

「在线监测」

油色谱在线监测系统在110 kV变压器上的应用

文/中国石油化工股份有限公司天津分公司 袁 钢 何君霞

变压器油色谱在线监测系统，针对变压器内部的过热和放电性故障进行在线监测、故障预判，实现了在线监测油浸式变压器的运行状态，为变压器安全运行保驾护航。

电力变压器作为变电站电压等级变换的核心设备，其运行的可靠安全性对于供电系统的稳定起到至关重要的作用。绝缘油在变压器中，主要用于改善电气设备的绝缘状况。变压器正式投入运行后，绝缘油的质量直接关系着变压器的安全运行。本文就绝缘油中气体含量在线分析即油色谱在线监测系统在110 kV变压器上的应用展开表述。

油色谱在线监测系统的应用意义

绝缘油在变压器中的主要作用是绝缘和冷却。变压器在正常运行时，在电和热作用下，其绝缘油和有机绝缘材料会逐渐老化并分解出少量各种低分子的烃类和CO、CO₂等气体。当内部发生局部过热、局部放电（电晕放电）和电弧放电等故障时，会加速上述气体的产生速度和数量。油中分解出来的气体形成气泡，在油对流、扩散时不断溶解于油中。当变压器发生严重事故时，产气量大于溶解量，便有一部分气体进入气体继电器，积到一定量时，导致气体继电器动作（轻者发信号，重者跳闸）。通过气体继电器内部气体分析和模拟试验，发现故障性质不同、严重程度不同所产生的气体组分和气体量也不同。在故障的初期，由于温度低，产气量少且大多都溶解在油中，气体尚不足使气体继电器动作，如果能够在线实时监测分析油中气体组分、含量及发展趋势，就能及时发现变压器内部潜伏的故障类型。

我国于20世纪60年代开始试验研究油中溶解

气体分析技术和方法，多年来采用该方法及时发现大量充油电气设备内部存在的潜伏性故障，由于对这些潜伏性故障发现并处理及时，避免了事故发生和设备损坏。离线分析油中溶解气体分析多采用气相色谱仪，需取样进行。油样能代表变压器油箱本体的油，一般应在设备下部取样阀取。油样保存期不得超过4天，且必须避光保存。

离线色谱分析监测手段由于采用离线方式，存在信息量少、周期长及劳动量大等缺点。如果变压器在运行中发生内部过热、局部放电或电弧放电，势必会影响变压器正常运行，甚至发生变压器停电事故。而在变压器油中安装油气分析探头，在运行期间实时监测油中气体含量，结合变压器运行电流和油温，能够及时有效地监测变压器的运行状况。

因此对变压器采取及时有效的监测手段是电力系统亟需解决的问题。变压器油色谱在线监测系统就是针对变压器内部的过热和放电性故障进行在线监测及故障预判的系统，该系统弥补了实验室离线色谱分析周期长的不足，可以在线监测油浸式变压器的运行信息。

油色谱在线监测系统现场应用

在天津石化某部110 kV站1#、2#主变压器内部安装油气分析探头，进行变压器油中气体含量在线分析，依托先进的系统集成方式，对变压器进行实时监测和运行状态评估，保障变压器的安全稳定运行。预计每年可减少因变压器故障导致

的装置停车维修费用上百万元。

1. 系统网络结构

本系统采用全分布开放式的监控方案。站控层为以太网结构，在110 kV站设置1台监控主机，用来现场实现变压器在线油中气体含量、变压器温度及其他信息（负荷电流、系统电压及开关运行状态等）的采集、存储、显示与分析报警。在监测中心设置1台服务器，可实现与多台现场监控主机的数据通信。本方案设计利用天津石化公司办公网络实现，申请IP地址，监控主机接入办公网。监控主机与电站监控系统以通信方式，接收相关回路的电流、状态等信息，进行相关的处理分析。监测中心显示终端接入办公网络，通过安装后台监控分析软件方式，实现对变电站内重要设备的在线状态监测。

