

发电厂发电机组内部短路运行状态智能感知方法

李 琮 王元钊 杨 乐 高少凡

华能山东发电有限公司白杨河发电厂 山东 淄博 255200

摘 要：发电机组内部短路故障严重威胁电力系统稳定性。本方法基于高精度传感器实时获取发电机组的线损率、轻载率等关键参数，通过数据采集卡处理分析，评估风险并判断故障可能性和严重程度。实验表明，该方法能有效感知40至50个异常数据，与实际情况高度吻合，具有准确性和可靠性。该方法的应用显著提升了电厂运维效率与安全性，为电力系统的稳定运行提供了有力保障，具有广泛的应用前景和重要的实用价值。

关键词：发电厂发电机组；内部短路运行状态；智能感知方法

引言：随着电力需求的不断增长，发电厂发电机组的安全稳定运行显得尤为重要。内部短路作为发电机组常见的故障之一，对电力系统的稳定性和安全性构成严重威胁。传统的人工巡检方法难以及时准确地发现故障，因此，开发一种智能感知方法以实现发电机组内部短路运行状态的实时监测与预警，成为当前研究的热点。本文旨在探讨一种基于高精度传感器和数据分析的智能感知方法，以期为发电机组内部短路故障的早期发现与高效处理提供技术支持。

1 发电机组内部短路故障特性分析

1.1 发电机组结构与工作原理

(1) 发电机组的基本组成。发电机组主要由定子、转子、励磁系统、冷却系统等部分构成。定子作为固定部分，包括定子铁芯、定子绕组和机座，其中绕组是电能产生的关键；转子是旋转部件，由转子铁芯、励磁绕组等组成，在原动机带动下旋转。励磁系统为转子提供直流励磁电流，冷却系统则保障机组在适宜温度下运行，各部件协同工作实现发电功能。(2) 工作原理及能量转换过程。发电机组基于电磁感应原理工作。原动机带动转子旋转，励磁绕组产生的磁场随之转动，切割定子绕组，在定子绕组中感应出电动势，形成电能输出。其能量转换过程是原动机的机械能，如汽轮机的蒸汽能、水轮机的水能等，通过转子旋转转化为磁场能，再经电磁感应转变为电能，实现能量的有效传递与转换。

1.2 内部短路故障类型与原因

(1) 短路故障的类型。发电机组内部短路故障主要包括匝间短路、相间短路等。匝间短路是指同一相绕组内部分线圈之间绝缘损坏，导致部分线圈短接；相间短路则是不同相绕组之间的绝缘被破坏，造成相与相之间直接短路，这两种故障严重影响机组正常运行。(2) 故障产生的原因分析。故障成因复杂，绝缘老化是常见因

素，长期运行使绕组绝缘材料性能下降；机械损伤，如机组振动、安装不当等，会破坏绝缘层；过电压冲击，如雷电、操作过电压等，可能瞬间击穿绝缘；此外，环境因素如潮湿、灰尘堆积也会加速绝缘劣化，引发短路故障^[1]。

1.3 内部短路故障对电力系统的影响

(1) 对电压、电流稳定性的影响。内部短路故障发生时，短路点附近电流急剧增大，远超正常运行电流，引起电压骤降。这不仅影响故障机组自身输出，还会通过电网传播，干扰其他机组的正常运行，破坏电力系统电压、电流的稳定性，可能导致电压崩溃或系统振荡。

(2) 对设备安全运行的影响。短路电流产生的高热和强大电力，会对发电机绕组、铁芯等部件造成严重破坏，加速设备老化，甚至引发火灾、爆炸等严重事故，同时威胁相关保护装置和断路器的安全，增加设备损坏风险，影响电力系统的安全稳定运行。

2 发电厂发电机组内部短路运行状态智能感知方法设计

2.1 关键参数选择

(1) 线损率作为感知短路故障的重要指标。线损率是衡量发电机组运行效率的关键指标，更是感知内部短路故障的重要依据。在正常工况下，发电机组的线损率处于相对稳定的区间，其数值由设备固有特性、线路阻抗等因素决定。一旦发生内部短路，电流路径改变，短路点附近电流骤增，额外的电能损耗使得线损率大幅波动。例如，当出现匝间短路时，短路匝内形成环流，增加了绕组的铜损，导致线损率明显上升。通过实时监测线损率，并结合历史数据设定合理阈值，当线损率超过阈值时，可初步判断可能存在内部短路故障，为故障预警提供关键信号^[2]。(2) 轻载率对短路故障感知的辅助作用。轻载率反映了发电机组实际负荷与额定负荷的比

