

智能机器人技术产业发展 白皮书

(2023版)

牵头编写单位：中国信息通信研究院

工业互联网产业联盟 (AII)

2023年12月



智能机器人技术产业发展 白皮书 (2023)

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟 (AII)
2023年12月

声 明

本报告所载的材料和信息，包括但不限于文本、图片、数据、观点、建议，不构成法律建议，也不应替代律师意见。本报告所有材料或内容的知识产权归工业互联网产业联盟所有（注明是引自其他方的内容除外），并受法律保护。如需转载，需联系本联盟并获得授权许可。未经授权许可，任何人不得将报告的全部或部分内容以发布、转载、汇编、转让、出售等方式使用，不得将报告的全部或部分内容通过网络方式传播，不得在任何公开场合使用报告内相关描述及相关数据图表。违反上述声明者，本联盟将追究其相关法律责任。

工业互联网产业联盟
Alliance of Industrial Internet

工业互联网产业联盟
联系电话：010-62305887

邮箱：aai@caict.ac.cn

前 言

机器人被誉为“制造业皇冠顶端的明珠”，其研发、制造、应用是衡量一个国家科技创新和高端制造业水平的重要标志。当前新一轮科技革命和产业变革加速演进，新一代信息技术、生物技术、新能源、新材料等与机器人技术深度融合，智能机器人产业迎来升级换代、跨越发展的窗口期。智能机器人集机械学、电子学、计算机科学、控制论、人工智能等多学科知识于一身，具备自主决策、学习和适应能力，在工业、医疗、教育、家政、无人驾驶等领域的应用不断拓展，为人类生活带来便利和效率。

本白皮书就智能机器人的技术产业变革和我国智能机器人产业的未来发展方向展开。通过对智能机器人的场景进行分类，找出各个场景的共性特点，对不同场景的机器人通过对面临问题进行分析得到解决方案进而总结凝练得出共性需求，最终由场景需求引导得出智能机器人的四大功能方向升级。

随后由功能需求牵引，导出智能机器人的技术趋势。总结得到智能机器人技术正迅速向深度智能驱动、高效以虚驭实、泛在敏捷操作及多元感知交互方向演进。以技术框架为指导，识别出智能机器人的产业体系，研判了全球智能机器人前沿产业趋势和我国长短板，对智能机器人的产业变革和我国情况进行研究。最后综合智能机器人的技术和产业趋势，提出政策建议，总结提出我国下一步布局方向。

本研究共得到以下核心观点。技术方面，智能机器人存在深度智能驱动、高效以虚驭实、泛在敏捷操作及多元感知交互的技术趋势。产业方面，智能机器人存在操作系统与平台重要性提升，科技企业话语权增强和产业生态开放化的趋势。

编写组成员（排名不分先后）：

彭连松、韦莎、孙闯、徐浩铭、杨涵、沙宗轩、杜娟、郝诗梦、高凡、滕飞、刘迎，骆曼迪、钟升达、龚正、孙国良、夏丽娇、刘毓炜。

牵头编写单位：

中国信息通信研究院

参与编写单位：

北京航空航天大学

清华大学

北京工业大学

航空工业综合技术研究所

海思半导体有限公司



工业互联网产业联盟公众号

目 录

一、智能机器人行业发展综述	1
(一) 机器人的概念内涵	1
1. 机器人的定义	1
2. 智能机器人的历史沿革	3
3. 机器人的分类	6
(二) 智能机器人的政策布局	8
1. 推动机器人与 AI 等技术融合提升智能水平	8
2. 扶持机器人产业发展打造基础设施	9
3. 推动工业、服务、医疗等领域机器人研究	10
二、智能机器人应用场景与需求分析	12
(一) 智能机器人环境复杂度分析	12
1. 结构化环境	12
2. 非结构化环境	13
3. 应用环境谱系分析	13
(二) 智能机器人自主性分析	15
1. 低自主性智能机器人需求分析	15
2. 高自主性智能机器人需求分析	16
3. 智能机器人功能方向分析	18
三、智能机器人技术分析	20

(一) 智能机器人技术体系	20
(二) 核心技术分析	22
1. 传感层	22
2. 执行层	22
3. 通信层	23
4. 操作平台	24
5. 控制层	25
6. 智能决策层	26
7. 数字孪生层	27
8. 交互层	28
9. 能源层	29
(三) 总体趋势	30
1. 趋势一：深度智能驱动	30
2. 趋势二：高效以虚驭实	31
3. 趋势三：泛在敏捷操作	33
4. 趋势四：多元感知交互	34
四、智能机器人产业分析	35
(一) 全球智能机器人产业概况	35
1. 智能机器人产业规模	35
2. 智能机器人产业体系	36
(二) 智能机器人产业发展趋势	38

1. 产业重点环节分析	38
2. 产业竞争格局变迁	39
3. 产业生态发展趋势	41
(三) 我国智能机器人产业现状与发展趋势	41
(四) 重点企业案例	44
1. 国外典型企业-英特尔	44
2. 国外典型企业-ABB	44
3. 国外典型组织-MassRobotics	45
4. 国内典型企业-达闼	46
5. 国内典型企业-埃斯顿	46
6. 国内典型企业-思岚科技	47
五、智能机器人细分领域发展趋势	48
(一) 工业领域	48
1. 工业机器人概述	48
2. 工业机器人技术趋势	49
3. 工业机器人产业趋势	50
(二) 服务领域	52
1. 服务机器人概述	52
2. 服务机器人技术趋势	53
3. 服务机器人产业趋势	54
(三) 特种领域	55

1. 特种机器人概述	55
2. 特种机器人技术趋势	56
3. 特种机器人产业趋势	57
(四) 人形机器人	58
1. 发展历程.....	58
2. 当前趋势.....	61
3. 国内外产业对比分析	62
4. 我国人形机器人发展态势	64
六、促进智能机器人技术产业发展的相关建议.....	65
(一) 当前现状.....	65
(二) 政策建议.....	67
1. 体系化攻关智能机器人核心技术	68
2. 夯实智能机器人产业基础	69
3. 培育高端智能机器人产品	70
4. 优化智能机器人产业生态	70

一、智能机器人行业发展综述

(一) 机器人的概念内涵

1. 机器人的定义

对于机器人的定义，不同机构给予了不同解释。国际标准化组织（ISO）对机器人的定义为：具有一定程度的自主能力的可编程执行机构，能进行运动、操纵或定位（8373:2021 Robotics – Vocabulary）。而我国发布的国家标准 GB/T 39405-2020，机器人是具有两个或两个以上可编程的轴，以及一定程度的自主能力，可在其环境内运动以执行预定任务的执行机构。

随着多模态感知系统、动力学模型、深度学习、定位导航等智能技术逐步应用于机器人领域，智能机器人则在机器人基础上，具备更强的感知、学习和自主能力，可以适应更复杂的环境和任务需求。权威标准组织对智能机器人的定义尚未形成统一共识，根据科技词典 McGraw-Hill Dictionary of Scientific & Technical Terms 的定义：智能机器人是一种智能机器，可基于编程程序根据传感器的输入信息做出决策与采取行动。根据调研，我们认为在机器人概念的基础上，智能机器人融合智能技术，具有深度感知、智能决策、泛化交互和灵巧执行能力的四大要素。



图 1 智能机器人的核心要素

深度感知: 指机器人具备对周围环境及自身状态的高度敏锐感知能力。通过多模态感知系统, 机器人可以获取视觉、听觉、触觉、力觉等多种信息, 实现对环境的全方位感知。这种能力使机器人能够更好地适应复杂环境, 提高对实际场景的理解和应对能力。

智能决策: 基于深度感知获取的信息, 机器人可以通过先进的算法和机器学习技术进行智能决策。涉及到对大量数据的处理、分析和预测, 使机器人能够在各种情况下做出合理且高效的决策。

泛化交互: 机器人能够与人类及周围环境进行自然、流畅的交互, 这是智能机器人重要的能力之一。通过语音识别、图像识别、情感计算等技术, 机器人可以理解人类的需求和意图, 并以人性化的方式回应。同时, 机器人还能与其他设备、系统进行协同工作, 实现更为广泛的应用。

灵巧执行: 基于智能决策和交互, 机器人能够精确灵活地执行任务。通过动力学模型和控制算法, 机器人可以实现对各种复杂任务的

执行，如抓取、搬运、操纵等。同时，机器人还能根据实际情况对执行策略进行自适应调整，以提高任务完成的效率和稳定性。

这四大要素共同构成了智能机器人的核心竞争力，随着科技的发展和市场的需求，智能机器人应用场景不断扩大，包括制造业、服务业、医疗、教育、家庭等各个方面。这为智能机器人产业提供了广阔的市场空间，也促使智能技术更快地与机器人融合。

综上所述，机器人学已经发展成为一个涉及拓扑学、系统工程、人工智能等多领域交叉的综合型学科。而智能机器人作为机器人技术发展的一个新阶段，涵盖了多个领域的知识体系。在发展过程中，各种学科相互交叉、相互促进，共同推动机器人技术的进步和发展。

2. 智能机器人的历史沿革

智能机器人是一种具有自主感知、学习和决策能力的机器人，它的智能级别通常分为 L0 到 L4 五个等级：

L0: 无智能。机器人完全依赖预设的程序和指令执行任务，没有自主学习和适应能力，完全依赖人为操纵。

L1: 基础智能。机器人具备一定的自主学习能力，可以接受预编程的程序控制，可以识别简单的环境和任务，但决策能力有限。

L2: 中等智能。机器人具有较高的自主学习能力，可以适应复杂的环境和任务，能够自主按程序运行，但在关键时刻仍需要人类干预。

L3: 高度智能。机器人具有很强的自主学习和决策能力，能在复杂环境中执行任务，在特定条件下具备自适应能力，但无法持续自学

习、自优化，在某些情况下仍需要人类辅助。

L4: 超级智能。 机器人具有极高的自主学习和决策能力，能在极端复杂的环境中执行任务，完全替代人类。

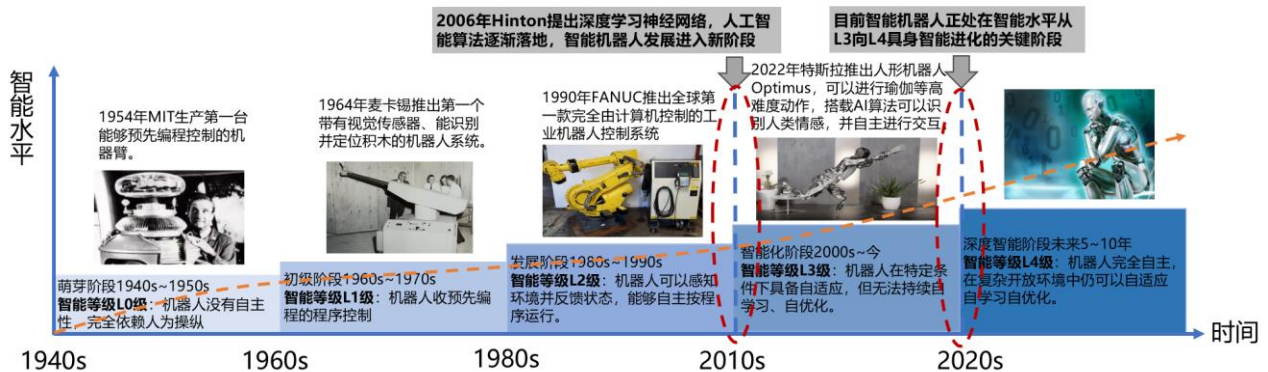


图2 智能机器人发展脉络图

目前市面上的智能机器人大多处于 L1 到 L3 级别，随着技术的不断发展当前智能机器人处在 L3 向 L4 进化的关键阶段。

智能机器人的历史可以追溯到 20 世纪 40 年代至 60 年代，智能机器人处于 L0 级。1956 年，约翰·麦卡锡 (John McCarthy) 提出了“人工智能”这个概念。在这一年里，第一次人工智能会议在加州大学伯克利分校举行。这次会议标志着人工智能领域的正式诞生，也为后来的机器人研究奠定了基础。计算机科学家和工程师开始尝试将机器人和人工智能技术结合起来。例如 1954 年麻省理工学院 (Massachusetts Institute of Technology, MIT) 生产第一台能够预先编程控制的机器臂，具备了机器人的雏形。

20 世纪 60 年代至 80 年代，机器人技术、应用领域和学术研究等方面取得了显著成果。数字传感和控制技术的提升赋予智能机器

人感知和决策能力，智能机器人迈向 L1 级。1964 年麦卡锡推出第一个带有视觉传感器、能识别并定位积木的机器人系统。工业机器人开始在制造业领域广泛应用，如装配、搬运、焊接等。服务机器人慢慢进入人们的视野，1985 年，日本公司 Epson 推出了第一款家庭用机器人“AIBO”。

20 世纪 80 年代至 2010 年代，得益于伺服系统、传感器和人工智能技术的不断发展，机器人能够在各种复杂环境中执行精确的任务。智能机器人迈向 L2 级的标志性的产品是 1990 年 FANUC 推出全球第一款完全由计算机控制的工业机器人控制系统。它们在汽车制造、电子产品组装、化工等领域取代了部分人力，提高了生产效率，降低了劳动成本。在服务领域，家务机器人开始进入市场，如扫地机器人、洗碗机等，帮助人们减轻了家务负担，提高了生活质量。在医疗领域，手术机器人开始投入使用，辅助医生进行精密手术。随着航天技术的发展，机器人开始在太空执行任务，如国际空间站的建设和维护。在服务行业，如酒店、餐厅、银行等。这些机器人能够提供亲切的服务，提高客户体验，节省人力成本。此外，机器人在深海勘探、野外科考、军事战场等方面也发挥了重要作用。

随着 2006 年 Hinton 提出深度学习神经网络，人工智能算法逐渐落地，智能机器人发展进入新阶段，智能机器人逐步迈向 L3 级。特别是 2020 年至 2023 年的短短三年里，智能机器人的更新换代和智能升级进入爆发期。大模型等 AI 赋能技术使机器人具有更强大智能

和类人特征，通用人工智能突破性的进展和成熟技术整合，催生了以波士顿动力的 Altas 和特斯拉的 Optimus 为代表的人形机器人。微软、谷歌、英伟达等科技巨头积极布局智能机器人新市场新赛道，智能机器人迎来风口期和智能水平从 L3 向 L4 进化的关键期。

3. 机器人的分类

国际机器人联盟（IFR）根据应用环境，将机器人分为工业机器人和服务机器人两大类。其中，工业机器人是指应用生产过程和环境的机器人；服务机器人是指除工业机器人以外，用于非制造业并服务于人类的各种机器人，分为个人/家用服务机器人及专业服务机器人。在我国在 2020 年发布的最新标准中，按照应用领域，将机器人分为：工业机器人、个人/家庭服务机器人、公共服务机器人、特种机器人和其他应用机器人五个类别。此外，也可按照运动方式、机械机构类型、编程和控制方式对机器人进行分类。

