



最小分度值引发指针温度计保护 误动事故的纠正和预防

高强¹, 申莉², 郭雨²

(1. 国网湖北省电力有限公司湖北检修分公司, 湖北 武汉 430000;

2. 国网湖北省电力有限公司电力科学研究院, 湖北 武汉 430000)

摘要: 本文分析了油浸式变压器用温度计的最小分度值选择不当时可能引发指针温度计保护误动风险机理, 并分别对 2°C、5°C、10°C 分度值的测量不确定度进行了评价, 同时提出了纠正预防措施。

关键词: 指针温度计; 保护误动; 最小分度值

中图分类号: TM403.9

文献标识码: B

文章编号: 1001-8425(2019)05-0021-05

Correction and Prevention of Misoperation Accident of Pointer Thermometer Protection Caused by Minimum Grading Value

GAO Qiang¹, SHEN Li², GUO Yu²

(1. State Grid Hubei Electric Power Co., Ltd., Hubei Overhaul Branch, Wuhan 430000, China;

2. State Grid Hubei Electric Power Co., Ltd., Institute of Electric Power Science, Wuhan 430000, China)

Abstract: The oil-immersed thermometer minimum graduation choose not at that time may raises the pointer thermometer protection malfunction 2°C, 5°C, 10°C division value of measurement uncertainty were evaluated the same proposed to correct the protection measures.

Key words: Pointer thermometer; Protection malfunction; Minimum grading value

1 引言

2009年1月6日世界首个特高压工程——1000kV 千伏晋东南—南阳—荆门特高压交流试验示范工程投入商业运行, 我国电网自此迈入特高压时代。10年来我国特高压电网发展迅猛, 湖北荆门1000kV 特高压变电站不仅在特高压技术推广过程中贡献宝贵经验, 同时对众多临近设计寿命的保护组件采取不确定度筛选方法, 为选择性能可靠备品产品提供了科学依据。

荆门1000kV 特高压变电站的特高压变压器、电抗器和站用变压器共计配套使用的各种测温装置41台套, 分别承担变压器冷却系统投切、提供变压器超温报警和超温跳闸控制信号等保护任务(见图1)。

指针温度计由压敏元件(波登管或波纹管)、毛细管和传感器温包三个零件焊接构成密封系统组成, 在其系统内充入感温物质(如航空煤油等), 随着变压器油温变化引发传感器温包内煤油压力(或体

积)发生上升或下降, 这个压力变化量通过毛细管传输给压敏元件推动指针在刻度盘上显示温度。



图1 特高压变压器温度保护装置

JJG 310-2002《指针温度计检定规程》规定: 传感器插入 1.0°C/min 升温速率的检验设备并在温度计开关动作瞬间读取的标准器示值与开关设定刻度值之间差值就是接点动作误差。接点动作误差试验与温度计刻度值大小有关, 指针温度计有单刻度(见图2)及双刻度(见图4)两种结构, 单刻度表盘对应

采用多圈波登管驱动的圆形表,双刻度表盘对应采用波纹管驱动的方形表。

圆形指针温度计具有一个指针示值刻度盘,其与开关设定刻度共享的 2°C 最小分度值刻度盘见图2(户外现场条件下裸眼读数误差不大于最小分度值的五分之一,即 0.4°C)。

圆形指针温度计运行中常出现的问题是温度开关设定值相互干涉现象,六个开关设定指针标配



图2 单刻度圆形温度计

型式是三对上下限如图3所示,当K5和K6设定值需要 105°C 同时动作输出接点信号时,K4与K5之间设定间隔至少在 10°C 以上,对K4而言 $1^{\circ}\text{C}\sim 96^{\circ}\text{C}$ 就是一个设定盲区。温度开关设定值随变压器冷却方式不同而不同,这会给备品备件采购带来困扰。

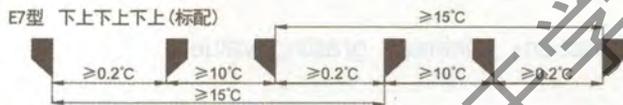


图3 开关设定盲区

如图4所示,方形温度计有四个独立温度开关可以在全量程范围内任意设定,不存在开关设定值相互干涉现象。

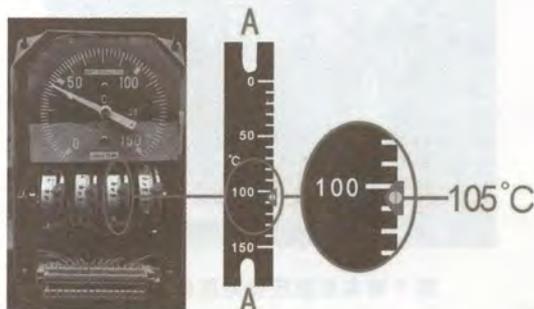


图4 双刻度方形温度计

方形指针温度计有一个最小分度值 2°C 的指针示值刻度盘和一个最小分度值是 10°C 开关设定刻度盘(一组四个)。方形指针温度计运行中较常出现的情况是:按照欧盟EN 50216-2008及IEC

