



上岗之路

领你入门——轻松掌握一技之长

带你上岗——信步迈入职业殿堂

工厂电工 入门

张新武 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



上岗之路

工厂电工入门



夏 雨



机械工业出版社

本书详细介绍了工厂电工入门必备的基础理论知识和操作技能, 主要包括: 电和磁、直流电机、单相交流电路稳态计算、三相交流电、电力变压器和主要高低压设备、异步电动机及控制、电气测量和电气保护、常用机床控制图的识图和现代电气控制技术、供电与配电等。

本书可作为工厂电工初学者自学用书, 还可作为工厂电工上岗培训教材和职业技术学校相关专业教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

工厂电工入门/张新武主编. —北京: 机械工业出版社, 2013. 6
ISBN 978-7-111-42120-7

I. ①工… II. ①张… III. ①电工技术 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 072388 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 陈玉芝 王华庆 责任编辑: 林运鑫

版式设计: 霍永明 责任校对: 张莉娟

责任印制: 张楠

北京京丰印刷厂印刷

2013 年 6 月第 1 版 · 第 1 次印刷

140mm × 203mm · 9 印张 · 238 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-42120-7

定价: 23.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

目 录

前言

第 1 章	电和磁	1
1.1	电生磁	1
1.2	磁场对载流导体的作用力	3
1.3	磁场的基本物理量	5
1.4	磁生电	8
1.5	物质的磁性质	13
1.6	磁路的简单计算	16
1.7	小结	19
	习题	19
第 2 章	直流电机	23
2.1	电机的原理、结构和铭牌	23
2.2	电机的工作机理	28
2.3	直流电机的调整和运行	30
2.4	直流电机的安装及故障检修	32
	习题	39
第 3 章	单相交流电路稳态计算	40
3.1	数学基础	40
3.2	矢量在交流电路中的应用	53
3.3	交流电的表示方法与加减运算	54
3.4	电容	56
3.5	电感	62



3.6 交流电路的计算	67
习题	81
第4章 三相交流电	85
4.1 认识三相交流电	85
4.2 三相电源的供电	89
4.3 三相负载的连接	91
4.4 三相电阻负载及分析	93
4.5 异步电动机负载及分析	98
4.6 电容负载与无功功率补偿计算	101
习题	102
第5章 电力变压器和主要高低压设备	104
5.1 变压器工作原理、损耗和效率	104
5.2 电力变压器	107
5.3 其他特殊变压器	119
5.4 主要高低压电气设备	124
习题	143
第6章 异步电动机及控制	145
6.1 异步电动机	145
6.2 其他电机	157
6.3 电动机运行控制	164
6.4 电动机的起动	177
6.5 电动机的制动	184
6.6 异步电动机的调速	189
习题	194
第7章 电气测量与电气保护	196
7.1 仪表的原理	196
7.2 电工仪表的图形符号、文字符号和测量准确度	199



7.3	电压、电流测量	202
7.4	有功功率、无功功率测量	206
7.5	功率因数表与频率表	212
7.6	电气保护	216
	习题	232
第8章	常用机床控制图的识图和现代电气 控制技术简介	234
8.1	常用机床电气控制图识图	234
8.2	接线图	238
8.3	PLC 简介	240
8.4	变频器、传感器等工控设备简介	245
8.5	PLC 电气控制识图举例	253
	习题	255
第9章	供电与配电	257
9.1	供电	257
9.2	配电	260
9.3	无功功率补偿	266
9.4	接地与地线引入	268
	习题	275
	参考文献	277

