工程与管理科学
Engineering and Management Science
第 8 卷◆第 9 期◆版本 1.0◆2026 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2705-0637(P) / 2705-0645(O)

工业机器人技术在现代机械制造领域的应用与挑战

刘亚飞
山西太钢不锈钢股份有限公司　山西省太原市　030003

DOI：10.32629/ems.v8i9.22156

［摘　要］工业机器人现在是现代机械制造系统中不可缺少的一环，是产业升级的重要动力。所涉用途不只限于既有的精细装配或自动焊接类操作，而且把柔性运输、自主检验纳入考虑范围，使各生产阶段基本实现数字化。但产业要完成向高端形态的转化仍有诸多结构性障碍：关键部件的国产化比例太低、机器的智能判断力有限、人机配合尚有安全缺口以及专业人才供给不足。就所列困难而言，本文先分析工业机器人对机械制造的具体应用方式，再考察其在技术上、生态上和人才上的深层限制，最后结合自主创新、产业协作及人才开发三项思路提出对策，以理论与实例双重角度支持我国制造业向智能化发展的目标。

［关键词］工业机器人；机械制造；智能化应用；核心零部件；人机协同

引言

工业机器人是“智造”变革所依赖的核心要素，现在正改变制造业内涵。按六十余年的发展进程考察，产业重心由欧美日独占转为我国后来居上，目前我国是最大市场、新增装机量占世界过半。但繁荣之中有隐忧：关键技术未完全自主、高端用途少、配套生态缺位诸项“卡脖子”问题仍较突出。就所遇困难而言，我国应着力攻克技术障碍、健全产业链，努力由大变强、由量转质，用新状态来适应当前全球竞争的实际要求。

1.工业机器人技术的核心内涵与体系架构

1.1 技术本质与构成逻辑

工业机器人不等于一般意义的机械手臂，而是由机械本体、驱动传动、控制逻辑、传感装置及末端执行器所共同构成的复杂体系。有关它的设计或制造要结合运动范围、负载性能、重复定位准确度诸项基本要求，而这些又都是行业标准考察的重点。机械结构对机器人来说是“骨骼”，驱动部分所定的是“肌肉”，控制方法对应于“神经中枢”，传感器即“五感”，末端执行器恰是它同工件接触的“指尖”。五者配合，始得成功。

1.2 技术演进的三重跃迁

有关工业机器人的技术发展已有清楚的三重跃迁说法。第一重以“示教再现”为起点、用“离线编程”来控制，即把机器人带离手把手教导所费的低效状态；第二重是“单一作业”到“多机协同”之间系统性的跃迁，把单个机器人纳入智能生产整体中；第三重按“自动执行”至“自主决策”来划分，人工智能和视觉技术结合后所造的机器具有类人知觉及学习能力。现在三重跃迁同时展开，正在促使工业机器人由“自动化工具”走向“智能决策主体”。

2.工业机器人在现代机械制造中的多元应用

2.1 精密装配：从“人工巧手”到“钢铁绣花”

机械制造所依赖的基本工艺即精密装配中，工业机器人已把人类难以达到的稳定性和精确度予以实现。对于汽车发动机或变速箱这类复杂部件、电子元器件或医疗仪器的无菌处理来说，过去主要靠人工的经验及触感完成的工序，现在因机器人而发生根本性改善。微型机器人以及 SCARA 所代表的类型能按微米级要求反复定位，对芯片、精密零组件做细致操作，把由人造成的问题基本排除。而且借助夹具、程序的迅速变换，机器人可以灵活适应多品种、小规模的生产状态，使柔性制造摆脱幻想而成为现实。

2.2 智能焊接：从“弧光飞溅”到“毫米精准”

焊接是目前机械制造所采用、应用范围最广的机器人作业方式。对汽车车身而言，几十台焊接机器人同时运用机械臂作工，在框架各要部、各接点附近自由移动，用毫米精度把所遇焊缝一一完成。现代焊缝跟踪方法配合电弧探测装置可令机器人即时知道焊缝所在，按需要调节焊枪角度及电流等工艺参数。从底板装配到侧面、顶盖乃至整车身合拼，机器人无须休息地持续操作，把原本艰辛的弧光作业变为轻松的劳动过程。就工程机械或航天产品而论，大负载类焊接机器人也胜任结构焊接的高强度任务，成品质量及产出速度都得到明显改善。

2.3 柔性搬运与物流：从“人扛肩挑”到“智行天下”

机械制造所涉的物料流转过程可由搬运机器人及移动机

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

器人（ AGV/AMR ）加以高效智能化处理。这类设备运用自主导航、多感测技术、联网功能而无须人工干预，正好适合原材料、半成品或成品的各类运输需要。将自动化仓库和可变式加工体作紧密结合，就可做到物料到手即可用、生产不空转，以往因搬运而生的低效、危险现象得以根本性解决。对电商、零售乃至第三方物流来说，移动机器人正成为强有力的竞争者，相关出口增长迅速，是国产制造走向世界的最新例证。

