

# 化工设备自动化控制系统的应用与改进策略

刘玉龙 刘绪明

陕西延长石油榆林凯越煤化有限责任公司 陕西 榆林 719111

**【摘要】**：化工设备自动化控制系统是保障化工生产安全、高效、稳定运行的核心支撑，其应用已覆盖生产全流程。本文通过分析分布式控制系统（DCS）、可编程逻辑控制器（PLC）、安全仪表系统（SIS）等核心技术的应用场景，指出当前系统在集成协同、数据利用、技术适配等方面存在的问题，从技术升级、系统优化、管理完善三个维度提出改进策略，为化工行业自动化水平提升提供理论参考。

**【关键词】**：化工设备；自动化控制；应用现状；改进策略

DOI:10.12417/2705-0998.26.05.087

## 1 引言

化工行业作为国民经济支柱产业，生产过程具有高温、高压、有毒有害、工艺复杂等显著特征，对生产精度和安全性提出严苛要求。传统人工操作模式已难以满足现代化工规模化、精细化生产需求，自动化控制系统凭借实时监测、精准调控、风险预警等核心优势，成为破解行业发展瓶颈的关键技术。当前，自动化控制系统已深度融入化工设备运行的各个环节，但在技术融合、系统适配、管理机制等方面仍存在不足，制约了其效能的充分发挥。因此，梳理系统应用现状，探索科学合理的改进路径，对推动化工行业高质量发展具有重要现实意义。

## 2 化工设备自动化控制系统的应用现状

### 2.1 核心生产环节的精准控制

自动化控制系统在化工核心设备运行中实现了全流程闭环控制。DCS系统凭借强大的分散控制与集中管理能力，广泛应用于反应器、精馏塔、换热器等关键设备，通过对温度、压力、流量等关键参数的实时采集与调控，保障反应过程的稳定性。PLC系统以其高可靠性和抗干扰能力，在原料配比、物料输送、设备启停等逻辑控制场景中发挥重要作用，实现了生产流程的连续化与集约化。在聚合、炼化等复杂工艺中，先进过程控制（APC）算法的融入，进一步优化了反应条件，提升了生产效率。

### 2.2 安全风险的分级管控

针对化工生产的高危特性，自动化安全控制系统构建了多层次风险防控体系。通过集成紧急停车系统（ESD）、可燃气体检测系统（GDS）与SIS系统，形成独立的安全保护层，实现风险的精准分级管控。当设备运行参数超出安全阈值时，系统可快速响应并执行切断进料、启动泄压等应急操作，有效规避爆炸、泄漏等安全事故。同时，借助数字化技术模拟危险场景，为应急预案优化提供支撑，提升了应急处置的科学性与高效性。

### 2.3 数据采集与基础应用

控制系统通过部署于生产全流程的海量传感器，构建了全

方位、多维度的数据采集网络，为化工生产管理提供了坚实的数据支撑。这些传感器广泛分布于原料输入、反应过程、产物分离、成品储存等各个环节，涵盖温度、压力、流量、液位、浓度、黏度等关键工艺参数，以及设备振动、机电流、阀门开度等设备运行状态数据。传感器的高密度部署实现了生产过程的“透明化”监测，无论是反应器内的化学反应进程，还是管道输送中的物料状态，都能通过实时数据直观呈现，彻底改变了传统生产中“凭经验判断、靠人工巡检”的模式，为精细化管理奠定了数据基础。

在设备运维方面，数据采集与初步分析功能实现了设备故障的基础预警，有效降低了非计划停机风险。控制系统通过持续采集设备运行数据，建立设备正常运行的参数基线，当数据出现异常波动时，系统可自动触发预警信号，提醒运维人员及时排查。例如，通过监测泵体振动频率与机电流变化，可预判轴承磨损、叶轮堵塞等潜在故障；通过分析换热器进出口温度差与压力降数据，能及时发现结垢、泄漏等问题。这种基于数据的预警模式，将设备运维从“被动维修”转向“主动预防”，减少了故障扩大带来的生产损失，同时延长了设备使用寿命。此外，系统对历史故障数据的积累与分类，还能为设备检修计划制定提供参考，提升运维工作的针对性与高效性。

