

# 应用化工技术中自动化控制技术应用与经济效益分析

韩真真 赵磊 (浙江信汇新材料股份有限公司, 浙江 嘉兴 314200)

**摘要:** 应用化工行业作为工业体系的重要组成部分, 其生产过程具有高温高压、易燃易爆、工艺复杂等特点, 传统人工操作模式易导致生产效率低、产品质量不稳定、安全风险高、能耗超标等问题。自动化控制技术凭借实时监测、精准调控、智能预警等优势, 已成为推动应用化工行业转型升级的核心动力。本文系统梳理自动化控制技术在应用化工领域的应用场景, 重点分析分布式控制系统、可编程逻辑控制器、智能传感器、先进过程控制等技术在反应过程管控、物料输送调节、质量在线监测、安全风险防控等环节的实践应用, 结合卤化丁基橡胶聚合脱灰、凝聚、干燥、精馏等工艺场景, 旨在为应用化工企业通过自动化技术提升经济效益提供实践参考。

**关键词:** 应用化工; 自动化控制技术; 分布式控制系统; 卤化丁基橡胶

**中图分类号:** TQ050.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 036-0058-03

## Application and Economic Benefit Analysis of Automation Control Technology in Applied Chemical Engineering Technology

Han Zhenzhen, Zhao Lei (Zhejiang Xinhui New Materials Co., LTD., Jiaxing Zhejiang 314200, China)

**Abstract:** As an important component of the industrial system, the applied chemical industry has production processes characterized by high temperature and high pressure, flammability and explosiveness, and complex techniques. The traditional manual operation mode is prone to problems such as low production efficiency, unstable product quality, high safety risks, and excessive energy consumption. Automation control technology, with its advantages such as real-time monitoring, precise regulation and intelligent early warning, has become the core driving force for the transformation and upgrading of the applied chemical industry. This article systematically reviews the application scenarios of automation control technology in the field of applied chemical engineering, with a focus on analyzing the practical application of distributed control systems, programmable logic controllers, intelligent sensors, advanced process control and other technologies in aspects such as reaction process control, material conveying regulation, online quality monitoring, and safety risk prevention and control. Combining the process scenarios such as deashing, coagulation, drying and distillation of halogenated butyl rubber polymerization, it aims to provide practical references for applied chemical enterprises to enhance economic benefits through automation technology.

**Key words:** Applied Chemical Engineering; Automation control technology; Distributed control system; Halogenated butyl rubber

应用化工行业涵盖化肥、农药、涂料、橡胶、塑料等多个细分领域, 其产品广泛应用于农业、建材、汽车、电子等行业, 对国民经济发展具有重要支撑作用。然而, 传统应用化工生产依赖人工经验进行参数调节, 如反应釜温度、压力、物料配比等关键指标需人工巡检与手动控制, 不仅响应速度慢, 滞后时间常达 5-10min, 容易因人为操作失误导致生产波动。随着工业 4.0 与智能制造理念的推进, 自动化控制技术逐步渗透到应用化工生产全流程。分布式控制系统实现多单元生产的集中管控, 可编程逻辑控制器完成重复性操作的自动化执行, 智能传感器与先进过程控制技术则实现生产参数的精准感知与动态优化。

### 1 应用化工技术中自动化控制技术的核心应用

#### 1.1 反应过程自动化管控

化学反应是应用化工生产的核心环节, 其温度、压力、物料浓度、反应时间等参数直接决定反应转化

率与产品收率, 自动化控制技术通过多维度调控实现反应过程的精准管控。在反应釜操作中, 分布式控制系统可实时采集反应釜内温度、压力数据, 结合智能算法动态调节加热装置功率与冷却系统流量, 使温度控制精度从传统人工操作的  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  提升至  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , 压力波动范围控制在  $\pm 0.02\text{MPa}$  以内, 有效避免因参数波动导致的副反应增加<sup>[1]</sup>。

