

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2026.04.007

基于四层架构的挖掘机自动化生产线研究与设计

程者军,程菲楠

(北京工业大学 耿丹学院,北京 101301)

摘 要:分析当前挖掘机制造业生产的现状,提出一种四层架构的挖掘机自动化生产软件系统架构,具有很大的可扩展性和灵活性。结合挖掘机生产和加工的业务流程,分别对硬件架构和软件架构进行详细分析和描述,并对核心功能的软件流程进行详细设计。提出的挖掘机自动化生产线系统架构具备高可用性、高可扩展性、高安全性、性能高、可维护性好、成本效益高、用户体验佳等优点。根据工业自动化系统的特点,以及扁平化的管理需求,对工业自动化系统架构在制造业的应用前景进行展望。

关键词:挖掘机生产;自动化软件;系统架构;MOM

中图分类号:TP278 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2026)04-0034-05

Research and Design of an Automated Production Line for Excavators Based on a Four-Layer Architecture

Cheng Zhejun, Cheng Feinan

(Gengdan Institute of Beijing University of Technology, Beijing 101301, China)

Abstract: By analyzing the current state of excavator manufacturing, a four-layer software system architecture for automated excavator production lines is proposed, offering high scalability and flexibility. In conjunction with the business processes of excavator production and machining, the hardware architecture and software architecture are analyzed and described in detail, and the software workflows for core functions are elaborated. The proposed system architecture for the automated excavator production line exhibits advantages such as high availability, high scalability, high security, high performance, good maintainability, cost-effectiveness, and excellent user experience. Based on the characteristics of industrial automation systems and the demand for flattened management, the application prospects of industrial automation system architectures in the manufacturing sector are discussed.

Keywords: excavator production; automation software; system architecture; MOM

0 引言

随着工业化与信息化进程的不断交叉融合,越来越多的信息技术在工业领域得以应用。目前,工业控制系统已广泛应用于电力、水力、石化、医药、机械制造、交通运输、航空航天等领域,其中,绝大多数涉及国计民生的关键基础设施依靠工业控制系统来实现自动化作业,工业控制系统已经成为国家关键基础设施的重要组成部分。与此同时,由于工业控制系统广泛采用通用软硬件和网络设施,以及与企业信息系统的集成,导致工业控制系统越来越复杂,越来越开放,并且与企业内网,甚至是与互联网进行数据交换。也就是说以前工业控制系统在物理环境上的相对封闭

性以及工业控制系统软硬件的专用性将会被打破。通过互联网或企业内网将有可能获取相关工业控制系统较为详细的信息,再加上采用工业控制系统的企业业务流程复杂,这样就对工业控制系统的架构提出了更高的要求。

挖掘机是一种常见的工程机械,主要用于土地整理、挖掘、填埋、装载、搬运等作业。随着城市化进程的加速、基础设施建设的不断扩大,挖掘机的市场需求量也不断增加,挖掘机行业前景非常广阔。挖掘机的制造过程涉及设计、材料选择、加工制作、组装、质量控制以及测试等。加工和制造是挖掘机生产中的重头戏,也是最复杂的环节。从最初的原材料加工到最终的组装调试,整个过程需要经过多个工序。制造过程中为了保证零部

基金项目:北京市高等教育学会 2025 年立项面上课题项目 (MS2025336)

第一作者简介:程者军(1978—),男,山西临猗人,高级工程师,硕士,研究方向为工业自动化、人工智能、计算机网络,chengzhejun2018@163.com。

件的精度和稳定性,还需要进行很多细节上的工作,比如精密加工、表面处理等。如果仅依靠人工生产,存在装配一致性低、数据追溯难、劳动强度大、生产效率低、质量难以保证等问题,这严重制约挖掘机的快速批量生产。

智能化的制造技术是“第三次工业革命”的核心技术。随着物联网、云计算、人工智能等各项新技术的快速发展和广泛应用,对传统的机械制造业向数字化、信息化、连续化、集成化和智能化方向转型发挥着强劲的驱动作用。挖掘机零部件的生产线与其他产品生产线不同的是,挖掘机零部件的加工过程涉及到的焊接工序比较多,主要涉及动臂、斗杆、上车架、下车架等。人工焊接经常会出现焊缝尺寸不符合要求、咬边、裂纹、弧坑、夹渣、气孔、弧疤等问题,这影响了零部件的承载能力。因此,挖掘机的生产制造迫切需要实现智能化、自动化,通过自动化生产线实现挖掘机的加工和组装,这可大大降低生产过程的不可控风险,并提高生产效率和产品质量,大大降低人工成本^[1]。本文将结合某大型企业挖掘机生产线的实

