

工业互联网系统集成中数据互通关键技术研究与应用

刘延灏

浙江爱客能源设备有限公司，浙江省杭州市，310000；

摘要：随着工业互联网的发展加速，异构系统之间的数据孤岛问题愈发突出，制约了工业数字化转型的深入推进。实现系统集成中的数据互通已成为推动工业智能化、高效化的核心环节。本文从工业互联网系统架构出发，深入分析当前数据互通面临的主要技术挑战，围绕数据标准统一、协议转换、语义识别、模型映射、边缘协同等关键技术进行系统研究，并结合在智能制造、装备远程运维、能源自动化等典型场景中的实际应用案例，探索具备可落地性与扩展性的集成方案。研究表明，基于中间件+边缘智能+多协议融合的体系结构可显著提升工业互联网的数据整合能力，为构建高效协同的工业生态系统提供技术支持。

关键词：工业互联网；系统集成；数据互通；协议适配；语义映射；边缘协同

DOI：10.69979/3029-2727.25.08.029

引言

工业互联网作为制造业与信息通信技术深度融合的产物，正在重塑全球产业格局。其核心在于实现设备、系统、平台乃至产业链上下游之间的信息互联与智能协作，打通从感知层到决策层的全链条数据流。然而，工业现场多年来形成的“烟囱式”系统架构导致各类设备协议不统一、平台之间接口不兼容、数据格式不一致，形成大量数据孤岛与信息孤岛，严重阻碍系统协同与价值释放。

系统集成中的“数据互通”不仅是技术接口的连接，更是业务逻辑的融合与数据语义的贯通，其技术复杂性远超通用信息系统集成。随着边缘计算、语义网、工业中台等新技术不断渗透，打通异构系统之间的数据链路正逐渐具备可行性。本文将聚焦于工业互联网系统集成过程中数据互通的关键技术，从架构设计、标准规范、技术实现和实际案例等多角度进行剖析，提出具有实用价值的技术路径与实现建议。

1 工业互联网系统集成中数据互通的技术基础

1.1 工业数据特征与系统异构性分析

工业数据具有多源异构、实时性强、结构复杂的特性。来自PLC、DCS、MES、ERP等系统的数据格式各异，通信频率差异巨大，传输协议种类繁多。例如，同一生产线上，不同厂商设备可能分别采用Modbus、PROFIBUS、CAN、EtherNet/IP等协议，彼此之间难以互通。同时，设备数据（如温度、电流、速度）与业务系统中的工单、计划、库存数据处于不同信息层级，数据颗粒度、抽象层级和使用语义差异显著。

系统异构性导致集成难度倍增，既包括硬件接口的物理接入问题，也包括数据语义的互认问题。工业企业的“上云”实践中，最核心的瓶颈往往就在于不同设备和系统间无法高效共享和解读数据。因此，理解并建模这些复杂的数据生态，是推动互通的基础。

1.2 通信协议与数据格式的融合机制

实现数据互通的首要前提是通信协议与数据格式的统一与转译。针对工业通信协议的多样性，目前主流解决路径包括协议网关、协议适配器和统一接入中间件。例如，通过部署支持多协议的工业IoT网关设备，可将各类现场协议转换为统一的MQTT或OPCUA格式上传至平台，实现边缘统一采集。

同时，在数据格式方面，需采用统一的数据建模与交换格式，如使用JSON、XML或工业专用的数据模型语言（如AutomationML、OPCUA信息模型）进行规范化封装。通过对现场采集数据进行标签化、结构化处理，使上层系统能够解读其业务含义，为后续的语义匹配与流程集成提供基础。

1.3 数据建模与语义抽象的协同策略

实现系统集成中的深层次数据互通，不仅要打通“格式”与“协议”，更要实现“语义”的一致性。不同系统对同一概念（如“温度”）的表达方式、单位、采样频率、业务背景可能存在巨大差异，若不加处理，数据互通仍将沦为空壳。解决此问题的关键是语义建模与本体映射技术。

通过构建统一的工业语义模型（如工业知识图谱、设备元模型库等），对各系统中的关键对象、属性、事

件进行抽象，建立语义对照关系。采用规则引擎与自动标注机制，在边缘或平台侧完成语义对齐与标准化处理。基于语义网和 OWL 本体语言的动态映射机制，也可为复杂场景中的语义异构提供智能辅助。

