

变压器中性点过电压保护方式的分析及新型保护装置的研究

目前我国110 kV系统不接地变压器中性点普遍采用避雷器并联间隙的保护方式,但其并不能实现可靠的过电压保护,因此需进一步研究更加可靠的变压器中性点保护装置。对中性点普遍采用的棒-棒空气间隙进行了放电特性试验研究,总结规律并分析了棒-棒空气间隙的优劣性。在棒-棒保护间隙的基础上提出了新型中性点保护间隙,即弹射型组合间隙,通过理论分析说明新型保护间隙的可行性,并将新型保护间隙原理与避雷器参数进行配合总结出最合适的间隙距离。

王亚舟 严玉婷 黄炜昭 罗杰 钟建灵/深圳供电局

0 引言

我国110 kV、220 kV电网中性点采用直接接地系统,但为了限制单相接地短路电流,便于继电保护参数配置等,部分变压器采用中性点不接地方式运行,且多采用分级绝缘结构,中性点绝缘水平较低。因此,雷击、单相接地短路故障和非全相运行等会造成中性点过电压,严重威胁中性点安全,对电网系统容易造成电量损失,所以必须采用保护设备来防止事故的发生^[1-2]。

1 中性点过电压情况

1.1 中性点过电压种类及保护方式

变压器中性点过电压可以分为三种形式:雷电过电压、单相接地故障所引起的过电压以及断路器非全相分合闸所引起的过电压。

变压器中性点保护主要有间隙、避雷器以及避雷器并联放电间隙三种方式^[3-4]。其中应用最为广泛的就是避雷器

并联保护间隙的保护方式。采用该保护方式时,避雷器主要用来承受雷电和暂态过电压,间隙主要用来承受工频和操作过电压,但间隙分散性较大且距离较难控制。

1.2 避雷器与保护间隙的配合原则

根据DL/T 620—1997《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》中对中性点保护间隙的描述,可将避雷器和放电间隙需要满足的条件归纳如下:

1) 当变压器中性点电压达到或超过其工频耐受电压时,放电间隙应能可靠动作,从而在工频过电压时,起到保护变压器中性点绝缘的作用。

2) 保护间隙的放电电压应大于因网-相接地而引起中性点电位升高的暂态值,以免继电保护不能正确动作。

3) 雷电过电压时,尽量由避雷器保护变压器,棒-棒间隙不应动作,防止棒-棒间隙频繁击穿。这就要求避雷器要比棒-棒间隙灵敏得多。

4) 避雷器的残压、冲击放电电压要低于中性点冲击绝缘水平。

5) 避雷器的灭弧电压要大于因系统单相接地等引起的中性点电位升高的稳定值,以避免避雷器因不能灭弧而引起爆炸。

6) 避雷器工频放电电压的幅值要高于中性点电位升高的暂态最大值,以避免保护不能按要求动作^[5]。

1.3 配合中的问题

间隙距离范围根据上述条件可以缩



王亚舟/工程师

关键词/Keywords

变压器·
中性点保护·
保护间隙·
过电压·

小到一定范围，一般取110~140 mm。但由于间隙常年暴露在大气中，温度、雨水和湿度等环境因素对其影响很大，因此其放电分散性也较大。根据各个地区电网的运行经验，中性点上的保护间隙误动作率较高^[6]。

据了解，近几年我国各地110 kV、220 kV电网的变压器中性点保护出现异常的情况时有发生，造成线路、主变压器误动作，避雷器爆炸等，影响电网的安全稳定性^[7-8]。

2 空气保护间隙的特性试验

2.1 试验的总体方案

针对于上述情况，本文对110 kV变压器中性点的空气间隙进行特性试验，本次试验仿照110 kV变电站变压器中性点现场布置设计了一套变压器中性点保护间隙装置。试验中选用与保护间隙相配合的避雷器为Y1.5W-60/144氧化锌避雷器，棒-棒间隙试验示意图如图1所示。

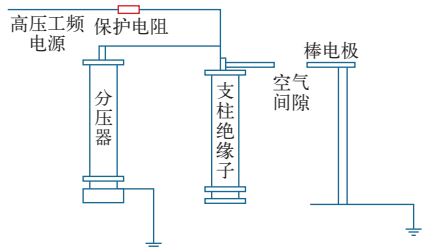


图1 试验总体布置图

根据DL 416—91《用于测量直流高电压的棒-棒间隙》规定，试验安装的棒间隙与周围接地物体的距离大于1 m，离地面距离不小于0.5 m，试验采用FZSW-110/8支柱绝缘子对高压电极进行支撑。

