

卷烟滤棒交换装置智能化通讯系统实践与应用

郑凯泽 尹洪禹 鲁佳宝 吴昊 李金龙

红云红河烟草(集团)有限责任公司乌兰浩特卷烟厂 内蒙古 乌兰浩特 137400

摘要: 卷烟滤棒稳定高效供给是烟草工业自动化生产关键。传统滤棒交换站是连接发射机与接收站的核心枢纽,但依赖物理线缆与插接器传输信号,随设备老化,暴露出故障率高、维护成本大、操作界面不友好等问题,制约生产线效率与稳定性。本文提出基于“数字化软连接”技术的智能化通讯系统改造方案,取消物理信号线缆,将关键信号经远程I/O模块接入PLC集中处理,并辅以多点人机交互、动态编码适配及可视化管控等设计,解决传统系统缺陷。实践显示,改造后系统月均故障时长从669分钟降至31.5分钟,故障率降低90.5%,年维修成本下降98.75%,运维效率与操作便捷性显著提升,为烟草行业老旧自动化设备升级改造提供典范。

关键词: 滤棒交换站; 数字化软连接; PLC; 人机交互; 智能化改造

引言

现代卷烟厂卷包车间生产布局灵活,对物料输送系统响应速度与配置能力要求提升。滤棒交换站是关键物流与信号中转设备,能实现任意滤棒发射机向任意卷烟机接收站灵活供料,靠切换连接软管及配套信号线缆达成,以适应不同规格滤棒生产。但物理连接方式存在隐患,设备长期运行后,信号线缆及插接器因频繁插拔、环境腐蚀等易接触不良、信号中断,导致滤棒输送中断,影响卷烟机生产,且故障排查困难、维修耗时^[1]。同时,传统人机界面标识混乱、信息晦涩,增加操作人员负担与误操作风险。面对挑战,本项目基于工业4.0与智能制造理念,摒弃“硬连接”,引入“数字化软连接”技术,打造新一代滤棒交换通讯系统。本文将详述其实施背景、创新设计、做法及成效,为行业提供参考。

1 实施背景与问题分析

1.1 项目背景

卷包车间配置有4台滤棒发射机(每台含10个发射单元)和13台卷烟机(每台对应2个接收管道),另有14个预留接收接口,总计40个发射端口与40个接收端口。滤棒交换站通过连接软管建立物理通路,并通过配套的信号线缆传输“发射机准备好”和“接收站要料”两大核心信号,确保滤棒的受控发射。该系统自2012年投用以来,已连续服役13年,其电控系统以PROFIBUS和工业以太网为核心,包含CPU、远程I/O、通讯及高速计数等模块。

1.2 现状调研及核心问题

通过对系统长达十余年的运行数据分析,我们识别出以下五大核心问题:(1)控制系统故障频发:由于元器件老化,系统CPU模块频繁报“I/O设备故障”,整体故障率居高不下,虽经部分元器件更换,但根本性问题

未解。(2)信号线缆接线端子数量庞大:全站共有40个发射端口和40个接收端口,每个端口配备公母两个插接器,每个插接器含7个接线端子,总计高达1120个接线端子。如此庞大的节点数量是故障高发的温床。(3)信号传输故障处理时间长:据统计,仅2024年8月,信号传输相关故障就高达52.5次,月均故障时长达669分钟,直接影响滤棒输送量超过60万支,相当于一个卷烟机组单班次的需求量。主要故障类型包括插针氧化、插针脱落、锁紧挂钩失效等。(4)上位机界面晦涩难懂:受历史因素影响,HMI画面中的设备编号与现场实际物理排布严重不符,导致操作人员辨识困难,易引发误操作。原状态画面采用非标准化图示,信息读取难度大,操作人员需频繁查阅帮助文档,降低了界面的实际使用价值。(5)现有应对手段被动低效:目前主要依赖应急维修和周期性保养。每年需组织两次集中排查,每次投入6名电工耗时1-1.5天,占用大量维修资源,且无法从根本上杜绝故障。

2 创新目标与总体思路

2.1 创新目标

基于上述问题分析,本项目确立了明确的量化目标:通过重新设计一套全新的滤棒交换站电气控制系统,全面解决信号传输过程中的各类故障,将月均故障时长从669分钟控制在45分钟以内。

2.2 总体思路

项目的总体思路是:以“数字化软连接”技术为核心,构建一个多点人机交互、可视化管控的智能通讯系统。具体而言,即取消滤棒交换站连接软管上的物理信号线缆,将发射机端和接收站端的关键信号通过远程I/O模块统一接入PLC。在PLC内部,通过程序逻辑实现信号的“软对接”,从而彻底消除因物理插接器带来的所有故

