

MEIKUANG

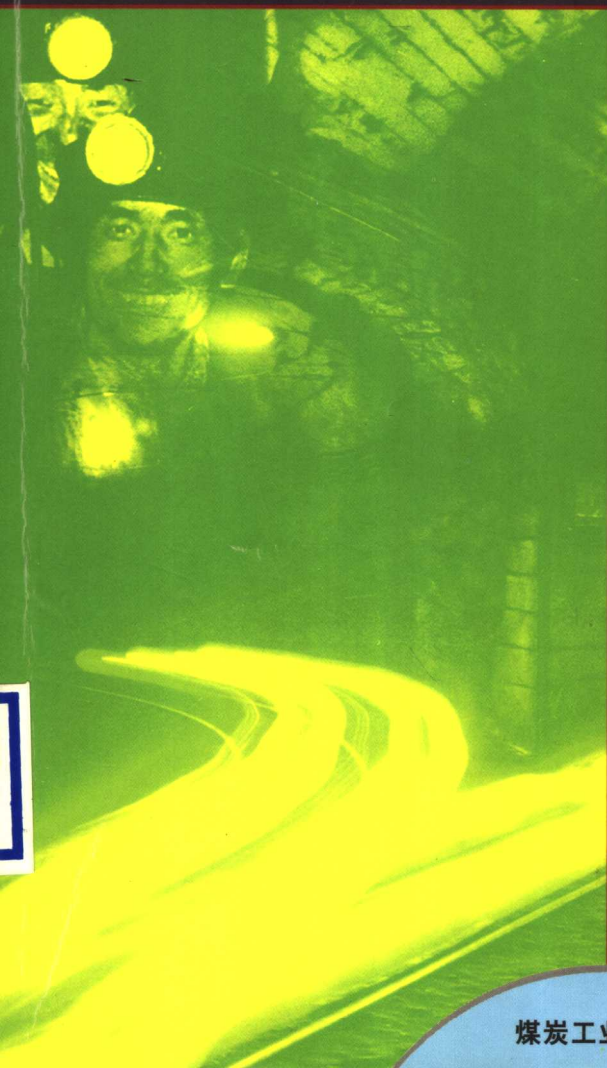
煤矿全员安全培训丛书

DIANGONGANQUAN

王树玉 主编
李炳阳

ZHISHIDUBEN

煤矿电工安全知识读本



煤炭工业出版社

TD608
W-767

煤矿全员安全培训丛书

煤矿电工安全知识读本

主编 王树玉 李炳阳

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

煤矿电工安全知识读本/王树玉, 李炳阳主编. —北京:
煤炭工业出版社, 2005

(煤矿全员安全培训丛书)

ISBN 7-5020-2634-7

I. 煤… I. ①王…②李… II. 煤矿—矿山电工—安全技术—技术培训—教材 N. TD608

中国版本图书馆CIP数据核字 (2005) 第012551号

煤炭工业出版社 出版

(北京市朝阳区芍药居35号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

北京房山宏伟印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 850mm×1168mm^{1/32} 印张 13^{1/8} 插页 6

字数 345 千字 印数 1—3,000

2005年4月第1版 2005年4月第1次印刷

社内编号 5405 定价 30.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

本书主要包括电工基础知识、电气防爆及供电设备、井下低压电网三大保护、矿井供电系统及控制线路、电工井下事故的预防、井下避灾与自救互救等。

本书可供煤矿电工在职培训和自学使用，也可供基层机电管理干部和工程技术人员参考。

前 言

煤矿生产主要是地下作业，矿井地质条件复杂多变，经常受到瓦斯、水、火、煤尘、顶板等灾害的威胁。煤矿安全生产始终是生产领域中的头等大事。由于煤矿职工队伍素质不高，安全管理工作薄弱，煤矿的重、特大事故时有发生，安全生产形势依然严峻。

为了贯彻落实《中华人民共和国安全生产法》、《中华人民共和国煤炭法》，以及《煤矿安全规程》等法律法规中有关安全教育和培训的规定，提高煤矿职工整体安全技术素质和防灾抗灾能力，减少和杜绝灾害事故发生，根据煤矿安全培训的特点和实际，煤炭工业出版社组织煤矿现场的技术人员和安全管理人員编写了这套“煤矿全员安全培训丛书”。

