

邱利军 赵文锐 晁晓圆等编著

DIYA DIANGONG
SHANGGANG JINENG SUCHENG

低压电工 上岗技能

速成

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



低压电工上岗技能速成

邱利军 赵文锐 晁晓圆 等编著



机械工业出版社

本书以图文并茂的形式,介绍广大电工在日常工作中所用的电工基础知识、电工测量、电工常用工具及电动工具、低压照明装置、低压电器及成套装置、电动机与电动机拖动、电气线路、电力电容器的名称、种类、规格、使用方法和注意事项、接线原理等多方面的实用知识。对部分产品,还介绍了常见故障的处理方法。同时还着重介绍了临时用电、安全用电、防雷、防静电等安全知识。

本书适合广大基层电工阅读,也可供职业技术学院相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

低压电工上岗技能速成/邱利军等编著. —北京:机械工业出版社, 2013. 7

ISBN 978-7-111-42691-2

I. ①低… II. ①邱… III. ①低电压-电工技术-基本知识 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第115492号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:徐明煜 责任编辑:徐明煜 吕潇

版式设计:常天培 责任校对:申春香

封面设计:陈沛 责任印制:杨曦

北京双青印刷厂印刷

2013年7月第1版第1次印刷

148mm×210mm·8.75印张·272千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-42691-2

定价:29.90元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

本书以图文并茂的形式，介绍广大电工在日常工作中所用的电工基础知识、电工测量、电工常用工具及电动工具、低压照明装置、低压电器及成套装置、电动机与电动机拖动、电气线路、电力电容器的名称、种类、规格、使用方法和注意事项、接线原理等多方面的实用知识。对部分产品，还介绍了常见故障的处理方法。同时还着重介绍了临时用电、安全用电、防雷、防静电等安全知识。

本书可作为广大基层电工的工具书，也可作为相关技术管理人员进行工具设备选型工作的参考资料，以及职业学校师生的教学参考书。

电工在日常工作当中，除了进行电力施工、安装或维修电气设备以外，还需要自己制造或配置很多与电气设备相关的器件，对于广大农村和较小企业、事业单位的电工来讲，更为突出。所以，本书给出的一些工具或设备，不只是局限于冠以“电工”的工具。

本书主要由邱利军（北京电子科技职业学院）、赵文锐和晁晓圆编著，其中第一章由王建民、王洪权编著，第二章由赵亚君、王二菊编著，第三章由付红、温淑霞编著，第四章由王琰、曾平编著，第五章由王一龙、颜勇军、沙玉海、马冬梅编著，第六章由段梦、邱家栋编著，第七章由赵文锐编著，第八、九章由林惠莉、邱利军编著，第十章由晁晓圆编著。在此向相关工作人员表示衷心的感谢。

由于作者技术水平有限和时间仓促，书中内容可能有不妥甚至错误之处，恳请广大读者批评指正。

作者

2013年5月

目 录

前言

第一章 电工基础	1
第一节 电路的基本概念和基本定律	1
一、电路和电路模型	1
二、电流、电压及其参考方向	3
三、电功率和电能	7
四、电阻元件和欧姆定律	8
第二节 直流电阻电路的分析计算	9
一、电阻的串联和并联	9
二、电阻的混联	15
第三节 单相正弦交流电路	16
一、正弦交流电的基本概念	16
二、相位和相位差	21
三、正弦量的相量表示法	23
四、单一参数电路元件的交流电路	25
五、电阻、电感、电容串联电路	32
六、电路的串联谐振	36
第四节 三相交流电路	38
一、三相交流电源	38
二、负载的星形联结	40
三、负载的三角形联结	43
四、三相电路的功率	45
第二章 电工测量	46
第一节 常用电工仪表	46
一、电流表	46
二、电压表	48
三、钳形电流表	49
四、万用表	52