际运行情况,深入研究挖掘机生产线的系统架构技术^[2],并通过该系统架构技术实现该企业自动化生产线的扩容。

1 系统整体架构

根据挖掘机的自动化生产业务,挖掘机生产制造控制系统可分为制造运营管理系统(MOM)、设备采集控制系统(IOT)、焊接线中控 IMS/主控 PLC 及焊接线体 4 个层次^[3]。MOM 系统包含基础数据、计划排产、生产执行、设备管理、工艺管理、质量管理、仓储物流等功能模块。IOT 系统包含基础数据、参数下发、能源管理、系统报表、ANDON 管理、设备数据采集等功能模块。自动化线体中控(IMS)和主控 PLC 系统包含基础数据、订单接收、订单报工、物料呼叫、生产执行、数据上报、ANDON 采集上报、设备数据采集上传和其它功能。自动化线体设备包含机器人、RVG、打码设备、变位机等。IOT 系统可以根据实际需求,选择从线体中控或主控采集数据,并进行数据处理和展示。系统整体架构如图 1 所示。

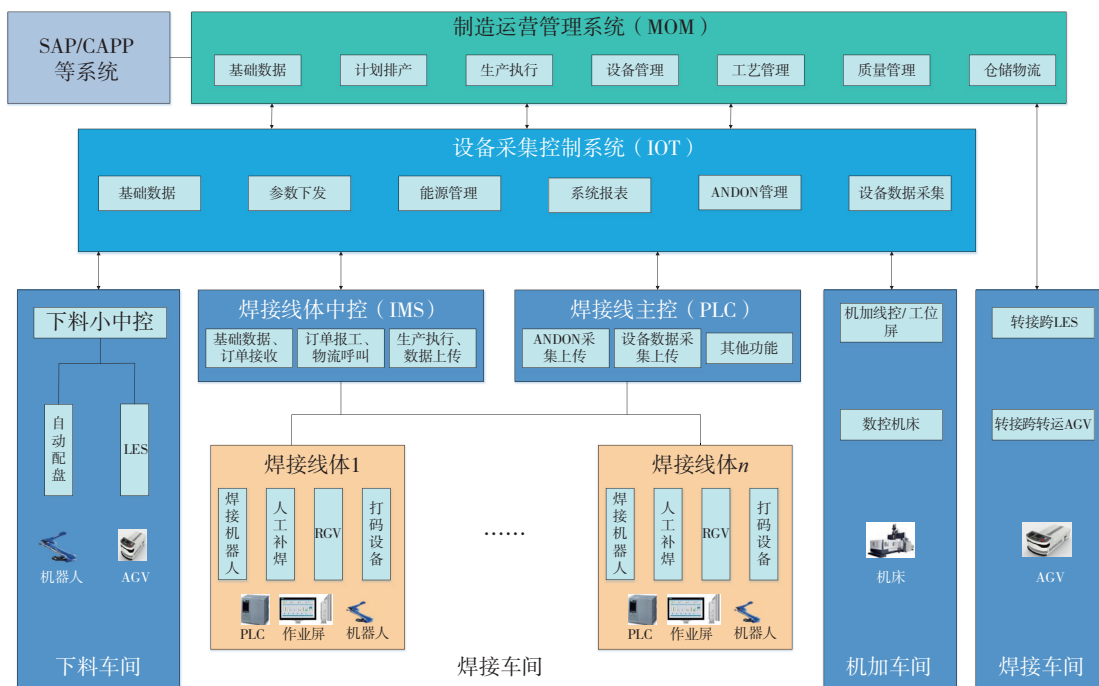


图1 挖掘机自动化焊接系统整体架构

线体中控及线体主控 PLC 与 MOM 系统的信息交互都通过 IOT 系统来实现。上层 IOT 系统对接线体中控或线体主控 PLC,通过数据采集接口,完成数据采集工作。