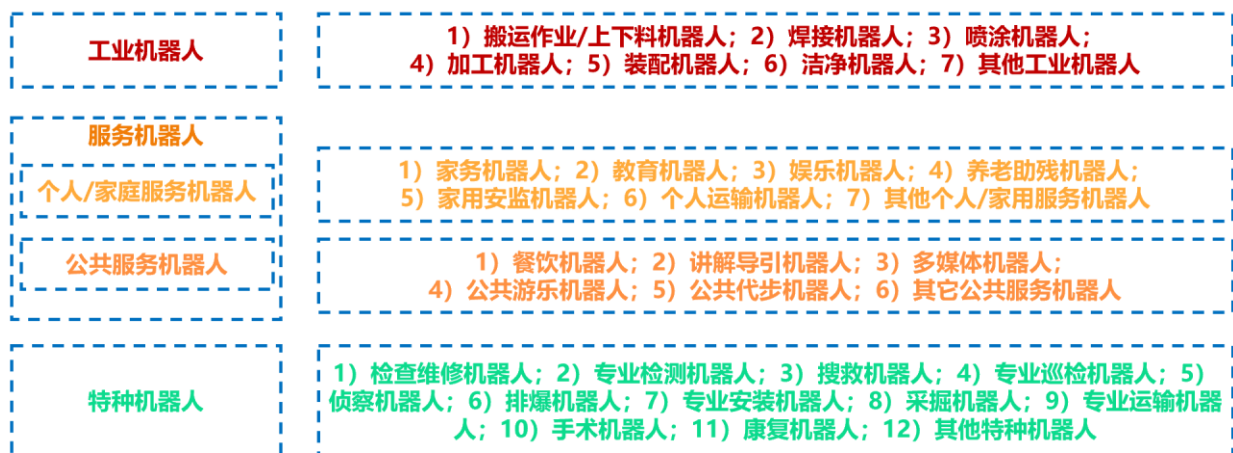


图 3 GB/T 39405-2020 根据应用领域的机器人分类

自 2021 年 6 月 1 日起，我国实施了国家标准《机器人分类》（GB/T 39405-2020），该标准根据应用领域将机器人分为以下几类：

工业机器人：自动控制的、可重复编程、多用途的操作机，可对三个或者三个以上轴进行编程，它可以是固定式或移动式。在工业自动化中使用。按其使用用途可分为：搬运作业/上下料机器人、焊接机器人、喷涂机器人、加工机器人、装配机器人、洁净机器人、其他工业机器人。

个人/家用服务机器人：在家居环境或类似环境下使用的，以满足使用者生活需求为目的的服务机器人。按其使用用途可分为：家务机器人、教育机器人、娱乐机器人、养老助残机器人、家用安监机器人、个人运输机器人、其他个人/家用服务机器人。

公共服务机器人：应用于住宿、餐饮、金融等公共场所，如商场、医院、学校等，为人类提供一般服务，如导览、咨询、安保等服务。按其使用用途可分为：餐饮机器人、讲解导引机器人、多媒体机器人、公共游乐机器人、公共代步机器人、其它公共服务机器人。

特种机器人：应用于专业领域，一般由经过专门培训的人员操作或使用的，辅助和/或替代人执行任务，。这类机器人可以在极端环境下（如高温、高压、辐射等）替代人类完成任务，保障人员安全和提高工作效率。按其使用用途可分为：检查维修机器人、专业检测机器人、搜救机器人、专业巡检机器人、侦察机器人、排爆机器人、专业安装机器人、采掘机器人、专业运输机器人、手术机器人、康复机器

人、其他特种机器人。

其他应用领域机器人：除以上四类应用领域之外的机器人。

由于本白皮书立足于国内智能机器人技术产业发展趋势，故采用国家标准中对机器人的定义和标准，即本课题的研究范围为工业、个人/家庭服务、公共服务、特种等领域最具代表性的机器人。

(二) 智能机器人的政策布局

机器人技术正不断朝着智能化、网络化、自主化的方向发展。智能机器人技术作为衡量一个国家科技发展水平和国民经济现代化、信息化的重要标志，各主要工业国持续推动产业发展，通过顶层战略引导，逐步推动智能机器人技术融合、产业发展、应用创新。

各主要工业国以美国、欧盟、日本、中国为代表，美国重点发展智能技术和与国防等关键领域相关的机器人产业；欧盟重点关注技术创新和机器人产业中的中小初创企业发展；日本着力发展工业领域的应用发展和机器人对劳动力短缺的补充；中国以《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》为引领，大力推广机器人全产业链布局域、关键技术攻关和典型场景应用。

1. 推动机器人与 AI 等技术融合提升智能水平

2020 年 9 月由美国计算机社区联盟（CCC）发布的第四版《机器人路线图：从互联网到机器人》，探讨了架构与设计实现、移动性、抓取与操作感知、规划与控制、学习与适应、多机器人系统、人机交

互等 8 个研究领域的技术发展目标。2023 年 5 月，美国在国家层面发布了《国家人工智能研发战略计划》，明确提出将“开发功能更强大、更可靠的机器人；改进硬件以促进人工智能”列为优先事项。欧盟积极关注 AI 与机器人的集成应用。在《地平线欧洲》工作计划中，欧盟为机器人相关项目提供的资金支持从 2021 年规划的 1.8 亿欧元扩大到了 2.4 亿欧元。

除美国、欧盟外，日本、韩国也都发布了政策文件，进行顶层的战略引领。2022 年 4 月，日本在《人工智能战略 2022》中提出将 AI 技术和机器人技术融合，降低管理成本，提高业务效率。2022 年 3 月，韩国在《2022 年智能机器人实行计划》中提出投资 2440 亿韩元用于制造和服务机器人的研发和推广，计划开发 37 个额外的标准流程模型，推动机器人与 AI、大数据 5G、云等技术融合。

我国积极着眼智能机器人领域发展，分别在 2021 年 10 月、12 月出台《国家标准化发展纲要》、《国家智能制造标准体系建设指南（2021 版）》，强调要加强智能机器人领域关键技术标准研究，推动产业变革。

2. 扶持机器人产业发展打造基础设施

美国在 2023 年 9 月发布的《美国先进机器人制造创新机构》中将在面向任务规划；多机器人-多人协作；制造机器人的人工智能等方向遴选短周期技术项目给予资助。作为欧盟成员国之一的法国颁布《“法国 2030”投资计划》，投资约 58 亿美元支持包括机器人技术

在内的颠覆性技术初创企业。

日本在 2023 年 7 月发布的《日本制造业白皮书》中明确，将工业机器人指定为“特定关键商品”，确保关键商品的稳定供应强化国内生产基础。韩国在 2023 年颁布的《先进机器人监管创新计划》中同样重点关注敏捷性、安全性、协作能力和基础设施的建设。

中国在 2021 年 12 月出台的《“十四五”机器人产业发展规划》中明确，要加快解决技术累计不足、产业基础薄弱、高端供给缺乏等问题，推动智能机器人产业迈向中高端。

3. 推动工业、服务、医疗等领域机器人研究

2021 年美国发布《美国国家机器人计划 3.0》中明确支持机器人领域基础研究，在教育、农业交通、太空医药等领域，每年提供 1.25-1.4 亿美元资助。2022 年 10 月美国发布的《国家先进制造业战略》，将机器人技术与太空增材制造工艺相结合进行深空探索。欧盟各国家也聚焦智能机器人在各领域的广泛应用，法国在 2021 年 10 月出台《法国 2030 投资计划》：投资 8 亿欧元发展机器人产业，制造结合人工智能技术的机器人，投资约 58 亿美元支持包括机器人技术在内的颠覆性技术初创企业。德国颁布的《高科技战略 2025》战略文件明确在 2026 年之前每年提供约 7000 万欧元的资助，推动智能机器人在工业、医疗、物流等领域的应用。2022 年日本颁布的《机器人新战略》中明确重点支持制造业、照护与医疗、基础设施和农业等领域机器人发展。

我国于2021年12月颁布的《“十四五”智能制造发展规划》中已经明确，发展工业机器人等通用智能制造装备、融合数字孪生、人工智能等新技术研发协作机器人、自适应机器人等新型装备。2023年1月出台的《“机器人+”应用行动方案》和同年11月出台的《人形机器人创新发展指导意见》则共同强调了聚焦重点应用领域和人形机器人，突破机器人应用技术及解决方案，推广典型应用场景。

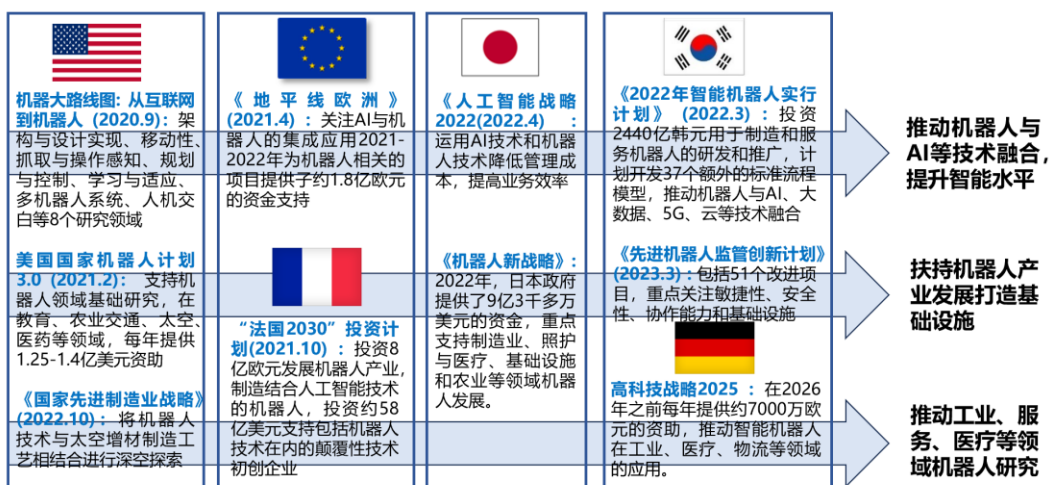


图4 各主要工业国的智能机器人战略布局

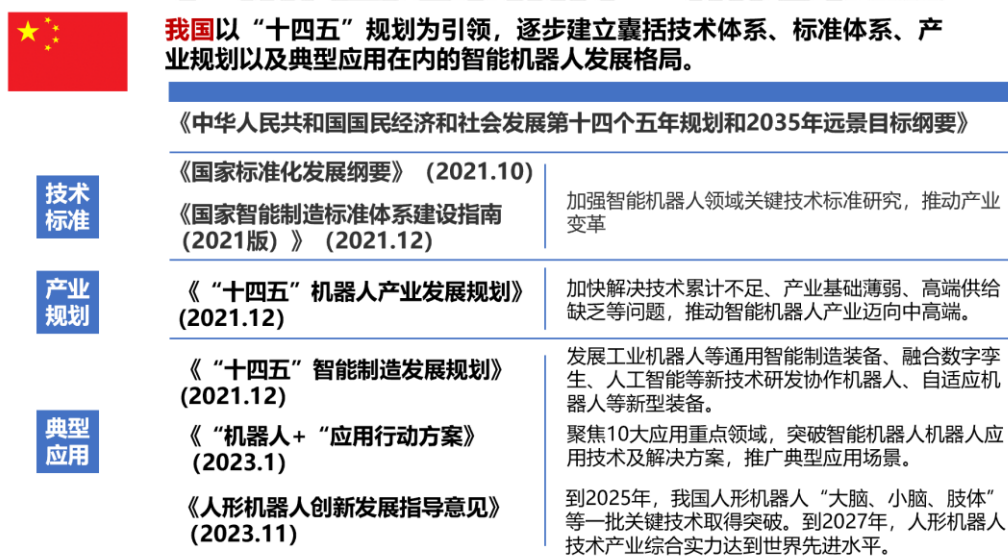


图5 我国的智能机器人发展格局

二、智能机器人应用场景与需求分析

智能机器人在各个领域的应用场景不断拓展。通过对应用场景进行深入分析，可以为智能机器人研发提供有针对性的指导，推动智能机器人技术不断优化和创新，以满足市场和用户的需求。通过深入了解和挖掘应用场景与需求，可以为智能机器人的研发、应用和推广提供有力支持。提取环境复杂度和自主性两个核心因素对智能机器人应用场景进行分类研究。

（一）智能机器人环境复杂度分析

1. 结构化环境

结构化的场景是指具有明确结构和规则的场景，该部分场景中的任务通常具有重复单一、强度大、目标明确等特点。在结构化环境中，机器人通常受到特定设计与编程限制，它们依靠传感器来感知周围的环境，执行预定义的任务。

由于工业生产和制造往往依赖于精确的工艺流程和严格的规范，因此工业场景通常被认为大部分是高度结构化的环境。在大部分工业场景中，设备和机器通常按照特定的布局进行排列，生产线上的工作流程也被精心设计，以最大程度地提高效率和质量。此外，工业场景通常采用先进的监控和自动化技术，以确保操作的一致性和可追溯性。这种结构化环境有助于降低生产中的风险和错误，并为工业企业提供了更好的控制和管理机会，从而推动了工业领域的不断发展和进步。

2. 非结构化环境

非结构化环境指的是那些复杂、多变、难以预测和不受限制的环境，其中机器人需要更高程度的灵活性和适应能力来执行任务，这种情况下低自主性的机器人在面对这类任务时，是难以独自完成任务的。非结构化环境具有多样性、不确定性和动态性的特点，要求机器人能够自主地感知、理解和应对环境中的各种变化。

在服务行业，如餐厅、酒店和零售，以及特殊场景，如紧急救援和自然灾害应对，处置的任务情况常常多种多样，不容易预测和规范。因此，服务和特殊场景大部分被认为是半结构化以及非结构化的。在这些环境中，智能机器人需要具备灵活性、适应性和决策能力，以应对各种情况。与工业环境不同，服务和特殊场景通常需要更多的人际交往和情感智能，以满足客户需求或应对紧急情况。这种非结构化环境的挑战性使得这些领域的智能机器人需要具备多样化的技能和能力，以提供高质量的服务或应对多变的情况。

3. 应用环境谱系分析

通过对工业机器人、服务机器人和特种机器人共计 50 个应用场景的调研，以自主性水平和场景复杂度为思考角度对机器人进行分类和定位，得到了智能机器人的应用分布图，如图 6 所示。

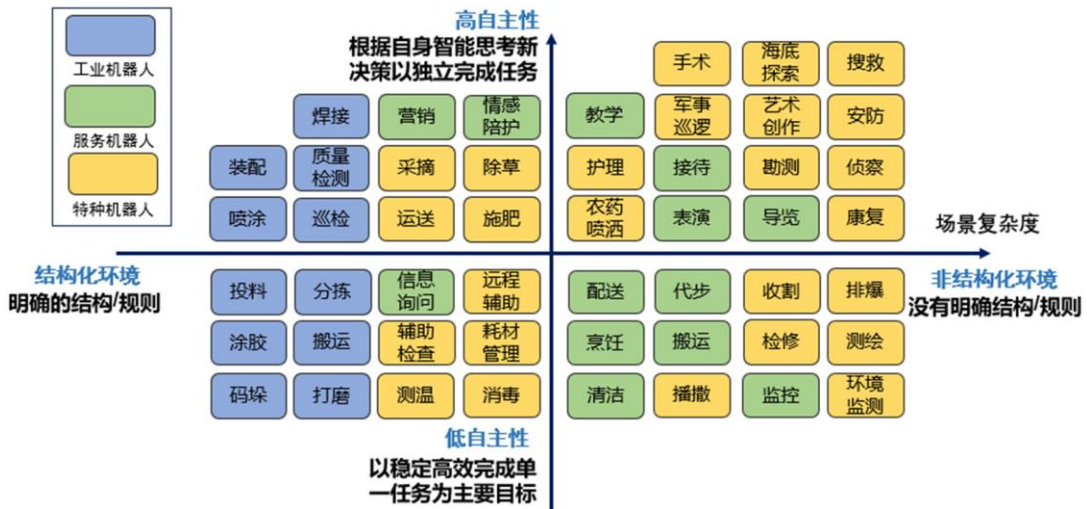


图 6 智能机器人应用分布图

利用横轴与纵轴将机器人根据应用场景复杂度与自主化水平分为四个象限。**第三象限**为低自主性机器人在结构化环境中的应用，**第四象限**为低自主性机器人在非结构化环境中的应用，**第二象限**为高自主性机器人在结构化环境中的应用，**第一象限**为高自主性机器人在非结构化环境中的应用。

其中，低自主性机器人在结构化环境中的应用有：码垛、打磨、测温、消毒、涂胶、搬运、辅助检查、耗材管理、投料、分拣、信息询问和远程辅助。

低自主性机器人在非结构化环境中的应用有：清洁、播撒、监控、环境监测、烹饪、搬运、检修、测绘、配送、代步、收割、排爆。

高自主性机器人在结构化环境中的应用有：喷涂、巡检、运送、施肥、装配、质量检测、采摘、除草、焊接、营销、情感陪护。

高自主性机器人在非结构化环境中的应用有：农药喷洒、表演、

导览、康复、护理、接待、勘测、侦察、教学、军事巡逻、艺术创作、安防、手术、海底探索、搜救。

由于工业场景通常被认为是大部分是高度结构化的环境，工业机器人的应用则集中在分布图的左侧。而服务机器人与特种机器人在各个象限均有所分布，由此可见他们的应用场景更加复杂多样。

