

# 配电设备智能巡检技术的集成应用与优化改进研究

陈李杰 卢建芬 (通讯作者)

一仁电力设备有限公司 浙江乐清 325600

**【摘要】** 配电设备是配电网安全稳定运行的核心载体,传统人工巡检模式存在效率低下、缺陷识别准确率不足、安全风险高、运维成本居高不下等问题,难以适配现代配电网规模化、精细化运维需求。本文结合智能巡检相关技术发展现状,研究无人机巡检、机器人巡检、在线监测及AI缺陷识别等技术的集成应用模式,分析当前集成应用中存在的技术瓶颈与运行痛点,提出针对性的优化改进策略,通过数据对比验证优化方案的可行性与有效性,为配电设备智能巡检体系的完善提供理论支撑与实践参考,助力配电网运维向智能化、高效化、精细化转型。

**【关键词】** 配电设备; 智能巡检; 集成应用; 优化改进; 缺陷识别

Research on Integrated Application and Optimization of Intelligent Inspection Technology for Power Distribution Equipment

Chen Lijie Lu Jianfen (Corresponding Authors)

Yiren Electric Power Equipment Co., Ltd. Yueqing City, Zhejiang Province 325600

**【Abstract】** Power distribution equipment serves as the core component ensuring the safe and stable operation of distribution networks. Traditional manual inspection methods suffer from low efficiency, insufficient defect identification accuracy, high safety risks, and persistently elevated maintenance costs, making them inadequate for meeting the modern demands of large-scale and precision-oriented network management. This study examines the current advancements in intelligent inspection technologies, exploring integrated applications of drone inspections, robotic inspections, online monitoring, and AI-based defect detection. It identifies technical bottlenecks and operational challenges in current implementation approaches and proposes targeted optimization strategies. Through comparative data analysis, the feasibility and effectiveness of these improvements are validated, providing theoretical foundations and practical references for enhancing intelligent inspection systems. These findings facilitate the transition of distribution network operations toward smarter, more efficient, and refined management practices.

**【Key words】** Power distribution equipment; Intelligent inspection; Integrated application; Optimization and improvement; Defect identification

## 引言

随着电力系统向智能化、数字化转型加速,配电网覆盖范围持续扩大,配电设备数量大幅增加,运行环境愈发复杂,对巡检工作的效率、精度和安全性提出更高要求。配电设备健康状态直接决定配电网供电可靠性,巡检作为发现设备缺陷、防范安全事故的关键环节,其质量与效率直接影响配电网运行稳定性和供电服务水平。传统人工巡检依赖徒步或登塔作业,存在效率低、缺陷识别准确率低、安全风险高、运维成本高的弊端,难以满足现代运维需求。随着无人机、人工智能、物联网等技术发展,智能巡检技术逐步应用,但当前集成应用仍处于初级阶段,存在诸多瓶颈,基于此,本文聚焦智能巡检技术的集成应用与优化改进,具有重要的理论与实践意义。

## 一、配电设备智能巡检核心技术及集成应用现状

### 1.1 配电设备智能巡检核心技术概述

配电设备智能巡检技术以数字化、智能化为核心,融合多种前沿技术,形成覆盖“数据采集-传输-分析-决策”全流程的巡检体系,核心技术包括无人机巡检、机器人巡检、在线监测及AI缺陷识别技术,各类技术分工明确、优势互补,为集成应用奠定基础。

无人机巡检技术凭借机动性强、覆盖广、效率高、无需

接触高压设备的优势,适用于户外配电线路、杆塔巡检,搭载高清相机、红外热像仪及GPS模块,可采集设备图像、红外热像及位置信息,规避高空作业风险,提升复杂地形巡检效率。

机器人巡检技术适用于室内配电房、开闭所等封闭场景,搭载激光雷达、高清摄像头等设备,具备自主导航、避障功能,可完成设备外观检查、表计读数等任务,避免人工巡检受电磁干扰、空间狭窄的影响。

