

毛主席语录

为了保证我们的党和国家不改变颜色，我们不仅需要正确的路线和政策，而且需要培养和造就千百万无产阶级革命事业的接班人。

农村是一个广阔的天地，在那里是可以大有作为的。

自然科学是人们争取自由的一种武装。人们为着要在社会上得到自由，就要用社会科学来了解社会，改造社会进行社会革命。人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。

目 录

第一章 电工基础知识	(1)
第一节 从物质的结构认识电的来源.....	(1)
第二节 导体和绝缘体.....	(2)
第三节 直流电路的构成及电流.....	(3)
第四节 电位和电压.....	(7)
第五节 电源的电动势.....	(9)
第六节 导体的电阻.....	(10)
第七节 欧姆定律.....	(13)
第八节 电阻的串联和并联.....	(15)
第九节 电能和电功率.....	(21)
第十节 电容器.....	(23)
第十一节 电流的磁效应.....	(26)
第十二节 电磁感应.....	(30)
第十三节 交流电的基本概念.....	(36)
第十四节 交流电路的简单计算.....	(42)
第十五节 三相交流电.....	(61)
第二章 感应电动机	(73)
第一节 感应电动机的基本构造.....	(73)
第二节 感应电动机的系列及铭牌.....	(75)
第三节 感应电动机的转动原理.....	(79)
第四节 三相感应电动机的接线.....	(84)

第五节	感应电动机的起动方式和起动设备	(90)
第六节	怎样选择电动机的熔丝	(96)
第七节	电动机运行中的管理和维护	(101)
第八节	异步发电机	(112)
第三章	变压器	(120)
第一节	变压器的作用和种类	(120)
第二节	变压器的基本构造	(121)
第三节	变压器的工作原理	(124)
第四节	变压器的铭牌	(127)
第五节	变压器的分接头和电压调整	(131)
第六节	变压器的运行和维护知识	(134)
第四章	农村常用电工仪表	(140)
第一节	电工仪表的作用和分类	(140)
第二节	直流电流表和电压表	(141)
第三节	交流电流表和电压表	(144)
第四节	电度表	(149)
第五节	万用表的使用方法	(153)
第六节	绝缘摇表的使用	(156)
第五章	农村低压配电线路及室内照明	(159)
第一节	低压架空线路的一般知识	(159)
第二节	对农村低压架空线路的技术要求	(164)
第三节	低压架空线路的维护	(174)
第四节	室内布线及照明设备的安装	(175)
第六章	农村安全用电	(184)

第一节	电流对人体的危害	(184)
第二节	触电方式	(187)
第三节	怎样防止触电	(190)
第四节	触电急救	(195)

附 录

表 1	汉语拼音字母及读音	(202)
表 2	拉丁字母及读音	(203)
表 3	本书所用希腊字母及读音	(203)
表 4	本书所用主要电工名词、计量单位 及号符	(204)

第一章 电工基础知识

大家都知道电的用处很多，在工业上电是不可缺少的原动力，在农村用电的地方也不少，而且随着农村社会主义革命和社会主义建设的迅速发展，农村用电事业将越来越广泛。例如：电动机带动各种农业机械和农副业加工机械在工作；收音机里及时地播送着我们伟大的社会主义祖国各条战线上所取得的伟大胜利的消息；电影给我们带来了丰富多采的革命文化生活；一天劳动之后，我们坐在明亮的电灯下认真学习马列著作和毛主席著作，或者写下我们在农村三大革命运动中所取得的收获和体会。这一切不仅说明电与我们的生产和生活有着密切的联系，而且也说明我们对它已经有所了解。

但是，初学电工知识的人，认为电既看不见又不敢摸，感到很抽象。因此，常常提到这样的问题：电究竟是从哪里来的？为了解决这个问题，需要先从物质的结构谈起。

第一节 从物质的结构认识电的来源

人们经过长期的生产斗争和科学实验认识到，一切物质都是由分子构成，分子又由原子组成。而每一个原子又由一个带正电荷的原子核和若干个带负电荷的电子所组成，这些电子按照一定的规则分布在不同轨道上绕原子核转动。不同物质的原子所具有的电子数目和排列方式是不一样的。例如

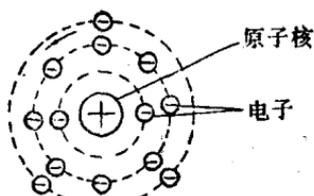


图1—1 铝原子结构示意图

结构最简单的氢原子只有一个电子绕原子核旋转，而我们常用的铝导线的铝原子则有十三个电子，各按一定轨道绕原子核旋转。图1—1是一个铝原子的结构示意图。

对立统一规律是宇宙的根本规律。矛盾着的对立面又统一，又斗争，由此推动事物的运动和变化。原子内部也是这样的。实验证明，同性电荷之间相互排斥，异性电荷之间相互吸引，即在原子内部存在着电子与原子核之间的吸引力以及电子之间的相互排斥力。在正常状态下，由于原子核所带的正电荷与电子所带的负电荷的总量相等，而互相抵消，所以，在平时物体对外界不呈现带电现象。如果在某种外因的作用下，使物体的原子失去或得到一部分电子，这样就破坏了原子中两个对立物的暂时平衡，使物体成为带电的系统。失去一部分电子的物体带正电，获得一部分电子的物体带负电。物体所带电荷的多少称为电量，它的单位是库伦（1库伦约等于625亿亿个电子所带电量的总和）。

从以上事实可以了解到，物质的原子内部包含着正电荷与负电荷这一对矛盾，它能够在外因的作用下使物体产生带电现象。我们平时所说的电，就是指电荷所表现的各种现象。

第二节 导体和绝缘体

一切物质的原子内部，都包含着正电荷与负电荷。为什么有的物质容易导电，而有的物质却不容易导电呢？这是由

于不同的物质，其内部都包含着本身的特殊矛盾的缘故。

在一般情况下，各种金属材料的原子中，处于最外层轨道上的电子与原子核之间的吸引力比较弱，这些电子，在一定外界因素的影响下容易脱离原子核的束缚，而在各原子之间作无规则地运动，这部分电子称为自由电子。由于金属内部存在着大量的自由电子，所以，它们具有良好的导电性能，这类物质称为导体。

另外，还有一些物质如云母、橡胶、塑料、陶瓷、树脂以及干燥的木材等，这些物质中的原子核与其周围的电子之间的吸引力较强，使得电子不容易挣脱原子核的束缚。因此，这类物质的导电性能很差，称为绝缘体。

导体和绝缘体是最常用的两种电工材料，它们各有不同的用途。为了给电构成一个畅通的路径，所以各种导线以及电动机、变压器的线圈等都用电体（铜、铝）作成，而不允许通电的地方，就要用绝缘材料把电隔开。例如，一般电线的表面包有橡皮或塑料，灯头或开关的外壳都用电木作成。应当指出，绝缘体并不是绝对不导电的，因为“客观事物中矛盾着的诸方面的统一或同一性，本来不是死的、凝固的，而是生动的、有条件的、可变动的、暂时的、相对的东西，一切矛盾都依一定条件向它们的反面转化着。”当绝缘材料受潮之后或者温度过高时，其绝缘性能显著下降，甚至在过高的电压之下，可能完全失去绝缘性能，这种现象称为电击穿。

第三节 直流电路的构成及电流

一、电路及电路图

“电路”是输送电能的路径的总称。最简单的直流电路由下列四部分组成：

1. 直流电源——是电路中供给电能的设备。一般直流电源有干电池、蓄电池和直流发电机，它们所产生的电能是由其它形式的能量（如化学能、机械能）转换而来的。

2. 用电设备——是使电能转变为其它形式能量的设备。例如电灯和电热器是把电能转变为光能或热能的设备，电动机是把电能转变为机械能的设备。用电设备通常又统称为“负载”。

3. 连接导线——使电源和负载构成一个闭合的通路，它起着传送电能的作用。

4. 辅助设备——包括作为接通或断开电路用的开关、作为保护电路用的熔断器（又称保险器）以及供测量用的仪表等等。

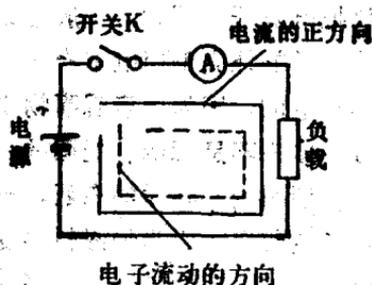


图1—2 最简单的直流电路图

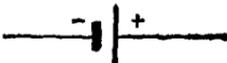
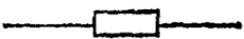
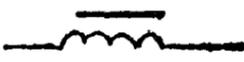
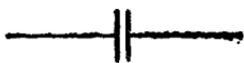
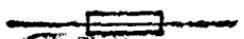
为了清楚而方便地表示出电路的组成情况，通常用各种图形符号表示电路中的元件，用这些符号组成的电路称为“电路图”。图1—2是一个最简单的直流电路图。电路中常用的图形符号如表1—1中所列。

二、电 流

在图1—2所示的电路中，当开关K闭合后，在电源的作用下，导体内部的自由电子将沿着电路有秩序地向着一个方

向移动，电荷的流动就称为电流。

表1—1 电路图中常用的图形符号

名 称	图 形 符 号
原电池或蓄电池	
单极开关	
三极开关	
连接导线	
接 地	
电阻的一般符号	
无铁心的电感线圈	
有铁心的电感线圈	
电容器的一般符号	
熔 断 器	

白 炽 灯	
电 流 表	
电 压 表	
电 流 计	

电流的大小是以单位时间里通过导体横截面的电量来计算的，称为电流强度，简称为电流。如果电流的大小和方向不随时间变化，则称为恒定直流（简称直流），用符号 I 表示；如果电流的大小和方向随时间变化，则称为交变电流（简称交流），用符号 i 表示。在实用单位制中，电流的单位是安培（简称安，用符号 A 表示）。根据不同的需要，电流还用千安（ KA ）、毫安（ mA ）或微安（ μA ）作单位，它们之间的关系是：

$$1 \text{ 千安} = 1000 \text{ 安}$$

$$1 \text{ 毫安} = \frac{1}{1000} \text{ 安}$$

$$1 \text{ 微安} = \frac{1}{1000} \text{ 毫安} = \frac{1}{1000000} \text{ 安}$$

在这里应当注意直流电流的方向。电路中的电流是由于导体中的自由电子（即负电荷）的移动而形成的，而自由电子移动的方向是从电源的负极出发，经过外电路回到电源的正极，在电源内部再由正极到负极，这样形成一个闭合的循环路径。但是，过去习惯上规定直流电流的正方向是从电源

的正极出发，经过外电路回到电源的负极，在电源内部则由负极到正极。显然，这样规定的直流电流的正方向恰与电子流动的实际方向相反。由于过去已经形成了习惯，而且它并不影响我们对电路的分析，因此，今后直流电流的正方向仍沿用原来的规定，即由电源正极→负载→电源负极→电源正极，如图1—2中箭头方向所示。

第四节 电位和电压

一、什么叫电位

俗语说：“水往低处流”，这是因为高处的水位高，低处的水位低，所以水能自然地由高水位流向低水位。与此相似，电流也是从高电位流向低电位。例如电池的两极具有不同的电位，正极的电位比负极的电位高，因此，当电路接通之后，电流便从电池的正极出发，经过外电路回到电池的负极。

当某一物体带电之后，它就具有一定数值的电位，其电位的高低与该物体所带电量的多少和电荷的性质（正电荷还是负电荷）有关。因为地球的体积很大，可以认为它所带的正、负电荷基本上是平衡的。所以，通常把大地当作零电位或参考电位。任何带有正电荷的物体，其电位比大地的电位高，即具有正电位；带有负电荷的物体，其电位比大地的电位低，即具有负电位。当带正电荷的物体与大地接触时，大地的负电荷与物体上的正电荷相“中和”，使物体与大地具有相同的电位，即零电位。同理，当带有负电荷的物体与大

地接触时，物体上的负电荷流入大地，也使物体具有零电位。

为了加深对电位这个概念的理解，举一个具体数字来比喻：设有体积相同的甲、乙、丙三个带电球，甲球带有1库伦的正电荷，乙球带有 $\frac{1}{2}$ 库伦的正电荷，丙球带有 $\frac{1}{3}$ 库伦的正电荷。虽然它们都具有正电位，但是，若甲与乙相比，则乙比甲的电位低，若乙与丙相比，则乙比丙的电位高。由此可见，电位的高低是一个相对的概念，不是绝对的概念。就是说，如果不加比较地说某一点的电位高或低是没有意义的。电位的高低用伏特作单位，伏特简称为伏，用符号V表示。

二、什么叫电压

如果有两个电位不同的物体，或者在电路中某两点的电位不相等，它们之间电位的差值就叫做电位差。电位差通常又叫电压，用符号U表示，它的单位与电位的单位相同，也是伏（V）。在这里必须弄清电位与电压这两个概念的区别，电位是指一点而言，电压是指两点。例如平时我们说电灯线路的电压是220伏，就是指火线与零线之间的电位差是220伏。

正如水位差是形成水流的原因一样，电位差是产生电流的原因。要使电路中连续不断地有电流通过，电路两端就必须保持一定的电位差。在分析和计算电路的时候，不仅要知道某两点之间电压的大小，有时还需要知道哪点的电位高，哪点的电位低。因此就需要给电压规定一个正方向。电压的正方向规定为从高电位到低电位，即电位降的方向。电压的

正方向通常有两种表示方法：一种是用箭头表示，箭头所指的方向是从高电位指向低电位；另一种是在符号 U 的右下方标注两个字母，例如 U_{AB} 就是表示A点的电位高，B点的电位低。

第五节 电源的电动势

农村抽水站的水泵把低处的水抽到高处之后，水才能自然地由高处源源不断地流向低处，以灌溉农田。在这个过程中，电动机带动水泵把机械能转换为水的位能，水泵就是维持水位差的能源。同理，在电路中要使电流连续不断地流过，就必须有一种能源使电路两端维持一定数值的电压，这个任务是由电源来完成的。

在电源内部，在化学能（如干电池、蓄电池）或机械能（如发电机）的作用下，将正、负电荷推向电源的两极，使电源两端维持一定数值的电位差，这个电位差就称为电源的电动势。电动势简称为电势，用符号 E 表示，它的单位与电压相同，都是伏（V）。

因为电源的电势是由于电源内部其它形式能量持续不断地作用而产生的。故一般说来电势的数值是不变的。例如一节干电池的电动势为1.5伏左右。但由于电源内部都具有一定数值的电阻（称为电源的内阻），当电源送出电流时，在电源内阻上要产生电压降。因此，在电路接通时，电源两端的电压（简称为端电压）比其电势的数值略小一些。只有当电源开路时，电源的端电压才等于电势的数值。大家可以做这样一个简单的实验：找一节旧电池和一节新电池，用电压表

测量二者正、负极之间的电位差，大小相差不多。但新电池接通小灯泡之后就比较亮，而旧电池接通同一小灯泡后就不太亮或者不亮。这是什么原因呢？因为电压表本身的电阻很大，当用电压表直接测量电池两端的电压时，就相当于把电池开路，所以电压表测量的数值是电池的电动势。但由于旧电池的内阻比新电池的内阻大得多，当接通小灯泡后，旧电池内阻上的电压降很大，使得端电压减小，故小灯泡不亮，而新电池内阻上的电压降很小，其端电压几乎等于电动势，故小灯泡就比较亮。

一般说来，由于电源的内阻比较小，电源的电动势和端电压的数值相差不多，所以通常把二者看作近似相等。但实际上二者是有区别的，因此，在概念上不能混为一谈。

第六节 导体的电阻

一、什么叫电阻

如同水在管道里流动时会遇到阻力一样，电荷在通过导体时也会遇到一定的阻力，这种阻力叫做电阻，用符号 R 表示。

二、导体的电阻怎样计算

实验证明，导体电阻的大小不但与导体的材料、粗细和长短有关，还与导体的温度有关。当导体的截面均匀、温度一定时，其电阻按下列公式计算：

$$R = \rho \frac{l}{s} \quad (1-1)$$

式中： ρ ——导体的电阻率，又称电阻系数，它的单位是：欧姆·毫米²/米，

s ——导体的截面，单位为毫米²，

l ——导体的长度，单位为米，

R ——导体的电阻，单位为欧姆（简称欧用符号 Ω 表示）。

导体的电阻率 ρ 是表示某种材料导电性能好坏的一个系数，不同材料的电阻率是不同的，表1—2列出了几种常用导电材料在20°C时的电阻率。

表1—2 几种常用导电材料的电阻率和平均电阻温度系数

材料名称	电阻率 ρ (欧·毫米 ² /米) (20°C)	平均电阻温度系数 1/°C (0~100°C)
银	0.0162	0.0036
铜	0.0172	0.0040
铝	0.0283	0.0042
铁	0.0978	0.0057
康铜 (Cu60 + Ni40)	0.4900	0.000005
锰铜 (Cu84 + Mn12 + Ni4)	0.4820	0.000015
镍铬铁 (Ni60 + Cr20 + Fe20)	1.0800	0.00013

三、不同温度下导体电阻的换算

实验证明，在不同温度下，同一导体的电阻值是不相同的。一般金属材料（如铜、铝、铁等），当温度升高时其电

阻值略有增大；有些材料（如电解液、石墨、碳等），当温度升高时其电阻略有减小；还有一些合金材料（如康铜、锰铜、镍铬铁），温度变化对其电阻值的影响极小。为了计算不同温度下的导体电阻，通常用电阻温度系数 α 来进行换算。电阻温度系数的含义是：当导体的温度升高 1°C 时，电阻变化的数值与原来电阻数值之比。电阻温度系数的单位为 $\frac{1}{\text{度}}$ ($1/^{\circ}\text{C}$)。设温度为 t_1 时，导体的电阻为 R_1 ，温度变化到 t_2 时，导体的电阻为 R_2 ，根据电阻温度系数的含义，则：

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)} \quad (1-2)$$

变化公式(1-2)则得：

$$R_2 = R_1 + R_1\alpha(t_2 - t_1) \quad (1-3)$$

通过下面的例题，我们来熟悉导体电阻的计算。

例1-1 计算长度为1000米，截面为16平方毫米的铜线和铝线，在 20°C 时电阻各是多少？

解：已知 $l = 1000$ 米， $s = 16$ 平方毫米，由表1-2查出铜的电阻率为0.0172，铝的电阻率为0.0283，代入公式(1-1)得：

$$\text{铜线的电阻 } R_m = 0.0172 \times \frac{1000}{16} \approx 1.08 \text{ 欧}$$

$$\text{铝线的电阻 } R_m = 0.0283 \times \frac{1000}{16} \approx 1.8 \text{ 欧}$$

例1-2 一台电动机，运行前在温度为 20°C 时测得定子线圈（铜线）的直流电阻为0.21欧，在额定负载下运行时测得线圈温度为 90°C ，求此温度下线圈的直流电阻。

解：已知 $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$ ， $R_1 = 0.21\Omega$ ， $t_2 = 90^{\circ}\text{C}$ ，查表得铜

的电阻温度系数 $\alpha = 0.004$ ，代入公式 (1—3) 得

$$\begin{aligned} R_2 &= R_1 + R_1\alpha(t_2 - t_1) \\ &= 0.21 + 0.21 \times 0.004(90 - 20) \\ &= 0.21 + 0.0588 = 0.2688\Omega. \end{aligned}$$

第七节 欧姆定律

通过前面几节的学习，我们已经懂得，要使电路中通过电流，就必须在电路两端加上电压。同时，当导体中有电流通过时，电流又要受到电阻的阻碍。因此，在一个电路中，电压、电流与电阻这三者之间有着密切的关系，而且互为影响。大家很自然地会联想到，电路中的电压、电流与电阻之间的变化规律究竟是怎样的呢？为了解决这个问题，我们先看下面的实验：

如图 1—3 所示，在一个电阻 $R = 2$ 欧的导体两端加一个可变的直流电压 U ，每改变一次电压，并用电压表和电流表分别测出电压 U 和相对应的电流 I ，列表如下：

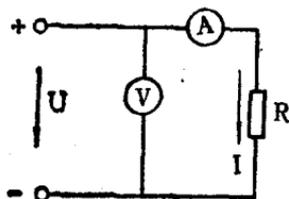


图1—3 欧姆定律

U (伏)	1	2	3	4	5	6
I (安)	0.5	1	1.5	2	2.5	3

从实验数据中可以看出，通过导体 (R) 的电流与导体两端所加的电压成正比变化，电压与电流的比值等于导体的电阻 R 。这个规律称为一段电路的欧姆定律，它的数学式为：

还可写成

$$\left. \begin{aligned} R &= \frac{U}{I} \\ I &= \frac{U}{R} \\ U &= IR \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

欧姆定律是分析和计算电路的基本定律之一。根据公式(1-4)，只要知道了其中任意两个数值，就可以求出第三个未知数值。

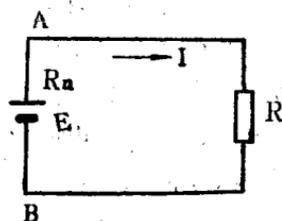


图1-4 最简单的全电路

欧姆定律不仅适用上面所谈的一段电路，而且也适用于包括电源在内的全电路。图1-4为其中最简单的全电路， E 为电源的电势， R_n 为电源的内阻， R 为负载电阻。应用欧姆定律计算图1-4电路中的电流时，必须用电路的总电阻($R + R_n$)去除电源的电势，即

$$I = \frac{E}{R_n + R} \quad (1-5)$$

变化上式则得：

$$E = IR_n + IR$$

或
$$IR = E - IR_n$$

式中， IR_n 为电源内阻上的电压降， $IR = U$ 为电源的端电压。由此可知，电源的端电压等于电势减去电源内阻上的电压降。

例1-3 已知手电筒用的小灯泡的电压为2.5伏，电流为0.3安，试计算小灯泡热状态下的电阻。

解： $R = \frac{U}{I} = \frac{2.5}{0.3} \approx 8.3 \text{ 欧}$

例1—4 一只白炽灯泡，已知它在热状态下的电阻为1210欧，外加电压为220伏，求通过灯丝的电流。

解： $I = \frac{U}{R} = \frac{220}{1210} \approx 0.18 \text{ 安}$

例1—5 一只 $R = 300$ 欧的电阻，通过该电阻的电流为0.2安，求电阻两端的电压降。

解： $U = IR = 0.2 \times 300 = 60 \text{ 伏}$

例1—6 已知图1—4中， $E = 24$ 伏， $R_n = 0.4$ 欧， $R = 11.6$ 欧，试计算：

(1) 电路中的电流；

(2) 电源内阻上的电压降；

(3) 电源的端电压。

解：

(1) 电路中的电流 $I = \frac{24}{0.4 + 11.6} = 2 \text{ 安}$

(2) 电源内阻电压降 $U_o = IR_n = 2 \times 0.4 = 0.8 \text{ 伏}$

(3) 电源的端电压 $U_{AB} = E - IR_n = 24 - 0.8 = 23.2 \text{ 伏}$
或者 $U_{AB} = IR = 2 \times 11.6 = 23.2 \text{ 伏}$ 。

第八节 电阻的串联和并联

上面所讨论的电路都是包括一个电源和一个负载，这种电路是最简单的。在实际应用中总是根据具体情况把负载联接成各种不同的形式，串联和并联是其中最基本的两种。

一、电阻的串联

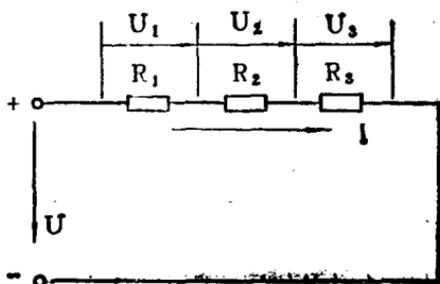


图1—5 电阻的串联

把几个电阻的端头依次相联，接成一串，叫做串联，如图1—5所示。我们以图1—5为例来说明电阻串联电路的特点。

1. 在串联电路中，因为电流只有一条通路，所以，不管各个电阻的大小是否相等，流过各电阻是同一个电流，即

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

2. 由于串联电路中各个电阻通过同一电流，所以，根据欧姆定律，各电阻两端电压的大小与其电阻的大小成正比，即

$$U_1 = IR_1, U_2 = IR_2, U_3 = IR_3$$

电路的总电压 U 等于各个电阻上的电压之和。即

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = IR_1 + IR_2 + IR_3 = I(R_1 + R_2 + R_3)$$

3. 电路的总电压 U 除以通过电路的电流 I ，叫做电路的等效电阻（总电阻）即

$$R = \frac{U}{I}$$

将 $U = I(R_1 + R_2 + R_3)$ 代入上式，则得串联电路的总电阻

$$R = \frac{U}{I} = \frac{I(R_1 + R_2 + R_3)}{I} = R_1 + R_2 + R_3$$

(1-6)

公式(1-6)表明,串联电路的总电阻等于各个电阻之和。就是说,几个电阻串联之后,总电阻比其中任一个电阻都要大。

二、电阻的并联

把几个电阻的一端联接在一起,而另一端也联接在一起,使各个电阻处于同一电压之下,这种并排的联接方式叫做并联,如图1-6所示。并联电路应用最广,例如电灯、电动机等用电设备,只要它们的额定电压相同,通常都采用并联形式。这样,既可以保证各支路的电压相等,又不因某一支路断开而影响其它支路的正常工作。

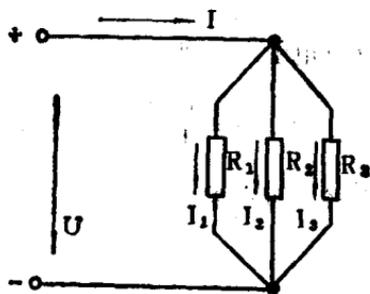


图1-6 电阻的并联

下面以图1-6为例来说明电阻并联电路的特点。

1. 因为各电阻的两个端头分别接在同一点上,所以各电阻处于同一电压之下。即

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

2. 根据欧姆定律,通过各电阻的电流分别等于:

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U}{R_2}, \quad I_3 = \frac{U}{R_3}$$

由此可知,电阻并联时,通过各电阻电流的大小与其电

阻的大小成反比，即电阻小的支路电流大，电阻大的支路电流小。

3. 从图 1—6 可以看出，并联电路的总电流等于各支路电流之和，即

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

$$= U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

并联电路的电压 U 除以总电 I ，叫做电路的等效电阻（总电阻）。即

$$R = \frac{U}{I}$$

上式又可写成

$$I = \frac{U}{R}$$

将 $I = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$ 代入上式，则得：

$$I = \frac{U}{R} = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (1-7)$$

公式 (1-7) 表明，并联电路的总电阻的倒数等于各个电阻的倒数之和。应当注意，几个电阻并联时，总电阻一定小于其中任何一个电阻。

例1—7 两个相等的电阻 $R_1 = R_2 = 50$ 欧串联，外加总电压为 220 伏，试计算：

- (1) 电路的总电阻；
- (2) 通过电路的电流；
- (3) 各电阻两端的电压。

解：

(1) 总电阻 $R = R_1 + R_2 = 50 + 50 = 100$ 欧；

(2) 电流 $I = \frac{U}{R} = \frac{220}{100} = 2.2$ 安；

(3) 各电阻两端的电压 $U_1 = U_2 = 2.2 \times 50 = 110$ 伏。

例1—8 有两个大小不等的电阻 $R_1 = 60$ 欧， $R_2 = 40$ 欧相串联，外加总电压 $U = 220$ 伏，计算：

- (1) 电路的总电阻；
- (2) 通过电路的电流；
- (3) 每个电阻两端的电压。

解：

(1) 总电阻 $R = R_1 + R_2 = 60 + 40 = 100$ 欧；

(2) 电流 $I = \frac{U}{R} = \frac{220}{100} = 2.2$ 安；

(3) R_1 两端的电压 $U_1 = IR_1 = 2.2 \times 60 = 132$ 伏；

R_2 两端的电压 $U_2 = IR_2 = 2.2 \times 40 = 88$ 伏。

从上面两个例题中可以知道，两个相同的电阻串联时，每个电阻两端的电压相等，而且各等于总电压的一半。两个大小不同的电阻串联时，每个电阻两端的电压不再相等，大电阻两端的电压高，小电阻两端的电压低。

例1—9 两个大小不等的电阻 $R_1 = 100$ 欧， $R_2 = 150$ 欧

相并联，外加电压 $U = 220$ 伏，试计算：

- (1) 电路的总电阻；
- (2) 通过各电阻的电流；
- (3) 电路的总电流。

解：

$$(1) \text{ 根据公式 (1--7), } \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}$$

$$\text{得出并联后的总电阻 } R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{100 \times 150}{100 + 150} = 60 \text{ 欧;}$$

$$(2) \text{ 通过 } R_1 \text{ 的电流 } I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{220}{100} = 2.2 \text{ 安,}$$

$$\text{通过 } R_2 \text{ 的电流 } I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{220}{150} \approx 1.47 \text{ 安;}$$

$$(3) \text{ 总电流 } I = I_1 + I_2 = 2.2 + 1.47 = 3.67 \text{ 安,}$$

$$\text{或 } I = \frac{U}{R} = \frac{220}{60} = 3.67 \text{ 安.}$$

从上例可知，两个电阻并联时，总电阻的计算公式为

$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ 。如果两个电阻相等（即 $R_1 = R_2$ ），代入上式，

则总电阻 $R = \frac{1}{2} R_1$ 。就是说，两个大小相等的电阻并联时，其总电阻等于该电阻的一半，而且通过两个电阻的电流大小也相等，各为总电流的一半。

第九节 电能和电功率

大家知道，电流通过电灯泡会发亮，通过电阻丝会发热，通过电动机可以带动其它机器运行。这些现象都表明了电流在流过负载时，将电能转变成光能、热能或机械能等其它形式的能量。若加在负载两端的电压为 U ，通过负载的电流为 I ，在时间 t 内，负载所吸收的电能（即消耗的电能）为

$$W = UI t \quad (1-8)$$

又因 $U = IR$ ，所以公式 (1-8) 又可写成另一种形式

$$W = I^2 R t$$

在实用单位制中， U 的单位为伏， I 的单位为安， t 的单位为秒，则电能的单位为瓦特秒。在实际工作中嫌瓦特秒这个单位太小，而用千瓦时作电能的单位，1 千瓦时 = $1000 \text{瓦} \times 3600 \text{秒} = 3600000 \text{瓦特秒}$ 。千瓦时简称为千瓦时，用符号 KWH 表示。1 千瓦时也就是我们平时所说的 1 度电。

生产队耕地，用一匹马就得两三天时间才能耕完 10 亩地，而用一台拖拉机仅 1 小时就能耕完 10 亩地。因此，我们说马和拖拉机的作功能力大小不同。又如工地用电，一个 25 瓦的灯泡，点 40 小时消耗 1 度电，而一个 1000 瓦的灯泡点 1 小时就消耗 1 度电，由于这两个灯泡消耗同样的电能所需时间不同，所以，两个灯泡耗电能力的大小也就不同。为了便于比较起见，把在单位时间内产生（如发电机）或消耗的电能称为电功率（简称功率）。功率用符号 P 表示，它的计算公式为

$$P = \frac{W}{t} = UI = I^2 R \quad (1-9)$$

式中：电压的单位为伏，电流的单位为安，对应的电功率的单位为瓦（W）。经常还用千瓦（KW）作电功率的单位。

电机或其它电器的功率就表示它的容量。目前国产电机和电器的容量统一规定用千瓦作单位，但有些旧式电机或其它机械（如汽车、拖拉机等），其容量用马力作单位，千瓦和马力的换算关系如下：

$$1 \text{ 千瓦} = 1.36 \text{ 马力 (公制)}$$

$$\text{或 } 1 \text{ 马力 (公制)} = 0.736 \text{ 千瓦}$$

工人同志在工作实践中对千瓦和马力总结出一个便于记忆的近似换算公式，称为“七五”折的关系，意思是说，1马力近似等于75%千瓦。即

$$1 \text{ 马力} \approx \frac{3}{4} \text{ 千瓦}$$

$$\text{或 } 1 \text{ 千瓦} \approx \frac{4}{3} \text{ 马力}$$

例1—10 一台功率为1000瓦的电炉，每天使用两小时，问一个月（按30天计算）用几度电。

$$\text{解： } W = 1 \times 2 \times 30 = 60 \text{ 度}$$

例1—11 某生产队共有100户，每户装有一盏25瓦灯泡，如果大家都注意节约用电，平均每盏灯每天点2小时，计算每户每月（按30天计算）用电多少，全生产队每月用电多少？如果有10%的用户（即10户）不注意节约用电，通夜不关灯（平均用12小时），他们每月用电多少？使生产队每月

多用多少度电？

解：

(1) 每天用2小时，每户每月用电量为

$$\frac{25 \times 2 \times 30}{1000} = 1.5 \text{ 度；}$$

(2) 全队每月用电量为

$$1.5 \times 100 = 150 \text{ 度；}$$

(3) 每天用12小时，每户每月用电量为

$$\frac{25 \times 12 \times 30}{1000} = 9 \text{ 度；}$$

(4) 每月使全队多用电

$$(9 - 1.5) \times 10 = 75 \text{ 度。}$$

从上面两个例子可以看出，电炉的耗电量是很大的，另外不注意随手关灯也会白白消耗大量的电能。1度电的作用是很大的，在工业生产中，1度电大约可以炼钢1.6公斤，或采煤105公斤，或织布11米；若用于农业生产和农副业加工，1度电大约可灌麦田0.5亩，或磨面33斤。因此，我们了解了一度电的作用之后，就要“厉行节约”，生活上不用电炉，并养成随手关灯、节约用电的好习惯。

第十节 电 容 器

经常搞收音机的人都知道，在收音机和扩音机的电路里接有许多电容器，它们是电子电路中不可缺少的元件。不光是电子电路里用到电容器，就是在电力线路中也经常用到电容器。为此，我们对电容器的特性应当有所了解，以便正确

地使用它。

一、什么叫电容器

电容器的种类很多，但就其构成原则来说基本上是相同的。两块平行的金属板，中间用绝缘材料隔开，就构成了一个最简单的电容器，两个金属板叫做电极。由于这种元件具有在短时间内储存电荷的特性，所以把它叫做电容器，意思是说它是一种能在短时间内储存电荷的容器。

电容器储存电荷的多少，与加到电容器两个极板间的电压的大小成正比。如果用符号 U 表示加到电容器极板之间的电压，用符号 q 表示电容器储存的电量，则电量与电压的比值是一个常数，这个常数就叫做电容器的电容量，简称为电容，用符号 C 表示。即

$$C = \frac{q}{U} \quad (1-10)$$

式中， q 的单位为库伦， U 的单位为伏特，则电容量 C 的单位为法拉（简称法），用符号 F 表示。

实际电容器的电容量要比1法拉小得多，因此，通常用微法（ μF ）或微微法（ pF ）作为电容的单位。

$$1\text{法} = 1000000\text{微法}$$

$$1\text{微法} = 1000000\text{微微法}$$

必须注意，电容器的电容量 C 是一个与外加电压大小无关的常数，它的大小只与电容器极板的面积、极板间的距离以及中间绝缘材料的性质有关。因此，一个电容器制成之后，其电容 C 是一个常数，这就和导体的电阻一样，当导体的长度、粗细以及材料确定之后，它的电阻就是一个常数。

二、电容器的充电和放电

电容器接到直流电路中会发生什么现象呢？在图1—7所示的电路中，我们可以看到这种很有趣的现象。在开关扳到位置“1”的时候，我们会发现小灯泡1突然亮一下，但很快就熄灭了。然后，若把开关扳到位置“2”，又会发现小灯泡2突然亮一下，很快就熄灭了。这是为什么呢？

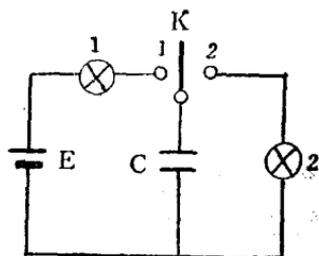


图1—7 电容器的
充电和放电

因为开关扳到“1”的位置时，电容器经过小灯泡1与直流电源接通。在电容器接通直流电源的短时间里，与电源正极相接的金属板上的电子，就会被电源的正极吸引过去，使之带正电荷，与电源负极相接的金属板将从电源的负极得到电子，使之带负电荷。所以，在这一瞬间电路中有电流通过，使小灯泡1发亮。这种现象称为电容器的充电。在充电过程中，电荷只能通过电路到达电容器的两个极板上，而不能通过极板间的绝缘构成回路。电容器极板上集聚的电荷逐渐增多，所形成的电压也逐渐增大，因而使电流逐渐减小（当电流减小到一定程度时，小灯泡1就不亮了）。当极板间的电压增大到与电源的电势相等时，充电即告结束，电路中不再有电荷移动。这时，电路相当于断开。

电容器充电结束之后，极板两端的电压与电源的电势相等。当把开关扳到“2”的位置时，电容器通过小灯泡2接通，原来集聚在两个极板上的异性电荷则通过小灯泡放电，

因此，使小灯泡 2 发亮。但由于电容器极板上原有电荷是有限的，而且得不到继续补充，所以，放电过程很快就会结束。此后，电路中不再有电流通过。当电流减小到一定程度时，小灯泡 2 就不再亮了。

从上面的分析可知，电容器接在直流电路中，只有在充、放电过程中电路里才有电流通过。但由于电容器的充、放电时间一般都很短，因此，电容器在直流电路中相当于“开路”。如果把电容器接在交流电路中，则情况就不完全一样了，这个问题将在本章第十四节中讨论。

第十一节 电流的磁效应

一、磁铁及其特性

许多人在生活和生产实践中都不同程度地接触过各种形状的永久磁铁和电磁铁，并且知道“磁能吸铁”这一自然现象。例如，指南针就是一个永久磁铁，因为地球本身是一个大磁铁，它的磁极接近地理上的南、北两极，所以指南针总是一端指南，一端指北。除此之外，在生产实践中我们还广泛地应用电磁铁，例如大家知道的电铃、接触器以及继电器中，都是利用电流通过带铁心的线圈产生磁性而进行工作的，这些由电流产生磁性的铁心线圈叫做电磁铁。

不论是永久磁铁或电磁铁，都具有下列特性：

1. 磁铁能够吸引铁屑或钢铁之类的东西，这种现象说明磁铁具有吸铁性。能够被磁铁吸引的物质称为铁磁性物质。
2. 磁铁两端的磁性最强，称为磁铁的磁极，一个叫南

极，用符号S表示；一个叫北极，用符号N表示。磁极只能是成对地存在，比如把一个条形磁铁从中折断，每一段仍出现南、北两极。

3. 同性磁极相互排斥，异性磁极相互吸引。

二、磁场的概念

磁铁不仅能够把跟它接触的铁磁性物质吸住，而且对跟它没有直接接触的铁磁性物质也有吸引力。例如在一块玻璃板上均匀地撒一层薄薄的铁屑，在玻璃板下面放一个条形磁铁，将玻璃板轻轻振动，在磁铁的作用下，铁屑便有规则地排列成如图1—8所示的图像。为什么磁铁对于没有跟它直接接触的铁屑具有上述作用呢？人们通过长期的科学实验认识到，在磁铁的周围存在着磁场。磁场是客观存在的，磁铁对铁屑的作用正是通过磁场来实现的。

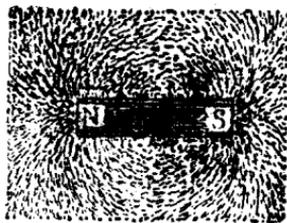


图 1—8 条形磁铁的
磁场

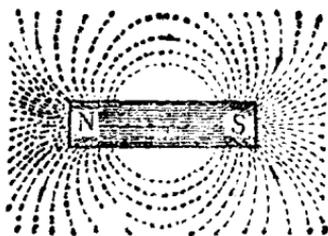


图 1—9 条形磁铁的
磁力线

为了形象地描绘磁场存在的状况，我们就把图1—8中铁屑所组成的线条叫做磁力线。并且规定磁力线的方向从磁铁的N极出发，经过外部空间进入磁铁的S极，在磁铁内部磁力线又由S极回到N极，这样形成一个闭合的回线。图1—9为条形磁铁的磁力线。

