

## 绪 论

电气安全工程的任务是研究各种电气事故及其防范措施，以及研究如何用电气装置来取得安全良好的劳动条件。

电气事故不仅包括触电事故，而且像雷电静电危害、电磁场危害、各种电气火灾与爆炸，以及一些危及人身安全的线路故障和设备故障也都属于电气事故。在这些事故中，其安全措施也是电气的，而且与人身事故有着密切的联系，因此，应当作为电气事故来考虑。

很多其他事故，虽然不是电气性质的，但却需要利用电气装置加以控制和预防，例如，机械碰撞、机械伤害、超载、超压、火灾、爆炸等多种事故，都可以采用电气安全装置把危险因素测量出来，经过交换、放大等过程，然后发出信号或实现控制，这些也应当属于电气安全的范围。

### 一、电气安全在石油化工企业的特殊地位

在现代社会里，电力已成为国民经济和人民生活必不可少的二次能源。而对于石油化工企业来说，电力除作为动力、照明、加热等能源外，还广泛应用于企业的自动控制系统中，它既是保障生产正常进行的“血液”，又是控制指挥生产的“神经”。因此，供电安全成了石油化工企业安全、稳定、经济、长周期生产的先决条件。石油化工企业生产绝大部分属于一类、二类用电负荷，具有高温、高压、易燃、易爆、深度冷却的特点，容易发生事故，且有的事故，如火灾、爆炸、凝固、凝聚等如果处理不及时，措施不当，就有可能导致灾难性甚至是毁灭性的后果，对人民生命及国家财产危害极大。有时即使是简单的电气故障或参数波动，也可能给石油化工生产带来超过电气本身损失数百倍乃至数万倍的后果。因此，对于石油化工企业的电气安全，不宜孤立分析，必须予以全面综合的考虑，给予高度的重视。

目前，全世界每年死于电气事故的人约占全部事故死亡人数的 25%，电气火灾约占火灾总数的 20% 以上。根据有关统计表明，电气事故在国外石油化工企业事故中仍占 50% 左右，在国内也是每年不断，时有发生，绝不可放松警惕。这就要求不断采用新技术、改进设备性能、健全管理体制、加强管理、认真贯彻各项行之有效的规章制度，以积极有效的手段，迅速提高全体工

作人员的素质，使电气安全工作更加完善、更加可靠。

## 二、影响石油化工企业电气安全的因素

随着电力工业和石油化上工业的发展，自动化程度越来越高，对安全供电的要求也越来越高。为了防止各种电气事故，保障生产的正常进行，保护职工的安全与健康，电气安全工作也必须有一个相应的发展。由于多种因素的影响，近年来电气事故还时有发生，不仅造成停工停产，经济上受到巨大损失，而且造成人员伤亡。

造成电气事故的主要原因如下。

生产管理混乱，企业停送电权限没有归口统一管理，多头领导，造成工厂的误停电或误送电，导致停工停产，甚至人员伤亡。

电气工作人员玩忽职守，违章作业，不按工作票要求进行工作或是不开工作票进行盲目操作，造成停电，电气设备短路崩烧或人员伤亡。

供电系统的继电保护不完善，定值不配套或定试不严格，发生开关误动或拒动，造成停电或扩大事故范围。

设备维修不当，不按期进行检修，电气设备绝缘水平下降，设备接地不良或外壳带电，从而发生设备损坏、火灾或人员伤亡。

在易燃易爆场所使用电气设备，由于设备制造水平或检修不力等原因，设备发生故障引起周围易燃易爆物质的燃烧或爆炸。

⑥ 石油化工、塑料、化纤、合成橡胶等合成材料的生产过程中产生的静电火花引起火灾和爆炸。

总的来说，在石油化工企业发生的电气事故主要有三个方面：

由于电气设备或电气线路的故障及损坏，造成停电，致使停工停产；

② 人身触电的伤亡事故；

由电气原因（包括静电及雷电）而引起的火灾爆炸事故。

## 三、搞好电气安全的措施

通过对石油化工企业近年来所发生的电气事故进行分析可以知道，事故的原因是多种多样的，有管理上的原因，也有技术上的原因。本书侧重技术，介绍预防事故的各种方法和电气装置的安全运行条件。为避免电气事故的发生，消除事故隐患，必须做好大量的电气安全管理工作，如，提高相关人员的用电安全水平，实现用电安全标准化，引进系统工程的方法，提高电气安全管理的科学性等。

