

# 智能巡检机器人在接触网缺陷检测中的应用

李志鹏

中国铁路乌鲁木齐局集团有限公司乌鲁木齐供电段 新疆 乌鲁木齐 830023

**摘要:** 随着电气化铁路快速发展,接触网安全检测需求激增。本文聚焦智能巡检机器人在接触网缺陷检测领域的应用。首先阐述其技术原理,涵盖传感器、图像识别与处理、自主导航及通信技术。接着介绍应用场景,包括日常巡检、故障排查、应急抢修与数据收集分析。同时指出该机器人在应用中面临技术瓶颈、成本、环境适应性和数据安全等挑战。最后提出应对策略,如技术创新升级、成本优化、提升环境适应性、保障数据安全以及采用标准化与模块化设计,旨在推动智能巡检机器人在接触网缺陷检测中更好地发挥作用,提升铁路运行安全与效率。

**关键词:** 智能巡检机器人;接触网;缺陷检测;应用挑战;应对策略

**引言:** 在铁路运输系统中,接触网作为关键的供电设施,其运行状态直接影响列车的安全与稳定。传统的人工巡检方式不仅效率低下、劳动强度大,而且难以全面、精准地发现接触网缺陷。随着科技的不断进步,智能巡检机器人应运而生,为接触网缺陷检测带来了新的解决方案。智能巡检机器人凭借先进的技术,能够自主完成对接触网的巡检任务,及时发现潜在缺陷,为铁路维护提供有力支持。研究智能巡检机器人在接触网缺陷检测中的应用,对于提升铁路运输的安全性、可靠性以及智能化水平具有重要意义。

## 1 智能巡检机器人技术原理

### 1.1 传感器技术

智能巡检机器人依赖多种传感器感知接触网环境与设备状态。激光雷达可精准测量距离,构建周围环境三维地图,为机器人定位与导航提供基础。视觉传感器能捕捉接触网的高清图像,清晰呈现设备外观细节,辅助检测外观缺陷。红外传感器可检测设备温度,通过温度异常判断是否存在过热故障。此外,加速度传感器、陀螺仪等用于监测机器人自身运动状态,确保其稳定运行。这些传感器相互协作,全方位收集接触网及机器人自身信息,为后续的缺陷检测与决策提供丰富数据支撑。

### 1.2 图像识别与处理技术

图像识别与处理技术是智能巡检机器人检测接触网缺陷的核心。通过高清摄像头获取的图像,先进行预处理,如去噪、增强对比度等,提升图像质量。接着利用特征提取算法,识别接触网关键部件的特征,如绝缘子形状、螺栓位置等。然后运用模式识别技术,将提取的特征与预设的正常模式对比,判断是否存在缺陷。对于复杂缺陷,借助深度学习算法,让机器人通过大量样本学习,自动识别缺陷类型与程度。该技术能快速、准确

发现接触网外观缺陷,提高检测效率与准确性。

### 1.3 自主导航技术

自主导航技术赋予智能巡检机器人在接触网环境中自主移动的能力。它结合激光雷达、视觉传感器等获取的环境信息,利用同步定位与地图构建(SLAM)算法,实时构建周围环境地图并确定自身位置。在导航过程中,根据预设的巡检路线,规划最优路径,同时运用路径跟踪算法,确保机器人沿规划路径准确行驶。遇到障碍物时,通过传感器感知障碍物信息,运用避障算法及时调整路径,绕过障碍物继续巡检。自主导航技术使机器人能在复杂接触网环境中独立完成巡检任务,无需人工干预。

### 1.4 通信技术

通信技术保障智能巡检机器人与控制中心之间的信息交互。机器人通过无线通信模块,如Wi-Fi、4G/5G等,将采集到的接触网图像、传感器数据等信息实时传输至控制中心。控制中心接收数据后进行分析处理,及时掌握接触网运行状态。同时,控制中心可向机器人发送控制指令,如调整巡检路线、启动特定检测任务等。此外,通信技术还支持机器人之间的信息共享与协同工作,在多台机器人协同巡检场景中,实现任务分配与数据交互,提高巡检效率与覆盖范围,确保接触网缺陷检测工作的顺利进行<sup>[1]</sup>。

## 2 智能巡检机器人在接触网缺陷检测中的应用场景

### 2.1 日常巡检

在日常巡检中,智能巡检机器人是保障接触网稳定运行的“忠诚卫士”。它依据预设程序,定时沿着固定路线对接触网展开全面细致的检查。借助高精度视觉传感器,机器人能清晰捕捉接触网零部件的外观状况。小到一颗螺栓的松动、一处绝缘子的污损,大到接触线的磨损程度,都逃不过它的“眼睛”,通过图像识别技术可

