

机器人行业展望：四大逻辑利好机器人产业链发展

机器人产业深度研究报告

机器人

投资评级：推荐（首次）

分析师：曾文婉

分析师登记编码：S0890521020007

电话：021-20321380

邮箱：zengwenwan@cnhbstock.com

销售服务电话：

021-20515355

行业走势图（2023年9月5日）



资料来源：iFind，华宝证券研究创新部

相关研究报告

投资要点

④机器人是一种自动化设备或工具，当前处于第三代智能机器人的L3发展阶段。机器人是一种自动化设备或工具，主要由传感、控制、机械三大部分组成，又可细分为感知系统、控制系统、驱动系统、机械/执行机构、交互系统。全球机器人行业的发展目前处于智能应用期，且处于第三代智能机器人的发展过程中，智能化水平正处于在L3阶段深化发展、并向L4阶段迈进过程中。

④我国市场以工业机器人为主，但服务机器人市场规模增速较快，全球范围看我国是工业机器人消费大国，但并非制造大国。机器人可分为工业机器人、服务机器人和特种机器人。中国机器人市场以工业机器人为主，具体机型以六轴多关节机器人、SCARA机器人为主，主要应用于搬运、焊接和装配。但服务机器人、特种机器人市场规模增速高于工业机器人。从全球范围看，我国是工业机器人消费大国，日本是机器人制造强国。

④上游核心零部件是产业链中技术壁垒高、成本占比较大的环节。工业机器人行业按产业链分为上游、中游、下游和终端应用。上游为控制器、伺服电机、减速器（以上为三大核心零部件）、智能芯片、传感器等核心零部件生产。三大核心零部件成本占机器人比例约66%，国产化率不断提升，行业壁垒较高，在减速器、伺服电机以及控制器的软件层方面，国外厂商仍占竞争优势。中游为工业机器人本体生产，大小六轴、SCARA等机型以及汽车、电子等行业国产化率提升空间较大，本体厂商倾向于自研控制器、伺服系统。下游是基于终端行业特定需求的机器人系统集成商，行业集中度低、国产化率高，但高端领域仍被外资厂商占据，行业商业模式已向“日+美并行”模式转变。

④国产替代、周期见底、技术迭代、劳动力短缺是看好机器人行业的主要逻辑。**国产替代**：机器人细分领域国产化率、渗透率提升空间大，政策驱动下国产替代、产业升级进程有望进一步加快。**周期见底**：根据历史数据，通用机械行业存在3-4年周期性波动的历史趋势，工业机器人行业或将在今年迎来新一轮的上涨周期。**技术迭代**：特斯拉等入局人形机器人，AI大模型助力具身智能，人形机器人迎来0到1的发展阶段。**劳动力短缺**：老龄化与人力短缺将带来生产关系的变革，催化机器人进一步替代人力劳动。

④**投资建议**：1、关注国产化替代逻辑下，具备性价比优势的产业链企业。2、关注特斯拉人形机器人产业链相关企业。3、人形机器人的发展，将带来上游部分零部件、软件系统的增量需求，关注与之相关的企业。4、关注智能化程度高，应用场景更明确、刚性的本体制造商，以及提供机器人智能化基础设施平台的相关企业。

④**风险提示**：下游行业复苏不及预期，行业竞争加剧、国产化替代不及预期，产业政策支持力度不及预期，行业技术发展、商业化进程不及预期，原材料价格、设备价格波动的风险，通用机械周期规律失效风险。

内容目录

1. 机器人是一种自动化设备或工具，当前处于第三代智能机器人的 L3 发展阶段.....	5
1.1. 机器人是一种自动化设备或工具，具备人的特长和机器的特长.....	5
1.2. 机器人主要由三大部分、五大系统组成.....	5
1.3. 当前处于第三代智能机器人的 L3 发展阶段.....	7
2. 我国市场以工业机器人为主，是工业机器人消费大国、但非制造大国.....	10
2.1. 我国机器人市场以工业机器人为主，服务机器人市场规模增速更快.....	10
2.2. 我国是工业机器人消费大国，日本是机器人制造强国.....	14
2.3. 我国工业机器人以六轴多关节机器人、SCARA 机器人为主，主要应用于搬运、焊接和装配.....	16
2.4. 我国服务机器人以家用服务机器人为主，商用服务机器人以商用清洁机和终端配送为主.....	19
3. 我国拥有较为完整的机器人产业链，上游核心零部件是产业链中技术壁垒高、成本占比较大的环节.....	20
3.1. 上游：三大核心零部件国产化率不断提升，但高端领域国外厂商仍占竞争优势.....	22
3.1.1. 机器人主要使用 RV 减速器和谐波减速器，市场均由日本厂商主导，国产化进程不断推进.....	22
3.1.2. 伺服系统中伺服驱动器、伺服电机成本占比较高，国产化率不断提升.....	27
3.1.3. 控制器国内外差异主要体现在软件层，市场竞争格局与本体厂商类似.....	31
3.2. 中游：大小六轴、SCARA 等机型以及汽车、电子等行业机器人国产化率提升空间较大.....	36
3.3. 下游：国内系统集成行业集中度低、国产化率高，行业商业模式已向“日+美并行”模式转变.....	40
4. 国产替代、周期见底、技术迭代、劳动力短缺是看好机器人行业的主要逻辑.....	43
4.1. 国产化率、渗透率提升空间大，政策驱动下国产替代、产业升级进程有望加快.....	43
4.2. 经济复苏预期下，工业机器人行业或将迎来新一轮的上涨周期.....	47
4.3. 特斯拉等科技公司入局人形机器人，AI 大模型助力具身智能，人形机器人迎来“0-1”阶段.....	48
4.4. 老龄化与人力短缺将带来生产关系的变革，催化机器人进一步替代人力劳动.....	49
5. 投资建议.....	51
6. 风险提示.....	51

图表目录

图 1： 机器人组成部分.....	7
图 2： 全球机器人历史发展阶段.....	8
图 3： 工业机器人举例（以多关节机器人为例）.....	11
图 4： 服务机器人举例（以商用清洁、终端配送机器人为例）.....	11
图 5： 2017-2024 年全球不同类型机器人市场规模及增长率.....	12
图 6： 2017-2024 年中国不同类型机器人市场规模及增长率.....	12
图 7： 2015 年-2023 年 7 月中国工业机器人月度产量与增速.....	12
图 8： 2015 年-2023 年 7 月中国工业机器人累计产量与增速.....	12
图 9： 2016-2023 上半年我国工业机器人分季度出货（销售）量（台）及增速（%）.....	13
图 10： 2021 年-2023 年 7 月中国服务机器人月度产量与增速.....	13
图 11： 2021 年-2023 年 7 月中国服务机器人累计产量与增速.....	13
图 12： 智元机器人“远征 A1”在工业场景中的应用（拧螺丝）.....	14
图 13： 智元机器人“远征 A1”在生活场景中的应用（打鸡蛋）.....	14
图 14： 全球主要国家 2011-2021 年新增工业机器人数量（千台）.....	14
图 15： 中国不同类型机器人市场规模占全球相应市场规模的比例（%）.....	15
图 16： 中国新增工业机器人占全球新增工业机器人的比例（%）.....	15
图 17： 2020 年全球工业机器人行业竞争格局（%）.....	15
图 18： 中国工业机器人分机械结构类型的销量结构（%）.....	18
图 19： 中国不同机械结构类型的工业机器人销量增速（%）.....	18

图 20: 全球机器人传统工业机器人与协作机器人销量及增速.....	18
图 21: 2021 年中国工业机器人分应用领域占比.....	18
图 22: 协作机器人在 3C 行业装配中的应用.....	19
图 23: 协作机器人在制作咖啡中的应用.....	19
图 24: 2021 年中国服务机器人不同类型市场占比 (%).....	20
图 25: 2020-2021 年全球专业 (商用) 服务机器人前五大应用类型销量 (千台) 与同比增速 (%).....	20
图 26: 中国公共 (商用) 服务机器人不同类型市场规模 (亿元) 与增速.....	20
图 27: 中国商用服务机器人不同应用场景市场规模 (亿元).....	20
图 28: 机器人产业链 (以工业机器人为例).....	21
图 29: 机器人成本构成 (以工业机器人为例).....	21
图 30: 工业机器人各环节毛利率.....	21
图 31: 机器人成本构成 (以公共服务机器人为例, 环境感知与运动控制模块自研).....	22
图 32: 机器人成本构成 (以公共服务机器人为例, 环境感知与运动控制模块外采).....	22
图 33: 中国 RV 减速器市场规模 (亿元).....	24
图 34: 中国谐波减速器市场规模 (亿元).....	24
图 35: 2014-2022 年中国工业机器人用 RV 与谐波减速器使用量 (万台).....	25
图 36: 2022 年中国 RV 减速器市场份额.....	25
图 37: 2022 年中国谐波减速器市场份额.....	25
图 38: 2018 年-2022 年精密减速器国产化率不断提升 (%).....	26
图 39: 伺服系统原理.....	27
图 40: 伺服系统成本占比情况.....	27
图 41: 伺服驱动器示意图.....	28
图 42: 编码器示意图.....	28
图 43: 伺服电机示意图.....	29
图 44: 中国通用及专用伺服系统市场规模 (亿元) 及增速 (%).....	30
图 45: 中国伺服电机市场规模 (亿元) 及增速 (%).....	30
图 46: 2019 年大、中、小型伺服电机产品市场规模占比 (%).....	30
图 47: 2022 年直流、交流伺服电机市场规模占比 (%).....	30
图 48: 2021 年伺服系统下游应用行业分布 (%).....	31
图 49: 2019-2022 年中国通用伺服市场内外资厂商份额占比 (%).....	31
图 50: 2022 年中国伺服系统品牌市场份额 (%).....	31
图 51: 机器人的控制系统工作原理.....	32
图 52: 运动控制器基本结构.....	33
图 53: 2020 年 PC-Based 控制器、专用控制器、PLC 控制器市场份额占比.....	34
图 54: 2016-2022 年中国运动控制器市场规模 (亿元).....	34
图 55: 2016-2022 年中国工业机器人用控制器市场规模 (亿元).....	34
图 56: 2021 年中国控制器市场竞争格局 (%).....	36
图 57: 中国工业机器人控制器国产化率不断提升 (%).....	36
图 58: 本体制造企业在不同应用领域的布局 (以国内工业机器人本体公司为例).....	36
图 59: 2022 年中国工业机器人竞争格局.....	37
图 60: 2022H1—2023H1 中国工业机器人市场格局变化.....	37
图 61: 国内工业机器人国产化率不断提升 (%).....	38
图 62: 中国工业机器人分机型国产化率 (%).....	38
图 63: 2021 年中国工业机器人分行业国产化率 (%).....	38
图 64: 2021 年中国工业机器人分应用场景国产化率 (%).....	38
图 65: 2021 年中国扫地机器人线上销售份额占比.....	39
图 66: 2021 年中国餐饮行业商用服务机器人市场份额.....	39

图 67: 2021 年商用清洁机器人市场竞争格局 (市场规模占比)	39
图 68: 工业机器人系统集成的主要模式.....	41
图 69: 工业机器人系统集成市场规模及增速.....	42
图 70: 2019 年工业机器人系统集成市场占比 (按行业细分)	42
图 71: 2019 年工业机器人系统集成市场规模 (按内外资, %)	43
图 72: 2019 年各工艺段系统集成商本土和外资竞争格局 (%)	43
图 73: 2019 年各行业系统集成本土和外资竞争格局 (%)	43
图 74: 中国工业机器人密度靠前, 但仍有提升空间 (单位: 台/万人)	44
图 75: 2010-2021 年主要地区或国家工业机器人密度比较 (单位: 台/万人)	44
图 76: 2022 年中国工业机器人各行业渗透率调查 (%)	45
图 77: 2022 年中国服务机器人各行业渗透率调查 (%)	45
图 78: 2008 年以来金属切削机床、叉车、工业机器人月度产量同比 (%)	47
图 79: AI 技术将助力机器人智能化发展.....	49
图 80: 人口出现负增长.....	50
图 81: 人口老龄化趋势加剧.....	50
图 82: 劳动力人口比例 (%) 下滑.....	50
图 83: 制造业城镇单位就业人员数量下滑 (万人)	50
图 84: 2008 年以来金属切削机床、叉车、工业机器人月度产量同比 (%)	51
表 1: 不同机构/标准对机器人的定义.....	5
表 2: 机器人组成部分.....	6
表 3: 中国机器人历史发展阶段.....	8
表 4: 机器人智能等级阶段.....	9
表 5: 根据应用领域对机器人进行分类.....	10
表 6: 工业机器人分类 (按机械结构)	16
表 7: 工业机器人分类 (按应用类型) 以及对应常见的机器人机械结构类别.....	16
表 8: RV 减速器与谐波减速器对比.....	23
表 9: 精密减速器行业的进入壁垒较高.....	26
表 10: 通用运动控制器分类.....	33
表 11: 部分机器人本体厂商主要产品线及优势行业梳理.....	37
表 12: 部分机器人本体厂商细分产业链布局情况.....	39
表 13: 以工业机器人系统集成步骤为例.....	40
表 14: 机器人细分产业链国产化率情况 (以工业机器人为例)	44
表 15: 近年各国或地区机器人行业重要相关政策.....	45
表 16: 2016-2023 年国内机器人行业重要相关政策.....	46

1. 机器人是一种自动化设备或工具，当前处于第三代智能机器人的 L3 发展阶段

1.1. 机器人是一种自动化设备或工具，具备人的特长和机器的特长

机器人是一种自动化设备或工具，主要特征有二——具备类人或类生物的智能或功能，且自主或半自主地执行任务。目前尽管关于机器人的研究非常广泛和深入，但对于机器人还没有一个统一的定义。从多家机构或标准对机器人的定义总结来看，机器人是一种能够半自主或全自主工作的自动化设备，即这种设备能够通过编程和自动控制来执行任务，具备与人或生物类似的智能能力。

机器人具备人的特长和机器的特长。机器人可以辅助甚至替代人类完成危险、繁重、复杂的工作，提高工作效率质量，服务人类生活，扩大延伸人的活动及能力范围。但与此同时，机器人并不是在简单意义上替代人工的劳动，而是综合了人的特长和机器特长，既有人对环境状态的快速反应和分析判断能力，又有机器可长时间持续工作、精确度高、抗恶劣环境的能力。

表 1：不同机构/标准对机器人的定义

机构/标准	定义
新国标 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，可以在其环境中运动以执行预定任务的执行机构。
美国机器人协会 (RIA)	一种用于移动各种材料、零件、工具或专用装置的，通过可编程的动作来执行各种任务，并具有编程能力的多功能机械手。
日本工业机器人协会 (JIRA)	将机器人的定义分成两类： 工业机器人：一种能够执行与人体上肢（手和臂）类型动作的多功能机器； 智能机器人：一种具有感觉和识别能力，并能控制自身行为的机器。
国际标准化组织 (ISO)	(1) 机器人的动作机构具有类似于人或其他生物体的某些器官（肢体、感受等）的功能； (2) 机器人具有通用性，工作种类多样，动作程序灵活易变； (3) 机器人具有不同程度的智能性，如记忆、感知、推理、决策、学习等； (4) 机器人具有独立性，完整的机器人系统在工作中可以不依赖于人的干预。

资料来源：《工业机器人技术基础》（林燕文，陈南江，许文稼），GB/T 39405-2020，美国机器人协会（RIA），日本工业机器人协会（JIRA），国际标准化组织（ISO），华宝证券研究创新部

1.2. 机器人主要由三大部分、五大系统组成

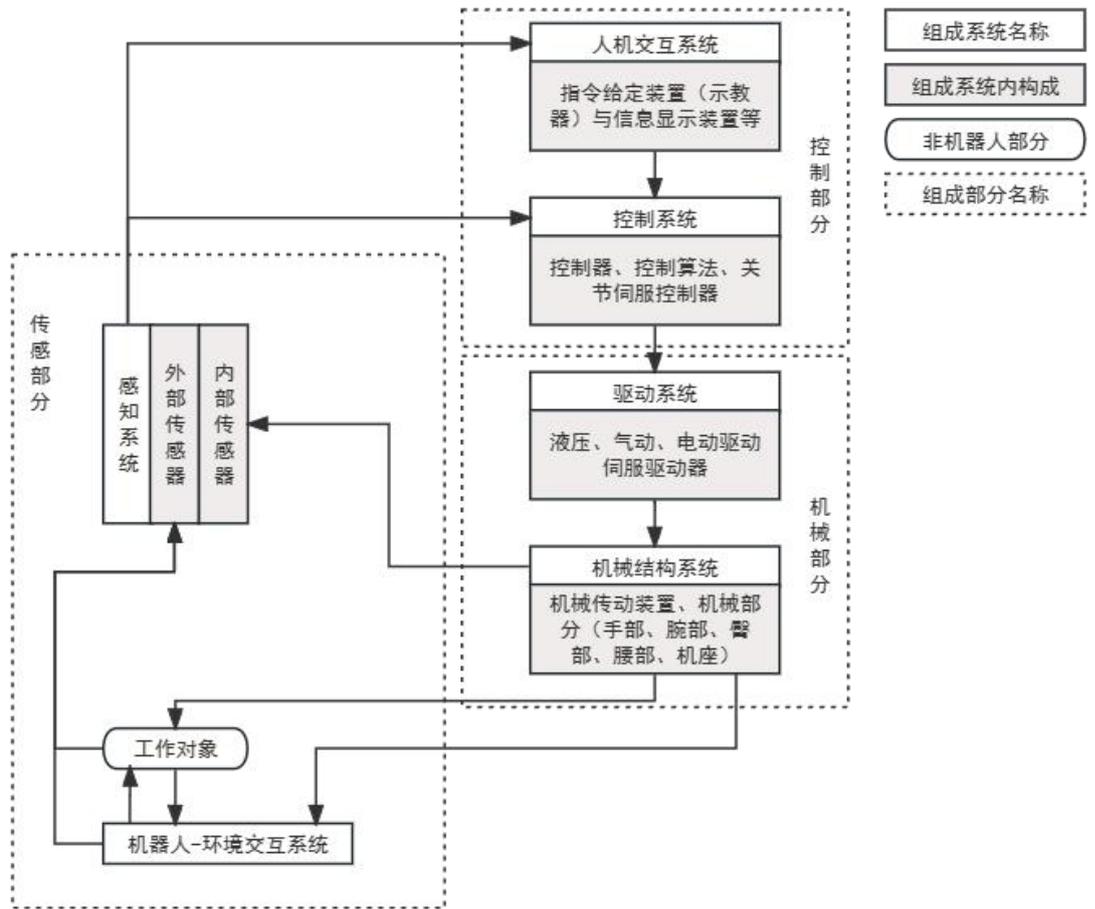
机器人主要由传感、控制、机械三大部分组成，又可细分为感知系统、控制系统、驱动系统、机械/执行机构、交互系统。当前机器人的经典架构设计遵循感知-控制-执行的反馈控制框架，主要由传感、控制、机械三大部分组成，因此其具有感知、执行等基本能力。与人或生物的组成部分进行类比，可将机器人结构细分为感知系统（感官系统中的感受）、控制系统（大脑系统）、驱动系统（心脏、肌肉）、机械/执行机构（身躯、四肢）、交互系统（感官系统中的交流）。

表 2：机器人组成部分

组成系统	定义
感知系统	它由内部传感器模块和外部传感器模块组成，获取内部和外部环境中有用的信息。内部传感器用来检测机器人的自身状态（内部信息），如关节的运动状态等。外部传感器用来感知外部世界，检测作业对象与作业环境的状态（外部信息），如视觉、听觉、触觉等。 智能传感器的使用提高了机器人的机动性、适应性和智能化水平。
控制系统	机器人控制系统是机器人的大脑，是决定机器人功能和性能的主要因素。 控制系统的任务是根据机器人的作业指令以及从传感器反馈回来的信号，支配机器人的执行机构去完成规定的运动和功能。主要包括控制器、控制算法、关节伺服控制器等。控制器根据作业要求接收编程发出的指令控制和协调运动，并根据环境信息协调运动。
驱动系统	驱动系统是向机械结构系统提供动力的装置。 其主要驱动方式有：电气驱动、液压驱动、气压驱动及新型驱动。电气驱动是目前使用最多的一种驱动方式，液压驱动可以获得很大的抓取能力，气压驱动的机器人结构简单，动作迅速，空气来源方便。随着应用材料科学的发展，一些新型材料开始应用于机器人的驱动，如形状记忆合金驱动、压电效应驱动、人体肌肉及光驱动等。此外还包括伺服驱动器，控制各关节按伺服控制器指示的速度、加速度和轨迹要求进行运动。
机械结构系统（执行机构、操作机构）	<p>机器人中负责执行作业、完成工作任务的实体部分，主要由机械部分和传动部分组成。</p> <p>机械部分通常由杆件和关节组成。从功能角度分类，主要包括基座、腰部（立柱）、手臂、手腕、手部（末端执行器）四大组件，一些机器人还配备有行走结构。</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 手部：又称末端执行器，是工业机器人直接进行工作的部分，其作用是直接抓取和放置物件，可以是各种手持器。 ✓ 腕部：是连接手部和臂部的部件。其作用是调整或改变手部的姿态，是操作机中结构最复杂的部分。 ✓ 臂部：又称手臂，用以连接腰部和腕部，通常由两个臂杆（大臂和小臂）组成，用以带动腕部运动。 ✓ 腰部：又称立柱，是支撑手臂的部件，其作用是带动臂部运动，与臂部运动结合，把腕部传递到需要的工作位置。 ✓ 基座（行走机构）：基座是机器人的支持部分，有固定式和移动式两种，该部件必须具有足够的刚度、强度和稳定性。 <p>传动部分直接影响机器人的稳定性、快速性和精确性等性能参数。传动装置是指把动力装置的动力传递给工作机构等的中间设备。机器人的传动装置除了齿轮传动（圆柱齿轮传动、锥齿轮传动、齿轮链传动、齿轮齿条传动、蜗轮蜗杆传动等）、丝杠传动、行星齿轮传动和 RV 减速器传动外，还常用柔性元件传动（谐波齿轮传动、绳传动和同步齿形带传动等）。</p>
交互系统	即人-机器人-环境交互系统，是能将三者联系起来并互相协调的系统，主要功能为发送信息指令及显示信息。人机交互部分指操作人员控制机器人并与机器人联系的装置部分，机器人环境交互部分指机器人与外部环境中的设备互换联系和协调的系统部分。

