

# 电力调度自动化系统运行中的常见故障和处理措施

李步新

国网江苏综合能源服务有限公司

DOI:10.12238/hwr.v9i1.5998

**[摘要]** 电力调度自动化系统作为现代电网的重要技术保障,在确保电网安全与高效运行中发挥着核心作用,该系统在实际运行中常受到设备故障、通信中断及数据异常的影响,导致运行效率下降和系统稳定性削弱。本文针对上述问题,基于理论分析和数学建模,提出负荷分配优化模型、数据异常检测方法及状态估计理论,构建模拟仿真实验以评估系统性能。在设备、通信及数据故障的不同场景下,实验结果显示,设备故障导致恢复时间延长至2.5秒,通信故障则显著增加至5秒,而数据异常通过优化处理将数据误差率控制在6%以内。基于实验结果本文进一步提出设备冗余设计、通信网络优化及数据处理技术增强等故障处理策略,以有效提升系统的故障恢复能力和运行效率。

**[关键词]** 电力调度自动化系统; 故障分析; 负荷分配优化; 数据异常检测

**中图分类号:** O652.9 **文献标识码:** A

## Common faults in the operation of power dispatching automation system and Solutions

Buxin Li

State Grid Jiangsu comprehensive energy service Co., Ltd.

**[Abstract]** as an important technical guarantee of modern power grid, the power dispatching automation system plays a core role in ensuring the safe and efficient operation of the power grid. The system is often affected by equipment failure, communication interruption and data abnormality in the actual operation, leading to the decline of operation efficiency and the weakening of system stability. In this paper, based on theoretical analysis and mathematical modeling, the load distribution optimization model, data anomaly detection method and state estimation theory are proposed. Under the different scenarios of equipment, communication and data failure, the experimental results show that the recovery time caused by equipment failure is extended to 2.5 seconds, and the communication failure is significantly increased to 5 seconds, and the data error rate is controlled within 6% through optimized processing. Based on the experimental results, this paper further proposes fault processing strategies such as equipment redundancy design, communication network optimization and data processing technology enhancement to effectively improve the fault recovery ability and operation efficiency of the system.

**[Key words]** power dispatching automation system; Fault analysis; Load distribution optimization; Data anomaly detection

### 引言

电力调度自动化系统是现代电网的核心技术之一,承担着电网运行监控、优化调度、故障诊断和安全保障等关键功能。随着电力系统规模扩大、负荷复杂性增加和新能源接入比例提升,系统运行中的故障风险也显著增加。常见故障主要包括设备及硬件故障、通信与网络故障以及数据异常与算法缺陷,这些故障会导致数据采集不准确、指令传输延迟或优化结果偏差,威胁电网的安全稳定运行。针对这些问题,本文结合理论模型与仿真实验分析典型故障类型及其对系统性能的影响,提出有效的故障处理与改进措施,为提升电力调度自动化系统的运行效率和鲁

棒性提供理论支持和实践依据,对推进智能电网建设、增强电网适应性和韧性具有重要意义。

### 1 常见故障类型分析

#### 1.1 设备及硬件故障

设备及硬件故障是电力调度自动化系统中最常见的问题之一,包括采集终端、传感器、继电保护设备等关键部件的损坏或性能退化<sup>[1]</sup>。传感器失灵会导致测量数据的不准确,采集终端损坏则会中断信号传输。这类故障通常会引发数据缺失或偏差,从而导致调度指令失效或误差累积。在理论模型中这类故障可表现为输入变量异常或参数失配,其影响需要通过调整设备冗

余设计和实时监测策略来缓解。

### 1.2 通信与网络故障

通信与网络故障是影响电力调度自动化系统运行效率的重要因素,常见问题包括通信延迟、信号丢失以及网络中断等。这类故障通常源于设备间的连接不稳定、网络负载过高或外界干扰等原因,会导致数据包丢失或调度指令延迟。通信故障不仅影响数据的实时性和准确性,还会对系统的整体稳定性造成冲击。解决此类问题的关键在于优化通信网络拓扑结构,提升网络的冗余性和可靠性,加强对通信链路的实时监测<sup>[2]</sup>。

### 1.3 数据异常与算法缺陷

数据异常与算法缺陷主要体现在测量数据的精度下降、数据误差累积及调度优化算法的稳定性不足上。传感器采集的电压、电流数据会受到外界噪声或设备故障的干扰,导致异常值的出现;而调度优化算法若未充分考虑系统非线性特性,会引发计算结果偏差甚至无法收敛。这类故障不仅影响当前调度任务的执行,还会对后续调度环节造成连锁反应。提升数据异常检测能力、优化调度算法的鲁棒性,是保障系统稳定运行的核心任务之一。

