

# 变压器用绕组温控仪原理及应用

谢崇宇, 刘翔宇

(成都电业局修试所, 四川 成都 610041)

**摘要:** 目前, 对变压器绕组温度的测量主要是通过热模拟测量方法, 绕组温度表在油温表的基础上配备一台电流匹配器和电热元件, 通过温度叠加来反映变压器绕组温度。这种测温方法具有简单、适用的特点。就绕组温控仪及其配套匹配器的入网检定和温度控制节点的整定进行了讨论, 对绕组温控仪的实际使用有一定指导意义。

**关键词:** 绕组温控仪; 接点; 检定

**Abstract:** The way to obtain the winding temperature of transformer is heating simulation method at present that is winding temperature indicator is equipped with a current matching box and electrothermal component on the basis of oil temperature indicator and the winding temperature is indicated by the temperature superposition. The proposed method is simple and applicable. The means for the calibration of winding temperature and its matching box are discussed which is the guidance for the actual use of winding temperature indicator and controller.

**Key words:** winding temperature indicator and controller; contact calibration

**中图分类号:** TK39 **文献标志码:** B **文章编号:** 1003-6954(2010)01-0082-04

## 0 前言

变压器运行中, 如果遇到短路、过载、环境温度过高或冷却通风不够等情况时, 就会使变压器过热。当绕组温度超过绝缘耐受温度时会使绝缘破坏, 是导致变压器不能正常工作的原因之一。电力变压器的油温和绕组温度是主变压器运行工况监测的重要参数, 关系到运行中的变压器风冷投入、温高报警、油温过高跳闸等保护的正常动作。目前, 主变压器测温系统均采用压力式温度计, 温度值由密封的充液体的测量系统测取, 其主要由温包、毛细管、布登管等组成, 所有元件在一个封闭的管系统中, 内充高压液体。温度升高时, 液体膨胀, 将压力的变化传送到布登管。布登管连接到指针心轴, 驱动心轴转动, 从而温度变化和温度值指示在刻度盘上。这种机械式的测量系统是一个独立单元, 不需要外部输入功率。

直接测量变压器绕组温度需要解决高电压隔离的世界级难题, 国内外绝大部分变电站均采用热模拟方法间接测量变压器绕组温度。绕组温度由变压器顶层油温使仪表内弹性波纹管产生对应的角位移量, 叠加仪表内发热元件产生的角位移量, 从而指示变压器绕组温度, 发热元件通过匹配器及变压器 TA 二次

侧负载情况变化而补偿不同的铜油温差。

在温控仪上设置有 2~5 个微动开关, 每个开关配有各自的温度设置指针或温度盘用于设置触点动作温度值, 可提供输出接点分别用于投切变压器冷却系统、超温报警和超温跳闸等要求, 同时在温控仪内还配有 PT100 或 4~20 mA 温度变送器用于主变压器温度的远方监视。

保证温控仪测温系统对温度测量的准确性, 报警接点和跳闸接点的动作可靠性对主变压器的可靠运行至关重要, 因此做好主变压器温控仪的入网投运检定工作特别是按照规程对接点进行整定的工作是保证温控仪正常、可靠运行的关键。下面就主变压器绕组温控仪的检定及定值的整定进行了探讨, 对主流的几种绕组温控仪校验方法做了介绍。

## 1 压力式绕组温控仪测温原理

压力式温度计是依据封闭系统内部工作物质的体积或压力随温度变化的原理工作的, 如图 1 所示。仪表封闭系统由温包、毛细管和弹性元件组成。温包内充工作介质, 在测量温度时, 将温包插入被测介质中, 受介质温度影响, 温包内部工作介质的体积或压力发生变化, 经毛细管将变化传递给弹性元件 (如弹

簧管),弹性元件变形,自由端产生位移,借助于传动机构,带动指针在刻度盘上指示出温度数值。

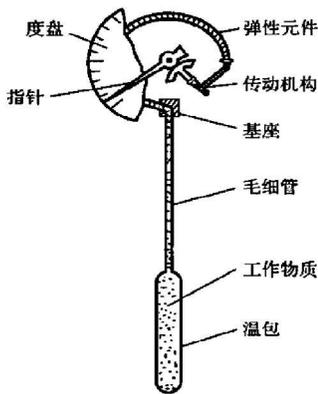


图 1 压力式温度计典型结构

由于直接测量变压器绕组温度需要进行高电压隔离,目前还没有成熟的技术,因此国内外在绕组温度测量上采用“热模拟”的方法进行测量。根据 IEC 354《油浸变压器负载导则》给出的变压器温度场数学模型如图 2 所示。

