

全球机器人技术路线图 2025-2035

欧洲、亚洲和美国的跨区域、跨领域战略视角

由Henrik I Christensen, UCSD准备
版本1.01 — 2026年4月

文档范围

本路线图综合了当前最先进的机器人研究及行业数据，以确定2025-2035年的全球技术发展轨迹。它整合了来自顶级机器人会议（如ICRA、IROS、RSS、CoRL）、机器学习活动（如NeurIPS、ICML）和期刊出版物的研究成果，并结合了贸易组织的市场情报和地方政府的战略。该文件旨在为政策制定者、技术战略家、研究机构和工业研发领导者提供参考。

区域战略重点 时间范围

欧洲 安全，合规，协作机器人 2025-2035

亚洲 规模、制造、类人形 2025-2035

美国 人工智能领导力、自主权、防务2025-2035

内容

执行摘要4

1 简介和范围

1.1 动机	5
1.2 范围界限	5
1.3 研究方法	5

2 全球市场基线6

2.1 工业机器人	6
2.2 服务和新兴机器人市场	6
2.3 全球研发投资格局	6

3 最前沿：学术研究格局

3.1 具身人工智能与机器人基础模型	8
3.1.1 里程碑型VLA系统	8
3.2 强化学习和模拟到现实的迁移	9
3.3 导航与自主移动	9
3.3.1 使用VLMs进行语义导航	9
3.3.2 不确定性下的安全航行	9
3.4 灵巧操作和触觉感知	9
3.5 足和仿生移动	10
3.6 多机器人系统与人机协作	10

4. 通用技术：跨领域进展 11

4.1 材料科学与软体机器人	11
4.1.1 激活模式	11
4.1.2 多材料3D打印	11
4.1.3 生物灵感设计原则	11
4.1.4 生物电子医学接口	11
4.2 计算基础设施	12
4.2.1 神经形态和边缘人工智能	12
4.2.2 GPU并行模拟	12
4.2.3 光子与量子计算	12
4.3. 感知与感应	12

5 地区科技战略 13

5.1 欧洲	13
5.1.1 资金和政策架构	13
5.1.2 研究生态系统	13
5.1.3 工业冠军	13
5.1.4 欧洲战略重点 (2025-2035)	14
5.2 亚洲	14
5.2.1 中国	14
5.2.2 日本	15
5.2.3 南韓	15
5.2.4 新加坡	15
5.2.5 亚洲 (2025-2035) 战略重点	15

- 5.3 美国..... 16
 - 5.3.1 资金架构 16
 - 5.3.2 人工智能与软件生态系统 16
 - 5.3.3 工业与物流机器人 16
 - 5.3.4 美国 (2025-2035) 战略重点 16

2025–2035 6 技术路线图

- 6.1 路线图结构 18
- 6.2 层 1：算法与人工智能 18
- 6.3 第2层：硬件和激活 19
- 6.4 第3层：材料和制造 19
- 6.5 层 4：系统、安全和部署 20

第七部分：行业特定分析、观察和建议 22

- 7.1 制造 22
 - 7.1.1 当前状态及观察 22
 - 7.1.2 制造业技术差距 23
 - 7.1.3 区域推荐：制造业 23
- 7.2 物流与供应链 25
 - 7.2.1 当前状态与观察 25
 - 7.2.2 物流技术差距 25
 - 7.2.3 地区建议：物流 26
- 7.3 医疗保健..... 28
 - 7.3.1 当前状态及观察 28
 - 7.3.2 医疗领域的技术差距 29
 - 7.3.3 区域建议：医疗服务 29
- 7.4 场地应用：农业、建筑、采矿和检查
 - 7.4.1 当前状态及观察 31
 - 7.4.2 领域应用中的技术差距 32
 - 7.4.3 地区建议：现场应用
- 7.5 家庭与服务机器人. 34
 - 7.5.1 当前状态与观察 34
 - 7.5.2 家庭服务机器人技术差距
 - 7.5.3 区域建议：家庭服务机器人
- 7.6 领域对比：技术准备和投资优先级

8 交叉战略主题 39

- 8.1 数据：最稀缺的资源 39
- 8.2 仿生汇聚赛跑 39
- 8.3 可持续性与循环机器人 39
- 8.4 劳动力与社会影响 40
- 8.5 地缘政治技术风险 40

9个地区推荐研究重点

- 9.1 欧洲：2025-2035年优先研究议程 41
- 9.2 亚洲：优先研究议程 2025-2035 41
- 9.3 美国：2025-2035年优先研究议程 42

10 结论

致谢 44

关键术语词汇表 51

B会议参考指南 52

执行摘要

机器人技术正进入一个由三大推动性大趋势交汇形成的变革十年：**物理AI**（大规模训练的视觉-语言-行动模型）

先进材料（软执行器、形状记忆合金、电活性聚合物），和 **下一代计算**（神经形态芯片、边缘AI、光子处理器）。这些技术共同模糊了传统机器人作为固定、程序化工具与机器人作为通用、自适应代理之间的界限。

本路线图的关键主要发现是：

- 全球机器人市场在2024年达到了532亿美元，并预计到2033年将达到1787亿美元（复合年增长率16.3%）。 [1, 5].

- **亚洲** 主导工业部署（2024年全球安装量占比74%；仅中国占54%），同时 **欧洲** 引领安全关键法规和协作机器人的发展。 **美国** 引领人工智能自主和防御机器人领域 [1].

- 视觉-语言-行动（VLA）模型——以Open X-Embodiment为基础 π （圆周率），⁰ OpenVLA和Octo是当前时期最重要的算法发展，首次实现了跨具身泛化。 [12, 13, 14, 15].

软体机器人技术和顺应性机构，得益于液晶弹性体（LCEs）、电活性聚合物（EAPs）和自修复水凝胶，正在弥合刚性工业系统与生物相容性医疗器械之间的差距。 [41, 42].

类人机器人领域，目前在2025年价值3.7亿美元，预计到2030年将达到65亿美元（年复合增长率138%）。 [4]，随着中国OEM厂商和美国科技公司竞相扩大生产规模。

监管不对称是一个关键的地缘政治变量：欧盟的AI法案，首个针对高风险AI系统的全面法律框架，正在重塑全球人形机器人设计。 [49].

路线图建议：**欧洲** 巩固其在监管方面的优势，将其转化为负责任机器人制造和医疗机器人出口的积极差异化优势；这 **亚洲** 追求向服务和医疗保健领域的多元化，以应对人口老龄化的风险；以及那 **美国** 利用其人工智能软件优势，构建涵盖仿真、基础模型训练和硬件的垂直集成机器人堆栈。

1 引言和范围

1.1 动机

过去五年见证了自20世纪60年代工业机器人臂引入以来无与伦比的机器人创新加速。推动力是系统性的：大规模语言和视觉模型将前所未有的语义推理能力转移到了机器人控制器；材料科学产生了与人类安全共存的柔性和仿生结构；计算硬件的密度已足够在边缘部署实时推理。

同时，人口结构压力——欧洲和东亚的老年人口，以及所有成熟经济体中物流和医疗保健行业的劳动力短缺——产生了以往任何一代技术都无法满足的迫切需求拉动。

This roadmap, drawing on the proceedings of ICRA [7]，IROS，RSS，CoRL，NeurIPS，ICML以及机器人学期刊（TRO，IJRR，Science Robotics等），提供了一个结构化、基于证据的视角，展示了该领域目前的状态以及到2035年必须走向何方。

1.2 范围界限

- **技术领域涵盖：** 具身AI和学习、硬件与执行、软体机器人与材料、计算基础设施、感知与传感、人机交互和多机器人系统。
- **地区重点：** 欧洲（欧盟+英国）、东亚/东南亚（中国、日本、韩国、新加坡）、美国。
- **应用领域：** 制造业、医疗保健、物流、农业、国防并且国内/服务环境。
- **地平线：** 近-term (2025-2027)、mid-term (2028-2031)、and long-term (2032-2035)。

1.3 研究方法

路线图是通过以下方式制定的：

1. 对上述会议和期刊中同行评审文献的系统综述。
2. 分析2024年和2025年IFR世界机器人报告。 [1 , 2] 和ABI Research市场情报。
3. 政府研发资金项目审查：欧洲“地平线欧洲”（EU）、中国第十四个五年计划、美国国防部（DoD）和自然科学基金会（NSF）项目。
4. 关键使能技术的技术成熟度（TRL）评估。

2 全球市场基准

2.1 工业机器人

《2025年IFR世界机器人报告》记录了 **52.2万工业机器人安装于2024年**，是有史以来第二高的年度总量，比十年前的安装量多出超过一倍 [1](#)]。全球总运营库存达到 **4,664万件**，同比增长9%。

表1：2024年按地区划分的工业机器人安装情况[1]

区域/国家市场份额（2024）同比变化			
中国	54%	295,000	+7%
日本	8% 44,500		
韩国	6% 30,600		
美国	9% (美洲)	~43,000	-10%
德国	5% 26,982		
欧洲 (总计)	16% 85,000		
印度	2%	9,100	+7%
世界其他地区	~8,818	—	

关键洞见： 史上首次，中国本土制造商在国内市场超越外国供应商，夺得57%的市场份额，比十年前的约28%有大幅提升。 [\[1 \]](#)。

2.2 服务和新兴机器人市场

超出工业自动化，几个相关市场增长更快：

- **协作机器人（协作型机器人）** 安装数量从2017年的11,100个增加到2024年的64,500个（占有所有安装数量的11.9%），复合年增长率（CAGR）达到27.5%，到2030年将达到70亿美元。 [1](#)，[4](#)]。
- **移动机器人：** 预计到2030年实现7500亿美元的营收，占据硬件和软件销售市场份额的50-60%。 [4](#)]。
- **类人机器人：** 从2025年的7000万美元起步，到2030年预计达到65亿美元，年复合增长率（CAGR）高达138%。 [4](#) 初始驱动因素是娱乐和受控的工业环境，之后才应用于家庭。
- **外科及医疗机器人：** CMR Surgical（剑桥）在2025年筹集了1.32亿美元，以扩大人工智能驱动的手术机器人业务。 [52](#)]。

2.3 全球研发投资格局

表2：2023-2025年精选国家机器人研发计划[3]

管辖预算战略重点	
欧洲联盟（地平线欧洲）	1.83亿美元（2023-25） 人工智能、数据、机器人领导力；清洁能源 创新健康 工业4.0，以人为本的生产 协作系统
德国（HTS 2025）3.692亿美元	10.3亿美元 美国 - 国防部（2023-25） 智能制造机器人 办公室、医院、社区和家庭 机器人学
美国 - 美国国家科学基金会（2024财年）7000万美元	53B美元（2021-2025） 美国国家航空航天局玉兔号计划 太空机器人
中国（第十四个五年计划）1370亿+（高科技产业）	工业主导，人形机器人，智能 制造业
日本	国家战略 老龄化社会自动化，服务机器人

3. 当代前沿：学术研究格局

3.1 具身人工智能与机器人基础模型

2023-2025 年最具定义性的科学转变是.....的迁移。 **基础模型** 方法：从语言与视觉到具身机器人系统 [37] 现在的核心范式是 **愿景-语言-行动 (VLA)** 模型：一种基于变换器的架构，它联合编码视觉观察、自然语言任务规范和本体感觉状态，产生连续的电机控制输出。

3.1.1 里程碑式VLA系统。

Open X-Embodiment (RT-X) [12]. 在2024年ICRA大会上 (最佳论文奖) 展出，这个数据集汇集了来自20多个学术机构的演示，涵盖多种机器人形态。在此数据集上训练的RT-X模型通过微调实现了对新型机器人平台的零样本泛化——这是跨形态迁移的基础概念验证。

π_0 (**圆周率**) (**身体智能**) [13]. 一个基于采集数据的流匹配VLA

在不同机器人平台上进行大规模操作，展示了在各种灵巧家务操作任务中的能力。 π_0 (**圆周率**) 表明观察到的语言尺度规律

模型迁移至机器人视觉运动策略。

OpenVLA [14]. 开源VLA在CoRL 2024发布，使社区能够在特定任务数据集上微调一个70亿参数的视觉-语言-动作模型，降低了学术机器人实验室的门槛。

奥克托 [15]. 在 RSS 2024 大会上推出的 Octo，是一个开源的通用机器人策略，采用了灵活的变换架构，可以接受各种不同的输入模式 (语言目标、图像目标、本体感觉)，并输出基于扩散的行动分布。

RDT-1B [16]. 基于1B参数扩散模型的双手操作基础模型 (ICLR 2025)。证明当扩散策略头被提炼成更小的动作块时，它们可以在机器人控制频率下运行。

GEN-0 (通用人工智能) [17]. 在比任何先前数据集多得多的实际世界操作数据上进行训练，GEN-0 在700亿个参数时展现出类似语言模型行为的尺度定律跃迁。其“谐波推理”框架解决了物理系统独特的延迟-动作同步问题。