针对煤矿各级干部、职工和各级安全监督管理人员的实际工作特点，结合我国煤矿安全生产的实际状况，丛书编写时力图有的放矢，突出系统性、科学性、指导性和实用性。

这套丛书主要供全国各类煤矿进行全员安全培训使用；也可供煤矿企业的管理人员、工人、技术人员参考。

目 录

第一章 电工基础知识	1
第一节 直流电路.....	1
第二节 单相交流电路.....	9
第三节 三相电路	15
第四节 电子基础	24
第五节 电工安全用具与常用仪表	47
第六节 电工的职责与安全生产	60
第二章 电气防爆及供电设备	76
第一节 电气防爆	76
第二节 变压器.....	105
第三节 异步电动机.....	119
第四节 井下供电设备.....	130
第五节 矿用电缆.....	156
第三章 井下低压电网三大保护	175
第一节 过流和短路保护.....	175
第二节 井下低压电网漏电保护.....	221
第三节 接地保护系统.....	250
第四章 矿井供电系统及控制线路	263
第一节 矿井供电系统.....	263
第二节 矿井安全监控.....	267
第三节 综采工作面的供电与控制.....	292

第四节	提升机的供电与控制.....	309
第五章	电工井下事故的预防.....	328
第一节	触电事故与预防.....	328
第二节	瓦斯事故与预防.....	338
第三节	井下避灾与自救互救.....	347
附录1	电气图形符号新旧对照表	376
附录2	字符表	392
附录3	煤矿机电安全质量标准化标准及考核 评级办法.....	400

第一章 电工基础知识

第一节 直流电路

一、欧姆定律

在电的实际应用中，从简单的手电筒到复杂的电子计算机的运算，都是由电路来完成的。电路就是电流所流经的路径，它由电路元件组成。电路元件可分为4大类：

(1) 电源。电源即发电设备，其作用是将其其他形式的能量转换为电能。如：电池是将化学能转换为电能；发电机是将机械能转换为电能。

(2) 负载。负载即用电设备，它的作用是把电能转换为其他形式的能。如：电动机是把电能转换为机械能，电炉是将电能转换为热能。

(3) 控制电器和保护电器。在电路中起控制和保护作用。如：开关、熔断器和接触器等。

(4) 导线。由导体材料制成，其作用是把电源、负载和控制电器连成一个电路，并将电源的能量传输给负载。

在电路中电压、电流和电阻是3个基本物理量。

(1) 电压。在电场力的作用下把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功称为电压。 a 点到 b 点的间的电压等于 a 、 b 两点的电位差。因此，电压又称为电位差。

在国际单位制中，电压和电位的单位都是 V (J/C)，简称伏，用 V 表示。常用的单位还有微伏 (μV)、毫伏 (mV)、千伏 (kV) 等，它们之间的换算关系为：

$$1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$$

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

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

(2) 电流。带电质点在电场力的作用下有规则的运动即称为电流。表示电流强弱的物理量叫“电流强度”简称电流。电流强度在数值上等于单位时间内穿过导体截面的电量的代数和。并规定正电荷运动的方向为电流的实际方向。

在国际单位制中，电流强度的单位是安培，简称“安”，用符号 A 表示。常用的单位还有千安 (kA)、毫安 (mA)、微安 (μA) 等。它们之间的换算关系是：

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

$$1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$$

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

(3) 电阻。在导体或半导体中“自由电子”的定向移动将遇到一定的阻力称为电阻。

电阻的单位是“欧姆”，简称欧，用符号 Ω 表示。常用的单位还有千欧 ($\text{k}\Omega$) 和兆欧 ($\text{M}\Omega$)。它们之间的换算关系为：

$$1\text{M}\Omega = 10^6\Omega$$

$$1\text{k}\Omega = 10^3\Omega$$

金属导体电阻 R 的大小与导体的长度 l 成正比，与导体截面积 S 成反比，即

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

式中 ρ ——导体电阻率， $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ，在数值上等于长度为 1m ，截面为 1mm^2 导体的电阻值。

l ——导线的长度， m ；

S ——导体截面积， mm^2 。

例：已知铜导线的电阻率 $\rho = 0.0172\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ，如果截面为 5mm^2 长为 10m 的铜导线，求其电阻 R 是多少？

