

汽车服务业系列丛书

汽车电工

余云龙 编



机械工业出版社
China Machine Press

汽车服务业系列丛书

汽 车 电 工

余云龙 编

机械工业出版社

本书主要内容有：电工学基础知识；电子学基础知识；常用电工工具及检测仪表；汽车用电工材料；汽车电气设备线路；汽车供电系点火及起动系统；照明与信号系统；电气仪表与辅助装置；电控系统构造与维修等。

图书在版编目（CIP）数据

汽车电工/余云龙编. —北京：机械工业出版社，
2001. 10

（汽车服务业系列丛书）

ISBN 7-111-09407-7

I. 汽… II. 余… III. 汽车-电工-基本知识
IV. U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2001）第 068313 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：朱 华 版式设计：张世琴 责任校对：吴美英

封面设计：姚 毅 责任印制：郭景龙

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

890mm×1240mm A5·10 印张·295 千字

0 001—4 000 册

定价：18.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话（010）68993821、68326677—2527

前 言

随着改革开放的不断深入和市场经济的蓬勃发展，我国的汽车保有量正以每年15%的速度递增。如此庞大的汽车市场极大地促进了与之相伴的汽车服务业。

目前，全国为汽车服务的各类企业星罗棋布，遍及全国的城镇乡村。全民、集体、个人、合资各种经济成份的企业各显其能，优势互补。经过行业部门的管理，已经形成了门类齐全、结构合理、能够满足社会各方需求的汽车服务网络，成为人们不可缺少的行业。而越来越多的汽车服务性企业，更加注重从业人员素质的提高和现代科学技术的应用，为企业的发展后劲注入更多的投入，以适应现代化汽车服务业发展的需要。

为适应形势的发展和满足社会的需要，同时也为了提高汽车服务业从业人员的业务素质，我们推出了一套汽车服务业系列丛书。首批推出的有：《汽车美容》、《汽车拆卸与装配》、《汽车电工》、《汽车评估》。今后我们还将不断推出新的书目，以满足社会的需要。《汽车电工》一书由余云龙编写，王少俊、李辉审稿。

由于时间仓促和水平有限，不妥之处在所难免，欢迎广大读者批评指正。

编者

目 录

前言

第一章	电工学基础知识	1
第一节	电路与系统	1
第二节	磁场与电磁感应	8
第三节	常用电磁器件	13
第四节	电动机基础知识	17
第二章	电子学基础知识	23
第一节	整流二极管及其整流电路	23
第二节	晶体管及其放大电路	38
第三节	晶闸管及其整流电路	46
第三章	常用电工工具及检测仪表	52
第一节	常用电工工具	52
第二节	常用电工仪表	58
第三节	常用电子测量仪器	65
第四章	汽车用电工材料	72
第一节	绝缘材料	72
第二节	导线与线束	85
第五章	汽车电气设备线路	100
第一节	电路控制与保护装置	100
第二节	全车线路及实例	109
第三节	全车线路的检查	115
第六章	汽车供电系统	119
第一节	蓄电池的结构及维修	119

第二节	发电机的结构及维修	135
第三节	调节器的结构及检测	151
第四节	充电系统故障的诊断与排除	163
第七章	点火及起动系统.....	167
第一节	传统点火系统的结构及维修	167
第二节	电子点火系统的结构及维修	189
第三节	起动机的结构及维修	203
第八章	照明与信号系统.....	223
第一节	汽车照明灯的结构及维修	223
第二节	汽车报警信号装置的结构与使用	227
第三节	电喇叭的结构与检修	232
第九章	电气仪表与辅助装置	240
第一节	汽车仪表的结构与维修	240
第二节	刮水、清洗和除霜装置的结构与检修	255
第三节	空调系统的结构与检修	259
第四节	其它电气辅助装置的结构与检修	265
第十章	电控系统的结构与维修.....	274
第一节	发动机电子燃油喷射系统	274
第二节	汽车传动系电子自动变速器	289
第三节	汽车安全气囊	301
第四节	汽车制动防抱死系统	307
参考文献		314

