

化工行业仪器仪表自动化控制技术应用浅析

王 震

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司烯烃一分公司 宁夏 银川 750000

摘 要：本文围绕化工行业仪器仪表自动化控制技术应用展开。阐述其基础概念、分类、关键技术支撑与发展趋势，分析在生产过程控制、安全防护与应急管理、质量监测与优化等场景的应用，指出技术、管理、安全层面现存问题，并提出技术升级、管理体系完善、安全保障强化等优化策略，为化工行业自动化发展提供参考。

关键词：化工行业；仪器仪表；自动化控制；安全防护；优化策略

引言：化工行业作为国民经济重要支柱，生产过程复杂且对安全与效率要求高。仪器仪表自动化控制技术作为关键支撑，能实现生产参数精准监测与调节，保障生产稳定、安全，提升产品质量。随着行业发展，该技术应用愈发广泛且深入。本文将深入剖析其在化工行业的应用现状、面临问题及优化策略，以推动行业自动化水平提升。

1 仪器仪表自动化控制技术基础

1.1 核心概念与分类

仪器仪表是实现工业生产过程检测、控制与执行功能的关键设备。检测类仪器通过感知物理或化学量变化，将温度、压力、流量等信号转化为可识别数据，为生产监控提供基础信息；控制类仪器依据预设指令或采集数据，对生产过程参数进行调节；执行类仪器接收控制信号，驱动设备动作，实现阀门开闭、电机启停等操作。三类设备相互配合，构成完整的工业测控体系。自动化控制技术基于传感器、控制器与执行器协同运作^[1]。传感器作为系统感知单元，实时采集生产过程参数；控制器对采集数据运算分析，依据控制策略生成调节指令；执行器接收指令后执行动作，改变生产流程状态。三者形成闭环系统，如温度控制系统中，温度传感器检测介质温度，控制器将检测值与设定值比对后调整加热装置功率，由执行器控制加热启停，实现温度稳定。

1.2 关键技术支撑

传感技术聚焦参数精准测量。温度传感器通过热电偶、热电阻等元件感知温度变化，将热量转化为电信号输出；压力传感器利用压阻效应，将压力波动转换为电信号；流量传感器通过电磁感应、超声波等原理，实现流体流量精确计量。不同类型传感器适配复杂工况，保障数据采集准确性。控制算法为自动化系统提供决策逻辑。PID控制通过比例、积分、微分运算，动态调节控制参数，广泛应用于温度、压力等过程控制；模型预测控

制基于生产过程数学模型，预判参数变化趋势，提前调整控制策略，在多变量耦合系统中优化控制效果。这些算法依据生产需求灵活配置，提升系统稳定性与响应速度。通信技术构建数据交互桥梁。工业总线技术如Profibus、Modbus，以有线方式实现设备间高速稳定通信，保障控制指令与监测数据可靠传输；无线传输技术利用5G、Wi-Fi等网络，突破布线限制，适用于移动设备或布线困难场景。两种方式互补，确保系统信息互联互通。

1.3 技术发展趋势

仪器仪表自动化控制技术向智能化方向演进。设备集成自诊断功能，通过内置算法实时监测自身运行状态，自动识别故障并预警；自适应技术使仪器根据工况变化自主调整参数，优化测量与控制性能。集成化体现为多功能融合，单台仪器可同时实现检测、计算、控制等多种功能，减少设备数量与系统复杂度。网络化发展推动系统协同升级。工业物联网技术实现设备互联互通，构建数据共享平台，不同生产环节信息实时交互；云计算与边缘计算技术结合，使数据本地处理与云端存储分析并行，提升系统响应速度与数据处理能力。智能化、集成化与网络化协同发展，重塑工业自动化控制体系架构，为化工行业高效生产提供技术支撑。

2 化工行业仪器仪表自动化控制的应用场景

2.1 生产过程控制

化工反应装置参数监测与调节依靠自动化实现精准控制。温度控制中，热电偶或热电阻传感器分布于反应釜各处，实时采集温度信号并传输至控制器，控制器依据预设范围经算法运算，驱动执行器调节加热或冷却装置阀门开度，稳定反应温度。压阻式压力传感器持续监测装置内压力，压力异常时，控制系统即刻调整进料流量或放空阀门，维持压力稳定。超声波或雷达液位计实时测量物料高度，按生产计划自动控制进料与出料阀门，保障反应连续。精馏、裂解单元借自动化优化流程。精

