

智能巡检机器人在变电站运维中的应用研究

董利国 周 华 崔国杰
国网哈密供电公司 新疆 哈密 839000

摘要: 智能巡检机器人是现代工业巡检关键设备,其技术构成涵盖硬件与软件,硬件有自主移动平台、传感器系统等,软件含路径规划与数据处理分析系统。在变电站运维中,可用于设备外观监测、温度故障检测、环境与参数采集。其应用价值显著,能提升运维效率、检测精度与可靠性及作业安全性。不过,存在复杂环境适应性不足、复杂故障识别能力有限、系统兼容性与维护成本等问题,可分别通过优化算法、引入算法、统一接口等策略解决。

关键词: 智能巡检机器人; 变电站运维; 应用研究

引言:在现代工业巡检领域,变电站运维工作至关重要且面临诸多挑战。传统人工巡检模式受限于流程繁琐、作息及天气等因素,难以满足高效、精准、安全的运维需求。在此背景下,智能巡检机器人应运而生,成为变电站运维的关键设备。它凭借硬件系统与软件系统的深度协同,拥有自主移动平台、传感器系统等精密组件,以及路径规划、数据处理分析等核心软件功能。其在设备外观监测、温度检测、参数采集等场景中发挥着重要作用,但也存在复杂环境适应性、故障识别、系统兼容与维护成本等问题。本文将深入探讨其技术构成、应用场景、价值及问题解决策略。

1 智能巡检机器人的技术构成

智能巡检机器人作为现代工业巡检领域的关键设备,其稳定、高效的运行依赖于硬件系统与软件系统的深度协同配合,其技术构成直接决定了巡检作业的有效性与可靠性。(1)在硬件层面,智能巡检机器人拥有一系列精密且关键的核心组件。自主移动平台是其行动的基础,采用轮式或履带式设计,搭配高性能驱动电机与精准转向系统。这种设计使机器人能够依据变电站现场复杂多变的地形,灵活调整移动轨迹,轻松跨越设备间隙、台阶等常见障碍,确保在各种环境下都能稳定行进。(2)传感器系统堪称机器人的“感知器官”,它集成了可见光相机、红外热像仪、声音采集器、气体传感器等多种先进设备。通过这些设备,机器人能够实现对设备外观细节、温度分布、运行声音特征以及周边环境参数的多维度、全方位数据采集,为后续的分析判断提供丰富而准确的信息。(3)数据存储单元具备大容量、高稳定性的显著特点,可实时存储巡检过程中产生的图像、视频、数值等各类数据,有效防止数据丢失,确保数据的完整性和可追溯性。通信模块则通过5G、WiFi或专网技术,搭建起机器人与变电站监控中心之间的实时

数据传输桥梁,实现指令的精准交互,保障巡检过程全程远程可控。(4)软件层面,路径规划系统与数据处理分析系统发挥着核心作用。路径规划系统基于变电站精确的三维地图,运用先进的自主导航算法,规划出最优巡检路线,并能实时感知并规避巡检过程中出现的临时障碍,确保机器人精准无误地到达每一个预设巡检点位。数据处理与分析系统负责对传感器采集的原始数据进行深度处理,包括降噪、特征提取与比对分析等,结合预设的设备正常运行参数标准,自动识别异常数据并准确标记故障等级,为运维人员提供科学、可靠的决策依据^[1]。

2 智能巡检机器人在变电站运维中的核心应用场景

2.1 设备外观状态监测

在变电站运维工作中,智能巡检机器人于设备外观状态监测方面发挥着至关重要的作用。(1)机器人配备高精度的可见光相机,能够对变电站内变压器、断路器、隔离开关、绝缘子、母线等核心电力设备展开全方位、无死角的拍摄。运用先进的图像识别技术,机器人可自动且精准地检测设备表面状况,快速识别出是否存在破损、锈蚀、变形、漏油等常见外观缺陷,还能敏锐察觉绝缘子污秽、异物附着等潜在问题。(2)它能精准判断设备操作机构的位置状态,例如隔离开关的分合闸状态、接地开关位置等是否严格符合运行要求。对于设备铭牌、指示标识等关键信息,机器人借助图像放大与字符识别技术,高效提取数据,确保信息记录准确无误。这一系列功能有效避免了人工巡检时因视觉疲劳、观察角度受限或经验不足而引发的漏检、误判问题,大大提升了设备外观状态监测的质量与效率。

2.2 设备温度与发热故障检测

在变电站运维体系里,智能巡检机器人凭借其先进的红外热像仪,在设备温度与发热故障检测方面展现出

卓越效能。(1) 红外热像仪赋予机器人非接触式温度测量的能力,使其能够精准聚焦设备关键部位,尤其是变压器绕组、套管、设备接头、端子排、开关触点等极易发热的组件。在巡检过程中,机器人实时生成直观的温度热成像图,清晰呈现设备各部位的温度分布情况。

