

石油化工生产装置的自动化控制技术应用

李广吉 魏海波 张江林

东华能源（宁波）新材料有限公司 浙江 宁波 315000

摘要：本文探讨了石油化工生产装置自动化控制技术。阐述了生产装置高温高压、物料危险、流程连续且复杂等特点，以及自动化控制在稳定参数、保障安全、优化资源、提升质量等方面的需求。介绍了DCS、SIS、APC等系统构成，分析了生产参数监测、安全防护、生产优化等应用要点，并展望了技术创新、设备管理、人才培养及未来发展趋势。

关键词：石油化工；自动化控制；生产装置；应用要点；发展趋势

引言：石油化工行业在我国经济发展中占据关键地位，其生产装置的运行状况直接关乎生产效率、产品质量及安全环保。随着科技飞速发展，自动化控制技术成为提升石油化工生产水平的核心力量。该技术不仅能有效应对生产装置复杂特性带来的挑战，还可优化生产流程、保障安全、降低能耗。深入探讨其应用，对推动石油化工行业高质量发展意义重大。

1 石油化工生产装置特点与自动化需求

1.1 生产装置特性

石油化工生产装置所处环境充满挑战。高温贯穿众多生产环节，反应容器内物料持续受热，分子运动加剧，驱动化学反应快速进行。高压环境下，物质间的相互作用更为紧密，为特定化工反应创造必要条件，保证反应充分发生。装置处理的物料隐患重重。原油及其加工产物多数属于易燃物质，微小火花或静电积聚，都可能点燃这些物料，引发剧烈燃烧。易燃物料与空气混合形成可燃混合气，一旦达到爆炸极限，爆炸风险骤增。有毒有害物质广泛存在于生产流程中，操作人员接触或吸入这些物质，健康将受威胁。一旦发生泄漏，有毒有害物质会污染土壤、水体，破坏生态环境。生产流程具备显著连续性。原油进入炼油厂，常减压蒸馏将其分离为不同组分，这些组分作为原料进入催化裂化装置，进一步转化为小分子烃类。加氢精制过程对产物进行净化处理，各工序环环相扣。工艺复杂性极高，物理分离与化学反应同步进行，温度、压力、物料配比等条件相互影响，任何细微变动都可能改变产品性质与生产效率，精准调控难度巨大^[1]。例如在裂解工序中，温度与压力的组合稍有偏差，不仅影响乙烯等目标产物的收率，还会产生大量副产物，增加后续分离难度。

1.2 自动化控制需求

针对生产装置特性，自动化控制意义重大。稳定生

产参数方面，自动化系统持续监测关键指标，依据设定值对阀门、泵等设备进行实时调节。如温度偏离标准，系统立即调整加热或冷却设备，使温度迅速恢复。保障生产安全上，自动化装置不间断监控装置运行，一旦检测到异常，报警系统即刻启动，自动执行应急操作，切断危险物料输送，开启安全防护设备，降低事故发生概率。资源配置优化时，自动化系统依据生产实际情况，动态调整设备运行模式。依据原料供应变化，合理分配不同生产线的物料量；根据生产负荷，优化能源供给，减少能源消耗。在提高产品质量环节，自动化控制严格把控反应条件与生产流程，保证每一批次产品都符合质量标准，提升产品市场竞争力。在应对复杂工艺时，自动化控制还能通过预设的逻辑程序，协调多个变量之间的关系，避免因参数调整不当导致生产波动，例如在多塔精馏过程中，精确控制各塔的温度、压力与回流比，确保分离效果达到最优。

2 石油化工自动化控制系统构成

2.1 集散控制系统（DCS）

集散控制系统（DCS）采用分层式架构，由现场控制站、操作站、工程师站和通信网络组成。现场控制站部署在生产装置现场，配备多种输入输出模块，负责采集温度、压力、流量等各类生产数据，并根据预设程序或操作指令控制现场设备。操作站设置在控制室，操作人员通过人机界面实时监控生产过程，下达控制指令，画面直观展示装置运行状态，便于掌握全局。工程师站供技术人员进行系统配置、程序编写与维护，对系统功能拓展与优化。通信网络则实现各部分之间数据高速传输，确保信息畅通。DCS的功能模块涵盖数据采集、过程控制、报警处理等。数据采集模块不间断收集现场数据，为控制决策提供依据；过程控制模块依据算法对采集数据处理，自动调节设备参数；报警处理模块在监测

到异常数据时,立即触发声光报警,提醒操作人员注意。这种集中管理、分散控制模式优势明显,集中管理使操作人员在控制室便能监控整个生产流程,统筹协调各环节;分散控制则将控制功能分配到各现场控制站,降低单个设备故障对系统整体影响,提高系统可靠性与稳定性,因而在石油化工生产装置中得到广泛应用,从原油蒸馏到化工产品合成等多个环节都有它的身影。