资料来源：《机器人技术与智能系统》（陈继文，姬帅，杨红娟等），华宝证券研究创新部

图 1：机器人组成部分



资料来源：《工业机器人技术基础》（林燕文，陈南江，许文稼），华宝证券研究创新部

1.3. 当前处于第三代智能机器人的 L3 发展阶段

全球机器人行业的发展经历了四个阶段，目前处于智能应用期。全球机器人行业的发展经历了萌芽阶段（20 世纪 40-50 年代）、初级阶段（20 世纪 60-70 年代）、迅速发展阶段（20 世纪 80-90 年代）、智慧化阶段（21 世纪初-至今）等四个阶段。当前阶段，随着感知、计算、控制等技术的迭代升级和图像识别、自然语音处理、深度认知学习等人工智能技术在机器人领域的深入应用，机器人领域的服务化、智能化、通用化趋势日益明显。其中美国、日本、德国等都是机器人的研发和制造大国，无论是在基础研究还是产品研发、制造方面，都居世界领先水平。在日本，机器人的关键性部件—减速器是遥遥领先的，并且已经形成了技术壁垒；德国则在原材料、本体零部件具有很大的优势；美国当前在人形机器人方面、机器人 AI 技术方面引领潮流。

图 2：全球机器人历史发展阶段



资料来源：《工业机器人作业系统集成开发与应用：实战及案例》（刘超，周思权，言勇华），华宝证券研究创新部

国内工业机器人行业发展起步晚于国外，目前处于产业形成阶段，下一步将向产业深化迈进。国内主要经历了三个发展时期——技术准备阶段（1970-1990年）、产业孕育阶段（1990-2009年）、产业形成阶段（2009年-至今）。在2000年之前，国内主要以技术研究、市场探索为主。进入21世纪后，国内工业机器人技术及产业才得到迅猛发展。2000年-2010年，在汽车等主要应用领域较为低迷的情况下，国内工业机器人年均销量仅为数千台，这一阶段主要是外资在加速布局国内市场，而国内供应商主要做集成和代理。2010-2017年，随着下游汽车、3C等行业需求的高速增长，工业机器人销量超过万台，一些内资集成企业发展到了一定程度，并开始向中上游拓展。同时国家对机器人支持补贴政策的密集出台，以及长尾市场的逐渐打开，我国工业机器人产销量呈爆发式增长。2018-2019年受贸易摩擦影响以及补贴减少，国内汽车、3C电子等主要的机器人应用下游受到影响，机器人需求放缓。近年来，伴随新能源等行业快速扩产，机器人行业抓住历史机遇切入相应细分行业，在相关行业应用上占据先发优势。总的来说，与美、日、德等机器人强国相比，中国仍更多处于机器人产业链的中下游，主要是本体制造、系统集成、二次开发、定制性部件和售后服务等环节。

表 3：中国机器人历史发展阶段

阶段划分	时间范围	含义
技术准备阶段	1970-1990年	我国工业机器人的前期理论研究始于20世纪70年代至80年代初期，这一时期主要是针对工业机器人的研究，研究单位分布在国内部分科研院所及高校。 进入20世纪80年代中期，随着工业发达国家开始大量应用和普及工业机器人，我国工业机器人的研究得到政府的重视和支持。国家组织了对工业机器人需求行业的调研，投入大量的资金开展工业机器人的研究，进入了样机开发阶段。
产业孕育阶段	1990-2009年	20世纪90年代，是工业机器人示范应用阶段。为实现高新技术发展与经济发展的紧密结合，我国确定了特种机器人与工业机器人及应用并重的指导方针，到90年代末，国内初步建成了9个机器人产业化基地和科研基地。 进入21世纪，国内一大批企业或自主研制或与科研院所合作，进入工业机器人研制和生产行列，我国工业机器人进入初步产业化阶段。
产业形成阶段	2009年至今	2009年，我国开始大力推进战略性新兴产业的发展，随着各类战略性新兴产业发展规划

阶段划分	时间范围	含义
		以及工业转型升级规划的相继出台，智能制造装备作为高端装备制造业的重要方向被提出，我国工业机器人的发展自此迎来发展高峰。 这一时期，随着工业转型升级的推进，并受劳动力成本上涨等因素影响，我国工业机器人市场需求呈现爆发式增长，国产工业机器人开始实现大批量生产，产品日趋多样化。

资料来源：《中国战略性新兴产业研究与发展：工业机器人》（宋晓刚），中国机器人产业联盟（CRIA），华宝证券研究创新部

机器人技术迭代已走过两代，当前处于第三代智能机器人的发展过程中。第一代的机器人指能通过离线编程或示教操作生成程序，并再现动作的机器人，所使用的技术和数控机床相似。第二代机器人装备有少量传感器，能获取环境、对象的简单信息和进行简单的推理，可适当调整动作和行为，故称为感知机器人或低级智能机器人。第三代机器人具有高度的自适应能力，它有多种感知机能，可通过复杂的推理，做出判断和决策，自主决定机器人的行为，具有相当程度的智能，故称为智能机器人。

若按照智能等级来看，目前的智能机器人还处于“弱智能”状态，正不断在 L3 阶段深化发展、同时向 L4 阶段迈进。根据《智能机器人（第二版）》（陈黄祥）一书中的分类，将机器人智能等级分为 L0-L4 等 5 个等级阶段，同时标明了相应阶段中机器人在知识获取、知识反馈、知识应用、知识创新中的自主性，是完全依靠机器人自身还是完全或部分依赖人为操控。目前的智能机器人还处于“弱智能”状态、整体发展至 L3 阶段，随着以物联网、云计算、深度学习等为代表的新一代信息技术的快速发展，机器人将不断在 L3 阶段深化发展、并向 L4 阶段迈进。

表 4：机器人智能等级阶段

机器人智能等级	名称	定义	知识获取	知识反馈	知识应用	知识创新
L0	人工操控机器人	机器人没有任何自主性，完全依赖人为操控，如人工操作的工厂设备、遥控飞机等。	人类	人类	人类	人类
L1	程序控制机器人	机器人受预先编程的程序控制，如工厂中的机械臂、非标自动化设备等。	人类/机器人	人类	人类	人类
L2	感知控制机器人	机器人能够感知周围环境并反馈自身状态，如位姿、故障信息等，能够自主按程序运行，也可以通过网络进行远程人为操控，典型的如扫地机器人等。	机器人	人类/机器人	人类	人类
L3	自适应机器人	机器人在特定场景和特定范围内可以实现高度的自适应，但其不具备自学能力，具备环境自适应性，但无法持续优化。	机器人	机器人	人类/机器人	人类
L4	完全自主机器人	机器人完全自主，即使在复杂、开放的场景下，仍然可以独立生存、独立行动、自由地与其他智能体交互，适应环境并不断学习进化。	机器人	机器人	机器人	机器人

资料来源：《智能机器人（第二版）》（陈黄祥），华宝证券研究创新部

2. 我国市场以工业机器人为主，是工业机器人消费大国、但非制造大国

2.1. 我国机器人市场以工业机器人为主，服务机器人市场规模增速更快

根据制造目的的不同，机器人可分为工业机器人、服务机器人和特种机器人。中国于2021年正式实施的新国标 GB/T 39405-2020 从五个维度对机器人进行分类，包括应用领域、运动方式、使用空间、机械结构以及编程和控制方式。根据应用领域，机器人可分为五大类，包括工业机器人、个人/家用服务机器人、公共服务机器人（商业服务机器人）、特种机器人和其他应用领域机器人，其中个人/家用服务机器人、公共服务机器人（商业服务机器人）可归属于服务机器人大类。本文主要讨论工业机器人、服务机器人。

表 5：根据应用领域对机器人进行分类

机器人类型	含义	细分类型
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。当前实用化的工业机器人以第一代示教再现机器人居多，但部分工业机器人（如焊接、装配等）已采用图像识别等智能技术，对外部环境具有一定的适应能力，初步具备了第二代机器人的一些功能。	按其使用用途分为加工、装配、搬运、包装四大类，具体可分为搬运作业/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、洁净机器人和其他工业机器人。
服务机器人	个人/家用服务机器人	是一种半自主或全自主工作的机械设备，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。这种机器人的操作使用，通常不需要专业知识或技能，不需要特别的培训或资质。这类机器人为大众化、低价位产品，其市场空间最大。
	公共服务机器人	是一种半自主或全自主工作的机械设备，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。
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/或替代人执行任务的机器人。	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、康复机器人和其他特种机器人。
其他应用领域机器人	除以上机器人外的其他机器人。	/

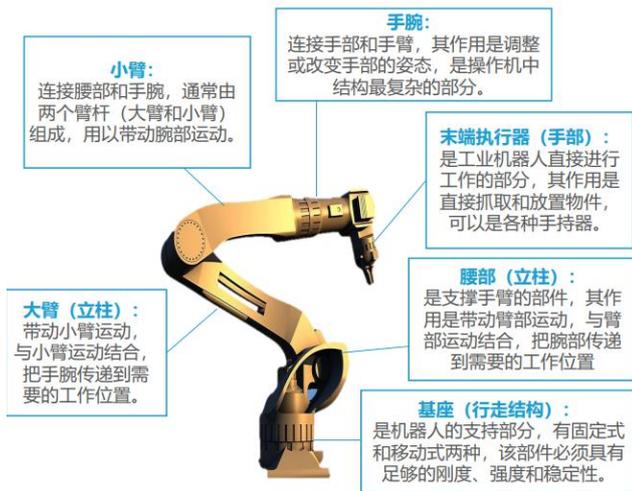
资料来源：GB/T 39405-2020,《ABB 工业机器人编程全集》(龚仲华, 龚晓雯), 华宝证券研究创新部

注：跟一般分类方法不同的是，医疗服务相关的机器人被纳入特种机器人的分类，由于大部分组织机构在进行数据统计时均将医疗机器人归类为服务机器人，故本文仍将医疗服务相关机器人纳入服务机器人范畴。

工业机器人是 20% 的智能+80% 的动能，而服务机器人是 80% 的智能+20% 的动能。简单

来说，机器人就是动能（提供动力，完成运动）+智能（判断、控制）的组合，如果说工业机器人是 20% 的智能+80% 的动能，那么服务机器人就是 80% 的智能+20% 的动能。原因在于工业机器人所处的工作环境在大多数情况下是已知的，对应工作内容变化少，但要求精密、精细、准确，即对智能要求不高，但对运动能力有较高要求，因此利用第一代机器人技术可基本满足。然而，服务机器人的工作环境在绝大多数场合中是未知的，面临工作环境复杂、变化多，但承受负载轻且精密要求不高，故一般需要使用第二代、第三代机器人技术。

图 3：工业机器人举例（以多关节机器人为例）



资料来源：亿欧智库，华宝证券研究创新部

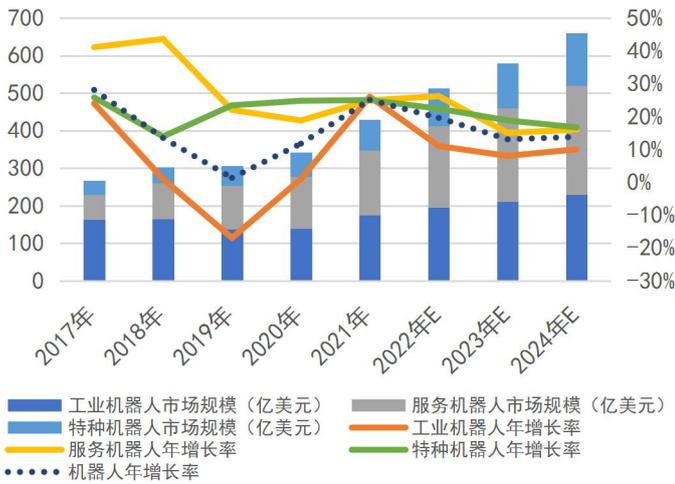
图 4：服务机器人举例（以商用清洁、终端配送机器人为例）



资料来源：亿欧智库，华宝证券研究创新部

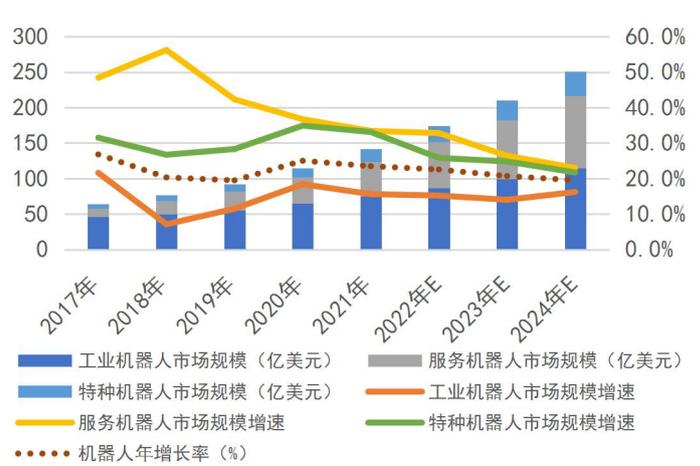
全球机器人市场主要以工业机器人、服务机器人为主，我国机器人市场以工业机器人为主。根据中国电子学会及 IFR 数据，2021 年全球工业机器人、服务机器人、特种机器人市场规模分别为 175 亿美元、172 亿美元、82 亿美元，占比分别为 41%、40%、19%。预计工业机器人 2022-2024 年间市场规模 CAGR 为 9%，服务机器人、特种机器人 2022-2024 年市场规模 CAGR 分别为 16%、18%。根据中国电子学会 2021 年数据，中国工业机器人、服务机器人、特种机器人市场规模分别为 75 亿美元、49 亿美元、18 亿美元，占比分别为 53%、35%、13%。2017-2021 年间服务机器人、特种机器人的规模增速高于工业机器人。与全球不同类型机器人市场规模发展趋势类似，根据中国电子业协会和 IFR 的预测，2022-2024 年间工业机器人市场规模将仍维持 CAGR 为 15% 的速度增长，但服务机器人、特种机器人市场规模增速将高于工业机器人，两者该期间 CAGR 将分别达到 25%、24%，服务机器人市场规模与工业机器人的差距将缩小。我国三种类型机器人市场规模在 2017-2022 年间的 CAGR 均高于全球。

图 5：2017-2024 年全球不同类型机器人市场规模及增长率



资料来源：中国电子学会，IFR，华宝证券研究创新部

图 6：2017-2024 年中国不同类型机器人市场规模及增长率



资料来源：中国电子学会，IFR，华宝证券研究创新部

无论是从产量还是销量上看，我国工业机器人近两年增速有所放缓。根据 Wind 以及萝卜投研数据，2017-2022 年工业机器人产、销量 CAGR 分别为 28%、14%。2020-2021 年，由于疫情因素、机器替代人的需求增加，以及国产替代叠加新能源等行业大规模扩产等因素，工业机器人产销量均有大幅度提升；近两年产销增速放缓，今年上半年表现疲软，主要受到下游应用市场需求走低以及渠道商降库存的影响。

图 7：2015 年-2023 年 7 月中国工业机器人月度产量与增速



资料来源：Wind，华宝证券研究创新部

注：Wind 中为国家统计局数据，包括垂直多关节、水平多关节、协作机器人、并联机器人、直角坐标机器人。

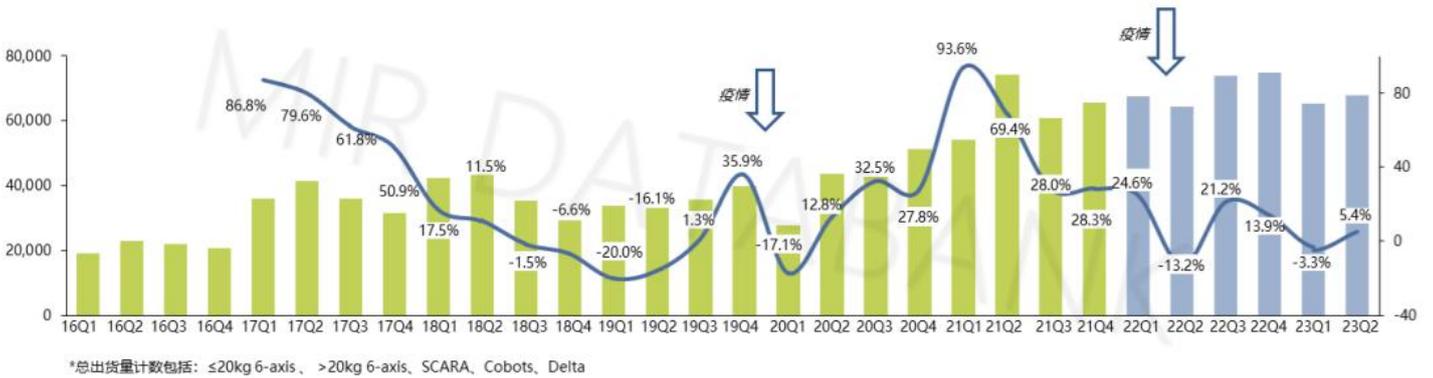
图 8：2015 年-2023 年 7 月中国工业机器人累计产量与增速



资料来源：Wind，华宝证券研究创新部

注：Wind 中为国家统计局数据，包括垂直多关节、水平多关节、协作机器人、并联机器人、直角坐标机器人。

图 9：2016-2023 上半年我国工业机器人分季度出货（销售）量（台）及增速（%）



资料来源：MIR DATABANK（睿工业），华宝证券研究创新部

注：MIR 统计数据包括小六轴多关节机器人、大六轴多关节机器人、SCARA 机器人、Delta 机器人、协作机器人。

服务机器人产量增速有回暖趋势。2021 年，在疫情影响下，无接触式服务成为刚需，过去两年消费者和企业对服务机器人的需求陡然增加，机器人的价值被进一步挖掘，服务机器人快速迈过市场教育阶段，进入高速发展期；2022 年，商业服务机器人受到下游餐饮、酒店等行业需求不景气的影响，家用服务机器人中占比较高的扫地机器人行业市场规模增长停滞，故整个服务机器人产量呈下滑趋势，下滑情形一直延续至 2023 年 3 月。2023 年 4 月，服务机器人的产量同比增长了 47.6%，行业上升拐点出现，截至 2023 年 7 月，服务机器人产量同比增速为 28.7%，有所回暖。

图 10：2021 年-2023 年 7 月中国服务机器人月度产量与增速



资料来源：Wind，华宝证券研究创新部

图 11：2021 年-2023 年 7 月中国服务机器人累计产量与增速



资料来源：Wind，华宝证券研究创新部

在智能化、通用化、人形化趋势下，工业机器人与服务机器人的界限将被打破。根据前文分析传统工业机器人与服务机器人是存在较大差别的，但在 AI 大模型“智力加持”下的通用人形机器人被推出后，未来同一种机器人既可用于工业场景、又可用于服务场景的画面将会成为现实。例如根据特斯拉计划，第一批 Optimus 机器人将主要在特斯拉超级工厂中应用，替代那些危险、无聊、重复的工作，或是人们不想做的工作，第二批大规模使用的机器人，会拥有在现实世界中的导航能力，无须特定指令也能做有用的事，第三批可以应用在家庭场景。再例如国内的智元机器人“远征 A1”展示的功能包括在工厂拧螺丝、做检测，在家庭生活场景中当管家等。

敬请参阅报告结尾处免责声明

图 12: 智元机器人“远征 A1”在工业场景中的应用 (拧螺丝)



资料来源: 智元机器人微信公众号, 华宝证券研究创新部

图 13: 智元机器人“远征 A1”在生活场景中的应用 (打鸡蛋)

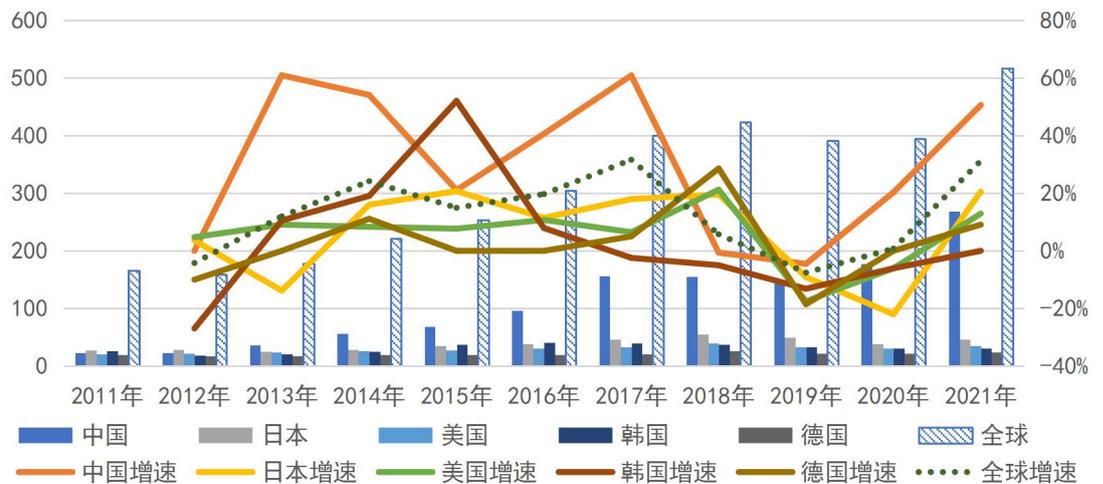


资料来源: 智元机器人微信公众号, 华宝证券研究创新部

2.2. 我国是工业机器人消费大国, 日本是机器人制造强国

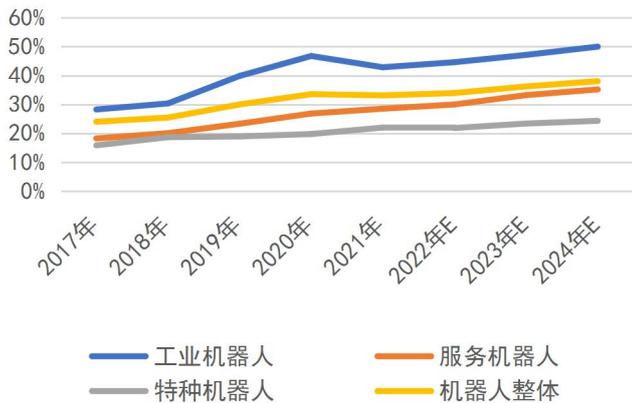
自 2013 年起, 我国已成为全球最大的工业机器人消费国。从每年新增工业机器人安装数量上看, 自 2013 年起, 中国新增数量已超过其他主要国家、达到 3.7 万台, 成为全球最大的工业机器人消费市场, 且近几年新增安装数量的增速高于其他主要国家。从占比上看, 2021 年中国机器人市场规模占全球比例已达 33%, 新增工业机器人数量占全球比例已达 52%。根据中国电子学会、IFR 预测, 由于中国对机器人科技和产业发展高度重视, 中国机器人行业将进一步发展壮大, 2022-2024 年中国机器人市场规模将分别达到 174 亿美元、210 亿美元、251 亿美元, 2022-2024 年中国机器人市场规模 CAGR 预计为 20%, 超过全球预计增速 (13%)。

图 14: 全球主要国家 2011-2021 年新增工业机器人数量 (千台)



