

石油化工仪表与控制系统的應用

尤海源 薛 涛

陕西榆能化学材料有限公司 陕西 榆林 719000

摘 要: 本文系统阐述了石油化工检测仪表与控制系统的分类、应用及协同要点。检测仪表按核心参数分为温度、压力、流量、液位及成分分析五大类,分别适配反应、输送、储存等不同工序的监测需求。控制系统以 DCS 集散控制系统负责主工艺连续调控,PLC 可编程逻辑控制系统负责辅助设备顺序联动,SIS 安全仪表系统独立承担异常工况连锁保护,三者协同覆盖生产全工况。仪表选型需匹配工况条件,系统间需统一数据协议实现参数联动,日常需定期校验校准保障精度,从而构建安全、稳定、高效的生产控制体系。

关键词: 石油化工;化工仪表;控制系统;应用

引言: 石油化工生产具有高温高压、易燃易爆、强腐蚀、连续化运行等显著特征,对生产参数的精准检测与实时调控提出了极高要求。检测仪表作为生产数据采集的前端终端,控制系统作为工艺调控与安全防护的核心载体,二者的协同应用水平直接决定装置运行的安全性与经济性。当前行业常用检测仪表涵盖温度、压力、流量、液位及成分分析五大类,控制系统以 DCS、PLC、SIS 为核心架构,分别承担连续过程控制、逻辑顺序控制与安全连锁保护职能。本文围绕仪表分类、典型应用场景、控制系统架构及协同应用要点展开系统分析。

1 石油化工仪表的分类及基础应用

石油化工生产过程涉及高温、高压、易燃易爆、强腐蚀等多种复杂工况,不同生产环节的监测参数类型、作业环境条件及安全等级存在显著差异,所需配套的检测仪表在量程范围、精度等级、防爆等级及材质选型方面各不相同。按照核心监测参数划分,行业常用检测仪表主要分为温度仪表、压力仪表、流量仪表、液位仪表及成分分析仪表五大类。

温度仪表用于监测反应釜、蒸馏塔、换热器等关键设备的工艺温度,常用热电偶与热电阻作为感温元件,测温范围覆盖零下 200 摄氏度至 1800 摄氏度,满足不同温区的检测需求。压力仪表用于监测管道、容器及反应器内部的工艺压力,包括弹簧管压力表、智能压力变送器及隔膜密封式压力表等类型,量程覆盖真空至超高压区间。流量仪表用于计量原油、化工中间体、成品等介质的瞬时流量与累计流量,常用类型包括差压式流量计、电磁流量计、涡街流量计及科里奥利质量流量计。液位仪表用于监测储罐、塔器、反应容器内的液面高度,包括磁翻板液位计、雷

达液位计及投入式静压液位计等。成分分析仪表用于在线检测气体或液体介质中的组分浓度,包括红外分析仪、紫外分析仪、色谱分析仪及电化学传感器等,为工艺优化与排放控制提供数据支撑^[1]。

2 主流化工检测仪表的具体应用

2.1 温度仪表的应用

温度是石油化工生产中最为核心的控制参数之一,原油蒸馏、催化裂化、加氢反应、加热炉运行、物料换热等所有关键工序均依赖精准的温度控制。(1) 温度偏差会直接导致反应转化率下降、产品纯度不达标、副反应增多,甚至引发设备超温损坏等安全事故。石油化工行业常用的温度仪表以热电偶与热电阻为主,其中热电偶适配高温工况,测温范围宽,常用于蒸馏塔、加热炉等高温区域;热电阻精度较高、稳定性好,常用于反应器、换热器等需要精密测温的场合,二者均可满足高温、高压、强腐蚀等特殊工况的检测需求。(2) 在常减压蒸馏装置中,热电偶主要安装于蒸馏塔塔顶、塔底及各侧线出料口位置,实时监测不同塔段的气相与液相介质温度,为操作人员精准划分各馏分油品提供数据依据,保障分馏精度与产品收率。在催化裂化与加氢反应装置中,热电阻仪表用于监测反应器、再生器内部的介质温度,可及时捕捉反应温度的细微波动,避免温度过高引发物料热分解与结焦,或温度过低导致反应不充分、转化率下降。此外,温度仪表还可实时采集加热炉炉膛、炉管壁面的温度分布数据,防止局部过热造成炉管蠕变与爆裂,保障加热设备的长期稳定运行^[2]。

