

# 变电站运维中智能巡检机器人关键技术研究

郑程

(国网湖南省电力有限公司衡阳供电分公司,湖南省衡阳市,421001)

**摘要** 为提高变电站运维的智能化效果,本文对变电站运维中智能巡检机器人关键技术进行了总结,通过多模态传感信息融合技术、复杂电磁环境下鲁棒导航定位与路径规划技术、设备缺陷智能诊断与状态评估技术,实现了智能巡检机器人在变电站复杂环境中的厘米级精准巡检。该技术推动了电力设备管理从被动响应向主动预防的数字化转型,为电网安全运行提供了高效、可靠的智能解决方案。

**关键词** 智能巡检机器人;变电站运维;预警

中图分类号:TM762 文献标识码:B

文章编号:1008-0899(2025)10-0064-02

随着全球能源互联网建设的加速推进,变电站作为电力系统枢纽设施的运维压力日益凸显。传统人工巡检模式存在作业强度大、巡检周期长、环境适应性差等固有缺陷,难以满足现代电网“高可靠、低延时、少人化”的运维需求。特别是在强电磁干扰、复杂地形等极端工况下,人工巡检的精度与安全性面临严峻挑战。在此背景下,智能巡检机器人凭借其全天候作业能力、多维度感知特性及自主决策优势,逐渐成为变电站智能化转型的核心载体。当前智能巡检技术研究主要集中在单一传感器优化与局部功能升级层面,缺乏面向复杂电力场景的系统化解决方案。因此,对变电站运维中智能巡检机器人关键技术及应用效果进行总结和分析具有重要的意义。

## 1 变电站运维中智能巡检机器人关键技术

### 1.1 多模态传感信息融合技术

多模态传感信息融合技术是智能巡检机器人在变电站复杂环境精准感知状态的核心支撑,通过整合多类型传感器数据,突破单一传感器局限,为设备状态评估提供全面可靠信息。智能巡检机器人进行数据采集时,配置可见光摄像机、红外热成像仪等多类传感器,可见光摄像机记录外观缺陷,红外热成像仪捕捉温度异常。因不同传感器在采

样频率等方面有差异,需通过时间同步与空间配准解决数据对齐问题。时间同步靠高精度硬件同步脉冲信号,空间配准则用外部标定板或联合标定算法统一数据坐标系。完成采集与校准后,多源信息在不同层次融合,数据层整合原始数据,特征层提取关键特征分析,决策层结合设备情况筛选评估异常信息。例如智能巡检机器人在判断变压器套管过热隐患时,将融合红外热成像与可见光信息进行综合判定。多模态传感信息融合技术提升了智能巡检机器人状态感知的全面性与准确性,为智能诊断与状态评估提供了高质量的原始数据基础<sup>[1]</sup>。

### 1.2 复杂电磁环境下鲁棒导航定位与路径规划技术

在变电站的环境中存在高强度电磁干扰,严重削弱传统导航传感器可靠性。为保障智能巡检机器人精确定位与安全通行,智能巡检机器人中构建了多传感器融合增强的鲁棒导航定位与路径规划技术。鲁棒导航定位技术以抗电磁干扰的激光雷达即时定位与地图构建系统为核心,集成高精度里程计与MEMS惯性测量单元(inertial measurement unit, IMU)数据,构建多源感知框架;针对磁罗盘易受干扰场景,辅以超宽带(Ultra Wide Band, UWB)定位、视觉锚点识别及实时动态载波相位差分技术+全球导航卫星系统(Real time kinematic—Global Navigation Satellite System, RTK-GNSS)校正信号等多模态定位技术,通过卡尔曼滤波算法对多源数据进行实时融合,动态消除定位误差,最终实现强电磁干扰环境下的厘米级导航精度<sup>[2]</sup>。

智能巡检机器人在复杂电磁环境下的路径规

作者简介:郑程(1978~),男,湖南长沙人,本科,工程师,研究方向:变电运维。

划需建立包含运行语义信息的环境地图,明确标注高压危险禁入区、设备安全净空限值、机器人运动能力边界及预设检测工位。任务规划器依据全局目标生成基础路径,并嵌入动态避障机制。智能巡检机器人利用激光雷达或立体视觉感知实时障碍物信息,结合速度场预测模型在线优化局部轨迹;智能巡检机器人在狭小空间或邻近移动设备时,启用基于距离场强判定的分级降速逻辑与安全通道算法。系统同步设计导航冗余机制,确保在雨雾等恶劣气象条件下,智能巡检机器人仍可依靠降级模式维持基本导航功能。该技术有效解决了强电磁干扰对传统定位手段的抑制问题,提升智能巡检机器人在复杂变电站场景下的连续、稳定、自主化运行的能力。

