

DCS 控制系统在化工仪表中的应用分析

李 聪

(中国石油化工股份有限公司济南分公司, 山东 济南 250100)

摘 要 随着科学技术的快速发展, 自动化技术已在各个领域占据着主导地位。化工仪表自动化, 即利用计算机技术将化工仪表应用在自动控制器中实现化工生产自动化。分散控制系统 (Distributed Control System, 简称 DCS, 也称“集散控制系统”) 就是一种典型的先进工业自动化控制系统。在工业自动化领域, 组态软件扮演着不可或缺的角色, 可实现工业可视化。DCS 控制系统的组建同样需要相应的组态软件实现。本文以中控 DCS 的 ECS-700 组态软件为例, 针对仪表自动控制系统的单回路控制和串级控制、DCS 控制系统的组成及组态等简单应用进行研究, 以期为相关人员提供借鉴。

关键词 DCS 控制系统; 单回路控制; 串级控制; 过程检测仪表

中图分类号: TQ06; TP273

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.03.023

0 引言

DCS 是一种实现过程控制与工厂管理一体化的综合自动化系统, 可实现生产流程的自动化监视、操作与运营管理, 节约人力, 极大地提高了生产效率, 降低了成本, 且提升了产品的质量^[1]。DCS 控制系统主要依靠组态软件得以实现, 成熟的组态软件在化工生产中扮演着至关重要的角色, 为工程师提供实现工业自动化系统所需的工具和功能。目前, 多数企业主要采用横河 DCS 和中控 DCS 的组态软件。由于目前国产化的趋势, 未来将会大范围采用中控 DCS, 因此本文主要对中控 DCS 系统进行相关阐述。

1 自动控制系统

1.1 自动控制系统的分类

自动控制系统指的是利用自动控制装置将某些工艺参数自动控制在设定值范围内, 当有干扰出现时, 仍能使所控制的工艺参数不受干扰影响而偏离设定值, 最终将参数控制在设定值附近。

自动控制系统的性能主要体现在稳定性、快速性和准确性三个方面:

1. 稳定性: 在输入扰动下, 系统仍能保持平衡状态。倘若系统不稳定, 那么将会表现为持续振荡或发散, 始终无法达到平衡状态。

2. 快速性: 当有干扰出现时, 系统的响应速度体现在动态响应时间以及稳态误差上。

3. 准确性: 系统的最终输出与设定值的误差。

稳定性是自控系统的前提, 快速性和准确性是自动系统的保障, 三者共同决定着自动控制系统的整体性能。

自动控制系统可分为简单控制系统和复杂控制系统。简单控制系统由被控对象、用于测量与检测的变送器、用于运算的控制器以及用于执行的调节阀这四大基本环节组成^[2], 按闭环反馈原理构成一个回路。与之相对应的是, 在结构、策略或功能上更为高级的系统, 则被称为复杂控制系统。当前工业过程中广泛采用的串级、均匀、比值、前馈—反馈及分程等系统, 均属于复杂控制系统的典型范畴。它们的共同结构特点是: 系统内至少包含两个测量变送器、控制器或控制阀。在石油化工生产中, 某些被控对象其动态特性表现为严重滞后和较大的时间常数, 然而根据工艺要求, 变量又需要严格把控控制精度, 此时, 简单的控制系统难以满足需求, 转而采用串级控制系统是普遍选择。

1.2 单回路与串级控制比较

现以重整加热炉 F-204A 为例, 对单回路控制和串级控制两种控制策略进行对比。其中, 燃料气作为操作变量, 控制炉温度。当调节阀直接控制温度时, 就是单回路控制。而串级控制指的是, 调节阀控制燃料气流量, 通过对流量的控制, 实现炉温度的控制, 其控制系统图如图 1 所示。

