

DCS 系统在化工生产过程自动控制中的应用

金宝磊

山西沐风设计有限公司洛阳分公司 河南 洛阳 471000

【摘要】：化工生产过程具有连续运行、变量耦合强和安全约束高等特点，自动控制系统应同时承担过程稳定、资源利用和异常联锁任务。DCS 系统依靠现场仪表采集、控制器运算、操作站监控和数据接口集成，将反应、分离、储运和公用工程纳入统一控制链路。本文分析 DCS 系统的稳定运行、资源利用和数字化管控价值，梳理现场总线接口、调节阀回路、批量配料顺控和先进过程控制模块的应用要点，提出变量质量、回路整定和联锁独立性是应用核心。

【关键词】：DCS 系统；化工生产；自动控制；现场总线；过程控制

DOI:10.12417/2811-0528.26.20.034

引言

化工装置的控制对象覆盖原料输送、反应换热、精馏分离、储罐氮封、尾气处理和公用工程供应，变量波动可能沿物料流、能量流或压力系统传递。传统单机仪表和分散手动操作难以同时处理多测点、多回路和多联锁关系。DCS 系统把过程测量、控制运算、画面监控、报警记录和数据上传放在统一平台内，使化工生产自动控制从单点调节转向装置级协调，并影响装置运行边界。

1 DCS 系统在化工生产过程中的应用价值

1.1 保障连续化生产装置稳定运行

化工生产具有连续进料、连续反应、连续分离和公用工程连续供给特征，温度、压力、流量、液位和组分之间存在耦合。分散控制系统（Distributed Control System，DCS）把控制器、I/O 卡件、操作站和工程师站分布在现场与控制室之间，使关键调节动作靠近过程对象完成^[1]。对于反应釜、精馏塔、储罐和尾气吸收单元，DCS 的稳定性体现在采集信号进入控制器后，回路可按采样周期完成偏差计算和输出更新。

1.2 提升化工生产资源利用效率

化工装置的能耗、物耗和产品质量并不是孤立指标。蒸汽阀门开度偏大会提高再沸器负荷，也会带来冷凝负荷和塔顶组分波动；循环水流量不足会影响换热端温差，进一步改变反应温升和分离效率^[2]。DCS 统一采集现场仪表、变频器、调节阀和计量设备状态，使操作人员在同一时间轴上观察能量输入、物料流向和质量偏差，把装置负荷和执行机构响应保持在可解释范围内。

1.3 推动化工生产过程数字化管控

历史数据库保存过程变量、报警记录和操作事件，MES 从 DCS 取得批次、产量、能耗和关键质量变量，APC 依赖稳

定数据接口和可执行控制输出。若现场仪表、控制站和信息系统之间缺少一致的数据标签，后续分析只能停留在离线报表层面。DCS 应用把实时控制、报警联锁、趋势追踪和生产统计连接起来，使工艺人员追溯波动来源，并把异常处置从事后查询前移到运行中判断。

2 DCS 系统在化工生产过程中的控制应用

2.1 现场总线接口支撑生产监控

现场层数据质量决定 DCS 控制质量。温度变送器、压力变送器、质量流量计、液位计和在线分析仪进入 I/O 卡件前，应完成量程、单位、报警限、阻尼时间和故障状态定义；对易燃、腐蚀或高温介质，还要区分普通过程测量、联锁测量和趋势分析辅助测点^[3]。模拟电流、HART、Foundation Fieldbus 和工业以太网接口可以并存，DCS 组态应把变量名称、设备位号和工程单位统一到控制数据库。进入控制器前形成控制滤波偏差，可降低现场总线接口支撑生产监控时的噪声放大风险。现场总线接口支撑生产监控链路见图 1。

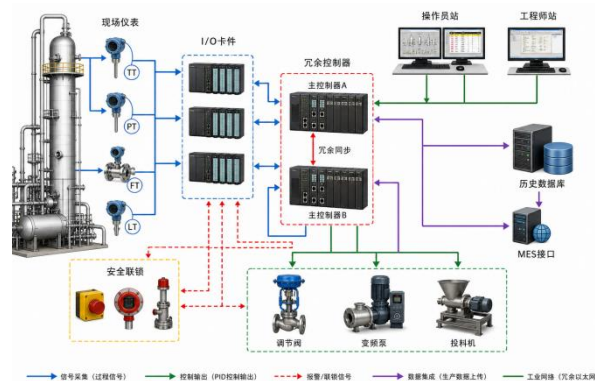


图 1 化工生产 DCS 控制链路拓扑示意

图 1 显示，现场仪表信号先进入 I/O 卡件，再送入冗余控制器；调节阀、变频器泵和投料机接收控制输出，安全联锁信号

独立回到 I/O 侧，历史数据库和 MES 接口承担生产监控数据上传。

图 1 已经界定现场总线接口、I/O 卡件和冗余控制器之间的信号边界，但生产监控还要处理采样噪声和瞬时扰动。若测量值未经滤波便直接进入控制器，报警记录和趋势曲线会放大现场干扰；控制关系需要把设定值、测量值、滤波系数和延迟算子放在同一式中，并服务后续回路计算。控制滤波偏差按式（1）表达。

$$E_k = \frac{\alpha(r_k - y_k)}{1 - (1 - \alpha)z^{-1}} \quad (1)$$

式（1）中， E_k 为控制滤波偏差且单位为工程单位； α 为输入滤波系数且单位为无量纲； r_k 为第 k 次采样回路设定值且单位为工程单位； y_k 为第 k 次采样现场测量值且单位为工程单位； z 为离散延迟算子且单位为无量纲。

