

# 电力变压器油中溶解气体分析 (DGA) 技术的应用与发展

赵丽文

北京唐浩电力工程技术研究有限公司 内蒙古 赤峰 024000

**摘要:** 电力变压器油中溶解气体分析 (DGA) 技术是一种重要的电力设备故障诊断手段。本文旨在探讨DGA技术的应用现状、技术原理、发展趋势以及其对电力变压器安全运行的重要性。通过对相关文献的综述, 本文将详细阐述DGA技术的核心原理、主要应用、技术挑战及未来发展方向。

**关键词:** 电力变压器油; 溶解气体分析; 应用; 发展

## 引言

电力变压器作为电力系统中的关键设备, 其运行状态直接影响到整个电网的安全性和稳定性。油中溶解气体分析 (DGA) 作为一种有效的故障诊断方法, 通过检测变压器油中溶解的气体种类和含量, 可以实现对变压器内部故障的早期预警和诊断。本文将从DGA技术的原理、应用、技术挑战及未来发展方向等方面进行全面阐述。

## 1 DGA 技术原理

### 1.1 油气分离技术

油气分离作为DGA技术的核心环节, 其效率与准确性直接关系到整个分析过程的可靠性。当前, 行业内广泛采用的油气分离方法主要包括高分子聚合物分离法、真空脱离法以及置换手段脱气法, 每种方法各有千秋, 适用于不同的应用场景。高分子聚合物分离法, 凭借其独特的材料特性, 实现了油与气的有效分离。该方法利用特殊设计的高分子聚合物膜作为分离介质, 当含有溶解气体的变压器油流经此膜时, 气体分子能够选择性地透过膜层, 而油分子则被阻挡, 从而实现油气的高效分离。此技术不仅结构简单、维护便捷, 而且能够实现在线动态监测, 及时捕捉油中气体含量的变化, 为设备的早期故障预警提供有力支持。真空脱离法则是一种更为精细的分离手段。它通过多次循环的真空处理过程, 逐步降低油中的气体分压, 促使溶解在油中的气体逐渐释放出来并被收集。这种方法虽然检测效果优异, 能够深度去除油中的微量气体, 但操作流程相对复杂, 对设备的气密性和操作人员的技能水平要求较高。置换手段脱气法则通过向变压器油中引入外部气体 (如氮气), 利用不同气体在油中的溶解度差异, 通过特定的吹气方式将溶解在油中的目标气体置换出来。尽管该方法在某些特定情况下具有优势, 如能够快速降低油中特定气体的浓度, 但因其无法实现循环取样分析, 限制了其在长期监测和趋势分析中的应用。

### 1.2 气体检测技术

在DGA技术体系中, 气体检测技术是紧随油气分离之后的关键步骤, 它直接关系到气体成分的准确识别与量化, 为设备的健康状态评估提供科学依据。当前, 气体检测技术日新月异, 其中气相色谱法、电子检测法及光谱分析法凭借其各自独特的优势, 在电力行业得到了广泛应用。气相色谱法, 作为气体检测领域的“金标准”, 以其卓越的灵敏度和准确度著称。该方法通过样品气体在色谱柱中的分离, 结合不同气体组分在固定相和流动相之间的分配差异, 实现气体的逐一检出。气相色谱仪能够精确测量变压器油中溶解的微量气体浓度, 如氢气、甲烷、乙烷等, 为判断设备内部是否存在过热、放电等故障提供关键数据<sup>[1]</sup>。此外, 该方法还具备重复性好、分析速度快的特点, 是DGA技术中不可或缺的一环。电子检测法则另辟蹊径, 利用先进的模式识别技术, 对气体种类进行全方位、智能化的辨别。该技术通过捕捉气体分子的电子特征, 如电离能、质谱图等, 与预设的数据库进行比对, 从而快速准确地识别出气体成分。电子检测法特别适用于在线监测场景, 能够实时反映设备内部气体的动态变化, 为及时发现并处理潜在故障提供有力支持。光谱分析法, 则是一种基于光学原理的气体检测技术。它利用不同气体分子对特定波长光的吸收、散射或发射特性, 实现对变压器油中溶解气体的连续性分析和自动化控制。光谱分析法不仅具备非接触式测量的优点, 避免了样品污染和损耗, 而且能够实现多组分气体的同时检测, 大大提高了检测效率。此外, 随着光纤传感技术和数据处理算法的不断进步, 光谱分析法的精度和稳定性也在不断提升, 为DGA技术的未来发展开辟了新的道路。

