

# 工厂照明末端线路单相接地灵敏度校验及解决方案

通过对工程实例的计算和分析,说明校验照明线路末端单相接地灵敏度的重要性,并提出解决方案进一步提高保护的灵敏度。

刘 瑶/中国昆仑工程公司



刘 瑶/工程师

工业厂房一般高度较高,面积较大,比如聚酯厂的切片库房以及污水处理的反应池泵房、纺织厂的长丝车间等,高度在10 m左右,长约100 m,宽约80 m,有的甚至更高大。在照明设计中,设计人员往往为了满足照度要求、灯具合理布置,而忽略对线路末端发生单相接地短路故障的灵敏度校验。在长距离末端供电中,合理选择配电线路及保护电器,使其满足短路灵敏度要求,可避免末端线路因短路电流小,故障时保护开关不能动作而引起火灾或间接电击,减少损失。

## 工程实例及计算

### 1. 工程概况

现以某项目污水处理工程厌氧泵房照明为例来说明长距离照明线路单相接地灵敏度校验的重要性。在工程上采用简化计算,文中涉及到的相保电阻、相保电抗均查阅《工业与民用配电设计手册》第四章第五节中阻抗值表获得。

该系统为TN系统,变压器为SCB9系列10/0.4 kV、2 000 kV·A、Dyn11连接,  $u_k\% = 6$ 、 $\Delta P_k = 13.3$  kW,变压器高压侧系统短路容量  $S_s'' = 300$  MV·A,它的低压网络短路电流计算电路如下图所示。设计照明回路中有8盏150 W金属卤

化物灯,从变压器到低压配电柜采用铜母线,距离很短,阻抗忽略不计。从低压配电柜到照明配电箱配线电缆采用  $4 \times 25 + 1 \times 16$  铜芯电力电缆,长度为120 m。照明配电箱出线回路采用  $3 \times 2.5$  铜芯电力电缆,从照明箱到线路末端灯具长度为100 m。

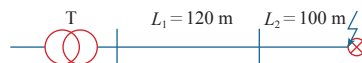


图 低压网络短路电流计算电路

### 2. 计算单相接地故障电流

一般用电单位的电源来自地区大中型电力系统,配电用的电力变压器的容量远小于系统的容量,因此短路电流可按远离发电机端,即无限大电源容量的网络短路进行计算,短路电流周期分布量不衰减。

(1) 计算有关电路元件的阻抗

高压侧系统阻抗(归算到400 V侧)

计算公式为

$$Z_s = \frac{(cU_n)^2}{S_s''} \times 10^3 \\ = \frac{0.38^2}{300} \times 10^3 \text{ m}\Omega \approx 0.48 \text{ m}\Omega \quad (1)$$

$$X_{\text{php-s}} = \frac{2X_s}{3} = \frac{2}{3} \times 0.995Z_s \\ = \frac{2}{3} \times 0.995 \times 0.48 \text{ m}\Omega = 0.32 \text{ m}\Omega \quad (2)$$

$$R_{\text{php-s}} = \frac{2R_s}{3} = \frac{2}{3} \times 0.1X_s \\ = \frac{2}{3} \times 0.1 \times 0.048 \text{ m}\Omega = 0.03 \text{ m}\Omega \quad (3)$$

变压器的阻抗,查表得:  $R_{\text{php-T}} =$

**关键词/Keywords**

单相接地故障 ·  
灵敏度校验 ·  
提高灵敏度措施 ·

0.53 mΩ,  $X_{\text{php}\cdot\text{T}} = 4.77 \text{ m}\Omega$ 。

线路  $L_1$  单位长度阻抗, 查表得:  $R'_{\text{php}\cdot\text{L}1} = 2.106 \text{ m}\Omega$ ,  $X'_{\text{php}\cdot\text{L}1} = 0.164 \text{ m}\Omega$ 。

线路  $L_2$  单位长度阻抗, 查表得:  $R'_{\text{php}\cdot\text{L}2} = 20.64 \text{ m}\Omega$ ,  $X'_{\text{php}\cdot\text{L}2} = 0.29 \text{ m}\Omega$ 。