研究前沿： 机器人学中的比例定律 (更多数据) → 更好的归纳现在已被实证证实 [17 , 2] 开放式问题是，是否需要世界模型而不是直接行动模型来进行长期任务推理。

3.2 强化学习和模拟到现实的迁移

强化学习 (RL) 对于需要精确接触动力学且不易演示的任务仍然至关重要。2024-2025年的主要进展包括：

- **物理感知托盘化** [20 ICRA 2025最佳自动化论文，利用在线掩码推理进行现实物流托盘码放——在真正工业条件下首次展示的RL系统之一。
- **RAIL (可达性辅助模仿学习)** [21](ICRA 2025)：安全约束下的策略执行，结合可达性分析与模仿学习以实现可证明安全的策略部署。
- **在低级API上找到RL** [22 首次在Boston Dynamics Spot上部署的公开端到端RL策略，通过NVIDIA IsaacLab开源训练代码实现。
- **ManiSkill3** [35 GPU并行化机器人仿真，可在仿真到现实实验中实现数量级的速度提升，这对于数据饥渴的强化学习至关重要。

3.3 导航与自主移动

3.3.1 基于VLMs的语义导航 愿景-语言前沿地图 (VLFM，ICRA 2024) 通过将语言查询定位到从预训练的视觉-语言模型中提取的价值地图，使零样本物体-目标导航在新型环境中成为可能，在波士顿动力Spot机器人在真实办公环境中进行了演示。 [31]。

VLM-GroNav (ICRA 2025) 将此扩展到户外非结构化地形，通过整合来自VLMs的语义地形理解和本体感觉反馈，实现山丘穿越和溜溜表面的动态可通行性估计。 [32]。

3.3.2 在不确定性下的安全航行。 QuasiNav (ICRA 2025) 将户外导航定义为受约束的马尔可夫决策过程 (CMDP)，通过准度量嵌入捕捉不对称的行进成本 (例如，上坡与下坡的能量消耗)，在满足安全约束的同时，实现了相较于基线方法13.6%的能量降低。 [33]。

3.4 灵巧操作和触觉感知

ICRA 2025呈现了一个显著的趋势，向..... **触觉感知和灵巧操作**，坚信仅有视觉不足以应对富含接触的组装任务 [81]:

- **E-肉** (勒雷尔·平托实验室，纽约大学)：全机器人手表面覆盖的3D打印可拉伸触觉传感器，可实现滑移检测和力估计，无需远端传感器。
- **RUKA 手** 一个开源的人形末端执行器，专为快速组合设计。社区建设与融合，采用嵌入式触觉阵列。
- **气动滚筒式隔膜夹爪** [23(RAI研究所，ICRA 2025)：一种使用气动执行器关节编码器反馈的抓取力新型夹具控制，可在无需专用触觉传感器阵列的情况下检测滑移。

- **联系平滑处理反馈控制** [24 (RAI研究所) : 具有接触平滑的微分模拟, 实现富含接触操作的线性反馈控制器设计。

3.5 足和仿生移动

- **AquaMILR / AquaMILR+** [25 (乔治亚理工学院, ICRA 2025) : 在复杂水生环境中实现敏捷导航的无缆无臂机器人, 利用机械智能降低流体介质中的控制复杂性。
- **变分积分器轨迹优化** [26 (USC, ICRA 2025) : 一种保留物理特性的轨迹优化离散化方法, 使四足机器人能够在长距离飞行中进行三个连续后空翻, 着陆误差仅有几度——用标准欧拉积分法是无法实现的。
- **MI-HGNN** [27 (乔治亚理工学院, ICRA 2025) : 基于形态学的异构图神经网络在腿部机器人接触感知中的应用, 提高地形适应性。

3.6 多机器人系统与人机协作

- **FOV-Aware Planning** [28 (USC, ICRA 2025) : 模拟人类有限视野的人类-机器人协作规划, 通过调整机器人策略以适应人类的感知局限性来减少冗余的人类动作。
 - **自我模仿** [29 (乔治亚理工, ICRA 2025) : 通过第一人称(自我中心)的人类视频学习家居操作技能, 实现在无需机器人遥控的情况下进行可扩展的数据收集]。
- OE-MRS** [30 对比解释多机器人系统, 提高群体部署的可解释性和人类信任度。

4. 使能技术：跨领域进步

4.1 材料科学与软体机器人

The

柔性机器人 期刊和相关场地记录了智能材料驱动器的快速成熟，这些驱动器正在改变机器人形态。 [41 , 42 , 43] .

表3：软体机器人用智能材料驱动器：比较 [41, 42]

材料/机制	刺激	关键特性	应用范围
液晶弹性体客户 (LCEs)	热/光	高强度 各向异性，促进 可用于语法练习的。	locomotion, grip- 可穿戴设备
形状记忆铝洛伊斯 (SMA s)	温度	高力密度 生物相容性	假肢，外科 工具
电活性聚合物mers (EAPs)	电场	快速响应，自助 供电传感	柔软夹爪，人工 西肌，生物感应器- sors
介电弹性。顾客 (DEs)	电场	巨大压力 (>100%)， 轻便	生物启发式运动 tion, 可穿戴设备。 扭曲
气动弹性压力顾客 (麦基本)		肌肉样的复合 顺从，安全的人机交互	假肢，协作- 叙事武器
水凝胶湿度/PH		组织状 模量，生物- 兼容	医疗植入物 生物混合系统
磁活性的聚合物	磁场	远程控制 可微型化	微小机器，医疗 导航

4.1.1 激活方式

4.1.2 多材料3D打印。《2025年具有里程碑意义的论文》 科学进展

[46] 展示了通过集成数字光处理 (DLP) 和直接墨水写入 (DIW) 制造的自主软机器人，嵌入触觉到视觉反馈和避障功能。这种“打印与部署”模式将设计到硬件迭代的周期从数月缩短至数天。

4.1.3 生物灵感设计原则。 ICRA 2025举办了一场专门的研讨会[47]: *朝向敏捷与坚固：机器人学、生物学和智能材料中的机械智能* 中心论点是身体形态编码控制智能——顺从机制内在地执行感知运动计算，无需软件开销，降低富含接触任务中的延迟。

4.1.4 生物电子医学接口。 一项新兴的边疆被报道在 *先进材料* [45] 这是将软体机器人执行器与可植入电子设备结合在生物电子医学中——形状变形电极、使用水凝胶双层自折叠神经袖、以及基于SMA的、由身体温度触发的缠绕袖。

4.2 计算基础设施

4.2.1 神经形态和边缘人工智能。 当前VLA推断需要GPU级硬件 (NVIDIA Jetson AGX Orin , Thor) 进行实时部署。下一个瓶颈是能源和延迟：类脑芯片 (Intel Loihi 2 , IBM NorthPole) 在脉冲编码的感官运动表示上提供数量级的效率提升，但需要新的神经网络架构。ICRA 2025年关于基础模型和神经符号人工智能研讨会[48]强调了这一趋同作为关键研究空白。

4.2.2 GPU并行化模拟。 ManiSkill3 [35]和NVIDIA Isaac Lab / Omniverse / Cosmos[19]启用在大量并行化模拟 (单个GPU集群上同时运行数千个环境) 中训练机器人策略，使数据密集型强化学习变得可行。NVIDIA GR00T的四支柱架构——认知的基础模型、通过Omniverse/Cosmos进行模拟、合成数据管道和Jetson AGX Thor硬件——代表了该领域最完整的垂直整合。

4.2.3 光子和量子计算。 在未来5到10年的时间范围内，光子处理器有望实现teraOPS的处理吞吐量，并具有接近零的能量消耗进行矩阵乘法运算，这在变压器推理中是至关重要的。对于多机器人路径规划 (组合NP困难问题) 正在研究量子优化算法，尽管量子比特相干时间仍然是短期部署的障碍 (2025年达到TRL 2-3)。

4.3 感知与感应

- **3D空间智能：** RoboSpatial [34] (CVPR 2025) 教给视觉-语言模型3D空间理解，这对于在杂乱环境中的操作至关重要。]
- **触觉阵列：** 压电聚合物 (PVDF) 和电容式触觉阵列正达到商业密度水平，足以覆盖整个手掌，填补了研究原型与可部署系统之间长达十年的差距。
- **事件相机：** 神经形态视觉传感器 (动态视觉传感器，DVS) 产生异步、微秒级分辨率的事件流，非常适合快速操作和运动控制，因为在帧率相机中引入的延迟是不可以接受的。
- **多模态传感器融合：** VLM-GroNav [32] 展示了在单个VLM推理循环内对RGB、深度、本体感觉和语言的实时融合——为所有模态机器人感知提供了建筑先例。

5 地区技术战略

5.1 欧洲

欧洲战略地位 (2025年)： 研究卓越，监管领导力，精确工程传承。关键差距：规模化商业化、硬件供应链（执行器、稀土材料）以及与美中和美国的比较，风险投资深度。

5.1.1 资金和政策架构。

- **地平线欧洲**（持续至2027年，总金额1000亿美元）：为2023-2025年工作计划分配的1.835亿美元机器人专用资金，涵盖工业人工智能、清洁能源机器人和健康应用领域 [3]。
- **德国高科技战略2025 (HTS)** 3.692亿预算，强调工业4.0、以人为本的生产和协同系统——欧洲最大的国家拨款。
- **欧盟人工智能法案 (2024年)**：世界首个全面人工智能监管标准将公共场所、医疗保健和工作场所运营的人形机器人归类为高风险系统，要求进行一致性评估、透明度文件编制和人工监督机制。这一框架正成为全球基准[49]。
- **SPARC / euRobotics 合作伙伴关系** 欧盟委员会与产业界之间价值28亿美元的公私合作伙伴关系，协调国家研究工作，并促进跨境技术转让。 [52]。

5.1.2 研究生态系统。主要研究机构包括：

- **意大利理工学院 (IIT)**：家园拥有iCub (世界上最具有代表性的类人形研究平台之一) 并在软体机器人和神经启发控制领域处于领先地位 [50]。
- **荷兰代尔夫特理工大学**：以其生物启发式移动性和灵活的机器人设计而闻名。
- **DLR (德国)**：太空机器人、手术机器人和轻量型柔顺臂 (库卡DLR LWR血统)。
- **法国**：INRIA 算法、运动规划、机器人软件栈 (皮诺曹, Crocodyl)。
- **苏黎世联邦理工学院 / 瑞士洛桑联邦理工学院**：步态运动 (ANYmal)、软性驱动器和控制理论。

5.1.3 工业冠军。 ABB、库卡 (现为美的)、优必选 (UR、泰雷登)、史帝普利、发那科欧洲和CMR外科手术都是欧洲工业基础的重要组成部分。由优必选开创的协作机器人 (Cobot) 领域依然是欧洲的竞争优势。

Neura Robotics (德国) 在2025年1月筹集了1.2亿欧元——迄今为止欧洲最大的类人机器人融资轮 [52]。

5.1.4 欧洲战略优先事项 (2025-2035)

1. **负责任机器人制造** (2025-2028年) : 利用AI法案合规框架作为出口市场中的积极差异化优势——尤其是在医疗保健、养老服务以及公共部门机器人领域，因为这些领域的安全标准需要高额定价。
2. **手术和医学机器人** (2025-2032年) : 扩大CMR手术、美敦力以及新兴的欧盟手术机器人初创企业规模，与美国直觉手术公司和中国竞争者展开竞争。软体机器人内窥镜工具 (II T, 洛桑联邦理工学院) 是欧盟的天然优势。
3. **农业机器人** (2026-2033年) : 欧洲共同农业政策 (CAP) 改革和劳动力短缺催生了一个对精准除草、收割和土壤传感机器人的市场需求，这些机器人可在可持续发展的指令下开发。
4. **Cobot生态系统深化** (2025-2030年) : 将UR、KUKA和ABB协作机器人从简单的拾取和放置操作升级到利用欧洲工厂数据进行的VLA微调，实现人工智能赋能的适应性组装。
5. **供应链韧性** (2027-2035) : 发展源自欧盟的执行器和稀土供应链。截至2025年，中国控制 ~ 63% of humanoid hardware supply chains, including rare-earth magnets and key actuator components [51]。

5.2 亚洲

亚洲战略位置 (2025年) : 在中国工业部署规模、制造效率和硬件生产中占据主导地位；中国正在实施历史上最具进攻性的国家机器人战略；日本和韩国面临人口减少的挑战，这既推动了需求，也限制了劳动力。

5.2.1 中国。中国机器人发展轨迹的规模具有历史性：

- **2024年安装295,000台工业机器人** ——创下全球纪录，占有所有安装的54% [1]。
- **运营库存超出 2024年200万套** 这是第一个达到这一门槛的国家。

国内制造商实现了 **57%市场份额** 在中国，比十年前增长了28%。

第十四个五年计划旨在通过2028年实现机器人安装的持续10%年增长率。据报道，对机器人和高科技产业的更广泛承诺为1370亿美元。 [53]。

在类人机器人领域，Unitree (G1、H1平台) 和Fourier Intelligence正在优先考虑工业环境的批量生产，近期目标针对工厂而非家庭部署。 50].

