

第一篇

电力电缆工程设计安装运行 检修基础知识

第一章 电力电缆概论

第一节 现代电力系统简介

发电厂把机械、热等形式的能量转换成电能,电能经过变压器和输电线路输送并分配给用户,再通过各种用电设备转换成适合用户需要的各种形式的能量。这些生产、输送、分配和消费电能的各种电气设备连接在一起组成的整体称为电力系统。电力系统中输送和分配电能的部分称为电力网。它包括升降变压器和各种电压的输电线路,见图 1-1-1。

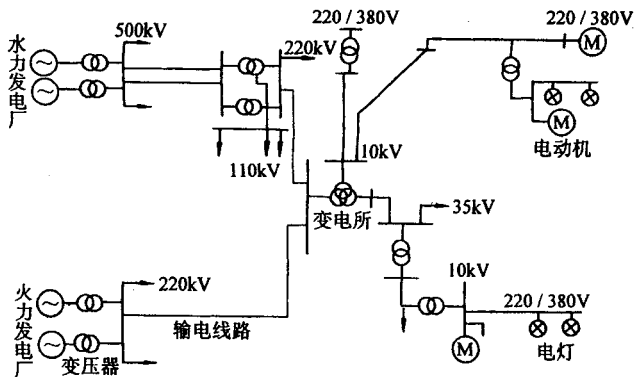


图 1-1-1 电力系统单线连接图

为了降低发电成本和保证供电的可靠性,现代的电力系统都是将分散的电力系统并网联成一个大的电力系统整体运行。在 80 年代初,世界各国几乎 90% 的电厂容量集中

在国家大电力系统中,甚至建立巨大的国家间联合电力系统。大系统的远距离输电必须使用较高的电压。架空交流输电线路传输的功率大致随系统运行电压的二次方成正比增加。近几十年来,电能需求量的不断增长,远离工业中心的大型水电站的开发,更需远距离输送电能,使输电电压水平迅速上升。目前我国交流输电系统额定电压最高仅达500kV,而国外如俄罗斯输电电压已达1150kV,并开始对1500~2500kV输电建设的技术进行开发研究,美国在1985~1995年间就采用1000/1100kV电压输电。

交流系统输电十分便捷,但线路损耗巨大,每年有大约1/5的能量损耗在线路上。电容电流的影响又使海底交流电缆输电更加困难。而直流输电损耗小,没有电容电流的影响,因此,现代电力系统都采用交流—直流—交流系统。

第二节 电力电缆在电力系统中的作用和发展概况

一、电力线路的结构

电力线路包括输电线路和配电线路。按结构又可分为架空线路和电缆线路两大类。

(一) 架空线路

即将线路架设在杆塔上,敷设于户外地面上空。它由导线、避雷线(又称架空地线)、杆塔、绝缘子及金具等元件组成,如图1-1-2所示。

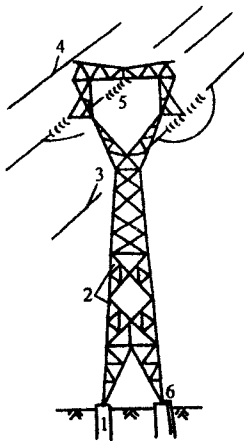


图 1-1-2 线路主要元件示意图

1—基础 2—铁塔 3—导线 4—避雷线 5—绝缘子 6—接地装置

导线和避雷线均采用裸线。导线的作用是传输电能。避雷线的作用是将雷电流引入大地,保护电力线路免受雷击。因此它们都应有良好的导电性能。导线和避雷线均架设在户外,除了要承受导线的自身重量及风暴、冰雪及温度变化等产生的机械力作用外,还要受空气中有害气体的化学腐蚀作用。所以,导线和避雷线还应有较高的机械强度和抗化学腐蚀能力,为此 10kV 级以上的线路大都采用钢芯铝绞线。它是由多股铝线绕在单股或多股的钢导线外层而构成的。铝线主要载流,而钢线主要承受机械应力。

杆塔用于支撑导线和避雷线。绝缘子用来支持或悬挂导线并使导线与杆塔绝缘。因此必须具有良好的绝缘性能和足够的机械强度。金具是用来组装架空线路的各种金属零件的总称。

(二) 电缆线路

电力电缆是电力系统主网的主要元件。一般敷设在地下的廊道内,其作用是传输和分配电能。电力电缆主要用于城区、国防工程和电站等必须采用地下输电的部位。电力电缆主要由三大部分组成:①导体:传输电流,指导功率传输方式;②绝缘层:承受电压,起绝缘作用;③保护覆盖层:保护电缆绝缘不受外界环境的影响和防止机械损伤等。

我国解放初期仅能生产低压油浸纸绝缘电力电缆。随着工业的发展和科技进步,目前我国生产的电力电缆主要采用交联聚乙烯绝缘电力电缆。油纸绝缘和交联聚乙烯绝缘电力电缆均达到了 500kV 电压等级。

二、电力电缆传输电能的基本原理

(一) 电线电缆的定义

电线电缆就是用以传输电磁能信息和实现电磁能转换的线材产品。电力的传输,实则电磁能的传播。根据电磁场理论,电场随时间而变动,都会形成位移电流,从而激发出磁场;凡磁场随时间而变动,都会产生感应电动势而激发出电场。时变电场和时变磁场要相互影响,组成一个统一的整体——时变电磁场。它是统一的,不可分割的,且作为一种特殊形式的物质,具有能量的属性。其能量是以波的形式向外传播的。电磁能流动传播的矢量称为坡印亭矢量(S),其和电场强度(E)及磁场强度(H)的关系为

$$S = E \times H$$

方向满足右手螺旋法则, $E \rightarrow H$ 旋转,螺旋前进的方向即电磁波前进的方向。如图 1-1-3。

从导线表面来看,电场强度具有切向分量 E_t 和法向分量 E_n (图 1-1-4),后者是由电压决定的,前者是由电流决定的。在实际工程中,由于 E_t 很小可忽略不计,只计算 E_n 。

即可。在图中 P 点的磁场强度 H 的方向是由纸面垂直进入纸内。这样 ,在 P 点坡印亭矢量 S 斜向进入导线 ,它的切向分量 $S_t = E_n \times H$ 标志着有电磁能量沿导线传输。它的法线分量 $S_n = E_t \times H$ 标志着还有电磁能量由导线表面穿入到内部化为热能散失。

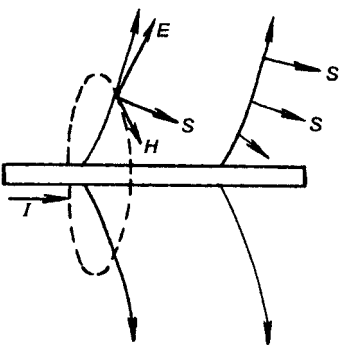


图 1-1-3 电磁波传播示意图

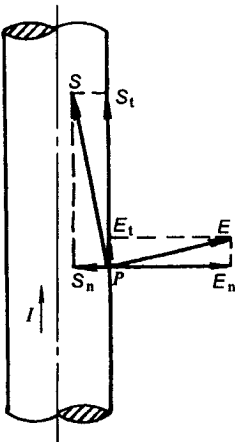


图 1-1-4 坡印亭矢量和电场强度矢量示意图

为简单计 ,以直流输电为例进一步说明。如图 1-1-5b 所示为线路周围空间的电磁场分布图形。其中虚线代表电力线 ,实线代表磁力线。磁力线与电力线正交。因此在任意一点 P 上的坡印亭矢量都是由纸内穿出指向读者。图 1-1-5a 是同图 b 的左面侧视图。图中的点线是代表坡印亭矢量场的线 ,其方向从左向右 ,标志着输电线周围广大空间中处处都有电磁能由左向右传输 ,而输电线本身仅仅是引导电磁能向一定方向传输的作用。这就可以理解为什么细小的线束能传输较大的功率。

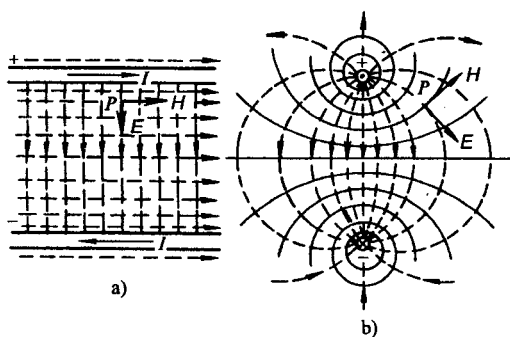


图 1-1-5 线路周围空间电磁场分布图形

(二) 电缆传输线的等效电路和基本方程

1. 等效电路

如图 1-1-6 为分布参数的等效电路。图中的 r_1 , x_1 , g_1 , b_1 分别表示线路单位长度的电阻 , 电抗 , 电导和电纳。

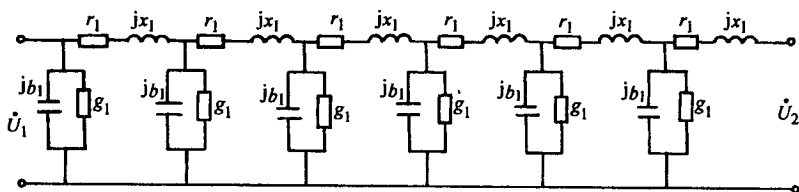


图 1-1-6 分布参数的等效电路(Π形)

2. 远距离输电线(长线)的基本方程

为

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{U}_2 \operatorname{ch} \lambda l + \dot{I}_2 Z_c \operatorname{sh} \lambda l \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_2 \operatorname{ch} \lambda l + \frac{\dot{U}_2}{Z_c} \operatorname{sh} \lambda l \end{aligned} \right\} \quad (1-1-1)$$

或

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{U}_2 \operatorname{ch} \sqrt{ZY} + \dot{I}_2 \sqrt{\frac{Z}{Y}} \operatorname{sh} \sqrt{ZY} \\ \dot{I}_1 &= \dot{I}_2 \operatorname{ch} \sqrt{ZY} + \dot{U}_2 \sqrt{\frac{Y}{Z}} \operatorname{sh} \sqrt{ZY} \end{aligned} \right\} \quad (1-1-2)$$

式中 $\dot{U}_1$, $\dot{I}_1$, $\dot{U}_2$, $\dot{I}_2$ 分别为首末端的电压和电流 ; Z_c 为线路的波阻抗(又称特性阻抗) , $Z_c = \sqrt{z_1/y_1} (\Omega)$ 其中 z_1 , y_1 为单位长度的线路阻抗和导纳 ; $\lambda = \sqrt{z_1 y_1} (1/\text{km})$ 为线路的传播常数 ; $Z = z_1 l = (r_1 + jx_1)l$ 为线路的总阻抗 ; $Y = y_1 l = (g_1 + jb)l$ 为线路的总导

纳。

3. 电缆输电线路的二端口网路

输电线路可写成二端口网路的形式。

对一般的二端口网路 ,可用 A 、 B 、 C 、 D 四个参数把首端和末端的关系表示成如图 1-1-7 的形式 ,表达式为

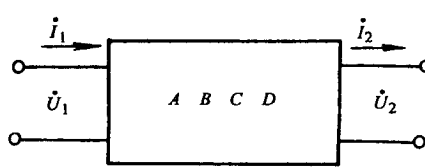
$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= A\dot{U}_2 + B\dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 &= C\dot{U}_2 + D\dot{I}_2 \end{aligned} \right\} \quad (1-1-3)$$


图 1-1-7 二端口网路

对于分布参数的电缆长距离线路 ,据式 (1-1-2)和 (1-1-3)可得出 A 、 B 、 C 、 D 的值为

$$\begin{aligned} A &= \operatorname{ch} \sqrt{ZY} ; \quad B = \sqrt{\frac{Z}{Y}} \operatorname{sh} \sqrt{ZY} \\ C &= \sqrt{\frac{Y}{Z}} \operatorname{sh} \sqrt{ZY} ; \quad D = \operatorname{ch} \sqrt{ZY} \end{aligned} \quad (1-1-4)$$

写成矩阵的形式为

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}$$

4. 根据缓变电磁场的定义

若波的波长和场域中任意点间的距离不可比拟时 ,则为缓变场或似稳场。电力电缆一般承受的是工频 50Hz 的电压 ,其波长

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m}}{50} = 6000 \text{ km}$$

显然 ,电缆中任意两点间的场域均不可与 λ 相比拟 ,故电缆的场域均为缓变场。缓变电磁场中的电场符合静电场的规律而磁场符合恒定磁场的变化。所以在电缆的电场和磁场的分析中我们均采用静电电场和恒定磁场的公式和方法。

第二章 电力电缆的电气参数

电气参数对电力电缆是至关重要的。它决定了电缆的传输性能和传输容量。这是由于容量主要取决于各部分的损耗发热,而损耗则是根据电气参数来计算的。相序阻抗又是线路保护系统所依据的重要参数,直接影响着电网的安全运行。电气参数也往往做为检查电缆质量和工艺的指标和依据。

电气参数取决于电缆所用的材料和几何尺寸,所以可据此计算电气参数。反之,亦可据电气参数的要求来选择设计电缆的结构和尺寸。所以电气参数是电缆设计的重要依据之一。

电气参数主要有导电线芯电阻、绝缘电阻、电缆的电感和电容,以及正(负)序阻抗和零序阻抗。下面分别予以介绍。

第一节 导电线芯电阻

最高工作温度下,单位长度导电线芯的交流电阻由下式计算

$$R = R'(1 + \gamma_s + \gamma_p) \quad (1-2-1)$$

式中, R' 为最高工作温度下,导电线芯的单位长度直流电阻,单位为 Ω/m ; γ_s 为集肤效应因数; γ_p 为邻近效应因数。

一、导电线芯的直流电阻 R'

最高工作温度下,单位长度导电线芯的直流电阻用下式计算

$$R' = \frac{\rho_{20}}{A} [1 + \alpha (\theta - 20^{\circ})] k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 \qquad (1-2-2)$$

式中 A 为线芯截面积 ,如线芯由 n 根相同直径 d 的导线绞合而成 ,则 $A = \frac{n \pi d^2}{4}$; ρ_{20} 为线芯材料在温度为 20°C 时的电阻率 ,对于标准软铜 : $\rho_{20} = 0.017241 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$,对于标准硬铝 : $\rho_{20} = 0.02864 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$; α 为 20°C 时每度温度系数常数 ,对于铜导体为 0.00393 ,铝导体为 0.00403 ; θ 为最高工作温度 ,见表 1-2-1 ; k_1 为单根导线加工过程中引起金属电阻率增加所引入的系数 ,它与导线直径大小 ,金属种类 ,表面是否有涂层有关 ,线径越小 ,系数越大 ,一般可取 $1.02 \sim 1.07$; k_2 为由于多根导线绞合使单线长度增加所引入的系数 ,一般取 $1.02 (250\text{mm}^2 \text{ 以下}) \sim 1.03 (250\text{mm}^2 \text{ 及以上})$; k_3 为因紧压过程使导线发硬 ,引起电阻率增加所引入的系数 ,一般取 1.01 ; k_4 为因成缆绞合 ,使线芯长度增加所引入的系数 ,一般取 1.01 左右 ; k_5 为因考虑导线允许公差所引入的系数 ,对紧压结构一般取 1.01 左右。

表 1-2-1 各类绝缘的最高允许工作温度

绝缘类型	导线最高额定温度/ $^{\circ}\text{C}$	
	正常运行	短路(最大持续时间 5s)
油 纸	75 ~ 80	220
聚 氯 乙 烯	65 ~ 70	160
聚 乙 烯	70	130 ~ 150
交联聚乙烯	90	250

二、集肤效应因数 y_s

集肤效应因数即由于集肤效应使电阻增加的百分数 ,可由下式求得

$$y_s = \frac{X_s^4}{192 + 0.8 x_s^4} \qquad (1-2-3)$$

式中 $x_s^2 = \frac{8 \pi f}{R'} \times 10^{-7} k_s$,其中 f 为电源频率 ,工频为 50Hz ; R' 为单位长度电缆导体线芯直流电阻 (见式 1-2-2) ,单位为 Ω/m ; k_s 为除分割导体取 0.435 外均取 1 。

三、邻近效应因数 y_p

即由于邻近效应使电阻增加的百分数 ,可用下式表示

$$y_p = \frac{X_p^4}{192 + 0.8X_p^4} \left(\frac{D_c}{s} \right)^2 \left[0.312 \left(\frac{D_c}{s} \right)^2 + \frac{1.18}{\frac{X_p^4}{192 + 0.8X_p^4} + 0.27} \right] (1 - 2 - 4)$$

式中, $X_p^2 = \frac{8\pi f}{R'} \times 10^{-7} k_p$, 其中 f 、 R' 同式 (1-2-3), k_p 除分割导体取 0.37 外, 其他型式线芯取 0.8~1; D_c 为线芯外径, 对于扇形芯电缆, 等于截面积相同的圆形芯的直径, 如 A 为线芯截面, 则扇形芯等效圆的直径为 $D_c = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$; s 为线芯中心轴间距离, 对于扇形多芯电缆 $s = D_c + \Delta$, Δ 为线芯间绝缘层厚度, 其邻近效应因数 y_p 为式 (1-2-4) 计算所得值乘 2/3。

对于高压充油电缆, 线芯为中空结构, 其 k_s 可按下式计算

$$k_s = \frac{D'_c - D_0}{D'_c + D_0} \left(\frac{D'_c + 2D_0}{D'_c + D_0} \right)^2 \quad (1-2-5)$$

式中, D_0 为线芯内径 (中心油道直径); D'_c 为具有相同中心油道的等效实芯导体的外径。

例 1 试计算 YJLV23—6/10 3×150 (GB12706.3—91) 型电力电缆导电线芯的电阻, 已知该电缆内外半导电屏蔽层各厚 1mm, 扇形导电线芯结构为 (7×2.07+2×2.07+15×2.07)mm², 统包金属屏蔽层, 金属屏蔽层为 0.1×2mm² 的绕包铜带, 交联聚乙烯绝缘厚度为 3.4mm。导体允许最高工作温度为 90℃。

解 线芯实际面积

$$A = \frac{\pi}{4} (7 \times 2.07^2 + 2 \times 2.07^2 + 15 \times 2.07^2) \text{mm}^2 = 80.72 \text{mm}^2 = 80.72 \times 10^{-6} \text{m}^2$$

ρ_{20} 取 $0.02864 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$, α 取 0.00403, $k_1 = k_2 = 1.02$, $k_3 = k_4 = k_5 = 1.01$ 。故单位长度直流电阻为

$$R' = \frac{0.02864 \times 10^{-6}}{80.72 \times 10^{-6}} [1 + 0.00403 (90^\circ - 20^\circ)] 1.02^2 \times 1.01^3 \Omega/\text{m} = 4.853 \times 10^{-4} \Omega/\text{m}$$

等效圆直径 $D_c = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 80.72}{\pi}} \text{mm} = 10.14 \text{mm}$

$$s = D_c + \Delta + (\text{内外半导电层厚度}) \times 2 =$$

$$(10.14 + 3.4 \times 2 + 2 \times 2) \text{mm} = 20.94 \text{mm}$$

$$X_s^2 = \frac{8\pi f \times 10^{-7}}{R'} k_s = \frac{8\pi \times 50 \times 10^{-7}}{4.85 \times 10^{-4}} \times 1 \text{m}/\Omega = 0.259 \text{m}/\Omega$$

$$X_p = \frac{8\pi f \times 10^{-7}}{R'} k_p = \frac{8\pi \times 50 \times 10^{-7}}{4.85 \times 10^{-4}} \times 1\text{m}/\Omega = 0.259\text{m}/\Omega$$

代入式(1-2-3)和式(1-2-4)得

$$y_s = \frac{X_s^4}{192 + 0.8 X_s^4} = \frac{0.259^2}{192 + 0.8 \times 0.259^2} = 0.003$$

$$y_p = \frac{2}{3} \left\{ \frac{X_p^4}{192 + 0.8 X_p^4} \left(\frac{D_c}{s} \right)^2 \left[0.312 \left(\frac{D_c}{s} \right)^2 + \frac{1.18}{\frac{X_p^4}{192 + 0.8 X_p^4} + 0.27} \right] \right\} = 0.004$$

故导线芯单位长度的交流电阻

$$R = R'(1 + y_s + y_p) = 4.853 \times 10^{-4} (1 + 0.0003 + 0.0004) \Omega/\text{m} = 4.857 \times 10^{-4} \Omega/\text{m}$$

例2 试计算220kV裸铅包低油压充油电缆线芯的有效电阻。电缆运用于三相平衡线路,其中心轴间距离 $s = 220\text{mm}$,电缆线芯结构尺寸如下:

线芯标称面积	400mm ²
线芯结构	铜芯(18 + 24 + 30)× ϕ 2.86mm ²
螺旋管支撑内径	12mm
螺旋管支撑外径	13.2mm
线芯外径	29.3mm
线芯屏蔽厚度	0.85mm
线芯屏蔽外径	31.0mm
绝缘层厚度	20.0mm
绝缘层屏蔽厚度	0.5mm
绝缘层屏蔽外径	72.0mm
铅套厚度	3.5mm
铅套外径	79.0mm
电缆允许最高工作温度	75℃

解 $A = \frac{\pi}{4} \times 72 \times (2.86)^2 = 464\text{mm}^2 = 464 \times 10^{-6} \text{m}^2$

取 $\rho_{20} k_1 = 0.01748 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$, $k_2 = 1.02$, $k_3 = k_4 = k_5 = 1$ 得

$$R' = \frac{\rho_{20}}{A} [1 + \alpha(\theta - 20^\circ)] k_1 k_2$$
$$= \frac{0.01748 \times 10^{-6}}{464 \times 10^{-6}} [1 + 0.00393(75 - 20)] \times 1.02 \Omega/\text{m} = 0.464 \times 10^{-4} \Omega/\text{m}$$

线芯等效直径

$$D'_c = \sqrt{\frac{4}{\pi} A + D_0^2} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times 464 + 13.2^2} \text{ mm} = 27.7 \text{ mm}$$

$$k_s = \frac{D'_c - D_0}{D'_c + D_0} \times \frac{(D'_c + 2D_0)^2}{(D'_c + D_0)^2} = \frac{27.7 - 13.2}{27.7 + 13.2} \times \left(\frac{27.7 + 2 + 13.2}{27.7 + 13.2} \right)^2 = 0.622$$

$$k_p = 0.8$$

$$X_s^2 = \frac{8\pi f}{R'} \times 10^{-7} k_s = \frac{8\pi \times 50}{0.464 \times 10^{-4}} \times 10^{-7} \times 0.622 = 1.69$$

$$X_p^2 = \frac{8\pi f}{R'} \times 10^{-7} k_p = \frac{8\pi \times 50}{0.464 \times 10^{-4}} \times 10^{-7} \times 0.8 = 2.17$$

代入式(1-2-3)和(1-2-4)得

$$y_s = \frac{X_s^4}{192 + 0.8 X_s^4} = \frac{1.69^2}{192 + 0.8 \times 1.69^2} = 0.0147$$

$$\begin{aligned} y_p &= \frac{X_p^4}{192 + 0.8 X_p^4} \left(\frac{D_c}{S} \right)^2 \left[0.312 \left(\frac{D_c}{S} \right)^2 + \frac{1.18}{\frac{X_p^4}{192 + 0.8 X_p^4} + 0.27} \right] \\ &= \frac{2.17^2}{192 + 0.8 \times 2.17^2} \left(\frac{29.3}{220} \right)^2 \left[0.312 \left(\frac{29.3}{220} \right)^2 + \frac{1.18}{\frac{2.17^2}{192 + 0.8 \times 2.17^2} + 0.27} \right] \\ &= 0.00169 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore R &= R'(1 + y_s + y_p) = 0.464 \times 10^{-4} [1 + 0.0147 + 0.00169] \Omega/\text{m} \\ &= 0.47 \times 10^{-4} \Omega/\text{m} \end{aligned}$$

第二节 电缆的绝缘电阻

绝缘电阻的确切含义,是指绝缘在用直流电压度量时,在电导电流下的电阻值。在计算时,是由绝缘材料的电阻率和电缆的结构尺寸所确定。在电缆制造和运行中,可通过绝缘电阻的变化来检查分析绝缘质量的变化。

一、单芯电缆绝缘层电阻

如图 1-2-1 所示, D_c 为电缆内半导电屏蔽外径, D_i 为绝缘层外径(不含外半导电

层厚度 Δ_1 为内外半导电屏蔽层间的绝缘厚度。

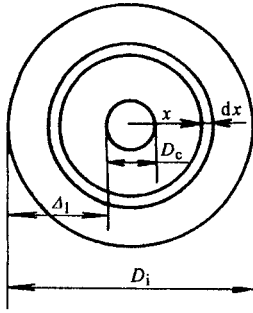


图 1-2-1 计算电缆绝缘电阻说明

在单位长度电缆距电缆中心 x 处取厚度为 dx 的绝缘层,则该圆柱体的绝缘电阻为

$$dR_i = \frac{\rho_i}{2\pi x} dx \tag{1-2-6}$$

式中 ρ_i 为电缆绝缘的电阻率。

则单位长度电缆绝缘的电阻为

$$R_i = \int_{D_c/2}^{D_i/2} \frac{\rho_i}{2\pi x} dx = \frac{\rho_i}{2\pi} \ln \frac{D_i}{D_c} = \frac{\rho_i}{2\pi} \ln \frac{D_c + 2\Delta_1}{D_c} \tag{1-2-7}$$

