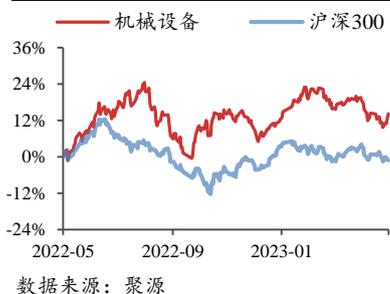


机械设备

2023年05月19日

投资评级：看好（维持）

行业走势图



相关研究报告

《出口新高、复苏在即，通用激光行业将迎新一轮成长——行业周报》-2023.5.14

《开源证券_行业投资策略_机械行业2023年度中期投资策略：自主可控、AI赋能、一带一路_机械团队_20230507》-2023.5.11

《Q1核电火电景气上行，激光设备合同负债增幅较大——行业周报》-2023.5.7

特斯拉机器人：AI赋能加速迭代，国产硬件降本优势明显

——行业深度报告

孟鹏飞（分析师）

mengpengfei@kysec.cn

证书编号：S0790522060001

熊亚威（分析师）

xiongyawei@kysec.cn

证书编号：S0790522080004

● 特斯拉强势入局人形机器人：广阔蓝海，抢占先机

人形机器人具备通用性，理论上几乎能完成所有人类进行的任务，未来将拥有比汽车更大的市场空间。马斯克曾称特斯拉汽车是放在轮子上的机器人，特斯拉必然利用这个天然优势抢占人形机器人广阔市场的先机。人形机器人与智能汽车协同，也将助力特斯拉以更低的成本实现完全自动驾驶的电车。

● AI是特斯拉投入人形机器人的最强竞争力，数据、大模型赋能加速迭代落地

Optimus 问世前，人形机器人存在成本高、不智能、控制水平差的缺陷，无法实现量产。而 Optimus 突破了不智能、难控制的缺陷，采用类似汽车域控制器的控制方式并复用 FSD 系统，通过闭环数据引擎，不断升级的感知、规划控制算法以及高算力、模型训练效率达 8 分钟/个的超算系统共同打通“感知-认知-决策”链路，拥有了智能属性。2023 年，以 GPT-4 为代表的 AI 大模型迎来突破性进展，将进一步提升特斯拉机器人交互、决策、感知能力，加速迭代落地。Open AI 领投人形机器人公司 1X 证明了 AI 在人形机器人领域大有可为。

● 特斯拉机器人降本潜力大，国产硬件供应商迎来重要机遇

特斯拉机器人在设计上也选择了硬成本最低、软成本最大的方式后发制人，类似在自动驾驶感知领域以纯视觉方案代替激光雷达。特斯拉机器人硬件成本包括 40 个关节执行器以及其他结构件。根据我们测算，目前硬件成本占 BOM 表比例超过 50%，要达到 2 万美金售价还有 84% 的降价空间。特斯拉机器人关节执行器采用的零部件种类和现有的工业机器人基本一致，由于没有像工业机器人一样对实现高速运动的要求，一定程度上降低了生产难度，因此只需根据人形机器人的特点对零部件进行调整修改就可以进行标准化的大批量生产，而且轴承、齿轮箱、滚珠丝杠、电机等部件可复用特斯拉汽车的供应链。国产硬件供应商具备很强的低成本大规模量产能力，迎来了导入特斯拉机器人硬件供应链的重要机遇。

● 站在特斯拉机器人产业化落地起点，国产厂商增长动能充沛

2023 年的投资者日上可以看到 Optimus 已经由需要被人推着行走升级为可以独立行走，证明了特斯拉机器人优秀的软硬件设计可以实现快速迭代。2023 年特斯拉将在墨西哥超级工厂生产新车型，Optimus 有望在汽车总装产线首次投入使用，开启产业化落地的进程，在 TO B 端迭代升级后渗透到广阔的社会服务、家庭服务市场。国产零部件厂商迎接增长浪潮，按照技术壁垒由高到低对受益标的分类：**滚珠丝杠**：秦川机床、恒立液压、新剑传动；**编码器和传感器**：奥普光电、汇川技术、埃斯顿、昊志机电；**空心杯电机**：鸣志电器、江苏雷利；**无框电机**：步科股份；**谐波减速器**：汉宇集团、绿的谐波、中大力德、双环传动、丰立智能；**轴承**：力星股份。

● **风险提示**：Optimus 迭代不及预期、中国企业进入特斯拉供应链不及预期。

内容目录

1、人形机器人远期空间大于汽车，特斯拉强势入局抢占先机	4
2、手握 FSD 系统，AI 是 Tesla 投入人形机器人的最强竞争力	5
2.1、Optimus 问世前：成本高、不智能是人形机器人无法量产的原因	5
2.2、最强大脑：Optimus 复用完全自动驾驶解决方案 FSD	5
2.2.1、海量数据储备节省开发人形机器人的前期费用	6
2.2.2、不断升级的感知、规控算法	7
2.2.3、模型训练的最强算力基础设施：DOJO 超级计算机	9
2.3、大模型发展超预期，加速提升人形机器人交互、决策、感知能力	10
3、特斯拉机器人降本核心途径：中国企业供应关节模组	13
3.1、旋转关节	13
3.1.1、传感器与编码器：全球百亿市场，海外厂商垄断高精度领域	14
3.1.2、谐波减速器：特斯拉机器人带来翻倍空间，70 亿供给缺口待国产厂商填补	16
3.1.3、关节轴承：用量超预期，可复用汽车供应链加速降本	18
3.2、线性关节	19
3.2.1、滚柱丝杠：传动新星撬动千亿市场，国内厂商将从 0→1 打破海外垄断	19
3.2.2、机器人关节高功率密度的选择：无框电机	21
3.3、灵巧手：关注率先实现微型线性执行器量产的企业	21
3.4、国产加工设备取得长足进展，为零部件厂加速扩产保驾护航	22
3.5、其他零部件：电池、视觉传感性能优异	23
4、落地场景：先在汽车总装厂落地，后渗透至广阔 TOC 市场	23
4.1.1、关键时点：新车型将在墨西哥工厂生产，Optimus 或将首次批量应用	23
4.1.2、按量产规模不同，降本节奏分为 3 阶段	24
5、受益标的	24
5.1、奥普光电：国内光栅编码器领军者	25
5.2、汇川技术：工控行业龙头，打通工业机器人上游核心部件及中游本体链条	25
5.3、埃斯顿：掌握运动控制核心技术的国产机器人本体龙头	26
5.4、秦川机床：磨齿机、磨床核心标的，子公司布局滚珠丝杠	27
5.5、恒立液压：国内液压件龙头，定增项目加码线性驱动器产能	29
5.6、鸣志电器：海外布局最充分的国产空心杯电机供应商	29
5.7、步科股份：伺服电机实力逐步展现	30
5.8、江苏雷利：不断向高附加值领域拓展的微特电机龙头	31
5.9、汉宇集团：谐波减速器后起之秀，生产效率、机电一体化实力国内领先	31
5.10、绿的谐波：国内谐波减速器龙头	32
5.11、中大力德：机器人运动执行部件制造的多面选手	32
5.12、昊志机电：高度稀缺的机床高端主轴、机器人关节模组供应商	33
5.13、双环传动：国内精密齿轮加工领导者，布局机器人用减速器、优势复制	34
5.14、丰立智能：国内高端电动工具用齿轮龙头，谐波减速器带来新增长	34
5.15、力星股份：国内精密轴承钢球龙头	34
6、风险提示	35

图表目录

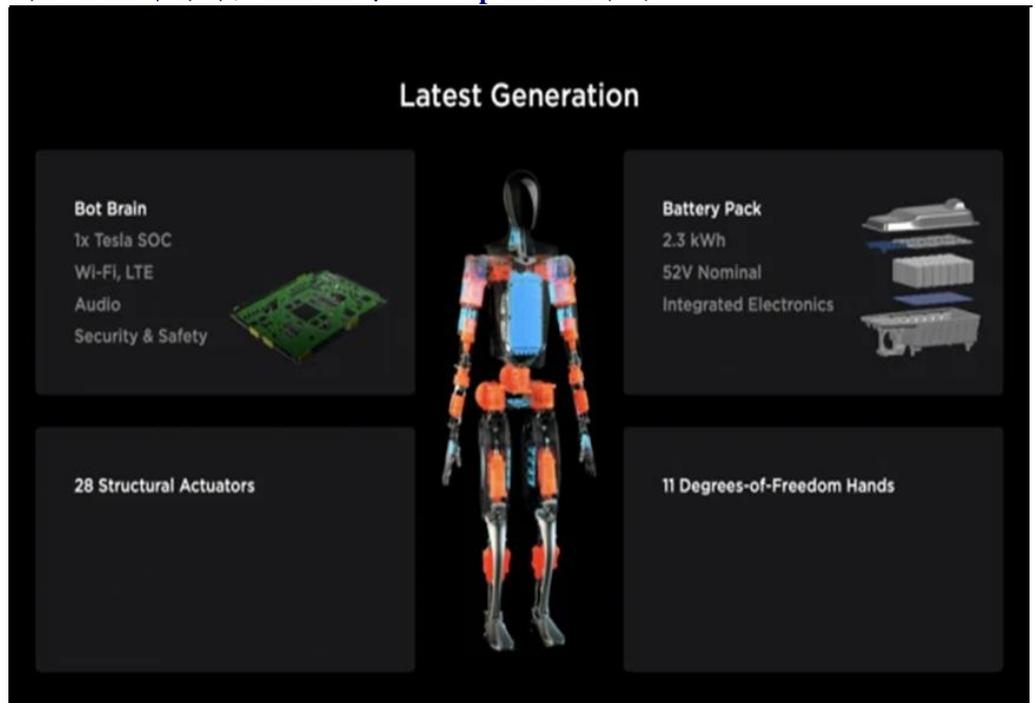
图 1：2022 年特斯拉 AI DAY 展出的 Optimus 全架构	4
图 2：特斯拉最新 FSD 系统总览图	6
图 3：Tesla FSD 装机量保持稳定	6
图 4：数据引擎自成闭环，驱动迭代开发	7
图 5：FSD 视觉感知神经网络架构	8
图 6：利用 Transformer 神经网络训练，实现从 2 维图像空间到三维向量空间变换	8
图 7：Optimus 通过人类示教可以学会一类通用工作的执行方法	9
图 8：Optimus 复用 Occupancy Network 感知网络	9
图 9：相比英伟达 A100，Dojo 运行神经网络模型的效率倍增	10
图 10：使用 Dojo 降低 GPU 集群服务成本	10
图 11：不断迭代的自言语言大模型	10

