

DIANGONG RUMEN YAOJUE

电工 入门要诀

杨清德 主 编
陈 东 副主编

科普语言、更易理解
口诀图解、轻松进阶



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

DIANGONG RUMEN YAOJUE

电工入门要诀

杨清德 主 编

陈 东 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书注重理论和实践相结合,突出技能培养与提高,强调实践操作技能。写作体例安排符合初学者的实际需要,先通过“记忆口诀”介绍知识及技能的要点,易学、易会、易掌握。然后再配“分析与说明”,逐一解说知识内容、技能操作方法,对其中的注意事项进行“友情提示”,对技能操作进行“应用技巧”点拨,通过“知识窗”介绍相关知识。

本书主要包括:电工电子技术必备基础知识、电工作业安全知识、常用电工工具及仪表的使用、高低压电器的应用、变压器配电与电力线路、室内照明线路及设备、交流电动机及应用、变频器与PLC应用和电工识图入门知识。

本书适合电工初学者阅读,也可供有一定经验的维修电工、安装电工和电气管理人员查阅,还可作为高等职业院校及中等职业学校电类专业学生的课余阅读教材。

图书在版编目(CIP)数据

电工入门要诀 / 杨清德主编. —北京: 中国电力出版社, 2016. 1

ISBN 978-7-5123-7950-3

I. ①电… II. ①杨… III. ①电工技术-基本知识 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 144263 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

2016 年 1 月第一版 2016 年 1 月北京第一次印刷

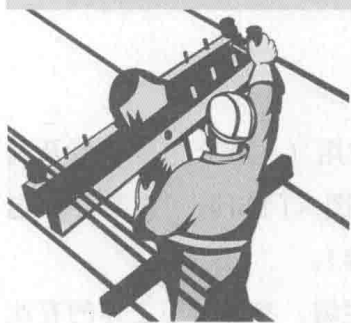
787 毫米×1092 毫米 16 开本 24.25 印张 580 千字

印数 0001—4000 册 定价 59.80 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前言

随着我国国民经济的快速发展,各行各业对实用技能型人才——电工从业人员的需求显得尤为迫切。目前,电与人们的工作及生活息息相关,电气安装维修要找电工,这一安全理念已深入人心,妇孺皆知。因此,许多求职者乐意选择电工职业。作为一名电工,必须钟爱这个职业,不仅是依赖这个职业在社会上生存,更重要的是把这个职业作为一生的事业。只有这样,才有可能在这个职业上投入更大更多的精力,去追求更高的技术境界。

电工职业本身具有理论性与实践性高度融合、安全要求特殊性、操作技能多面性等特点,国家对合格电工的能力及素质要求很严格。电工作业必须对用户高度负责,按照国家对电气作业颁发的标准、规程及规范进行操作,质量达到规程要求,才能让用户满意。为此,本书采用易记的口诀、浅显的语言、简明的图表,介绍电工日常操作中应知的最基本知识和应会的基本技能。

本书注重理论和实践相结合,突出技能培养与提高,强调实践岗位操作技能,内容全面、实用、简洁。写作体例安排符合初学者的实际需要,先通过“记忆口诀”介绍知识及技能的要点,然后再配“分析与说明”逐一解说知识内容、技能操作方法,对其中的注意事项进行“友情提示”,对技能操作进行“应用技巧”点拨,通过“知识窗”介绍相关知识。

本书图文并茂,通俗易懂,深入浅出。在编写过程中充分考虑了工程实际施工情况,既兼顾内容的相互关联,又充分考虑其实操性。本书可供维修电工、安装电工和电气管理人员查阅,也可作为高等职业院校及中等职业学校电类专业学生的课余阅读教材。

