

化工仪表智能化在石油化工企业成本控制中的创新应用

赵冰（中石油吉林化工工程有限公司，吉林 吉林 132002）

摘要：人工智能、大数据和物联网技术快速发展，化工仪表智能化成为石油化工行业高效生产与成本控制的核心驱动力，本文分析智能仪表在参数监测、故障预警、工艺优化、能源管理等环节的创新应用，探讨其在降低能耗、减少运维成本、提升生产安全等方面的作用，结合实际案例与前沿技术如智能化工大模型、数字孪生等，提出石油化工企业通过智能化转型实现成本优化的路径与策略，研究显示，智能化仪表应用可使生产成本降低10%～30%，显著提高资源利用效率与企业竞争力。

关键词：化工仪表智能化；石油化工；成本控制；智能传感器

中图分类号：TE9

文献标识码：A

文章编号：1674-5167(2025)029-0064-03

Innovative application of intelligent chemical instrumentation in cost control of petrochemical enterprises

Zhao Bing (PetroChina Jilin Chemical Engineering Co., Ltd., Jilin Jilin 132002, China)

Abstract: With the rapid advancement of artificial intelligence, big data, and IoT technologies, intelligent instrumentation has become a core driver for efficient production and cost control in the petrochemical industry. This paper analyzes innovative applications of smart instruments in parameter monitoring, fault prediction, process optimization, and energy management, exploring their role in reducing energy consumption, lowering maintenance costs, and enhancing production safety. By integrating practical case studies with cutting-edge technologies like intelligent industrial large models and digital twins, the paper proposes strategies for petrochemical enterprises to achieve cost optimization through intelligent transformation. Research findings indicate that smart instrumentation applications can reduce production costs by 10%～30%, significantly improving resource utilization efficiency and corporate competitiveness.

Keywords: intelligent chemical instrumentation; petrochemical industry; cost control; Smart sensors

石油化工行业是国民经济支柱产业，在国家经济体系中地位关键，其生产过程涵盖众多复杂化学反应与物理变化，呈现高能耗、高风险、长产业链特点，原油开采、运输至炼油及化工产品生产，每个环节均需大量能源投入与精细操作控制。

1. 化工仪表智能化的技术基础与成本控制逻辑

1.1 智能化仪表的核心技术架构

传感器层承担智能化仪表系统数据采集功能，配备温度、压力、流量等多种智能传感器，这些传感器数据采集速度快、敏感度强，可在毫秒内完成数据获取，山东裕龙石化项目于厂区内部署近50万I/O点传感器，覆盖所有生产设备，高温高压环境下的反应塔运行数据，以及管道内变化的流体流速，均能被传感器实时监测，为后续数据处理提供可靠依据。

算法分析层负责智能化仪表系统数据处理与分析，采用机器学习、数字孪生等技术建立预测模型，大连化物所针对智能化工领域展开研究，开发的智能化工大模型具备出色数据处理和流程优化能力。该模型基于实时采集的数据，对工艺流程进行自动优化，在实际应用过程中，通过对海量历史生产数据和即时数据的分析学习，模型能够准确预测生产环节的变化趋势，提前对工艺参数进行调整，成功将研发周期缩

短超过50%，为企业大幅节省时间和运营成本。

1.2 成本控制的作用机制

1.2.1 在降低能耗方面，智能化仪表展现强大优势与巨大潜力

智能化仪表持续调整工艺参数，保障生产过程精准控制，炼油装置内，温度精准度直接关联燃料消耗。当温度控制精准度提高0.5%，反应温度得以稳定调控，化学反应充分进行、效率提升，燃料消耗相应降低3%。于大规模石油化工生产场景，此细微精准度提升带来显著节能效益，以日处理10万t原油的炼油厂为例，每年节省燃料油可达数千吨，节约成本超数千万元，不仅降低企业能源采购支出、缓解经济压力，还能减少碳排放量、降低环境危害，符合可持续发展战略导向。

1.2.2 减少人工干预是智能化仪表实现成本优化的重要方面

自动化系统普及彻底革新传统生产方式，智能化仪表系统承担数据采集、分析及部分控制任务，承担起原本90%的人工巡检工作，企业在人力成本上获得大幅削减，人员招聘、培训、薪酬福利等开支显著减少。人工操作受技能高低、当日状态、责任心强弱等因素干扰，易发生误判或误操作，进而引发生产事故、

影响产品质量。而自动化系统凭借高准确性、强稳定性与可靠性，严格遵循预设程序和算法运行，持续稳定地输出工作成果，从设备运行参数监测，到生产流程关键节点把控，均实现自动化精准操作，有效保障生产稳定，提高产品质量一致性，助力企业生产效益提升。

