

输配电网的智能化监控与故障诊断技术研究

左剑峰，左加宁

(国网张家口供电公司，河北 张家口 075000)

摘要 随着电网规模和复杂度的不断提高，智能化监控与故障诊断技术在输配电网中的应用至关重要。本文探讨了基于智能传感器、无线通信、边缘计算与云平台的监控与数据处理技术，并结合高频信号分析、电力系统状态估计、电流电压波形识别和机器学习算法，增强了故障检测与预测能力。研究结果表明，智能化监控与故障诊断的融合应用显著增强了电网的实时监控、故障定位、负荷优化和设备健康管理能力，可持续保障电网的可靠性与安全性。

关键词 输配电网；智能监控；故障诊断；边缘计算

中图分类号：TM76

文献标志码：A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.33.010

0 引言

伴随电力需求的增长和电网结构的复杂化，传统的输配电网管理方式已无法有效应对日益增加的负荷和故障风险，因而增强电网的智能化水平，尤其是依托先进的监控与故障诊断技术，成为保障电网安全与高效运行的关键。智能化监控与故障诊断技术不仅限于能够实现实时监控和故障定位，又在于依托智能分析和预测预防潜在风险，降低故障发生的概率。依托边缘计算、大数据分析等先进技术，能显著增强电网的响应速度和故障处理能力，减少停运时间，保证电网的稳定性与可靠性，这些技术的发展对于推动电网智能化建设、保障电力供应安全具有重要意义。

1 输配电网智能化监控技术

1.1 智能传感器技术

智能传感器技术是输配电网智能化监控的核心，通过实时采集电网运行状态数据，为故障检测、预警和优化调度提供基础。智能传感器能够在极端环境下稳定工作，适应-40℃至120℃的温度变化，且具备较强的抗干扰性，能有效应对电力系统中的电磁干扰与高频噪声。电流、电压、温度、湿度等物理量的监测，确保了数据的全面性与准确性。电流传感器可监测100A至5 000 A的电流，电压传感器适应10 kV至400 kV的电压范围，智能传感器还具备自诊断功能，能在设备故障或性能下降时发出预警信号，与其他监测设备配合，依托无线通信技术，数据实时传输至云平台或本地计算终端，支撑电网的全面监控与诊断。

1.2 无线通信与数据传输

无线通信技术在输配电网智能化监控中发挥着关键作用。低功耗广域网（LPWAN）技术，如LoRa和NB-

IoT，使得各类传感器能够将数据实时传输至云平台，通信距离可达到15公里至20公里，极大地增强了数据采集的范围与效率。LoRa技术在低速数据传输时表现优异，传输速率可调至10～100 kbps，满足不同传输需求，数据传输延迟通常控制在几十毫秒内，确保了实时性与响应速度。无线通信网络的稳定性与可靠性是电网监控系统高效运行的基础，网络故障率保持在0.1%以下，确保了大规模数据传输的稳定性，为故障检测与运行优化提供支持。

1.3 边缘计算数据处理

边缘计算技术在智能化监控中的应用，主要体现在数据处理的本地化与实时性增强。传统云计算架构需将数据传输至云端分析，存在一定延迟，依托边缘计算，将数据处理与分析任务分配至接近数据源的终端设备，增强了响应速度与处理效率，边缘计算节点能够在本地完成信号预处理、特征提取与初步分析，减少数据传输量并降低网络负载，同时保证10 ms以内作出响应。例如：在电力负荷调节中，边缘计算能根据传感器反馈数据实时优化电网运行参数，避免电网过载或电力波动。此类技术增强了电网的稳定性与应急响应能力，确保了电网的高效、安全运行。

1.4 云平台与大数据分析

云平台与大数据分析为输配电网智能化监控提供了强大的数据处理与存储能力。借助云平台，分布在不同地区的传感器数据得以统一存储与管理，存储能力可达PB级别，满足未来电网设备增多带来的数据存储需求。依托大数据分析，系统能够实时评估电网运行状态，及时识别潜在故障风险，比如通过分析电压、电流波动及设备运行数据，云平台可预测设备故障概

率和时间点，为电网运行人员提供有效预警。云平台还支持数据可视化，将复杂数据转化为直观图形与报告，帮助电力运维人员快速决策。大数据技术的应用，不仅限于增强了电网的管理效率，又在设备健康管理与负荷调度中发挥了重要作用。

