成的天体，我们无法用望远镜看见它。对此，我们先从吸波材料入手。如下图 1-69 所示。

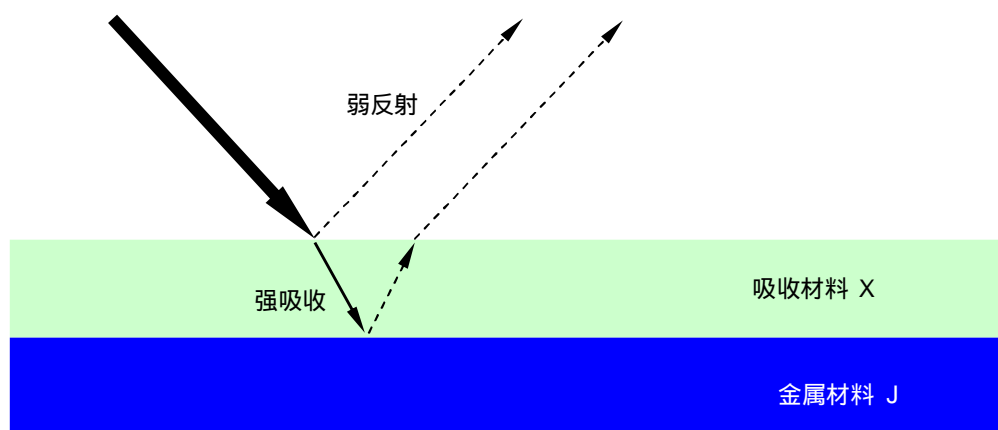


图 1-69 波的反射与折射

因此要想观察者接收不到电波，那么材料必须具有两个特性：第一，材料表面的反射很弱；第二，材料对微波的吸收率很强，两个特性同时具备才能到达目标隐身之目的。

基于上述考虑，我寻找了一种弱反射且具有强吸收能力的的多晶硅材料来做实验，实验结果如下表：

表 1 反射系数测试结果

频率	2.5G	3G	3.5G	4G	5G	10G
材料对微波的反射系数	0.72	0.55	0.39	0.11	0.01	0.005
材料对微波的损耗率	28%	45%	70%	89%	99%	99.995%

根据这个实验，我们可以推理：“黑洞”物质就是一种对于宽频段电磁波具有弱反射和强吸收能力的物质。即使太阳光，但当材料对宽频段光波具有很弱的反射能力而且其吸收能力很强时，那么我们将看不见物体。换句话说，当“太阳能电池设备”的转换效率很高时，它就是一种黑洞物质做成的。我相信，随着材料物理学的发展，我们总可以找到一种反射系数接近于零、吸收系数接近 1 的材料，那时“黑洞”就可以从实验室产生出来。总之，无论时变电场辐射到介质上或者是时变磁场辐射到介质上，都会受到洛伦兹电力和广义洛伦兹力的作用，而产生反射。但是，不同的物质，其反射系数不同，对于反射系数接近零的物质，它所构成的天体，我们无法用望远镜看见它。这也许就是天体物理学领域讲的“黑洞”吧。

本章论述了广义洛伦兹磁力的普适性，如果没有洛伦兹电子论，也就没有卢瑟福的原子结构的行星模型，从而也就没有卢瑟福首次用人工实现的核反应；如果没有基于电子论的洛伦兹磁力，我们的电磁产品就找不到真实的物理原因。我坚信，广义洛伦兹磁力将在应用物理学的研究中发挥巨大作用。现在许多人士包括理论界人士都在忙于技术开发，为国家的经济建设服务(应该的)，也在为个人的腰包服务。但总有一天，广义洛伦兹磁力必将被全世界物理学界承认。总之，我认为洛伦兹是继牛顿、伽利略之后的伟大科学家，“我的变换式中的  $t'$  仅仅是数学假设，不具有真实的物理意义”是洛伦兹实事求是的科学精神之楷模，也是当今科学界发表文章时必须学习的榜样。

本章结论是：基于绝对时空观，考察谁在运动，只要承认  $F = e(\mathbf{v}_q) \times \mathbf{B}$  是正确的，则必然承认  $F = e(-\mathbf{v}_B) \times \mathbf{B}$  是正确的，因此，广义洛伦兹力是电磁感应的物理本质，楞次感生电流和法拉第电动势是事物的现象，而自由空间里的感生电场不存在、相对论电磁学是荒唐。