

# 变压器油色谱在线检测与故障诊断应用

吴厚跃

(国网福建超高压公司 福建省福州市 350001)

**摘要:** 变压器在电力系统中扮演着至关重要的角色,而变压器油的质量和运行状态对变压器的性能和寿命具有重要影响。文章以实际案例为研究基础,探究油中气体色谱分析法在其局部放电故障检测和诊断中的应用,以案例分析总结油色谱分析判断原则和故障诊断应用要点。最终结果证明,该方法可以直接精准检测变压器的故障区域和判断故障问题。

**关键词:** 变压器;油色谱分析;在线检测;故障诊断;应用

**Abstract:** Transformers play a vital role in power systems, and the quality and operating condition of transformer oil have a significant impact on transformer performance and life. Based on actual cases, this paper explores the application of gas chromatography in oil in its partial discharge fault detection and diagnosis, and summarizes the judgment principles and key points of fault diagnosis with case analysis. The final results prove that this method can accurately detect the fault area of the transformer and determine the fault problem.

**Key words:** transformer; oil chromatographic analysis; Online detection; Fault diagnosis; apply

**引言:** 电力变压器是电力系统中的关键设备,它们用于升压或降压电压,以实现电能的传输和分配。变压器的正常运行对电力系统的稳定性至关重要。变压器作为电力系统中的重要组成部分,其运行会影响电力系统的安全性和稳定性。变压器油在其中发挥绝缘和冷却作用,还可以反映变压器内部的运行状态。变压器油中的异常气体和化学成分可以是潜在故障的早期迹象,因此对变压器油的监测和分析变得至关重要。色谱分析技术作为一种先进的在线检测方法,已经广泛应用于变压器油的质量评估和故障诊断。从中可知,文章研究具备实际意义。

## 1 油中气体色谱分析方法

近些年,随着电力能源得到广泛应用。直流输电工程得到迅速发展。随着输电系统建设日益完善,换流变压器作为重要组成部件之一<sup>[1]</sup>。基于此,文章探究油中色谱分析方法在其故障检测和诊断中的应用,可以有效预防变压器事故发生,为电力系统安全运行提供更多保证。

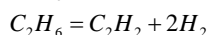
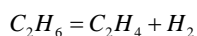
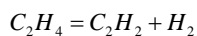
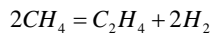
### 1.1 方法阐述

气相色谱法是一种分离和分析化学物质混合物的分析技术。它基于样品中化合物分子在气相(或者固体相)载气流动中的分配差异来实现分离和定量分析。其具备灵敏度高、可靠性强等特点,在换流变压器检测中发挥重要作用。

### 1.2 方法机理

变压器正常运行过程中,其内部的油和固体绝缘材料会受到热、电场等影响,随着时间积累而出现老化,不仅会产生一些非气态的劣化产物,还会产生少量的氢、低分子的烃类气体等,包括一氧化碳、二氧化碳、氢气、乙炔、甲烷等气体,

其中碳的氧化产物成分占比最高。这些特征气体可以展现故障类型,因此,在检测过程中,可以通过分析气体的裂解产生机理从而判断故障情况<sup>[2]</sup>。也就是如果变压器运行出现故障,会导致其中部分组分含量较正常范围发生变化,因此,可以通过分析特征组分的含量变化确定故障类型以及严重程度等信息。以氢气为例,产生机理可以用以下几个式子表示:



结合上文所述,变压器故障的类型和严重性会影响特征其他的浓度和组分,因此,完全可以依据特征其他从而判断故障情况。下表1是变压器常见故障和相对应产生的气体组分总结信息。

表1 变压器常见故障类型及对应产生的气体组分总结表

故障类型	主要气体组分	次要气体组分
油过热	CH <sub>4</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
油和纸过热	CH <sub>4</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 、CO、CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
油中电弧	H <sub>2</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> 、CH <sub>4</sub>

油中火花放电	H <sub>2</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	-
油纸绝缘中局部放电	H <sub>2</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> 、CO、CO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> 、CH <sub>4</sub>
油和绝缘纸中电弧	H <sub>2</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> 、CO、CO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 、C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> 、CH <sub>4</sub>
进水受潮或者油中气泡	H <sub>2</sub>	-

## 2 在线监测系统阐述

为了更为发挥油色谱在线检测方法优势,直观对变压器故障进行诊断,构建智能化油中气体色谱分析法(DGA)在线监测系统,该系统简称为DGA系统。其主要组成如下图1所示。

