

剩余电流测量在排查路灯漏电隐患中的应用

路灯是指给道路提供照明功能的一种用电设备，其特点是分布广、灯杆基本使用钢铁材料，灯杆顶部的灯具、灯杆内的电缆线都带电，由于路灯杆较多分布于人行道或绿化带，灯杆与人很容易接触到，因此，当漏电发生时，很容易引起人体触电的事故。近年来，随着城市规模的不断扩大，城市人口与日俱增，城市照明范围也随着日益扩大，市民也对城市照明提出了更高的要求。在这个背景下，路灯设施的数量和密度在不断增加，这也给城市照明设施的管理增加了难度，而时有发生的路灯漏电伤人事件，也给城市照明设施的管理者提出了一个难题：如何做到既能保证照明的效果，又能把安全隐患消除。本文将主要探讨漏电现象的原理、如何快速排查隐患并分享实际工作中的一些经验。

1 漏电原因分析

路灯设施漏电分为“灯杆带电”和“电缆漏电”，这两类现象产生的场景有以下几种：

- 1) 路灯杆内电缆绝缘损坏导致电线与灯杆接触，使灯杆带电。
- 2) 灯头漏电。照明灯头虽然设计有防水功能。但绝缘发生变化或者线路被雷击后。灯头存在漏电的可能。
- 3) 路面积水侵入灯杆内部导致漏电。城市内涝时，路灯杆若淹没于水中，水位超过灯门高度，接线头防水措施不足会导致漏电。
- 4) 电缆绝缘变化。路灯供电线路比较长，有的线路可能长达数公里，并且都埋于地下，时间久了会受侵蚀发生绝缘变化，或受外力影响导致电缆皮破损，电缆绝缘降低就可能发生漏电。在电路分析中，以上漏电现象多为单相接地故障，《低压配电设计规范》(GB/T 50054—2011)第5.2.9条规定“TN系统中配电线路的间接接触防护电器切断故障回路的时间，应符合下列规定：配电线路或仅供给固定式电气设备用电的末端线路，不宜大于5s”，假设某一段路灯线路长1 km，采用VV-1kV 4×2.5mm²+1×1.6mm²电缆，当线路末端发生单相金属性接地故障时，故障电流 $I_d = 122.3$ A，对于常用的额定电流为63 A的断路器。很难在5 s内切断电路，如果发生单相非金属性接地故障，现有的断路器更可能是根本无法切断故障回路[1]。单相接地故障中，故障点电压会下降，另外两相电压会升高，但是由于LED路灯电源大多数是宽范围设计，电压低至90 V也可以正常工作，因此无法通过肉眼观察亮灯情况来发现故障，路灯线路由于电缆与大地接触，且距离很长。电缆的对地分布电容所产生的漏电容容易超过一般漏电保护器的整定范围，导致无法合闸，常规的漏电保护器也无法加装。因此，在实际的维护管理中，我们需要增加人工排查故障的方式，提高线路的安全性。单相接地故障发生时，保护导体(PE)线内会流过漏电电流，我们可以通过测量出漏电电流来排查出故障回路[2]。一段路灯线路长1 km，采用VV-1kV 4×2.5mm²+1×1.6mm²电缆，当线路末端发生单相金属性接地故障时，故障电流 $I_d = 122.3$ A，对于常用的额定电流为63 A的断路器，很难在5 s内切断电路，如果发生单相非金属性接地故障。

现有的断路器更可能是根本无法切断故障回路[1]，单相接地故障中，故障点电压会下降，另外两相电压会升高，但是由于LED路灯电源大多数是宽范围设计，电压低至90 V也可以正常工作。因此无法通过肉眼观察亮灯情况来发现故障，路灯线路由于电缆与大地接触，且距离很长，电缆的对地分布电容所产生的漏电容容易超过一般漏电保护器的整定范围。导致无法合闸，常规的漏电保护器也无法加装。因此，在实际的维护管理中，我们需要增加人工排查故障的方式，提高线路的安全性，单相接地故障发生时，保护导体(PE)线内会流过漏电电流，我们可以通过测量出漏电电流来排查出故障回路[2]。

