摘要：气相色谱法已是一项较成熟的分析技术，已经被广泛应用于医学、化工、军事以及电力行业。在电力行业实际应用过程中，为了更准确的诊断变压器的内部故障，色谱分析应根据设备历史运行状况、特征气体的含量等采用不同的分析模型确定设备运行是否属于正常或存在潜伏性故障以及故障类别。

1.气相色谱法的原理

色谱法又叫层析法，它是一种物理分离技术。它的分离原理是使混合物中各组分在两相间进行分配，其中一相是不动的，叫做固定相，另一相则是推动混合物流过此固定相的流体，叫做流动相。气相色谱的分离原理是利用不同物质在两相间具有不同的分配系数，当两相作相对运动时，试样的各组分就在两相中经反复多次地分配，使得原来分配系数只有微小差别的各组分产生很大的分离效果，从而将各组分分离开来。然后再进入检测器对各组分进行鉴定。这种借在两相分配原理而使混合物中各组分获得分离的技术，称为色谱分离技术或色谱法。

绝缘油是由H2、CO、CO2、烃类等成分组成的混合物。当变压器内部发生故障时，分解气体溶解于变压器油中，当故障严重时，也可能聚集成游离气体。不同的故障会产生不同的特征气体，这些故障气体的组成和含量与故障类型及严重程度有密切关系。分析溶解于油中的气体，就能尽早发现设备内部存在的潜伏性故障，并可随时监视故障的发展状况。

2.变压器故障诊断

电力变压器的内部故障主要有过热性、放电性及绝缘受潮等类型。

过热性故障是由于设备的绝缘性能恶化、油等绝缘材料裂化分解。又分为裸金属过热和固体绝缘过热两类。裸金属过热与固体绝缘过热的区别是以CO和CO2的含量为准，前者含量较低，后者含量较高。

放电性故障是设备内部产生电效应(即放电)导致设备的绝缘性能恶化。又可按产生电效应的强弱分为高能放电(电弧放电)、低能量放电(火花放电)和局部放电三种。其特征气体为乙炔和氢气，其次是甲烷和乙烯气体。

变压器绝缘受潮时，其特征气体H2含量较高，而其它气体成分增加不明显。

3. 色谱分析诊断的基本程序

首先看特征气体的含量。应先根据特征气体含量作大致判断，主要的对应关系是：①若有乙炔，应怀疑电弧或火花放电;②氢气很大，应怀疑有进水受潮的可能;③总烃中烷烃和烯烃过量而炔烃很小或无，则是过热的特征。

计算产生速率，评估故障发展的快慢。

通过分析的气体组分含量，进行三比值计算，确定故障类别。

核对设备的运行历史，并且通过其它试验进行综合判断。

4. 油中主要气体含量达到注意值时故障分析方法

在判断设备内有无故障时，首先将气体分析结果中的几项主要指标，(H2，∑CH，C2H2)与色谱分析导则规定的注意值进行比较。正常变压器油中气，烃类气体含量的注意值：气体组分H2 CH4 C2H6 C2H4 C2H2总烃：含量(µl/L)150 60 40 70 5 150

当任一项含量超过注意值时都应引起注意。但是这些注意值不是划分设备有无故障的唯一标准，不能拿“标准”死套。设备因气体含量较高超过注意值，也不能断言判定有故障，因为可能不是本体故障所致，而是外来干扰引起的基数较高，这时应与历史数据比较，如果没有历史数据，则需要确定一个适当的检测周期进行追踪分析。又如气体含量增长迅速时，虽低于注意值也应追踪分析。就是说：不要以为气体含量一超过注意值就判断为故障，甚至采取内部检查修理或限制负荷等措施，是不经济的，而最终判断有无故障，是把分析结果绝对值超过规定的注意值，(注意非故障性原因产生的故障气体的影响，以免误判)，且产气速率又超过10%的注意值时，才判断为存在故障。

注意值不是变压器停运的限制，根据具体情况进行判断，如果不是电路(包括绝缘)问题，可以缓停运检查。

若油中含有氢和烃类气体，但不超过注意值，且气体成份含量一直比较稳定，没有发展趋势，则认为变压器运行正常。

注意油中CO、CO2 含量及比值。变压器在运行中固体绝缘老化会产生CO和CO2。同时，油中CO和CO2的含量既同变压器运行年限有关，也与设备结构、运行负荷和温度等因素有关，导则还不能规定统一的注意值。只是粗略的认为，开放式的变压器中，CO的含量小于300µl/L，CO2/CO比值在7左右时，属于正常范围;而密封变压器中的CO2/CO比值一般低于7时也属于正常值。

5.故障实例

大唐石泉水电厂#2变是110KV的，容量为63000KVA，该变压器于2007年5月投入运行，是新换变压器。投运前各项指标符合国标要求，按要求投运后3天、10天、30天取样分析。运行10天就发现发现总烃、CO 、CO2增长迅速，再后来运行54天直接接近注意值，其特征气体甲烷、乙烯、乙烷为主，其次是氢气，还有少量的乙炔。利用三比值法判断：结论为高于700℃的过热性故障，可能由于夹件松动或接头焊接不良等引起的，或是绝缘材料不合格受热受潮引起。由于水电在夏天是发电的高峰期，负荷也大为保障设备安全经济运行，采取降低负荷，每天取样连续跟踪监测等措施。另外进行高压试验也未发现问题。监测数据如下：

石泉2号主变气相色谱分析数据 含量(µl/L)



经厂家来人大修将变压器解体后，发现发现内部硅钢片四周有红色锈迹，硅钢片上也有锈点，检查发现变压器在生产过程干燥后，未保持恒温，暴露在空气中受潮引起锈蚀。变压器投运后形成涡流，散热不畅造成线圈温度升高，造成过热。绝缘材料过热，产生大量的CO、 CO2与气相色谱分析试验结果判断的结论基本一致。后来将变压器退出运行返厂修理后，投入运行恢复正常。

6.总结

任何事故都有一个产生、发展的过程，也是从量变到质变的过程。变压器内部的绝缘油、纸、布、漆和木头等绝缘材料都为碳氢化合物或碳水化合物，在分子结构中碳氢键(C-H)最多，键能最低，因此在分解时最容易断裂;而氢气的生成热最小，在碳氢键断裂后氢气最易生成;又因为氢气的分子半径最小，在油中的溶解度也最小，使氢气最容易从油中析出后渗透过高分子膜，使其以最快的速度集聚到气相中。因此，故障表现为烃类气体含量增大，其中以甲烷和乙烯为主，两者含量之和占总烃的80以上。当故障点的温度较低时，甲烷为主要特征气体，故障点的温度升高，乙烯所占比例增加，也成为特征气体的主要部分，同时油中氢气含量也随之增加。由于氢气极易泄漏，无论从取样到试验的各个操作环节，都有可能或多或少带来分析误差。至使氢气含量不是很高。

综上所述，利用气相色谱分析变压器油的气体组分及其含量，能够使技术人员充分掌握并监测变压器的运行状态，能够提前知道变压器内部是否存在潜伏性故障，即在变压器运行中(不停电、不吊芯的情况下)，通过常规检测及色谱分析就可以把变压器内有无故障、有什么样性质的故障诊断出来，找出故障点，及时采取措施作出正确处理，防止事故扩大，防患于未然从而更好地保证电力设备的安全经济运行。这对于变压器的维护保养起到关键性的指导作用，