(二) 智能机器人自主性分析

1. 低自主性智能机器人需求分析

低自主性智能机器人主要指是一种具有较低程度自主决策和执行任务能力的机器人，具有有限的学习能力和感知能力，以稳定高效完成单一任务为主要目标。

低自主性机器人在结构化场景中的任务单一且确定性强，这种应用场景主要为工业场景，具有任务重复单一，强度大，负载大，对自主性需求低但对性能、稳定性、精确度需求高的特点。

例如对于测温工作来说，特别是针对一些容易在人际间传播的病症，如新型冠状病毒等，部署人力检测是一项成本高、具有一定危险性，但任务重复单一的工作。为了解决这一问题，搭载了医用级热成像精准测温、异常预警、通信等功能模块的测温机器人，可以实现自动化操作、高精度测量、快速响应、全天候检测、数据统计和分析、各种环境适用以及快速部署等功能。测温机器人通过热成像技术可以快速准确地检测人体温度，同时可以实时监测人群中的异常情况并发出预警信号。此外，这些机器人还具有通信功能，可以将测量数

据和预警信息传输给管理人员和医疗机构，以便及时采取措施控制疫情的传播。测温机器人的出现不仅可以提高测温工作的效率和精度，同时也可以降低人力成本和风险。

根据上述的分析，可以总结出在单一结构化场景的智能机器人通常需要具备**精确控制、高稳定和高精度**的需求。

随着部署场景从结构化环境逐渐变为非结构化环境，环境复杂性和任务危险性上升，低自主性智能机器人难以独立完成。因此，低自主机器人在非结构化场景中，需要多个机器人可以相互配合和精确协调，以及更好地应对这些复杂环境，或者通过人机协同，人类操作员可以在远程进行监控和操作，避免人类直接接触危险品，提高任务的成功率和安全性。。

例如对于排爆任务，这是需要拆除炸弹、处理爆炸物品等危险性极高的工作，需要排爆手具备专业技术和心理素质，存在危险性高、技术要求高、任务难度大等任务特点，是一项极具挑战性和危险性的工作。为了降低人员风险，排爆机器人辅助人类完成任务。机器人在此任务中面临场景动态随机、任务目标复杂与单机器难以独立完成等问题。

根据上述的分析，可以总结出低自主机器人在非结构化场景中，产生从稳定完成单一任务到**多机/人机协同**的需求变化。

2. 高自主性智能机器人需求分析

高自主性智能机器人是指一类具有较高程度自主决策和执行任

务能力的机器人。此类机器人能够相对独立地完成各种任务，而无需频繁的人类干预和指导，可以自主学习完成任务的最优策略以及对周围环境的全面感知。

高自主性智能机器人在结构化场景中任务的专业性较强，强调智能机器人自主学习优化的能力。这类机器人的应用场景具有任务遵循相似模式、根据场景智能决策、自主学习最优策略与重复任务的共性特点。

例如焊接机器人，面临焊缝质量差与焊接偏差的问题。这些问题与焊接过程中的电弧稳定性、焊缝跟踪、焊接参数优化等因素密切相关。为了解决这些问题，需要实现焊缝实时跟踪、偏差自主补偿以及精准定位控制。焊接机器人能够根据不同的焊接任务和环境，自主进行学习和调整，以适应各种复杂的焊接条件。通过自主学习，机器人可以不断完善自身的技能和知识，提高焊接质量和效率。精确控制是保证焊接质量的关键因素。在焊接过程中，机器人需要具备高精度的定位和运动控制能力，以确保焊缝的准确性和一致性。通过精确控制，可以减少焊接偏差和缺陷，提高产品的质量和可靠性。高稳定性是保证焊接机器人长时间稳定工作的关键。由于焊接过程容易受到各种干扰因素的影响，如温度变化、电源波动等，因此机器人需要具备强大的抗干扰能力和稳定性。通过提高机器人的稳定性，可以降低故障率和维护成本，提高生产效率。

因此，针对焊接机器人所面临的问题，自主学习、精确控制和高

稳定性是必不可少的。只有实现这些需求，才能使焊接机器人更加智能化、高效化和可靠化，为工业生产带来更多的便利和效益。进一步可以推断出该场景下对机器人的需求包括**自主学习、精确控制和高稳定性**。

高自主性智能机器人在非结构化场景中，自主智能机器人随着环境复杂，还需具备高感知高互动以支持复杂任务。这类机器人的应用场景具有个性化任务、感情陪伴、环境复杂、独立任务、生理极限与危险系数高的共性特点。

例如在现代社会中，越来越多的人感到孤独和寂寞，而陪伴机器人的出现可以为人们提供一个可以交流和分享的伙伴，从而满足人们的情感需求。陪伴机器人可以适应个人需求并提供个性化情感陪伴服务，帮助人们更好地应对生活中的挑战。同时，陪伴机器人也可以作为一种教育和培养意识的工具，帮助人们开阔视野、增加知识储备和提高科学素养。传统机器人面临着表达能力不足、感情分析能力不足等问题，无法胜任陪伴任务。高自主性智能机器人具有基于机器学习的感情分析与自然语言模型，实现情感陪伴、娱乐、辅助记忆、检测健康状态等功能，并提供适应个人需求并提供个性化情感陪伴服务。

根据上述分析，在复杂场景下的高自主性机器人有着**高互动性与高感知能力**的需求。

3. 智能机器人功能方向分析

图 7 为智能机器人场景需求总结及功能方向示意图：**第三象限**对应结构化环境中的低自主机器人，主要需求为准确控制、高稳定性和高精度；**第四象限**对应非结构化环境中的低自主机器人，主要需求为机器协同与人机协同；**第二象限**对应结构化环境中的高自主机器人，主要需求为自主学习与自主优化；**第一象限**对应非结构化环境中的高自主机器人，主要需求为高互动高感知。

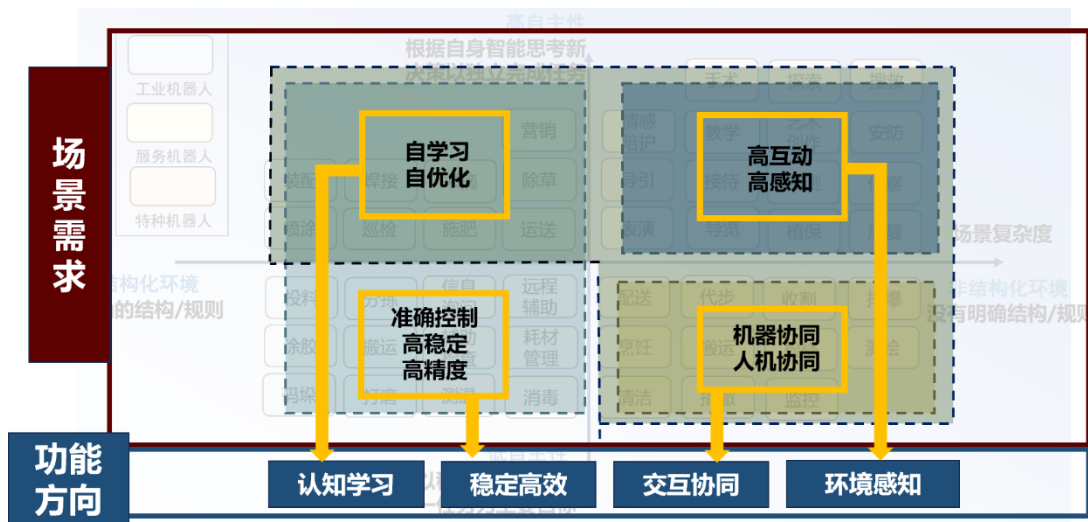


图 7 智能机器人场景需求总结及功能方向示意图

以上四个象限中机器人的功能需求可以概括如下：

结构化环境的低自主性机器人的需求主要集中在能够稳定完成单一重复性任务，需求准确控制、高稳定和高精度。而其他的场景均需要利用机器人的智能，进行任务和环境学习，因此，自主学习自优化的需求覆盖了其他三个象限。而对于非结构环境，如果智能机器人的自主性低，那么会考虑利用机器协同的方式完成复杂任务或辅助人

类工作，高自主性的机器人则不仅要全面感知周围环境，还需要能够与人类友好互动。

根据以上分析，多样化的场景需求引导智能机器人向着**稳定高效、认知学习、交互协同和环境感知**四大功能方向升级。

三、智能机器人技术分析

(一) 智能机器人技术体系

目前智能机器人已经步入了新的发展周期，在稳定高效、认知学习、交互协同和环境感知四大共性功能需求牵引下，随着人工智能、多模态传感和数字孪生等领域的先进技术快速引入和更新，使智能机器人的技术框架大规模扩展升级。

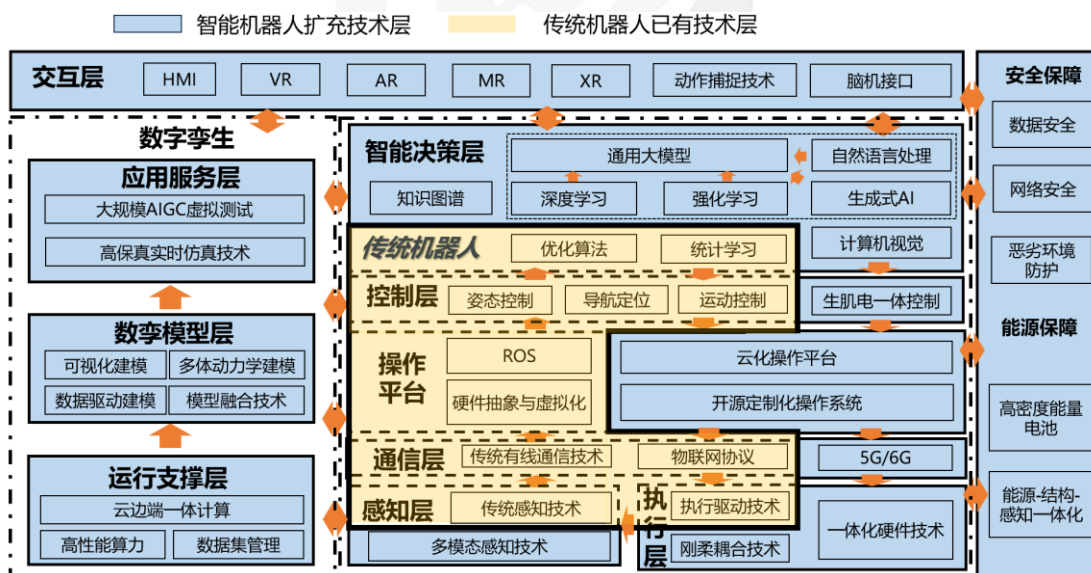


图 8 智能机器人技术框架

传感层: 传统机器人主要依赖基础的感知技术，而现代智能机器人则深度融合了视觉感知与多模态感知技术，为机器人提供更丰富的环境信息。

执行层：除了传统的执行驱动技术，智能机器人进一步引入了柔性技术和一体化硬件技术，这增强了其执行和操作的灵活性。

通信层：与仅使用光纤、蓝牙和物联网协议的传统机器人不同，智能机器人已经成功地应用了 5G/6G 技术，为其提供了更快速和稳定的通信能力。

操作平台：除了传统的 ROS 框架和硬件抽象技术，智能机器人还采用了云操作平台和开源开放操作系统，增强了其软件基础设施的可扩展性和灵活性。

控制层：除了基础的姿态控制和导航定位，智能机器人引入了生肌电一体控制技术，为其提供了更为精确的控制手段。

智能决策层：传统机器人多依赖优化算法和浅层机器学习，但智能机器人则融合了自然语言处理、生成式 AI、深度学习、强化学习、知识图谱和计算机视觉技术，提升其决策的智能度。

数字孪生层：包含运行支撑层、数孪模型层和应用服务层，涉及边缘计算、云计算、高性能计算、分布式存储、机器学习、实时仿真和大数据分析等多种技术，为机器人提供了全面的数字化支持。

交互层：通过 HMI、VR、AR、MR、XR 等技术，智能机器人实现了更为沉浸和自然的用户交互体验。

能源层：在确保功能安全、数据安全和网络安全的基础上，智能机器人还采用了高密度能量电池和高效能源管理技术，为其提供了持久而稳定的能源支持。

(二) 核心技术分析

1. 传感层

传感层是负责获取来自外部环境的信息以支持机器人的决策和行为，是智能机器人感知能力的数据来源。随着深度视觉和多模态融合技术的快速发展，已经逐步实现了机器人的全息智能感知。

3D 传感技术实现机器人深度感知。深度视觉感知可以模拟人类视觉系统，从图像中进行特征提取、识别与分类，其中最新的 3D 传感技术通过 3D 超声波传感器、3D 激光雷达、stereo 立体照相可以实时获取环境物体三维空间信息，实现机器人深度感知。例如 Toposens 开发出基于仿生学原理的 3D 超声波传感器，通过基于声音的三角测量与复杂的噪声过滤软件相结合，精确地检测复杂物体的立体信息。

多传感器、多模态融合实现机器人全息感知。传统的单模态感知中机器人通过单一传感器获取环境信息，而多传感器、多模态融合综合利用不同传感器的信息，可以使机器人更好地理解周围环境并做出相应的反应，提高了物体识别精度和准确性，实现机器人全息感知。例如 robot flesh 具有先进的光电特性，可以通过可拉伸的光导来编码触觉刺激，包括变形、温度、振动和损伤刺激。可以用于创造具有高度逼真触觉反馈的交互式设备。

2. 执行层

执行层是将决策转化为具体的物理元件的指令，以驱动机器人能够完成特定任务。随着柔性技术和一体化硬件技术的发展，已经逐

步实现了机器人的高性能、紧凑化。

柔性技术提升向多任务复杂环境适应性。柔性机器人结合柔性电子、力感知与控制、人工智能技术，获得了力觉、视觉、声音等感知能力，应对多任务的通用性与应对环境变化的自适应性大幅提升，可以提升机器人面对多任务的通用性与应对环境变化的自适应性。例如东南大学开发的软体机器人，通过整合超声波传感器和柔性摩擦电传感器，使其具有远程物体定位和多模态认知能力。

高性能的紧凑型执行器进一步提升机器人性能，降低成本。传统机器人出现伺服电机比机器人尺寸更长时直接影响周边设备动作，将减速器、编码器、力传感器等核心硬件进行一体化设计，不仅使得工作范围更加宽广，也同时提升器件性能，降低成本。例如 Nabtesco 开发出 AF 系列紧凑型执行器，使用了 AF 系列紧凑型执行器的机器人相较于传统机器人有以下优势：节省空间 30%，性能提升，无需密封设计。

3. 通信层

通信层是实现机器人设备与控制系统以及智能机器人对外交互的关键部分，当前正在向低时延高带宽的自组织网络发展。无线通信包含 WiFi、5G/6G 等技术，大量应用机器人内部、机器人与云端以及人机交互领域。

低时延高带宽通信提升机器人性能与效率。传统通信方式传输效率低，难以实现无缝的远程交互和数字孪生系统的参数同步，新兴

无线通信方式为大带宽、低延迟和高吞吐量的数据传输基础提供了可能，实现机器人内部数据的传输和对外数据共享，促进了机器人与人类和其他机器的互动与协作，有效提升数据传输效率，提升机器人性能与效率。例如 Halma 公司以约 4,700 万美元现金收购了水下机器人开发商 Deep Trekker，其 Bridge 技术可提供几乎零延迟的水下无线通信。沃达丰与韩国现代机器人公司合作开发 5G 服务机器人，将在医院、酒店、餐馆和护理机构应用。

自组织网络保证机器人高效协同控制。无线通信包含 WiFi、5G/6G 等技术，通过自组网技术可实现多机之间的信息的快速传递共享，同时自组网能够及时感知网络变化，自动配置或重构网络，保证数据链路的实时连通，保证机器人高效协同控制，具有高度的自治性和自适应能力。例如大疆 RoboMaster TT 编队飞行套装机身内置高性能 Wi-Fi 模块，通过针对性设计的通信网络，无需路由器和额外设备即可实现无人机自行智能组网。