五、绝缘电阻表	58
第二节 电能表的接线及读表	65
一、分类和选择原则	65
二、低压单相交流电能表的直接接线方法	66
三、通过电流互感器与电源相接的单相低压电能表接线方法	67
四、三相三线制低压电能表直接接线方法	68
五、三相三线制低压电能表接电流互感器时的接线方法	69
六、三相四线制供电时低压电能表直接接线方法	70
七、电能表的选用	70
八、电能表的安装技术要求	70
九、电能表的读数	71
十、使用互感器注意事项	72
第三章 电工常用工具及电动工具	73
第一节 电工常用工具	73
一、通用工具	73
二、登高用具	78
三、常用防护用具	80
四、常用专用工具	80
第二节 电钻	82
一、电钻的基本结构	82
二、电钻的性能	83
三、电钻的使用方法	83
第三节 导线的连接	84
一、导线绝缘层的剖削	84
二、导线的连接	87
三、导线绝缘层的恢复	91
四、导线与接线端的连接	92
第四章 低压照明装置	97
第一节 电气照明	97
一、电气照明的方式与种类	97
二、照明光源的选择	99
三、灯具的选择照度标准	102
第二节 常用照明配电箱及照明灯具	104
一、常用照明配电方式	104

22	二、照明配电箱的安装	105
23	三、照明灯具的安装要求	106
24	四、照明灯具、开关、插座的安装	107
25	第三节 照明装置	112
26	一、照明装置的一般运行要求	112
27	二、照明装置的安全检查	113
28	三、照明装置的巡视检查周期	114
29	四、照明装置常见故障和处理	115
30	第五章 低压电器	118
31	第一节 常用低压控制电器和保护电器	118
32	一、常用低压手动开关电器	118
33	二、常用低压断路器	122
34	三、剩余电流保护装置	123
35	四、交流接触器	125
36	五、主令电器	130
37	六、低压熔断器	133
38	七、热继电器	137
39	第二节 低压成套配电装置	140
40	一、配电箱	140
41	二、低压配电装置	143
42	第六章 电动机与电动机拖动	146
43	第一节 异步电动机概述	146
44	一、电动机的分类	146
45	二、三相异步电动机的基本结构	146
46	第二节 三相异步电动机的工作原理	148
47	一、旋转磁场	148
48	二、工作原理	149
49	三、转向和转速	149
50	四、电动机的机械特性	150
51	第三节 三相异步电动机的使用	151
52	一、电动机的主要技术参数	151
53	二、电动机绕组的联结	154
54	三、电动机的起动	154
55	四、电动机的调速	161

五、电动机的制动	163
六、电动机的保护	165
第四节 三相异步电动机常用控制电路	166
一、具有自锁的正转控制电路	166
二、具有过载保护的 正转控制电路	167
三、点动与连续运行控制电路	168
四、接触器联锁的正反转控制电路	168
五、按钮联锁的正反转控制电路	169
六、按钮、接触器复合联锁的正反转控制电路	170
七、自动往返控制电路	171
八、接触器控制的手动Y- Δ 减压起动电路	172
第五节 直流电动机	173
一、直流电动机的构造	173
二、直流电动机的工作原理	176
三、直流电动机的励磁	176
第七章 电气线路	179
第一节 架空线路	179
一、架空线路的敷设	179
二、架空线路的维护	190
第二节 电缆线路	193
一、电缆线路的结构	194
二、电缆线路的敷设	197
第三节 室内配线	200
一、室内配线的基本知识	200
二、常用配线方式	201
第八章 临时用电	204
第一节 临时用电的安全要求	204
一、施工现场临时用电要求	204
二、临时架空线的安全措施	205
三、配电箱、开关箱的安全措施	206
四、现场照明的安全措施	207
五、临时用电的接地、接零及防雷保护	207
六、各类临时用电人员的要求	208
第二节 临时用电技术防护措施和管理	208

