

[变压器]

电力变压器油中气体精准监测及在线校准技术的研究与应用

文/国网十堰供电公司电力调度控制中心 易 静

对电力变压器绝缘油中的气体组分进行在线监测是一个非常重要、有效的手段，在十堰供电公司的应用非常广泛。介绍了电力变压器油气精准监测及在线校准技术的研究与应用情况，结合实测数据进行了比对分析，总结了该技术的技术特点、技术创新点和推广总结。

电力变压器油气在线监测设备，常被发现初期工作正常，准确度尚可满足要求，但经过6个月及以上的使用后，其准确度和数据重复性严重下降；现行的定期一年或两年一次的校准，无法满足监测准确度的要求，且数据飘移严重，导致误报警时常发生，或有问题时不报警。这些都给变压器的在线监测和诊断工作带来了很大负面影响。

如果一个在线监测设备无法被在线校准，那么其测量值将无法对设备状态进行准确的评估。有鉴于此，本文提出了油气精准监测及在线校准的概念，既重视油气精准监测，又重视误差在线校准的方法。

油气精准监测及在线校准技术

1. 精准监测

精准监测即精确度和准确度均高的监测，是变压器油气监测中一个非常重要的概念：进行测量时，即使使用最昂贵的设备，并处于最理想的测量环境下，每次测量也会产生误差；分析过程的精确度涉及测量的重复度，即测量结果的分布在平均值处或每个测量值是否接近。

准确度的性质为测量值参考真实值的一致性，分析测量准确度的一个途径是分析、分解已知材料，使用标准物质进行对比分析。如图1的一

个打靶图所示，会对精确度和准确度的意义有更直观的理解。

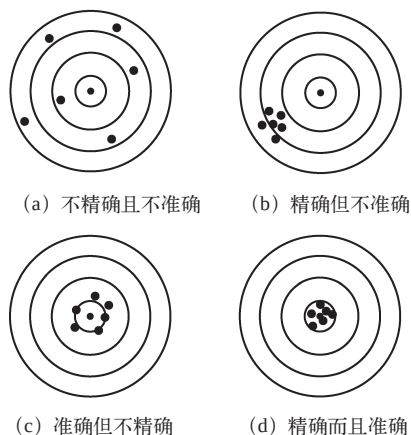


图1 精确度和准确度

2. 在线校准

所谓校准，指在规定条件下，为确定测量设备或系统所指示的量值，或实物量具或参考物质所代表的量值，与对应的由标准所复现的量值之间关系的一组操作。其目的是通过与标准比较确定测量装置的示值。

因此，如果一个在线监测设备无法校准，那么测量值将无法对设备状态进行精确和准确的评估。

在线校准的核心是在系统安装一个可以溯源

的标准物质，提供标准测量值给测量系统，测量系统将实际测量值与标准测量值比对，并自动校准到标准测量值，从而完成校准，可以保证测量的精准度。

应用在线校准技术可以根据测试的重复性和操作者对测试标准的不同而进行调整，操作者可以实现对校准周期的控制；鉴于校准物质使用频繁，因此控制校准物质的使用量也非常关键，在校准周期为一天/次校准的情况下，标准物质存储装置应能够提供不低于24个月的使用时间，同时标准物质的更换应可以在线完成，其方法应简便快捷。

应用的技术

为了达成精准监测和在线校准，系统应用了如下技术。

1. 温度精确控制

温度是油气在线技术中十分重要的参数，色谱柱和检测器均需要恒温控制，系统内部温控区域被控制在一个很小的范围，智能温控系统通过改变控温元件的极性以实现加热或冷却功能，进行温度的精确控制。

系统追求高准确度和高精确度，其检测核心部件和监测标的在一个越稳定的温湿度环境中，检测效果越理想，因此，本系统不惜加大成本，建立了一个独立的、恒定的监测环境，始终保持在 $35 \pm 0.1^\circ\text{C}$ ，它不受外界环境影响，无论是外界 -50°C 还是 $+55^\circ\text{C}$ ；同时不受油温影响，无论油温是 -40°C 还是 $+120^\circ\text{C}$ 。

