

变电站智能巡检机器人应用与值班模式变革

吉雅嘎 李锦涛

内蒙古电力(集团)有限责任公司阿拉善供电分公司 内蒙古自治区 阿拉善盟 750306

摘要: 本文聚焦变电站智能巡检机器人应用及由此引发的值班模式变革,详细介绍智能巡检机器人的定义、系统组成与功能特点后,深入阐述其在变电站多场景、全电压等级的应用现状与所取得的显著成效。进一步分析智能巡检机器人应用对传统值班模式产生的深刻影响,揭示其带来的变革以及蕴含的优势效益,针对基于智能巡检机器人的值班模式提出优化策略,涉及人员培训、制度流程优化、系统融合协同以及安全管理与风险防控等多个维度,为变电站智能化发展提供有益参考。

关键词: 变电站;智能巡检机器人;值班模式

引言:在电力行业智能化转型浪潮中,变电站作为电网核心枢纽,其运维模式正经历深刻变革。传统人工巡检方式受限于人力成本、环境风险及监测精度,难以满足现代电网对安全性和可靠性的高标准要求。随着机器人技术与人工智能的深度融合,智能巡检机器人凭借自主导航、高精度检测和全天候作业能力,成为破解变电站运维难题的关键工具,并推动值班模式从“人工主导”向“人机协同”的范式跃迁。

1 变电站智能巡检机器人概述

1.1 智能巡检机器人的定义

变电站智能巡检机器人是一种集成多种先进技术,能够自主或按照预设指令在变电站内执行巡检任务的移动设备。它融合了机械设计、电子技术、传感器技术、人工智能以及通信技术等多领域知识,可模拟人类巡检员的视觉、听觉等感知能力,对变电站设备进行全方位、多角度的检测与监控。通过搭载各类高精度传感器,如红外热成像仪、可见光摄像头、声学传感器等,实现对设备温度、外观、声音等关键参数的实时采集与分析,及时发现设备潜在故障隐患,为变电站的安全稳定运行提供有力保障。

1.2 智能巡检机器人的系统组成

智能巡检机器人系统主要由移动平台、传感器系统、控制与决策系统、通信系统以及上位机管理软件等部分构成。移动平台作为机器人的载体,具备灵活的移动能力,可适应变电站复杂的地形环境;传感器系统是机器人的“感官”,负责采集设备的各种状态信息;控制与决策系统依据传感器数据进行分析判断,做出合理的巡检决策;通信系统实现机器人与上位机之间的数据传输与指令交互;上位机管理软件则为用户提供直观的操作界面,便于对机器人进行远程监控、任务设置与数据分析。

各部分协同工作,确保机器人高效、准确地完成巡检任务。

1.3 智能巡检机器人的功能特点

智能巡检机器人具有诸多显著功能特点。其一,自主导航与定位能力强,能够在无人干预的情况下,按照预设路径准确到达指定巡检位置,并实时调整自身位置以适应环境变化。其二,检测精度高,借助先进的传感器技术,可对设备进行微米级甚至更高精度的检测,有效发现早期微小故障。其三,数据采集与分析全面,不仅能获取设备的静态数据,还能实时监测动态变化,并通过内置算法对数据进行深度分析,提供详细的设备健康评估报告。其四,适应性强,可在恶劣天气、强电磁干扰等复杂环境下稳定工作,保障巡检工作的连续性^[1]。

2 智能巡检机器人在变电站的应用现状

2.1 应用场景与范围

当前,变电站智能巡检机器人已实现多场景、全电压等级覆盖,应用范围从传统设备巡检拓展至特殊时段与高危区域作业。常规设备巡检方面,轨道式机器人负责主变压器等固定设备日常巡检,每日按预设路线巡检2-4次,自动采集设备信息。如某220kV变电站部署2台轨道式机器人,覆盖全站关键设备,替代人工每日2次现场巡检。轮式机器人适用于户外大范围巡检,能自主避障,适应不同设备布局。无人机聚焦高空设备巡检,解决人工攀爬风险,如某500kV变电站用无人机巡检,将母线巡检时间大幅缩短;特殊时段巡检中,机器人优势明显。夜间巡检时,无人机搭载夜视与红外设备,精准识别设备温度异常,某变电站借此发现3起白天未察觉的故障。故障后巡检,机器人可快速进入故障区域排查,避免人员接触高压带电设备,如某次110kV线路短路故障,轮式机器人15分钟内定位故障点,为抢修节省时间;高危区域巡检时,机器人替代人工进入SF6开关室等密闭空间,