60076-22-1-2019《油浸变压器非电量保护装置》关于 $105^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$ 跳闸保护要求,小于 102°C 动作应判为误动事故,大于 108°C 动作可视为拒动故障。

接点动作误差试验中需要比对开关动作瞬间标准器读数与开关设定值的差值,最小分度值 10°C 在户外现场条件下裸眼读数误差是 2.0°C , 3°C 的接点动作误差上限内包含 2°C 的设定误差是很难满足接点动作误差检验要求的。

制造工厂认为:方形温度计的每一个开关都有独立设定刻度盘,每个运行现场的每一个开关仅负责一个特定温度点的保护任务。当设定误差引发接点动作误差不合格时总可以通过平移开关刻度盘A-A等对准某一个保护设定点的变通方法加以解决。

从表1可见,方形指针温度计开关设定最小分度值 10°C 带来的设定误差足以引发保护误动;而圆形指针温度计的开关设定盲区可以通过改变开关设定型式去避开某一特定设定盲区见图5。

表1 差异表

外形	刻度盘	最小分度值		设计缺陷
方形	两个	10°C 开关	2°C 示值	设定分度缺陷
圆形	一个	2°C 开关	2°C 示值	开关设定盲区

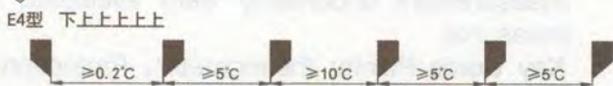


图5 开关型式与设定间隔

方形指针温度计开关设定最小分度值 10°C 是否存在保护误动风险,需要从标准化水平、计量性能和保护不确定度三个维度展开分析。

2 设计缺陷分析

2.1 标准化缺陷

(1)JB/T 9259-1999《压力式温度计技术规范》要求标准器系统误差应不大于被测温度计误差上限的四分之一。即1.5级 150°C 测量范围温度计接点动作误差上限是 $\pm 3^{\circ}\text{C}$,标准器系统误差为 $\pm 0.75^{\circ}\text{C}$ (主要由标准器允许误差和检测设备波动度及读数误差等组成)。当方形指针温度计开关设定值读数误差 2°C 超过标准器系统误差时说明该仪表刻度盘最小分度值不符合设计规范要求。

(2)JB/T 9253-1999《工业自动化仪表指针刻度盘技术规范》明确规定 150°C 量程1.5级仪表最小刻度分度值应不大于 2°C 。方形指针温度计开关设定值 10°C 最小分度值不符合设计规范要求。

(3)DL/T 1400-2015《油浸变压器测温装置现场校准规范》也要求指针温度计开关设定刻度的最小分度值应不大于2℃;图4方形温度计开关设定刻度最小分度值10℃大于标准规定值5倍之多,其中2℃读数误差就是温度保护误动风险源头见表2。

表2 干簧接点的动作原理

最小分度值	动作允差	读数误差	设定误差℃
2℃	±3.0℃	0.4℃	105±0.2
5℃		1.0℃	105±0.5
10℃		2.0℃	105±1

2.2 计量学缺陷

欧盟标准规定:指针温度计接点动作允许误差是±3.0℃(150℃量程的2%)。如跳闸设定在105℃刻度线上时表示可能在102℃~108℃间动作,小于102℃动作称之为误动,大于108℃动作将视为拒动。指针温度计最小分度值分辨率与接点动作误差负相关,专业计量人员读数分辨能力可达最小分度值的1/10,非专业人员现仅可分辨最小分度值的1/5。从表2给出了不同的最小分度值引发设定刻度读数误差和开关设定误差,其中2℃读数误差无法支持±3.0℃动作允许误差考核。

JJG 310-2002《指针温度计检定规程》规定:将传感器插入1.0℃/min升温速率的检验设备并开关动作瞬间读取的标准器示值与开关设定刻度值之间差值就是接点动作误差。指针温度计检验时如图3在接点动作瞬间读取了标准温度计示值后,需要检验员读取接点设定值后才能判断接点动作误差合格与否。

对于通过平移开关刻度盘进行修正(见图4右A-A腰形槽)接点动作误差的做法至少是不恰当的。首先,计量法规定用于结算或者重要保护的刻度盘需要采用铅封防范,任何意外移动刻度盘都表示该计量器具已丧失计量功能,应立即报修或者作报废处理。其次,温度计检验人员对其产品进行内部机构调试修正的前提是应保证平移设定刻度盘后其他刻度线准确度水平仍然符合计量等级要求。这就需要使用具备标准器的检验设备至少在三个检验点上进行比较,任何故意移动刻度盘都会对原有计量器具准确度带来直接破坏。