IOT 系统与线体中控通信统一为 WebAPI 接口,与线体主控 PLC 为 OPC UA 方式,IOT 下发生

产订单(产品信息)、基础数据、工艺数据、工件码到线体中控,线体中控进行线体内设备数据采集并上传。

焊接线体对线体内设备进行数采集成,IOT 系统通过与线体中控 IMS 或主控 PLC 获取线内所有设备的数采内容。

线体请求无人搬运车(automated guided vehicle, AGV)送料时,由线体中控向 IOT 请求叫料。AGV 搬送物料到线体物料区。

当设备产能增加,需要新增线体时,只需要将建设好的线体接入线体中控系统,即可完成,系统可扩展性优异。

2 硬件架构

挖掘机企业自动化运营管理系统硬件架构包括:现场设备层、现场控制层、IOT 过程监控层、MOM 制造运营管理层、企业管理层和外部网络^[4]。其中企业管理层和外部网络属于企业管理层面,通过内部网络和生产制造系统进行互联和集成;现场设备层、现场控制层、IOT 过程监控层、MOM 制造运营管理层和产线控制相关性比较大,属于生产制造系统,也是本文要讨论的 4 层系统架构,整体架构如图 2 所示。

企业管理层包括财务管理、销售管理、人事管理、供应链管理等,它负责这个企业数据的采集、传输、存取和管理,通过路由器连接外网,以数据

库管理系统作为其核心软件,处于信息系统的最顶层,服务器位于企业机房^[5]。

MOM 系统主要功能包括:计划排产,仓储管理、工厂信息管理、APC 先进管理等,关键数据存放于数据库服务器,通过办公电脑实现人机交互和生产运行数据的处理^[6]。

IOT 系统通过 OPC 服务器实时采集现场的生产数据和设备状态,并存储到数据库,通过监控大屏实时显示。

线体中控服务器位于机房,运行中控系统,接收并缓存 IOT 系统下发的订单,和线体主控 PLC 通过交换机实现互联。

工程师站和操作员站位于线体的人工工位,通过交换机和中控服务器进行互联,主要实现人工工位的报工处理,呼叫 AGV 取送料和一些生产信息的查询^[7]。

线体现场设备层包含变位机、机器人和 RGV 等,根据线体 PLC 接收到的订单任务,生产相应型号的产品。

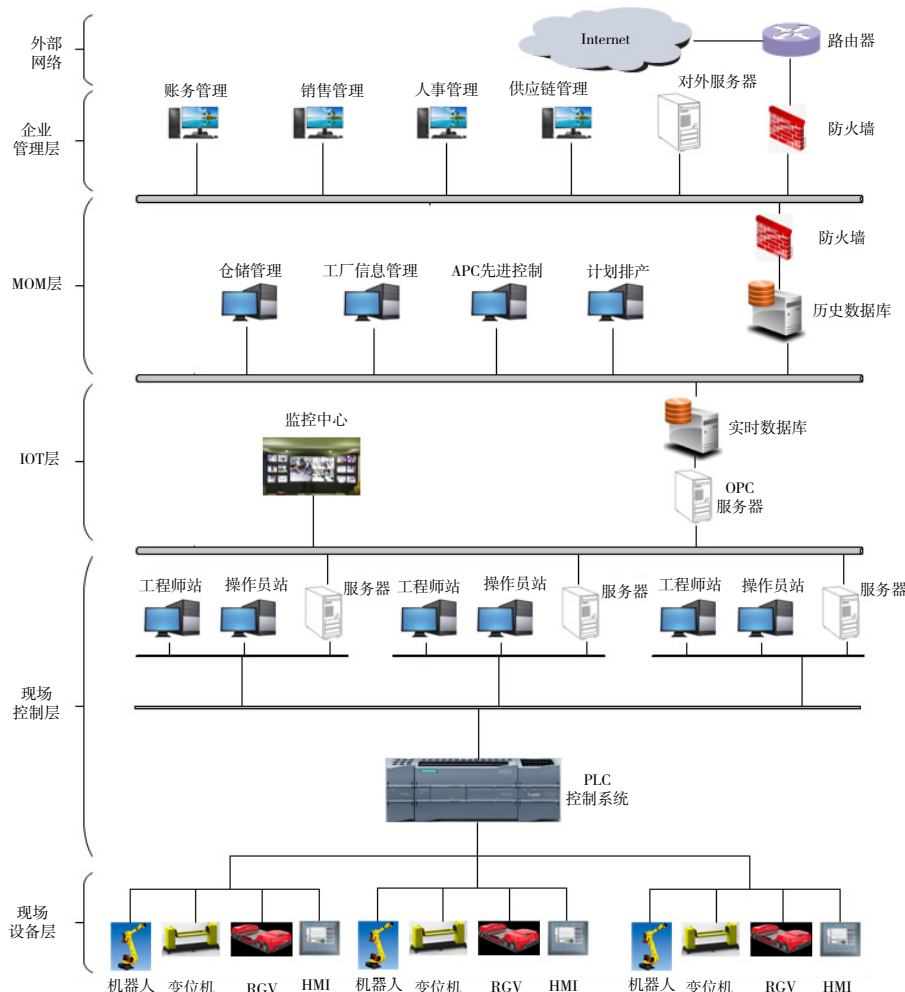


图 2 系统硬件架构图

3 控制系统软件设计

3.1 业务流程设计

生产加工挖掘机产品的业务流程如图3所示。

产线主要业务流程为:

