

全国煤矿安全培训统编教材

井下电工

国家煤矿安全监察局人事培训司 组织编写

quanguo meikuang anquan peixun tongbian jiaocai

quanguo meikuang anquan peixun tongbian jiaocai

B 类

quanguo meikuang anquan peixun tongbian jiaocai

quanguo meikuang anquan jianchajiao renshi peixunsi zuzhi bianxie

quanguo meikuang anquan peixun tongbian jiaocai

中国矿业大学出版社

全国煤矿安全培训统编教材

井 下 电 工

(B 类)

国家煤矿安全监察局人事培训司 组织编写

编写 刘长岭

审定 兰西柱 李 谨 孙树朴

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书主要介绍了电工基础知识、矿井供电系统、矿用电缆、井下电气保护、矿用电气设备、煤矿井下电气防爆安全技术等有关知识。

本书可作为煤炭企业或煤矿安全监察人员,采煤、掘进、通风、机电、运输区(队)、班(组)长,采煤机司机、井下电钳工、输送机司机、电机车司机等有关特种作业人员进行安全上岗培训的统编教材,也可作为基层管理干部、有关工程技术人员及煤炭院校师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

井下电工/刘长岭编.—徐州:中国矿业大学出版社,
2002.7

全国煤矿安全培训统编教材

ISBN 7-81070-508-3

I.井… II.刘… III.矿井—矿山电工—技术培训—教材 IV.TD611

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第050021号

书 名 井下电工

编 写 刘长岭

责任编辑 白海新

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

印 刷 北京科技印刷厂

经 销 新华书店

开 本 850×1168 1/32 印张 4 插页 1 字数 99千字

版次印次 2002年7月第1版 2002年7月第1次印刷

印 数 5000册

定 价 7.00元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

全国煤矿安全培训统编教材编审委员会

总顾问	路德信			
主 任	黄玉治			
副主任	周心权	闫永顺		
委 员	王树鹤	付建华	梁嘉琨	石少华
	李文俊	安里千	段 刚	陈国新
	蔡 卫	徐景德	王金石	王素锋
	瓮立平			

1997/3/9

出版说明

搞好煤矿安全生产是保护国家财产和人民群众生命安全的一件大事，它关系到国民经济的发展和社会的稳定。随着我国社会主义市场经济体制的发展，煤炭工业面临着良好的发展机遇，煤炭企业正在向高产、低耗、安全和集约化生产方向发展。但是，煤炭企业安全生产形势仍较为严峻：一方面，煤矿开采水平正在不断加深，生产条件更加复杂化；另一方面，一些煤炭企业仍然存在着盲目追求最大经济效益、不重视安全生产的行为。因此，依法加强对煤矿企业安全生产的监察，通过培训全面提高煤矿企业从业人员的安全素质，是非常必要的。

为了适应我国煤炭工业管理体制改革的需要，国务院于1999年成立了国家煤矿安全监察局，建立了新的煤矿安全监察管理体制。国务院批准的《煤矿安全监察管理体制改革的实施方案》中，赋予国家煤矿安全监察局“组织、指导煤炭企业安全生产技术培训工作，负责煤炭企业主要经营管理者安全资格认证工作”的职能。2000年经国务院批准，又成立了国家安全生产监督管理局，国家煤矿安全监察局与其合署办公。国务院批准的《国家安全生产监督管理局（国家煤矿安全监察局）职能配置、内设机构和人员编制规定》中，赋予国家安全生产监督管理局（国家煤矿安全监察局）“组织、指导本系统安全生产监察人员、煤矿安全监察人员的培训、考核和全国企业安全生产技术培训工作；依法组织、指导并监督特种作业人员的考核工作和企业经营管理者安全资格考核工作”的职能。