2.4 质量检测：从“人眼端详”到“机器洞察”

质量对于机械制造来说就是生命线。目前工业机器人已能用视觉传感器及智能检测方法迅速而准确地分析所造物品的尺寸或表面状况。电子零件生产上借由高精度视觉来定位微小瑕疵或异常点；汽车类部件的装配中以力觉装置对接触力作连续、实时的跟踪式记录。此处所称的“检测即生产”正是把质量控制从单纯事后处理转为过程干预，明显有利于减少废品和重复劳动的开销。

2.5 极端环境作业：从“畏途巉岩”到“如履平地”

机械制造所涉及的工况有高温、高压或真空一类的极端情形。现代工业机器人正以不惧危险的“钢铁之躯”代替人去冒险——用机械臂把半导体晶圆送进真空区域，在热源附近作高温处理，于酸性物质中做表面喷涂或磨削。此处提到的“以机代人”既属于效率进步，也恰好是劳动者人身安全获得保障的表现。

3. 工业机器人技术面临的深层挑战

3.1 核心零部件受制于人：产业安全的“阿喀琉斯之踵”

目前工业机器人所依赖的高精度减速机及伺服电机（含驱动装置）、先进控制器诸项核心部件，基本由外国公司控制，国产化比例低。就精密减速器而言，日本厂商已取得全球主要份额，我国既要用高价购买又常受交货时间牵制。若国际市场有变或物流供应突然中断，国内相关产业便要承受很大困难。这种局面对利润是压制、对价格是障碍，而且产业安全亦非自己所能把握。关键技术不能靠求购、靠乞讨、靠侥幸获得，自主掌控才是长远之道。

3.2 智能化与柔性化水平不足：从“能用”到“好用”的鸿沟

即使工业机器人在标准状况下已能很好运行，对复杂现实工况来说其智能化程度仍有欠缺。按传统方法编程的机器人不易改变用途、换产时间长，不能很好地满足小批量或多种类的柔性生产需要；所依赖的感知手段和决策逻辑不够完善，在遇到工件变形、外界干扰时未必可靠；多台机器人协作所涉的任务划分及路径安排尚需更高智能。有关精密制造的国产机器人目前还不能全面媲美世界领先品牌，所售产品大多雷同，价格竞争的困扰没有根本解除。

3.3 人机协同安全隐患：信任的“最后一公里”

当机器人要由围栏所限的区域进入人机共存的开放状态，安全问题即成最脆弱的神经末梢。协作机器人尽管使用了弹性关节和力反馈设计，高速运行时对碰撞的识别及控制（力、速度）仍不完全可靠；有关交互的现有方案基本是示教或程序命令，语音、动作一类自然手段的成熟度、可用性还有待证明。目前缺少对工业协作安全作完整说明的技术标准，因此“人机共舞”所指的理想情况同现实之间有条不易跨越的信任鸿沟。

3.4 人才结构性短缺：产业升级的“软肋”

工业机器人属于典型的高技术产业，目前急需跨学科复合型人才——即同时掌握机械设计及电子、自动控制乃至编程、人工智能诸项知识的人才。但现实是高校所教内容不能很好对应产业需要，学生缺少实际训练机会；公司培训体系又不完备，用人计划推进缓慢。若缺乏高级技术人员或优秀管理者，企业就难以取得突破性进展，技术创新亦将受阻，这是产业升级所遇的最大“软肋”。

3.5 应用成本与生态适配：中小企业的“入场券”

现在所称的高端工业机器人价格很高，对中小企业来说采购和使用都困难；而国产中低端产品之间重复较多，缺乏明显性价比优势。有关工业机器人及配套的软硬件、终端系统目前尚无统一标准，各厂家、各类机器人配合起来不易操作、信息不连通，按行业专门设计的方案也较难落实。标准不全、生态未融通的现实，正把中小企业的智能化发展拖入困境。

4. 破局之策与未来展望

4.1 核心技术攻关：铸造自主可控的“钢铁脊梁”

要突破核心零部件所涉的技术瓶颈，是当前我国工业机器人产业走向自立、取得突破的关键所在。按惯例来说，减速器、伺服系统以及控制器三类部件的成本占机器人总造价的很大比例，而高端部分多由外企控制。此时政府宜作积极引导，将产业扶持纳入专项计划，利用补贴、减税、首台（套）装备保险等手段来分担企业创新的财务压力，激发其探索热

