

# 浅析小电流接地系统接地故障的判断与处理

石 磊

(泰州市姜堰区供电公司, 江苏 姜堰 225500)

**摘 要:**小电流接地系统单相接地是35kV及以下系统中最常见的故障,单相接地不仅影响了用户的正常供电,而且可能产生过电压,烧坏设备,甚至引起相间短路而扩大事故,其危害性不容忽视。迅速、正确判断故障性质,查找和隔离故障点,从而尽快地缩小停电范围和缩短停电时间,对保证客户的安全用电,提高供电可靠性有很重要的现实意义。本文从阐释10kV配电系统单相接地故障入手,结合单相接地故障类型,对10kV配电线路单相接地故障产生的原因进行了分析,并简要探讨了应对单相接地故障的对策。

**关键词:**小电流接地系统; 接地故障; 分析判断

## 0 引言

在我国 35kV及以下电网大都采用小电流接地方式(包括中性点不直接接地方式和中性点经消弧线圈接地方式)。发生单相接地故障时由于三个线电压仍然对称,流过接地点的电流很小,不影响对负荷连续供电,《电力系统安全规程》规定最长持续运行不超过2个小时。但小接地电流系统在单相接地时,非故障相对地电压会升为线电压,长时间带故障运行在接地点极易产生间歇性弧光,此时非故障相对地电压可能升高到相电压的2.5—3倍,这种过电压对系统的安全威胁很大,可能使其中一相的绝缘薄弱点击穿,引起相间接地短路而扩大事故。因此,迅速确定系统接地点消除单相接地故障对系统的安全运行有着十分重要的意义。

## 1 单相接地故障类型的判别

### 1.1 单条线路单相接地

#### 1.1.1 金属性接地

线路发生金属性接地时,故障相电压为零或接近于零,非故障相电压上升为线电压或接近于线电压。电压继电器动作,发出接地信号。

#### 1.1.2 非金属性接地

线路发生非金属性接地时,故障相的电压降低,非故障相的电压升高,大于相电压但达不到线电压。电压互感器开口三角处的电压达到整定值,电压继电器动作,发出接地信号。

### 1.2 线路断线

#### 1.2.1 线路单相断线

运行中的线路断线或线路上装的熔断器熔断一

相时,分两种情况:一种是断线的线路在供电侧接地,这种情况的查找方法与一般查找接地线路的方法相同;另一种情况是线路断线不接地,这种断线也同样引起电网三相对地电压不平衡,出现电网接地信号,但与线路单相接地的区别是,电网三相对地电压一相升高(断线相,不高于相电压的1.5倍)另两相降低(不低于相电压的0.866倍),配变出现缺相。

#### 1.2.2 线路两相断线

线路发生两相断线或线路上装的熔断器熔断两相时,电网三相对地电容平衡状态被破坏,发生三相对地电压不平衡,变电所出现接地信号,当断线相导线在电源侧接地时,接地相对地电压降低,其它相升高;当断线相导线不接地时,断线相对地电压升高,另一相降低,现象酷似单相接地,但与单线断线的单相接地根本区别是该线路供电的用户全部停电。

### 1.3 两条及以上线路同时接地

#### 1.3.1 两条线同名相接地

两条配电线同名相发生接地时,绝缘监视一相对地电压表指示不平衡,出现接地信号,值班员按规定顺位逐条试拉线路时,应特别注意拉每条线路时母线相电压数据的变化,若全部试拉一遍,三相电压没有变化,说明不是线路有单相接地故障,是变电所内设备接地。若全部试拉一遍三相电压数据有变化时,应考虑有两条配电线同相发生单相接地(含断线)故障。

#### 1.3.2 两条线异名相接地

这种故障多数发生在雷雨、大风、大雪的天气,

主要现象是同一母线供电的两条线同时跳闸或只有一条线跳闸，跳闸时电网有单相接地现象。若两条线都跳闸，电网接地现象消除；若两条线只有一条跳闸时，电网仍有接地现象，但单送其中一条时电网单相接地相别发生改变，这是判断的必要依据。

