绝缘油综合分析管理系统在变压器故障中的应用

首先通过分析现有绝缘油监测存在的问题，指出绝缘油分析管理工作的重要意义。然后对绝缘油特性和诊断方法分析说明，阐述了绝缘油需要控制和监测的指标。提出了集变压器参数、状态监测、历史数据和故障诊断为一体的绝缘油分析的综合管理流程，并详细描述了系统的管理模式。最后，结合现场中绝缘油的监测实例，利用油色谱分析中的三比值方法，详细分析了故障诊断过程和分析处理方法。

金 莹 鄢 阳/国网电力科学研究院

金 莹/工程师

关键词/Keywords
变压器·
绝缘油·
三比值法·

0 引言

电力变压器是变电站的重要设备之一，其运行情况将影响到电力网络的安全运行。电力变压器在正常运行时，油中的溶解气体成分主要为氮气和氧气。但当绝缘油受到温度、电场和氧气等外部环境作用时，就会发生化学反应，绝缘油劣化，此时绝缘油内部的气体成分就会发生变化，也就是说气体成分的含量和组成与变压器故障的类型和程度息息相关。因此，通过监测这些气体成分可以判断绝缘油的劣化和诊断电力变压器的故障，是确保变压器安全稳定运行的有效举措之一。

虽然绝缘油监测已经成为监测变压器故障的重要措施，但由于绝缘油色谱分析装置的数据比较单一，缺乏完整的数据台账，不能定期地进行横纵向的比较，所以亟需构建比较完善的绝缘油综合分析管理系统，及时地采集和汇总数据。

1 绝缘油的特性分析和诊断方法

电力变压器中的绝缘油有绝缘和冷却两大功能，将关系到其运行的可靠和稳定性。这是因为绝缘油的介电常数值较高，为2.25，而空气的为1.0，介电强度增加后击穿难度也提高了，有绝缘的功效。此外，绝缘油可以将变压器绕组线圈中因电流产生的热量通过油循环散发出来，起散热冷却作用。这些功能和绝缘油的化学、物理及电气特性紧密相关。化学特性主要考虑酸值、含水量和抗氧化性能。一般来说，绝缘油的酸值越高，其导电性越高，说明老化程度越重，绝缘性能变差。油中含水量越高，介电强度就会变低，降低击穿电压，同样也会增加介质损耗，最终使绝缘性能降低。油的抗氧化性能高，就不会容易发生氧化变质，产生氧化物，降低绝缘性能。物理特性主要考虑粘度、密度、凝固点和界面张力四个方面。粘度是衡量油流动阻力的数值，影响其散热冷却的功效；合适的密度可避免浮冰现象出现；凝固点可保证低温度下的油仍可以进行循环散热；界面张力可反映纯洁度和老化情况。电气特性主要指绝缘强度和介电损耗因数。按照要求，对设备投入运行前的绝缘油和运行中的绝缘油都需要取样检测，重点检测项目就是上述提到的反映油的化学、物理和电气特性的指标参数。

绝缘油的劣化主要是氧化作用的结果，受到水分、铁铜材料、温度、冲击和电场等影响，一旦氧化就难以控制，最终会导致绝缘油变质。因此，需要定期对绝缘油的质量情况进行检测，一般

中国知网 https://www.cnki.net

常测量的是酸值和水分。在电力系统中常使用指示剂滴定法和电位滴定法测量油的酸值，使用库伦微量水分检测油中水的含量。

气体的测量就是常用的溶解气体色谱分析法，其研究对象为永久性气体：氢气（H_2）、氧气（O_2）、氮气（N_2）、一氧化碳（CO）、二氧化碳（CO_2）、乙炔（C_2H_2）、乙烯（C_2H_4）和甲烷（CH_4）及乙烷（C_2H_6）九种。利用的是故障下产气的累计性、速率和特征性来判断变压器的故障。每种故障类型下溶解的气体是不一样的，如表1所示。