2 输配电网故障诊断技术

2.1 高频信号分析与特征提取

在输配电网故障诊断中，高频信号分析是识别故障类型和定位的重要技术。电力设备发生故障时，电流或电压波形通常伴随高频扰动，这些高频信号可揭示故障特征，比如短路故障时，电流波形会产生高频脉冲，频率范围通常为 100 Hz 到 5 000 Hz。通过高频信号的提取和分析，能够精准区分故障类型，如接地故障、单相接地故障等，同时提高故障定位的精度。频谱分析技术是常用手段之一，借助傅里叶变换将时域信号转为频域信号，进一步识别特征频率，高频信号特征提取还依托波形变换、小波变换等算法，提供更精确的时频分布，剔除噪声，增强故障诊断的准确度，针对不同故障，一般在故障发生后的 0.1 秒内即可捕捉到高频信号变化，定位精度可达到 1 ~ 2 公里。

2.2 电力系统状态估计算法

电力系统状态估计依托实时测量数据和数学模型推算电网运行状态，为判断电网健康状态及故障风险提供依据。常见的状态估计算法包括直流潮流法、牛顿—拉夫森法 (Newton-Raphson) 与最小二乘法 (Least Square Method)。这些算法结合传感器数据、约束条件和优化目标，推算电压、功率等关键参数，常用的状态估计公式为：

$$y=f(x)+e \quad (1)$$

式 (1) 中， y 表示系统测量值， x 是电网的状态变量（如节点电压、相角等）， $f(x)$ 为系统的非线性映射函数， e 为测量误差。依托最小化测量值和估算值之间的误差，可以精确估算电网状态，预测潜在的设备故障与风险，电压波动通常控制在 $\pm 5\%$ 的范围内，电流波动不超过 10 A，确保电网稳定运行，实时状态估计频率已提高至 1 秒级，误差控制在 0.5% 以内^[1]。

2.3 电流电压波形识别与故障隔离

电流与电压波形识别技术在输配电网故障诊断中，通过实时监测与分析电流电压波形，精准识别故障类型和位置。故障发生时，电流和电压波形出现明显变化，比如接地故障时电流波形表现为不对称波形，短路故障时电流急剧上升，通过电流电压波形的幅值、频率与相位特征，能够准确识别故障的时刻、位置与类型，

精度可达 2 ~ 3 米。波形识别技术与自动化控制系统结合，能在 0.2 秒内实现故障隔离，避免故障蔓延。此类技术增强了电网的稳定性和恢复能力，确保了电力供应的连续性。

2.4 基于机器学习的故障预测模型

伴随数据采集和计算能力的持续增强，机器学习已成为故障诊断领域的核心工具。依托电网历史故障数据、设备运行数据与环境数据，机器学习模型能够构建适应不同电网条件的故障预测模型。常见算法包括支持向量机 (SVM)、决策树 (CART)、随机森林 (Random Forest) 与深度学习 (Deep Learning)。这些模型能够分析实时数据，预测电力设备的故障概率与剩余使用寿命，比如依托监测变压器温度、振动与油压数据，能够预测设备在未来 1 ~ 2 个月内的故障风险^[2]。机器学习技术不仅限于故障预测，又在于能够优化设备维护计划，增强电网的整体运行效率与安全性，故障预测精度已达到 90% 以上，尤其在高风险设备领域，能够有效降低突发性故障的发生率。

3 智能化监控与故障诊断技术的融合应用

3.1 输配电网实时监控与故障定位

实时监控与故障定位是智能化电网运行的基础，其核心在于通过传感器、无线通信技术和数据分析平台，将电网各个环节的运行数据实时采集并传输至监控中心^[3]。具体来说，传感器对电流、电压、温度等关键参数进行 24 小时不间断采集，保证监控数据的实时性和准确性。数据通过无线通信网络快速传输至本地或云端平台，再由监控系统进行综合处理与分析，实时评估电网运行状态，检测潜在故障或异常波动。在此基础上，系统依托先进的算法进行故障定位，当电网发生故障时，能够迅速确认故障点，并引导运维人员快速到达现场进行处理。数据分析环节不仅限于支持传统的事件触发，又在于能够通过趋势分析提前发现电网设备的异常，从而实现预测性维护。故障定位的准确性和速度至关重要，要求系统能够处理海量的电网运行数据，并通过精确的算法分析定位故障发生的确切位置^[4]。

为了验证这一技术的效果，某地区的输配电网智能化改造项目引入了实时监控与故障定位系统，在发生短路或接地故障时，系统能够在几秒钟内对电流和电压异常波动进行分析，并准确定位故障发生的具体位置，此技术不仅限于电流、电压数据监测，还涵盖了温度、湿度等环境因素，进一步增强了故障诊断的全面性^[5]。当电网中的某一段发生设备损坏时，系统

通过分析传感器数据，确定故障的具体线路或设备，并及时发出预警，运维人员根据系统提供的实时数据，快速到达故障点进行处理，避免了人工巡检造成的延误与成本浪费^[6]。

