

人形机器人：蓄势待发，部件先行

人形机器人产业链投资机遇

平安证券研究所 智能制造团队

吴文成 S1060519100002 (证券投资咨询) 邮箱: wuwencheng128@pingan.com.cn

2022年7月18日

要点总结

- **特斯拉高调入局人形机器人，产业链为之振奋。** 2022年6月，马斯克宣布将于9月30日发布特斯拉人形机器人原型机，市场为之振奋。特斯拉具备感知和决策层的技术积淀，拥有工程整合能力，且具备强劲市场号召力。本次入局，有望推动人形机器人加速落地，助推产业链发展。
- **人形机器人核心难点在于运动控制和人工智能，全球参与者有数十年研发经验。** 人形机器人是具有与人类似的身体结构和运动方式（双足行走、双手协作等）的智能机器人。人形机器人技术难度极高，是机械设计、运动控制、人工智能等领域高精尖技术的综合体现。全球参与者已经有数十年的研发经验，波士顿动力Atlas、本田ASIMO、KAIST HUBO、优必选Walker、Agility Digit均为经典产品代表，已展现出一定的运动能力、执行任务能力和环境适应能力。
- **人形机器人产业链蓄势待发，部件先行，伺服系统和减速器公司有望率先受益。** 人形机器人核心零部件种类与现有的机器人类似，包括伺服系统、减速器、控制器和各类传感器。我们认为，人形机器人本体企业发展的同时，上游零部件企业有望率先受益。
 - ✓ **伺服系统：机器人的动力装置。** 与常见工业机器人2-6的自由度相比，人形机器人通常有30-40自由度，单台伺服电机需求量大幅增加，人形机器人产业化有望推升伺服系统需求。国产伺服系统优秀代表汇川技术、禾川科技、埃斯顿有望受益。
 - ✓ **减速器：机器人使用的精密传动装置，通常1:1配合电机使用，在人形机器人中的需求量将大幅增加。** 目前国内机器人减速器仍由日本企业占据较高份额，绿的谐波是国内谐波减速器龙头。随着人形机器人的放量，国内减速器龙头公司业绩有望大幅受益。
 - ✓ **控制系统：机器人的神经系统，用于控制其运动。** 目前人形机器人生产规模较小，进入量产后，各家控制器采用自产或外购模式尚不明朗，我们将持续跟踪相关进展。
 - ✓ **传感器：机器人感知环境的重要器件，种类繁多，其中价值量较高的自动驾驶类传感器存在新的机遇。** 自动驾驶传感器厂商、机器视觉厂商都是人形机器人传感器的潜在参与者，建议关注布局自动驾驶的机器视觉龙头天准科技。
- **投资建议：** 特斯拉高调入局人形机器人，有望推动产业链从研发阶段进入量产阶段。人形机器人自由度高达30-40个，远高于传统工业机器人的2-6个。与自由度成正比的减速器、伺服系统市场空间有望打开，建议关注国内伺服系统领先品牌汇川技术、禾川科技、埃斯顿，关注国内减速器龙头绿的谐波等。此外，建议关注关注布局自动驾驶的机器视觉龙头天准科技。
- **风险提示：** 1) 特斯拉机器人原型机开发进展可能不及预期。2) 产业链各环节国产替代进度不及预期。3) 宏观经济下行风险。



CONTENT 目录

- ① 一、热点：特斯拉吹响人形机器人产业化“冲锋号”

- ② 二、前沿：人形机器人赛道主要参与者及其技术进展

- ③ 三、跬步：人形机器人核心零部件产业链梳理

- ④ 四、投资建议与风险提示

1.1 热点聚焦：特斯拉高调宣布入局人形机器人

- **2022年6月，马斯克宣布将于9月30日发布特斯拉人形机器人原型机。**早在2021年8月19日的“人工智能日”活动中，马斯克就宣布了制造人形机器人的计划。2022年6月，马斯克在社交媒体、公开访谈和演讲中多次透露，特斯拉有望在2022年9月30日公开推出人形机器人“Optimus（擎天柱）”的原型机，海内外市场为之振奋。
- **基本情况：**根据2021年8月“人工智能日”展示的信息，特斯拉人形机器人体型和常人类似，身高5英尺8英寸（约1.73m），重125磅（57kg）。Tesla Bot可负重45磅（20kg），硬举重量150磅（68kg），行进速度5英里/小时（约8km/h）。马斯克在一次采访中表示，机器人未来的量产成本有望低于一辆汽车，约25000美元（人民币16-17万元）。

◆ 事件时间线

2021. 8. 19

- 特斯拉在“AI Day（人工智能日）”活动上宣布将制造人形机器人Tesla Bot。马斯克表示，Tesla Bot原型机将于2022年推出。
- 会上通过PPT介绍了机器人的外形、软硬件配置等情况，并由真人演员扮成该机器人的形态亮相。

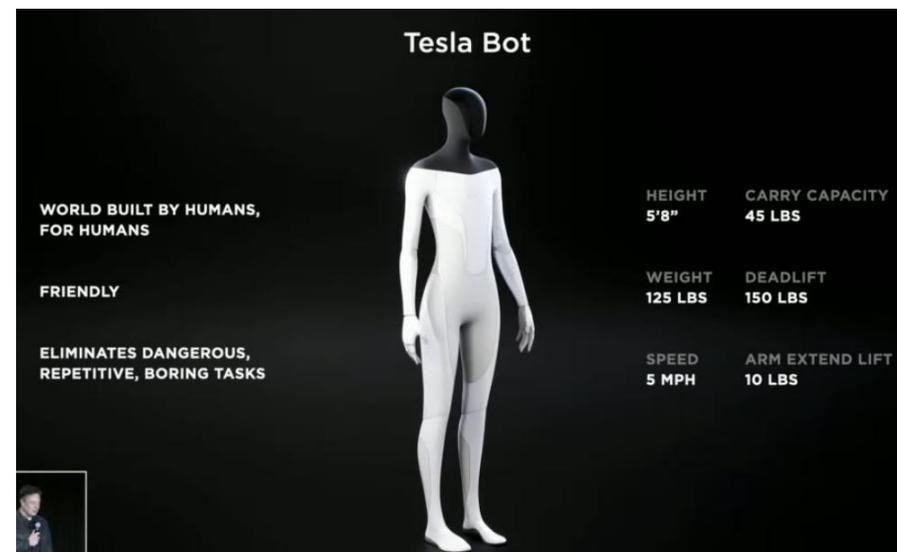
2022. 6. 3

- 马斯克发布推特称，“人工智能日”将推迟到9月30日举行，届时特斯拉将有望推出人形机器人Optimus（擎天柱）原型机。

2022. 6. 21

- 马斯克出席卡塔尔经济论坛，并接受了彭博总编辑John Micklethwait的采访。
- 在采访中，马斯克再次表示，特斯拉团队正致力于机器人原型机的开发，该原型机有望在9月30日公开亮相。

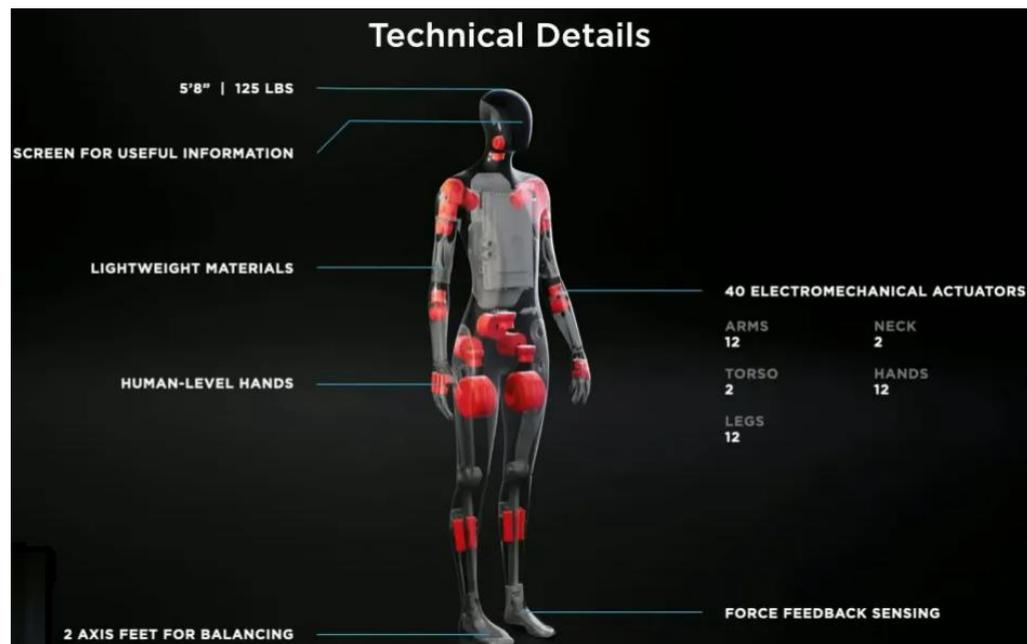
◆ 特斯拉机器人概念图



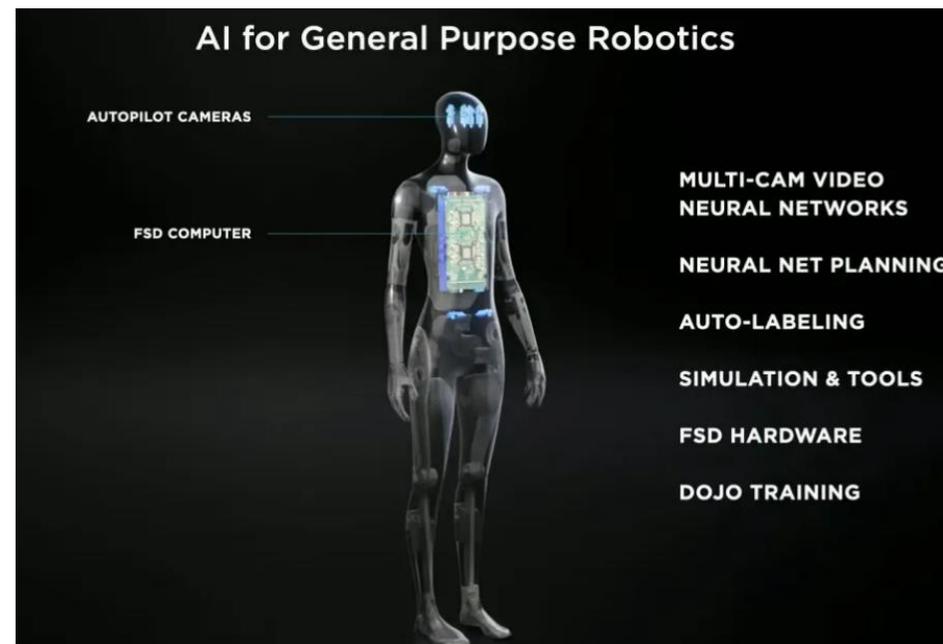
1.2 技术描述：硬件配置强劲，计算实力出彩

- ▶ **交互和运动控制**：2021年“人工智能日”展示的PPT介绍了特斯拉机器人的具体技术细节：机器人将采用轻质材料制成，面部为屏幕，用于显示信息；它全身共有40个机电执行器，12个位于手部，使机器人的双手拥有像人一样灵活的运动能力；足部为2轴设计，使用力反馈技术感知地面情况，使其在运动中保持平衡。
- ▶ **感知和计算能力**：感知层面，特斯拉机器人头部使用8个摄像头采集视觉信息。计算层面，机器人将采用目前特斯拉汽车使用的FSD（Full Self-Driving，全自动驾驶）电脑、运用神经网络等模型实时处理信息。特斯拉将使用超算“Dojo（道场）”训练机器人使用的AI模型，使其更有效的识别外界物体并作出反应。

◆ 特斯拉机器人交互和运动控制相关配置



◆ 特斯拉机器人感知和计算相关配置



1.3 功能定位：执行工业生产和家庭服务中的各种任务的“智能机器人”

- ▶ 2022年即将推出的机器人属于原型机，距离真正商业化落地仍有较大距离。但从已发布的信息来看，马斯克对特斯拉机器人未来的应用场景有非常丰富的构想：它将可以用来“消除危险、重复性和无聊的工作”，**执行工业生产和家庭服务中的各种任务，包括组装汽车零部件、采购杂货等**，并最终“将体力劳动变成一种选择”。
- ▶ 从此处的描述中，我们可以看出，特斯拉最终的目标应该**是一种高度通用的机器人，模糊了现有机器人从功能和场景出发的定位**（工业机器人/服务机器人），通过冗余设计，极大提升了机器人应用场景的灵活性，让机器人在“解放人类劳动力”上拥有更多的可能性。虽然具体的实现还很遥远，但特斯拉对机器人的展望让我们看到了未来“机器代人”的一种可能的终极形式，具有相当大的想象空间。

◆ 展望特斯拉的“未来”机器人：通过冗余设计实现高通用性和灵活性

当前：从功能出发，精简设计，专用性强
（“机器”能做哪些事？）

工业机器人

- 使用场景：相对固定，由集成厂商根据生产需求整合为产线
- 功能重点：强调**运动控制**的精度和稳定性

服务机器人

- 使用场景：相对非标准化，需要感知环境并作出决策；家庭场景使用者非专业化，需要自主行动
- 功能重点：**环境感知和自主决策**具有较大的重要性

未来：冗余设计，通用性强，适合多变、复杂场景和工作
（“人”能做哪些事？）



- 工业场景：主要使用**视觉感知**外界、**体格与人相仿**——适应“为‘人’设计的世界”。因此，可直接适配为“人”设计的现有产线，无需对产线进行改造，灵活性强

- 服务场景：凭借强大的感知和计算能力，适应非标服务场景；双足在复杂的环境中适应性更好

1.4 底气何在：技术+工程+市场三重能力保驾护航，特斯拉机器人值得期待

► **特斯拉在电动汽车领域已展现出强劲的技术、工程、市场能力，有望在机器人领域大放异彩。** 特斯拉已具备感知和决策层的技术积淀，且拥有出色的量产落地能力、打造爆款产品和拉动产业链的强劲市场号召力。虽然制造人形机器人充满挑战，但凭借其技术、工程和市场能力，特斯拉仍有望为机器人产业吹响向未来冲锋的号角，其表现值得期待。