在生产调度方面，数据共享机制为多装置、多流程的协同运行提供了核心保障。化工生产往往涉及多个装置联动作业，各环节的物料输送、能量交换存在紧密关联，单一装置的参数波动可能影响整个生产链的稳定性。通过自动化控制系统的共享功能，调度中心可实时获取各装置的生产数据，精准协调原料供应、产能分配与产品转运，确保生产流程的顺畅衔接。例如，当精馏装置的处理能力出现波动时，调度人员可根据实时数据及时调整上游反应装置的进料量，或优化下游储存装置的接收计划，避免出现物料积压或供应短缺问题。数据的实时共享打破了各装置之间的信息壁垒，提升了生产调度的灵活性与科学性。

### 3 化工设备自动化控制系统存在的问题

#### 3.1 系统集成协同性不足

不同厂商的控制系统在接口标准、通信协议上存在差异，导致DCS、PLC、SIS等系统之间数据互通困难，形成“信息孤岛”。部分老旧设备与新型自动化系统兼容性较差，难以融入整体控制网络，影响了全流程优化的实现。系统集成过程中缺乏统一规划，导致控制逻辑与工艺需求适配性不足，在多变量耦合工艺中易出现调控震荡等问题。

#### 3.2 数据利用效率偏低

当前多数控制系统仅实现数据的采集与基础显示功能，海量运行数据未得到深度挖掘。缺乏专业的数据分析模型，无法通过数据追溯定位故障根源，也难以实现生产参数的智能优化。数据存储与管理机制不完善，部分关键数据丢失或无法有效关联，制约了预测性维护、全流程优化等高级功能的实现。

#### 3.3 技术适配与运维保障滞后

传感器选型存在适配性问题，在高温、强腐蚀等特殊工况下，部分检测设备精度不足、使用寿命较短，影响了控制指令的准确性。控制参数整定多依赖经验，缺乏动态调整机制，难以适应工艺波动的需求。运维模式以被动维修为主，缺乏预防性维护体系，且专业技术人才短缺，导致故障响应与处置效率偏低。

### 4 化工设备自动化控制系统的改进策略

#### 4.1 推进技术升级与融合

统一系统接口与通信协议标准是打破“信息孤岛”的核心前提。当前化工企业普遍采用不同厂商的控制系统，各系统基于专属接口与协议开发，导致数据传输存在壁垒。应推动行业层面制定统一的技术规范，明确接口类型、数据格式与通信协议标准，鼓励厂商生产兼容化设备，实现DCS、PLC、SIS等系统的无缝对接。在此基础上，构建开放兼容的工业互联网平台，整合生产全流程数据资源，通过云边协同架构实现数据的集中管理与分布式处理，为多装置协同控制、全流程优化提供技术支撑。

感知层设备的升级与适配直接影响控制精度，需根据化工生产的特殊工况差异化选型。在高温、高压、强腐蚀环境中，应选用带温度补偿功能、抗腐蚀材质的高精度传感器，确保在恶劣条件下仍能稳定采集压力、流量、液位等关键参数。同时，针对多相流、高粘度介质等复杂测量场景，采用超声波、雷达等先进检测技术，弥补传统传感器的测量短板。此外，加强传感器校准与定期维护，建立精度验证机制，保障数据采集的准确性与可靠性。

边缘计算与轻量化AI模型的融合，能够有效解决传统控制系统响应滞后的问题。将边缘计算节点部署于设备层，承担

数据预处理、实时分析与本地控制任务，减少数据向云端传输的延迟，提升控制指令的执行速度。针对化工生产的动态特性，开发轻量化AI控制模型，通过强化学习、模糊控制等算法优化控制策略，实现对多变量耦合、非线性工艺的精准调控。同时，构建AI模型与传统PLC、DCS系统的适配接口，确保控制逻辑的平滑过渡，避免因技术融合引发的系统震荡。

#### 4.2 优化系统设计与运行

控制系统的全流程规划需紧密结合工艺需求，实现控制逻辑与生产流程的深度适配。在系统设计初期，组织工艺、控制、设备等专业人员开展联合论证，梳理工艺环节的关键控制点、变量耦合关系与约束条件，制定针对性的控制方案。对于多变量耦合、大滞后的复杂工艺，采用串级解耦控制策略，通过分解控制目标、设计独立控制回路，降低变量间的相互干扰，提升调控精度。同时，引入模块化设计理念，将控制系统划分为工艺控制、安全保护、数据管理等功能模块，便于系统的扩展与维护。

数据价值的充分挖掘依赖完善的存储与分析体系。构建分布式数据存储平台，采用时序数据库存储海量运行数据，确保数据的完整性与可追溯性；通过数据清洗、去重、关联等预处理操作，提升数据质量。开发专业化数据分析模块，基于机器学习算法构建故障诊断模型，通过关联设备运行参数、历史故障数据，实现故障根源的精准定位；建立生产参数优化模型，结合能耗、产量、产品质量等多目标函数，动态调整反应温度、压力、进料配比等关键参数，实现全流程效益最大化。此外，搭建数据可视化平台，以图表、曲线等形式直观呈现生产状态与分析结果，为操作人员提供决策支持。

