

气相色谱在线监测技术应用及推广

吴志勇

(广元电业局, 四川 广元 628000)

摘要:介绍气相色谱在线监测技术研究现状,分析在线色谱监测的关键技术,介绍在线色谱监测技术的应用,分析在线监测系统研究经济效益。

关键词:气相色谱;在线监测;变压器;油中溶解气体

Abstract: The investigation status of on-line gas chromatograph monitoring techniques is introduced as well as its applications. The key points of on-line chromatograph monitoring techniques and its economic benefits are analyzed.

Key words: gas chromatograph; on-line monitoring; transformer; dissolved gas in oil

中图分类号: TM855 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-6954(2008)03-0063-04

随着对电能需求量的增大,电力系统电压等级不断提高,设备容量不断增大,对供电可靠性提出越来越高的要求。从近年来变压器事故情况看,许多事故是在无任何先兆的情况下发生,说明目前常规试验项目和实验周期存在一定的局限性,不能在带电时及时、有效地发现变压器内部的潜伏性故障,一些事故先兆信息不能及时捕捉到。因此对大型变压器开展有效、及时的在线监测是必要的。

利用变压器油中溶解气体在线监测仪,检测油中溶解的 H_2 、 C_2H_2 、 C_2H_4 、 C_2H_6 、 CO 、 CH_4 等故障气体的含量和增长率,可以连续观察变压器油中溶解气体动态变化过程,利用变压器在线监测系统实现在线监测及预警。由于减少了取样、运输到测试操作等烦琐环节和分析周期长等因素的影响,有助于及时地发现变压器的潜伏性故障。实时在线的了解主变油中溶解气体的变化,保证变压器的安全运行,为电网的安全运行提供有力的保障^[1]。

1 变压器油中溶解气体在线监测技术现状

变压器油中溶解气体在线监测技术,就其测试原理主要有:气相色谱法、傅立叶红外光谱法、光声光谱法等。其中气相色谱技术的发展相对较成熟,实用化程度较高。国外最早在 20 世纪 80 年代初由日本关西电力和三菱电机公司采用色谱分离技术研制出“变压器油中气体自动分析装置”,并投入现场使用。中国从 20 世纪 90 年代初开始研制在线色谱监测装置,经过多年的探索与实践,已逐步走向应用化阶段,近

年来一直处于发展完善之中^[2]。

美国 Serveron 公司的 Truegas 变压器气体分析仪,以 99.9999% 的超高纯氦气为载气,以热导池为检测器,可测量 8 种气体,包括 H_2 、 CO 、 CO_2 、 O_2 、 CH_4 、 C_2H_6 、 C_2H_4 和 C_2H_2 。对 C_2H_2 、 C_2H_4 、 CO 和 CO_2 的测量,灵敏度可达 1×10^{-6} 或 10% (取大者),其它 4 种气体的测量灵敏度可达 10%。其工作环境温度范围从 -40% 到 +55%,采样周期一般为 24 h。

宁波理工监测设备有限公司的 MGA2000-6 型变压器色谱监测系统,其油气分离单元采用了透气性突出的新型油气分离材料,油气接触面积比一般平板膜大 1 000 倍以上。在分离过程中采用油路、气路双循环,油气分离速度得到大幅度提高,可在 1 小时内实现所有故障特征气体的平衡。其组分分离单元采用色谱柱技术和分离单元整体恒温技术,色谱柱使分离度最小的 H_2 与 CO 保留时间差达到 25 s 以上,解决了因为传感器恢复时间不足而导致的拖尾迭加问题^[3]。

上海交大研制的监测系统的油气分离单元采用带微孔的聚四氟乙烯薄膜。采用双色谱柱,柱 1 直接连入检测器,柱 2 经毛细管柱连入检测器。气体检测器采用热线型传感器能长期保持高灵敏度和稳定性。

2 在线色谱监测的关键技术

现有典型的在线色谱监测系统一般由油气分离、组分分离、气体检测、数据处理与故障诊断五部分组成,下面分别对其进行阐述^[4]。

2.1 油气分离技术

采用油气分离方式有:动态顶空、真空脱气、中空式膜分离和平板结构的高分子膜等。平板结构的高分子膜其优点是结构简单,缺点是平衡时间长,一般要十几小时甚至几十小时,而且由于不同故障气体的平衡时间差别大,难以按照亨利系数求取油中气体体积分数的实时值。因此,当油中气体体积分数变化时其测量值不能准确跟踪实际的变化^[5]。

