

基于成本效益的精细化化工全流程自动化控制研究

姜正金（鹤壁市宝瑞德化工有限公司，河南 鹤壁 458030）

摘要：在精细化化工行业规模持续扩张的背景下，传统生产模式弊端凸显，全流程自动化控制成为行业发展方向。本文深入剖析精细化化工全流程自动化控制的成本构成，涵盖前期设备与系统投入、技术研发与升级成本、人员培训与转型成本；详细阐述其经济效益，包括生产效率提升、产品质量优化及成本节约等方面；同时分析了实施过程中面临的技术、资金、人员等挑战，并提出相应应对策略，为精细化化工企业自动化转型提供全面参考。

关键词：成本效益；精细化化工；全流程自动化控制

中图分类号：TQ056

文献标识码：A

文章编号：1674-5167（2025）020-0004-03

Research on Automatic Control of Fine Process Based on Cost Effectiveness

Jiang Zhengjin (Hebi Bread Chemicals Co., Ltd., Hebi, Henan 458030, China)

Abstract: As the fine chemical industry continues to expand, the shortcomings of traditional production models have become increasingly evident, making full-process automation control the new direction for industry development. This paper provides an in-depth analysis of the cost structure of full-process automation control in fine chemical manufacturing, covering initial investments in equipment and systems, costs of technological research and upgrades, as well as expenses related to personnel training and transition. It also elaborates on the economic benefits, including improvements in production efficiency, product quality optimization, and cost savings. Additionally, the paper examines the technical, financial, and human resource challenges encountered during implementation and proposes corresponding strategies, offering comprehensive guidance for fine chemical enterprises undergoing automation transformation.

Key words: Cost-benefit; Fine Chemical Industry; Whole Process Automation Control

精细化工作为化学工业中最具活力的新兴领域之一，在国民经济中占据着至关重要的地位。其产品种类繁多，广泛应用于医药、农药、涂料、日化、电子等多个行业，具有技术含量高、附加值大、市场需求多样化等特点。

在自动化转型过程中，成本投入与经济效益的考量至关重要，自动化控制在提升生产效率、优化产品质量以及降低成本等方面的作用不仅关系到企业的短期盈利能力，更对其长期的市场竞争力有着深远影响，因而从成本效益的角度探讨精细化化工全流程自动化控制应用，有一定的现实意义。

1 精细化化工行业现状与自动化趋势

精细化化工行业作为化学工业的重要组成部分，在国民经济中占据着举足轻重的地位。中国是全球最大的精细化化工市场之一，其市场规模在2024年也已突破6.2万亿元人民币，预计到2027年有望增长至8.1万亿元人民币。然而，当前精细化化工行业在生产过程中面临着诸多挑战。

一方面，生产效率有待提高，传统的生产方式往往依赖大量人工操作，不仅劳动强度大，而且生产速度受限，难以满足日益增长的市场需求，例如在一些精细化化工产品的合成过程中，人工配料和反应控制的精度有限，导致生产周期较长，产量难以提升。

另一方面，产品质量稳定性不足，人工操作容易受到外界因素和操作人员自身状态的影响，使得产品质量波动较大，比如对药品中间体的生产而言，稍有偏差就可能影响药品的疗效和安全性。

同时，安全生产风险也是一个不容忽视的问题，精细化化工生产中涉及众多危险化学品，人工操作增加了事故发生的概率。

2 全流程自动化控制的成本构成分析

2.1 前期设备与系统投入

在精细化化工行业转型全流程自动化控制的进程中，前期设备与系统投入是一笔不容忽视的巨大开支。智能传感器能够实时感知温度、压力、流量等各种关键参数，在一个中等规模的精细化化工生产车间，可能需要部署上百个不同类型的智能传感器，每个传感器的价格从几百元到数千元不等，仅这一项的采购成本就可能达到数十万元；自动化生产线更是核心设备，一条完整的自动化生产线，涵盖了物料输送、反应设备、分离设备等多个环节，其采购与安装费用动辄上千万。

控制系统方面，DCS系统能够实现对整个生产过程的集中监控和管理，适用于大规模、复杂的生产场景，一套中等规模的DCS系统采购及安装调试费用大约在500-1000万元。而PLC则更侧重于局部设备的

逻辑控制,小型PLC的价格相对较低,可能在几千元到几万元,但大型、高性能的PLC系统同样价格不菲。以精细化企业在进行自动化改造为例,采购和安装DCS系统大约需要花费800万元,PLC系统则要300万元,这还不包括后续的系统升级和维护费用。

