

Research on the Mode and Application of Human Computer Collaboration in Manufacturing Production Line Automation Control

Jin Shi

College of Intelligent Manufacturing, Xinjiang Vocational University, Urumqi, Xinjiang, 830011, China

Abstract

This article focuses on the mode and application of human-machine collaboration in the automation control of manufacturing production lines. In the context of global competition, due to the difficulties faced by traditional manufacturing models, the rise of human-machine collaborative intelligent manufacturing models has led to good development both domestically and internationally. The article first introduces its theoretical basis, including conceptual connotations and key technologies. Next, analyze the characteristics, applicable scenarios, and advantages of the three modes of master-slave collaboration, and present the results through case studies in the electronic manufacturing industry. At the same time, it is pointed out that human-machine collaboration faces technical, personnel, and management challenges, such as system integration difficulties, personnel skills, and psychological issues, and corresponding strategies are provided. At the end of the article, the guiding significance of the research for manufacturing enterprises is summarized, and the trend of promoting the intelligent, flexible, and green development of the manufacturing industry in terms of technology and application is discussed.

Keywords

human-machine collaboration; Automated control of manufacturing production lines; Collaboration mode;

人机协作在制造产线自动化控制中的模式与应用研究

史今

新疆职业大学智能制造学院, 中国·新疆 乌鲁木齐 830011

摘要

本文聚焦人机协作在制造产线自动化控制中的模式与应用。在全球化竞争下, 因传统制造模式困境, 人机协作智能制造模式兴起, 国内外发展良好。文中先介绍其理论基础, 包含概念内涵与关键技术。接着剖析主从协作等三种模式特点、适用场景及优势, 以电子制造行业案例呈现成效。同时指出人机协作面临技术、人员、管理挑战, 如系统集成难题、人员技能与心理问题等, 并给出应对策略。文末总结研究对制造企业的指导意义, 展望其在技术、应用方面推动制造业智能化、柔性化、绿色化发展的趋势。

关键词

人机协作; 制造产线自动化控制; 协作模式

1 引言

在全球化竞争中, 制造业机遇与挑战并存。科技发展致消费者需求多变, 传统制造模式难兼顾高效、高质与高灵活性生产。人机协作智能制造模式应运而生, 它通过人机配合, 发挥双方优势, 提升生产效能、员工体验与职业发展, 对制造业转型升级意义重大, 也推动学术研究与技术进步。国际上, 德、美、日等发达国家成果丰硕。国内近年来发展迅猛, 企业、高校和科研院所在协作机器人及关键技术上取得突破, 政策支持下, 人机协作在制造业广泛应用。本论文

运用多种研究方法, 在模式构建等方面创新, 为制造业发展探新路。

2 人机协作的相关理论基础

2.1 人机协作的概念与内涵

人机协作是智能制造的核心, 指人类与智能机器在制造中紧密配合, 通过空间共享、信息交互、任务协同实现生产目标。它与传统模式差异大。传统模式下, 机器按预设运行, 人仅监控、启动与简单调整, 工作区域隔离, 信息单向流通。而人机协作模式里, 人与机器同空间紧密互动, 信息双向实时交互。例如汽车装配线, 工人与机器人并肩作业, 机器人依工人指令调整动作。任务分配上, 依双方优势动态进行, 机器负责重复任务, 人处理复杂工作, 提升生产效能。

【作者简介】史今(1973-), 男, 中国河北唐山人, 本科, 副教授, 从事专注于智能控制研究。

2.2 人机协作的关键技术支撑

机器人技术：人机协作核心。工业机器人凭借高刚性、高精度，如 ABB 的 IRB 系列用于汽车焊接，提升质效、减轻工人负担。协作机器人侧重安全灵活，像 UR 系列在电子装配中依工人指令协作，增强柔性。编程与控制技术从传统示教向离线、自主编程转变，提高生产准备效率。传感器技术：犹如人机协作“感知器官”。视觉传感器用于物流分拣，实现物体识别等；力觉传感器保障打磨质量；触觉传感器提升手术精准度，其数据处理后助力系统智能化。人工智能技术：提升人机协作智能水平。机器学习借分析生产数据优化流程，如 SVM 算法降次品率；深度学习用于复杂场景决策，如智能驾驶舱视觉检测；自然语言处理实现人机自然沟通，提升运维协作效率。通信技术：是人机协作“神经网络”。工业以太网以高带宽、低延迟成为主流有线通信方式；无线通信拓展协作边界。工业物联网推动设备互联互通，引领人机协作走向智能化、协同化^[1]。