为了履行好国务院赋予我们的有关安全培训方面的职能，规范煤矿安全生产技术培训工作，保证培训质量，在总结安全培训工作

经验，借鉴国外发达国家矿山安全培训课程体系的基础上，国家煤矿安全监察局人事培训司组织有关高校、安全技术培训中心和煤炭企业等单位的教授、专家和安全工程技术人员编写了这套模块式“全国煤矿安全培训统编教材”。这套教材不仅反映了传统的煤矿安全生产技术知识，也引进了成熟的煤矿安全生产新知识、新技术，并且针对培训对象的工作类别、专业和文化程度的不同，就其撰写文体、内容深度和广度的差异分为 A、B 两类。A 类教材内容较深，强调内容的科学性、新颖性和实用性，主要适用于国家煤矿安全监察人员、从事煤矿安全培训的教师、煤炭企业主要经营管理者及安全专职管理人员、区（队）长等；B 类教材内容较浅，强调内容的实用性，主要适用于班（组）长、各种作业人员（含特种作业人员）、企业安全检查员等。模块式教材避免了不同工种系列的同一课程教材内容的重复，便于选择较合适的作者重点撰写，内容覆盖面广，融科学性、实用性、系统性于一体，是对各类煤矿安全人员进行安全资格培训（复训）和考核的统编教材，也是各类煤矿安全人员上岗后不断巩固、提高安全生产知识的工具书，同时，也可供有关管理人员、工程技术人员及大专院校的师生参考。

本套教材在编审过程中，得到了中国矿业大学（北京校区）、华北科技学院、焦作工学院、黑龙江科技学院，有关省级煤矿安全监察局、煤矿安全技术培训中心、煤炭企业等单位的大力支持。在此，谨向上述单位表示谢意。

本书由刘长岭编写，由兰西柱、李谨、孙树朴审定。

国家煤矿安全监察局人事培训司

2002 年 2 月

目 录

第一章 电工基础知识	(1)
第一节 电路的基本概念与物理量	(1)
第二节 电阻的串、并联电路	(5)
第三节 交流电路	(8)
第四节 常用仪表	(15)
思考题	(23)
第二章 矿井供电系统	(24)
第一节 负荷的分级	(24)
第二节 井下供电环境的特点及供电要求	(25)
第三节 矿井供电系统	(29)
思考题	(38)
第三章 矿用电缆	(39)
第一节 矿用电缆的型号和用途	(39)
第二节 矿用电缆的选择	(45)
第三节 电缆的连接、敷设、维护和检查	(50)
第四节 电缆故障的原因及判定	(55)
思考题	(59)
第四章 井下电气保护	(60)
第一节 概述	(60)
第二节 低压电网的电流保护和电压保护	(62)
第三节 采区低压电网的漏电保护	(73)
第四节 井下电网的保护接地	(80)
第五节 JDB 电动机综合保护器	(86)
思考题	(88)

第五章 矿用电气设备	(89)
第一节 概述	(89)
第二节 高压开关	(91)
第三节 低压馈电开关	(95)
第四节 变压器	(98)
第五节 照明信号及煤电钻综合保护装置	(100)
思考题	(107)
第六章 煤矿井下电气防爆安全技术	(108)
第一节 煤矿井下电气防爆安全技术通用要求	(108)
第二节 隔爆型电气设备	(112)
第三节 增安型电气设备	(113)
第四节 本质安全型电气设备	(115)
第五节 防爆电气设备的失爆	(116)
思考题	(117)
参考文献	(118)

第一章 电工基础知识

第一节 电路的基本概念与物理量

一、电路的基本概念

电路是电流流经的通路，是由某些电工设备或元件按一定的方式连接起来的。电路用于实现电能的传输和转换，其中包括电源、负载和中间环节三个组成部分。

电源，如发电设备把热能、水的动能、核能或风能转换为电能输出，常见的有电池等；负载，是指将电能转换为光能、机械能、热能的电器设备，如灯泡、电动机、电热器等；变压器、输电线路和开关设备是中间环节，用于连接电源和负载，起传输变压和配电的作用。

二、电路的基本物理量与欧姆定律

1. 电流

金属导体内一般都有处于不规则运动状态自由电子，在电场力的作用下，这些自由电子除作不规则的运动外，还要作定向运动。有一定的电量通过导体的横截面，导体内便存在电流。当电荷只作不规则的运动时，通过导体任一截面的电量平均为零，对外没有电流。电荷有规则的定向运动称为电流。

