

变压器测温装置现场准确度状态研究

张书琦¹, 汪可¹, 徐征宇¹, 袁志文², 高凯², 徐湘忆²

(1.中国电力科学研究院有限公司, 北京 100192;

2.国网上海市电力公司电力科学研究院, 上海 200437)

摘要:针对变压器连续运行工况条件不支持测温装置开展周期检验的问题,提出一种智能化准确度状态评价方法,达到提升计量器具周期检验作业效率的目的。

关键词:测温装置;自诊断;标准器溯源;纵横比变化率

中图分类号:TM403.5

文献标识码:B

文章编号:1001-8425(2020)12-0047-04

Research on On-Site Accuracy Status of Transformer Temperature Measuring Device

ZHANG Shu-qi¹, WANG Ke¹, XU Zheng-yu¹, YUAN Zhi-wen²,
GAO Kai², XU Xiang-yi²

(1.China Electric Power Research Institute Co., Ltd., Beijing 100192, China;

2.Electric Power Research Institute of State Grid Shanghai Power Co., Ltd., Shanghai 200437, China)

Abstract:In view of the problem that the continuous operating condition of transformer does not support the periodic inspection of temperature measuring device, an intelligent accuracy state evaluation method is proposed to improve the working efficiency of the periodic inspection of measuring instrument.

Key words:Temperature measuring device; Self-diagnosis; Traceability of standard apparatus; Aspect ratio change rate

1 前言

变压器热保护可靠性与测温装置准确度密切相关,如何通过科学方法界定使用中的指针温度计实际准确度水平并准确获取电力变压器运行温度数据,对于保证变压器的安全运行非常重要。

变压器指针温度计检定规程要求指针温度计的检验周期最长不超过一年,但是变电站不间断连续运行工况条件不支持变压器每年申请停电开展测温装置检验作业,实践中发现,确有部分国产指针温度计在送检周期内已经出现了因为弹性元件材料疲劳或者密闭系统慢性渗漏等原因,使得温度计处在不合格状态下仍在运行的问题。而特高压变压器配套进口或者组装的指针温度计在检验周期内大部分产

品的计量性能基本完好,由于周期检验过程中需要将温度计毛细管从走线槽中拆出,这会给指针温度计带来20%左右损伤或报废。

为解决电力生产一线长期存在的指针温度计周期检验管理冲突问题,本文中笔者提出带电条件下每个月定期开展测温装置准确度在线状态评价的数字孪生自诊断方法。

2 数字孪生自诊断技术

测温装置远方显示值与标准器读数相等是自诊断技术核心支撑点,如何及时有效修正传感器和温度变送器以及显示器的漂移量是至关重要的问题。

变电设备故障经常是伴随运行温度异常,按照变压器运行规范要求在同一个人测量点上两种不同工

作原理传感器带来的两表偏差超过 5K 时,说明本体或者远方两个独立的测温通道中已有一个计量器具丧失出厂准确度水平,进而可以区分出这个运行温度异常是源于变压器故障还是温度计故障。

独立通道原则是指某一个测量系统的某个环节出现故障并不会影响另一系统的正常工作,对于测温装置来说,独立通道在远端测量系统和近端测量系统中出现故障后互不影响。变压器运行规范要求测温装置中本体机械式指针温度计示值与远方后台电子显示屏数据之间的两表偏差不大于 5K。

在自诊断系统中,测温装置中指针温度计由温包、毛细管及表计等组成;而远传信号装置由测温元件、温度变送器及远方显示等组成。指针示值 T 与远方显示值 t 之间的差值 $|T-t|$ 称为两表偏差,见图 1。

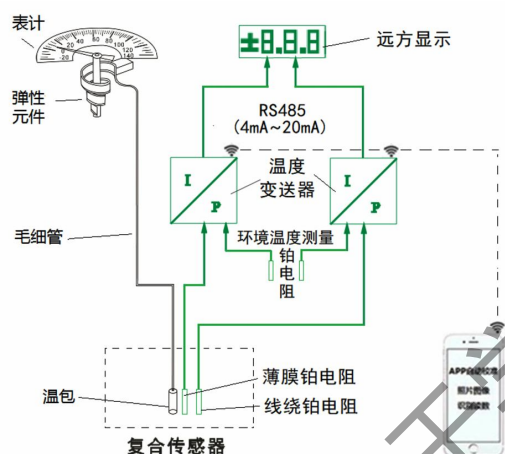


图 1 测温装置自诊断原理

图 1 中选用了全天候指针温度计和智能化远传信号装置组合而成的测温装置,该测温装置由测量误差分别都不大于 $\pm 2.4^{\circ}\text{C}$ 的两个独立通道测量系统组成。数字孪生自诊断方法如下。