三、电流的磁效应

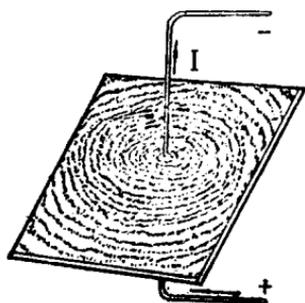


图1-10 通电直导线的磁场

11所示，它与一个条形磁铁的磁场很相似。以上三个实验表明，任何通电导体的周围都有磁场存在，这一客观事实称为电流的磁效应。

实验证明，通电导体所产生的磁力线的方向与电流的方向有着一定的关系，这个关系通常用右手螺旋定则来确定。对通电直导体来说，用右手握住导体，拇指伸直与电流的方向一致，则弯曲的四指就是磁力线的方向（图1-12）；对通电线圈来说，用右手握住线圈，弯曲的四指与线圈中的电流方向一致，则拇指的方向为磁力线的方向，如图1-13所示。

把一个磁针放在通电导体附近，磁针就会象放在磁铁附近一样，受到力的作用而发生偏转。将一根直导线穿过硬纸板，在纸板上撒一层薄铁屑，当导线中通过电流时，铁屑就以导线为圆心有规则地排列成许多同心圆（如图1-10）；若把导线绕成线圈并穿过硬纸板，当线圈中通过电流时，铁屑排列的情况如图1-

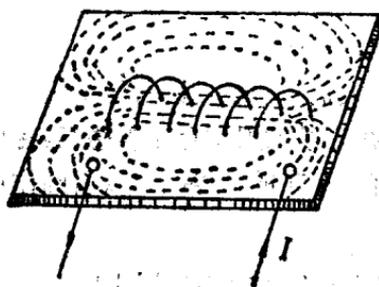


图1-11 通电线圈的磁场

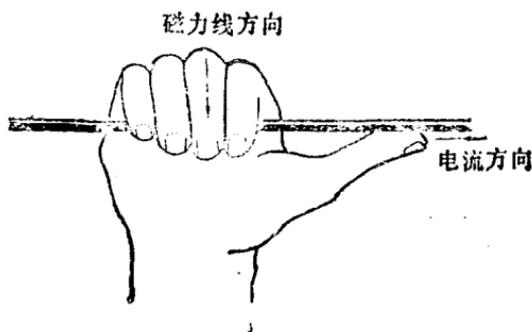


图1—12 通电直导线的右手螺旋定则

四、磁场对通电导体的作用力

大家已经知道，有电流就有磁场。若把通电导体放到外磁场中去，通电导体所产生的磁场就与外磁场之间相互发生作用，外磁场对通电导体就产生作用力，这个作用力称为电磁力。

实验证明，电磁力的方向不但与导体中电流的

方向有关，而且还与外磁场的方向有关。确定电磁力的方向有一个简便方法，叫做左手定则。如图1—14所示：把左手伸平，四指并拢并与与拇指垂直，让磁力线垂直穿过手心，四指与导体中电流的方向一致，则拇指所指的方向就是电磁力的方向。

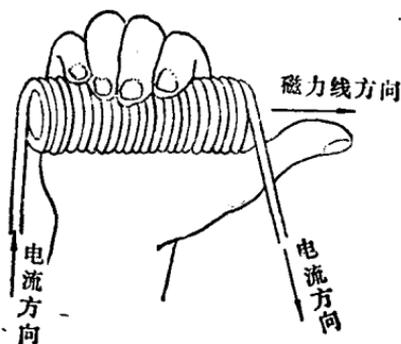


图1—13 通电线圈的右手螺旋定则

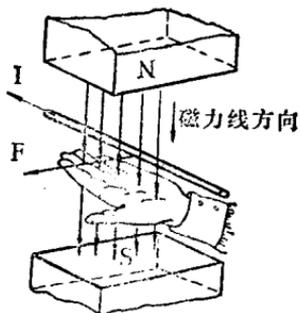


图1—14 电动机左手定则

直流电动机就是根据电磁力的原理制成的。图1—15为直流电动机的原理图，当线圈中通入电流后，线圈受到电磁力的作用而转动，其旋转方向就是根据左手定则来确定的。因此，图1—14所示的左手定则又叫做电动机左手定则。

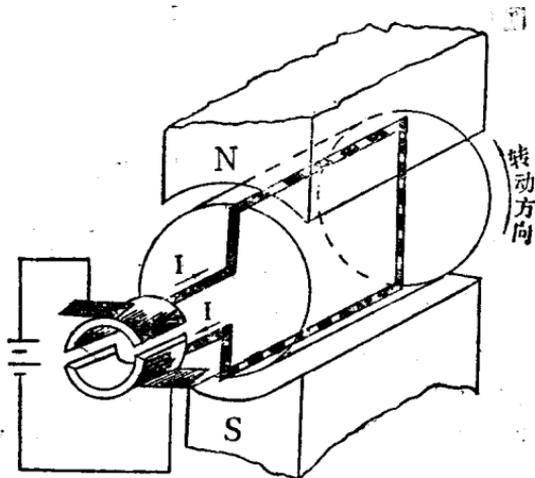


图1—15 直流电动机的原理图

第十二节 电磁感应

毛主席教导我们说：“一切矛盾着的東西，互相联系着，不但在一定条件之下共处于一个统一体中，而且在一定

条件之下互相转化，这就是矛盾的同性的全部意义。”电与磁的关系也毫不例外。通过生产实践，人们不但知道了电可以产生磁，同时还发现，在一定条件下磁也可以产生电。当导体在磁场中运动，并且切割磁力线时，导体两端就产生电势；或者使穿过线圈的磁力线发生变化时，线圈两端也产生电势。上述现象称为电磁感应，由电磁感应产生的电势叫做感应电势。

一、直导体中的感应电势

如图1-16所示，在磁极间垂直于磁力线的方向放置一根直导体，导体两端连接一个电流计，形成一个闭合回路。当导体在磁场中运动，并且切割磁力线时，则电流计的指针发生偏转，这表明导体两端产生了感应电势。若导体虽在磁场中运动，但不切割

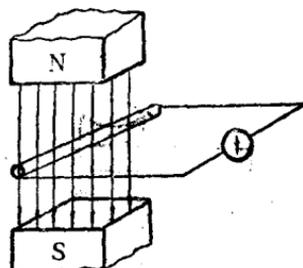


图1-16 直导体中的感应电势

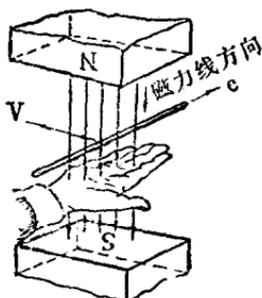


图1-17 发电机右手定则

磁力线时，则电流计的指针不偏转，即此时导体两端没有产生感应电势。由此得出一个重要结论：凡是导体与磁场之间发生相对运动，而又使导体切割磁场的磁力线，就在导体两端产生感应电势。

实验指出，导体中感应电势的大小与磁场的强弱、导体的有

效长度(即在磁场范围内的长度)以及导体切割磁力线的速度有关;感应电势的方向,通常应用右手定则来确定。如图 1—17 所示;右手伸平,四指并拢并与拇指垂直,让磁力线垂直穿过手心,拇指与导体运动的方向一致,则四指所指的方向就是感应电势的方向。因为发电机就是根据上述原理制成的,所以上面所讲的右手定则又称发电机右手定则。

二、线圈中的感应电势

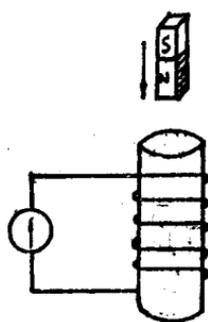


图1—18 线圈中的感应电势

如图 1—18 所示,在一个空心线圈的两端连接一个电流计,拿一个磁铁很快地插入线圈中,这时电流计的指针发生偏转。当磁铁插入线圈之后不动,电流计的指针回到零位不动。若再把磁铁从线圈中很快地抽出来,则电流计的指针又发生偏转,但偏转的方向与磁铁插入时相反。这个实验说明了下列事实:(1)当磁铁插入线圈或从线圈中抽出来的瞬间,使穿

过线圈的磁力发生了变化,电流计的指针发生偏转则表明这时在线圈回路中产生了感应电势和感应电流。当磁铁插入线圈后不动时,即穿过线圈的磁力线不再变化,这时电流计的指针不动则表明线圈回路中不产生感应电势和感应电流;(2)磁铁插入线圈时所产生的感应电势的方向与磁铁从线圈中抽出时所产生的感应电势的方向相反。

大量实验证明,当穿过线圈的磁力线发生变化时(不论磁力线的变化是由于什么原因引起的),线圈中就产生感应

电势。感应电势的大小与线圈的匝数和磁力线变化的速度成正比。关于感应电势的方向问题，不少初学电工知识的人感到很困难，下面我们结合图 1—19 所示的情况重点说明这个问题。

判断线圈中感应电势的方向需要抓住它的规律，这个规律是：由于穿过线圈的磁力线的变化而产生的感应电势，将在线圈中产生一个与它同方向的感应电流，这个电流也要产生一个磁场，其磁力线的方向力图阻止穿过线圈原有磁力线的变化。例如图 1—19 中，当磁铁的 N 极插入线圈时，磁铁的磁力线由上向下穿过线圈（如图中的实线），而且磁力线是增加的。这时，

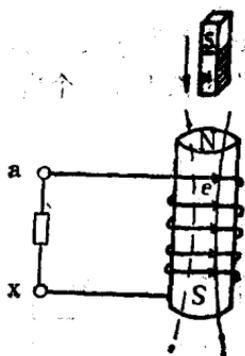


图 1—19 线圈中感应电势的方向

在线圈中产生一个感应电势，在这个感应电势的作用下，在线圈回路中将产生一个与感应电势同方向的感应电流，这个电流所产生的磁力线的方向应该是由下向上穿过线圈（图中的虚线），这样才能阻止原有磁力线的增加。也就是说，感应电流使线圈也成为一个“磁铁”，它的上端为 N 极，下端为 S 极，以阻止磁铁的 N 极插入线圈。知道了感应电流所产生的磁力线的方向之后，再根据右手螺旋定则就可以确定线圈中感应电流的方向（即感应电势的方向）应该是从线圈的 a 端流入，从 x 端流出，如图中箭头所指的方向。同理，当磁铁从线圈中抽出来的时候，穿过线圈的磁力线的方向未变，但数值减少，于是感应电流所产生的磁力线的方向与原来的磁力线的方向一致，以阻止原有磁力

线的减少。这时感应电流的方向恰与前者相反，即从 x 端进入，从 a 端流出。

三、自感应与互感应

任何通电导体的周围都有它自己产生的磁场，穿过线圈的磁力线发生变化时，在线圈中就产生感应电势。现在，我们来讨论下面两个电路的情况。

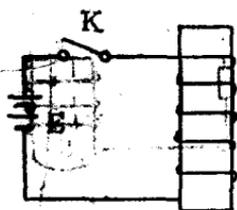


图1-20 自感应

1. 自感应——图 1—20 所示的电路中，线圈经过开关 K 与一个直流电源相接。在开关没有接通时，电路中没有电流，因而没有磁场。当开关接通时，电路中的电流从无到有发生了变化，电流的变化必然引起磁场的变化，这个变化的磁场又使线圈自身产生感应电势，这种现象称为自感应，由此而产生的感应电势叫做自感电势。

自感应是电磁感应中的一种特殊情况，因此，自感电势的方向应当符合前面所讲过的规律。具体来讲，当通过线圈的电流增大时，自感电势的方向与电流的方向相反，以阻止电流的增大；当电流减小时，自感电势的方向与电流的方向相同，以阻止电流的减小。由此可见，自感电势的方向是力图阻止通过线圈的电流的变化。

自感电势的大小，一方面决定于线圈中电流的变化速度，另一方面还与线圈本身的形状、尺寸、匝数及其周围的介质材料（有无铁磁性材料）有关。就是说，当电流的变化速度一定时，这个电流通过不同线圈所产生的自感电势的大

小是不相等的。因此，就把线圈本身影响自感电势大小的能力称为线圈的电感量，简称为电感。线圈的电感用符号 L 表示，它的单位是亨利（简称亨，用符号 H 表示），有时用毫亨（ mH ）作单位。

$$1 \text{ 毫亨} = \frac{1}{1000} \text{ 亨}$$

2. 互感应——图 1—21

为两个彼此靠近但没有电气联系的线圈，线圈 1 经过开关 K 与直流电源相接，线圈 2 经过电流计构成回路。当开关 K 接通的瞬间，由于线圈 1 中的电流 i_1 从无到有发生变化，因而引起磁场的变化。

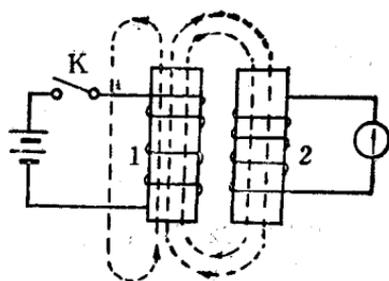


图 1—21 互感应

变化的磁力线除了穿过线圈 1 本身之外，还有一部分穿过线圈 2。因而在线圈 1 中产生自感电势的同时，也要在线圈 2 中产生感应电势，这时，与线圈 2 联接的电流计的指针发生偏转。同理，如果在线圈 2 中通过的电流发生变化时，也会在线圈 1 中产生感应电势，这种现象称为互感应。由互感作用而产生的电势称为互感电势。

各种变压器就是应用互感原理制成的。不过，为了使两个线圈之间磁力线的联系更加紧密，在变压器中，把两个线圈绕在同一个闭合的铁心上。虽然两个线圈之间没有电的直接联系，但通过磁的联系，可以将电能由一个线圈传递到另一个线圈。关于变压器的具体构造和工作情况将在第三章讨论。

第十三节 交流电的基本概念

前面讲的是直流电，但在工农业生产和人民生活方面应用最广的还是交流电。因为交流电的产生、输送和应用等方面比直流电具有更多的优点。

在电力生产中，所有交流发电机产生的交流电都是随时间按正弦规律变化的，这样的交流电称为正弦交流。本节主要介绍正弦交流电的产生过程及其特点。

一、正弦交流电是怎样产生的

图 1—22 是一台最简单的交流发电机的原理构造图，它包括两个主要部分：一部分是产生磁场的电磁铁（N 极和 S 极）；另一部分是产生感应电势的线圈，它固定在可以旋转的圆柱形铁心上（为了清楚起见，图中只画了一匝线圈）。

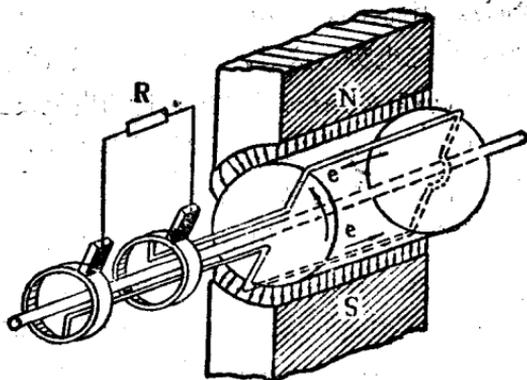


图 1—22 最简单的交流发电机

线圈两端分别接在两个彼此绝缘的铜环（称为滑环）上，滑

环固定在转轴上并与转轴绝缘。在每个滑环上安装一个静止的电刷，利用电刷与滑环的滑动接触使线圈与外电路相连。当线圈在磁场中旋转时，线圈的两个有效边因切割磁力线而产生感应电势。根据发电机右手定则可知，线圈两边所产生的感应电势的方向总是相反的。因此，两个电刷之间的总电势等于线圈两边感应电势之和。

为了获得正弦电势，可以把磁极做成一定形状，使得沿转子铁柱周围空隙中的磁力线按正弦规律分布。为了便于说明这个问题，我们看图 1—23 (甲) 所示的发电机的正视图。图中两个磁极分界面 $o-o'$ 位置的空气隙最大，因此，

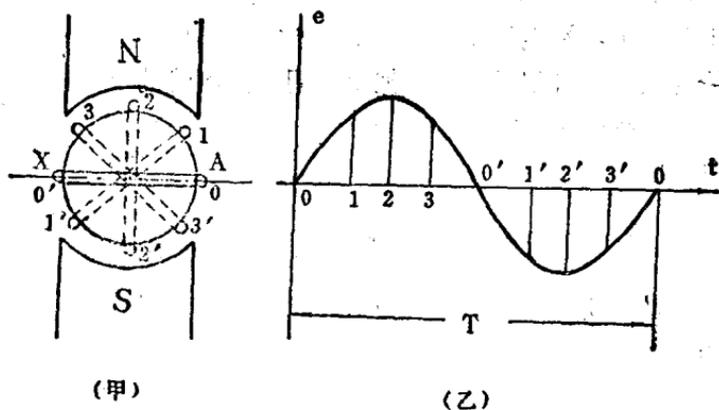


图 1—23 正弦电势的产生过程
(甲) 发电机的正视图 (乙) 交流电势的曲线

这个地方的磁力线近似地等于零，这个分界面叫做中性面。沿反时针方向越向上，空气隙逐渐减小，即磁力线逐渐变密，到 2 的地方（磁极中心）空气隙最小，即该点的磁力线最

密,以后,空气隙又逐渐增大,磁力线又逐渐变稀,到 o' 点磁力线又等于零。下半周磁力线的分布情况与上半周相同。不过,在上半周范围内磁力线的方向是从磁极(N)指向转子铁柱,而在下半周范围内磁力线的方向是从转子铁柱指向磁极(S)的。根据导体切割磁力线产生感应电势的原理,当线圈转到不同位置时,由于所切割的磁力线多少不同,故感应电势的大小也不同。对照图1—23(甲)、(乙)可以清楚地看出,线圈在空间旋转一周,感应电势也完成一个循环。在上半周范围内线圈的A端处于N极下,X端处于S极下,根据发电机右手定则,感应电势的方向是从线圈的A端穿出,从X端穿入,而在下半周范围内,由于线圈的A端处于S极下,X端处于N极下,因此,线圈中感应电势的方向恰与上半周时相反。如果把上半周感应电势的方向规定为正。并在图1—23(乙)中画在横轴的上方,则下半周感应电势的方向为负。并画在横轴的下方。

二、正弦交流电的特点

从图1—23(乙)可以看出,正弦交流电具有下列特点:

1. 变化的瞬时性——交流电的大小是随时间变化的,它在任意瞬间的数值叫做瞬时值,用小写字母表示。例如: e 表示交流电势的瞬时值, u 表示交流电压的瞬时值, i 表示交流电流的瞬时值。

在交流电的瞬时值中有一个最大的数值,叫做最大值或振幅值,用大写字母并在其右下方加上“m”来表示。例如: E_m 表示交流电势的最大值, U_m 表示交流电压的最大值, I_m

表示交流电流的最大值。

2. 变化的周期性——交流电每隔一定时间又重复原来的变化,这种变化特点称为周期性。交流电每变化一个循环所需要的时间叫做周期,用符号 T 表示,单位是秒。在 1 秒钟时间里交流电完成的循环数叫做频率(或周波),用符号 f 表示,单位是周/秒(又称赫芝,简称赫,用符号 H_z 表示)。交流电的周期和频率互为倒数关系,即

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{或} \quad T = \frac{1}{f} \quad (1-10)$$

我国电力系统的标准频率为 50 赫,即它的周期 $T = \frac{1}{50} = 0.02$ 秒。

一台交流发电机所产生的交流电的频率与发电机的转速(用 n 表示,单位是转/分)和它的磁极对数(用 p 表示)之间有严格的关系。它们之间的关系是:

$$f = \frac{pn}{60} \quad (1-11)$$

从公式(1-11)可知,一台发电机的磁极对数确定之后,要使该发电机产生标准频率的交流电,就必须保持一定的转速不变。假若发电机的转速升高或降低,则交流电的频率也随着升高或降低。一般火力发电厂的发电机由汽轮机带动,称为“汽轮发电机”。由于汽轮机的转速比较高,故汽轮发电机的磁极数较少(一般为两极或四极)。水力发电厂的发电机由水轮机拖动,称为“水轮发电机”。由于水轮机的转速较低,故水轮发电机的磁极数较多。

例1-12 两台汽轮发电机,一台为两极(即一对磁极),另一台为四极(即两对磁极),都产生频率为 50 赫的交流

电，问发电机的转速各为多少？

解：将公式（1—11）变换得

$$n = \frac{f60}{p}$$

设两极发电机的转速为 n_1 ，四极发电机的转速为 n_2 ，
则

$$n_1 = \frac{50 \times 60}{1} = 3000 \text{ 转/分}$$

$$n_2 = \frac{50 \times 60}{2} = 1500 \text{ 转/分}$$

例1—13 已知一台水轮发电机的转速 $n = 375$ 转/分，
产生频率为 50 赫的交流电，试计算该发电机的磁极对数。

解：将公式（1—11）变换得

$$p = \frac{f60}{n} = \frac{50 \times 60}{375} = 8 \text{ (即 16 极)}。$$

三、交流电的大小怎样表示

前面已经指出，交流电的大小是随时间变化的，那末，
平时我们所说的电灯线路的电压为 220 伏，电动机线路的电
压为 380 伏又是什么意思呢？我们所说的交流电的大小既不
是指它的瞬时值，也不是指它的最大值，而是指它的有效
值。因此，首先需要弄清楚有效值的含义是什么。

不论是交流电流还是直流电流，它们在通过电阻时都要
消耗电能而产生热量。如果在两个完全相同的电阻内分别通
入某一交流电流 i 和某一直流电流 I ，假若在相同的时间
里，它们所产生的热量相等，则这两个电流的热效应是相等
的。那末，这个直流电流的数值就是该交流电流的有效值。

平时所说的交流电的数值(如交流电流表和电压表指示的数值)就是指它的有效值。交流电的有效值用大写字母表示,例如: I 表示交流电流的有效值, U 表示交流电压的有效值, E 表示交流电势的有效值。

根据数学推导,正弦交流电的有效值等于它的最大值除以 $\sqrt{2}$ 。即

$$\left. \begin{aligned} I &= \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{I_m}{1.414} \approx 0.707 I_m \\ U &= \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_m}{1.414} \approx 0.707 U_m \\ E &= \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{E_m}{1.414} \approx 0.707 E_m \end{aligned} \right\} \quad (1-12)$$

反过来,知道了正弦交流电的有效值就可以计算它的最大值。即

$$I_m = \sqrt{2} I \approx 1.414 I$$

$$U_m = \sqrt{2} U \approx 1.414 U$$

$$E_m = \sqrt{2} E \approx 1.414 E$$

例 1—14 已知电灯线路的电压为 220 伏,电动机线路的电压为 380 伏,问它们的最大值各是多大?

解: 电灯线路电压的最大值为 $1.414 \times 220 \approx 310$ 伏,

电动机线路电压的最大值为 $1.414 \times 380 \approx 537$ 伏。

例 1—15 如果将耐压为 300 伏的整流器接在 220 伏交流电路上行不行?

解: 象整流器、半导体二极管等元件,都规定有一定的耐压值。这些元件用于交流电路时,需要考虑它的耐压值不

能小于交流电压的最大值，否则就有被击穿的危险。已知220伏交流电压的最大值 $U_m = 1.414 \times 220 = 310$ 伏。因此，耐压为300伏的整流器用于220伏交流电路不妥，应选用耐压为400伏的整流器。

第十四节 交流电路的简单计算

毛主席教导我们：“任何运动形式，其内部都包含着本身特殊的矛盾。这种特殊的矛盾，就构成一事物区别于他事物的特殊的本质。”由于交流电的大小和方向随时间变化，就使得交流电路具有许多与直流电路不同的特点。在讨论交流电路的计算之前，需要弄清电阻、电感、电容对直流电和交流电的作用有什么不同。

一、电阻、电感、电容在交流电路中的作用

为了使大家了解电阻、电感和电容在交流电路中所起的作用，先看下面一个实验：把一个电阻、一个电感线圈和一个电容器各串联一个相同的白炽灯泡，先接到220伏直流电源上（图1—24甲），观察各支路灯泡的亮度。然后改接到220伏交流电源上（图1—24乙），就会发现各支路灯泡的亮度与前不同。实验表明，电阻、电感、电容对直流电和交流电有着不同的影响。

1. 不论在直流电源或在交流电源作用下，电阻支路的灯泡亮度不变，这表明电阻对交流电流和直流电流的作用是相同的。

2. 电感线圈支路的灯泡，接入交流电源时的亮度比接

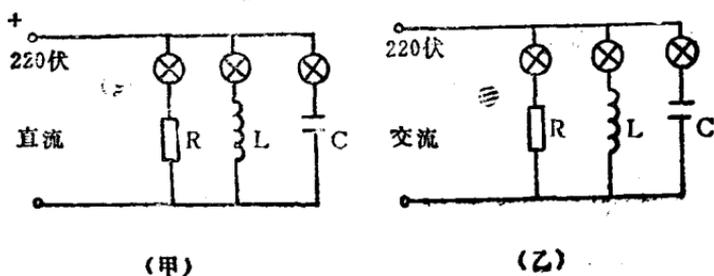


图 1—24 电阻、电感、电容在交流电路中的作用
 (甲) 接入直流电源 (乙) 接入交流电源

入直流电源时的亮度减小了，这表明线圈的电感成为影响交流电流大小的因素之一。这是因为线圈接入直流电源时，只在电路刚接通的那一瞬间有电流变化，使线圈产生自感电势，以后电路中的电流不再变化，线圈中不再产生自感电势，因此，线圈的电感对直流电流不再产生阻力。但在交流电路中，由于电流不断地变化，线圈中也就不断地产生自感电势，以反抗电流的变化。因此，线圈的电感对交变电流有一定的阻力。

3. 电容支路的灯泡，只在接通直流电源的那一瞬间亮一下，以后就熄灭了。但在接通交流电源之后，灯泡始终是亮的。这是因为电容器在接通直流电源的极短时间里被充电，使电路中有电荷移动。充电结束之后，电路中不再有电荷移动，电路相当于断开。但在接通交流电源之后，由于电源电压的大小和方向随时间作周期性变化，电容器连续充电和放电，因此，在电路中始终有交变电流通过。由此可知，电容器接入交流电路之后能使电路导通，但它对交流电流具有一定的阻力。

在交流电路中，由于电阻、电感和电容都对电流的大小有影响，因此，交流电路的计算就不象直流电路计算那样单纯。这里，我们先讨论纯电阻、纯电感和纯电容三个基本电路的计算。

二、纯电阻电路

白炽灯泡的灯丝和电热器的电阻丝等，它们的电阻要比它本身具有的电感和电容大得多，这些设备组成的电路可以看成是纯电阻电路。

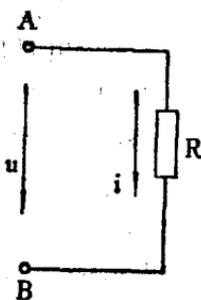


图1—25 纯电阻电路

1. 电流与电压的变化规律

如图1—25所示，在纯电阻 R 两端接入正弦电压 u 之后，便有交变电流 i 通过电阻。在纯电阻电路中，通过电阻的电流与外加电压在任何瞬间都要符合欧姆定律。就是说，当电压为零时，电流也等于零，电压逐渐增大，电流也随着增大，当电压达到最大值时，电流也达到最大值。图1—26

(甲)画出了纯电阻电路中电流与电压随时间变化的曲线，从中可以得出如下结论：

(1) 外加电压为正弦时，电流也按正弦规律变化，而且它们的周期（或频率）相同；

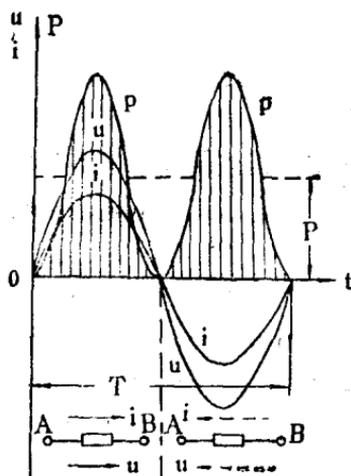
(2) 电流与电压同时到达零值或最大值，具有这种变化规律的两个正弦交流叫做“同相位”。即在纯电阻电路中，电流与电压同相位。

在交流电路中，通常应用既有方向又有大小的“向量”

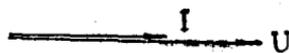
来表示交流电，这样能够清楚地表示出几个正弦交流量之间的相位关系，对电路分析比较方便。向量的长度按比例分别表示电流或电压的有效值，向量之间所夹的角度表示电流与电压的相位关系。例如，纯电阻电路的电流与电压同相位，我们就可以画两个方向相同的向量，如图 1—26 (乙) 所示。

2. 电流与电压的有效值关系——在纯电阻电路中，电流的最大值等于外加电压的最大值除以电阻。即

$$I_m = \frac{U_m}{R}$$



(甲)



(乙)

图 1—26 纯电阻电路中电流、电压和功率的变化规律

(甲) 电流、电压和功率的变化曲线

(乙) 电流和电压的向量

前面已经讲过，交流电的有效值等于最大值除以 $\sqrt{2}$ ，上式等号两边各除以 $\sqrt{2}$ ，则得

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-13)$$

公式(1-13)表明，在纯电阻电路中，电流的有效值等于外加电压的有效值除以电阻。这种关系与直流电路的欧姆定律具有相同的形式。

3. 电路的功率——在交流电路中，瞬时电压与瞬时电流的乘积叫做瞬时功率，在图1-26(甲)中我们画出了瞬时功率的变化曲线。从功率曲线可以看出：电压和电流为正半周时，功率是正值；电压和电流为负半周时，功率也是正值(负与负相乘为正)，即在一个周期内功率曲线都是正值。从物理概念上来讲，功率为正值就表示电路从电源吸收能量。由此可知，在一个周期内电阻都是从电源吸收电能而转变成其它形式的能量。

因为瞬时功率随时间变化，时大时小。所以计算瞬时功率不仅不方便，而且也没有实用意义。平时所说的电路功率是指瞬时功率在一个周期内的平均值，叫做平均功率，用符号 P 表示。根据数学推导，纯电阻电路的平均功率等于电压有效值与电流有效值的乘积。即

$$\left. \begin{aligned} P &= UI \\ \text{或 } P &= UI = IRI = I^2 R \end{aligned} \right\} \quad (1-14)$$

平均功率就是电阻上所消耗的电功率，因此平均功率又称为有功功率，它的单位是瓦(W)或千瓦(KW)。

例1-16 额定电压为220伏、功率为100瓦或60瓦的白炽灯泡，计算它们的额定电流和热状态下的灯丝电阻各

是多大?

解: 1. 100 瓦灯泡的额定电流 $I = \frac{P}{U} = \frac{100}{220} \approx 0.454$

安, 灯丝电阻 $R = \frac{U^2}{P} = \frac{(220)^2}{100} = 484$ 欧。

2. 60 瓦灯泡的额定电流 $I' = \frac{60}{220} \approx 0.273$ 安, 灯

丝电阻 $R' = \frac{(220)^2}{60} \approx 807$ 欧。

三、纯电感电路

如一个电感线圈, 它本身的电阻要比电感小得多, 若忽略其电阻不计, 则可视为纯电感电路。

1. 电流与电压的变化规律——如图 1—27 所示, 电感线圈两端接入正弦电压 u 之后, 电路中便有交变电流 i 通过。由于电流的变化, 将在线圈中产生自感电势, 以阻止电流变化。因此, 在纯电感电路中, 电流与电压的变化关系就不再象纯电阻电路中那样同时到达零值和同时到达最大值了。根据数学分析和实践证明, 纯电感电路中电流与电压的变化关系有下列特点:

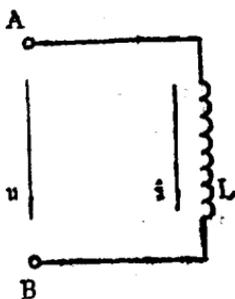


图 1—27 纯电感电路

(1) 当外加电压为最大值时, 电流等于零, 电压逐渐下降时, 电流逐渐上升, 当电压下降到零值时, 电流则达到最大值。就是说, 电流的变化在时间上总是落后于电压 $\frac{1}{4}$ 周

期（或 90° ），这种情况称为电流落后于电压 90° ，或者说电流与电压之间具有 90° 相位差。

（2）当外加电压为正弦时，电流也按正弦规律变化，而且它们的周期（或频率）相同。

图1—28画出了纯电感电路的电流与电压随时间变化的曲线和向量图。

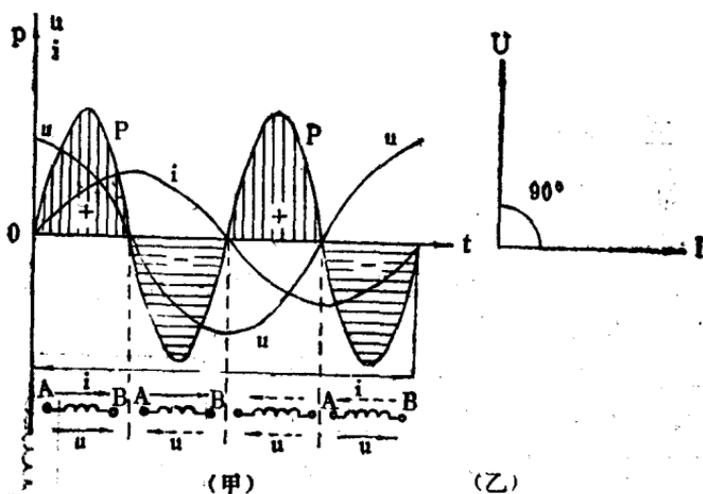


图1—28 纯电感电路中电流、电压和功率的变化规律

（甲）电流、电压和功率的变化曲线

（乙）电流和电压的向量

2. 电流与电压的有效值关系——大家已经知道，电感线圈通过交变电流时将产生自感电势，以阻止电流的变化。即自感电势对交变电流产生一定的阻力，这种阻力称为电感电抗，简称感抗，用符号 X_L 表示。感抗的大小与线圈的电感和外加电压的频率成正比，其计算公式为：

$$X_L = 2\pi fL \quad (1-15)$$

式中： π 是常数，近似等于 3.1416；
 f 是外加电压的频率，单位为赫；
 L 是线圈的电感，单位为亨；
 X_L 的单位是欧。

在纯电感电路中，感抗是限制电流的唯一因素，因此，电流的有效值等于外加电压的有效值除以感抗。即

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{2\pi fL} \quad (1-16)$$

3. 电路的功率——与前面的电路一样，瞬时电压与瞬时电流的乘积称为瞬时功率。根据图 1—28 中电压与电流的变化曲线作出了纯电感电路的瞬时功率曲线，其特点是：在第一个 $\frac{1}{4}$ 周期和第三个 $\frac{1}{4}$ 周期内，由于电压和电流的正、负相同，故功率为正值，这表示电感线圈从电源吸收电能。但由于电路中没有电阻，所以从电源吸收的电能并不消耗掉，而是转化为磁场能量暂时储存在线圈的磁场中；在第二个和第四个 $\frac{1}{4}$ 周期内，由于电压与电流的正、负相反，故功率为负值。从物理概念上来讲，功率为负值就表示电路把原来储存的能量还给电源。从图中可以看出，瞬时功率曲线所包围的正面积与负面积相等，表示电路从电源吸收的能量与还给电源的能量相等，因此，纯电感电路的平均功率（有功功率） $P = 0$ ，即在纯电感电路中不消耗电能。

纯电感电路虽然不消耗电能，但在线圈与电源之间有能量的往返交换，这些能量必须由电源供给，而且要经过输电线路往返传递。这不仅会加重电源（发电机和变压器）的负

担，同时也会使输电线路上的能量损失增加。为了定量地分析电感与电源之间能量交换的情况，就把瞬时功率的最大值称为无功功率^{Q_L}，用符号 Q_L 表示，其计算公式为：

$$Q_L = UI = I^2 X_L \quad (1-17)$$

为了与有功功率区别起见，无功功率用“乏尔”（简称“乏”用 VAR 表示）或“千乏”（KVAR）作单位。这里还需要指出一点，有人认为：无功功率是一种无用的功率，是可有可无的，因此，对它可以不必考虑和研究。这种对无功功率的理解是完全错误的。无功功率的大小是由负载所决定的，比如说电动机除了需要有功功率外还需要无功功率建立磁场。在负载的有功功率不变的情况下，无功功率增大，发电机输出的电流也要增大。为了保证发电机输出的总电流不超过其额定电流值，若增大无功功率，则必然限制发电机输出的有功功率；另外，输电线路通过的电流越大，线路上的能量损失和电压损失就越大。所以，无功功率的大小也是发电厂和电力系统在经济上和技术上应考虑的重要问题。

例 1—17 一只线圈的电感 $L = 127$ 毫亨，电阻很小可以忽略不计，把这只线圈接在频率为 50 赫、电压为 220 伏的交流电源上，计算通过该线圈的电流和线圈的无功功率。

解：（1）线圈的感抗 $X_L = 2\pi fL \approx 2 \times 3.14 \times 50 \times 0.127$
 ≈ 40 欧

（2）通过线圈的电流 $I = \frac{220}{40} \approx 5.5$ 安

（3）无功功率 $Q_L = IU = 5.5 \times 220 = 1210$ 乏

四、纯电容电路

前面已经讲到，电容器接入交流电源之后，由于外加电

压随时间作周期性变化，使电容器连续充电和放电，因而在电路中通过交变电流。

1. 电流与电压的变化规律——

如图 1-29 所示，在电容器两端加入正弦电压 u ，我们根据图 1-30 (甲) 所给出的随时间变化的电压曲线来说明电流的变化规律。

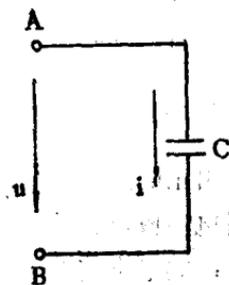


图 1-29 纯电容电路

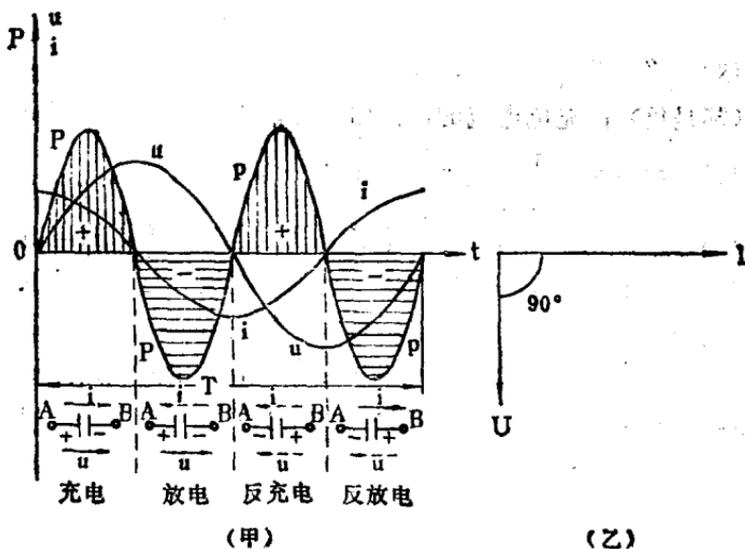


图 1-30 纯电容电路中电流、电压和功率的变化规律

(甲) 电流、电压和功率的变化曲线

(乙) 电流和电压的向量

在第一个 $\frac{1}{4}$ 周期内，电压由零值逐渐增大到正的最大值。

在这段时间里，电容器被充电。充电电流的方向与电压的方向相同（都是正）；但充电电流的数值由正的最大值随时间逐渐减小到零值。在第二个 $\frac{1}{4}$ 周期内，电压的方向未变，但它的数值由正的最大值逐渐减小到零。在这段时间里，电容器对电源放电。放电电流的方向与电压的方向相反（电流为负）；放电电流的数值由零随时间逐渐增加到负的最大值。在第三个 $\frac{1}{4}$ 周期内，外加电压的方向改变（电压为负值），其数值由零逐渐增加到负的最大值。在这段时间里，电源对电容器反方向充电。充电电流的方向与电压的方向相同（都是负）；充电电流的数值由负的最大值随时间逐渐减小到零。在第四个 $\frac{1}{4}$ 周期内，电压的数值又由负的最大值逐渐减小到零。在这段时间里，电容器又对电源放电。放电电流的方向与电压的方向相反（电压为负，电流为正）；而放电电流的数值由零随时间逐渐增加到正的最大值。

