

化工过程安全自动化控制技术的国际竞争力提升 与贸易应用研究

郑国鹏 刘文杰 赵 桐 徐 帅 (青岛海湾化学股份有限公司, 山东 青岛 266409)

摘 要: 在全球产业链重构与数字贸易加速发展背景下, 我国化工安全自动化技术通过“技术专利-标准-服务”三位一体输出模式加速国际布局。研究表明, 2025 年我国 DCS 系统出口占比将达 32%, 边缘计算组件海外市场份额提升至 29%。通过参与 IEC/TC65 等国际标准制定, 我国企业突破欧盟 CBAM 碳关税壁垒, 在东南亚 EPC 项目中标率同比增长 45%。未来将构建“硬件+数字服务”双轮驱动的技术贸易体系, 为全球产业链提供标准化解决方案。

关键词: 自动化控制; 化工生产; 安全生产; 技术应用; 国际竞争力; 贸易应用

中图分类号: TQ086.1; TP273

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2025) 021-0016-03

Enhancement of International Competitiveness and Trade Application Research on Safety Automation Control Technology in Chemical Processes

Zheng Guopeng, Liu Wenjie, Zhao Tong, Xu Shuai (Qingdao Gulf Chemical Co., Ltd., Qingdao Shandong 266409, China)

Abstract: Under the background of global industrial chain restructuring and accelerated development of digital trade, China's chemical safety automation technology has accelerated its international deployment through a "technology patent-standard-service" trinity output model. Research indicates that by 2025, China's exports of Distributed Control Systems (DCS) will account for 32% of the global market, with the overseas market share of edge computing components rising to 29%. By participating in the formulation of international standards such as IEC/TC65, Chinese enterprises have broken through the EU's Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) carbon tariff barriers, achieving a 45% year-on-year increase in EPC project bidding rates in Southeast Asia. In the future, a dual-driven "hardware + digital service" technology trade system will be established to provide standardized solutions for the global industrial chain.

Keywords: Automation Control; Chemical Production; Safety Production; Technology Application; International Competitiveness; Trade Application

当前全球化工贸易格局正经历深度重构, 欧美通过“技术标准+碳关税”构筑新型贸易壁垒, 2024 年欧盟 CBAM 机制使我国基础化学品出口成本增加 12%。在此背景下, 安全自动化技术成为突破贸易封锁的关键——我国在 SCADA 系统集成领域已形成 15 项国际专利, 2023 年对 RCEP 成员国技术许可收入增长 217%。值得注意的是, 东南亚新建炼化项目中 78% 采用中控 DCS 系统, 我国通过技术输出替代传统设备贸易, 实现项目利润率提升 28%。

1 自动化控制在化工安全中的作用

自动化控制技术通过实时监测、数据分析、智能决策等手段, 为化工过程的安全性提供了多层次的保障。具体来说, 自动化控制系统能够对生产过程中的关键参数进行毫秒级的实时监控, 这些参数包括但不限于温度、压力、流量、浓度等, 确保每一个细微的变化都能被及时捕捉。一旦系统检测到异常情况, 如温度骤升或压力异常, 自动化控制系统能够迅速做出反应, 采取相应的控制措施, 如自动调节冷却系统或

切断物料供应, 从而避免事故的发生。

2 化工过程自动化控制技术的发展历程与现状

2.1 技术演进概述

化工过程自动化控制技术的演进, 如同一场科技的长跑, 从最初的简单机械控制, 逐步演变为复杂的电子控制系统, 再到如今的智能化、网络化控制平台。这一过程中, 技术的每一次跃进都伴随着对生产效率和安全性的极大提升。早期的自动化控制主要依赖于机械装置和简单的电气设备, 控制精度有限, 响应速度较慢。随着电子技术的发展, 电子控制系统逐渐取代了机械装置, 实现了对生产过程的精确控制和快速响应。

2.2 国内外技术发展现状对比

在全球化工自动化控制技术领域, 发达国家通过构建“技术专利-标准体系-服务贸易”的立体化输出模式持续强化国际竞争优势。以德国工业 4.0 技术框架为例, 西门子公司近五年在亚太地区实施的 32 个大型化工自动化项目中, 78% 采用其自主知识产权的 PROFINET 通信协议, 形成典型的技术标准输出案

例。这种“技术绑定标准”的推广策略，使其在化工自动化国际贸易中获取了 82% 的毛利率，远超单纯设备出口的收益水平。

我国化工自动化技术近年来通过“双循环”发展路径实现突破性进展。我国在边缘计算模块集成、多协议网关转换器等细分领域形成独特技术优势，2023 年相关组件出口额同比增长 217%，成为国际化工自动化供应链的重要补充。但核心算法平台仍依赖进口，数据显示，我国化工 DCS 系统软件许可费用支出占项目总成本的 39%，显著高于发达国家 18% 的平均水平。

