

# 变电设备在线监测装置校准技术综述

刘志宏<sup>1</sup> 陈 纓<sup>2</sup> 王炳强<sup>1</sup> 刘益岑<sup>2</sup> 范松海<sup>2</sup> 甘德刚<sup>2</sup> 唐 平<sup>2</sup>  
(1. 国网西藏电力有限公司电力科学研究院, 西藏 拉萨 850000;  
2. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610072)

**摘要:** 介绍了变电设备在线监测装置校准技术, 包括变压器油中溶解气体、局部放电、铁心接地电流、套管介损以及六氟化硫湿度5种类型在线监测装置的校准方法, 提出了在线监测装置全过程校准工作体系, 并指出了在线监测装置校准工作的必要性和经济效益。

**关键词:** 变电设备; 在线监测装置; 校准; 综述

**Abstract:** The calibration technologies of five kinds of on-line monitoring device for substation equipment are introduced, including on-line monitoring devices for dissolved gas in oil, partial discharge, iron core grounding current, casing dielectric loss and SF<sub>6</sub> micro water. The work system of the whole process calibration of on-line monitoring device is presented, and the necessity and economic benefit of the on-line monitoring equipment calibration are pointed out.

**Key words:** substation equipment; on-line monitoring device; calibration; summary

中图分类号: TM711 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2016)02-0041-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2016.02.010

## 0 引言

随着电力设备状态检修工作的深入, 状态监测技术广泛应用到输变电设备的日常状态检(监)测和分析。依靠状态监测装置对运行设备开展监测, 及时、准确地掌握设备运行状态, 保证设备的安全、可靠和经济运行已成为电力系统重要的技术手段<sup>[1]</sup>。在线监测技术已发展了几十年, 随着传感器技术、通信技术和诊断技术的不断发展, 在线监测产品日趋成熟。然而由于各生产厂家产品质量良莠不齐、运维单位维护不到位、在线监测产品现场运行环境恶劣等多种因素, 致使在线监测装置的准确性和可靠性不高, 导致这些问题的原因有3个方面:

1) 缺少统一的技术标准对在线监测产品进行出厂检验。绝大多数在线监测系统测量原理基本上都是依据离线试验时的 IEC、IEEE 标准或者国家标准, 但其产品制造、检验、校正、数据分析判断等都没有在线检测技术标准, 这使用户很难识别其产品性能是否达到实际检测要求, 因此即使检测到故障, 一般还需要停电进行其他试验作为比对。

2) 现场在线监测装置运行维护水平不高。现

在国内很多一次设备安装了在线监测装置, 但据调查实际正常运行的只占30%左右。这里有两方面的原因: 一是装置本身稳定性较差; 另一方面运维人员未接受专门的技术培训, 对于非正常运行的装置不具备及时处理的能力。

3) 变电站现场运行环境恶劣。在线监测产品通常安装在户外, 安装地域海拔跨度大(0~4 000 m), 温度范围广(-40℃~60℃), 尤其是西藏以及川西高原地区, 高海拔、强紫外、昼夜温差大, 运行环境极为恶劣。由于极端气候越来越频发, 易导致在线监测装置在恶劣环境条件下的准确性得不到保障。

随着智能电网的发展, 变电站一次设备的在线监测日趋成熟, 其测量数据的准确度将直接影响到设备状态评价的准确性和可靠性, 对其进行校准和校验是提高状态监测测量数据的准确性和可靠性的有效途径, 从而提高状态评价系统对主设备状态评价的有效性。

## 1 油中溶解气体在线监测装置校准技术

油中溶解气体在线监测装置利用气相色谱法检测油中溶解气体<sup>[2]</sup>, 从取油样-油气分离-色谱分

析的全过程来看,存在着环节多、操作手续繁琐、试验周期长等弊病,不可避免地引进较大的试验误差,对于发展较快的故障的检测不够及时<sup>[3]</sup>,其校准方法主要包括:实验室色谱数据比对法、标准气体比对法、油箱配油比对法以及标准油样法。

