

化工装置 DCS 系统仪表设计与应用

费志坤

江西省化学工业设计院 江西 南昌 330000

【摘要】：为解决化工装置运行中数据价值挖掘不足与控制策略优化滞后问题，研究构建了基于 DCS 系统的稳定性诊断与优化控制方案，围绕化工装置仪表的整体设计、设备选型、系统组态、安装调试及工程应用展开系统性研究。结合化工高温、高压、易燃易爆的特殊工况，梳理 DCS 仪表系统的设计原则与核心架构，优化温度、压力、流量等关键参数检测与控制方案，解决仪表信号干扰、数据传输滞后、控制精度不足等工程常见问题。优化后的 DCS 仪表系统可有效提升生产自动化水平、控制精度与运行安全性，可为同类化工自控系统设计改造提供参考。

【关键词】：化工装置；DCS 系统；自动化仪表；仪表设计；工程应用

DOI:10.12417/3083-5526.25.10.034

引言

随着现代化工工业向智能化、集成化方向发展，基于 DCS 系统的海量工艺数据已成为提升装置运行稳定性的重要资源。DCS 分散式控制系统凭借分散控制、集中管理、冗余可靠的技术优势，成为化工装置自动化控制的核心载体，而现场仪表作为系统数据采集与指令执行的终端，其设计合理性与运行稳定性直接决定 DCS 系统整体性能。当前部分化工装置存在仪表选型不匹配、布线设计不规范、组态策略不合理等问题，制约生产效率与安全管控水平。基于此，本文结合化工生产工况特点，系统开展 DCS 系统仪表设计研究，优化应用方案，助力化工生产提质增效、安全可控。

1 DCS 系统与化工仪表概述

1.1 DCS 系统核心原理与架构

DCS（分散控制系统）是一种以微处理器为核心，实现分散控制与集中管理的综合自动化系统。在化工装置中，DCS 系统承担着过程监控、数据采集、逻辑运算及联锁保护等核心功能，是保障装置安全稳定运行的关键技术装备。整套系统采用分层架构，主要分为现场设备层、现场控制层、操作监控层与系统管理层，各层级独立运行又协同联动，有效规避集中控制系统单点故障引发的整体停机问题，大幅提升化工装置运行稳定性。现场设备层以各类自动化仪表、执行机构为核心，负责工艺参数实时采集与控制指令执行；现场控制层由 DCS 现场控制站、IO 模块组成，完成数据运算、逻辑控制、PID 调节等核心功能；操作监控层包含操作员站、工程师站，实现生产状态实时监控、参数手动调整、系统组态维护；系统管理层依托工业网络，完成数据存储、数据分析与生产调度管理。同时系统配备冗余电源、冗余网络与冗余控制模块，可有效应对化工生产复杂工况下的设备故障、信号干扰等问题，保障系统 24 小时连续运行。

1.2 化工 DCS 仪表分类与功能特点

化工装置 DCS 配套仪表分为检测仪表、控制仪表和执行

仪表三大类，各类仪表适应化工特殊工况，具有防爆、防腐、耐高温、抗干扰等特点。检测仪表是系统感知终端，主要由温度、压力、流量、液位仪表组成，采集生产全过程工艺参数，把物理信号转化为标准 4-20mA 电信号或者数字信号，给 DCS 控制运算提供数据支持。温度仪表以热电偶、热电阻为主，适合反应釜、加热炉等高温设备测温；压力、差压仪表多用于管道、反应器压力监测，保证设备承压安全；流量、液位仪表实现物料输送和储罐储量的精准监测。执行仪表以调节阀、电磁阀为主，接收 DCS 系统下发的控制指令，准确调节物料流量、介质压力、反应温度等参数，是实现自动化闭环控制的关键设备。控制仪表依靠 DCS IO 模块和控制程序来完成信号转换、数据滤波、逻辑运算、参数调节。相比普通工业仪表，化工 DCS 仪表信号传输稳定、响应速度快、精度高、防爆等级达标，适合化工易燃易爆、强腐蚀、多粉尘的恶劣生产环境，满足连续化生产的严格要求^[1]。

2 化工装置 DCS 系统仪表整体设计原则

2.1 安全可靠原则

安全是化工仪表设计的第一原则，化工生产介质大多具有易燃易爆、有毒腐蚀的特点，装置运行工况复杂，仪表设计要优先保证系统的本质安全。设计时仪表选型要与现场防爆等级、防腐等级、温度压力工况相匹配，爆炸危险区域选用 Ex d、Ex ia 级防爆仪表，腐蚀性介质场景选用不锈钢、衬四氟等防腐材质。关键工艺参数检测回路、紧急联锁回路要采用冗余设计，防止由于单一仪表故障造成生产波动或者安全事故。仪表信号回路要进行隔离、接地、抗干扰设计，防止工业强电、电磁设备引起信号失真、数据跳变，保证仪表长期稳定运行。

