

# 智能变电站设备日常巡检与维护策略探讨

陈菁

(江苏苏星资产管理有限公司, 江苏 南京 210000)

**摘要** 传统的巡检与维护模式在智能化转型过程中面临巡检手段滞后、故障定位复杂、数据孤岛严重、人员技能不足等一系列挑战。本文探讨智能变电站设备在日常巡检与维护中存在的 key 问题, 并从巡检模式转型、故障诊断体系构建、标准体系健全、人才能力提升及智能平台建设等方面提出系统性的优化策略与实践路径, 以期提升智能变电站运维的精准性、高效性与安全性提供参考。

**关键词** 智能变电站; 日常巡检; 二次系统; 智能组件; 智能运维平台

中图分类号: TM63

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.11.030

## 0 引言

智能变电站是构建坚强智能电网的核心枢纽, 其设备与系统的高度智能化在提升电网自动化水平与运行效率的同时, 也对传统的设备运维管理体系提出了革命性挑战。当前, 运维工作正面临从被动、定期、基于经验的模式向主动、动态、基于数据与状态的模式转型的关键时期。深入探讨智能变电站设备的日常巡检与维护策略, 不仅对保障变电站自身的安全稳定运行、延长设备寿命、降低运维成本具有直接的现实意义, 更是支撑智能电网实现高效自愈、优化运行、提升供电可靠性的重要基础。

## 1 智能变电站设备概述

### 1.1 设备分类与功能

智能变电站的设备体系在传统一次、二次设备分类基础上, 深度融合了信息技术, 可重新划分为三大类: 智能化一次设备、网络化二次设备及支撑自动化系统。智能化一次设备是电能转换与传输的核心, 主要包括集成智能组件的变压器、断路器、组合电器、互感器等。其功能不仅限于通断、变压和测量, 更通过内置或外置的智能单元实现对本体的实时状态监测、就地数字化转换及接收和执行远程控制命令<sup>[1]</sup>。网络化二次设备构成了变电站的“神经中枢”与“大脑”, 包括保护装置、测控装置、在线监测主IED、同步相量测量装置等。它们的功能从传统的单点信号处理转变为基于高速通信网络的信息共享与协同运作, 实现保护、测量、控制、计量、状态监测等功能的集成与优化。支撑自动化系统则主要指站控层设备, 如监控主机、数据通

信网关机、一体化电源系统、时间同步系统等, 负责全站数据的集中处理、人机交互、对外通信和对内调度, 是实现变电站智能化高级应用的基础平台。

### 1.2 智能化特征分析

智能变电站设备的根本特征在于其“信息数字化、功能集成化、结构紧凑化、状态可视化及互动高级化”。首先, 信息传递方式发生了革命性变化, 模拟信号和硬接线被光数字报文取代, 实现了信息采集、传输、处理的全过程数字化, 提升了精度与抗干扰能力。其次, 设备功能高度集成与协同, 如合并单元集成多路采样、智能终端集成多路控制与状态采集, 打破了传统装置功能单一的界限。在结构上, 一次设备与智能组件深度融合, 二次设备趋于“硬件平台通用化、软件功能模块化”, 减少了屏柜数量, 布局更加紧凑。核心特征“状态可视化”依托于广泛部署的在线监测系统, 使设备从“定期检修”对象转变为可实时感知其健康状态的智能实体, 为预测性维护提供了数据基础。最终, 所有智能化特征支撑了变电站与调度中心、运维人员乃至分布式电源之间的高级互动, 实现了远程精准操控、智能决策支持和电网优化运行, 构成了智能电网的关键节点。

## 2 日常巡检与维护中存在的问题

### 2.1 巡检手段滞后, 难以匹配智能化设备特性

当前部分变电站仍沿用传统人工巡检模式, 依赖运维人员目视检查、红外测温、听音棒等基础工具, 缺乏对智能设备状态数据的深度利用。尽管智能变电站配备了大量在线监测装置, 但这些数据往往未被有

作者简介: 陈菁(1989-), 女, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 电力系统及其自动化。

效整合到日常巡检流程中，导致“有数据不用、有系统不联”。此外，部分老旧站虽进行了智能化改造，但巡检策略未同步升级，仍按固定周期开展全面巡视，忽视了基于设备状态的差异化、动态化巡检需求。这种“重形式、轻实效”的巡检方式，不仅效率低下，还可能遗漏早期故障征兆，无法体现智能变电站“状态可视化”和“预测性维护”的核心优势。

## 2.2 二次系统网络复杂，故障定位难度大

智能变电站采用 IEC61850 标准构建全站通信网络，过程层、间隔层、站控层通过 GOOSE、SV、MMS 等报文实现信息交互<sup>[2]</sup>。这种高度网络化的架构虽提升了系统集成度，但也带来了新的运维挑战。一旦出现保护误动、遥信异常或通信中断等问题，故障溯源极为困难。一方面，故障可能源于交换机配置错误、光纤链路劣化、IED 装置软件缺陷或时间同步偏差等多个环节；另一方面，现有运维人员对网络协议、报文分析、SCD 文件管理等数字通信知识掌握不足，缺乏专用诊断工具的支持，导致排查周期长、误判率高。尤其在多厂家设备混用场景下，互操作性问题进一步加剧了维护复杂度。