2.2 棒-棒电极工频放电特性试验结果

2.2.1 平头棒-棒电极的试验结果

试验采用MLDC-250 kV·A试验变压器对钢棒-钢棒空气间隙进行加压，对同一间隙距离连续放电10次，并且两次相邻放电的间隔时间不小于30 s，然后求取10次放电电压的平均值。工频放电试验结果如表1所示。其中电极端部为平头，

d 为间隙距离， $U_{50\%}$ 为50%工频放电电压， σ 为标准偏差。放电试验过程中，空气的相对湿度为50%~55%，温度为15.4~15.9℃。

表1 钢棒-钢棒空气间隙工频放电试验结果（平头）

d/mm	$U_{50\%}/\text{kV}$	$\sigma(\%)$
65	37.6	1.3
68	37.66	1.5
70	55.1	1.2
80	58.38	1.4
90	64.3	1.6
100	66.7	1.7
105	69.8	1.6
110	72.04	1.8
115	73.2	1.7
120	76.22	1.6
125	77.88	1.8
130	79.04	1.7

2.2.2 端部弧形棒-棒电极的试验结果

同时用类似方法对端部为弧形的钢棒-钢棒间隙进行工频放电特性试验，结果如表2所示。

表2 钢棒-钢棒空气间隙工频放电试验结果（端部弧形）

d/mm	$U_{50\%}/\text{kV}$	$\sigma(\%)$
90	51.2	1.1
100	54.3	1.5
105	56.4	1.7
110	58.1	1.4
115	59.0	1.7
120	60.7	2.0
125	61.5	1.8
130	64.2	1.9

2.2.3 端部弧形与平头试验结果对比

将两种端部形状不一样的钢棒电极的50%工频放电电压与间隙距离关系拟合成曲线，对比如图2所示。

试验所采用的弧形头，由于制作的原因，并不是光滑的半球，曲率也较正半球偏大，因此端部半球形的工频放电电压比端部平头的低。在需要避雷器并联棒-棒保护间隙投入实际运行时，不仅要考虑保护间隙的间隙距离，还要考虑电极端部的曲率及光滑程度。

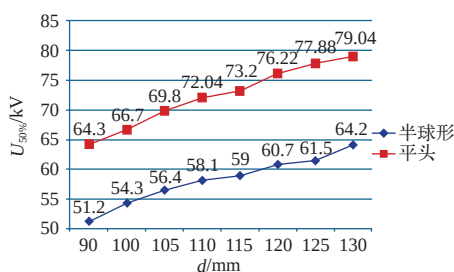


图2 钢电极端部弧形与平头的工频放电电压和间隙距离关系曲线

2.3 端部弧形棒—棒电极冲击放电特性试验

对端部弧形棒—棒空气间隙进行冲击放电特性试验, 每组间隙距离记录15个有效数据, 与工频放电试验的环境因数对比, 得出50%冲击放电电压幅值, 其中试验采用的雷电波为负极性1.2/50 μ s, 分压器采用300 kV冲击分压器, 结果如表3所示。

表3 棒—棒空气间隙雷电冲击放电试验结果

d/mm	$U_{50\%}/\text{kV}$	$\sigma(\%)$
90	86.32	2.7
100	90.46	3.2
105	94.32	3.4
110	97.90	3.0
115	104.54	3.2
120	108.43	3.1
125	116.25	2.8
130	126.03	2.9

由试验结果可看出间隙距离在100~130 mm时, 棒—棒间隙的50%冲击放电电压随着空气间隙距离的增大也在逐步稳定增大, 几乎成线性发展。

其中棒—棒电极击穿时的现场示意图如图3所示。

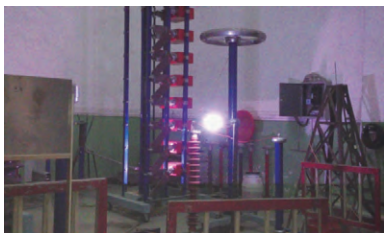


图3 棒—棒间隙冲击电压击穿示意图

2.4 试验数据分析

(1) 工频过电压

使用ATP软件对110 kV一台主变压器接地一台

主变压器不接地变电站系统进行仿真计算, 结果显示: 在单相接地故障时, 不接地变压器中性点工频过电压为37.07~43.82 kV, 并联保护间隙不必动作; 如两相断开, 变压器中性点工频过电压为63.5~73 kV, 超过了避雷器中性点绝缘配置的额定电压60 kV。为了保证避雷器安全运行, 一般间隙的放电电压取43.8~63.5 kV。因此, 在后续方案的选取中间隙起动的动作电压取为63.5 kV。在变压器中性点上的过电压达到间隙放电电压时, 保护间隙就需要及时动作, 来防止持续过高的工频过电压对避雷器造成的损坏。考虑到并联保护间隙的放电电压具有一定的分散性, 端部弧形棒—棒保护间隙距离应为100~120 mm。

(2) 雷电过电压

使用ATP软件110 kV一台主变压器接地一台主变压器不接地变电站系统进行仿真计算, 结果显示: 在雷电过电压时, 变压器中性点电压幅值约为117~227 kV, 通过试验得间隙距离在90~130 mm的50%冲击放电电压约为90.46~126.03 kV, 其最大值小于避雷器的标称放电电流的残压, 其中大于100 kA的雷电流在中性点上产生的过电压已经逐步超过避雷器的起始动作电压, 当避雷器动作之后其残压可能会击穿保护间隙, 导致零序保护动作, 造成在线路重合闸之前主变压器已经误跳闸了。

