

[接地]

# 应用接地投切和消弧装置切除6 kV系统接地故障

文/兰州石化公司电仪事业部 王金茂 张飞岳 刘晓文

针对现在单相不接地6 kV系统发生单相电弧接地故障时，投切装置接入准确率低和不能有效熄灭电弧的问题，介绍了一种新型接线投切消弧装置在工厂供电系统中的应用，以满足系统发生接地故障时，有效灭弧和迅速切除故障线路的需求，以此降低6 kV系统接地故障的危害。

中性点不接地系统发生单相电弧接地故障会对供电系统和用电设备造成巨大危害。对于中性点不接地的工厂供电系统，由于大量使用了电力电缆和带绝缘防护的用电设备，6 kV系统接地故障主要表现为单相电弧接地，这就要求在发生单相电弧接地故障时，必须及时消除电弧并迅速准确地切除故障线路。但现在普遍存在单相不接地系统发生单相电弧接地故障时，投切准确率低和电弧不能有效熄灭等问题。为降低单相不接地6 kV系统发生接地故障时的危害，现以某厂实际应用为例，介绍一种基于配合方式的接地投切消弧装置在工厂供电系统中的应用。

## 单相电弧接地的危害

当中性点不接地系统发生单相电弧接地时，由于不稳定的间歇性电弧多次不断地熄灭和重燃，在故障相和非故障相的电感电容回路上会引起高频谐振过电压，非故障相的过电压幅值一般可达到3.5倍相电压。这种时断时续产生的且幅值较高的过电压，会对电力系统的设备造成极大危害。在工厂供电系统中，具有固体绝缘的电缆线路很多，这种电缆的绝缘损伤后不可恢复。在发生单相电弧接地故障时，由于多次的熄弧、燃弧，非故障相的电缆绝缘不可避免地会受到多

次过电压损伤，在绝缘损伤后不可恢复时，绝缘损伤积累效应突出，容易在非故障相的绝缘薄弱环节造成对地击穿，进而发展为相间短路事故。燃弧时会产生大量的热量，一般情况下，在熄弧后会很快地再次燃弧，使接地点热量不断积累，造成接地点附近温度急剧升高。在工厂中，主要使用带固体绝缘的用电设备。固体绝缘的绝缘性能受高温影响，温度越高，绝缘性能越差。因此，在中性点不接地系统发生单相电弧接地故障时，易造成接地点附近用电设备的绝缘损伤甚至损坏，使事故扩大。电弧接地过电压的能量由电源提供，持续时间较长，当过电压超过避雷器所能承受的能量时，会造成避雷器的爆炸事故。同时，强烈的电弧使电压互感器饱和，容易激发铁磁谐振，导致电压互感器爆炸。

## 接地投切和接地消弧装置工作原理

接地投切消弧装置主要由消弧装置和接地投切装置两部分组成。消弧装置安装于主变压器6 kV母线侧，接地投切装置根据需要接入与消弧装置同级的6 kV系统或下级6 kV系统的用电回路。当系统发生接地故障时，接地投切装置和消弧装置相互配合，达到迅速准确投切和短时消除电弧的目的。

### 1. 接地投切装置工作原理

接地投切装置通过计算比较现有零序电流互感器（CT）选取的两个阶段中零序电流的增量来判断故障线路，计算比较后选取零序电流增量最大的线路为故障线路。当系统发生接地故障时，零序电压触发投切装置进入采集状态采集各回路零序电流，并根据获取的零序电流数据进行第一阶段的运算。同时，消弧装置判断接地故障类型。如果是导线接地故障，消弧装置不动作；如果是电弧接地故障，消弧装置把电弧接地强行变为导线接地。此时，接地投切装置再进入采集状态采集各回路零序电流，并根据本次数据进行第二阶段的运算结果。根据两个阶段的运算，接地投切装置可判断出故障线路。例如，接地投切装置接入四条回路。第二条回路发生接地时，接地投切装置第一阶段采集到的零序电流数据依次为5 A、-17 A、7 A和5 A。如果接地故障为导线接地，投切装置第二阶段采集到的数据为5 A、-17 A、7 A和5 A，故障线路电流与非故障线路电流方向相反且数值相差较大，装置可直接判断为第二条线路故障；如果故障为电弧接地，投切装置第二阶段采集到的数据为5 A、6 A、7 A和5 A，此时四条回路零序电流与第一阶段的数据相比较，可计算出两个阶段的增量，分别为0 A、23 A、0 A和0 A，第二回路的增量最大，装置同样可判断选择第二条线路故障。

