

# Research on Data-driven Fault Diagnosis and Decision Support Methods in Smart Grid Dispatching Automation

Shenggui Pan Jin Guan Lisheng Shen

Liupanshui Power Supply Bureau, Guizhou Power Grid Co., Ltd., Liupanshui, Guizhou, 553000, China

## Abstract

Under the background of smart grid dispatching automation, how to utilize the remote control machines of power plants and stations to transmit a large amount of remote measurement and remote signaling data to the dispatching center to achieve rapid and accurate fault diagnosis and provide decision support is an important issue for the stable operation of the power system, reducing the workload of the dispatching center, and achieving precise decision-making. This paper unfolds from aspects such as data acquisition at the scheduling end, data processing and feature extraction, construction and optimization of fault diagnosis models, and design of decision support systems; The application scenarios and effects of big data-driven methods and machine learning algorithms in power grid automation are analyzed emphatically, and verified with the aid of actual dispatching system cases. The results show that the data-driven method can significantly improve the accuracy of fault location and response efficiency. Some algorithms achieve a diagnostic accuracy rate of over 95% in the simulation, and the decision support system reduces the operation and maintenance cost by approximately 15%. The research provides an understanding framework and implementation path for the design of the smart grid dispatching system.

## Keywords

smart grid; Scheduling automation; Data driven; Fault diagnosis; decision support system

## 智能电网调度自动化中数据驱动的故障诊断与决策支持方法研究

潘盛贵 管进 沈立胜

贵州电网有限责任公司六盘水供电局, 中国·贵州 六盘水 553000

## 摘要

在智能电网调度自动化背景下, 如何利用厂站远动机输送给调度中心大量遥测、遥信数据, 实现快速、准确的故障诊断, 并提供决策支持, 是电力系统稳定运行, 减轻调度中心工作负荷, 实现精准决策的重要课题。本文从调度端数据采集、数据处理与特征提取、故障诊断模型构建与优化、决策支持系统设计等方面展开; 重点分析大数据驱动方法和机器学习算法在电网自动化中的应用场景与效果, 并借助实际调度系统案例进行验证。结果表明, 数据驱动方法能显著提升故障定位精度与响应效率, 部分算法在模拟中实现诊断准确率超过95%, 决策支持系统降低运维成本约15%。研究为智能电网调度系统设计提供理解框架与实现路径。

## 关键词

智能电网; 调度自动化; 数据驱动; 故障诊断; 决策支持系统

## 1 引言

随着可再生能源接入比例提升, 电力系统运行状态变得更为复杂, 传统的经验规则调度方式难以满足实时性与高可靠性需求。调度自动化系统因此逐步向数据驱动方向转型, 通过海量监测数据支撑的故障诊断、隔离和恢复策略, 提升电网安全运行能力。尽管已有基于规则或物理模型的诊

断方法, 但在处理高速变化、复杂故障时常显迟滞或覆盖不足。数据驱动方法通过对历史故障数据和实时采集信息进行深度学习, 能够实现精准诊断与响应, 有效支持调度员决策。本文目标在于: 构建数据驱动的故障诊断框架、设计实时决策支持机制、并在真实或模拟系统中验证其可行性与效益, 为“基于数据驱动的智能调度”提供理论和实践参考。

## 2 数据采集与预处理

### 2.1 多源数据融合体系

在智能电网调度自动化场景中, 数据采集系统需覆盖广泛的物理量与逻辑状态, 包括母线电压、电流幅

【作者简介】潘盛贵(1978-), 男, 苗族, 中国贵州黄平人, 硕士, 高级工程师, 从事电网调度自动化、变电站电力监控系统、二次安防网络安全研究。

值、线路有功功率、系统频率变化、断路器状态、继电保护动作信息等。SCADA系统主要负责中低频实时数据，PMU设备具备高采样率优势，能够捕捉短时扰动和暂态信息，而IED则提供本地化保护和控制信息。为打通各系统之间的异构壁垒，需构建统一数据总线，支持Modbus、IEC61850、OPC等协议的兼容接入。

此外，考虑到多源数据可能存在时钟漂移与传输延迟，系统需部署精确的GPS授时装置并构建分布式时钟同步网络，以实现毫秒级时间的一致性。为应对采样周期不一致、误码率、通道质量等问题，融合过程中使用滑动时间窗与插值预测算法补充缺失数据，并通过异常检测器剔除逻辑冲突点，提高数据质量，为后续故障建模提供稳定输入。

## 2.2 数据清洗与特征提取

原始电网运行数据受通信扰动、采样误差、电磁干扰等影响，常存在重复值、漂移点与异常突变等问题，若不清洗直接入模将大幅降低算法性能。本文采用Z-score和IQR方法检测异常点，结合中值滤波与卡尔曼滤波进行噪声抑制处理。在清洗完成后，根据故障诊断需求，开展多层次特征提取工作。

