

变电站智能巡视技术分析

张天芬 周 明

国网湖北省电力有限公司随州供电公司 湖北随州 441300

摘 要：在我国电力系统日益扩大的背景下，电网设备运行状态对于电力系统安全稳定运行起着关键作用。变电站是电力系统中的一个重要环节，变电站设备运行的稳定性与可靠性直接关系到整个电网运行的效率。传统变电站巡视多依靠人工对设备实施监控与检修，工作强度高、效率低下，巡视时安全性不易保证等特点。在科学技术不断进步的背景下，智能技术已经逐步深入到电力系统各领域中，变电站智能巡视技术也随之出现，并成为了提升变电站运行效率和减少运维成本的一种重要途径。通过引入人工智能、大数据分析、物联网及机器人等高级技术，变电站智能巡视技术可实现设备状态实时监控、故障诊断和预测有效地促进了电力系统安全性和可靠性，文章就此展开了探讨。

关键词：变电站；智能巡视；技术应用

引言

在电网规模不断扩大、复杂性不断提高的情况下，变电站运行与维护工作也迎来了新的考验。传统人工巡视不仅周期较长，覆盖面受限，而且对于设备可能出现的故障也很难实现及时而全面地报警。为了提升巡视效率与质量，变电站智能巡视技术已逐步成为人们关注的焦点。该项技术综合运用现代传感器技术、无人机技术、智能巡检机器人及图像识别等多种人工智能方法，对变电站设备进行全方位、全天候的自动化监控。智能巡视技术既可以显著降低人力资源投入，又可以在恶劣环境中高效执行巡视任务，尤其在高温、高湿度和辐射的特殊场景中具有明显优势。

一、变电站智能巡视技术概述

（一）传统变电站巡视模式的局限性

传统的变电站巡视模式主要依靠人工定期巡视，有很多的局限性。人工巡视一般要求运维人员亲临现场对变电站内各种设备设施进行巡视，该方法费工费时且效率低下。另外，由于人工巡视次数有限，很难发现设备潜在的问题及故障隐患，特别是当设备运行状态发生波动或者突发故障等情况下，很有可能不能及时做出反应，从而使问题更加严重。变电站的设备大多位于户外，因此，人工巡查很容易受到如高温、暴雨、强风等恶劣气候条件的干扰，这不仅增加了巡查的难度，也使得运维人员的安全难以得到充分的保障。巡视时，人工检测

设备检测精度取决于巡视人员经验及主观判断等因素，易造成对某些细小、隐蔽故障的忽略。另外，在电网系统越来越复杂、设备设施越来越多的情况下，传统的人工巡视不能对庞大的数据进行有效地管理处理，很难给出准确的设备状态评估及维护决策。这些局限性使传统模式不能适应现代变电站高效、准确、实时监测的要求，迫切需要更智能化巡视手段。

（二）智能巡视技术的定义与特点

智能巡视技术就是运用先进的人工智能、传感器技术、机器人技术及大数据分析等现代科学技术手段对变电站及其他复杂设备实施自动化、智能化巡视与监控。通过智能巡视技术的运用，该系统可实时采集设备运行状态、环境参数等关键数据并自主分析与故障诊断，从而避免传统人工巡视存在的人为误差与延迟。区别于传统方式，智能巡视技术全天候、全方位监控能力强，可自动完成任务而无需环境约束，满足多种恶劣环境。该技术核心特征是它具有高度智能化、自动化的特点，利用智能算法、机器学习等方法，该系统不但可以识别出设备是否处于正常工作状态，也可通过对历史数据及实时数据的分析来对潜在故障进行预测及提前报警。同时智能巡视技术可以对大量数据进行处理，利用大数据分析来提升故障诊断精准度与效率，缩短设备停运时间，增强电网运行可靠性与安全性。由于该智能巡视系统具有远程监控、实时反馈等功能，运维人员可通过移动设备或者监控中心实现对设备情况的远程把握，大大提高