2 数据互通关键技术的集成应用研究

2.1 多协议适配与边缘数据融合技术

在工业互联网里，现场的机器设备通常都是有很多不同厂家生产的不同年代的设备，他们的通信协议有很多种比如 Modbus、CAN、PROFIBUS、EtherCAT 还有 OPC DA、OPCUA 这些。这样协议五花八门导致了数据不能直接汇总，变成了系统集成的第一个大问题。边缘计算节点很重要是因为它在数据采集和预处理上起关键作用，让数据互通的作用越来越明显。通过在边缘设备那边装能解析不同协议的智能网关或者边缘服务器，可以自动识别接入各种不同设备的协议，然后把收集到的原始数据按照提前制定好的规则转成统一格式比如 JSON、XML 或者工业用的标准格式。比如说有个做高端装备的公司，他们搞了基于边缘计算的协议适配系统，实现了老式 PLC、机器人控制器和新型传感器的数据都能用统一格式上传。他们的系统用 MQTT 协议来传数据，把标准化数据按主题发到工业云平台，而且用 Kafka 来处理多个服务间的数据传递订阅。更重要的是这些边缘设备不光收集数据，里面还装了些识别事件的算法，能够发现异常情况自己处理，确保系统在断网情况下还能工作。这种边采集边处理边计算的架构很好地减轻了云端的压力，还给后续的数据语义分析打下了基础。

2.2 工业中台驱动的数据治理与模型管理

在工业企业做数字化转变的时候，各种业务系统比如 ERP、MES、LIMS 这些各干各的，数据的格式和接口差别很大，搞出很多平台但是数据都不通的麻烦。工业中台的提出给解决这个问题带来了新办法。工业中台就是说在底层的感知系统和上层应用系统中间的数据和模型管理层，能搞数据采集、语义解析、调用模型这些功能，重点是要做到数据共享、模型共享、服务共享。有个大型钢铁厂搞智慧炼钢项目时候，他们建了个中台架构，把生产线控制系统（MES）、能源管理系统、化验数据系统（LIMS）和质量系统都用标准接口接到数据中台。中台里面用建模工具做统一的数据模型，然后根据生产流程搞知识图谱，把各个系统的关键东西和事件之间的关系理清楚。这样中台还能用规则引擎对数据实时处理，做出合金配比优化、能耗报警这些智能决策。通过数据中台不仅把系统连起来，还能让不同系统的业

务流程自己协调，说是推动工业互联网从数据连通升级到价值融合的关键机器。

2.3 数字孪生与系统间实时协同机制

随着数字孪生技术发展还有应用，越来越多的工厂企业开始搭建这种把虚拟和现实结合的生产管理模式。数字孪生不光是做三维模型或者把数据展示出来，核心在于把模型算法和实时数据结合在一起，这样就能准确模拟真实设备的状态还能控制它们。在系统整合方面，数字孪生平台变成各个子系统数据交换、状态保持一致和执行控制的中心，特别适合需要很多流程、很多设备一起协同工作的场合。有个制药厂用数字孪生技术把整个车间环境监控、设备运转、生产节奏还有工人操作这些方面都做了整体建模。他们的系统用物联网设备实时收集温度湿度、干净程度、药剂搅拌快慢、压力这些二十几个重要指标，通过边缘计算设备简单处理再传到数字孪生平台上。平台上这些数据会让虚拟模型跟着变化，然后启动对应的控制动作，像是调整风量大小、关掉阀门、调节温度这些操作，形成整个流程的自动控制。另外各个子系统都按照同一个时间点对齐状态，保证真实设备、数字模型和控制命令这三个东西能同步更新。用数字孪生系统不但提高了协作效率，还让生产过程更透明、风险更好控制、有问题更容易查清楚，已经成为企业实现数据共享价值的主要方法了。

3 典型场景中的数据互通技术实践

3.1 智能制造产线的多系统融合方案

在进行智能制造的场合里面，由 MES 制造执行系统、SCADA 过程控制、AGV 自动运输系统还有 QMS 质量管理这些东西组成成了车间数字化运行的神经网络。但因为这些系统通常来自不同厂商，用的通信协议和数据格式都不一样，就会造成信息孤岛的情况，这对整个制造流程的闭环协作有很大影响。为了解决这个问题，需要有个系统架构既能够做语义转换功能又带有逻辑中间平台，这样才能把多种来源的数据标准化处理，还能让业务环节自动化衔接起来。

举个例子有个电子制造公司，他们主要生产线上安装了一套数据中台系统，作为数据互相流通的核心枢纽。通过连接 PLC、AOI 视觉还有 AGV 控制平台这些数据来源，中台先把各个系统产生的原始数据收集起来简单处理，然后搞出来工艺流程参数模型、产品追踪模型、物流路径模型以及质量标准模型等多个维度的数据理解体系。在这个数据中台上面，还搭建了事件触发引擎和规则引擎，可以识别到像“材料已经上料好了”“检验

