

无师自通 系列书

电工 基础知识

贾智勇 编著



$$R=U^2/P=220^2/50=968(\Omega)$$
$$I=P/U=50/220=968(A)$$



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

无师自通 系列书

电工 基础知识

贾智勇 陈红军 赵丽娟 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书主要介绍电工在日常作业中必须掌握的基础知识和基本技能, 主要内容包括电工必须掌握的基础知识、电工应该掌握的电子基础知识、电工常用工具使用及注意事项、电工常用仪表使用、低压电器与电气元件、电工计算、电工识图、电动机及应用、变频器及应用、PLC及应用和安全用电。

本书力求讲清电工需要掌握的基本概念和原理, 使读者在知道怎么做的基础上进一步明白为什么。书中重点讲解了电工常用计算和电工识图, 这也是电工工作的必备知识。另外, 本书也针对中高级电工讲解了变频器和 PLC 的基础知识, 相信对他们的工作也会有一定帮助。本书可作为电工培训教材, 也可供电工爱好者自学使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工基础知识 / 贾智勇编著. —北京: 中国电力出版社, 2012.10
(无师自通系列书)

ISBN 978-7-5123-3640-7

I. ①电… II. ①贾… III. ①电工学 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 247724 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 1 月第一版 2013 年 1 月北京第一次印刷

850 毫米 × 1168 毫米 32 开本 10.75 印张 280 千字 2 插页

印数 0001—3000 册 定价 25.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

各行各业对从业人员都有自己特有的职业技能要求。从事电工作业的技术人员更要熟练地掌握本行业、本岗位的职业技能，在掌握一般操作技能的同时，还应具备一定的包括基础知识在内的职业素质，才能胜任工作，夯实基础，为将来本人技术水平的提升做好准备，为社会做出应有的贡献，实现自己的人生价值。

本书主要内容包括：电工必须掌握的基础知识、电工应该掌握的电子基础知识、电工常用工具使用及注意事项、电工常用仪表使用、低压电器与电气元件、电工计算、电工识图、电动机及应用、变频器及应用、PLC及应用、安全用电。

本书图文并茂，内容丰富，详细介绍了电工应当掌握的基础知识。本书编写过程中注意了以下几点。

第一，知识的先进性。对电工基础、电子技术进行讲解的同时，也介绍了变频器及 PLC 的知识。

第二，叙述的条理性和通俗性。按照循序渐进的原则，由浅入深地进行了较详细的说明，文字简练，通俗易懂。读者通过本书的学习，一方面能对电工基础知识有一个整体的认识，不仅仅局限于工作怎么做，还可以扩展到知道这么做的原因，以提升操作的正确性、规范性；另一方面，读者还可借此书获得学习的能力，这在当前这个知识更新如此之快的时代显得尤为重要。

本书编写过程中，编者参考了大量的书刊和有关资料，并从中引用了一些图表数据，在此一并向这些书刊的作者和资料的提供者表示衷心感谢。由于编者水平有限，疏漏与不妥之处难免，敬请广大读者与同仁不吝指教。

编著者

前言

第一章 电工必须掌握的基础知识	1
第一节 电荷的产生	1
第二节 电压	2
第三节 电流	3
第四节 电阻	5
第五节 电容和电容器	6
第六节 右手螺旋定则	8
第七节 左手定则	9
第八节 右手定则	10
第九节 交流电的工作原理	11
第十节 三相交流电的工作原理	13
第十一节 三相四线制供电线路	14
第十二节 星形接法	15
第十三节 三角形接法	17
第二章 电工应该掌握的电子基础知识	19
第一节 二极管	19
第二节 三极管	23
第三节 单管基本放大电路	31
第四节 单相整流电路	36
第五节 滤波电路	40
第六节 稳压电路及集成稳压器	42
第七节 集成运算放大电路的应用	47
第三章 电工常用工具使用及注意事项	55
第一节 验电器	55