◆ 特斯拉在电动汽车领域的技术、工程积累和市场号召力，助力其入局机器人领域

维度	竞争力	电动汽车积累	机器人入局展望
技术积淀	感知层：视觉方案积累	<ul style="list-style-type: none"> 特斯拉汽车在传感器路线上坚持视觉方案。2021年5月，特斯拉宣布当月起在北美市场交付的所有Model 3和Model Y汽车不再配备雷达，使用纯视觉系统支持半自动驾驶功能。 2022年2月，特斯拉宣布，北美市场的Model S和Model X都将引入纯视觉方案，辅助驾驶系统Autopilot和全自动驾驶套件FSD均采用基于摄像头的感知方式。 	机器人将采用自动驾驶摄像头采集信息，相关技术积累有迁移的可能。
	决策层：人工智能软硬件布局	<ul style="list-style-type: none"> 软件方面，特斯拉从2014年推出第一代驾驶辅助系统Autopilot，发力L2级辅助驾驶，后续逐渐向L3、L4升级；2020年10月，特斯拉发布“全自动驾驶（FSD）”软件测试版，并持续升级对应的服务。FSD系统主要采用视觉方案，使用神经网络等模型处理采集的视觉信息并作出实时决策。 硬件方面，特斯拉开发了用于自动驾驶计算的FSD芯片、用于AI训练的Dojo芯片和超级计算机系统。 	机器人采用FSD电脑处理信息，AI使用超算“Dojo”训练，均为公司自动驾驶AI布局的延伸。“我们的汽车就像带轮子的半智能机器人”。
	执行层：差别较大，不易过渡	机器人的运动控制，特别是双足行走等，和汽车系统差别很大，较难迁移。但考虑到特斯拉及马斯克“从无到有”造车、造火箭的“壮举”，机器人原型机仍值得期待。另外，人形机器人的感知、计算和执行动作均需要消耗大量电能，对 动力电池和电池管理系统 提出很高要求，公司动力电池技术积累及供应链有望为机器人的落地和量产保驾护航。	机器人的运动控制，特别是双足行走等，和汽车系统差别很大，较难迁移。但考虑到特斯拉及马斯克“从无到有”造车、造火箭的“壮举”，机器人原型机仍值得期待。另外，人形机器人的感知、计算和执行动作均需要消耗大量电能，对 动力电池和电池管理系统 提出很高要求，公司动力电池技术积累及供应链有望为机器人的落地和量产保驾护航。
工程能力	量产落地能力强	<ul style="list-style-type: none"> 初创阶段Roadster外包生产受挫后，特斯拉从Model S开始自主生产整车，并不断完善产能布局。特斯拉推出Model 3后面临交付和成本危机，公司通过扩产和严控成本度过危机，并探索出了“超级工厂”雏形。目前，特斯拉仍通过智能制造、零部件集成设计等方式持续降本增效，制造能力业内领先。 	9月推出原型机，距离产品化落地仍有一定距离，但量产能力是未来进入市场的保障
市场号召力	产品力领先，客户吸引力高	<ul style="list-style-type: none"> 2012、2015年，特斯拉先后推出豪华车型Model S、Model X，市场反响强烈，自主设计的首款车型Model S获评Motor Trend杂志北美2013年度车型，击败保时捷911、凯迪拉克ATS等强劲对手。 2016、2019年，面向大众化市场的Model 3、Model Y陆续推出，售价3.5万美元的Model 3在发布后三个月内就斩获32万多种订单，成为爆款。 和苹果在3C的地位类似，特斯拉产品一经推出往往成为现象级产品，引发关注和效仿；特斯拉产品切中高端客户喜好，先从高端产品入手，再推出经济型产品进一步扩大市场。 	新推出的机器人很可能走类似的市场路线：先作为服务机器人进入高端ToC市场，后续逐渐量产降本，推出经济型产品，进入大众市场。
	对整个产业链的带动作用	<ul style="list-style-type: none"> 上游供应商：带动了全球电池供应链、零部件产业链等迅速发展；目前仍在不断引领上游产业链的技术变革、打开新的市场，例如4680、一体化压铸等。 同台竞技者：国外老牌车企，国内造车新势力纷纷入局，新能源汽车市场仍处于爆发式增长阶段。 对趋势的敏锐把握+敢为人先的魄力，造就电动汽车产业链引领者。机器人是否可能再创奇迹？ 	特斯拉造机器人的举动有望带动新老参与者入局，通过技术创新共同将人形机器人蛋糕做大；并拉动上游部件、电池、新型材料等产业发展。

资料来源：elon-musk-interviews, Tesla, 百度百科, 晚点LatePost, 前瞻产业研究院, 平安证券研究所



CONTENT 目录

- ① 一、热点：特斯拉吹响人形机器人产业化“冲锋号”

- ② 二、前沿：人形机器人赛道主要参与者及其技术进展

- ③ 三、跬步：人形机器人核心零部件产业链梳理

- ④ 四、投资建议与风险提示

2.1 人形机器人：形态像人、替代人工作的机器，目前赛道阶段尚早

- ▶ **从定义和使用目的出发，人形机器人是具有与人类类似的外观和运动方式的智能机器人。**人形机器人（humanoid robots）又译“仿人机器人”，字面意思是模仿人的形态和行为设计制造的机器人。目前人形机器人并没有普遍定义，但根据专业书籍《Humanoid Robots》的归纳，人形机器人应当能“在人工作和居住的环境工作，操作为人设计的工具和设备，与人交流”。在此前提下，人形机器人最终应具有与人类类似的身体结构，包括头、躯干和四肢，使用双足行走，用多指手执行各种操作，并具有一定程度的认知和决策智能。
- ▶ **现阶段人形机器人并未产业化，各大参与者以研发为主。**人形机器人技术实现难度大、制造成本高，目前人形机器人赛道的参与者主要将其定位为基础研究平台；部分参与者从特定功能需求出发进行开发（搜救、公共导览、居家服务、物流搬运等），以寻求一定程度的落地。整体而言，人形机器人赛道处于相当早期的阶段。

技术驱动

◆ 人形机器人代表机型及开发者

功能驱动

• 研发平台

• 展示与教育用产品

• 寻求商业场景落地

Atlas

2013至今



- 开发者：波士顿动力（美国）
- 定位为公司内部研究平台，运动能力全球领先，用于机器人运动的前沿研究

HUBO

2004-?



- 开发者：韩国科学技术院（韩国）
- 大学实验室出品的研究用机器人
- DRC-HUBO是专为参加DARPA机器人挑战赛设计的机型，构造和功能能适应特种搜救需求

ASIMO

2000-2018



- 开发者：本田（日本）
- 人型机器人先驱，技术领先时代
- 作为研发平台的同时，具有极高社会曝光度，其功能主要围绕表演展示、导览和接待服务等开发。

Walker

2016至今



- 开发者：优必选（中国）
- Walker的功能设计围绕家居场景，但现阶段尚未家用推广，可用于展示、演出、导览等。

Digit

2019至今



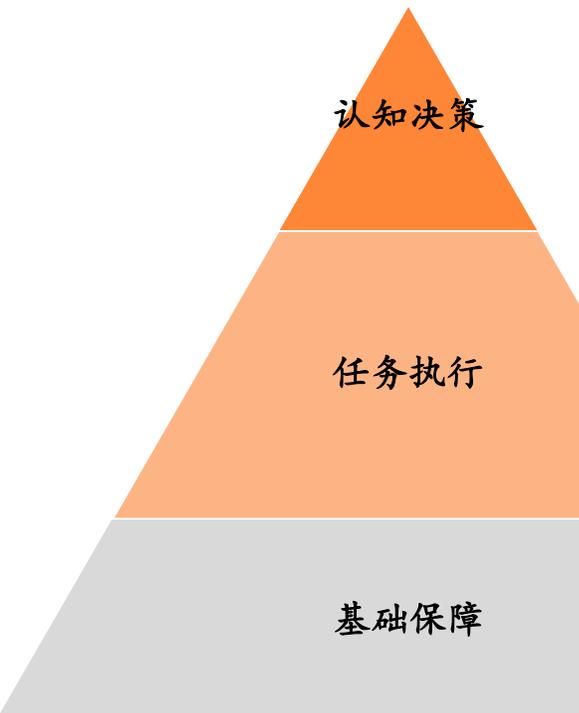
- 开发者：Agility Robotics（美国）
- 用于物流领域的灵活需求，包括搬运、装卸、配送等
- 双足运动稳定性好，注重续航、负重、可折叠等实用表现。

资料来源：各公司、机构官网，平安证券研究所

2.2 人形机器人技术难点：高精尖技术的综合，运动控制和人工智能是两大核心

- **运动控制和人工智能是人形机器人技术落地的核心难点。**一方面，人形机器人的机械构造、驱动和控制的复杂程度都远高于现有的机器人。要使人形机器人像人一样运动，并按要求执行任务，开发者需要设计合理高效的机械结构（骨骼），根据各部位运动需求构建执行精度高的驱动系统（肌肉），并开发具有高度稳定性和适应性的控制系统（神经系统）；同时供应链层面的材料、芯片、电池系统、零部件等也需要持续提质和创新。另一方面，要赋予人形机器人以一定的自主性完成任务的能力，即实现一定程度的认知和决策智能，尚需要人工智能软硬件（大脑）的高度发展，道阻且长。

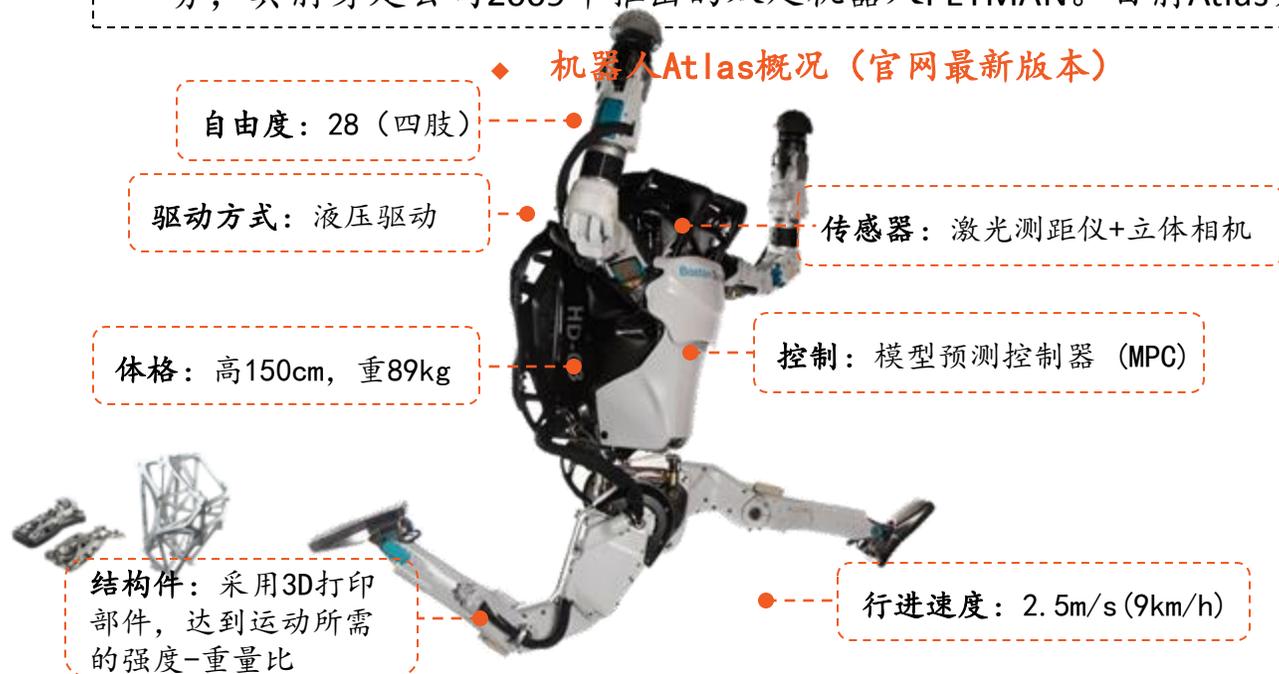
◆ 人形机器人技术难点

- 
- **导航避障**：涉及对环境的认知，以及路径规划、避障、制动等决策，与**自动驾驶**存在相似之处；但人形机器人工作环境非结构化，且活动形式是在三维空间中活动，所需决策可能更为复杂，需要**人工智能**的进一步发展。
 - **自主行动**：包括与人的交互和与物的交互，目前的技术距离让机器人自主决定“怎么做”还很遥远，要求人工智能软硬件（算法+芯片）都发展到非常高的层次。
 - **双足行动**：从保持站立，到稳定行走、实现跑动，每一步都存在挑战。机械结构设计层面，需要合理设计机器人腿脚结构，以及各部分的连接和运动方式；驱动层面，腿部输出大扭矩的需求，需要**高功率密度的电机**；计算和控制层面，规划行走动作涉及**多体运动和接触建模相关的规划和运算**，实现有适应性的稳定行走，以及跑动、转弯等动作，则需要根据传感器数据对动作进行**实时调整**，对**控制算法和控制器**要求较高。
 - **多指手和双手协作**：执行层面，要求更高精度的驱动，以及**传感器**的闭环反馈；决策和控制层面，可能涉及**多传感器融合、实时计算与调整**等挑战，以确保找到动作对象并施加适宜幅度和力度的动作。
 - **电源系统**：满足机器人复杂运算高能耗的需求，同时尽可能延长续航，对**电池**功率密度及电源管理系统提出要求。
 - **小体积+轻量化**：零部件小型轻质、集成方式优化；机器人本体材料创新。
 - **散热**：散热器件和材料的研发和创新；芯片设计制造的持续进步。

1) 波士顿动力Atlas：为运动而生，世界前沿的机器人研发平台

- ▶ **波士顿动力公司是世界知名的机器人公司，致力于研发具有灵活运动能力的多足机器人。** 波士顿动力1992年由Marc Raibert创立，脱胎于MIT和卡内基梅隆大学的“腿部实验室”。2005年，波士顿动力在美国国防高级研究计划局(DARPA)的资助下开始开发四足机器人Big Dog，并在其支持下开发了一系列特种机器人原型。2013/2017/2020年，波士顿动力的控制权先后易主Google、软银和现代汽车。目前，波士顿动力产品化销售的机器人主要包括四足机器狗Spot（用于工业巡检等场景）和带机械臂的移动机器人Stretch（用于仓储自动化）。
- ▶ **Atlas是波士顿动力旗下的人形机器人，目前仅用于科研，尚未产品化。** Atlas亮相于2013年7月，最初被设计用于搜救等任务，其前身是公司2009年推出的双足机器人PETMAN。目前Atlas并未产品化，而是定位为波士顿动力内部的研究平台。

◆ 机器人Atlas概况（官网最新版本）



◆ 波士顿动力产品化的两款机器人



四足机器狗Spot
(主要用于巡检)



带机械臂的移动机器人Stretch
(主要用于仓储物流)

