

# Application and Improvement of Industrial Robots in Automated Production Lines

Bing Fang

Anhui Xiangyuan Engineering Technology Co., Ltd., Bengbu, Anhui, 233000, China

## Abstract

Industrial robots are the core driving force for the digital transformation of the manufacturing industry. Through technological iteration and scenario innovation, they achieve efficient collaborative operations in fields such as automotive manufacturing and electronic assembly, and increase production efficiency by 50% to 300%. However, bottlenecks such as insufficient adaptability to dynamic environments and reliance on imported key components still restrict their deep application. This article systematically reviews the technological evolution path of industrial robots, analyzes their practical value in flexible manufacturing and cross-domain collaboration, and proposes development countermeasures from the perspectives of algorithm optimization, hardware autonomy, and ecological collaboration. Research shows that only when robot technology is deeply integrated with industrial policies and standard systems can it achieve a leap from tool substitution to system reconstruction, and build a new paradigm for the high-quality development of the manufacturing industry.

## Keywords

industrial robots; automated production lines; technical bottlenecks; human-machine collaboration; intelligent manufacturing

# 工业机器人在自动化生产线中的应用及改进

方兵

安徽祥源工程技术有限公司, 中国·安徽 蚌埠 233000

## 摘要

工业机器人是制造业数字化转型的核心驱动力,其通过技术迭代与场景创新,在汽车制造、电子装配等领域实现高效协同作业,推动生产效率提升50%-300%。但动态环境适应性不足、关键部件依赖进口等瓶颈,仍制约其深度应用。本文系统梳理工业机器人的技术演进路径,剖析其在柔性制造、跨域协作中的实践价值,从算法优化、硬件自主化及生态协同角度提出发展对策。研究表明,机器人技术唯有与产业政策、标准体系深度融合,才能实现从工具替代到系统重构的跨越,为制造业高质量发展构建新范式。

## 关键词

工业机器人; 自动化生产线; 技术瓶颈; 人机协作; 智能制造

## 1 引言

在全球制造业智能化转型浪潮下,工业机器人作为《中国制造2025》战略的核心载体,其应用深度直接关乎国家产业竞争力。国际层面,2016年德国率先将协作机器人安全标准ISO/TS 15066纳入工业4.0法规体系,为技术标准推广奠定法律基础;国内方面,工信部2021年发布的《“十四五”机器人产业发展规划》,明确将高精度减速器、智能控制器等“卡脖子”技术列为重点突破方向。当前,我国工业机器人应用已从单一工序替代转向生产全流程重构,但在动态感知、跨系统集成等核心领域,与国际先进水平仍存在显著技术代差。本文基于汽车、电子等典型行业

的实践经验,探讨通过技术创新与生态协同破解应用瓶颈的路径,为构建自主可控的智能制造体系提供理论支撑。

## 2 工业机器人驱动的制造系统变革

### 2.1 工业机器人的技术演进与应用扩展

工业机器人自20世纪60年代诞生以来,完成了从单一功能机械臂到智能化协作系统的跨越式发展。早期机器人技术核心聚焦于机械结构稳定性与动作重复性,功能单一、精度有限,主要应用于汽车制造领域的焊接、搬运等标准化工序,核心价值是替代人工完成高强度、高重复性劳动,为制造业规模化生产奠定基础<sup>[1]</sup>。

随着传感技术、机器视觉与人工智能的深度融合,现代工业机器人实现了从“机械执行”到“智能决策”的升级,具备自主感知、动态适应、精准控制的核心能力,技术指标实现质的突破,应用领域也从传统重工业向高精度、多

【作者简介】方兵(1979-),男,中国安徽歙县人,本科,中级,从事机械设计制造及其自动化研究。

元化场景拓展，覆盖电子装配、食品包装、医药分拣等多个行业。在 3C 电子领域，六轴机器人搭载视觉定位系统，可完成微米级电子元件的精准组装，有效解决人工操作的精度误差与效率瓶颈，显著提升产品良率与生产节奏。这一技术迭代不仅突破了传统制造业的物理生产限制，更推动自动化生产线向柔性化、模块化转型，适配市场个性化、定制化的需求变化。

## 2.2 工业机器人对制造业生态的重构

工业机器人的规模化普及，不仅带来生产效率与产品质量的直接提升，更从生产模式、竞争格局等层面，实现对制造业生态的全方位重构。在生产运营端，面对全球劳动力成本攀升的行业痛点，机器人替代人工完成高危、高强度、高重复性工序，使企业运营成本下降 30%-50%，生产效率提升 2-3 倍，同时大幅降低人工操作的安全风险与产品次品率<sup>[2]</sup>。