电流强度是计量电流的物理量，用符号 I 表示。其定义是1秒钟内通过导体横截面的电荷量。若时间为 t 秒，通过导体横截面的电量为 Q 库仑，则

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

在稳定状态下, 如果电流强度和方向不随时间而变化, 则这种电流称为直流电流; 而电流强度和方向随时间变化的电流, 称作交流电流。

习惯上规定电流的正方向是正电荷移动的方向, 其恰好与电子流的方向相反, 如图 1—1 所示。

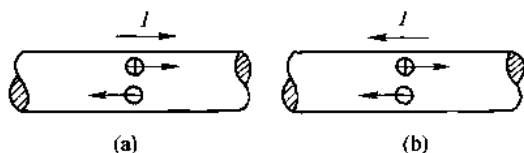


图 1—1 电流的正方向
a—电流为正值; b—电流为负值

电流强度的单位为安培, 简称安, 用符号 A 表示。1 A 等于 1 秒钟内通过导体横截面 1 库仑的电荷量。电流强度常用的单位还有 kA (千安), mA (毫安) 和 μA (微安), 它们之间的关系是:

$$1 \text{ kA (千安)} = 1\,000 \text{ A (安)}$$

$$1 \text{ A (安)} = 1\,000 \text{ mA (毫安)}$$

$$1 \text{ mA (毫安)} = 1\,000 \mu\text{A (微安)}$$

2. 电位与电压

在图 1—2 中, a 和 b 是两个电极, a 带正电, b 带负电, 因此在两极之间产生电场 E_{ba} , 其方向由 a 指向 b。如果用导体将两极连接起来, 则在电场力作用下, 正电荷从电极 a 经导线流向电极 b, 这是电场力做功使电荷移动。正电荷在电场力的作用下, 从高电位移向低电位, 如此进行, 电极 a 的电位会逐渐降低, 电极 b 的电位会逐渐升高, 最终连接导体中的电流减小为零。

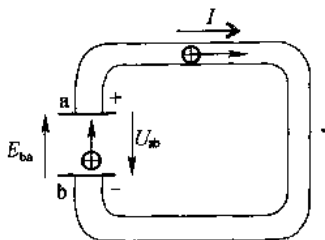


图 1—2 电荷的回路

为了使电流在导体中的流动保持恒定值,就必须使电场力维持一个定值。若正电荷由电极 b 通过另一路径流向电极 a,则需要克服电场力而做功,所做的功就变成了正电荷在 a 点所具有的电位能。b 点的正电荷较 a 点的正电荷所具有的电位能低。因此,电场中某点的电位就是单位正电荷在该点所具有的电位能,即将单位正电荷从电场外移到该点时,克服电场力而做的功。电位的符号用 U 表示,并在符号的右下角注明是哪一点的电位,如 U_a 、 U_b 。

电场中任意两点之间的电位差,称为电压。电压也用符号 U 表示,并在符号的右下角注明是哪两点之间的电压。例如,图 1—2 中, a、b 两点之间的电压为

$$U_{ab} = U_a - U_b$$

在通用的国际单位制中,电压的单位是伏特,简称伏,用符号 V 表示。常用的单位还有 kV、mV。其关系如下:

$$1 \text{ kV} = 1\,000 \text{ V}$$

$$1 \text{ V} = 1\,000 \text{ mV}$$

3. 导体、绝缘体和半导体

根据物质导电能力的不同,可将物质分为导体、绝缘体和半导体。

1) 导体

电荷容易流过的物体称为导体。例如,金属、大地和各种水溶液,这是因为其内部有大量可以自由移动的电子或离子,表现出良好的导电性能。

虽然导体具有良好的导电性,但是导体对导体中的电流也表现出一定的阻力。这是因为导体中的自由电子或离子在导体内运动时,会与其他电子、离子、原子和分子发生碰撞。导体对电流的阻力称为导体的电阻,用符号 R 表示。电阻的单位为欧姆,用符号 Ω 表示,在实际应用中常用到的单位有 $\text{k}\Omega$ 和 $\text{M}\Omega$,它们之间的关系为

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

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

实验证明, 导体的电阻决定于导体材料的物理性质、几何尺寸和导体的温度等因素。对于一根材料均匀、截面为 S 、长度为 L 的导线, 其电阻可用下式表示:

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

式中 ρ 称为电阻率, 其取决于材料的性质。当电阻的单位为欧、截面的单位为 mm^2 、长度单位为 m 时, 则电阻率的单位为 $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ 。因此, 电阻率就是在温度为 20°C 时, 长度为 1 m 、截面为 1 mm^2 的导体所具有的电阻值。电阻率越小, 导电性能越好。常用的金属导体材料的电阻率见表 1—1。

表 1—1 常用金属导电材料的电阻率 (20°C)

材料名称	电阻率 $/\Omega \cdot (\text{mm})^2 \cdot \text{m}^{-1}$	材料名称	电阻率 $/\Omega \cdot (\text{mm})^2 \cdot \text{m}^{-1}$
银	0.016 9	钨	0.055
铜	0.017 2	铁	0.097 5
铝	0.028 3	铅	0.222

