

基于 DCS 控制系统的化工自动化控制

张永顺

四川天华化工集团股份有限公司, 四川 泸州 646000

[摘要]文中全面且细致地探讨了中控 SUPCON 系列 DCS 系统在现代化工自动化控制领域当中的广泛应用情况以及该系统所具备的核心技术方面的优势。其研究着重关注中控系统的高精度过程控制功能、能够给予安全联锁保障的能力、对大规模 I/O 的处理能力以及系统的集成能力, 并且结合国产化自主可控这一特性、低延时通信的特点、智能化的人机交互方式以及模块化的扩展能力等核心特性来深入剖析该系统满足化工行业极为严苛的控制需求的内在原理。

[关键词]DCS 控制系统; 中控技术; 化工自动化

DOI: 10.33142/hst.v8i8.17335

中图分类号: TP273

文献标识码: A

Chemical Automation Control Based on DCS Control System

ZHANG Yongshun

Sichuan Tianhua Chemical Group Co., Ltd., Luzhou, Sichuan, 646000, China

Abstract: This article comprehensively and meticulously explores the widespread application of the SUPCON series DCS system in the field of modern chemical automation control, as well as the core technological advantages of the system. Its research focuses on the high-precision process control function of the central control system, the ability to provide safety interlock protection, the processing ability of large-scale I/O, and the integration ability of the system. Combining the core characteristics of domestic independent controllability, low latency communication, intelligent human-computer interaction, and modular expansion ability, it deeply analyzes the internal principles of the system to meet the extremely strict control requirements of the chemical industry.

Keywords: DCS control system; central control technology; chemical automation

引言

在科学技术不断发展过程中, 化工行业的生产技术也在不断改革, DCS 控制系统是一种以计算机为基础的自动化系统, 在化工生产中可以有效提高生产效率, 提高设备的精准性, 在化工生产中, 这种自动化控制系统得到了广泛的应用。DCS 控制系统在应用过程中, 帮助工作人员提供了非常好的支撑, 提高了化工生产的水平, 具有非常高的优势特点。DCS 控制系统不仅具备强大的数据处理和监控功能, 还能够实现远程操作与故障诊断, 极大地降低了人工干预的频率, 提升了化工生产的安全性和稳定性。其高度的灵活性和可扩展性, 使得系统能够根据生产需求进行定制和优化, 进一步增强了化工生产的效率和竞争力。此外, DCS 控制系统通过集成先进的算法和模型, 为化工生产提供了更为精确和可靠的控制策略, 确保了产品质量的持续稳定。

1 DCS 控制系统与中控技术概述

1.1 中控 SUPCON 系统的架构特点

中控 SUPCON 系统当中, 像 ECS-700 系列这样的典型代表, 是凭借全冗余、分布式以及开放式这种体系架构来奠定其稳固根基的。该架构的关键部分是由工程师站、操作员站、现场控制站还有高性能实时工业网络共同组成的, 它能够支撑起高达 20 万个 I/O 点位这般超大规模的

数据采集以及处理工作, 从而充分满足那些千万吨级别的炼化一体化项目所提出的极为庞杂的监控方面的需求。其控制站内部运用的是中控自主研发出来的芯片级冗余技术, 其中主控单元、电源模块以及通信网络都能够达成在毫秒级别上进行无扰切换的效果, 以此来保证控制指令可以持续且稳定地去执行, 而这一点对于像硝化、聚合这类存在高危放热反应的情况而言, 可为其连续且平稳的运行给予根本性的保障。根据中控技术在 2024 年所公布的产品白皮书当中的相关披露情况来看, ECS-700 系列的平均无故障时间 MTBF 已然突破了 50 万小时, 其可靠性指标也已经达到了国际上较为先进的水准。