式中 $\ln \frac{D_i}{D_c} = G$ 称为几何因数。各种型式的电缆的 G 值可从图 1-2-2 中查出,则

$$R_i = \frac{\rho_i}{2\pi} G \tag{1-2-8}$$

二、多芯电缆的绝缘电阻

对于圆形芯电缆

$$R_i = \frac{\rho_i}{2\pi n} G_1 \tag{1-2-9}$$

式中 n 为电缆的芯数; G_1 相当于三芯连结在一起对于公共金属屏蔽层的几何因数。

对于扇形芯电缆

$$R_i = \frac{\rho_i}{2\pi n} G_1 F \tag{1-2-10}$$

式中 F 为扇形校正因数,亦可从图 1-2-2 中查得。

电缆在交流下的电阻为工作电阻(交流泄漏电阻)

$$R = \frac{U}{I_r} = \frac{U}{I_c \tan \delta} = \frac{U}{U \omega \cot \delta} = \frac{U^2}{U^2 \omega \cot \delta} = \frac{U^2}{\omega_i} \tag{1-2-11}$$

即等于绝缘层承受的电压的二次方与介质损耗之比。要比直流电阻值小。

电缆常用绝缘材料在 20℃ 下的绝缘电阻率概值如表 1-2-2 所示。

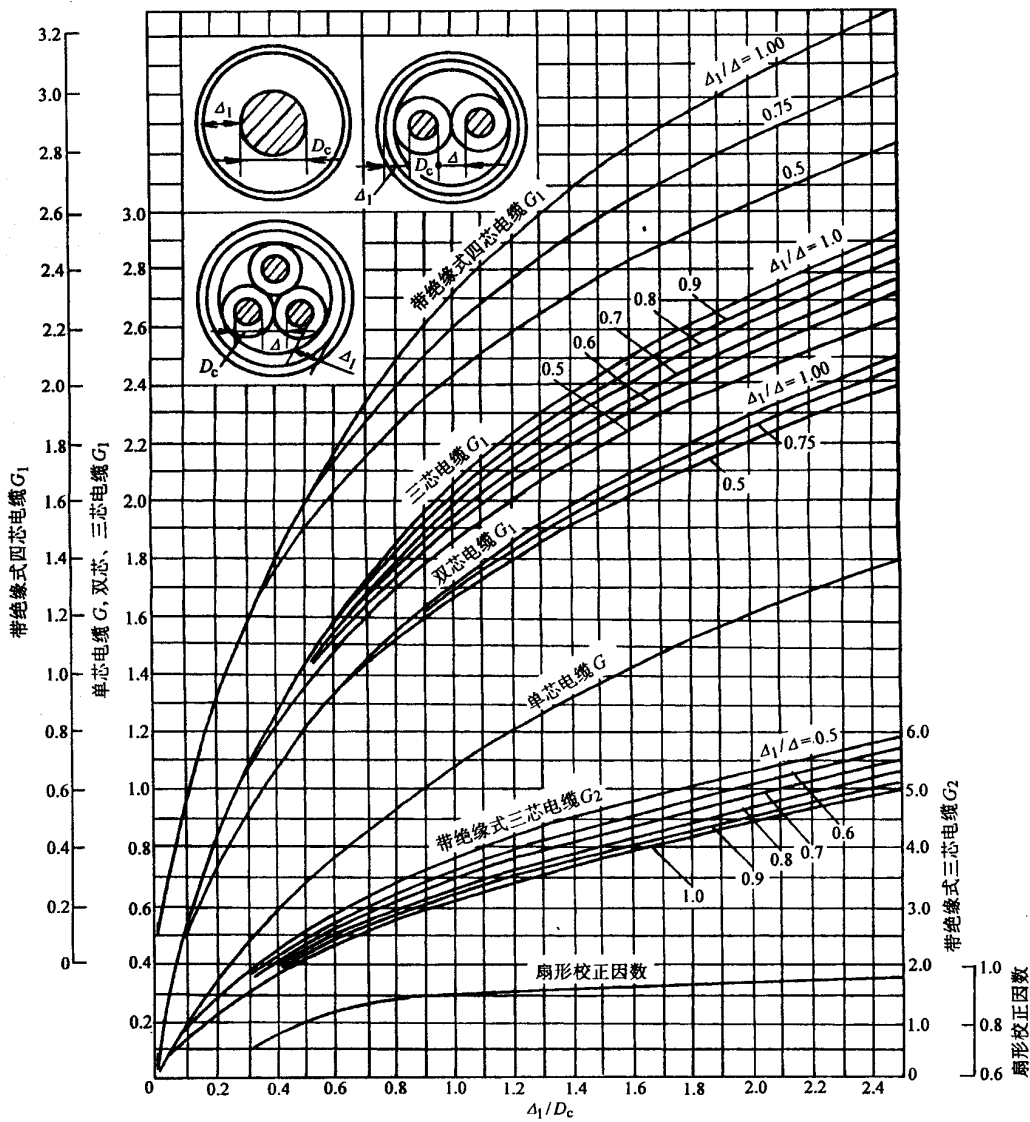


图 1-2-2 各种型式电缆的几何因数

表 1-2-2 电缆的几种常用绝缘材料的电阻率(概值)

材料名称	绝缘电阻率/ $\Omega \cdot m$ (20℃)
浸渍纸绝缘	$10^{13} \sim 10^{15}$
橡皮	$10^{11} \sim 10^{13}$
聚氯乙烯	$10^{11} \sim 10^{12}$

材料名称	绝缘电阻率/ $\Omega \cdot \text{m}$ (20°C)
聚乙烯	$10^{14} \sim 10^{15}$
交联聚乙烯	$10^{14} \sim 10^{15}$

第三节 电缆的电容

电缆本身便是一个标准的圆柱形电容器。导电线芯和接地的金属屏蔽层(或金属护套)构成了电容器的两个极。电容电流将会限制电缆的传输容量和长度。通过电容的测量,也可检查电缆的质量和工艺。所以电容亦是电缆较重要的一个电气参数。

单芯电缆电容的计算可忽略边缘效应。介质中任一点的电场均沿半径方向分布。类似绝缘电阻的计算方法,在绝缘中距电缆中心 x 处取一单位长度的小圆柱体。据高斯定理,穿出均匀介质中任意闭合面的电场强度矢量的通量,恒等于闭合面内所包围的电荷的代数和与介质的介电常数 ϵ 之比,而与闭合面的形状大小,电荷分布无关。

因对称关系,各处的电场都是沿着与导线相垂直的方向(忽略电场的切向分量),这样圆柱体侧面上的电场方向处处都与侧面积的外法线方向一致,在数值上均相等。而圆柱的上下底面积上的电场方向则与外法线方向垂直。因此,在积分过程中,只计算圆柱侧面积上的电场通量即可。所以

$$\oint_S E dS = \frac{q}{\epsilon_i} \quad \text{即} \quad E \int_S dS = \frac{q}{\epsilon_i}$$
$$E \times 2\pi x \times 1 = \frac{q}{\epsilon_i} \quad \text{故} \quad E = \frac{q}{2\pi x \epsilon_i} \tag{1-2-12}$$

式中 q 为线芯所带电荷; ϵ_i 为介质的介电常数; E 为场强。

而相电压

$$u = \int_l E dl = \int_{D_c/2}^{D_i/2} \frac{q}{2\pi x \epsilon_i} = \frac{q}{2\pi \epsilon_i} \ln \frac{D_i}{D_c} \tag{1-2-13}$$

式中 D_i 为绝缘层外径; D_c 为导电线芯外径(含内半导电层)。

所以单位长度电缆的电容

$$C = \frac{q}{u} = \frac{2\pi \epsilon_i}{\ln \frac{D_i}{D_c}} = \frac{2\pi \epsilon_0 \epsilon}{\ln \frac{D_i}{D_c}} \tag{1-2-14}$$

式中 ϵ_0 为真空介电常数 $\epsilon_0 = 8.86 \times 10^{-12} \text{ F/m}$; ϵ 为绝缘材料的相对介电常数。

为方便计 ,可将式(1 - 2 - 14)写成

$$C = \frac{55.7 \epsilon}{G} \times 10^{-12} \text{ F/m} \tag{1 - 2 - 15}$$

G 为几何因数 ,如前述。

对于多芯圆形芯电缆 ,三芯联在一起对金属屏蔽层(或金属护套)的电容

$$C = \frac{55.7 n \epsilon}{G_1} \times 10^{-12} \text{ F/m} \tag{1 - 2 - 16}$$

对于扇形芯电缆 ,三芯联在一起对金属屏蔽的电容

$$C = \frac{55.7 n \epsilon}{G_1 F} \times 10^{-12} \text{ F/m} \tag{1 - 2 - 17}$$

与绝缘电阻一样 , G 及 F 值均可从图 1 - 2 - 2 中的相应曲线查得。

常用绝缘材料(相对)介电常数和 $\text{tg} \delta$ 如表 1 - 2 - 3。

表 1 - 2 - 3 电缆常用绝缘材料相对介电常数 ϵ 及 $\text{tg} \delta$

材料名称	ϵ	$\text{tg} \delta$
粘性浸渍纸绝缘	4.0	0.01
充油电缆绝缘	3.3 ~ 3.7	0.004 ~ 0.0045
橡皮绝缘(乙丙、丁基)	3.0 ~ 4.5	0.04 ~ 0.05
聚氯乙烯绝缘	8.0	0.1
聚乙烯绝缘	2.3	0.001
交联聚乙烯绝缘	2.5	0.008

第四节 电缆的电感

在工频下 ,电磁场为缓变场。可仅考虑由于磁场的变动而引起的感应电压 ,而感应电压反过来对磁场的影响可不必考虑 ,且磁场按恒定磁场计算。

一、单相回路电缆的电感

在实际工程中 ,可将线芯内部磁通链所产生的电感称为内感 l_i ;线芯外部所链磁通

产生的电感称为外感 L_e 。整个回路的电感为二者之和

$$L = L_i + L_e \quad (1-2-18)$$

(一) 内感 L_i

如图 1-2-3 所示。设导电线芯的直径为 D_c ，材料的磁导率为 μ 。导电线芯为铜和铝，它们均为非磁性材料，其磁导率可认为等于真空磁导率 ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$)。

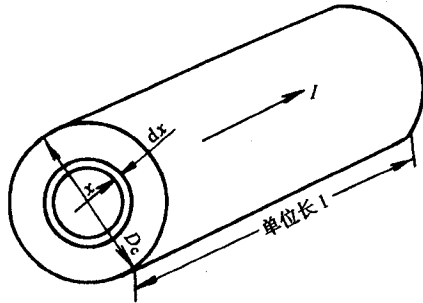


图 1-2-3 计算线芯内感说明

距导电线芯中心 x 处的磁场强度 H_i ，据安培环路定律，沿其矢量任一闭合路径的线积分，等于穿过该回路所限定面积的电流的代数和 I_i ，即

$$\oint_L H_i dl = I_i \quad (1-2-19)$$

可写为

$$H_i \oint_L dl = I_i \quad (1-2-20)$$

而 $\oint_L dl$ 为半径为 x 的圆的周长即 $2\pi x$ ，故式 (1-2-20) 为 $H_i 2\pi x = I_i$

则

$$H_i = \frac{I_i}{2\pi x} = \frac{I}{2\pi x} \cdot \frac{x^2}{(D_c/2)^2} \quad (1-2-21)$$

而单位长度线芯导体的磁场能量

$$W = \int_0^{D_c/2} \frac{1}{2} \mu_0 H_i^2 dV = \int_0^{D_c/2} \frac{1}{2} \mu_0 H_i^2 \times 2\pi x dx \quad (1-2-22)$$

将式 (1-2-21) 代入得 $W = \frac{\mu_0 I^2}{16\pi}$ ；又因 $W = \frac{1}{2} L_i I^2$

于是单位长度每根电缆线芯的内感为

$$L_i = \frac{\mu_0}{8\pi} = 0.5 \times 10^{-7} \text{ H/m} \quad (1-2-23)$$

对于中空线芯结构，如有中心油道电缆的线芯 L_i 可用简化公式

$$L_i = 0.5 \left[1 - \left(\frac{D_0}{D_c} \right)^{1.5} \right] \times 10^{-7} \text{ H/m} \quad (1-2-24)$$

式中, D_c 为线芯外径; D_0 为中空油道内径。

(二) 外感 L_e

如图 1-2-4, 可近似认为电流集中在线芯的几何中心轴线上, 在离电缆中心轴线 x ($x > D_c/2$) 处的磁场强度为两个积分曲线所链磁通在 x 处产生的磁场强度的叠加。按安培环路定律

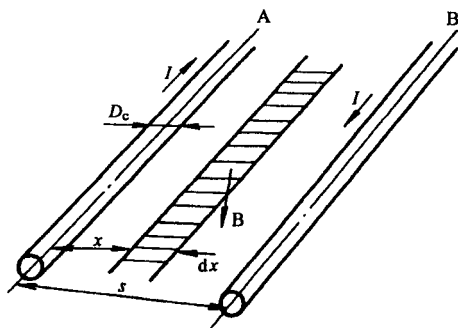


图 1-2-4 计算外感说明

$$\text{A 相} \quad \oint_{LA} H_A dl = I \quad \text{即} \quad H_A \cdot 2\pi x = I \quad \text{得} \quad H_A = \frac{I}{2\pi x};$$

$$\text{B 相} \quad \oint_{LB} H_B dl = I \quad \text{即} \quad H_B \cdot 2\pi(s-x) = I \quad \text{得} \quad H_B = \frac{I}{2\pi(s-x)}$$

式中, s 为电缆中心间距离; I 为线芯电流。则

x 处的磁场强度

$$H = H_A + H_B = \frac{I}{2\pi x} + \frac{I}{2\pi(s-x)} \quad (1-2-25)$$

又因磁通

$$\phi = \int_s B \cos \beta ds = \int_{D_c/2}^{s-D_c/2} B ds = \int_{D_c/2}^{s-D_c/2} \mu_0 H dx \quad (1-2-26)$$

将式(1-2-25)代入式(1-2-26)得

$$\phi = \frac{\mu_0 I}{\pi} \ln \frac{s - D_c/2}{D_c/2} \quad (1-2-27)$$

在一般情况下 $D_c/2 \ll s$ 故 $\phi = \frac{\mu_0 I}{\pi} \ln \frac{2s}{D_c}$ 对每根电缆而言, 磁通链为其一半, 故每单位长度电缆的外感 L_e

$$L_e = \frac{\phi}{2I} = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{2s}{D_c} = \left(2 \ln \frac{2s}{D_c} \right) \times 10^{-7} \text{ H/m} \quad (1-2-28)$$

故单相电缆回路每单位长度电缆线芯电感为

$$L = L_i + L_e = 0.5 \times 10^{-7} \text{ H/m} + \left(2 \ln \frac{2s}{D_c} \right) \times 10^{-7} \text{ H/m} \quad (1-2-29)$$

二、三相回路电缆的电感

电力电缆在实际工程中,尤其高压输电线路均为三相水平直线敷设和三相等边三角形敷设(三芯电缆亦属此列),均可近似地使用单相回路电感的计算公式,即

$$L_1 = L_2 = L_3 = L_i + \left(2 \ln \frac{2s}{D_c} \right) \times 10^{-7} \text{ H/m} \quad (1-2-30)$$

值得指出的是,对于水平直线敷设的三相电缆,为了保证线路平衡运行,电缆经过一定长度后需进行换位敷设。如图 1-2-5。

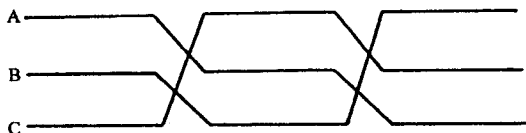


图 1-2-5 电缆换位示意图

此时电感应取三段电感之平均值即

$$L = \frac{L_1 + L_2 + L_3}{3} = L_i + 2 \left(\ln \frac{2 \sqrt[3]{s_1 s_2 s_3}}{D_c} \right) \times 10^{-7} \text{ H/m} \quad (1-2-31)$$

若

$$s_1 = s_2 = s_3 = s \text{ 时上式为}$$

$$L = L_i + 2 \left(\ln \frac{2 \sqrt[3]{2s}}{D_c} \right) \times 10^{-7} \text{ H/m} \quad (1-2-32)$$

第五节 电力电缆金属屏蔽层(金属护套)中的感应电压

当电缆在交变电压下运行时,线芯中通过的交变电流必然会产生交变的磁场。磁场产生的磁链不仅和线芯相链,也和金属屏蔽层及铠装层相链,必然会在金属屏蔽和铠装层上产生感应电动势。金属屏蔽层一般均采用单点接地或交叉互联接地方式,这样就会在金属屏蔽层上产生感应电压。

对于具有公共金属屏蔽的三芯电缆,因线芯通过的三相电流的相量和为零,故在公

共的金属屏蔽层中的感应电压相量和亦为零,可忽略不计。但对单芯的高压和超高压电力电缆,感应电压就可能达到很大的数值,尤其在短路情况下,线芯中可能通过几十倍于正常的电流,产生的感应电压不仅会危及人身安全,也可能击穿金属护套的外护层。感应电压也是制定护层保护器参数的决定因素之一。如护套形成通路,护套电流(环流)将消耗电源能量、产生损耗,引起电缆发热,成为决定电缆载流量的因素之一。

所以,对感应电压必须予以计算和采取限制措施。计算时金属屏蔽层和金属护套概念可通用。

一、正常运行时电力电缆金属屏蔽层(金属护套)中的感应电压

(一)两根单芯电缆组成的单相回路

护套电感和线芯电感计算方法相同,且金属护套的厚度比线芯直径小得多,其内感可忽略不计。单位长度金属护套的电感

$$L_s = \left(2 \ln \frac{2s}{D_s} \right) \times 10^{-7} \text{ H/m} \quad (1-2-33)$$

式中, s 为电缆中心间的距离; D_s 为电缆金属护套的平均直径。

单位长度金属护套的感应电压

$$\dot{U}_s = -j\omega L_s \dot{I} = -j2\omega \dot{I} \left(\ln \frac{2s}{D_s} \right) \times 10^{-7} \text{ V/m} \quad (1-2-34)$$

$$\text{或} \quad \dot{U}_s = 2\omega \dot{I} \left(\ln \frac{2s}{D_s} \right) \times 10^{-7} \text{ V/m} \quad (1-2-35)$$

(二)三相等边三角形敷设(含三相分相屏蔽型电缆)

其计算方法和单相回路计算方法相同。

(三)三相水平直线敷设

设电缆中心轴间距离为 s ($s_1 = s_2 = s, s_3 = 2s$)且三相平衡电流 $\dot{I}_1 = I \angle 120^\circ, \dot{I}_2 = I \angle 0, \dot{I}_3 = I \angle -120^\circ$

$$\text{则} \quad \dot{U}_{s1} = I \left[\frac{\sqrt{3}}{2} (X_s + X_m) + \frac{1}{2} j (X_s - X_m) \right] \quad (1-2-36)$$

$$\dot{U}_{s2} = -jIX_s \quad (1-2-37)$$

$$\dot{U}_{s3} = I \left[-\frac{\sqrt{3}}{2} (X_s + X_m) + \frac{1}{2} j (X_s - X_m) \right] \quad (1-2-38)$$

各相感应电压的有效值为

$$|\dot{U}_{s1}| = |\dot{U}_{s3}| = I \sqrt{X_s^2 + X_s X_m + X_m^2} \quad (1-2-39)$$

$$|\dot{U}_{s2}| = IX_s \quad (1-2-40)$$

式中 $X_s = 2\omega \left(\ln \frac{2s}{D_s} \right) \times 10^{-7} \Omega/\text{m}$; $X_m = 2\omega (\ln 2) \times 10^{-7} \Omega/\text{m}$ 。

二、电缆线芯短路时金属屏蔽层(金属护套)上的感应电压

短路是电力系统的严重故障,所谓“短路”,是指一切不正常的相与相之间,或相与地(中性点接地系统)发生通路的情况。在中性点直接接地系统中,以单相接地(短路)的故障最多,约占全部故障的90%左右。短路电流一般为电缆额定负载电流的十几倍至几十倍,将在金属护套上产生很高的感应电压。在各种短路中中性点接地系统中单相短路产生的感应电压最大。我们以此为例,且假设接地电流全部以大地为回路,如图1-2-6所示设A相短路接地。

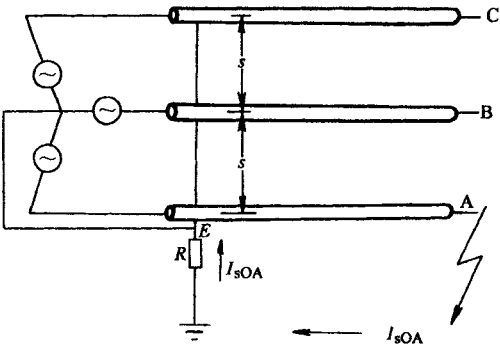


图 1-2-6 单相接地短路示意图

这种情况感应电压最高,因地下的金属线、地线都能起到部分的回流作用,因此,这种计算结果要比实际的大,较安全。

可将大地等效为一根具有一定深度的抽象“导线”。接地电流以此和线芯形成单相回路如图1-2-7所示。

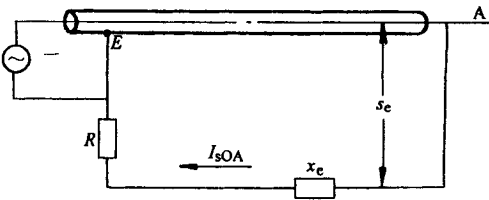


图 1-2-7 接地等效电路图

这时,该相金属护套感应电压为

$$\dot{U}_{\text{SAE}} = -(R + jX_e l) \dot{I}_{\text{soA}} \quad (1-2-41)$$

式中, R 为接地电阻; $X_e = 2\omega \left(\ln 2 \frac{s_e}{D_s} \right) \times 10^{-7} \Omega/\text{m}$ 为大地的等值阻抗; l 为电缆长度; D_s 为金属护套的外径; s_e 据经验公式为 $94 \sqrt{\rho_e} (\text{m})$, ρ_e 为土地的电阻率; 若不能确切测定, s_e 一般可取 1000m ; $\dot{I}_{\text{soA}}$ 为短路电流。

三、减少金属护套感应电压的方法

(一) 敷设“三七开”回流线

所谓回流线, 即通常对于金属护套只在一处互联接地的电缆线路, 沿线路敷设一条或多条两端妥善接地的金属导线, 这种两端接地的导线称为回流线。

这样短路电流可以通过回流线流回系统的中性点。特别是当接地点故障发生在电厂或变电所附近时, 有良好的回流线, 可认为短路电流全部流过回流线。

“三七开”, 是根据回线敷设的方式和位置决定的。采用回线, 即减少了土地等值阻抗 X_e 的数值, 也排除了地网接地电阻的影响。因三相电缆发生短路的几率相等, 因此应与三根电缆的平均距离相等。

在电缆线路正常运行时, 要求三相线路在回线上感应电动势相量和应为零, 以免产生感应电流造成损耗。为此, 回流线敷设的方式和到各相的距离应为

$$\begin{cases} s_1 = 1.7s \\ s_2 = 0.3s \\ s_3 = 0.7s \end{cases} \quad (1-2-42)$$

式中, s 为各相中心间的距离, s_1, s_2, s_3 如图 1-2-8 所示。

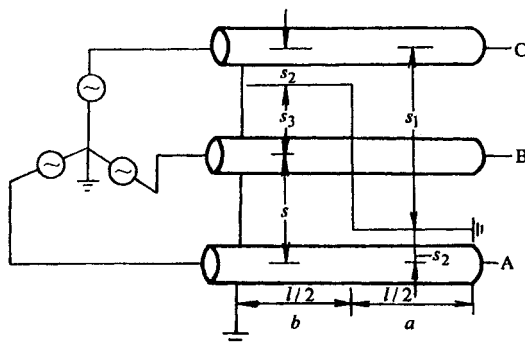


图 1-2-8 三相电缆线路“三七开”回流线

在有‘三七开’回流线的三相系统,单相短路回路电流不经过大地而经过回流线返回接地点,短路相电缆单位长度金属护套感应电压为

$$\dot{U}_{\text{SAE}} = -j\dot{I}_{\text{SOA}} 2\omega \left(\ln \frac{2s_3}{D_s} \right) \times 10^{-7} (\Omega/\text{m}) \quad (1-2-43)$$

比较式(1-2-41)可知感应电压明显减小。

(二)金属护套的几种连接方法

电缆金属护套的感应电压应限制在 10~50V 安全范围内,否则会危及人身安全和造成电缆运行事故。为此,可采取如下措施。

1. 金属护套一点接地

即在电缆线路一端或中点接地,电缆护套对地绝缘,这样护套没有环流损耗,但感应电压与电缆长度成正比,长度须限制在使电压不超过安全值范围内。

2. 采用金属护套分段隔离接地

当电缆需大长度时,可采用绝缘外套连接盒实行分段隔离接地。绝缘外套连接盒如图 1-2-9,可使导电线芯保持正常的电的连接,而金属护套每段相互绝缘。各连接盒之间的电缆长度以感应电压不超过安全值为准。