- 上海人工智能实验室的江淼淼博士领导InternVLA生态系统，从中国机构基地出发，具备GR00T-scale雄心壮志；在CoRL和CVPR会议上展示的工作 [18].

5.2.2 日本。 日本占 **38% of global robot production** 按出口价值计算，2023年出口160,801台 (出口比例78%) 2 包括发那科、安川电机、川崎和三菱在内的公司主导着全球工业机器人供应链。本田的ASIMO系列和软银的Pepper塑造了全球类人机器人研究；目前的焦点是受人口结构变化驱动的养老服务机器人：到2030年，日本大约有30%的人口年龄超过65岁。

5.2.3 韩国 韩国维持着 **每万名制造业工人中有1,012台机器人** ——全球之最，三星和现代机器人 (波士顿动力母公司) 作为领先的工业参与者。2021年，现代汽车集团收购波士顿动力，创造了全球最具整合性的汽车机器人企业集团。Spot和Atlas代表了全球移动操作和动态腿部运动的尖端技术。

5.2.4 新加坡。 新加坡于2025年首次参与IFR研发项目报告，正在追求一个 **国家机器人计划** 以医疗保健、建筑和精密制造为核心战略，利用其作为跨国研发中心区域枢纽的地位【 3】

5.2.5 亚洲战略重点 (2025-2035)

1. **工业人形规模 (2025-2030年)**：中国和韩国有望率先实现工业人形机器人规模化生产。关键瓶颈不在于硬件，而在于适用于非结构化工厂环境的强大灵活操作策略。

2. **长者护理与医疗机器人 (2026-2033年)**：日本和韩国面临全球最为严峻的人口老龄化挑战。服务机器人用于日常生活活动 (ADL)、认知刺激和身体康复是至关重要的社会基础设施，而非奢侈品技术。

3. **基础亚洲语言与情境模型生态系统 (2025-2030年)**：当前VLA模型主要基于英语和美国实验室数据。缺乏中文、日语和韩语语言条件的机器人学习数据集是一个关键缺失层。

4. **农业自动化 (2026-2033年)**：在东盟和南亚地区，农村劳动力短缺和粮食安全担忧推动了对价格实惠、坚固耐用的收割和农作物监测机器人的需求。

5. 稀土材料处理领导力（2025-2035年）：中国在全球稀土元素中的主导地位使其在执行机器人生产方面拥有结构性优势；应优先投资于先进加工和磁性新型替代品（例如，磁活性聚合物），以保持供应链优势。

5.3 美国

美国战略位置（2025年）：人工智能软件领导力、大学研究卓越性、国防机器人投资，以及蓬勃发展的初创企业生态系统。关键差距：供应链对亚洲硬件的依赖，以及相对于欧盟的监管环境碎片化。

5.3.1 资金架构

- **美国国防部（2023财年）：**103亿美元用于自主和机器人技术，这是全球最大一笔政府投资于机器人技术的单笔投资。DARPA项目（具有弹性的复杂环境中的机器人自主性，RACER；地下机器人）推动了先进运动和感知研究。
- **美国国家科学基金会（2024财年）：**7000万美元用于工作场所、医院、社区和家庭的民用机器人 [3]。
- **立法：**芯片和科学法案（2800亿美元）、基础设施投资与就业法案，以及IRA制造业规定为国内机器人生产规模扩大提供了间接支持。

5.3.2 人工智能与软件生态系统。 美国在机器人基础模型开发方面引领世界：谷歌DeepMind（RT-1、RT-2、RT-X、Gemini Robotics），OpenAI（物理AI研究），物理智能（ π （ π / 速率））英伟达（Isaac GR00T，全宇宙（宇宙），元宇宙AI（家用机器人，开源机器人），微软研究院，卡内基梅隆/麻省理工/斯坦福/伯克利/南加州大学/乔治亚理工学院/加州大学圣地亚哥分校等学术实验室。波士顿动力与麻省理工的渊源以及斯坦福的操控小组（切尔西·芬恩和朵拉·萨迪格）正在全球范围内定义机器人学习的范式[7 , 9]。

5.3.3 工业与物流机器人。 亚马逊机器人（部署700,000+移动机器人），Symbotic，Berks hire Grey，以及Locus Robotics（与DHL合作实现了10亿次仓库拣选的里程碑）主导着物流自动化。ICRA 2025的铂金赞助商是VisionNav Robotics（物流），反映了从学术展示到产业驱动的部署的转变。[81]。

5.3.4 美国（2025-2035）战略优先事项。

1. **垂直人工智能机器人堆栈集成（2025-2029）：**英伟达的GR00T倡议提供了最鲜明的例子——基础模型训练（宇宙模型）、模拟（无限宇宙）、合成数据和Jetson边缘计算的集成平台。Google DeepMind和Physical Intelligence正在追求并行的垂直集成堆栈。赢得“AI-机器人堆栈”竞赛将成为美国的工业首要目标。

2. 国内制造业复兴（2027-2035年）：芯片法案激励措施正在推动半导体产业回归本土。同时，需要采取并行措施，以降低对亚洲供应链的依赖，促进机器人执行器和精密机制制造业的发展。

3. 自主防御系统（2025-2030年）：美国国防高级研究计划局（DARPA）和国防部在无人地面车辆、空中自主系统和水下机器人方面的投资正在成熟并向部署发展。人机协同作业协议和道德自主框架是至关重要的促成研究。

4. 医疗和手术机器人（2026-2033）：随着生育高峰期出生人口的老龄化，~ 70%的一些美国行业劳动力短缺。6 外科辅助、老年护理和康复机器人代表了国内一个万亿级的市场机遇。

5. 开源机器人基础设施（2025-2030）：ROS 2、OpenVLA、Octo和ManiSkill3的成功证明了开放平台加速了采纳。以美国为主导的开放机器人基础设施（类似于操作系统的Linux）可以建立一个全球标准层，抵御地缘政治碎片化。

2025-2035年技术路线图

6.1 路线图结构

路线图按照四个技术层级组织：

1. 算法与人工智能 (具身智能、学习、规划)
2. 硬件与驱动 (机构、软体、动力)
3. 材料与制造 (智能材料、制造工艺)
4. 系统与部署 (安全、人机交互、法规)

对于每一层，都分配了技术成熟度等级 (TRL , 1-9)。 **短期内** (2025-2027), **中期** (2028—2031年) 和 **长期** (2032-2035) 视野。

6.2 层 1：算法与人工智能

表4：算法与人工智能路线图 - 预测的TRL等级

科技	2025	2028	2035	里程碑	
VLA基金会 models (基本 操控		6	8	9	2027：可靠的单臂 2030年：双手并用；2033年： 家用通用
跨界具象 泛化		5	7	9	2028年：适应新型机器人 通过10个演示；2032年：零- 射击
长期任务 规划		4	6	8	2028：10步家庭 链条；2033：开放世界 多小时的任务
世界模型 机器人学		3	5	8	2029年：预测模型 操纵；2034：因果 推理
实时安全强化学习 部署		5	7	9	2026年：经协作机器人认证 2030年：类人机器人安全保障 提前
多机器人协调 民族 (蜂群)		5	7	9	2027年：10机器人仓库 2033: 1000台机器人户外 swarm swarm
持续/终身的 学习		3	5	8	2029：田野适应；2034： 自主课程生成器 迭代
自然语言内- construction following		7	9	9	2026年：工厂声音通讯 2028：对话式 维修
从模拟到现实的迁移 操纵		6	8	9	2027: <2小时实际应用 2031：零间隙模拟。 拉丁

Neuromorphic computing 托尔政策	4	7	2029：节能反射 管控；2033年：全循环SNN
--------------------------------	---	---	------------------------------

6.3 第2层：硬件和激活

表5：硬件和驱动路线图

科技	2025	2028	2035	里程碑
工业协作机器人	9	9	9	市场成熟度；AI赋能
武器				2026-28
步行运动	8	9	9	2027：全地形工业
四足动物				2030年：非结构化构建 (This phrase is incomplete and lacks context. Wit
两足直立的人类 (工厂)	5	7	9	2027：10单元生产π
两足直立的人类 (家庭)	3	5	7	许多；2031年：每年10千个单位 2030年：辅助居住试验 2035：家庭电气化受限 雇佣
灵巧机器人 双手	5	7	9	2027年：20自由度具备触觉功能 2031：人可比较的 灵巧
全身触觉 皮肤	3	5	8	2028年：部分覆盖；2033年： 全身神经般 反馈
气动/软 抓紧器	7	8	9	2026年：食品行业认证 2030年：手术工具辅助
外骨骼 (工业)	7	8	9	2026：欧盟认证；2030： 主流采用在低 物流 (wùliú)
空中操作 (UAV+武器)	4	6	8	2028：基础设施检查 2033：建设中
微型/纳米机器人 (医疗)	3	4	7	It seems like there's a missing word or a typograp 2030：体内导航三 als；2035：精准药物去... 制服

6.4 第3层：材料和制造

表6：材料和制造路线图

科技	2025	2028	2035	里程碑
Liquid crystal elas- TOMER 执行器	5	7	9	2028年：商用夹具 2033：可穿戴康复服

科技	2025	2028	2035	里程碑
Shape memory al- 洛伊 (假肢)	7	8	9	2026 : ISO认证假肢 ics; 2030: dexterous pros- 异质手
电活性聚合物。 mers (EAPs)	5	7	8	2028 : 自驱动生物传感 sors ; 2032 : 人工肌肉 捆
四维打印柔软材料 机器人	4	6	8	2028 : 单打印驱动 机制 ; 2033 : 打印- 部署管道
Self-healing materi- als	3	5	7	2029: 自律裂变重新 一对 ; 2034 : 全面结构 自我修复
可生物降解的 机器人结构	2	4	7	2030 : 一次性外科 工具 ; 2035 : 环境 部署
磁活性软 机器人	4	6	8	2028 : 胃肠道导航
生物混合系统 存活细胞	2	3	6	2033年 : 心脏外科辅助
多材料 喷墨3D打印	6	8	9	2031 : 生物驱动器阵列 2035年 : 由肌肉驱动微型- 机器人 2027 : 嵌入式传感器晶圆厂 rication; 2030: 全机器人 单件印刷

6.5 层 4 : 系统、安全和部署

表 7 : 系统、安全与部署路线图

科技	2025	2028	2035	里程碑
Cobot 安全证书 认证 (ISO/TS) 15066)	9	9	9	成熟 ; 扩展到AI 适应性协作机器人 2026
类人形机器人安全 框架	3	6	8	2028年 : 欧盟合格评定 脑部 ; 2033 : ISO 人类型 标准
机器人操作 系统 (ROS 2)	8	9	9	2026 : 实时认证 2028 : 安全关键扩展 sion
人机交互 动作 (自然)	6	8	9	2027 : 语音+手势在facto- ries ; 2030 : 社交机器人com- 伙伴
可解释性 XAI for robots	4	6	8	2028 : 审计日志为deci- sions; 2033: 实时解释。 民族

科技 2025 2028 2035 里程碑

网络安全 机器人舰队	4	6	8	2028：舰队级别入侵解密 防护；2033：自我防御 系统
数字孪生整合- tion	6	8	9	2027：实时工厂 双胞胎；2030年：预测 维护
云/边缘混合 计算	7	8	9	2026年：5G机器人舰队 2029：卫星连接的 田间机器人
监管合规 先祖自动化	3	5	7	2029年：人工智能法案自动审计 2033：全球监管通行证 港口

7 行业分析、观察和建议

本章提供了一个针对五个垂直行业——制造业、物流、医疗保健、田间应用和家居/服务——的机器人机会的细粒度、逐个行业评估，涵盖了当前部署现状、技术差距、竞争动态以及每个世界地区的具体建议。

7.1 制造

行业快照 (2024年)： 全球工业机器人装机量达到466.4万台；新增安装量54.2万台。电子产品现在是最大的采用行业 (2024年安装量128,899台)，超过了汽车行业。协作机器人安装量创纪录达到64,542台 (同比增长12%)，到2030年的复合年增长率预计为35.2%。 [1, 54]

7.1.1 当前状态及观察。 制造业是应用机器人技术最成熟的领域。然而，正在发生一场重大的变革自~~适应的~~基于~~卷积的~~生产系统引入不相上下：即从……向……的转变。程序自动化