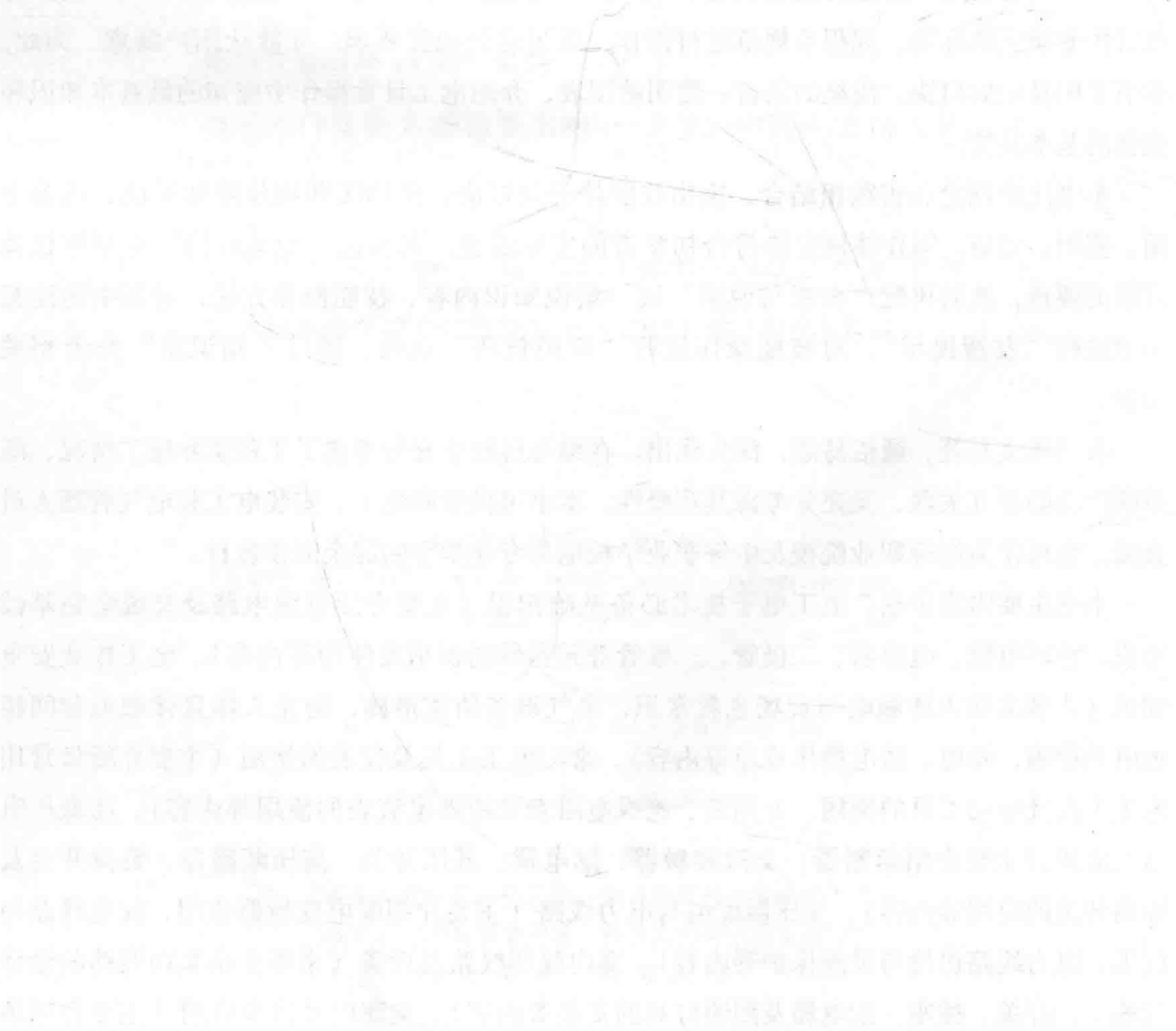
本书主要内容包括:电工电子技术必备基础知识(主要介绍直流电路及交流电路基础知识,色环电阻、电容器、二极管、三极管等元器件的识别及使用等内容)、电工作业安全知识(主要介绍人体触电与现场急救常识,电气设备防雷措施,防止人体直接接触电和间接接触电的措施,停电、送电操作规范等内容)、常用电工工具及仪表的使用(主要介绍最常用电工工具及电动工具的使用、万用表、绝缘电阻表及钳形电流表的使用等内容)、高低压电器的应用(主要介绍熔断器、交流接触器、继电器、低压开关、高压断路器、负荷开关及隔离开关的应用等内容)、变压器配电与电力线路(主要介绍配电变压器应用,配电线路与施工,电力线路巡检与设施保护等内容)、室内照明线路及设备(主要介绍室内线路的设计与施工,开关、插座、配电箱及照明灯具的安装等内容)、交流电动机及应用(主要介绍单

