

化工仪表自动化在企业生产中应用及经济性分析

李 杰 (山东裕龙热力有限公司, 山东 烟台 265700)

摘要: 化工生产过程中, 仪表自动化技术的深度融入正在重塑企业运营模式。作为现代工业体系的核心组成部分, 自动化控制系统直接关系着生产流程的安全稳定与经济效益。随着智能制造理念的推广, 企业对工艺参数的实时监测与精准调控需求日益增强, 要求仪表设备具有基础数据采集功能, 更需要形成智能决策能力。然而部分生产现场仍存在仪表系统更新滞后、信息孤岛未完全打通等问题, 导致自动化潜力未能充分释放。为此, 优化设备配置方案, 提升系统协同效率与技术升级效益是尤其重要的。

关键词: 化工仪表; 自动化; 生产; 经济性

中图分类号: TQ056.1 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2025) 015-0064-03

Application and economic analysis of chemical instrument automation in enterprise production

Li Jie(Shandong Yulong Thermal power Co., LTD, Yantai 265700, Shandong, China)

Abstract: In the process of chemical production, the deep integration of instrument automation technology is reshaping the operation mode of enterprises. As a core component of the modern industrial system, the automatic control system is directly related to the safety, stability and economic benefits of the production process. With the promotion of the concept of intelligent manufacturing, enterprises' demand for real-time monitoring and precise regulation of process parameters is increasing day by day. This requires instrument equipment to have basic data collection functions and, more importantly, to form intelligent decision-making capabilities. However, in some production sites, there are still problems such as lagging updates of instrument systems and incomplete connection of information silos, which have led to the failure to fully unleash the potential of automation. It is particularly important to optimize the equipment configuration plan and enhance the system's collaborative efficiency and the benefits of technological upgrades.

Key words: chemical instrument; Automation; Production; economy

工业自动化浪潮推动着化工产业向高效化与智能化方向转型, 其中仪表设备的革新尤为关键。作为连接物理设备与数字系统的桥梁, 现代自动化仪表已突破单一测量功能, 逐步发展为集成诊断预警与优化调控的智能终端。这种转变提升了生产过程的控制精度, 更催生出新的运维管理模式。但部分企业在技术应用过程中, 存在设备选型与工艺需求匹配度不足的问题, 导致自动化投资回报率低于预期。探究技术适配性与经济可行性的平衡点, 成为优化资源配置的核心议题

1 化工仪表自动化概念

化工仪表自动化系统堪称现代化工产业的神经中枢, 它将先进传感技术、数据采集处理以及智能控制算法整合在一起, 达成了生产流程的精确监控与调节, 此系统并非单纯的测量工具集合, 而是一个复杂的集成平台, 可对化工装置的运行状态展开全方位、多参数的实时监测与分析。就流量监控而言, 依据原理、构造以及应用场景的差异, 可供选择的流量仪表多达12种, 详见下表1。在参数采集方面, 现代化工厂借助分布式控制系统捕捉温度梯度变化、压力波动、介

表1 几种常见化工生产流量仪表比较

特性检测方式	类别	被测介质
节流流量计	板孔式 喷嘴式	液体、气体、蒸汽 液体、气体、蒸汽
	文丘里管	液体、气体、蒸汽
转子流量计	管转子流(低压)	液体、气体
	管转子流(高压)	液体、气体
容积流量计	齿轮式	液体
	流量计式	液体、气体
	活塞式	液体
速度流量计	涡轮式 / 涡街式	液体、气体、蒸汽
	转子式	液体、气体、蒸汽
	超声波式	超声波流体
	电磁式	导电液体

质流量、容器液位以及pH值等关键指标, 这些数据经过预处理后转变为标准信号, 为生产决策提供科学依据, 近些年来测量技术取得进步, 检测精度得以大幅提高, 比如基于科里奥利效应的质量流量计可直接测量流体质量而非体积, 有效消除了温度与压力变化

产生的测量偏差，超声波流量计凭借无接触测量的特性，适用于强腐蚀性或高纯度介质的流量监测，延长了设备使用寿命，降低了维护成本。

从架构角度分析，完整的化工仪表自动化系统由现场仪表层、控制系统层与管理决策层构成。现场仪表负责原始信号采集，控制系统实现数据处理与执行机构控制，管理决策层则基于历史数据与实时信息进行生产优化与安全预警。这种分层结构使系统具备了高度可靠性与灵活扩展能力。随着工业互联网技术的深入应用，化工仪表自动化系统已经逐步实现与企业资源规划系统的无缝对接，形成了从原料入厂到产品出库的全流程数字化管理链条。

