

变电站 10 kV 消弧线圈接地调节方式及故障处理

刘方韡¹, 成兵², 汪晨², 乔向阳²

(1.南京邮电大学,江苏南京 210046;2.芜湖供电公司,安徽芜湖 241027)

摘要:电力系统的中性点接地方式是一个综合性的技术问题,与系统的供电可靠性、人身安全、设备安全、绝缘水平、继电保护及接地装置都有密切关系。介绍了目前电力系统中变电站 10 kV 系统中性点接地方式的种类以及消弧线圈几种调节方式、补偿方式特点,分析了常见的故障类型,并给出相应处理方法,为检修人员的日常运行维护,保障设备的安全可靠运行提供参考。

关键词:消弧线圈;调节方式;故障处理;继电保护

中图分类号:TM864

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2012)03-0060-05

随着电网规模的扩大,变电站 10 kV 出线增多以及电缆的广泛使用,系统发生单相接地引起的电容电流随之增大。新颁标准规定:10 kV 系统(含架空线路)单相接地故障电流大于 10 A 而又需要在接地故障条件下运行时应采用消弧线圈接地方式。因此,在变电站安装消弧线圈能减小故障点的残余电流,抑制间歇性弧光过电压及谐振过电压,对保证系统安全供电起到显著的作用。

1 变电站中性点接地方式的比较

1.1 中性点不接地方式

该中性点接地方式比较经济、简便,在接地电容电流较小的条件下,系统发生单相接地时的接地电弧可以瞬间熄灭,系统可带故障运行 2 h,供电可靠性相对较高,故世界各地不少中压电网仍在采用。不过在许多情况下,中性点不接地仅为一种过渡方式,随着电网的发展,当接地电容电流接近或达到某一临界值(一般为 10 A)时,往往会因间歇电弧接地过电压,接地电弧无法自动熄灭,容易发展成两相短路跳闸,导致事故范围进一步扩大。

1.2 中性点经小电阻接地方式

该方式的优点是:容易检出单相接地故障线路,永久接地时切除速度快,在消除间歇电弧过电压、防止谐振过电压等方面有优势。缺点在于跳闸率高,断路器工作负担重,瞬时性接地也跳闸,易造用户短时停电,供电可靠性不高^[1,2]。另外,短路电流冲击对电缆绝缘造成的损伤较大,对电子通信设备的电磁干扰也比较严重,若故障不能及时跳开,电弧有可能连带烧毁同一电缆沟里的其他相邻电缆,从而扩大事故,造成火灾。

1.3 中性点经消弧线圈接地方式

当发生单相接地时,由于消弧线圈产生的感性

电流补偿了故障点的电容电流,使故障点的残流变小,从而达到自然熄弧,防止事故扩大甚至消除事故的目的。运行经验表明,消弧线圈对抑制间歇性弧光过电压和铁磁谐振过电压,降低线路的事故跳闸率,减少人身伤亡及设备的损坏都有明显的作用^[1]。

综上所述,变电站理想的中性点接地方式是,采用快速动作的消弧线圈作为接地设备,对瞬时性单相接地故障,能快速补偿,正确识别故障消除并迅速退出补偿;对非瞬时性单相接地故障,系统在消弧线圈补偿的同时在很短的时间(远小于 10 s)内能正确判断接地线路,将故障线路切除,从而提高配电网的供电可靠性^[3,4]。

2 消弧线圈调节补偿方式及特点

消弧线圈的调节方式可分为调匝式、调容式、调节短路阻抗式等。从补偿方式上分,有欠补偿、过补偿以及全补偿。其中调节方式又可分为预调式及随调式。预调式的消弧线圈在正常运行时其电感量在最佳补偿值,即在谐振点附近运行,残流和调谐度都控制在允许范围内。随调式自动补偿消弧线圈在正常运行时工作在远离谐振点的位置,这样中性点位移电压很低,不需要串入阻尼电阻器来限制串联谐振引起的位移电压的幅值^[4]。

