

变电运维一体化管控平台体系设计与思考

魏文强 李君游 黄发胜

国网新疆电力有限公司哈密供电公司 新疆 哈密 839000

摘要：随着新型电力系统建设的纵深推进和电网数字化转型的全面提速，传统分散、割裂的变电运维管理模式已难以满足高可靠、高效率、智能化的现代电网运行需求。构建一个集设备全息感知、业务深度融合、风险智能预控、资源高效协同于一体的变电运维一体化管控平台，已成为提升电网本质安全水平和精益化管理水平的关键路径。本文立足于国家能源局《智能变电站配置文件运行管控系统技术规范》（DL/T 2647-2023）等行业最新标准，从顶层设计出发，系统性地阐述了一体化管控平台的核心内涵、总体架构、关键技术及功能模块。文章深入探讨了平台在打破专业壁垒、实现数据融合、赋能智能决策方面的内在逻辑，并对其在推动组织模式变革、重塑业务流程、保障网络安全等方面的战略价值进行了前瞻性思考，旨在为构建坚强、智能、高效的现代化变电运维体系提供理论支撑与实践指引。

关键词：变电运维；一体化管控；平台架构；数字孪生；智能决策

引言

变电站是电力系统的关键节点，其运行状态直接影响电网安全与效率。我国长期实行以“设备主人制”为核心的运维体系，但随着“双碳”目标推进，高比例可再生能源接入、源网荷储互动频繁等新型电力系统特征，对变电站提出更高要求。同时，人工智能、物联网、大数据等新一代信息技术迅猛发展，为运维模式革新提供支撑。国家相继出台《关于加快推进能源数字化智能化发展的若干意见》及DL/T 2647-2023等行业标准，推动智能变电站建设。然而，传统运维模式存在信息孤岛、协同困难、响应滞后等问题，难以满足新形势需求。一次设备、二次系统与辅助设施数据分散，无法形成统一、实时的站内全景感知。因此，亟需构建横向集成专业系统、纵向贯通管理层级的变电运维一体化管控平台。该平台不仅是技术整合，更是管理理念变革，旨在通过数据驱动与智能算法，实现从“被动响应”到“主动防御”、从“经验驱动”到“数据驱动”、从“局部优化”到“全局最优”的转型。本文将围绕该平台的体系设计展开系统研究。

1 变电运维一体化管控平台的核心内涵与设计原则

1.1 核心内涵解析

变电运维一体化管控平台的本质，是一个面向变电运维全业务、全要素、全生命周期的数字化操作系统。其核心内涵可以从三个维度进行解读：（1）业务一体化：打破一次、二次、土建、安防、消防等专业间的壁垒，将原本分散的巡视、操作、检修、试验、缺陷管理、应急管理业务流程进行深度梳理、优化与重构，

实现跨专业的无缝协同与高效联动。（2）数据一体化：汇聚来自在线监测装置、巡检机器人、视频监控、SCADA系统、PMS（生产管理系统）、OMS（调度管理系统）等多源异构数据，通过统一的数据模型、接口标准和治理机制，构建覆盖变电站全域的“数据湖”，为上层应用提供高质量、一致性的数据服务。（3）管控一体化：建立覆盖省、地、站三级的集中监控与分级管理体系，实现对辖区内所有变电站运行状态的“一屏总览”、风险隐患的“一体预警”、运维资源的“一盘棋调度”和作业过程的“一键穿透”式监管，大幅提升管理穿透力和决策效率。

1.2 关键设计原则

为确保平台建设成功，必须遵循以下核心设计原则：（1）标准先行，开放兼容：平台设计必须严格遵循国家及行业相关标准，如DL/T 2647-2023对智能变电站配置文件（SCD）的管控要求，以及IEC 61850等国际通用通信标准。同时，采用开放式架构，支持与未来新技术、新设备的平滑接入，避免形成新的信息孤岛。（2）数据驱动，智能赋能：将数据视为平台的核心资产，通过先进的数据治理手段确保其准确性、完整性和时效性。在此基础上，深度融入人工智能、机器学习等技术，开发智能巡视、智能诊断、智能决策等高级应用，将平台从“信息展示中心”升级为“智慧决策中心”^[1]。（3）安全可靠，自主可控：电力监控系统是国家关键信息基础设施，其安全至关重要。平台必须构建纵深防御的安全体系，从物理安全、网络安全、主机安全、应用安全到数据安全，实施全方位防护。同时，核心软硬

