

PROFINET 通讯技术在矿山自动化系统升级中的应用研究

陈阳升

安徽开发矿业有限公司 安徽省六安市 237426

摘要: 针对安徽开发矿业现有集中式 PLC 自动化系统存在的通讯可靠性低、维护困难、硬件停产、兼容性差等问题, 本文提出基于 PROFINET 通讯技术的升级方案。通过网络结构优化、系统架构重构、硬件软件更新及信息采集方式革新, 结合充填排尾系统、变频器控制、仪器仪表互联等实际应用案例, 验证了升级方案的可行性与优越性。升级后系统实现了设备独立控制、数据采集准确率 100%、维护成本降低 90%, 有效解决了传统系统技术老旧、人才培养困难、国产化适配不足等痛点, 为矿山行业自动化智能化升级提供了实践参考。

关键词: PROFINET 通讯技术; 矿山自动化系统; PLC 升级; 设备通讯; 国产化适配

1 引言

1.1 研究背景

矿山行业自动化水平直接影响生产效率、安全保障与运营成本。安徽开发矿业自 2011 年建成的集中式 400CPU 自动化控制系统, 涵盖选矿、供矿、井下风机等核心生产环节, 虽曾实现较高水平的远程控制, 但经过 14 年运行, 逐渐暴露出技术老旧、兼容性不足、维护难度大等问题。随着西门子 300/400PLC 系列停产、编程软件停止更新, 以及国产工业设备市场占有率的提升, 原有系统已难以满足企业智能化发展与技术自主可控的需求, 亟需通过先进通讯技术实现系统升级。

1.2 技术选型依据

PROFINET 作为全球主流的工业以太网标准, 由 PROFIBUS 国际组织 (PI) 主导开发, 具备高速实时通讯、高兼容性、灵活扩展等核心优势, 可无缝衔接新旧设备, 兼容 Modbus TCP 等多协议, 能够有效解决传统系统通讯中断风险高、数据采集偏差大、国产化设备适配难等问题。基于此, 本文选择 PROFINET 通讯技术作为矿山自动化系统升级的核心方案, 结合实际应用场景开展研究与实践。

2 安徽开发矿业自动化控制系统现状

2.1 系统原有架构

该系统采用“集中式 400CPU+ 分布式 I/O 系统 + 双冗余现场总线 + 冗余服务器 + 操作员站”架构, 核心配置为一对冗余的西门子 400CPU, 现场控制分站仅配备分布式 I/O 系统, 无独立 CPU (如图 1 所示)。集中式 CPU 与分布

式 I/O 系统通过双冗余现场 DP 总线通讯, 现场设备信号经分站采集后传输至 CPU, CPU 处理后通过总线发出控制指令, 实现设备启停、调速等操作。

现有系统覆盖供选、尾矿、胶凝、设备房等多个自动化子系统, 2021 年虽完成供选分离改造, 拆分为选矿与供矿两套独立系统, 但仍沿用集中式 400CPU 架构。

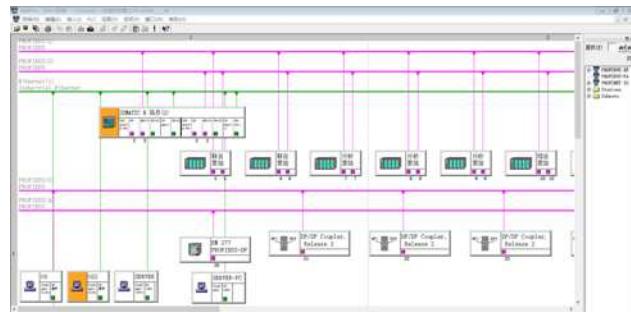


图 1 原有集中式 PLC 系统架构图

(注: 图中展示 PROFIBUS(1)-(4) 总线连接的分布式 IO 分站, 含 DP/DP 耦合器、SIMATIC 400 CPU 等核心硬件, 具体组态界面引自安徽开发矿业系统原始设计文件)

