

PCA 进行降维，剔除冗余特征（相关程度 > 0.9）；采用交叉验证防止过拟合，如 5 折交叉验证将样本分成 5 份，4 份用于训练，1 份用于验证，取均值评估模型。在运维过程中，

将训练好的分类模型嵌入在线监测系统，实时获得设备的缺陷种类和置信度输出，便于运维人员制定维修方案，使平均故障处理时间缩短一半以上。

数据挖掘算法	应用目的	具体算法	示例
关联规则挖掘	发现参数与缺陷关联	Apriori 算法	介质损耗因数超阈值且绝缘电阻低时，设备易出现绝缘缺陷
聚类分析	识别异常设备	K-Means 算法	将设备按试验数据特征聚类，找出异常设备簇
分类算法	判断缺陷类型	支持向量机 (SVM)	用 SVM 根据试验数据判断设备缺陷类型

## 4 变电设备缺陷诊断模型构建

### 4.1 模型架构设计

本文变电设备缺陷诊断模型底层是获取变电设备电气试验数据的数据采集层；中间层是对数据进行预处理和特征提取的数据处理与特征提取层；上层是通过挖掘的数据来建立分类模型进行变电设备缺陷诊断的模型预测层。模型综合了多种数据挖掘算法的优点，先利用关联规则对数据中存在的关联进行提取，为后续分析方向提供指导；再对数据进行聚类分析，初步筛选出可能存在问题的设备；最后通过分类算法准确诊断出设备的故障类型。

### 4.2 模型训练与优化

需要大量历史电气试验数据，这些数据中包含了设备相关参数（包括电阻、介质损耗等）以及对应的缺陷数据。在训练时需要调整算法中不同的参数进行调整，使其适配模型，比如 SVM 在训练时需要调节多个内核函数参数，包括惩罚系数、gamma 值、核函数（Linear、RBF 等）等。决策树的分裂参数（如最大深度）也需调整，参数调整需与缺陷模式适配。

为避免过拟合，采用 k 折交叉检验，随机抽取 k 个子集，每一轮将其中 1 个子集作为测试集，其余作为训练集，迭代 k 轮后取平均正确率和召回率等。此外，采用网格搜索，穷尽组合不同的参数，如对 0.01 ~ 100 的惩罚系数对 SVM 进行穷尽搜索，选择在训练集和测试集中性能较优的参数，使模型既能拟合训练集，又能对新设备的试验数据有较好的适用性

#### 3.3 模型评估指标

选用准确率、召回率、F1 值等指标，准确率是模型正确诊断样本数目占预测样本总数的比例，体现模型诊断正确性；召回率是模型正确预测的阳性样本数占实际阳性样本数的比例，表征模型对实际阳性样本的覆盖能力；F1 值是准确率和召回率的调和平均数，综合体现模型性

能。假设 100 个设备用于测试模型对设备的缺陷诊断，100 个测试设备中实际有缺陷的共 30 个，模型准确预测出其中 25 个，且总预测为有缺陷的设备数量是 35 个，则准确率为  $25 \div 35 \approx 0.71$ ，召回率为  $25 \div 30 \approx 0.83$ ，F1 值为  $2 \times (0.71 \times 0.83) \div (0.71 + 0.83) \approx 0.77$ 。通过上述指标可初步评估模型的诊断能力，为模型优化提供依据。

## 5 结语

变电设备是电力网络中的关键组成部分，其健康状况直接关系到电力系统的安全稳定运行。通过关联规则挖掘技术，获得多参数之间的关系，为挖掘缺陷提供了新方法；聚类分析实现了故障群体的有效发现，节省了分析成本；分类分析实现了高效预测故障类型，极大降低了故障分析难度。通过数据挖掘技术，改变传统运维中依赖经验管理变电设备的方式，开辟“数据管理”新模式。未来，在物联网和人工智能技术的加持下，实时数据的采集可以更加丰富，机器学习模型将更加完善，将故障诊断升级为“预测性维护”阶段。数据挖掘在变电设备中应用的不断深入，将为整个用电系统的平稳运行提供更全面的技术支撑，为电力系统提供更加稳定可靠的能源供应。

## 参考文献

- [1] 杨龙.电气试验数据现场记录分析系统的设计与实现[D].电子科技大学,2019.
- [2] 林贤云.对变电设备状态检修中试验数据的处理方法的分析[J].山东工业技术,2019,(05):193.
- [3] 邓智能.试验数据分析方法在电气设备故障预测中的应用研究[J].家电维修,2025,(07):128-130.
- [4] 李赞.基于预防性试验的变电设备状态评估方法研究[J].中国新技术新产品,2024,(03):47-49.
- [5] 程之瑞,颜士远.变电站一次设备电气高压试验的优化分析[J].集成电路应用,2025,42(05):342-343.

