

“机器人+人工智能”

工业应用研究报告



中国信通院江苏研究院
苏州市机器人产业协会

2025年4月

前言

随着数字经济的蓬勃兴起，AI 技术正加速从虚拟空间向实体经济领域拓展，机器人作为AI技术的理想载体，凭借其高度的灵活性和强大的适应性，正在迅速发展并广泛应用于各个行业，成为推动产业升级和变革的重要力量。工业领域自动化基础良好、环境结构化程度高且市场需求大，成为近期“机器人+人工智能”应用落地的首要方向。凭借其在提高生产效率、降低人力成本、提升产品质量等方面的显著优势，“机器人+人工智能”正在汽车制造、电子信息、金属材料等关键行业加速落地，展现出广阔的应用前景。

本报告中的“机器人+人工智能”指的是建模优化、机器视觉、语音交互、机器学习、深度学习等人工智能技术应用于机器人上的智能体。其工业应用包括两个层次，一是嵌入各类智能软硬件的机器人产品在生产操作、物流配送等典型工业场景中的应用，二是智能化的工业控制平台通过集成人工智能技术与工业机器人等设备，在产线优化和试验验证等群体智能场景中的应用。

本报告分为研究背景、技术趋势分析、应用现状分析和前景展望四个部分。首先，从技术突破、大国竞争和市场前景三个角度，分析“机器人+人工智能”工业应用的发展背景；其次，从技术趋势的角度，回顾人工智能与机器人融合的三大技术方向，分析在人工智能大模型推动下，以人形机器人为代表的具身智能技术的前沿进展；接着，从应用场景的角度，通过全球88个案例分析“机器人+人工智能”在典型场景、行业中应用情况；最后，从技术、产品和应用三个方面，展望“机器人+人工智能”在工业场景中的应用前景。

目 录

一、研究背景.....	1
(一)大模型正在加速通用机器人的全面爆发.....	1
(二)“机器人+人工智能”是新一轮大国竞争的关键.....	2
(三)工业领域将成为短期内智能机器人应用落地的主战场...	2
二、全球“机器人+人工智能”技术趋势分析.....	3
(一)工业领域的机器人正在从中等智能走向高度智能.....	3
(二)三大融合方向及其组合推动智能机器人产品涌现.....	5
(三)具身智能尤其是人形机器人前沿研究持续火热.....	8
三、“机器人+人工智能”在工业领域的应用.....	10
(一)应用场景：从生产操作向其他高附加值场景拓展.....	10
1、生产操作：从操作精度提升到自适应学习.....	11
2、物流配送：“识别+导航”模型组合适用于封闭生产场景.	12
3、质量管理：机器视觉检测大量取代人工检测.....	12
4、安全管理：在部分重化工业存在一定需求.....	13
5、试验验证和产线优化：仅在部分龙头企业开展探索.....	13
(二)应用行业：重点用于汽车、电子、金属三大行业.....	14
1、汽车：关注精细生产、高效物流和外观检测.....	15
2、半导体：重点在质量管理和柔性操作.....	18
3、钢铁：聚焦质量管理和安全管理.....	20
四、“机器人+人工智能”工业应用展望.....	22
(一)具身智能机器人将进一步变革工业生产形态.....	22
(二)工业人形机器人规模化应用仍需经历长期技术迭代.....	22

(三) 行业应用将从汽车电子向其他制造业领域渗透.....	23
附：苏州市“机器人+人工智能”工业应用案例.....	24
(一) 智能产品案例.....	24
1、拓斯达新一代X5机器人控制平台.....	24
2、钧舵高稳定性的LRA系列直线旋转执行器.....	24
3、灵猴螺纹完整性检测机器人.....	25
4、博众精工 MasterpieceAI 系统.....	25
5、艾吉威全球首台AI 语音交互AGV 小千斤.....	26
(二) 行业应用案例.....	28
1、捷螺在半导体关灯工厂中的应用.....	28
2、珞石机器人在消费电子行业的应用.....	29
3、追觅配送机器人在装备制造行业的应用.....	30
4、大族检测机器人在航空和汽车零部件行业的应用.....	31
5、乐聚人形机器人在电缆行业的应用.....	32

一、研究背景

(一) 大模型正在加速通用机器人的全面爆发

随着人工智能向物理世界的渗透，大模型正在推动机器人向通用化方向发展。当前，人工智能正在由虚入实，国际数据公司（IDC）发布的最新数据显示，2023年，中国的“机器流程自动化(RPA)+AI”解决方案市场规模已达24.7亿元人民币，同比增长15.9%，预计到2026年，这一市场规模将突破70亿元大关。与此同时，2024年，诺贝尔物理学奖颁给了John J.Hopfield和 Geoffrey E.Hinton，以表彰利用人工神经网络进行机器学习的基础发现和发明。对于机器人产业来说，物理智能将使机器人能够理解3D世界的空间关系和物理行为，赋予机器人更强的环境感知、理解和交互能力，实现更广泛的功能应用，如宇树科技的机器人实现了原地侧空翻、复杂舞蹈动作、平衡木行走、灵巧手操作等复杂功能。

硬件和软件的深度协同推动了算力效能的提升，为机器人的大规模应用提供了算力支持。2024年，全球AI大模型的数量和数据量持续增长，特别是像Sora、GPT-4o、Gemini等多模态大模型的出现，进一步推动了算力需求的激增。当前，软硬件协同的方法正在不断提升大规模智算训练效率。在硬件方面，高性能GPU、专用AI芯片、高速互联网络、大容量高速存储等技术，实现了大规模的算力供给，为处理复杂、不规则的计算任务（如自然语言处理的长序列数据、计算机视觉的多尺度图像特征）创造了条件；在软件方面，分布式训练框架、预训练大模型、多模态数据处理等技术也通过精细化算力管理提升了大模型的训练和推理速度，为机器人的大规模应用提供了基础支撑。

(二) “机器人+人工智能”是新一轮大国竞争的关键

全球各国纷纷出台相关政策，抢滩布局“机器人+人工智能”产业。美国、欧盟国家、日本、韩国等国家和地区都在积极制定国家层面的“机器人+人工智能”战略。2024年2月以来，欧盟启动新一轮“地平线”计划，持续加大对人工智能和机器人技术的投资：2024年4月，美国发布第五版《美国机器人路线图：机器人让明天更美好》，提出在制造业回流、即时经济、老龄化社会、住房和基础设施等七方面的重点发展智能机器人；2024年，日本继续推进《社会5.0行动计划》，强调利用人工智能和机器人技术推动经济增长和社会发展，特别是在医疗、交通、工业等领域；2024年，韩国公布了《人工智能国家战略(2024-2025)》，重点投资人工智能研发，推动人工智能在医疗、交通、教育等领域的广泛应用。

机器人与人工智能的结合在国家政策层面被提出。自2016年起，中国密集出台关于机器人和人工智能的政策，2023年以来，国家层面开始强调二者融合发展。2023年1月，工信部等十七部门发布《“机器人+”应用行动实施方案》，提出发展基于工业机器人的智能制造系统，助力制造业数字化转型、智能化变革。2024年6月24日，国家发展改革委印发《关于打造消费新场景培育消费新增长点的措施》，提到要拓展智能机器人在清洁、娱乐休闲、养老助残护理、教育培训等方面功能，探索开发基于人工智能大模型的人形机器人。

(三) 工业领域将成为短期内智能机器人应用落地的主战场

自动化水平高、结构化、封闭式的工业场景是当前技术条件下智能机器人最大的应用市场。工业环境相对标准化，生产流程固定，对机器人的自主性和泛化性要求较低，部分领域如汽车、电子信息等已

经率先实现了工业机器人的规模化应用。根据国际机器人联合会 (IFR) 在2024年10月发布的《2024年世界机器人报告》，2023年全球工厂中运行的工业机器人数量超过428万台，同比增加了10%，创下历史新高。随着市场竞争的加剧和人工智能技术的赋能，工业机器人性能不断提升、成本持续降低，正在从高新技术制造业延伸到传统制造业，为越来越多的企业带来可观的效益。