## 2.3 训练集构建与标签化策略

构建高质量训练集是确保模型泛化能力的核心步骤。电力系统故障事件呈现低频、类别不均衡、时间窗口短等特点，需采用定制化策略构建训练样本。基于调度中心历史日志，提取包含短路跳闸、单相接地、变压器过热等典型故障事件，将事件前后各30s时窗数据截取为样本。每条样本附带故障起止时间、设备编号、故障类型三元标签，便于监督学习模型训练。

# 3 故障诊断模型构建

## 3.1 机器学习算法选型与优化

在故障诊断任务中，模型需兼顾高准确性、低延迟与强鲁棒性。传统机器学习方法如SVM、RF具备良好的分类能力，但在处理非线性复杂时序数据时易受限。因此，本文选用融合结构：基于多头自注意力机制（Multi-Head Attention, MHA）提取时间序列内部依赖关系，再接入梯度提升树（GBDT）模型进行最终分类与定位。MHA模块可捕捉电气量变化中的长期依赖模式，适应非线性扰动与噪声影响，而GBDT擅长特征重要性分析，提升分类解释能力。

此外，对比实验中，还引入LSTM、CNN、XGBoost等模型进行基准对照，最终该混合结构在故障诊断任务上显示出更优性能。在参数优化方面，使用贝叶斯优化方法自动调节学习率、树深度、注意力头数等超参，使模型在训练过程中稳定收敛。训练完成后通过SHAP值解释特征贡献度，为模型可解释性提供支撑，满足实际调度部署对模型透明度的要求。

## 3.2 模型训练与交叉验证

为确保诊断模型具备良好的泛化能力，本文在模型训

练过程中采用k折交叉验证策略（ $k=5$ ），确保训练集、验证集分布一致且覆盖全面。划分比例为训练集70%、验证集15%、测试集15%，每轮训练均使用不同划分方式组合数据，减少偶然性误差对最终评估指标的干扰。在训练过程中引入早停机制与权重正则化防止过拟合，同时使用增量学习方法持续引入新数据优化模型性能。

## 3.3 数字孪生辅助优化

为进一步提升模型泛化能力与应用可靠性，本文引入数字孪生系统作为辅助优化平台。数字孪生技术可对真实电网运行状态进行动态建模，形成与现实系统高度一致的“虚拟映射”，用于模拟运行工况与突发事件。

# 4 决策支持系统设计

## 4.1 DSS 架构设计

现代智能电网的运行决策已从人工经验判断逐步过渡到基于系统数据的协同支持方式。决策支持系统（Decision Support System, DSS）在其中扮演着桥梁角色，将底层感知数据与高层运维指令之间建立有效联系。本文设计的DSS采用三层体系架构，包括数据层、模型层和表现层，功能模块分工明确、协同紧密。

数据层作为系统的底座，负责接入多种数据源，包括SCADA、PMU、EMS、历史调度日志、天气系统以及GIS平台等，并通过数据融合技术实现结构化整理。该层还搭建高可用性数据仓库，保障数据在大规模、高并发场景下的访问稳定性。

表现层则为调度人员提供可视化界面，信息展示涵盖故障诊断结果、最优操作路径图、风险评估报告、交互式模拟沙盘等功能，便于快速研判与响应。

此外，该架构支持模块热插拔、云边协同计算等特性，确保在分布式调度体系中也可顺利部署。结合现代前端技术（如React、D3.js等）与实时流图机制，系统界面响应流畅，图形交互性强，满足调度员对“秒级感知、分钟级决策”的实际操作需求。

## 4.2 事件级决策建议策略

针对电网突发事件的处理，本系统引入基于事件驱动的智能决策建议策略。在系统实时检测到电压越限、断路器异常跳闸、潮流突变等异常状态后，事件模块立即激活，将异常状态分类并输入至诊断模型。模型识别故障类型、定位故障元件，并结合系统当前运行拓扑、断面功率流情况等信息，快速生成可行切换策略。策略包括故障隔离方案、负荷转供路径、发电机重新调度建议、自动重合闸控制等，并为每种方案计算其恢复时间、切换操作复杂度、潜在风险影响（如电压暂降、次级过载等）以及执行代价。