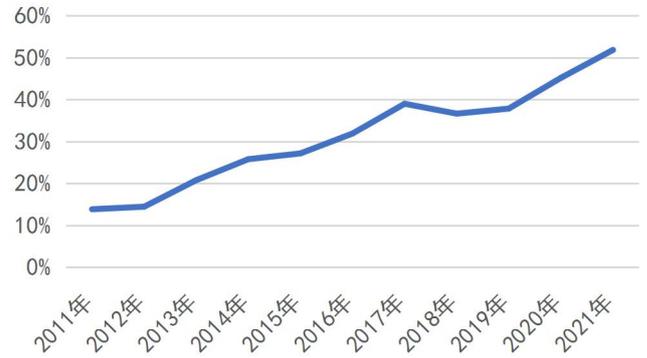
资料来源: IFR, 华宝证券研究创新部

图 15: 中国不同类型机器人市场规模占全球相应市场规模的比例 (%)



资料来源: 中国电子学会, IFR, 华宝证券研究创新部

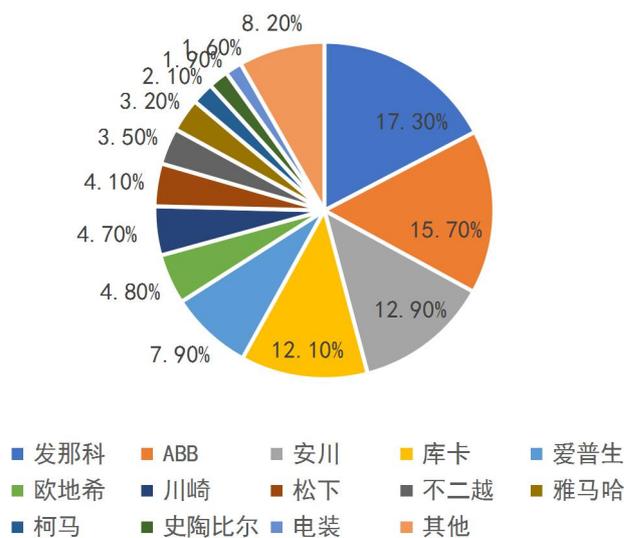
图 16: 中国新增工业机器人占全球新增工业机器人的比例 (%)



资料来源: IFR, 华宝证券研究创新部

尽管我国是工业机器人消费大国,但从供给端上看,日本是全球机器人(尤其是工业机器人)市场的主角。从供给视角来看,尽管我国已经形成学科齐全的机器人研发体系、从零部件生产到机器人应用的完整产业链,但仍处于产业化的初期阶段,而日本与欧洲已经实现了传感器、控制器、精密减速机等核心零部件完全自主化,美国在 AI 大模型的开发和应用上已走在世界前列。例如在工业机器人销量上,瑞士的 ABB、德国的库卡(KUKA)、日本的发那科(FANUC)和安川电机(YASKAWA)4家生产商(被称为“四大家族”)占据着工业机器人 58%的市场份额,且在机器人本体制造、相关技术和服务、核心零部件等多方面拥有显著优势。根据 IFR《全球机器人报告》,日本是全世界排名第一的工业机器人制造国,2021年生产的机器人数量占全球总量的 45%。

图 17: 2020 年全球工业机器人行业竞争格局 (%)



资料来源: IFR, 前瞻产业研究院, 华宝证券研究创新部

2.3. 我国工业机器人以六轴多关节机器人、SCARA 机器人为主，主要应用于搬运、焊接和装配

根据前文分析，按照机器人的用途和功能，三大类型机器人可以继续向下细分，工业机器人包括加工、装配、包装机器人等，服务机器人包括个人/家用服务机器人和公共服务机器人（商业服务机器人），特种机器人包括军事机器人、场地机器人等。按照机械结构，工业机器人又可分为垂直关节型、平面关节型、并联机器人、直角坐标型等，前三种属于多关节机器人，其中垂直关节型、平面关节型一般为串联机器人，协作机器人也属于串联机器人的一种。不同应用场景应用的机器人的机械结构略有差异，同时不同机械结构的机器人主要应用领域也会有所差异。

表 6：工业机器人分类（按机械结构）

分类		应用领域	负载区间 (kg)	相关内容	
串联机器人	垂直关节机器人	大六轴机器人	汽车、食品，搬运、焊接、装配和加工作业	20-600	
		小六轴机器人	锂电、3C，搬运、焊接、装配和加工作业		
	平面关节机器人	SCARA(水平串联机器人)	电子、食品、半导体、金属制品、医疗，主要用于固定装配、压力装配、搬运、洁净室等	3-50	
	协作机器人		3C、汽车零部件、科研教育、机械加工	3-30	
并联机器人	Delta 机器人	食品、药品、电子产品分拣、包装等流水线作业	3-100		
直角坐标型机器人		也被称为机械手，直角坐标机器人因为稳定性好且简单经济，在工业、农业、制造、冶金、电子、轻工等行业都有一定的应用。被广泛应用于点胶、注塑、喷涂、码垛、搬运、上下料等常见的工业生产领域。	负载可高于串联机器人		

资料来源：《ABB 工业机器人编程全集》（龚仲华，龚晓雯），拓斯达官网，节卡机器人官网，华宝证券研究创新部

表 7：工业机器人分类（按应用类型）以及对应常见的机器人机械结构类别

类别	功能	应用场景或行业	常见机器人结构类型
----	----	---------	-----------

类别		功能	应用场景或行业	常见机器人结构类型	
工业机器人	加工机器人	焊接机器人	焊接工业机器人可以适应包括电弧、电阻和点焊等多种焊接工艺，是目前工业机器人中产量最大、应用最广的产品	被广泛用于汽车、铁路、航空航天、军工、冶金、电器等行业	垂直关节机器人（6-7轴）
		材料切割机器人	目前，薄板类材料的切割大多采用数控火焰切割机、数控等离子切割机和数控激光切割机等数控机床加工；但异形、大型材料或船舶、车辆等大型废旧设备的切割已开始逐步使用工业机器人	异形、大型材料或船舶、车辆等大型废旧设备的切割	垂直关节机器人（6-7轴）
		研磨、雕刻、抛光机器人	表面处理	主要用于汽车、摩托车、工程机械、家具建材、电子电气、陶瓷卫浴等行业的表面处理	垂直关节机器人（6轴）
	装配机器人	组装机	将不同的零件组合成组件或成品	3C行业是目前组装机机器人最大的应用市场	通用装配：垂直关节机器人（4-6轴） 电子、光伏装配：SCARA（4-5轴）
		涂装机	用于部件或成品的油漆、喷涂等表面处理	广泛用于汽车、仪表、电器、搪瓷等工艺生产部门	垂直关节机器人（6-7轴）
	搬运机器人	输送机器人	运输货物	可广泛应用于机械、电子、纺织、卷烟、医疗、食品、造纸等行业的物品搬运和输送	SCARA（4-5轴）（电子、塑料、汽车、药品、食品等行业平面搬运）；AGV（自动引导运输车）、AMR（自主移动机器人）
		装卸机器人	多用于机械加工设备的工件装卸（上下料），它通常和数控机床等自动化加工设备组合，此外还经常用于冲剪、锻压、铸造等设备的上下料	大型仓库和物流中心、零售、制造业、医药	垂直关节机器人（4-6轴）
	包装机器人	是用于物品分类、成品包装、码垛的工业机器人，常用的主要有分拣、包装和码垛3类	计算机、通信和消费性电子行业（3C行业）以及化工、食品、饮料、药品工业是包装机器人的主要应用领域	分拣包装：垂直关节机器人（4-6轴），并联机器人（4-6轴），SCARA（电子行业） 码垛：垂直关节机器人（4-6轴）	

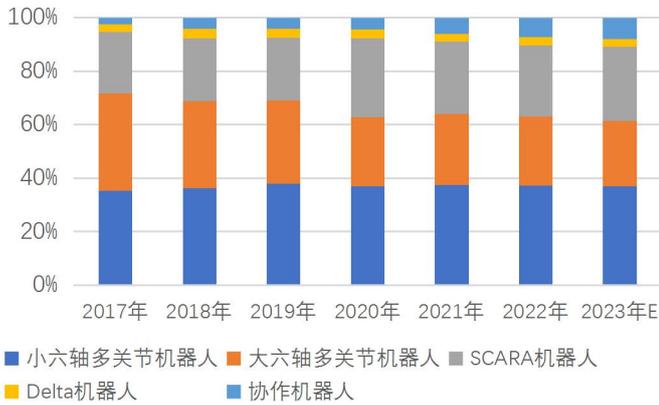
资料来源：《ABB 工业机器人编程全集》（龚仲华，龚晓雯），华宝证券研究创新部

我国工业机器人以六轴多关节机器人、SCARA 机器人为主，应用场景主要为搬运、焊接和装配。从结构上看，中国工业机器人市场需求主要以六轴多关节机器人、SCARA 机器人为主，2022 年合计占比约为 90%，其中小六轴、大六轴、SCARA 机器人占比分别为 37%、26%、27%。从功能上看，尽管工业机器人运用场景广泛，但我国工业机器人主要用于搬运、焊接和装配等应用环节，此类应用的机器人占比约为 82%。

工业机器人方面，人机协作或成为未来焦点。协作机器人指在共享空间中与人类互动或在附近安全工作的机器人，是工业机器人重要的细分领域之一。尽管协作机器人销量占比较低，

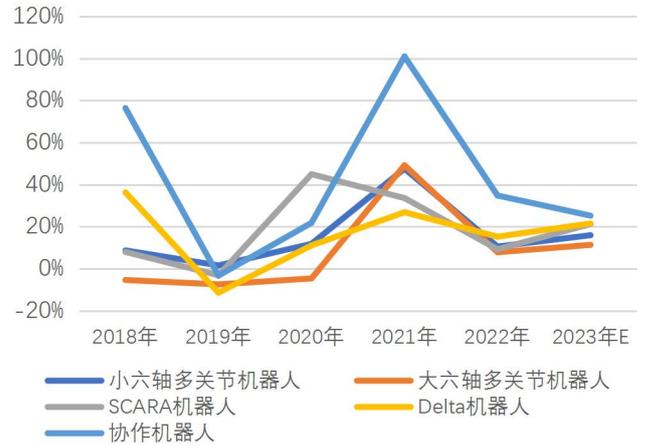
约为7%左右，但其增长速度最快，这点从全球协作机器人增速上也有体现。比传统工业机器人智能化程度、灵活程度、安全程度更高，应用场景不断更新，不仅可以应用于工业领域，还可以应用于商用服务领域，协作人工执行更加复杂的任务。在机器人柔性化、高灵活性的发展趋势下，协作机器人将是机器人未来发展的重要方向之一。

图 18：中国工业机器人分机械结构类型的销量结构（%）



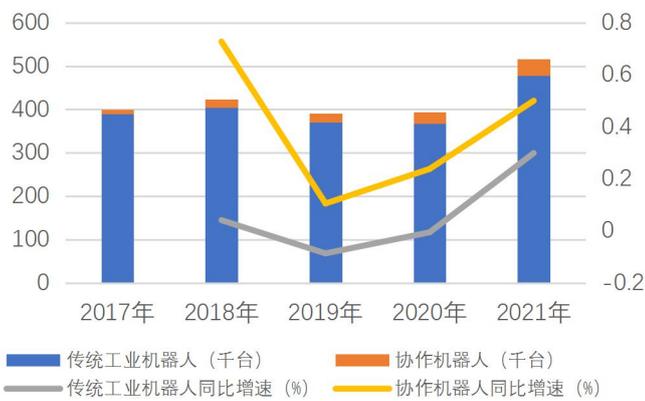
资料来源：萝卜投研，MIR，华宝证券研究创新部
注：2023年为预测值。

图 19：中国不同机械结构类型的工业机器人销量增速（%）



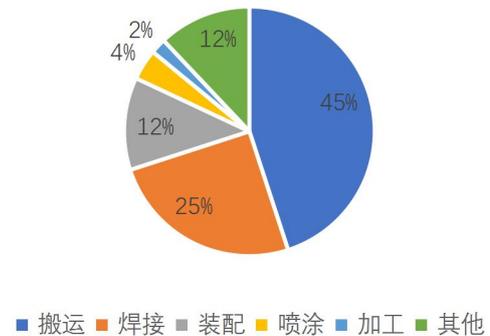
资料来源：萝卜投研，MIR，华宝证券研究创新部
注：2023年为预测值。

图 20：全球机器人传统机器人与协作机器人销量及增速



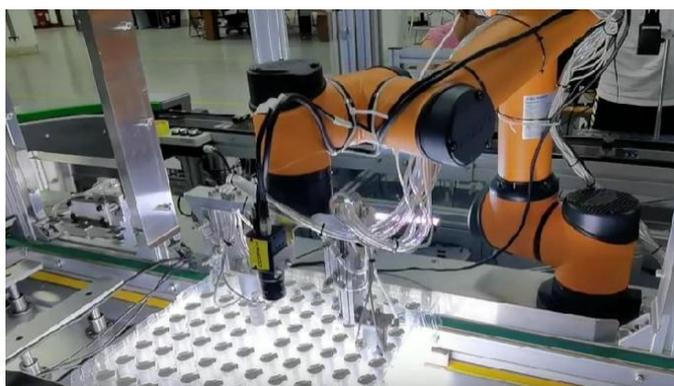
资料来源：IFR，华宝证券研究创新部

图 21：2021年中国工业机器人分应用领域占比



资料来源：艾瑞咨询，华宝证券研究创新部

图 22：协作机器人在 3C 行业装配中的应用



资料来源：遨博机器人官网，华宝证券研究创新部

图 23：协作机器人在制作咖啡中的应用



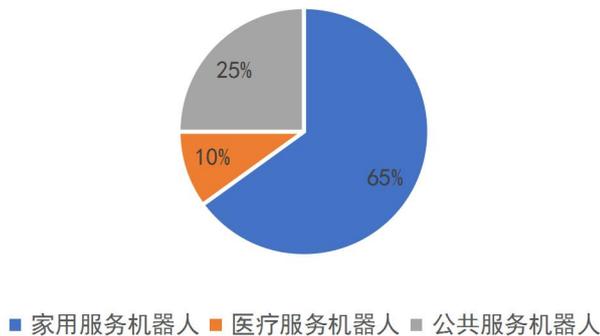
资料来源：遨博机器人官网，华宝证券研究创新部

2.4. 我国服务机器人以家用服务机器人为主，商用服务机器人以商用清洁机和终端配送为主

我国服务机器人市场以家用服务机器人为主。根据中商情报网数据，2021 年我国家用服务机器人市场规模约为商用（公共）服务机器人市场规模的 2 倍，因此我国服务机器人市场以家用服务机器人为主，而家用服务机器人又主要以扫地机器人和其他用于室内家庭地板清洁的机器人数量最多，其他类型如园艺机器人、割草机器人在海外更受欢迎。

商用服务机器人相比家用服务机器人增速更快，类型以商用清洁机和终端配送为主，主要应用在餐厅、酒店场景。不论是全球还是中国，近几年商用服务机器人市场规模增速均较快，下游应用领域主要包括餐饮、酒店、医疗、养老、家政、消防、物流等。根据 IFR 数据，2021 年全球专业（商用）服务机器人的销售额增长了 37%，远高于消费（家用）服务机器人增速 9%。根据亿欧智库统计数据（仅统计市场规模较大的商用清洁、终端配送和讲解引导机器人市场规模），中国 2019-2022 年商用服务机器人 CAGR 为 95%，远高于服务机器人整体增速（34%，前文 IFR 数据）。商用服务机器人领域，全球主要以运输和物流、餐饮服务领域的商用服务机器人为主，且以上两个领域的商用服务机器人增速较快。国内市场则以商用清洁机器人为主，其次是终端配送机器人，商用清洁机器人、讲解引导机器人近几年增速较快；主要应用领域为餐厅和酒店。

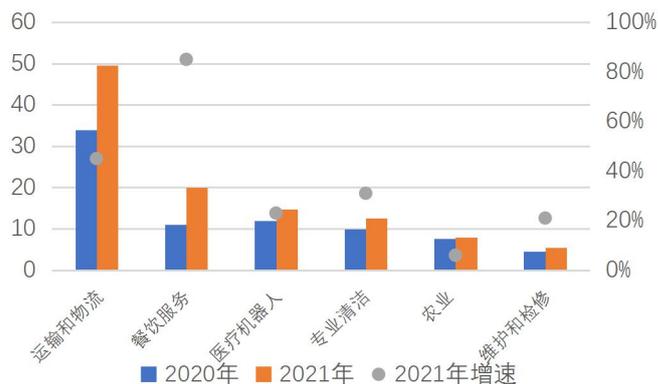
图 24：2021 年中国服务机器人不同类型市场占比（%）



资料来源：亿欧智库，华宝证券研究创新部

注：亿欧智库统计数据将医疗服务机器人归属于服务机器人。

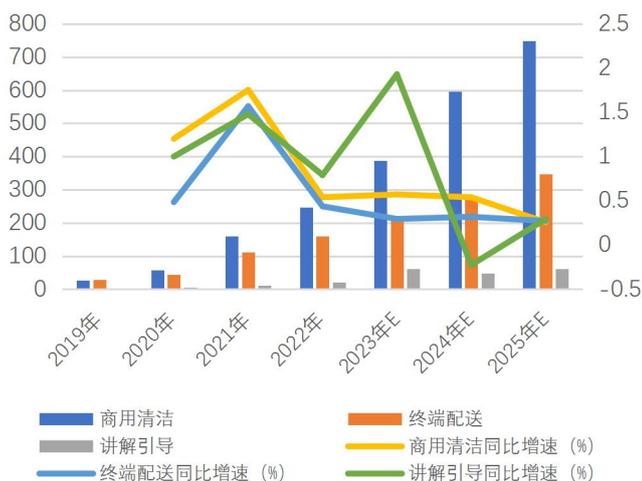
图 25：2020-2021 年全球专业（商用）服务机器人前五大应用类型销量（千台）与同比增速（%）



资料来源：IFR，华宝证券研究创新部

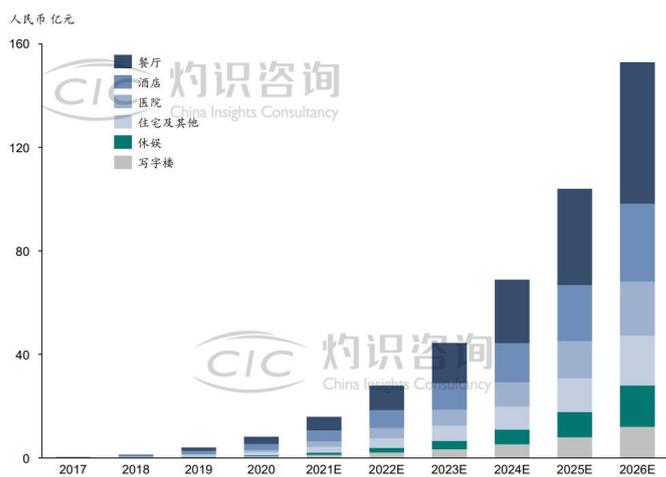
注：IFR 将医疗机器人归属于服务机器人。

图 26：中国公共（商用）服务机器人不同类型市场规模（亿元）与增速



资料来源：亿欧智库，华宝证券研究创新部

图 27：中国商用服务机器人不同应用场景市场规模（亿元）



资料来源：灼识咨询，华宝证券研究创新部

3. 我国拥有较为完整的机器人产业链，上游核心零部件是产业链中技术壁垒高、成本占比较大的环节

我国机器人行业在经历数十年发展后形成完整的行业产业链，工业机器人行业按产业链分为上游、中游、下游和终端应用。上游为控制器、伺服电机、减速器、智能芯片、传感器等核心零部件生产；中游为工业机器人本体生产；下游是基于终端行业特定需求的机器人系统集成商，主要用于实现焊接、装配、检测、搬运、喷涂等工艺或功能。终端应用主要由不同领域的企业客户和个人消费者组成，形成巨大的机器人应用市场。

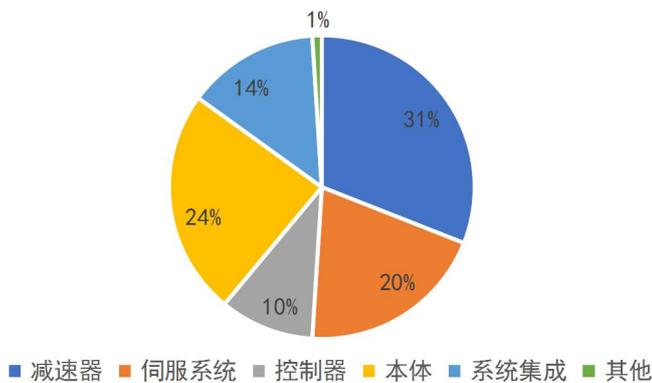
图 28：机器人产业链（以工业机器人为例）



资料来源：亿欧智库，各公司官网，Wind，华宝证券研究创新部

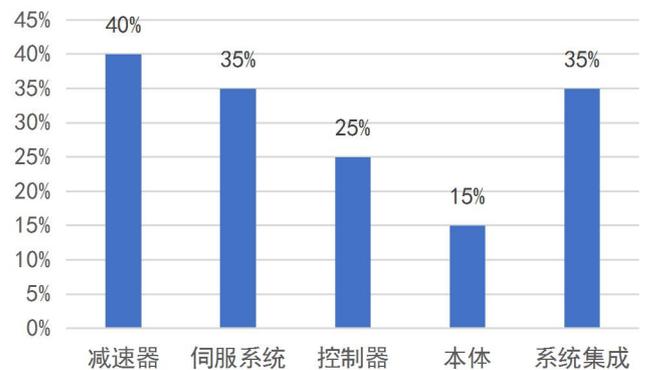
从工业机器人成本构成来看，上游的三大零部件是产业链中技术壁垒高、成本占比较大的环节。上游三大零部件控制器、伺服系统和减速器，成本占比分别为 12%、22%、32%，合计成本占比为 66%。从盈利水平看，上游零部件的毛利率相对较高，其中减速器毛利率为 40%，伺服系统为 35%，控制器为 25%；中游机器人本体毛利率最低、为 15%；下游系统集成毛利率为 35%。

