大数据与信息化融合驱动的电气设备智能运维优化研究

王红超
中国能源建设集团科技发展有限公司 天津 300000

摘 要 传统的电气设备人工巡检、事后抢修方式存在着隐患发现晚、维护效率低、资源浪费大等弊端。本文以配电网智能运维改造工程为基础，对大数据和信息化相结合的电气设备智能运维技术进行研究，创建起数据挖掘、智能研判、闭环处置、模型迭代一体化的运维体系。依靠在线监测、算法预估以及靶向工单的管理来达到设备隐患的提前预知和准确处理的目的。经由实践证实，智能运维模式明显改善了缺陷识别的精确度，缩减了故障处理的时间，削减了无效巡检的情况，从而切实加强了电网设备运维品质和供电可靠性。

关键词 大数据；信息化；融合驱动；电气设备；智能运维优化

Research on Intelligent Operation and Maintenance Optimization of Electrical Equipment Driven by the Integration of Big Data and Informatization

Wang Hongchao
China Energy Engineering Group Technology Development Co., Ltd., Tianjin 300000, China

Abstract Traditional manual inspection and post-fault repair methods for electrical equipment suffer from deficiencies such as delayed hazard detection, low maintenance efficiency, and substantial resource waste. Based on an intelligent operation and maintenance renovation project of a distribution network, this paper studies intelligent operation and maintenance technology for electrical equipment driven by the integration of big data and informatization, and establishes an operation and maintenance system integrating data mining, intelligent analysis and judgment, closed-loop handling, and model iteration. Through online monitoring, algorithm-based prediction, and targeted work order management, the advance prediction and accurate handling of equipment hazards are achieved. Practical verification shows that the intelligent operation and maintenance model significantly improves the accuracy of defect identification, shortens fault handling time, and reduces ineffective inspections, thereby effectively enhancing the quality of power grid equipment operation and maintenance and the reliability of power supply.

Key words Big Data; Informatization; Integration-Driven; Electrical Equipment; Intelligent Operation and Maintenance Optimization

现代配电网电气设备多、工况复杂，传统的周期性运维方式不能达到精准的风险控制。大数据与信息化融合技术可以实现设备运行数据的集中整合、智能分析和故障预判，属于电气运维智能化升级的主要方向。本文以实际工程应用为基础，探究信息化和大数据融合促进的智能运维改进办法及成效，给电气设备的高效、精细运维提供技术参照。

1 案例概况分析

本文以国内某区域配电网电气设备智能运维改造工程为依托。工程包含很多配电变压器、高压开关柜等重要设备，分布广，负荷变化大，日常维护工作量大，具有很强的行业代表性。智能化改造之前，项目一直沿用传统的运维模式，检修安排依靠固定的周期进行人工巡检，故障出现之后再组织抢修。由于各个业务系统各自为政，设备运行参数、历史缺陷信息和外部环境数据分别存放在不同的地方，不能进行统一的分析。结果表明设备隐患的发现较晚，运维人员及备品备件的投放无针对性，运维效率低。本次改造以大数据和信息化深度融合为思路，创建统一运维数据中台，打破各个系统之间数据壁垒，将设备运行、巡视、故障、环境等信息融合在一起。依靠数据分析模型，对设备的状态展开评价，对可能的故障发出警报，并且创建自动工单分派机制，促使运维模式朝着数据主导的方向发展，给本文的研究提供了工程根基[1]。

2 电气设备运维中的大数据与信息化融合方法

2.1 智能巡视技术融合创新

传统的电气设备巡视主要是指工作人员到现场进行实地检查的工作，工作量大、人力成本高，并且受到巡检周期以及人员经验的影响，不能及时发现缺相等早期的隐蔽故障。这些故障早期信号很小或者间歇性地出现，很容易被人工巡视所忽视，从而可能会引起更严重的运行问题。为解决上述问题，在原有配电网全景监控平台的基础上，增加了一个轻量化的运行监测模块。本模块充分运用现有的数据采集通道和通信网络，在不大幅增加新的硬件设备的情况下，实现了大量配电变压器三相电压、电流数据的连续在线采集和集中监视，为之后的智能分析打下了数据基础。为了达到精准诊断的目的，系统专门设计了双重诊断逻辑，用两个主要的量化公式来判定异常情况。第一种是电压异常持续判定公式，把一个临界时长T当作判断标准，当某相电压持续小于预设的安全阈值，并且持续时间≥30 min时，系统就判定此设备存在缺相运行的风险。第二是电压突变斜率判定标准，用电压随时间变化的下降速率k来衡量，当电压每分钟下降幅度k小于－15 V的时候，就判定该设备出现电压突变异常，这可能是由于连接松动、设备内部故障等原因引起的。在完成以上主要诊断功能之后，系统又增加了三相不平衡度、过载电流监测等功能，使系统的监测对象由原来的单一电压参量变为对负荷运行状态的全方位监测。该扩展可以实现对配电网所有电气设备的全天候、不间断的巡视，有效地弥补了人工巡检时间覆盖不足、空间覆盖不全的缺陷，大大提高了运维的及时性和主动性[2]。

