

正泰 昆仑系列
终端配电产品

10mA
第一时间阻断危险
保障安全更可靠
漏电保护

石化工程中控制电缆分布电容对电气设备的影响

文/中国石化工程建设有限公司 李俊威

通过已知的电缆数据，计算出在长距离下控制电缆的分布电容及电容电流。从而估算出控制电缆敷设距离对接触器释放的影响，以及长距离控制电缆中感应电流对信号灯的影响。

电缆内分布电容的存在往往都是无形的，在实际的电路中，两相互绝缘，但又互相靠近的导线等带电体之间，都可以看作是一个电容器，具有一定的电容量，其电容量大小，与导体之间的距离、面积等因素有关。这种在实际电路中由导线、元器件间走向、位置等分布状态而形成的电容，就是分布电容。如果导线间的等效面积很小，相对距离较大，当电缆的长度不长时，在直流及低频电路中，导线间的分布电容是很小的，对控制回路不会造成影响。但是，如果电缆的长度很长，达上千米的时候，芯线对屏蔽，芯线对芯线的分布电容是不容忽视的。在交流或者高频的工作情况下，微小的电容量变化，可能会严重影响电路工作。

随着石化装置的规模越来越大，电动机离配电室的距离越来越远，从而控制电缆的长度也越来越远。控制电缆变长带来的影响也是显著的。电气设计人员往往由于缺少现场条件，不能在设计时测出控制电缆的分布电容及电容电流。通过已知的电缆数据，计算出在长距离下控制电缆的分布电容及电容电流。从而估算出控制电缆敷设距离对接触器释放的影响，以及长距离控制电缆中感应电流对信号灯的影响。

控制电缆的分布电容

控制电缆的基本结构如图1所示，一般是由导体、绝缘层、绕包层、填充料、屏蔽层和护套组成的。由于控制电缆的应用场合



CHINT



领先每一步 可靠新高度

欢迎关注正泰微信公众号
[广告]

浙江正泰电器股份有限公司

股票代码：601877 400-817-7777 www.chint.net/kunlun

不同,各部分的材料构成有所不同,图1中所示的交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套控制电缆(KYJV和KYJV₂₂),现广泛在石化装置中使用。针对这种控制电缆,计算其分布电容。

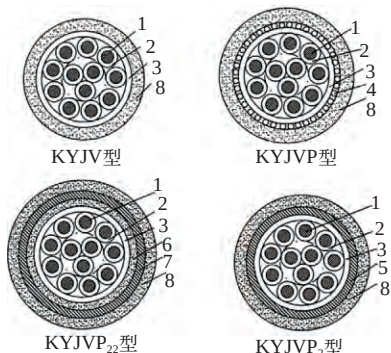


图1 部分控制电缆结构简图

1—导体 2—XLPE绝缘 3—成缆包带
4—铜丝屏蔽 5—铜带屏蔽 6—内衬层
7—钢带铠装 8—耐寒护套

1. 分布电容的计算

电缆分布电容的计算公式有多种描述形式,在《通信电缆》一书中,电缆分布电容的计算公式为

$$C = \lambda \varepsilon_r \times 10^{-6} / (36 \Psi \ln(2a/d)) \quad (1)$$

式中, C 为分布电容,单位为F/km; λ 为绞合系数,交联聚乙烯绝缘电缆 $\lambda \approx 1$; ε_r 为导线间绝缘物的介电常数,聚乙烯为2.3,聚

氯乙烯为4~6,橡胶为3~5,电缆纸为2~2.5; Ψ 为修正系数,有屏蔽层 $\Psi = 0.6$,无屏蔽层 $\Psi = 0.94$; a 为回路两导线之间的中心距离,单位为mm; d 为线芯的直径,单位为mm;

常用控制电缆综合分布电容参数如表1所示。

表1中的数据为已知实际测量结果。以KVVP 1.5 mm²信号电缆为例, $\lambda \approx 1$ 、聚氯乙烯绝缘材料 $\varepsilon_r \approx 5$ 、 $a \approx 3$ mm、 $d = 1.38$ mm、 $\Psi \approx 0.94$,通过式(1)计算出此信号电缆的分布电容约为0.158 μ F/km。与表1的数据对比后可以发现,控制电缆分布电容的理论计算结果与实际测量值近似。

2. 对继电器吸合的影响

导线的分布电容是指在交流电路中绝缘隔离并行的导线与导线之间形成一种电容形态的分布参数。如图2中 C 所示。

当现场开关闭合时, C 基本处于短路,不起作用;而当现场开关断开时,它就如同在继电器输入回路中并联一个 C 电容,其电容量与导线的长度、材质、截面积、绝缘材料的材质与绝缘体厚度等因素有关。这种电容虽然很