巡视效率和管理水平。

（三）变电站智能巡视的技术框架

变电站智能巡视技术框架为多层次多模块复杂体系，涉及硬件设备、软件平台和数据处理与分析。它的核心包括智能感知层、数据传输层以及应用层。智能感知层利用多种传感器、无人机和巡检机器人对变电站内设备运行状态及环境数据进行实时获取，其中包括温度、湿度、设备表面温升以及局部放电等重要参数。数据传输层采用5G、光纤通信或者无线网络技术来保证野外采集的高精度数据能快速稳定的传送至后台处理中心。数据是否实时，传输是否稳定，直接关系到系统响应速度及精度。在应用层中，该系统通过融合大数据分析、云计算及人工智能算法等技术，将大量数据分析处理后产生设备实时运行状态报告，实现故障预警及健康评估等功能。应用层核心功能还有智能决策支持可以将设备历史运行数据与实时状态相结合并通过机器学习及其他算法对其故障趋势及剩余寿命进行预测。另外，该系统还具有远程控制及调度等功能，运维人员可通过可视化平台或者移动终端时刻监测变电站设备运行状况，自动化管理及调度巡视任务。整体技术框架协调运行，保证变电站智能巡视系统高效可靠。

二、变电站智能巡视系统关键技术分析

（一）智能巡检机器人的应用

智能巡检机器人应用于变电站是实现电力系统智能化的一个重要环节，它的核心作用在于实现自动化巡视、设备监测以及故障诊断。智能巡检机器人装备有红外热成像、超声波、激光测距和气体检测等各种先进传感器，可综合监测装置关键参数。如红外热成像传感器能够实时监测电气设备温度变化并发现温升异常；超声波传感器能够对局部放电现象进行探测，激光测距技术有助于机器人对装置进行精准定位，保证路径规划精准性。该机器人利用自带高分辨率摄像头采集装置外观图像，采用图像识别技术自动识别裂纹、腐蚀等物理缺陷。

在智能巡检机器人中，路径规划与导航功能同样是其中一个重要环节。该机器人以激光雷达为平台，GPS定位为手段，可在变电站复杂环境下实现自主导航、规避障碍物、准确抵达指定装置巡检。路径规划算法根据变电站设备分布，环境布局情况自动产生最优巡视路线以保证最大巡视效率。另外，该智能巡检机器人还能够依据设备运行状态及历史数据对巡视频率进行动态调节，在系统发现部分设备状态出现异常后，该机器人能够快

速到达相关地区进行重点监测。

在数据传输上，智能巡检机器人利用无线网络或者5G通信等技术，把实时采集到的数据传输回后台监控中心以保证数据的实时性与高效性。后台系统采用大数据分析与人机智能算法相结合的方式全面分析设备运行数据，有助于运维人员了解设备实时健康状况，做出故障预警。机器人既可全天候作业，又可在高温、高湿度及电磁干扰等恶劣环境中稳定作业，显著提升变电站设备作业安全性和可靠性。整个系统高度智能化与自动化使智能巡检机器人可以代替人工执行高强度重复巡视任务，大大降低人力成本，提高巡视效率与设备管理水平。

（二）无人机巡视系统

将无人机巡视系统应用到变电站中，极大地促进巡检效率与准确性，无人机配备了众多高效的传感器和摄像工具，包括高清摄像头、红外热成像仪以及LiDAR（激光雷达），这使得它能够从高空对变电站的设备进行全面的监测。高清摄像头能够拍摄到该装置精细的外观变化情况，比如螺栓松脱、装置外壳破损等详细信息，红外热成像仪则用来检测该装置温度是否出现异常，特别是在检测过热和电气接触不良时使用，LiDAR技术可以产生准确的三维点云图来对设备空间位置和周边环境进行评价，给设备操作提供了一个更综合的角度。

无人机巡视系统最重要的特征就是它的机动性与灵活性，能够方便地覆盖常规人工巡检或者地面机器人难以达到的高空以及高压线塔顶，或者飞行高度较窄等复杂地区、角度灵活调节可得到不同角度设备状态数据。在GPS定位系统与自动导航技术辅助下，无人机能够沿着预设路径独立飞行、躲避障碍物、基于装备状态信息对重点区域巡视。无人机飞行速度较高，能够在较短的时间内执行大范围巡检任务，还能根据电网的运行情况安排定期巡检或者紧急巡检工作，提高巡检响应速度。

无人机获取的数据经5G网络或者无线通信技术传送给后台监控系统进行实时处理，保证了数据的实时性和精准性。监控系统采用人工智能算法及大数据分析技术，将无人机回传的影像，视频等数据处理生成设备运行报告，实时报警。无人机巡视系统也可以通过历史数据分析并综合考虑气象和环境，预测性地维护设备健康状况，规避可能出现的故障。由于无人机可在高温、暴雨、大风等多种极端环境中作业，显著提升变电站巡检安全高效，降低人工巡检风险，降低工作量，并进一步促进电力系统智能化、自动化进程。

