

电子装联自动化生产线的柔性化改造与效率提升策略

任文杰

西安航空制动科技有限公司 陕西 咸阳 713100

摘要：电子信息产业需求变革，多品种、小批量、短交付周期成趋势，传统电子装联自动化生产线刚性化设计、换型效率低等痛点凸显，制约企业竞争力。本文聚焦其柔性化改造与效率提升，梳理柔性制造系统核心概念与技术架构，剖析现有生产线刚性设计、信息孤岛、换型低效等核心问题。提出硬件模块化、软件智能化等关键技术路径，构建生产、质量、成本多维策略体系并量化分析。旨在为企业提供可行方案，助力适配市场变革，推动产业精细化、智能化高质量发展。

关键词：电子装联；自动化生产线；柔性制造；效率优化

引言：电子装联作为电子制造核心环节，涉及 SMT 贴片、插件、焊接、检测等关键工艺，其生产线效率与适配能力关乎产品质量和市场响应速度。当下，消费电子、新能源电子等领域产品迭代加快，定制化、多样化需求强烈。传统电子装联自动化生产线以大批量、标准化生产为主的刚性模式，难以适应需求变化。在此形势下，开展其柔性化改造与效率提升研究意义重大。本文解析柔性制造理论与架构，挖掘生产线痛点，探索改造路径与策略，为企业突破瓶颈、提升核心竞争力提供支撑。

1 电子装联自动化生产线的柔性化改造理论基础与技术架构

1.1 柔性制造系统（FMS）核心概念

柔性制造系统（FMS）是适配多品种、小批量生产需求的先进制造模式，其核心内涵在于通过系统的模块化、智能化与协同化设计，实现生产资源的灵活配置、生产流程的动态调整与生产任务的高效响应。相较于传统刚性制造系统，FMS具备三大核心特征：一是设备柔性，能够快速适配不同规格、类型产品的生产需求，通过模块化设计减少设备换型调整时间；二是工艺柔性，可根据产品工艺要求动态重构生产流程，兼容多种装联工艺的协同实施；三是调度柔性，依托智能调度系统实现生产任务的动态分配与资源优化配置，提升生产效率。在电子装联领域，FMS的应用核心是通过整合硬件设备、软件系统与管理流程，打破传统生产线的刚性约束，实现从“大批量单一生产”向“多品种柔性生产”的转型，为生产线的高效运行提供理论支撑。

1.2 技术架构设计

电子装联自动化生产线柔性化改造的技术架构采用“四层架构”设计，涵盖设备层、控制层、管理层与协同层，各层级协同联动实现柔性生产与效率提升。设备

层为架构基础，由模块化SMT贴片机、柔性输送线、智能检测设备等组成，通过标准化接口与模块化设计保障设备的兼容性与可扩展性；控制层承担核心调控功能，依托PLC、运动控制器等实现设备的精准控制与协同联动，通过实时采集设备运行数据实现生产过程的动态监控；管理层基于MES、ERP等系统构建，实现生产计划制定、任务调度、资源管理、质量管控等全流程管理功能，为柔性生产提供决策支撑；协同层为顶层保障，通过工业互联网平台实现生产线与供应链、客户需求端的信息协同，打通“需求-生产-交付”全链条数据壁垒。各层级通过标准化数据接口实现信息互通，形成“设备联动-过程管控-决策优化-协同响应”的完整技术体系^[1]。

2 电子装联自动化现有生产线痛点

2.1 刚性化设计

传统电子装联自动化生产线普遍采用刚性化设计，核心痛点在于设备专用化、流程固定化与布局固化，难以适配多品种生产需求。设备层面，多数生产设备为特定产品定制开发，缺乏模块化设计，更换生产品种时需对设备进行大规模改造调试，不仅耗时费力，还易影响设备精度；流程层面，生产流程按单一产品工艺固定设置，工序衔接缺乏灵活性，新增或调整工艺时需重构整条生产线流程，导致生产中断时间过长；布局层面，生产线采用固定线性布局，设备间距与位置固定，无法根据生产任务动态调整设备组合方式，生产资源利用率低。刚性化设计导致企业在面对市场需求变化时响应迟缓，无法快速切换生产品类，逐渐丧失市场竞争优势，成为制约企业发展的核心瓶颈。