3 制造产线自动化控制中的人机协作模式

3.1 主从协作模式

主从协作模式是制造产线自动化控制的常见基础模式。人凭借经验主导决策，监控分析生产流程、制定方案；机器依人指令，高精度执行任务，如零部件加工。以汽车焊接生产线为例，焊接工人依图纸等规划焊接流程参数，通过示教器给机器人下达指令。机器人以亚毫米级重复定位精度，按预设路径焊接。工人全程关注，异常时及时调整。该模式适用于精度和工艺复杂要求高的任务，如航空航天零部件制造。它融合人的智慧与机器精准高效，提升生产效率 30% - 50%，降低次品率 20% - 35%，增强企业竞争力。

3.2 协同作业模式

协同作业模式，是人与机器平等协作的进阶模式。人负责工艺调试、故障修复这类需灵活决策的工作，机器承担精密加工、物料搬运等高精度、规律性任务。双方借传感器等实时交互信息，如装配时工人发现零件瑕疵，能通过智能终端告知机器人，由其更换合格零件。

该模式重视动态任务分配，依据实时生产数据（如订单变更），用智能算法调配人力与机器资源。适用于产品更新快、订单多样的行业，像电子产品制造，可实现生产线柔性切换，提升企业市场响应与柔性生产能力。

3.3 监督控制模式

监督控制模式高度智能化，人远程主导监控，机器依预设程序自主运行，遇异常或接指令才调整。借助传感、摄像及数据传输，人能实时掌握机器状态。异常时系统报警，监控人员远程诊断并指令恢复生产。此模式适用于化工、电力等高风险行业。像化工生产线，自动化全流程运行，人员在控制室监控关键参数。正常时设备按序运转，异常时联锁报警。人员远程判断故障、操控处理，确保生产安全稳定，

避免重大损失。

4 人机协作在制造产线自动化控制中的典型应用案例分析

4.1 案例背景与目标

电子制造行业产品更迭快、订单多样、工艺精细。某知名企业专注高端电子产品研发生产，在激烈的全球市场竞争中，面临诸多挑战。消费者对电子产品性能、品质及定制化要求渐高，市场需求呈多品种、小批量态势。但企业传统生产线应对产品变更时弊端尽显：生产效率低，设备切换与人工调试复杂，新品上线常延迟，如平板型号切换，参数调整与程序更新需数天，贻误市场时机；产品质量不稳，人工插件、贴片易因疲劳和熟练度问题，致元件错贴、虚焊，次品率高；人力成本因用工荒不断攀升，压缩利润空间。为破局，企业引入人机协作智能制造模式，力求提升生产效率超 40%，将次品率控在千分之三内，降低人力成本 30%，大幅缩短新品导入周期，增强市场竞争力与应变能力，巩固行业领先地位。

4.2 人机协作的具体应用

在表面贴装技术（SMT）生产中，人机协作在各工序有不同应用。

贴片环节采用协同作业模式，高精度高速的 SMT 贴片机按预设程序，以每秒数十次的速度将微小电子元器件精准贴装到电路板，精度达微米级，保障电气连接。工人通过显示屏监控，发现元件吸取异常等问题，迅速停机手动纠正或换吸嘴。面对新产品或小批量订单，工人能快速编程切换程序。插件工序运用主从协作模式，经验丰富的插件工人依电路板设计与工艺，用专业软件为自动插件机设参数。插件机通过多轴联动机械手臂，以每分钟数百次速度将元件准确插入孔位，精度偏差小。工人实时监督，发现问题即刻暂停修复。检测环节采用监督控制模式，AOI 与 AXI 设备按预设算法全方位检测电路板。AOI 用高清摄像头扫描表面，AXI 穿透成像检测内部。检测数据实时传至中控室，操作人员远程监控，警报响起时依经验判断并处理，确保产品质量^[2]。

4.3 实施效果评估

经稳定运行，人机协作系统为企业带来显著成效。生产效率大幅提升，单位时间电路板产量较之前提高 45%。这得益于机器的高速稳定运行，以及人机高效协同减少了停机调试时间，像 SMT 贴片环节，贴片机与工人紧密配合，极大提高了贴片效率。产品质量显著改善，次品率从千分之五降至千分之二点五。机器精准操作搭配人工严格质检，有效降低不良品流出风险，插件工序亦是如此。人力成本降低 32%，通过优化人员配置，减少重复劳动岗位，释放了资金流，企业可将更多资金投入研发创新。新品导入周期从数周缩至一周以内，协同作业模式下工艺切换与调试迅速，企业能快速响应市场新品需求。如新研发电子产品，企业可快速

调整生产线实现量产，为其在电子制造行业持续领先注入强大动力。

5 人机协作面临的挑战与应对策略

5.1 技术挑战

5.1.1 系统集成难度大

在制造产线自动化控制中，人机协作系统高效集成困难多。一是设备接口兼容性问题，产线设备品牌、型号多样，通信协议和接口标准不一，如ABB与部分国产机器人差异，易致数据传输及协同控制故障，影响运行。二是数据格式不一致，各设备数据存储形式不同，融合分析时格式转换与预处理繁杂，处理不当干扰智能决策。三是软件系统集成难，MES、ERP等软件整合到协作平台，需解决架构适配等难题，否则易冲突。