中国工业机器人市场和产量占据绝对优势，算法将成为新一轮市场竞争的关键。中国具有门类齐全、规模庞大的工业体系，工业增加值连续多年位居全球第一，2023年工业增加值达到5.97万亿美元，且是全世界唯一拥有联合国产业分类中全部工业门类的国家。根据国际机器人联合会 (IFR) 的数据，2023年，中国市场以175.5万台的庞大体量，稳稳占据全球工业机器人四成多的份额。其中，本土工业机器人制造商强势崛起，市场份额飙升到47%。然而，本土机器人产品高端化水平不足，在汽车为代表的高技术制造业市场份额偏低，在核心零部件和算法方面与机器人“四大家族”存在一定差距，产品的稳定性、精确度、响应速度和易用性方面有待进一步提升。随着国产替代进程加速，当前机器人核心零部件在多个关键领域已取得突破，如减速器、伺服电机、传感器等，未来，机器人行业的差异化竞争将更多聚焦于软件。

二、全球“机器人+人工智能”技术趋势分析

(一) 工业领域的机器人正在从中等智能走向高度智能

机器人智能化的发展呈现出五个明显的阶段，每个阶段都标志着人工智能技术的进步和机器人应用的扩展(图1)。第一阶段是无智

能阶段，机器人只能执行简单的预设任务，缺乏自主性和适应性；第二阶段是基础智能阶段，机器人开始具备基本的感知能力，能够对外界环境做出简单的反应；第三阶段是中等智能阶段，机器人能够进行更复杂的感知和处理任务，如图像识别和语音识别；第四阶段是高度智能阶段，机器人展现出较高的自主性和适应性，能够进行自我学习和优化，执行复杂的任务；第五阶段是超级智能阶段，机器人理论上将具备超越人类的智能水平，能够进行创新和自我意识的决策。

在工业领域，机器人的规模化应用正在从中度智能向高度智能过渡。随着深度学习算法的优化以及多模态感知技术的融合，工业机器人将具备更强大的感知、认知和决策能力，能够更加精准地识别复杂环境中的物体、声音和图像，理解人类的语言和意图。同时，工业机器人将具备更强的自主学习能力，能够根据环境变化和任务需求进行自我调整和优化。**从模型架构来看，**结构相对简单、参数较少的机器学习模型正在转化为多层级、大参数量的深度学习、强化学习模型，学习方法也从手动数据标记转变为自动的数据特征提取。**从支撑要素来看，**机器学习对于数据和算力的需求较小，训练时间也相对较短，而深度学习、强化学习则需要高性能的GPU、TPU等算力支撑，数据需求也增长至百万量级。**从应用场景来看，**机器学习能够广泛用于各类分类、回归、聚类、关联规则任务，帮助机器人实现物品分类、平面移动和故障诊断等功能，但不具备决策能力；而深度学习则聚焦图像、文本和语音等复杂任务的处理，能够帮助机器人实现缺陷检测、知识问答、人机对话等功能，具有一定的决策能力。

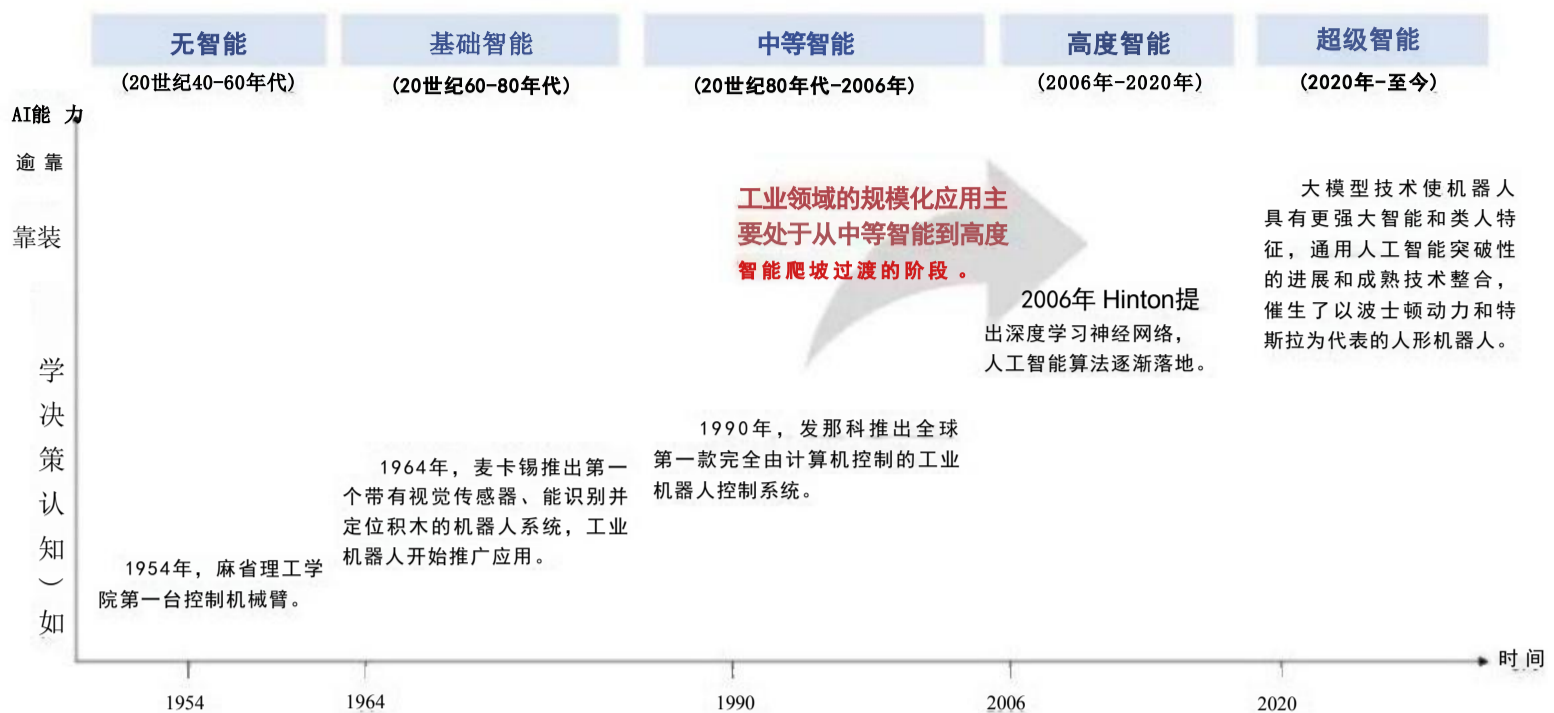


图1机器人与人工智能融合历程

(二) 三大融合方向及其组合推动智能机器人产品涌现

1、根据不同的环节需求形成三大方向的融合应用

人工智能应用于工业机器人的感知交互、推理决策和运动控制各个环节。在运动控制方面，优化类模型能够加强机器人的控制精度，比如在拾取操作中，当传感器检测到力量过大的时候，机器人可以利用贝叶斯优化算法及时纠正；又如在平面移动中，快速探索随机树 (RRT) 算法能够先构建一条复杂但可行的路径，然后对其进行优化来避免碰撞。另外，蚁群算法、粒子群算法等群体算法能够通过模拟自然界生物群体的行为，实现群体优化协调。在感知交互方面，基于机器视觉技术的识别类模型应用比较成熟，在机器人的操作取物、移动避障等各类功能中应用广泛，部分企业甚至开始了针对表面缺陷、产品特征识别、安全巡检等难度较高任务的深度学习探索；基于语音交互技术的语言类模型虽然较为成熟，但是主要用于陪伴对话、教育辅导、智能家居等服务型场景，而由于可靠性要求高、工业知识积累

不足等限制，尚未在工业中大规模应用。在推理决策方面，基于深度学习、强化学习的方法，机器人可以通过训练学习数据以模仿人类，甚至通过与操作对象或环境进行交互实现非结构性的复杂操作和自主导航。

