

水库电厂电气设备状态监测与故障处置应用研究

高斌

新疆维吾尔自治区塔里木河流域乌鲁瓦提水利枢纽管理中心

DOI:10.32629/hwr.v10i5.6987

[摘要] 本文聚焦水库电厂电气设备状态监测与故障处置的核心应用领域,系统探讨监测技术的理论基础与处置策略的实践路径。研究揭示状态监测在提升设备运行稳定性中的关键作用,并分析故障处置流程的优化方向。通过整合多学科视角,论文强调监测数据的深度解读对预防性维护的支撑价值,同时指出当前技术应用中存在的系统性挑战。研究成果为水库电厂安全运行提供理论参考,对能源基础设施的可持续管理具有启示意义。

[关键词] 电气设备; 状态监测; 故障处置; 水库电厂; 安全运行

中图分类号: S972.7+4 文献标识码: A

Research on the Application of Electrical Equipment Condition Monitoring and Fault Handling in Reservoir Power Plants

Bin Gao

Urumqi Wati Water Conservancy Hub Management Center in the Tarim River Basin, Xinjiang Uygur Autonomous Region

[Abstract] This paper focuses on the core application areas of condition monitoring and fault handling for electrical equipment in reservoir power plants, systematically exploring the theoretical basis of monitoring technology and the practical path of handling strategies. The research reveals the key role of condition monitoring in enhancing the operational stability of equipment and analyzes the optimization direction of fault handling processes. By integrating multidisciplinary perspectives, the paper emphasizes the supporting value of in-depth interpretation of monitoring data for preventive maintenance, while pointing out the systemic challenges existing in current technology applications. The research results provide theoretical references for the safe operation of reservoir power plants and offer insights into the sustainable management of energy infrastructure.

[Key words] electrical equipment; condition monitoring; fault handling; reservoir power plant; safe operation

引言

水库电厂作为能源供给的重要枢纽,其电气设备的可靠性直接关系到电网稳定与公共安全。随着设备复杂度提升,传统定期检修模式难以应对突发故障风险,状态监测技术成为行业关注焦点。当前研究多集中于单一技术环节,缺乏对监测与处置全流程的系统整合,导致实际应用中存在响应滞后与资源浪费问题。本文旨在填补这一空白,通过理论分析与应用探讨,构建状态监测与故障处置的协同框架。研究不仅回应技术需求,更触及能源安全战略层面的深层考量,为行业实践提供新思路。

1 电气设备状态监测及故障处置的基本理论

1.1 状态监测技术原理深入剖析

监测技术原理是以电气设备物理特性动态变化为基础,用传感器网络采集电压、电流等重要参数的小幅度变化数据。这

些波动是绝缘老化或者机械磨损的早期信号,要用时频分析的方法把噪声和有用信号分开。技术核心就是选取合适的特征量,局部放电强度或者温度梯度变化等,这些量要和设备故障模式严格对应起来。原理应用过程中遇到的主要问题就是信号衰减和干扰抑制,在长距离输电的情况下,信号的完整性很容易被环境因素所破坏。经过分析可知,提高监测精度需要算法对于非线性特征有较高的敏感度,但是算法的泛化能力受到训练数据代表性的限制。技术原理的加深显示出了设备退化过程的不可逆性,这就需要监测系统具有预见性的预测功能,而不是仅仅依靠过去的数据来追溯。原理的哲学意义就是重新定义正常状态的边界,挑战传统的二元故障判断标准,促使行业去思考设备性能变化过程中安全阈值的设定^[1]。

1.2 故障处置理论基础阐释

故障处置理论把风险控制当作中心,重视在设备出现异常状况的时候迅速隔离故障,从而让系统恢复正常运转。理论基础为故障树分析、容错控制,利用逻辑推理找出故障原因并设计冗余路径。处置过程中要兼顾响应速度和操作安全,防止次生灾害。理论框架中决策支持系统起着关键作用,但是它的有效性会受到信息是否完整、决策者的经验等各方面的制约。水库电厂环境下的处置策略要考虑水力系统耦合效应,比如电气故障会引起水轮机联锁反应^[2]。理论阐释认为,目前处置模式过分强调标准化的流程,忽略了由于工况的变化而产生的不确定性。深层次的问题是理论对于人为因素的整合不够,操作人员心理负荷、技能差别都会影响到处置效果。由此就产生了对于自动化和人工干预边界的伦理问题,即技术系统的设计应该如何尊重人的主体性,又该如何保证关键基础设施的韧性。