资料来源：Wikipedia，波士顿动力官网，平安证券研究所

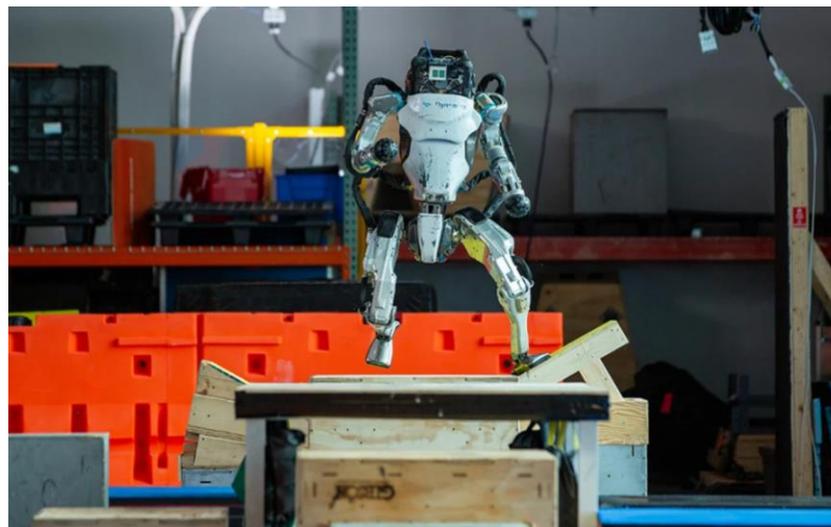
1) 波士顿动力Atlas：运动能力惊人，“跑酷”模式探索机器人运动极限

- ▶ **Atlas机动性优良，经过编程已经可以执行复杂的任务。** DARPA机器人挑战赛中，不同团队对所使用的机器人进行编程，使其完成包括进出车辆并驾驶、穿越地形复杂的灾后环境、开门和使用电动工具等一系列动作。2015年的决赛中，25支队伍有6支使用Atlas机器人参赛，其中IHMC ROBOTICS团队的Atlas用50分26秒完成了全部比赛任务，获得亚军。
- ▶ **开发团队以跳舞、跑酷等高难度挑战为目标持续优化Atlas，使其在运动能力和实时反应能力上不断突破极限。** 2020年12月，波士顿动力发布了Atlas跳舞的视频，动作流畅且富有表现力。在舞蹈中，机器人需要在起跳悬空状态下调整姿势，以保持平衡并精确作出动作。2021年8月，在官方最新视频中，Atlas可以在障碍环境内“跑酷”，做出跳跃、俯冲翻滚、空翻等一系列高难度全身动作。与预先编程的跳舞动作不同，在跑酷中，Atlas需要感知周围环境，从预设的动作模板（行动库）中作出选择，来应对所遇到的障碍。可见，Atlas在运动控制和实时反应上具有世界前沿水平，且仍在持续突破。

◆ 起舞的Atlas



◆ Atlas“跑酷”穿越障碍



2) 本田ASIMO：深受喜爱的人形机器人先驱，双手动作和人机协同是亮点

- **ASIMO是由本田研发出品的机器人，在其所处的时代代表最领先的技术。**ASIMO是日本本田研制的仿人机器人。ASIMO诞生于2000年，它设计紧凑小巧、质地轻，可以稳定流畅地双足行走，代表了当时最先进的机器人技术。ASIMO可以跑、踢球、端托盘、避开障碍，后续版本甚至可以识别语音和动作并作出反应，手部也更为灵活，可作出复杂的手语动作。
- **ASIMO被定义为一款友好的社交/服务机器人，在其生命周期内具有极高知名度和社会影响力。**ASIMO先进的技术和惹人喜爱的“宇航员”外形，使其一经推出便成为万众瞩目的明星，在日本国内外进行多次巡演，甚至数次出席外交场合。除了演出、教育，ASIMO亦可用于接待引导工作，例如IBM等7家企业曾租用其作为接待员。在获得无数关注，并为机器人基础研究作出诸多贡献后，ASIMO项目于2018年7月终止，本田宣布停止对ASIMO的生产和开发，以专注于将其生命期内研究的成果投入实际应用。E2-DR成为了它的一个后继者，是本田开发的一款用于搜救的人形机器人。

◆ 机器人ASIMO发展历程

1. 轰动世界的人型机器人

2000, 2001, 2002

- 高120cm，重54kg
- 行走速度1.6km/h
- 使用镍氢电池，续航30min
- 26自由度（头部 2，手臂 5×2，手部 1×2，双腿 6×2）



2. 具备跑动和抓握能力

2004

- 高130cm，重54kg
- 行走速度2.5km/h，跑动速度3km/h
- 使用锂离子电池，续航（行走）40min-1h
- 34自由度（头部 3，手臂 7×2，手部2×2，双腿 6×2）



3. 跑动中可平稳转弯

2005-2007

- 高130cm，重54kg
- 行走速度2.7km/h，跑动速度6km/h（直行）5km/h（环行）
- 自由度和续航同上一代



4. 语言指令控制、复杂手部动作

2011

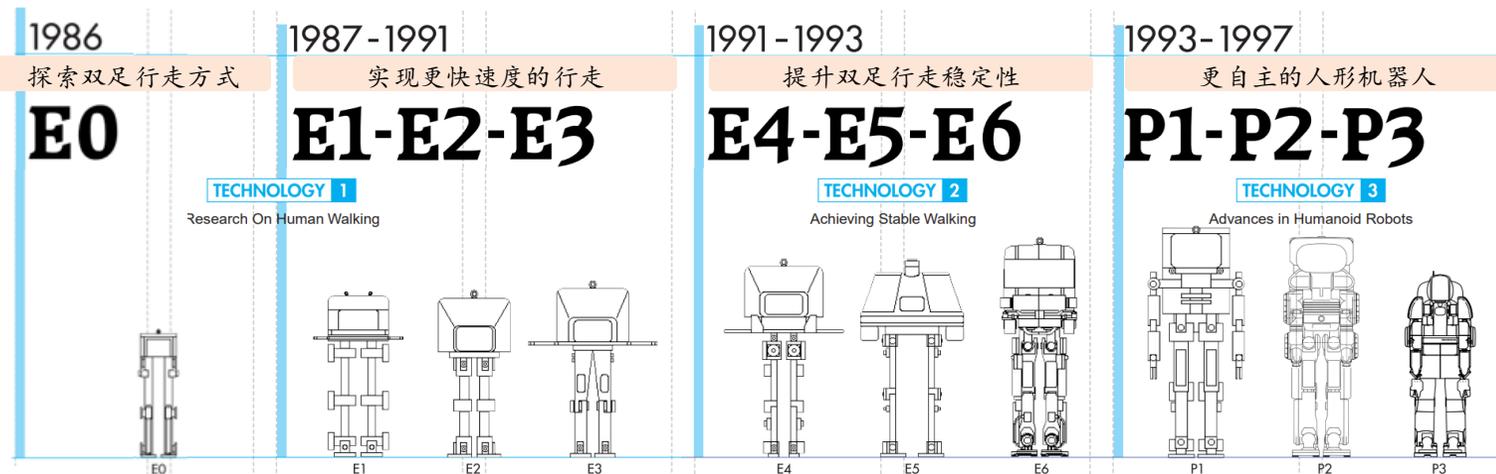
- 高130cm，重48kg
- 行走速度2.7km/h，跑动速度9km/h
- 使用锂离子电池，续航（走/跑）1h
- 57自由度（头部 3，手臂 7×2，手部 13×2，躯干2，双腿 6×2）



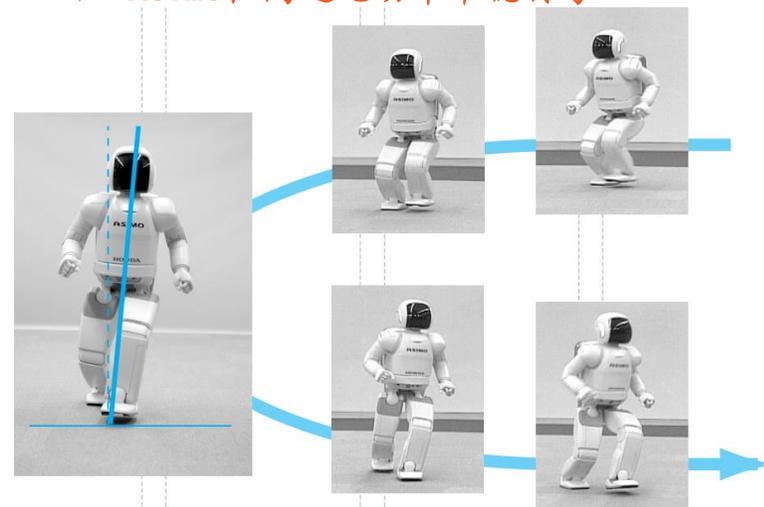
2) 本田ASIMO: 领先所处时代的运动控制能力

- **双足运动:** 作为人形机器人的先驱, ASIMO的前身经历了多个版本迭代, 以实现稳定的双足行走。1986-1993年, 经过大量基础研究和实验, 实验机E6可在楼梯和非平整地面上平稳行走, 这需要机器人对地面形态作出感知, 及时调整脚面姿势、步幅和落点。到ASIMO推出的阶段, 机器人通过预测运动控制已可以实现灵活、连续行走。后续更新中, ASIMO逐渐实现了直线跑动(双足离地)、曲线跑动等技能。
- **手部配合:** 双腿行走技术初步完善之后, 1993年起, 本田开始将机器人上半身与双腿结合起来, 开发仿人机器人原型机(P系列)。ASIMO的前身P3原型机双手各1个自由度, 可以推动推车、开/关门; 通过遥控还可以执行拧紧螺丝等任务, 通过6轴力传感器感知手部压力。后续版本中, ASIMO手部自由度逐渐增加, 可执行的操作升级到端托盘、倒茶水等。2011年最新版本的ASIMO双手各13自由度, 可以做出复杂的手语动作。

◆ ASIMO的双足机器人前身经历了多代研发迭代



◆ ASIMO在高速跑动中平稳转弯



资料来源: ASIMO官网, 平安证券研究所

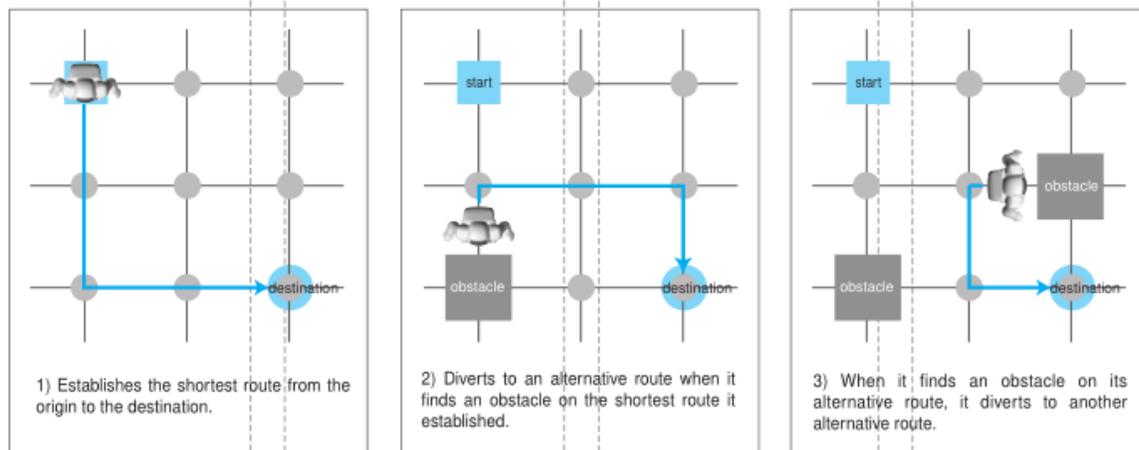
2) 本田ASIMO: 具有出色的感知和反应能力

- ▶ **对环境作出感知与反应:** 2007年版本的ASIMO具有视觉传感器、地面传感器（由激光和红外传感器）和超声波传感器，用于识别周边环境。ASIMO根据行走时从传感器获得的信息和预记忆的地图信息，在行进中实时校正自己的位置。在给定目的地的情况下，ASIMO可以自动规划所需的最短路径，并在遇到人或障碍物后转向备选路线避开障碍。
- ▶ **与人协调互动:** 2007年版本的ASIMO可以配合人的行动作出动作，包括与人握手、与人牵着手走路等。握手动作中，ASIMO通过头部的视觉传感器和手腕上的力传感器检测人的动作，作出配合；牵手行走时，通过感知手腕受力的大小和方向，ASIMO可以配合人的行进路线向任何方向行走。通过预先编程，ASIMO还可以响应一些手势和语音命令。

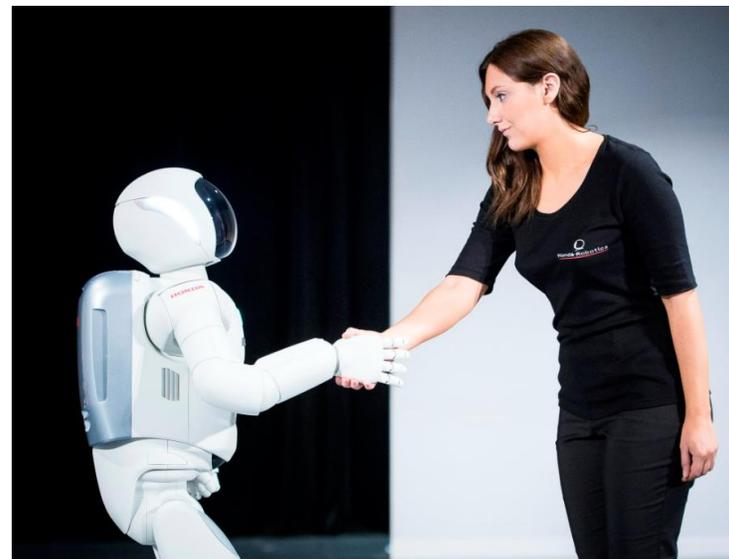
◆ ASIMO可以在行走中自动避开障碍

Automatic Detour Function

When its ground sensor or the visual sensor on its head identifies an obstacle, it ASIMO selects a different route using its own judgment.



