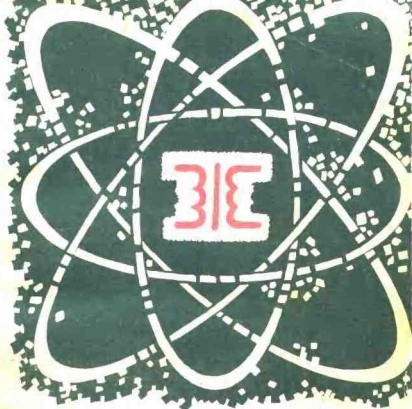




北京市技术交流站编



# 工厂实用电工

责任编辑：李明兴  
封面设计：蒋敏学

### 工厂实用电工

北京市技术交流站 编

云南人民出版社出版  
(昆明市书林街199号)

云南新华印刷厂印刷 云南省新华书店发行

开本：787×1092 1/32 印张：19 字数：430,000

1981年3月第一版 1981年3月第一次印刷

印数：1—140,500

统一书号：15116·129

定价：1.52元

## 出版说明

为了适应新形势下加强职工科学技术教育的需要，在中华全国总工会教育部的大力倡导和支持下，北京市技术交流站等有关单位编写了《工人科技教育丛书》由我社出版。

该丛书包括《工厂基础数学》、《工厂应用数学》、《工厂基础电工》、《工厂实用电工》、《工厂基础物理》、《工厂应用物理》、《工厂基础化学》、《工厂应用化学》、《工厂电子技术》(上、下册)、《工人机械识图读本》、《工厂应用力学》、《工厂考工定额题解》、《电脑基础》共十四本，可作为工矿职工教育的教材，也可供广大工人自学参考。

在丛书组稿、编写、出版过程中，中华全国总工会教育部黄志同志、李德玉同志，北京仪器厂宋东生同志，原子能出版社李天元同志，中国科学院心理研究所封根泉同志，工人出版社王东发同志作了大量工作，在此，一并致谢。

云南人民出版社

## 《工人科技教育丛书》出版前言

中华全国总工会教育部

职工教育是我国教育事业的组成部分，是提高职工科学文化技术水平，培养技术、管理人才的重要途径。我们的国家要在本世纪内实现农业、工业、国防和科学技术现代化，不仅需要一支强大的熟练技术工人队伍，而且需要大量科技人才和管理人才。但是由于林彪、“四人帮”的干扰和破坏，目前我国职工队伍存在着文化程度低、技术等级低、管理水平低和技术人员少的状况。这种状况已成为实现四个现代化的严重障碍。因此，大力开展职工教育，迅速提高广大职工的科学文化技术水平，已成为广大职工的迫切愿望和刻不容缓的战略任务。

党和国家十分重视职工教育。华国锋同志在五届人大第一次会议上曾要求“大力发展业余教育，满足在职干部、工农兵群众和上山下乡知识青年学习的需要”；在五届人大二次会议上又提出“必须对在业人员进行业余的和离职的科学技术、经济管理和文化知识教育”。邓小平同志在中国工会第九次全国代表大会上，代表党中央、国务院号召我国工人阶级“要努力提高自己的政治、经济、管理、技术、文化水平”，“要用最大的努力来掌握现代化的技术知识和现代化的管理知识，为实现四个现代化作出优异的贡献”。上述一系列指示，大大调动了各方面举办职工教育的积极性。广大职工学习文化科学技术

的热情空前高涨，职工教育出现了欣欣向荣的可喜局面。

为了适应新形势下加强职工教育的要求，帮助工矿企业解决职工教育急需的部分教材，向青年工人提供一些工业科学技术读物，北京市技术交流站等有关单位，组织编写了《工人科技教育丛书》。这套丛书以具有相当于初中文化程度的工人为主要对象，参加编写工作的同志，大多是从事职工业余教育多年的工程技术人员和教师。他们据以编写这套丛书的教材，也多是在长期教学实践中，经过广泛征求意见，反复修改补充，并经有关科研单位和高等院校协助审订，才逐渐形成的。有的还曾在中央电视台举办的电视教育讲座中播讲，受到全国广大职工的欢迎。正因为来自实践，这套丛书在内容上具有深入浅出，通俗易懂，密切结合生产实际，适合工人自学等特点。它可以作为职工的自学读物，也可以作为职工教师的参考书，对口的工厂也可以选作职工教材。

