翻车机系统自动化升级改造及运行效果分析

牛建党　宋兴祥　李红军

安阳钢铁股份有限公司　河南　安阳　455004

摘　要：翻车机系统是散料装卸作业的核心装备，其自动化水平直接影响卸车效率与运行安全。针对传统翻车机依赖人工操作、定位精度低、故障率高、作业效率受限等问题，本文提出了一套完整的自动化升级改造方案。方案涵盖车辆定位与识别、液压系统电控化、PLC 集中控制、安全联锁保护及上位机监控等模块，通过多传感器融合与智能算法实现翻车机全流程自动运行。改造后运行数据表明，系统卸车效率提升约 25%，故障停机时间下降 60%，人工干预频次显著降低，验证了改造方案的有效性与经济性，可为同类设备升级提供参考。

关键词：翻车机；自动化改造；PLC 控制；运行效果

引言：翻车机是港口、电厂、钢厂等散料装卸场所的关键设备，主要用于将铁路敞车中的煤炭、矿石等物料翻卸至受料坑。传统翻车机作业依赖司机手动操作，存在定位不准、翻卸节拍长、劳动强度大、安全隐患多等问题。随着工业自动化与智能控制技术的发展，对翻车机系统进行自动化升级改造，已成为提升散料装卸效率、降低运营成本的重要途径。然而，翻车机自动化改造涉及机械、液压、电气、控制等多专业协同，改造难度大、技术要求高，目前行业内尚缺乏系统性的改造方案与效果评估。本文以某港口翻车机系统改造项目为背景，系统阐述自动化升级改造的技术路线与实施方案，并通过运行数据对比分析改造效果，为同类设备升级提供工程参考。

1 翻车机系统概述与改造需求分析

1.1 翻车机系统组成与工作原理

翻车机系统主要由翻车机本体、重车调车机、空车调车机、迁车台、夹轮器、除尘系统及电气控制系统组成。其工作流程为：重车调车机将满载敞车牵引入翻车机内，夹轮器固定车辆，翻车机本体旋转约 160°~175° 将物料卸入受料坑，然后回转复位，空车调车机将空车牵出，完成一个作业循环。翻车机按结构形式可分为转子式、侧倾式和端倾式，其中转子式应用最广。整个系统涉及机械传动、液压驱动、电气控制等多个子系统，各子系统协调配合是保证作业效率的关键。

1.2 传统翻车机系统存在的问题

传统翻车机系统在实际运行中暴露出一系列问题：一是定位精度低，重车调车机依靠人工目测对位，车辆停位偏差大，导致翻卸过程中车辆窜动甚至脱轨；二是作业效率受限，人工操作翻车机旋转、定位、夹紧等动作节拍不连贯，单循环时间较长；三是故障率高，液压系统压力波动、传感器信号漂移等问题频发，且缺乏故障诊断手段，排查耗时；四是安全风险大，操作人员需在设备运行区域附近作业，存在机械伤害风险；五是信息孤岛，各子系统独立运行，缺乏集中监控与数据记录，难以进行运行优化。这些问题严重制约了翻车机系统的整体效能。

1.3 自动化改造的必要性与目标

针对上述问题，对翻车机系统进行自动化升级改造具有重要的现实意义。改造目标包括：实现车辆自动定位与识别，停位精度控制在 ±50mm 以内；实现翻车机全流程自动运行，单循环时间缩短至设计值以内；建立 PLC 集中控制系统，实现各子系统协调联动；完善安全联锁保护，消除人身伤害风险；搭建上位机监控平台，实现运行数据采集、故障报警与远程诊断。通过改造，最终达到提升卸车效率、降低故障率、减少人工干预、保障作业安全的目的[1]。

2 翻车机系统自动化升级改造方案

2.1 总体改造思路与系统架构

改造遵循“整体规划、分步实施、不停产改造”的原则，在保留原有机械本体和液压站的基础上，重点对电气控制系统、检测传感系统、执行机构及监控系统进行升级。系统架构采用三层结构：现场层包括传感器、执行器、变频器等设备；控制层以 PLC 为核心，负责逻辑运算与实时控制；监控层由上位机、触摸屏及数据库组成，实现人机交互与数据管理。三层之间通过工业以太网和现场总线通信，形成完整的自动化控制体系。

2.2 车辆定位与识别系统改造

车辆定位是翻车机自动化的关键环节。改造方案采用“激光测距 + 编码器 + 接近开关”多传感器融合定位方式：在重车调车机轨道旁安装激光测距仪，实时测量调车机位置；在驱动电机轴上安装增量式编码器，提供速度与位置反馈；在关键停位点设置接近开关，作为精确定位校准点。车辆识别采用射频识别（RFID）技术，在敞车上安装电子标签，读取车辆编号、载重等信息，自动匹配翻卸参数。定位算法采用 PID 闭环控制，根据测距偏差动态调整调车机速度，实现平稳、精准停车。

