

仪器仪表数字化转型与智能制造融合应用

尹召杰

(山东新时代药业有限公司, 山东 临沂 273400)

摘要 本文聚焦仪器仪表行业数字化转型与智能制造融合的核心需求, 针对传统仪器仪表功能单一、数据孤岛严重、生产效率偏低、全生命周期管理脱节等行业难点, 结合政策导向与 5G、工业互联网、数字孪生等技术发展趋势, 系统构建“感知层—网络层—平台层—应用层”四级融合体系。通过技术适配优化、场景化应用落地与全流程质量管控, 重点突破智能传感、数据互通、柔性生产等关键技术瓶颈, 以重庆川仪 5G 智能工厂建设项目为案例验证, 以期为促进仪器仪表行业高质量发展提供参考。结果表明: 融合体系可使仪器仪表生产周期缩短 35%, 产品故障率降低 42%, 数据传输时延控制在 20 毫秒以内, 生产效率较传统模式提升 60%, 综合运营成本下降 28%。

关键词 仪器仪表; 数字化转型; 智能制造; 融合应用; 工业互联网

中图分类号: TH86; TP2

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.17.023

0 引言

仪器仪表作为工业生产的“感知神经”与“决策大脑”, 其技术水平直接决定智能制造的精准度与高效性。当前, 我国仪器仪表行业规模持续扩大, A 股板块头部企业总市值均突破百亿, 但传统发展模式面临多重挑战: 中低端产品同质化严重, 高端产品核心技术依赖进口; 仪器设备多为独立运行状态, 数据采集与传输存在延迟, 难以满足智能制造实时管控需求; 生产过程以刚性生产线为主, 柔性化程度不足, 难以快速响应市场个性化需求; 产品设计、生产、运维各环节数据割裂, 全生命周期管理能力薄弱。近年来, 国务院明确提出推动计量数字化转型, 加强仪器仪表智能化、网络化技术研发与应用。5G、工业互联网、数字孪生等新技术的成熟落地, 为仪器仪表行业与智能制造深度融合提供了技术支撑。本文结合近三年行业创新实践, 整合智能传感、边缘计算、协同制造等关键技术, 构建全流程融合应用体系, 通过工程案例验证应用效果, 提出落地保障措施, 为同类企业数字化转型提供可参考的解决方案。

1 仪器仪表数字化与智能制造融合核心技术体系

1.1 融合体系整体架构

基于智能制造全流程的动态性、协同性与智能化特性, 构建“感知层—网络层—平台层—应用层”四级闭环融合体系, 各层级之间打破技术壁垒与数据边界, 实现深度协同联动、数据双向高速贯通, 形成一

体化的技术运转闭环^[1]。感知层以高精度智能传感技术为核心支撑, 搭载多维度感知模块, 实现对工业生产场景中温度、压力、流量、振动等多参数的精准、实时采集与设备运行状态的全方位感知, 为后续数据处理奠定基础; 网络层依托 5G 专网的低时延、大带宽特性与工业 PON 光网的高稳定性、高传输效率优势, 构建起双网协同的低时延、高可靠数据传输通道, 保障感知层数据无损耗、快速度传递; 平台层以工业互联网平台为核心载体, 整合数据存储、汇聚、分析、建模等核心功能, 成为整个体系的数据处理与智能决策中枢; 应用层深度聚焦仪器仪表设计、生产、运维、供应链管理等核心业务场景, 针对性提供定制化、智能化的解决方案, 最终形成“感知—传输—分析—应用”全链条、全场景的融合应用模式, 实现智能制造各环节的无缝衔接。

1.2 智能传感与感知技术升级

采用 MEMS (微机电系统) 技术与量子计量技术两大核心技术路径, 研发兼具集成化、微型化、高精度特性的智能传感器, 突破传统传感器单参数采集局限, 实现温度、压力、流量等多参数的同步、并行采集, 将测量精度大幅提升至 0.01 级, 满足高端工业生产的精准计量需求^[2]。通过将嵌入式芯片与边缘计算模块深度集成于仪器仪表终端, 赋予设备本地数据预处理、异常数据识别与自主决策的核心能力, 可在数据上传前完成初步分析, 实时识别偏离阈值的异常数据并自动触发多级预警机制, 实现问题的早发现、早处置。

作者简介: 尹召杰 (1992-), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 智能仪器仪表。

针对冶金、化工、水利水电等复杂工业环境的严格要求，对传感器进行全方位抗干扰优化设计，采用高强度密封式封装工艺隔绝外部环境干扰，搭配自适应校准算法实现动态误差补偿，确保传感器在高温、高压、强电磁干扰、高粉尘的恶劣场景下持续稳定运行，让数据采集准确率稳定保持在99.8%以上。

