

电力变压器的故障诊断方法分析

王冬冬 马 锁

特变电工沈阳变压器集团有限公司 辽宁 沈阳 110000

摘要：电力变压器作为电力系统的关键设备，其故障诊断至关重要，本文分析了电力变压器的常见故障，包括铁芯、绕组、变压器油及调压分接开关故障。探讨了传统的DGA诊断方法，如特征气体法、罗杰斯比值法及改良三比值法。还介绍了以DGA数据为基础的智能诊断方法，讨论了局部放电信号的故障诊断方法，这些方法为电力变压器的故障诊断提供了有力支持。

关键词：电力变压器；故障诊断；方法分析

引言

电力变压器是电力系统关键设备，其故障影响巨大。特变电工沈阳变压器集团有限公司对变压器故障诊断极为重视，准确诊断故障类型并及时处理，对保障电力系统稳定运行、降低经济损失意义重大。本文将系统介绍变压器常见故障及各类诊断方法，助力提升故障诊断水平。

1 电力变压器的常见故障

电力变压器作为电力系统中至关重要的设备，主要由铁芯、绕组、变压器油及调压分接开关四大核心部件构成，这些部件的任何故障都可能引发变压器的异常运行，甚至导致严重事故。（1）铁芯故障，铁芯由多层硅钢片堆叠而成，形成铁芯柱，并通过穿心螺杆进行夹紧固定，若螺杆的绝缘层发生破损，将导致铁芯间产生不必要的电流，进而引发变压器内部过热，这种过热现象不仅会加速变压器油的分解，还可能引发更为严重的安全事故。（2）绕组故障，绕组作为变压器的电能转换核心，它的绝缘性能至关重要，一旦绕组绝缘受损，便可能出现相间短路、匝间短路或断线等严重问题，绕组受潮或绝缘油中混入杂质也是导致绕组故障的常见原因，这些问题不仅会降低变压器的效率，还可能对电网的稳定运行构成威胁。（3）变压器油故障，变压器油出现故障是最为危险的故障，变压器油不仅起到绝缘和冷却的作用，还承担着灭弧的重要职责，油温超标时会加速油的分解和老化，产生大量有害气体和杂质，进而降低油的绝缘性能和散热效果。在极端情况下，油温过高还可能导致变压器内部发生击穿，引发火灾，甚至造成整个电力系统的瘫痪。（4）调压分接开关故障，分接开关的触头部位是故障的高发区，主要因接触不良而引发。这种故障不仅会导致电压波动和电能质量下降，还可能对变压器和电网的安全运行构成潜在威胁^[1]。

2 传统的DGA诊断方法

2.1 特征气体法

特征气体法是一种基于变压器内部油中气体种类和含量来判断其故障性质的方法。该方法通过采集变压器内的油样，并利用气相色谱及质谱联用技术来检测油中溶解的气体组分和含量。这些气体主要源于变压器油和绝缘材料的热分解及电分解过程，其组分和含量与故障类型、严重程度及故障点的能量密度紧密相关。过热故障会导致油中甲烷、乙烷、乙烯和乙炔等烃类气体的含量随温度升高而增加，而放电故障则会使氢气和乙炔的含量显著上升，所以分析油中溶解气体的组分和含量可以初步判断变压器内部故障的类型和严重程度。但是特征气体法的精度受到多种因素的影响，包括不同绝缘材料和故障点产生的气体特征差异、油中溶解气体含量受温度、压力、油的保护和循环系统以及取样和测试方法的干扰等。为了提高诊断的准确性，特征气体法通常需与其他精准方法结合使用，以综合判断故障的发展趋势、严重程度和类型。

2.2 罗杰斯比值法

在电力系统的运行与维护中，变压器故障诊断具有举足轻重的地位。经过大量实验验证，一种行之有效的变压器故障诊断方法聚焦于气体相对的实际含量。基于热力学理论，变压器内部故障点温度升高时，油会发生裂解，形成各类烃类气体，且这些气体的组成和含量随故障发展而变化。在低温下，H₂主要由局部放电导致的离子间碰撞游离形成，基于这些理论和实践研究，罗杰斯提出了具有重要应用价值的四比值方法，该方法通过深入分析变压器油中溶解气体的四种比值来诊断故障，通过精确测定油中不同气体成分的含量，并计算特定气体间的比值，可获取变压器内部运行状态的关键信息。监测甲烷（CH₄）、乙烯（C₂H₄）、乙烷（C₂H₆）、

乙炔 (C_2H_2) 与氢气 (H_2) 的比值关系, 能初步判断变压器可能存在的故障类型和严重程度, 罗杰斯比值法克服了单一气体含量监测的局限性, 更准确地反映了变压器内部的复杂物理化学过程, 且简单易行, 成本低廉, 便于广泛应用。但是考虑到变压器运行环境的复杂性和外界因素的干扰, 气体比值可能出现波动, 影响诊断准确性, 所以使用罗杰斯比值法时需结合其他诊断手段和技术, 提高故障诊断的可靠性和精准度, 确保变压器安全稳定运行, 保障电力系统可靠供电, 减少停电事故和经济损失, 为电力行业持续发展提供有力技术支持。