(2) 它将测量所得的温度数据与预设的严格温度阈值进行自动比对分析。一旦检测到局部温度超出标准范围,或温度梯度出现异常,如因接头松动引发的局部过热现象,或是设备内部故障导致的温度急剧升高,机器人会迅速启动预警机制。它会第一时间向监控中心发送详尽的预警信息,涵盖故障发生的具体位置、精确的温度数据以及直观的热像图,助力运维人员实现发热故障的早期察觉与及时干预,有效防止故障扩大,保障变电站设备的安全稳定运行^[2]。

2.3 环境与设备运行参数采集

在变电站日常巡检作业中,智能巡检机器人承担着全面且精准的环境与设备运行参数采集重任。(1) 借助声音采集器,机器人能够敏锐捕捉设备运行过程中产生的各类声学信号。通过专业的分析算法,它可以精准识别设备运行声音是否存在异常异响。例如,变压器铁芯松动时会产生特有的异常振动声,开关设备接触不良会引发放电声,这些细微的异常声音都能被机器人准确捕捉并分析,进而判断设备的运行状态是否正常。(2) 气体传感器则专注于实时监测变电站内的关键环境参数,像SF₆气体浓度、氧气含量等。一旦SF₆气体泄漏致使浓度超标,或者氧气含量过低,机器人会立即发出声光报警,为工作人员及时规避危险区域提供警示,全力保障人员安全。(3) 机器人还能同步采集环境温湿度、粉尘浓度、光照强度等多项数据,这些数据为变电站合理进行环境调控、科学制定设备维护计划提供了坚实的基础数据支撑。

3 智能巡检机器人的应用价值体现

3.1 运维效率大幅提升

在变电站运维领域,智能巡检机器人展现出极高的应用价值,尤其在提升运维效率方面成效显著。传统人工巡检方式,工作人员需按既定流程,对每一台设备依次开展检查、记录等工作,整个作业流程不仅繁琐,而且效率低下。同时,人工巡检受作息时间和天气条件等外部因素制约较大,难以实现全天候不间断巡检作业。与之相比,智能巡检机器人具备高度自主性,能够依据预设程序,自主完成巡检路线规划、各类数据精准采集以及异常情况及时上报等全流程工作,无需人工全程陪同操作。这不仅能大幅缩短单次全面巡检所需时间,还

可支持24小时不间断作业,极大提升了巡检频次与覆盖密度,使运维工作的响应速度和覆盖范围实现质的飞跃。

3.2 检测精度与可靠性提升

在变电站设备检测场景中,人工巡检的弊端较为突出。其检测结果受工作人员经验、责任心和专注度影响极大,且手工记录数据的方式,不仅效率低下,还极易出现漏检、误判以及数据误差等情况,难以保障检测质量。而智能巡检机器人优势显著,它搭载的高精度传感器发挥了关键作用。红外热像仪能精准检测设备温度,精度达较高水平;可见光相机可捕捉设备细微缺陷。数据采集全程自动化,杜绝了人为干预误差。同时,所有数据实时上传至数据库,形成可追溯、核查的记录,为设备状态评估提供坚实依据,极大提升了检测结果的精准度与可靠性^[3]。

3.3 作业安全性显著提高

在变电站运维场景中,作业安全至关重要。变电站内布局紧凑,高压设备林立,部分作业区域潜藏着诸多安全风险,像高电压、强电场,以及SF₆气体泄漏等。人工巡检时,工作人员需近距离接触设备,时刻面临触电、中毒等严重威胁生命安全的潜在危险。而智能巡检机器人的应用,有效解决了这一难题。它能够直接替代人工,深入这些高危区域开展巡检作业,将人员从危险环境中隔离开来。并且,机器人配备了先进的应急避障与紧急停机功能,在巡检途中遇到突发状况时,可迅速做出反应,保障设备与自身安全,从根本上大幅降低了运维作业的安全风险。

4 智能巡检机器人应用中的问题与解决策略

4.1 复杂环境适应性不足

在智能巡检机器人的实际应用中,复杂环境适应性不足的问题较为突出。部分老旧变电站布局缺乏规整性,通道狭窄且设备密集,这使得机器人在自主导航过程中,常常面临路径拥堵的困境,难以灵活穿梭,避障也容易出现不及时的情况,影响巡检效率与准确性。极端环境条件也给机器人运行带来挑战。暴雨、暴雪等恶劣天气可能损坏机器人部件,高温环境会干扰其电子元件正常工作,强电磁干扰则会影响传感器性能与通信稳定性,导致数据采集中断,或者采集的数据误差增大,进而影响对设备状态的准确判断。