因此110 kV分级绝缘变压器, 中性点绝缘水平为60 kV, 避雷器采用Y1.5W-60/144型号, 棒间隙距离一般取110~140 mm进行保护, 考虑目前采用的棒间隙是暴露在空气中, 其工频、冲击放电特性易受环境气候等因数的影响而发生变化, 所以本文通过研究新型保护间隙来弥补保护间隙误动作和不动作的情况。

3 新型保护间隙的设计方案

图4为新型变压器中性点间隙动作机构结构原理图。

衔铁动作的控制信号从避雷器的底座引出, 当流过避雷器主体的电流达到起动值时(当系统发生单相接地短路且失地时, 变压器中性点工频

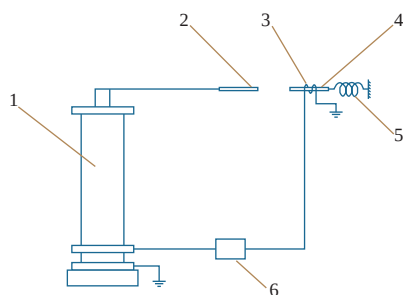


图4 新型变压器中性点间隙动作机构结构原理图

1—避雷器主体 2—变压器中性点间隙固定端 3—控制单元
4—可移动间隙端（下置滑轨支撑） 5—复位单元 6—调理单元

稳态过电压为63.5 kV，通过试验得出此时流过避雷器的交流全电流约为3 mA，因此动作电流的起值可取3 mA），通过调理单元6与控制单元3配合，控制衔铁4动作。通过选取保护间隙的长度和控制单元的大小和圈数，可使得发生内部过电压时，衔铁动作的同时保护间隙被击穿导通，保护避雷器和主设备。当保护间隙击穿后，控制单元自动复位关闭，保护间隙将持续燃弧至内部过电压消失，此时电流变小，复位单元5控制衔铁复位。由于控制信号是从避雷器主体的底座处引出，不论发生内部过电压还是雷电过电压，避雷器都首先动作。

发生雷电过电压时，由于在避雷器主体上发生过电压和控制单元接收控制信号之间存在机械延时，当控制信号到达衔铁时，雷电波已经先由避雷器主体泄放，衔铁不发生动作。因此，该新型变压器中性点接地装置可以使得保护间隙在内部过电压时能可靠动作，而雷电过电压时保持不动。

因为170 mm的空气间隙雷电放电电压为180 kV左右，与间隙并联的避雷器在标称雷电放电电流1.5 kA下的残压约为140 kV。根据相关文献资料和多年运行经验，雷电波时，通过避雷器的雷电流一般小于1.5 kA，距离在170 mm以上的空气间隙在暂态电压下不会动作，故新型保护间隙距离推荐为170 mm。

4 结束语

由于大部分变压器采用半绝缘的形式，其中性点的绝缘水平较为薄弱，因此其过电压保护方式也成为了决定变压器是否安全稳定运行的重要因素之一。

由棒—棒空气间隙的放电特性可以看出其有一定的误动作几率，因此，本文提出可动作的新型间隙来满足与避雷器并联保护间隙的要求，并通过理论分析验证了其合理性，同时，给出了组合间隙推荐距离为170 mm。

参考文献

- [1] 刘超, 何林海, 崔晓云, 等. 110 kV变压器中性点零序保护配置方式研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(2): 114-117.
- [2] 沈扬, 丁健. 500 kV自耦变压器中性点经小电抗接地系统的过电压与绝缘配合[J]. 电气应用, 2005, 24(5): 24-27.
- [3] Song Y, Yuan S, Zhao C, et al. Analysis and selection of neutral grounding modes in cable distribution network[C]. Power Engineering Energy and Electrical Drives, 2007.
- [4] 黎兴江, 潘言敏, 孙浩良, 等. 110 kV不接地运行变压器中性点保护方式[J]. 高电压技术, 2008, 34(1): 210-211.
- [5] 沈燕华, 袁文嘉, 李芳. 主变压器间隙保护的思考, 电力系统保护与控制, 2010, 38(10): 145-146.
- [6] 严玉婷, 黄炜昭, 王伟坚, 等. 变压器中性点避雷器并联间隙新型控制方式的理论分析与试验研究[J]. 变压器, 2009, 46(7): 39-41.
- [7] 曹亚旭, 邵鹏, 景中熠, 等. 变压器中性点运行方式分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(5): 115-118.
- [8] 李荣华. 110 kV变压器中性点过电压保护的完善[J]. 变压器, 2009, 46(8): 25-29.

(收稿日期: 2015-08-20) EA