

新一代集控站建设中的信息集成架构与数据治理框架设计

宋世林 陈玉婷 周小玲

国网新疆电力有限公司哈密供电公司 新疆 哈密 839000

摘要：随着能源互联网与智能电网建设的深入，传统集控站的数据孤岛、异构系统互操作困难及数据质量参差不齐等问题日益突出，难以满足源网荷储协同互动、设备全景监控与智能运维的新需求。本文面向新一代集控站建设，提出一种分层解耦、服务化的信息集成架构，并在此基础上设计覆盖数据全生命周期的治理框架。通过构建统一数据模型、规范数据接口、部署数据质量管控与元数据管理机制，实现多源异构数据的高效融合与可信共享。本文所提方案强调架构的开放性、可扩展性与治理的系统性，为提升集控站的数据资产价值与业务智能化水平提供理论支撑与技术路径。

关键词：集控站；信息集成；数据治理；数据架构；智能运维

引言

电力系统集控站作为区域电网运行监视、操作控制与运维管理的核心节点，在电网调度体系中承担着承上启下的关键角色。近年来，随着智能变电站、在线监测、机器人巡检、无人机巡检等技术的广泛应用，集控站所接入的数据源类型显著增加，数据量呈爆炸式增长。然而，当前集控站系统普遍采用“烟囱式”建设模式，各类业务系统独立开发、独立部署，导致数据格式不统一、通信协议各异、语义描述不一致，严重制约了跨系统数据融合与业务协同效率。与此同时，数据质量问题——包括完整性、准确性、一致性、及时性等方面——长期缺乏系统化的管控机制，使得大量采集数据未能有效转化为可用的决策信息。信息集成架构与数据治理框架是新一代集控站建设的两大核心基础。前者解决异构系统间数据“如何流通与共享”的问题，后者解决数据“如何被理解、信任与高效使用”的问题。二者相互依存：缺乏良好架构支持的治理难以落地，缺乏治理牵引的集成则易陷入数据混乱。本文旨在从理论设计层面，提出一套适用于新一代集控站的信息集成架构与数据治理框架，为实际工程建设提供系统性的设计参考。

1 新一代集控站的信息集成需求与挑战

1.1 业务特征与集成需求

新一代集控站的业务范围已从传统的“四遥”（遥测、遥信、遥控、遥调）扩展至设备状态评估、故障预警、风险分析、运维决策支持等多个维度。这一演变对信息集成提出了全新要求。实时监控数据与非实时的巡检、台账、试验数据需要实现跨时间尺度融合，而来自

不同厂家、不同代际的智能电子设备（IED）则需要统一接入与标准化处理。与此同时，集控站与上级调度中心、下级变电站、跨区运维中心之间存在多层次数据交换需求，移动终端、机器人等新型边缘节点也对数据的灵活订阅与按需分发提出了挑战。这些需求共同指向一个具备高兼容性、可扩展性和实时性的集成架构。

1.2 现有架构的局限性

传统集控站普遍采用点对点或中心辐射式集成模式。点对点模式下，每增加一个业务系统就需要开发新的接口适配器，导致系统耦合度极高、维护成本呈指数级增长。中心辐射式架构虽通过数据库共享缓解了部分问题，但各系统对同一数据的理解不一致——例如不同系统对“断路器分闸”状态的定义字段不同——导致数据歧义频发。此外，现有架构缺乏服务化的能力封装，数据接口与业务逻辑高度绑定，难以支撑快速变化的业务需求。总体而言，传统架构在开放性、解耦能力和适应性方面存在结构性不足。

1.3 数据治理的现实困境

数据治理在传统集控站建设中中长期未得到足够重视，具体表现为多个相互关联的困境。缺乏统一的数据标准，同一物理量在不同系统中命名、单位、精度各异，造成数据难以比对。元数据管理缺失，数据血缘不清，一旦出现问题便难以溯源。数据质量缺乏闭环管控，异常数据在系统中传播并污染后续分析结果^[1]。数据安全与隐私保护机制也不健全，跨系统共享时存在合规风险。这些困境的根源在于将数据视为应用系统的附属品，而非独立的、可管理的资产，因此必须从治理视角

重新审视数据定位。

2 面向服务的新一代信息集成架构设计

针对上述问题,本文提出一种分层解耦、服务驱动的信息集成架构。该架构自下而上划分为数据接入层、数据整合层、数据服务层与业务应用层,横向贯穿统一的元数据管理与安全管控机制。