图 29：机器人成本构成（以工业机器人为例）



资料来源：OFweek 机器人网，华宝证券研究创新部

图 30：工业机器人各环节毛利率

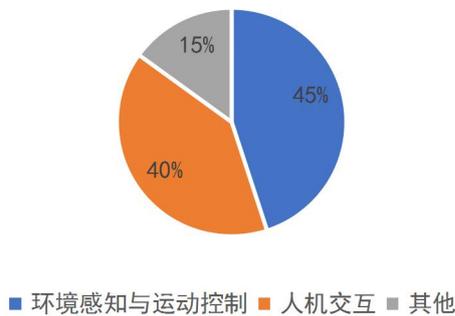


资料来源：OFweek 机器人网，华宝证券研究创新部

从服务机器人成本构成来看，三大核心模块环境感知、运动控制和人机交互成本占比至少

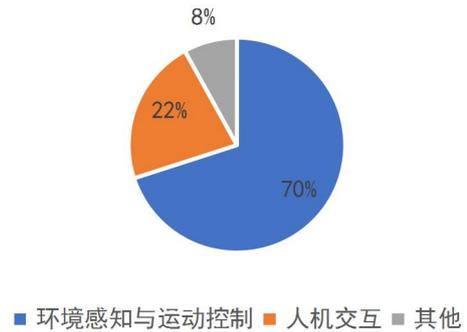
可达 85%。以公共（商用）服务机器人为例，包含三大核心技术模块：环境感知、运动控制和人机交互。环境感知模块即感知系统，运动控制模块主要指控制系统、驱动系统、机械结构系统，人机交互模块主要指交互系统。其中对于本体厂商，人机交互和其他基础软硬件基本实现自研，环境感知和运动控制模块会有企业选择外采，但随着技术的进步以及成本考虑，现在多数机器人企业也实现了环境感知和运动控制模块的自研。环境感知与运动控制模块自研的情况下，三大核心模块的成本占比为 85%，非自研情况下，环境感知与运动控制模块成本占比高达 70%，三大核心模块成本占比约 92%。

图 31：机器人成本构成（以公共服务机器人为例，环境感知与运动控制模块自研）



资料来源：亿欧智库，华宝证券研究创新部

图 32：机器人成本构成（以公共服务机器人为例，环境感知与运动控制模块外采）



资料来源：亿欧智库，华宝证券研究创新部

本章节主要按工业机器人成本构成框架进行分析，主要分析三大核心零部件、本体以及系统集成等细分产业链。

3.1. 上游：三大核心零部件国产化率不断提升，但高端领域国外厂商仍占竞争优势

3.1.1. 机器人主要使用 RV 减速器和谐波减速器，市场均由日本厂商主导，国产化进程不断推进

减速器类似“肌腱”，属于机器人机械结构系统中的传动装置的一部分，是支撑机器人关节的回转运动的关键部件。机器人的传动装置包括齿轮传动（圆柱齿轮传动、锥齿轮传动、齿轮链传动、齿轮齿条传动、蜗轮蜗杆传动等）、丝杠传动、行星齿轮传动、RV（Rotary Vector）减速器传动、用柔性元件传动（谐波齿轮传动、绳传动和同步齿形带传动等）。不同的装置或组合装置所支撑的运动形式，例如直线运动（伸缩、升降、直线移动）、旋转运动（回转运动、俯仰运动）有所不同。其中，减速器是机器人关节回转运动都必须使用的关键部件。它是一种精密的动力传达装置，具有匹配转速和专递转矩的作用，其利用齿轮的速度转换器，使伺服电机在一个合适的速度下运转，并精确地将转速降到机器人各部位需要的速度，提高机械体刚性的同时输出更大的力矩。

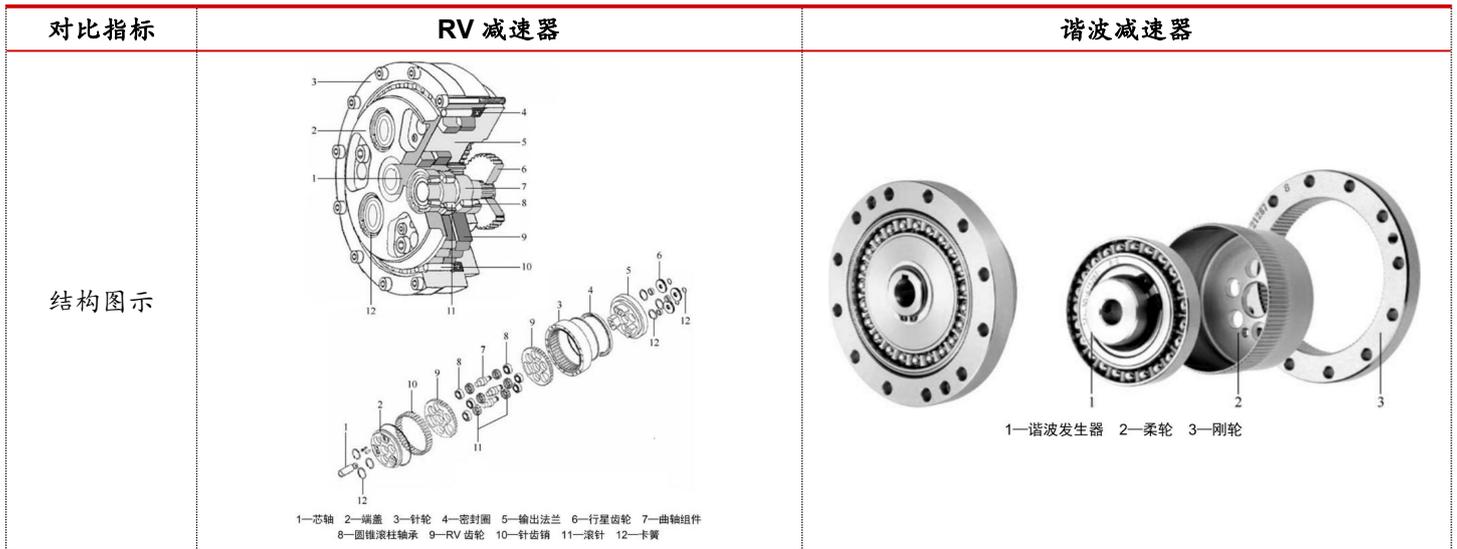
机器人中主要使用的精密减速器为 RV 减速器和谐波减速器。减速器可分为通用、专用、

精密减速器。由于减速器的输出转速、传动精度、输出转矩和刚性决定了机器人对应运动轴的运动速度、定位精度、承载能力，因此一般来说机器人对减速器的要求很高，传统的普通齿轮减速器、行星齿轮减速器、摆线针轮减速器等都不能满足一些应用场景（尤其是工业领域）对高精度、大比例减速要求，为此需要使用专门的减速器，例如 RV 减速器和谐波减速器。

谐波减速器主要用于机器人的手腕驱动，RV 减速器主要用于机器人的机身驱动。谐波减速器是谐波齿轮传动装置的简称，这种减速器的传动精度高、结构简单、使用方便，但其结构刚性不及 RV 减速器，故多用于机器人的手腕驱动。RV 减速器是旋转矢量减速器的简称，是由行星齿轮减速和摆线针轮减速组合而成的减速装置，结构刚性好、输出转矩大，但其内部结构比谐波减速器复杂、制造成本高、传动精度略低于谐波减速器，故多用于机器人的机身驱动。一般而言，中等负载的六轴工业机器人第一关节至第三关节更可能使用 RV 减速器，即基座、大臂、肩部等重负载位置搭载 RV 减速器，其余部位更可能使用谐波减速器，负载更高的机器人更多地使用 RV 减速器，反之则更多地使用谐波减速器。

表 8: RV 减速器与谐波减速器对比

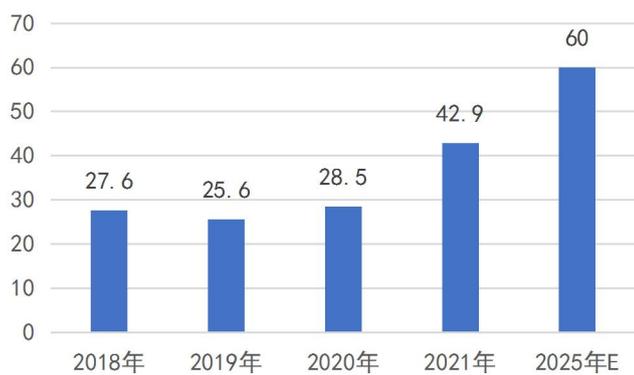
对比指标	RV 减速器	谐波减速器
背向间隙	≤60 arc sec	≤20 arc sec
传动效率	>80%	>75%
温升	≤45°C	≤40°C
噪声	≤70db	≤60db
减速比	30-192.4	30-160
额定转矩下使用寿命	>6,000h	>8,000h
额定输出转矩	101-6,135 N·m	6.6-921 N·m
扭转刚性	20-1,176 N·m/arc min	1.34-54.09 N·m/arc min
技术特点	通过多级减速实现传动，一般由行星齿轮减速器的前级和摆线针轮减速器的后级组成，组成的零部件较多。	通过柔轮的弹性变形传递运动，主要由柔轮、刚轮、波发生器三个核心零部件组成。与 RV 及其他精密减速器相比，谐波减速器使用的材料、体积及重量大幅度下降。
应用场景	一般应用于多关节机器人中机座、大臂、肩部等重负载的位置。	主要应用于机器人小臂、腕部或手部。
价格区间	5,000-8,000 元/台（来自绿的谐波招股说明书）	1,000-5,000 元/台（来自绿的谐波招股说明书）
价格举例	根据埃夫特公司公告，2019 年埃夫特向奥一精机采购的 RV 减速器均价为 0.21 万元/台，向双环传动采购的 RV 减速器均价为 0.26 万元/台，平均为 0.235 万元/台。	根据绿的谐波招股说明书，2019 年绿的谐波减速器平均价格为 1631.95 元/台。
终端领域	汽车、运输、港口码头等行业中通常使用配有 RV 减速器的重负载机器人。	3C、半导体、食品、注塑、模具、医疗等行业中通常使用由谐波减速器组成的 30kg 负载以下的机器人。



资料来源：绿的谐波招股说明书，埃夫特公司公告，《ABB 工业机器人应用技术全集》（龚仲华，龚晓雯），华宝证券研究创新部

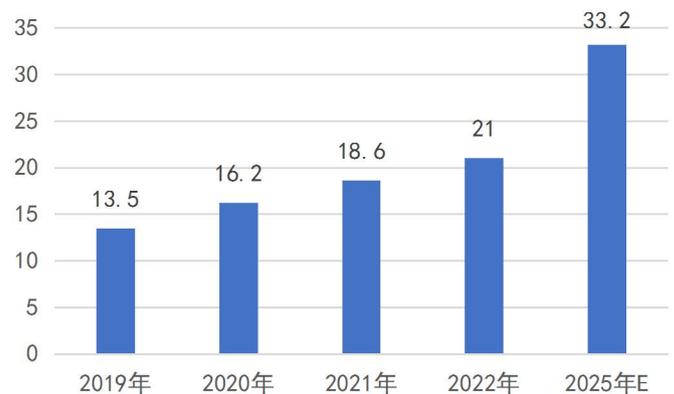
我国 RV 减速器市场体量约在 40 亿元左右，谐波减速器市场体量约在 20 亿元左右，在工业机器人领域，整体来看谐波减速器的应用量更高，但总体价值量上差别不大。根据中商产业研究院数据，2021 年我国 RV 减速器市场规模为 42.9 亿元，预计 2025 年市场规模达 60 亿元，2021-2025 年间 CAGR 为 8.75%；2022 年我国谐波减速器市场规模约 21 亿元，预计 2025 年市场规模有望超过 30 亿元，2022-2025 年 CAGR 为 16.49%。高工机器人产业研究所（GGII）数据显示，2022 年中国工业机器人 RV 减速器与谐波减速器使用量分别为 45.94 万台与 63.96 万台，假设减速器价格变化较小且忽略不同型号减速器价格的差异，按照 RV 减速器每台 2350 元的价格（表 8 案例中的 RV 减速器平均价格，2019 年数据）、谐波减速器每台 1631.95 元/台（表 8 案例中的谐波减速器价格，2019 年数据），可简单估算出 2022 年工业机器人领域 RV 减速器、谐波减速器市场规模分别为 10.80 亿元、10.44 亿元，两者大致相当。

图 33：中国 RV 减速器市场规模（亿元）



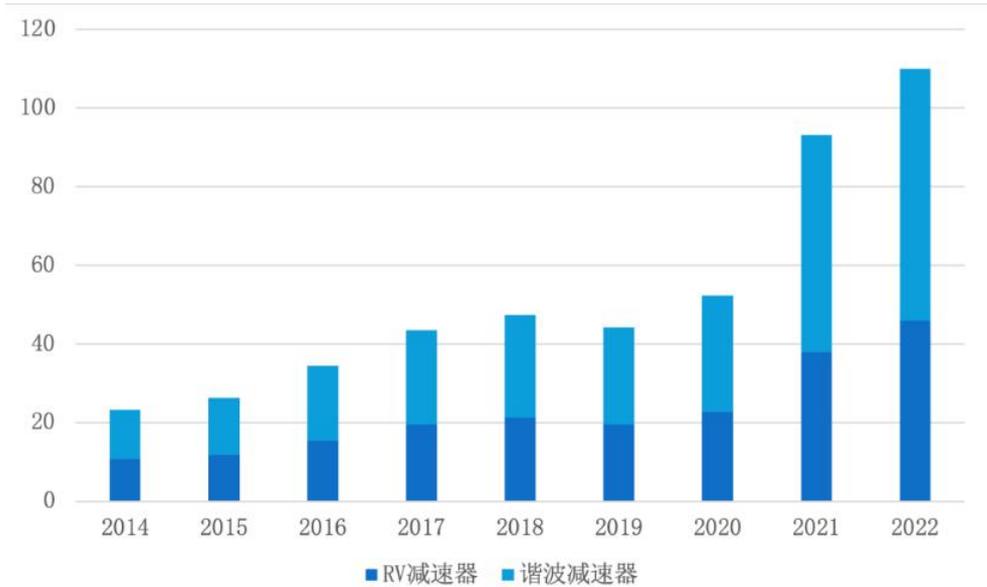
资料来源：中商产业研究院，华宝证券研究创新部

图 34：中国谐波减速器市场规模（亿元）



资料来源：中商产业研究院，华宝证券研究创新部

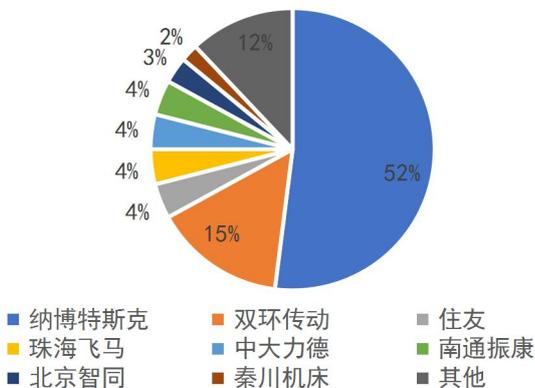
图 35: 2014-2022 年中国工业机器人用 RV 与谐波减速器使用量 (万台)



资料来源: GGII (高工机器人产业研究所), 华宝证券研究创新部

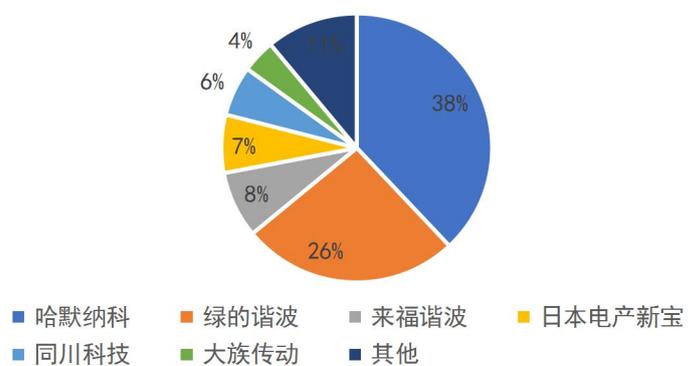
无论是在 RV 减速器还是谐波减速器领域, 日本厂商市场份额均为第一, 市场集中度很高。日本纳博特斯克公司 (Nabtesco Corporation) 既是 RV 减速器的发明者, 又是目前全球最大、技术最领先的 RV 减速器生产企业, 世界著名的工业机器人几乎都使用其生产的 RV 减速器。RV 减速器的国产厂商主要有双环传动、珠海飞马、中大力德、南通振康、秦川机床等。日本哈默纳科 (Harmonic Drive System) 公司是全球最早研发生产谐波减速器的企业, 同时也是目前全球最大、最著名的谐波减速器生产企业。谐波减速器的国产厂商主要有绿的谐波、来福谐波、同川科技 (汉字集团)、大族传动等。由于减速器在设计、材料、设备、工艺、装配人员等方面存在技术壁垒, 因此国产的减速器在产品规格、性能、使用寿命等方面与日本这两家顶级公司的产品存在一定差距, 同时叠加品牌壁垒、销售渠道壁垒等原因, 通常只能用于要求不高的机器人领域。

图 36: 2022 年中国 RV 减速器市场份额



资料来源: MIR, 中商产业研究院, 华宝证券研究创新部

图 37: 2022 年中国谐波减速器市场份额



资料来源: MIR, 中商产业研究院, 华宝证券研究创新部

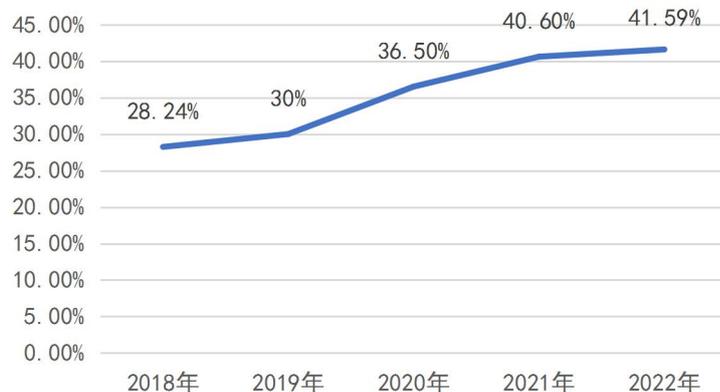
表 9：精密减速器行业的进入壁垒较高

壁垒	具体描述
技术壁垒	一是设计能力壁垒，包括模块化、结构、强度、精度等方面的设计能力；二是工艺技术能力壁垒，新进入者的专职工艺技术人员经验不足、人员欠缺。具体如谐波减速器的制造材料和热处理工艺，RV 减速器的齿形设计、加工精度等技术存在壁垒。
资金壁垒	下游客户对于精密减速器产品的质量、精度、稳定性、可靠性要求越来越高，减速器厂商要保持核心竞争力，必须引进更加先进的高端加工设备和检测设备，对企业的资金实力要求较高，目前行业内领先企业多采用进口精密齿加工及机加工设备，凭借规模化生产能力具备明显的成本优势；同时，由于高端精密减速器领域技术含量高，技术的不断进步和产品的更新换代也需要企业持续的研发投入。
品牌壁垒	产品质量出现问题可能导致主机设备无法正常运转，造成较大损失，因此客户对产品可靠性、耐用性十分重视，品牌知名度高的企业更能得到市场和客户的认可，在高端精密减速器领域，行业内领先企业凭借多年的技术积累，其产品在设计、质量性能等方面都具有明显的先发优势，品牌影响力较强。新进入者受限于技术研发实力和资金实力的劣势，难以在短时间内建立较高的品牌知名度。
销售渠道壁垒	精密减速器行业的下游应用领域多样化，销售区域分布广，因此许多厂商倾向于选择直销与经销相结合的销售模式，经过多年不断地市场开拓，行业内优势企业已建立了覆盖全国的营销网络体系，并与下游各个行业的知名客户形成了长期稳定的合作关系。对于新进入企业来讲，一方面，优质的客户群体难以在短时间形成，另一方面，经销渠道的开发和管控需要一定的前期成本，新企业对渠道的管控能力也较弱。

资料来源：科峰智能招股说明书，华宝证券研究创新部

整体来看减速器行业国产化率不断提升，其中谐波减速器国产化率略高于 RV 减速器。根据 GGII 数据显示，减速器行业国产化程度不断提升，2022 年国产化率近 42%。从不同类型上看，国产谐波减速器替代趋势相对明显，国产 RV 减速器接受度正在提高。根据上文 2022 年两个减速器市场份额估算，RV 减速器国产化率约 32%，谐波减速器国产化率为 44%。之所以有区别，简单来说，是由于谐波减速器相对于 RV 减速器更容易做到及格水平，RV 减速器零部件多、结构更为复杂，对设计、加工工艺、装配的要求更为苛刻，中间的一点小误差累积到最终产品上会被放大，而关键的材料、工艺、技术和经验主要被国外厂商掌握，产线设备投资相比谐波更高，国内厂商量产难度较高。目前，国内谐波减速器已接近国外龙头，在加工技术方面难点已基本攻克，满足常规使用，但在批量生产品控、极端使用下的产品、柔轮材料、制造设备等方面仍存在攻克难点；RV 减速器现阶段相比日本产品的精度、耐磨性仍有差距。

图 38：2018 年-2022 年精密减速器国产化率不断提升（%）



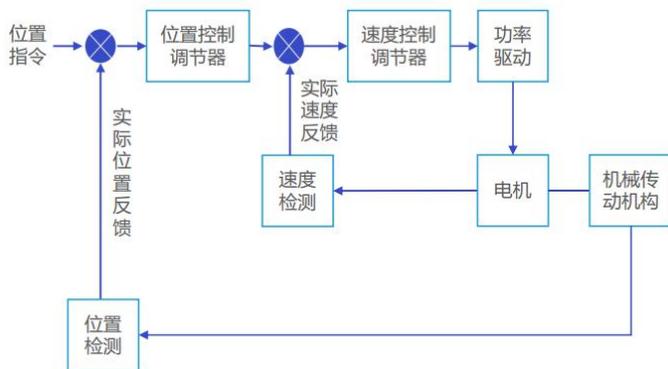
资料来源：GGII，华宝证券研究创新部

3.1.2. 伺服系统中伺服驱动器、伺服电机成本占比较高，国产化率不断提升

整个伺服系统发挥了“心脏”与“肌肉”等功能，是机器人驱动系统的重要组成部分，是经由闭环控制的方式达到对一个机械系统的位置、速度和加速度的控制。伺服系统又被称为传动系统，其主要任务是按照上级控制命令的要求，对功率进行放大、变换与调控等处理，使驱动装置输出的力矩、速度和位置控制灵活方便，一般结构为三个闭环控制，即电流环、速度环和位置环。因此对于机器人来说，其需要灵活改变位姿，绝大多数运动轴都需要有任意位置定位功能，因此需要使用伺服驱动系统。按使用通用性程度，伺服系统分为通用和专用两类。通用与专用伺服系统下游略有差异。其中通用伺服系统可以在不同行业广泛应用，其下游应用广泛。专用伺服系统一般是根据不同行业需求定制化开发，提供专业化产品，主要为交流电伺服以外的其他品类伺服，下游应用领域包括风力发电、矿山机械、缆车索道、电梯等。按照功率大小，目前可以分为小型伺服、中型伺服和大型伺服系统。按驱动方式分，有电气、液压和气压等伺服驱动形式，伺服系统的发展经历了由液压、气动到电气驱动的过程。

