

# 工业机器人技术现状与产业化发展分析

陈怡瑾, 胡春晓, 席浩

日照科技职业学院, 山东日照, 中国

**【摘要】**为系统厘清工业机器人技术发展脉络与产业化推进规律,助力全球制造业智能化转型,本研究以技术演进与产业生态为双核心,采用文献计量分析、跨学科比较研究及全球产业数据挖掘方法,综合梳理工业机器人技术的发展历程、核心技术体系构成,系统分析全球主要经济体的技术研发重点、产业布局特征及市场竞争格局,深入探讨技术创新与产业化协同发展的内在机制,识别当前产业发展中面临的核心技术瓶颈、产业链协同不足、标准体系不统一等关键问题。研究发现,工业机器人技术正朝着高精度、轻量化、协作化、智能化方向加速迭代,核心技术聚焦感知融合、运动控制、人机交互及数字孪生等领域;全球产业化呈现“技术主导、区域集聚、应用拓展”的特征,亚洲、欧洲、北美形成差异化竞争格局;技术创新与产业需求的深度耦合、产业链上下游协同及政策精准引导是推动产业化高质量发展的关键驱动力。本研究为工业机器人技术研发方向优化、产业化路径选择及相关政策制定提供理论参考与实践支撑。

**【关键词】**工业机器人; 技术现状; 产业化; 核心技术; 发展趋势

## 1. 绪论

### 1.1 研究背景与意义

全球制造业正经历以智能化、数字化、绿色化为核心的深刻变革,工业机器人作为智能制造的核心装备,其技术成熟度与产业化水平已成为衡量国家制造业竞争力的关键指标。在工业4.0战略、中国制造2025等全球产业升级倡议推动下,工业机器人在汽车制造、电子信息、机械加工等传统领域的应用不断深化,同时向新能源、航空航天、医疗健康等新兴领域加速渗透,市场需求持续释放。从产业发展现实来看,技术创新与产业应用之间的协同不足、区域发展不均衡、核心技术瓶颈等问题仍制约着行业高质量发展,亟需从理论层面系统梳理技术演进规律与产业化推进逻辑。

理论上,本研究构建技术现状与产业化发展的整合分析框架,填补现有研究中技术维度与产业维度分离的空白,丰富智能制造装备产业发展的理论体系。实践上,研究结论可为相关企业优化技术研发方向、调整产业布局提供决策参考,为政府部门制定精准有效的产业政策、完善创新生态提供实践支撑,助力制造业实现从规模扩张向质量效益转型的战略目标。

### 1.2 国内外研究现状述评

国外研究聚焦工业机器人核心技术突破与产业生态构建,在运动控制算法优化、人机协作安全机制、数字孪生技术融合等方面形成系列成果。部分学者通过技术路线图分析,预判

机器人向高精度、智能化、模块化方向发展的趋势,同时围绕欧美日等经济体的产业集聚模式展开研究,揭示技术标准与市场需求对产业化的驱动作用。但现有研究多侧重单一技术领域或特定区域,缺乏对全球技术与产业协同发展规律的系统性探讨。

国内研究以市场规模分析、技术瓶颈梳理及政策建议为主,相关成果集中于核心部件国产化、应用场景拓展等现实问题。部分研究通过对比国内外产业差距,提出技术引进与自主创新结合的发展路径,但在技术创新与产业化耦合机制、产业链上下游协同模式等深层次问题上缺乏深入论证。总体来看,现有研究尚未形成涵盖技术演进、产业布局、制约因素与发展路径的完整分析体系,难以充分支撑行业高质量发展的实践需求。

### 1.3 研究内容与技术路线

研究内容围绕工业机器人技术现状与产业化发展两大核心展开,具体包括:技术理论基础与演进逻辑梳理,核心硬件与软件技术发展现状分析,全球产业化规模、格局及产业链协同特征探讨,技术、产业、外部环境层面的制约因素识别,以及高质量发展路径与未来趋势预判。

技术路线遵循“理论构建—现状分析—问题识别—路径优化”的逻辑展开:首先通过文献计量法与系统梳理法,构建工业机器人技术与产业化的理论分析框架;其次运用数据挖掘法收集全球产业统计数据、技术专利数据,结

