

# 电力系统电气工程中故障诊断与处理方法探讨

曾宁

广西北泰送变电工程集团有限公司, 广西 柳州 545000

**摘要：** 本文重点探讨了电力系统故障诊断与处理方法, 强调人工智能和大数据分析在提升诊断效率和精度方面的应用。文章分析了三种主要诊断方法: 人工智能、数据驱动和模型驱动, 并针对不同故障类型提出了相应的处理策略, 包括预防性维护、暂态故障快速响应和永久性故障系统性修复。最后, 提出了一个基于分层架构的故障诊断与处理系统, 以提高电力系统运行的可靠性和安全性。

**关键词：** 电力系统故障诊断; 人工智能; 数据驱动; 故障处理策略; 故障诊断系统

## Discussion on Fault Diagnosis and Processing Methods in Electrical Engineering of Power Systems

Zeng Ning

Guangxi Zhaotai Power Transmission and Transformation Engineering Group Co., Ltd. Liuzhou, Guangxi 545000

**Abstract:** This article focuses on exploring fault diagnosis and processing methods in power systems, emphasizing the application of artificial intelligence and big data analytics in improving diagnostic efficiency and accuracy. The article analyzes three primary diagnostic methods: artificial intelligence, data-driven, and model-driven, and proposes corresponding processing strategies for different types of faults, including preventive maintenance, rapid response to transient faults, and systematic repair of permanent faults. Finally, a hierarchical architecture-based fault diagnosis and processing system is proposed to improve the reliability and safety of power system operation.

**Keywords:** power system fault diagnosis; artificial intelligence; data-driven; fault processing strategy; fault diagnosis system

### 引言

随着我国经济的快速发展, 电力系统在国民经济中的地位日益重要。电力系统的安全、稳定运行对于保障国家能源安全、促进社会和谐具有重要意义。然而, 电力系统在运行过程中, 由于设备老化、外部环境、操作失误等多种因素的影响, 不可避免地会出现各种故障。这些故障如不能及时诊断与处理, 将对电力系统的安全稳定运行造成严重威胁, 甚至可能导致大面积停电事故, 给社会带来巨大的经济损失。

电力系统故障诊断与处理是电气工程领域的研究热点之一。故障诊断技术旨在通过对电力系统运行状态的实时监测, 准确识别故障类型、位置和原因, 为故障处理提供有力支持。故障处理方法则根据诊断结果, 采取相应的措施, 确保电力系统在最短时间内恢复正常运行。近年来, 虽然国内外学者在电力系统故障诊断与处理方面取得了一定的研究成果, 但仍然存在许多亟待解决的问题。

### 一、电力系统故障诊断基本理论

#### (一) 电力系统故障类型

在我国电力工业长期发展过程中, 电力系统规模扩大和用电量增长导致其失效率时有发生<sup>[1]</sup>。电力系统故障类型主要分为短路故障和断路故障两大类。短路故障包括三相短路、两相短路和单相接地短路; 断路故障则是指线路、设备因故障导致断开。这些故障可能导致系统电压、电流异常, 严重影响电力系统的稳定

运行。

#### (二) 故障诊断技术发展趋势

新型电力系统故障诊断所面临的主要问题是数据规模庞大、故障机理复杂、

诊断模型多样, 所以需要一种能够忽视网络拓扑, 从故障数据本身去分析的故障诊断模型<sup>[2]</sup>。随着人工智能技术的深入应用, 如深度学习、大数据分析等, 故障诊断正逐步从传统的继电保护向智能诊断转变。诊断速度和精度不断提升, 能够快速准确地识

别复杂故障。同时，故障诊断系统正向复合故障诊断发展，能够处理多重故障情况。未来，故障诊断技术将更加注重网络化、一体化，实现故障检测、隔离、恢复和预防的自动化流程，为电力系统的安全稳定运行提供强有力的技术支持。