#### 1.4 配电变压器烧损接地的现象与判断

配电网内某条线路所带配电变压器烧损接地时，配电网表现为单相接地，出现接地警报，并伴随有过电压发生。

##### 1.4.1 配电变压器烧损接地

配电变压器绕组烧损接地现象的特点多表现为C相先接地，对地电压为零或接近于零，经短一段时间后，C相接地消除，C相对地电压又升高到大于相电压的水平，接地相又变为A相，同时不完全接地并随时有过电压产生；值班人员选切带有烧损配变的线路时，配电网单相接地消除。

##### 1.4.2 配电变压器内部金属物脱落接地

配电变压器内部金属物脱落，挤在绕组与外壳之间，因绕组磨损造成单相接地，变电所绝缘监视装置出现接地信号并有过电压，当选切带有此变压器的线路时，电网接地消除；当送出这条线路时，有时也不出现接地，过一段时间又出现接地。若为确定接地线段，将部分配电线倒至另一电源供电时，由于配电网电容电流的改变，接地有时也随之消除，过一段时间又出现接地，这样的接地显然发生得不多，但不易分析、判断。

## 2 单相接地产生的原因

分析姜堰供电公司近年来发生单相接地故障，我们发现单相接地故障发生的原因主要有以下几个方面：

### 2.1 外力破坏

外力破坏主要有公共设施施工等挖坏或压坏地下电缆；吊车碰线放电、汽车撞断电杆将导线断线落地或搭在横担上；农民砍树树木短接线路，农民烧庄稼杆尖及导线。

### 2.2 自然灾害

受天气变化的影响，当台风来临时，发生单相接地和其它故障的机率明显增加，容易导致断线、倒杆、广播线、电视信号线缠绕导线、树木对线路放电；当气温突然下降时容易使导线断线，瓷瓶断裂；雷雨天气时，线路落雷，雷击造成配电变压器高压绕组单相绝缘击穿或接地；雷击造成配电变压

器上的避雷器或熔断器绝缘击穿；雷击造成导线上的分支熔断器绝缘击穿；雷击造成绝缘子击穿等。

### 2.3 设备故障

如导线在绝缘子上绑扎或固定不牢，脱落到横担或地上；配电变压器高压引下线断线；导线上的分支熔断器绝缘击穿；绝缘子击穿等。

### 2.4 线路老化

随着时间的推移，绝缘体老化，绝缘程度降低，机械强度降低导致断裂和绝缘击穿。

### 2.5 设计缺陷

如电源点分布和用电负荷分布不均衡，线路长期过载运行，缩短导线使用寿命，导致线路发热烧断等。

## 3 单相接地故障的处理

### 3.1 判断故障线路的一般方法

#### 3.1.1 按线路的接地保护或接地选线装置的指示

线路单相接地的保护装置有的反应网络的零序电容电流和消弧线圈补偿后的零序电流，有的反应人工有功接地电流，也有的采用接地电流中的高次谐波分量和暂态分量等等，如果经验证明保护装置能够可靠地指出接地线路，则可依靠指示处理，否则应再配合其他方法进行验证。

#### 3.1.2 分割电网法

分割电网就是把已经发生单相接地故障的网络分割为两个或两个以上电气上不连接的网络，以便把故障部分和非故障部分区别开来，将可疑的范围缩小。有时还可采取分割、恢复、从故障部分倒过一条线路再分割的操作以使范围更加缩小。分割电网时应注意下列原则：

1) 分割后各部分网络功率应各自保持平衡，而且消弧线圈补偿合适；

2) 分割后应尽可能保持磁的联系（即经过变压器联系保持在一个系统之内）。

#### 3.1.3 短时间切断线路法

短时间切断线路的方法是将线路暂时停电，观察接地现象是否消失（接地信号、对地电压、消弧线圈声音等）来判断故障线路，然后再迅速将线路投入。

分割电网和短时间停电方法常常是互相配合使用的，这时常按照以下顺序以减少对用户的停电：

1) 停充电线路；

2) 停并列双回线路和环形线路；

3) 切断短时间停电不影响用户供电的系统联络线;

4) 切断影响用户的线路。(还要根据运行人员的经验、用户的重要性以及有人反映等情况来确定先后顺序)

### 3.2 处理单相接地故障的具体步骤

1) 监控系统发出单相接地故障信号后, 当值调控员应沉着冷静, 对系统发出的信号和数据应进行全面的分析: 是单相接地还是压变熔丝熔断, 亦或是谐振过电压引起的虚幻接地等。判断属哪一种情况后, 再进行处理。整个过程都要作好记录。