4. 操作平台

在操作平台，机器人本机及集群控制，能够让机器人系统所有资源最大限度地发挥作用，当前正在向标准化和智能上云的方向发展。生机电一体化技术可实现更优的人机交互性，以及人体与机器人更好的相容性，已经应用到仿生机器人、医疗康复机器人等制造领域。

机器人操作系统走向统一化标准化开发。不同行业应用对于机器人操作系统存在共性及差异性需求。中间件处于应用和操作系统

之间，提供标准接口、协议、数据与服务管理等机器人基础通用功能模块。由于机器人产业的增长，对底层服务能力的需求已趋于统一化与标准化。例如 ROS-2 在 ROS（机器人操作系统）的基础上发展而来，增加了稳定性、生命周期管理、多机协同及加密等功能。AMD 推出专为机器人设计的 Kria KR260，支持本机 ROS 2，便于机器人功能开发。

智慧上云降低了机器人集群部署成本。完成复杂功能所需的算力成为了智慧机器人大量部署的瓶颈，通过将算力集中到云平台可降低成本，促进知识融合和智能发展。例如亚马逊 RobotMaker 将机器人需要的资源密集型计算流程转移到云端，从而释放本地计算资源，降低智能机器人大量部署的成本。

5. 控制层

在控制层，管理和执行机器人的各种动作和行为，包括运动逻辑和序列的生成，是智能机器人指令执行的重要中间环节。随着生机电一体化控制技术的大幅提高，机器人控制效率与精度也得以提升。

传感-智能-驱动闭环实现机器人灵敏运动。具有单一功能的类生命机器人难以和人类、环境交互，在具有传感-智能-驱动闭环生命系统中，智能单元的神经细胞将在生理上连接传感单元和驱动单元，闭环实现机器人灵敏运动，生机电一体化技术可实现更优的人机交互性，以及人体与机器人更好的相容性。例如 Optimus 机器人通过神经网络获得机器人周围环境良好的体积深度渲染；机器人进行了重

新训练，使其满足人形机器人对维持平衡、步态规划与控制等特有的需求。

运动意图识别和神经反馈提升使用便捷性。基于生机电融合技术制造的康复机器人可感知人体的脑电、肌电、力位等信息，从而判断人体的运动意图，能够更加智能化的帮助残疾患者、术后康复患者、年老体弱患者实现康复，提升使用便捷性。基于神经反馈的康复机器人。例如 MIT 研发的 MIT-MANUS 可以辅助或阻碍手臂的平面运动，精确测量手臂的平面运动参数，并通过计算机界面为用户提供视觉反馈。

6. 智能决策层

智能决策层是智能机器人的大脑，使机器人能够适应和理解复杂的环境进行自主决策，并与人类和其他机器进行交互，完成复杂任务需求。通用人工智能作为远景目标和生成式 AI 处于萌芽期，在行业的具体应用处于初步实现期，智能机器人正在快速走向认知智能。

生成式 AI 辅助精准规划决策。传统 AI 难以实现内容的创新，生成式 AI 生成合成数据，用于训练用于路径规划的机器学习模型，以快速学习和适应新的环境和情况，辅助精准规划决策。例如微软将 ChatGPT 植入机器人，通过语言直观地控制机器人手臂、无人机和家庭助理机器人等多个平台。

通用人工智能提升机器人任务泛化性。通用人工智能具有跨领域的通用性和综合思维能力，体现了人工智能算法的广度，是具备与

人类智能相当水平和通用性质的智能系统，提升机器人任务泛用性。例如 DeepMind 新发表 RT-2 是一种视觉-语言-行动模型，使机器人辨识视觉和语言，解释指令并推断哪些物体最符合要求。

专用人工智能提升机器人任务专业性。专用人工智能专注于解决特殊复杂任务的能力，体现了人工智能算法的深度，提供了“机器人+场景”模式的技术基础，提升机器人任务专业性。例如谷歌研究利用机器学习提升机器人穿越复杂越野环境的能力，根据感知的语义决定运动技能，包括机器人的速度和步态。

7. 数字孪生层

数字孪生层基于高保真智能机器人的数字孪生体实现智能机器人的无痛设计，离线编程与高效部署，实现机器人的高效部署和全生命周期精准映射，实现全生命周期的多维属性，实现监控、仿真、预测、优化等实际功能和应用需求。数字孪生层包括边缘计算、云计算在内的海量实时数据汇聚、分析和处理技术，基于知识和数据驱动的多类型，多尺度模型搭建与深度集成技术，和应用服务与运行管理中的基于实时仿真和虚拟测试等技术。

基于数字孪生实现机器人的高效部署和快速应用。传统机器人部署需进行大量调试装配，通过数字孪生技术创造一个数字化的反馈循环，实时模拟和优化其操作，加速了机器人的部署和应用过程，还确保其在复杂环境中具备更高的适应性和准确性，实现机器人的高效部署和快速应用。例如 ABB 的新款五轴机器人 IRB 365 通过使

用数字孪生技术，可以在几小时内集成到包装生产线中。英伟达发布 Isaac Sim 机器人平台，训练机器人可以通过数字孪生完成，将数据上传到实体机器人，再进行全面训练。

基于数字孪生实现机器人全生命周期精准映射与高效管理。基于高保真模型和实时数据同步，机器人的数字孪生体提供了一个全面、实时、动态的视图，可以在机器人设计到退役的整个生命周期中，对机器人物理本体进行高精度数字化映射，实现全生命周期精准映射与高效管理。例如 PTC 公司推出 ThingWorx 智能数字孪生平台，可自动学习机器人运行状态并自主生成预测结果。Fanuc 推出全生命周期的数字孪生功能，包括数字化设计、加工和运维，提升设计、生产、维护效率等。

8. 交互层

交互层负责实现机器人与人类用户、其他机器人或外部系统之间的有效互动和通信，使机器人协同增强，以及更具社交性。随着虚拟现实交互，脑机接口技术的发展，正在逐步实现人机的多样化交互。

多模态、多样化交互技术提升人机交互灵活性和自然性。传统图形界面/触摸屏操作繁琐复杂，多模态、多样化交互技术更加开放自由、更接近人们日常生活的交流方式，提升人机交互灵活性和自然性。例如 Microchip 开发基于电场感应的 3D 手势识别技术，当手部在空间中运动时会使电场发生畸变，电极接收器会感应到变化，机器人识别手势并作出反应。

混合模式脑机接口使人机深度融合。传统的脑机接口通过脑电信号控制外部设备，不能关联解释人的大脑信号与表情动作，脑机接口技术可用于神经康复、深化对大脑的理解，脑电信号、肌电信号、眼电信号的混合接口模式可以提高机器人的选择正确率，使人机深度融合。例如美国麻省理工学院利用脑电信号和肌电信号来实时监督纠正机器人的动作，可以使得机器人的目标选择正确率达到70%~97%。

9. 能源层

能源层是智能机器人运行和执行任务的基础，新能源技术进步以及智能能源管理系统提升智能机器人执行任务效率，提升智能机器人能源效率和可持续性。智能机器人能源领域技术进展集中在电池技术创新和智能能源管理系统。

高密度能量电池容量提升增强机器人行动能力。新材料提供更大的存储能量，三元锂电池和磷酸铁锂电池是行业主流，更高容量的电池支持智能机器人搭载更多耗能负载，扩展机器人功能和应用场景，提升增强机器人行动能力。例如宁德时代采用三元锂电池技术，麒麟电池系统能量密度可达255Wh/kg，电池搭载到特斯拉电动车上。比亚迪主要采用磷酸铁锂电池技术，并优化结构实现更高的安全性。

智能能源管理系统优化能源消耗。智能能源管理系统可减少不必要的浪费和能源损失，优化能源消耗。通过精确监控和控制能源使用，提高效益延长能源消耗时间，提升智能机器人执行任务的时长。

结合机器学习算法，提供自动化控制和能源的动态输出，降低人为干预。例如特斯拉 Model S 使用了 18650 电芯，其能源管理系统采用主从架构，分别负责状态检测和温度检测。宁德时代的智管理技术提供实时监控和参数优化，进行残值评估。优化能源消耗，延长使用时间。

(三) 总体趋势

智能机器人技术正迅速向深度智能驱动、高效以虚驭实、泛在敏捷操作及多元感知交互方向演进。

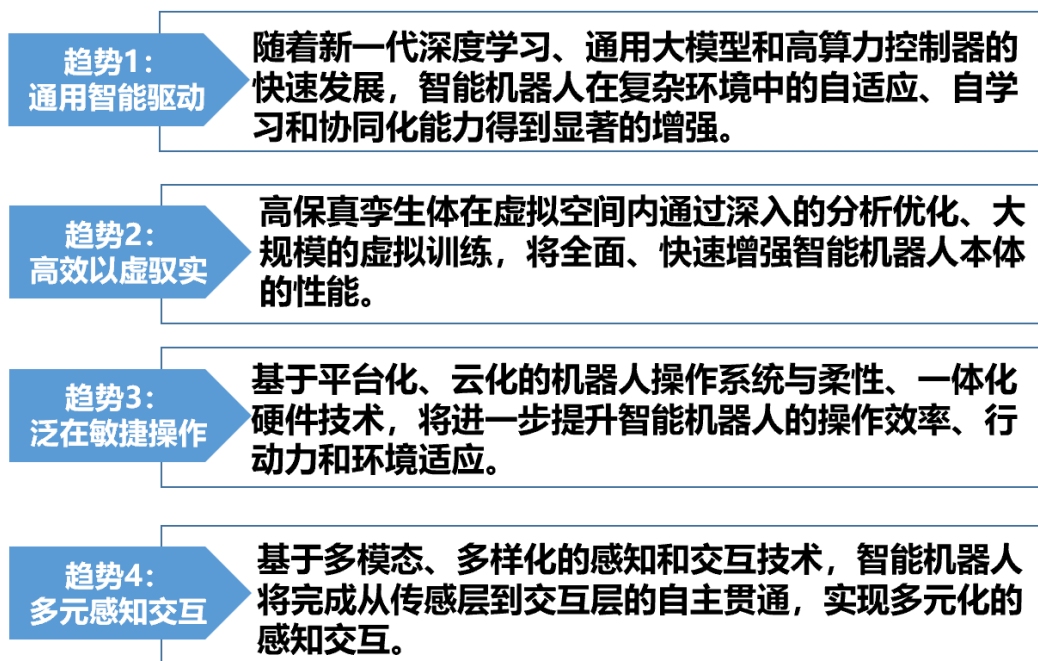


图 9 智能机器人技术趋势

1. 趋势一：深度智能驱动

趋势一是深度智能驱动。随着新一代人工智能技术的快速发展，智能机器人在复杂环境中的自适应、自学习和协同化能力得到显著的增强。深度智能驱动使机器人具备更高智能水平，能够自主适应更

加复杂场景和高难度任务。深度智能驱动包括可以实现单体智能提升的新一代深度学习技术，和可以实现集群智能协同的智能协同算法。

新一代深度学习和强化学习架构实现机器人性能飞跃。基于深度学习和强化学习架构，智能机器人的单体智能得以大大提升。迪士尼公司利用新一代深度学习流程，大幅高了双足智能机器人的对于情感的感知和表达能力；清华大学通过采用新一代深度学习架构，大幅提升了四足仿生机器人的爬坡能力；腾讯 Robotics X 实验室引入深度学习等前沿算法，提升机器人的灵巧操作能力和解决复杂问题的能力。

群体智能推动集群机器人向自治自组织的协同化发展。基于智能协同算法，智能机器人可以实现集群智能协同。谷歌 DeepMind 团队及其他 33 个研究机构共同发起的项目，能够实现与不同类型的物理机器人协同运作，成功执行多种任务。浙江大学构建机器人蜂群，在非结构化环境中进行独立思考和自主导航飞行。哈工程基于“人工智能+海洋无人系统”实现海洋机器人集群智能协同。

通过挖掘和扩展人工智能算法在智能机器人领域应用的广度和深度，使智能机器人具备先进智能决策功能，实现机器人自主学习以及逻辑推理。研究开发适应不同复杂任务和情景的人工智能算法是当前的研究热点。

2. 趋势二：高效以虚驭实

趋势二是高效以虚驭实。高保真孪生体在虚拟空间内通过深入的分析优化、大规模的虚拟训练，将全面、快速增强智能机器人本体的性能。高效以虚驭实将大幅提升智能机器人训练效果与泛化能力。高效以虚驭实包括可以实现性能提升、能力泛化的大规模虚拟训练，和可以实现高效部署与管理的数字孪生。

大规模虚拟测试极大提升机器人实体性能与泛化能力。基于AIGC大规模虚拟仿真和真实数据的校准补充，使机器人开发和训练效果大幅提升。典型代表有如特斯拉，实现3500万的自由度支持机器人控制逻辑的训练；北京大学包含133类5355个物体的132万抓取数据；谷歌自行创建10,000个衍生数据库；DeepMind模拟机器人臂的数百万条轨迹；Inter通过ART-TEP将仿真训练/测试和现场训练/测试有机地结合在一起。

数字孪生实现高效部署和全生命周期管理。基于高保真数字孪生体实现机器人无痛设计，离线编程与高效部署，实现全生命周期监控、仿真、预测、优化等。例如ABB的新款五轴机器人IRB 365通过使用数字孪生技术，可以在几小时内集成到包装生产线中。Fanuc推出全生命周期的数字孪生功能，包括数字化设计、加工和运维，提升设计、生产、维护效率等。英伟达、PTC和达索等纷纷推出数字孪生系统平台帮助机器人自动学习运行状态并自主生成预测和诊断结果。

利用数字孪生构建智能机器人的虚拟对象，通过网络通信连接

物理和虚拟世界，实现智能机器人在开发和训练阶段的虚实融合功能，能够高效低成本高可靠的方式推动智能机器人技术迭代。

3. 趋势三：泛在敏捷操作

趋势三是泛在敏捷操作。机器人操作系统迈向模块化和平台化，并逐步与云端整合，泛在敏捷操作将进一步拓展智能机器人的应用领域，催生开放性、标准化和模块化的机器人操作平台，支持定制化便捷开发。泛在敏捷操作包括可以实现开放互联操作的云端操作平台，和可以实现便捷开发定制化的模块化定制化系统。

开放式泛在操作平台：全球主要机器人企业的持续发力集成感知、互联、模块化和开放性于一体的机器人操作与计算环境，云端操作系统成为泛在操作系统参考模式。例如四大家族中 Fanuc 和 KUKA，科技企业巨头微软、亚马逊及英伟达，软银，优傲等均推出机器人开放式开发平台。达闼机器人云端操作系统海睿 OS 作为泛在操作系统 UOS 参考实现之一，已与国内上百家机器人公司合作，为整个智能机器人行业提供了自主可控开放平台、统一接口标准环境。科大讯飞发布的 AIBOT 机器人超脑平台，如今已有多个领域的 372 家企业的开发者在使用。

模块化系统功能设计：各个功能组件可以独立进行升级、更换或扩展，从而提高机器人的灵活性和可定制性。AMD 推出专为机器人和多种工业应用设计的 Kria KR260，支持本机 ROS 2，便于机器人专家和软件开发人员进行开发。据 ROS 统计，其在线库中已经有超

过 2000 个可重用的模块和包，为开发者提供了丰富的资源。

泛在操作系统(UOS)基于泛在计算思想，是传统操作系统的扩展。它为泛在化资源管理和应用开发而设计，不仅具备感知、互联、轻量化计算与认知、自然交互等特征，还突出了模块化设计，使得功能可以灵活组合和拓展。

4. 趋势四：多元感知交互

趋势四是多元感知交互。基于多模态、多样化的感知和交互技术，智能机器人将完成从传感层到交互层的自主贯通，实现多元化的感知交互。多元感知交互打通了从传感层到交互层的智能机器人完整数据架构，实现了广泛的感知与多样的交互。多元感知交互包括可以实现全息感知、全面理解的多模态感知融合技术，和可以实现高效沟通、自然交互的多样化交互技术。