第五代工业与协作机器人革命 The global collaborative robot market reached \$2.14 B in 2024 and is projected to grow to \$11.8 B by 2030. [55] 与它们固定程序的 predecessors 相比，今天的 cobots——Universal Robots UR 系列、KUKA LBR iiwa、FANUC CRX、Hanwha HCR——结合了兼容关节扭矩控制与基于视觉的编程接口，使得非技术操作员能够在数小时内部署新任务。行业数据显示 cobots 可将组装时间缩短高达 30%，提高产品质量 15%，减少生产错误 30%，并降低能源消耗 20%。 [54] 从传统的、笼式隔离的机器人到协作的、开放式工作空间系统的转变，是当前十年最具决定性的结构性变革。

人形驾驶员在汽车制造行业 宝马 (配备 Figure AI)、梅赛德斯-奔驰 (配备 Aptronik 的 Apollo) 和特斯拉 (内部使用 Optimus) 正在进行第一次工业类人机器人试点部署。 [56] 这些代表了在受控实验室环境之外，对人形机器人灵巧性和可靠性的最具挑战性的测试。结果参差不齐：敏捷机器人公司的 Digit 已进入亚马逊配送中心的验证付费物流试点；截至 2026 年 3 月，大多数人形机器人在工厂的部署仍处于早期研发阶段，而非生产级自动化。 [77, 80]

人工智能驱动质量检测。 人工智能驱动的实时视觉系统，用于检测装配缺陷和质量异常，可能是制造业中最快被采用的人工智能应用，相对于传统自动化，其硬件集成成本几乎为零。 [57] 这些系统已在半导体、汽车和电子产品生产中大规模商业部署。

电子业超越汽车业 对于第一次，电子产品/电气行业现在是全球最机器人化的制造业领域 (2024 年为 128,899 台)，由电动汽车电池组装、消费电子产品和半导体封装推动。 [1, 58] 电池单元组装的精度和速度要求极高。

对污染无法容忍，需要亚毫米级定位，这些因素正在推动混合人机协作生产线需求增长。

7.1.2 制造业技术差距

- 1. 灵巧的操作，工业级别速度** 当前机器人夹具在已知几何形状的抓取放置方面表现出色，但在电子和食品制造业中常见的可变形不规则几何形状物体上却表现不佳。触觉传感器阵列和软性夹具末端执行器（Soft Robotics Inc., OnRobot）正在缩小这一差距，但尚未达到量产速度或可靠性。
- 2. 快速重构以实现大规模定制：**消费者对个性化产品（定制电动汽车配置、定制电子产品）的需求需要能在数小时内切换产品的生产线。今天的工业机器人需要数天到数周时间重新编程以执行新任务。VLA微调管道提供了一条“一次教学，广泛推广”的道路，但在工业环境下仍处于TRL 5阶段。
- 3. 中小企业可及性：**平均工业机器人安装需要超出硬件之外的15万至30万美元的集成成本。中小型制造商无法证明这样的投资回报率。机器人即服务（RaaS）模式，结合低代码协作机器人编程接口，是实现自动化民主化，超越一级供应商的关键推动力。
- 4. 实时数字孪生同步** 大多数工厂采用静态流程模型进行运营。实时数字孪生，随着生产条件的变化而更新，并能自动调整机器人行为，在领先工厂中仍处于技术成熟度等级(TRL) 6，而在广泛的制造基础中处于TRL 3-4。

7.1.3 地区性建议：制造业。

制造业展望至2035年：关键转变是从“机器人作为固定工具”到“机器人作为适应性合作伙伴”。获胜的工厂将是那些从自己的生产线上构建专有机器人学习数据集的工厂——这些数据集成为一道持久的竞争优势壁垒，竞争对手难以轻易复制，类似于语言AI中的训练数据优势。

表8：制造业机器人：区域建议

地区优先机会具体建议		
欧洲	人工智能赋能协作机器人技能提升中小企业	启动欧盟资助的“人工智能协作机器人代金券”方案：补贴VLA模型罚款调频套件，适用于制造商的 <250 员工。目标：50,000家中小企业部署。ments by 2030. 合作伙伴：UR、博世。雷克斯罗特，弗劳恩霍费尔研究所。
	可持续电动汽车电池似乎自动化	开发软体机器人夹取器并研究 vi- 锂离子电池认证的系统处理 (IEC 62619)。欧盟电池gi-gafactories (Northvolt, ACC, Automo- 活力细胞公司是现成的客户基础
亚洲 (中国)	工业人形比例向上	过渡单元Tree G1和Fourier GR-2 从研发试点到生产线解耦 就业于电子组装行业。关键— cal path: 灵巧操作基因- 推广应用于中国工厂车间 数据集。目标：1万名类人形。 2028年工厂部署的单位。
	电子精度：au 自动化	在...建设VLA培训基础设施 中国领先的印制电路板 (PCB) 和半导体制造商 tor，显示屏制造 数据。开发针对中国的端到端 极薄元件的矢量工具 处理
亚洲 (日本/ 韩国)	精确与品质 关键自动化	发挥FANUC、Yaskawa和的优势。 Kawasaki传感器丰富的平台 航空航天领域的零缺陷制造 医疗设备，高级au- 推动力，视觉-语言整合 检验模型实时根 原因分析
联合 国家	Humanoid-for- 制造业软件 堆叠	优先考虑Fig-的开源数据集 ure/BMW and Apptronik/Mercedes pi- 许多。国家自然科学基金会 (NSF) 应资助学术—— 停止工厂地板机器人学习 数据。创建NIST“制造 机器人学习基准”类似 为MNIST视觉。
	国内制造 回流本土	芯片法案式机器人制造业 Ingen credits for US-based precision actu- ator 和编码器生产。目标： 30%的美国协作机器人硬件市场份额 到2032年，增至 今天5%。

7.2 物流与供应链

行业快照 (2025年)： 亚马逊超越了 100万机器人 在2025年中期的全球履行网络中，由新一代生成式AI车队管理基础模型 (DeepFleet) 驱动[59 DHL和Locus Robotics实现了10亿个仓库拣选。预计到2035年，配送机器人市场规模将达到1000亿美元。到2030年，移动机器人将为物流业创造7500亿美元的收益。 4]。

7.2.1 当前状态及观察。 物流行业是机器人实现可验证、大规模部署最多的领域。电子商务增长 (亚马逊的包裹量从2020年的48亿增长到2024年的63亿)、长期司机和仓库工人短缺，以及履行的时间敏感性，创造了对自动化的迫切需求，这在任何其他行业都是前所未有的。 62]。

物流转型 亚马逊的舰队展示了当前技术的最高水平：赫拉克勒斯AMR (移动1,250磅的库存单元)、飞马分拣机 (精确的输送带路由) 和普罗透斯 (第一个在开放、共享的人机工作空间中运行的完全自主移动机器人) 形成了一个由人工智能编排层管理的分层系统。 60 新一代的什里夫波特配送中心虽然自动化程度更高，但可靠性维护岗位的员工需求增加了30%——这是一个看似反直觉的发现，支持了短期物流机器人“补充而非取代”的论点。

自主地面配送。 人行道送餐机器人 (为Uber Eats、Coco、Cartken提供服务) 已在多个美国城市投入使用。Transforma Insights预测到2032年将有470万台送餐机器人投入使用。 [63]。主要限制条件依旧存在：人行道通行规定、恶劣天气表现以及路面可达性。亚马逊的M K30无人机 (2024年早些时候推出) 能够递送重量低于5磅的包裹。 ≤ 60分钟在凤凰城和德克萨斯州的科利奇斯坦顿 61]。

AGV到AMR转型。 截至2023年，自动导引车 (跟随线车辆) 占据了72%的内物流移动机器人市场。IDTechEx预计这一比例将下降至 ~ 13%到2044年，随着无需基础设施投资的SLAM导航AMR (自主移动机器人) 成为具有成本竞争力的技术 64 市场拐点预计将在2020年代后期出现，届时AMR (自动移动机器人) 的单位成本将低于15000美元——这个门槛使得中型3PL (第三方物流提供商) 的3年投资回报率可计算。

人工智能编队调度 亚马逊的DeepFleet编队基础模型代表了尖端技术：这是一种生成式AI模型，能够在实时动态地为数千台机器人分配任务队列，并重新优化，考虑电池状态、拥堵、工人位置和订单优先级。这类似于从固定路线的GPS导航转向实时自适应交通路线的转变。 [60]。

7.2.2 物流技术差距

1. **挑选不规则可变形物品：** 抓住来自货箱中的任意SKU (库存单位) ——尤其是柔软、多层或透明物体。

仍然是机器人最难的开放物流问题。当前拣选机器人在“友好”SKU上的成功率可达95-99%，但在代表电子商务目录20-40%多样性的长尾商品上却失败。

2. **最后一公里在城市密集度**：人行道机器人受行人密度、楼梯、建筑入口和包裹交接协议的限制。目前没有任何完全自主的最后一公里城市系统在商业规模上运行，而不需要大量的人类异常处理。

3. **跨码头和退货处理**：退货（电子商务交易量的20-30%）需要拆包、检查、分类和重新上架——这是一个高度可变、无结构化的任务，当前任何机器人系统都无法从头到尾处理。这是物流领域下一个重大的自动化空白。

4. **冷链和危险品自动化**：药品、食品和化学品的物流需要温度控制、避免污染的自动化。需要专门的机器人末端执行器和认证环境，这些要求超过了标准仓库机器人的规格。

7.2.3 地区性建议：物流

物流展望2035年：物流行业将在2030年实现一级运营商（亚马逊、沃尔玛、京东）接近完全的内部物流自动化，随后到2033年广泛采用3PL。决定性竞争优势将是人工智能车队编排智能，而非硬件：拥有最佳实时优化模型，覆盖异构机器人车队的运营商将实现最大的吞吐量增长。最后一公里配送仍将是最大的挑战，而人机辅助混合模式（机器人运送至建筑入口，人工处理公寓配送）可能将持续到2035年。

表9：物流机器人：区域建议

地区优先机会具体建议		
欧洲	第三方物流和中小企业仓库自动化	Develop EU-standard AMR interoperability 能力协议 (扩展VDA 5050) 使多供应商机器人编队得以启用 第三方物流设施。批 ical for the fragmented European 3PL市场 (DHL , DB Schenker , 库恩和纳格尔) 采用自动化 逐步地
	可持续的最后一公里配 送ery	资助城市配送机器人试验 密集的欧洲市中心 (阿姆斯特丹- 大坝、巴黎、柏林) 与监管 沙盒。电动人行道机器人以及 货运自行车在自动卸货机器人辅助下卸货正在兴起。 在环境方面优于货车运输 在 3公斤货物。
亚洲 (中国)	实现自动化满足 规模	Geekplus , Quicktron , 海机器人 已经是全球AMR领导者。先行 投资人工智能驱动的回程流程 智能化自动化——增长最快的 物流成本中心 商业 (京东、阿里巴巴、拼多多的) duo).
	跨国物流 机器人学	自动化海关检查、打包 核实和合规文件 中国出口履约中心的作用 利用多模态视觉模型 inte- 磨碎并通过机器人分拣线。
亚洲 日本	冷链和制药 物流学	Japan's pharmaceutical and food industries 工业是世界级的出口部门 严格按照质量标准。机器人 冷链自动化，采用精密技术 AMRs与卫生设计机器人手臂 解决了一个超过1200亿美金的国内自动化问题 差距问题
联合 国家	开放式采集生成器 实际化	NSF/DARPA应资助一项国家级 “长尾拣选挑战”平台 mark, 类似于ImageNet对于 挑选概括，面向公众 数据集，包含10万个以上的真实世界物流 SKU。奖品竞赛有着悠久的历史—— 催化加速了进步，效果显著。 (参照DARPA大挑战) 自动驾驶汽车。
	无人机配送监管 框架	美国联邦航空局应建立一个国家级的无人机交通管理 (UTM) 系统 (无人交通管理) 认证 产业化路径的商业地面 and aerial delivery robots by 2027. Cur- 租金在50个州的分散化 实验室运行模式是主要瓶颈。 到美国无人机配送的规模化。

7.3 医疗保健

行业快照 (2024-2025) : 全球医疗机器人市场规模从2024年的128亿美元增长至2034年预计的540亿美元[69 机器人辅助手术现在已经超过 每年200万例程序 全球范围内，手术机器人市场预计将从2023年的100亿美元增长到2026年超过140亿美元。 67 AI 辅助的机器人手术与人工手术相比，手术时间减少了25%，术中并发症减少了30%。 65]。

7.3.1 当前状态与观察。 医疗保健是机器人应用的最高风险领域，其失败后果以患者死亡率和发病率来衡量。这也是增长最快的领域之一，由三个系统力量驱动：人口老龄化产生更多复杂的外科病例、许多国家医生短缺，以及机器人精准手术在微创手术中的明显优势。