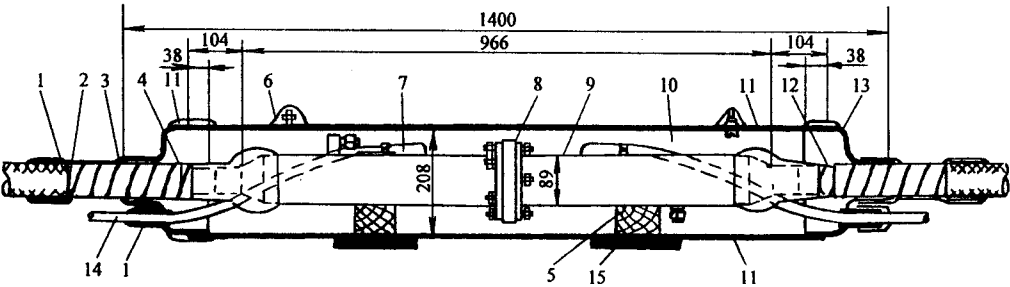


图 1-2-9 绝缘外套连接接头盒

- 1—绝缘橡皮带包缠,外再包浸渍棉纱; 2—外护层端点; 3—用以承垫聚氯乙烯端盖的橡皮带层;
4—橡皮带包缠; 5—木质垫块; 6—填料装入口; 7—换位接线头; 8—法兰橡皮垫块;
9—电缆接头外壳; 10—沥青填料; 11—聚氯乙烯外套; 12—聚氯乙烯及橡皮带护层边缘;
13—聚氯乙烯端盖; 14—换位接线; 15—橡皮带衬垫加强支撑物

3. 金属护套两端接地

金属护套采用两端接地。这种连接方法,虽然金属护套感应电压小,但金属护套和大地形成了回路,可产生护套环流损耗,影响功率传输。

4. 换位连接法

较好的方法是两端接地,中间以绝缘外套连接盒连接而实现金属护套交叉换位如图 1-2-10。

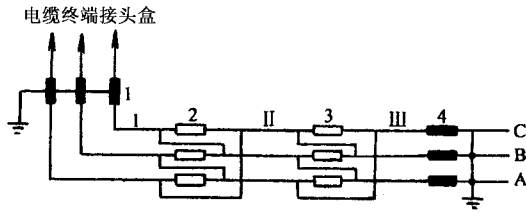


图 1-2-10 电缆金属护套换位连接接线

1、4—普通型连接头盒 2、3—绝缘外套连接头盒

如电缆对称敷设,且每段长度相等,在平衡负载下,在金属护套中两接地点间的感应电动势相量和为零。如图 1-2-11a,因此不会产生电流。图 a 中, A_I 、 A_{II} 、 A_{III} 、 B_I 、 B_{II} 、 B_{III} 、 C_I 、 C_{II} 、 C_{III} 分别表示相应于图 1-2-10 中各缆各段的感应电动势。图 b 中点 1、2、.....表示相应于图 1-2-10 连接头盒的点, U_s 为地电压的大小,每一绝缘外套连接头盒承受的电压为每段电缆长度感应电压的 $\sqrt{3}$ 倍。采用这种连接方式,每段电缆长度应力求相等,敷设位置应力求对称平衡。

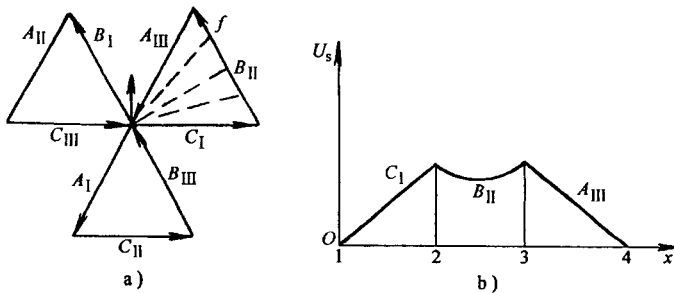


图 1-2-11 电缆金属护套换位连接感应电动势及对地电压

a) 电缆金属护套换位连接,感应电动势相量图;

b) 电缆金属护套换位连接,沿电缆长度对地电压分布图

第六节 电缆线路的相序阻抗

前面讲述的导体电阻、绝缘电阻、电缆的电容、电感等均指在电缆线路正常运行时的电气参数。也即三相电气量在数值(绝对值)上相等而相位互差 120° 的对称运行状态。但是,电力系统在实际运行时,还可能出现不对称的运行状态。如三相负载大小不等、不对称短路等。其中出现最多的一种故障形式即电力系统的短路。相序阻抗的计算就是针对中性点直接接地系统,在短路情况下的阻抗。

一、电力系统的短路

短路是电力系统的严重故障。所谓“短路”,是指一切不正常的相与相之间,或相与地(对于中性点接地系统)发生通路的情况。如图 1-2-12 为各种短路的示意图。

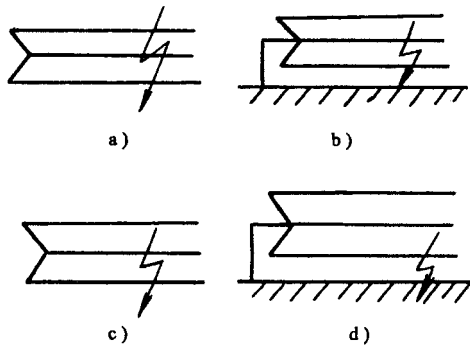


图 1-2-12 各种短路的示意图

a)三相短路 b)两相短路接地 c)两相短路 d)单相短路接地

在中性点直接接地系统中,以单相接地短路的故障最多,约占全部故障的 90% 左右。

在中性点不接地系统中(低压系统)短路故障主要是各种相间短路故障,包括不同相两点接地。但单相接地不会造成短路,仅有不大的电容电流通过,使中性点产生位移。由于线电压保持不变,故仍可继续运行。

短路电流对电缆的设计十分重要。一方面要求计算允许短路电流的大小,另一方面须计算不对称运行时电缆线路的阻抗,以使电缆能满足运行的要求。

二、对称分量法

为了计算线路的不对称问题,须引入对称分量法。该方法是基于电工基础的迭加原理,认为任何一组不对称的三相系统,均是由三个对称的系统组成。或任何一组三相不对称的量可以分解为三个对称的分量。这样可以运用分析对称运行的问题来解决不对称运行的问题。

(一)相序

若对称三相电路,随时间变化,各相电压(电流)最大值出现的先后次序称为相序。

(二)正序分量(又称顺序分量)

正序分量的下角注 1,如图 1-2-13a 所示 $i_{A1} \rightarrow i_{B1} \rightarrow i_{C1}$ 为正序均相互领先 120° 。

相当于一般对称三相制情况。若以 $\alpha = \rho^{\frac{2\pi}{3}}$,则一个相量乘以 α ,表示相量逆时针旋转 120° ,乘 α^2 表示顺时针旋转 120° 。其数学展开式为

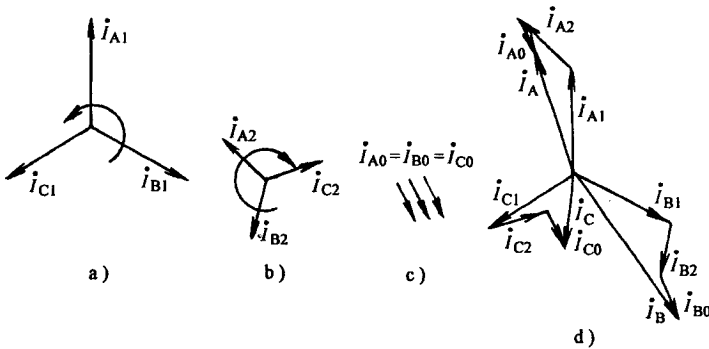


图 1-2-13 相序分量示意图

a) 正序分量 b) 负序分量 c) 零序分量 d) 叠加相量

$$\alpha = \rho^{j\frac{2\pi}{3}} = \cos \frac{2}{3}\pi + j\sin \frac{2}{3}\pi = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (1-2-44)$$

$$\alpha^2 = \rho^{j\frac{4\pi}{3}} = \cos \frac{4}{3}\pi + j\sin \frac{4}{3}\pi \quad (1-2-45)$$

$$= -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\alpha^3 = \rho^{j2\pi} = 1 \quad (1-2-46)$$

$$1 + \alpha + \alpha^2 = 0 \quad (1-2-47)$$

故正序分量为 i_{A1} $i_{B1} = \alpha^2 i_{A1}$ $i_{C1} = \alpha i_{A1}$

(三) 负序分量(又称逆序分量)

负序分量的下角注 2 ,如图 1-2-13b 所示。这个三相系统同样是对称的 ,但是旋转方向与正序系统恰好相反 , $\dot{I}_{A2} \rightarrow \dot{I}_{C2} \rightarrow \dot{I}_{B2}$ 。

即
$$\dot{I}_{B2} = \alpha \dot{I}_{A2}, \dot{I}_{C2} = \alpha^2 \dot{I}_{A2}$$

(四) 零序分量

零序分量下角注 0 ,如图 1-2-13c 所示 ,是一组大小相等 ,相位一致的量 ,故仍为一组对称系统。

$$\dot{I}_{A0} = \dot{I}_{B0} = \dot{I}_{C0}$$

如将上述正序、负序、零序分量叠加在一起即可得到如图 1-2-13d 所示的一组不对称三相系统。其数学表达式为

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_A &= \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{A0} \\ \dot{I}_B &= \dot{I}_{B1} + \dot{I}_{B2} + \dot{I}_{B0} \\ \dot{I}_C &= \dot{I}_{C1} + \dot{I}_{C2} + \dot{I}_{C0} \end{aligned} \right\} \quad (1-2-48)$$

将上述各分量代入上式可得

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_A &= \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{A0} \\ \dot{I}_B &= \alpha^2 \dot{I}_{A1} + \alpha \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{A0} \\ \dot{I}_C &= \alpha \dot{I}_{A1} + \alpha^2 \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{A0} \end{aligned} \right\} \quad (1-2-49)$$

写成矩阵形式 ,若令 $A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \alpha^2 & \alpha & 1 \\ \alpha & \alpha^2 & 1 \end{bmatrix}$

则式(1-2-49)可成

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_A \\ \dot{I}_B \\ \dot{I}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \alpha^2 & \alpha & 1 \\ \alpha & \alpha^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{A1} \\ \dot{I}_{A2} \\ \dot{I}_{A0} \end{bmatrix} \quad (1-2-50)$$

或简写成
$$I_{ABC} = A I_{120} \quad (1-2-51)$$

显然 $\det A \neq 0$,故矩阵为非奇异矩阵 ,它的逆矩阵为

$$A^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1-2-52)$$

根据线性变换原则 ,将式(1-2-51)两端分别乘 A^{-1} 即可

$$I_{120} = A^{-1} I_{ABC}$$

即

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_{A1} &= \frac{1}{3}(\dot{I}_A + \alpha \dot{I}_B + \alpha^2 \dot{I}_C) \\ \dot{I}_{A2} &= \frac{1}{3}(\dot{I}_A + \alpha^2 \dot{I}_B + \alpha \dot{I}_C) \\ \dot{I}_{A0} &= \frac{1}{3}(\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C) \end{aligned} \right\} \quad (1-2-53)$$

从上式可知,当 $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$ 时,则 $\dot{I}_{A0} = 0$;当 $\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C \neq 0$ 时,才有 $\dot{I}_{A0} \neq 0$ 。这就说明,在不对称系统中,三相之和等于零的那部分是由正序分量和负序分量构成的,而不等于零的那部分正是由零序分量构成的。

从上述分析中又可断言任何一组三相不对称电流系统均可分解为三个电流对称的分量。

对称分量不仅仅是抽象的概念,而且是客观存在的。每个分量分别具有独立的物理意义。输电线的零序电流是通过大地形成回路的。

三、不对称故障的序网图

当电力系统的某一点发生不对称故障时,三相系统的对称条件将受到破坏,但这种对称条件的破坏,往往只是局部性的。即除了在故障点出现某种不对称之外,电力系统其余的部分仍旧是对称的。故可运用对称分量法,将故障处的电压、电流分解为正序、负序和零序三组对称分量系统。由于电路的其余部分是三相对称的,所以各序分量即具有独立性,从而可以形成独立的三个序网络。这种方法可以大大方便对各种不对称故障的计算。

现以单相接地故障为例进一步分析。如图 1-2-14,设网络为中性点直接接地电力网。三相电源电动势 E_A, E_B, E_C 都是对称的,并接于空载电缆线路。如 A 相发生单相接地,则 A 相对地电压为零,而 B 相和 C 相的对地电压则不为零。故在接地点将出现三相电压不对称系统,引起线路上的电流也出现三相电流不对称系统。但三相电源系统仍是对称的,不对称的系统只是出现在故障点。

如根据对称分量法,把接地点出现的电压、电流不对称系统分解为三组对称分量系统,则如图 1-2-15 所示。

如将零序电压、电流单独取出,即得零序网络如图 1-2-16。

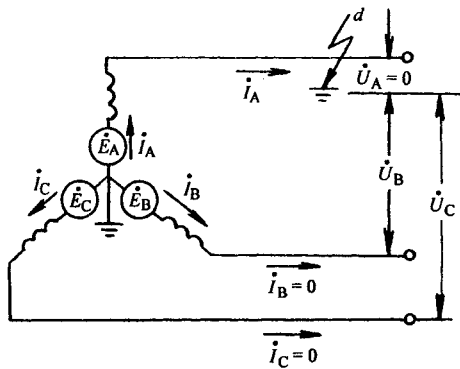


图 1-2-14 中性点直接接地电力网单相接地图

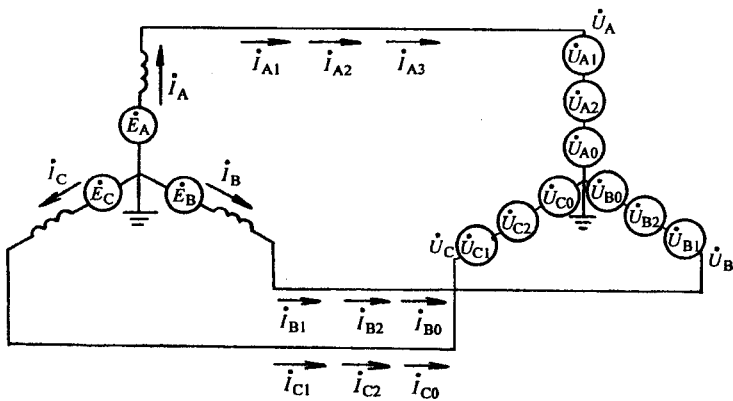


图 1-2-15 单相故障接地的电压电流量分量图

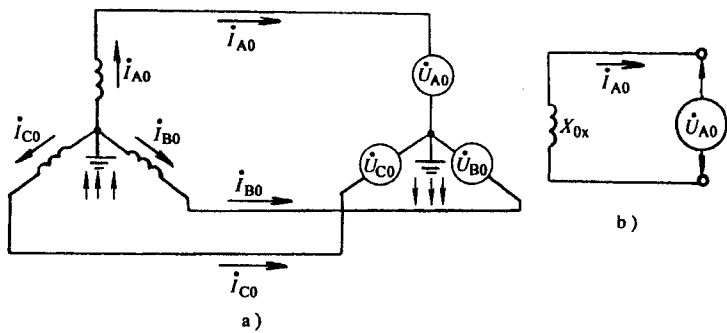


图 1-2-16 零序网络
a) 序网图 b) 等效电路图

零序系统是大小和方向都相同的三相系统,故 $\dot{i}_{A0}$ 、 $\dot{i}_{B0}$ 、 $\dot{i}_{C0}$ 是大小相等,方向相同的电流。所以流向中点的三相零序电流只能经过地线(或大地)流动;反之,如没有地线(如

中性点不接地电力网)就不会出现零序电流。对三角形接法的线路,零序电流可以在内部闭合循环,但线路上无零序电流。因此,零序电流具有地中电流的特点。且流经地线的电流应是三相零序电流之和。故接于中线上的阻抗,应等值为每相阻抗的三倍。

由于零序系统仍然是一个对称三相系统,可用其等值电路图表示,其基本方程可写为

$$\dot{U}_{A0} = -j\dot{I}_{A0} X_{0\Sigma} \quad (1-2-54)$$

式中, $X_{0\Sigma}$ 为短路点的总等效零序电抗,即网络元件对零序电流所呈现的电抗。

由于发电机不能发出零序电势,所以零序网络也是无源网络。零序电压出现在故障点,可以看成零序电源位于故障点处,零序电流必须以大地为回路,因此,只有中性点接地的电力网,才能构成零序网络。

四、几何平均半径和距离比率

在计算相序阻抗时,常常使用几何平均半径和距离比率。完全是为了简化运算和方便,并无实际物理意义。

(一)单线的几何平均半径 GMR

如图 1-2-17,有两根平行的实心圆导线组成一单相电路,导线的半径分别为 r_1 和 r_2 ,中心距离为 s ,则半径为 r_1 的导线单位长度的电感可用下式表示

$$L_1 = \left[2\ln \frac{s + r_2}{r_1} + \frac{1}{2} \right] \times 10^{-4} \text{ H/km}$$

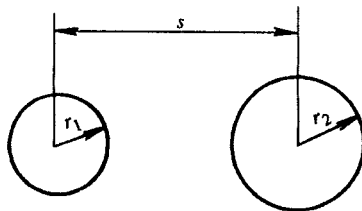


图 1-2-17 两根不同半径的平行导线

一般 $s \gg r_2$ 故上式可写为

$$L_1 = 2 \left[\ln \frac{s}{r_1} + \frac{1}{4} \right] \times 10^{-4} \text{ H/km} \quad (1-2-55)$$

式中 $1/4$ 可写作 $\ln e^{1/4}$, 故式 (1-2-55) 为

$$L_1 = 2 \left(\ln \frac{s}{r_1} + \ln e^{1/4} \right) \times 10^{-4}$$

$$\begin{aligned} &= 2 \left[\ln \frac{s}{e^{-1/4} r_1} \right] \times 10^{-4} \\ &= 2 \times 10^{-4} \left(\ln \frac{s}{0.7788 r_1} \right) \text{H/km} \end{aligned} \quad (1-2-56)$$

式中 $0.7788 r_1$ 即被定义为半径为 r_1 的实心圆导线的几何平均半径 GMR 故

$$L_1 = 2 \times 10^{-4} \left(\ln \frac{s}{\text{GMR}} \right) \text{H/km} \quad (1-2-57)$$

显然, 这样使用几何平均半径的方法简捷而又方便。可推广到由多根单线绞合成的线芯。

(二) 紧压绞合线芯的几何平均半径

紧压绞合线芯的几何平均半径可按下式进行计算

$$\text{GMR} = 0.7788 r_c \quad (1-2-58)$$

式中 $r_c = \sqrt{\frac{A}{\eta\pi}}$ 其中 A 为线芯导体的实际截面积, η 为线芯导体的填充系数。

故式(1-2-58)可写为

$$\text{GMR} = 0.7788 \sqrt{\frac{A}{\eta\pi}} \quad (1-2-59)$$

(三) 距离比率

为了方便对各种排列的电缆线路的阻抗计算, 采用比率表示各相电缆之间的中心距离。如图 1-2-18 所示, 设 $AB = s$, 而 n, m 分别表示 AC, BC 两相的中心距离的比率, 即

$$n = \frac{AC}{AB}, m = \frac{BC}{AB}$$

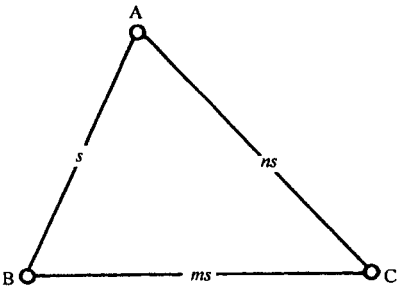


图 1-2-18 以比率表示各相电缆间的中心距离

则三相电缆的几何平均距离

$$\text{GMD} = (s \times ns \times ms)^{1/3} \quad (1-2-60)$$

五、电缆线路的相序阻抗计算方法

(一) 正(负)序阻抗

电缆输电线路是静止的磁耦合回路, 它的负序阻抗和正序阻抗是相等的, 故对称的运行状态和不对称的运行状态亦是相同的。

1. 金属护套内无感应电流

这种情况一般是由单芯电缆组成的单相回路, 金属护套一点接地或金属护套连续良好换位, 则

当线路正三角形排列时

$$Z_1 = Z_2 = R_c + j2\omega \times 10^{-4} \ln \frac{s}{\text{GMR}_c} \Omega/\text{km} \quad (1-2-61)$$

当线路等间距直线排列时

$$Z_1 = Z_2 = R_c + j2\omega \times 10^{-4} \ln \frac{\sqrt[3]{2}s}{\text{GMR}_c} \Omega/\text{km} \quad (1-2-62)$$

式中, Z_1 为正序阻抗; Z_2 为负序阻抗; R_c 为导电线芯电阻; s 为电缆中心间的距离; GMR_c 为导电线芯的几何平均半径。

2. 金属护套内有感应电流

这种情况一般为金属护套两端接地。感应电流和线芯电流方向相反, 故正、负序阻抗有所减少。对单回路, 正、负序阻抗的计算公式为

$$Z_1 = Z_2 = R_c + \frac{X_m^2 R_s}{X_m^2 + R_s^2} + j2\omega \times 10^{-4} \ln \frac{(nm)^{1/3} s}{\text{GMR}_c} \Omega - j \frac{X_m^2}{X_m^2 + R_s^2} \Omega/\text{km} \quad (1-2-63)$$

$$\text{式中} \quad X_m = X_s = j2\omega \times 10^{-4} \ln \frac{(nm)^{1/3} s}{\text{GMR}_s} \Omega/\text{km} \quad (1-2-64)$$

其中, R_s 为金属护套电阻; GMR_s 为金属护套几何平均半径, $\text{GMR}_s = 0.7788(D_s/2)$, 其中 D_s 为金属护套直径。

(二) 电缆线路的零序阻抗

当三相输电线流过零序电流时, 由于三相零序电流之和不为零, 就必须另有回路, 通常都是以大地为回路。

从空间磁场情况分析, 对正(负)序电流来说, 它们产生的磁场将主要集中在导线附近的空间内。在远离导线处, 将急剧衰减, 加之各相电流之间具有 120° 的相位差, 各相电

流在周围空间所产生的磁通将互相抵消。这就使得距导线较远的空间磁场更为减弱。但三相零序电流是同方向的。所以在导体附近的空间内,磁力线将相互排斥而使得磁通减少,但在导线外部的空间磁力线将相互叠加而使得磁场增强。故正(负)电流所产生的磁通基本上不进入大地内部。所以正(负)序电抗基本不受大地的电导率的影响,反之,零序电流产生的磁通,将要深入到大地上部形成回路。故零序电抗将在较大程度上受大地电导率的影响。故很难用解析方法精确计算。多年来,许多人从理论分析和试验测定上作了大量工作,特别是卡尔松提示的公式,经过实践证明,这个公式较方便地解决了线路零序电抗计算问题,其准确度完全满足要求。

其方法是将大地回路看成一根虚构的导线,其和电缆的距离,即等效回路深度为 D_d ,

$$D_d = \frac{2.085}{\sqrt{f\lambda \times 10^{-9}}} \times 10^{-3} \text{ m} \quad (1-2-65)$$

式中 f 为频率,单位为 Hz; λ 为大地电导率,单位为 $1/(\Omega \cdot \text{cm})$ 。

通常 $D_d = 1000 \text{ m}$ 。

零序电流在三相线路内是同相的,因此流经大地的电流是三倍的零序电流。零序阻抗显然是三相线路中三个相的并联阻抗。三相线路的等效几何平均半径为各电缆导线芯的几何平均半径和各相距离的连乘积,然后以相数加距离数之和作为开方的根次来开方。即

$$\text{GM} R_0 = [\text{GM} R_c^3 (s \times ns \times ms)^2]^{1/9}$$

$$\text{故} \quad Z_0 = 3 \left\{ \frac{R_c}{3} + R_g + j2\omega \times 10^{-4} \ln \frac{D_d}{\text{GM} R_0} \Omega/\text{km} \right\} \quad (1-2-66)$$

式中 R_g 为大地的漏电阻, $R_g = \pi^2 f \times 10^{-4} = 0.0493 \Omega/\text{km}$ 。其中 f 为频率。

第三章 电缆的损耗和电磁力

电缆的损耗,主要是由于在交变电磁场的作用下,在导体、绝缘层、金属屏蔽层和铠甲中产生的功率损耗。这些损耗一方面大量地消耗了传输的功率,另一方面损耗转变为热能,使电缆的温度升高,又严重地限制了功率的传输。电缆传输的容量主要是根据损耗决定的。所以应对损耗进行分析和计算。

第一节 导电线芯损耗和绝缘层介质损耗

一、导电线芯损耗

该损耗主要是导体通过直流或交流电时造成的功率损耗。单位长度电缆在允许工作温度时的每相导体损耗

$$W_c = I^2 R_c \quad (1-3-1)$$

式中, I 为导体电流; R_c 为单位长度在其允许工作温度下每相导体的交流电阻。

二、绝缘层介质损耗

介质在电压作用下有能量损耗。一种是由电导引起的损耗,另一种是由极化引起的损耗。如极性介质中的偶极子转向极化,夹层介质界面极化等。电介质的能量损耗简称介质损耗。在实际工程中以功率来计算。

$$W_i = U_0^2 \omega C \operatorname{tg} \delta \quad \text{W/m} \quad (1-3-2)$$

式中, U_0 为电缆绝缘承受的相电压,单位为 kV; ω 为电源角频率; $\operatorname{tg} \delta$ 为绝缘材料的损耗因数; C 为单位长度电缆的每相电容。对单芯圆形导体电缆,有

$$C = \frac{55.7 \epsilon}{\ln \frac{R}{r_c}} \times 10^{-12} \quad \text{F/m} \quad (1-3-3)$$

