

工程机械行业涂装产线运维平台软件研究

余育军, 耿颖, 王涛, 王哲, 朱明, 陈飞, 胡章枝

(中机第一设计研究院有限公司, 合肥 230601)

摘要: 涂装生产线是工程机械制造中的关键环节, 对产品的外观质量、耐腐蚀性能和生产效率起到至关重要的作用。然而, 由于传统运维方式效率低下且成本高昂, 难以满足现代化智能制造的需求。本研究提出了一种针对工程机械行业涂装产线的运维平台软件, 以工业物联网(IIoT)和人工智能(AI)技术为核心, 构建集数据采集、实时监控、故障预测和维护管理于一体的智能化解决方案。该平台在设备利用率、故障处理速度及资源优化配置等方面均取得显著成效, 为工程机械行业的智能化升级提供了重要参考。

关键词: 涂装线; 工业物联网; 运维平台; 数据采集

中图分类号: TQ639 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2025)11-0045-04

Research on the Maintenance Platform Software for Coating Production Lines in the Construction Machinery Industry

YU Yu-jun, GENG Ying, WANG Tao, WANG Zhe, ZHU Ming, CHEN Fei, HU Zhang-zhi

(First Design and Research Institute Co., Ltd., Hefei 230601, China)

Abstract: The painting production line is a critical process in construction machinery manufacturing, playing a key role in ensuring product appearance quality, corrosion resistance, and production efficiency. However, traditional maintenance methods are inefficient and costly, failing to meet the demands of modern intelligent manufacturing. This study proposes an intelligent maintenance platform for the painting production line in the construction machinery industry, integrating Industrial Internet of Things (IIoT) and Artificial Intelligence (AI) technologies. The platform features data acquisition, real-time monitoring, fault prediction and maintenance management. Experimental results demonstrate significant improvements in equipment utilization, fault handling speed, and resource optimization, providing a valuable reference for intelligent upgrades in the construction machinery sector.

Key words: painting line; industrial internet of things; operation and maintenance platform; data acquisition

0 引言

随着全球工程机械行业的快速发展, 制造企业对生产效率、产品质量及成本控制的要求不断提高。在涂装生产环节中, 设备的稳定性和运维效率对整体生产能力具有直接影响。然而, 传统的涂装产线运维模式存在以下显著问题: 状态监测滞后; 设备运行参数依赖人

工定期检查, 难以及时掌握运行状况; 被动维修模式: 故障发生后才启动修复流程, 导致停机时间长, 维修成本高; 维护资源分配不合理: 维护计划缺乏科学性, 导致资源浪费或维护不足。

近年来, 工业物联网(IIoT)、大数据分析及人工智能(AI)技术在制造业中的广泛应用, 为提升涂装产线运维水平提供了新思路。智能化运维平台能够通过实时数据采集与分析, 精准预测设备故障, 优化维护计划, 从而实现降本增效。

本研究以工程机械行业涂装产线为背景, 提出一种基于 IIoT 和 AI 技术的运维平台软件, 旨在提高设

收稿日期: 2024-12-05

作者简介: 余育军(1992—), 男, 本科, 工程师, 主要从事电气自动化、信息化、数字化、智能化规划、设计、管理实施等工作。E-mail: 17754023899@163.com。

备利用率、缩短停机时间并优化资源配置。

1 涂装产线运维现状与需求分析

1.1 传统运维模式的主要问题

涂装产线由多个工序和设备组成,包括喷涂机器人、输送系统、烘干炉等,这些设备在长时间高强度运作下容易出现故障。传统运维方式存在以下不足:

数据孤岛问题:不同设备的运行数据分散,缺乏统一管理;诊断效率低:设备故障依赖人工判断,往往需要耗费较长时间;维护计划粗放:基于经验的定期维护无法动态调整,存在过度维护或维护不足的风险。

1.2 智能化运维的核心需求

现代化涂装产线运维需要解决以下关键问题:

实时监控:能够对设备运行状态进行全面、实时的动态监测;故障预测:通过数据驱动的算法提前预警,避免严重故障;维护优化:基于设备状态自动生成科学的维护计划,提高效率并降低成本。

2 涂装产线运维平台软件架构设计

2.1 总体架构设计

运维平台采用模块化、分层设计,主要包括3层。

1)数据采集层:通过传感器与工业协议(如 OPC-UA 和 Modbus),实现涂装设备运行参数(如温度、压

力、电流等)的实时采集。

2)平台核心层:基于云计算和大数据技术,进行数据存储、分析与可视化处理,同时引入 AI 算法提升故障预测能力。

3)应用服务层:提供状态监控、故障诊断、维护管理及能耗优化等功能,通过友好的用户界面便捷呈现。

2.2 核心功能模块

1)实时状态监控:对涂装产线中的关键设备运行参数进行实时采集与动态显示;支持多维度数据展示与异常报警,提升状态可视化能力。

2)故障预测与诊断:应用机器学习算法(如 LSTM、随机森林),基于历史数据和实时数据预测潜在故障;提供详细的诊断报告,明确故障原因与可能影响范围。

3)智能维护管理:根据设备状态生成科学的维护计划,优化维护频率与资源分配;集成维护工单管理功能,记录维护历史,便于追溯与分析。

4)能耗分析与优化:实时监测产线能耗,识别高耗能环节并优化工艺流程;提供节能建议,提高生产的能源利用效率。

表 1 为工程机械行业涂装产线运维平台功能的所有模块,以及模块的功能说明。

表 1 工程机械行业涂装产线运维平台功能模块

功能模块	功能明细	功能内容
系统管理	界面配置管理	可以通过用户界面配置和修改核心控制中对用户开放的系统参数,以方便系统调整和维护;对重要数据进行备份,系统故障排除后软件与数据能够恢复。此外,还能够建立和维护基础数据、用户数据等,按规定对业务数据进行归档。基础数据与用户数据等,还须具备与上层工厂级中控系统接口功能,并从编码和结构层面保持企业内部管理的一致性;系统参数应能保存、导入和导出;能显示现场值班人员常用的帮助、维护信息、操作要点、重要的技术文件、故障排除方法、易耗易损件技术资料等,所有故障信息采用通俗易懂的中文进行显示;定期自动删除过期数据,保证硬盘空间。所有软件要有备份,以便系统出现故障后的恢复
	系统操作记录管理	
	系统参数管理	
基础数据管理	产线模型管理	包含:涂装产线模型管理及维护、成品条码管理、物料数据管理及维护、人员信息维护、工艺路径维护、物料批次号生成规则设定和维护、设备台账等;除系统内具备维护功能外,应具备与上层系统接口,从编码和结构层面确保一致性
	物料数据管理	
	成品数据管理	
	系统用户管理	
	设备台账管理	
日志管理	设备信息日志管理	具有设备信息日志(历史报警记录),能导出、存档和恢复信息(导出的文档格式可以为 excel 等);运行日志应包含系统登录、启停、故障、维护等事件和信息,并将其送至速递处理中心信息系统。操作日志应包含操作时间、故障时间、维护时间、急停时间、堵塞时间等。用户指令日志应包含抓取用户送到系统中的事件,例如,开始,停止,复位等;能通过信息系统对用户信息实施授权,只有经授权的操作维护人员才能进入相应功能;应保存半年的操作过程记录(对系统的操作、改变模式、配置参数等),具体保存天数应可以设置
	系统操作日志管理	
工单管理	工单下发	车间级中控系统接收上级工厂级计划下达,自动分解计划并经操作人员确定后自动下达到线体及工序控制器;车间级中控系统接收并执行工单,在生产过程中,将工单状态实时反馈上级系统;工厂级中控系统工单状态说明:会依据业务情况增加,工单状态发生变化时,工厂级中控系统重新发送订单至车间中控系统;工单状态有新建、投产、完成、停线、取消;工单在执行过程中出现一般异常时,由工序系统通过接口推送至车间级中控系统,驱动车间级中控系统进行工单调整并下发,保障业务闭环;工单在执行过程中出现严重异常时,由车间级中控系统反馈至工厂级中控系统;系统应具备手工维护工单的功能
	工单进度监控	