2.2 技术研发与升级成本

精细化企业为了使自动化技术更好地适配自身独特的生产工艺和流程,往往需要进行自主研发或者与科研机构展开深度合作。自主研发过程中,企业需要组建专业的技术团队,包括自动化工程师、软件开发、工艺专家等,人员薪酬成本高昂,以一个拥有20人的研发团队为例,每年的人力成本支出可能就达到500-1000万元。同时,研发过程中还需要投入大量资金用于实验设备购置、实验材料消耗以及技术专利申请等。

同时,自动化控制系统并非一劳永逸,随着技术的不断进步和生产需求的变化,后期的系统更新维护也是持续的成本投入。一般来说,每年需要投入系统初始采购成本的10%-20%用于系统升级、软件更新、硬件维护等。

2.3 人员培训成本

对设备维护人员进行自动化控制系统的维护知识和技能培训,使其能够掌握设备的日常维护、故障诊断与排除、零部件更换等技术,确保自动化设备的正常运行和使用寿命。维护培训需要涉及到自动化设备的硬件结构、工作原理、软件系统、故障诊断方法等方面的知识,培训难度较大,培训时间相对较长,一般在数周甚至数月之间,维护培训成本可能在数十万元到上百万元之间。

与此同时,部分岗位由于自动化的实施而面临调整,这也会带来一定的成本。例如,一些原本从事重复性体力劳动的岗位被自动化设备取代,企业需要对这些员工进行转岗安置或者辞退补偿。转岗安置需要为员工提供新岗位的技能培训,辞退补偿则需要按照相关法律法规支付一定的经济补偿。

3 全流程自动化控制的经济效益分析

3.1 生产效率提升带来的效益

全流程自动化控制为精细化企业的生产效率带来了质的飞跃,进而转化为显著的经济效益。以某大型精细化企业为例,在引入自动化控制系统之前,其生产一种高端涂料中间体的周期较长,人工操作的复杂性使得每批次生产需要72h,且日产量仅为50t。引入自动化生产线和智能控制系统后,生产流程实现了高度自动化,各环节的衔接更加紧密,反应过程的控制精度大幅提高。如今,每批次生产周期缩短至48

小时,日产量提升到80t。按照该产品每吨市场售价2万元计算,在不考虑其他因素的情况下,仅因生产周期缩短和产量增加,该企业每年就可新增营收(80-50)×365×2=21900万元,这还未包括因快速响应市场需求而获得的额外订单收益。自动化生产不仅提高了单位时间的产量,还使得企业能够更加灵活地安排生产计划,快速响应市场变化,抢占市场先机。

3.2 产品质量优化增加的价值

产品质量是企业的生命线,全流程自动化控制在精细化行业中对产品质量的优化作用不可小觑,这也为企业带来了更高的市场价值。自动化系统通过精确的传感器和先进的控制算法,能够实时监测和调整生产过程中的各种参数,确保产品质量的稳定性和一致性。以某生产高性能电子化学品的企业为例,在自动化改造前,由于人工操作的差异,产品的关键性能指标波动较大,导致产品合格率仅为80%,且在市场上的售价相对较低。

完成自动化改造后,产品性能指标的波动范围缩小了80%,产品合格率提升至95%。高品质的产品使该企业在市场上获得了更高的定价权,产品售价提高了20%。同时,凭借稳定的产品质量,企业赢得了更多高端客户的订单,订单量增长了30%。假设该企业原本的年销售额为5亿元,那么在产品质量提升后,年销售额增长为5×(1+20%)×(1+30%)=7.8亿元,新增价值2.8亿元。

3.3 成本节约的具体体现

人工成本降低:自动化设备的广泛应用减少了对大量一线操作人员的依赖。某中型精细化企业在自动化改造前,拥有生产工人500人,每年的人工成本(包括工资、福利、培训等)高达3000万元。引入自动化生产线后,生产工人减少至200人,每年人工成本降低至1500万元,每年节省人工成本1500万元。

原材料浪费减少:自动化控制系统能够实现精准配料和生产过程的精确控制,有效减少原材料的浪费。某生产精细农药的企业,在自动化改造前,由于人工配料的误差和生产过程控制的不精准,原材料浪费率达到8%。自动化改造后,原材料浪费率降低至3%。假设该企业每年原材料采购成本为1亿元,那么每年可节省原材料成本10000×(8%-3%)=500万元。

能耗降低:自动化系统通过优化生产流程和实时监测设备运行状态,能够实现能源的合理利用,降低能耗。某精细化企业在自动化改造后,通过智能控制系统对反应温度、压力等参数的精确控制,以及对设备运行时间的优化,使得单位产品能耗降低了15%。该企业每年的能源消耗成本原本为2000万元,

