

原烟高架库堆垛机可视化监控系统的研究与应用

李伟 李啟明 马路红 刘义龙 刘宗强

红塔烟草(集团)有限责任公司昭通卷烟厂 云南 昭通 657000

【摘要】：堆垛机作为自动化立体仓库的核心设备，其运行稳定性直接关系到整个物流系统的效率。针对卷烟厂烟包物流环节堆垛机故障维修耗时长、安全风险高的问题，本文设计并实现了一套基于多技术融合的堆垛机可视化监控系统。系统通过集成实时视频监控、数据采集分析、智能报警推送与移动端远程控制功能，构建了“监测-诊断-处理”一体化解决方案。应用结果表明，该系统将平均故障维修成本大幅降低，效率提升显著，有效降低了人工攀爬风险，实现了设备管理的数字化与精准化，为智慧工厂建设提供了关键技术支撑。

【关键词】：卷烟物流；堆垛机；可视化监控；故障诊断；远程控制；工业物联网

DOI:10.12417/2811-0536.25.11.006

随着智能制造的发展，自动化立体仓库在烟草、医药、电商等行业广泛应用。堆垛机作为高架物流库的核心搬运设备，承担着物料高效出入库的重任。在卷烟厂制丝生产环节，原烟高架库堆垛机需频繁搬运重达 200kg 的烟包，其运行稳定性直接影响制丝车间的连续生产。传统故障处理依赖维修人员攀爬设备现场排查，存在效率低、安全风险高、响应滞后等问题。因此，开发一套实时可视化监控系统，实现故障快速诊断与远程处理，成为提升设备管理水平的迫切需求，可有效提升物流管理水平。

1 研究现状和技术瓶颈

目前国内智能化物流系统研究较多，但对卷烟工厂生产烟包物流技术应用和研究相对有限，其中主要聚焦于数字孪生技术研究，宫瑞哲等^[1]通过构建堆垛机的三维数字模型，实现了运行状态虚拟映射，但实时数据交互精度不足。

工业物联网 (IIoT) 架构：卫定惠^[2]提出基于 B/S 架构的监控系统，支持多终端访问，但未解决移动端控制难题。

故障预测算法：夏莉^[3]研究了堆垛机调度优化，但缺乏对实时故障诊断的深入应用。

卷烟工厂在实际生产过程中，存在多源异构数据（视频、传感器、控制信号）融合困难，低延时远程控制的安全性保障，复杂环境下的视频监控全覆盖的现实问题。卷烟生产过程中，200kg 重的片烟烟包，需经原料高架库进行物流准备，在物流仓库进入制丝生产环节过程中，当堆垛机发生故障时，需集控室人员及时发现故障故障点并通知维修人员，维修人员前往高架库区域，攀爬堆垛机平台进一步查看故障并进行维修。在攀爬过程中存在一定的安全风险，并影响维修的及时性。

2 系统设计与实现

针对高架库堆垛机现状，通过设计一套“云-边-端”协同架构，由实时监控层、数据分析层、应用交互层构成的系统，实时反应堆垛机运行状态，自动获取设备运行数据，对获取到的状态进行判断，当堆垛机出现故障时系统给出相应的报警信息、解决方法等，实现对堆垛机的在线可视化监控。并通过视频监控装置，在地面实现控制堆垛机进行动作。提高堆垛机维修的高效性、安全性、可控性，提升高架库物流管理水平。（图 1）

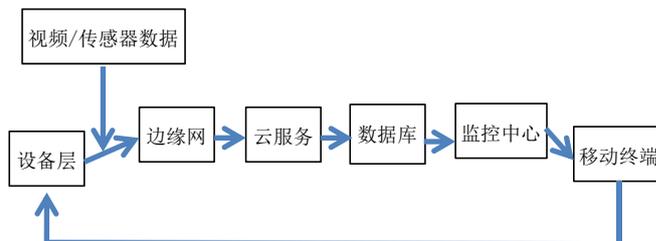


图 1 “云-边-端”协同架构示意图

通过建立实时监控模块、智能报警模块、远程控制模块等协同建设，实现堆垛机可视化监控系统应用。

2.1 实时查看模块设计

通过在堆垛机上安装智能球机监控摄像头对堆垛机安全情况进行无死角监控。并使用 WINCC 开发监视操作界面使维修人员可通过地面移动平板准确查看堆垛机各关键功能位置。

硬件配置：防震型智能球机（200 万像素，IP67 防护），实现堆垛机运行轨迹无死角监控，工业级无线路由（支持 802.11ac，双频抗干扰）

软件平台：基于 WinCC 开发监控界面，支持手势缩放与关键部位聚焦移动端 APP 兼容 iOS/Android 系统。

2.2 智能报警模块：采用多级诊断策略

针对高架库进行技术分析，采用对原有 Historian 数据库添加参数变量进行数据库关联，使关联正确率达到 100%；通过 B/S 系统架构设计和服务器端程序开发使常见的终端兼容率达到 100%。部署云服务器存储、内存、CPU、系统、网络等资源，并对响应时间进行测试，使响应时间≤1000 毫秒。通过组态远端连接伙伴（PC 服务器）、编写 OPC 程序，使通讯正确率达到 100%。通过 MongoDB 数据库软件编写客户端代码、服务器代码，并对服务器发送和接收的 JSON 数据进行跟踪和测试，使解析速度≤100 毫秒/次；编写颜色报警脚本，配置颜色报警输出，使识别报警时间≤10 秒。

```
#故障诊断流程示例 def fault_diagnosis(sensor_data):
if temperature>85° C: #一级：阈值判断。
trigger_alarm (“电机过热”)。
elif vibration_freq in[45,65]: #二级：频谱分析。
trigger_alarm (“轨道共振风险”)。
elif OPC_data&video_analysis:#三级：多源验证。
locate_fault (“货叉定位偏移”)。
```

