

机械自动化控制系统在化工安全生产中的应用

宋发俊

宁夏紫光天化蛋氨酸有限责任公司 宁夏 中卫 755000

摘要: 本文聚焦化工安全生产场景下机械自动化控制系统的工程化应用,针对化工生产高危连续作业的核心特征,系统梳理该系统在操作精度稳定性、全天候动态监控、风险快速响应三个维度的核心优势。围绕生产参数自动化调控、设备智能管控、高危作业替代三类核心应用场景,结合智能故障预警、紧急连锁保护、数据溯源三大安全辅助功能,明确覆盖硬件运维、参数校准、人员能力提升的全流程管控要点。研究表明,机械自动化控制系统可全面突破传统人工管控的固有局限,为化工生产构建多层级本质安全防护体系,有效降低安全事故发生概率,为化工行业安全生产数字化升级提供核心技术支撑。

关键词: 机械自动化控制系统; 化工生产; 安全生产; 应用

引言: 化工行业作为高危连续型生产领域,其生产流程涉及大量高温高压工况、易燃易爆与有毒有害介质,传统以人工巡检、人工调控为主的管控模式,长期受人员操作偏差、监控覆盖盲区、应急响应滞后等问题制约,难以适配现代化工装置大型化、连续化的安全管控要求。机械自动化控制系统依托数字化传感、实时运算与连锁控制技术,为化工安全生产的模式升级提供了核心技术路径。当前国内化工行业正加速推进安全管控的本质化改造,但针对自动化控制系统的全场景应用逻辑与配套管控体系仍缺乏系统化梳理。本文构建覆盖优势、场景、功能、管控要点的完整应用框架,明确各环节的技术落地要求,为同类化工企业的自动化安全管控体系建设提供专业参考。

1 机械自动化控制系统应用于化工安全生产的核心优势

相较于传统人工管控模式,机械自动化控制系统依托智能化、数字化技术,从操作精度、响应速度、管控范围、作业稳定性等多个维度优化化工安全生产模式,适配化工高危生产场景的核心需求,具备显著的应用优势。(1) 系统具备超高操作精度与稳定性。化工反应、物料配比、温度压力调控等工序对参数精度要求极高,人工操作易受主观经验、身体状态、环境干扰等因素影响,出现操作偏差。机械自动化控制系统依托预设程序与精准传感设备,可严格按照生产标准完成各项操作,参数调控误差可控制在极小范围,且能够长时间保持稳定作业状态,避免人为波动带来的生产安全隐患。(2) 系统可实现全天候实时动态监控。化工生产为连续化作业模式,人工巡检存在时间空档与监控盲区,无法及时发现设备异常、工况波动等隐性风险。自动化控制系统

可24小时不间断采集生产现场的温度、压力、流量、液位、设备运行状态等各项数据,实现生产全时段、无死角监控。(3) 系统风险响应速度更快。化工生产安全隐患具有突发性、扩散性特点,人工发现隐患、处置问题存在明显时间滞后。自动化控制系统可实时对比运行数据与安全阈值,一旦检测到参数异常、设备故障等风险信号,可瞬时完成预警、参数修正、紧急制动等操作,快速阻断风险扩散,降低安全事故的影响程度^[1]。

2 化工安全生产中机械自动化控制系统的核心应用场景

2.1 生产参数自动化调控

化工核心生产工序以化学反应为主,反应过程中的温度、压力、物料配比、反应时长、搅拌速率等参数直接决定生产稳定性与安全性,参数失衡是引发冲料、爆炸、物料泄漏等安全问题的核心诱因。机械自动化控制系统可通过各类高精度传感器实时采集反应装置的运行参数,依托内置运算模型实时分析参数偏差,自动执行调节操作。当检测到反应温度超出安全区间时,系统可自动调控冷却、加热设备运行功率;当压力出现异常波动时,可自动调节泄压、增压装置,精准平衡反应容器内部工况。同时,系统可实现物料自动化精准配比与匀速输送,规避人工配料误差、输送速度不均引发的反应异常问题,保障化学反应始终处于安全可控的标准工况内。

2.2 生产设备智能运行管控

化工连续化生产流程高度依赖压力容器、物料输送泵、承压反应釜、管壳式换热设备等各类特种设备,这类设备长期在高温高压、腐蚀性介质接触的工况下运行,部件渐进老化、突发运行故障、长期超负荷工作均是诱发安全事故的核心诱因。机械自动化控制系统可实

