



配电网消弧装置应用中相关问题的研讨

郑鹏鹏

(晋江电力公司,福建 晋江 362200)

摘要:分析了几种常用消弧装置对配电网中内部过电压防护的作用和效果;综合考虑了变电站、开闭所接地选线的实现,以及配电网自动化系统中接地故障区段定位等问题;结合现场运行实践,给出了消弧装置应用的指导原则和技术建议。提出了对于电缆化比例较大的配电网,宜选用自动跟踪补偿消弧装置,为了实现可靠接地保护及区段定位,短时加并中值电阻是一种较好的解决方案;延时加并高值电阻方案,也值得进一步研究;建议对于以架空线路为主的配电网,可以考虑选用新型消弧及过电压保护装置,并对该装置加以完善。

关键词:配电网;消弧装置;过电压防护;接地选线与定位

中图分类号: TM 727; TM 864 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-6047(2007)08-0115-04

为了提高配电网的安全可靠性,装设消弧装置作为一项重要的技术措施,越来越被广泛采用。然而,消弧技术还与过电压防护、接地选线与故障区段定位等问题密切相关,在实际应用中,有必要对各种相关技术问题进行综合分析比较与应用探讨。

1 常用消弧装置的特点

1.1 自动跟踪补偿消弧装置(XHQ)

a. 调匝式 XHQ.这种最传统消弧装置的调流方式是通过有载分接开关改变主绕组的匝数来实现。具有结构简单、补偿速度快($10\ \mu\text{s}$)、运行可靠、不产生谐波等优点。主要缺点是受分接开关档位数的限制,调节范围存在一个较高的电流下限(约 $20\% I_N$ 起调),且调档速度较慢。

b. 调容式 XHQ.其调流方式是通过改变消弧线圈二次绕组接入的电容容量和数量来调节消弧线圈的电流。主要优点与调匝式类似,同时调档速度较快,虽也为有级调节,但可调级数多,调节范围宽。主要缺点是调节电容器较易老化、损坏,电容值随运行时间可能有所变化。

c. 相控式 XHQ.实质上是一台高短路阻抗变压器,通过调节二次绕组中 2 个反向并接晶闸管的导通角,改变装置的等值阻抗(短路阻抗),从而实现补偿电流的调流。其主要优点是可在 $0\sim 100\% I_N$ 间连续无级调节、无需阻尼电阻。然而,补偿速度较慢(60 ms 以上)且不够稳定,大功率晶闸管容易出现故障,并会产生谐波。

1.2 消弧及过电压防护装置(XHG)

XHG 装置简称消弧柜,安装在变电站母线上,实质上是一种接地故障转移装置^[1]。通过可分相控制的高压真空接触器 JZ,将发生弧光接地故障相接

地,系统转变成稳定的金属性直接接地,故障点弧光消失。经过 5 s 之后,JZ 断开一次,视弧光重燃与否,决定 JZ 是否再次动作。这种装置能在一定程度上起到消弧及限制弧光接地过电压作用。

2 消弧装置过电压防护效果比较

2.1 间歇电弧接地过电压

现行消弧线圈自动跟踪补偿或自动调谐是在工频(50 Hz)下完成。而在单相间歇性电弧接地时刻,高频振荡过渡过程通过接地故障点的电网电容电流分量和消弧线圈的电感电流分量均是高频的。这两者频率特性相差悬殊,是不可能互相补偿或调谐的^[2]。但因它可使接地电流每次过零点后恢复电压大为减缓,从而有利于接地残流电弧的熄灭,电弧存在的时间大为缩短,所以重燃的次数也就大为减少,从而使得高幅值过电压出现的概率明显减小^[3-4]。从国内外的实测结果看^[5-6],采用传统消弧线圈的谐振接地系统,过电压一般为 2.8 p.u. ;采用自动消弧线圈时,由于提高了调谐精度,一般可将其值降低到约 2.5 p.u. 。

谐振接地系统弧光接地过电压虽然大多不高,但若持续时间过长仍具破坏性。2005 年 10 月 8 日,晋江青阳 110 kV 变电站 10 kV 电容器组油浸式放电线圈内部发生间歇性接地,因每次接地存在时间不足 1 s ,接地补偿及选线成套装置来不及调档判线,使故障持续了 $4\text{ h }39\text{ min}$,导致中性点 XHQ 避雷器(YH₃WZ-10/24)烧毁、放电线圈冒油、套管开裂及油箱变形, $5\,000\text{ kvar}$ 密集型电容器一相电容值降低 18.8% 。