1.2.3 预测性维护是智能化仪表在延长设备寿命方面的重要应用

智能化仪表实时监测分析设备运行数据，运用机器学习算法提前预测设备故障，通过振动传感器监测压缩机振动，结合机器学习模型分析，能提前 14 天识别压缩机轴承磨损情况，振动是设备运行的重要指标，轴承磨损时，设备振动幅度、频率等发生异常，机器学习算法学习大量正常和故障振动数据建立预测模型，准确判断设备故障隐患与严重程度。轴承磨损初期系统预警，企业可提前安排维修、准备备件，避免非计划停机损失，非计划停机导致生产中断、产量损失，还可能加重设备损坏、增加维修成本，统计显示，实施预测性维护使设备利用率提高 15% ~ 20%，延长设备使用寿命，降低设备更新与维护成本。

2 智能化仪表在成本控制中的创新应用场景

2.1 生产过程优化：从经验驱动到数据驱动

动态工艺优化是智能化仪表在生产过程优化中的关键应用，催化裂化装置作为炼油核心环节，承担将重质油转化为轻质油、提升原油附加值的重要任务，AI 算法凭借实时采集的原料密度、黏度等性质数据，以及反应温度、压力波动值、催化剂活性衰减程度等参数，对催化剂用量进行动态调整。传统工艺中，催化剂用量调整依赖固定经验值，或通过人工定期取样分析，难以快速响应原料性质变化与生产条件波动。智能化仪表系统通过高频次数据监测与深度算法分析，精确控制催化剂注入量，促使重质油裂解反应更充分，轻质油产率由此提升 5% ~ 8%，系统持续监测反应过程中的聚合、结焦等副反应，依据反应温度、压力、物料停留时间等参数的联动调节，有效抑制副反应发生，提升汽油、柴油等产品纯度，实际生产中，通过优化反应条件，汽油辛烷值可提高 2 ~ 3 个单位，柴油十六烷值提升 1 ~ 2 个单位，显著增强产品市场竞争力。

能源精细管理也是智能化仪表的重要应用领域，石油化工行业生产流程复杂，蒸汽、电力、天然气等能源消耗巨大，能源成本在企业生产成本中占比超过 40%，在线分析仪表对各生产单元能源消耗进行实时监测，采集蒸汽压力流量、电力负荷曲线、天然气瞬时消耗量等数据，并结合负荷预测模型，实现能源使

用的精细化调度，以某大型炼厂为例，其部署的智能化能源管理系统，通过对蒸汽管网压力、发电机组功率等参数的实时监控，构建能源供需动态平衡模型。当生产负荷处于低谷期，系统自动降低蒸汽锅炉燃烧强度，减少蒸汽产生量，并调整发电机组发电功率，降低电力输出，有效减少能源生产与输送过程中的热量散失、线路损耗；而在生产负荷高峰期来临前，系统提前启动备用蒸汽锅炉与发电机组，确保能源稳定供应，通过这种精准化的能源调控模式，该炼厂每年节省电费达 1200 万元，蒸汽消耗量降低超过 10%，能源综合利用效率显著提升，大幅降低企业生产成本与能源浪费现象。

2.2 设备维护模式转型：从被动维修到预测性维护

故障预警是预测性维护的关键环节，设备上部署振动、温度、压力、油液等多种传感器，不间断实时采集运行数据，机器学习算法对这些海量数据进行深度分析，能够提前察觉设备潜在故障。以压缩机为例，通过对其振动数据进行高频次监测与细致分析，可提前 14 天识别轴承磨损状况。在设备运转过程中，一旦轴承出现磨损，其振动幅度会明显增大，振动频率成分也会发生变化，机器学习算法通过学习大量设备正常运行和故障状态下的振动数据，构建起精准的故障预测模型，从而能够准确判断设备是否存在故障隐患以及故障的严重程度，当轴承刚开始出现轻微磨损时，系统就会及时发出预警，企业据此提前规划维修工作，及时更换轴承，有效防止压缩机因轴承严重损坏而导致停机，据实际应用数据统计，实施故障预警后，企业维修成本降低幅度超过 40%。

寿命预测是预测性维护的重要内容，通过建立腐蚀速率、疲劳寿命、磨损等专业模型，对管道、压力容器、旋转机械等各类设备的剩余寿命进行科学评估，以管道为例，腐蚀速率模型综合考量管道的材质特性、输送的工作介质类型、运行时的温度和压力等多种因素，对管道在不同工况条件下的腐蚀速度进行精确预测，进而确定其剩余寿命。企业根据预测结果，提前筹备所需备件，合理优化备件采购计划，使得备件采购周期缩短 30%，不仅有效降低了库存积压带来的成本，还减少了不必要的设备更换费用，同时避免了因设备突然损坏导致的生产停滞，降低了安全事故发生的风险。

远程运维是智能化仪表的创新应用，借助 AR 技术，工程师可以实现远程对设备进行诊断和维修操作。当现场设备出现故障时，现场操作人员佩戴 AR 眼镜，将设备的实时图像、运行参数等数据实时传输给远程工程师，远程工程师利用 AR 技术，在虚拟环境中能

够直观查看设备的内部结构细节、当前运行状态以及具体故障部位，通过语音或图像标注等方式，远程指导现场操作人员进行维修工作。这种远程运维方式，使得企业现场服务费用减少 50%，显著提高了维修效率，大幅缩短了设备停机时间，特别是在一些地理位置偏远、交通不便的地区，或者处于高温、高压、有毒有害等危险环境下的设备，远程运维的优势更加突出，有效规避了工程师亲自前往现场作业所带来的安全风险，同时节省了大量时间成本。