障隐患^[2]。同时,部署多台专用HMI,构建直观、简洁、与现场物理布局高度一致的操作界面,并集成防误操作机制,全面提升系统的可靠性、可用性和可维护性。

3 系统核心创新点

本项目在技术实现上取得了三大核心创新:(1)数字化软连接技术重塑信号对接范式:这是本项目的基石。通过用PLC内部的数字逻辑替代物理线缆连接,实现了信号对接的“无束缚”突破,一举解决了线缆插接易磨损、触点接触不良、维护成本高等历史性难题。(2)工业上位机的编码动态适配新突破:创新性地运用嵌套文本列表技术,打破了传统HMI画面机台编码“写死”的局限。操作人员可根据实际生产管理需求,在界面上随时灵活更新设备编码,极大地提升了画面的长期适用性和管理效率。(3)滤棒交换站关键信号可视化管控:依托PLC强大的信号采集与处理能力,将“发射机准备好”与“接收站要料”两类关键信号,在各发射机的专属HMI界面上进行精准、实时的可视化呈现。这使得操作人员能够一目了然地掌握设备状态,大幅缩短了故障定位与排查的时间。

4 主要做法与技术实现

4.1 硬件系统重构

4.1.1 信号网络的全面梳理与统计

项目组投入大量精力,对全站320条信号链路、960个节点进行了地毯式的清查与核对,编制了详尽的《滤棒交换站通讯信号节点统计表》。这份表格不仅记录了每一个信号的起点、终点和功能,还标注了其当前的物理状态,为后续精准、高效的硬件部署与替换工作奠定了无可替代的数据基础,有效避免了改造过程中的遗漏和错误。

4.1.2 硬件选型、采购与科学部署

在精确掌握现状的基础上,项目进入了硬件实施阶段。选型工作严格遵循兼容性与经济性并重的原则。核心新设备如西门子SMART 700触摸屏和PLC网段转换器均选用主流品牌以确保性能与可靠性,同时,对于部分非核心元器件,则充分利用了拆机所得的合格备件,有效控制了整体改造成本^[3]。硬件部署方案经过精心规划,将CPU、I/O模块及交换机等核心组件科学地分配并安装于四个既有的电控柜中,不仅优化了柜内空间布局,还充分考虑了散热、电磁兼容及未来扩展性,完成了全新硬件平台的稳健搭建。

4.2 软件系统开发

4.2.1 PLC程序的模块化与高效设计

软件系统的核心是PLC程序的开发,其设计理念是

模块化与高效率。首先,为了提升程序的结构化程度和可读性,项目建立了包含物理属性(如长度、直径、材料代码)和逻辑信号(如准备好、要料、使能)的用户自定义数据类型(UDT)。基于此UDT,创建了发射机端和接收站端两个独立且结构清晰的数据块(DB),实现了数据的有效封装与隔离。在此基础上,程序开发的重点是“通道信号的循环映射模块”。该模块采用STL语句表编程,巧妙地融合了循环控制、动态地址计算和间接寻址等高级编程技巧。通过这一精巧的设计,仅用不到90条高度凝练的语句,就高效、可靠地完成了40个管道、共计160个信号的双向传递任务,极大地提升了代码的执行效率和后期维护的便捷性。

4.2.2 上位机人机界面的场景化组态

本项目共部署了6台HMI,形成了覆盖全场景的操作网络,分别位于交换站中央操作区、发射机近端工位以及4台发射机本体之上,满足了从集中调度到本地精细操作的多样化需求。在界面设计上,项目团队严格贯彻“简洁性、直观性、场景映射”三大原则。整个操作画面的布局与现场设备的实际物理位置完全一致,操作人员无需任何额外思考即可建立起画面与实物的直接联系。同时,大量采用标准化的图形化元素(如管道、阀门、状态灯)替代冗长的文字描述,力求达到“所见即所得,无需培训即可上手”的用户体验^[4]。其核心功能集成了运行状态的实时全景监控、发射单元与接收站对接关系的灵活在线设定、管道物理属性的精确配置,以及一项关键创新——通过嵌套文本列表技术实现的机台编码在线动态修改功能,赋予了系统前所未有的灵活性和生命力。