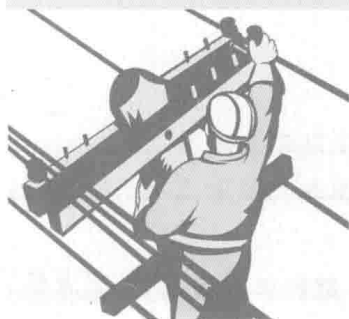
相电动机及三相交流电动机的应用技能等内容)、变频器与 PLC 应用(主要介绍变频器及其配套装置的应用, PLC 的选型、硬件软件应用等内容)和电工识图入门知识(主要介绍电气符号及标注、电气工程图的种类、电气识图的步骤及方法等内容)。

本书由特级教师、高级讲师、高级技师杨清德主编,陈东副主编。参加编写工作的有沈文琴、官伦、林安全、邱绍峰、辜小兵、张川、鲁世金、杨祖荣、刘宪宇、雷娅、吕正伟、冉洪俊、胡大华、杨华安、叶红、黄文胜、崔强荣、刘国纪、康亚宁、王海平、李再明、徐焱、靖宽琼等同志。

由于编者学识水平所限,书中难免有疏漏和不当之处,敬请读者批评指正,盼赐教至主编的电子邮箱 yqd611@163.com,以期再版时完善与提高。

编 者





目 录

前言

第1章 电工电子基础牢	1
1.1 直流电路奠基础	1
1.1.1 电路组成及状态	1
1.1.2 电路主要物理量	4
1.1.3 欧姆定律	9
1.1.4 直流电路应用广	11
1.2 交流电路筑基础	15
1.2.1 电能应用一条龙	15
1.2.2 交流电的三要素	18
1.2.3 三相交流电应用	21
1.2.4 低压系统咋接地	26
1.3 基本元件识与用	28
1.3.1 色环电阻识与用	28
1.3.2 电容器的识与用	29
1.3.3 二极管的识与用	34
1.3.4 三极管的识与用	37
第2章 作业安全记心间	41
2.1 用电安全要牢记	41
2.1.1 人体触电与急救	41
2.1.2 触电急救讲技巧	48
2.2 电气设备防雷法	56
2.2.1 雷电与防雷装置	56
2.2.2 高低压设备避雷	58
2.3 预防触电添措施	61
2.3.1 防直接接触电措施	61
2.3.2 防间接触电措施	66
2.4 停送电操作规定	69

2.4.1 停电操作的程序	69
2.4.2 送电操作的程序	74
第3章 巧用工具和仪表	76
3.1 工具识别与使用	76
3.1.1 常用工具会使用	76
3.1.2 电动工具巧使用	79
3.2 正确使用万用表	80
3.2.1 初步认识万用表	80
3.2.2 指针万用表使用	83
3.2.3 数字万用表使用	90
3.2.4 万用表测常用件	94
3.3 绝缘电阻表和钳形表	109
3.3.1 绝缘电阻表测量绝缘电阻	109
3.3.2 钳形电流表测电流	112
第4章 高低压电器应用	115
4.1 高压、低压熔断器	115
4.1.1 低压熔断器应用	115
4.1.2 高压熔断器应用	120
4.2 交流接触器应用	125
4.2.1 接触器的用途广	125
4.2.2 接触器结构原理	125
4.2.3 电磁接触器选用	127
4.2.4 电磁接触器安装	129
4.3 继电器及其应用	131
4.3.1 热继电器的应用	131
4.3.2 速度继电器应用	136
4.3.3 电流继电器应用	137
4.3.4 电压继电器应用	139
4.4 低压开关及应用	141
4.4.1 胶盖刀开关应用	141
4.4.2 低压断路器应用	142
4.4.3 组合开关的应用	145
4.5 高压断路器应用	146
4.5.1 高压断路器简介	146
4.5.2 常用高压断路器	147
4.6 负荷及隔离开关	152