快速判断是否存在外观缺陷。激光雷达则精准测量接触网的几何参数,如导高、拉出值等,确保其符合运行标准,保障列车受电弓与接触网良好接触。而且,机器人不受恶劣天气和昼夜交替影响,可全天候工作。在夜间或恶劣环境下,依然能稳定采集数据并实时传回控制中心。工作人员根据这些数据,能及时掌握接触网运行状态,对潜在问题提前干预。日常巡检中智能巡检机器人的应用,极大提高了巡检效率与准确性,降低了人工巡检的劳动强度和安全风险,为铁路运输安全稳定提供了坚实保障。

## 2.2 故障排查

当接触网出现故障报警或运行异常时,智能巡检机器人迅速化身“故障侦探”,投入到紧张的排查工作中。它能以最快速度抵达故障疑似区域,凭借自身搭载的多样化先进传感器展开全方位检测。视觉传感器如同敏锐的观察者,对接触网设备进行细致扫描,不放过任何细微的故障迹象,像接触线的断股、绝缘子的闪络痕迹等都能清晰呈现。红外传感器则变身“温度探测器”,实时监测设备温度分布,一旦发现局部温度异常升高,就可推断出可能存在过热故障,如接触不良、短路等问题。在排查过程中,机器人实时将检测数据传回控制中心,为工作人员提供详细准确的故障信息。工作人员依据这些数据,能迅速判断故障类型和位置,制定合理的维修方案。

## 2.3 应急抢修

在接触网突发故障的紧急时刻,智能巡检机器人是应急抢修的得力“先锋”。故障发生后,现场往往环境复杂且危险,它凭借灵活的身形和强大的移动能力,能迅速深入故障核心区域。到达现场后,其搭载的高清摄像头立即开启全方位拍摄,将接触网设备的断裂、变形等受损情况清晰传回控制中心,让抢修人员第一时间掌握故障全貌。激光雷达则精准测量故障区域的空间尺寸,为制定抢修方案提供关键数据。在抢修作业中,它还能承担辅助任务。比如为抢修人员运输小型工具和零部件,节省人力与时间。同时,实时监测现场安全状况,一旦发现二次故障风险或安全隐患,如余电危险、部件坠落等,立刻发出警报,保障抢修人员安全。

## 2.4 数据收集与分析

智能巡检机器人在接触网缺陷检测中,是数据收集与分析的关键角色。在数据收集环节,它配备的多种传感器各司其职。视觉传感器持续捕捉接触网设备的图像信息,全面记录其外观状态,从宏观的整体结构到微观的表面纹理都不遗漏;激光雷达精准测量接触网的几何参数,获取精确的空间位置数据,为判断其是否符合运

行标准提供依据;振动传感器则实时感知设备运行时的振动情况,反映其机械性能状态。收集到的海量数据会稳定传输至控制中心。在这里,专业分析软件运用先进算法对数据进行深度剖析。通过对比不同时段的数据,能发现接触网性能的渐变趋势;分析各类数据的关联性,可挖掘潜在缺陷的规律。基于这些分析结果,工作人员能提前预判接触网可能出现的问题,制定针对性的维护计划<sup>[2]</sup>。

## 3 智能巡检机器人在接触网缺陷检测中面临的挑战

### 3.1 技术瓶颈

在接触网缺陷检测中,智能巡检机器人面临诸多技术瓶颈。图像识别方面,接触网设备结构复杂,缺陷类型多样且细微,现有算法对一些隐蔽缺陷的识别准确率有待提高,尤其在复杂光照和背景干扰下,误检、漏检情况时有发生。自主导航上,接触网环境复杂,存在诸多动态障碍物,机器人的实时避障和路径规划能力不足,易出现碰撞或陷入局部最优路径。传感器技术也存在局限,部分传感器精度和可靠性不够,在恶劣环境下易受干扰,影响数据采集的准确性和完整性,制约了机器人对接触网缺陷的精准检测。

### 3.2 成本问题

智能巡检机器人的成本问题是其在接触网缺陷检测中推广的一大阻碍。研发阶段,需要投入大量资金用于先进传感器、高性能计算芯片等关键部件的研发,以及算法的优化和测试,研发周期长、成本高。生产制造时,高质量的材料和精密的加工工艺使得机器人硬件成本居高不下。此外,后期维护成本也不容小觑,传感器等部件易损耗,需要定期更换,专业维护人员的培训和技术支持费用也增加了总体成本。