（三）物联网与传感器技术

在变电站智能巡视过程中，物联网及传感器技术发挥着关键作用，它通过实时数据采集及传输对设备运行状况进行全面而准确地监控。物联网技术把各种传感器和设备联接起来，构成多层次智能网络系统，从而使设备工作的关键参数可以实时地传输给后台。传感器技术涉及到温度、湿度、压力、电流、电压、局部放电的各种检测手段。比如温度传感器能够准确地达到 0.1°C 变化来对变压器和断路器等变电站设备进行温度监测；湿度传感器检测精度可以达到 ± 1 级，可以实时地反映出装置周围环境的湿度情况，保证装置处于合适的环境中工作，以免湿度过大而造成装置失效。

物联网平台利用无线通信技术，例如NB-IoT、4G/5G或光纤通信，确保传感器收集的数据能够稳定、迅速地传送到监控中心。这些传感器布放于变电站内不同装置中，对装置运行状态进行实时采集。如局部放电传感器能探测电气设备内局部放电现象、灵敏度能探测微小放电信号、有助于预先发现电气绝缘老化现象等等。另外，振动传感器具有实时监测设备机械振动状况的能力，其灵敏度高达 0.01g ，主要用于检测设备在运行过程中可能出现的异常振动，从而预防机械故障的发生。

通过集成物联网系统，对传感器收集到的各种数据进行统一管理和分析。后台系统采用大数据分析技术深度处理海量传感器数据，将设备历史运行数据与当前状态相结合，产生运行报告，发出故障预警。例如，当温度传感器侦测到设备温度出现异常上升时，该系统会与其他传感器的数据，例如电流和电压等，进行全面的综合分析，以便准确判断设备存在的具体问题。物联网技术也支持远程控制与监测，运维人员可通过移动设备或者监测平台对设备状态进行实时观察，并做出相关决策。该全方位、实时化数据采集及处理方法极大地促进变电站智能巡视工作的准确性和可靠性，并有效防止设备故障，减少运维成本，提高系统安全运行效率。

（四）人工智能与大数据分析

将人工智能、大数据分析等技术应用于变电站智能巡视，大大提高了设备监测及故障诊断的准确性及效率。通过海量传感器获取的实时数据与设备历史运行记录相结合，利用人工智能算法可以对设备健康状态进行准确的分析。比如，利用机器学习算法可以使系统在一些参数比如设备温度和振动幅度等情况下辨识出设备正常工作模式和可能发生故障模式、当电流波动超过正常值

时，利用AI算法能够迅速地检测和报警异常。深度学习技术，如卷积神经网络（CNN），在图像识别领域得到了广泛应用。这些技术能够自动地分析巡检机器人或无人机捕获的设备图像，并能有效地识别出设备的外观损伤、腐蚀或螺栓松动等问题。

大数据分析技术使系统能够处理成千上万个传感器所产生的大量数据。该系统可通过聚类分析和回归分析这些数据来预测器件剩余寿命或者潜在故障的可能性。在多维数据模型的基础上，该系统也可对设备运行趋势分析并预先计划维修任务。比如通过对温度数据进行长时间监测与分析，该系统能够对变压器寿命进行预测，然后安排更加合理的维护计划来缩短非计划停机时间，提高电网运行稳定性。

结束语

变电站智能巡视技术是现代电力系统管理中的一项重要内容，它充分运用人工智能、物联网和大数据分析等多种先进技术，显著提高设备监测准确性，巡视效率以及运维安全性。通过引进智能巡检机器人、无人机以及各种传感器等设备，使变电站巡检工作自动化、实时化、智能化，从而为电力系统平稳运行提供有力技术保障。同时，以大数据与人工智能为基础的预测性维护功能在降低设备故障发生率的同时也提升了其使用寿命与维护效率。今后随着5G通信技术，边缘计算和深度学习算法等技术的深入开展，变电站智能巡视技术也会不断完善，在更加复杂的应用场景下起到至关重要的作用。

参考文献

- [1]任宇路,刘毅敏,节连彬,等.基于AI和智能视频分析技术的变电站安全运维系统[J].自动化技术与应用,2023,42(7):174-178.
- [2]魏崇理,明廷焕,李士焱.110kV智能变电站智慧化技术改造分析[J].农村电工,2023,31(10):37-37.
- [3]桑伟.智能变电站电气设备安装与调试技术分析[J].集成电路应用,2023(11):284-285.
- [4]裴海良.变电站智能化改造技术问题分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2022.
- [5]钟岳坤.智能变电站的运行维护技术分析[J].电力设备管理,2022(6):4.
- [6]张勇.电力系统中智能变电站继电保护技术分析[J].现代工程项目管理,2023.