关键技术实现：建立 SQL Server 关系数据库与 MongoDB 时序数据库的双模存储，OPC UA 协议实现 99.99%通讯可靠性，JSON 数据交换格式优化，解析速度≤85ms，基于颜色编码的报警分级（红/黄/蓝对应紧急/警告/提示）。

2.3 远程控制模块

通过 S7-300 PLC 开发安全控制逻辑：速度分级限制（X 轴≤2m/s,Y 轴≤0.5m/s），急停指令优先权设定。

移动端控制界面实现：

```
//虚拟操纵杆控制示例 void onJoystickMove(Angle angle){
if(angle>45° &&safety_check()){
send_command("X+");
}}
```

通过安装短信猫、编写短信提醒代码、对短信提醒准确性进行测试。实现对依据报警模型产生的实时报警和历史报警信息的展示，并将实时报警信息、维修建议自动推送到上位机系统和 APP 中。

通过对系统设计和安装，卷烟厂原料高架库物流系统实现了堆垛机可视化监控系统的可视化运行。

(图 2)



图 2 堆垛机监控服务器界面

3 应用效果分析

在昭通卷烟厂实施后，系统取得显著成效，通过使用堆垛机可视化监控系统之后，能够准确的监测设备运行状态，在设备故障时通过短信提醒报警故障信息，同时可操控摄像头查看具体的故障点，达到快速查找故障的目的，有效解决了攀爬堆垛机带来的维修时间长、安全风险大等问题。

指标	实施前	实施后	提升率
平均维修时间	56.1 min	10.4 min	439.42%
故障定位精度	65%	98%	50.8%

物流高架库堆垛机可视化监控系统的设计和应用，提升了卷烟工厂物流自动化立体仓库的水平，提供了维修效率和减少了安全隐患。（图 3）

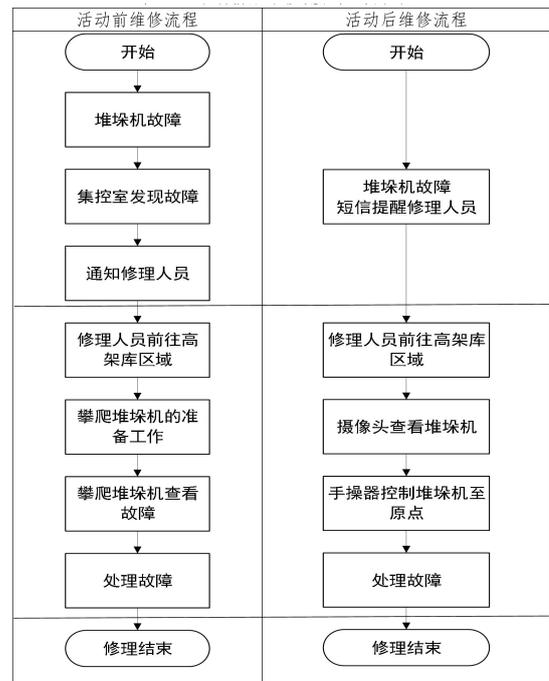


图 3 维修流程图对比

物流高架库堆垛机可视化监控系统从技术上实现了多模态数据融合；整合视频流、传感器数据、控制信号，构建三维可视化诊断模型；移动优先架构采用 B/S+APP 双模式，支持维修人员通过 4G/5G 网络远程操控设备；基于历史数据训练 LSTM 模型，提前预警关键部件失效

4 结语

本文设计的可视化监控系统有效解决了堆垛机维修效率与安全问题，其价值体现在：

维修模式变革：从“事后攀爬排查”转向“远程精准处置”。

管理精细化：建立设备全生命周期数字档案。

行业推广性：系统框架可扩展至起重机械、AGV 等物流设备。

此系统的运用期间改变了通过人工攀爬对堆垛机进行维修的现状，能够提高维修人员在处理故障时的工作效率、降低维修人员劳动强度、保障维修人员的人身安全，同时此系统的运用也使设备管理更加精细化、精准化，为打造“智慧化工厂”奠定了基础，在行业内、外均具有较好的推广应用价值。随着创新技术的发展和应用，物流高架库可进一步开展融合 AR 技术实现故障部位三维标注，结合数字孪生构建虚拟调试平台，开发基于区块链的维修记录存证等创新技术，进一步提升物流管理水平。

参考文献：

- [1] 卫定惠,汪惠芬.中小型自动化生产线可视化监控系统[J].中国机械工程,2020(11):1351-1359.
- [2] 宫瑞哲,饶丰,任楠.堆垛机的数字孪生系统可视化模型搭建与实现[J].制造业自动化,2022(4):154-157.
- [3] 夏莉.自动化立体仓库堆垛机拣选作业调度及其监控系统研究[D].山西:中北大学,2016:43-55.