第 1 章

电 和 磁

1.1 电生磁

1. 磁场的方向

众所周知，凡是有电流的地方，周围空间就一定有磁场；凡是有电荷的地方，周围空间就一定有电场。从相对论的角度讲，电场和磁场是统一的。

电流产生磁场的磁力线方向与电流方向之间的关系，叫做安培定则，也叫做右手螺旋定则。

1) 直导线通电后，生成磁场的磁力线方向，如图 1-1 所示。

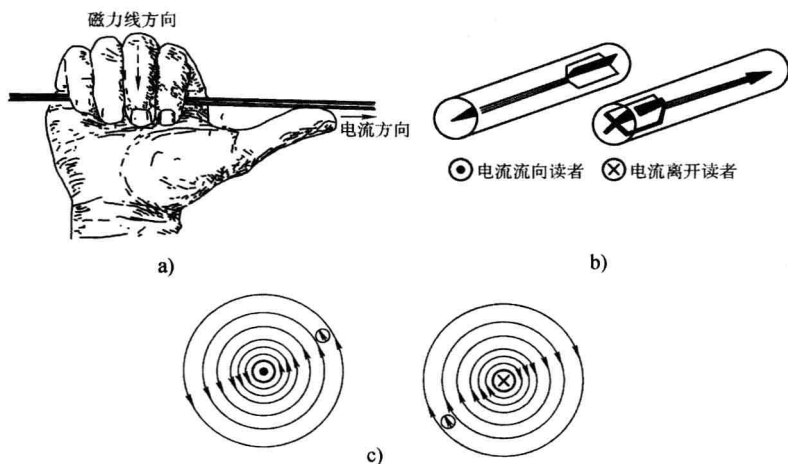


图 1-1 导线中的电流方向和导线周围的磁力线方向示意图



如图 1-1a 所示,用右手定义两个方向:拇指的方向表示电流方向,弯曲四指所指的方向表示产生的磁场的磁力线方向;图 1-1b 为常用箭头表示电流方向的方法;图 1-1c 为常用的电流方向与磁场中磁力线方向的描述。

2) 线圈中的磁场描述,如图 1-2 所示。

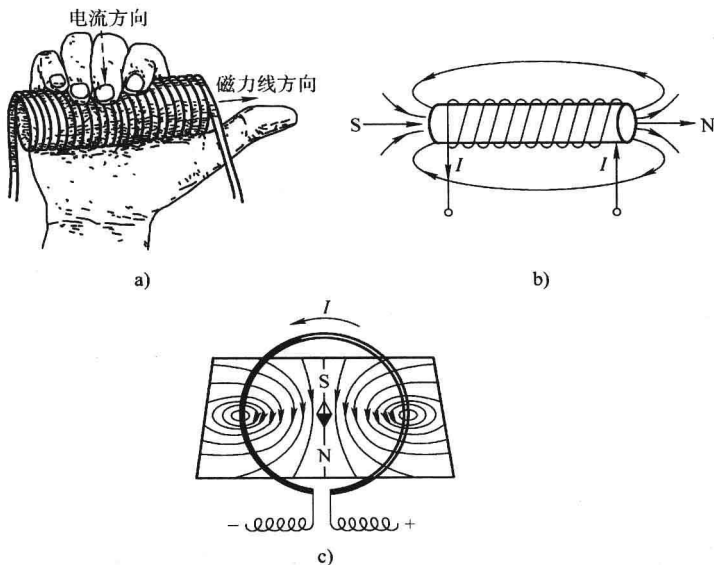


图 1-2 线圈中电流与生成的磁场示意图

图 1-2a 为用右手定则判别电流方向与磁力线方向的方法;图 1-2b 为线圈中电流方向与磁力线方向的描述;图 1-2c 为圆环中电流方向与磁力线方向的描述。

2. 磁场磁性强弱分析

我们知道了电流方向与产生磁场的磁力线方向之间的关系,下面定性分析一下所产生磁场的磁性强弱。

1) 如图 1-1c 所示,离载流导线越近,则磁力线越密,即磁场越强。

2) 如图 1-2b 所示,在通电线圈内部,可近似认为磁力线是



一样密的；在线圈外部，则离线圈越远的地方磁力线越疏。

1.2 磁场对载流导体的作用力

1. 当载流导体电流方向垂直磁力线方向时的受力分析

电场对电荷有力的作用，磁场对载流导体也有力的作用，左手定则可用于定性分析这个过程。磁场磁力线方向、载流导体中电流方向、载流导体受力方向，这三个方向之间的关系，如图1-3所示。

把左手放入磁场中，让磁力线垂直穿入手心，四指指向电流方向，则大拇指的方向则为载流导体受力方向，这就是左手定则。在实践中可以多练几次，就可以掌握。这里的关键是“三垂”：电流方向、载流导体受力方向、磁力线方向三者彼此应相互垂直。

