

郑俊花 编

煤矿电工 技术培训教程

MEIKUANG DIANGONG JISHU PEIXUN JIAOCHENG



化学工业出版社

郑俊花 编

煤矿电工 技术培训教程

MEIKUANG DIANGONG JISHU PEIXUN JIAOCHENG



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

煤矿电工技术培训教程/郑俊花编. —北京: 化学工业出版社, 2009.4
ISBN 978-7-122-05006-9

I. 煤… II. 郑… III. 煤矿-矿山电工-技术培训-教材 IV. TD6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 033601 号

责任编辑: 刘 哲

文字编辑: 徐卿华

责任校对: 陶燕华

装帧设计: 周 遥

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 化学工业出版社印刷厂

720mm×1000mm 1/16 印张 15 1/4 字数 314 千字 2009 年 6 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 33.00 元

版权所有 违者必究

前 言

为适应煤炭工业新形势对煤炭职业教育和职工培训工作的要求，整体提高煤矿技术人员、特殊工种人员和全员职工的素质，坚持“技术创新、突出特色、提高质量、适应发展”的指导思想，结合现行煤矿对新技术、新设备以及不同岗位工种实操能力提高的要求，编写了本书。

本书以煤矿实用电工基础理论和实际动手操作为基点，参考了有关煤矿电工职业技能鉴定规范和职业资格标准，内容按照初级、中级、高级进行编排，同时兼顾了不同层次和各级间知识的系统性和连贯性，确保其实用性，力求从现场实际出发，增加了常用设备维修和故障处理等技能操作，并尽量反映新技术和新设备。每章后附有复习题及其答案，以便于复习与自学。

本书可以作为煤矿电工培训教材使用，也可以作为中等职业技术学校相关专业教材。

在本书编写过程中，得到了同煤集团设备处、同煤集团小峪煤矿和山西省雁北煤炭工业学校领导的大力支持，潞安王庄煤矿杜向阳同志在煤矿电器的新技术以及实操动手等方面提供了大量的资料和建议，在此表示诚挚的谢意！

由于编者水平有限，书中难免会出现不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

目 录

上篇 初级电工

第一章 电工基础	1
第一节 电路的基本知识和基本定律	1
一、电路及基本物理量	1
二、欧姆定律	2
三、电阻的串并联	3
四、基尔霍夫定律	4
五、电功和电功率	5
第二节 电磁的基本知识	5
一、磁场基本概念	5
二、磁场的产生	7
第三节 单相交流电路	9
一、正弦交流电路的基本概念	9
二、纯电阻电路	14
三、纯电感电路	15
四、电阻、电感电路	17
第四节 三相交流电路	18
一、三相正弦交流电压的产生及表示	18
二、三相电源绕组的连接	20
三、三相负载的连接	22
四、三相电路的功率	23
复习题	24
第二章 常用电工测量仪表	25
第一节 电工仪表基本知识	25
一、电工仪表的分类	25
二、电工仪表的准确度	25
第二节 万用表	26
一、万用表的基本功能	26
二、万用表的基本原理	27

三、万用表的使用	28
四、数字万用表	29
第三节 电流表和电压表	30
一、电流表的使用方法及其注意事项	30
二、电压表的使用方法及其注意事项	32
三、兆欧表的使用方法及其注意事项	32
复习题	33
第三章 供电技术	35
第一节 供电安全技术	35
一、触电急救及预防	35
二、井下低压电网的漏电保护	36
三、接地与接零	37
四、接地电阻的最大允许值	37
第二节 供电系统	38
一、电网概述	38
二、矿山供电系统	40
第三节 井下低压供电设备	41
一、电气防爆知识	41
二、矿用隔爆馈电开关的使用与检修	42
三、矿用防爆磁力启动器的使用及检修	43
第四节 矿用电缆	46
一、电缆的结构	47
二、电缆的敷设与连接	49
复习题	50
第四章 电力拖动技术	51
第一节 变压器	51
一、变压器的结构及铭牌	51
二、变压器的用途及分类	52
三、互感器	53
四、电焊变压器	54
五、矿用变压器	54
六、变压器的安装与检修	55
第二节 电动机	57
一、直流电动机	57
二、三相异步电动机	60
三、同步电动机	63
四、电动机的拆装与检修	65