2) 发生接地时, 如果有人打电话说明发现有地方出现放电、爆响、人员触电或有明显接地现象的时候, 应冷静判断故障发生地点, 人员有危险的时候要立即下令拉路停电, 并通知线路主人赶赴现场, 但应告知对方线路带电, 不得上杆处理, 根据现场情况和调度联系做好安全措施后方可登杆作业。

3) 没有其他情况时, 可采用分割电网法缩小接地故障范围。如将母线分段运行, 并列运行的变压器分列运行。分网时, 应注意分网后各部分的功率平衡、保护配合、电能质量等情况。

4) 采用试拉路找接地的方法, 按照经过批准的拉路顺序, 先拉空充线路、电容器和在充电状态旁路母线的旁路开关, 注意不能拉接地变, 后拉不重要的用户, 最后拉重要用户。对多电源线路, 应采取转移负荷, 改变供电方式来查找接地故障点。

5) 进行试拉寻找故障点, 当拉开某条线路断路器接地现象消失, 便可判断它为故障线路, 同时通知运行人员对故障线路的断路器、隔离开关、穿墙套管、避雷器等设备进行检查。

6) 当逐路查找后仍未找到故障线路, 而接地现象未消失, 可考虑是两条线路同相接地或所内母线设备接地情况。采取逐条线路拉开不合上的方法, 即拉开线路开关后不合上, 直至接地信号消失, 判断出最后一条试拉的线路为接地线路, 然后除接地线路外再逐条送电, 如再次出现接地信号则拉开该线路, 从而最终确定出两条同相接地的线路。

7) 找到接地线路后通知线路运行主人进行带电巡线检查处理, 根据现场需要是否将接地线路转为线路检修状态; 对于重要用户的线路, 可以转移负荷或者通知用户做好准备后停电查找故障点。

8) 在查找故障线路前后都要通知客服中心。

### 3.3 确定故障线路后如何确定故障点位置

目前, 无论是接地选线装置, 还是利用分割电网和短时间切断线路的方法都只能确定故障线路, 而不能确定故障距离, 这就需要工作人员沿线路巡线找到故障位置。由于此时另外两相线路对地电压升高, 影响用户的供电质量, 对设备的损伤很大, 一般要求两小时内隔离故障点。而发生单相接地故障多发生在潮湿、多雨、夜晚天气, 周边环境复杂。这给我们的巡线工作带来了很大的麻烦, 如何在短时间内快速找到故障点, 尽快恢复供电, 结合工作中的实际经验, 有几点方法参考:

#### (1) 沿线查找法

在线路较短, 分支线路及用户较少时宜采用。

#### (2) 重点部位查找法

1) 通知内部接线复杂的大负荷用户或经常出故障的问题用户进行内部检查, 看是否发生了接地故障。

2) 依据线路运行人员的经验, 对易发生故障的地段, 结合有人反映故障发生地进行重点地段的检查。

#### (3) 分段查找法

对于线路较长, 配变较多的线路, 短时间内估计无法找到故障点, 利用线路上的多个分段开关, 通过拉合分段开关缩小查找范围。

#### (4) 联络开关分段排除法

利用拉手线路和分段开关来更进一步确定故障线路的故障区域。此方法的好处是减少用户的损失, 缩短查找故障的时间。

下面举例来说明这种方法 (图 1)。

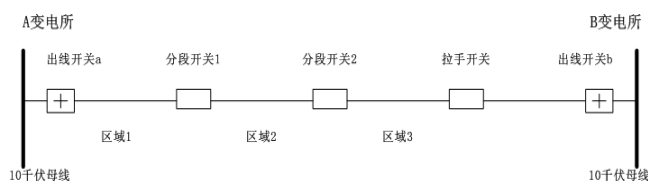


图 1 联络开关分段排除法示意图

如图 1, A 变电所的 a 线路是与 B 变电所的 b 线路拉手的。如果发生 A 变电所母线接地时, 假设 a 线路就是故障线路。

1) 通过合上 10kV a 线路与 b 线路的拉手开关 (合环), 拉开 10kV a 线路出线开关 (解环)。此时 A 变电所 10kV 母线接地现象消失, 而 B 变电所 10kV 母线接地。据此可以判断是 a 线路单相接地。

