

# 变压器油色谱在线监测装置的现场评估分析

苏展, 郭军科, 卢立秋, 于金山  
(天津电力公司电力科学研究院, 天津 300384)

**摘要:** 采用自主研发的标油模拟装置制备标油油样, 通过在线与离线色谱分析系统进行对比测试, 对天津电网油色谱在线监测装置的准确性进行评价, 为油色谱在线监测装置选型及日常运行维护提供参考依据。结果表明: 天津地区主要在线监测装置灵敏度和测量误差基本满足要求, 采用顶空法脱气方式及固态微桥式检测器的在线装置具有更高的测量准确度和稳定性。

**关键词:** 在线色谱; 变压器; 状态检修

**中图分类号:** TM403.3      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-3643(2013)02-0059-04

**有效访问地址:** <http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1672-3643.2013.02.014>

## Site evaluation analysis on online monitoring device for transformer insulating oil chromatography

SU Zhan, GUO Junke, LU Liqiu, YU Jinshan

(Tianjin Electric Power Company Power Science Research Institute, Tianjin 300384, China)

**Abstract:** Uses independent developed simulation device making standard oil sample, compares the test results obtaining from on-line and off-line chromatography analysis system, evaluates the veracity of the on line monitoring device of transformer insulating oil chromatography in Tianjin power grid, provides the reference for choice type and operation maintenance of oil chromatography on-line monitoring device. The result shows that (1)the sensitivity and measure error of the on-line monitoring devices in Tianjin power grid satisfy the requirements. (2)the on-line monitoring devices using empty top method eliminating gas and using solid state tiny bridge tester have higher measure veracity and stability.

**Key words:** online chromatography; transformer; condition-based maintenance

**DOI:** 10.3969/j.issn.1672-3643.2013.02.014

检测变压器绝缘油的色谱情况是监视变压器运行的重要手段之一。传统取样检测对于在2次定期取样周期期间发生的突发性故障或因此而产生的积累性故障不能及时发现,可能因色谱监督不到位造成变压器事故,难以充分发挥其检测灵敏

的优势。近年来,国内外致力于在线监测技术和装置的研制,通过在线色谱监测装置对变压器油进行连续或实时在线监测,能够随时掌握设备的运行状况,判断其运行是否正常,诊断设备内部存在的故障性质、类型、部位和严重程度并预测故障

收稿日期: 2013-01-04

作者简介: 苏展(1986),男,助理工程师,从事电网化学监督检测工作。

表1 天津地区主要厂家在线色谱装置技术条件

生产厂家	气体采取方式	最小监测周期/(h·次 <sup>-1</sup> )	检测组分	检测器	检测灵敏度/( $\mu\text{l}\cdot\text{L}^{-1}$ )
A	动态顶空法(吹扫-捕集)	2h/次	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> 、H <sub>2</sub> 、CO	固态微桥式检测器	0.5
B	负压式恒温动态顶空吹扫脱气	2h/次	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> 、H <sub>2</sub> 、CO	纳米晶半导体气体检测器	0.5
C	真空脱气	1h/次	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> 、H <sub>2</sub> 、CO	阵列式气敏传感器	0.5

的发展趋势。实践证明它是一项很有实用价值和潜力的新技术<sup>[1]</sup>。随着对电力设备实施状态检修工作的推广,今后对于大型变压器的状态检修,会依靠在线色谱仪这一可靠的辅助技术手段<sup>[2]</sup>。

## 1 在线色谱应用中的问题

以色谱分离技术为基本原理的在线监测装置在20世纪80年代初已在国内外一些电力工业发达的国家研制成功并投入使用。近年来随着国内外色谱技术的发展,已研制出可检测H<sub>2</sub>、CO、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>等7种组分含量的色谱在线监测装置<sup>[3]</sup>。但由于在线色谱仪本身或其他因素的影响,可能造成在线色谱仪出现测量结果偏差或数据不灵敏等问题。国内相关报道显示因在线色谱取样设计、油路污堵或渗油、油气分离方式、谱图计算等问题产生在线色谱准确性较差或灵敏度较低等情况<sup>[4-5]</sup>。因此需掌握本地区在线色谱装置设备质量及运行中存在的问题,规范在线装置选用、验收,现场监督检测运行中设备,确保在线监测设备发挥应有作用<sup>[6]</sup>。

