

面向新型电力系统的集控站功能扩展需求与架构演进路径

周小玲 宋世林 陈玉婷

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“双碳”目标推进，新型电力系统呈现高比例可再生能源、高电力电子化、高度数字化与智能化特征。传统集控站作为调度主站与变电站间的枢纽，其功能定位与技术架构已难以满足新系统对安全、高效、灵活、智能运行的要求。本文系统剖析了新型电力系统给集控站带来的核心挑战，论证其功能扩展的必要性，提出全景感知、智能分析、协同控制、全寿命周期管理及网络安全韧性五大需求维度。在此基础上，设计了一条“平台集成化→数据驱动化→云边端协同化”的渐进式架构演进路径。该路径通过技术融合与架构革新，推动集控站从信息汇聚节点转型为具备边缘智能与协同决策能力的区域电网智慧中枢，为新型电力系统的稳定、可靠、高效运行提供坚实支撑。

关键词：新型电力系统；集控站；功能扩展；架构演进；云边端协同

引言

能源是经济社会发展的基石，电力是现代文明的核心。为实现“双碳”目标，我国正加速构建以新能源为主体的新型电力系统。根据《加快构建新型电力系统行动方案（2024—2027年）》，该系统以坚强智能电网为枢纽，强调源网荷储互动与多能互补，具备清洁低碳、安全可控、灵活高效等特征。在此背景下，风电、光伏等间歇性电源大规模并网，叠加分布式能源、电动汽车等多元负荷接入，使电网运行呈现高度不确定性与复杂性，传统“源随荷动”模式正转向“源网荷储协同互动”。集控站作为区域变电站的集中监控中心，在传统体系中仅承担信息汇聚与远程操作功能，已难以应对新型电力系统的挑战。亟需推动其从被动响应向主动预测、从信息汇集向智能决策、从单一监控向综合管理升级。系统研究其功能扩展需求与架构演进路径，对保障电网安全、提升新能源消纳能力、推进数字化转型具有重要意义。

1 新型电力系统对集控站的核心挑战

1.1 运行状态感知的广度与深度不足

传统集控站的数据采集主要依赖于变电站自动化系统的“四遥”（遥测、遥信、遥控、遥调）信息，其数据维度相对单一，主要聚焦于一次设备的电气量和开关状态。而在新型电力系统中，影响电网安全稳定运行的因素远不止于此。大量电力电子设备（如逆变器、SVG等）的动态行为、二次保护及自动化装置的健康状态、站内辅助设备（如消防、安防、环境监测）的运行情况、甚至气象环境信息，都成为影响系统整体态势的重要变量^[1]。现有集控站缺乏对这些多源、异构、海量数据的有效汇聚与融合能力，导致其对电网运行状态的感知存在“盲区”，难以形

成全面、立体、精准的“数字镜像”。

1.2 智能分析与主动预警能力薄弱

传统集控站的告警机制多基于简单的阈值越限或状态变位，属于“事后告警”模式。面对新型电力系统中由新能源波动、设备老化、网络攻击等引发的复杂、连锁性故障风险，这种被动的告警方式显然无法满足“防患于未然”的要求。集控站迫切需要具备基于大数据和人工智能的深度分析能力，能够对海量历史与实时数据进行关联挖掘，识别潜在的风险模式，实现设备状态的精准评估、故障隐患的早期预警以及运行风险的量化评估，从而将运维模式从“故障后处理”转变为“风险前预防”。

1.3 协同控制与优化调节能力缺失

在源网荷储协同互动的新格局下，电网的调节资源不再局限于传统的大型发电机组，而是扩展到了分布式光伏、储能电站、可调节负荷等多种形态。集控站作为区域电网的直接管理者，理应成为执行上级调度指令、协调辖区内各类可调资源、实现局部最优控制的关键节点。然而，现有集控站的功能主要集中于监视和操作，缺乏对分布式资源的统一接入、聚合管理和协同控制能力，无法有效支撑配电网的自愈、电压无功的就地平衡以及新能源的友好并网等高级应用，制约了电网灵活性的提升。

1.4 全寿命周期管理支撑能力有限

随着电网资产规模的急剧膨胀和设备类型的日益复杂，传统的以台账管理为主的资产管理模式已难以为继。新型电力系统要求实现设备从采购、安装、运行、检修到退役的全寿命周期精细化管理。这需要集控站能够贯通设备的设计参数、出厂信息、运行数据、检修记

录、家族性缺陷等全维度信息，并基于此进行设备健康度评价、剩余寿命预测和检修策略优化。现有集控站的信息孤岛问题严重，难以有效整合来自不同业务系统的数据，无法为资产精益化管理提供有力支撑。