208	一、临时用电技术防护措施	208
210	二、施工现场临时用电设施的管理	210
210	三、漏电保护器的管理	210
211	第三节 手持式电动工具	211
211	一、电动工具的分类及特点	211
212	二、使用手持及移动式电动工具的安全技术要求	212
212	三、移动式电气设备使用安全要求	212
212	四、手携式和移动式电气设备的接地	212
214	第九章 电力电容器	214
214	第一节 电力电容器在电力系统中的作用	214
214	一、电力电容器的作用	214
214	二、电容补偿的原理	214
216	三、补偿的基本原则	216
216	四、电容补偿的方式	216
220	第二节 电力电容器的结构与主要参数	220
220	一、电力电容器的结构	220
220	二、电力电容器的型号	220
220	三、电力电容器的技术参数	220
221	第三节 电容器的安装运行与维护	221
221	一、电容器的放电装置	221
221	二、电容器的安装要求	221
222	三、电容器的运行规定	222
223	第十章 安全用电、防雷、防火	223
223	第一节 电流对人体的危害与触电事故	223
223	一、电流对人体的伤害	223
225	二、对人体作用电流的划分	225
226	三、影响触电伤害程度的因素	226
227	四、常见的触电方式	227
228	五、触电事故的发生规律及一般原因	228
229	六、触电急救	229
233	第二节 电力系统接地	233
233	一、接地保护	233
237	二、接零保护	237
243	三、重复接地	243

四、人工接地体的埋设要求和接地线的要求	243
五、接地装置的选择	244
六、接地装置的安装	247
第三节 防雷和防静电	251
一、雷电的种类及危害	251
二、防雷技术	252
三、防静电	254
第四节 电气火灾消防基本操作	261
一、发生电气火灾的原因	261
二、预防电气火灾的发生	262
三、电气消防常识	263
四、灭火器的使用	264
参考文献	267

第一章 电工基础

第一节 电路的基本概念和基本定律

一、电路和电路模型

1. 电路

电路是电流的流通过径，它是由一些电气设备和元器件按一定方式连接而成的。这里给电路下一个定义，电路（electric circuit）是各种电路元件和设备按一定方式连接起来为人们生产、生活完成某种功能的整体，或通俗地说，是提供电流流通过径的“路”。任何实际电路必须包含电源（electric source）、负载（load）和中间环节，如图 1-1 所示。

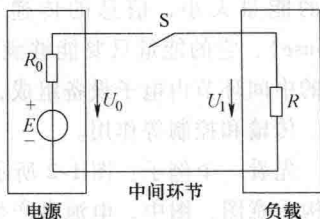


图 1-1 最简单的电路

电源是将非电能转换成电能的装置。例如，干电池和蓄电池将化学能转换成电能，而发电机将热能、水能、风能、原子能等转换成电能。电源是电路中能量的来源，是推动电流运动的源泉，在它的内部进行着由非电能到电能的转换。

负载是将电能转换成非电能的装置。例如，电炉将电能转换成热能，电灯将电能转换成光能，电动机将电能转换成机械能等。负载是电路中的受电器，是取用电能的装置，在它的内部进行着由电能到非电能的转换。

中间环节是把电源与负载连接起来的部分，起传递和控制电能的作用，常用于电力及一般用电系统中的电路称为电力电路，它主要起电能的传输、转换和分配的作用。电力系统电路就是一个典型的例子：发电机组将其他形式的能量转换成电能，经变压器、输电线传输到各用电部门，在那里又把电能转换成光能、热能、机械能等其他形式的能量而加以利用。对于这一类电路，一般要求在传输和转换过程中尽可能地减少

能量损耗以提高效率。

电路按其功能可分为两大类：第一类是能量的产生、传输、分配电路，其典型例子是电力系统的输电线路。在电力电路中，发电厂将各种不同形式的能量（热能、水的势能、核能、光能等）转变成电能；负载将电能转变为机械能或光能或热能等；中间环节（如变压器、高低压输电线路、继电保护）起控制、传输和分配电能以及保护电路中的电器设备的作用。

第二类是信息的传递与处理电路，在这一类电路中，起电源作用的常称信号源（signal source），又称激励（excitation）；起负载作用的是各种终端设备（如计算机的打印机、收音机的扬声器、电话系统的电话机等），在这类电路中，传递的是各种信息，而不特别强调传输系统中的能量大小，信息的传递与处理电路的输出信号又称响应（response），它的能量只要能够满足负载设备的正常工作即可，这一类电路的中间环节由电子设备组成，是相当复杂的，主要起信号的处理、放大、传输和控制等作用。