续表

功能模块	功能明细	功能内容
上线产品管理	产品上线记录	根据工单信息获取上线产品类型,判断上线产品是否正确;产品信息与载码体进行绑定
在制品管理	生产过程记录	系统与产线控制系统集成,获取在制品过程状态信息;对关键工序进行管理;工位设备状态实时显示、异常报警;对在制品工时与质量进行统计分析;工位操作详情管理;设备利用率分析、设备使用情况实时显示
物料管理	物料管控	叫料管理:工位缺料(油漆、粉料)时触发(自动或手动触发)叫料功能,通知仓库配料;上料管理:来料时进行来料校验,防止漏料、错料;物料消耗管理:通过工艺管理中的 BOM 实现消耗料管理和追溯;物料追溯:成品件与物料消耗的绑定
工艺管理	BOM 管理 ESOP 管理	BOM 管理:制造 BOM 维护管理;ESOP 管理:ESOP 下发、变更及工位 ESOP 查询
质量管理	质量数据采集 质量分析 返修管理 质量追溯	质量数据采集与 SPC 管控:将系统的检测结果、全检工序的质量数据与产品关联,并提供手工质量数据录入方式;质量数据分析和查询:通过质量分析,获得影响产能与质量的关键因素分析;返修管理:返修批次跟踪、良率分析等;质量追溯:批次的全程质量追溯
工时管理	工位工时统计 异常工时报警	工位工时统计:工位工时实时显示及记录过站时间;异常工时报警:异常工时的报警及记录统计管理;工位工时统计,应与作业人员、班次建立关联,以支持工时分析和人员效率分析
设备管理	设备数据采集 设备运行状态监控 设备 OEE 分析	设备运行状态监控;OEE 分析
能源管理	能源数据采集 能源数据分析 能源数据监控	监控每条产线的能源仪表水电气使用数据,实现能源分项,自动抄表,结合生产数据,计算能源成本数据,支持能源分析报表定制等功能;对重点用能单元及能耗消耗环节安装智能计量仪器,实现能源数据的提取,构建全面的能源数据基础,为企业分析用能提供全面的数据支撑;提供“周/月/年维度报告”“综合查询”等功能,内容包含不同类型能源的总用量以及同环比分析、复费率量费分析、能耗排名分析、报警统计分析等;通过“用能排行”“数据对比”等功能不断发现更多节能点,寻找节能机会;多维度的能源数据在线实时监控并进行用能合理分析,提供节能诊断、分析决策等服务
看板管理	车间报表 可视化	进行车间报表可视化管理,包括:生产信息,实时显示当前生产进度;质量信息,显示制造过程质量情况;设备信息,显示当前设备状态
条码管理	条码管理	支持对一维码、二维码的识别读取;系统所产生的单据信息须具备二维条码;成品编号和二维码管理
ANDON 展示	ANDON 展示	对上料工位中部署物料呼叫软 ANDON 或物料呼叫硬 ANDON 按钮;根据工序位置情况,部署 LCD 电视看板,展示过站、作业操作、质量等相关作业指导信息;设备运行状态报警
成品库管理	成品库管理	对涂装在线成品积放区的产品要有一套库管理系统,内容包含入库、出库、调拨、库存管理等功能
成品配送管理	成品配送管理	对接成品库管理和 PLC 系统,通过调度算法,以最快、最优、精准的方法,按照生产计划配送各条喷涂线的成品到总装线;各涂装线体的上线、下线环节需与相应物流系统及硬件通过接口对接,保障厂内物流顺畅
接口管理	系统间数据 接口管理	
报表管理	系统报表	系统可自动采集产线内设备数据、生产数据,并定期进行统计整理,以中文方式进行各类生产信息及图表的显示和打印,人机界面友好,便于生产人员理解、查询;系统可将所有的统计数据按照指定分类转换成“excel”格式报表并导出;生产及物流报表:在制品工时统计分析,质量问题统计分析,月/日入库报表,月/日出库报表,进出库存报表,空库位报表,库存预警报表,支持物料移动频次分析,支持物料积压分析,支持物料短缺分析,支持业务执行分析