4.6.1 高压负荷开关件	152
4.6.2 高压隔离开关件	153
第5章 变压配电与线路	156
5.1 配电变压器应用	156
5.1.1 认识配电变压器	156
5.1.2 配电变压器安装	162
5.1.3 变压器运行维护	174
5.1.4 变压器运行系统	180
5.2 配电线路与施工	184
5.2.1 线路筹划与安排	184
5.2.2 架空线路施工法	197
5.2.3 低压进户线安装	209
5.2.4 架空线路防雷法	210
5.3 线路巡检与保护	212
5.3.1 架空线路常巡检	212
5.3.2 电力设施勤保护	216
第6章 室内照明及设备	219
6.1 线路设计与施工	219
6.1.1 室内线路巧设计	219
6.1.2 家居室内布线法	227
6.2 安装开关和插座	233
6.2.1 照明开关巧安装	233
6.2.2 电源插座会安装	237
6.3 配电箱及其装置	240
6.3.1 电能配电箱安装	240
6.3.2 电能计量与安装	243
6.4 照明灯具及安装	250
6.4.1 学装室内照明灯	250
6.4.2 学装室外照明灯	258
第7章 交流电动机及应用	264
7.1 单相电动机及控制	264
7.1.1 单相电动机简介	264
7.1.2 单相电动机控制	268
7.2 三相电动机及控制	270
7.2.1 三相电动机简介	270

7.2.2	电动机安装与检查	275
7.2.3	三相电动机控制	283
7.2.4	维护保养电动机	291
第8章	变频器与 PLC	296
8.1	变频器应用基础	296
8.1.1	初步认识变频器	296
8.1.2	配套装置及应用	303
8.1.3	维护保养变频器	309
8.2	PLC 应用基础	313
8.2.1	PLC 基础知识	313
8.2.2	PLC 硬件软件	317
8.2.3	PLC 简明原理	327
8.2.4	PLC 机型选择	330
8.2.5	PLC 外设连接	332
8.2.6	PLC 应用禁忌	337
第9章	电工识图快入门	340
9.1	电气符号及标注	340
9.1.1	图形符号琢磨清	340
9.1.2	文字符号两大类	345
9.1.3	回路标号及应用	349
9.1.4	标注、注释与标记	351
9.2	常用电气图基础	354
9.2.1	工程常用电气图	354
9.2.2	电气工程图组成	358
9.3	识图步骤及方法	360
9.3.1	电气识图按步骤	360
9.3.2	电气识图常用法	362
参考文献		379

电工电子基础

1.1 直流电路莫基础

1.1.1 电路组成及状态

1. 电路的组成

【记忆口诀】

电路组成的口诀

电路组成四部分，电源负载和开关，
还有连接的导线，组成最简单电路。

【分析与说明】 日常生活中有各种形式的电路，如手电筒电路、照明电路，电动机控制电路等，都是由元器件按照一定的方式连接起来的。了解电路的组成是安装、检修和调试电路的基础。那么，电路是如何组成的呢？它又有何作用？