## 2 电力变压器油中 DGA 技术的应用

### 2.1 监测变压器内部潜在的故障

在电力系统中, 变压器作为能量转换与传输的核心

设备,其稳定运行至关重要。DGA技术,通过深入分析变压器油中溶解的气体成分及其含量变化,为监测变压器内部潜在故障提供了一种高效、准确的手段。具体而言,DGA技术能够捕捉到变压器油中微量气体的细微变化,这些气体包括但不限于 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{C}_2\text{H}_2$ 等,它们往往是变压器内部故障的早期信号。例如,当 $\text{CO}_2$ 和 $\text{CO}$ 的含量异常升高时,可能预示着变压器内部存在油纸绝缘老化或过热问题;  $\text{H}_2$ 含量的显著增加则可能指向设备内部的电晕放电或局部放电现象; 而 $\text{C}_2\text{H}_2$ (乙炔)的出现,则往往与电弧放电等严重故障紧密相关。通过对这些关键气体成分的持续监测与数据分析,DGA技术能够实现变压器内部潜在故障的早期预警<sup>[2]</sup>。一旦检测到异常气体含量,技术人员可以迅速定位故障点,采取必要的维护措施,从而避免故障进一步发展,确保变压器的安全稳定运行。此外,DGA技术还能够辅助技术人员对变压器进行精准诊断,通过分析气体成分及其变化趋势,判断故障的类型、严重程度及可能的发展方向,为制定科学合理的维修策略提供有力依据。

## 2.2 评估变压器油的品质

变压器油作为变压器内部的重要绝缘和冷却介质,其品质直接关系到变压器的运行性能和寿命。DGA技术,作为一种高效、精准的检测手段,不仅能够监测变压器内部的潜在故障,还能有效评估变压器油的品质,为制定合理的换油期限提供科学依据。在变压器长期运行过程中,油品会因自身衰变和外界污染而逐渐劣化。这种劣化过程会产生一系列的气体产物,如 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 以及某些烃类气体等,这些气体溶解在变压器油中,成为油品品质评估的重要指标。DGA技术通过对这些溶解气体的详细分析,能够揭示油品劣化的程度和原因。例如,当变压器油中 $\text{CO}_2$ 和 $\text{CO}$ 的含量持续上升时,可能表明油品中的氧化反应加剧,意味着油品的绝缘性能正在下降; 而烃类气体的增加则可能源于油品的热解或外部污染物的引入。通过对这些气体成分及其变化趋势的深入分析,技术人员可以全面了解变压器油的品质状况,包括油品的氧化程度、污染情况以及潜在的劣化趋势。基于DGA技术的油品评估结果,电力部门可以制定出更为科学合理的换油策略。对于品质尚好的油品,可以适当延长换油周期,减少不必要的维护成本; 而对于已经严重劣化或受到严重污染的油品,则应及时更换,以确保变压器的安全稳定运行。因此,DGA技术在评估变压器油品质、指导换油决策方面发挥着至关重要的作用,为电力系统的稳定运行提供了有力保障。

## 2.3 预测变压器的使用寿命

变压器的使用寿命是电力系统规划与运维中极为关注的核心问题。DGA技术,凭借其对于变压器油中溶解气体变化趋势的精准捕捉与分析,为预测变压器的使用寿命提供了科学依据,对电力系统的长期稳定运行具有深远意义。在变压器的长期运行过程中,其内部油纸绝缘材料会随时间和环境因素逐渐老化,这一过程中会产生特定的气体产物,如 $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2$ 以及各类烃类气体等。这些气体溶解在变压器油中,其含量的变化直接反映了绝缘材料的老化程度和变压器的整体健康状况。DGA技术通过定期或在线监测这些溶解气体的浓度及其变化趋势,能够间接评估变压器的剩余使用寿命。例如,当监测到变压器油中 $\text{CO}$ 和 $\text{CO}_2$ 的含量持续上升,且增长速率加快时,可能预示着绝缘材料的老化加速,变压器的使用寿命可能接近尾声; 而 $\text{H}_2$ 和烃类气体的异常增加,则可能表明变压器内部存在潜在的故障点,这些故障若不及时处理,将严重缩短变压器的使用寿命。基于DGA技术的长期监测数据,技术人员可以建立变压器健康状态评估模型,预测变压器的剩余使用寿命,并据此制定科学合理的维护计划和更换策略。这不仅有助于避免变压器因突然故障而导致的停电事故,还能有效优化电力系统的运维成本,提高整体运行效率。因此,DGA技术在预测变压器使用寿命、指导电力系统规划与维护方面发挥着不可替代的作用。

