

农村电工 基础知识

单玉华 牛海峰 编著

机械工业出版社

前 言

根据原能源部1992年第九号令要求，对电工要贯彻进网作业电工管理办法，这就对电工技术素质和电工管理提出了更高的要求。在对电工的日常培训、考核工作中，我们感到电工中存在的最普遍问题是基础知识差，理论水平及理论与实际相结合的能力较低，这些对电工技能的提高是一大障碍。特别是农村电工，由于其素质普遍较低，需要内容适合农村电工水平的浅显易懂、理论与实际相结合的基础知识类书籍。根据这个原则，我们编写了这本《农村电工基础知识》。

本书以实用的基础知识为主，主要讲述配电变压器以下的低压电网部分，对电工基础理论和各种常用电气设备的原理、安装、运行、维护等知识也进行了较系统的讲述。本书力求在与实际相结合的前提下，把基础理论和基本原理讲透，并用通俗易懂的语言进行介绍，以便于广大农村电工接受。对目前农村用电中存在问题较多的漏电保护器也作了具体分析。同时，结合作者讲授电动机及实际修理电动机的经验，对电动机原理及其维修与故障处理等也给予介绍，具有一定的实用性。本书可作为广大农村电工的学习用书，也可用作培训教材。

本书在编写过程中参考了许多书刊和规程，有些章节中引用了一些有益的资料，在此谨对其作者深表谢意。

参加本书编写工作的还有东北农业大学李盘教授和李艳军讲师。李盘教授对全书进行了认真的审阅，在此一并表示感谢。

IV

由于时间仓促，工作做得还不够细，加之作者水平有限，不足之处在所难免，希望读者批评指正。

编 著 者

1994年于哈尔滨

目 录

第一章 电工基础	1
第一节 电的基本知识.....	1
第二节 直流电路.....	4
第三节 电磁基本知识.....	29
第四节 正弦交流电路.....	42
第五节 三相交流电路.....	73
第二章 电子技术基础	89
第一节 一般电子元件.....	89
第二节 半导体与PN结.....	97
第三节 晶体二极管及其基本电路.....	100
第四节 晶体三极管及放大电路.....	109
第三章 常用电工仪表	118
第一节 概述.....	118
第二节 直流电流、电压的测量.....	123
第三节 交流电流、电压的测量.....	127
第四节 电功率的测量.....	130
第五节 交流电能的测量.....	134
第六节 万用表和兆欧表.....	141
第四章 配电变压器	148
第一节 变压器的构造.....	148
第二节 变压器的工作原理.....	152
第三节 变压器的效率及并联运行.....	157
第四节 配电变压器的容量选择与安装.....	159
第五节 配电变压器的运行维护.....	162
第六节 配电变压器的故障和检修.....	165

第五章 异步电动机	171
第一节 三相异步电动机的构造.....	171
第二节 三相异步电动机的工作原理.....	175
第三节 单相异步电动机.....	182
第四节 电动机及传动装置的选择.....	185
第五节 电动机的安装与接线.....	190
第六节 三相异步电动机的起动方式.....	194
第七节 三相异步电动机的接触器控制.....	197
第八节 电动机的运行维护.....	213
第九节 电动机的故障及维修.....	215
第六章 农村低压配电线路	221
第一节 概述.....	221
第二节 低压架空配电线路的基本要求.....	238
第三节 农村低压配电线路的运行和维护.....	243
第四节 低压接户线与进户线.....	248
第七章 农村低压漏电保护器	254
第一节 概述.....	254
第二节 漏电保护器动作电流和动作时间的整定.....	257
第三节 漏电保护器的安装使用.....	260
第四节 保护器对低压电网的要求及减少漏电的方法.....	265
第五节 漏电保护器的运行维护.....	267
第八章 安全用电	284
第一节 发生农村用电事故的原因.....	284
第二节 防止触电的措施.....	286
第三节 触电的类型及急救方法.....	304
第四节 电气防火与防爆.....	314
第五节 防雷保护.....	318