### 2. 接地消弧装置工作原理

供电系统发生电弧接地时，如果把故障相变成导线接地，故障相的对地电压降为零，并将电弧电流减少到零，原故障点的电弧必然熄灭，从而避免电弧的产生，而其他两相的对地电压将会被限制在线电压的数值上。新型消弧装置可以把故障相由电弧接地快速切换为导线接地。这种装置消弧和过电压保护的机理与供电系统的单相接地电容电流大小无关，因而其保护性能不受供电系统运行方式的改变和供电系统扩大的影响。新型消弧装置由快速真空断路器、电压互感器（PT）、电流互感器（CT）、组合式过电压限制器和智能控制器组成。

消弧装置通过智能控制器对电压互感器采集的系统三相电压和不平衡电压进行分析，判断系统是否发生接地故障，并鉴别接地故障的类型和系统故障相。若智能控制器判断系统发生单相电

弧接地故障，则发出闭合故障相快速真空断路器的指令；否则，快速真空断路器不动作。同时，智能控制器通过故障相的电流互感器监测故障相电流，若监测到的故障相电流达到或超过过电流设定值，已合闸的快速真空断路器将立即分闸，并且智能控制器发出指令闭锁消弧装置内的所有快速真空断路器，禁止任意相的快速真空断路器合闸。组合式过电压保护器，能在后续保护装置动作前，对系统出现的高幅值电弧接地起始的暂态过电压进行有效的限制，是消弧装置中限制各类过电压的第一器件，主要用来限制雷电过电压和操作过电压，对相间和相对地的过电压均能起到有效的钳制作用。快速真空断路器不同于普通机构联动式断路器，其真空开关管通过绝缘子与操动机构相连，操动机构采用先进的永磁保持、双线圈双稳直动式机构，具有分、合闸速度快（合闸固有时间为10 ms左右，分闸固有时间为6 ms左右）。快速真空断路器结构如下图所示。

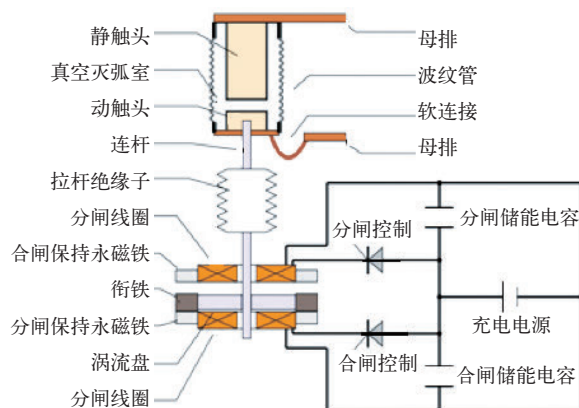


图 快速真空断路器结构

系统发生单相电弧接地故障时，消弧装置应在20 ms内完成系统故障相判别，以及将电弧接地切换为导线接地。间歇性电弧接地引起的电弧一般发生在一个周波（工频为20 ms）之后，而该消弧装置在一个周波内将间歇性电弧接地切换为金属性接地，并将故障点强行转至消弧装置，流过原故障点的工频电弧电流和高频电弧电流消失，电弧随之被熄灭，原故障点的对地电压将维持在电气设备绝缘可承受的电压范围内，电弧不再重燃，可有效避免电弧对电气设备绝缘的损坏。

### 模拟试验

接地投切消弧装置在模拟试验中能正确投切

和可靠动作。试验结果如下。

1. 接地投切装置投切试验

接地投切装置投切试验如表1所示。

表1 接地投切装置投切试验

| 序号 | 线路编号   | 零序CT电流比 | 试验一次电流/A | 试验二次电流/A | 试验不平衡二次电压/V | 投切起动作值                 | 投切结果         |
|----|--------|---------|----------|----------|-------------|------------------------|--------------|
| 1  | 6101、0 | 60:1    | 1.4      | 0.023    | 31          | 二次电流0.03 A；二次不平衡电压30 V | 线路6102、0接地故障 |
| 2  | 6102、0 | 60:1    | 1.9      | 0.032    | 31          |                        |              |
| 3  | 6103、0 | 60:1    | 1.2      | 0.02     | 31          |                        |              |
| 4  | 6104、0 | 60:1    | 1.5      | 0.025    | 31          |                        |              |