第一章 电工学基础知识

现代汽车的电气系统变得越来越复杂，但只要了解了电路原理和规律，便能简化电气问题的诊断。本章中，主要介绍一些电路的基本定律、电路如何运行、电路之间的差别、以及作为一名电工，如何运用简单的定律解决实际问题。另外，本章对在汽车上应用广泛的电动机及继电器原理也作了简要介绍。

第一节 电路与系统

电路是由一些物理器件按一定方式联接的组合。它一般由电源、负载和中间环节三部分组成。电源是产生电能和电信号的装置，如各种发电机、稳压电源等。负载是取用电能，并转换成其它能量形式的装置或器件，如各类灯泡、电动机等。电源与负载之间的中间环节是传送、控制电能或电信号的部分，包括联接导线、控制电器和保护电器等。

一、电流的形成

“电流”是电子从原子到原子的运动（图 1-1）。原子是由原子核及环绕原子核在轨道上运行的、排列复杂的电子构成的，其中电子带负电荷，原子核内的质子带正电荷，两者之间的吸引力造成电子绕原子核轨道运行。在原子构造中，电子的数目和质子的数目力求均等，要维持平衡，原子会借助邻近的原子丢失电子或吸引电子。当电子移出它们的轨道，作规则运动时即形成电流。

为了使电子能向特定的方向流动，必须给它们施加电动势。每当大量的电子在电动势的作用下，流动或漂移时，便产生电流。电子的流动遵循以下规则：

（1）电子互相排斥，即同电荷者相斥，异电荷者相吸。

（2）只有受到电动势的作用时，电子才在导线中流动。当电动势作用到导线时，导线上的两点之间便建立电位差，电位差使电子流动。

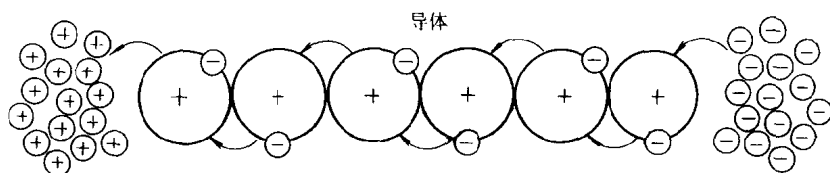


图 1-1 电子的流动形成电流

(3) 定义最低电位的点为地。

电的三要素是电压、电流和电阻。

二、电压、电流和电阻

1. 电压 电压可以理解为电的压力，它是引起导体中电子移动的电位差。当在电路的一点处有大量电子而在电路的另一点处缺少电子时便可建立起电位差。汽车中，由蓄电池或交流发电机施加电压。汽车电气系统的接地电路（搭铁电路）是经汽车底盘和发动机机体来实现的，搭铁是电气系统公共负极联接处，是最低电压的地点。

施加到电路的电压大小以“伏 (V)”表示。电场力把 1 库仑正电荷从一点移到另一点所做的功为 1 焦耳时，该两点间的电压即为 1 伏特。1 伏特也是通过 1 欧姆的电阻移动 1 安培电流所需压力的数量。 E (电动势) 有时也用来表示电压符号。

2. 电流 电流可以定义为电子流动的速率 (图 1-2)，以安培 (A) 为度量单位。每秒钟流过导体横截面的电量称为电流强度，简称为电流。1 安培 (A) 代表 1 秒 (s) 之内有 6.25×10^{18} 个电子或 1 库仑 (C) 流过导体的一点，电流用符号 I 表示。在电路电阻保持恒定时，电流随着电压的增大而增大。