表1　不同故障类型下的气体组分

故障类型	主要气体组分	次要气体组分
油过热	CH_4、C_2H_4	H_2、C_2H_6
油和纸过热	CH_4、C_2H_4、CO、CO_2	H_2、C_2H_6
油纸绝缘中局部放电	H_2、C_2H_2、CO、CO_2	CH_4、C_2H_4、C_2H_6
油中火花放电	H_2、C_2H_2	
油中电弧	H_2、C_2H_2	CH_4、C_2H_4、C_2H_6
油和纸中电弧	H_2、C_2H_2、CO、CO_2	CH_4、C_2H_4、C_2H_6

2　绝缘油的综合分析体系

绝缘油分析是一项比较基础的工作，直接关系到故障监测的准确性。但由于绝缘油色谱分析装置的数据比较单一，缺乏完整的数据台账，不能定期地进行横纵向的比较，所以亟需利用计算机构建比较完善的绝缘油综合分析管理系统，对数据进行及时采集、汇总、分析和诊断，提高准确性。所以，结合现场的实际运行情况，总结出一套集变压器参数、状态监测、历史数据和故障诊断为一体的绝缘油分析管理系统，如图1所示。

绝缘油分析管理系统的具体内容主要包括以下几个方面：

1）建立十分详细的设备参数库和实验数据库。变压器是否可以安全稳定地运行不仅仅与绝缘油的情况有关，而且还和设备自身的参数指标息息相关，包含电力变压器电压、容量、短路阻抗、过负荷能力、附件情况、厂家、出厂日期、投运日期、出厂的试验数据、交接的试验数据、

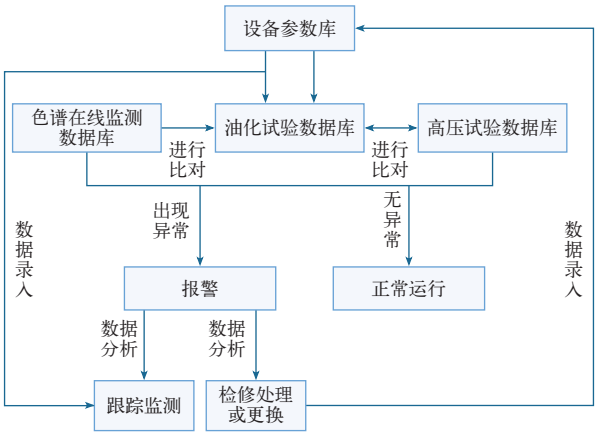

图1　变压器绝缘油分析管理系统

历次的试验数据和变压器油型号等。所以，全面了解和掌控电力变压器和绝缘油的一切指标参数对系统的安全稳定运行意义十分重大。

2）二是基于完善的数据库和计算机分析管理系统，实现数据采集、汇总、分析、统计和报警等功能。

3　实例结果与分析

研究对象选取型号为ZZDFPZ－297500/ 500的电力变压器，容量为297.5/297.5 MV·A。2014年4月5日对其进行油色谱分析时观测到C_2H_2含量为1.22 μL/L，超过了注意值1 μL/L，其余气体未发现异常。接下来的几天对其进行持续观察和跟踪监测，2014年4月6～11日，C_2H_2值稳定在1.22 μL/L以内。4月12日对其进行350 kV、821～710 MW的降压运行试验，试验期间C_2H_2含量增加明显，记录的电力变压器油色谱的主要监测数据如表2所示。

本次监测发现乙炔超标后，还抽取了套管升高座的油样作为比对。由表2可知，总烃含量正常，说明放电并不剧烈，但乙炔含量超标，大负荷前，乙炔含量较低且一直比较稳定；大负荷后乙炔含量突变，说明内部有放电，大负荷加剧局部放电。如图2所示。大负荷后电力变压器主要有两点变化：一是变压器流过电流增大；另一个就是换流变调压开关动作。因此检查时需重点检查调压开关和换流变一次及二次绕组。换流变网侧高压套管（A套管）和两个阀侧高压套管（a套