2.2 组分分离技术

由于传感器的交叉敏感性,分离出来的故障特征气体必须先分离再检测,才能实现可与离线色谱相媲美的宽范围高精度的检测。实现组分分离也是在线色谱的核心。如果将组分分离单元定义为从气室至检测室的全部气路,那么至少有组分分离度和进样量两项指标直接影响了系统的性能。良好的组分分离度要求各组分都可以得到很好的分离,而进样量的一致性则对测量结果影响较大。由于色谱柱的柱温对进样量有直接的影响,所以,保持色谱柱分离系统温度的一致性有利于保证测量结果的准确性^[6]。

2.3 气体检测技术

气相色谱仪的检测单元主要由气敏传感器和检测室组成。目前用于变压器故障特征气体全组分检测的传感器包括热导池(TCD)和半导体气敏传感器。热导池的缺点是检出限不足,即使用高纯氦作载气, Truegas 的最低检出限只有 5 $\mu\text{L/L}$ 。半导体气敏传感器能够测量低体积分数的多种气体,在油蒸汽中、高湿度和温度变化中能保持稳定(一般为 1 至 2 年),相对于热导池检测器要轻便,造价也低,因此被广泛采用。其缺点是必须在氧化氛围中工作,否则其恢复时间可以达到 30 s 以上,使各峰出现严重拖尾现象,使用空气做载气可以解决这个问题,但这样对组分分离有一定影响。

热导池检测器是基于不同的物质有不同的热导系数的分析原理来测量气体体积分数的,而热导系数又与分子量相关,使用 N_2 做载气时,由于 N_2 的分子量(28)和 C_2H_2 的分子量(26)相当,很难准确测量 C_2H_2 的体积分数值,这也是 Truegas 选用 He 做载气的原因。He 的分子量与 C_2H_2 的分子量相差比较大,因此 Truegas 可以准确地测量 C_2H_2 的体积分数值,这个值对实时监测变压器的状态很重要。而无论选用热导池检测器还是使用半导体气敏传感器,用五个 9 的高纯载气即 99.999% 本身就含有 19 $\mu\text{L/L}$ 的不确定成分,所以气体检出下限会比较高。Truegas 采用六个 9 即 99.999 9% 的超高纯 He 做载气,其本身只

含有 1 $\mu\text{L/L}$ 的不确定成分,克服了 99.999% N_2 做载气的缺陷^[7]。

2.4 数据处理与诊断

数据处理包括实时 A/D 转换、传输、存储和测量。气体检测器按气体出峰顺序分别将各组分特征气体的体积分数变换成电信号;A/D 转换器则将该信号转换为数字信号,通过适当的通信协议传给上位机;上位机首先存储所得到的信号,然后由数据处理软件完成调用、显示、测量等。故障诊断是根据所测得的变压器故障特征气体的数据,直接给出变压器的实际状态。

3 在线色谱监测技术在 220 kV 袁家坝站主变压器的应用

220 kV 袁家坝变电站 1、2 号主变上采用的是宁波理工监测设备有限公司生产的;MGA2000-6 变压器色谱在线监测系统,于 2006 年 1 月 19 日开始加入电网试运行。该系统的投入使用,实现了连续、实时、在线监测变压器油中溶解气体的含量和各自增长率的目的。

3.1 主变色谱在线监测系统基本构成原理

主变色谱在线监测系统在微处理器控制下,进行热油冷却、油中溶解气体萃取、流路切换与清洗、柱箱与检测器温度控制、样气的定量与进样、基线的自动调节、数据采集与处理、定量分析与故障诊断等分析流程。其工作原理如下:

变压器色谱在线监测系统采用气相色谱检测原理。变压器油在内置一体式油泵作用下进入油气分离装置,分离出变压器油中的溶解气体,经过油气分离后的变压器油流回变压器油箱,萃取出来的气体在内置微型气泵的作用下进入电磁六通阀的定量管中。定量管中的气体在载气作用下进入色谱柱,然后检测器按气体流出色谱柱的顺序分别将六组分气体(H_2 、 CO 、 CH_4 、 C_2H_4 、 C_2H_2 、 C_2H_6)变换成电压信号。色谱数据采集器将采集到的气体浓度电压量通过 RS485 上传给安装在主控室的数据处理服务器,数据处理服务器根据仪器的标定数据进行定量分析,计算出各组分和总烃的含量以及各自的增长率,由故障诊断专家系统对变压器进行故障分析,从而实现变压器故障的在线监测。

3.2 主变压器色谱在线监测系统性能特点

主变色谱在线监测系统性能特点:监测前端实现

小型化、模块化,安装、维护方便,操作界面简单。

另外还具备以下特点:

(1)测试周期可调:24 h/次的试验周期(测试周期可调,但不能小于2.5 h/次),能及时进行分析并预报设备早期故障。

(2)数据详尽,分析灵活:在线数据提供趋势信息,贮存了长期的气体分析结果,可以在线分析其历史记录趋势。

3.3 主变色谱在线监测系统运行情况

220 kV 袁家坝变电站1、2号主变的色谱在线监测系统是由广元电业局承担的工程项目。于2006年1月19日开始加入电网试运行。运行期间色谱线监测系统运行稳定、可靠,未发生过停机及网络中断等影响运行的现象。

3.3.1 数据对比

(1)通过袁家坝变电站1、2号主变色谱在线监测系统在线测试数据和油化班实验室离线数据的比较(见表1、表2),H₂、CO、CH₄、C₂H₂、C₂H₄、C₂H₆总烃相对误差均小于20%(注:相对误差算式=(组分在线浓度-组分离线浓度)×100/组分离线浓度)。

(2)通过在线实测,袁家坝变电站1、2号主变色

谱在线监测系统测试数据实时性、再现性好,能正确反映变压器油中气体浓度的变化趋势,满足要求^[8]。

4 主变色谱在线监测系统研究经济效益分析

4.1 直接效益

气相色谱法是发现变压器早期潜伏性故障的主要方法,但离线的试验周期存在一定的局限性,可能造成对一些事故先兆信息不能及时捕捉到,无法应对突发故障的发生,从而导致事故的扩大,引起重大设备损坏事故及电网事故。必须对变压器实时情况有及时的了解、掌握^[9]。

针对上述问题,采用气相色谱在线监测技术,实现变压器油色谱在线监测,有效降低了维修管理成本,延长变压器的使用寿命,且便于对有故障可疑的变压器实现连续跟踪监测,减少甚至消除变压器事故,可克服传统离线工作量大和盲目性大的缺点,及时捕捉事故先兆信息,从而有效降低变压器的事故率,大大减少了停电概率。采用气相色谱在线监测系统为广元电业局220 kV袁家坝站主变压器的长周期

表1 1号主变在线、离线比较

分析日期	试样来源	测试方式	组分浓度(μL/L)						
			H ₂	CO	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₆	总烃
2007.12.21	1号主变	在线	4.80	220.50	8.33	1.00	0	0.70	10.03
		离线	4.40	200.40	7.50	1.10	0	0.80	9.40
		相对误差(%)	9.1	10.0	11.1	-9.1	0	-12.5	6.7
2008.01.25	1号主变	在线	4.85	17.00	0.78	0.35	0	0.25	1.38
		离线	4.70	18.50	0.90	0.40	0	0.30	1.60
		相对误差(%)	3.2	-8.1	-13.3	-12.5	0	-16.7	-13.8
2008.02.23	1号主变	在线	5.89	24.90	0.81	0.25	0	0.30	1.36
		离线	5.87	25.80	0.80	0.30	0	0.30	1.40
		相对误差(%)	0.3	-3.5	1.2	16.7	0	0	-2.9

表2 2号主变在线、离线比较

分析日期	试样来源	测试方式	组分浓度(μL/L)						
			H ₂	CO	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₆	总烃
2007.12.21	2号主变	在线	6.60	300.10	9.81	0.75	0	1.35	11.91
		离线	6.50	292.30	10.50	0.80	0	1.40	12.70
		相对误差(%)	1.5	2.7	-6.6	-6.2	0	-3.6	-6.2
2008.01.25	2号主变	在线	5.24	9.73	2.31	0.90	0.48	1.10	4.79
		离线	5.20	8.90	2.40	0.80	0.50	1.20	4.90
		相对误差(%)	0.8	9.3	-3.8	12.5	-4.0	-8.3	-2.2
2008.02.23	2号主变	在线	1.80	76.80	2.20	0.80	0	0.87	3.87
		离线	1.90	76.60	2.30	0.90	0	0.90	4.10
		相对误差(%)	-5.3	0.3	-4.3	-11.1	0	-3.3	-5.6

稳定运行提供了科学的依据,同时产生了极大的社会效益。

4.2 间接效益

过去主变压器一致实行周期检修,这种计划检修的盲目性必然存在检修过度或检修不及时弊病,检修过度带来财力、人力巨大浪费,降低了设备的使用率,同时,由于过度的检修,有可能对设备造成一定程度的损坏;而检修不及时又可能导致设备事故。采用在线监测措施可及时了解变压器的运行状态,根据设备的真实状态决定设备的检修,从而有效降低维修管理成本,延长变压器的寿命。