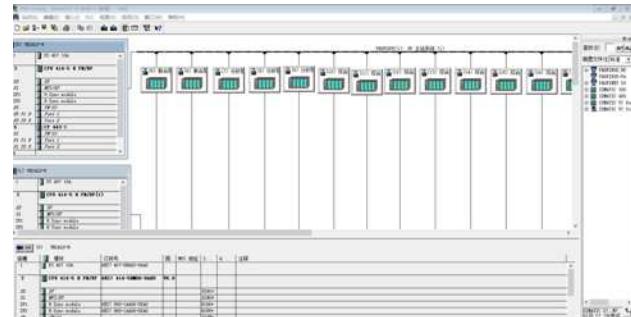


图 2 原有集中式硬件组态图 (图纸展示联合泵站、分砂泵站、综合泵站等部分硬件组态, 全部组态界面见安徽开发矿业系统原始设计文件)

2.2 系统核心问题

2.2.1 通讯可靠性不足

分站通讯中断会直接导致设备保护功能失效或停机，尤其尾矿库等关键环节因光缆长度达 12km，维护困难，通讯中断频发，严重影响生产连续性。

1. 维护与调试受限

系统无法逐台设备分步调试，程序与硬件维护仅能在月底集中检修时进行，日常维护易造成全面停产；对运维人员技术水平要求极高，操作不当可能引发全系统停机。

2. 人才培养困难

新入职技术人员无法在日常生产中开展调试学习，仅能查看程序架构，难以掌握核心调试技能，当前供矿、选矿车间核心技术人员不足 2 名，故障自主排查能力薄弱。

3. 硬件与软件老化

西门子 300PLC 系列已进入“产品生命周期末期”，备件采购成本高；编程软件 PCS7 已停产 10 年，不支持博图软件，功能扩展受限。

4. 兼容性与通讯功能缺失

系统不兼容国产 PLC 及通讯产品，无法与西门子 1200/1500 系列 PLC 直接通讯；不支持 485 通讯功能，与变频器、流量计等设备的数据传输需通过硬线采集，施工难度大且数据准确率低于 90%（如现场流量计显示 $330\text{m}^3/\text{h}$ ，远程显示仅 $280\text{m}^3/\text{h}$ ）。

变频器远程调频功能受限

由于使用西门子 AO 模块进行调频，受信号衰减，电磁干扰影响，数据准确性较差。比如选矿车间零平渣浆泵采用 AO 模块调频，输入给点 45HZ，现场实际显示 42HZ，导致水泵运行流量不足，严重影响生产。重要场合渣浆泵、环水泵已取消调频功能，均采用手动调频，严重影响自动化效率。

3 PROFINET 通讯技术概述

PROFINET（Process Field Net）是面向工业自动化领域的开放式工业以太网标准，由 PROFIBUS 国际组织（PI）于 2003 年正式发布，旨在提供高速、实时、可靠的通讯解决方案，现已成为全球主流工业通讯技术之一，其核心优势体现在以下方面：

1. 高兼容性：支持 PROFIBUS 总线向 PROFINET 总线的平滑升级，无需完全替换旧硬件，可通过更换通讯模块或新增适配模块实现过渡；

2. 多协议集成：可集成 Modbus TCP、EtherNet/IP 等工业以太网协议，实现跨厂商设备互联（如兼容西门子、ABB、国产森兰变频器）；

3. 传输高效性：采用光纤传输介质，传输速率可达 100Mbps/1Gbps，远高于传统 PROFIBUS DP 总线（12Mbps）；

4. 灵活扩展性：支持多设备组网，最多可连接 247 个从站，新增设备无需大幅改动布线，适配矿山分散式设备布局需求。

4 基于 PROFINET 的系统升级方案

4.1 网络结构升级

将原有 PROFINET 网络升级为 PROFINET PN 网络，采用两种低成本升级路径（如图 2 所示）：

1. 路径一：更换分布式 I/O 分站的 PROFIBUS 通讯模块为 PROFINET PN 模块（如西门子 IM153-2 PN 模块），铺设单模光纤替代 PROFINET DP 总线，传输距离可达 2km（多模光纤）或 20km（单模光纤）；

2. 路径二：保留原有 PROFINET 通讯模块，新增西门子 1200/1500 PROFIBUS 通讯模块（如 CM 1243-5），通过光纤实现总线扩展，降低硬件替换成本。