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

情。同时应避免企业各自为战的做法，主动与学术界、研究单位开展合作，共建实验室或创新平台，把高精度材料、精细制造及基本控制逻辑都列入“卡脖子”类技术予以攻关。从汇川技术对伺服电机的国产化突破到埃斯顿对关键产能的战略性投资来看，替代进口已开始向底层设备推进。现在所见的整条产业链协作态势，正使我国工业机器人获得“钢铁脊梁”式的自主保障，为行业长期繁荣积蓄力量。

4.2 智能化升级：从“执行指令”到“自主思考”

人工智能同工业机器人结合所形成的趋势是行业由自动化走向智能化的质变。未来将没有单纯按既定程序重复动作的机械臂式机器人，而是以“大脑”为特征的智能体。从基本原理上说，用机器学习或深度学习方法训练机器人之后，它就可以利用环境信息对抓取、位移诸项操作做微调，由此提高在复杂情况中完成任务的效率和所获良品的比例。其次，借助 SLAM （同步定位与地图构建）手段把激光雷达、视觉数据加以多源整合，移动类机器人（ AGV/AMR ）便可在不规则、变动的场景里获得精确导航、即时避障能力，物流及制造流程因而变得高度柔性。数字孪生概念所描述的虚实映射又使离线设计、远端控制、数据驱动的预测性维修有其依托，相关停机、维护成本被大大压低。就具身智能而言，机器人正由被动“执行指令”发展到主动“感知—决策—执行”闭环状态，能听懂自然语言、应对含糊要求，从而较完整地进入人类劳动逻辑。

4.3 人机共融：构建安全高效的协作新生态

现在劳动力成本已上涨、安全要求也比以前高，“人机共融”正成为制造业新趋势。若要落实这种愿景，须同时把技术与伦理两方面纳入考虑。就技术而言，要设法用高精度的力觉、触觉装置及毫秒级碰撞计算来模拟人手的特性，让机器人有某种“痛觉”和平衡能力，由此大大改进协作机器人的安全状态，做到与人邻近而无危险地共同劳作。交互上宜采用语音、视觉乃至手势所代表的自然方式，避免复杂输入，使未受过专门训练的人同样能有效运用机器人。制度上要加快制定有关人机协作的标准及技术规程，厘清各自责任，对“人机共舞”作出制度性的支撑。当机器人不再是冷硬的、不合作的工具时，制造业所追求的效率便不会是残酷的压榨，而是对生命的尊重、对人的关怀，效率与人性可以并存、互惠。

4.4 人才培育与生态构建：厚植产业沃土

产业要实现可持续发展必须依靠人才及优良的生态系统。高校要主动改革课程内容，把人工智能、机械工程或计算机类科目纳入交叉教学范畴，使实践环节更受重视，将企业资源引入教学，促成实习实训的制度化，减少毕业生初入职场的困难。企业须把培训纳入长期规划，对各类人才（包括技术与管理）提供上升机会，设计有实效的激励手段，防止核心人员流失。从政府角度说，应制定较完整的引才政策，利用住房优惠、科研资助等方式吸引海外高层次人才回国、来华创业。若中小企业因资金或技术而受限，可考虑用租赁、共享等形式缓释设备投入压力；又以试点项目、补贴政策促动机器人在多领域实际落地。最后，要把产业生态圈建设成开放、合作、互利的平台，让大小企业、上下游都获得发展空间，由此为我国工业机器人行业的发展积蓄力量。

结语

对于现代机械制造来说，工业机器人恰如引擎之于航船、血脉之于躯体。它所服务的精密装配、智能焊接、柔性物流、质量控制乃至极端作业，已对制造业的生产传统造成根本性改变。但若核心元件不自主、系统不够智、协作尚缺方、人才少而散、生态无联系，便有诸多暗礁潜伏，不宜对前景作过分乐观估计。要走出困局，须把自主创新当基础、把智能发展作引擎、把人才培育作土壤、把生态建设作纽带。从技术、制度到人才三者同时着手推进，工业机器人才可能由“自动化工具”转为“智能制造的灵魂”，促成我国机械制造由大转强、由强趋优的实质进步。未来已至，唯变是常——这是工业机器人产业最本质的启示，亦是中国制造最有力的宣言。

[参考文献]

[1]王英鹏，宋慧鹏，孙玉文.机器人力控精密抛光技术研究进展[J].机器人，2025,47(5):730-752.

[2]梁亮，吴成东，刘世昌.基于关节损耗约束的工业机器人最优轨迹规划算法研究[J].机械工程学报,2024,60(19):11-19.

[3]梁志强，郑浩然，杜宇超.弱刚度构件工业机器人铣削偏转误差建模[J].制造技术与机床，2025(6):9-19.

[4]李培根，黄群慧.智能制造下工业机器人应用体系、现存短板与突破路径[J].我国工程科学，2024,26(03):45-53.

[5]张卫冬.工业互联网赋能机械制造机器人柔性集成应用研究[J].我国机械工程，2024,35(12):1482-1489.

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.