

变压器温度计开关动作错误试验方法引发的事故风险评价

袁志文¹, 张金丽², 张喆³, 朱正一⁴, 陈铁敏⁴, 吕金伟⁴

(1. 华东电力试验研究院有限公司, 上海 200437;

2. 国网上海电力科学研究院有限公司, 上海 200437;

3. 国网上海市电力公司检修分公司, 上海 200063;

4. 国网上海市电力公司特高压交直流运检中心, 上海 201708)

摘要:变电设备的使用寿命与其运行温度密切相关, 温度计保护开关是否准确动作将直接关系到变压器的“健康长寿”。电力行业验收标准对全天候变压器温度计提出开关动作误差试验方法三要素, 即匀速升温、内压力驱动及标准器读数。为了降低检验工作时间成本, 有部分检验员采用“手拔法”等三种错误方法开展检验工作。本文作者通过对实践中由检验员创造发明的三种开关动作错误试验方法进行梳理及验证, 对错误试验方法可能引发变压器温度保护误动的风险进行同比分析和对标评价。

关键词:温度计开关; 标准试验方法; 错误试验方法

中图分类号: TH811

文章编号: 2096-4633(2023)S2-0083-06

文献标志码: B

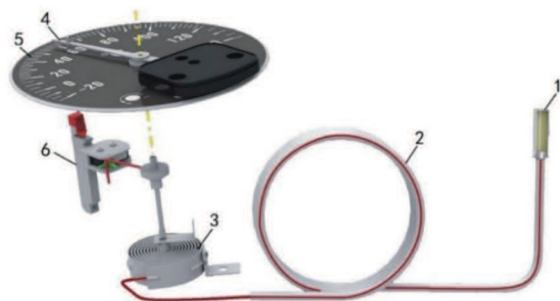
1 前言

变电设备的使用寿命与其运行温度密切相关, 超过 A 级绝缘材料 105℃耐温上限后变压器使用寿命将以“6℃法”大打折扣^[1]。为此, 特高压换流变压器等都采用了强油循环冷却装置进行运行温度管理, 其中温度计保护开关是否准确动作将直接关系到变压器的“健康长寿”。强油冷却装置发生全停故障并导致变压器油温超过 75℃时需执行跳闸保护^[2], IEC 规定这个跳闸保护动作误差不超过 75℃±3℃(150℃量程)^[3]。也就是说变压器温度计在 72℃之前发生动作可判为误动事故; 在 78℃未动作时可认定为拒动事故, 标准规定应以在每分钟 1.0℃的匀速升温条件下获取的开关动作误差试验数据判定其合格与否^[4]。为了降低检验工作时间成本仍有部分检验员采用“手拔法”等三种错误方法开展检验工作, 作者对这些错误试验方法可能带来的危害进行了梳理和验证。

2 标准规定的试验方法

图 1 所示为变压器温度计采用压力式测温方法。

在由传感器温包、毛细管及弹性元件三个零件焊接而成的密闭系统内充灌感温介质(例如航空煤油或惰性气体); 温包内感温介质热胀冷缩引发的体积增量通过毛细管传递至弹性元件带动示值指针在刻度盘上显示被测温度^[5], 同步推动温度控制开关(以下简称开关)动作实现跳闸保护^[6]。



1—温包; 2—毛细管; 3—弹性元件; 4—示值指针;
5—刻度盘; 6—温度控制开关

图 1 变压器温度计工作原理图

中国电力行业验收标准对全天候变压器温度计^[7]提出开关动作误差试验方法三要素^[8]:

a) 试验时应将标准温度计和温度传感器同时插入油槽中;

b) 油槽温场应以 0.8℃/min~1.0℃/min 的速率匀速缓慢升温;

c)开关动作瞬间读取的标准温度计示值与开关设定值之间差值定义为开关动作误差。

压力式测温系统环境温度变化的影响,存在环境温度影响量隐性附加误差。目前电力市场中运行的实验室温度计只能用于 $15^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$ 室内环境,当实验室温度计用于户外是会存在一个环境温度影响量附加误差^[9]。例如一台公示 1.5 级准确度,量程为 160°C 实验室油温计的标称接点动作误差为 $\pm 3.6^{\circ}\text{C}$;在 $-25^{\circ}\text{C}\sim 65^{\circ}\text{C}$ 的运行环境温度条件下会叠加一个 $\pm 3.6^{\circ}\text{C}$ 的环境温度影响量附加误差,其运行中的接点动作误差限将达到 $\pm 7.2^{\circ}\text{C}$ ^[10]。