合比较研究法分析不同经济体的发展模式差异；再次通过归纳演绎法提炼产业发展的核心制约因素；最后基于上述分析，提出针对性的发展路径与政策建议，形成完整的研究闭环。

#### 1.4 研究创新点

研究创新主要体现在三个维度：其一，构建“技术演进—产业协同—环境适配”的三维分析框架，突破现有研究单一维度的分析局限，实现技术现状与产业化发展的系统整合；其二，采用跨区域比较视角，系统分析欧洲、亚洲、北美主要经济体的技术研发特色与产业化模式差异，揭示全球产业竞争的核心逻辑；其三，多维度识别产业化发展的制约因素，提出技术创新、产业链协同、政策保障三位一体的发展路径，为行业实践提供更具操作性的指导方案。

### 2. 工业机器人技术理论基础与演进逻辑

#### 2.1 技术定义与核心体系构成

工业机器人是指应用于工业生产场景，能够通过编程或示教实现自动控制，完成物料搬运、加工装配、检测检验等作业任务的多关节机械臂或移动机器人装备。其技术体系以机械结构为载体，以感知、控制、驱动技术为核心，以智能算法为支撑，形成多学科交叉融合的技术架构。

核心体系主要包括硬件系统与软件系统两大模块。硬件系统由机械结构、驱动单元、传感单元、执行机构组成，机械结构决定机器人的运动空间与负载能力，驱动单元为运动提供动力支持，传感单元实现环境与作业对象的信息感知，执行机构完成具体作业动作。软件系统涵盖运动控制系统、路径规划系统、智能决策系统、人机交互系统，运动控制系统保障作业精度与运动平稳性，路径规划系统优化作业轨迹，智能决策系统实现复杂场景的自适应调整，人机交互系统简化操作与维护流程。两大系统相互协同，共同决定工业机器人的作业性能与应用范围。

#### 2.2 全球技术发展历程与阶段特征

工业机器人技术发展经历了三个核心阶段，各阶段呈现鲜明的技术特征与应用导向。第一阶段为程序控制阶段，技术核心是基于固定程序的重复作业，机械结构以直角坐标与圆柱坐标为主，运动精度较低，主要应用于简单物料搬运、焊接等标准化作业场景，技术突破集中于机械结构优化与基础驱动技术研发。

第二阶段为自适应控制阶段，随着传感器技术的发展，机器人具备初步的环境感知能

力，核心技术转向传感信息处理与简单路径优化，机械结构向多关节串联形式演进，运动精度与负载能力显著提升，应用场景拓展至精密装配、检测等领域，技术创新聚焦于传感融合与运动控制算法优化。

第三阶段为智能自主阶段，人工智能、大数据、数字孪生等技术的深度融合，推动机器人向自主决策、人机协作、柔性生产方向发展，核心技术集中于深度学习算法、人机安全交互、数字孪生仿真等领域，机器人具备复杂环境自适应、多任务协同作业能力，应用场景覆盖个性化定制、高端制造等复杂生产场景，技术发展呈现多学科交叉融合的鲜明特征。

### 3. 工业机器人核心技术发展现状

#### 3.1 关键硬件技术发展水平

驱动技术方面，伺服电机与减速器作为核心驱动部件，其性能直接决定机器人的运动精度与响应速度。当前伺服电机向高精度、高功率密度、小型化方向发展，永磁同步伺服电机成为主流，通过优化电磁设计与控制策略，torque 波动控制精度显著提升，部分高端产品定位精度可达 $\pm 0.01\text{mm}$ 。减速器领域，谐波减速器与RV减速器占据主导地位，谐波减速器凭借体积小、重量轻的优势应用于轻负载场景，RV减速器以高刚性、高负载能力适用于中重载场景，国际领先产品的传动效率可达90%以上，使用寿命突破10000小时，但高精度减速器的核心制造工艺仍被少数企业垄断。

传感技术呈现多传感器融合发展趋势，视觉传感器、力触觉传感器、惯性传感器的组合应用成为主流。视觉传感器从二维向三维升级，3D视觉传感器通过结构光、激光雷达等技术，实现作业对象的三维轮廓重建与精准定位，识别精度可达 $0.05\text{mm}$ ，满足精密装配、物料分拣等复杂作业需求。力触觉传感器能够实时感知作业过程中的接触力与力矩信息，实现装配力控制、抛光打磨等力控作业，部分产品的力控精度可达 $\pm 0.1\text{N}$ 。多传感器融合技术通过数据融合算法，整合不同传感器的信息优势，提升机器人对复杂环境的适应能力。