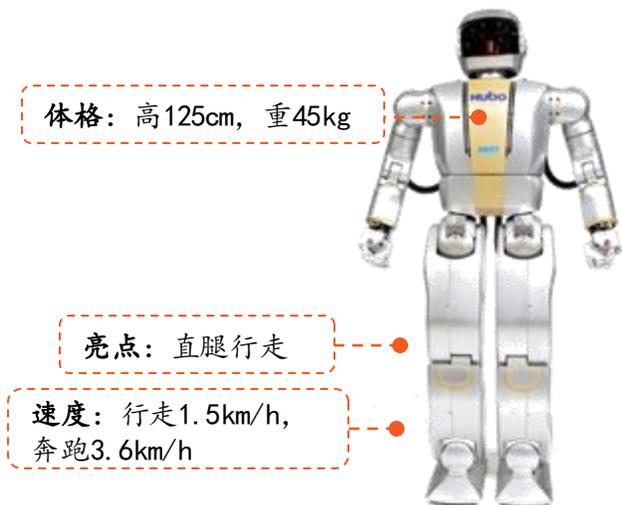
◆ ASIMO与人握手



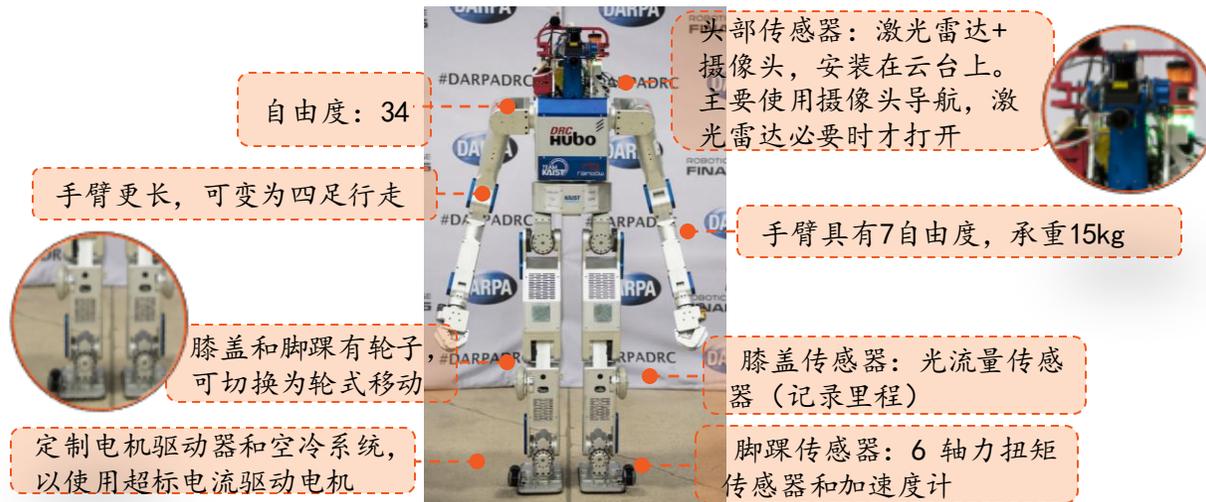
3) 韩国科学技术院HUBO：直腿行走是亮点，曾获DARPA机器人挑战赛冠军

- **HUBO是韩国科学技术院（KAIST）研发的人形机器人。**韩国科学技术院（KAIST）是一所韩国大学，科学、工程与技术教育领先。HUBO是KAIST旗下人形机器人研究中心 HUBO Lab研发的机器人，最早诞生于2004年，由教授Jun-Ho Oh主持开发。
- 2012年，HUBO Lab团队发布了用于出售的HUBO 2。不同于同期大部分人形机器人屈膝行走的姿势，**HUBO 2能够以直腿步态行走，更接近人的步态，这是一个非常大的进步。**截至2013年7月，已有12台HUBO 2出口到美国、中国和新加坡的大学、研究机构和公司，用于机器人技术研究。
- 2013年7月，HUBO Lab团队宣布推出新型号HUBO，称为DRC-HUBO，专为参与DARPA机器人挑战赛（DARPA Robotics Challenge，DRC）设计。它拥有更长的手臂和腿，可以在双足、四足行走和轮式前进之间切换；全身有34个自由度，左右手分别有3、4个手指，可以操纵方向盘、攀爬梯子等。2015年，**DRC-HUBO超过Atlas赢得了DARPA机器人挑战赛冠军。**

◆ 机器人HUBO 2概况



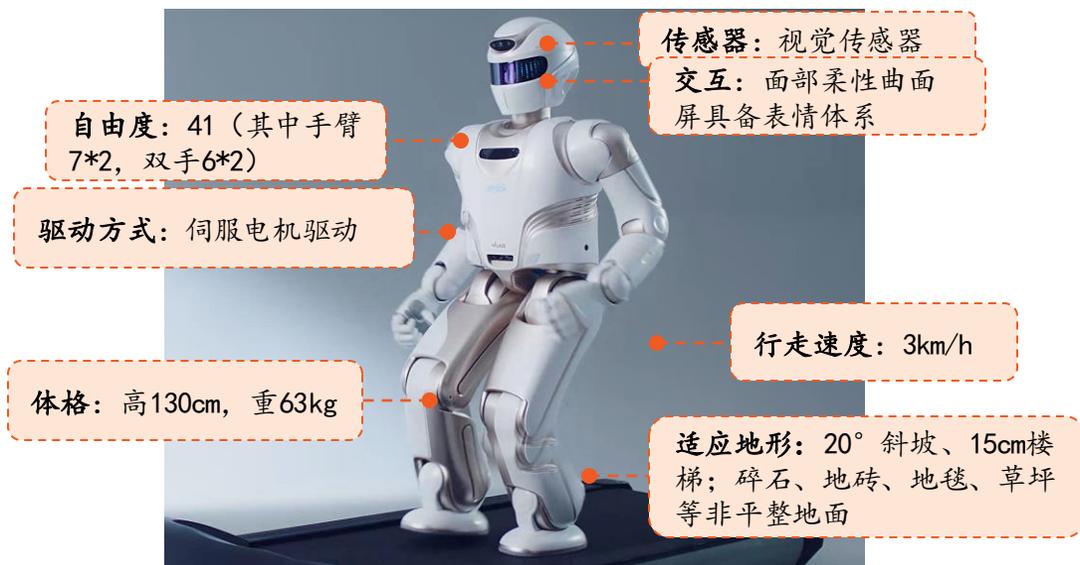
◆ DRC-HUBO概况



4) 优必选Walker: 实力不俗的国产仿人服务机器人

- **Walker是由我国优必选公司研发的人形机器人。**优必选成立于2012年，主要从事服务机器人和教育软硬件开发，旗下商业化产品包括商用服务机器人Cruzer、小型教育机器人Alpha、Jimu等。Walker是优必选的大型仿人服务机器人，原型机于2016年搭建，2018年正式发布。2019年，Walker被美国《The Robot Report》评选为值得关注的5大人形机器人之一（其它4款分别为波士顿动力Atlas、Agility Robotics的Cassie，丰田T-HR3s、本田E2-DR），优必选是榜单中唯一一家中国企业。
- **Walker主打家庭服务功能，强调环境适应和人机交互能力。**Walker高130cm、重60kg，行走速度3km/h，可灵活适应斜坡、楼梯、碎石等地面环境。Walker已开发的功能主要围绕家庭场景，包括操作吸尘器等家电、控制智能家居、端茶倒水、陪伴儿童等。由于价格对于个人用户较高，Walker目前主要面向商业客户，在科技展示、商业演出、展厅导览等场景使用。

◆ 优必选Walker概况



◆ 优必选Walker主要亮点



5) Agility Robotics Digit: 专注物流领域应用的人形机器人

- **Agility Robotics是一家致力于双足机器人研发的初创公司。** Agility Robotics 2015年成立于美国，部分创始团队和技术成果脱胎于俄勒冈州立大学的动态机器人实验室。Agility Robotics致力于研发和制造双足机器人，并将其在商业环境中应用。2017年，Agility Robotics推出了双足机器人Cassie，它没有上半身，只有胯部和两条类似鸵鸟的腿。2019年，Agility推出了人形机器人Digit，在Cassie的基础上加上了躯干、手臂，并增加了更多计算能力。
- **Digit从功能出发进行设计，有望在物流领域实现应用。** 不同于波士顿动力Atlas对运动能力的冗余设计，Agility致力于将机器人投入实际应用。Digit主要为物流场景设计，可以拿起和堆叠18kg重的箱子，进行移动包裹、卸货等工作，“最后一公里”配送功能也正在开发当中。Agility公司创始人认为，与小车相比，双足机器人在物流领域会展现出更大的灵活性。

◆ 行走中的Cassie

髋关节3自由度，可以像人一样移动和旋转双腿



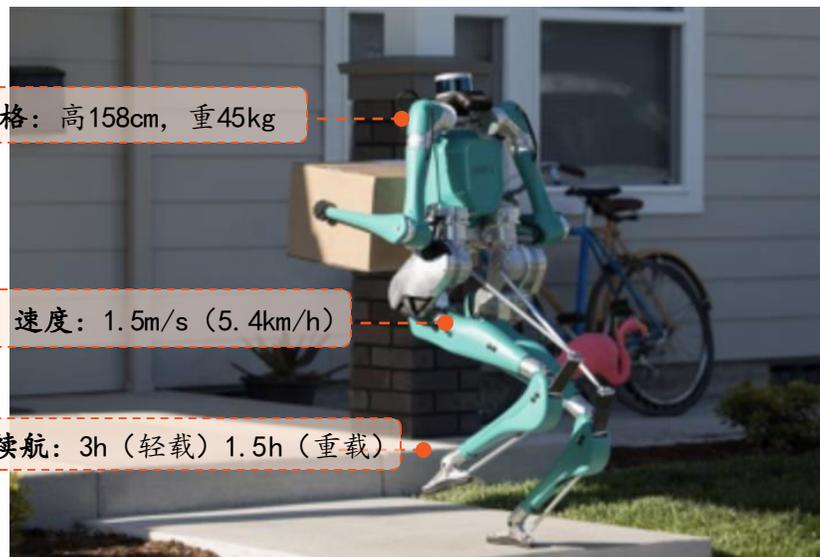
注：图中Cassie的行走方向朝右，也就是说它的小腿是向前弯折的，腿部结构更像鸵鸟而非人类。

◆ 运送快递的Digit

体格：高158cm，重45kg

速度：1.5m/s (5.4km/h)

续航：3h (轻载) 1.5h (重载)



2.4 人形机器人技术进展小结

◆ 人形机器人技术进展小结

基本属性

- **续航：**已披露的续航数据在1-3小时，未来若要满足服务和工业等需求，可能仍需一定提升
- **重量：**身体质量指数（BMI，重量÷身高²）平均在30以上，存在轻量化空间
- **速度：**行走速度可以达到3km/h左右，跑动速度最高可达9km/h

任务执行

- **双足行动：**现阶段的人形机器人已经可以稳定地双足行走，且对非规则地面（楼梯、斜坡、不平整的地毯和草坪等）具有一定的适应能力；部分已经能跑步和转弯，甚至做出空翻等高难动作并保持平衡。
- **双手动作：**主打服务场景的ASIMO和Walker对双手动作进行了开发，可以对特定物体执行所需操作，包括拧开瓶盖倒出饮料、用托盘端水等。

决策智能

- **导航避障：**人形机器人对环境的判断和反应已经有了一定的进展。
 - **ASIMO：**通过预设的地图信息和传感器获得的信息，ASIMO可以自动规划行进路径，并在行进中避障。
 - **Atlas：**给定预设的动作模板以及地图信息，Atlas可以基于感知信息进行一定程度的自主行动，在行动模板中进行选择，在障碍环境中“跑酷”，作出跳跃和翻越等动作，最终穿过障碍环境。
- 现有的人形机器人已经实现了简单的自动导航避障功能，但局限在相对固定的环境中，距离“在人居住和工作的环境中”自主移动还存在较大差距。
- **自主决策：**要使机器人“自主决定怎么完成一个任务”甚至“自主决定做什么”涉及更高层次的人工智能，且具有潜在的伦理问题，目前来看还很遥远。



CONTENT 目录

- ① 一、热点：特斯拉吹响人形机器人产业化“冲锋号”