油平均温升随绕组高度升高而增加,同时绕组平均温升呈直线与油温升平行,绕组温升与油温升之差即为铜油温差,即绕组温升如式(1)所示。

$$T_w = T_o + \Delta T_{w/o} \quad (1)$$

式中,  $T_w$  为绕组温度;  $T_o$  为油面温度;  $\Delta T_{w/o}$  为铜油温差。

TA 额定电流  $I_n$  的大小与变压器铭牌额定负荷电流、电流互感器变比等有关,与变压器绕组电流成正比。加热电流  $I_h$  是对  $I_n$  进行调整后根据变压器铜油温差人为给出的一个工作电流,加热电流通过加热电阻,从而产生的指示值比实测值高一个温差,该温度与变压器绕组电流即变压器负载相对应。经过调整后的加热电流  $I_h$  在电热元件上产生的热量使弹性元

件产生一个附加位移,从而产生一个比油温高一个温差的温度指示值,这个温差即模拟出来的变压器铜油温差,采用这种间接的方法可以得到绕组温度的平均指示值。

采用绕组温控仪的“热模拟”方法进行绕组温度测量,其加热的位置一般分为两类:一类是将加热电流引入温控仪内部,通过对温控仪内部的补偿温包进行加热以使弹性元件产生附加位移,典型的温控仪如 AKM 绕组温控仪 WT35 系列;另一类是分流器和传感器一体位于变压器顶层油温的测温孔处,分流器输出的加热电流直接对插入测温孔处的温包进行加热,以此产生比油温高一个温差的温度值,典型的温控仪如 MESSKO 绕组温控仪 MT-STW 160F2 系列。

## 2 变流器整定及温度点测试

变流器用于将输入的 TA 二次侧绕组电流转换为与变压器负荷成正比的加热电流  $I_h$ ,其整定的方法如下。

(1) 根据变压器的额定电流及互感器的变比,计算电流互感器的输出电流  $I_p$ ,如式(2)所示。

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3}U \cdot K_{CT}} \quad (2)$$

式中,  $I_p$  为互感器额定输出电流;  $S$  为变压器额定容量;  $U$  为变压器额定电压;  $K_{CT}$  为电流互感器变比。

(2) 通过变压器厂家提供的参数或变压器使用说明书提供的变压器绕组对油平均温升值  $\Delta T$  查表得到需要的加热电流  $I_h$ ,绕组温控仪的温升特性曲线(或表格)可以在绕组温控仪说明书上获得。

(3) 根据  $I_p$  和  $I_h$  的值计算得到变流器导线或短

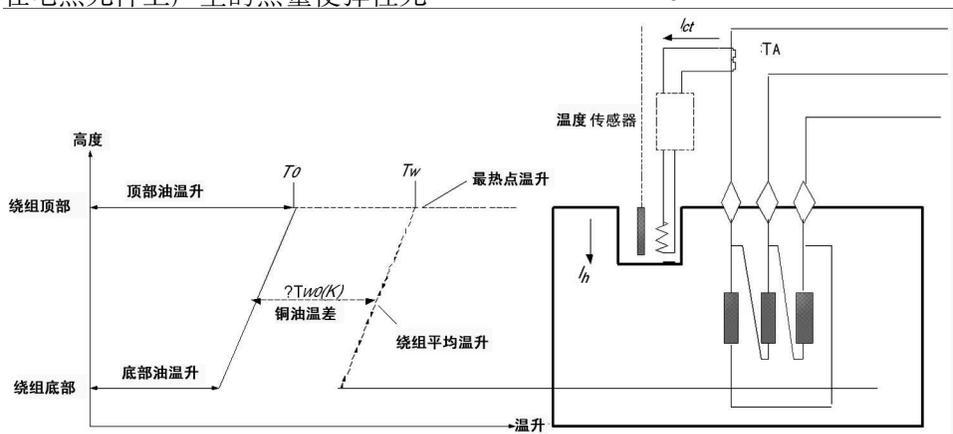


图 2 变压器温度场模型

表 1 WT135 绕组温升特性

	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
油温 60℃	0.71	0.78	0.85	0.91	0.97	1.03	1.08	1.14	1.19	1.24	1.29

路连片的位置及方式,调整电流使输入变流器的电流为步骤(1)计算得到的电流值  $I_1$ ,调整变流器的可调元件,使实际的变流器输出达到步骤(2)查表得到的  $I_1$  值。

在成都某 500 kV 变电站使用型号为 WT135 的绕组温控仪,其匹配器按照上面的步骤检定如下:根据变压器厂家提供的主变压器额定容量为 250 000 kVA,额定电压为  $525\sqrt{3}$  kV,TA 变流比为 1000/1,变压器铜油温差  $\Delta T_{wo}$  为 18 ℃,根据式(2)可以计算出二次额定电流  $I_p=0.825$  A,通过表 1 及式(3)可以得到加热电流  $I_h=0.973$  A。

$$I_h = \frac{I_{20} - I_{18}}{(20 - 18)} \cdot (\Delta T_{wo} - 18) + I_{18} \quad (3)$$