1.5 网络安全防护面临新威胁

集控站作为连接生产控制大区与管理信息大区的关键节点，其网络安全至关重要。新型电力系统中，ICT（信息与通信技术）与OT（运营技术）的深度融合，在提升系统智能化水平的同时，也极大地扩展了网络攻击的暴露面。针对集控站的网络攻击可能导致对变电站的误操作，引发严重的安全事故。因此，集控站需要构建更为坚固、更具韧性的纵深防御体系，不仅要防范传统的边界入侵，还要能够应对APT（高级持续性威胁）、供应链攻击等新型安全风险，并具备快速恢复和业务连续性保障能力。

2 面向新型电力系统的集控站功能扩展需求

2.1 全景感知与数字孪生构建需求

集控站需要构建覆盖“发-输-变-配-用”全环节的全景感知体系。这要求其具备强大的数据接入能力，能够兼容IEC 61850、IEC 104、MQTT等多种通信协议，无缝接入一次设备、二次设备、辅助设备乃至外部环境（如气象、视频）等多源异构数据。在此基础上，通过建立统一的电网设备模型和信息模型，实现物理电网与数字空间的精准映射，构建区域电网的“数字孪生体”。该孪生体不仅是静态的数据集合，更是能够实时反映电网动态运行状态、支持多场景仿真推演的智能体，为后续的智能分析与决策提供坚实的数据底座。

2.2 智能分析与主动运检需求

集控站需内嵌强大的智能分析引擎，利用机器学习、深度学习等AI技术，实现三大核心能力。首先，在设备层面，要能够基于设备的历史运行数据、在线监测数据和离线试验数据，运用特征工程和模式识别算法，对变压器、断路器、GIS等关键设备进行健康状态评估和剩余寿命预测。其次，在电网运行层面，通过对电网潮流、电压、频率等关键指标的实时监测与趋势分析，结合气象、负荷预测等外部信息，构建风险评估模型，提前识别过载、电压越限、N-1故障等潜在风险，并发出分级预警^[2]。最后，在故障处置层面，当发生故障时，能够自动关联保护动作信息、录波数据、开关变位信息等，快速定位故障点、判断故障类型，并生成标准化的故障处置预案，辅助或指导运维人员高效开展应急处置。

2.3 协同控制与柔性调节需求

集控站应成为区域电网的“柔性调节中心”。其功

能扩展需包括建立统一的接口，以接入辖区内的分布式光伏、储能、充电桩、可中断负荷等资源，并对其进行注册、建模和状态监视。在此基础上，集控站能够在接收到上级调度的功率调节指令后，根据本地电网的实时状态和各资源的调节能力，自主分解指令，下发给具体的可调资源，从而实现电压无功就地平衡、潮流优化、削峰填谷等目标。此外，集控站还需与配电自动化系统深度融合，在配电网发生故障时，能够快速隔离故障区域，并通过调整联络开关、调动分布式电源等方式，实现非故障区域的快速复电，有效支撑配网自愈功能。

2.4 资产全寿命周期精益管理需求

集控站需打通与PMS（生产管理系统）、ERP（企业资源计划）等业务系统的数据壁垒，构建统一的资产数据中心。依托该中心，集控站可以整合设备从设计、采购、安装、调试到运行、检修、退役全过程的信息，形成完整的“设备身份证”，即设备履历全息画像。基于此画像，集控站能够推动检修模式的根本性变革，即从传统的“定期检修”向“状态检修”乃至“预测性检修”转变，通过动态优化检修计划来降低运维成本并提升设备可用率。同时，集控站还能根据设备故障预测结果和历史消耗数据，智能预测备品备件的需求，优化库存结构，从而保障应急抢修的物资供应，实现资产全寿命周期的精益化管理。

2.5 内生安全与韧性防御需求

集控站的安全防护体系需从“边界防御”向“内生安全”演进。具体而言，集控站应采纳零信任架构，对所有访问请求进行严格的身份认证和权限校验，无论其来源是内部还是外部。同时，需要部署专业的网络安全监测探针，对集控站内部网络流量、主机行为、应用日志等进行全方位监控，以实时感知安全威胁，构建全面的安全态势感知能力^[3]。更重要的是，集控站必须建立安全事件自动化响应机制，能够在检测到攻击时自动隔离受感染主机、阻断恶意流量，并启动备份系统进行业务接管，最大限度地缩短业务中断时间，保障业务连续性，从而形成一个具备高度韧性的纵深防御体系。