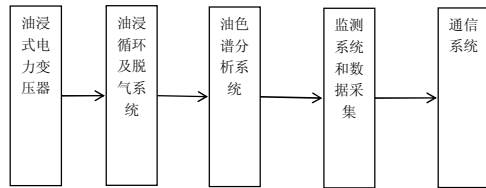


图1 DGA在线监测主要设计思路图示

结合图1来看,在线监测系统设计的主要思路就是通过油循环系统,将变压器中的标油样取出,然后通过系统处理,将脱出的气体放入定量管中,借助高纯度的氮气将定量管中的气体推入色谱柱,从而以时分顺序为基础,确定各种气体分离顺序。对气体完成检测之后,通过智能化系统将检测结果反馈给系统中进行数据处理,最终依据通信系统,确保所检测的数据可如实、完整的传输到分析诊断系统,最终完成整体监测过程。

### 2.1 油循环和油气分离系统

其中油循环系统属于监测终端,其主要职能是对取出的油样进行脱气,并等到检测完成后,再次将其送回变压器中,从而避免变压器由于油量消耗而出现故障。该系统作用原理以真空脱气为主,为了实现可循环利用,自行制作真空脱气装置,遵循全脱气、效率高及重复性高原则进行研制<sup>[3]</sup>。应用原理为借助油循环泵,在取油法兰中取出适量的变压器油样,然后对脱气室进行真空操作,确保选取的油样完成真空脱气,此过程中需要保证脱气室温度处于65℃。脱气处理之后,需要将获得的样气送入集气室,重复脱气和集气过程6次,确保脱气铝板达到95%以上。达到完全脱气指标后,将样气送入色谱分离系统进行下一步操作。

### 2.2 色谱分离系统

该系统设计过程中,为了确保样气组分检测结果准确,以时间顺序为基础,使用色谱柱对样气进行分离。该系统以单根复合色谱柱为基础,可以实现多种混合样气分离目标,且该种设计思路较为简便、便于识别,可以显著降低系统复杂度。

应用的气相色谱柱一般包括两类,从性能角度进行思考,选择填充柱作为主要材料。在检测过程中,色谱仪对色谱柱性能进行检验。结合上文分析来看,常见的变压器故障产生的特征气体主要包括7种。因此,只需要对包括CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、CO、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>在内的七种组分

进行检测,便可以对故障做出诊断<sup>[4]</sup>。

2.3 监测采集和数据传输系统

为了确保检测所得数据可以如实反馈到诊断系统之中,数据采集和传输成为重点。为了保证质量,以半导体和固体电解质为基础制作传感器,辅助完成检测。其中数据采集系统框架结构如下图2所示。

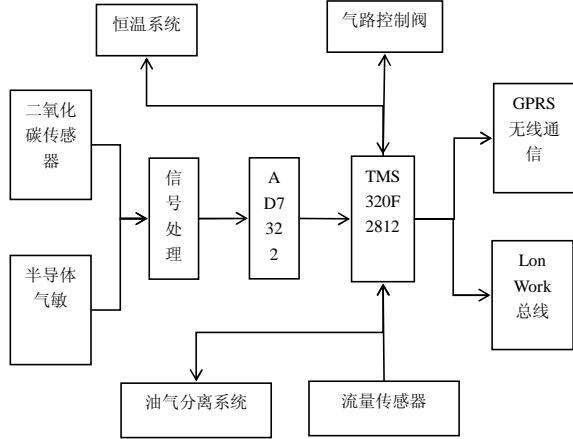


图2 数据采集设计框架图

结合上图2分析,为了保证次啊及系统结果的精确度,应用高精度AD,其性能优良,足以满足需求。在选择处理器时重点思考处理效率等因素。对于流量传感器而言,结合实际需求,选择检测范围在0-200mL/min的传感器。恒温系统以固态继电器为基础,控制电热丝加热,发挥温度控制优势,精确把控温度,以现场总线和无线通信方式为传输方式。通过上述设计,可以有效对变压器故障采用油色谱分析方法进行检测。

3 实例分析

以上文阐述的在线监测系统为基础,开展实例分析。该系统具备数据分析和故障诊断两大功能,为了满足多元化需求,该系统可以提供三种不同的诊断方法,分别是三比值法、气体产生速率和大卫三角形法<sup>[5]</sup>。

以某换流站为研究对象,该换流站内某变压器出现故障,基于该变压器故障情况,以三比值法为诊断基础,开展故障诊断。应用的三比值法是以故障特征气体的浓度相对比值为基础进行故障分析的方法。三比值是指以CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>为基础的5种气体浓度构成的三个比值,分别是CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>6</sub><sup>[6]</sup>。最终以三比值编码确定故障类型和产生原因。其中三比值法的编码规则如下表2所示。

表2 三比值法编码规则总结表

特征气体比值	比值范围编码		
	CH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
<0.1	0	1	0
0.1-1	1	0	0
1-3	1	2	1
>3	2	2	2