例关系，在短路故障感知中起到重要的辅助作用。当机组处于轻载状态时，其内部电磁和机械特性与正常负载或重载状态存在差异。此时发生短路故障，由于系统惯性小，电流、电压等参数的变化更为敏感，故障特征更易显现。例如，在轻载工况下，相间短路引起的电压骤降和电流激增幅度，相较于重载时更为显著。通过分析轻载率与其他电气参数的关联性，能够更精准地识别故障，尤其是在故障初期特征微弱时，结合轻载率可有效提高故障判断的准确性。

2.2 高精度传感器与数据采集技术

(1) 传感器的选择与布置原则。传感器的合理选择与科学布置是实现准确监测的基础。对于电气参数监测，选用高精度电流互感器和电压互感器，确保能精确捕捉电流、电压的微小变化；针对温度和振动等物理参数，采用热电偶温度传感器和加速度振动传感器，实时获取设备运行状态。在布置传感器时，遵循“重点部位优先、兼顾全局”原则。在定子绕组端部、转子轴承等易发生故障的关键位置密集布置传感器，同时在其他部位合理分布，形成全面的监测网络。此外，设置冗余传感器，防止单个传感器失效影响整体监测效果，保障数据的完整性和可靠性。(2) 数据采集卡的性能要求与处理流程。数据采集卡需具备高采样率、高精度和强抗干扰能力。高采样率确保能快速采集传感器信号，避免信号丢失；高精度模数转换保证数据的准确性；良好的抗干扰性能则防止外界电磁干扰影响数据质量。数据采集处理流程如下：传感器输出的模拟信号先经信号调理模块，进行放大、滤波等预处理，去除噪声；随后通过数据采集卡转换为数字信号；最后经通信接口传输至数据处理中心。在传输过程中，采用压缩算法减少数据量，提高传输效率，同时进行数据校验，确保数据的准确性和完整性^[3]。

2.3 风险评估与故障判断算法

(1) 基于数据分析的风险评估模型。基于数据分析的风险评估模型整合了发电机组运行的多源数据，运用机器学习算法构建。通过收集历史运行数据、故障数据以及实时监测数据，利用主成分分析等方法提取关键特征。再借助随机森林、支持向量机等算法进行训练，建立故障风险评估模型。该模型可根据当前运行参数，实时评估发电机组发生内部短路故障的概率，为运维人员提供风险预警，以便提前采取防范措施。(2) 故障可能性与严重程度的判断逻辑。故障判断逻辑依据风险评估模型输出结果和预设规则。当风险概率超过设定阈值时，初步判定存在故障可能。接着，结合线损率升高幅

度、电流畸变程度、温度异常值等具体参数，进一步判断故障严重程度。例如，若线损率急剧上升且伴随电流大幅波动、关键部位温度超标，则判定故障严重，需立即停机检修；若参数变化相对较小，则判断为故障初期，可加强监测并安排适时检修，实现故障的精准分级处理^[4]。

3 实验验证与结果分析

3.1 实验方案设计

3.1.1 实验对象与条件设置

本次实验选取某电厂两台同型号的汽轮发电机组作为实验对象，机组额定功率为300MW，额定电压18kV，具有典型的发电机组结构和运行特性。为全面模拟内部短路故障场景，实验设置多种工况条件。在正常运行状态下，保持机组负荷稳定在额定功率的70%-80%，记录各项参数作为基准数据；通过人为设置不同程度的匝间短路（短接1-3匝）和相间短路（不同相绕组短接）故障，模拟故障发生过程。同时，控制环境温度在 $25^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，湿度保持在40%-60%，排除环境因素对实验结果的干扰，确保实验数据的可靠性和可比性。

3.1.2 数据采集与处理步骤

数据采集采用高精度传感器与专业数据采集系统相结合的方式。在发电机组定子绕组、转子轴等关键部位布置电流互感器、电压互感器、温度传感器和振动传感器，以1000Hz的采样频率实时采集电流、电压、温度、振动等参数。采集到的模拟信号经数据采集卡转换为数字信号后，传输至数据处理中心。数据处理步骤如下：首先进行数据清洗，剔除因传感器故障或传输异常产生的无效数据；然后利用滤波算法去除信号中的噪声；接着对数据进行归一化处理，将不同类型、不同量级的数据统一到相同的尺度范围；最后采用滑动窗口技术对数据进行分段处理，提取特征参数，为后续分析提供基础。

3.2 实验结果与分析

3.2.1 感知到的异常数据数量与分布情况

实验过程中，智能感知系统共检测到异常数据328条。其中，在模拟匝间短路故障时，检测到异常数据215条，主要集中在短路发生后的1-5分钟内，涉及线损率、电流谐波含量、绕组温度等参数；模拟相间短路故障时，检测到异常数据113条，异常信号出现更为迅速，在短路瞬间即触发多项参数异常，且异常数据在不同传感器监测数据中均有体现，呈现出明显的关联性分布。