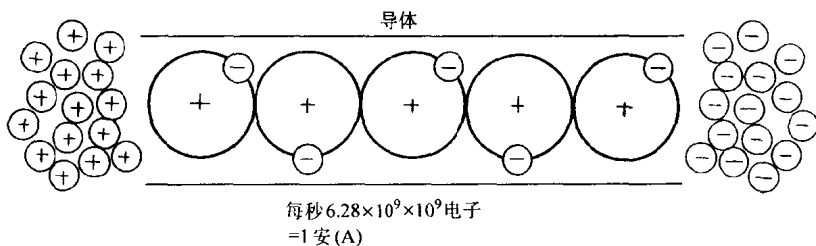


图 1-2 电子流动的速率

3. 电阻 电流在导体中流动时都要受到一定的阻力,这种对于通电所表现的阻力称为电阻。电阻的单位是欧姆 (Ω),在公式中,电阻用符号 R 表示。导线所用材料的尺寸、种类、长度和温度将决定导线的电阻,一般电气装置的电阻要远大于导线电阻。导线将负载或电阻部件与电源联接起来,构成一个完整的电路。将电能变为光、热或运动,均需要电阻的参与。

导线的电阻由以下因素决定:

(1) 材料的原子构造 自由电子数目越少,导线电阻越大,表现在导体的电阻率高低上,单位为欧·米 ($\Omega \cdot \text{m}$)。

(2) 导线的长度 导线越长,电阻越大。

(3) 导线的直径 导线的横截面积越小,电阻越大。

(4) 温度 导线的温度越高,电阻越大。

(5) 导线的物理状态 如果导线有刻伤或剪伤,电阻会增大。

在常温状态和导线完好时,可用式 (1-1) 计算导线电阻。

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-1)$$

式中 L ——导体的长度 (m);

S ——导线的截面积 (m^2);

ρ ——导体的电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$);

R ——电阻 (Ω)。

电路中,有时联接处锈蚀、导线将断而未断都会使接触电阻急剧增大,这些现象对电路会造成很大的危害,使电路中负载部件工作能力降低或失效。

4. 欧姆定律 欧姆定律是电学的基本规律,用来表达电流、电压和电阻之间的相互关系,是1827年由物理学家欧姆首先得出的实验定律。其内容是:在一电路中,电流值与电阻值成反比而与电压值成正比。举例来说:如果电阻减小而电压保持不变,则电流增加;如果电阻不变而电压增加,则电流增加。

欧姆定律又分为部分电路欧姆定律和全电路欧姆定律,分别适用于一段电路和闭合电路,见式 (1-2) 和式 (1-3)。

$$I = U/R \quad (1-2)$$

式中 U ——导体两端的电压 (V);

R ——导体的电阻 (Ω);

I ——导体流过的电流 (A)。

$$I = E / (r + R) \quad (1-3)$$

式中 E ——电源的电动势 (V);

r ——电源的内阻 (Ω);

R ——电路中的电阻 (Ω);

I ——电路中流过的电流 (A)。

5. 电能和电功率 电流通过导体时要产生热量,也就是做功。电能的单位是焦耳,它与电流、电压、电阻之间的关系见式 (1-4)。

$$W = QU = UI t = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t \quad (1-4)$$

式中 Q ——通过导线的电量 (C);

I ——通过电阻的电流 (A);

U ——电阻两端的电压 (V);

R ——导体的电阻 (Ω);

t ——时间 (s);

W ——电能 (J)。

单位时间内电流所做的功叫电功率或简称功率,单位是瓦特(W),它与电流、电压等的关系见式 (1-5)。

$$P = W / t = UI = I^2 R = U^2 / R \quad (1-5)$$

式中 P ——电功率 (W)。

在实际应用中,电能的常用单位是“J”,功率的单位为“W 或 kW”。1 度表示功率为 1kW 的电器使用 1h 所消耗的电能;1 电工马力等于 746W。

三、电容与电感

1. 电容器与电容 电容器是一种聚集电荷的元器件,其聚集的电荷量与所加的电压成正比。在汽车电气系统中,电容器用来贮存电荷,它本身不消耗电能,其贮存的电荷会在放电时返回电路。电容器还能吸收电路中的电压变化,利用电压的贮存来吸收危险的电压尖峰。