根据以上分析可知，外加电压变化一周，电容器两次被充电，又两次对电源放电，电路的电流也完成一个循环。电流随时间的变化曲线如图 1—30（甲）所示，从中可以得出如下结论：

(1) 外加电压为正弦时，电流也按正弦规律变化，而且它们的周期（或频率）相同。

(2) 电流的变化在时间上总是越前于电压 $\frac{1}{4}$ 周期（或 90° ），这种情况称为电流越前（或领先）电压 90° 。这种情况与纯电感电路的情况恰恰相反。图 1—30（乙）是纯电容

电路的电流与电压的向量图。

2. 电流与电压的有效值关系——电容器对交变电流具有一定的阻力，称为电容电抗，简称容抗，用符号 X_c 表示。容抗的大小与电容 C 和外加电压的频率 f 成反比，其计算公式为

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \quad (1-18)$$

式中， f 的单位为赫， C 的单位为法， X_c 的单位为欧。

比较容抗和感抗的计算公式，大家会发现二者的大小与电源频率的关系恰恰相反。频率越低，容抗越大，而感抗越小；频率越高，容抗越小，而感抗越大。这一特性在电子电路中应用非常广泛。

在纯电容电路中，容抗是限制电流的唯一因素，故电流的有效值等于电压的有效值除以容抗，即

$$I = \frac{U}{X_c} = U2\pi f C \quad (1-19)$$

3. 电路的功率——在图 1-30 (甲) 中，根据电压和电流的曲线作出了瞬时功率的变化曲线。在一个周期内，功率两次为正，两次为负，这表示电容器两次从电源吸收能量，又两次将能量还给电源，而且；电容器从电源吸收的能量与还给电源的能量相等。因此，纯电容电路的平均功率 $P=0$ 。即在纯电容电路中不消耗电能，电容器与电源之间只有能量的往返交换。

与纯电感电路一样，在纯电容电路中把瞬时功率的最大值叫做无功功率。为了与纯电感电路的无功功率相区别，纯电容电路的无功功率用符号 Q_c 表示 (单位也是乏或千乏)，

它的计算公式是

$$Q_c = UI = I^2 X_c \quad (1-20)$$

例 1—18 电容 $C = 38.5$ 微法的电容器，接在 $f = 50$ 赫、电压为 220 伏的交流电源上，计算电容器的容抗、电路中的电流和无功功率。

解：(1) 容抗 $X_c = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 38.5 \times 10^{-6}}$

$$= \frac{10^6}{314 \times 38.5} \approx 80 \text{ 欧}$$

(2) 电流 $I = \frac{U}{X_c} = \frac{220}{80} = 2.75 \text{ 安}$

(3) 无功功率 $Q_c = UI = 220 \times 2.75 = 605 \text{ 乏}$

五、具有电阻和电感的电路

纯电阻、纯电感和纯电容电路是三个基本电路，它对于我们理解不同元件中电压与电流的关系及功率情况很有帮助，而且为进一步分析各种不同形式的电路打下基础。但是，客观事物中完全纯的东西是没有的，例如变压器、电动机的线圈，既有电阻又有电感，这种电路称为具有电阻和电感的电路。在实际的线圈中，电阻和电感不是截然分开的，但为了分析方便起见，常把它们分开表示，这样就构成了图 1—31 所示的电阻与电感串联的

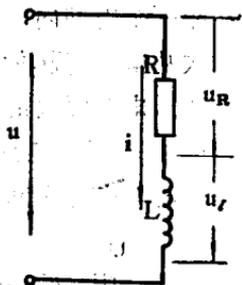


图 1—31 具有电阻和电感的电路

电路。在实际的线圈中，电阻和电感不是截然分开的，但为了分析方便起见，常把它们分开表示，这样就构成了图 1—31 所示的电阻与电感串联的

电路。这种电路的分析方法，就是综合应用纯电阻电路和纯电感电路中已经得出的那些基本结论。

1. 总电压与电流的关系——大家已经知道，在串联电路中，通过各元件的电流是同一个电流。在图 1—31 所示的电阻和电感串联的电路中，电流通过电阻 R 时，在电阻两端所产生的电压（用 U_R 表示）与电流同相位，其有效值为

$$U_R = IR$$

同一电流通过电感 L 时，在电感两端所产生的电压（用 U_L 表示）与电流之间有 90° 相位差，而且是电流落后于电压，其有效值为

$$U_L = IX_L$$

根据上述关系，可以作出电流与各段电压的向量图（图 1—32）。从向量图中看出，电压 U_R 和电压 U_L 的方向不相同（即相位不同），因此电路总电压的有效值，应当等于各段电压的向量和，而不等于它们的数值之和。这一点是交流电路与直流电路所不同的，必须引起注意。我们以图 1—32 为例子来说明向量相加的方法：

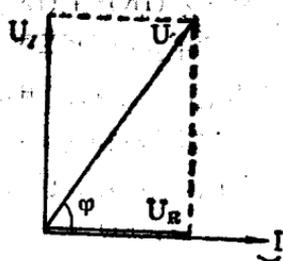


图 1—32 电流和电压的向量

法：以向量 U_R 和 U_L 为两个边作平行四边形（在这个具体例子中，因为两个向量相差 90° ，故所作的平行四边形为一矩形），从两个向量的交点作平行四边形的对角线就是合成的向量，即总电压 U 的向量。由于平行四边形的对边相等，所以向量相加时，可以将平行四边形简化为三角形，如图 1—33 所示。图 1—33 中，三个电压向量 U_R 、 U_L 和总电压

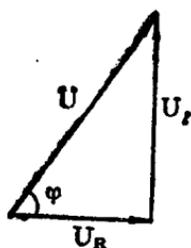


图1-33 电压三角形

U 所构成的直角三角形称为电压三角形。根据“勾股定理”，总电压的有效值为

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$$

将 $U_R = IR$ 和 $U_L = IX_L$ 代入上式，则得

$$U = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L)^2} = \sqrt{I^2 (R^2 + X_L^2)} = I\sqrt{R^2 + X_L^2}$$

式中： $\sqrt{R^2 + X_L^2}$ 表示电阻和感抗合成的一个常数，称为电路的阻抗，用符号 Z 表示，其单位为欧姆。由此可知，在电阻和电感串联电路中，电流的有效值等于电压的有效值除以电路的阻抗。即

$$I = \frac{U}{Z} \quad (1-21)$$

从向量图中还可以看出，电流既不与总电压同相位，也不是落后于总电压 90° ，而是落后于总电压某一个角度 φ (φ 角大于 0° ，小于 90°)。 φ 角称为电流与电压的相位差或相角差，它的大小由电路的电阻和感抗的数值决定，而与电流和电压的大小无关。

2. 什么叫功率因数——在交流电路中，电压与电流相角差的余弦叫做功率因数，用符号 $\cos\varphi$ 表示。根据电压三角形可知：

$$\cos\varphi = \frac{U_R}{U} = \frac{IR}{IZ} = \frac{R}{Z} \quad (1-22)$$

公式(1-22)表明,功率因数的大小是由负载的性质决定的,而与外加电压无关。例如在纯电阻电路中,电流与电压同相位,即 $\varphi = 0$,而 $\cos 0^\circ = 1$,就是说,纯电阻电路的功率因数=1。而在纯电感和纯电容电路中,电流与电压的相位差为 90° ,即 $\varphi = 90^\circ$,而 $\cos 90^\circ = 0$,故纯电感和纯电容电路的功率因数等于零。在一般具有电阻和感抗的电路中,功率因数在 $0 \sim 1$ 之间。

3. 电路的功率

(1) 平均功率——前面已经讲到,电路的平均功率又称有功功率,也就是电路中所消耗的电功率。在电阻和电感串联的电路中,只有电阻上消耗电功率,所以电路的平均功率为

$$P = U_R I$$

根据电压三角形 $U_R = U \cos\varphi$,代入上式得

$$P = UI \cos\varphi \quad (1-23)$$

(2) 无功功率——关于无功功率的概念以及它的意义,在前面都已讲过。在具有电阻和电感的电路中,无功功率只发生在电感之中,故无功功率为

$$Q = U_L I$$

根据电压三角形, $U_L = U \sin\varphi$,代入上式得

$$Q = UI \sin\varphi \quad (1-24)$$

(3) 视在功率——在交流电路中,电压有效值与电流有效值的乘积称为视在功率。为了与有功功率和无功率区别起见,视在功率用符号 S 表示,单位是伏安(VA)或千

伏安 (KVA)。视在功率的数学表达式以及它与有功功率的关系为

$$S = UI = \frac{P}{\cos\varphi} \quad (1-25)$$

例 1—19 已知一个线圈的电阻 $R = 6$ 欧, 电感 $L = 25.5$ 毫亨, 接于 $U = 220$ 伏、 $f = 50$ 赫的交流电源上, 计算:

- (1) 线圈的阻抗;
- (2) 通过线圈的电流;
- (3) 电阻两端电压降 U_R 和电感两端电压降 U_L ;
- (4) 电路的功率因数;
- (5) 有功功率;
- (6) 无功功率;
- (7) 视在功率。

解:

(1) $L = 25.5$ 毫亨 $= 0.0255$ 亨, 线圈的感抗为

$$X_L = 2 \times 3.14 \times 50 \times 0.0255 = 8 \text{ 欧}$$

$$\begin{aligned} \text{线圈的阻抗 } Z &= \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = \sqrt{36 + 64} \\ &= \sqrt{100} = 10 \text{ 欧} \end{aligned}$$

$$(2) \text{ 电流 } I = \frac{220}{10} = 22 \text{ 安}$$

$$(3) \text{ 电压 } U_R = IR = 22 \times 6 = 132 \text{ 伏}$$

$$\text{电压 } U_L = IX_L = 22 \times 8 = 176 \text{ 伏}$$

$$(4) \cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{6}{10} = 0.6 \text{ (落后)}$$

$$(5) \text{ 有功功率 } P = UI\cos\varphi = 220 \times 22 \times 0.6 = 2904 \text{ 瓦 也}$$

可这样计算 $P = I^2 R = (22)^2 \times 6 = 2904 \text{ 瓦}$

$$(6) \sin\varphi = \frac{X_L}{Z} = \frac{8}{10} = 0.8$$

$$\text{无功功率 } Q = UI\sin\varphi = 220 \times 22 \times 0.8 = 3872 \text{ 乏}$$

$$\text{也可这样计算 } Q = I^2 X_L = (22)^2 \times 8 = 3872 \text{ 乏}$$

$$(7) \text{视在功率 } S = UI = 220 \times 22 = 4840 \text{ 伏安}$$

六、交流电路计算小结

这一节的全部内容是讲述简单交流电路的计算，虽然公式较多，但它们之间都是互有关联的，只要抓住主要矛盾，不仅对上面讲过的四种电路能够掌握其计算方法，而且对另外一些未讲过的电路，也可按照上述的基本分析方法，经过独立思考，掌握其计算要领，归纳起来。本节所讲的计算公式中，最基本的有六个。即

1. 阻抗 $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ ，其中 $X_L = 2\pi fL$ ；

2. 电流有效值 $I = \frac{U}{Z}$ ；

3. 功率因数 $\cos\varphi = \frac{R}{Z}$ ；

4. 有功功率 $P = UI\cos\varphi = I^2 R$ ；

5. 无功功率 $Q = UI\sin\varphi = I^2 X_L$ ；

6. 视在功率 $S = UI$ 。

为了便于大家能够根据不同电路的主要特点，运用上面六个基本公式进行计算，现将四种电路对比如下：

四种电路对比表

电 路	阻 抗 (欧)	电压与电流的关系		功 率		
		数 值	功率因数和相位差	有 功 功 率	无 功 功 率	视 在 功 率
电阻与电感 串联的电路	$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ 其中 $X_L = 2\pi fL$	$I = \frac{U}{Z}$	$\cos\varphi = \frac{R}{Z}$ (电流滞后电压 φ)	$P = UI \cos\varphi$ $= I^2 R$	$Q = UI \sin\varphi$ $= I^2 X_L$	$S = UI$
纯电阻电路	$X_L = 0$ $Z = R$	$I = \frac{U}{R}$	$\cos\varphi = \frac{R}{R} = 1$ $\varphi = 0$	$P = UI = I^2 R$	$Q = 0$	$S = P$
纯电感电路	$R = 0$ $Z = X_L$ $= 2\pi fL$	$I = \frac{U}{X_L}$	$\cos\varphi = \frac{0}{Z} = 0$ $\varphi = 90^\circ$ (电流落后)	$P = 0$	$Q_L = UI$ $= I^2 X_L$	$S = Q_L$
纯电容电路	$R = 0$ $Z = X_C$ $= \frac{1}{2\pi fC}$	$I = \frac{U}{X_C}$	$\cos\varphi = \frac{0}{Z} = 0$ $\varphi = 90^\circ$ (电流超前)	$P = 0$	$Q_C = UI$ $= I^2 X_C$	$S = Q_C$

第十五节 三相交流电

随着科学技术的发展和生产实际的需要，目前在电力生产和应用方面均采用了三相交流电，而平时所用的单相交流电只是三相交流系统中的一相。三相交流电为什么得到普遍应用呢？概括地讲，三相交流电比单相交流电具有下列优点：

1. 一台三相交流发电机比一台同容量的单相交流发电机的体积要小，因而节省材料。

2. 三相输电比单相输电经济。例如在输电电压、输送功率和线路损耗相同的情况下，三相输电线路要比单相输电线路大约可节省有色金属材料 25%。

3. 三相交流电可以产生旋转磁场，根据这一原理制成的三相感应电动机比单相交流电动机的结构简单、性能好、运行可靠。

一、三相交流电的产生及其特点

三相交流电是从单相交流电发展而来的，所以从基本原理上来讲，三相交流发电机与单相交流发电机没有什么区别。不同的是单相交流发电机磁极间的转子铁心上只装有一相绕组，而三相发电机的转子铁心上，对称地装有三个结构完全相同的独立绕组。

为了便于理解起见，我们用图 1—34 所示的三相交流发电机的原理

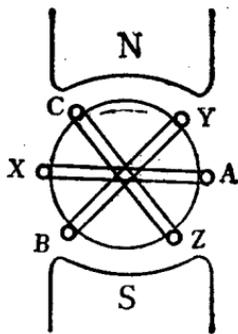


图 1—34 三相交流发电机的原理结构

结构图来说明三相交流电势的产生过程。图中，A—X、B—Y、C—Z表示三相绕组，它们在空间的位置彼此相隔 120° （即 $\frac{1}{3}$ 圆周）。当转子以恒定速度旋转时，构成绕组的导体与磁极的磁力线相切割，因而在三相绕组中产生三个独立的电势，分别用 e_A 、 e_B 、 e_C 表示。这三个电势具有下列特点：

1. 因为发电机的磁极是一定的，而且与三相绕组的切割速度相同，所以三相电势的频率相同、最大值相等，而且随时间的变化规律也一样（都按正弦规律变化）。

2. 由于三相绕组在空间的位置彼此相差 120° ，所以三相绕组切割磁力线的时间不同，从图中可以看出，绕组A—X，先与N极相切割，经过 $\frac{1}{3}$ 周期时间之后，绕组B—Y再与N极相切割，再经过 $\frac{1}{3}$ 周期的时间，绕组C—Z才与N极相切割。因此，三相电势到达零值或最大值的时间互差 $\frac{1}{3}$ 周期（即互差 120° ）。各相绕组电势随时间变化的曲线如图1—35（甲）所示，图1—35（乙）为三相电势的向量图。

具有上述特点的三相交流电势，称为对称三相正弦电势，目前所有交流发电机所产生的三相电势就是这种情况。

从图1—35（甲）中可以看出，在任何瞬间对称三相正弦电势的瞬时值之和都等于零。例如，时间 $t=0$ 时，A相电势 $e_A=0$ ，B相电势 e_B 和C相电势 e_C 大小相等但符号相反（ e_B 为负值， e_C 为正值），所以在同一时间里 $e_A+e_B+e_C=0$ 。其它任何时间里都是这样的，大家可以任选一个时间来分析一下。

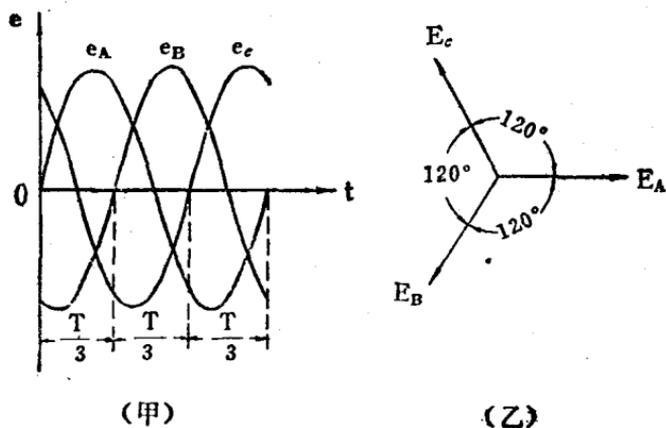


图1-35 对称三相正弦电势

(甲) 三相电势的变化曲线

(乙) 三相电势的向量图

二、三相电源绕组的联接

三相发电机的三个绕组虽然是独立的，但在使用时并不使每相绕组单独供电，因为那样做时共需要六根输电导线，是很不经济的。通常是把三相绕组按一定规律联接起来，其联接方式主要有星形

(Y) 和三角形 (Δ)

两种。为了叙述方便起见，把三相绕组六个端头中的A、B、C称为相头，X、Y、Z称为相尾。

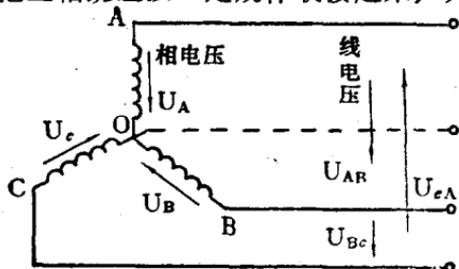


图1-36 三相电源的星形联接

1. 星形联接——如图 1—36 所示,把三相绕组对应的三个相尾 X、Y、Z 联接在一起,这一点称为电源的中性点,用符号 O 表示,从相头 A、B、C 引出与负载相联的导线,这种联接方式称为星形联接。从端头 A、B、C 引出的导线称为端线(俗称火线),从中性点引出的导线称为中线或零线。

三相电源接成星形时可以得到两种电压:端线与端线之间的电压称为线电压,分别用 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{CA} 表示;端线与中线之间的电压称为相电压,分别用 U_A 、 U_B 、 U_C 表示。数学推导或实际测量都可以证明,对于对称三相正弦电源来讲,线电压的有效值等于相电压有效值的 $\sqrt{3}$ 倍,即

$$\left. \begin{aligned} U_{\text{线}} &= \sqrt{3} U_{\text{相}} \approx 1.73 U_{\text{相}} \\ \text{或 } U_{\text{相}} &= \frac{U_{\text{线}}}{\sqrt{3}} \approx 0.577 U_{\text{线}} \end{aligned} \right\} \quad (1-26)$$

高压输电系统不引出中线,此称为三相三线制,而低压配电系统都引出中线,此称为三相四线制。例如农村所用的三相配电变压器,原边三相绕组接成星形,副边三相绕组也接成星形,而且引出中线(称为 Y/Y₀ 接线),这样可以得到

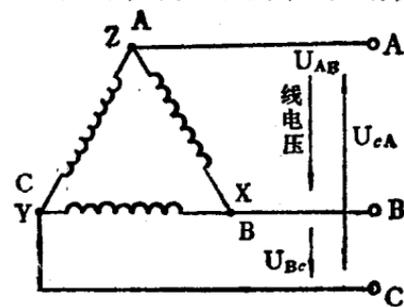


图 1—37 三相电源的三角形联接

到 380 伏的线电压和 220 伏的相电压。这种供电方式既可供三相电动机,又可供单相照明,是很方便的。

2. 三角形联接——把电源三相绕组的相尾和相头依次相联,形成一个闭合三角形,并从 AZ、BX、CY 三个联接点引出三根与负载

相联的导线，这种联接方式称为三角形联接，如图 1—37 所示。

对于三角形联接，大家可能会问：三相绕组联成一个闭合回路不是把三相电势短路了吗？这个问题在上面已经谈到，在任何瞬间，对称三相正弦电势的瞬时值之和都等于零，即在任何瞬间回路中的总电势为零。因此，三相绕组接成三角形是完全可以的。但是必须注意，在三角形联接时，若把一相绕组的头和尾颠倒，这时闭合回路的总电势不再等于零，而等于一相电势的 2 倍，就等于把三相绕组短路，发电机转动之后就会烧坏。三相发电机一般都接成星形，而三相变压器有时要接成三角形，联接时相头与相尾绝不要弄错。

三相电源接成三角形，只能得到一种电压，即相电压等于线电压。同时，三角形接线只能是三相三线制。

三、三相负载的联接

和三相电源一样，三相负载也可以接成星形或三角形。在星形联接时，可以接成带中线的三相四线制或不带中线的三相三线制，而在三角形联接时，只能接成三相三线制。三相负载究竟采用哪种联接方式，应当根据三相电源的线路电压与每相负载的额定电压来决定，务使加于每相负载两端的电压等于它的额定电压。例如，电源的线电压为 380 伏时，而每相负载的额定电压为 220 伏，这时三相负载必须接成星形，因为联接成星形时， $U_{\text{相}} = \frac{U_{\text{线}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220$ 伏，恰与每相负载的额定电压相符合，若每相负载的额定电压为 380

伏，这时三相负载就应接成三角形。因为三角形联接时， $U_{\text{相}} = U_{\text{线}} = 380$ 伏，恰与每相负载的额定电压相符合。下面我们分别说明三相负载接成星形或三角形时各有什么特点：

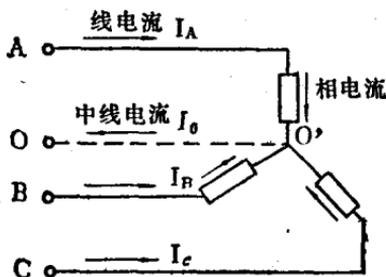


图 1—38 三相负载的星形联接

1. 三相负载的星形联接——如图1—38所示，把三相负载的三个“相尾”接在一点（这一点称为负载的中性点，用 O' 表示），三个“相头”与电源线路相接，称为负载的星形联接。对于三相电动机来

讲，“相头”和“相尾”不能颠倒，但对于灯泡或电热器来讲，不分相头和相尾。三相负载的中性点可以与电源的中线相接。也可以不接。

三相负载接成星形时，由于每相负载接在电源的端线和中线之间，在忽略线路上的电压降的情况下，每相负载两端所加的电压是电源的相电压。

每条线路上通过的电流称为线电流，每相负载上通过的电流称为相电流，中线上通过的电流称为中线电流。从图1—38可以直接看出，每条线路上通过的电流就是通过一相负载的电流，因此，三相负载接成星形时，相电流等于线电流。即

$$I_{\text{相}} = I_{\text{线}} \quad (1-27)$$

哪些性质的负载需要采用三相四线的星形联接，哪些性质的负载采用三相三线的星形联接呢？中线起什么作用呢？为了解决这些问题，分下面三种情况来讨论：

(1) 对于照明负载（电灯）或单相用电设备（如收音机、电热器等），由于这类负载的特点是不能严格保证三相负载相等的（例如各家的电灯不可能同时开、同时关），必须采用“三相四线”的星形联接，各相负载分别接在电源的端线与中线之间，如图1—39所示。中线的作用就是把电源的中性点与负载的中性点直接相连，使得负载中性点与电源中性点具有相同的电位，从而保证了负载端的三相电压相等。如果没有中线或者中线断开，在三相负载不相等的情况下，就会造成各相负载端的电压大小不等。三相负载不相等的程度越大，各相电压的大小差别越大。接在电压高的那一相上的用电设备，可能由于电压过高被烧坏，而接在电压低的那一相上的用电设备，由于电压低而不能正常工作（如灯泡变暗）。由此可知，照明负载一定要采用三相四线星形接线，中线一定要联接可靠。而且供电规程中规定：在进户线处的中线上不准装保险丝或开关。

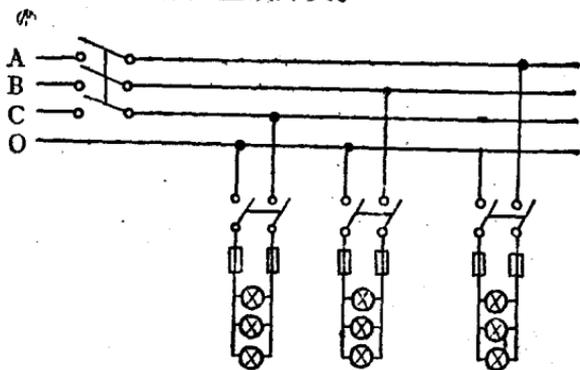


图1—39 照明负载的联接

(2) 对于三相电动机一类负载（称为动力负载），通

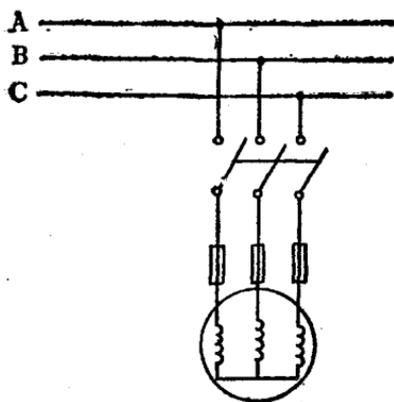


图1—40 三相动力负载的星形联接

常采用三相三线联接，如图1—40所示。因为这类负载的特点是能严格保证三相负载相等，在这种情况下中线里通过的电流等于零。即使把中线去掉，对负载端的电压也没有任何影响，所以中线可以省掉。

(3) 对于照明负载和动力负载混合使用的低压供电线路，应采取“三相四线制”。照明负载接相电压，

动力负载接线电压，如图1—41所示。

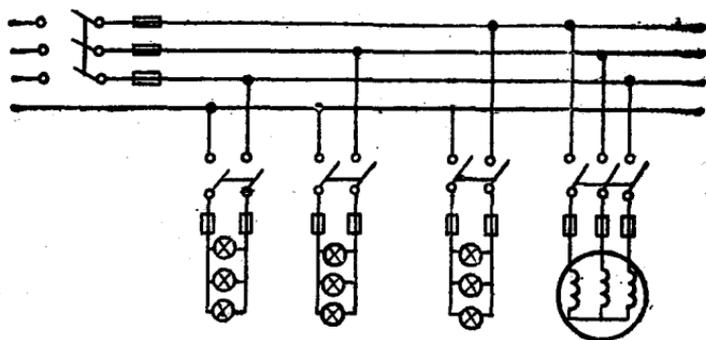


图1—41 照明和动力混合负载的联接

2. 三相负载的三角形联接，如图1—42所示。三相负载的尾和头依次相接，形成一个闭合三角形回路，从三角形的三个顶点引出导线与电源线路相连。这时，每相负载两端所

加的电压是电源的线电压。

从图中可以看出，当三相负载接成三角形时，相电流不等于线电流。根据数学分析并经过实验证明，三相

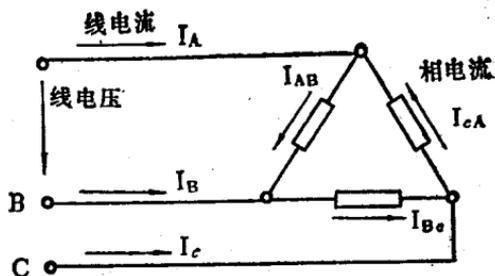


图1-42 三相负载的三角形联接

负载接成三角形而且在各相负载相等的情况下，线电流的有效值等于相电流有效值的 $\sqrt{3}$ 倍。即

$$\left. \begin{aligned} I_{\text{线}} &= \sqrt{3} I_{\text{相}} \approx 1.73 I_{\text{相}} \\ \text{或 } I_{\text{相}} &= \frac{I_{\text{线}}}{\sqrt{3}} \approx 0.577 I_{\text{线}} \end{aligned} \right\} \quad (1-28)$$

四、三相电路的功率

如果把三相电路中的任何一相单独取出来进行分析，它就是一个单相电路。因此，三相电路的功率就等于各相功率之和，而每一相功率的计算与上节所讲过的完全相同。三相电路的功率也分为有功功率、无功功率和视在功率。

1. 三相有功功率——如果三相负载不相等，则每相的有功功率也不相等。这时需要按照公式(1-23)分别计算A、B、C三相的有功功率 P_A 、 P_B 和 P_C 。三相电路的有功功率(用 P 表示)就等于各相有功功率之和。即

$$P = P_A + P_B + P_C \quad (1-29)$$

当三相负载相等时，A、B、C各相的有功功率相等，则

三相电路的有功功率等于一相有功功率的3倍。即

$$P = 3P_{\text{相}} = 3U_{\text{相}}I_{\text{相}}\cos\varphi$$

在实际电路中，测量线电压和线电流要比测量相电压和相电流方便得多，因此通常都用线电压和线电流来表示功率。大家已经知道，三相负载接成星形时有：

$$U_{\text{相}} = \frac{U_{\text{线}}}{\sqrt{3}}, I_{\text{相}} = I_{\text{线}}$$

三相负载接成三角形时有： $U_{\text{相}} = U_{\text{线}}$ 、 $I_{\text{相}} = \frac{I_{\text{线}}}{\sqrt{3}}$ ，因而不论哪一种联接方式，都有 $3U_{\text{相}}I_{\text{相}} = \sqrt{3}U_{\text{线}}I_{\text{线}}$ 的关系。所以三相有功功率为

$$P = \sqrt{3}U_{\text{线}}I_{\text{线}}\cos\varphi \approx 1.73U_{\text{线}}I_{\text{线}}\cos\varphi \quad (1-30)$$

公式(1-30)是三相有功功率的计算公式，不论三相负载接成星形或三角形，都是适用的。这里必须注意， $\cos\varphi$ 是一相的功率因数，而且不要把 $\sqrt{3}$ 忘掉。

2. 三相无功功率和三相视在功率——与三相有功功率的分析方法相同，三相负载不相等时：

$$\text{三相无功功率 } Q = Q_A + Q_B + Q_C$$

$$\text{三相视在功率 } S = S_A + S_B + S_C$$

在三相负载相等的情况下，三相无功功率和视在功率分别是：

$$Q = \sqrt{3}U_{\text{线}}I_{\text{线}}\sin\varphi \approx 1.73U_{\text{线}}I_{\text{线}}\sin\varphi \quad (1-31)$$

$$S = \sqrt{3}U_{\text{线}}I_{\text{线}} \approx 1.73U_{\text{线}}I_{\text{线}} \quad (1-32)$$

例1-20 某生产队有一台额定容量 $S = 50\text{KVA}$ 的三相变压器，高压侧额定电压(指线电压) $U_1 = 10000\text{V}$ ，低压侧

额定电压 $U_2 = 400\text{V}$ ，计算这台变压器高压侧和低压侧的额定电流（指线电流）。

$$\text{解：(1) 高压侧额定电流 } I_1 = \frac{S}{\sqrt{3} U_{1\text{e}}} = \frac{50000}{1.73 \times 10000} \approx 2.89 \text{安}$$

$$(2) \text{ 低压侧额定电流 } I_2 = \frac{S}{\sqrt{3} U_2} = \frac{50000}{1.73 \times 400} \approx 72 \text{安}$$

例1—21 某电灌站有一台三相电动机，它的额定容量 $P = 13\text{kW}$ ，额定电压（指线电压） $U = 380\text{V}$ ，额定功率因数 $\cos\varphi = 0.88$ ，效率 $\eta = 88\%$ 。计算这台电动机的额定电流（指线电流）。

解：（1）电动机的额定容量是指电动机轴上输出的机械功率，考虑到电动机本身的功率损耗，故电动机从电源吸收的电功率 P_1 等于它的额定容量除以效率。即

$$P_1 = \frac{P}{\eta} = \frac{13000}{0.88} \approx 14.77 \text{千瓦。}$$

（2）电动机的额定电流为

$$I = \frac{P_1}{\sqrt{3} U \cos\varphi} = \frac{14770}{1.73 \times 380 \times 0.88} \approx 25.5 \text{安。}$$

例1—22 工业用三相电炉，Y形联接，每相炉丝的电阻 $R = 10\Omega$ ，电源线电压 $U = 380\text{伏}$ ，求线电流和电炉的三相功率。

解：（1）三相电炉接成Y形，每相负载所加电压为相电压，即 $U_{\text{相}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220\text{伏}$ 。三相电阻相等，即三相电流

也相等，只计算一相。

$$I_{\text{线}} = I_{\text{相}} = \frac{U_{\text{相}}}{R} = \frac{220}{10} = 22 \text{安。}$$

(2) 电阻负载的功率因数 $\cos\varphi = 1$ ，故三相功率（有功功率）为

$$P = \sqrt{3} U_{\text{线}} I_{\text{线}} = 1.73 \times 380 \times 22 \approx 14.52 \text{千瓦。}$$

第二章 感应电动机

感应电动机通常又叫做“马达”，它是一种应用电磁感应原理将电能转变为机械能的动力设备。由于它具有构造简单、价格低廉、坚固耐用、维护方便等主要优点，因此，在农村的排灌、脱粒、农副产品加工、农机修造等方面得到广泛应用。

感应电动机按定子绕组的相数分为单相和三相。单相电动机一般容量较小，多用于风扇、鼓风机上，而三相电动机应用最广。为此，本章只介绍三相感应电动机。

第一节 感应电动机的基本构造

感应电动机的主要工作部分是定子和转子。定子和转子之间有一定的空气间隙，为了获得较好的电动机特性，空气间隙都比较小。图2—1为一台封闭型鼠笼式三相感应电动机的部件图，现将其中主要部件的构造简要介绍如下：

一、定 子

电动机的定子是指固定不动的部分，它包括铁心、绕组和机壳三部分。定子铁心是用0.35~0.5毫米厚的硅钢片迭装而成的，并压装在机壳内。在定子铁心的内圆上均匀地冲有许多槽，用来嵌放绕组。定子铁心的槽形，在小容量低压

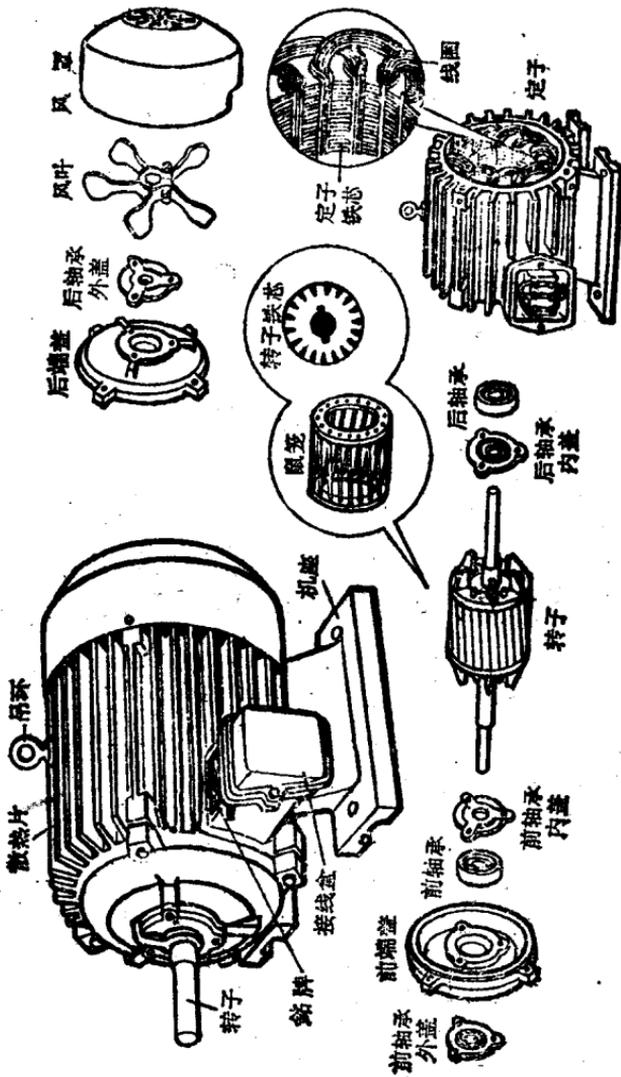


图2-1 鼠笼式三相感应电动机的部件图

电机中多采用半闭口槽。小型电动机的机壳以及前后端盖和轴承盖多用铸铁铸成。

定子绕组所用的电磁线，小容量低压电动机目前均采用圆形高强度漆包线，大容量电动机则采用绝缘扁线。定子绕组嵌入铁心槽内之后，用槽楔固定，并经过浸漆和烘干处理。

二、转 子

转子铁心也是用0.35~0.5毫米厚的硅钢片迭压而成，转子铁心的外圆四周冲有槽口，槽中嵌入导体，两侧用端环短路起来。电动机的转子绕组分为绕线式和鼠笼式两种，鼠笼式转子的绕组及两端的风翼用铝一次浇铸出来，由于它的形状好象一个松鼠笼，故形象地称为鼠笼式转子。由于鼠笼式转子制造简单、造价低廉、运行和维护方便，故中小容量的电动机均采用这种转子。

第二节 感应电动机的系列及铭牌

一、常用三相感应电动机的系列

感应电动机的种类很多，为了便于区别起见，根据它们的结构和用途的不同，由国家统一规定为若干“系列”。国产三相感应电动机的系列用汉语拼音字母表示，不同字母所代表的的意思是：

J：代表感应电动机，

O：代表封闭式，

Q: 代表高起动转矩或加强绝缘,

R: 代表绕线式转子,

S: 代表双鼠笼转子,

C: 代表深槽式转子。

常用三相感应电动机的系列如下:

1. J系列——是一般用途的防护式鼠笼转子电动机, 能防止水滴和其它杂物沿电动机垂直方向成 45° 以内的角度掉入电动机内部。这类电动机可以拖动无特殊要求的农业机械。

2. JO系列——是封闭扇冷式鼠笼转子电动机, 它的基本性能和用途与J系列相同。由于该类电动机可以防尘、防水滴, 故应用范围更广。

3. JQ系列——是高起动转矩防护式双鼠笼转子电动机, 其防护能力与J系列相同。这类电动机用以拖动要求起动转矩较大的机械, 例如轴流泵、粉碎机及小型起重机等。

4. JQO系列——是高起动转矩封闭扇冷式双鼠笼转子电动机, 性能和用途与JQ系列相同, 防护能力与JO系列一样。

5. JR系列——是防护式绕线转子电动机, 在农村应用较少。

6. JS系列——具有双鼠笼式转子。

7. JC系列——具有深槽式转子。

近年来, 我国电机制造工业飞速发展, 电磁材料和绝缘材料日益创新, 工艺不断改进, J_2 、 JO_2 和 JQ_2 等系列的新型电动机已定型生产(字母后面的数字“2”表示第二次改型设计)。

在工作中，应当按照电动机的周围工作环境和负载的特点等条件选用不同系列的电动机。防护式电动机的外壳两端有通风孔，能防止水滴、铁屑等杂物沿电动机垂直方向成45°以内的角度掉入电动机内部，但不能防止灰尘和潮气浸入电动机内部。如果在室内使用，灰尘不多，空气比较干燥，且无腐蚀性气体，可选用防护式电动机。封闭式电动机是将转子和定子绕组装在一个封闭的外壳里，能防止灰尘及其它杂物浸入电动机内部。若在露天使用，或者在灰尘过多、水点飞溅、比较潮湿的地方使用时，应选用封闭式电动机。但是，封闭式电动机并不是密封的，不能用于水下工作。