## 2.3 智能组件可靠性不足，维护标准缺失

智能化一次设备所依赖的智能终端、合并单元、传感器等附属组件，长期暴露于强电磁、高温、高湿等恶劣环境中，其可靠性往往低于主设备本体。在实践中，智能组件故障率较高，如光模块老化导致采样异常、电源模块失效引发装置失电、传感器漂移造成数据失真等。然而，目前针对这些智能组件的维护规程尚不健全，缺乏统一的寿命评估模型、性能检测标准和更换阈值。部分单位甚至将智能组件视为“免维护”部件，仅在故障发生后被动处理，未能建立预防性维护机制。此外，组件更换常需重新配置参数、校验通信链路，若无标准化作业指导书，极易引入人为错误，影响系统整体稳定性。

## 2.4 运维人员技能结构不适应智能化转型

智能变电站的运维已从传统的“电气+机械”向“电气+通信+自动化+数据分析”复合型能力转变。然而，现有运维队伍普遍存在知识断层：老员工熟悉一次设备但对数字化通信、网络架构理解有限；新员工虽具备信息技术背景，却缺乏现场实践经验与高压设备安全意识。培训体系也未能及时跟进，多数培训仍聚焦于单一设备操作，缺乏对全站信息流、逻辑闭锁、虚回路配置等系统级知识的系统讲授。在面对复杂告警、网络异常或 SCD 文件变更时，运维人员往往束手无策，过度依赖厂家技术支持，严重影响应急响应速度和自主运维能力。

## 2.5 数据孤岛现象严重，智能运维平台支撑不足

尽管智能变电站采集了海量运行数据，但这些数据分散在监控系统、保信子站、在线监测系统、辅助控制系统等多个独立平台中缺乏统一的数据模型与接口标准，形成“数据孤岛”<sup>[3]</sup>。运维人员需在多个系统间切换查询，难以实现设备状态的全景感知与关联分析。同时，现有运维管理系统功能较为基础，主要支持工单流转和台账管理，缺乏基于大数据的故障预警、健康评估、检修决策等高级应用。即使部分单位部署了智能巡检机器人或无人机，其采集的图像、红外等非结构化数据也未能与设备台账、历史缺陷、试验报告有效融合，限制了 AI 算法在缺陷识别与趋势预测中的应用潜力。这种“有数据、无智能”的局面，严重制约了运维模式从“被动响应”向“主动预防”的转型升级。

## 3 日常巡检与维护策略优化路径

### 3.1 推进差异化、智能化巡检模式转型

针对巡检内容复杂化与传统手段不匹配的问题，必须推动巡检模式向差异化、智能化转型。其核心是从“周期性固定巡检”转向“基于风险评估与设备状态的动态巡检”。首先，建立设备健康状态评估模型，综合在线监测数据、历史缺陷、家族性故障、运行年限、环境因素等多维信息，对全站设备进行风险分级。高风险设备（状态异常或处于关键路径）缩短巡检周期并增加特巡；低风险、状态稳定的设备则可适当延长巡检间隔。其次，将巡检计划与生产管理系统、在线监测系统深度联动，当监测数据出现趋势性劣化或越限告警时，系统能自动生成特巡任务，实现“数据驱动”的精准响应。

在此基础上，大力引入智能化巡检装备与手段。推广应用巡检机器人、无人机、智能安全帽等，实现设备外观、红外测温、局放检测、表计识别的自动化采集与 AI 智能分析。同时，将“数字巡检”纳入常态化工作：运维人员需在后台定期查看网络通信状态、报文丢包率、软件进程健康度、虚回路链路状态等数字信号，并利用便携式网络报文记录分析仪进行现场核查。

### 3.2 构建二次系统网络化故障诊断与治理体系

面对复杂的网络化二次系统，需构建体系化的故障诊断与治理能力。首要任务是装备专业化的工具并建立标准化的排查流程。为运维班组配备网络报文分析仪、光功率计、便携式时间同步测试仪等专用工具，并制定从现象到根源的“阶梯式”诊断流程图。例如：针对保护异常，流程应依次涵盖：检查装置指示灯与

告警信息、验证光纤链路与光功率、分析 SV/GOOSE 报文质量与同步性、核对 SCD 文件配置与虚端子连接、最终定位至具体 IED 或交换机。标准化的流程能大幅压缩故障定位时间。