2、三种应用模型及其组合催生出多种功能的机器人

运动控制类模型推动传统工业机器人升级为“能精细化控制”的机器人。一是操作优化类，传统焊接、打磨机器人通过对机器人的运动轨迹进行计算并转化到关节空间，提高机器人的稳定性，转变成高精度操作机器人；二是移动优化类，具有平面活动需求的移动机器人能够感知到障碍物优化移动路径，成为自动避障移动机器人；三是协同优化类，单一的机械控制转变为群体控制，包括机器人群体的高效协作、任务分配和调度、无人物流机器人系统、多种机器人协同系统等等。

感知交互类模型使得机器人“能看见”或“能听见”从而实现与操作对象或人类的互动。一是识别类，搭载机器视觉技术的机器人取代人眼对产品进行识别和检测，机器视觉系统能够识别产品的形状、颜色、二维码、字符等，可以取代人眼对产品进行外观、尺寸、材质等方面的检测并进行分类和原料追溯，由此发展出检测机器人、打标机器人等。二是语音类，搭载行业知识库甚至大语言模型的机器人能够按照人类的指示完成任务，成为快速部署机器人、决策辅助机器人。

推理决策模型使得机器人“能学习”提高自主性和适应性。一是操作学习类，通过学习数据、并在虚拟环境中开展训练，机器人可以

实现传统机器人无法实现的焊接、喷涂和装配等操作，如喷涂机器人通过学习大量的喷涂数据和工件表面特征，实现对复杂工件的精准轨迹规划；焊接机器人能够根据焊接过程中遇到的不同情况进行自我调整，以达到最佳的焊接效果；装配机器人利用强化学习算法，在装配过程中自主学习轴孔装配技能，通过在线辨识控制器的最优参数，提高装配操作质量。二是自主导航类，随着激光地图建模技术不断成熟，基于地图开展移动路径设计的自主导航功能也实现广泛应用，发展出各类清洁、搬运机器人。

在传统模块化机器人中，多种模型的组合配合也大大拓展了机器人的应用场景。其中，以工业视觉为代表的感知交互技术在软硬件层面都趋于成熟，因此与其他模型的组合使用较为常见，如搭载“识别类+复杂操作类”模型的分拣机器人、质检机器人；搭载“识别类+自主导航类”模型的巡检机器人、配送机器人等。

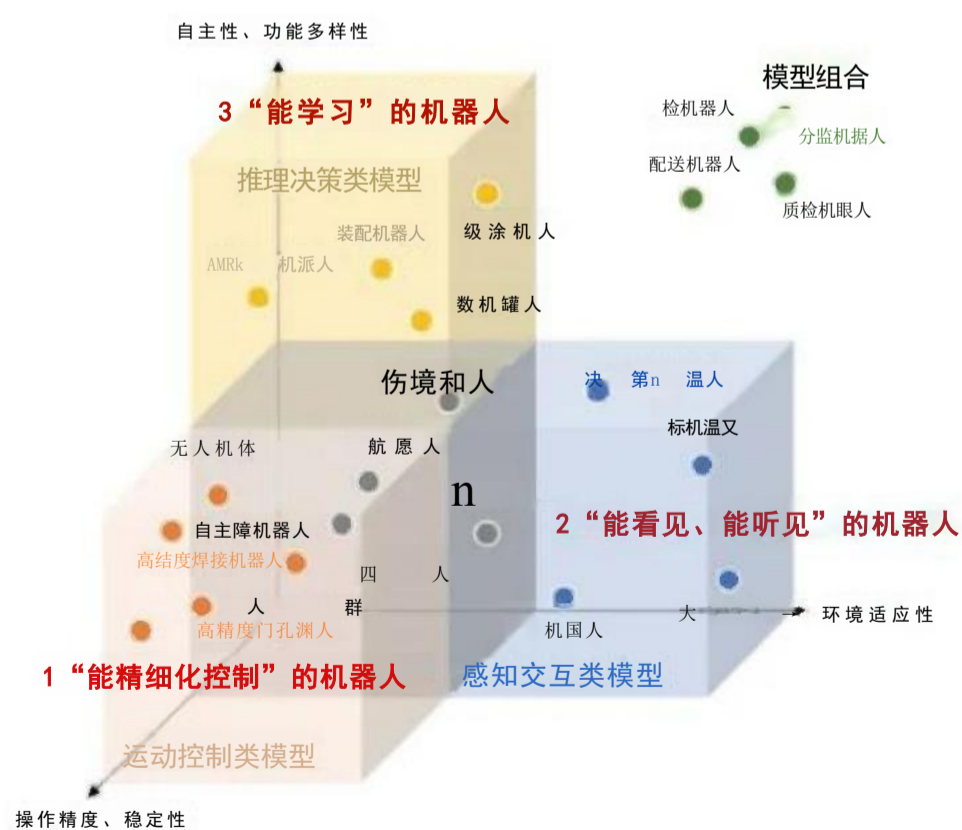


图2机器人产品智能化的三个方向及组合

(三) 具身智能尤其是人形机器人前沿研究持续火热

1、大模型为具身智能提供模拟人类的“大脑”

具身智能是人工智能与机器人技术的结合，是“具身化的人工智能”。相较于前文提到的特定目标导向的智能机器人，具身智能更强调在环境中的交互能力，即通过“感知-决策-控制-反馈”的闭环，在环境的不断交互中实现环境的重构映射、自主决策和自适应行动。

强化学习方法使得机器人的泛化操作能力大大提升。强化学习为具身智能的突破性发展提供了理论基础，让机器人在与环境的交互中，不断试错、学习和优化策略，并依据奖励策略不断优化动作执行结果。然而，强化学习在面对新场景时存在迁移困境，对高质量训练数据的要求较高，目前主流的改进方法有两种，一是通过模仿人类的行为快速掌握新技能，比如丰田研究所开发的“大型行为模型”，机器人能够通过观看视频等物理演示学习新动作；二是通过多模态数据驱动强化学习实现任务泛化，比如若愚科技推出的九天机器人大脑，能够通过自然语言与机器人交互完成任务。

大模型是强化学习的辅助工具，为具身智能提供了开展统一决策的“大脑”。在传统的“感知-推理-控制”模块化框架之下，智能机器人通过单个或多个“小模型”结合人工介入来完成相应的任务。大模型出现以后，不同模块的功能融合到一个统一的框架下，机器人能够通过与物理环境的实时交互，对语言、视觉、触觉等多种感官信息进行统一处理，利用大模型对语言和物理世界的理解开展自主决策，

1来源：中国信息通信研究院、北京人形机器人创新中心有限公司《具身智能发展报告(2024年)》

并生成编程指令执行具体操作。但是，当前较为成熟的大语言模型对三维物理世界的理解不足，因此，融合两种或多种输入输出模式的多模态大模型是衔接虚拟和物理世界的主要模式。

2、人形机器人作为人类能力的延伸是具身智能的重要发力点

具身智能的可以是机械臂、机械爪、仿生机械狗等多种形态，但是由于类人形态能够执行多种复杂任务、与人类社会环境较为适配并且在心理上更容易被人接受，人形机器人被普遍认为是具身智能最理想的应用形态。目前，人形机器人前沿技术百花齐放，形成了大小脑分层控制和端到端一体化两条技术路线。

由于目前“大脑”受限于平台和数据尚无法形成人类大脑能力闭环，大小脑分层路线是人形机器人较为主流的形式。通过基于成熟大模型的“大脑”进行高层次的认知分析和决策，“小脑”进行功能性的运动路径规划和平衡控制。在大脑方面，谷歌的“LLM（大语言模型）+VFM（视觉基础模型）”SayCan 通过训练大语言模型对用户指令进行推理分解驱动任务；清华大学的VLM（视觉-语言模型）CoPa 通过嵌入在GPT-4V中的常识生成操控任务。在小脑方面，本田Asimo 人形机器人采用传统的逻辑推理控制，能够完成各种复杂的行走功能和人类肢体动作；Figure 在 OPEN AI提供的大脑功能以外，打造了完全端到端的运动控制系统；智元机器人采用云端超脑、大脑、小脑等多层次架构，分别负责任务级、技能级和指令级的操作任务。

