

内外线电工必读

天津市第一机械工业局主编

工 人
技术等级标准
自学丛书



天津科学技术出版社

本书是参照第一机械工业部颁发的《工人技术等级标准》编写的，比较全面地阐述了二至六级内外线电工所必须掌握的基础知识和操作技能。

本书由刘永年、张凤岐编写，范竹先、吴贤材主审。参加审阅的还有李忠琪、徐向民、王子芳、王成顺、郭振文、俞龙龙和张兆驹等。

工人技术等级标准自学丛书

内外线电工必读

天津市第一机械工业局主编

*

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道124号

天津新华印刷二厂印刷

天津市新华书店发行

*

开本 787×1092毫米 1/32 印张 15 3/4 字数 336,000

一九八二年二月第一版

一九八二年二月第一次印刷

印数：1-154,000

统一书号：15212·40 定价：1.07元

前 言

提高工人技术理论水平和实际操作能力,是工业企业开展全员培训工作的重要内容之一,也是提高产品质量、增加品种、降低成本、扩大再生产的重要措施。为了适应职工自学和全员培训工作的需要,我们受第一机械工业部委托,参照部颁的《工人技术等级标准》,选定其中的三十五个主要工种,组织编写了这套工人技术学习读物。

这套工人技术学习读物,定名为《工人技术等级标准自学丛书》,分别由机械工业出版社和天津科学技术出版社出版。每个工种单独成册,每册按《工人技术等级标准》中的应知应会要求,分成基础知识和操作实例两个部分,由二级工到六级工逐级撰写。在编写过程中,力求做到取材先进实用;内容密切联系生产实际;层次分明、文字简练、通俗易懂;表达形式新颖。但由于《工人技术等级标准》要求范围宽广,这套自学丛书的叙述只能突出重点,难以包括《工人技术等级标准》的全部内容。

《工人技术等级标准自学丛书》可供各系统、各部门具有相当初中以上文化水平的机械工人自学使用。也可以作为工厂进行技工培训和考核的参考用书。

组织编写这套丛书,曾得到原参加制订《工人技术等级标准》的同志和天津市机械工程学会及天津大学等有关院校、工厂、科研单位的协助,特此表示感谢。

这套丛书的专业性较强，涉及的知识面广。由于我们缺乏经验，编写时间又仓促，错误和不当之处在所难免，欢迎广大读者批评指正。

天津市第一机械工业局
一九八一年元月

目 录

二级工

基础知识 (1)

操作实例 (105)

三级工

基础知识 (130)

操作实例 (209)

四级工

基础知识 (215)

操作实例 (298)

五级工

基础知识 (310)

操作实例 (409)

六级工

基础知识 (442)

操作实例 (486)

二 级 工

基 础 知 识

1 电工基础知识

一、几个基本的物理概念

1. 导体、绝缘体和半导体

(1) 导体 具有大量能够自由移动的带电粒子（自由电子或正、负离子），因而能很好地传导电流的物体，叫导体。如各种金属、碳及电解液等。

(2) 绝缘体 也叫“非导体”。没有或只具有极少量能够自由移动的带电粒子，因而电流不能或很难通过的物体。如空气、木材、棉、毛、玻璃、电木、橡胶、石蜡、塑料等。

(3) 半导体 导电性能介于导体和绝缘体之间的物体。一般为固体，呈晶体结构。例如锗、硅以及金属的氧化物、硫化物等。

2. 电荷及其运动规律

(1) 电荷 它是电的量度，习惯上也把带电体本身简称电荷，电子是其最小单元。任何物体都带有大量的极微小的带正电和带负电的质点。在正常条件下，这些带正电和带负电的质点数量上是相等的。由于某种原因，使负电荷多于（或少于）正电荷，因而这个物体便带负电（或带正电）。