- 1) IOT 系统将需要加工的订单下发给产线中控系统。
- 2) 产线如果没有需要生产加工的物料,通过线体中控系统呼叫 AGV 配送物料。

3) AGV 将物料配送至线体头部的物料存放区,通过 PDA 扫描物料编码校验来料正确性。

4) IOT 系统将需要加工的订单任务下发给主控 PLC。

5) 主控 PLC 将需要生产的订单信息下发给线体头部控制 PLC 进行加工。

6) 线体内各工作站 PLC 控制各设备进行物料加工,机器人焊接完成后,将加工完成的工件放到缓存台。

7) 产线中控系统通知 AGV 取料并完成报工。



图3 生产业务流程

3.2 产线上料流程

产线单个工作站的上料流程如图4所示。

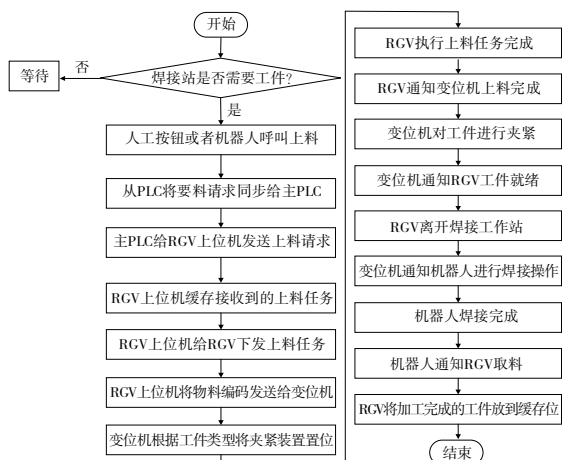


图4 工作站自动上料流程

3.3 产线下料流程

产线单个工作站的下料流程如图5所示。

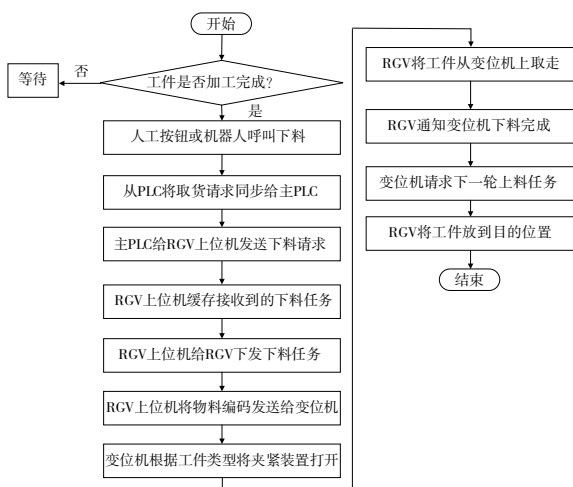


图5 工作站自动下料流程

4 运行结果

该挖掘机自动化生产线系统架构具备高可用、高可扩展、高安全、高性能、良好的用户体验、可维护性和突出的成本效益等优点。系统架构采用分布式架构技术^[8],能够根据业务需求的增加,灵活地新增自动化生产线,扩展系统的容量和性能^[9];采用多节点部署、负载均衡、故障自动转移等技术手段,提高系统的可用性;采用身份认证、数据加密、安全审计等技术手段,保护用户的数据和系统的机密性、完整性和可用性;采用缓存技术、并行处理、异步消息等技术手段,提高系统的性能,能在短时间内处理大量的请求,并保持低延迟^[10];用户的响应速度快、界面友好、操作简单;系统架构模块化、规范化,提高了系统的可维护性;系统的开发、部署和运维的成本也非常低,可以满足用户的效益成本。经过该大型挖掘机企业实际生产检验证明,该系统的架构模式,能够满足业务需求并具备稳定可靠的运行能力。

5 结语

系统架构在软件开发中扮演着举足轻重的角色。它不仅是软件的基石,也是软件质量和可维护性的重要保证。一个好的系统架构可以降低软件开发的风险,提高开发团队的合作效率和开发效率,满足用户的需求并促进技术的创新^[11]。因此,在软件开发过程中,我们需要重视系统架构的设计和评估,以确保软件系统的优秀性和可持续发展^[12],确保系统能够满足用户需求,并实现预期的功能。

