

智能变电站变电运维安全与设备维护

彭 晶

内蒙古电力（集团）有限责任公司阿拉善供电分公司 内蒙古阿拉善 750306

摘 要：智能变电站作为电力系统的重要组成部分，在现代电力系统中扮演着关键角色。随着数字化技术的快速发展，智能变电站的设备维护与变电运维安全日益受到关注。本文通过分析智能变电站的技术架构与特点，探讨了其在运维过程中的安全风险及风险评估方法，并提出了设备维护的关键技术与协同优化策略。研究结果表明，通过构建一体化的运维管理体系、加强智能化设备状态监测与故障预测、强化数字化平台的应用，可以有效提升智能变电站的设备维护效率与安全运行水平。本文为智能变电站的设备维护与变电运维提供了理论支持和实践指导。

关键词：智能变电站；变电运维安全；设备维护；风险评估；协同优化

引言

在电力行业飞速发展的今天，智能变电站是智能电网中最核心的部分，智能变电站的安全平稳运行对保证电力供应可靠性具有十分重要的意义。智能变电站集先进传感、通信和控制于一体，对设备进行智能监控、控制和管理。但是智能变电站复杂的技术架构以及高度自动化的特点，也对变电运维安全及设备维护等方面提出了全新挑战。对智能变电站变电运维安全及设备维护进行深入研究，对提升智能变电站运行管理水平，降低运维成本，确保电网安全有着十分重要的作用。

一、智能变电站变电运维安全风险分析

1. 智能变电站技术架构与特点

智能变电站采用分层分布式架构，主要包括过程层、间隔层和站控层。过程层由智能设备、合并单元和智能终端等组成，负责一次设备的智能化和电气量、状态量的采集与执行；间隔层包含保护、测控等二次设备，实现本间隔的控制和保护功能；站控层通过监控系统、五防系统等实现对全站设备的集中监控和管理。其特点包括高度自动化、信息化和互动化，设备之间信息交互频繁，运行方式灵活多变。

2. 运维安全风险识别

智能变电站运行维护中的安全风险表现出多样化的特点。在设备层面上，高集成电子元件对于运行环境异常敏感，存在温度波动超过正常范围、湿度过大出现凝露和强电磁干扰现象，均会导致元件性能的降低乃至破坏，造成设备故障而影响变电站的正常供电。在网络信息安全中，智能变电站主要依靠通信网络来进行设备之

间大量的数据交互，这将使智能变电站成为网络攻击可能的攻击对象。黑客会通过入侵系统对保护定值进行篡改，从而造成设备的误动或者拒动等行为，严重威胁电网的安全。人的操作部分，智能变电站的新技术、新设备层出不穷，运维人员如果没有足够的知识和熟练的操作，就会在倒闸操作中、在设备检修和其他工作中易发生错误，例如误整定参数和误接线，继而导致安全事故的发生。另外，地震、洪水、台风等自然灾害的不可预测性以及巨大的破坏力都会对变电站设备产生直接的破坏，导致电力的中断，对社会生产以及人们的生活都会产生严重的影响。

3. 风险评估与量化模型

智能变电站运行维护安全风险评估及量化模型的建设，是准确控制风险的关键所在。首先建立一个覆盖多个方面的风险评价指标体系，其中设备故障率作为一个重要的指标，它的高低直观地体现了设备的可靠程度，经常发生故障设备相应这一指标取值较大，风险程度也较大；网络攻击频率能够反映出变电站所受到网络安全威胁的程度，攻击次数越多，系统安全越容易受到影响；人员操作失误率是从人为因素的角度来度量风险的，失误率越高，说明由于操作失误而导致事故发生的可能性越大；在评估自然灾害的发生概率时，也会考虑到外界不可抗拒因素的影响。借助专家打分法对各项指标的隶属度进行判定，结合专家的经验和专业知使评价更具有科学性。然后根据模糊综合评价公式测算出风险的综合评分，并根据评分情况划分出低、中、高三级风险等级以明确地展现风险状况，为运维人员有针对性地制定风险应对策略，合理配置资源，确保智能变电站的安全