融合多维环境数据，实现从对环境的“感知”到“理解”的变化。特斯拉 FSD 视觉感知神经网络实现空间内的未知障碍物识别，UCLA 实现多目立体视觉和复杂环境多视角分析，商汤基于 UniAD 通用大模型实现感知、跟踪和建图、轨迹预测深度整合，腾讯将触觉传感融入机器人，通过感受外界的接触信息感知和识别物体，Stretch 通过多维环境数据感知，实现多物体的智能辨识和分析。中国科学技术大学发布首个高空作业机器人多模态感知 USTC FLICAR 数据集。

人机友好交互结合智能机器人感知现实世界实现个性化服务。OpenAI 支持的 Neo 机器人支持用户通过 VR 方式与其交互，

Microchip 开发基于电场感应的 3D 手势识别技术，MIT 提出了基于脑电信号和肌电信号（脑机接口）的人机交互方案利用脑电信号和肌电信号来实时监督纠正机器人的动作。

通过融合自然语言大模型与多模态感知技术，智能机器人对外界实现了全面且深入的理解，从而增强了感知能力和人机交互体验。

四、智能机器人产业分析

（一）全球智能机器人产业概况

1. 智能机器人产业规模

近年来，随着科技的飞速发展，机器人产业在全球得到了广泛关注。在各国政策的大力支持和市场需求的双重推动下，智能机器人产业迎来了一个黄金发展期。而人口老龄化、疫情流行等因素与旺盛的需求叠加，推动全球智能机器人市场规模持续走高。

2022 年，全球智能机器人市场规模超过 500 亿美元，预计在 2024 年将超过 660 亿美元。尽管市场规模持续扩大，但增速有所回落，2021 年全球市场增速超过 20%，预计今年将回落至 15% 左右，如图 10 所示。

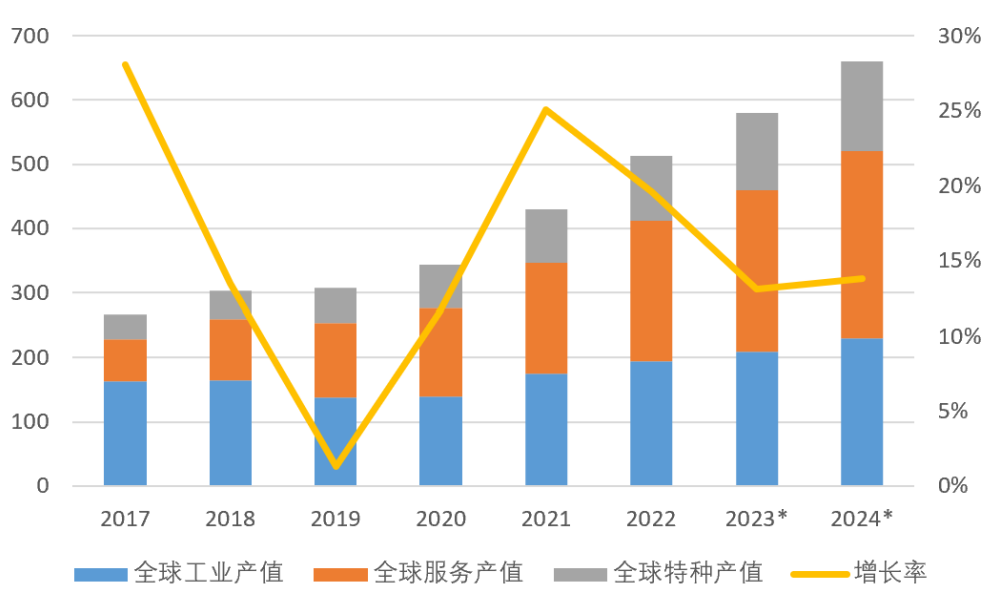


图 10 智能机器人全球市场规模（资料来源：IFR，中国信通院、电子学会）

从应用领域来看，工业机器人、服务机器人和特种机器人市场规模均呈现出增长的态势。其中，服务机器人则在医疗、养老、教育等领域发挥越来越重要的作用，需求不断扩大，市场占比最高。在 2019 年服务和特种机器人占比在首次超过工业机器人，到 2024 年服务与特种机器人占比将达到 65%。

2. 智能机器人产业体系

机器人产业体系是一个涵盖上中下游的完整产业链，包括核心零部件、软件开发、本体制造、系统集成等多个环节。产业链上游包括核心零部件制造商和应用软件提供商。产业链中游为本体制造商，这一环节的企业主要负责机器人的研发、设计和生产。产业链下游是系统集成商，主要负责根据客户需求，将本体制造商生产的机器人与各类设备进行集成，形成完整的自动化生产线或解决方案。随着技术

进步与市场需求叠加，围绕智能机器人形成了新产业环节，如图 11 的智能技术解决方案、新兴服务等，成为产业体系重要组成部分。

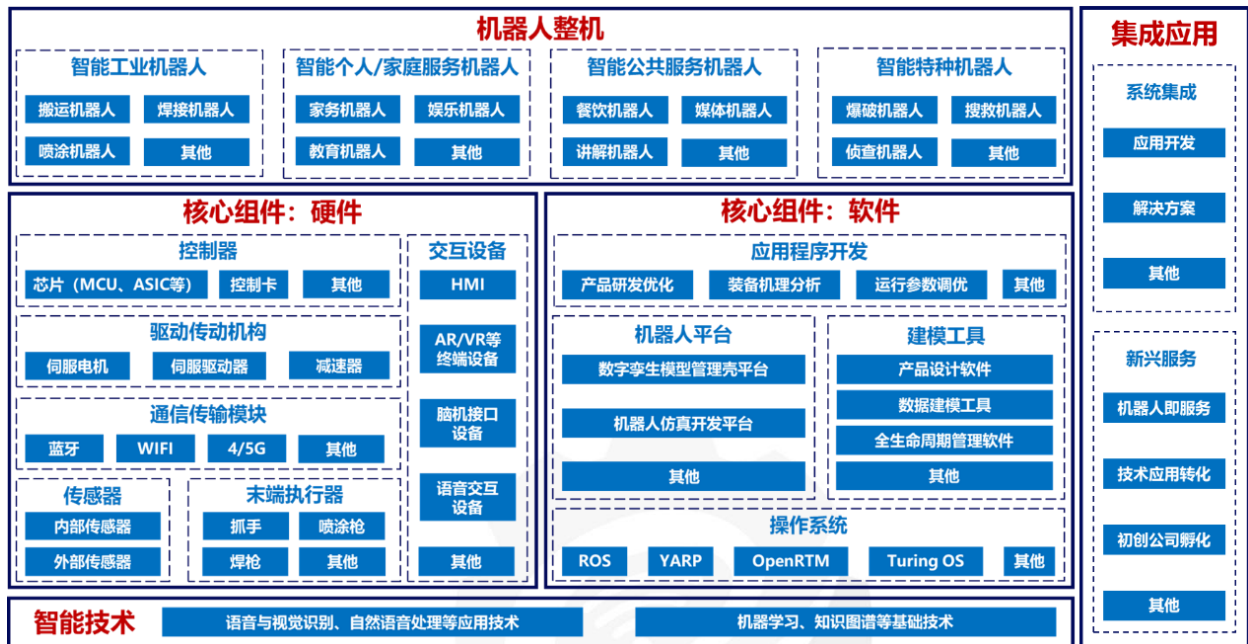


图 11 智能机器人产业体系

当前产业主体和参与者发生了明显的变化，形成了全新的产业图谱，如图 12。在早期阶段，主要由传统机器人制造企业和技术研究机构参与。然而，随着技术的不断创新和市场需求的不断扩大，越来越多的企业和投资者纷纷投身于智能机器人产业，这使得产业主体呈现出多元化的发展态势。



图 12 智能机器人产业图谱

(二) 智能机器人产业发展趋势

1. 产业重点环节分析

智能技术：人工智能、大数据、自然语言处理等技术为机器人赋予了更强大的感知、决策和学习能力，使其在复杂环境中实现更高层次的自主作业。随着智能技术的应用和普及程度越来越高，通用性的智能技术解决方案成为了产业的基石。部分企业以智能技术为核心打造通用的功能模块，被广泛应用在了智能机器人产品中。

平台：平台涵盖了机器人开发设计、训练、部署、运营管理和优化等全生命周期环节，并提供了标准的数据和应用接口，汇集了机器人运行过程中的关键数据，重要程度日益凸显。因此覆盖智能机器人全生命周期的平台成为了布局的热点环节，芯片提供商、机器人行业

企业、软件开发商等多类主体纷纷参与，将其作为增强行业掌控力的重要抓手。芯片提供商，如英伟达、英特尔等公司为拓展自家产品应用范围，试图以“芯片+平台”的组合新兴占据产业核心环节；机器人行业企业如 ABB、Fanuc 等，持续深耕优势领域，打造面向工厂的解决方案，以寻找新的价值增长点；软件开发商如 Brain Crop、Picknik 等围绕平台打造提供通用解决方案，在细分领域形成竞争力。

新兴服务：围绕机器人的服务成为新价值增长点。智能机器人用户企业希望以低成本创造高价值，机器人即服务迎合了市场的需求。用户企业按需使用，根据使用时长和内容付费，可降低部署成本。智能机器人提供商可根据用户需求针对性运营，提升灵活性，最大化利用产品价值。机器人即服务逐渐变革传统以出售为主的商业模式。目前机器人即服务市场 CAGR 达到 17%，成为全新的价值点，其中 37% 集中在亚洲太平洋地区，以达芬奇机器人为例，其 RAAS 模式营收占比达到 16%，企业朝着服务提供商转型。此外，由于智能机器人整合了大量智能技术，产品创新门槛和落地应用难度提升，企业对技术支持和服务的需求增加，因此面向机器人企业的服务逐渐兴起。如亚马逊发布有助于训练机器人拣选和放置功能的 ARMBENCH 数据集，以提供技术和数据支持作为盈利点，实现合作共赢。

2. 产业竞争格局变迁

随着新主体的纷纷加入，智能机器人产业竞争格局发生了显著变化，形成了各具特色的发展路径。

智能机器人整机厂商在行业深耕多年，积累了丰富行业渠道和整机集成技术，企业凭借这些优势，通过投资、收购、合作等方式，开始布局智能技术和平台系统领域，持续为产品叠加智能化功能，打造覆盖更全面的产品体系，试图提升产业链掌控能力。如安川机器人与 Rapid Robotics 合作，扩展了工业机械臂解决方案，提高了机械臂的有效载荷、速度和范围；ABB 推出 OptiFact 模块化软件平台，节省高达 25% 的数据收集分析时间。值得注意的是国内外厂商均在整机及关键零部件进行布局，但国外企业在操作系统、开发平台等领域布局领先一筹。

智能技术企业凭借在信息通信等领域积累的先进技术和解决方案，以智能技术和软件工具为切入点，提升机器人人机交互、自主决策与简易部署等能力，开辟行业竞争新赛道，为自身产品寻找新应用市场。如英伟达发布了最新版本的 Isaac Sim 平台，用于开发和测试人工智能机器人；海康威视发布了一系列机器人工业智能相机，内嵌基于深度学习的视觉工具。目前国际领先企业引领科技变革方向，打造操作系统、大模型等基础设施，国内企业尚处于初步发展阶段。

智能机器人行业出现了一批**初创企业**，这些企业瞄准细分领域市场需求，以智能技术为核心形成解决方案，并在门槛较低的领域打造整机产品，逐步拓展市场。如 Covariant 公司采用模仿学习、元学习等算法加深机器人对世界的理解，以仓储和物流领域作为应用切入场景打造解决方案；金矢机器人推出了可为病人提供全方位安全

保护的 iReGo 下肢智能康复机器人等。智能机器人初创企业无论国内外均十分重视软硬结合，强调软件、系统对智能硬件的控制与作业提升。

3. 产业生态发展趋势

随着越来越多主体参与到智能机器人产业中，产业生态由封闭体系走向开放化，多方主体协同发展。一方面，智能化技术快速发展迫使产业主体寻求多方合作，进而推动产业开放化、协作化。产业主体通过技术应用转化、合作营销、供应链协同等方式，加快技术和产品创新，提升企业竞争力。如韩国机器人产业协会主导的自动驾驶机器人联盟成立，LG 电子等 18 家公司参与，将加快智能自动驾驶机器人的商业化；电子商务机器人技术提供商 OSARO 推出合作伙伴联盟计划，为供应商、集成商、分销商、经销商、第三方物流公司和顾问提供提供统一的解决方案。另一方面，开放化产业生态加剧企业间竞争，对初创公司的孵化和扶持吸引关注。行业门槛提高，部分产业主体帮助更多企业进入机器人赛道，进一步推动产业开放化。如 MassRobotics 联合 FESTO、三菱电机、Novanta 和 MITRE 等公司成立了医疗机器人创业公司孵化计划，向医疗机器人创业公司提供导师、大公司的资源，及潜在客户、投资者、供应商、营销等指导和支持，2022 年报名参与者人数比 2021 年增加近一倍，最终 7 家公司成功入选。

(三) 我国智能机器人产业现状与发展趋势

随着我国工业数字化转型不断深入，教育、医疗、安防等领域需求扩增，我国智能机器人市场蓬勃发展，预计 2024 年将达到 251 亿美元，CAGR 达到 20%，如图 13。工业机器人、服务机器人、特种机器人占全球比例将达到 50%、35%、24%。

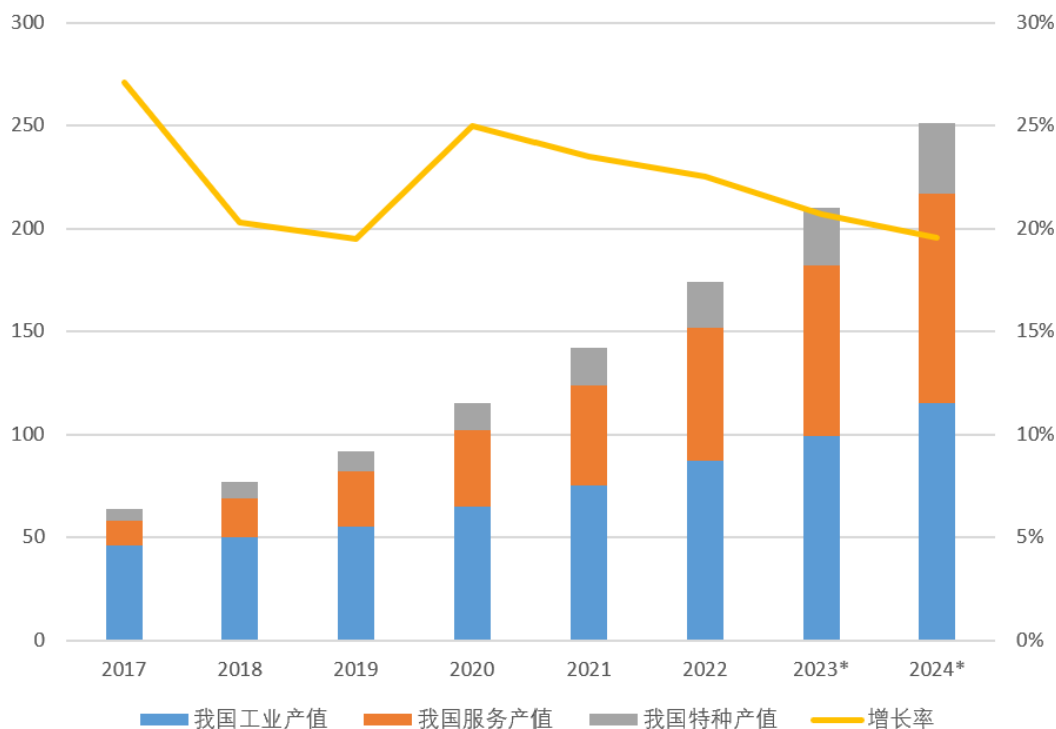


图 13 我国智能机器人市场规模（资料来源：IFR，中国信通院、电子学会）

根据《中国机器人技术与产业发展报告》，我国智能机器人优质企业重点分布在京津冀、长三角、珠三角等地区，在产业链上中下游均有分布，京津冀地区科研实力强，长三角地区电子信息和制造业基础较好，发展起步早，珠三角地区控制、伺服系统技术领先，金融环境灵活。