2. 油循环控制

在线监测过程中，流过监测系统的绝缘油是循环流动的，这样才能保证监测数据全面反映电力变压器的状态；油的流动将产生扰动，影响监测数据，需要对这个扰动能可靠识别并快速响应。

系统通过内部的高可靠性电磁泵，减少扰动发生，连续而平滑地从变压器中抽取代表性油样，并应用油的流动监测装置确保任何时刻都维持油有足够的流动而排除扰动。

图2所示为监测系统流程图，可见上述温度精确控制和油循环控制的技术是非常重要的。

3. 精准检测器

应用精准检测器的油气在线检测方法有别于传统的方法，后者在进行气体分析时，常常需要

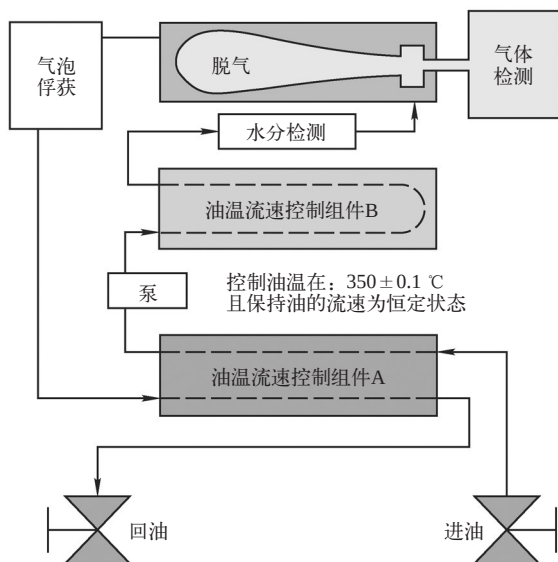


图2 监测系统流程图

配置FID和TCD等多个检测器，致使监测系统结构复杂，分析灵敏度有限，且现场在线使用的稳定性和安全性都不太理想，带来故障率高，数据重复性差等问题。

精准检测器将配合使用高纯氦（ $\geq 99.9999\%\text{He}$ ）为载气，其对各杂质组分的灵敏度比氩气为载气（传统监测方法）提高数十倍以上。

同时，根据实际需要，选用不同色谱柱可以测定多种气体成分，还可以配接毛细管柱，扩大分离效能，检测更多种成分。精准检测器如图3所示。

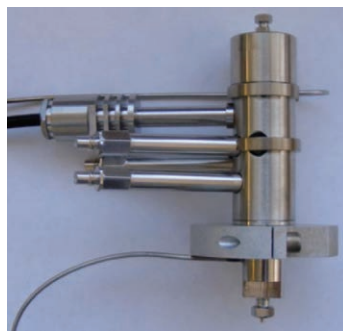


图3 精准监测器

比对试验数据及分析

在现场验证了精准监测和在线校准技术的应用效果，表1、表2显示了针对某变压器实施的离线色谱监测数据和变压器油中气体精准在线监测数据的对比。

根据上述试验数据对比，可以得出如下分析结论：①通过在线监测系统远传的数据，可以随时掌握在线监测分析油中特征气体浓度，随时可掌握设备的运行状态，而实验室的数据的取得

表1 某变压器，2018年7月~10月部分离线色谱监测数据

($\times 10^{-6}$)

时间	H ₂ 氢气	CO 一氧化碳	CO ₂ 二氧化碳	CH ₄ 甲烷	C ₂ H ₂ 乙炔	C ₂ H ₄ 乙烯	C ₂ H ₆ 乙烷
2018-7-27	2.85	985.11	6817.53	10.31	0	43.47	3.63
2018-8-20	1.64	829.13	7177.5	11.11	0	46.07	2.37
2018-9-19	1.93	1113.04	6966.13	11.79	0	48.15	4.12
2018-10-25	2.75	974.34	6326.28	12.17	0	46.66	2.31