北京市技术交流站等有关单位和云南人民出版社，热心于职工教育事业，编写和出版了这套适应职工教育特点的丛书，做了一件有益于四化建设的大好事，确实值得祝贺。我们希望今后有更多的从事职工教育工作和关心职工教育的同志，为广大职工编写、出版更多更好的学习材料，逐步改变当前教材严重缺乏的状况，满足广大职工学习的需要，这对快出人才、多出人才，早日实现四个现代化，无疑是一个重大的贡献。

# 目 录

|                      |         |
|----------------------|---------|
| 第一章 电工基础知识概要 .....   | ( 1 )   |
| 第一节 直流电路 .....       | ( 1 )   |
| 第二节 磁和电磁现象 .....     | ( 10 )  |
| 第三节 正弦交流电的概念 .....   | ( 17 )  |
| 第四节 交流电路 .....       | ( 22 )  |
| 第五节 三相交流电 .....      | ( 36 )  |
| 思考题 .....            | ( 45 )  |
| 第二章 电工仪表与测量 .....    | ( 47 )  |
| 第一节 电工测量基础知识 .....   | ( 47 )  |
| 第二节 主要电气测量指示仪表 ..... | ( 55 )  |
| 第三节 直流电路的测量 .....    | ( 68 )  |
| 第四节 交流电路的测量 .....    | ( 79 )  |
| 第五节 交流电路功率测量 .....   | ( 94 )  |
| 第六节 交流电能的测量 .....    | ( 108 ) |
| 第七节 电阻的直接测量 .....    | ( 124 ) |
| 第八节 万用电表及其使用 .....   | ( 141 ) |
| 思考题 .....            | ( 150 ) |
| 第三章 变压器 .....        | ( 153 ) |
| 第一节 变压器的基本知识 .....   | ( 153 ) |
| 第二节 小型变压器 .....      | ( 166 ) |
| 第三节 电力变压器 .....      | ( 176 ) |
| 第四节 特殊变压器 .....      | ( 209 ) |

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| 第五节 磁放大器 .....             | (221) |
| 思考题 .....                  | (233) |
| 第四章 直流电动机 .....            | (234) |
| 第一节 直流电动机的结构及工作原理 .....    | (234) |
| 第二节 常用小型直流电动机型号、规格及用途 ...  | (240) |
| 第三节 直流电机的电枢绕组 .....        | (244) |
| 第四节 直流电动机的电枢反应及换向原理 .....  | (256) |
| 第五节 直流电动机的运行 .....         | (264) |
| 思考题 .....                  | (282) |
| 第五章 异步电动机 .....            | (284) |
| 第一节 三相异步电动机的构造和工作原理 .....  | (285) |
| 第二节 三相异步电动机的定子绕组 .....     | (298) |
| 第三节 三相异步电动机的启动、调速和制动 ..... | (305) |
| 第四节 三相异步电动机运行故障的分析 .....   | (321) |
| 第五节 三相鼠笼式多速异步电动机 .....     | (326) |
| 第六节 单相异步电动机 .....          | (337) |
| 思考题 .....                  | (340) |
| 第六章 低压电器 .....             | (342) |
| 第一节 概述 .....               | (342) |
| 第二节 手动控制电器 .....           | (347) |
| 第三节 自动控制开关 .....           | (359) |
| 第四节 低压保护电器及保护电路 .....      | (387) |
| 第五节 半导体无触点开关 .....         | (400) |
| 第六节 电磁铁 .....              | (405) |
| 思考题 .....                  | (407) |
| 第七章 机床电路及电动起重机电气控制线路 ..... | (409) |
| 第一节 电气控制线路中常用电机、电器符号 ..... | (409) |

|     |                       |       |
|-----|-----------------------|-------|
| 第二节 | 继电——接触控制线路的基本环节 ..... | (422) |
| 第三节 | 常用机床电路 .....          | (431) |
| 第四节 | 电动吊钩桥式起重机的控制线路 .....  | (454) |
| 思考题 | .....                 | (480) |
| 第八章 | 工厂供电系统及其装置 .....      | (481) |
| 第一节 | 有关供电的基本知识 .....       | (481) |
| 第二节 | 工厂供电系统 .....          | (490) |
| 第三节 | 高压配电设备的构造、性能和作用原理 ... | (501) |
| 第四节 | 低压配电设备 .....          | (519) |
| 第五节 | 配电设备的运行、检修与试验 .....   | (519) |
| 第六节 | 电气线路 .....            | (526) |
| 第七节 | 继电保护装置 .....          | (540) |
| 第八节 | 过电压保护 .....           | (555) |
| 第九节 | 接地装置 .....            | (561) |
| 思考题 | .....                 | (572) |
| 第九章 | 工厂照明 .....            | (573) |
| 第一节 | 白炽灯 .....             | (573) |
| 第二节 | 卤钨灯 .....             | (576) |
| 第三节 | 日光灯 .....             | (578) |
| 第四节 | 其它类型日光灯 .....         | (589) |
| 第五节 | 高压水银灯 .....           | (590) |
| 第六节 | 电气照明的故障和检修 .....      | (594) |
| 思考题 | .....                 | (597) |
| 后记  | .....                 | (598) |