5.1.2 机器人智能化水平有待提高

尽管机器人技术进步明显，但其在复杂制造环境中智能化仍不足。环境感知上，车间光线、物料等干扰，使视觉、力觉传感器难精准捕捉信息，影响物体识别、定位与抓取精度，无法满足高精度任务。决策能力方面，面对突发故障或任务调整，机器人缺乏基于经验的快速应变能力，仅靠预设程序，易致生产停滞或次品增加。自适应能力也欠佳，产品或原材料变化时，难自动调整参数，需人工重编调试，降低效率与柔性，难适应定制化生产。

5.1.3 数据安全与隐私保护问题

人机协作系统广泛应用，数据安全与隐私保护面临考验。一方面，数据泄露风险高，制造数据包含商业机密，一旦遭攻击或内部违规操作，泄露后会给企业带来巨大损失。另一方面，数据存在被篡改风险，传输或存储中若数据被恶意修改，如质量检测数据、工艺参数，会导致产品质量和生产流程失控。企业需采取加密技术、访问控制策略，并定期进行安全审计与漏洞扫描，保障数据安全，为智能制造护航。

5.2 人员挑战

5.2.1 操作人员技能要求提高

人机协作环境下，操作人员技能要求全面提升。传统制造工人只需掌握单一设备基本操作，现在则需具备编程、调试与维护等多种技能。编程方面，要熟悉机器人编程语言，如RAPID、Karel等，以便根据生产任务变化调整机器人程序，实现产品切换。调试技能也很关键，多设备协同易出现故障，操作人员需快速排查问题，例如传感器异常时能准确判断故障原因并修复。维护技能不可或缺，定期保养设备能延长其寿命，降低故障概率。同时，操作人员还需具备跨学科知识，包括机械工程、自动化控制、计算机科学等，以更好地优化系统运行。

5.2.2 人机协作中的人员心理因素

人机协作中，人员心理因素影响协作效果。一方面，

操作人员对机器信任度很关键。引入新机器人时，部分人因不了解其性能而心存疑虑，不敢充分利用，关键时刻过度依赖人工，降低协作效率。另一方面，存在过度依赖机器的问题。机器在重复任务中的优势使部分操作人员产生懈怠，丧失自主解决问题能力，机器故障时便会手足无措。此外，部分操作人员因担心无法适应新技术而产生焦虑情绪，影响工作专注度和协作积极性。企业需通过培训与沟通应对这些心理挑战，培训可增强操作人员对机器的信任，模拟演练能减少对机器的过度依赖，职业规划辅导可缓解焦虑，营造良好协作氛围。

5.3 管理挑战

5.3.1 生产流程与组织架构变革

人机协作推动传统制造产线生产流程与组织架构变革。生产流程上，传统线性流程难以适应人机协作的灵活性。人机协作需构建柔性生产流程，以项目或订单为导向，实现各环节并行、动态调度。如定制化产品生产中，能根据客户需求迅速调整工艺路线。组织架构方面，传统金字塔式架构决策效率低，不适应人机协作实时决策需求。企业需建立跨部门、扁平化的项目团队，像汽车制造企业在新能源汽车项目中，多领域人员组成团队直接面向任务，自主决策、协同工作，高层管理者则聚焦战略规划，赋予一线团队更多自主权。

5.3.2 人机协作的标准与规范缺失

目前，人机协作缺乏统一完善的标准规范，这限制了其推广。安全标准方面，人机近距离协作，安全距离、碰撞力阈值等关键指标需明确，不同企业安全防护差异大，缺乏系统评估，易引发安全事故。作业流程规范也缺失，人机协作任务分配、信息交互无统一准则，导致企业生产效率和产品质量参差不齐。缺乏标准规范增加企业引入系统的难度和成本，因此，制定全方位的标准规范迫在眉睫^[1]。

6 结论

本研究聚焦人机协作在制造产线自动化控制领域，剖析其模式、应用、挑战与策略。多种协作模式适配不同场景，显著提升生产质效，然推进中面临技术、人员、管理等难题。针对这些，提出相应策略，对制造企业提升智能制造水平与竞争力意义重大。未来，人机协作将呈现新趋势，技术上人工智能与物联网深度融合，应用上向新兴领域拓展，推动制造业智能化、柔性化与绿色化发展。

参考文献

- [1] 刘泽双,韩金,王一帆.智能制造人机协作运行功能标准模型研究[J].科技进步与对策,2022,39(20):21-31.
- [2] 李吉轩,吴洪明.人机协作装配场景下的人机任务规划[J].起重运输机械,2022(08):59-66.
- [3] 朱德志.基于力交互的机器人人机协作控制研究[D].东南大学,2022.