图 3 升级为 PROFINET PN 网络硬件改造图（采用路径二不拆除和更换原有模块，只增加一个 1500CPU 和 1500 通讯模块即可）



图 4 PROFINET 网络升级路径对比图

升级路径	核心硬件更换	传输介质	成本占比(相对原方案)	适用场景
路径一	通讯模块更换	单模光纤	60%	新建分站、旧模块故障场景
路径二	新增适配模块	多模光纤	30%	

4.2 系统架构重构

升级后采用“独立 PLC 控制柜 +PROFINET 现场总线 + 上位机”架构(如图 3 所示)，在各分站安装独立的西门子 1200/1500 CPU，实现各子站独立控制。设备控制程序就地存储运行，通讯中断时仅影响单台设备；支持逐台设备调试，可随时接入通讯网络，大幅提升维护灵活性。

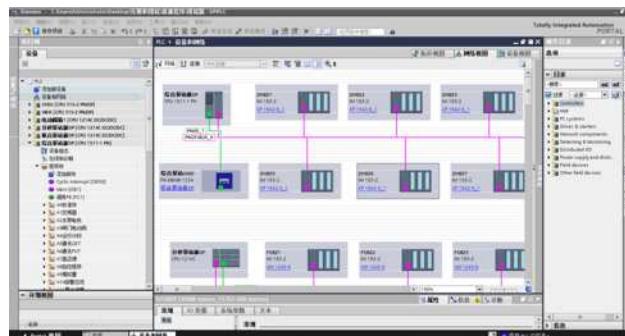


图 5 升级后 PROFINET 独立 CPU 系统架构图

(注：图中展示 5 个独立 CPU 控制单元，含分砂泵站、联合泵站等子站，采用 CPU 1214C/1511-1 PN，通过 PROFINET PN 总线连接上位机，具体组态界面引自安徽开发矿业升级后设计文件)

4.3 硬件与软件升级

4.3.1 硬件升级选型

将 300/400PLC 更换为西门子 1200/1500 PLC，该系列产品在硬件性能、集成功能、扩展性等方面全面超越旧款，具体对比见表 1：

表 1 西门子 300PLC 与 1200/1500PLC 性能对比

性能指标	300PLC	1200PLC	1500PLC
处理器	单核，运算速度 $0.1 \mu\text{s}/\text{指令}$	多核，运算速度 $0.08 \mu\text{s}/\text{指令}$	多核，运算速度 $0.05 \mu\text{s}/\text{指令}$
程序内存	最大 8MB	最大 15MB	最大 30MB
集成接口	无以太网口，需扩展	1 个以太网口	2 个以太网口(支持冗余)
能耗	平均 30W	平均 15W(低 40%)	平均 20W(低 33%)
生命周期	停产，无备件支持	主流，持续更新	主流，持续更新

同时引入国产高迈德 PROFINET 模块(型号 PN-12MB)，该模块具备 12 个 485 接口，可直接连接 485 通讯设备与 PLC，无需 OPC 软件中转，兼容森兰、ABB、西门子等多品牌变频器及各类仪器仪表。

4.3.2 软件平台升级

采用 TIA Portal(博图)V17 编程软件替代原有 PCS7，该平台集成编程、调试、仿真、HMI 设计等功能，支持 LAD/FBD/STL/SCL 多种编程语言，内置 PLC 仿真功能，无需硬件即可验证程序，调试效率提升 50% 以上。平台支持数据共享、版本管理与团队协作，还可通过 TIA Cloud 实现远程维护，适配现代化项目管理需求。

4.4 信息采集方式优化

将原 4~20mA 模拟量采集方式升级为 485 Modbus 信号采集，调频方式由 AO 模拟量调频改为 Modbus 调频。升级后仅需一根 485 双绞线即可实现多设备、多参数同步传输，抗干扰能力显著增强，数据传输距离可达 1200 米，且无模拟量数模转换误差，数据准确率达 100%。

5 升级方案应用案例

5.1 充填排尾自动化系统升级

5.1.1 升级实施

2025 年对充填排尾车间自动化系统进行升级，该系统原有 14 个分布式 IO 分站(含尾矿库、分砂泵站 1~3# 等)，升级后重构为 5 个独立 CPU 控制单元(分砂泵站、联合泵站、取水泵站等)，现场总线由 PROFINET DP 升级为以太网 PN 通讯，硬件更换为 CPU 1214C/1511-1 PN 及高迈德 PN 模块。

