

目 录

第一章 电的基本知識	1
第一节 电是什么	1
第二节 电路	6
第三节 磁和电	14
第二章 电动机	32
第一节 电动机的种类	32
第二节 电动机的基本构造	34
第三节 三相感应电动机的工作原理	41
第四节 电动机的绕组	48
第五节 电动机的起动和起动装置	57
第三章 电动机的维护和故障检修	67
第一节 运行中电动机的管理	67
第二节 电动机的定期维护	77
第三节 感应电动机的故障	96
第四节 绕组短路的检查和修理	101
第五节 绕组断路的检查和修理	106
第四章 控制设备和保护设备	129
第一节 电力排灌站中电动机用的控制设备	129
第二节 常用控制设备的构造和工作原理	131
第三节 控制设备的安装和维护	153
第四节 起动设备故障的检查和修理	165
第五章 仪表和电工测量	181
第一节 电力排灌站用的仪表	181
第二节 仪表的主要零件及其结构	184
第三节 仪表的测定机构	187
第四节 电流和电压的测定	188
第五节 电流互感器和电压互感器	190

第一章 电的基本知識

第一节 电是什么

我們設想一枝粉笔，如果将它一折两段，两段再折成四段，如此折下去到最后研成极細的粉末。粉笔和粉末都称为“物质”。这些粉末如果再細到用机械加工方法不能再細的程度，这样最小的一顆細粒就称为“分子”。分子是很小的：118,000,000 个分子一个个地接起来其长度不过 1 厘米。毫無疑問，任何物质都是由分子組成的，分子是不改变原来物质性质的最小的东西了。粉笔的分子和粉笔是性质完全一样的。

但是分子可以用化学方法分成更小的部分，我們称这更小的部分为“原子”。例如水分子用化学方法可以分成两个氢原子和一个氧原子。但是原子的性质就与原来物质的性质不同了。氢原子和氧原子与水的原有性质是不同的。世界上現在所发现的和推測到的已經有一百多种不同的原子。任何物质，無論鋼、鉄、銅、水、橡皮、油漆……，都是一些原子結合构成的。原子在化学上来讲是不可分裂的最小的粒子了。

随着科学不断地发展，人們发现原子是由原子核和一定数量的电子組成的。

一个原子里面，只有一个原子核，而电子則随原子的不同而有多有少。同一物质的原子都是一样的，任何物质的电子也都是是一样的，但不同物质的原子則各不相同：电子的数目

和排列方式都不相同。例如我們日常用的鋁電線的鋁原子(圖1),有一个原子核,在它的周圍远远近近的地方,一共有十三个电子,各按一定的軌道在飞快地旋轉。一亿个原子排

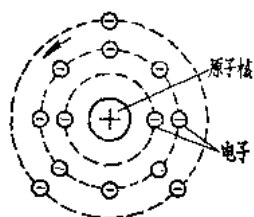


图1 鋁原子里的原子核和电子

成一行,才只有1毫米长,原子核只有原子的几万分之一大,电子又比原子核小得多,所以我們看不見。

电子都帶有同一的电的特性,叫做帶有电荷,电子的电荷是負的,我們在图1中用(-)号来表示。

原子核帶有另一种与电子不同的电的特性,叫做正电荷,在图1中用(+)号表示。

同一性质的电荷(例如都是負电荷或都是正电荷)叫做同性的电荷;同性的电荷之間有斥力;异性的电荷(例如負电荷对正电荷)相互之間有引力。电子的运动就形成电流和电的現象。

有些原子中,离原子核較远的电子受原子核的束縛很弱,很容易被移去,这种电子称为“自由电子”;另有些原子中的电子很难被移动,这种电子称为“束縛电子”。

在一般正常状态(即平衡状态)下原子中原子核所帶的正电荷与电子所帶負电荷的总数是相等的,这时物质就沒有带电的現象。如果原子中多了一个电子或少了一个电子,那么原子核所帶的正电荷数和負电荷数就不相等了,負电荷数多于正电荷数时原子就帶負电,負电荷少于正电荷时原子就帶正电。帶正电的原子有一种力,能将附近的电子吸引过来补足它所缺少的負电荷数;帶有負电荷的原子也有一种力,要将它多余的电子排斥出去使它的正电荷数与負电荷数仍旧保持相等。