电荷以字母“ q ”表示，单位为库仑。一个电子的电荷

是 1.6×10^{-19} 库仑。

(2) 电荷的运动规律 在带电体周围的空间具有电力作用，此空间叫电场。处于相对平衡状态的静止电荷的电场叫静电场。

在带电体Q附近，放进另一个带电体q，那么q就会受到电场的作用力。如果它们带的电荷性质相同，就将相互排斥；如果性质不同则将相互吸引。这说明电荷是同性相斥，异性相吸。当带电体在电场力的作用下移动时，电场便对它做了功，这表示电场具有能量。

电荷在电场内的某一点上所受到的电场力，不仅与电荷所带的电量Q成正比，而且还与该点的电场强度成正比。即

$$\vec{F} = \vec{E}Q$$

3. 电位及电位差

单位正电荷在电场力的作用下，从某点移动到参考点（通常将参考点的电位定为零电位）时所做的功，叫做该点的电位。

电路中任意两点a、b间电位的差值叫做a、b间的电位差，也叫a、b间的电压。这两点的电位分别用 U_a 和 U_b 表示；两点间的电位差即电压，用 U_{ab} 表示。电位和电位差（电压）的单位均为伏特。

4. 电源和电动势

将其他形式的能量转变为电能，用以维持电路中电流流动的装置，称为电源。如发电机将机械能转变为电能；干电池和蓄电池将化学能转变为电能，等等。在电子和电工设备中，有时也用变换电能形式的装置，如整流器（将交流电变

换为直流电)、稳压器等,也称为电源。

电源内部分离电荷以维持电位差的能力叫做电动势,用符号 E 表示。电动势 E 的大小等于单位电荷在电源内部非静电力的作用下通过电源时所获得的能量,单位为伏特。电源的电动势在数值上等于外电路断开时电源两极间的电位差。

必须注意,电动势和电压两者的概念不同,不可混淆。电动势是指电源内部的一种非静电作用力(如机械能作用力、化学能作用力),其方向是从负极到正极的方向,即电压升高的方向。而电压是指电路中任意两点间的电位高低之差,它的方向是电压降低的方向。

5. 电路和电流

电荷由高电位向低电位流动所经过的路径叫电路。电路是由电源、负载、导线和开关等四个部分组成的。

电荷在电路中流动形成电流。习惯上把正电荷的运动方向定为电流方向。单位时间内通过导体横截面的电量叫做电流强度,简称电流,用符号 I 表示,单位为安培(以A表示)。

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

式中 q ——电量,单位为库仑;

t ——时间,单位为秒。

1秒钟内流过导体横截面的电量是1库仑,则导体内的电流为1安培。根据不同的需要,电流的单位还有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A)。

$$1 \text{ 千安} = 1000 \text{ 安} = 10^3 \text{ 安}$$

$$1 \text{ 毫安} = \frac{1}{1000} \text{ 安} = 10^{-3} \text{ 安}$$

$$1 \text{ 微安} = \frac{1}{1000000} \text{ 安} = 10^{-6} \text{ 安}$$

电流的方向不随时间而变化叫做直流；随时间变化则叫做交流。

在选用导线截面时，常用到电流密度这个名词，所谓电流密度就是当电流在导体的横截面上均匀分布时，该电流 I 与导体横截面积 S 之比值，用字母 “ J ” 表示，即

$$J = \frac{I}{S}$$

电流密度 J 的单位为安培/毫米² (A/mm²)。

6. 电阻

电子在导体内做定向移动时，会受到导体中原子的阻力，这种阻碍电流通过的阻力叫做导体的电阻，用字母 “ R ” 或 “ r ” 表示，其单位为欧姆，简称欧，通常用 “ Ω ” 表示。较大的电阻用千欧 (k Ω)、兆欧 (M Ω) 为单位。

$$1 \text{ k}\Omega = 1000 \Omega = 10^3 \Omega$$

$$1 \text{ M}\Omega = 1000000 \Omega = 10^6 \Omega$$

导体电阻的大小与该导体的长度 (l) 成正比，与导体的截面积 (S) 成反比，并与导体材料的性质有关。可用下式表示：

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

式中 R ——电阻，单位为欧；

l ——导体的长度，单位为米；

S ——导体的截面积，单位为毫米²；

ρ ——导体的电阻率，单位为欧·毫米²/米。

电阻率（ ρ ）也叫“电阻系数”。它表示长1米、截面积1毫米²的导体所具有的电阻。金属导体的电阻率（ ρ ）与温度有关。一般金属导体的电阻率（ ρ ）随温度的升高而增大，随温度的降低而减小。