例如, 在丁基橡胶的聚合生产工艺中, 自动化系统通过监测反应釜内异丁烯与异戊二烯的聚合温度 (该温度需控制在  $-98^{\circ}\text{C}$  至  $-88^{\circ}\text{C}$  之间)、混合进料及碱液 (常用氢氧化钠溶液) 的添加量, 自动调整原料进料加入量与脱气工序的蒸汽量, 使聚合反应转化率提升 3%-5%, 单套装置年增产丁基橡胶 800-1000t。如在卤化丁基橡胶的凝聚工艺中, 控制器按预设程序自动完成胶液与助剂的混合加入、搅拌速率调节 (搅拌速率需控制在 300-500r/min)、凝聚时间把

控（凝聚时间设定为 15–30min）、胶粒出料等操作，替代传统人工手动切换阀门与开关，不仅将单次开工换产周期从 4h 缩短至 3.2h，还避免人工操作的时间误差与顺序错误，使批次凝聚的胶粒粒径一致性提升 15%。此外，先进过程控制技术通过建立反应动力学模型，预测反应进程并提前调整参数，如在氯甲烷的精制工艺中，该技术可根据实时监测的未反应单体（主要为异丁烯）浓度，提前调节精馏塔回流比（回流比控制在 3 : 1 至 5 : 1）与塔釜温度（塔釜温度设定为 60–70℃），使精馏时间缩短 8%–10%，同时减少因单体回收率低导致的原料浪费<sup>[2]</sup>。

### 1.2 物料输送与存储自动化调节

应用化工生产中物料输送量大、种类多，涵盖液体、气体、固体颗粒等形态，且部分物料具有腐蚀性、毒性，自动化控制技术可实现物料输送的安全、精准、连续运行。在液体物料输送中，自动化系统通过智能流量计与变频泵联动，实时调节泵体转速控制物料流量，使流量控制精度达  $\pm 1\%$ ，较人工调节的  $\pm 5\%$  显著提升。例如，在卤化丁基橡胶生产的胶液输送环节，胶液黏度约为 5000–8000MPa·s，通过配备变频螺杆泵的自动化输送系统按配方比例精准输送至凝聚釜，流量控制误差控制在  $\pm 0.5\%$  以内，避免因人工称重误差导致的胶液与凝聚剂配比偏离，使凝聚后胶粒的含水率稳定性提升 20%，减少因配比不符导致的胶粒返工成本。

对于气体物料输送，自动化系统结合压力传感器与调节阀，维持管道内气体压力稳定，如在卤化丁基橡胶聚合工艺的原料气（异丁烯与异戊二烯混合气体）输送中，系统通过监测气体压缩机出口压力（出口压力控制在 0.8–1.0MPa），自动调整压缩机负荷，防止因压力波动导致的聚合反应不稳定，使原料气利用率提升 2%–3%。

在固体颗粒物料存储与输送中，以卤化丁基橡胶干燥后的胶粒存储为例，自动化系统通过超声波或雷达式料位传感器监测储罐内胶料存量，当液位低于容积 30% 这一设定阈值时，发出报警，当低于 18% 时自动关闭调节阀门，后工序连锁停机，确保本质安全；另外，通过控制输送皮带速度（皮带速度设定为 1.2–1.5m/s）与振动筛频率（振动筛频率控制在 50–60Hz），减少胶粒在输送过程中的破碎与扬尘，使物料损耗率从传统的 3%–5% 降至 1%–1.5%，年减少胶粒浪费成本超百万元<sup>[3]</sup>。

### 1.3 产品质量在线自动化监测：实时把控质量，降低不合格率

产品质量是应用化工企业的核心竞争力，传统质

量检测需人工取样后送至实验室分析，检测周期长达 2–4h，无法及时反馈生产偏差，易导致批量不合格产品产生。自动化控制技术通过在线检测设备与数据处理系统，实现产品质量实时监测与动态调整。在液体产品监测中，近红外光谱分析仪可实时采集光谱数据获取纯度、组分等指标，如卤化丁基橡胶未反应单体精馏回收环节，在线气相色谱仪每 2min 检测一次异丁烯纯度，若低于回收回用标准的 99.5%，系统自动调整精馏参数，使合格率从 92% 提升至 99.5% 以上，减少聚合反应异常。在固体产品监测中，自动化粒度分析仪与图像识别系统可检测颗粒大小与形貌，如卤化丁基橡胶干燥后胶粒检测，系统捕捉图像分析直径分布，颗粒直径标准范围为 0.5–2mm，超出则调整干燥机风温（进风 80–90℃、出风 40–50℃）与切粒机速度（200–300r/min），使合格胶粒占比超 98%。此外，系统还能记录全周期质量数据形成追溯档案，后续发现问题可快速定位原因，为质量改进提供支撑，进一步降低风险<sup>[4]</sup>。

