

# 智能变电站变电运维模式优化探讨

齐晓明 孙吉明 王 飞

国网新疆电力有限公司哈密供电公司 新疆 哈密 839000

**摘要：**智能变电站作为智能电网的重要组成部分，其技术架构与设备特性对传统变电运维模式提出了全新挑战。本文从智能变电站的技术特征出发，系统分析现有运维模式在适应性、协同性与效能性方面存在的问题，提出以“状态感知精准化、作业决策智能化、运维管理集约化、人力资源复合化”为核心的运维模式优化框架。围绕数据融合、状态评价、检修策略、组织方式、人员能力五个维度，构建了智能变电站运维模式优化的实施路径。研究认为，智能变电站运维模式优化的本质是从“人找问题”向“问题找人”的范式转换，需充分发挥智能设备的数据优势与自诊断能力，实现运维工作的少人化、精准化与预防化。

**关键词：**智能变电站；运维模式；状态检修；数据融合；集约化管理

## 引言

智能电网快速发展使智能变电站成为核心节点，其采用电子式互感器、智能一次设备、合并单元及过程层网络等新技术，实现信息采集数字化、传输网络化与操作智能化。截至“十四五”末，我国智能变电站占比超60%，新建站均按智能标准建设。然而，传统以人工经验和定期检修为主的运维模式已难以适应其技术特性：一方面，智能设备具备强大自诊断能力与丰富数据，却未被有效利用于状态评价；另一方面，设备高度耦合、技术门槛高，传统分专业、分设备的运维组织方式效率低下。因此，亟需优化运维模式，以释放智能变电站技术潜力，提升运维效率与可靠性。本文在分析其技术特征对运维影响的基础上，诊断现存问题，提出优化方向与实施路径，为运维管理转型升级提供理论支撑。

## 1 智能变电站运维模式现状及问题分析

### 1.1 当前运维模式的基本特征

目前，智能变电站的运维管理大多仍沿用常规站模式，仅在部分环节进行适应性调整。在组织架构上，普遍采用运维班（站）制，负责辖区内所有智能站的日常运维，检修工作仍由专业检修公司承担。在作业标准上，巡视周期仍按常规站标准执行，巡视内容虽增加了智能设备状态检查项，但尚未形成差异化、基于状态的巡视策略<sup>[1]</sup>。在检修策略上，定期检修仍占主导，状态检修处于试点阶段。在技术支持上，各智能设备厂商的在线监测系统独立运行，数据分散、接口不一，缺乏统一的运维管控平台。

### 1.2 存在的主要问题

#### 1.2.1 数据利用不充分，状态感知能力闲置

大量高频数据（如合并单元采样、油色谱）仅用于

实时告警，未纳入历史趋势分析或关联挖掘。异常处理常局限于单设备，忽略多源数据联动；在线数据未有效支撑状态评价；SF6、断路器动作等多维数据缺乏融合分析，潜在故障识别能力未激活。

#### 1.2.2 运维流程与智能设备特性不匹配

巡视“形似神不似”，多停留在感官检查，缺乏对报文分析、对时精度等智能站特有项目的标准；检修策略僵化，按常规周期停电检修可能增加风险，与IED长寿命特性不符；故障处置依赖厂家支持，因人员缺乏快速解读录波和报文的能力，响应效率低。

#### 1.2.3 组织分工与专业融合需求矛盾

一次与二次系统界限模糊（如智能断路器集成传感与终端），但运维仍按专业割裂分工：一次关注本体，二次关注保护与网络，协同不足；涉及通信配置的缺陷需多专业到场，协调成本高。

#### 1.2.4 人员能力结构不适应新技术要求

老员工熟悉设备但缺乏光纤、VLAN、报文分析等新技能；青年员工懂IT但对设备机理理解浅，难以判断故障本质；培训多限于厂家产品介绍，缺乏系统性、实战化能力培养体系。

#### 1.2.5 技术标准与管理制度滞后

国家/行业标准对智能设备巡检、状态评价、检修等规定原则性强，地方细则差异大；管理制度仍套用常规站模板，如将“GOOSE通信中断”简单归为一般缺陷，未评估其对保护功能的实际影响，导致定级不准、处置优先级混乱。

### 1.3 问题成因的深层分析

根本原因在于技术快速演进与管理配套滞后的“时差”：一是建设中“重硬轻软”，忽视运维体系同步构

建；二是精益工具未适配智能站特性，仍套用常规站逻辑；三是跨专业融合缺乏机制，专业壁垒加剧数据孤岛；四是人员转型缺乏系统规划，碎片化培训难支撑能力跃升<sup>[2]</sup>。由此导致部分智能站“建得起、管不好、用不优”。