图 12: 通过 chat gpt, 实现机器人与人类的自然语言交互.....	11
图 13: Chat GPT 控制机械臂拼出一个微软的 Logo.....	12
图 14: SAM 能很好得对图像中的所有内容进行自动分割.....	12
图 15: 对比当前时点和终局状态下 BOM 表拆解, 线性关节和灵巧手的降本空间最大.....	13
图 16: 旋转关节成本拆分, 早期阶段.....	14
图 17: 旋转关节 BOM 拆分, 终局状态.....	14
图 18: 旋转关节拆解.....	14
图 19: 特斯拉旋转关节采用双编码器+力矩传感器.....	15
图 20: 协作机器人关节模组中采用双编码器.....	15
图 21: 光编码器精度高于磁编码器.....	15
图 22: 六维力传感器应用于中国空间站机械臂.....	16
图 23: 节卡机器人发动机装配中使用六维力传感器.....	16
图 24: 电机+谐波减速器构成了特斯拉机器人三种不同力矩的旋转执行器.....	16
图 25: 谐波减速器厂商技术路径对比.....	17
图 26: 特斯拉机器人根据不同位置的受力特点选用不同轴承.....	18
图 27: 特斯拉线性关节使用行星滚柱丝杠.....	19
图 28: 线性关节成本拆分, 早期阶段.....	19
图 29: 线性关节 BOM 拆分, 终局状态.....	19
图 30: 行星滚柱丝杠电动缸优势明显.....	20
图 31: 滚柱丝杠滚动体直径和接触点的数量大大高于滚珠丝杠.....	20
图 32: 行星滚柱丝杠将替代滚珠丝杠和液压驱动, 成为未来最主流的精密传动部件.....	20
图 33: Maxon 无框电机应用于协作机器人关节.....	21
图 34: 无框电机只包含定子和转子, 可输出大力矩.....	21
图 35: 灵巧手内的执行器是一个微型伺服电缸.....	22
图 36: 特斯拉机器人电池、主板、风扇集成于胸腔中.....	23
图 37: 2023 年投资者日展示, 特斯拉机器人已经可以独立行走.....	24
图 38: 特斯拉机器人进行拼装.....	24
图 39: 预计 2030 年人形机器人成本将下降至 2-3 万美元.....	24
图 40: 受益标的总览.....	25
图 41: 汇川技术运控类产品毛利率领先行业.....	26
图 42: 汇川技术布局除减速器外的工业机器人核心部件以及工业机器人本体.....	26
图 43: 埃斯顿是国产工业机器人龙头 (销量, 2022 年).....	27
图 44: 埃斯顿工业机器人销量、毛利率双升.....	27
图 45: 鸣志电器境内外市场齐头发展.....	30
图 46: 公司高度重视研发.....	30
图 47: 被收购公司在机器人、半导体、航空航天等领域有技术积累和成熟解决方案.....	30
图 48: 步科股份 146W 无框电机的额定转矩可达到 1350mNm.....	31
图 49: 2020-2022 年, 常州精纳净利润同比增速提升.....	31
图 50: 中大力德持续投入固定资产, 大量购置的设备已经摊销完毕.....	33
图 51: 昊志机电形成了完善的协作机器人产品链条.....	33
图 52: 公司成功自主研发六维力矩传感器, 实力彰显.....	33
表 1: 波士顿动力人形机器人 VS 本田 ASIMO 人形机器人.....	5
表 2: Optimus 根据关节活动需求分别安装线性执行器和旋转执行器 (单位: 个).....	13
表 3: 全球谐波减速器供需格局.....	17
表 4: 主要谐波减速器厂机电一体化实力对比.....	17
表 5: 磨床、齿轮加工机床是生产机器人关节零部件的核心设备.....	22
表 6: 公司在机床主机以及核心部件滚珠丝杠、刀具、数控系统领域的产品布局.....	27
表 7: 定增项目即将落地, 公司机床及核新部件产能加码助推新增长.....	28
表 8: 站在特斯拉机器人产业化落地起点, 国产厂商增长动能充沛.....	35

1、人形机器人远期空间大于汽车，特斯拉强势入局抢占先机

特斯拉于北美时间 2022 年 9 月 30 日推出 Optimus（擎天柱）原型机，目标价低于 2 万美元。大脑使用全球最强大的超算集群 Dojo 和特斯拉汽车同款的 FSD（完全自动驾驶能力）芯片和算法网络。眼睛基于特斯拉 FSD 的计算机模组和方案，配备 8 个汽车同款 Autopilot 摄像头，最远监测距离可达 250 米。身体+灵巧手共 40 个自由度，2 大类 6 种类型的执行器，负载设计更灵活；脚掌可以上下翻和调整掌面。动力系统中 2.3 kWh、52V 电池包，充电管理、传感器和冷却系统都借鉴于特斯拉汽车。

图1：2022 年特斯拉 AI DAY 展出的 Optimus 全架构



资料来源：2022 年 Tesla AI Day

特斯拉进军人形机器人原因之一是实现人车协同，以更低的生产成本制造出几乎完全实现自动驾驶的电车。第一，Optimus 人形机器人量产后将发挥使用场景和视野高度等优势，为特斯拉神经网络算法提供海量长尾场景数据支持，帮助特斯拉实现 L5 级别的 FSD 算法迭代。第二，由于 Optimus 的部分传动部件以及电池热管理系统等复用特斯拉汽车，人形机器人量产后将进一步扩大硬件需求规模，从而进一步降低生产成本。

进军人形机器人更重要的原因是在广阔蓝海市场抢占先机。相比工业机器人，人形机器人有以下四点优势：（1）仿生步态下运动能力较传统履带/四轮/双轮机器人大幅提升；（2）灵巧手可实现双手配合和工具替换，较工业机器人技能更广；（3）依靠算法能力实现复杂环境识别并实施决策。（4）不再有传统“工业机器人”、“服务机器人”这样明确的功能属性，人形机器人具备通用性，一款成熟的产品即可适用于广泛的需求场景。

从人形机器人相比传统工业机器人的优势来看，未来人形机器人将拥有比汽车更大的市场空间，因为人形机器人理论上几乎能完成所有人类进行的非标任务。马斯克曾称特斯拉汽车是放在轮子上的机器人，那么特斯拉将利用这个天然优势抢占人形机器人广阔市场的先机。

2、手握 FSD 系统，AI 是 Tesla 投入人形机器人的最强竞争力

2.1、Optimus 问世前：成本高、不智能是人形机器人无法量产的原因

在特斯拉机器人问世以前，以波士顿动力 Atlas 为代表的液压驱动人形机器人和以日本本田 ASIMO 为代表的电驱动人形机器人均存在成本高、不智能、控制能力差的缺陷，没有合适的应用场景，更无法实现量产。

成本高，一是由于使用了很多特殊和高成本零部件，液压驱动的机器人还需要考虑高昂的维护成本和耗电成本。二是软件端数据采集/数据购买、数据标注和模型训练带来的高成本。“不智能”指的是人形机器人的核心算法尚未突破，包括“感知-认知-决策-执行”的算法以及如何让机器人具备人类的逻辑思维能力，同时可以模拟出人类的情感和情绪，达到与人类共情。

表1: 波士顿动力人形机器人 VS 本田 ASIMO 人形机器人

参数类别	参数指标	美国波士顿动力【液压驱动】	日本本田【电驱动】
基本信息	名字	Atlas	ASIMO 阿西莫 (第三代)
	身高	1.5m	1.30m
	体重	75kg	48kg
	负载	11kg	—
导航感知		双视觉系统(激光测距仪+立体摄像机)+多传感器	视觉/水平(红外线)/超声波传感器;脚部六轴向脚部方位传感器;躯体陀螺仪和加速传感器
交互认知	芯片算力	配有机载电脑	—
	人机交互	光纤以太网远程控制	以太网远程控制+Vxworks 实时操作系统;可预先设定动作,根据人类的声音、手势来执行相应的动作
运动控制	关节与自由度	全身 26 个自由度: 颈部 2 个, 单臂 6 个, 单腿 6 个	全身 57 个自由度;腿部所有驱动均布置于大腿;膝关节采用平行四连杆传动,驱动上移;踝关节为并联机构,驱动布置于大腿部分,采用同步带+锥齿轮组+连杆传动
	抓握与运动	自带液压泵动力源,整合驱动器(液压缸的快速响应与精确力控)、传感器	单手抓握 0.5kg;最高行动 9km/h
量产情况	成本造价	成本 1500-2000 万人民币/台	成本 300-400 万美元/台
	量产计划	暂无法量产	已停止开发

资料来源: 波士顿动力官网、本田官网、开源证券研究所

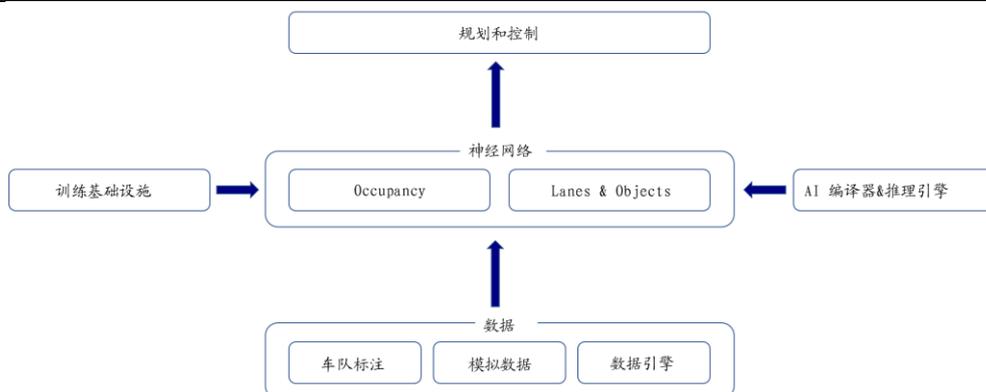
2.2、最强大脑: Optimus 复用完全自动驾驶解决方案 FSD

马斯克认为, 想要解决自动驾驶, 就必须解决现实世界中的人工智能, 因此特斯拉一直在向人工智能技术公司转型。特斯拉研发人形机器人的初衷便是最大程度上利用特斯拉在造车和自动驾驶方面的优势, 特别是自动驾驶研发过程中积累的算法经验、数据驱动能力、AI 芯片能力、模型训练能力等, 智能是特斯拉投入机器人领域最核心的竞争力。

FSD 是特斯拉的自动驾驶解决方案, 也是特斯拉机器人的“大脑”。FSD 系统由数据、算法、硬件构成整体架构, 其迭代路径则是通过不断升级算力的硬件来支撑不断升级的算法从而处理不断增加的海量数据。由图 2 所示, 左边的训练基础设施(Training Infra)和右边的 AI 编译器&推理引擎(AI Compiler& Inference), 以及下方的训练数据(Training Data), 共同输入信息进入神经网络(Neural Networks)

中，对占用网络（Occupancy）和一些几何形状（Lanes and Objects）进行分析，最后整体输出结果，生成自动驾驶车辆/人形机器人的路径规划。

图2：特斯拉最新 FSD 系统总览图



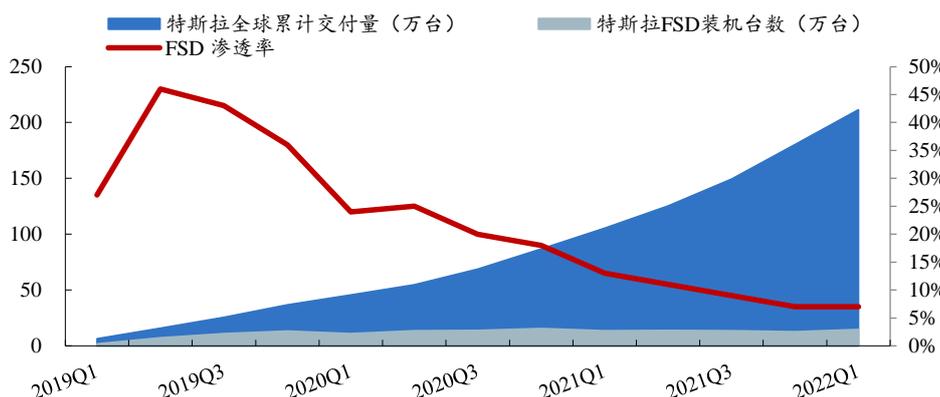
资料来源：特斯拉 AI DAY、开源证券研究所

2.2.1、海量数据储备节省开发人形机器人的前期费用

特斯拉 FSD 系统已有海量数据储备，开发人形机器人可节省大量前期费用。车队传回的数据与场景仿真生成的数据共同构成特斯拉 FSD 系统的数据收集。2022 年 FSD beta 软件（完全自动驾驶测试版）使用量由 2000 辆车提升到 16 万辆车，累计拥有 30PB 容量的视频数据。特斯拉计划于 2022 年年底向全部地区推出 FSD beta，收集的数据量进一步提升。