2.2 安全仪表系统(SIS)

安全仪表系统(SIS)由传感器、逻辑控制器和执行器构成。传感器安装在关键部位,实时监测装置运行参数,一旦检测到超温、超压、泄漏等异常信号,迅速将数据传输给逻辑控制器^[2]。逻辑控制器内置预设逻辑程序,对接收信号分析判断,若确认达到危险阈值,立即向执行器发出指令。执行器根据指令执行相应动作,如关闭阀门切断物料输送、启动泄压装置降低压力,避免事故扩大。SIS依据安全完整性等级(SIL)划分,不同等级对应不同安全性能要求。SIL等级越高,系统在规定时间内完成预定安全功能的概率越高。在石油化工生产中,SIS是保障生产安全的关键防线,它独立于生产控制系统运行,即使生产控制系统出现故障,SIS仍能正常工作,防止事故发生,为装置安全稳定运行提供可靠保障。

2.3 先进过程控制(APC)系统

先进过程控制(APC)系统基于模型预测控制原理,通过建立生产过程数学模型,对未来工况进行预测。系统由模型预测模块、优化控制模块和反馈校正模块组成。模型预测模块根据当前生产数据和历史信息,预测生产过程未来变化趋势;优化控制模块基于预测结果,结合生产目标与约束条件,计算出最优控制策略;反馈校正模块将实际生产数据与预测数据对比,修正模型偏差,提高预测准确性。在石油化工生产应用中,APC系统效果显著。它能够处理多个变量之间复杂关系,协调控制多个参数,实现生产过程优化。例如在反应器控制中,精确调节温度、压力、进料流量等参数,提高反应转化率与产品收率;在精馏过程中,优化塔内操作条件,降低能耗。通过优化生产过程,APC系统有效提高生产效率,减少原料消耗,提升产品质量,为企业带来可观经济效益。

3 自动化控制技术应用要点

3.1 生产参数监测与控制

自动化控制技术构建起精密的生产参数管控体系。温度监测依赖分布于反应釜、管道等关键位置的传感器,持续采集数据并转化为电信号传输至控制系统。当反应釜内

温度偏离设定值,控制系统即刻驱动加热或冷却装置,调节热源功率或冷却介质流量,使温度迅速回归稳定区间。压力监测通过安装在管道、容器上的压力传感器,实时感知压力变化。一旦压力超出安全阈值,控制单元自动调节阀门开度,或启动泄压装置,维持系统压力稳定。流量控制借助电磁流量计、涡街流量计等设备精确测量物料输送量。控制系统依据生产需求,调节泵的转速或阀门开合程度,确保物料按既定流量输送。多参数协同控制中,控制系统综合分析温度、压力、流量数据,联动调节各参数,保障生产过程稳定运行。

3.2 安全防护与应急处理

自动化控制技术在安全防护与应急处理领域发挥核心作用。安全联锁机制贯穿生产全流程,当装置运行参数超出安全阈值,如储罐液位达到上限,系统立即触发联锁程序,自动关闭进料阀门,同时启动出料泵,将物料输送至其他储存设备,防止物料溢出引发事故。故障诊断功能通过对设备运行状态数据深度分析,提前发现潜在故障。例如,监测机泵振动频率、电机电流等参数,一旦数据出现异常波动,系统快速定位故障位置与原因,生成报警信息推送至操作人员。应急响应环节,自动化系统具备快速处置能力^[3]。发生火灾或泄漏事故时,火焰探测器、气体泄漏检测仪第一时间捕捉异常信号,传输至应急控制系统。系统迅速启动消防喷淋装置、通风设备,同时切断相关区域物料输送管道阀门,隔离危险源。针对不同类型事故,系统还能依据预设应急预案,自动协调各设备执行对应操作,最大限度降低事故损失与危害,保障人员安全与装置稳定。

3.3 生产优化与节能降耗

自动化控制技术是生产优化与节能降耗的重要手段。在生产流程优化上,通过对整个生产链条各环节数据收集与分析,优化工序衔接。例如,根据前序工序生产进度与产品质量,自动调整后续工序设备运行参数,减少中间环节等待时间,提高整体生产效率。资源合理配置方面,依据原料库存、产品需求变化,动态分配物料至不同生产线。当某种原料库存不足时,系统优先将其分配至生产效率高、利润空间大的产品生产线,避免资源浪费。能源高效利用依托自动化控制实现精细化管理。在蒸汽系统中,根据生产负荷实时调节蒸汽供应量,避免蒸汽过量产生造成能源浪费;对电机等耗能设备,采用变频调速技术,依据实际工作需求调整电机转速,降低电能消耗。在加热炉控制中,通过优化燃烧控制算法,调节燃料与空气配比,提高燃烧效率,减少燃料消耗与污染物排放。通过这些方式,自动化控制技术有效提升生产效率,降低能耗成本,