搞好电气安全通常从组织措施和技术措施两方面着手。

## 1. 电气安全的组织措施

电气安全组织措施内容很多,主要有以下几个方面。

(1) 建立行之有效的安全管理体系 为保证石油化工企业的电气安全,全厂应设置一名电气副总工程师,负责全厂电气管理工作,特别应对企业供电可靠性、电气设备使用安全和更新改造等一系列重大问题进行决策,并对全厂电气管理的归口部门,如,机动科或动力设备科等进行电气安全工作的指导。

(2) 建立健全的规章制度 必要而合理的规章制度是人们从长期的生产实践中总结出来的,是保障安全,促进生产的有效手段。石油化工企业长期推广的“三三、二五制”,即

三图——操作系统模拟图、二次接线图、设备状况指示图;

三票——运行操作票、检修工作票、临时用电票;

三定——定期检修、定期清扫、定期试验;

五规程——运行规程、检修规程、试验规程、事故处理规程、安全工作规程;

五记录——运行记录、检修记录、试验记录、事故记录、设备缺陷记录。

实践证明对石油化工生产的电气安全是比较有效的组织措施之一。

(3) 制定安全措施计划 各单位应根据本部门的具体情况制定安全措施计划,使电气安全工作有计划地进行,不断提高电气安全水平。

(4) 定期进行安全检查 定期检查是贯彻预防为主方针的主要措施之一,群众性的电气安全检查最好每季一次,发现问题及时解决。特别应该注意雨季前和雨季中的电气安全检查。全面检查电气设备、安全用具和电气灭火器材,以及电气安全规章制度的执行情况。

(5) 开展全员的安全教育培训 安全教育和培训主要是为了使工作人员认识电气安全的重要性,懂得电的基本知识,掌握安全用电的基本方法,从而能安全地、有效地进行工作。

对独立工作的电工还应该懂得电气装置在安装、使用、维护、检修过程中的安全要求,应熟知电工安全操作规程,并通过考试取得合格证。

(6) 及时组织事故分析 一旦发生事故应采取“三不放过”的原则。及时组织事故分析、处理。“三不放过”就是发生事故后,有关领导和安全监察部门对事故原因未查清不放过;事故责任者和应受教育者未受到教育不放过;没有采取防范措施不放过。这是为了“吃一堑,长一智”,发现安全工作中的“漏洞”,把事故教训变为经验,把防范措施增补到安全规程中去,健全规章制度,防止再发生类似事故和其他事故,以便今后全面做好安全防护工作。

## 2. 电气安全的技术措施

电气安全管理工作除有高度的组织艺术性外，还有很强的科学性、技术性，是一项复杂的工作。

石油化工企业电气安全技术措施除应满足一般安全用电的技术要求外，还应根据石油化工企业的特点，在防止人身触电、电气防火防爆、防静电危害及防雷等方面引起足够重视。本书将详细介绍有关的技术措施。

## 第一章 电和电磁的基础



### 学习目标

1. 对电场和磁场有所了解；
2. 了解电和磁的基本物理量；
3. 掌握正弦交流电的三要素；
4. 了解电磁感应定律的内容。

### 第一节 电的基本概念

“电”这个名称来源于古希腊语“琥珀”一词。公元前 6 世纪的古希腊工匠们在用琥珀琢磨各种装饰品时，发现琥珀制品具有能够吸引毛发、细屑等微小物体的奇怪现象。限于当时的科学水平尚无法解释，便认为琥珀内存在一种魔力或神力。自然哲学家泰勒斯称这种力为“琥珀力”。经过漫长岁月，直到公元 1600 年，英国皇家医科大学校长、女皇伊丽莎白一世的御医、实验家吉尔伯特在进行大量实验后发现，不单是琥珀，还有其他许多种物体在经过摩擦后都具有这种吸引力。为突出说明这一现象，他引用希腊语里“琥珀”的词根创造了一个新名词，读音与希腊语里“琥珀”的发音完全一样，并以此将这种吸引力命名为“ELECTRICAM”。1646 年科学家布朗克在他的著作中，又按照英语词法将其改写为现在许多西方国家所用的“ELECTRICITY”。中国约在 1851 年将它译为“电”。