现实世界收集到的数据不足以覆盖所有场景，要完善 FSD 的功能，还需要做仿真模拟。根据 2022 年特斯拉 AI Day 上 Autopilot 团队成员介绍，目前特斯拉仅用 5 分钟时间，就可以生成与现实世界非常接近的虚拟场景，帮助特斯拉快速覆盖长尾场景。

图3：Tesla FSD 装机量保持稳定

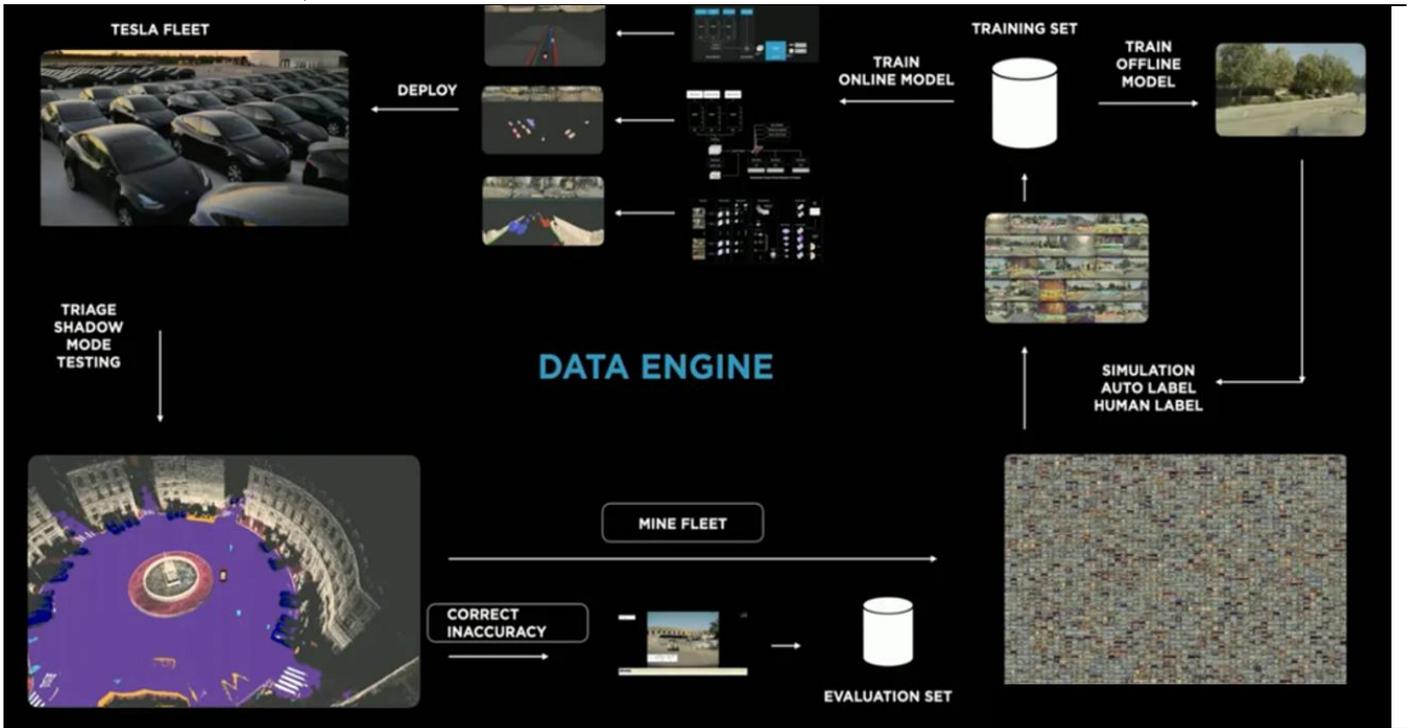


数据来源：Teslike Order Tracker、钛媒体、开源证券研究所

Tesla 数据引擎自成闭环，驱动迭代开发。corner case（极端情况）可以帮助由数据驱动算法模型进行升级。影子模式是指，人在进行驾驶的同时特斯拉自动驾驶系统同样也在计算自己会怎么做，然后和人的选择进行对比。在特斯拉的数据引擎中，车队传回的数据从影子模式中挖掘模型误判（即，自动驾驶选择的操作方式是错误的）的数据，将之召回并采用自动标注工具进行标签修正，然后加入到训练和测试集中，可以不断优化云端和车端的网络。这个过程是数据闭环的关键节点，

会持续生成 corner case 样本数据。

图4：数据引擎自成闭环，驱动迭代开发



资料来源：2022 特斯拉 AI DAY

2.2.2、不断升级的感知、规控算法

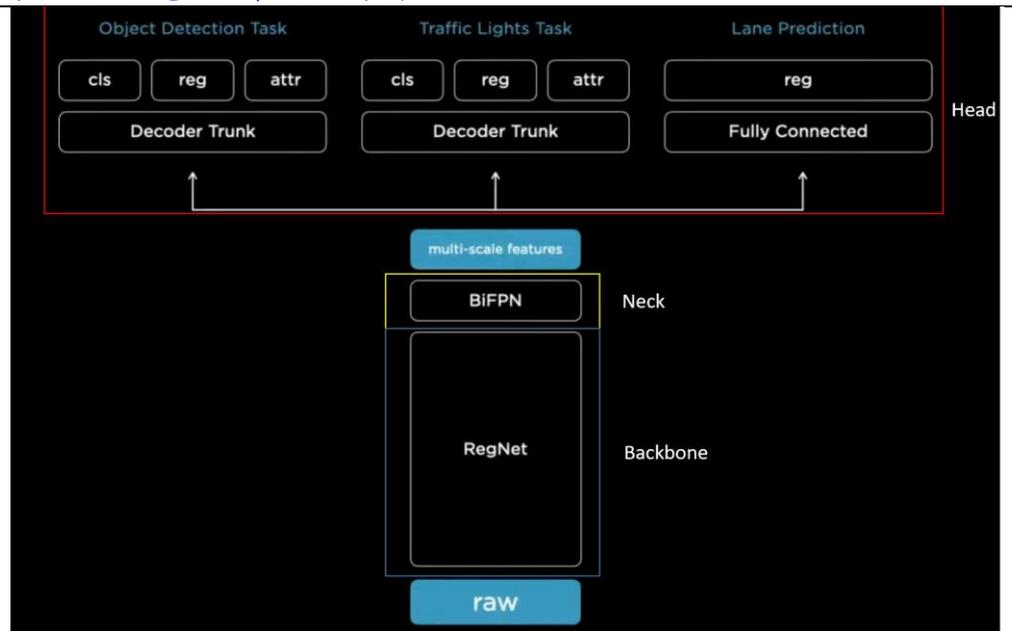
由于人形机器人和特斯拉自动驾驶汽车都遵循“感知-认知-决策-执行”的运行逻辑，下文将重点分析 FSD 的感知、规划决策算法的迭代是如何让特斯拉机器人更智能的。

感知：特斯拉 FSD 系统拥有非常强大的纯视觉感知方案。

特斯拉纯视觉感知的重要工作是目标检测，包括对周围车辆、交通灯、限速标志的识别与检测，车道线预测，判断物体是否移动等各种任务。

在 Tesla FSD 视觉感知神经网络架构中，有一个共享的 Backbone (RegNet+ResNe)，Neck:是 BiFPN，这三种网络都是目前 SOTA (行业当前最佳) 的网络，以后有更好的网络可以直接更换。Head 是若干个头部，即 Tesla 的软件架构 Hydar Net。这样的架构符合人类视觉的流程。

图5: FSD 视觉感知神经网络架构



资料来源：特斯拉 AI DAY、开源证券研究所

视觉感知的整体软件流程是：首先 8 个摄像头的单帧数据经过 image extractors 进行特征提取，这里采用类似 ResNets 的网络。然后将 8 个摄像头获得的不同视频数据直接进行融合，利用 Transformer 神经网络（一种基于注意力机制的深度学习模型）进行训练，实现特征从二维图像空间到三维向量空间的变换。由于速度、目标的遮挡与重现等状态无法在单帧下识别，因此第三步是时间融合，给上一步的每个图赋予时间信息。最后，将上一步的结果分发到不同的 Heads 中，每个 Heads 负责特定的功能，后面接着自己的单独网络。

图6: 利用 Transformer 神经网络训练，实现从 2 维图像空间到三维向量空间变换



资料来源：特斯拉 AI DAY

Occupancy Network 是 2022 年特斯拉对 Hydra Nets 的重要改进，也是纯视觉自动驾驶领域的重要里程碑。此前，纯视觉一直被人诟病的对于未知障碍物的识别能力。引入 Occupancy Network 后，不再进行目标识别，而是通过得到空间是否被占用的信息判断是否存在障碍物，解决了目标检测系统失效的问题。

Occupancy Network 在一般障碍物几何感知的基础上还附加了语义和速度、加速度输出，因此和激光雷达相比，其视觉的语义感知的能力更强，可以更好地将感知到的 3D 几何信息与语义信息融合。Occupancy Network 的运算效率很高，可以在 10 毫秒中计算完毕，输出可以达到跟相机同样的 36Hz，超过目前绝大多数雷达仅

10Hz 的采集频率。因此在高速环境或者对快速移动的物体感知方面，纯视觉的 Occupancy Network 甚至可能做到比雷达更强。

对于成本控制更加严格的人形机器人来讲，类似 Occupancy Network 的方式优于激光雷达解决方案。在机器人上视觉传感器的成本很低，相对于单线激光雷达来讲，所包含的信息则极大丰富，单目视觉可以使用很低的成本覆盖机器人周身，获取机身周围的 Occupancy Network，作为避障与路径规划的依据。而且 Occupancy Network 是个软件方案，后期可以使用订阅软件的方式收费，升级非常的便捷，相对于硬件的替换优势更大。