(1) 测温装置在出厂前已经将指针温度计和远方显示器分别设置 9 个出厂检验点,将 20°C 、 -25°C 以及 60°C 三种环境温度条件下的 27 组 54 个基础数据全部录入温度变送器数据库,见表 1。

测温装置的 27 个远方初始值与标准器读数相等(即测温装置远方显示器数据可视同标准器溯源值),在此条件下两表偏差与指针示值误差相等。由此通过对两表偏差区间划分可以在标准器框架下给出测温装置准确度状态评价见表 2。

(2) 测温装置出厂前在智能变送器内分别录入一个 1/5B 级薄膜铂电阻和一个 1/5B 级线绕铂电阻传感器,在 20°C 、 -25°C 和 65°C 环境条件下分别测出 27 组 54 个基础数据见表 3。

表 1 测温装置基础数据

检验点		-20℃	0℃	20℃	40℃	60℃	80℃	100℃	120℃	140℃
环境 温度 20℃	指针 示值	T_{20-1}	T_{20-2}	T_{20-3}	T_{20-4}	T_{20-5}	T_{20-6}	T_{20-7}	T_{20-8}	T_{20-9}
	远方 数据	t_{20-1}	t_{20-2}	t_{20-3}	t_{20-4}	t_{20-5}	t_{20-6}	t_{20-7}	t_{20-8}	t_{20-9}
环境 温度 -25℃	指针 示值	T_{-25-1}	T_{-25-2}	T_{-25-3}	T_{-25-4}	T_{-25-5}	T_{-25-6}	T_{-25-7}	T_{-25-8}	T_{-25-9}
	远方 数据	t_{-25-1}	t_{-25-2}	t_{-25-3}	t_{-25-4}	t_{-25-5}	t_{-25-6}	t_{-25-7}	t_{-25-8}	t_{-25-9}
环境 温度 65℃	指针 示值	T_{65-1}	T_{65-2}	T_{65-3}	T_{65-4}	T_{65-5}	T_{65-6}	T_{65-7}	T_{65-8}	T_{65-9}
	远方 数据	t_{65-1}	t_{65-2}	t_{65-3}	t_{65-4}	t_{65-5}	t_{65-6}	t_{65-7}	t_{65-8}	t_{65-9}

表 2 测温装置状态评价

两表偏差 $ T-t $	状态评价	处置原则
$>4.8\text{K}$	至少一个仪表失效	实施抢修作业
$<2.4\text{K}$	两个仪表全部完好	建议延长检验周期
$2.4\text{K} \sim 4.8\text{K}$	其中一个仪表失效	及时开展自诊断

铂电阻的漂移量一般小于允许误差的 1/2,也就是说 1/5B 级铂电阻在 100°C 的允许误差为 $\pm 0.16^{\circ}\text{C}$,单个 1/5B 级铂电阻的漂移量小于 0.08°C ,两个 1/5B 级铂电阻差值的漂移量上限应不大于 0.16°C 。

现场读取温度点数据与生产线基础值在线比对后可知,两种不同制造工艺的铂电阻温度传感器最大差值绝对值定义为漂移量,当漂移量 $\delta \leq 0.16^{\circ}\text{C}$ 可判定两组铂电阻传感器均为正常状态。当漂移量 $\delta > 0.16^{\circ}\text{C}$ 可判定两组铂电阻传感器至少有一个为异常状态,通过变送器智能校准可以消除这个漂移量误差。

表 3 铂电阻基础数据

检验点		-20℃	0℃	20℃	40℃	60℃	80℃	100℃	120℃	140℃
环境 温度 20℃	薄膜铂电 阻示值	A_{20-1}	A_{20-2}	A_{20-3}	A_{20-4}	A_{20-5}	A_{20-6}	A_{20-7}	A_{20-8}	A_{20-9}
	线绕铂电 阻示值	B_{20-1}	B_{20-2}	B_{20-3}	B_{20-4}	B_{20-5}	B_{20-6}	B_{20-7}	B_{20-8}	B_{20-9}
环境 温度 -25℃	薄膜铂电 阻示值	A_{-25-1}	A_{-25-2}	A_{-25-3}	A_{-25-4}	A_{-25-5}	A_{-25-6}	A_{-25-7}	A_{-25-8}	A_{-25-9}
	线绕铂电 阻示值	B_{-25-1}	B_{-25-2}	B_{-25-3}	B_{-25-4}	B_{-25-5}	B_{-25-6}	B_{-25-7}	B_{-25-8}	B_{-25-9}
环境 温度 65℃	薄膜铂电 阻示值	A_{65-1}	A_{65-2}	A_{65-3}	A_{65-4}	A_{65-5}	A_{65-6}	A_{65-7}	A_{65-8}	A_{65-9}
	线绕铂电 阻示值	B_{65-1}	B_{65-2}	B_{65-3}	B_{65-4}	B_{65-5}	B_{65-6}	B_{65-7}	B_{65-8}	B_{65-9}

