

技术理论

# 10kV 以下埋地电缆单相短路故障点的定位及探测

张林易 石琦 叶超 袁郭竣 潘琳斌 徐少华 陈玲君

(网浙江省电力有限公司宁波分公司 宁波泰丰源电气有限公司 绍兴职业技术学院 315000 315327 312000)

摘要：随着国家电力设备大量使用和普及，工业农业生产和人民生活消费增长，对电力的需求越来越大，电网的安全要求越来越高。作为电气设备的连接，输电和配电的电力电缆，它的安全、维护少，稳定性高，尤为重要。但是目前，电力电缆所产生的故障在所有供电故障中占了相当大的比重。电缆无论在敷设前、敷设后还是全部施工完乃至长期运行后都会出现故障，因此能够及时、准确地测寻到故障点的位置非常必要。本文就 10KV 以下埋地电缆单相短路故障点的测寻方法（音频感应法）和探测点进行深入探讨。

关键词：埋地电缆；单相短路；音频感应

## 前言

在电力电缆长期运行过程中，故障是不可避免的。电力电缆线路大多数设在电缆沟内或深埋地下，发生故障后，除特殊情况下可直接观察到故障点外，一般来说采用巡视和常规的预防性试验方法进行诊断都难以奏效，导致电力电缆的运维和检修变得十分困难，一旦发生故障就会对人们日常生活造成巨大影响。埋地电缆的运行质量及在故障情况下电缆的故障定位及探测技术已经成为电力系统运行的一项重要技术。

埋地电缆在敷设前和敷设施工完毕后，都需要对其进行试验，保证埋地电缆正常。但是，电缆长时间运行后，由于电缆质量、老化变质、机械损伤、安装工艺等因素，电力电缆经常会发生故障。因此，快速地查找电缆故障，缩短故障停电时间，是国内外科研技术人员和供电部门运行人员继续深入研究的课题。

电缆发生故障的形式有一相接地、两相接地、断线等。实际测试中为了方便选择测试方法，可将电缆故障性质分为四大类，即开路、低阻、高阻、闪络故障。本文探讨研究的是单相短路，即低阻状态。首先针对于单相短路故障，我们预定位采用低压脉冲反射法测试。

### 1 10kV 以下埋地电缆单相短路故障的路径确定

目前，路径确定主要采用基于行波反射技术的低压脉冲反射法。通过观察反射脉冲与发射脉冲之间的时间差来测量故障点距离。具体做法就是在故障电缆的芯线上加一低压脉冲信号，当信号碰到故障点时就会产生一个反射脉冲信号，利用数字示波器或手提笔记本电脑虚拟示波器等测出两个脉冲信号之间的时间差和波速，从而来计算故障点位置。同时还能根据反射脉冲的极性来确定故障类型，正极性脉冲表明是开路故障，负极性脉冲则代表是短路接地故障。假设时间差为  $\Delta t$ ，电缆长度为  $L$ ，行波速度为  $r$ ，故障点到发射点的距离为  $P$ ，则见公式1-1。

$$P = L - \frac{1}{2} \Delta t \times r \quad (\text{式1-1})$$

低压脉冲反射法进行预定位优点是简单、直观，不需要详细的电缆原始资料，还可以根据反射脉冲的极性分辨故障类型。

预定位理论上相对误差一般为  $\pm 0.1\%$  或  $\pm 0.2\%$ ，也就是每公里电缆测量结果与实际故障点位置误差为 1 m 或 2 m。但是在实际进行电缆故障预定位时经常出现误差过大，甚至相差几十米，原因有以下几点：（1）仪器测量的距离是电缆的长度，实际的故障点是地面的距离；（2）电缆波形不精确，设置的数值与实际数值误差过大；（3）电缆图纸和资料中记录的参照物距离不准确；（4）电缆始端和接头处的预留或打盘；（5）电缆拐弯和弯曲敷设；（6）被测电缆很长时，误差相应变大；（7）仪器应用不熟悉，操作者对故障点波形判断失误。

### 2 音频感应法精准定位短路故障点

在测量出故障电缆的故障距离和路径后，就可以根据路径和距离找到故障点的大概位置。但由于很难精确知道电缆线路铺设时预留的长度和电缆不可能笔直敷设等原因，使得根据路径和距离找到的故障点位置离实际故障点的位置可能还有一定的偏差，为了精确地找到这个位置，还需要利用音频感应法精确定位短路故障点。

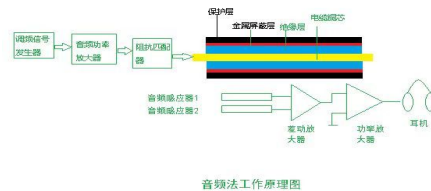


图1音频法工作原理图

音频感应法主要用于探测故障电阻小于  $10\Omega$  的低阻故障。探测时用 1kHz 的音频信号发生器向故障电缆通入音频信号电流  $I$ ，由于电磁耦合的作用，在大地中会产生感应电流，从而形成地面磁场，因此在地面上用探头沿