### 3.3 环境适应性

接触网运行环境复杂多样,对智能巡检机器人的环境适应性提出了严峻挑战。在气候方面,高温、严寒、暴雨、暴雪等极端天气会影响机器人的电子元件性能和机械结构稳定性,导致传感器失灵、电池续航缩短等问题。地理环境上,山区铁路地形起伏大、隧道众多,机器人在攀爬坡道、通过狭窄隧道时面临困难,其运动能力和导航精度会受到影响。同时,接触网附近存在强电磁场,可能干扰机器人的通信和控制系统,影响其正常工作,如何增强机器人在复杂环境下的适应性是亟待解决的问题。

### 3.4 数据安全

智能巡检机器人在接触网缺陷检测中涉及大量数据交互,数据安全问题不容忽视。一方面,机器人采集的

接触网图像、设备状态等数据包含铁路运营的关键信息,若被非法获取和篡改,可能导致铁路运行安全隐患,甚至引发安全事故。另一方面,机器人与控制中心之间的通信链路存在被攻击的风险,黑客可能通过截获通信数据,获取机器人控制权限,干扰其正常运行<sup>[3]</sup>。

#### 4 智能巡检机器人在接触网缺陷检测的策略

##### 4.1 技术创新与升级

智能巡检机器人在接触网缺陷检测中,技术创新与升级是关键。引入多模态传感器融合技术,整合激光雷达、视觉传感器、红外传感器等,实现多维度环境感知,提升缺陷识别精度。采用深度学习算法,通过大量数据训练模型,使机器人能自主识别接触网节点异常、接触线磨损等缺陷,实现智能化检测分析。同时,结合强化学习算法优化决策模型,提升机器人在复杂环境中的动态适应能力,如自动调整巡检路径、智能避障等,确保检测任务高效完成。

##### 4.2 成本优化

成本优化是智能巡检机器人推广应用的重要环节。在设计阶段,采用模块化设计理念,将机器人分解为多个功能模块,便于批量生产和维护,降低制造成本。选用标准化组件和接口,减少定制化生产,降低材料成本和开发成本。在供应链管理上,通过集中采购、优化供应商和库存管理,降低采购成本和库存积压。此外,采用轻量化设计,在满足性能要求的前提下降低机器人重量,减少材料成本,提升巡检效率,间接降低运营成本。

##### 4.3 环境适应性提升

提升环境适应性是智能巡检机器人应对复杂接触网检测场景的关键。针对不同环境条件,改进机器人结构设计,如采用多轮或履带式结构,增强在楼梯、坡道等复杂地形中的移动稳定性和地形适应性。配备自适应光源系统,确保在夜间或昏暗环境下清晰捕捉接触网状态。同时,优化传感器性能,提升在光照变化、障碍物遮挡等复杂环境中的感知能力。通过多传感器数据融合,生成

综合环境感知模型,实现动态环境适应和任务优化,确保机器人在各种恶劣环境下稳定运行。

##### 4.4 数据安全保障

数据安全是智能巡检机器人运行的重要保障。在数据采集阶段,采用加密技术对数据进行加密处理,确保数据机密性。传输过程中,使用高级加密标准或椭圆曲线加密等技术,防止数据被窃听或篡改。同时,通过哈希算法对数据进行完整性验证,确保数据传输的准确性。在数据存储方面,定期备份数据并制定有效的数据恢复方案,防止数据丢失或损坏。此外,引入双因素认证机制和动态密钥交换技术,加强通信过程中的身份认证和访问控制,确保只有授权设备和人员能访问机器人控制系统,保障数据安全<sup>[4]</sup>。

##### 结束语

智能巡检机器人在接触网缺陷检测中的应用,为铁路安全运行带来了革命性变革。它凭借先进的技术手段,突破了传统人工巡检的局限,实现了高效、精准、全天候的检测,大幅提升了接触网缺陷的发现与处理效率,有力保障了铁路运输的畅通无阻。随着技术的持续创新与升级,其在环境适应性、数据安全等方面将不断完善。未来,智能巡检机器人有望与更多新技术深度融合,进一步拓展应用场景,为铁路接触网检测提供更智能、更可靠的解决方案,推动铁路行业向智能化、现代化大步迈进。

##### 参考文献

- [1]王双双.基于智能巡检的接触网维护策略优化[J].电气化铁道,2024,35(S01):81-85.
- [2]王小兵,朱海峰,杨志鹏,汪海瑛,王斌.电气化铁路弓网综合检测数据分析方法[J].中国铁路,2022(7):59-65.
- [3]艾春雨,潘翔,卢玉琴.智能机器人巡检系统在变电站中的应用[J].科技创新与应用,2023,000(033):214-215.
- [4]张培.智能变电站巡检机器人的应用[J].现代制造技术与装备,2022(06):222-224.