2.3 液压系统电控化改造

液压系统是翻车机本体旋转、夹轮器夹紧等动作的动力源。原系统采用手动阀控制，改造后更换为电液比例阀和电磁换向阀，由 PLC 输出模拟量或开关量信号控制。具体措施包括：在液压站增设压力传感器和流量传感器，实时监测系统压力与流量；采用比例溢流阀实现压力无级调节，适应不同载重车辆的夹紧力需求；增设液压油温度传感器和液位传感器，实现油温自动调节与低液位报警。改造后液压系统响应速度提升，压力控制精度达到 ±0.5MPa，有效减少了因压力波动导致的夹紧失效问题[2]。

2.4 PLC 控制系统与安全联锁设计

PLC 控制系统是整个自动化改造的核心。选用西门子 S7-1500 系列 PLC，配置数字量输入/输出模块、模拟量输入/输出模块及通信模块。控制程序采用模块化设计，包括车辆定位模块、翻车机旋转控制模块、夹轮器控制模块、调车机控制模块、故障诊断模块等。安全联锁设计遵循“故障安全”原则：当检测到车辆未停稳时，禁止翻车机旋转；当夹轮器未夹紧时，禁止翻车机动作；当翻车机未复位时，禁止调车机牵引；当液压系统压力异常时，自动停机并报警。同时设置急停按钮和安全门锁，确保人员进入时设备无法启动。

2.5 上位机监控与故障诊断系统

上位机监控系统采用组态软件（如 WinCC）开发，实现以下功能：实时监控，以动画形式显示翻车机各部件运行状态、车辆位置、液压压力等参数，操作人员可直观掌握设备运行情况；数据记录，将每次作业的循环时间、载重、故障信息存入数据库，支持历史查询与统计分析，为运行优化提供数据支撑；故障报警，当参数超限或设备故障时，自动弹出报警窗口并记录报警时间与类型，提醒操作人员及时处理；远程诊断，通过工业以太网将运行数据上传至中控室，支持工程师远程查看与参数调整，减少现场排查时间。故障诊断系统基于专家规则库，对常见故障（如定位超差、压力异常、传感器失效）进行自动判断并给出处理建议，缩短故障排查时间。系统还具备报表生成功能，可按日、周、月统计卸车量、故障率、能耗等指标，为设备管理提供决策依据，实现翻车机系统从经验管理向数据管理的转变。

3 翻车机系统运行效果分析

3.1 改造前后主要运行指标对比

为验证改造效果，选取改造前 3 个月与改造后 3 个月的运行数据进行对比。主要指标包括：单循环作业时间、日卸车量、故障停机时间、人工干预次数、定位精度等。数据采集由上位机监控系统自动完成，确保客观准确。对比分析采用均值比较与趋势分析方法，排除季节、物料种类等外部因素干扰[3]。

3.2 卸车效率与作业节拍分析

改造前，翻车机单循环作业时间平均为 4.2 分钟，日卸车量约 280 车。改造后，单循环时间降至 3.1 分钟，日卸车量提升至 350 车，效率提升约 25%。效率提升主要来源于三个方面：一是车辆定位时间缩短，激光测距与编码器融合定位使对位时间从平均 45 秒降至 20 秒；二是翻车机旋转与夹紧动作实现自动衔接，减少了人工等待与确认时间；三是调车机运行速度曲线优化，采用 S 形加减速，缩短了牵引与推送时间。作业节拍的稳定性也明显改善，改造前循环时间标准差为 0.8 分钟，改造后降至 0.3 分钟。

3.3 故障率与维护成本分析

改造前，翻车机系统月均故障停机时间为 18 小时，主要故障类型包括定位超差、液压压力异常、传感器失效等。改造后，月均故障停机时间降至 7.2 小时，下降 60%。故障率下降的原因在于：多传感器融合定位减少了单一传感器失效的影响；液压系统电控化使压力控制更稳定，减少了液压冲击；PLC 故障诊断模块能够提前预警潜在故障，实现预防性维护。维护成本方面，改造后年均维护费用降低约 30%，主要节省在故障排查人工成本和备件更换费用上。

3.4 安全性与人工干预分析

改造前，翻车机作业需配备 2 名操作人员（1 名司机、1 名监护），且操作人员需频繁进入设备区域进行对位确认与故障处理，存在机械伤害风险。改造后，系统实现全流程自动运行，操作人员减少至 1 名监控人员，且主要在中控室通过上位机监控，无需进入危险区域。人工干预次数从改造前的日均 12 次降至 2 次以下，干预