第三节 常用低压控制电器	67
一、刀开关	67
二、低压断路器	68
三、接触器	69
四、继电器	70
五、主令电器	71
复习题	73

中篇 中级电工

第五章 电工基础	74
第一节 电磁关系	74
一、磁场对通电导体的作用力	74
二、电磁感应	76
第二节 电容	81
一、电容器及电容量	81
二、电容器的连接	82
三、纯电容电路	83
第三节 单相交流电路	85
一、RLC 串联电路的分析计算	85
二、RLC 并联电路的分析计算	88
三、功率因数	89
第四节 三相交流电路	91
一、三相对称电路的分析与计算	91
二、三相不对称电路的分析与计算	94
三、中线的作用	95
复习题	95
第六章 电子技术基础	97
第一节 常用半导体二极管和三极管	97
一、二极管	97
二、稳压管	99
三、三极管	100
四、场效应管	103
第二节 基本放大电路	104
一、晶体管共发射极放大电路	104
二、射极输出器	106
三、放大电路中的负反馈	107
第三节 直流稳压电源	108

一、整流电路	109
二、滤波电路	111
三、稳压电路	113
复习题	116
第七章 供电技术	117
第一节 继电保护	117
一、继电保护的任务和基本要求	117
二、常用保护继电器	118
三、电网的过流保护和漏电保护	120
第二节 过电压保护	123
一、过电压	123
二、避雷针	124
三、避雷线	124
四、避雷器	125
第三节 矿用电缆	126
一、矿用电线的选用原则	126
二、矿用电线的型号	127
三、电线的绝缘电阻标准	127
第四节 电气防爆	128
一、防爆原理	128
二、矿用防爆电气设备的类型	128
第五节 高低压开关电器	129
一、电弧及开关电器的灭弧方法	129
二、高压开关	131
三、高压成套配电装置	133
四、低压开关	137
复习题	140
第八章 电力拖动技术	141
第一节 矿井提升机电力拖动概述	141
一、交流异步电动机拖动系统	141
二、交-交变频同步电力拖动系统	142
第二节 变压器	143
一、变压器的运行特性	143
二、变压器的空载试验	144
三、变压器的短路试验	145
四、变压器的连接组别	146
五、变压器的并联运行	148

第三节 电动机	148
一、电动机的控制与保护	148
二、异步电动机的使用与维护	151
三、电动机的交直流耐压试验及绝缘电阻的测定	152
四、电动机的常见故障与检修	153
第四节 可编程控制器基础	156
一、可编程控制器的功能及特点	156
二、可编程控制器的结构及组成	156
三、可编程控制器的工作原理与编程语言	157
复习题	160

下篇 高级电工

第九章 电工基础	161
第一节 电路中的电位及其计算	161
一、电位及参考点的定义	161
二、电位的计算	161
第二节 直流电路的基本分析方法	162
一、支路电流法	162
二、节点电压法	163
三、叠加原理	164
四、等效电源定理	165
五、电桥测电阻的原理	167
第三节 电磁铁	168
一、电磁铁	168
二、直流励磁的电磁铁	169
三、交流励磁的电磁铁	169
第四节 谐振	170
一、谐振定义	170
二、串联谐振	170
三、并联谐振	172
复习题	173
第十章 电子技术	175
第一节 集成运算放大器	175
一、集成运算放大器的分类及组成	175
二、集成运算放大器的型号和电路符号	176
三、集成运算放大器的主要技术指标	176
四、集成运算放大器的应用	176

第二节 晶闸管整流电路	179
一、晶闸管整流电路	179
二、变频电路	182
三、晶闸管的保护	183
第三节 集成逻辑门电路	185
一、基本门电路	185
二、复合逻辑门电路	186
第四节 集成触发器	187
一、基本 RS 触发器	187
二、主从 JK 触发器	188
三、D 触发器 (边沿触发器)	190
复习题	190
第十一章 供电技术	191
第一节 矿井高压供电系统	191
一、深井供电系统	191
二、浅井供电系统	192
三、井下中央变电所	192
第二节 采区供电系统	194
一、采区变电所	194
二、综采工作面供电与工作面配电点	196
第三节 过流保护	197
一、短路电流的计算	197
二、过流保护的整定计算	199
三、灵敏性校验	200
第四节 电缆截面的选择	200
一、选择导线截面的一般原则	200
二、高压电缆截面的选择	202
三、低压电缆截面的选择	202
复习题	202
第十二章 电力拖动技术	204
第一节 电力拖动与自动控制基础知识	204
一、电动机的运行状态	204
二、三相异步电动机的功率和效率	205
三、三相异步电动机的机械特性	206
第二节 提升机的控制	208
一、提升机的速度图	208
二、提升机主电动机的功率计算方法	210

