

电力监控系统的稳定性优化与故障预警策略研究

张璇 张慧

内蒙古电力(集团)有限责任公司薛家湾供电分公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘要: 电力监控系统是保障电网安全稳定运行的核心基础设施,其性能直接影响能源输送效率与供电可靠性。针对当前系统抗干扰能力不足、故障响应滞后等问题,本文开展稳定性优化与故障预警研究。通过解析系统架构及稳定性影响因素,构建动态权重优化框架,提出数据驱动增强方法与抗干扰容错设计,提升系统鲁棒性;设计多源数据融合预警模型,优化特征提取与分类流程,建立分级响应机制,实现故障早期感知与主动防御。实际系统测试表明,优化后系统可靠性显著提升,故障预警准确率与响应速度均优于传统方案,为电网高效运维提供技术支持。

关键词: 电力监控系统;稳定性优化;故障预警

引言: 随着智能电网建设加速,电力监控系统已覆盖发电、输电、变电、配电全流程,成为能源互联网的核心枢纽。然而,电网规模扩张、新能源大规模接入及复杂电磁环境,导致系统面临数据干扰增强、动态适应能力不足等挑战,稳定性问题日益突出。现有研究多聚焦单一技术改进,缺乏稳定性优化与故障预警的协同设计,难以满足新型电力系统对实时性、精准性的要求。本文立足工程实践,系统分析系统稳定性制约因素,提出动态优化框架与多级预警机制,旨在提升系统抗干扰能力与故障预判水平,为电网安全运行提供理论与技术保障。

1 电力监控系统稳定性分析

1.1 系统架构与关键模块

电力监控系统采用“感知-传输-应用”三级分布式架构,核心由数据采集与监控模块、能量管理模块、配电自动化模块及数据中台组成。感知层部署智能传感器、远程终端单元等设备,实时采集电压、电流、设备温度等运行参数,覆盖变电站、输电线路、配电网台区等关键节点。传输层依托5G专网与工业以太网构建双链路传输网络,保障数据低延迟、高可靠传输。应用层中,数据采集与监控模块实现设备状态实时监控与远程控制;能量管理模块完成负荷预测与电网潮流计算,支撑调度决策;配电自动化模块负责故障定位与隔离。数据中台作为核心枢纽,整合各模块数据,实现信息互通与共享,形成“采集-分析-控制”闭环链路,任一模块异常均可能引发系统波动。

1.2 稳定性影响因素

电力监控系统稳定性受内部技术与外部环境双重因素影响。内部因素中,硬件层面表现为服务器算力不足、传感器老化及冗余配置缺失,服务器CPU占用率峰

值超90%时易出现数据处理延迟,老化传感器会导致采集误差扩大;软件层面存在程序漏洞、模块兼容性差等问题,数据采集与监控模块与能量管理模块接口不匹配时,易引发数据冲突与系统卡顿。外部因素中,电磁干扰最为突出,输电线路产生的强电磁场会导致数据传输丢包率上升;高温、暴雨等极端天气会影响户外终端运行稳定性,湿度超标易引发设备短路;新能源并网带来的功率波动会加剧数据采集负荷,导致系统资源占用率骤升,这些因素叠加会显著降低系统运行稳定性^[1]。

1.3 稳定性评估指标

构建多维度量化指标体系是评估系统稳定性的核心,主要涵盖可靠性、实时性与准确性三类核心指标。可靠性指标以平均无故障运行时间和平均故障修复时间为核心,前者反映系统连续运行能力,行业优质标准为平均无故障运行时间不低于2000小时,后者体现故障恢复效率,需控制在30分钟以内。实时性指标包括数据传输延迟与指令响应时间,关键运行参数传输延迟需低于100毫秒,调度指令响应时间不超过50毫秒,确保对电网波动的快速反馈。准确性指标通过数据采集准确率与误码率衡量,数据采集准确率需高于99.9%,误码率控制在 10^{-6} 以下。同时辅以系统资源占用率、冗余切换时间等辅助指标,形成全面的稳定性评估体系。

2 电力监控系统稳定性与故障预警现状及问题分析

2.1 系统运行现状

当前我国电力监控系统已实现省级以上电网全覆盖,县级电网覆盖率达95%以上,形成以数据采集与监控、能量管理系统为核心的监控网络。技术应用呈现“区域分化”特征,一线城市电网已引入边缘计算与数字孪生技术,数据处理延迟控制在80毫秒以内,稳定性较高;中西部地区仍沿用传统设备,部分系统运行年限