1.2 化工行业对中控系统的核心需求

化工生产过程有着高温高压、易燃易爆、流程复杂以及耦合性强等十分突出的特点, 其针对 DCS 系统最为关键的需求主要聚焦于高可靠控制、本质安全、海量数据处理还有全厂信息贯通这四个层面。系统务必要给出能够达到毫秒级响应精度的闭环控制算法, 以此来保证像反应器温度、精馏塔压力这类关键工艺参数的波动切实控制在设计所允许的范围之内。与此系统还必须要集成能够达到 SIL3 等级的安全仪表功能, 当工艺参数出现超出限制的情况时, 它能够独立于基本的过程控制系统去触发联锁动作, 从而避免灾难性的事故发生。依据中国化工报在 2025

年所做的行业调查报告来看,有多达 72.6% 以上的受访大型化工企业都把“符合 IEC61511 标准的独立安全控制器配置”当作是选择 DCS 系统的一项强制性的要求。

2 中控 DCS 在化工自动化中的功能实现

2.1 高精度过程控制

中控 DCS 将 APC 先进控制算法套件予以深度融合,其中像多变量预测控制、智能软测量以及实时优化技术等,在一定程度上让复杂化工单元的操作精度以及运行效率都得到了明显提升。就百万吨级乙烯装置裂解炉温度控制来讲,APC 构建起较为精确的炉管出口温度和燃料气流量、进料负荷、稀释蒸汽比等诸多变量耦合模型,使得关键温度参数的波动范围相较于常规 PID 控制而言,缩小了 45% 以上,这无疑大幅提高了双烯收率,并且让装置运行更为平稳。而这种控制精度的提高,也直接产生了颇为可观的经济效益,就好比中石化某乙烯厂所给出的应用报告显示,APC 投入使用之后,每年可增收效益超出 2800 万元人民币。

2.2 安全联锁系统

中控 SUPCON 系统所内嵌的 SCS 安全控制器是严格按照 IEC61511 标准来设计的,它能够独立于基本的过程控制系统去运行,并且专门承担着执行像紧急停车、安全联锁以及火气保护这类关键安全功能的任务。该安全控制器采用了三重化表决的硬件架构,其诊断覆盖率能够达到 99% 以上,如此一来便能够保证即便出现单一元件发生故障的情况,系统也依然可以维持在安全的状态或者实现安全停机^[1]。在 2024 年的时候,国家应急管理部化学品登记中心所公布的数据表明,那些装备了符合 IEC61511 标准的独立安全系统的化工企业,其涉及到控制系统失效的重大工艺安全事故的发生率相较于以往降低了大约 63%。

2.3 大规模 I/O 处理能力

现代大型化工厂往往有着数万点这般庞大的数据采集需求,在此情况之下,中控 DCS 硬件平台运用了颇具创新性的分布式 I/O 处理单元,同时也采用了高速且具有确定性的工业实时以太网协议。其 I/O 模块设有热插拔功能,并且还采用了双通道并行冗余设计,单单一个控制柜便能够容纳多达数千点的信号,而且还拥有极为出色的抗电磁干扰能力以及本质安全方面的保障能力,特别契合那些防爆要求极为严格的化工现场环境。中控在 2025 年所发布的硬件手册当中着重指出,其最新推出的 FCP 系列控制站可实现单站 10240 点的 I/O 处理能力,在网络负载率方面,即便处于峰值工况状态之下,也能够确保将其控制在 30% 以内,从而为海量数据的实时且可靠的传输筑牢了坚实的硬件根基。