## 2 天津地区在线色谱应用现状

目前天津市电力公司运行中的变压器油色谱在线装置共计43台,主要由3个厂家生产。

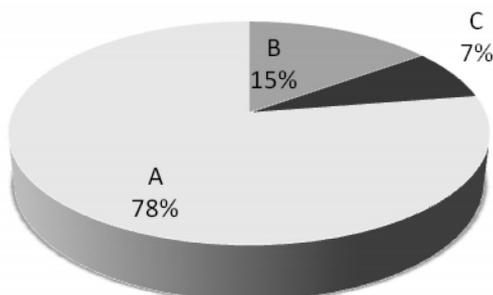


图1 天津地区在线色谱系统厂家分布

目前,已安装在线色谱投运率为100%。每台在线色谱设备全年进行50余样次的采集运行,每年按照预试检测周期进行4次实验室和在线监测的数据比对工作。

天津输变电设备装置监测系统已完成测试、硬件环境的安装部署,目前系统运行良好。主站系统已上线使用了综合展示、组合监视、查询统计、装置管理、数据分析、监测报表、系统管理7大功能模块,初步实现了国网公司概要设计中要求的重要输变电设备状态和关键运行环境的实时监测、预警、分析和预测等功能。高级应用部分主站系统暂未实现。主站系统已维护油中溶解气体29套,历史数据通过批量导入方式已迁移到状态监测数据库。

## 3 在线监测装置性能测试分析

为了解绝缘油色谱在线监测设备的技术水平,对天津地区主要厂家的该类装置与实验室离线色谱分析系统进行对比测试。利用自主研发的标油模拟平台,对运行中绝缘油色谱在线监测装置的检测灵敏度、测量误差进行综合评价和判断。

### 3.1 标油模拟平台

标油模拟平台为自主研发,在此前天津电科院所研制在线色谱校准装置经验基础上,进一步优化设计<sup>[7]</sup>。根据气液溶解平衡原理,采用内置薄膜的密闭金属容器。装置标油配制过程为:通过标气口注入N<sub>2</sub>置换方式配制空白油样;空白油置换完成后,将标气通过定量装置定量后注入配制室,开启油循环泵,促进标气置换;置换完全后,剩余气体由排气口排出,关闭标气入口旋阀,打开加压口旋阀,对缸体上部施加气压挤压密封膜,排出配制室内部余气,使配制室内绝缘油处于密封隔绝状态。

现场测试过程中将出油口、回油口与在线色谱

设备连接,连接前打开出油口、回油口阀,排尽管路内空气。打开加压口阀对配制室施加压力,使装置与在线色谱构成循环回路。模拟装置出油口串有绝缘油流量计,在线装置循环取油过程中测试循环油流量,监视油路循环情况,避免所取样为死油或取样管污堵造成的测试偏差。全过程油循环泵处于开启状态,使配置室内部绝缘油保持均一性。

使用现场在线色谱现场评估装置得到的标准油样,用实验室的HP6890气相色谱仪进行检验,分析理论计算数据与实际测试数据的差异性。所开发的在线色谱现场评估装置的技术优势是:

- (1)设备整体密封性能良好,各组分的误差不大于5%;
- (2)通过特殊设计的密封膜结构,能同时实现排气和加压功能,使油罐内部能够形成一定的正/负压力,并不出现漏油、漏气现象,且依靠压力完成进油、出油工作;
- (3)装置设计简便,体积较小,方便现场测试使用。

### 3.2 测试内容

本次测试选取天津地区不同设备厂家已投运色谱在线监测装置现场进行,采用模拟平台配制对不同浓度盲样测试比对,测试油样浓度为最低检测限值(允许标油偏差-10%~30%),烃类气体小于10 μL/L的油样1个;10 μL/L至1 000 μL/L大致成等差关系的2个。