(2) 计算短路点的单相接地故障电流

线路总阻抗计算公式为

$$R_{\text{php}} = R_{\text{php}\cdot\text{s}} + R_{\text{php}\cdot\text{T}} + 120R'_{\text{php}\cdot\text{L}1} + 100R'_{\text{php}\cdot\text{L}2} = 2317.28 \text{ m}\Omega \quad (4)$$

$$X_{\text{php}} = X_{\text{php}\cdot\text{s}} + X_{\text{php}\cdot\text{T}} + 120X'_{\text{php}\cdot\text{L}1} + 100X'_{\text{php}\cdot\text{L}2} = 53.45 \text{ m}\Omega \quad (5)$$

短路点阻抗为

$$Z_{\text{php}} = \sqrt{R_{\text{php}}^2 + X_{\text{php}}^2} = 2317.9 \text{ m}\Omega \quad (6)$$

单相接地故障电流为

$$I_{\text{d}} = \frac{U_{\text{n}} / \sqrt{3}}{Z_{\text{php}}} = \frac{220 \text{ V}}{2317.9 \text{ m}\Omega} = 95 \text{ A} \quad (7)$$

### 3. 灵敏度校验

按短路电流校验低压断路器动作的灵敏性, 需满足下式要求

$$I_{\text{dmin}} \geq K_{\text{rel}} I_{\text{set3}} \quad (8)$$

式中,  $I_{\text{dmin}}$  为被保护线路末端接地故障电流;  $I_{\text{set3}}$  为低压断路器瞬时过电流脱扣器的整定电流, A;  $K_{\text{rel}}$  为低压断路器瞬时过电流脱扣器动作可靠系数, 取1.3。

一般照明线路考虑负荷特性以及故障维修方便, 配线开关选择C特性16 A的断路器, 整定值在5~10倍的额定电流, 按10倍整定取值, 则  $1.3I_{\text{set3}} = 1.3 \times 10 \times 16 \text{ A} = 208 \text{ A}$ 。

可见, 在式(7)中求得的线路末端接地故障短路电流  $I_{\text{d}}$  小于1.3倍的整定电流  $I_{\text{set3}}$ , 不满足灵敏度要求, 需要提高接地故障保护的灵敏度。

## 解决方案

按照上述方法, 在满足灵敏度条件下选择不同规格断路器, 计算相应的二级配电距离。保护开关分别采用10 A、16 A的B曲线和C曲线, B曲线按5倍整定, C曲线按10倍整定。计算结果如下表所示。表中C10指保护开关的特性曲线为C曲线, 额定电流是10 A, 其余类推。

表 不同规格的断路器满足灵敏度配合时对应的配电距离

| 断路器规格  | B10 | B16 | C10 | C16 |
|--------|-----|-----|-----|-----|
| 配电距离/m | 151 | 90  | 69  | 39  |

由上表计算结果可见, 当选择C16保护开关, 满足灵敏度条件下, 配电距离仅为39 m。要想满足当前配电距离, 即二级配电线路100 m, 需选择B10保护开关, 但考虑到灯具本身为感性负荷, 保护开关降容以及未来可能会增加灯具等因素, 仍选择C16型保护开关。

当配电线路较长, 接地故障电流  $I_{\text{d}}$  较小, 短路保护电器往往难以满足接地故障保护灵敏性的要求, 可采取剩余电流保护, 剩余电流保护能迅速断开接地故障电流。

剩余电流保护器所检测的是三相电流加中性线电流的相量和, 即剩余电流  $I_{\text{PE}} = I_{\text{U}} + I_{\text{V}} + I_{\text{W}} + I_{\text{N}}$ 。

三相四线配电线路正常运行时, 即使三相负载不平衡, 剩余电流只是线路泄漏电流, 当某一相发生接地故障时, 则检测的三相电流加中性线电流的相量和不为零, 而等于接地故障电流  $I_{\text{PE(G)}}$ 。严格地说, 是等于接地故障电流加上灯具正常对地的泄漏电流。

检测剩余电流通常是在断路器后三相线和中性线上各装一只TA, 取4只TA二次电流相量和, 或采用专用的剩余电流互感器, 乘以电流比, 即剩余电流  $I_{\text{PE}} = I_{\text{U}} + I_{\text{V}} + I_{\text{W}} + I_{\text{N}}$ 。而在照明回路中, 选用带剩余电流动作保护功能的断路器即可。