而就消弧柜 XHG 而言,随着电弧能量的积蓄,电弧接地过电压较大值大约发生在接地后 2 个工频周期以后,XHG 的真空接触器 JZ 可在 40 ms 内完成合闸动作,弧光接地随之消失,稳定的过电压只有 $\sqrt{3}$ 倍。而在 JZ 动作之前及断开接地点的过程中出现

的短暂过电压,可由装置中的过电压保护器和电网中其他避雷器联合构成后备保护。

可见,从限制弧光接地过电压的效果方面比较,XHG 装置更具优越性。

2.2 电压互感器(TV)铁磁谐振过电压

对于调匝式及调容式 XHQ,因消弧线圈感抗 X_0 与互感器的励磁感抗 X_L 相比要小得多(相差几个数量级),在零序回路中 X_L 几乎被 X_0 短接,系统三相对地参数基本上取决于消弧线圈感抗, X_L 因饱和引起的三相不平衡,也就不会产生过电压了^[7]。

然而,对于相控式 XHQ,采用随调谐方式,无接地故障发生时,其等值阻抗为高短路阻抗变压器的励磁阻抗,数值极高,通常意义上的消弧线圈消谐机理已不再适用。

对于消弧柜 XHG,虽然自身不具有消谐功能,但因有效地限制弧光接地过电压,从而减少了由此引发铁磁谐振的概率。尤其对于防止长时间的间歇电弧过电压频繁激发谐振,即使装有消谐器也会烧毁 TV^[8],起到了有利的作用。但是,如果电网对地电容较大,当 JZ 断开,接地消失瞬间,可能在 TV 中形成强大的低频饱和电流而使 TV 熔丝熔断,也可使 XHG 无法正常工作。

可见,装设调匝式、调容式 XHQ,可从根本上消除 TV 铁磁谐振;消弧柜能为消谐创造有利条件,但电网对地电容较大时应慎用。

2.3 其他内部过电压

对于配电变压器高压绕组接地谐振、断线谐振等过电压,装设 XHQ 后,只要过补偿运行,便可抑制到对绝缘无害的程度^[5]。然而,XHG 大多情况下难以起到有利作用。

3 接地选线的实现

3.1 变电站接地选线

调容式 XHQ 接地选线,采用残流增量法,即接地发生后,消弧线圈改变一档,各馈线调档前后零序电流改变值最大者,判为故障线路。晋江电网 4 套装置运行 5 年多的实践表明,对于稳定的接地,基本上判线正确,但对于间歇性弧光接地,准确率较低,甚至因每次接地存在时间极短而来不及调档判线,总体选线准确率约 80%~90%^[9]。

相控式 XHQ 采用扰动原理进行选线。其基本原理实质上与残流增量法相似,只是无级调节,可得到更为明显的增量值。

调匝式 XHQ 通常只能采用有功功率法判线,接地线路零序功率中包含有消弧线圈和接地变压器的铜损、铁损及接地点电弧的有功功率损耗等,但该有功分量不大,选线准确率较低。为此,当接地故障发生时,经一定时限延时,短时加并中电阻 R_Z ^[10](通常为 132 Ω),以增大有功电流(约 45 A)。这种做法虽然增加了设备投资,但使选线准确率真正达到 100%、并实现接地保护动作跳闸成为可能,福建电

网近二年多已积累一定的运行经验^{①②}。

对于消弧柜 XHG,采用最大增量法进行选线,即接地发生后,通过计算 JZ 合闸短接前后,各馈线零序电流(带方向)的差值,其增量值最大者判为故障线。晋江内江变电站 2 套装置运行一年半,迄今 21 次接地发生,有 19 次能正确选线(采用 LJWZ 型高精度零序电流互感器)。

3.2 开闭所接地选线

装有消谐装置系统中开闭所的接地选线,采用残流增量法、扰动原理或最大增量法均难以实现。对于使用调匝式及调容式 XHQ 的系统,通常只能采用有功功率法选线,准确率不高。对于使用相控式 XHQ 的系统,由于短路阻抗有功功率损耗很小;而使用消弧柜 XHG 的系统,接地点又被转移到上级变电站母线上,所以后两者选线尤为困难。如果消弧线圈加并 R_Z ,则开闭所中的接地保护问题就可以迎刃而解。