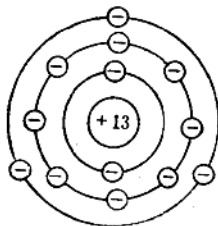
第一章 电工基础

第一节 电的基本知识

一、物质内部的电荷

在现代的生产和生活中，处处都离不开电，那么电究竟是从哪里来的呢？

大家知道，一切物质都是由眼睛看不见的细小的分子微粒所组成，分子又是由更细小的原子微粒组成。而原子则是由一个带正电的原子核和若干个带负电的电子组合而成。带正电的原子核处于原子的中心，带负电的电子受原子核吸引而围绕原子核不停地旋转。例如铝原子具有13个电子，分三层围绕原子核旋转，如图1-1所示。由于原子核所带正电荷与电子的负电荷相等，所以整个原子对外不显示电性。



二、物体的带电

既然一切物质的原子都是由带负电的电子和带正电的原子

图1-1 铝原子的构成

核所构成，当然任何物体中都含有大量的电荷。只是在正常的情况下物体中的正电荷和负电荷数量相等，互相中和，对外不表现出有电的性质。假如在某种条件下使物体失掉或获得一部分电子，那么这个物体就将带电。

要使一物体带电，最简单的方法是摩擦起电。例如拿一块

绸布和一根玻璃棒，相互摩擦，如图1-2a所示。在摩擦过程中，玻璃棒中的一部分电子转移到绸布上去。这样，当它们分开后，失去电子的玻璃棒就带有正电荷，而得到电子的绸布就带有负电荷，如图1-2b所示。

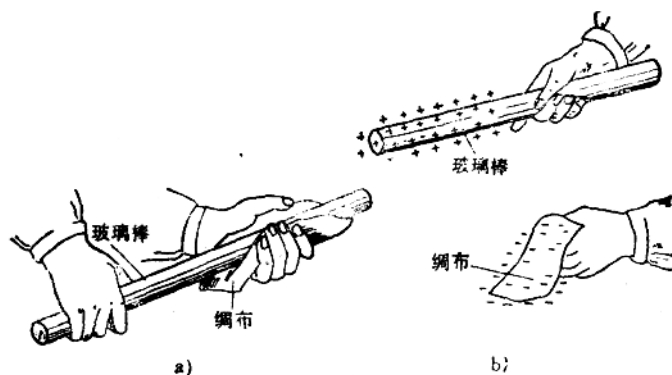


图1-2 摩擦起电

三、电场和电场力

实验表明，当两个带电的小球相互靠近时，它们之间将产生作用力。作用力的方向决定于两小球所带电荷的性质，即同性电荷相斥，异性电荷相吸。

两个带电的小球没有接触，为什么会相斥或相吸呢？原来在每个带电体周围都会形成一个特殊的物质空间，在这个空间内其他电荷将受到力的作用。这个空间称为电场，电荷在电场中所受的作用力叫作电场力。

大家知道，一个静止的物体在受到力的作用时就有可能发

生运动。那么电荷在电场中受到电场力作用时又会如何呢？这就看该电荷是否受到束缚。如果它受到较强的束缚力，则电场力不能使它发生运动；如果它不受束缚，则称之为自由电荷，自由电荷在电场力作用下，将沿着电场力方向作定向移动，从而形成电流。

四、物质的导电性

物质按其导通电流的能力可分为三类：

1. 导体

物体的导电性能决定于其本身的物质结构。对于铜、铝等金属材料，在它们的原子中有许多电子分数层沿不同轨道围绕原子核旋转，其中最外层的电子受原子核的吸引力较弱，容易挣脱原子核的束缚，离开其运行轨道而成为自由电子。如果使这些自由电子处于电场中，在电场力的作用下，它们将作定向运动并形成电流。像金属这样的，内部有大量自由电荷的物质称作导体。

2. 绝缘体

有一些物质，如橡胶、塑料、云母等，在其内部自由电子极少，因而在一般情况下，在这类物质当中不能形成电荷的定向移动（即电流）。这类物质称作绝缘体。绝缘体基本上是不导电的，在电工技术中常用它们来隔离带电的导体。

3. 半导体

还有一些物质，如硅、锗等，它们内部的自由电子数量比导体少得多，但又比绝缘体多得多。因此，这类物质的导电性能介于导体和绝缘体之间，它们被称作半导体。半导体广泛应用于电子技术中。

复 习 题

1. 为什么在正常情况下各种物质都不带电?
2. 物体失掉电子后带什么电? 得到电子的物体带什么电?
3. 什么是电场?
4. 如何区分导体和绝缘体?