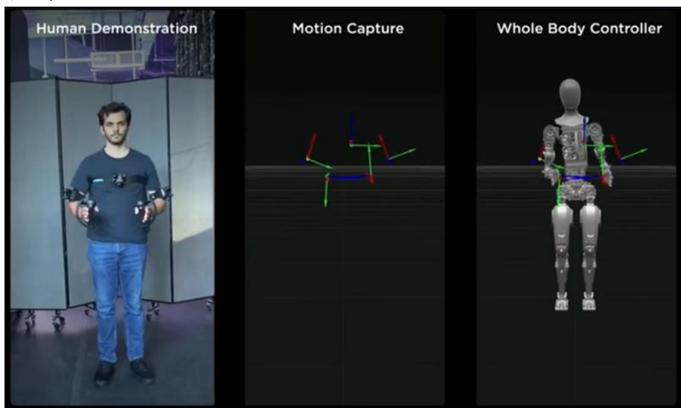
规划和控制：Tesla 拥有极强的决策规划控制算法

人体在感知到周围世界的信息后，会基于对这些信息的认知做出相应的判断，来规划自己的躯体应该作何反应并下发控制指令，人形机器人和自动驾驶汽车也是一样。

特斯拉的“交互搜索”规划模型进一步增强了 FSD 系统的规控能力。由于车辆、行人的未来行为都有一定的不确定性，特斯拉采用“交互搜索”（Interaction Search）的规划模型，在线预测自己和其他车辆，行人等的交互，并对每一种交互带来的风险进行评估，最终决定采取何种策略。FSD 系统还能够通过 Occupancy Network 对可视区域进行建模来处理未知不可见场景。

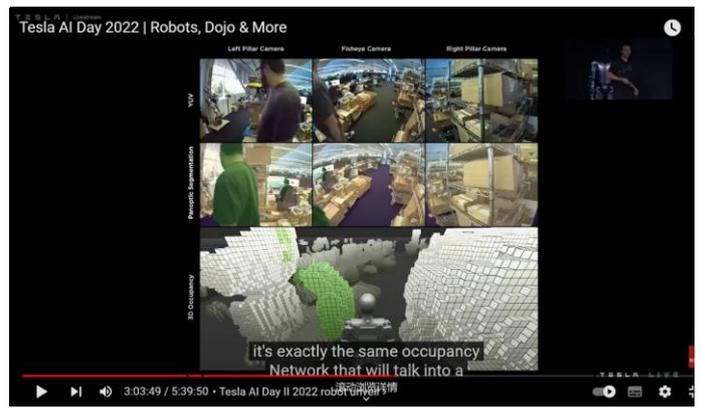
在 2022AI DAY 上，可以看到 Optimus 已经可以较好地利用起 FSD 中的 Occupancy Network 的语义感知能力，从而与周围环境互动。另外机器人技术设计中运用了很多强化学习方面的算法，比如让机器人通过人类示教就能学会一类通用工作的执行方法，需要强大的模仿学习能力。

图7: Optimus 通过人类示教可以学会一类通用工作的执行方法



资料来源：特斯拉 AI DAY

图8: Optimus 复用 Occupancy Network 感知网络



资料来源：特斯拉 AI DAY

2.2.3、模型训练的最强算力基础设施：DOJO 超级计算机

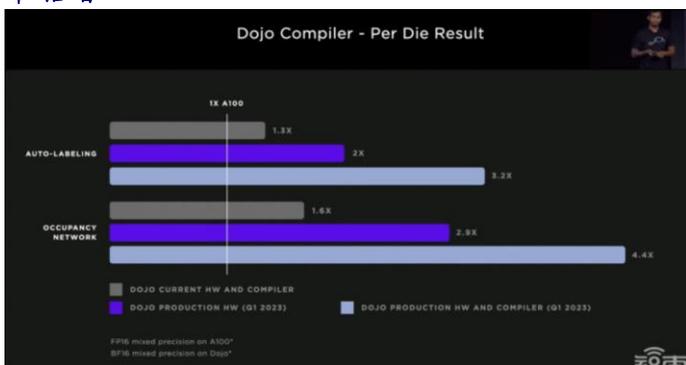
算力是支撑算法的基础。以 Occupancy Network 为例，这种监督网络需要大量标注好的数据进行训练。Tesla 使用了 14 亿帧图像对其进行训练，用了 10 万 GPU 时（等效于 10 万个 GPU 运行 1 小时），温度达到 90 度。

Dojo 的研发定位是 AI 训练方面最强的超算系统，目标是提高 Tesla 模型训练的效率。Dojo 能够处理海量的数据，用于无人监管式的标注和训练，相当于无需人工对训练数据集进行标注，系统能够自行通过样本间的统计规模对样本集进行分析，

进而提高效率。实际上，通过人机合作标注，Dojo 已经在 2022 年一年内持续以每 7 天训练 75000 个神经网络模型的节奏推进研发，相当于每 8 分钟就训练了一个模型。如果采用人工标注，训练一个神经网络模型需要一两周甚至几个月。

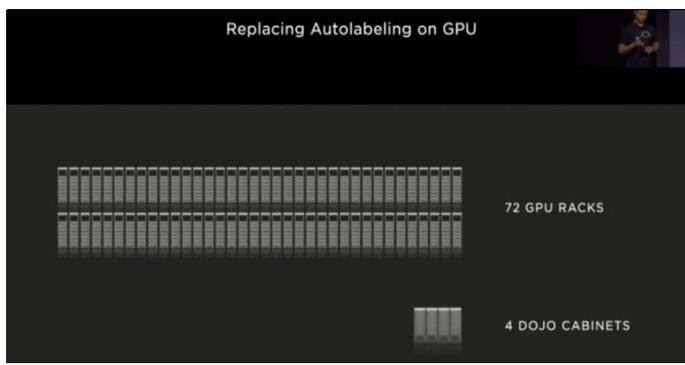
2022 年 AI DAY 上，马斯克宣布将于 2023 年第一季度正式量产 DOJO EXA POD。EXA POD 具有超高算力并且降低 GPU 集群服务成本。EXA POD 可视为 DOJO 超算集群中的一组成员。一个 EXA POD 将由两层计算托盘和存储系统组成，每一层托盘包括 6 颗 D1 芯片，提供 1.1 EFLOP 的算力。72 个 GPU 机架（4000 个 GPU）才能运行完的自动标注算法，现在只要 4 台 Dojo Cabinet 机柜就能做到，大大降低 GPU 集群服务成本。运行神经网络模型 Occupancy Networks 时，相比英伟达 A100，Dojo 能实现性能的倍增。

图9：相比英伟达 A100，Dojo 运行神经网络模型的效率倍增



资料来源：特斯拉 AI DAY

图10：使用 Dojo 降低 GPU 集群服务成本



资料来源：特斯拉 AI DAY

2.3、大模型发展超预期，加速提升人形机器人交互、决策、感知能力

Open AI 团队领投人形机器人公司 1X 2350 万美金进军机器人行业，代表着人工智能的发展在人形机器人领域大有可为。我们认为，大模型的发展将大大提升人形机器人的交互、决策、感知能力。

图11：不断迭代的自语言大模型

	GPT-1	GPT-2	GPT-3	GPT-4
推出年份	2018	2019	2020	2023
Transformer 层数	12	48	96	-
参数量	1.2亿	15.8亿	1750亿	-
预训练数据量	5GB	40GB	45TB	-

资料来源：Open AI 官网、开源证券研究所

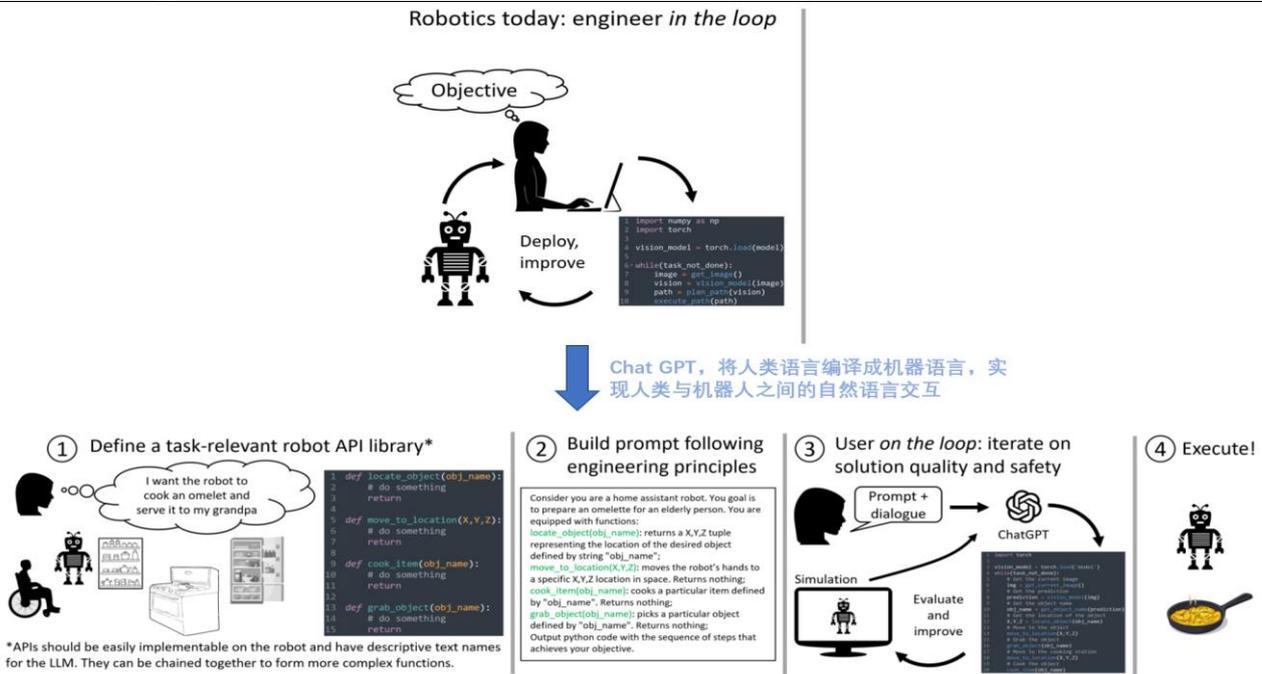
第一，机器人和人类的自然语言交互迎来里程碑式进展。

尽管在机器人技术中使用 LLM 具有潜在的优势，但现有的大多数方法都受限于僵硬的范围和有限的功能集，不允许进行流畅的互动和用户反馈的行为修正。相比之下，Chat GPT 作为一个基于上千亿超大语料参数的生成式自然语言大模型，

使用人类反馈进行微调，显示出了非常强的交互功能。能够让用户以更自然的方式与机器人模型互动，并能灵活地进行行为纠正。将 chat gpt 应用于机器人，将有效提升机器人与人类的交互能力。

意识到 Chat GPT 将为机器人与人类交互带来颠覆性的突破，微软团队专门开发的一系列机器人 API 和高级函数库，通过 chat gpt 实现用人类语言控制机器人。其实现路径是：首先，由于机器人是个多元化领域，在微软的操作框架下，不同机器人，都有自己对应的特定函数库。这些函数库，可以理解为中控，能够连接机器人控制系统进行底层硬件的管理，以及执行基本运动的代码和功能模块。然后，为了让 Chat GPT 能遵循函数库的规则，需要清晰的预定义函数命名。清晰的函数名，能让各 API 之间建立良好的功能连接，最终生成高质量的回答。最终，在设计好库和 API 后，用户给 ChatGPT 编写了一个文本提示 (prompt)，描述目标任务，并明确说明函数库中哪些函数可用，就可以控制机器人去执行任务。

