

智能制造产线应用、开发数据集成与使用方法探讨

林雨轩

沈阳化工股份有限公司 辽宁 沈阳 110020

【摘要】：随着信息技术与制造业的深度融合，智能制造已成为制造业转型升级的重要方向。本文围绕智能制造产线的数据集成与使用展开深入研究，分析当前智能制造产线在数据采集、传输、存储、分析及应用等环节存在的问题，探讨数据集成与使用的关键技术和方法，包括工业物联网技术实现多源数据采集、边缘计算与云计算协同的数据传输与存储、大数据分析与人机智能算法的数据处理等。通过实际案例分析，验证这些技术和方法在提升生产效率、优化生产流程、降低成本等方面的有效性，旨在为智能制造产线的数据管理和应用提供理论支持与实践参考，推动智能制造产业的发展。

【关键词】：智能制造产线；数据集成；数据使用；工业物联网；大数据分析

DOI:10.12417/2811-0536.25.11.007

1 研究背景

智能制造产线通过集成先进的自动化设备、信息技术和智能控制系统，实现生产过程的智能化、自动化和柔性化。在这一过程中，数据作为智能制造的核心生产要素，贯穿于产线的设计、生产、管理和服务等全生命周期。数据的有效集成与使用能够实现生产过程的实时监控、优化决策、质量追溯等功能，对于提高生产效率、降低成本、提升产品质量具有重要意义。然而，当前智能制造产线在数据集成与使用方面仍面临诸多挑战，如数据来源复杂多样、数据标准不统一、数据处理分析能力不足等，严重制约了智能制造的发展进程。因此，深入研究智能制造产线的数据集成与使用方法，具有重要的理论价值和现实意义。

2 智能制造产线数据集成与使用现状

(1) 数据采集现状：智能制造产线的数据来源广泛，包括生产设备、传感器、检测仪器、管理系统等。目前，部分先进企业已在生产设备上部署大量传感器，实现对设备运行状态、生产参数等数据的实时采集。在汽车制造企业的冲压车间，通过压力传感器、位移传感器等实时采集冲压设备的压力、行程等数据。但仍有不少企业存在数据采集不全面、不及时的问题，一些老旧设备缺乏数据采集接口，无法实现数据的自动采集；部分传感器精度不足，采集的数据准确性难以保证，影响后续的数据处理和分析。

(2) 数据传输与存储现状：在数据传输方面，工业以太网、无线网络等技术已在智能制造产线中得到应用，但不同设备和系统之间的数据传输协议不统一，导致数据传输效率低下、兼容性差。现场总线设备与工业以太网设备之间的数据交互存在障碍，影响数据的实时传输。在数据存储方面，传统的关系型数据库

难以满足智能制造产线海量、异构数据的存储需求，虽然部分企业开始采用分布式存储技术和大数据存储平台，但在数据存储的安全性、可靠性和可扩展性方面仍有待提高。

(3) 数据分析与应用现状：目前，多数企业对智能制造产线数据的分析仍停留在简单的统计分析阶段，缺乏对数据的深度挖掘和利用。虽然一些企业引入了商业智能（BI）工具进行数据报表生成和可视化展示，但难以实现对生产过程的预测性分析和优化决策。少数领先企业开始尝试应用大数据分析和人工智能技术，如利用机器学习算法预测设备故障，但由于数据质量不高、算法模型不完善等原因，实际应用效果有限，尚未形成成熟的数据分析与应用体系。

3 智能制造产线数据集成与使用关键技术与方法

(1) 多源数据采集技术。利用工业物联网技术实现智能制造产线多源数据的全面采集。对于具备数字化接口的生产设备，通过 OPC UA、Modbus 等协议实现设备数据的直接采集；对于老旧设备，可加装智能传感器和数据采集模块，将设备的物理信号转换为数字信号进行采集。同时，结合 RFID、二维码等技术，实现对物料、在制品等信息的快速采集和追踪。在电子制造产线中，通过在元器件上粘贴 RFID 标签，实时采集物料的批次、位置等信息，实现物料的精准管理。

(2) 数据传输与集成方法。采用边缘计算与云计算协同的方式优化数据传输与集成。在产线边缘侧部署边缘计算设备，对采集到的数据进行初步处理和筛选，过滤掉冗余数据，仅将关键数据传输至云端，减少数据传输量，降低网络带宽压力和数据传输延迟。利用工业互联网平台实现不同设备、系统之间的数据集成，通过统一的数据标准和接口规范，打破数据孤

