

消除变压器测温装置两表偏差缺陷的有效途径

张 喆¹, 刘逸松², 洪睿钧³, 胡煜亮¹, 陆佩顺¹, 童在林¹

(1. 国网上海市电力公司检修分公司, 上海 200063; 2. 长沙学院, 湖南 长沙 410003;

3. 常州东芝变压器有限公司, 江苏 常州 213012)

摘要: 通过对变压器测温装置的试验分析, 介绍了变电站环境温度变化引发测温装置远方数据与就地示值之间的两表偏差的缺陷机理和解决方法。

关键词: 油浸变压器; 测温装置; 环境温度

中图分类号: TM406

文献标识码: B

文章编号: 1001-8425(2017)03-0070-04

Method of Eliminating Two Meters Deviation Defects in Transformer Temperature Measurement

ZHANG Zhe¹, LIU Yi-song², HONG Rui-jun³,
HU Yu-liang¹, LU Pei-shun¹, TONG Zai-lin¹

(1. State Grid Shanghai Electric Power Company, Shanghai 200063, China;

2. Changsha University, Changsha 410003, China;

3. Changzhou TOSHIBA Transformer Co., Ltd., Changzhou 213012, China)

Abstract: Through the test analysis of the transformer temperature measuring devices, the defect mechanism and solution of the deviation between the remote data and the local indication of the temperature measuring device caused by the ambient temperature of the substation are introduced.

Key words: Oil-immersed transformer; Temperature measuring device; Ambient temperature

1 项目背景

2009 年 12 月某研究院在变压器非电量故障排查统计中发现, 环境温度变化引发变压器测温装置故障率较高。

表 1 为 2009 年度某供电公司 123 台 220kV(及以上)变压器配套的 372 台测温装置共发生 37 台次故障, 其中环境温度变化引发两表偏差缺陷(超过 DL/T572-2005 规定的测温装置远方与就地之间两

表偏差不大于 5K 的要求)有 19 台次/年(占比 51.3%)。也就是说, 只要消除两表偏差就可以降低变压器测温装置 50%以上的缺陷率。

2 缺陷源头

变压器测温装置由就地压力式温度计和远方电子温度显示器两部分组成, 如图 1 所示。

如图 1 在由弹性元件、毛细管及温包三个零件焊接构成的密闭系统内充入感温介质(液体或者气

表 1 故障排查统计

缺陷描述	次数	缺陷率/%	备注
两表偏差大于 5K	19	51.3	夏天和冬天明显
温度变送器损坏	8	21.6	等待停电机会更新
开关接点短路	1	2.7	开关故障
指针挂零	1	2.7	慢性渗漏
其他	8	21.6	表盖漏水、铂电阻开路等

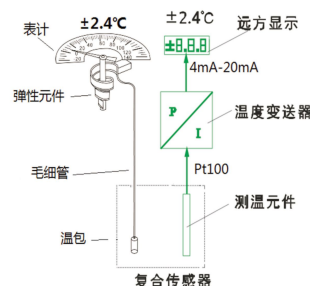


图 1 测温装置构成

体)后,被测温度变化引发温包内感温介质的体积变化,这个体积变化量通过毛细管传递到弹性元件,推动指针偏转显示温度。相对于基本没有环境温度变化影响的电子温度显示器(图1右)而言,压力式温度计的环境温度变化影响量水平决定测温装置两表偏差的大小。

2009年度华东地区500kV变电站进行组部件缺陷排查时仅常州某变压器配套测温装置的两表偏差全部合格。对此,该公司质量工程师提供的缺陷控制措施如下。

(1)压力式温度计传感温包全部浸没于油液面以下与环境温度变化无关。

(2)所有品牌的压力式温度计表计内弹性元件上都有环境温度补偿机构。

(3)走线槽内毛细管在油箱温度和夏天阳光的双重作用下可能遭受65℃以上高温。

(4)类似于液压管道的毛细管内液体介质可以等效为一个破坏测量准确度的小温包。

(5)毛细管内不可压缩液体感温介质在夏季高温作用下可以引发5℃以上两表偏差。

(6)毛细管内可压缩气体感温介质在夏季高温作用下仅仅引发0.5℃以下两表偏差。

气态和液态介质的指针温度计环境温度影响量计算如下。

2.1 计算(气体介质)