研究的变压器故障表现为局部放电。现场具体情况如下:2022年4月,研究站点系统进行定期调试,在调试过程中,发现某台换流变压器存在带电运行状态,发现问题之后,上报专业人员,经过系统监测,发现该换流变压器油色谱分析检测结果如下表3所示。

表3 换流变压器特征气体含量检测总结表 单位: μm/L

试验日期	2022.4.2	2022.4.3	2022.4.16	2022.4.19	2022.4.22	2022.4.23	2022.4.24	2022.5.10
试验性质	测试前	测试后	大负荷前	实验中	小负荷一天	小负荷一天	大负荷一天	检查处理后
H <sub>2</sub>	3	3	8	10	12	12	25	0
CH <sub>4</sub>	0.7	0.7	1.2	1.6	1.6	1.6	2.5	0.4
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0	0.1	0.4	0.6	0.6	0.6	1.3	0
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0	0.1	0	0	0	0	0	0

C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0	0	2.4	2.7	3.3	3.5	10.7	0
CO	50	46	50	54	52	51	51	7.4
CO <sub>2</sub>	241	212	254	258	257	230	299	106
∑C	0.7	0.9	4.1	5.1	5.6	5.8	14.4	0.4

结合表3来看,在4月16日,换流变压器油色谱分析发现,此时乙炔含量为2.4 μm/L,与表2中的标准值对照来看,比值显著增大,4月24日,乙炔含量增大到10.7 μm/L,结合以往经验来看,该变压器出现显著故障,需要立即进行停运处理。

在对故障变压器持续进行色谱检测时发现总烃的和能量并未超过注意值范围,仍在150 μm/L范围内,但乙炔含量明显超出标准值范围,且呈现持续上升状态,且在4月24日出现明显急剧上升态势。综合分析可知,该变压器内部存在局部放电点,且随着时间推移严重程度不断加剧,根据三比值法进行计算,最终结果如下表4所示。

表4 三比值编码结果统计表

试验日期	2022.4.22	2022.4.23	2022.4.24
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	5.5	6	8
CH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub>	0.12	0.14	0.1
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	无穷大		
编码结果	202	202	202

结合表4来看,最终三比值法所得结果为202,以此为依据,发现故障类型为低能量的局部放电。

据以往经验来看,该类型故障有两种典型情况,其一是不同电位的不良连接,其二是悬浮电位的连续火花放电,从而导致固体材料之间油击穿<sup>[7]</sup>。对变压器进行深度内检,在其调压开关上发现放电点,从中可知,故障原因是调压开关触头接触和切换存在问题。深度分析故障,油色谱检测中之所以出现乙炔含量过高是因为极性开关与电位开关配合不当导致的,也就是在极性开关切换时,电位开关无法按照规定动作完成操作,这就导致调压绕组在极性开关断开时,出现瞬间空悬问题,电场中出现悬浮电位,此时极性开关触头之间和电位开关触头间均出现火花,进而产生大量乙炔。将内检结果与油色谱分析检测结果对照来看,两者相吻合,这足以证明该在线监测系统具备应用价值,可以准确对变压器故障做出诊断。

结语

变压器油色谱在线检测与故障诊断在电力系统中的应用为变压器的健康管理和维护提供了有力工具。本文详细阐述变压器油色谱在线监测系统组成和设计思路,并通过实际案例分析,验证以油中色谱分析方法为基础的在线监测系统,可以通过实时监测和分析变压器油中的化学成分及早发现潜在故障,并明确判断故障类型。该方法的应用有助于高效维护电力系统安全稳定运行,可以为电力供应的可靠性和稳定性提供保障。

参考文献:

- [1]于哲,张月,迟秀华,等.变压器油色谱分析及故障诊断的应用[J].冶金动力,2022,41(6):11-12+118.
- [2]鲁志冲.变压器油色谱检测技术原理及其应用[J].电工技术,2022,43(23):181-183.
- [3]穆宝.基于某电厂油浸式变压器油色谱数据传输问题解析[J].仪器仪表用户,2022,29(8):82-86.
- [4]伊锋,黄国华,高志新,等.一台220kV变压器油色谱异常分析与故障预判[J].青海电力,2022,41(2):53-59.
- [5]鲁丽萍,刘娟,邹丹平,等.基于混沌特征的电力变压器油色谱监测装置有效性评估[J].变压器,2022,59(6):36-41.
- [6]杨玥,康琪.变压器在线油色谱异常状态快速辨识边缘装置关键技术研究[J].内蒙古电力技术,2022,40(2):50-56.
- [7]尹杭,王磊,孟涛.基于改进神经网络算法的变压器油色谱故障检测方法[J].吉林电力,2022,50(1):14-18.