2 不同类型电流产生的原理

2.1 不平衡电流产生的原理

三相五线制中时，任何一相总的单相负荷都有两个回路，一是和零线组成220 V回路，二是和另一相串联构成380 V回路，当三相平衡的时候，电源相间的线电压与每一相回路的相电压之间会形成一个和谐的回路，而此时零线上是没有电流的。当负荷不平衡的时候，串联在线电压之间的两相负荷就不一样大了，而由于串联电路中电流相等，于是负荷大的一相多余的电流就从零线流走了，这个电流就是不平衡电流[3]。

如图1所示假设L1相接了一个灯L2相接了两个灯，L3相接了三个灯，L1相的一个灯通过零线和L2相两个灯串联接于L1L2线电压，L1相的一个灯也通过零线和L3相三个灯串联接于L1L3线电压。此时系统处于不对称状态，三相不平衡，在线电压与L1相L2相共三个灯的回路中。电流处处相等，而L1相和L2相各自回路的负

载电流却不等，而系统之所以还可以运行，是因为 L 1 L 2 相多余负荷的电流从零线走了，因此，此时的 N 线是带电的。

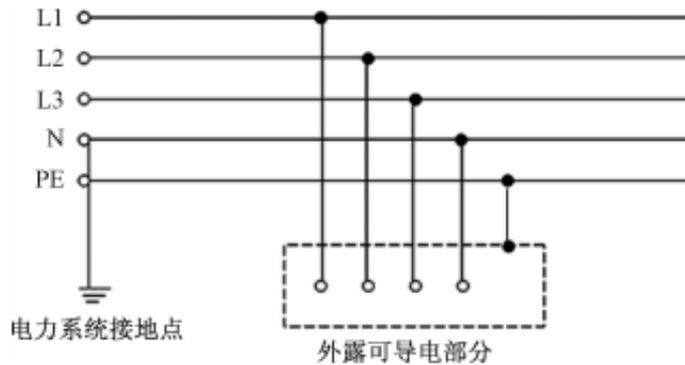


图 1 三相五线制原理图

Fig 1 Schematic of three-phase-five-wire system

2.2 零序电流产生的原理

三相系统的电压、电流都可以分解为正序、负序和零序分量，在三相平衡且无故障发生时，系统处于对称运行状态，没有负序零序分量，只有正序分量，若出现了负序或零序分量，则说明系统存在问题[4]。单相接地故障会产生零序电流，假设三相平衡，当电路中发生触电或漏电故障时，回路中有漏电电流流过，这时三相电流相量和不等于零，其相量和为 $I_a + I_b + I_c = I_0$ (I_0 即零序电流)[5]。虽说单相接地故障会产生零序电压和零序电流，但是，在实际工作中我们发现，由于路灯低压设施数量庞大、线路长、接线不规范等诸多问题，导致在实际运行中。三相不平衡的情况较为常见，线路中经常有不平衡电流，因此我们难以通过直接测量零序电流的方式去排查单相接地故障。

2.3 漏电电流产生的原理

法快速检测线路中的剩余电流，既然如此，我们就可以通过测量剩余电流的方式快速方便地排查出单相接地故障，剩余电流保护的原理，是让三相线路及中性线共同穿过一个 CT (电流互感器)，如下图，三相线路与中性线的电流矢量和为 $I_A + I_B + I_C + I_N$ ，当线路正常没有发生单相接地故障时，此电流矢量和为 0 (忽略正常泄露电流)。当发生单相接地故障时，PE 线会流过接地故障电流 I_D ，则电流矢量和为 $I_A + I_B + I_C + I_N = I_D$ [6]，

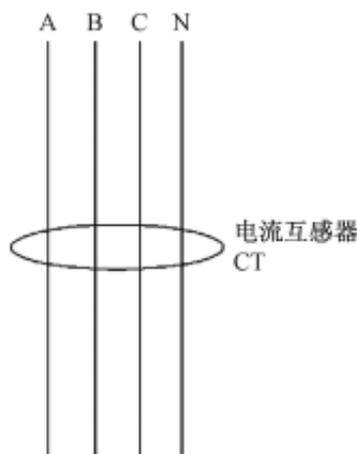


图 2 剩余电流保护器原理图

Fig 2 Schematic of residual current device (RCD)