2.1 数据接入层:多源异构适配

数据接入层的核心功能是屏蔽底层数据源的异构性,实现各类数据的规范化采集与边缘预处理。该层针对不同类型的数据源设计专门的适配器机制。对于实时数据,针对IEC 61850、IEC 60870-5-104、Modbus等工业协议设计协议转换网关,将原始报文解析为标准化的键值对消息,并打上时间戳与源标识。对于非实时数据,如离线台账、试验报告、巡视记录等结构化与非结构化数据,采用ETL工具批量抽取,并通过支持Excel、XML、JSON等格式的文件解析器提取关键字段。对于视频、振动、红外热图等高频流数据,配置流处理节点进行滤波、特征提取与轻量化封装,仅将特征值或告警片段上传至中心节点以减少带宽压力。所有接入数据均被赋予统一的消息头,包含数据标识、来源系统、采集时间、校验码等元信息,为后续整合与治理奠定基础。

2.2 数据整合层:统一模型构建

数据整合层旨在解决语义异构问题,核心是构建覆盖全业务域的统一信息模型。该模型采用分层设计,借鉴CIM思想,划分为核心包(设备、资产等)、域包(保护、测控等)和扩展包(状态监测、智能巡检等),明确定义类、属性、关联及约束。针对同一物理设备在多系统中的不同命名(如“断路器QF1”与“BRK_001”),通过映射表与相似度算法实现自动实体对齐。模型支持动态扩展,新增设备或测点仅需注册元数据,无需重构架构^[2]。原始数据经清洗、转换、关联后,按类型存入混合存储:时序库存实时数据,关系库存台账与模型,图库存拓扑关系,对象库存原始文件。多模存储通过统一逻辑视图对外服务,屏蔽底层差异,支撑上层应用灵活调用。

2.3 数据服务层:能力封装与开放

数据服务层践行“数据即服务”理念,通过三类核心服务开放整合后的数据资产。一是数据查询服务,支持点查、范围、聚合及跨源关联查询,提供RESTful API或消息队列接口,并具备语义解析能力,可将业务语言(如“查询某站上周所有断路器分闸记录”)自动转为多存储联合检索。二是订阅发布服务,面向高实时场景,按设备、测点或事件类型提供主题订阅,实现数据

到达即推送,减少轮询开销。三是分析计算服务,封装特征提取、数据质量评估、时序预测等能力,支持原子操作动态编排为复杂数据管道。此外,服务层集成统一访问控制与审计机制,所有请求均经身份认证、权限校验与操作留痕,确保数据安全合规。

2.4 业务应用层与横向支撑

业务应用层承载具体业务功能,如全景监视、智能告警、状态评价、操作票管理等。该层不再直接访问原始数据库,而是通过数据服务层获取加工后的数据产品,从而实现应用与数据的解耦——当数据源或模型发生变化时,应用无需修改代码,仅需服务层适配接口即可。横向贯穿全架构的元数据管理模块负责维护数据的“数据字典”,包括数据源字典、模型字典、服务字典与质量字典,为各层提供寻址、解析与规约转换的依据。安全管控模块则实施传输加密、脱敏处理与防篡改校验,覆盖数据从采集到消费的全路径。

3 集控站建设中数据治理框架

信息集成架构解决了数据的“流”与“通”问题,而数据治理框架则确保“流”的是高质量、“通”的是可信任的数据。本文提出的数据治理框架涵盖组织、标准、流程、技术四个维度。

3.1 组织架构与角色职责

数据治理需要明确的责任主体。建议在新一代集控站管理体系中设立数据治理委员会,下设数据治理工作组,并定义若干关键角色。数据所有者由业务部门负责人担任,对特定域数据(如一次设备数据、保护定值数据)的业务价值与质量负最终责任。数据管理者为技术运维人员,负责执行数据标准、配置质量规则、处理异常数据。数据管家在各业务系统设置兼职或专职人员,承担本系统元数据维护、质量问题协查等职责^[3]。数据架构师则负责统一信息模型的设计与演进、数据流向规划与治理平台技术选型。通过角色分工形成权责清晰、协同运作的治理组织体系。

3.2 数据标准体系

标准是治理的基石,重点制定基础数据标准、模型标准、接口标准与质量度量标准。基础数据标准定义公共术语、设备编码规则、计量单位、数据格式(如时间戳格式为ISO 8601)以及值域代码(如设备状态枚举值),确保数据的基本语义统一。模型标准以统一信息模型为基础,规定类、属性、关联关系的命名规范与语义约束,保证不同数据源映射到模型时的一致性。接口标准规范数据接入、数据服务、系统间交换的接口协议、报文格式与错误码体系,推荐采用RESTful、MQTT