对多芯电缆,如三芯电缆,一般均用于低压,中性点不接地系统。其每相等效电容可用近似公式计算,即

$$C = \frac{55.7 \epsilon}{\ln \frac{D}{r_c}} \times 10^{-12} \quad \text{F/m} \quad (1-3-4)$$

上二式中, ϵ 为介质的相对介电常数; R 为绝缘外半径; r_c 为导电线芯半径; D 为三芯电缆中每两导体中心间的距离。

第二节 金属屏蔽层(金属护套)和铠装层损耗

线芯回路产生的磁通,亦和金属屏蔽层(金属护套)及铠装层相链,必然在金属屏蔽层和铠装层上产生感应电动势,也就会产生电磁损耗。

一、金属屏蔽层(金属护套)损耗

在实际工程中,一方面为了减少感应电动势,另一方面,保护系统需用金属护套做为接地电流的通路,所以大多数情况下,金属护套两端都是接地的,则必然会产生环流损耗。又由于金属护套各点的感应电动势不同,形成电位差,又会造成涡流损耗,所以金属屏蔽层损耗应为二者之和。

首先分析环流损耗。最简单的是由两根单芯电缆组成的单相回路。如前述,单相回路单位长度金属屏蔽层中的感应电动势

$$E_s = -jIX_s \quad (1-3-5)$$

式中, I 为线芯电流; X_s 为单位长度金属屏蔽层的感抗, $X_s = 2\omega \left(\ln \frac{2s}{D_s} \right) \times 10^{-7} \Omega/\text{m}$ 。

则接地回路电流

$$I_s = \frac{\dot{E}_s}{R_s + jX_s} \quad (1-3-6)$$

式中, R_s 为金属屏蔽层电阻。故单位长度电缆金属屏蔽层损耗为

$$W_s = I_s^2 R_s = \frac{I^2 X_s^2}{R_s^2 + X_s^2} R_s \quad (1-3-7)$$

实际工程中,常以线芯损耗 W 作为基值的百分比表示,即损耗因数

$$\lambda'_1 = \frac{W_s}{W_c} = \frac{R_s}{R} \frac{X_s^2}{R_s^2 + X_s^2} \quad (1-3-8)$$

对于等边三角形敷设(含三相分相屏蔽型电缆) λ'_1 同单相回路,电缆不换位,金属屏蔽层两端短接,水平敷设的单芯电缆,其最大损耗电缆(即敷设于外侧的滞后相电缆)的损耗因数

$$\left. \begin{aligned} \lambda'_1 &= \frac{R_s}{R} \left[\frac{\frac{3}{4} P^2}{R_s^2 + P^2} + \frac{\frac{1}{4} Q^2}{R_s^2 + Q^2} + \frac{2 R_s P Q X_m}{\sqrt{3} (R_s^2 + P^2) (R_s^2 + Q^2)} \right] \\ \lambda'_1 &= \frac{R_s}{R} \left[\frac{\frac{3}{4} P^2}{R_s^2 + P^2} + \frac{\frac{1}{4} Q^2}{R_s^2 + Q^2} - \frac{2 R_s P Q X_m}{\sqrt{3} (R_s^2 + P^2) (R_s^2 + Q^2)} \right] \\ \text{中间电缆的损耗因数为} \quad \lambda'_1 &= \frac{R_s}{R} \left[\frac{Q^2}{R_s^2 + Q^2} \right] \end{aligned} \right\} (1-3-9)$$

在上式中 $P = X_s + X_m$; $Q = X_s - \frac{1}{3} X_m$ 而 $X_m = 2\alpha(\ln 2) \times 10^{-7} (\Omega/\text{m})$

据式(1-3-7)可知,当 $R_s = 0$ 时, $W_s = 0$; $R_s = \infty$ (相当于开路)时, $W_s = 0$ 。据数学中值定理, R_s 自 $0 \rightarrow \infty$ 中 W_s 必有一极值。令 $\frac{dW_s}{dR_s} = 0$, 得当 $X_s = R_s$ 时 W_s 最大。又随电缆敷设距离的增加,所链磁通亦增加,感应电流也越大,造成的损耗也大。所以在金属护套接成通路的情况下,应尽可能减少敷设距离,以减少护层损耗。

除了环流损耗外,既使在一点接地的开路情况下,也由于金属护套上各点的感应电动势不同而形成局部电流而造成损耗。其和线芯损耗的比值记为 λ''_1 。

所以金属屏蔽层(金属护套)总的损耗因数

$$\lambda_1 = \lambda'_1 + \lambda''_1 \quad (1-3-10)$$

对于 λ'_1 和 λ''_1 的计算公式可采用国际电工委员会(IEC—287)所规定的公式,详见

表 1-3-1。

表 1-3-1 电缆金属护套损耗计算公式(IEG—287)

电缆型式及敷设连接方式	λ'_1	λ''_1	备 注
单芯电缆(三相电路)			$X_s = 2\omega \left(\ln \frac{2s}{D_s} \right) \times 10^{-7} \Omega/\text{m}$ $X'_s = 2\omega \left(\ln \frac{2s'}{D_s} \right) \times 10^{-7} \Omega/\text{m}$ $s' = \sqrt[3]{2s \times s \times s} = \sqrt[3]{2}s$ $F = \frac{4M^2N^2 + (M+N)^2}{4(M^2+1)(N^2+1)}$ 等边三角形敷设： $M = N = \frac{R_s}{X_s}$ 等距平行并列敷设： $M = \frac{R_s}{X_s + X_m} \quad N = \frac{R_s}{X_s - \frac{X_m}{3}}$
1. 护套两端短接 (1)等边三角形敷设 (2)等距平行并列敷设 1) 电缆换位(第三换位点护套连接) 2) 电缆不换位	$\frac{R_s}{R} \frac{X_s^2}{R_s^2 + X_s^2}$ $\frac{R_s}{R} \frac{X_s'^2}{R_s^2 + X_s'^2}$ 公式(1-3-9)	不 计 ^① 不 计 ^① 不 计 ^① $A_1 \frac{R_s}{R}$ $\times \frac{(D_s/2s)^2(1 + A_2(D_s/2s)^2)}{(R_s \times 10^7/\omega)^2 + \left(\frac{1}{5}\right)(2s/D_s)}$ $A_1 = 3.0, A_2 = 0.417$	
2. 护套单点连接或交叉连接 ^② (1)等边三角形敷设 (2)等距平行并列敷设 1) 两侧电缆 2) 中间电缆	不 计 不 计 不 计	$A_1 = 1.5, A_2 = 0.27$ $A_1 = 6, A_2 = 0.083$	
共同护套三芯电缆 (1)圆形芯或椭圆芯 $R_s \leq 100 \mu\Omega/\text{m}$ (2)圆形芯或椭圆芯 $R_s > 100 \mu\Omega/\text{m}$ (3)扇形芯	不 计 不 计 不 计	$\frac{3R_s}{R} \left[\left(\frac{2C}{D_s} \right)^2 \times \frac{1}{(1 + 159R_s \times 10^4/f)^2} + \left(\frac{2C}{D_s} \right) \times \frac{1}{1 + 4(159R_s \times 10^4/f)^2} \right]$ $\frac{3.2\omega^2 \left(\frac{2C}{D_s} \right)^2}{RR_s} \times 10^{-4}$ $0.94 \frac{R_s}{R} \left(\frac{2r_1 + \Delta}{D_s} \right)^2$ $\times \frac{1}{1 + (159R_s \times 10^4/f)^2}$	C ——电缆中心至线芯中心距离 r_1 ——包围三扇形导体圆的半径 Δ ——线芯间绝缘层厚度 D_s ——金属护套平均直径 ,对椭圆线芯 , D_s 等于长半轴和短半轴之和
钢带铠装三芯电缆	不 计	共同护套三芯电缆相应的 λ''_1 乘以 $\left[1 + \left(\frac{D_s}{D'_A} \right)^2 \frac{1}{1 + D'_A/\mu\Delta_A} \right]^2$	D'_A ——铠装平均直径 μ ——钢带平均磁导系数(≈ 300) Δ_A ——铠装等效厚度 , $\Delta_A = A_A/\pi D'_A$
分相铅包铠装电缆	$\frac{R_s}{R} \frac{1.7X_s^2}{R_s^2 + X_s^2}$	不 计	

电缆型式及敷设连接方式	λ'_1	λ''_1	备 注
钢管形三芯电缆 (每一芯绝缘层表面有屏蔽或金属护套)	$\frac{R_s}{R} \frac{1.7 X_s^2}{R_s^2 + X_s^2}$	不 计	如每一绝缘线芯具有一金属传压膜套和非磁性加强带,也可应用此式计算 λ'_1 ,此时 R_s 为护套电阻与加强带电阻 ^③ 并联值,而 $D_s = D'_s = \sqrt{(D_{s1}^2 + D_{s2}^2)/2}$ (对于椭圆形线芯, D_{s1} , D_{s2} 分别取其最大和最小直径的几何平均值), D_{s1} 为金属传压膜平均直径, D_{s2} 为加强带平均直径

- ①对于分裂线芯结构 λ''_1 等于护套单点连接时的 λ''_1 乘以 F 。
- ②对于等距平行并列敷设正规换位电缆,三段的平均每相单位长度损耗可用等边三角形敷设的参数(A_1, A_2)和计算公式计算 λ''_1 。
- 对于交叉连接电缆,如三段长度不相等而分别为 m_a, n_a, a ,则 λ'_1 等于相应敷设位置、不换位电缆每大段二端连接接地的 λ'_1 乘以 $\left(\frac{n+m-1}{n+m+1}\right)^2$,如不知每段电缆长度,则对于直埋电缆 $\lambda'_1 = 0.03$,敷设在水泥槽管道中电缆 $\lambda'_1 = 0.05$ 。
- ③加强带电阻计算的规定：
- (1)对于绕包节距很大(轴向加强带)的加强带,其电阻可按一个内径和重量都和加强带相同的圆柱体计算。
- (2)若加强带与电缆轴约呈 54° ,或包绕节距很短但有互相接触的两层或两层以上的加强带,其电阻为(1)的2倍。
- (3)若加强带包绕节距很小(径向加固),其电阻可认为等于无穷大,即损耗可忽略不计。

二、铠装层中的损耗

如电缆具有铠装,铠装将在不同程度上改变护套电流,因之损耗也随之改变。同时,当铠装接成通路时,铠装中也会产生损耗。计算铠装损耗公式的推导过程比较繁锁,这里只介绍 IEC 推荐的计算公式。

非磁性材料铠装损耗可用下述方法计算:以护套和铠装并联电阻代替 R_s ,护套直径和铠装直径均方根值代替护套平均直径 $\left[D_s = \sqrt{\frac{D_{s1}^2 + D_{s2}^2}{2}} \right]$,用相应单一护套公式计算护套和铠装中总损耗。

顺便指出,单芯电缆(小截面电缆 10mm^2 除外)一般不容许采用钢带铠装,因为属于磁性材料的钢带会大大增加护套及铠装损耗。第三章已经讲过,高压单芯充电电缆采用铜带作为径向或轴向加固(铠装)。高落差或水底单芯电缆容许采用钢丝铠装以承受轴向拉力,因为钢丝铠装可以采取(大的包绕节距,钢丝中夹以非磁性材料金属丝),以

减小它的磁效应。

对于钢丝铠装圆形三芯电缆,铠装中损耗可用下列公式计算:

$$\lambda_2 = \frac{\text{铠装中损耗}(W_A)}{\text{线芯中损耗}(W_C)} = 1.23 \times \frac{R_A}{R} \left(\frac{2C}{D_A} \right)^2 \frac{1}{\left(\frac{44 R_A \times 10^4}{f} \right)^2 + 1} \quad (1-3-11)$$

式中, R_A 为铠装在其工作温度下的单位长度电阻,单位为 Ω/m ; D_A 为铠装平均直径; C 为电缆中心与线芯中心距离。

对于分相铅包钢丝铠装电缆,铠装中损耗等于式(1-3-11)与 $(1 - \lambda'_1)$ 相乘,即

$$\lambda_2 = 1.23(1 - \lambda'_1) \frac{R_A}{R} \left(\frac{2C}{D_A} \right)^2 \frac{1}{\left(\frac{44 R_A \times 10^4}{f} \right)^2 + 1} \quad (1-3-12)$$

而 λ'_1 由式(1-3-9)确定,显然,钢丝铠装中的损耗由于护套中电流屏蔽作用而减小了。

对于钢丝铠装扇形三芯电缆

$$\lambda_2 = 0.358 \frac{R_A}{R} \left(\frac{2r_1}{D_A} \right)^2 \frac{1}{\left(\frac{44 R_A \times 10^4}{f} \right)^2 + 1} \quad (1-3-13)$$

式中, r_1 为包围三扇形导体圆的半径。

对于钢带铠装电缆,铠装中损耗与线芯损耗之比

$$\lambda_2 = \lambda'_2 + \lambda''_2 \quad (1-3-14)$$

式中, λ'_2 、 λ''_2 分别为铠装中磁滞、涡流损耗与线芯损耗之比。

$$\lambda'_2 = \frac{s^2 \left[\frac{1}{1 + \frac{D_A}{\mu \Delta_A}} \right]^2 \times 10^{-7}}{R D_A \Delta_A} \quad (1-3-15)$$

$$\lambda''_2 = \frac{2.25 s^2 \left[\frac{1}{1 + \frac{D_A}{\mu \Delta_A}} \right] \Delta_A \times 10^{-6}}{R D_A} \quad (1-3-16)$$

式中, s 为线芯中心轴间距离,单位为 cm ; Δ_A 为铠装等效厚度, $\Delta_A = \frac{A_A}{\pi D_A}$ 单位为 cm ; A_A

为铠装截面积,单位为 cm^2 ; D_A 为铠装平均直径,单位为 cm ; μ 为钢带有效磁导率(一般取 300)。

第三节 电缆中的电磁力

电力电缆在通过交变电流时,磁场便会对电缆本身产生电磁力。尤其在短路时,电磁力可能达到较大的数值。对电缆各部分,尤其会对电缆绝缘造成很大的机械破坏力,使之产生应变,亦是交联聚乙烯绝缘产生树枝化放电的一个重要成因。

对单相回路,应用虚位移法求电磁力。单位长度电缆磁场能量

$$W = \frac{1}{2} LI^2 \quad (1-3-17)$$

式中, I 为线芯导体电流; L 为单位长度电缆的电感。

$$L = 0.5 \times 10^{-7} \text{H/m} + \left(2 \ln \frac{2s}{D_c} \right) \times 10^{-7} \text{H/m} \quad (1-3-18)$$

式中, s 为回路中电缆中心间的距离; D_c 为导线线芯直径,则单位长度电缆受到的电磁力

$$F = - \frac{\partial W}{\partial s} = - \frac{I^2}{s} \times 10^{-7} \text{N/m} \quad (1-3-19)$$

由两根电缆组成的单相回路,若 $i = I_m \cos \omega t$,则单位长度电缆所受的电磁力为

$$F = - 2 \times 10^{-7} I^2 / s = - \left(\frac{I_m^2}{s} + \frac{I_m^2}{s} \cos 2\omega t \right) \times 10^{-7} \text{N/m} \quad (1-3-20)$$

在三相电力系统中,如电缆位于等边三角形三个顶点,每一电缆之电流分别为

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= I_m \cos \omega t \\ i_2 &= I_m \cos(\omega t - 120^\circ) \\ i_3 &= I_m \cos(\omega t + 120^\circ) \end{aligned} \right\} \quad (1-3-21)$$

根据式(1-3-19),并参见图 1-3-1 线芯 1 与线芯 2 之间的作用力为

$$F_{12} = 2 \times 10^{-7} \times \frac{I_m^2}{s} \cos \omega t \cos(\omega t - 120^\circ) \text{N/m} \quad (1-3-22)$$

线芯 1 和线芯 3 之间的作用力

$$F_{13} = 2 \times 10^{-7} \times \frac{I_m^2}{s} \cos \omega t \cos(\omega t + 120^\circ) \text{N/m} \quad (1-3-23)$$

作用于线芯 1 上的总力在 y 轴上的分量

$$F_{1y} = (F_{12} + F_{13}) \cos 30^\circ = \frac{-\sqrt{3} \times 10^{-7}}{s} I_m^2 \cos^2 \omega t \quad (1-3-24)$$

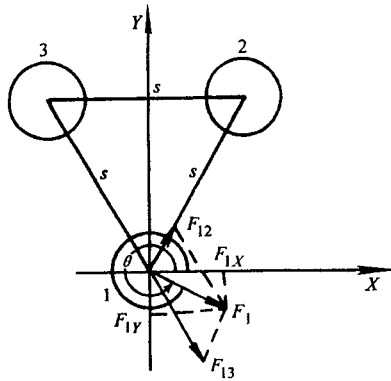


图 1-3-1 三相电力系统中电缆(三角形敷设)间的电磁力

在 x 轴上的分量 F_{1x}

$$F_{1x} = (F_{12} - F_{13})\cos 60^\circ = \frac{\sqrt{3} \times 10^{-7}}{2s} I_m^2 \sin 2\omega t \quad (1-3-25)$$

而

$$\theta = \arctg \frac{F_{1y}}{F_{1x}} = \arctg(-\cot \omega t) \quad (1-3-26)$$

如三根电缆等距平行并列敷设,各线芯承受的力也可按上述公式计算,例如作用在线芯 1 上的力为

$$\begin{aligned} F_1 &= F_{12} + F_{13} = \frac{2 \times 10^{-7}}{s} I_m^2 \cos \omega t \left[\cos(\omega t - 120^\circ) + \frac{1}{2} \cos(\omega t + 120^\circ) \right] \\ &= \frac{\sqrt{3} I_m^2}{2s} \times 10^{-7} \cos \omega t (\sin \omega t - \sqrt{3} \cos \omega t) \end{aligned} \quad (1-3-27)$$

在上列诸式中,负号表示相斥力。

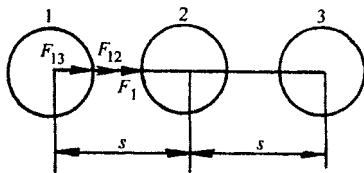


图 1-3-2 三相电力系统中电缆(平行并列敷设)间的电磁力

第四章 电力电缆工常用电工用具及仪表

由于电缆的敷设、安装、运行维护工作专业知识面要求广、技术能力要求强,因此要求从事电缆工作的人员要具备良好专业技术水平和一定的专业基础知识。本章就电缆工常用电工用具、常用电工仪表等知识,进行简要的介绍。

第一节 常用电工用具

电缆工常用的电工用具有:安全用具、钳工用具、起重用具以及专用工器具等四种类型。

一、安全用具

常用的电工安全用具按作用不同,又分作六类。

- (1)起绝缘作用的绝缘安全用具。
- (2)起验电或测量作用的安全用具,如验电器、验电笔、钳型电流表等。
- (3)防止突然来电或感应电压的安全用具,如短路接地线等。
- (4)起警示、警告、警戒作用的安全用具,如临时遮栏、围网、各种标志牌。
- (5)防止高空坠落作用的安全用具,如安全带、安全帽、脚扣等。
- (6)防止电弧灼伤、毒气伤害及触电的其他安全用具,如护目镜、安全照明灯具等。

(一)绝缘安全用具

绝缘安全用具根据绝缘性能的不同,可分为基本安全用具和辅助安全用具两类。

基本安全用具是指其绝缘强度足以长时间承受电气设备运行电压的用具,如绝缘杆、绝缘夹钳、高压验电器等。辅助安全用具是指绝缘强度不能承受电气设备的运行电压,只能加强基本安全用具保安作用的用具,如绝缘手套、绝缘垫等。它不能与高压带电体直接接触。下面就常见绝缘用具进行介绍。

1. 绝缘操作杆简称绝缘杆

又称绝缘棒。它主要是用来操作高压隔离开关、跌落式熔断器、拆接临时接地线,以及其他测量或试验性的工作。其结构如图 1-4-1 所示,由三部分组成,即工作部分、绝缘部分、握手部分。

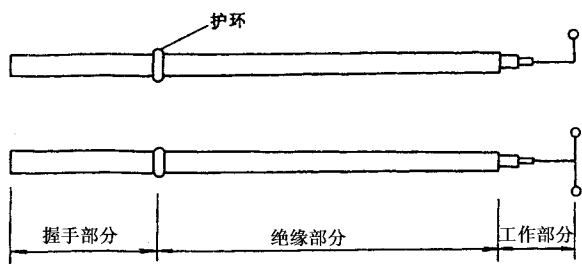


图 1-4-1 绝缘操作杆结构图

2. 绝缘夹钳又称绝缘夹

它主要是用于拆接熔断器及其他类似的工作。其结构如图 1-4-2 所示,适用于 35kV 及以下电气设备上的工作。

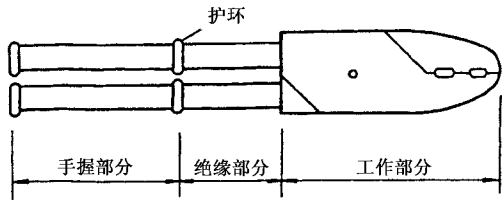


图 1-4-2 绝缘夹钳结构图

3. 绝缘手套

绝缘手套主要用于防止操作中突然出现的泄漏电流、感应电压和接触电压造成的伤害。它不能直接接触及高压设备,但可以直接进行低压设备的工作。

4. 绝缘靴(鞋)

它主要用于防止工作中突然出现的跨步电压、感应电压、泄漏电流造成的伤害。在雨天或潮湿天气操作室外高压设备或配电装置接地电阻不合格时,必须穿绝缘靴(鞋)。

5. 绝缘隔板

当工作人员对带电设备工作或在邻近带电设备四周工作时,它是一种防止在工作人员活动范围内发生触电危险的辅助防护安全用具,通常临时装设在 35kV 及以下隔离开关的触头之间,作为防止突然来电的保安用具或者须隔离带电设备的场所。

(二) 验电器

验电器根据验证电压等级不同,分为低压验电器和高压验电器两种。它们是通过发光指示、音响指示和风车旋转来表示电气设备有无电压的安全用具。

1. 低压验电器

是用来检验对地电压在 250V 及以下回路有无电压的用具,又称验电笔。它利用人体与验电笔的握柄、接地螺丝、同弹簧、氖灯泡、降压电阻和工作触头构成回路,再通过微小漏电电流(超过 36V 时)使氖灯发指示。

2. 高压验电器

是用来检验对地电压在 250V 以上电气设备是否有电的安全用具。其结构同绝缘操作杆基本相同,如图 1-4-3 所示。指示部分是由金属触端、压紧弹簧、氖气管、电容纸箔或电子元件等组成,当接触端接收到电场信号时,并发出声光指示,是根据电场效应原理制成的。它根据指示标志不同,分为发光型验电器、声光型验电器和风车型验电器三类。

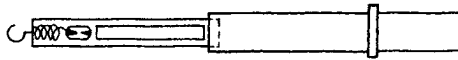


图 1-4-3 高压验电器结构示意图

(三) 短路接地线

短路接地线是用于当设备突然来电时,消除邻近感应电压或放尽已断开电源的电气设备上的残余电荷,以避免对工作人员造成伤害。它一般装设在被检修区段两端可能来电的线路上。其短路接地线的规格须符合短路容量的要求。

(四) 高空作业安全用具

高空作业安全用具主要是指登高用具、安全带、安全帽等。

1. 登高用具主要是指用来攀登杆塔等所使用的用具

升降板和脚扣是主要登高工具。升降板系由脚踏板和吊绳组成,脚踏板一般用 630mm×75mm×25mm 之硬木材制成。脚扣系钢制品或铝合金制品,呈圆环形。脚扣可分木杆脚扣和水泥杆脚扣两种。选用时,应根据杆塔的规格来选择升降板和脚扣的规格。

2. 安全带和安全腰绳

它是防止发生高空坠落的主要安全用具,安全带一般有皮革式和尼龙式两种;安全腰绳则有棕绳和尼龙绳两种。它们都要求具有良好的机械强度和柔韧性。

3. 安全帽

它是用来防护高空落物,减轻对头部冲击伤害的一种防护用具,因此它须具有良好的冲击吸收性能、耐穿透性能、耐低温性能、电绝缘性能和侧向刚性。

(五)其他安全用具

1. 安全围栏

它分为木制围栏、围网和围绳三种。其作用是把工作人员的活动范围限制在一定区域,以防误入有电间隔、误登有电设备和对带电设备造成危险接近等。

2. 安全标志牌又称警告牌

是用来警告工作人员不准靠近带电设备,告知禁止操作有电设备,有时用来指示工作人员在何处工作,提醒工作人员工作的注意事项。它结合安全围栏配合使用效果更好。

3. 护目镜

在检修设备时,它用于保护工作人员眼睛不受电弧灼伤,防止异物溅入眼中的一种防护用具。

4. 安全行灯

主要是指工作中常使用的手提照明灯具。它有两类;一是充电式手提灯具;另一是外接电源式手提灯具。

由于充电式手提灯具使用时间短、成本高、活动范围大,通常使用在特定环境中。外接电源式手提灯具它具有不间断供电、照明度不受灯具限制、成本低等优点,使用较为广泛。它由电源变压器和行灯手把组成,输出端至少有三个输出电压,即36、24、12V,以满足不同环境条件的需要。例如,在一般生产场所使用36V,在危险地方、着火禁止地点应使用12V。