目前芜湖供电公司管辖的变电站中,采用调匝式消弧线圈较多,约占消弧线圈总数的 57%,调容式占 32%,调节短路阻抗式占 11%。从调节方式上分,消弧线圈采用预调式数量较多,占总数 89%,随调式占 11%。

2.1 消弧线圈调节方式种类及特点

2.1.1 调匝式

调匝式消弧线圈工作原理如图 1 所示。在变电站正常运行时,有载调匝式消弧线圈是一带铁心的电感线圈,设有多档位分接头,通过有载开关调整分

接头的位置,实现改变消弧线圈的电感量。消弧线圈接在变压器或发电机的中性点上,当系统发生单相接地时,消弧线圈提供的感性电流与系统的电容电流相位相反,流过接地点的残流即为电感电流与电容电流的差值。调整电感电流,就可以使接地残流达到最小值,从而消除接地过电压。消弧线圈采用预补偿方式,即在系统发生单相接地前,消弧线圈已处于最佳补偿状态。调匝式消弧线圈装置补偿效果最佳,补偿速度快,无谐波,对瞬时性单相接地故障具有快速补偿能力,减少了系统由瞬时性单相接地故障发展成永久接地故障的几率^[5]。

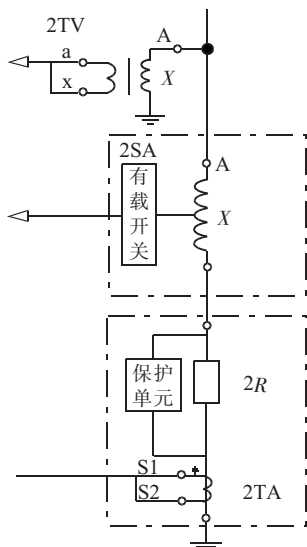


图1 调匝消弧线圈工作原理

一般采用变压器的有载调节机构或真空开关实现分接头的调节,电感值调节范围比较小,输出补偿电流有最小值的限制,只能达到额定值的 $1/2\sim 1/3$,且不能连续无级调节。由于调节分接头的时间较长,只能采用预调的工作方式,为防止电网正常运行的串联谐振,必须加上阻尼电阻。由于设备带有转动和传动机构,因而日常维护工作量较大。

2.1.2 调容式

调容式消弧线圈工作原理如图2所示,主要是在消弧线圈的二次侧并联若干组可控硅(或真空开关)通断的电容器,用来调节二次侧电容的容抗值。根据阻抗折算原理,调节二次侧容抗值,即可以达到改变一次侧电感电流的要求。

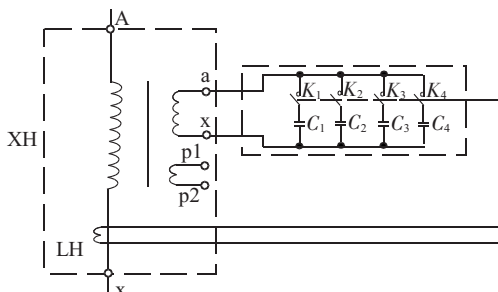


图2 调容式消弧线圈工作原理

电容器组的合理组合可使级差电流做得比较小,输出范围有所增加,调节速度也提高了不少,可以采用随调的控制方式,不用阻尼电阻。但是级差电流越小,开关执行机构的级数和数量就越多,需要综合平衡。特别需要注意的是,在用可控硅投切电容器组的情况下,可控硅的工况比较恶劣,对可控硅的安全运行不利。

2.1.3 高短路阻抗变压器式

高短路阻抗变压器式消弧线圈工作原理如图3所示,把高短路阻抗变压的一次绕组作为工作绕组接入10 kV系统中性点,二次绕组作为控制绕组由2个反向并接的可控硅短路,可控硅的导通角由控制器控制^[6]。调节可控硅的导通角在 $0\sim 180^\circ$ 之间变化,使可控硅的等效阻抗在 ∞ 至 0 之间变化,则输出的补偿电流就可在 0 至额定值之间得到连续无极调节。