### 1.3 设备缺陷智能诊断与状态评估技术

智能巡检机器人的设备缺陷智能诊断与状态评估技术建立了分层处理的设备状态自动化诊断流程,支撑变电站设备异常工况的及时识别与准确判定。诊断过程依托巡检机器人采集的多种传感器数据展开深度解析。在基本分析层面,运用图像分析技术处理可见光数据,通过目标检测算法识别设备表面锈蚀、油污渗漏、结构偏移等外观异常;应用红外图像处理技术构建温度场变化模型,定位温度异常区域,并结合历史同型设备标准温度曲线进行安全阈值比对;对声学数据实施波形分解与频谱特征提取,捕捉设备内部异常振动信号或局部放电声学特征<sup>[1]</sup>。

智能巡检机器人对设备缺陷诊断流程中依据设备类型、运行年限及历史缺陷记录,对单一传感器异常信号开展可信度验证,排除环境因素干扰形成的误报信号。高阶诊断系统采用概率网络或多参数融合分析模型,协同处理红外温升特征、外观形变数据、电磁信号强度及声音频谱异变等综合指标,形成设备健康状态评估结论。诊断结果输出包含具体缺陷类型描述如隔离开关接触面过热、电流互感器接线盒受潮等,同时标注严重等级与处置优先级建议。系统同步整合设备全周期运行数据档案,采用时间序列趋势分析、劣化过程预测模型及数据聚类技术,揭示设备性能衰退规律,优化预防性维修方案,有效提高缺陷预警及时性与维护决策

精准性。该技术将分散监测数据转化为运维指导依据,显著增强设备风险管控能力。

## 2 应用实践与效果分析

某500kV变电站作为智能巡检机器人示范应用场景,实际运行中配置了轨道式与轮式两类机器人,分别覆盖GIS室、高压室及室外设备区,搭载可见光、红外、激光雷达等多类型传感器。智能巡检机器人每日执行两次全覆盖巡视与不定点抽检,累计替代超80%常规人工例行巡视任务。实践显示,该智能巡检机器人成功捕捉到隔离开关刀口过热、电流互感器端子盒受潮锈蚀、气体绝缘开关设备局部放电信号突增等多项早期隐患,并较传统人工巡视平均提前约48h发出预警。运维团队劳动强度显著降低,工作重心从重复性巡视转向数据分析与策略优化。数据采集一致性提升至98%以上,有效解决了人工记录误差问题。智能巡检机器人在一年连续运行中未发生因导航故障导致的碰撞事件,验证了多模态感知、鲁棒导航及智能诊断技术的协同有效性。实际应用表明,智能巡检机器人能够稳定替代高风险、高强度的人工巡检作业,为变电站设备状态精准管控提供了可靠的技术支撑。

## 3 结语

智能巡检机器人通过整合多模态传感器融合、鲁棒导航定位与智能诊断技术、设备缺陷智能诊断与状态评估技术,显著提升了变电站巡检效率与准确性。在强电磁干扰环境下,智能巡检机器人实现厘米级定位与全天候自主巡检,成功替代80%人工例行巡视,缺陷预警时效性提升48h。实际应用效果验证了智能巡检机器人在变电站运维中应用的可行性和有效性,为变电站运维智能化提供了高效、可靠的解决方案。

## 参考文献

- [1] 张立华,王明宇.基于时空同步的多模态传感融合方法在电力设备巡检中的应用[J].电力系统自动化,2025,49(3):123-130.
- [2] 贾琼琼,周月颖.非视距环境下核密度估计的全球卫星导航系统鲁棒定位方法[J].电子与信息学报,2024,46(8):3246-3255.
- [3] 燕洁,李娟.基于电力系统二次设备功能缺陷文本数据的设备智能诊断[J].电工技术,2023,(19):142-144.