

基于机器换人的非标设备设计与改进研究

潘晓波

杭州如泉机械有限公司 浙江 杭州 311245

【摘要】：机器换人浪潮中，非标设备设计是制造企业增强自动化水准与柔性生产实力的关键方向。非标设备适配多品种、小批量生产模式存在现实难题，搭建模块化设计与工艺匹配为核心的优化框架，梳理设备结构布局、控制系统与人机协同环节的现存短板，给出参数化建模与智能控制融合的改进方案。设计流程完成重构，关键技术实现整合，设备运行稳定性与生产效率同步改善，制造系统智能化转型获得对应的技术保障。

【关键词】：机器换人；非标设备；模块化设计；智能控制；工艺适配

DOI:10.12417/2705-0998.26.03.084

引言

制造业转型升级向生产效率与柔性能力提出新的标准，人工主导的生产模式无法适配当下多变的生产场景。非标设备凭借定制化属性，在自动化替代与流程改进中承担重要职能，设计与落地环节却存在适配性欠缺、研发周期久、运维难度大等现实困境。梳理此类核心问题，可找准改进思路与技术方案，助力设备效能与生产体系实现同步升级。

1 非标设备在机器换人中的应用问题分析

1.1 生产工艺与设备匹配不足

机器换人推进过程中，非标设备贴合生产工艺的程度，直接影响自动化改造的最终效果。企业在设备设计环节多聚焦动作完成与生产节拍加快，忽略工序特点、物料形态与加工精度的内在关联，设备投用后易出现上料姿态不稳、夹持定位偏差扩大、节拍与工艺要求不匹配等问题。多品种、小批量生产场景下，产品规格更换频次较高，设备缺乏柔性接口与工艺参数联动设置，会拉长调机时长、阻碍工序顺畅衔接，拉低整线运行效率。

工艺适配短板还表现为设备设计与现场生产条件无法匹配。部分非标设备按理想生产环境完成结构选择，未兼顾工件公差变化、治具损耗、环境震动及人工转序遗留误差，设备持续运行时难以维持稳定作业状态。焊接、装配、检测类复杂工序开展过程中，未搭建工艺数据库、节拍模型与误差补偿逻辑，设备可自动完成作业流程，却无法保障产品质量的统一标准。提升机器换人落地效果，需将工艺路线、动作逻辑与设备功能整合设计，让非标设备切实助力生产环节的优化升级。

1.2 结构与运行稳定性缺陷

非标设备在机器换人场景中完成人工操作替代、作业精度把控的核心工作，结构设计水准直接作用于整机稳定程度与使用周期。部分设备方案设计阶段侧重功能叠加，机架刚度、传动链精度与受力分布考量存在欠缺，高速运转阶段会产生振动加剧、定位偏移、重复精度降低等状况^[1]。连续作业的装配单元、搬运机构与检测模组内，关键部件选型和载荷计算匹配度

不足，会造成导轨损耗加快、伺服反馈滞后、执行端位置偏移，降低自动化替代的稳定程度。

运行稳定程度欠缺多由细节设计缺陷引发。设备长期作业会遭遇冲击载荷、热变形与粉尘污染等外界干扰，防松、散热及维护通道设计缺失会使故障发生概率大幅提升。部分非标设备控制制造成本时简化缓冲、限位与安全互锁结构，设备启停阶段冲击力超标，干扰关键工位的生产加工效果。机器换人场景下的设备优化需从结构拓扑、动力传递、疲劳寿命与可维护性维度开展整体改进，依托有限元分析、运动学仿真与寿命校验强化整机稳定性能，保障设备高负荷工况下保持稳定连续的作业状态。

1.3 控制系统与人机协同限制

控制系统为非标设备落地机器换人提供核心支撑，设备运行精度与产线信息协同效率均受其性能影响。单机式控制架构仍被部分设备沿用，控制逻辑依托固定程序运行，无法对工艺参数、传感信号及异常状态做出实时调整，产品更换、工况变动与节拍调整场景下设备适配能力偏弱。装配、分拣与在线检测作业环节中，PLC、伺服系统和视觉识别模块的数据传输效率偏低，会引发执行节拍紊乱、误判概率提升与停机时长增加，降低机器换人的实际应用效果。

人机协同层面的短板也会限制设备价值发挥，机器换人作业场景仍需人工参与，操作人员与维护人员需和设备形成高效协作模式。操作界面设计模糊、报警提示逻辑繁杂、参数权限配置不当，会引发现场人员换型、调试与故障处置时的操作失误，拖慢设备重启进度，打断生产连贯状态。控制系统优化需融入智能诊断、权限划分、状态展示与远程管控功能，依托HMI界面升级、MES接口对接与故障代码统一规范，提升人机互动效率，搭建非标设备自动运转与人工介入的顺畅协作模式。