解: $R = \rho \frac{l}{S} = 0.0172 \times \frac{10}{5} = 0.0344(\Omega)$

一般导体材料的电阻都随温度的升高而增加, 随温度的降低而减少。在 0°C 至 100°C 的范围内, 金属导体的电阻的相对增量 ΔR , 与温度的增量 $\Delta t = t_2 - t_1$ 成正比, 即

$$\frac{\Delta R}{R_1} = \alpha \Delta t \quad \text{或} \quad \frac{R_2 - R_1}{R_1} = \alpha(t_2 - t_1)$$

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

式中 R_2 ——与温度 t_2 对应的电阻;

R_1 ——与温度 t_1 对应的电阻;

α ——电阻的温度系数, 它的数值等于温度升高 1°C 时, 导体电阻的相对增量。

例: 试求截面为 95mm^2 , 长度 $l=120\text{km}$ 铜质电线, 在温度 0°C 及 20°C 时的电阻。

解: 铜导体电阻的温度系数 $\alpha=0.004$; 20°C 时铜导体电阻率为 $\rho=0.0175\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, 温度为 20°C 时导体电阻为

$$R_1 = \rho \frac{l}{S} = 0.0175 \times \frac{120000}{95} = 21.7(\Omega)$$

在 0°C 时导线的电阻 R_2 为:

$$\begin{aligned} R_2 &= R_1 + R_1 \alpha(t_2 - t_1) \\ &= 21.7 + 21.7 \times 0.004 \times (-20) \\ &= 20(\Omega) \end{aligned}$$

电阻元件两端的电压(U)与通过电阻元件的电流(I)同电阻(R)三者关系可用欧姆定律表示, 即

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

式中 I ——电流, A ;

U ——电压, V ;

R ——电阻, Ω 。

二、基尔霍夫定律

1. 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律：对于电路中的任一节点，流入节点的电流之和必等于流出节点的电流之和。即流入（流出）电路任一节点各电流的代数和等于零。

$$\Sigma I = 0$$

例：如图1-1所示，已知 $I_1=1\text{A}$ ， $I_2=2\text{A}$ ， $I_3=1\text{A}$ 试求电源输出的总电流 I 。

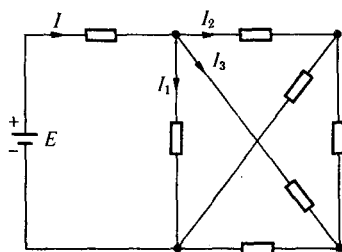


图1-1 节点法计算电路

根据基尔霍夫电流定律可列出电流方程式

$$I - I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$= 1 + 2 + 1$$

$$= 4(\text{A})$$

2. 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律也叫基尔霍夫第二定律，它确定了电路任一回路中各部分电压之间的相互关系。

基尔霍夫电压定律：对任一回路，沿任一方向绕行一周，各电源电势的代数和等于各电阻电压降的代数和。

即 $\Sigma E = \Sigma IR$ 或 $\Sigma E = \Sigma U$

3. 电阻的串联与并联

(1) 电阻的串联。在电路中将电阻依次首尾相联，使各电阻通过同一电流，这种联接方式叫做电阻的串联，图1-2 (a) 为3个电阻的串联电路。

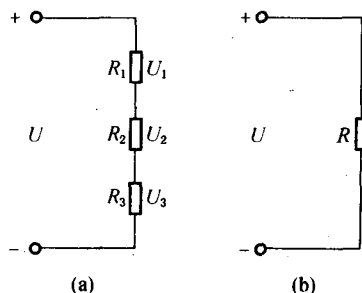


图1-2 3个电阻串联电路

(a) 串联电路；(b) 等效电路

串联电路的总电压等于各电阻上电压降之和。由欧姆定律可知：

$$U = IR_1 + IR_2 + IR_3 = I(R_1 + R_2 + R_3) = IR$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

R 为串联电路的总电阻，这样就可以将3个电阻的串联电路用图1-2 (b) 的等效电路来表示。

(2) 电阻的并联。电阻的头、尾分别连在一起，即电阻都接在两个节点之间，各电阻承受同一电压，这种联接方式叫做电阻的并联。图1-3即为3个电阻的并联电路。

并联电路的总电流为各电阻支路电流之和。由基尔霍夫电流定律可知：

$$\begin{aligned} I &= I_1 + I_2 + I_3 \\ &= \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} \end{aligned}$$