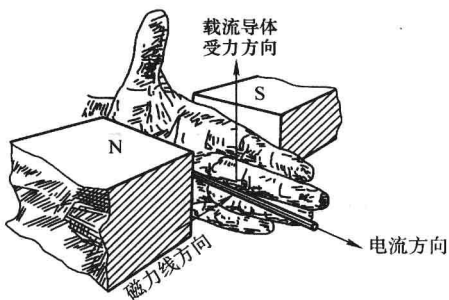


图 1-3 左手定则示意图

2. 当载流导体电流方向不垂直磁力线方向时的受力分析

当载流导体电流方向不垂直磁力线方向时有两种方法判别受力方向。

1) 用左手定则判别受力方向。可将载流导体电流方向分解成垂直于磁力线与平行于磁力线的两个分量，再用左手定则，如图1-4所示。

其中， I 为载流导体的电流方向。 $I_{\perp}$ 与 $I_{\parallel}$ 分别为垂直于磁力线的分量与平行于磁力线的分量。用左手定则分析可得，载流导体受力方向指向纸内。需要说明的是此作用力完全由 $I_{\perp}$ 产生，与 $I_{\parallel}$ 无关。

2) 用右手螺旋定则判别受力方向。我们知道，过一条直线上的一点可作无数条垂线，但过平面上的一点则只能作一条平面



的垂线。

由图 1-4 中受力方向的判别可知：判别受力方向时，关键应找到载流导体与磁力线组成的平面。如果无法组成平面，则不受力。

在图 1-4 中找到由 I 和磁力线构成的平面后，作垂线即可。但平面的垂线有两个方向，究竟哪一个呢？这时可用右手螺旋定则判别，如图 1-5 所示。

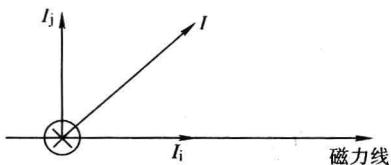


图 1-4 电流的分解

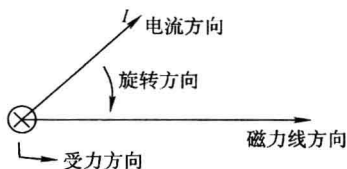


图 1-5 用右手螺旋定则判别载流导体在磁场中的受力方向

图 1-5 中，电流 I 与磁力线组成的平面即纸面。找到该平面后，再用右手螺旋定则判别载流导体受力方向。

如图 1-5 所示，右手四指由电流方向握向磁力线方向大拇指方向为载流导线受力方向。

图 1-5 不满足“三垂”条件，但与按图 1-4 所示的方法分解电流 I ，所求得的结果是一样的。

3. 载流线圈受力分析（见图 1-6）

图 1-6 中，电流线圈组成一个平面，与磁力线成一定角度。

线圈边 ad 和 bc ，按图 1-5 所示的方法进行分析，可得到 F_{da} 与 F_{bc} 。并可动态地对其进行分析，无论线圈

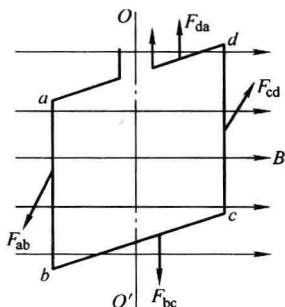


图 1-6 载流线圈的磁场受力分析



怎样转动, F_{da} 与 F_{bc} 都应大小相等、方向相反, 但此两力无法产生力矩, 只能相互平衡抵消。线圈边 ab 与 cd 也可产生两个大小相等、方向相反的力, 同样用图 1-5 所示的方法判断, 此两力应为图 1-6 中的 F_{ab} 与 F_{cd} 。

无论线圈怎样转动, 两边与磁力线组成的平面都平行于纸面, 因而 F_{ab} 与 F_{cd} 应分别指向读者 $\odot$ 与指向纸内 $\otimes$ 。当线圈转到与纸面平行时, F_{ab} 与 F_{cd} 的力臂最大, 因而产生最大力矩; 当线圈转到与纸面垂直时, F_{ab} 与 F_{cd} 的力臂为零, 此时无法形成力矩, 所以只能相互抵消。

