

石油化工仪表DCS系统研究

刘小弟 闫亮亮 刘 泉 王锦彪

陕西延长石油榆林煤化有限公司 陕西 榆林 719000

摘 要：本文聚焦石油化工仪表DCS系统展开深入研究。详细剖析其国产化进程加速，国内企业凭借技术突破与成本优势，提升市场地位，改变竞争格局。同时，探讨新技术如人工智能、物联网、5G在系统中的创新应用，以及石化行业对系统在安全、环保、智能化管理方面的新需求。研究表明，DCS系统正朝着国产化程度更高、技术更先进、满足行业多元需求的方向发展，为石油化工行业的高效、安全、绿色生产提供关键支撑。

关键词：石油化工；仪表控制系统；DCS（分布式控制系统）

1 石油化工仪表 DCS 系统概述

1.1 DCS系统基本概念与架构

DCS即集散控制系统（DistributedControlSystem），是一种通过计算机技术、控制技术、通信技术和图形显示技术实现对生产过程集中管理和分散控制的自动化系统。它打破了传统集中式控制系统高度集中的架构模式，采用分散控制单元（DCU）对现场设备进行直接控制，每个分散控制单元负责特定区域或功能的控制任务，可独立运行，即使某个单元出现故障，也不会影响整个系统的其他部分。

在架构上，DCS系统主要由过程控制层、过程管理层和生产管理层组成。过程控制层包含各类传感器、执行器以及分散控制单元，负责实时采集现场数据，并依据控制策略对执行器发出控制指令。过程管理层通过操作站和工程师站实现，操作站供操作人员实时监控生产过程，进行参数调整等操作；工程师站则用于系统的组态、维护和优化。生产管理层通常与企业的管理信息系统相连，实现生产数据的汇总、分析，为企业决策提供依据，例如依据生产数据制定生产计划、优化资源配置等。

1.2 石油化工仪表在DCS系统中的作用

石油化工仪表是DCS系统获取生产过程信息以及对生产过程进行精确控制的关键部件。检测仪表如温度传感器、压力变送器、流量传感器等，实时采集石油化工生产过程中的温度、压力、流量、液位等各种物理参数。这些参数作为DCS系统的输入信号，是系统了解生产过程实时状态的基础。控制仪表如调节阀、电磁阀等，根据DCS系统发出的控制信号，对生产过程中的物料流量、能量供应等进行调节^[1]。当DCS系统根据采集数据判断生产过程偏离设定值时，会向控制仪表发送指令，如调节调节阀开度，改变物料输送量，从而使生产过程恢复到正常状态，确保产品质量和生产效率的稳

定。石油化工仪表与DCS系统紧密协作，保证了整个生产过程的安全、稳定、高效运行。

1.3 DCS系统在石油化工生产中的应用场景

在石油化工生产中，DCS系统应用极为广泛。在原油蒸馏装置中，DCS系统通过对各种石油化工仪表采集的数据进行处理，实现对蒸馏塔的温度、压力、流量等参数的精确控制，确保不同沸点的馏分能够精准分离，产出合格的汽油、柴油、煤油等产品。在乙烯生产装置里，DCS系统实时监控裂解炉的运行参数，根据原料性质和生产目标，调整裂解炉的进料量、炉温等，保证乙烯的高产率和质量稳定性。在石油化工企业的罐区管理方面，DCS系统与液位计、压力计等仪表配合，实时监测储罐的液位、压力等情况，实现对油品储存和输送的自动化控制，确保罐区的安全运行。无论是连续化生产的大型装置，还是相对独立的辅助生产环节，DCS系统都能凭借其强大的集中管理和分散控制能力，提高石油化工生产的自动化水平，降低人工操作强度，提升企业的经济效益和安全生产水平。

2 石油化工仪表 DCS 系统关键技术

2.1 数据采集与传输技术

在石油化工仪表DCS系统中，数据采集与传输技术是保障系统实时掌控生产过程的基础。数据采集借助各类传感器与变送器，将温度、压力、流量、液位等物理量转换为电信号或数字信号。例如，热电阻温度传感器通过电阻值随温度变化的特性，把温度信息转化为电信号，再由变送器将其转换为标准信号（如4-20mA电流信号或0-5V电压信号），以便于传输和处理。数据传输则依托多种通信网络，现场总线技术如Profibus、FoundationFieldbus等，以其高可靠性和实时性，连接现场仪表与分散控制单元（DCU）。它们采用数字化通信方式，相较于传统模拟信号传输，减少了信号干扰，

