

集控站功能定位演变与电网调度-运维协同机制重构研究

陈玉婷 周小玲 宋世林

国网新疆电力有限公司哈密供电公司 新疆 哈密 839000

摘要: 在构建以新能源为主体的新型电力系统的宏大背景下, 电网运行呈现出高比例可再生能源接入、源网荷储深度互动、运行机理高度复杂等新特征。作为连接电网调度主站与变电站的关键枢纽, 集控站的传统功能定位已难以适应新形势下的安全、高效、灵活运行需求。本文系统性地梳理了集控站从“信息汇聚点”到“区域智慧中枢”的功能定位演变历程, 深入剖析了当前调度与运维业务在信息流、决策流和执行流上存在的割裂问题及其根源。在此基础上, 本文提出了一种面向未来的、以集控站为核心的电网调度-运维协同机制重构框架。该框架强调通过构建统一的数据模型、建立双向互动的业务流程、部署智能协同的决策支持系统, 实现调度指令的精准穿透与运维状态的实时反馈, 最终形成“全局优化、区域自治、协同联动”的一体化运行新模式, 为新型电力系统的稳定可靠运行提供坚实的组织与技术保障。

关键词: 集控站; 功能定位; 电网调度; 运维协同; 机制重构

引言

能源结构深刻变革正加速重塑电力系统。我国“双碳”目标推动电网向清洁低碳、安全充裕、经济高效、灵活智能的新型形态演进。与传统以同步机组为主、“源随荷动”、惯量充足的系统不同, 新型电力系统呈现“双高”(高比例可再生能源、高比例电力电子设备)和“双随机”(电源出力与负荷特性均具随机性)特征, 导致电压频率支撑能力下降, 运行不确定性与脆弱性显著增强。在此背景下, 电网亟需精细化、智能化、协同化的管理支撑。调度作为“大脑”负责全局优化, 运维作为“手脚”执行设备维护, 但二者在传统体系中存在信息壁垒、响应滞后、协同低效等问题, 难以应对快速变化的运行态势。集控站作为调度主站与变电站之间的中间层, 因角色模糊、功能滞后, 成为制约调度-运维高效协同的关键瓶颈。因此, 亟需重新定义其在新型电力系统中的功能定位, 并系统重构调度与运维的协同机制。本文通过梳理集控站功能演变逻辑、诊断现有协同痛点, 提出一套前瞻性、可操作的协同机制重构路径。

1 集控站功能定位的历史演变与内在逻辑

集控站的功能定位并非一成不变, 而是伴随着电网自动化、信息化水平的提升以及管理模式的革新而动态演进的。其演变过程清晰地反映了电网运行控制理念从分散到集中、从被动到主动、从单一到融合的深刻变迁。

1.1 初级阶段: “信息汇聚点”与远程操作终端

集控站的雏形源于变电站无人值班模式的推广。在此阶段, 其核心功能是将地理上分散的多个变电站的

“四遥”(遥测、遥信、遥控、遥调)信息通过通信通道汇集到一个中心站点, 由少数值班人员进行集中监视。此时的集控站主要扮演着“信息汇聚点”和“远程操作终端”的角色。其价值在于大幅减少了变电站现场值守人员的数量, 降低了人力成本, 并通过集中监控提升了对设备异常状态的发现效率。然而, 这一阶段的集控站功能相对单一, 信息处理停留在原始数据的展示层面, 缺乏对数据的深度挖掘与分析能力, 决策支持作用微乎其微。调度主站与集控站之间的关系主要是单向的指令下达与执行反馈, 集控站对上级调度的反向支撑作用非常有限。

1.2 发展阶段: “一体化监控平台”与专业壁垒的初步打破

随着计算机技术、通信技术和自动化技术的发展, 集控站进入了平台集成化阶段。此阶段的核心任务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。通过构建一体化监控平台, 集控站实现了对变电站主设备、二次设备乃至消防、安防、环境等辅助设备信息的统一接入、集中展示和一体化监视^[1]。这一变革使得集控站的功能从单纯的“看”和“控”, 拓展到了对设备状态的初步综合判断。例如, 能够实现远方一键顺控、智能告警分类等功能, 极大地提升了操作效率和监视体验。尽管如此, 这一阶段的集成更多是物理层面的“拼盘式”整合, 各专业数据虽然共处一屏, 但其内在关联并未被有效打通, 业务逻辑依然遵循各自的专业范式, 调度与运维在集控站层面的深度融合尚未实现。