# 第一章 电工基础知识概要

## 第一节 直流电路

### 一、导体、绝缘体和半导体

自然界的一切物质都是由原子组成的。由子组成物质的原子种类和数量不同，因此使自然界中存在着形形色色的物质的物理、化学性质也各不相同。

原子是由原子核和围绕原子核运动的电子组成的。原子核带正电，电子带负电，正负电荷间存在着相互作用力。在正常情况下，正负电荷数量相等，对外不显电性。不同的原子，其原子核内部结构和它周围的电子数量也不同。由于原子核的内部结构和它周围的电子数量与分布不一样，因此使各种不同的物质具有各自的特性。

物质原子最外层电子数量的多少，往往决定着该种物质传导电荷的能力(导电性能)。各种物质按照导电性能不同，大体上可以分成三大类：

**导体：**组成这类物质的原子，最外层电子数量少于四个，距原子核较远，受原子核的作用力较小，当获得一定能量后，就能挣脱原子核的束缚，跑出轨道成为自由电子。因而这类物质在常温下就存在大量的自由电子，具有良好的导电能力，称为导体。如各种金属和碳等。

**绝缘体(非导体)：**组成这类物质的原子，最外层电子往往

多于四个，它们受原子核的作用力较强，不易挣脱原子核的束缚而成为自由电子，因而在常温下具有极少的自由电子，导电能力很差或几乎不导电，如橡胶、云母、陶瓷、塑料、玻璃等。

半导体：这类物质在常温下具有的自由电子数量介于导体和绝缘体之间，因而导电能力也介于导体和绝缘体之间，如硅、锗、硒等。

## 二、电路及其基本物理量

### 1. 电路

电流经过的闭合路，称为电路。一个最简单最基本的电路，必须由电源、负载和连接导线组成。

### 2. 电路的基本物理量

(1) 电流：电荷有规则的定向运动，就称为电流。正电荷运动的方向规定为电流的方向。

电流的大小用电流强度来量度，简称为电流，用  $I$  表示。若在  $t$  秒时间内通过导体任一截面的电量为  $Q$ ，那么电流强度可表示为：

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

若电量的单位为库仑(1库仑 =  $6.24 \times 10^{18}$  个电子所带的电量)，时间为秒，则电流强度的单位为安培，用  $A$  表示。除安培单位外，还常用毫安( $mA$ )和微安( $\mu A$ )，其换算关系为：

$$1 \text{ 安培}(A) = 1000 \text{ 毫安}(mA)$$

$$1 \text{ 毫安}(mA) = 1000 \text{ 微安}(\mu A)$$

(2) 电压：电路中任意两点的电位差，称为电压。电压的单位有伏特( $V$ )、毫伏( $mV$ )、微伏( $\mu V$ )。

$$1 \text{ 伏}(V) = 1000 \text{ 毫伏}(mV)$$

1 毫伏( $mV$ ) = 1000 微伏( $\mu V$ )。

(3) 电阻, 导体对电流通过时所呈现的阻力, 称为导体的电阻, 用  $R$  表示。电阻的基本单位为欧姆( $\Omega$ ), 较大的单位为千欧( $K\Omega$ )和兆欧( $M\Omega$ ), 即:

1 兆欧( $M\Omega$ ) = 1000 千欧( $K\Omega$ )

1 千欧( $K\Omega$ ) = 1000 欧( $\Omega$ )

对一定材料的导体, 其电阻大小与导体长度( $l$ )成正比, 与导体横截面积( $S$ )成反比, 这个关系称为电阻定律, 即:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-2)$$