将中心变电所、枢纽变电所和区域变电所的主变压器作为监测对象，利用变压器油色谱分析仪周期性采集变压器油内的溶解气体，进行各组分的气相分析，形成变压器气相采集监测终端节点，数据以网络发布的形式上传至系统。其系统结构如图1所示。

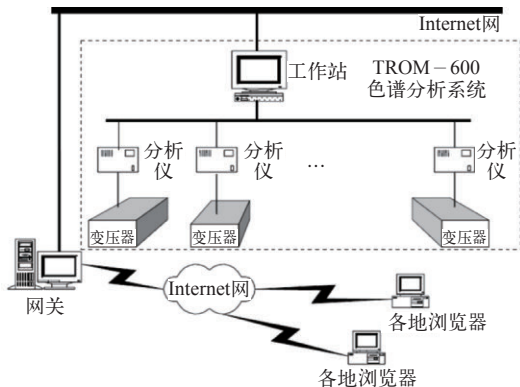


图1 变压器在线油中气体含量分析模块系统结构图

2. 系统主要设备性能参数

变压器色谱在线监测系统是集控制、测量分析技术于一体的精密设备，其中色谱分析系统采用TROM-600。系统分为油气分离、混合气体分离检测、检测数据分析处理、远程传输控制4大部分。设备可以测量反映变压器故障信息的6种特征气体。这些故障气体分别是氢气（ H_2 ）、一氧化碳（CO）、甲烷（ CH_4 ）、乙烷（ C_2H_6 ）、乙烯（ C_2H_4 ）和乙炔（ C_2H_2 ）等。

3. 安装方式

如图2所示，TROM-600变压器色谱在线监

测系统具有方便的安装方式，装置可以在主变运行的情况下安装，减少因为安装在线监测系统对电网造成的波动，同时减少安装工作量。该系统与变压器本体的安装十分简单，所需的仅是进油和出油管道，进油和出油都通过法兰和变压器的预留孔相连。图3所示的是变压器油温及气体监测模块的现场照片。

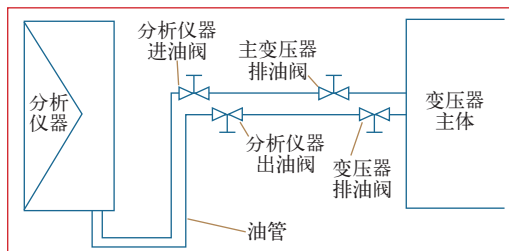


图2 安装装配示意图



图3 变压器油温及气体监测模块现场照片

4. 软件功能特点

TROM-600变压器油色谱软件包含TROM-WATCH监控系统和TROM-TMSC统计分析系统两部分。其中TROM-WATCH监控系统通过现场总线，与TROM-600变压器油色谱在线监测仪共同构成完整的变压器油色谱在线监控诊断系统；TROM-600变压器油色谱监测仪获得的各种现场数据通过TROM-TMSC统计分析系统进行统计、分析和报表。其特点是诊断算法先进、实用，通信协议安全、可靠，系统安全可靠。