通常把温度每升高1°C，电阻的变化数值与原来电阻值的比值叫做电阻的温度系数，可用下式表示：

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)}$$

式中 α ——电阻温度系数，单位为1/°C；

t_1 ——初始温度，单位为°C；

R_1 ——初始电阻，单位为欧；

t_2 ——升高后的温度，单位为°C；

R_2 ——温度升高后的电阻，单位为欧。

表1-1是几种常用的金属导体在20°C时的电阻率以及它们的温度系数。

表1-1 几种导电材料的电阻率和平均电阻温度系数

材 料	电阻率(欧·毫米 ² /米)	平均电阻温度系数(1/°C)
银	0.016	0.004
铜	0.0175	0.004
铝	0.029	0.004
钨	0.056	0.0046
钢	0.13~0.25	0.006
铁	0.13~0.3	0.006

二、欧姆定律及简单的串、并联电路

1. 欧姆定律

(1) 定义 图1-1是一个简单的直流电路，如用电压表和电流表分别测量电阻箱两端(A、B两点间)的电压和电阻箱中流过的电流，便可发现该电路中电压、电流和电阻三者之间的相互关系。如1-1图所示，若保持电阻箱的电阻 R 值不变，调节可变电阻值以改变A、B两点间的电压，便可发现电路中流过的电流 I 与电压 U 成正比，即

$$I \propto U$$

若保持A、B两点间的电压不变，改变电阻箱的电阻 R 值，则电流 I 与电阻 R 成反比，即

$$I \propto \frac{1}{R}$$

由此可以得出欧姆定律：“在直流电阻电路中，流过电阻中电流的大小与电阻两端电压的高低成正比，与电阻阻值的大小成反比”。欧姆定律可用下式表达：

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

(2) 欧姆定律的三种表达方式 对于直流电路中的电流、电压、电阻三个物理量，只要已知其中任意两个，便可求出第三个。因此欧姆定律有三种表达方式，即

①已知电压、电阻，求电流： $I = \frac{U}{R}$

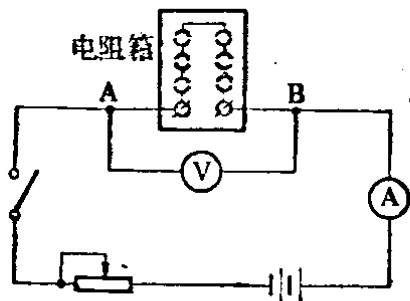


图1-1 简单直流电路

②已知电流、电阻，求电压： $U = IR$

③已知电压、电流，求电阻： $R = \frac{U}{I}$

为了帮助记忆，将上述三个物理量的关系用图1-2表示。图中横线表示除号。

图1-2的使用方法如下：在应用欧姆定律进行计算时，用手指遮住要求的物理量符号，剩下的就是运算公式。

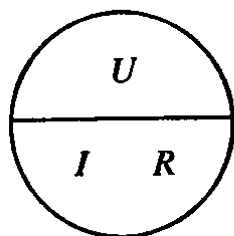


图1-2 欧姆定律图示

(3) 应用举例

【例1】一根导线的电阻为0.2欧姆，流过50安培电流，求这根导线上的电压降是多少伏特？

$$\begin{aligned} \text{解：} U &= IR = 0.2 \times 50 \\ &= 10(\text{伏特}) \end{aligned}$$

【例2】一只电压表的满量程为300伏特，表头的最大通过电流为1毫安，求此电压表的内电阻是多少欧姆？

$$\begin{aligned} \text{解：} R &= \frac{U}{I} = \frac{300}{0.001} = 300000(\text{欧姆}) \\ &= 300(\text{千欧}) \end{aligned}$$