4. 载流导体在磁场中的受力公式及其物理意义

磁场对载流导体有力的作用, 这个力的方向前面已介绍过, 而这个力的大小为

$$F = BIL\sin\varphi$$

式中 F ——力, 单位为牛顿 (N);

I ——电流, 单位为安培 (A);

B ——磁感应强度, 单位为特斯拉 (T);

L ——载流导体长度, 单位为米 (m);

φ ——电流方向与磁场磁力线方向的夹角, 单位为度 ($^{\circ}$)。

此公式的物理意义为载流导体在磁场中受力的大小正比于磁场的磁感应强度、载流导体在磁场中的长度、载流导体中流过的电流, 同时还和载流导体与磁场磁力线的夹角 φ 有关。当垂直时, 载流导体受力最大; 当载流导体与磁场磁力线平行时, 受力为零。

1.3 磁场的基本物理量

1. 磁场强度

磁场强度用 H 表示, 单位是安/米 (A/m)。因为它是一个矢量, 所以又可记作 $\vec{H}$ 。

磁场强度的物理意义是磁场强度的大小正比于通电导体的电



流；与产生磁场的通电导体距离有关，距离越远则磁场强度越小；而与磁场中的物质无关。

众所周知，电流能在其周围空间产生磁场，在空间中每一点的磁场都不同，如图 1-1 所示，但空间中每一点的磁场强度 (H) 有可能相同。但如果要计算其大小，明显现有的数学工具是不够的，且作为工厂电工也没有必要。只要能定性地画出磁力线，并知道磁力线在某点的切线方向即该点 $\vec{H}$ 的方向，磁力线越密处 H 值越大，就足够了。

2. 磁导率

我们知道，在线圈中加入铁心，能增大对物体的吸力，这样可以引入磁导率这个概念。

磁导率 μ 是用来表示媒介磁性能的物理量。不同的媒介有不同的磁导率，它的单位为亨/米 (H/m)。在真空中，磁导率是一个常数，用 μ_0 表示，即 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} H/m$ 。空气、木材、玻璃、铜、铝等物质的磁导率与真空的磁导率非常接近。

3. 相对磁导率

相对磁导率用 μ_r 表示，则

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \text{ (无单位)}$$

即其他媒介的磁导率与真空中的磁导率的比值。

$\mu_r < 1$ 的物质叫做抗磁性物质； $\mu_r > 1$ 的物质叫做顺磁性物质； $\mu_r \gg 1$ 的物质叫做铁磁性物质，并且 μ_r 不为常数。

一些常用物质的磁导率表 1-1。

表 1-1 常用物质的磁导率

物 质	相对磁导率	物 质	相对磁导率
钴	174	已经退火的铁	7000
未经退火的铸铁	240	变压器钢片	7500
已经退火的铸铁	620	在真空中熔化的电解铁	12950
镍	1120	镍铁合金	60000
软钢	2180	“C”型坡莫合金	115000



4. 磁感应强度

磁感应强度为

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

式中, B 为磁场的磁感应强度, 单位为特斯拉 (T); 它还有一个常用单位为高斯 (Gs)。

$$1\text{T} = 10^4\text{Gs}$$

1T 即一条 1m 长与磁力线垂直的通电导线, 当通过 1A 电流时, 该带电导体在磁场中受到 1N 的力作用, 即该处的磁感应强度 B 为 1T。

磁感应强度是描述磁场强弱和方向的基本物理量, 因为它是一个矢量, 所以也可记作 $\vec{B}$, 其方向与 $\vec{H}$ 方向相同。

5. 磁通量

磁感应强度 B 和面积 S (垂直于磁力线方向的平面截面积) 的乘积叫做通过这块面积的磁通量, 用 Φ 表示, 即

$$\Phi = BS$$

式中, Φ 的单位为韦 (Wb), 如用高斯制表示, 则为麦克斯韦 (Mx)。

$$1\text{Wb} = 10^8\text{Mx}$$

磁通量的物理意义为:

设某均匀磁场, 作两个相距 L 且垂直与磁力线的截面积 S_1 、 S_2 ; 设 S_1 、 S_2 均为圆形, 且 $S_1 = S_2$; 以这两个截面为底在均匀磁场内作一圆柱体, 如图 1-7 所示。