提高了数据传输精度和速度。工业以太网在DCS系统中承担着更高层级的数据传输任务,连接操作站、工程师站以及管理层设备。通过以太网,大量生产数据能够快速汇总至上层系统,供操作人员监控和管理人员决策分析,实现了生产过程数据从底层现场到上层管理的顺畅流通。

2.2 控制算法与策略

控制算法与策略是DCS系统实现精准控制的核心。PID(比例-积分-微分)控制算法是最常用的基础算法之一。在石油化工生产中,以温度控制为例,PID算法根据设定温度值与实际测量温度的偏差,计算出控制量来调节加热或冷却设备。比例环节依据偏差大小成比例地调整输出,能快速对偏差做出响应;积分环节用于消除系统的稳态误差,随着时间积累偏差并调整输出;微分环节则根据偏差变化率提前预测偏差趋势,增强系统的动态响应能力^[2]。除了PID算法,先进控制策略在复杂石油化工过程中发挥着重要作用。模型预测控制(MPC)根据生产过程的数学模型,预测未来一段时间内的过程输出,并通过优化算法计算出最优控制序列。模糊控制则适用于难以建立精确数学模型的复杂过程,它将操作人员的经验总结为模糊规则,通过模糊推理确定控制量。在石油化工反应过程中,当反应条件复杂且难以精确描述时,模糊控制可依据反应温度、压力等模糊变量,合理调整反应参数,确保反应稳定进行。

2.3 系统可靠性与安全性技术

石油化工生产的特殊性决定了DCS系统可靠性与安全性技术至关重要。在硬件设计上,采用冗余技术提高可靠性。电源冗余通过配备多个电源模块,当一个电源出现故障时,其他电源可立即无缝切换,继续为系统供电,确保系统不间断运行。控制器冗余则设置主、备控制器,实时同步工作数据,一旦主控制器故障,备用控制器能迅速接管控制任务,保障生产过程不受影响。通信网络冗余通过构建冗余网络拓扑结构,如双环网或双星型网络,当一条通信链路出现故障时,数据可自动切换到备用链路传输,维持系统通信的畅通。安全性技术方面,设置多重安全防护措施,防火墙技术阻挡外部非法网络访问,防止网络攻击和恶意软件入侵DCS系统,保护生产数据安全。权限管理对系统操作人员和维护人员设置不同权限,只有经过授权的人员才能进行相应操作,系统具备完善的故障诊断与报警功能,实时监测系统硬件、软件以及生产过程参数,一旦检测到异常,立即发出声光报警信号,并记录故障信息,帮助维护人员快速定位和排除故障,保障石油化工生产的安全稳定运行。

3 石油化工仪表 DCS 系统的优化策略

3.1 石化行业仪器控制系统的设计需求

在石油化工行业,仪器控制系统的设计需契合复杂且严苛的生产环境。首先,高精度测量是关键需求。石化生产涉及多种化学反应与物理变化,精确的温度、压力、流量等参数测量对保障产品质量和生产安全至关重要。其次,系统应具备强大的兼容性。石化企业常采用多种品牌和型号的仪表设备,仪器控制系统要能无缝集成不同厂商的产品,实现数据的统一采集与处理。另外,由于石化生产多为连续化作业,系统需具备高可靠性与稳定性,确保在长时间运行中无故障,避免因系统故障引发生产中断,造成巨大经济损失。

3.2 自动化控制措施

自动化控制是提升DCS系统效率与精准度的核心策略。引入先进的控制算法,如模型预测控制(MPC)。在炼油过程的常减压蒸馏装置中,MPC可综合考虑原油性质、产品质量要求以及设备运行状态等多变量因素,通过建立精确的数学模型预测未来生产趋势,并实时优化控制参数,如调整蒸馏塔的回流比、加热炉的燃料量等,从而实现产品质量的稳定控制与能源的高效利用。实施智能联锁控制。在石化生产中,当某个关键参数超出安全范围或设备出现异常时,智能联锁系统迅速响应,自动执行一系列预设操作,如关停相关设备、启动备用设备或打开安全阀等,防止事故扩大,保障生产过程的安全。

3.3 远程监控技术的引入

远程监控技术为石油化工仪表DCS系统带来了极大便利。通过搭建远程监控平台,操作人员可在远离生产现场的控制中心实时获取设备运行数据、工艺参数等信息。借助高清视频监控与传感器数据融合技术,能够对生产设备进行全方位、实时的状态监测。远程控制功能允许操作人员在紧急情况下远程干预生产过程,如远程关停危险设备或调整关键参数,有效减少现场操作风险,提高应急响应速度。远程监控技术还便于专家远程会诊,当现场设备出现疑难故障时,异地专家可通过远程监控平台查看设备数据和运行状态,为现场维护人员提供技术支持,缩短故障排除时间^[3]。