指针式温度计的环境温度影响就是指传导部件和弹性元件所处环境温度产生变化后所引起的温度指示值的变化,即密封腔体内压力的变化量。对于一种以气体为感温介质的密闭系统而言,其压力、体积、温度三者关系近似于理想气态方程,其中假设传导部件毛细管内腔与弹性元件、感温部件温包内腔相隔离,可以建立方程式:

$$\begin{aligned} \frac{P_0 V_1}{T_1} &= \frac{P_1' V_1}{T_1 + \Delta T_1} \rightarrow P_1' = \frac{P_0}{T_1} (T_1 + \Delta T_1) \\ \Delta P_1 &= \frac{P_0}{T_1} (T_1 + \Delta T_1) - P_0 = \frac{\Delta T_1}{T_1} P_0 \end{aligned} \quad (1)$$

由于密闭系统内所充的是同一种气体,且初始压力相同,因此可得公式:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \Delta P_1 \frac{V_1}{V_0 + V_1 + V_2} = \frac{\Delta T_1}{T_1} P_0 \frac{V_1}{V_0 + V_1 + V_2} \\ &= \frac{40}{293} 5 \times 10^6 \frac{V_1}{V_0 + V_1 + V_2} = 6.8 \times 10^5 \frac{V_1}{V_0 + V_1 + V_2} \end{aligned} \quad (1')$$

2.2 计算(液体介质)

对液体为感温介质的计算同样假设传导部件内腔与弹性元件、感温部件内腔相隔离。

$$\Delta V_1 = V_1 \cdot \Delta T_1 \cdot \alpha \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{\Delta V_1 \cdot k}{V} = \frac{V_1 \cdot \Delta T_1 \cdot \alpha \cdot k}{V_0 + V_1 + V_2} \\ &= \frac{V_1}{V_0 + V_1 + V_2} 40 \times 10^{-4} \times 2.1 \times 10^9 \\ &= 8.4 \times 10^6 \frac{V_1}{V_0 + V_1 + V_2} \end{aligned}$$

计算表明:常州某变压器配套气体压力式温度计的环境温度变化影响量是液体压力式温度计的1/12倍,也可以形象理解为常州某变压器用测温装置受到环境温度变化产生1℃偏差影响的同时其他品牌液体压力式温度计同步产生了12℃的两表偏差。

3 故障原因分析

3.1 毛细管18m温度计的环境温度影响试验

为了验证上述计算结果,委托某研究院对某500kV变电站使用的四个品牌温度计依据DL/T 1400-2015开展环境温度变化影响试验。

步骤1:将试品温包浸没于100℃恒温油槽10min后记录刻度示值(此时表计和毛细管均处在实验室20℃常温条件下)。

步骤2:将毛细管浸入60℃热水中10min后比较试验前后数据,环境温度变化影响量大于3.2℃/40K者为不合格品(图2中,由左至右为1号~4号温度计)。



图2 18m-温度计环境温度试验

该500kV变电站使用的四种品牌温度计在同比条件下的试验数据见表2。表2中不合格温度计的密闭系统毛细管内充灌不可压缩的液体构成液压系统,合格温度计毛细管内气体在压力作用下可以被大幅度压缩。由表2可知(气体介质)合格品与(液体介质)不合格品影响量相差14倍左右。

3.2 毛细管6m温度计的环境温度影响试验

以上通过对18m毛细管尾长指针温度计开展

表 2 某 500kV 变电站使用的四种品牌温度计
在同比条件下的试验数据

编号	1 号 液体(进口)		2 号 气体(进口)		3 号 气体(国产)		4 号 液体(进口)	
恒温槽/℃	100	100	100	100	100	100	100	100
环境温度/℃	20	60	20	60	20	60	20	60
指针刻度/℃	100.2	109.0	100.0	100.6	100.2	101.0	100.2	114.8
影响量	8.8℃/40K		0.6℃/40K		0.8℃/40K		14.6℃/40K	
标准值	3.2℃/40K		3.2℃/40K		3.2℃/40K		3.2℃/40K	
结论	不符合		符合		符合		不符合	