式中,  $I_h$  为变流器输出电流;  $I_{20}$  为绕组温升特性表中铜油温差 20℃ 时对应的加热电流;  $I_{18}$  为绕组温升特性表中铜油温差 18℃ 时对应的加热电流;  $\Delta T_{wo}$  为铜油温差。

通过计算出来的  $I_p$ 、 $I_h$  可以确定出变流器输出的接线位置,在变流器输入端输入模拟的二次额定电流后,通过调整可调电阻,将输出调整到计算出的  $I_h$  需求值后,按照图 3 所示进行接线安装,进行温升试验。

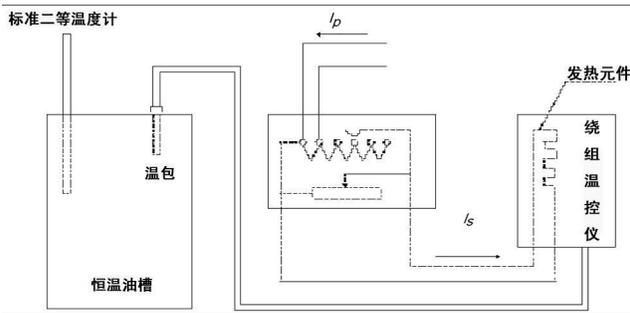


图 3 绕组温升试验

将输入的  $I_p$  电流置为零,恒温油槽内的变压器油升至 60℃ 并控制好油槽中油的流动,温控仪的传感器应保持大于  $2/3$  的长度浸入油槽中,稳定 30 min 后读取绕组温控仪的温度,作为温升试验前的温度  $T_1$ ,将输入的  $I_p$  电流置为计算出的 TA 二次额定电流,稳定 45 min 后读取绕组温控仪的温度指示值  $T_2$ ,绕组的实际“热模拟”温升  $\Delta T$  可由式(4)计算。

$$\Delta T = T_2 - T_1 \quad (4)$$

实际温升值与变压器参数中给出的铜油温差值误差应不大于温控仪的基本误差,各温度刻度的检定

可将  $I_p$  电流置为零后通过恒温油槽升温依次进行。

### 3 绕组温控仪接点整定

绕组温控仪接点可根据现场启动风冷、温高报警、温高跳闸灯的要求进行整定,当温度指示达到整定值时接点闭合作。接点设定值一般在 0~150℃ 范围内连续可调,其中 20~150℃ 为需要进行整定校验的考核范围,接点的容量不应小于 AC 220 V/3 A 或 AC 220 V/5 A (阻性),动作寿命不少于 10 万次。温控仪的接点动作误差应不大于  $\pm 2^\circ\text{C}$  [1],开关接点动作设定值与示值的测试点不得重叠,其间距不得小于 5℃。

接点动作值整定完毕后,测试接点动作误差时,除信号电路和试验点外,采用与示值基本误差试验相同的试验条件、试验设备和标准仪表,测试点按照标准设定点进行。将被测试温控仪和标准二等水银温度计或标准 PT100 铂电阻插在恒温槽中(如图 3 所示),并将被试温控仪的端子接到信号电路中,然后均匀改变恒温槽温度(温度变化率应不大于  $1^\circ\text{C}/\text{min}$ ),使接点产生闭合或断开的切换动作(信号电路接通或断开),在动作的瞬间记录标准水银温度计或标准 PT100 铂电阻的示值,即为接点正行程或反行程的上切换值或下切换值。在同一测试点上,上切换值设定点的差值即为接点动作误差;上切换值与下切换值的差值即为接点切换差。接点动作误差和切换差在各试验点上就接点闭合和断开各试验一次,其测试结果均应满足误差要求。

为了保证在整定过程中对接点整定的可靠性及准确性,温控仪在整个试验过程中,表头应垂直安装,温包必须全部浸没,引长管浸没不得小于管长的  $1/3 \sim 2/3$  各类的压力式温控仪均要求表头和温包之间的高度差不得大于 1 m,由于现场应用的接点会使用在风冷全停延时跳闸回路及温高跳闸回路,因此要求接点的动作值能真实反映主变压器的温度,在读取接点动作值的时候,应读取和被试表温包位于同一恒温油槽内的标准水银温度计或 PT100 标准铂电阻,读取温控仪指示的温度值作为接点的动作值会造成温控仪示值误差,引入到接点动作误差中。在读取温控