表2 同上变压器测试，2018年7月27日~10月25日部分在线色谱监测数据

($\times 10^{-6}$)

时间	H ₂ 氢气	CO 一氧化碳	CO ₂ 二氧化碳	CH ₄ 甲烷	C ₂ H ₂ 乙炔	C ₂ H ₄ 乙烯	C ₂ H ₆ 乙烷	O ₂ / 氧气	N ₂ 氮气
2018-7-27 2:14	7	1210	7330	12.6	0.0	44	2.4	3800	76000
2018-7-27 14:14	6.5	1230	7430	12.6	0.0	44.2	2.2	3700	75000
2018-7-27 23:15	6.5	1220	7360	12.6	0.0	44	1.8	3700	77000
2018-8-20 2:22	6.5	1210	7310	12.8	0.0	44	2.2	3900	78000
2018-8-20 14:22	6.5	1230	7400	12.8	0.0	44	1.6	3800	76000
2018-9-19 2:33	6.5	1200	7150	12.8	0.0	43.4	2.6	3600	76000
2018-9-19 14:33	6.5	1220	7240	12.8	0.0	43.2	2.6	3800	77000
2018-10-25 2:12	6.5	1200	7250	13	0.0	43.2	2.6	3600	77000
2018-10-25 14:12	6.5	1240	7470	13.2	0.0	43.2	2.6	3800	77000
2018-10-25 23:12	6.5	1220	7380	13.2	0.0	43.4	2.6	3800	77000

需要现场取油样，数据获取不容易，数据量也较少，这不利于及时掌握变压器的运行状态；②上述数据表明，实验室色谱数据受制于现场取样，数据波动幅度较大，尤其是H₂和CO数据，而且这些数据普遍偏小，怀疑是因为取样时气体逃逸所致；③除了上述的H₂和CO数据，在线监测数据与实验室色谱数据对比比较吻合，在线监测的数据重复性更好，重复性好是系统是否值得信赖的基本特征。

推广和总结

本文所述精准监测和在线校准系统已经在十堰供电公司进行了测试和应用推广，应用推广情况如下：①在被测变压器上加装了高精度的油气在线误差自动校准和油流异常监测装置，并获得测试报告，系统对变压器的状态诊断发挥了重要作用，可以通过系统设备进行变压器油的故障诊断；②系统在现场高电压产生的磁场环境下，系统测试的重复性好、抗干扰性能强，在重要的故障气体监测下，表现出了很高的灵敏度；③系统安装后，自动进入在线校准状态，保证了系统的每次测试均具备相同的高精确度和高准确度。

通过总结，本文所述精准监测和在线校准设备的技术创新体现如下：①提出了油气精准监测及在线校准的概念，既重视油气在线监测的校准工作，亦重视误差在线校准的方法。②系统设备能监测9种气体（9组分），不仅包括常规的7种故障气体，也包括氧气和氮气，色谱在线具有较大的监测能力，例如甲烷和乙炔的监测上限达 $10\text{万} \times 10^{-6}$ 以上，乙烯和乙烷的监测上限达 $20\text{万} \times 10^{-6}$ 以上。③监测数据通信协议是开放的，可以通过Delphi等软件进行监测界面的设计，在IEC 61850通信基础上对所开发设备的远程控制和调整。

综上，通过研究应用变压器油中气体精准监测和在线校准系统，改进了十堰供电公司的油气在线监测工作水平，提高了变压器油气在线监测的科学性和精准度，系统通过推广后，可实现被监测变压器的在线精准监测，有利于提高变压器状态监测的技术水平，更全面快捷地知晓变压器的健康状态，从而及时发现变压器潜在的隐患和缺陷。EA

(收稿日期：2020.08.16)

(编辑：朱金凤)