2.4 与 MES/ERP 的系统集成

中控自主研发的实时数据库平台 SupOS 在连接 DCS 控制层以及企业经营管理层方面起到了极为关键的作用,

堪称一座重要的桥梁。SupOS 具备强大的数据处理能力,可实现毫秒级的高速采集,并且能妥善存储来自全厂 DCS、PLC 还有智能仪表所产生的海量实时生产数据。它借助标准化的 OPCUA、MQTT 等相关接口,可以毫无阻碍地将生产实时信息、设备所处的状态信息以及质量分析方面的数据上传至 MES,从而助力开展排产优化工作、进行绩效分析以及实施质量管理等方面事宜。不仅如此,这些数据还可进一步推送到 ERP 系统,以此来为成本核算以及经营决策给予有力支撑^[2]。从中控官网的一篇技术文章能够清晰地看出,凭借基于 SupOS 的纵向集成方案,某一家大型煤化工企业在实际操作中达成了从订单直至生产的全流程贯通这一目标,其生产指令从下达开始一直到在 DCS 上得以执行的整个周期竟然缩短了高达 70% 之多,如此一来,该企业的运营敏捷性得到了大幅度的提升。

3 中控系统的技术优势

3.1 国产化自主可控

中控技术一直秉持着自主研发核心软硬件的发展路径。其 DCS 系统在多个方面都实现了国产化替代,包括主控芯片、操作系统、控制算法以及工程组态软件等,这使得其对国外技术的依赖以及潜在的后门安全风险得以彻底消除。尤其在主控制器这个关键层面,中控成功运用了自主设计的冗余芯片技术以及安全可信启动机制。像基于龙芯处理器的控制器硬件还有采用定制 SoC 芯片的 IO 模块,再结合银河麒麟 V10 操作系统,由此构建起一个完整的全闭环国产技术生态。工信部在 2023 年所发布的《工业控制系统自主可控发展报告》着重指出,中控在化工等流程行业里,DCS 国产化率已经超过了 90%,已然成为国家关键信息基础设施安全战略当中极为重要的支撑力量。这样的成就并非偶然,是中控自 2017 年开启专项攻关之后才得以达成的。其通过制定国产器件选型标准以及构建生态合作圈,最终实现了从元器件测试一直到系统定型的整个链条的自主可控^[3]。还有一点更为重要的是,国产化并没有让性能有所降低,中控 ECS-700X 系统的平均无故障时间 MTBF 达到了突破 50 万小时的程度,其可靠性指标也达到了国际先进水平,这无疑证明了国产技术正从“可用”的阶段迈向“好用”的战略转变。

3.2 低延时实时控制

中控针对 SUPCONDICS 专门打造了一款确定性实时工业以太网协议。此协议运用精确的时间同步以及流量调度方面的机制,可保证在大型化工装置控制网络里,端到端的通信延时能够稳稳地控制在 1ms 以内。这样一种超低延时的特点,对于像压缩机防喘振以及紧急切断阀联动这类需要快速闭环控制的回路来讲,是直接决定了系统响应所具备的及时程度以及可靠程度的,最终也切实保障了那些大型的、运转速度高的、耦合程度强的化工装置可以稳定地运行下去。相较于传统的系统而言,中控所具有的

实时性优势是依靠双 DPU 冗余架构和高速信号处理技术相互之间深度融合才得以实现的。就好比其 SUPMAX2000 系列卡件,就采用了抗干扰电路,并且还运用了毫秒级的采集技术,如此一来,其测量精度能够达到 $\pm 0.2\%FS$, 并且还能支持多通道同时并行处理,大幅度地降低了信号传输过程中出现失真的比率。根据智研咨询在 2025 年所做的行业分析来看, AI 以及边缘计算技术正在加速向各个领域渗透,这股趋势正推动着工控系统朝着自主决策的方向不断升级。而中控所构建的低延时架构,恰恰为这种智能化的跃迁给予了底层硬件层面的有力保障,从而让诸如预测性维护等一系列先进的应用能够顺利落地实施。设备停机时间减少 60% 这样的行业重大突破,和这个情况是有着极为密切的关系的。