### 3.3 最低检测限值

绝缘油色谱分析中,乙炔含量是判断设备内部故障的重要指标。在比对试验中选取各在线监测装置对乙炔气体的最低检测限值作为判断设备检测灵敏度的依据。国家电网公司标准《QGDW 536—2010 变压器油中溶解气体在线监测装置技术规范》中对乙炔最低检测限值应不大于0.5 μL/L。在此次测试中,对各在线监测装置实测所提供的色谱图进行估算,C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>的最小检测浓度大多在0.5 μL/L左右。结合设备实际运行情况和在线装置运行工况认为,在线监测装置对C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>的最低检测限基本能够满足对运行设备(新投运设备除外)的故障检测和诊断要求。

### 3.4 检测误差分析

按照测试方案对天津地区3个厂家在运在线

装置进行不同浓度标油测试,结果见表2-表4分别计算低、中、高浓度3种条件下在线监测装置与离线检测误差,3种在线装置误差曲线见图2-图4。

表2 低浓度误差测试结果 /( $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ )

类别	H <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
离线	2.04	4.39	2.79	4.67	7.89	5.26
装置A	1.20	3.91	3.10	4.40	6.84	4.90
装置B	1.52	2.05	2.00	5.60	6.10	6.70
装置C	3.07	6.57	1.54	5.44	10.19	2.22

表3 中浓度误差测试结果 /( $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ )

类别	H <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
离线	38.8	45.12	35.17	120.57	181.55	93.73
装置A	47.5	52.5	33.2	105.49	141.81	117.4
装置B	51.52	35.05	45.17	98.66	167.10	80.70
装置C	25.07	57.57	26.54	149.44	148.19	71.22

表4 高浓度误差测试结果 /( $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ )

类别	H <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
离线	127.53	214.94	222.27	799.71	1216.29	624.51
装置A	161.75	231.14	275.94	676.57	1410.51	715.48
装置B	165.72	264.17	149.14	884.14	1335.51	550.14
装置C	99.15	186.57	251.54	845.44	1010.19	571.22