3.2.2 与实际情况的对比验证

将智能感知系统检测到的故障信息与实际人为设置的故障情况进行对比。在23次模拟故障实验中，系统准

确识别出21次故障，故障类型判断准确率达到91.3%。对于未正确识别的2次故障，经分析发现，是由于故障初期特征信号较弱，且部分传感器数据出现短时波动，导致系统误判。总体而言，该系统能够较为准确地捕捉到发电机组内部短路故障的特征信息，与实际故障情况具有较高的吻合度。

3.2.3 方法的有效性与准确性评估

通过实验结果表明，所设计的智能感知方法在发电机组内部短路故障检测方面具有较高的有效性和准确性。系统能够快速响应故障，平均故障检测时间仅为1.2秒，满足电力系统实时监测的要求；在故障类型判断上，对常见的匝间短路和相间短路故障的识别准确率超过90%，能够为运维人员提供可靠的故障预警信息。同时，该方法在不同故障程度和运行工况下均表现出良好的适应性，证明其在实际应用中具有较强的可行性和实用价值，但仍需进一步优化算法，提高对微弱故障信号的识别能力。

4 智能感知方法的实际应用与前景展望

4.1 实际应用案例分析

4.1.1 在发电厂发电机组中的应用实例

在某百万千瓦级火力发电厂中，智能感知方法成功应用于发电机组内部短路监测。系统运行初期，通过高精度传感器实时采集电流、电压、温度等数据，结合线损率和轻载率分析，构建起全面的监测体系。一次运行过程中，系统检测到某台机组线损率突然升高12%，同时轻载率处于较低水平，且定子绕组局部温度异常。基于风险评估模型，系统迅速判断存在匝间短路风险，并发出预警。运维人员及时停机检修，发现定子绕组确有2匝发生短路，因预警及时避免了故障扩大，防止了设备严重损坏和长时间停机带来的损失。

4.1.2 应用效果与改进建议

该智能感知方法应用后，显著提升了电厂运维效率与安全性。故障平均预警时间缩短至3分钟内，故障识别准确率达93%，减少了因内部短路故障导致的非计划停机次数，每年为电厂挽回数百万元经济损失。不过，应用中也存在问题。部分传感器受高温、强电磁环境影响，数据稳定性欠佳；复杂工况下，故障判断算法对微弱故障信号的识别能力不足。对此，建议采用耐高温、抗干

扰性能更强的传感器，并引入更先进的深度学习算法，利用大量实际故障数据优化模型，提升对复杂故障的识别精度。

4.2 前景展望

4.2.1 智能感知技术的发展趋势

未来，智能感知技术将与人工智能、物联网深度融合。一方面，人工智能算法不断优化，可实现对海量监测数据的实时分析与智能决策；另一方面，物联网技术使设备间数据交互更高效，推动感知系统向自诊断、自优化方向发展。同时，传感器将向微型化、多功能集成化演进，降低部署成本与空间需求。

4.2.2 在电力系统中的广泛应用前景

智能感知方法在电力系统的应用将从发电机组扩展到变压器、输电线路等全环节。通过构建全域智能感知网络，可实现电力设备状态的全面监测与预测性维护，推动电力系统从被动检修向主动运维转变。在智能电网建设中，该技术能为电网动态调度、故障快速定位与隔离提供支持，提升电网的稳定性与灵活性，助力实现“双碳”目标，为电力行业高质量发展注入新动能。

结束语

综上所述，本文所提出的发电厂发电机组内部短路运行状态智能感知方法，通过集成高精度传感器、先进的数据采集与处理技术和智能风险评估算法，实现了对发电机组内部短路故障的高效、准确监测。实验验证及实际应用案例表明，该方法显著提升了故障预警的准确性和及时性，为电力系统的稳定运行提供了有力保障。未来，随着技术的不断发展，该方法的应用范围将进一步扩大，为电力行业的高质量发展贡献力量。

参考文献

- [1]王鹏.基于改进深度信念网络的发电机内部短路故障诊断方法[J].电力系统自动化,2022,(03):42-43.
- [2]刘志刚.基于多源信息融合的发电机组短路故障智能诊断[J].中国电机工程学报,2021,(06):67-68.
- [3]王东风.基于深度学习的发电机定子绕组短路故障在线监测方法[J].电工技术学报,2021,(10):92-93.
- [4]胡志坚,陈允平.基于振动信号和电流信号多特征融合的发电机内部短路故障诊断[J].电力自动化设备,2021,(07):78-79.