

# 石油化工仪表分布式控制系统应用分析

薛一凡

天津滨海概念人力信息科技有限公司 天津 300000

**摘要:** 分布式控制系统(DCS)是石油化工行业实现高效、安全生产管控的核心装备,其与专用仪表的协同集成直接决定生产精度与安全水平。本文基于DCS“分散控制、集中监控”核心逻辑,阐述其组成架构、仪表适配特性及技术优势,分析检测仪表、控制仪表与DCS的集成机制及SIS联动逻辑,结合原油加工、化工合成、储运系统三大场景说明应用及功能实现,提出仪表校准匹配、软硬件升级、控制算法优化三大策略。研究可为石油化工行业DCS应用优化、提升生产管控智能化水平提供参考,助力行业降本增效、筑牢安全防线。

**关键词:** 石油化工; 仪表; 分布式控制系统; 应用

## 引言

石油化工生产具有连续化、工况复杂、多参数耦合及安全风险高的特点,传统人工管控与单一仪表控制已难以满足高精度、高可靠性需求。分布式控制系统(DCS)凭借模块化、冗余设计及实时调控能力,成为破解行业管控痛点的关键技术。随着智能仪表的迭代升级,DCS与仪表的集成深度不断提升,但其在参数匹配、工况适配及精度调控上仍存优化空间。本文围绕DCS在石油化工中的理论基础、集成体系、应用场景及优化策略展开分析,为行业技术应用与升级提供理论支撑。

## 1 石油化工仪表分布式控制系统(DCS)理论基础

### 1.1 DCS核心定义与组成架构

分布式控制系统(DCS)是石化行业过程控制的核心,以“分散控制、集中监控”为核心逻辑,适配石化生产连续化、多工段的特点。其架构主要包含现场控制站、操作员站、工程师站及通信网络四大模块,现场控制站直接对接仪表采集数据并执行调控指令,操作员站实现工况可视化监控,通信网络采用冗余设计保障数据传输稳定,可有效避免单一节点故障影响全系统运行,契合石化生产高可靠性需求。

### 1.2 石油化工专用仪表的分类及适配特性

石化专用仪表按功能可分为检测仪表、控制仪表两类,检测仪表含压力、温度、流量、液位等类型,如加氢装置用防爆型压力变送器,需耐受高温高压及腐蚀性介质;控制仪表以调节阀、执行器为主,适配不同介质黏度、压力工况。这类仪表均具备防爆、抗干扰、高精度特性,能与DCS系统精准适配,确保在复杂工况下数据采集与指令执行的准确性。

### 1.3 DCS的核心技术优势与行业适配性

DCS具备模块化设计、实时性强、容错性高的优势,

可根据石化装置规模灵活扩容,满足原油加工、化工合成等不同工段的控制需求。其冗余技术能应对石化生产不间断运行的要求,某炼油厂应用中,单控制站故障时冗余站可无缝切换,保障生产连续。同时DCS支持多仪表协同控制,适配石化生产多参数耦合的特点,通过集中管控降低人工操作强度,提升生产规范性<sup>[1]</sup>。

## 2 石油化工仪表与DCS的集成应用体系

### 2.1 检测仪表与DCS的数据采集集成

检测仪表与DCS的数据采集集成是石化生产管控的基础环节,核心在于实现工况参数的精准、实时传输。集成过程中需依托标准化信号传输协议,完成模拟量与数字量信号的转换适配,确保压力、温度、流量、液位等关键参数无失真上传。DCS系统通过前置信号处理模块,对仪表采集的数据进行滤波、校准与量程转换,剔除干扰信号,保障数据有效性。同时,集成架构需具备冗余设计,避免单一采集链路故障导致数据中断,适配石化生产连续运行需求,为后续调控决策提供可靠数据支撑。

### 2.2 控制仪表与DCS的指令交互机制

控制仪表与DCS的指令交互遵循“指令下发-执行反馈-闭环调整”的核心逻辑,实现工艺参数的精准调控。DCS根据预设控制策略与实时采集数据,生成调控指令并通过专用控制链路传输至执行类仪表,指令传输过程采用校验机制,防止指令丢失或误触发。控制仪表执行指令后,即时将运行状态、执行精度等反馈信号回传至DCS,形成闭环控制回路。交互机制需兼顾响应速度与稳定性,适配不同工况下的调控需求,同时通过权限划分与操作联锁,避免非法指令干预,保障调控过程的安全性与规范性。