2.3 关键技术实现

1)工业物联网技术:利用工业网关实现设备数据采集和平台数据上传的无缝连接。

2)大数据存储与分析:使用 Hadoop 和 Spark 技术架构,满足大规模数据处理需求。

3)人工智能算法:结合深度学习(如 LSTM)和传统算法,提升预测精度与响应速度。

3 平台开发与实际应用

3.1 开发工具与框架

后端开发:基于 Spring Boot 框架,构建平台业务逻辑;前端开发:采用 Vue.js 框架,实现跨平台用户界面;数据处理:通过 Kafka 实现数据流处理,并结合 Hadoop 进行大数据存储与分析。

3.2 平台上线效果演示

截取界面进行演示,图 1~4 分别展示的是系统的设备管理、故障统计分析、生产看板、数字孪生等系统界面。



图 1 设备管理界面

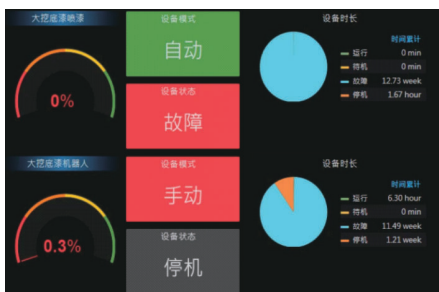


图 2 故障统计分析界面



图 3 生产看板界面

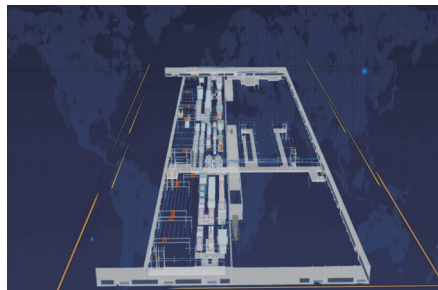


图 4 数字孪生界面

3.3 应用案例分析

某工程机械制造企业引入本研究提出的涂装产线运维平台后,取得以下成效。设备故障率降低:预测故障准确率超过 90%,显著减少了非计划停机;运维成本下降:通过精准维护与资源优化,年度运维成本降低 25%;能耗效率提升:能耗分析功能帮助企业实现年度节能 12%。

4 研究成果与未来展望

4.1 研究成果

本研究开发的智能运维平台在设备状态监控、故障预测及维护管理等方面取得良好效果,有效解决了传统运维方式的痛点,为工程机械行业的智能化转型提供了可行路径。

4.2 未来展望

为进一步提升平台价值,未来研究方向包括:1)生产与运维协同优化——加强平台与生产调度系统的集成,提升整体效能;2)新技术应用——探索增强现实(AR)技术在远程运维中的应用;3)跨行业扩展——将平台推广至汽车制造、航空航天等其他领域。

5 结语

本研究针对工程机械行业涂装产线的运维需求,开发了一种智能化运维平台软件。该平台通过先进的技术手段解决了传统运维模式的瓶颈问题,在提升设备效率、优化维护成本及实现能耗优化方面取得了显著成效。未来,随着功能的进一步扩展与技术的不断升级,该平台将在更多工业领域展现出重要应用价值。

参考文献:

- [1] 唐明明.工业物联网技术在智能制造中的应用[J].电子技术, 2023(9):378-379.
- [2] 张晗,吕朋辉,王芳,等.汽车涂装车间智能运维平台的研究与应用[J].现代涂料与涂装,2024(5):52-54.
- [3] 于泽森,李文刚,郭鑫,等.涂装车间自动化、数字化、智能化新技术[J].汽车工艺与材料,2020(12):25-28.