出问题”“工作站堵住了”这些业务情况，然后自动开始重新安排任务、调整参数或者给设备发送操作命令。

更重要的是，当MES发生产指令的时候，AGV系统通过中间平台实时拿到任务信息然后自己改路线；同时QMS系统根据即时收到的质检数据传给MES，用来改进工艺或者临时调整工单。要是不合格品变多了，中间平台能看出数据变化趋势就会自己给设备发暂停信号，这样生产节奏就能自动调节。用了这个整合方案后，他们生产线效率涨了大概15%，产品合格率提升了8.9%，人员安排也更准了，这说明智能生产特别需要数据能互相连通这个基础。

3.2 装备远程运维系统的数据映射实践

在能源、电力还有重工业这些领域里面，那些大型机器的远程监测和智能维护现在已经是设备整个使用过程管理的重要部分了。就像是风力发电机这种设备，它们分布很广而且运行的场合特别复杂，维护费用还很高，这就急需高效的数据交换系统来建立能看得到、能控制还能维护的远程支持系统。不过因为生产设备的厂家太多，不同监控系统用的数据编码方法不一样，事件描述的规则也不统一，诊断模型也都各不相同，导致了数据对不上号，事件不容易识别出来，各个接口也很难统一起来的问题。

某风电集团在搞的千台风力发电机智能维护系统里，技术小组用了个边缘智能跟着数据中间件一块配合的办法。他们在每台风机所在的变电站那里安装了能识别多种协议的采集器，这个采集器上面装有ModbusRTU、IEC104还有OPCDA/UA这些通讯驱动，可以把振动传感器、轴温传感器还有电压电流转速那些传感器收集的原始的数据自己解析然后打包成通用数据格式（像是用IEC61850标准或者CIM这样的模型）。然后本地建模引擎根据标准规定把数据的意义重新整理下，让这些数据符合统一数据平台需要的格式，接着就用MQTT这种安全传输方式往集中平台上发送。

3.3 能源自动化系统的边缘协同方案

能源自动化系统是现在工业基础设施的重要组成，特别是智慧园区、智能建筑和工业集群这些地方，能源管理是否实时准确直接影响着运行成本还有系统稳定性。过去的能源监控系统通常都是用集中式调度模式，靠中心控制室统一收数据和发指令，但当面对比如几十个用能单元、配电关系复杂以及用电高峰期的负荷变化时候，就会出现响应慢、精度差、调度不平衡这些问题越来越突出了。

在某高科技园区搞能源系统改造时，有个团队用了“边缘计算结合数据中心优化”的方法，搭建起分散的边缘智能设备与统一能源平台之间的协作体系。他们在园区每个变电站还有重点耗能的位置，都安装有即时数据分析功能的末端控制设备。这些边缘设备通过各类传感装置来采集三相电压、电流、功率系数、有用功率、谐波情况、设备工作时间等等指标，并在本地计算短期负荷预测模型，预判接下来5分钟到半小时左右的用电量波动情况。

系统通过边缘节点间的横向协作（比如共享用电、错开高峰调度）和中台发指令的方式纵向配合，组成一个灵活和智能的能源动态控制网络。在用电高峰快到时，系统根据边缘计算预测数据，提前让没那么重要的设备或区域进入省电模式，像是调暗灯光、推迟空调开启的时间这些办法；等到用电低谷阶段，会让储能装置自己充电，这样既让电网波动变得平缓还能省钱。中台还会用大数据分析历史数据，把过去用电情况进行规律总结和问题检查，给能源查账和能源利用评估提供数据支持。用了六个月之后，园区最大用电量减少了23%左右，总电费少花了18.6%，不仅让能源用得更好，还让系统变得更扛住压力和自己调节。

4 结语

工业互联网系统集成的核心挑战在于异构系统间的数据互通。本文通过分析数据特征、技术架构与关键技术路径，系统梳理了多协议适配、语义抽象、边缘计算、数字孪生等支撑技术，并结合典型应用场景进行案例分析，提出了一套具有实用价值的系统集成解决方案。未来，随着智能制造、能源互联网等领域对数据融合与实时协同的需求进一步增强，数据互通技术将在更多行业中展现出更大潜力。标准化建模体系、自治边缘智能与可信数据传输将成为进一步研究的重要方向。

参考文献

- [1]董长青. 医院数据集成平台及数据中心架构设计与应用研究[J]. 电脑知识与技术, 2025, 21(04): 64-66+71.
- [2]何小波, 肖詠, 雷明, 等. 内控环境下高校经济数据中心建设实践与研究[J]. 电脑知识与技术, 2025, 21(01): 73-75.
- [3]郭祥, 郝欣甫, 孙以泽. 基于OPCUA的簇绒地毯织机设备互联互通的研究与实现[J]. 制造业自动化, 2022, 44(08): 56-60.