外科机器人：打破Intuitive的垄断 直觉手术公司的达·芬奇系统曾主导外科机器人行业达二十年之久。这种状况正在迅速改变：CMR手术（英国）于2024年底获得FDA对Versius（胆囊切除）的批准；史克玛科正在拓展至肩部和脊柱领域；医疗微器械（MMI）和月手术公司获得了FDA对显微手术和开放手术机器人的授权；Distalmotion、Procept BioRobotics和Virtual Incision的产品均已获批准。 66 竞争推动成本降低，使机器人手术首次可进入门诊手术中心（ASC）和中等医院。

人工智能辅助手术导航 斯特赖克蓝图AI在手术前对患者解剖结构进行建模，以预测植入物配置。直觉案例洞察（达芬奇5）分析已完成手术，为外科医生提供术后性能反馈，并对近期路线图提供实时反馈。 66 智能组织自主机器人（STAR）在软组织手术中展示了优于专家的针尖定位精度——这是首次有记录的机器人超越专家在关键手术指标上的表现。

康复与外骨骼治疗。 可穿戴外骨骼系统（Ek-soNR、Lokomat、ReWalk）在临床验证中被用于中风和脊髓损伤（SCI）的康复。一项随机对照试验表明，与标准疗法相比，12周基于外骨骼的训练显著提高了不完全SCI患者的独立行走能力。 68 Ekso Bionics reports ~ 60%使用EksoNR进行住院康复的脑卒中患者，出院时已达到步行状态。软质外骨骼（哈佛生物设计实验室，麻省理工学院AgeLab）比刚性外骨骼提供了更高的患者舒适度和遵从性——这对于长时间康复治疗至关重要。

医院服务机器人 消毒机器人（Xenex、UVD机器人）、药房处方分发系统（ScriptPro SP 200）、样本运输机器人以及远程咨询用远程呈现系统现已成为领先医院的常规基础设施。

全球范围内。这些服务机器人运作在机器人系统最擅长处理的“验证的、结构化的”环境中——固定的走廊、可预测的互动、清晰的成功标准。

大脑-电脑接口与神经-机器人集成。 国家机器人馆（爱丁堡）和奥地利技术研究院（AIT）正在开发用于中风康复的社会辅助机器人，这些机器人利用脑电图（EEG）神经活动来检测预定动作并提供闭环运动反馈，以解决标准康复计划69%的不完成率问题。 [67]。

7.3.2 医疗领域的技术差距。

1. **触觉反馈在机器人手术中：** 当前手术机器人无法为外科医生提供触觉力反馈，需要视觉补偿。缺乏触觉反馈是自主子任务执行（例如，缝合张力控制）的最大障碍。集成微型力传感器和神经形态触觉显示屏对于下一代系统至关重要。

2. **微纳米机器人医疗系统：** 磁引导微型机器人用于胃肠道导航和靶向药物递送在全球处于3-4级技术成熟度。关键路径是生物相容性封装材料、成像引导控制（MRI兼容的驱动）以及体内导航验证。

3. **养老机器人接受度和安全性：** 陪伴和关怀老年人的人口机器人面临接受障碍（文化、隐私、尊严问题）以及安全挑战（预防跌倒、药物管理、紧急升级）这些问题在当前系统中处理不足。与老年用户和护理者的共同设计至关重要，而不仅仅是事后考虑。

4. **法规通道速度：** FDA 510(k)认证和CE标志对于AI增强型手术机器人的批准通常需要3至5年。对于仅软件更新（新的AI模型）而言，这就在研究能力和临床部署之间造成了一个危险的时间滞后。适应性监管途径（FDA数字健康卓越中心）尚在初期阶段，需要加速推进。

7.3.3 地区建议：医疗保健。

医疗保健展望2035 外科机器人将在2030年达到商品化水平，顶级医院将面临竞争压力，到2033年，成本将降低到社区医院可以承受的水平。下一个前沿是 **认知辅助** 实时引导经验较少的医生完成复杂手术的AI系统，将使全球手术技能普及化。养老护理机器人将按数量计成为最大的医疗机器人领域，这是由每个发达经济体人口老龄化的人口统计学必然性所驱动的。

表10：医疗机器人：区域建议

地区优先机会具体建议		
欧洲	外科机器人出口平台	<p>职位 CMR Surgical (英国) 和急作为安全认证的欧盟新成员</p> <p>AI Act-compliant alternative to US surveillance 医用机器人, 英国国家卫生服务体系, 欧盟医院网络工作场所和新兴市场医院。</p> <p>建立一个专门的“外科机器人”“快速通道”在EMA (欧洲医药管理局) 内药品监管机构) 针对人工智能整合机器人设备。</p>
	老年人护理机器人部署按比例	<p>启动全欧盟“老龄化机器人”项目, 类似于日本的经产省机器人策略, 针对部署目标50万伴侣及ADL辅助</p> <p>机器人将在2030年前进入欧盟养老院。试点在荷兰、德国和斯堪的纳维亚navia 在那里监管信任程度最高。</p>
亚洲 日本	全球养老机器人领导者所有权	<p>日本經濟貿易產業省的機器人戰略與独特的关爱机器人社会接受度</p> <p>在日本文化中, 创造一个独特的社区文化竞争优势。投资50亿+美元</p> <p>开发能够协助的机器人洗澡, 准备餐点, 行动能力协助和认知刺激——</p> <p>并且将这项专业技能出口到韩国rea, 欧盟, 最终中国。</p>
亚洲 (中国/韩国)	外科机器人国内市场	<p>开发和推广中国/韩国认证的手术技术机器人平台以减少依赖</p> <p>在源自美国的直觉手术系统中。</p> <p>微创手术机器人 (Tinavi 医疗) 并且Revo Surgical (中国) 是早期进入需要投资的trants和临床大规模验证</p>
联合 国家	AI增强的外科自主omy研究	<p>NIH 和 NSF 应该资助一个 national program on “Supervised Surgical任务自动化 (缝合、打结) 缝合, 组织解剖 (在手术中) 监督。这是近期最明确的自主应用, 其中人工智能超越人类表现</p>
	微型机器人体内导航tion	<p>DARPA应当资助一个“微机器人医疗”项目。</p> <p>“ical Navigation”挑战主要集中在第一次演示, 磁性引导式微型机器人药物递送</p> <p>大型动物模型将于2028年建立。</p> <p>领先美国在这一临床前边疆</p>

7.4 场地应用：农业、建筑、采矿和检查

行业快照 (2024-2025)： 农业机器人市场预计将从2024年的166.2亿美元增长到2032年的1035亿美元 (年复合增长率25.7%)。 [74]。采矿机器人市场受到自动驾驶矿卡 (力拓皮尔巴拉：世界最大的自动驾驶卡车队；中国的56辆全自动煤卡车车队) 的驱动 [75]。建筑业面临 **454,000工人短缺** 在美国单独到2025年 [76]，产生了对自动化的迫切需求。

7.4.1 当前状态及观察。 场机器人操作在自主系统最具有挑战性的环境中：结构化、GPS削弱、受天气影响、地形多变。其进步速度不及室内机器人，但随着感知系统 (激光雷达、多光谱成像、事件相机) 和人工智能导航向室外条件泛化，发展速度正在迅速提升。

农业：第四次农业革命 七个农业机器人功能性类别已商业活跃：多用途田地平台、收割、机械除草、病虫害控制/化学除草、侦查/监控、移植和疏苗。 [71] 欧洲在农业机器人公司方面领先 (全球已识别公司近50%，主要集中在荷兰、德国和法国)；美国在各国数量上领先 (22%)，集中在加利福尼亚州。 [72]。

主要商业系统包括：碳机器人激光除草机 (D轮融资7000万美元，2024年10月)——一种使用AI视觉进行精准激光脉冲除草，实现0%除草剂使用的自主机器；用于葡萄园和果园的骡子收获辅助机器人；新疆农业无人机用于精准农药喷洒；小型机器人公司每株植物数据收集平台。 [73]。

严重观察： 收获依然是技术挑战最大的领域——软果 (草莓、树莓、番茄) 易受损害，采摘速度必须与或超过人工采摘者以实现经济可行性。迄今为止，还没有任何收获机器人实现针对软果的全面自主商业大规模部署；人机增强方法 (机器人携带，人工采摘) 是实际的短期解决方案。

建设：劳动力短缺推动自动化。 建筑是全球第二大经济体部门，但自动化程度却最低。机器人应用包括：砌砖机器人 (哈德良X, SAM 100)、钢筋绑扎机器人 (TyBot)、混凝土喷涂和3D打印 (ICON, Apis Cor——一个完全功能性的住宅在 < 24小时)，无人机现场勘测，波士顿动力Spot用于每日进度检查。 [76] 领先机器人施工技术与手工方法之间的生产率差距正在迅速缩小，这是由长期劳动力短缺的经济因素推动的。

矿业：规模化自主运输 必和必拓的皮尔巴拉运营拥有可能是世界上商业最成熟的自动驾驶车队；数百辆自动驾驶卡车行驶在数千公里的矿区道路上。中国西北部的一个智能煤炭采矿项目在2024年创下了全球纪录，有56辆自动驾驶卡车与800多辆载人车辆一同运行。 [75]。记录了31起矿难事故

由美国矿山安全与健康管理局 (MSHA) 在2024财年提供的监管动力，正推动通过机器人检查和爆炸无人机将人类从最危险区域移除。

检查与基础设施 无人机和固定式爬行者被商业用于桥梁检查、风力涡轮叶片评估、管道腐蚀检测和输电线路巡逻。全球基础设施检查无人机市场正在增长，其增速为 ~ 20%的复合年增长率，由老旧基础设施的延迟维护积压推动 (美国：26万亿美元基础设施赤字；欧盟：1万亿美元以上)。步行机器人 (Spot) 能够在GPS失效环境中对轮式平台或无人机无法到达的结构进行检查。

7.4.2 农业应用中的技术差距

- 1. 天气的耐久性和户外感知：** 当前基于激光雷达和摄像头的感知系统在雨、雾、尘土和直射阳光下会退化。雷达融合感知和事件相机技术是可靠户外自主研究的关键使能研究。
- 2. 远距离能源自给自足：** 农业机器人覆盖数公顷，全天候运行的采矿卡车，以及覆盖线性基础设施的检查无人机，都要求超越现有电池限制的能量自主性。氢燃料电池、太阳能辅助操作和自主充电站是必不可少的基建投资。
- 3. 软果采摘技巧：** 尚未有任何机器人系统能够达到经济竞争软果采摘的水平。柔顺型握爪设计、用于成熟度估算的RGB-深度视觉以及力控制的机械臂运动规划是所需的技术组合。由LCE驱动的软式抓取器是最有前景的材料方法。
- 4. 地下无GPS导航** 我的隧道、建筑地下室和地下基础设施阻止了移动机器人使用GPS。超宽带 (UWB) 定位、激光雷达SLAM和视觉惯性里程计是当前最先进的技术，但需要进一步进行鲁棒性验证，才能在动态地下环境中全面商业部署。

7.4.3 地区建议：田间应用

未来2035年：场域机器人展望 到2030年，采矿和大规模农业将在田间机器人领域实现最高的自主水平，因为这些环境虽然恶劣，但具有相对可预测的操作结构，适合自动化。由于施工现场和作物的不可减少的变异性，建筑和软果采摘将落后3至5年。贯穿所有田间应用的决定性使能技术是 **多传感器融合，对环境退化具有鲁棒性** —— 制约最具能力的田间机器人进入室外的难题。

表11：区域推荐：场域机器人学

地区优先机会具体建议		
欧洲	可持续精准农业文化	欧盟绿色协议和从农场到餐桌战略制定减少农药使用的法律强制措施到2030年使用50%。设立5亿元的“精准”基金。 “智能机器人”计划部署激光除草机, \ targeted spray drones, and soil health monitoring 监控欧盟农场中的机器人。荷兰-荷兰瓦赫宁根大学和德国 (弗劳恩霍夫协会信息与通信技术研究所) 应起领导作用。
	基础设施检查并且维护	创建一个欧盟“数字基础设施”方案需要进行自动无人机检查的日期所有桥梁、隧道和能源基础设施到2030年, 通过五年滚动周期。这创造了欧洲检验的保障市场 无人机公司 (Flyability, Percepto)。
亚洲 (中国)	农业规模自动化	中国的第十四个五年规划目标为1000+数字农业工厂。优先: 部署自主移栽、除草和单产 它正在大规模的稻田中优化机器人平台小麦种植。中国农业设备水泥制造商 (中联重科、Lovol) 应整合机器人自主模块。
	智能采矿扩展	规模自主装卸从煤炭到煤炭码头采矿 (对...至关重要) EV供应链。发展中国起源自主钻探和爆破机器人减少最危险的人类角色在露天开采作业
亚洲(澳) 澳大利亚 (Aodà 澳大利亚)	采矿自主全球	澳大利亚的皮尔巴拉运营是最成功的先进的自主采矿部署全球盟友。Rio Tinto 和 BHP 应当建立一个开启“采矿机器人联盟”以分享安全数据建立全球认证自主式卡车标准, 类似gous 前往航空安全数据共享。
联合国家	建筑自动化为了回流	美国建筑行业需要2025年仅有454,000多名额外工人。DARPA/NSF应该资助一个自主针对: au-自主钢筋安装, 混凝土模板ing, 干墙安装, 最耗时的劳动高强度建设项目子任务。目标30%。劳动内容在商业承包中的降低建设于2030年。
	野火和灾难再次 response robotics	FEMA和USFS应投资于自主野火遥感监测与扑灭无人机系统tems, 针对年度野火管理无人成本超过4亿美元/年空中系统, 配备热成像和沥青获得防火阻燃品交货正在进行操作准备在TRL 6-7级别部署。