## 2 智能变电站运维模式优化框架

### 2.1 优化目标与基本原则

智能变电站运维模式优化的总体目标是：构建以数据驱动为核心、状态评价为基础、精准决策为特征的智慧运维模式，实现“三个转变”——从事后处置向事前预警转变、从周期计划向状态响应转变、从人工经验向数据智能转变。具体目标包括：设备可用率  $\geq 99.8\%$ ，非计划停运率降低30%以上，运维综合人力成本下降20%—30%，缺陷平均识别时间缩短50%。优化工作应遵循四项基本原则：一是数据驱动原则，将设备在线数据作为运维决策的核心依据；二是系统优化原则，统筹考虑一次、二次、辅助设备的管理协同；三是人机协同原则，发挥智能系统数据优势与运维人员判断优势的互补效应；四是安全可控原则，模式优化不得降低安全冗余，任何自动化决策需保留人工干预通道。

### 2.2 模式优化核心框架

智能变电站运维模式优化应从五个维度协同推进，形成“一中心、两支撑、三融合”的框架结构。“一中心”指以设备状态评价为中心，变“计划驱动”为“状态驱动”；“两支撑”指数据融合支撑与智能决策支撑，前者解决“看得全”的问题，后者解决“判得准”的问题；“三融合”指专业融合（一次/二次/自动化）、业务融合（运维/检修/调控）、人机融合（人工经验与智能系统的协同）。五维度具体内容如下。

#### 2.2.1 维度一：状态感知精准化

整合智能站内在线监测、保护信息子站、故障录波、机器人巡检等多源数据，建立统一的设备状态全景视图。通过边缘计算技术，在智能终端层完成初步数据分析与压缩，减轻主站处理压力。状态感知从“有无告警”提升至“劣化趋势预测”，实现对潜伏性故障的早期识别。

#### 2.2.2 维度二：作业决策智能化

开发智能运维决策支持系统，内置设备状态评价模型、风险评估模型与检修策略库。系统根据实时状态数据自动计算设备健康指数，推荐巡视周期、检修时机与试验项目。对于常规操作（如电容器投切、备自投测试），系统可生成操作方案并完成安全校核，运维人员仅需确认执行。

#### 2.2.3 维度三：运维管理集约化

打破传统运维班按地理片区划界的模式，建立区域运维中心，集中监控多个智能站的运行状态与告警信息。巡检任务由中心根据设备状态分值动态派发，避免“一刀切”式定期巡视。检修、试验等专业力量纳入中心统一调度，实现资源池化共享。

#### 2.2.4 维度四：人力资源复合化

面向智能站特点重塑岗位能力模型，推行“运维一体化、专业一专多能”。培养具备一次设备诊断、二次报文分析、网络配置、智能系统维护能力的复合型运维工程师。建立技术序列与管理序列双通道，为技术专家提供成长空间。

#### 2.2.5 维度五：流程制度弹性化

将智能站的运维流程从“刚性计划”调整为“弹性触发”。设立三级响应机制：一级为基础状态监测（系统自动进行），不占用人力；二级为状态异常下的专项核查，触发针对性检查任务；三级为紧急缺陷处置，启动快速响应预案。制度设计上充分授权，允许运维人员在数据支撑下动态调整作业计划。

## 3 智能变电站运维模式优化实施路径

### 3.1 数据融合与状态评价能力建设

数据融合是智能运维的基础。首先，构建统一的数据接入平台，制定各类智能设备的数据接口规范，实现合并单元、智能终端、保护装置、在线监测、辅控系统数据源的标准化接入。其次，建立数据清洗与对齐机制，解决不同来源数据的时间同步与单位统一问题，形成按设备组织的时间序列数据集。再次，开发状态评价模型，综合运用阈值比较、趋势分析、类比分析、关联挖掘等方法，从单一参数越限发展到多参数联合诊断<sup>[3]</sup>。例如，断路器状态评价可融合分合闸线圈电流波形、主触头行程-时间曲线、SF<sub>6</sub>压力变化率等参数，通过机器学习模型识别机构卡涩、灭弧室劣化等模式。状态评价结果以健康指数（0-100分）形式输出，并支持钻取式查询追溯异常参数。

### 3.2 检修策略从定期向状态检修转型

状态检修的实施需经历三个阶段。第一阶段为过渡期，以“定期检修+状态评价修正”的方式运作，即在原定检修周期基础上，根据设备状态指数动态调整——状态优良的设备可延长检修间隔（不超过规程上限的1.5倍），状态劣化的设备提前安排检修。第二阶段为状态主导期，取消固定周期限制，完全依据状态评价结果触发检修任务，检修范围也从“全检全试”转向“针对性检修”，仅处理确认存在问题的功能模块。第三阶