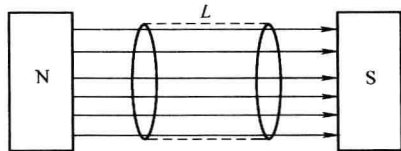


图 1-7 磁通量物理意义

在此圆柱体内的磁场能量正比于通过 S_1 或 S_2 的磁通量, 正比于长度 L 。

6. 小结

1) 由通电导体中电流的大小和方向。可决定其所产生的磁



场中各点的 $\vec{H}$ 值, 并且离导体越远则 $\vec{H}$ 越小, 又根据生成磁场所处的物质环境不同, 磁导率 μ 不同, 可确定磁场中各点的 $\vec{B}$ 值。如果在磁场中作一截面, 当截面积内各点的磁场强度是相等的, 可 $\Phi = BS$ 求出磁通量。

2) 我们又学习了一些新的与磁场相关的物理量, 它们常用的计量单位制有工程单位制与高斯制, 见表 1-2。

表 1-2 磁场实用单位

名 称	符号与单位		换 算
磁导率	μ , 亨/米 (H/m)		$\mu = \mu_r \mu_0$
真空中的磁导率	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ 亨/米 (H/m)		
相对磁导率	μ_r (无单位)		
	工程单位制	高斯单位制	
磁感应强度	B , 韦/米 ² (Wb/m ²), 特 (T)	高斯 (Gs)	$\text{Wb/m}^2 = 10^4 \text{Gs}$
磁场强度	H , 安/米 (A/m)		
磁通量	Φ , 韦 (Wb)	麦克斯韦 (Mx)	$1 \text{Wb} = 10^8 \text{Mx}$

书中的公式如无特别说明, 均采用工程单位制。

单位制给物理量计算提供了方便。在已经知道的一些力学、电学的单位中, 如秒、牛顿、焦耳、欧姆、安培等都是工程单位制。在运用公式时, 只要先统一单位制, 再进行运算即可。

1.4 磁生电

前面已经介绍了电生磁, 现在介绍磁生电, 磁生电有两层含义:

1) 将其他形式的能 (如机械能) 转换成电能, 此处磁场起媒介作用 (如机械能 $\rightarrow$ 磁能 $\rightarrow$ 电能)。

2) 磁场能量直接变成电能。

1. 感应电动势的方向

1) 导体在磁场中做切割磁力线运动时, 在导体两端产生感应电动势。右手定则是描述电动势方向、磁场中磁力线方向和导线运动方向三个矢量之间的方向关系如图 1-8 所示。

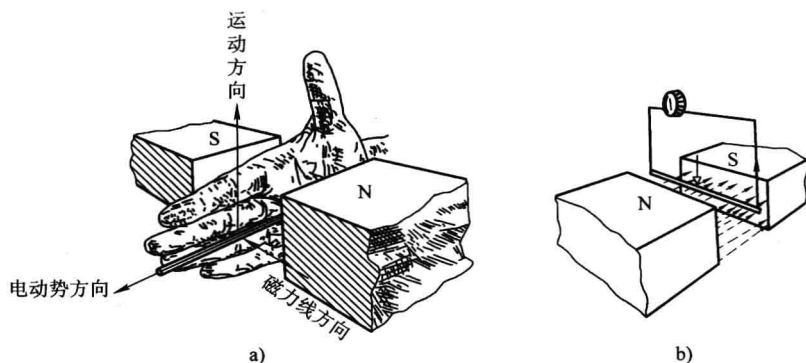


图 1-8 右手定则示意图

- a) 右手定则——大拇指方向表示导线运动方向，其余四指的指向表示感应电动势方向 b) 导线切割磁力线就会产生电动势

图 1-8a 所示为右手定则。其判别方向的方法与左手定则的判别方向方法一样，只需将左手改为右手、电流改为感应电动势、受力方向改为运动方向即可。

图 1-8b 是电动势产生的原理，此方法同样需“满足三垂”条件。

2) 在图 1-8b 中，如果导体不是垂直切割磁力线，而是成一定角度切割会怎样呢？

这时，“三垂”无法成立，但导体中感应电动势方向垂直于磁力线与运动方向组成的平面，且满足：将导体运动方向分解成平行于磁力线方向运动分量与垂直于磁力线方向运动分量；先取磁力线方向和运动的垂直分量方向，再按右手定则来判别感应电动势方向，如图 1-9 所示。