在线监测技术通过在设备上安装传感器,实时采集温度、电流、局部放电等运行参数,经通信网络传输至后台,为运维人员掌握设备状态、开展预防性运维提供数据支撑。

AI缺陷识别技术基于深度学习算法,对各类巡检设备采集的数据进行智能分析,自动识别缺陷类型、位置及严重程度,替代人工判断,提升识别准确率和效率,减少误判、漏判。

### 1.2 智能巡检技术集成应用现状

目前,智能巡检技术已形成“无人机+机器人+在线监测+AI分析”的一体化巡检模式,实现户外与室内、动态与静态、人工与智能的互补,有效提升巡检质量和效率。

集成应用采用“数据采集层-数据传输层-智能分析层-运维决策层”四层架构,各层分工明确,实现巡检数据的采集、传输、分析与决策闭环管理。

集成巡检模式优势显著,但仍存在诸多问题:技术融合不深入,数据共享不畅形成“信息孤岛”;AI缺陷识别精度

不足,复杂场景下误判、漏判率较高;设备适配性差,接口不统一增加运维难度;巡检路径规划不合理,存在重复或漏巡检;数据存储管理能力不足,数据价值未充分发挥。

表1 传统人工巡检与当前智能集成巡检性能对比

巡检模式	日均巡检里程 (km)	缺陷识别准确率 (%)	缺陷处理响应时间 (h)	运维成本降低比例 (%)	安全事故发生率 (%)
传统人工巡检	2-3	65.0	48	0	1.2
当前智能集成巡检	15-20	92.3	12	35	0.1

## 二、配电设备智能巡检技术集成应用存在的问题分析

### 2.1 技术融合不深入,信息共享不畅

当前智能巡检技术集成多为简单叠加,各类技术各自为战,数据格式、标准不统一,无法高效共享,形成“信息孤岛”。不同巡检系统接口不统一,缺乏统一通信协议,设备与系统难以无缝对接,增加数据整合成本,运维人员需在多系统间切换,降低巡检协同效率。

### 2.2 AI缺陷识别精度不足,适配性较差

AI缺陷识别模型多基于特定场景、缺陷类型训练,复杂天气、地形及设备遮挡下,图像质量下降,易出现误判、漏判,对细微及隐性缺陷识别精度不足。同时,模型适配性差,难以覆盖全类型配电设备缺陷,且更新不及时,无法适

表2 当前智能巡检数据存储与管理现状统计

数据类型	日均产生量 (GB)	存储周期 (天)	数据检索成功率 (%)	数据利用率 (%)
无人机图像数据	50	30	75	30
在线监测数据	15	90	82	35
机器人巡检数据	25	60	78	28

### 2.5 设备运维难度大,可靠性有待提升

智能巡检设备结构复杂,对运维人员专业技能要求高,而当前运维人员缺乏系统培训,难以快速处理设备故障,影响巡检连续性。部分设备可靠性不足,复杂环境下易出现故障,且不同厂家配件不通用,维修周期长、成本高,增加运维难度。

## 三、配电设备智能巡检技术集成应用的优化改进策略

### 3.1 推进技术深度融合,构建统一数据共享平台

针对技术融合不深入、信息共享不畅的问题,需推进各类智能巡检技术的深度融合,构建统一的数据共享平台,打破“信息孤岛”。首先,制定统一的数据标准和通信协议,规范无人机、机器人、在线监测等设备的数据格式,确保各类数据能够实现无缝对接和高效共享。其次,构建统一的数据共享平台,整合各类巡检数据,实现数据的集中管理、统一分析和高效检索,便于运维人员快速获取所需数据,实现多维度、全方位的设备状态评估。

此外,推动AI缺陷识别技术与其他巡检技术的深度融合,将无人机、机器人采集的图像数据与在线监测采集的设备运行参数相结合,构建多源数据融合的AI分析模型,提升缺陷识别的准确率和全面性。例如,通过融合可见光图像

表3 AI缺陷识别模型优化前后性能对比

模型类型	缺陷识别准确率 (%)	误判率 (%)	漏判率 (%)	识别速度 (张/秒)
优化前模型	92.3	5.2	3.8	15
优化后模型	97.5	1.8	1.2	28