### 2.3 安全仪表系统(SIS)与DCS的联动集成

SIS与DCS的联动集成聚焦石化生产安全防控,核心是实现过程控制与安全联锁的协同衔接。两者联动需基于数据共享架构,SIS将安全状态信号、联锁触发条件实时同步至DCS,DCS则为SIS提供全工况参数支撑,确保联锁判断的准确性。联动过程中需明确功能边界,SIS负责超限工况下的紧急停车、切断等联锁动作,DCS同步执行工况复位、参数调整等辅助操作,避免单一系统动作导致生产紊乱。集成体系需具备独立冗余链路,防止联动过程中信号干扰或系统故障,同时通过定期联动测试,验证两者响应一致性,筑牢生产安全防线<sup>[2]</sup>。

### 3 DCS在石油化工中的应用场景与功能实现

#### 3.1 DCS在石油化工生产环节的典型应用场景

DCS在石油化工生产全流程中形成差异化适配应用,依托与各类仪表的协同联动,支撑不同工段的工艺管控需求,核心应用场景可分为以下三类:(1)原油加工装置应用。适配原油蒸馏、加氢精制等连续化加工环节,通过与现场检测仪表、控制仪表的深度协同,实现工艺参数的动态管控。聚焦进料量、反应温度、压力等关键指标的实时捕捉与精准调节,保障装置在稳定工况下运行,契合原油加工环节对连续性、稳定性的核心要求。例如某炼油厂加氢精制装置,采用DCS联动高精度温度、压力变送器,实时调控反应釜参数,将反应温度波动控制在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 内,精准应对原油硫含量波动,确保加氢深度达标,有效降低能耗与杂质残留。同时适配不同原油组分特性的调控需求,可通过系统预设参数模板快速切换,适配中东高硫原油与国内低硫原油的加工差异,提升工艺适配能力与柔性生产水平。(2)化工合成工段应用。针对化学反应的复杂性与参数敏感性,DCS构建多维度调控体系,联动温度、液位、组分分析等仪表,实现反应过程的精细化管控。以乙烯聚合工段为例,系统实时同步反应釜内温度、压力及乙烯单体浓度数据,动态调整催化剂注入量与冷却水流量,规避反应失衡导致的聚合物结块风险,同时配合工艺逻辑实现分步调控,精准匹配反应启停、升温升压等阶段需求,兼顾反应效率与产物分子量分布稳定性。(3)储运系统应用。覆盖原料、中间产品及成品的储存与输送环节,DCS依托远程监控模块对接现场仪表,实现跨区域工况管控。实时监测储罐液位(精度达 $\pm 5\text{mm}$ )、压力及输送流量,同步管控泵阀运行状态,通过流量闭环调节将输送误差控制在 $\pm 2\%$ ,配合联锁逻辑在液位超上限3%时自动关闭进料阀,规避泄漏、超装风险,适配储运系统分散性特点,实现罐区、管廊全链路无人化值守。

#### 3.2 DCS在石油化工仪表控制中的核心功能实现

DCS通过与石油化工仪表的协同运作,实现生产过程的管控、预警与数据管理等核心功能,为生产高效安全开展提供支撑,具体功能实现如下:(1)过程参数实时监测与精准调控。依托检测仪表采集全流程工艺参数,经信号处理模块滤除工业干扰信号后同步至DCS系统,实现参数的实时可视化呈现与动态追踪。基于预设控制策略,DCS向控制仪表下发调控指令,形成闭环控制回路,精准校正参数偏差,保障各工段参数处于工艺标准范围,同时适配不同工况下的调控需求,兼顾调控精度与响应速度,满足石化生产高精度、快响应的控制要求。(2)故障预警与仪表异常联动处理。DCS持续监测仪表运行状态与采集数据的有效性,通过数据校验、趋势分析及阈值比对,精准识别仪表信号异常、设备故障等问题,及时触发声光预警机制并推送至操作员站。同步联动相关控制仪表执行应急调控动作,如切断进料、启动备用设备等,规避故障扩大对生产的影响,同时留存故障数据与处理记录,为后续排查检修提供支撑,提升系统容错能力与应急处置效率。(3)生产数据追溯与可视化管理。DCS对仪表采集的全量生产数据进行分类存储、整理归档,构建长期可追溯的数据体系,满足生产复盘、质量溯源与行业合规核查需求。通过可视化界面直观呈现各工段工况、仪表运行状态及参数变化趋势,支撑操作人员快速掌握生产动态,同时提供数据统计分析功能,自动生成工艺报表与趋势曲线,为工艺优化、生产调度提供精准数据支撑,显著提升生产管控的智能化与规范化水平<sup>[3]</sup>。