5. 监测软件中变压器油温及气体分析部分模块运行

图4~图6所示分别是1#变压器油及绕组实时温度-电流曲线，1#变压器绕组历史温度-电流曲线（月曲线、日曲线）和1#变压器油中气体浓度-电流实时曲线。

油色谱在线监测系统的功能

变压器油色谱在线监测系统在通过模拟变压器故障状况，长时间破坏性试验运行后证明，能



图4 1#变压器油及绕组实时温度—电流曲线

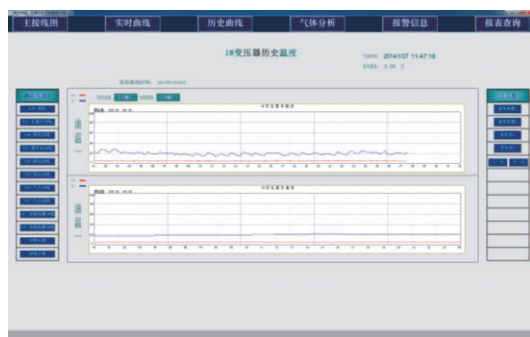


图5 1#变压器绕组历史温度—电流曲线（月曲线、日曲线）



图6 1#变压器油中气体浓度—电流实时曲线

够及时准确检测出变压器油中各种气体含量，并诊断出变压器可能存在的故障类型，为变压器的长期稳定运行提供了可靠保证。

1. 变压器色谱在线监测系统工作原理

系统有油强制循环功能，这样能保证分析仪器所用的油样的新鲜性，确保用于监测分析系统分析用油是“活”油，而不是“死”油。变压器中的油通过强制循环装置进入油气分离装置，通过高效的真空油气分离装置将变压器油中的特征气体完全分离，被分离的气体进入检测系统，通过色谱柱传感器，将气体浓度值转换成相应的电信号。采样控制系统采用进口PLC，质量稳定，性能可靠。传感器的电信号通过A/D转换器，转换成数字信号进行储存、传输。检测的数据以数字

格式，通过传输线，送到工作站自动分析。传输协议使用RS485，传输距离长，传输数据速度快，同时数据以数字格式传输，使得信号的传输有很强的抗干扰能力。采用专用的RS485通信模块，采用光耦完全隔离，系统与传输线路光隔离，避免电流回路损坏系统，信号端具有浪涌保护器，避免信号线路遭遇意外浪涌电流对系统的造成的损坏、影响。

系统内部数据具有失电保持功能，系统采样数据可在系统断电一年后，保证数据的完整。可保存最后的7次采样数据，保存的数据可以随时调用、查询。

TROM-600变压器色谱在线监测系统具备快速采样分析的特点，系统一个完整的采样分析周期在2 h以内。监测周期间隔从2~24 h可以任意设定。

2. 变压器油品气相监测算法

对于变压器油品气相监测，考虑三比值法。

(1) 气体组分浓度 γ 分析

利用气体分析仪采集的组分信息，实现组分浓度分析。分别设置各组分浓度的越限预警值和越限报警值，并对如图7所示的气体组分浓度进行实时在线监测。

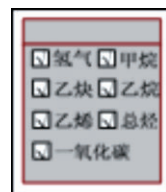


图7 监测气体选择界面

(2) 绝对产气率 γ_a 分析

绝对产气率，即每运行日产生某种气体的平均值，按下式计算

$$\gamma_a = \frac{C_{i2} - C_{i1}}{\Delta t} \times \frac{G}{\rho} \quad (1)$$

式中， γ_a 为绝对产气速率，单位为mL/d； C_{i2} 为第二次取样测得油中某气体浓度，单位为 $\mu\text{L/L}$ ； C_{i1} 为第一次取样测得油中某气体浓度，单位为 $\mu\text{L/L}$ ； Δt 为二次取样时间间隔中的实际运行时间，单位为d； G 为设备总油量，单位为t。 ρ 为油的密度，单位为 t/m^3 。

系统根据气体组分浓度采集数据，计算绝对产气率，设置绝对产气率越限预警定值 $(\gamma_a)_w$ 和越限报警定值 $(\gamma_a)_A$ ，满足越限判据后，给出预警或报警信息。越限判据为

$$\gamma_a \geq (\gamma_a)_w \quad (2)$$

$$\gamma_a \geq (\gamma_a)_A \quad (3)$$

(3) 相对产气率 $\gamma_r(\%)$ 分析

相对产气速率，即每运行月（或折算到月）某种气体含量增加原有值的百分数的平均值，按下式计算

$$\gamma_r(\%) = \frac{C_{i2} - C_{i1}}{C_{i1}} \times \frac{1}{\Delta t} \times 100 \quad (4)$$

