

电气设备绝缘油中溶解气体在线监测与诊断

王秉乾

内蒙古电力（集团）有限责任公司乌兰察布供电分公司 内蒙古 乌兰察布 012000

摘要：电气设备绝缘油中溶解气体在线监测与诊断技术，是保障电力系统安全稳定运行的重要手段。该技术通过实时监测绝缘油中溶解气体的种类、浓度及其变化趋势，能够及时发现电气设备的潜在故障，为设备的预防性维护和智能化管理提供有力支持。本文综述了基于特征气体、比值法以及人工智能技术的故障诊断方法，并探讨了这些技术在电气设备绝缘油中溶解气体在线监测与诊断中的应用前景和挑战，旨在为相关领域的研究和实践提供参考。

关键词：电气设备；绝缘油；溶解气体；在线监测；故障诊断

引言：电气设备绝缘油中溶解气体的在线监测与诊断，是电力系统运维领域的一项重要技术。随着电力系统的不断发展和智能化水平的提高，对电气设备的运行可靠性和安全性提出了更高的要求。传统的故障诊断方法往往存在滞后性和不确定性，难以满足现代电力系统的需求。开展电气设备绝缘油中溶解气体的在线监测与诊断研究，对于提高电力系统的安全性和稳定性具有重要意义。

1 电气设备绝缘油与溶解气体概述

电气设备绝缘油与溶解气体在电力设备的安全运行中起着至关重要的作用。电气设备绝缘油是一种液态物质，主要用作电气设备的电介质，具有绝缘、散热和灭弧等多重功能。它通常由深度精制的润滑油基础油加入抗氧化剂等调制而成，具有良好的低温性能、氧化安定性和介质损失等性能指标。根据不同的分类标准，绝缘油可以分为多种类型，如矿物绝缘油、合成绝缘油和天然酯绝缘油等，每种类型都有其特定的用途和性能特点。在电气设备绝缘油中，会溶解有多种气体，包括氢气、甲烷、乙烯等。这些溶解气体的含量和种类会对绝缘油的性能产生直接影响。而甲烷、乙烯等气体的过多溶解，则会加速绝缘油的老化破坏，对设备性能产生负面影响。

2 电气设备绝缘油中溶解气体的基本原理

电气设备绝缘油中溶解气体的基本原理主要涉及到油分子与气体分子间的相互作用。在电气设备中，绝缘油作为电介质，不仅起到绝缘作用，还承担着散热和灭弧等重任。在设备运行过程中，由于电场、温度、机械应力等多种因素的作用，绝缘油会逐渐老化，产生各种气体。这些气体包括氢气、甲烷、乙烯、乙烷、乙炔等烃类气体以及一氧化碳、二氧化碳等非烃类气体^[1]。这些气体分子在绝缘油中的溶解过程，实质上是气体分子

在油分子间的空隙中扩散和分布的过程。由于油分子间的空隙和表面能，气体分子能够被吸附和溶解在绝缘油中。溶解过程也受到温度、压力、气体浓度等多种因素的影响。电气设备绝缘油中溶解气体的基本原理是气体分子在油分子间的空隙中扩散和分布，其溶解过程受到多种因素的共同作用。了解这一原理对于监测和分析绝缘油中溶解气体的含量和种类，以及判断电气设备的运行状态具有重要意义。

3 绝缘油中溶解气体在线监测技术

绝缘油作为电气设备中的重要组成部分，其状态直接影响到设备的安全性和可靠性。在设备运行过程中，绝缘油会逐渐老化并产生各种溶解气体，如氢气、甲烷、乙烯等。这些气体的含量和种类能够反映出设备的运行状态和潜在故障。绝缘油中溶解气体的在线监测技术应运而生，为设备的安全运行提供了有力保障。

3.1 传感器技术

传感器技术是绝缘油中溶解气体在线监测系统的核心。传感器负责捕捉绝缘油中的气体成分，并将其转化为可测量的信号。在绝缘油中溶解气体的在线监测中，常用的传感器有气体色谱传感器、电化学传感器等。气体色谱传感器利用不同气体在色谱柱上的吸附和脱附特性进行分离和检测。当绝缘油中的气体分子流经色谱柱时，由于不同气体分子与色谱柱材料的相互作用力不同，它们会在色谱柱上形成不同的滞留时间，从而实现气体的分离。随后，传感器将这些分离后的气体转化为电信号进行输出。电化学传感器则是通过化学反应来检测绝缘油中的气体成分，当气体分子与传感器中的电解质接触时，会发生氧化还原反应，从而产生电流或电位变化。这种变化与气体分子的浓度成正比，因此可以用来测量绝缘油中气体的含量。

