

变电站远程智能巡视系统的未来发展趋势与挑战

曾 峰 熊肖容

国网随州供电公司 湖北随州 441300

摘 要：随着科技持续进步，特别是在信息技术、物联网（IoT）和人工智能（AI）等领域的飞速发展，变电站的远程智能巡视系统的重要性日益凸显。该系统不但可以提升电力设施自动化和智能化程度，而且可以显著提升电网运行效率和安全性。在现代电力系统当中，变电站是电力输配的核心设施，肩负着能源传输与控制的重要作用。由于变电站所处环境的复杂性和工作负荷的繁重性，人工巡视已经不能适应越来越高的工作要求，所以对变电站远程智能巡视系统进行研究和应用就变得格外关键。该系统的引入，不仅能提升电力设备的维护效率，降低运行成本，还能减少人为错误、提高工作安全性。本文将探讨变电站远程智能巡视系统的发展趋势与挑战，希望为相关技术的研究与应用提供理论支持和实践参考。

关键词：变电站；远程智能巡视系统；发展趋势；挑战

引言

变电站正常运行对电力系统稳定运行具有重要意义，但随着电力需求不断增长以及电网规模不断扩大，传统人工巡视模式逐渐显现出效率低下，费用高昂以及事故预警不够及时等诸多问题。远程智能巡视系统的出现解决了上述难题。该系统通过融合现代信息技术、传感技术、无线通信技术及人工智能技术实现变电站设备自动化监测、故障诊断、数据分析及决策支持。变电站远程智能巡视系统产生的背景，可以追溯到电力系统自动化的最初阶段。

一、变电站远程智能巡视系统的技术基础

变电站远程智能巡视系统核心是通过综合运用先进信息技术、通信技术、传感技术和数据处理手段来实现变电站设备实时监控和自动化巡检。物联网技术作为这一系统的重要支撑，通过传感器节点将变电站内的各类设备（例如断路器、变压器、母线）的运行状态与数据采集系统连接起来，实现对设备的实时监控。这类传感器通常具备检测温度、湿度、电流、电压和振动等多个物理参数的能力，其中常见的传感器的精度能够控制在 $\pm 0.5\%$ 的范围内，从而确保了设备状态数据的高度准确性。此外，系统采用无线通信技术（例如4G，5G或者专用无线通信网等），确保设备与监控中心之间的数据传输不受地理位置限制，具备高效、低延迟的优势。比如5G网络可以在1ms范围内提供超低延迟并适用于实时响应

和控制要求。

智能巡视系统也依托于云计算以及大数据技术来实现对所收集数据上传到云平台中进行储存和处理。在云平台的强大计算能力支持下，该系统可以智能分析海量设备数据，基于历史数据和实时数据比较，利用机器学习算法实现故障诊断和预测，从而实现预防性维护。例如通过对温度、振动等数据的分析，该系统能够预先检测出设备的故障征兆，并提供预测性的维修建议。该工艺在提高设备运行稳定性的同时，也极大地降低突发性故障发生的几率。另外，变电站智能巡视系统可以与无人机，机器人等自动化巡检设备相结合，通过高清摄像头及红外成像技术对设备表面实施巡视，通过对设备图像或者视频数据进行实时传输，使工作人员能够及时对设备的健康状况进行判断，从而实现全天候巡检，保证安全隐患能够被及时发现和处理。

总之，变电站远程智能巡视系统技术基础涉及物联网、通信技术、数据处理和人工智能等诸多前沿技术集成，使系统可以完成高效、准确、智能化巡视任务，从而为电力设施安全平稳运行提供坚实技术保障。

二、变电站远程智能巡视系统面临的挑战分析

（一）系统集成与兼容性问题

在实践中，变电站设备类型多样，涉及到不同厂家、不同类型的传感器，控制系统和监控设备等。这些装置的工作原理、通讯协议及数据格式等方面的不同，使得各种装置间很难实现无缝对接与协同工作。系统集成的

困难主要表现为如何有效地将各厂家的硬件设备、通信平台以及软件系统集成到统一，有效的监控平台上，确保系统运行稳定、据实时。

兼容性尤其严重，尤其是跨平台集成时，不同的数据传输标准和接口规范都会造成信息损失或者处理延迟。例如，有些设备使用的是Modbus通信协议，而有些设备则采用IEC 61850或DNP3这样的通信协议，这种协议的不兼容性可能会妨碍信息流的流畅性和实时监控能力。另外，传感器及监控系统更新换代比较频繁，新增设备接入不一定能直接兼容旧设备，影响了整个系统效率和可靠性。为保证系统兼容性，需要在设计阶段充分考虑各类软硬件兼容性，并通过统一标准与接口规范增强设备互联性与可扩展性。