三、主提升机供电方案.....	210
四、交流拖动提升机的电气控制系统.....	210
第三节 可编程控制器.....	216
一、FP1 的内部寄存器及 I/O 配置	216
二、基本指令.....	216
三、可编程控制器的顺序控制.....	221
四、可编程控制器使用中应注意的问题.....	222
复习题.....	223
附录 复习题答案.....	225
参考文献.....	234

上篇 初级电工

第一章 电工基础

第一节 电路的基本知识和基本定律

一、电路及基本物理量

1. 电流

电荷的定向移动形成电流。

电流的大小用电流强度来衡量，用符号 i 来表示，在数值上等于单位时间内通过导体截面的电量，即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

电流的单位是安培，简称安（A），对于很小的电流可以用毫安（mA）、微安（ μA ）或纳安（nA）作单位，它们之间的关系为

$$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A} = 10^9\text{nA}$$

习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的方向。在分析电路时可以任意选定一个电流的方向作为参考方向，当电流的实际方向和参考方向一致时，电流值为正，否则为负。

电流分为直流和交流两种。大小和方向不随时间变化的电流为恒定电流，简称直流，用 I 表示。大小和方向随时间变化的电流为交流电流，简称交流，用 i 表示。

2. 电压

在电场中，a、b 两点的电压在数值上等于电场力将单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功，即

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1-2)$$

电压又称为电位差，即

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-3)$$

电压的方向规定为从高电位端指向低电位端，即电位降的方向。

电压的单位为伏特，简称伏（V）。

3. 电动势

在电源中，电源的电动势在数值上等于外力将单位正电荷从电源负极移到正极所做的功，即

$$E = \frac{W}{Q} \quad (1-4)$$

电动势的方向规定为在电源中由低电位端指向高电位端，即电位升高的方向。

电动势的单位与电压一样。

4. 电阻

表征导体对电流阻碍作用的电路参数称为电阻，用符号 R 来表示。电阻的单位为欧姆，简称欧（ Ω ）。

在一定温度下，一段金属导体的电阻为

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-5)$$

式中 l ——导体的长度，m；

S ——导体横截面积， mm^2 ；

ρ ——导体材料的电阻率， $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

二、欧姆定律

实验表明，通过电阻 R 的电流与电阻两端的电压成正比，与电阻成反比，即

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-6)$$

应用欧姆定律时应注意以下两点。

① 式(1-6)在电压和电流为关联参考方向 [两者的参考方向相同，见图 1-1(a)] 时适用。当电压和电流为非关联参考方向 [两者的参考方向相反，见图 1-1(b)] 时，欧姆定律为

$$I = -\frac{U}{R} \quad (1-7)$$

即要加负号。

② 欧姆定律仅适用于线性电阻电路。

如果电阻阻值不随通过它的电流和其两端电压的变化而变化，这种电阻称为线性电阻，大多数金属导体属于线性电阻，由线性元件构成的电路叫线性电路；如果电阻阻值随通过它的电流和其两端的电压的变化而变化，这种电阻称为非线性电阻，如半导体、白炽灯的钨丝等，含有非线性元件的电路叫非线性电路。

三、电阻的串并联

1. 电阻的串联

几个电阻一个接一个地连接起来，中间没有分支，这种连接法称为串联。图 1-2(a) 表示两个电阻串联，可用图 1-2(b) 中的电阻 R 来等效两个串联电阻，等效后，在同一电压 U 的作用下，电路总电流和总功率不变。