3 漏电电流的检测

在实际操作时，我们在路灯箱变的低压出线端。任选一个回路，用钳形表把 A 相、B 相、C 相和零线用钳形表同时钳住，此时测得的电流数值就是 $I_A + I_B + I_C + I_N$ ，而这个数也等于 I_D 。也就是故障电流(漏电电流)，在这个过程中，不对称分量被抵消。因此测得的剩余电流，由单相接地故障所产生的漏电电流，图 3 是现场操作的图片。



图 3 现场操作图

Fig. 3 Field operation

4 实际应用

我们用这个方法对 133 台箱变进行了剩余电流的检测，表 1 和表 2 是部分测量数据，其中 N1~N10 代表回路编号。表 1 中，有一台箱变 NS3-100 的 N5 回路的数值达到了 20.2 A，明显超出正常范围。经过排查后，我们在—处灯杆内找到了故障原因，如图 4 所示，该灯杆灯门内的接线端，被外力拉入至底下的灯盘位置，我们猜测，可能是台风“山竹”袭来时，倒伏树木牵扯了路灯电缆，导致接线端被拉到低位，而该灯杆内低位非常潮湿，导致接线头绝缘老化加速，潮湿的环境使线头产生放电现象。使灯杆带上漏电压，其电压达到了 103 V，由于只是其中一相的绝缘老化，击穿空气通过灯杆与大地连接，产生的漏电流只有十几安培，空气开关无法跳闸，导致此灯杆可以“带病工作”，且能正常亮

灯。常规巡查难以发现故障，表 2 中，也有一台箱变 NS3-125 的 N2 回路数值明显较大，达到了 23 A，我们对该回路进行排查后，找到了故障点，故障点也在—处灯杆内。该灯杆的灯门内电缆接线头绝缘胶布烧断，导致电缆头散开，电缆头与灯杆金属表面直接接触，造成了单相接地故障。表 1 和表 2 中除两个故障回路外，其余大部分回路测得的数值相对较低，由于路灯线路长，且每个回路的总长度差异较大，电缆对地的分布电容也会产生些许的漏电流，因此并不是说测出了剩余电流数值，就说明回路存在故障。正常的线路也可能被检测出轻微的剩余电流。在这个基础上，我们暂时无法给出一个精确的安全数值，只能在维护作业时，从数值*大的回路开始逐个排查。

表 1 部分测量数据

Table 1 Partial measurement data

A

箱变	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10
NS3-81	0.26	0.07	0.24	0.66	0.29	0.43	—	1.59	—	1.62
NS3-100	—	0.28	—	—	20.2	0.11	0.08	0.07	—	—
NS3-101	0.03	0.06	0.02	0.28	—	0.51	—	0.35	—	0.27
NS3-102	0.26	—	0.15	0.03	0.28	—	0.08	—	0.1	—
NS3-109	0.09	0.08	0.12	0.16	—	—	—	—	—	—
NS3-124	—	4.5	1.94	0.14	1.7	0.8	—	—	0.11	—

表 2 部分测量数据

Table 2 Partial measurement data

A

箱变	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10
NS3-81	0.26	0.07	0.24	0.66	0.29	0.43	—	1.59	—	1.62
NS3-106	—	—	—	—	1	0.28	—	—	—	—
NS3-103	0.51	—	—	0.28	—	0.71	—	0.15	—	—
NS3-097	0.9	0.6	3.9	1.6	0.5	—	—	—	—	—
NS3-125	0.1	23	0.7	0.7	0.3	—	—	—	—	—
NS3-026	—	—	—	—	—	0.07	0.03	—	0.03	—



图 4 故障点

Fig. 4 Fault point

5安科瑞ASJ系列产品介绍

安科瑞ASJ系列剩余电流动作继电器和多回路剩余电流监测仪可与低压断路器或低压接触器等组成组合式剩余电流保护装置，主要适用于交流50Hz，额定电压400V及以下的TT和TN系统配电线路，用来对电气线路进行接地故障保护，防止接地故障电流引起的设备损坏和电气火灾事故，也可用来对人身触电危险提供间接接触保护。

ASJ10/20系列剩余电流动作继电器



原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/news/204843.html>