最简单的电路一般是由电源、负载、中间环节、控制及保护装置组成，把这4个基本部分按照一定的方式连接起来，构成闭合回路，就成为了简单的实用电路。

图1-1所示为一种简单的实验电路，它同样由4部分组成：电源—干电池，负载—白炽灯，中间环节—连接导线，控制及保护装置—开关。

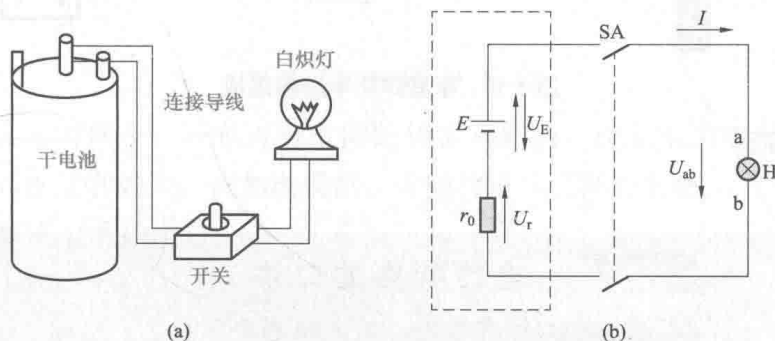


图 1-1 最简单的直流电路

(a) 实物图；(b) 电路图

可见，电路是由若干元器件按照一定的规则组合而成的。对电源来讲，负载、连接导线

和控制器件及保护装置称为外电路；电源内部的一段电路称为内电路。电路各组成部分既相互独立又彼此联系，任何一个环节出现故障，都会影响整个电路的正常工作。

电路各组成部分的作用见表 1-1。

表 1-1 电路各组成部分的作用

组成部分	作用	举 例
电源	电路中电能的提供者，即将其他形式的能量转化为电能的装置（如图 1-1 中的干电池是将化学能转化为电能）。含有交流电源的电路叫做交流电路，含有直流电源的电路叫做直流电路	蓄电池、发电机等
负载	即用电装置，其作用是将电源供给的电能转换成所需形式的能量（如白炽灯将电能转化为光能和热能）	白炽灯、电视机、电炉等用电器
控制及保护装置	根据负载的需要，控制整个电路的工作状态	开关、熔断器等控制电路工作状态（通/断）的器件和设备
中间环节	使电源与负载形成通路，用于输送和分配电能	各种连接电线

【知识窗】

家庭照明电路的组成

如图 1-2 所示为一种常见的家庭照明电路组成实例，它仍然由 4 部分组成：电源—220V 交流电源，负载—白炽灯及各种家用电器等，中间环节—进户线、室内线路、电能表、插座等，控制及保护装置—总开关、控制开关和保险盒。

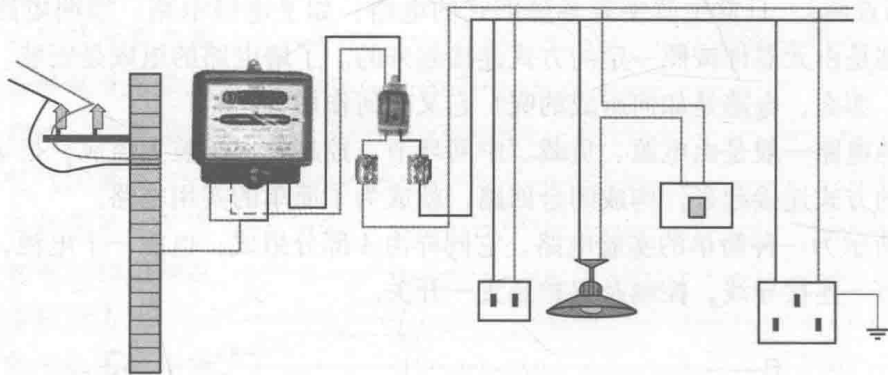


图 1-2 家庭照明电路的组成

2. 电路的状态

【记忆口诀】

电路状态的口诀

电路工作有三态，不同状态要区分。
处处相通成回路，有载工作是通路。
意外导通叫短路，此时用电最危险。
某处断开叫开路，空载电流等于零。

【分析与说明】 电路的状态有通路、开路和短路三种状态。

(1) 通路(闭路)。通路是一般的有载工作状态,电源与负载接通,电路中有电流通过,电气设备或元器件可获得一定的电压和电功率,进行能量转换,如图1-3所示。

判断是否通路,只需在电路中串联一个用电器,用电器正常工作说明电路是通路。

(2) 开路(断路)。电路的某一处或几处因为意外原因断开了,由于电源与负载接通,此时电路中没有电流通过,又称为空载状态,如图1-4所示。

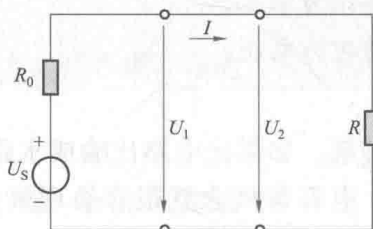


图 1-3 电路的通路状态

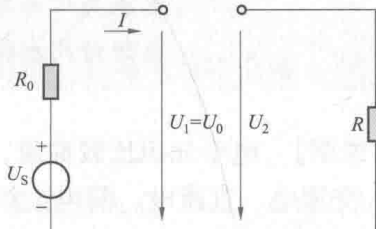


图 1-4 电路的开路状态

开关未闭合,或电线断裂、接头松脱等情形都有可能使电路处于断开状态。电路空载时,外电路所呈现的电阻可视为无穷大。因为电源对外不输出电流,电源的输出功率和负载所消耗的功率均为零。