#### 一、电荷和电场

电荷是带电的物质基本微粒。

为能从本质上进一步弄懂电是什么，必须先了解物质的电结构。近代科学的大量实验证明，任何物质都是由分子组成的，分子又由保持原物质属性的原子组成。原子是由原子核和电子组成的，原子核内还包含有质子与中子。

由于中子不带电，但质子带正电，故原子核带正电，而电子则带负电。正

常情况下，原子核所带的正电与电子所带的负电数量相等，所以平常原子（乃至物质）便不显带电状态。电子围绕着原子核按一定轨道运转，如同宇宙天体中的太阳系里各行星与太阳间的关系那样，处在外层轨道上的电子与原子核之间的联系比较薄弱。当电子在外界因素（如光、热、外力等）的影响下获得了一定能量后，就可能脱离原子核对它的吸引与束缚而跑出轨道成为自由电子，失去电子或得到电子的微粒称为正电荷或负电荷，而带有电荷的物体则称为带电体。

在电荷的周围客观存在着一个能显示出电性能（电作用）的空间范围，这个空间范围称为电场。引进电场中的电荷将受到电场力的作用。

## 二、电路的组成

简单地说，电路就是电流流通的路径。例如手电筒电路、日常生活中的照明电路、电动机电路等，都是电路的具体例子。

任何一个电路，总是由以下四个基本部分组成。

### 1. 电源

将其他形式的能量转换为电能的装置。在电路中电源产生电能，并维持电路中的电流。干电池、蓄电池、发电机是最常用的电源。

### 2. 负载

电路中消耗电能的设备。负载的功能将电能转换为其他形式的能量。照明器具、电热器具、家用电器、电动机等是常见的负载。

### 3. 连接导线

连接电源、负载和其他设备的导体，为电流提供通路并传输电能或传送电信号。

### 4. 控制器件

在电路中起接通、断开、保护、测量等作用。

构成电路的目的是产生、传输、分配和使用电能。为便于分析电路，通常用符号表示组成电路的实际元件、器件及连接导线，即画出电路图。

## 三、电的几个基本物理量

电路的作用是进行电能与其他形式的能量之间的相互转换。因此，用一些物理量来表示电路的状态及电路各部分之间能量转换的相互关系。

## 1. 电流

电流在实用上有两个含义：第一，电流表示一种物理现象，即电荷有规则的定向移动就形成电流；电流正方向习惯上以正电荷移动的方向为正方向。第二，本来，电流的大小用电流强度来表示，是指在单位时间内通过导体横截面的电荷量；但电流强度平时人们多简称电流，用  $I$  表示，其单位是安培 (C/s)，简称安，用大写 A 表示。所以，电流又代表一个物理量。电流的大小等于单位时间内通过导体某一截面的电量。即

$$I = \frac{Q}{t}$$

式中  $I$ ——电流，A；

$Q$ ——通过导体横截面的电荷量，C；

$t$ ——通过电荷量  $Q$  所用的时间，s。

电流的单位 A 即：如果每秒钟有 1C 的电量流过导线的某一截面，这时的电流为 1A。

## 2. 电压和电位

从数值上看， $a$ 、 $b$  两点之间的电压是电场力把单位正电荷  $Q$  从  $a$  点移动到  $b$  点时所作的功  $W_{ab}$ ，即

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q}$$

式中  $U_{ab}$ —— $a$ 、 $b$  两点之间的电压，V；

$W_{ab}$ ——电场力所作的功，J；

$Q$ ——单位正电荷的电荷量，C。

电压的单位为 V (伏特，简称伏)。

而电场中某点的电位等于电场力将单位正电荷自该点移动到参考点所作的功。比较电压和电位的概念，可以看出，电场中某点的电位就是该点到参考点之间的电压，电位是电压的一个特殊形式。对于电位来说，参考点是至关重要的。在同一电路中，当选定不同的参考点时，同一点的电位数值是不同的。