2 面向机器换人的非标设备设计优化路径

2.1 模块化与参数化设计方法构建

模块化与参数化设计可强化非标设备的适配能力，也能在

机器人换人场景中压缩开发周期，提升设备复用水平。非标设备常应用于工序多样、产品规格跨度大、现场空间有限的制造环境，一次性定制模式会引发结构重复设计、零部件通用程度低、后期改造成本上升等问题。上料单元、搬运单元、定位夹紧单元、执行单元与检测单元可按功能完成模块拆分，搭配标准接口、安装基准与通信协议的搭建，设备能在各类工艺场景中完成快速组合更换，提升整机柔性表现。企业借助该模式可推进设备系列化研发，简化后期运维、备件管控与工艺迭代工作。

参数化设计可对结构尺寸、运动行程、节拍要求、载荷范围及工艺边界条件完成数字化梳理，依托三维建模平台搭建参数驱动模型，让关键部件选型与布局调整实现可计算、可调用、可修订的状态。夹具间距、气缸推力、伺服扭矩、导轨长度与工位节拍等核心参数完成联动管控后，设计人员可结合不同产品规格快速输出设计方案，缩减重复绘图与人工校验的工作体量。标准件库、模块库与规则库整合至统一设计框架内，可减少设计失误，保障方案的统一程度。机器人落地过程中需完成人工操作替代，更要依托参数化手段加快非标设备应对复杂工艺的速度，强化工程应用实效。

2.2 智能控制与信息集成技术应用

智能控制技术的应用，让非标设备跳出单一动作执行的范畴，具备过程感知、逻辑判断与动态调整的能力。机器人换人的核心目标并非单纯缩减人工投入，而是强化工序稳定性与生产一致性，设备控制系统需实时处理多源信号，结合工艺状态完成动作修正^[2]。PLC、工业机器人、伺服驱动器、视觉检测系统与传感器网络完成整合后，可实现位置、速度、压力、扭矩及产品状态的闭环管控。装配、分拣、检测作业场景中，视觉定位补偿、运动轨迹优化与节拍自适应控制的运用，让设备在工件偏差、来料波动的条件下保持作业精度，增强自动化替代的运行可靠性。

信息集成技术打通设备层、控制层与管理层的数据传输通道，非标设备得以深度融入智能制造体系。OPC UA、工业以太网、MES接口与数据采集模块的搭载，让设备运行状态、故障记录、产量信息与工艺参数实现实时上传，构建起可追溯、可分析的生产数据框架。现场人员依托报警记录与趋势曲线开展异常诊断，工艺人员借助历史数据调整动作逻辑与节拍参数。机器人项目推进中，信息集成是设备稳定运行与持续优化的核心保障。控制智能化与数据互联化同步推进，非标设备便能在复杂制造场景中持续释放自动化改造的应用价值。

2.3 设计流程与开发效率提升策略

非标设备开发周期偏长、沟通环节繁杂、设计返工概率偏高，属于机器人项目推进中的典型问题。设备方案从需求梳理至图纸绘制、零件加工、整机装配与现场调试，覆盖工艺、机械、电气、采购及现场管控等多个领域，前期需求识别存在

疏漏，后续便会产生结构干涉、节拍不符与功能不完善等状况。开发效率的优化核心在于重构设计流程，保障前端信息输入完整，强化各环节的协作效果。搭建需求清单、工艺分析表、风险评审机制与阶段性冻结节点，可提前明确设备定位、工位逻辑、精度标准与现场环境条件，缩减设计环节的随意调整，保障项目推进的有序性与可控程度。

数字化工具与标准化管理模式的深度结合，可为开发效率提升提供支撑。三维协同设计平台、仿真验证系统与PDM管理工具的应用，可在生产制造前完成机构干涉排查、运动轨迹校验与BOM清单核对，压缩装配调试的试错损耗。常用机构、控制回路、工艺模板与图纸规范整合为标准化资源，设计团队可依托既有成果直接调取，压缩非标设备从方案构思到实际落地的周期。机器人项目中，效率不只反映在图纸绘制速率上，还体现在方案完善度、现场调试通过率与交付稳定程度上。构建流程规范、协作顺畅、数据可追溯的开发体系，非标设备的设计优化方可契合企业自动化升级的实际诉求。

3 非标设备改进实施与效果评估

3.1 关键结构与功能优化方案

关键结构优化是非标设备改进落地的核心，决定机器人换人后的运行质量与工艺稳定。原有设备存在定位误差、刚性不足及动作衔接不畅等问题，需优化机架主体、传动机构、夹持单元与执行部件。机架采用高强度型材或焊接框架，搭配应力消除工艺提升整体抗振性；传动部分选用滚珠丝杠、直线导轨与伺服驱动匹配组合，改善重复定位精度与响应效率；夹具结合工件外形、公差带及装配基准设计，保障定位一致。节拍要求高的工位，需增设缓冲机构、限位保护与防呆结构，确保连续作业时动作链稳定、结构受力均衡。