部分人形机器人头部厂商开展了端到端架构的探索。端到端架构融合“大脑”和“小脑”功能，通过统一的神经网络，直接将任务目

标转化为控制信号。比如特斯拉的Optimus 机器人能通过搭载的2D摄像头以及集成的触觉和压力感应器所收集的信息，直接生成用于驱动关节的指令序列，能完成分拣、放置、叠衣服等任务；谷歌的VLA（视觉-语言-动作模型），通过对VLM（视觉-语言模型）进行预训练，然后在具体的机器人任务上进行微调，结合视觉和动作数据，能够将图像直接转换为控制指令，能完成将草莓放入特定的碗中、将足球移至篮球旁等任务。

三、“机器人+人工智能”在工业领域的应用

（一）应用场景：从生产操作向其他高附加值场景拓展

在工业领域，机器人被广泛应用于多个关键环节，包括生产操作、质量管理、安全管理、物流配送、试验验证以及产线优化等（表1）。

表1 “机器人+人工智能”在工业领域的应用场景

环节名称	六大重点环节	细分场景
研发设计	试验验证	——
生产制造	生产操作	焊接、喷涂、冲压、切割、组装等
	质量管理	表面检测、综合质检
	安全管理	安全巡检
	产线优化	——
运营管理	物流配送	码垛、上下料、仓储、分拣、配送等

本报告分析了88个国内外“机器人+人工智能”应用案例，其中生产操作、物流配送和质量管理占比较高，分别达到40%、25%和22%（图3）。

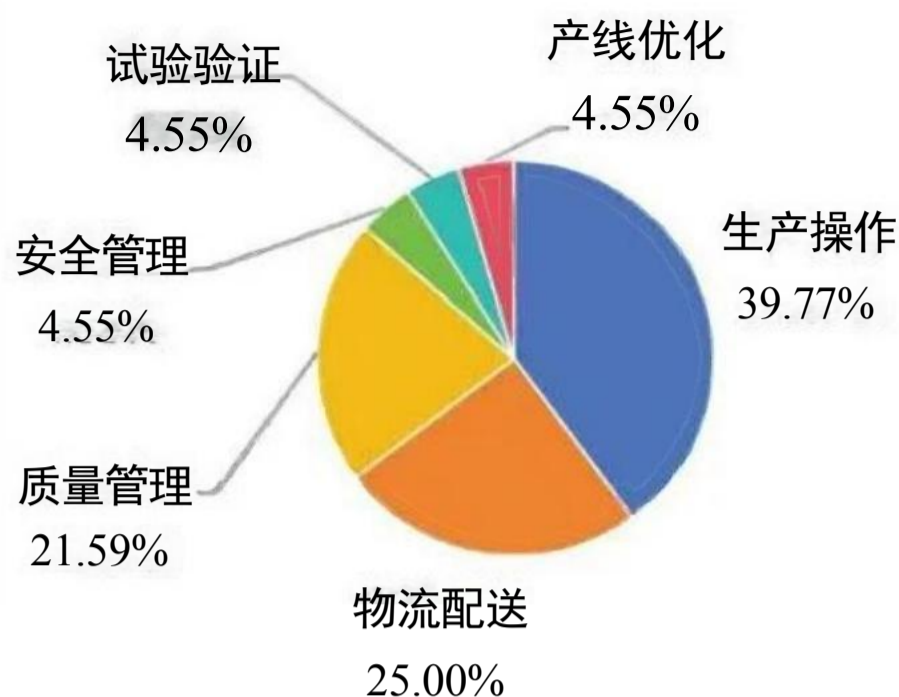


图3 “人工智能+机器人” 应用场景分布

1、生产操作：从操作精度提升到自适应学习

生产操作类应用占比接近40%，是应用最为普遍的领域。原因主要有包括以下两点：一是企业对效率的需求提升，“机器取代人”最早出现在生产过程中的重复性、封闭性的操作场景中，在多个行业已经实现了大规模应用，在市场效率竞争和小批量柔性生产趋势下，企业普遍存在对智能化机器人的升级需求；二是机器人功能的拓展，随着机器人模块化设计和柔性控制技术的成熟，工业机器人的精细化程度和灵活性显著提高，原本无法被取代的喷涂、焊接场景也逐步开始应用机器人。

此类场景主要包括两种“机器人+人工智能”融合应用模式。一是“机械臂+操作优化模型”模式，AI应用的主要目标是提高操作精度，如珞石机器人基于关节多传感器融合的全局振动抑制算法技术，抖动幅值降低80%以上。二是“机械臂+操作学习模型”模式，AI应用的目标是提升机器人的灵活性和适应性，形成智能焊接、喷涂、组装等典型细分场景，如新松多可焊接工作站，通过示教器即可实现对

机器人焊接工艺参数的设定，能够适用于多品种、小批量、较为离散的焊件结构特点的焊接应用场景。

2、物流配送：“识别+导航”模型组合适用于封闭生产场景

物流配送类应用占比约为四分之一。IFR 数据显示，2023年，全球物流机器人销量增速高达35%，物流机器人主要得益于三个原因：一是**全球供应链的整合深化**，电商和物流行业的发展使得企业对物流运行效率和响应速度的需求不断提高；二是**工厂设计水平的提升**，模块化厂房设计技术为移动机器人提供了封闭性、结构化的活动场景，便于机器人快速移动和完成任务；三是**激光地图构建 (VSLAM) 技术的成熟**，基于地图数据，深度学习算法能够自主规划行动路径，并进行动态避障。

此类场景主要包括两种“机器人+人工智能”融合应用模式。一是“**移动机器人+识别类模型+自主导航模型**”模式，AI 应用的主要目标是实现环境识别和路径规划，形成码垛、上下料、仓储、配送等典型细分场景，如极智嘉的取货机器人使用计算机视觉技术和深度学习算法，可以在繁忙的物流中心中，快速识别包裹位置，避开障碍物，并高效完成取货任务。二是“**移动机器人+协同优化模型**”模式，AI 应用的目标是开展多种物流机器人的协调配合，如亚马逊建设的无人仓库大量使用了各类移动、仓储机器人，并引入技术团队将人工智能融入整个机器人系统。

3、质量管理：机器视觉检测大量取代人工检测

质量管理类应用占比约为22%，主要原因是机器视觉检测的成熟，AI 优化了图像识别复杂和精度，实现了万物识别，检测机器人

² 国际机器人联合会 (IFR) 《2024 世界机器人报告》

的应用从标准化领域拓展到非标领域，应用范围大大拓展。

此类场景“**机器人+人工智能**”应用模式主要为“**机械臂+识别类模型**”，AI应用的主要目标是识别外观缺陷情况，随着机器视觉检测能力的提升，机器人可以适应各类大小、形状、质地的检验对象，并同时开展多个检测流程，如大族机器人Elfin 协作机器人能在60秒时间内完成电池托盘法兰面内测平面度检测、内腔长度检测、碰焊点检测等10多项检测，又比如ABB提供的人工智能机器人焊接质检系统，以比人工快20倍的速度，检测、发现和识别仅22微米的缺陷。

4、安全管理：在部分重化工业存在一定需求

安全管理类应用占比约为5%。主要集中在钢铁、化工、电力、采矿、交通等安全性要求较高的领域，总体需求较小。此类场景“**机器人+人工智能**”应用模式主要为“**移动机器人+识别类模型+自主导航模型**”，AI应用的主要目标是识别和预测异常情况，巡检机器人可以不受时间、空间的限制，持续开展安全巡查，即时发现和预测安全隐患，保障人员和设备安全，如海康威视巡检轨道机器人，通过智能巡视实现全天候运作，通过红外热成像在线实时测温，当温度出现异常时报警。

5、试验验证和产线优化：仅在部分龙头企业开展探索

试验验证和产线优化场景处于价值链的两端，附加值较高、应用难度大，占比均为5%。近年来，随着设备标准化和自动化程度的提高，各类搬运、测量、焊接机器人及其他生产设备实现互联互通，并通过统一的控制平台和模型算法开展协作，为产线和研发的智能化创造了基础条件，但是由于前期投入大、回报周期长，目前这两类场景

