

Discussion on state monitoring and fault diagnosis of power supply and distribution equipment

Shiwei Liu

Bengang Beiyong Iron and Steel (Group) Co., Ltd. Energy Plant, Benxi, Liaoning, 117000, China

Abstract

State monitoring and fault diagnosis technology of power equipment constitute a solid technical foundation for power system state maintenance. This technology can not only effectively prevent equipment failure, but also carry out precise positioning and early warning before the failure occurs, thus greatly reducing the power failure accidents and losses caused by equipment failure. From the perspective of the whole power supply and distribution system, we deeply discuss and focus on introducing the state detection technology of electrical equipment and the fault diagnosis method of electrical equipment. The state monitoring technology detects the operation parameters of the equipment in time and provides data support for fault diagnosis, with the advanced algorithm and analysis means to accurately determine the fault type, location and cause, so as to provide scientific basis for the subsequent maintenance decision.

Keywords

power supply and distribution equipment; status monitoring; fault diagnosis

浅谈供配电设备状态监测与故障诊断

刘士伟

本钢北营钢铁（集团）股份有限公司能源总厂，中国·辽宁 本溪 117000

摘要

电力设备状态监测及故障诊断技术构成了电力系统状态维修的坚实技术基础。这一技术不仅能够有效预防设备故障，还能在故障发生前进行精准定位与预警，从而大大减少了因设备故障导致的停电事故和损失。从整个供配电系统的角度出发，我们深入探讨并着重介绍电气设备的状态检测技术与电气设备故障诊断方法。状态监测技术通过实时监测设备的运行参数，及时发现设备异常，为故障诊断提供数据支持；而故障诊断技术则依据监测数据，运用先进的算法和分析手段，准确判断故障类型、位置及原因，为后续的维修决策提供科学依据。

关键词

供配电设备；状态监测；故障诊断

1 引言

随着我国电网设施的增加，为了确保电气设备的正常运行，根据状态监测所得到的各测量值及其运算处理结果所提供的信息，采用所掌握的关于设备的知识和经验，进行推理判断，从而提出对设备的维修处理建议是必须的。

2 供配电系统简介

在电力工程领域，任何接入电网获取电能的终端装置或生产单元均可界定为电力负荷单元。作为电力网络面向用电终端的能量传输通道，现代电能分配体系由多个层级的基础设施构成完整的能量转换网络。该体系通常包含中央降压站、高压配电装置、电力传输线网、生产单元变电站及终端

用电设备等关键环节。根据负荷容量和供电需求差异，不同规模的用电单位在构建自身配电网时，其结构配置存在显著区别。具体而言，大型工业综合体普遍配置独立设置的降压变电站作为电能转换枢纽，而中小型生产单元通常在厂区内设置中压等级的变配电装置。对于电力供应连续性要求极高的特殊工业项目，还会配置自主发电机组作为主电网的备用电源，从而构建双电源保障体系。从电能传输过程分析，供配电网本质上是通过多级电压转换实现能量定向输送的物理通道。中央降压站负责将电网输入的高压电能转换为适合厂区传输的中压等级，高压配电装置则承担着中压电能分配的核心功能。配电线路作为能量传输载体，其架设方式与敷设路径需要综合考虑电力损耗、环境因素及维护便捷性等多重要素。终端变电站通过二次降压将电能转换为设备可直接使用的低压等级，最终通过配电柜将电力精准分配至各用电单元。值得注意的是，系统的拓扑结构设计需遵循可靠

【作者简介】刘士伟（1974-），男，中国河北丰润人，工程师，从事电气自动化（供配电）研究。

性、经济性、灵活性三大原则，其中可靠性保障要求在设备选型、继电保护、备用电源配置等方面进行系统化设计^[1]。

不同规模用电单位在系统构建方面呈现出明显的技术特征差异。大型工业企业的供配电网络通常采用放射式与环网结合的混合结构，配置多台主变压器实现 N-1 运行模式，确保关键生产环节的持续供电。中小型用户更多采用简单的树干式配电结构，通过优化负荷分配降低初期建设成本。对于某些涉及国计民生的重点单位，除常规配电设施外，还需配置快速切换的备用电源系统，并在主接线设计上采用双重电源接线方案。现代供配电系统正逐步集成远程监测、故障自诊断、能耗分析等先进功能，但核心架构仍保持电压转换、电能分配、负荷控制的基本职能。系统的技术经济性在规划阶段就需要重点考虑，主要体现在设备容量配置、线路截面选择、功率因数补偿等方面。电气设计人员需根据负荷计算数据确定变压器台数与容量，通过短路电流校验选择适当的分断设备，并依据电压偏差允许值设计无功补偿装置。