环境温度变化影响试验,试验结果验证常州某变压器用气体压力式测温装置受到环境温度变化产生 1℃偏差影响的同时,其他品牌液体压力式温度计可能同步产生了 12℃的两表偏差。

为了进一步澄清液体压力式温度计毛细管尾长的合格上限,再次委托第三方对该 110kV 变电站使用的 5 个品牌液体介质充灌的温度计开展环境温度变化影响试验(图 3 中,由左至右为 1 号~5 号温度计)。试验结果表明:5 个 6m 尾长液体压力式温度计环境温度变化影响量的合格率仅为 20%(见表 3),只有 1 个采用不锈钢毛细管的进口温度计的环境温度变化影响水平符合中国国家标准规定;3 个中国品牌 6m 尾长温度计严重不符合要求,可见测温装置两表偏差源头就在温度计选型环节。



图 3 6m-温度计环境温度试验

4 总结

4.1 毛细管长度极限

(1)液体介质温度计。所有压力式温度计表计内弹性元件上都拥有一个环境温度补偿机构,压力式温度计传感器温包全部浸没于变压器油液面以

表 3 某 110kV 变电站使用的 5 种液体
介质温度计的试验数据

编号	1 号液体 (国产)		2 号液体 (国产)		3 号液体 (国产)		4 号液体 (进口)		5 号液体 (进口)	
恒温槽/℃	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
环境温度/℃	20	60	20	60	20	60	20	60	20	60
指针刻度/℃	98.5	103	101	105	101	111	99	106	98.5	101.5
影响量	4.5℃/40K		4.0℃/40K		10.0℃/40K		7.0℃/40K		3.0℃/40K	
标准值	3.2℃/40K		3.2℃/40K		3.2℃/40K		3.2℃/40K		3.2℃/40K	
结论	不符合		不符合		不符合		不符合		符合	

下,与环境温度变化无关;只有安装在走线槽内连接弹性元件与传感器的毛细管在油箱温度和夏天阳光的双重作用下可能遭受 60℃以上高温并产生巨大的影响量误差破坏温度计准确度。按照合格温度计的误差裕度推算:液体压力式温度计毛细管不宜超过 7m,否则将测温装置远方与就地之间的两表偏差控制在 5K 以内的目标难以实现。

(2)气体介质温度计。基于式(1)计算结论和表 2 和表 3 试验数据:气体压力式温度计毛细管尾长不宜超过 24m。

4.2 运行数据

(1)变压器配套数据。2009 年起常州某公司选择气体压力式温度计作为变压器测温装置标配组件,陆续配套的 3 112 台(套)投放市场,对照表 1 缺陷率记录已经充分证明温度计选型策略正确有效。

(2)电力运行数据。2011 年起 220kV 及以上有 53 个变电站(占比 51.7%)陆续更新使用了 392 台国产气体压力式温度计,其中 14 个 500kV 变电站更新使用气体介质温度计(占比 78%)后的两表偏差缺陷率从 2012 年度的 35.1%下降到 2015 年底的 1.6%;选择气体压力式温度计对消除由环境温度变化引起的两表偏差收到明显整改效果。

参考文献:

- [1] DL/T572-2005. 油浸式变压器运行规范[S].
- [2] DL/T1400-2015. 油浸式变压器测温装置校准规范[S].
- [3] 姜宏伟,徐其迎,游华春. 干式变压器温升理论与计算方法研究[J]. 变压器,2016,53(1):14-18.
- [4] 滕黎. 一种简化的油浸式变压器绕组热点温度计算模型[J]. 变压器,2016,53(2):7-11.
- [5] 张佳庆,范明豪,武海澄,等. 油浸式变压器排油注氮装置温度探测器数值仿真研究[J]. 变压器,2016,53(3):30-

34.

- [6] 于佰鑫,刘文里,邢雁凯,等. 电力变压器短路条件下绕组热稳定性的计算与分析[J]. 变压器,2016,53(5):8-11.
- [7] 陈文中,柳永玉,王均梅,等. 500kV 电压互感器现场误差检测装置一体化技术研究[J]. 变压器,2015,52(12):57-60.
- [8] 王 伟,郑含博,韩金华,等. 一起 500kV 电流互感器网络故障原因分析[J]. 变压器,2016,53(9):64-67.