馏时, 流量传感器计量各物料流量, 系统依物料平衡与分离需求动态调节回流比, 纯度下降则增大回流比; 温度传感器监测塔板温度, 异常时自动调控再沸器加热量与冷凝器冷却量。裂解单元中, 控制系统根据原料与产品目标, 通过阀门调节进料流量与加热温度, 执行器精准控制燃料气阀门, 维持最佳裂解温度, 提升产品收率。

2.2 安全防护与应急管理

泄漏检测和火灾预警依赖安全仪表系统(SIS)保障生产安全。可燃气体探测器采用催化燃烧或红外传感技术, 实时监测环境中可燃气体浓度, 一旦达到报警阈值, 立即发出声光警报, 并将信号传输至中央控制系统。火焰探测器利用紫外线或红外线感知火焰信号, 快速识别火灾隐患, 触发报警装置。这些检测信号接入SIS后, 系统根据预设逻辑判断危险等级, 必要时启动相关防护措施, 如关闭邻近阀门、启动消防喷淋系统。紧急停车系统(ESD)构建起化工生产的最后一道安全防线^[2]。当发生重大安全隐患, 如反应装置超压、温度失控或关键设备故障时, 压力、温度等传感器采集的异常信号迅速传递至ESD控制器。控制器依据预设程序, 自动触发紧急停车指令, 通过执行器快速关闭进料阀门, 切断燃料供应, 停止设备运行, 同时启动泄压装置与安全排放流程, 防止事故扩大。ESD系统具备独立于生产控制系统的硬件与逻辑, 确保在极端情况下仍能可靠动作。

2.3 质量监测与优化

在线分析仪表在化工生产中实现产品成分实时检测。色谱分析仪通过分离混合物各组分并检测其浓度, 对汽油、柴油等产品的馏程、辛烷值等关键指标进行快速分析; 光谱分析仪利用物质对光的吸收特性, 测定产品中微量元素含量。这些分析数据实时传输至质量控制系统, 与产品质量标准进行比对。基于质量数据的自动化工艺参数调整保障产品质量稳定。当在线分析仪表检测到产品成分偏离标准时, 质量控制系统将偏差信息反馈至生产过程控制系统。控制系统根据预先建立的质量-工艺参数关联模型, 自动调整反应温度、压力、进料配比等参数。在生产中, 若在线分析发现产品分子量不达标, 系统立即调节聚合反应温度与催化剂进料量, 使生产过程迅速回归正常, 确保产品质量符合要求, 减少不合格产品产出。

3 技术应用现存问题分析

3.1 技术层面

化工生产中高温、强腐蚀环境对仪器仪表性能形成持续挑战。高温工况下, 仪表内部电子元件加速老化, 材料热膨胀系数差异导致结构变形, 影响传感器测量

精度。例如温度传感器的感温材料在高温下性能衰退, 输出信号出现偏差, 致使反应装置温度控制失准。强腐蚀介质直接侵蚀仪表外壳与敏感部件, 破坏信号传输线路, 缩短设备使用寿命, 增加维护频次与成本。不同厂商设备因通信协议、接口标准不统一, 导致系统集成困难。部分设备采用Modbus协议, 另一部分遵循Profibus协议, 协议差异使设备间数据交互需额外转换装置, 增加系统复杂度与故障率。接口标准混乱体现在电气接口规格、机械连接方式多样, 新设备接入原有系统时, 常因接口不匹配无法正常工作, 阻碍自动化系统功能拓展与升级。

3.2 管理层面

自动化系统维护面临专业技术人才短缺与维护体系不完善的双重困境。操作人员对新型智能仪表、复杂控制系统操作原理掌握不足, 设备出现故障时无法快速定位问题根源, 延误维修时机。维护体系缺乏系统性, 未建立定期巡检制度与预防性维护计划, 多采用事后维修方式, 导致设备停机时间延长, 影响生产连续性。老旧设备与新技术衔接存在显著障碍。早期部署的模拟仪表与现代数字化控制系统通信方式不兼容, 若整体更换设备需巨额资金投入, 企业难以承担。部分企业尝试局部升级, 但新旧设备数据格式、控制逻辑差异大, 信息交互不畅, 新技术优势无法充分发挥, 制约自动化系统整体效能提升。