原则上说，参考点可以任意选定。在电工领域，通常选电路里的接地点为参考点，在电子电路里，常取机壳为参考点。

在实际应用时，仅知道两点间的电压往往不够，还要求知道这两点中哪一点电位高，哪一点电位低。例如，对于半导体二极管来说，只有其阳极电位高于阴极电位时才导通；对于直流电动机来说，绕组两端的电位高低不同，电动机的转动方向可能是不同的。由于实际使用的需要，要求人们引入电压的极

性，即方向问题。

对于电位与电压这两个概念，应看到两者本质上是相同的。电路中两点之间的电压就是这两点电位之差；而电压（电位差）与参考点的选择是没有关系的。这一点又是电压与电位的重要区别。

### 3. 电动势

电动势在数值上等于非电场力把单位正电荷从负极经电源内部运动到正极所作的功。通常用  $E$  表示，单位为  $V$ （伏特，简称伏）。

因为电动势的作用是使正电荷自低电位（负极）移到高电位（正极），使正电荷的电位能增加，所以规定电动势的真实方向是指向电位升高的方向，这一点，正好和电压的真实方向相反。

电动势与电压在本质上是两个不同的概念，但是，它们都可以用来表示电源正、负极之间的电位差。而且，从电源对外部电路所表现的客观效果来看，用电动势或电压表示都可以。其区别是，电动势和电压的正方向刚好相反。这是因为它们的物理意义是不相同的：电动势的正方向表示电位升，而电压的正方向表示电位降。正因为如此，在很多情况下，常常用一个与电源的电动势大小相等、方向相反的电压来等效表示电动势对外电路的作用效果。

## 四、电路的三个基本元件

电路中有各种各样的负载。按照加在负载上的电压与通过负载的电流的关系，可将负载分为电阻、电感、电容三种基本元件。实际负载可视为这三种元件的组合。

### 1. 电阻

电阻是电流流动过程中遇到的阻力。单位是欧姆（ $\Omega$ ），常用的还有千欧（ $k\Omega$ ）和兆欧（ $M\Omega$ ）。它们的关系为

$$1M\Omega=1000k\Omega$$

$$1k\Omega=1000\Omega$$

一只 15W 的白炽灯泡的灯丝电阻约为  $3330\Omega$ ；人体电阻约为  $1000\sim 3000\Omega$ ；长 30m、截面积为  $1.5\text{mm}^2$  铜线的电阻约为  $0.344\Omega$ 。一般情况下，线路导线的电阻比负载电阻小得多，在电路计算和分析时可以忽略不计；而当线路很长或负载电阻很小，特别是负载被短路时，则必须考虑线路导线的电阻。

### 2. 电感

当变化的电流通过线圈时，线圈中会产生感应电动势来阻止电流的变化，

这种性质称为线圈的电感。电感的常用单位是 H、mH 和  $\mu\text{H}$ 。其间关系为

$$1\text{H}=1000\text{mH}$$

$$1\text{mH}=1000\mu\text{H}$$

一般收音机用天线线圈的电感为数十至数百  $\mu\text{H}$ ；长 1km、截面为  $16\text{mm}^2$  的穿管铝线的电感约为 6.33mH。由于感应电动势阻止电流的变化，当交流电流流经线圈时还会遇到另一种阻力，这种阻力称为感抗。

### 3. 电容

被绝缘介质隔离的两个导体能容纳一定量的电荷，其在一定电压的作用下容纳电荷的能力被称为电容。电容的常用单位是 F、 $\mu\text{F}$  和 PF。其间关系为

$$1\text{F}=10^6\mu\text{F}$$

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

电网线路的对地电容一般小于  $0.1\mu\text{F}$ ；人体的对地电容一般为数十至数百皮法。由于有电容的作用，当交流电流流经电容器时也会遇到另一种阻力，这种阻力称为容抗。