【例 1—1】 井下巷道电机车铜架线长 $1\,000 \text{ m}$, 导线的截面积为 100 mm^2 , 导线的电阻率 $\rho = 0.017\,2 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, 求这根架线的电阻值。

解: 已知 $L = 1\,000 \text{ m}$, $S = 100 \text{ mm}^2$, $\rho = 0.017\,2 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, 则

$$R = \rho \frac{L}{S} = 0.017\,2 \times \frac{1\,000}{100} = 0.172 \Omega$$

2) 绝缘体

除导体之外, 电荷难以流过的物体叫做绝缘体, 例如, 橡胶、塑料、云母、陶瓷、干木材等。完全不导电的物体是没有的, 只是在正常情况下有相当大的电阻, 只能形成极小的电流。

但当施加电压很高时, 就会造成绝缘击穿, 通过很大电流, 以致烧坏绝缘。所施电压叫做击穿电压, 正常的绝缘一旦受到损伤、过热、受潮或加压超过规定, 都能使绝缘性能急剧下降。因此, 对电气设备的绝缘材料必须按要求进行选择、运行和维护。

3) 半导体

导电性能介于导体与绝缘体之间的物质, 称为半导体。常见的半导体有锗、硅、硒和半导体橡胶等。

4. 部分电路的欧姆定律

在部分电路的电阻段, 流过电阻的电流和电阻两端的电压值成正比, 跟电阻值成反比。这种由实验发现的电压、电流和电阻的关系叫做欧姆定律, 用公式表示为

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

式中 I ——电流, A;

U ——电压, V;

R ——电阻, Ω 。

欧姆定律是分析和计算部分电路的最基本定律, 已知上式中的两个物理量, 便可求出第三个量, 如 $U = IR$ 或 $R = U/I$ 。

〔例 1—2〕 一根电线, 电阻值为 0.3Ω , 流过 20 A 电流, 求电线两端的电压 (也叫做电压降)。

解: 根据部分电路欧姆定律, 有

$$U = IR = 20 \times 0.3 = 6 \text{ V}$$

第二节 电阻的串、并联电路

在电路中, 电阻的连接形式有串联、并联、混联三种, 其中最简单和最常用的是串联与并联。

一、电阻的串联

在电路中有两个或多个电阻顺序地首尾相连, 并且在这些电阻中通过同一电流, 这样的连接法称为电阻的串联。图 1—3

(a) 所示为两个电阻串联的电路。

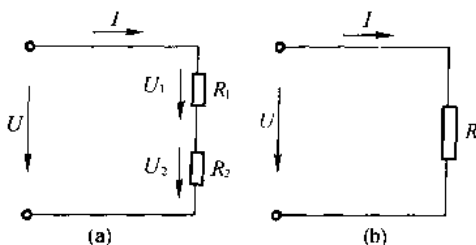


图 1—3 电阻的串联

a—电阻的串联；b—等效电阻

电路中的串联电阻可用一个等效电阻来代替，图 1—3 (b) 中的 R 是 R_1 与 R_2 的等效电阻。等效表示在同一电压的作用下电流相同。等效电阻即串联电路中的总电阻等于各分电阻之和，即

$$R = R_1 + R_2$$

串联电路中的电阻具有分压作用，两个电阻串联时每个电阻上的电压分别为

$$U_1 = IR_1 = \frac{UR_1}{R_1 + R_2}$$

$$U_2 = IR_2 = \frac{UR_2}{R_1 + R_2}$$

串联电路中，各电阻上的电压与总电压之间的分配关系为

$$U = U_1 + U_2$$

由上述内容可见，电阻串联电路的特点有：

- (1) 电路中各串联电阻的电流相同。
- (2) 各串联电阻上电压的分配与电阻的大小成正比。
- (3) 总电压等于各串联电阻上电压之和。

(4) 串联电阻可用一个等效电阻来代替，即总电阻，其值为各分电阻之和。

二、电阻的并联

电路中有两个或多个电阻联接在两个公共的节点之间，这样的连接方法称为电阻的并联，如图 1—4 所示。在日常生产生活中，用电设备很多，而电源往往只有一个，多数情况下把用电电压相同的用电设备并联使用。图 1—4 (a) 所示为两个电阻并联的电路。 R_1 、 R_2 接在了节点 c 与 d 之间，其等效电阻 R 如图 1—4 (b) 所示。该等效电阻的倒数等于各个并联支路电阻的倒数之和，即