式中， γ_r 为相对产气速率，单位为%/月； C_{i2} 为第二次取样测得油中某气体浓度，单位为 $\mu\text{L/L}$ ； C_{i1} 为第一次取样测得油中某气体浓度，单位为 $\mu\text{L/L}$ ； Δt 为二次取样时间间隔中的实际运行时间，单位为月。

系统根据气体组分浓度采集数据，计算相对产气率，设置相对产气率越限预警定值 $(\gamma_a(\%))_w$ 和

越限报警定值 $(\gamma_a(\%))_A$ ，满足越限判据后，给出预警或报警信息。越限判据为

$$\gamma_a(\%) \geq [\gamma_a(\%)]_w \quad (5)$$

$$\gamma_a(\%) \geq [\gamma_a(\%)]_A \quad (6)$$

3. 变压器油箱内部故障在线预判

(1) 采用气体组分浓度三比值法进行判定

气体组分浓度三比值的编码规则如表1所示。

三比值法实现故障预判如表2所示。

表1 气体组分浓度三比值的编码规则

气体比值范围	比值范围的编码		
	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$	CH_4/H_2	$\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$
<0.1	0	1	0
$\geq 0.1 \sim <1$	1	0	0
$\geq 1 \sim <3$	1	2	1
≥ 3	2	2	2

表2 三比值法实现故障预判

编码组合			故障类型判断	故障实例（参考）
$\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$	CH_4/H_2	$\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$		
0	0	1	低温过热（低于150℃）	绝缘导线过热，注意CO和CO ₂ 含量和CO ₂ /CO值
	2	0	低温过热（150~300℃）	分接开关接触不良，引线夹件螺钉松动或接头焊接不良，涡流引起铜过热，铁心漏磁，局部短路，层间绝缘不良，铁心多点接地等
	2	1	中温过热（300~700℃）	
	0, 1, 2	2	高温过热（高于700℃）	
1	1	0	局部放电	高湿度，高含气量引起油中低能量密度的局部放电
	0, 1	0, 1, 2	低能放电	引线对电位未固定的部件之间连续火花放电，分接抽头引线和油隙闪络，不同电位之间的油中火花放电或悬浮电位之间的火花放电
	2	0, 1, 2	低能放电兼过热	
2	0, 1	0, 1, 2	电弧放电	线圈匝间、层间短路，相间闪络、分接头引线间油隙闪络、引线对箱壳放电、线圈熔断、分接开关飞弧、因环路电流引起电弧、引线对其他接地体放电等
	2	0, 1, 2	电弧放电兼过热	

(2) 关于电流辅助判据

在气相曲线显示中，可以同步显示电流辅助项，实现电流的辅助分析作用。

(3) 关于相关回路保护动作信息的辅助分析

本系统采集主变继电保护的事故总信号，用以气相监测的辅助分析。

4. 基于神经网络的温度在线监测预警专家系统

建立基于神经网络的预警专家子系统，根据历史数据，能在预期的环境温度和变压器负荷的条件下，预测出变压器的运行温度。

5. 分析判断标准

依据标准是《电力设备交接和预防性试验规程》（QHBW 14701—2008）、《变压器油中溶解气体分析和判断导则》（GB/T 7252—2001）的相关章节。

6. 注意事项

在TROM-600系统的周围不宜放置强的电磁辐射体或热源；使用当地公用电网规定的标准电压和频率，功率满足系统要求；要求电源独立，避免与其他装置公用电源，避免因为其他装置电源故障影响系统正常工作；系统要有正确可靠的接地系统，不可悬空或旁接。

日常维护

设备在无断电的情况下是全自动运行的，维护量很少，只要每星期一次对现场仪器内部的气瓶上的减压表检查记录数据即可，记录高压表的数据，比较两次的数据，只要压力变化量小于1 MPa为正常，有大的变化，说明系统存在气体的