### 1.1 实验室色谱数据比对法

取运行中的变压器油,利用实验室气相色谱仪进行检测,将结果与变压器油中溶解气体在线监测装置检测数据进行对比,判断分析两者检测结果是否一致,对误差进行分析,从而判断装置的检测结果是否准确可靠。由于现场条件等因素的影响,如采样油路设计不合理、油路污堵,都会造成所取油样不具代表性,从而导致测量结果偏差较大。因此,利用实验室色谱进行的数据比对,不能准确判断现场在线色谱仪的检测数据是否准确、可靠。除不适宜进行现场校准外,该方法耗时长、操作繁琐、人为操作影响较大,不适合大批量校准工作。

### 1.2 标准气体比对法

使用一组或多组浓度的标准气体,检验在线监测数据是否准确,从而实现油中溶解气体在线监测装置的比对校准工作。由于目前市面上的油中溶解气体在线监测装置往往都包含油气分离、组分分离和气体检测三大过程,仅靠标准气体进行比对校准时,只是校准了设备的气体检测单元,而没有兼顾到设备油气分离单元和组分分离单元<sup>[4]</sup>,因此,此种方法往往意义不大。

### 1.3 油箱配油比对法

向固定体积的油箱里装一定体积空白的变压器油,采用真空脱气或高纯氮脱气,然后通入一定量的标准气体并搅拌均匀,待油样配制均匀后,通过实验室色谱仪完成标准油样的定标工作。最后标准油样依靠自身重力作用注入油中溶解气体在线监测装置中进行分析测试,将得到的结果与实验室色谱仪的测试结果进行比较分析,从而完成在线色谱仪的比对校准工作。这种方法存在以下问题:1) 特征气体浓度控制精度低,很难根据需要配制出非常小或非常大的浓度;2) 油样浓度不稳定,易漂移;3) 配油样用标气无法定量,油样中各特征气浓度不能自由合理配制,特别是含单组份特征气体的油样无法配制;4) 油样切换浓度不便,特别是高浓度变低浓度,需要数小时或更长时间;5) 敞开式油箱设计,密封性差,油样含量易受外界空气中水分、氧气的影响;6)

油样循环能力差,气液混合接触面积小,配油时间长<sup>[5]</sup>。

### 1.4 标准油样法

传统常规标准油样校准法采用实验室色谱对比法,常用到标准油样这一试剂,小需求量可用手动配制,但在工业应用中大批量使用必然要求自动化的制作标样设备。国家电网公司企业标准《变电设备在线监测装置检验规范》第1、第2两部分规定了标油检验方法,对于具体的制油装置并未给予规定。

通过设计专门的变压器标准油样装置,可配制一定特征气体含量的标准油。该方法将变压器油特征气体与变压器新油以一定配比混合,达到气液溶解平衡,其配制的样品油浓度经实验室色谱仪标定,其标定浓度数据接近其配比的理论浓度,可将配制的理论浓度油样作为标准油样,直接用于油中溶解气体在线监测装置检测,以已知理论浓度的标准油样为基准物,实现对在线监测装置的检验要求。不需再多次以实验室色谱仪标定对比,实验室、变电站现场都可使用。该技术自动化制作标准油样,自动进气,减少了手动进气的误差,适于工业应用中大量制标油、批量检验。对于需要对油中溶解气体在线监测产品进行大量检定工作的各电科院以及大型变电站,都具有重要的应用价值。

## 2 局部放电在线监测装置校验技术

传统脉冲电流法局部放电已有相应的标准和溯源方法,但脉冲电流法不适宜于在线监测。目前,局部放电在线监测主要采用高频电流法和超高频法<sup>[6]</sup>,而对于高频电流和超高频法的局部放电在线监测数据的准确性校验还没有制定相应的规范。

### 2.1 高频电流局部放电在线监测校验技术

高频电流法局部放电在线监测装置可采集高频脉冲电流信号,是在足够宽的检测频带范围内检测局部放电产生的脉冲电流信号,局部放电信号一般通过安装在被测设备接地线上的穿心式电流传感器或钳型电流传感器来获得,因此可以通过标准信号源进行校验。该信号源产生标准宽频源信号经宽频功率放大器相应耦合电容实现局部放电宽频脉冲电流检测的校准。该方法可对高频电流传感器幅频特性、传输阻抗特性以及整套装置灵敏度和对固定频率干扰信号的抑制效果进行检测。