中国知网 https://www.cnki.net

表2　变压器油色谱监测数据

（单位：μL/L）

取样时间（年/月/日）	取样部位	H_2	CH_4	C_2H_4	C_2H_6	C_2H_2	CO	CO_2	ΣCH	备注
2014/4/6	底部	3.95	1.03	0.33	0.13	1.25	30.87	238.4	2.74	
2014/4/7	底部	3.47	0.85	0.43	0.42	1.28	33.03	249.9	2.98	
2014/4/8	底部	3.63	1.02	0.35	0.59	1.28	34.68	314.1	3.24	
2014/4/9	底部	3.85	1.07	0.34	0.33	1.27	33.14	271.4	3.01	
2014/4/10	底部	3.14	0.75	0.44	0.47	1.27	31.53	254.7	2.93	
2014/4/11	底部	3.60	1.07	0.43	0.38	1.27	32.02	238.4	3.15	
2014/4/12（8：30）	底部	6.42	1.06	0.61	0.44	2.94	32.31	249.4	5.05	大负荷开始
2014/4/12（14：30）	底部	10.43	1.5	0.72	0.27	5.15	31.69	254.2	7.64	
2014/4/12（14：30）	A套管升高座	9.21	1.38	0.68	0.2	4.52	33.57	271.6	6.78	
2014/4/12（14：30）	a套管升高座	5.04	1.17	0.37	0.17	1.38	23.42	357.9	3.13	
2014/4/12（14：30）	b套管升高座	21.98	1.21	0.69	0.24	1.24	43.34	378.4	3.06	
2014/4/12（19：30）	底部	13.32	1.33	0.84	0.19	6.26	36.21	264.1	8.62	大负荷结束

管、b套管）升高座处乙炔含量低，局部放电未发生在套管处。

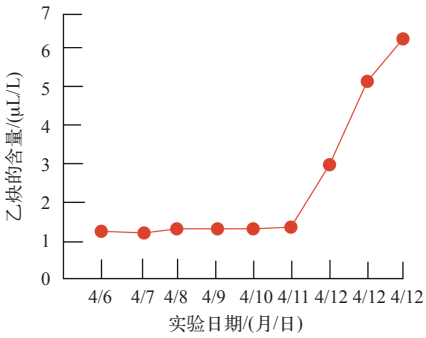

图2　变压器绝缘油中乙炔含量变化曲线

利用三比值法计算。三比值指五种气体（C_2H_2、C_2H_4、CH_4、H_2和C_2H_6）构成的三个比值（C_2H_2 / C_2H_4、CH_4/ H_2、C_2H_2/C_2H_6）。2014年4月12日三个时间的计算结果如表3所示。根据判断故障的三比值法，比值范围编码为逐渐由201变为202，判断故障性质为低能量的放电，尤其是调压开关处的低能量放电，典型案例有悬浮电位体的连续火花放电，不同电位的不良连接点间，固体材料之间油的击穿。

表3　三比值编码

试验时间	C_2H_2/C_2H_4	CH_4/H_2	C_2H_2/C_2H_6	编码结果
8：30	5	0.17	1.5	201
14：30	6	0.14	2.7	201
17：30	8	0.1	4	202

该变压器退出运行后技术人员对该变压器进行了排油检查，未发现明显故障，初步怀疑故障原因仍为调压开关故障。现场对两台分接头选择开关进行了整体更换。并对电力变压器实施了常规试验和局部放电的试验，结果显示合格，表明与上述分析判断结论一致。

上述故障是在变压器定期油化监测试验中发现色谱试验结果异常的，按照本文提出的绝缘油分析管理系统对其进行模拟故障诊断。2014年4月12日在对大负荷运行例行色谱分析试验中，观测到乙炔含量达到2.94 μL/L，超过注意值1 μL/L，系统计算三比值是201，自动报警提示故障类型“放电故障”。随后进行继续跟踪监测，发现该变压器中乙炔值达到6.26 μL/L，通过数据库纵向比较，显示乙炔增加较快，进入“处理更换”阶段，该变压器更换退出运行，此为该变压器记录的一个节点。系统记录后能方便日后统计及对变压器运行状况进行分析。

4　结束语

本文所述绝缘油分析管理系统可行，可对绝缘油进行监管，及时发现变压器绝缘故障隐患，提高故障诊断的可靠性和准确性，并能随时掌握变压器的运行状况。实际应用于电力变压器的故障诊断结果表明效果很好，具有比较广阔的应用前景。

（收稿日期：2015－07－15）EA

中国知网　https://www.cnki.net