- ② 二、前沿：人形机器人赛道主要参与者及其技术进展

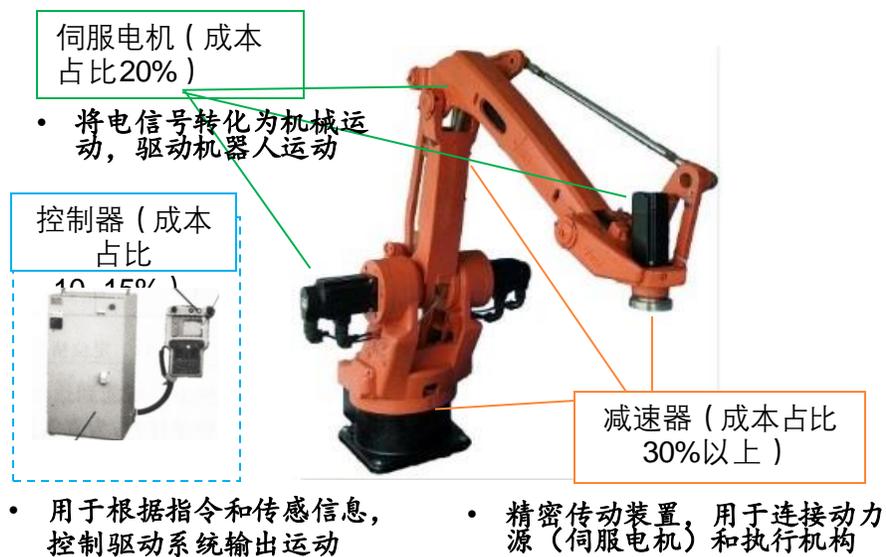
- ③ 三、跬步：人形机器人核心零部件产业链梳理

- ④ 四、投资建议与风险提示

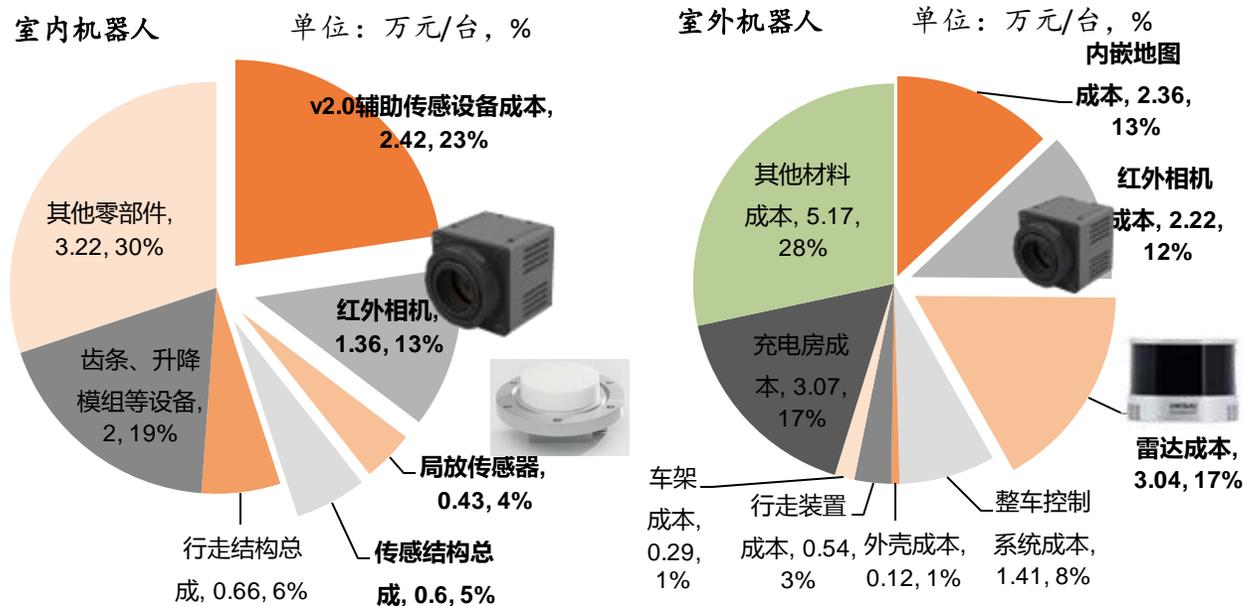
3.1 传统机器人核心零部件：伺服系统、减速器、控制器、传感器是核心部件

- ▶ 人形机器人赛道相对较早期，我们从已有的工业和服务机器人核心零部件出发，分析梳理人形机器人所需的关键部件。
- ▶ **伺服系统、减速器和控制器是工业机器人的三大核心零部件。**工业机器人应用于特定生产场景，主要强调动作执行的质量，伺服系统、减速器和控制器是其三大核心零部件，分别占据其成本的20%、30%以上和10%以上。
- ▶ **传感器是服务机器人的重要部件。**服务机器人应用场景相对非标准化，要求对环境的感知能力，传感器是其重要的部件之一。服务机器人品种繁多，此处以亿嘉和招股说明书披露的2017年材料采购成本为例，其室内和室外机器人采用的传感器（包括红外相机、激光雷达等）和导航相关模块成本占据了原材料采购成本的40%以上，价值量较高。

◆ 工业机器人核心零部件及其用途



◆ 亿嘉和2017年服务机器人单机原材料采购成本构成

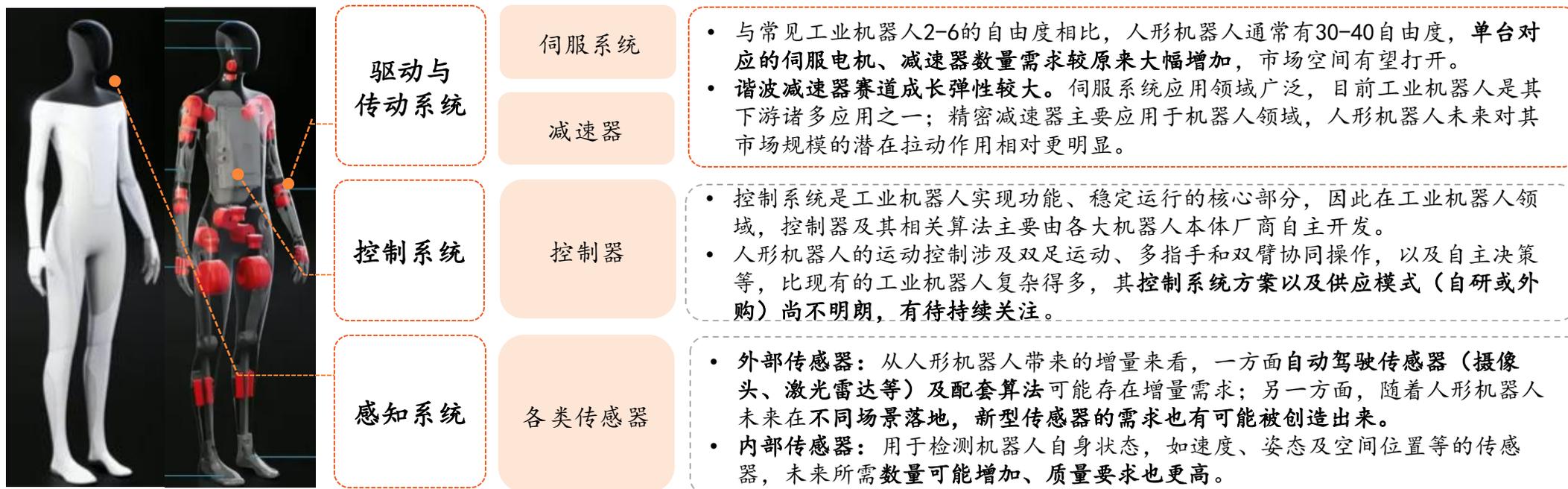


资料来源：中国产业信息网，亿嘉和招股说明书，山田光学，英诺威电气，禾赛科技，平安证券研究所

3.1 人形机器人核心零部件：零部件数量更多，质量要求更高

➤ 人形机器人所需的核心零部件和工业机器人、服务机器人基本相同，但数量和质量均存在升级需求。作为通用化程度高、高度集成和智能化的机器人，人形机器人既需要极强的运动控制能力，也需要强大的感知和计算能力，因此其核心构成包括驱动装置（伺服系统+减速器）、控制装置（控制器）和各类传感器，核心零部件种类和现有机器人类似，但数量和质量要求可能更高。我们认为，伺服系统和减速器环节受益于人形机器人赛道的确定性相对较强；控制器开发和供应模式尚不明确，有待持续追踪；传感器环节，与外部环境感知和导航相关的自动驾驶类传感器有望受益。

◆ 人形机器人核心零部件及发展逻辑

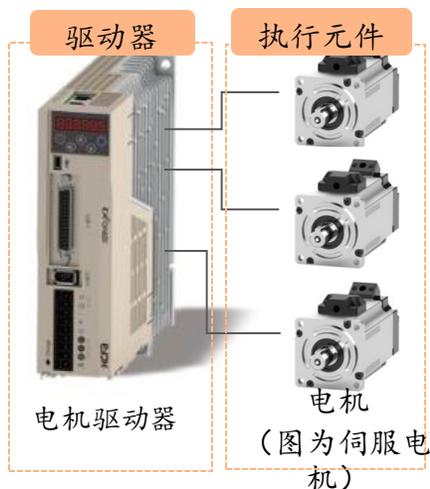


资料来源：《中国战略性新兴产业研究和发展：工业机器人》，平安证券研究所

3.2 驱动系统：机器人的动力装置，分为电机、液压、气动三种方式

- **驱动系统是用来使机器人发出动作的动力机构。** 机器人驱动系统可将电能、液压能和气压能转化为机器人的动力，使机器人的关节转动或移动。根据能量转换方式的不同，机器人的驱动方式可分为电机驱动、液压驱动、气动驱动等。
- **电机驱动：** 使用最普遍、最成熟的驱动方式，利用通电线圈在磁场中受力转动的现象制成，将电能转化为机械能。由于产生的运动为高速旋转运动，通常需要搭配减速器来降低转速、提高转矩。**现有的绝大多数人形机器人采用电机驱动。**
- **液压驱动：** 采用液体作为介质，通过液体压力实现驱动的方式。具有小型轻质、响应速度快、传动平稳等优势，但维护难度较大。液驱系统在大型、重载、特种机器人中存在一定的应用。**波士顿动力的机器人Atlas采用液压驱动方案。**
- **气动驱动：** 与液驱的结构和原理类似，但将空气作为压力传导介质，各组成元件可参考液驱系统。气动系统较液压更小更轻，但控制精度不高，响应速度不够快。气动人工肌肉是气动驱动的一种典型产品，存在一定应用前景。

◆ 电机驱动系统主要元件



◆ 液压驱动系统主要元件



◆ 三种驱动系统比较

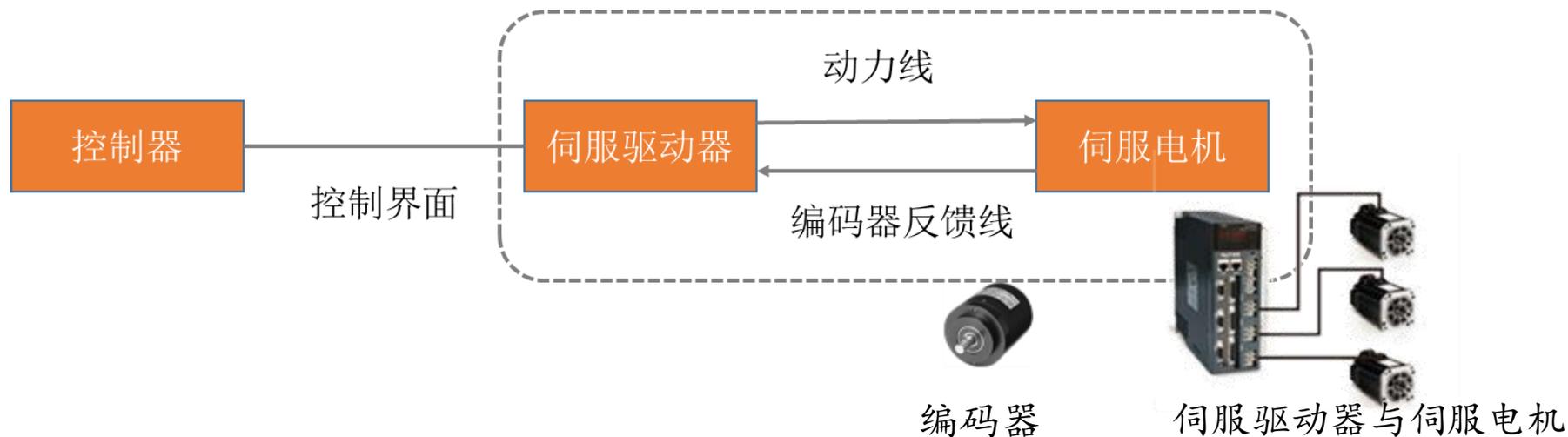
	优势	劣势	主要应用领域
电机驱动	维护简单，控制手段先进，速度反馈容易	重量和体积相对较大；不直接产生直线运动；需要减速器传动；不具有力保持性	绝大部分机器人使用电机驱动
液压驱动	体积小、重量轻；具有高刚性、可靠的力保持性；调速范围广；响应速度快；运动平稳	液体容易泄露，故障排除较难；液压元件制造和维护要求高	主要用于大型、重载机器人；是机器人Atlas使用的驱动方案
气动驱动	体积更小、重量更轻；成本低、柔软、不发热、安全性高	控制精度和稳定性低；响应较慢；运行噪声大	应用于仿生机器人等部分领域

资料来源：禾川科技招股说明书，《机器人技术入门》，百度百科，平安证券研究所

3.2 伺服系统：精准输出运动状态的驱动系统，主要使用电气伺服系统

- ▶ **伺服系统是一种可以精准输出运动状态的驱动系统，机器人主要采用电气伺服系统。**目前机器人主要采用伺服电机，伺服电机、伺服驱动器、编码器共同构成了伺服系统。在机器人中，伺服系统用于准确控制输出的机械位移或转角、位移速度、加速度等，从而让机器人各部位以所需方式运动。目前，电气伺服系统是最广泛使用的伺服系统，后文介绍中，“伺服系统”将主要指代电气伺服系统。
- ▶ **伺服系统由伺服电机、伺服驱动器和编码器三部分组成。**伺服驱动器用于将输入控制量转化为电信号，驱动电机运动，并根据反馈信息进行调整；伺服电机是系统中的执行器；编码器通常嵌入于伺服电机，是测量运动参数的传感器，用于将电机运动情况反馈给驱动器，实现闭环控制。

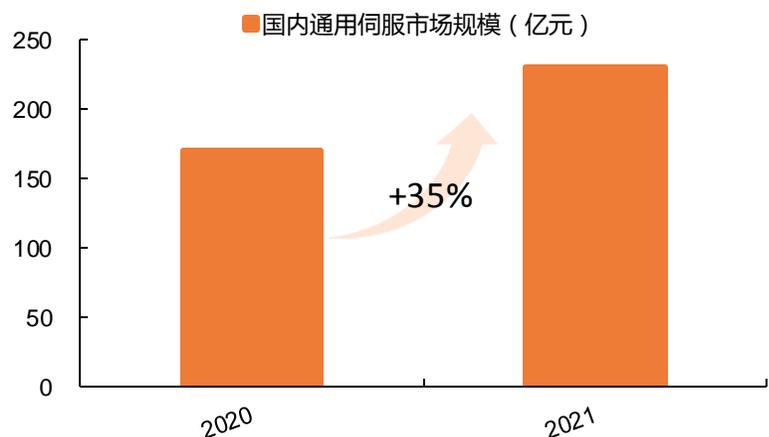
◆ 伺服系统主要由伺服电机、伺服驱动器和编码器构成



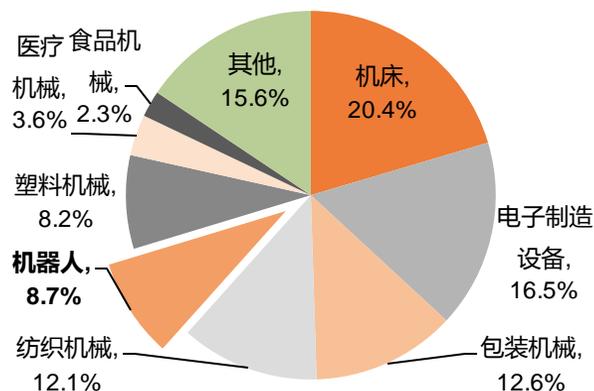
3.2 伺服系统：21年国内市场超230亿元，人形机器人有望推升市场空间

- 国内通用伺服系统市场规模超230亿元。伺服系统普遍应用于机床工具、纺织机械、电子制造设备、医疗设备、印刷机械自动化生产线及各种专用设备，可分为通用伺服系统和专用伺服系统，机器人使用的伺服系统属于通用伺服系统。根据MIR睿工业数据，2021年中国通用伺服市场规模超过230亿元，同比增长超35%。
- 未来人形机器人的推广有望进一步推升伺服系统市场规模。从机械设计原理出发，若要输出确定的运动，机器人的原动件数（电驱系统中即为电机数）应当等于其自由度。市场现有的人形机器人自由度在30~40左右，远高于常见的工业机器人自由度（2~6），加入灵巧手后自由度会更高。虽然人形机器人以欠驱动系统为特征，使用的原动件数目可能略小于其自由度，但即便如此，人形机器人伺服电机的单机用量仍大幅高于工业机器人。因此，未来人形机器人的量产有望推动伺服电机需求量上升，从而推升伺服系统市场规模。