3 电气设备的选择

3.1 按工作环境及正常工作条件选择电气设备

在电力工程领域，对于设备选型的技术规范，主要涉及三个维度：首先需要依据安装环境的物理特征确定设备等级，包括海拔高程、温湿度范围及电磁干扰水平等关键参数；其次应验证设备在极端工况下的耐受能力，特别是短路电流冲击引发的机械应力与瞬态热效应；最后必须核验装置的遮断容量是否满足电网最大故障电流要求。选型过程中，环境适应性分析是首要环节。设备防护等级需要与安装位置的腐蚀性气体浓度、粉尘数、振动频率等参数严格对应，例如化工区域需选用防爆型设备，潮湿环境应配置特殊绝缘处理装置。温升限需考虑设备运行时的散热条件，对于密闭配电室需额外核算通风系统的效能。海拔修正数直接影响设备的绝缘强度设计，高海拔地区必须采用高原型专用设备以补偿空气稀薄带来的绝缘性能衰减。

当系统发生电故障时，设备需要承受瞬态电磁力与热效应的双重考验。动稳定校核主要验证导电冲击电流下的机械型变量是否超出允许范围，需根据设备结构参数计算最大电动力作用下的应力分布。热稳定校核则通过焦耳法确定短路电流持续时间内的温升曲线，确保导体材料在限定时间内不超过允许温升值。在计算过程中需要考虑系统运行方式变化的最大短路容量，采用概率分析法确定最不利工况参数。开关设置的性能验证具有特殊要求。断路器选型需要精确匹配系统的预期开断点，这涉及对瞬态恢复电压峰值、分量衰减时间常数的精确计算。对于存在多次重合要求的线路，还需评估累积电弧能触头材料的烧蚀效应。熔断器的选择不仅需满足分断能力要求，还需协调上下级保护装置的动作时序，通过时间—电流特性曲线分析实现选择性保护。真空开关与 SF6 开关的适用场景需根据灭弧介质特性进行

区分，特别关注开断容性电流时的过电压抑制措施^[2]。

3.2 设备运行状态智能评估体系

现代电力网络复杂度的提升催生了设备监测技术的革新，传统定期检修模式已难以适应大容量系统的可靠性要求。基于实时数据分析的状态评估体系，通过多维物理量监测与趋势预测，实现了设备健康度的动态管理。该体系依托传感器网络采集温度、局放、振动等特征参量，结合设备历史数据构建评估模型，为运维决策提供量化依据。监测系统的构建需要解决三个技术难题：特征参量的有效提取、异常状态的准确辨识、剩余寿命的可靠预测。参量采集需建立完善的传感网络布局方案。温度监测需在设备热源点布置分布式传感器，变压器绕组热点、开关触头接触面关键位置局电与外部干扰信号。机械振动检测通过加速度传感器捕捉设备固有变化，早期识别结构动或部件形变。数据采集系统的设计需要平衡采样精度与传输效率，对于暂态需采自适应采样率技术。异常状态诊断依赖于多源信息融合分析技术。通过建立设备正常运行状态的基准数据库，采用聚类算法识别偏离常阈值的异常数据。于时变非平稳信号，需应用小波变换提取特征频段能量分布，结合支持向量机进行模式分类。绝缘老化评估引入回复电压法测量介质损耗因数变化率，通过极化谱分析预测绝缘纸板聚合度衰减程度。诊断算法的优化需要重点解决噪声干扰下的特征提取问题，采用滑动时间窗技术实现动态阈值调整。

3.3 开关电器断流能力校验

基于 Arrhenius 方程建立绝缘材料老化模型，通过实时温度监测数据修正老化速率参数。机械臂寿命评估采用 Miner 线性累积损伤理论，统计载荷循环次数与应力幅值的关系。预测模型的准确性依赖于长运行数据积累，需建立设备全寿命周期数据档案库，采用叶斯网络实现动态参数更新。对于突发性故障的预警，需开发基础学习的预测算法，通过长短记忆网络捕捉数据的潜在关联特征。监测系统的有效性最终体现在维护策略的优化。通过实时状态评估可将定期检修转变预知性维护，有效减少计划停运时间对于关键设备实施在线监测与离线试验相结合诊断，利用油色谱分析、红外成像等补充手段验证在线监测结果。评估体系的建立需要国际标准框架，例如 IEE C57.104 对变压器监测的技术规范，确保不同系统间的数据可比性随着联网技术发展，新一代监测系统正朝着无线传感、边缘计算、数字孪生等方向演进，但核心目标始终是提升设备运行的可靠性与经济性。

4 电气设备的状态监测

4.1 离线状态监测

4.1.1 基础数据采集层

基础数据采集层的构建涉及多项技术。可靠性传感器是获取有效数据的首要条件，需要解决恶劣环境下的长期稳定性问题。温度测量采用分布式光纤传感技术，通过拉曼散

射效应实间温的连续监测。振动信号采用抗磁干扰的加速度传感器,结合滤波算法消除了噪声。局部探测需配置高频电流互感器,配合时域反射技术位点位置。数据采集单元采用多通道同采样技术,确保相位相关信号的时序统一。信号调路的设计需平衡带宽与信噪比,对于微伏级弱信号采用仪表放大器进行预处理。