的探索主要集中在部分高科技行业的龙头企业。

此类场景“机器人+人工智能”主要是“多智能体+协同优化模型”模式，AI应用的主要目标是优化生产或研发流程。在产线优化方面，宁德时代“灯塔工厂”构建了以MES为核心的集成制造系统，借助机器人实现了生产过程无人化，并引入了人工智能技术，在三年内就将劳动生产率提高了75%；在试验验证方面，晶泰科技生物医药“AI+机器人丛林”实验室，结合量子物理和计算化学产生大量的“干试验”数据，并通过机器人获取“湿试验”数据，建立垂直AI模型以预测化学结构的活性、成药性和耐药性，大大缩短了药物开发周期。

（二）应用行业：重点用于汽车、电子、金属三大行业

根据国际机器人联合会 IFR 发布的《2024世界机器人报告》，2023年，全球工业机器人使用量最大的行业分别为汽车、电子/电气和金属与机械。本报告收集的88个国内外“机器人+人工智能”应用案例中，汽车、半导体和钢铁三大行业案例占比达68.1%，占据绝对优势（图4），各行业应用场景分布见下图（图5）。

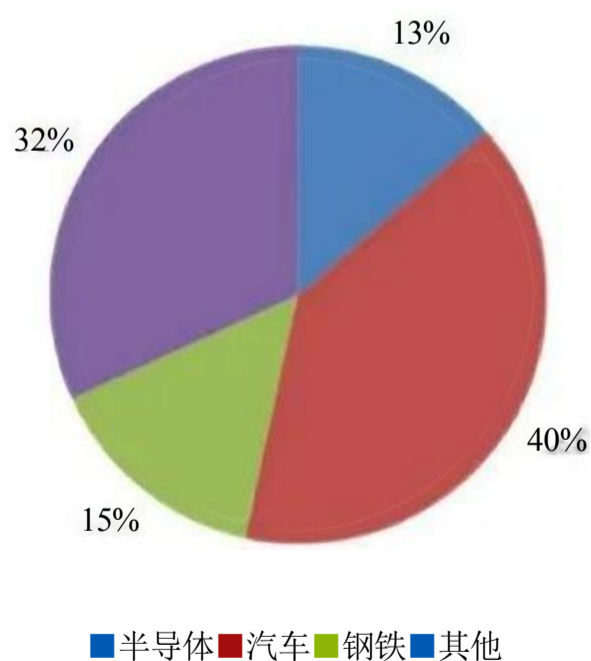


图488个“机器人+人工智能”案例行业分布图

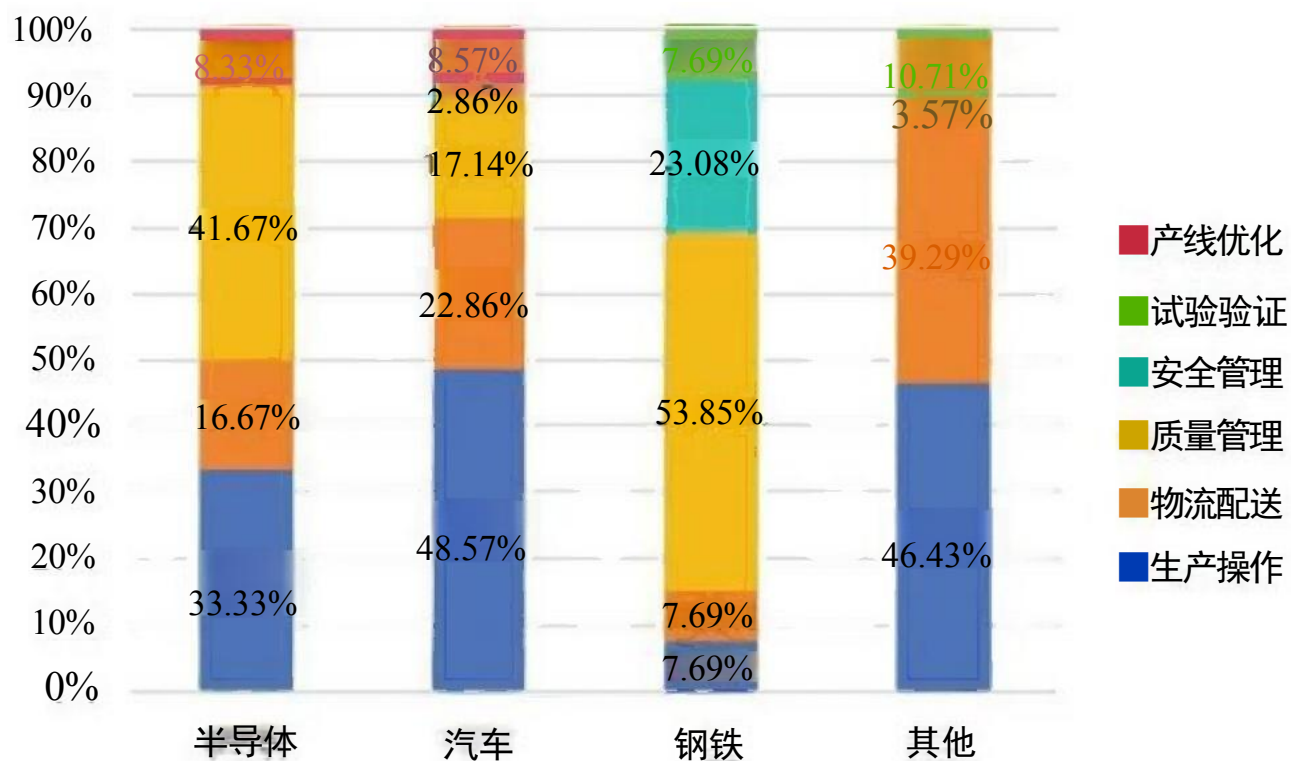


图5各行业“机器人+人工智能”应用场景分布

1、汽车：关注精细生产、高效物流和外观检测

汽车产业是资本密集型和技术密集型产业，对机器人的算法先进性和硬件稳定性要求较高，也是当前机器人使用最多的产业。从产业链来看，汽车产业可分为汽车零部件和整车制造，整车制造又可分为冲压、焊接、涂装、总装等环节。

生产操作场景的“机械臂+操作优化模型”在所有场景中占比接近49%。随着国产机器人产品的完善、性能的提升和技术的升级，以及汽车企业对国产替代的重视和国货国用的支持，国产工业机器人逐步渗透到汽车整车的生产制造中。如埃夫特实现了国产喷涂机器人在汽车整车领域“零的突破”。华数机器人在长安汽车整机厂中实现了批量应用，进行焊点检测、侧围涂胶、车身弧焊等作业，标志着国产机器人在整车领域的新突破。

“移动机器人+协同优化模型”在汽车行业仓储物流环节应用广泛，占比约23%。汽车总装车间生产节奏快，零部件种类繁多，精细化操作要求高。为保障生产连续性，对物流配送的高效性与精准性要

求极高，零部件需按时、按量、准确送达工位，任何延误或错误都可能造成生产线停滞，影响整体生产进度，对机器人的需求较大。如海康机器人在长安汽车工厂中投入了400余台各类机器人，包括潜伏式、重载式、牵引式以及料箱机器人，在内饰线、完成线、电池pack、前后桥分装、仪表、前端模块等多个环节发挥搬运作用。

“机器人+识别类模型”汽车及零部件检测应用占比约17%。汽车外观缺陷检测存在高亮面表面缺陷视觉成像困难、漆面缺陷检出难度大、产线节拍要求高等问题，同时汽车外观曲面较多，也需要借助多个机器人进行全方位检测。如斯睿特漆面外观检测智能工作站，可检测出汽车漆面的各类缺陷，包括颗粒、漆渣、橘皮、流挂、碰伤等16种缺陷，引入AI智能分类定位技术，能精准定位缺陷位置及种类（图6）。



图6斯睿特漆面外观检测智能工作站

部分整车企业也开发了用于产线优化的人工智能系统，与机器人配合提升部分操作场景的精确度，占比约为9%。如宝马推出的先进的测量和分析系统，可以针对每一部分材料分别收集数据，智能化调

