

# 基于大数据与人工智能的变电站运维风险及应对措施研究

张梦梦

国网江苏省电力有限公司技能培训中心 江苏苏州 215004

**摘要:** 随着智能电网建设的深入推进, 变电站运维模式正经历从传统人工巡检向数据驱动、智能预警的范式转变。大数据与人工智能技术作为这一变革的核心引擎, 在提升运维效率、可靠性和经济性方面展现出巨大潜力, 同时也引入了诸多新型风险。本文首先论述了变电站智能运维的发展现状; 其次, 系统分析了当前变电站智能运维在技术、安全、管理及外部环境等方面面临的多层次风险; 最后, 从技术保障、管理优化、人才支撑和系统韧性四个维度, 提出了一套系统性的风险应对策略体系, 旨在为构建安全、可靠、高效的新型变电站智能运维体系提供理论参考与实践路径。

**关键词:** 智能变电站; 智能运维; 大数据; 人工智能; 风险管理

## 引言

随着能源结构向清洁低碳转型加速, 构建新型电力系统成为我国能源战略核心。变电站作为电网关键节点, 其运行稳定性直接影响电网安全。传统运维模式依赖人工巡检, 存在效率低、响应慢等问题, 难以适应电网发展需求。

在此背景下, 智能变电站深度融合传感技术、物联网、大数据与人工智能等新一代信息技术, 实现了设备状态全面感知与智能决策。智能运维正推动运维模式从“被动抢修”向“主动预警”和“预测性维护”转变。大数据与人工智能技术是这一变革的核心驱动力。大数据技术能够实现多源运维数据的高效处理, 人工智能通过智能算法实现设备状态精准评估与故障预测, 能够显著提升运维工作的精准性与经济性。

因此, 系统研究大数据与人工智能在变电站运维中的应用, 深入分析其潜在风险并提出应对措施, 对于保障电网安全、降本增效、推动能源行业数字化转型具有重要的理论价值与现实意义。

## 1 变电站智能运维现状

当前, 随着智能电网建设的全面推进, 变电站智能运维已从概念探索步入规模化应用阶段。大数据、人工智能、物联网等技术的深度融合, 正深刻改变着传统的运维模式, 推动其向数字化、智能化、自动化方向演进。本节将从系统建设、技术应用与实施成效三个层面, 系统阐述变电站智能运维的发展现状。

### 1.1 智能运维系统建设情况

智能运维系统的建设是实现变电站智能化管理的基础。目前, 该系统主要依托以下三层架构构建:

#### 1.1.1 感知层: 全面物联感知体系初步建成

通过部署各类智能传感器(如温度、湿度、振动、局放、视频监控等)、智能巡检机器人、无人机及高清摄像头, 实现了对变电站内一次设备(变压器、断路器、隔离开关等)、二次设备(保护、测控装置)及周边环境数据的7×24小时不间断采集。物联网(IoT)技术的应用使得设备状态参数、运行工况及环境信息的实时、高频度获取成为可能, 为上层智能分析提供了丰富的数据源。

#### 1.1.2 网络层: 高速可靠的数据传输通道

采用工业以太网、光纤专网、5G及无线局域网等多种通信技术相结合的方式, 构建了高速、低延时、高可靠的数据传输网络。这不仅保障了海量监测数据从站端到本地数据中心或云平台的稳定回传, 也满足了远程控制指令及时、准确下达的要求, 为“云-边-端”协同计算提供了网络支撑。

#### 1.1.3 平台层: 一体化智能运维平台成为核心

国家电网、南方电网等企业正大力推动统一云平台(如国网“能源云”、南网“数字电网”)的建设。这些平台集成了数据中台与AI中台能力, 实现了对多站、多源、异构运维数据的统一接入、存储、治理与管理。在此基础上, 构建了集实时监控、智能分析、预警推送、决策支持、流程管理于一体的综合智能运维主站系统, 成为运维人员的“智慧大脑”。

## 1.2 智能运维技术应用现状

在强大的系统平台支撑下，多项智能运维关键技术已从研发测试走向实际应用：

### 1.2.1 大数据分析在状态监测与评估中的深度应用

基于平台汇聚的海量历史与实时数据，利用时序数据分析、关联规则挖掘、聚类分析等大数据技术，已能够实现对设备健康状态的深度洞察。例如，通过分析变压器油色谱数据、负载电流、顶层油温等多维参数，构建其正常运行状态的动态基线，进而实现对微小异常波动的敏锐感知和趋势性劣化的早期判断。

### 1.2.2 人工智能在故障诊断与预测中的核心作用

(1) 图像识别技术：广泛应用于巡检机器人和固定摄像头采集的可见光与红外图像分析，能够自动识别表计读数、设备外观缺陷（如锈蚀、漏油）、部件松动以及导体接头过热等异常，识别准确率在特定场景下已超过 95%。