针对这些问题,可采取以下解决策略。对于老旧变电站的特殊场景,优化路径规划算法,使其能更智能地应对复杂路况;增加人工遥控模式,当机器人自主导航受阻时,可灵活切换至手动操作。对机器人硬件进行防护升级,增强传感器密封性能与抗电磁干扰能力,为移

动平台加装防滑、防水装置,提升其在恶劣环境下的运行稳定性。此外,提前对变电站现场进行精准地形测绘与障碍标记,为机器人导航系统提供更全面、精准的环境数据,助力其更好适应复杂环境。

4.2 复杂故障识别能力有限

在智能巡检机器人的实际应用场景中,复杂故障识别能力有限是亟待解决的关键问题。当下,机器人主要依赖预设阈值与模板匹配的方式开展故障识别工作。然而,面对复合型故障,例如设备同时出现外观缺陷与温度异常的状况,由于这类故障的特征并非单一因素所能涵盖,机器人往往难以精准识别。对于隐性故障,像设备内部绝缘老化这类难以直接通过外观观察或温度检测发现的故障,机器人更是容易“束手无策”。此外,一些罕见故障由于缺乏足够的识别样本与对应规则,机器人对其的识别准确率也相对较低,进而容易出现误判或漏判的情况,给变电站的安全稳定运行带来潜在风险。

为解决这些问题,可采取一系列针对性策略。引入先进的机器学习算法,借助海量故障数据对识别模型进行深度训练,使模型具备更强的自适应与学习能力,提升对复杂故障和罕见故障的识别能力。优化数据融合技术,将视觉、温度、声音等多维度采集的数据进行综合分析,构建多特征故障识别模型,从多个角度全面判断设备运行状态。同时,建立动态更新的故障案例库,定期补充新的故障类型与特征参数,持续优化识别算法,提升故障识别的全面性与准确性^[4]。

4.3 系统兼容性与维护成本问题

在智能巡检机器人于变电站的应用推广进程中,系统兼容性与维护成本问题逐渐凸显。部分已投入使用的变电站监控系统、设备管理平台,与新增的智能巡检机器人在数据接口方面存在不兼容情况^[5]。这使得巡检机器人采集到的丰富数据无法顺畅地与其他系统共享,形成了“数据孤岛”,极大地限制了运维数据的综合利用价值,不利于对变电站设备运行状况进行全面、深入的分析与判断。与此同时,智能巡检机器人的传感器、移动部件等属于易损耗部件,在长期运行过程中,不可避免地会出现磨损、老化等问题,需要投入一定的维护成

本。而且,这些维护工作对技术专业性的要求颇高,若处理不当,可能会影响机器人的正常运行。

针对这些问题,可采取以下解决策略。在机器人选型阶段,优先挑选支持标准化数据接口的产品。对于已存在的系统兼容性问题,对现有监控系统、设备管理平台进行接口改造,搭建统一的数据融合平台,实现巡检数据与运维管理系统的无缝对接。建立完善的机器人定期维护机制,制定标准化维护流程,对易损耗部件进行预防性更换。同时,加强对运维人员的技术培训,提升其日常维护与简单故障排查能力,降低维护成本与对专业技术人员的依赖。

结束语

智能巡检机器人作为变电站运维领域的创新力量,凭借其先进的技术构成,在设备外观监测、温度检测、参数采集等核心场景中发挥着关键作用,极大提升了运维效率、检测精度与作业安全性。然而,其在复杂环境适应性、复杂故障识别以及系统兼容性与维护成本等方面仍面临挑战。通过优化路径规划、引入机器学习算法、改造数据接口、建立定期维护机制等针对性解决策略,可有效克服这些难题。未来,随着技术的持续进步与创新,智能巡检机器人将不断完善与升级,为变电站的安全稳定运行提供更为坚实、可靠的保障,推动电力行业向智能化、高效化方向迈进。

参考文献

- [1]黄涛.智能巡检机器人在变电站运维工作中的应用[J].光源与照明,2021(04):80-81.
- [2]赵琛,方圣,陈兆.无人值守变电站智能巡检机器人的应用与运维[J].安徽电力,2020(01):3.
- [3]张春晓,陆志浩,刘相财.智慧变电站联合巡检技术及其应用[J].电力系统保护与控制,2021,49(9):158-164.
- [4]董诗绘,牛彩雯,戴琨.基于深度强化学习的变电站巡检机器人自动化控制方法研究[J].高压电器,2020,57(02):172-7.
- [5]韩立影.机器人巡检系统在变电站运维中的应用[J].集成电路应用,2020,39(11):232-233.