串联电阻的特点如下。

- ① 通过各串联电阻的电流相等。
- ② 总电压等于各串联电阻上的电压之和，即

$$U = U_1 + U_2 \quad (1-8)$$

- ③ 等效电阻 R 等于各电阻之和，即

$$R = R_1 + R_2 \quad (1-9)$$

- ④ 串联电阻分压公式

$$U_1 = \frac{R_1}{R} U$$

$$U_2 = \frac{R_2}{R} U \quad (1-10)$$

可见，串联各电阻上的电压与相应的电阻成正比。

2. 电阻的并联

几个电阻连接在两个公共节点之间，这种连接法称为并联。图 1-3(a) 表示两个电阻并联，可用图 1-3(b) 中的电阻 R 来等效两个并联电阻，等效后，在同一电压 U 的作用下，电路总电流和总功率不变。

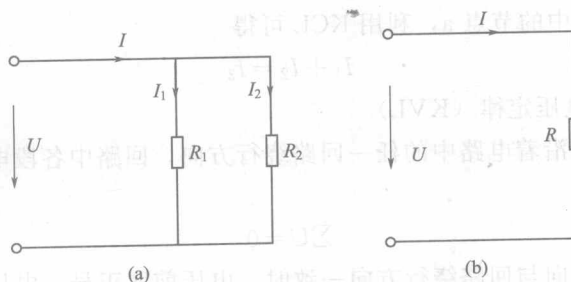


图 1-3 电阻的并联

并联电阻的特点如下。

- ① 各并联电阻两端的电压相等。
- ② 总电流等于各并联电阻中电流之和，即

$$I = I_1 + I_2 \quad (1-11)$$

③ 等效电阻 R 的倒数等于各电阻倒数之和, 即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1-12)$$

④ 并联电阻的分流公式

$$I_1 = \frac{R}{R_1} I = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

$$I_2 = \frac{R}{R_2} I = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \quad (1-13)$$

可见, 各并联电阻上的电流与相应的电阻成反比。

四、基尔霍夫定律

1. 名词术语

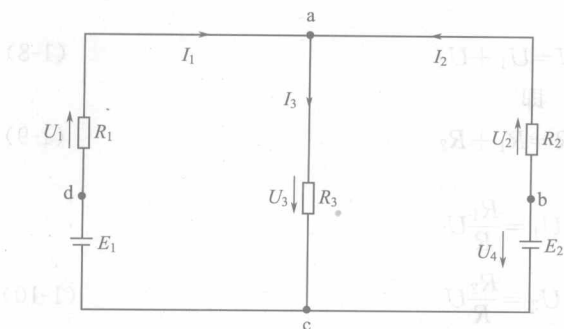


图 1-4 支路、回路和节点

支路: 二端元件或若干二端元件串联组成的不分岔的一段电路称为支路。图 1-4 有 adc 、 abc 、 ac 三条支路。支路中的元件流过同一电流。

回路: 电路中的任意一个闭合的路径称为回路。图 1-4 中有 $abca$ 、 $adca$ 和 $adcba$ 三个回路。

节点: 电路中三条或三条以上支路的汇接点称为节点。图 1-4 中有 a 、 c 两个节点。

2. 基尔霍夫电流定律 (KCL)

在任意瞬间, 流入一个节点的电流之和等于从该节点流出的电流之和, 即

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad (1-14)$$

例如, 图 1-4 中的节点 a , 利用 KCL 可得

$$I_1 + I_2 = I_3$$

3. 基尔霍夫电压定律 (KVL)

在任何时刻, 沿着电路中的任一回路绕行方向, 回路中各段电压的代数和恒等于零, 即

$$\sum U = 0 \quad (1-15)$$

其中, 电压参考方向与回路绕行方向一致时, 电压前取正号; 电压参考方向与回路绕行方向相反时, 电压前取负号。

例如, 图 1-4 中的回路 $abca$, 选取顺时针回路绕行方向, 利用 KVL 可得

$$-U_2 + U_4 - U_3 = 0$$

利用欧姆定律将电压用支路电流表示后, 上式可变为

$$-I_2 R_2 + U_4 - I_3 R_3 = 0$$

五、电功和电功率

1. 电功

电源力（或电场力）所做的功，称为电功。根据电压的定义可知，正电荷 Q 在电场力作用下，由 a 点通过 R 移到 b 点时，电场力所做的功为

$$W = UQ = UI t \quad (1-16)$$

这个功就是电阻在时间 t 内所吸收的电能，并将其全部转换为热能 W_R ，以热量的形式散发到周围。所以电阻消耗的电能

$$W_R = UI t = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t \quad (1-17)$$