由此可见,一方面本文是对 160°C 量程的 1.5 级测量误差不大于 $\pm 2.4^{\circ}\text{C}$ ($-25^{\circ}\text{C}\sim 65^{\circ}\text{C}$) 的全气候温度计^[11]开展开关动作误差试验研究;另一方面中国电力行业验收标准提供的开关动作误差试验方法满足自主内压力驱动和匀速升温以及标准器读数的检验三要素。

3 错误试验方法

3.1 错误方法 1——手拔法

手拔法是在实际操作中较为常见的一种错误方法如图 2 所示:

- 将油温计开关设定在“整定单”要求设定点上;
- 用手顺时针拨动油温计示值指针;
- 油温计开关动作瞬间停止拨动指针并读取指针示值;
- 此时的指针示值与开关设定值之间的差值就是手拔法定义的开关动作误差。

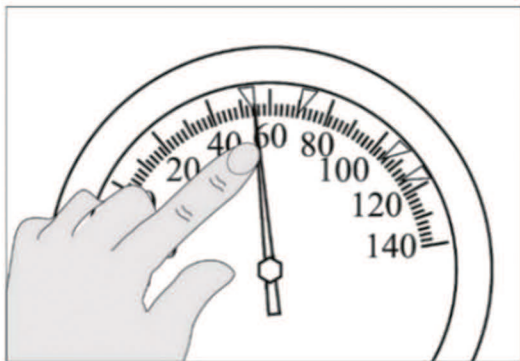


图 2 手拔法操作示意图

首先手拔法选择包含示值误差的指针示值作为计量参比依据,将指针示值与开关设定值之差作为开关动作误差,这就引入了油温计示值误差的影响

量,导致开关无法按实际被测温度进行发信控制。如图 2 所示 K1 设定值为 55°C ,采用手拔法在示值 51°C 时开关动作,按手拔法的判定此开关动作误差为 -4°C ;但是由于该油温计 55°C 示值误差为 -2°C ,实际在示值为 51°C 时,标准温度计的温度读数是 53°C ,标准开关动作误差应为 -2°C ,这是手拔法误判率居高的主要原因。

其次手拔法使用人工外力拨动指针来驱动开关动作,试验过程中油温计测温系统的驱动元件未参与驱动开关动作,没有消除因测温系统驱动力滞后带来的影响量。

最后手拔法实施人工拨动指针动作,在试验过程中由于不同操作者的人为习惯和不同的拨动速率导致,在没有消除因测温系统测温滞后带来的影响量的同时带来很大的不可复现性^[12]。

3.2 错误方法 2——定值法

定值法的试验方法如下:

- 将恒温槽稳定在开关“整定单”要求的温度点上;
- 将被检油温计的温度传感器插入恒温槽;
- 待油温计示值稳定后,用手向下行程方向拨动开关设定针;
- 油温计开关动作瞬间,停止拨动开关设定针,此时油温计的开关设定值与恒温槽标准温度的差值即为定值法定义的开关动作误差。