内容主要为异常情况确认与参数调整。安全联锁系统的完善也有效防止了误操作导致的事故，改造后未发生任何人身伤害或设备损坏事故。

3.5 经济效益综合评价

从经济效益角度分析，改造项目总投资约 380 万元，主要包括 PLC 及电控系统、传感器、液压阀件、上位机软件及安装调试费用。改造后，年卸车量提升带来的直接收益约 150 万元，维护成本节省约 45 万元，人工成本节省约 30 万元，综合年收益约 225 万元。投资回收期约 1.7 年，经济效益显著。此外，改造后设备运行稳定性提升，减少了因故障导致的船舶滞期费用，间接效益同样可观。

4 改造经验与优化建议

4.1 改造过程中的关键技术难点

改造过程中面临的首要难题是不停产施工，翻车机作为港口装卸的关键设备，停机时间极为有限，设备安装与调试必须在作业间隙和计划停机窗口内完成，对施工组织、工序衔接和人员调配提出了很高要求。新旧系统兼容同样是一大挑战，原液压站采用传统手动阀控制，与新增电控系统的接口在信号类型、压力匹配、响应时序等方面存在差异，需反复调试才能实现平稳过渡。定位精度受环境因素影响也不容忽视，雨雪天气下激光测距仪信号衰减明显，测量数据出现漂移，需增加防护措施并引入算法补偿。此外，PLC 程序与现场设备联调周期长，各类工况组合复杂，需充分模拟满载、空载、偏载等情形进行测试验证。针对上述难点，项目组采取了分阶段调试、关键环节冗余设计、传感器环境防护等措施，逐项攻克技术瓶颈，确保了改造顺利实施[4]。

4.2 运行中暴露的问题与改进措施

改造后系统运行总体稳定，但也暴露出一些有待完善的问题。RFID 识别在车辆标签污损、遮挡或恶劣天气条件下偶发失效，导致车辆信息读取失败，影响自动翻卸流程，为此需增加人工确认环节作为备用手段。液压油温在夏季高负荷连续作业时段偏高，接近报警阈值，影响液压元件寿命与控制精度，需加强冷却系统能力或优化作业节拍。上位机数据库存储量有限，长期运行后历史数据积累过快，需定期归档清理，不利于趋势分析与故障追溯。针对这些问题，建议后续改进采取以下措施：增加车牌识别或图像识别作为 RFID 的补充手段，提高车辆识别可靠性；增设油温自动调节阀或升级冷却器，实现油温主动控制；采用云存储或分布式数据库扩展存储能力，满足长期数据留存与分析需求。

4.3 对同类改造项目的建议

基于本项目实践经验，对同类翻车机自动化改造提出以下建议。改造前应充分调研设备现状与运行数据，掌握原有系统的薄弱环节与实际负荷特征，制定针对性方案，避免盲目套用通用模板。技术选型上应优先采用成熟可靠的传感与控制技术，在保证稳定性的前提下适度引入新技术，避免过度追求先进性而导致系统复杂、故障率上升。安全联锁设计应作为改造重点，遵循“故障安全”原则，确保任何故障情况下设备均能安全停机，切实保障人员与设备安全。同时应建立完善的运行数据采集与分析体系，将作业时间、故障记录、能耗数据等纳入统一管理，为持续优化提供依据。另外，还需加强操作人员培训，使其从传统操作模式转向监控与维护模式，适应自动化系统的运行要求，充分发挥改造效益。

结束语

翻车机系统自动化升级改造是提升散料装卸效率、保障作业安全的重要举措。本文以某港口翻车机改造项目为背景，系统阐述了车辆定位与识别、液压电控化、PLC 集中控制、安全联锁及上位机监控等改造方案，并通过运行数据对比验证了改造效果。改造经验表明，多传感器融合定位、电液比例控制、故障诊断专家系统等技术的应用是提升翻车机自动化水平的关键。未来，随着人工智能、数字孪生、5G 通信等技术的发展，翻车机系统有望实现更高水平的智能化运行，为散料装卸行业转型升级提供支撑。

参考文献

[1] 田云鹏. 基于智能化的火电厂翻车机控制系统设计 [J]. 新潮电子，2026(14)：151-153.

[2] 路雪峰, 王明洋, 王强, 等. 位置模型系统在翻车机无人值守系统中的应用 [J]. 中国设备工程,2025(12):28-30.

[3] 武锦峰, 刘长旭, 潘超. 基于机器视觉的翻车机自动摘复钩无人化系统精准定位研究 [J]. 自动化应用,2026,67(10):55-57,61.

[4] 杨志伟. 翻车机电气控制系统优化研究 [J]. 今日自动化,2025(11):22-24.