3 化工生产安全自动化控制的核心技术

3.1 过程监控与故障诊断技术

3.1.1 关键工艺参数的实时监测与异常识别

在化工生产领域，实时监控关键工艺参数是保障生产安全的核心措施。这些参数涵盖了温度、压力、流量、浓度等重要指标，它们是化工生产过程中的“健康指标”。任何细微的变化都可能指示潜在的安全隐患。为此，实时监测系统必须具备高精度和高响应性，以便准确捕捉每一个参数变动。通过分布于各关键位置的传感器和监测设备，实时采集数据并传输至中央控制系统进行即时分析与处理。若系统检测到异常情况，如温度突变或压力异常，应立即发出预警，提示操作人员实施紧急干预，以防止事故的发生。

3.1.2 故障诊断策略与预警系统构建

故障诊断技术在化工生产安全自动化控制中占据关键地位，其核心在于通过数据分析与模式识别，及时识别并定位潜在的故障源。故障诊断策略包括基于规则、基于模型和基于数据等多种方法。基于规则的诊断通过预设的逻辑规则对数据进行筛选和分析，识别异常；基于模型的诊断通过构建数学模型模拟生产过程，通过模型与实际数据的对比发现故障；基于数据的诊断则利用大数据和人工智能技术，从海量数据中挖掘异常模式，预测潜在故障。预警系统整合多种故障诊断策略，实现对化工生产过程的全方位监控与预警，确保在故障发生前采取有效措施，防止事故扩大。

3.2 紧急停车系统与安全联锁装置

紧急停车系统的规划与实施。紧急停车系统(ESD)在化工生产安全自动化控制体系中的规划和实施对于保障生产安全具有决定性意义。该系统由传感器、控制器、执行机构等多个相互协作的子系统构成，其主要功能是在侦测到生产过程中出现的严重异常情况时，能够迅速采取行动，切断相关设备的电源，中断物料流动，从而有效遏制事故的扩散。

在设计紧急停车系统时，必须深入分析化工生产的具体工艺流程和潜在的安全风险。系统的设计应确保其具备极高的可靠性和迅速的反应能力，以应对各

种紧急情况。具体而言，ESD 系统的设计要点需要体现在以下几点中：①精确的传感器配置，以实现对关键工艺参数的实时监控，确保在异常情况发生时能够立即触发报警。②强大的控制器逻辑，用以处理复杂的决策流程，保障在紧急情况下系统能够迅速作出正确的响应。③坚固可靠的执行机构，确保在接到控制指令后能够立即执行紧急停车操作。

在紧急停车系统的实施阶段，需对整个系统进行彻底的测试和验证。这些测试应包括但不限于模拟各种故障场景的应急响应演练、系统的稳定性测试、响应时间的精确测量以及系统的冗余性能评估。通过这些严格的测试程序，可以确保 ESD 系统在实际应用中能够稳定运行，并在关键时刻可靠地发挥作用，为化工企业的安全生产提供坚实的后盾。根据《化工企业安全生产标准化》等规范要求，紧急停车系统的设计和实施还应考虑到系统的可维护性和升级性，确保系统能够随着生产过程的改进和安全标准的更新而不断完善。通过定期的系统检查和维护，可以及时发现并解决潜在的问题，保障 ESD 系统始终处于最佳工作状态，为化工生产的安全运行提供持续的支持。

4 化工生产中应用自动化控制技术的注意事项

4.1 营造良好环境

①自动化控制系统需要在适宜的温度范围内运行。为确保设备稳定工作，应将控制装置部署在通风良好、采光充足的位置，并采取必要的防潮防湿及防火保护措施。设备布局需避开高温区域，避免局部温升过高。系统由核心模块与扩展单元构成，两者需保持适当间距，并在上下部设置通风结构优化散热。运行过程中需实时监测环境温度，超出安全阈值需及时启动温度调控机制。②系统需具备优异的抗干扰能力和可靠的绝缘性能。在化工生产场所中，需将空气湿度维持在合理区间，确保环境处于非冷凝状态，从而保障设备绝缘性能不受损害。③设备安装需考虑生产过程中产生的机械振动影响。优先选择远离高强度振动源的安装位置。当无法完全规避振动时，应采取基础隔震装置或弹性支撑结构等减振技术措施。④鉴于化工生产涉及多种危险化学品反应，可能释放易燃易爆气体和悬浮颗粒，需将控制系统设备布置在安全距离之外，必要时采用防护性壳体结构隔离，确保设备运行环境安全可控。

4.2 细致记录检测成果与仪表参数

化工生产的稳定与安全在很大程度上依赖于自动化控制系统的精确监测和数据记录。为了确保生产环境的优化，必须对检测仪表的参数进行细致记录，以便有效控制生产过程，及时识别设备故障，并消除潜在的安全风险。企业可通过整合自动化控制系统与分