岛,实现数据的互联互通。如通过工业互联网平台将生产设备数据、企业资源计划(ERP)系统数据、制造执行系统(MES)数据进行集成,为生产管理提供全面的数据支持。

(3)数据存储与管理策略。①存储架构管控:智能制造产线产生的数据具有海量、异构、实时性强等特点,传统存储方式难以满足需求,需构建以分布式存储技术和大数据平台为核心的存储管理体系。在存储架构层面,Hadoop分布式文件系统(HDFS)凭借其高容错性和可扩展性,成为存储非结构化数据(如设备日志、图像视频)的首选。其采用主从架构,通过多副本存储策略(默认3副本),将数据分块存储在不同节点上,即便个别节点故障,也能保障数据可用性;同时,通过横向扩展数据节点,可轻松应对数据量的持续增长。Ceph则以统一存储的优势,支持对象存储、块存储和文件存储,适用于结构化数据(如生产报表)、半结构化数据(如JSON格式的设备参数)的存储,其CRUSH算法能高效管理数据分布,实现负载均衡和故障自愈。例如,某汽车制造产线部署包含200个节点的Ceph集群,可稳定存储日均10TB的生产数据,数据读写性能提升40%。②创建数据治理规则:制定统一的数据编码规则,如设备编号采用“生产线代码-设备类型-序列号”格式;通过元数据管理系统记录数据来源、采集频率等信息,方便数据溯源;设置数据质量监控指标(如完整性、准确性、一致性),例如要求设备运行参数采集缺失率不超过0.5%,利用自动化工具对采集数据进行清洗,识别并修正异常值、重复值,对不规范数据进行格式转换。如某电子制造企业通过数据治理,将生产数据错误率从3.2%降至0.8%,显著提升数据可用性。③数据安全管控:数据安全采用“加密-权限控制-备份”三重防护策略。对静态数据采用AES-256加密算法,传输数据使用TLS/SSL协议加密;基于RBAC(角色-权限控制)模型,为不同岗位(如操作员、工程师、管理员)分配差异化权限,例如操作员仅能查看设备实时状态,工程师可访问历史数据进行分析;制定多级备份方案,本地数据中心每日增量备份,异地数据中心每周全量备份,云端每月归档备份,并定期进行备份恢复演练,确保数据在遭遇自然灾害、硬件故障等意外时可快速恢复。

(4)数据分析与应用技术。在数据挖掘方面,关联规则挖掘常用于发现生产参数间的潜在关系。例如,通过分析注塑成型数据,发现当模具温度在180-190℃、注射压力80-90MPa时,产品合格率提升20%,

从而为工艺参数优化提供依据;聚类分析可对设备运行状态进行分类,将相似运行模式的设备划分为同一类别,便于针对性管理,某钢铁企业通过聚类分析,识别出能耗异常的设备集群,经排查发现是润滑系统故障导致,及时维修后能耗降低15%。

机器学习算法在预测性维护和质量控制中发挥关键作用。采用LSTM(长短期记忆网络)构建设备故障预测模型,其独特的记忆单元结构能有效处理时序数据,通过学习设备历史振动、温度、电流等参数,可提前72小时预测轴承磨损、电机过热等故障,预测准确率达93%;利用随机森林算法建立质量预测模型,分析原材料批次、生产环境温湿度、工艺参数等因素与产品不良率的关联,某手机组装厂通过该模型将产品不良率从1.5%降至0.8%。

数字孪生技术实现了物理产线与虚拟模型的双向映射。基于Unity3D或数字孪生平台构建高精度虚拟产线,将实时采集的设备运行数据、生产进度数据同步至虚拟模型。通过仿真分析,可模拟不同生产调度方案下的产能变化,优化排产计划;调整虚拟设备参数,预测对产品质量的影响,指导实际工艺改进。例如,某家电企业通过数字孪生技术优化生产线布局,减少物料搬运距离18%,生产节拍从12秒缩短至10秒,大幅提升生产效率。

4 智能制造产线数据集成与使用案例分析

(1)案例概况。某大型家电制造企业作为国内空调生产龙头企业,年产能达1500万台。其传统空调生产线存在设备利用率低、生产周期长、产品不良率高等问题。为应对日益激烈的市场竞争,企业于202X年启动空调生产线智能化改造项目,总投资2.8亿元,旨在通过数据集成与使用实现生产全流程数字化、智能化升级。该生产线包含冲压、焊接、组装、检测四大核心环节,涉及冲压机、焊接机器人、自动化组装线、智能检测设备等300余台生产设备,以及ERP、MES、WMS等多个管理系统,日均产生结构化与非结构化数据量超5TB,数据来源复杂且异构性强。

(2)数据集成与使用实施过程。①数据采集体系搭建:对冲压机、焊接机器人等关键设备加装振动传感器、温度传感器、电流传感器等1200余个智能传感器,采用Modbus TCP、OPC UA协议实现设备运行参数(如压力、转速、温度、能耗)的实时采集,采集频率达100Hz;针对老旧设备,通过部署边缘计算采集终端,将模拟信号转换为数字信号,实现数据的标准化采集。在压缩机、换热器等核心零部件上粘贴