2 化工仪表自动化在企业生产中应用要点

2.1 抗电磁干扰技术

在现代化化工生产的环境当中，电磁干扰这一问题已然成为影响自动化仪表安全性能的关键要素，在化工厂区域之内存在着数量众多的高功率电气设备、变频装置以及通信系统，形成了复杂的电磁环境，这些设备在运行期间所产生的电磁波，会经由辐射、传导以及感应等多种途径，对仪表系统造成程度各异的干扰。针对那些处理易燃易爆、高压或者强腐蚀性介质的仪表来说，一旦遭受电磁干扰致使信号失真或者控制出现紊乱，会对生产效率产生影响，还说不定引发重大安全事故，开展针对化工仪表的抗干扰技术研究，有关键的理论价值以及实际应用意义。

从干扰源分析这一角度去研究，化工厂区所产生的电磁干扰主要源于大型电机在启停瞬间生成的浪涌电流、高压开关进行操作时出现的瞬态过程、雷电发生放电现象以及各类通信设备发射出的高频电磁波，这些干扰信号一般有着幅值较大、频谱较宽、随机性较强的特性，这给采用微电子技术的现代自动化仪表给予极为严峻的挑战。当这些干扰信号经由空间辐射或者电源线、信号线等传导途径耦合到仪表系统之后，就会造成信号采集出现失真情况、数据传输产生错误，甚至还会致使控制器逻辑陷入混乱等一系列问题。在实际生产过程中，已经存在多起因为电磁干扰而引发的误操作案例，比如某石化企业在雷雨天气状况下，流量仪表受到强电磁脉冲的影响，使得控制系统接收到错误的流量信号，导致反应器进料比例失调，最终造成产品质量出现波动以及能源出现浪费的情况。

这些问题存在的情况下，现代抗电磁干扰技术构建起一套技术体系，其核心包括屏蔽防护、滤波抑制以及主动对抗。屏蔽防护方面，运用多层复合结构的电磁屏蔽材料，像镀锌钢板与铜网复合屏蔽层这类，能有效阻拦高频电磁波传播，对仪表系统做好合理的

接地设计，构建等电位连接网络，可降低共模干扰影响。滤波抑制层面，针对不同频段干扰信号，设计相应的 LC 滤波电路或者铁氧体磁环，能选择性衰减干扰信号并保留有用信号，有创新之处在于，一些化工企业开始运用主动对抗技术，就是在关键仪表周围布置电磁干扰抵消系统，该系统依靠实时监测环境电磁场状态，生成反相位干扰信号，实现对外部干扰的精确抵消，为精密仪表营造“电磁净室”环境。随着物联网技术在化工行业的应用，无线传感网络与云平台结合让仪表系统更开放，也更易受电磁干扰影响，针对这一趋势，一种新型分布式抗干扰架构兴起，该架构把抗干扰措施分散到系统各层级，覆盖传感器级的模拟前端保护、信号传输级的差分传输与数字调制技术，以及系统级的冗余设计与智能诊断算法。

2.2 容错技术

在现代化化工生产的过程控制系统里面，容错技术作为一项关键智能化解决办法，正逐渐改变传统仪表系统可靠性设计的想法，这项技术实际上是一种系统层面的故障管理策略，依靠软硬件冗余设计、动态资源重新配置以及智能故障检测与隔离机制，让系统在碰到部分组件失效时依旧可维持核心功能正常运转。和传统简单备份不同，现代容错架构运用多层次、多维度防护举措，可针对不同类型、不同严重程度故障施行差异化处理策略，比如针对传感器漂移这类轻微故障，系统可借助数据融合算法实时修正异常数据，对于通信中断这类中度故障，就启动备用通道保证信息流不中断，当遭遇硬件损坏这类严重故障时，系统会自动切换到降级运行模式，保证最基本监测与控制功能。

在实际应用方面，化工仪表的容错系统一般是由故障监测子系统、故障诊断子系统、决策执行子系统以及冗余资源池这四个部分组成的，故障监测子系统会不断地采集系统各个关键节点的运行参数，借助设定阈值判断或者模型比对等方式来识别异常状态，故障诊断子系统依据专家系统或者数据驱动的机器学习算法，对故障进行定位和分类，决策执行子系统按照故障类型以及严重程度，从预先设定的处理策略库中挑选最优响应方案，冗余资源池为系统提供必需的备用硬件和软件模块。这样的分层架构让系统拥有了“自感知、自诊断、自决策、自修复”的智能特性，极大提升了面对复杂故障场景的应对能力，某大型石化企业在改造 DCS 系统时引入容错技术，之后年度非计划停机时间从原本的 76 小时降低到了 12 小时以下，系统可用性提升到了 99.9% 以上，直接经济效益明显。

随着工业物联网以及边缘计算技术不断发展，容

错系统正从集中式架构朝着分布式架构逐步演进，在这种新颖架构里，容错功能不再仅限定于中央控制单元，而是延伸至现场仪表层面，形成了“末端智能化”这一特性，每一个智能仪表节点都拥有一定程度的自诊断以及自恢复能力，可以在本地开展初步的故障处理工作，唯有当故障超出其处理能力范畴之时，才会向上级系统寻求支援。这种分层的容错策略，降低了系统的响应延迟，而且还减轻了中央处理单元的计算负担，使得整个系统呈现出更高的柔韧性，基于深度学习的预测性容错技术也开始在高端化工装置当中得到应用，系统借助对历史运行数据的挖掘分析，可在故障实际发生之前识别出潜在的风险点，提前施行预防性措施，把被动容错转变为主动预防，提高了系统的安全性与可靠性。这种从“事后修复”转变为“事前预防”的情况，代表了容错技术发展的最新趋向，为化工生产过程的连续稳定运行提供了更为坚实的技术保障。