7.5 家庭与服务机器人

行业快照 (2025-2026) : 1X Technologies的NEO已于2026年开始家庭配送，这是第一个真正意义上的通用型仿生机器人，已售给私人客户。80 Tesla于2026年1月在弗里蒙特的Gen 3 Optimus开始批量生产，目标针对消费者销售。~ 2万美元于2027年底 7 7, 78 图3，专为家庭使用“从头开始”设计的，可以折叠衣物和装载洗碗机，但仍需人工干预以恢复错误。80 拟人化市场预计将从2025年的7000万美元增长到2030年的65亿美元，年复合增长率达到138%。4]。

7.5.1 当前状态与观察。 家用机器人技术同时是最受炒作和最具技术挑战性的机器人应用之一。家庭环境是不规则、动态的、有人居住的典型空间，在那里，几乎每个使工厂自动化可行的假设（固定布局、已知物体、可控光照、没有儿童或宠物）都土崩瓦解。尽管如此，到2025-2026年，我们将迎来一个真正的转折点：首次，可信的商业产品将进入消费者家庭。

人形家用机器人时刻。截至2026年3月的关键进展：

- **1X NEO:** 将于2026年送达到私人住宅。人鱼风格移动操作平台，配备两只灵巧的手臂。专注于通过以自我为中心的数据收集和模仿进行任务学习。
- **图03 :** 重新设计适用于Helix VLA型号。2026年初可折叠衣物并装载洗碗机。在新的Bot Q工厂生产。间隙：仍需人工恢复掉落物品和启动周期。80]。
- **特斯拉Optimus Gen 3 :** 大规模生产于2026年1月在弗里蒙特开始。截至2025年第四季度业绩电话会议，马斯克确认“没有Optimus机器人正在工厂中从事有用工作”，该计划“仍在研发阶段。”计划于2027年早些时候开始面向消费者销售。~ \$20,000 [77]。
- **Unitree G1/H2 :** 中国竞争对手追求大规模生产 **工业环境优先** 由于家庭安全标准复杂，目前没有家庭部署的立即计划。50]。
- **HMND 01 (仿人形, 英国) :** 欧洲最具商业化的人形机器人，专为工业环境设计，以安全合规为首要考虑，符合欧盟人工智能法案。

《演示与部署之间的差距》 Rodney Brooks (iRobot/Roomba的联合创始人) 在2025年将Musk家庭机器人的愿景称为“纯粹的幻想思维”，认为“由于家居环境的不可降低的复杂性，机器人缺乏协调能力。”79 诚实的评估是，当前一代家用机器人能在结构化条件下可靠地执行少量特定任务，但在商业推广中所使用的“通用家庭助手”这一框架下，它们相差甚远。关键的研究障碍包括：任务多样性泛化、安全操作。

在儿童/宠物周围，精细操作可变形物体（衣物、食物），以及无需人工干预的可靠故障恢复。

窄型家用机器人：成功故事 当类人生物抢占头条时，窄用途家用机器人 在此细分市场中的实际商业成功包括：Roomba (iRobot) 机器人吸尘器在全球销量超过4000万台；草坪修剪机器人 (Husqvarna Automower、Honda Miimo) 在欧洲和北美成为主流园艺产品；泳池清洁、窗玻璃清洗和管道清理机器人服务于细分但有利可图的领域。这些窄用途机器人可能将继续作为到2030年的主流家用机器人形态，因为它们在一个受限领域内解决了一个明确定义的问题，而不需要通用智能。

陪伴与社交机器人 软银的Pepper (商业成功有限但研究影响显著)、Misty Robotics、Embodied的Moxie (儿童社交学习) 以及ElliQ (直觉机器人，养老护理伴侣) 代表着社交机器人领域。系统综述证实，陪伴机器人可以减少老年人的孤独感并增加他们对养老护理环境的参与度，但用户的接受度高度依赖于文化。 [70]。

7.5.2 家庭服务机器人技术差距

- 1. 泛化家庭操纵：** 折叠随意的衣物，将未知组合的餐具放入洗碗机，根据食谱准备一顿饭——到2026年，每一项单独都是机器人能力的前沿。EgoMimic方法 (从以自我为中心的人类视频中学习) 是实现这一多样性的最有前途、数据效率最高的途径。 [29]。
- 2. 安全操作，适用于儿童和宠物：** ISO关于协作机器人的标准 (ISO/TS 15066) 未涉及无人看护儿童的家庭操作，儿童可能无法预测地与机器人互动。在有意义地面向消费者部署之前，必须制定一个超出工业级力量限制的家庭机器人安全标准。
- 3. 隐私与数据安全：** 通用家用机器人从定义上讲，是人类生活中最私密空间内的全天候视听录制设备。使用类神经形态或压缩VLA模型在设备上进行的推理 (无云端数据传输) 是唯一符合真实用户隐私的架构。这到2026年仍是一个开放的工程挑战。
- 4. 成本-效益比：** 在20,000至30,000美元的价格区间内，当前的人形机器人价格使得对于中等家庭来说，购买回报率的案例变得困难。大量消费者采用的门槛可能是5,000至8,000美元，这需要通过制造规模扩大和执行器价格降低实现3到5倍的降价。
- 5. 可靠的故障恢复：** 家用机器人经常会遇到无法完成或犯错的任务 (溢出、掉落、卡住) 。一种优雅故障恢复协议，能够检测故障、通知用户、请求协助或尝试安全重试，是当前系统中几乎完全缺失的关键能力。

表12：家庭与服务机器人：区域建议

地区优先机会具体建议		
欧洲	法规领导力 家用机器人	<p>欧盟人工智能法案适用于类人机器人。在家庭中，作为高风险人工智能系统。解除 develop 家用机器人安全标准 "dard" 通过扩展ISO/TS 15066 CEN/CENELEC到2028年，包括：op-与儿童和宠物的互动，隐私-保留设备端处理，紧急升级协议，以及安全措施。欧洲公司遵守此规定 标准将拥有全球出口优势 标签</p> <p>养老护理伴侣 机器人</p> <p>欧洲超过1亿人口的地区 65 创造了一个现成的市场。地平线欧-绳子应该资助10个国家级的敬老智能护理机器人部署计划 (2026- 2031年) ，产生真实世界交互所需缩小一般化差距的数据。合作与日本 (经产省) 分享养老机器人护理培训数据双向。</p>
亚洲 日本	伴侣机器人文化 领导力	<p>日本独特的文化接纳 机器人 (概念) 万物有灵 应用于科技 (科技) 是一种结构优势。构建 国家养老陪伴机器人 项目部署100万台</p> <p>The translation is incomplete and seems to have a cut-off. Here is a 三语多文化出口版本 全球市场通过NEDO发展而来 资金。</p>
亚洲 (中国)	大众市场窄住宅 机器人	<p>中国在消费电子产品制造领域处于领先地位。降低制造成本。应用于此。窄用途家庭机器人：先进 智能扫地机器人 (Roborock , Dreame a) 待世界领袖) ，窗户清洁， 洗衣折叠机 (七梦者) \$1,000-\$3,000价格区间 在单任务家用机器人之前提出观点 追求家用通用类人形机器人。</p>
联合 国家	以自我为中心的数据收集 按比例	<p>成立一个国家级“家用机器人学习”基金 数据集”程序：部署1,000数据- 收集同意的美国住宅中的机器人 坚持记录所有ADLs的自恋式视频 超过2年期间。此数据集：analo- 将前往Open X-Embodiment，但在家 环境，将是最有价值的 全球领先的机器人培训资源。 NSF/DARPA与IRB联合资助 视力是恰当的结构。</p> <p>Privacy-preserving on- 设备VLA推断</p> <p>ARPA-E / NSF 应该资助一项国家级的促 语法，压缩，隐私保护 VLA模型可以实现完全嵌入式运行。 边缘计算 (无云依赖) 在家用机器人推理速度 <math>\leq 50</math> 毫秒 延迟) 。这是关键推动者。 消费者对家用AI系统的信任</p>

7.5.3 区域建议：家庭服务机器人。

智能家居机器人展望2035年：通往通用家用机器人的道路是一场长达十年的征程，而非两年产品发布。到2035年的现实场景：**窄用途家用机器人** 真空、草坪修剪、洗衣折叠、窗户清洁是发达经济体的主流产品。**有限的类人形家用助手** 可对早期使用者以10,000-15,000美元的价格销售，可靠地完成5-10个家庭任务。**养老陪伴机器人** 在日本、韩国和北欧，这些措施已在制度层面得到实施。对政策制定者的诚挚建议：现在就大力投资于数据基础设施和安全标准，以确保2030年的实施真正安全可靠，而不仅仅是令人印象深刻的表现。

7.6 领域对比：技术准备和投资优先级

表 13：跨行业机器人成熟度与投资优先级矩阵（2026）

领域 (Field)		成熟度 (Maturity)		投资优先级 (Investment Priority)		挑战 (Challenges)
行业 (Industry)	机器人类型 (Robot Type)	成熟度 (Maturity)	投资优先级 (Investment Priority)	行业 (Industry)	机器人类型 (Robot Type)	挑战 (Challenges)
制造业	协作机器人	8-9	很高	35.2%	VLA 基于的快速任务回放	中小企业配置
制造业	(类人生物)	4-5		138%	灵活的操作技巧	工业速度
物流 (内物流)	gistics (物流学)	8-9	中等	14-20%	长尾采摘不规则	LAR 项目
物流 (最后一公里)	英里 (mile)	5-6	很高	30%+	监管协调	城市导航
Healthcare (surgical)	Healthcare (elderly) 医疗保健 (老人-关爱)	7-8	很高	16%+	触觉反馈和部分自主权	社会责任 + ADL 概括
农业	采矿 7-8 15% 以上	5-6	很高	25.7%	柔软水果采摘敏捷	I'm sorry, the provided text "ity" does not offer enough context to perform
建筑	Home (narrow-目的 (dù mù) 家庭 (rén xíng) 一般 (zh-Hans: 一般)	4-5	很高	20%+	任务多样性在非结构化	已翻网站
		7-8		12%+	扩张	安全, 概括, 成本, 并且隐私
		3-4	中等	138%		

中等

中等

成本降低与功能

8 个交叉战略主题

8.1 数据：最稀缺的资源

与语言AI不同，其中互联网规模的语言语料库是免费可用的，机器人学习需要 *体现的交互数据* 昂贵收藏、硬件特定、标准化困难。开放X-化身[12]证明了在22个实验室中聚合多机器人、多任务数据可以产生超出单一来源数据集的模型。未来五年的紧迫任务是构建：

- **开放数据联盟** 类似于语言领域的Common Crawl，将机构和企业之间的机器人演示数据汇总。
- **合成数据管道** NVIDIA Cosmos, GENESIS生产的光电现实的、在规模上没有硬件成本的物理上可行的演示。
- **数据管理工具** (机器人营销[36], ICRA 2025) 对版本控制和质量保证过滤和在大规模机器人数据集中检索。
- **以自我为中心的视频作为数据来源** (EgoMimic [29[)：人类第一人称视频家庭任务的庞大数据集，可转移给机器人。具有适当跨界架构的政策。

8.2 仿生汇聚赛跑

类人形机器人代表着2025至2035年视野中最具价值和最具风险领域。三种不同的竞争策略正在兴起：

- **美国战略 (软件优先)**：特斯拉Optimus、Figure、Appttronik和1X Technologies优先考虑人工智能政策学习和大规模数据收集，将硬件视为商品。
- **中国策略 (先规模)**：Unitree、Fourier和Agibot优先考虑制造规模和成本降低，以具有价格竞争力的硬件针对工厂地面。
- **欧洲战略 (信任优先)**：Neura Robotics and Humanoid (UK) emphasize compliance with regulations, safety certification, and human-centered design, in line with the EU AI Act [51 , 52].