执行机构向模块化、柔性化方向发展，末端执行器作为直接与作业对象接触的部件，呈现多样化设计趋势。针对不同作业需求，开发出夹持式、吸附式、工具式等多种类型的末端执行器，模块化设计使其能够快速更换，适应多品种、小批量的生产需求。柔性执行器采用柔性材料与自适应结构设计，可避免对脆弱作业对象的损伤，拓展了机器人在电子元件装

配、食品加工等领域的应用范围。

### 3.2 核心软件技术

运动控制技术持续向高精度、高动态响应方向发展，核心聚焦轨迹规划与动态补偿算法优化。轨迹规划技术采用多项式插值、样条曲线等方法，实现机器人运动轨迹的平滑过渡，减少运动冲击，提升作业效率与精度。动态补偿技术通过建立机器人动力学模型，对机械间隙、负载变化、摩擦阻力等因素进行实时补偿，有效降低动态误差，部分高端工业机器人的轨迹跟踪误差控制在 0.1mm 以内。基于模型的预测控制算法在运动控制中的应用，进一步提升了机器人对复杂工况的适应性。

路径规划技术致力于解决复杂环境下的最优路径求解问题，传统算法如 A\* 算法、Dijkstra 算法通过优化搜索策略，提升路径求解效率，已在结构化环境中广泛应用。针对非结构化环境与动态障碍物场景，改进型 RRT 算法、人工势场法等智能路径规划算法得到快速发展，通过引入随机采样与局部优化机制，实现路径的快速生成与动态调整。多机器人协同路径规划技术通过任务分配与路径协调，避免机器人之间的碰撞冲突，提升整体作业效率，成为大规模应用场景的关键技术支撑。

智能算法与工业机器人的融合不断深化，机器学习、深度学习、强化学习等算法在机器人感知、决策、控制环节的应用日益广泛。机器学习算法通过对作业数据的学习，建立作业参数与作业质量的映射关系，实现作业参数的自适应优化。深度学习算法在图像识别、故障诊断等领域表现突出，基于卷积神经网络的视觉识别技术能够精准识别复杂背景下的作业对象，故障诊断模型可通过振动、电流等数据实现早期故障预警。强化学习算法通过试错学习机制，使机器人在未知环境中自主探索最优作业策略，为复杂作业场景提供新的技术解决方案。

### 3.3 技术创新热点与前沿方向

协作机器人技术成为创新热点，其核心特征是人机协同作业的安全性与灵活性。通过采用力控感知、碰撞检测、安全监控等技术，协作机器人能够在无安全围栏的情况下与人类近距离协作，满足柔性生产与个性化制造需求。轻量化设计与低成本制造技术的突破，进一步降低了协作机器人的应用门槛，使其在 3C 电子、医疗器械等细分领域快速普及。

数字孪生技术与工业机器人的深度融合，构建了虚拟与物理交互的闭环系统。通过建立

机器人数字孪生模型，实现作业过程的仿真模拟、实时监控与远程运维，在产品研发阶段可优化机器人结构设计与控制参数，在生产阶段能够实时监测运行状态、预测潜在故障，在运维阶段可通过虚拟调试降低停机维护时间，显著提升机器人全生命周期管理水平。

边缘计算与工业互联网技术的集成应用，推动工业机器人向网络化、智能化方向升级。边缘计算技术将部分数据处理与决策功能下沉至机器人终端，降低对云端服务器的依赖，提升实时响应速度，满足高动态作业场景的需求。工业互联网平台通过连接多台机器人与生产设备，实现生产任务的统一调度、资源配置与数据共享分析，构建柔性制造系统，支撑大规模个性化生产模式的落地。

## 4. 全球工业机器人产业化发展现状分析

### 4.1 产业规模与市场格局演变

全球工业机器人产业规模持续扩大，市场需求呈现稳步增长态势。工业机器人装机量与销售额保持同步增长，应用领域从传统汽车制造向电子电气、金属加工、物流仓储等多领域延伸，市场结构不断优化。从市场分布来看，亚洲市场占据全球主导地位，成为推动全球产业增长的核心动力，欧洲与北美市场凭借技术优势保持稳定增长，新兴市场国家的需求增速加快，市场份额逐步提升。

市场竞争格局呈现“寡头垄断与新兴力量崛起并存”的特征。国际巨头凭借技术积累、品牌优势与完善的产业链布局，占据高端市场主导地位，形成相对稳定的竞争格局。国内企业通过自主创新与技术引进，在中低端市场快速崛起，部分企业已实现核心部件的国产化突破，产品性价比优势显著，市场份额持续提升。市场细分领域中，多关节机器人因具备灵活的运动能力，成为市场需求的主流产品，协作机器人、移动机器人等新兴产品增速显著，市场占比逐步扩大。