先看一个例子：图 1-2 所示为一个大家都熟悉的手电筒的实际电路结构示意图，图中，电池是产生电能的元件（设备），它将化学能转变成电能，即电源；小灯泡是消耗电能的电路元件，它将电能转变成光能，即负载；开关是控制元件，控制电路的接通与断开；导线起传输电能的作用。

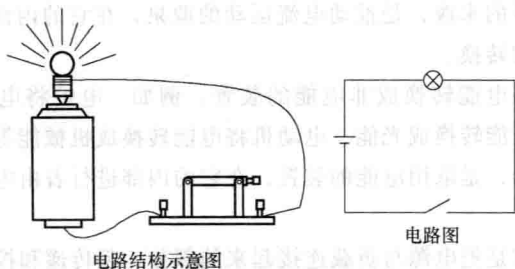


图 1-2 手电筒的示意图

2. 电路模型

实际电路可以用一个或若干个理想电路元件经理想导体连接起来模拟，这便构成了电路模型。

图 1-3 是一个最简单的电路模型（也是图 1-1 的电路模型）。图中 U_s 是一个理想电压源，给电路提供电能； R 是理想电阻元件，只消耗电能； S 是开关元件，控制电路的接通与断开；连接这三个元件的细实线是理想导线，起传输电能的作用。

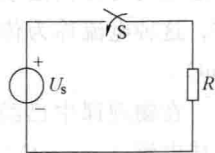


图 1-3 简单的
电路模型

实际的电路元件在工作时的电磁性质是比较复杂的，不是单一的。例如白炽灯、电阻炉，它在通电工作时能把电能转换成光能或热能，消耗电能，具有电阻的性质，但其电压和电流还会产生电场和磁场，故也具有储存电场能量和磁场能量即电容和电感的性质。

在电路的分析和计算中，如果对一个元件要考虑所有的电磁性质，则将是十分困难的。为此，对于组成实际电路的各种元件，我们忽略其次要因素，只抓住其主要电磁特性，使之理想化。例如，白炽灯可用只具有消耗电能的性质，而没有电场和磁场特性的理想电阻元件来近似表征；一个电感线圈可用只具有储存磁场能量性能，没有电阻及电容特性的理想电感元件来表征。这种由一个或几个具有单一电磁特性的理想电路元件所组成的电路就是实际电路的电路模型，我们在进行理论分析时所指的电路就是这种电路模型。根据对电路模型的分析所得出的结论有着广泛而实际的指导意义。理想电路元件简称电路元件，通常包括电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源和理想电流源。前三种元件均不产生能量，称为无源元件；后两种元件是电路中提供能量的元件，称为有源元件。

二、电流、电压及其参考方向

1. 电流及其参考方向

(1) 电流

水分子的流动形成了水流，而电流则是由电子的运动形成的。电流与水流有很多相似之处。实际上电路中电子所起的作用只不过是运送电荷。电荷或带电质点有规则地定向运动，形成电流（electric current）。我们知道，在金属导体中有大量的带负电荷的自由电子，在常态下，这些自由电子在金属内部作无规则的热运动，不能形成电流。若给导体两端加上电源，即施加电场力，如图 1-4 所示，在电场力的作用下自由电

子逆电场力方向运动而形成电流，更确切地讲，这种电流称为传导电流（conduction current）。

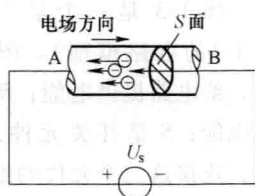


图 1-4 电流的示意图

在物理课中已经学过，电荷的定向移动形成电流（current）。电流的实际方向习惯上指正电荷运动的方向，电流的大小常用电流强度（current intensity）来表示。电流强度指单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流强度习惯上常简称为电流。电流主要分为两类：一类为大小和方向均不随时间改变的电流，称为恒定电流，即直流（direct current），常简写作 dc 或 DC，其强度用符号 I 表示；另一类为大小和方向都随时间变化的电流，称为变动电流，其强度用符号 i 表示。其中一个周期内电流的平均值为零的变动电流称为交流（alternating current），常简写作 ac 或 AC，其强度也用符号 i 表示。

