

一起变压器中性点间隙击穿的事故分析

梁乾兵

(江苏镇江发电有限公司,江苏 镇江 212114)

摘要: 现有的 220 kV 变压器,中性点一般装有棒-棒间隙,其间隙间的距离取多少为合理,并如何与零序过流保护及过压保护配合,是当前运行单位易忽略的问题。该文对一起由于间隙距离设置不当,系统发生接地故障而引起间隙零序保护动作而跳机的这一事故,做一专题分析。

关键词: 变压器; 中性点; 间隙; 零序保护; 分析

中图分类号: TM772 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2006)10-0081-04

0 概述

现有的 220 kV 变压器,根据国标的要求,在中性点往往装设有棒-棒间隙,如图 1 所示。

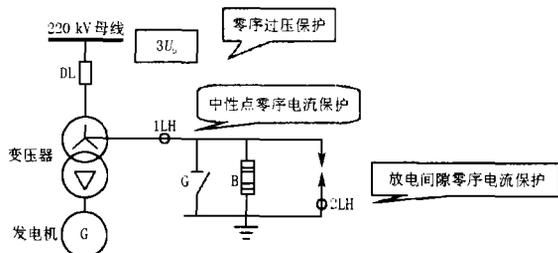


图 1 220 kV 变压器零序保护配置

Fig 1 Configuration of zero-sequence protections of 220 kV transformer

按大机组继电保护理论及整定导则:

$3U_0$ 零序电压元件,用于反映单相接地时的零序电压。如果单相接地后,放电间隙未动作,则 $3U_0$ 元件动作,经 0.5 s 或更短时间,切除变压器。

中性点装设放电间隙作为过电压保护,当出现危急变压器中性点绝缘的冲击电压或工频过电压时,间隙应当可靠动作。但在系统不全部失去变压器接地中性点的情况下发生接地故障时,间隙不应当动作。

1 事故介绍

1.1 事故机组的一次接线图

一次接线图如图 2 所示。

#1 - #4 机组, #1 主变中性点 25010 合上,为接地运行方式,其他主变,中性点为不接地运行方式。220 kV 母联开关 2510 为合闸运行方式。

机组容量: 135 MW,主变容量: 170 MVA。

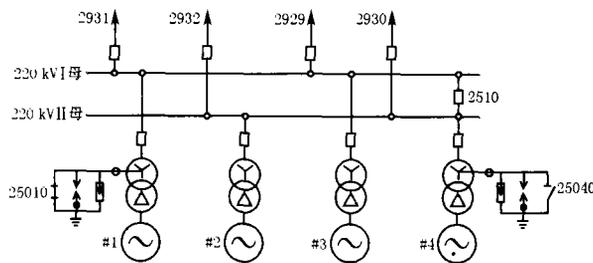


图 2 电厂 220 kV 一次接线图

Fig 2 Primary connection on 220 kV voltage in power plant

1.2 事故机组的动作简要过程

04 年 7 月 13 日, 13 时 34 分,由于人工降雨引起的雷击, 220 kV #2929 线路 C 相发生闪络接地性故障, 30 ms 后两侧 "901" 及 "602" 保护动作跳开 C 相开关,故障电流持续时间为三个周波,重合闸启动。248 ms 对侧 #2929 开关 C 相遭雷击,开关外绝缘被击穿闪络,且雷击波串至电厂将出线刀闸支持 C 相瓷瓶击穿,对侧高频保护后加速动作跳开三相开关。575 ms 时, A 相继发性闪络接地故障, 605 ms 电厂侧开关三跳,重合闸复归。

在线路发生故障且切除的同时, #4 机组跳闸,跳机原因是主变间隙零序保护过流动作,变压器中性点的间隙有被击穿的放电痕迹,当时,此变压器为中性点不接地运行。

机组保护为南瑞 RCS - 985 装置,从装置录波图打印报告可看出,确实为变压器间隙零序电流动作,动作报告如图 3。

间隙零序电流与主变中性点零序 CT 的电流一致(图 1 的 1LH、2LH 中流过的电流一样);间隙零序电流持续的时间为 537 ms,动作记录波形如图 4。

2 故障时变压器中性点的电压分析

装置编号 FDJ04B		通讯地址: 001		打印时间: 2004-07-30
序号	启动时间	跳闸相对时间	信息	
110	2004-07-30 13:32:05.339	00501ms	间隙零序电流第一时限 *JLC-跳闸备用2 *TH1-跳高压侧出口1 *QSL-启动失灵	

