

基于 MODBUS 通信的 ECS-700 控制系统与 Freelance 800F 系统集成 优化研究

冯军海

河南能源化工集团鹤壁煤化工有限公司，河南 鹤壁 458000

[摘要]随着工业 4.0 和中国制造 2025 战略的深入实施，工业控制系统国产化已成为保障国家工业安全、提升制造业竞争力的关键环节。本文针对丁二酸酐生产装置（SAH）控制系统改造过程中遇到的 IO 点容量不足及系统硬件停产等问题，提出了一种基于 ModBus 技术的 ECS-700 系统与 Freelance 800F 系统通讯优化方案。通过系统分析两种控制系统的技术特点，设计了基于 RS-485 的通讯架构，实现了新老系统间的数据无缝对接。实际应用表明，该方案不仅解决了系统扩容问题，还显著提升了数据采集与分析的实时性、稳定性及操作便捷性，为工业控制系统国产化改造提供了可借鉴的实践经验。本研究还从技术、经济、安全等多维度分析了国产控制系统替代的综合效益，为后续工业控制系统国产化改造提供了理论依据和实践指导。

[关键词]控制系统；DCS；MODBUS 技术；485 通讯技术；工业 4.0

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17977 中图分类号: TP273 文献标识码: A

Research on Integration Optimization of ECS-700 Control System and Freelance 800F System Based on MODBUS Communication

FENG Junhai

Hebi Coal Chemical Industry Co., Ltd. of He'nan Energy and Chemical Industry Group, Hebi, He'nan, 458000, China

Abstract: With the deepening implementation of Industry 4.0 and the Made in China 2025 strategy, the localization of industrial control systems has become a key link in ensuring national industrial security and enhancing manufacturing competitiveness. This article proposes a communication optimization scheme between ECS-700 system and Freelance 800F system based on ModBus technology to address the issues of insufficient IO point capacity and system hardware shutdown encountered during the control system renovation process of succinic anhydride production unit (SAH). By analyzing the technical characteristics of two control systems, a communication architecture based on RS-485 was designed to achieve seamless data integration between new and old systems. Practical application has shown that this solution not only solves the problem of system expansion, but also significantly improves the real-time, stability, and operational convenience of data collection and analysis, providing practical experience for the localization transformation of industrial control systems. This study also analyzed the comprehensive benefits of replacing domestic control systems from multiple dimensions such as technology, economy, and safety, providing theoretical basis and practical guidance for the subsequent localization transformation of industrial control systems.

Keywords: Control system; DCS; MODBUS technology; 485 communication technology; Industry 4.0

1 工业控制系统国产化的背景与意义

工业控制系统作为现代工业生产的核心，其安全稳定运行直接关系到国家工业安全和国民经济稳定发展。在当前国际政治经济格局下，保障工业控制系统安全稳定运行对于国家信息安全至关重要。随着全球产业链的深度融合，工业控制系统已成为国家战略安全的重要组成部分。推进国产化进程，有助于降低对外部技术的依赖，确保在关

键领域的技术自主可控，从而有效应对可能的外部风险和挑战。

2 问题提出与研究意义

丁二酸酐生产装置作为化工行业中的典型新工艺装置，初期设计规模较小，年产量仅 3000t。随着市场需求增长，装置进行扩容改造时面临双重挑战：一方面，原有 Freelance 800F 控制系统 IO 点容量不足，I/O 点数量无法

满足扩容需求，且操作员站权限已用尽，新增操作员站将导致其他站无法操作；另一方面，系统硬件厂商即将停产并停止维护，导致备件供应困难，直接影响装置的安全平稳运行^[1]。

针对这一问题，本文提出了一种基于国产 ECS-700 系统的改造方案，通过 MODBUS 协议与 RS-485 通讯技术实现新老系统的数据交互，有效解决了上述问题。该研究不仅解决了 SAH 装置的扩容问题，还为工业控制系统国产化改造提供了可复制的实践经验，对推动我国工业控制系统国产化进程具有重要参考价值。