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

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

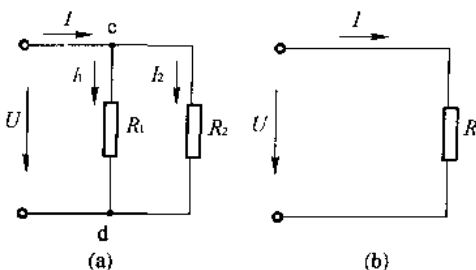


图 1—4 电阻的并联

a—电阻的并联；b—等效电阻

两个并联电阻中的电流按分流关系分配，阻值小的电流大，阻值大的电流小，即

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{IR}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{IR}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

由上述内容可见，电阻并联电路的特点有：

(1) 并联各电阻两端电压都等于线路电压或电源电压，即

$$U = U_1 = U_2$$

(2) 电路中的总电流等于各并联电阻中电流之和, 即

$$I = I_1 + I_2$$

(3) 并联电阻的总电阻的倒数等于各个并联支路电阻的倒数之和。并联的电阻越多, 总电阻越小。

第三节 交流电路

一、交流电

在日常生活和工业生产中, 所使用的电大多数都是交流电。直流电电流 (或电压、电动势) 的大小和方向都不随时间变化。如果电流 (或电压、电动势) 的大小和方向都随时间变化, 就叫做交流电。

交流电又可分为正弦交流电和非正弦交流电两类。正弦交流电的电流 (或电压、电动势) 随时间按正弦规律变化, 如图 1—5 所示。非正弦交流电的电流 (或电压、电动势) 随着时间不按正弦规律变化。

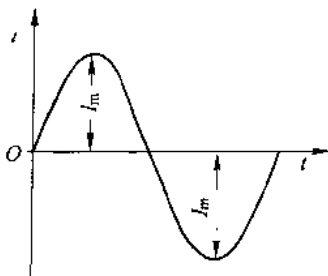


图 1—5 正弦交流电流波形图

本节只讨论正弦交流电。因为实际的发电机所产生的电动势和电压基本上都是按正弦规律变化的。

二、正弦交流电的几个基本物理量

在讨论交流电路以前, 应了解正弦交流电的几个基本物理量。正弦交流电的变化规律可用数学公式表示为

$$i = I_m \sin (\omega t + \varphi_i)$$

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

$$u = U_m \sin (\omega t + \varphi_u)$$

上述数学表达式还可用正弦曲线来表示, 如图 1—6 所示为

正弦交流电动势的波形图。

1. 瞬时值和最大值

由于正弦交流电的电流（或电压、电动势）是随时间按正弦规律不断变化的，所以每一时刻的值都是不同的，把每一时刻的值叫做交流电的瞬时值。正弦电流、电压及电动势的瞬时值分别用 i 、 u 和 e 表示。瞬时值中的最大值，叫做交流电的最大值（或峰值、振幅）用 I_m 、 U_m 及 E_m 表示。

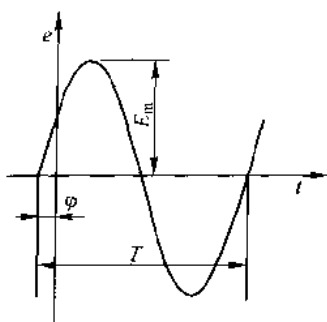


图 1—6 正弦电动势波形图

2. 频率、角频率和周期

频率是指在 1 秒钟内交流电变化的次数，用 f 表示。其单位为赫兹（简称赫），用 Hz 表示。常用的单位还有千赫（kHz）、兆赫（MHz）。

$$1 \text{ kHz} = 10^3 \text{ Hz}$$

$$1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$$

正弦交流电表达式中的 ω 表示正弦交流电变化的快慢，称为角频率。因正弦交流电完成一次循环而相应的角度变化为 2π 弧度，如每秒完成 f 次循环，则相应的角度变化为 $2\pi f$ 弧度。即

$$\omega = 2\pi f$$

周期是指交流电变化一次所需要的时间，用 T 表示。单位是秒，用 s 表示。周期与频率是互为倒数的，即

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

目前，我国的供电系统采用的交流电的频率为 50 Hz，周期为 0.02 s。

3. 相位和相位差

在正弦交流电的数学表达式中， $(\omega t + \varphi)$ 称为相位或相位