式中  $\rho$  是比例常数, 称为导体的电阻率, 不同材料的导体, 其  $\rho$  值不一样, 它反映着不同材料各自的导电性能, 其单位为欧姆·毫米<sup>2</sup>/米 ( $\Omega \cdot mm^2/m$ )。若  $l$  单位为米,  $S$  单位为平方毫米, 则电阻单位为欧姆。

导体的电阻大小与温度有关, 可用下式表示:

$$R_t = R_0 [1 + \alpha(t_1 - t_0)] \quad (1-3)$$

式中:  $R_0$  是对应温度  $t_0$  时的电阻值,  $R_t$  是对应温度  $t_1$  时的电阻值,  $\alpha$  叫做材料的电阻温度系数, 它取决于导体的材料。不同材料的导体,  $\alpha$  的大小也不同。其大小表示温度每升高一度时, 电阻值增加的百分数, 单位为  $1/^\circ C$ 。

### 三、电路的基本定律

#### 1. 部分电路欧姆定律

德国物理学家欧姆研究了电路中电流、电压与电阻之间的关系, 从大量的实验中得出: 通过部分电路的电流  $I$  和该电路两端电压  $U$  成正比, 和该电路的电阻  $R$  成反比, 这就是部分电

路欧姆定律的内容。用数学式表示为：

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-4)$$

在上式中， $U$  的单位为伏， $R$  的单位为欧姆， $I$  的单位就是安培。

从欧姆定律可以推得两个重要关系：

(1) 部分电路两端的电压在数值上等于通过它的电流和电阻的乘积，即为：

$$U = IR \quad (1-5)$$

(2) 部分电路的电阻在数值上等于该电路两端的电压和通过它的电流的比值，为：

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

## 2. 全电路（闭合电路）欧姆定律

图 1-1 为一闭合电路。实验证明：通过闭合电路的电流  $I$  和电路中电源的电动势成正比，和电路中总电阻成反比，这就是全电路欧姆定律的内容。用数学表达式表示为：

$$I = \frac{E}{r + R} \quad (1-7)$$

式中  $E$  —— 电源电动势；

$r$  —— 电源内阻；

$R$  —— 负载电阻。

从 (1-7) 式可得：

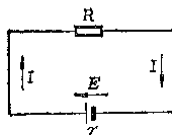


图 1-1 最基本的闭合电路

$$E = IR + Ir = U + U_0 \quad (1-8)$$

(1—8) 式说明，电源电动势等于端电压  $U$  和内阻上电压降  $U_0$  之和。

由 (1—8) 式可得：

$$U = E - I r \quad (1-9)$$

(1—9) 式说明，电源端电压等于电源电动势和内阻上电压降之差。从 (1—9) 式可见，负载电流的变化将引起端电压的波动。电源端电压因负载变化而发生波动的这种性质，叫电源的外特性。若负载变化较大，而端电压几乎维持不变，称电源的外特性好或带负载的能力强。

#### 四、电阻的连接方式

电阻的连接方式，最简单和最常用的是串联和并联。

##### 1. 电阻的串联连接

两个或两个以上的电阻首尾逐个相连起来，称电阻的串联连接。图 1—2 是由两个电阻串联组成的电路。电阻串联的特点为：

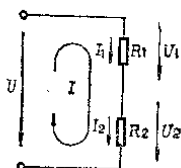


图 1—2 电阻串联

(1) 流经串联电阻的电流相等，即：

$$I = I_1 = I_2 \quad (1-10)$$

(2) 串联电路总电压等于各电阻上电压降之和，即：

$$U = U_1 + U_2 \quad (1-11)$$

(3) 串联电路的总电阻（或等效电阻）等于各串联电阻之和，即：

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

(4) 分压比：串联电阻上的电压降和本电阻阻值成正比，即：

$$U_1 = \frac{R_1}{R_2 + R_1} U \quad U_2 = \frac{R_2}{R_2 + R_1} U \quad (1-13)$$

