

# 变电系统故障诊断方法与可靠性提升策略

袁先锋 袁静岚 谭业旭

国网黄石供电公司项目管理中心 湖北 黄石 435002

**【摘要】**：介绍变电系统故障诊断方法与可靠性提升策略研究的意义，阐述常见故障诊断方法，如基于传感器监测、数据分析等，探讨从设备维护、管理优化、技术创新等方面提升变电系统可靠性的策略，为保障变电系统稳定运行提供参考，对电力系统高效、安全供电有重要意义。

**【关键词】**：变电系统；故障诊断方法；可靠性提升；设备维护；技术创新

DOI:10.12417/3083-5526.25.06.026

## 引言

随着电力需求不断增长，变电系统的稳定运行至关重要。一旦发生故障可能导致大面积停电等严重后果。有效的故障诊断方法和可靠性提升策略是确保其正常运行的关键。研究如何精准诊断故障，并采取提升可靠性措施，对保障电力供应、促进经济发展意义重大。

## 1 变电系统故障概述

### 1.1 故障类型与分类

变电系统作为电力系统的核心枢纽，承担着电能转换、传输和分配的关键职能，其故障类型复杂多样，需结合系统结构、设备特性和运行状态进行科学分类，为后续故障诊断和处理提供清晰指引。按照故障发生的设备类型可分为变压器故障、断路器故障、互感器故障、母线故障等，不同设备故障的表现形式和影响范围存在差异。按照故障严重程度可分为轻微、一般和严重故障，轻微故障不影响系统正常运行，严重故障会导致系统停运或大面积停电，需紧急处置。按照故障性质可分为电气和机械故障，电气故障多由电路异常导致，机械故障多由设备损耗或安装不当引发。按照故障发生速度可分为突发性和渐进性故障，科学分类可明确故障特点，为精准诊断奠定基础。

### 1.2 故障产生原因分析

变电系统故障的产生并非单一因素导致，而是设备自身、运行环境、人为操作等多方面因素共同作用的结果，深入分析故障原因是实现精准诊断和有效防控的关键。设备自身因素是内在基础，部分设备长期运行后核心部件自然老化、磨损、腐蚀，性能下降无法正常工作；部分设备因生产工艺缺陷、质量不达标，运行中易出现故障；还有设备选型不合理，与系统需求不匹配，长期超负荷运行加速故障发生。运行环境是重要外部条件，极端天气、粉尘污染物会影响设备性能，加速部件老化。人为操作是重要诱因，违规误操作、人员专业素养不足、管理体系不完善，都会引发或加剧故障。

### 1.3 故障带来的影响

变电系统作为电力系统的核心组成部分，其故障发生会带来多方面、多层次的负面影响，不仅影响电力系统自身运行，

还会波及社会生产生活各个领域，需高度重视故障防控工作。对电力系统而言，故障会降低运行稳定性，轻微故障引发局部异常，一般故障导致局部供电中断，严重故障引发连锁反应，甚至造成系统崩溃。对工业生产而言，停电会导致生产设备停运、流程中断，造成原料浪费、质量不合格，增加生产成本，对电力依赖度高的行业影响更为严重。

## 2 故障诊断现有方法

### 2.1 基于传感器的诊断

基于传感器的诊断方法是变电系统故障诊断中应用最为广泛、最为基础的诊断方法，核心原理是在系统关键设备、关键部位安装各类传感器，实时采集设备运行中的物理量和电气量信号，通过监测分析信号，判断设备运行状态和故障情况。该方法实时性强、监测范围广、数据采集直观，能实现连续监测，及时捕捉异常信号，为诊断提供精准原始数据。常用传感器涵盖温度、湿度、电压、电流、振动等类型，分别对应监测不同运行参数，判断各类故障。传感器将运行信号转换为可识别电信号，经传输后解读分析，判断故障类型、位置和程度，操作简便、实用性强，适用于常规故障监测和初步诊断。

### 2.2 数据分析诊断技术

数据分析诊断技术是在基于传感器的诊断方法基础上发展而来的进阶诊断方法，核心原理是采集变电系统运行中的历史数据和实时数据，运用专业数据分析方法处理、分析和挖掘数据，找出数据背后的规律和异常特征，实现故障精准诊断、隐患预判和故障溯源。相比传感器诊断，该方法更注重数据深度利用，能实现故障早期预判，减少故障发生概率，提升诊断精准度。常用方法包括趋势分析、对比分析、异常检测等，趋势分析判断设备性能劣化和故障预判，对比分析通过数据比对识别故障及严重程度，异常检测通过阈值设定定位故障位置，能多维度全方位诊断，为故障处理提供科学依据。