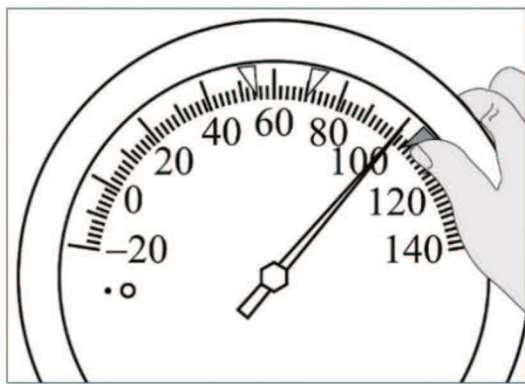


图 3 定值法操作示意图

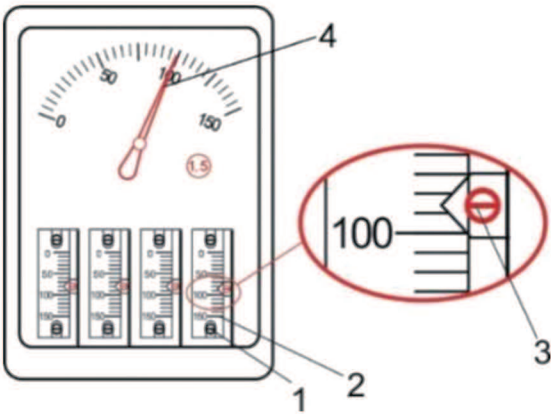
定值法虽然将标准温度值作为计量参比依据,提高了试验结果的置信度,但其一方面未考虑油温计测温系统测温滞后的影响量,另一方面还是有人工手动操作掺杂人为因素,不支持复现要求。定值法还存在二次设定误差影响。如图 3 所示,恒温槽为 100°C 时指针示值为 100°C ,用手将开关设定针从

刻度盘 110℃位置缓慢向下行程方向拨动,当拨动到 104℃位置时开关动作,就将开关设定针设定在 104℃的位置。虽然修改开关设定值为 104℃时可以满足开关在标准油温 100℃时动作的要求,但其接开关定值整定单“100℃”的要求不符。如果在试验完成后需再次对开关设定值进行调整,由此会带来二次设定误差影响。

3.3 错误方法 3——平移法

对于部分如图 4 所示的示值刻度盘与开关设定刻度盘分开的方形油温计,生产厂家提出可以通过平移法调整开关动作误差使其符合要求。生产厂家提供的平移法操作如下:

- a)将图 4 所示的开关设定针(3)调整并固定在“整定单”要求的设定值上;
- b)拨动开关设定刻度盘(2),使油温计示值指针缓慢向上移动,当指针示值达到开关设定值时观察开关是否动作;
- c)如开关此时未动作则拧松设定刻度盘固定螺钉(1),调整设定刻度盘固定位置,通过反复调整设定刻度盘位置来实现开关动作误差合格。



1.刻度盘固定螺钉;2.开关设定刻度盘;
3.开关设定针;4.示值指针

图 4 平移法示意图

平移法除存在手拔法的缺陷以外,还存在的问题是检测人员调整开关设定刻度盘可能破坏开关设定基准,当该开关再次调整设定值时,其开关动作误差将出现大概率超差故障。

4 争议与讨论

针对实践中存在的争议进行讨论如下表。

表 1 试验方法讨论表

序号	争议点	正方	理由	反方	理由
01	不满足标准规定的内压力驱动和匀速升温以及标准器读数的检验三要素时,可否采用其它变通的试验方法?	支持	手拔法等变通手段可以大幅度提高检验效率。	反对	标准规定的开关动作试验方法最接近变压器油温计实际运行工况,采用其它变通试验方法检验“合格”的温度计在运行中存在度保护误动风险。
02	55℃开关动作误差试验不合格时,是否可以通过改变设定值使之合格吗?	支持	该温度计用于某一确定的变压器上时可以满足 55℃动作要求。	反对	准确动作不一定检验合格,55℃开关设定值改变后与整定单要求不一致。当该不合格备品用于其它变压器上时会引发误动事故。
03	检验员移动开关设定刻度盘来满足试验要求是否可以?	支持	移动刻度盘可以消除某一开关设定点的动作误差,满足这个特定现场用户使用需求。	反对	a 移动刻度盘就是改变计量基准违反计量法;b 移动刻度盘消除某一检验点误差的同时会破坏温度计其他检验点的准确度水平。
04	手拔法是错误的,是否应该全面禁止手拔指针的操作?	不应禁止	试验前对开关完好程度进行确认时需要采用手拔操作。	应该禁止	a 手拔法将包含示值误差的温度计刻度值作为计量参比依据是不合理的;b 手拔法获得的数据没有包含温度计响应速度等因素的影响;c 手拔法受人为因素影响较大。