增强企业市场竞争力。

4 石油化工自动化控制应对策略与发展趋势

4.1 技术创新

技术创新是推动石油化工自动化控制发展的核心动力。传感器技术研发聚焦高精度与可靠性提升。研发新型耐高温、耐高压且抗腐蚀的传感器,使其能在复杂恶劣的化工生产环境中精准采集数据。比如针对高温反应釜内部参数监测,开发特殊材质传感器,确保在极端温度下稳定工作。优化控制算法可突破传统控制局限,引入自适应控制算法,使控制系统能根据生产过程动态变化自动调整控制参数,有效应对非线性、时变等复杂工况。通信技术性能提升着重于传输速率与稳定性。构建高速、低延迟的工业通信网络,保障大量生产数据快速、准确传输,避免数据堵塞或丢失。通过开发新型通信协议,增强数据传输安全性,防止数据在传输过程中被窃取或篡改,为自动化控制提供可靠的信息交互基础。

4.2 设备管理

自动化设备管理对保障生产至关重要。制定科学的维护保养策略,建立设备全生命周期档案,记录设备运行参数、维护历史等信息。依据设备使用频率与工况,定期进行清洁、润滑、校准等保养工作。针对关键设备,采用状态监测技术,实时监测设备振动、温度、电流等参数,分析设备运行状态,提前发现潜在故障隐患,及时安排维修。设备更新升级遵循渐进原则。对于老旧设备,评估其性能与生产需求匹配度,逐步替换为更先进、高效的自动化设备^[4]。引入具备智能诊断功能的设备,当设备出现故障时,能自动定位问题并给出解决方案,减少故障排查时间。通过持续更新升级,提高设备整体可靠性与稳定性,降低突发故障导致的生产中断风险。

4.3 人才培养

提升人员对自动化控制技术的应用与管理能力需多管齐下。加强操作人员培训,制定分层分类的培训计划。新入职人员接受基础理论与操作技能培训,掌握自动化设备基本操作与常见故障处理方法;在职人员定期参加进阶培训,学习新技术、新设备应用,提升复杂工况下的操作与应急处理能力。引进专业技术人才为团队

注入活力。吸引自动化控制、计算机科学等领域专业人才,他们具备扎实的理论基础与创新能力,可推动企业自动化控制技术升级。建立良好的人才激励机制,为人才提供广阔发展空间与优厚待遇,鼓励人才发挥专业优势,参与技术创新与项目研发,打造高素质的自动化控制人才队伍。

4.4 未来发展趋势

石油化工自动化控制未来朝着智能化、集成化、网络化方向发展。智能化体现在人工智能深度融入控制决策。利用机器学习算法对海量生产数据挖掘分析,使系统自主学习生产规律,预测设备故障与生产异常,提前采取预防措施。在控制决策中,人工智能根据实时工况快速生成最优控制方案,实现生产过程智能化运行。集成化强调将生产过程各环节自动化系统整合。打破信息孤岛,实现集散控制系统、安全仪表系统、先进过程控制系统等无缝对接与数据共享,构建统一的自动化控制平台,提升系统协同工作能力。网络化方面,工业互联网与自动化系统深度融合,通过网络实现设备远程监控、故障诊断与维护,促进企业间生产数据交互与资源共享,推动石油化工行业向智能化、数字化转型。

结束语

石油化工生产装置自动化控制技术的应用,有效解决了生产过程中面临的诸多难题,显著提升了生产效率、产品质量与安全性,同时实现了节能降耗。未来,随着技术创新、设备管理与人才培养的持续推进,以及智能化、集成化、网络化发展趋势的深化,自动化控制技术将为石油化工行业带来更广阔的发展前景,推动行业迈向更高水平。

参考文献

- [1]史晓宇.石油化工电气自动化控制中的PLC技术应用[J].化工管理,2022(20):106-108.
- [2]崔杏杏.石油化工自动化仪表的常见故障及维护技术[J].现代制造技术与装备,2024,60(1):170-172.
- [3]李占虎.石油化工仪表自动化设备的故障预防与维护方法研究[J].文渊(小学版),2023(10):226-228.
- [4]郑舟.石油化工安全仪表系统的设计及实施[J].石油石化物资采购,2023(13):22-24.