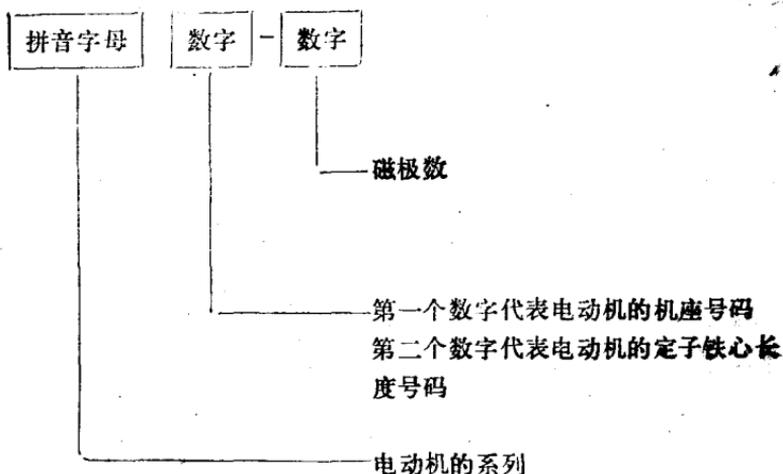
二、电动机的铭牌

在电动机的外壳上钉有铭牌，电动机的型号、主要参数及运行条件等都标明在铭牌上。三相感应电动机的铭牌如图2—2所示，其中有些内容自己可以看懂，这里仅说明如下几点：

感应电动机					
型号	J042-4	3相50	赫芝	接法	△/Y
功率	2.8	瓩	电压	220/380	伏 绝缘等级
转速	1430转/分	电流	10.4/6.04	安	温升 60℃ 重量 46公斤
额定工作方法	连续	标准编号			
电机厂		197 3 年 月			

图2—2 电动机铭牌

1. 型号——由三部分组成，它们代表的的意思是：



例如，铭牌上标明电动机的型号为 JO42—4，就可知道这是一台封闭扇冷式鼠笼转子电动机，它使用4号机座，为2号定子铁心长度，4个磁极（即两对磁极）。

2. 额定容量——也叫额定功率，它表示这台电动机在额定条件下长期工作时，轴上所能输出的最大机械功率，单位为千瓦。选用电动机时，要使电动机的额定功率与被拖动的机械功率相配合。若电动机的功率小于被拖动的机械功率，则电动机连续工作时会过热；若电动机的功率比被拖动的机械功率大得多，即形成“大马拉小车”，这就不能充分发挥电动机的作用，不仅增加了设备投资，而且电动机轻载运行时的效率和功率因数都比较低，因而又增加了运行费用。

3. 额定电压——表示电动机定子绕组应接的线电压的数值。例如图2—2所示的铭牌上标明额定电压为 220/380伏，

表示这台电动机可以用于线电压为220伏的三相电源，也可用于线电压为380伏的三相电源。但是必须注意，电动机三相定子绕组的接线方式应与电源电压相对应。例如，铭牌中又标明接法为 Δ/Y ，它的意思是：用于220伏线电压时，三相定子绕组应接成三角形（ Δ ）；若用于380伏线电压时，则三相绕组必须接成星形（Y）。

4. 额定电流——表示电动机在额定电压、额定功率情况下工作时的线电流，超过这个数值，时间一长就会使电动机过热。铭牌上额定电流的两个数值与额定电压的两个数值是相互对应的，即线电压为220伏时（ Δ 接法），线电流为10.5安；线电压为380伏时（Y接法），线电流为6.04安。

5. 额定工作方式——表示电动机允许使用方式。铭牌上标有“连续”字样的，表示这种电动机可以在额定条件下连续工作，其绕组温升不致超过允许值（ 60°C ），普通用的电动机都属于此类。此外，还有“短时”或“断续”工作的电动机，前者只能短时运行，停歇后再行使用；后者是开、停次数频繁，但每次运行时间都很短。

6. 温升——表示电动机在额定电压、额定频率和额定功率情况下运行时，定子绕组温度允许高出周围环境的温度值。通常规定在周围空气温度为 35°C 时，绕组的允许温升为 60°C ，也就是绕组的允许温度为 $35 + 60 = 95^{\circ}\text{C}$ 。这个问题还要在本章第七节中详细讨论。

第三节 感应电动机的转动原理

电动机接通电源之后就会旋转起来，可以带动其它机械

工作，这一点大家是比较熟悉的。但是要问：电动机接通电源之后为什么会旋转起来呢？对于这个问题大家不一定都很清楚。为了便于说明这个基本问题，我们先看图2—3所示的感应电动机的模型。

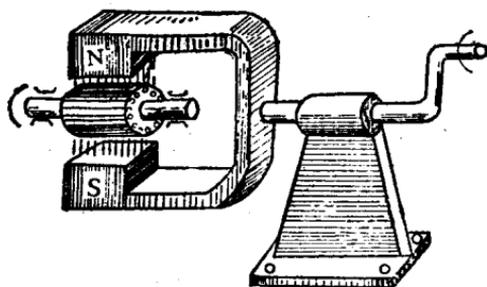


图2—3 感应电动机的模型

在图2—3中，马蹄形磁铁可以绕轴旋转，磁极中间的转子是用许多金属条制成，金属条的两端用金属板固定，同时把金属条短路起来。这个转子也可以绕自己的轴旋转，它相当于电动机的鼠笼转子。如果用手转动手柄使磁铁沿图中箭头方向绕轴旋转，那末，这个磁铁就形成了一个在空间旋转的磁场。处于磁铁中间的转子本来是不动的，这时，构成转子的金属条（导体）便切割旋转磁场的磁力线，因而在转子导体两端产生感应电势。又因为转子导体被两端的金属板短路，所以在转子导体中产生感应电流。根据电动机左手定则，转子上的通电导体与旋转磁场相互作用，使导体产生电磁力，于是，使转子沿着旋转磁场的方向旋转起来。

从上述过程可以看出，转子导体内的电流是由于旋转磁场与转子导体相切割而感应出来的，所以这种电动机被称为感应电动机。很显然，转子的旋转速度不可能达到旋转磁场的速度。否则，两者之间没有相对运动，转子导体不再切割旋转磁场的磁力线，使转子导体中不再产生感应电流和电磁力，因而转子就不再旋转。由于转子的转速总是低于旋转磁场的转速，即两者永远达不到“同步”，因此，感应电动机又称为异步电动机。

根据上面的模型实验使我们知道，感应电动机所以能够转动起来，是由于旋转磁场与转子导体中的感应电流互相作用的结果。而其中最关键的问题就是必须有一个在空间旋转的磁场。实际上，感应电动机的旋转磁场并不是用手转动磁铁形成的，而是利用图2—4所示的三相绕组（为了清楚起见，每相绕组用一个线圈表示）

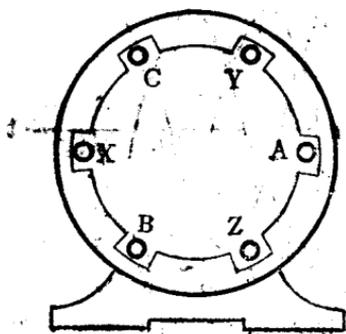


图2—4 产生旋转磁场的三相定子绕组

通入三相正弦电流产生的。此图中，三相定子绕组在空间的位置互差 $\frac{1}{3}$ 圆周（即 120° ）。为了便于说明对称三相正弦电流通入上述三相绕组后，能产生一个在空间旋转的磁场，先把要用到的一些图形符号说明如下：

1. 当某相绕组中的电流为零时（即在这一瞬间该相绕组不通过电流），绕组的截面图用符号“○”表示；
2. 当某相绕组中的电流为“正”值时（即图2—5中横

轴上面的电流)，规定在这一瞬间，电流从该绕组的首端进入（用符号“ \otimes ”表示），从尾端流出（用符号“ \odot ”表示）；

3. 当某相绕组中的电流为“负”值时（即图 2—5 中横轴下面的电流），规定在这一瞬间，电流从该相绕组的尾端进入（用符号“ \otimes ”表示），从首端流出（用符号“ \odot ”表示）。

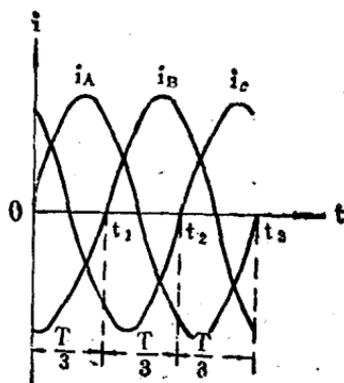


图 2—5 三相正弦电流随时间的变化情况

下面，我们根据图 2—5 所示的三相正弦电流的变化曲线，来说明旋转磁场的形成。

当时间 $t=0$ 时，电流 $i_A=0$ ， i_B 为负值， i_C 为正值。按照上面的规定，绕组 A—X、B—Y、C—Z 中的电流方向如图 2—6

(甲) 所示，根据右手螺旋定则，这时合成磁场的方向如图中虚线所示。经过 $\frac{1}{3}$ 周期时间以后，即时间 $t=t_1$ ，^⑤ 电流 i_B

$=0$ ， i_A 为正值， i_C 为负值，根据同样方法，三相绕组中的电流和由它们所产生的合成磁场的方向如图 2—6 (乙) 所示。再经过 $\frac{1}{3}$ 周期时间后，即时间 $t=t_2$ ，电流 $i_C=0$ ， i_A 为负值， i_B 为正值，绕组中的电流与合成磁场的方向如图 2—6 (丙) 所示。再经过 $\frac{1}{3}$ 周期时间，即 $t=t_3$ 时，电流 $i_A=0$ ， i_B 为负值， i_C 为正值，绕组中的电流与合成磁场的方向如图 2—6 (丁) 所示，它的情况与图 2—6 (甲) 相同。按照同样方法还可以继续分析下去，不过后面的情况又

重复原来的变化。

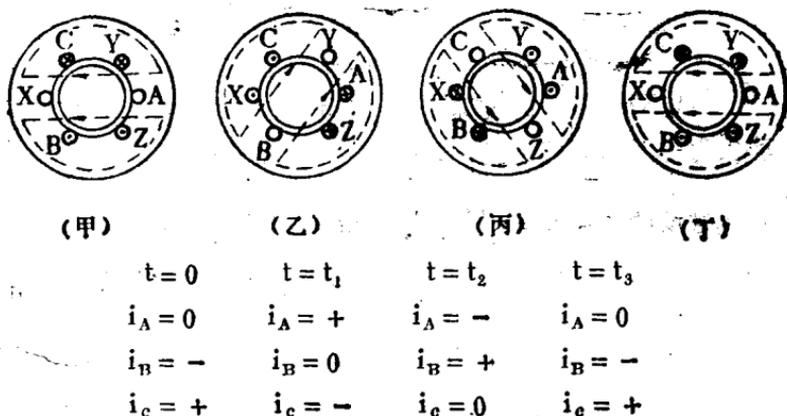


图2—6 三相绕组产生的旋转磁场

比较图 2—6 (甲)、(乙)、(丙)、(丁) 可以看出, 在不同瞬间, 三相电流在定子铁心内腔中所产生的合成磁场, 在空间的方向也不同, 即合成磁场随着时间在空间不停地旋转。其结果与图 2—3 所示的手摇磁铁在空间所形成的旋转磁场完全相同。还可以看出, 旋转磁场的方向与三相绕组中电流的零值或最大值的轮换顺序一致。三相绕组中电流零值或最大值的轮换顺序叫做相序。如果改变绕组中电流的相序, 则旋转磁场的方向也随之改变。

知道了电动机三相绕组通入三相正弦电流会产生一个旋转磁场这个道理之后, 再结合上面所讲过的, 转子导体中的感应电流与旋转磁场的相互作用关系, 就不难解决电动机为什么会旋转起来这个基本问题了。总结上面的分析, 对感应电动机的转动原理可以概括为下面三点:

1. 电动机的三相定子绕组通入三相正弦电流后, 能够产

生一个旋转磁场，转子导体与旋转磁场相切割而产生感应电流，旋转磁场再与转子导体中的感应电流互相作用，对转子导体产生电磁力，在电磁力的作用下使转子旋转起来。

2. 电动机转子的转速总是小于旋转磁场的转速。例如电动机为一对磁极（2极），通入交流电的频率为50赫芝时，

旋转磁场的转速 $n = \frac{60 \times 50}{1} = 3000$ 转/分，而转子的额定

转速大约为 2820—2960 转/分，对于两对磁极（4极）的电

动机，同步转速 $n = \frac{60 \times 50}{2} = 1500$ 转/分，其转子的额定

转速约为 1390—1460 转/分。

3. 电动机转子旋转的方向与旋转磁场的方向一致，而旋转磁场的方向又与三相电流的相序有关。因此，改变电流的相序就可以改变转子旋转的方向。具体方法是：将三相电源中的任意两根导线互换一下，电动机旋转方向即可改变，平时我们就是用这种方法来改变电动机的旋转方向的。

第四节 三相感应电动机的接线

一、三相绕组的线端标号

如果打开电动机外壳上的接线盒，你就会看到三相定子绕组的六个引出线端（它们分别接在六个接线柱上）。为了表明哪两个线端属于同一相绕组，哪三个线端属于对应的首端和尾端，在线端上都标有符号。线端标号过去用 A、B、C、X、Y、Z 表示，现在用 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 、 D_5 、 D_6 表

示。其中 D_1 和 D_4 (A和X) 属于同一相绕组, D_2 和 D_5

(B和Y)属于同一相绕组,

D_3 和 D_6 (C和Z) 属于同一相绕组, 通常又把三相绕组中的 D_1 、 D_2 、 D_3 (A、

B、C) 规定为首端, D_4 、

D_5 、 D_6 (X、Y、Z) 规定

为尾端。线端的排列顺序如图2—7所示, 可以根据不同需要, 将三相定子绕组接成星形或三角形。

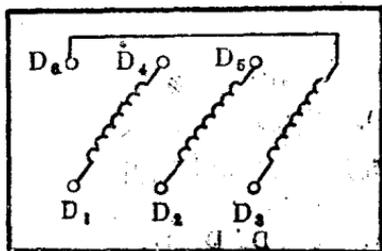


图2—7 线端的排列顺序

二、三相绕组的正确接线

电动机的接线是非常重要的, 如果接线错误, 不仅使电动机不能正常工作, 而且还可能烧毁电动机。因此, 电动机的接线必须认真对待, 决不能马虎从事。电动机的额定电压和接线方式都标注在铭牌上, 接线时应根据电源的电压, 按照铭牌上的规定进行。

1. 对于额定电压为 220/380 伏、接法为 Δ/Y 的电动机, 当电源的线电压为 220 伏时, 电动机应接成 Δ 形使用, 这时, 每相绕组所承受的电压为 220 伏。若电源的线电压为 380 伏, 则电动机应接成 Y 形使用, 每相绕组所承受的电压还是 220 伏 (因为 Y 形连接时, 相电压 = $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 线电压)。当电

源线电压为 380 伏时, 上述电动机若接成 Δ 形使用, 则每相绕组所承受的电压为 380 伏, 是 Y 形接线时一相绕组电压的 $\sqrt{3}$ 倍, 电动机会因电压过高而烧毁。由于目前农村电源的

线电压都是 380 伏的，所以，额定电压为 220/380 伏的电动机只能接成 Y 形使用。

三相定子绕组的 Y 形接线如图 2—8 所示，即把 D_4 、 D_5 、 D_6 三个线端接在一起（中性点），而把 D_1 、 D_2 、 D_3 三个线端分别与三相电源相接。

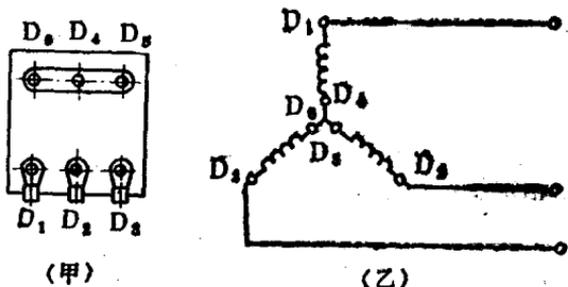


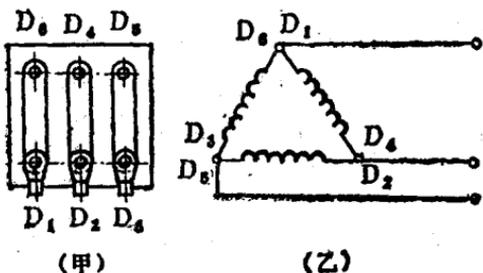
图 2—8 电动机的 Y 形接线

(甲) 接线方法

(乙) 原理接线

2. 对于额定电压为 380 伏、接法为 Δ 的电动机，表示每相绕组应承受的电压为 380 伏。在电源线电压为 380 伏的地区，这种电动机只能

接成 Δ 形使用。当电源线电压为 380 伏，若上述电动机接成 Y 形使用，则每相绕组所加的电压为 220 伏，只是 Δ 形接线时一相绕组电



(甲)

(乙)

图 2—9 电动机的 Δ 形接线

(甲) 接线方法

(乙) 原理接线

压的 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ (即 57.7%)，

电动机会因电压过低而不能正常工作。

三相定子绕组的 Δ 形接线如图2—9所示，即把 D_1 和 D_6 相联， D_2 与 D_4 相联， D_3 和 D_5 相联，三相电源分别与三个联接点相接。

三、一相绕组接反会引起什么后果

电动机三相绕组中，如果一相绕组的首、尾颠倒，叫做一相接反，如图2—10所示。这时，电动机则不能起动，发出沉闷的隆隆声，而且三相电流不平衡，线圈温度急剧上升。如不及时断开电源，时间稍长就会使电动机烧毁。因此，三相电动机不论是Y形联接或 Δ 形联接，一相绕组接反都是不允许的。

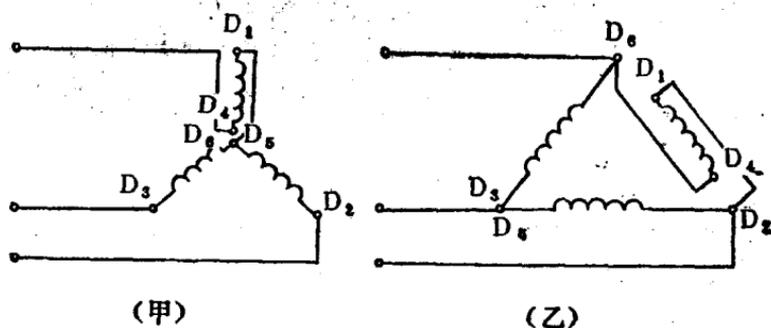


图2—10 一相绕组接反

四、线端没有标号怎么办

在日常工作中，常常会遇到电动机六个引线端的标号没有了或者标号模糊不清，这就给接线带来困难。遇到这种情况我们可以用试验方法来确定线端的标号，下面介绍一下试验方法和原理。

1. 首先需要确定哪两个线端是属于同一相的。如果有万用表（关于万用表的使用方法见第四章），可以用它的

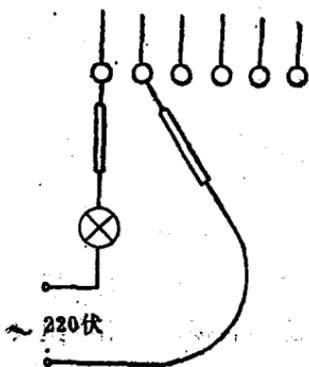


图 2—11 判断同一相的线端

“欧姆档”分别测量六个线端的任意两个，若电表有指示，则表明该两个线端属于同一相绕组。

如果没有万用表，可以用交流电源和灯泡来测量。取一个 220 伏 60~100 瓦的白炽灯泡和两个测电棒与 220 伏交流电源相串联，一个测电棒与六个线端中的任意一个接触，用另一个测电棒分别与其它线端相碰（如图 2—11），

如果灯泡亮了，则表明该两个线

端属于同一绕组。三相绕组的线端确定之后，要标上记号。测量时要注意安全，不能用手碰到测电棒的导电部分，否则会触电。

2. 判断三相绕组的首端和尾端——首先要说明一点，三相绕组的首端和尾端是相对而言的，如果把三个对应的首端当作尾端，而把对应的三个尾端当作首端是没有关系的。但是，如果只将一相绕组的首端和尾端搞错，就会造成上面指出的一相首、尾颠倒的错误接法，这是不允许的。

用交流电源和灯泡判断三相绕组首端和尾端的方法如图 2—12 所示：先将三相绕组中的任意两相与 220 伏 60~100 瓦的白炽灯泡相串联（为了便于说明起见，把这两相绕组假定是第一相和第二相），把剩下的一相绕组（假定叫第五相）经过一个闸刀开关与 220 伏电源相联。当电源接通时，如果

灯泡亮了，则表明第一相的尾端是与第二相首端相联的（如图 2—12 甲）；如果灯泡不亮，则表明第一相的尾端与第二相的尾端相联（如图 2—12 乙）。这样就可以确定第一相和第二相的首、尾，并作好记号。然后把第三相与第一相（或第二相）与灯泡串联起来，在另一相接入交流电源，用同样方法确定出第三相绕组的首、尾。

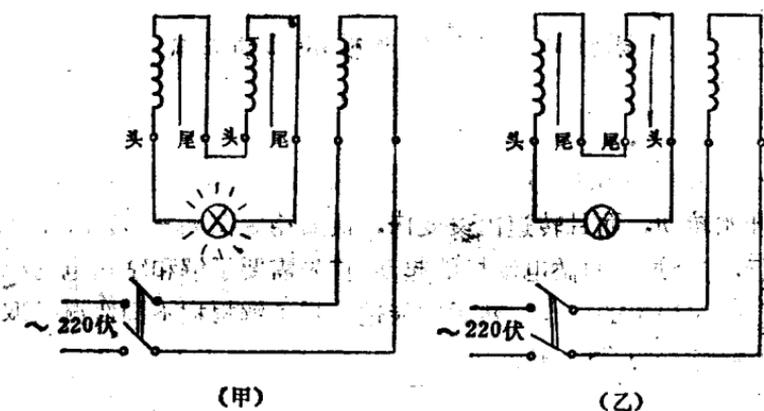


图 2—12 判断三相绕组的首端和尾端

现在我们来说明一下上述试验的道理：电动机好象一台变压器，与电源相联的一相绕组相当于变压器的原绕组（一次绕组），另外两相串联起来的绕组相当于副绕组（二次绕组）。原绕组接通电源后有交变电流通过，因而在定子铁心中产生交变磁场，使副绕组中产生感应电势。因为三相绕组的尺寸和匝数均相同，所以两个副绕组中的感应电势大小相等，其方向认为都是从首端指向尾端，如图 2—12 中的箭头方向所示。在图 2—12（甲）中，两个绕组与灯泡所构成的串

联回路中，按顺时针方向沿回路绕一周，两个电势的方向是相加的，即总电势等于一相绕组电势的2倍，因此使灯泡发亮；在图2—12（乙）中，回路中两个电势是相减的，即总电势等于零，因此灯泡不发亮。

用交流电源进行试验时必须注意，电源开关接通的时间尽量要短。因为时间长了会引起绕组过热，甚至烧毁。

第五节 感应电动机的起动方式和起动设备

大家都知道，电动机接通电源之后，转子便从静止状态开始转动，而且转速由慢变快，最后稳定在某一转速下运行，这个过程叫做电动机的起动。首先需要了解和掌握电动机起动过程中的特点，然后才能进一步了解根据不同情况采取不同起动方式的道理。

一、电动机起动过程中的特点

1. 电动机开始起动时，定子旋转磁场对静止的转子具有最大的相对转速，因而，这时在转子导体内产生的感应电势和电流为最大。与此相应，定子绕组内的电流也是最大，这个电流称为电动机的起动电流。根据实际测量，起动电流的数值可达电动机额定电流的4—7倍。

2. 电动机起动之后，转子的转速从慢加快，即定子旋转磁场对转子的相对转速由大逐渐减小，因而使转子导体中的电流和定子绕组中的电流也随之由大逐渐减小。当电动机在额定负载情况下达到额定转速运行时，定子电流即达到额

定电流值。

3. 电动机在起动的最初瞬间，定于绕组电流可能达到额定电流的4~7倍，大家很自然地会联想到：这样大的电流会不会使电动机受到损坏呢？一般来讲，由于电动机的起动时间（由静止到额定转速）比较短，所以不致于因较大的起动电流引起电动机过热而使电动机受到损坏。但是，过大的起动电流将引起供电线路的电压降低，这不仅会影响到电动机本身的起动，而且还将影响到接在该供电线路上的其它电动机的正常工作。尤其是大容量的电动机，它的起动电流较大，而且起动时间较长，对其它电动机的正常工作影响很大。因此，需要采取相应的起动措施，以减小起动电流。

二、电动机的起动方式和起动设备

农用电动机绝大多数是中小容量的鼠笼式三相感应电动机，这种电动机的起动方式有直接起动和降压起动两种。

1. 直接起动——所谓直接起动就是经过开关将额定电压直接加在定子绕组上使之起动。因为电动机起动时加入额定电压，所以直接起动又叫做全压起动。直接起动的优点是：所用起动设备简单、价格便宜、起动操作方便，但缺点是起动电流较大。

在农村，广泛使用三相闸刀开关直接起动小容量的电动机。目前常用的三相闸刀开关有两种，一种是最常见的瓷底座胶盖三相闸刀开关（俗称胶盖闸刀），另一种是石板底座三相闸刀开关（俗称石板闸刀），它们的结构如图2—13所示。胶盖闸刀的价格较便宜，但它的额定电流较小，可作为7千瓦以下的电动机的起动设备。石板开关的动刀片由两部分组成，

一个叫主刀片，另一个刀片用弹簧与主刀片相连，称为速断刀片或灭弧刀片。拉闸时，主刀片先与静触头脱离，这时速断刀片仍与静触头接触，当手柄向下拉到一定距离时，在弹簧拉力的作用下，速断刀片与静触头迅速脱离，电弧被迅

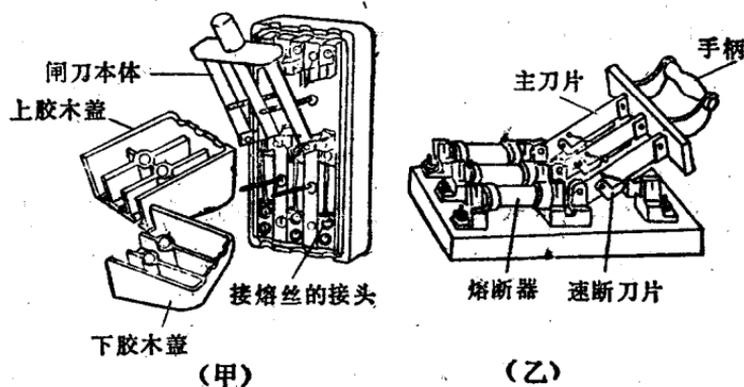


图 2—13 三相闸刀开关的结构

(甲) 胶盖闸刀 (乙) 石板闸刀

速拉长而熄灭。所以，石板闸刀切断电流的能力比胶盖闸刀大。胶盖闸刀和石板闸刀的规格如表 2—1 所列。

表 2—1 三相闸刀开关的规格

名 称	额定电压 (伏)	额定电流 (安)
胶盖闸刀	500	15、30、60
石板闸刀	500	60、100、200

此外，还有一种铁壳开关，可供电动机直接起动。铁壳开关的内部结构与闸刀开关基本相同，也是由闸刀和熔断器

组成(如图2—14),不同的是加了一个铁外壳。开关操作手柄装在铁壳外的右下方,铁壳与手柄有联锁装置。开关接通时,箱盖不能打开,只有把手柄扳下来,切断电源之后才能打开箱盖。这样既可以防止拉闸时电弧跑出来烧伤人,又可以避免在带电情况下触及内部的带电部分,因此比较安全。铁壳开关的规格如表2—2所列。

选择闸刀开关或铁壳开关时,必须使开关的额定电流不小于电动机额定电流的三倍。例如1台7千瓦电动机,已知其额定电流为14.5安,选用开关的额定电流应不小于 $3 \times 14.5 = 43.5$ 安。根据表2—1和表2—2规格,可选用额定电流为60安的闸刀开关或铁壳开关。

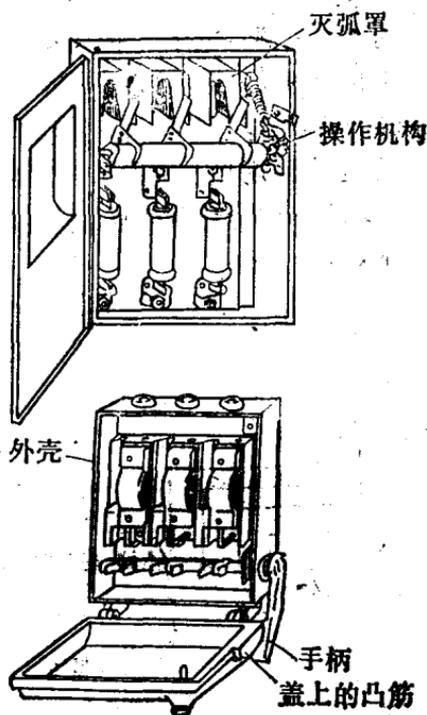


图2—14 铁壳开关的内部结构

表2—2

铁壳开关的规格

额定电压 (伏)	额定电流 (安)
500	10, 20, 30, 60, 100, 200

2. 降压起动——所谓降压起动就是把电源的电压适当降低到电动机额定电压之下，然后加到定子绕组上使之起动。降压起动的优点是可以减小起动电流，但缺点是所用起动设备的价格较贵，起动操作较复杂，而且使电动机的起动转矩降低(这个问题将在本章第七节说明)。因此，降压起动适用于容量较大、起动负载较轻的电动机。常用的降压起动方式有下面两种：

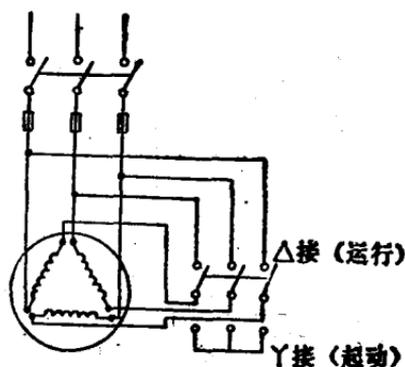


图2—15 Y—Δ起动的原理接线

(1) 星角起动(又称Y—Δ起动)——这种起动方式只适用于正常运行时三角形接线的鼠笼式三相感应电动机。例如，一台额定电压为380伏，Δ形接线的电动机，起动时先将三相定子绕组接成Y形(如图2—15)，这时每相绕组所加的电压为电源线电压的 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ ，即为全

电压的57.7%，因此可以使起动电流减小。当电动机达到或接近额定转速后，再把三相绕组改接成Δ形，使电动机在额定电压下正常运行。必须指出，采用Y—Δ起动时，虽然起动电流减小了，但电动机的起动转矩(即起动时电动机轴上的力矩)也要减小。因此，这种起动方式适用于在轻负荷下起动。

Y—Δ起动使用什么设备呢？对于容量不太大的电动机，可用一只三相双投闸刀开关作为起动设备。图2—15就

是利用一只三相双投闸刀开关进行Y— Δ 起动的原理接线。起动时将开关的动片合到下方，使电动机三相绕组接成Y形，起动后将开关动片合到上方，使电动机三相绕组改接成 Δ 形进入正常运行。此外，还有一种专门用作Y— Δ 起动的设备，叫做Y— Δ 起动器（或星角起动器），对于容量较大的电动机，可使用这种起动设备。

（2）补偿器起动

——补偿器就是一台二次电压可以调节的三相变压器，利用补偿器起动三相感应电动机的原理接线如图2—16所示。起动时，先将操作手柄扳到起动位置，这时电动机三相定子绕组接在补偿器的低压侧，使电动机降压起动。电动机达到或接近额定转速时，再将操作手柄

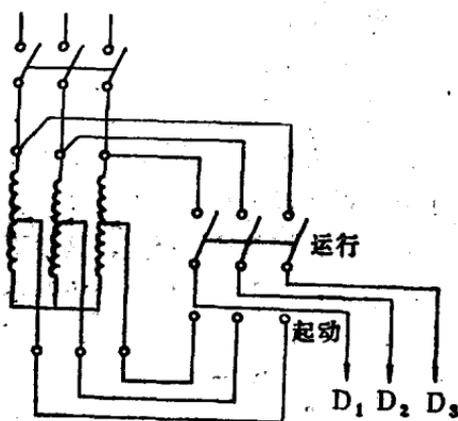


图2—16 补偿器动起的原理接线

扳到运行位置，使电动机三相绕组接到电源的全电压上运行。

补偿器的低压绕组部分有几种不同的电压抽头，可根据具体情况选择不同起动电压。补偿器内部还装有过载保护和欠压保护，当电动机定子电流达到其额定电流的1.2倍时，或者电源电压降低到额定电压的65~35%时，补偿器自动脱扣，将电源切断，以保护电动机。

三、电动机起动方式的选择

上面我们叙述了电动机起动过程中的特点，并对直接起动和降压起动两种方式的优缺点进行了比较。那末，如何正确选择电动机的起动方式呢？

上面我们已经提出，电动机起动时的电流过大，使线路电压降低，因而影响到电动机本身的起动和接到该线路上的其它电动机的正常工作。因此，确定电动机的起动方式时，不仅要考虑电动机的容量大小，而且还要考虑到供电变压器的容量和它经常所带负荷的大小。由于农村所使用的配电变压器的容量一般都不大，而且在农忙季节通常都达到或接近于满负荷运行。所以，一般规定容量为7.5千瓦及以下的电动机可以直接起动。但是，这并不是绝对的，这里提供一个参考数字：对于距离供电变压器不太远，而需要经常起动的电动机，如果它的容量不超过变压器额定容量的20%，可以直接起动，否则应采取降压起动。例如50千伏安的配电变压器，可以允许7.5千瓦的电动机直接起动，75千伏安的配电变压器，可允许13千瓦的电动机直接起动。

第六节 怎样选择电动机的熔丝

为了便于大家了解电动机熔丝的选择方法，先简要地介绍一下熔丝的作用及其特性。

一、熔丝的作用和特性

在电气线路或电动机等用电设备中，如果两相或三相等

体的绝缘损坏而互相接触，叫做“相间短路”。这时将引起很大的短路电流，如不及时切断电源，则会烧毁电气线路和用电设备。在低压电路中，对电动机等用电设备的短路保护，最经济而且简便的办法就是在电路中串联熔丝。如果有短路故障发生，则大电流会引起熔丝发热而迅速熔断，切断用电设备的电源，从而保护了线路和用电设备免遭烧坏。所以，人们通常又把熔丝叫做保险丝。

常用的低压熔丝是用铅、锡、锌等材料制成的。因为这些金属的熔点都较低，而且电阻率比铜或铝大得多，所以当电流大到一定程度时，熔丝就大量发热而熔断。当熔丝长期通过某一数值的电流而使熔丝没有显著变化时，这个电流称为熔丝的额定电流；熔丝开始熔断时候的电流，称为熔丝的熔断电流。很显然，熔丝的熔断电流要比它的额定电流大，一般为额定电流的1.3~2.1倍。当通过熔丝的电流达到或超过其熔断电流时，熔丝就会熔断。而且电流越大，熔断时间越短，电流越小，熔断时间越长。

常用的低压熔丝有青铅合金丝和铅（75%）锡（25%）合金丝两种，大电流的熔丝为铜丝。常用低压熔丝的规格见表2—3。

二、电动机的熔丝选择

电动机的熔丝选择分为下列两种情况：

1. 一台电动机的熔丝（称为分路熔丝）选择方法——前面已经提到，电动机的起动电流约为额定电流的4~7倍。如果按电动机的额定电流选择熔丝，就会造成电动机起动时熔丝烧断；如果按电动机的起动电流来选择熔丝，由于所选

表2—3

常用低压熔丝规格表

种类	直径 (毫米)	近似英规线号	额定电流 (安)
青 铅 合 金 丝	0.08	44	0.26
	0.15	38	0.50
	0.20	36	0.75
	0.22	35	0.80
	0.28	32	1.00
	0.29	31	1.05
	0.36	28	1.25
	0.40	27	1.50
	0.46	26	1.85
	0.50	25	2.00
	0.54	24	2.25
	0.58	23	2.50
	0.65	22	3.00
	0.94	20	5.00
	1.16	19	6.00
	1.26	18	8.00
	1.51	17	10.00
	1.66	16	11.00
	1.75	15	12.50
1.98	14	15.00	
2.38	13	20.00	
2.78	12	25.00	
3.14	10	30.00	
3.81	9	40.00	
4.12	8	45.00	
4.44	7	50.00	
4.91	6	60.00	
6.24	4	70.00	

种类	直径 (毫米)	近似英规线号	熔断电流 (安)	额定电流 (安)
铅锡合金丝 (铅 75% 锡 25%)	0.508	25	3.0	2.0
	0.559	24	3.5	2.3
	0.610	23	4.0	2.6
	0.710	22	5.0	3.3
	0.813	21	6.0	4.1
	0.915	20	7.0	4.8
	1.22	18	10.0	7.0
	1.63	16	16.0	11.0
	1.83	15	19.0	13.0
	2.03	14	22.0	15.0
	2.34	13	27.0	18.0
	2.65	12	32.0	22.0
	2.95	11	37.0	26.0
	3.26	10	44.0	30.0
铜 丝	0.23	34	8.6	4.3
	0.25	33	9.8	4.9
	0.27	32	11.0	5.5
	0.32	30	13.5	6.8
	0.37	28	17.0	8.6
	0.46	26	22.0	11.0
	0.56	24	30.0	15.0
	0.71	22	41.0	21.0
	0.74	21	43.0	22.0
	0.91	20	62.0	31.0
	1.02	19	73.0	37.0
	1.22	18	98.0	49.0
	1.42	17	125.0	63.0
	1.63	16	156.0	78.0
1.83	15	191.0	96.0	
2.03	14	229.0	115.0	

熔丝的熔断电流过大，则对电动机的某些故障可能失去保护作用。为了兼顾以上两种情况，对一台电动机的熔丝通常按下列公式选择：

$$\text{熔丝的额定电流} \geq (1.5 \sim 2.5) \times \text{电动机的额定电流} \quad (2-1)$$

应用公式 (2-1) 选择熔丝时，应根据电动机起动时所带负载的大小不同，选取不同的倍数。如果电动机是在空载或轻载下起动，倍数可取得小些；如果电动机在重负载下起动，倍数要取得大些。为了避免烦琐的计算，现将农村常用低压电动机应使用的熔丝参考数据列表如下：

表2-4 常用电动机的熔丝选择参考表

电动机容量 (千瓦)	2.8	4.5	7	10	14	20	28
熔丝额定电流 (安)	10~15	15~25	25~35	30~50	45~70	60~100	90~150

广大工人同志，在生产实践中不仅积累了丰富的生产经验，而且还总结出一些简便易记的计算方法。例如，对于额定电压为 380 伏，容量不超过 55 千瓦的三相感应电动机，其额定电流近似地等于额定容量的 2 倍。把这个关系代入公式 (2-1)，就得到根据电动机容量计算所用熔丝额定电流的近似公式：

$$\text{熔丝的额定电流(安)} \geq (3 \sim 5) \times \text{电动机额定容量(千瓦)} \quad (2-2)$$

例 2-1 一台 JO42-2 电动机，额定容量为 2.8 千瓦，估算它的额定电流，并选择所用的熔丝。

解 (1) 电动机的额定电流 $\approx 2 \times 2.8 = 5.6$ 安。

(2) 根据公式 (2-2), 所用熔丝的额定电流 $\geq (3 \sim 5) \times 2.8 = 8.4 \sim 14$ 安。查表 2-3, 应选用 15 号或 16 号青铅合金熔丝 (额定电流为 12.5 安和 11 安)。

2. 几台电动机总熔丝的选择方法——一条线路上有几台电动机时, 总熔丝的额定电流按下式计算:

总熔丝额定电流 (安) $\geq (1.5 \sim 2.5) \times$ 容量最大一台电动机的额定电流 + 其余电动机额定电流之和 (2-3)