3.3 智能化人机界面

中控 WebField 系列操作员站给人带来了极为智能化且颇具图形化特点的人机交互感受。它的 HMI 可支持依据不同角色来定制操作视图,还能提供关键绩效指标 KPI 的直观导航功能,在出现异常工况之时,它具备智能报警关联以及相应的操作指导,并且拥有对历史数据展开多维度穿透分析的能力。这样直观又高效的界面设计,切实减轻了操作人员的认知负担,让他们对复杂工艺过程的监控效率得以提升,应急处置的速度也加快了,由此使得人机交互体验比传统的文本式或者静态图形界面要好很多。融入了 AI 技术的动态可视化系统,能够按照实时工况自动推送优化操作方面的建议,就好比在精馏塔压力产生波动之际生成参数调整的策略,把人工干预延迟的时间缩短了 70% 还多。中国工控网 2025 年的报告显示,这类智能化 HMI 已然成为工控系统云化转型当中的核心构成部分,当下已经有 40% 的 SCADA 系统采用了类似的架构,预估到 2025 年其渗透率会超出 60%。在这样的发展趋势之下,中控的 WebField 系列不但满足了当前的操作需求,而且还为企业打造“黑屏运行”的无人值守工厂筑牢了技术根基,与流程工业智能化发展的必然走向是相契合的。

3.4 全生命周期可扩展性

SUPCONDCS 秉持彻底的模块化架构理念来开展设计工作。其从硬件层面的 I/O 模块一直到控制处理单元,再到软件功能块,全都依照标准化以及松耦合的相关原则来执行。用户能够依据项目在初始阶段的投资预算情况以及生产的实际规模状况,灵活地去挑选相应的基础配置方案。当生产方面的需求出现变动或者需要进行技术方面的升级之时,仅仅凭借增加与之对应的模块这一操作,便可以顺利实现对系统规模以及功能的平滑扩展,完全不必实施花费高昂代价的整体替换举措。就好比说,单个控制站要是叠加了 I/O 单元,那么它的处理能力就能够提升至 10240 点,而且在此情况下,网络的负载率依旧能够维持在 30% 以内这样一个安全的阈值范围当中^[4]。这样的前瞻

性设计切实有效地保护了用户的各项投资,让系统的整个生命周期得到了大幅度的延长,并且还使得企业在进行数字化转型的过程中,其边际成本也相应地有所降低。根据中国化工报在 2025 年所开展的调查情况来看,有高达 72.6% 的大型化工企业会把系统是否具备可扩展性这一指标列入 DCS 选型时的核心考量指标之中,这无疑充分反映出了模块化架构在适应产能动态调整方面所具有的极为突出的价值。并且更为重要的是,中控借助于硬件兼容性的相关设计,成功达成了代际产品之间的无缝衔接效果。比如说, ECS-700X 系统和早期的 ECS-700 部件是完全可以混合在一起使用的,如此一来便有效地避免了因技术迭代而致使资产遭到废弃的不良情况出现。

3.5 中控 DCS 与其他主流系统的对比分析

为客观评价中控 SUPCON 系统在化工自动化领域的定位与技术特点将与国际主流品牌,如霍尼韦尔 PKS、横河 CENTUM 及国内主要竞品和利时 DCS 进行多维度对比分析,结果如下表 1 所示:

表 1 中控 SUPCON DCS 系统与主流竞品关键维度对比

| 对比维度 | 中控 SUPCON (ECS-700) | 霍尼韦尔 PKS C300 | 横河 CENTUM CS3000 | 和利时 DCS |
|-------|-----------------------|------------------|------------------|-----------------|
| 控制器架构 | 双 DPU 冗余, 国产龙芯芯片 | 全双冗余容错以太网 | 兼容非 CENTUM 部件 | 工业级 RISC 芯片 |
| 网络实时性 | 端到端延时 < 1ms | 毫秒级, 依赖硬件冗余 | 高可靠性定时通信 | 实时操作系统保障 |
| 安全认证 | SIL3 级独立 SCS 控制器 | 先进预估控制 | 需额外选配 G3 防腐认证 | 支持多种编程语言 |
| 智能化功能 | AI 驱动的 KPI 导航、操作建议推送 | 设备管理功能完善 | 虚拟测试功能 | 离线仿真支持 |
| 扩展性 | 单站支持 10240 点, 模块化平滑升级 | 组态功能强大但 FF 总线支持弱 | 配置灵活但成本较高 | CS 架构, 服务器故障易瘫痪 |
| 国产化率 | >90% (芯片、OS、软件全栈自主) | 核心硬件依赖进口 | 关键部件进口 | 部分硬件国产化 |