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

即
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

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

图 1-3 中 $R_1 = R_2 = R_3 = 33 \text{ (k}\Omega\text{)}$

$$\begin{aligned} R &= 1 / \left(\frac{1}{33} + \frac{1}{33} + \frac{1}{33} \right) \\ &= 11 \text{ (k}\Omega\text{)} \end{aligned}$$

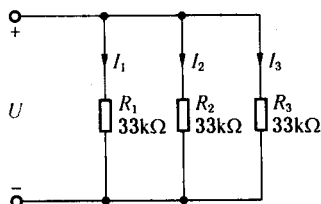


图 1-3 3 个电阻并联电路

例：如图 1-4 所示，电路总电压为 220V，已知各电阻值，试求各电阻的电流和电压。

解： R_1 和 R_2 并联等效电阻

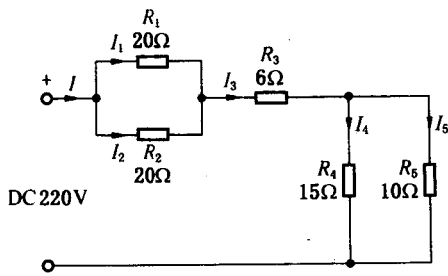


图 1-4 复联电阻电路

$$R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{20 \times 20}{20 + 20} = 10(\Omega)$$

R_4 与 R_5 并联等效电阻

$$R_{45} = \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5} = \frac{15 \times 10}{15 + 10} = 6(\Omega)$$

混联电路的等效电阻

$$R = R_{12} + R_3 + R_{45} = 10 + 6 + 6 = 22(\Omega)$$

电路的总电流

$$I = I_3 = \frac{220}{22} = 10(\text{A})$$

R_1 、 R_2 两端电压为

$$U_{12} = IR_{12} = 10 \times 10 = 100(\text{V})$$

R_3 的电压为

$$U_3 = IR_3 = 10 \times 6 = 60(\text{V})$$

R_4 、 R_5 两端电压为

$$U_{45} = IR_{45} = 10 \times 6 = 60(\text{V})$$

由于 $R_1 = R_2$ 所以 $I_1 = I_2 = \frac{100}{20} = 5(\text{A})$

R_4 、 R_5 的电流分别为

$$I_4 = \frac{60}{15} = 4(\text{A})$$

$$I_5 = \frac{60}{10} = 6(\text{A})$$

三、电路的功率与电能

1. 电功率

电功率就是单位时间内电场力所做的功。电路中 R 为一个电阻，它两端的电压是 U ，通过的电流为 I ，单位时间内电场力在电阻上做的功应为电压与电流的乘积，即

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} = U^2 G$$

式中 P ——电功率，W；

G ——电导, $\frac{1}{\Omega}$ 。

电功率换算关系为

$$1\text{kW} = 10^3\text{W}$$

$$1\text{MW} = 10^3\text{kW} = 10^6\text{W}$$

$$1\text{mW} = 10^{-3}\text{W}$$

例：一只220V, 100W的灯泡, 当接到电压为220V的电源上时, 通过灯泡的电流为多大? 灯泡的电阻是多少?

$$I = \frac{P}{U} = \frac{100}{220} = 0.455(\text{A})$$

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.455} = 484(\Omega)$$

2. 电能

电能就是用来表示电场在一段时间内所做的功, 即:

$$W = Pt$$

式中 P ——电功率, W;

t ——时间, s;

W ——电能, J。

$$W = Pt = UIt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t$$

在电力工程中, 焦耳(J)作为电能的单位太小, 常用千瓦小时(kW·h)或1度电来计量。

$$\begin{aligned} 1\text{kW} \cdot \text{h} &= 1\text{kW} \times 1\text{h} \\ &= 1000\text{W} \times 3600\text{S} \\ &= 3600000\text{J} \\ &= 3.6\text{MJ} \end{aligned}$$

例：25W电灯2盏, 50W电视机1台, 平均每天使用3h, 每月按30天计算, 如每度电按0.25元计算, 求每月电费是多少?