3 变送器周检和标准器校准

图 2 中采用的是接插件方式的智能变送器,可以在不停电条件下使用便携式电阻箱和标准电流表对温度变送器实施周期检验,检验数据通过无线方式同步录入智能变送器数据库(见图 3)。

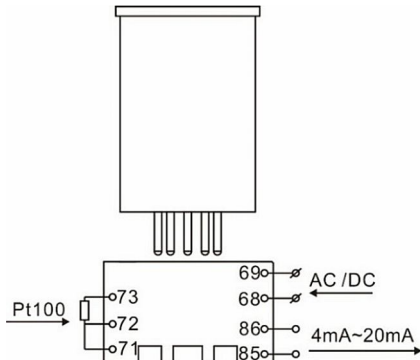


图 2 接插件固定

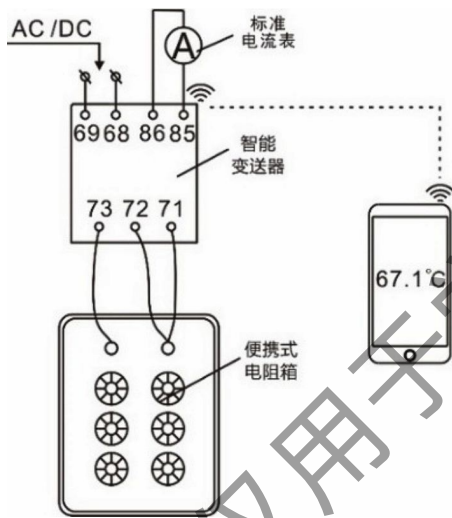


图 3 校准示意图

智能变送器依据两种不同制造工艺(薄膜铂电阻和线绕铂电阻)的漂移量及智能变送器周检数据自动运算获取的系统误差,可以在不停电条件下自动修正系统误差,修正后的铂电阻和智能变送器组成的测量系统准确度水平可视等效标准器。

4 准确度状态评价

测温装置状态评价是基于巡检、带电检测、不良工况及发展趋势,结合大数据分析而做出状态评价,进而给出周期检验时间点的处置意见。

4.1 准确度状态量

按照状态检修标准的规定,初值是能够代表状态量原始值的试验值(例如出厂值);注意值是指状态量达到该数值时,设备可能存在或可能发展为缺

陷;警示值是指状态量达到该数值时,设备已存在缺陷并有可能发展为故障。测温装置的状态量为两表偏差,则状态的初值、注意值和警示值推荐范围如表 4 所示。

表 4 准确度状态表

状态量	定义	处置结论
初值	两表偏差值 2.4℃	能够代表状态量原始值的试验值。
注意值	两表偏差值 3.6℃	趋势明显时应加强跟踪监测。
警示值	两表偏差值 4.8℃	趋势明显时应尽快申请停电消除隐患。
评价依据	纵横比小于 1.2℃	检验周期可延期 1 年。

4.2 巡视数据比对分析

测温装置 90%以上的故障是由指针温度计的慢性渗漏和环境温度变化影响引发,通过对巡视数据比对分析可确定慢性渗漏故障和环境温度影响量故障。每周对每一台变压器 a、b、c 三相的 6 台油面温度计进行巡视,并对巡视数据进行横向比对和纵向比对以及纵横比分析(见表 5)。

表 5 巡视数据比对

日期/设备	第 1 周		第 2 周		……	第 52 周	
	油温 1	油温 2	油温 1	油温 2	……	油温 1	油温 2
a 相	a_1	A_1	a_2	A_2	……	a_{52}	A_{52}
b 相	b_1	B_1	b_2	B_2	……	b_{52}	B_{52}
c 相	c_1	C_1	c_2	C_2	……	c_{52}	C_{52}

(1)横比 r_h 。

横比是指在同一时刻对同一台变压器上 6 台油温计的巡视数据进行对比。比对 a、b、c 三相同一时期的巡视数据(例如 $a_1、b_1、c_1、A_1、B_1、C_1$ 或 $a_2、b_2、c_2、A_2、B_2、C_2$),例如变压器运行温度为 50℃时,当 6 个巡视数据中的一个高于另外五个数据平均值 3.6℃以上时,可判定这台温度计存在环境温度影响量超差风险;当 6 个巡视数据中的一个低于另外五个数据平均值 3.6℃以上时可判定这台温度计存在慢性渗漏风险。上述故障风险预判有效性可以通过纵向比对加以确定。