5.1.2 升级效果

1. 通讯可靠性：各独立 CPU 通讯互不影响，尾矿库通讯中断问题彻底解决，设备停运次数由每月 3~5 次降至 0 次；

2. 维护效率：程序采用博图软件模块化编程(如图 6 所

示），新员工培训周期由 6 个月缩短至 1 个月；

3. 界面优化：HMI 界面新增故障记录、参数设置、数据统计功能（如图 7 所示），操作响应时间由 1.5s 缩短至 0.3s。

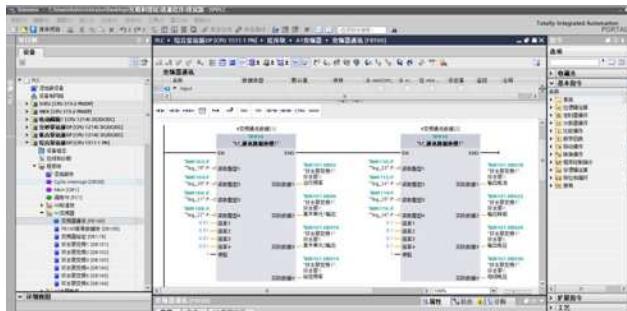


图 6 升级后变频器通讯程序界面（博图软件）

（注：图中展示 FB100 变频器通讯功能块，含数据读取、倍率转换逻辑，引自安徽开发矿业升级后程序文件）



图 7 升级后尾砂系统 HMI 界面



图 8 升级后充填排尾系统 HMI 界面

（注：界面含流量统计、设备状态监控、故障报警模块，数据刷新周期 1s，引自安徽开发矿业升级后 HMI 设计文件）

5.2 变频水泵控制升级

5.2.1 升级实施

通过高迈德 PROFINET PN 通讯模块，将带 485 接口的变频器 Modbus 通讯转换为以太网 PN 通讯，直接与 PLC 连接。单模块可连接 12 台水泵，覆盖选矿车间（31 台渣浆泵）、

设备房（16 台水泵）、尾矿库（5 台取水泵）等区域。

5.2.2 升级效果

1. 数据采集：可获取变频器故障代码、运行频率、电流等所有寄存器数据，准确率达 100%；

2. 成本控制：单模块国产成本仅 900 元，全系统水泵升级总投资 14.8 万元，仅为原 300PLC 方案（150 万元）的 1/10；

3. 维护简化：每台变频器仅需一根网线连接，替代原有 4-20mA 硬线（每台需 4-6 根线缆），线路故障率由 15% 降至 1%。

5.3 仪器仪表与空压机系统升级

5.3.1 仪器仪表升级

采用 485 双绞线连接流量计（如超声波流量计 ULTRASONIC FLOWMETER）、压力传感器（PT100）与高迈德模块，实现瞬时流量、累计流量、压力等参数采集，传输距离 1200 米，抗干扰能力强（电磁干扰环境下数据波动 $\leq 0.5\%$ ）。



图 9 升级后仪器仪表采用 485 通讯



图 10 升级后 HMI 显示图（升级后能够显示当日流量，当月流量，岗位人员只需抄数即可）

5.3.2 空压机远程控制升级

通过高迈德模块与双绞线接入，将空压机控制程序写入 PLC（如图 12 所示），通过控制 QW 区变量实现参数写入（如压力设定值、启停指令），解决了传统远程控制无法写入参数的难题，操作响应时间 $\leq 0.5\text{s}$ 。