所以，系统集成及兼容性问题不但会影响到系统运行的实时性及可靠性，而且可能会加大后期维护工作的复杂程度及费用。设计和实现过程中选择适当的技术标准和平台并执行灵活的软硬件适配策略是保证远程智能巡视系统成功运行的重点。

（二）数据处理的复杂性与实时性要求

变电站中的传感器、监控设备和智能化终端将不断产生海量数据，涵盖电压、电流、温度和振动等诸多方面，类型多、数据量大。为实现设备实时监控、故障预警等功能，需要系统从大量数据中迅速地抽取出宝贵信息，并加以分析，因此需要具有较高准确性和灵活性的数据处理技术。特别是当遇到设备状态发生细微变化后，对数据进行收集和分析一定要准确至毫秒级，以便及时发现可能存在故障隐患和避免突发性故障。

数据的实时性需求，更对系统性能提出了巨大的考验。变电站智能巡视系统要求全天候监测设备状态，在数据采集，传输和处理过程中任何一个环节出现延误都会对系统实时响应能力造成影响，致使不能及时发现故障和事故。为保证实时性，要求数据传输延迟保持在毫秒级，而处理能力则需不断增强，为大范围并行数据分析与决策提供支撑。在云平台基础上，将计算与边缘计算相结合，使数据可以更加迅速地被分析和处理，降低了系统延时。但是这同时对于数据的传输带宽和计算资源都有很高的要求，必须要有有效的数据压缩和传输协议优化作为技术支撑，才能确保系统的稳定和高效地运行。所以如何保证海量数据下高效处理，快速响应而又不影响系统稳定性是数据处理复杂性与实时性需求的一个核心。

（三）安全性与隐私保护挑战

变电站远程智能巡视系统在安全性及隐私保护等方面所面临的挑战不仅关系着系统能否平稳运行，而且还直接关系着国家电力设施是否安全可靠。随着系统集成度及智能化程度的不断提升，变电站中的各种设备及传感器都通过无线网络接入到中央监控系统中，从而产生海量敏感数据。其中包括设备状态、运行参数和维护记录，既与电力设施运行有关，也可能与运营商业务机密有关。这些数据一旦在传输中被盗用或者篡改就有可能造成设备故障，能源浪费，甚至引发严重安全事故。所以对数据进行加密以及对传输通道进行安全是非常关键。为确保数据在传输时的保密性和完整性，系统必须采纳如AES（高级加密标准）和SSL/TLS协议这样的先进加密技术，以避免恶意攻击和数据的外泄。同时对云平台上存储的数据必须进行数据备份和冗余存储措施以避免由于平台故障或者外部攻击等原因而造成数据丢失。

另外隐私保护也是不可忽视的问题。变电站智能巡视系统中所涉及员工信息，设备运维记录都可能会涉及个人或者企业隐私问题。为确保个人隐私不受侵犯，系统的设计必须严格遵守隐私保护的相关法律，例如GDPR（一般数据保护条例），以确保数据的采集和使用都是符合法律规定的，执行详细的数据访问控制机制以保证只允许授权人员对敏感数据进行访问。有效地实现安全性和隐私保护，既有利于促进系统可靠性的提高，又有利于加强用户对电力系统的信任度，从而为智能电力系统推广和发展打下坚实基础。

（四）环境与外部条件对智能巡视系统的影响

变电站远程智能巡视系统在实践中必然会受到周围环境以及外部条件等因素的影响，这可能会给系统运行的稳定性，准确性以及可靠性等方面都会造成一定程度上的挑战。变电站一般都处于高温、高湿、寒冷、雷电等多种复杂地理环境的极端天气状况，甚至会遇到沙尘暴、强风等自然灾害。这些环境因素既会对设备自身运行状态造成影响，也会对智能巡视系统正常运行造成干扰。比如在高湿度或者低温环境中传感器精度会降低从而造成数据采集误差；强雷电天气会干扰或者破坏无线通信网络，进而影响实时数据传输和处理。

另外，电磁干扰等外在因素也会对系统稳定性造成影响。在某些高电压和强电磁场地区，智能巡视系统无线通信、传感器和其他设备易受电磁波干扰而造成数据传输中断或者信息失真。这样不但会加大系统维护难度，