許多物质的分子中有很多自由电子，自由电子是可以移动的，也就是能形成电流，这种物质称为“导体”，例如許多金属是导体，即一般称做能通电的东西。

許多非金属的分子中，电子被原子核束縛得很紧，其中自由电子很少，甚至沒有自由电子。在这种物质中要电子移动，几乎不可能。这类物质极难通过电流，称为“絕緣体”。例如干燥的木材和电瓷等等。

一切电机与电器都是导体与絕緣体两者矛盾所构成的統一体，电机与电器中用导体作为通电流的导綫，同时用絕緣体来阻止电流在不需要和不允許的地方流通。几种常用良好的导体和絕緣体見表1。

表 1	
导 体	絕 緣 体
銀	干燥的空气
銅	玻 璃
鋁	云 母
黄 銅	橡 皮
鋅	石 棉
鉄	人造树脂

有一类金属和非金属，在某一温度以下时自由电子很少，成为絕緣体，当在某一温度以上时就出現很多自由电子，又成为导体。这种物质称为“半导体”。

銀是最良好的导体，但是太貴了，不能大量使用在电机和电器中。銅和鋁是仅次于銀的导体，但价廉得多，因而大量采用于电机和电器中。

如果我們在銅綫的一端放进一个电子，这个电子就使銅綫里最靠近它的一个原子增多了負电荷，因此产生一个推斥力，去推斥最靠近它的別一个电子。加进去电子的推力，使第一个原子的电子，从軌道上脱出，加进去的那个电子，立刻代替了那个被它逼走的电子，补充在它的位置上。从第一个原子里驅逐出来的电子又去逼第二个原子中的电子。第二个又去逼第三个……这样不断地推下去，一直到綫的另一端。当然，这些被推动的电子都是自由电子。

自由电子这样移动到线的另一端最后一个原子时，我們說一个电子通过这线的全长。虽然最后一个电子并非原来加进去的那个电子，但因为所有的电子都是一样的，所以我們可以說“一个”电子流过电线。单单一个电子的流动，能力太小，没有什么用处，在实际的电机、电器中，使用时常有几千万万个自由电子在流动，这许多自由电子的流动就称为“电流”。

自由电子在导体中按一定方向流动，好比水分子在水管中按一定的方向流动，前者称为电流，后者称为水流。测定水流的大小是指每秒钟流过若干立方米的水（立方米是水量）；测定电流的大小是指每秒钟流过若干库仑的电量。一库仑电量中有六百三十万万万个电子（即 63×10^{17} 个电子）。每秒钟流过一库仑的电量称为 1 个安培，简称安，简写用 A 字代表。比安培小的单位叫毫安，简写 mA，1 毫安 = 10^{-3} 安 = 1/1000 安。比毫安更小的单位为微安，简写 μA ，1 微安 = 10^{-6} 安。比安培大的单位为“兆安”简写为“MA”，1 兆安 = 10^6 安。

自由电子在导体内运动时，电子与电子之间会引起碰撞，它们在原子间通过时也会同原子碰撞，因而电子的运动受到阻碍，这种阻碍电子运动的作用叫做电阻。电阻的单位是欧姆，简称为欧，用符号 Ω 表示。较大的电阻单位为兆欧，即一百万个欧，用字母 M Ω 表示。

导体愈长，电子通过时碰撞的机会就愈多，因此电阻大。导体截面积大，通过电子的通道就宽，碰撞的机会就少，因此电阻小。导体的电阻与其长度成正比，与其截面积成反比。这好比水通过水管一样：水管愈长，水通过时的阻力愈大；水管面积愈大，水通过的阻力愈小；水管的内面愈光滑，水受到的阻力也愈小。此外，电阻又与导体材料的性质——电阻系数

有关。这样,导体的电阻就可以用下列公式来表示:

$$\text{导体的电阻} = (\text{电阻系数}) \times \frac{\text{导体的长度}}{\text{导体的截面积}}$$

各种不同金属在 $+20^{\circ}\text{C}$ 时的电阻系数如表 2 所示。

例 一只电动机线圈,铜线的截面积为 6 平方毫米,铜线共长 600 米。试求该电动机线圈在 $+20^{\circ}\text{C}$ 时的电阻。

【解】 铜线的电阻 $= 0.0175 \times \frac{600}{6} = 1.75$ 欧

金属的电阻系数不是不变的,而是随着温度的增高而增大。为什么会产生这一现象呢? 因为温度增高会使电子动能加大,碰撞的机会增多,因此电阻增大。

表 2

材 料	在 $+20^{\circ}\text{C}$ 时的电阻系数	材 料	在 $+20^{\circ}\text{C}$ 时的电阻系数
铝	0.029	锰 铜	0.42
青铜	0.021~0.4	铜	0.0175
锡	0.056	镍 合 金	1.1
铁	0.13~0.3	钢	0.13~0.25
康 铜	0.4~0.51	高电阻合金	1.4
黄 铜	0.07~0.08	铂 合 金	1.3