改造后每年能源成本降低至 $2000 \times (1-15\%) = 1700$ 万元, 每年节省能耗成本 300 万元。

4 精细化工行业全流程自动化控制挑战与应对策略

4.1 主要挑战分析

4.1.1 技术问题

从技术层面来看, 精细化工生产工艺复杂多样, 每种产品的生产流程和控制要求都存在差异, 这使得自动化系统的开发和集成难度极大。例如, 在一些特殊化学品的合成过程中, 反应条件极为苛刻, 对温度、压力、流量等参数的控制精度要求达到小数点后几位, 现有的自动化技术在某些情况下难以满足如此高精度的控制需求。不同品牌和型号的自动化设备之间的兼容性也是一个难题, 设备之间的数据通信和协同工作可能出现故障, 影响生产的连续性和稳定性。

4.1.2 资金问题

资金方面, 全流程自动化控制的前期投入巨大, 对于许多精细化工企业, 尤其是中小企业来说, 是一个沉重的负担。除了设备采购、系统开发和安装调试的费用外, 后期的维护、升级以及可能的技术改进都需要持续的资金支持。一些企业在投入大量资金进行自动化改造后, 由于后续资金不足, 导致项目无法顺利推进, 甚至出现设备闲置的情况。

4.1.3 人员因素

部分员工对自动化技术存在抵触情绪, 担心自动化会导致自己失去工作岗位, 从而对自动化改造采取消极态度。即使员工愿意接受自动化, 他们在掌握新的自动化设备操作和维护技能方面也可能面临困难。精细化工行业的员工大多具有传统化工操作技能, 对于自动化技术相关的知识和技能较为陌生, 如编程、数据分析等, 这需要企业投入大量时间和精力进行培训。

4.2 应对措施与建议

4.2.1 攻克技术难题

在技术难题攻克上, 企业应加强与科研机构、高校的合作, 借助外部专业力量进行技术研发和创新。例如, 与自动化领域的科研团队合作, 针对精细化工生产的特殊需求, 开发定制化的自动化控制系统和设备。建立企业间的技术交流平台, 共享自动化实施过程中的经验和技术成果, 共同解决技术难题。

4.2.2 多渠道筹集资金

一方面, 积极争取政府的产业扶持资金和税收优惠政策, 许多地方政府为鼓励企业进行自动化改造和技术升级, 会提供一定的财政补贴和税收减免。另一方面, 与金融机构合作, 通过贷款、融资租赁等方式

获取资金。企业自身也应合理规划资金使用, 优化预算管理, 确保资金用在关键环节。

4.3.3 加强人员管理和沟通

企业要加强与员工的沟通, 让员工了解自动化改造的目的和意义, 并非是为了裁员, 而是为了提升企业竞争力, 为员工创造更好的工作环境和发展机会。制定合理的员工安置和转岗计划, 对于受自动化影响的岗位员工, 提供培训和转岗机会, 帮助他们适应新的工作需求。

加大对员工的培训力度, 制定全面的培训计划, 包括自动化基础知识、设备操作技能、系统维护等方面培训, 邀请专业的培训机构和技术专家进行授课, 提高员工的技术水平和适应能力。

5 结语

综上所述, 精细化工行业全流程自动化控制虽然前期投入成本较高, 但从长远来看, 其带来的经济效益远远超过成本投入。通过提升生产效率、优化产品质量和降低成本, 自动化控制为企业创造了巨大的价值, 增强了企业的市场竞争力。随着科技的不断进步, 精细化工行业全流程自动化控制的技术将不断完善和发展。未来, 自动化控制将更加智能化、个性化, 能够更好地满足不同企业的生产需求。同时, 随着自动化技术的普及和应用, 设备成本和技术研发成本有望进一步降低, 使得更多的企业能够享受到自动化带来的红利。

参考文献:

- [1] 兰金林, 胡滨, 江龙珠. 探析精细化工生产管理存在的问题及改进[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, 45(03):83-85.
- [2] 于波涛, 王国翔, 卢帅国. 危化品全流程自动化改造对策研究——以氯化和过氧化为例[J]. 山东化工, 2024, 53(24):213-216.
- [3] 高健, 李维海, 胡希春, 等. 精细化工全流程自动化建设研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(09):135-137.
- [4] 曹俊平. 精细化工全流程自动化建设研究[J]. 山西化工, 2023, 43(08):104-106.
- [5] 陈国强. 精细化工企业成本管理问题与对策[J]. 市场瞭望, 2023(07):28-30.
- [6] 刘兆元. 精细化工生产管理存在的问题及对策[J]. 化工管理, 2022(18):4-6.

作者简介:

姜正金 (1975-), 男, 汉族, 浙江江山人, 本科, 研究方向: 精细化工、农药生产方向。