(六)安全用具的使用与管理

(1)安全用具使用的基本要求:

- ①根据工作内容、工作环境和对象,合理选择相适应的安全用具。
- ②选择的安全用具,须满足工作需要(即须使用合格的安全用具)。
- ③要正确使用安全用具(即操作方法要正确无误)。

(2)安全用具管理应注意的事项:

①每次使用前,必须认真检查核实。如核实电压等级是否满足要求,使用时间是否在试验周期内,表面有无划伤、受潮、裂缝、破损腐蚀等。

②在使用时,要将安全用具擦拭干净,验电器须在带电设备上进一步验证是否良好。不得将安全用具乱扔乱放,另作它用,也不能用其他物件来代替安全用具使用。

③安全用具的试验周期和标准,须严格遵守,遇有特殊情况可缩短试验周期或者停止使用。

④安全用具应有专人负责妥善保管,不应放在阳光下曝晒、或放置在有酸、碱、油的地方,最好置于室内、专柜、通风干燥处。

(3)安全用具的使用方法本节只做了简单的介绍,具体操作方法请参阅水利电力出版社出版的全国电力工人公用类教材《电力安全知识》的有关章节内容,这里不再表述。

二、钳工用具

电缆的施工、安装以及临时性缺陷处理,都离不开钳工操作,而钳工操作经常要借助许多钳工工具和设备来完成。

(一)钳工常用工具

钳工工具根据钳工工艺的分类,可有以下种类。

(1)划线工具:主要有划线平板、划针、圆规、样冲、划卡、直角尺、划线盘等。

(2)锉削工具:主要有普通锉、特种锉、整形锉等。

(3)鑿削工具:主要有手锤、鑿子等。

(4)锯割工具:主要有锯弓、曲线锯等。

(5)钻削工具:主要有中心钻、扁钻、锥头铰孔钻、硬质合金钻、麻花钻等。

(6)铰孔工具:主要有圆柱形埋头铰钻、圆锥形埋头铰钻、端面铰钻等。

(7)铰孔工具:主要有手用铰刀和机用铰刀等。

(8)攻丝工具:主要有丝锥和铰杠扳手等。

(9)套丝工具:主要有板牙和板牙架。

(10)刮削工具:主要有平面刮刀和曲面刮刀等。

(二)钳工常用设备

钳工常用的设备有:工作台、虎钳、砂轮机、钻床等。

(1)工作台:是钳工操作的专用台子,可分为一人用和多人用两种,台面高约0.8~0.9m,厚约0.06~0.08m。

(2)台虎钳:是安装在工作台上供夹持工件用的夹具,分为固定式和回转式两种,其

规格常有 100、127、150mm 三种类型。

(3) 砂轮机 :是用来刃磨錾子、钻头、刮刀等工具的设备 ,也是用来磨去工件或材料毛刺、飞边等。它主要是由砂轮、电动机、机体、防护罩组成。

(4) 钻床常用的有立式钻床、台式钻床和摇臂钻床三种。

① 立式钻床 :其最大钻孔直径有 25、35、40、50mm 几种 ,适用于钻中型工件。由于它可以自动起刀 ,可采用较大的切削用量 ,能获得较高生产效益和加工精度 ,可适应不同的刀具以及作钻、镗、绞、攻丝等多种操作。

② 台式钻床 :是一种小型钻床 ,可放在台案上使用。因此它灵活性大 ,能适应各种情况钻孔的需要。其缺点是转速转低 ,不适于镗孔和绞孔。

③ 摇臂钻床 :它用于笨、重、大工件的钻孔。由于它钻孔时 ,工件本身不必移动 ,能适应不同高度工件的需要 ,再就是主轴转速范围和进刀量范围都较大 ,因而可用于钻孔、镗孔、扩孔、绞孔、铰孔、镗孔、环切大圆孔以及攻丝等多项工作。

三、起重用具

(一) 常用的起重工具和机具

(1) 起重工具 :主要是指绳索、卸卡、千斤顶、吊钩、滚杆、撬棍等用具。

(2) 起重机具 :主要是指起重机、电动(手动)葫芦、起重桅杆或三角铁架、卷扬机、滑轮以及滑轮组等机具。

(二) 常用绳索和绳结

常用的绳索有两种 ,一种是柔性绳索 ,如麻绳、棕绳、锦纶绳、蚕丝绳等 ;另一种是钢性绳索 ,如钢丝绳、铁线、钢性拖杠等。它们都是用来捆绑、固定、牵引、吊装重物的。

根据绳索使用场所和环境条件的不同 ,有许多种绳结型式(用钢性绳索打的绳结称作绳扣)。常见绳结(扣)型式见图 1-4-4~图 1-4-9 ,其用途及特点如表 1-4-1 所示。

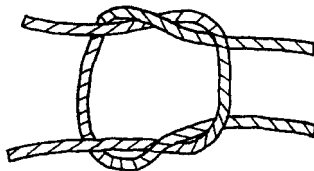


图 1-4-4 平结或十字结

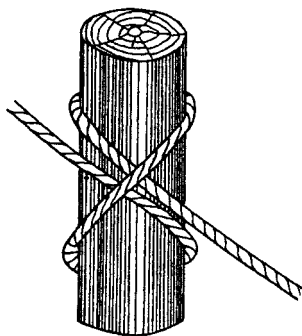


图 1-4-5 梯形结

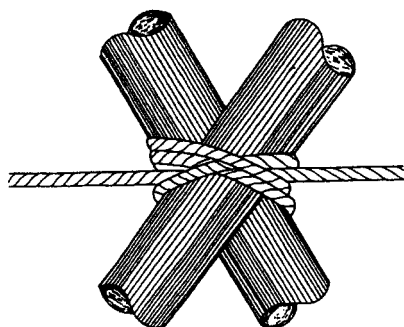


图 1-4-6 双梯形结

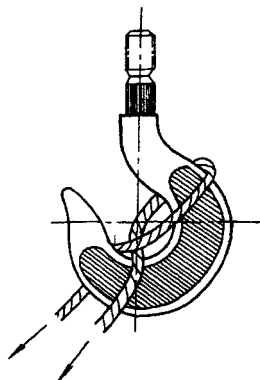


图 1-4-7 钩头结

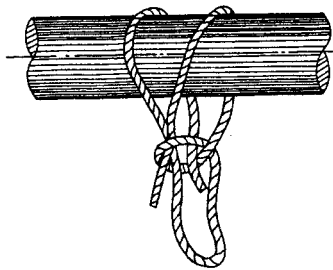


图 1-4-8 抬运结

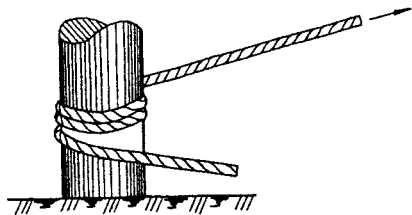


图 1-4-9 溜松绳结

表 1-4-1 常见绳结及绳扣型式、用途及特点

绳结名称	特 点 及 用 途	图 示
平结或十字结	临时将绳索两端连接起来用 ,适用于荷重较轻的麻绳、棕绳 ,能自紧容易解开	见图 1-4-4
梯形结和双梯形结	用于麻绳、棕绳提运长形物件 ,多用于木抱杆、抬杠绑扎 ,易扎紧、易解开	见图 1-4-5 见图 1-4-6
钩头结	起吊荷载时使用或者往吊钩上绑牵引机械时采用	见图 1-4-7
抬运结	用于麻绳、棕绳抬运物件时采用	见图 1-4-8
溜松绳结	用于绳索受力后 移动物体之用	见图 1-4-9

(三) 滑轮及滑轮组

滑轮按使用的方法分为定滑轮和动滑轮 ,由一定数量的定滑轮和动滑轮组成的轮系称为滑轮组。

(1) 定滑轮 :其滑轮安装在位置固定的轴上。位置固定的滑轮叫作定滑轮 ,它的作用只是改变绳索或拉力的方向 ,而不能省力。常用作转向滑轮。

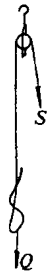
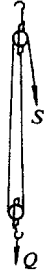
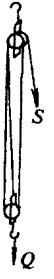
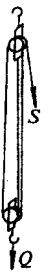
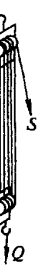
(2) 动滑轮 :其滑轮位置可以移动 ,安装在运动的轴上。它与被牵引重物一起升降 ,但不能改变力的方向。

(3) 滑轮组 :是一种用途广泛的简单起重机具。根据其特点它可分为省力滑轮组和

增速滑轮组两种。在起重作业中 ,增速滑轮组基本不用 ,省力滑轮组广泛应用。特别是吊装较重物件时 ,都采用较多定滑轮和动滑轮连接在一起的滑轮组来完成吊装任务。

(4)滑轮组的连接方式在起重工作中非常重要 ,它直接决定着物件是否能够吊起和移动到位。常用的连接方式是将绳索由滑轮组的一边 ,按滑车排列的顺序 ,依次穿绕至最终一滑轮引出。绳索被固定的一端叫终根(也叫死头) ,终根固定在定滑轮或动滑轮尾部的吊环上 ;绳索绕出的一端称为出端头(也叫活头)。滑轮组常见连接方式见表 1 - 4 - 2。

表 1 - 4 - 2 滑轮组常见连接方式

滑车组绳数	单绳	双绳	三绳	四绳	五绳	六绳	七绳	八绳	九绳	十绳
滑车组连接方式 $E = 1.04$										

第二节 常用电工仪表

一、电工仪表的分类

电工仪表是实现电磁测量过程所需技术工具的总称。它的分类方法很多 ,可按作用原理分类 ,可按测量对象分类 ,也可按使用方法、准确等级及使用条件等来分类。下面按其测量方法、结构、使用场所等特性分为以下几类。

(一)指示类仪表

这类仪表是把被测量值转换为仪表内可动部分的机械角位移 ,再通过与其相连的指示装置直接读出被测量值的大小 ,因此又称为电气机械式或直读式仪表。

它按其工作原理不同分为磁电系、电磁系、电动系、感应系、静电系、整流系、热电系以及电子系等。

按其测量对象不同分为电流表、电压表、功率表、相位表、频率表、万用表以及欧姆表等。

按其使用方式不同分为安装式仪表和可携式仪表。

按其工作电流的种类不同可分为直流仪表、交流仪表、交直流两用仪表。

指示类仪表还有其他分类方法,如按准确度等级分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5 级共 7 个等级,按防御电磁场能力来分有 I、II、III、IV 级共 4 个等级,还可按使用条件、外形尺寸等来分类。

(二)比较类仪表

这类仪表是利用直接比较被测量值的方法来进行测量的,又称为较量仪表或较量仪器。

它根据测量对象的电流性质可分为直流比较仪表(如直流电桥、电位差计、标准电阻箱等)和交流比较仪表(如交流电桥、标准电感或电容等)。与指示类仪表相比较,它具有测量准确度高特点,因此它用于对测量结果准确度要求较高的场所。

(三)其他类仪表

除上述两类仪表外都可以归为其他类仪表。如数字式仪表、巡回检测装置、记录式仪表及示波器等。

二、电工仪表的标志及含义

不同种电工仪表具有不同的技术特性。各种不同技术特性用不同的符号在电工仪表刻度盘或面板上标示出来,这叫做仪表的标志。各种电工仪表标志符号及其含义如表 1-4-3 所示。例如“—□1.5⊥☆□△”,表示为磁电式直流表、准确度等级为 1.5 级、绝缘强度为 500V、有 II 级防外磁场及电场能力、工作位置为垂直放置 B 组仪表。

表 1-4-3 电工仪表标志符号及其含义

名 称	符 号	名 称	符 号
磁电系仪表		热电系仪表(带接触式热变换器和磁电系测量机构)	
磁电系比率表		整流系仪表(带半导体整流器和磁电系测量机构)	
电磁系仪表		直 流	—
		交流(单相)	~

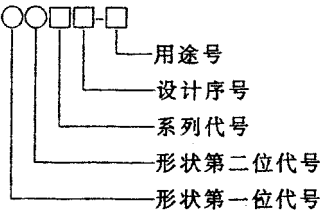
名 称	符 号	名 称	符 号
电磁系比率表		直流和交流	
电动系仪表		具有单元件的三相对称负载交流	
电动系比率表		具有二元件的三相不对称负载交流	
铁磁电动系仪表		具有三元件的三相四线不对称负载交流	
铁磁电动系比率表		以标度尺量限百分数表示的准确度等级。例如 1.5 级	1.5
感应系仪表		以标度尺长度百分数表示的准确度等级。例如 1.5 级	1.5 
静电系仪表		以指示值的百分数表示的准确度等级。例如 1.5 级	
标度尺位置为垂直的		与仪表可动线圈连接的端钮	
标度尺位置为水平的		调零器	
不进行绝缘强度试验		I 级防外磁场(例如磁电系)	
绝缘强度试验电压为 500V		I 级防外电场(例如静电系)	
绝缘强度试验电压为 2kV		II 级防外磁场及电场	
危险(测量线路与外壳间的绝缘强度不符合标准规定符号为红色)		III 级防外磁场及电场	
电源端钮(功率表,无功功率表、相位表)		IV 级防外磁场及电场	
接地用的端钮(螺钉或螺杆)		A 组仪表	不标准
与外壳相连接的端钮		B 组仪表	
与屏蔽相连接的端钮		C 组仪表	

三、电工仪表的型号及含义

电工仪表的产品型号是按规定的标准编制的。对于安装式仪表和可携式指示仪表的型号各有不同编制原则。

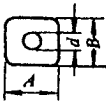
(一)安装式仪表编号原则

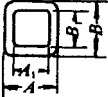
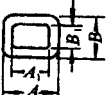
其基本组成形式如下。



形状代号一般由一位或两位阿拉伯数字组成,第一位代号是指仪表面板的最大尺寸范围,第二位代号是指仪表外壳形状的尺寸特征,如表 1-4-4 所示。

表 1-4-4 仪表形状代号含义

外形形状		形状第一位代号 (按面板 形状最大 尺寸 A)		形状第二位代号(按外壳形状尺寸特征)							
				0	1	2	3	4	5	6	8
I 型 $A \times B-d$  II 型 $A \times B-d$ 	1	> 150 ~ 200	Ⅲ型 160×160 - $A_1 \times B_1$	Ⅰ型 186×186 - d	Ⅱ型 160×130 - d	Ⅰ型 160×160 - d			Ⅳ型 160×80 - $A_1 \times B_1$		Ⅲ型 186×186 - $A_1 \times B_1$
	2	> 200 ~ 400	Ⅳ型 250×175 - $A_1 \times B_1$						Ⅳ型 220×110 - $A_1 \times B_1$		其他
	3	> 400									其他
	4	> 100 ~ 200	Ⅲ型 110×110 - $A_1 \times B_1$	Ⅰ型 110×110 - d	Ⅲ型 120×120 - $A_1 \times B_1$		Ⅱ型 100×80 - d	Ⅰ型 120×120 - d	Ⅳ 120×60 - $A_1 \times B_1$		其他

外形形状	形状第一位代号 (按面板形状最大尺寸 A)		形状第二位代号(按外壳形状尺寸特征)							
			0	1	2	3	4	5	6	8
Ⅲ型 $A \times B - A_1 \times B_1$ 	5	> 120 ~ 150	> 120 ~ 150	Ⅲ型 $135 \times 135 - A_1 \times B_1$	Ⅱ型 $135 \times 135 - d$	Ⅱ型 $130 \times 110 - d$				Ⅱ型 $120 \times 100 - d$
Ⅳ型 $A \times B - A_1 \times B_1$ 	6	> 80 ~ 100	Ⅲ型 $80 \times 80 - A_1 \times B_1$	Ⅰ型 $85 \times 85 - d$	Ⅰ型 $80 \times 80 - d$	Ⅳ型 $80 \times 40 - A_1 \times B_1$	Ⅴ型 $> 80 \sim 100 - d$	Ⅳ型 $80 \times 40 - A_1 \times B_1$	Ⅳ型 $80 \times 20 - A_1 \times B_1$	Ⅱ型 $80 \times 60 - d$
Ⅴ型 $D - d$ 	8	> 50 ~ 80	Ⅰ型 $65 \times 65 - d$	Ⅴ型 $> 50 \sim 80 - d$	Ⅰ型 $76 \times 76 - d$	Ⅰ型 $60 \times 60 - d$	Ⅱ型 $64 \times 56 - d$		Ⅳ型 $60 \times 20 - A_1 \times B_1$	其他
	9	50 及 50 以下	Ⅰ型 $45 \times 45 - d$	Ⅰ型 $30 \times 30 - d$	Ⅰ型 $20 \times 20 - d$	Ⅴ型 50 及以入 $- d$				Ⅳ型 $40 \times 12 - A_1 \times B_1$

系列代号是指仪表结构形式与工作原理的不同系列,如磁电系用 C ,电磁式用 T ,电动系用 D ,感应系用 G ,整流系用 L ,静电系用 Q 等来表示。

设计序号是指仪表的设计序位代号,用 1 2 3 等数字表示。

用途号是指仪表的用途,用国际通用符号表示,如测量电流用 A 、测量电压用 V 、测量频率用 S 等字母表示。

其仪表型号含义,如 42C3 – A 型直流电流表中;“42”表示形状为Ⅲ型 $120 \times 120 - A_1 \times B_1$ 、“C”表示为磁电系仪表、“3”表示第三次设计、“A”表示用来测量电流。

(二)可携式仪表编号原则

可携式仪表,不同形状代号。第一组为组别号,用来表示仪表的不同系列,以下部分的组成形式与安装式仪表相同。如 T19 – V 型交流电压表;“T”表示电磁系、“19”为设计序号、“V”表示用来测量电压。

四、常用电工仪表的使用

(一)钳型电流表

钳型电流表是一种便携式电流表,它可以在不切断电路的情况下测量电路电流,一般只限于在被测线路电压不超过 500V 的情况下使用。交流钳型电流表的外形如图 1 – 4 – 10 所示,常用的有 T – 301 型、T – 302 型、MG24 型等,它们是利用电磁感应原理来进行测量的。此外,还有一种交直流两用的钳型电流表,它是用电磁系测量机构制成的,例

如 MG20、MG21 型钳型电流表。

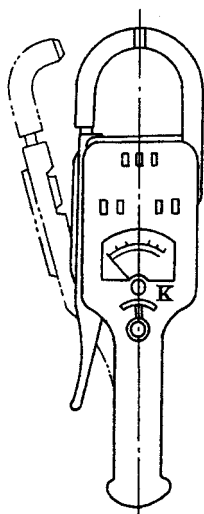


图 1-4-10 交流钳型电流表外形图

钳型电流表的使用方法和注意事项如下。

(1) 正确选择表计的种类 : 要根据被测对象的不同 , 选择相应的类型。

(2) 正确选择表计的测量档位 : 要符合被测对象电量的要求 , 否则 , 应选择最大档位 , 再由大到小转换到合适档位 , 但是必须注意不得在带电测量过程中切换档位。

(3) 测量时要使被测导体位于钳口中部并使钳口紧密闭合 , 测量后 , 要把量程档位的切换开关放在最高档位 , 以免再次使用时损坏仪表。

(4) 在进行带电测量时 , 首先应检查钳柄绝缘是否良好 , 操作中要与带电部分保持足够的安全距离 , 以免发生触电危险。

(二) 万用表

万用表是具有多用途、多量程的直读式仪表 , 用以测量交、直流电压、电流、电容、电感、直流电阻等电气量 , 可分为机械式万用表和数字式万用表两种。一般是由表头、测量线路、转换开关三大部分组成。其工作原理是采用磁电系仪表为测量机构 , 应用电压、电流法 , 并联电阻扩大电流量程法和串联电阻分压扩大电压量程法来进行测量的。

万用表的使用方法及注意事项如下 :

(1) 测量时应将万用表放平 , 保持万用表在测量中不受振动和倾斜。

(2) 使用前 , 首先检查表计指针是否在机械零位 , 如不在时应调至零位 , 每次换档位都应检查和调整此项。

(3)检查表笔位置是否正确 红表笔应接在标有“ + ”号的接线柱上 ,黑表笔应根据被测电量的性质正确选择“ - ”号接线柱、“ * ”号接线柱和交、直流 2500V 的高压测量端子插孔(接线柱) ,否则因极性接反会使表针反打 ,以致撞坏或烧毁仪表。

(4)不得在带电测量时 ,切换档位开关。在测量前 ,必须仔细检查档位开关的指示是否符合被测量的要求 ,分清楚被测量值是直流还是交流 ,是电压还是电流 ,是电阻还是电感或电容 ,否则易损坏表计。

(5)测量时不要触及表笔的金属部分 ,不得使仪表受压、受热、受潮 ,否则易发生触电危险和使测量不准确。

(三)兆欧表(俗称绝缘摇表)

绝缘摇表是一种专门用来检查和测量电气设备或供电线路绝缘电阻的可携式仪表。它同其他仪表不同的地方是它本身带有高压 ,能够反映出在高压工作条件下的绝缘电阻值。

绝缘摇表通常采用磁电系比率测量机构 ,高压电源多采用手摇直流发电机 ,根据手摇发电机所产生的电压 ,可分作 500、1000、2000、2500、5000V 等几种。现在我国还生产出一种晶体管直流变换器来代替手摇发电机 ,如 ZC30 型绝缘摇表 ,在使用上更加方便。

绝缘摇表的使用方法和遵循原则如下。

(1)摇表使用前要遵循“ 两对应 ”的选择原则。

①摇表的额定工作电压要与被测设备的工作电压相对应 ,见表 1 - 4 - 5。

表 1 - 4 - 5 绝缘电阻测量所对应的摇表额定电压

测 量 对 象	绝缘电阻工作电压(V)	摇表额定电压(V)
线圈绝缘电阻	500 以下	500
	500 以上	1000
变压器、电机绕组绝缘电阻	500 以上	1000 ~ 2500
发电机绕组绝缘电阻	380 以下	1000
电气设备绝缘电阻	500 以下	500 ~ 1000
	500 以上	2500
瓷绝缘子	—	2500 ~ 5000

②摇表的测量范围要与被测绝缘电阻值的范围相对应 ,即摇表量程应大于被测的绝缘电阻值 ,但不能大得太多。

(2)使用前须进行认真的检查。第一要自检摇表 :先将“ L ” E ’端子开路 ,将手摇发电机摇到额定转速 ,此时指示为“ ∞ ” ,再将“ L ”、“ E ’”两端子短路 ,缓慢摇发电机 ,此时指示为

“0”,否则摇表有故障不能使用。第二要对被测电气设备进行检查,检查被测设备是否断开电源、是否完全放尽电,保证摇表在完全不带电的状态下进行测量,否则易造成人身危险和仪表损坏,测出的数据也不正确。

(3)要根据被测设备情况正确接线。一般测量正确接线是“L”端接被测设备;“E”端接被测设备接地的外壳。当被测设备的表面蒙有水雾或污垢时,就需将摇表的“G”端接在被测设备的表面,消除表面漏电流对测量结果的影响。

(4)测量中手摇发电机使其保持均匀转动,一般为 $120\text{r}/\text{min}$ 。读数时间一般情况下为以摇表达到一定转速 1min 后读取的测量结果为准。

(5)测量完毕进行拆线时,切勿在摇表未停止转动和被测物未进行放电之前,就去用手触及被测物或者直接进行拆线,否则有触电危险。另外,对含有大量电容的设备,测量完毕后,须先将摇表与被测设备断开(“L”端或“E”端),然后再停止摇表的转动,否则摇表会因被试设备的电荷放电而烧毁。

第五章 电缆焊接技术

第一节 电缆焊接的特点及要求

与一般焊接结构相比较,电缆工程中的铅(铝)护套焊接、铝芯与铝芯焊接和铝芯与铜芯的焊接有其特殊性。这种特殊性表现为两个方面:一是接头性能要求的特殊性;二是其工艺要求的特点。

一、对焊接接头的要求

(1)由于焊接接头本身是承载电流的一部分,其首要条件是具有良好的导电性能。其接触电阻一般不应大于同截面、同长度的相同导体的电阻值。

(2)根据产品的工作条件要保证其他方面的性能要求。例如必要的机械性能、抗腐蚀性能、抗老化和抗热交变性能等。对于承受机械荷载的架空电缆,其接头强度不应低于基本电缆;对于非承受机械荷载的电缆线路,其接头强度也不应小于基本电缆机械强度的60%。

二、焊接工艺的特点

在电缆焊接过程中,仅了解焊接方法的一般知识,而不了解在该过程中各种焊接方法和焊接工艺的特殊性,仍无法正确解决电缆焊接问题。

(一)在安装条件下的焊接要求

电缆的焊接接头大部分属于安装接头。不同的电缆型式有着不同的工艺要求,不同

的安装条件有着不同的焊接方法。例如在野外无任何能源条件下的焊接,应采用轻便的焊接工具和简单的焊接工艺过程,如药包焊技术、小型冷压焊钳等。

(二) 焊接工艺的多样性要求

由于电缆品种很多,即使同类产品在不同部位,也无法采用一种焊接方法或工艺来完成全部焊接工作。例如,对电缆护套的焊接与电缆导体的焊接,大截面电缆导体与小截面电缆导体的焊接,就不能采用同一种焊接方法和焊接工艺来完成。

(三) 对焊接的其它要求

各种焊接都不应使电缆的绝缘材料遭到损伤和破坏,都不应使焊接后的接头留下隐患。例如在焊接电缆接头时,应做好防止损伤绝缘层的措施,尽量选用无腐蚀性焊剂的焊接工艺,否则应认真清洗。