## 五、电功、电功率和功率因数

### 1. 电功

由电压的定义可知，若一段电路两端的电压为  $U$ ，当电量为  $Q$  的正电荷经过这段电路时，电流对这段电路所作的功，可由  $U=W/Q$  求得，即  $W=UQ$ 。而由  $I=Q/t$  又得到  $Q=It$ 。因此，电流在这段电路所作的功为

$$W=UIt=I^2Rt=U^2t/R$$

式中  $U$ ——一段电路的电压，V；

$I$ ——一段电路的电流，A；

$t$ ——通电时间，s；

$W$ ——电流在一段电路所作的功，J。

$$1\text{J}=1\text{VA}\cdot\text{s}$$

实际中，常采用  $\text{kW}\cdot\text{h}$ （千瓦小时，俗称度）来计量电流所作的功，也称电能或电量。电功率为  $1\text{kW}$ ，通电时间为  $1\text{h}$ （小时），电流所作的功就是  $1\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

### 2. 电功率

电功率是衡量电流做功快慢的物理量。单位时间内电流所作的功称为电功率，用  $P$  表示，即

$$P = \frac{W}{t}$$

式中  $P$ ——电功率, W;  
 $W$ ——电能, J;  
 $t$ ——时间, s。

### 3. 功率因数

电力系统的功率因数是指整个电力系统的有功功率和总的视在功率之比; 负载的功率因数是指负荷的有功功率和视在功率之比。

$$\cos\phi = \frac{P}{S}$$

电力系统的功率因数过低, 将使发电、变电设备的容量得不到充分利用, 在线路上将引起较大的电压降和功率损失, 造成电能的浪费。

## 六、正弦交流电路的基本概念

电压和电流的大小及方向不随时间变化的电路叫直流电路, 如手电筒电路。规定用大写的字母  $U$ 、 $I$  表示直流电路的电压和电流。

电压和电流的大小和方向随时间变化的电路叫交流电路, 生产和生活中使用的交流电绝大部分都是正弦交流电。其特点是电压和电流的大小和方向随时间按正弦函数的规律变化。要完全掌握正弦交流电, 必须掌握交流电三方面的要素, 即数值、变化速度、相位关系。正弦交流电的三要素其主要内容是最大值(或有效值)、频率(或角频率)、相位(或初相角)。

### 1. 正弦交流电的数值

**瞬时值** 正弦交流电任意时刻  $t$  的数值, 称为正弦交流电的瞬时值, 图 1-1 所示正弦交流电波形图中  $t$  时刻对应的  $e_1$ 。瞬时值用小写符号表示, 如  $i$ 、 $e$ 、 $u$  等。

**最大值** 正弦交流电的最大值又称极大值、振幅值, 是指在变化过程中, 正弦交流电出现的最大瞬时值, 用符号  $E_m$ 、 $I_m$ 、 $U_m$  表示。

**有效值** 正弦交流电的有效值是衡量它发热作功的一个基本量。就是说, 一个交流电流和一个直流电流, 分别通过同一电阻, 如果经过相同时间产生同样热量, 则这个交流电流的有效值等于这个直流电流的大小。因此, 人们定义正弦交流电的有效值是指在发热作功方面与直流电等效的值称为交流电的有效值, 从数学角度说, 又可以称为方均根值。有效值用大写符号表示, 如  $E$ 、 $I$ 、 $U$ 。

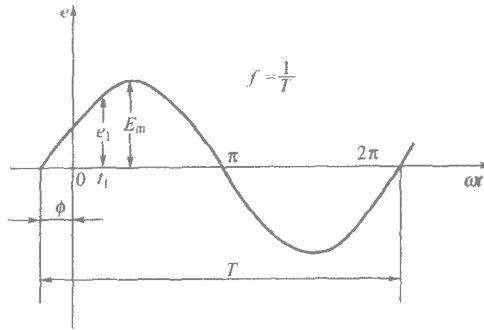


图 1-1 正弦交流电波形

正弦交流电的瞬时值，可以用数学解析式表达，即

$$e = E_m \sin(\omega t + \phi)$$

实际上，在交流电路的分析与计算过程中，主要是用交流电的有效值，例如，电器铭牌上标定的电压、电流，仪表（交流电流、电压表）测量的指示值以及计算电路的电压、电流等都是有效值。