为避免误动作, 配电线路的剩余电流动作保护器动作电流的整定值需躲开正常的泄漏电流, 应大于正常运行时线路和设备的泄漏电流总和2.5~4倍。本例中线路及设备的泄漏电流约5.4 mA, 并且此处剩余电流动作保护器是用于末端线路, 并侧重防间接电击, 所以选择动作电流不大于30 mA的高灵敏度剩余电流动作保护器。另外, 经核算线路电压损失为2.9%, 在允许范围内。

## 结束语

在高大工业厂房中照明线路的接地灵敏度校验是容易忽略的工作。以实际工程为例, 通过计

(下转第106页)

但此时保护3处断路器仍然处于断开状态，只有判定保护1故障为瞬发性故障，才能由保护1来启动重合闸以达到保护功能，由于此时线路两侧的保护可能以不同的实现动作于跳闸，保护1侧断路器断开后，不会造成非同期合闸，因此，保护5采用检定同步的重合闸。当S1发生瞬时性故障时，那么重合闸动作启动后会恢复供电；当发生永久性故障时，则由保护2或保护1的配合，选择性地将故障切除。S1区域由方向纵联保护和过电流保护配合使用；S2与原配电网结构相同，仍采用原三段式电流保护进行重新整定。

对于没有接入DG的馈线1，仍然按照传统的重合闸前加速保护和重合闸后加速电流保护进行整定。

## 结束语

本文分析了DG接入对配电网的影响，其容量和接入位置都是影响因素。对于DG下游的保护，根据系统容量和DG的容量重新整定；对于DG上游的保护，需加装可靠控件，提高了配电网的安全稳定性。

## 参考文献

- [1] 郑漳芊. 微电网的研究现状及在我国的应用前景[J]. 电网技术, 2008, 32(16): 27-31.
- [2] 刘健, 董新洲, 陈星莺. 配电网故障定位与供电恢复[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.

- [3] Edwin Haesen, Cindy Bastiaensen, Johan Driesen, et al. A probabilistic formulation of load margins in power systems with stochastic generation[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2009, 24(2): 951-958.
- [4] Hansen A D, Jauch C, Sorensen P, et al. Dynamic wind turbine models in power system simulation tool DIGSILENT[J]. Roskilde, Denmark: Riso National Laboratory, 2003.
- [5] 张尧, 钱国基, 吴萍, 等. 非直接接地系统两相接地故障的单端测距[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2001, 29(10): 33-37.
- [6] 刘健, 张志华, 黄炜, 等. 分布式电源接入对配电网故障定位及电压质量的影响分析[J]. 电力建设, 2015, 36(1): 115-121.
- [7] 巨云涛, 吴文传, 张伯明, 等. 分布式电源内阻抗引发前推回代潮流发散的问题[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(34): 6185-6190.
- [8] 靳小龙, 穆云飞, 贾宏杰, 等. 面向最大供电能力提升的配电网主动重构策略[J]. 电工技术学报, 2014, 29(12): 137-147.
- [9] 卞栋, 卫志农, 黄向前, 等. 电力市场中含分布式电源的配电网重构模型[J]. 电力系统保护与控制, 2013(11): 117-123.
- [10] 宫林国, 高亮, 王贺磊. 含分布式电源的配电网保护方案研究[J]. 陕西电力, 2014, 42(1): 32-36.

(收稿日期: 2015-01-10) **EA**

(上接第84页)

算和分析得出，在配电线路较长时就应注意校验线路开关保护灵敏性。若不满足灵敏性要求，应采取适当的措施提高保护的灵敏度。开关的动作灵敏性必须符合要求，特别是在火灾爆炸危险场所，潮湿、高温和多灰尘等环境，应给予特别重视。

配电线路过长不仅需要校验单相接地的灵敏度，还需考虑线路电压损失。尤其在多级配电情况下，电压损失条件趋强，而灵敏度条件趋弱。因此，在设计过程中，配电线路较长时，要注意

校验灵敏度及计算电压损失。

## 参考文献

- [1] 王厚余. 建筑物电气装置500问[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [2] 中国航空工业规划设计研究院. 工业与民用配电设计手册[M]. 3版. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [3] GB 50054—2011 低压配电设计规范[S].

(收稿日期: 2015-04-28) **EA**