作者简介:

张 喆(1983-),男,上海人,国网上海市电力公司检修分公司助理工程师,主要从事热工仪表计量工作。

刘逸松(1994-),男,湖南长沙人,长沙学院学生,研究方向为电力系统及其自动化。

收稿日期:2016-10-25

《变压器》杂志征稿启事

《变压器》杂志是由沈阳变压器研究院主办的中国变压器专业唯一面向国内外公开发行的专业技术期刊,主要刊载变压器、互感器、电抗器、调压器等产品及其组件的技术文献资料。本刊为月刊,每月25日出版。欢迎国内外专家、学者和广大科技人员踊跃投稿。本刊对来稿要求如下:

1. 内容及稿件规范化要求

(1)来稿内容要求具有前瞻性、先进性、系统性、实用性和导向性,并且论点明确,文字精炼流畅,用字规范,数据可靠。

(2)来稿需分别以中、英文给出标题、作者名、工作单位(若为大学,请写出所在院系)、单位所在省市、邮编、摘要、关键词及图和表的名称。

(3)来稿应提供第一和第二作者的简介(作者人数不多于6人)。作者简介包括:作者的姓名、出生年、性别、籍贯、单位名称、职称、主要从事的工作或研究方向。

(4)文中技术内容、物理量和单位符号应符合最新国家标准。

(5)文中所有公式(除经验公式外)应有简要的推导和证明过程。文中及公式中容易混淆的字母请注明文种,应给出所使用字母物理量及上下标字母含义,表示向量及矩阵的字母需特别标明。

(6)文稿标题中不宜有缩略词(化学符号和公知公用者除外),摘要和正文中的缩略词在第一次出现时必须写出全称,后加括号附缩略词。文中所用技术名词前后应一致,新名词应注明原文或加注释。

(7)文中表格宜在上方写表序和表名,表标注于表底。

(8)文中插图线条要均匀,主线与辅线粗细比例为2:1。照片要清晰。文中插图宜采用JPG或TIF格式。

(9)参考文献应选择最主要的列入,未公开发表资料请勿引用。文献序号按文中出现的先后顺序编排。参考文献的著录格式应符合国家标准,著录项目应尽可能齐全。

2. 投稿要求

(1)请登录中国变压器行业信息网(www.ctn.cn)主页点击“投稿入口”,注册投稿。

(2)为便于联系,请作者注明详细通讯地址、邮编、联系电话、手机号码及传真等。

(3)来稿一经刊登,本刊将按字数酌付稿酬,并赠当期《变压器》杂志一本。投稿前请确认无误后再投稿,一经投出,请勿反复更改。

(4)凡投寄本刊的稿件,应未在国内外期刊上公开发表过,对其稿件本刊具有专有使用权,作者不得一稿两投。作者投稿一旦被本刊采用、发表,没有本刊的书面同意,不得以任何形式在其他期刊发表。

(5)作者来稿若属于政府基金资助、国家攻关项目或获政府科技成果奖,请在文章首页底脚处注明基金来源及编号,本刊将予以优先录用。

(6)稿件字数不得超过13 000字,连载文章除外。

3. 其他要求

(1)作者在行使著作权时不得侵犯他人著作权。如发生侵犯他人著作权或其他权利,责任由作者自负,本刊保留追究其侵权行为给本刊造成损失的权利。

(2)对未录用稿件本刊一律不退还原稿,请作者自留底稿。

(3)本刊采用的稿件,不代表本刊观点,作者问责自负。本刊有权对其进行文字上的修改和删节。对内容的较大修改将征求作者意见。

(4)本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及系统数据库产品中以数字化方式通过网络传播本刊全文。该社著作权使用费与本刊稿酬一并支付,作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意上述规定。

联系地址:

沈阳市沈北新区虎石台南大街20号

沈阳变压器研究院

《变压器》杂志编辑部

邮编:110122

电话:(024)23929375 23929376

(024)23787022-8302

传真:(024)23929376

电子邮箱:sti-tp@vip.tom.com