图 1-9 中，与磁力线平行的运动分量无法切割磁力线，因而不会产生感应电动势。

3) 线圈转动产生感应电动势如图 1-10 所示。

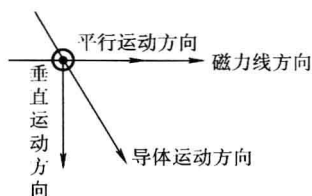
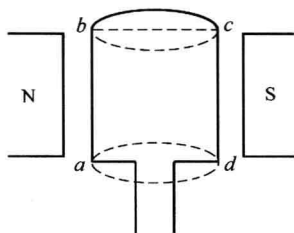


图 1-9 运动方向分解

图 1-10 转动线圈产生
感应电动势

在线圈转动时，线圈的两边（边 ab 与边 dc ）分别相应地运动，如此产生感应电动势的方向相反。

2. 感应电动势的大小

1) 感应电动势的产生本质上是通过磁的媒介作用将机械能转变成电能，当运动导体切割磁力线的速度为 v ，导体的长度为 L 时，所产生感应电动势的大小与切割磁力线所成的角度 φ 有关。同时，与磁感应强度 B 成正比，即产生的电动势 E 为

$$E = BLv \sin \varphi$$

以上单位均采用工程单位制，如果采用高斯单位制表示，则为

$$E = BLv \sin \varphi \times 10^{-8}$$

式中 E ——感应电动势，单位为伏（V）；

L ——导线的有效长度，单位为厘米（cm）；

B ——磁感应强度，单位为高斯（Gs）；

v ——导线运动的速度，单位为厘米/秒（cm/s）；

φ ——运动导线切割磁力线的方向角。

2) 计算举例。已知磁场的磁感应强度为 8000Gs，导线的有效长度为 0.15m，导线在垂直于磁力线的方向上运动的速度为 20m/s，求导线上产生的感应电动势大小。

选用高斯单位制计算，即 $B = 8000\text{Gs}$ ； $L = 15\text{cm}$ ； $v = 2 \times 10^3\text{cm/s}$ ； $\sin \varphi = 1$ 。

代入公式可得



$$E = BLv \sin \varphi \times 10^{-8} = 8000 \times 15 \times 2 \times 10^3 \times 10^{-8} \text{ V} = 2.4 \text{ V}$$

显然，导线切割磁力线是前面介绍的磁生电的第一层含义。

3. 楞次定律

我们已经知道直导体在磁场中运动可以产生感应电动势，线圈在磁场中转动也可以产生感应电动势。下面分析一下静止线圈中是如何产生感应电动势的。

(1) 分析方向问题 这个问题又分两步：

1) 图 1-11 中磁体上、下运动时，线圈中的感应电流也会产生磁场。并且线圈中感应电流产生的磁场总是试图阻止原有磁通的变化，这样就可以知道感应磁场的方向。

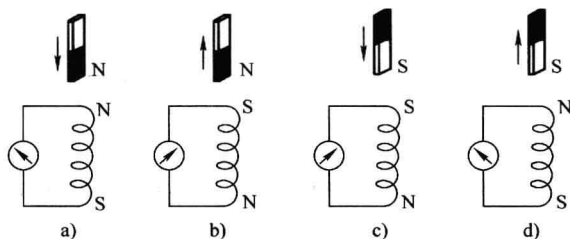


图 1-11 磁铁在线圈中运动，线圈中感应电流产生磁场的方向

2) 根据感应电流产生磁场的方向，用右手螺旋定则可知感应电流方向（感应电动势方向见图 1-12）。

了解感应磁场方向后，判别感应电流（或感应电动势）方向的方法，如图 1-12 所示。只不过这里是先知道磁力线方向，后判别电流方向；而在本章 1-1 节中是先知电流方向后判别所产生的磁场磁力线方向。

从本质上看，它同样属于磁生电的第一层含义机械能→磁场→电能。

(2) 了解数量关系

$$E = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - \frac{N\Phi_2 - N\Phi_1}{\Delta t}$$