而且还可能会影响故障检测准确性。为迎接上述挑战，在系统设计中需考虑防护措施，例如使用防电磁干扰能力强的通信协议和加入装置抗干扰设计等、增强了装置对环境的适应能力等等，保证系统在恶劣环境中仍能有效工作。所以环境及外部条件对系统智能巡视的影响不容忽视，在自然及人为因素错综复杂的情况下如何保证系统高稳定性及可靠性是系统优化设计的关键问题。

三、变电站远程智能巡视系统的未来发展趋势

(一) 人工智能技术的深度融合

人工智能技术深度融合对变电站远程智能巡视系统开发起到了关键作用，尤其对故障诊断、设备预测性检修、智能化决策等具有重要意义。引入人工智能后，该系统可以对各种传感器采集到的大量数据进行实时分析，从中发现潜在规律与趋势。以机器学习算法为例，该算法能够通过训练历史数据来确定设备在运行过程中存在的异常模式以及故障预兆等信息，继而达到提前预警和故障预测的目的。在上述分析的基础上，该系统可提供较传统手段更为精确的故障诊断以避免人为误差并提高设备工作的安全性和可靠性。

引入深度学习技术，进一步提高智能巡视系统自动化水平。利用神经网络和其他深度学习算法实现了该系统对图像，视频和其他多模态数据的关键特征提取，并实现了对装置表面自动化检查。该基于视觉的缺陷检测不仅能快速检测出设备外观异常，而且能高精度地识别出例如裂纹、腐蚀等微小损伤，极大地提升巡视的覆盖面与精确度。另外，人工智能可以为智能决策提供支撑，将实时数据和预测模型相结合，实现巡视策略及维护计划的自动调整、资源的优化配置、人工干预的减少、巡视效率及准确性的提升。所以，人工智能深度融合既加强变电站远程智能巡视系统智能化程度，又促进电力设备管理精准化和自动化，对今后电力系统智能化运营给予强有力的支撑。

(二) 无人驾驶巡检技术的发展

无人驾驶巡检技术发展正在逐渐改变着变电站远程智能巡视系统运行方式，为巡视工作提供更加有效和安全的手段。无人机(UAV)和巡检机器人作为无人驾驶技术的经典应用，已经具备了在变电站内执行多种巡检任务的能力，包括但不限于设备表面的检查、环境的实时监测以及数据的收集等。无人机上安装有高清摄像头

及红外热像仪等设备，可快速准确巡检高处及不易接近设备，捕捉细微设备损坏或者温度异常等信息，大大提高巡检覆盖面及准确性。地面控制中心通过实时传输图像及数据可以第一时间了解设备健康状况并准确判断。

巡检机器人具备在变电站复杂环境中自动导航的能力，能够执行更加精细的巡查任务。装备有各种传感器及高精度定位系统的机器人可以自主识别并躲避障碍物、完成路径规划、任务执行等。当处于高压设备或者恶劣环境中时，机器人可以代替人工巡检避免人员接触危险区域增加安全性。同时该机器人能够按照预设巡检路线及任务实现数据自动获取与实时传输，从而进一步提升巡视效率。

随着人工智能、传感技术以及5G通信的发展，无人驾驶巡检技术正在变得越来越智能，可以自动分析收集到的数据并对故障做出预测，诊断以及生成报告。无人驾驶巡检技术在提高巡检准确性和效率的同时也极大地减少人工干预及安全风险，促进变电站巡视朝着智能化、自动化方向发展。

结束语

随着智能技术的持续发展，远程智能巡视系统在电力产业中的角色将变得越来越关键。在未来，该系统计划进一步整合人工智能、大数据和物联网等尖端技术，旨在通过更智能、更精确和更自动化的手段来提高变电站的巡查效能和设备管理质量。当我们致力于设备的故障预测和提高维护的准确性时，系统的实时响应和稳定性也会随之增强，确保电力系统能够安全且稳定地运作。

参考文献

- [1] 陈宇, 赵斌, 池荣辉, 等. 变电站智能巡视系统算法架构优化[J]. 电力系统装备, 2023(3): 70-72.
- [2] 袁嘉诚. 基于智能巡视系统的变电站巡视技术研究[J]. 电气技术与经济, 2024(3): 42-44.
- [3] 李路. 基于迁移学习的变电站智能巡视系统应用研究[J]. 电工技术, 2023(S01): 000.
- [4] 姚志鹏. 新型数字智能变电站监控及巡视系统应用研究[J]. 电气技术与经济, 2023(9): 228-230.
- [5] 漆苗. 新形势下变电站智能巡视技术的应用研究[J]. 光源与照明, 2024(6): 156-158.