电容器由正、负极板组成,一般并接在电路两端。电容器接电源

正极的是正极板，两极板之间必须用绝缘物（称电介质）分隔。电介质可由陶瓷、玻璃、纸张、塑料等材料制造，空气也可作电介质。

当电路中出现高电压时，电容器被“充电”，一直等到电容器两端的电压等于电源（蓄电池）两端的电压才停止。电流流过电容器，仅仅是电子进入负极板和电子离开正极板的过程，当电容器两端的电压下降时，电容器通过电阻放出电子，放电过程持续到正极板和负极板上的电子恢复平衡状态才停止。

即使电路中出现高的电压尖峰，电容器会在电压尖峰损坏电路元件之前将其吸收。电容器还能用来迅速停止电路断开时的自感电流（如用于点火系统的一次侧电路）；电容器贮存高压电荷后可根据需要释放（如安全气囊系统中的备用触发电路）。

电容器以最大安全电压和电容量来衡量性能。电容量是两电容器贮存电荷的能力，其与电荷的关系见式

$$q = CU$$

式中 q ——电容器能贮存的电荷量 (C)；

C ——电容器的电容量 (F)；

U ——电容器两端的电压 (V)。

2. 电感器与电感 在汽车电器中，通常把导线绕成线圈的形状以增强线圈内部的磁场，这些线圈在电工学上称电感线圈或电感器。

当电感线圈通过电流时便产生磁场，磁场强度的大小与电流密切相关。当电感器周围的介质为非铁磁物质（如空气、木料、铜等）时磁场强度（磁链 ϕ ）与电流 i 成正比，即

$$\phi = Li \quad (1-6)$$

式中 L ——常数，称为电感，单位为亨利 (H)。电感 L 的大小与线圈的尺寸、匝数以及附近介质的导磁性能有关，实际中电感器除电感外还有一定的电阻，但阻值较小常忽略不计。

四、电路系统

为使电流流动，电子必须有从源电压至负载的部件，然后回到源电压的环行通路。在汽车上，电路一般由四部分构成：

1) 蓄电池（电源）。

2) 导线（导体）。

3) 负载 (灯、电动机、喇叭等)。

4) 搭铁 (返回到蓄电池)。

图 1-3 为基本电路示意图, 包括接通或断开电路的开关、负载、保护装置 (熔断器) 等。从电源正端至负载部件, 此段电路称为电路的不搭铁边; 从负载部件至电源负端, 此段电路称为电路的搭铁边。

电路一般分为串联电路, 并联电路和串-并联电路。

1. 串联电路 串联电路是指多个电源正负极首尾相连构成一个整体电源或者多个电阻一个接一个形成一串电阻, 前者称为电源的串联, 后者则为电阻的串联。图 1-4 为典型的串联电路。

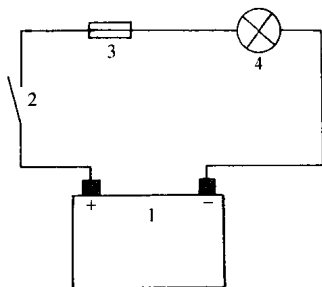


图 1-3 基本电路示意图

1—蓄电池 2—开关

3—熔断器 4—灯泡(负载)

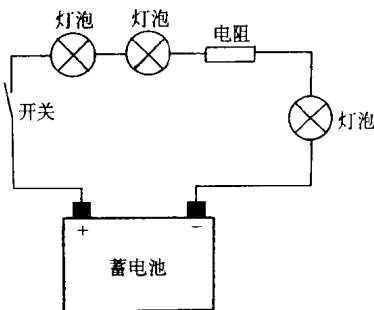


图 1-4 典型的串联电路

串联电路遵循如下原则:

1) 总电阻是所有电阻之和。

2) 电路中每点的电流相同, 即流过每个电阻的电流相同。

3) 如果各个电阻的阻值不同, 其两端的电压降也不同, 每个电阻的电压降之和等于总的源电压。

4) 串联电源中每个电源两端的电压之和等于总的源电压。

串联电路提供电流从电源流过所有电路部件, 然后返回电源的单一通路。

2. 并联电路 并联电路是指电源跟电源之间, 电阻跟电阻之间, 首首相连、尾尾相连所构成的具有多个支路的电路。在并联电路中的每条电路有各自的负载电阻, 每条电路可以单独运行, 也可以互相联在一起。在并联电路中, 电流可以同时流过一个以上的电阻。其中一

条支路中的部件损坏不会影响其它支路中的部件运行。图 1-5 为并联电路示意图。

并联电路的总阻值按下式计算：

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

或
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

若并联电路中所有电阻阻值相等，则

$R = \text{单个电阻阻值} / \text{电阻个数}$

并联电路中因为电流沿着一条以上的通路流动，因此总阻值总是小于最小的那个电阻；其中并联的电阻越多，则总阻值越小。

计算并联电路的电流可将每条支路作为单独电路处理。由于是同一电压加至所有支路，支路电阻除以源电压便是支路电流，总电流是各支路电流之和。

根据以上分析，并联电路的特点可归结为：

- 1) 加至每条并联支路的电压相等。
- 2) 总电阻小于其中最小的电阻。
- 3) 如果电阻值不同，流过每条支路的电流便不同，电阻小的支路电流大。
- 4) 每条支路的电流之和等于电路的总电流。

3. 串-并联电路 串-并联电路是串联电路与并联电路的结合，其中既有互相串联的负载，也有互相并联的负载，如图 1-6 所示。

计算串-并联电路的总电阻时，首先应计算出其中并联支路的等效电阻阻值，其次计算出串联电阻阻值，两者相加即可得到总阻值。总电流由计算出的总电

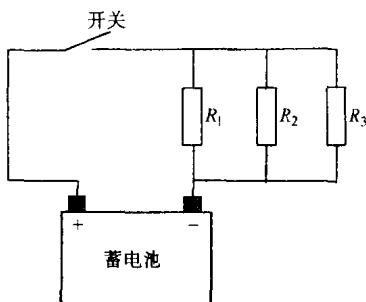


图 1-5 并联电路

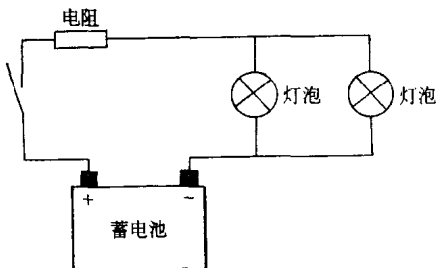


图 1-6 串-并联电路

阻和源电压决定。并联电路的总电阻又称等效串联负载，它等效于与源电压串联的单个负载。

第二节 磁场与电磁感应

在汽车中用磁发电来运行电气系统,用磁力来驱动电动机运转,磁和电密切相关,相互转换,很多电学中的定律与磁学相同。

一、磁场

磁场是一种无形的场,存在于磁铁和通电的导体周围,其大小常用磁感应强度或磁场强度表示。

1. 磁铁 磁铁能吸引铁、钢等材料,它具有极性,自由悬吊的磁铁会指南和北。朝北端称为北极 N,朝南端称为南极 S。磁铁和磁铁之间同极相斥,异极相吸,极顶处吸力最强。