国内通用伺服系统市场规模超230亿元



2020年国内伺服电机下游行业分布



常见机器人与人形机器人自由度比较

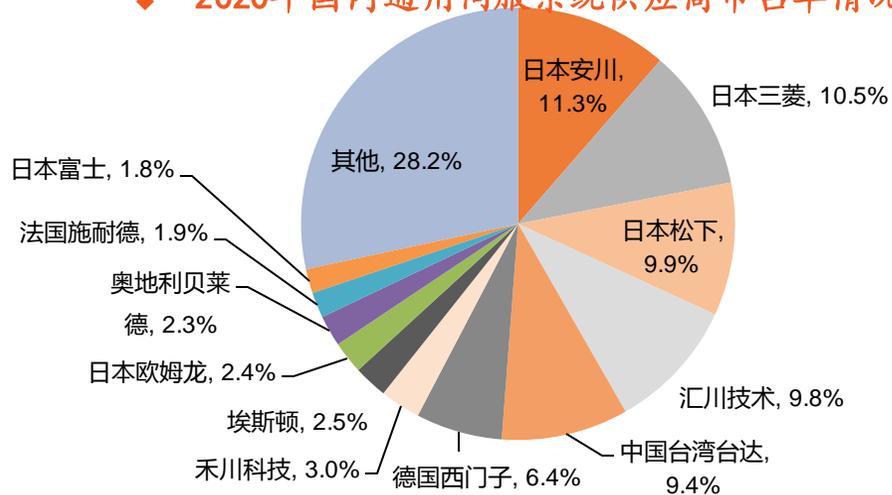
分类	常见自由度
多关节机器人	4~6
极坐标机器人	3
直角坐标机器人	3
SCARA机器人	4
并联机器人	2~6
人形机器人	30-40

资料来源：MIR睿工业，前瞻产业研究院，百度百科，平安证券研究所

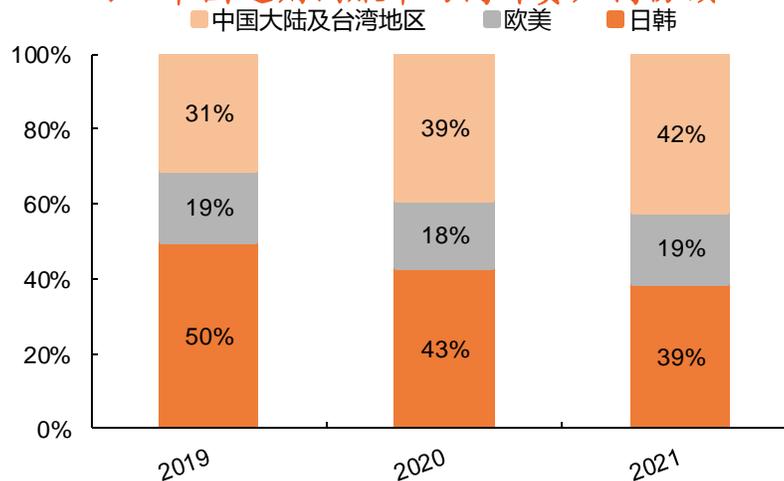
3.2 伺服系统：日系品牌市场份额高，国产替代逐步推进

- **日系伺服系统厂商在我国占据主导地位，国内厂商稳步追赶。**根据睿工业数据，2020年日韩厂商占据国内通用伺服市场43%份额，其中日本安川、三菱和松下三家市占率达到32%；以汇川、台达、禾川、埃斯顿为代表的国内厂商市占率共计39%。产品价值总量逐渐追赶的同时，我国伺服系统在技术和质量上仍与日系、欧美品牌存在差距，主要表现为：大功率产品缺乏、小型化不够、信号接插件不稳定、缺乏高精度编码器等，国内厂商未来有望进一步发力，提高产品附加值。
- **国产厂商市场份额逐年增加，2021年首次成为国内伺服系统市场第一大贡献体。**根据睿工业数据，2021年我国通用伺服厂商占国内市场比例达到42%，市场份额首次超过日韩厂商。睿工业认为，国产厂商份额大幅增加的原因主要包括：供应链管理良好，响应速度快；注重技术研究；性价比高；国家政策鼓励核心零部件国产化等。2021年，汇川伺服系统业绩大幅增长，超过日系公司，一跃成为国内伺服系统市占率第一名。

◆ 2020年国内通用伺服系统供应商市占率情况



◆ 中国通用伺服市场内外资厂商份额



资料来源：MIR睿工业，禾川科技招股说明书，平安证券研究所

3.2 伺服系统：汇川、禾川、埃斯顿是国产伺服系统优秀代表

▶ **伺服系统主要参与者包括日系、欧美系和国产厂商。**日系企业包括安川、三菱、三洋、欧姆龙、松下等公司，主要为小型功率和中型功率产品；欧美系品牌包括西门子、博世力士乐、施耐德等公司，在大型伺服具有优势地位。上市公司汇川、禾川、埃斯顿等是国产伺服系统优秀代表，持续推进高端伺服系统国产化进程，人形机器人有望成为其新的增长点。

◆ 伺服系统国内外主要参与者

日系品牌	欧美系品牌	国产品牌
<ul style="list-style-type: none"> 安川 三菱 三洋 欧姆龙 松下 富士 	<ul style="list-style-type: none"> 西门子 施耐德 博世力士乐 科尔摩根 罗克韦尔 	<ul style="list-style-type: none"> 汇川 台达 禾川 埃斯顿 信捷 步科 森创

◆ 伺服系统主要公司介绍

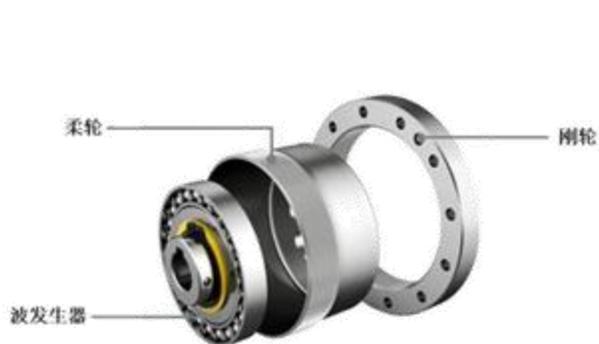
公司	国家/地区	概况
西门子	德国	创立于1847年，是全球电子电气工程领域的领先企业，业务遍布全球 200多个国家。电气化、自动化和数字化是西门子的主营业务领域。
安川	日本	创立于1915年，是世界一流的传动产品制造商。在运动控制领域，安川电机的产品性价比较高，是全球主流伺服品牌之一。安川在国内伺服市场多年占据市场份额的前列。
三菱	日本	创立于1921年，是全球领先的电气设备制造商之一，业务范围覆盖工业自动化产品和机电一体化产品。其自动化产品包括：低压电器产品、逻辑控制、传动产品、运动控制产品、电脑数控系统等产品。
松下	日本	创立于1918年，是世界著名的国际综合性电子技术企业集团。其全球业务划分为四个事业部，包括家电冷热设备、环境方案、互联解决方案及汽车电子和机电系统事业部。
汇川技术	中国大陆	成立于2003年，产品覆盖工业自动化和新能源领域，主要包括服务于智能装备领域的工业自动化产品、服务于工业机器人领域的核心部件、整机及解决方案等。
禾川科技	中国大陆	成立于2011年，主要从事工业自动化产品的研发、生产、销售及应用集成。禾川科技主要产品包括伺服系统、PLC等，并在近年沿产业链上下游不断延伸，涉足上游的工控芯片、传感器和下游的高端精密数控机床等领域。
埃斯顿	中国大陆	成立于2002年，公司在中国运动控制领域具有影响力，业务主要分为两个核心模块：一是自动化核心部件及运动控制系统；二是工业机器人及智能制造系统。公司自动化核心部件产品线已完成从交流伺服系统到运动控制系统解决方案的战略转型。
雷赛智能	中国大陆	成立于2007年，主要从事运动控制核心部件控制器、驱动器、电机的研发、生产和销售，以及相关行业应用系统的研究与开发，为客户提供完整的运动控制系列产品及解决方案。
台达	中国台湾	创立于1971年，为电源管理与散热管理解决方案的领导厂商。目前台达电子的工业自动化业务具有较强竞争力，在可编程控制器、低压变频器和伺服系统国内市场份额均超过5%。

资料来源：工控网，禾川科技、雷赛智能招股说明书，各公司公告，平安证券研究所

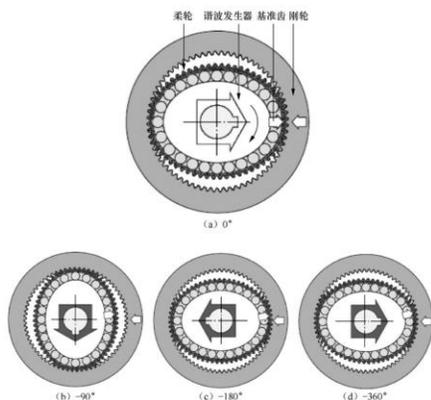
3.3 减速器：精密传动装置，机器人主要使用谐波和RV减速器

- **减速器是机器人使用的精密传动装置。** 减速器是连接动力源和执行机构的中间机构，具有匹配转速和传递转矩的作用。精密减速器是具有更高控制精度的减速器，主要应用于机器人、数控机床等高端领域，其种类包括谐波减速器、RV减速器、摆线针轮行星减速器等。机器人使用的减速器主要为谐波减速器与RV减速器。
- **谐波减速器** 是一种靠波发生器使柔轮产生可控的弹性变形波，通过其与刚轮的相互作用，实现运动和动力传递的传动装置。谐波减速器具有单级传动比大、体积小、质量小、运动精度高等特征。
- **RV减速器** 是旋转矢量（Rotary Vector）减速器的简称，它是在传统摆线针轮、行星齿轮传动装置的基础上发展而来的一种新型传动装置。RV减速器由第一级渐开线圆柱齿轮行星减速机构和第二级摆线针轮行星减速机构两部分组成，通过2级变速实现减速功能，负载能力、刚度、抗疲劳度较好。

◆ 谐波减速器构造

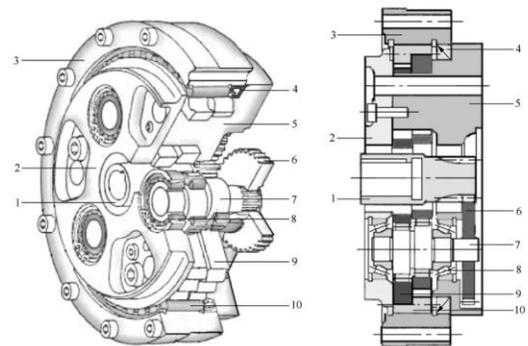


◆ 谐波减速器减速原理



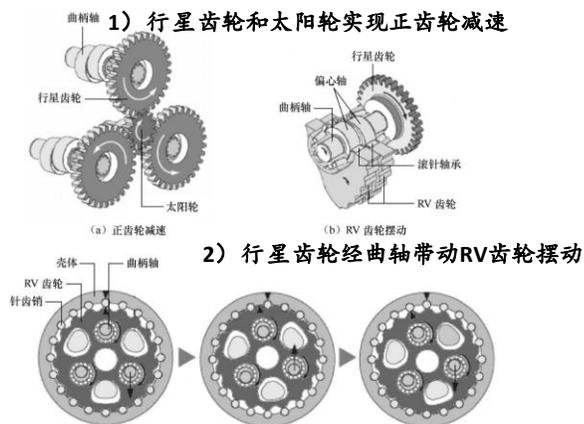
波发生器连续转动时，迫使柔轮不断产生变形，形成错齿运动

◆ RV减速器构造



1—心轴 2—端盖 3—针轮 4—密封圈 5—输出法兰 6—行星齿轮 7—曲轴组件 8—圆锥滚柱轴承 9—RV齿轮 10—针齿销

◆ RV减速器减速原理



3) RV齿轮带动针轮逐齿回转，实现差动齿轮变速

资料来源：绿的谐波招股说明书，《工业机器人完全应用手册》，平安证券研究所

3.3 减速器：谐波和RV各有所长，谐波减速器在人形机器人中的应用可能更广

- ▶ **谐波减速器和RV减速器各有所长。**谐波减速器体积小、质量小、运动精度高、单级传动比大，在多关节机器人小臂、腕部、手部等部件具有较强优势。RV减速器负载能力和刚度高，耐疲劳性能好，目前通常用于工业机器人机身的腰、上臂、下臂等大惯量、高转矩输出关节的回转减速。
- ▶ **与RV减速器相比，谐波减速器在人形机器人中的应用可能更为广泛。**人形机器人使用的减速器并没有固定选择，各参与者处于探索阶段，谐波、RV、行星减速器等均有尝试。人形机器人的关节较现有的多关节工业机器人负载轻，且机器人本体控制重量和体积的要求较高，因此小型轻质、高精度的谐波减速器在人形机器人中的应用可能将更为广泛。

◆ 谐波减速器和RV减速器比较

类别	项目	谐波减速器 	RV减速器 
概况	技术特点	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。	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。
	优势	体积小、传动比高、精密度高	高负载能力、高刚度；耐疲劳
	局限	力矩负载限制在 1,500N·m 以内，难以用于重负载部位；长时间使用会导致精度降低、疲劳损坏等	体积和重量大；精度往往不及谐波减速器；组成零部件复杂，造价较高；维护难度较高
技术指标	应用场景	主要应用于机器人小臂、腕部或手部。	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。
	终端领域	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。	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。
	价格区间	1,000-5,000元/台	5,000-8,000元/台
	背向间隙	≤20 arc sec	≤60 arc sec
	传动效率	>75%	>80%
	温升	≤40°C	≤45°C
	噪声	≤60db	≤70db
	减速比	30-160	30-192.4
	额定转矩下使用寿命	>8,000h	>6,000h
	额定输出转矩	6.6-921 N·m	101-6,135 N·m
扭转刚性	1.34-54.09 N·m/arcmin	20-1,176 N·m/arc min	