3.4 通用I/O技术在DCS系统中的应用

通用I/O技术增强了DCS系统的灵活性与扩展性。它能够适配多种类型的输入输出信号,无论是传统的模拟量信号(如4-20mA电流信号、0-5V电压信号),还是数字量信号(如开关量信号),都能轻松接入DCS系统。在石化企业的老旧装置改造中,通用I/O模块可兼容原有

仪表设备的信号输出,无需大规模更换硬件,降低了改造成本。而且,其灵活的配置方式使得系统能够根据生产工艺的变化随时调整输入输出通道的功能。例如,当生产过程中新增一个监测点时,只需在通用I/O模块中进行简单的软件配置,即可将其接入DCS系统进行数据采集与控制,无需重新布线或更换复杂的硬件设备,大大提高了系统的可扩展性与适应性,满足石化行业不断变化的生产需求。

4 石油化工仪表 DCS 系统的发展趋势

4.1 国产化率的提升与市场竞争格局的变化

近年来,随着国内技术水平的不断提高,石油化工仪表DCS系统的国产化进程显著加速。国内企业通过持续加大研发投入,培养专业技术人才,逐渐掌握了DCS系统的核心技术。如今,国产DCS系统在性能和稳定性方面已可与国际知名品牌相媲美,且在价格上具有明显优势,这使得其在国内石油化工市场的占有率稳步上升。国产化率的提升对市场竞争格局产生了深远影响。一方面,本土企业凭借对国内市场需求的深入理解和快速响应能力,能够为客户提供更贴合实际需求的定制化解决方案,进一步巩固了市场地位。另一方面,国际品牌面临来自国产产品的激烈竞争,不得不调整市场策略,加强技术创新和本地化服务,以维持市场份额。

4.2 新技术在DCS系统中的应用与发展

随着科技的飞速发展,一系列新技术正不断融入石油化工仪表DCS系统。人工智能(AI)技术的应用尤为突出,通过机器学习算法,DCS系统能够对海量生产数据进行深度分析,实现对设备故障的早期预测和精准诊断。物联网(IoT)技术使DCS系统实现了设备之间更广泛的互联互通。现场仪表、控制器和上位机等设备通过物联网技术形成一个庞大的智能网络,实时共享数据,实现生产过程的全面协同控制^[4]。在智能工厂建设中,物联网技术助力DCS系统实现对生产流程的全方位监控与优化,提高生产效率和资源利用率。5G通信技术的高速率、低延迟特性为DCS系统的数据传输带来了质的飞跃。在石油化工生产现场,大量实时数据能够通过5G网

络快速、稳定地传输到控制中心,确保操作人员能够及时获取准确信息并做出决策。

4.3 石油化工行业对DCS系统的新需求

石油化工行业的不断发展对DCS系统提出了更高要求。一方面,随着行业对安全生产和环境保护的重视程度日益提高,DCS系统需要具备更强的安全防护能力和环保监测功能。在安全防护方面,不仅要防止外部网络攻击,还要通过先进的冗余设计和故障诊断技术,确保系统自身运行的可靠性,杜绝因系统故障引发的安全事故。在环保监测方面,DCS系统需实时监测生产过程中的污染物排放情况,如废气、废水的成分和排放量,为企业的环保决策提供数据支持。另一方面,随着石油化工企业向智能化、数字化转型,对DCS系统的智能化管理和优化控制功能需求大增。企业期望DCS系统能够整合生产、管理、销售等各个环节的数据,通过大数据分析 and 决策支持系统,实现生产计划的优化制定、资源的合理配置以及产品质量的全程追溯。

结束语

石油化工仪表DCS系统作为石化生产的核心控制系统,在国产化推进与技术革新的双重驱动下,取得了丰硕成果。从提升国产化率优化市场格局,到新技术融入增强系统功能,再到契合行业新需求,其发展路径愈发清晰。未来,随着技术持续进步与行业深度变革,DCS系统将不断完善,在保障石油化工生产稳定、高效运行的同时,助力行业实现可持续发展,成为推动石化产业升级的重要力量。

参考文献

- [1]牛建璋.石油化工行业DCS控制系统信号干扰原因及对策[J].中国设备工程,2020(14):151~152.
- [2]王启明.基于DCS的石油化工仪表控制系统设计分析[J].石油石化物资采购,2021(11):17~18.
- [3]贺欣.基于DCS的石油化工仪表控制系统设计[J].自动化应用,2020,(04):39-40+43.
- [4]任玉超.基于DCS的石油化工仪表控制系统设计[J].化工设计通讯,2022,48(01):33-36.