## 二、故障诊断方法详解

### （一）人工智能故障诊断方法

人工智能故障诊断方法在电力系统中的应用日益成熟，其主要利用机器学习、模式识别和知识推理等技术来模拟人类的诊断思维。这些方法包括神经网络、支持向量机（SVM）、决策树、随机森林、聚类分析等。神经网络，特别是深度学习模型，通过多层神经元结构，能够从原始数据中自动提取复杂特征，学习故障与正常状态之间的差异<sup>[9]</sup>。支持向量机则通过构建最优超平面，实现故障与非故障状态的有效分类。决策树和随机森林通过一系列规则对数据进行分类，适用于处理具有明确分类规则的故障诊断问题。聚类分析则能够在无监督学习的情况下发现数据中的潜在模式，识别出未知故障类型。人工智能故障诊断方法的优势在于其自学习能力和对复杂问题的处理能力，但同时也存在训练数据需求大、模型泛化能力有待提高等问题<sup>[4]</sup>。

### （二）数据驱动的故障诊断方法

数据驱动的故障诊断方法侧重于从大量历史数据中提取故障特征，进而进行故障检测和分类。这类方法通常包括时域分析、频域分析、时频分析和小波变换等。时域分析关注信号的时间特性，如电流和电压的突变、波形畸变等，通过计算统计特征（如均值、方差、峭度等）来表征信号。频域分析则通过傅里叶变换将时域信号转换到频域，分析信号的频率成分，揭示信号的周期性和谐波含量。时频分析结合了时域和频域分析的特点，能够捕捉信号在不同时间点的频率分布，常用方法包括短时傅里叶变换和希尔伯特-黄变换。小波变换作为一种多尺度时频分析方法，能够有效提取信号的局部特征，适用于故障信号的瞬时变化分析<sup>[5]</sup>。数据驱动方法的关键在于特征提取的准确性和有效性，以及如何处理高维数据和噪声干扰。

### （三）模型驱动的故障诊断方法

模型驱动的故障诊断方法基于电力系统的数学模型，通过模拟系统在不同运行状态下的行为来进行故障诊断。这种方法包括状态估计、参数估计、模型匹配和仿真等。状态估计通过测量系统的输入输出数据来估计系统的内部状态，当实际状态与估计状态之间存在较大偏差时，可能表明系统发生了故障。参数估计则关注系统参数的变化，故障往往会导致系统参数的突变，通过参数估计可以识别故障类型和位置。模型匹配方法通过比较实际系统与预设故障模型的匹配程度来确定故障类型和位置。仿真方法则通过建立详细的系统模型，模拟故障发生时的系统行为，从而进行故障诊断。模型驱动方法的优势在于理论基础坚实，能够提供故障的物理解释，但模型的准确性、复杂性和计算量是其面临的挑战<sup>[6]</sup>。此外，模型驱动方法对系统模型的依赖性较高，模型的不确定性可能会影响诊断结果的准确性。

## 三、故障处理方法探讨

### （一）故障处理原则

在探讨故障处理的多种方法之前，必须确立一套指导性的原则。这些原则旨在确保故障处理活动的有效性和安全性。

1. 安全应始终放在首位，任何故障处理活动都不得危及人员或设备的安全。

2. 故障处理的及时性至关重要，应尽可能缩短故障响应时间，减少故障对生产的影响。准确性也是故障处理的关键，必须准确识别故障原因，避免盲目操作。

3. 故障处理应致力于尽快恢复系统正常运行，同时，详细记录故障处理过程，为未来的故障分析和预防提供数据支持。

### （二）预防性故障处理策略

预防性故障处理策略的核心在于通过一系列前瞻性措施，有效降低设备故障的发生概率，确保生产过程的连续性和稳定性。在设备选型阶段，至关重要的一环是综合评估设备的可靠性指标和数据。据统计，选用高可靠性设备可以降低约30%的故障率<sup>[7]</sup>。因此，应优先选择那些经过市场验证、故障率低、维修记录良好的设备，以此来奠定坚实的预防基础。