3.3 接地区段定位

配电网自动化系统要求做到接地故障区段定位。接地故障指示器通常整定在零序电流大于 20 A 时动作,系统装设消弧装置后,使接地区段定位更为困难。如果加并 R_Z ,完全接地时能产生约 45 A、持续约 1 s 的零序电流,那么,便可以与配电网自动化系统良好配合。

4 自动跟踪补偿消弧装置的应用

4.1 消弧装置形式的选择

a. 对于所供电的配电网,电缆化比例较大(如城区、工业区等)、可能建设开闭所以及实施配电网自动化等情况的变电站,宜选用调匝式消弧线圈并联中电阻接地选线成套装置。在此,综合了调匝式 XHQ 结构简单、故障率低、技术较成熟和加并 R_Z 易以可靠实现接地保护的优势。

b. 对于高压室内接地故障率较高的老变电站,为了防止 R_Z 投入时较大接地弧光发展成相间短路,同时又无需考虑下级接地选线及区段定位问题,则可考虑选用新型调容式 XHQ 装置,使用晶闸管元件与真空接触器并联控制调节电容器,实现零压投切,且宜采用预调谐方式,避免对电容器造成冲击。

当初期补偿电流和最终补偿电流相差较大时,也可采用调容式消弧线圈带分抽头(可分成 2 大档)再经细调节的办法,同样可以解决合理的级差电流和较宽的调流范围之间的矛盾。

c. 有必要进一步研究采用 XHQ 延时并联高电阻方案^[11],尽可能减小接地故障电流,以防站内事故扩大,同时也有利于遏制弧光接地过电压、消谐和选线。下级接地选线及区段定位要是能以零序电流有

① 福建省电力有限公司生产运行部. 2004 年全省 10kV-35kV 系统消弧线圈运行专题研讨会纪要, 2004.

② 陈金玉. 中压电网中性点接地方式的研究与实践. 泉州电业局生产技术部, 2006.



功分量的特征量作为判据,则也有望同时得以解决。

4.2 XHQ 加并 R_Z 接地与电阻接地方式的比较

a. 采用 XHQ 加并 R_Z 装置,当线路接地发生时,先是 XHQ 电流补偿消弧,只有对于永久性故障, R_Z 才短时投入,接地保护动作跳闸,也可仅选线报警。系统如果采用电阻接地方式,则无论线路何种故障性质都要跳闸,必将增加线路跳闸率。

b. 采用 XHQ 加并 R_Z 装置,接地点故障电流基本上为不大于 45 A 的阻性电流。而电阻接地系统,故障点电流为系统容性电流与阻性电流的相量和,中电阻接地系统一般控制不超过 150 A;若为小电阻接地系统,可达 600~1 000 A。较大的接地电流,对人身、设备及电磁兼容等都是不利的。

4.3 应用 XHQ 注意几个接地选线问题

a. 对于 XHQ 加并 R_Z 装置,为了使接地选线准确率真正达到 100%,必须解决弧光接地的选线问题。间歇性接地比稳定接地危害更大,但准确选线难度较大。为此,当装置判断为间歇接地故障性质,若因每次接地存在时间不足以使 R_Z 及时投入,则可采取提前投入 R_Z 等待接地发生的方法实现故障选线。

b. 当 XHQ 未投入运行期间,成套装置控制器也应具备接地选线功能,可采用零序电流基波幅值比较法判线。

c. 如果馈线微机保护装置具备接地保护动作跳闸功能(采用有功功率法为宜),并能与上述消弧线圈并联中电阻装置可靠配合,则可考虑采用保护装置自带接地保护功能。

5 消弧及过电压保护装置的应用

消弧柜 XHG 作为一种新型过电压防护装置,其功能和可靠性仍有待于进一步提高和完善,然而,理论和实践都证明具有一定的应用价值。它在不改变系统接地方式的情况下,一定程度上能起到消弧及限制弧光接地过电压作用,同时也较好地解决了接地选线问题(尤其弧光接地),而且结构简单,设备投资比消弧装置 XHQ 少得多。