式中  $\frac{R_1}{R_1 + R_2}$ 、 $\frac{R_2}{R_1 + R_2}$  称为分压比(或分压系数)。

## 2. 电阻的并联连接

由两个或两个以上的电阻，一端连接在一起，另一端连接在一起，称为电阻的并联连接，如图 1—3 所示。 $R_1$  和  $R_2$  组成并联接法，其特点为：

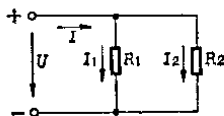


图 1—3 电阻并联

(1) 并联电路中各支路的电压相等，即：

$$U = U_1 = U_2 \quad (1-14)$$

(2) 并联电路的总电流等于各支路电流之和，即：

$$I = I_1 + I_2 \quad (1-15)$$

(3) 并联电路的等效电阻(总电阻)的倒数等于各支路电阻倒数之和，即：

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (1-16)$$

(4) 分流比：当有两个电阻并联时，每一并联支路的电流和本支路的电阻成反比，即：

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \quad (1-17)$$

式中： $\frac{R_2}{R_1 + R_2}$ 和 $\frac{R_1}{R_1 + R_2}$ 称为分流比。

除电阻的串、并联外，还有电阻的混联，亦即在电路中既有串联又有并联。

## 五、电功和电功率

### 1. 电功

电流能使电动机转动，电炉发热，电灯发光等，即电流具有做功的能力。电流所做的功称为电功。电功可用下式计算：

$$A = QU = UI t \quad (1-18)$$

式中： $U$ 为电压，单位是伏特； $I$ 为电流，单位是安培； $t$ 为时间，单位是秒； $A$ 为电功，单位是焦耳（瓦特·秒）。

### 2. 电功率

电流所做的功和完成这些功所用的时间的比值，称为电功率，它表示电流做功的快慢程度。电功率可用下式计算：

$$P = \frac{A}{t} = \frac{IU t}{t} = UI \quad (1-19)$$

式中： $P$ 为电功率，单位是焦耳/秒，即瓦特（用 $W$ 表示），简称瓦。比瓦大的单位有千瓦和马力，比瓦小的单位有毫瓦、微瓦。其换算关系：

$$1 \text{ 千瓦}(KW) = 1000 \text{ 瓦}(W)$$

$$1 \text{ 毫瓦}(mW) = 1000 \text{ 微瓦}(\mu W)$$

$$1 \text{ 马力}(HP) = 735 \text{ 瓦}(W)$$

电功率还可表示为:

$$P = IU = \frac{U^2}{R} = I^2 R \quad (1-20)$$

若已知用电设备的功率和用电时间, 也可求电功, 即:

$$A = Pt$$

电功的单位还有千瓦小时, 称为度。亦即:

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ 千瓦小时 (KWH)}$$

## 六、电流的热效应

电流通过导体时会发热, 这种现象称为电流的热效应。实验证明, 电流通过导体时产生的热量, 与电流强度的平方成正比, 与导体的电阻和通电时间成正比, 这个定律叫做焦耳——楞次定律, 可表示为:

$$Q = 0.24 I^2 R t \quad (1-21)$$

根据欧姆定律, 上式可表示为:

$$Q = 0.24 I U t = 0.24 \frac{U^2}{R} t \quad (1-22)$$

式中若  $I$  单位是安培,  $U$  单位是伏特,  $R$  单位是欧姆,  $t$  单位是秒, 那么热量  $Q$  单位是卡。

## 七、基尔霍夫定律

对于简单的电路, 应用欧姆定律和电阻串并联规则就可以进行分析与计算, 而对于图 1—4 所示的复杂的电路就必须用更普遍的电路定律——基尔霍夫定律才能更好地进行分析和计算。

在复杂电路中，三条或三条以上支路的会聚点，称为节点，图1—4所示电路中的H、B都是节点。而电路中的任何一个闭合电路，都称为回路，如ABHF、BCDH和ACDF都是回路。

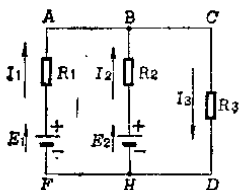


图 1—4 复杂电路

基尔霍夫定律就是反映复杂电路中任一节点处电流之间的关系和任一回路中电源电动势和电阻上电压降之间关系的。

基尔霍夫定律的内容为：

1. 基尔霍夫第一定律（节点电流定律）：

在复杂电路中任一个节点处流入的电流总和，等于流出的电流总和，称为基尔霍夫第一定律。在图1—4电路中，对于节点B，电流之间关系按基尔霍夫第一定律可表示为：

$$I_1 + I_2 = I_3$$

写成一般表示式为：

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad (1-23)$$

若流入节点的电流规定取正值，而流出节点电流取负值，那么上式又可表示为：

$$\sum I = 0 \quad (1-24)$$

(1—24)式说明：对复杂电路中任一个节点处，电流的代数和为零。

2. 基尔霍夫第二定律（回路电压定律）：

在复杂电路的任一回路中，沿任一绕行方向，电动势的代