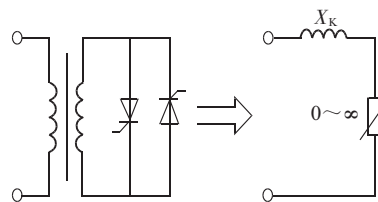


图3 高短路阻抗变压器式消弧线圈工作原理

系统在正常运行时,消弧线圈远离补偿工作点,一旦发生单相接地故障,立即将其调节到补偿工作点;而当接地故障解除时,又立即将其调节到远离补偿工作点。系统正常运行时消弧线圈处于远离与电网电容发生谐振的状态,因此可确保不会发生串联谐振,不需设置阻尼电阻,即随调消弧线圈。该种消弧线圈的优点是响应速度快;接地残流小;伏安特性在 $0\sim 110\%$ 额定电压范围内保持较好的线性度;输出补偿电流在 $0\sim 100\%$ 额定电流范围内可连续无级调节。但是对可控硅的工作状态要求较高,若二次回路发生故障,不能实现随调,有可能导致接地残流过大。

2.1.4 调气隙式

将电感线圈的铁心制成带有气隙的型式,利用气隙长度的改变实现励磁阻抗的改变。一般采用步进电机利用转动、传动机构实现气隙的调节^[7]。该型产品具有与调匝式一样的缺点,而且其装置更为复杂,较易损坏,调节过程噪音较大,调节速度慢。与调匝式不同的是,其输出的电流可以连续无级调节,但仍然有一个最小补偿电流的限制。

2.1.5 直流偏磁式

对电感线圈的铁心注入直流磁通,通过改变直流电流的大小改变铁心的磁饱和程度,从而改变励磁阻抗,直流电流通过可控硅来进行调节^[8]。由于采

用可控硅技术,调节速度大大提高,可以采用随调的控制方式,补偿电流可以连续无级调节。但仍有最小值的限制,且装置比较复杂,谐波要采取特别的措施加以解决。

2.2 消弧线圈补偿方式种类及特点

消弧线圈共有过补、欠补、全补偿3种运行方式,根据有关规程,消弧线圈一般均运行于过补偿方式下。这主要是考虑到当系统切除线路时,不会运行在谐振状态。

2.2.1 欠补偿

指系统电容电流 I_C 大于线圈电感电流 I_L 的运行方式,即 $I_C - I_L > 0$ 。在欠补方式下,显示器的“残流”显示第一位为“+”,表示残流为容性。

2.2.2 过补偿

指系统电容电流 I_C 小于电感电流 I_L 的运行方式,即 $I_C - I_L < 0$ 。过补方式下,显示器“残流”显示符号为“-”,即残流为感性。

在满足 $I_C - I_L < 0, |I_C - I_L| \leq I_d$, 其中 I_d 为级差电流,即在残流为感性、且残流值 \leq 级差电流时,消弧线圈不进行调档操作。当系统对地电容变化,不能满足上述条件时,则消弧线圈自动向上或下调节分头,直至重新满足上述条件。在过补偿方式运行时,接地残流值将不大于级差电流 I_d 。