4.3 网络架构与安全机制

4.3.1 融合式网络架构的构建与兼容性处理

为确保整个智能化系统高速、稳定地运行,项目构建了一个基于PROFIBUS与PROFINET融合的一体化网络架构。这一设计充分利用了现有基础设施,同时融入了新一代工业以太网的高带宽优势,保证了PLC、远程I/O站点及多台HMI之间海量数据的实时、无损传输。尤为关键的是,针对改造过程中新旧设备IP地址冲突的难题,项目创新性地引入了PLC网段转换器。该设备如同一个智能的“翻译官”,巧妙地解决了不同网段设备间的通信障碍,实现了新旧系统的无缝、平滑集成,避免了大规模网络重构带来的高昂成本和长时间停产。

4.3.2 多层次防误操作安全体系的构筑

本项目构筑了一套由程序防护、物理标识和权限管理共同组成的多层次防误操作安全体系。在程序层面,PLC内部嵌入了严格的“属性匹配”逻辑校验。每当操作

员设定一个新的对接关系时,系统会自动调取发射管道与接收管道预设的物理属性(如滤棒直径、长度),进行一致性比对。一旦发现不匹配,系统将立即切断该发射单元的使能信号,并在HMI上触发醒目的报警提示,从逻辑根源上杜绝了因人为错配导致的生产事故。在物理层面,所有管道接口和交换软管上均粘贴了清晰、统一、包含关键信息的可视化标签,为操作人员在现场进行手动核对提供了直观依据,形成了与程序防护互为补充的第二道防线。此外,系统还设置了操作工与管理员两级权限管理体系,普通操作员仅能进行日常的对接操作,而涉及管道属性配置、系统参数调整等关键功能则被严格限制在管理员权限之下,确保了系统核心数据的安全与稳定。

5 应用效果评估

5.1 故障率与停机时间大幅降低

如表13和表14所示,实施后,所有与插接器相关的硬件故障(挂钩脱落、插针脱落、氧化等)被完全消除。总故障次数从月均52.5次降至4.5次,降低比例高达90.5%。月均故障时长从669分钟锐减至31.5分钟,降幅超过95%,不仅达成了预设目标,还实现了超额完成。

5.2 运维效率实现跨越式提升

电工团队每月用于处理信号故障的工时从12-14小时降至约1小时,降幅达93%。释放出的技术力量可投入到更具价值的预防性维护工作中。得益于系统强大的自诊断和预警能力,每年两次、每次耗时1.5天的集中深度维修工作被完全取消,有效避免了对生产计划的干扰。

5.3 维修成本得到高效管控

系统改造前,企业每年需投入约8万元用于更换插接器、线缆等配件。改造后,该费用降至0.1万元/年,维修成本降低了98.75%。这不仅节省了直接的备件采购费用,还大幅降低了库存管理和采购流程的成本,实现了运维成本的精益化管理。

5.4 操作体验与安全性显著增强

全新的HMI界面消除了原有的标识混乱和信息晦涩问题,操作逻辑清晰直观。新增的“一键禁用所有单元”等便捷功能,以及完善的防误操作机制,极大地提升了操作的安全性和效率,获得了现场操作人员的一致好评。

6 结语

本项目通过对卷烟滤棒交换装置通讯系统的智能化改造,成功地将一个故障频发、维护困难的“痛点”区域,转变为一个高可靠、高效率、易操作的“亮点”单元。其核心在于以“数字化软连接”理念取代了传统的物理硬连接,从根本上消除了系统的薄弱环节。通过软硬件协同设计、多点人机交互优化以及多层次安全防护机制的构建,项目不仅圆满达成了预设的技术经济指标,更在提升操作体验、降低综合成本、释放人力资源等方面产生了深远影响。该实践充分证明,对于烟草行业乃至更广泛的制造业领域,面对服役多年、问题丛生的自动化设备,不必局限于头痛医头、脚痛医脚的被动维修模式,而应积极拥抱数字化、智能化技术,通过系统性的重构与创新,赋予老旧设备新的生命力。本项目所形成的“低成本改造、高性价比升级”模式,为同类企业的技术革新提供了极具价值的参考样本,具有广阔的推广应用前景。

参考文献

- [1]郭跃平,薛少钧.滤棒输送系统的改进与应用[J].机械工业标准化与质量,2024(7):42-46,50.DOI:10.3969/j.issn.1007-6905.2024.07.011.
- [2]广州创孚智能科技有限公司.智能滤棒交换站:CN202123240617.5[P].2022-06-03.
- [3]陈焯,王振.滤棒供给系统设计[J].仪器与设备,2023,11(4):400-404.DOI:10.12677/IaE.2023.114052.
- [4]陈焯,王振.滤棒供给系统设计[J].仪器与设备,2023,11(4):400-404.DOI:10.12677/IaE.2023.114052.