1.3 当前及未来阶段：“区域智慧中枢”与协同决策核心

面对新型电力系统的挑战，集控站的功能定位正在发生质的飞跃，即从一个被动的信息处理节点，向一个具备主动感知、智能分析、协同决策能力的“区域智慧中枢”演进。新一代集控站不再仅仅是调度指令的忠实执行者，更是区域电网运行状态的深度感知者、局部风险的主动预警者、以及分布式资源的柔性协调者。它需要内嵌强大的数据中台和AI引擎，能够基于全景数据对设备健康状态、电网运行风险进行精准评估与预测，并能根据上级调度的宏观策略，自主分解并协调辖区内各类可调资源（如分布式光伏、储能、柔性负荷）进行就地优化控制。在这一新的定位下，集控站成为连接全局优化与局部自治的关键桥梁，其核心价值在于实现调度意图与运维能力的无缝对接，从而支撑起整个电网的高效、韧性运行。

2 电网调度-运维协同的现状、痛点与根源分析

尽管集控站的功能在不断演进，但当前电网调度与运维之间的协同机制仍存在诸多深层次矛盾，严重制约了电网的整体运行效能。

2.1 信息流割裂：数据烟囱与语义鸿沟

调度与运维分属不同的业务域，长期以来形成了各自独立的信息系统和数据标准。调度侧关注的是电网的潮流、电压、频率等宏观电气量，其数据模型以电网拓扑和运行方式为核心；而运维侧则聚焦于具体设备的机械、电气、化学等微观状态量，其数据模型以设备台账和全生命周期为核心。这种差异导致了严重的“数据烟囱”现象^[2]。即使在集控站实现了数据的物理汇聚，但由于缺乏统一的数据模型和语义映射，调度人员看到的设备异常信号，无法直接关联到运维侧掌握的设备历史缺陷、家族性隐患等深层信息；反之，运维人员掌握的设备劣化趋势，也难以有效转化为调度侧可理解的风险预警指标。信息流的割裂使得双方在决策时都如同“盲人摸象”，无法形成对电网状态的完整认知。

2.2 决策流脱节：指令刚性与响应迟滞

在传统的协同模式下，调度主站基于全局最优原则下达调度指令，这些指令通常是刚性的、标准化的。然而，指令的执行效果高度依赖于现场设备的实际状态。如果设备存在隐性缺陷或性能下降，强行执行调度指令可能会带来安全风险。当前的协同机制缺乏一个有效的“协商”环节，调度无法在指令下达前获知设备的真实承载能力，运维也无法在指令执行后及时、量化地反馈设备的响应情况和承受压力。这种决策流的脱节导致了

两种不良后果：一是为了规避风险，调度倾向于保守运行，牺牲了电网的运行效率和新能源消纳能力；二是当设备因超负荷运行而发生故障时，故障处置的链条过长，从调度发现异常、通知运维、到运维现场确认和处理，整个过程耗时较长，影响了故障恢复速度。

2.3 执行流断层：职责边界模糊与协同效率低下

调度与运维在集控站层面的职责边界长期处于模糊地带。一方面，集控站值班员既承担着部分调度监视的职能，又肩负着运维监控的责任，但在实际工作中，往往陷入“两头不靠岸”的困境。当电网出现异常时，他们需要在调度规程和运维规程之间反复切换，容易造成处置延误。另一方面，由于缺乏统一的协同工作平台，调度与运维之间的沟通主要依赖于电话、即时通讯工具等非正式渠道，信息传递碎片化、易丢失，且缺乏全过程的留痕与追溯。这种执行流上的断层，不仅降低了协同效率，也增加了人为误操作的风险，难以满足新型电力系统对快速、精准、闭环处置的要求。

3 面向新型电力系统的调度-运维协同机制重构框架

为破解上述协同困境，必须以集控站功能定位的升维为契机，构建一个全新的、以数据驱动和智能协同为核心的调度-运维一体化运行机制。

3.1 构建统一的电网-设备数字孪生体

协同机制重构的基石是建立一个覆盖“电网-设备”全要素的统一数字孪生体。该孪生体应采用统一的信息模型（如CIM/E/CIM/G扩展），将调度侧的电网模型与运维侧的设备模型进行深度融合。在这个虚拟空间里，每一个物理设备不仅拥有其电气连接属性，还关联着其全生命周期的健康档案、实时状态数据和风险评估标签^[3]。通过这个统一的数字底座，调度人员可以直观地看到电网潮流背后每台设备的“健康脸色”，而运维人员也能清晰地理解其管辖设备在全局电网中的“战略位置”和“承压水平”。这种共同的“语言”和“视图”是实现高效协同的前提。