3.2 数据采集与传输系统

数据采集与传输系统是绝缘油中溶解气体在线监测的重要组成部分。数据采集模块通常采用高精度的模数转换器(ADC),将传感器输出的模拟信号转换为数字信号。这些数字信号经过滤波、放大等处理后,被存储到数据采集器中。数据采集器具有大容量存储和高速传输的特点,能够实时记录绝缘油中溶解气体的含量和变化趋势。传输系统则负责将数据采集器中的信息传输到远程监控中心,这通常通过有线或无线方式进行。有线方式包括以太网、光纤等,具有传输速度快、稳定性好的优点;无线方式则利用无线通信技术,如Wi-Fi、4G/5G等,具有安装方便、灵活性强的特点。数据采集与传输系统的稳定性和可靠性对于绝缘油中溶解气体的在线监测至关重要。它能够确保监测数据的实时性和准确性,为设备的故障预警和预防性维护提供有力支持^[2]。

3.3 在线监测系统架构

绝缘油中溶解气体的在线监测系统通常由传感器、数据采集器、数据处理服务器和远程监控中心等多个部分组成。传感器负责捕捉绝缘油中的气体成分,并将其转化为可测量的信号。数据采集器则负责将这些信号进行采集、处理,并存储到本地存储器中。数据采集器还具备数据传输功能,能够将监测数据实时传输到数据处理服务器。数据处理服务器是监测系统的核心部分,它负责接收数据采集器传输的监测数据,并进行实时分析和处理。通过运用先进的算法和模型,数据处理服务器能够准确判断绝缘油中溶解气体的含量和变化趋势,为设备的故障预警和预防性维护提供有力支持。远程监控中心是监测系统的用户界面,它通过网络与数据处理服务器相连,能够实时查看设备的运行状态和监测数据。远程监控中心还具备报警功能,当监测数据超过预设阈值时,能够自动触发报警机制,提醒设备管理人员及时采取措施进行处理。绝缘油中溶解气体的在线监测系统架构具有高度的可靠性和灵活性。它能够实时监测设备的运行状态,及时发现潜在故障,为设备的预防性维护提供有力支持,系统架构的可扩展性和兼容性也为未来的升级和扩展提供了便利。

4 绝缘油中溶解气体在线监测装置的系统组成与性能分析

4.1 油气分离单元

油气分离单元的主要功能是从绝缘油中高效、准确地分离出溶解的气体。在设备运行过程中,绝缘油中的溶解气体会随着油流进入油气分离单元。为了实现这一目标,油气分离单元通常采用高分子膜分离技术或特制的油气分离装置。高分子膜分离技术利用高分子膜对气

体分子的选择性透过性,使气体分子在膜的一侧被吸附并透过膜层,而油则被阻挡在另一侧。特制的油气分离装置则通过特定的结构和材料,使气体和油在装置内部发生物理或化学变化,从而实现气体的分离。油气分离单元的设计需要考虑到绝缘油的特性、气体的溶解度和分离效率等因素,以确保能够高效、准确地分离出溶解在绝缘油中的气体。

4.2 混合气体分离和检测单元

混合气体分离和检测单元是绝缘油中溶解气体在线监测装置的核心部分,其性能决定了监测系统的检测精度和灵敏度。该单元的主要任务是对从油气分离单元中分离出的混合气体进行进一步分离,并准确检测各组分离气体的浓度。为了实现这一目标,混合气体分离和检测单元通常采用气相色谱法或其他先进的气体分离技术。气相色谱法利用不同气体在色谱柱中的吸附和解吸特性,使气体分子在色谱柱上按照不同的运行速度进行分离。然后各组分气体依次进入检测器进行检测。检测器通常采用高灵敏度、长寿命的气体固态微池检测器,能够准确测量氢气、一氧化碳、二氧化碳、烃类气体等组分的浓度。混合气体分离和检测单元的设计需要考虑到气体的种类、浓度范围、分离效率和检测精度等因素,以确保能够准确、快速地检测出各组分气体的浓度。

4.3 后台数据处理及状态诊断单元

后台数据处理及状态诊断单元是绝缘油中溶解气体在线监测装置的智能核心,其性能直接影响到监测系统的智能化水平和故障诊断的准确性。该单元负责接收混合气体分离和检测单元传输的监测数据,并进行实时处理和分析。通过运用先进的算法和模型,后台数据处理单元能够准确判断绝缘油中溶解气体的含量和变化趋势,进而对设备的运行状态进行诊断。当监测数据超过预设阈值时,后台数据处理单元能够自动触发报警机制,提醒设备管理人员及时采取措施进行处理^[3]。后台数据处理单元还能够根据历史数据和实时监测数据,对设备的故障类型和位置进行预测和诊断。为了实现这一目标,后台数据处理及状态诊断单元需要具备强大的数据处理能力、高效的算法和模型,以及丰富的故障诊断经验和知识。该单元还需要具备友好的用户界面和便捷的操作方式,以便设备管理人员能够轻松地进行数据查看、分析和故障诊断。