2.2 生产线上调节阀控制回路集成

调节阀、变频泵和加料机构是 DCS 作用到生产过程的主要执行端。温度回路采样周期可设为 2s，压力回路可设为 1s，阀门输出边界设为 4mA 至 20mA，单周期变化量不超过 2mA；这些配置把响应速度、执行能力和扰动抑制放在同一回路内^[4]。DCS 组态时应确认被控变量、操纵变量、测量滞后和执行机构死区，再设置手自动切换、输出限幅、联锁旁路权限和扰动恢复观察周期。控制器输出增量决定调节阀或变频泵的动作幅度。控制器输出增量按式（2）计算。

$$D_k = K_p(E_k - E_{k-1}) + K_i T_s E_k + \frac{K_d}{T_s}(E_k - 2E_{k-1} + E_{k-2}) \quad (2)$$

式（2）中， D_k 为控制器输出增量且单位为毫安或开度命令； K_p 为比例增益且单位为无量纲或工程量换算系数； K_i 为积分增益且单位为每秒； K_d 为微分增益且单位为秒； T_s 为 DCS 控制采样周期且单位为秒； E_k 为当前控制滤波偏差且单位为工程单位； E_{k-1} 为上一次控制滤波偏差且单位为工程单位； E_{k-2} 为前两次控制滤波偏差且单位为工程单位。

2.3 自动化批量配料系统执行配比投料控制

批量配料单元包含计量、投料、搅拌、温控和阀门切换，顺序控制更易受动作互锁影响。DCS 应把原料罐选择、计量罐置零、阀门开关确认、流量累计、搅拌启动和温度保持分解为可追踪步骤；反应釜温度压力配置 18 点采集、1s 采样周期和 6 个控制回路，精馏塔温度流量配置 24 点采集、2s 采样周期和 8 个控制回路，批量配料投料配置 20 点采集、1s 采样周期和 7 个控制回路。投料控制依靠采集点、联锁输入和执行机构数量区分 DCS 资源配置。主要控制对象的配置参数见表 1。

表 1 化工 DCS 关键控制对象配置参数

控制对象	采集点数/点	采样周期/s	控制回路数/个	联锁输入数/点	执行机构数/台
反应釜温度压力	18	1	6	10	5
精馏塔温度流量	24	2	8	8	6
储罐液位氮封	16	3	5	12	4
批量配料投料	20	1	7	6	7
循环冷却水单元	14	5	4	4	5
尾气吸收洗涤	12	2	4	8	4

表 1 中，精馏塔温度流量对象配置 24 个采集点和 8 个控制回路，说明多变量耦合单元需要更密集的测量与调节资源；反应釜温度压力对象联锁输入达到 10 点，表明放热反应、压力越限和冷却失效进入安全通道。

2.4 先进过程控制模块在生产单元中的应用

装置变量存在明显耦合、约束和时滞时，常规 PID 只能维持基础稳定。APC 或模型预测控制可在 DCS 稳定回路之上工作，把塔顶温度、回流比、蒸汽流量和产品质量约束放入同一协调问题，向基础回路下发可执行设定值。此类模块不替代 DCS，反而要求 DCS 先具备可靠采集、手自动切换、报警管理和执行机构健康诊断。APC 每 5min 滚动计算设定值时，控制限幅输出仍应服从 4mA 至 20mA 边界和 2mA 单周期变化约束。高层设定下发后，控制限幅输出按式（3）约束。

$$U_k = \min(u_{\max}, \max(u_{\min}, U_{k-1} + \min(d_{\max}, \max(-d_{\max}, D_k)))) \quad (3)$$

式（3）中， U_k 为控制限幅输出且单位为毫安或开度命令； U_{k-1} 为上一次控制限幅输出且单位为毫安或开度命令； D_k 为控制器输出增量且单位为毫安或开度命令； $d_{\max}$ 为单周期允许最大输出变化量且单位为毫安或开度命令； $u_{\min}$ 为执行机构允许最小输出且单位为毫安或开度命令； $u_{\max}$ 为执行机构允许最大输出且单位为毫安或开度命令。

3 结语

DCS 系统在化工生产过程自动控制中的应用，应围绕现

场变量、控制回路、顺序动作和数据接口形成连续控制链路。现场总线和 I/O 卡件保证温度、压力、流量、液位等变量进入统一数据库，PID 回路把偏差转化为调节阀、变频泵和投料机输出，批量配料顺控用步骤条件和异常出口控制投料节奏。

对于变量耦合明显的反应与分离单元，APC 模块依托稳定基础回路、准确标签体系和可靠执行机构发挥设定值协调作用。化工企业还应同步配置冗余控制、安全联锁和报警分级。

参考文献:

- [1] 梁华毅.DCS 控制系统在精细化工中的应用[J].数字技术与应用,2026,44(7):226-228.
- [2] 杨超,苏涛,贾泉.化工 DCS 仪表参数整定方法与优化控制策略[J].化纤与纺织技术,2026,55(6):137-139.
- [3] 李小帆,孝志辉.化工干燥设备自动仪表控制系统改造与实践[J].化学工程与装备,2026,(6):94-96.
- [4] 李静.DCS 系统在复杂化工工艺中的落地与增效[J].中国石油和化工,2026,(6):102-104.