2 水库电厂电气设备状态监测系统结构分析

2.1 系统硬件配置要素详细说明

硬件配置属于监测系统的基本物理结构,它由传感器选择、信号调理部分以及数据采集部分组成。传感器要根据电气设备的特性进行定制,高频电流互感器用来捕捉局部放电信号,安装位置和灵敏度都会影响到数据的质量。信号调理模块主要用来消除工频干扰,保证弱信号不失真,但是模块参数的设置依靠现场经验,没有统一的标准。数据采集单元的采样率和存储容量属于重要指标,采样率过低会漏掉瞬态故障的特征,采样率过高又会增大处理量^[3]。硬件配置中环境适应性最突出的当属水库电厂高湿环境,所有的组件都需要具有防腐设计,从而增大了成本和维护的难度。从显示中可以看出,硬件选型经常处于两难境地,高精度设备提高监测效果但缩短使用寿命,经济型设备牺牲数据可靠性但是提高监测效果。硬件配置的深层次问题就是供应链依赖,核心传感器大多依靠进口,造成系统缺乏自主可控性。由此引发了对于技术主权的思考,即关键基础设施的硬件安全应该怎样纳入国家战略视野,防止外部的风险传导到能源领域。

2.2 软件平台功能特性探讨

软件平台是系统智能中枢,它具有数据处理、状态诊断以及用户交互的功能。具有实时数据可视化工具、故障模式库匹配、处置建议输出等特点的平台需要对接不同的协议,来获取各种类型的设备数据。功能设计当中,用户界面友好性同算法透明度存在矛盾之处,简化的操作会隐藏决策逻辑,从而降低用户的信任水平。平台特性研究显示,目前的软件大多为了实现自动化而忽略了人工干预部分,造成复杂的故障处理变得僵化。软件架构的模块化设计虽然提高了可维护性,但是模块之间通信延迟会耽误重要的响应。更深层次的挑战就是数据安全,监测数据牵涉到电厂运行的秘密,平台要抵挡网络攻击,但是安全措施会削减系统的反应速度。功能特性研究牵涉到人机协同的哲学问题,软件的设计要增强辅助性而不是取代决策,保留操作人员最后的决定权,符合关键基础设施中“人在回路”的安全准则,防止技术异化造成的责任不清。

2.3 数据处理核心机制研究

数据处理机制属于监测系统的组成部分之一,包含数据清洗、特征提取以及状态预估这三个部分。清洗环节去除噪声和异常值,但是阈值的设置没有理论依据,容易误删有效信号。特征提取依靠小波变换或者深度学习,从大量的数据当中找出与故障有关的模式,但是由于训练数据有限,导致特征泛化能力受到限制。状态预测机制依靠历史趋势来推测未来状态,但是水库电厂工况千差万别,预测模型很容易因为环境的突然变化而失效^[4]。核心机制研究认为,目前的处理流程过分地简化了非线性关系,把复杂的退化过程线性化处理,造成预警误报率很高。机制优化要采用自适应算法,但是算法复杂度会加重系统的负担。深层次的问题是数据价值的实现途径,原始数据经过处理变成知识,但是知识的应用受到组织文化的限制,运行部门和维护部门的数据认知存在差异,造成协同困难。表现出技术机制和社会机制相脱离,说明数据处理不是工程问题,也是组织变革的推动者,需要对电厂内部知识流动体系进行重构。

3 故障处置应用关键环节探究

3.1 状态监测数据智能分析策略

状态监测数据智能分析策略是针对海量信息中提取出可操作的见解,主要依靠多源数据融合以及模式识别。策略执行首先要解决数据异构的问题,将电气参数、环境变量、历史维护记录统一到同一个数据湖中。融合时时间同步、空间对齐是技术难题,在分布式设备网络中数据时序偏差会造成误判^[5]。模式识别使用机器学习的方法,用聚类算法来区分正常和异常状态,但是算法的选择要根据故障类型来定,支持向量机适合于线性可分的故障,神经网络更适合处理非线性退化的故障。策略加深包含特征工程改良,依靠领域知识来指引特征挑选,防止无谓地依靠数据驱动。深度内容体现为智能分析可以提高诊断的准确性,也可以揭示出设备退化背后的规律,比如绝缘老化和负荷变化之间的非线性关系,这就打破了传统的“故障就是突发事件”的认识模式,使行业由事件处理转变为过程控制。策略应用中数据隐私和共享的矛盾十分突出,电厂担心数据泄露会损害自己的竞争力,但是封闭的数据无法进行广泛的分析,需要建立行业级的数据联盟来平衡个体与集体的利益,这也是技术发展中制度创新的机会。

3.2 故障预警机制设计方法研究

故障预警机制设计方法研究主要目的在于建立灵敏、可靠的早期预警系统,其方法论主要是从阈值动态调整和多级预警架构两个方面来展开的。阈值设定抛弃固定值,用基于设备健康状态的自适应阈值,依靠历史数据训练动态模型,让阈值随着设备的老化程度而变化。多级预警架构把预警级别划分为初级预警、中级预警、高级预警,初级预警提示潜在风险,高级预警触发紧急应对措施,等级划分要考虑故障传播速度和系统冗余度^[6]。方法研究表明,现有的预警机制由于受到环境干扰而产生虚警,比如温度突然变化就会引起绝缘故障信号的误报。引入置信度评价,使用多传感器数据交叉验证来减小虚警率。深度内