3.3 安全层面

网络安全风险威胁化工自动化系统稳定运行。随着工业互联网发展, 自动化系统与外部网络连接增多, 面临病毒入侵、黑客攻击等潜在威胁。恶意软件可篡改控制指令, 使反应装置温度、压力失控, 引发安全事故; 黑客攻击可能窃取生产数据或破坏系统逻辑, 导致生产中断。系统缺乏有效的网络安全防护措施, 如未设置防火墙、未进行数据加密传输, 安全漏洞易被利用, 给化工生产带来重大安全隐患。系统冗余设计不足增加运行风险^[3]。部分自动化控制系统关键设备或环节未配置冗余组件, 一旦单点发生故障, 如控制器死机、通信线路中断, 将导致整个控制回路失效, 引发连锁反应。在紧急停车系统中, 若主控制器故障且无冗余备份, 发生重大安全隐患时无法及时触发停车指令, 可能致使事故扩大。缺乏冗余设计的传感器网络, 在某个节点失效后, 会影响系统对生产参数的全面监测, 降低系统可靠性与安全性。

4 技术应用的优化策略

4.1 技术升级路径

新型传感器与智能仪表的应用为化工生产注入新动能。光纤传感技术凭借抗电磁干扰、耐高温高压及耐腐蚀特性,在恶劣工况下展现独特优势。用于温度监测时,可精准感知反应装置内部温度分布,避免因传统传感器性能衰减导致的测量误差;在管道泄漏检测中,通过光信号变化实时捕捉细微渗漏,实现隐患早期预警。物联网设备赋予仪表互联互通能力,借助内置芯片与通信模块,智能仪表自动采集、传输数据至中央系统,支持远程监控与参数调节,解决设备兼容性难题,提升系统集成效率。先进控制算法的引入革新传统控制模式。人工智能算法基于生产过程海量数据,构建精准模型预测参数变化趋势,提前调整控制策略。在精馏单元中,通过学习历史数据优化回流比调节时机,确保产品分离纯度稳定的同时降低能耗。机器学习算法持续分析设备运行数据,自动优化PID控制参数,适应不同工况变化,相比传统固定参数控制,显著提升系统响应速度与稳定性,减少因参数调节滞后引发的生产波动。

4.2 管理体系完善

人才培养与知识储备体系建设提升人员专业素养。制定分层培训计划,针对操作人员开展基础操作与故障排查培训,使其熟练掌握仪器仪表操作流程;对技术人员进行控制理论与系统维护培训,强化其处理复杂故障与优化系统能力。搭建知识共享平台,整合设备操作手册、故障案例库及技术更新资料,方便员工随时学习查阅,促进知识传承与经验交流,解决专业人才短缺问题。全生命周期设备管理与更新机制保障系统持续高效运行。建立设备档案,记录仪器仪表采购、安装、运行、维护等全过程信息,通过数据分析预测设备寿命周期,制定科学的预防性维护计划,减少突发故障。在设备更新方面,优先评估老旧设备与新技术的适配性,采用渐进式升级策略,分阶段替换模拟仪表为智能设备,逐步统一通信协议与接口标准,降低改造成本。同时与设备供应商建立长期合作,确保备件稳定供应,提升系

统整体性能。

4.3 安全保障强化

网络安全防护体系构建筑牢系统安全防线。应用数据加密技术,对传输的控制指令与生产数据进行加密处理,防止数据在传输过程中被窃取或篡改。部署入侵检测系统实时监控网络流量,识别异常访问行为与恶意攻击,一旦发现威胁立即阻断网络连接并报警。定期对系统进行安全漏洞扫描与修复,更新防火墙规则,提升系统抵御网络攻击能力,保障生产数据与控制指令安全。冗余系统设计与应急预案优化增强系统可靠性。关键设备与环节采用冗余配置,如为控制器、通信线路设置备份组件,当主设备故障时,备用设备自动无缝切换,维持系统正常运行。在紧急停车系统中,部署双冗余控制器,确保重大安全隐患发生时,停车指令可靠触发。制定详细应急预案,模拟多种故障场景进行演练,明确各部门职责与操作流程,提升应对突发状况能力,最大限度降低单点故障引发连锁反应的风险,保障化工生产安全稳定。

结束语

化工行业仪器仪表自动化控制技术的应用,对提升生产效率、保障安全与质量意义重大。尽管目前存在技术、管理、安全等方面的问题,但通过技术升级、完善管理体系、强化安全保障等优化策略,可有效解决。未来,随着技术不断进步,该技术将在化工行业发挥更大作用,助力行业实现高效、安全、可持续发展。

参考文献

- [1]葛飞,刘永志.石化行业仪器仪表自动化控制技术应用浅析[J].仪器仪表用户,2023,30(3):102-104,112.
- [2]孟亚强.石化行业仪器仪表自动化控制技术的应用及经济效益分析[J].中国石化贸易,2023,15(17):37-39.
- [3]朱珠梦.石化行业仪表及自动化控制技术应用分析[J].石油化工物资采购,2023(22):118-120.