

# 智能巡检系统在变电运维中的应用

王一波

国网四川省电力公司超高压分公司 四川 成都 610042

**摘要：**智能巡检系统深度融合物联网、大数据、人工智能等前沿技术，革新变电运维模式。在设备状态监测上，可实时采集数据实现精准感知；故障诊断与预测环节，通过算法分析挖掘潜在风险；智能巡检机器人与信息化管理的应用，显著提升运维效率与智能化水平。尽管面临数据安全、系统兼容及人才短缺等挑战，但其为变电运维的数字化转型与智能化升级提供关键支撑，在保障电网安全稳定运行、提升运维效能等方面展现巨大潜力与应用价值。

**关键词：**智能巡检系统；变电运维；应用

## 引言

随着电力系统规模不断扩大，变电运维的复杂性与重要性日益凸显。传统人工巡检模式效率低、误差大，难以满足现代电网高质量发展需求。智能巡检系统凭借先进技术手段，实现对变电设备全方位、全时段监测与管理。本文深入探讨智能巡检系统在变电运维中的应用，分析其在设备状态实时监测、故障诊断预测等具体场景中的实践成果，剖析面临的挑战并提出应对策略，旨在为推动变电运维智能化发展提供理论参考与实践指导。

## 1 智能巡检系统概述

智能巡检系统是融合物联网、人工智能、大数据分析等先进技术构建的综合性自动化管理平台，在现代工业与基础设施运维领域发挥着关键作用。该系统通过部署智能传感器网络，实时采集设备运行状态、环境参数等多维度数据，借助边缘计算与云计算协同处理能力，实现对巡检对象的精准监测与深度分析。在实际应用场景中，各类传感器如振动传感器、红外热像仪、气体检测仪等构成感知层，将设备温度、振动频率、气体浓度等物理量转化为数字信号，为系统决策提供原始数据支撑。系统核心处理模块依托深度学习算法，对采集数据进行特征提取与模式识别。例如，通过卷积神经网络分析设备振动波形，可有效识别轴承磨损、齿轮故障等异常状况；利用长短期记忆网络（LSTM）对设备运行历史数据建模，实现性能趋势预测与故障预警。这种智能化分析能力使系统突破传统巡检的局限性，不仅能够及时发现显性故障，还能捕捉潜在隐患，为预防性维护策略制定提供科学依据。智能巡检系统在功能架构上具备高度集成性，其数据管理模块通过分布式存储技术，实现海量巡检数据的高效存储与快速检索；可视化交互界面采用数字孪生技术，将物理设备以虚拟模型形式呈现，运维人员可直观查看设备实时状态、历史数据及故障信

息。系统支持移动端应用，巡检人员可通过手持终端接收任务指令、上传现场数据，实现巡检流程全闭环管理。在复杂工业环境下，系统的自适应性与可靠性得到充分验证，其抗干扰设计、冗余架构保障了数据采集与传输的稳定性，有效降低人工巡检的劳动强度与安全风险，显著提升运维效率与管理水平，成为推动各行业向智能化、数字化转型的重要技术手段。

## 2 智能巡检系统在变电运维中的具体应用

### 2.1 设备状态实时监测

(1) 基于物联网（IoT）技术与高精度传感器网络构建的设备状态实时监测体系，可实现对变电设备关键运行参数的全方位感知。温度传感器、振动传感器、局部放电监测装置等被广泛部署于变压器、断路器、隔离开关等核心设备，通过光纤或无线通信链路将采集到的温度、振动频率、局部放电量等数据实时传输至监控中心，形成设备运行状态的动态数据图谱。(2) 智能算法对海量实时数据进行深度分析与处理，利用机器学习模型建立设备运行参数的正常阈值范围与变化趋势模型。当监测数据出现异常波动时，系统能够迅速捕捉并通过可视化界面以热力图、曲线对比等形式直观呈现，使运维人员可快速定位异常设备及异常特征，有效避免因人工巡检时间间隔导致的监测盲区。(3) 结合历史数据与环境参数的综合分析，设备状态实时监测系统可对设备健康状况进行量化评估，生成设备状态健康指数。该指数不仅为运维决策提供精准依据，还能提前预警潜在风险，实现从被动维修向主动维护的转变，显著提升变电设备运行的可靠性与稳定性<sup>[1]</sup>。