## 3 DGA技术的挑战与发展趋势

### 3.1 技术挑战

尽管DGA技术在变压器故障诊断领域已展现出显著优势,但在实际应用中仍面临一系列技术挑战,亟待持续突破与优化。在油气分离环节,尽管已有多种成熟方法,但分离过程中仍可能因操作不当或设备缺陷导致油样污染,进而影响后续气体检测的准确性。因此,如何进一步优化油气分离工艺,减少污染风险,是当前技术挑战之一。气体检测技术方面,虽然气相色谱法、电子检测法等已具备较高灵敏度,但在复杂多变的实际工况下,仍可能出现误报、漏报情况。提高检测技术的准确度和可靠性,确保对微量气体的精准识别与量化,是DGA技术发展的另一重要方向<sup>[3]</sup>。此外,在线监测系统的稳定性和可靠性也是亟待解决的问题。长期运行中的环境因素变化、设备老化等都可能影响系统的正常运行,导致数据偏差或丢失。因此,加强在线监测系统的维护与管理,提升其抗干扰能力和长期稳定性,对于确保DGA技术的有效应用至关重要。

### 3.2 发展趋势

随着科技的日新月异和电力系统的不断升级,DGA

技术作为变压器故障诊断的重要手段，正迎来前所未有的发展机遇。未来，DGA技术将紧密跟随科技进步的步伐，呈现出以下三大发展趋势，为电力系统的安全、高效运行提供更为强大的技术支持。

### 3.2.1 高分子材料：油气分离效率与准确性的双重提升

在油气分离领域，高分子材料的应用将进一步深化和拓展。传统的高分子聚合物分离法虽已展现出良好的分离效果，但面对日益复杂的变压器油样和更高的分离要求，新型高分子材料的研发成为必然趋势。未来，科研人员将致力于开发具有更高选择性、更高渗透性和更强抗污染能力的高分子膜材料。这些新型材料将能够更高效地分离出油中的溶解气体，同时减少污染风险，提高分离过程的准确性和稳定性。此外，通过优化高分子膜的结构和性能，还可以实现更快速、更连续的油气分离，为DGA技术的在线监测和实时分析提供有力支持。

### 3.2.2 故障诊断技术：智能技术的深度融合与自动诊断的实现

随着人工智能、机器学习等智能技术的快速发展，DGA技术的故障诊断能力将迎来质的飞跃。未来，DGA技术将不再仅仅依赖于传统的气相色谱法、电子检测法等单一手段，而是将这些方法与智能技术深度融合，形成更为强大的故障诊断体系。通过构建基于大数据的智能诊断模型，DGA技术将能够自动分析油中溶解气体的成分和含量，快速识别出潜在的故障类型和严重程度<sup>[4]</sup>。同时，结合历史数据和实时监测信息，智能诊断模型还能预测故障的发展趋势，为维修决策提供科学依据。这种智能化的故障诊断方式将大大提高DGA技术的准确性和效率，降低误报和漏报的风险，为电力系统的稳定运行提供更为可靠的保障。

### 3.2.3 物联网与大数据：电力设备智能化管理与维护

的新篇章

在物联网和大数据技术的推动下，DGA技术将迈入电力设备智能化管理和维护的新时代。通过物联网技术，DGA设备可以与其他电力设备实现互联互通，形成一个庞大的监测网络。这个网络能够实时收集、传输和处理来自各个设备的数据信息，为DGA技术的在线监测和远程诊断提供强大的数据支持。同时，借助大数据技术，DGA技术可以对海量的监测数据进行深度挖掘和分析，发现潜在的故障模式和关联规则，为电力设备的预防性维护提供科学依据。这种智能化的管理和维护方式将大大提高电力设备的运行效率和可靠性，降低维护成本和安全风险，为电力系统的可持续发展注入新的活力。

### 结语

电力变压器油中溶解气体分析（DGA）技术是一种重要的电力设备故障诊断手段。通过监测变压器油中溶解气体的种类和含量，可以实现对变压器内部故障的早期预警和诊断。随着科技的进步和电力系统的发展，DGA技术将不断完善和发展，为电力系统的安全稳定运行提供更加可靠的技术支持。

### 参考文献

- [1]马世峰.基于油中溶解气体分析的电力变压器智能故障诊断研究[D].河北科技大学,2023.
- [2]李毅.基于油中溶解气体分析的电力变压器故障诊断方法[J].通讯世界,2020,27(05):151-152.
- [3]张鹏,齐波,李成榕,等.电力变压器油中溶解气体特性影响因素的量化分析[J].中国电机工程学报,2021,41(10):3620-3631+3686.
- [4]王汉林,杨超,唐华.油中溶解气体分析的电力变压器故障诊断[J].自动化仪表,2018,39(10):66-69.