第二节 电缆的焊接技术

电缆线路的焊接主要是指对电缆护套的焊接、缆芯与缆芯、缆芯与线鼻子的焊接。下面就常见的电缆护套反应钎焊、电缆缆芯的药包焊接工艺作重点介绍。

一、电缆护套的反应钎焊

电缆护套的反应钎焊目前有两种形式:一种是铅护套的钎焊;另一种是铝护套的钎焊。

(一) 铅护套封铅

其操作方法常用的有两种。

1. 触铅法

以喷灯加热封铅部位,同时熔化封铅焊条,将其粘牢于封铅部位上面,并用喷灯继续加热,再用由牛羊油浸渍过的抹布将封铅加工成所要求的形状和大小。在焊接的过程中,一层一层的从下往上堆叠焊,每堆叠焊一层都要停一下,等到冷却后再接着往上堆叠焊,否则易使焊接部位两侧及上部反应温度过高,熔化成液体流下,使上部基本金属被烧穿。因此,要做好防止烧坏绝缘层的措施。

2. 浇铅法

将配制好的封铅焊条盛在特制的铅缸中,置于炉子上加热,使其呈液态,温度不宜

过高(可用白纸插入铅缸取出而纸呈焦黄色为宜)。使用时,用铁勺舀取,浇在封铅部位上,而后再用喷灯加热整型,趁热用硬脂酸擦去表面残余焊剂或杂物,同时迅速冷却焊接部位。

(二) 铝护套的封铅

目前铝护套封铅也常用两种方法。

1. 刮擦搪锡钎焊

首先将焊接处和焊条表面用刮刀或小锯条刮掉其氧化层,然后在铝包表面加上一层锌锡合金底料,再用上述的触铅法进行搪铅。有时也采用中间接头——铅手套连接钎焊。

2. 低温反应钎焊

准备工作同铅护套施工工艺相同。首先应清除铝包表面的油污,用细钢丝刷沿纵向将铝护套表面刷亮,用喷灯沿铝护套表面均匀加热约 1~2min,铝护套表面温度约为 145~160℃(可用腊笔状焊剂擦拭加热铝表面,如焊剂熔化,呈现一层薄薄的胶水状为准)时,将反应溶剂(配方如表 1-5-1 所示)涂在铝包表面上,反应溶剂熔融成淡黄色胶水状,并均匀流布于铝护套表面,再继续加热至溶剂起泡,并冒出白烟,直至铝护套表面呈现出一层灰白色的分布均匀的残渣(如白纸灰烬)为止。此时,移去喷灯用干净抹布或棉纱头擦去残渣,露出发亮的金属涂层,然后在合金镀层上涂一层锌锡合金底料,最后按铝护套工艺施工钎焊。

表 1-5-1 焊接溶剂配方组成

溶剂号	组成含量(%)					
	氧化锌	氯化亚锡	氯化钠	溴化铵	氯化银	氧化铵
1 ^①	55	28	2	15		
2 ^②	38	40	2		2	18
3	28	42	2	28		

①上海有色金属焊接材料厂生产的飞机牌焊接溶剂。

②上海武宁五金厂生产的焊接溶剂(HL-734 型)。

二、电缆线芯的药包焊

药包焊是利用药粉的化学反应热作为焊接热源,通过铁管间接加热被焊铝线或者不使用铁管直接加热被焊金属(铜线或铁线),并使之熔化而焊接。被熔化的金属是在铁管内(或药包内)的型腔中成形,因此接头可以形成所要求的形状和尺寸。

药包焊点燃前的装置情况见图 1-5-1 所示。药包是由纸盒、铁管、填块和药粉

等构成的。其原理是 :在焊接前 ,先将清理好的电缆芯分别从墙头两端插入 ,顶紧填块 ,并将铝线分别夹紧于左右焊钳钳口中 ;然后将高温火柴插入药包中 ,并剥去高温火柴尖端的高温层 ,用普通火柴点燃高温火柴 ,药粉被点燃 ,放出热量 ,形成熔渣 ,使热量通过铁管传至铝填块 ,并使之熔化 ,随后导线也被熔化。在焊钳送进的同时 ,铝线逐渐熔化。当停止供给热量时 ,熔化的铝液在堵头与铁管形成的型腔中结晶 ,将二电缆芯牢固焊接。

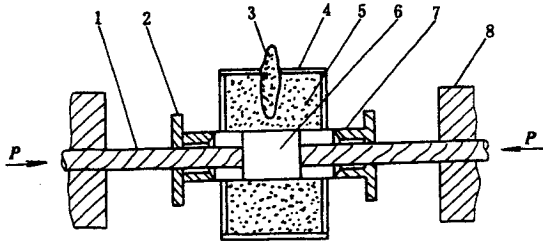


图 1-5-1 药包焊点燃前的装置情况

1—电缆芯 2—堵头 3—高温火柴 4—纸盒 5—药粉 6—填块 7—铁管 8—焊钳钳口

药包焊的工艺操作及工艺要点如下所述。

(一)正确的操作方法

药包焊的操作方法对接头质量影响很大。其关键是挤压的时机要选择好。挤压过早和过快 ,铝液在凝固前 ,铝线已送进完毕而无留量 ,随后无法施加压力 ,接头出现缩孔、疏松的缺陷 ,电缆芯也易过热 ;挤压过迟或过慢 ,铝液已经凝固、送进量小 ,接头很小 ,电缆芯熔合不良 ,强度较差。正确的挤压时机是在药包燃烧完毕后 ,停 3 ~ 15s 电缆芯才开始送进和挤压 ,在 13s 内完成送进和挤压过程。挤压完毕 ,焊钳钳口至堵头的铝线间距应控制在 5 ~ 10mm。这一操作法称为快速晚挤压。图 1-5-2 所示为手摇式焊钳示意图。

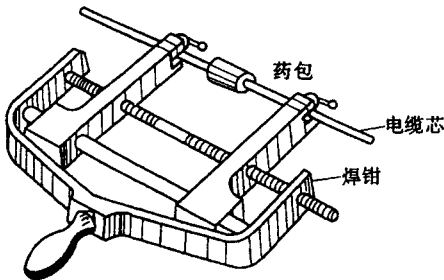


图 1-5-2 手摇式焊钳示意图

(二) 操作工艺要点

1. 做好充分准备工作

将电缆芯剥去绝缘,用钢丝刷刷净导体表面,理顺端头,用锉将端面锉平,使外径不大于电缆芯原外径。

选择合适的堵头、药包,准备高温火柴及普通火柴。检查铁管中铝填块位置是否正确、紧密。将高温火柴的头部用指甲剥去外层 2~3mm 露出内部引燃层,然后折断高温火柴杆药头朝外插入药包的孔中,并使高温火柴药头露出孔口 5~7mm。随后将堵头装入药包铁管中,将电缆芯穿过堵头插入铁管内,直至两端顶紧铝填块为止。将电缆芯夹紧于钳口中,使药包置于二焊钳钳口正中,高温火柴药头向上,即可等待引燃焊接。

2. 焊接过程

用普通火柴引燃高温火柴,手握钳把施加一微压力,保持电缆芯与填块抵紧。待药粉燃烧完毕后,停 5~15s 即开始送进电缆芯,至挤不动为止(图 1-5-3 所示为手剪式焊钳示意图)继续保持压力约 30s,卸下焊钳,敲掉渣壳,取下堵头,剥去铁管,用钢丝刷刷净焊头表面,检查无缺陷,完成焊接工作。

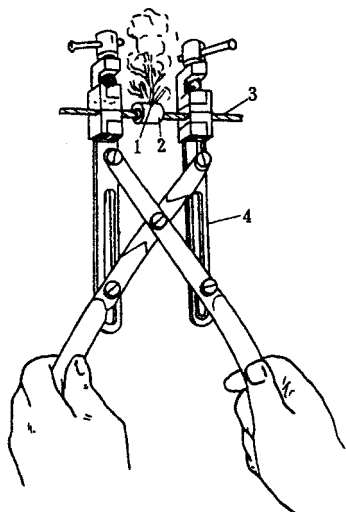


图 1-5-3 手剪式焊钳示意图

1—火柴引燃 2—药包 3—电缆芯 4—焊钳

第六章 电缆施工图的识读知识

电缆施工图是电缆敷设、安装的重要依据,是编制施工计划、确定施工方案、准备施工器材、组织施工队伍的基础,因此对施工图的正确识读是至关重要的。

第一节 电缆施工图的分类

电缆施工图根据施工的不同要求,大致由施工图说明书、电缆线路平断面图及杆(塔)位明细表、机电施工图、杆(塔)及基础施工图、大跨越施工图、预算书和工程技术档案资料七大部分组成。

一、施工图说明书

主要是说明为实现设计意图而要求的施工方法、原则和工艺标准,包括:①编制依据及范围;②工程技术特性;③主要设备汇总表;④卷册目录;⑤相应的附件和附图(电缆线路路径经过图、全线杆塔一缆图、全线基础一缆图)等。

二、电缆线路平断面图及杆(塔)位明细表

包括电缆网络的地形平面总布置图、电缆线路敷设排列断面图、电缆线路交叉跨越分图等。杆(塔)位明细表说明了电缆线路的总长度和各分段长度、各种杆(塔)的组数和型式、确定线路的敷设方位等。

三、机电施工图

包括电缆敷设施工图、电缆排列剖面图、电缆网络系统接线图、电缆线路图、电缆接头安装图、电缆金具施工图、油压系统分压图、示警信号线路图和接地装置施工图等。它说明了电缆线路的选型、接头安装型式、接地装置的型式和敷设安装要求等。

四、杆(塔)及基础施工图

表明了杆(塔)的结构和组装要求,电缆构筑物的型式和施工要求,电缆敷设的各种防护措施,包括有电缆构筑物布置图、结构图、断面图等。

五、大跨越施工图

一般是指线路跨越通航大河流、湖泊、海峡等,其跨距在 800m 以上或者杆(塔)高度在 80m 以上者的施工图。

六、施工图预算书

它是控制和合理使用资金的依据,应根据施工项目、施工图要求、国家工程定额及主材厂家价格进行编制。

七、工程技术档案资料

包括原始设计资料、图纸及工程总结资料和各种原始报告,为存查和积累经验,均要归入技术档案,是今后运行、检修以及事故分析处理的必备资料。

第二节 识读电缆施工图

电缆施工图的识读方法分为形体分析法、线面分析法和尺寸标注分析法三大类。

一、形体分析法

它是根据基本形体的投影特点,在投影图上分析物体各个组成部分的形状、相对位置和其它物体的连接情况,然后综合想象来确定物体整体形状和走向。其识读方法和步

骤介绍如下。

例如 :高压(10kV)室外 256 型电缆终端头安装图的识读 ,如图 1 - 6 - 1 所示。

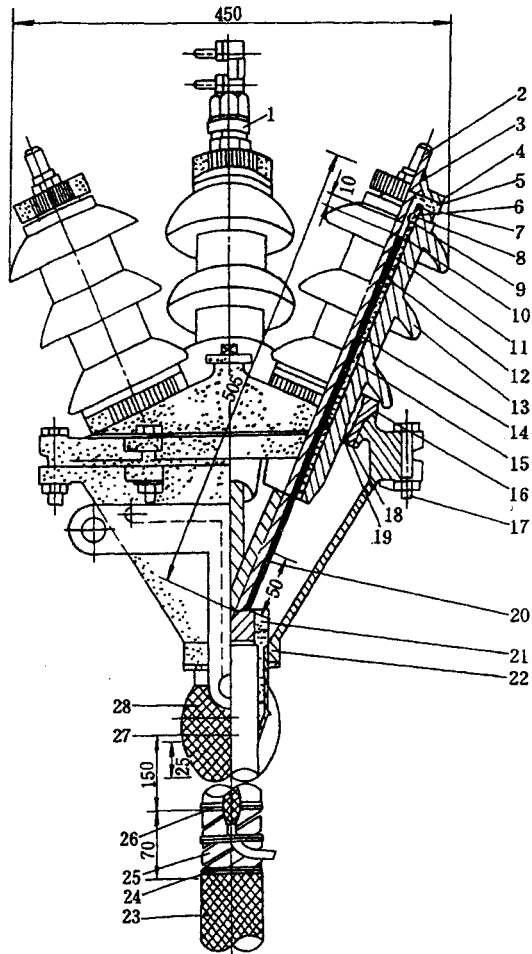


图 1 - 6 - 1 高压(10kV)256 型电缆终端头示意图

- 1—帽罩 2—引线铜柱 3—铜帽 4—铜垫圈 5—相色漆 6—压接电缆芯线 ;
7—垫圈 8、19—合金填料 9—铜卡环 ;10、14—黑蜡带 ;11—电缆芯线 ;12—纸绝缘 ;
13—瓷套管 ;15—绝缘胶 ;16—黄铅粉甘油 ;17—红丹粉酚醛漆 ;18—压盖 20—相色纸 ;
21—四层黑漆布 ;22—终端盒 23—油浸电缆麻皮护层 24— $\phi 2.0$ 钢绑线 3 匝 ;
25—双层铜带铠装 26— $\phi 2.0$ 铜绑线 3 匝 27—铅包 28—封铅

识读安装图的一般步骤如下。

(一)明确识读的目的

要了解整个 256 型终端头的形状特点、结构和装配关系,要清楚所用材料的品种、数量和作用,要熟悉各部件装配程序和工艺要求等,要对整体有一个比较完整的认识。

(二)对安装图进行概括了解

1. 首先看标题栏和外形装配部件名称

由此可见,10kV256 型电缆终端头主要是由铸铁终端箱体、绝缘瓷套管、帽罩式线夹、封铅和接地引下线、电缆所组成。安装图由平面图和剖面图两部分来表示,上下的紧固和密封是靠螺栓压接来实现的。终端盒与电缆铅包、接地线与铅包之间的密封是靠封铅来实现的。

2. 要了解各材料的品种、数量和作用

本安装图其主要材料有 15 种(如终端盒、瓷套管、帽罩式线夹、绝缘胶、黑蜡带、黑漆布、橡皮垫圈、接地线、封铅、填料和相色漆等),其主要作用是固定电缆线芯、加强外绝缘、加强内绝缘、改善内部电场分布,密封外部水气等。

(三)进行安装图的分析

(1)由于安装图一部分是由平面图表示的,它反映出外部部件之间的装配关系和相互位置;另一部分是半剖视图画法,它表示出部件的内形和相互之间的关系,如瓷套管底部已深入铸铁终端盒中部,铸铁盒内充满了绝缘胶等。

(2)进行尺寸线分析和技术的了解。安装图中的各种尺寸都具有某一特定作用,从而可以知道各种工艺尺寸要求和各部件之间距离,认识到各部件之间的装配关系、连接关系,各种工艺技术要求 and 材料性能要求,同时也规定了工作程序和质量标准。

4. 综合归纳

通过对安装图的概括了解和安装图的具体分析之后,要对安装图中的终端头进行综合想象,然后要对终端头的工艺程序、工作原理、各部件相互连接关系和结构特点进行综合认识,使其达到对 256 型终端头的全面认识和掌握。

二、线面分析法

它是根据施工图中的各线、面以及交叉线、截交线、相贯线、连接线等特点,分析物体形状的空间位置和形状,从而确定其物体的大小和技术要求。下面以图 1-6-2 所示的电缆与管道交叉断面图为例,说明其识读步骤。

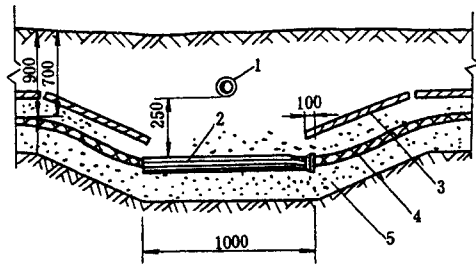


图 1-6-2 电缆与管道交叉断面图

1—管道 2—保护管 3—盖板 4—电缆 5—土层

(1)从图名可知该图为一正面的电缆敷设剖面图,反映了电缆敷设情况和管道交叉位置情况。

(2)从图中的标注尺寸和材料名细来看,电缆埋设深度不得小于 700mm,电缆沟道的深度不得小于 900mm,在电缆四周要铺以不小于 100mm 厚的黄土或筛过的细土,在电缆沟道上方盖上水泥保护板,并且超出电缆保护管 100mm,电缆保护管的两端头各垂直超出管道 500mm,保护管与管道的交叉距离不得小于 250mm。

(3)综合分析。为了保护电缆不受穿越管道的影响,同时保证其交叉距离不小于 250mm,电缆在经过管道下部时,一方面采用斜坡,另一方面采取穿保护管的措施,来保证管道不影响电缆运行。

三、尺寸标注分析法

利用图形中物体各种标注线的不同标注方法、不同作用,来分析物体的空间形状,确定其空向位置,从而认识物体总形状和各部件相互连接关系。

在实际应用中,上述三种分析方法要综合分析、交叠使用。总的来说,应先概括认识后仔细分析,先形体分析后线面分析,先认识外部再认识内部,先整体后局部,先结构后工艺,这样才能达到全面的识读施工图。

第七章 电缆的搬运、保管及质量检查

第一节 电缆的搬运与保管

电缆的搬运与保管是电缆敷设前的重要工作,没有正确的搬运和保管,就会使电缆受到一定的损伤,缩短其使用寿命,以致电缆报废。

电缆的搬运由两部分组成:一是电缆的运输;二是电缆的装卸工作。

一、电缆的运输

电缆多数是绕在木盘或铁盘上用载重汽车、列车、货船运输,但是不论用哪种运输工具,电缆都应竖直放置,不宜侧卧或平放运输,因为侧卧或平放运输时,在底层的一圈电缆受到其上各圈电缆自重的压力,可能会超过电缆的允许侧压力,促使变形而损伤电缆绝缘。在运输时,每只电缆盘边底下应用木楔固定,必要时应用钢性绳索将电缆盘与运输车辆固定牢固,以防重心过高倾倒和车辆突然减速或加速而使电缆盘产生惯性冲撞。

二、电缆装卸

根据施工现场条件应采用吊车或将其沿坚固的铺板渐渐滚下(其方法是用麻绳或钢丝绳在相反方向拉住慢慢松下)。装卸时应注意如下几点:①滚动电缆盘时应按电缆盘上的箭头方向移动;②不得在凹凸严重的路面上滚动;③不得将电缆盘直接从运输车上推下。

三、电缆的保管

当电缆运输到位不能及时敷设而需贮存时,应将其放置在干燥的地方,盘下应放置枕垫,同时应作好防雨、防火措施。在保管期间,应每 3 个月进行一次检查,其内容有:①检查木盘或铁盘是否完整;②电缆端部是否严密完好;③铠装是否紧密,有无锈蚀;④电缆的各种标志是否齐全;⑤充油电缆应检查油压是否正常。否则应采取相应措施、及时处理。

第二节 电缆的质量检查

电缆的制造要经过许多复杂的工艺过程。各工序有时难免会出现一些问题。这些问题有时生产过程及出厂试验也未能发现,如果安装部门不及时觉察,在投入运行后,就会造成严重的故障。所以在敷设电缆以前,应该详细检查其质量。

电缆质量检查分作电气性能和物理性能的检查。电气性能检查主要是通过电气试验来检定(这部分将在第十章进行阐述),物理性能检查主要是通过结构检查、工艺检查、材料检查等内容来检定。

对电缆物理性能的检查,首先应从整盘电缆的末端割下一段样品,从最外层开始至缆芯逐层进行剖验,具体项目如下:

一、多芯扇形线芯断面对称性检查

扇形线芯电缆应符合下述要求:①扇形短轴应通过电缆的几何中心,其歪曲角不宜超过 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$;②查看缆芯形状与结构是否与制造厂提供的规格相符。对称性测量如图 1-7-1 所示。

二、电缆外护套检查

(一) 外被层的检查

用游标卡尺在同一截面上相互垂直的两个方向测量其外径,取其平均值,其值应符合国家有关标称要求;同时剥外被层时,检查浸渍液应使麻绳相互粘牢,不可过稀或过浓。

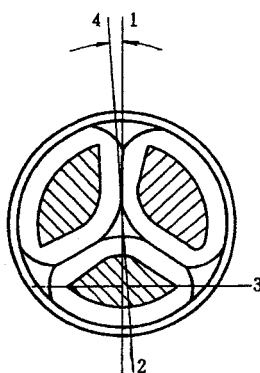


图 1-7-1 三芯扇形电缆对称性的测量

1—电缆的几何中心线 2—扇形短轴 3—扇形长轴 4—歪曲角

(二) 铠装层的检查

测量钢带的宽度、厚度和搭接情况时,钢带应达到平直不允许有裂口和凸缘,外层钢带应盖严内层钢带的绕包间隙,缠绕紧密无滑动现象。若为钢丝铠装时,应测量其直径、层数、每层根数和包绕方向。它们都应符合国家的有关规定。

(三) 内衬层的检查

其检查方法同外被层。内衬层应紧贴在金属护套上粘附紧密,不应有皱褶或隆起。

三、金属护套的检查

(一) 外表检查

将金属护套烘热用汽油棉纱将其表面擦净,检查护套表面是否光滑有无混杂的颗粒、氧化物、气孔和裂缝等。

(二) 护套外径测量

在护套圆周上均匀分布的五点处,测量护套外径取其平均值。

(三) 护套厚度测量

在样品末端 150mm 处将护套割断拨下,在均匀厚度处剪开,并在光滑的钢板上展开轻轻敲平,以目测其最薄部分,在这部分测量三处、取其最小厚度,应符合电缆铅包规定的最小标称厚度;在护套的圆周方向等距离测量五点,取其平均值来确定其最大厚度,它也应符合铅包国家规定的最大标称厚度。

(四) 护套的扩张试验

将护套端口直径扩张至原有直径的数倍(铅护套为 1.5 倍,合金铅护套为 1.3 倍),检查其扩张端口应无裂痕和断裂现象。

四、绝缘层的检查

(一)外表检查

纸带应包缠整齐紧固,没有凹陷、皱褶、裂口、擦伤等情况;浸渍油不应有结晶和受潮现象。

(二)绝缘厚度的检查

可用千分尺直接量取其绝缘厚度,同时还应测量其外径、纸层数目,每层绝缘的厚度、宽度及缠绕方向和包缠方式是否符合制造厂的规定。

(三)重合间隙检查

绝缘纸在不少于一个节距长度内的间隙,如不被它上一层绝缘纸遮盖住,即为一个重合间隙。电压在 6kV 及以上的电缆不允许有超过三层以上的纸带重合间隙。其原理将在高级工读本有关章节中讲述。

五、导电线芯检查

检查导电线芯时,应注意导线表面是否平整光滑,有没有倒刺、裂罅、卷转、擦伤等情况。导电线芯的表面不应有过多氧化现象。

导电线芯截面积应符合电缆额定载流量、热稳定电流、允许电压降、经济电流密度等要求。

第八章 电缆导体常用的连接方法

电缆导体连接的好坏关系着电缆能否满载运行 ;关系着电缆终端头或接头的使用寿命 ;关系着电缆能否安全稳定的运行。因此 ,一定要正确选择和使用导体连接方法 ,避免上述问题的出现。

第一节 导体连接的基本要求

(1)要求连接点的电阻小而稳定。连接点的电阻与相同长度、相同截面的导体电阻之比 ,对于新安装的终端头和接头 ,应不大于 1 ;对于运行中的终端头和接头 ,应不大于 2。

(2)连接后的接头和终端头应有足够的机械强度。

(3)连接后的终端头和接头应具有耐腐蚀能力 ,否则应采取相应措施 ,如铜铝过渡接头、镀锡焊、镀银焊等 ,加以防止。

(4)导体接头的连接方式及材料的选择 ,应具有加工便利、施工简单、成本较低的特点。

第二节 导体的锡焊连接

一、电缆导体的锡焊连接方法

(1) 将电缆芯线末端的绝缘及半导体屏蔽剥去,使芯线裸露,其长度应为连接管的一半加 5~10mm。

(2) 将裸露芯线上的油污及氧化层除去,并清理出金属光泽,先镀一层焊锡,镀锡时的助焊剂应采用中性焊锡膏。

(3) 将连接管的内壁也应清洗干净并除去氧化层,然后用钳子将连接管夹紧,先将熔化好的焊锡浇入连接管,再把芯线插入管内。

(4) 芯线插入连接管后,应使焊锡充满连接管,内部不得有夹渣或空洞。

(5) 焊接完毕后,应将管口多余的焊锡除去,使之光滑无毛刺。

二、锡焊连接的注意事项

(1) 在浇焊锡前,要对芯线的绝缘层首端采取防灼伤措施,如用油浸纱带或无碱玻璃纤维带包扎,切忌用含水的带子包扎,以免受潮。

(2) 在芯线插入已浇入焊锡的连接管后,要及时对连接管进行降温,如浸入电缆油中,以免线芯的热量传导损伤线芯的首端绝缘和使线芯的绝缘油流出。

(3) 对于小截面的电缆线芯,可采用直接搭接焊锡的方法进行,但焊接后的线芯不得受力。

(4) 锡焊连接方法便利、施工简单易掌握,但是焊接处受温度的影响较大,易造成熔化和连接管与线芯脱落,所以焊接点不易受拉、受热。

第三节 电缆导体的机械冷压连接

机械冷压按其压接的形状和部位可分为局部压接(点压)和整体压接(围压)两种。

其基本原理是 使用相应的连接管和压接模具 ,利用压钳的压力将连接管压在线芯上 ,使连接管与线芯产生金属表面的渗透 ,从而具有良好的连接。

一、局部压接与整体压接的比较

(一)局部压接的特点

①需用的压力小 ;②容易使压接处接触面间产生金属的渗透 ;③不易受温度和热胀冷缩的影响 ,压缩比较稳定 ;④压坑处变形较大易引起电场畸变 ;⑤易造成压坑表面的渗漏油。