2.3 改良三比值法

在电力系统的运维领域, 充油电气设备的故障诊断始终占据核心地位, 基于罗杰斯三比值法, 研究人员创新性地开发了改良三比值法, 该方法在编码判断的全面性上相较于传统的四比值法取得了显著进步。在充油电气设备运行过程中, 绝缘油的稳定性对设备的安全高效运行至关重要, 绝缘油故障时会裂解产生多种气体, 这些气体成分蕴含着丰富的故障信息, 其中各气体成分含量与温度紧密相关。改良三比值法通过精心筛选氢气、甲烷、乙烷、乙烯和乙炔这五个特征气体中两个扩散系数及溶解度相似的气体成分组成比值, 并运用不同编码精准标识这些比值, 构建了一套独特的诊断体系, 显著提升了电力系统的可靠性和稳定性, 减少了停电事故和经济损失^[2]。虽然改良三比值法也存在一些局限性, 但是它在充油电气设备故障诊断历史上仍占据重要地位, 为后续技术的改进提供了宝贵经验。

3 以 DGA 数据为基础的智能诊断方法

3.1 神经网络法

在电力系统故障诊断领域, 基于DGA (溶解气体分析) 数据的智能诊断方法扮演着关键角色, 其中神经网络法凭借其独特的优势展现了良好的应用潜力。神经网络法具备自学习和自组织能力, 能够在无需大量人工干预及构建复杂物理模型的情况下, 自主挖掘数据中的潜在规律和模式, 研究人员结合变压器的故障特点, 将传统的三比值法与神经网络融合, 构建了针对变压器故障诊断的神经网络模型。通过大量实例验证, BP神经网络能够编辑气体比值编码, 有效判断变压器的故障状态, 为电力系统稳定运行提供支持。然而神经网络法也存在局限性, 它的节点层感知器难以提供清晰明确的解释, 诊断结果的精准度受样本完备性影响。在电力系统实际运行中, 数据样本往往难以全面、完整和准确, 尤其是罕见或特殊故障情况的数据可能不完善, 面对这些不完善的样本, 神经网络因高度依赖样本特征而难以准确捕

捉故障本质, 导致诊断结果不准确, 限制了其在电力变压器故障诊断中的广泛应用和进一步发展, 为克服这些问题, 研究人员正不断探索优化神经网络结构、引入先验知识增强适应性或结合其他智能诊断方法, 以提高DGA数据在变压器故障诊断中的准确性和可靠性, 从而保障电力系统的安全稳定运行, 减少经济损失和社会影响。

3.2 模糊数学方法

在电力变压器故障诊断的关键领域, 模糊数学方法以其独特的价值和潜力脱颖而出, 主要包括模糊聚类和模糊综合诊断两种方式。模糊聚类方法利用油中溶解气体的含量作为特征量, 构建模糊聚类模式, 基于目标函数的模糊聚类通过设定特定目标函数, 对样本数据进行合理分类与聚合, 挖掘数据中的潜在模式与规律, 初步判断变压器故障类型, 而基于模糊关系的动态聚类则能依据样本数据间模糊关系的动态变化, 灵活进行聚类分析, 更精准地反映变压器故障特征的演变。模糊综合诊断则从整体上考虑多种因素对变压器故障的综合影响, 利用模糊关系方程表达不同因素间的模糊关系, 求解各因素对故障的综合影响程度; 通过模糊聚类分析对复杂故障样本进行分类归纳, 清晰划分故障类型对应的特征空间; 借助模糊隶属函数确定样本对不同故障类型的隶属程度, 准确判断变压器故障状态。这些模糊数学方法相互协作, 有效处理数据的不确定性、模糊性及复杂关联关系, 实现智能模糊诊断, 确保诊断精准性, 这不仅有助于及时发现变压器潜在故障, 提前维护, 降低故障概率, 还能在故障发生后快速准确定位, 缩短维修时间, 提高电力系统可靠性和稳定性, 减少停电损失和经济成本, 为电力行业安全高效运行提供坚实技术保障, 在电力系统运维管理中占据重要地位, 具有广泛应用前景。