第二节	螺丝刀（螺钉旋具）	56
第三节	钢丝钳	57
第四节	尖嘴钳	58
第五节	电工刀	58
第六节	紧线器	59
第七节	剥线钳	59
第八节	梯子	60
第九节	腰带、保险绳和腰绳	61
第十节	脚扣	61
第十一节	电烙铁	62
第四章	电工常用仪表使用	64
第一节	万用表	64
第二节	钳形电流表	75
第三节	绝缘电阻表	76
第五章	低压电器与电气元件	80
第一节	熔断器	80
第二节	低压断路器	83
第三节	瓷底胶盖刀开关	84
第四节	铁壳开关	85
第五节	组合开关	86
第六节	交流接触器	87
第七节	热继电器	89
第八节	中间继电器	91
第九节	按钮	92
第十节	万能转换开关	93
第十一节	行程开关	94
第十二节	凸轮控制器	98
第六章	电工计算	101
第一节	交流电路计算	101
第二节	直流电路计算	106

第三节	变压器常用计算	114
第四节	电动机常用计算	117
第五节	导线的截面选择计算	120
第六节	高、低压电器选择计算	126
第七章	电工识图	130
第一节	电气常用文字符号及图形符号新旧标准对照	130
第二节	电气制图的组成	137
第三节	电气图的基本表示方法	139
第四节	看电气图的基本要求和步骤	146
第五节	常用机床电路识读	149
第八章	电动机及应用	174
第一节	三相异步电动机构造铭牌	174
第二节	异步电动机的常见故障及排除方法	182
第三节	直流电动机结构、分类及工作原理	186
第四节	直流电动机常见故障及处理方法	197
第九章	变频器及应用	202
第一节	变频调速原理	202
第二节	变频器电路图	211
第十章	PLC 及应用	222
第一节	PLC的原理	222
第二节	西门子 S7-200PLC元件介绍	244
第三节	西门子 S7-200PLC的基本指令及举例	249
第四节	西门子 S7-200PLC指令简介及指令表	269
第五节	用 PLC改造继电器控制线路	291
第十一章	安全用电	312
第一节	电流对人体的伤害	312
第二节	常见触电方式	314
第三节	触电防护技术和触电急救	317

第一章

电工必须掌握的基础知识

第一节 电荷的产生

构成一切物质的基础是原子，而原子是由原子核及围绕原子核旋转的电子组成的。原子核带正电荷。环绕原子核旋转的电子带负电荷。所有电子的大小、质量和电荷都是完全一样的。不同的化学元素，原子的结构也不同。如图 1-1 (a) 所示为几种原子结构。原子中存在原子核所带正电和电子所带负电互相吸引作用，所以电子环绕原子核运动而不从原子中飞出去。

完整的原子，原子核所带的正电荷，刚好等于它外围所有电

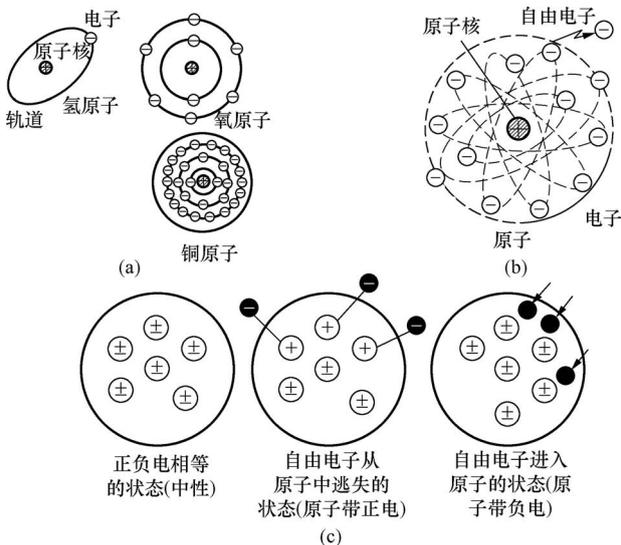


图 1-1 电荷的产生

(a) 原子不同结构；(b)、(c) 电子运动状态

子所带的负电荷，所以整个原子就是一个不带电的、电性中和的粒子。应该注意的是：金属元素的原子中电子数目比较多，它们分布在几层轨道上，如图 1-1 中的金属原子所示，那些靠近原子核轨道上的电子与原子核的吸引力就比较强，所以不容易脱离原子核。但是最外层轨道上的电子，受核的吸引力比较弱，就很容易脱离原子核的束缚，跑到轨道外面去，成为“自由电子”。这些自由电子在原子间穿来穿去做着没有规则的运动，如图 1-1 (b) 所示。原子失去了最外层电子后，它的电中性就破坏了，这个原子就带正电，称为正离子。飞出轨道的电子也可能被另外的原子所吸收，这个吸收了额外电子的原子就带负电，称为负离子，如图 1-1 (c) 所示。原来处于中性状态的原子，由于失去电子或额外地获得电子变成带电离子的过程，叫做电离。

