

电线电缆相关的电工基础知识

大庆油田昆仑集团电缆公司 沈阳 蒋琪 韩令夺

电线电缆的用途是输送电能的，就像给水系统的自来水管，没有水管水就不能输送。发电厂发出的电能没有电线、电缆就不能输出到千家万户、各个用电单位。

电线电缆的生产、检测人员，要做好本职工作，灵活地处理生产中出现的各种问题，就要了解和掌握一些与其相关的电工基础知识。

一、名词解释：

交流电：电流方向和大小随时间做周期性变化，用 AC 表示。

直流电：电流方向和大小不变，用 DC 表示。

频率：1 秒钟完成周期变化的次数，单位是赫兹（Hz）。

工频电：工业用的交流电源，我国工频电的频率是 50 赫兹。

电压：导体两端的电位差叫电压，基本单位伏特（简称伏）用 V 表示。

高压用千伏（kV）表示。低压用毫伏（mV）和微伏（ μV ）表示，它们之间的换算关系是：

$$1\text{kV}=1000\text{V} \quad 1\text{V}=1000\text{mV} \quad 1\text{mV}=1000\mu\text{V}$$

电线电缆额定电压 U_0/U 的含义：

U_0 ：电线电缆导体、对屏蔽层、铠装层、护套、地的额定工频电压，称相电压。

U 电缆导体间的额定工频电压，称线电压。

电缆的额定电压 U_0/U 选择与电源中性点接地方式有关，在电源中性点直接接地系统中。

$$U = U_0 \cdot \sqrt{3} = U_0 \cdot 1.73$$

交流电的有效值：交流电和直流电通过相同阻值的电阻，如果在相同的时间产生的热量相等，这一直流电的数值就叫做这一交流电的有效值，交流电电压有效值用 U 表示。

我们通常所说的交流电的电流、电压，用电器铭牌上的额定电压、电流等都是指交流电的有效值。

交流电的最大值：交流电在一个周期内出现的最大值，用 U_m 表示。

$$U_m = \sqrt{2} U = 1.41 U$$

220V 交流电最大值是：

$$U_m = \sqrt{2} U = 1.41 U = 1.41 \times 220 \approx 310\text{V}$$

电流：电子的定向移动叫电流，基本单位安培（简称安）用 A 表示。

$$1\text{kA}=1000\text{A} \quad 1\text{A}=1000\text{mA} \quad 1\text{mA}=1000\mu\text{A}$$

导体电阻：电流通过导线所受到的阻力叫电阻，基本单位欧姆（简称欧）用 Ω 表示。

绝缘电阻：绝缘物在规定的条件下的直流电阻，是电气设备和电气线路最基本的绝缘指标。电阻值越大阻止漏电流的能力越强，基本单位是兆欧，用 $\text{M}\Omega$ 表示。

$$1\text{M}\Omega=1000\text{k}\Omega \quad 1\text{k}\Omega=1000\Omega \quad 1\Omega=1000\text{m}\Omega \quad 1\text{m}\Omega=1000\mu\Omega$$

电功率：单位时间内电流做的功叫做电功率，基本单位是瓦特（简称瓦），用 W 表示：

$$1\text{kW}=1000\text{W} \quad 1\text{W}=1000\text{mW}$$

电容：两个彼此绝缘相隔很近的导体（包括导线）就构成了一个最简单的电容。电容是容纳电荷的器件，特点是通交流电隔直流电。

电容常用的单位是微法（ μF ）。

$$1\mu\text{F}=1000\text{nF} \quad 1\text{nF}=1000\text{pF}$$

电感：电感是把电能转化为磁能存储起来的器件，特点是阻碍交流电的通过，对直流电没有作用。单位是亨利（H）。

$$1\text{H}=1000\text{mH} \quad 1\text{mH}=1000\mu\text{H}$$

纯电容电路：电流相位超前电压 90°

纯电感电路：电压相位超前电流 90°

谐振：在具有电感、电容、电阻的电路，当电路的感抗和容抗相等，电路电压和电流同相位，电路对外呈现出纯电阻性质叫谐振，谐振分串联谐振和并联谐振。

串联谐振可以在电感、电容上产生比电源电压大很多倍的高电压。电缆的局放试验系统就是采用串联谐振方法，被试电缆通过油杯与电抗器、地相接，试验时通过调节电抗器间隙位置，改变电抗器的电感量，使试验回路的感抗与容抗相等，发生谐振产生试验高电压。