2.2.3 全补偿

此时,系统的电容电流与消弧线圈补偿的电感电流相等。由于阻尼电阻的作用,系统可以在此方式下运行,但此时中性点电压偏高,故一般不选择此种方式。

目前,实际运行中对于脱谐度一般不作要求。当发生接地故障时,要求系统经过补偿后的接地残余电流不大于 $3 \sim 5$ A。

3 系统对地电容电流测量原理

正常运行中系统零序等值回路如图3所示。

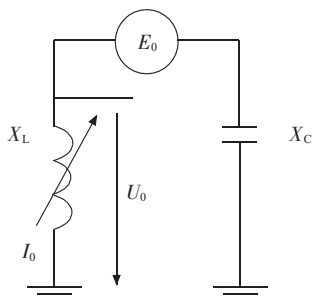


图3 系统零序等值回路

其中 E_0 为系统不平衡电压,该电压是系统的三相对地电容不完全相等形成的固有不平衡电压与接地变压器中性点产生的对地电压的合成值; X_L 为

消弧线圈电抗; X_C 为系统对地电容抗; I_0 为流过消弧线圈的不平衡电流(回路电流)。

由图3可知,消弧线圈与系统对地电容对于系统不平衡电压 E_0 形成串联谐振回路,当系统对地电容固定时,中性点电压 U_0 与消弧线圈电抗的谐振曲线如图4所示。

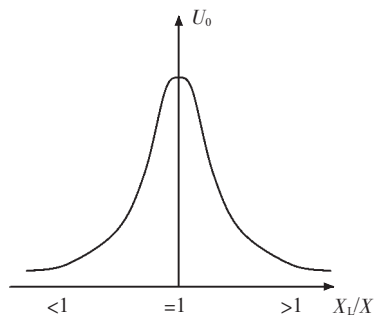


图4 中点电压与消弧线圈电抗的谐振曲线

设消弧线圈处于某一档位,其电抗为 X_{L1} ,根据回路电压定律有:

$$E_0 = I_{01} \times X_{L1} - I_{01} \times X_C \quad (1)$$

改变消弧线圈档位,设改变后的电抗为 X_{L2} ,则:

$$E_0 = I_{02} \times X_{L2} - I_{02} \times X_C \quad (2)$$

系统不平衡电压 E_0 不随消弧线圈的电抗变化而改变,因此有:

$$I_{02} \times X_{L2} - I_{02} \times X_C = I_{01} \times X_{L1} - I_{01} \times X_C \quad (3)$$

所以:

$$X_C = (I_{01} \times X_{L1} - I_{02} \times X_{L2}) / (I_{01} - I_{02}) \quad (4)$$

该计算系统对地电容的方法即为位移电压法。

4 常见的故障原因及处理方法

运行中的消弧线圈设备对系统的安全至关重要。当10 kV系统发生单相接地时,会导致接地点的残留过大,甚至发展成为相间故障,从而使故障范围进一步扩大。因此了解消弧线圈的常见故障及其处理方法,有助于专业检修维护人员快速展开故障抢修,确保设备安全。以下就消弧线圈设备在运行过程中易发生的几种故障及原因、处理方法结合实例进行分析。

4.1 消弧线圈投运/未投运

10 kV系统消弧线圈中性点电流小于设定的门槛值(一般在 $20 \sim 50$ mA)或者中性点一次电压小于 3.5 V。

处理办法。观察中性点电流、电压情况,消弧中性点一次电压大于 3.5 V,自检报投运。检查中性点一次电压是否大于 3.5 V。检查中心点电流门槛值是否被重新整定。

调容式消弧线圈,检查调容箱内电容是否有衰

减情况,同时减小阻尼电阻的阻值。调匝式消弧线圈只需将阻尼电阻的阻值减小即可。

具体案例。芜湖供电公司 220 kV 鸠江变 10 kV 2 号消弧线圈,曾于正常运行过程中,在 1 号接地变 017 开关处于合位状态下,发出“2 号消弧线圈未投入运行”信号。经现场检查,一次设备及二次控制部分,均未发现有明显异常。但是其中性点电流值大约在 0.004~0.009 A 之间波动,此时系统 10 kV 出线约有 12 条在运行,电流明显偏小。

此时调节门槛值也无济于事,因为其最小值为 20 mA。最终停下一次部分,经检查,调容箱内 1 只电容由于达到工作年限发生衰减,导致控制器计算中性点电流不准确,未达到消弧线圈正常运行所需的最小电流值。因此发出“2 号消弧线圈未投入运行”信号。