节冲压模式；特斯拉上海工厂压铸车间利用人工智能分析系统，对压铸工艺参数实现全面的数据统计，并进行参数波动报警功能。

另外，人形机器人在工业场景中的应用探索集中在汽车领域。主要存在三点原因：一是人形机器人与自动驾驶存在大量技术共性，汽车厂商在机器视觉、机器学习、传感器融合、决策算法等多个领域的技术和人才积累，可以快速迁移到人形机器人领域。二是汽车厂商在供应链方面拥有先发优势，人形机器人和新能源汽车生产都须要用到大量零部件，其中在伺服电机、控制器、传感器、电池等方面都有大量重叠之处。三是高度自动化的汽车制造业是人形机器人的理想落点，新能源汽车是全球所有行业中机器人渗透率最高的行业，较高的自动化水平为人形机器人的训练提供了结构化环境、优质数据、强大算力和多设备协同的条件。

从应用现状来看，人形机器人在汽车行业的应用覆盖了生产操作、物流配送、质量管理三大场景，与其他的智能机械臂、移动机器人形成配合，完成部分对灵活性和精确性要求较高的工作(表2)。在生产操作场景中，“视觉+压力”协同动作需要借助多关节的灵巧手来完成，如小鹏人形机器人 Iron 能够完成拧螺丝等精细操作；在物流配送场景中，移动机器人在精准对接和灵活调整方面较为困难，而特斯拉人形机器人通过多关节设计和传感融合打通了工业物流的“最后10米”；在质量管理场景中，过去检测机器人以视觉类检测为主，而优必选人形机器人融合了压力传感器，可以完成车门锁扣强度、安全带强度等力学检测。

表2主要人形机器人产品在汽车产线中的应用情况

序号	人形机器人产品	汽车厂商	应用场景	人工智能技术
1	优必选WalkerS	蔚来、一汽大众等	质量安全-综合质检 生产操作-拧螺丝、分拣物料 物流配送-搬运	“视觉+语言” 多模态大模型
2	特斯拉的Optimus	特斯拉	生产操作-分拣电池 物流配送-搬运	端到端大模型+ 强化学习、自然语言处理、手势交互
3	Figure	宝马	生产操作-抓取	端到端大模型
4	Appttronik的Apollo	奔驰	物流配送-搬运 产线优化-装配	端到端大模型
5	乐聚机器人夸父	蔚来	质量安全-检验检测	华为盘古大模型、搭载鸿蒙操作系统
6	小鹏Iron	小鹏	生产操作-打螺丝 质量安全-巡逻	端到端大模型+ 强化学习、自然语言处理

2、半导体：重点在质量管理和柔性操作

半导体行业生产工艺流程复杂，且需要在高精度、高洁净度的环境中进行，以确保产品的高性能和可靠性。由于大部分关键工序都由光刻机、刻蚀机、激光切割机等设备完成，智能机器人主要用于晶圆质量管理和生产操作场景。

“机械爪+识别类模型”开展质量检测占比约42%。晶圆生产过程中常常出现切割道、裂缝、划痕、脏污、气孔、气泡、波浪纹等缺陷问题，自1967年美国半导体和显示设备制造商应用材料公司推出新一代光学半导体晶圆检测机以来，晶圆检测设备已经在AI赋能下逐步成熟，该公司最新推出的检测系统已经能够快速、准确地从高端光学扫描仪产生的数百万信号甚至“噪音”中识别出导致产量下降的缺陷，柔性机械爪作为检测设备的一部分，主要用于辅助检测过程中的晶圆移动。

“机械臂+操作优化模型” 在各类生产操作场景中起到辅助移动的作用，应用占比约为33%。晶圆价格昂贵且易碎，所以各类生产设备都须要搭载柔性夹爪或机械手来辅助操作，比如增广智能电动夹爪基于模型预测算法，结合高刚性力传感器，控制处理频率高达10,000Hz，可实现最高达 $\pm 0.01\text{N}(1\%)$ 的力控精度（图7）；ABB机器人的高精度和可靠性使工艺过程中的振动值小于0.35G，减少了硅晶圆在操作过程中的污染和损耗；钧舵电动夹爪引入先进的阻抗和导纳控制算法，实现精准的力控。

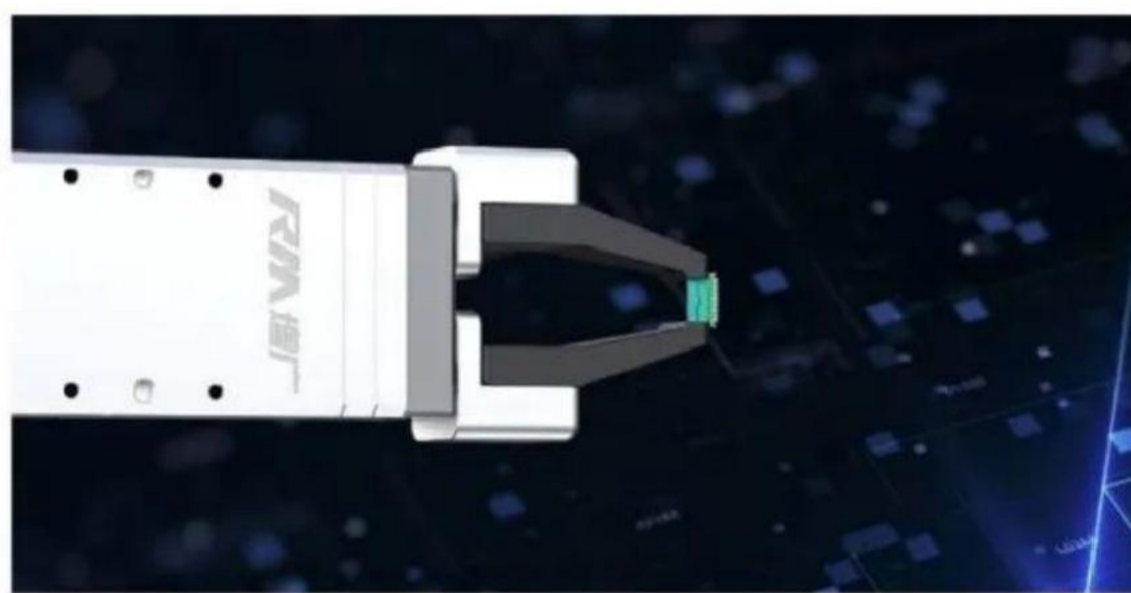


图7 RM增广⑧精密力控型微型夹爪夹持细微易损的芯片

“移动机器人+识别类模型+自主导航模型” 的精细化物流取代天车系统成为半导体物流配送主流，在全部应用种占比接近17%。2016年以后，AMR 移动机器人开始作为天车系统的补充逐渐进入半导体物流场景中。比如优艾智合开发的FusionSLAM（融合激光导航）算法，不再以特定次序逐级提升最终精度，而是以高度融合、实时补偿的方式在大范围移动过程中做到平稳避障，具备0延时条件下的亚毫米级操作精度；捷螺智能AMR 基于激光SLAM导航标准化移动机器人，通过集成整合万向轮、AI 导航定位模组、六轴人机协作手臂、弹性化高效率派车软体。

进口设备数据开放权限限制了“多智能体+协同优化模型”在产线优化中的应用，占比约8%。半导体产线大量生产设备依赖进口，数据开放权限获取困难，但也有部分企业开展了相关探索。比如上海某300mm 晶圆生产线案例中³，车间拥有400台机器(人)，选取了64道工序78个波动加大的输入参数，构建三层BP神经网络集成的预测模型，对晶圆工期进行预测，并在其中一个车间内进行验证和调控，使得该车间晶圆的生产批次 (LOT) 平均偏差改善了18%。

3、钢铁：聚焦质量管理和安全管理

钢铁行业是流程型行业，生产过程复杂、工艺门槛高、大型高温高压设备集中。由于钢铁行业普遍存在高温、热辐射、粉尘等危险环境，在大量的生产操作、物流配送场景中，传统机器人已经得到了广泛的应用，如上下料机器人、测温取样机器人、冲击拉伸机器人、打包机器人、搬运机器人等等。