为了保证整个线路的保护装置具有“选择性”, 电动机总熔丝的额定电流不应大于配电变压器低压侧熔丝的额定电流 (变压器熔丝的选择见第三章)。

例 2-2 某公社抽水站有三台电动机, 其容量为 10 千瓦、7 千瓦、7 千瓦, 选择总熔丝。

解 (1) 估算各台电动机的额定电流为: 20 安, 14 安, 14 安, 考虑到水泵起动不困难, 取倍数为 2, 所以

总熔丝的额定电流 $= 2 \times 20 + 14 + 14 = 68$ 安,

(2) 查表 2-2, 可选用 4 号青铅合金熔丝 (额定电流为 70 安)。

第七节 电动机运行中的管理和维护

大家从生产实践中都已懂得, 电动机在农业生产和农村生活方面发挥着巨大作用。但是, 电动机能否安全可靠地运行以及使用时间的长短, 在很大程度上决定于对电动机平时使用、管理和维护的怎样。为此, 广大从事农村机电工作的同志必须加强工作责任心, 并进一步熟悉和掌握有关电动机

的运行、管理和维护方面的知识，从实践中不断总结经验和教训，提高技术管理水平。

电动机在运行中应当监视和检查哪些项目，在有关《规程》中都有详细规定和要求，应当认真学习执行。下面，我们着重讨论农村电动机在运行中的几个主要问题。

一、经常检查电动机的温度变化

电动机的大部分故障几乎都会使它的定子电流增大、温度升高。所以，电动机运行中的电流和温度变化，基本上可以反映出它的运行情况是否正常。但由于农村使用的电动机容量较小，一般都不装设监视定子电流的电流表，所以，经常检查电动机的温度变化就成为监视电动机运行的主要方法了。

1. 电动机的最高允许温度——为了保证电动机不因温度过高而损坏或降低其使用年限，制造厂根据所用绝缘等级规定了电动机的允许温升。这个问题在第二节讨论电动机的铭牌时曾作了简要介绍。J系列和JO系列电动机采用A级绝缘，规定在周围环境温度为 35°C 时，允许温升为 60°C ，即绕组的最高允许温度为 $35^{\circ}\text{C}+60^{\circ}\text{C}=95^{\circ}\text{C}$ 。J₂系列和JO₂系列的电动机使用E级绝缘材料，规定周围环境温度为 40°C 时，其允许温升为 65°C ，即绕组的最高允许温度为 $40^{\circ}\text{C}+65^{\circ}\text{C}=105^{\circ}\text{C}$ 。

电动机在规定的周围空气温度下工作时，其定子电流和允许温升均不许超过铭牌上的额定值。如果周围空气温度超过了规定值，电动机必须适当减少负载，才允许长期运行；相反，如果周围空气温度低于规定值，电动机也可适当过负荷运行。在不同周围空气温度下，电动机定子电流减少和增

加的百分数可参考表 2—5，但以不超过允许温升为准。

表 2—5 周围空气温度变化时，电动机（A 级绝缘）
定子电流容许变化范围

周围空气温度	定子电流变动百分数
30°C 以下	增加 8%
30°C	增加 5%
35°C	额定电流
40°C	减少 5%
45°C	减少 10%

2. 温度的测试方法——测试电动机的温度，最简便的方法是用手摸，根据电工师傅们的经验，把手放在电动机外壳上，如果感到烫得需要立即把手缩回，则表明电动机已经过热了；如果没有烫得缩手的感觉，表示没有过热。另一种方法是在电动机外壳上滴几点水，如果只看见冒热气但没有声音，表示电动机没有过热；如果不但冒热气，还可听到“啞啞”的声音，则表明电动机已经过热了。

用手摸的方法测试电动机温度时，一定要注意安全。手触及电动机外壳之前先用验电笔检查外壳是否带电，并检查外壳接地是否良好，以防触电。另外，要站在没有皮带的一侧，以免皮带卷住衣服或辫子（女同志）发生人身事故。

上面两种方法虽然简单，但不太准确，需要有一定的实践经验。如需要较准确地知道电动机的温度，可用玻璃温度计来测量。先用锡箔纸把温度计的下部包严，塞到电动机的吊环孔里，锡箔的厚度应与环孔四壁紧密接触，孔口最好用棉花堵严，过一段时间等水银柱（或酒精柱）不再继续上升

了才能读数。必须注意，用这种方法测量出来的温度要比绕组的实际温度大约低 10°C 左右。

3. 过热原因的分析——电动机运行中，如果发现它的温度已经超过了允许值或者温度上升很快时，应当认真检查原因，及时处理。如果短小时内找不到原因，应使电动机停止运行进行检查。不然使电动机烧毁，将会影响农业生产。

造成电动机过热的原因是多方面的，根据运行经验，检查和分析电动机的过热原因，可从电源、电动机本身和负载三个方面入手。

(1) 电源方面：电压过低或过高；三相电压严重不平衡；一相电源断线使电动机形成两相运行等。

(2) 电机本身：绕组匝间短路；一相绕组断线造成两相运行；一相绕组接地或两相绕组短路；通风不良或机械方面故障等。

(3) 负载方面：电动机的容量与被拖动的机械负载不配套，小马拉大车使电动机过负荷；被拖动的机械发生故障等。

出现上述情况时，都会引起电动机过热。检查时，除了注意电机外壳的温度之外，还要检查轴承部分是否过热。

二、注意电动机的气味、振动和声音变化

运行中的电动机，有些故障发热很快（例如绕组短路），但热量的传递需要一定时间，有时热量还没来得及传出，绕组就可能冒烟烧毁。因此，单凭监视电动机的温度，有时还不能及早发现电动机的故障。电动机绕组温度过高时，通常会发出绝缘漆的气味或绝缘的焦糊味。因此，对于运行中的电

动机，如果闻到绝缘漆气味和焦糊气味，或者看到电动机冒烟时，应立即断开电动机的电源。如果发现早，断开电源快，就可能避免电动机严重烧毁和事故扩大。

电动机有些故障，特别是机械方面的故障，会使电动机产生振动和发出不正常的响声。例如，负载过重，或者发生两相运行（这个问题下面详细分析）时，电动机会发出沉闷的“嗡嗡”声；转子与定子铁心摩擦（叫做扫膛）时，会发出金属摩擦声或碰击声，这种故障多数是由于电动机装配不正确或轴承损坏而引起的；如果轴承有损坏，会产生“咕噜咕噜”的声音；若轴承严重缺油或油内夹有其它杂物，会产生“沙沙”声。总之，电动机运行中如果发现有较大的振动或异常声音，应立即停机查明原因，以免造成更大事故。

三、电压变化对电动机的影响

大家都有这样的实际体验：在用电负荷较轻的时候，线路的电压比较高，而在农忙季节和紧张抗旱的时候，大家都急需用电，但线路电压却显著降低。有时由于电压过低而造成电动机起动困难或者不能起动；同时，使运行中的电动机产生过热现象，严重时甚至被烧毁。这是农用电动机运行中的一个比较突出的问题。

为什么会产生上述现象呢？首先需要说明一下线路的电压为什么会波动。我们知道，电流通过输电线路送到用户时，要在输电线路产生一定数值的电压降。而线路上电压降的大小，与负荷电流的大小有关，因此，用户电压随着用电负荷的变化而波动。

1. 电动机的电磁转矩与外加电压的关系——在分析感

应电动机原理（参考本章第三节）时曾经指出，电动机的电磁转矩，是由定子旋转磁场与转子导体中的感应电流相互作用产生的，当电动机外加电压降低时，则使旋转磁场减弱，而磁场减弱又使转子导体中的感应电流减小。所以，电动机的电磁转矩与外加电压的平方成正比。例如，外加电压从380伏降到342伏，即电压降低到额定电压的90%，那末，电动机的电磁转矩降低到额定转矩的81%。

2. 电压过低为什么会使电动机过热——上面已经谈到，电动机的电磁转矩是与外加电压的平方成正比的。当外加电压低于额定电压时，则电动机的电磁转矩就会显著降低。如果所带的机械负载不变，则由于电磁转矩降低而引起电动机转子的转速变慢。于是，转子导体切割旋转磁场的速度增大，因而使转子导体中的感应电流和相应的定子电流增大，电磁转矩也随着增大。当电动机的电磁转矩增大到某一数值时，与机械负载的反抗转矩达到平衡，则电动机以较低的转速运行。这时，电动机的定子电流要比在额定电压运行时的电流大。如果电动机原来是满载工作的，则外加电压降低会使定子电流超过额定电流，时间长了电动机就会过热，严重时甚至被烧毁。

3. 电压的允许变动范围——线路电压随着用电负荷的变化而变化，这是客观存在的事实。但是，电动机外加电压过高或过低都会引起电动机过热，因此要求线路电压的波动不应超过某一范围。根据农用电动机的运行经验，外加电压在不超过额定电压的 $\pm 10\%$ 时，对电动机的正常运行不会有太大的影响。所以，电动机正常运行时，外加电压的允许变动范围为额定电压的 $\pm 10\%$ 。例如，对于额定电压为380伏

的电动机，外加电压最低不能低于 $380 - 38 = 342$ 伏，最高不能超过 $380 + 38 = 418$ 伏。

如果线路电压超出了允许范围，应当通知供电部门调整配电变压器的分接头（这个问题将在下章第五节讨论）；如果变压器的分接头调整之后，线路电压仍低于规定值时，则应合理调整用电负荷，使一部分不太重要的负荷在电压过低时，暂时停止用电。

在农村，由于三相负载不平衡（即各相负载的大小不等）而引起三相线电压的大小不相等，这种情况也会引起电动机的额外发热，因此，还要求三相线电压中的任意两个电压的差值不得大于额定电压的 5%。

四、防止电动机两相运行

运行着的三相感应电动机，如果电源一线断电，则形成两相电源供电，故称为“两相运行”。发生两相运行时，电动机虽能继续运转，但发出沉闷的“嗡嗡”声，而且绕组急剧发热。如不及时断开电源，时间稍长就会烧毁电动机。在当前农村烧毁电动机的原因中，除了上面所谈的由于线路电压过低所造成之外，发生两相运行而又没及时处理也是一个重要方面。因此，这个问题必须引起农村电工同志们的重视。

1. 两相运行为什么会烧毁电动机——例如有一台额定电压为 380 伏、Y 形接线的电动机，若 A 相电源断电（如图 2—17 甲），则 A 相绕组电流为零，B、C 两相绕组串联起来接在 380 伏电压之间，每相绕组所加电压为线电压的一半，即 190 伏。假若电动机所带的负载未变，则整个负载要由 B、C 两相绕组来承担，而这时 B、C 两相绕组电压降低，不能

产生足够的电磁转矩，因此，B、C两相绕组的电流显著增大。根据推算和实际测量；两相运行时的定子绕组电流可达到正常运行时绕组电流的1.73倍左右。这个电流要比一般过负荷电流大得多，因而引起两绕组发热。如不及时断开电流，时间稍长就会烧毁电动机。

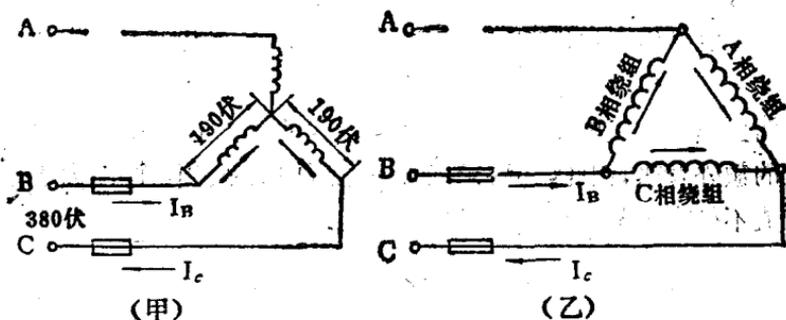


图2—17 电动机两相运行
(甲) Y形接线电动机 (乙) Δ 形接线电动机

对 Δ 形接线的电动机，若A相电源断电，则三相绕组形成两条并联电路接在线电压之间，C相绕组为一条电路，A、B两相绕组串联后为另一条电路（A、B每个绕组所加电压为线电压的一半），如图2—17（乙）所示。假若电动机所带为额定负载未变，由于A、B两绕组所加电压减小，不能产生足够的电磁转矩，则使C相绕组电流显著增大而引起绕组急剧发热以致烧毁。

大家可能会想到，电动机发生两相运行时其余两相保险丝会不会熔断呢？前面曾经讲过，电动机保险丝的额定电流是按电动机额定电流的1.5~2.5倍选择的，而保险丝的熔断电流又是它的额定电流的1.3~2.1倍。这样，我们就可以计

算出电动机保险丝的最小熔断电流为电动机额定电流的 $1.5 \times 1.3 = 1.95$ 倍，而电动机两相运行时的绕组电流只是电动机额定电流的 1.73 倍左右，所以保险丝不能熔断。

2. 造成两相运行的原因及检查方法——为了防止由于两相运行而烧毁电动机，首先应认真分析一下造成电动机两相运行的原因有哪些方面，做到“胸中有数”，以便在工作中经常检查，及时修理，把事故消灭在萌芽状态。根据电工师傅们的实践经验，造成电动机两相运行的原因主要有以下几个方面：

(1) 一相保险丝熔断。这种情况发生得比较普遍。造成一相保险丝熔断的原因，可能是由于保险丝选择不符合规定；即使按规定选择的保险丝，但由于安装时压得不紧或者使保险丝受到机械损伤，电动机过载时也容易造成一相熔断。

(2) 闸刀开关和起动设备的触头接触不良。有些地方对于电动机的闸刀开关和起动设备的使用和维护不够重视，有的开关触头严重烧伤，或者触头松动，三相不能同时接触，但也未及时修理或更换，很容易造成一相不通。

(3) 导线接头松脱或者接触不良。例如开关的接线螺丝不全，把导线随便挂在上边；或者导线接头未刮干净随便绞在一起（尤其是铝导线的表面容易氧化）。由于这些地方接触电阻较大，通过电流时就会发热，容易烧断。

(4) 供电线路一相断线。这种情况经常发生在大风雪的时候，因此要求我们对供电线路除定期巡视检查外，尤其是在大风、大雪天气应加强巡视。

(5) 电动机三相绕组中一相绕组断线。

电动机发生两相运行时，会发出沉闷的“嗡嗡”声，一线电流为零，其余两线电流增大；电动机急剧发热。遇到这种情况，应及时断开电源，如发现早、处理快，是可以避免电动机烧毁的。检查和判断电动机两相运行，可用重新空载起动电动机的办法来试验。如果一线断电，则电动机不能起动，只发出嗡嗡的响声。

3. 防止两相运行的保护措施——如果电动机旁边经常有人工作，而发生两相运行时会被发现，立即断开电源，避免电动机烧毁。但是，有些运行的电动机不一定经常有人在旁边工作，怎么办呢？广大农村电工同志在工作实践中创造

了很多简便易行的防止两相运行烧毁电动机的保护措施，现在介绍其中两种：

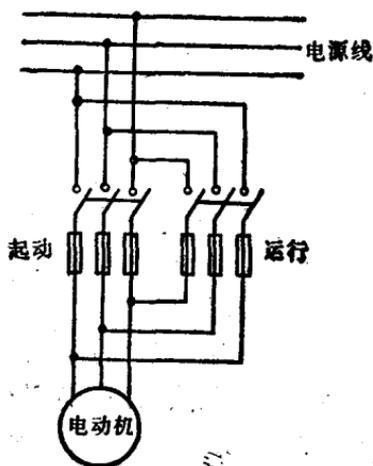


图2—18 双开关控制电动机的接线

(1) 用两只闸刀开关控制电动机。接线如图2—18所示。两只开关上所选择的保险丝的粗细不一样，一只开关的保险丝按电动机额定电流的1.5~2.5倍选择，起动时保险丝不会熔断，这只开关作为起动用，叫做“起动开关”；另一只开关上的保险丝按电动机的额定

电流选择（如果电动机的机械负载较轻，保险丝应按电动机正常工作时的实际电流选择），叫做“运行开关”。起动时，先合上“起动开关”使

电动机起动；当电动机进入正常运行后，再合上“运行开关”并拉开“起动开关”。如果电动机运行中发生一线断电，则运行开关上的保险丝熔断，切断电源。

(2) 重锤式保护装置。如图2—19所示，在每相保险丝两端分别并联一段“热丝”（电炉用热丝剪一段），取一根塑料线穿过热丝，一头固定在上边的钉子上，另一头拴在重锤上。开关合上后，重锤被塑料线吊着，拉闸木柄并不吃力，如图中虚线所示。因为热丝的电阻比保险丝的电阻大得多，所以在保险丝正常时，通过热丝的电流极小（大家可根据第一章所讲的电阻并联电路想一想），热丝不会发热。当一相保险丝熔断后，通过该相热丝的电流近似地等于电动机的线电流，热丝发热使塑料线熔断，重锤失去支持突然下落，通过拉闸绳和木柄把开关拉开，断电停机。

重锤式保护装置的缺点是，塑料线每熔断一次需要重新更换，比较麻烦。有些电工师傅在重锤式保护装置的基础上进行了改进，他们把刀闸加以改装，用弹簧代替重锤，当一相保险丝熔断时，利用弹簧的力量使刀闸自动跳开。

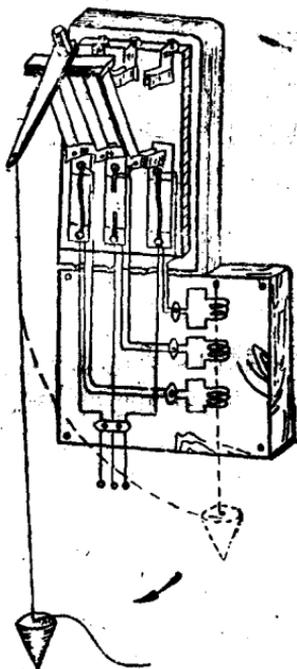


图2—19 重锤式保护装置

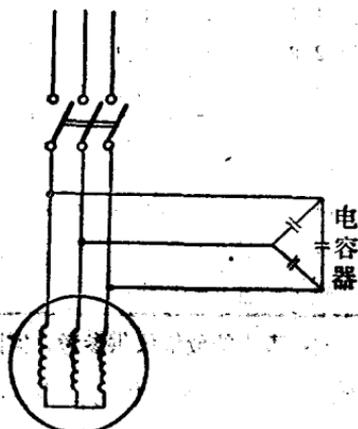
第八节 异步发电机

我国水力资源非常丰富，许多地区利用当地的水力资源因地制宜地建造了一些小型水力发电站。有些地方一时找不到同步发电机，就用水轮机带动一台普通的异步电动机，在其引出线上接入一组电容器就能发出电来，这样的发电机叫做“异步发电机”。由于异步电动机的造价低廉、生产数量大、在农村使用普遍，而且维护比较方便，所以，在广泛发展农村小型水电站时，将异步发电机用于小容量的农村水电站中，对促进农业发展和改善人民生活具有一定的意义。下面，我们主要介绍异步发电机的工作原理、运行特性以及电容器的选择和联接方式。

一、异步发电机的工作原理

根据电磁感应原理知道，导体与磁场的磁力线相切割，就在导体两端产生感应电势。所以，不论哪一种发电机，要使它发出电来（即产生电势）必须具备下列三个条件：（1）有磁场；（2）有导体；（3）导体切割磁场的磁力线。从三相异步电动机的结构来看，在定子上有三相绕组，它与普通发电机的定子绕组完全一样；电动机的转子铁心是用硅钢片制成的，一般说来，转子铁心被磁化之后都有一定的剩磁，它就相当于发电机的磁极。当电动机的转子被原动机带动并以一定速度旋转时，定子绕组便与转子磁场的磁力线相切割，因而在定子绕组两端产生感应电势。但由于电动机转子的剩磁很小，因此，定子绕组所产生的感应电势的数值也是很小的。

的。要使定子绕组的感应电势达到一定数值，还必须使转子磁场逐步得到加强。在异步发电机中，如果在定子绕组上接入一组电容器（如图2—20），则定子绕组便向电容器输出一个很小的电流。这个电流可使转子磁场得到加强，于是，使定子绕组的感应电势也相应地增大。电势增大又使定子绕组向电容器输出的电流增大，从而使转子磁场进一步得到加强。如此反复，如果有足够的电容量和电机转子有足够的转速，则定子绕组便逐步建立起一定数值的电势，这个过程称为异步发电机的“自激”过程。



异步发电机

图2—20 异步发电机

异步发电机空载时，使定子绕组自激达到额定电压所需要的电容量，称为主电

容。对于不同型号、不同容量和不同转速的异步发电机来说，它所需要的主电容的电容量是不相同的，表2—6给出了不同容量的JO型4极异步发电机的主电容量的参考数据，使用时可根据实际情况酌情增减。

二、异步发电机的运行特性

由于异步发电机的结构（主要指转子）与同步发电机不完全相同，所以异步发电机在运行中有一些特殊问题。

1. 异步发电机投入运行时，有时空载电压建立不起来。

表2-6 异步发电机 (JO型4极) 激磁电容量表

功率 (千瓦)	额定电流 (安)	电容器成 Δ 形接法	电容器成Y形接法
		每相电容量(微法)	每相电容量(微法)
1	2.4	7~12	21~36
1.7	3.9	9~14	27~42
2.8	6.1	15~21	45~63
4.5	9.5	20~28	60~84
7	14.5	28~38	84~114
10	20.0	38~52	114~156
14	27.4	50~70	150~210
20	38.4	64~84	192~252
28	53.0	80~110	240~330

注：表上的数值仅供参考，实际所需的电容量一般要偏大些。

遇到这种情况怎么办呢？根据上面的分析可以知道，要使异步发电机建立起空载电压必须满足三个条件：第一、必须使电动机达到或稍超过额定转速；第二、转子必须有剩磁；第三、定子绕组必须接入足够的电容量。如果异步发电机发不出电来，就可从以上三个方面寻找原因和采取措施。首先，可以适当提高原动机的转速，使之稍超过电动机的额定转速。如果不能解决问题，可适当增加主电容器的电容量。如果通过以上两种方法仍不能建立起电压，很可能是转子没有剩磁，这时就需要给转子充磁。在有交流电源的情况下比较简单，只要把电动机接到额定电压的三相交流电源上，使电动机运行几分钟之后就就行了；如果没有交流电源，可以用直流充磁，用3伏干电池或蓄电池，向电机定子任一相绕组的两个端头碰几下，转子就被充磁了，然后重新起动，就可以

发出电来。

2. 当异步发电机在恒定转速下运行时，如果负载增加，尤其是电感性负载（电动机）增加，将引起发电机端电压的显著下降。相反，如果负载减少，则引起端电压显著上升。为了使异步发电机的输出电压维持在额定值不变，就必须随着负载的增减，相应地增减电容器的电容量。因此，异步发电机除了必须接入主电容器之外，还必须另外接入几组随负载变化调整端电压的电容器，这些电容器称为副电容。副电容容量的大小与负载的大小和性质（电阻性或电感性）有关，一般应通过试验，根据实际情况来确定。

3. 异步发电机的转速变化对其端电压的影响非常灵敏，转速升高时，端电压显著增大。根据某些地区的试验，全部为照明负载的情况下，异步发电机即使由空载增加到满载，只要把转速升高额定转速的10%，就可以维持额定电压。根据异步发电机的这一特性，如果原动机的转速条件许可，也可以用调整转速的方法来调整端电压。但是，这种调整必须在频率允许变动范围之内。

4. 根据上面所谈到的情况，异步发电机在运行中，值班人员必须注意由于负载的变化而引起端电压的变化，并及时增减副电容或调整原动机的转速。异步发电机如果突然卸掉负荷而又没有及时调整副电容，则端电压会猛增，可能破坏定子绕组的绝缘，这一点必须引起注意。另外，由于电感性负载变化对异步发电机的端电压影响非常显著，因此异步发电机一般只适于供给照明负载，动力负载一般不应超过发电机容量的20%，而且一台电动机最大容量不应大于发电机容量的10%。

三、电容器的选择和联接方式

1. 电容器的选择和检查

异步发电机激磁用的电容器目前尚无配套产品，应根据实际情况选购。电容器有两种：一种叫做电解电容器，它只能用于直流电路，这种电容器异步发电机不能使用；另一种叫做油浸纸介电容器，这种电容器用于交流电路，只要它的工作电压、工作频率和电容量等参数符合要求，都可以选用。通常异步发电机的额定电压为400伏/230伏，故选用工作电压为400伏的电容器即可。

购买电容器或者在电容器使用以前，都应进行检查和试验。首先从外观上检查电容器有无漏油或鼓肚现象，然后进行充、放电试验。用万用表试验比较简便，首先将万用表的选择开关扳到“高阻”挡（ $R \times 10K$ ），将两个测试棒短路，调节表针指到“0”位，然后把测试棒分开接触电容器的两个端头，如果电表的指针立即向 $R = 0$ 一边摆动，随后又缓慢地退回到接近 $R = \infty$ 的位置，则表明电容器是好的。表针最后停止的位置为电容器的绝缘电阻值，测得的绝缘电阻越大，电容器的质量越好，绝缘电阻小，说明电容器漏电严重，质量不好。如果当测试棒接触电容器的端头，而表针摆到“0”点不退回，则表明电容器短路，如果表针根本不向“0”点摆动，则表明电容器开路，有这两种情况电容器都不能用。假若没有万用表，可在电容器两端加入额定的交流电压，然后断开，停几秒钟之后，用绝缘柄起子将电容器两个端头短接一下，如果有较大的放电火花和“噼啪”声，则表明电容器是好的。

2. 主电容器的联接

异步发电机的主电容器，应接在发电机的出线端，其联接方式有 Δ 形和Y形两种。究竟采用哪种接线方式，这要根据电容器的工作电压而定。如果发电机的线电压为400伏，而每组电容器的工作电压大于230伏（小于400伏），这时应接成Y形（因为线电压为400伏，相电压为230伏）；如果每组电容器的工作电压为400伏，则应接成 Δ 形。从表2—6中可以看出，对容量相同的异步发电机，其激磁电容接成 Δ 形的电容量只为接成Y形电容量的 $\frac{1}{3}$ ，所以在工作电压满足要求的情况下，应尽量接成 Δ 形。

如果每只电容器的工作电压或电容量不符合需要时，可把几只电容器串联或并联起来。但必须注意，几只电容器串联之后，总的工作电压可以提高，但总电容量要减小。电容器串联时，最好选择电压和电容量都相同的电容器，它们串联后的总的工作电压等于一只电容器的工作电压乘电容器的个数，总电容量等于一只电容器的电容量被电容器的个数除。例如三只150伏、30微法的电容器串联，总的工作电压 $= 3 \times 150 \text{伏} = 450 \text{伏}$ ，总电容量 $= \frac{30}{3} = 10 \text{微法}$ 。电容器并联时，每个电容器的工作电压都应符合要求，总电容量等于各个电容器的电容量之和。例如有三只电容器（一只为400伏/2微法，一只为250伏/4微法，一只为300伏/4微法）并联使用，总的电容量 $= 2 + 4 + 4 = 10 \text{微法}$ ，所加电压不得超过250伏（工作电压最低的一只）。

3. 副电容器的联接

前面已经讲到，副电容器的作用是当负载变化时用来调

整发电机的端电压的，因此，副电容器的接法应根据发电机所供负载情况而定。这里仅介绍两种常用的联接方式：第一种如图2—21所示，把副电容器分成几组，并经过几只闸刀开关接到发电机的出线上。当负载变动时，由电站值班人员

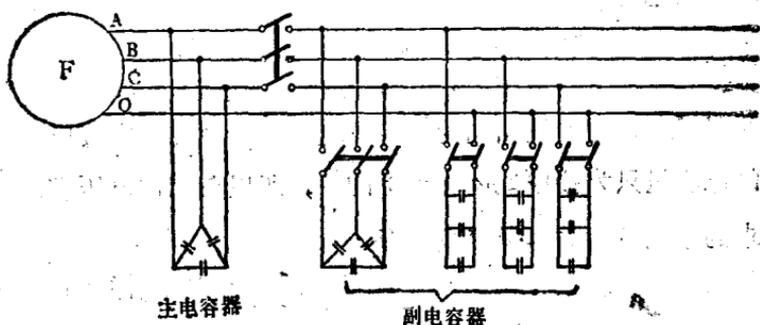


图2—21 异步发电机副电容器的联接方式之一

进行调节，使发电机保持额定电压。第二种如图2—22所示，把发电机的负载分成几路，经过闸刀开关接在发电机出线上，而每一路负载上并联一组电容器，它的电容量应足以补

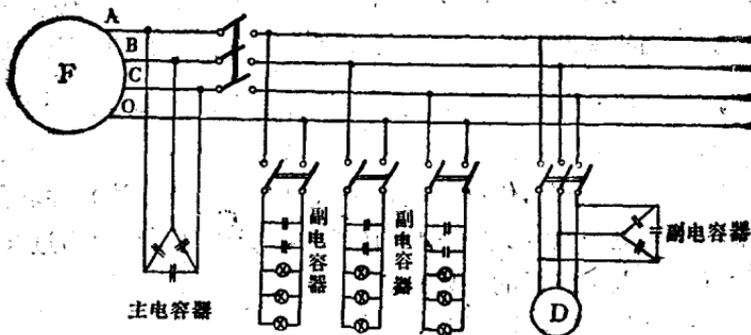


图2—22 异步发电机副电容器的联接方式之二

偿发电机因该路负载所引起的电压降。在闭合闸刀时，副电容器同时接入，这样发电机的端电压就不会变动了。后一种情况的联接，在每个用户的负载上不应再接开关。

第三章 变 压 器

第一节 变压器的作用和种类

在广阔的田野里，大家可以看到一条条高压输电线路从发电厂和变电站通往远处的矿山、工厂和广大农村。这些输电线路的电压高达几万伏或几十万伏。这么高的电压是发电机直接产生的吗？不是的。由于发电机结构上的限制，并考虑到发电机的安全运行，故发电机直接产生的电压一般只为几千伏到一万伏左右，而远距离输送强大电能所需要的高电压，是利用变压器将发电机的电压升高而产生的。

为什么远距离输电要采用高压呢？大家已经知道，电功率的大小是与电压和电流的乘积成正比的，在输送一定功率的情况下，提高输送电压就可以相应地减小输送电流，因而可使输电导线的截面减小，这样就可以节约材料和减少线路投资；另一方面，由于输电导线具有一定的电阻和电感，电流通过输电线路时要产生一定数值的功率损失和电压损失，电流越大，线路上的功率损失和电压损失也越大，当输送功率和导线截面一定时，提高输送电压，减小输送电流，就可以减少线路的功率损失和电压损失，从而提高输电效率和增长输电距离。

但从用电安全和降低用电设备的造价方面来考虑，用户不能直接使用过高的电压。因此，又必须利用变压器将高电

压逐级降低，才能符合用电设备的需要。由此可见，在整个电能的生产、输送、分配和使用过程中，变压器是一种不可缺少的电气设备。

由于变压器的用途非常广泛，因而它的种类也比较多。根据用途的不同可分为：电力变压器、仪用变压器（电流互感器和电压互感器）、自耦变压器（调压用）和特种变压器；按照变压器的相数可分为：单相变压器、三相变压器和多相变压器；按照变压器的冷却介质可分为：干式变压器和油浸式变压器。当然还可以根据其它条件分类，这里不再一一叙述。

农村中使用的配电变压器为三相油浸自冷式电力变压器。在这一章里我们就讲这种变压器。

第二节 变压器的基本构造

电力变压器根据其容量大小、电压高低等参数的不同，它的外形和附件虽不完全一样，但它们的主要部件及其作用都是相同的。图3-1是一台三相电力变压器的外形图。

变压器的主要部件包括：铁心、线圈、油箱、绝缘套管等部分，现将它们的基本结构和作用分述如下：

一、铁心

铁心是变压器的磁路部分，为了减少铁心本身的能量损失（通常称为铁损），铁心材料采用厚度为0.35~0.5毫米、含硅量为4~5%的硅钢片。整个铁心是由几种不同尺寸的硅钢片迭装组成，片与片之间涂有绝缘漆。三相变压器铁心的

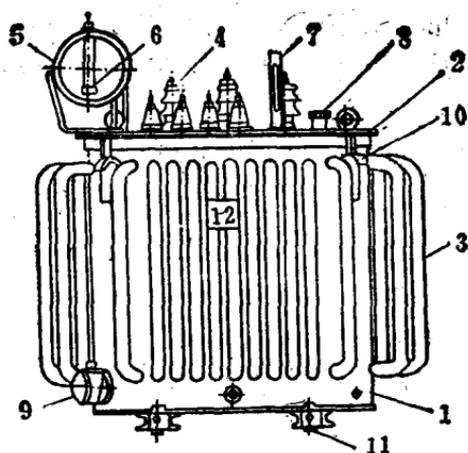


图3—1 三相电力变压器的外形

- 1—油箱； 2—箱盖； 3—散热器；
 4—绝缘套管； 5—油枕； 6—油位指示器；
 7—温度计； 8—注油孔； 9—放油阀门；
 10—吊钩 11—滚子； 12—铭牌。

低压绕组的电流大，高压绕组的匝数较多，但所用的导线较细（因为高压绕组的电流小）。绕组一般作成圆筒形，每相两个绕组套在同一个铁心柱上，低压绕组靠近铁心，高压绕组套在低压绕组的外边。绕组在铁心上的装配情况如图3—3所示。

三、油和油箱

因为变压器在工作时，铁心和绕组都要发热，为了改善变压器的散热条件，所以把铁心和绕组都浸在变压器油里，

选装法为图3—2所示。

二、线圈

又称绕组，是变压器的电路部分。三相变压器的每相都有一个低压绕组和一个高压绕组（共三个低压绕组和三个高压绕组）。低压绕组的匝数较少，但所用的导线较粗（因为

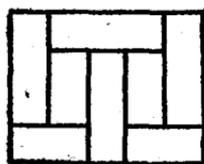
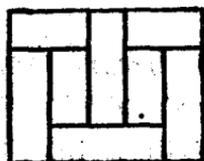


图3—2 三相变压器铁心的选法

故称油浸式变压器。变压器油除起冷却作用外，还有绝缘作用。为了促进油的循环和扩大散热面积，通常在油箱壁上装有许多油管，称为散热管或散热器。在油箱的上部还有一个象“枕头”似的圆桶，叫做油枕或膨胀器，其作用是保证变压器

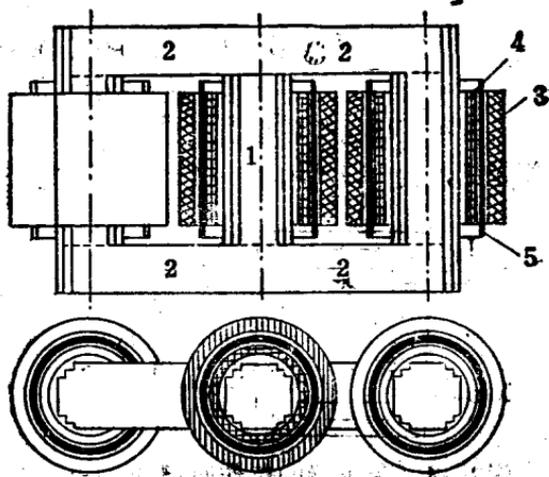


图3-3 绕组在铁心上的装配情况
1—铁柱； 2—铁轭； 3—高压绕组
4—低压绕组； 5—绝缘。

器在运行时，油箱内有足够的油量，并有一定的膨胀空间，而且还可以减少变压器油与空气的接触面积，从而减少油的吸潮和氧化。

四、绝缘套管

变压器高、低压绕组的引出线从箱盖引出来的时候，要穿过绝缘套管，使引线与油箱绝缘。绝缘套管一般为瓷质（瓷套管），它固定在箱盖上。

除了上述主要部件外，还有油位指示器、温度计插孔以及作为调整电压用的分接开关等。关于分接开关的作用和调整电压的方法在后面叙述。

第三节 变压器的工作原理

三相变压器与单相变压器的基本原理是相同的，为了方便起见，我们以单相变压器为例来说明它的工作原理。

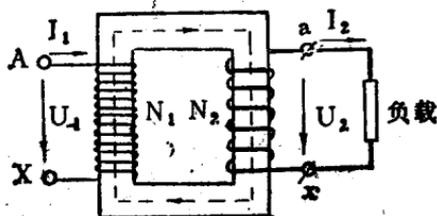


图3—4 变压器的工作原理图

如图3—4所示，在一个闭合的铁心上绕有两个匝数不同的线圈，与交流电源相连的线圈称为原绕组或一次绕组，其端头标号用A—X表示；与负载相连的线圈称为副绕组或二次绕组，其端头标号用a—x表示。若在一次绕组A—X两端接入交流电压 U_1 ，则有交变电流 I_1 通过一次绕组，这个电流便在铁心中产生交变磁场，磁场的磁力线同时穿过一次绕组和二次绕组。根据电磁感应原理，在两个绕组中分别产生感应电势 E_1 和 E_2 。对于负载来说，变压器的二次绕组就是电源，所以在二次绕组与负载所构成的回路中便有交变电流 I_2 通过，这样就把一次绕组从电网中输入的电能不能经过电磁变换，转变成二次绕组输出的电能。

变压器在能量转变过程中，有两个最基本的关系必须弄清：

一、一次绕组的输入电压 U_1 与二次绕组的输出电压 U_2 之间的关系

由于穿过两个线圈的磁力线是相同的，因此，在一次绕

组和二次绕组的每一匝线圈中所产生的感应电势是相等的。如果一匝线圈产生的感应电势为 E_0 ，那末，一次绕组中总的电势 E_1 就等于一次绕组的匝数 N_1 与 E_0 的乘积，二次绕组中的总电势 E_2 等于二次绕组的匝数 N_2 与 E_0 的乘积，即

$$E_1 = N_1 E_0$$

$$E_2 = N_2 E_0$$

把 E_1 与 E_2 相除，则得

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1 E_0}{N_2 E_0} = \frac{N_1}{N_2} \quad (3-1)$$

变压器在空载状态下（二次开路），一次绕组电势 E_1 近似等于外加电压 U_1 ，二次绕组电势 E_2 等于它的端电压 U_2 。代入公式（3-1）则得

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K \quad (3-2)$$

式中， K 称为变压器的变压比，简称为变比。

公式（3-2）表明，变压器一次电压 U_1 与二次电压 U_2 的比值近似地等于一次绕组的匝数 N_1 与二次绕组的匝数 N_2 的比值。由此可见，当外加电压 U_1 一定时，选择不同的匝数 N_1 和 N_2 ，就可以得到不同数值的二次电压 U_2 。若 $N_1 < N_2$ ，则 $U_1 < U_2$ ，这就是升压变压器；若 $N_1 > N_2$ ，则 $U_1 > U_2$ ，这就是降压变压器。

二、一次绕组中电流 I_1 与二次绕组中电流 I_2 的关系

根据能量守恒定律，若忽略变压器本身所消耗的电能，

则一次绕组输入的电功率应当等于二次绕组输出的电功率。
即

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

$$\text{由此可得 } \frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K} \quad (3-3)$$

公式(3-3)表明,两个绕组中的电流与两个绕组的匝数成反比,即高压绕组的电流小,低压绕组的电流大。在本章第二节里我们曾经指出:配电变压器的低压绕组的匝数少,但所用导线粗,而高压绕组的匝数多,所用导线细,就是根据上面的理论分析而得出来的结论。

例3-1 一台降压变压器,已知:一次额定电压为10千伏,二次额定电压为400伏,一次绕组的匝数 $N_1 = 1000$ 匝,问二次绕组的匝数 N_2 等于多少?

解: 根据公式(3-2)

$$\frac{10000}{400} = \frac{1000}{N_2}$$

$$\text{所以 } N_2 = \frac{400 \times 1000}{10000} = 40 \text{匝}$$

例3-2 一台变压器,已知:变比 $K = 15$,一次额定电压 $U_1 = 6$ 千伏,问二次额定电压 U_2 为多少?