作者简介: 李聪 (1994-), 女, 硕士研究生, 助理工程师, 研究方向: 仪表自动化。

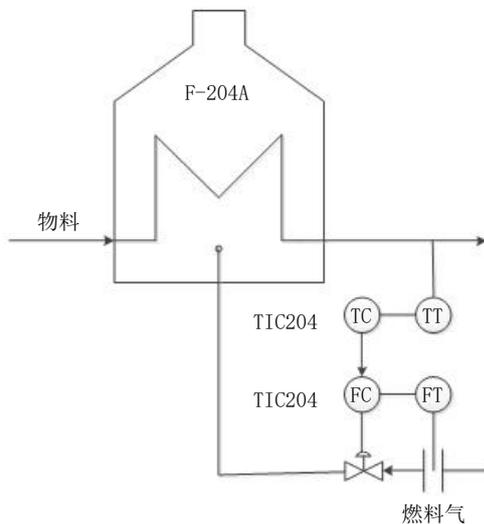


图1 加热炉出口温度串级控制系统

经查阅资料及计算可知，温度对象传递函数与流量对象传递函数分别为：

$$G_{01} = \frac{1}{(30s+1)(3s+1)}, G_{02} = \frac{1}{(10s+1)(s+1)^2}$$

为比较两种控制方式的性能，在 MATLAB 环境中建立模型并仿真，获取二者的阶跃响应对比图 2 左。由图可见，与单回路控制相比，串级控制的核心优势体现在其更快的响应速度以及更稳定的控制效果上。在两种控制已达到稳定状态下，在温度对象前引入阶跃干扰（均产生于 120 s）来模拟两种策略对干扰的响应速度及稳定误差，得到响应图 2 右。可见，串级控制对干扰的响应速度更快，稳态误差更小。从而得出结论：串级控制抗干扰能力强于单回路控制的抗干扰能力。

通过本次简单的仿真实验，可得出结论，在化工生产中，仅凭简单的单回路控制是很难实现复杂的生

产过程的，必须借助复杂控制回路来实现，而串级控制系统是工业中较常用的复杂控制回路。

2 DCS 控制系统

2.1 DCS 控制系统组成

DCS 由控制站、操作站和数据通信总线组成。其中，控制站作为 DCS 的核心单元，负责直接采集现场 I/O 数据、执行控制运算，从而实现对整个工业过程的实时控制^[3]。以中控技术旗下的 ECS-700 系统为例，ECS-700 由控制器模块、I/O 模块、通信模块、VisualField 软件包组成。控制器模块、I/O 模块、通讯模块组成了系统的控制站。VisualField 软件包包括控制组态软件和监控软件。工程师站配备了专用的组态软件平台。工程师利用该平台，可根据特定工艺需求构建完整的应用系统，完成对软硬件组态的创建、编辑，并将最终配置下载至控制系统。操作员站通过其运行的实时监控软件，构建了与控制站的双向通信链路：一方面接收来自控制站的实时过程数据用于监视现场工艺过程，另一方面则向其发送操作命令用于控制现场设备。

2.2 ECS-700 系统 I/O 位号及 AI 应用

2.2.1 ECS-700 的 I/O 位号

I/O 位号包括模拟输入位号 (AI)，模拟输出位号 (AO)，数字输入位号 (DI)，数字输出位号 (DO)。AI 位号可兼容多种类型的信号，其信号源包括常规 AI、热电阻、热电偶、脉冲量等^[4]。在组态配置下，这些原始信号经过处理后可转换为可直接使用的工程量。AO 位号作为控制输出的通道，负责将运算得到的模拟量控制指令传送至 AO 模块，进而直接控制现场执行机构的动作。现场设备的开关量状态信号首先通过 DI 模块接入系统，由对应的 DI 位号进行采集。该位号根据

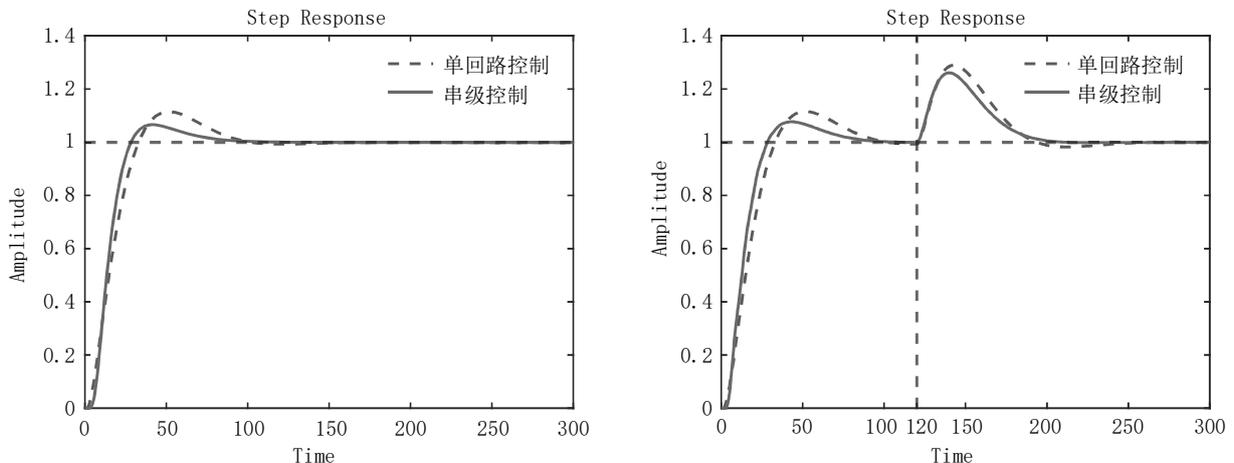


图2 单回路与串级控制对比图

预设的组态逻辑对原始信号进行处理,从而确定其最终的开关状态值。控制系统中运算产生的开关量指令,通过 DO 位号传递给 DO 输出模块。该模块根据指令动作,最终实现对现场设备(如报警灯、电机接触器)的状态指示或直接控制。