# Innovation in Operation and Maintenance Models for Distribution Network Equipment and Pathways to Enhance Reliability

Jing Guo<sup>1,2</sup> Minghui Deng<sup>3</sup>

1. State Grid Shaanxi Electric Power Co., Ltd. Hanzhong Power Supply Company, Hanzhong, Shaanxi, 723000, China
2. State Grid Qinghai Electric Power Company Golok Power Supply Company, Golok, Qinghai, 814000, China
3. State Grid Hunan Electric Power Co., Ltd. Yongzhou Power Supply Branch, Yongzhou, Hunan, 425000, China

## Abstract

As the terminal equipment directly connecting to users in power systems, distribution network equipment's operational status directly impacts national economic development and the quality of electricity consumption for people's daily lives. Traditional O&M maintenance models for distribution network equipment, constrained by limited technical means and outdated management concepts, suffer from rigid maintenance schedules, delayed fault handling, and irrational resource allocation—issues that no longer meet the high-quality, efficient demands of modern power supply. This paper focuses on innovating O&M maintenance models for distribution network equipment. Supported by existing technologies such as big data and artificial intelligence, it proposes intelligent and precise O&M strategies for distribution network equipment. The study explores pathways to enhance equipment reliability through technical improvements, management enhancements, and process optimization.

## Keywords

distribution network equipment; O&M maintenance model; innovation; reliability improvement

# 配网设备运维检修模式创新与可靠性提升路径

郭敬<sup>1,2</sup> 邓明辉<sup>3</sup>

1. 国网陕西省电力有限公司汉中供电公司, 中国·陕西 汉中 723000;
2. 国网青海省电力公司果洛供电公司, 中国·青海 果洛 814000;
3. 国网湖南省电力有限公司永州供电分公司, 中国·湖南永州 425000;

## 摘要

配网设备作为电力系统中直接连接用户的末端设备,其运行状态直接关系到国民经济发展和人民生活用电质量。传统配网设备运维检修模式受技术手段有限、管理观念滞后等因素影响,存在检修计划僵化、故障处理滞后、资源配置不合理等问题,已无法满足现代化供电对高质量、高效率的需求。本文以配网设备运维检修模式创新为研究对象,在大数据、人工智能等现有技术支撑下,提出智能化、精准化的配网设备运维检修策略,从技术、管理、业务流程等维度探索提升配网设备可靠性的路径。

## 关键词

配网设备; 运维检修模式; 创新; 可靠性提升

## 1 引言

随着新型电力系统建设的进一步推进,作为连接输电网与用户的“最后一公里”,配电网的功能已不再局限于电力资源传输,新能源接入、电动汽车充电设施普及、分布式电源并网等新技术应用与场景拓展,对配网设备运行环境带来了诸多影响,配网的供电可靠性目标已从“保供电”升级为“优质供电”。但配网设备运维检修仍面临检修方式传统、

定期检修与故障抢修模式并存、故障抢修依赖人工经验判断导致恢复时间长、部门间协同不畅等问题与挑战。配网运维需以模式创新为引领,突破诸多困难和挑战,以技术手段为支撑,提高配网设备可靠性,满足配网高质量发展需求。

## 2 配网设备运维检修现状剖析

### 2.1 传统运维检修模式的弊端

传统配网设备运维检修以“定期检修+故障抢修”为核心模式,这是早期电力工业发展中产生的一种简单的配电网检修模式,虽能满足基础用电需求,但已无法适应复杂配电网环境下的运行要求。定期检修时间间隔(变压器3年/次

【作者简介】郭敬(1992-),男,中国陕西留坝人,本科,工程师,从事配网设备运维检修研究。

吊芯检查、开关柜2年/次绝缘检查等)固定,不考虑设备具体情况,采用同一批次检修时,即使是同类设备(如潮湿地下室的配电箱与干燥室外的箱变),或同一负荷类型(如峰谷差大的商业用户与峰谷差小的工业用户所使用的设备),其老化速度也存在差异,同一周期检修会浪费人力物力,甚至因过度拆解导致设备加速老化<sup>[1]</sup>。

## 2.2 现有技术手段的局限性

配网状态监测设备存在“监测范围有限、监测深度不足”的问题。在线监测点多集中于变压器、断路器等,监测项目多集中在温度、电流等表观指标,而较少对绝缘老化、机械磨损等隐性故障进行监测,如电缆的接头局部放电信号易受外界干扰、开关柜机械卡涩难以通过线圈的电流进行预警。离线检测依赖人工巡线,受巡线周期和人员技能水平限制,采集的数据不连续,容易误判漏判故障。数据应用方面,存在配电网企业数据多、数据治理水平低、SCADA、用电信息采集系统等无法实现数据集成,形成信息孤岛的情况,无法对设备全生命周期评估,存在“数据冗余而信息匮乏”的现象,无法作出正确决策。