2.3 不确定度评价

对于2℃或者5℃或者10℃三种最小分度值对接点动作误差的影响,依据2018年3月中国合格评定国家认可委员会颁发SNAS-CL01-G003《计量器具不确定度评价方法》进行计算后才能给出定量结

论。选取测量范围为0℃~150℃,准确度为1.5级的油温计进行不确定度计算,其接点动作误差为±3℃,设接点动作误差的重复性为接点动作误差限绝对值的1/2(即与示值误差的绝对值相同定义),按B类评定方法在99%置信概率条件下不同最小分度值的不确定度计算见表3~表5。

表3 最小分度2℃在100℃接点动作误差的不确定度计算

序	不确定度来源	区间半宽	分布类型	不确定度
1.1	标准器读数	0.005	平均	0.002 887
1.2	恒温槽均匀性	0.1	平均	0.057 735
1.3	恒温槽波动性	0.1	反正弦	0.070 711
2.1	标准器修正不完善	0.03	平均	0.015 30
2.2	零点未作修正	0.035	平均	0.020 207
3.1	开关设定读数	0.1	平均	0.057 735
3.2	开关动作重复性	0.9375	三角	0.382 7
	合成			0.398 5

*k=2.576, $U_{99}=1.0265$, $E_n=0.304 < 1/3$ 符合要求

表4 最小分度5℃在100℃接点动作误差的不确定度计算

序	不确定度来源	区间半宽	分布类型	不确定度
1.1	标准器读数	0.005	平均	0.002 887
1.2	恒温槽均匀性	0.1	平均	0.057 735
1.3	恒温槽波动性	0.1	反正弦	0.070 711
2.1	标准器修正不完善	0.03	平均	0.015 30
2.2	零点未作修正	0.035	平均	0.020 207
3.1	开关设定读数	0.25	平均	0.144 3
3.2	开关动作重复性	0.9375	三角	0.382 7
	合成			0.419 8

*k=2.576, $U_{99}=1.0816$, $E_n=0.320 < 1/3$ 临界符合

表5 最小分度10℃在100℃接点动作误差的不确定度计算

序	不确定度来源	区间半宽	分布类型	不确定度
1.1	标准器读数	0.005	平均	0.002 887
1.2	恒温槽均匀性	0.1	平均	0.057 735
1.3	恒温槽波动性	0.1	反正弦	0.070 711
2.1	标准器修正不完善	0.03	平均	0.015 30
2.2	零点未作修正	0.035	平均	0.020 207
3.1	开关设定读数	0.5	平均	0.288 7
3.2	开关动作重复性	0.9375	三角	0.382 7
	合成			0.488 7

*k=2.576, $U_{99}=1.2588$, $E_n=0.373 > 1/3$ 不符合要求

由表6可见:2℃分度值的分辨率可以满足1.5级指针温度计读数要求;5℃分度值的分辨率临界符合1.5级指针温度计读数要求;而10℃分度值所带来的读数误差不能满足1.5级指针温度计检定要求。

3 分析与讨论

表6 不同分度值的不确定度

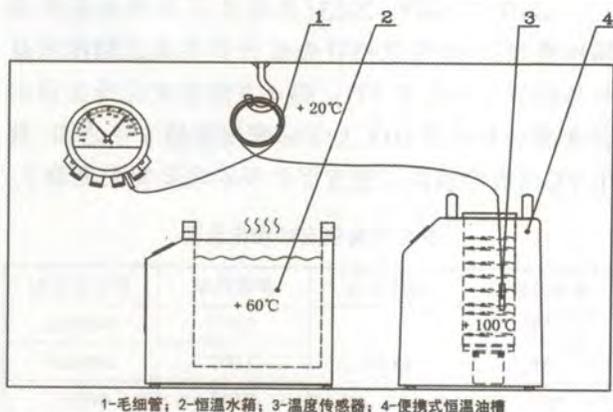
分度	不确定度评价	结论	计算
2℃	$En=0.304 < 1/3$	符合	表3
5℃	$En=0.320 < 1/3$	符合	表4
10℃	$En=0.373 > 1/3$	不符合	表5

基于方形指针温度计具有接点设定值不会发生干涉等优点,目前已经有温度计制造商推出开关设定刻度5℃的改进产品。这些变化一定程度上反映出计量器具选型错误正在得到重视。

从图4可见方形指针温度计开关设定刻度盘没有采取加注红色封漆限制使用者意外移动刻度盘。在没有标准器比对条件下移动刻度盘的做法将导致计量数据严重失真。接点动作误差是在指针温度计开关动作瞬间读取的标准器示值与开关设定刻度值之间差值。任何移动设定刻度盘的做法,都已经涉及使用不合格计量器具和破坏计量器具准确度及伪造计量数据行为。