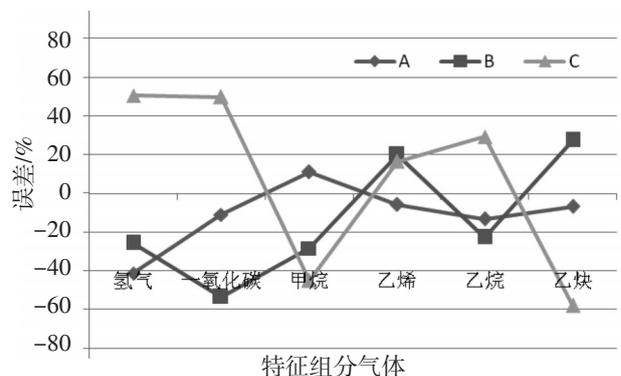


图2 低浓度测试误差曲线

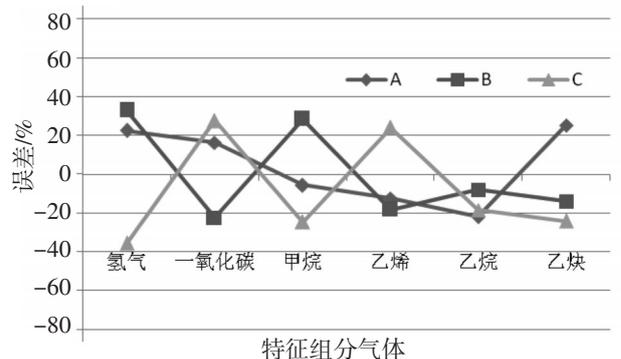


图3 中浓度测试误差曲线

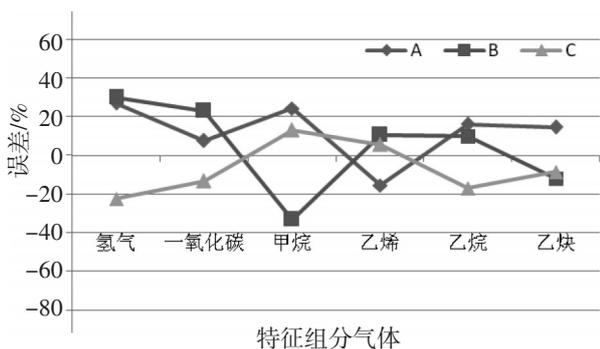


图4 高浓度测试误差曲线

由图2-图4可得知,在3种不同浓度测试结果中,3种在线监测装置在高浓度条件下测试误差明显小于中、低浓度条件下测试误差。高浓度条件下3类装置满足误差小于 $\pm 30\%$ 的要求。装置A在低浓度条件下氢气测试误差偏高(-41%),中、高浓度条件下测试结果均较为接近离线数据,误差均在 $\pm 20\%$ 范围以内浮动,测试性能明显优于另两类装置。装置B的烃类测试结果误差较小( $\pm 30\%$ 以内),但 $H_2$ 、CO测试误差较大,中、低浓度 $H_2$ 、CO测试浓度误差较大,部分结果达到 $\pm 30\% \sim \pm 50\%$ 。装置C在高浓度条件下测试误差符合要求,在中、低浓度条件下测试误差均较大( $\pm 30\% \sim \pm 60\%$ )。综合测试结果,对3个厂家在线监测装置测试评价准确性较高的顺序依次为:A、B、C。

油色谱在线监测装置关键技术和各生产厂家间的差异主要集中在油气分离单元以及组分检测单元技术的不同。根据本次测试所的结果,并参考表1中所列技术条件分析,A、B同采用顶空法分离技术,误差与C相比较小,而C采用真空法脱气,该方法效率取决于气相中真空度的高低。若真空度不够高,油中气体脱出将不完全,易造成检测误差。A、B两装置主要差异为所采用检测单元不同。固态微桥式检测器与半导体传感器相比具有较高的测量稳定性,且检测原理与实验室仪器相同,有利于保证在线与离线数据一致性。

## 4 结论

(1)本次测试油色谱在线监测装置对乙炔组

分含量的最低检测限值不大于 $0.5 \mu L/L$ ,基本能够满足对运行设备(新投运设备除外)的故障检测和诊断要求。

(2)比对测试中各在线监测装置测试结果与离线色谱有一定差距,各装置对中高浓度测试误差明显小于低浓度测试误差。测试性能最优的装置A与离线色谱测试的误差在 $\pm 20\%$ 左右。

(3)根据此次测试结果分析,油气分离采用顶空法脱气方式,检测单元采用固态微桥式检测器,所得测试结果具有更高的准确度和稳定性。

(4)载气压力、取样油路循环对于在线色谱测试准确性有明显影响,现场测试中发现某装置出油管路不通畅,油流速度很慢。分析发现该装置进出油口位于变压器的同一个位置,未形成较好的油循环回路,导致采样过程死油区现象的发生。

### 参考文献:

- [1] 孟源源,刘炜.电力变压器油色谱在线监测技术综述[J].华电技术,2009,31(11):50-52.
- [2] 郭小波,姚文军等.变压器在线色谱装置技术条件分析[J].中国电力,2009,42(5):72-75.
- [3] 张晓鹏,王瑜等.变压器油色谱在线监测分析技术现状[J].山东电力技术,2009(4):60-62.
- [4] 黄倩,刘滨涛.变压器油色谱在线监测装置的运维管理[J].电力与能源,2011(13):753.
- [5] 黄煌,余鹏程.变压器油色谱在线监测系统不同技术特点探讨[J].贵州电力技术,2012,15(7):4-7.
- [6] 张富刚,王静,刘方等.变压器油色谱在线监测装置的研究与应用[J].河南电力,2010(3):18-24.
- [7] 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.
- [8] QGDW 536—2010,变压器油中溶解气体在线监测装置技术规范[S].