前面谈到在铜线一端放进一个电子去,于是产生了一系列的电子运动。但是怎样将这个电子从铜线的一端放进去呢? 我们知道,水位有了高低,水才能在管道中流动。导体的两端也要有电位的高低,即有了电位差,才能迫使电子在导体中流过。电位差又称作“电压”,单位是伏特,简称为“伏”,用符号“V”表示。一千伏特称为“千伏”,用“kV”表示,千分之一伏特称为毫伏,用“mV”表示。

第二节 电 路

1. 线路图

在电机工程上常用一种简单的线路图来说明一件工程上的工作。电工根据线路图来装置、修理、维护和制造各种电器。因此线路图的学习对于电工非常重要。

线路图一般有两种,一种为接线图,另一种为安装图。安装图除了表示线路如何接法之外,还表示设备的部分结构,如支持物、构架之类;接线图则完全用符号表示出线路的联接和电机、电器的布置,关于支持物、构架之类是不画的。

例如一只三相电动机的接线可以用两种线路图来表示,如图2(甲)所示为安装图,(乙)为接线图。这两种线路图都是表示三相电动机的接线,但图(乙)比较简单,很象速记术。

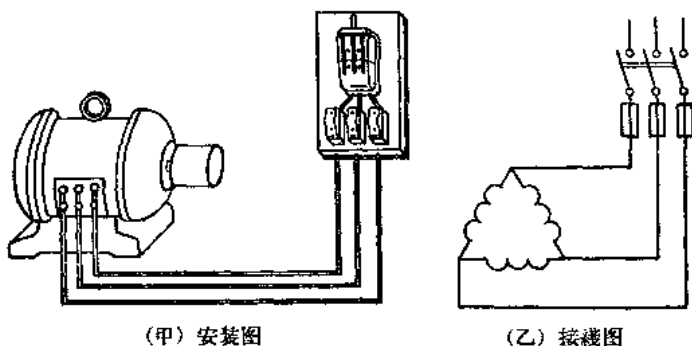


图 2

2. 完全电路

我们先举一个如图3(甲)中所示的水道管路作为比喻来说明一下。水道管路中有一只水泵,由原动机拖动,它是作为一个使水循环流动的动力来源。水泵通过阀门和管道接到

一个蛇形管。蛇形管中有一定的阻力消耗水力的能量。水流从水泵出口出发,沿着箭头通过管道到蛇形管,再从蛇形管经过管道回到水泵的进口。在水泵中水流从进口由于叶轮的推动作用而又到水泵的出口。这样水经过的路径就是完全的水路。

所谓完全的电路,是电路的一端从电源来到负载而另一端从负载到电源构成循环的一个通路。如图3(乙)中所示,发电机(或电池组)相当于一个水泵,是一个电力的来源,简称为“电源”。电流从电源正极出发,通过导线到灯泡中,这灯泡有电阻消耗能量,就是负载。电流通过灯泡,再经过导线回到电源的负极。这电流所通过的路径就是一完全电路。

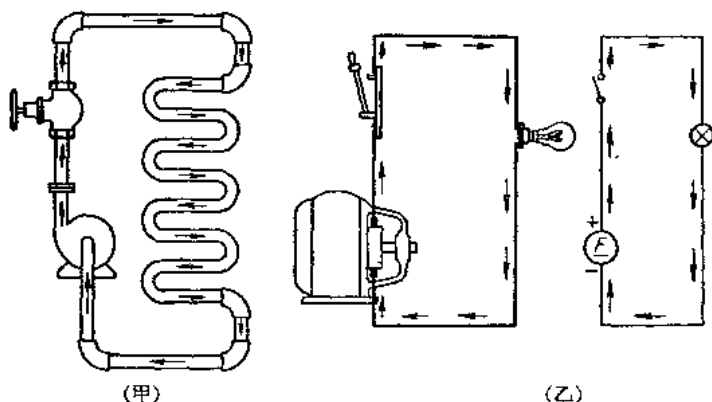


图3 循环水路(甲)和完全电路(乙)