5 验证与分析

为了验证上述试验方法的有效性,作者从变压器备品仓库抽取了 10 台在华东地区常用品牌的油温计,分别按 DL/T 1400.3-2023 提供的标准试验方法、手拔法、定值法和设定法进行了开关动作误差试验,测试结果见表 1。

表 2 开关动作误差试验方法验证

序号	设定值	标准法	手拔法	定值法	平移法
1	55℃	0.4	1	-0.2	0
	75℃	-0.8	0.4	-0.9	0
	95℃	1.7	2	1.1	0
	105℃	3.5	2.2	3.1	0
2*	55℃	1.5	-0.2	1.1	/
	75℃	-1.1	-0.4	-1.2	/
	95℃	1	0.4	0.8	/
	105℃	-0.4	-2.6	-0.9	/
3*	55℃	1	-1.6	0.3	/
	75℃	0.5	0.6	-0.5	/
	95℃	-0.3	-2.2	-1.3	/
	105℃	-2.9	-5.2	-3.4	/
4	55℃	2.7	1	2	0
	75℃	-1.5	-1.8	-2.3	0
	95℃	0.4	1	-0.4	0
	105℃	1.1	0.6	0.3	0
5*	55℃	1.7	-0.2	0.7	/
	75℃	-0.2	-1	-1.2	/
	95℃	-0.2	-2.2	-1.3	/
	105℃	1.6	1	0.5	/
6	55℃	0.6	0	-0.1	0
	75℃	-1.2	-2.6	-2.2	0
	95℃	-1.5	-2.2	-1.9	0
	105℃	0.7	-0.8	0.2	0
7	55℃	-0.1	-2.4	-0.7	0
	75℃	-0.2	-0.8	-0.7	0
	95℃	1	-0.8	0.3	0
	105℃	-0.6	0.8	-1.2	0

续表 2

序号	设定值	标准法	手拔法	定值法	平移法
8	55℃	-1.6	-2.4	-2.6	0
	75℃	2	0.4	1	0
	95℃	-0.6	-2.2	-1.1	0
	105℃	-0.9	-1.8	-1.3	0
9	55℃	0.5	0	0.1	0
	75℃	-0.4	-0.2	-0.9	0
	95℃	1.4	0.6	1.4	0
	105℃	-0.6	-0.6	-1	0
10	55℃	2.3	0.8	2	0
	75℃	-0.5	-2.4	-0.7	0
	95℃	-0.3	-2.2	-1.1	0
	105℃	-0.7	-0.2	-1.4	0

* 注:序号 2、3、5 圆形油温计不具备平移法试验条件

实测结果显示,手拔法、定值法和平移法与标准试验法的平均偏差分别可达 1.16℃、0.62℃ 和 1.06℃,综上所述,正确的开关动作误差试验方法应包含表 2 所示的三要素,任何缺失都将导致检验数据错误引发开关拒动(误动)的人为故障。

表 3 开关动作误差试验三要素

三要素	标准法	手拔法	定值法	平移法
内压力驱动	√	×	×	×
匀速升温	√	×	×	×
标准器读数	√	×	√	×
故障风险	无	有	有	有

手拔法等三种错误试验方法会引发开关误动(拒动)风险,同时潮湿环境^[13]和环境温度影响^[14]也可能会引发开关误动(拒动)。

测量不确定度是试验结果质量的一个衡量尺度。一切试验结果都不可避免的具有不确定度,不确定度愈小,试验结果与真值愈靠近,其质量愈高,使用价值愈大;反之,不确定度愈大,结果与真值偏离愈远,其质量愈低,使用价值愈小。因此,试验方法的不确定度就是对试验结果质量和水平的定量表征。油温计开关动作误差试验的不确定度来源主要包括:标准器读数、恒温槽均匀性、恒温槽波动性、标准器修正、开关设定读数、开关动作重复性;参考《最