4.2 消弧线圈调档失败

控制器发出调档命令后,未监测到相应的变档信息。

处理办法。一次设备的监测,调容式消弧线圈监测电容箱内是否有故障,包括电容是否损坏、真空开关是否故障。调匝式消弧线圈监测有载开关是否故障(包括有载电机和航空插头以及档位分接头)。连接设备的监测,执行机构包括继电器以及相关器件是否故障,连线是否接通。

具体案例。芜湖供电公司 110 kV 吉和变,原 1 号消弧线圈为调匝式设备。经常在运行过程中发出“调档失败”信号。调档信号是由其控制部分发出,经检修人员检查,现场控制部分并无异常,所有电压电流计算均符合系统运行实际情况。于是着重检查有载调压开关是否运行正常。经停电后检查发现,有载调压开关的控制电源跳闸,导致调压电机失去工作电源,在控制器发出调档信号后,并未检测到现场实际档位的变化,因此发出“调档失败”信号。

4.3 中性点位移超限

母线 PT 开口三角电压超过 $15\%U_{\text{额}}$ (当中性点电压超过 $15\%U_{\text{额}}$ 时该信号输出,发生接地时该信号有输出)。

处理办法。若发生接地时,该信号输出为正常,无需处理;若未发生接地,则需检查中性点电压为何太高。应当首先查看系统三相负荷有没有因为其他原因造成严重不平衡,当发生单相接地故障时,检查母线互感器一次侧中性点是否连接有消除谐振的设备接地。如果有,应去除,因为消弧线圈的接头已经改变了系统电感参数,起到防止铁磁谐振的作用。

4.4 档位到底和档位到顶

消弧线圈运行在最低档或最高档。

处理办法。调容式消弧线圈在最低档(0 档)时补偿电流最大,最高档时补偿电流最小;调匝式消弧线圈在最低档(1 档)时补偿电流最小,最高档时补偿电流最大。此时注意观察,必要时可以相应改变一档(接地时严禁操作),因为预调谐装置在偏离谐振点太远的档位将无法保证计算的准确性,也无法正常自动跟踪补偿。如果容量不适的报警同时出现,检测系统电容电流,确定是否消弧线圈的容量不适合系统的要求。

4.5 装置故障

控制器出现故障,主机与触发控制板之间的通信异常,触发异常等。

处理办法。检查电源是否故障,以及控制器内部半间是否故障。断开控制器电源,检查触发控制板是否插牢,板表面是否有异常现象。检查同步信号回路、控制柜可控硅回路。

4.6 消弧线圈残流超标(补偿失败)

残流大于设定值时,检查是否与容量不适同时出现,以此确定消弧线圈容量是否已经不适合当前系统的要求。

4.7 母线电压异常

母线电压 U_{ab} 二次值小于 10 V(此时装置将停止系统电容电流的测量)。

处理办法。检查母线 PT 电压以及连接线,确定是否因为 PT 异常引起,或因为连接线虚接引起故障报警。

4.8 中性点电压异常

中性点电压低于设定电压,中性点电压一般在 30~200 V。

处理办法。检查中性点电压是否满足设定值。可能原因是该段投运的出线过少,可调节接地变分接头调整。

5 结束语

电力系统的消弧线圈调节方式及运行维护是一个系统工程问题,在日常的维护过程中,应当重视总结与借鉴国内外电力系统正反两面的运行经验,减少事故,节约运行成本,更好更快地建设经济稳定的电网,以满足国家现代化和人民生活水平不断提高的需要。

参考文献:

- [1] 要焕年,曹梅月.电力系统谐振接地[M].第 2 版.北京:中国电力出版社,2009.
- [2] 要焕年,曹梅月.优化谐振接地方式前景趋好[J].电力设备,2005,6(10):33-37.
- [3] 陈柏超,陈维贤,尹忠东,等.10 kV 电网新型自动调谐消弧线圈及控制装置[J].中国电力,1997,30(9):70-71.