2.2 压力与流量仪表的应用

压力参数直接决定管道系统与反应设备的运行安全

性,流量参数管控着物料输送与工艺配比的精准度,二者广泛应用于石油化工所有物料输送与反应环节。(1)压力仪表主要包括智能压力变送器、隔膜密封压力表及远传压力表等类型,可适配高压、负压、真空及强腐蚀性介质等多种工况,主要安装于反应釜、蒸馏塔、输油管道、换热器及分离器等关键设备上,实时监测设备内部及管道中的介质压力,精准把控设备运行负荷,避免压力异常导致设备承压超标、法兰泄漏甚至容器爆裂等安全事故。(2)流量仪表以电磁流量计、涡街流量计及孔板流量计为主,不同类型仪表针对不同介质特性进行选型。电磁流量计适用于含固体颗粒的污水、强腐蚀性化工物料的流量检测,测量精度高且不受介质密度与黏度影响。涡街流量计适配气体与蒸汽介质的流量监测,广泛用于加热炉燃气供给、工艺蒸汽输送等环节。孔板流量计结构简单、耐高压,广泛应用于原油、成品油等液态油品的管道输送计量。在化工合成工序中,流量仪表可精准控制各类原料的瞬时输送配比,保障化学反应的稳定性与产品收率;在油品储运环节,可实现管道输送流量的实时监测与累积计量,保障物料输送的均匀性与连续性。

2.3 液位与成分分析仪表的应用

液位仪表主要用于储罐、反应塔、缓冲罐、分液器等容器的介质液位实时监测,是保障物料储存安全与容器稳定运行的关键检测仪表。(1)石油化工行业常用液位仪表包括雷达液位计、超声波液位计、磁翻板液位计及浮筒液位计等类型。其中,雷达液位计采用微波测距原理,抗干扰能力强,不受介质温度、压力、密度及腐蚀性影响,广泛应用于原油储罐、成品油储罐、化工溶剂储罐及液化气储罐的液位连续监测,可精准反馈容器内物料实时存量,为物料进出料调控提供可靠数据依据,有效避免液位过高导致物料溢出、液位过低导致泵体抽空等运行异常。(2)成分分析仪表属于高精度在线检测仪表,主要用于监测生产物料的组分纯度、杂质含量、气体浓度等关键指标,核心应用于产品质量管控、工艺优化及安全监测。在油品加工环节,成分分析仪表可实时检测成品油的馏分组成、硫含量、酸值等质量参数,保障油品出厂指标达标。在化工反应环节,可在线监测反应尾气及中间物料的组分变化,判断化学反应的充分程度,为工艺参数微调提供数据支撑。在密闭生产装置中,成分分析仪表可实时检测可燃气体与有毒气体浓度,实现作业环境参数的连续监测与超限报警,保障生产作业安全。

3 石油化工核心控制系统及应用场景

3.1 DCS 集散控制系统的应用

DCS 集散控制系统具备分散控制与集中管理的核心架构特点,适配石油化工连续化、大规模、多工序联动的生产场景,是化工主装置的核心控制系统。(1)该系统将整体生产工艺划分为多个独立控制单元,各控制单元独立完成本地参数调控与逻辑运算,同时通过高速通信网络连接至集中操作平台,实现全装置的统一监控与数据共享,有效规避了集中控制系统因单点故障导致全盘瘫痪的问题,系统整体稳定性与容错能力极强。(2)在常减压蒸馏、催化裂化、加氢精制、乙烯裂解等核心生产装置中,DCS 系统可整合温度、压力、流量、液位及成分分析等全部仪表数据,实时监控整套装置的运行工况,自动调节控制阀开度、加热炉功率、物料输送速率及反应进料配比等关键参数,保障各生产工况始终处于设计稳定区间。操作人员可通过集中监控界面实时查看各工序运行数据与报警信息,实现远程监控与手动参数微调,大幅降低现场人工巡检与操作强度,提升生产管控效率^[3]。

3.2 PLC 可编程逻辑控制系统的应用

PLC 可编程逻辑控制系统具备响应速度快、逻辑运算能力强、编程灵活、抗干扰能力突出等核心特点,主要适配石油化工生产中的离散控制与顺序控制场景,多用于辅助生产装置与配套设备的自动化控制。(1)与 DCS 系统侧重连续过程控制不同,PLC 系统更擅长程序化的逻辑启停、顺序作业及多设备联动控制,在小型化工装置与辅助系统中应用广泛。(2)在石油化工物料输送系统中,PLC 可实现输油泵、电动阀门、气动阀门及输送管道的联动启停控制,按照预设逻辑程序依次完成物料输送、管线切换、排空停机等标准化作业,避免人工误操作导致的物料混串或管道憋压。在循环水系统、通风除尘系统、装置辅助换热系统中,PLC 可根据设备运行状态与环境参数自动调控设备运行功率与启停时序,保障辅助系统在不同负荷条件下的稳定运行。此外,在小型化工生产线及设备检修联动管控场景中,PLC 系统可实现精准的条件判断与逻辑互锁控制,提升设备运行的规范性与检修作业的安全性。