图3 RCS-985保护装置故障报告

Fig 3 Fault record of RCS-985 microcomputer-based protection

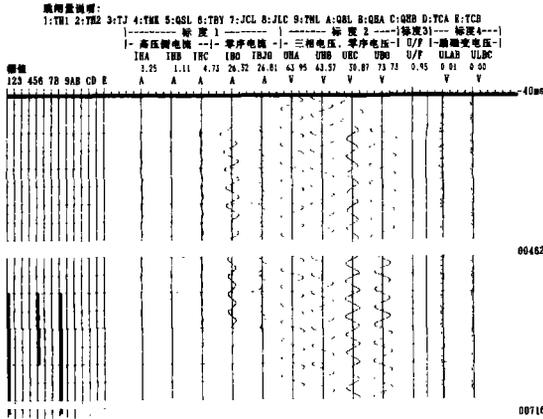


图4 RCS-985保护装置故障波形

Fig 4 Fault waveform of RCS-985 microcomputer-based protection

2.1 存在中性点接地下的单相接地故障

系统发生单相接地故障时,不接地的变压器中性点的最大稳态电压 U_0 的计算公式如下:

$$U_0 = U_x + \frac{U_x}{3}$$

其中: U_x 为最高运行相电压,取 $242/\sqrt{3}$ kV,接地系数 $= x_0/x_1$, U_0 与系统接地系数有着密切的关系。

在正常的运行方式下,一般 220 kV 系统的接地系数在 1.5 至 3.0 之间。

根据上述公式及实际值,计算出变压器中性点最大稳态电压 U_0 为 60 kV ($=1.5$) 和 89 kV ($=3.5$)。

故障发生时,变压器中性点的电压值低于其工频耐压值,放电间隙不应该动作。

2.2 开关断相情况

1) 变压器开关断开两相

运行方式:设变压器为不接地运行,通过开关与接地系统连接,系统中性点为接地运行。

如果变压器开关只断开两相,有一相合上,那么,以开关为分界点的两个系统如果发生失步,在最严重的情况下,不接地变压器的中性点,通过合上的

一相开关,与接地系统连接时,不接地变压器中性点与接地运行的系统“地”之间,电压会达到 $2U_x$,为 279 kV。此电压已超过变压器中性点的工频耐压值、也超过避雷器的额定电压值,此情况下,棒-棒间隙必须先动作。

2) 变压器开关断开一相

若变压器开关只断开一相,有两相合上,变压器中性点最大稳态电压值为 139 kV。

3) 相邻线路开关断相

若是相邻线路开关断开一相或两相,此方式与线路瞬时故障两侧跳开后,重合闸起动前相类似,属非全相运行,稳态 $3U_0$ 与正序、零序阻抗的分布,负荷电流有关系,其值最高不会超过 139 kV。

2.3 中性点不接地系统带单相接地故障运行

中性点不接地系统带单相接地故障运行时,变压器中性点最大稳态电压值为 139 kV (按最高运行电压 $242/\sqrt{3}$ kV)。此方式下,接近于避雷器的工频额定电压,间隙能不能动作则取决于其大小以及当时的气象因素。

3 事故分析

3.1 过程推断

机组保护与线路保护装置时间上不一致,根据各自的故障报告,认为机组跳闸与系统故障不是同一时间,两者没有电气量之间的联系,再加上当时雷闪频繁,怀疑是由雷击引起中性点过电压,导致放电间隙动作(当时现场有人目击间隙处闪络)。

若遭雷击波及到变压器中性点,使间隙放电,中性点避雷器应有动作计数(避雷器为 Y1W-146/320)。事实上,线路遭受多次雷击后,220 kV 母线避雷器也未动作计数。

时值夏季用电高峰,判断正确与否对机组的尽快并网有着极大的影响。我们否定了雷击引起间隙击穿放电的推断,肯定了间隙放电与接地故障有关联,引起机组的跳闸,理由是:

从机组保护录波图中可看出,间隙零序电流随 C 相电压的变化而产生,可以肯定机组跳闸与系统故障有关联。若雷击冲击及到变压器中性点,有可能使间隙放电,而间隙零序过流保护有 0.5 s 的延时,这两者不是一个时间的数量级。间隙零序电流持续时间从故障开始到切除为 542 ms,间隙零序整定延时为 500 ms,机组保护跳闸报告中出口时间为 501 ms。在保护录波图上,间隙零序 CT 的电流波形与变压器中性点零序 CT 的电流波形一