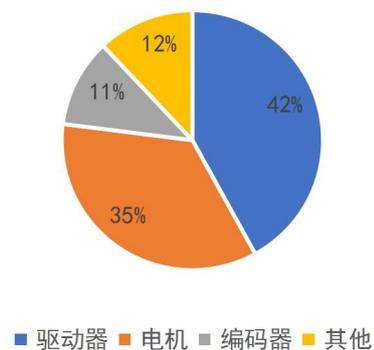
伺服系统主要由伺服驱动器、伺服电机和编码器组成，伺服驱动器、伺服电机成本占比较高。伺服系统的主要性能指标包括编码器分辨率、电机过载能力、电机最高转速、频率响应速度，这些指标反映了伺服产品的定位精准度、性能、稳定性。其中，定位精准度跟编码器的选择有关，性能跟驱动硬件的运算能力和程序源价值有关，稳定性跟电机材质及零部件有关。

图 39：伺服系统原理



资料来源：亿欧智库，华宝证券研究创新部

图 40：伺服系统成本占比情况



资料来源：华经产业研究院，华宝证券研究创新部

伺服驱动器作用类似于变频器之于交流马达，一般是通过速度环、位置环、电流环分别对伺服电机的转速、位置、转矩进行相应控制，实现高精度的传动系统定位，通常被安装在控制柜内。驱动器的形式取决于驱动电机的类型，例如机器人电机多使用直流伺服电机以及交流伺服电机，因此常用的机器人驱动器就是直流伺服电动机驱动器以及同步式交流伺服电动机驱动器。直流伺服电动机驱动器调速范围宽、低速特性好、响应快、效率高、过载能力强；同步式交流伺服电动机驱动器则有着转矩转动惯量比高等优势。在过去，一个电动机就需要一个驱动器，但随着驱动技术的发展，驱动器由单轴控制向多轴控制发展，一个驱动器可同时控制多个电动机。伺服驱动器核心构成主要包括主控制器和电力电子板、信号处理和通信板，即控制模块+通信模块。就驱动器而言，主要看芯片性能。

伺服编码器是一种传感器，安装在伺服电机末端用来测量转角及转速。编码器主要由传感器和码盘组成，能够测量机械部件在运动时的位移位置和速度等信息，并将其转换成电信号，进一步发送反馈信号给驱动器，驱动器以此确定位置、速度或方向。作为伺服系统的信号反馈装置，编码器很大程度上决定了伺服系统的精度。根据检测原理，编码器可分为光电式、磁场

式、感应式和电容式，目前自控领域常用的是光电编码器和磁电编码器。就编码器而言，主要看分辨率、精度以及重复精度等。

伺服电机是伺服系统中控制机械元件运转的发动机，是一种辅助马达间接变速装置。伺服电机作为执行元件，作用是将伺服控制器的脉冲信号转化为电机转动的角位移和角速度，其主要由定子和转子构成。机器人的关节驱动离不开伺服电机，关节越多，其柔性和精度的要求就越高，所需的伺服电机数量就越多。机器人对伺服电机的要求较高，必须满足快速响应、高启动转矩、大动转矩惯量比、宽调速范围，同时又要适应机器人的形体做到体积小、重量轻、加减速运动等要求。机器人以使用无刷直流电机（BLDC）为主流。如今一般伺服电机都追求高精度、高可靠性、高热容量、高刚度、轻量化和高响应性等性能，例如空心杯电机、伺服电缸、无槽无刷电机等或将成为未来机器人领域伺服电机的发展趋势。就电机而言，主要看转速、功率、扭矩、震动、噪音、加/减速度、尺寸、寿命、响应时间等。

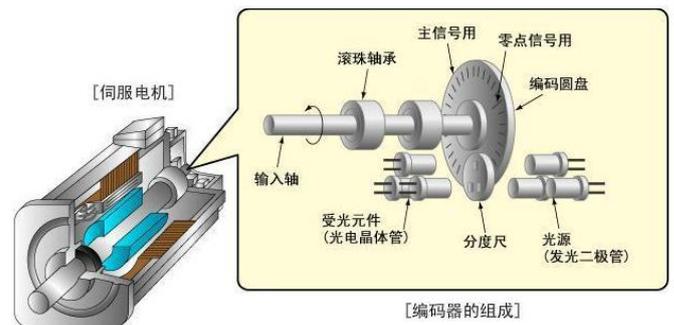
工业机器人领域伺服系统产品逐渐向模块化、高性能化、智能化和网络化方向发展。模块化（集成化）即用一体化集成的思路实现结构的简化以及效率的提高，包括“多轴合一”“控制+驱动”“驱动+传动关节”等一体化形式，例如当前较多企业（如汇川技术、绿的谐波）已推出机电一体化、驱控一体化模组，可以降低厂商部件采购种类，减少安装环节、提高集成效率、减少成本，以及实现缩小体积、减轻重量和提高性能等。高性能化体现在伺服系统的可靠性、高动态响应能力、快速精准定位，具体方向包括芯片运算能力的提升、电机控制算法的优化、编码器技术的升级。智能化则指伺服产品在控制、编程功能上的集成性，让其能够独立完成位置、速度控制，自动增益调整等功能。网络化则主要指构建总线型伺服，现场总线是一种应用于生产现场，在现场设备之间、现场设备和控制装置之间实行双向、串形、多结点的数字通信技术。随着国内对大规模分布式控制装置的需求增加，伺服系统网络化成为未来发展的必然趋势。

图 41：伺服驱动器示意图



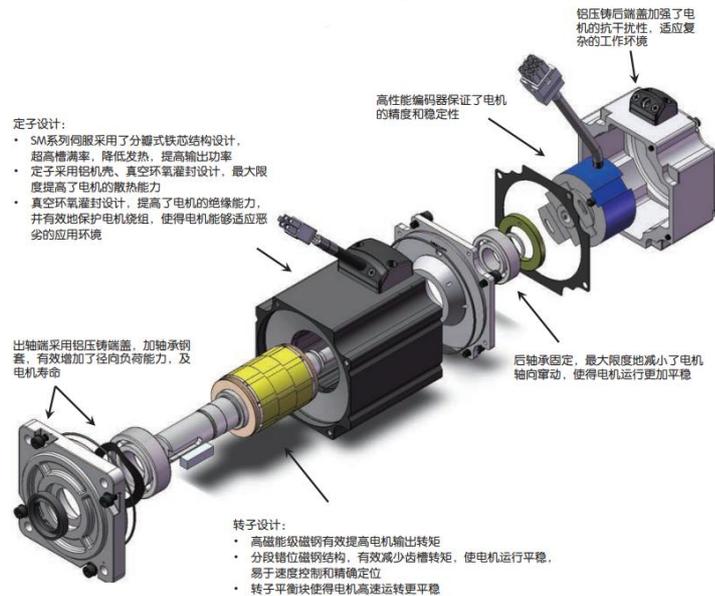
资料来源：工业汇微信公众号，华宝证券研究创新部

图 42：编码器示意图



资料来源：电子技术控微信公众号，华宝证券研究创新部

图 43：伺服电机示意图

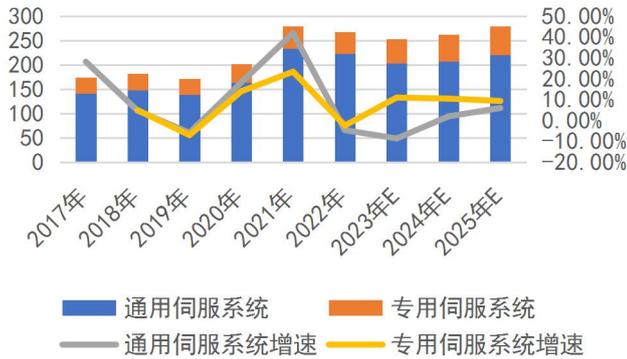


资料来源：鸣志电器官网，华宝证券研究创新部

伺服系统市场主要以通用伺服系统为主，2022年通用伺服系统市场规模为223亿元。根据MIR数据，随着伺服系统技术水平的发展以及下游应用市场的渗透，2017-2022年我国通用伺服市场规模由141亿元提升至223亿元，按此计算期间CAGR为9.6%。根据MIR预测，2023年通用伺服市场规模受宏观经济下行、市场需求低迷、出口走弱、行业周期等影响或将延续下滑趋势，在2024-2026年将有所回暖。从类型上看，伺服系统市场主要以通用伺服系统为主，占比超过80%。

伺服电机市场以小中型为主，且交流伺服电机市场规模更大，2017-2021年CAGR为9.86%。根据MIR和中商产业研究院数据，2021年中国伺服电机市场规模为169亿元，2017-2021年复合增长率9.86%。从类型上看，由于近年来使用小型伺服电机的3C行业、工业机器人行业等快速发展，因此小型伺服电机市场份额占比最高、为45%。此外，由于交流伺服电机具有最大转速高、速度控制平滑、振荡小不易发热以及适用于灰尘、易爆环境的诸多优点更加适应工业自动化对于运动控制的要求，故交流伺服电机市场规模更高、占比超过80%。

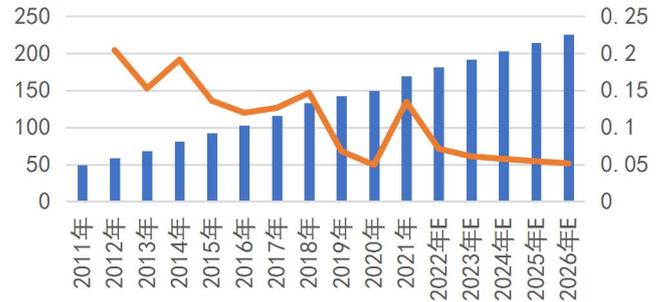
图 44：中国通用及专用伺服系统市场规模（亿元）及增速（%）



资料来源：MIR，华宝证券研究创新部

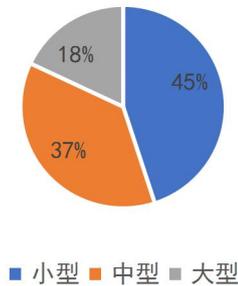
注：2022 年专用伺服系统市场规模取的是预测值；2021 年之前，MIR 统计的范围为通用伺服系统市场，即伺服驱动+伺服电机打包销售的厂商为主，2021 年开始，增加考虑单独购买的通用伺服驱动器或通用伺服电机。

图 45：中国伺服电机市场规模（亿元）及增速（%）



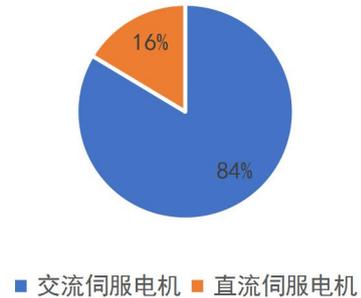
资料来源：前瞻产业研究院，中商产业研究院，华宝证券研究创新部

图 46：2019 年大、中、小型伺服电机产品市场规模占比（%）



资料来源：前瞻产业研究院，华宝证券研究创新部

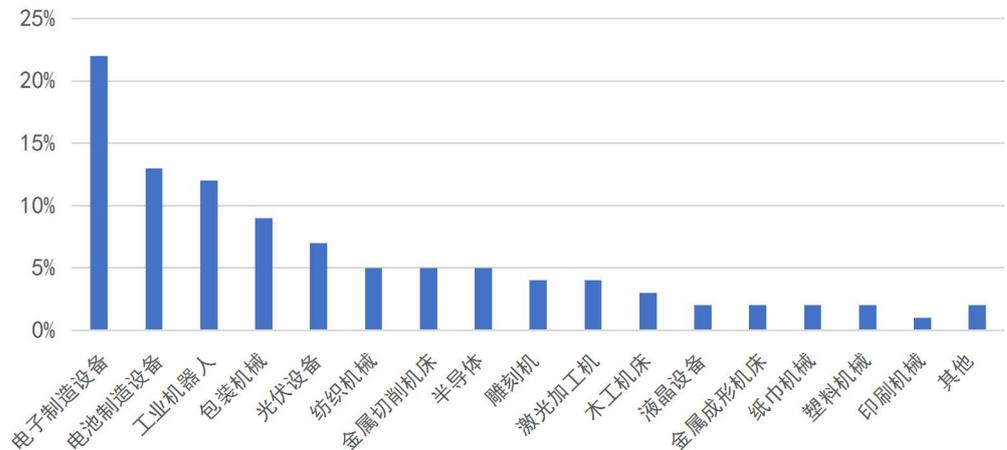
图 47：2022 年直流、交流伺服电机市场规模占比（%）



资料来源：智研咨询，华宝证券研究创新部

伺服系统在电子制造业、电池制造业、工业机器人、机床等行业应用占比较高，2021 工业机器人伺服系统市场规模约为 28 亿元。伺服系统作为自动化设备中的基础元件，未来几乎所有设备都将成为下游市场，当前其下游包括机床（金属切削机床、金属成形机床、木工机床）、电子制造、电池制造、机器人、半导体、光伏、纺织、食品包装等行业。根据华经产业研究院 2021 年数据，伺服系统在电子制造行业应用量最大、占比 22%，其次是电池制造、工业机器人、机床行业，分别占比为 13%、12%、10%。伺服系统在高端制造赛道（电子制造设备、电池制造设备、工业机器人、光伏设备、半导体、激光）中的应用占比已达 63%。根据工业机器人应用规模的比例，可推测 2021 年工业机器人伺服系统市场规模约为 27.99 亿元。据 MIR 预测，新兴行业如光伏、锂电池制造、半导体等行业将是未来伺服领域的弹性增长点。

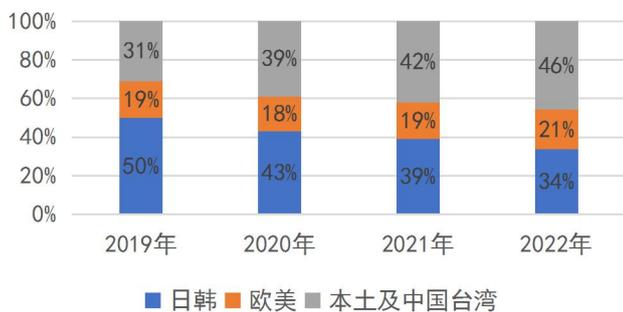
图 48：2021 年伺服系统下游应用行业分布（%）



资料来源：华经产业研究院，华宝证券研究创新部

我国伺服系统市场集中度较高，过去主要被安川、三菱、松下等日系厂商和西门子等欧美厂商占据，近几年国产化率逐步提升。伺服系统市场集中度较高，2022 年 CR5 为 55.2%。此外，从近四年的内外资厂商份额占比的变化情况可以看出，伺服系统国产化程度逐步提升，2021 年国产品牌厂商整体份额已超越首位的日韩系厂商，若不考虑中国台湾，2022 年通用伺服系统本土化率已超过 38%，本土品牌数量超过三百多家，包括汇川科技、禾川科技、信捷电气等。此外，单独看伺服电机的国产化率，低于伺服系统，根据 GGII 数据，2022 年伺服电机国产化率为 31.4%。尽管国产替代已取得一定成绩，尤其是中低功率产品方面，已经与国际水平持平，但伺服市场外资占比依旧较高，国产品牌在高端市场竞争力较弱、产品存在同质化问题，且在核心技术如高端伺服电机、伺服驱动器中的核心芯片（DSP 芯片等）、高精度编码器等方面国外厂商仍具备优势。

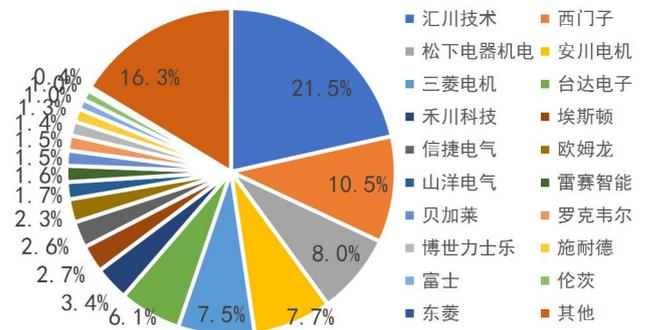
图 49：2019-2022 年中国通用伺服市场内外资厂商份额占比（%）



资料来源：MIR，智研咨询，华宝证券研究创新部

注：2022 年数据是根据智研咨询对中国不同品牌伺服系统市场份额进行计算而得。

图 50：2022 年中国伺服系统品牌市场份额（%）



资料来源：智研咨询，华宝证券研究创新部

3.1.3. 控制器国内外差异主要体现在软件层，市场竞争格局与本体厂商类似

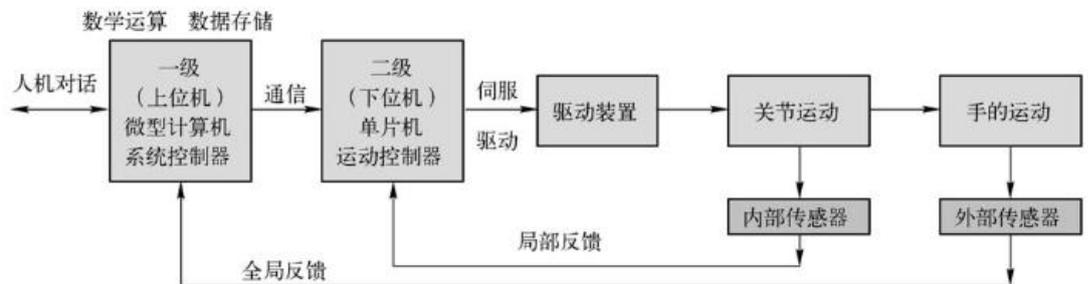
控制系统在机器人上发挥的是“大脑”的功能。控制系统的任务是根据机器人的作业指令

以及从传感器反馈回来的信号，支配机器人的执行机构去完成规定的运动和功能。如果机器人不具备信息反馈特征，则为开环控制系统；具备信息反馈特征，则为闭环控制系统。控制系统根据控制原理可分为程序控制系统、适应性控制系统和人工智能控制系统。对于一个具有高度智能的机器人，它的控制系统实际上包含了“任务规划”“动作规划”“轨迹规划”和基于模型的“伺服控制”等多个层次。

机器人的控制方式有三种，包括集中控制、主从控制和分布式控制，现代机器人控制系统均采用分布式结构。集中式控制，即机器人的全部控制由一台微型计算机完成，这是早期的机器人控制系统采用的结构，原因在于早期机器人功能要求不高、计算机造价较贵。随着技术发展，机器人控制方式逐渐演变为主从控制和分布式控制。现代机器人控制系统大部分采用分布式结构，即上一级主控制计算机负责整个系统管理以及坐标变换和轨迹插补运算等，下一级由许多微处理器组成，每一个微处理器控制一个关节运动，它们并行地完成控制任务，从而提高了工作速度和处理能力。

机器人控制系统一般由控制计算机（上位机）、伺服控制器（下位机）等部分组成，伺服控制器一般使用单片机或运动控制器。控制计算机作为上位机，完成人机交互和运动轨迹规划，一般为微型机、微处理器，微处理器有 32 位、64 位等，如奔腾系列 CPU 以及其他类型 CPU。伺服控制器（也被称为轴控制器）作为下位机，控制各关节的驱动器使其按一定的速度、加速度和轨迹要求进行运动，一般为单片机或运动控制器。因此一般提及运动控制器时，可理解为机器人控制系统的下位机，即伺服控制器部分，以下简称控制器。

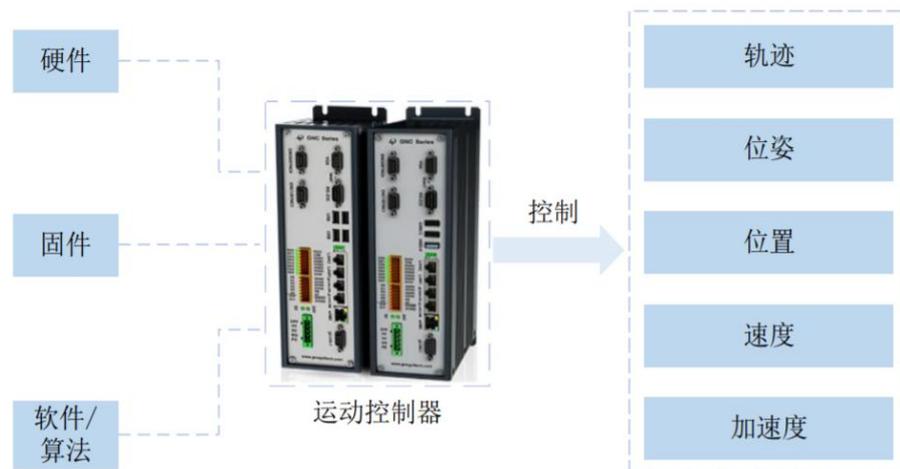
图 51：机器人的控制系统工作原理



资料来源：《机器人创新实训教程》（董春利），华宝证券研究创新部

运动控制器主要由硬件、固件、软件等组成。运动控制器的工作原理是将预定的控制方案、规划指令转变成期望的机械运动，实现机械运动精确的位置（点位、运动轨迹、插补等）控制、速度控制、加速度控制、转矩或力的控制，主要由硬件、固件、软件等组成。其中硬件部分包括微处理器、存储器、接口电路、通信接口、电源等；固件是指固化在微处理器、存储器、可编程逻辑器件等元件中的软件；软件部分由实时操作系统、运动控制指令编译器、运动控制参数的预处理及优化、运动控制函数、通信管理等模块构成。

图 52：运动控制器基本结构



资料来源：固高科技招股说明书，华宝证券研究创新部

运动控制器可分为通用和专用两类，通用又可分为 PLC 控制器、嵌入式控制器和 PC-Based 控制卡。通用运动控制器一般为用户提供二次开发接口，设备制造商根据其设备的控制需求基于运动控制器编程开发控制系统。根据平台不同，通用运动控制器可以分为 PLC（可编程逻辑控制器）控制器、嵌入式控制器和 PC-Based 控制卡三大类。专用控制器是为特定设备开发的控制器（如数控机床、激光切割控制系统、激光标刻控制系统、点胶控制系统等），由控制器厂家根据行业应用工艺需求完成应用软件的开发，设备制造商无须二次开发即可直接使用。以上运动控制器均可以运用在机器人领域。