2) 但如何进一步来缩小故障区域呢? 此时我们可以合上 10kV a 线路出线开关 (合环), 拉开 10kV

a 线路分段开关 1（解环）。再观察 A、B 变电所的母线接地情况，若此时 B 变电所母线接地现象消失，而 A 变电所母线接地，则可以判断故障区域就在区域 1；若此时 B 变电所母线接地现象未消失，而 A 变电所母线正常，就可以判断故障区域在区域 2 和区域 3 上。下面再次用上述方法可以确定具体的故障区域。

在实际操作中由于情况复杂，有可能还有多处故障点，加上现在城市配网中大量应用电缆线，故障点较为隐蔽，这给查线带来了很大的麻烦，往往并不是机械的单一的运用一种查找方法，而是结合实际灵活的运用数种方法。

## 4 单相接地故障的处理的一些设想

### 4.1 小电流接地系统的线路、电容器零序保护应投入发信。

小电流接地系统发生单相接地时靠对地电容构成零序回路，故零序电流很小，一般不会对设备产生危害，所以，目前小电流接地系统中线路或电容器保护一般不投零序保护（虽然微机保护基本上都配置），而这些保护一般没有保护投退的硬压板，投退保护靠控制字控制，零序保护控制字置零，因而连发信也不会。建议给小电流接地系统的线路、电容器保护设置过流、零序投退硬压板，零序保护控制字投入，外部压板退出不跳闸，使其发信。同时，可将这种零序电流值上传至监控系统，根据接地时（包括假接地）接地线路比不接地线路的零序电流大的特点，可以给接地拉路寻找提供辅助依据。

### 4.2 基于OPEN3000系统开发单相接地自动试拉模块的功能

随着姜堰电网调度自动化 OPEN3000 系统的日益完善，实现了数据采集和控制的自动化，系统的可观测性和量测冗余度也大大提高，保证了系统的实用性、准确性和安全性。具备了开发单相接地自动试拉模块所需要的数据和模型基础，通过该模块可以实现自动监视母线电压，当判断母线单相接地时报警；实现自动搜索出该故障母线所关联的开关，并按调控人员预先设定的选择原则及试拉序位生成遥控序列；实现按生成的试拉序列进行开关按序分、合操作；实现在分、合操作过程中快速确定故障线路。

### 4.3 结合配网自动化研制单相接地自动处理系统

结合配电自动化改造项目将柱上开关改造成具有 FTU 功能，可实现智能化采集、通讯和控制的单元，使其可以和配电网控制中心 SCADA 系统的实时光线通讯。FTU 分别采集相应馈线开关的电气量，并将上述信息由光线网络传送至 SCADA 系统。发生故障后，根据 SCADA 接受到的 FTU 采集信息，可由专门的故障处理模块确定出故障区段，最后通过远动遥控操作柱上开关、环网柜等配电自动化开关迅速隔离故障区段，保障非故障线路的可靠供电。同时为确保配电馈线的安全运行，可在站内母线侧中性点投入中高电阻由各间隔断路器自动跳开单相接地故障线路，可作到零误差保障该线路的绝缘安全。

## 5 结束语

当小电流接地系统发生单相接地故障时，要对所发出的信号和数据进行分析，正确判断故障性质，及时排除故障，确保电网安全稳定运行。调控员应熟悉有关运行规程，加强业务知识的学习，提高故障处理的能力，避免故障发展，减少单相接地故障给电网运行带来的不良影响，尽快恢复对用户供电。

### 参考文献：

- [1] 潘尤松.单相接地故障的特征及处理[J].农村电气化,2002(4).
- [2] 泰州市姜堰区供电公司.姜堰电力系统调控规程[Z].2012.
- [3] 国家电网公司.电力安全工作规程[Z].2009.
- [4] 王世祯.电网调度运行技术[M].沈阳：东北大学出版社,1997.
- [5] 龚静.基于FTU的小电流接地系统单相接地故障选线研究及实现[D].长沙：湖南大学，2001.

### 作者简介：

石 磊（1986—），男，江苏，助工，电网调度运行。