由于科学地指导了试验、检修工作,减少试验检修停电次数,增加了售电量及销售收入;并从一定程度上减少了工人作业的次数,从而降低了事故发生的机率,为安全生产作出了贡献。

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] 郭碧红,杨晓洪.我国电力设备在线监测技术的开发应用状况分析[J].电网技术,1999,23(8):65—68.
 [3] 杨光玉,吴佩琦.大型油浸式变压器油中溶解气体在线监测技术的应用和研究[J].广西电力,2002,(3):52—54.
 [4] 贾瑞君.高分子薄膜在变压器油中溶解气体在线监测中的应用[J].变压器,2001,38(10):37—40.
 [5] 李红雷.油浸电力设备在线色谱监测及诊断系统的研究[D].上海交通大学,2000.
 [6] 李红雷,李旭光,肖登明,陈亚珠.一种新型的变压器油色谱分离柱[J].变压器,2002,39(8):35—37.
 [7] 杨光玉,吴佩琦.大型油浸式变压器油中溶解气体在线监测技术的应用和研究[J].广西电力,2002,(3):52—54.
 [8] 中华人民共和国电力行业标准SD/187—1986.变压器油中溶解气体分析和判断导则,第五章 试验结果的判断[S].北京电力工业部,1987.
 [9] 尚丽平,曹铁泽,刘先勇,周方洁.变压器油中溶解气体在线色谱监测综述[J].变压器,2004(8).

(收稿日期:2008—03—17)

(上接第25页)

表1 服务器接收到的数据。

地区	线路名称	实时电流	实时功率(MW)	导线温度(°C)	环境温度(°C)	日照强度(W/m ²)	散热系数	实时限额(MW)	运行状态	时 间
四川	棉朱一线	250.292 6	94.47	18	17	7	593	787.54	安全运行	2007—11—8 20:31
四川	棉朱一线	274.693 9	103.68	17.7	17	7	952	787.54	安全运行	2007—11—8 20:26
四川	棉朱一线	293.391 6	110.52	17.4	16.7	7	1000	788.05	安全运行	2007—11—8 20:21
四川	棉朱一线	274.118 9	103.26	17.4	16.8	7	943	787.36	安全运行	2007—11—8 20:16
四川	棉朱一线	250.784 5	94.47	17.4	16.8	7	601	787.36	安全运行	2007—11—8 20:11
四川	棉朱一线	237.261 3	89.45	17.4	16.8	0	298	788.72	安全运行	2007—11—8 20:06
四川	棉朱一线	243.749 7	91.82	17.3	16.6	0	355	789.43	安全运行	2007—11—8 20:01
四川	棉朱一线	246.324 7	92.79	17.3	16.7	7	547	788.05	安全运行	2007—11—8 19:56
四川	棉朱一线	229.197 1	86.24	17.3	16.6	7	373	787.83	安全运行	2007—11—8 19:51
四川	棉朱一线	237.458 2	89.45	17.3	16.6	7	451	788.73	安全运行	2007—11—8 19:46
四川	棉朱一线	226.607	85.12	17.3	16.5	7	351	787.17	安全运行	2007—11—8 19:41
四川	棉朱一线	239.562	90.14	17.3	16.5	7	474	788.51	安全运行	2007—11—8 19:36
四川	棉朱一线	245.189 2	92.1	17.3	16.6	7	535	786.49	安全运行	2007—11—8 19:31
四川	棉朱一线	254.629 9	95.73	17.1	16.5	7	651	787.86	安全运行	2007—11—8 19:26
四川	棉朱一线	231.052 8	86.79	17	16.4	7	390	787.85	安全运行	2007—11—8 19:21
四川	棉朱一线	251.774 3	94.47	17	16.5	7	614	786.31	安全运行	2007—11—8 19:16
四川	棉朱一线	255.348	96	16.4	16	7	663	791.25	安全运行	2007—11—8 19:11
四川	棉朱一线	232.895 3	87.21	16.4	16.1	7	409	787.42	安全运行	2007—11—8 19:06
四川	棉朱一线	216.872 2	81.21	16.6	16.4	7	275	785.4	安全运行	2007—11—8 19:01
四川	棉朱一线	217.801 8	81.49	16.6	16.5	7	281	784.07	安全运行	2007—11—8 18:56
四川	棉朱一线	217.234 9	81.21	16.6	16.4	7	278	784.09	安全运行	2007—11—8 18:51

电线路在线监测增容系统紧密联系在一起,密切配合,协调有序运作,从而切实实现线路调度高效协调、

优化资源配置的功能。

(收稿日期:2008—02—10)