在设备的使用过程中，定期进行检查和维护是预防性故障处理的关键。根据设备的具体情况，制定合理的检查周期，如每季度或每年进行一次全面检查。研究表明，定期维护可以提前发现并解决70%以上的潜在故障隐患。此外，操作人员的专业培训也不容忽视。通过系统的培训，操作人员能够掌握正确的操作方法，提高操作技能，数据显示，受过专业培训的操作人员可将设备故障率降低20%。

同时，备件管理的科学性对预防性故障处理同样重要。合理规划备件库存，既要避免过多库存造成的资金占用，又要确保关键备件的及时供应。据统计，合理的备件库存管理能够将故障响应时间缩短50%，极大减少因备件不足导致的停机时间。

### （三）暂态故障处理策略

暂态故障，作为一种常见的设备运行问题，通常是由设备在运行过程中遭遇的短暂异常所引起。这类故障虽短暂，却可能对生产流程造成影响。幸运的是，暂态故障通常可以通过简单的操作，如设备复位或重启，得以快速恢复。在这一过程中，实时监测系统发挥着至关重要的作用。它能够实时捕捉设备运行的各项数据，一旦发现异常，立即发出警报，为故障处理赢得宝贵时间<sup>[8]</sup>。

以工厂生产线上的机器人手臂为例，若其在运行过程中突然出现暂态故障，实时监测系统会在第一时间检测到异常并触发警报。此时，操作人员可以立即对机器人手臂进行复位操作。通过这种方式，暂态故障得以消除，生产线得以恢复正常运行<sup>[9]</sup>。同时，操作人员还需对故障原因进行初步排查，比如检查电源稳定性、设备磨损情况等，以防止类似故障再次发生，确保生产过程的顺利进行。

### （四）永久性故障处理策略

与暂态故障不同，永久性故障通常指的是设备或系统在运行中遭遇的长期或不可逆的损坏，这类故障的处理过程更为复杂，

需要系统性的调查和精确的修复措施。在面对永久性故障时，首要任务是迅速隔离故障设备，防止故障点成为影响整个系统稳定性的隐患。这一步骤至关重要，可以最大限度地减少生产损失和维护成本。

在隔离故障设备后，接下来是进行深入的故障分析。这一过程可能涉及对设备的历史运行数据、故障时的环境条件，以及可能存在的操作失误等多方面信息的综合考量<sup>[10]</sup>。通过专业的诊断工具和方法，准确地识别出故障的具体原因，如零件磨损、电路短路或软件错误等。

基于故障分析的结果，维修团队需要制定出一套详尽的维修方案，该方案应包括维修步骤、所需替换的零件、预计的维修时间以及可能的风险评估。在实施维修作业时，必须严格按照方案执行，确保每一步骤都符合技术规范和安全标准。维修作业完成后，还需对设备全面的验收测试，以验证故障是否已经被彻底解决，并且设备能够在正常工作条件下稳定运行。只有通过严格的验收，才能将设备重新投入生产，确保整个系统的可靠性和高效性。

## 四、故障诊断与处理系统设计

### （一）系统总体架构

系统总体架构采用分层设计思想，分为数据采集层、数据处理层、故障诊断层和故障处理层。数据采集层负责从各种传感器和监测设备中收集实时数据；数据处理层对原始数据进行清洗、归一化和特征提取；故障诊断层利用机器学习算法对数据进行智能分析，识别故障类型；故障处理层根据诊断结果，制定相应的处理策略，指导现场操作人员进行维修。

### （二）数据采集与预处理

在电力系统故障诊断与处理系统中，数据采集与预处理是关键步骤。传感器和监测设备实时捕获电网参数，如电压、电流和频率。通过滤波、去噪和归一化提升数据质量，数据压缩技术则优化传输效率。这些预处理措施确保了数据的准确性和传输的快速性，为故障的精确诊断和快速处理提供了可靠的数据基础。