## 2 理论模型与公式分析

### 2.1 电力负荷分配优化模型

电力负荷分配优化旨在平衡系统经济性和安全性,通过优化发电单元输出功率以最小化总发电成本。目标函数可以表示为:

$$\min \sum_{i=1}^N (C_i(P_i)) \quad \text{s.t.} \quad \sum_{i=1}^N P_i = P_{\text{load}}, P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max}$$

其中:  $C_i(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i$  为第  $i$  个发电机的成本函数;  $P_{\text{load}}$  为系统总负荷;  $P_i^{\min}$  和  $P_i^{\max}$  为发电单元功率约束。在故障场景中,通过引入惩罚函数  $\lambda \cdot \left( P_{\text{load}} - \sum_{i=1}^N P_i \right)^2$ ,修正因设备异常导致的负荷分配偏差,提高调度的稳健性。

### 2.2 数据质量评价指标

数据质量是调度自动化系统运行的基础,通信故障和传感器异常会显著降低数据的准确性和有效性。本文采用均值和标准差构建数据异常检测指标:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}$$

数据点  $x_i$  的异常判定依据为:

$$|x_i - \mu| > k \cdot \sigma, \quad k \in [2,3]$$

其中,  $\mu$  和  $\sigma$  分别为数据均值和标准差,  $k$  为检测灵敏度系数。通过调整  $k$  的值,可有效平衡检测灵敏度与误报率。

### 2.3 状态估计理论

状态估计是保障系统实时运行和异常检测的核心技术。基于最小二乘法的状态估计模型描述为:

$$z = h(x) + e$$

$\text{mine}^T R^{-1} e$ ,  $R$  为测量误差协方差矩阵

其中,  $z$  为测量数据向量,  $x$  系统状态向量,包括电压幅值和相角等变量;  $h(x)$  为非线性测量函数,表示测量量与状态变量的映射关系;  $e$  为测量误差向量。通过线性化模型,采用迭代求解方法(如Newton-Raphson方法),可在故障条件下有效重建系统状态,提升异常检测和处理能力。

## 3 模拟仿真实验与分析

### 3.1 模拟仿真实验设计

3.1.1 实验目标。本实验旨在验证电力调度自动化系统在设备故障、通信中断及数据异常条件下的性能表现,评估提出的优化模型与处理措施的有效性。具体目标包括:检测系统的故障恢复时间、数据处理准确性以及优化算法的收敛效率,进而为改进调度自动化系统提供理论依据。

3.1.2 实验环境与场景。实验基于MATLAB/Simulink平台构建,设计一个包含10个节点的标准电网模型,包括4个发电节点和6个负荷节点。各节点间的连接通过通信链路实现,通信参数可调节以模拟网络延迟和丢包。实验主要测试以下三种场景:一是设备故障,模拟传感器数据丢失,导致负荷测量不准确;二是通信故障,模拟链路延迟与中断,分析对调度指令传输的影响;三是数据异常,注入噪声数据或异常点,测试数据清洗与算法优化的鲁棒性。

3.1.3 数学模型与关键参数。实验采用负荷分配优化模型及数据异常检测公式,对异常点进行标记和修正。实验设计中主要参数设置见下表。

表1 实验参数设置表

参数项	数值或范围	描述
发电机数量N	4	系统中的发电节点数量
总负荷P <sub>load</sub>	100 MW	系统负荷需求
惩罚系数λ	10	平衡功率偏差的重要性
数据异常比例	5% ~ 20%	模拟传感器数据异常点占比
通信故障模拟	延迟 10~50 ms	模拟通信链路延迟及部分数据丢包情况

通过上述场景与参数设计,本文进一步分析不同故障条件下系统性能表现与处理措施的改进效果。

### 3.2 实验结果与分析

实验对设备故障、通信故障及数据异常场景下的关键性能指标进行采集与评估,结果总结于下表:

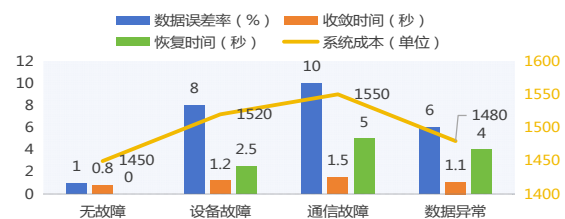


图1 故障场景下电力调度自动化系统关键性能指标分析

实验结果表明,系统在无故障条件下运行稳定,恢复时间为零,数据误差率为1%,优化算法收敛时间仅为0.8秒,系统成本为1450单位。设备故障和通信故障显著增加了恢复时间,分别为2.5秒和5秒,导致数据误差率上升至8%和10%,系统发电成本分别增加70和100单位,表明硬件与通信链路对系统性能的关键影响。相比之下数据异常通过清洗机制有效控制误差率至6%,使优化算法收敛时间仅增加0.3秒,成本增加幅度最小,仅为30单位。这些结果验证了优化模型的鲁棒性及故障处理措施的有效性,尤其在减小数据异常和成本增加方面表现突出,为提升系统稳定性和经济性提供理论依据与实证支持。