最大值与有效值的关系为：最大值  $= \sqrt{2}$  有效值

在选择整流二极管的最大反向电压时，会用到最大值概念。

## 2. 频率和角频率

**频率** 是指正弦交流电在单位时间（s）内循环变化的周数，用符号  $f$  表示，单位为赫兹（Hz），一般 50Hz、60Hz 称为工频。

**周期** 是指正弦交流电每循环一次所经历的时间（s）。就是说正弦交流电从零值到极大值再到零值再变化到负的极大值然后回到零值的过程所经历的时间称为周期，用符号  $T$  表示，单位为秒（s）。

周期与频率的关系为

$$f = \frac{1}{T}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

**角频率** 表示正弦交流电变化速度的另一个物理量是角频率，角频率是指正弦交流电每秒循环变化的弧度数（这里是指电角度），用符号  $\omega$  表示，单位是弧度/秒（rad/s）。角频率与频率及周期的关系

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

## 3. 正弦交流电的相位关系

正弦交流电是随时间变化的量，在交流电路中的电压、电动势、电流等电

气量是以同一频率变化的，分析和计算交流电路时，是以相对关系进行的。因此常常是把这个变化量看成是以同一速度的旋转相量，这样就要有一个表示正弦交流量在变化过程中，变化进程的物理量，这个量就是相位。

正弦交流电的表达式中  $(\omega t + \phi)$  即正弦电动势  $e$  的相位。

初相角是指当时间  $t$  等于 0 时，正弦交流电的相位，由于是旋转量，所以用角度表示，即  $\phi$  角就是正弦交流电动势  $e$  的初相角。

## 第二节 电磁场基础

人类对电的认识起源于磁。实质上，电与磁是一个问题的两个方面，是能量的两种不同表现形式（电能与磁能），它们既具有同一性，又能在特定条件下互相转化。磁现象的发现早在 4000 多年前（公元前 21 世纪），轩辕黄帝时代，我们的祖先就发现了一种能够吸铁的特殊“石头”（即天然磁石）。它是一种天然矿物，因为具有吸铁的性能，便形象地用“慈母恋子”的比喻将它取名为“慈石”（后演变为磁石）。其后又利用它制成了举世闻名的“司南”（即指南针），成为我国古代四大发明之一。

磁场跟电场一样，是一种物质，因而也具有力和能的性质。磁场的表现之一是引进场域内的磁针发生偏转和取向；表现之二是引进场域内的电流受到力的作用。

### 一、电流的磁效应及磁场物理量

#### 1. 电流的磁效应

磁场可由永久磁铁产生，可由电流产生，也可由变化的电场产生。在电气设备中，最常见到的是由电流产生的磁场。

电流所产生磁场的方向按右手螺旋定则确定：将右手握拳，伸开大拇指，对于流经长直导线的电流，大拇指表示电流的方向、卷曲的四指表示电流周围磁场的方向；对于流经线圈的电流，卷曲的四指表示电流的方向，大拇指表示线圈内磁场的方向。

#### 2. 磁场物理量

(1) 磁感应强度 磁场的强弱是用引进场域内的电流（运动电荷）所受到作用力的大小来衡量的。这一物理量叫做磁感应强度，用  $B$  表示，单位是 T（特斯拉）或  $\text{Wb}/\text{m}^2$ （韦伯/平方米）。磁场是有方向的场，磁感应强度是具有方向的物理量。因为磁感应强度与磁场前进方向上某一面积的乘积叫做磁通。