对于所供电的配电网,主要以架空线路为主(如郊区、农村等)、在可预期时期内无计划建设开闭所及配电网自动化等情况的变电站,较适宜装设消弧柜。这种结构的配电网,每段 10 kV 母线电容电流 I_C 一般不超过 30 A,根据运行经验,系统 I_C 在 20~30 A 左右的架空线路极易产生弧光接地,在此恰好可以发挥 XHG 的优势。 I_C 较大时,为避免低频饱和和电流使 TV 熔丝熔断,并从根本上消除 TV 铁磁谐振及抑制其他内部过电压,还是选用消弧线圈为宜。

使用 XHG 时应注意几个问题。

a. 应合理选择真空接触器 JZ 回路熔断器额定电流。为了防止相间短路给系统带来危害,JZ 回路装有快速开断限流熔断器组件 FUR。因其开断时间一般为 1~2 ms,可把故障电流限制在最大短路冲击电流的 1/5 以下^[1],不给系统设备造成冲击。考虑到

JZ 对故障相合闸短接时熔丝不应熔断,在 10 kV 电网 I_C 不超过 30 A 情况下,FUR 熔丝额定电流不宜小于 80 A,同时兼顾短路开断时间,熔丝额定电流也不宜过大。

b. XHG 装置应选用特制抗饱和或消谐型专用 TV,以改善同一系统中 TV 并联后总体等效伏安特性,防止多组 TV 并列运行易以激发谐振。

c. XHG 装置控制器和与之成套的接地选线装置的工作直流电源宜分开。当 XHG 退出运行时,选线装置也应能以零序电流基波幅值比较法进行选线。

d. 对于无人值班变电站,真空接触器应既能就地复位,也可远方复位。

6 结语

配电网中选用消弧装置时,应同时考虑限制弧光接地过电压、消谐及接地选线和故障区段定位的实现等相关问题。对于电缆化比例较大的配电网,宜选用自动跟踪补偿消弧装置。为了使接地选线准确率达到 100%,并实现接地保护动作跳闸,以及若有必要考虑开闭所接地选线及配电网自动化系统中接地区段定位等问题,短时加并中电阻是一种较可取的解决方案。同时,延时加并高电阻方案,也值得进一步研究。对于以架空线路为主的配电网(一般 $I_C < 30$ A),装设消弧过电压保护及接地选线成套装置,是一种可供选择的方案。

参考文献:

- [1] 李延军. 限制弧光接地过电压的新技术[J]. 安徽水利水电职业技术学院学报,2002,2(2):4-7.
LI Yan-jun. A new technology for restrict arc grounding over-voltage[J]. Journal of Anhui Technical College of Water Resources and Hydroelectric Power,2002,2(2):4-7.
- [2] 许颖. 对消弧线圈“消除弧光接地过电压”的异议[J]. 电力设备,2001,2(4):48-50.
XU Ying. To the objection which eliminates a curve turn “the cancellation arc light connect ground to conduct electricity to press”[J]. Electrical Equipment,2001,2(4):48-50.
- [3] 陈维贤. 电网过电压教程[M]. 北京:中国电力出版社,1999.
- [4] 解广润. 电力系统过电压[M]. 北京:水利电力出版社,1985.
- [5] 要焕年,曹梅月. 电力系统谐振接地[M]. 北京:中国电力出版社,2000.
- [6] 李润先. 中压电网系统接地实用技术[M]. 北京:中国电力出版社,2002.
- [7] 方瑜. 配电网过电压[M]. 北京:水利电力出版社,1994.
- [8] 郑鹏鹏. 配电网综合消谐措施的探讨[J]. 电力设备,2005,6(3):53-55.
ZHENG Peng-peng. Discussion on comprehensive resonance elimination measures in distribution network[J]. Electrical Equipment,2005,6(3):53-55.
- [9] 郑鹏鹏. 小电流接地选线的工程实践与技术探讨[J]. 电力自动化设备,2003,23(6):82-84.
ZHENG Peng-peng. Engineering practices and discussion of weak current grounding wire selection[J]. Electric Power Automation Equipment,2003,23(6):82-84.
- [10] 纪鸿彬. 谐振接地系统单相接地故障并联电阻选线的优化[J]. 高电压技术,2006,32(8):124-126.