整体来看，我国庞大市场需求培育一批机器人整机制造和系统

集成国产厂商，各行业国产化比例不断提升，服务、特种机器人领域，国产整机优势显著，如扫地机器人已经基本被国内品牌产品占据，科沃斯、小米、石头、云鲸和美的等企业的产品占据了 70% 以上的市场份额；在工业机器人领域，仍以国外为主。各行业的整机产品存在明显的替代差异性。目前我国智能机器人产品高端化依然不足，国产企业更多占据价值链中下游，产品附加值相对较低，部分企业正向高端发起冲击，GGII 数据显示，2021 年国产伺服控制系统在工业机器人的配套市场份额中，占比仍不到 30%。产业基础薄弱，关键零部件质量稳定性、可靠性等还不能满足高性能整机的需求；高速、高精、重载等高性能整机产品供给缺乏等仍是我国智能机器人产业面临的问题。

随着产业环节的裂变升级，新兴领域企业涌现，资本持续押注。我国企业产品凭借优质价廉的优势占据大量市场。国内逐步出现行业领先企业弥补我国机器人软件短板，阿里、埃夫特、达闼等公司在机器人云平台、智能化等领域开展布局，中国机器人行业投融资市场整体呈波动上升趋势发展，在 2021 年，融资规模和事件数量都创造历史新高，2022 年，中国机器人行业仍然是资本关注的重点对象，900 余家企业获得投融资，占机器人企业总数近一半。但是目前，我国智能机器人行业尚未孵化龙头企业，企业竞争力低于领先水平。国内企业规模和体量较小，以工业机器人为例，ABB 一家企业市值超过国内埃斯顿、新松、埃夫特、汇川等头部企业市值之和。从市场范

围来看，国内企业以国内市场为主，没有完全走出去参与国际竞争，ABB 业务遍及全球 100 多个国家和地区，欧洲、亚洲、中东和美洲等地区是主要市场，埃斯顿汇川等企业的产品主要销售于中国境内，仅有少部分销往欧洲、美洲等。

(四) 重点企业案例

1. 国外典型企业-英特尔

英特尔是全球顶尖的芯片制造商之一，在软件、芯片和平台等领域开展了多元化的布局。基于芯片领域的优势，英特尔打造集成了硬件、边缘平台、性能优化和技术预演的机器人矩阵。硬件方面，提供了 Realsense 深度摄像头、FPGA 和英特尔具备传统优势的 CPU、视觉处理器等，并提出了硬件参考设计——工业边缘节点参考架构。边缘平台方面，形成了工业边缘控制平台、工业边缘洞见平台、AMR 开发平台和机器人“云-边-端”一体化等平台软件。性能优化方面，英特尔提供了包括深度学习优化及异构部署 OpenVINO、并行优化、高性能计算及异构部署 oneAPI、确定性实时优化 ECI RT Patch 在内的解决方案。在技术预演方面，英特尔的解决方案在移动机器人、视觉抓取等方面进行应用验证。基于 ROS2 开源项目，英特尔提出了建图和路径规划、机器视觉、智能操控等开放解决方案。

2. 国外典型企业-ABB

ABB 是工业机器人“四大家族”之一，为机器人、设备和工厂自动化提供集成解决方案，产品涵盖了铰接式机器人、AMR、SCARA

机器人等多种类型，在汽车、电子、建筑等领域得到广泛应用。自 2018 年以来，ABB 持续推行“本地对本地”的生产战略，陆续在上海和美国密歇根建立了大型工厂。2023 年 9 月 13 日，ABB 宣布投资 2.8 亿美元，在瑞典韦斯特罗斯新建一座最先进的欧洲业务园区，为客户提供人工智能协作机器人和工业机器人，并且支持柔性自动化的数字化解决方案。至此，ABB 已累计为三个机器人工厂投资 4.5 亿美元。

产品方面，ABB 持续完善、优化机器人产品的同时，陆续在软件、平台和工厂解决方案等领域持续发力。2023 年 10 月 10 日，ABB 机器人发布了新款 OptiFact 模块化软件平台，平台旨在简化自动化生产设施中的数据收集、可视化和分析工作，使用户得以轻松实现对包括 ABB 机器人在内的数百台工厂设备数据的收集、管理和分析，可帮助工厂运营将生产效率提升最多 20%。

3. 国外典型组织-MassRobotics

MassRobotics 是一家独立的非营利组织，也是世界上最大的机器人创业中心，致力于创新机器人和自动化初创公司提供开发、原型设计、测试和商业化其产品和解决方案所需的工作空间和资源，帮助其创建和扩展下一代成功的全球机器人和互联设备公司。2018 年，MassRobotics 与机器人工业协会（RIA）达成战略合作，推进机器人组织的创新和技术。2022 年 10 月，MassRobotics 宣布与 AMD 合作，向机器人初创公司介绍和提供技术，确保初创公司能够围绕自动化、移动性、人工智能和机器视觉等相关应用开发创新解决方案。

2023 年，MassRobotics 携手费斯托、三菱等宣布推出第三期医疗机器人初创公司孵化计划。第一期孵化计划 4 家初创企业入选，第二期计划 7 家初创企业入选，第三期报名已开启。入选的初创企业将获得设备、技术、测试资源等方面的支持，并获得与导师、创新中心、行业企业等单位接触机会。

4. 国内典型企业-达闼

为了提高云端智能架构与系统的安全性，达闼构建了机器人安全专网 VBN(全称: Virtual Backbone Network)，机器人本体通过物联网或移动互联网就近接入至 VBN 专网接入点，然后通过专网专有线路去访问云端大脑，整体网络架构如图 14 所示。达闼机器人安全专网叠加在运营商的网络基础设施之上，基于运营商的专有线路而不是互联网线路进行网络传输。作为云-边-端融合机器人系统的神经网络，它为机器人和云端大脑提供安全可靠的网络连接。



图 14 云-网-端融结合的智能机器人系统架构

5. 国内典型企业-埃斯顿

埃斯顿是国产机器人企业“四小龙”之一，其工业机器人产品线在

公司自主核心部件的支撑下得到高速发展，产品已经形成以六轴机器人为主，在新能源，焊接，金属加工、3C 电子、工程机械等细分行业拥有头部客户和较大市场份额。2021 年埃斯顿全面进军工业智能化和数字化制造领域，借助掌控自动化设备数据入口优势的基础，通过埃斯顿统一的云平台及统一的 OPCUA 通讯协议，为客户提供自动化设备远程接入平台，以及各种数字化增值服务，包括设备数据采集和边缘计算，运行状况监控，过程质量监控，生产效率提升，物料消耗控制等数字化管理服务。2023 年 9 月，埃斯顿参加第 23 届中国国际工业博览会，展示多款全新 UNO 系列工业机器人及行业应用解决方案，致力推动工业制造业向绿色低碳转型升级。

6. 国内典型企业-思岚科技

思岚科技（SLAMTEC）成立于 2013 年，主要研发方向为机器人自主定位导航及核心传感器等方面，主要产品包括 360°扫描测距激光雷达 RPLIDAR、模块化自主定位导航系统 SLAMWARE 及通用型服务机器人平台 ZEUS 等，目前思岚科技已成为服务机器人自主定位导航解决方案的领航者。

2022 年，思岚科技发布性能更强、体积更小、部署更轻的运动机器人平台雅典娜 Athena2.0，搭载了全新的 SLAM Cube2 自主定位导航系统及激光视觉多重导航方案，能够实现自主上下电梯等多楼层之间的自主移动。平台提供了标准的开发软硬件接口支持用户快速二次开发。除激光雷达、开发平台等硬件，思岚科技的还为用户提

供了导航算法套件和开发软件等。目前，思岚科技旗下产品已成熟应用于餐厅、酒店、商场、银行、医院、机场等各大场景的服务机器人中，服务超过 2000 家企业，10 余万个人用户。

五、智能机器人细分领域发展趋势

（一）工业领域

1. 工业机器人概述

根据《机器人分类》（GB/T 39405-2020）的标准定义，工业机器人是指自动控制的、可重复编程、多用途的操作机，可对三个或三个以上轴进行编程，它可以是固定式或移动式，在工业自动化中使用。工业机器人的部署场景相对固定，执行任务的重复性高，对精度、负载能力等要求高，同时需要具备无人化安全作业，能进行便捷的控制和应用开发等功能。

技术创新、制造模式的变化、生产要素的变化、市场容量的增加、政策的激励、需求市场的变化、产业的大调整和升级以及新能源的爆发和电子行业投资的旺盛等因素共同推动了工业机器人在制造领域的应用和普及，并为其未来的发展提供了广阔的市场空间和机遇。2021 年工业机器人安装量达到 48.7 万台，销售额 175 亿美元，同比增长 26%；预计 2024 年全球工业机器人市场规模将达到 230 亿美元，如图 15 所示。



图 15 2017-2024 世界/中国工业机器人销售额及增长率
(资料来源：IFR，中国信通院、电子学会)

我国工业机器人市场规模保持增长态势；预计到 2024 年，中国工业机器人市场规模将近进一步扩大至 115 亿美元，如图 15 所示。

相比于服务机器人和特种机器人，工业机器人在生产制造领域广泛应用，任务特点包括精度要求高、连续工作、强度大、环境恶劣、重复性高等。因此，工业机器人在模块化设计、自主能力和管理维护这三个方面有特别的需求。随着各行业数字化转型进程加快，智能工业机器人成为企业降本增效的重要工具，市场规模创下历史新高。

2. 工业机器人技术趋势

为了进一步提升工业机器人的性能、灵活性和效率，以适应不断变化和复杂的生产需求。工业机器人研发和生产团队围绕着**硬件模块化配置、人工智能分析决策和数字孪生平台全流程管控**这三个重点功能进行技术迭代。

硬件模块化配置是工业机器人研发和生产的重要方向。通过将机器人硬件设计成模块化，可以使得机器人的组成和结构更加灵活和可配置。此外，硬件模块化配置还可以使得工业机器人的生产更加

敏捷和快速，可以根据市场需求进行快速调整和扩展。

人工智能技术可以使得机器人更好地识别和处理复杂的工作环境和工作任务，提高生产效率和准确性。例如，机器人的视觉识别系统可以通过人工智能技术自动识别和抓取目标物体，这极大地提高了生产线的自动化程度和生产效率。此外，人工智能技术还可以对机器人的运行数据进行实时监测和分析，及时发现潜在的问题并进行预警和维护，提高机器人的可靠性和使用寿命。

数字孪生技术可以模拟机器人的运行状态和行为，有助于更好地管理和优化机器人的性能。通过数字孪生技术，可以在虚拟环境中模拟机器人的行为和性能，预测潜在的问题并优化机器人的设计和配置，从而提高生产效率和降低成本。此外，数字孪生平台还可以对机器人的生产过程进行全流程管控，从计划、调度、执行到监测、预警、维护等环节进行全面管理和优化，提高生产效率和降低成本。

3. 工业机器人产业趋势

全球工业机器人产业在近年来经历了一些整合和重组，出现了一些垄断现象。整体上仍然有多家主要竞争对手在市场上展开竞争。随着科技的不断进步，越来越多的 ICT 企业开始进入该领域。这些企业拥有强大的技术实力和创新能力，能够提供更加智能化、高效化的产品和服务。例如，高通和英伟达等 ICT 企业通过自主研发和技术创新，在工业机器人领域取得了重要进展。Funuc、Kuka、ABB、安川、松下、三菱、爱普生、那智不二越等均是工业机器人的主要企

业，市场占比如图 16 所示。这些竞争对手在产品研发、技术创新、市场拓展等方面都拥有强大的实力和优势。

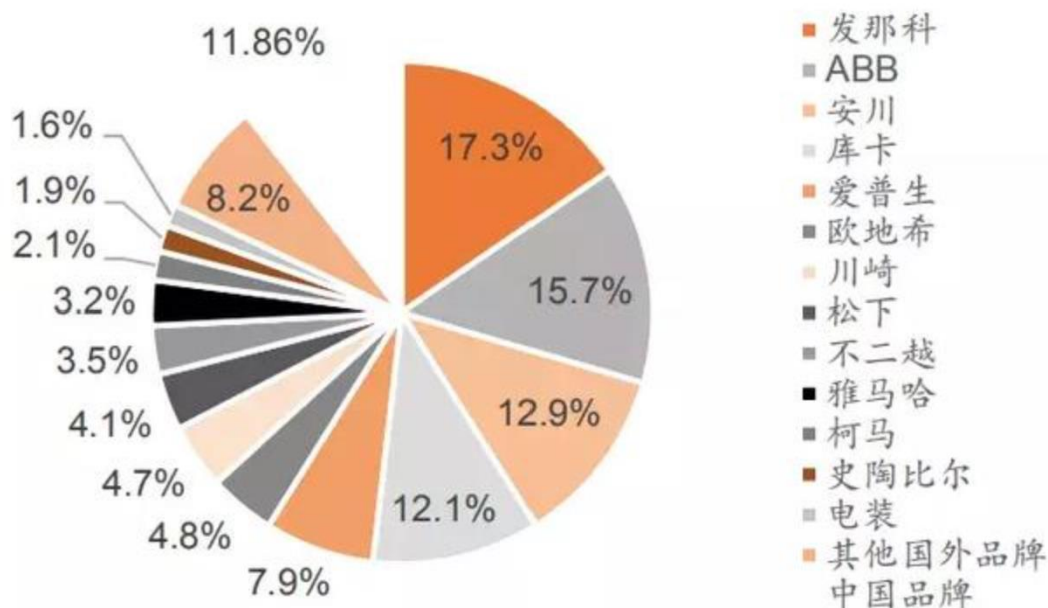


图 16 2022 年工业机器人主要厂商全球市场占比

(资料来源：中国产业信息网)

外资巨头企业在市场上占据了优势地位，具有广泛的客户基础和品牌影响力。这些外资企业通过先进的技术、高品质的产品和优质的服务，赢得了消费者的信任和忠诚度。我国工业机器人制造商和零部件制造商市场份额逐渐扩大。以突破关键核心技术为首要目标，由搬运、焊接、装配等操作型任务向加工型任务拓展，部分行业实现国产化替代。例如，精密减速器国产化率从 2014 年的 11.4% 上升到 2021 年的 40.6%，减速机国产替代具备强确定性。绿的谐波研发基于三次谐波减速原理的 Y 系列谐波减速器产品，扭转刚度、传动精度大幅度提升，具有自主知识产权的核心技术体系加速构建。我国汇川、埃

夫特、埃斯顿、新时达、新松等工业机器人企业通过在细分领域不断发力，推动全球竞争格局演变。

(二) 服务领域

1. 服务机器人概述

随着国民购买力的提高、高科技的平民化、人力成本的上升、老龄化的加速等因素共同推动了服务机器人在各个领域的应用和发展，使其成为现代社会中不可或缺的一部分。

服务机器人主要包括个人服务机器人和公共服务机器人两类。个人服务机器人：在家居环境或类似环境下使用的，以满足使用者生活需求为目的的服务机器人。公共服务机器人：住宿、餐饮、金融、清洁、物流、教育、文化和娱乐等领域的公共场合为人类提供一般服务的商用机器人。

服务机器人主要用于在家居或公共环境，相较于工业机器人通过程序和控制器，服务机器人更多通过语音识别、表情识别、手势识别进行直接交互。

2022 年，全球服务机器人市场规模达到 217 亿美元。2024 年，全球服务机器人市场规模将有望增长到 290 亿美元，如图 17 所示。

2022 年，中国服务机器人市场规模达到 65 亿美元。到 2024 年，随着新兴场景的进一步拓展，中国服务机器人市场规模将有望突破 100 亿美元，如图 17 所示。