3.2 建立“指令-能力-反馈”闭环协同流程

在统一数字孪生体的基础上，重构调度-运维的业务流程，形成一个“指令-能力-反馈”的闭环。首先，调度主站在制定控制策略前，可通过集控站查询相关区域设备的实时健康状态和可用裕度，从而生成更具弹性和安全裕度的调度指令。其次，集控站作为区域代理，在接收到调度指令后，会结合本地资源的聚合能力和设备状态，进行二次分解和优化，并将执行方案及潜在风险反馈给调度进行确认。最后，在指令执行过程中及执行后，集控站持续采集设备的响应数据和状态变化，并自

动生成执行效果评估报告,回传至调度主站,用于修正后续的控制策略。这一闭环流程确保了调度决策的科学性与运维执行的可靠性。

3.3 部署智能协同决策支持系统

为支撑上述闭环流程的高效运转,需在集控站部署智能协同决策支持系统。该系统应包含三大核心模块:一是风险协同评估模块,能够融合电网运行数据与设备状态数据,对区域电网的综合风险进行量化评估,并向调度和运维同时推送分级预警;二是资源协同优化模块,能够聚合辖区内的分布式资源,根据调度目标和本地约束,自动生成最优的协同控制方案;三是应急协同处置模块,在发生故障时,能够自动关联保护动作、设备状态、应急预案等信息,生成跨专业的协同处置预案,并指导调度与运维人员按步骤、分角色地开展联合处置,实现故障的快速隔离与恢复。

4 协同机制重构的技术与组织保障

协同机制的成功落地,离不开坚实的技术与组织保障。

4.1 技术保障:云边端协同架构与内生安全体系

新一代集控站应采用“云-边-端”协同的分布式架构。云端(调度主站)负责全局模型训练、策略生成和知识库管理;边端(集控站)负责区域数据处理、实时决策和指令执行;终端(变电站智能设备)负责数据采集和本地控制。三者通过高速、可靠的通信网络紧密协同^[4]。同时,必须构建内生安全体系,将安全防护能力融入系统设计的各个环节,确保在开放协同的同时,保障生产控制大区的安全。这包括采用零信任架构、强化身份认证、实施细粒度访问控制以及部署安全态势感知与自动化响应系统。

4.2 组织保障:流程再造与人才转型

技术的变革必然要求组织与流程的再造。需要打破原有的调度、运维专业壁垒,在集控站层面设立跨专业的协同岗位或团队,明确其在新协同流程中的权责。同时,要推动人才队伍的转型,培养既懂电网调度原理、

又精通设备运维知识、还具备数据分析能力的复合型人才。通过建立与新协同机制相匹配的绩效考核与激励机制,引导员工主动适应并积极参与到一体化运行的新模式中。

5 结语

集控站功能定位的演变,本质上是电网运行控制体系为适应外部环境变化而进行的自我进化。从“信息汇聚点”到“区域智慧中枢”的跃迁,不仅是技术能力的提升,更是对电网运行范式的深刻重构。本文通过系统分析当前调度-运维协同中存在的信息流割裂、决策流脱节和执行流断层等核心痛点,提出了一套以集控站为核心、以统一数字孪生体为基础、以闭环协同流程为脉络、以智能决策支持为引擎的协同机制重构框架。该框架的实施,将有望彻底打通调度与运维之间的壁垒,实现从“两张皮”到“一盘棋”的根本转变。未来的电网运行将不再是调度单方面的“发号施令”和运维被动的“听令行事”,而是一个全局与局部、宏观与微观、计划与执行之间深度互动、协同优化的有机整体。这不仅能显著提升电网对高比例新能源的承载能力和安全韧性,也将为构建更加清洁、高效、智能的新型电力系统奠定坚实的运行控制基础。后续的研究可进一步聚焦于协同机制中的标准化接口设计、多智能体协同算法以及在不同层级电网中的差异化应用策略。

参考文献

- [1]李一鸣,江世进.“三个驱动”创新打造“管、监、运、检”一体化集控站[J].企业管理,2022,(S2):116-117.
- [2]许花,芦玉英,程亿强,等.电力集控站人机交互体系及关键技术研究[J].微型电脑应用,2023,39(01):84-87.
- [3]秦红霞,支撑多业务场景的智能型集控站设备监控系统研究和应用.北京市,北京四方继保自动化股份有限公司,2021-12-18.
- [4]曹露,陈予嫣,王伊健,等.建设特大型集控站对设备运维模式变革的研究[J].自动化应用,2023,64(20):135-137+140.