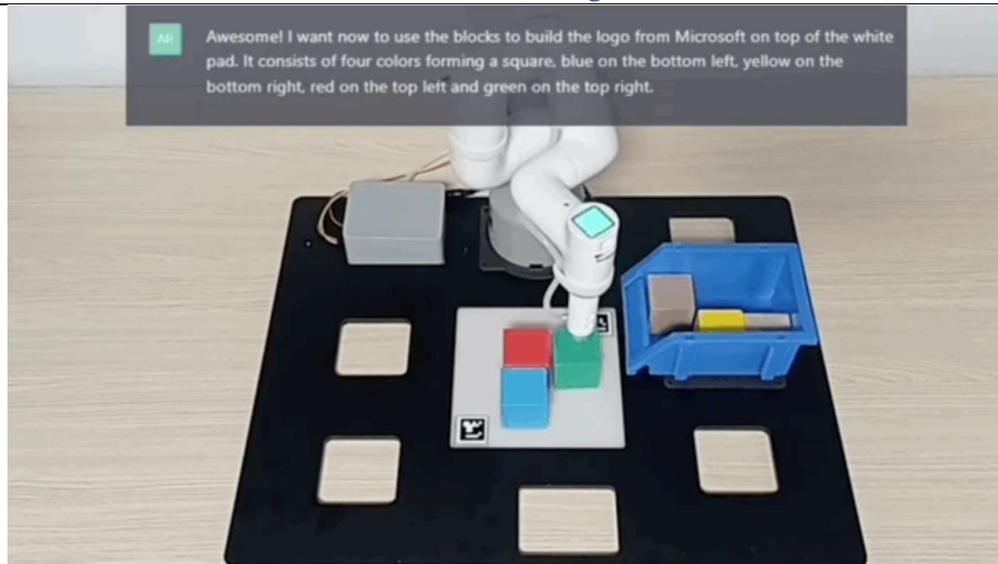
图12: 通过 chat gpt, 实现机器人与人类的自然语言交互



资料来源：《Chat GPT for Robotics: Design Principles and Model Abilities》，Microsoft Autonomous Systems and Robotics Research、开源证券研究所

开源的 prompt 平台以及不断迭代的 GPT 模型，均将进一步提升人形机器人的交互能力，加速人形机器人的落地。由于 AI 生成内容效果和人为提示的质量呈正相关，微软开发了一个协作开源平台 Prompt Craft，任何人都能在此分享不同类机器人的 Prompt 策略。2022 年 3 月问世的 GPT-4 模型相比 chat GPT 更是支持图像、文本输入以及文本输出，同时还最多能够实现 2.5 万字理解，表现出了在多模态、通用性、理解能力、角色认知、长文本支持等方面的明显进展。

图13: Chat GPT 控制机械臂拼出一个微软的 Logo



资料来源:《Chat GPT for Robotics: Design Principles and Model Abilities》, Microsoft Autonomous Systems and Robotics Research

从决策层分析: Chat GPT 使用了人类反馈强化学习 (RLHF) 这种训练方法, 在训练中可以根据人类反馈, 保证对无益、失真或偏见信息的最小化输出。这和特斯拉 FSD 系统中使用的将同一情境下自动驾驶系统的决策与人的选择进行对比, 并对自动驾驶模型误判的数据进行标注、修正, 再加入到训练和测试集中, 进行云端和车端网络优化的模式有相近的逻辑。将 Chat GPT 引入特斯拉 FSD 自动驾驶系统的训练中, 有可能可以加速 FSD 系统的迭代。

感知层分析: Meta 的开源分割万物大模型 “segment-anything” 问世有望进一步提升人形机器人的感知能力。 图像分割是机器视觉算法领域的核心问题, 此前解决图像分割有交互式分割和自动分割两种方式, 但这两种方法都没有提供通用的、全自动的分割方法。而 SAM 开源大模型已经学会了关于物体的一般概念, 并且它可以为任何图像或视频中的任何物体生成 mask, 甚至包括在训练过程中没有遇到过的物体和图像类型。SAM 足够通用, 可以涵盖广泛的用例, 并且可以在新的图像『领域』上即开即用, 无需额外的训练。英伟达人工智能科学家 Jim Fan 表示, Meta 的这项研究可以视为计算机视觉领域的 GPT-3 时刻之一。

图14: SAM 能很好得对图像中的所有内容进行自动分割



资料来源: 澎湃新闻

3、 特斯拉机器人降本核心途径：中国企业供应关节模组

特斯拉机器人全身共使用 40 个关节执行器（又称为关节模组）。关节执行器是模仿人体的关节而诞生，最早由美国科尔摩根公司发明，供应给协作机器人厂商。特斯拉机器人关节模组使用的数量和目前全球领先的人形机器人基本一致，可以在机器人运动过程中实现稳态控制。随着特斯拉机器人在形态越来越接近人类，使用的关节模组数量或将进一步增长，带动核心部件的市场空间持续增长。

表2: Optimus 根据关节活动需求分别安装线性执行器和旋转执行器（单位：个）

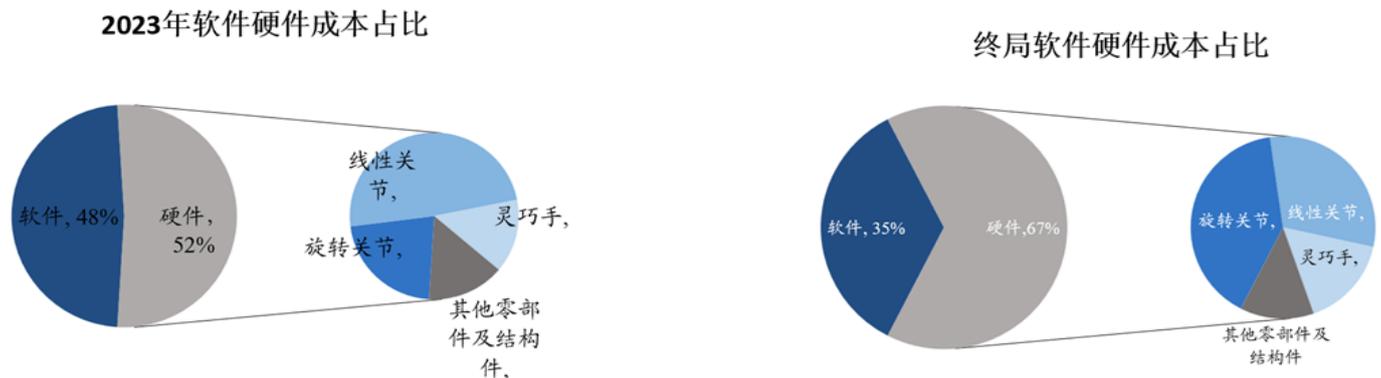
关节部位	线性执行器	旋转执行器
颈部		2
肩膀		3*2
手臂		-
肘关节	1*2	
手腕	1*2	1*2
腰部		2
胯部		1*2
腿部	3*2	
腿内侧		1*2

资料来源：2022 年特斯拉 AI DAY、开源证券研究所

特斯拉机器人在设计上也选择了硬成本最低、软成本最大的方式后发制人。特斯拉机器人硬件成本包括 40 个关节执行器以及其他结构件，目前硬件成本占 BOM 表比例超过 50%，要达到 2 万美金售价还有 84% 的降价空间。

特斯拉机器人关节执行器采用的零部件种类和现有的工业机器人基本一致，由于没有像工业机器人一样对实现高速运动的要求，一定程度上降低了生产难度，因此只需根据人形机器人的特点对零部件进行调整修改就可以进行标准化的大批量生产，而且轴承、齿轮箱、滚珠丝杠、电机等部件可复用特斯拉汽车的供应链。国产硬件供应商具备很强的低成本大规模量产能力，迎来了导入特斯拉机器人硬件供应链的重要机遇。

图15: 对比当前时点和终局状态下 BOM 表拆解，线性关节和灵巧手的降本空间最大



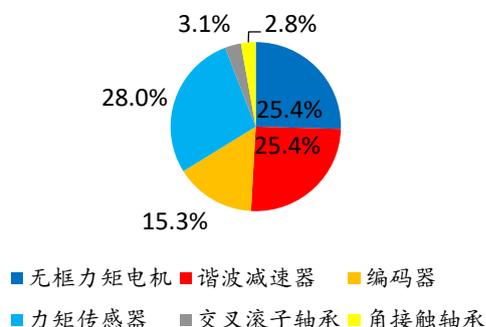
数据来源：2022 特斯拉 AI DAY、开源证券研究所

3.1、 旋转关节

旋转执行器包括无框电机、谐波减速器、双编码器、力矩传感器、角接触轴承交叉滚子轴承。根据我们测算，无框力矩电机、谐波减速器和力矩传感器是旋转关

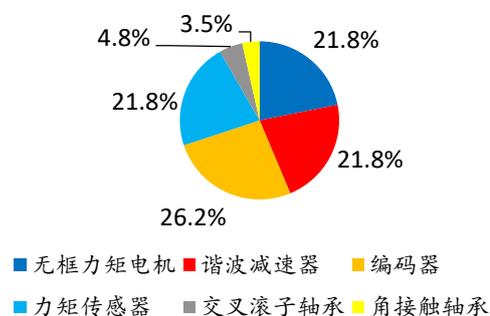
节中价值量占比最高的零部件。从早期阶段推演到终局状态（特斯拉机器人单机售价 2 万美金时），降价空间最大的为无框电机（降价 75%）、谐波减速器（降价 75%）、角接触轴承（降价 64%）。