(2) 自然语言处理（NLP）技术：用于自动解析历史运维报告、操作日志等非结构化文本数据，提取故障特征，构建故障知识图谱，辅助新手运维人员进行故障诊断。

(3) 机器学习与深度学习模型：采用支持向量机（SVM）、随机森林、长短期记忆网络（LSTM）等算法，对 SCADA、在线监测等时序数据进行建模，实现了对设备剩余寿命（RUL）的预测性评估以及对断路器故障、电容组失效等常见故障的精准分类与早期预警。

### 1.2.3 数字孪生技术的探索性应用

部分先进试点变电站已开始构建关键设备的数字孪生体。通过高保真物理模型与实时数据驱动相结合，在虚拟空间中映射设备的真实状态，并能够模拟各种运行工况与应力条件，用于故障推演、运维策略仿真与优化，为决策提供“沙盘演练”环境，标志着智能运维正向更高阶的认知智能阶段迈进。

## 1.3 当前智能运维成效初步分析

智能运维模式的推广应用已初步展现出显著的经济与社会效益。

1) 运维效率提升：自动化巡检替代了大量重复性、低附加值的人工劳动。据部分应用案例统计，巡检效率提升可达 70% 以上，运维人员得以专注于更高价值的分析决策工作。

2) 安全可靠增强：实现了从“事后维修”到“事前预警”的转变。早期故障识别能力使得非计划停运次数大幅减少，

电网供电可靠性得到有效保障。同时，机器人替代人工进行高风险作业，极大降低了人身安全事故风险。

3) 经济效益显著：预测性维护避免了过度维修和维修不足，优化了备品备件库存，延长了设备使用寿命。初步估算，有效的智能运维策略可降低整体运维成本 15%–30%。

4) 决策模式变革：运维决策从依赖个人经验逐渐转向基于数据的科学决策，决策过程更加精准、透明，管理精细化水平得到质的飞跃。

综上所述，我国变电站智能运维已在系统建设与技术应用上取得了坚实基础和丰硕成果，正处在从“可用”向“好用”、“实用”深化发展的关键阶段，为应对更高层次的挑战和风险提供了必要的技术前提与实践积累。

## 2 变电站智能运维存在风险

随着智能运维技术的推广应用，其在带来显著效益的同时也引入了新的复杂风险。这些风险贯穿于技术、安全、管理及外部环境等多个层面，若不能有效管控，不仅无法发挥智能运维效能，甚至可能放大系统脆弱性。

### 2.1 技术层面风险

#### 2.1.1 数据质量与集成风险

智能运维的决策高度依赖数据，但“垃圾进，垃圾出”（Garbage In, Garbage Out）的原则在此依然适用。当前面临数据采集不全面（部分老旧设备未改造，数据缺失）、数据精度与时效性不足（传感器精度差、传输延迟）、多源异构数据融合困难（不同厂家设备数据格式、协议不一，形成“数据孤岛”）等问题。低质量的数据将直接导致后续分析与决策的偏差甚至错误。

#### 2.1.2 算法模型的可靠性与泛化性风险：

(1) “黑箱”决策与可解释性差：许多深度学习模型如同黑箱，其决策逻辑难以被运维人员理解，当出现异常诊断或预警时，运维人员难以验证其正确性，可能选择不信任或无法有效干预，导致系统失效。

#### (2) 模型过拟合与泛化能力不足：

人工智能算法并非万能。算法模型通常在特定场景和历史数据上训练，当面对新的设备类型、未曾见过的运行工况或极端天气时，其预测和诊断结果可能严重失准，出现误报（False Positive，增加不必要的运维负担）或漏报（False Negative，埋下重大安全隐患）。

#### (3) 模型老化与更新滞后：设备会老化，运行环境在变

化,但算法模型若不能持续利用新数据进行在线学习或定期更新,其性能会随时间衰减,无法准确反映系统当前的真实状态。

### 2.1.3 系统兼容性与技术依赖性风险

智能运维系统通常采用分阶段建设、新旧系统并存的模式。这导致了新旧系统与设备之间的兼容性问题,接口不统一、协议不开放,使得数据流与业务流难以无缝贯通。此外,过度依赖单一技术供应商可能导致系统扩展性差、升级成本高昂,甚至被“技术绑定”,形成新的垄断和风险点。