3 系统架构与技术选型

3.1 系统改造需求分析

SAH 装置扩容改造需要满足以下需求：

- (1) 解决 I/O 点容量不足问题，满足新增装置的控制需求；
- (2) 解决硬件停产导致的备件供应问题；
- (3) 保持与现有系统的无缝对接，保证生产连续性；
- (4) 提升系统数据采集与分析的实时性和稳定性；
- (5) 降低系统维护成本，延长系统使用寿命。

3.2 技术选型与对比分析

3.2.1 选型原则

本方案选型遵循以下原则：

- (1) 技术成熟度高，有成功应用案例；
- (2) 兼容性好，能与现有系统无缝对接；
- (3) 维护成本低，硬件支持周期长；
- (4) 系统扩展性强，能满足未来扩容需求；
- (5) 价格合理，性价比高；

3.2.2 选型对比

经过综合比较，本方案选择 WebField 系列 ECS-700 系统作为国产替代方案，与 Freelance 800F 系统进行通讯对接。具体对比分析如下（表 1）：

表 1 控制系统选型对比分析

评估维度	Freelance 800F 系统	ECS-700 系统	优势
硬件支持周期	1 年	10 年以上	ECS-700
维护成本	高 (进口备件价格高)	低 (国产备件价格低)	ECS-700
系统扩展性	有限	强 (支持多种总线)	ECS-700
数据集成能力	有限	强 (支持多种协议)	ECS-700
价格	高	中	ECS-700
通讯协议兼容性	有限	强	ECS-700

3.3 通讯方案设计

3.3.1 通讯协议选择

ModBus 协议作为一种广泛应用的工业通讯协议，具有结构简单、实现方便、兼容性好等优点，特别适合于不同系统间的异构通讯。本方案采用 ModBus RTU 协议，通过 RS-485 物理层进行数据传输，确保通讯的可靠性和实时性。

ModBus 协议采用主从式结构，主站(ECS-700 系统)向从站(Freelance 800F 系统)发送请求，从站响应请求。协议定义了标准的数据帧格式，包括设备地址、功能码、数据域和校验码，确保数据传输的准确性。

3.3.2 通讯架构设计

系统通讯中 ECS-700 系统作为主站，Freelance 800F 系统作为从站，通过 RS-485 网络实现数据交互。ECS-700 系统将新增装置的实时数据通过 ModBus 协议发送至 Freelance 800F 系统，实现数据的集中监控与管理。

4 硬件组态与软件配置

在 Freelance 800F 系统控制柜和 ESC700 系统控制柜之间铺设两条用于 RS485 网络通讯的电缆（其中一条为冗余线路），Freelance 800F 系统通 ModBus 通讯接口和 ESC700 系统进行数据交换。

4.1 ESC700 系统侧硬件组态和软件组态

ECS-700 系统由控制节点（包括控制站及过程控制网上与异构系统连接的通信接口等）、操作节点（包括工程师站、操作员站、组态服务器（主工程师站）、数据服务器等连接在过程信息网和过程控制网上的人机交互接口站点）及系统网操作员站、组态服务器（主工程师站）、数据服务器等操作节点，在操作节点间传输历史数据、报警信息和操作记录等。对于挂在过程信息网上的各应用站点可以通过各操作域的数据服务器访问实时和历史信息、下发操作指令。

在 VOCS 系统(ESC700 系统)上扩展，增加机柜，与原系统机柜尺寸、颜色、样式保持一致。控制系统设置两路 220VC 电源（即两路 UPS），现场仪表 24VDC 电源与 DCS 系统 24VDC 电源分开，独立设置。电源模块冗余配置，并通过二极管模块进行冗余隔离，当一块电源模块故障时，另一块电源模块可以保证系统的正常运行。

24VDC 电源模块采用中控的 PW733，柜内部件配 24V 电源盒采用中控的 PW715。CPU 选用中控的 FCU712-S01；I/O 模块中，AI 模块选用中控的 AI713-S11，AO 模块选用中控的 AO713-S11，DI 模块选用中控的 DI715-S11，DO 模块选用中控的 DO716-S11；通信模块