现对各类生产特种设备的全生命周期智能化运行管控,通过部署在设备本体的高精度传感终端,实时采集设备的运行转速、实时载荷、壳体振动频率、动密封泄漏量、单位周期能耗等核心运行数据,基于预设的设备健康度评估模型精准识别常规巡检难以发现的早期隐性故障。系统可根据实时生产负荷动态调节设备的运行功率与工况区间,避免设备长期处于超负荷、无效空转的非额定工况运行,有效降低设备非必要损耗。同时,针对设备密封失效、传动部件异常磨损、运行卡顿等高频常见问题,系统可通过特征数据的异常波动提前识别隐患状态,及时向运维端发出分级预警信号,避免设备故障持续扩大引发有毒物料泄漏、承压壳体炸裂等恶性安全问题,保障各类生产特种设备长期稳定安全运行^[2]。

2.3 高危作业场景自动化替代

化工生产流程中存在大量人工无法近距离接触的高危作业场景,覆盖有毒有害物料处理、受限密闭空间作业、高温高压设备运维、易燃易爆物料输送等核心环节,人工直接介入作业时,受介质腐蚀、环境超限、突发泄漏等因素影响,人身安全风险等级极高。机械自动化控制系统可依托配套的防爆型自动化执行设备,全面替代人工完成各类高危作业环节的全流程操作。在有毒物料存储与转运场景,系统可全程控制密闭式自动化输送设备、智能装卸设备完成全流程物料操作,彻底切断人工与有毒介质的接触路径,杜绝中毒、化学灼伤类安全事故。在高温高压作业场景,系统可通过远程控制端完成设备启停、工艺工况微调、物料批次切换等操作,无需安排人员现场值守。在密闭狭小的高危作业空间,搭载检测模块的自动化巡检设备可自主完成状态巡检、表面清洁、基础运维等作业,从根源上规避人工高危作业带来的各类安全隐患,全面保障作业人员人身安全。

3 机械自动化控制系统的安全辅助功能应用

3.1 智能故障预警功能

机械自动化控制系统内置实时数据采集与边缘侧异常分析模块,突破传统人工巡检仅能识别显性故障的能力局限。系统可通过长期不间断采集设备运行转速、温度、振动幅值、电流载荷等全维度工况参数,构建覆盖全工况区间的标准运行特征数据库,基于预设的阈值判定与趋势分析算法,精准识别微小数据波动对应的早期隐性故障。系统可根据异常风险等级自动划分预警层级,通过现场声光提示、运维终端后台信号推送、管控平台弹窗告警等多渠道方式,将部件疲劳老化、运行参数渐进偏移、传动机构异常磨损等潜在风险提前告知运维人员,为针对性隐患排查与计划性设备检修预留充足

响应窗口,实现安全隐患的前置化管控,从运行源头避免小故障逐步演变为停机故障甚至重大安全事故,有效提升机械自动化系统运行的本质安全水平。

3.2 紧急联锁保护功能

紧急联锁保护是化工领域机械自动化控制系统保障生产本质安全的核心功能,专门针对突发高危生产异常工况设计,属于安全仪表系统的核心组成部分。当生产运行过程中出现工艺参数严重超出安全阈值、核心设备突发故障停机、危险物料异常泄漏扩散等紧急触发条件时,系统可跳过人工确认环节直接触发预设联锁保护逻辑,在毫秒级响应时间内自动执行紧急停机、切断上下游物料输送链路、封闭承压反应容器、启动泄压降温与惰性气体置换等标准化应急操作,第一时间切断风险传导路径,阻止危险工况持续蔓延恶化。该功能可有效规避人工应急响应的时间滞后、操作失误、处置流程不规范等问题,避免事故影响范围进一步扩大,在高危化工生产场景中可最大限度降低突发安全事故的人员伤亡与财产损失,为化工生产全流程构建高可靠的最后一道安全防护屏障^[3]。

3.3 生产数据记录与溯源功能

机械自动化控制系统可通过部署在各生产节点的采集终端,自动、连续、完整地记录生产全流程的各类运行数据,涵盖设备实时运行参数、人工与系统的工况调控操作记录、全等级异常预警触发信息、设备启停时序状态、联锁保护动作日志等全维度内容。所有采集数据采用带时间戳的结构化格式长期存储,具备权限分级管控与防篡改校验机制,非授权人员无法随意修改历史记录。完整的全流程生产数据不仅可为日常生产工艺优化、设备预防性运维提供可靠的数据支撑,还可实现生产异常事件的全链条精准溯源。当现场出现轻微安全隐患或工况偏离异常时,工作人员可通过调取对应时段的历史运行数据集,精准定位异常产生的具体环节、核心诱因与完整演变过程,针对性制定隐患整改方案与设备优化措施,从根源上规避同类安全问题重复发生,最终实现安全生产全流程的闭环管控。