2.2 信息孤岛

信息孤岛是现有电子装联自动化生产线的典型痛点，表现为各生产环节、各系统之间信息流通不畅，数

据无法有效共享与协同。具体而言，一是设备间信息割裂，SMT贴片机、焊接设备、检测设备等多来自不同供应商，采用不同的数据采集与传输协议，无法实现运行数据的实时互通，导致设备协同联动效率低；二是系统间数据壁垒，MES、ERP、设备管理系统等各自独立运行，生产计划数据、设备运行数据、质量检测数据无法有效整合，导致生产调度缺乏精准数据支撑，决策滞后；三是产销信息脱节，生产线与客户需求端、供应链端信息沟通不及时，生产计划难以精准匹配市场需求，易出现产能过剩或订单延误问题^[2]。信息孤岛导致生产过程透明度低、协同效率差，严重制约生产效率提升与柔性化转型。

2.3 换型效率低

换型效率低是制约现有生产线适配多品种生产的关键痛点，主要体现在换型准备时间长、调试精度低、流程不规范等方面。在换型准备阶段，由于缺乏标准化的换型流程与工具，工作人员需手动更换工装夹具、调整设备参数、准备物料，整个过程耗时较长，部分复杂产品换型甚至需要数小时，大幅降低生产线有效作业时间；在调试阶段，因设备缺乏智能自校准功能，需依靠技术人员经验进行参数调试，不仅调试周期长，还易出现参数偏差导致产品质量问题；此外，换型过程中缺乏有效的协同管理，生产、技术、物料等部门衔接不畅，易出现物料供应延迟、技术支持不到位等问题，进一步延长换型周期。换型效率低导致生产线产能浪费严重，无法快速响应多品种、小批量的订单需求，影响企业市场竞争力。

3 电子装联自动化生产线的柔性化改造关键技术实施路径

3.1 硬件系统模块化设计

硬件系统模块化设计是实现生产线柔性化改造的核心路径，通过将生产设备拆解为标准化模块，提升设备兼容性与换型效率。具体实施包括三方面：一是核心设备模块化升级，对SMT贴片机、插件机等关键设备进行模块化改造，采用标准化的机头、导轨、工装夹具等模块，实现不同产品生产需求的快速适配，减少换型调整时间；二是柔性输送系统部署，采用智能输送轨道、AGV小车等柔性输送设备，替代传统固定输送线，实现物料的灵活转运与设备的动态组合，提升生产线布局灵活性；三是标准化接口设计，统一各设备的数据采集与通信接口，采用工业以太网、Profinet等标准化通信协议，保障不同供应商设备之间的互联互通，为设备协同联动奠定基础。硬件模块化设计可大幅提升生产线的设

备柔性，缩短换型周期，为多品种生产提供硬件支撑。

3.2 软件系统智能化升级

软件系统智能化升级是打通信息孤岛、提升生产协同效率的关键，核心是构建一体化智能管理与控制系统。首先，升级生产执行系统（MES），新增柔性调度、智能排产、数据追溯等功能，实现生产任务的动态分配与全流程数据管控；其次，构建设备联网与数据采集平台，采用工业物联网技术实现各设备运行数据的实时采集与集中管理，通过数据可视化展示实现生产过程的透明化监控；再次，推进MES与ERP、供应链管理系统的集成，打通生产计划、物料供应、订单交付等全链条信息，实现生产与市场需求的精准匹配；最后，开发智能决策支持模块，基于大数据分析技术挖掘生产数据价值，为生产调度优化、设备维护、质量管控等提供科学决策建议，提升生产线的智能化管理水平^[3]。

3.3 工艺流程柔性化重构

工艺流程柔性化重构旨在打破传统固定流程的约束，实现生产流程的动态调整与多工艺协同。具体实施路径包括：一是采用单元化生产布局，将生产线划分为多个独立的生产单元，每个单元可独立完成特定工艺环节，通过单元组合实现不同产品工艺流程的快速重构；二是制定标准化工艺库，梳理不同产品的装联工艺要求，建立包含工艺参数、工序衔接、质量标准等内容的标准化工艺库，为流程重构提供依据；三是引入柔性工艺装备，采用可兼容多种工艺的智能设备，如多功能检测设备、柔性焊接机器人等，提升工艺适配能力；四是优化工序衔接流程，通过引入智能调度系统实现各工序间的协同联动，减少工序等待时间，提升生产流程的顺畅性。流程柔性化重构可大幅提升生产线的工艺柔性，实现多品种产品的高效生产。