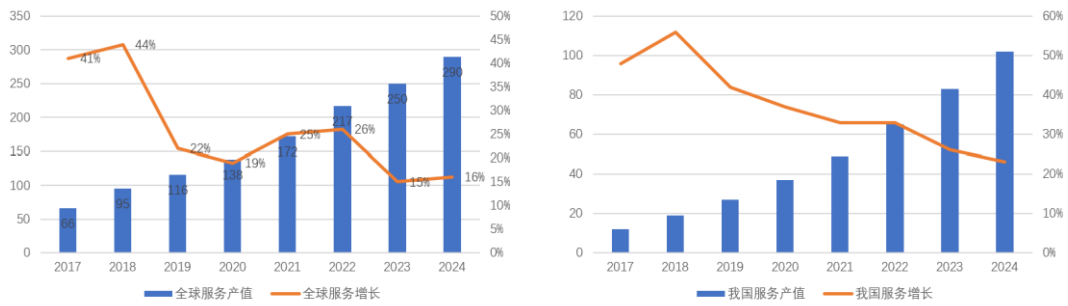


图 17 2017-2024 全球/我国服务机器人销售额及增长率

(资料来源：IFR，中国信通院、电子学会)

服务机器人的主要用途是为人类提供各种服务，包括家庭保洁、医疗照顾、老年人护理、儿童教育和零售服务等。因此，服务机器人在交互性、安全性和智能感知能力这三个方面有特别的需求。

2. 服务机器人技术趋势

考虑到服务机器人的服务对象和使用环境，**新型人机交互、用户使用安全、智能决策**是主要的技术布局方向。

随着科技的不断发展，人机交互技术也在不断创新。服务机器人需要具备更加自然、直观、友好、便捷的人机交互方式，以便更好地与人类用户进行交互和协作。这包括语音识别、自然语言处理、手势识别、面部表情识别等技术，以及多模态交互和情感交流等前沿技术。其中，自然语言处理和脑机接口是该方向的代表技术。

服务机器人需要结合智能算法和多传感器识别，保障用户的使用安全。例如，碰撞检测技术用来确保机器人在操作过程中不会对人或环境造成伤害。该技术融合了包括多种传感器、激光雷达等多模态数据，并利用多维数据进行深度学习和 SLAM。

服务机器人需要具备更加智能的决策能力，以便更好地适应复杂多变的环境和任务。特别是生成式 AI 实现更高级别的自主性和智能化。生成式 AI 一方面可以用于生成新的任务或策略。如果一个服务机器人需要在未知的环境中执行任务，生成式 AI 可以帮助机器人生成新的路径规划或策略。另一方面，该技术也可以用于创建复杂的模拟环境，用于训练服务机器人。例如，生成对抗网络（GANs）可以用于生成逼真的环境图像，用于训练机器人的视觉系统。

3. 服务机器人产业趋势

从全球范围看，大型企业在市场中占有显著的地位。然而，随着需求的增长，新的参与者也正在进入市场。当前主要企业包括大福，德玛斯，Swisslog Holding AG 和 iRobot。全球产业处于中度竞争，各方开始采用收并购策略巩固市场地位，推出机器人即服务、租售结合等新的业务模式。

我国在人工智能、5G 等新一代信息技术领域取得领先成果，推动服务机器人的技术和产业创新。随着国内服务机器人应用场景不断下沉，在家务、教育等需求高、使用多的场景，我国产品技术相对成熟，已经在市场上实现了放量，受到企业和资本的关注。此外，我国服务机器人重视与下游行业应用、上游科技研究的相关机构和企业合作，联合开展研发以增强产品竞争力，加速形成特色开放的行业生态。例如，达闼与华为签署合作协议，推进人工智能与云端机器人产业的协同发展，共同打造云端机器人城市运营联合解决方案，推广

机器人运营服务，促进人工智能产业壮大发展。

(三) 特种领域

1. 特种机器人概述

特种机器人是指一类被设计和制造用于执行特定任务或应用的机器人，它们通常具有高度专业化的能力，以满足特定领域任务的需求。

近几年，全球特种机器人产业快速发展，规模年均增长率达到 21.7%，2022 年全球特种机器人市场规模超过 100 亿美元，预计 2024 年市场规模将有望达到 140 亿美元。2017-2024 年全球特种机器人市场规模变化趋势如图 18 所示。

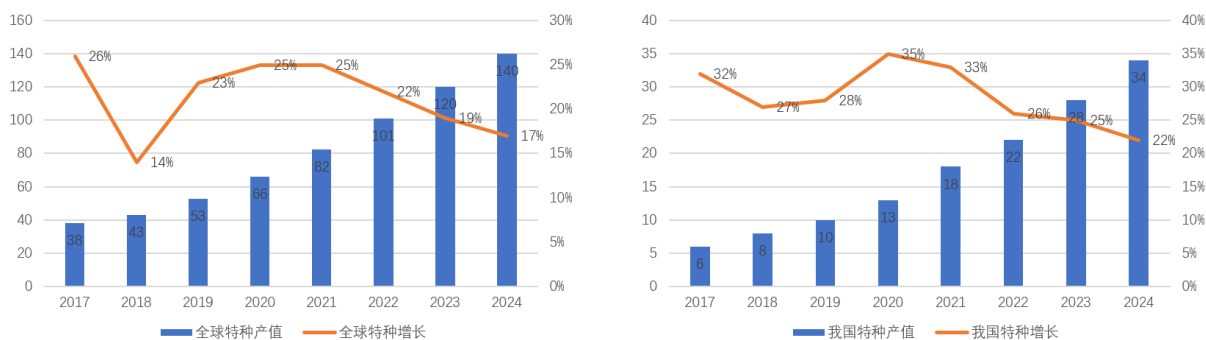


图 18 2017-2024 年全球/我国特种机器人市场规模

(资料来源：IFR，中国信通院、电子学会)

受益于科技的迅猛发展和不断增长的需求，我国自 2017 年以来，特种机器人市场开始起步发展，年均增长率达到 30.7%。预计到 2024 年，我国特种机器人市场规模将有望达到 34 亿美元，如图 18 所示。特种机器人市场具有广阔的前景。

特种机器人与其他机器人的区别主要有：其功能和性能针对特定应用领域的领域专业化；具备适应不同环境和任务能力的环境适应性；部署于人类无法工作的危险或特殊环境的适用高危险任务；以及由于环境特殊，要求特种机器人高度可靠。

而特种机器人相比于工业机器人和服务机器人，特种机器人的主要用途是在人类无法直接介入或高危的环境中执行任务，包括医疗手术、深海探测、航天维修、军事侦察、灾难救援等。因此，特种机器人在适应环境、感知能力和执行能力这三个方面有特别的需求，如图 19 所示。

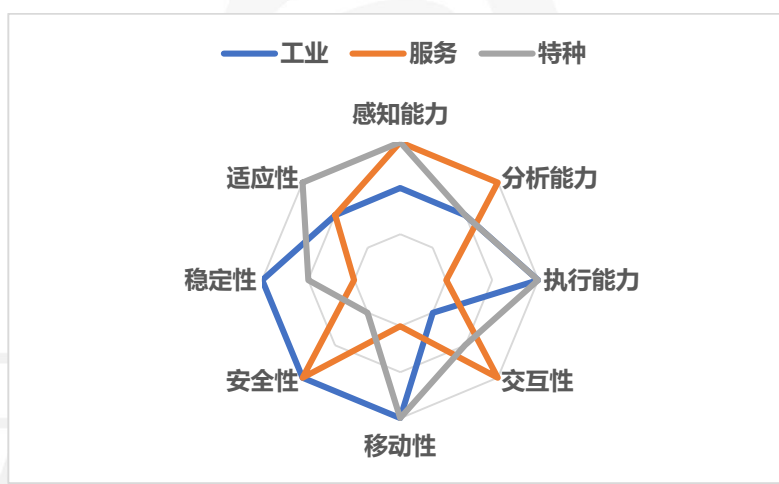


图 19 工业、服务和特种机器人性能对比

2. 特种机器人技术趋势

由于智能特种机器人的应用环境和所执行的任务，需要准确的感知周围环境以及高效的执行任务。因此对特种机器人的技术研究主要集中在感知、适应和执行这三个方面。高感知能力、高适应性、高执行能力成为了技术主要的布局方向。

在感知能力方面，利用多维环境数据融合使特种机器人能够全面感知复杂环境以规避风险，其中的主要技术有机器视觉和数据融合，使用摄像头和视觉算法来捕获、处理和分析图像和视频数据，从视觉数据中提取有用的信息，将来自不同数据源的信息合并、处理和分析，使特种机器人准确感知环境，以做出更准确的决策。

在高适应性方面，基于大型语言模型或者自然语言处理的友好人机交互能力提升特种机器人的任务适应性，其中主要技术为大型语言模型和感情识别技术，使用深度学习技术构建的自然语言处理模型，具有从数亿到数万亿的参数，可赋能特种机器人社交互动、信息检索等能力。同时在特种机器人领域可用于清湖情感理解、情绪健康监测、情感诊断等任务，提高智能机器人情感智能，扩大应用范围。

在高执行能力方面，人工智能控制算法赋予特种机器人复杂场景下的执行能力。其中主要技术为人工智能控制算法，人工智能控制算法使特种机器人可以在动态环境下高效执行各种任务，常见的控制算法有：基于强化学习的控制算法、模型预测控制、自适应控制等，可以显著提升特种机器人的执行能力。

3. 特种机器人产业趋势

在特种机器人产业领域中，国外的相关产品技术研究起步很早，在传感器硬件、伺服电机、控制算法等方面具有传统技术优势。形成了庞大的技术体系，具有竞争优势。在行业内积累了广泛的国际知名度和影响力，并逐渐形成了行业标杆和领军者。

波士顿动力的 Atlas 配备了先进的感知与控制系统，具有业内极为优越的平衡控制和自主导航能力。波士顿动力成为腿式机器人领域的权威，其产品 in 建筑、救援、军事等特种领域具有非常广泛的应用前景。

国内厂商的相关产品技术研究相较于国外厂商起步较晚，但国内厂商通过技术突破和融合，在部分产品赛道实现了从追赶-并驾齐驱-超越的过程。国内通信、人工智能等领域的技术快速进步，并将这些优势技术应用到特种机器人领域，发掘新场景、新路径，实现在细分领域的产品突破。疫情和国际贸易形式的变化为特种机器人行业的本地化发展注入动力。例如医疗与深水特种机器人的迅速发展，使国内企业逐渐形成了丰富的产品矩阵，在部分细分领域具有较大的市场占有率。国内的天智航骨科手术机器人除了具有了高效、易用和精准智能的特点外，融合了先进的网络通信技术，实现高品质影音传输，以实现与远程专家资源对接、远程诊疗的交互平台。在国内创伤骨科机器人市场中，天智航的市场占有率超过 75%。

由此可见，未来基于新需求的特种机器人将不断涌现，国内品牌通过技术革新向高端攀爬。

(四) 人形机器人

1. 发展历程

人形机器人，也称为仿人机器人，是一种旨在模仿人类外观和行为的机器人，具有类人的外观、感知、决策、行为和交互能力。它们

通常具有与人类相似的身体结构和功能，例如可以行走、说话、感知环境、做出决策和与人类交互等。人形机器人的研究和开发已经进行了半个世纪，其发展阶段如图 20 所示。



图 20 人形机器人的发展阶段

从早期的 WABOT 到现在的特斯拉 Optimus，人形机器人的发展已经从技术验证期过渡到了商业试水期。在最早期的人形机器人萌芽期（1970-2000 年），研究重点聚焦于在机械外形设计和初步的控制算法上实现仿人。WABOT-1 是世界上第一个仿人机器人，由早稻田大学的四个实验室在 1970 年开始研发，于 1973 年完成。

WABOT-1 由四肢控制系统、视觉系统和对话系统组成。WABOT-1 能够用日语与人交流，并通过外部感受器、人造耳朵和眼睛以及人造嘴来测量物体的距离和方向。WABOT-1 用下肢行走，能够用装有触觉传感器的手抓住和运输物体。据估计，WABOT-1 具有一岁半儿童的智力。

2000-2018 年是人形机器人的探索期，此时的人形机器人开始具备更复杂的功能，如跑步、跳跃和与人互动。波士顿动力公司在这一

时期公布了初代 Atlas 机器人。

该机器人是是基于波士顿动力公司早期的 PETMAN 人形机器人，它有四个液压驱动的四肢，专为各种搜索及拯救任务而设计的，并在 2013 年 7 月 11 日向公众亮相。Atlas 机器人最让人惊叹的是擅长在崎岖的地形行走、攀爬，包括不平整的碎石地、雪地等，它能够保持平衡、快速行走、搬箱子，甚至在被踢倒后自己爬起来，而且它学习走路的动作和形态与人类惊人的类似。

2018-2022 年是人形机器人的发展期，在此阶段的研究重点是利用更先进的 AI 技术，使机器人能够进行复杂的决策和任务处理，开始应用于实际场景。例如，CENTAURO 机器人是一种集成混合运动与大功率柔性操作的半人马救灾机器人。它是由欧盟 Horizon 2020 项目中的 CENTAURO 项目组开发的，旨在为救援行动提供支持。CENTAURO 机器人采用了下身四足腿轮混合和上身仿人形双臂的设计理念，身高约 5 英尺（1.5 米），重达 93 公斤。

CENTAURO 机器人的硬件平台搭建包括多圈式的全向轮设计、基于两款不同机械手的末端执行器、传感器的硬件配置、电池和 WIFI 模块、机载计算机模组/计算机、关节驱动模块等[1][2]。它还具有远程遥控和半自治功能，在通信中断或延迟的情况下，机载电脑可以自行预测该如何移动。CENTAURO 机器人既可以用作研究工具，也可以在现实世界中发挥作用。它的双臂轻型且可以举起大约 11 公斤的重物，与成年人的操控强度和灵活性相当。CENTAURO 机器人的研

究和开发已经进行了多年，目前已经进入商业试水期。

在 2022 年开始，人形机器人的发展引来了爆发期。大模型等 AI 赋能技术使人形机器人不仅在外形和行为上与人类相似，更具有强大智能、思维和类人的语言能力。2022 年 10 月 1 日，在特斯拉 AI Day 上，马斯克正式介绍了特斯拉首款人形机器人“Optimus”。

Optimus 机器人是由特斯拉公司开发的一种人形机器人，特斯拉将在汽车领域电池组、冷却系统等成熟技术运用到了 Optimus 上，还使用与汽车测试类似的技术来进行擎天柱的运动和对外部碰撞模拟。该款人形机器人结合了特斯拉的 AI 技术，即基于视觉神经网络神经系统预测能力的自动驾驶技术。在 AI Day 上，Optimus 展示了其在汽车工厂执行搬运、浇水植物、移动金属棒等任务的视频。

2. 当前趋势

由于人口老龄化、劳动力人口下降和人力成本上升等问题，推动机器换人的需求增加。人形是最适合人类社会所有场景的形态，无需改变场景来适应机器。同时，人形机器人能够发挥类人能力，用类人的感知、决策、运动和执行能力来帮助人们面对生活中的各种问题。随着通用人工智能、感知和动力系统等方面取得了巨大进步，人形机器人性能得到极大提升，成本逐渐下降，部署步伐加快，相关应用场景也不断扩展，从最初的制造业到医疗、救援、服务业等各个领域。

Markets and Markets 预计，2023-2028 年人形机器人市场规模将从 18 亿美元增长到 138 亿美元，年复合增长率 (CAGR) 为 50.2%，