功能优化侧重设备对复杂生产任务的适配能力，需完成单一动作替代，同时满足自动检测、异常处理与换型调整需求。机器人实际场景中，设备可集成视觉识别、气动检测、扭矩反馈与状态监测模块，实时判定工件姿态、装配质量及工位状态。多规格产品共线生产时，可调治具、快换机构与参数调用程序可提升柔性化程度，降低人工干预频次。同步优化操作界面、维护窗口及安全防护单元，设备既具备较强自动执行能力，也能在故障排查、零部件更换与日常保养中保持便捷性，全面提升综合应用水平。

3.2 系统运行效率与可靠性验证

系统运行效率验证是判断非标设备改进是否达成机器人换人目标的核心参照，无需局限于单项动作完成，需围绕整机节拍、工位协同和连续运行能力综合评估。验证需结合生产任务开展空载调试、负载运行与连续循环测试，重点采集单周期时间、节拍稳定性、待机损耗和工序切换时间等关键数据^[3]。自动上料、搬运、装配与检测工位，时序分析可明确动作冗余点

与节拍瓶颈,优化程序逻辑及执行路径。设备优化后可缩短辅助时间、减少停顿频次并维持稳定节拍,即可体现实际生产中替代人工、提升效率的工程价值。

可靠性验证侧重设备长时间运行中的故障控制与质量保持能力,覆盖机械系统、电气系统与控制系统三个层面。MTBF统计、重复定位精度检测、故障报警记录分析及关键部件温升监测,可判断设备是否具备持续稳定运行条件。夹紧机构、传感器、伺服单元与气动元件等高频使用部件,需开展疲劳测试与失效模式分析,防止局部故障影响整机产能。设备连续运行周期内保持较低故障率、较高良品率与较强恢复能力,即说明改进措施已有效提升其可靠性。验证结果可支撑机器人项目落地,也能为后续批量复制与推广应用提供技术支撑。

3.3 改进成果对生产模式的促进分析

非标设备改进后,对生产模式的促进集中在制造组织与作业结构的深层转变。传统生产现场依赖熟练工承担上料、定位、装配、检测等重复性作业,人员冗余、节拍不稳,工艺稳定易受个体差异干扰。设备优化与功能整合后,分散工序可转化为连续、节拍化、标准化自动作业流程,生产线对人工经验的依赖显著下降。多工位联动场景中,非标设备靠程序控制实现工

序同步、信息反馈与异常联锁,生产过程从人工主导转向设备主导,为制造单元自动化重组提供条件,推动车间管理向精益化发展。

改进成果带动企业在质量控制、人员配置与资源利用上形成新运行格局。设备稳定运行后,产品一致性与工艺重复性提升,过程质量控制从事后检验转向过程监控,减少返工与物料损耗。岗位设置从单纯操作型转向设备维护、工艺调试与数据管理,人员能力结构同步升级。企业层面,机器人并非单纯减少用工,而是依托非标设备改进重塑生产节奏与管理逻辑,让产线拥有更高柔性制造能力与交付稳定性。这一转变可增强企业对订单波动、产品迭代及成本压力的适应力,凸显非标设备设计与改进在制造升级中的实际价值。

4 结语

本文围绕机器人背景下非标设备设计与改进展开系统梳理,结合制造企业自动化转型的实际需求,从应用现存问题、优化实施路径及实际落地效果等方面,全面阐述非标设备改进的核心逻辑与实践要点。结构设计、控制系统及工艺适配等关键环节优化后,非标设备稳定性、效率及柔性生产能力均获得显著改善,能够更好适配机器人场景下的复杂生产需求。

参考文献:

- [1] 唐永,曾阳.工业机器人应用与就业结构转变:基于马克思机器大工业理论[J].海派经济学,2025,23(04):1-26.
- [2] 贾小双,梁玉成.数智时代社会分层的新维度与隐性再生产[J].智能社会研究,2025,4(06):180-212+252-253.
- [3] 张明军,杨雨杉.数智治理的文明价值、特征及优化路径[J].学习与探索,2025,(12):42-54+187.
- [4] 李海飞,高学科,刘爱文.人工智能对就业影响新近研究综述[J].生产力研究,2025,(12):149-155.
- [5] 孙早,曹源圆.工业机器人应用、劳动者自主选择与工作时间变动[J].经济理论与经济管理,2025,45(10):77-97.