- [4] 李景禄,李朝晖.自动补偿消弧装置用于配电网若干问题的讨论[J].高低压技术,2001(6):37-39.
- [5] 李福寿.消弧线圈自动调谐原理[M].上海:上海交通大学出版社,1993.
- [6] 李福寿.中性点非有效接地电网的运行[M].北京:水利电力出版社,1993.
- [7] 要焕年,曹梅月.参数增量法在优化谐振接地中的应用[J].电力设备,2000,1(3):21-24.
- [8] 李润先.谐振接地是我国中压电网最理想的接地方式[J].高电压技术,1994,20(1):40-43.

作者简介:

刘方韡(1990),男,江苏南京人,本科,南京邮电大学自动化专业在读。

成 兵(1967),男,安徽芜湖人,工程师,从事接地变、消弧线圈自动控制、站用电系统、直流系统工作;

汪 晨(1983),男,安徽芜湖人,助理工程师,从事变电运行等工作;

乔向阳(1984),男,安徽芜湖人,助理工程师,从事变电检修等工作。

Fault Disposing and Regulating Modes of Arc Suppressing Coils Grounding in 10 kV Substation

LIU Fang-wei¹, CHENG Bing², WANG Chen², QIAO Xiang-yang²

(1. Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210046, China;

2. Wuhu Power Supply Company, Wuhu 241027, China)

Abstract: The neutral grounding of power system is a comprehensive technical problem, which relate to power reliability, personal safety, equipment safety, insulation level, protective relaying and grounding device closely. The types of neutral grounding and the regulating and compensation modes of arc suppressing coils in 10 kV substation system are introduced. And the common fault types and their corresponding disposal methods are also analyzed, which can provide references for daily operation and maintenance and ensure the safety and reliability of power equipment.

Key words: arc suppressing coils; regulating mode; fault disposing; protective relaying

(上接第 59 页)

全 娜(1986),女,江苏宿迁人,助理工程师,从事输变电技术工作;

严晓威(1988),男,湖南长沙人,助理工程师,从事导线技术网络研究工作。

Research on the Selection of Power Fittings based on the Pressure Contact Characteristics of Carbon Fiber Wire

JIANG Guang-dong¹, YAN Xing-jian², SONG Dan², TONG Na³, YAN Xiao-wei⁴

(1.Nanjing Electric Power Fittings Design and Research Institute, Nanjing 210037, China; 2. Jiangsu Hongyuan Electric

Power Construction Supervision Co.Ltd., Nanjing 210024,China; 3. Jiangsu Yiding Power Technology Co.Ltd.,

Suqian 223800, China; 4. Far East Composite Technology Co.Ltd., Yixing 214257, China)

Abstract: The common characteristics, respective physical property and mechanical property of this material including carbon fiber, glass fiber and epoxy resin hardener are analyzed in the paper. Besides, the production process and structure of composite core wire are studied. Based on the operation characteristics of power transmission line, through survey, analysis and experiments, it is proposed that the compressed type power fittings are not suitable for carbon fiber composite wires in power transmission project just in case for the wire fracture accidents. In order to ensure the safety of carbon fiber composite core line, the wedge type power fittings can only be applied.

Key words: carbon fiber; composite core; wire; compression; power fittings; analysis

广 告 索 引

江苏省电力设计院	封面	《江苏电机工程》协办单位	前插 4、5
南京远能电力工程有限公司	封二	宿迁电力设计院有限公司	(黑白) 文前 1
江苏南瑞淮胜电缆有限公司	前插 1	江苏南瑞帕威尔电气有限公司	封三
《江苏电机工程》协办单位	前插 2、3	南京南瑞集团有限公司	封底