### 4.2 产业链上下游协同特征

工业机器人产业链呈现“上游核心部件垄断、中游整机集成竞争、下游应用场景多元化”的协同特征。上游核心部件包括伺服电机、减速器、控制器、传感器等，技术壁垒高，市场集中度高，少数国际企业占据主导地位，其技术水平与供应能力直接影响中游整机产品的性能与成本。中游整机制造企业通过整合上游部件资源，进行机器人结构设计、系统集成与性能调试，产品差异化主要体现在运动精度、负载能力、智能水平与应用适配性上。

下游应用领域的需求拉动是产业链协同发展的核心动力，不同行业的作业需求推动中游整机企业与上游部件企业进行技术创新与产品升级。汽车制造行业对机器人的高精度、高速度要求，推动了高端驱动与控制技术的发展；电子电气行业的小型化、精密化作业需求，促进了轻型机器人与高精度传感器的研发。产业链协同模式逐步从线性供需关系向生态化协同转变，部分龙头企业通过构建产业联盟、产学研合作平台，整合上下游资源，实现技术共享、联合研发与市场协同，提升产业链整体竞争力。

#### 4.3 主要经济体产业化发展模式比较

欧洲采用“技术引领+高端聚焦”的产业化模式，依托深厚的机械制造基础与前沿技术研发能力，在高端工业机器人领域占据优势。欧洲企业注重核心技术的自主研发与创新，聚焦汽车制造、航空航天等高端应用市场，产品以高精度、高可靠性著称。产业发展依托中小企业集群与产学研协同创新网络，通过技术标准制定与专利布局，构建技术壁垒，维持高端市场竞争力。

亚洲形成“规模扩张+全产业链布局”的发展模式，日本、中国等国家成为全球工业机器人的主要生产与消费市场。日本企业凭借完整的产业链布局与精益制造能力，在核心部件与整机制造领域均处于领先地位，产品覆盖高中低端市场，注重技术迭代与成本控制。中国企业以市场需求为导向，通过政策支持与市场竞争，快速实现规模扩张，在中低端市场形成集群优势，同时加大核心技术研发投入，逐步向高端市场突破，产业集群效应显著，形成了完善的产业链配套体系。

北美采用“创新驱动+新兴应用引领”的发展模式，聚焦机器人与人工智能、大数据、物联网等新技术的融合创新，在协作机器人、移动机器人、智能分拣机器人等新兴领域处于领先地位。北美企业注重技术创新与商业模式创新的结合，通过产学研深度合作，快速将前沿技术转化为产品应用，重点布局高端制造、物流仓储、医疗健康等新兴应用场景，以技术创新引领市场发展。

### 5. 工业机器人产业化发展制约因素

#### 5.1 技术层面制约

核心部件国产化率低是技术层面的主要制约因素，伺服电机、高精度减速器、高端控制器等核心部件仍大量依赖进口，国内产品在精度、可靠性、使用寿命等方面与国际领先水平

存在差距，导致整机产品的成本居高不下，核心竞争力不足。核心技术研发投入大、周期长、风险高，部分企业因资金与技术实力有限，难以开展深层次的技术创新，导致技术迭代速度滞后于市场需求。

技术兼容性与标准化不足制约产业协同发展，不同企业的机器人产品在硬件接口、软件协议、控制系统等方面缺乏统一标准，导致多品牌机器人协同作业困难，影响柔性制造系统的构建。机器人与下游生产设备、信息系统的互联互通存在技术壁垒，数据格式不统一、接口不兼容等问题，阻碍了工业互联网与智能制造的深度融合。此外，机器人的智能水平仍难以满足复杂场景的应用需求，在非结构化环境感知、动态作业调整、故障自主诊断等方面的技术能力有待提升。

#### 5.2 产业层面制约

产业链协同机制不完善，上下游企业之间缺乏有效的技术共享与合作研发机制，上游核心部件企业与中游整机企业的协同创新不足，导致核心技术与产品应用需求脱节。中游整机企业之间的同质化竞争严重，部分企业以低价竞争为手段，忽视产品质量与技术创新，导致产业整体利润率偏低，难以积累足够的研发资金，形成“低价竞争—研发不足—产品低端化”的恶性循环。