(2)纵比 r_z 。

纵比是将不同时刻某一台或若干台油温计的历史数据进行比较。将不同时期某一台油温计的历史数据进行垂直比对(计算当前值与历史值之差)并发现负偏差 3.6℃时有助于帮助确定慢性渗漏故障;将不同时期对若干台油温计的历史数据进行交叉比对(例如 a_1-b_1 和 $a_2-b_2、a_1-c_1$ 和 $a_2-c_2、b_1-c_1$ 和 b_2-c_2)并发现正偏差 3.6℃有助于帮助确定环境温度变化影响量超差。

(3) 纵横比 r_{zh}

纵横比是以 a、b、c 三相上的 6 台油温计当前巡视值和上次巡视值为基准, 根据 $a_1/(b_1+c_1+A_1+B_1+C_1)$ 或与 $a_2/(b_2+c_2+A_2+B_2+C_2)$ 的变化率的差异进行的垂直交叉比对。通过忽略相同影响量后的纵横比有助于对横比判断或者纵比判断的再次确定。

(4) 检验周期调整。

慢性渗漏影响绝对值和环境温度影响绝对值均低于 1.2°C 时检验周期可申请延期 1 年。

5 环境温度变化对准确度的影响

变电设备故障多伴随运行温度异常, 通过在线温度数据可以预判变电设备故障风险。指针温度计应用于变压器温度检测, 主要原因是其具备优异的抗雷击性能、长期户外 IP55 运行能力以及无源保护接点三个特点。油浸变压器选用 A 级绝缘耐温上限是 105°C , 其平均油温升不超过 55K , 取 40°C 最高环境温度时变压器油温上限应不超过 95°C 。为了保证变压器设计寿命, 温度保护报警设定值 95°C , 跳闸设定值 105°C , 我国标准还规定强油循环风冷变压器发生冷却器全停并引发顶层油温超过 75°C 时应实施跳闸保护。由此, 变压器出厂时都会按照国家标准要求配置指针温度计超温跳闸保护功能。我国变压器投运后会因为温度保护误动频发原因而撤消跳闸保护者占比超过 94%, 主要原因是国内指针温度计制造标准采用 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 环境条件下定义的 1.5%FS 实验室准确度, 而将环境温度影响附加误差另行考核(见表 6)。

6 结论

本文中笔者针对变压器测温装置中的常见问题, 提出了测温装置中现场指针温度计通道设计寿命应优于 15 年, 远方温度变送器可以定期通过插拔方式实现带电周期检验。内置自诊断功能的测温装置, 应能定期自动排查出测量准确度不合格指针温度计或温度变送器, 支持“应修必修”作业要求及

表 6 环境温度变化对保护动作准确度的影响

指针温度计	JB/T 6302
允许动作误差	$\pm 3.6^{\circ}\text{C}$
变电站环境温度	$-25^{\circ}\text{C} \sim 65^{\circ}\text{C}$
环境温度影响量	$\pm 3.8^{\circ}\text{C}/45\text{K}$
接点动作误差	$\pm 7.4^{\circ}\text{C}_{\text{MAX}}$

时消除测温装置“带病工作”现象。应用内置自诊断功能的测温装置指针温度计可以实现周期检验延期, 为支持变电站 40 年的全寿命周期成本管理, 建议根据实际情况, 对运行 10 年以上的指针温度计及时更新。

参考文献:

- [1] JJG 310-2002, 压力式温度计[S].
- [2] DL/T 572-2010, 电力变压器运行规程[S].
- [3] 李金忠, 沈维捷, 胡煜亮, 等. 开展变压器测温装置不停电检修的必要性分析[J]. 变压器, 2019, 56(3): 74-78.
- [4] 袁志文, 姜益民. 落实 IEC 标准变压器温度计全天候准确度规定的必要性研究[J]. 电力与能源, 2019, 40(6): 789-790.
- [5] 张 喆, 刘逸松, 洪睿钧, 等. 消除变压器测温装置两表偏差缺陷的有效途径[J]. 变压器, 2017, 54(3): 70-73.
- [6] 王丽丽, 高树国, 丁 钰, 等. 光纤复合式变压器电磁线的温度检测试验研究[J]. 变压器, 2020, 57(5): 69-72.
- [7] 高 强, 申 莉, 郭 雨. 最小分度值引发指针温度计保护误动事故的纠正和预防[J]. 变压器, 2019, 56(5): 21-25.
- [8] 谢志成, 潘志城, 邓 军, 等. 高压交流套管频域介电谱与电压、温度相关性初探[J]. 变压器, 2020, 57(8): 11-15.
- [9] Q/GDW 13008.1-2014, 电力变压器采购标准 第 1 部分: 通用技术规范[S].

作者简介:

张书琦(1981-), 男, 辽宁庄河人, 高级工程师。

收稿日期: 2020-09-13