平稳运行提供了强有力的依据。

二、智能变电站设备维护关键技术

1. 设备状态监测技术

通过将各种高精度传感器布设于装置关键部位，可以实时地感知装置电气、机械和热学各方面的状态信息。在变压器监测中，通过对油中溶解气体的分析可以捕捉装置内可能存在的绝缘故障安全隐患，通过局部放电监测可以准确定位放电位置和评估放电强度以及及时发现绝缘劣化倾向；温度传感器负责对变压器各个部分的温度进行实时监控，以避免因温度过高导致的设备损伤。断路器作为一种重要的控制设备离不开对机械特性的监测，通过传感器可以得到其分合闸时长、速度和行程，并对机械部件磨损和老化做出判断，保证断路器的可靠动作。同时在物联网技术的支持下，传感器收集到的数据被迅速而准确地传送到监控中心进行集中管理和分析。采用先进的数据处理算法及智能诊断模型深度挖掘海量监测数据，实现了设备异常情况的自动识别与报警。

2. 故障预测与健康管理（PHM）

故障预测与健康管理（PHM）被视为智能变电站设备维护的关键技术。通过整合先进的传感器技术、智能算法和维修决策支持系统，能够实时感知设备的健康状况并进行积极的干预。PHM覆盖了故障预测和健康管理两个主要维度，前者以设备的历史和实时监测数据为依据，采用神经网络、模糊推理等多种算法，对当前的状态进行诊断和对未来的健康趋势、性能衰退和故障出现的时间进行预测；后者综合考虑诊断结果、维修资源和使用需求等因素制定任务规划、维修决策和资源协调方案。它的技术体系由数据采集、特征提取、状态监测、健康评估、故障预测和维修决策等6个模块组成，并通过对设备的压力和温度等参数的实时获取、振动和其他物理量的数据，经过滤波和谱分析的预处理后提取特征参数并与预设阈值进行匹配产生报警信号，结合历史数据和负载情况进行健康状态评估，最后利用机理模型、数据驱动模型或者混合模型对剩余寿命进行了预测，从而为视情维修的开展提供了科学依据。

3. 智能巡检与机器人技术

智能巡检和机器人技术对智能变电站的运维起到越来越至关重要的作用，并为确保设备的安全平稳运行提供了一种高效准确的方法。智能巡检机器人配备了高清摄像头、红外热成像仪和气体检测仪等各种高精度传感器，可以对设备的状态信息进行全方位的采集。高清摄像头能够清晰地拍摄到设备的外观细节，并能及时发现

设备锈蚀、变形和渗漏油的异常状况；红外热成像仪对设备表面温度分布情况进行检测，准确定位过热故障点并预先防止温度异常造成设备损坏；该气体检测仪能够对装置周边环境有害气体浓度进行实时监控，确保运维人员的安全。这些具有自主导航和避障能力的机器人可以按预设路线定时、定点地检查变电站中的设备，还可以根据实际需要灵活地调整检查任务，极大地提高检查的效率和覆盖范围。与传统的人工巡检相比，该机器人摆脱了恶劣天气和危险环境的约束，可以全天候不间断地作业。

4. 数字化维护平台构建

数字化维护平台的建设是智能变电站中设备维护工作的重要依托，它通过将物联网、云计算和大数据融合在一起，实现了对设备维护信息化和智能化的管理。该平台在数据采集层基础上，使用传感器、智能仪表实时获取设备的运行状态、环境参数、能耗数据，通过边缘计算网关对数据进行预处理及协议转换，保证数据准确性与实时性。数据传输层使用了光纤、4G/5G、LoRaWAN等多链路冗余网络，以确保数据传输的稳定性和安全性，同时利用MQTT、WebSocket等协议实现高频数据的实时推送。平台处理层以云计算与大数据技术为支撑，将收集到的数据经过清洗、统计、挖掘与分析后，构建设备健康评估模型与故障预测模型以达到实时监控设备状态与故障预警的目的。应用展示层采用可视化技术对设备状态、历史数据和告警信息进行直观的图表、报表和三维模型的呈现，便于运维人员对设备的实时操作。

三、运维安全与设备维护协同优化策略

1. 建立一体化运维管理体系

构建一体化运维管理体系，是提高智能变电站运行维护效能和保障安全的核心措施，其突破了传统运维在安全管控和设备维护方面的部门壁垒，实现了运维安全和设备维护在一个统一框架下的深度融合。通过建立综合管理平台将设备台账、运行数据、缺陷记录和检修计划信息资源整合在一起，达到数据共享和互通的目的，使运维人员能够对设备的状态和安全风险进行实时和全面的把握。建立标准化的运维流程，对巡检、监控、故障处理、设备检修等各个环节的操作规范和质量标准进行了界定，保证运维工作有章可依，标准有序。建设协同工作机制安全管理部门和设备维护团队密切配合，对设备检修之前的安全风险进行联合评估并制定相应的防护措施；在检修期间实时交流，对发生的安全问题进行及时处理；大修后进行了联合验收，确保了装置的安全