段为预测检修期，基于设备劣化趋势预测剩余寿命，在最经济的时机（如负荷低谷期）安排检修，实现“该修则修、修必修好”的目标。实施中需注意：电子式互感器、合并单元等固态设备以状态监测为主，减少不必要的停电拆检；对机械运动部件（断路器操动机构、有载分接开关）保持必要的解体检查频率。

### 3.3 运维组织向集约化与区域化演进

组织优化的方向是从“站站有人、定员定编”转向“中心监控、区域运维、无人值守”。具体路径为：第一步，对区域内智能站进行分级，根据电网重要性、设备健康度、负荷性质等因素划分为核心站、重要站、一般站；第二步，核心站保留少量运维人员驻守，一般站推行无人值守，所有站点的实时监控集中至区域运维中心；第三步，建立基于工单的作业模式，运维中心根据设备状态、报警信息、工作计划生成电子工单，派发至就近的流动运维组执行<sup>[4]</sup>。流动运维组配备标准化工具与移动终端，具备独立完成巡视、操作、简单消缺的能力。第四步，引入车辆调度优化算法，合理规划流动运维组的驻点位置与巡检路线，缩短应急响应时间。

### 3.4 人员能力转型与培养体系设计

人员能力转型是模式优化的关键瓶颈，应从“标准—培训—认证—激励”四个环节系统设计。标准层面，编制《智能变电站运维人员能力矩阵》，明确初级、中级、高级三个层级所需掌握的知识技能（如GOOSE报文解析、合并单元配置、网络故障排查等）。培训层面，建立“理论+仿真+实操”三位一体培训体系：理论培训涵盖IEC 61850标准、网络通信原理、智能设备逻辑等；仿真培训利用数字孪生技术，在虚拟环境中模拟各类异常工况与故障场景；实操培训依托实训基地，进行光纤熔接、装置配置、报文捕获分析等动手训练。认证层面，实施智能运维能力认证制度，认证结果与上岗资格、岗位晋升挂钩。激励层面，设立技能津贴，对取得高等级认证的员工给予薪酬倾斜，同时将多能工培养成效纳入班组绩效考核。

### 3.5 管理流程与制度规范重塑

按照“删、合、转、智”的思路对现有运维流程进行再造。“删”指删除不适应智能站的环节，如常规站要求的二次设备外观检查（智能设备已自检并上送）可

取消。“合”指合并重复性工作，如巡视日志与缺陷记录可合并为统一的电子记录，一次录入即可。“转”指将人工环节转为自动，如设备状态报表由系统每日自动生成并推送。“智”指将判断性工作智能化，如缺陷定级由系统根据预设规则自动完成，人工仅对边缘情况进行复核。在制度规范方面，加快制修订《智能变电站运维导则》《智能设备状态评价标准》《智能站网络运维规范》等企业/行业标准，明确各类智能设备的巡视内容、周期、异常判断准则及处置流程。同时，建立智能站运维知识库，积累各类型报文、故障案例与处置方案，形成持续更新的组织资产。

## 4 结语

智能变电站的技术先进性不能自动转化为运维的高效性与经济性，必须有与之相适应的管理模式。本文研究表明，当前智能变电站运维模式存在数据利用不充分、流程不匹配、组织不适应、能力不支撑等问题，其根源在于技术与管理的演进时差。优化智能变电站运维模式，应以状态感知精准化、作业决策智能化、运维管理集约化、人力资源复合化、流程制度弹性化为核心维度，系统推进数据融合、状态检修、区域运维、能力转型、流程再造五项工程。这一模式优化的本质，是将智能变电站的海量数据优势转化为运维决策优势，实现从“人被动应对故障”到“系统主动预警、人机协同处置”的根本转变。实施过程中需统筹技术、管理、人员、安全等多重保障，确保模式转型平稳有序。未来研究可进一步探索人工智能大模型在智能站运维决策中的应用，以及“云边协同”架构下运维模式的演进方向。

## 参考文献

- [1]余泽麟,胡砚芬,陈恒志,等.现阶段智能变电站建设与运维的问题与对策分析[C]//中国智慧工程研究会.2026工程技术与材料应用经验交流论文集.国网安徽省电力有限公司青阳县供电公司,2026:1034-1035.
- [2]王胜,毕君诚.智能变电站的设备故障及运维策略[J].低碳世界,2026,16(03):87-89.
- [3]李哲斐,郑凯.智能变电站变电运维与设备维护措施[J].光源与照明,2025,(12):93-95.
- [4]司马昆.智能变电站中的运维风险与对策分析[J].集成电路应用,2025,42(11):612-613.