2.2 分层递进式智能研判体系

整套研判流程包含数据采集、特征计算、智能研判、预警触发4个部分，是具有标准流程的一个体系。首先，把用电信息采集的实时数据同配网设备的拓扑、设备台账等基础资料结合起来，对时序电压数据进行特征运算，再利用历史缺相故障样本标定高风险特征区间。其次，采用规则引擎前置筛选和智能算法深度识别相结合的方式在研判阶段进行。前一层规则模块把因正常负荷波动而产生的干扰数据剔除出去，后一层智能模型找出运行场景里复杂的情形中显现的异常特性。分层结构既考虑到了基本故障的识别速度又考虑到了复杂的工况判断精度，可以有效地降低误报率，给后续的运维决策提供可靠的依据。同时，该流程支持研判结果的持续反馈与模型迭代，能够随着运行数据的积累不断优化特征区间和识别阈值，进一步提升故障研判的准确性与适应性，为配电网安全稳定运行提供长效技术支撑[3]。分层管理流程如图1所示。

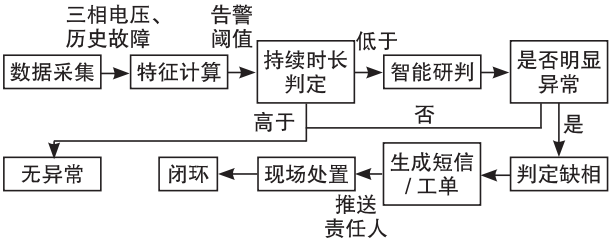


图1 分层管理流程

2.3 数据分析与挖掘

1.数据预处理。数据进入分析环节之前先做预处理。第一，用数据清洗法去除重复、异常、噪声数据。第二，对不同量纲、不同范围的数据做归一化处理，使其落在同一个数值区间里，方便模型运算。第三，从原始数据中提取出可以反映设备运行状况的特征量，给状态识别、故障预估提供输入变量。

2.状态监测与故障预测模型构建。设备状态监测使用支持向量机算法把正常状态和异常状态区分开来。用大量的已标注的正常样本和异常样本来建立支持向量机（support vector machine，SVM）模型，用来实时判断设备运行状态。用长短期记忆网络对时间序列数据进行处理。该方法可以反映设备运行参数的长期变化趋势，适合于预测设备将来发生故障的概率。以变压器故障预测为例，把油温、绕组温度以及油中溶解气体成分和含量这些时间序列数据当作输入，利用长短期记忆网络（long short-term memory，LSTM）模型进行训练从而得到预测模型。基本单元计算式为：

$$i_t=\sigma(W_{ii}x_t+b_{ii}+W_{hi}h_{t-1}+b_{hi}) \quad (1)$$

$$f_t=\sigma(W_{if}x_t+b_{if}+W_{hf}h_{t-1}+b_{hf}) \quad (2)$$

$$o_t=\sigma(W_{io}x_t+b_{io}+W_{ho}h_{t-1}+b_{ho}) \quad (3)$$

$$g_t=\tanh(W_{ig}x_t+b_{ig}+W_{ho}h_{t-1}+b_{hg}) \quad (4)$$

$$c_t=f_t\odot c_{t-1}+it\odot g_t \quad (5)$$

$$h_t=o_t\odot\tanh(c_t) \quad (6)$$

式中，i_t—输入门；f_t—遗忘门；o_t—输出门；g_t—记忆单元输入；c_t—记忆单元；h_t—隐藏层输出；x_t—当前时刻输入；h_{t-1}—上一时刻隐藏层输出；W—权重矩阵；b—偏置向量；σ—Sigmoid函数；tanh—双曲正切函数；⊙—逐元素相乘。