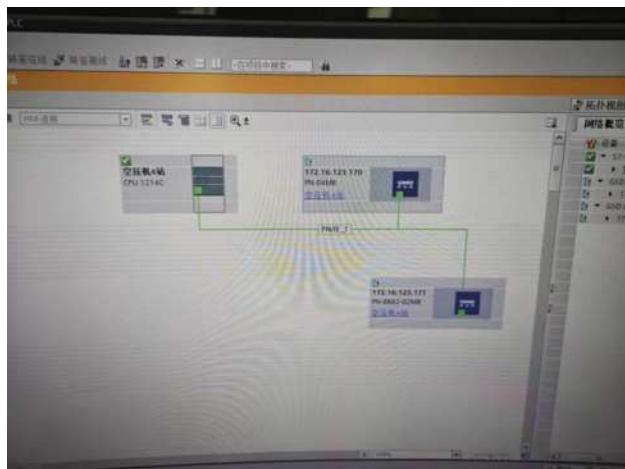


图 11 升级后高迈德 profinet 模块组态图

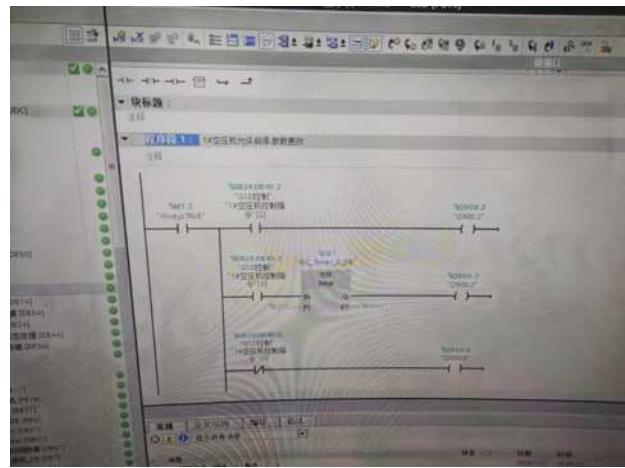


图 12 空压机远程控制程序界面

（注：程序含 GSD 控制逻辑、定时器延时模块，通过 Q900.0-3 输入

输出控制指令，引自安徽开发矿业空压机控制程序文件）

6 结论

基于 PROFINET 通讯技术的矿山自动化系统升级方案，通过网络结构优化、架构重构、软硬件更新及采集方式革新，全面解决了安徽开发矿业原有系统存在的通讯不可靠、维护困难、兼容性差等核心问题。升级后系统实现了以下成效：

1. 生产连续性：设备独立控制模式避免了单点通讯中断引发的全面停产，年减少停机时间 120 小时，增产 1.5 万吨；
2. 数据精准性：485 Modbus 通讯实现数据 0 衰减，准确率达 100%，为生产优化提供可靠数据支撑；
3. 成本经济性：国产模块应用与线路简化使硬件投资降低 90%，年维护成本减少 80 万元；
4. 人才培养：博图软件的可视化编程与分步调试功能，加速技术人员能力提升，核心技术人员数量由 2 名增至 6 名；
5. 国产化适配：系统兼容国产 PLC（如汇川、信捷）、变频器（森兰），为技术自主可控奠定基础。

该升级方案已在充填排尾、水泵控制、仪器仪表等多个场景验证可行，可为同类矿山企业的自动化智能化升级提供参考，具有广泛的推广应用价值。

参考文献

- [1] PROFIBUS International. PROFINET Specification V2.4[S]. Karlsruhe: PI Press, 2020: 12-45.
- [2] 西门子（中国）有限公司 . TIA Portal V17 编程与调试指南 [M]. 北京 : 机械工业出版社 , 2022: 89-123.
- [3] 高迈德科技（深圳）有限公司 . PN-08MB-1234 PROFINET 模块技术手册 [Z]. 深圳 : 高迈德科技 , 2024: 5-18.
- [4] 中国自动化学会 . 工业以太网技术应用规范 (T/CAA 008-2023) [S]. 北京 : 中国标准出版社 , 2023: 20-35.
- [5] 张宏, 李刚, 王磊 . 矿山自动化控制系统升级改造技术研究 [J]. 煤炭工程 , 2022, 54(3): 123-128.
- [6] 王建国, 刘辉 . PROFINET 通讯在矿山变频器控制中的应用 [J]. 工矿自动化 , 2021, 47(11): 78-83.
- [7] Siemens AG. SIMATIC S7-1200/1500 System Manual[Z]. Munich: Siemens AG, 2023: 45-67.

作者简介

陈阳升, 1988.11.20, 男, 汉, 湖北襄阳, 本科, 学士学位, 主要研究方向: 电气自动化