资料来源：绿的谐波招股说明书，平安证券研究所

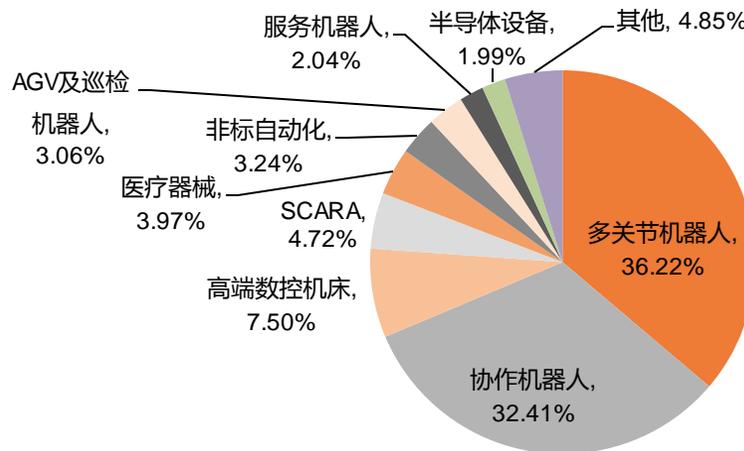
3.3 减速器：21年全国市场规模达93万台，人形机器人放量有望成为新的增长点

- ▶ **2021年全国工业机器人减速器总需求量为93.11万台。**减速器在机器人、数控机床、光伏/半导体等专用设备领域均有应用。对于高精度、高价格的谐波和RV减速器而言，工业机器人是其下游最主要的应用领域之一。根据GGII数据，2021年中国工业机器人减速器总需求量为93万台，同比增长78.1%。GGII预计，2022-2026年，中国工业机器人用减速器需求总量在940万台左右。
- ▶ **未来若人形机器人得到普及，精密减速器、特别是谐波减速器市场需求有望较当前大幅增加。**减速器是配合电机使用的器件，在人形机器人中的用量基本和伺服电机数量一致。根据前文的讨论，人形机器人减速器的单机用量（约30~40台）将远高于现有工业机器人（单机减速器用量2~6台）。机器人是精密减速器下游的主要应用领域，从绿的谐波2017-2019年销售的谐波减速器下游应用来看，80%用于各类机器人。相比之下，机器人仅占通用伺服系统下游应用的8%左右，人形机器人未来对精密减速器市场规模的拉动作用将更明显，谐波减速器相关厂商理论上的业绩弹性更大。

◆ 我国工业机器人减速器需求规模



◆ 2017-2019年绿的销售的谐波减速器下游应用领域

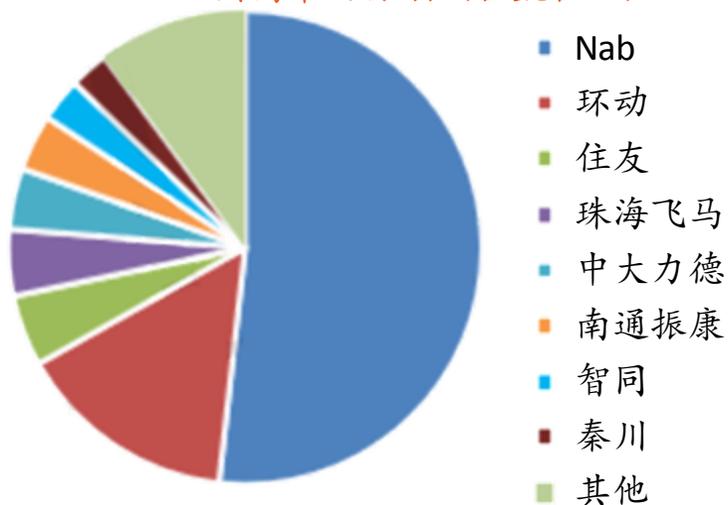


资料来源：GGII，绿的谐波招股说明书，平安证券研究所

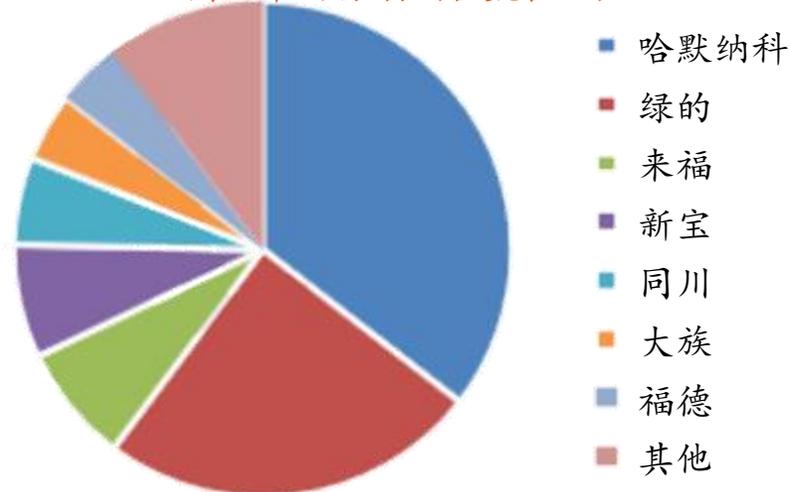
3.3 减速器：市场集中度高，日本厂商市场地位领先

- 工业机器人减速器市场集中度高，日本厂商地位领先，国产厂商处于追赶阶段。
- 在RV减速器市场，日本纳博特斯克处于垄断地位，2021年占据了我国市场一半以上的份额。国内厂商环动（双环传动）市场份额紧随其后。RV减速器市场参与者还包括日本住友、我国珠海飞马、中大力德、南通振康、秦川机床等。
- 在谐波减速器市场，日本哈默纳科处于垄断地位，2021年占据了我国市场30%以上的份额。国内厂商绿的谐波市场份额紧随其后。谐波减速器市场参与者还包括日本新宝、我国来福谐波、同川科技（汉字集团子公司）、中技克美等。
- 我们认为，人形机器人未来对精密减速器市场规模的拉动作用将最为明显，绿的谐波和双环传动作为国内谐波、RV减速器龙头，业绩有望大幅受益。

◆ RV减速器主要参与者及其2021年国内市场份额（台数占比）



◆ 谐波减速器主要参与者及其2021年国内市场份额（台数占比）



3.3 减速器主要参与者：绿的、双环是国产减速器的领先企业

◆ 减速器主要参与者情况

减速器类别	企业名称	简要情况
谐波减速器	哈默纳科	成立于1970年，总部位于日本东京，是日本东京证券交易所上市公司（6324.T），主要从事谐波减速器、机电一体化产品、精密行星减速器等生产和销售，是整体运动控制的领军企业，其生产的谐波减速器被广泛应用于各种传动系统中，在全球工业机器人领域有着较高的市场占有率。
	日本新宝	成立于1952年，总部位于日本京都，是日本电产公司（6549.T）旗下子公司，主要从事精密减速机、变速机的开发、生产和销售。
	绿的谐波	成立于2011年，2020年登陆科创板。公司经过多年持续研发投入，实现了精密谐波减速器的规模化生产及销售，打破了国际品牌在机器人用谐波减速器领域的垄断，并实现批量出口，在国内工业机器人谐波减速器领域竞争优势明显。
	中技克美	成立于1994年，注册资本4,000万元，位于北京市，在2017年于全国中小企业股份转让系统挂牌（871601.OC），主营业务包括谐波传动产品、谐波传动机电产品的制造和研发。
RV减速器	纳博特斯克	成立于2003年，总部位于日本，主营业务为精密减速器制造，产品在RV减速器领域全球市场占有率超过80%，公司的精密减速器客户主要包括工业机器人和机床，其中工业机器人客户覆盖全球四大家族机器人企业以及各知名机器人厂商。
	住友	总部位于日本，是住友集团旗下的建设机械厂家，日本东京证券交易所上市公司（6302.T）。1982年进入工业机器人减速机领域，为焊接，搬运，喷涂，装配等机器人应用领域提供全面减速机产品方案。
	双环传动	成立于2005年，2010年深交所主板上市，主要从事机械传动齿轮的研发、设计、制造与销售。公司子公司环动科技从事工业机器人精密减速器的研发和销售，目前已形成工业机器人用全系列RV减速器产品，获得市场的广泛认可。
	南通振康	成立于1993年，位于江苏省海门市，主营业务包为精密机械产品研发、生产，于2015年实现镇康RV减速机的首批生产，是国内较早涉足机器人用RV减速器的厂商。
	中大力德	成立于2006年8月，注册资本8,000万元，位于浙江省宁波市，2017年于深交所主板上市（002896.SZ），主营业务为机械传动与控制应用领域关键零部件的研发、生产、销售和服务，产品包括精密减速器、传动行星减速器、各类小型及微型减速电机等。

资料来源：绿的谐波招股说明书，各公司公告、官网，平安证券研究所

3.4 控制系统：机器人的神经系统，人形机器人产业生态尚未成为定型

- **控制系统是机器人的神经系统，用于控制驱动系统完成对应运动。** 在机器人中，控制系统根据指令及传感信息，向驱动系统发出指令，控制其完成规定的运动。控制系统主要由控制器（硬件）和控制算法（软件）组成。
- **主流的工业机器人厂商通常自行开发控制器。** 对于工业机器人而言，控制器是其核心的组成部分，因此现有的主流工业机器人厂商会不同程度地自行开发控制系统。控制系统主要参与者包括两类：一类是主流的大型机器人厂商，自主研发控制器和控制算法，包括ABB、KUKA、发那科、国内的埃斯顿等；另一类则是专业的控制系统厂商，单独售卖控制器，提供可扩展和二次开发的硬件和软件平台，包括KEBA、贝加莱、倍福、国内的固高科技、英威腾、雷赛智能等。
- 人形机器人主要参与者公开信息不多，我们**尚不了解其采用的控制器方案**，未来将持续关注相关信息。供应链方面，目前人形机器人生产规模较小，未来进入量产阶段后，控制器将**采用自产或外购定制尚不明朗**，有待持续追踪。

◆ 现阶段机器人控制器类型及特点

分类	特点
PLC	系统简单、可靠性高、体积小、环境适应性强，但不支持先进复杂的算法，不满足多轴联动等复杂运动轨迹
PC-Based	系统通用性强、可拓展性强，能满足复杂运动算法要求，抗干扰能力强、开放性强，可进行二次开发和编程（语言除了传统PLC语言，还包括C++、Basic等语言）
专用控制	集成度高，性能稳定，满足某个特定行业使用（早期用于机床领域，后来在机械、工业机器人领域大范围使用），价值较高

◆ 工业机器人控制器主要参与者

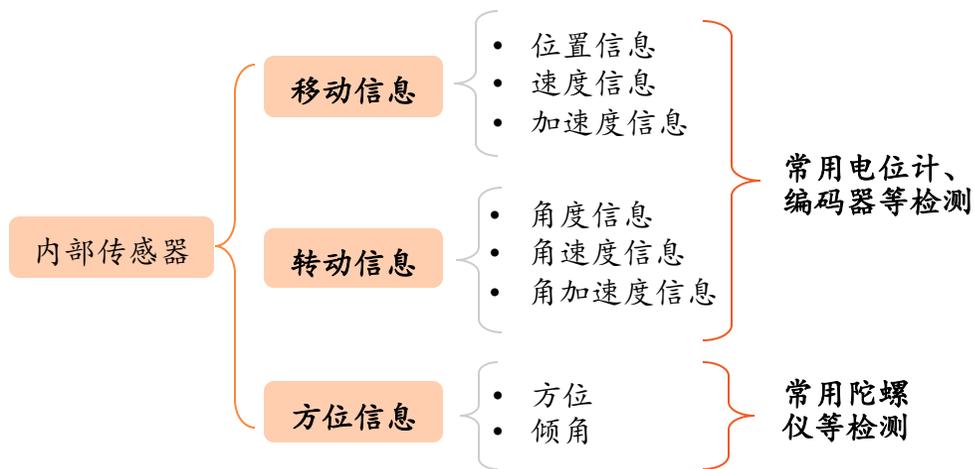
	国外	国内
本体厂商	<ul style="list-style-type: none"> • ABB • FANUC • KUKA • 安川 	<ul style="list-style-type: none"> • 埃斯顿 • 华中数控 • 新时达 • 汇川技术 • 广州数控 • 机器人
控制器厂商	<ul style="list-style-type: none"> • KEBA • 贝加莱 • 倍福（Beckhoff） • 泰道（Delta Tau） 	<ul style="list-style-type: none"> • 固高科技 • 英威腾 • 卡诺普 • 研华科技（合资） • 雷赛智能

资料来源：古月居，《中国战略性新兴产业研究和发展：工业机器人》，平安证券研究所

3.5 传感器：机器人传感器包括内部和外部传感器，种类繁多

- **机器人传感器根据检测对象的不同可分为内部传感器和外部传感器。**内部传感器和外部传感器共同组成了机器人的感知系统，用于获取机器人内部和外部环境的信息，并把这些信息反馈给控制系统。
- **内部传感器：**用来检测机器人本身状态（如手臂间角度）的传感器，为控制系统提供反馈信息。工业机器人常用的内部传感器包括位移传感器、速度/角速度传感器、加速度传感器以及多维力传感器，具体有编码器、陀螺仪等。
- **外部传感器：**用来检测机器人所处环境（如有什么物体，离物体的距离有多远等）及状况（如抓取的物体是否滑落）的传感器，用于使机器人更准确地获取周围环境情况，并在特定环境实现所需功能。用于获取环境及操作对象信息的外部传感器主要有摄像机、红外线传感器、激光雷达等；与实现特定功能相关的传感器包括气体识别传感器、局放传感器等。

◆ 内部传感器检测内容及常用检测装置



◆ 外部传感器检测内容及常用检测装置



资料来源：《智能机器人》第二版，《机器人技术入门》，平安证券研究所

3.5 传感器：人形机器人为自动驾驶相关传感器带来增量需求

- **人形机器人为传感器带来的潜在增量：**1.自动驾驶相关的外部传感器（摄像头、激光雷达等）及配套的算法可能存在增量需求；2.与运动控制相关的内部传感器数量可能增加，质量要求也更高；3.随着人形机器人未来在不同场景落地，新型传感器的需求也有可能被创造出来。
- **自动驾驶类传感器价值量较高，人形机器人有望为其带来增量需求。**与工业机器人相比，人形机器人自主性更高，需要具备对外界环境的识别能力，实现导航、避障、交互等功能，需要使用传感器识别物体、测距等。人形机器人识别外部环境主要使用摄像头、激光雷达等传感器，其传感器方案和需求场景与自动驾驶存在类似之处，有迁移的可能。