所以，磁感应强度也叫磁通密度。即

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

式中  $\Phi$ ——磁通，Wb；  
 $S$ ——面积， $m^2$ 。

(2) 磁导率 磁场中各点磁感应强度的大小不仅与电流的大小和导体的形状有关，而且与磁场内媒介质的性质有关。这一点可通过下面的实验来验证。

当用一个插入铁棒的通电线圈去吸引铁钉，然后把通电线圈中的铁棒换成铜棒再去吸引铁钉，便会发现两种情况下吸力大小不同，前者比后者大得多。这表明不同的媒介质对磁场的影响是不同的，影响的程度与媒介质的导磁性质有关。

磁导率  $\mu$  就是一个用来表示媒介质导磁性能的物理量。不同的介质有不同的磁导率。它的单位为 H/m (亨/米)。

(3) 磁场强度 为了使磁场的计算简单，常用磁场强度这个物理量来表示磁场的性质。在磁场中，各点磁场强度的大小只与电流的大小和导体的形状有关，而与媒介质的性质无关。

磁场中某点的磁感应强度  $B$  与介质  $\mu$  的比值，叫做该点的磁场强度，用  $H$  表示，单位为 A/m (安/米)，即

$$H = \frac{B}{\mu}$$

或

$$B = \mu H$$

式中  $\mu$ ——材料磁导率，H/m；  
 $H$ ——磁场强度，A/m。

## 二、电场对载流导体的作用

载流导体在磁场中将受到磁场力的作用，力的大小与磁感应强度、流经导体的电流、导体的长度成正比。即

$$F = BIl$$

式中  $F$ ——导体受到的作用力，N；  
 $B$ ——磁感应强度，T；  
 $I$ ——流经导体的电流，A；  
 $l$ ——导体长度，m。

电场对载流导体作用力的方向可由左手定则确定：平伸左手，拇指与并拢的其他四指成  $90^\circ$ ，磁场穿过手心。并拢的四指指向导体内电流的方向，则拇

指表示导体受力的方向。载流导体所受作用力的方向总是从磁通密度大的一方指向磁通密度小的一方。例如，线圈流过电流时所受磁场力的方向总是由里向外的，平行载流导线之间，当电流方向相同时磁场力的方向是向里的，而当电流方向相反时磁场力的方向是向外的。

### 三、电磁感应定律

电磁感应现象就是电产生磁、磁产生电的现象。电磁感应技术在变压器、电动机、电度表、无线电设备等电气设备中得到了广泛的应用。

导体在磁场中做切割磁力线运动时，导线中将产生感应电动势，这种现象叫电磁感应。感应电动势的大小为

$$e = Blv$$

式中  $e$ ——感应电动势，V；  
 $B$ ——磁感应强度，T；  
 $l$ ——导体有效长度，m；  
 $v$ ——垂直磁场的切割速度，m/s。

电磁感应定律规定：闭合线圈中感应电动势的大小和线圈内磁通变化的速度（就是单位时间内磁通变化的数值，又叫磁通的变化率）成正比。线圈中的感应电动势的大小为

$$e = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

式中  $e$ ——感应电动势，V；  
 $N$ ——线圈匝数；  
 $\Delta\Phi$ —— $\Delta t$  时间（s）内磁通的变化，Wb。

式中的负号表示感应电动势的方向，由楞次定律确定。

如有闭合回路，导线或线圈中的感应电动势将产生感应电流。感应电流所产生的磁场总是阻碍其周围磁场变化的，这一规律叫做楞次定律。楞次定律可用于确定感应电动势的方向。导线中感应电动势的方向亦可由右手定则确定：平伸右手，拇指与并拢的其他四指成  $90^\circ$ ，磁场穿过手心，拇指指向切割方向，则并拢的四指表示感应电动势的方向。

电磁感应定律是用来计算线圈中感应电动势的数值，而楞次定律是用来确定线圈所产生感应电动势的方向。

### 思 考 题

1. 电路主要由哪几部分组成？它们在电路中各起什么作用？

2. 什么是电流？存在持续电流的条件是什么？
3. 电流的方向是怎样规定的？金属导体中电子的运动方向是不是电流的方向？
4. 导体为什么会存在电阻？
5. 什么叫电压和电动势？两者有什么区别？
6. 什么叫工频交流电的周期、频率和角频率？三者之间有何区别？
7. 交流电流的有效值的含义是什么？有效值和最大值之间的数量关系如何？
8. 写出电能和电功率的公式，在电路中，电流做功消耗了什么能？
9. 电磁感应定律和楞次定律的内容是什么？