更深层次的策略是建立网络健康状态的常态化监测与预警机制。在站控层部署网络流量分析与安全监控系统,对过程层和站控层网络的流量、带宽、关键报文延时、丢包率、错误帧等进行 7×24 小时不间断监视。系统应能自动建立正常工况下的通信基线,并对异常流量、通信中断、同步偏差等事件进行实时告警和初步定位。同时,需严格规范 SCD 文件的全过程管控,建立从设计、验收、变更到归档的闭环管理机制,任何修改均需履行严格的审核、测试与备份流程,从源头上减少因配置错误引发的系统性风险。

### 3.3 健全智能组件全寿命周期维护标准体系

为解决智能组件可靠性问题与维护标准缺失的挑战,需从设计选型、现场运维到退役更换,建立覆盖其全寿命周期的标准体系<sup>[4]</sup>。在设备准入与采购阶段,应制定高于国标的智能组件技术规范,明确关键元器件的选用等级、工作温度范围、电磁兼容性 & 平均无故障时间要求,并鼓励开展型式试验与入网检测,从源头提升设备可靠性。

在运行维护阶段,需加快制定并推行智能组件的专用检修规程。规程应明确合并单元、智能终端、在线监测传感器等设备的例行检验项目、周期、方法及性能指标阈值。特别是要建立智能组件的状态评价与主动更换策略。例如:对运行超过一定年限或故障率较高的光模块、风扇等部件,实施预防性更换。

### 3.4 实施复合型运维人才能力提升工程

应对人员技能结构性矛盾,需实施系统化、多层次、理论与实践结合的能力提升工程。

首先,构建分阶段、模块化的培训课程体系。初级阶段聚焦智能站架构、IEC61850 基础、SCD 文件结构、网络与安全常识;中级阶段深入报文分析、虚回路辨识、常见故障诊断;高级阶段涵盖系统集成测试、高级应用配置及大数据初步分析。培训应采用“理论授课+虚拟仿真+现场实操”相结合的模式,利用数字孪生或仿真培训系统,让学员在无风险环境下反复练习配置、调试和排故。

其次,创新运维组织模式与激励机制。推动一次、二次专业融合,组建跨专业的“全科医生”式运维团队,通过联合巡检、共同消缺项目促进知识共享。设立“技能专家”岗位和专项奖励,鼓励员工钻研网络分析、数据挖掘等新技术,并承担内训师职责。

最后,建立“厂家—科研机构—运维单位”协同培养机制,选派骨干参与新站验收、大修技改项目,在实战中快速积累经验,最终打造一支既懂电力系统原理,又精通信息通信技术,具备全局视野和解决复杂问题能力的现代化运维队伍。

### 3.5 打造一体化智能运维平台,打通数据孤岛

破解数据孤岛、提升决策智能水平的关键在于构建一个横向集成、纵向贯通的一体化智能运维平台。该平台的核心是建立符合 IEC61850 或 CIM 等标准的企业级统一数据模型,并设计标准化服务总线,实现与监控系统、在线监测、保信系统、生产管理系统、机器人巡检系统等异构数据源的互联互通<sup>[5]</sup>。通过数据清洗、对齐与融合,形成覆盖设备台账、实时状态、历史事件、试验报告、图像视频的“全景数字档案”。

在数据融合的基础上,平台需内置或集成各类智能分析应用。利用机器学习算法,对多源监测数据进行融合分析,实现设备健康状态的综合评价与早期故障预警。结合设备可靠性模型、电网运行方式及风险评估算法,生成预测性维护建议和优化的检修策略。最终,通过平台实现“数据汇集—智能分析—策略生成—工单派发—效果反馈”的运维全流程闭环管理,驱动运维模式向数据驱动、主动预防的高级阶段演进。

## 4 结束语

智能变电站的运维工作逐渐从分散、被动、经验驱动向集中、主动、数据驱动深刻转型。这一目标的实现不仅需要持续的技术创新与装备升级,更需要管理理念的革新、标准体系的完善和人才队伍的重构。通过构建“状态全面感知、数据深度融合、分析高度智能、决策精准高效”的现代化运维体系,才可以充分释放智能变电站的潜能,为智能电网的安全、可靠、经济运行奠定坚实的基础。

### 参考文献:

- [1] 陈舸. 数字化智能化技术在智能变电站设备巡检系统中的应用研究[J]. 电工技术, 2024(02):200-202.
- [2] 洪天星. 智能变电站巡检机器人路径规划的改进 ABC 算法及其应用研究[J]. 成都工业学院学报, 2024, 27(05): 35-40.
- [3] 谢剑翔, 张琦, 吴嘉琪, 等. 基于数字孪生技术的智能变电站巡检方法[J]. 电气开关, 2023, 61(06):87-89, 113.
- [4] 熊玲, 熊信恒. 智能变电站辅控系统在电网巡检中的应用[J]. 无线互联科技, 2023, 20(16):28-30.
- [5] 韩建波. 智能变电站二次设备安装工况在线巡检系统设计[J]. 农村电气化, 2021(09):56-58.