### 1.4 安全风险自动化防控：降低事故概率，减少损失

应用化工生产涉及大量危险化学品与高危工艺，安全风险防控至关重要，自动化控制技术通过实时监测、智能预警、自动处置构建多层次安全防控体系。在工艺参数安全管控中，自动化系统设置预警值、连锁值等多重安全阈值，参数接近预警值时系统声光报警提示调整，达到连锁值则自动触发紧急措施。以丁基橡胶聚合工艺为例，反应釜温度需严格控制在  $-98^{\circ}\text{C}$  至  $-88^{\circ}\text{C}$ ，升至  $-90^{\circ}\text{C}$  预警值时系统报警并增加常用液态乙烯冷却剂供应量，升至  $-88^{\circ}\text{C}$  连锁值则切断原料进料并启动泄压阀，将事故响应时间从人工操作的 30s 缩短至 0.5s。在设备状态监测中，传感器实时监测关键设备运行状态，如卤化丁基橡胶凝聚釜搅拌轴振动频率正常范围为 0.1–0.3mm/s、轴承温度为 30–50℃，超限时系统预警或停机。此外，自动化系统实现危险区域无人化操作，如氯气存储区用远程设备装卸、氯甲烷存储区安装检测报警装置，防止火灾爆炸事故<sup>[5]</sup>。

## 2 自动化控制技术应用的经济效益测算与分析

### 2.1 生产效率提升带来的直接经济效益

生产效率提升为应用化工企业带来显著直接经济效益。以某年产 50000t 橡胶装置为例，引入自动化控制技术后，聚合、脱辉、凝聚、干燥周期分别缩短，整体生产周期缩短 12%，日增 0.5 批次，年新增产能 3000t，按均价 1.8 万元/t 算，年增销售收入 5400 万元。同时，非计划停机时间从年均 80h 减至 25h，设备利用率提升，年少停机 55h 可新增产值 1683 万元，

且实现 24h 连续生产, 日产量提升, 年增产 5040t, 新增销售收入超 9072 万元。

## 2.2 产品质量优化带来的成本节约与溢价效益

产品质量优化实现成本节约与市场溢价双重收益。传统模式下, 橡胶产品不合格率约 6%–8%, 引入自动化监测系统后降至 1%–1.5%。某年产 50000t 企业年节约质量成本超 1500 万元。高质量产品还能获得 8%–12% 市场溢价, 合格率 99%, 售价高 10%, 年销量从 30000t 升至 40000t, 新增利润 720 万元, 客户复购率也从 75% 提升至 92%。

## 2.3 安全成本降低带来的间接经济效益

安全成本降低带来可观间接经济效益。传统模式下, 中小型卤化丁基橡胶企业年均安全直接损失 600 万–1200 万元, 引入自动化防控系统后, 事故发生率降 70%–85%, 直接损失减少 400 万–900 万元, 某企业应用后 6 年无类似爆炸事故, 减损超 3000 万元。同时, 安全巡检人员从 15 人减至 6 人, 年省人工成本 54 万元, 安全培训费用减半, 安全生产责任险保费降 20%, 年省保费 80 万元。

## 2.4 能耗与物耗下降带来的资源节约效益

能耗与物耗下降产生显著资源节约效益。某年产 50000t 橡胶装置, 自动化调控使聚合冷却剂、干燥蒸汽消耗下降, 整体能耗降 18%, 年省能耗成本 600 万元, 能源梯级利用又省 200 万元。物耗方面, 催化剂、脱灰剂用量误差缩小, 原料气利用率提升, 年节约催化剂等成本超 300 万元, 减少原料浪费 1250t, 省原料成本超 2000 万元, 还减少“三废”排放, 规避环保相关费用 300 万元。

