智能电网中电力设备故障预测与维护研究

李鑫帅[1]，王树栋[2]，孟雅君[1]

（1.山东恒固电器有限公司，济南 250000；
2.山东国舜建设集团有限公司，济南 250000）

摘　要：随着智能电网建设的不断推进，电力系统运行环境日趋复杂，设备运行可靠性面临更高的要求。传统基于经验的定期检修模式已难以满足高可靠性、低故障率的运行需求。文章围绕智能电网中电力设备故障预测与维护问题，分析其技术背景和发展现状，构建基于大数据与人工智能的故障预测模型，并提出面向状态的预测性维护策略。通过案例分析，验证了该模型与策略在提升设备可靠性、降低运维成本方面的有效性。

关键词：智能电网；故障预测；预测性维护；大数据；人工智能

中图分类号：TM76　　**文献标识码：**A

Research on fault prediction and maintenance of power equipment in smart grid

LI Xinshuai[1], WANG Shudong[2], MENG Yajun[1]

(1.Shandong Henggu Electric Appliance Co., Ltd., Jinan 250000, China;
2.Shandong Guoshun Construction Group Co., Ltd., Jinan 250000, China)

Abstract: With the continuous advancement of smart grid construction, the operating environment of power systems is becoming increasingly complex, and equipment operational reliability faces higher requirements. Traditional experience-based periodic maintenance models are no longer able to meet the operational demands of high reliability and low failure rates. Focusing on the problems of fault prediction and maintenance of power equipment in smart grids, this paper analyzes the technical background and current development status, constructs a fault prediction model based on big data and artificial intelligence, and proposes a condition-oriented predictive maintenance strategy. Through case analysis, the effectiveness of this method in improving equipment reliability and reducing operation and maintenance costs is verified.

Key words: smart grid, fault prediction, predictive maintenance, big data, artificial intelligence

1　引言

电力设备作为电网运行的核心载体，其运行状态直接影响供电安全与系统稳定。传统检修方式主要依赖周期性维护和人工经验判断，存在维护滞后、资源浪费及突发故障难以预警等问题[1]。近年来，大数据分析与人工智能技术的快速发展，为电力设备故障预测提供了新的技术路径。通过对设备运行数据的深度挖掘，可实现从“事后维修”向“事前预测”的转变[2]。因此，研究智能电网中电力设备故障预测和维护机制，具有重要的理论意义与工程价值。

2　智能电网与设备运维现状

2.1　智能电网特征

智能电网是在传统电力系统基础上深度融合信息技术、通信技术与自动控制技术构建的新型电力系统形态，其核心在于实现“感知—分析—决策—执行”的闭环运行机制。多源数据融合方面，智能电网通过传感器网络、SCADA 系统及物联网终端，对电力设备运行状态进行全方位采集，并借助数据平台实现统一存储和标准化管理，从而打破“信息孤岛”，提升数据协同能力。实时监测方面，依托在线监测装置与高速通信网络，可对关键设备运行参数进行连续跟踪，实现对异常状态的快速识别和响应。智能决策支持方面，利用大数据分析与人工智能算法，对海量运行数据进行建模和预测，为调度与运维提供科学依据。此外，智能电网不仅具备自愈能力和互动特征，能够在故障发生时自动隔离问题区域并快速恢复供电，还支持用户侧与电网侧的信息交互，进一步提升系统运行的灵活性和可靠性[3]。

2.2　传统维护模式的不足

在传统电力设备运维体系中，定期检修仍占据主导地位，该模式虽在一定程度上保障了设备运行安全，但其局限性日益凸显。首先，定期检修缺乏针对性，通常依据时间周期而非设备实际状态制定维护计划，易导致“过度维护”或“维护滞后”，既增加运维成本，又难以发现潜在故障。其次，故障预测能力较弱，传统方法主要依赖历史经验与简单参数判断，缺乏对复杂运行数据的深度分析，难以实现对隐性故障的提前预警[4]。再次，对人工经验依赖程度较高，不同技术人员的判断存在差异，导致维护质量稳定性不足，影响整体运维水平。此外，大量运行数据未被有效利用，多停留在记录层面，未能转化为决策依据，其信息价值未充分发挥。