图 1-5 给出了几种常见电流，图 a 为直流，图 b、图 c 均为交流。

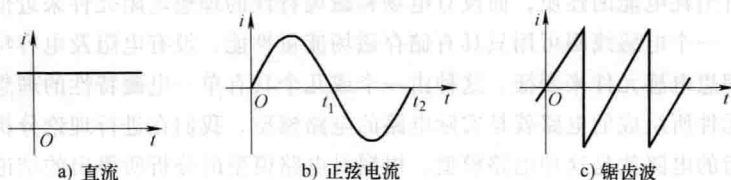


图 1-5 几种电流

对于直流，单位时间内通过导体横截面的电荷量是恒定不变的，其电流为

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

对于变动电流（含交流），若假设在一很小的时间间隔 dt 内，通过导体横截面的电荷量为 dq ，则该瞬间电流为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

电流的单位是安培（A），它表示 1 秒（s）内通过导体横截面的电荷量为 1 库仑（C）。有时也会用到千安（kA）、毫安（mA）或微安（ μA ）等，其关系如下：

$$1\text{kA} = 1000\text{A} = 1 \times 10^3 \text{A}, \quad 1\text{mA} = 1 \times 10^{-3} \text{A}, \quad 1\mu\text{A} = 1 \times 10^{-6} \text{A}$$

(2) 电流的参考方向

在分析电路时，对复杂电路中某一段电路里电流的实际方向很难立即判断出来，有时电流的实际方向还会不断改变，因此在电路中很难标明电流的实际方向。为分析方便，在这里，我们引入电流的“参考方向（reference direction）”这一概念。

在一段电路或一个电路元件中事先选定一个电流方向作为电流的参考方向。本书中用虚线箭头表示电流的实际方向，用箭头直接标在电路上表示电流的参考方向，也可以用双下标表示，如 i_{ab} 表示其参考方向由 a 指向 b。参考方向是任意选定的，而电流的实际方向是客观存在的。因此，所选定的电流参考方向并不一定就是电流的实际方向。当选定电流的参考方向与实际方向一致时， $i > 0$ ；当选定电流的参考方向与实际方向相反时， $i < 0$ 。电流的参考方向与实际方向如图 1-6 所示。

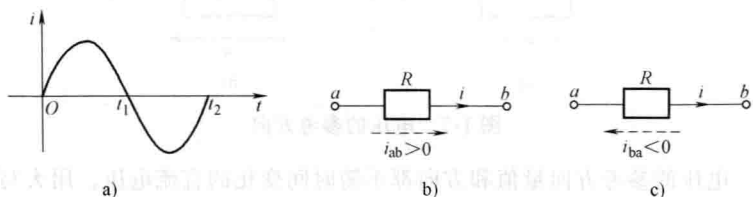


图 1-6 电流的参考方向与实际方向

电流的实际方向是客观存在的，它不因其参考方向选择的不同而改变，即存在 $i_{ab} = -i_{ba}$ 。本书中不加特殊说明时，电路中的公式和定律都是建立在参考方向的基础上的。

2. 电压及其参考方向

(1) 电压

电场中任意两点间的电位之差称为两点间的电压。

电压与水压相似。我们知道水压越大，水流越急，反之水压越小，水流越缓，在同样的外部条件下，电压越高，灯泡就越亮，电压越低，灯泡就越暗。

电压是衡量电场力做功大小的物理量。

电压的单位是伏特，用字母 V 来表示。常用的单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV)，其关系如下：

$$1 \text{ kV} = 1 \times 10^3 \text{ V} = 1 \times 10^6 \text{ mV}$$

(2) 电压的方向

电压也有正负，习惯上我们把电压的正方向规定为高电位指向低电位的方向。电压的正负是相对的。可以根据实际电路的需要进行规定。

在电路分析中，为了知道电压、电流的实际方向，常常引入参考方向的概念。电压、电流的参考方向可以任意选取，在电路中用箭头表示。选定的参考方向不一定是电压、电流的实际方向。当参考方向与实际方向相同时，电压、电流为正。当参考方向与实际方向相反时，电压、电流为负。这样在选定的参考方向下，根据电压、电流的正负，可以判断电压、电流的实际方向，在分析电路时先假定电压、电流的参考方向，并以此进行分析，最后根据计算结果的正负来确定电压、电流的实际方向。图 1-7 所示为电压的参考方向。