2.2 精准适配性原则

仪表设计要紧密贴合化工生产工艺要求，实现仪表参数、量程、精度与生产工况的精准匹配。设计前要对装置工艺流程、设备运行参数、工艺控制指标进行梳理，确定各个监测点位的测量范围、控制精度、响应速度要求。对精细化工、石化深加

工等高精度生产环境，选用高精度智能仪表来降低检测误差；对大范围、波动剧烈的工艺参数，对仪表量程进行优化，避免量程过大造成精度不够、量程过小造成超量程损坏的问题。仪表控制逻辑、组态策略要适应工艺特性，对于滞后性强、惯性大的反应工艺，优化 PID 控制参数，提高闭环控制精度。

2.3 经济实用性与可维护性原则

化工 DCS 仪表设计要兼顾技术先进性与经济合理性，不能出现过度设计、设备冗余浪费的现象。在工艺控制、安全运行标准的基础上，优先选用性价比高、市场应用成熟、通用性强的智能仪表，降低设备采购和升级改造成本。设计时还要考虑后期运维的方便性，统一仪表通信协议、设备型号、接口标准，便于故障排查、设备更换、系统扩容。仪表安装点位应留有检修空间，布线、接线规范标准化，配套运维参数可查询、可调试，有效降低后期运维难度和停机检修成本，保证装置长期高效运行。

3 化工装置 DCS 系统仪表关键设计内容

3.1 仪表选型设计

仪表选型是 DCS 仪表系统设计的核心环节，直接影响系统检测精度和运行可靠性，应根据工艺工况、介质特性、控制要求综合选型。温度检测上，常温常压通用工况一般采用 PT100 热电阻，精度高、稳定性好；高温、高速工况采用热电偶，适合加热炉、裂解装置等高温测温，根据介质腐蚀程度选择保护套管材质。压力检测上，普通气体、液体介质用普通压力变送器，高压、负压、腐蚀性介质用智能差压变送器，可以有效避免介质干扰，提高检测稳定性。流量检测选型要根据介质状态、流速、黏度特性，清水、轻质油品等洁净介质选用电磁流量计、涡轮流量计；高温、高压、黏稠介质及气体介质选用孔板流量计、涡街流量计；小流量、高精度计量场景选用质量流量计。液位检测方面，储罐、反应设备通用场景使用磁翻板液位计配合液位变送器，实现就地显示和远程监控密闭、高压设备使用雷达液位计、超声波液位计，避免介质挥发、压力波动对检测精度的影响。执行机构选型要符合管道工况和调节精度要求，常规调节场景选用气动薄膜调节阀，高精度、快速调节场景选用电动调节阀，紧急切断工况配套电磁阀，保证连锁动作可靠^[2]。

3.2 仪表信号与布线设计

信号传输的稳定性是 DCS 系统精准控制的前提，化工现场电磁干扰复杂，需要科学地开展仪表信号和布线设计。化工 DCS 仪表主要采用 4-20mA 模拟量信号和 HART 数字信号相结合的传输方式，可以实现模拟量准确传输和数字量参数调试、故障诊断双重功能。布线设计严格区分强电和弱电线路，仪表信号电缆采用屏蔽双绞线，单独穿管敷设，与动力电缆保持安全间距，防止电磁耦合干扰。所有的信号电缆屏蔽层都采用单

端接地方式，避免多点接地造成的环流干扰，保证信号传输无失真、无跳变。同时对关键连锁信号、重要工艺参数信号采用双电缆冗余布线方式，防止线路破损、接触不良造成信号中断。布线时按照规范要求，电缆走向清楚、标识齐全，避开高温、振动、腐蚀的地方，减少线路老化、损坏的风险。仪表供电采用隔离稳压电源，独立于动力设备供电系统，防止电压波动影响仪表运行，保证整套信号系统稳定可靠^[3]。

3.3 DCS 控制组态设计

组态设计是实现 DCS 仪表自动化控制的关键，依靠 DCS 工程师站来完成参数配置、逻辑编程、画面组态和控制策略的优化。首先进行 IO 点组态，完成现场仪表信号点位的地址匹配、量程标定、信号采集设置，建立现场仪表与 DCS 系统数据对接关系。其次进行监控画面组态，按照工艺流程绘制装置监控界面，实时显示温度、压力、流量、液位等主要参数，设置参数超限变色、弹窗报警功能，方便操作人员实时掌握生产状态。控制逻辑组态主要对闭环控制、连锁保护程序进行优化，对于连续生产工艺，采用 PID 自适应调节算法，根据工艺滞后特性调节比例、积分、微分参数，解决参数超调、波动问题。根据化工高危工况设计紧急连锁逻辑，温度、压力、液位等参数超限或者设备故障时，自动触发阀门切断、设备停机、报警提示等动作，避免安全风险。同时完成历史曲线、报表统计、故障记录等功能组态，实现生产数据全程追溯，为工艺优化、故障分析提供数据支持。