“机器人+识别类模型”已经大量用于各环节的质量管理与追溯场景，占比约为54%。在原材料准备环节，机器视觉算法，通过带有标签的历史图像数据对模型进行训练和优化，使其能够自动对废钢进行逐层判级、异物识别，如湛江钢铁采用无人机拍摄的方式，对卸料进行识别判级并拍照定位。在检验包装环节，AI 大模型能够快速、准确地识别出钢材表面的各种缺陷，如裂纹、气泡、夹杂等，提高了检测的准确性和效率，如广西钢铁焊缝“云眼”机器人，通过5G视频实时采集图像，利用AI技术在线自动检测，减少样品实验冲压次数；苏州沙钢生产过程智能检测中心通过智能机器人和自动化装置的配合实现各类钢、铁、渣快速检测，检测结果3分钟内出炉(图8)。

来源：《智能车间的大数据应用》(作者：张洁，吕佑龙，鲍劲松，汪俊亮)



图8苏州沙钢生产过程智能检测中心

“移动机器人+识别类模型+自主导航模型”实现高温生产设备的安全检查正处于应用推广阶段，占比约为23%。钢铁行业的冶炼、精炼、连铸和轧制产线中分布了大量的高炉、连铸机、烧结机、焦炉等大型高温设备，存在安全隐患，借助智能机器人可以实现全天候、全方位的生产设备检测。如柳钢的“飞流”是炼铁厂自主研发的一只智能巡检机器狗，它能对几座热风炉的重要部位定期测温，获取热风炉健康信号，并通过网络发送至操作员平台，让热风炉能够及时维护。

“机械臂+操作学习模型”实现非标钢构件的柔性操作生产成为新热点，占比约为8%。传统焊接机器人无法解决钢结构、船舶等流程非标化的“多品类、小批量、非标件”焊接工作，机器人可以利用无监督学习技术来自动匹配和优化焊接工艺，实现焊前工艺参数自主选择、焊接过程工艺参数自适应调整。比如中建钢构完成了以智能焊接机器人为核心的国内建筑钢结构行业首条智能焊接生产线，用于建筑、桥梁等钢结构项目。

四、“机器人+人工智能”工业应用展望

(一) 具身智能机器人将进一步变革工业生产形态

目前，部分先进的工业机器人已经能够通过学习视频、图像的等完成各种复杂操作，但本质上依然是基于先验设计和既有数据训练的结果，难以适应训练场景以外的复杂环境。而具身智能是在开放环境中涌现的产物，能够通过“感知-推理-行动-反馈”的闭环，形成对物理世界的深刻理解，在复杂的场景中做出更加精确和灵活的响应。过去，工业机器人在重复性、结构化的工作任务(如冲压、搬运)中取得了比人类更高效的工作成效；当前，具备自主学习能力的机器人又实现了部分高灵活性、非结构性的特定任务(如焊接、喷涂、检测、巡检等)；未来，具身智能机器人将能够根据工作对象和环境的变化实时调整，完成影响因素、操作步骤更加复合的任务(如组装、品控等)。此外，通过“群脑网络”架构，各类功能、形态各异的机器人可以实现跨场域感知、智能混合决策和多机协同控制，推动智能制造进一步发展。

(二) 工业人形机器人规模化应用仍需经历长期技术迭代

2025年被认为是“人形机器人量产元年”，特斯拉、小米、优必选、智元机器人、魔法原子和宇树科技等企业均计划在这一年实现人形机器人的量产或批量测试。然而，在人形机器人落地初期，数据和成本两大门槛限制了其规模化应用。首先，用于人形机器人训练的高精度操作数据还远远不够，目前，主流的数据收集方法是依赖实体环境的数据积累的动作捕捉，而2024年底智元机器人开源的百万真

机数据集仅覆盖了100种场景，工业场景更是仅占20%。由于高精度数据的稀缺，虽然Figure AI、特斯拉、宇树等企业的人形机器人产品在硬件上已经可以做出复杂的动作，但实际决策依然依赖人工干预。与此同时，当前人形机器人依赖于高精尖的硬件和定制化零部件，导致制造成本较高，单台成本从1万美元至250万美元不等。随着技术的不断迭代和成本的降低，预计到2030年，人形机器人在精度、稳定性要求相对较低的服务机器人中的渗透率有望达到一定水平；2030年以后，人形机器人有望在工业场景中实现全面普及。

(三) 行业应用将从汽车电子向其他制造业领域渗透

过去，由于对生产精度、交付速度等要求较高，且具备较强的资金基础，汽车和半导体行业成为工业机器人最大的市场。当前，随着市场竞争的加剧和技术发展的推动，国内大量企业正加速向高端化、智能化、绿色化方向发展，主要产能逐渐向技术壁垒更高、市场适应性更强的头部企业集聚，以提升整体产业竞争力和附加值水平。随着龙头企业支付能力提升、工业机器人产品成本降低和国内人力成本上升，更多的传统制造业也将面临自动化甚至智能化转型。中国机械工业联合会在2024中国机器人产业发展大会上公布的数据显示，国产工业机器人在金属加工、纺织、木材家具等传统行业应用增长幅度较大。除了过去应用较为广泛的操作、检测、物流场景以外，传统制造业还存在大量垂直场景需求，如化工冶金行业的安全巡检、纺织消费品行业的试验验证等等。未来，随着人工智能、物联网等技术的深度融合，这些垂直场景的应用将不断拓展，工业机器人将在更多领域实现智能化升级，助力各类传统制造业迈向高质量发展。

附：苏州市“机器人+人工智能”工业应用案例

(一) 智能产品案例

1、拓斯达新一代X5 机器人控制平台

拓斯达通过运动控制作为切口布局具身智能，推出“感-算-控”一体化的新一代X5机器人控制平台并实现工业场景的应用。该平台将作为运动控制物理引擎接入AI 仿真系统，发挥着类似人体“小脑及脊椎”的纽带作用，加速具身智能技术在工业场景中的应用。

新一代X5机器人控制平台作为拓斯达的自主研发成果，涵盖从底层硬件到上层控制软件及核心算法的全方位技术链条。软件层面，可依据具身智能大模型的训练所需数据类型要求，提供优质数据以支持模型训练，优化具身智能大模型的质量。硬件层面，结合国产操作系统，不同的具身智能应用场景可以灵活地选择搭配算力芯片和硬件方案，实现高效且多样化的部署策略。

2、钧舵高稳定性的LRA 系列直线旋转执行器

钧舵机器人是一家专注于电伺服末端执行器核心零部件的高科技企业，提供工业级灵巧手、智能电动夹爪、电动吸盘等多种产品。钧舵的LRA 系列产品主要优势如下：一是精确力控补偿与柔和着陆技术，通过线性差值补偿算法，有效地补偿了动力源全行程的推力波动，降低了温度对精度的影响；二是采用恒力磁性弹簧技术，提高全寿命周期力控稳定性，实现全行程恒力输出；三是利用领先的自主研发光编技术实现高精度定位；四是航天级的过程质量控制，确保量产质量稳定性依赖补偿算法的自适应补偿能力，提高软件的鲁棒性；同时，在生产制程控制方面引入航天质量控制专家进行指导，确保产品批量交付的一致性和稳定性。

3、灵猴螺纹完整性检测机器人

螺纹完整性检测系统无需旋转或者多相机系统，只需要单个相机单次拍摄即可获得6个对称分布、可完全覆盖物体侧面的图像，适用于M1.0~M2.5 的螺纹孔检测。光学系统具有可变光阑，可根据需求改变景深；一体式照明设计，方便螺纹孔内部打光；双镜组成像设计，工作距离较大，可满足在线快速检测。软件系统采用先进的工业AI视觉平台，使用者无需具备专业的AI 算法能力，仅需上传缺陷图片，平台即可根据不同检测场景，自动完成AI 模型的部署，提供检测能力。支持「低分辨率」、「低对比度」图片检测，轻松解决缺陷“尺度小、种类多、样本少”等检测难点。



图9灵猴螺纹完整性检测系统

4、博众精工MasterpieceAI 系统

业务聚焦在消费类电子、新能源汽车、半导体、关键零部件、智慧仓储物流等数字化装备领域。博众自主开发的MasterpieceAI 系统是一套集数据分析、标注、调参、训练、测试为一体的工业视觉深度学习平台软件。通过灵活简单的GUI界面，用户快速创建深度学习应用系统。满足视觉检测、分类、定位等应用需求。系统包含了四大项