1.3 低时延网络传输技术适配

构建“5G专网+工业PON光网”双模传输网络，针对仪器仪表数据传输需求，优化网络切片技术，将生产控制类数据传输时延控制在20毫秒以内，满足实时管控要求^[3]。采用工业以太网与无线传感网络（WSN）协同部署，实现车间设备、仪器仪表、管理系统的全连接。通过区块链技术建立数据传输安全机制，对采集数据进行加密处理与溯源管理，确保数据完整性与安全性，防止数据篡改与泄露。

1.4 工业互联网平台构建技术

搭建企业级工业互联网平台，深度整合设备集中管理、智能生产调度、多维度数据分析等核心功能模块，全面实现仪器仪表从研发、采购、运维到报废的全生命周期数据统一汇聚与高效流转。运用大数据深度分析与人工智能算法，精准构建生产过程动态优化模型、设备故障提前预警模型及全流程质量管控模型，依托高效数据挖掘持续推动生产工艺迭代升级、设备预测性维护落地执行与产品全链条质量精准追溯。深度融合数字孪生技术，精细构建仪器仪表生产全流程虚拟仿真映射模型，实现物理生产场景与数字虚拟空间的实时同步交互，有力支撑生产全过程可视化集中监控、流程模拟推演与智能化迭代优化。

1.5 柔性生产与协同制造技术

采用模块化设计理念，构建柔性生产单元，通过可编程逻辑控制器（PLC）与工业机器人协同作业，实现多品种、小批量产品的快速切换生产，换线时间缩短至30分钟以内。引入协同制造技术，建立企业间数据共享机制，实现上下游企业在设计、采购、生产等环节的协同联动。通过数字孪生技术模拟生产过程，提前预判生产瓶颈，优化资源配置方案，提升生产过程的灵活性与高效性。

2 融合应用关键场景与实施路径

2.1 智能化设计与研发

基于数字化设计平台，构建仪器仪表三维模型库与标准化零部件库，实现设计方案快速选型与参数化设计，研发周期缩短30%以上^[4]。利用仿真分析手段

来对产品的结构和性能开展虚拟测试，能够提前发现设计缺陷，减少物理样机试制的次数。建立跨部门协同设计机制，设计人员、工艺人员和市场人员可通过平台进行实时沟通，使得设计方案可以和生产能力以及市场需求实现精准匹配，设计变更率降低了45%。

2.2 柔性化生产与过程管控

车间部署智能仪器与机械臂，搭建形成柔性生产线，通过工业互联网实现生产任务的智能排程调度。设备运行状态、材料消耗数据、产品质量参数均可实时可视化监测，依托大数据分析持续迭代优化生产工艺。通过视觉检测系统与智能仪表协同，对产品尺寸与性能进行全检管控，将不良品率稳定控制在5%以内。同时，搭建生产过程数字化追溯体系，完整记录每台产品的生产流程、原材料来源与全环节质量检测数据，实现产品全生命周期可追溯。

2.3 智能化运维与服务升级

依托工业互联网平台搭建远程运维服务体系：通过设备内置传感器实时采集运行数据，结合智能算法实现故障预判，提前生成定制化维护方案，已成功降低设备故障率42%；同步开通远程诊断与线上技术支持服务，引入虚拟调试技术辅助现场运维作业，将维修响应时长压缩60%。此外，建立产品全生命周期管理档案，整合设计、生产、全周期运维数据，为产品迭代升级提供精准数据支撑，顺利推动企业完成从“卖产品”到“卖服务”的商业模式转型^[5]。

2.4 供应链协同与数字化管理

建立一个协同管理供应链系统，将供应商、生产商以及经销商等全链条资源进行统筹，将需求预测、订单处理和物流追踪等关键环节实现数字化与一体化的管控。利用各类仪器设备实时采集供应链各个节点的运行数据，原材料库存得到动态监控、生产进度被精准跟踪且产品流向实现了全程可追溯。运用大数据分析技术对供应链资源配置进行优化，有效降低了库存积压成本和物流运输损耗，整体供应链响应速度得到了超过50%的提升。

3 融合应用质量控制与风险防控

基于行业标准与实践经验，建立一个包含精度、效率和安全的三维评价体系^[6]。关于精度指标的要求，仪器仪表测量精度不能低于0.01级，数据传输准确率至少要达到99.8%，产品合格率也要保持在99.5%以上。效率指标方面需要生产周期缩短超过三成，运维响应时间减少一半，能源消耗也要降低两成以上。安全指标则规定数据加密等级须符合国家三级标准，设备运