5 电气设备绝缘油中溶解气体的诊断方法

5.1 介绍基于特征气体的故障诊断方法

在电气设备绝缘油中溶解气体的诊断领域,基于特征气体的故障诊断方法占据着举足轻重的地位。该方法

的核心在于通过分析绝缘油中所溶解的特定气体成分及其含量,来揭示电气设备的潜在故障类型和严重程度。这些特征气体,如总烃(涵盖了一系列烃类气体,如甲烷、乙烷、丙烷、丁烷及其同分异构体等)、氢气以及一氧化碳,均能在一定程度上反映设备内部的工作状态和可能存在的问题。而氢气的出现,则可能意味着设备内部存在局部放电、过热或者水分含量过高等问题,这些问题若不及时处理,可能会导致设备的进一步损坏。至于一氧化碳,它的生成通常与设备内部的固体绝缘材料老化有关,一氧化碳含量的变化也是评估设备绝缘状态的一个重要指标。通过分析这些特征气体的含量及其变化趋势,可以初步判断电气设备的故障类型和位置,从而为后续的维修和更换工作提供有力的数据支持。

5.2 阐述基于比值法的故障诊断方法

基于比值法的故障诊断方法,是电气设备绝缘油中溶解气体诊断的另一种重要工具。该方法的核心在于通过计算不同特征气体之间的比值,来进一步揭示故障的类型和性质。其中,改良三比值法和四比值法是两种常用的比值法。改良三比值法通过分析甲烷/氢气、乙烯/乙烷以及乙炔/乙烯这三个比值,能够将故障类型划分为过热性故障、放电性故障以及受潮或油质劣化等几种情况。这种方法不仅简单易行,而且具有较高的准确性和可靠性。而四比值法则在改良三比值法的基础上,增加了对一氧化碳/二氧化碳比值的考虑,从而能够更全面地反映设备内部的故障情况。通过对比值法的应用,可以更加深入地了解电气设备的故障类型和严重程度,为设备的维修和更换提供更加科学的依据。

5.3 探讨基于人工智能技术的故障诊断方法

随着人工智能技术的快速发展,基于人工智能技术的故障诊断方法在电气设备绝缘油中溶解气体诊断领域也得到了广泛应用。神经网络通过模拟人脑神经元的结构和功能,能够自主学习和识别绝缘油中溶解气体的特征模式,从而实现故障的自动诊断和预测。这种方法不

仅具有强大的数据处理能力,而且能够应对复杂的非线性问题,因此在实际应用中表现出了较高的准确性和效率^[4]。模糊逻辑则通过处理模糊信息,能够更灵活地应对电气设备故障诊断中的不确定性和复杂性。它能够将不确定的故障信息转化为明确的诊断结果,从而提高了诊断的准确性和可靠性。支持向量机则通过构建最优分类超平面,能够实现对绝缘油中溶解气体数据的快速分类和识别。这种方法在处理高维数据和非线性问题时表现出色,因此也被广泛应用于电气设备的故障诊断中。这些人工智能技术的应用,不仅提高了电气设备故障诊断的准确性和效率,还为设备的预防性维护和智能化管理提供了新的思路 and 手段。

结束语

电气设备绝缘油中溶解气体在线监测与诊断技术的发展,为电力系统的安全稳定运行提供有力保障。通过实时监测与分析,能够及时发现并处理电气设备的潜在故障,有效避免事故的发生。未来,随着技术的不断进步和创新,相信这一领域将取得更加显著的成果,为电力系统的智能化管理和预防性维护提供更加精准和高效的手段。让我们携手共进,共同推动电气设备绝缘油中溶解气体在线监测与诊断技术的发展,为电力行业的繁荣贡献力量。

参考文献

- [1]苏展,环保植物绝缘油中溶解气体分析诊断关键技术及设备研制.天津市,国网天津市电力公司电力科学研究院,2020-06-27.
- [2]唐红,郎雪淞,赵君娇,等.油中溶解气体在线监测装置数据准确性评估方法的研究[J].东北电力技术,2022,43(3):9-12.
- [3]黄旭,王骏.变压器油中溶解气体分析和故障判断[J].石油化工设计,2021,38(2):39-41.
- [4]周海阳,赵振刚,于虹.油中溶解气体在线监测装置评价及故障分析[J].数据通信,2022(1):43-47.