目板块，分别为项目管理、样本标注、构建&训练&检测模型以及评估模型。另外包含图像分割算法、图像分类算法、目标检测算法、单样本检测、OCR字符识别目标测量识别六大子功能板块，通过对图片、字符进行训练建模准确的分割目标。

MasterpieceAI 系统运用最前沿的深度学习算法，在检测准确率及精度上提升更高；处理速度快，通用性更强。在研发并突破深度学习算法同时，紧跟非深度学习的机器学习等AI算法的研究方向。在少量训练样本，也可以获得非常高的准确率，解决工厂获取样本数据难题。



图10博众精工MasterpieceAI 系统

5、艾吉威全球首台AI语音交互AGV小千斤

苏州艾吉威机器人有限公司成立于2011年12月12日，以移动机器人(AGV)技术研发为核心，集AGV小车和AGV系统设计开发、生产制造、销售于一体的高新技术企业。2024年9月28日，艾吉威发布了艾吉威标准品“小千斤”家族共计4款移动机器人(AGV)产品(6.0版V15T无人叉车、单叉齿V050T无人叉车、全向V100F堆垛无人叉车和自动托挂T15S牵引式AGV)。

艾吉威前瞻性的定义了具备AI 智能交互的AGV 技术路线，并推出全球首台AI 大模型语音交互AGV，新一代的AGV 产品将具备更强的自主性和适应性，能够更好地应对各类复杂的售后场景及运营数据分析。接入AI 大模型后，就相当于艾吉威新增了一组拥有二十几年移动机器人从业经验的售前、售后工程师王牌团队，更把艾吉威十余年的技术积累通过大模型集成到了每一个AGV 车体上。



图11 艾吉威小举人窄通道V100F无人叉车

(二) 行业应用案例

1、捷螺在半导体关灯工厂中的应用

捷螺智能设备(苏州)有限公司成立于2020年12月,专注于半导体领域的智能机器人AMR 以及工业4.0系统的研发、设计、生产和销售。捷螺智能AMR(Gyrobot)基于激光SLAM导航标准化移动机器人,通过集成整合万向轮、**AI 导航定位模组**、六轴人机协作手臂、弹性化高效率派车软体。实现AMR 与半导体生产设备准确对接,物料的精淮上下料。产品可针对多种尺寸、多种物料抓取。

2024年8月,配备了Gyrobot 机器人的新加坡客户的生产车间,开启了全新的模式,实现了关灯生产。团队成功地在这个工厂中部署了10台Gyrobot 机器人以及晶圆库和自动换电站等,实现了生产车间的全自动化。Gyrobot 机器人能与多样的半导体生产设备准确对接,精准上下料,可针对多种尺寸及多种物料抓取。更有捷螺的自动换电站,2分钟高效完成机器人电池自动更换,全程机器人不断电、不离线。保障捷螺智能机器人7*24小时不间断作业,提高在线续航能力和工作效率,期间无需人员操作。



图12 捷螺智能AMR 自主移动机器人用于半导体封装智慧制造产线

2、珞石机器人在消费电子行业的应用

珞石机器人 (ROKAE) 是一家成立于2015年的中国高科技企业，专注于多关节工业机器人、协作机器人等系列化产品的研发、生产和销售。

苹果包装盒全自动生产线。苹果包装盒自动生产线是苹果公司包装生产制造的一个缩影。产线采用2台珞石XB7L工业机器人协同作业，可完成定位、刮胶、上下料等多道精密工序，生产一个包装盒仅需1.9秒，机器人重复定位精度 $\pm 0.03\text{mm}$ ，结合视觉确保精准定位，有效保证上下料精度。**机器人采用基于动力学的最优运动规划技术 OptiMotion，可实现业内领先的速度，**满足热熔胶产品对机器人节拍的严苛要求。机器人性能可靠稳定，可长时间运行，保证生产连续性。

精密零件力控装配。在一些复杂精细的力控装配场景中，如笔记本主板生产过程中的内存条装配，由于装配精度要求较高，同时需监控装配过程中的力，避免损坏工件。因此机器人不仅需要具备高精度运动控制，还需具备与人手类似的柔性装配能力，以位置控制为主的传统机器人难以应对挑战。珞石柔性协作机器人所有关节均内置高精度力矩传感器，兼顾高精度运动控制与外界力感知控制能力，重复定位精度精度优于 0.02mm ，力控精度可达 0.5N ，配合先进力控搜索规划技术，可实现人手般精准、柔顺的装配过程。



图13 珞石柔性装配产线

手机主板检测。电子产品要经过一系列严格的检测环节，传统人工作业成本高、效率低，且会出现误检，影响良品率。高精度机器人与视觉系统协同作业，有效保证取放手机主板的准确性。1台机器人轻松应对6台检测工位的上下料需求，同时采用双夹爪设计，将产能提升至每小时480件，大幅提升生产效率。

3、追觅配送机器人在装备制造行业的应用

坦途创新智能制造(杭州)有限公司是一家多元化科技产品生产加工制造企业，拥有高速生产倍速线、板链线、机械化输送线、自动化包装线，总面积超过3.6万平方米。面对现代工业智能化浪潮，企业引入追觅配送机器人D1，推动其智能制造水平进一步提升。



图14追觅D1在坦途创新智能制造工厂

追觅D1采用LDS与VSLAM双重定位系统，无需对场地进行改造，最快仅需30分钟即可完成部署。面对厂区复杂环境，**D1能够精准定位，自主导航，并高效进行全局路径规划，从容应对各种动态场景。**其智能动态避障功能精度可达厘米级，即使在狭窄通道中也能顺畅通行。此外，D1支持多机协同作业，可根据任务需求实时规划最优路线，高效、安全地将物料准确送达指定位置。D1不仅搭载了卓越的智能技术，还具备高达40公斤的强大载重能力，并支持多种承载方式，可灵活适应工厂库房拣选、产线物料运输及成品配送等多样化生产场景。

4、大族检测机器人在航空和汽车零部件行业的应用

大族机器人有限公司成立于2017年9月7日，公司专注于智能机器人及其在各类工业场景中的应用，凭借精准、稳定、易用的性能，大族机器人为制造业转型升级提供更高效率的智能装备。

航发叶片扫描与检测应用。航发叶片是一种典型的自由曲面零件，检测难度大、要求极高，人工检测存在效率低、不精准等弊端。大族机器人与合作伙伴共同打造的航发叶片扫描与检测应用工作站有效整合了扫描系统5微米扫描精度及大族机械臂达到并优于±0.02mm的重复定位精度，实现1+1>2。该工作站配备2台大族协作机器人，一台负责执行航发工件上下料工序、一台负责三维扫描仪的引导工作，协同完成自动化扫描，整个扫描与检测过程不超过3分钟。

汽车空调出风口组装及检测应用。汽车空调出风口组装及检测的工序相对细致、麻烦，采用人工流水线作业方式，每一道工序需要配备一名工人，且流水线完全铺开所需场地面积较大。终端客户采用2台大族E05协作机器人对产线进行自动化升级改造，将组装、检测工

序合并，与生产工人共同作业，协作完成任务。另外，大族E05 协作机器人也具备体积小、运转灵活等优势，能在狭小空间正常作业。

5、乐聚人形机器人在电缆行业的应用

夸父人形机器人系华为云与乐聚机器人战略合作以来取得的阶段性成果，通过盘古具身智能大模型使得人形机器人在智能化、泛化能力上得到了显著提升。目前，双方研发进程已经打通了人形机器人数据收集、云端训练、部署推理的工作流程，形成了系列工具链。华为云与乐聚的合作围绕“盘古具身智能大模型+人形机器人”，在制造业、家庭典型场景下机器人泛化能力的提升进行了市场调研、测试开发和场景验证，为打造通用场景的人形机器人展开了联合创新。

在制造场景下，华为云与乐聚团队深入亨通线缆车间一线展开调研，针对工业企业的普遍性业务痛点，进行技术可行性分析，定义整体产品形态、任务指标和行动计划，以扫码包装、物流搬运、沾锡工序等作为典型场景进行验证。



图15 搭蟻盘古大核型的夸父在江苏亨通工厂实习