(3) 短路(捷路)。由于电源线绝缘损坏、操作不当等意外原因引起电源的两输出端相接触,造成电源被直接短路的情况,称为短路,如图1-5所示。

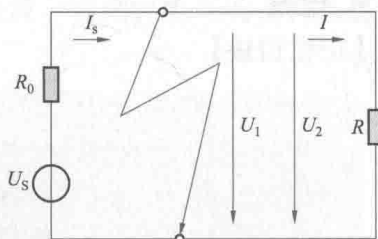


图 1-5 电路的短路状态

短路是电路的另一种极端运行状态。短路时,电源中的电流最大,输出电流为零。由于电源的电压全部降落在电源的内阻上,电源发出的功率全部消耗在电源内阻上。此时,如电路中没有保护措施,则电源、用电器、导线容易被烧毁或发生火灾,所以通常要在电路或电气设备中安装熔断器等保险装置,以避免发生短路时出现不良后果。

【应用技巧】 在进行电路检修时,有意识的人为让电路处于“开路状态”或“短路状态”,通过观察其反应,可确立故障范围的,这是一种较常用的维修方法。

【知识窗】

电路的作用及分类

电路的作用主要有两个:一是进行电能的传输和转换,例如电力电路;二是对各种输入、输出信号进行加工和处理,例如电视机、音频功率放大器的电路。

电路的分类如图1-6所示。

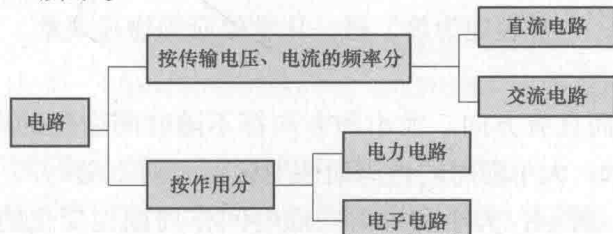


图 1-6 电路的分类

1.1.2 电路主要物理量

【记忆口诀】

电路主要物理量口诀

电路类比为水路，容易理解容易记。
电流类比为水流，电压类比为水压。
电阻好比水被挡，水能转化为电能。

【分析与说明】 电学知识比较抽象，确实难以理解。如果把电路比喻成水路，则电流、电压、电阻、交流电、直流电、漏电、纹波、电路、电容等概念就很容易理解。把电看成水，则电流相当于水流，电压相当于水压，电阻相当于水流中的障碍物，漏电相当于漏水。电路相当于水路，电容相当于盛水的容器等，下面简要介绍几个主要物理量。

1. 电流

【记忆口诀】

电流的口诀

形成电流有规定，电荷移动为定向。
规定电流的方向，正电移动的方向。
金属导电靠电子，电子方向电流反。

【分析与说明】 在物理学上，把电荷的定向移动称为电流。电流的方向为正电荷定向运动的方向。在金属导体中，电流的方向与自由电子定向运动方向相反。例如，当手电筒开关打开发光时，电子从电池负极流出。追寻电子是如何运动的，就形成了一个电流通道，如图 1-7 所示。



图 1-7 手电筒的工作过程

电路中有电流通过，常常表现为热、磁、化学效应等物理现象。如灯泡发光、电饭煲发热、扬声器发出声音等。

电流不但有大小，而且有方向。大小和方向都不随时间变化的电流，称为稳恒直流电流，如图 1-8 (a) 所示；大小随时间做周期性变化但方向不随时间变化的电流称为脉动直流电流，如图 1-8 (b) 所示；大小和方向均随时间作周期性变化的电流，称为交流电流，如图 1-8 (c) 所示。

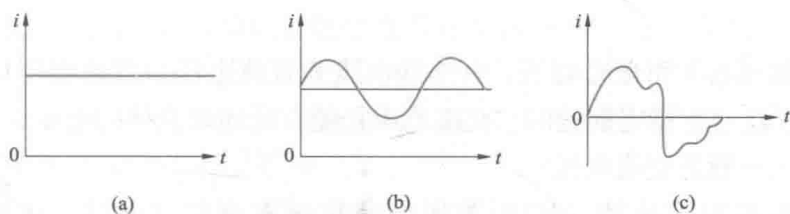


图 1-8 电流与时间关系曲线

(a) 稳恒直流电流; (b) 脉动直流电流; (c) 交流电流

电流的方向是客观存在的, 电流的大小是可计算的。计算电路中电流大小的公式为

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

式中: I 为电流, 单位为安培 (A); q 为电荷量, 单位为库仑 (C); t 为时间, 单位为秒 (s)。电流的常用单位是安培 (A), 常用的单位还有毫安 (mA)、微安 (μA)。其换算关系为