表 10：通用运动控制器分类

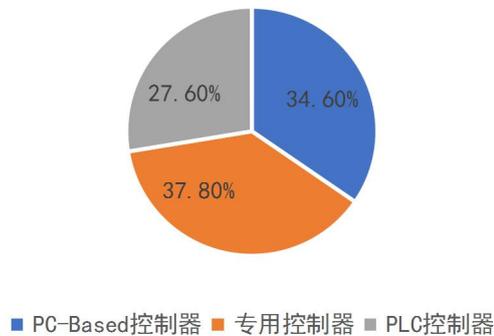
分类	特点	应用领域	图示
PLC 控制器	系统简单，体积小，可靠性高，但不支持复杂算法，可以通过在 PLC 平台上，添加驱动步进电机或伺服电机的位置控制模块，在为各种机械设备提供逻辑控制的同时，提供运动控制功能。	可以用于圆周运动或直线运动的控制，广泛应用于各种机械、机床、机器人和电梯等行业。	
嵌入式控制器（独立式运动控制器）	涵盖从简单到复杂的各种应用，具有应用灵活、稳定性高、定制性强、价格便宜、操作和维护方便的特点。	在针织机械、激光设备、切割机、点胶机等设备制造行业有广泛的应用。	
PC-Based 控制卡	系统通用性强、可拓展性强，能够满足复杂运动的算法要求、抗干扰能力强，可供用户根据不同的需求，在 DOS 或 Windows 等平台下自行开发应用软件，组成各种控制系统。	主要应用于电子、半导体、工业机器人、激光设备、包装等领域。	

资料来源：雷赛智能招股说明书，MIR，固高科技官网，汇川科技官网，华宝证券研究创新部

PC-Based 运动控制卡目前已成为发展最快的运动控制器。根据亿欧智库报告，2020 年 PC-Based 控制器、专用控制器、PLC 控制器在中国的市场份额占比分别为 34.6%、37.8% 和 27.6%，且在一些行业中，PC-Based 或专用控制器正逐步替代 PLC。相比而言，PC-Based 运动控制卡能够实现更为复杂的运动控制，在产品性能和生产成本上为下游厂商提供一个最佳的平衡点，目前已成为发展最快的运动控制器。根据 MIR 数据，2021 年 PC-Based 运动控制

器市场规模同比增长超过 30%，随着下游工业机器人、半导体等行业对运动控制要求的提高，PC-Based 控制卡将迎来更为广阔的发展。

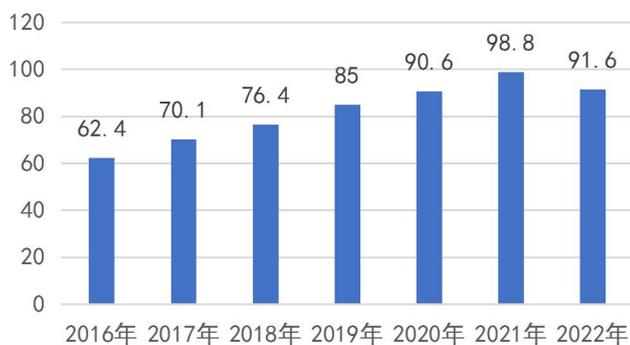
图 53：2020 年 PC-Based 控制器、专用控制器、PLC 控制器市场份额占比



资料来源：亿欧智库，华宝证券研究创新部

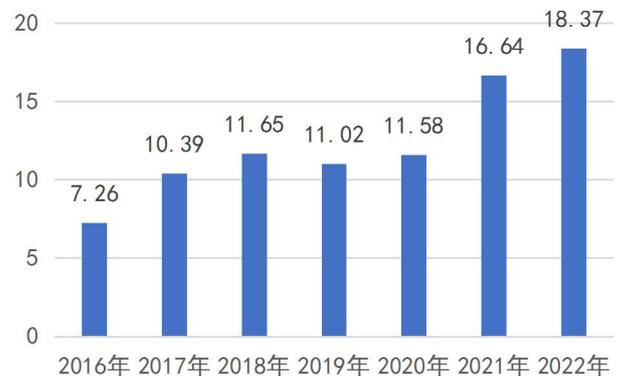
中国是最大的运动控制市场，2022 年国内运动控制器整体市场规模预计为 92 亿元。根据全球市场情报公司 Interact Analysis 的数据（统计口径包含了运动控制器、伺服驱动器和伺服电机），2022 年全球运动控制市场价值 177 亿美元，中国是最大的运动控制市场，占全球规模占比约为 37%、折合人民币 458 亿元（按美元兑人民币汇率为 7 计算）；Interact Analysis 预计 2023/2027 年全球运动控制市场价值将分别达到 189 亿、222 亿美元，2022-2027 年间 CAGR 为 4.6%。根据固高科技招股说明书，2019 年我国运动控制器市场规模为 85 亿元，是当年伺服系统市场规模的 1/4，这是由于部分本体商会自行研发运动控制系统，且一个运动控制器可以控制多个伺服驱动器，故运动控制器的市场规模小于伺服系统。假设我国运动控制器与伺服系统市场规模比例近几年未变化，按照以上参数进行计算，我们估算得到 2022 年运动控制器的市场规模约为 92 亿元¹。2022 年工业机器人用控制器市场规模为 18.37 亿元，占比约 20%。

图 54：2016-2022 年中国运动控制器市场规模（亿元）



资料来源：中商产业研究院，固高科技招股说明书，Interact

图 55：2016-2022 年中国工业机器人用控制器市场规模（亿元）



资料来源：GGII，华宝证券研究创新部

¹ 2022 年全球运动控制市场价值 177 亿美元，中国占比 37%、折合人民币 458 亿元（按美元兑人民币汇率为 7 计算，统计口径包含了运动控制器、伺服驱动器和伺服电机），按运动控制器市场规模是当年伺服系统市场规模的 1/4 进行估算，可得 2022 年中国运动控制器市场规模为 91.6 亿元。

Analysis, 华宝证券研究创新部

注：2019 年数据取自固高科技招股说明书，2022 年数据根据我们估算所得，其余数据取自中商产业研究院。

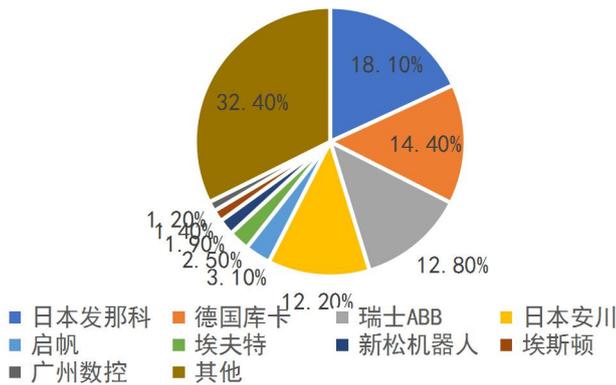
从通用运动控制器领域，尤其是高端领域，基本被国外厂商占据，但在 PC-Based 控制卡市场国产化率相对较高。在 PLC 控制器和嵌入式控制器市场，日本三菱、松下、西门子等外资品牌占据主要高端市场，中低端市场是完全市场化的竞争格局。根据 MIR 调研，在国内的 2021 年的 PC-Based 控制器市场，除了德国倍福占据了最大的市场份额，继续保持市场第一的位置之外，其余的厂商仍然是以国产为主，像研华（中国台湾）、固高科技、雷赛智能、维宏股份，分别占据了 2-5 名。因此在 PC-based 运动控制器市场，主要以国产厂商为主，但整体技术水平与外资厂商还有一定差距，目前主要服务于中低端市场。

从工业机器人运动控制器市场来看，市场竞争格局几乎等同于本体厂商竞争格局，国产化率不断提升。在工业机器人行业中，国内外领先的工业机器人企业的控制器普遍为自产自研（为了保证机器人的稳定性），且各机器人企业的控制器通常无法实现兼容，故机器人控制器的竞争格局基本与本体竞争格局类似。目前国内工业机器人控制器领先企业可以分为两种发展路径：一是以数控设备起家，涉足工业机器人领域的企业：广州数控、新时达、埃斯顿、汇川技术、华中数控；二是运动控制技术的推广和高水平应用下成长起来的专业运动控制企业，代表企业为固高、卡诺普，他们已经开始向市场提供机器人专用控制器。

工业机器人控制器国内外差距主要体现在软件层面。国内工业机器人运动控制器发展较为成熟，是机器人行业中与国外技术差距最小的关键零部件产品，国内外差异主要体现在软件层面。从硬件层面看，由于工业机器人目前达到的运动控制精度相比机床要低，因此一般控制器内置的操作系统尚无须使用 FPGA 等高端芯片，国产公司具备生产工业机器人所用芯片的能力，故硬件并非构成国内外实力差距的壁垒。从软件层面看，主要在算法水平和二次开发平台的易用性方面存在差距。控制器的算法水平对运动精度产生直接影响，算法水平的高低又受到对客户工艺的理解、并且需要时间和项目经验的积累，而机器人四大家族在汽车、3C 行业先发优势明显，因此在控制器算法方面的优势相对难以撼动。

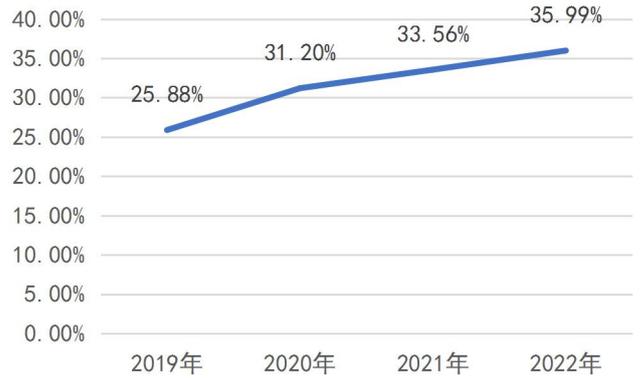
未来，机器人运动控制器将向开放性、灵活性、易用性并重，网络化程度加强的方向发展。目前较多工业机器人本体厂商自研控制系统，不同机器人的系统无法打通，未来或将产生具有开放式结构的模块化、标准化工业机器人控制器。灵活性代表控制系统能适应各种复杂工艺要求的能力，既有性能上的深度和功能上的宽度，还具备多源异构系统的重构便利性。易用性代表系统具备人机交互的友好、直观、简便，安装调试的简洁、安全，运行维护的可预测、便捷和低成本。在数字化、智能化发展趋势下，机器人对控制系统与其他系统之间信息传递的规模和速度的要求将逐渐提升，传统机械设备电机和 I/O 数量少，往往采用一对一直连的方式连接，会造成布线复杂、线缆使用量大的问题，同时传输信号极易受到干扰，故未来将更多采用高速工业总线进行系统、部件之间的通信，网络化趋势明显。在现代智能制造更高精度、效率和制程柔性化的需求下，未来运动控制系统将向开放性、灵活性、易用性的统一以及网络化趋势发展。

图 56：2021 年中国控制器市场竞争格局（%）



资料来源：头豹研究院，华宝证券研究创新部

图 57：中国工业机器人控制器国产化率不断提升（%）



资料来源：GGII，华宝证券研究创新部

3.2. 中游：大小六轴、SCARA 等机型以及汽车、电子等行业机器人国产化率提升空间较大

机器人本体生产商主要负责组装和集成工业机器人本体，包含了机器人的关键零部件组装，以及逻辑、控制算法设计，环境配置等等。A 股上市公司一般以工业、服务、特种机器人中的某一种为主，但部分企业会覆盖 2 种及以上类型，例如新松机器人、博实股份、遨博机器人等。当前工业机器人上市公司整体主要以六轴机器人、SCARA 机器人、Delta 机器人、协作机器人生产为主，服务机器人上市公司主要以扫地机器人、AMR 机器人、协作机器人为主，特种机器人上市公司主要以巡检机器人、手术机器人为主，不同本体厂商具体布局的机器人机械机构类型、应用场景以及重点关注的下游行业略有不同。

图 58：本体制造企业在不同应用领域的布局（以国内工业机器人本体公司为例）

搬运作业/上下料	焊接	加工	
库卡、新松机器人、埃斯顿、新时达、拓斯达、巨轮智能、遨博机器人、埃夫特、汇川技术、华中数控、爱仕达等	库卡，新松机器人，华中数控、大族激光、新时达、遨博机器人、埃斯顿、瑞松科技、节卡机器人、瑞松科技、埃夫特、汇川技术、爱仕达、凯尔达等	库卡、埃斯顿、新松机器人、遨博机器人、华中数控、拓斯达、博实股份等	
仓储物流			
极智嘉、海柔创新、快仓、库卡、海康机器人等			
洁净	装配	喷涂	协作
新松机器人，大族激光等	库卡、拓斯达、埃斯顿、新松机器人、遨博机器人、瑞松科技、埃夫特、汇川技术、博士股份、爱仕达等	库卡、埃斯顿、新松机器人、遨博机器人、节卡机器人、埃夫特、爱仕达等	新松机器人，节卡机器人，遨博机器人、越疆机器人等

资料来源：亿欧智库，各公司官网，华宝证券研究创新部

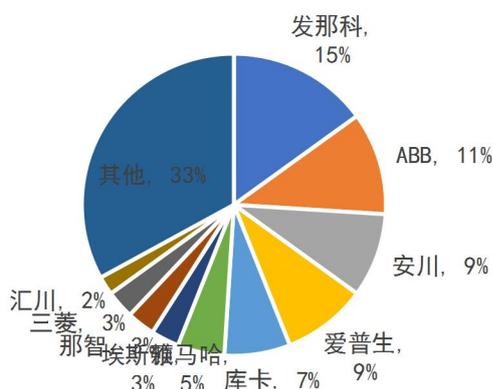
表 11：部分机器人本体厂商主要产品线及优势行业梳理

公司	产品线	优势行业
ABB	除直角坐标系外工业机器人全覆盖	一般工业、汽车行业
发那科	除直角坐标系外工业机器人全覆盖	3C、新能源汽车、重工业
安川电机	除直角坐标系外工业机器人全覆盖	新能源、半导体、3C、食品
库卡	除直角坐标系外工业机器人全覆盖	汽车、3C、家电、食品
埃斯顿	六关节机器人、四轴码垛机器人、SCARA 以及行业专用定制机器人	新能源、3C、汽车零部件
汇川技术	SCARA、六关节机器人	3C、锂电、硅晶、纺织
新时达	SCARA、六关节机器人、移动机器人（配送）	3C、锂电、光伏、电力
新松机器人	SCARA、六关节机器人、移动机器人、直角坐标机器人、协作机器人、特种机器人、医疗服务机器人	汽车、3C、半导体、新能源
拓斯达	SCARA、六关节机器人、Delta、协作机器人	新能源、光电、汽车零部件
埃夫特	SCARA、六关节机器人、协作机器人	汽车零部件、3C、家具制造
华中数控	SCARA、六关节机器人、Delta 机器人	3C、家电、院校培训

资料来源：各公司官网，艾瑞咨询，华宝证券研究创新部

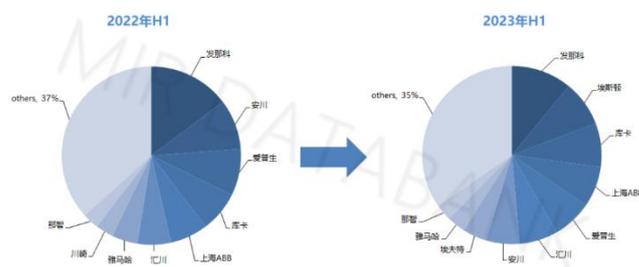
国内工业机器人市场集中度较高，2022 年 CR5 超过 50%，但 2023 年上半年集中度略有下滑，竞争格局有重塑趋势。我国工业机器人市场仍以外资品牌为主，市场集中度较高，2022 年前五企业市场份额占比为 51%。机器人四大家族 FANUC、ABB、安川和 KUKA 合计占比超四成，国产龙头以埃斯顿、汇川技术等为代表，2022 年市场份额占比分别为 3%、2%，分别在六轴机器人、SCARA 机器人领域具备一定规模和技术实力。但在 2023 年上半年，竞争格局有变化趋势，根据 MIR 统计，由于 2023 年上半年下游需求端的萎靡，近半数工业机器人企业销量呈同比下滑态势，CR5 占比低于 50%，国产机器人埃斯顿进入 TOP5 的第二位，汇川则超越安川登上第六位，埃斯顿则挤入前十，本体市场销量正在向头部品牌靠拢，市场格局迎来重塑，行业加速洗牌。

图 59：2022 年中国工业机器人竞争格局



资料来源：MIR，中商产业研究院，华宝证券研究创新部

图 60：2022H1—2023H1 中国工业机器人市场格局变化



资料来源：MIR，华宝证券研究创新部

国产工业机器人品牌发展迅猛，尤其在 2023 年上半年工业机器人国产化率提升近 8 个百分点。近几年在政策引导下，工业机器人国产化率不断提升。在 2022 年疫情导致外资品牌缺货严重，给予了国产机器人发展窗口期，快速进入锂电等新兴领域并打磨产品。2023 年上半年市场需求不明朗趋势下，行业价格战及内卷化成必然趋势，具备性价比优势的内资品牌再次抓住了机遇，在锂电、光伏、汽车零部件等领域与外资交锋并加速抢占市场份额，同时在整车领域

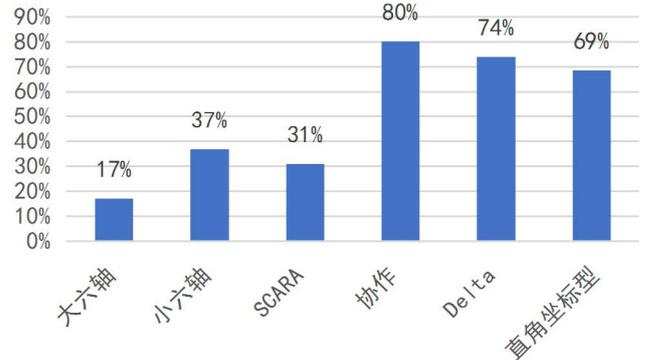
渗透。根据 MIR 数据，2023 年上半年国产品牌和外资品牌工业机器人增速分别为+23%/-11%，在需求偏弱的市场环境中，国产品牌凭借性价比优势和细分领域定制化设计服务，实现逆势增长，23 年 H1 国产品牌的市场份额达到 43.7%，同比提升 7.7%。具体来看，分机型大小六轴、SCARA 机器人国产化率提升空间较大，分行业汽车、电子等传统机器人应用行业国产化率提升空间较大。

图 61：国内工业机器人国产化率不断提升（%）



资料来源：拓斯达 2022 年年报，MIR，华宝证券研究创新部

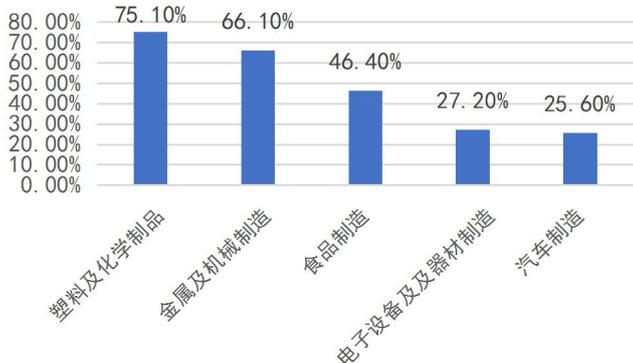
图 62：中国工业机器人分机型国产化率（%）



资料来源：虎嗅智库，MIR，华宝证券研究创新部

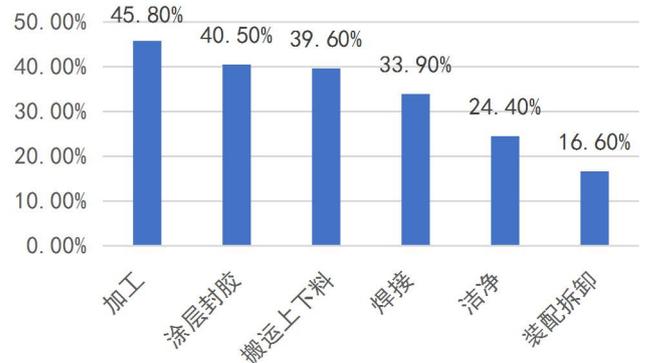
注：直角坐标型机器人国产化率取 2021 年数据，其余机型均为 2022 年数据。

图 63：2021 年中国工业机器人分行业国产化率（%）



资料来源：虎嗅智库，CRIA，华宝证券研究创新部

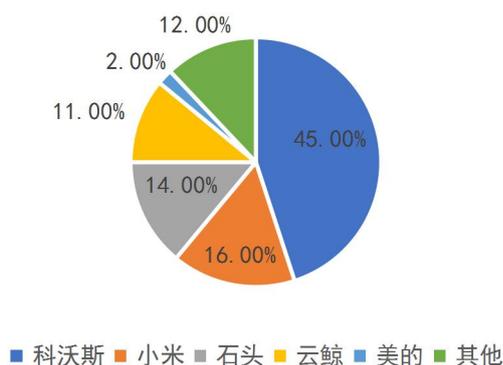
图 64：2021 年中国工业机器人分应用场景国产化率（%）



资料来源：虎嗅智库，CRIA，华宝证券研究创新部

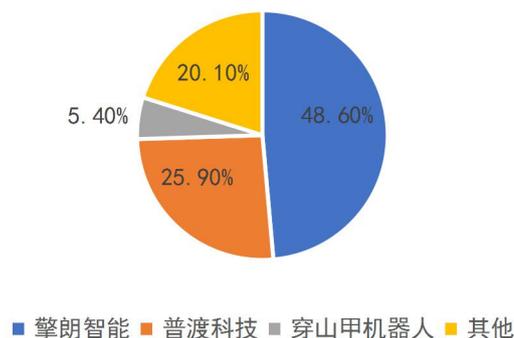
我国服务机器人行业的市场集中度极高，国产化率也较高。我国服务机器人虽然起步较晚，但在技术和产业化水平方面与国外公司差距较小，部分产品（家用清洁机器人，送餐机器人等）市场化应用已经领先于全球，具备先发优势。扫地机器人、陪伴机器人、清洁机器人、仓储物流机器人、导览机器人、送餐机器人、酒店机器人、医疗机器人等已在多领域落地应用。在服务机器人领域，市场集中度很高，从家用服务机器人——扫地机器人，商用服务机器人——餐饮机器人、商用清洁机器人为代表产品来看，2021 年扫地机器人、餐饮机器人 CR1 均超过 45%，市场 CR4 均超过 80%，商业清洁机器人 CR1 甚至高达 70%。此外从市场份额结构来看，以上三个细分市场基本被国产厂商所占据。