3.4 仪表防爆与接地设计

化工装置大多处在爆炸危险环境当中，仪表防爆和接地设计是保证安全生产的重要部分。防爆设计严格遵循 GB3836 防爆标准，危险区域内所有的仪表、接线箱、电缆接头均采用防爆型设备，杜绝电气火花引发爆炸风险。仪表安装时严格密封，防止易燃易爆介质进入设备内部，根据危险区域等级划分，选用相应的防爆型式，0 区、1 区高危区域选用本安型防爆仪表，2 区选用隔爆型仪表。接地设计分为保护接地、工作接地、屏蔽接地，保护接地将仪表、机柜金属外壳可靠接地，防止设备漏电造成触电事故；工作接地保证仪表信号传输基准电位稳定，降低检测误差；屏蔽接地消除电磁干扰，保证信号稳定。整套接地系统单独布设，接地电阻严格控制在规范范围内，杜绝与防雷接地、动力接地混用，全面提升仪表系统运行安全性与稳定性^[4]。

4 化工 DCS 系统仪表安装调试要点

4.1 仪表安装施工规范

仪表安装质量影响系统运行效果，施工过程中要严格按照化工自动化仪表施工规范进行。仪表安装点位要符合工艺要求，检测仪表应安装在介质流动稳定、无涡流、无死角的地方，不能在管道弯头、阀门附近安装，减少检测误差。温度仪表安

装要保证测温元件与介质充分接触,插入深度符合规范要求;压力仪表取压口开设合理,防止积液、积气影响检测精度;流量仪表严格区分安装方向,保证介质流向与仪表标识一致。执行机构安装要保证阀门动作灵活、密封严密,传动机构无卡顿、无松动。电缆敷设、接线施工标准化,线缆固定牢固、排列整齐,接线端子压接紧密,杜绝虚接、错接问题。防爆区域施工完毕后,对密封性能进行严格检查,清理施工杂物,保证防爆完整性。所有安装工序完成后,做好设备标识、管线标识,为后续调试和运维工作做好铺垫。

4.2 系统调试与参数优化

安装完成后要开展分阶段调试工作,分为单体调试、回路调试和系统联调。单体调试是对单台仪表进行精度校验、信号测试、动作试验,排查仪表设备故障、量程偏差、信号异常等问题,保证单台设备运行正常。回路调试是对完整的检测控制回路进行模拟工艺参数变化的测试,测试信号传输、参数显示、阀门调节的联动效果,校验回路控制精度和响应速度。系统联调依靠 DCS 系统,对各个工艺单元的联动控制、连锁保护、报警功能进行测试,检验极端工况下系统应急处置能力。调试

时重点对 PID 控制参数进行优化,对温度、压力等滞后性工艺参数进行多次调试整定,消除参数波动和超调现象。排查信号干扰、数据滞后、连锁误动作等问题,一项一项地整改优化,保证整个仪表系统满足生产工艺和安全运行的要求。调试完成后形成完整的调试报告,保存参数数据,为后期运维提供依据。

5 结语

本文系统研究化工装置 DCS 系统仪表的设计体系与工程应用要点,结合化工复杂工况,明确仪表设计的核心原则,细化选型、信号、组态、防爆接地等关键设计内容,梳理安装调试规范与常见故障优化方案。DCS 仪表系统作为化工智能化生产的核心终端,其设计与应用质量直接关乎生产精度、效率与安全。随着化工产业智能化升级加速,智能传感、数字孪生、工业互联网等技术将与 DCS 仪表系统深度融合。未来需进一步优化智能化设计方案,提升仪表自主诊断、智能调控、远程运维能力,推动化工自控系统向高精度、高可靠、智能化、无人化方向发展,为化工产业安全高效、绿色低碳发展提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 符国谊. DCS 系统架构设计与实时性能分析——以某化工单位 DCS 为例[J].数字通信世界,2024,(11):68-70.
- [2] 刘成,叶长波. 化工安全生产中 DCS 控制系统的升级改造研究[J].石化技术,2024,31(9):53-55.
- [3] 李峥鸣. 化工企业生产中的 DCS 自动仪表系统故障维修技术[J].仪器仪表用户,2024,31(4):72-74.
- [4] 李成凯,范宗海,张晓刚,等. DCS 远程通用 I/O 技术在石油化工装置中的设计与应用[J].石油化工自动化,2023,59(4):33-36.