第二节 直 流 电 路

一、电流

1. 电流及其作用

如前所述, 电流就是自由电荷的定向移动, 例如自由电子沿金属导线移动, 我们在生产和生活中使用的电能, 多数是由发电站的发电机产生的。那么, 这些电能是如何从发电机传送到用电设备(如电灯、电动机等)上去的呢? 这个任务是由电流完成的。作定向运动的电荷就象一个个小小的搬运工, 它们由发电机取得一定的电能, 在通过用电设备时交出所携带的能量, 然后再回到发电机, 再取得能量, 再通过用电设备时再交出。这样, 定向运动的电荷(即电流)就可不断地将发电机产生的电能传递给用电设备。

2. 电流的方向

人们在发现电流现象时, 最先规定正电荷的运动方向为电流的方向。而在金属导体中的自由电荷为带负电的自由电子, 因此, 在金属导体中电流的方向为自由电荷运动的反方向。例如在图1-3所示的一段导体中, 自由电子移动方向是从右向左, 我们就应说这段导体中电流 I 的方向是从左向右。

3. 电流的大小

衡量电流大小的物理量叫电流强度，简称电流，用字母 I 来表示。导体中的电流强度 I 等于单位时间内通过该导体横截面的电荷量。如在时间 t 内，通过导体横截面的电荷量为 Q ，则

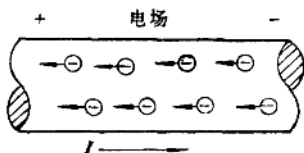


图1-3 自由电子的移动

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1)$$

式中 Q ——通过导体截面的电荷量 (C)；

t ——电荷通过导体的时间 (s)；

I ——导体中的电流 (A)。

如果在单位时间1s内通过导体横截面的电荷量为1C，则这时的电流强度就是1A。

在实际应用中，电流单位除安培 (A) 外，还有千安 (kA)，毫安 (mA) 和微安 (μ A)。

$$1\text{kA} = 1000\text{A} = 10^3\text{A}$$

$$1\text{A} = 1000\text{mA} = 10^3\text{mA}$$

$$1\text{A} = 1000\,000\mu\text{A} = 10^6\mu\text{A}$$

〔例题1-1〕 如果在1min内通过某导体横截面的电荷量为600C，那么这导体中的电流强度为多少？

解：电荷量 $Q = 600\text{C}$ ，时间 $t = 60\text{s}$

$$\text{所以电流 } I = \frac{Q}{t} = \frac{600}{60} = 10\text{A}$$

二、电路

在实际中，为了得到连续不断的电流，通常要用导体构成

一个闭合路径。这个供电流流通的路径就叫做电路。

电路主要由三部分组成：

1. 电源

它是产生电能的设备，它将电能交给电荷，并推动电荷作定向运动。

常见的电源有各种电池和发电机。所谓产生电能，实际上是将其他形式的能量转换为电能。例如发电机将原动机给它的机械能转换为电能；电池将其内部储存的化学能转换为电能。

2. 负载

即用电设备，它的作用是将电流带给它的电能转换为人们所需要的某种形式的能量。例如电灯将电能转换为光能；电炉将电能转换为热能；电动机将电能转换为机械能。

3. 导线

其作用是将电源和负载连接起来，为电流提供一个闭合的流通路径。

为了便于分析，画电路图时通常都把各种实际电气设备用一定的简化符号来表示。例如图1-4a是一个电池向灯泡供电的

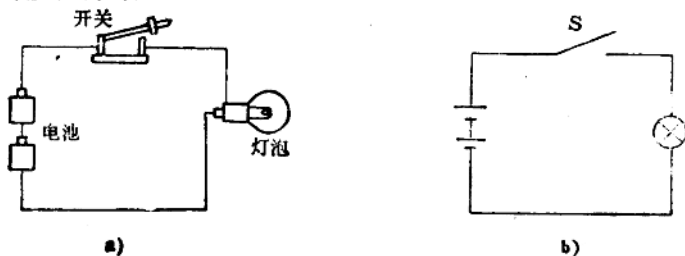
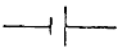
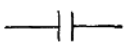
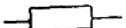