# 3 自动化控制技术应用的优化策略

## 3.1 推进设备标准化改造

老企业可采用“分步改造”模式, 优先对卤化丁基橡胶聚合釜、精馏塔、干燥机等核心生产单元进行自动化升级, 改造过程中选用具有标准化接口的设备, 例如符合 PROFINET 或 Modbus 协议的传感器与控制器, 为后续全流程自动化集成奠定基础; 同时, 政府可出台专项补贴政策, 对卤化丁基橡胶等高端化工产品生产企业的自动化改造给予资金支持, 补贴比例可设为改造费用的 25%–35%, 降低企业改造成本。新建设备则需严格按照自动化与智能化标准设计, 预留数据接口与扩展空间, 例如支持工业互联网平台接入, 避免后期改造难题, 以新建卤化丁基橡胶装置为例, 可同步部署数字孪生系统, 实现生产过程的虚拟仿真与实时优化。

## 3.2 实施全生命周期成本管控

企业在引入自动化系统时, 需综合考虑前期投入、

后期运维成本, 选择性价比高的技术方案, 针对卤化丁基橡胶生产的腐蚀性环境, 优先选用耐腐蚀性强、维护周期长的智能传感器, 例如哈氏合金材质的压力传感器, 减少后期更换频率; 同时, 可与设备供应商(如西门子、罗克韦尔)签订长期运维协议, 通过批量采购与长期合作降低备品备件价格与运维服务费用, 将年度运维费用控制在设备原值的 5% 以内为宜。此外, 通过优化系统运行参数, 减少设备损耗与能源消耗, 间接降低运维成本, 例如根据卤化丁基橡胶生产负荷变化, 动态调整传感器检测频率, 高负荷时每 1s 检测 1 次, 低负荷时每 5s 检测 1 次, 避免过度检测导致的设备疲劳。

## 3.3 加强复合型人才培养

企业可与职业院校(如化工类职业技术学院)、高等院校(如石油化工大学)合作, 开设“卤化丁基橡胶自动化控制”定向专业, 培养既掌握化工工艺知识、又熟悉自动化技术的复合型人才, 同时定期组织内部培训, 邀请行业专家讲解自动化系统原理(包括分布式控制系统组态、可编程逻辑控制器编程)与卤化丁基橡胶工艺结合的实操技巧, 提升现有人员的专业能力。还可建立激励机制, 对掌握自动化技术并能提出优化建议(如通过参数调整降低能耗)的员工给予奖金与晋升奖励。此外, 企业可引入外部技术服务团队(如专业的自动化系统集成商), 为复杂的系统调试与故障排查提供支持, 储备优秀技术人才。

# 4 结论

自动化控制技术在应用化工领域的应用, 已从单一的参数控制升级为覆盖生产、质量、安全、能耗全流程的智能化管控, 结合卤化丁基橡胶聚合脱灰、凝聚、干燥、精馏等工艺场景, 通过反应过程精准调控、物料输送优化、质量在线监测、安全风险防控, 为企业带来显著的经济效益, 成为应用化工行业降本增效、转型升级的核心手段。

## 参考文献:

- [1] 郭成选. 石油化工电气安装与调试自动化控制技术应用研究 [J]. 石化技术, 2025, 32(5): 173-175.
- [2] 邢东, 高翔. 海洋石油化工仪表中的自动化控制技术分析 [J]. 今日自动化, 2025(1): 6-8.
- [3] 王佳琦. 石油化工仪表中的自动化控制技术探讨 [J]. 科学与信息化, 2025(10): 111-113.
- [4] 尹晓杰, 李禹羲, 张昭, 等. 基于 PLC 的化工装置电气自动化控制技术 [J]. 大众标准化, 2025(14): 44-46.
- [5] 李峥鸣. 基于模糊 PID 的化工企业仪表自动化控制技术研究 [J]. 仪器仪表用户, 2024, 31(1): 110-112.