

一起非晶合金配电变压器匝间短路故障分析

介绍了非晶合金配电变压器的基本参数和结构工艺, 针对一起非晶合金配电变压器匝间短路故障, 详细描述了故障特征和诊断性试验结果, 并对故障情况进行了深入分析, 阐述了配电变压器故障发生的过程和机理, 提出了相应的预防措施。

孙成王楠 刘宝成 唐庆华 郝晓光/国网天津市电力公司电力科学研究院



孙成/工程师

随着社会经济发展和人民生活水平的不断提升, 人们对供电可靠性和电能质量的要求不断提高。作为与终端用电客户联系最为直接的供电网络, 配电网受到了越来越广泛的关注。

配电变压器是配电网中的核心设备, 承担着电压变换、电能分配与传输的作用, 是配电网安全、可靠和经济运行的重要保证。非晶合金配电变压器以其节能、经济和环保逐步受到电力用户的青睐, 非晶合金配电变压器的设计和制造不同于常规配电变压器, 其结构及工艺复杂, 增加了设备故障风险。结合配电变压器制造中的薄弱环节, 分析非晶合金配电变压器的故障原因, 对变压器设计制造及监造工作具有重要的指导意义^[1-7]。

在介绍非晶合金配电变压器的基本参数和结构工艺的基础上, 针对配电变压器匝间短路故障, 分析了故障特征和试验结果, 结合解体检查, 阐述了故障机理, 提出了针对非晶合金配电变压器的反事故预防措施。

非晶合金配电变压器的基本参数与结构

1. 非晶合金铁心变压器特点

作为节能效果非常显著的配电设

备, 非晶合金配电变压器得到了推广应用^[8,9]。与传统的配电变压器相比, 非晶合金配电变压器具有以下特点。

1) 非晶合金铁心片厚度极薄, 不足硅钢片的1/10, 且叠片系数低, 饱和磁通密度较低, 变压器设计受到材料的限制。

2) 非晶合金的硬度较大, 是传统取向硅钢片的5倍, 加工剪切较为困难。因此, 铁心由极薄的带材卷制而成, 截面为矩形, 从而相应的高、低压绕组为矩形。

3) 非晶合金在成才过程中的特殊工艺造成了其材质较脆、对机械应力较为敏感的特性, 且机械应力的作用会在很大程度上影响其导磁性能。

2. 故障变压器结构工艺

故障变压器为油浸式非晶合金配电变压器, 结构由四个非晶合金铁心框合并成三相四框五柱式结构, 如图1所示。非晶合金铁心由厚度极薄的铁心片叠装而成, 其不能作为机械支撑部件。且非晶合金铁心受应力作用后, 性能会受到较大影响, 铁心截面呈矩形, 所以相应的高、低压绕组也为矩形绕组, 低压绕组为铜箔绕制, 高压绕组为漆包线绕制。为了不让铁心过于受力, 铁心悬挂

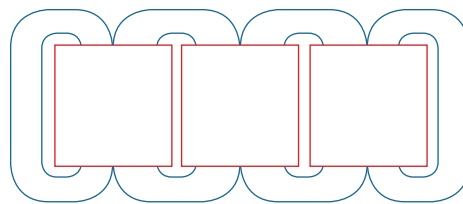


图1 非晶合金变压器铁心结构示意图

关键词/Keywords

配电变压器·
非晶合金·
匝间短路·
故障分析·

在绕组上,铁心只承受自身的重量,没有其他压紧力。结构上,器身上下左右采用 Ω 形弯板结构的夹件装配结构,绕组和铁心由结构件支撑。所以,上下夹件的承受强度成了结构设计的关键。

非晶合金配电变压器的矩形绕组与传统的圆形绕组在设计、制造工艺上有较大区别。导线对矩形模具的贴服性较圆形模具差,给实际生产制造造成了一定的困难。同时,矩形绕组的受力不及圆形绕组均匀,承受短路电动力时容易受力变形。另外,非晶合金配电变压器的绕组作为承重结构,而铁心不作为主承重结构,因此,非晶合金配电变压器矩形绕组的轴向和径向所承受短路电动力的考验要比普通变压器圆形绕组严酷^[10,11]。

故障过程与处理

1. 故障基本情况

2013年8月11日18时25分,配电运行人员发现所辖台区配电变压器烧毁,现场检查发现高压跌落式熔断器A相熔管烧毁、C相熔丝熔断以及变压器顶部喷油。故障前天气晴朗,变压器三相负载基本平衡,且负载率均超过60%。

2. 变压器基本参数

故障配电变压器为某35 kV变电站出线支线上的柱上变压器,配置熔断器保护。该变压器为油浸式非晶合金配电变压器,变压器内层为低压绕组,采用铜箔绕制;外层为高压绕组,采用漆包铜导线绕制;变压器箱体采用全密封结构。于2013年4月投运。配电变压器的基本参数如表1所示。