2.2.2 化工过程检测仪表在 DCS 的显示

石油化工生产的安全、稳定、长周期及高效运行,必须建立在对生产过程温度、压力、流量和液位等参数的实时精确测量基础之上,用于完成过程参数检测任务的设备统称为过程检测仪表。压力及液位在 DCS 的显示,其组态相对简单。控制系统需要配备 AI-711 模拟信号输入卡件。在相应控制站,对应的卡件地址,进行位号组态即可,组态内容包括:位号、位号说明、量程、单位等。

例如:某炼油厂采用热电偶和热电阻进行温度的检测。温度仪表在 DCS 上的显示分三种情况,第一种现场为温度变送器,则 DCS 可使用 AI-711 模拟信号输入卡件,通过组态可直接在 DCS 上显示。第二种现场无温度变送器,但在机柜内采用温度安全栅,则 DCS 仍使用 AI-711 模拟信号输入卡件。第三种现场测量仪表无变送器,也无温度安全栅,则可以使用相对应的 AI-722 热电偶输入卡件、AI-731 热电阻输入卡件。若为前两种情况,只需要在对应的常规卡件地址处进行位号组态即可。若为第三种情况,需先对卡件进行相应的配置。AI-722 需要配置该通道的热电偶类型以及设置量程。AI-731 则需要配置三线制或四线制采样模式、热电阻类型以及设置量程。

流量仪表在 DCS 的组态需注意选择是否进行开方,一般若为差压式测量方法,往往都需要进行开方运算。例如:电磁、超声波、涡街、转子等流量计一般都不需要开方运算。有些流量仪表还需要具有累计显示功能,可使用积分功能块实现。积分功能块中的模式设置有三种:0 代表限幅,1 代表自动复位,2 代表始终累积,一般选择模式 2。

2.3 单回路与串级回路组态

现以图 1 为例,进行单回路与串级回路的组态工作。其中,单回路是对温度的自动控制,采用 PID 功能块实现。常见的串级控制有加热炉温度+流量控制,温度+压力控制,汽包液位+流量控制。图 1 中串级控制则是典型的加热炉温度+流量控制形式,即通过流量来控制温度。

为实现无扰动切换,在 PID 控制回路中,A0 位号

内置了反演计算功能。该功能会生成一个反演计算输出值(BKOUT),并回馈至上游功能块作为其反演输入。其核心逻辑是令 BKOUT 始终等于 A0 位号的当前输出值(OUT),即 $BKOUT=OUT$ 。当 A0 位号处于强制输出状态时,其所在的 PID 控制回路被视为处于开环状态^[5]。在此状态下,上游功能块的输出值将不再由自身算法决定,而是直接跟踪其反演输入值。这样一旦 A0 强制状态解除,就实现了无扰切换。BKOUTERR 与上游功能块的 BKINERR 相连,若 A0 位号进入 OOS、跟踪、强制或故障安全任一状态,其错误状态输出(BKOUTERR)将置为 ON,由于 BKOUTERR 与上游功能块的 BKINERR 相连,此信号会直接导致上游功能块切换至 IMAN(初始化手动)状态,从而起到保护作用。其关系可描述为 $PID.MV=PID.BKIN=A0.BKOUT=A0.OUT$ 。

串级控制通过主、副回路的功能分工实现更优控制。主回路 TIC204 负责根据被控变量温度 TI204 与温度设定值的偏差进行计算,但其输出并不直接驱动调节阀,而是作为副回路 FIC204 的设定值。副控制器将据此设定值与副被控变量测量值进行比较和 PID 运算,其输出结果才最终作用于调节阀。

3 结束语

本文在介绍仪表自动控制系统的基础上,通过对重整加热炉相关参数的仿真实验,对比了单回路与串级控制的性能,证明了后者在响应速度、稳定性和干扰能力上均优于前者。以中控 ECS-700 为例对 DCS 控制系统进行详细的介绍,包括 I/O 位号组态以及化工 4 个过程参数在 DCS 显示的简单组态、单回路和串级控制组态,旨在为促进 DCS 控制系统在化工仪表中的应用提供参考。

参考文献:

- [1] 申圣强,黄国新,于英杰.化工安全生产中 DCS 自动化控制的应用[J].石油化工安全环保技术,2024,40(02):4-6,35.
- [2] 王佳琦.石油化工仪表中的自动化控制技术探讨[J].科学与信息化,2025(10):111-113.
- [3] 陈静云.基于 DCS 控制系统的化工自动化控制[J].中国石油和化工标准与质量,2023,43(02):124-126.
- [4] 董振锋.ECS-700 在化工自动化控制的应用[J].今日制造升级,2023(04):104-107.
- [5] 毕涛,刘迪,杨莉莉.基于串级控制系统控制液位的设计与分析[J].船电技术,2022,42(01):1-4.