图 1-4

a) 灯泡的供电电路 b) 灯泡供电的电路图

电路，而用符号画成的电路如图1-4b所示。通常都用符号画成

表1-1 常用电路元件的图形符号

元件名称	图形符号	元件名称	图形符号
电 池(长线表示 正极,短线表示负 极)		电 容 器	
直 流 电 源	 	导 线	
交 流 电 源	 	开 关	
电 灯		熔 断 器	
电 阻 器		电 压 表	
电 感 器		电 流 表	
		功 率 表	
		接 地	

电路图来表示。

常用的电路元件图形符号见表1-1。

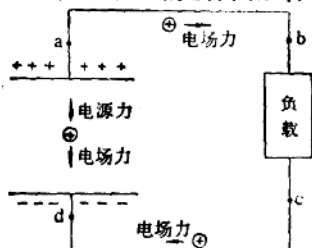


图1-6 电路的构成

三、电压与电动势

1. 外电路与内电路

在电路中电荷的移动是连续不断的。正电荷从电源正极出发，经导线到负载，再经连接导线到电源负极。这一段电路称为外电路（图1-5电路中从 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$ ）。正电荷从电源负极再回到电源正极。在电源内部这一段电路叫做内电路（图1-5电路中从 d 到 a ）。

在内外两段电路中，推动电荷的力是不同的。由于在电源正极上堆集有一定数量的正电荷，而在电源负极上堆集有同等数量的负电荷，所以在电源正负极之间就形成一个电场。正是这个电场的电场力在外电路推动正电荷从正极移动到负极。在内电路，正电荷却是逆着这个电场的方向从负极移向正极。这是因为在电源内部还有另外一种推动电荷的力，叫做电源力，它的方向是从负极指向正极，如图1-5所示。这种电源力在发电机线圈里是靠电磁感应产生的，而在电池里是靠化学反应产生的。

2. 电压

如有两个水池，一在高处一在低处，当用管路将它们的底部连通时，水就会从高处水池流向低处水池。这是因为两水池的水位不同，它们之间的水位差形成一定的水压，从而推动水的流动。在外电路中电荷流动的情况与此相似：电源正极由于

堆集有正电荷，因而具有较高的电位；而电源负极堆集有负电荷，具有较低的电位。正负极之间的电位差称为电源的端电压。此电压越高，则外电路中流过的电流就越大。

水总是从高水位处流向低水位处，而正电荷总是从高电位点移向低电位点。正电荷从高电位点移到低电位点的过程中一直受到电场力的作用，而两点之间电压（即电位差）的高低恰能从做功的角度反映电场力的大小。如果一定量的正电荷 Q 从A点移到B点，电场力对它所做的功为 W_{AB} ，那么A、B两点间的电压为

$$U = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-2)$$

式中 W_{AB} ——电场力所做的功 (J)；

Q ——从A点移到B点的电荷量 (C)；

U ——A点到B点的电压 (V)。

可见AB两点间的电压在数值上等于电场力把单位正电荷从A点移到B点时所做的功。电压方向从高电位指向低电位。

在实际应用中，电压的单位除伏特 (V) 外还有千伏 (kV)，毫伏 (mV) 和微伏 (μV)。

$$1\text{kV} = 1000\text{V} = 10^3\text{V}$$

$$1\text{V} = 1000\text{mV} = 10^3\text{mV}$$

$$1\text{V} = 1000\,000\mu\text{V} = 10^6\mu\text{V}$$

电源二极上堆集的电荷越多，则二极间形成的电场越强，电场力越大；从另一个角度看，二极堆集的电荷越多，二极的电位差越大，即电压越大。实际上电压就代表电场力做功本领的物理量。