8.3 可持续性与循环机器人

随着机器人部署扩展至百万级别，生命周期可持续性成为关键的设计限制。研究优先事项包括：

- 生物降解结构材料，用于一次性医用和环境监测机器人 41 高效驱动 (电活性聚合物，LC Es) 以降低电池重量和更换频率。

循环经济框架，针对报废机器人拆解，特别是包含稀土的执行器和磁铁。

8.4 劳动力与社会影响

麦肯锡全球研究院预测，到2030年，全球可能高达3.75亿工人需要转换职业类别，这是由于自动化导致的。机器人社区有责任：

设计人机交互系统，增强而非取代工人（外骨骼辅助物流，协作组装）。

- 投资于与部署并行的再培训生态系统——德国的HTS计划包括这一条明文规定。
- 开发可解释、可审计的人工智能决策系统，以便工人能够有意义的监督和纠正机器人行为。

8.5 地缘政治技术风险

机器人的供应链深受中美技术竞争的直接影响：

中国的镓、锗和稀土加工出口管制（2024-2025）威胁全球电机和传感器供应链 51 • 美国对先进半导体设备的出口管制影响了机器人计算平台。

9个按地区推荐的优先研究事项

9.1 欧洲：2025-2035年优先研究议程

1. **安全VLA针对欧洲工业环境微调** Please provide the English text you would like to be translated into Chinese. → (到2028年7月)：开发由欧盟数据集驱动的汽车、航空航天和食品制造VLA适应性管道，内置人工智能法案合规性检查。联盟：IIT、ETH、Delft大学、INRIA、博世AI。
2. **柔软机器人医疗设备和手术辅助** Please provide the English text you would like to be translated into Chinese. → 到2029年实现7倍增长)：依托IIT的iCub软组织专长和CMR Surgical的平台。优先应用领域：使用LCE和EAP驱动技术的灵活内窥镜、导管机器人和康复外骨骼。
3. **养老服务机器人伴侣** Please provide the English text you would like me to translate into Chinese. → 到2030年实现6)：应对欧洲快速老龄化的人口问题，利用具有社会能力和合法合规的陪伴机器人。优先领域：24种欧盟语言的自然语言理解、生理监测和跌倒预防。
4. **农业和食品链机器人 (TRL 5)** → 截至2030年8月：利用欧洲农业技术集群 (荷兰、德国、法国) 的精准收割、土壤健康监测和温室自动化机器人。
5. **执行器供应链主权** Please provide the English text you would like me to translate into Chinese. → 到2032年 (第6项)：研发欧洲来源的替代稀土依赖型执行器、磁热合金、先进压电陶瓷和合成肌肉纤维复合材料。

9.2 亚洲：优先研究议程 2025-2035

1. **工业仿人操作泛化 (中国、韩国)**：在亚洲制造业数据集上对VLA进行微调，以实现电子、电动汽车电池和半导体生产线上的可靠灵活组装。
2. **养老服务与日常生活活动机器人 (日本、韩国、新加坡)**：提供洗澡协助、餐饮准备和认知刺激的个人护理机器人。关键：在人机交互设计中的文化敏感性和符合国家隐私框架。
3. **微型和纳米机器人医疗系统 (日本、新加坡)**：利用精密制造传统开发磁导航微型机器人，以实现靶向药物递送和微创手术。
4. **多语言多文化VLA模型** 整理大规模亚洲语言条件下的机器人演示数据集，并开发面向中文、日语、韩语和东南亚语言的VLA训练流程。
5. **农业与食品安全 (ASEAN+)**：经济实惠的 (< 1万美元) 用于水稻、棕榈油和水产养殖的收割和监控机器人，专为热带条件和家庭农场规模设计。

9.3 美国：2025-2035年优先研究议程

- 1. 规模化具身基础模型** 继续扩大VLA模型规模（10B+），训练数据（数百万台机器人小时），以及架构创新（谐波推理、世界模型）。国家科学基金会应资助对开放VLA研发的学术计算访问权限。
- 2. 安全关键自主可控技术** DARPA和国防部应资助针对在对抗性环境中运行的自主系统进行正式验证的方法，结合RAIL风格的可达性约束与自适应行为。
- 3. 人机协作科学** 投资于对信任校准、共享心智模型和人类-机器人团队自主水平调整的基础研究，借鉴乔治亚理工学院（CHART）和类似研究中心的经验。
- 4. 开放机器人基础设施** 资助开放平台（ROS 2下一代、OpenVLA扩展、ManiSkill4），以维持美国在制定全球机器人软件标准方面的领导地位。
- 5. 国内执行器制造** 针对精密电机、编码器和伺服系统的国内生产提供类似于CHIPS法案式的激励措施，以降低供应链脆弱性。

10 结论

机器人技术正处于一个转折点。物理人工智能、先进材料和高性能计算的融合正在创造机器人，它们首次能够用自然语言指令在非结构化环境中执行新任务，而不仅仅是受限制环境中的预编程操作。这是一个跳跃性的转变，而不是渐进性的。

2025-2035年这个十年将由三场竞赛定义：

1. **基金会模型赛** 谁构建了最强大、最通用的VLA架构？今天，美国物理智能、谷歌Deep Mind和英伟达处于领先地位。中国的InternVLA生态系统和欧盟资助的合作项目是可信的挑战者。胜者很可能会定义“机器人领域的Android”，即所有应用都基于其构建的基础智能平台。

2. **硬件竞赛** 谁在量产、经济型的人形硬件领域取得成功？中国在制造规模和稀土供应方面领先；美国在动态移动平台方面领先；欧洲在符合安全规范的合作机器人设计方面领先。韩国现代与波士顿动力公司的结合是最具垂直整合性的竞争者。

3. **监管与信任竞赛** 谁制定了机器人认证、部署和管理的标准？欧盟人工智能法案是先行者。美国、中国、日本以及国际标准机构（ISO、IEC）将作出回应，监管框架之间的互操作性将决定全球部署是否可行，或者世界是否会分裂成不兼容的机器人市场。

没有哪个地区能“赢”过机器人技术。最可能的结果，对人类最有益的结果，是一个互补的专业化世界：欧洲机器人以其安全性和以人为本的价值观为特色；亚洲机器人以其规模和成本效率为特色；美国机器人以其智能和自主性为特色。政策制定者和研究人员面临的挑战是构建国际合作框架：数据共享协议、安全标准协调、供应链多样化，防止地缘政治竞争破坏本质上是一项全球性技术。

2035年的机器人将不会是我们今天想象中的机器人。它们会更柔软、更顺从、更善于交谈、更具有感知能力。它们会通过观察人类学习，优雅地失败，并在不确定时寻求帮助。它们将嵌入医院、农场、工厂以及我们的家中。实现这一目标的路线图艰难，但方向是明确的。

致谢

本路线图综合了公开发表的同行评审研究和行业情报。作者感谢ICRA、IROS、RSS、CoRL、NeurIPS和ICML程序委员会对于本分析所依托的研究领域的整理，以及国际机器人联盟提供的年度世界机器人报告。此外，作者在国家级路线图制定工作中，从与众多行业和学术界人士的讨论中受益良多。

参考文献

- 国际机器人联合会 (IFR) *全球机器人报告 2025：工业机器人* . 国际民航组织统计部门，法兰克福，2025年9月。网址：<https://ifr.org>
- [2] 国际机器人联合会 (IFR) 。《2024年世界机器人报告：工业机器人》 国际民航组织统计局，法兰克福，2024年9月。
- [3] 国际机器人联合会 (IFR) 。 *世界机器人研究与开发计划 2025* .IFR 研究委员会，法兰克福，二月五月二〇二五。网址：<https://ifr.org/ifr-press-releases/news/机器人研究-政府项目-亚洲、欧洲和美国-2025>
- [4] ABI Research *全球机器人市场展望2025-2030* ABI Research, Oyster Bay, 纽约州，2025。网址：<https://www.abiresearch.com/blog/global-robotics-market-outlook>
- [5] IMARC集团。 *机器人市场规模、份额及趋势 2025-2033* IMARC集团，2024年。
- [6] 研究和市场/BCC出版公司。 *全球机器人市场：2024-2029* BCC出版公司，马萨诸塞州韦尔斯利，2024年。
- [7] IEEE机器人与自动化学会。《2025年IEEE国际机器人与自动化会议 (ICRA 2025) 论文集》 亚特兰大，乔治亚州，2025年5月19日至23日。IEEE，皮斯卡塔韦，新泽西州。
- [8] IEEE机器人与自动化协会。 *IEEE国际机器人与自动化会议 (ICRA 2024) 论文集* ，横滨，日本，2024年5月13日至17日。IEEE，皮斯卡塔韦，新泽西州。
- [9] 机器人学习研讨会 *第八届机器人学习会议 (CoRL 2024) 论文集* 慕尼黑，德国，2024年11月6日至9日。
- [10] 机器人学习会议 《*第9届机器人学习会议 (CoRL 2025) 论文集*》 首尔，韩国，2025年9月27日至10月2日。
- [11] 神经信息处理系统基金会 *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2024)* ，温哥华，加拿大，十二月2024。
- [12] O'Neill A, Rehman A, Maddukuri A, 等. (开放X-Embodiment协作)。开放X-Embodiment：机器人学习数据集和RT-X模型。在《2024年ICRA会议论文集》 (最佳论文奖)，2024. arXiv:2310.08864.
- [13] K. Black, N. Brown, D. Driess 等。《物理智能》。 π (圆周率) 一个愿景通用机器人控制的语言-动作流模型 技术报告 物理智能，2024年11月。arXiv:2410.24164v1。
- [14] 金明，佩尔茨奇，卡拉梅奇等。OpenVLA：一个开源的视觉-语言-动作模型。在 *CoRL 2024 会议论文集* 慕尼黑，2024。arXiv:2406.09246。

- [15] 八爪鱼模型团队 (D. Ghosh , H. Walke , K. Black等) 。八爪鱼：一个开源通用机器人策略。在 *2024年RSS会议论文集* ，代尔夫特，荷兰，2024。arXiv:2405.12213。
- [16] 刘斯，吴磊，李波，等。RDT-1B：一种用于双臂操作的全局扩散基础模型。 *国际学习表示会议 (ICLR 2025)* 2024年。arXiv:2410.07864。
- [17] 通用人工智能团队。GEN-0：与生理规模相关的具身基础模型。
触控交互 *综合人工智能博客* ，2025年11月。网址：<https://generalistai.com/blog/nov-04-2025-GEN-0>
- [18] 蔡捷，蔡峥，曹佳等 (上海人工智能实验室) 。InternVLA-A1：
统一机器人操作中的理解、生成与行动
arXiv:2601.02456
- 英伟达公司 [19] *Isaac GROOT：人形机器人开发开放平台*
发展技术概览，英伟达，加利福尼亚州圣克拉拉，2025年。arXiv:2503.14734
- [20] 陈克，傅澜，黄达等。基于在线掩码推理的物理感知机器人托盘搬运。在 *2025年ICRA会议论文集* (最佳自动化论文) ，2025年。
- [21] W. Jung, D. Anthony, U. Mishra, N. Arachchige, M. Bronars, D. Xu, S. Kousik. 基于可达性辅助的模仿学习实现安全策略的RAIL。在 *第2025年ICRA会议论文集* ，2025。
- [22] A.J. Miller, F. Yu, M. Brauckmann, F. Farshidian. 在Boston Dynamics Spot上的高性能强化学习策略部署。 *2025年ICRA会议论文集* ，RAI研究院，2025年。
- [23] 王C，阮D，Teh Z，O'Neill C，Odhner L，Whitney P，Estrada M. 适应抓取的气缸式滚轮隔膜夹具。在 *2025年ICRA会议论文集* ，RAI研究院，2025年。
- [24] Y. Shirai, T. Zhao, H. Suh, H. Zhu, X. Ni, J. Wang, M. Simchowit, T. Pang.
与接触丰富的操作中线性反馈控制器的接触平滑相关。
在 *2025年ICRA会议论文集* ，RAI研究院，2025年。
- [25] W. Tang, N. Mankame, M. Fernandez, V. Kojouharov, D. Goldmann. AquaMILR：
机械智能简化了在杂乱环境中对波动机器人的控制
流动环境。 *2025年ICRA会议论文集* 乔治亚理工学院，2025年。
- [26] 张Z., 提奥特拉P.。剩余下降微分动态博弈 (RD3G)：一种
快速约束广义求和博弈的牛顿求解器。 *《ICRA会议论文集》*
2025乔治亚理工学院 ，2025年。
- D. Butterfield, S. Garimella, N. Cheng, L. Gan. MI-HGNN：形态信息化的 [27]异构图神经网络用于腿部机器人接触感知。
2025年ICRA会议论文集 乔治亚理工学院，2025年。
- [28] 徐宇，德弗兰科，帕特尔，尼古莱迪斯 《基于人类感知的协作规划中视野的整合》 *2025年ICRA会议论文集* 南加州大学，2025年。