图 65：2021 年中国扫地机器人线上销售份额占比



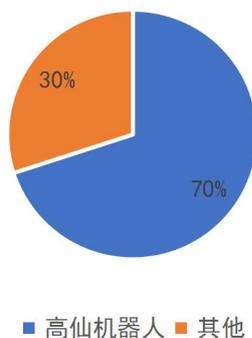
资料来源：前瞻产业研究院，华宝证券研究创新部

图 66：2021 年中国餐饮行业商用服务机器人市场份额



资料来源：IDC，中商产业研究院，华宝证券研究创新部

图 67：2021 年商用清洁机器人市场竞争格局（市场规模占比）



资料来源：亿欧智库，华宝证券研究创新部

本体厂商倾向于自研控制器，其次是自研伺服，减速器一般外采。之所以外采减速器，由上文分析可知，不论是 RV 还是谐波减速器，行业壁垒均较高，初期投入大，本体厂商一般不会选择自研。而大部分厂商自研控制器主要是因为：首先，在工业机器人发展初期，销量较少，没有供应商愿意为工业机器人行业研发控制器，故本体厂商各自为营，形成了封闭垂直模式——自己研发控制系统，借助非开放式的通讯协议控制其它核心部件；其次，机器人控制器及其带来的周边生态圈是各大机器人厂商的核心竞争力，只有底层核心平台是自主研发的，才能不断的去完善行业所需要的各种工艺包。因此本体厂商倾向于自研控制器，但这也导致各家控制器的编程语言互不兼容，工艺文件没有办法做到通用，每家机器人本体商只为特定的大客户提深度服务甚至自己包揽集成业务。

表 12：部分机器人本体厂商细分产业链布局情况

公司	减速器	伺服电机	控制器	系统集成
发那科	外采	√	√	√
库卡	外采	外采	√	√
安川	外采	√	√	√
ABB	外采	√	√	√
埃斯顿	外采	√	√	√

公司	减速器	伺服电机	控制器	系统集成
汇川技术	外采	√	√	无
埃夫特	参股奥一精机，2022年自主率近50%	外采（自研中）	参股ROBOX，2022年自主率超过90%	√
新时达	外采	部分自制	√	√
新松机器人	外采	部分自制	√	√

资料来源：各公司官网，各公司公告，Wind，华宝证券研究创新部

注：自主率指自主生产的零部件占零部件领用总数的比例。

未来工业机器人将向轻型化、柔性化方向发展，服务机器人的认知智能水平将进一步提升。随着智能制造的发展未来工业领域将对机器人的体积、重量、灵活度提出更高要求，工业机器人将向小型化、轻型化、柔性化方向发展，例如协作机器人、人形机器人等。随着深度学习、抗干扰感知识别、自然语言理解等人工智能关键技术取得突破性进步，服务机器人的认知智能水平将大幅提升，服务领域和服务对象将进一步拓展，可进一步关注相关AI技术在机器人领域的应用，以及人形机器人在商业服务场景中的发展。

3.3. 下游：国内系统集成行业集中度低、国产化率高，行业商业模式已向“日+美并行”模式转变

系统集成商是负责机器人应用二次开发和周边自动化配套设备集成的厂商，帮助机器人本体应用在特定的生产场景中。尽管机器人一般为标准化产品，但只有机器人本体是不能完成任何工作的，需要通过系统集成之后才能为终端客户所用。因此机器人在实际应用中需要针对现场的集成开发，包括工装夹具、现场使用的焊枪、喷枪等配套硬件或软件，针对机器人本体及其外围环境设备完整系统的调试开发，以上过程称为机器人的系统集成。工业机器人系统集成商处于机器人产业链的下游使用端，为终端客户提供使用解决方案，其负责工业机器人应用二次开发和周边自动化配套设备的集成，是工业机器人自动化应用的重要组成部分。相较于机器人本体供应商，机器人系统集成供应商需要具有产品设计能力、理解终端客户应用需求的工艺、相关项目经验等，并可提供适应各种不同应用领域的标准化、个性化成套装备。

表 13：以工业机器人系统集成步骤为例

步骤	内容
解读分析工业机器人工作任务	决定了工业机器人本体的选型、工艺辅助软件的选用、末端执行器的选用或设计、外部设备的配合以及外部控制系统的设计。
工业机器人的合理选型	由于不同品牌工业机器人的技术特点、擅长领域各不相同，所以首先根据工作任务的工艺要求，初步选定工业机器人的品牌；其次根据工作任务、操作对象以及工作环境等因素决定所需工业机器人的负载、最大运动范围、防护等级等性能指标，确定工业机器人的型号；之后再详细考虑如系统先进性、配套工艺软件、I/O接口、总线通信方式、外部设备配合等问题。同时，成本也是选型时必须考虑的问题。
末端执行器的合理选用或设计	末端执行器是工业机器人进行工艺加工操作的执行元件，没有末端执行器，工业机器人就仅仅是一台运动定位设备。工业机器人需要进行何种操作，是焊接操作，或是码垛搬运操作，抑或是打磨抛光操作等，是否需要配备变位机、移动滑台等，以及操作需要达到的工艺水平，加工对象的情况，都是需要综合考虑的。
工艺辅助软件的选择和使用	当工业机器人应用涉及复杂工艺操作时，辅助技术人员用工艺辅助软件进行机器人工作路径规划、工艺参数管理和点位示教等操作，一般会与三维建模软件同时使用。工业机器人的品牌不同，其核心控制部件也不同，从而导致了某些工业机器人生产商针对不同加工工艺，能提供配套的工艺软件，提升工艺水准，而

步骤	内容
	另一些则没有相应的工艺软件。
外部设备的合理选择	机器人本体是系统中动作的執行者，在执行动作时，需要其他的自动化设备提供辅助功能。例如，气动元件实现机器人末端执行机构的开合动作；传动带将物料传送到相应的工位；视觉系统和颜色传感器分别识别工件的形状和颜色。应根据工作任务合理选择所需的外部设备。
外部控制系统的设计和选型	根据前面步骤选定的工业机器人型号、末端执行器、外部设备，综合考虑工作任务后，初步选定外部控制系统的核心控制部件。一般选用 PLC、PC-Based 控制器作为外围控制系统的核心控制部件，但是在某些特殊的加工工艺中，必须选用嵌入式系统等。一般考虑在机器人以及各外部控制设备之间采用工业现场总线的通信方式，以减少安装施工工作量与周期，提高系统可靠性，降低后期维护维修成本。
系统的电路与通信配置	选定所有硬件之后，还需给系统安装电路，为系统供电并控制部件动作，以及选用合适的通信方式实现部件之间的数据传输。硬件之间的数据传送是通过通信完成的，不同规模的系统集成，使用的通信方式也是不相同的。
系统的安装与调试	前述所有步骤均完成后，就可以进入系统安装、调试阶段。

资料来源：《工业机器人集成应用》（赵静静，侯艳霞，庄绩宏），华宝证券研究创新部

在世界范围内的机器人产业化过程中，系统集成有 3 种发展模式——日本模式、欧洲模式、美国模式，国内已向“日+美并行”模式转变。在日本，机器人本体制造厂商以开发新型机器人和批量生产优质产品为主要目标，并由其子公司或社会上的工程公司负责制造各个行业需要的机器人成套系统，完成交钥匙工程。在欧洲，机器人本体制造商承担系统集成的工作，即不仅要生产机器人，还要为用户设计开发机器人系统。美国则是以系统集成商为主，采购与成套设计相结合，美国国内基本上不生产普通的工业机器人，客户需要机器人时，通常由工程公司进口，再自行设计、制造配套的外围设备，完成交钥匙工程。过去我国与美国、欧洲模式类似，少数机器人公司负责“本体制造+系统集成”，大部分机器人公司集中在机器人系统集成领域，单元产品（机器人本体）采用外购或贴牌，为客户提供交钥匙工程。但随着本土机器人技术的崛起，我国机器人产业化的模式逐渐从集成方向向行业分工的方向转变，转向“日+美并行”的模式。

图 68：工业机器人系统集成的主要模式



资料来源：亿欧智库，华宝证券研究创新部

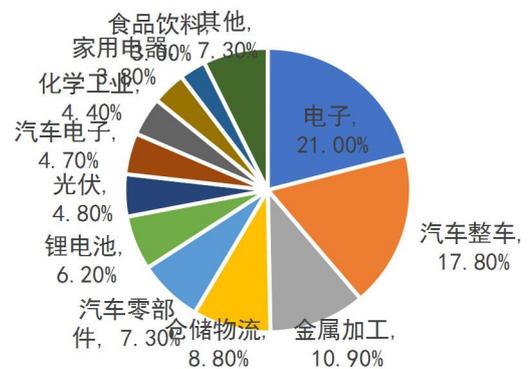
机器人系统集成市场规模与公司数量远大于其他机器人细分领域，下游行业分布与本体类似。本体产品由于技术壁垒较高，有一定垄断性，议价能力比较强，毛利较高。而系统集成的壁垒相对较低，与上下游议价能力较弱，毛利水平不高，但其市场规模与公司数量要远远大于本体市场。从市场规模上看，根据江苏北人招股说明书，全球工业机器人系统集成行业的市场规模约为工业机器人市场规模的3倍，同时根据MIR数据，2019年国内工业机器人系统集成市场规模为1857亿元，也是大幅高于当年中国工业机器人市场规模的（IFR统计，按美元兑人民币汇率7，折合人民币644亿元）。受益于智能制造的需求带动，工业机器人系统集成商数量快速增长，从2014年的不到500家增长到2020年年中的9000多家，根据《智能机器人创新热点与趋势》（陶永等），机器人系统集成商是中国机器人市场上的主力军，约占机器人相关企业的80%以上。由于机器人系统集成商是机器人本体厂商与下游客户之间的桥梁，因此机器人系统集成下游行业分布与机器人本体下游行业分布情况类似，主要分布在电子、汽车整车、金属加工等行业。

图 69：工业机器人系统集成市场规模及增速



资料来源：MIR，华宝证券研究创新部

图 70：2019 年工业机器人系统集成市场占比（按行业细分）

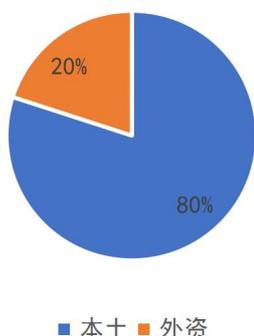


资料来源：MIR，华宝证券研究创新部

机器人系统集成行业集中度较低、竞争较为激烈，机器人本体企业也有布局系统集成服务。机器人系统集成项目具有非复制性、跨行业施工、资金回收周期长等特点，同时机器人系统集成商实际上是轻资产的订单型工程服务商，核心资产是销售人员、项目工程师和安装调试人员，因此集成商要实现规模化比较困难、且很难通过并购的方式扩大规模。反映在市场格局上，当前国内系统集成商规模普遍偏小、集中度低，根据MIR 2019年的统计数据，规模不足1个亿的工业机器人系统集成商占比为96.8%，且分散于汽车、3C等多个应用领域，大型系统集成商使用国外品牌的产品较多。由于工业机器人属于相对标准化的通用型产品，终端应用上同类型产品的替代是个比较漫长的过程，因此为了拓展产品下游用户，不少机器人本体企业也会以布局部分行业或部分应用的系统集成业务来推动本公司机器人品牌的扩张，已布局系统集成本体企业包括四大家族、新时达、埃斯顿、埃夫特、新松机器人等。

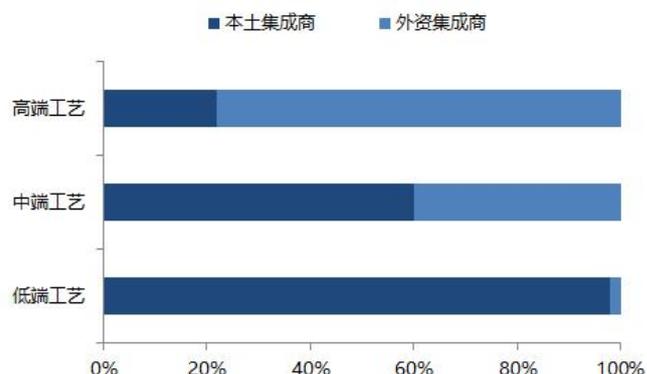
机器人系统集成国产化率较高、达到80%，但本土集成商主要集中在低端工艺场景。据MIR统计，2019年本土工业机器人系统集成商占据了全国80%的集成市场。从行业上看，外资工业机器人系统集成商主要集中于汽车整车行业，电子行业则主要被本土工业机器人系统集成商占据。从工艺结构上看，本土工业机器人系统集成商垄断低端工艺段、领先中端工艺段，如搬运、码垛等系统集成领域；外资工业机器人系统集成商主要集中在高端工艺段和中端工艺段，如焊接、装配、铆接和检测等系统集成领域。但本土工业机器人系统集成商正在不断渗透高端市场，如汽车整车行业，本土工业机器人系统集成商已经突破了汽车焊接领域，挤占了部分外资集成商的市场份额。

图 71：2019 年工业机器人系统集成市场规模(按内外资,%)



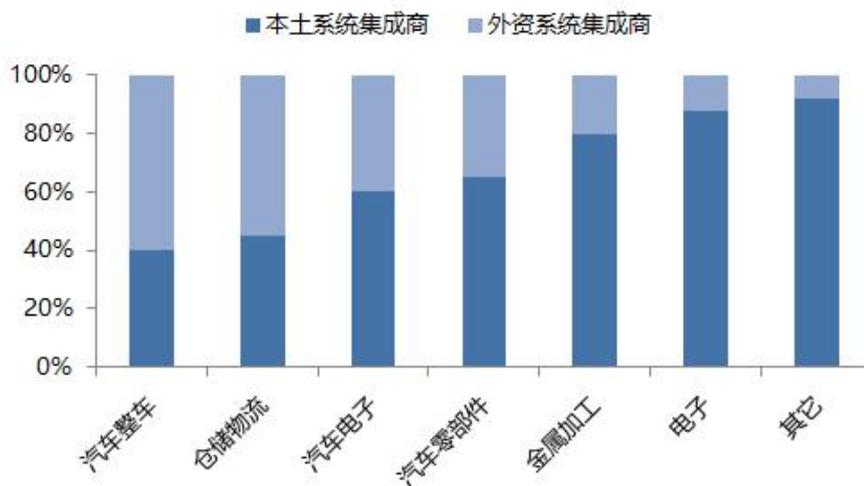
资料来源：MIR，华宝证券研究创新部

图 72：2019 年各工艺段系统集成商本土和外资竞争格局 (%)



资料来源：MIR，华宝证券研究创新部

图 73：2019 年各行业系统集成本土和外资竞争格局 (%)



资料来源：MIR，华宝证券研究创新部

4. 国产替代、周期见底、技术迭代、劳动力短缺是看好机器人行业的主要逻辑

4.1. 国产化率、渗透率提升空间大，政策驱动下国产替代、产业升级进程有望加快

在三大核心零部件、大小六轴、SCARA 机器人等制造领域国产化率仍低于 50%，系统集成在汽车整车与仓储物流等领域国产化率较低。国产机器人在传统行业如汽车制造、电子等方面的渗透率仍然较低。总的来看，机器人行业国产化率提升空间较大，但这些领域均为高端发展方向，国产厂商仍面临较强的国外厂商竞争压力。

表 14：机器人细分产业链国产化率情况（以工业机器人为例）

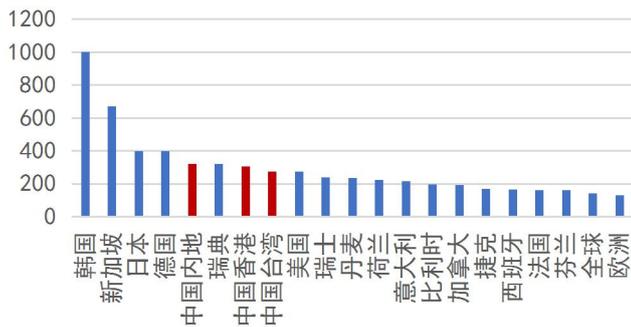
分类	国产化率	数据时间	分类	国产化率	数据时间	
核心零部件	控制器	36%	本体	大六轴	17%	
	伺服系统	38%		小六轴	37%	
	伺服电机	31%		SCARA	31%	
	RV 减速器	32%		协作	80%	
	谐波减速器	44%		Delta	74%	
系统集成	汽车整车	约 40%		分行业	直角坐标型	69%
	仓储物流	约 40%-50%			塑料及化学制品	75%
	汽车电子	接近 60%			金属及机械制造	66%
	汽车零部件	约 60%-70%			食品制造	46%
	金属加工	接近 80%			电子设备及器材制造	27%
	电子	约 60%-90%	汽车制造		26%	

资料来源：GGII, MIR, 智研咨询, 虎嗅智库, 华宝证券研究创新部

注：标红为国产化率低于 50% 的数据。

中国工业机器人密度仍有提升空间。近几年中国内地工业机器人密度增速远快于其他主要国家或地区,2011-2021 年 CAGR 为 41.5%,2021 年中国内地工业机器人密度达 322 台/万人,全球排名第五,低于韩国、新加坡、日本、德国。从行业分类看,工业机器人在部分制造业(如家具、橡胶塑料等),服务机器人在金融、医疗、餐饮、教育等服务业,渗透率提升空间较大。

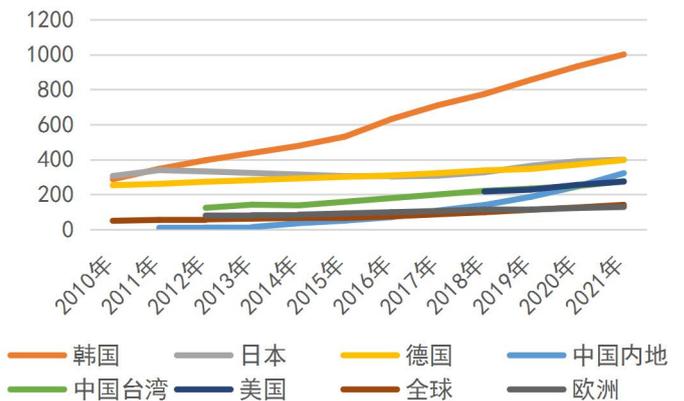
图 74：中国工业机器人密度靠前，但仍有提升空间（单位：台/万人）



资料来源：IFR, Wind, 华宝证券研究创新部

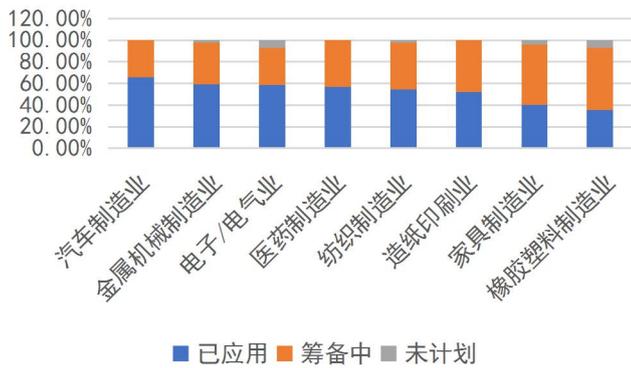
注：数据时间为 2021 年；工业机器人密度=每万名雇员的机器人安装量。

图 75：2010-2021 年主要地区或国家工业机器人密度比较（单位：台/万人）



资料来源：IFR, Wind, 华宝证券研究创新部

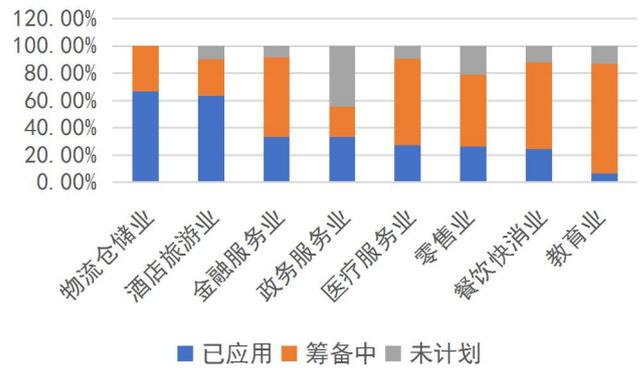
图 76：2022 年中国工业机器人各行业渗透率调查（%）



资料来源：艾媒咨询，华宝证券研究创新部

注：艾媒咨询根据调查相关行业企业是否应用机器人得出相应已应用、筹备中、未计划的企业占比。

图 77：2022 年中国服务机器人各行业渗透率调查（%）



资料来源：艾媒咨询，华宝证券研究创新部

注：艾媒咨询根据调查相关行业企业是否应用机器人得出相应已应用、筹备中、未计划的企业占比。

机器人是先进制造技术领域不可缺少的自动化设备，各国纷纷以机器人产业发展为切入点、推动产业升级。工业机器人的应用情况是一个国家工业自动化水平的重要标志，世界各国纷纷制定机器人产业发展计划，推动产业转型升级。从德国政府 2013 年推出“工业 4.0 战略”、2018 年推出《2025 高科技战略》，美国制定《美国机器人路线图：从互联网到机器人》、发布《国家机器人计划》，韩国提出《智能机器人基本计划（2014—2018）》《第三版智能机器人发展计划》，日本发布《机器人新战略》，再到中国颁布《“十四五”机器人产业发展规划》，各国通过提供资金支持、税收优惠、市场准入支持和创业孵化器等方式推动机器人技术的商业化和市场化。

按照密度规划目标，国内工业机器人渗透率 2021 年-2025 年 CAGR 预计为 12%。2023 年 1 月，工信部等 17 部门发布《“机器人+”应用行动实施方案》，方案指出“目标到 2025 年，制造业机器人密度较 2020 年实现翻番”。2020 年中国工业机器人密度为 246 台/万人，按照目标 2025 年达到约 500 台/万人，2021 年-2025 年工业机器人渗透率 CAGR 为 11%。

表 15：近年各国或地区机器人行业重要相关政策

国家	重要政策文件	发布时间	支持方向与举措
美国	《机器人路线图：从互联网到机器人》（第四版）	2020 年 9 月	新版路线图总结了制造业、生活质量、物流、农业、医疗、安全、运输等七个领域的社会驱动力，提出了成本、高混合度、安全性、易用性、响应时间、鲁棒性等六个方面的挑战，最终将挑战映射到架构与设计实现、移动性、抓取和操作、感知、规划和控制、学习和适应、人机交互、多机器人协作等八个机器人研究领域。
	《国家机器人计划 3.0》	2021 年 2 月	国家机器人计划(NRI)是在美国政府的支持下发起的基础机器人研发，NRI 3.0 计划以 NRI 之前的项目为基础，专注于机器人集成系统的创新研究。2021 年，美国政府为 NRI 3.0 投资了 1400 万美元，鼓励学术、产业、政府、非营利组织和其他组织之间开展合作。
日本	《机器人新战略》	2015 年初次发布，随后持续更新修订	致力于使日本成为世界第一的机器人创新中心，关注 AI 技术在机器人系统中的应用，加速发展智能制造、认知机器人、机器人物联网系统等。日本政府提供了 9 亿 3 千多万美元的资金，重点支持领域有：制造业（7780 万美元）、照护与医疗（5500 万美元）、基础设施（6.432 亿美元）和农业（6620 万美元）。
德国	《2025 高科技战略》	2023 年 6 月	政府每年都将提供 6900 万美元的资金，截至 2026 年总投资额达 3.45