选用中控的 COM741-S01^[2]，将 CPU 和这些模块依次安装在机柜内的基座上。

首先在 VOCS 系统（ESC700 系统）的工程师站通过组态管理软件设置新加操作员站组态参数：波特率、数据位、奇偶校验、停止位等。

然后在位号表中增加所需的所有通信位号（为了区别，通信位号都在末尾加 TX 后缀），右侧位号类型需要设置为“通信 AO 位号”。数字量 DI 打包成 AO 模拟量。

剩下 AI 点和 AO 点，所有 I/O 点作为通信 AO 通过 485 通讯发送给 Freelance 800F 系统端 MODBUS 模块，起始地址设为 200，数据设为二字节整形，新加通讯程序块 AO；为保证模拟量精度，将压力值实型数据先除以 1000 转换为 KPa 后再对通信位号进行数据类型转换（压力其实是压强，单位为 MPa），通信 AO 数据类型输出为需要先转换成实型数据 REAL，再转换为 INT 整型数据，然后再转换为无符号双整型数据 UDINT。组态完成后的 AI 通讯，组态完成后的 AO 通讯，组态完成后的 DI 通讯。

4.2 Freelance 800F 硬件组态和软件组态

Freelance 800F 上的 FI820F 通信协议采用 ModBus，支持 RS232, RS422, RS485 协议，RS485 是半双工方式，因此需要 RTS 和 CTS 硬件握手信号，模块支持 2 个通信接口。

在 Freelance 800F 端对 MODBUS 模块 FI820F 卡件上进行参数组态，组态参数和 ESC700 系统上组态参数设置一致。注意 Freelance 800F 端设置为从站，之后在 Control Builder F 变量表中定义所需的所有通信位号（为了和其他位号区别，这些通信位号定义也都在末尾加上了 TX 后缀）。之后在 Freelance 800F 控制系统上的组态软件 Control Builder F，进行程序通信组态：打开“过程站”折叠目录，在下面的“复杂回路”的 LOOP 目录，在下面添加“通讯（FBD）”和“通讯 2（FBD）”两个程序组态页面，在两个“通讯（FBD）”和“通讯 2（FBD）”进行组态，并将数据类型进行转换，将 INT 整型数据转换 REAL 实型数据。打开组态软件 Control Builder F，打开“公共显示”里的流程图进行操作操作页面进行页面显示组态。

5 通信调试与优化

5.1 通信调试过程

5.1.1 初步调试

首先在 ECS-700 组态软件上进行强制数值 5 点输出

测试，验证数据传输的准确性。通过监控工具观察 Freelance 800F 系统端接收的数据，确认数据传输正常。初步调试发现，DI 数字量在 Freelance 800F 系统端显示异常，需要进行特殊处理。

5.1.2 数据转换调试

DI 数字量在 ECS-700 系统打包后为模拟量传输，Freelance 800F 系统端再解包还原为数字量。通过调试发现，打包和解包过程中存在精度损失，需要优化数据转换算法。经过多次测试和调整，最终确定了最优的数据转换方案：

具体转换流程如下：

Freelance 800F 端将压力值实型数据（MPa）→除以 1000→KPa 单位

KPa 单位数据→转换为实型数据 REAL

ECS700 端将 REAL 数据→转换为 INT 整型数据

INT 整型数据→转换为无符号双整型数据 UDINT

5.1.3 地址偏移问题

在调试过程中发现，ECS-700 端起始地址设为 200，通过 RS-485 通讯后到达 MODBUS 的 FI820F 端，在 Control Builder F 操作页面发现起始地址会偏移 1 位。经过分析，确定在 Control Builder F 通讯模块上设置起始地址为 199，寄存器数量 16，解决了数据错位问题。