电阻率：是指长度为 1 米，横截面积为 1 平方毫米的某种材料在 20°C 的电阻值。

铜的电阻率是 $0.01724(\Omega)$ ，铝的电阻率是 $0.0284(\Omega)$ 。

导体电阻的温度系数：是指导体以 20°C 电阻值为标准，温度每升高（下降） 1°C ，电阻增大（减小）的百分数。

电缆绝缘电阻的温度系数：不同绝缘材料的电缆绝缘电阻温度系数是不同的，共同点是以 20°C 电阻值为标准，温度升高绝缘电阻降低、温度降低绝缘电阻升高，与导体电阻温度系数换算结果相反。

二、电工常用公式：

1. 欧姆定律：

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

式中：I 代表电流、单位安培（A），U 代表电压、单位伏特（V），R 代表电阻、单位欧姆（ Ω ）。

欧姆定律解释了电路中的电压、电流、电阻三者之间的关系，是电学最基本的定律。

为了便于理解，我们可以形象地把电流想象为水流、电压想象为水压、电阻想象为水阻。

水（电）没有水（电）位差，水（电子）就不能定向移动形成水（电）流。水压（电压）越高，扬程（输送）距离越远。水管（导体）直径越大，允许通过的水（电）流就越大。

2. 计算举例：

一台电加热器，额定工作电压 220V、电流 9A。求加热器发热体的电阻是多少。

根据公式：

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{9} \approx 24.44 (\Omega)$$

加热器发热体的电阻是 24.44Ω 。

3. 电阻计算公式：

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

式中：R 代表电阻、单位欧姆（ Ω ），L 代表导体长度、单位米（m）。

ρ 代表电阻率（ $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ）

S 代表导体截面积、单位平方毫米（ mm^2 ）

4. 计算举例：

4.1 首件检测 QJ36 直流电阻测试仪至电桥夹具电流端子与电压端子连接线互为接反，测 70 平方铜绞线电阻为 $0.268\Omega/\text{km}$ 。正确接线后，再次测量电阻为 $0.266\Omega/\text{km}$ （不考虑现场温度）。

（1）计算两种测量方式铜的电阻率。

（2）以年生产用铜量 3000 吨，以电阻测试仪正确接线测的电阻为标准值，计算按错误接线测量的数据指导生产造成的铜浪费。

根据公式：
$$\rho = \frac{RS}{L}$$

正确接线:

$$\rho = \frac{RS}{L} = \frac{0.266 \cdot 70}{1000} = 0.01862$$

错误接线:

$$\rho = \frac{RS}{L} = \frac{0.268 \cdot 70}{1000} = 0.01876$$

正确接线与错误接线所测的电阻率相差的%数:

$$\frac{0.01876 - 0.01862}{0.01862} \cdot 100 = 0.7518\%$$

按错误接线测量的数据指导生产, 会造成生产用铜浪费为:

$$3000 \cdot 0.7518\% = 22.554 \text{ (吨)}$$

4.2 铝单线的电阻率是 0.0285, 现在要生产 120 电缆线芯, 20°C 直流电阻国家标准 0.253Ω/km。不考虑成缆绞合率因素, 计算 120 电缆线芯允许的最小截面积。

根据公式:

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

$$S = \frac{\rho L}{R} = \frac{0.0285 \cdot 1000}{0.253} \approx 113 \text{ (mm}^2\text{)}$$

5. 电功率计算公式:

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

式中: P 代表电功率、单位瓦 (W), I 代表电流、单位安培 (A), U 代表电压、单位伏特 (V), R 代表电阻、单位欧姆 (Ω)。

6. 计算举例:

挤出机机身加热用的铸铝加热器, 额定电压 220V、电流 13.6A, 计算加热器功率。

$$P = IU = 220 \times 13.6 = 2992 \text{ (W)}$$

三、串联电路与并联电路区别:

1、串联: 元件首尾依次连接在电路中, 电路只有一条路径。

2、并联: 元件首与首, 尾与尾并接在电路的两端可以有几条支路。

四、串联电路的特性:

(1) 串联电路只有一条通路, 电路处处电流相等。电路只要有一处开路, 电路就会停止工作。

(2) 串联电路总电压等于各元件电压降之和。

(3) 串联电路总电阻等于各电阻之和。

(4) 串联电路总电容量等于各支路电容量的倒数之和。

五、并联电路的特性:

(1) 并联电路电压处处相等, 各用电器相互没有影响。

(2) 并联电路总电流等于各支路电流之和。

(3) 并联电路总电阻等于各支路电阻的倒数之和。

(4) 并联电路总电容量等于各支路电容量之和。

六、电阻、电容串联、并联电路计算公式:

(1) 电阻串联计算公式:

$$R_{\text{总}} = R_1 + R_2 + R_n$$

(2) 电阻并联计算公式: $\frac{1}{R_{\text{总}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_n}$

电阻串联相当于增加了导体的长度, 串联的总电阻大于任何一个分电阻。
并联相当于增加了导体的截面积, 并联的总电阻比任何一个分电阻都小。

(3) 电容串联计算公式: $\frac{1}{C_{\text{总}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_n}$

(4) 电容并联计算公式: $C_{\text{总}} = C_1 + C_2 + C_n$

电容串联相当增加了电极之间的绝缘厚度, 串联的总电容比任何一个分电容都小。

电容并联相当增加了电极的表面积, 并联的总电容比任何一个分电容都大。

电阻并联总电阻值变小、电容并联总电容量变大, 电阻串联总电阻值变大、电容串联总电容量变小, 两者结果互为相反。

七、电阻、电容并联计算举例:

(1) 维修需要一个 2 欧姆的电阻, 现有 10 欧姆的电阻, 计算需要并联一个多大的电阻?
设需要并联的电阻为 X 根据电阻并联计算公式:

$$\frac{1}{R_{\text{总}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{2} = \frac{1}{10} + \frac{1}{x}$$

$$\frac{1}{x} = \frac{1}{2} - \frac{1}{10} = \frac{5}{10} - \frac{1}{10} = \frac{4}{10}$$

$$x = \frac{10 \cdot 1}{4} = 2.5 (\Omega)$$

(2) 一根 2 芯电缆线芯与线芯之间电容是 800pF, 另一根 2 芯电缆线芯与线芯之间电容是 1.2nF, 两根电缆并在一起使用, 总电容量是多少?

$$800\text{pF} = 0.8\text{nF} (800/1000)$$

$$C_{\text{总}} = C_1 + C_2 = 0.8 + 1.2 = 2\text{nF}$$

电阻、电容串联计算, 可以套用电阻串联计算公式 (1) 和电容串联计算公式 (3), 参照以上方法进行计算。

不论电阻 (电容) 串联、并联进行计算时, 单位要换算一致。

我们在做工频耐压试验, 为了提高工作效率。经常需要把多轴电缆放在一起试验, 大家习惯称为串着打。其实是不对的, 正确的说法是电缆并联着打。

八、测量仪表常用名词解释:

量程: (满度值) 仪表标定的最大值。

测量范围: 在正常工作条件下, 仪表能按规定的准确度测量的范围。

分辨力: 仪表最后一位数字能够准确显示的最小值。

基本误差 (准确度): 在规定的条件下, 允许存在的最大误差, 也称允许误差。

分度: 仪表表盘相邻二个刻度线所形成的格叫分度, 分度代表的值叫分度值。

计算举例: 工频耐压试验台的电压表 0-1000V 有 5 个分度 (格), 计算分度值。

$$\text{分度值} = 1000/5 = 200\text{V}$$