3. 电动势

由高处水池流到低处水池中的水不会自动流回高处水池。为使这些水再回到高处水池，以保证水流连续不断，必须使用水泵，靠水泵的吸力才能使低处的水流向高处。

电源内部的电源力的作用恰如水路中的水泵，它能把正电荷从电位低的负极移向电位高的正极。电源力在把正电荷从负极推到正极的过程中，对电荷也要作功。像用电压代表电场力作功本领一样，对电源力也引出一个代表其作功本领的物理量，叫做电源的电动势。

如果电源力把正电荷 Q 从负极移动到正极所做的功为 W_E ，则此电源的电动势为

$$E = \frac{W_E}{Q} \quad (1-3)$$

式中 W_E ——电源力所做的功 (J)；

Q ——从负极移到正极的电荷量 (C)；

E ——电源的电动势 (V)。

可见，电源的电动势 E 在数值上就等于电源力把单位正电荷(1C)从负极移到正极所做的功。电动势的方向是从电源的负极指向正极。

电源内部的电源力越强，其电动势 E 越大，电源正、负极上堆集的电荷越多，电源两极间的电压 U 也就越高。

在以后分析电路时将不再提及电源力和电场力的概念，而分别用电动势 E 和电压 U 代表它们的作用。

4. 直流的概念

像上面分析的电动势，其方向固定不变，称它为直流电动势。具有直流电动势的电源称为直流电源，直流发电机和各种

电池都是直流电源。用直流电源组成的电路叫做直流电路。在直流电路中电压和电流的方向都固定不变，本节所分析的内容都属于直流电路的范畴。

四、电阻与欧姆定律

1. 导体的电阻

通过前面内容分析可知，电源的端电压越高，外电路通过的电流也会越大。但对同一个电源端电压，当接入不同导体时，通过导体的电流也会不相等。这说明不同导体对通过其中的电流具有不同的阻碍作用。导体对通过其本身的电流的阻碍作用称为导体的电阻。用字母 R （或 r ）表示，单位为欧姆（ Ω ）。

导体电阻的大小决定于导体的材料和几何尺寸，实验证明，导体电阻 R 与它的长度 L 成正比，与它的横截面积 S 成反比，即

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-4)$$

式中 R ——导体的电阻（ Ω ），

L ——导体的长度（m），

S ——导体的截面积（ mm^2 ），

ρ ——导体的电阻率（ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ）。

可见，电阻率就等于长度为1m，截面积为 1mm^2 的导体所具有的电阻值。导体的材料不同，其电阻率也不同，几种常用的导体材料的电阻率见表1-2。

〔例题1-2〕 有一根铜导线，长1000m，截面积为 8mm^2 ，试求这根导线的电阻。

解：已知 $L=1000\text{m}$ ， $S=8\text{mm}^2$ ，铜的电阻率 $\rho=0.0175$

表1-2 几种导体材料的电阻率

材 料	电阻率 $\rho \cdot (\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$
银	0.016
铜	0.0175
铝	0.0283
钨	0.055
铁	0.0971
铅	0.2065

$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

$$\text{电阻 } R = \rho \frac{L}{S} = 0.0175 \times \frac{1000}{8} = 2.1875 \Omega$$

2. 欧姆定律

欧姆定律是分析电路的最基本的定律，它是反映导体电阻 R 、加在导体两端的电压 U 和通过导体中电流 I 三者之间关系的定律（图1-6）。用公式表达如下式：

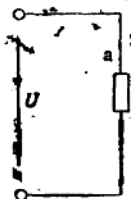


图1-6 欧姆定律电路

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-5)$$

上式说明，在一段电路中通过其中的电流 I 与加在这段电路两端的电压 U 成正比，而与这段电路的电阻成反比。

欧姆定律还可写成如下形式：

$$U = IR \quad (1-6)$$

上式表明，在具有电阻 R 的一段电路中通过电流 I 时，将在