可靠投运。

2. 加强人员培训与技能提升

智能变电站中集成了物联网、大数据、人工智能等一大批先进技术，这对运维人员知识储备与技能水平都有很高的要求。开展多元化的培训课程涉及智能变电站的技术架构、设备原理、运维安全规程、故障诊断及处理，并邀请行业专家和技术骨干进行讲授，共享最新技术动态和实践经验，开阔运维人员的眼界。采取线上与线下结合的培训模式在线上提供视频教程和在线测试等大量学习资源便于运维人员在碎片化时间内进行独立学习；线上线下举办集中培训和实操演练等活动，通过对实际故障场景的仿真，使运维人员在实际工作中熟练掌握故障排查和处理的技能，提高应急处置能力。鼓励运维人员参加技术交流活动，和同行们一起交流工作经验和心得体会，一起探索解决困难的办法。建立技能竞赛机制定期开展运维技能大赛活动，调动运维人员学习积极性和竞争意识，奖励成绩优异人员，形成比学赶超良好风气。

3. 强化应急管理预案演练

加强应急管理和预案演练，是智能变电站解决突发状况，确保电力稳定供应所采取的一项有力措施。对于智能变电站中可能遇到的自然灾害、设备故障、网络攻击以及其他各种突发事件，都需要建立一个全面详细的应急预案和清晰的应急指挥架构、各个岗位人员的责任、应急处置流程及资源调配方案等，保障应急工作的有序进行。经常组织应急预案演练来模拟各种情景中的突发事件，比如极端天气造成装备损坏，黑客入侵造成系统瘫痪等等，使运维人员切身感受应急处置的全过程，熟悉操作流程和协同配合的重点，提高实战能力。演练后及时复盘总结、剖析演练暴露出的问题和不足、优化改进应急预案。同时要加强应急物资的储备和管理，保证应急抢修工具、备品备件和防护用品的数量足够和性能优良，能够在关键时刻快速投入运行，为应急处置工作提供了扎实的物资保证，从各方面加强了智能变电站对突发事件的处置能力。

4. 推动技术创新与应用

推进技术创新和应用，是不断提升智能变电站运行维护水平，满足电力行业高速发展需求的核心动力。积极引进大数据分析技术深度挖掘海量设备运行数据，可以准确识别出设备可能存在的故障模式及演变规律，从

而达到故障预警提前量及准确率的双重提高，并为预防性维护工作提供强有力的依据。将人工智能算法融入其中，使智能巡检机器人具有自主决策的能力，能够根据实时的设备状态对巡检路线和侧重点进行动态的调整，提高巡检的效率和针对性。本文对5G通信技术进行了探索和应用，以其低时延、高带宽等特点实现了设备状态数据实时高速的传输，对远程运维和实时监控提供了可靠支持，突破了地域限制并提高了运维响应速度。鼓励运维人员进行技术创新实践和解决日常工作中遇到的疑难问题，开发出实用的小工具和小发明来优化运维过程。强化与科研院所和设备厂商产学研合作，共同进行关键技术攻关，加快科研成果转化落地。

结论

智能变电站变电运维安全及设备维护对确保智能电网的安全平稳运行具有重要意义，对智能变电站变电运维过程中存在的安全风险进行分析与评价，可以准确地辨识出可能存在的隐患，从而为有针对性地制定风险应对措施奠定基础。应用设备维护关键技术能够有效地提升设备可靠性及使用寿命，减少运维成本。运维安全及设备维护协同优化策略实施后，可以对运维工作进行信息化、智能化以及一体化管理，促进智能变电站整体运维水平提高。今后，在科技不断进步创新的背景下，智能变电站变电运维安全及设备维护工作会向着更高效、更智能、更安全等方向迈进，从而为电力行业可持续发展提供了强有力的保障。

参考文献

- [1] 卢帅帅. 智能变电站运维技术及设备故障处理探讨[J]. 中国设备工程, 2024(16): 39-41.
- [2] 陆旭东, 倪盛, 蒋其云. 智能化技术在变电运维中的应用研究[J]. 低碳世界, 2024, 14(5): 40-42.
- [3] 田胜利, 支昊. 智能变电站运维技术及设备故障处理分析[J]. Water Conservancy & Electric Power Technology & Application, 2023, 5(8).
- [4] 简贤丰, 王珊蒙. 探讨智能化技术在变电运维中的应用[J]. 通讯世界, 2023, 30(7): 91-93.
- [5] 赵虎. 智能化变电站运行维护技术应用与实施要点探究[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2023(3): 3.