2. 消弧装置试验

消弧装置试验如表2所示。

表2 消弧装置试验

单位: V

| 序号 | 试验功能             | 设定值                        | 测试值   | 显示     |
|----|------------------|----------------------------|-------|--------|
| 1  | A相PT断线<br>B、C相正常 | A相 $\leq 1\ 800$           | 0     | A相PT断线 |
|    |                  | B相 $\geq 3\ 300 \pm 60$    | 3 300 |        |
|    |                  | C相 $\geq 3\ 300 \pm 60$    | 3 300 |        |
|    |                  | 开口电压 $\geq 2\ 598 \pm 300$ | 2 598 |        |
| 2  | B相PT断线<br>A、C相正常 | A相 $\geq 3\ 300 \pm 60$    | 3 300 | B相PT断线 |
|    |                  | B相 $\leq 1\ 800$           | 0     |        |
|    |                  | C相 $\geq 3\ 300 \pm 60$    | 3 300 |        |
|    |                  | 开口电压 $\geq 2\ 598 \pm 300$ | 2 598 |        |
| 3  | C相PT断线<br>A、B相正常 | A相 $\geq 3\ 300 \pm 60$    | 3 300 | C相PT断线 |
|    |                  | B相 $\geq 3\ 300 \pm 60$    | 3 300 |        |
|    |                  | C相 $\leq 1\ 800$           | 0     |        |
|    |                  | 开口电压 $\geq 2\ 598 \pm 300$ | 2 598 |        |
| 4  | A相接地<br>B、C相正常   | A相 $\leq 900$              | 0     | 合A相开关  |
|    |                  | B相 $\geq 5\ 100 \pm 300$   | 4 800 |        |
|    |                  | C相 $\geq 5\ 100 \pm 300$   | 4 800 |        |
|    |                  | 开口电压 $\geq 2\ 598 \pm 300$ | 2 598 |        |
| 5  | B相接地<br>A、C相正常   | A相 $\geq 5\ 100 \pm 300$   | 4 800 | 合B相开关  |
|    |                  | B相 $\leq 900$              | 0     |        |
|    |                  | C相 $\geq 5\ 100 \pm 300$   | 4 800 |        |
|    |                  | 开口电压 $\geq 2\ 598 \pm 300$ | 2 598 |        |
| 6  | C相接地<br>A、B相正常   | A相 $\geq 5\ 100 \pm 300$   | 4 800 | 合C相开关  |
|    |                  | B相 $\geq 5\ 100 \pm 300$   | 4 800 |        |
|    |                  | C相 $\leq 900$              | 0     |        |
|    |                  | 开口电压 $\geq 2\ 598 \pm 300$ | 2 598 |        |

实际应用

该接地投切消弧装置已应用于某厂110 kV化肥供电系统和110 kV乙烯供电系统，应用前后因单相电弧接地故障引起的事故情况如下：

1) 2016年8月，该装置投用于110 kV化肥厂供电系统。2013年6月，该系统发生过一次电缆单相电弧接地故障，使用消弧线圈补偿及早期投切装置，未能正确投切，未能及时切除故障线路，导致电缆着火，装置停车。2016年9月，该系统发生一次6 kV电动机引线单相电弧接地故障，接地投切装置正确投切，消弧装置正确切入，故障线路在短时间内被消除，未对生产造成影响。

2) 2016年7月，该装置投用于该厂110 kV乙烯供电系统。2011年10月，该系统发生一次电缆单相电弧接地故障，使用消弧线圈补偿及早期投切装置，未能正确投切，未能及时切除故障线路，电弧造成另一回路电缆绝缘薄弱处击穿，造成其他相接地短路，事故扩大，装置停车；2016年9月，该系统发生一次6 kV电动机电缆单相电弧接地故障，接地投切装置准确投切，消弧装置正确动作，及时切除故障线路，未对生产造成影响。

结束语

要有效降低6 kV接地故障的危害，就要求在系统发生接地故障特别是单相电弧接地故障时，能迅速从系统中切除故障线路。新型接地投切消弧装置的成功应用提供了一个新的思路，不再将接地投切装置与消弧装置作为单独的个体看待，而是将其作为一个整体考虑，以满足在发生系统接地故障时，正确投切和及时切除故障线路的需求。EA

(收稿日期：2018.07.13)

(编辑：朱金凤)

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告