致。

当时,该地区的 220 kV 系统中,由于雷击,出现了非全相运行及转换性的接地故障,导致了 $3U_0$ 电压的持续,而主变棒 - 棒间隙整定过小是导致击穿放电的主要因素。

推断:由于棒 - 棒间隙的距离太小,当系统发生接地故障后,主变中性点零序电压值达到了击穿棒 - 棒间隙的数值,C相跳开后的非全相运行以及对侧 C 相的继发性接地故障维持了变压器中性点零序电压,继而 1LH、2LH 中出现了不间断的零序电流,保护因此动作。

3.2 实际中性点电压计算

当线路遭受雷击,C相发生接地时,由于 #4 主

表 1 不同间隙的工频放电电压

Tab 1 Discharge voltages with power frequency of different neutral gaps

间隙 /mm	100	110	120	130	140	230	280	300	310	320	330	350
U_{dz}/kV	49.7	52	53.3	56.6	59	90	111.1	117.1	121.5	124.7	128.8	136.9

分析计算值与表 1 中的动作试验值在间隙为 230 - 280 之间的数值相吻合。

3.3 具体分析

故障点接近于电厂 220 kV 母线,零序电压按母线零序电压计算,根据调度提供的参数,电厂母线上单相故障时的接地系数为 2.5,当时电厂 220 kV 母线电压为 240 kV (与录波图非故障相电压 63.57V 相吻合),计算出变压器中性点最大稳态电压 U_0 为 77 kV。

若最大暂态电压峰值取 $1.8U_0$ 时,变压器中性点暂态电压值为 138.6 kV ($=2.5$),对照表 1,间隙距离不应超过 350 mm。

3.4 两点说明

根据实际值及当时的运行电压,计算出中性点电压为 77 kV,此值为计算稳态值;根据录波数据计算出的零序电压 93.65 kV,为故障过程的暂态最大有效值。

即使在稳态计算数值 77 kV 的电压下,间隙也有可能被击穿。因为空气间隙是个不确定的绝缘体,受气象因素的影响非常大,当时的气候是阴雨天气,间隙又为垂直布置,不难理解在这样的条件下,电压降低到 85.5% 的参考动作值时 (相对于表 1),距离为 230 mm 的间隙会动作。

4 解决措施

找出问题及原因后,立即对间隙进行处理。其外观两端确有明显的放电痕迹,测量间隙的距离为 230 mm,与预期的推断相符合。拆下间隙棒进行处

变为中性点不接地运行方式,势必在中性点有零序电压。根据机组保护装置故障录波图,系统故障时,主变高压侧母线 $3U_0$ (二次值)最大值为 73.73 V。此时 220 kV 母线上一次零序电压值 $3U_0$ (一次值最大值)为:

$$3U_0 (\text{一次值}) = 3 \times \frac{220}{\sqrt{3}} \times \frac{73.73}{300} = 93.65 \text{ kV}$$

(说明,73.73 V 电压自 220 kV 母线 PT 开口绕组中取得,开口每相绕组二次额定电压为 100 V)

变压器中性点的零序电压值应与 220 kV 母线零序电压相同。机组跳闸后,实地测量中性点棒 - 棒间隙距离为 230 mm。间隙两段有明显的放电灼烧痕迹。

理,增大距离至 300 mm,恢复后,立即对主变进行零起升压,主变无异常。

5 变压器中性点的过电压与间隙距离的设置

按上述分析,变压器中性点间隙的设置满足下列要求:

系统发生接地故障但未失去中性点接地的情况下,间隙不应先于继电保护动作。在最高运行电压下、最大的运行方式下,核算接地故障下的最大稳态中性点电压,按此确定间隙的最小距离。极端情况下的接地故障,间隙应动作,应按最大暂态过电压值 (1.6 倍或 $1.8U_0$ 稳态过电压)与间隙放电电压进行比较,此值决定了间隙的最大距离。如果有 $3U_0$ 过电压保护作为间隙的后备,则最大距离可适当减小。在雷电波冲击下,避雷器应先于间隙动作,即间隙雷击波的动作值大于避雷器的雷电波耐受值。