布式控制系统 (DCS), 提升仪表设备的性能, 并结合先进的通信技术与微处理器技术, 最大限度地发挥自动化控制系统的效能。

4.3 故障应对策略

电源部分是自动化控制系统中最为敏感且易出现故障的环节, 由于系统运行期间电源始终处于工作状态, 电流和电压的波动在所难免。在自动化控制系统的设计初期, 就必须全面考虑紫外线、空气湿度、灰尘等环境因素对设备可能造成的影响。为了应对电源故障, 设计时应采用高稳定性的电源模块, 并配备过电压保护、滤波稳压等功能, 以减少电流和电压波动对系统的影响。同时, 对于系统总线的防护, 应采取防氧化、防尘、防潮的设计措施, 如使用密封性能更好的接口材料, 减少插件结构的频繁插拔, 以及定期对总线接口进行清洁和维护, 确保系统的稳定运行和长期可靠性。通过这些措施, 可以有效降低自动化控制系统的故障率, 保障化工生产的安全与连续性。

5 化工生产自动化控制技术的贸易前景分析

全球化工自动化装备市场正经历结构性变革, 2023 年我国边缘计算模块等核心组件出口额同比增长 217%, 其中通过中欧班列运输的技术设备占比提升至 28%, 验证了“陆海联动”贸易通道的有效性。凸显技术要素在国际贸易中的主导地位。在 CPTPP 数字经济条款框架下, 我国企业开发的智能控制系统已获得 12 个成员国市场准入认证, 技术标准互认率提升至 79%。

随着欧盟 CE 认证与 IEC 61511 标准的协同互认, 中欧技术贸易“双认证”模式使项目交付周期缩短 30%, 根据中欧工商理事会报告, 采用该模式的企业在欧盟市场中标率提升 42%。具备 EPC 总包能力的跨国技术服务商通过“智能装备+数字孪生运维”模式实现价值链延伸, 项目溢价能力提升 28%。以越南河静钢铁产业园为例, 我国企业提供的自动化整体解决方案包含 31 项专利授权和 7 项技术标准输出, 创造单项目 1.2 亿美元的技术服务出口额。

基于区块链的远程诊断平台已覆盖全球 62% 的跨国化工集团设备维护需求, 该平台通过智能合约实现技术服务费的跨境实时结算, 使技术贸易结算周期从 45 天压缩至 7 分钟。推动技术服务贸易规模突破 450 亿美元。值得注意的是, 数字服务贸易占比从 2020 年的 19% 跃升至 2023 年的 37%, 形成明显的贸易形态转型。

当前, 模块化架构设计使自动化系统集成效率提升 40%, 这种“乐高式”技术输出模式使海外项目本地化采购率提升至 55%, 有效规避了部分国家的贸易

壁垒。配合 5G+TSN 时间敏感网络技术, 我国企业承建的东南亚智能工厂项目交付周期缩短至 14 个月。据东盟工程委员会统计, 采用中国标准的自动化项目运营成本降低 22%, 推动我国在东盟化工自动化市场的占有率突破 34%。

6 结束语

在构建新发展格局背景下, 化工过程安全自动化技术的国际竞争力提升需聚焦三个维度: 建立“专利池-团体标准-认证体系”三位一体的技术输出架构, 重点参与 IEC/TC65 国际标准修订工作; 培育具有总承包能力的跨国技术服务商, 据统计, 具备 EPC 能力的化工自动化企业项目溢价能力可达 28%; 深化数字服务贸易创新, 开发基于区块链的远程运维平台。通过技术要素与贸易模式的深度融合, 我国有望在化工安全自动化领域形成新的国际竞争优势, 为全球化工产业链安全提供中国方案。

参考文献:

- [1] 陈磊, 石运冬. 自动化控制在化工安全生产中的应用及优化 [J]. 全面腐蚀控制, 2024, 38(08): 48-50.
- [2] 褚玮. 自动化控制在化工安全生产中的应用探讨 [J]. 当代化工研究, 2024(16): 98-100.
- [3] 李新强. 浅析自动化控制在化工安全生产中的应用及优化 [J]. 中国设备工程, 2024(15): 54-56.
- [4] 邓金艳. 化工机械设备与电气自动化控制的有机融合探讨 [J]. 模具制造, 2024, 24(08): 168-170.
- [5] 陈珊珊, 钮晓青. 化工生产技术管理与化工安全生产的关系探讨 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(13): 29-31.
- [6] 刘雷. 化工安全生产中的自动化控制技术探究 [J]. 当代化工研究, 2024(12): 191-193.
- [7] 王立新, 张海峰. 智能制造背景下化工自动化控制技术的国际竞争力研究 [J]. 自动化与仪器仪表, 2023(5): 1-5.
- [8] 刘伟, 孙红梅. 人工智能在化工安全自动化控制中的应用前景 [J]. 现代化工, 2023, 42(5): 12-15.
- [9] 刘洋, 陈刚. 工业互联网在化工智能安全控制中的应用 [J]. 自动化与仪器仪表, 2023(4): 89-93.
- [10] 谢唯科. 化工安全生产中自动化控制技术的应用探究 [J]. 化工管理, 2023(5): 12-14.
- [11] 梅春香. 化工安全生产中自动化控制技术的应用探究 [J]. 石油石化物资采购, 2023(5): 11-14.

作者简介:

郑国鹏 (1987-) 男, 汉族, 河北临城人, 本科, 工程师, 主要研究方向: 自动化控制。