如图 21 所示。

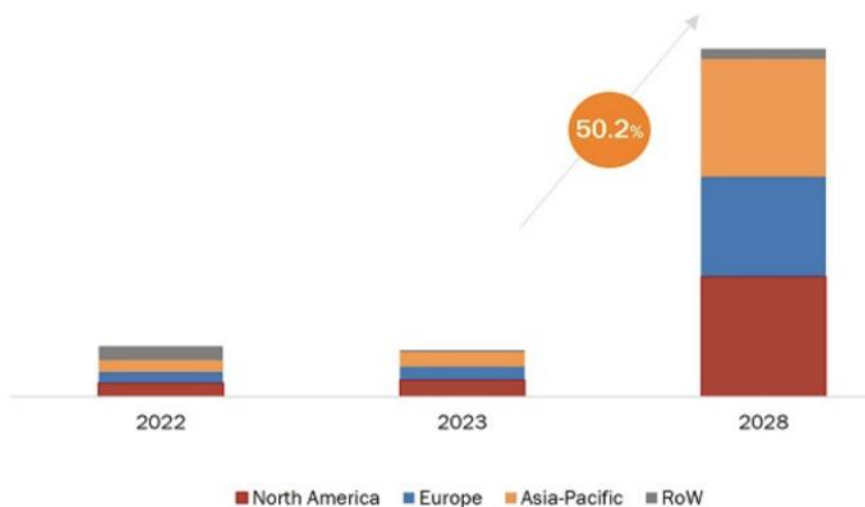


图 21 人形机器人市场规模预测

(资料来源：Markets and Markets)

高盛预计未来 10 至 15 年内，人形机器人市场规模将增至 60 亿美元以上规模。乐观估计，2035 年市场规模可能达到 1540 亿美元。

随着资本的驱动，人形机器人产业正掀起一股投资并购的热潮。科技巨头们纷纷加入这个新兴的领域，争相布局人形机器人赛道，以抢占先机。亚马逊投资 Digit 人形机器人；英伟达领投美国 Machina Labs；OpenAI 领投 1X Technologies；PVC 领投初创公司 Figure；三星电子投资韩国 Rainbow Robotics。在这场激烈的竞争中，企业间的合作与竞争也日益加剧，推动了人形机器人技术的快速发展。

3. 国内外产业对比分析

随着人形机器人产业的快速发展，大量的新进入者开始涌入这个领域，使该产业发展呈现出百花齐放的态势。

欧美等发达国家的人形机器人产业主体凭借其技术实力和资金优势，得以在竞争中占据领先地位。这些企业通过不断的技术创新和产品升级，不断提升自己在市场上的竞争力。科技巨头积极布局新市场新赛道，AI 创新的领跑者均切入人形机器人赛道，扩大技术迁移效应。而中国在这个领域中的发展也十分迅速，一些中国企业通过引进国外先进技术或者与国外企业合作，得以在短时间内快速提升自己的技术水平和市场竞争力。国内外人形机器人企业技术渗透如图 22 所示。

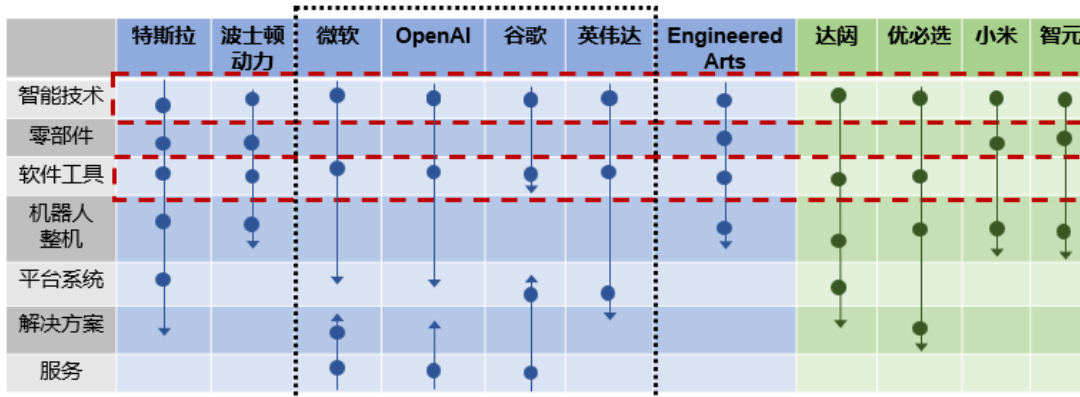


图 22 国内外人形机器人企业技术环节渗透示意图

在软件和信息与通信技术领域，随着通用人工智能技术的持续突破，智能算法、控制和操作系统软件等关键领域正在形成一系列新的赛道。这些新赛道不仅推动了产业的发展，也吸引了来自不同背景和角色的多方主体参与其中。多方主体的涌入，使得这些新赛道充满了竞争和创新。不仅有传统的软件和 ICT 企业，还有许多新兴的初创企业、研究机构 and 高校等参与其中。他们的加入不仅带来了新的技术和思路，也使得整个产业的竞争格局更加多元化和激烈。

4. 我国人形机器人发展态势

庞大的市场需求催动多类主体竞相入局赛道，我国人形机器人市场规模持续扩增活力逐渐显现。据中商产业研究院测算，2023—2030年，我国人形机器人市场规模增速将达到30%，预计突破8700亿元。在人形机器人组成部件中，我国传统机器人厂商遨博加快攻关人形机器人所需电机、驱动器等核心零部件，推动国产化进程。智能技术领域，科大讯飞从大模型切入，开发人形机器人整机系统。ICT领域，小米发挥人工智能、先进制造等多重优势，发布Cyberone机器人扩大智能产品生态圈。

2023年，我国人形机器人迎来爆发奇点时刻。小鹏的“PX5”融合了汽车自动驾驶技术；理工华汇的人形机器人实现了全球目前最高最远的跳跃；优必选的“Walker X”实现骑平衡车技术并在大运会应用；宇树的“H1”和智元的“远征 A1”仅用半年完成初代产品的研发。可见国内的人形机器人产品各具特色优势，呈现“百家争鸣”。

人形机器人的快速发展和巨大的发展潜力，也得到了国家部委和各地方政府的注意和重视。在国家层面，2023年3月1日，工信部长金壮龙表示，工信部将研究制定未来产业发展行动计划，加快布局人形机器人等前沿领域。2023年8月18日，工信部副部长徐晓兰表示：“当前，以人形机器人和通用人工智能为代表的新技术、新产品、新业态蓬勃发展”。2023年9月13日，工信部发布《工业和信息化部办公厅关于组织开展2023年未来产业创新任务揭榜挂帅工作

的通知》列示包括元宇宙、人形机器人、脑机接口、通用人工智能 4 个重点方向揭榜挂帅任务。2023 年 11 月 2 日，工信部发布《人形机器人创新发展指导意见》部署了 5 方面重点任务：关键技术突破、培育重点产品、拓展场景应用、营造产业生态、强化支撑能力。设立了关键技术攻关、重点产品和部组件攻关、拓展场景应用 3 个专栏。

在地方上，2023 年 6 月 16 日，北京市提出对标国际领先人形机器人产品，支持企业和高校院所开展人形机器人整机产品、关键零部件攻关和工程化，加快建设北京市人形机器人产业创新中心。2023 年 5 月 18 日，上海市明确加快人形机器人创新发展。2023 年 5 月 31 日，深圳市提出加快组建广东省人形机器人制造业创新中心。2023 年 4 月 29 日，山东省提出加快布局人形机器人等前沿领域。

总的来看，我国以“先手棋”战略主动布局，地方迅速响应推进，集中力量扶持人形机器人技术与产业快速发展。

六、促进智能机器人技术产业发展的相关建议

（一）当前现状

我国智能机器人市场规模庞大，且增长迅速。目前我国已成为智能机器人大国，覆盖产业上下游全环节。中国工业机器人和服务机器人销售额占全球比重分别从 2017 年的 28.2% 和 18.2% 提高到 2021 年的 42.9% 和 28.5%。在需求侧，2021 年机器人全行业营业收入超过 1300 亿元，2022 年超过 1700 亿元，增长率超过 30%；在供给侧，2023 年上半年工业机器人产量达 22.2 万套，同比增长 5.4%，服务机

器人产量达 353 万套，同比增长 9.6%。

我国智能机器人企业产业集群已初步形成。我国智能机器人企业在产业链上中下游均有分布，并持续强化自身创新能力，向价值链中高端迈进。优质企业重点分布在京津冀、长三角、珠三角等地区，分布于京津冀地区的企业科研实力强，能较好实现产学研合作；分布于长三角地区的企业具有电子信息和制造业基础较好，发展起步早的行业特点；分布于珠三角地区的企业其控制、伺服系统技术领先，金融环境较为灵活。以扫地机器人为例，其供应链 80% 位于中国，产业集群化发展形成了较强的国际竞争力。

整机及零部件等传统领域国产化替代稳步前行，产业高端化发展依然不足。一方面，庞大市场需求培育一批机器人整机制造和系统集成国产厂商，各行业国产化比例不断提升，整机产品存在明显的替代差异性。服务、特种机器人领域，国产整机优势显著，如扫地机器人已经基本被国内品牌产品占据；工业机器人仍以国外为主。对于工业机器人供给主要以四大家族为主，国内奋起直追；个人/家庭服务机器人供给基本实现国产化替代；公共服务机器人供给侧表现出国产品牌优势显著的特点；对于特种机器人的供给国内外平分秋色。根据 MIR 数据显示，2023 年工业机器人国内厂商市场份额突破 40%。2021 年国内扫地机器人市场前五大品牌分别为科沃斯、小米、石头、云鲸和美的，市场占有率分别为 45%、16%、14%、11% 和 2%，合计市场占有率为 88%。另一方面，高端化依然不足，国产企业更多占据

价值链中下游，产品附加值相对较低。GGII 数据显示，2021 年国产伺服控制系统在工业机器人的配套市场份额中，占比仍不到 30%，仍然面临着产业基础薄弱，关键零部件质量稳定性、可靠性等还不能满足高性能整机的需求；高速、高精、重载等高性能整机产品供给缺乏等问题。

新兴领域企业涌现，企业竞争力不足。新兴领域企业涌现，资本持续押注，凭借优质价廉的优势占据大量市场。国内逐步出现行业领先企业弥补我国机器人软件短板，阿里、埃夫特、达闼等公司在机器人云平台、智能化等领域开展布局。中国机器人行业投融资市场整体呈波动上升趋势发展，在 2021 年，融资规模和事件数量都创造历史新高，2022 年，中国机器人行业仍然是资本关注的重点对象，900 余家企业获得投融资，占机器人企业总数近一半。但与此同时，行业中尚未孵化龙头企业，企业竞争力低于领先水平。国内企业规模和体量较小，以工业机器人为例，仅 ABB 一家企业市值就超过国内埃斯顿、新松、埃夫特、汇川等头部企业市值之和。从市场范围来看，国内企业以国内市场为主，没有完全走出去参与国际竞争。而 ABB 业务遍及全球 100 多个国家和地区，欧洲、亚洲、中东和美洲等地区是主要市场，埃斯顿汇川等企业的产品主要销售于中国境内，部分销往欧洲、美洲等。

(二) 政策建议

做好“1+1+4”系列重点工作，推动四大重点任务圆满完成。坚持

打造自主可控的智能机器人技术产业这“1”条核心主线；系统研究“1”套推动智能机器人技术产业发展的政策工具箱，从财税、金融、市场、人才等方面加大对机器人技术产业发展的支撑；系统布局智能机器人核心技术、产业基础、高端产品、产业生态“4”大重点任务。

政策工具箱中财税方面可以从政府采购、首台（套）重大技术装备保险补偿机制试点工作等举措着手，金融方面可以从推动各类产业基金投入、支持符合条件的企业上市等举措着手，市场方面可以从完善行业规范、支持第三方检测认证机构能力建设等举措着手，人才方面可以从高校和科研院所培养专业和复合型人才、产学研合作协同育人等举措着手。

打造自主可控的智能机器人技术产业，聚焦四大重点任务，体系化攻关智能机器人核心技术、夯实智能机器人产业基础、培育高端智能机器人产品、优化智能机器人产业生态。

1. 体系化攻关智能机器人核心技术

核心技术分为共性技术和前沿技术两方面，其中共性技术包括系统开发、云-边-端、多任务规划与智能控制、感知与导航、人机交互与自主编程、操作系统、协同作业、快速标定与精度维护等细分技术；前沿技术包括深度智能驱动、泛在敏捷操作、高效以虚驭实、多元感知交互等趋势领域。

体系化攻关核心技术可从以下几方面着手：通过国家级和省部级科技重大专项和重点研发计划，开展核心技术研发与工程化攻关，

实现共性技术和前沿技术短板突破；通过揭榜挂帅方式对公开发布的智能机器人核心技术攻关指南一一突破，打造从遴选发布、揭榜挂帅、绩效评价的研发推进工作闭环，组织研发单位与用户单位联合攻关；支持高校、科研院所、龙头企业、用户等产学研用单位联合打造研发创新及公共服务平台、成立国家级和省部级重点实验室，开展技术研究、技术中试、成果转化等工作；开展核心技术先锋应用案例征集，对入选案例加大支持力度，推动优秀成果规模化应用。

2. 夯实智能机器人产业基础

打造自主完整的产业链结构，在机器人整机、机器人软件、机器人硬件、智能技术、新兴服务业五大方面下功夫，积极引导并推动产业各方在机器人整机上以新技术融入获取更多市场机遇；在机器人软件上重点攻关核心技术，搭建平台生态；在机器人硬件上面向高端零部件、产品研发；在智能技术上跟进人机交互核心技术的研发与应用；在新兴服务业上发挥 5G、云计算等新技术优势。

加强组织协同，适时成立领导小组，强化部门协同、部省联动机制，鼓励各地因地制宜将智能机器人纳入战略性新兴产业政策支持范畴，与“新型工业化”等政策协同推进；强链、稳链、固链，梳理绘制智能机器人产业链图谱，聚焦关键节点，支持重点企业担任产业链链主，以点带链补短板、锻长板；培育国家智能机器人产业示范基地，建设智能机器人中小企业特色产业集群，打造智能机器人先进制造业集群，提升产业链关键环节配套能力，提高智能机器人的国际竞争

力与影响力；面向技术产业发展趋势，培育智能机器人新兴场景，开展智能机器人新兴技术产业试点，总结试点经验，加强成果宣传与推广，开拓产业新赛道。

3. 培育高端智能机器人产品

培育高精度高可靠性的工业机器人、高性能高自主性的特种机器人、高互动高感知的服务机器人。重点布局人形机器人，开发基于人工智能大模型的人形机器人“大脑”和控制人形机器人运动的“小脑”，系统部署“机器肢”关键技术群，突破“肢体”关键技术。

培育产品过程中需发挥各方合力，开展形式多样的活动，激发社会创造力。推进智能机器人高端产品入选“首台套”，即将符合条件的智能机器人领域项目纳入首台（套）重大技术装备和重点新材料首批次应用保险补偿范围，增强高端产品创新应用能力；发挥国家产融平台作用，鼓励采用融资租赁、产品保险、购买服务等方式推广先进适用的智能机器人产品；支持龙头企业牵头联合产学研用组成创新联合体，加强关键技术和高端产品攻关，加快前沿技术融合，探索跨学科、跨领域的创新模式；举办中国智能机器人产业大会，鼓励地方举办智能机器人发展大会、博览会等活动，推进产研对接、产需对接、产融对接；开展智能机器人创新大赛，面向工业机器人、特种机器人、服务机器人、人形机器人等赛道开展技术创新和应用创新，遴选形成一批优秀机器人产品和解决方案。

4. 优化智能机器人产业生态

面对智能机器人产业链上中下游重点领域，出台专项行动、提供专项资金支持，培育各类产业主体，打造全链路产业生态。针对产业链上游生产零部件企业，培育具有生态主导力和核心竞争力的领航企业，提高企业生态主导力、核心竞争力，带动产业创新资源集聚。针对产业链中游从事机器人本体制造企业及从事软件开发的系统集成企业和产业链下游提供解决方案的企业，着力打造一批专精特新“小巨人”企业、制造业单项冠军企业和独角兽企业，构筑全链路产业生态。

联合多部门指导建设智能机器人生态联盟，覆盖工业、金融、医疗等领域，创新产学研用协作模式，形成产业合力，健全向阳向善产业生态。建设产研联合、产学联合、产产联合、产学研联合的创新生态，打造行业标准引领实践，推动“中国五大银行”和各商业团体等组织机制为产业联盟保驾护航。打造智能机器人赋能供需对接平台，引导传统制造企业、工业园区释放需求，组织智能机器人企业精准服务对接。加强产业链上下游协同，强化全国统一大市场下的标准互认、产品配套、研发协同，加速市场共建、资源共享、利益共赢。