- [29] S. Kareer , D. Patel , R. Punamiya , P. Mathur , S. Cheng , C. Wang , J. Hoffman , Xu. EgoMimic : 基于自我中心的视频进行模仿学习的扩展。 *程序*
关于ICRA2025乔治亚理工学院, 2025年。
- [30] E. Schneider, D. Wu, D. Das, S. Chernova. CE-MRS : 多机器人系统的对比解释。在 2025年ICRA会议论文集 乔治亚理工学院, 2025年。
- [31] N. Shah, B. Osinski, B. Ichter等. 零样本语义导航的视觉-语言前沿图。在 《2024年ICRA会议论文集》, 2024。
- [32] M. Elnoor, K. Weerakoon, G. Seneviratne 等人. VLM-GroNav : 户外环境中基于物理基础视觉-语言模型的机器人导航。定位。 2025年ICRA会议论文集, 2025。
- [33] J. Hossain, A. Faridee, D. Asher 等人. QuasiNav : 基于约束拟距离强化学习的非对称成本感知导航规划
2025年ICRA会议论文集, 2025。
- [34] 宋子涵, 李晓, 贾斯敏, 等. RoboSpatial : 为机器人二维和三维视觉语言模型教授空间理解。在 2025年CVPR会议论文集, 2025。
- [35] S. Tao, F. Xiang, A. Shukla 等人. ManiSkill3 : 用于可泛化具身人工智能的GPU并行化机器人模拟与渲染。 *arXiv:2410.00425*, 2024。
- [36] 陈克, 付丽, 黄丹, 张宇等. 机器人数据集管理 : Robo-DM。 *arXiv:2505.15558*, 2025。
- [37] R. Firoozi, J. Tucker, S. Tian, A. Majumdar 等人. 机器人领域的基座模型 : 应用、挑战与未来。 《国际机器人研究杂志》 2024. *arXiv:2312.07843*。
- [38] 赖汗, 瓦希德。基于基础模型驱动的机器人 : 全面综述。 *arXiv:2507.10087*, 2025。
- [39] 金宇等. 基础模型时代的机器人学习 : 综述
神经计算, 第638卷, 2025年。
- [40] 刘宇, 陈伟, 白宇, 等. 将网络空间与物理世界对齐 : 一个组合.....
全面调查关于具身人工智能 *IEEE/ASME 机电工程学报*
2025。
- [41] M.J. Sarker等人. 关于生物启发软体机器人近期趋势的综述 :
执行器、控制方法、材料选择、传感器、挑战和未来
前景 *高级智能系统*, 2025. 10.1002/aisy.202400414
- [42] X. 作者等人. 软体机器人领域的进展 : 全面综述
驱动方法08材料与应用 *聚合物*
10.3390/Polym16081087
- [43] Z. 陈等人. 智能材料在软驱动器提升中的应用综述
传感器和机器人应用。 《机械工程学报》
第35卷第1-29页, 2022年。10.1186/s10033-022-00707-2

[44] M. Enyan, Z. Bing 等. 机制、制造、材料和多功能应用的智能材料软驱动器进展：综述 《弹性体与塑料杂志》, 2025. 10.1177/08927057241248028

[45] B. Dong 等人. 生物电子医学中刺激响应材料和软体机器人驱动器的最新进展。《先进材料》, 37:2417325, 2025. 10.1002/adma.202417325

[46] 朱志, 王东, 张明等. 嵌入驱动和传感的多材料3D打印软体机器人。《科学进展》2025. 10.1126/sciadv.adz2928

[47] ICRA 2025研讨会组织者. 迈向敏捷性和鲁棒性：机器人、生物学和智能材料的机械智能。2025年ICRA Atlanta研讨会, 2025年5月。

[48] 第27届国际机器人与自动化会议 (ICRA 2025) 工作坊组织者. 机器人领域的基座模型与神经-符号人工智能, 工作坊将于2025年5月在亚特兰大举行, 作为第27届ICRA 2025的分会场。

[49] 欧洲议会和欧洲联盟理事会. 欧盟议会和理事会颁布的《关于建立人工智能统一规则的条例》(人工智能法案) (EU) 2024/1689 《欧洲联盟官方公报》, 2024年7月。

[50] 六度机器人编辑. 机器人站在十字路口：欧洲下一步必须做什么。《六度机器人简报》, 2025年3月。网址：<https://sixdegreesofrobotics.substack.com/p/robotics-at-a-crossroads-what-europe>

TheHarrison. 欧洲为何可能悄无声息地赢得人形机器人竞赛。 [51] *Next Web (TNW) 下一网*, 2025年8月。网址：<https://thenextweb.com/news/europe-humanoid-robotics-strategy>

[52] 金融界. 自动化革命：欧洲机器人风险投资融资 《全球财经杂志》, 2025. 网址：<https://www.financierworldwide.com/automation-revolution-robotics-vc-funding-in-europe>

36Kr全球. 2025年世界机器人报告发布：中国主导全球 [53] 市场份额 36Kr 英文版, 2025年9月。网址：<https://eu.36kr.com/en/p/3483537185168257>

[54] 汉森机器人. 关于协作机器人如何改变行业的5大洞察。《韩华新闻室》, 2025. 网址：<https://www.hanwha.com/newsroom/news/feature-stories>

[55] R. Shah, A. Doss, N. Lakshmaiya. 人工智能增强协同机器人技术进展：迈向更安全、更智能、以人为本的工业自动化。《机器人与计算机集成制造》2025. 10.1016/j.rcim.2025.xxx

[56] 研究和市场 2025年工业机器人研究报告：从自动化迈向自主化——类人、协作与人工智能驱动机器人重塑制造业 企业新闻稿, 2025年11月。

[57] 洛克韦尔自动化。2025年八大工业自动化趋势。《杂志》，Rockwell Automation，2025。网址：<https://www.rockwellAutomation.com>

[58] 罗伯特尼克。2025年工业机器人的趋势、数字和全球展望
机器人博客，2025年12月。网址：<https://robotnik.eu>

[59] 亚马逊。随着人工智能转型仓储运营，亚马逊机器人突破一百万台。
关于亚马逊新闻，2025年7月。网址：[关于亚马逊](#)

[60] 亚马逊机器人。亚马逊推出全新人工智能基础模型DeepFleet，为其机器人编队提供动力。
关于亚马逊新闻，2025年7月。网址：<https://www.aboutamazon.com/news/operations/amazon-million-robots-ai-foundation-model>

[61] 亚马逊Prime Air。亚马逊MK30无人机发布：凤凰城和科利奇站交付。
关于亚马逊新闻，2024年后期。

[62] 雅各宾杂志。冷静审视亚马逊的自动化驱动。
雅各宾派，2025年12月。网址：<https://jacobin.com/2025/12/amazon-robots-automation-workforce-ai>

自动化推进协会 (A3)。重新构想 [63] 最后一公里：配送机器人的日益重要作用。
Automate.org 博客，2025。网址：<https://www.automate.org/robotics/blogs/reimagining-the-last-mile-the-growing-role-of-delivery-robots>

[64] IDTechEx。物流、仓储和配送领域的移动机器人2024-2044 IDTechEx 研究报告，2024。

[65] J. Wah. 现代医疗保健中机器人技术和人工智能辅助手术的兴起：25项研究的系统回顾
PMJ 2024-2025。网址：<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12181090>

[66] 美国医院协会 (AHA)。今年机器人手术如何改变医疗保健的3种方式。
AHA 健康创新中心市场调研，2025年3月。网址：<https://www.aha.org/aha-center-health-innovation-market-scan>

[67] 世界经济论坛。机器人正在以六种方式改变医疗保健。
WEF 故事，2025年6月。网址：<https://www.weforum.org/stories/2025/06/robots-medical-industry-healthcare>

[68] 约翰霍普金斯专业工程。医疗保健中机器人的未来。
约翰霍普金斯大学EP在线，2025年8月。网址：<https://ep.jhu.edu/news/robots-making-a-difference-in-healthcare>

[69] 机器人明天。机器人应用如何改变医疗保健
制造业效率。
RoboticsTomorrow.com 机器人明天网，2025年8月。

[70] 机器人与人工智能前沿。社论：用于健康的交互式机器人。
关爱与参与。
机器人与人工智能前沿，2025年11月。
10.3389/frobt.2025.1750188

[71] A. Bertoglio, M. Confalonieri等. 59种农业任务用田间机器人的系统综述：应用、趋势和未来方向。 *农业学* , 15(9):2185, MDPI, 2025年9月。10.3390/agronomy15092185

[72] 混合碗。2025年农作物机器人行业概况：映射进展与可能性。 *搅拌碗中心* , 2025年1月。网址：<https://www.mixingbowlhub.com/landscape/the-2025-crop-robotics-landscape>

[73] CREO家族办公室联盟。 *农业机器人：推动第四次农业革命的科技* .CREO报告, 2025。网址：<https://www.creosyndicate.org>

[74] 新鲜咨询公司。农业中的机器人：改变农业未来的面貌。 *新鲜咨询洞察博客* , 2026年1月。网址：<https://www.freshconsulting.com/insights/blog>

Persistence Market Research. 矿山机器人市场规模与增长 [75] 分析, 2025–2033年。 *坚持市场研究* , 2025。网址：<https://www.persistencemarketresearch.com/market-research/mining-robotics-market>

德克萨斯A&M大学/ABC。拥抱建筑机器人： [76] 建筑领域运营的未来。 *德克萨斯A&M工程新闻* , 2025年7月。网址：<https://www.arch.tamu.edu/news/2025/07/12/embracing-construction-robotics>

[77] BotInfo / 有趣的工程。特斯拉Optimus：2025-2026功能及当前限制。 *BotInfo分析* , 2026年2月。网址：<https://botinfo.ai/articles/tesla-optimus>

可信评测。特斯拉机器人在2027年将进入家庭。 *可信评价* , [78] 2026年1月。网址：<http://www.trustedreviews.com>

[79] 维基百科。奥米克隆斯 (机器人) — 维基百科, 免费百科全书。网址：[https://en.wikipedia.org/wiki/Optimus_\(robot\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Optimus_(robot))

[80] Wins Solutions。2025-2026年创新类人机器人：现实还是炒作？ *WinsSolutions.org* *赢索解决方案网* , 2025年12月。网址：<https://www.winssolutions.org/humanoid-robots-2025-2026-reality-hype>

[81] C. Paxton. 2025年ICRA规模更大, 意义更重大。 *《它能够思考通讯》* , 2025年6月。网址：<https://itcantthink.substack.com/p/icra-2025-was-bigger-and-more-serious>

[82] RAI研究院。ICRA 2025出版物综述。 *RAI Institute Blog* , 2025年5月。网址：<https://rai-inst.com/resources/blog/icra-2025-publication-round-up/>

关键术语词汇表

ADL 日常生活活动

人工智能法案 欧盟人工智能法案 (2024)

AMR 自主移动机器人

CAP 共同农业政策 (欧盟)

CAGR - 复合年增长率

CoRL 机器人学习会议

CMDP 约束马尔可夫决策过程

科博特协作机器人

DARPA 美国国防高级研究计划局

DE. 介电弹性体

DLR 德国航空航天中心

DLP (数字光处理)

DIW. 直接墨水书写

国防部 美国国防部

DVS 动态视觉传感器

EAP 电活性聚合物

EPFL (洛桑联邦理工学院)

HRI 人机交互

ICRA IEEE国际机器人与自动化会议

IFR 国际机器人联合会

INRIA. 国家数字科学和技术研究院
(法国)

IROS IEEE/RSJ国际智能机器人与系统会议

印度理工学院 (印度理工学院)

LCE 液晶弹性体

大型语言模型 (LLM)

NeurIPS. 神经信息处理系统大会

NSF 美国国家科学基金会

PVDF 聚偏氟乙烯

RL 强化学习

ROS 机器人操作系统

RSS 机器人学：科学与系统会议

SMA. 形状记忆合金

SPARC 欧洲机器人战略规划

TRL 技术成熟度等级 (1=基础研究 , 9=全面部署)

VLA 愿景-语言-行动模型

VLM 视觉语言模型

XAI 可解释的人工智能

B会议参考指南

表14：引用的主要机器人与人工智能研究场所

缩写 全称	接受率	≈
ICRA IEEE 国际机器人与自动化会议	40-44%	
IROS IEEE/RSJ 国际智能机器人与系统会议	45%	
RSS Robotics: 科学与系统	25-30%	
CoRL 机器人学习研讨会	37-40%	
NeurIPS 神经信息处理系统	25-26%	
ICML 国际机器学习会议	28%	
CVPR IEEE/CVF 计算机视觉与模式识别	26%	

每日免费获取资料

- ☑ 每日微信群内分享7+最新行业报告；
- ☑ 每周分享当周**华尔街日报**、**经济学人**；
- ☑ 行业报告均为公开版，权利归原作者所有，**参一江湖**仅分发做内部学习。

| 行业报告 | 英语外刊 | 行业社群 | 参一江湖 · 聚焦行业前沿



关注公众号
领取粉丝福利