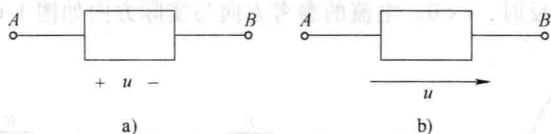


图 1-7 电压的参考方向

电压的参考方向量值和方向都不随时间变化的直流电压，用大写字母 U 表示。交流电压，用小写字母 u 表示。

元器件的电压参考方向与电流参考方向是一致的，称为关联参考方向，如图 1-8 所示。

3. 电位

(1) 电位

电位同水位有些相似，一个蓄水池中，水越多，水位越高，水越少，水位越低。电路中也有电位，电场力移动单位正电荷所做的功越多说明正电荷所在点的电位越高，反之越低。

我们知道带电体的周围存在看不见摸不着的电场，在电场中的电荷会受到电场力的作用，在电场力的作用下电荷会移动，在电路中我们把电场力将单位正电荷从某点移到参考点所做的功称为该点的电位。

电位的单位是伏特（简称伏），用字母 V 来表示。常用的单位还有

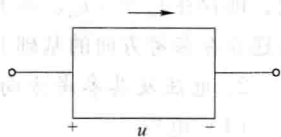


图 1-8 电流和电压的关联参考方向

千伏 (kV)、毫伏 (mV)。其关系如下:

$$1\text{kV} = 1 \times 10^3\text{V} = 1 \times 10^6\text{mV}$$

(2) 电位的方向

电场中选择不同的参考点,某点的电位是不同的。为了方便,我们把参考点的电位规定为零,高于参考点的电位为正,反之为负。

实际用电器的金属外壳常被作为参考点。电位的正负就好比是河流的警戒水位,当水位超过警戒水位为正,低于则为负。

在电路中任选一点,叫做参考点,则某点的电位就是由该点到参考点的电压。如果已知 a、b 两点的电位各为 U_a 、 U_b ,则此两点间的电压

$$U_{ab} = U_{a0} + U_{0b} = U_{a0} - U_{b0} = U_a - U_b$$

可见,两点间的电压等于这两点的电位的差。

(3) 电压与电位的关系

结论一:参考点改变,各点的电位随之改变,即各点的电位与参考点的选择有关。

结论二:不管参考点如何变化,两点间的电压(电位差)是不变的,即电位差与参考点的选择无关。

电路中,参考点可以任意选定。在电力工程中,常取大地为参考点。因此,凡是外壳接大地的电气设备,其外壳都是零电位;有些不接大地的设备,在分析其工作原理时,常常选用许多元器件汇集的公共点作为零电位点,即参考点,并在电路图中用符号“ \perp ”表示;接大地则用符号“ \perp ”表示,以示区别。

三、电功率和电能

1. 功率

我们平时所说的 1000W 的微波炉、60W 的电灯泡、1500W 的空调器,这些数字指的就是这些家用电器的电功率。也就是这些电器在单位时间内消耗电能的多少(电场力在单位时间内做的功就称为电功率)。

$$P = W/t \quad (1-3)$$

电功率的大小用瓦特(简称瓦)来表示,用字母 W 来表示。表示电功率的单位还有千瓦(kW)、兆瓦(MW)和毫瓦(mW)等。其关系如下:

$$1\text{W} = 1 \times 10^3\text{mW}, 1\text{kW} = 1 \times 10^3\text{W}, 1\text{MW} = 1 \times 10^3\text{kW}$$

在纯电阻电路中,电功率与电流、电压的关系,可表述为

$$P = UI = RI^2 = U^2/R \quad (1-4)$$