↓ 第二节 电 压

众所周知，河水总是从高处流向低处。因此要形成水流，就必须使水流两端具有一定的水位差，即水压，如图 1-2 (a) 所示。与此相似，在电路里，使金属导体中的自由电子做定向移动形成电流的原因是导体的两端具有电压。电压是形成电流的必要条件之一。自然界物体带电后就会带上一定的电压，一般情况下，物体所带正电荷越多则电位越高，如果把两个电位不同的带电体用导线连接起来，电位高的带电体中的正电荷便向电位低的那个带电体流去，于是导体中便产生了电流。

在电路中，任意两点之间的电位差，称为该两点间的电压。电压分直流电压和交流电压。电池上的电压为直流电压，它是通过化学反应维持电能量的，电池电压如图 1-2 (b) 所示。而交流电压是随时间周期变化的电压，发电厂的电压一般为交流电压，这种电压就是我们常用的交流电。

所谓电压是指两点之间的电压，它是以认定的某一点作为参考点。所谓某点的电压，就是指该点与参考点之间的电位差。一般来说，在电力工程中，规定以大地作为参考点，认为大地的电

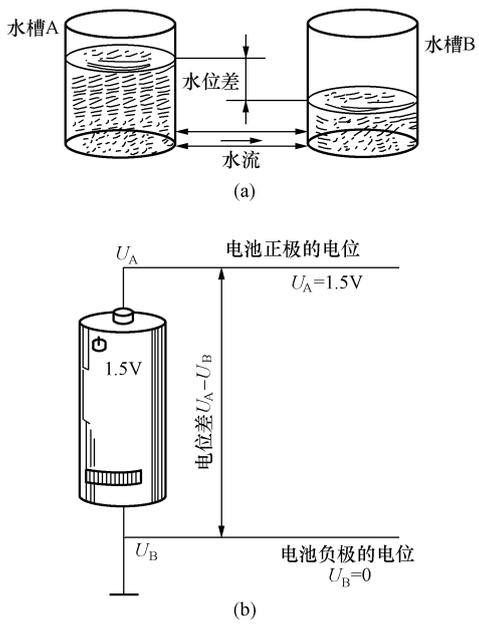


图 1-2 电压

(a) 水压；(b) 电池电压

位等于零。如果没有特别说明，所谓某点的电压，就是指该点与大地之间的电压。电压用字母 U 来表示，其单位是伏特，用符号“V”来表示，大的单位可用千伏（kV）表示，小的单位可用毫伏（mV）表示。它们之间的关系为

$$1\text{kV} = 1000\text{V}, 1\text{V} = 1000\text{mV}$$

我国规定标准电压有许多等级，安全电压为 12、36V，民用市电单相电压 220V、三相电压为 380V，城乡高压配电电压有 10kV 和 35kV，输电电压有 110、220、330kV 和 500kV 等。

↓ 第三节 电 流

在各种金属中都含有大量的自由电子，如果将金属导体和一个电源连接起来时，导体中的自由电子（负电荷）就会受到电

池负极的排斥和正极的吸引，使它们朝着电池正极运动，如图 1-3 (a) 所示。自由电子的这种有规则的运动，形成了金属导体中的电流。习惯上人们都把正电荷移动的方向定为电流的方向，它与电子移动的方向相反，这点请大家注意。

在现实中，通常要知道电路中电流的大小。电流的大小可以用每单位时间内通过导体任一横截面的电荷量来计算，称为电流强度，简称电流。电流强度的单位是安培 (A)，它是这样规定的，1s内通过导体横截面上的电荷量 Q 为 1 库仑 (注：1 库仑相当于 6.242×10^{18} 个电子所带的电荷量)，则电流强度就是 1A，即 $1\text{A} = \frac{1\text{C}}{1\text{s}}$ 。

在实际工作中，还常常用到较小的单位，如毫安 (mA) 和微安 (μA)，它们的关系是

$$1\text{A} = 1000\text{mA}, 1\text{mA} = 1000\mu\text{A}$$

大小和方向都不随时间变化的电流，称为直流电流，如图 1-3 (b) 所示；大小和方向均随时间作周期性变化的电流，称为交流电流，如图 1-3 (c) 所示。在实际生活中，我们最常用交流电。