3　电力设备故障预测模型

电力设备故障预测涉及数据采集、特征提取、模型构建与预警4个关键环节。

3.1　数据采集与预处理

数据采集是实现故障预测的基础环节。通过部署在线监测系统和各类智能传感器，可对变压器、断路器、电缆等关键设备进行全天候运行状态监测，采集温度、电流、电压、振动、局部放电及环境参数等数据。此类数据来源多样、结构复杂、时序性强，进入分析环节前须经系统化预处理。首先，通过数据清洗去除噪声干扰与重复数据，提高数据可靠性；其次，针对传输中产生的缺失数据，采用插值法或模型预测法填补；再次，通过统计分析和算法识别异常值，避免极端数据干扰模型训练；最后，需对数据进行标准化与归一化处理，以消除量纲差异，提升模型收敛效率[5]。

3.2　特征提取与状态评估

特征提取是连接原始数据与故障预测模型的关键环节，其目标是从海量监测数据中提炼出能够反映设备运行状态的有效信息。首先，利用统计分析方法提取时域特征（如均值、方差、峰值、偏度等），描述数据的基本分布特性；其次，借助傅里叶变换、小波变换等信号处理技术提取频域特征，以识别设备运行中的周期性变化和异常振动特征；最后，结合时频分析方法获取更全面的动态特征。上述特征提取完成后，通过特征选择与降维方法筛选关键变量，降低数据冗余，提高模型效率；引入设备健康指数（HI）对多维特征进行融合，构建统一的状态评估指标，实现设备运行状态的量化表达。

3.3　故障预测模型构建

数据预处理与特征提取完成后，需构建高效的故障预测模型，以实现对设备运行状态的智能判断。针对不同类型的数据特征与应用场景，可选择多种机器学习和深度学习方法进行建模。首先，基于支持向量机的分类模型适用于小样本、高维数据环境，具有良好的泛化能力；其次，基于随机森林的集成学习方法通过构建多棵决策树进行投票决策，可有效提高预测结果的稳定性与抗干扰能力；再次，基于长短期记忆网络的深度学习模型能够捕捉时间序列数据中的长期依赖关系，适用于设备运行状态的动态预测。

3.4　故障预警机制

故障预警机制是实现预测性维护的重要环节，其核心在于将模型预测结果转化为可执行的运维决策。首先，通过分析设备历史运行数据和故障样本，设定合理的预警阈值，并结合设备类型与运行环境动态调整；其次，利用趋势分析方法持续跟踪关键参数变化，识别潜在异常发展趋势，实现早期预警。预警触发后，系统将自动生成告警信息，并通过可视化平台推送至运维人员，实现信息快速传递。同时，其可根据故障严重程度分级预警，制定差异化响应策略，提高运维效率。

4　预测性维护策略设计

4.1　维护模式转变

电力设备维护模式正由传统“定期检修”向“预测性维护”转变，其核心在于以设备实际运行状态为依据开展动态维护决策。预测性维护通过实时监测与数据分析识别设备性能退化趋势，从而在故障发生前实施干预，避免突发性停运风险。相较于传统模式，该方法更注重维护的针对性和时效性，可减少不必要的检修操作，提高设备利用率；通过对设备健康状态进行量化评估，可实现维护决策的标准化与科学化。以设备 HI 为例，可据此设定维护触发条件，当其低于阈值时执行维护操作，其判定模型可表示为：

$$M=\begin{cases}1, \text{If } HI<\theta \\ 0, \text{If } HI\geq\theta\end{cases} \tag{1}$$