表1 配电变压器参数

项目	参数	项目	参数
型号	SBH15-M-315/10	额定容量/kV·A	315
额定电压/kV	10/0.4	额定电流/A	18.2/454.7
联结组别	Dyn11	短路阻抗(%)	3.9
生产日期	2012年12月	出厂编号	12N39-662

3. 检修试验结果

配电变压器熔断器熔管熔断及顶部喷油反映出变压器内部发生了绕组短路故障,短路故障最有效的检测手段为测量绕组直流电阻。变压器故

障后转检修,进行了相关检查试验,结果如下。

1) 配电变压器高压侧A相熔管烧毁、C相熔丝熔断,变压器顶部喷出绝缘油。

2) 配电变压器绝缘油颜色泛黑,内有较多杂质。

3) 在最大分接处测试配电变压器高压侧绕组的直流电阻,无法测得电阻值。

4) 在额定分接处测试二次侧直流电阻相间不平衡率为0.63%,在正常范围内;一次侧直流电阻线间不平衡率为22.4%,其中A-C相间直流电阻最小。试验结果如表2所示。

表2 直流电阻试验结果

位置	绕组	直阻值/ Ω	不平衡率(%)
高压	AB	3.337	22.4
	BC	3.420	
	CA	2.713	
低压	a0	0.002 361	0.63
	b0	0.002 376	
	c0	0.002 372	

4. 吊罩解体检查

配电变压器吊起后观察,发现绝缘油发生了严重的污秽现象,如图2所示。这说明变压器曾发生过电弧放电,致使绝缘油和绝缘材料分解,造成碳元素等杂质融入绝缘油中。

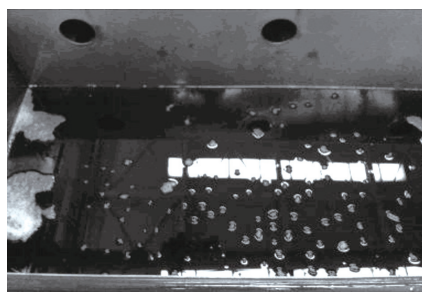


图2 变压器绝缘油状态

配电变压器高压绕组C相高压线圈绑扎带已松散在外,明显破损,如图3所示。推断为变压器匝间短路后,流经线圈的电流增大,线圈在磁场中受到辐向电动力的作用,发生较大位移将绑扎带损坏。

同时,C相高压线圈外侧发生了断股,如图4所示。应是在短路电流热效应和电动力的共同作

用下, 高压线圈熔断并受到辐向力所致。



图3 变压器C线圈绑带破损



图4 C相线圈外侧熔断

此外, 在对配电变压器解体过程中, 发现该变压器的制造材料粗糙, 制造工艺落后, 例如: 该变压高压引线连接件和引线材料为拼接而成, 焊接工艺也存在瑕疵; 变压器本体支撑件由多个散件经焊接组成, 耐受作用力明显不足; 线圈外侧采用透明胶带简单包裹; 在电动力的作用下, 线圈绕组垫块发生了明显位移, 线圈压紧力明显不足。

故障原因分析

1. 故障情况分析

通过故障后的检查情况表明, 配电变压器高压侧C相绕组发生了匝间短路故障, 流经高压侧A-C相绕组的电流明显增大, 导致A-C两相熔断器熔断, 同时在短路电流电动力和热效应的共同作用下, 配电变压器高压线圈发生位移并熔断, 导致绑扎带脱落损坏, 以及绝缘油受热膨胀甚至气化而喷油, 且短路时电弧烧毁绝缘介质造成了绝缘油污秽变黑。

2. 试验数据分析

故障后, 分别在该变压器最大分接和额定分

接处测试直流电阻。在最大分接处测量直流电阻时, 无法取得测试结果, 说明高压绕组在最外侧存在断股、断线情况; 在额定分接处检测, 获得了测试结果, 直流电阻试验表明, 高压线圈A-C相的线间直流电阻值超标, 不平衡率高达22.4%。由此可知, 变压器高压侧A-C相发生短路故障, 为进一步确定故障位置, 根据线间电阻与相电阻的换算关系^[12]

$$R_A = \frac{R_{AB}^2 + R_{BC}^2 + R_{AC}^2 - (R_{AB} - R_{BC})^2 - (R_{BC} - R_{CA})^2 - (R_{CA} - R_{AB})^2}{2(R_{BC} + R_{CA} - R_{AB})} \quad (1)$$

$$R_B = \frac{R_{AB}^2 + R_{BC}^2 + R_{AC}^2 - (R_{AB} - R_{BC})^2 - (R_{BC} - R_{CA})^2 - (R_{CA} - R_{AB})^2}{2(R_{AB} + R_{CA} - R_{BC})} \quad (2)$$

$$R_C = \frac{R_{AB}^2 + R_{BC}^2 + R_{AC}^2 - (R_{AB} - R_{BC})^2 - (R_{BC} - R_{CA})^2 - (R_{CA} - R_{AB})^2}{2(R_{BC} + R_{AB} - R_{CA})} \quad (3)$$