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

【注意事项】 各种电气设备在工作时, 不能超过额定电流。否则, 电气设备容易烧坏。

2. 电压

【记忆口诀】

电压的口诀

电位之差是电压, 电压永远是正值。
电压方向高向低, 国际单位为伏特。
电压等级有多种, 额定电压最安全。

【分析与说明】 电的流动比做水的流动, 要让水流动需要自然的坡度, 如果没有, 就要用人工的方法形成落差, 以便产生水压。电场力做负功, 就是要产生这种落差。在电学中, 我们把相当于“水流的东西”称为电流, 把“水压”类比为电压, 如图 1-9 所示。

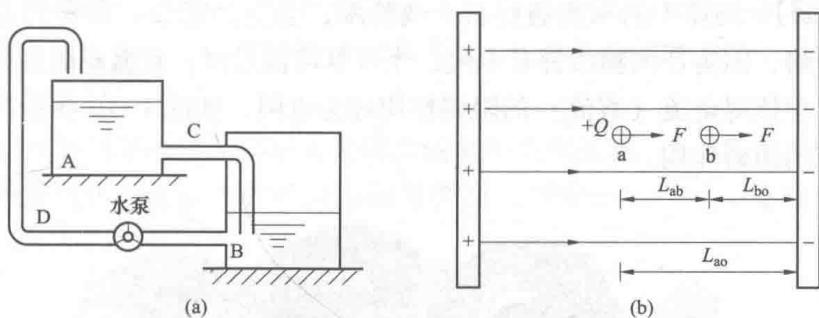


图 1-9 水压和电压的形成

(a) 水压的形成; (b) 电压的形成

一般情况下, 物体所带正电荷越多, 其电位越高。如果把两个电位不同的带电体用导线连接起来, 电位高的带电体中的正电荷便向电位低的那个带电体流去, 于是导体中便产生了电流。就如同水会从高处向较低处流一样。在电路中, 任意两点之间的电位差, 称为该两点

间的电压。

电压可分为直流电压和交流电压。电池的电压为直流电压，直流电压用大写字母 U 表示，它是通过化学反应维持电能量的。交流电压是随时间周期变化的电压，用小写字母 u 表示，发电厂的电压一般为交流电压。

电压的国际单位制为伏特 (V)，常用的单位还有毫伏 (mV)、微伏 (μV)、千伏 (kV) 等，它们与伏特的换算关系为

$$1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}; 1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}; 1\text{kV} = 10^3\text{V}$$

在实际应用中提到的电压，一般是指两点之间的电位差，通常是指定电路中某一点作为参考点。在电力工程中，规定以大地作参考点，认为大地的电位等于零。如果没有特别说明，所谓某点的电压，就是指该点与大地之间的电位差。

我国规定标准电压有许多等级。经常接触的有：安全电压 12、36V，民用市电单相电压 220V，低压三相电压 380V，城乡高压配电电压 10kV 和 35kV，输电电压 110kV 和 220kV，还有长距离超高压输电电压 330kV 和 500kV。

➤【应用技巧】 各种电气设备在工作时，不能超过额定电压，否则电气设备容易烧坏；也不能低于额定电压，否则电气设备不能正常工作。

3. 电阻

➤【记忆口诀】

电阻记忆口诀

导体阻电叫电阻，电阻符号是 R 。

电阻单位是欧姆，欧姆符号 Ω 。

决定电阻三因素，长度、材料、截面积。

不与电压成正比，电流与它无关系。

温度变化有影响，通常计算不考虑。

➤【分析与说明】 河床中的水流遇到石头或险滩，会受到阻碍。同样的道理，电流在导体中也会受到阻碍，因为任何物质都有电阻，当有电流流过时，克服电阻的阻碍作用需要消耗一定的能量。导体对电流（直流）的阻碍作用称为电阻，如图 1-10 所示的场景形象地表明了电阻对电流的阻碍作用。



图 1-10 设卡捣乱的大灰狼



电阻都有一定的阻值,其阻值代表这个电阻对电流流动阻挡力的大小。 1Ω 的物理意义为:设加在某导体两端的电压为 1V ,产生的电流为 1A ,则该导体的电阻则为 1Ω 。