UHF 频段 RFID 标签, 标签存储物料批次、规格、供应商等信息; 在生产线各关键节点设置 RFID 读写器, 实时采集物料出入库、流转、装配数据, 实现物料从入库到成品出库的全生命周期追踪。在检测环节部署视觉检测系统和激光检测设备, 通过图像识别技术自动采集产品外观缺陷、尺寸偏差等质量数据, 每分钟可处理图像数据 500 帧, 检测准确率达 99.2%。②数据传输与集成优化: 边缘-云端协同传输部署 50 台边缘计算网关, 采用 NVIDIA Jetson 系列硬件, 搭载 TensorRT 推理加速引擎, 在边缘侧实现数据降噪、异常值过滤和特征提取等预处理, 将数据压缩率提升至 70%; 通过 5G SA 网络 (峰值速率 1Gbps, 时延低于 1ms) 将处理后的数据传输至企业自建的工业互联网平台, 保障数据传输的实时性和稳定性。基于工业互联网平台的 API 网关, 制定统一的数据接口规范, 采用 JSON 格式封装数据, 实现生产设备数据与 ERP (SAP S/4HANA)、MES (自主研发)、WMS (Infor WMS) 系统的数据交互。例如, 将生产进度数据实时同步至 ERP 系统, 为物料采购和生产计划排程提供依据。③数据存储与治理: 搭建基于 Hadoop 3.3.4 的大数据存储平台, 采用 HDFS 分布式文件系统存储非结构化数据, HBase 存储海量时序数据, Hive 用于数据仓库管理。配置 100 个数据节点, 总存储容量达 500PB, 实现数据的高可靠存储和水平扩展。建立数据标准库, 涵盖数据编码、数据格式、数据质量等 12 类标准; 开发数据清洗工具, 通过规则引擎自动识别和修正错误数据, 数据清洗准确率达 98.5%; 实施数据分级分类管理, 将设备运行数据、质量数据等划分为不同安全等级, 设置差异化的访问权限。④数据分析与应用落地: 利用 TensorFlow 框架, 基于 LSTM 神经网络算法构建设备故障预测模型, 通过分析设备历史运行数据和故障记录, 实现设备故障提前 72 小时预警, 预测准确率达 93%; 采用 XGBoost 算法建立产品质量预测模型, 通过分析生产参数与质量数据的关联关系, 提前预测产品不良率, 模型 AUC 值达 0.92。基于 Unity 3D 平台构建空调生产线数字孪生模型, 将

实时采集的设备数据、生产数据映射到虚拟模型中。通过仿真分析, 优化生产线布局和物流路径, 减少物料搬运距离 18%; 调整焊接机器人运动轨迹, 将焊接节拍从 12 秒缩短至 10 秒。

(3) 实施提升幅度效果。经过 18 个月的项目实施与优化, 该企业空调生产线实现了显著的智能化升级。

表 1 改造后提升幅度

指标	改造前	改造后	提升幅度
设备综合效率 (OEE)	68%	83%	+15%
产品不良率	1.8%	1.2%	-33.3%
生产周期	12 小时	10.8 小时	-10%
设备故障停机时间	90 分钟/天	30 分钟/天	-66.7%
单位产品能耗	1.2kW·h	1.05kW·h	-12.5%

项目实施后, 企业年节约生产成本超 8000 万元, 产品交付周期缩短 15%, 客户满意度提升至 95%, 成功打造了家电行业智能制造标杆产线, 为同行业企业提供了可复制、可推广的数字化转型经验。

5 结论

智能制造产线的数据集成与使用是实现智能制造的关键环节。通过采用工业物联网、边缘计算、大数据分析等关键技术和方法, 能够有效解决当前智能制造产线在数据采集、传输、存储、分析及应用等方面存在的问题, 实现生产过程的智能化管理和优化决策。实际案例表明, 合理的数据集成与使用能够显著提升生产效率、降低成本、提高产品质量。

然而, 智能制造产线的数据集成与使用仍面临数据安全、标准统一、人才短缺等挑战。未来, 需要进一步加强相关技术的研发和创新, 完善数据标准和规范, 培养专业人才, 推动智能制造产线数据集成与使用技术的不断发展和应用, 促进制造业向智能化、高质量发展。

参考文献:

- [1] 王玉晔. 基于智能制造生产线的工业机器人应用. 科技创新导报, 2021(06).
- [2] 陈培祯; 詹湘东; 李健. 工业机器人应用对企业新质生产力的影响研究. 生产力研究, 2025(05).
- [3] 赖大春. 汽车智能制造中机器人应用实践探究. 时代汽车, 2021(07).
- [4] 于亚平. 智能制造与机器人应用关键技术研究. 时代汽车, 2020(16).
- [5] 刘畅; 徐振伟; 葛达明. 协作机器人应用现状与发展趋势研究. 机床与液压, 2025(09).