图16：旋转关节成本拆分，早期阶段



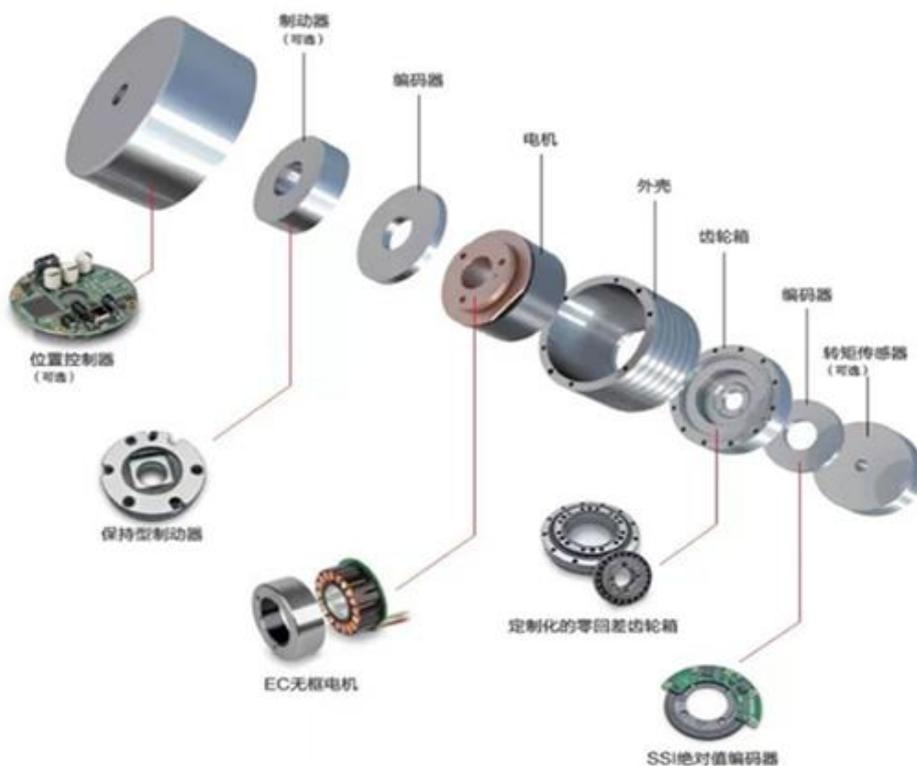
数据来源：2022 特斯拉 AI DAY、开源证券研究所

图17：旋转关节 BOM 拆分，终局状态



数据来源：2022 特斯拉 AI DAY、开源证券研究所

图18：旋转关节拆解

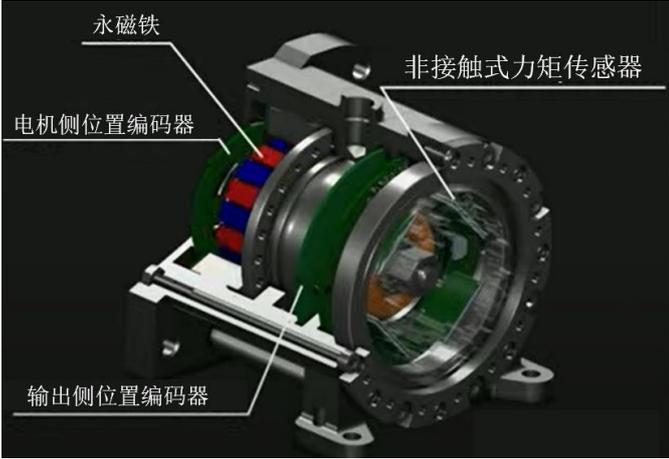


资料来源：Maxon 微信公众号、开源证券研究所

3.1.1、传感器与编码器：全球百亿市场，海外厂商垄断高精度领域

特斯拉机器人的旋转关节采用高低速双编码器和力矩传感器。输出侧和电机侧各有一个编码器。输出侧编码器用于测量输出位置的变化，电机侧编码器用于计算得到输出轴的理论位置，与输出侧编码器的数据进行对比，得到外部受力大小，从而交付驱动器进行后续控制。非接触式力矩传感器是基于编码器或霍尔原理测量材料形变的力矩传感器。

图19：特斯拉旋转关节采用双编码器+力矩传感器



资料来源：2022 特斯拉 AI DAY、开源证券研究所

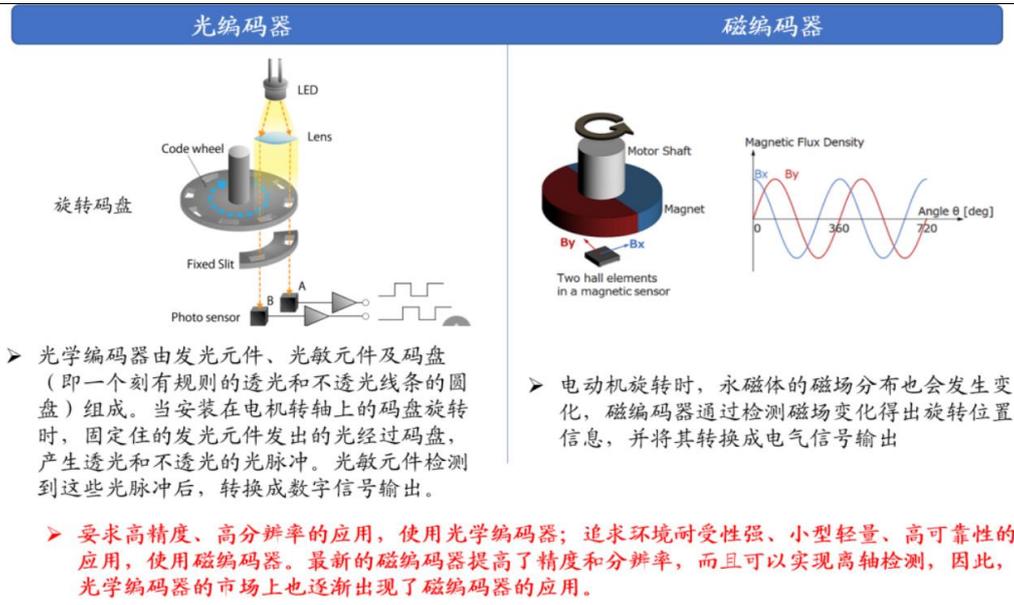
图20：协作机器人关节模组中采用双编码器



资料来源：科尔摩根官网

编码器是提供反馈的传感器，机器人编码器是伺服控制的核心部件，伺服控制性能提高，必然要求编码器精度的提高。从物理介质的不同来分，分为光编码器和磁编码器。磁编码器成本相较光编码器可以下降 100 多元，但磁编码器的精度低于光编码器。整体来看，国产编码器的精度和综合性能和国外差距较大，国内高精度市场被日本厂商多摩川和尼康垄断。国产厂商汇川技术、埃斯顿、昊志机电、奥普光电（主要用于军工领域）已经实现编码器的自研，但主要面向中低端市场。

图21：光编码器精度高于磁编码器



资料来源：Asahi KASEI Microdevices、开源证券研究所

力传感器是感知并度量力的关键部件。根据 global information 测算，全球力传感器市场预计将从 2021 年的 74.3 亿美元增长到 2027 年的 126.6 亿美元。

按照测量维度，力传感器可以分为一至六维力传感器。六维力传感器是目前维度最高、力觉信息反馈最为全面、难度最大的力觉传感器，最早应用于航空航天市场，后逐步应用于打磨、铣削、焊接及装配场景的工业机器人以及对传感性能要求更高的协作机器人。一台进口的六维传感器价格接近国内一台协作机器人的价格，考虑成本管控，我们认为特斯拉机器人在量产初期基本不会使用六维传感器，使用一维传感器可能较大。

图22：六维力传感器应用于中国空间站机械臂



资料来源：高工机器人微信公众号

图23：节卡机器人发动机装配中使用六维力传感器



资料来源：高工机器人微信公众号

全球传感器市场的主要厂商有霍尼韦尔、意法半导体、飞思卡尔、博世、飞利浦等，中国市场上的高端传感器进口占比高达 85%，国产化率低。国内布局机器人用高性能六维传感器的厂商主要是昊志机电、宇立仪器（安川电机、KUKA、ABB 的力传感器合作商，未上市）、坤微科技（供货给节卡、遨博、睿尔曼、越疆、思灵、大族等国内协作机器人厂商，未上市）。

3.1.2、谐波减速器：特斯拉机器人带来翻倍空间，70 亿供给缺口待国产厂商填补

精密减速器是机器人的核心传动部件，占据工业机器人 30%的零部件成本。其作用是降低伺服电机的高转速、通过齿轮减速比放大伺服电机的原始扭矩，并提供高刚性保持、高精度定位。谐波减速器是精密减速器的一种，根据《中国工业机器人发展白皮书》，2021 年全球工业机器人用谐波减速器市场规模为 108.3 亿元。

需求侧：特斯拉机器人的旋转关节需要更轻量、小型、集成化的传动装置，全身 16 个旋转关节中各使用 1 个谐波减速器。根据我们测算，当特斯拉机器人实现 100 万产量时，谐波减速器新增市场规模达到 73 亿元。

图24：电机+谐波减速器构成了特斯拉机器人三种不同力矩的旋转执行器



资料来源：特斯拉官网

供给侧：日本哈默纳科是全球谐波减速器龙头，占据 70%的份额。总产能基本稳定在 200 万台/年，并且几乎全部供应给以四大家族为主的工业机器人厂商。哈默纳科产线的自动化程度较低，对检测人员需求较大。在美德日三地劳动力成本较高的情况下，其净利率水平仅保持在 15%左右，远低于国内谐波减速器厂商。为了保障一定的盈利能力，管理层不会进行激进的扩产政策。

根据我们测算，到 2027 年人形机器人达 100 万台量级时，全球谐波减速器产能缺口达 1460 万台，其中约 200 万台来自工业机器人，1260 万来自人形机器人。由于人形机器人的运动速度低于工业机器人，对谐波减速器性能的要求也低于工业机器人，因此国内谐波减速器厂商可以胜任人形机器人对零部件的要求，在海外龙头谨慎扩产的背景下，谐波减速器的产能缺口有望由中国厂商填补。

表3: 全球谐波减速器供需格局

	2021	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E
特斯拉机器人销量(万台)	-	-	0.25	5	20	40	100
供给侧(万台)	138.3	140.2	193.3	305.5	445.3	470.5	501.5
需求侧(含工业机器人,万台)	146.1	160.7	199	336.9	685.1	1005.1	1961.3
谐波减速器							
产能缺口(万台)	7.8	20.6	5.6	31.4	239.8	534.6	1459.8
市场空间(亿元)							73

资料来源: 开源证券研究所 注: 根据现有的人形机器人生产制造对供应链的要求, 通常在早期阶段, 对关键零部件的备货需要多 50% 当销量规模处于 10 万-50 万台之间时, 对零部件备货需多 10%-20%

谐波减速器产品的技术迭代基本停滞, 当前, 我们认为应从扩产能力以及机电一体化实力两个角度来衡量国内谐波减速器厂商的竞争优势。

第一, 国内厂商和海外巨头之间的差异主要在保持产品一致性下的大规模扩产能力。生产一台谐波减速器, 从数理模型设计、材料热处理理解到设备选择、加工工艺等环环相扣。具体过程是: 首先设计柔轮齿型, 柔轮的齿形决定加工设备的选择, 而设备的选择又决定钢轮使用哪种制造材料。目前国内外柔轮材料均使用 40CrMoNiA、40CrA 等碳合金钢。国内企业的材料热处理水平相差不大, 但总体低于国外水平。因此, 钢轮加工技术路径的差异直接决定国内谐波减速器厂商产能释放的快慢以及生产成本的高低。

图25: 谐波减速器厂商技术路径对比



资料来源: 开源证券研究所

第二, 机电一体化能力。“机电一体化”, 是指将精密减速器、电机及驱动器、传感器进行组装形成一个基本传动单元, 再通过控制器控制这个高度集成化的传动关节以实现对本体的运动控制。机电一体化可以进一步缩小零部件体积, 实现整体运动控制, 提高工业机器人等自动化设备的灵活性。

机电一体化是未来减速器厂商竞争制高点。全球谐波减速器龙头哈默纳科自 1977 年起生产销售机电一体化产品, 陆续研发了伺服电机、驱动、传感器和控制器, 认为提高整体运动控制实力是实现技术进步的核心。哈默纳科作为引领谐波减速器行业多年的龙头企业, 其产业布局方案是判断行业趋势的风向标。同时, 人形机器人对关节小型、轻量的要求也在对机电一体化产品有更高的需求。因此, 我们认为机电一体化实力是谐波减速器厂商未来的竞争焦点。

表4: 主要谐波减速器厂机电一体化实力对比

公司	机电一体化实力
汉字集团【子公司同川科	(1) 同川科技在创建初期开发协作机器人时已经在机电一体化领域开始布局。(2) 参股国内高端传感器

公司	机电一体化实力
技的机电一体化能力国内最强】	龙头海伯森 6.05% 的股份以布局传感单元。传感器是机电一体化系统最主要也最难突破的环节，机器人需要通过内部和外部的各种传感器来感知自身、操作对象和作业环境的状态，以实现精准的位置控制。2021 年，海伯森生产的六维力传感器获得全球协作机器人大厂丹麦优傲独家认证，首次打破在高端传感器领域的美日德垄断。(3) 同川科技已经有自主研发的伺服系统
中大力德	已成功推出伺服电机，2021 年起公司开始向客户提供全部自研的“伺服电机+RV/谐波减速器+结构件”集成化产品，2022H1 实现营收 1.3 亿。2021 年公司在日本建立伺服驱动器研究院，目前已成功研发出伺服驱动器，有望于 2023 年形成销售，届时其机电一体化布局更加完善
绿的谐波	通过收购开始初步布局机电一体化：江苏开璇（绿的谐波控股 100%）主营 Ether CAT 总线型伺服驱动器、结构紧凑型伺服电机、无框力矩电机旋转执行器、谐波减速模组等产品。苏州麻雀（公司控股 70%）提供机器人应用集成、工业视觉系统、人机交互系统、MES、SCADA 等智能制造全方位解决方案。