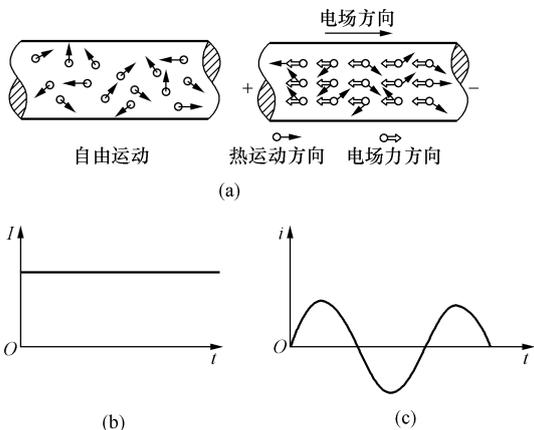


图 1-3 电流

(a) 自由电子运动；(b) 直流电流；(c) 交流电流

↓ 第四节 电 阻

自由电子在导体中沿一定方向流动时，不可避免地会受到阻力，这种阻力是自由电子与导体中的原子发生碰撞而产生的。导体中这种阻碍电流通过的阻力叫做电阻，电阻用符号 R 或 r 表示。

电阻的基本单位是欧姆，用“ Ω ”来表示。如果在电路两端所加的电压是 1 伏特（V），流过这段电路的电流是 1 安培（A），那么这段电阻就定为 1 欧姆（ Ω ）。在日常应用中，如果电阻较大，常常采用较大的单位——千欧（ $k\Omega$ ）和兆欧（ $M\Omega$ ），关系如下

$$1k\Omega = 10^3\Omega, 1M\Omega = 10^6\Omega$$

图 1-4 所示为各种电阻图形及符号。

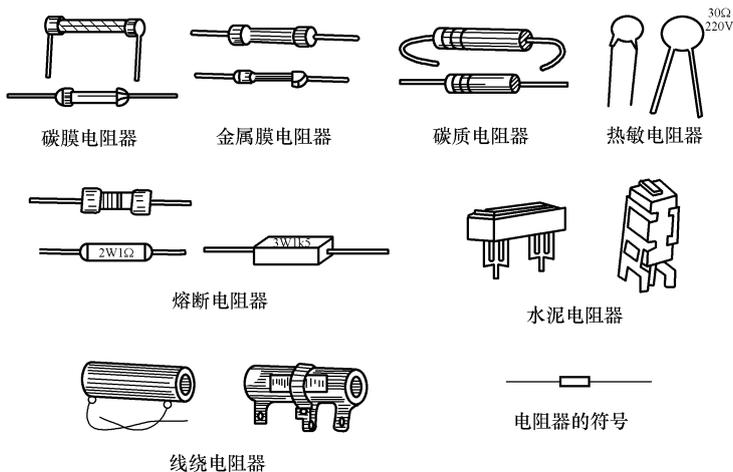


图 1-4 电阻

导体电阻的大小与制成物体的材料、几何尺寸和温度有关。一般导线的电阻可由以下公式求得

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

式中： l 为导线长度， m ； S 为导线的横截面积， mm^2 ； ρ 为电阻系数，也叫做电阻率， $\Omega \cdot mm^2 / m$ 。

电阻系数 ρ 是电工计算中的一个重要物理常数，不同材料物体的电阻率各不相同。电阻系数直接反映着各种材料导电性能的好坏。材料导电性能越好，它的电阻系数越小，反之也是，常用导体材料的电阻系数见表 1-1。

表 1-1 常用金属的电阻系数 (20°C)

材料	电阻系数 / ($\Omega \cdot mm^2 / m$)	材料	电阻系数 / ($\Omega \cdot mm^2 / m$)
银	0.016 5	铅	0.222
铜	0.017 5	铸铁	0.5
钨	0.055 1	黄铜	0.065
铁	0.097 8	铝	0.028 3