解: 根据公式 $\frac{U_1}{U_2} = K$, 得 $U_2 = \frac{U_1}{K}$, 代入已知数据得

$$U_2 = \frac{6000}{15} = 400 \text{伏}$$

例3-3 一台变压器,已知一次额定电压 $U_1 = 10$ 千伏,

一次额定电流 $I_1 = 5$ 安，二次额定电压 $U_2 = 400$ 伏，问变压器的变比 K 和二次额定电流 I_2 各为多少？

解：(1) $\frac{U_1}{U_2} = K = \frac{10000}{400} = 25$

(2) $\frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{K}$ 即 $I_2 = I_1 K = 5 \times 25 = 125$ 安

第四节 变压器的铭牌

和电动机等电气设备一样，每台变压器都有一个铭牌，其型号及有关技术数据都标注在铭牌上。图3—5为变压器的铭牌。现将其中主要项目所代表的意思说明如下：

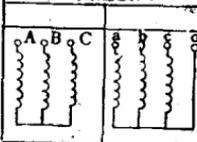
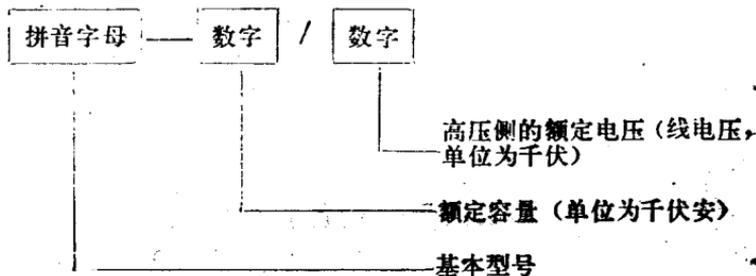
电 力 变 压 器							
型号	SJ—180/10		容量	180	千伏安	技术条件	JB-500-64
冷却方式	强迫自冷		油面温升	55℃	阻抗电压		% 三相 50赫芝
使用条件	户外使用		连接组标号	Y/Y ₀ -12		出厂序号	49
器身重	560	公斤	油重	158	公斤	总重	1000 公斤
							1973年11月 出厂
图连接图		分接开关手柄指示位置	高 压		低 压		
		I	电压(伏)	电流(安)	电压(伏)	电流(安)	
		II	10500				
		III	10000	10.4	400	260	
			9500				
× × 变压器厂							

图3—5 变压器的铭牌

一、型 号

标准系列的油浸式电力变压器的型号组成如下：



变压器的基本型号的书写顺序及每个字母所代表的意义如表3—1所列。

表3—1 变压器型号中各字母的意义

顺 序	分 类	类 别	代 表 符 号
1	相 数	单 相	D
		三 相	S
2	冷却方式	油浸自冷	J
		油浸风冷	F
		强迫油循环风冷	FP
		强迫油循环水冷	SP
3	线 圈 数	双 线 圈	—
		三 线 圈	S

例如，SJ—50/10：“S”表示“三”相，“J”表示油“浸”自冷式，“50”表示额定容量为“50”千伏安，“10”表示高压侧额定电压为“10”千伏。

SJL—100/10：其中“L”表示“铝”导线，其余符号的含义与上相同。关于铝线变压器，目前我国已定型生产。

二、额定电压

一次额定电压表示变压器一次绕组应接入的正常电压值；二次额定电压是指变压器在空载（即二次开路）情况下，一次绕组接入额定电压时，二次绕组两端的电压值。在三相变压器中，额定电压都是指线电压，单位为伏或千伏。

三、额定电流

一次和二次的额定电流值是根据变压器的允许温升规定的。在三相变压器中，额定电流都指线电流，单位为安。

四、额定容量

变压器在额定条件下（额定电压、额定电流、额定频率、额定温升等）工作时，能够输出的最大视在功率，单位为千伏安。单相变压器的额定容量等于额定电压与额定电流的乘积，三相变压器的额定容量等于额定电压与额定电流的乘积再乘以 $\sqrt{3}$ 。

五、绕组连接组别标号

表示高、低压绕组的连接方式和两侧线电压之间的相位关系。配电用的变压器，高、低压绕组通常都接成星形，而且低压侧引出中线，这种连接方式用符号 Y/Y_0 表示。大家会发现，在变压器铭牌上的“连接组标号”一栏中标为 Y/Y_0-12 。短线后面的数字“12”表示什么意思呢？由于变压器高、低压绕组的绕线方向和线端标号不同，就使得高、低压两侧的线电压之间的相位不同。为了表示高、低压

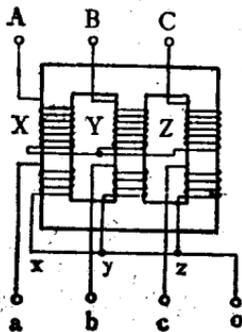


图3-6 三相变压器的 Y/Y_0-12 接线

侧线电压的相位差，通常用钟表面上的12个数字来说明，把高压侧线电压的向量用钟表长针（分针）表示，而且固定在12点的位置不动，而低压侧线电压的向量用钟表的短针（时针）表示。若低压侧线电压与高压侧线电压之间的相位差等于零（即同相位），那末，低压侧线电压的向量也应当指在12点的位置，这时就标以“12”这种接线组别称为 Y/Y_0-12 。国家

规定三相配电变压器的标准接线组别为 Y/Y_0-12 ，其接线图如图3-6所示。

当一台变压器单独运行时，其接线组别可以不必考虑，但当两台或两台以上变压器并联运行时，条件之一就是必须保证各台变压器的接线组别相同，否则不允许并联。

第五节 变压器的分接头和电压调整

在第二章里曾经讲到，输电线路的电压随着负荷的变化而变动，因此，变压器在运行过程中，它的二次电压随着负荷的变化和一次网路电压的变化而变动。但从用电设备方面来讲，如果电压的变动超过了某一范围，将影响到用电设备（尤其是电动机）的正常工作。为了解决上述矛盾，在制造变压器时就采取了一定措施，使变压器的二次电压有一定的调节范围，以适应线路电压变动时维持用电设备正常工作的需要。

一、变压器的分接头及分接开关

制造变压器时，通常在每相高压绕组末端的不同位置抽出几个抽头，称为分接头，利用这些抽头来改变高压线圈的匝数（即改变变压器的变比），以达到调节变压器二次电压的目的。为了操作方便，绕组的分接头分别接到装在变压器箱盖上的分接开关上。分接开关的触头在箱盖的下边，浸在变压器油里，它的操作手柄伸到箱盖的上边。三相变压器分接头与分接开关的连接如图3-7

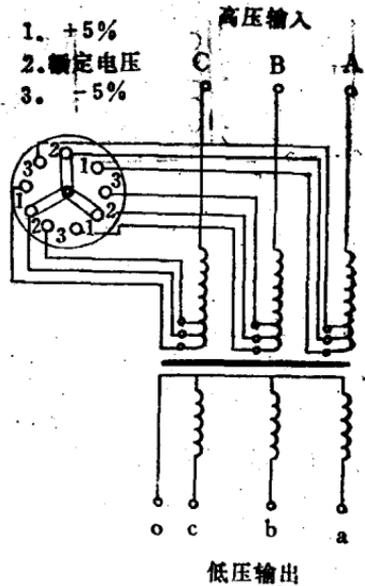


图3-7 三相变压器的分接头和分接开关的连接

所示。

变压器的分接头为什么要设在高压绕组上呢？一方面，由于变压器的高压绕组套在低压绕组的外边，引线比较方便；另一方面，由于高压绕组通过的电流小，可以减小分接开关触头的体积，同时也不容易引起触头的过热。所以，变压器的分接头都设在高压绕组上。

二、分接头的调压原理

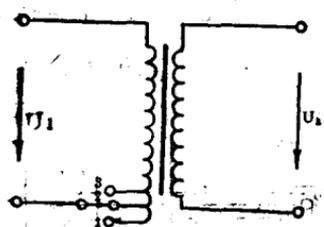


图3-8 分接头的调压原理

为了便于理解，我们以图3-8来说明利用分接头调节变压器二次电压的原理。

变压器在出厂时，分接开关的动触头接在分接头“2”上，这个位置适应于额定电压，故分接头“2”称为额定分接头。当变压器的二次电压高于额定值时（也就是一次电压高于额定电压），根据前节讲过的公式（3-2）：

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = K \quad (\text{即 } U_2 = \frac{U_1}{K})$$
可知，为了适当降低二次电压，就必须增大变压器的变比 K ，即增加高压绕组的匝数 N_1 ；这时应将分接开关的动触头接到分接头“1”的位置。

相反，当变压器的二次电压低于额定值时（即一次电压低于额定电压），根据上述原理，需要减小变压器的变比 K ，即减少高压绕组的匝数 N_1 ，这时应将分接开关的动触头接到分接头“3”的位置。对配电变压器来讲，分接头的调压范围

一般为额定电压的 $\pm 5\%$ 。

三、分接开关的操作方法及应注意的事项

一般来说，变压器的分接开关不宜经常变动，只有当线路电压与额定电压相差甚大，以致影响到电动机正常运行时，才变动分接头。根据农村用电管理办法规定，配电变压器低压侧总保险及以上的线路和设备由县（市）电业部门负责运行和维修。因此，变换变压器的分接头必须申请县（市）电业部门派人进行，其他人不得随意变动。

变换分接开关时应注意下列事项：

1. 配电变压器的分接开关通常有三个位置，在分接开关的指示盘上也对应的有三个数字：“1”为额定电压位置，变压器出厂时分接开关就指在这个位置上；“2”为线路电压高于变压器一次额定值 5% （用 $+5\%$ 表示）的位置；“3”为线路电压低于变压器一次额定值 5% （用 -5% 表示）的位置。变换分接开关时，首先要查阅变压器出厂说明书或查看铭牌，弄清应调整的位置。

2. 因为这种分接开关不能带负荷调节，所以，在改变分接开关时，必须先断开变压器的高压侧和低压侧的开关，使变压器退出运行，并确定变压器无电时才能进行操作。

3. 将分接开关的顶盖取掉，旋松手柄上的定位销，然后才能转动手柄至所需要的相应数字。这时，应将手柄左右摇动几次，以使开关的动触头和静触头完全接触，并用万用表检查触头接触是否良好，最后，将定位销插入新的定位孔再旋紧，并盖好顶盖。

4. 调整后，先将变压器空载投入，测量变压器的二次电

压是否符合要求，检查无误后才能接入负荷。

第六节 变压器的运行和维护知识

随着电力工业的飞速发展和农村用电事业的迅速增长，农村配电变压器的数量越来越多。保证配电变压器的安全运行是确保农业安全用电的重要项目之一，除县（市）供电部门应对农村配电变压器的运行加强管理和维护外，身在生产第一线的农村电工同志们也应当协助供电部门作好变压器的运行和维护工作。为此，我们必须掌握有关变压器运行和维护方面的技术知识。下面仅就几个主要问题进行讨论。

一、配电变压器高、低压侧熔丝的作用和选择

熔断器是农村配电变压器常用的一种既经济又简便的保护装置。配电变压器的高压侧一般装设跌落保险，低压侧一般为长条保险。配电变压器高、低压两侧熔断器的保护范围是不相同的。当变压器内部或高压侧引出线发生短路时，高压侧熔断器的熔丝熔断，切断变压器的电源，以保护变压器。当配电变压器的低压侧发生短路或者过负载超过允许数值时，低压侧熔丝的熔断时间应当小于高压侧熔丝的熔断时间，这种关系称为选择性。

为了保证这种选择性，配电变压器两侧的熔丝应根据当地供电部门的规定和要求合理进行选择。熔丝选定之后，不应随意更改，即使低压侧熔丝经常因过负荷而熔断，也不允许调换大容量的熔丝，而应当查明原因，或采取限制负荷的措施。

配电变压器高、低压侧熔丝的选择标准，由于各地区的具体情况和要求不同，在各地供电部门所制订的《规程》中也不完全一致。如无特殊要求，可参照表3—2。

表3—2 三相配电变压器高、低压侧熔丝选择表

变压器容量 (千伏安)	熔 丝 额 定 电 流 (安)		
	高 压		低 压
	6 千伏	10 千伏	400 伏
5	2	—	10
10	3	2	15
20	5	3	30
30	7.5	5	50
50	10	7.5	80
75	15	10	125
100	20	15	150
150	30	20	250
180	40	30	300
320	50	40	500

在这里顺便说明一点，配电变压器高压侧的跌落保险，通常还可作为接通和断开变压器的控制开关。利用跌落保险接通和断开变压器时，必须在空载情况下进行，并使用合格的安全工具进行操作。

二、变压器的使用年限与温度的关系

变压器线圈所使用的绝缘材料多为绝缘漆、纸和棉制品，这些材料的最高允许温度为 105°C 。绝缘材料由于长期受温度的影响会逐渐失去机械强度而变脆，这种现象称为绝

缘“老化”。温度越高，绝缘材料老化得越快，因此，变压器使用年限与其温度有密切关系。根据一些参考资料，变压器的绝缘温度经常在 95°C 时，其使用年限为20年，温度经常为 105°C 时，其使用年限为7年，若温度经常为 120°C 时，其使用年限约为2年。由此可见，对运行中的变压器经常检查其温度的变化情况是一项非常必须而且重要的工作。

1. 变压器的允许温度——直接测量变压器线圈的绝缘温度是比较困难的。但变压器的铁心和线圈都浸在油里，在运行中它们所产生的热量使油温升高。同时，由于热油的比重小而上升，冷油的比重大而下降，即变压器的上层油温最高。因此，可以通过测量变压器的上层油温来推算线圈绝缘的温度。根据有关试验，正常运行的变压器，当上层油温达到 95°C 时，线圈绝缘温度就达到了 105°C 。但为了防止变压器因温度过高而影响其使用年限以及变压器油的过快变质，因此，规定运行中的变压器的油面允许温度（即变压器的允许温度）为 85°C （低于 95°C ）。变压器运行时，应经常检查油面温度，看是否超过油面允许温度。如果超过了，并有迅速上升的趋势，则表明变压器内部可能存在严重故障，应及时查明原因，进行处理。

2. 变压器的允许温升——变压器的油面温度不仅与绕组和铁心的发热情况有关，而且还与外壳的散热情况有关，而外壳的散热情况又与周围环境温度（即周围空气温度）有关。周围环境温度较低时，变压器外壳的散热能力就增加，因而在同样负荷下其油面温度就会降低，而绕组绝缘的温度并不会降低同样的数值。因此，油面温度不能在任何情况下都正确地反映出绕组绝缘的真实温度。所以，对运行中的变

压器，不但规定了油面的允许温度，还规定了油面允许温升。所谓油面允许温升，是指油面允许温度与规定的周围环境温度的差值。考虑到我国各地的最高气温为 40°C 左右，故规定周围环境温度为 40°C ，因而变压器的油面允许温升为 $95^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C} = 55^{\circ}\text{C}$ 。变压器在运行时，油面温度和油面温升都不能超过其允许值。

例如，一台油浸自冷式变压器，在周围空气温度为 30°C 下运行，测量上层油温为 75°C ，可知油面温升为 $75^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C} = 45^{\circ}\text{C}$ 。因为变压器的油面温度和油面温升均未超过 85°C 和 55°C ，所以，这台变压器的运行是正常的。假若这台变压器在周围空气温度为 10°C 下运行，测量油面温度仍为 75°C ，虽然油面温度未超过 85°C ，但油面温升为 $75^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C} = 65^{\circ}\text{C}$ ，已超过了 55°C ，这时必须减少负荷。

三、变压器的允许过负荷

运行中的变压器，在一个昼夜里或者在一年里并不都是满负荷的。例如在农村，农闲季节比农忙季节的负荷轻，抗旱时比下雨以后的负荷重；在一昼夜里，后半夜的负荷比前半夜的负荷轻。就是说，变压器的温度有时候接近于最高允许温度，有时候低于最高允许温度。根据这种情况，在用电高峰季节，变压器在短时间里超过额定负荷一定数值的情况下运行是允许的。但过负荷的允许值和过负荷持续的时间都有一定限制。油浸自冷式电力变压器，当其油面温升低于 55°C 时，其过负荷的倍数和时间不得超过表3—3的规定值。必须指出，变压器在过负荷情况下运行时，应特别注意油面温度的变化情况，油面温度和温升都不得超过其允许值。

表3-3 油浸自冷式电力变压器允许过负荷倍数及时间

过负荷 倍数	变压器油面温升为下列数值时的允许过负荷持续时间 (时—分)						
	18°C	24°C	30°C	36°C	42°C	48°C	54°C
1.0	连 续 运 行						
1.05	5-50	5-25	4-50	4-00	3-00	1-30	—
1.10	3-50	3-25	2-50	2-00	1-25	0-10	—
1.15	2-50	2-25	1-50	1-20	0-35	—	—
1.20	2-50	1-40	1-15	0-45	—	—	—
1.25	1-35	1-15	0-50	0-25	—	—	—
1.30	1-10	0-50	0-30	—	—	—	—
1.35	0-55	0-35	0-15	—	—	—	—
1.40	0-40	0-25	—	—	—	—	—
1.45	0-25	0-10	—	—	—	—	—
1.50	0-15	—	—	—	—	—	—

注：表中短横线前面的数字为“小时”，后面的数字为“分”。

四、变压器运行中的检查

对运行中的配电变压器必须定期进行巡视检查，发现异常现象和缺陷应及时报告主管部门进行处理，以免造成事故。如果变压器出现严重不正常情况，如：内部响声很大且不均匀，或有强烈的爆破声；变压器油温在正常冷却条件下急剧上升；油枕或防爆管喷油；外壳严重漏油；油色变黑；套管有严重破损和放电等，巡视人员应立即停止变压器运行，以免事故扩大。巡视检查的主要内容有：

1. 声音是否正常——变压器正常运行时，由于电磁力引

起振动，常发生不太大的均匀的嗡嗡声。检查时应注意变压器的音响有无增大，或者产生其它声音，例如铁片摩擦的“吱吱声”，“噼啪”的放电声等。

2. 油面温度和温升是否超过允许值——上面我们已经分析了温度对变压器使用年限的影响，并说明了油面允许温度和油面允许温升的含义。检查时若发现油面温度或温升超过允许值时，就应当认真分析，找出原因。如果发现变压器油面温度比平时同样负荷和周围空气温度下高出 10°C 时，或者负荷未变而温度不断上升时，应立即通知主管部门进行检查处理，在主管部门人员未来到现场之前，巡视人员应继续监视油温的变化情况。

3. 油位是否过低，油色是否正常，有无严重漏油现象。

4. 接地装置是否完好——检查变压器外壳接地线、中性点接地线以及防雷装置的接地线是否有断线现象。对运行的变压器不能用手触及接地线或进行修理，以防瞬时绝缘击穿，造成触电事故。

5. 绝缘套管是否清洁、有无裂纹、破损和放电现象——尤其是在雷雨后要特别注意检查这些方面。同时还应检查防雷装置有无动作。

6. 对运行的变压器进行巡视检查时，必须有二人进行，检查时要与带电部分保持足够的距离。对变压器的巡视检查除定时进行外，在天气剧烈变化时（如大风、雨、雪）更要及时检查。

第四章 农村常用电工仪表

第一节 电工仪表的作用和分类

毛主席教导我们：“对情况和问题一定要注意到它们的数量方面，要有基本的数量的分析。”电工仪表的主要作用，就是通过测量各种电气参数，使工作人员及时了解和分析各种电气设备的工作情况，作到胸中有数，以保证电气设备的安全和经济运行。

电工仪表的种类很多，而且有各种不同的分类方法。例如，根据电流的种类分为：直流表、交流表和交直流两用表；根据仪表的工作原理分为：磁电式（其型号用汉语拼音字母C表示）、动铁式（T）、电动式（D）和感应式（G）等；根据测量对象分为：安培表（用字母A表示）、伏特表（V）、电度表（kwh）、兆欧表（MΩ）等；根据使用方式分为：开关板式（即配电盘式，简称为盘式）、携带式（实验室用）。

农村常用电工仪表大多数为开关板式，其中包括直流电流表和电压表、交流电流表和电压表及电度表等。为此，我们主要介绍农村常用的几种电工仪表的构造、基本原理和使用方法。

第二节 直流电流表和电压表

直流电流表和电压表的测量机构都属于磁电式，这两种电表的基本构造和动作原理是相同的。不过，由于它们的测量对象不同，所以对它们的要求和接线方法就有所不同。

一、基本构造和动作原理

磁电式测量机构的基本构造如图4—1所示。固定部分包括：永久磁铁1，极掌2和圆柱形铁心3，它们组成一个均匀的空气隙，并在空气隙内形成一个较强的均匀磁场。可动部分包括：转动线圈4（用0.007~0.2毫米的漆包线绕在铝框架上制成）、反抗弹簧5和指针6，它们固定在同一转轴上。

磁电式测量机构的动作原理，可用图4—2来说明：

当线圈中通过直流电流时，永久磁铁的磁场对通电线圈的左右两个边产生电磁力 F （注意：线圈的前、后两个边不在磁场中，故不产生电磁力）。在第一章第十一节中我们已经讲过，当磁场不变时，电磁力的大小与通过导体的电流的大小成正比，其方向按左手定则确定。从图4—2中可以看出，线

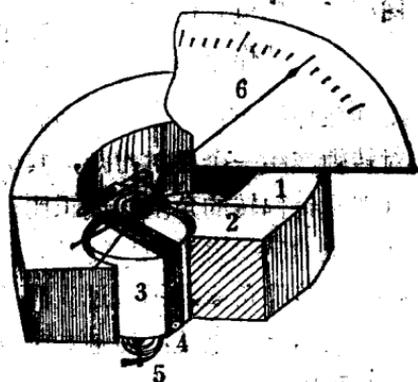


图4—1 磁电式测量机构

- | | |
|--------|--------|
| 1—永久磁铁 | 2—极掌 |
| 3—圆柱铁心 | 4—转动线圈 |
| 5—反抗弹簧 | 6—指针 |

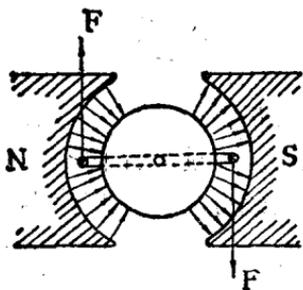


图4—2 磁电式仪表的
动作原理

圈左、右两边所受电磁力的方向相反,形成一个转动力矩,使线圈带动转轴和指针沿顺时针方向旋转。在这里还需要说明一下弹簧的作用,大家都有这样的生活经验:一个称东西用的“秤”,如果不加“秤砣”,不论你加1斤重或2斤重的东西,秤杆总是不能平衡的,因此就不能确定被称物的重量。仪表里的弹簧的作用

就好象秤砣一样,当轴转动时,固定在轴上的弹簧被扭紧,对转轴产生一个反抗力矩,其大小与可动部分偏转的角度(即指针偏转的角度)成正比。当线圈产生的转动力矩与弹簧产生的反抗力矩相平衡时,可动部分便停止在某一位置,指针偏转的角度表示通过线圈的电流的大小。

根据上述原理,磁电式测量机构可以测量电流的大小,因此可以制成电流表。大家又知道,线圈的电阻值是固定不变的,根据欧姆定律,通过线圈的电流与其两端的电压成正比,因此,磁电式测量机构又可制成电压表。

由于磁电式测量机构的永久磁铁是固定的,线圈所受电磁力的方向只决定于通过线圈的电流方向,所以应用直流电流表和电压表进行测量时,必须注意电表的极性,电流必须从标有“+”号的一端进入,才能使指针向正方向(向右)偏转,否则指针会向反方向偏转。当交变电流通过磁电式测量机构的线圈时,由于电流的方向随时间变化(例如频率为50赫的交流电,1秒钟时间内电流方向要变化100次),而可动部分

来不及随着电流方向的变化而转动，因此指针不能指示出读数。所以，磁电式测量机构只能测量直流，而不能测量交流。

二、电流表与电压表的区别

上面讨论了电流表和电压表的共性，下面还需要搞清它们的特性。大家知道，电流表是用来测量电路中某一部分所通过的电流的大小，因此，电流表必须串联在被测电路中。

例如在图4—3中，电流表 A_1 是测量 R_1 支路电流的， A_2 是测量 R_2 支路电流的， A 是测量电路总电流的。由于电流表线圈本身具有一定数值的

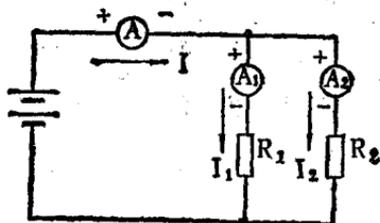


图4—3 电流表的测量接线

电阻(称为电表的内阻)，所以，当电流表串入被测电路之后，就会使被测电流略有减小，这种影响是测量时不可避免的，但是要求这种影响越小越好。为此，就要求电流表的内阻应当很小。

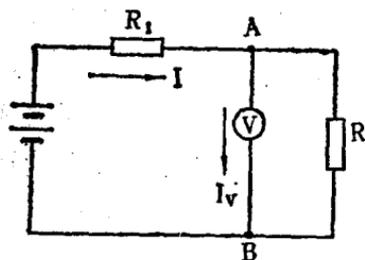


图4—4 电压表的测量接线

电压表是用来测量电路中某两点之间电压的大小，因此，电压表必须与被测电路并联。例如在图4—4中，欲测量 R 两端的电压，电压表应接在 A 、 B 之间。当电压表并入之后，电表中通过电流 I_v ，使电路的总电流增大了，于是将引起线路电阻 R_1 上的电压降增大，因而使被测

电压 $U_{A.V}$ 略有减小，这种影响也是测量时不可避免的。为了尽量减小这种影响，要求电压表的内阻越大越好，通常在线圈上串入一个很大的附加电阻。

为了便于大家掌握电流表和电压表的特点，对比如下：

表4—1 电流表与电压表的区别

电表名称	电 流 表	电 压 表
测量目的	电 流	电 压
接线方法	与被测电路串联	与被测电路并联
电表特点	内 阻 小	内 阻 大

第三节 交流电流表和电压表

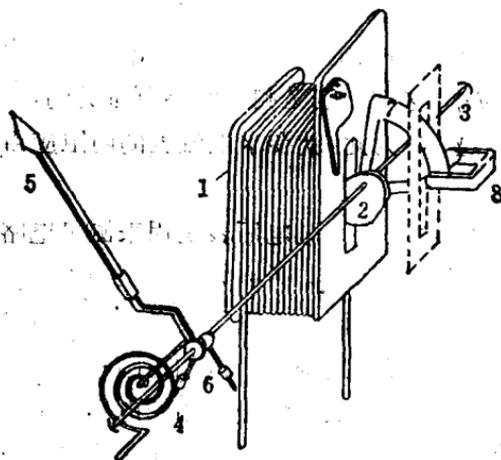


图4—5 吸入式测量机构

- 1—固定线圈 2—可动铁片 3—转轴
 4—反抗弹簧 5—指针 6—平衡锤
 7—阻尼器铝片 8—永久磁铁

目前国产开板式交流电流表和电压表的测量机构都属于动铁式（又称电磁式），它的测量机构有吸入式和排斥式两种形式。

一、动铁式仪表的基本构造和动作原理

1. 吸入式（扁线圈式）——其构造如图4—5所示。

当固定线圈1通入电流后产生磁场,对可动铁片2产生吸引力,由于铁片2偏心地装在轴上,所以在线圈磁场的作用下,铁片带动转轴和指针偏转。不论线圈中通入电流的方向如何,线圈磁场对铁片吸引的方向是不变的,因此,这种测量机构既可以测量直流也可以测量交流。

2. 推斥式(圆线圈式)——其构造如图4—6(甲)所

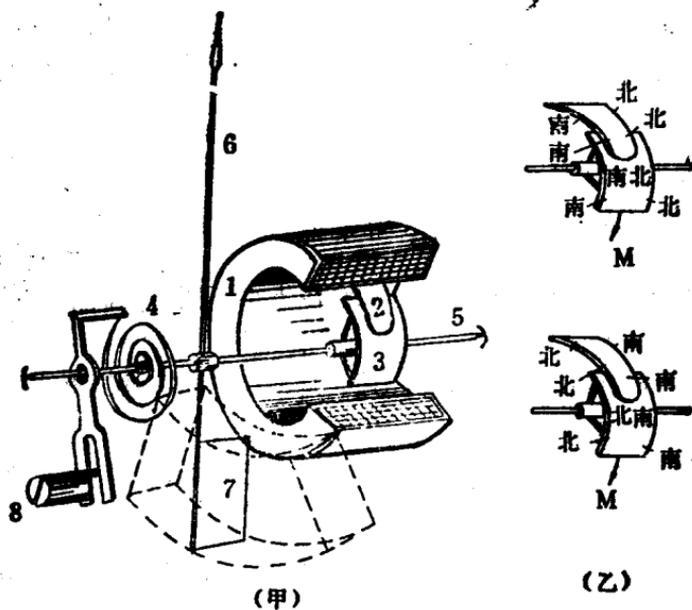


图4—6 推斥式测量机构

- | | |
|---------|---------|
| 1—固定线圈 | 5—转轴 |
| 2—固定软铁片 | 6—指针 |
| 3—可动软铁片 | 7—空气阻尼器 |
| 4—反抗弹簧 | 8—零位调整器 |

示。当固定线圈1通入电流后产生磁场，固定铁片2和片3同时被磁化，而且两个铁片的同一侧具有相同的极性，如图4—6（乙）所示。根据同极性相斥的特性，可动铁片因受到固定铁片的排斥而带动转轴和指针发生偏转。当通入线圈的电流方向改变时，两个铁片被磁化的极性同时改变，它们仍然是相斥的，即可动部分偏转的方向不变。所以，这种测量机构对交流和直流都适用。

动铁式测量机构的特点是：结构简单、坚固耐用、价格低廉，但由于指针偏转的角度与通入线圈的电流平方成正比，故仪表的刻度分线间隔不均匀（前边密、后边稀），读数时应当注意这一特点。

二、交流电流表的测量接线

根据被测电路的电压高低和电流大小不同，交流电流表的测量接线也有所不同。

1. 对于低压（380/220伏）电路来说，如果被测电流值不超过电流表的最大量程，则将电流表直接串入被测电路即可。如果被测电流值超过了电流表的最大量程，则电流表必须经过电流互感器接入被测电路（如图4—7）。

2. 对于高压电路来说，不论被测电流值是否超过了电流表的最大量程，电流表都必须经过电流互感器接入被测电路。这样可使测量仪表和工作人员与高压电路相隔离，以保证设备和人身的安全。

电流互感器又称变流器，它是一种将大电流变换为小电流的变压器。在一个闭合的铁心上绕有两个匝数不同的绕组，一次绕组的匝数少而所用的导线粗，二次绕组的匝数多

流所用导线细。根据变压器的原理知道，两个绕组中的电流与各自绕组的匝数成反比（参考公式3—3），由于二次绕组的匝数比一次绕组的匝数多，所以二次绕组的电流比一次绕组的电流小。使用电流互感器时必须注意下列几点：

(1) 电流互感器的一次绕组必须与被测电路串联，电流表接于二次绕组上，接线方法如图4—7所示。电流互感器的二次额定电流一般设计为5安，开关板式交流电流表都是与电流互感器配套使用的，故电流表的表盘都按一次电流标度。例如一只0—100A的电流表，并注明配用100/5A的变流器，接入电路后，当表针指到100A时，电流表实际通过的电流为5安。倘若把这只电流表直接测量100A电流，必然把电表烧坏。

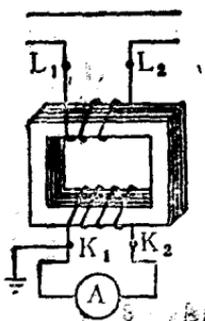


图4—7 交流电流表经电流互感器的测量接线

(2) 变流器的二次绕组、铁心和外壳必须良好接地，以免当变流器的绕组绝缘损坏时，使工作人员处于高电压之下。

(3) 变流器的二次回路绝对不许开路，如果开路，二次绕组两端将产生很高的电压，对设备和人身都是很危险的。为此，变流器的二次回路不装熔断器；更换仪表时，必须先将二次绕组短路。

3. 利用普通交流电流表测量电流时，必须先把电路断开，将电流表接入电路之后才能进行测量，这样作不仅不方便，而且还要短时间停电。目前普遍使用一种钳形电流表，在不断开电路的情况下测量交流电流。钳流表的外形如

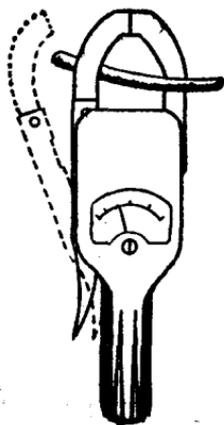


图4—8 钳形电流表

图4—8所示，在它的内部是由一个电流互感器（只有一个绕组）和一个磁电式直流表头与一组整流器组成的。互感器的铁心象一把钳子，可以张开，测量时把通电流的导线钳入铁心内，导线就是变流器的一次绕组，变流器内部的一个绕组为二次绕组，这样就可以测出通过导线的电流。使用钳流表时，每次只能钳入一根导线。

三、交流电压表的测量接线

1. 测量低压电路的电压时，将电压表直接并联在电路两端即可，接线方式与直流电压表相同。不过交流电表没有极性。

2. 测量高压电路的电压时，为了保证设备和人身安全，电压表必须经过电压互感器接入电路。

电压互感器就是一台降压变压器，它的二次额定电压一般设计为100伏。与电压互感器配套使用的开关板式交流电压表，它的表盘均按一次电压标度。使用电压互感器时应注意下列几点：

(1) 电压互感器的一次绕组与被测电路相并联，电压表接在二

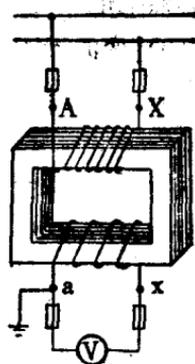


图4—9 交流电压表经电压互感器的测量接线

次绕组两端，其接线方法如图4—9所示。

(2) 电压互感器的二次绕组、铁心和外壳必须良好接地。

(3) 电压互感器的一次绕组和二次绕组不能短路，为了防止发生短路故障时由于电流过大而烧毁设备，故电压互感器的一次绕组和二次绕组都应装熔断器。

第四节 电 度 表

一、基本构造

电度表是一种专门用于测量电能的仪表，不论是家庭照明用电或是工农业生产用电，都需要用电度表计算在某一段时间里（如一个月）耗用的电能。目前我们所用的电度表绝大多数都是感应式的。图4—10是一只单相电度表的基本构造图，它主要是由两个电磁铁、一个铝盘、一个制动用的永久磁铁和一套计数机构组成。

1. 电压电磁铁：铁心由硅钢片迭成，中间铁柱上绕以线圈，线圈的匝数较多（100匝左右），导线较细。接入电路时，该线圈与负载并联，即线圈两端的电压为负载电压，故称为电压线圈。

2. 电流电磁铁：铁心也由硅钢片迭成，它的线圈匝数较少，导线较粗。接入电路时，该线圈与负载串联，通过线圈的电流就是负载的电流，故称为电流线圈。

3. 铝盘：位于两个电磁铁之间的间隙里，与转轴固定在一起。

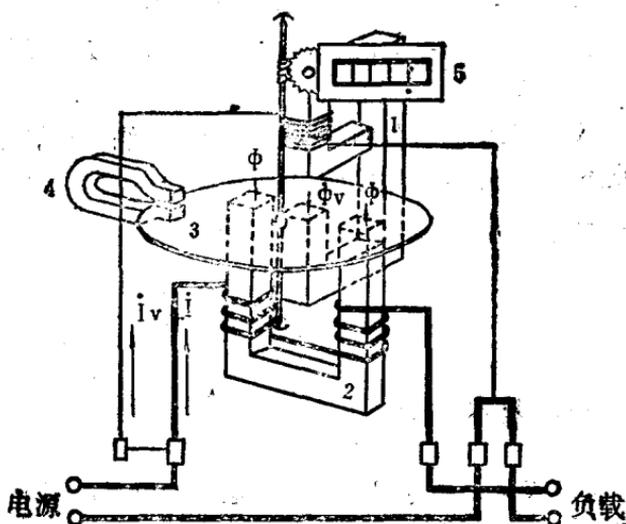


图4—10 单相感应电度表的基本构造

- 1—电压电磁铁 2—电流电磁铁
3—铝盘 4—永久磁铁
5—计数机构

4. 永久磁铁：当铝盘转动时，永久磁铁对铝盘产生制动转矩（即反抗转矩）。

5. 计数机构：当铝盘带动轴转动时，通过一套蜗杆和齿轮带动字轮，用以记录电能。

二、基本原理

电度表接入电路后，电压线圈两端为电路电压 U ，线圈中便通过电流 I_v ，电流线圈与负载串联，即线圈中通过负载电流 I 。 I_v 和 I 分别在两个铁心中产生交变磁场，这两个磁场

的磁力线都穿过铝盘，因而在铝盘内产生感应电流（这种电流通常称为涡流）。这时，铝盘相当于一个位于磁场中的通电导体，就要受到电磁力的作用而形成转动力矩，驱动铝盘转动。铝盘转动之后，与永久磁铁的磁力线相切割，也在铝盘中产生一个感应电流，这个电流与永久磁铁互相作用，对铝盘产生一个与铝盘转动方向相反的力矩，称为制动力矩或反抗力矩。很显然，永久磁铁的作用就象前面所讲的电流表和电压表的反抗弹簧的作用相同。在一段时间里，铝盘转的圈数与电路在同一时间内所耗用的电能成正比，因此，可根据铝盘转的圈数来记录电能。

三、单相电度表的型号及接线

国产电度表的型号都用汉语拼音字母表示，例如 DD₁型、DD₂型……等。型号中的第一个字母代表“度”，第二个字母代表“单”相，后面的数字为设计序号。单相电度表多用于照明负荷电路，它的额定电压为 220 伏，额定电流有 1.5安、2.5安、3安、5安、10安等数种。

单相电度表的下面有一排接线端钮，利用这些端钮可以很方便地将电度表接入电路，图 4—11（甲）为单相电度表的实际接线，（乙）为原理接线。电度表装好后，应记下电表的读数，作为原始数据，下次抄表时的读数减去原始读数就是这段时间里耗用的电能。

四、三相电度表及其接线

三相电度表专门用来测量三相电路的电能，它分为三相四线电度表和三相三线电度表两种，前者用于三相四线电

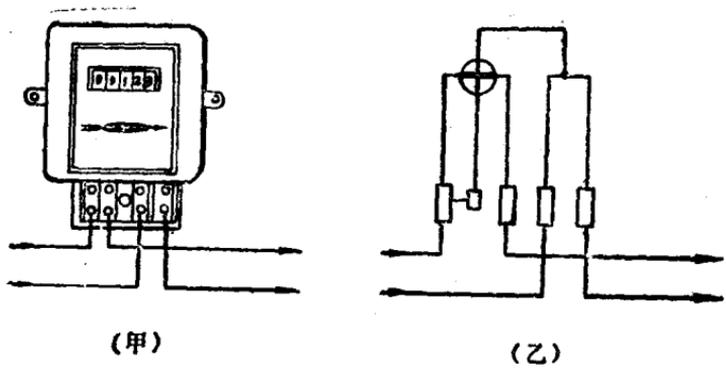


图4-11 单相电度表的接线（直接接入）
 (甲) 实际接线 (乙) 原理接线

路，后者用于三相三线电路。

三相四线电度表就相当于把三个单相电度表组合在一起，它有三组驱动元件，三个铝盘压铸在同一转轴上，故称为三元件电度表。三相四线电度表的接线如图4-12所示。

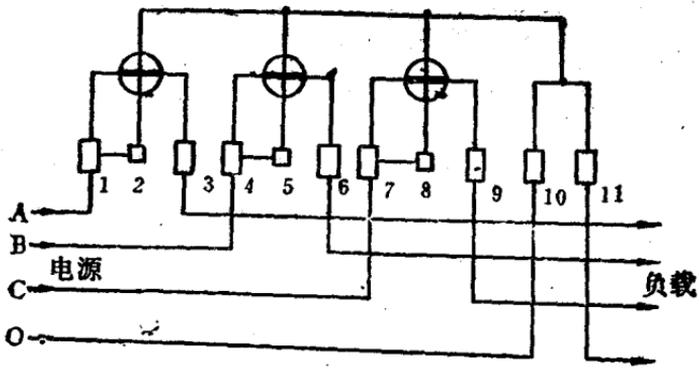


图4-12 三相四线电度表的接线（直接接入）

如果没有三相四线电度表，也可以用三只单相电度表来代

替，每相接一只，则三只电度表的读数之和就是三相耗用的总电能。

三相三线电度表与前者不同，它有两组驱动元件，两个铝盘压铸在同一转轴上，故称为二元件电度表。三相三线电度表的接线如图4—13所示，可以看出，第一个元件的电流线圈串联在A相线路上，即通过线电流 I_A ，它的电压线圈接在线电压 U_{AB} 之间；第二个元件的电流线圈串联在C相线路上，即通过线电流 I_C ，它的电压线圈接在线电压 U_{CB} 之间。接线时如果将任一端钮接错，就会使铝盘反转或虽然正转但读数不等于三相电路耗用的电能，这一点必须注意，不能马虎。