知道完全电路后即可研究电工线路图。图4中举了六个线路图的例子。在图中说明了:

(1) 电流方向——如图4(甲), 电流从发电机 F 的(+)极流出经过变阻器流回到发电机 F 的(-)极; 图4(乙)中电流从发电机的(+)极经过开关再到电动机以后回到发电机的

(一)极;图4(丙)中电流从电池的(+)极流出来以后,分成两路经过电灯,然后又汇集在一起回到电池的(-)极;在图4(丁)中电流的方向要决定于发电机和电池的电压哪一个大,如果发电机 F 的电压大于电池的电压,那么电流就从发电机 F 的正极流出,流入电池的(+)极而从电池的(-)极流出(此时电池不是电源而变成了负载),再经过大地(因为大地也是导体)而流入发电机的(-)极;图4(戊)中电流从发电机的(+)极流经安培表 A 及电灯以后回到发电机的(-)极;在图4(己)中发电机 F 从(+)极输出电流,分成两路,一路通过绝大部分的电流,这部分电流经过变阻器和开关后回到发电机的(-)极,另一路只通过极小部分的电流,经过伏特表 V 而回到发电机的(-)极。

(2) 电源型式——在图4(甲)、(乙)、(戊)和(己)中的电源都是直流发电机,在图4(丙)中是电池;在图4(丁)中却要看法发电机和电池哪一个电压大,如果发电机的电压大,那么电源是发电机,反过来电池就是电源。

(3) 电路上负载的种类——如图4(甲)和(己)中负载都是变阻器;在图4(乙)中负载是直流电动机;在图4(丙)和(戊)中负载都是电灯;在图4(丁)中如果发电机的电压大于电池,那么电池和大地的电阻都是负载,如果电池的电压大于发电机,那么发电机和大地电阻就成为负载。

(4) 电路的接法——在图4(甲)中发电机和变阻器是接成串联的一个电路;在图4(乙)中发电机和电动机是接成串联的一个电路;在图4(丙)中两只电灯并联成一个局部电路,然后又和电池串联成一个电路;在图4(丁)中发电机和电池通过大地串联成一个电路;在图4(戊)中发电机、安培表和电灯三者串联成一个电路;在图4(己)中有两个电路并联,一个

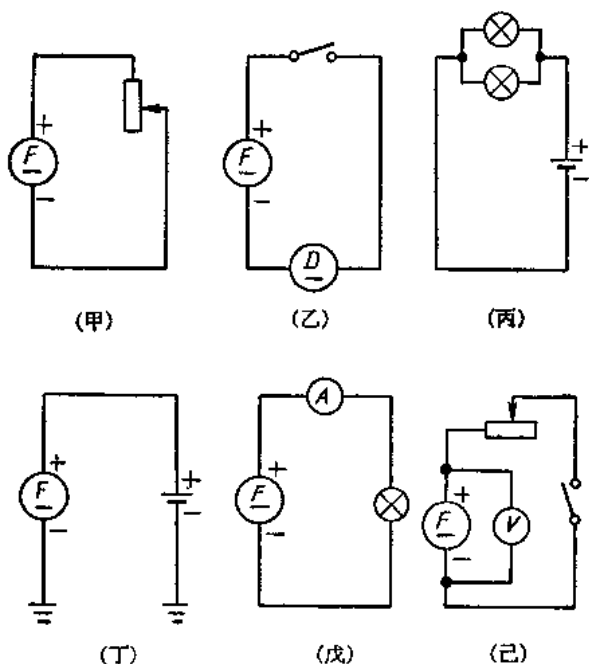


图 4

电路是发电机、变阻器和开关串联组成,另一个电路是发电机和伏特表组成。

(5) 电路的控制器——在图 4 (甲) 中电流的大小可由变阻器来控制;在图 4 (乙) 中电路由一开关来控制;在图 4 (丙)、(丁) 和 (戊) 中都没有控制器;在图 4 (己) 中有开关又有变阻器。