件应优先选用国产化、自主可控的产品，保障供应链安全。（4）用户导向，体验为王：平台最终服务于一线运维人员和各级管理者。设计时应充分考虑不同角色的使用场景和操作习惯，提供直观、简洁、高效的交互界面，降低使用门槛，提升用户体验，确保平台“用得好、离不开”。

2 变电运维一体化管控平台的总体架构与关键技术

2.1 “云-边-端”协同的总体架构

一体化管控平台宜采用“云-边-端”三层协同的分布式架构，以平衡计算、存储、带宽与实时性需求。

2.1.1 “端”层（感知层）

部署于变电站现场，包括各类传感器（温度、局放、油色谱等）、智能巡检机器人、高清视频摄像头、智能锁具、环境监测单元等终端设备。它们负责对一次设备、二次系统及站内环境进行全方位、全天候的原始数据采集，是平台的“神经末梢”。

2.1.2 “边”层（边缘计算层）

部署于变电站本地或区域集控中心，由边缘计算网关或服务器构成。其主要功能是对“端”层采集的海量原始数据进行初步的清洗、过滤、压缩和本地化智能分析（如简单的异常告警、图像识别）。这可以有效减轻云端负担，满足部分业务对低时延、高可靠性的要求，并在网络中断时保障基本的本地自治能力。

2.1.3 “云”层（平台层）

部署于企业级数据中心或私有云，是整个平台的“大脑”。它负责汇聚来自所有“边”节点的数据，构建统一的变电站数字孪生体，并承载核心的业务应用，如全景监视、智能诊断、风险评估、资源调度、知识管理等^[2]。同时，“云”层还提供强大的计算、存储和AI模型训练能力，支撑复杂的全局性分析与决策。

2.2 支撑平台运行的关键技术

2.2.1 数字孪生技术

这是实现一体化管控的基石。通过构建与物理变电站完全对应的高保真度三维数字模型，并实时映射其运行状态、设备参数和环境信息，为远程监视、仿真推演、故障复盘等提供直观、沉浸式的可视化载体。数字孪生体不仅是静态的展示，更是动态的、可交互的分析平台。

2.2.2 大数据与人工智能技术

面对PB级的运维数据，必须依赖大数据技术进行高效存储、处理与分析。在此基础上，利用深度学习、知识图谱等AI技术，可以从历史数据中挖掘设备劣化规律，预测潜在故障（如基于油色谱数据的变压器故障预

测），实现从“看得见”到“看得懂”、“看得准”的跨越。特别是针对智能变电站SCD文件的管理，可应用AI技术自动校核虚端子回路的正确性，极大提升配置管理的效率与可靠性。

2.2.3 微服务与容器化技术

为应对业务需求的快速变化和技术的持续迭代，平台后端应采用微服务架构。将庞大的单体应用拆分为一系列小而自治的服务，每个服务独立开发、部署和扩展。结合Docker、Kubernetes等容器化技术，可以实现应用的敏捷交付、弹性伸缩和高可用性，显著提升平台的灵活性和健壮性。

2.2.4 统一身份认证与权限管理技术

平台涉及大量敏感数据和关键操作，必须建立严格的统一身份认证（如基于国密算法的PKI/CA体系）和细粒度的权限管理模型（RBAC+ABAC）。确保不同角色的用户只能访问其职责范围内的数据和功能，有效防范越权操作和数据泄露风险。

3 变电运维一体化管控平台的核心功能模块设计

3.1 全景监视与态势感知模块

该模块是平台的“驾驶舱”，旨在为管理者提供全局视角。它通过集成GIS地图、三维数字孪生模型、实时潮流图等多种可视化手段，动态展示辖区内所有变电站的地理位置、电压等级、主接线方式、关键设备状态（如主变油温、断路器SF6压力）、实时负荷、告警信息等。支持按区域、电压等级、风险等级等多维度进行筛选和钻取，实现“一图尽览、一目了然”的全局态势感知。

3.2 智能巡视与缺陷管理模块

该模块致力于解放人力，提升巡视质效。它能够自动接收并解析来自巡检机器人、无人机、高清视频的巡检数据，利用AI图像识别算法，自动比对设备外观（如套管有无裂纹、油位是否正常）、表计读数、红外热像等，精准识别异常并生成缺陷工单。所有缺陷信息（包括位置、类型、严重程度、图片证据）均在平台上统一归集、分类、定级，并自动流转至相应的处理流程，形成从发现、确认、处理到验收的闭环管理。