(二)整体压接的特点

①压接后的接管比较平直、形状好 ;②易解决压接处的电场畸变问题 ;③压接处的渗漏问题较易解决 ;④需用的压力较大 ;⑤压接过程连接管蠕变量较大 ;⑥易受热胀冷缩的影响 ,压缩比不易稳定。

二、机械冷压连接的工艺要点

(1)压接前应先检查所用压接工具是否正常 ,检查所选连接管与电缆导体截面是否符合 ,所选压接模具是否符合连接管和导体材料的要求。

(2)压接前应先将线芯及连接管内壁表面的氧化层去掉。对于铝连接管可涂以中性凡士林或者是铜连接管内壁镀锡等方法 ,防止表面不再被氧化。

(3)在线芯插入连接管时 ,应根据连接管长度或孔深 ,在线芯上做好标记。对于中间接头应使两端插入的长度相等 ,并顶到中心位置 ;对于线鼻子 ,应将线芯插到底。插入线芯时 ,线芯外径与连接管的内径应配合紧密 ,不应出现单丝突起、折断线芯、剪掉线芯或用其它线芯填充。不宜用硬物敲打连接管 ,以防变形。

(4)压接时应先压连接管的两端 ,压接的次序如图 1-8-1 所示。压接的位置应在一直线上。每次压接必须一次完成 ,不得中途退出。压接的距离应符合图 1-8-2、图 1-8-3 及表 1-8-1 的要求 ,以防压接时距离太近互相顶松影响压接质量。压接的深度以上下模接触为止 ,每次压接后应停留 15~30s ,使连接管变形充分 ,然后再撤去压力。

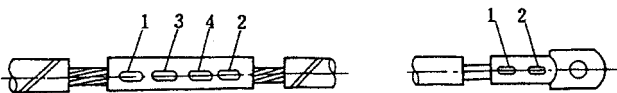


图 1-8-1 压接次序图

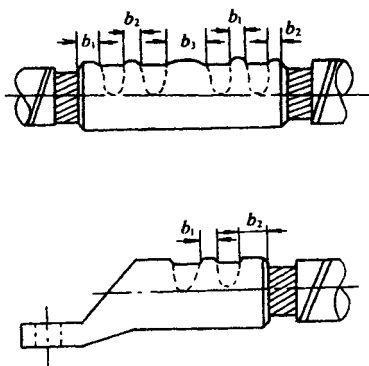


图 1-8-2 铝芯局部压接的压坑间距尺寸

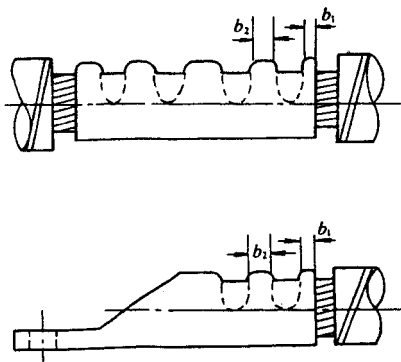


图 1-8-3 铜芯局部压接的压坑间距尺寸

表 1-8-1 局部压接的压坑间距尺寸 mm

电缆截面 (mm ²)	铝芯压坑间距			铜芯压坑间距	
	b_1	b_2	b_3^*	b_2	b_2
16	3	3	4	3	4
25	3	3	4	3	4
35	3	5	4	3	4
50	3	5	6	3	4
70	3	5	6	3	5
95	3	5	6	3	5
120	4	5	7	4	5
150	4	5	7	4	6
185	5	5	7	4	6
240	5	6	7	4	6

* b_3 数值只作参考值 ,不作控制。

(5)连接管压完后 ,应将连接管表面和端部产生的棱角、尖刺用锉刀锉平 ,并用砂纸打磨光滑 ,用汽油白布将杂屑擦洗干净。并用沥青或铝箔填平 ,再在连接管表面包铝箔或半导体橡胶带 ,以消除因压坑而引起的电场畸变 ,改善电场分布。

三、连接管和线鼻子的选用

局部压接与整体压接采用的连接管和线鼻子是一样的。根据使用材料的不同可分作铝材和铜材两种。

(一)铝材连接管和线鼻子

它一般适用多股铝芯电缆的连接。选用的铝连接管和线鼻子的内径应与线芯外径相符 ,一般不应超过 0.5mm ,并且其连接管和线鼻子的横截面应不小于被连接导线截面的 1.5 倍。常用铝连接管的形状及规格如图 1-8-4 及表 1-8-2 所示 ,常用铝鼻子的形状及规格如图 1-8-5 及表 1-8-3 所示。

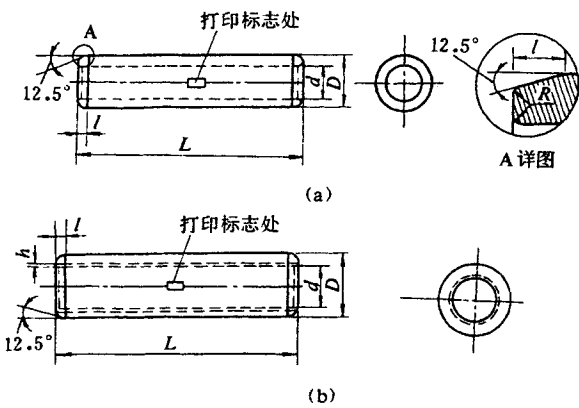


图 1-8-4 铝连接管的形状尺寸图

(a)120mm² 及以下的铝接管 (b)150mm² 及以上的铝接管

表 1-8-2 铝连接管规格

电缆截面 (mm ²)	结构尺寸(mm)			
	D	d	L	l
16	10	5.2	66	2
25	12	6.8	68	2
35	14	8.0	72	3
50	16	9.6	78	4

电缆截面 (mm ²)	结构尺寸(mm)			
	<i>D</i>	<i>d</i>	<i>L</i>	<i>l</i>
70	18	11.6	82	4
95	21	13.6	86	5
120	23	15.0	92	5
150	25	16.6	95	5
185	27	18.6	100	6
240	31	21.0	110	6

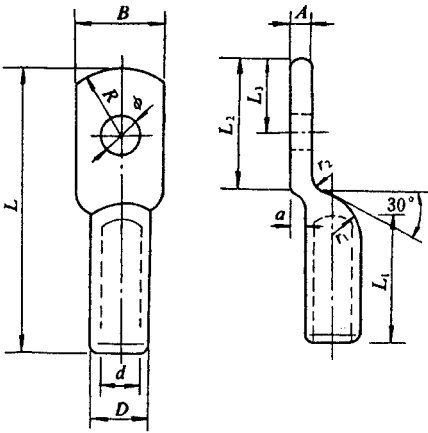


图 1－8－5 铝鼻子形状尺寸图

表 1－8－3 铝鼻子规格

电缆截面 (mm ²)	结构尺寸(mm)												
	<i>D</i>	<i>d</i>	<i>L</i> ₁	<i>L</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	ϕ	<i>L</i> ₂	<i>L</i> ₃	<i>R</i>	<i>r</i> ₁	<i>r</i> ₂	<i>a</i>
DL－16	10	5.2	32	58	16	3.5	6.5	26	8	10	5	1	1
DL－25	12	6.8	34	62	19	4.0	6.5	26	10	11	6	1	1
DL－35	14	8.0	36	68	21	5.0	8.5	30	12	12	7	1	1
DL－50	16	9.6	40	74	23	5.5	8.5	32	12	13	8	1.5	1
DL－70	18	11.6	42	82	27	5.5	10.5	40	14	15	10	1.5	1
DL－95	21	13.6	45	90	30	6.8	10.5	42	15	18	10	1.5	2
DL－120	23	15.0	50	98	34	7.0	13.0	44	16	18	12	2	2

电缆截面 (mm ²)	结构尺寸(mm)												
	<i>D</i>	<i>d</i>	<i>L</i> ₁	<i>L</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	ϕ	<i>L</i> ₂	<i>L</i> ₃	<i>R</i>	<i>r</i> ₁	<i>r</i> ₂	<i>a</i>
DL - 150	25	16.6	52	102	36	7.5	13.0	45	17	20	12	2	2
DL - 185	27	18.6	55	108	40	7.5	13.0	50	18	22	14	2	2
DL - 240	31	21.0	60	120	45	8.5	17.0	55	20	25	15	2	2

(二)铜材连接管和线鼻子

它适用于多股铜芯电缆的连接。选用的铜连接管和铜鼻子的管壁截面可取电缆导体截面的 1 ~ 1.5 倍 ,铜接管外径略小于铝接管的外径。若用铝芯压接模具代替铜芯压接模具时 ,应选用比铜芯截面小一级的铝芯压接模具。常用铜连接管的形状及规格如图 1 - 8 - 6 及表 1 - 8 - 4 所示 ,铜鼻子的形状及规格如图 1 - 8 - 7 及表 1 - 8 - 5 所示。

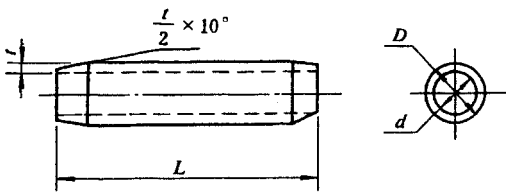


图 1 - 8 - 6 铜接管形状及尺寸图

l—管壁厚度

表 1 - 8 - 4 铜接管规格

电缆截面 (mm ²)	结构尺寸(mm)			
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	
			I	II
GT - 16	6	9	30	52
GT - 25	7	10	32	56
GT - 35	8	11	36	64
GT - 50	10	13	40	72
GT - 70	11	15	44	78
GT - 95	13	18	48	82
GT - 120	15	20	52	90
GT - 150	17	23	54	94
GT - 185	19	25	58	100
GT - 240	21	27	60	110

注 :I 型用于一般场合压两个压坑 ,II 型用于拉力较高的场合压四个压坑。

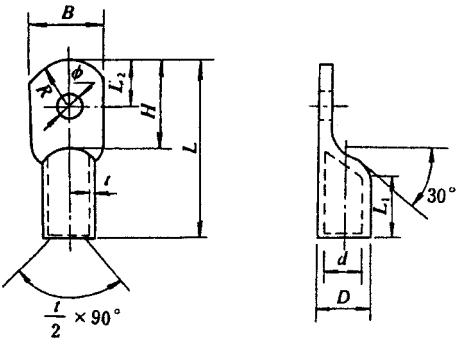


图 1-8-7 铜鼻子形状及尺寸图

表 1-8-5 铜鼻子规格

电缆截面 (mm ²)	结构尺寸(mm)										
	d	D	L		L ₁		L ₂	H	B	R	φ
			I	II	I	II					
DT-16	6	9	39	59	14	32	10	20	14	9	6.5
DT-25	7	10	41	61	16	34	10	20	15	9	8.5
DT-35	8	11	45	65	16	36	12	24	15	10	8.5
DT-50	10	13	50	74	18	40	13	26	18	10	10.5
DT-70	11	15	56	80	20	42	15	29	21	12	10.5
DT-95	13	18	59	83	22	46	15	29	25	14	12.5
DT-120	15	20	66	90	24	48	16	33	28	16	12.5
DT-150	17	23	71	95	26	52	16	35	30	18	12.5
DT-185	19	25	76	100	28	54	18	37	34	19	17
DT-240	21	27	84	108	30	56	20	42	40	21	17

注：L 和 L₁ 均有两种尺寸：I 型用于一般场合，压一个压坑；II 型用于拉力要求高的场合或用于环氧树脂及干包头等直接出线的场合，压二个压坑。

第四节 电缆导体的不同截面连接

连接不同截面的电缆时，对于相同金属不同截面的电缆相接，应选用与缆芯相同的金属材料按照两根芯线的电缆加工专用的连接管，见图 1-8-8 所示的中间接头连接管加工图，具体内、外径和管壁厚度尺寸参照铜、铝连接管的要求，然后采用机械冷压方法

连接 ,对于不同金属不同截面的电缆连接 ,由于不同金属存在着电极电位 ,并且数值较大 ,其连接处易产生电化反应 ,易增大接触电阻 ,通常采用以下两种连接方法。一种方法是采用铜铝过渡棒加工而成的连接管或者铜铝线鼻子 ,然后经过压接进行连接 ;另一种方法是在铜连接管或铜线鼻子内壁上涮一层锡后再进行压接。

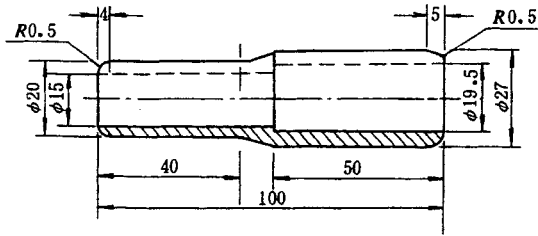


图 1-8-8 中间接头连接管加工图

第九章 电缆接头制作的常用工具

第一节 机械压钳和油压钳

机械压钳和油压钳是电缆施工常用的工具,主要用于 $16 \sim 240\text{mm}^2$ 的铜导线和铝导线的压接。

一、机械压钳

机械压钳的结构如图 1-9-1 所示。其工作原理主要是利用一个中间螺杆来带动两侧的传动臂伸开与收拢,使压枪部分的阳模上下活动而进行压接的。压接时,用螺杆扳手扳动中间螺杆,使两侧传动臂分开,阳模下退,放入阴模及线鼻子,然后反向扳动中间螺杆,使两侧传动臂收拢,阳模上顶直至所需压入深度,压好后同上述一样,扳动螺杆,传动臂分开,阳模下退,移出阴模和线鼻子,再进行第二次压接。

二、油压钳

油压钳的结构如图 1-9-2 所示,主要是由油缸和手柄两大部分组成。同机械压钳相比具有在开启回油阀后,压接模具能够自动返回的优点,它节省了压接模具的机械退出时间。其使用方法是:手柄抬起,带动柱塞向外移动,使进油阀打开,贮油管内的油进入柱塞腔,手柄按下时柱塞向内移动,油受压后使进油阀关闭,开启出油阀使油压入油缸,推动活塞及阳模运动,依次往复,当达到压坑深度时,开启回油阀,油通过回油阀回到储油器内,使油缸内压力消失,此时可用手推动阳模,使活塞返回。

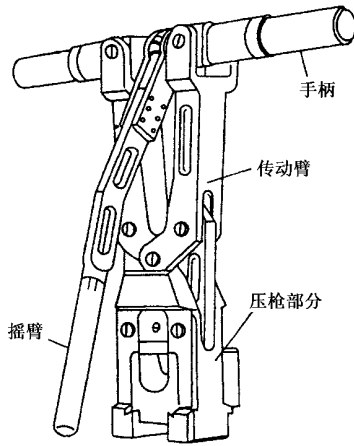


图 1-9-1 机械压钳的结构图

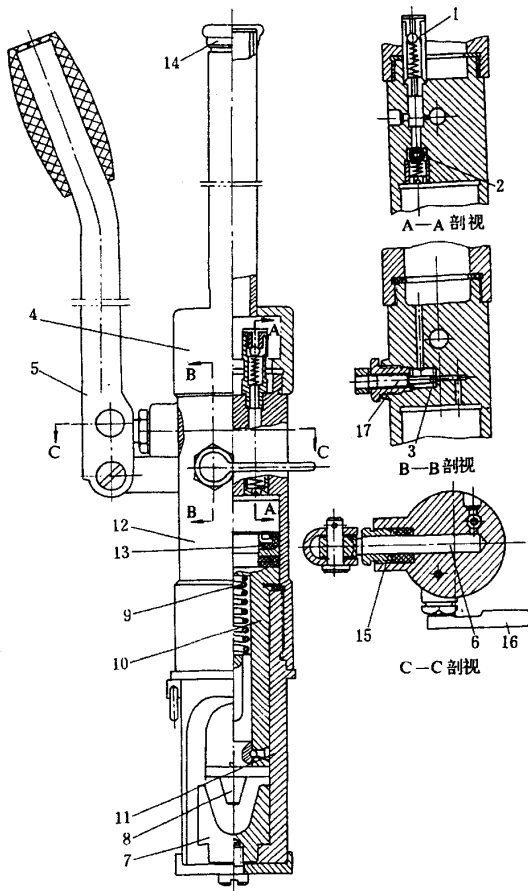


图 1-9-2 SLY-240 手动油压钳结构图

1—进油阀 2—出油阀 3—回油阀 4—贮油管 5—手柄 6—柱塞 7—阴模 8—阳模 9—压力弹簧；
10—活塞 11—滑套 12—油缸 13—皮碗 14—盖帽 15—螺帽 16—扳手 17—回油阀

第二节 喷 灯

喷灯同导线压接钳一样也是电缆安装施工的重要工具之一。对它使用的好坏决定着电缆终端头或接头制作的成败和工艺质量的优劣,如使用不当还可能引起火灾和爆炸事故,因此电缆工必须掌握其构造、工作原理,熟知其使用方法和安全注意事项。

一、喷灯的构造及工作原理

图 1-9-3 所示的是喷灯结构图,它是由油筒、吸油管、灯头(挡火罩、燃烧嘴)和打气筒组成。首先在油筒内灌入汽油,用打气筒打气使油筒内的油面压力升高,并使汽油经吸油管压入灯头,经过加热灯头的燃烧嘴使汽油受热汽化变成汽油蒸气,经过节油阀杆开启射出燃烧嘴与空气汇合,当点燃时放出很大热量,火力的大小可通过节油阀杆的调节来控制。

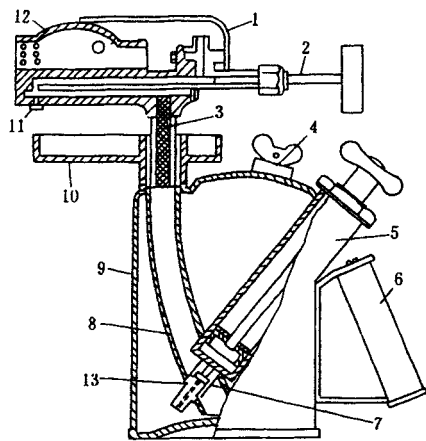


图 1-9-3 喷灯结构图

- 1—挡火罩 2—节油阀杆 3—铜辫子 4—加油口 5—打气筒;
6—气筒手把 7—逆止阀 8—吸油管 9—储油筒 10—点火碗;
11—疏通口螺丝 12—燃烧嘴 13—出口口

二、喷灯的使用方法和注意事项

(1) 将加油口盖拧开,通过纱罩的漏斗灌入质量较好的汽油,油量为储油筒的四分之三,加油后将加油口元宝螺丝拧紧,并检查节油阀杆是否拧紧,且要注意点火前不得打气。

(2) 在点火碗内倒入少量汽油或放入少许汽油棉纱,点燃给灯头的燃烧嘴加热,待碗内汽油烧尽时,微微旋开节油阀杆点燃蒸汽状汽油,此时可打气使用。禁止使用打气筒上无保险套的喷灯,禁止在打气筒漏油、储油筒及节油阀杆处漏油漏气、加油口未拧紧时点火使用。

(3) 若在使用中熄火重新点火时,应先使节油阀杆拧紧后稍开一点,待点燃后再行全部拧开。注意不可在电炉、火炉上点火。

(4) 若进行添加汽油时,应先将节油阀杆拧紧使火熄灭,随即将节油阀杆拧开检查是否确已使火熄灭,经确认熄火后,将加油口元宝螺丝松开放气,至燃烧嘴冷却后再行全部拧开。注意在放气时不许靠近火源。

(5) 在喷灯工作时,喷灯附近不得有容易着火物品,尽可能在空气流通的地方工作,喷灯使用时间不宜过长,筒体发烫时应停止使用,在喷灯下方不准站人。

(6) 在停止使用喷灯时,应先拧紧节油阀杆,检查灯火确已熄灭后,再拧松加油口元宝螺栓,待放尽气后再拧紧,并且要将节油阀杆旋开,待冷却后再旋紧,方可放入工具箱内。

(7) 每月应试验一次,每两个月应大检查一次。

第十章 电力电缆工程管理

在任何电缆工程施工中都必须建立一套系统的、规范的管理模式,即工程管理。工程管理的目的是为了有效地利用各种人力和物资资源,发展生产,合理地控制和管理整个生产过程,在保证安全、质量的同时,为企业取得最大的利润。因此工程管理是企业的重要组成部分。本章主要介绍电缆工程管理中的施工预算管理、安全管理、质量管理以及资料管理。

第一节 施工预算

一、概述

电缆工程是一项大型的综合工程,需要耗费较多的资金,如何利用好这些资金,为企业获取最大的利润,是整个工程建设的关键。电缆工程项目千差万别,各具特色,很难制定统一的价格。必须要单独定价即编制施工预算,通过预算来确定最合理的价格,因此工程开工前,必须对工程建设项目进行费用预算。工程建设预算是可行性研究估算、设计概算和施工图预算的总称,其中施工图预算又是控制投资总额的依据,是加强工程施工管理,进行经济核算的必要条件。电缆工程预算与一般建设工程一样,属于扩大固定资产规模和增加生产能力的活动,它把工程技术和经济管理融为一体。在电缆施工过程中,通过管理人员和工人的体力、脑力劳动,加上电缆及附件、各种消耗性材料,最后形成

可以进行输电与配电的电缆线路。

工程预算同时也是一项技术经济工作,它将工程技术和经济管理融为一体,任何一个企业要生存和发展,都必须高度重视经济工作,既要多干,又要学会精于计算,即进行合理的工程预算,这样才能在工程施工中控制好各种费用支出,量入为出,增加盈利,提高效益。

二、电缆工程项目划分

为了适应电缆工程经济指标的数据积累,满足工程计划、统计、施工和财务管理等方面的要求,同时也是为了统一预算编制程序,方便工程量的计算,故要求电缆工程必须进行统一的项目划分。

电缆工程属于送电线路工程,它是输变电建设项目的组成部分,是具有完整的、独立存在意义的工程。它一般可分解为以下六个可以独立组织施工、分工核算成本的单位工程。

(一)工地运输

包括工程材料从仓库到施工地点的装卸、运输和空车回程。

(二)土(石)方工程

包括各种路面(混凝土路面、沥青路面、碎石杂土路面等)开挖、填土和余土清运。

(三)敷设工程

包括电缆敷设(要计算电缆装置性材料价)、直线接头、盖电缆保护盖板、埋设导管、电缆校潮、牵引头制作等。

(四)两端工程

包括电缆支架和基础的制作安装,终端的制作安装,供油压力箱和信号装置的安装,各种电气性能测试(包括直流耐压试验、电缆参数测试、油样试验、油流试验、含气量试验等)。

(五)塞止工程

包括充油电缆塞止接头制作,供油压力箱、自动排水及信号装置的安装等。

(六)接地工程

包括绝缘接头、换位箱、护层保护器、接地箱安装等。

电缆线路工程的费用计算,均可以按照以上六个单位工程来分别计算工程量,顺序可以从送电端起,至受电端止,然后再逐段计算并相加,最后将总数按照单位工程填写在工程量计算表上,为最终编制施工预算打好基础。

三、电缆工程概预算的编制

(一) 电缆工程概预算费用的构成

电缆工程概预算费用由安装工程费、其他工程费用、辅助设施工程费和预备费组成，见表 1-10-1。

表 1-10-1 电缆工程概预算费用组成表

电 缆 技 术 改 造 项 目 概 预 算																							
安 装 工 程 费 用														其 他 工 程 费 用								辅 助 设 施 工 程 费	预 备 费
直 接 费				间 接 费				设 备 置 费	场 地 准 备 费				生 产 准 备 费				其 他 费 用						
基 本 直 接 费		其 他 直 接 费		施 工 管 理 费	其 他 间 接 费				设 计 运 杂 费	路 面 修 理 费	青 苗 赔 偿 费	管 线 搬 迁 费	管 理 车 辆 购 置 费	备 品 备 料 购 置 费	联 合 试 运 转 费 及 调 试 费	办 公 及 生 活 家 具 购 置 费	生 产 职 工 培 训 及 提 前 进 场 费	建 设 单 位 管 理 费	工 程 质 量 临 督 检 测 费				
定 额 直 接 费		冬 雨 季 施 工 增 加 费	夜 间 施 工 增 加 费		流 动 施 工 津 贴	施 工 工 具 用 具 使 用 费	流 动 资 金 贷 款 利 息													临 时 设 施 费	劳 动 保 险 基 金		
人 工 费	材 料 费	施 工 机 械 使 用 费																					

(二) 电缆工程概预算费用的估算方法

1. 基本直接费

直接费是指建筑安装生产过程直接消耗在特定产品对象上的有关费用,包括基本直接费和其他直接费,是整个工程预算费用的主要组成部分。基本直接费由人工费、材料费和施工机械使用费组成。以上三项费用在电缆安装工程预算定额中都有明确的单价和基价,可以套用。

2. 其他工程费用

其他工程费用均是以费率的形式进行计算,并基本上是以基本直接费或基本直接费中的人工费作为取费基础。表 1-10-2 所列的是部分电缆安装工程预算费用费率表,在具体计算中可以参照套用。