3. 欧姆定律

电流和水流的情况很相似,我们先了解一下水流的情况。如图 5 所示,若管道对水的阻力相同,水的流速就随施加于水上的压力的增大而增大。

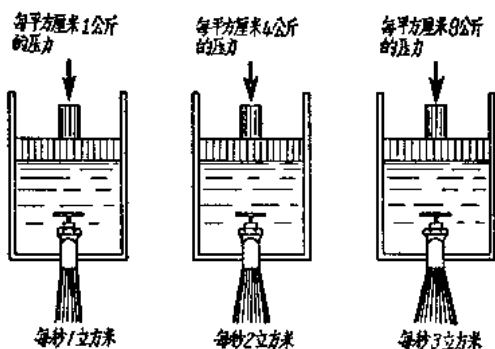
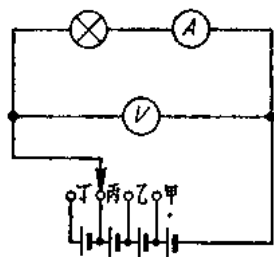


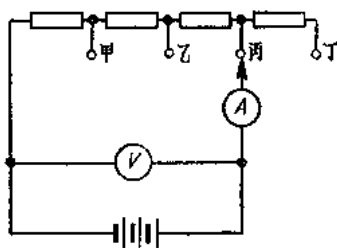
图5 水压与水流的关系

在电路中,如果保持电阻不变,电压增高,则电流随电压正比例地增加;如果电阻不变而电压减低,则电流随电压正比例地减小,如图6(甲)所示。任何电路,如保持电压不变而电



位置	电压	电流	电阻
甲	2	1	2
乙	4	2	2
丙	6	3	2
丁	8	4	2

(甲) 电阻不变



位置	电压	电流	电阻
甲	6	3	2
乙	6	1.5	4
丙	6	1	6
丁	6	0.75	8

(乙) 电压不变

图6 电压、电流和电阻的关系(欧姆定律)

阻增加,則电流随电阻反比例地减小;如果电压不变而电阻减小,电流随电阻反比例地增加,如图 6 (乙)所示。电压、电流和电阻三者之間的关系,即所謂欧姆定律,用公式表示如下:

$$\text{电流} = \frac{\text{电压}}{\text{电阻}} \text{ 或 } \text{电阻} = \frac{\text{电压}}{\text{电流}} \text{ 或 } \text{电压} = (\text{电流}) \times (\text{电阻})$$

例 一只电动机一相的綫圈接上 6 伏蓄电池时通过的电流为 150 安培。問电动机这一相綫圈的电阻是多少?

【解】 $\text{电阻} = \frac{\text{电压}}{\text{电流}} = \frac{6}{150} = 0.04 \text{ 欧}$

在完全电路中,若电阻很小,甚至接近于 0,那么从欧姆定律可知电流将很大,这种情况叫做短路,又称碰綫。

若在完全电路中的电阻很大,甚至可当作无穷大,那么从欧姆定律可知通过的电流极其微小,可当作零,这种情况叫做断路或开路,又称断綫。

短路和断路都是我們日常电工工作中遇到的故障。

4. 电功率

“力”是我們常用的。一个皮球在地上靜止不动,如果要这个球动,必需要用力踢这个皮球,它才会由靜而动。因此力是使物体发生加速度运动的原因。使电子运动的就是我們所称的“电动势”或“外施电压”。

如果我們用力去推鋼筋水泥的墙壁,虽然我們用力很大,但是墙壁沒有动,“劳而无功”,我們並沒有做“功”。如果用力将 20 公斤的鉄管从地面上搬到 4 米高的架子上,这样,我們用力作用在鉄管上,同时鉄管也提高了它的高度 4 米。这样我們就“劳而有功”,就是我們做了功。“功”的定义是力乘上物体按外力作用方向移动的距离,用公式表示就如下:

$$\text{功} = \text{力} \times \text{距离}$$

功的单位为千克米，就是1千克(公斤)的力施加在一物体上而使物体按力的方向移动1米所作的功。功的另一个实用单位为焦耳，简称“焦”。亦可用“瓦秒”表示，1瓦秒=1焦。各种单位之间的换算关系如下：

$$1 \text{ 千克米} = 9.81 \text{ 焦} = 9.81 \text{ 瓦秒}$$

$$1 \text{ 焦耳} = \frac{1}{9.81} \text{ 千克米} = 0.102 \text{ 千克米}$$

电力所做功的单位也是焦耳，是以1伏电压移动1库仑(6.3×10^{18} 个电子)电量所做的功：

$$\text{电功} = \text{伏特} \times \text{库仑} = \text{焦耳}$$

功是没有时间因素的，如果我们用一人的力来移动200千克的物体100米要经过20分钟的时间来完成，所做的功是 $200 \times 100 = 20,000$ 千克米，但是如果用机器来移动200千克的物体只要2秒钟，而所做的功仍然是 $200 \times 100 = 20,000$ 千克米。这样表示仅说明同样的“多”而没有说明“快”。这样就沒有比較的意义。因此要将时间因素考虑进去。这种量就是“功率”。功率的大小说明作功的快慢和功的多少，因此功率是作功的时率，用公式表示如下：

