

电力拖动系统的实时状态监测与预警技术

刘兵 410527199001162496

摘要：电力拖动系统是工业生产领域核心动力装置，其运行稳定性直接决定生产效率与生产安全。本文围绕电力拖动系统实时状态监测与预警技术展开研究，分析当前技术应用存在的痛点，梳理现有监测与预警技术路径，探讨技术优化方向，研究表明，融合多源数据采集与智能故障预警的一体化监测体系，能够有效降低电力拖动系统突发故障概率，为工业生产连续稳定运行提供技术支撑。**关键词：**电力拖动系统；状态监测；故障预警；智能监测

一、电力拖动系统状态监测与预警的应用价值

电力拖动系统是由电动机、控制装置、传动机构与负载组成的一体化动力系统，广泛应用于冶金、化工、煤炭、机械制造等核心工业领域，承担着将电能转化为机械能、驱动生产设备运行的核心功能。在长期连续运行过程中，电力拖动系统受负载波动、绝缘老化、机械磨损、环境温湿度变化等多种因素影响，不可避免会出现各类性能退化与潜在故障，如果不能及时发现并处置，不仅会造成生产中断，还可能引发火灾、电机烧毁等安全事故，给企业带来巨大的经济损失。因此，建立完善的实时状态监测与预警体系，对电力拖动系统运行参数进行动态采集、分析与异常预警，具有重要的现实意义。

从应用价值来看，首先，实时状态监测与预警技术能够实现电力拖动系统故障的提前发现，将传统的事后抢修模式转变为预防性维护模式，降低突发故障停机时间，提升设备利用率。根据国内工业领域统计数据，针对高压大功率电力拖动系统应用状态监测预警技术后，平均故障停机时间可降低 30%以上，维护成本降低 20%左右。其次，该技术能够有效提升工业生产的安全水平，避免因电力拖动系统故障引发的次生安全事故，保障操作人员与生产设备的安全。

二、电力拖动系统实时状态监测的核心技术路径

电力拖动系统的潜在故障既包含电气故障，也包含机械故障，常见的故障类型包括定子绕组绝缘故障、转子轴承磨损、转轴不对中、负载失衡、控制模块故障等，对应需要监测的参数涵盖电气参数、机械参数与环境参数三大类，其中电气参数包括三相电流、三相电压、功率因数、绕组温度、绝缘电阻等，机械参数包括振动加速度、振动频率、轴承温度、转速等，环境参数包括环境温度、湿度、粉尘浓度等。当前主流的实时状态监测技术主要分为两类：传统有线监测技术、无线传感器监测技术。

传统有线监测技术是应用时间最长的监测方案，该技术通过在电力拖动系统关键部位安装电压互感器、电流互感器、温度传感器、振动传感器等采集装置，通过电缆将采集到的模拟信号传输至中控室的监测主机，由主机完成信号转换、数据存储与显示。该技术的优势是信号传输稳定，抗干扰能力强，适合环境复杂、电磁干扰强的工业现场；缺点是布线成本高，改造难度大，对于分散布置的多台电力拖动系统，有线监测的部署成本居高不下，扩展灵活性差。目前该技术主要应用于新建大型工业项目的核心大功率电力拖动系统，已经投运的老旧系统改造较少采用该方案。

无线传感器监测技术是随着物联网技术发展兴起的新型监测方案，该方案采用低功耗无线传感器节点完成多参数采集，通过 ZigBee、WiFi、NB-IoT 等无线通信协议将数据传输至网关，再由网关上传至监测平台。该技术无需布线，部署灵活，改造方便，成本较低，适合对老旧电力拖动系统进行监测升级。但无线监测技术也存在一定局限性，在强电磁干扰的工业环境下，无线信号容易出现丢包、延迟等问题，传感器节点采用电池供电，需要定期更换电池，维护工作量较大。目前该技术广泛应用于中小型分散布置的电力拖动系统监测，在大型核心系统中多作为有线监测的补充方案。