数字孪生技术的应用能够显著降低系统调试与运行风险。构建设备与生产流程的数字孪生模型，通过三维建模、机理建模与数据驱动建模相结合的方式，实现物理实体与虚拟模型的实时映射。在系统调试阶段，利用虚拟模型模拟不同工况下的控制效果，优化控制参数与逻辑，避免现场调试对生产的干扰；在运行阶段，通过虚拟模型实时监控设备状态，模拟潜在故障场景，预测设备寿命，为预防性维护提供依据。同时，借助数字孪生技术开展工艺优化仿真，通过调整虚拟模型中的工艺参数，分析对生产效率、产品质量的影响，为实际生产提供优化方案。

#### 4.3 完善管理与保障体系

标准化运维管理机制的建立是保障系统稳定运行的关键。构建“班组巡检-技术排查-厂家支持”的三级运维体系，明确各层级的职责与工作流程：班组负责日常巡检，重点检查传感器、执行机构、通信链路等设备的运行状态，及时发现异常情况；技术部门组建专业排查团队，针对巡检发现的问题开展深度诊断，制定维修方案并组织实施；对于复杂技术故障，联合

设备厂商提供远程或现场支持，确保故障快速处置。建立运维台账，记录设备维修历史、故障原因、处理结果等信息，为后续运维工作提供参考。

人才队伍建设需兼顾操作技能与技术素养，培养“懂工艺、精控制、通信息”的复合型人才。制定系统的培训计划，针对操作人员开展控制系统操作规范、故障识别与应急处置等技能培训；为技术人员提供自动化控制、数据分析、AI 技术等专业培训，提升其系统优化与技术创新能力。采用理论教学与实操训练相结合的方式，搭建模拟操作平台，让员工在仿真环境中熟悉系统功能与操作流程。同时，建立人才激励机制，鼓励员工参与技术攻关、系统改进等项目，提升人才队伍的稳定性与积极性。

备件管理的智能化能够保障维修工作的及时响应。建立备件生命周期管理系统，通过物联网技术对备件进行标识与跟踪，实时监控备件的库存数量、存放位置、使用状态。基于设备运行数据与故障预测结果，采用库存优化算法制定备件采购计划，实现“按需储备、精准补库”，避免备件积压或短缺。建立备件质量验证机制，对采购的备件进行性能检测，确保其与原系统的兼容性；分类存放备件，针对精密仪器、电气元件等特殊备件采取防潮、防尘、防静电等防护措施，延长备件使

用寿命。

推进国产化替代是提升系统自主可控性的重要路径。优先选用技术成熟、性能稳定的国产控制系统与设备，降低对进口产品的依赖。加强与国内科研机构、厂商的合作，联合开展关键技术攻关，突破传感器、控制器、工业软件等核心部件的技术瓶颈。建立国产化设备验证与推广机制，在试点装置中试用国产产品，通过实际运行数据验证其可靠性与适用性；总结应用经验，逐步扩大国产化替代范围。同时，完善国产化设备的售后服务体系，确保技术支持与维修保障的及时性，提升系统的性价比与运行稳定性。

## 5 结语

化工设备自动化控制系统是化工行业转型升级的核心支撑，其应用质量直接关系到生产安全、效率与效益。当前系统在集成协同、数据利用、技术适配等方面仍存在短板，需通过技术升级、系统优化与管理完善等多维度措施加以改进。未来，随着工业互联网、人工智能、数字孪生等技术的深度融合，自动化控制系统将向智能化、数字化、绿色化方向持续演进，为化工行业实现安全、高效、可持续发展提供更强大的技术保障。化工企业应把握技术发展趋势，加快自动化控制系统的优化升级，提升核心竞争力。

## 参考文献：

- [1] 基于化工设备自动化控制的制药工艺优化策略研究[J].王志霞;吴彤珊.流程工业,2024(12).
- [2] 化工制药工艺中存在的问题及优化措施[J].陈智远.科技创新与生产力,2024(12).
- [3] 探究化工制药工艺过程的新型优化方式[J].顾真.科技风,2024(13).
- [4] 制药工程中制药工艺改进技术及策略分析[J].汪玲.当代化工研究,2024(08).