另外项目采用关联规则挖掘对设备运行参数之间存在的潜在联系进行分析。变压器油温和负载电流之间存在一定的耦合规律，可以为设备状态判断提供更多的依据。

2.4 全流程闭环运维管控体系

当系统完成缺陷识别之后就进入到闭环处置环节当中。一旦发现设备有缺相等高风险隐患的时候，系统就会在15 min内

自动生成预警短信和运维工单，并且把任务推送到设备责任人和管理人员的手机上。与传统的普巡相比，运维人员根据预警结果来进行靶向排查的方式提高了现场作业效率。试点期间系统共发出预警5 284起，依靠精准识别使2025年配变烧毁数量大幅降低。现场人员处理完毕后把结果上传到平台上，系统据此不断丰富故障案例样本库，之后再用以优化模型。并且项目针对配变损毁典型案例展开系统分析，得出漏油、保护配置不合理等共性问题，形成标准化的技术指导文件，创建完善的整改监督机制。不但可以提高设备的运行可靠性，而且可以减少停电投诉[4]。

2.5 模型迭代优化机制

故障识别模型不能长期依靠固定的参数运行，电网现场工况的变化会不断产生新的样本特征，所以必须建立持续优化机制。依靠闭环处置流程，每次现场核查的结果，不论是真实的故障还是误告警，都会被传送到样本数据库里去，从而扩充正负样本集。系统对历史告警记录进行定期复盘，分析误报、漏报发生的情况，找出负荷波动、瞬时干扰等容易引起误判的工况类型，从而对特征计算方法和持续时长、幅值等判定条件进行优化。对新增的样本进行周期性的再训练，系统可以不断调整模型的识别逻辑，提高算法在复杂工况下的适应性，降低误告警的概率。

2.6 系统应用局限性与适配条件

该智能研判流程有明确的适用范围，并不能适用于所有的电网场景。从数据来源上来说，系统主要依靠稳定的、可靠的三相电压时序数据。如果采集终端出现数据丢包、采样频率不够等情况，都会影响到特征计算的结果，从而造成研判失真。对于负荷波动幅度大、冲击性负荷频繁出现的台区，只用时长、电压幅值这两类特征就容易造成误触发，需要增加更多的辅助判据。另外，该系统主要用来识别已经出现外部电压异常特征的缺相故障，对于设备内部早期隐性损伤，无法仅通过电压数据实现有效的预测。因此，在工程应用中，应根据现场终端采集能力及配网实际运行工况，对阈值、逻辑做本地化调整，以达到预警灵敏度和误报率的平衡[5]。

3 智能化电气设备运维效果分析

大数据和信息化融合改造投运以后，项目就从设备隐患识别、故障处理速度、人工巡检资源消耗3个方面来开展对比分析。改造前传统的运维方式是以人工巡检为主，不能及时地发现变压器内部异常、线路缺相等隐性缺陷，隐性缺陷的识别准确率为65.3%。故障出现之后需要人工在现场进行排查来找到故障点，故障处理时长均值为127 min。同时周期性全面巡检造成人力浪费严重，无效人工巡检占总巡检次数的41.5%。经过改造后，以数据中台为基础、分层的智能研判体系能够对设备运行数据进行实时采集和分析，隐性缺陷的识别准确率高达93.2%，大部分设备隐患可以在故障前发出预警。系统自动生成的靶向工单下发之后，运维人员即可直接抵达问题点位处理故障，故障处理时间平均为46 min。由于大量无效普巡被取消，无效人工巡检占总工时的比重降低到12.8%左右，运维资源利用率得以提升（见表1）。

表1 项目改造前后核心运维指标对比

运维指标	改造前	改造后
设备隐性缺陷识别准确率	65.3%	93.2%
平均故障处置时长	127 min	46 min
无效人工巡检占比	41.5%	12.8%

4 结束语

本文对大数据信息化融合技术在电气设备智能运维中的应用进行了研究，创建了自动化监测、智能研判、闭环管控、迭代优化的运维体系，较好地解决了传统运维模式的不足。该种智能运维模式可以准确找到设备的隐性隐患，提高抢修速度，节省运维资源，对于推进电气设备运维的数字化、智能化有较好的应用价值。

参考文献

[1]倪静雯,唐利渊,张正昕.智能技术在电力设备运维中的应用[J].通讯世界,2025,32(12):133-135.

[2]邵俊.基于智能运维的铁路信号电气检修技术研究[J].冶金管理,2025(11):111-113.

[3]杜怡红.电力设备健康管理与智能运维技术探析[J].电力设备管理,2025(22):188-190.

[4]黄星东.基于智能化技术的光伏电站电气设备运维检修系统[J].家电维修,2025(11):131-133.

[5]王睿,齐敖天,宗永强,等.基于人工智能的电力设备运维实践与发展[J].中国科技信息,2025(23):45-47.

（本文编辑 杜宇琪）