解：每月耗电

$$W = Pt = (25 \times 2 + 50) \times 3 \times 30 / 1000 = 9(\text{kW} \cdot \text{h})$$

每月电费

$$9 \times 0.25 = 2.25 \text{元}$$

3. 焦耳—楞次定律

当电流通过电阻时，电阻将吸收的电能全部转换成热能，而以热的形式表现出来，这种现象叫电流的热效应。电流 I 流过电阻 R 时，在 t 秒内产生的热量

$$Q_R = 0.24 I^2 R t$$

式中 Q_R ——热量，cal。

第二节 单相交流电路

一、正弦交流电的产生

交流电是指大小和方向都随时间作周期性变化的电动势（电压和电流）。也就是说，交流电是交变电动势、交变电压和交变电流的总称。交流电可分为正弦交流电和非正弦交流电两大类。

正弦电动势通常是由交流发电机产生，图1-5 (a) 和 (b) 所示是交流发电机的示意图。在静止不动的磁极间装有能转动的圆柱形铁芯，铁芯上紧绕着线圈 $aa'bb'$ 。线圈的两端分别连接着两个彼此绝缘的铜环 C ，铜环又通过电刷 A 、 B 与外电路相连接。当线圈在磁场中沿逆时针方向旋转时，线圈中就产生感应电动势。为

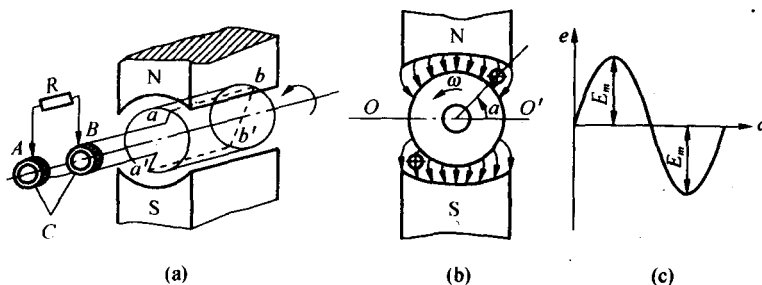


图1-5 正弦交流发电机示意图及正弦交流电动势波形

(a)、(b) 发电机示意图；(c) 交流电动势波形图

获得正弦交流电，磁极被设计成特殊形状，如图1-5 (b) 所示。在磁极中心处磁感应强度最强，在中心两侧磁感应强度按正弦规律逐渐减小，在磁极分界面 OO' 处磁感应强度为零(磁感应强度为零的面称为中性面)。这样，不仅铁芯表面的磁感应强度按正弦规律分布，而且磁感应强度的方向总是处处与铁芯表面垂直。若磁极中心处的磁感应强度为 B_m ，线圈平面与中性面的夹角为 α ，则铁芯表面的磁感应强度可表示为

$$B = B_m \sin \alpha$$

设单匝线圈垂直 B 的导线总长度为 l (图中指 $l = lab + la'b'$)，导线的切割速度为 v ，且起始时线圈平面与中性面重合，则线圈中的感应电动势为

$$e = Bvl = B_mvlsin\alpha$$

若切割磁力线的线圈有 N 匝，则线圈中的感应电动势为

$$e = NB_mvlsin\alpha = E_m sin\alpha$$

式中 $E_m = NB_mv l$ 。由上式看出，线圈中的感应电动势是按正弦规律变化的交流电，如图1-5 (c) 所示。

二、交流电的基本参数

1. 瞬时值

正弦交流电随时间按正弦规律变化，我们把任意时刻正弦交流电的数值称为瞬时值。交流电动势、电压和电流的瞬时值分别用字母 e 、 u 和 i 表示。瞬时值可能为正、为负，也可能为零。

2. 最大值

最大的瞬时值称为最大值(或峰值、振幅)。正弦交流电动势、电压和电流的最大值分别用字母 E_m 、 U_m 和 I_m 表示。最大值虽然有正有负，但习惯上都以绝对值表示。

3. 周期、频率和角频率

(1) 周期。交流电每重复一次所需的时间称为周期，用字母 T 表示，单位是秒(s)，比秒小的常用单位有毫秒(ms)、微秒(μs)、毫微秒(ns)。