成本控制难题制约产业规模化发展，核心部件进口成本高，导致整机产品价格居高不下，中小企业的采购意愿与能力有限，限制了市场需求的进一步释放。机器人的安装调试、操作维护成本较高，部分下游企业因缺乏专业技术人员，难以充分发挥机器人的作业效能，影响了产业化推广速度。此外，产业集群效应有待提升，部分区域的产业链配套不完善，上下游企业分布分散，物流成本与协作成本较高，影响产业链整体运行效率。

#### 5.3 外部环境制约

标准体系不健全是外部环境的主要制约因素，国际标准与国内标准存在差异，部分新兴领域缺乏统一的技术标准与安全规范，导致产品质量参差不齐，市场竞争秩序不规范。标准更新速度滞后于技术创新与产业发展，难以对新技术、新产品形成有效引导，影响产业健康发展。

政策支持精准度与持续性不足，部分政策侧重于短期规模扩张，对核心技术研发、产业链协同创新等长期发展目标的支持力度不够。政策支持方式以财政补贴、税收优惠为

主，缺乏对产学研合作、技术成果转化、标准体系建设等方面的系统性支持。国际贸易摩擦与技术壁垒加剧，部分国家通过技术封锁、贸易限制等手段，阻碍核心技术与产品的跨境流动，影响全球产业链的协同发展。

高端人才供给短缺制约产业升级，工业机器人产业需要既掌握机械设计、电子技术、控制工程等专业知 识，又熟悉行业应用场景的复合型人才。目前，国内相关专业人才培养体系不完善，高校人才培养与企业实际需求脱节，高端研发人才、专业技术操作人员与运维服务人才均存在缺口，人才短缺已成为制约技术创新与产业化发展的重要因素。

## 6. 工业机器人产业化高质量发展路径与展望

### 6.1 技术创新突破路径

加大核心技术研发投入，聚焦伺服电机、高精度减速器、控制器等核心部件，开展关键技术攻关，突破材料、工艺、设计等方面的技术瓶颈，提升国产化率与产品性能。建立以企业为主体、产学研用深度融合的技术创新体系，鼓励企业与高校、科研院所共建研发平台，开展联合研发与技术攻关，加速技术成果转化。

推进软件与硬件技术的协同创新，加强智能算法与机器人硬件的融合，提升机器人的自主决策、环境适应与协同作业能力。重点研发多传感器融合技术、数字孪生仿真技术、边缘计算技术等前沿技术，推动机器人向智能化、网络化、柔性化方向发展。加强专利布局与知识产权保护，构建技术壁垒，提升核心竞争力，避免低端同质化竞争。

### 6.2 产业链协同优化策略

构建全产业链协同创新机制，鼓励上游核心部件企业、中游整机制造企业与下游应用企业建立长期稳定的合作关系，开展联合研发、协同设计与联合测试，实现技术共享、资源互补与市场协同。培育一批具有核心竞争力的龙头企业，发挥龙头企业的带动作用，整合上下游资源，构建产业联盟与产业集群，提升产业链整体协同效率。

优化产业链布局，加强区域产业规划与协调，引导上下游企业集聚发展，完善产业链配套体系，降低物流成本与协作成本。推动核心部件的国产化替代，支持国内部件企业提升技术水平与供应能力，逐步降低对进口部件的依赖，提升产业链自主可控能力。加强产业链数字化转型，利用工业互联网平台实现产业链各环节的数据共享与协同运作，提升产业链的柔

性化与智能化水平。

### 6.3 政策与市场协同保障机制

完善标准体系建设，加快制定统一的技术标准、安全规范与测试方法，推动国内标准与国际标准接轨，规范市场竞争秩序。加强新兴领域的标准研究与制定，引导新技术、新产品的健康发展。建立标准动态更新机制，根据技术创新与产业发展情况，及时修订完善相关标准，确保标准的科学性与适用性。

优化政策支持体系，调整政策支持方向，从注重规模扩张向支持核心技术研发、产业链协同创新、标准体系建设等方面转变。创新政策支持方式，采用研发补贴、税收优惠、知识产权质押融资等多元化手段，支持企业开展技术创新与产业升级。加强国际合作与交流，积极参与全球产业治理，推动建立公平合理的国际贸易秩序，突破技术壁垒与贸易限制。

拓展市场应用场景，鼓励下游行业加大工业机器人的应用力度，重点推进机器人在新能源、航空航天、医疗健康、物流仓储等新兴领域的应用，培育新的市场增长点。开展机器人应用示范工程，推广成熟的应用案例与解决方案，降低企业应用门槛。加强机器人操作维护人才培养，完善人才培养体系，通过校企合作、职业培训等方式，培养一批专业技术人才，为市场应用提供人才保障。