这一策略实现了从“发现问题”到“辅助决策”的全流程闭环支持，显著提升调度反应效率与方案质量，确保故障响应“快、准、稳”。

## 5 系统验证与效果分析

### 5.1 实验平台搭建

为验证所提出方法的有效性与工程实用价值,构建基于真实区域调度中心的数据驱动验证平台。平台采用“虚实结合”的结构,一方面对接历史实测数据,包括完整的年度调度日志、故障信息、潮流数据等;另一方面搭建高保真度的仿真环境,利用 DigSILENT PowerFactory 与 MATPOWER 进行电网模型构建与潮流仿真,通过 API 接口与数据平台实现联动。

平台部署在高性能计算集群中,采用双节点冗余设计,确保故障注入、模型演练等操作不会影响调度主网。测试区域选取具有典型代表性的 220kV 电网段,包含 26 个负荷点、4 台主变压器及多个分布式电源节点,能够真实模拟电压波动、负荷突变、馈线故障等复杂运行场景。

此外,平台支持 PMU 实时数据注入与仿真控制融合,具备“秒级诊断—分钟级决策”的反馈链路。同时构建人工干预接口,便于调度人员参与测试,模拟真实操作过程,提升验证的完整性和实用性。

### 5.2 诊断效果评价

通过对多个历史故障案例的回放与模拟重演,对提出的诊断模型进行性能测试。在涵盖短路、电压失稳、间歇性跳闸等 30 种典型故障类型的模拟测试中,诊断准确率平均达 96.2%,误判率控制在 1.8% 左右。相较传统基于规则的专家系统,诊断速度提升 38%,错误诊断数下降超过 60%。

在对比实验中,传统方法在非典型故障(如多点并发、电磁干扰背景下误信号)下表现不稳定,而本文模型能够结合历史模式特征实现正确判断,显示出良好的泛化能力。在定位方面,模型能以母线为中心提供精准定位,精度达 95.5%;从接收信号至输出诊断建议的平均延迟不超过 0.12 秒,满足智能调度秒级响应需求。

此外,模型具备自学习能力,在引入最新运行数据后其准确率随样本积累逐步上升,呈现良好的持续优化特性,具备规模部署价值。

### 5.3 决策支持效益

系统部署试点运行期间,在连续六个月调度运行日志中共记录 39 起中小型故障事件。统计显示,在启用 DSS 模块前后,故障响应时间由平均 5.4 分钟缩短至 4.3 分钟,缩短幅度达 20.4%;部分可自动切换操作环节由系统自主执行,

调度人员仅需确认,大幅减少操作时延与误判可能。

从成本角度分析,因决策系统优化负荷转供与潮流调整策略,减少了不必要的应急发电和负载切除操作,推算节约约 15% 的日常运维成本。与此同时,调度员主观满意度提升明显,92% 的用户在调研中表示系统建议具有“高实用性”和“可替代人工判断的能力”。系统还通过对每次操作留痕,建立知识库,支持后续案例复用与学习,提升了整个调度中心的知识资产沉淀能力。

## 6 结语

本文从智能电网调度自动化的发展需求出发,深入探讨了基于数据驱动的故障诊断与决策支持技术路径。通过构建多源数据融合机制、特征提取与学习模型、诊断算法优化以及事件级响应策略,提出了一套覆盖“检测—诊断—决策—执行”全过程的智能调度系统方案。验证结果显示,该系统不仅在故障识别准确性与响应时效上具有显著优势,也在运维效率、调度员工作负荷和决策透明度方面取得实际成效。

研究强调,数据驱动并非对传统调度模式的替代,而是补充与增强,其关键在于构建“人机共决”的协同模式,实现从依赖经验向数据逻辑过渡。在技术实现上,未来可进一步拓展深度强化学习、迁移学习等方法,在未知故障场景中形成自主演化能力;同时加强与硬件控制系统的实时联动,构建“感知—决策—执行”一体化智能闭环。

智能电网的发展不仅依赖设备更新和通信技术革新,更需软件智能的有力支撑。基于数据驱动的故障诊断与决策支持研究为未来电网构建安全、高效、智能的新调度体系提供了理论与实践的双重基础。

### 参考文献

- [1] 宋永华,杨霞,孙静. 低碳高效安全可靠的智能电网[J]. 中国能源,2009,31(10):23-27.
- [2] 鲁成勉. 智能电网的智能控制中心[J]. 广西电力,2009(11):20-24.
- [3] 鲁成勉. 智能电网的智能控制中心[J]. 广东输电与变电技术,2010,12(02):1-5+9.
- [4] 吴博,刘文军. 智能电网通信管理系统建设及应用[C]//中国通信学会普及与教育工作委员会. 2011 电力通信管理暨智能电网通信技术论坛论文集. 河南电力调度通信中心,2011:273-281.
- [5] 雷霆,黄太贵,李端超,等. 智能电网调度数据标准化及应用[J]. 水电能源科学,2011,29(12):174-176+55.