电阻的单位是欧姆,简称欧,用字母“ Ω ”表示。电阻的单位除了欧姆外,还有千欧($\text{k}\Omega$),兆欧($\text{M}\Omega$)等。其换算关系为

$$1\Omega = 10^{-3}\text{k}\Omega = 10^{-6}\text{M}\Omega$$

电阻的主要物理特征是变电能为热能,它在使用的过程中要发出热量,因此,电阻是耗能元件。如电灯泡、电饭煲等用电器通电后要发热,这就是因为有电阻的原因。

在温度不变时,金属导体电阻的大小由导体的长度、截面积和材料的性质等因素决定。它们之间的关系为

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

把这个公式叫做电阻定律。式中, ρ 为导体的电阻率,它由电阻材料的性质决定,是反映材料导电性能的物理量,单位为欧·米($\Omega \cdot \text{m}$); L 为导体的长度,单位为米(m); S 为导体的截面积,单位为米²(m^2); R 为导体的电阻,单位为欧(Ω)。

【应用技巧】 电工在导线与导线、导线与接线柱、插头与插座等连接时,一定要注意接触良好,应尽量减少接触电阻,如图1-11所示。否则,若接触电阻较大,在使用时连接处要发热,容易引起电火灾事故。



图1-11 导线连接时要
尽量减少接触电阻

【知识窗】

超导现象

金属的电阻随温度的升高而增大,当温度降低时,它的电阻减小。1911年,荷兰物理学家昂内斯在测定水银在低温下的电阻值时发现,当温度降到 -269°C 左右时,水银的电阻变为零,这种现象叫超导现象。

因为超导体是在很低的温度下才会发生超导现象,目前超导体还不能在常温下应用于实际生产和生活中,只应用于科学实验和高新技术中。如果能应用于实际,会给人类带来很大的好处。举两例如下:

- (1) 输电导线利用超导体,可以大大降低输电的电能损耗。
- (2) 如果把发电机和电动机的线圈用超导体制成超导线圈,可以使发电机和电动机的阻抗减小,功率增大,效率提高。

4. 电功率

【记忆口诀】

电功率口诀

消耗电能的快慢,电功率用 P 表示。
1秒之内耗电能,叫这电器电功率。

P 等电能除时间，电压电流两相乘。

功率单位是瓦特，1 瓦等 1 伏安。

已知 P 、 t 求耗能， W 等于 P 乘 t 。

【分析与说明】 电功率是衡量电能转化为其他形式能量快慢的物理量。我们平常说这个灯泡是 40W，那个灯泡 60W，电饭煲 750W，这就是指的电功率。电流在单位时间内所做的功称为电功率，用符号“ P ”表示。

计算电功率的公式为

$$P = \frac{W}{t}$$

由于用电器的电功率与其电阻有关，电功率的公式还可以写成

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

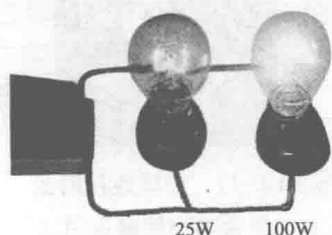


图 1-12 相同电压功率不同的
灯泡发光亮度不同

如图 1-12 所示，在相同电压下，并联接入同一电路中的 25W 和 100W 灯泡的发光亮度明显不同，这是因为 100W 灯泡的功率大，25W 灯泡的功率小。

在日常生活中还有这样的体验，同一盏灯，在电压足与电压不足时的发光强度不一样，这说明电功率与电压有关。

电功率的国际单位为瓦特（W），常用的单位还有毫瓦（mW）、千瓦（kW），它们与 W 的换算关系是

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

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

5. 电能

【记忆口诀】

电能的口诀

电能单位是焦耳，生活常用千瓦时。

电能表测耗电能，用电等于计数差。

【分析与说明】 电能是自然界的一种能量形式。各种用电器借助于电能才能正常工作，用电器工作的过程就是电能转化成其他形式能的过程。

在一段时间内，电场力所做的功称为电能，用符号“ W ”表示，其计算公式为

$$W = Pt$$

式中： W 为电能； P 为电功率； t 为通电时间。

电能的单位是焦耳（J）。对于电能的单位，常常不用焦耳，仍用非法定计量单位“度”。焦耳和“度”的换算关系为

$$1\text{度(电)} = 1\text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$$