磁铁产生磁力线,看不见的磁力线从北极出来再进入南极,而在磁铁内部磁力线则从南极通到北极。磁力线的密集度称为磁通密度。

磁铁的磁阻用来表述材料抵抗磁力线通行的程度。图 1-7 为磁铁磁场示意图。

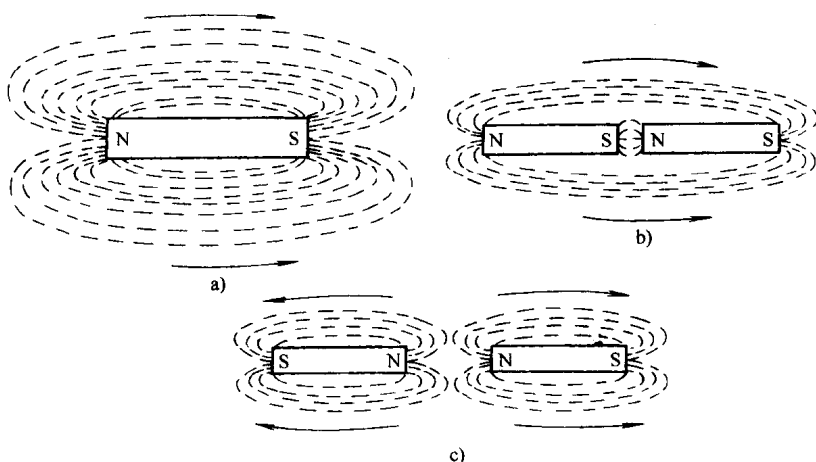


图 1-7 磁铁磁场

a) 磁铁磁力线 b) 磁铁异极相吸 c) 磁铁同极相斥

2. 磁路欧姆定律 如将铁磁材料制成一定的形状,使磁力线集中在一定的路径内通过,这种路径就称为磁路(图 1-8)。磁路的计算与

电路计算相似，对于一般均匀磁路，其欧姆定律为

$$\Phi = U_M / R_M = \mu N I S / l = \mu H S$$

或

$$U_M = \Phi R_M = H l = N I$$

式中 R_M ——磁阻 (1/H)；

U_M ——磁路中任意两点间磁动势 (A)；

Φ ——磁通 (Wb)；

μ ——磁导率 (H/m)；

S ——铁磁材料截面积 (m^2)；

l ——磁路长度 (m)；

H ——磁场强度 (A/m)；

N ——线圈匝数 (N)；

I ——线圈中的电流 (A)。

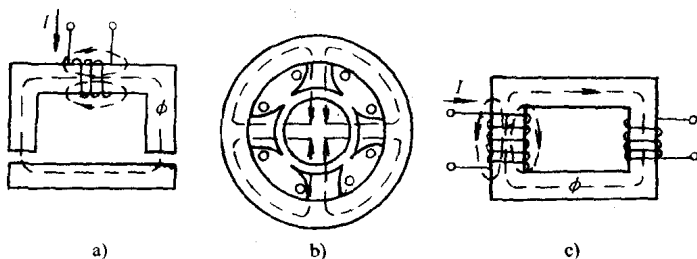


图 1-8 磁路

a) 电磁铁的磁路 b) 直流发电机的磁路 c) 变压器的磁路

3. 磁感应强度 与磁场方向垂直的单位面积上的磁通量称为磁感应强度，又称为磁通密度，单位是特斯拉 (T)，其公式为

$$B = \Phi / S$$

式中 Φ ——磁通量，韦伯 (Wb)；

S ——与磁场方向垂直的截面面积， m^2 (m^2)；

B ——磁感应强度，特斯拉 (T)。

磁场中每一点的磁感应强度与同一点磁导率的比值称为该点的磁场强度，其算式为

$$H = B / \mu = B / \mu_0 \mu_v$$

式中 B ——磁感应强度，特斯拉 (T)；

μ ——磁导率, 亨利/米 (H/m);

μ_0 ——真空的磁导率 ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$);

μ_r ——相对磁导率;

H ——磁场强度, 安培/米 (A/m)。

4. 电磁原理 当导体中流过电流时就会在导体周围产生磁场, 其磁场强度与流过导体的电流成正比。磁力线的方向由右手定则确定, 具体作法是: 右手握导体, 大拇指指向电流方向, 其余四指便指向磁力线方向 (图 1-9)。