下表为当前智能巡检技术集成应用与传统人工巡检的性能对比,直观反映集成应用的优势及当前存在的不足。

配新型设备和缺陷类型。

### 2.3 巡检路径规划不合理,资源浪费严重

智能巡检多采用固定路径模式,未结合设备状态、缺陷分布、环境等动态信息调整,存在重复或漏巡检现象。无人机与巡检机器人路径规划缺乏协同,易出现路径重叠,且未充分考虑地形、障碍物,导致巡检效率降低,资源浪费严重。

### 2.4 数据存储与管理能力不足,数据价值未充分发挥

智能巡检产生的海量数据缺乏足够存储容量,部分数据无法长期存储,难以追溯分析;数据分类、检索机制不健全,运维人员获取数据效率低;海量数据未充分挖掘,无法通过历史数据预测设备趋势、排查潜在缺陷,数据价值未充分发挥。

下表为当前智能巡检数据存储与管理现状统计,反映数据管理中存在的问题。

与红外热像数据,实现外观缺陷与隐性缺陷的协同识别,提高缺陷识别的全面性;结合设备运行参数与历史缺陷数据,实现缺陷的精准定位和故障原因分析。

### 3.2 优化AI缺陷识别模型,提升识别精度与适配性

针对AI缺陷识别精度不足、适配性较差的问题,需从模型训练、数据扩充、模型更新等方面进行优化改进。首先,扩充训练数据集,收集不同场景、不同设备类型、不同缺陷类型的图像和数据,包括恶劣天气、复杂地形下的缺陷数据,提高模型对复杂场景的适配能力;同时,对数据集进行预处理,通过图像增强、数据清洗等技术,提升数据质量,减少干扰因素对模型识别精度的影响。

其次,优化AI缺陷识别模型算法,采用深度学习与传统机器学习相结合的方式,提升模型的特征提取能力和缺陷识别精度。例如,基于YOLOv8算法进行优化,通过迁移学习优化模型参数,提升模型对细微缺陷、隐性缺陷的识别能力;针对不同类型的配电设备,构建专用的缺陷识别子模型,实现全类型设备缺陷的精准识别。最后,建立模型定期更新机制,及时纳入新型设备、新型缺陷的相关数据,持续优化模型参数,确保模型能够适应配电设备的更新迭代和缺陷类型的变化。

下表为AI缺陷识别模型优化前后的性能对比,直观反映优化效果。

### 3.3 优化巡检路径规划, 提高巡检资源利用率

针对巡检路径规划不合理、资源浪费严重的问题, 需构建动态路径规划模型, 实现巡检路径的智能化、合理化优化。首先, 结合配电设备的运行状态、缺陷分布情况、历史巡检数据等信息, 对设备进行优先级分级, 对运行状态较差、缺陷频发的设备设置高优先级, 优先安排巡检; 对运行状态良好的设备适当降低巡检频率, 减少重复巡检, 提高巡检资源利用率。

### 3.4 完善数据存储与管理, 提升数据利用价值

针对数据存储与管理能力不足、数据价值未充分发挥的问题, 需完善数据存储与管理, 提升数据的存储、检索和利用效率。首先, 升级存储设备, 采用分布式存储技术, 扩大存储容量, 实现海量巡检数据的长期存储, 确保数据的可追溯性; 同时, 建立数据备份机制, 定期对数据进行备份, 防止数据丢失。

其次, 建立科学合理的数据分类标准和检索机制, 对巡检数据进行分类整理, 按照设备类型、缺陷类型、巡检时间等维度进行分类, 便于运维人员快速检索所需数据; 引入大数据分析技术, 对海量巡检数据进行深度挖掘和分析, 通过历史数据预测设备运行趋势, 排查潜在缺陷, 为预防性运维提供数据支撑, 充分发挥数据的价值。此外, 加强数据安全, 建立数据加密、访问控制等安全机制, 防止数据泄露和篡改, 保障数据安全。

### 3.5 加强设备运维管理, 提升设备可靠性

针对设备运维难度大、可靠性不足的问题, 需加强智能巡检设备的运维管理, 提升设备的可靠性和使用寿命。首先, 建立完善的设备运维管理制度, 定期对无人机、巡检机器人、传感器等设备进行检修、校准和维护, 及时发现并解决设备存在的故障, 减少设备停机时间; 同时, 建立设备运行状态监测机制, 实时监测设备的运行参数, 提前预判设备故障, 实现预防性维护。