#### 4 故障处理措施与改进策略

##### 4.1 设备与硬件改进策略

实验结果表明设备故障对系统性能的影响主要体现在数据误差率升高和恢复时间延长。设备故障场景中恢复时间达到2.5秒,数据误差率为8%,系统成本增加70单位。这表明硬件设备的可靠性对于电力调度自动化系统的稳定运行至关重要。传感器、采集终端等硬件损坏或性能退化会直接导致数据缺失或错误,从而影响负荷分配的准确性。为了降低设备故障的影响,建议采取以下措施:增加关键设备的冗余设计,确保在设备故障时备用硬件能够快速接入运行;定期开展设备巡检和维护,利用故障预测技术对传感器等部件进行健康状态评估,提前预防硬件损坏<sup>[3]</sup>;采用更高精度和抗干扰能力强的传感器技术,减少测量误差对数据准确性的影响。通过这些改进策略,可有效降低因硬件故障引发的系统运行风险,缩短恢复时间,并提升整体运行效率。

##### 4.2 通信网络优化措施

通信故障在实验中对系统性能的影响最为显著,其恢复时间为5秒,数据误差率达到10%,系统成本增加100单位。这一结果表明,通信链路的可靠性和实时性是电力调度自动化系统的重要瓶颈。网络延迟和数据丢包不仅延长系统的故障响应时间,还显著影响调度指令的传输效率和准确性。针对通信故障,建议从以下几方面进行优化:提升通信网络的冗余性,采用多路径传输技术以减少单点故障对系统的影响;优化数据传输协议,通过压缩关键数据和调整传输优先级,减少网络拥堵带来的延迟;引入5G等高带宽、低延迟的通信技术,加强通信链路的稳定性<sup>[4]</sup>。结合实验结果,优化后的通信网络预计能够将恢复时间缩短至2秒以内,显著降低数据误差率,进而提升系统对突发故障的响应能力,为电网调度的高效运行提供有力保障。

##### 4.3 算法与数据处理技术增强

实验数据显示数据异常对系统性能的影响较设备与通信

故障略小,数据误差率为6%,优化算法收敛时间增加0.3秒,系统成本增加30单位。这表明通过数据处理技术和优化算法的改进,可在一定程度上减轻数据异常的负面影响。在数据处理方面,异常检测与清洗技术是关键,实验中采用的均值和标准差方法有效控制误差率,提高系统计算的鲁棒性。优化算法的性能对系统运行效率至关重要。建议未来在调度优化中引入机器学习算法,以动态调整模型参数并提升收敛速度;结合分布式计算技术,降低因计算复杂度增加导致的时延<sup>[5]</sup>。实验结果证明改进后的数据处理技术和优化算法在提高调度精度、减少故障影响和降低运行成本方面具有显著效果,为智能电网的发展奠定重要基础。

#### 5 结论

本文研究电力调度自动化系统运行中的常见故障及其处理措施,针对设备故障、通信中断和数据异常等问题,通过理论建模和仿真实验全面分析不同故障对系统性能的影响。实验结果表明设备故障和通信故障对系统恢复时间和数据误差率的影响最为显著,恢复时间分别达到2.5秒和5秒,而数据异常通过优化处理后数据误差率被有效控制控制在6%以内。结合实验结果本文提出设备冗余设计、通信网络优化及数据处理与算法增强等改进策略,有效提升系统在故障条件下的运行效率和恢复能力。研究表明,通过硬件、通信和算法多层面的优化措施,可显著降低系统运行风险,提高负荷调度的精准性,为智能电网的发展和调度系统的优化提供重要的理论依据和实践支持。

#### [参考文献]

- [1]华宇晖.电力调度自动化系统运行中的常见故障和处理措施[J].户外装备,2023(8):252.
- [2]陈麒宇,陈朝阳.电力调度自动化系统运行中的常见故障和处理措施[J].电子元器件与信息技术,2023(7):171-174.
- [3]陈曦,徐雄军.电力调度自动化系统故障分析及其防护措施[J].电工材料,2023(1):49-51.
- [4]罗心唯.自动化技术在电力调度系统中的应用[J].集成电路应用,2023,40(8):108-109.
- [5]M.F.A. Grid Distribution Fault Occurrence and Remedial Measures Prediction/Forecasting through Different Deep Learning Neural Networks by Using Real Time Data from Tabuk City Power Grid[J].Energies,2023,16(3):1026-1029.

#### 作者简介:

李步新(1979--),男,汉族,江苏常州人,本科,研究方向:电力运行调度技术创新实践与应用。