国家	重要政策文件	发布时间	支持方向与举措
			亿美元。同时，作为《2025 高科技战略》任务的一部分，推出了“为人民塑造技术”计划。该计划旨在利用整个社会和产业的技术变革，造福于人民。研究主题包括：数字辅助系统，如数据眼镜、人机协作、助力体力工作的外骨骼，以及工作流程的柔性解决方案和支持移动操作的解决方案。
	《机器人与自动化 2028》	2023 年 6 月	大规模加速机器人和自动化发展，尤其在工业机器人和服务机器人领域。
韩国	《第三版智能机器人发展计划》	2019 年	旨在推动韩国在第四次工业革命中大力发展机器人，使其成为核心产业。政府为《2022 智能机器人行动计划》投资 1.722 亿美元，并将在 2022 至 2024 年为《专用载人或无人机全尺寸试验平台项目》投资 741 万美元。
欧盟	《欧洲机器人战略研究议程》	2013 年初次发布，随后持续更新修订	侧重于各关键技术领域的开发进步：感知与传感、认知学习、人机交互、集成系统设计、自主性和适应性等。
中国	《“十四五”机器人产业发展规划》	2021 年 12 月	《“十四五”机器人产业发展规划》重点强调创新，目标是推动中国成为全球机器人技术和产业进步的领先者。机器人是中国下一个五年中提出的八个重点发展领域之一。为促进技术创新，中国政府于 2022 年 4 月 23 日发布了重点支持的研发计划，其中，“智能机器人”重点专项获得了 4350 万美元的支持基金。

资料来源：IFR《2023 世界机器人研发计划》，各国官方政府网站，华宝证券研究创新部

表 16：2016-2023 年国内机器人行业重要相关政策

政策名称	发布时间	发布部门	机器人方面具体政策内容
《北京市机器人产业创新发展行动方案(2023—2025 年)》	2023 年 8 月	北京市经济和信息化局	围绕机器人操作系统、高性能专用芯片和伺服电机、减速器、控制器、传感器等关键零部件，支持企业组建联合体，聚力解决机器人产业短板问题和“卡脖子”技术难题。
《深圳市加快推动人工智能高质量发展高水平应用行动方案(2023—2024 年)》	2023 年 5 月	中共深圳市委办公厅、深圳市人民政府办公厅	重点支持通用大模型和智能机器人的研发和应用；实施科技重大专项扶持计划，重点支持打造基于国内外芯片和算法的开源通用大模型。
《上海市推动制造业高质量发展三年行动计划(2023-2025 年)》	2023 年 5 月	上海市人民政府办公厅	围绕高端制造引领功能等方面提出目标，如工业机器人使用密度力争达到 360 台/万人。
《上海市促进智能终端产业高质量发展行动方案(2022-2025 年)》	2023 年 3 月	上海市经济和信息化委员会	力争到 2025 年，打造 10 家行业一流的机器人头部品牌、100 个标杆示范的机器人应用场景、1000 亿元机器人关联产业规模。
《“机器人+”应用行动实施方案》	2023 年 1 月	工信部等 17 部门	到 2025 年，制造业机器人密度较 2020 年实现翻番；聚焦 10 大应用重点领域，突破 100 种以上机器人创新应用技术，推广 200 个以上具有高技术水平和创新应用的机器人典型应用场景，打造一批“机器人+”应用标杆企业。
《关于加快场景创新以人工智能高水平应用促进经济高质量发展的指导意见》	2022 年 7 月	科技部等 6 部门	围绕高端高效智能经济培育打造重大场景，如制造领域探索工业大脑、机器人协助制造；物流领域探索机器人分流分拣等。
《“十四五”机器人产业发展规划》	2021 年 12 月	国家发展改革委等 15 个部门	“十四五”期间，整机综合指标达到国际先进水平，关键零部件性能和可靠性达到国际同类产品水平；机器人产业营业收入

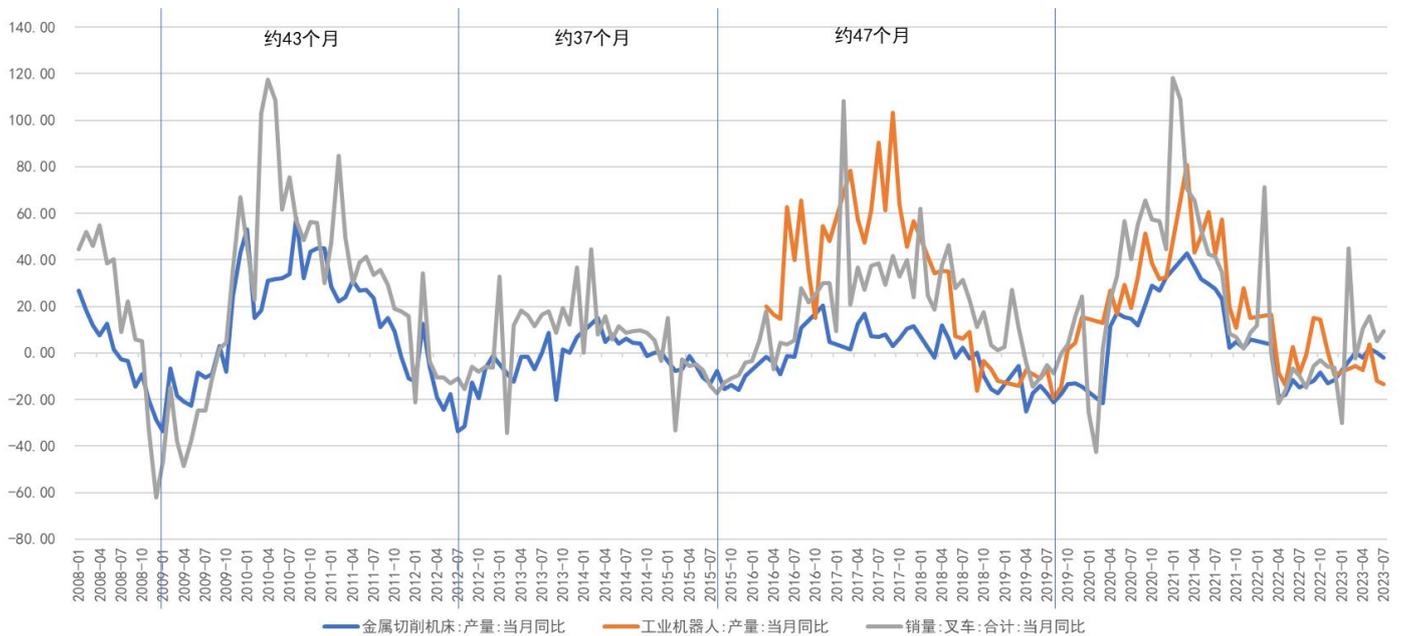
政策名称	发布时间	发布部门	机器人方面具体政策内容
《“十四五”智能制造发展规划》	2021年12月	工信部等8部门	年均增速超过20%；建成3-5个有国际影响力的产业集群。大力推广面向工序的专用制造机器人；研发智能焊接机器人、半导体（洁净）机器人等工业机器人。
《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》	2018年5月	国务院	构建工业机器人产业体系，重点发展高精度、高可靠性工业机器人。
《智能制造发展规划（2016-2020年）》	2016年12月	工信部、财政部	智能制造支撑体系基本建立，重点产业初步实现智能转型。

资料来源：中国政府网及各省市政府官网，华宝证券研究创新部

4.2. 经济复苏预期下，工业机器人行业或将迎来新一轮的上涨周期

通用机械行业存在3-4年周期性波动的历史趋势，工业机器人行业或将在今年迎来新一轮的上涨周期。通用机械属于设备产品，是下游投资扩产时购买的资本品，与下游景气度和需求相关。根据金属切削机床、叉车、工业机器人等通用机械设备2008年以来月度产量同比的历史数据变化，可以推断出通用机械存在3-4年的周期。上一轮周期自2019年三季度左右开始，周期顶在2021年一季度，根据历史周期规律推测，工业机器人或将在今年迎来新一轮的上涨周期。

图 78：2008 年以来金属切削机床、叉车、工业机器人月度产量同比（%）



资料来源：iFind，华宝证券研究创新部

注：历史数据不代表未来表现，此处仅为历史数据统计结果，并非代表未来确定性趋势。

4.3. 特斯拉等科技公司入局人形机器人，AI大模型助力具身智能，人形机器人迎来“0-1”阶段

近几年来，各路玩家加速涌入人形机器人赛道，包括科技公司、互联网企业、车企等，人形机器人迎来0到1阶段：

- 特斯拉2021年8月首次公布人形机器人项目，2022年9月特斯拉AI DAY人形机器人“擎天柱”（Optimus）首次亮相，同时马斯克表示3年实现量产、5年实现商用，目标售价在2万美元（按汇率美元对人民币7计算，约14万元）内，2023年5月股东大会特斯拉展示Optimus新的研发成果（运控能力进一步提升、实现一定程度FSD算法复用），2023年7月特斯拉二季度财报会上，马斯克表示Optimus已经生产5-6台人形机器人，并预计在今年11月进行行走测试，明年在特斯拉自己的工厂进行实用性测试。
- 1X Technologies成立于2014年，专注于开发具有高度灵活性和可扩展性的人形机器人。2023年3月，挪威人形机器人公司1X Technologies（前称为Halodi Robotics）宣布在OpenAI领投的A2轮融资中筹集了2350万美元。1X Technologies的旗舰产品是EVE，一款拥有两臂、两眼和四轮底盘的机器人，可以在各种环境中执行多种任务，如巡逻、监控、搬运等。1X Technologies还在研发一款名为NEO的双足机器人，预计将于2024年发布。OpenAI与1X Technologies的合作将催化AI技术在人形机器人领域中的应用和迭代，不仅将加深AI系统在真实世界中学习和适应能力，同时也将提升机器人的智能化水平。
- 2022年8月小米发布了人形机器人CyberOne“铁大”，可对真实世界三维虚拟重建，“小脑”发达、可实现双足运动姿态平衡。在2023年8月雷军年度演讲上发布了新一代仿生四足机器人CyberDog 2，相比上一代，更轻更小，运控能力更强，更强大的交互能力（人脸识别、声纹识别、情绪识别、语音控制米家）。
- 2023年8月，智元机器人发布了人形双足机器人远征A1，在双足行走、智能任务、人机互动等领域展现出业界领先的能力，同时智元机器人自研了一套机器人中间件系统AgiROS，且融入了WorkGPT这样的AI大模型，因此远征A1具备自主感知环境、理解任务、编排动作等智能化功能。同时近期比亚迪宣布对人形机器人公司智元机器人进行近200万元的投资，根据当前远征A1的能力水平，未来或可在比亚迪工厂参与外观检测流程、进行装配底盘等汽车装配线上作业。
- 2023年8月16日，2023世界机器人大会在北京开幕。在本次世界机器人大会上，不少于10家机器人团队展出了他们的人形机器人产品，包括优必选、达闼、追觅、宇树等。

随着各大公司纷纷加码布局，人形机器人迎来0到1的爆发阶段，国内产业链有望迎来高速发展。据Markets and Markets 2023年7月发布的一份报告，人形机器人市场规模将从2023年的18亿美元，增长至2028年的138亿美元，CAGR达50%，人形机器人迎来0到1的爆发阶段，国内产业链各环节将有望迎来高速发展。

全球正在进入“生成式AI革命风暴”，AI迎来下一个大发展、大繁荣的时代。2022年11月，OpenAI推出的聊天生成预训练转换器（ChatGPT）的爆火，ChatGPT一经面世便风靡全球，其不仅能够进行连贯、有深度对话，也具备推理、思维链等体现智能的能力。以ChatGPT

等大语言模型为标志的生成式 AI 的成功，推动 AI 迎来下一个大发展、大繁荣的时代，带来了新的范式革命和广阔的商业前景。

机器人作为 AI 的实物载体，在生成算法、预训练模型和多模态技术等 AI 技术的发展下，智能化程度将快速升级。以往计算机系统作为 AI 的载体，其输出的结果是虚拟的，最终仍需通过人类完成对现实世界的影响，而机器人作为 AI 载体，将有望把 AI 的决策直接反馈到现实物理世界，实现人工智能的“脑力和体力的大一统”，因此机器人被视为 AI 的终极载体。与此同时，计算机视觉、自然语言理解、认知科学、机器学习等多个人工智能子学科在 AI 大模型上出现了更多的融合应用，而当多模态大模型与机器人相结合时，会加快机器人智能化程度的提升。“智能化”使机器人可执行的任务变得越来越复杂，机器人自主性也越来越强、使用门槛将会降低、应用领域将逐渐扩大、生产效率也将会逐步提高，人形机器人需求上的痛点将会逐渐被打通。

图 79：AI 技术将助力机器人智能化发展



资料来源：甲子光年，华宝证券研究创新部

4.4. 老龄化与人力短缺将带来生产关系的变革，催化机器人进一步替代人力劳动

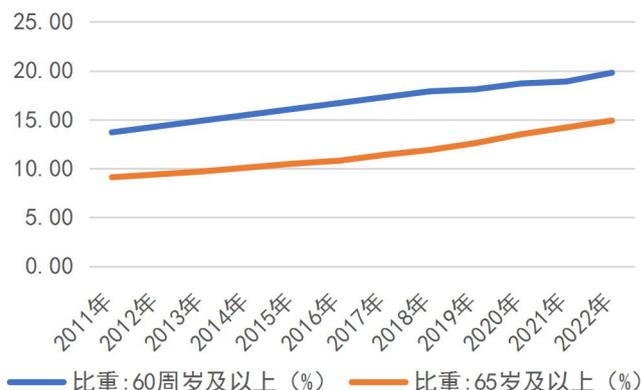
我国人口出现负增长，人口老龄化趋势加剧，我国劳动力人口比例、制造业就业人口有所下滑。根据国家统计局数据，我国 2022 年首次出现人口自然增长率为负的情形，尽管从 2016 年我国实施“全面二孩”政策，但出生率从 2016 年起仍出现加速下滑态势。在结构上，我国人口老龄化趋势加剧，60 岁以上、65 岁以上人口比例逐年增长。在劳动力人口方面，2021 年中国劳动力人口数量占人口比重为 55.23%，自 2015 年起呈下降趋势。同时，制造业就业人口自 2013 年起呈下降态势，相比 2013 年，2021 年制造业就业人口数量减少了 1430 万人。展望未来，人口增速的下降以及人口老龄化的加剧，将持续对劳动力人口、制造业就业人口带来负面影响。

图 80：人口出现负增长



资料来源：iFind，华宝证券研究创新部

图 81：人口老龄化趋势加剧



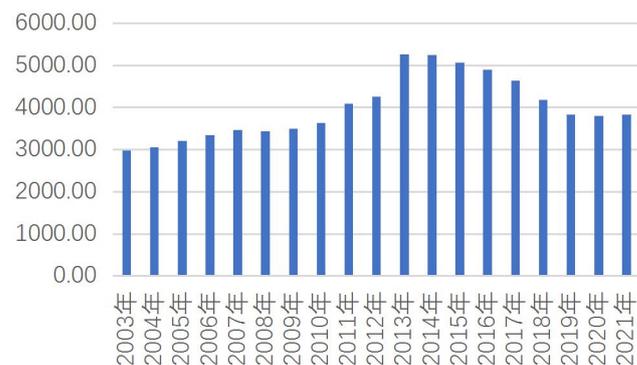
资料来源：iFind，华宝证券研究创新部

图 82：劳动力人口比例 (%) 下滑



资料来源：国家统计局，华宝证券研究创新部

图 83：制造业城镇单位就业人员数量下滑 (万人)



资料来源：iFind，华宝证券研究创新部

我国劳动力供给上人口红利的逐渐消失，将进一步推高劳动力成本，机器替代人力将成为未来发展趋势。经济快速发展以及人力短缺背景下，我国制造业城镇单位就业人员平均工资逐年走高，2011-2021 年间复合增长率达 9.7%，2021 年年平均工资已达 9.2 万元。假设未来制造业人员年均工资按十年 CAGR 为 8% 计算，同时按照特斯拉对 Optimus 价格的规划（2 万美元，按照美元对人民币汇率为 7，折合人民币 14 万元），预计在 2025 年，制造业就业人员平均工资将超过一台 Optimus 的价格。在机器人成本降低以及智能化、通用化程度不断提升的背景下，机器人替代人力将是长期趋势。

图 84：2008 年以来金属切削机床、叉车、工业机器人月度产量同比（%）



资料来源：国家统计局，华宝证券研究创新部

5. 投资建议

1、关注国产化替代逻辑下，具备性价比优势的产业链企业。目前在三大核心零部件（精密减速器、伺服系统、控制器）、大小六轴、SCARA 机器人等制造领域国产化率仍低于 50%，系统集成在汽车整车与仓储物流等领域国产化率较低，在国内国产替代、自主可控相关政策激励下，关注相应赛道发力的公司。

2、关注特斯拉人形机器人产业链相关企业。当前特斯拉已提出 Optimus 初步的生产节奏和规划以及后续应用的场景（特斯拉工厂），且可能将量产价格压降至 2 万美元以内，特斯拉在自动驾驶方面积累的技术经验、在新能源汽车方面积累的产业链资源也有望应用在人形机器人领域，故可关注特斯拉人形机器人产业链相关公司。

3、人形机器人的发展，将带来上游部分零部件、软件系统的增量需求，关注与之相关的企业。人形机器人在执行器使用数量、机电设计与选型方案、芯片的选择以及传感器使用数量、系统软件功能上与传统机器人有所差异，故关注人形机器人带来的上游部分零部件、软件系统的增量需求以及涉及与以上细分领域相关的公司。

4、关注智能化程度高，应用场景更明确、更刚性的本体制造商，以及提供机器人智能化基础设施平台的相关企业。AI 技术的发展将催化机器人智能化程度的提升，将提升机器人工作能力水平、拓展机器人刚性应用场景，机器人智能能力的快速迭代、应用的灵活性和便捷性将是未来趋势，故关注智能化程度高，应用场景更明确、刚性的本体制造商，以及提供机器人智能化基础设施平台（加快机器人系统迭代与集成使用）的相关企业。

6. 风险提示

1、下游行业复苏不及预期：机器人作为设备投资品，易受到下游景气度影响。工业机器人下游主要为汽车、3C、金属加工、锂电、光伏等制造业，若下游行业需求低迷，可能会导致相关产业投资及资本开支下降，进而导致工业机器人行业销量萎缩。此外，服务机器人下游主

要场景为酒店、餐饮、家用清洁等，下游消费行业的不景气将影响服务机器人销量。

2、行业竞争加剧、国产化替代不及预期：当下越来越多企业布局机器人细分领域，部分产业链企业也逐渐向上下游延伸，各细分领域均可能面临企业进行价格战等竞争加剧的风险，故存在企业盈利能力下降的可能性。此外，部分细分产业链尽管国产化率可提升空间较高，但由于其技术壁垒、材料壁垒、工艺壁垒、设备壁垒较高，而以上均被国外相应行业龙头企业所掌握，故国产化替代进程难以预测，或不及预期。

3、产业政策支持力度不及预期：机器人产业作为新兴技术产业，初期研发投入与设备投入较高，盈利压力大，需要依靠政府相关政策支持，若产业政策支持不及预期，企业发展将受到一定负面影响。

4、行业技术发展、商业化进程不及预期：机器人是一个综合学科，依赖多方面技术的共同发展，若行业技术发展不及预期，机器人在功能、智能以及应用场景方面发展将会受限，将会阻碍整个行业的发展。同时，当前各大公司布局的人形机器人存在量产节奏、商业化进程不及预期，下游缺乏刚性需求场景等可能性。

5、原材料价格、设备价格波动的风险：机器人行业处于产业链中游，生产过程中需要采购原材料（如高端金属材料、芯片等）、生产设备，而关键的高端材料和高端设备目前仍需进口，同时对上游议价能力不强，因此需要关注上游原材料、设备价格变化情况，可能会对企业盈利或者下游需求产生影响。

6、通用机械周期规律失效风险：通用机械周期规律使用历史数据进行梳理总结后得出，但历史结果不能简单预测未来，通用机械周期规律存在失效风险。

分析师承诺

本人承诺，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告，本报告清晰准确地反映本人的研究观点，结论不受任何第三方的授意或影响。本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体建议或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

公司和行业评级标准

★ 公司评级

报告发布日后的 6-12 个月内，公司股价相对同期市场基准（沪深 300 指数）的表现为基准：

买入：	相对超出市场表现 15% 以上；
增持：	相对超出市场表现 5% 至 15%；
中性：	相对市场表现在 -5% 至 5% 之间；
卖出：	相对弱于市场表现 5% 以上。

★ 行业评级

报告发布日后的 6-12 个月内，行业指数相对同期市场基准（沪深 300 指数）的表现为基准：

推荐：	行业基本面向好，行业指数将跑赢基准指数；
中性：	行业基本面稳定，行业指数跟随基准指数；
回避：	行业基本面向淡，行业指数将跑输基准指数。

风险提示及免责声明

- ★ 华宝证券股份有限公司具有证券投资咨询业务资格。
- ★ 市场有风险，投资须谨慎。
- ★ 本报告所载的信息均来源于已公开信息，但本公司对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。
- ★ 本报告所载的任何建议、意见及推测仅反映本公司于本报告发布当日的独立判断。本公司不保证本报告所载的信息于本报告发布后不会发生任何更新，也不保证本公司做出的任何建议、意见及推测不会发生变化。
- ★ 在任何情况下，本报告所载的信息或所做出的任何建议、意见及推测并不构成所述证券买卖的出价或询价，也不构成对所述金融产品、产品发行或管理人作出任何形式的保证。在任何情况下，本公司不就本报告中的任何内容对任何投资做出任何形式的承诺或担保。投资者应自行决策，自担投资风险。
- ★ 本公司秉承公平原则对待投资者，但不排除本报告被他人非法转载、不当宣传、片面解读的可能，请投资者审慎识别、谨防上当受骗。
- ★ 本报告版权归本公司所有。未经本公司事先书面授权，任何组织或个人不得对本报告进行任何形式的发布、转载、复制。如合法引用、刊发，须注明本公司出处，且不得对本报告进行有悖原意的删节和修改。
- ★ 本报告对基金产品的研究分析不应被视为对所述基金产品的评价结果，本报告对所述基金产品的客观数据展示不应被视为对其排名打分的依据。任何个人或机构不得将我方基金产品研究成果作为基金产品评价结果予以公开宣传或不当引用。

适当性申明

- ★ 根据证券投资者适当性管理有关法规，该研究报告仅适合专业机构投资者及与我司签订咨询服务协议的普通投资者，若您为非专业投资者及未与我司签订咨询服务协议的投资者，请勿阅读、转载本报告。