◆ L2级自动驾驶感知系统使用的主要传感器

	优势	局限	参与者商业模式
 <p>摄像头</p>	结合算法可以识别物体具体是什么、识别信号灯颜色等	无法直接获得距离、速度信息，需计算；受光照影响大，黑暗/强光环境识别力下降	摄像头模组本身成熟、充分竞争，参与者主要提供集成单/多目摄像头+算法的解决方案
 <p>激光雷达</p>	测距远、角度分辨率优、受环境光照影响小	价格高；雨、雾等天气易受干扰	主要提供激光雷达本体，销售给自动驾驶解决方案公司/车厂自动驾驶子公司/Tier1等
 <p>毫米波雷达</p>	具有同时测距和测速的功能，有效探测距离可达200 m；价格低于激光雷达	角度分辨能力较弱；对金属材质更敏感，导致人车混杂场景下对行人探测效果不佳	主要提供雷达本体；部分Tier1厂商会集成毫米波+摄像头作为辅助驾驶方案，提供给主机厂

资料来源：禾赛科技招股说明书，骅盛车电，平安证券研究所

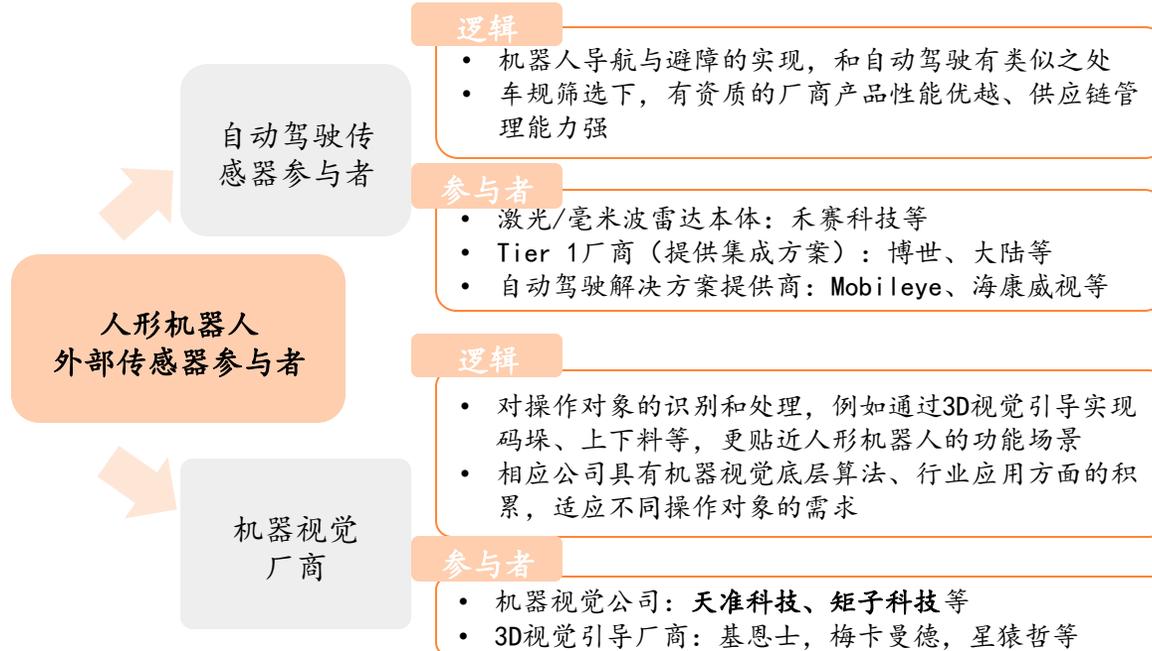
3.5 传感器潜在参与者：自动驾驶传感器厂商、机器视觉厂商均有入局可能

- ▶ **人形机器人与自动驾驶对传感器的要求存在区别。**与自动驾驶的道路场景相比，人形机器人工作场景标准化程度更低，且传感器既需要感知障碍位置等信息，也需要识别操作对象，算法要求可能更高；机器人活动范围为3D空间，获取信息可能更为复杂。但另一方面，机器人移动速度慢，安全要求较自动驾驶可能略有放宽；目前暂无类似车规的准入需求。
- ▶ **自动驾驶传感器厂商、机器视觉厂商，都是人形机器人传感器的潜在参与者。**自动驾驶参与者具备在复杂道路环境中避障、巡航等技术积淀，而机器视觉厂商具备识别和处理操作对象的技术和算法积累，均有望切入人形机器人传感器赛道。机械行业公司中，布局自动驾驶的机器视觉龙头天准科技有望成为人形机器人传感器赛道的有力参与者。

◆ 服务机器人与自动驾驶对传感器的需求比较（以激光雷达为例）

比较条目	无人驾驶	高级辅助驾驶	服务机器人
应用场 景说明			
场景复杂度	高 (L4/L5)	中 (L2/L3, 功能开启场景有限)	低/中 (封闭园区, 应用较多) 高 (城市道路, 应用较少)
承载装置行驶速度	中 (城市道路) 高 (高速场景)	中 (城市道路) 高 (高速场景)	低 (封闭园区) 中 (城市道路)
对激光 雷达的 要求			
最远测距要求	远	中/远 (取决于ADAS功能)	中/远 (取决于应用场景)
与承载装置的外观集成度	低	高	中
价格敏感度	低	高	中/高
对激光雷达供应商的算法需求度	低	高	低
车规化要求	中 (当前) /高 (预期)	高	低

◆ 人形机器人外部传感器潜在参与者



资料来源：禾赛科技招股说明书，各公司公告、官网，平安证券研究所



CONTENT 目录

- ① 一、热点：特斯拉吹响人形机器人产业化“冲锋号”

- ② 二、前沿：人形机器人赛道主要参与者及其技术进展

- ③ 三、跬步：人形机器人核心零部件产业链梳理

- ④ 四、投资建议与风险提示

投资要点

- **特斯拉高调入局人形机器人，产业链为之振奋。** 2022年6月，马斯克宣布将于9月30日发布特斯拉人形机器人原型机，市场为之振奋。特斯拉具备感知和决策层的技术积淀，拥有工程整合能力，且具备强劲市场号召力。本次入局，有望推动人形机器人加速落地，助推产业链发展。
- **人形机器人核心难点在于运动控制和人工智能，全球参与者有数十年研发经验。** 人形机器人是具有与人类似的身体结构和运动方式（双足行走、双手协作等）的智能机器人。人形机器人技术难度极高，是机械设计、运动控制、人工智能等领域高精尖技术的综合体现。全球参与者已经有数十年的研发经验，波士顿动力Atlas、本田ASIMO、KAIST HUBO、优必选Walker、Agility Digit均为经典产品代表，已展现出一定的运动能力、执行任务能力和环境适应能力。
- **人形机器人产业链蓄势待发，部件先行，伺服系统和减速器公司有望率先受益。** 人形机器人核心零部件种类与现有的机器人类似，包括伺服系统、减速器、控制器和各类传感器。我们认为，人形机器人本体企业发展的同时，上游零部件企业有望率先受益。
 - ✓ **伺服系统：机器人的动力装置。** 与常见工业机器人2-6的自由度相比，人形机器人通常有30-40自由度，单台伺服电机需求量大幅增加，人形机器人产业化有望推升伺服系统需求。国产伺服系统优秀代表汇川技术、禾川科技、埃斯顿有望受益。
 - ✓ **减速器：机器人使用的精密传动装置，通常1:1配合电机使用，在人形机器人中的需求量将大幅增加。** 目前国内机器人减速器仍由日本企业占据较高份额，绿的谐波是国内谐波减速器龙头。随着人形机器人的放量，国内减速器龙头公司业绩有望大幅受益。
 - ✓ **控制系统：机器人的神经系统，用于控制其运动。** 目前人形机器人生产规模较小，进入量产后，各家控制器采用自产或外购模式尚不明朗，我们将持续跟踪相关进展。
 - ✓ **传感器：机器人感知环境的重要器件，种类繁多，其中价值量较高的自动驾驶类传感器存在新的机遇。** 自动驾驶传感器厂商、机器视觉厂商都是人形机器人传感器的潜在参与者，建议关注布局自动驾驶的机器视觉龙头天准科技。
- **投资建议：** 特斯拉高调入局人形机器人，有望推动产业链从研发阶段进入量产阶段。人形机器人自由度高达30-40个，远高于传统工业机器人的2-6个。与自由度成正比的减速器、伺服系统市场空间有望打开，建议关注国内伺服系统领先品牌汇川技术、禾川科技、埃斯顿，关注国内减速器龙头绿的谐波等。此外，建议关注布局自动驾驶的机器视觉龙头天准科技。

人形机器人产业链相关标的简介

- **埃斯顿 (002747.SZ)**：公司作为中国运动控制领域具有影响力的企业之一，自动化核心部件产品线已完成从交流伺服系统到运动控制系统解决方案的战略转型。公司作为国内工业机器人龙头企业，在运动控制领域积淀深厚，未来在伺服系统、控制器、机器人本体等业务领域均有望受益于人形机器人产业发展。
- **汇川技术 (300124.SZ)**：公司专注于工业自动化控制产品的研发、生产和销售，伺服系统在国内市占率居首。伺服系统是机器人核心零部件之一，未来若人形机器人量产落地，公司伺服系统相关业务有望受益。
- **禾川科技 (688320.SH)**：公司主要产品包括伺服系统、PLC等，覆盖了工业自动化领域的控制层、驱动层和执行传感层。2020年公司伺服系统的国内市占率约为3%，在国内品牌中位列第二。
- **绿的谐波 (688017.SH)**：公司是国内精密谐波减速器领军者。公司经过多年持续研发投入，实现了精密谐波减速器的规模化生产及销售，打破了国际品牌在机器人用谐波减速器领域的垄断，并实现批量出口。人形机器人未来对谐波减速器市场规模可能的拉动作用最为明显，公司作为国内谐波减速器主要参与者，业绩有望大幅受益。
- **双环传动 (002472.SZ)**：公司是全球具有相当生产规模和实力的主要齿轮散件专业制造企业之一。公司子公司环动科技从事工业机器人精密减速器的研发和销售，目前已形成工业机器人用全系列RV减速器产品，获得市场的广泛认可。
- **天准科技 (688003.SH)**：公司是国内机器视觉龙头，主要产品包括视觉测量装备、视觉检测装备和智能网联方案等。公司2018年开始将机器视觉技术应用到无人物流车领域，实现了低速无人车辆的自动驾驶，应用于货物运输、电商订单配送等；目前，公司将业务扩展到智能驾驶业务，未来有望成为人形机器人传感器赛道的有力参与者。

人形机器人产业链相关标的业绩情况

◆ 人形机器人产业链相关标的业绩情况

代码	名称	2021营收/ 亿元	营收yoy/%	2021归母净 利润/亿元	归母净利润 yoy/%	2022Q1营收/ 亿元	营收yoy/%	2022Q1归母 净利润/亿元	归母净利润 yoy/%
002747. SZ	埃斯顿	30.20	20.3%	1.22	-4.8%	8.05	26.6%	0.60	83.7%
300124. SZ	汇川技术	179.43	55.9%	35.73	70.2%	47.78	40.0%	7.17	11.0%
688320. SH	禾川科技	7.51	38.1%	1.10	3.0%	1.91	14.9%	0.20	-17.4%
688017. SH	绿的谐波	4.43	104.8%	1.89	130.6%	0.94	22.0%	0.37	0.2%
002472. SZ	双环传动	53.91	47.1%	3.26	537.0%	16.55	40.9%	1.19	124.0%
688003. SH	天准科技	12.65	31.2%	1.34	24.9%	1.42	21.1%	-0.34	-64.3%

风险提示

(1) 特斯拉机器人原型机开发进展可能不及预期。

现阶段，特斯拉机器人生产研发进展相关的具体信息较少，原型机开发进展存在不确定性。若特斯拉人形机器人开发进展不及预期，可能影响产业链相关公司信心。

(2) 产业链各环节国产替代进度不及预期。

人形机器人技术难度高、构造复杂，对零部件厂商的技术要求可能较为严格。国内机器人产业链各大参与者在高端产品领域处于国产替代的追赶阶段，与国外领先企业尚存在差距。若国内参与者在高端零部件环节国产替代进度不及预期，则可能难以在人形机器人趋势下获益。

(3) 宏观经济下行风险。

若疫情加剧，或其他因素导致国内宏观经济下行，可能对机器人产业链相关公司的生产和销售造成负面影响。

平安证券综合研究所投资评级：

股票投资评级：

强烈推荐（预计6个月内，股价表现强于市场表现20%以上）

推荐（预计6个月内，股价表现强于市场表现10%至20%之间）

中性（预计6个月内，股价表现相对市场表现在±10%之间）

回避（预计6个月内，股价表现弱于市场表现10%以上）

行业投资评级：

强于大市（预计6个月内，行业指数表现强于市场表现5%以上）

中性（预计6个月内，行业指数表现相对市场表现在±5%之间）

弱于大市（预计6个月内，行业指数表现弱于市场表现5%以上）

公司声明及风险提示：

负责撰写此报告的分析师（一人或多人）就本研究报告确认：本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格。

平安证券股份有限公司具备证券投资咨询业务资格。本公司研究报告是针对与公司签署服务协议的签约客户的专属研究产品，为该类客户进行投资决策时提供辅助和参考，双方对权利与义务均有严格约定。本公司研究报告仅提供给上述特定客户，并不面向公众发布。未经书面授权刊载或者转发的，本公司将采取维权措施追究其侵权责任。

证券市场是一个风险无时不在的市场。您在进行证券交易时存在赢利的可能，也存在亏损的风险。请您务必对此有清醒的认识，认真考虑是否进行证券交易。

市场有风险，投资需谨慎。

免责声明：

此报告旨在发给平安证券股份有限公司（以下简称“平安证券”）的特定客户及其他专业人士。未经平安证券事先书面明文批准，不得更改或以任何方式传送、复印或派发此报告的材料、内容及其复印本予任何其他人。

此报告所载资料的来源及观点的出处皆被平安证券认为可靠，但平安证券不能担保其准确性或完整性，报告中的信息或所表达观点不构成所述证券买卖的出价或询价，报告内容仅供参考。平安证券不对因使用此报告的材料而引致的损失而负上任何责任，除非法律法规有明确规定。客户并不能仅依靠此报告而取代行使独立判断。

平安证券可发出其它与本报告所载资料不一致及有不同结论的报告。本报告及该等报告反映编写分析员的不同设想、见解及分析方法。报告所载资料、意见及推测仅反映分析员于发出此报告日期当日的判断，可随时更改。此报告所指的证券价格、价值及收入可跌可升。为免生疑问，此报告所载观点并不代表平安证券的立场。

平安证券在法律许可的情况下可能参与此报告所提及的发行商的投资银行业务或投资其发行的证券。

平安证券股份有限公司2022版权所有。保留一切权利。