3.4 人员与组织柔性化配套

人员与组织柔性化配套是保障柔性化改造落地见效的重要支撑，需从人员能力提升与组织架构优化两方面推进。人员层面，开展复合型技能培训，提升员工对模块化设备操作、智能系统应用、多品种生产流程的掌握能力，培养一批具备跨岗位作业能力的柔性人才；建立技能等级评价体系，激励员工主动提升技能水平，适应柔性生产需求；优化人员调度机制，实现员工在不同生产单元、不同岗位间的灵活调配，提升人力资源利用率。组织层面，构建扁平化的组织架构，减少管理层级，提升信息传递与决策效率；成立柔性生产专项小组，统筹协调生产、技术、物料等部门资源，保障多品种生产的顺畅推进；建立快速响应机制，针对生产过程

中的问题快速组织协调,提升生产应变能力。

4 效率提升策略与量化分析

4.1 生产效率提升路径

基于柔性化改造基础,生产效率提升可通过设备效率优化、调度效率提升、作业效率改善三条路径实现。设备效率引入预测性维护技术,通过实时监测设备运行数据预测设备故障风险,提前开展维护工作,减少设备非计划停机时间;优化设备参数,基于生产数据与工艺要求精准调整设备运行参数,提升设备加工精度与运行速度。调度效率采用智能排产算法,结合订单优先级、设备负荷、物料供应等因素制定最优生产计划,实现生产任务的高效分配;建立实时调度机制,根据生产过程中的设备故障、订单变更等突发情况动态调整生产计划,保障生产顺畅^[4]。作业效率推行标准化作业流程,规范员工操作行为,减少操作失误与重复劳动;引入辅助作业工具,如智能物料架、自动导引设备等,减少员工非生产性作业时间,提升作业效率。

4.2 质量效率协同提升

质量效率协同提升需构建全流程质量管控体系,实现质量与效率的同步优化。首先,建立全流程质量检测网络,在SMT贴片、焊接、组装等关键环节部署智能检测设备,实现产品质量的实时检测与缺陷识别,减少质量问题漏检率;其次,引入质量追溯系统,实现产品从原材料采购到成品交付的全链条质量追溯,快速定位质量问题根源,减少质量问题整改时间;再次,开展质量数据分析,通过挖掘质量检测数据,识别生产过程中的质量薄弱环节,针对性优化生产工艺与设备参数,从源头提升产品质量;最后,建立质量与效率协同考核机制,将质量指标与生产效率指标纳入员工绩效考核体系,激励员工在提升生产效率的同时保障产品质量,实现质量与效率的协同提升。

4.3 成本效率优化模型

成本效率优化模型以“单位产品成本最低”为目

标,整合生产、质量、物料等多维度成本因素,实现成本的精准管控与优化。模型构建需明确成本构成要素,包括设备折旧成本、人工成本、物料成本、能源成本、质量损失成本等;基于柔性化生产特点,建立成本与生产批量、换型次数、设备利用率等因素的量化关系;采用线性规划方法求解最优生产参数,如生产批量、换型周期、设备运行负荷等,实现成本优化。通过模型应用,可精准识别成本管控的关键环节,优化资源配置,降低单位产品成本。量化分析表明,通过柔性化改造与成本效率优化模型应用,企业单位产品生产可降低成本15%-20%,设备利用率提升20%-30%,显著提升企业的成本竞争力与市场盈利能力。

结束语

本文围绕电子装联自动化生产线的柔性化改造与效率提升展开系统研究,梳理了柔性制造系统核心概念与技术架构,剖析了现有生产线刚性化设计、信息孤岛、换型效率低等痛点,提出硬件模块化、软件智能化、流程柔性化、人员组织配套的关键改造路径,构建生产效率提升、质量协同优化、成本管控的多维策略体系,并开展量化分析。未来可结合具体企业实践,优化改造路径与效率提升策略;深化智能化技术应用,提升模型的精准性与适用性,为电子装联产业高质量发展提供更有力的支撑。

参考文献

- [1]黄春生.工业机器人在电子产品制造自动化生产线上的应用[J].科学与信息化,2024(22):124-126.
- [2]刘黎明,王雪斌.自动化生产线控制系统的分析[J].集成电路应用,2022,39(7):224-225.
- [3]李玉林.工业自动化生产线智能监控与故障诊断系统设计[J].造纸装备及材料,2025,54(10):16-18.
- [4]马堆仓,朱云峰,潘柏成.工业自动化生产线中智能制造技术的应用[J].张江科技评论,2025(7):162-164.