小,但由于它的存在,就可能影响电路中灵敏元器件。

在交流电路中,电流的方向是随时间成一定的函数关系变化的,电容器充放电的过程也随时间变化,在电容器极板间形成变化的电场,这个电场也随时间不断地变化。实际上,电流是通过场的形式在电容器间通过的,所以电容器在电路中能起到隔直流通交流的作用。而当通过电容器的电流足以使继电器线圈励磁,就会使继电器输出触点保持在接通状态。

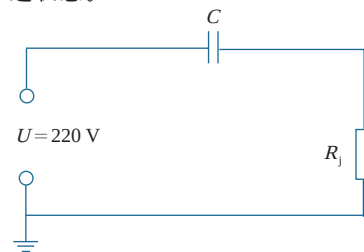


图2 分布电容等效电路图

3. 最远敷设距离的计算

电气专业一般常用的KYJV₂₂控制电缆有1.5 mm²和2.5 mm²铜芯电缆。通过式(1)得出1.5 mm²电缆的分布电容 $C_{1.5} = 0.048$ μ F/km;2.5 mm²电缆的分布电容 $C_{2.5} = 0.05$ μ F/km。

以常用的施耐德LC1系列和ABB A系列的接触器为例。计算KYJV₂₂ 1.5 mm²和2.5 mm²控制电缆的最远敷设距离。

(1) 以施耐德接触器线圈为例

通过施耐德接触器产品选型手册可知,LC1系列接触器的线圈电阻 $R_j \approx 6.2 \sim 23$ k Ω 。按最不利情况,取 $R_j = 23$ k Ω 。对应型号接触器的释放电压为 $0.3 \sim 0.6 U_n$, U_n 为接触线圈的控制电压。按最不利情况,取下限,则 $U_j = 66$ V。

1) 以KYJV₂₂ 1.5 mm²控制电缆为例。

$$R_j/Z = U_j/U \quad (2)$$

$$Z = \sqrt{R_j^2 + X_C^2} \quad (3)$$

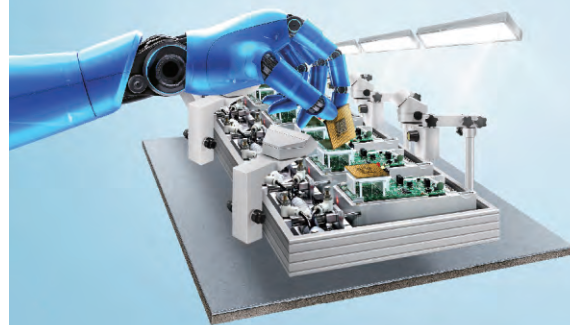
$$X_C = \frac{1}{2\pi fCL} \quad (4)$$

表1 常用控制电缆综合分布电容参数

测试电缆		外芯对屏蔽层电容/nF		中芯对屏蔽层电容/nF	
电缆型号	长度/m	实测值	单芯分布值(100 m)	实测值	单芯分布值(100 m)
KVVP ₂₂ 19×1.5 mm ²	269	48	17.84	35	13.01
KVVP ₂₂ 14×4 mm ²	708	140	19.77	110	15.54
KVVP ₂₂ 14×2.5 mm ²	2 003	350	17.47	270	13.48
ZR-KVVP 14×1.5 mm ²	260	51	19.62	43	16.54
KVVP ₂₂ 14×1.5 mm ²	374	69	18.45	51	13.64
KVVP ₂₂ 10×2.5 mm ²	1750	313	17.89	255	14.57
ZR-KVVP 10×1.5 mm ²	207	50	24.16	39	18.84
KVVP ₂₂ 10×1.5 mm ²	1 944	325	16.72	262	13.48
ZRC-KVVP 7×2.5 mm ²	542	166	30.63	143	26.23
KVVP ₂₂ 7×1.5 mm ²	1 028	249	19.64	209	16.48
KVVP ₂₂ 6×4 mm ²	1 255	280	22.31	225	17.93
KVVP ₂₂ 5×4 mm ²	95	18	18.97		
KVVP ₂₂ 5×4 mm ²	157	35	22.29		
KVVP ₂₂ 4×4 mm ²	390	70	17.95		
KVVP ₂₂ 4×4 mm ²	367	66	17.94		
KVVP ₂₂ 4×1.5 mm ²	1 884	359	19.06		