4.1.2 特征分析层

特征分析层的核心任务是提取设备状态的关键指标。时域分析通过统计特征量(如峰值、峭度)反映信号能量分布,频域分析采用快速傅里叶变换识别特征频率成分。对于非平稳信号,应用短时傅里叶变换或小波包分解提取时频联合特征。振动信号的阶次分析技术可有效分离转速相关的谐波分量,避免负荷波动对诊断结果的干扰。绝缘状态评估引入极化谱分析技术,通过介质响应曲线计算绝缘介质含水量及老化程度。特征参数的选择需要兼顾敏感性和稳定性,采用主成分分析法降低数据维度。

4.1.3 诊断决策层

诊断决策层通过建立设备状态评估模型实现智能诊断。基于故障机理的知识库系统将特征参数与典型故障模式建立映射关系,模式识别算法对多维特征空间进行聚类分析。对于机械类故障,应用包络解调技术提取调制信号中的故障特征频率。轴承缺陷诊断采用共振解调技术放大微弱冲击信号,通过谱峭度分析确定最佳解调频带。转子不平衡故障通过全息谱分析识别质量分布异常,结合轴心轨迹图判断不平衡类型。绝缘老化趋势预测采用时域介电谱分析技术,建立介质损耗因数与老化时间的关系模型。时间同步技术确保不同监测单元的数据相位一致性,采用 IEEE 1588 精确时钟协议实现微秒级同步精度。数据传输网络需满足实时性要求,工业以太网与光纤通信相结合构建冗余通信架构。数据存储采用分层管理策略,原始波形数据实时压缩归档,特征参数进行标准化存储。人机交互界面需要实现多维度数据可视化,通过三维频谱图、趋势曲线叠加等方式呈现复杂信息。系统安全防护遵循 IEC 62443 标准,采用防火墙隔离与数据加密技术保障监测数据完整性^[1]。

4.2 在线状态监测设备

电力装备实时监控技术通过多维度数据采集与分析架构实现设备健康状态的连续评估,其核心由传感网络、信息处理单元和诊断模型三个层级构成。基础感知层部署在设备本体的传感器阵列,负责捕获温度、振动、局部放电等物理

量信号,经由信号调理模块转换为标准电信号。数据传输层采用工业总线协议实现多通道同步采样,确保时序数据的相位一致性。分析诊断层通过特征提取算法将原始信号转换为状态指标,结合设备历史数据构建趋势预测模型。

感知装置的性能直接影响数据质量需要重点解决三个技术难题:传感器长期稳定性、抗干扰能力境性。温度监测采用光纤光栅阵列实现分布式测量,通过波长漂移量解调变化。动检测使用宽频加速度传感器,配合自波消除电磁噪声干扰。局部放电采集元须具备高频响应特性,应用时差定位法确定放电点空间坐标。传感器封装需满足不同景的防护等级要求,例如变压器油中监测需采用全密封结构,开关柜内安装需考虑暂态过压防护。而分析诊断功能的实现依赖多源信息技术。振动检测系统通过全息谱分析识别转子不平衡类型,结合轴心轨迹变化判断轴承磨损程度温度监测系统建立三维热场模型,通过热传导方程反演设备内部温度分布。放电监测系统应用脉冲波形分析技术,根据上升沿时间、幅值分布区分放电类型。多参数关联分析技术可出现隐性故障,例如绕组温度异伴随振动频谱变化可能预示绝缘劣化引发的电磁力失衡。在此基础上,多参数关联分析技术发挥了其独特的优势。该技术通过整合来自不同监测系统的数据,如温度、振动、电流等,进行综合分析,能够揭示出单一参数监测难以发现的隐性故障。例如,当绕组温度升高伴随振动频谱发生特定变化时,多参数关联分析技术能够敏锐捕捉到这一异常模式,预示着绝缘劣化可能已引发电磁力的失衡,为及时采取维修措施提供了宝贵的预警信息。

5 结语

尽管我国开展了电气设备在线状态监测理论研究,但由于目前运行经验缺乏,所以往往使监测系统无法精确确定。因此,基于实践经验的专家系统建立势在必行,它要求进行大量的基础性研究工作,同时开展广泛的实践,积累运行经验,以期建立准确的专家系统和相应的监测标准。

参考文献

- [1] 姜锐.基于大数据的配电设备状态监测与故障诊断技术分析[J].集成电路应用,2024,41(10):236-237.
- [2] 韩建新,胡子龙.配电设备状态监测与故障诊断技术分析[J].集成电路应用,2024,41(06):146-147.
- [3] 沈桂城,钟盛,翁蔚,等.配电设备状态远程综合监测及预警系统设计与实践[J].微型电脑应用,2022,38(07):165-167+175.