电功的单位为焦耳（J）。常用的电功单位为度（ $\text{kW} \cdot \text{h}$ ）， $1 \text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$ 。

2. 电功率

单位时间内电源力（或电场力）所做的功称为电功率，用 P 表示。

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UI t}{t} = UI \quad (1-18)$$

电功率的国际单位为瓦（W），常用的电功率单位还有 kW，两者之间的换算关系为

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

第二节 电磁的基本知识

一、磁场基本概念

1. 磁场定义

能够产生磁力的空间存在着磁场。磁场是一种特殊的物质，具有力和能的特性。磁体周围存在磁场，磁体间的相互作用就是以磁场作为媒介的。

生活中处处可遇到磁场，如发电机、电动机、变压器、电话、收音机以及加速器、热核聚变装置、电磁测量仪表等无不与磁现象有关。

2. 磁力线

磁力线是用来形象地描述磁场状态的一种工具，磁力线的疏密程度表示磁场的强度，磁力线越密集，磁场越强。磁力线上某一点的切线方向表示该点的磁场强度的方向。

在磁体外部，磁力线总是从 N 极出发，进入与其最邻近的 S 极，并形成闭合回路。同电流类似，磁力线总是走磁阻最小（磁导率最大）的路径。任意两条同向磁力线之间相互排斥，因此不存在相交的磁力线。

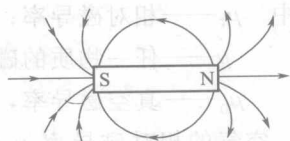


图 1-5 所示是条形磁铁周围的磁场，由图可以看出，条形磁铁周围的磁场方向总是从 N 极指向 S 极。图 1-5 条形磁铁周围的磁场

在条形磁铁内部,磁力线从S极指向N极,形成闭合回路。磁场在N极和S极附近最强,磁力线最密集。

3. 磁通量

为了定量地描述磁场在一定面积上的分布情况,引入磁通量。垂直通过某一面积上的磁力线总数,称为该面积上的磁通量,简称磁通,用字母 Φ 表示。磁通的单位为韦伯,用符号Wb表示。

4. 磁感应强度

为了定量表示磁场中各点磁场的强弱和方向,引入磁感应强度。垂直通过单位面积的磁力线的条数,称为磁感应强度,用字母 B 表示。单位为特斯拉,简称特,用符号T表示。

磁感应强度是一个矢量,它的方向即为磁场的方向。磁场中磁力线某点的切线方向就是该点磁感应强度的方向。

各点磁感应强度相等的磁场称为匀强磁场。在匀强磁场中,磁力线是等距离的平行直线。

磁感应强度与磁通量之间的关系可用下式表示:

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad (1-19)$$

式中 B ——磁感应强度, T;

Φ ——磁通, Wb;

S ——面积, m^2 。

由式(1-19)可以看出,磁感应强度等于单位面积上穿过的磁通,所以磁感应强度又称为磁通密度。

5. 磁导率

磁导率是用来表示媒介质导磁性能好坏的物理量,用字母 μ 表示,单位为亨/米,用符号H/m表示。

比如在通电螺线管内部插入铁芯后,磁感应强度增强,说明磁感应强度的大小不仅与电流大小和导体的形状有关,而且与磁场中介质的性质有关。

实验测得真空磁导率是一个常数,用 μ_0 表示, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ 。

为了便于表示各种介质磁导率的大小,引入相对磁导率。任一物质的磁导率 μ 与真空磁导率 μ_0 的比值,称为该物质的相对磁导率,用 μ_r 表示,即

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (1-20)$$

式中 μ_r ——相对磁导率;

μ ——任一物质的磁导率, H/m;

μ_0 ——真空磁导率, H/m。

空气的相对磁导率 $\mu_r \approx 1$,磁导率几乎等于1的物质还有木材、玻璃、纸、铜、银、铅等,这样的物质称为非铁磁材料。相对磁导率 $\mu_r \gg 1$ 的物质称为铁磁材