↓ 第五节 电容和电容器

当两个导体的中间用绝缘物质隔开时，就形成了电容器。组成电容器的两个导体叫做极板，中间的绝缘物是介质。电容器外形及符号如图 1-5 (a) 所示。

电容器是一种储存电荷的容器。如图 1-5 (b) 所示，把电容器和直流电源接通，在电场力的作用下，电源负极的自由电子将向与它相连的 B 极板上移动，使 B 极板带有负电荷；而另一极板 A 上的自由电子将向与它相连的电源正极移动，使 A 极板带有等量的正电荷。这种电荷的移动要持续到极板间的电压与电源电压相等时为止。这样，电容器储存了一定的电荷。我们把电容储存电荷的过程叫做电容器的充电。

将充好电的电容器 C 通过电阻 R 接成闭合回路，如图 1-5 (c) 所示，由于电容器储存着电场能量，两极板间有电压 U_C ，可

以等效为一个直流电源。在电压 U_C 作用下，极板 B 上的电子就会跑向极板 A 上与正电荷中和，极板上的电荷逐渐减少， U_C 逐渐降低，直到 $U_C = 0$ 时，电荷释放完毕。这一过程称为电容器的放电。

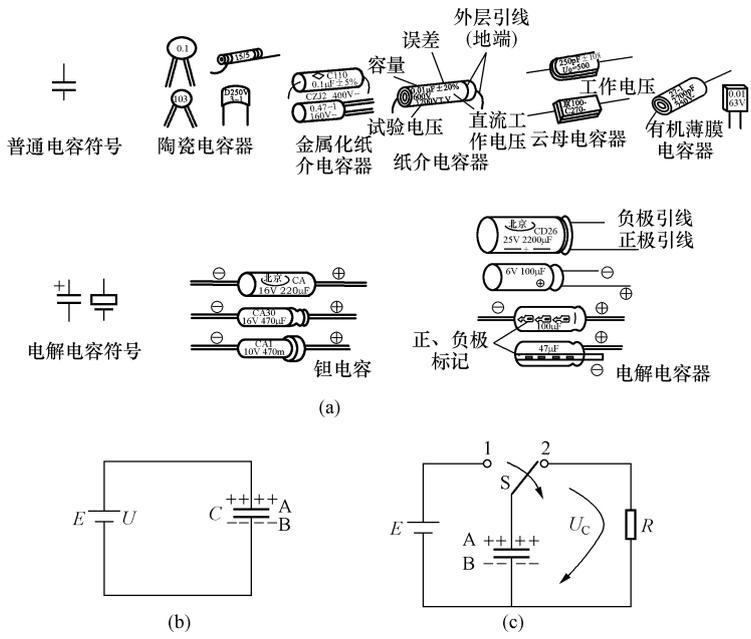


图 1-5 电容和电容器

(a) 电容器外形符号；(b) 电容器充电；(c) 电容器放电

电容器既然是一种储存电荷的容器，它的容量是有大小的。为了比较和衡量电容器本身储存电荷的能力，可用每伏电压下电容器所储电荷量的多少作为电容器的电容量，电容量用字母 C 表示，即

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

式中： C 为电容器的电容量； Q 为极板上的电荷量； U 为电容器两端的电压。

若电压 U 的单位为伏特，电荷量 Q 的单位为库仑，则电容

量的单位为法拉，用“F”表示。

在实际应用中，法拉这个单位太大，所以很少使用，一般使用微法（ μF ）和皮法（PF）为单位，它们的关系是

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

↓ 第六节 右手螺旋定则

法国物理学家安培通过实验确定了通电导线周围磁场的形状。他把一根粗铜线垂直地穿过一块硬纸板的中部，又在硬纸板上均匀地撒上一层细铁粉。当用电池给粗铜线通上电流时，用手轻轻地敲击纸板，纸板上的铁粉就围绕导线排列成一个个同心圆，如图 1-6（a）所示。仔细观察就会发现，离导线穿过的点越近，铁粉排列得越密。这就表明，离导线越近的地方，磁场越强。如果取一个小磁针放在圆环上，小磁针的指向就停止在圆环的切线方向上。小磁针北极（N极）所指的方向就是磁力线的方向。改变导线中电流的方向，小磁针的方向也跟着倒转，说明磁场的方向完全取决于导线中电流的方向。电流的方向与磁力线的方向之间可用右手螺旋定则来判定，如图 1-6（b）所示。把右手的大拇指伸直，四指围绕导线，当大拇指指向电流方向时，其四指所指的方向就是环状磁力线的方向。