综上,圆形指针温度计设计缺陷是设定开关自身空间位置引发设定值相互干涉现象见图2;方形指针温度计设计缺陷是由于10℃设定分度引发读数(设定)误差引发接点动作拒动或者误动事故见图4。无论圆形还是方形的指针温度计共同的设计缺陷是毛细管内径太大带来的环境温度变化影响(由此给指针温度计带来两表偏差等运行故障)。对于指针温度计密闭系统而言,只有传感器温包内的感温介质参与了温度测量并且与环境温度变化与否无关。需要特别指出的是弹性元件内部和毛细管内部的感温介质随着春夏秋冬环境温度变化而发生热胀冷缩现象,并直接破坏指针温度计准确度。弹性元件内部和毛细管内部的感温介质仅仅承担了传输压力的工作任务,其中弹性元件内感温介质环境温度影响可以通过采取补偿机构的方法进行自动修正。而对毛细管内部感温介质环境温度影响可以通过采用 $\Phi 0.15\text{mm}$ 以下微小内径不锈钢毛细管(大幅度减少感温介质使用量)加以解决;或者通过采用双毛细管方法对冲感温介质环境温度影响。采用上述两种环境温度补偿方法简单有效,前提是需要制造商在毛细管环节增大材料成本投入。为了将环境温度影响在指针温度计进货检验环节进行把关,运行标准DL/T 1400-2015《油浸变压器测温装置现场校准规范》和制造标准JB/T 6302-2016《变压器油面温度计》都明确要求通过环境温度影响快速检验产品质量。由此对市场上常见的六款圆形温度计依据进行环境温度变化影响试验见图6。

首先,依次将6种指针温度计温包传感器插入



1-毛细管; 2-恒温水箱; 3-温度传感器; 4-便携式恒温油槽

图6 指针温度计环境温度变化影响试验

100℃的恒温油槽中,稳定十分钟后用照片记录指针刻度示值A;然后将12米长度的毛细管(指针温度计的一部分)浸入60℃恒温水槽中十分钟后再次拍照记录指针刻度示值A,两次记录数据差值就是温度计环境温度变化影响量带来的附加误差,见表7。

表7 环境温度影响试验结果

序	品牌	20℃环境下	60℃环境下	结论
1	A	100℃	102℃	合格
2	B	101℃	109℃	不合格
3	C	99℃	100℃	合格
4	D	101℃	101℃	合格
5	E	100℃	112℃	不合格
6	F	100℃	109℃	不合格

表7中的环境温度变化影响试验结果表明有三种温度计为不合格品。按照“指针温度计的示值和开关设定刻度不大于2℃,-20℃~140℃量程内1.5级准确度(含环境温度变化影响),应可在现场实施不停电校准作业”的招投标要求,荆门特高压变电站决定选择温度计(品牌D)全部更新替代41台套原装温度计,自2013年10月至今运行正常可靠。从事故源头消除了指针温度计最小分度值引发设定误差的设计缺陷。

4 结束语

(1)对于圆形指针温度计存在的开关设定盲区缺陷,我们采取事先排查全部指针温度计设定值后提出一个标准化水平比较高的开关设定非标型式(见图5)作为采购要求,即通过调整开关设定上下限位置来提高备品匹配度。荆门特高压变电站41台套产品更新改造实践证明定制圆形指针温度计非标设定型式的方法简单有效。

(2)对于方形指针温度计存在的开关设定分度缺陷,即使安装前的检验环节采取特殊修正方法通

过保护设定点的验收,在周期检验环节或者事故分析环节也将暴露该产品在其他刻度线上接点动作误差不合格的事实。

(3)根据表3~表5的数据判断,最小分度2℃分度值的指针温度计要明显优于最小分度5℃和最小分度10℃的指针温度计,因此建议应优先选择准确度水平高、标准化水平高且故障率低的品牌产品,以减少组部件运行事故风险。

参考文献:

- [1] JJG/310-2002,中华人民共和国指针温度计检定规程[S].
- [2] EN/50216-2008,油浸变压器非电量保护装置[S].

- [3] IEC/60076-22-1-201,油浸变压器非电量保护装[S].
- [4] JB/T9253-1999,工业自动化仪表指针刻度盘技术规范[S].
- [5] DL/T/1400-2015,油浸变压器测温装置现场校准规范[S].
- [6] JB/T9259-1999,压力式温度计技术规范[S].
- [7] JJF/1059-2012,计量器具不确定度评价方法[S].
- [8] SNAS-CL01_G003,测量不确定度的要求[S].
- [9] JB/T 6302-2016,变压器油面温度计[S].

作者简介:

高强(1964-),男,河北唐山人,变压器检修技师。

收稿日期:2019-03-14

仅用于学习交流使用