### 2.2 超高频局部放电在线监测校验技术

在超高频局部放电传感器校验方面,目前缺乏统一的标准和科学有效的手段,众多的局部放电设备厂商提供的产品各异且质量参差不齐,检测效果不佳,出现错误报警。常规的对传感器校验的方法是扫频法,但是扫频测试无法准确反映传感器和检测系统对于瞬态局部放电超高频信号的接收能力,扫频测量系统所必需的扫频信号源等设备极其昂贵,对于检测系统性能方面,国内外也缺乏一致和有效的评价方法。

### 3 铁心接地电流在线监测装置校准技术

采用标准电流源可对铁心接地电流在线监测装置进行校准,但此方法一般应用于实验室内的校准。如果在线监测装置已经安装在变电站现场,采用电流标准源来校准则需要解决同步的问题,让电流标准源产生的信号与铁心接地电流的相位对应。当前,市面上已有铁心接地电流标准源装置,该装置能够产生铁心接地电流模拟信号,通过该电流标准源即可对铁心接地电流在线监测装置进行现场校准。

### 4 套管介损在线监测装置校准技术

目前,对于套管介损在线监测装置检测数据的准确性,国家电网公司企业标准《变电设备在线监测装置检验规范》第1、第3两部分规定了两种检验方法,包括高压试验电路和低压试验电路,不论是高压试验电路和低压试压电路都是通过模拟介损的方式,与标准测量仪器检测数据的对比来进行溯源。

其溯源主要是依据电流、电压提取,然后经过被检仪器和标准仪器对比进行溯源,其关键是被检仪器和标准仪器采集的相同电流、电压,且电流、电压的相位和幅值能够计算出介损等。因此,通过输出标准的电流和电压模拟信号,从而实现对接套介损在线监测装置的校准。套管介损标准源需要解决的问题主要有以下几个:1) 电流、电压相位问题;2) 电流电压幅值问题。

### 5 SF<sub>6</sub> 湿度在线监测装置校准技术

六氟化硫湿度的测量方法是露点法,露点法原

理是当一定体积的气体在恒定的压力下均匀降温时,气体和气体中水分的分压保持不变,直至气体中的水分达到饱和状态,该状态下的温度就是气体的露点。通常是在气体流经的测定室中安装镜面及其附件,通过测定在单位时间内离开和返回镜面的水分子数达到动态平衡时的镜面温度来确定气体的露点。一定的气体水分含量对应一个露点温度;同时一个露点温度对应一定的气体水分含量。因此测定气体的露点温度就可以测定气体的水分含量。由露点值可以计算出气体中微量水分含量,由露点和所测气体的温度可以得到气体的相对水分含量<sup>[6]</sup>。SF<sub>6</sub> 湿度在线监测装置主要采用标准露点测量装置与被试装置进行比对标准。

### 6 在线监测装置校准校验应用

当前,为了对在线监测装置进行精益化管理和运行,提高其运行性能,电力部门越来越重视装置的校准校验工作,从物资采购-基建-运行-检修,可形成一整套全过程管理体系,如图1所示。

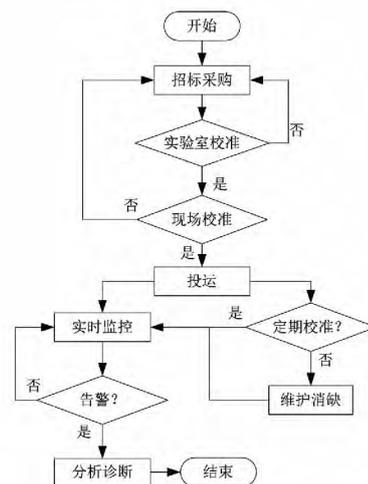


图1 在线监测装置校准体系

1) 物资招标阶段:以物资抽检的形势,通过实验室校准,保证采购的在线监测装置满足需求部门的各项指标,从源头上保证装置的质量;

2) 基建阶段:在安装调试阶段,通过现场校准,保证在线监测装置在满足准确性和可靠性要求的情况下投运,并接入至输变电设备状态监测系统;