4 化工安全生产中自动化控制系统的应用管控要点

4.1 强化系统设备日常运维

传感采集设备、执行驱动设备、数据传输设备是化工自动化控制系统的核心硬件组成部分,设备的实时运行状态直接决定系统监测精度与调控指令的执行有效性。化工生产现场普遍存在腐蚀性介质、悬浮粉尘、高温高压等特殊工况环境,长期运行过程中易引发传感元件性能衰减、检测探头表面积污、信号传输线路绝缘层

老化损耗等硬件故障,进而导致现场数据采集失真、调控指令传输延迟、执行机构动作偏差等连锁问题,直接削弱系统安全辅助功能的可靠性。因此需建立分级分类的常态化系统运维管控机制,严格按照硬件检定周期定期对各类工艺参数传感器、联锁执行器、工业通信线路、现场控制终端开展清洁校验、性能检测与专项养护,对校验不合格、性能劣化的老化失灵部件及时完成备件更换,建立全生命周期硬件运维台账,确保系统所有硬件设备始终处于额定运行工况区间,从硬件层面保障现场数据采集精准可靠、控制指令传输与执行高效无偏差^[4]。

4.2 定期完成系统参数校准

在化工自动化控制系统长期连续运行过程中,受现场复杂环境持续干扰、核心硬件部件渐进损耗、工艺介质长期附着等多重因素叠加影响,系统内置的监测基准参数、安全联锁阈值可能出现渐进式轻微偏移,直接导致智能故障预警触发滞后、紧急联锁保护动作时机偏差等问题,削弱安全生产管控的实际效果。需严格按照化工自控系统检定规范设定固定周期,对系统全量核心运行参数开展全面校准作业,结合生产设备当前实际运行工况、现行工艺技术标准要求,逐一修正温度、压力、流量、液位等各类工艺参数的监测基准值与安全管控阈值,同步优化系统内置的异常识别运算模型与趋势分析算法。同时,针对生产过程中开展的工艺参数微调、物料配比调整等变更场景,及时同步更新系统操作程序与对应管控标准,确保系统的调控逻辑、参数判定标准完全适配当前实际生产需求,从软件算法层面保障系统安全管控的精准性与运行有效性^[5]。

4.3 提升操作人员专业适配能力

化工生产场景下的机械自动化控制系统集成度与精密化程度较高,其全周期安全稳定运行不仅依托硬件设备的可靠性能,更直接取决于一线操作人员的专业适配能力。操作人员需熟练掌握系统标准化操作流程、分级异常信号识别方法、基础故障应急处置技巧,才能充分释放系统内置的各类安全管控功能的实际效能。需针对

不同岗位的操作权限与管控职责,制定分层分类的专项技能培训体系,帮助工作人员系统掌握系统底层运行原理、合规操作规范、全类型预警信号的对应处置逻辑,掌握基础的系统参数校验调试、常见硬件故障排查方法。同时配套建立操作资质考核与定期复训机制,将联锁保护触发后的应急复位流程、参数变更后的复核校验要求纳入必修培训内容,严格规避人工误操作导致的系统联锁逻辑误触发、参数设置错误、应急处置失当等问题,避免人为因素引发的系统功能失效、生产工况异常等安全风险,最终实现人机协同的高效安全管控模式,保障化工生产全流程的安全稳定连续运行。

结束语

机械自动化控制系统与化工安全生产全流程的深度融合,是破解高危生产场景管控痛点、推动行业本质安全升级的核心抓手。本文构建的全链条应用体系,实现了从生产过程精准调控、高危作业无人替代,到安全隐患前置预警、突发工况联锁阻断的全层级安全防护,有效弥补了传统人工管控模式的固有短板。未来随着自动化控制技术与工业物联网、边缘智能算法的进一步融合,化工安全生产管控将向全流程实时自适应优化方向持续演进,不断提升生产运行的安全性、稳定性与经济性,为化工行业的高质量发展筑牢坚实的安全技术底座。

参考文献

- [1]卢斌.自动化监控系统在化工安全生产中的应用与创新[J].化纤与纺织技术,2026,55(1):125-127.
- [2]石佳,汪根,何信.自动化控制在化工安全生产中的应用及优化[J].石化技术,2026,33(7):508-510.
- [3]尹晓娟,董松,李赫.机械自动化技术在化工安全生产中的应用策略研究[J].化工管理,2026,(14):104-107+128.
- [4]莫佳俊.电气自动化控制系统在工业生产管理中的优化应用分析[J].中国设备工程,2026,(1):45-47.
- [5]李强.机械安全控制系统在化工项目中的应用[J].石油化工自动化,2026,62(3):58-63.