资料来源：中大力德公告、绿的谐波官网、高工机器人网、开源证券研究所

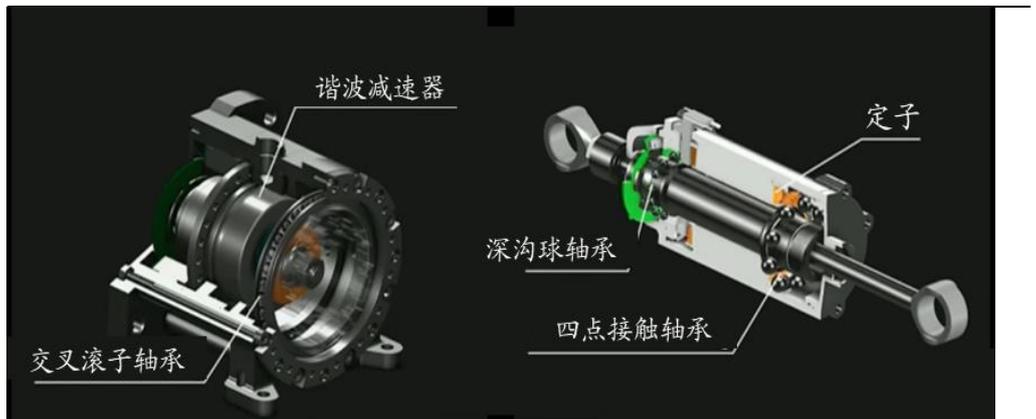
3.1.3、关节轴承：用量超预期，可复用汽车供应链加速降本

特斯拉机器人关节处使用的轴承是支持旋转轴或其他运动体的机械基础件，可以复用新能源汽车的轴承供应链，加速降本。

特斯拉机器人旋转关节使用 2 个角接触轴承，用来承受较高的转速的和一定的轴向力。使用 1 个刚性强的交叉滚子轴承，同时承受较大的径向力和轴向力。线性关节使用 1 个四点接触轴承，在高转速条件下承受双向较大的轴向力和径向力，以及 1 个深沟球轴承。根据我们测算，当特斯拉机器人量产达到百万台量级，各类轴承的单价均可降到百元以下，以 100 万台产量计算，带来的轴承市场空间增量约 37 亿元。

从供应链角度，深沟球轴承国内成熟供货，价格低，附加值低；角接触轴承国内可供货，价格低，精度低；四点接触轴承国内可供货，价格低，精度低；交叉滚子轴承国内少数厂家可供货，难度大

图26：特斯拉机器人根据不同位置的受力特点选用不同轴承



资料来源：2022 特斯拉 AI DAY、开源证券研究所

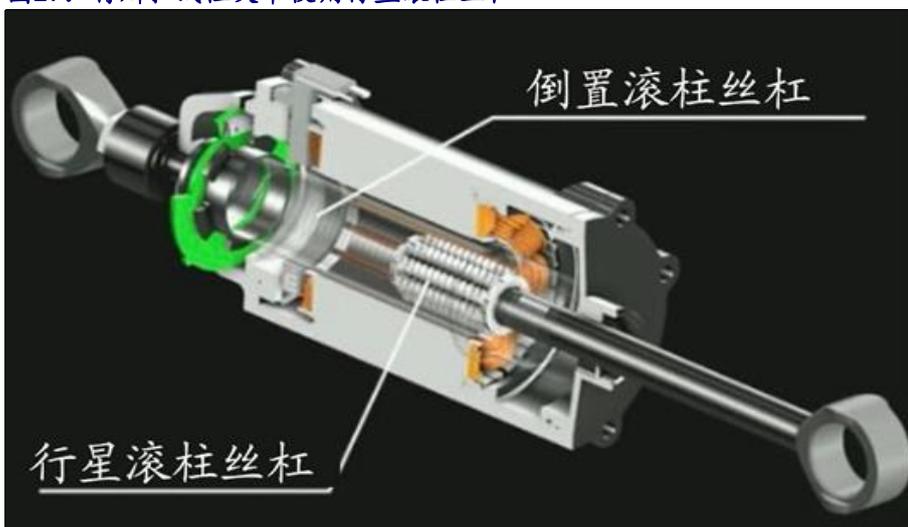
我国轴承产业大而不强，高端轴承市场被以 SKF、NSK 为代表的国际厂商占据，国内厂商以生产小型、中低端轴承为主。因此，国产轴承厂供应深沟球轴承、角接触轴承以及四点接触轴承更具备优势。深沟球轴承设计简单，能高速运行并且工作期间无需保养，价格低，是使用最普遍的轴承，国内已经实现成熟供货。交叉滚子轴承是和谐波减速器配套使用，制造难度大，全球范围内可大规模量产的企业少，主要包括日本 THK、日本 IKO、日本 NSK、日企哈默纳科和德国舍弗勒旗下的 INA。国内谐波减速器龙头绿的谐波自研交叉滚子轴承，截至 2021 年年报已进入中试阶段。

3.2、线性关节

特斯拉机器人全身使用 12 个线性执行器（亦成为伺服电缸），采用无框电机+滚柱丝杠的方案。丝杠的传动精度高，输出力能力强，但反驱透明度差（所以需要力传感器），响应速度偏慢。这套驱动方案可以实现高刚性，但可能会限制下肢高动态的运动能力。

线性关节是特斯拉机器人在硬件端优化升级的核心。特斯拉机器人线性关节采用的通用伺服推重比从 1400N/Kg~4200N/Kg，其中自重较小的一款 0.36 公斤级别的驱动器可能受限于尺寸及集成化的难度，导致推重比较低为 1400N/Kg，对比国内先进的自重 0.1Kg 级别的微型伺服电缸推重比已达到 4900N/Kg，仍有较大提升空间。

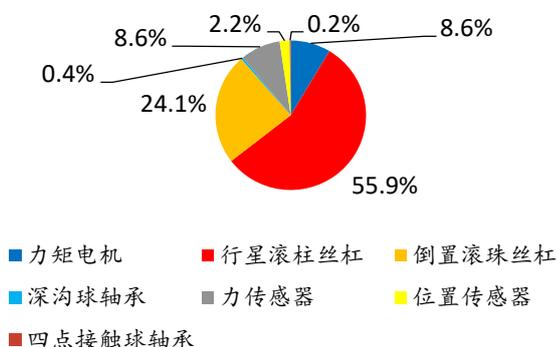
图27：特斯拉线性关节使用行星滚柱丝杠



资料来源：2022 特斯拉 AI DAY、开源证券研究所

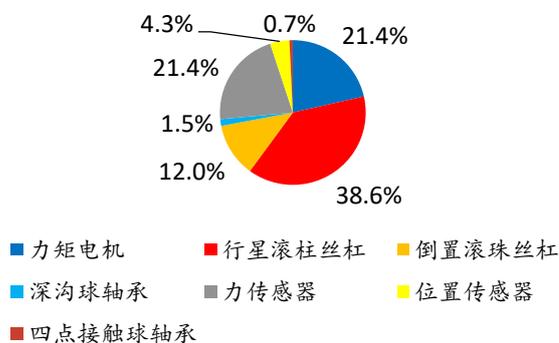
根据我们测算，行星滚柱丝杠、倒置滚柱丝杠是线性关节中价值量占比最高的零部件，行星滚柱丝杠在特斯拉机器人硬件总成本中占比也最高。终局状态下，行星滚柱丝杠、倒置滚柱丝杠相比早期阶段的降价空间分别达到 93%、95%。

图28：线性关节成本拆分，早期阶段



数据来源：2022 特斯拉 AI DAY、开源证券研究所

图29：线性关节 BOM 拆分，终局状态



数据来源：2022 特斯拉 AI DAY、开源证券研究所

3.2.1、滚柱丝杠：传动新星撬动千亿市场，国内厂商将从 0→1 打破海外垄断

线性执行器和旋转执行器最大的不同在于使用了滚柱丝杠。

滚柱丝杠是滚珠丝杠的一种细分品类，制造难度比滚珠丝杠难度更大。滚珠丝

杆是最常用的机械传动元件之一。传统滚珠丝杠通过在丝杠和螺母之间引入滚珠，能耗下降至低于 20%，因而摩擦降低，精度得以保持。而滚柱丝杠滚动体直径和接触点的数量大大高于滚珠丝杠，因此承载力和寿命大大提升。

行星滚柱丝杠具有高承载、高寿命、高精度、高负载、高稳定性、导程小、响应速度快、更清洁环保、更容易实现电控化等优势，将成为液压驱动、滚珠丝杠电动缸的未来技术主力替代方案。在机器人、自动化行业，行星滚柱丝杠替代滚珠丝杠电动缸和气缸；在机床、医疗器械、光学仪器行业，行星滚柱丝杠替代滚珠丝杠；在汽车、新能源汽车、智能电车以及工程机械领域替代液压缸。

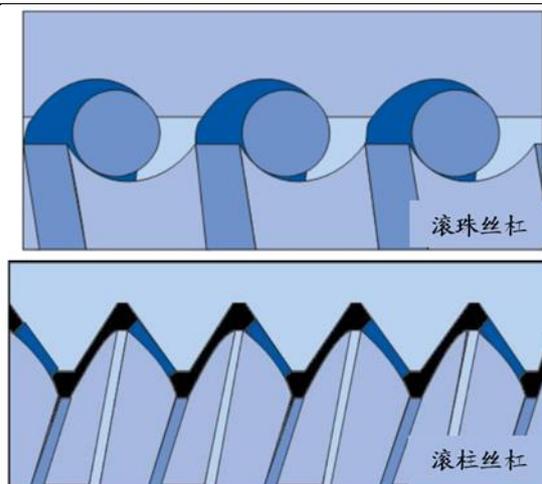
图30：行星滚柱丝杠电动缸优势明显

性能	滚柱丝杠电动缸	滚珠丝杠电动缸	液压缸	气缸
承载能力	很高	高	很高	高
寿命	很长	中等	维护好可较长	维护好可较长
速度	很快	中等	中等	很快
加速度	很高	中等	很高	很高
位置可控性	容易	容易	困难	很困难
机械刚度	很高	中等	很高	很低
抗冲击性能	很高	中等	很高	高
相对体积	小	中等	大	大
摩擦	小	小	小	中等
效率	> 85%	> 90%	< 50%	< 50%
安装	简单	简单	复杂	复杂