其中，M 表示是否执行维护；θ 为预设阈值。

4.2　运维流程优化

智能电网环境下的运维流程优化强调数据驱动和闭环管理，通过构建“数据采集—状态评估—故障预测—维护决策”完整链路，实现运维全过程的智能化与自动化。其中，数据采集是基础，状态评估和故障预测是核心分析环节，维护决策则完成执行闭环；各环节通过信息系统无缝衔接，形成持续迭代的运行机制。为提升流程效率，可引入流程性能评价指标，量化分析各环节响应时间与准确率。整体运维效率可表示为：

$$E=\frac{\sum_{i=1}^{n} w_i \cdot S_i}{T} \tag{2}$$

其中，S_i 为各环节处理效果指标；w_i 为权重系数；T 为总响应时间。

4.3　资源配置优化

传统运维模式下，资源配置往往基于经验或固定

计划，存在人力浪费和物资积压等问题。引入故障预测技术后，系统可依据设备运行状态与故障概率动态调度检修任务，实现资源最优配置。具体而言，通过分析设备风险等级和重要程度，制定差异化维护策略，合理安排检修时间与人员分工，提升整体运维效率。同时，备品备件管理可依据预测结果提前储备关键物资，降低库存压力和采购成本。资源优化过程可表述为目标函数：

$$\min C=C_h+C_m+C_d \tag{3}$$

其中，C为总成本；C_h为人力成本；C_m为物资成本；C_d为设备停运损失成本。

4.4 智能决策支持系统

智能决策支持系统是实现电力设备预测性维护的重要平台，其核心功能在于整合数据资源、分析模型与业务流程，为运维人员提供科学决策依据。系统通常包括数据管理、模型计算和决策推荐3个模块，通过对多源数据的统一处理，实现设备状态可视化与趋势分析。在此基础上，该系统可结合故障预测结果和运维规则自动生成维护建议，提高决策效率与准确性；系统具备学习和优化能力，可根据历史运行结果持续调整模型参数，实现持续改进。为衡量决策效果，可引入决策准确率指标：

$$A=\frac{N_{\text{correct}}}{N_{\text{total}}}\times 100\% \tag{4}$$

其中，N_{correct}为正确决策次数；N_{total}为总决策次数。

5 应用案例分析

以某区域智能电网变电设备为研究对象，引入本文提出的故障预测模型与预测性维护策略后，电网运维水平显著提升。上述模型与策略可持续采集和分析设备运行数据，实现关键设备状态的动态监测与风险预判，使潜在故障在早期阶段即被识别并及时处置。实际运行结果表明，设备整体故障率下降约30%，非计划停电次数减少约25%，供电连续性和稳定性有效提升。同时，基于设备健康状态制定的按需检修策略，使设备平均检修周期延长约20%，减少了不必要的检修作业；通过优化人力配置与备品备件管理，运维成本降低约15%。该实践充分说明，预测性维护能够将传统的“事后处理”转变为“事前预防”，不仅提高设备运行可靠性，也显著增强电网运维的科学性和经济性。

6 结束语

针对智能电网中电力设备故障预测与维护问题，本文分析了关键技术和实现路径，并提出了预测性维护策略。研究表明，融合大数据与人工智能技术可显著提升设备运行可靠性和运维效率。未来应进一步加强数据标准化建设与智能算法优化，推动电力系统向更安全、高效和智能的方向发展。

参考文献：

[1] 陈汝巍，盛芸.电力电网设备故障诊断与智能维护技术研究[J].中国设备工程，2025(7)：155-157.

[2] 王正方.智能电网环境下电力设备状态监测与故障诊断研究[J].光源与照明，2025(5)：107-109.

[3] 丁义轩，王文涛.智能预警系统在超高压电网设备故障预测中的应用研究[J].电工技术，2025(16)：74-77.

[4] 王学刚，李志远，鲁晓峰，等.电网设备故障预测与预防性维护管理策略[C]//2025可持续工程设计与实践经验交流会论文集，2025：1-3.

[5] 焦明明，李锐，郭康康，等.电网电力设备状态监测与故障诊断技术应用研究[J].科技资讯，2025，23(23)：74-76.

作者简介：

李鑫帅(1986—)，本科，高级工程师，研究方向：电力工程。