3.2 智能调度与负荷优化

智能调度与负荷优化是增强电网效率和稳定性的关键技术。通过负荷预测和实时数据监控，电力调度系统能够动态调整电网的运行策略。系统通过对各个区域负荷的实时监测，结合气象数据、历史负荷数据及电网运行状态，进行负荷预测，预测结果为电力调度员提供科学依据，帮助其合理安排发电和输电计划。基于此，智能调度系统能够根据负荷需求的变化，灵活调整电网运行模式，比如在负荷高峰期间，系统通过调整变压器输出功率，平衡不同区域的负荷，避免局部过载并减少能源浪费。为确保调度高效与稳定，系统还与应急预案配合，能在突发负荷波动时迅速响应。智能调度系统的核心优势在于适应电网负荷变化，精确预测与调节，确保电力资源的合理分配与使用^[7]。

以国内某地区电力公司为例，该公司引入智能调度与负荷优化系统后，在夏季用电高峰期间，系统根据历史数据和气象条件的变化，提前预测到负荷波动，并对电网各个区域的负荷进行精细化调度，根据预测结果，系统自动调整了各个变电站的供电模式，避免了某些区域因过载而发生停电或设备损坏的风险。智能调度系统的引入不仅限于保障电力供应的稳定性，又在于增强了电力公司的应急响应能力，当突发负荷波动发生时，系统能够迅速调整配电网络，优化发电厂的输出功率和电网各分支的负荷分配，确保了电网的高效稳定运行。同时，系统为调度员提供了实时监控平台，帮助其更准确地了解电网的实时负荷状态，提高了决策效率。

3.3 故障预测与设备健康管理

故障预测与设备健康管理技术依托大数据与机器学习，能够对电网设备进行全面监测与故障预警。设备健康管理系统通过传感器采集电网设备的实时数据，如温度、电流、电压、振动等，对数据进行长期分析，通过数据挖掘识别潜在故障模式，结合历史运行数据，预测未来故障概率，提前发出风险预警。与传统的定期检修不同，基于实时状态的故障预测能够实现按需检修，避免设备故障导致的停运事故，增强设备使用寿命与运维效率。系统依托算法对比历史数据与目前运行状态，给出故障发生时间和概率，为维修决策提供科学依据^[8]。

在某电力公司的设备健康管理项目中，故障预测系统成功预测了一台变压器的故障风险。通过分析变压器的振动、温度与电流数据，系统发现其状态逐渐偏离正常范围，预测其将在两周内故障，运维人员根据预警信息进行提前检修，避免了设备故障造成的停运与损失。该技术在风力发电机组中也得到应用，通过实时数据分析，成功避免了风机的停机事故。设备健康管理系统还能根据设备状态自动调整维护周期，避免过度或延误维护，进一步增强电网设备的效率与可靠性^[9]。

4 结束语

智能化监控与故障诊断技术为输配电网提供了高效、精准的运维支持。伴随智能化技术的不断发展，输配电网的监控与故障诊断将更加精确和实时。物联网、大数据和人工智能等技术的应用将大幅增强电力系统的故障预警、实时监控与自主调度能力，尤其边缘计算与云平台的融合，将进一步优化系统效率，增强数据处理能力。未来，智能电网不仅能增强运维效率，也能增强系统灵活性和应对突发故障的能力，为电力行业的可持续发展与智能化转型提供有力支持。

参考文献：

- [1] 周儒畅,曹家君,李秋雨.配电网智能化监控与控制技术研究[J].信息与电脑(理论版),2024,36(08):40-42,46.
- [2] 陈吉洋,杜杰,汤琳.数据驱动下配电网故障诊断与快速恢复[J].城市建筑空间,2024,31(S2):381-382.
- [3] 陈晓春,胡广洋.基于人工智能的配电网故障诊断与恢复系统设计[J].电气技术与经济,2024(12):103-105,120.
- [4] 苑舒博.基于智能算法的配电网故障诊断技术分析[J].集成电路应用,2024,41(12):222-223.
- [5] 贾欢,边睿喆.配电网故障诊断与故障定位技术研究[J].光源与照明,2024(03):81-83.
- [6] 张春梅,许兴雀,刘思麟.基于多源数据融合的配电网故障诊断技术[J].上海交通大学学报,2024,58(05):739-746.
- [7] 付慧敏,郑刚.基于数字孪生的配电网智能化故障诊断方法[J].沈阳工业大学学报,2025,47(03):288-294.
- [8] 吴芳建.配电网智能化监测与控制技术研究[J].科技资讯,2025,23(09):97-99.
- [9] 刘洋.物联网技术在配电网智能化运维管理中的运用研究[J].中国新通信,2025,27(07):71-73,76.