3.3 专家系统方法

在人工智能领域, 专家系统凭借其基于严密逻辑推理的专家知识体系, 在解决复杂问题中占据独特地位。它以自然语言精准表达专家知识, 降低了知识应用的门槛, 高度模拟专家工作模式, 有效应对复杂及罕见情况, 提供可靠方案。专家系统操作简便, 仅需掌握基本规章原理, 无需大量数据输入, 能在数据缺失时保持稳定可靠, 其结论解释清晰, 增强了透明度和可信度。专家系统方法也存在知识脆弱性、推理单调性、知识获取瓶颈及定性和主观性问题等缺陷, 知识受领域限制, 遇超出范围情况性能可能下降; 推理过程固定, 缺乏灵活性; 知识获取更新困难; 人为因素干扰导致客观度不足。但专家系统仍在多领域发挥重要作用。随着技术进步, 研究人员正探索解决这些问题的方法, 推动专家系统向更完

善、更智能、更可靠方向发展，以更好地应对复杂需求和挑战，为各领域提供更精准、高效的决策支持。

4 局部放电信号的故障诊断

4.1 超声波检测法

超声波检测法作为一种常用的局部放电检测手段，具有独特的原理及显著的优势与不足，该方法基于局部放电引发周围介质快速变化产生超声波信号的原理，通过体外粘贴超声传感器在20-230kHz频带范围内检测这些信号，实现在线、非侵入式的监测。它的优势在于，一是能在线检测，无需停电，提高便利性和及时性，保障电力系统稳定运行；二是简单实现空间定位，利用超声波方向性和多传感器接收信号的时间差等信息确定放电位置，为故障排查和修复提供精准定位；三是能实现定量分析和模式识别，通过分析超声波信号的幅值、频率、波形等特征参数推断放电严重程度，识别放电类型，深入了解故障性质，为故障诊断提供更全面的依据。当然，超声波检测法也存在不足，首先，声信号处理方式尚待完善，局部放电产生的微弱超声波信号易受外界环境噪声的干扰，导致信号提取精度和抗干扰能力有待提高。其次，超声波的传播途径复杂，不同介质对超声波的传播速度和衰减程度影响大，可能导致信号畸变，增加了分析难度。最后，局部放电与超声波产生机理尚未完全明晰，这限制了检测法的进一步发展和优化，使得在某些复杂故障情况下难以准确检测和诊断局部放电。

4.2 特高频法

在局部放电信号的故障诊断领域，特高频法以其独特的优势成了一种极具特色且广泛应用的检测手段。其显著特征包括可监测频段高、频带宽，这使得它在复杂的电气设备故障诊断中能够避开常见干扰源，从而更清晰地捕捉到局部放电信号，提高检测的准确性和可靠性。特高频法的宽频带特性还赋予了其极高的检测灵敏度，能够从细微的信号变化中提取丰富的频率信息，即使是极其微弱的局部放电信号也能被准确检测到，为及时发现潜在设备故障提供了有力支持。特高频法在故障识别与定位方面也很出色，它能够依据不同类型故障产生的特高频信号特征模式，精准判别故障类型，并结合

多个传感器的布置及信号到达时间差、幅值差等信息，实现局部放电位置的精确定位。然而，特高频法也存在局限性，其脉冲电流与传统测量机理不同，目前尚无法直接进行放电量标定，这在一定程度上限制了其在局部放电定量评估方面的应用，给故障严重程度评估带来了一定困难，但是尽管如此，特高频法仍以其独特的优势在电气设备故障诊断中发挥着重要作用^[3]。

4.3 常规脉冲电流法

常规脉冲电流法是一种在变压器局部放电检测中广泛应用的技术手段。当变压器内部发生局部放电时，伴随着电荷的迁移现象，这些迁移的电荷会在外围的测量回路中产生脉冲电流。通过检测并测量这种脉冲电流，我们可以有效地判断变压器是否存在局部放电故障，进而评估其绝缘状态和运行安全性，该方法的核心在于利用电流或阻抗传感器来捕捉变压器或其内部产生的脉冲电流信号。常规脉冲电流法的优点在于其检测原理简单明了，且具有较高的灵敏度和准确性，通过测量脉冲电流的波形、幅值和频率等参数，我们可以对局部放电的严重程度和位置进行初步判断，而且该方法还具有较高的稳定性和可靠性，能够在各种复杂环境中保持稳定的检测性能。

结语

综上所述，电力变压器的故障诊断方法多种多样，各有优缺点。在实际应用中，应根据具体情况选择合适的诊断方法，以提高故障诊断的准确性和可靠性。随着科技的不断发展，新的诊断技术不断涌现，为电力变压器的故障诊断提供了更多的选择和可能，我们应该继续关注新技术的发展，不断优化和完善故障诊断方法，为电力系统的安全稳定运行贡献力量。

参考文献

- [1] 陈名林. 变压器的运行检查维护及故障处理的相关分析[J]. 中小企业管理与科技, 2020(08):164-165.
- [2] 侯阳阳. 电力变压器故障诊断与状态检修方法[J]. 电子技术, 2021, 50(01):140-141.
- [3] 蒋慧勇. 智能诊断方法在电力变压器故障识别中的应用[J]. 江苏科技信息, 2020, 37(34):39-42.