- Ji Hong - bin. Optimize of earth fault protection by parallel resistance on resonance earth system [J]. High Voltage Engineering, 2006, 32(8): 124 - 126.
- [11] 张圣建, 平绍勋. 高电阻与消弧线圈并联的接地方式[J]. 高压技术, 2006, 32(2): 117 - 118.
- ZHANG Sheng - jian, PING Shao - xun. Grounding method of high resistance paralleled with arc suppression coil[J]. High Voltage Engineering, 2006, 32(2): 117 - 118.
- [12] 徐玉琴, 陈晓科, 江一, 等. 35 kV 配电网消弧线圈并联运行探讨[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(3): 75 - 77.
- XU Yu - qin, CHEN Xiao - ke, JIANG Yi, et al. Optimal control of parallel operating arc - extinction coils in 35 kV

- distribution systems[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23(3): 75 - 77.
- [13] 陈忠仁, 吴维宁, 张勤, 等. 自动调谐式消弧线圈的并联运行方式[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(7): 93 - 95.
- CHEN Zhong - Yen, WU Wei - ning, ZHANG Qin, et al. Parallel operation modes of automatic tuning arc - suppression coils[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(7): 93 - 95.
- (责任编辑: 汪仪珍)

作者简介:

郑鹏鹏(1963-), 男, 福建仙游人, 高级工程师, 从事变电技术管理工作(E-mail: ZPP606@sohu.com)。

On arc suppression device applications in distribution network

ZHENG Peng - peng

(Fujian Jinjiang Power Company, Jinjiang 362200, China)

Abstract: Effects of some arc suppression devices on internal over - voltage protection of distribution network are analyzed. The grounded line selection of substation and switching station and the fault section locating in distribution network automation system are included. Combining with field practices, the application rules and technical advices are presented for arc suppression devices. For the distribution networks with more cable connections, it is better to use the arc suppression devices with automatic compensation. For reliable grounding protection and fault section location, temporary connection of a medium resistance in parallel is a better solution, while delayed connection of a high resistance in parallel is also a solution. For the distribution networks with more overhead lines, new type arc suppression and over - voltage protection devices can be considered, which need further improvements.

Key words: distribution network; arc suppression device; over - voltage protection; grounded line selection and fault locating

广 告 索 引

国电南京自动化股份有限公司 (封面)

国电南京自动化股份有限公司 (封二, 前插 1)

欣灵电气股份有限公司 (前插 2, 3)

硕方科技(北京)有限公司 (前插 4)

南京南瑞集团公司城乡电网自动化分公司
..... (前插 5)

南京浩昇科技有限公司 (前插 6)

南京中德保护控制系统有限公司 (前插 7)

重庆新世纪电气有限公司 (前插 8)

哈尔滨国力电气有限公司 (前插 9)

西安锐驰电器有限公司 (前插 10)

山东力创科技有限公司 (前插 11)

国电南京自动化股份有限公司主设备
保护部 (前插 12, 13)

南京南自电网控制技术有限公司 ... (前插 14)

福州凯(嘉)特电气有限公司 (前插 15)

武汉高德光电有限公司 (前插 16)

成都智达电力自动控制有限公司 (前插 17)

上海置恒电气有限公司 (前插 18)

广东中钰科技有限公司 (前插 19)

河南省日立信电子有限公司 (前插 20)

上海蓝鸟机电有限公司 (前插 21)

万可电子(天津)有限公司 (前插 22)

施瓦哲工程实验(上海)有限公司 (前插 23)

西安市创元电器科技有限责任公司 (前插 24)

合肥阳光电源有限公司 (后插 1)

珠海派诺电子有限公司 (后插 2)

杭州中恒电气股份有限公司 (后插 3)

南京南自电力控制系统工程有限公司 ... (后插 4)

西门子电力自动化有限公司 (封三)

北京博电新力电力系统仪器有限公司 (封底)

深圳市三旺通信技术有限公司 (文前页)

湖北天瑞电子有限公司 (文后 1)

江阴众和电力仪表有限公司 (文后 2)

常州山泰克电子有限公司 (文后 3)

佛山市格凌科技有限公司 (文后 4)

深圳市英微特电子技术有限公司 (文后 4)

南京冠亚电源设备有限公司 (文后 5)

南能杭州科源自动化设备有限公司 (文后 6)

上海兆越通讯技术有限公司 (文后 7)

山西永明自动化设备有限公司 (目次页)