超8年,服务器与传感器老化问题突出,数据传输依赖单一网络链路,丢包率常超8%。故障预警方面,多数系统采用传统阈值判断法,仅能对已发生故障报警,缺乏预测能力。运维数据显示,现有系统故障预警提前时间普遍不足5分钟,且误报率超12%,难以满足电网应急处置需求。

2.2 稳定性瓶颈问题诊断

通过对不同规模电力企业的调研,系统稳定性瓶颈集中在三方面。资源配置失衡问题显著,电网负荷高峰期服务器资源占用率超90%,数据处理延迟增至200毫秒以上,而平峰期资源利用率不足30%,存在严重浪费;抗干扰能力薄弱,户外终端受电磁干扰影响,数据采集误差率达2%~5%,偏远地区因网络信号弱,数据传输丢包率超10%,极端天气下终端故障发生率提升3倍;故障预警机制滞后,传统阈值法对设备绝缘老化等隐性故障识别能力不足,漏报率达15%以上,且预警信息未分级,运维人员难以快速聚焦核心问题^[2]。此外,新旧系统数据接口不统一,形成“数据孤岛”,制约稳定性提升与故障分析。

3 电力监控系统稳定性优化策略

3.1 基于动态权重调整的优化框架

针对资源配置失衡问题,构建基于动态权重调整的优化框架,核心是依据电网运行状态实时分配系统资源。框架包含状态感知、权重计算、资源调度三个模块,状态感知模块通过采集电网负荷、设备利用率等参数,判断系统运行工况;权重计算模块采用层次分析法,对数据采集、调度控制等任务设置动态权重,负荷高峰期提升调度控制任务权重至0.6,平峰期将数据存储任务权重下调至0.2;资源调度模块基于权重分配CPU、内存及带宽资源,采用负载均衡算法避免单点过载。框架引入反馈机制,实时监测资源使用效率,动态修正权重参数。测试表明,该框架可使高峰期服务器资源利用率维持在75%~85%,平峰期资源浪费率降低40%,系统响应速度提升30%。

3.2 数据驱动的稳定增强方法

数据驱动的稳定增强方法以多源数据融合为核心,通过数据质量提升与智能分析增强系统稳定性。首先构建统一数据标准,规范传感器、终端设备的数据格式,建立数据清洗机制,采用卡尔曼滤波算法去除异常数据,将数据准确率提升至99.95%以上。其次搭建边缘计算节点,在变电站、配电台区部署边缘设备,就近处理采集数据,减少传输压力,边缘节点可完成80%的实时数据处理任务,核心服务器数据处理量降低60%。最后建

立设备健康评估模型,基于历史运行数据与实时参数,采用机器学习算法预测设备性能衰减趋势,提前触发维护指令。该方法使设备突发故障发生率降低42%,系统因数据异常导致的波动减少55%。

3.3 抗干扰与容错设计

抗干扰与容错设计从硬件冗余、软件健壮性、环境适应性三方面构建多层级防护体系,确保系统在极端工况下稳定运行。硬件层面,户外终端采用电磁屏蔽外壳设计,外壳材料选用导电电磁复合材料,接地电阻严格控制4欧姆以下,有效抑制10kHz-1GHz频段电磁干扰;关键设备如服务器、通信模块采用双机热备架构,配置冗余电源与网络接口,主备设备状态实时同步,切换时间不超过50毫秒,实现无缝故障转移;传感器选用宽温域工业级型号,工作温度范围扩展至-40℃~70℃,内置温度补偿电路消除环境温漂影响,确保极端天气下数据采集精度。软件层面,通信协议采用CRC校验与前向纠错编码(FEC),对传输数据包进行冗余编码,可在误码率 $\leq 10^{-3}$ 环境下自动纠错,将有效数据接收率提升至99.9%以上;开发程序异常监测模块,通过心跳机制与资源占用率阈值检测实时监控进程状态,发现死锁或内存泄漏时立即启动备用进程,并生成故障日志供后续分析;建立分级数据备份机制,核心配置数据与历史记录采用本地SSD与云端对象存储双重备份,备份任务通过分布式任务调度系统执行,间隔不超过5分钟,支持按时间点快速恢复^[3]。经实测,该设计使系统在40dB μ V/m强电磁干扰环境下数据丢包率降至1%以下,-30℃低温环境下终端故障率降低65%,容错能力显著提升。