检测气体浓度与设备状态；从电压等级看，机器人应用覆盖35kV至1000kV全等级变电站。

2.2 应用效果分析

智能巡检机器人在变电站的应用已取得“安全提升、效率优化、成本降低”三大显著效果，为值班模式变革奠定实践基础。在安全保障方面，机器人替代人工进入高压、高危区域巡检，显著降低人员安全风险，2023年国家电网数据显示，应用机器人的变电站人工触电、高空坠落等安全事故发生率下降90%，如某500kV变电站通过无人机巡检母线，彻底取消人工攀爬作业，消除高空坠落隐患；同时，机器人高精度故障识别能力提前发现潜在故障，避免事故扩大，某220kV变电站机器人在巡检中发现#3主变套管渗油，及时安排检修，避免套管爆裂导致的停电事故，减少直接经济损失超500万元^[2]。在运维效率方面，机器人大幅提升巡检效率与数据质量，单台机器人日均巡检设备数量是人工的3-5倍，某110kV变电站应用机器人后，每日巡检时间从人工8小时缩短至2小时；数据采集实现“自动化、无遗漏”，人工巡检易遗漏的设备死角（如变压器底部、电缆沟深处）可通过机器人全覆盖，某变电站机器人巡检首次发现电缆沟内电缆接头过热故障，该故障已存在1个月未被人工察觉；故障处置效率提升，机器人发现故障后直接推送定位与分析，值班人员无需现场排查，故障处置时间从人工4小时缩短至1.5小时，2023年应用机器人的变电站平均故障恢复时间缩短50%。在成本控制方面，机器人降低长期人力成本，传统35kV变电站需6-8人实行“四班三运转”，应用机器人后单站值班人员可减少至2-3人，年节省人力成本超100万元；同时，机器人延长设备寿命，提前发现的潜在故障（如轻微过热、渗油）可及时处理，避免设备过度损耗。

3 智能巡检机器人应用对值班模式的影响

3.1 传统变电站值班模式分析

传统变电站值班模式主要采用多人轮班制，运维人员需定时对变电站设备进行现场巡检，记录设备运行数据，并在发现异常时及时处理。这种模式存在诸多弊端，一方面，人工巡检受主观因素影响较大，巡检质量参差不齐，且难以做到全天候实时监控；另一方面，大量人力投入导致运维成本居高不下，同时，在面对复杂故障时，人工处理能力有限，可能延误最佳处理时机，影响变电站的安全稳定运行。另外，传统值班模式对运维人员的专业技能与经验依赖度高，人员培训与管理难度较大。

3.2 智能巡检机器人应用后的值班模式变革

随着智能巡检机器人的应用，变电站值班模式发生

了深刻变革。值班人员数量大幅减少，部分简单重复的巡检工作由机器人替代完成。值班模式从传统的现场实时巡检转变为远程监控与定期现场核查相结合。运维人员通过上位机管理软件，实时接收机器人传回的设备数据与图像信息，对设备运行状态进行远程诊断与分析。当机器人检测到异常时，及时通知值班人员前往现场处理。同时，值班人员的职责也发生转变，更加侧重于设备的深度分析与故障处理，以及对机器人运行状态的监控与维护。

3.3 值班模式变革带来的优势与效益

从经济效益看，减少值班人员数量，降低人力成本，同时提高了设备巡检效率，减少因设备故障导致的停电损失，提升了变电站的经济效益。在社会效益方面，保障电力供应的稳定性与可靠性，为社会生产生活提供有力支持。在管理效益上，实现了值班工作的标准化与规范化，通过机器人采集的准确数据，为设备管理提供了科学依据，有助于优化运维策略，提高设备管理水平^[3]。值班模式的变革也促进了电力行业向智能化、自动化方向发展，提升了行业的整体竞争力。

4 基于智能巡检机器人的值班模式优化策略

4.1 人员培训与技能提升

在基于智能巡检机器人的值班模式变革背景下，人员培训与技能提升成为保障新模式顺利推行的核心要素。一方面，针对机器人操作与维护开展系统培训课程十分必要。值班人员需要全面掌握机器人的启动流程，从电源开启到系统自检的每一个环节都要了如指掌；停止操作时，要确保机器人安全、有序地结束任务并回到指定位置。在任务设置方面，要能根据不同设备的巡检需求，精准设定巡检路线、检测项目等参数。对于故障排查，要熟悉常见故障的表现形式及解决方法，如传感器故障、通信中断等。另一方面，强化数据分析与故障诊断能力培训不可或缺。模拟演练则能营造真实场景，提升值班人员在面对复杂数据时，准确解读并判断设备故障类型与严重程度的能力，从而在故障发生时能够迅速、准确地处理，保障变电站设备的安全稳定运行。