### 2.2 故障诊断与预测

(1) 故障诊断与预测模块依托大数据分析与人智能技术，整合设备实时监测数据、历史运行数据以及故障案例库，构建复杂的故障诊断模型。当设备运行参数

偏离正常范围时,系统通过多维度数据关联分析,自动匹配相似故障模式,快速定位故障类型、故障部位及故障原因,相较于传统人工诊断,极大提升了故障诊断的准确性与效率。(2)采用深度学习算法对设备运行数据进行时间序列分析,挖掘数据中的潜在规律与特征,建立故障预测模型。通过对设备关键参数的长期趋势分析,预测设备性能退化趋势,提前预判可能发生的故障时间与故障类型,为运维人员预留充足的检修准备时间,避免突发故障对电网运行造成影响。(3)故障诊断与预测系统具备动态学习与自我优化能力,随着新的故障案例与运行数据的不断积累,模型的诊断与预测精度持续提升。系统可生成详细的故障处理建议报告,包括故障处理流程、所需备件及工具等信息,为运维人员制定科学合理的故障处理方案提供有力支持,有效降低故障修复时间与运维成本。

### 2.3 智能巡检机器人应用

(1)智能巡检机器人凭借其自主导航与环境感知技术,能够在变电站复杂环境中按照预设路径或自主规划路径开展巡检工作。搭载的高清摄像头、红外热成像仪、超声波检测仪等多种检测设备,可对设备外观、温度分布、局部放电等情况进行全方位检测,替代人工完成重复性、危险性的巡检任务,有效降低运维人员的劳动强度与安全风险。(2)机器人巡检过程中采集的数据通过无线通信实时传输至后台管理系统,经智能分析软件处理后,自动生成巡检报告。报告中不仅包含设备状态的详细描述与异常情况标识,还能通过与历史数据的对比分析,直观呈现设备状态的变化趋势,为运维人员提供全面、准确的设备运行信息。(3)随着人工智能与机器人技术的不断发展,智能巡检机器人正朝着更智能化、自主化的方向演进。具备自主充电、多机器人协同作业等功能的新一代巡检机器人,可进一步提高巡检效率与覆盖范围,实现对变电站设备的全天候、全时段、全方位监测,成为保障变电设备安全稳定运行的重要力量<sup>[2]</sup>。

### 2.4 运维管理信息化

(1)运维管理信息化系统以数字化技术为核心,深度融合先进理念,将变电运维工作中涉及的设备台账管理、巡检计划制定、检修任务安排、缺陷处理等业务流程进行全面整合与数字化重构。通过建立统一的数据管理平台,实现各类运维数据的集中存储、高效共享与快速检索,打破信息孤岛,提升运维管理的协同效率。(2)借助可视化技术,运维管理信息化系统将设备运行状态、运维任务进度、资源配置情况等信息以直观的图表、地图等形式呈现于管理界面。运维管理人员可实时

掌握整个变电站运维工作的全局动态,方便快捷地进行任务调度、资源分配与决策制定,显著提高运维管理的科学性与精准性。(3)运维管理信息化系统支持移动端应用,运维人员可通过手机、平板电脑等移动终端实时接收任务指令、上传巡检数据、查看设备信息等。这种移动化的工作模式使运维人员能够随时随地开展工作,及时响应设备异常情况,有效提升运维工作的灵活性与及时性,推动变电运维管理向智能化、高效化方向发展。

## 3 智能巡检系统在变电运维应用中面临的挑战与应对策略

### 3.1 面临的挑战

#### 3.1.1 数据安全与隐私保护问题

在变电运维智能巡检系统运行过程中,数据安全与隐私保护面临着严峻考验。系统采集的变电设备运行数据、环境参数等信息涵盖大量敏感内容,这些数据一旦泄露,不仅可能导致设备运行状态被非法掌握,影响电力系统稳定运行,还可能引发潜在的经济损失与安全风险。智能巡检系统在数据传输、存储和处理环节都存在安全隐患,数据传输过程中容易受到网络攻击,如黑客的恶意拦截、篡改;存储时可能因存储介质的安全漏洞或管理不善导致数据丢失、泄露;处理过程中若算法存在缺陷或权限控制不当,也会造成数据的非授权访问。随着智能设备的不断接入,数据交互频繁,数据安全与隐私保护的难度进一步加大,需要采用更先进的安全防护技术和管理手段来保障数据的完整性、保密性和可用性。

#### 3.1.2 系统兼容性与集成难度大

变电运维涉及众多不同厂商、不同时期的设备和系统,智能巡检系统要实现高效运行,需与这些复杂的设备、系统进行良好兼容和集成。各设备和系统在通信协议、数据格式、接口标准等方面存在较大差异,导致智能巡检系统集成困难重重。老旧设备可能采用过时的通信协议,难以与新的智能巡检系统进行有效对接;不同厂商的系统在数据结构和处理方式上的不同,也使得数据交互和共享变得复杂。变电运维场景中存在多种类型的监测设备,如红外测温仪、局放检测仪等,每种设备都有其独特的工作原理和数据输出模式,将这些设备的数据准确、实时地集成到智能巡检系统中,并确保系统的稳定性和可靠性,是当前面临的一大难题<sup>[3]</sup>。