2.3 安全成本控制：风险前置与应急联动

分布式气体传感器网络对生产环境中的气体泄漏实施实时监测，各类传感器分布在生产装置的关键节点，可快速捕捉泄漏气体的浓度数值与具体位置，定位精度达到 1m 级别，当系统检测到泄漏情况时，会立即发出警报并启动应急响应程序，自动关闭相关阀门、开启通风设备，迅速控制泄漏源，有效降低泄漏气体对环境的污染和对人员的危害，应急响应时间被缩短至 5min 以内，大幅提升了事故处理的效率，最大限度减少事故带来的损失。

联锁保护系统作为保障生产安全的关键屏障，发挥着重要作用，SIS 安全仪表系统在压力、温度、流量等工艺参数超过设定限值时，能够自动切断反应流程，防止事故进一步扩大，以反应装置为例，当内部压力超过安全阈值时，SIS 系统会迅速启动，同步关闭进料阀门和出料阀门，停止反应进程，避免因压力过高引发爆炸等恶性事故，通过这种联锁保护机制，可有效避免单次事故造成超过千万元的经济损失。

智能摄像头与可穿戴设备共同构建起作业环境及人员状态的实时监控体系，智能摄像头具备图像识别功能，能够精准捕捉人员的违规操作行为，如未佩戴安全帽、擅自进入危险区域等，并及时发出警报提醒。可穿戴设备则实时监测人员的生理参数，如心率、血压等指标，当检测到人员身体出现异常或处于危险环境时，设备会立即发出警报，并向管理人员传送人员的实时位置信息，通过这些技术手段的应用，工伤事故发生率下降了 60%，切实保障了作业人员的生命安全，同时降低了企业的安全管理成本。

2.4 供应链协同：全生命周期成本管理

石油化工行业中，供应链协同直接影响企业成本与竞争力，智能化仪表借助全生命周期成本管理，对供应链各环节进行优化，实现企业运营成本降低。

库存优化作为供应链协同核心，智能化仪表系统发挥关键作用，系统依据生产数据预估物料需求，同步分析生产进度、设备运行情况，综合历史采购记录与市场供应数据，精准制定物料需求计划，企业参照

计划开展采购作业与库存管理，有效规避库存积压或缺货问题，库存周转率提升 25%，这一成果不仅减少资金占用，还显著降低库存管理费用与物资损耗成本。

智能化仪表在供应商协同领域同样表现突出，将区块链技术应用于仪表备件溯源管理，企业可在区块链平台随时查看物资生产厂家、生产日期、物流运输轨迹，确保物资质量与供应稳定，依托区块链特性，供应链透明度与信任度得以提升，促进企业与供应商深度合作。通过协同优化，企业采购成本降低 8%，采购效率大幅提高。

随着环保意识不断增强，碳足迹追踪成为企业可持续发展重要内容，搭载 ESG 指标的智能仪表系统，持续监测企业生产过程中的碳排放，提供全面碳足迹数据，企业依据数据优化生产工艺，采取切实有效的节能减排措施，降低碳排放量，对碳排放的有效管控，既减少企业碳税支出，又有助于提升企业社会形象，增强可持续发展实力。

3 结束语

化工仪表智能化革新深度渗透石油化工产业，重塑成本控制新范式，围绕核心技术架构搭建与应用场景创新拓展，智能化仪表在能耗管控、运维成本压缩、生产安全防护等维度持续发力，显著提升企业运营效益，为降本增效与可持续发展注入强劲动能。

伴随边缘计算、量子传感等技术迭代突破，化工仪表智能化系统正加速向自主决策高阶演进，石油化工企业亟须以长远眼光布局智能化转型战略，构建数据驱动、算法支撑、精准执行的闭环体系，深度挖掘智能化仪表价值潜能，唯有主动拥抱变革、抢占技术高地，方能在激烈的市场竞争中脱颖而出，实现降本增效与可持续发展双重目标，稳健踏足绿色智能高效发展新征程，书写石油化工行业高质量发展新篇章。

参考文献：

- [1] 朱星霏. 石油化工工程项目材料采购管理中的成本控制研究 [J]. 化纤与纺织技术 ,2023(11).
- [2] 唐伟, 姚鹏, 周堉林. 试论石油化工工程项目材料采购管理中的成本控制 [J]. 中国石油和化工标准与质量 ,2023(05).
- [3] 侯志成, 郑萍, 蔡晨光. 石油企业物资采购成本管理与控制 [J]. 中国石油和化工标准与质量 ,2021(18) .
- [4] 梅国民. 石油化工工程项目材料采购管理中的成本控制 [J]. 中国石油和化工标准与质量 ,2021(18).
- [5] 邵铁男. 石油化工工程项目材料采购管理中的成本控制解析 [J]. 化工管理 ,2020(12).