三、电力拖动系统故障预警的核心技术方法

实时状态监测是预警的基础，故障预警则是监测的核心目标，预警技术的核心是通过对监测数据的分析，识别电力拖动系统性能退化的特征，提前预判潜在故障的发生。目前主流的预警技术可以分为基于阈值判断的传统预警方法、基于统计模型的预警方法与基于人工智能的智能预警方法三类。

基于阈值判断的预警方法是最简单也最常用的预警方法，该方法预先根据电力拖动系统的额定参数与运行经验，设定各个监测参数的正常阈值范围，当监测数据超过阈值范围时，系统发出预警信号。该方法逻辑简单，实现容易，可靠性高，目前在大多数中小规模监测系统中仍然广泛应用。但该方法的缺点也十分明显，只能在故障发展到参数明显超标后才能发出预警，无法识别早期潜在的性能退化，预警滞后性较强，对于缓慢发展的绝缘老化、轴承磨损等渐进式故障，预警效果较差。

基于统计模型的预警方法通过对电力拖动系统正常运行状态下的历史数据进行统计分析，建立参数变化的统计模型，通过分析实时监测数据与统计模型的偏离程度判断是否存在异常，常见的统计模型包括高斯混合模型、隐马尔可夫模型、主成分分析等。该方法能够识别参数的细微变化，对渐进式故障的早期识别能力优于阈值预警方法，不需要大量的故障样本数据，仅依靠正常运行数据就可

以完成模型构建，适合故障样本较少的电力拖动系统应用。但该方法的建模过程较为复杂，对于非线性、时变特性较强的电力拖动系统，模型精度有限，误报率相对较高。

四、技术发展存在的问题与优化方向

当前电力拖动系统实时状态监测与预警技术已经取得了长足的进步，但在实际应用中仍然存在一些亟待解决的问题：一是多源数据融合程度不足，现有监测系统多数仅针对电气参数或机械参数单一维度监测，没有实现多参数的融合分析，容易造成漏报误报；二是小样本下智能预警模型泛化能力不足，针对不同型号、不同运行环境的电力拖动系统，模型迁移能力较差，需要针对具体场景重新训练；三是监测设备的可靠性与耐久性有待提升，在高温、高湿、强腐蚀的恶劣工业环境下，传感器寿命较短，维护成本较高。

针对上述问题，未来技术优化方向主要集中在三个方面：第一，推进多源数据融合监测体系建设，整合电气、机械、环境多维度监测数据，通过特征级融合与决策级融合提升异常识别的准确性，降低误报漏报率；第二，发展小样本学习与迁移学习技术，提升智能预警模型的泛化与迁移能力，降低模型训练对大量故障样本的依赖，推动智能预警技术的工程化应用；第三，开发适用于恶劣工业环境的高可靠性传感器与低功耗监测节点，提升监测设备的耐久性，降低系统维护成本。

五、结语

电力拖动系统的实时状态监测与预警技术是保障工业生产稳定运行的重要技术支撑，随着物联网、人工智能技术与工业设备的深度融合，该技术正从传统的阈值监测向智能化、网络化、分布式方向发展。融合多源数据采集与智能预警的一体化监测体系，能够有效提升电力拖动系统故障早期识别能力，降低突发故障风险，为企业创造显著的经济与安全效益。未来随着技术的不断优化完善，实时状态监测与预警技术将在更多工业领域得到推广应用，推动工业设备维护模式向智能化预测性维护转型。

参考文献

- [1] 王兆安, 刘进军. 电力电子技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [2] 王毅, 赵光宙. 电力拖动系统状态监测与故障诊断技术综述[J]. 电工技

术学报, 2002, 17(2): 70-75.

[3] 雷亚国, 何正嘉. 大数据驱动下机械设备故障诊断与预示技术的研究进展[J]. 机械工程学报, 2015, 51(1): 1-12.