3.3 SIS 安全仪表系统的应用

SIS 安全仪表系统是石油化工生产的安全防护核心系统,独立于 DCS、PLC 等常规生产控制系统运行,专门用于生产异常工况的实时监控与紧急安全处置,核心作用是规避高危生产风险、保障装置本质安全。(1)石油化工生产介质多为易燃易爆、有毒有害物质,工艺工

况复杂且操作压力高,一旦出现参数严重超标、设备故障停机、管道泄漏等异常情况,常规调控系统响应速度不足以快速处置,极易引发火灾、爆炸、中毒等重大安全事故。(2)SIS系统可24小时不间断监测关键设备与工艺参数,预设各类异常工况的安全阈值与联锁处置逻辑。当温度、压力、液位、流量等参数超出安全操作区间,或设备出现故障停机、泄漏预警、信号异常时,系统会自动触发联锁保护机制,在规定的响应时间内快速完成紧急停机、切断进料、泄压降温、隔离故障单元、开启放空火炬等一系列安全操作,将生产风险降至最低。该系统广泛应用于加氢裂化、乙烯裂解、高压合成等高危生产装置,是保障化工生产安全运行不可或缺的关键系统^[4]。

4 仪表与控制系统的协同应用要点

4.1 仪表选型与工况适配

仪表的精准度与稳定性是控制系统可靠运行的基础,实际应用中需根据生产工况合理选型。石油化工生产存在高温、高压、强腐蚀、易结垢、多粉尘等复杂工况,需结合介质特性、工艺参数区间、安装环境选择适配仪表。针对强酸、强碱腐蚀性介质,需选用防腐材质的检测仪表;针对高温高压反应装置,需选用耐高温、高压、稳定性强的智能仪表;针对储罐、室外管道等露天场景,需选用防水、防尘、抗干扰的仪表设备,从源头保障数据采集的精准性,为控制系统调控提供可靠依据。

4.2 系统联动与参数匹配

各类控制系统并非独立运行,而是形成协同联动的控制体系。DCS系统负责主生产工艺的连续调控,保障生产工况稳定;PLC系统负责辅助设备的逻辑控制,匹配主装置生产节奏;SIS系统全程兜底安全防护,监控异常工况。实际应用中,需做好三类系统的参数匹配与信号联动,统一数据传输协议,保障仪表采集的数据可同步传输至各控制系统,实现主工艺调控、辅助设备联动、安全防护的一体化运行,避免系统数据脱节、调控不同步引发的生产波动。

4.3 日常运维与精度校准

长期连续运行工况下,化工仪表易出现磨损、积垢、零点偏移等问题,控制系统易出现程序卡顿、信号延迟等故障,直接影响生产控制精度。因此,日常运维是保障仪表与控制系统稳定应用的关键。需定期对各类检测仪表进行清洁、校验与校准,修正参数误差,更换老化损坏的仪表部件;定期对控制系统的程序、线路、信号传输模块进行检测,排查系统漏洞与故障隐患,保障数据传输实时、精准,系统调控灵敏、有效,持续适配生产运行需求^[5]。

结束语

石油化工仪表与控制系统的协同应用,是保障生产安全、稳定、高效运行的核心技术支撑。温度、压力、流量、液位及成分分析五类检测仪表覆盖了核心工艺参数的全天候监测需求,DCS、PLC、SIS三类控制系统分别承担主工艺调控、辅助设备联动与安全防护职能,三者协同构成完整的生产控制体系。在实际应用中,仪表选型需严格匹配工况条件,系统间需做好参数联动与协议统一,日常运维需落实定期校验与精度校准,方能保障控制系统长期稳定运行。随着智能化技术持续渗透,化工仪表与控制系统正向数字化、集成化方向演进,对推动石油化工行业安全生产与能效提升具有持续的工程应用价值。

参考文献

- [1] 白明聪. 石油化工仪表自动化控制系统的节能优化策略研究[J]. 中国科技期刊数据库工业 A, 2026(4):005-008.
- [2] 张晓芳. 石油化工电气安装与调试自动化控制技术应用研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2026, 46(4):169-171.
- [3] 张琳. 石油化工厂智能电气系统应用研究[J]. 石化技术, 2026, 33(4):212-214.
- [4] 韦性文. 石油化工装置本质安全控制系统构建研究[J]. 化工设计通讯, 2026, 52(2):66-68.
- [5] 马文平. 石油化工安全生产中自动化控制的实践与应用研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2026, 46(5):35-37.