小分度值引发指针温度计保护误动事故的纠正和预防》^[15]对开关动作误差试验不确定度计算结果,部分如图5所示开关设定刻度盘示值间隔为10℃的方形油温计是无法保证开关动作误差试验有效性。为确保油温计开关动作误差试验的计量学要求,DL/T1400.3要求的油温计的开关设定刻度盘的最小分度值为2℃。

6 结论

6.1 “手拨法”与标准规定的升温法直接冲突,错误的试验方法获取的所有记录都是无效数据;

6.2 按照标准提供的试验方法开展开关动作误差试验,就能确保开关动作误差试验结果正确无误并可复现;

6.3 按照DL/T 1400.3-2023开关设定定刻度盘最小分度值应不超过2℃的要求,可以杜绝读数误差引发的误判事故风险。

参考文献:

- [1] 中国电器工业协会.电力变压器第7部分:油浸式电力变压器负载导则:GB/T 1094.7-2008[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [2] 电力变压器标准化委员会.电力变压器运行规程:DL/T 572-2021[S].北京:中国电力出版社,2021.
- [3] TC 14.Power transformer and reactor fittings-Protective devices:IEC 60076-22-1-2019[S].IEC,2019.
- [4] 中国机械工业联合会.变压器用油面温控器:JB/T 6302-2016[S].北京:中国标准出版社,2017.

- [5] 全国温度计量技术委员会.压力式温度计校准规范:JJF 1909-2021[S].北京:中国标准出版社,2021.
- [6] 全国温度计量技术委员会.温度开关温度参数校准规范:JJF 1632-2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [7] CEN/TC141.Dial thermometers:EN 13190:2001[S].CEN,2001.
- [8] 中国电力企业联合会.变压器测试仪校准规范第3部分:油浸式变压器测温装置:DL/T 1400.3-2023[S].北京:中国电力出版社,2023.
- [9] 中国机械工业联合会.变压器用绕组温控器:JB/T 8450-2016[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [10] 张书琦,汪可,徐征宇等.变压器测温装置现场准确度状态研究[J].变压器,2020,57(12):47-50.
- [11] CLC/TC 14.Power transformer and reactor fittings-Part 11:Oil and winding temperature indicators:EN 50216-11:2008[S].CEN,2008.
- [12] 蔡之文,徐春,刘逸松等.变压器指针温度计定值试验误区剖析[J].变压器,2017,54(07):46-48.
- [13] 蔡之文,洪元瑞,罗莎等.高湿环境下电气接点缺陷消除途径研究[J].电力与能源,2018,39(05):649-651.
- [14] 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(06):789-790.
- [15] 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(05):21-25.

收稿日期:2023年12月2日

作者简介:



袁志文(1972),男,高级工程师,长期从事电力设备运维及计量技术等研究领域研究工作。

(本文责任编辑:王燕)

Risk Assessment of Accidents Caused by Incorrect Operation Test Methods of Transformer Thermometer Switches

YUAN zhiwen¹,ZHANG Jinli²,ZHANG Zhe³,ZHU Zhengyi⁴,CHEN Tiemin⁴,LYU Jinwei⁴

1.East China Electric Power Testing and Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200437,China;

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

3.State Grid Shanghai Electric Power Company Maintenance Branch, Shanghai 200063,China;

4.Ultra High Voltage AC/DC Operation and Inspection Center,State Grid Shanghai Electric Power Company, Shanghai 201708,China)

Abstract:The service life of substation equipment is closely related to its operating temperature, and the accurate operation of the thermometer protection switch will directly affect the "health and longevity" of the transformer.The acceptance standards for the Chinese power industry propose three elements of the switch action error test method for all-weather transformer thermometers, namely uniform heating, internal pressure drive, and standard thermometer readings.In order to reduce the time and cost of inspection work, some inspectors still use three incorrect methods such as "manual pointer method" to carry out inspection work.This article reviews and verifies three switch action error testing methods invented by inspectors in practice, and conducts a year-on-year analysis and benchmarking evaluation of the risk of transformer temperature protection misoperation caused by incorrect testing methods.

Key words:switch of thermometer ;standard test methods ; incorrect testing methods