3 集控站架构演进路径

3.1 第一阶段：平台集成化

这是当前大多数集控站正在经历或已经完成的阶段。其核心思想是打破原有各专业子系统（如SCADA、保信、辅控、在线监测等）之间的信息孤岛，通过构建一个统一的一体化监控平台，实现对主辅设备信息的集中展示和一体化监视。该阶段在硬件层面通常采用分区部署架构，严格遵循“安全分区、网络专用、横向隔

离、纵向认证”的原则，划分为生产控制大区（安全I/II区）和管理信息大区（安全IV区）。在软件层面，则普遍基于SOA（面向服务的架构）或微服务架构，将各专业应用封装为标准服务，通过服务总线进行调用和集成。功能上，实现了“四遥”信息、保护信息、视频信息、环境信息等的统一展示，并初步具备了远方一键顺控、智能告警分类等功能。此阶段虽然解决了信息分散的问题，但数据的价值尚未被深度挖掘，智能分析能力依然有限，且系统架构相对固化，扩展性不强。

3.2 第二阶段：数据驱动化

在平台集成的基础上，本阶段的核心是确立“数据为核心资产”的理念，构建强大的数据中台。其目标是将集控站从一个“信息展示平台”转变为“数据分析平台”。该阶段的主要工作是在集控站内部建立统一的数据采集、存储、治理和服务体系，通过数据湖或数据仓库技术，汇聚来自各子系统的结构化、半结构化和非结构化数据，并进行清洗、转换、关联和标签化处理。在此坚实的数据底座之上，部署通用的AI算法库和模型训练平台，使得运维或开发人员能够针对特定的业务场景（如设备故障预测、负荷预测）快速开发和部署智能应用^[4]。随着数据价值的释放，集控站的功能扩展重点从“有没有”转向“好不好用”，智能巡视、智能诊断、风险预警等数据驱动型应用成为标配，人机交互方式也更加智能化，例如支持通过自然语言查询电网状态。

3.3 第三阶段：云边端协同化

旨在构建一个弹性、敏捷、智能的分布式协同架构。该架构充分借鉴了云计算的强大算力和边缘计算的低时延优势，形成“超强云中枢+智慧边缘”的协同体系。云端作为全局的“智慧大脑”，通常部署在更高层级（如省公司或区域公司），负责处理需要全局视角和海量计算资源的任务，例如跨区域的电网潮流优化、长期负荷与新能源功率预测、AI大模型的训练与迭代以及全局安全策略的制定。边端即新一代集控站本身，作为区域电网的“智慧边缘”，它不仅继承了数据驱动阶段的所有能力，还进一步强化了本地实时决策能力，专门

负责处理对时延敏感的本地任务，如毫秒级的故障隔离与自愈、秒级的电压无功控制、分钟级的分布式资源协同调度等，并能接收云端下发的优化策略和AI模型在本地执行。终端则指变电站内的各类智能传感器、智能电表、智能摄像头等设备，负责最前端的数据采集和初步处理，并执行来自边端的控制指令。云、边、端三者之间通过高速、可靠的通信网络进行双向互动，形成一个闭环的“感知-分析-决策-执行”链条，从而在满足新型电力系统对实时性、可靠性和智能化极致要求的同时，也具备了良好的弹性和可扩展性。

4 结语

构建新型电力系统亟需集控站转型升级。本文分析其面临五大核心挑战，提出全景感知、智能分析、协同控制、精益管理与内生安全五大功能需求，并设计“平台集成化→数据驱动化→云边端协同化”的渐进式架构演进路径。该路径不仅是技术升级，更推动业务模式与管理理念变革。未来集控站将从传统监控中心转变为集区域电网监视、智能决策、协同控制与资产精益管理于一体的智慧中枢。通过此演进，可显著提升电网对高比例新能源的承载力、安全韧性及运营效率，有力支撑清洁低碳、安全充裕、经济高效、灵活智能的新型电力系统建设。后续研究可聚焦云边协同实现、AI模型电力适配及标准化互操作等方向。

参考文献

- [1]但敏,方钦,冲锋,等.综合智能防误系统在集控站的应用场景及实现方式研究[J].电气技术与经济,2025,(10):136-139.
- [2]高纯杰,何婷,张海龙,等.分布式结构的主一分控集控站群设计及实现[J].微型电脑应用,2025,41(03):308-312.
- [3]贺娇,陆璐,王善义,等.地级市电力系统新一代变电集控站通信系统设计与实现[J].长江信息通信,2024,37(04):206-209.
- [4]刘潇遥.新一代集控站平台下电力监控业务水平评价研究[D].重庆大学,2023.DOI:10.27670/d.cnki.gcqdu.2023.004830.