容表现为预警机制的设计中包含着对不确定性哲学的接受,技术系统不能消除所有的风险,但是可以通过设计来提高韧性,比如设置缓冲期以供人工复核,防止自动化决策出现刚性缺陷。该设计体现出技术理性同人文关怀的融合,预警既是技术的输出,又是沟通的手段,必须用可理解的方式来传递风险信息,才能使操作人员对系统建立起信任。方法实施时,跨电厂数据共享能加强模型的泛化水平,不过会遭遇数据标准化以及所有权方面的难题,这就需要行业创建起共同治理架构,摆脱单纯的技术方案。

3.3 实时处置流程优化技术探讨

实时处置流程优化技术研究的是故障发生后如何快速响应,主要从决策路径、资源调度两个方面进行优化。技术核心就是创建动态决策树,按照故障种类,系统状况以及可利用的资源来实时产生处置方案,决策树节点包含专家规则和及时的数据回传。资源调度采用智能算法对人力、备件进行调配,优先安排关键设备的维修工作,但是算法要兼顾全局效率和局部紧急的需求。经过研究发现,现有的流程由于部门之间的壁垒造成响应时间过长,调度中心和现场团队的信息不能及时同步。采用数字孪生技术对电厂进行虚拟映射,预演处置方案的效果,减少试错成本。深度内容体现在流程优化不但可以提高响应速度,而且可以引起组织文化变革的需求,技术系统也显示了隐性知识的价值,老教师的经验不能被编码化,但是对复杂的故障处理起着重要的作用。这就产生了对于知识管理的反思,技术优化要设计机制来捕捉和传承隐性知识,不能因为过于重视显性数据而忽略人的智慧,否则系统就会在标准化中失去应对“黑天鹅”事件的能力。技术探究还显示了优化需要考虑操作人员的认知负荷,简化界面设计以降低决策压力,体现了技术设计的人本主义思想。

3.4 复杂工况应对方案详细设计

复杂工况应对方案的详细设计,针对多故障叠加或者极端环境下处置问题进行设计,主要从情景模拟和韧性提升两个方面展开。创建典型的复杂场景,例如洪水期间电气短路和机械故障同时发生,用仿真平台对处置措施进行检验。韧性提升设计冗余路径、自愈功能,关键电路设备用通道,故障时自动切换^[7]。详细设计重视方案的模块化,可以按照工况灵活地组合处置措施,不能采取一刀切的方法。设计时要评价方案对系统稳定性的干扰,避免处置动作造成新的危险。深度内容体现在复杂工况的应对不是技术问题,而是对系统边界的一种重新界定,传统的处理方式只关注单个设备,现代电网把水库电厂当作能源生态系

统的一环,电气故障会影响下游的水利调度,因此方案的设计要从跨系统角度考虑。这就使技术思维由局部改善变为整体协作,重视能源基础设施的互相联系和易受破坏。方案执行时要创建跨部门演练体系,但是组织惯性常常妨碍合作,技术方案的成功依靠管理革新,创建联合指挥中心可以缩小技术与管理之间的差距。

4 结语

综上所述,本文对水库电厂电气设备状态监测和故障处理的应用路径进行了系统的探究,并且发现两者之间存在着一定的联系。理论分析表明,状态监测的加深要冲破数据孤岛,故障处理优化要重视人机协同。应用研究表明,关键环节的整合可以提高系统的效率,在复杂的环境下要形成韧性框架。研究贡献是提出监测和处置的闭环模型,重视技术应用要兼顾工程严谨性和社会价值。今后的工作重点应该放在跨系统数据共享机制和隐性知识传承上来,由原来被动应对转变为主动预防。本研究既给水库电厂的安全运行提供一定的参考,又使能源基础设施管理在技术进步的同时兼顾人文关怀,保证技术进步更好地服务于广大公众的利益。

【参考文献】

- [1]黄凯杰.水电厂电气设备状态监测信息化管理系统设计研究[J].电力设备管理,2023,(4):127-129.
- [2]贾小陇,李洋子,许钦民.发电厂电气设备的状态监测与故障诊断[J].Water Conservancy & Electric Power Technology & Application, 2024, 6(20).
- [3]徐拯.电力系统中的电气设备运行状态监测与维护分析[J].漫科学(科技应用), 2025, (10): 106-108.
- [4]梁树利.水电厂高压电气设备绝缘状态监测与故障诊断研究[J]. 2025, (6): 82-85.
- [5]黄亚东.基于深度学习的电气设备状态监测与预测模型分析[J].电子技术, 2025, (5): 272-273.
- [6]吴丁勇.电气设备状态监测及故障诊断技术应用[J]. Engineering Science Research & Application, 2023, 4(22).
- [7]王瑞健.火电厂电气设备状态的检修技术探究[J]. Engineering Science Research & Application, 2023, 4(14).

作者简介:

高斌(1989-),男,汉族,甘肃省金昌市人,本科毕业于新疆大学电气工程及其自动化,中级工程师,研究方向运行发电,检修维护工作。