3) 运行阶段:通过设置预告警阈值,将在线监测装置纳入调控机构进行实时监控,并对告警信号进行分析;

4) 检修阶段: 通过定期的校准试验,对故障装置进行维护,以此保证在线监测装置运行质量的稳定性。

## 7 结 语

在线监测设备测量数据的准确性将直接影响设备状态评价的可靠性。因此,对在线监测装置进行校准,确保其监测设备状态数据精度满足状态评价系统的运行要求,可应用于生产厂家、电力公司入网检测等需要对变电设备在线监测装置进行检测的场所,从而确保在线监测装置测量数据的准确性和可靠性,提高对设备状态评价的有效性。开展在线监测装置校准校验技术研究,研发实验室和现场校准仪器,建立健全校准校验机制,将对电力部门具有直接的经济效益: 1) 为入网检测和物资抽检工作提供技术手段,应用于在线监测装置生产厂家的出厂检验、网省电力公司物资采购入网检测等需要对在线监测装置进行性能检测的场所; 2) 提升在线监测装置应用效果,对投运的在线监测装置进行跟踪分析,对其监测数据准确性进行检测检验,确保其监测设备状态数据精度满足状态评价系统的运行要求,从

(上接第36页)

平衡原理,样品A油中溶解的氦气浓度按式(5)进行计算。

$$C_i = \frac{C_{ig} [C_{ig} \times r_1 + C'_{ig} (r_2 - r_1)]}{C_{ig} - C'_{ig}}$$

$$= \frac{284.16 [2841.64 \times 0.086 + 249.76 \times (0.245 - 0.086)]}{2841.64 - 249.76}$$

$$= 311.68 \quad (5)$$

同理,样品B油中溶解的氦气浓度为

$$C_i = \frac{C_{ig} [C_{ig} \times r_1 + C'_{ig} (r_2 - r_1)]}{C_{ig} - C'_{ig}}$$

$$= \frac{2862.97 [2862.97 \times 0.091 + 243.55 \times (0.248 - 0.091)]}{2862.97 - 243.55}$$

$$= 326.55$$

样品A、B油中溶解的氦气的平均浓度为

$$G_p = \frac{311.68 + 326.55}{2} = 319.12 \mu\text{L/L}$$

而提高在线监测装置测量数据的准确性和可靠性,提高对设备状态评价的有效性。

## 参考文献

- [1] 王璐,王鹏. 电气设备在线监测与状态检修技术[J]. 现代电力,2002,19(5): 40-45.
- [2] 贾瑞君. 关于变压器油中溶解气体在线监测的综述[J]. 电网技术,1998,22(5): 49-55.
- [3] 王梦君,任婷艳,付强. 变压器油中气体在线监测装置检定技术发展研究[J]. 电工电气,2015(12): 1-5.
- [4] 卢立秋,郭军科,张桂贤,等. 变压器在线色谱仪运行中的校准技术[J]. 供用电,2009,26(4): 62-64.
- [5] 周永勤,穆志维,王珂. 变压器油在线监测技术发展现状及其校验方法探究[J]. 化工时刊,2014,28(8): 33-35.
- [6] 黄兴泉,赵善俊,宋志国,等. 用超高频局部放电测量法实现电力变压器局部放电的在线监测[J]. 中国电力,2004,37(8): 52-56.
- [7] 胡雨龙. 六氟化硫绝缘开关气体中微水含量在线监测原理与方法的研究[D]. 重庆:重庆大学,2002: 43-44.

(收稿日期:2016-03-10)

## 4 结 论

前面对变压器绝缘油中溶解的氦气组分的确认方法及浓度的测试过程进行了阐述,对进一步规范和提高广大油务人员的测试水平,提高测试数据的准确度,保证设备的安全运行具有一定的意义。

## 参考文献

- [1] GB/T 7252-2001, 变压器油中溶解气体分析和判断导则[S].
- [2] GB/T 17623-1998, 绝缘油中溶解气体组分含量的气相色谱测定法[S].

作者简介:

胡仕红(1975),高级工程师,从事电力用油(气)试验及研究工作;

鲁登峰(1973),高级工程师,从事电力系统热工自动化设计、调作。

(收稿日期:2015-11-12)