## 第二章 电流及电磁场对人体的伤害

### 学习目标

1. 正确评价电流、电磁场对人体作用的危险性；
2. 了解触电的种类；
3. 熟悉触电急救的基本方法。

### 第一节 电流对人体的伤害

电能可能对人体构成多种伤害。在电能对人体的伤害中，触电事故最为基本。越来越多的事实证明，发生触电事故时，电流比电压对人体的效应更具有直接性。

电流对人体的伤害就是通常所说的触电，是电流的能量直接作用于人体或转换成其他形式的能量作用于人体造成的伤害。触电与其他一些伤害不同，伤害往往发生在瞬息之间，人体一旦受到电击后，防卫能力迅速降低。这些特点都增加了电流对人体伤害的危险性。根据伤害后果的不同和电能施加于人体方式的不同，触电可分为电击和电伤。

#### 一、触电的种类

根据伤害后果的不同和电能施加于人体方式的不同，触电可分为电击和电伤。

##### 1. 电击

电击是指电流通过人体内部直接造成对内部组织的伤害。

##### (1) 特点

- 主要伤害部位在心、肺、中枢神经等重要部位；
- 数十毫安的工频电流即可使人造成致命的伤害；
- 电击伤害一般不在人体表面留下明显的伤痕；

电击是全身伤害。

## (2) 种类

按照发生电击时电气设备的状态分类。

a. 直接接触电击（直接接触触电）——是指人体触及正常运行的设备或线路的带电体造成的触电事故；

b. 间接接触电击（间接接触触电）——是指设备或线路发生故障时，人体触及正常情况下不带电而故障时意外带电的导体而造成的触电事故。

按照人体触及带电体的方式和电流通过人体的途径分类。

a. 单线电击（单相触电）——单相触电是指人体在地面或其他接地导体上，人体其他某一部位触及一相带电体的触电事故。大部分触电事故都是单相触电事故。单相触电事故的危险程度与电网运行方式有关。如图 2-1 (a) 所示。

b. 两线电击（两相触电）——是指人体两处同时触及两相带电体造成的触电事故。两相触电的危险性一般是比较大的。漏电保护装置对两线电击是起不到保护作用的。如图 2-1 (b) 所示。

c. 跨步电压触电——跨步电压触电是指人在接地点附近，由两脚之间的电位差引起的触电事故。高压故障接地处，或有大电流（如雷电）流过的接地装置附近都可能出现较高的跨步电压。如图 2-1 (c) 所示。

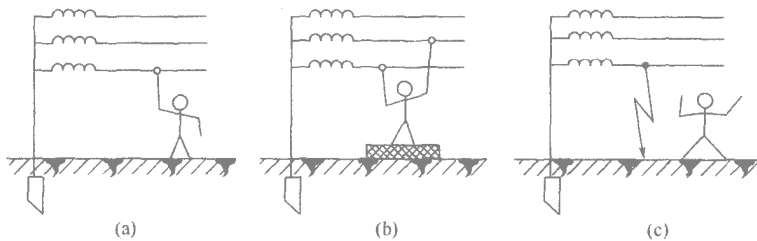


图 2-1 电击的种类

d. 接触电压。在日常生活中除了要防止直接接触和因设备漏电而造成的人身触电危险外，还需防止接地装置在流过接地电流时所呈现的电位。

在发生接地故障时，人体接触漏电故障设备的外壳，人体站立处距故障点的距离为 0.8m 时，人体所接触的两点（一般是手和脚）之间所呈现的电位差，叫做接触电压。

不论是接触电压还是跨步电压，当其数值达到危险程度，同样会造成触电事故。一般在危险场所，人体的接触电压应小于 10V，而跨步电压不超过 20V，大部分触电死亡事故都是电击造成的。通常说的触电事故基本上是指电击而言。