$$\text{功率} = \frac{\text{功}}{\text{时间}}$$

这样，前述用人力来移动200千克的物体经过20分钟移动100米的功率

$$\frac{20000}{20 \times 60} = 16.6 \text{ 千克米/秒}$$

而用机器在2秒钟内完成上述20,000千克米的功则功率

$$\frac{20000}{2} = 10000 \text{ 千克米/秒}$$

比人的功率大得多。

功率的单位可以千克米/秒，或焦/秒或瓦特(简称“瓦”)

来表示,它們之間的关系如下:

$$1 \text{ 千克力/秒} = 9.81 \text{ 焦/秒} = 9.81 \text{ 瓦}$$

在公制单位国家如法国等,功率还有一种单位——“馬力”:

$$1 \text{ 馬力(公制)} = 736 \text{ 瓦}$$

在英制单位国家如英国美国等,功率另一种单位亦称“馬力”:

$$1 \text{ 馬力(英制)} = 746 \text{ 瓦}$$

功率在电工学上的意义是:

$$\text{功率} = \frac{\text{功}}{\text{時間}} = \frac{\text{伏特} \times \text{庫倫}}{\text{時間(秒)}} = \text{瓦特}$$

单位時間內通过的电量即所謂电

流:

$$\frac{\text{庫倫}}{\text{秒}} = \text{安培}$$

因此

$$\text{功率(瓦特)} = \text{伏特} \times \text{安培}$$

或

$$\text{安培} = \frac{\text{瓦特}}{\text{伏特}}$$

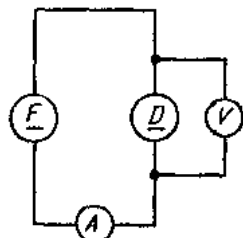


图 7

功率是电工学上很重要的一个单位。例如图 7 所示,一只电动机接在一只发电机上,用伏特表和安培表测量电流和电压,从伏特表和安培表测量的讀数就可求得电动机的功率。若安培表上讀得电流为 8 安,伏特表上讀得电压为 220 伏,則此电动机的功率为

$$\text{功率} = 220 \times 8 = 1760 \text{ 瓦} = 1.76 \text{ 千瓦} \quad (1 \text{ 千瓦} = 1000 \text{ 瓦})$$

从功率的公式反过来又可求功:

$$\text{功} = (\text{功率}) \times (\text{時間})$$

若功率的单位为瓦,時間为秒,則功的单位为“瓦秒”。若功率的单位为千瓦,時間为小时,則功的单位为“千瓦时”,这

就等于我們日常所称的“一度电”。从功的公式和欧姆定律可以計算一些我們常时遇到的問題。

例 一个村上用电灌站的电来照明，該村上共有 100 只 40 瓦的灯泡經常使用，单相电压为 220 伏。問要用多少安培的瓦时表？

【解】 100 只 40 瓦的灯泡总功率 $= 100 \times 40 = 4000$ 瓦 $= 4$ 千瓦

$$\text{安培} = \frac{\text{瓦特}}{\text{伏特}} = \frac{4000}{220} = 18.1 \text{ 安培}$$

答：要用 20 安培的瓦时表。

第三节 磁 和 电

1. 磁的发现和磁的性质

磁的最早发现相傳在五千年之前，当时在我国已創造了指南車。正式有历史記載是大約在公元前三百年，我們的祖先就发现了磁鉄矿的散块具有吸引鉄的性质，同时用它来做指南針。后来波斯人和阿拉伯人把指南針傳到欧洲，到十三世紀初欧洲书籍才有关于指南針的記載。因此把中国称为“磁学的发祥地”。

不論天然磁石或人造磁鉄，它們有一种特性，如果将它悬空能够自由旋轉，当它靜止时一定是一端朝南一端朝北。磁鉄的指北的一端叫做指北极或簡称北极（书上通常用符号 N 表示）；指南的一端叫做指南极或簡称南极（书上通常用符号 S 表示）。無論南极或北极，吸鉄的能力总是最强，这两端就叫做磁极。