## 2.2 安全与隐私风险

### 2.2.1 网络安全攻击风险

系统依赖网络通信,面临渗透攻击、DDoS攻击等威胁。恶意数据注入可能误导AI决策,直接威胁电网物理安全。

### 2.2.2 数据泄露与合规风险

运维数据包含核心运行信息,具有重要经济价值和战略价值。数据采集处理需符合相关法规要求,防止数据泄露和隐私侵犯。

### 2.2.3 内部安全管理风险

权限管理不当、操作失误或恶意行为都可能造成系统破坏。需要建立严格的分级管理与审计机制来防范内部风险。

## 2.3 管理与组织风险

### 2.3.1 运维管理制度滞后

传统运维制度难以适应智能运维新模式,缺乏智能预警响应规程和跨部门协同机制。管理制度滞后导致先进系统与管理流程脱节,影响效能发挥。

### 2.3.2 人才队伍技能缺口

智能运维需要复合型人才,但现有人员知识结构单一,存在“知识鸿沟”。这使得运维人员难以有效利用系统分析结果进行决策。

### 2.3.3 运维流程与系统功能脱节

智能平台功能设计与现场工作流程不匹配,预警工单难以融入现有管理系统。这种脱节造成流程效率损失,影响系统整体效能。

## 2.4 外部环境风险

### 2.4.1 极端自然环境挑战

极端天气可能损坏传感装置和通信线路,导致数据中断。这使得智能运维系统在关键时刻可能失效,影响系统可靠性。

### 2.4.2 电网波动与复杂工况干扰

负荷波动和新能源并网产生非典型运行数据,干扰AI算法准确判断。这些复杂工况增加了故障诊断的难度和不确定性。

综上所述,迈向智能运维的道路并非一帆风顺,它是由技术创新与多重风险交织构成的复杂系统工程。清醒地认识到这些风险,是构建有效应对策略、确保智能运维体系安全、可靠、高效运行的前提。

## 3 变电站智能运维风险应对策略

为系统性地应对前述风险,保障智能运维体系安全、可靠、高效运行,需从技术强化、管理优化、组织变革和生态构建等多个维度协同发力,构建一套多层次、立体化的风险应对策略体系。本节将围绕第三部分识别的风险,提出具有针对性和可操作性的应对策略。

### 3.1 构建坚实的技术保障体系

#### 3.1.1 实施全方位数据治理

建立统一的数据标准与接口规范,从根本上破解“数据孤岛”问题。构建数据质量全生命周期管理机制,通过数据清洗、校验与标注确保数据质量。推进“云-边-端”协同架构,实现实时分析与批量处理的有效平衡。

#### 3.1.2 增强算法模型可靠性

推动可解释AI技术应用,提升模型决策的透明度与可信度。建立模型持续学习与更新机制,标准化、定期化、透明化地实现模型的迭代优化。构建人机协同的混合增强智能模式,充分发挥机器智能与人类经验各自优势。

#### 3.1.3 筑牢网络安全防护体系

构建纵深防御体系,采用防火墙、入侵检测等多重防护手段。实施严格的访问控制与安全审计,基于最小权限原则进行精细化管理。建立数据分类分级制度,确保数据使用符合法规要求。

### 3.2 优化管理体系与流程

#### 3.2.1 重塑运维管理制度

制定与智能运维相匹配的规程,明确预警响应和处置流程。建立跨部门协同机制,确保信息高效流转和快速响应。

#### 3.2.2 建立预测性维护策略

从定时检修转向状态检修,基于设备健康状态动态制定维护计划。将经济性指标纳入运维策略,寻求全生命周期成本最优方案。

### 3.3 强化组织与人才支撑

#### 3.3.1 实施分层分类的复合型人才培养体系

(1) 针对高层管理者: 开展数字化转型战略、智能运维理念与价值培训, 提升其认知和决策水平。

(2) 针对运维骨干: 开展深度培训, 聚焦于大数据分析基础、AI 算法原理、智能运维平台的操作与解读, 培养其成为既能动手操作又能理解智能系统输出的“数据分析师型”工程师。

(3) 针对一线运维人员: 开展实操性培训, 使其熟练掌握智能巡检设备(机器人、无人机)的操作、智能终端的使用以及基于新流程的工单处置方法。

(4) 建立常态化培训与认证机制: 与高校、科研机构合作, 开发系列课程, 并将培训成绩与绩效考核、职称晋升挂钩, 激发学习动力。

#### 3.3.2 培育人机协同的运维文化

鼓励运维人员主动使用智能系统, 并提出改进建议。建立激励机制, 对通过利用智能系统发现重大隐患、优化运维策略的团队或个人给予奖励, 营造“拥抱技术、信任数据”的创新文化氛围。

### 3.4 增强系统韧性设计

提升关键设备的物理防护等级, 确保极端条件下的基础运行能力。制定完善的降级处置预案, 保障系统在故障时

能够平稳过渡到备用模式。

## 4 结语

应对智能运维风险绝非单一技术或管理措施可以解决, 必须采取技术与管理双轮驱动、人与系统协同演进的整体策略。通过构建一个“技术可靠、管理科学、人才胜任、生态开放”的智能运维生态系统, 方能最终实现变电站安全、经济、高效运行的根本目标。

### 参考文献:

[1] 杨优军, 马建, 孙杰. 基于大数据与人工智能的光伏储能系统智能运维研究[J]. 储能科学与技术, 2025,14(09):3414-3416.

[2] 陆益涛. 智能变电站变电运维安全与设备维护探讨[J]. 中国设备工程, 2025(08下): 60-62.

[3] 严庆文. 智能变电站变电运维安全与设备维护探讨[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2020(10):62.

[4] 刘兴明. 基于大数据和人工智能的新能源运维优化研究[J]. 中国新技术新产品, 2024,(14):37-39.

[5] 瞿元. 变电运维工作中智能巡检机器人应用[J]. 中国科技信息, 2025,(09):105-107.

[6] 丁炆, 赵敏, 衡茜, 等. 基于数字孪生的变电站智能巡视系统研究[J]. 电力与能源, 2024,45(06):675-678.