表 1-10-2 电缆安装工程预算费用费率表

工程预算费用	取费基础	费率(%)	
		工地运输土石方	其 他
冬雨季施工增加费	人工费	9.1	17.14
夜间施工增加费	基本直接费	8.0	8.0
流动施工津贴	人工费	61.0	61.0
施工工具、用具使用费	人工费	8.3	15.71
施工管理费	人工费	48.0	91.0
流动资金贷款利息	基本直接费	2.7	2.7
临时设施费	基本直接费	2.5	2.5
劳动保险基金	人工费	22.7	42.86
施工队伍调遣费	人工费	9.1	17.14
税金	基本直接费	7.0	7.0
计划利润	直接费 + 间接费	4.35	4.35

* 工程预算费用 = 取费基础 × 费率。

知道了工程预算定额的基价后,还必须乘以工程总量,才能最终构成预算费用的总额。施工人员在工程施工前,要详细了解施工图纸及其说明书的要求,弄清楚工程施工的概况和工程的大小,比如电缆长度、电缆型号、敷设环境、接头数量等等,根据定额,掌握人工费和材料费等费用的估算方法,做到心中有数,从而在具体工程施工中控制好费用,量入为出,为企业节省资金。

3. 费用的调整系数

随着时间的推移,定额中规定的单价可能会与实际情况发生差异,这叫定额“老化”,因此在工程预算费用计算中以调整系数的方法给予调整,如工资调整系数,材料差价调整系数等。预算编审人员要根据预算规定制度、定额及指标的变化,及时更新调整系数,以保证工程预算编制的正确性,从而避免因少算、漏算费用而使企业蒙受不必要的经济损失。

四、加强施工管理 提高企业经济效益

(一) 工程经济效益的估算

(1) 工程结束,施工单位要通过工程竣工决算进行实际成本分析,同时对照预算成本

与实际成本来核算成本的增加或降低额。

(2)根据工程决算费用总额,减去工程施工中实际支出的各项费用和税金,剩余的就是工程实际产生的利润。

(二)提高工程经济效益的方法

(1)编制施工图预算,利用预算所提供的实物指标和货币指标,进行施工成本控制、降低开支、提高效益。

(2)在编制工程概预算中,做到不漏项、不错算,将应收进的工程款一分钱不少地收进来,付出时又要不多付出一分钱。

(3)加强工程施工管理,合理安排工程进度以及劳动力的使用与分配,充分调动广大施工人员的工作积极性,提高劳动生产率。

(4)发挥技术优势,工程施工中采用新技术、新工艺,以降低劳动强度,提高工作效率,从而降低生产成本。

第二节 安全管理

电缆施工中的安全管理是整个电缆工程管理的重要组成部分。安全施工,人人有责。施工部门应不断强化以安全施工第一责任者为核心的安全施工管理责任制,在施工过程中制定和健全各项安全组织措施和安全技术措施,同时强化安全施工监督工作,以确保施工人员认真执行各项安全工作规程,最终全面、安全地完成各项生产任务。电缆施工安全管理主要有以下几个方面。

一、安全网络的建立

要建立电缆工程施工的安全管理网络,就必须同时建立两个体系,即安全施工保证体系和安全监察体系。

安全施工保证体系要求全员全方位地做好各项安全工作。对于工程施工中的每项工作,任何管理或施工人员都应时刻考虑安全问题并严格按照规程制度办事,相互协调配合以形成一个体系。安全施工保证体系要求建立以施工部门的安全第一责任者为核心,技术人员、安全监察员、现场负责人以及一般施工人员为群体,职责分明、分级控制、分级把关的完善的安全责任制,其主要作用如下:

(1)负责检查和监督电缆敷设、接头以及一系列辅助工作的安全措施和文明施工的落实情况。

(2)在整个施工中,对发现有影响安全质量的活动和威胁人身与设备安全的事故隐患,进行恰当和连续的预防、控制。

(3)在施工中做好各项安全宣传工作,把安全管理的工作真正深入到现场中去。

安全监察体系要求建立以施工班组安全员、施工部门安全员以及上级部门安全监察员为主体的三级安全网络,对整个工程施工起安全监督保证作用。其主要作用如下:

(1)安全监察人员通过对施工现场的查岗,掌握施工现场各项安全措施的实施情况,督促安全工作规程的正确实施。

(2)组织好安全网活动,充分发挥各级安全员的监督作用。

(3)定期公布查岗检查报告,加强安全宣传工作,对安全施工做出贡献者给予表扬和奖励,对违章人员提出处理意见,以确保安全管理目标的实施。

二、安全技术措施的制定

在电缆施工的整个过程中,包括准备工作、敷设、接头制作和试验等都应根据工程的实际情况,制定相应的施工安全技术措施或技术标准,并在每一个施工环节之前进行交底。工程技术人员在编制安全施工技术措施前,必须明确指出该工程的主要危险点、注意事项以及有关技术数据或标准,同时要重点从以下几方面进行考虑:

(1)针对工程的结构特点可能给施工人员带来的危害,从技术上采取措施,消除危险。例如水底电缆敷设应选择小潮汛憩流或枯水期间施工,风力要小于5级,以确保人身与船只的安全;在电缆隧道和工井等地方施工时,必须事先使用专用测试仪对可燃性气体的浓度进行测试,测试数据小于5%LEL(爆炸浓度的最低限度)后,才能开始工作。

(2)针对施工所选用的机械、工器具可能给施工人员带来的不安全因素,从技术措施上加以控制。例如对绝缘手套、绝缘棒、橡皮布、皮带、保险带等安全用具建立定期校验制度,一般保证每半年一次;为确保电缆敷设时的安全,在电缆牵引端制作电缆拉线头,并保持卷扬机匀速运转,以确保安全。

(3)针对所采用的有害人体健康或有爆炸、易燃危险的特殊材料的使用特点,从工业卫生和技术措施上加以防护。例如电缆施工中需要动用明火时,采用气体(液化气)喷灯代替易燃燃烧的汽油喷灯,以防止火灾的发生;对电缆接头施工人员定期进行身体检查,以防止出现铅中毒情况,一般保证每年一次。

(4)针对施工场地及周围环境有可能给施工人员或他人以及材料、设备运输带来的

危险,从技术措施上加以控制。例如冬季施工中必须采取有效措施,做好防滑、防火、防摔跌等工作,夏季施工中要做好通风等防暑降温工作,雨季施工要做好防滑、防汛等工作,将电缆运输及装卸工作放在夜间人少时进行,电缆盘不能平放运输与储存,电缆盘滚动时要顺着电缆盘上的箭头指示或电缆缠紧的方向。

电缆施工安全技术措施须经部门技术主管(主任工程师或技术负责人)批准,施工中由施工技术员和安全员组织和监督实施。

三、施工人员的安排

电缆工程施工是一项特殊的工作,有难有易,有大有小,每项工程施工的技术和安全要求也都是不同的,因此施工中的人员安排就显得尤为重要。首先参加施工的人员必须身体健康,并持有《电业安全工作规程》考试合格证书。其次根据工程由易到难的复杂程度,依次按照技术等级由低到高进行合理的安排。对于一些复杂的、对安全要求很高的工作,如高空作业、工井内施工、运行电缆认线、带电作业等等,还应合理配备有相当安装和运行经验的施工人员,以确保工作安全、顺利地完。另外,对于一些技术要求较高的工作,如超高压电缆特殊工艺施工,都应事先由技术部门安排,对有关人员进行安装技术培训,培训合格后才能在施工中安排使用。

四、安全用具的检查使用

安全用具的正确选用是确保工程施工安全的有效保障。施工前应根据工作任务认真整理好所要使用的安全用具,绝缘手套、绝缘棒、橡皮带、皮带、保险带等安全工具还应由安监部门进行严格的检查和校验,以确保无问题。安全工具和器材要采用定置管理,施工中派专人保管,以备随时使用。

五、外包施工队伍的管理

随着电力电缆的迅速发展,许多电缆工程往往有一些外来队伍参与施工或某些工程直接发包给外包工程队,因此必须采取有效措施,抓好这些外包施工队伍的安全管理工作。施工部门对承建项目或自营项目的分包单位的安全施工负有监督和指导的责任,必须将分包单位的安全施工列入本部门的重要议事日程,严禁以“包”代管,以“罚”代管。施工部门在招用分包单位时,必须由本部门安监人员严格审查其安全资质,未经审查或审查不合格的分包单位,一律严禁录用。分包单位安全资质审查内容包括:

(1)营业执照、施工资质证书、经过公证的法人代表资格证书、由劳动部颁发的“安全

施工合格证”、近三年的安全施工记录；

- (2)安全施工的技术素质及特种作业人员取证情况；
- (3)安全施工管理机构及其人员配备情况；
- (4)保证安全施工的机械、工器具及安全防护设施、用具的配备情况；
- (5)安全施工管理制度及办法的制定情况。

工程开工前,分包单位必须组织全体人员进行电业安全工作规程的考试,合格后方可进入现场施工,并同时佩带上岗证。对所承接的施工项目必须编制安全施工措施,经发包单位施工技术、安监部门审核后执行,对一些特殊作业、危险作业的施工项目,施工时还应由发包部门派员监督。施工部门在施工前应 与分包单位签订安全施工合同,明确双方应承担的安全责任,施工中安监部门要定期或不定期地进行施工安全检查,及时向分包单位传达上级有关最新安全工作文件和通报,切实做到对分包单位安全工作的动态管理。一旦工程施工中发生事故,必须按照“三不放过”的原则进行调查处理,并按规定统计上报。

第三节 质量管理

为确保电缆线路投运后安全、可靠地运行,就必须抓好电缆工程全过程的施工质量,通过有效的质量管理来控制好每一个施工环节。而建立与工程施工相适应的质量保证体系,是最终实现这一质量管理目标的基础,它能保证一切质量管理活动正常、有效地展开。下面介绍质量保证体系的主要内容以及电缆施工质量管理的基本内容。

一、GB/T19000 质量保证体系

(一)概述

随着社会的不断发展,科学技术的进步,各种产品及商品必须满足用户对质量越来越高的要求与服务,由于世界各国的经济制度不同,所采用的质量保证制度、质量术语也不尽相同,很难在国际贸易中相互认可和采用。在这种情况下,国际标准化组织(简称 ISO)于 1987 年颁布了一套国际间统一的,具有广泛科学性、系统性、实践性与指导性的质量管理和质量保证标准系列,即 ISO9000 质量标准系列。为了加快与国际接轨,1992 年我国国家技术监督局决定等同采用 ISO9000 标准,颁布了 GB/T19000 质量管理和质

量保证标准系列。所谓等同采用 ,就是将 ISO9000 系列标准的中文译本直接作为国家标准 ,在技术内容和结构上不作或只稍作编辑性修改。

企业通过推行 GB/T19000 标准系列 积极开展认证工作 ,不仅能提高产品和施工质量 ,而且能极大地提高企业的管理水平 ,增强企业的竞争能力 ,从而为企业获得更大的利润。

(二)GB/T19000 质量体系标准的组成

GB/T19000 系列标准是由 5 个标准组成的(另有 GB/T6583 质量术语标准与之配套) ,即 GB/T19000、GB/T19001、GB/T19002、GB/T19003、GB/T19004 ,它们的相互关系如图 1 - 10 - 1 所示。

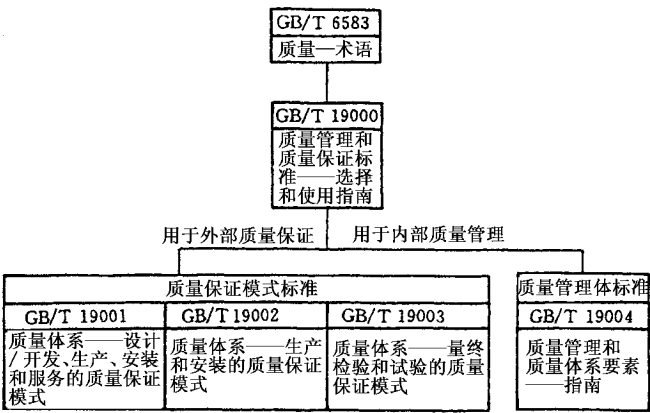


图 1 - 10 - 1 质量管理和质量保证标准系列的结构

1. GB/T19000

此标准为质量管理和质量保证标准的选择和使用指南 ,是系列标准的导则或“ 交通图 ” ,它具体阐述了该标准系列应用的范围和领域、重要术语、质量工作目的、质量体系环境、应用原则、程序等等。

2. GB/T19001、GB/T19002、GB/T19003

这三个标准阐述了在合同环境或第三方认证情况下可供选择的三种质量保证模式 ,代表了三种典型的不同的质量保证能力要求。其中 GB/T19001 阐述了从产品设计、开发至售后服务全过程的质量体系要求 ,它由 20 个要素组成 ;GB/T19002 阐述了产品从采购物资开始到产品交付使用为止的质量体系要求 ,它由 18 个要素组成 ;GB/T19003 阐述了从产品检验到交付为止的质量保证要求 ,它由 12 个要素组成。这三种标准模式主要用于外部质量保证的目的 ,主要给供需双方在签订合同时选择使用。

3. GB/T19004

此标准为质量管理和质量体系要素的指南,是指导企业内部质量管理体系建立和运行的标准。它阐述了质量管理体系的目标、任务和 17 个组成要素的要求等。

以上 5 个标准简称为“两个指南、三种模式”,各标准所包含的组成要素列于表 1-10-3,每个企业可根据各自的生产结构和施工要求,充分、灵活地选用不同的质量保证模式,从而为企业提供最佳的质量管理方法。

表 1-10-3 质量保证体系标准中各类要素的结构

序 号	GB/T19001 包含要素	GB/T19002 包含要素	GB/T19003 包含要素	GB/T19004 包含要素
1	管理职责	管理职责	管理职责	管理职责
2	质量体系	质量体系	质量体系	质量体系原则
3	合同评审	合同评审	文件控制	经济性——质量成本考虑
4	设计控制	文件控制	产品标识	营销质量
5	文件控制	采购	检验和试验	设计和规格质量
6	采购	需方提供的物资	检验、测量和试验设备	采购质量
7	需方提供的物资	产品标识和可追溯性	检验和试验状态	生产质量
8	产品标识和可追溯性	工序控制	不合格产品的控制	生产过程的控制
9	工序控制	检验和试验	搬运、储存、包装和交付	产品验证
10	检验和试验	检验、测量和试验设备	质量记录	测量和试验设备的控制
11	检验、测量和试验设备	检验和试验状态	培训	不合格产品的控制
12	检验和试验状态	不合格产品的控制	统计技术	纠正措施
13	不合格产品的控制	纠正措施		搬运和生产后的职能
14	纠正措施	搬运、储存、包装和交付	质量文件和记录	
15	搬运、储存、包装和交付	质量记录	人员	

序 号	GB/T19001 包含要素	GB/T19002 包含要素	GB/T19003 包含要素	GB/T19004 包含要素
16	质量记录	内部质量审核		产品安全和责任
17	内部质量审核	售后服务		统计方法的应用
18	培训	统计技术		
19	售后服务			
20	统计技术			

(三)质量体系文件

选择好质量管理保证模式以后 ,在具体实施过程中还必须建立相应的质量体系文件。质量体系文件是按照 GB/T19000 族标准建立企业质量体系的重要原则之一 ,编制和完善质量体系文件是建立和完善质量体系的首要任务 ,实际编制和使用的“文件”主要包括质量手册(包括质量方针)、程序文件、质量计划、质量记录四种类型 ,它们是相互联系、必不可少的。其中质量手册是证明或描述文件化质量体系的主要文件 ,其形式和深度根据企业的需要可有所不同。

质量手册一般至少包含以下几个方面：

- (1)质量方针；
- (2)影响质量的管理、实施、验证或评审工作人员的职责、权限和相互关系；
- (3)质量体系程序和说明；
- (4)关于评审、修改和控制手册的规定。

只要认真地编制和实施适宜的文件 ,就会有效地控制产品和施工质量 ,从而降低质量损失 ,最终使企业获得可观的经济增值。

(四)质量体系的认证

质量体系认证是指经质量体系认证机构确认并颁发质量体系认证证书 ,证明企业的质量体系的质量保证能力符合质量保证标准要求的活动。进行质量体系认证 ,是企业实施质量保证模式的前提 ,其认证程序为申请、受理、初访、文件审查、现场审核前准备、现场审核、审批和注册发证、证后监督 8 个方面。企业质量体系获准认证的有效期一般为三年 ,当认证有效期届满后 ,必须由企业向质量体系认证机构提出重新申请 ,认证机构受理后 ,将再次组织认证审核。

(五)电缆行业建立质量保证体系的意义

- 1. 走向市场 ,参与国际竞争

随着社会主义市场经济的建立,电力电缆安装施工企业将面临激烈的市场竞争局面,因此我们必须要有忧患与超前意识,使电力电缆施工企业在立足本地市场的前提下,逐步走向全国市场,跻身国际市场。对此我们必须以质量取胜,这也是企业发展的必由之路。通过贯标,加强企业的质量管理,提高电缆施工的质量,达到世界先进水平,这样我们电力电缆行业在任何竞争中都将立于不败之地。

2. 提高企业素质,谋求更高的质量和经济效益

建立质量体系并使之有效运行,是为了加强电缆施工全过程的有效控制,强调预防为主,使每一道施工步骤、技术及管理和人都处于严格的控制之下,做到每完成一个工艺程序或完成一个局部工作(电缆敷设或接头制作)都做好详细、清晰、真实的记录,一旦发现问题及时纠正,整个施工项目通过一环扣一环的控制来保证一个完整项目的最终质量,减少和消除不合格现象,为企业创造出更高的质量和经济效益。

二、电缆的质量管理

电缆质量管理贯穿于电缆从设计、施工、竣工验收、运行维护的全过程,必须依靠广大质量管理人员与施工人员共同参与和完成。它主要表现在以下几个方面。

(一)施工前准备

(1)在投标、接受合同或计划任务之前,有关部门要对标书、合同、计划任务进行认真评审,以确保施工部门实际的工作能力与合同要求的工作任务相一致。

(2)做好设计交底和各项工程的协调工作。这项工作必须由设计人员、施工人员与运行人员共同参加,详细交待工作任务,使施工人员心中有数,如在施工过程中遇到电缆或其他管线搬迁、保护等问题,应同时制定好相应措施,以确保工程开工后能顺利进行。

(二)施工材料准备

物资部门对电缆及各种附件材料必须严格按照设计要求进行选型、采购,材料选购应同时从质量和经济上进行考虑。材料入库前,技术人员对材料进行检查、验收,以确保其质量可靠。另外,工程施工中要做好材料的运输、储存、保护等工作,防止一切人为因素造成材料的不必要损坏。

(三)施工全过程质量控制

(1)根据电缆施工要求,合理配备必要的施工人员与机具、设备、工具等,并安排适宜的工作环境和安全措施。

(2)工程施工必须由技术部门编制工程作业指导书,施工人员在施工中必须严格按照作业指导书、各项工艺规程、安全规程进行施工,以确保人身、设备安全和施工质量。

(3) 施工设备必须经工程技术负责人同意后,方可投入使用,并在施工中以保养,以确保所有设备满足施工的需要。

(4) 电缆敷设、接头制作、土建排管等各项工作施工情况,必须得到认可的质量检验人员进行全过程的验证,不合格的要进行返工重做,以确保质量控制的万无一失。

(5) 工程施工结束,要确保电缆资料的完整性,根据质量保证体系对文件资料的填写要求,按时填写好各类施工质量报表和有关技术文件,绘制电缆竣工图,归档保存,便于今后进行运行维护和检修工作时查阅。

(四) 投运后监视

电缆工程施工结束交付运行部门接收后,运行部门应根据电缆设备运行情况加强监视,并建立运行资料档案,同时定期做好各项运行维护工作,为电缆设备正常、安全运行提供可靠的质量保证措施。一旦电缆设备运行后由于各种原因而发生事故,应立即组织抢修,以尽快恢复送电。

第四节 资料管理

电缆资料管理是电缆线路技术管理工作的一个重要方面,必须十分重视。电缆资料主要包括施工竣工资料和运行技术资料两部分,其主要资料类别及归档流程如下。

一、电缆施工竣工资料

电缆施工竣工资料是指电缆施工全过程发生的、便于在今后电缆运行过程中查阅的一切有效文字记录及书面报表和图纸。这类竣工资料中有些经运行部门验收、审核后必须归档保存,有些可由运行部门自己保存,作为将来查阅施工情况的一种依据。

(一) 归档保存的竣工资料

(1) 电缆线路施工过程中的有关技术业务联系和协议文件;

(2) 电缆线路施工设计书和有关设计变更证明文件;

(2) 由制造厂提供的电缆质量保证证明文件和相关的技术资料;

(4) 电缆及附件的结构图纸、装配图纸和相关技术资料;

(5) 电缆线路施工中的敷设、接头安装质量报表和电缆直流耐压、护层绝缘、阻抗、电容、油样等试验记录;

- (6) 电缆排管、工井、电缆沟、电缆桥等土建设备的结构图纸和相关的技术资料；
- (7) 电缆二次信号系统安装及调试的技术资料；
- (8) 电缆线路竣工路径图。

(二) 运行部门保存的竣工资料

- (1) 电缆工程施工的合同文件；
- (2) 电缆工程施工许可证、掘路执照、管线执照等施工证明；
- (3) 电缆工程物资材料的验收合格证书；
- (4) 电缆施工中的有关组织设计、作业指导书及敷设、接头制作等主要项目施工过程中的质量记录单；
- (5) 电缆施工全过程中的有关会议纪要和来往文件；
- (6) 电缆工程的概(预)算；
- (7) 电缆工程自验收记录及竣工验收报告；
- (8) 电缆竣工投运汇报记录单。

二、电缆运行技术资料

(一) 电缆网络总图

电缆网络总图,这是一张整个地区内所有电缆线路的平面布置图,主要标明线路名称、起始地点及电缆位置等情况,总图比例一般为 1:5000(有的地方为 1:2000),可按线路不同电压等级进行分类,以便一目了然。总图应按电缆线路的变化情况及时进行修改,保持准确。在计算机日益发展的今天,有些地方开始用计算机来绘制电缆网络总图,并建立电缆资料信息库,从而更加准确、迅速、直观地将运行电缆网络资料反映给广大施工人员。

(二) 电缆系统接线图

电缆系统接线图表示电缆网络在电力系统中的布局。系统图上应用规定的图形符号标出各发电厂、变电站、电缆配电网主要设备及线路连接方式、以及系统正常运行方式。采用的图形符号以国家标准、行业标准为依据,各地区予以具体规范、统一,并在接线图上注明。系统图可按电压等级进行分类。施工中办理停电申请时,可根据系统接线图制定停电范围或施工安全措施。

(三) 电缆线路资料信息

每条电缆线路除了要有路径图外,还必须建立详细的电缆资料信息以供查询。电缆资料包括电缆的总长度、截面积、电压等级、电缆型号、安装日期以及电缆接头型号、编

号、施工人员姓名、安装日期等。另外 ,还包括电缆线路的故障检修、改接等运行历史记录。电缆信息资料可以制作成卡片 ,也可输入计算机保存 ,需要时可及时调用。

(四) 电缆线路技术资料

电缆线路在运行过程中应建立一切有关该线路运行的资料和报表 ,并由专人进行管理 ,以便及时对这些运行资料进行修改和补充。这些资料包括电缆周期性试验报表、各类故障分析报告、缺陷检查和处理报表、电缆检修报表、负荷测量与温度记录、线路巡视记录、充油电缆线路油压及护层绝缘监测记录等。通过积累这些运行技术资料 ,为制定运行和检修工作计划提供依据。

三、电缆线路资料的归档流程

电缆线路资料是电缆线路运行的档案 ,施工部门在电缆竣工投运前 ,应将所有涉及的电缆施工 ,竣工资料及各类报表填写完整 ,并及时移交给运行管理部门 ,经审核后由运行部门将其中重要的技术资料移交档案部门归档保存 ,以备查阅。另外 ,在电缆投入运行后 ,运行管理部门应将涉及电缆运行的有关技术资料做好系统、长期地积累 ,很好地整理和保存 ,以作为将来进行电缆运行、检修工作的一种依据。施工人员与管理人员应共同认真做好这项工作。电缆线路资料归档流程如图 1 - 10 - 2 所示。

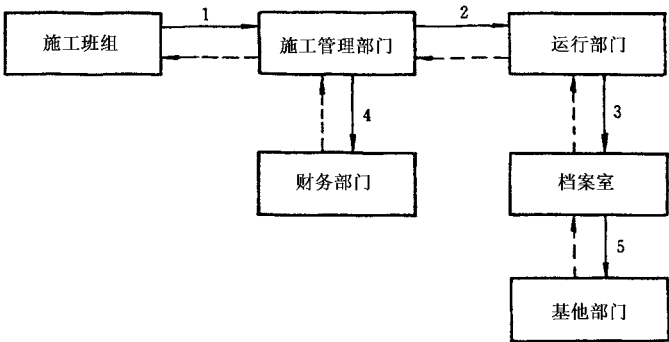


图 1 - 10 - 2 电缆线路资料归档流程图

- 1—资料和报表填写、上报过程 2—资料和报表整理、汇总过程 ;
- 3—资料和报表审核、归档过程 4—工程项目报表汇总 ,工程费用结算过程 ;
- 5—资料和报表调用 ,查询过程 ; - - -> 资料和报表归档流程中的信息反馈

只有当电缆线路废弃后 ,才可将电缆线路档案资料消除 ,但必须作好消除记录 ,并同时注明电缆拆除日期。