磁鉄吸引鉄屑的力量，我們称为磁力。鉄屑离开磁鉄太远了就不能被吸引，可見磁鉄的磁力作用只能达到一定的范围，这个范围叫做磁場。

磁极之間存在着相互作用的力。从实验可知，同性磁极

間互相排斥,异性磁极間互相吸引,就是說北极与北极互相有排斥的力,南极与南极也相斥;南极与北极則互相有吸引力,如图 8 所示。

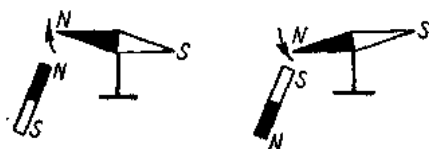


图 8 磁极間的相互作用

如果将一条磁铁放在玻璃板下面,然后在玻璃板上洒布鉄粉,磁力的作用会使鉄粉排列成如图 9 所示的图形,仿佛有很多根綫把鉄屑串起来似的。这种想象的綫叫做磁力綫。力是有方向性的,所以磁力綫也是有方向性的。我們假定磁力綫是从磁铁的北极出发,回到磁铁的南极而进入磁铁,在磁铁中磁力綫从南极到北极,构成一个环路。这些磁力綫彼此并不交叉;所有的磁力綫离开磁极或进入磁极时它的方向总是与磁铁的表面垂直。当几个磁場混杂时合成的磁力綫仍然具有以上这些特性。磁力綫还有一种特性,就是可以扩大、变形和弯曲,而且总有力求縮短的趋势。

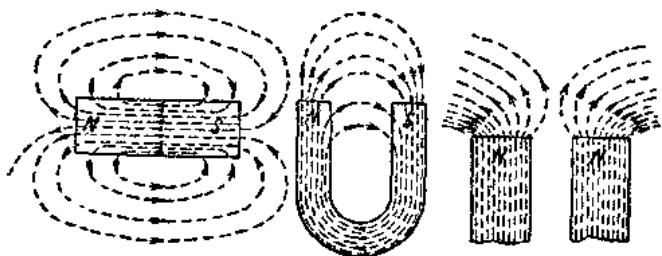


图 9 磁力綫

2. 电“产生”磁

电流在导线中通过，导线四周就有磁场存在。我们用一根导线接到电池两端，把这导线埋入铁屑堆然后提出，就有许多铁屑被导线所吸引住，这证明导线的四周有磁场存在。

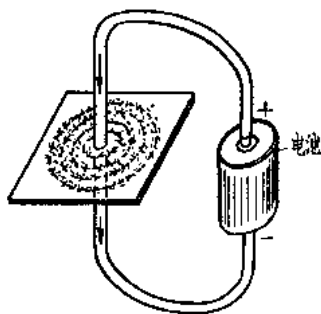


图 10 载流导线的磁场

如果用一根直导线穿过一片硬纸板，把这导线接到电池上，洒铁屑在硬纸板上，铁屑就显示导线四周磁场的形态，如图 10 所示。在导线的四周放几个指南针如图 11 (甲) 所示，所有指南针都指向反时针旋转

的方向，这就表示磁力线的方向。如果将电流的方向倒过来，那么所有指南针所指示的方向也都倒了过来，变成顺时针的方向，如图 11 (乙) 所示。

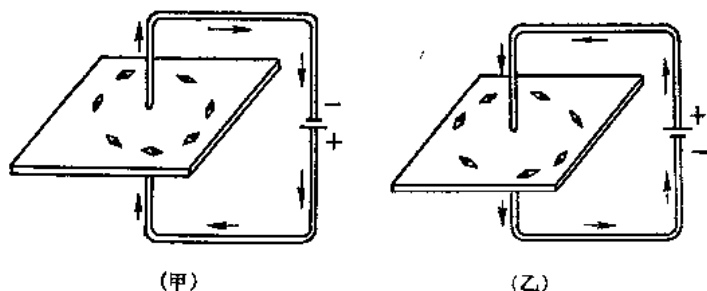


图 11 磁场方向同电流方向的关系

从以上情况我们知道，载电流的直导体周围的磁场，其磁力线是以导体为中心的许多同心圆。磁场的方向是由电流方向来确定的。以上指南针所指示的方向规律恰好符合右手螺旋