5.2 优化措施

5.2.1 数据转换算法优化

针对数据精度问题，优化了数据转换算法，采用双精度浮点计算，提高了数据转换的精度。同时，增加了数据校验机制，确保数据传输的准确性。

5.2.2 通讯参数优化

根据现场环境，优化了通讯参数，在保证通讯可靠性的同时，提高了数据传输速率。

5.2.3 故障处理机制

铺设通信电缆时，在 MODBUS 两侧增加了冗余电缆和冗余接法，当其中一条传输通道故障时，系统自动切换到备用冗余通讯通道，确保数据传输的连续性。

5.3 Control Builder F 操作页面链接

两端操作页面完成后，在每一个显示 I/O 点上添加变量列表里的 I/O 点位，然后全部检查编译，确保无误后点击“加载修改对象”对所有操作节点进行加载，加载完成。

整个系统的网络拓扑结构，两个系统组态完后最终的网络拓扑结构图 1 如下：

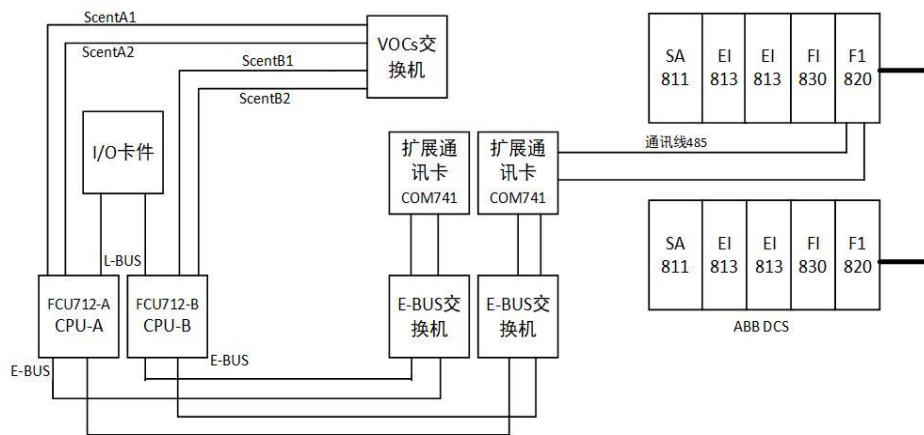


图 1 两个系统组态完后最终的网络拓扑结构图

6 结论与展望

6.1 研究结论

本文提出的 ECS-700 与 Freelance 800F 系统通讯改造方案,成功解决了丁二酸酐生产装置扩容过程中的技术难题。通过 MODBUS 协议与 RS-485 通讯技术的合理应用,实现了新老系统间的数据无缝对接,为工业控制系统国产化改造提供了可行路径。研究结论如下:

(1) 控制系统国产化改造及与国外 Freelance 800F 系统通讯应用改造使控制系统进行数据采集和分析更加直观、稳定、操作时更加方便。

(2) 对 Freelance 800F 系统和 ECS700 系统通讯和操作进行了优化升级,使得在老系统上通过 MODBUS 技术和 485 通讯技术可以对新加装置进行实时数据报警、实时数据查看、历史曲线和实时曲线趋势查看等多项操作。

(3) WebField 系列 ECS-700 属于国产最新系统,并且支持 PROFIBUS、MODBUS、FF、HART 等多种国际标准现场总线的接入和多种异构系统的综合集成。对后期

系统维护、组态修改,各种卡件更换更加方便,系统硬件支持周期更长,价格上也更有优势。

6.2 未来展望

随着工业互联网、人工智能等新技术的发展,工业控制系统将向更高速率、更智能的方向发展。未来研究方向包括:

(1) 研究人工智能技术在控制系统中的应用,实现智能诊断和预测性维护。

(2) 深化国产控制系统与工业互联网平台的融合,打造工业互联网应用生态。

[参考文献]

[1] 杨斌,蒋叶峰.Freelance 800F DCS 系统的应用和调试[J].水泥,2012(10):2.

[2] 中控技术股份有限公司.WebField ECS-700 培训讲义 VF4.50 版[Z].杭州:中控技术股份有限公司,2023.

作者简介: 冯军海 (1983.10—), 毕业院校: 商丘师范学院, 所学专业: 电子信息工程, 当前就职单位: 河南能源化工集团鹤壁煤化工有限公司, 职称级别: 中级工程师。