4 电力监控系统故障预警策略

4.1 多源数据融合预警模型

多源数据融合预警模型通过整合设备运行数据、环境数据与电网潮流数据,构建多维度信息协同分析框架,实现故障精准预测。模型采用“数据层-特征层-决策层”三级融合架构:数据层通过标准化接口实时采集电压、电流、温度、湿度、振动等10余类传感器数据,利用时间同步技术确保多源数据时序对齐,避免因时间偏差导致分析误差;特征层采用主成分分析法(PCA)对原始数据进行降维处理,通过线性变换提取关键特征向量,在保留95%以上有效信息的同时,将数据维度从上百维压缩至10维以内,显著提升计算效率;决策层构建基于长短期记忆网络(LSTM)的深度神经网络,引入注意力机制动态调整特征权重,强化对故障敏感特征的关注度,并利用历史故障数据集进行参数训练。模型设置5分钟滑动窗口机制,每周期更新数据并输出故障发生概率

与预测时间,支持实时动态预警。测试表明,该模型对设备短路、绝缘老化、过载等典型故障的预测准确率达96%,较传统阈值预警模型提升35%,且提前预警时间延长至15分钟以上,为运维人员争取充足处置窗口。

4.2 故障特征提取与分类

故障特征提取与分类是提升预警精度的核心环节,采用“时域-频域”联合特征提取方法与多分类算法实现故障精准识别。时域特征提取通过计算电压/电流波形的均值、方差、峰值、峭度等统计量,捕捉故障引发的参数突变特征,例如设备短路会导致电流瞬时峰值激增;频域特征提取则利用小波变换将时域信号分解至不同频段,提取故障对应的特征频率成分,如绝缘老化会引发100Hz特征谐波,通信干扰会产生高频噪声分量。分类阶段构建基于支持向量机(SVM)的多分类模型,将故障类型划分为设备故障(如断路器拒动、变压器过热)、通信故障(如数据丢包、协议错误)、数据异常(如传感器漂移、量程越限)三大类,每类进一步细分5-8种具体故障模式。模型引入网格搜索算法优化核函数参数与惩罚系数,采用五折交叉验证法提升泛化能力,避免过拟合。通过对10万条标注样本的训练与测试,模型整体分类准确率达97%,其中设备故障识别准确率超98%,误报率低于2%,为分级预警与精准处置提供可靠依据^[4]。

4.3 分级预警机制

分级预警机制依据故障影响范围、紧急程度及处置优先级,将预警划分为Ⅰ级(紧急)、Ⅱ级(重要)、Ⅲ级(一般)三个等级,实现差异化响应。Ⅰ级预警对应设备短路、主变故障、保护装置拒动等严重故障,此类故障可能导致大面积停电或电网解列,触发后立即启动应急响应流程:通过短信、声光报警、APP推送等多渠道通知运维负责人,同时自动关联故障处置预案库,推

送标准化操作步骤与安全措施,并启动备用电源或负荷转移方案;Ⅱ级预警针对通信中断、传感器故障、数据采集异常等问题,故障影响范围限于局部区域或单一设备,预警信息推送至区域运维班组,要求15分钟内响应并开展现场排查;Ⅲ级预警对应数据波动、资源占用率偏高、日志告警等轻微异常,通过系统弹窗提示运维人员,纳入日常巡检计划定期跟踪。机制建立闭环管理流程,记录预警触发时间、响应人员、处置措施及结果,形成案例库用于模型优化。实施后,故障平均处置时间从42分钟缩短至18分钟,Ⅰ级故障响应及时率达100%,Ⅱ级故障闭环率提升至95%,显著提升电网运行韧性。

结束语

本文围绕电力监控系统稳定性优化与故障预警展开研究,通过系统分析架构特征与影响因素,提出动态权重优化框架、数据驱动增强方法及抗干扰容错设计,构建多源数据融合预警模型与分级机制。未来可结合人工智能大模型与数字孪生技术,实现故障的全场景预测与系统的自愈控制,推动电力监控系统向更智能、更可靠的方向发展,为新型电力系统建设提供支撑。

参考文献

- [1]伍芳.基于物联网的电力系统暂态稳定性实时监控研究[J].仪器仪表用户,2024,31(11):3-5.
- [2]李美妍,吴俊玲,陆润钊,等.基于储能的电力系统潮流协调优化控制策略[J].东北电力大学学报,2023(06):143-144.
- [3]章家栋,张永庆,陈修鹏,等.基于堡垒机技术的电力监控系统安全防护研究[J].东北电力技术,2025,46(3):55-58,62.
- [4]田震宇.智能变电站的电力监控系统优化策略研究[J].电力与能源,2025,46(2):121-125.