正泰 塑壳断路器

全新电子脱扣器 准确处理故障隐患 高效畅通更可靠



CHINT



领先每一步 可靠新高度

欢迎关注正泰微信公众号
[广告]

浙江正泰电器股份有限公司

股票代码: 601877 400-817-7777 www.chint.net/kunlun

通过式(2)~(4), 可以计算出

$$L = \frac{1}{(2\pi \times 50 \times 0.049 \times 10^{-6}) X_C} = 888 \text{ m}$$

2) 以KYJVP₂₂ 2.5 mm²控制电缆为例。通过式(2)~(4), 可以计算出

$$L = \frac{1}{(2\pi \times 50 \times 0.05 \times 10^{-6}) X_C} = 870 \text{ m}$$

(2) 以ABB接触器线圈为例

通过ABB低压控制产品资料可知, A系列接触器线圈电阻 $R_j \approx 1.5 \sim 60.5 \text{ k}\Omega$, 按最不利情况, 取 $R_j = 60.5 \text{ k}\Omega$ 。对应型号接触器的释放电压 $0.5U_n$, U_n 为接触线圈的控制电压。 $U_j = 110 \text{ V}$ 。

1) 以KYJV₂₂ 1.5 mm²控制电缆为例。

通过式(2)~(4), 可以计算出

$$L = \frac{1}{(2\pi \times 50 \times 0.048 \times 10^{-6}) X_C} = 663 \text{ m}$$

2) 以KYJV₂₂ 2.5 mm²控制电缆为例。通过式(2)~(4), 可以计算出

$$L = \frac{1}{(2\pi \times 50 \times 0.05 \times 10^{-6}) X_C} = 607 \text{ m}$$

(3) 计算结果分析

通过上述计算我们可以看出, 控制电缆最远敷设距离与控制电缆的截面几乎没有影响, 与控制线圈的阻抗成正比, 与控制线圈最低工作电压成正比。

以上只是理论计算值, 实际情况更为复杂, 需要考虑一定的安全

系数(1.2左右)。因此可以认为控制电缆在500 m以内, 不会使继电器输出触点保持在接通状态。对于更远距离的控制回路, 可以考虑采用增加中间继电器, 或者在控制回路中并联RC抑制回路。

控制电缆的电容电流

通过计算对比结果, 可以看出控制电缆比较短时, 此分布电容值非常小, 阻抗很高, 电容电流很小, 一般可忽略不计, 不会影响控制线路正常工作。电容电流很大时, 线间阻抗很小, 相当于在回路中并联了一个电阻, 根据并联电流分流的原理, 并联电阻小的支路, 其支路电流反而更大, 当这个阻抗值小道一定程度是, 其电流就越大, 指示灯就会发亮。通过实际分析可知, 控制电缆越长, 电缆的芯线对芯线存在的分部电容就越大, 产生的电容电流越大。

1. 计算电容电流

通过电缆手册可以查出, 不同截面控制电缆的电阻值, 如表2所示。通过查询资料可知, 流过LED信号灯的电流 I 与分布电容 C 的 $I-C$ 关系曲线, 如图3所示。以KYJV₂₂ 1.5 mm²控制电缆为例, 使用施耐德AC1系列接触器的控制电缆最远敷设距离为888 m。假设信号灯回路里的电流即电容电流, 计算出这根控制电缆的 C 大约为 $0.043 \mu\text{F}$ 。则 $I = 220/Z \approx 0.003 \text{ A}$ 。与图3中曲线读数相近。

表2 成品电缆导体20℃时直流电阻

标称截面/mm ²	0.75	1	1.5	2.5	4	6	10
直流电阻/(Ω/km)	24.5	18.1	12.1	7.41	4.61	3.08	1.83

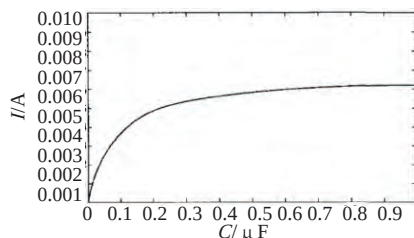


图3 LED信号灯的 $I-C$ 关系曲线

(下转第48页)

过电阻的电流不宜过大。我国四部协议规定，如通信电缆与大地间未装放电器时，危险影响电压不得大于430 V，对高可靠线路不大于630 V。根据上海供电局对10 kV电阻接地系统做的单相接地模拟试验，接地电流达到1 000 A，10 kV电缆和通信电缆平行长度1 km，平行间距50 cm，计算结果显示10 kV电缆对通信线路的感应电压为225 V，其危险影响电压在四部协议规定的范围之内。