## 2.3 人员管理与组织架构问题

配网运维人员存在“结构不合理、技能不匹配”的问题:老同志对新技术应用能力不足,侧重传统巡检;新同志虽掌握信息化知识但实操能力欠缺,重理论轻实践,对设备机械原理掌握不扎实、对设备特性理解不深入。培训存在“重理论、轻技能”的倾向,多以宣读说明书为主,缺乏复杂故障处理知识传授及实操演练。组织设置上,“运维、检修、调度”职责分设且存在交叉,导致流程复杂、响应迟缓<sup>[2]</sup>。区域联动受限,故障涉及多片区时,资源共享困难、沟通存在障碍,导致抢修效率受限。

# 3 创新运维检修模式探索

## 3.1 基于大数据与人工智能的智能运维

大数据为配网设备运维提供了全景式感知能力。通过部署物联网传感器网络,实时采集各类设备的电压、电流、功率因数、环境温度、环境湿度、污秽度、机械振动、位移、操作次数等数据,建立配网设备全生命周期数据库,通过数据清洗、特征提取、关联分析等技术手段,挖掘设备状态与故障的关联关系。比如,通过变压器油中溶解气体含量变化曲线提前6-12个月判断绝缘老化程度;通过开关柜动作机构的操作时间和线圈电流趋势发现机械卡滞征兆<sup>[3]</sup>。

人工智能技术将运维从“经验驱动”转变为“数据驱动”。采用机器学习算法构建故障预测模型,根据历史数据、实时数据,计算设备健康度评分、故障概率曲线。深度学习模型可以对图像、声音等非结构性数据进行分析处理,如通过无人机巡检采集的设备外观照片,检测设备上的绝缘子损坏、导线断股等损伤,准确率达到95%以上;根据设备声音的频谱判断变压器铁芯松动、断路器灭弧室故障等。

智能机器人巡检突破人工巡检的时空限制。搭载高清相机、红外测温、气体检测仪的地面机器人,自主行走于山间、狭小空间,不间断巡检设备运行状态;无人机巡检,跨山越岭,结合激光雷达技术生成立体点云模型,导线弧度、杆塔倾斜等测量精准。机器人巡检数据实时上传至云端,结合AI引擎实现“数据采集——智能分析——故障预警”。

## 3.2 状态检修与主动运维相结合

状态检修的本质是“按需检修”,即根据设备健康状态动态确定检修时机和检修内容。通过设备状态指标评价体系的建立,将设备监测值转换为健康指数,包括变压器的绝缘健康指数(为介损指数、极化指数、油质等指标的加权值)、开关机械健康指数(为开合闸时间、弹跳次数、操作功等指标的加权值),当健康指数低于阈值时,启动检修,避免盲目“到期必修”<sup>[4]</sup>。

主动运维提倡“防范于未然”,在设备发生失效之前延缓设备损坏。针对设备的运行环境和使用情况等,制定维护措施:如对污秽严重地区,增加绝缘子清扫频率和强度,涂装防闪络漆;对新能源接入较多的线路加装滤波器加强谐波治理;对老旧设备进行针对性改造,将传统设备中如跌落式熔断器更换为智能真空断路器,提升设备可靠性。

全生命周期管理,实现设备价值最大化。从设备选型、投运、运行维护、退役报废等各个环节进行数字化管理,通过设备数字孪生体映射物理实体的运行状态,模拟实体的演变过程,模拟对比不同运行维护策略下设备寿命的变化,优化检修策略。比如:针对重载线路,通过变压器负荷转移、冷却器升级等数字孪生模拟,选择既安全又成本最低的优化方案。

## 3.3 多主体协同运维模式构建

构建“电力公司为核心,全社会参与”的协同体系,由电力公司制定标准规范,调度资源管理;由设备企业完成“设备+服务”,建立以区块链技术为支撑的备品配件溯源系统,确保配件质量;由科研院所聚焦“未来技术”研发,开发新型传感器、提升AI技术水平;由第三方服务商提供运维服务,如无人机巡检、带电作业等,弥补电力公司人员不足等问题。

协同工作平台是实现多方协同的技术支撑。通过云平台,建立统一信息共享平台,汇总设备信息、气象信息、用户信息等实现共享,通过平台完成任务分派、进度查询、远程会诊,当某地区某条线路发生线路故障时,平台自动将线路故障地点、设备型号、历史缺陷记录推送给抢修队伍,推送附近的仓库备件及备品,通知制造商技术专家远程指导。

市场化机制激发协作活力。推行以价值为基础的收益分享机制,对因预知性维修减少的停电损失以一定比例进行分享;推行以服务为导向的服务包机制,用户自主选择基础巡视、故障维修、状态评估等不同档次的维护服务。引入市场化竞争,加强第三方服务商的认证管理、考核评级,促进