智能制造的发展总体上应该是一个循序渐进

的过程^[13],随着计算机和控制器的能力越来越强大,过程自动化级的很多功能“下沉”至基础自动化级来执行,融合形成“过程控制级”^[14];而管理的扁平化需求,使得制造执行系统和企业资源计划的分工界限变得不那么明显,融合形成“生产管理级”^[15]。所有的系统架构,总体上都是围绕企业的核心发展目标,实现各系统的功能定位和分工合作^[16]。需要依据生产需求和相关技术在不同发展阶段的特点,合理确定相关技术所能发挥的作用^[17],以及其在整个生产体系的地位,最终实现各项技术与现有的工业自动化系统相结合,形成有机的整体,有效地实现企业的发展目标。

参考文献:

- [1] 杜猛俊. 智能配电自动化系统通信网络架构设计与实现[D]. 北京:华北电力大学,2013.
- [2] 岳鹏. 智能用电信息系统通信机制及技术架构[J]. 电子制作,2018,26(增刊2):48-49,43.
- [3] 南国顺. 信息中心网络的服务提供机制和优化研究[D]. 北京:北京邮电大学,2017.
- [4] 吴洪涛,蒋天宇,常天佐,等. 中国机器人产业现状与创新发展趋势综述[J]. 机械制造与自动化,2025,54(1):1-6.
- [5] 史慧杰,王立平,王冬. 基于微服务的制造执行系统架构研究[J]. 现代制造工程,2024(1):45-50.
- [6] 吴启标,王亚刚,杨卫国. 基于改进S~3控制结构的批次过程控制系统架构研究[J]. 控制工程,2025,32(1):158-165.
- [7] 秦子晗,李伟东,冯美华,等. 冲击地压智能化防治系

统架构及关键技术[J]. 煤炭科学技术,2022,50(8):1-7.

- [8] 李清,瞿盟津,于超. 面向新型工业化的国产工业软件架构[J]. 新型工业化,2023,13(9):31-38.
- [9] 谢安俊. 软件产业全球化与新型工业化[J]. 未来与发展,2004,28(4):28-31.
- [10] 齐永国. 煤矿机电自动化集控的发展与应用[J]. 企业技术开发,2013,32(6):73,75.
- [11] 杨克璧,汪建安,任恒,等. 汽车自动化人机柔性台架开发及应用流程方法研究[J]. 汽车工艺师,2025(7):6-11.
- [12] 赵艳莉,赵倩,李志强. 基于PLC的山核桃破壳自动化生产线控制系统研究[J]. 食品与机械,2023,39(1):111-115,194.
- [13] 田乐意. 煤矿用钻杆自动化生产线方案设计[J]. 煤矿机械,2024,45(6):120-122.
- [14] 任惠霞. 人工智能技术在电池自动化生产线中的应用分析[J]. 储能科学与技术,2024,13(11):4056-4058.
- [15] 柴钰庚,董兵斌,张兴,等. 面向未来的冶金机械自动化生产线设计与发展趋势[J]. 机械研究与应用,2025,38(1):160-162,167.
- [16] 周吉林. A公司汽车冲压自动化生产线项目技术风险控制研究[D]. 济南:山东大学,2024.
- [17] 周磊,张礼华,陈景铭,等. 基于PLC的可降解塑料片材成型自动化生产线设计[J]. 机床与液压,2024,52(10):116-122.

收稿日期:2024-04-24

(上接第23页)

- [15] 王小妹,王惠英,吉顺平. 基于随机森林算法的图书借阅量预测研究[J]. 信息记录材料,2026,27(5):181-183.
- [16] 何春宁,乔宁,陈海东,等. 基于深度随机森林算法的电力负荷分时段预测[J]. 信息技术,2026(2):78-83.
- [17] 李晓平,刘科材,庞婷婷,等. 基于最大互信息系数结合弹性网络特征提取的原酒质量评价方法[J]. 食品与发酵工业,2025,51(16):172-181,I0010,I0011.

- [18] 陈信强,樊家畅,吴华锋,等. 融合可逆实例归一化及Informer编解码的船速预测[J]. 上海海事大学学报,2025,46(4):1-9.
- [19] 艾博,孙伟,宗俊吉,等. 基于拉依达准则改进的测量重复性评定方法[J]. 电子工业专用设备,2024,53(6):43-45,57.
- [20] 邓乙丁,李艳玲,徐颖,等. 大坝安全监测数据异常识别模型簇研究[J]. 人民长江,2024,55(4):230-238.

收稿日期:2024-03-20