### （三）故障诊断模块设计

故障诊断模块设计依托智能算法，对电网数据进行深入分析，迅速定位故障。集成专家系统和神经网络技术，大幅提升诊断精度，实现实时监测。模块具备高度兼容性和可扩展性，适应复杂电网结构。通过优化诊断流程，显著减少故障处理时间，确保电力系统稳定与安全。此外，模块设计考虑了自学习功能，能够不断更新故障特征库，提高应对新型故障的能力。

### （四）故障处理模块设计

故障处理模块设计以快速响应和精准动作为核心，根据故障诊断结果自动执行预案。模块集成远程控制与现场操作功能，实现故障隔离、负荷转移和设备重启等操作。设计考虑了故障处理的时效性和安全性，确保在最短时间内恢复电网稳定。同时，模块具备反馈机制，对处理效果进行评估并调整策略，提高系统自愈能力。此外，支持多级联动控制，协调各级电网操作，提升整体处理效率。

### （五）系统测试与验证

系统测试与验证阶段，采用模拟故障实验和现场实际运行相结合的方法。在模拟故障实验中，通过人为设置不同类型的故障，检验系统对故障的识别和处理能力。在现场实际运行中，收集设备的运行数据和故障处理结果，与系统预期输出进行对比，评估系统的实际性能。经过多次测试与优化，确保系统在实际生产环境中具有较高的故障诊断准确率和处理效率。

## 五、结束语

电力系统故障诊断与处理技术是保障电力系统安全稳定运行的重要保障。本文探讨了多种诊断方法，强调人工智能和数据驱动技术的应用价值，并提出了基于分层架构的故障诊断与处理系统设计方案。未来，随着技术的不断进步，电力系统故障诊断与处理技术将更加智能化、精准化和自动化，为建设安全、高效、可靠的能源网络提供更加坚实的技术支撑，助力我国能源事业迈向更加美好的未来。

## 参考文献

- [1] 赵海洋, 刘晓琴, 邱昱. 人工智能技术在电力系统故障诊断中应用 [C]// 中国电机工程学会电力信息化专业委员会, 国家电网公司信息通信分公司. 2022 电力行业信息化年会论文集. 国网甘肃省电力公司数字化事业部, 2023:4.DOI:10.26914/c.cnkihy.2023.053543.
- [2] 高陆军, 陈洁, 王新雷, 等. 基于多任务学习的新型电力系统故障诊断方法 [J]. 现代电子技术, 2023, 46(15): 155-160.DOI:10.16652/j.issn.1004-373x.2023.15.027.
- [3] 朱赖红, 王娟. 基于神经网络的船舶电力系统故障诊断方法 [J]. 舰船科学技术, 2022, 44(11): 132-135.
- [4] 张灏. 电力设备故障声学检测技术综述及展望 [J]. 四川电力技术, 2022, 45(04): 60-65.DOI:10.16527/j.issn.1003-6954.20220412.
- [5] 王照阳. 新型电力系统中电力设备故障诊断技术研究 [J]. 科技创新与应用, 2022, 12(32): 81-84.DOI:10.19981/j.cnki.1581/G3.2022.32.021.
- [6] 张洁, 蔡然. 电力设备状态监测与故障诊断技术分析 [J]. 电子技术, 2021, 50(12): 274-275.
- [7] 杨子腾, 王立志, 张亮, 等. 人工智能技术在电力系统故障诊断中的应用研究 [J]. 科学技术创新, 2021, (30): 12-14.
- [8] 王嘉林. 电力系统故障诊断的研究现状与发展趋势分析 [J]. 科技创新与应用, 2021, 11(28): 140-142.
- [9] 姚刚. 电力系统设备状态监测与故障诊断技术 [J]. 电子世界, 2021, (16): 186-187.DOI:10.19353/j.cnki.dzsj.2021.16.080.
- [10] 欧阳圣睿. 电力系统故障诊断的研究现状与发展趋势 [J]. 电气传动自动化, 2021, 43(04): 40-42+64.