220 kV 变压器中性点的耐压水平为:工频 220 kV,60 s,耐受雷击 400 kV。理论上,如果系统接地的变压器中性点全部失去,当发生单相接地时,主变中性点的最高电压 (稳态)为 $242/\sqrt{3} = 139$ kV (按 242 kV 计算),此值仍低于主变工频耐受电压的水平,按最高运行电压考虑,也不会超过 158 kV。

一般变压器中性点为防止雷击冲击电压对变压器损坏,都装有避雷器,作为冲击过电压的保护,很少单独使用棒 - 棒间隙用作防止雷击冲击电压的

保护措施。为了避免过电压对主设备的损伤,防止误跳机组而影响电网的安全稳定运行,还使用 $3U_0$ (一般整定为 150 V - 180 V) 过电压保护作为间隙零序的后备。

由于专业的分工,继电保护专业只考虑到相关回路的正确与否,很少顾及到棒-棒间隙的距离;高压专业,也往往重视了避雷器、接地等设备的情况,间隙安装好后很少再去关心。有关规程中也找不到间隙的试验依据,反措中只提及到间隙的安装要处于水平位置,以防止雨水减小间隙的放电距离,但对间隙距离的大小设置,却找不到相关的数据。

对于 220 kV 变压器,中性点的耐压水平如果是工频 220 kV,耐受冲击 400 kV,则应装设避雷器和放电间隙。棒-棒间隙的距离为 300 mm 为比较合理,这样可避免因系统发生接地故障而引起间隙误击穿,又能使变压器中性点发生过压时,不失去保护作用。

6 结束语

间隙零序保护,作为一种后备保护,其关键的棒-棒间隙距离要根据变压器中性点的工频耐压水平以及故障时的中性点电压进行确定。间隙过小,易发生误动;间隙过大,会使其失去应有的作用。

对于 220 kV 变压器,中性点在耐受 220 kV 工频耐压、400 kV 冲击电压的绝缘水平下,棒-棒间隙设置为 230 mm 欠妥,建议调整到 300 mm。

间隙零序及 $3U_0$ 零序过电压保护,作为变压器防止发生过电压的后备保护,最好使间隙先动作,而 $3U_0$ 过电压保护作为间隙的后备比较合理。

间隙击穿后,零序电压有所下降,是由于系统零序综合阻抗下降。如果系统接地故障仍存在,零序电压还会有所上升。

由于棒-棒间隙属于比较粗糙的设备,因为场地、设备的原因,一般不做间隙的放电电压试验。基建工程中,设计图纸上对间隙距离一般只作个标设(如 250 mm),但在施工过程中,往往在实施、验收环节上忽视这一问题。在变压器正式运行前最好能准确测量一下棒-棒间隙的距离,这是运行单位在以后的检修过程中,要引起注意的问题。

参考文献:

- [1] 许正亚. 变压器及中低压网络数字式保护 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.
XU Zheng-ya Digital Protection for Power Transformer and Medium-low Voltage Electric Power Net [M]. Beijing: China Water Power Press, 2004.
- [2] 王维位, 候炳蕴. 大型机组继电保护理论基础 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1989.
WANG Wei-jian, HOU Bing-yun The Theory Basis of Large Generator Protection [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1989.
- [3] 马辉, 郭小龙. 220 kV 主变压器中性点过电压保护的配置 [J]. 高电压技术, 2001, 27 (S1): 60-63.
MA Hui, GUO Xiao-long Neutral Over Voltage Protection for 220 kV Main Transformer [J]. High Voltage Engineering, 2001, 27 (S1): 60-63.
- [4] DL/T620-1997, 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合 [S].
DL/T620-1997, Overvoltage Protection and Insulation Coordination for AC Electrical Installations [S].

收稿日期: 2005-10-24; 修回日期: 2005-12-19

作者简介:

梁乾兵 (1968 -), 男, 工程师, 主要从事发电厂电气技术管理工作。E-mail: wa1nt@sohu.com

Analysis of break-down accident of neutral gap of transformer

L IANG Q ian-bing

(Jiangsu Zhenjiang Power Co., Ltd, Zhenjiang 212114, China)

Abstract: Generally, neutral on existing 220 kV transformer is equipped with a stick-stick type gap. Currently, there are two problems ignored by the operator, which are how to properly determine the gap distance and how to coordinate between neutral point discharge gap and neutral current protection. This paper concentrates on the specific topic on accident of neutral current protection maloperation when grounding fault in the system resulted from gap distance incorrect.

Key words: transformer; neutral point; gap; neutral current protection; analysis