2. 电阻的串联电路

把几个电阻（或电池）首尾依次联接起来，各电阻中通过同一电流，这种联接方式叫做串联电路，如图1-3所示。

电阻串联电路的特点：

- (1) 各电阻中的电流相等。
- (2) 各电阻两端的电压与各自的电阻成正比，即

$$U_1 = IR_1$$

$$U_2 = IR_2$$

$$U_3 = IR_3$$

(3) 电路两端的总电压 U 等于各段电压之和, 即

$$\begin{aligned} U &= U_1 + U_2 + U_3 \\ &= IR_1 + IR_2 + IR_3 \\ &= I(R_1 + R_2 + R_3) \end{aligned}$$

(4) 电路中的总电阻 (等效电阻) 等于各段电阻之和, 即

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

可见, 电阻串联得越多, 总电阻越大。在电源电压不变的情况下, 电路中串联的电阻增加, 将使电路中流过的电流减小, 起着限制电流的作用。这个特点在实际工作中得到广泛的利用, 如在直流电机起动时, 在电枢中串入电阻以限制起动电流。串联电阻还具有均压或分压作用, 电压表量程的扩大, 就是利用这个原理实现的。

【例】有一只电压表, 其最大量程是250伏, 内电阻为250千欧, 如果用它测量450伏的电压, 应如何处理?

解: 为使该电压表能测量450伏电压, 可将其量程扩大到500伏。为此, 必须串入分压电阻 $R_{分}$, 如图1-4。

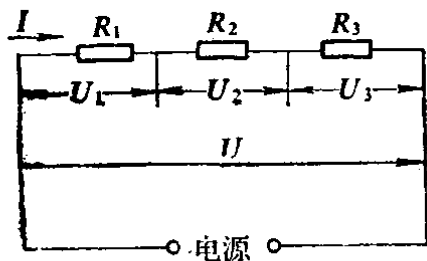


图1-3 电阻串联电路

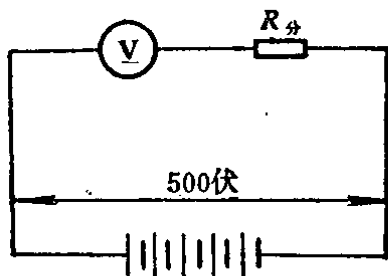


图1-4 电压表扩大量程

$R_{分}$ 上应该分担的电压为500伏 - 250伏 = 250伏。根据串联电路的特点, 有

$$I = \frac{U_{\text{分}}}{R_{\text{分}}} = \frac{U_{\text{表}}}{R_{\text{表}}}$$

$$R_{\text{分}} = \frac{U_{\text{分}}}{U_{\text{表}}} \times R_{\text{表}} = \frac{250}{250} \times 250$$

$$= 250 \text{ (千欧)}$$

3. 电阻的并联电路

把几个电阻首、尾分别联在一起,接到电源上,如图1-5所示。这时每个电阻两端所承受的电压 U 相同,即

$$U_1 = U_2 = U_3 = U$$

这种联接方式叫做并联。如各用户的电灯与电源就是并联电路。

电阻并联电路的特点:

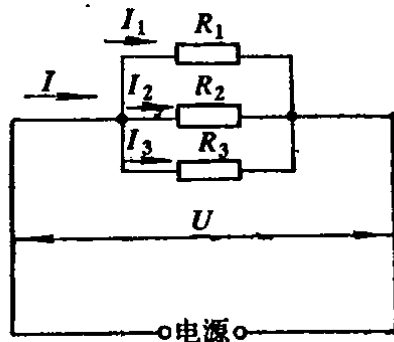
(1) 各电阻上承受的电压相等。

(2) 各电阻中流过的电流与各自的电阻成反比,即

$$I_1 = \frac{U}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{U}{R_3}$$



(3) 并联电路中的总电流等于各支路电流之和,即

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$= \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

图1-5 并联电路

$$= U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

(4) 并联电路中总电阻的倒数等于各并联支路电阻的倒数之和, 即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