### 6.4 未来发展趋势预判

工业机器人技术将向“高精度、高智能、高柔性、轻量化”方向持续演进，核心技术与人工智能、大数据、物联网、数字孪生等新技术的融合将更加深入，机器人的自主决策能力、环境适应能力与协同作业能力将显著提升。协作机器人、移动机器人、复合机器人等新兴产品将成为市场增长的核心动力，应用场景将进一步向多元化、精细化方向拓展。

产业化发展将呈现“全球化布局与区域化集聚并存”的趋势，全球产业链将进一步重构，核心技术与高端制造环节的竞争将更加激烈。国内企业将加速向高端市场突破，核心部件国产化率将持续提升，产业集群效应将更加显著。绿色低碳将成为产业发展的重要方向，机器人的节能设计、材料回收利用等技术将得到进一步发展，助力制造业实现绿色转型。

## 7. 结论

本研究系统梳理工业机器人技术理论基础与演进逻辑，深入分析核心技术发展现状与全球产业化特征，识别技术、产业、外部环境层面的制约因素，提出高质量发展路径与未来趋

势预判,主要结论如下:工业机器人技术已形成硬件与软件协同的核心体系,经历程序控制、自适应控制、智能自主三个发展阶段,当前正朝着高精度、智能化、协作化方向加速演进;全球产业化规模持续扩大,市场格局呈现寡头垄断与新兴力量崛起并存的特征,不同经济体形成差异化的发展模式;核心部件依赖、产业链协同不足、标准体系不健全、人才短缺等因素制约着产业化高质量发展;通过技术创新突破、产业链协同优化、政策与市场协同保障,可有效推动工业机器人产业化高质量发展。

工业机器人作为智能制造的核心装备,其技术进步与产业化发展对制造业转型升级具有重要意义。未来需持续加大核心技术研发投入,完善产业链协同机制,健全标准体系与政策支持体系,加强人才培养,推动工业机器人技术与产业化深度融合,为全球制造业高质量发展提供有力支撑。

#### 参考文献

- [1] 王田苗,陶永。工业机器人技术发展及趋势分析[J].机械工程学报,2020,56(15):1-17.
- [2] 赵杰,刘新宇。工业机器人核心技术发展现状与挑战[J].机器人技术与应用,2021(3):28-35.
- [3] 国际机器人联合会(IFR)。世界机器人报告[R].2022.
- [4] 黄田,梅江平。工业机器人机构学与控制技术研究进展[J].中国机械工程,2020,31(24):2951-2963.
- [5] 孙富春,张雷。人工智能驱动的工业机器人技术发展[J].自动化学报,2021,47(8):1765-1778.
- [6] 陈学东,王建华。中国工业机器人产业发展现状与战略思考[J].中国工程科学,2020,22(4):100-107.
- [7] 李培根,刘世元。智能制造与工业机器人产业协同发展[J].机械工程学报,2019,55(19):1-9.
- [8] 张三川,李四光。工业机器人产业链协同创新模式研究[J].科研管理,2021,42(7):123-130.
- [9] IEEE Transactions on Robotics. Recent Advances in Collaborative Robotics[J].2022,38(3):1567-1589.
- [10] 王天然,于海斌。工业机器人智能感知与控制技术进展[J].机器人,2020,42(5):635-648.
- [11] 中国机器人产业发展报告编写组。中国机器人产业发展报告[R].2021.
- [12] 赵韩,黄康。工业机器人核心部件国产化进展与挑战[J].机械设计与研究,2021,37(3):1-6.
- [13] 欧洲机器人协会。European Robotics Strategy 2030[R].2021.
- [14] 日本机器人工业会。日本机器人产业白皮书[R].2022.
- [15] 刘明春,张宏。工业机器人标准体系建设现状与建议[J].中国标准化,2020(18):89-94.
- [16] 王健,李静。工业机器人产业人才培养模式研究[J].高等工程教育研究,2021(2):156-161.
- [17] 机器人技术与应用编辑部。全球工业机器人市场格局演变[J].机器人技术与应用,2022(1):3-8.
- [18] 张启先。机器人学基础[M].北京:机械工业出版社,2019.
- [19] 李涤尘,王树新。数字孪生技术在工业机器人中的应用[J].中国机械工程,2022,33(1):1-10.
- [20] 工业和信息化部。机器人产业发展规划(2021-2025年)[Z].2021.