#### 3.1.3 专业人才短缺

智能巡检系统融合了物联网、大数据、人工智能等多种先进技术,对运维人员的专业知识和技能要求极高。然而,目前变电运维领域熟悉这些新技术的专业人才严重短缺。现有的运维人员大多对传统的变电运维技

术较为熟悉,但对于智能巡检系统中的数据分析、算法优化、系统调试等工作缺乏足够的专业能力。智能巡检系统在运行过程中出现故障或性能下降时,需要具备专业知识的人员快速定位问题并进行修复,但由于人才短缺,往往导致故障处理不及时,影响系统的正常运行和变电运维效率。培养既懂变电运维业务,又精通智能技术的复合型人才周期长、成本高,难以满足当前智能巡检系统快速发展和广泛应用的需求。

## 3.2 应对策略

### 3.2.1 加强数据安全防护

为保障智能巡检系统在变电运维中数据的安全性和隐私性,需构建全方位的数据安全防护体系。在数据传输环节,采用先进的加密技术,如量子加密、同态加密等,对传输数据进行高强度加密处理,确保数据在传输过程中即使被截获也无法被破解。在数据存储方面,运用分布式存储技术,将数据分散存储在多个节点上,降低因单个存储节点故障或被攻击导致数据丢失或泄露的风险,同时定期对存储数据进行备份和容灾处理。在数据处理过程中,建立严格的访问控制机制,基于用户角色和权限进行细粒度的访问授权,采用数据脱敏、匿名化等技术对敏感数据进行处理,防止数据被非授权访问和滥用。通过多维度的数据安全防护措施,为智能巡检系统的数据安全和隐私保护筑牢防线。

### 3.2.2 推动标准制定与系统集成

解决智能巡检系统兼容性与集成难题,关键在于推动统一标准的制定和实施。行业内应联合设备厂商、技术企业等各方力量,共同制定智能巡检系统与变电运维设备、系统之间的通信协议、数据格式、接口规范等标准,确保不同设备和系统之间能够实现无障碍的数据交互和协同工作。在标准制定过程中,充分考虑现有设备和系统的特点以及未来技术发展趋势,保证标准的兼容性和前瞻性。在系统集成方面,采用模块化设计理念,将智能巡检系统划分为多个功能模块,每个模块具有独立的函数和标准接口,便于与不同的设备和系统进行集

成。利用中间件技术实现不同系统之间的数据转换和协议适配,降低系统集成的难度和复杂性,提高智能巡检系统的兼容性和集成效率。

### 3.2.3 加大人才培养力度

针对智能巡检系统专业人才短缺问题,企业及相关机构应加大人才培养投入。第一,与高校、科研院所合作,开展定制化人才培养项目,在高校相关专业课程中融入智能巡检系统相关的技术知识和实践内容,培养具有专业理论基础的后备人才。第二,加强企业内部培训,定期组织运维人员参加智能技术培训课程和实践操作演练,邀请行业专家进行技术指导和经验分享,提升运维人员对智能巡检系统的操作、维护和管理能力。鼓励运维人员参与技术研发和创新项目,在实践中积累经验,提高解决实际问题的能力。通过多种途径培养和引进专业人才,打造一支高素质的智能巡检系统运维人才队伍,为变电运维智能化发展提供有力的人才支撑<sup>[4]</sup>。

## 结语

综上所述,智能巡检系统已成为变电运维领域创新发展的核心驱动力,在提升运维效率、保障电网安全等方面成效显著。尽管在应用过程中遭遇数据安全、系统集成及人才瓶颈等难题,但通过强化数据防护、推进标准制定与加大人才培养,能够有效化解困境。未来,随着技术持续迭代,智能巡检系统将进一步深度赋能变电运维,加速电力行业智能化转型进程,为构建更加安全、可靠、高效的现代电网奠定坚实基础。

## 参考文献

- [1]陈文文,李晟,竺学涛,等.智能巡检系统在变电运维中的应用[J].消费电子,2025(5):17-19.
- [2]赵伯文,姚玉军,刘杨.智能巡检系统在变电运维中的应用[J].模型世界,2023(23):4-6.
- [3]董世暄.智能巡检系统在变电运维中的应用[J].百科论坛电子杂志,2025(4):61-63.
- [4]李家名,师正杰.智能巡检系统在变电运维中的应用[J].百科论坛电子杂志,2024(24):7-9.