（下转第100页）

阻投入系统。小电阻投入系统后产生大电流，使得继电保护系统的零序电流保护动作，隔离故障线路。系统恢复正常后，智能控制装置控制单相高压开关断开，将小电阻退出系统。

可控接地电阻系统通过对接地持续时长及中心点电压变化进行判断，区分瞬间接地和永久性接地，采取不同的应对措施，有效地提高了系统供电的安全性和可靠性，以及接地成套装置的安全性。

应用实例

某110 kV变电站有3台主变、4段母线，现阶段有18条10 kV出线（还有17条线路备用），由架空线路和电缆混合组成。改造前有3套消弧线圈，2套调匝型、1套高阻抗型，分属不同厂家并且有容量不足的现象，接地故障选线准确率大约只有60%。该站改造采用3套ZGLR型可控接地电阻系统，在10 kV配电网实现了接地故障全自动全过程处理方案。

1. 试验结果

该站改造完成后，在变电站现场进行了高压单相接地故障试验，试验结果如图3所示。

可见，高压永久性接地故障试验中，可控电抗器输出补偿，残流 <5 A；接地成套装置电阻在到达整定时间10 s后投入；保护快速动作，故障线路切除后系统恢复正常运行。

2. 运行情况

该站可控电阻接地系统运行半年来，共发生接地故障12次，其中3次为永久性故障，均准确选线跳闸成功，准确率达100%，实现了对接地故障的智能全自动处理。EA

（收稿日期：2014.09.05）

（编辑：杨得润）

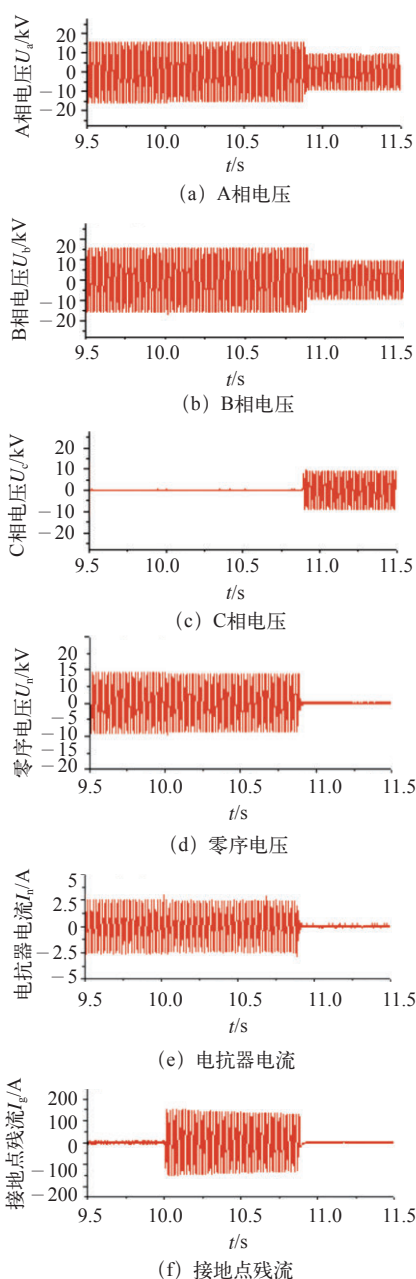


图3 试验结果

（上接第91页）

泄漏问题，系统需要检查漏点。系统在正常的工作情况下会有气压的下降，属于正常情况，在气瓶上的减压表的高压表下降到10 MPa时，请更换气瓶。如在系统采样运行时更换气源，会对数据造成不确定的影响，并可能产生错误报警。

结束语

变压器油色谱在线监测系统针对变压器内部

的过热和放电性故障进行在线监测、故障预判，该系统实现了在线监测油浸式变压器的运行状态，为变压器安全运行保驾护航。本技术将来的成功应用，将在整个石化行业产生示范效应，使得越来越多的企业关注并尽早解决电力设备安全稳定运行及状态评估问题，切实满足生产装置长周期安全生产的需要。EA

（收稿日期：2014.10.10）

（编辑：杨得润）