### 2.3 智能算法诊断途径

智能算法诊断途径是近年来随着人工智能技术发展兴起的新型故障诊断方法，核心原理是将智能算法应用于变电系统故障诊断，通过算法对采集的运行数据、故障数据自主学习、

训练和分析，构建故障诊断模型，实现故障自动识别、精准定位和程度评估，相比传统方法具有智能化、自动化、精准度高的优势。常用智能算法包括神经网络、模糊逻辑、支持向量机等，神经网络模拟人类大脑结构，适合复杂故障诊断；模糊逻辑能处理不确定故障信息，适合信号模糊场景；支持向量机能高效处理小样本数据，适合故障样本较少的系统，可减少人为干预，提升效率，是未来诊断发展的主要方向。

### 3 可靠性影响因素

#### 3.1 设备自身性能因素

设备自身性能是影响变电系统可靠性的核心内在因素，变电系统的可靠运行依赖各类设备的正常稳定工作，设备自身性能优劣直接决定系统运行可靠性水平，性能缺陷和劣化都会降低可靠性、引发故障。设备制造质量是基础，部分设备制造中存在工艺缺陷、材料不合格、装配不当等问题，出厂即存在隐患，运行中易故障，缩短使用寿命。设备老化磨损是主要因素，各类设备长期连续运行，核心部件随时间自然老化、磨损、腐蚀，性能下降引发故障。设备选型合理性也影响性能发挥，选型与系统需求不匹配，会加速性能劣化，设备兼容性不足也会导致系统运行不协调，引发故障。

#### 3.2 运行环境影响情况

运行环境是影响变电系统可靠性的重要外部因素，变电系统大多处于户外或半户外环境，长期受各类自然和人为环境因素影响，恶劣环境会加速设备性能劣化，增加故障概率，降低系统可靠性。自然环境影响最为直接，高温影响散热、加速绝缘老化，严寒导致部件脆化开裂，潮湿造成绝缘受潮引发电气故障，雷雨产生雷击过电压损坏设备，风沙粉尘导致部件磨损堵塞。人为环境也会产生影响，周边工业污染、电磁干扰会破坏设备性能，工业废弃物腐蚀部件，电磁干扰影响信号传输，周边施工、交通震动也会影响设备稳定性，引发故障。

#### 3.3 人为操作管理问题

人为操作管理是影响变电系统可靠性的重要人为因素，变电系统的运行、维护、检修等工作均需人员参与，人员操作规范性、专业素养和管理水平，直接影响系统运行可靠性，操作失误和管理不善都会引发故障、降低可靠性。操作人员操作规范性是直接影响因素，未按规程操作出现误操作、违规操作，会直接损坏设备或导致系统异常。人员专业素养不足，无法及时发现设备运行异常隐患，延误维护时机，会使隐患升级为故障。管理体系不完善，缺乏健全的管理制度、责任分工不明确，会导致工作无序开展，无法有效落实维护检修工作，间接加剧故障发生概率，影响系统稳定运行。

### 4 可靠性提升策略

#### 4.1 设备定期维护计划

设备定期维护计划是提升变电系统可靠性的核心策略之

一，核心是结合设备自身性能、运行状态和运行环境，制定科学合理、针对性强的定期维护方案，通过常态化、规范化维护，及时排查设备隐患，延缓设备性能劣化，减少故障发生。维护计划需遵循分类维护原则，根据不同设备的重要程度、运行损耗速度，划分维护等级，明确各类设备的维护周期、维护内容和维护标准。维护内容涵盖设备清洁、部件检查、性能测试、隐患排查等，重点检查设备绝缘性能、机械部件状态和电气参数，及时更换老化、损坏部件。同时建立维护台账，详细记录维护情况，跟踪设备状态变化，根据实际运行情况优化维护计划，确保维护工作落地见效。

#### 4.2 管理流程优化措施

管理流程优化措施是提升变电系统可靠性的重要保障，核心是梳理现有管理流程中的漏洞和不足，结合系统运行需求和标准化管理要求，优化完善运行、维护、检修、操作等各类管理流程，明确流程节点、责任主体和操作规范，实现管理工作的规范化、精细化。优化运行管理流程，明确设备运行监测标准和异常处置流程，确保及时发现、快速处置运行异常。优化维护检修流程，规范维护检修计划制定、实施、验收等环节，避免维护检修不到位、流程混乱等问题。优化人员操作流程，细化各类设备的操作规范，明确操作步骤和禁忌事项，杜绝违规操作，同时建立流程监督机制，确保流程严格执行。