可知, $R_A = 5.239 \Omega$, $R_B = 5.569 \Omega$, $R_C = 3.622 \Omega$ 。C相线圈的直流电阻明显小于其他两相, 因此, 可以判断短路故障发生在C相线圈。

3. 故障发生机理分析

为明确该变压器绕组的故障程度和具体位置, 将变压器铁心拆除。C相高压线圈最外侧的线圈有2~3层熔断, 层间绝缘纸亦被烧损, 内部线圈匝间绝缘漆部分已脱落, 如图5所示。



图5 C相高压线圈故障程度

从故障位置来看, 熔断点处于高压矩形绕组的拐角处, 属于电场强度较高的区域。另外, 该变压器于2012年12月出厂, 2013年4月份投运, 运行时间较短, 且运行期间的负载率在合理范围内, 因此可以排除因为运行时间较长造成的绝缘老化和负荷电流较大造成的热老化情况。

从高压线圈层间绝缘纸以及匝间绝缘漆的损伤情况来看,故障的发生是由匝间一点故障逐步发展的,损伤面由内而外不断扩大。结合变压器其他部件的取材和工艺情况,可以推测该变压器高压线圈在绕制过程中匝间存在绝缘缺陷,在运行过程中缺陷部位的场强较为集中,发生局部放电,其累积效应使放电点周围绝缘逐步劣化,最终导致绝缘基础、匝间短路事故发生。

结束语

针对一起非晶合金配电变压器匝间短路故障,分析了故障特征,阐述了故障发生机理,得出如下结论。

1) 非晶合金配电变压器在高压线圈的绕制过程中存在匝间绝缘缺陷是造成此次事故的根本原因。

2) 非晶合金配电变压器矩形绕组的拐角处场强较为集中,增强了局部放电对匝间绝缘及层间绝缘的破坏作用,是此次事故发生的直接原因。

3) 非晶合金配电变压器在制造过程中,材料粗糙,工艺落后,加速了故障的发生和发展进程,是此次事故发生的重要原因。

非晶合金配电变压器的结构与传统配电变压器不同,其特殊的铁心结构和绕组形状对其工艺提出了更高的要求。且其一般为全密封结构,基本上为免维护设备。为了避免此类事故的再次发生,保障配电网安全可靠运行,提出相应的措施和建议如下。

1) 推进技术监督关口前移,加强非晶合金配电变压器的驻厂监造,在监造过程中,不仅要关注出厂试验及相关检测检验,要更加关注原材料及制造工艺。

2) 加强非晶合金配电变压器的入网检测,在常规交接试验检测的基础上,要检查其结构工艺,必要时进行局部放电和雷电全波冲击试验。

3) 非晶合金铁心的机械强度及抗短路能力较差,在运输安装过程中要做好防护措施,在保护

配置方面要充分考虑灵敏度的要求。

4) 提高配电网设备的运维管理水平,利用成熟有效的带电检测手段进行巡视检查,对于设备缺陷和隐患做到早发现、早处理。

5) 对于由原材料和制造工艺造成的变压器故障要建立家族性缺陷制度,做好同类型、同厂家的变压器的排查和重点监测工作。

参考文献

- [1] 王楠,杨洪,刘宝成. 35 kV变压器匝间短路故障分析[J]. 变压器,2013,50(10): 60-64.
- [2] 李颖峰,马永翔,肖苏力,等. 非晶合金变压器在配电网中的应用研究[J]. 电气应用,2010,29(17): 30-33.
- [3] 郭大鹏. 变压器的常见故障及处理[J]. 电气制造,2011(12): 45-48.
- [4] 黄炳洪. 电力变压器常见缺陷及其处理[J]. 高压电器,2003,39(1): 76-78.
- [5] 严玉婷. 变压器直流电阻测试原理及现场缺陷情况分析[J]. 高压电器,2010,46(10): 66-68.
- [6] 舒均盛. 变压器安装事故的问题分析[J]. 高压电器,2012,48(6): 25-28.
- [7] 王梦云. 110 kV及以上变压器故障与缺陷统计分析[J]. 供用电,2007,24(1): 1-5.
- [8] 刘燕,黎剑锋,蔡定国. 非晶合金干式变压器的特点及性能分析[J]. 电力设备,2006,7(11): 14-16.
- [9] 陈玉国. 非晶合金铁心配电变压器分析[J]. 电力设备,2005(12): 56-58.
- [10] 韦瑞峰,冉玉琦,等. 500 kV主变铁心故障分析处理[J]. 变压器,2009,46(10): 51-53.
- [11] 张丽敏,张艳妍,于希娟,等. 配电变压器典型故障分析[J]. 农村电气化,2013(3): 28-29.
- [12] 国家电网公司. Q/GDW 168—2008 输变电设备状态检修试验规程[S]. 北京:中国电力出版社,2008.

(收稿日期:2014-03-10) EA