2.3 新型 DCS 控制技术

在现代化化工生产范畴之中，新型分布式控制系统也就是 DCS 技术的运用已然成为提高生产安全性、稳定性以及效率的关键技术支持，传统单参数测控模式在面对像催化裂化、高压加氢这类高危工艺环节的时候，因为监测维度有限、响应速度迟缓、系统集成度不高这些问题，很难契合复杂工艺条件下的精细化管控要求。而新一代 DCS 系统凭借构建多层次、全方位的监测控制网络，达成从单一参数监测朝着工艺全流程、多维度综合控制的转变，从结构方面来看，现代 DCS 系统采用分层分布式架构，顶层决策管理计算机负责生产计划以及资源调配，中层生产管理计算机处理工艺参数优化以及异常状态处理，基层控制平台则达成对现场执行单元的直接指令下达以及状态反馈。这种层级化设计保障了系统的实时响应能力，又为复杂生产过程提供了全局优化的可能性。

在技术实现方面，新型 DCS 系统采用较多前沿技术，如高精度智能传感阵列、边缘计算单元、工业实时以太网以及先进控制算法，高精度智能传感阵列把不同类型、不同量程的传感器依据特定拓扑结构布置在关键工艺节点，达成了对温度场分布、压力波动、流体组分等复杂参数的精确捕捉，边缘计算单元直接放置在现场设备一侧，能在毫秒级时间内做完原始数据预处理和初步分析，切实减轻了中央处理单元的计算负担，工业实时以太网运用冗余星型拓扑结构，联合时间敏感网络 (TSN) 协议，保证了系统内部通信的高可靠性与低延迟性，先进控制算法，例如基于模型预测的多变量控制策略，让系统可以按照历史数据

和当前状态，预测未来工艺参数变化趋势，提前采取干预措施，把工艺参数波动控制在最小程度内。

3 化工仪表自动化在企业生产中的经济性分析

以新型 DCS 系统实际应用情况为例，该系统应用于化工生产中呈现出诸多优势，有一家大型某装置生产企业，运用新型 DCS 系统对裂解炉实施改造后，炉管壁温的均匀程度提高了 38%，能耗降低了 11.7%，产品得率提升了 2.8 个百分点，每年直接创造的经济效益超过 3000 万元，而且该系统有的故障预警功能切实降低了设备非计划停机率，从改造之前的 2.8% 下降到了 0.7% 以下，大幅延长了装置每年的运行时长。在安全管理层面，新型 DCS 系统借助建立工艺安全包络线和实时状态监测的联动机制，可在工艺参数偏离安全区间的初期就启动预警与干预举措，为操作人员留出足够的应对时间，有效确保了生产安全。

化工仪表自动化于企业生产的经济性分析说明，其应用对生产效率以及成本控制能力有一定提升，给企业给予较为可观的经济效益，借助自动化仪表系统，企业可达成对生产过程的精确监控与管理，减少人为操作所产生的误差，保证产品质量的稳定与一致，这降低了废品率以及返工成本，还提升了整体生产线的运行效率。在能耗管理层面，自动化仪表可实时监测并优化能源使用状况，帮企业识别并减少能源浪费，达成节能减排，从长期来看，这对企业降低能源成本、提升绿色竞争力有益，化工仪表自动化还推动了生产数据的实时采集与分析，为企业生产决策提供科学依据，经由数据分析，企业可及时察觉生产瓶颈，优化生产计划，避免过度生产以及库存积压，有效控制运营成本。

4 结语

化工仪表自动化在企业生产中的应用，极大提升了生产效率和安全性，实现了对生产过程的精准控制。通过自动化监测与调节，企业能有效减少资源浪费，优化生产流程，提高经济效益。未来，随着智能化技术的不断发展，化工仪表自动化的应用将更加广泛，为企业的可持续发展注入更强动力。

参考文献：

- [1] 张青. 石油化工仪表自动化设备常见故障及智能检测技术探究 [J]. 山东化工, 2024, 53(23):203-205.
- [2] 刘界武. 化工仪表自动化与 DCS 技术中的安全大模型构建研究 [J]. 网络安全和信息化, 2024(12):40-42.
- [3] 邢东, 高翔, 曲波. 化工自动化仪表及控制系统智能化分析 [J]. 中国信息界, 2024(08):43-45.
- [4] 程鹏飞. 基于单片机技术的化工仪表自动化控制系统 [J]. 微型电脑应用, 2024, 40(10):6-9.