#### 4.3 新技术应用与创新

新技术应用与创新是提升变电系统可靠性的重要支撑，核心是紧跟电力行业技术发展趋势，积极引入适配变电系统运行需求的新技术、新方法，替代传统落后的设备和管理模式，提升系统运行的稳定性和智能化水平。在设备方面，引入高性能、高可靠性的新型变电设备，替代老化、性能落后的设备，提升设备自身可靠性，减少故障发生。在诊断方面，深化智能算法诊断技术应用，融合多种智能算法，优化故障诊断模型，提升故障诊断的精准度和效率，实现故障早期预判和快速处置。在管理方面，推广智能化管理技术，实现设备运行、维护检修、数据监测的智能化管控，提升管理效率，同时加强技术创新研究，结合山区等特殊场景优化技术应用，适配系统运行需求。

### 5 策略实施与评估

#### 5.1 策略具体实施步骤

策略具体实施步骤需遵循“统筹规划、分步推进、重点突破、全面落实”的原则，结合变电系统的实际运行情况、现有基础和存在的问题，明确各阶段的实施目标、实施内容和实施责任，确保提升策略有序推进、落地见效。第一步是前期筹备，全面排查系统运行现状和存在的可靠性隐患，梳理设备、管理、环境等方面的不足，结合实际优化完善提升策略，明确实施细则和责任分工。第二步是试点实施，选取部分关键设备或区域作为试点，推行设备维护、流程优化、新技术应用等策略，积

累实施经验，及时解决试点过程中出现的问题。第三步是全面推广，总结试点实施经验，优化实施策略，在整个变电系统全面推行各项可靠性提升策略，确保各项措施落实到位。第四步是巩固完善，持续跟踪实施情况，针对实施中的不足优化调整，形成长效机制。

### 5.2 实施过程中的监测

实施过程中的监测是确保可靠性提升策略有效实施的关键环节，核心是建立全方位、多层次的监测体系，对策略实施过程、设备运行状态、管理流程执行情况和各项措施的落实效果进行实时监测，及时发现实施过程中的问题，为策略优化调整提供依据。监测内容涵盖设备运行监测、策略落实监测和效果预判监测三个方面，设备运行监测重点跟踪设备性能变化、故障发生情况，对比策略实施前后的设备运行状态。策略落实监测重点检查各项提升措施的执行情况，排查是否存在落实不到位、流程不规范等问题。效果预判监测通过分析监测数据，预判策略实施效果，及时发现潜在问题，提前采取调整措施，确保策略实施方向正确，能够有效提升系统可靠性。

### 参考文献：

- [1] 梁帅.电力变电无功补偿技术在电力系统故障检测中的应用研究[J].中国设备工程,2025,(20):179-181.
- [2] 王健.AI技术在变电系统故障诊断预测中的应用[J].集成电路应用,2024,41(11):290-291.
- [3] 张珂赫,刘庆,冯悦鸣.智能算法在变电二次保护系统故障诊断中的应用[J].集成电路应用,2024,41(11):300-301.
- [4] 徐昕艺,熊琪,刘伟东.变电二次智能化技术在电力系统故障检测与诊断中的应用[J].电子技术,2024,53(07):292-293.
- [5] 沙峻峰,汤静松.变电系统中的运行维护技术应用[J].集成电路应用,2024,41(06):170-171.

### 5.3 策略效果评估方法

策略效果评估方法需遵循“科学合理、全面客观、针对性强”的原则，结合变电系统可靠性提升的核心目标，建立完善的评估指标体系，通过多维度、多层面的评估，全面判断各项提升策略的实施效果，为后续策略优化完善提供科学依据。评估方法主要包括对比评估法、指标评估法和综合评估法，对比评估法通过对比策略实施前后变电系统的故障发生率、设备运行稳定性、管理效率等情况，直观判断策略实施效果。指标评估法建立涵盖设备可靠性、运行稳定性、管理规范性等方面的评估指标，明确评估标准，对各项指标进行量化和定性评估。综合评估法结合对比评估和指标评估的结果，综合分析策略实施的优势和不足，全面客观评价整体效果，提出针对性的优化建议。

### 结束语

综上所述，通过对变电系统故障诊断方法和可靠性提升策略的研究，明确了故障诊断的有效手段和提升可靠性的可行途径。在今后的工作中，应持续改进和完善这些策略，不断探索新的方法，以适应变电系统日益复杂的运行需求，确保电力系统安全、稳定、高效运行。