从实例看，目前石化行业10 kV系统电阻电流中，镇海炼化取200 A，产品投运后未发现对通信线路造成任何影响。

参考以上模拟实验结果和实际运行经验，可以认为选择电阻电流200 A完全能够避免对通信线路的干扰。

7. 接触电位差和跨步电位差校验

从人身安全考虑，中性点接地电阻的通流越小越好。因为中性点经低电阻接地在发生单相接地故障时，通过故障点的接地短路电流

比较大，引起故障点地电位升高，有可能造成跨步电压，接触电势超过允许值，危及人身安全。因此在选择电阻值时，应根据地网接地电阻，保护动作时间，接地短路电流核算跨步电压和接触电势是否超过规程。

对于该循环水场，取 $\rho_s=1000\ \Omega\cdot\text{m}$ ，接地干线材质为50×5 mm热镀锌扁钢，假设入地最大故障电流 $I_G=200\ \text{A}$ ，取故障持续时间1.5 s。通过ETAP软件模拟计算，循环水场接触电位差和跨步电位差允许值分别为 $U_t=320.5\ \text{V}$ 、 $U_s=897.3\ \text{V}$ 。发生接地故障时接地网最大接触电位差和跨步电位差分别为 $U_{t1}=189.3\ \text{V}$ 、 $U_{s1}=190.6\ \text{V}$ ，地电位升高值为524.7 V。接地网接地电阻 $R=2.6\ \Omega$ 。经比较最大接触电位差和跨步电位差均满足允许值要求。因此选择电阻额定通流200 A是比较合适的。

当然也应考虑到由于10 kV系统和380 V低压配电系统在同一个变电所内共用接地网，当10 kV线路发生单相接地故障时，接地电流流经接地网产生电压，并经TN-S系统的

PE线转移到低压用电设备外壳上，对人身安全产生威胁。为此也应尽快切断故障线路，降低触电风险。如前文所述，10 kV馈出线单相接地保护整定值取0.1 s是比较合适的。

结束语

以某石化循环水场为例，经过比较3种中性点接地方式各自特点，可以看到对于石化装置10 kV供配电系统，采用低电阻接地方式可以有效降低系统工频过电压，消除电压互感器铁磁线圈饱和引起的谐振过电压，抑制间歇性弧光过电压，从而降低整个配电系统的绝缘配合要求。中性点接地电阻产品目前较成熟系统容易实现，维护工作量少，对比消弧线圈产品具有较高的经济性。由于人为引入较大接地故障电流，保护配置方便，故障切除灵敏度和准确度较高。目前10 kV系统微机保护装置可靠提高，配合双电源带备自投保护，可以保证供电可靠性。因此，可确定该石化循环水场10 kV配电系统采用中性点低电阻接地方式是比较合理的方案选择。EA

(上接第43页)

2. 最短电缆长度

通过查询相关资料可知，1 mA以上的电流即可点亮LED信号灯。因此可以计算出能使LED信号灯发光的最短电缆长度。还是以KYJV₂₂ 1.5 mm²控制电缆为例。

$$Z=\sqrt{R^2+X_C^2} \quad (5)$$

$$I=220/Z \quad (6)$$

通过式(5)和式(6)，可以计算出

$$L=\frac{1}{(2\pi\times 50\times 0.048\times 10^{-6})X_C}=301\ \text{m}$$

由此可知，控制电缆长度越

长，感应电流越大，现场操作柱LED信号灯越亮。

3. 解决方法

在今后的设计工作中，可以提前计算出LED信号灯非正常启辉的最短电缆长度。将该结果和设计长度进行比对，如果设计的长度远远大于 $L_{\min}$ ，那么在控制电缆长度客观不能改变的情况下，通知厂家考虑更换指示灯。选用启辉电流大的LED信号灯，或改用直接式白炽灯。

结束语

近期在某大型煤化工项目中，

有两台空冷电机距离变电所低压开关柜达到500 m。低压开关柜采用了ABB的A系列接触器，在实际调试中没有发生接触器无法释放的情况。由于厂家提前在信号指示回路并联了电阻，因此也没有出现操作柱“双灯”现象。由此可以认为，此方法可以辅助用于设计时对控制电缆长度的校验，也可以根据控制电缆的长度来选择接触器和LED信号灯的型号。从而避免电气设备在实际使用中发生误动作或者误指示，避免给生产安全和人身安全带来隐患。EA