更为深远的影响在于生产模式的革新，依托工业互联网与 5G 通信技术，工业机器人集群可实现生产数据的实时共享与指令的精准传递，形成跨设备、跨地域的协同制造网络。德国工业 4.0 示范工厂的实践表明，200 台机器人通过 5G 通信实现毫秒级响应，可根据订单需求动态调整生产流程，将订单交付周期缩短至传统模式的四分之一。这种数字化集成能力，不仅加速了定制化生产的发展，更催生出“黑灯工厂”等新型制造范式，推动制造业从传统的规模经济向价值经济转型，重塑全球制造业的竞争格局<sup>[3]</sup>。

## 3 工业机器人在自动化生产线中的典型应用场景

### 3.1 汽车制造领域的高效协同作业

汽车工业是工业机器人最早实现规模化应用的领域，经过数十年发展，已形成“机器人主导、人工辅助”的成熟应用模式，机器人广泛覆盖焊接、喷涂、总装等全生产流程，成为汽车制造自动化生产线的核心载体。

在焊接车间，六轴串联机器人凭借 0.02 毫米的重复定位精度，完成车身点焊、弧焊等关键工序，焊接效率较传统人工提升 4 倍以上，某国际车企引入机器人焊接系统后，车身产线生产节拍缩短至 45 秒/台，同时实现多车型混线生产，提升生产线柔性。喷涂环节中，搭载 3D 视觉的七轴机器人通过路径自优化算法，精准适配车身曲面结构，将涂料利用率从 65% 提升至 92%，既降低生产成本，又消除涂料挥发对人工的健康隐患。总装线上，移动机器人（AGV）与机械臂组成动态装配单元，通过激光导航实现发动机、变速箱等零部件的精准配送，配合机械臂完成高强度装配作业，使单台车辆装配时间减少 18%，充分展现了工业机器人在复杂工序中的协同作业优势。

### 3.2 电子与新兴产业的精密化适配

相较于汽车制造的规模化需求，3C 电子、半导体、食品医药等电子与新兴产业，对工业机器人提出微型化、高精

度、高柔性的核心要求，工业机器人通过技术创新与场景适配，实现了与各行业生产需求的精准对接。

在 3C 电子行业，SMT 贴片生产线中的 Delta 机器人以每秒 12 次的高速，完成 0.3 毫米芯片的精准抓取，定位误差小于  $\pm 5$  微米，推动智能手机主板生产效率提升 50%；六轴小型机器人搭载柔性夹爪，可完成手机屏幕、摄像头等精密零部件的装配，大幅提升产品良率。半导体制造环节，真空洁净机器人在无尘环境中完成晶圆搬运，将污染风险降低至百万分之一级别，为芯片高精度生产提供保障。食品医药领域，协作机器人通过柔性夹爪与力控传感器的配合，实现药品分拣与包装，将药品破损率控制在 0.01% 以下；某乳制品企业引入码垛机器人后，包装线产能提升至每小时 2.4 万盒，同时将产品追溯系统与机器人数据链打通，实现从生产到出厂的全流程质量闭环管理，凸显工业机器人在新兴产业中的场景适配能力与价值延伸。

## 4 工业机器人的核心瓶颈与改进路径

### 4.1 技术瓶颈与应用壁垒的双重制约

尽管我国工业机器人应用规模持续扩大，但在技术研发、硬件配套、应用落地等方面，仍面临技术瓶颈与应用壁垒的双重制约，成为阻碍其深度渗透制造业的关键因素。

技术层面，工业机器人在动态复杂场景中的适应性不足，传统示教编程模式需人工提前设定作业程序，无法根据工件状态、环境变化自主调整，在物流分拣等非结构化环境中，工件随机堆叠会导致机器人定位误差增加 3-5 倍，分拣成功率降至 80% 以下。核心算法存在短板，多机协同作业时的避障规划耗时占整体作业周期的 15%-20%，制约生产线节拍提升，同时机器人动态感知能力不足，传感器与本体融合度低，难以完成高精度复杂装配任务。

硬件层面，高精度力矩传感器、谐波减速器、RV 减速器等核心部件高度依赖进口，国产化率不足 30%，不仅推高机器人系统成本约 40%，还存在供应链断供风险，严重制约产业自主可控发展。

应用层面，中小企业成为工业机器人深度应用的主要壁垒。一方面，中小企业生产规模小、资金有限，而机器人系统集成成本高、改造周期长，超出多数中小企业的承受能力；另一方面，中小企业缺乏专业的机器人操作、调试、运维团队，调研显示，我国制造业企业因技术人才缺失，导致 30% 的机器人设备处于半闲置状态。同时，不同品牌机器人的通信协议、数据接口不统一，跨品牌设备数据互通率不足 40%，形成“信息孤岛”，制约机器人集群与自动化生产线的全局协同。