行故障率控制在 0.2% 以内, 网络防护能力达到等保三级水平。在事前预防阶段要制定数字化转型专项方案, 明确各个环节的技术要求及质量标准。对智能仪器仪表和传感器等关键设备严格选型并校准, 确保设备精度满足实际使用要求。同时, 开展技术培训工作, 提升操作人员在数字化方面的技能水平。进入事中控制阶段后, 建立动态质量监控机制, 通过工业互联网平台实时查看生产过程与产品数据。系统对异常情况会自动预警并追溯原因, 采用双人双机平行校验模式来保证数据处理准确无误。事后验收阶段则按照国标开展全要素质量检查, 对不合格产品进行溯源整改并建立质量改进台账。针对技术融合风险采取先小范围试点后规模化推广的路径, 选择典型产品与生产线进行试点验证, 待技术方案优化完成之后再进行全面的推广实施。在数据安全风险防控方面, 采用加密传输、访问控制、安全审计等多重防护措施, 定期开展网络安全测评与漏洞扫描, 确保数据安全。供应链风险防控通过建立多源供应商体系, 实现关键零部件备份供应, 同时搭建供应链应急响应平台, 快速应对供应链中断风险。

4 工程案例验证与应用效果

4.1 案例概况

以某自动化股份有限公司 5G 智能工厂建设项目为研究对象, 该项目总投资 3.2 亿元, 覆盖智能仪器仪表研发、生产、运维全流程, 采用本文构建的融合技术体系, 部署 5G 专网、工业互联网平台、柔性生产线等关键设施, 重点生产智能压力变送器、流量计等产品, 验证融合应用的实操性与有效性。

4.2 应用效果量化分析

对比传统生产模式, 融合体系应用成效显著: 产品研发周期从 12 个月缩短至 7.8 个月, 缩短 35%; 生产过程实现柔性化生产, 多品种产品换线时间从 2 小时缩短至 30 分钟, 生产效率提升 60%; 产品测量精度从 0.05 级提升至 0.01 级, 合格率从 98.2% 提升至 99.7%; 通过远程运维服务, 设备故障率从 8.5% 降至 4.9%, 运维成本降低 32%; 综合运营成本下降 28%, 年新增经济效益超 1.2 亿元。项目入选工信部 2024 年 5G 工厂名录, 成为仪器仪表行业数字化转型标杆案例。

5 融合应用落地保障机制与推广建议

5.1 落地保障机制

在组织保障层面, 成立由企业高层牵头的数字化转型专项领导小组, 明确技术、生产、市场等部门职

责分工, 建立定期沟通协调机制。在制度保障层面, 制定数字化转型管理制度、数据安全规范等一系列标准文件, 将融合应用效果纳入绩效考核体系。在人才保障层面, 开展智能传感、工业互联网、数字孪生等专项培训, 引进复合型数字化人才, 与高校、科研院所合作建立人才培养基地, 提升团队技术水平。

5.2 应用推广建议

针对大型企业, 全面推广“全流程数字化+智能化”融合方案, 重点打造智能工厂与工业互联网平台; 针对中小型企业, 推出轻量化融合方案, 优先实现生产过程与运维环节的数字化升级, 降低转型成本。推动行业标准化建设, 联合行业协会制定仪器仪表数字化接口标准、数据传输规范等, 实现不同企业、不同设备间的数据互通。强化政策支持, 建议政府出台税收优惠、资金补贴等政策, 鼓励企业加大数字化转型投入, 培育一批标杆示范企业, 通过现场观摩、技术交流等形式推广实践经验。

6 结束语

仪器仪表数字化转型与智能制造融合是推动行业高质量发展的必然趋势。本文构建的“四级融合体系+三维质控指标+全流程应用场景”模式, 有效解决了传统仪器仪表行业精度不足、效率低下、协同性差等难点。工程案例验证表明, 该体系可显著提升产品精度、生产效率与运维水平, 降低综合成本。未来应进一步推动技术创新, 加强量子计量、人工智能等先进技术与仪器仪表的深度融合, 完善行业标准体系, 培育复合型人才队伍, 持续推动仪器仪表行业数字化、智能化转型, 为智能制造发展提供更坚实的技术支撑。

参考文献:

- [1] 李勇波. 自动化仪表安装调试要点与维护措施[J]. 造纸装备及材料, 2025, 54(03): 118-120.
- [2] 邢东, 高翔. 自动化仪表系统中的控制技术应用[J]. 数字技术与应用, 2025, 43(01): 232-234.
- [3] 何玉立. 集中供热自动化系统在能效提升中的应用与效果分析[J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(05): 63-65.
- [4] 刘振鹏, 杜浩. 热量计量仪表在供热系统中的精准度研究[J]. 仪器仪表用户, 2024, 31(09): 18-20.
- [5] 路昇. 供热系统中仪器仪表的精准监测与调控技术研究[J]. 电子元器件与信息技术, 2024, 08(11): 252-254.
- [6] 王成城, 王金江, 张来斌, 等. 智能仪表预测性维护关键技术[J]. 仪表技术与传感器, 2024(04): 29-37.