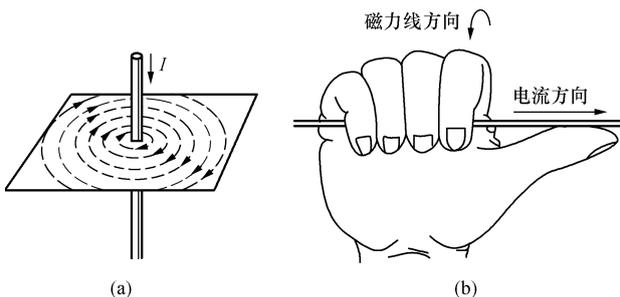


图 1-6 通电直导线

(a) 通电直导线周围的磁场；(b) 右手螺旋定则示意图

第七节 左手定则

取长度为 l 的直导体，放入磁场中，使导体的方向与磁场的方向垂直。当导体通过电流 I 时，就会受到磁场对它的作用力 F ，这种磁场对通电导体产生的作用力叫电磁力，如图 1-7 (a) 所示。实验证明，电磁力 F 与磁场的强弱、电流的大小以及导体在磁场范围内的有效长度有关。

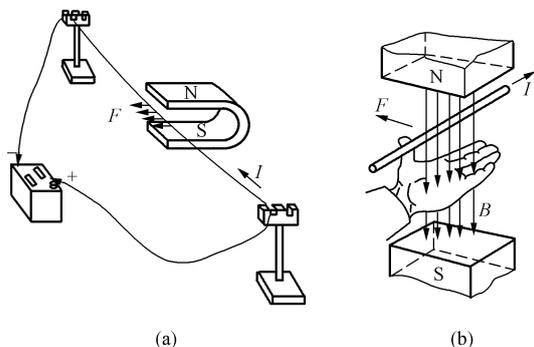


图 1-7 电磁力与磁感应强度 (左手定则)

(a) 电磁力；(b) 左手定则示意图

应用电磁力的概念可以导出一个用以衡量磁场强弱的物理量——磁感应强度。取一根长 1m 的直导体，如果通过导体的电流为 1A ，放到不同的磁场中或磁场的不同部位，就会发现，这根通电导体所受到的电磁力各不相同。因此，磁场内某一点磁场的强弱，可用长 1m 、通有 1A 电流的导体上所受的电磁力 F 来衡量（导体与磁场方向垂直），定义为磁感应强度，用符号“ B ”来表示，即

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

式中： F 为电磁力， N (牛顿)； I 为电流， A (安培)； l 是导体长度， m (米)。此时，磁感应强度 B 的单位为特斯拉，用“ T ”

表示， B 是矢量。

如果在磁场中每一点的磁感应强度大小都相同，方向也一致，这种磁场称为均匀磁场。

磁场对通电导体作用力 F 的方向可用左手定则来确定。如图 1-7 (b) 所示，将左手平伸，大拇指和四指垂直，让手心面对磁力线，四指指向电流的方向，则大拇指所指的方向就是电磁力的方向。

磁感应强度 B 与垂直于磁场方向的面积 S 的乘积，叫做磁通，用字母 Φ 表示，单位是韦伯 (Wb)。简单地说，磁通可理解为磁力线的根数，而磁感应强度 B 则相当于磁力线密度。磁感应强度 B 和磁通 Φ 之间的关系，可用下式表示

$$\Phi = BS$$

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

↓ 第八节 右手定则

通过实践证明，感应电动势 E 与磁场的磁感应强度 B 、导体的有效长度 l 以及导线的运动速度 v 成正比，即

$$E = Blv$$

式中： B 为磁感应强度特斯拉，T； l 单位为米 (m)； v 的单位为米/秒 (m/s)； E 的单位是伏特 (V)。

上式说明，导体切割磁力线的速度越快，磁场的磁力线越密以及导体在磁场范围内的有效长度越大，感应电动势也越大。换句话说，导体在单位时间内切割的磁力线越多，导体中产生的感应电动势就越大。

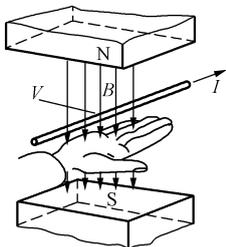


图 1-8 右手定则示意图

直导体中感应电动势的方向可用右手定则来判定。如图 1-8 所示，右手平伸，手心面对磁力线，并使与四