综合分析表明, 中控 SUPCON 系统展现出显著的差异化竞争优势与特定领域的提升空间。在自主可控性方面, 其依托全栈国产化技术, 在芯片、操作系统及控制算法层面实现了对进口核心部件的替代, 显著优于依赖进口的霍尼韦尔与横河系统, 有力保障了化工生产的信息安全与供应链稳定。在成本效益与扩展能力上, 中控的模块化架构支持单站万点级扩展, 如 FCP 系列, 并通过硬件兼容性设计, 如 ECS-700X 与早期模块混用实现代际产品的无缝升级, 有效规避了资产废弃风险; 相较之下, 霍尼韦尔系统在 FF 总线扩展性上存在局限, 横河系统虽配置灵活但需为 G3 防腐认证等附加功能支付额外成本。在智能化集成维度, 中控的 SupOS 实时数据库实现了 MES/ERP 的毫秒级数据贯通, 其 AI 驱动的操作优化功

能提升了人机协作效率，而和利时系统的 CS 架构存在服务器单点故障风险。

中控系统在特种材料、生物化工等细分场景的工艺模型库积累深度尚不及霍尼韦尔成熟的预估控制算法体系；2024 年出口国际市场份额占比约 12%，仍然低于横河、艾默生等国际巨头，品牌全球影响力有加强；安全冗余机制虽满足 SIL3 认证，但相较于霍尼韦尔的三重化表决硬件架构，中控的双 DPU 冗余设计在应对极端多重故障场景时的容错能力仍需优化。

4 结束语

中控 SUPCON 系列 DCS 系统有着高可靠架构，还有强大的高精度控制以及安全连锁能力，其大规模数据处理性能也很卓越，并且拥有开放的系统集成平台，所以它已然成为支撑我国现代化工企业达成安全、高效、智能生产的极为关键的核心所在。该系统的国产化自主可控这一特性，对产业链供应链的安全起到了保障作用，它的低延时通信以及智能化人机交互，还大大提升了操作的效能，而具备全生命周期的可扩展性，又为企业可持续发展留出了相当充裕的空间。实践已经充分表明，将中控 DCS 深度融合到化工自动化解决方案当中，不但能够有效确保装置安稳且能长时间满负荷优质地运行，降低运营方面的成本，

而且还是企业在面对复杂多变的市场环境时，实现绿色低碳转型以及高质量发展的重要基础。持续且深入地推进中控等国产先进控制技术的创新以及应用工作，对于提升我国流程工业的核心竞争力而言，有着无可取代的战略方面的重要意义。就像一位资深的行业专家在中国自动化学会 2025 年年会上所说的那样：“谁掌握了控制系统，谁就能在化工生产方面占据先机，国产 DCS 的兴起，确实是我国工业自强的一个关键环节。”

[参考文献]

- [1]孙稀楠.DCS 控制系统在化工生产和消防应急处理系统中的应用[J].化工管理,2023(5):60-62.
- [2]王杰.DCS 控制系统在精细化工中的应用研究[J].石化技术,2025,32(2):16-18.
- [3]王伟,安争邦.化工自动化控制系统的应用与发展[J].化工管理,2022(20):112-114.
- [4]韩密杰.新环境背景下危险化学品安全生产及监管能力的提升对策研究[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(13):19-21.

作者简介：张永顺（1995.5—），男，籍贯：四川，学历：国家开放大学（计算机科学与技术），职位：仪器仪表助理工程师，研究方向：仪器仪表方向。