等开放标准。质量度量标准则定义数据质量各维度——完整性、准确性、一致性、及时性、唯一性——的量化计算方法与合格阈值，例如某测点的完整性指一定时间窗口内实际采集点数与理论点数的比值，合格线设定为99.5%。这些标准共同构成数据治理的技术规范基础。

3.3 数据质量管控流程

数据质量管控采用“事前预防—事中监控—事后整改”的闭环模式。事前预防阶段，在数据接入设计时即制定质量要求，包括数据源认证、必填字段约束、值域校验规则等；对新接入的数据源进行质量基线评估，未达标的源系统需先行整改或标注“低可信”标签。事中监控阶段，部署自动化质量稽核引擎，周期性地或实时地对存量数据与增量数据执行质量规则检查；稽核结果记录到质量日志中，并生成可视化仪表盘，展示各数据域、各系统、各关键测点的质量健康度；当质量指标触发预设阈值时，系统自动发出告警并推送至数据管理者^[4]。事后整改阶段，对于发现的质量问题建立问题单管理流程，记录问题描述、影响范围、根本原因、整改措施与验证结果；整改过程强调根因分析——判断是采集设备故障、通信误码、人为录入错误还是模型映射缺陷，并针对根因制定长效措施避免问题重复发生；质量整改完成后，相应数据需重新进行质量评估，确认达标后方可向业务应用开放。

3.4 元数据管理

元数据是“描述数据的数据”，是数据可理解、可追溯、可信赖的核心保障。元数据管理涵盖技术元数据、业务元数据与操作元数据三类。技术元数据记录数据源的物理信息（数据库连接、表结构、文件格式）、数据加工过程中的ETL作业以及数据流转的血缘关系与影响分析；当某个上游数据发生变更时，可基于血缘图快速评估其下游影响范围。业务元数据将技术元数据与业务术语相关联，例如说明“表字段voltage_value对应母线电压值，单位为千伏”，并支持语义检索，方便业务人员通过自然语言查找所需数据资产。操作元数据记录数据的调度执行情况、质量稽核历史、访问日志、数据变更记录等，为审计与问题追溯提供依据。元数据管理平台应提供自助式浏览、搜索、注释与版本对比功能，并保持与信息集成架构中元数据模块的实时同步。

3.5 数据安全性与合规治理

随着《数据安全法》《个人信息保护法》等法规的实施，集控站数据治理必须纳入安全与合规维度。具体措施包括数据分类分级、最小权限原则、操作审计与数据脱敏。数据分类分级根据数据对电网运行的关键程度与敏感程度，将数据分为核心、重要、一般三个等级，不同等级实施差异化的访问控制、加密存储与传输策略。最小权限原则要求每个用户或应用仅能访问其业务必需的最小数据集，默认拒绝未授权访问。操作审计对所有数据访问、修改、导出操作进行日志记录，日志不可篡改且保存期限满足合规要求。对于运维、研发等非生产环境需要使用的敏感数据（如登录凭证、配置参数），实施动态脱敏处理。通过这些措施，构建覆盖数据全生命周期的安全防护体系。

4 结语

新一代集控站面临数据海量、异构化与实时化的挑战。本文从信息集成架构与数据治理框架两方面提出系统化设计：集成架构采用分层解耦与服务化理念，构建多源接入、统一建模到服务开放的技术体系，实现数据流通标准化与灵活化；治理框架涵盖组织、标准、质量、元数据、安全及生命周期等要素，建立全流程管控机制。二者融合显著提升数据资产的可用性、一致性与安全性，支撑设备状态评价、故障预测等高级应用。未来，随着AI与大模型在电力系统深入应用，需发展动态建模能力、智能治理手段（如异常数据自修复、元数据自动填充）及云边协同下的联邦数据治理。本文框架为此演进提供基础支撑，后续可针对具体场景深化设计与验证。

参考文献

- [1]王凯,周巍岩.集控站模式下变电站运行效率优化策略研究[J].科技资讯,2025,23(15):59-61.
- [2]国腾飞.集控站与调度自动化系统建设模式探析[J].电力设备管理,2025,(02):180-182.
- [3]齐炳新,李智玲,高健,等.基于一种集控站监控信息预测和优化模型研究与分析[J].电子技术应用,2024,50(08):81-85.
- [4]许晖,陈幸.变电集控站构建现代设备管理体系思路探讨[J].大众用电,2022,37(01):36-38.