### 4 石油化工DCS应用的性能优化策略

#### 4.1 仪表校准与DCS参数的匹配优化

仪表与DCS参数的适配度直接决定管控精度,需通过科学校准与参数匹配,消除偏差隐患,优化策略如下:(1)建立分级仪表校准体系。按仪表重要性及工况严苛程度,划分关键仪表与普通仪表,关键仪表(如加氢装置压力变送器、合成工段组分分析仪)执行月度校准,普通仪表执行季度校准,校准过程采用标准溯源设备,同步记录误差值与修正参数,确保仪表采集数据的准确性。例如某炼化企业针对催化裂化装置的差压流量计,采用智能校准仪开展现场校准,同步将校准误差参数录入DCS,调整系统采集系数,使流量测量偏差从 $\pm 2.1\%$ 降至 $\pm 0.8\%$ ,实现参数精准匹配。(2)优化DCS参数适配逻辑。根据仪表类型与测量特性,调整DCS的数据采集周期、滤波参数及量程范围,避免因参数设置不合理导致的数据失真或响应滞后。针对易受干扰的仪表信号,优化DCS滤波参数,平衡信号稳定性与实时性;针对非线性仪表,

通过分段参数拟合,提升DCS对仪表信号的解析精度,实现仪表与系统的深度适配。(3)构建校准与参数联动验证机制。仪表校准后,需在DCS系统中开展联动测试,模拟实际工况验证参数匹配效果,对比较准前后的调控精度与数据一致性,及时修正参数偏差。同时建立校准档案与参数变更记录,实现全流程可追溯,避免无序参数调整影响系统稳定性。

#### 4.2 DCS系统硬件与软件的升级适配

结合石化生产工况升级需求,通过硬件迭代与软件优化,提升DCS系统运行稳定性与适配能力,具体策略如下:(1)硬件升级聚焦冗余与适配。针对核心控制站、通信模块等关键硬件,采用冗余配置升级,替换老旧故障频发的硬件设备,提升系统容错能力;根据仪表扩容需求,升级IO模块接口数量,适配新增仪表的接入需求,同时选用抗干扰能力强的工业以太网交换机,优化通信链路,减少信号传输损耗与干扰。(2)软件优化兼顾兼容与高效。定期对DCS操作系统、控制软件进行补丁更新与版本升级,修复软件漏洞,提升系统安全性;针对老旧DCS系统,开展软件兼容性改造,确保与新增智能仪表、第三方监测设备的无缝对接,避免因软件不兼容导致的功能受限。(3)建立硬件软件定期巡检机制。每周开展硬件运行状态巡检,重点排查控制站CPU负载、内存占用、通信链路误码率等指标;每月开展软件性能检测,清理冗余数据、优化程序代码,避免软件卡顿或崩溃,同时备份系统配置与软件程序,防范升级及运行过程中的数据丢失风险。

#### 4.3 控制算法优化提升仪表调控精度

通过优化控制算法,适配石化生产多参数耦合、工况多变的特点,提升DCS对仪表的调控精度,策略如下:(1)优化经典控制算法参数。针对比例-积分-微分(PID)控制算法,结合不同工段工艺特性,动态调整比例系数、积分时间与微分时间,避免单一参数设置导致的调控超调

或滞后。对扰动频繁的工段,增大微分系数提升抗干扰能力;对参数变化缓慢的工段,优化积分时间,提升稳态精度。(2)引入分段式控制算法。针对化工合成等工况复杂、多阶段变化的工段,采用分段式控制算法,按反应启停、升温升压、稳定反应等不同阶段,预设差异化控制策略与参数阈值,DCS根据仪表实时反馈数据自动切换控制模式,适配各阶段工艺需求,提升调控针对性。(3)融合前馈控制与反馈控制算法。针对进料量、原料组分等扰动因素,引入前馈控制算法,通过仪表提前采集扰动参数,预判对生产工况的影响,提前下发调控指令;结合反馈控制算法,根据后续仪表监测数据校正调控偏差,形成前馈-反馈复合控制体系,有效抵消扰动影响,提升调控稳定性与精度<sup>[4]</sup>。

#### 结束语

DCS与石油化工仪表的深度融合,为行业生产管控提供了智能化解决方案,有效兼顾了生产效率、产品质量与运行安全。本文系统梳理了DCS应用的核心要点与优化路径,证实通过仪表校准、软硬件升级及算法优化,可显著提升系统适配性与调控精度。未来,需结合工业4.0趋势,推动DCS与物联网、大数据技术融合,强化系统预判能力与自主调控水平。期望本文研究能为石化企业技术改造提供借鉴,助力行业实现更高效、安全、绿色的高质量发展。

#### 参考文献

- [1]施洋.石油化工电气仪表自动化计量与通信的集成控制系统研究[J].化工管理,2025(23):63-65.
- [2]陈鹏.石油化工仪表与控制系统的应⽤[J].当代化工研究,2025(18):124-126.
- [3]侯龙飞.石油化工仪表分布式控制系统应⽤分析[J].造纸装备及材料,2025,54(4):56-58.
- [4]张克凡.仪表控制系统在石油化工中的应⽤分析[J].仪器仪表用户,2024,31(4):87-89+92.