仪或温度计的温度示值时,视线应垂直于刻度线,使用放大镜读数时,视线应通过放大镜的中心,读数估计到分度值的  $1/10^{[21]}$ ;

## 4 结 论

监测变压器运行的油面温度及绕组温度,及时在变压器温度过高时发出报警或跳闸信号是保证变压器正常运行、防止绝缘损坏引发更大事故的保证。由于变压器测温装置在户外紧贴变压器运行,运行环境恶劣,需要考虑到防水、防霉、抗震动等的户外设备运行特殊要求,因此多采用可靠的压力式温度计,利用液体介质热胀冷缩的原理,绕组温度测量采用“热模拟”方法。要保证温控仪现场运行的可靠性及动作准确性,防止发生误跳变压器的严重事故,需要对温

控仪进行入网检定及接点整定试验工作,前面针对变压器绕组温控仪的原理、变流器整定计算,接点整定试验方法进行了介绍,整定的过程及计算方法应用在 AKM、Teman、Messko 等进口温控仪和华立、大连金州等国产温控仪上,现场运行良好,接点动作可靠,所介绍的整定过程及计算方法对变压器绕组温控仪的入网检定工作有较强的实际指导作用。

## 参考文献

- [1] JG 310-2002. 压力式温度计 [S]. 北京: 国家质量监督检验检疫总局, 2002.
- [2] JB/T 8450-2005. 变压器用绕组温控仪 [S]. 北京: 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 2005.

(收稿日期: 2009-10-04)

(上接第 69 页)

他敏感负荷进行评估,其适用性较广。

## 参考文献

- [1] 程浩忠,艾芊,张志刚,等. 电能质量 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [2] 陶顺,肖湘宁,刘晓娟. 短路故障引起的电压暂降与短中断特征和设备敏感度分析 [J]. 电气技术, 2005 (8): 36-40.
- [3] 肖先勇,王希宝,薛丽丽,等. 敏感负荷电压凹陷敏感度的随机估计方法 [J]. 电网技术, 2007, 31(22): 30-33.
- [4] Djokic S Z, Desmet J, Vanalme G, et al. Sensitivity of Personal Computers to Voltage Sags and Short Interruptions [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2005, 20(1): 375-383.
- [5] Djokic S Z, Stockman K, Milanovic J V, et al. Sensitivity of AC Adjustable Speed Drives to Voltage Sags and Short Interruptions [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2005, 20(1): 494-505.
- [6] Djokic S Z, Milanovic J V, Kirschen D S. Sensitivity of AC Coil Contactors to Voltage Sag Short Interruptions and Undervoltage Transients [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2004, 19(3): 1299-1307.
- [7] P. Pohjanheimo M. Lehtonen. Equipment Sensitivity to Voltage Sags - Test Results for Contactors, PCs and Gas Discharge Lamps [C]. in Proc. 2002 10th International Conference on Harmonics and Quality of Power Brazil 2002: 559-563.
- [8] Milanovic J V, Gupta C P. Probabilistic Assessment of Financial Losses Due to Interruptions and Voltage Sags -

Part I: The Methodology [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2006, 21(2): 918-924.

- [9] Milanovic J V, Gupta C P. Probabilistic Assessment of Financial Losses Due to Interruptions and Voltage Sags - Part II: Practical Implementation [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2006, 21(2): 925-932.
- [10] Gupta C P, Milanovic J V. Probabilistic Assessment of Equipment Trips Due to Voltage Sags [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2006, 21(2): 711-718.
- [11] 罗卫华,孙云莲. 独立分量分析法在电能质量监测与分析中的应用 [J]. 电网技术, 2006, 30(15): 81-84, 89.
- [12] 薛毅,耿美英. 数值分析 [M]. 北京: 北京工业大学出版社, 2003.
- [13] 衣书伟,杨赢,郁惟镛. 改进的最佳平方逼近算法在电力系统中应用 [J]. 电力自动化设备, 2006, 26(1): 65-69.
- [14] Chan J Y, Milanovic J V. Severity Indices for Assessment of Equipment Sensitivity to Voltage Sags and Short Interruptions [C]. Power Engineering Society General Meeting 2007(6): 1-7.
- [15] Chan-Nan Lu, Cheng-Chieh Shen. Estimation of Sensitive Equipment Disruptions Due to Voltage Sags [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2007, 22(2): 1132-1137.
- [16] C. N. Lu, C. C. Chen. Voltage Sag Immunity Factor Considering Severity and Duration [C]. IEEE Power Engineering Society General Meeting 2004(6): 1-5.
- [17] 刘晓石,陈鸿建,何腊梅. 概率论与数理统计 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [18] 陈瑞. 电压暂降在配电网中的传播规律及仿真评估研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2006.

(收稿日期: 2009-12-10)