待测电缆路径接收电缆发出的电磁波信号，并将接收到的音频信号送入音频功率放大器放大，通过阻抗匹配器再将放大后的信号送入耳机。根据耳机中声响的强弱或仪表值的大小定出故障点的位置。在故障点，耳机中音频信号声响最强。当探头从故障点前移1~2m时，音频信号逐渐降低，直至中断，则音频信号最强处为故障点。

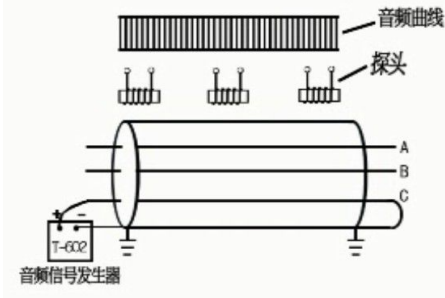


图2音频法接线图

其接线方法如图2所示。把音频电流信号夹在相和钢铠之间，在电缆的对端把相和钢铠短接起来，钢铠两端接地。测试时，把音频信号发生器加在故障相和钢铠之间，在电缆的对端，故障相和钢铠之间不需要短接。并把对端钢铠接地线解开，此时在故障点之前，电缆路径的上方仪器接收到的音频信号的幅值大小基本相等。到了故障点的上方，音频信号会突然明显增强，越过故障点后声音信号会明显减弱。并且有可能减弱到声音信号听不到的程度，那么用耳机沿着电缆路径听音频信号的大小，在听到的音频信号突然变大的同时，探头所在的位置，就是故障点的位置。

3. 测试数据分析

测试时，以埋地下0.5米深的电缆为例，通过音频信号在750Hz~2kHz之间。记录数据如表1-1所示：

表1-1 测试数据

	离故障点水平距离前 0.3米	离故障点水平距离后 0.3米	离故障点水平距离前 0.8米	离故障点水平距离后 0.8米
500Hz	-12.44dB	-14.97 dB	-21.88 dB	-24.80 dB
1000Hz	-15.20 dB	-15.16 dB	-19.54 dB	-27.37 dB
1500Hz	-15.02 dB	-17.83 dB	-17.83 dB	-28.30 dB
2000Hz	-12.71 dB	-14.15 dB	-19.91 dB	-29.00 dB
2500Hz	-16.71 dB	-21.29 dB	-26.34 dB	-32.36 dB
3000Hz	-14.00 dB	-15.61 dB	-19.87 dB	-27.21 dB

从表中可以看到音频频率变化在垂直距离没有影响。下面以离故障点水平距离前0.3米为例，其中频率为500Hz，如下图3所示，频率为2000Hz，如图4所示，频率为3000Hz，如图5所示。用音频电流感应法探测，测寻到的故障点位置，其绝对误差能控制在0.3~0.8米范围内。效果非常好。

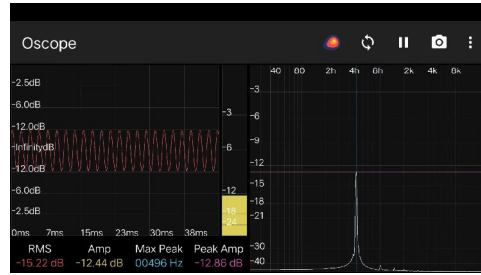


图 3500Hz 离故障点水平距离前 0.3 米



图 42000Hz 离故障点水平距离前 0.3 米

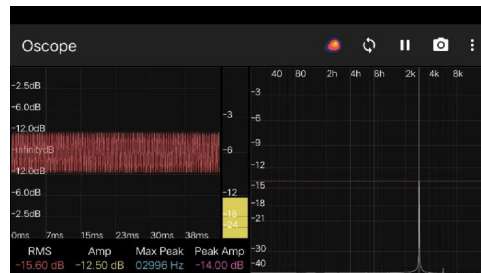


图 53000Hz 离故障点水平距离前 0.3 米

结论

为了有效提高电力部门的检修效率，针对多样化的故障问题，需要采用科学合理的试验方法与检测技术，在第一时间消除故障对电力系统的影响。首先利用低压脉冲反射法进行预定位，可以使测试人员快速得到故障点与发射点之间的物理距离，找出一个大概的范围；然后基于音频感应法探测，精准定点，其绝对误差能控制在范围内。测试证明，对于探测10KV以下埋地电缆单相短路故障点非常精准，对于减少供电损失，提高电网运行效率是非常有效的。

参考文献：

[1]胡迪.电力电缆的故障原因与应对措施分析[J].集成电路应用,2021,38(4):122-123.  
 [2]罗祥,欧进永,刘奇.电力电缆的运行维护与故障分析[J].电工技术,2021(9):90-93.  
 [3]白晓斌,王亮,杨军,等.电力电缆故障精确定点检测系统设计[J].电线电缆,2021(3):32-34.  
 [4]王瑶瑶,姚周飞,谢伟,等.基于时频域反射法的高温超导电缆故障定位研究[J].中国电机工程学报,2021,41(5):1540-1547.  
 [5]王昱皓,周凯,汪先进,等.基于改进时频域反射法的电力电缆局部缺陷定位[J].中国电机工程学报,2021,41(7):1-10.