3.3 设备健康管理及智能诊断模块

此模块是平台的“智慧大脑”。它基于设备全生命周期的历史数据（包括出厂试验、交接试验、历年预防性试验、在线监测数据等），运用大数据分析和机器学习模型，对设备的健康状态进行量化评估（如健康指数），并预测其剩余寿命^[3]。当设备出现异常征兆时，能自动关联相关的一次、二次、环境等多维数据，进行综合研判，给出可能的故障原因、影响范围及处置建议，

辅助运维人员做出科学决策,实现从“定期检修”向“状态检修”乃至“预测性维护”的转变。

3.4 一体化作业管控模块

该模块聚焦于核心的倒闸操作和检修作业。在作业前,平台可根据当前电网运行方式、设备状态和天气情况,自动生成标准化的操作票或工作票,并进行智能防误校核。作业中,通过移动终端(APP)或AR眼镜,为现场人员提供可视化的操作指引、设备信息查询和远程专家协助。作业后,自动归档所有过程记录(文字、图片、视频),并与设备台账、缺陷库关联,确保作业全过程可追溯、可审计。

3.5 应急指挥与资源协同模块

在发生故障或突发事件时,该模块能够迅速启动应急预案。平台自动推送故障信息、影响范围、相关图纸资料至应急指挥中心,并基于预设规则,智能推荐最优的处置方案和所需的人、车、物等资源。通过平台,指挥中心可以实时掌握抢修队伍的位置、状态,并进行统一调度,实现跨班组、跨区域的高效协同作战,最大限度缩短停电时间。

4 平台建设带来的深远影响与战略思考

4.1 推动组织模式与业务流程再造

平台的建成将有力支撑“无人值班、少人值守、集控站+巡检站”的新型运维组织模式。传统的按站配置的运维班组将逐步转变为按区域或专业划分的集约化团队。与此相适应,原有的业务流程也必须进行彻底的梳理与再造,以适应平台化、线上化的作业方式,真正实现减员增效。

4.2 构建以数据为核心的新型运维文化

平台的广泛应用将促使运维工作从依赖个人经验和直觉,转向依靠客观数据和智能分析。这要求运维人员不仅要掌握传统技能,更要具备数据思维和一定的数字素养^[4]。企业需要大力培育“用数据说话、用数据决策、用数据管理”的新型运维文化,鼓励员工主动利用平台数据发现问题、解决问题。

4.3 强化网络安全与供应链韧性

随着平台对网络的高度依赖,其面临的网络安全威胁也呈指数级增长。必须将网络安全置于与电网安全同等重要的地位,持续投入,构建覆盖“云、网、边、

端”的全栈式安全防护体系。同时,在核心软硬件选型上,应坚定不移地走国产化、自主可控之路,以应对日益复杂的国际形势,保障电力供应链的长期安全与韧性。

4.4 探索平台价值的外延与生态构建

一体化管控平台沉淀的海量高质量数据,是宝贵的资产。未来,可以在保障安全合规的前提下,探索其价值的外延。例如,为设备制造商提供产品运行反馈,助力其改进设计;为保险机构提供风险评估依据,开发新型电力保险产品;甚至可以作为能源互联网的重要组成部分,向上支撑电网的精准规划和调度,向下服务用户的能效管理和需求响应,从而构建一个多方共赢的能源数字生态。

5 结语

变电运维一体化管控平台的建设,是顺应能源革命与数字革命深度融合趋势的必然选择,是提升电网核心竞争力的战略举措。本文从内涵、原则、架构、功能到影响等多个维度,对其进行了系统性的设计与思考。该平台的成功构建,不仅需要先进的技术作为支撑,更需要前瞻的理念、坚定的决心和持续的投入。未来,随着5G-A/6G、量子计算、更强大的AI大模型等前沿技术的成熟,一体化管控平台的能力边界将进一步拓展,有望实现对电网运行状态的“全息感知、秒级响应、分钟级自愈”。电力企业应把握历史机遇,以一体化管控平台为抓手,全面推进变电运维体系的数字化、网络化、智能化转型,为构建安全、高效、绿色、智能的现代化电网奠定坚实基础。

参考文献

- [1]马德智,刘洋.视频监控技术在变电运维一体化系统中的应用[C]//《中国招标》期刊有限公司.新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛——绿色智造·采购革新专题.国网石嘴山供电公司,2025:803-807.
- [2]王文芳.基于互联网技术的变电运维一体化平台构建研究[J].建设科技,2025,(S1):133-135.
- [3]李月明,张金良,闫俊,等.变电运维一体化实施过程中存在的问题与对策[J].石子科技,2025,(04):16-17.
- [4]王琦,段钰.变电运维一体化系统中的问题与对策分析[J].集成电路应用,2025,42(07):344-345.