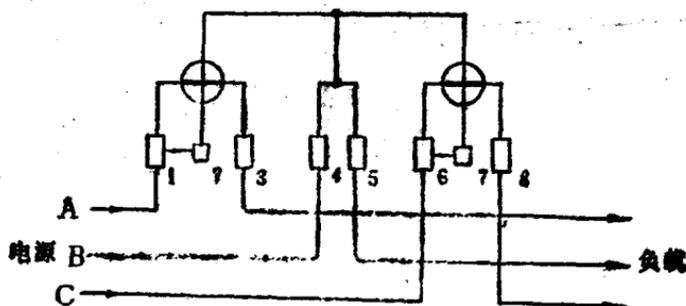


图4—13 三相三线电度表的接线（直接接入）

第五节 万用表的使用方法

万用表是一种多用途的电工测量仪表，普通的万用表可以测量直流电压、交流电压、直流电流（毫安）以及电阻等。万用表的主要组成部分包括一个磁电式表头和由电阻、电池、半导体整流元件、转换开关等组成的几种测量电路，

利用转换开关来变换电路，以达到某种测量项目。所以，从原理上讲，一只万用表就是几种电工测量仪表的组合。

万用表的种类很多，其电路和板面结构也不完全相同，这里仅介绍它的使用方法和应注意的事项。

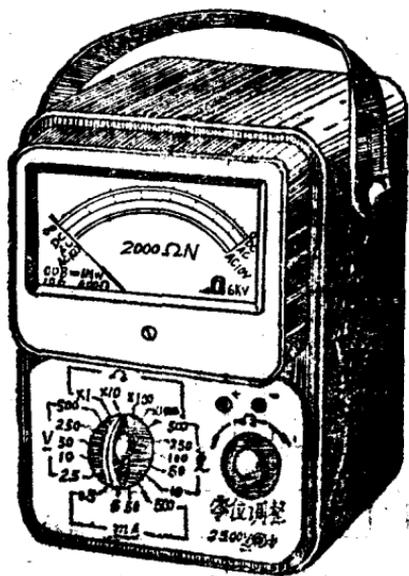


图4-14 万用表板面图

1. 不同型号的万用表，其板面布置虽不尽相同，但基本原理是一样的。为了能够正确地使用万用表，首先应当熟悉和掌握板面上各个旋钮的作用和各个代表符号的含意。图4-14是一种国产万用表的板面图，左边的旋钮控制一个转换开关，根据旋钮周围的符号来选择测量的种类和量程。例如“ Ω ”表示测量电阻，“ V ”表示测量直流电压（有的万用表用 $V_{D.C}$ 表

示），“ V ”表示测量交流电压（有的用 $V_{A.C}$ 表示），“mA”表示测量直流毫安。右边的旋钮控制一个电位器，它的作用是测量电阻时调整零点的，称为 Ω 零位调整器。右上方的两个插孔（或接线柱）是连接测试棒（又称试笔）的，右下方的“2500V”插孔是专为测量大于500伏小于2500伏的交、直流电压用的，使用时将右上方的“+”测试笔改接在“2500V”插孔即可，测量时，一定要注意安全，先将电表

固定在绝缘支架上，断开被测电路的电源，将电表接入电路，然后接通电源进行测量，读数时应站在干燥的木板上，并与带电部分保持一定距离。

使用万用表时，应根据被测量的种类和大小，首先将转换开关扳到正确的位置，如果转错档就会出问题。例如要测量电压时，而将转换开关错转到“ Ω ”档或“mA”档就会把万用表烧坏。如果被测量的电压和电流的大小不知道，应事先估算一下最大值可能在什么范围，并先选用量程最大的一档，然后再根据数值的大小换到适合的档。

2. 测量前应检查电表指针是否停留在“0”位，如不在“0”位，可用小起子转动调零螺丝将指针调到零位。

3. 万用表的标尺比较复杂，几个量程合用一个标尺，因此，测量时应当选对标尺，并注意乘以对应的倍数。例如旋钮转到 $R \times 100$ 的位置时，应读“ Ω ”标尺，读数乘100才是被测量的电阻值。

4. 测量直流电压和毫安时，必须注意两个试笔的正、负极性，“+”笔（通常为红笔）应接高电位，“-”笔（通常为黑笔）应接低电位，否则指针将反转。

5. 测量电阻时，先将两个试笔短接，转动“ Ω 零位调整”旋钮，使电表指针指在“0”位后，将两个试笔分开再进行测量。为什么要先调整零位呢？这是因为表内干电池的端电压随着使用时间的增长而下降，所以，测量电阻时需要先调整指针到零位。如果把调整旋钮转到头，而指针仍达不到零位时，就需要更换表内的电池。更换新电池时一定要注意极性，而且接触要良好。

6. 应用万用表“欧姆档”测量半导体元件（如晶体管、

整流器等)的正向和反向电阻时, 必须注意两点: 第一, 电表的“+”笔(红棒)实际上是接表内电池的负极, 而“-”笔(黑棒)是接表内电池的正极; 第二, 应当使用“ $R \times 100\Omega$ ”档或“ $R \times 1000\Omega$ ”档, 不要使用“ $R \times 1\Omega$ ”档和“ $R \times 10\Omega$ ”档, 也不要使用“ $R \times 10K\Omega$ ”的高阻档。因为“ $R \times 1\Omega$ ”和“ $R \times 10\Omega$ ”这两档电流太大, 容易烧坏晶体管, 而“ $R \times 10K\Omega$ ”档内接电池的电压较高, 也容易损坏晶体管。

7. 测量完毕后, 应将转换开关扳到最大量程的电压档, 不要放在“ Ω ”档, 以防两个试笔相碰消耗表内的电池, 同时也可以避免下次使用时忘记扳动转换开关而烧坏电表。

第六节 绝缘摇表的使用

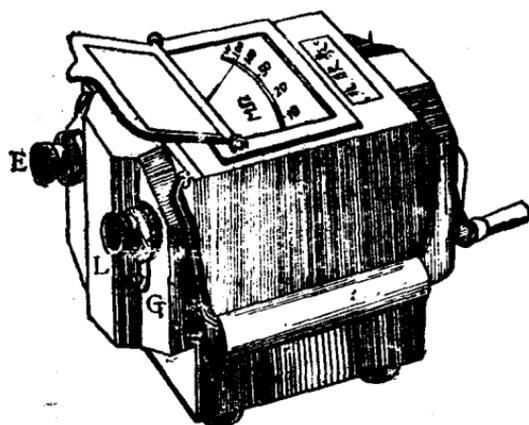


图4—15 绝缘摇表

绝缘摇表又称兆欧表, 它是一种用来测量绝缘电阻的仪表。图4—15为一种国产绝缘摇表的外形。绝缘摇表的主要组成部分是包括一个手摇直流发电机和一个磁电式流比计。磁电式流比计有两个可

动线圈, 固定在同一个转轴上, 指针偏转的角度与通过两个线圈的电流比值有关, 故称“流比计”。因为转轴上没有

反抗弹簧，所以，仪表不用时，指针可以停留在任何位置。
使用绝缘摇表时应注意下列几点：

1. 绝缘摇表有 500 伏、1000 伏和 2500 伏三种电压规格，应根据被测电气设备的电压等级选用不同电压级的绝缘摇表。测量额定电压为 500 伏以下的电器和线路的绝缘电阻时，应选用 500 伏摇表，测量额定电压为 500 伏以上的电器和线路的绝缘电阻时，选用 1000 伏或 2500 伏摇表。如果用 2500 伏摇表测量 380 伏电机的绝缘电阻，就有可能把绝缘击穿。

2. 测量绝缘电阻之前，应先断开被测设备的电源，并进行短路放电。放电的目的是为了保证人身和设备的安全，同时使测量的数值准确。

3. 绝缘摇表有三个接线柱，即“线”（L）、“地”（E）、“保护环”（G）。测量电机、电器和线路对地之间的绝缘电阻时，L 端与被测物的导体相接，E 端与接地线或设备外壳相接，如图 4—16。测量两线间的绝缘电阻时，L

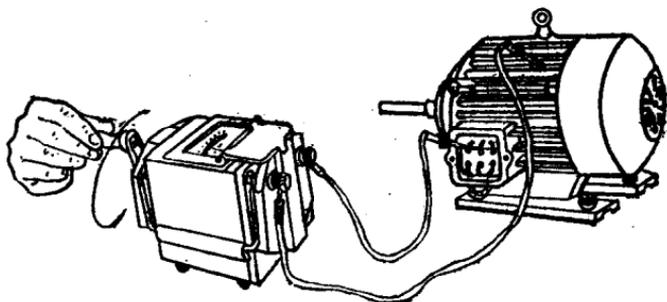


图 4—16 用摇表测量电动机绕组对地的绝缘电阻

端和 E 端分别与两根导线相联，如图 4—17。测量电缆和绝缘导线的绝缘电阻时，为了防止测量物表面泄漏电流的影

响，应将绝缘层与摇表的保护环（G）相接，如图4—18。

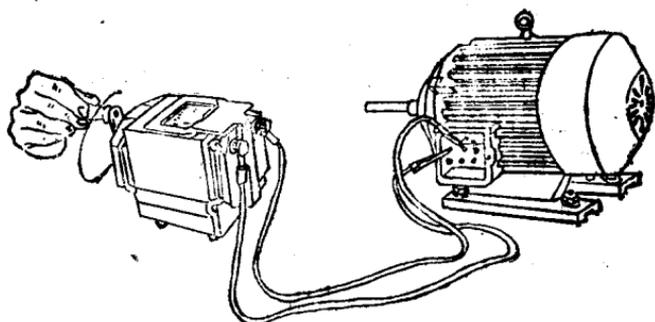


图4—17 用摇表测量电动机两相绕组间的绝缘电阻

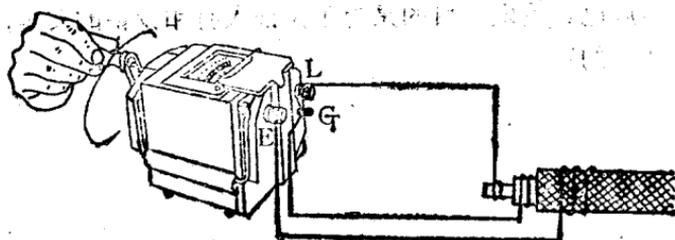


图4—18 用摇表测量电缆对地的绝缘电阻

4. 测量时，仪表应水平放置，手摇发电机的转速以每分钟120转左右为宜。测量时如发现被测绝缘电阻等于零，应立即停止转动发电机，以防将摇表烧坏。

5. 摇表与被测物之间的联接导线应使用绝缘良好的单根线，两根联接线之间以及联接线与地之间应保持一定距离。

6. 手摇发电机转动时，不能用手触及摇表的接线柱或被测物，以免触电。测量完毕后应将被测物放电，然后再拆除联接线。

第五章 农村低压配电线路 及室内照明

由发电厂的发电机所产生的强大电能经过升压变压器（升压变电站）和高压输电线路送往四面八方，然后经过降压变压器（降压变电站）将电压逐级降低，分送到各用户的配电变压器；再由配电变压器将电压降至用电设备所需要的数值供给用电设备。从发电厂到用电设备这样一个整体，叫做电力系统，它就象一个人由心脏通过大小血管将血液输送到人体各个器官一样。

由升压变电站至降压变电站之间的输电线路，多采用35千伏、110千伏、220千伏和330千伏的电压，称为高压输电线路。由降压变电站向外分布至各用户配电变压器之间的线路，多采用10千伏（或6千伏）的电压，称为高压配电线路。从配电变压器的低压侧到用户进线为止的线路，通常为380/220伏电压，称为低压配电线路。本章介绍的内容只限于低压配电线路及室内照明的一般知识。

第一节 低压架空线路的一般知识

低压架空线路由导线、电杆、瓷瓶等主要元件组成。

一、导线

导线是用来传送电能的导体，对它的要求是，导电性能良好、结实而有韧性、价格便宜。目前，低压架空线路使用的导线有下列几种：

1. 铜线——它的优点是导电性好、结实。但铜在工业上的用途很广，应当尽量节约。铜导线分为单股和多股两种，单股铜线的型号用TY表示，多股铜绞线用TJ表示（T—“铜”，J—“绞”），型号后面的数字表示导线的截面，单位是毫米²。

2. 铝线——铝线的导电性能虽比铜线差，但它的导电性还是很好的。由于我国铝的蕴藏量很大，价格又便宜，故铝线应用很广。铝线的缺点是不够结实、容易折断。因此，架空线路不允许使用单股铝线而需用多股铝线。多股铝线的型号用LJ表示（L—“铝”，J—“绞”）。

3. 钢芯铝线——这是一种用钢线作芯线，外面用多股铝线绞起来的导线，其型号用LGJ表示（L—“铝”，G—“钢”，J—“绞”）。钢芯铝线的特点是，结实，价格便宜、导电性能好，故在架空线路中应用很广泛。

4. 铁线——优点是结实、价格便宜，缺点是导电性能差。但在农村，如果送电量不大，而且送电距离很短时，也可用铁线作为低压架空导线。为了防止生锈，通常在铁线表面镀一层锌，故称镀锌铁线。

二、电杆

整个电杆一般由主杆、横担、斜撑、绑腿、地横木、地

拉木（又称地锚）和拉线等组成，如图5—1所示。

1.主杆—农村常用的主杆有木杆和水泥杆两种。木杆的重量轻，搬运和架设都比较方便，但缺点是容易腐朽，使用年限较短，经常维护费用大。松、杉木一般可用5—8年，杨、槐木一般只能用2~3年。

水泥杆是

用砂子、石子、水泥和钢筋浇制而成，与木杆相比它的优点是：经久耐用（一般可用50年左右），经常维护费用低、线路运行的可靠性高。近几年来，水泥杆的制造技术不断改进，不少公社就地取材自己制造，目前水泥杆在农村已广泛采用。

架设一条送电线路，要用很多电杆，根据电杆在整个线

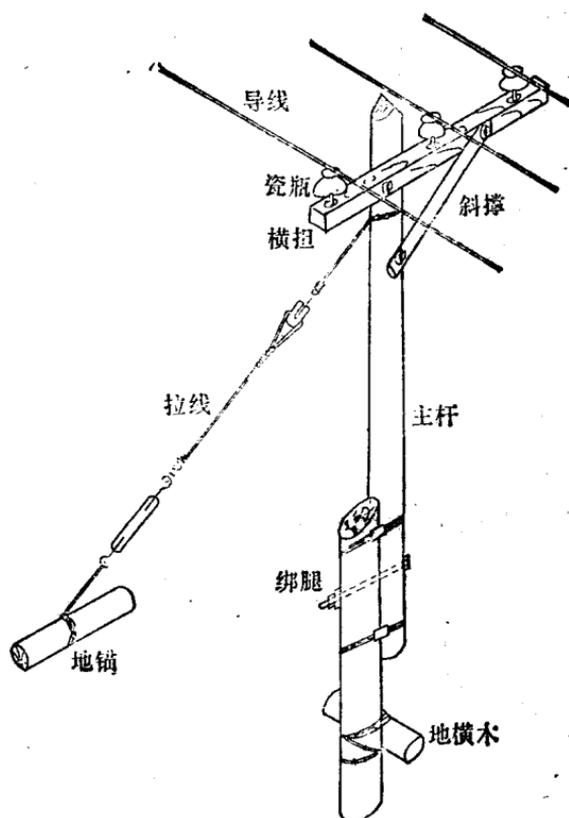


图5—1 电 杆

路中所处的地位和用途可分为：直线杆、耐张杆、转角杆和终端杆。一条较长的送电线路通常要分成几段，每段叫做一个耐张段。耐张段两端的电杆叫做耐张杆，耐张段中间的电杆叫做直线杆。线路转弯的地方所用的电杆叫做转角杆。位于线路两端的电杆叫做终端杆。

(1) 直线杆——在架空线路上的数量最多，它的作用是支持导线的重量，因此在正常情况下，直线杆只承受导线、绝缘子、横担的压力和风力。

(2) 耐张杆——它的作用是把一个耐张段内的导线拉紧，在正常情况下，除承受风力外，还要承受顺线路方向的不平衡拉力；在发生断线事故时，可以限制事故范围的扩大。因此，耐张杆比直线杆的机械强度要求高。

(3) 转角杆——用在线路转弯的地方，因为转角杆在两个不同方向承受导线的拉力，为了保持电杆的平衡，所以在转角杆上要装拉线，以平衡两侧导线的合力。

(4) 终端杆——是一种承受单侧拉力的耐张杆，它的作用是拉住导线，因此，需在导线拉力的反方向装设拉线，以平衡导线的拉力。

2. 横担——为了使导线排列在一定位置上，就需要在主杆上安装一个横担，固定导线用的瓷瓶安装在横担上。横担可用木料或角铁作成，用穿钉或抱箍固定在主杆上。横担距杆顶的距离为200~300毫米。

3. 斜撑——斜撑的作用是支持横担，以免受力不匀使横担歪斜。斜撑用方木或扁铁制成。

4. 地横木——因为电杆要承受横担和导线的压力及拉力，如果电杆埋入地下不稳，在刮大风的时候很容易使电杆

倾斜或从土中拔出。所以，为了使电杆埋入地下更加稳固，通常在电杆埋入地下部分加一个横木，叫做地横木。地横木的长度为600~1000毫米，埋入地下的方向应与导线方向一致。

5. 拉线和地锚——上面已经提到，为了保持电杆的平衡，需要在电杆上沿一定方向装设拉线。根据拉线的结构形式分为：普通拉线、水平拉线、自身拉线等，如图5—2所示。

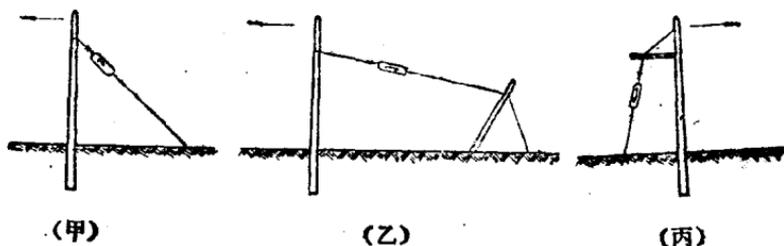


图5—2 拉线的形式

(甲) 普通拉线 (乙) 水平拉线 (丙) 自身拉线

(1) 普通拉线——这种拉线的结构比较简单，但需要有足够的距离，因此，在野外使用最广。拉线与地面的夹角一般为 45° ，最大不得大于 60° 。

(2) 水平拉线——在跨越公路、人行道或无适当的距离时，采用这种拉线。

(3) 自身拉线——这种拉线的强度有限，由于地形条件限制，不能采用上面两种拉线时才采用自身拉线。

拉线材料一般采用多股铁丝（若用8号铁丝应不少于3股，10号铁丝应不少于5股）。拉线中间应接入一个拉线绝

缘子，以防导线与拉线相碰造成单相接地。拉线的上端固定
在主杆的上部（横担下面），另一端捆在一个600~1000毫
米长的圆木或方木（地锚）上，埋入地下。地锚埋入地下的
方向应与拉线相垂直。

三、瓷瓶



图5—3 针式瓷瓶

瓷瓶是一种瓷质绝缘材料，又叫绝缘子，用它支持架在电杆上的导线，并使导线与电杆相绝缘。低压架空线路使用的瓷瓶有两种型式：一种叫做针式瓷瓶，如图5—3所示，这种瓷瓶用在直线杆上；另一种叫做蝶式瓷瓶，也叫拉式瓷瓶，如图5—4所示，这种瓷瓶用在耐张杆、转角杆和终端杆上。

对瓷瓶的要求，除了具有足够的机械强度以外，还要能够耐受一定电压。因此，有裂纹或破损的瓷瓶不能使用。有些生产队在低压架空线路上使用通讯线路上或室内布线用的小瓷瓶，这些小瓷瓶不仅机械强度不够，而且在下雨天时很容易形成一相接地，应设法更换。

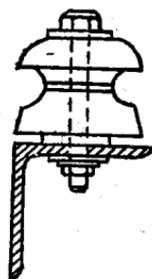


图5—4 蝶式瓷瓶

第二节 对农村低压架空线路的技术要求

农村的低压配电线路和用电设备是一个整体，哪一部分

出了毛病都会影响农业安全用电。如果不注意按照规定架设低压线路，就有可能发生倒杆、断线或碰线事故，这不仅给生产带来损失，而且危及人民的生命安全，应当引起重视。为了确保农村用电安全，各地电业部门对农村低压线路规定了基本的技术标准，各地农村应当遵照执行。这里选择其中几个主要问题谈一谈。

一、一般要求

1. 档距——相邻两个电杆之间的距离叫做档距。档距的大小与线路的额定电压、导线的种类和型号以及电杆的材料和高度等因素有关。若档距过大，则会使导线和电杆受力较大，而且也不容易把导线拉紧，使导线距地面太低，对线路运行很不安全；若档距过小，则增加电杆的数量，使线路投资增大。根据农村用电的实际情况，档距一般规定为30—50米。

2. 弧垂——如图5—5所示，从导线固定在电杆上的那一点到档距内导线最低一点的直线距离叫做弧垂。导线的弧垂应根据导线材料、导线截面、档距大小、气温以及导线安全系数等条件确定。当电杆的高度和档距确定之后，若弧垂过小（即线拉得太紧），则容易发生断线事故，若弧垂过大，则导线对地的安全距离不够，在刮大风时也容易引起碰线（即两相短路）。根据陕西地区的气候



图5—5 弧垂和限距

大小、气温以及导线安全系数等条件确定。当电杆的高度和档距确定之后，若弧垂过小（即线拉得太紧），则容易发生断线事故，若弧垂过大，则导线对地的安全距离不够，在刮大风时也容易引起碰线（即两相短路）。根据陕西地区的气候

情况，农村低压架空线路的弧垂参照表5—1。

表5—1 架空线路的弧垂

弧垂 (米) 温度 (°C)	档距 (米)					
	30	35	40	45	50	60
-40	0.06	0.08	0.11	0.14	0.17	0.25
-30	0.07	0.09	0.12	0.15	0.19	0.27
-20	0.08	0.11	0.14	0.18	0.22	0.31
-10	0.09	0.12	0.16	0.20	0.25	0.33
0	0.11	0.15	0.19	0.24	0.30	0.43
10	0.14	0.18	0.24	0.30	0.38	0.45
20	0.17	0.23	0.30	0.38	0.47	0.67
30	0.21	0.28	0.37	0.47	0.58	0.83
40	0.25	0.35	0.44	0.56	0.69	0.99

3. 限距——当导线弧垂为最大时，导线到地面的最小距离叫做限距或对地安全距离。限距的高度要保证人、畜、车辆通过线路时的安全，对架空线路经过不同地区的限距要求，参考表5—2。

4. 导线架设与建筑物的距离和其它导线的交叉距离，参考表5—3。

表5—2 农村低压架空线路的限距

线路经过的地区	铁路	公路	居民区	非居民区
对地距离(米)	7.5	6.5	6	5

表5—3 架空导线与物体的距离

线路至物体名称	对物体距离(米)
至建筑物	1
离房顶有人攀登的地方	2.5
离房顶无人攀登的地方	1.5
导线与其木杆及木杆上之一切附件距离	0.05
与通讯线交叉距离	1.5

二、导线的选择

低压架空线路的导线，除了配电变压器的高、低压侧的引线以及到用户去的接户线应使用橡皮绝缘导线外，其余部分应使用裸导线（即外部没有绝缘层的光导线）。另外，不得利用几根单导线代替多股导线使用，也不准将多股绞线破股使用。

所谓“导线的选择”，就是经济而合理地选择导线的截面。若导线截面选得太大，很不经济；若选得太小又不能满足技术上的要求。因此，经济、合理地选择导线截面是线路

设计中的一项重要工作。选择导线截面应从下面三个方面去考虑：

1. 导线必须有足够的机械强度——大家知道，架空导线除本身的重量以外，还要受到风力和冬天导线上结冰的重量等方面的影响，如果选用的导线过细，则容易引起断线事故。因此，对低压架空线路规定了最小允许截面。根据运行经验，一般低压架空线路的最小允许截面如表5—4。

表5—4 低压架空导线最小允许截面

导 线 材 料	最小允许截面 (毫米 ²)
单股铜线	6
多股铜线	10
单股铝线	不允许使用
多股铝线	16

2. 导线的容许电流必须等于或大于工作电流——任何导线都具有电阻，当电流通过导线时要发热。所谓导线的“容许电流”，就是在发热允许的情况下导线长时期允许通过的电流值。所谓“工作电流”，就是通过导线的最大负荷电流。为了便于大家查阅，我们将常用的架空导线的规格及容许电流值如表5—5。

3. 线路的电压损失不得超过允许值——前面已经提到，电流通过导线时在导线上产生电压降，可使线路末端的电压低于额定电压值，线路的电压降越大，末端的电压就越低。线路起端电压与末端电压的差值与线路额定电压的百分比叫

表5—5 各种裸导线的规格及容许电流值

①TJ型 (铜线)

标称截面 (毫米 ²)	股数及单根 直径 (毫米)	电线一吨长度 (米)	重 量 (公斤/公里)	容许电流 (安)
6	1×2.75	19,050	52	70
10	1×3.53	11,500	87	95
16	7×1.68	6,990	143	130
25	7×2.11	4,500	220	180
35	7×2.49	3,230	310	220
50	7×2.97	2,270	440	270
70	19×2.14	1,630	613	342
95	19×2.49	1,190	838	415
120	19×2.80	950	1,065	485
150	19×3.15	755	1,324	570
185	37×2.49	615	1,630	645

②LJ型 (铝绞线)

标称截面 (毫米 ²)	股数及单根 直径 (毫米)	制造长度 (米)	重 量 (公斤/公里)	容许电流 (安)
16	7×1.70	4,500	44	105
25	7×2.12	4,000	68	135
35	7×2.50	4,000	95	170

续表

50	7×3.00	3,500	136	215
70	7×3.35	2,500	191	265
95	19×2.50	2,000	257	325
120	19×2.80	1,500	322	375
150	19×3.15	1,250	407	440
185	19×3.50	1,000	503	500

③LGJ (钢芯铝绞线)

标称截面 (毫米 ²)	钢线根数及单 根直径(毫米)	铝线股数及单 根直径(毫米)	重 量 (公斤/公里)	容许电流 (安)
35	1×2.8	6×2.8	150	170
50	7×1.1或1×3.2	6×3.2	196	220
70	7×1.3或1×3.8	6×3.8	275	275
95	7×1.8	28×2.08	404	335
120	7×2.0	28×2.29	492	380
150	7×2.2	28×2.59	617	445
185	7×2.5	28×2.87	771	515

做线路的电压损失百分数，即

$$\text{电压损失百分数} = \frac{\text{线路起端电压} - \text{线路末端电压}}{\text{线路额定电压}} \times 100\%$$

电压损失百分数通常用符号 $\Delta U\%$ 表示。在农村，考虑到电动机的正常运行，规定低压架空线路的允许电压损失为10%。例如线路的起端电压为额定电压(380伏)，那末，线路末端的最低电压不得低于 $380 - 380 \times 10\% = 380 - 38 = 342$ 伏。

线路电压损失的大小与线路的负荷大小以及导线的材料、截面和长度有关。因此，当线路的功率、长度为已知时，可以根据允许电压损失，按下列近似公式计算导线的截面：

$$S = \frac{P \times l}{C \Delta U\%} \quad (5-1)$$

式中：S——导线截面，单位为毫米²，

P——线路输送的有功功率，单位为千瓦，

l——线路长度，单位为米，

$\Delta U\%$ ——允许电压损失百分数，

C——与导线有关的系数。铜导线 $C = 83$ ，铝导线 $C = 50$ 。

利用公式(5-1)计算导线的截面是比较麻烦的，我们讲它的主要目的是为了使我们了解它的道理。但在实际选择导线截面时，可直接查阅表格。表5-6可供选择铝线用。

选择低压架空导线截面的步骤，通常是首先根据电压损失查表或应用公式计算出导线的截面，然后再按照工作电流进行校验。如果所选导线的容许电流大于或等于工作电流，则选择的导线是可用的；如果所选导线的容许电流小于工作电流，则应适当加大导线的截面，直到满足工作电流为止。

表5—6 380伏架空线路导线截面选择表
(铝线、钢芯铝线、允许电压损失10%，功率因数0.8)

截面 (毫米 ²)	输电距离 (公里)									
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	
5	16	16	16	16	16	25	35	35	50	
6	16	16	16	16	16	25	35	50	70	
8	16	16	16	16	25	25	50	70		
10	16	16	16	25	35	50	70			
15	16	16	25	35	50	70				
20	16	25	35	50	70					
25	16	25	50	70						
30	16	35	70	95						
40	25	50	95							
45	25	70								
50	35	70								
60	50	95								
70	50									
80	70									
90	70									
100	70									

三、电杆的选择

电杆承受着导线的重量，导线上结冰的重量以及风力，这些力都会把电杆拉弯，因此电杆要有一定的“抗弯强度”。低压架空线路的电杆应满足如下要求：

1. 材料——目前农村低压架空线路的电杆多采用木杆，不论使用哪一种木材，要求杆身要直，其梢径（即杆梢的直径）不得小于100毫米。为防止木杆顶部积水腐烂，应削成60°尖角。木杆的杆根（包括埋入地下部分和地面以上300毫米）及杆梢应作防腐处理，以延长电杆的使用寿命。由于终端杆、转角杆和耐张杆受力较大，所以应使用比较结实的木材，梢径也要比直线杆粗一些。运行经验证明，如果把木杆加装水泥接腿，则不仅可延长电杆寿命，而且也会提高运行的安全性。

如果有条件的话，最好使用水泥杆。关于水泥杆的优点在前面已经谈过。

2. 电杆埋入地下的深度——木杆的埋入深度应为杆高的 $\frac{1}{6}$ ，水泥杆不得小于1.5米。电杆埋入地下后要把土打实。

3. 电杆的高度——在一条架空线路中，不同位置上的电杆高度是不一样的。一般可根据前面所讲过的一些规定数据进行计算。计算方法是：

电杆高度 = 横担至杆顶的距离（一般为300毫米）

- 绝缘子高度 + 导线的最大弧垂 + 限距
+ 埋入深度

要满足上述要求，农村低压架空线路的电杆的高度应在6.5~7米左右。

4. 横担——架空线路的横担应作防腐（木质）或防锈（铁质）处理。横担的截面根据导线的截面而定。低压架空线路横担的最小截面可参考表5—7。横担的长度应根据导线排列方式和线间距离而定。低压架空线路的导线一般采用水平排列，线间距离应为300~400毫米。

表5—7 横担最小截面

线路电压	方木横担	圆木横担 (小头直径)	角钢横担
380伏	70×90毫米	80毫米	5×50×50毫米

5. 斜撑——最好用厚度为6毫米、宽为50毫米的扁铁作斜撑，其长度为800~900毫米。也可以用小方木代替。

第三节 低压架空线路的维护

线路维护是保证安全、可靠供电的一项重要工作，各用电生产大队和生产队应建立必要的维护检查制度，除做好定期检修外，还要做好经常的巡视检查。巡视时如发现一般性毛病应将情况记入工作日记，待以后集中处理，如发现大的毛病，必须立即处理时，应停电检修。巡视检查线路应着重注意下列几个方面：

一、查看电线有无断股、松股等现象。对于导线的接头要特别注意，如果导线接头质量不好，接触电阻较大，容易引起发热甚至烧坏而造成断线事故。另外，还要注意导线弧

垂的变化情况。因为导线的长度随温度的变化而变化，所以，导线的弧垂在冬季和夏季是不一样的。如果发现弧垂不符合要求，则应及时调整。

二、查看绝缘子有无断裂、污脏和歪斜现象。绝缘子由于温度的变化多次热胀冷缩，可能发生裂缝或破裂，或者由于导线受风力作用左右摆动将绝缘子拉歪或弄裂。绝缘子如有裂缝或破裂，它的机械强度和电气强度都要降低，遇到这种情况应安排停电更换。

三、查看电杆、接腿、横担有无变形和倾斜现象。对于木电杆还要注意检查根部腐朽程度，如根部腐朽已超过 $\frac{1}{3}$ ，需要加装绑腿或更换新杆。对于水泥电杆，要检查有无裂纹。如裂纹超过规定，应采取补救措施。另外，还要检查拉线的松紧是否合适。

四、巡视时要注意沿线是否有杂物、杂草堆放，树枝是否磨擦导线以及导线上是否挂有其它杂物。要禁止小孩在线路旁边放风筝。

五、巡视时要注意安全，巡视路线应走在线路的两侧。遇有大风、大雨、大雪和用电高峰时，要加强巡视。

第四节 室内布线及照明设备的安装

随着农村用电事业的发展，大部分农村都使用了电灯照明。但是，如果不懂得室内照明线路的安装和使用照明设备的基本知识，乱拉乱用，也会给人民生命财产带来危害。为此，我们必须了解和掌握照明设备安装和使用的基本知识。

一、室内布线应注意的几个问题

1. 安全可靠——室内是人经常活动的地方,装在室内的导线容易被人碰上,因此,对室内布线材料的选择、导线的连接、照明用具的安装等,均应考虑到人身和设备及建筑物的安全。室内必须使用绝缘导线。裸线、铁丝以及漆包线和纱包线都不能在室内使用。室内导线必须用瓷夹板或瓷瓶固定,导线与墙壁、顶棚及其它不与大地绝缘的物体之间的距离不应小于10毫米。导线穿过墙壁、隔板时应使用瓷套管,其两端的出线口应各伸出墙外10毫米,同时两边的导线用瓷夹板固定,使导线与墙壁绝缘,而且不能里外窜动,导线在转弯、交叉或分支时,应加装瓷管和瓷夹板,如图5—6所示。导线的接头必须缠紧使其接触良好,并用黑胶布包好,以防漏电。

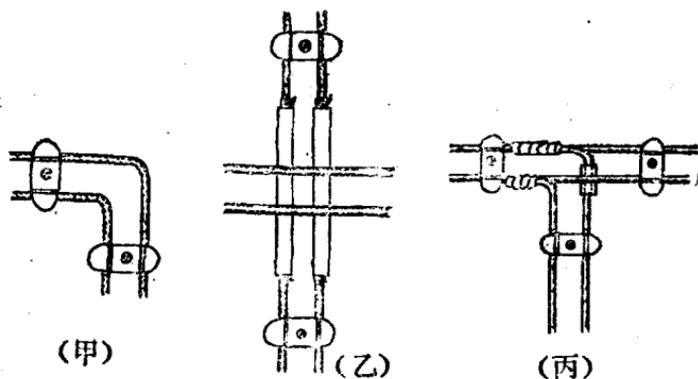


图5—6 导线转弯、交叉和分支的安装方法

(甲) 导线的转弯, (乙) 导线的交叉, (丙) 导线的分支

2. 经济便利——在保证安全可靠的同时,应考虑选用最

经济的材料,合理选择导线的走向,尽量减少导线的长度。同时,为了使用方便,应考虑好灯头、开关及其它设备固定的位置。

3. 整齐好看——在室内进行布线时,应注意尽量不要损坏建筑物。布线和设备安装要注意整齐好看。

二、白炽灯的安装

室内安装白炽灯通常采用悬挂方式,即用软线把灯头挂在屋顶或天花板上。白炽灯泡的额定电压通常为220伏,应装在火线和零线之间,所以室内照明线应当拉两根(一根火线,一根零线)。但有的地方只拉一根火线,接在灯头的一个接线柱上,从灯头的另一个接线柱上引一根导线插入地里,这种接法是很危险的。假若插在地里的导线与大地脱离或者由于接地不良,则火线便经过灯泡与所谓的“地线”相通,这时地线与大地之间的电压为220伏,如果有人碰到地线就会造成触电事故。因此,不准采用“一线一地”的电灯照明。

室内安装白炽灯需用的器材有:圆木板(用来固定吊线盒和开关)、吊线盒、拉线开关、灯头、瓷插保险器和瓷夹板等,这些材料的组合安装情况如图5—7

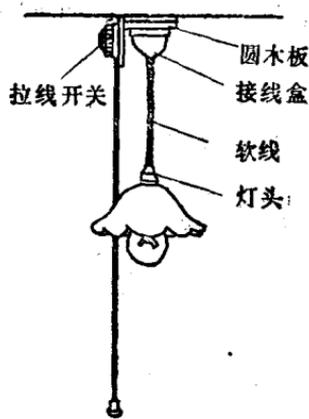


图5—7 白炽灯的安装

所示。下面我们着重说明白炽灯电路的连接方法。

室内照明通常都用一个开关控制一盏灯,白炽灯电路的

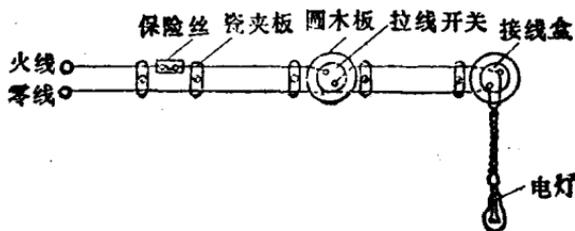


图5—8 白炽灯电路的连接示意图

接线顺序如图5—8所示：两根电源导线（一根火线和一根零线）引入室内之后，零线直接进入吊线盒，经过

其中一个接线柱用软线与灯头的一个接线柱相连，火线先经过一个瓷插保险，并经过拉线开关再接到吊线盒的另一个接线柱上，然后用软线与灯头的另一个接线柱相连。如果使用螺旋口灯头，接线时必须把零线接到灯头的螺旋铜圈上，而把火线接在灯头中心的铜片上。零线和火线可以用验电笔来判断。下面我们说明三个问题：

1. 火线为什么要装一个瓷插保险——照明线路安装瓷插保险的目的是为了当室内线路或用电设备发生短路或者过负荷时，保险丝熔断，使电路切断电源，这样可以防止由于电流过大使导线着火而引起火灾。保险为什么装在火线上呢？如果室内线路需要修理时，将保险拉开，则电线就不带电了；如果保险装在零线上，虽然拉开保险，但线路仍与火线相连，还是带电的。

2. 电灯的开关为什么要装在火线上——开关接在火线上或者接到零线上虽然都能控制电灯的开、断，但是接在火线上有好处，当开关断开时，吊线盒和灯头上都不带电了，不论是装卸灯泡或修理灯头和吊线盒都比较安全。虽然这样讲，但有些人安装白炽灯时并不重视这个问题，把开关误装

在零线上。所以在修理电灯和照明线路时，除把保险器和开关拉开之外，为了安全起见，还需要用验电笔检验一下线路是否带电。

3. 螺旋口灯头为什么要把电源的零线接在螺旋圈上一——拆开螺旋口灯头就可看清，灯头中间的铜片是一个接点，螺旋圈是另一个接点。灯泡旋入灯头后，灯泡中间的触点与灯头中间的铜片相连，灯泡的螺旋圈与灯头里的螺旋圈相连。如果把电源的火线接在灯头的螺旋圈上，则灯泡的螺旋圈也是带电的，在装卸灯泡时若人手碰到螺旋圈就会触电。螺旋口灯头不安全，家庭照明最好不使用这种灯头。