当电流以相同方向流过两根相近的导线时, 两导线会相互吸引; 如果将其中一根导线的电流流向反过来, 导线便互相排斥。若将导线绕成线圈, 每匝产生的弱磁场便合成为较强的磁场, 合成的磁场有确定的南北极。导线盘成环形, 在导线交会处的磁通密度会成倍地增加。可以用右手定则确定线圈磁场的北极。具体作法是: 用右手握线圈, 手指沿着电流流动的方向, 大拇指方向即为磁场北极。

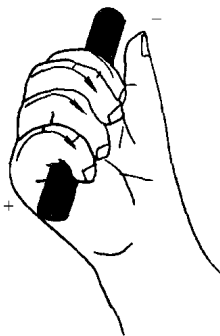


图 1-9 右手定则
确定磁场方向

当线圈匝数增加时, 产生的磁通密度也随着增加。当在线圈中央插入用软铁制成的铁心时, 线圈的磁场更强。软铁是一种具有高磁导率的材料, 它为穿过线圈中央的磁场提供优良的导磁性能。

影响电磁线圈磁场强度的因素如下:

- 1) 流过线圈的电流;
- 2) 线圈的匝数;
- 3) 线圈的直径、长度和铁心材料;
- 4) 磁力线被切割的角度。

在电机计算中, 磁场磁通势是以流过线圈的电流 (安培值) 乘以线圈的总匝数来度量的, 即以安匝数计算。

二、电磁感应

1. 电磁力与左手定则 通电导体在磁场中受到的作用力叫做电磁力或安培力, 其算式为

$$F = BIl \sin \alpha$$

式中 B ——磁感应强度 (T);

I ——通电导体中的电流 (A);

l ——通电导体的有效长度 (m);

α ——通电导体与磁感应强度方向之间的夹角, 弧度 (rad);

F ——电磁力 (N)。

通电直导体在磁场中所受作用力的方向可用左手定则确定, 即: 将左手置于磁场中, 使磁力线方向从掌心穿入, 四指指向电流方向, 大拇指所指方向即为电磁力方向, 如图 1-10 所示。

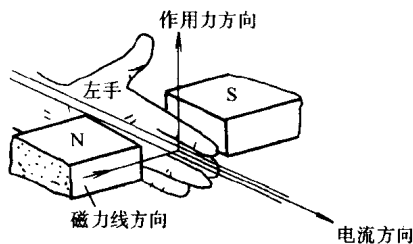


图 1-10 左手定则示意图

2. 感应电动势与右手定则

导体在磁场中运动因切割磁力线而产生的电动势称为感应电动势, 其算式为

$$E = Blv \sin \alpha$$

式中 B ——均匀磁场的磁感应强度 (T);

l ——直导体的有效长度 (m);

v ——导体的运动速度 (m/s);

E ——感应电动势 (V);

α ——导体运动方向与磁感应强度方向间的夹角, 弧度 (rad)。

感应电动势的方向, 可用右手定则确定, 如图 1-11 所示。

3. 楞次定律与法拉第电磁感应定律
楞次定律又称电磁惯性定律, 可用来确定感应电流的方向。其内容是: 闭合回路中感应电流所产生的磁场总是阻止回路中原有磁通量的变化。

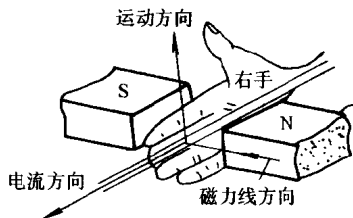


图 1-11 右手定则示意图

法拉第电磁感应定律又简称电磁感应定律, 可用来计算电磁感应产生

出的感应电动势的大小, 其内容为: 回路中产生的感应电动势的大小与穿过该回路的磁通量变化率的负值成正比, 即

$$e = -\Delta \phi / \Delta t$$