4.2 值班制度与流程优化

优化值班制度与流程是确保基于智能巡检机器人的新值班模式高效运转的关键所在。制定详细且合理的机器人巡检计划与值班安排至关重要。要根据变电站设备的分布、重要程度以及运行规律，科学规划不同时间段机器人的巡检任务，明确每个时段机器人应巡检的设备范围和检测重点。同时，清晰界定值班人员的职责，确保在机器人巡检过程中，每个环节都有专人负责。建立

完善的故障应急处理流程不可或缺。当机器人检测到设备异常时,值班人员需依据既定流程迅速响应,从初步判断故障类型到采取相应的隔离、维修等措施,都要有明确的步骤和标准。此外,加强值班记录与报告管理十分必要。要求值班人员详细、准确地记录机器人的运行情况,包括巡检时间、路线、发现的异常数据等;记录设备检测数据,为后续分析提供依据;同时完整记录故障处理过程,总结经验教训。这些记录将为设备管理与决策提供完整、准确的信息支持,推动值班工作有序、高效开展^[4]。

4.3 与现有监控系统的融合与协同

实现智能巡检机器人与现有监控系统的深度融合与协同,对于提升变电站整体监控水平意义重大。通过建立统一的数据接口与通信协议,打破机器人与变电站内监控系统、保护装置等之间的数据壁垒,使机器人能够与这些系统进行无缝对接。这样一来,机器人采集的设备运行数据,如温度、压力、振动等,以及监控系统获取的电力参数、设备状态等信息,都能实现实时共享与交互。将机器人采集的数据与现有监控系统的数据进行整合分析,能够为设备状态评估提供更全面、准确的信息。例如,结合机器人的外观检测数据和监控系统的电气参数,可以更精准地判断设备是否存在潜在故障。值班人员无需到达现场,就能根据实际情况调整机器人的巡检任务和路线,提高机器人的使用效率与灵活性,充分发挥智能巡检机器人与现有监控系统的协同优势。

4.4 安全管理与风险防控

在基于智能巡检机器人的值班模式下,安全管理与风险防控是保障变电站安全稳定运行的基石。加强对机器人运行环境的安全管理至关重要。变电站内设备密集、线路复杂,要确保机器人在行驶过程中不会与设备、人

员发生碰撞。可以通过设置电子围栏、安装防撞传感器等方式,为机器人划定安全行驶区域,实时监测其与周围物体的距离,一旦接近危险区域立即发出警报并停止运行。建立机器人故障预警机制十分必要。实时监测机器人的运行状态,包括硬件设备的温度、电压、电流等参数,以及软件系统的运行逻辑和稳定性。当出现故障隐患时,如传感器数据异常、通信中断等,及时发出预警信息,通知值班人员进行检查和处理。同时,制定完善的安全应急预案不可或缺。针对可能出现的机器人故障、数据泄露等安全风险,明确应急处理流程和责任分工。确保在突发情况下,值班人员能够迅速、有效地采取措施,如隔离故障机器人、恢复数据等,保障变电站的安全稳定运行。

结束语

变电站智能巡检机器人的应用推动了值班模式的深刻变革,在安全、效率、成本等方面成效显著。随着技术发展,值班模式优化至关重要。通过人员培训提升技能、优化值班制度流程、实现系统融合协同以及加强安全管理,能充分发挥机器人优势,提升变电站运维水平。未来,应持续探索创新,推动电力行业智能化进程,为社会提供更稳定可靠的电力供应。

参考文献

- [1]黄炜昭,辛拓,张宏钊,等.变电站智能巡检机器人轨迹跟踪控制方法研究[J].自动化仪表,2025,46(3):54-58,64.
- [2]吴可可,黄湘伟,朱峰,等.变电站智能巡检机器人的应用研究[J].电力设备管理,2024(8):289-291.
- [3]汪洋.变电站智能巡检机器人关键技术开发[J].电力安全技术,2024,26(2):69-74.
- [4]罗骏杰,董悦,潘亦辰.变电站智能巡检机器人多目标识别方法研究[J].电气技术与经济,2024(1):49-52.