三、日光灯的原理和安装接线

日光灯具有较高的发光效率，与同功率的白炽灯相比，其照度比白炽灯高一倍到一倍半，而且日光灯的光线接近于天然日光，故日光灯已广泛用于室内照明。

日光灯的电路如图5—9所示，它

是由灯座、灯管、镇流器、启动器、开关和电容器等元件组成的。在没有叙述日光灯的原理之前，先简要地介绍一下各元件的构造和作用。

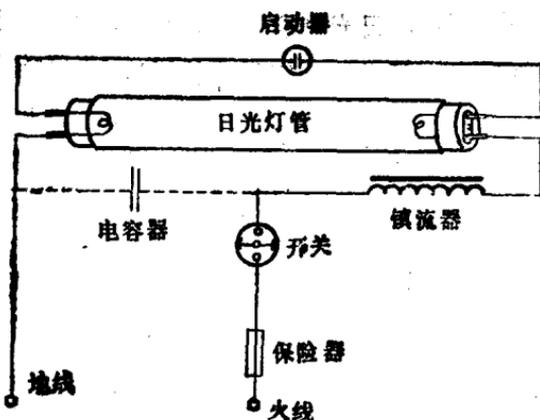


图5—9 日光灯电路的连接

1. 灯管——是一个在真空情况下充有一定数量的氩气和少量水银的玻璃管，在管的内壁上涂了一层萤光粉，灯管的两端各有一组灯丝，在灯丝上涂有一层能够发射电子的氧化物，灯管的构造如图5—10所示。



图5—10 日光灯管的构造

2. 镇流器——是一个具有铁心的电感线圈，其作用有两个：第一，日光灯启动时它产生一个很高的感应电势，使灯管导电；第二，工作时限制通过灯管的电流不致过大。

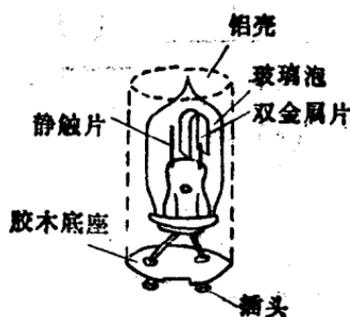


图5—11 启动器的构造

3. 启动器——构造如图5—11所示，它是一个充有氖气的小玻璃泡，里面有一个U形的双金属片和一个静触片。双金属片是由两种膨胀系数不同的金属组成，受热后，由于两种金属的膨胀不同而弯曲，与静触片相碰，冷却后恢复原形与静触片分开。

4. 电容器——因为日光灯电路中的镇流器是一个较大的电感元件，故使电路的功率因数降低，一般只有0.5~0.6。为了改善线路的功率因数，通常在日光灯电路两端并联一个电容器（如图5—9中的虚线所

示)。选用日光灯电容器时，应注意它的工作电压和电容量，对于额定电压为220伏、功率为30—40瓦的日光灯，电容器的电容量为3.75~4.75微法。

下面我们根据图5—9来说明日光灯的原理。在电源接通以前，启动器处于冷状态，双金属片与静触片是分开的。电源接通之后，电源的电压（220伏）经过镇流器和灯管两端的灯丝加到启动器两端（即双金属片与静触片之间），在电源电压的作用下，启动器玻璃泡内的氖气产生辉光放电，使双金属受热弯曲而与静触片相碰。这时，电流便通过镇流器、灯管两端的灯丝和启动器构成回路。电流通过灯管两端的灯丝使它加热而发射大量电子，并使管内的氩气分子分离为带正电荷和负电荷的离子（这种现象称为游离），同时，使水银蒸发为水银蒸汽而弥漫管内。再说启动器的情况，双金属片与静触片相碰之后，两端的电压降为零，辉光放电停止，发热迅速降低，双金属片冷却而与静触片分开，于是，使电路断开。原来在通路的时候，镇流器中通过电流（即建立了磁场），而在电路断开的瞬间，使通过镇流器的电流突然变化（即磁场突然变化），根据第一章讲过的电磁感应原理，于是，在镇流器两端产生一个很高的感应电势，使管内已经游离的氩气放电并猛烈地撞击水银分子，从而使灯管由氩气放电过度到水银蒸汽放电。这种放电产生一种人眼看不见的紫外线，激励管壁上的萤光粉而使它发出一种近似日光的可见光，因此叫做日光灯。

灯管发光之后，电流便通过镇流器和灯管构成回路，同时，灯管内的阻抗降低，灯管两端的电压降维持在100伏左右。因为启动器是与灯管并联的，它两端的电压也是100伏

左右，而启动器产生辉光放电的电压为 135 伏，所以启动器不再动作。

以上所谈的日光灯的启动过程，实际上是在很短的时间内完成的。从日光灯的启动过程中可以看出，启动器在日光灯电路中所起的作用相当于一个自动开关，日光灯启动之后，即使把启动器取掉，日光灯也可照常工作。

知道了日光灯的原理之后，就容易掌握日光灯的安装了。日光灯所用的元件通常组装在一个槽形木盒上，在木盒的两端装好灯座，将灯管插入灯座内，镇流器、启动器放在木盒的槽内，按照电路将镇流器、启动器和灯座接好线之后，把整个木盒悬挂在屋顶或天花板上，如图5—12所示。

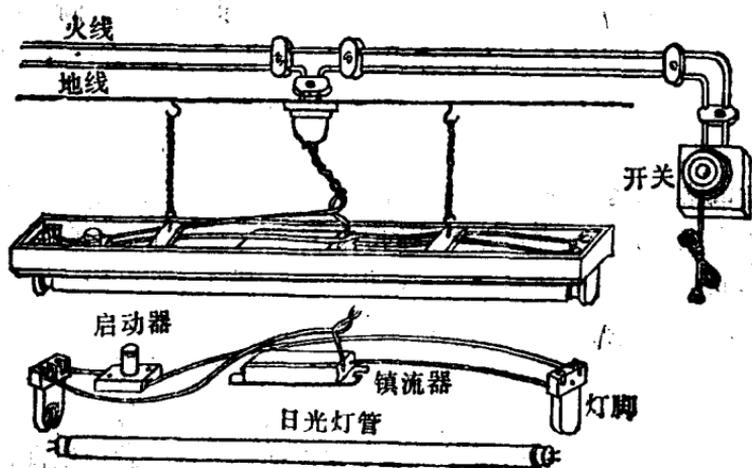


图5—12 日光灯的安装图

由于目前照明线路的电压均为220伏，故市场上供应的日光灯管都用于220伏电压(特殊用途的除外)。日光灯管的功

率有15瓦、20瓦、30瓦、40瓦等数种，与灯管配套使用的镇流器也有15瓦、20瓦、30瓦和40瓦数种。选用日光灯时，灯管和镇流器的功率（即瓦数）必须相符，否则将损坏灯管或镇流器。

第六章 农村安全用电

随着工农业生产的发展和人民生活水平的不断提高，用电范围越来越广，人们使用和接触电气设备的机会也越来越多。因此，搞好农村安全用电，是关系到保证电力工业更好地为社会主义革命和社会主义建设服务的大事，是关系到保障广大贫下中农生命、财产安全的大问题。

党和人民政府对保障人民生命和财产的安全，一贯是非常重视的。为了贯彻落实毛主席和党中央有关安全生产的指示，我国水利电力部和各地电业部门相继制定了一系列有关农村安全用电的规程和具体措施。作为农村电工和上山下乡知识青年来说，不仅自己要认真学习有关规定，遵守安全用电制度，而且还要广泛深入地宣传安全用电常识，堵塞漏洞，防止触电事故的发生。

下面分别介绍一下农村安全用电及触电急救方面的一些基本知识。

第一节 电流对人体的危害

一、触电对人体产生的恶果

触电以后，电流通过人的身体会产生不同程度的伤害，根据伤害的性质可分为内伤和外伤两种，前者叫电击，后者

叫电伤。

电击是指电流通过人体，使内部组织受到损伤。人在触电的最初时候会感到发麻、发热、肌肉发生不自主地抽筋等现象，随后，人的知觉变为模糊。如果触电者不能及时脱离电源，电流的作用能使心脏、呼吸机能以及神经系统受到损伤，最后造成呼吸停止，心脏正常活动停顿而死亡。

电伤是电流或电弧对人身外部造成的损伤。电伤一般表现为三种情况：(1) 由于人体的表皮和肌肉组织均具有一定数值的电阻，所以，当电流通过人体时要产生高热，使局部的软组织灼伤，有时由于电流产生电弧对人体的某一部分产生灼伤，这种情况称为灼伤。(2) 电流对人体组织破坏的结果会使皮肤皮面产生黄色或灰色肿块，称为电烙印。(3) 人身与带电部分接触时，被电流溶化的金属微粒渗入人的皮肤表层使皮肤出现一种特殊的颜色，称为皮肤金属化。电伤虽不象电击那样严重，但也不能忽视，如果灼伤面积过大，不仅会造成残废，而且也有引起死亡的危险。

二、影响触电危害程度的因素

触电对人体伤害的程度主要与以下几个方面有关：

1. 电流的种类和频率——不同种类和不同频率的电流，对于人体组织的破坏作用不同，因而造成人身伤害的严重程度也有所区别。数值相同的交流电流要比直流电流的危害大，频率为50~60赫芝左右的交流电流要比低频率和高频率的交流电流危害大。大家知道，我们在生产和日常生活中所使用的是频率为50赫芝的交流电，所以在用电时要特别注意安全。

2. 流经人体电流的大小——通过人体电流的大小是决定触电受伤轻重的直接因素。根据有关部门对过去触电事故的分析和对动物的试验,认为频率为50赫芝,数值在10毫安以下的交流电流通过人身时,使人有显著的麻电感觉,但可以自行摆脱电源;电流在20~25毫安时,会使手脚麻痹,不易摆脱电源;电流达到90~100毫安时,使人呼吸器官麻痹,持续三秒钟以上时会引起心脏麻痹,因而使心脏停止跳动。大家知道,通过人体电流的大小与人体所接触到的电压高低和皮肤的干潮程度有关,一般说来,电压越高或皮肤越潮,电流越大,触电危险性也就越严重。在通常情况下,36伏以下的电压才属于安全电压。日常我们所用的电压多是220伏和380伏,如果人的身体直接接触到就相当危险了。

3. 电流通过人体的途径——当电流通过人身时,其中一部分电流通过人的心脏。通过心脏的电流越大,就容易引起心脏麻痹,因而危险性就越大。根据一些事故的分析 and 观察,电流通过人体的途径不同;流经心脏的电流也不相等,电流从人的右手到脚通过时,流经心脏的电流占通过人身总电流的百分比最大。

4. 触电时间长短——触电时间的长短决定着电流对于人体损害的程度。人体的皮肤和内部组织都具有一定的电阻,根据人体解剖试验资料表明,人的皮肤角质外层(老肤)的电阻最大。触电时间越长,电流的热效应使皮肤角质外层破坏得越厉害,人体电阻就会降低,于是通过人体的电流相应地增大,因而对生命威胁越大。所以,当发现有人触电时必须设法使触电者尽快脱离电源。如果触电时间较短,虽然呼吸和心脏受到严重阻碍,但血液继续循环,即使暂时出现死亡现

象（这种暂时死亡现象称为“假死”），若能及时采用人工呼吸法抢救，往往是可以避免死亡的。

第二节 触电方式

上面我们谈了电流对人体的危害，究竟人是怎样触电的呢？从电气方面来说，触电方式有下面几种：

一、与带电导体直接接触

人体与带电导体直接接触，就造成触电。根据人体所碰到的三相系统中带电导体的数目，可分为二相触电和一相触电。

1. 两相触电——如图6—1所示，当人身的两部分同时接触到三相系统中的两根带电导线，称为两相触电。在这种情况下，人体两部分之间的电压为线电压，电流通过人体直接构成通路，因而触电电流比较大，对人身的危害也比较严重。



图6—1 两相触电

2. 一相触电——如图6—2所示，当人站在地上或其它与大地不绝缘的支持物上，人体与一相带电导体接触称为一相触电。一相触电的危险程度根据线路电压的高低以及电网



图6—2 一相触电

系统的中性点是否接地等而决定。

在中性点直接接地的电网中（如变压器的中性点接地），发生一相触电时，人体两部分之间处在电网的相电压之下，电流通过人体、大地和中性点的接地电阻而形成通路，这种情况是非常危险的。

在电压低于1000伏、中性点不接地的电网中，发生一相触电时，电流是经过人体和其它两相导线对地的绝缘电阻而形成通路的。流经

人体的电流不仅决定于人体电阻，也决定于导线对地绝缘电阻的大小。如果线路不长，而且导线对地绝缘良好，则通过人体的电流要比中性点接地系统的电流小得多。但是，如果导线对地绝缘很差，则有较大的电流通过人体，这种情况也是很危险的。尤其是在中性点不接地系统中，如果已经存在着单相接地故障而又没有及时消除，假若人身触及到其余任何一相导线，就等于两相触电，加在人体两部分之间的电压为电网的线电压（即相电压的1.73倍），这种情况比中性点接地系统中发生单相触电更加危险。

此外，在中性点不接地系统中，如果线路较长和电压较高，则线路对地的电容相当大，即使线路对地绝缘很好，发

生一相触电也是很危险的。

二、人体接触到绝缘损坏的用电设备

家庭中常用的灯头、开关、电线或其它电器，如果外部绝缘损坏而未及时修理或更换，最容易造成触电。又如电动机等用电设备，若带电部分的绝缘损坏而与金属外壳相碰，则外壳也就带电了，当人身与外壳接触时就形成一相触电。根据触电事故统计，由于用电设备绝缘损坏而引起的触电事故是相当多的。

三、跨步电压触电

当架空线路的一相导线因断线落在地上，或者在中性点接地系统中，电动机一相绕组绝缘损坏，则有电流从故障处流入大地。地中的电流以导线接地点为中心向四周辐射，因而在离接地点不同距离的地面上形成电位差。上述情况发生时，当人或牲口走在接地点附近，则两脚之间就有电位差，称为跨步电压。

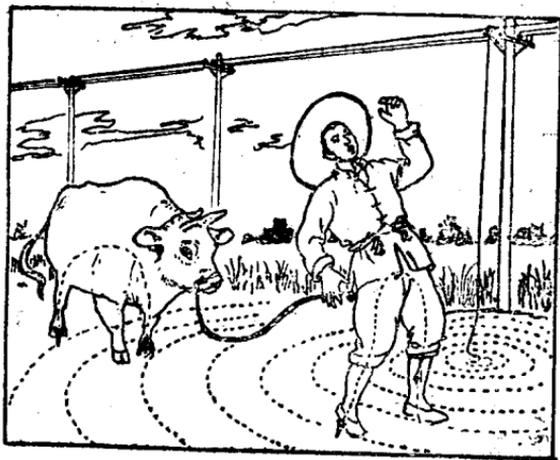


图6—3 跨步电压触电

这时，电流沿着人或牲口的下身构成回路（图6—3），

如果跨步电压的数值超过危险电压，也会引起触电，称为跨步电压触电。

当架空线路存在一相接地故障时，人走在这个危险的区域里，两脚就会发生抽筋，但还有可能继续向里面走，最后两腿不能支持而倒在地上。这时候从头到脚的距离比原来两脚间的距离大得多，使触电伤害更加厉害，甚至造成死亡事故。

跨步电压的大小与接地电阻的大小有直接关系，接地电阻越小，跨步电压也越小。因此，对变压器、电动机等用电设备的接地电阻数值有一定要求。配电变压器的容量在100千伏安以上时，变压器处的接地电阻不应大于4欧姆，低压系统内的电动机和其它需要单独接地的电气设备，容量在10千瓦及以上者，接地电阻不应大于4欧姆；10千瓦以下者不应大于10欧姆。配电变压器容量在100千伏安以下时，变压器及低压系统内的电气设备的接地电阻不应大于10欧姆。

除了上面提到的三种触电方式之外，若有人靠近高压用电设备，身体与高压带电部分的距离小于或等于放电距离时，则在人体与导电部分之间产生电弧，造成严重灼伤；甚至电弧和电击同时发生，可能导致死亡。

第三节 怎样防止触电

首先，要从思想上认识农村安全用电的意义，认真检查和分析触电事故发生的原因，不断总结经验，坚持贯彻以预防为主方针。同时，要严格遵守农村安全用电的规程制度，落实安全用电措施，广泛深入地向广大人民群众宣传安

全用电知识，做到家喻户晓，人人注意安全用电。

一、农村触电事故发生的原因

认真分析农村触电事故发生的原因，是保证农村安全用电的前提之一。根据目前农村用电的实际情况，造成触电事故的原因可归纳为如下几个方面：

1. 设备安装不规格；
2. 设备长期失修；
3. 广播线、电话线与电力线串电；
4. 私接乱拉电线和用电设备；
5. 电工违章作业；
6. 缺乏安全用电常识；
7. 其他。

结合上面的分析，我们再从低压配电线路、电动机、家庭生活用电等三个方面来说明农村安全用电措施以及应注意的一些问题。

二、低压配电线路的安全用电措施

1. 低压线路和配电、用电设备的安装必须按规定申报批准，由专业人员按照技术要求进行施工。对于目前农村不符合规定的线路和配电、用电设备应有计划地逐步进行修整和更换。

2. 配电变压器一般应装设在台架（或砖台）上，台架距地面的高度不能低于1.8米。若变压器装设在室外的地面上，基础高度一般不应低于0.4米，并设有不低于1.5米的围墙。围墙与变压器外壳之间应保持1.5~2米的距离，引下线电杆

应在围墙之内。

3. 不要在架空线路下面打场、堆放柴草等易燃物品,以防触电伤人或电线走火引起火灾。

4. 在架空线路附近竖立井架,建筑或修理房屋时,应事先通知电业部门派人指导,并要采取适当安全措施,防止碰到电线而引起触电伤人。电线旁边的树木要经常检查、修理,以防碰上电线。

5. 不要在电杆或拉线上拴牲口,不要在电杆或拉线旁边挖坑取土,不要攀登电杆或摇晃电杆、拉线,以防倒杆断线。

6. 大车从电线下面经过时不要扬鞭,防止碰到电线。

7. 教育儿童不要在架空线路附近放风筝。风筝挂到电线上时也不要硬拉或用竿子去挑,以免弄断电线而引起触电。

8. 严禁用弹弓或猎枪射击落在电线上的鸟,以防打断电线或打碎瓷瓶。

9. 遇到电线落在地上时,不要靠近,更不能用手去拉,要离开电线落地点10米以外,派人看守,并通知电工修理(图6-4)。

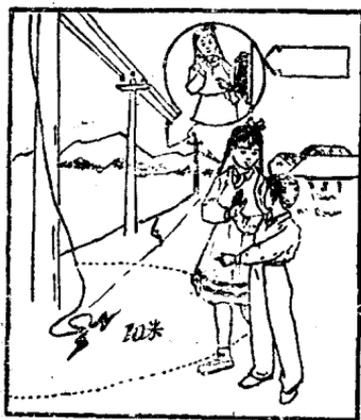


图6-4 不要接近落地的电线

三、电动机的安全用电措施

1. 电动机及其起动设备的金属外壳必须良好接地

(图6—5)，而且接地电阻应符合规定。当设备内部一相导线绝缘损坏与外壳相碰时，使外壳与大地之间具有很小的电位差。即使人站到地上而一只手接触到设备的

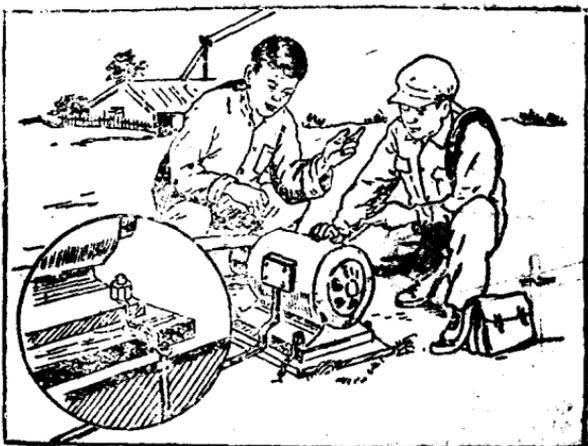


图6—5 电动机外壳的安全接地

的外壳，手脚之间的电位差较小，也对人没有危险。否则外

壳不接地或者接地不良，上述情况就形成了一相触电。

2. 露天装设的电动机，应当用箱罩住，避免日晒雨淋使绝缘损坏。电源至电动机的引线应穿管保护埋入地下，电动机使用的胶盖闸刀开关要完好，并装在木箱内，如图6—6所示。

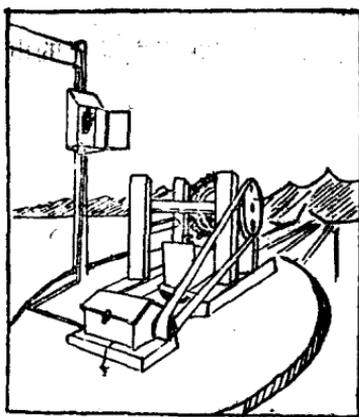


图6—6 露天电动机的安全保护

3. 经常移动的电动机其引线应使用三心橡皮绝缘电缆。若使用橡皮绝缘

线，则应穿塑料管保护。



图6—7 电动机检修前的安全措施

4. 检修电动机时，应先断开电源，并在电源开关上挂“有人工作，不准合闸”的警告牌，以防有人误将开关合上而引起触电。动手工作以前要用验电笔检查一下是否有电，如

图6—7所示。

5. 不论因任何原因停电时，必须立即断开电动机的电源开关，以防突然来电使电动机自行起动，引起伤人或损坏机械。

四、家庭生活用电安全措施

1. 室内必须使用绝缘导线。不准采用“一线一地”电灯照明。前面已经指出，一线一地照明线路，当接地线与大地断开或接触不良时，人若触及接地导线则形成一相触电。

2. 电灯开关、灯头、插销是最容易漏电的地方，也是人经常接触的设备，因此要经常保持这些设备的绝缘良好。如有损坏应请电工及时更换，否则容易引起触电事故。

3. 床头开关不安全，尤其是小孩玩弄时容易引起触电，

最好使用拉线开关。灯头、开关和插销的安装位置应距地面有一定的高度，防止小孩摆弄引起触电。

4. 电灯线不要装得太长，距离地面2米左右比较适当。电灯装好后不要东拉西扯，以防导线外部绝缘破损引起触电。

5. 清扫和修理电灯或电气设备时，一定要先断开电源。不要用湿手去摸灯头、开关、收音机等电气设备，更不要用湿布去擦洗。

6. 晒衣服用的铁丝应与电线保持一定距离，更不要在电线上晒衣服，防止导线绝缘破损引起触电。

7. 收音机的室外天线以及广播线、电话线要远离电力线路，更不要把广播线、电话线与电力线架设在同一电杆上，防止电线相碰串电伤人。

8. 保险丝应按一定规格装设，如果保险丝经常烧断，应查明原因进行处理，决不能任意更换较粗的保险丝，更不能铜丝代替保险丝，以防线路存在短路故障而保险丝不能熔断，引起电线起火。

9. 安装或修理电气设备，一定要请电工进行，不要自己随便摆弄，以免引起触电。

10. 发现电线或用电设备冒烟、冒火时应立即拉开电源，以免引起火灾。

第四节 触电急救

前面已经讲到，人触电以后，由于电流对人的心脏、呼吸机能和神经系统的损害，可能使触电者出现暂时的死亡现

象（假死）。这时如能使触电者立即脱离电源，并进行人工呼吸急救，绝大多数都有救活的希望。

一、怎样帮助触电人脱离电源

触电时间的长短是决定电流对人体损害程度的重要因素之一，因此，能否使触电人尽快地脱离电源，直接关系到触电人的生命安全。怎样帮助触电人脱离电源呢？最有效的办法是迅速拉开触电电路的电源开关，千万不能用手直接接触触电人。如果电源开关不在附近无法迅速打开电源开关时，可以戴上手套（或用衣服裹在手上）抓住触电者的衣服，使他脱离电源；也可以用带绝缘的工具（如干燥的木把斧、锯等物）砍断电线，或者用干燥的木棍、竹竿等不导电的东西把触电人碰的电线挑开（如图6—8），但要看好方向，切勿使断线落在其他人的身上。

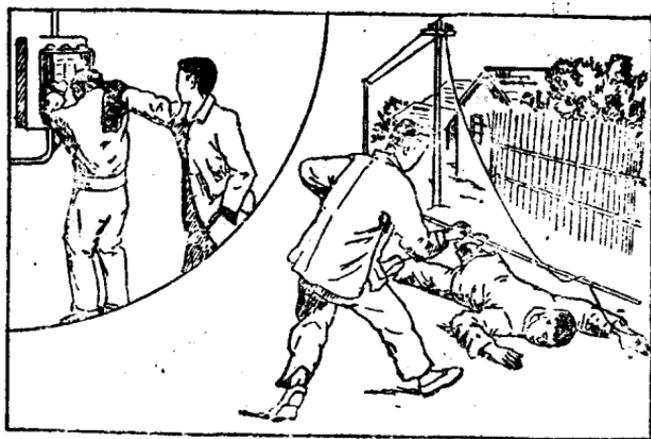


图6—8 使触电者脱离电源

拉开电源开关时应注意下列事项：

1. 如果触电人所在的地方很高，需要防备断开电源后，触电人从高处跌下而造成更大的摔伤。

2. 在晚上，如果停电后影响到发生事故地点的照明，在断开电源的同时应立即准备手电、油灯等临时照明设备，以便进行紧急救护时使用。

二、紧急救护的方法

使触电人脱离电源后，应根据触电人的具体情况采取下列紧急救护方法：

1. 如果触电人并没失去知觉，只是在触电过程中一度昏迷，或者虽已失去知觉，但呼吸尚未停止，心脏还在正常跳动，则必须将触电人放在平坦舒适的地方平卧，解开衣扣，安静休息，等候医生前来治疗。千万不能对触电人采用浇水、埋土、压木板、扑打、揪脖子、摇晃等错误的方法，也不能给触电人打强心针。

2. 若触电人呼吸困难，或者呼吸和心跳均已停止时，最有效的救护方法是立即进行人工呼吸。这时，每一秒钟都是宝贵的，除派人通知医生前来外，在场人员应迅速做好人工呼吸前的下列准备工作：

(1) 将触电者抬到平坦舒适的地方，打开窗户，使空气流通；

(2) 解开触电者的衣扣和裤带（但不要受凉）。

(3) 如触电者牙关紧闭，应设法使之张开，并清除口中的杂物，将舌头拉出口外，免得舌根缩卷妨碍呼吸。

准备工作完毕后，应立即按下面方法进行人工呼吸：



(甲)



(乙)

图6—9 第一种人工呼吸法

(甲) 呼气 (乙) 吸气

第一种人工呼吸法——俯卧压背法

这种方法适用于现场只有一个救护人。首先将触电者背向上俯卧，使他的一只手弯曲枕于头下，另一只手靠近他的头部向前伸直，脸侧向一面，脸下需垫一块软东西，以防擦伤。救护人面向触电人头部，屈膝骑跨在触电者臀部两侧，两手伸直，平放在触电者后背下部的肋骨上，拇指向上，四指并拢按向两侧，小手指放在最末一根肋骨的位置上，

如图6—9所示。

做呼气动作时，救护人伸直手臂，同时把身体逐渐向前倾，用全身重量压向触电人的下部肋骨，使他呼出空气（图6—9甲）。然后，救护人将自己的身体抬起后仰恢复原位（但双手不要离开触电者的背部），触电者胸部压力减小，胸部扩张从而吸进空气（图6—9乙）。这样“压下去”、“抬起来”反复进行，直到触电者能够自行呼吸为止。压出空气和吸进空气各一次叫做一个“全人工呼吸”，每分钟大约进行12~15次全人工呼吸。对于孕妇或年老体弱的人，不能采用俯卧压背法。

第二种人工呼吸法—— 口对口吹气法

对于心脏仍跳动而呼吸停止或呼吸不规则的触电者采用这种方法。首先使触电者仰天平躺，救护人用手托起触电者的下颌，使其头部尽量后仰，如图6—10(甲)所示。然后救护者用一只手捏紧触电人的鼻子，另一只手掰开他的嘴，救护人深吸一口气之后，贴紧触电者的口吹气，使其胸部膨胀(图6—10乙)；吹气完毕后，立即离开触电者的口，并放松鼻孔，让他自己进行呼气(图6—10丙)，这时救护者进行换气。如此反复进行，直到触电者恢复自然呼吸为止。



(甲)



(乙)



(丙)

图6—10 第二种人工呼吸法

吹气时要均匀而且要有规则，每分钟大约进行12~14次。

第三种人工呼吸法——仰卧牵臂法

这种方法适用于现场有两个救护人。首先使触电者仰天平躺，两肩下垫上软东西，使其头部稍向后仰，胸部扩张。一个人跪在触电者一侧，取出口内杂物，用手拉出他的舌头；另一个人跪在触电者的头前，两手握住触电者的两个手臂(手腕稍向上部)，使其两臂弯曲压在胸前两侧(但不需



(甲)



(乙)

图6—11 第三种人工呼吸法

(甲) 呼气 (乙) 吸气

十分用力)，使触电者呼气（图6—11甲），然后将触电者的双臂向上拉直，引向他的头部后方，使空气进入胸中（图6—11乙）。再重新将触电者双臂弯曲压在胸前两侧，然后拉伸，这样反复进行，每分钟大约进行12~15次，直到触电者恢复自然呼吸为止。

第四种人工呼吸法——胸外心脏

挤压法并配合口对口吹气

这种方法适用于现场有两个救护人，对于心脏已停止跳动或者心跳不规则的触电者采用此法。首先使触电者仰面平躺在木板上或地面上，解开上衣，露出胸部。救护人员跪在触电者的一侧，两手交叉相迭，下面一只手的中指对准凹腔，手指按在胸部，挤压的正确位置应当在胸骨下段，不能压在胸骨角，也不能压在肋骨上。救护人乙按第二种方法的姿式作好吹气准备。压胸动作要与对口吹气动作相互配合；当救护人甲借自己身体重量向下压胸时，救护人乙不要吹气

(图 6—12 甲)；当救护人甲放松时，救护人乙贴紧触电者的口吹气(图 6—12 乙)。如此有节奏地反复进行。

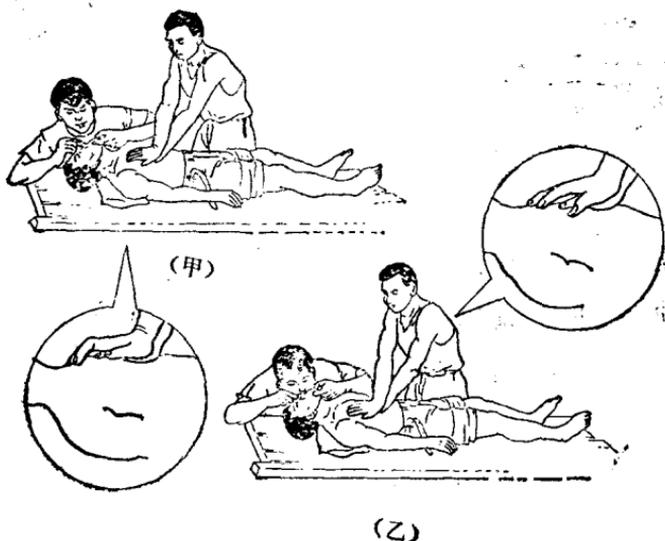


图6—12 第四种人工呼吸法
(甲) 压胸 (乙) 放松(吹气)

如果现场只有一个救护人，可以单独进行胸外心脏挤压，也可以吹气、挤压交替进行。先吹气2~3次，再挤压7~8次。采用胸外心脏挤压法时，注意压力要适当，既不要由于压力太大而造成内伤，又要起到挤压的作用。

施行人工呼吸法不能中断，而且要有耐性，如果救护时间长了而感到疲乏，需要几个人轮换进行。

附 录

表1

汉语拼音字母及读音

字 母		读音	字 母		读音	字 母		读 音
大写	小写		大写	小写		大写	小写	
A	a	啊	J	j	基	S	s	思 特 乌 万 蛙 希 呀 资
B	b	玻	K	k	科	T	t	
C	c	雌	L	l	勒	U	u	
D	d	得	M	m	摸	V	v	
E	e	得	N	n	讷	W	w	
F	f	佛	O	o	喔	X	x	
G	g	哥	P	p	坡	Y	y	
H	h	喝	Q	q	欺	Z	z	
I	i	衣	R	r	日			

表2

拉丁字母及读音

字 母		读音	字 母		读音	字 母		读 音
大写	小写		大写	小写		大写	小写	
A	a	埃	J	j	介	S	s	埃斯 替 由 维 达布留 艾克斯 外 载
B	b	比	K	k	开	T	t	
C	c	西	L	l	埃儿	U	u	
D	d	第	M	m	埃母	V	v	
E	e	伊	N	n	恩	W	w	
F	f	埃夫	O	o	喔	X	x	
G	g	吉	P	p	皮	Y	y	
H	h	埃池	Q	q	克由	Z	z	
I	i	爱	R	r	阿			

表3

本书所用希腊字母及读音

写 法	α	Δ	η	μ	π	φ	Ω
读 音	阿耳发	得耳它	衣它	米由	派	符埃	欧米嘎

表4 本书所用主要电工名词、计量单位及符号

名称	符号	单 位	单位符号	意 义
电量	q	库 伦	C	
电流	I i	安 培	A	大写 I 是指直流电流或交流电流有效值。 小写 i 是指交流电流的瞬时值。 $1A = 1000mA = 1,000,000\mu A$
		毫 安	mA	
		微 安	μA	
电压	U u	伏 特	V	大写 U 是指直流电压或交流电压有效值。 小写 u 是指交流电压的瞬时值。 $1KV = 1000V, 1V = 1000mV$
		千 伏	KV	
		毫 伏	mV	
电势	E e	伏 特	V	大写 E 是指直流电势或交流电势有效值。 小写 e 是指交流电势的瞬时值。
电阻	R	欧 姆	Ω	$1K\Omega = 1000\Omega = 10^3\Omega$ $1M\Omega = 10^6\Omega$
		千 欧	K Ω	
		兆 欧	M Ω	
电阻率	ρ	欧·毫米 ² / 米	$\Omega \cdot mm^2/m$	长1米，截面积为1毫米 ² 金属材料的电阻值。
电阻温度系数	α	1/度(摄氏)	1/°C	导体的温度升高1°C时，电阻变化的数值与原来电阻数值之比。

续表

名称	符号	单位	单位符号	意义
电容	C	法拉 微法 微微法	F μ F PF	$1\mu\text{F} = 10^{-6}\text{F}$ $1\text{PF} = 10^{-12}\text{F} = 10^{-6}\mu\text{F}$
电感	L	亨利 毫亨	H mH	$1\text{H} = 1000\text{mH}$
阻抗	Z	欧	Ω	见阻抗三角形
感抗	X_L	欧	Ω	$X_L = 2\pi fL$ 式中, f单位: 赫 L单位: 亨利
容抗	X_C	欧	Ω	$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ 式中, f单位: 赫 C单位: 法拉
瞬时功率	P	瓦	W	瞬时电压与瞬时电流的乘积
有功功率	P	瓦 千瓦	W KW	$P = UI\cos\varphi$ $1\text{KW} = 1000\text{W}$
无功功率	Q	乏 千乏	VAR KVAR	$Q = UI\sin\varphi$ $1\text{KVAR} = 1000\text{VAR}$

续表

名称	符号	单 位	单位符号	意 义
视在 功率	S	伏 安 千伏安	VA KVA	$S = UI$ $1KVA = 1000VA$
功率 因数	$\cos\varphi$			$\cos\varphi = \frac{R}{Z}$
电能	W	瓦 时 千瓦时	WH KWH	$1KWH = 1000WH = 1度$
频率	f	赫 芝	Hz	每秒时间里, 交流电完成的循环数
周期	T	秒	S	交流电变化一个循环所需要的时间
相位差	φ	度	°	$1圆周角 = 360°$
温度	t	度 (摄氏)	°C	
时间	t	秒	S	
长度	L	米	m	
面积	S	米 ² 毫米 ²	m ² mm ²	$1m^2 = 1000000mm^2$
磁极 对数	p			
转速	n	转/分		

后 记

我们为农村知识青年编写的《农村电工基础知识》，结合农村用电实际，主要介绍了电工基础、感应电动机、变压器、农村常用电工仪表、低压架空线路及室内照明、安全用电等方面的知识。文字力求通俗易懂，便于广大农村知识青年自学。

由于我们理论水平和实践经验有限，书中难免有不妥和错误之处，欢迎批评指正。

在本书编写过程中，得到陕西省电业管理局、户县水电局等单位的大力支持和帮助，特别是户县的农村电工及知识青年还对本书初稿进行了审阅，提出了很多修改意见，特此致谢。

《知识青年自学丛书》编辑说明

这套丛书是为适应广大农村知识青年的自学需要而编辑的。其他战线上的知识青年也可以阅读。

广大知识青年，积极响应毛主席关于“知识青年到农村去，接受贫下中农的再教育，很有必要”的伟大号召，满怀革命豪情，奔赴三大革命运动的第一线，坚定地走工农相结合的道路，在农村广阔的天地里，炼红心，学本领，献青春，显身手，正在为社会主义革命和社会主义建设事业作出越来越多的贡献。

青年最肯学习。他们需要学习的知识是多方面的：学政治，学文化，学科学技术，学习各方面的基本知识，坚定地走又红又专的道路。为知识青年的学习需要着想，这套丛书要求在马克思主义、列宁主义、毛泽东思想的指导下，内容包括政治读物、文化读物、科学技术读物和文学艺术读物，帮助广大农村知识青年通过认真看书学习，积极参加阶级斗争、生产斗争和科学实验三大革命运动的实践，健康地成长为有社会主义觉悟的、有文化的劳动者。

这套丛书在编写上要求做到：深入浅出，联系实际，简明扼要，通俗易懂，适合于广大农村知识青年阅读。

我们希望广大读者对这套丛书提出意见和批评，以便不断改进。

陕西人民出版社

一九七三年七月

[G e n e r a l I n f o r m a t i o n]

书名 = 农村电工基础知识

作者 = 陈正岳 李大志

页数 = 207

SS号 = 10832738

出版日期 = 1975年03月第1版

前言
目录
目录

源

- 第一章 电工基础知识
 - 第一节 从物质的结构认识电的来
 - 第二节 导体和绝缘体
 - 第三节 直流电路的构成及电流
 - 第四节 电位和电压
 - 第五节 电源的电动势
 - 第六节 导体的电阻
 - 第七节 欧姆定律
 - 第八节 电阻的串联和并联
 - 第九节 电能和电功率
 - 第十节 电容器
 - 第十一节 电流的磁效应
 - 第十二节 电磁感应
 - 第十三节 交流电的基本概念
 - 第十四节 交流电路的简单计算
 - 第十五节 三相交流电

第二章 感应电动机

牌

- 第一节 感应电动机的基本构造
- 第二节 感应电动机的系列及铭
- 第三节 感应电动机的转动原理
- 第四节 三相感应电动机的接线
- 第五节 感应电动机的起动方式

和起动设备

- 第六节 怎样选择电动机的熔丝
- 第七节 电动机运行中的管理

和维护

- 第八节 异步发电机

第三章 变压器

		第一节	变压器的作用和种类
		第二节	变压器的基本构造
		第三节	变压器的工作原理
		第四节	变压器的铭牌
		第五节	变压器的分接头和电压调整
		第六节	变压器的运行和维护知识
识	第四章		农村常用电工仪表
		第一节	电工仪表的作用和分类
		第二节	直流电流表和电压表
		第三节	交流电流表和电压表
		第四节	电度表
		第五节	万用表的使用方法
		第六节	绝缘摇表的使用
	第五章		农村低压配电线路及室内照明
		第一节	低压架空线路的一般知识
		第二节	对农村低压架空线路的技
术要求		第三节	低压架空线路的维护
		第四节	室内布线及照明设备的安
装	第六章		农村安全用电
		第一节	电流对人体的危害
		第二节	触电方式
		第三节	怎样防止触电
		第四节	触电急救
	附录		
		表 1	汉语拼音字母及读音
		表 2	拉丁字母及读音
		表 3	本书所用希腊字母及读音
		表 4	本书所用主要电工名词、
计量单位			及号符