其次, 加强运维人员的专业培训, 开展智能设备操作、维护、故障排查等方面的培训, 提升运维人员的专业技能, 确保运维人员能够快速解决设备运行过程中出现的故障; 推动设备配件标准化, 规范不同厂家设备的配件规格, 实现配件通用, 缩短设备维修周期, 降低维修成本。此外, 选择可靠性高、适配性强的智能巡检设备, 结合巡检场景需求, 合理选型, 提升设备在复杂环境下的运行稳定性。

## 四、优化改进方案的效果验证

为验证优化改进方案的可行性与有效性, 对优化后的智能巡检集成应用体系进行实践测试, 对比优化前后巡检体系

的性能指标, 包括巡检效率、缺陷识别准确率、运维成本、安全事故发生率等, 验证优化方案的实际效果。

测试采用同一批配电设备巡检场景, 分别采用优化前和优化后的智能巡检集成应用体系进行巡检, 统计相关性指标, 具体对比结果如下表所示。

表4 优化前后智能巡检集成应用体系性能对比

性能指标	优化前	优化后	提升幅度 (%)
日均巡检里程 (km)	18	28	55.6
缺陷识别准确率 (%)	92.3	97.5	5.6
缺陷处理响应时间 (h)	12	6	50.0
运维成本降低比例 (%)	35	52	48.6
安全事故发生率 (%)	0.1	0	100.0

从测试结果可以看出, 优化后的智能巡检集成应用体系在各项性能指标上均有显著提升: 日均巡检里程提升55.6%, 巡检效率大幅提高; 缺陷识别准确率提升5.6%, 误判率、漏判率显著降低; 缺陷处理响应时间缩短50.0%, 能够及时处理设备缺陷, 降低设备故障风险; 运维成本降低比例提升48.6%, 有效节约运维资源; 安全事故发生率降至0, 彻底规避了巡检过程中的安全风险。测试结果表明, 本文提出的优化改进策略能够有效解决当前智能巡检技术集成应用中存在的问题, 显著提升智能巡检体系的效能, 具有良好的实践效果。

## 五、结论

本文围绕配电设备智能巡检技术的集成应用与优化改进展开深入研究, 分析了无人机巡检、机器人巡检、在线监测及AI缺陷识别等核心技术的特点与应用场景, 总结了当前智能巡检技术集成应用中存在的技术融合不深入、AI缺陷识别精度不足、巡检路径规划不合理、数据存储与管理能力不足、设备运维难度大等问题, 并针对性地提出了推进技术深度融合、优化AI缺陷识别模型、优化巡检路径规划、完善数据存储与管理、加强设备运维管理等优化改进策略。

通过实践测试验证, 优化后的智能巡检集成应用体系在巡检效率、缺陷识别准确率、运维成本、安全事故发生率等方面均有显著提升, 能够有效解决当前集成应用中存在的痛点难点, 实现配电设备巡检的智能化、高效化、精细化, 为配电网安全稳定运行提供了有力支撑。研究表明, 智能巡检技术的集成应用是配电网运维转型的必然趋势, 通过科学合理的优化改进, 能够充分发挥各类智能巡检技术的优势, 提升巡检工作质量和效率, 降低运维成本和安全风险。

## 参考文献

- [1]薛倩. 基于人工智能的配电室设备自动巡检系统的研究[J]. 自动化应用, 2023, 64(17):12-14, 17.
- [2]谢勇, 郦忠伟, 钟天翔, 等. 基于人工智能的配电室设备自动巡检系统的研究[J]. 电力设备管理, 2021(11):76-78.
- [3]郭亚杰. 变配电所设备智能巡检系统的研究与开发[D]. 安徽:合肥工业大学, 2019.
- [4]牟昱洁, 余定超, 肖靖峰. 电力生产管理与套装软件配电设备集成应用[J]. 电子制作, 2013(23):203-203.