### 4.2 技术突破与生态构建的协同改进

破解工业机器人产业发展瓶颈，需从技术研发与产业生态构建双路径切入，实现核心技术突破、硬件自主化、应用场景普及的全方位发展，充分释放其对智能制造的赋能

价值。

算法优化是提升机器人智能化水平的核心，基于数字孪生的自适应控制技术，可构建机器人与作业环境的虚拟模型，实现对动态环境的实时感知与自主决策，将动态环境作业精度提升至 95% 以上；通过强化学习训练机械臂，可优化作业逻辑与协作模式，某实验室的实践表明，强化学习技术可将复杂装配任务的学习周期从 120 小时压缩至 8 小时，大幅提升机器人的自主学习能力。同时，推动传感技术、机器视觉与机器人本体的深度融合，提升机器人多维度感知能力，为高精度作业与多机协同提供技术支撑。

硬件自主化是实现产业可控发展的关键，依托国家重大科技专项与产业基金，支持本土企业与科研院所开展核心部件技术攻关，重点突破材料工艺、精密加工等技术难题。目前，我国国产 RV 减速器精度已达 1 弧分以内，基本满足中高端机器人应用需求，且成本较进口产品降低 60%，大幅提升本土机器人企业的成本优势与核心竞争力。同时，推动核心部件与机器人本体的协同设计，提升机器人整体的稳定性与适配性。

生态构建是推动机器人规模化应用的保障，从标准化、降成本、人才培养、政策支持等多方面发力，破解应用壁垒。推行模块化、标准化设计理念，研发即插即用型协作机器人，使机器人部署成本下降 35%，某家电企业采用模块化机器人后，产线改造周期从数月缩短至 3 天，大幅降低改造成本与时间。加快完善行业标准体系，推动机器人通信协议、数据接口的标准化，打破“信息孤岛”，同时落地 ISO/TS 15066 等安全标准，规范人机协作场景。

针对中小企业应用难题，出台财政补贴、税收减免、融资租赁等扶持政策，推动中小企业机器人渗透率年增 12%；加强校企合作，构建智能制造人才培养体系，开展机器人操作、运维等技能培训与认证，2023 年我国智能制造领域技能认证人数同比增长 45%，为机器人深度应用奠定人力资源基础。同时，培育机器人系统集成、运维服务等第三方机构，为中小企业提供一站式解决方案，解决其技术能

力不足的问题。

## 5 结论

工业机器人在自动化生产线中的深度应用，标志着制造业生产范式从“机械延伸”向“智能共生”的质变，其不仅是人工操作的简单替代，更是推动制造系统全局重构的核心力量。经过数十年发展，工业机器人已完成从单一机械臂到智能化协作系统的技术演进，在汽车制造、电子装配、食品医药等多领域实现高效应用，推动生产效率与产品质量大幅提升，重构了制造业的生产模式与产业生态。

但当前工业机器人产业发展仍面临动态环境适应性不足、核心部件依赖进口、中小企业应用门槛高等问题，制约了其应用价值的充分释放。工业机器人的技术突破与规模化应用，必须遵循“硬件 - 算法 - 数据”的协同进化路径，通过核心部件自主化、算法智能化、技术融合化，突破产业发展的技术瓶颈；同时，构建涵盖标准体系、政策支持、人才培养、第三方服务的完善产业生态，破解应用壁垒，推动工业机器人与自动化生产线、工业互联网的深度融合。

正如凯文·凯利所言：“未来技术的最佳形态，是生物与机器的共舞。”工业机器人的未来发展，将朝着更智能、更柔性、更协同的方向演进，实现与人、设备、制造系统的无缝融合。唯有推动机器人技术与产业政策、标准体系深度融合，才能真正实现从工具替代到制造系统重构的跨越，充分释放其对制造业转型升级的赋能价值，构建自主可控的智能制造体系，为我国制造业高质量发展提供新范式，推动我国从制造大国向制造强国跨越。

## 参考文献

- [1] 林放,翁国洲,张钧.基于工业机器人的冲压自动化生产线系统的实现[J].造纸装备及材料,2024,53(09):10-12.
- [2] 王勇.工业机器人在工业制造自动化生产线上的创新应用[J].现代工业经济和信息化,2024,14(08):155-157+160.
- [3] 骆峰,杨帆,胡菡,李智.自动化生产线工业机器人的装调工艺仿真[J].武汉工程职业技术学院学报,2024,36(02):39-43.