或

$$R = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

当并联电路各并联支路电阻相等时, 总电阻等于各支路电阻值的 $\frac{1}{n}$, 其中 n 为并联支路数, 即

$$R_{\text{总}} = \frac{R_{\text{支}}}{n}$$

可见, 并联电阻越多, 总电阻越小。

(5) 并联电阻对总电流有分流作用。

4. 电阻的混联电路

实际电路往往既有串联又有并联, 这种电路就是混联电路。图 1-6 中, R_1 和 R_2 串联, R_3 和 R_4 并联, 这是一个简单的混联电路。

在图 1-6 中, 混联电路的等效电阻 (即总电阻) R 可用下式计算:

$$R = R_1 + R_2 + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}$$

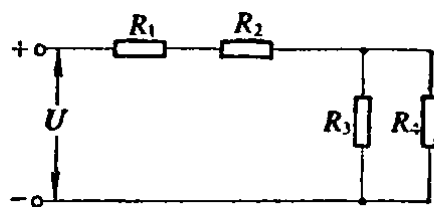


图1-6 混联电路

混联电路的计算步骤如下：

(1) 应用电阻串联和并联的公式把电路简化，然后再求出电路的总电阻。

(2) 应用欧姆定律求出总电流。

(3) 根据总电流求出各支路的电流。

(4) 根据各电阻上的电流求出各电阻上的电压降。

5. 全电路欧姆定律

在实际电路中往往以直流发电机或蓄电池等作为电源，这种电路存在着内电路（即电源内部的电路）和外电路（即负载电阻），内电路和外电路组成全电路。电源内部具有电阻，叫做内阻。图 1-7 为一个以直流发电机作为电源的电路，就是一个全电路。

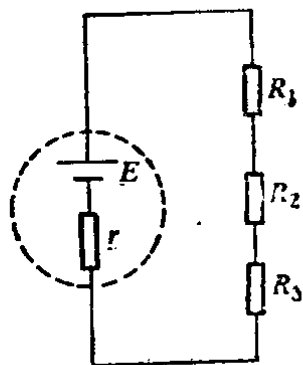


图 1-7 中的 r 就是直流发电机的内阻。

图1-7 电源有内阻的全电路

当电流在电源中通过时，内电阻也要消耗一定的电能，即产生电压降 U_r （叫做内电路压降）。

实践证明：在只有一个电源的无分支闭合电路中，电流 I 与电源的电动势 E 成正比，与外电路电阻和内电路电阻之和 $(R + r)$ 成反比。这叫做全电路的欧姆定律，可用下式表示：

$$I = \frac{E}{R + r}$$

或

$$E = IR + Ir$$

如外电路 $U = IR$ ，上式可写成：

$$E = U + Ir$$

或

$$U = E - Ir$$

通常可以认为电源的电动势和内电阻是常数，并且外电阻 R 比内电阻 r 大得多，外电路的端电压非常接近电源的电动势。因此，有时也将电源内部的电压降 Ir 忽略不计。

下面我们讨论一下外电路开路 ($R = \infty$) 和短路 ($R = 0$) 两种情况下的电路状态。

(1) 开路 当外电路开路 ($R = \infty$) 时，电流不通 ($I = 0$)，此时式 $U = E - Ir$ 变为 $U = E$ 。即开路时，电路的端电压在数值上等于电源的电动势。常用此简单地测量电源的电动势。

(2) 短路 当外电路电阻逐渐减小时，从式 $I = \frac{E}{R+r}$

可以看出，电路中的电流 I 将不断增加。当 $R = 0$ 时，叫做短路状态，短路时电流达最大值，此电流叫做短路电流，即

$$I_{\text{短}} = \frac{E}{r}$$

由于 r 数值很小， $I_{\text{短}}$ 将很大。因此短路电流不仅会损坏电气设备，而且还会产生强烈的电弧，能引起火灾和爆炸等严重事故。故电路中必须装设保护装置，以防止事故的发生。

6. 节点电流定律

(1) 几个有关电路的名词