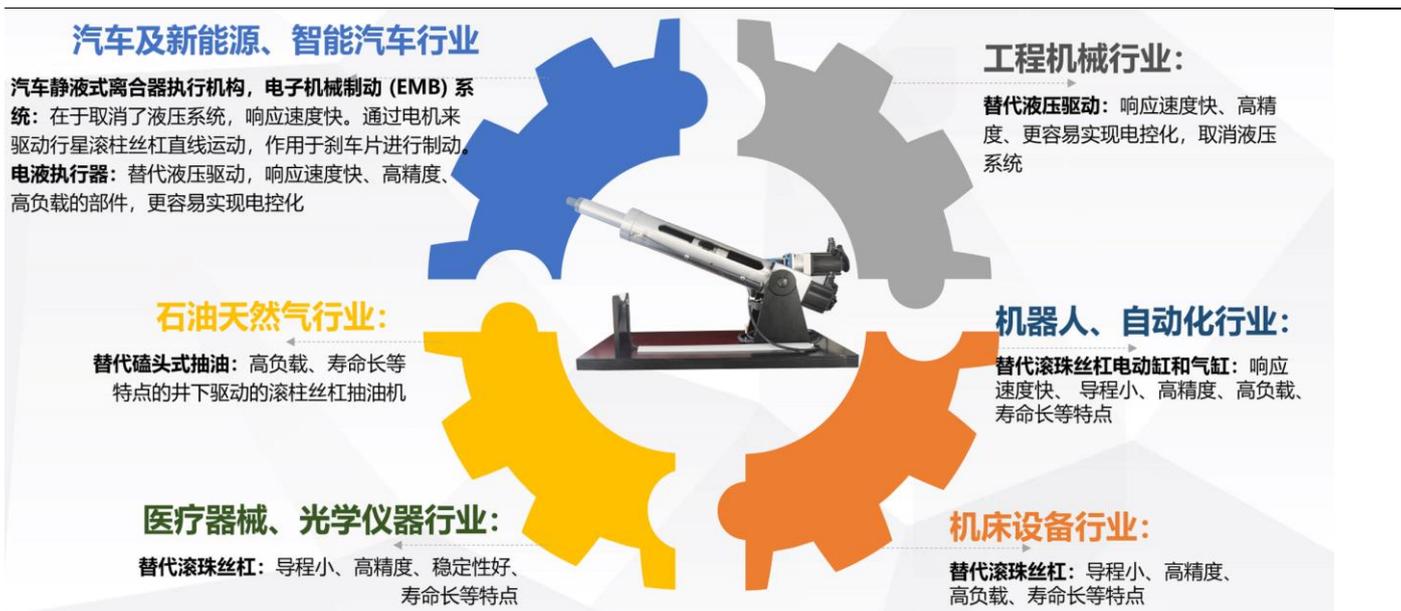
资料来源：新剑传动官网

图31：滚柱丝杠滚动体直径和接触点的数量大大高于滚珠丝杠



资料来源：斯凯孚中国微信公众号、开源证券研究所

图32：行星滚柱丝杠将替代滚珠丝杠和液压驱动，成为未来最主流的精密传动部件



资料来源：新剑传动官网

根据 Value Market Research 数据，2019 年全球滚珠丝杠市场规模为 195.48 亿美元，预计 2026 年将达到 296.61 亿美元，期间年均复合增长率约为 6.14%。其中，亚太地区是全球滚珠丝杠的主要市场，2019 年亚太地区市场份额占比为 43.56%，

预计 2026 年将增长至 46.64%，亚太地区市场份额的快速增长主要源于中国等发展中国家在航空、制造和机器人等行业的需求升级。

高精度滚珠丝杠技术壁垒高，海外厂商占据垄断地位。全球主要的滚珠丝杠厂商有 NSK 日本精工、日本 THK、日本斯凯孚等。CR5 市占率达到约 46%。根据相关数据，日本和欧洲滚珠丝杠企业占据了全球约 70% 的市场份额。国内行星滚柱丝杠生产商稀缺，仅有少量具备小批量研发制造能力的企业，包括秦川机床、新剑传动、鼎智科技。

3.2.2、机器人关节高功率密度的选择：无框电机

特斯拉机器人线性、旋转关节处使用的无框电机是去掉轴、轴承、外壳、反馈或端盖的伺服电机，只包含定子和转子。无框力矩电机的核心优势是输出力矩大、结构紧凑，散热性好。1949 年由美国 Inland 电机公司（1960 年和科尔摩根光学公司合并为科尔摩根公司）发明，用于早期导弹和空间飞行器的惯性制导系统上的传动万向节。现在，无框电机的典型应用包括机器人和机器人关节、武器站、传感器的万向节、瞄准系统、无人机推进与导航、工厂自动化设备等。

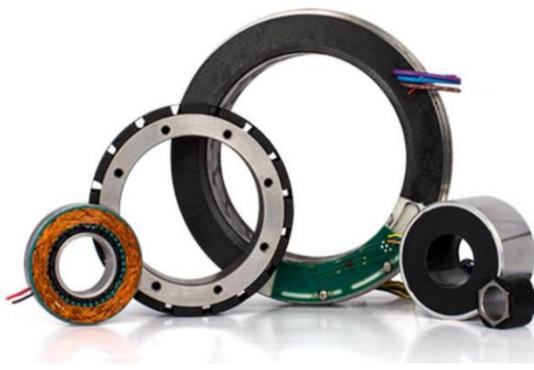
海外厂商科尔摩根、Maxon、日本电产、Moog 电机位列全球无框电机市场第一梯队，国内供应商包括步科股份、昊志机电。

图33: Maxon 无框电机应用于协作机器人关节



资料来源：Maxon 官网

图34: 无框电机只包含定子和转子，可输出大力矩



资料来源：科尔摩根官网

3.3、灵巧手：关注率先实现微型线性执行器量产的企业

特斯拉机器人的灵巧手的技术和现有人形机器人灵巧手一致，单手共 6 个自由度 11 个关节，可抓起 20 磅重量，既可以完成大口径物体抓取，同时也能满足抓取精巧物体的需求。从 2022 年特斯拉 AI DAY 上展出的视频可以看到，目前特斯拉机器人灵巧手的设计优先满足大口径物体的抓取，适用于在总装线上进行物体的搬运。也验证了特斯拉机器人将率先在汽车总装产线上投入使用。

以因时机器人为代表的厂商在机器人灵巧手方面已拥有全球领先的技术实力。衡量灵巧手性能强弱的指标是单个手指可施加的力，目前全球领先的水平是单个手指施加 1kg 左右的力，而因时机器人灵巧手单个手指可以施加的力已经能到达 3kg。

特斯拉机器人灵巧手内部构成是一个微型的线性执行器（伺服电缸）。内部通过高速运转的空心杯电机（小功率段体积最小、功率密度最高的电机）提供动力，搭载小模数齿轮的减速箱起到类似于旋转执行器的能力。高性能的螺杆结构使整体结构更为紧凑。整个微型线性执行器由低压驱动板来控制。国产厂商在除了减速箱

以外的其他零部件领域均处于量产的布局期。在特斯拉机器人的拉动下，能够率先实现微型线性执行器量产的企业将通过规模效应大幅降本。

图35：灵巧手内的执行器是一个微型伺服电缸



资料来源：机器人大讲堂微信公众号

3.4、国产加工设备取得长足进展，为零部件厂加速扩产保驾护航

磨床和齿轮加工机床属于金属切割机床，是减速器、轴承、滚珠丝杠、电机在精加工阶段的重要设备。齿轮加工机床主要包括磨齿机和车齿机，磨床包括螺纹磨床和外圆磨床。磨齿是齿轮精加工的主要工艺，通过可靠有效地加工硬齿面齿轮，修正热处理产生的变形和粗加工的各项误差，提高加工精度。目前，国产数控磨齿机已取得了长足发展，各项性能比肩海外品牌，差距在于精度的保持程度，即，设备是否可以满足每一个生产出的零部件都维持同样的高标准。

国产精加工设备取得长足进展，保障国内机器人核心部件厂商扩产。国内秦川机床、宁江机床（未上市）、北平机床（未上市）目前都已具备批量生产高精度齿轮加工设备的能力。截至 2022 年 H1，秦川机床的磨齿机年产能 300 台，单台磨齿机每月可加工 1 万件汽车齿轮，可用于其 RV 减速器生产线。中大力德、双环传动也曾是秦川机床滚磨齿机的客户。宁江机床和华中数控紧密合作，设备已用于航空航天等高精度领域。

表5：磨床、齿轮加工机床是生产机器人关节零部件的核心设备

零部件加工设备	作用	图示
磨齿机	利用砂轮作为磨具加工圆柱齿轮或某些齿轮加工刀具齿面的齿轮加工机床。	

零部件加工设备	作用	图示
<p>车齿机</p>	<p>属于齿轮加工机床。利用齿轮型刀具与工件之间进行强制啮合，按空间展成法切削齿轮齿面，具有材料去除率高、成形精度高等优点</p>	
<p>螺纹磨床</p>	<p>可用于滚珠丝杠的高效精密磨削</p>	

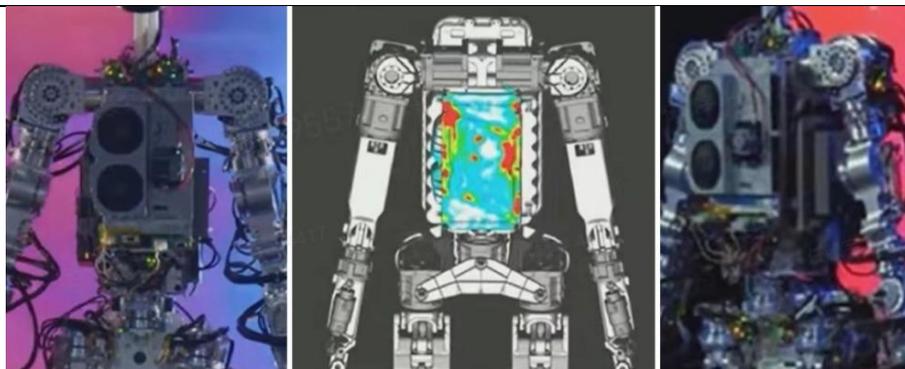
资料来源：秦川机床官网、开源证券研究所

3.5、其他零部件：电池、视觉传感性能优异

特斯拉人形机器人的电池容量 2.3kWh、动力电 52v，金属外壳保护提高安全性。电池实现小体积大容量，推测复用了汽车动力电池技术。电池与主板、散热风扇置于胸腔中。

视觉传感器硬件为左右单目相机+鱼眼相机，硬件成本较低，依赖算法。集成了汽车视觉传感的技术，实现精确的 3D 建模。工厂等部分场景有应用 GPS 传感器。

图36：特斯拉机器人电池、主板、风扇集成于胸腔中



资料来源：特斯拉 2022AI DAY

4、落地场景:先在汽车总装厂落地，后渗透至广阔 TO C 市场

4.1.1、关键时点：新车型将在墨西哥工厂生产，Optimus 或将首次批量应用

人形机器人的最终目标是成为通用型机器人，但在此之前需要先落地在固定场景进行软硬件的升级迭代。根据特斯拉机器人目前关节模组的特点，我们认为汽车总装厂有望最先开始使用人形机器人，后续逐步渗透到所有制造业工厂。目前整车制造分为冲压、焊装、涂装、总装，其中冲压、焊接、涂装自动化率较高，达到 80% 以上，以液压机和大功率机械臂为主；总装自动化率较低，因装配部件细、碎、小、轻，基本全部依赖人工。考虑到人形机器人的小体积、轻负载和视觉传感等特点，可将其安排在总装线替换人力进行搬运和装配工作。

2023 年 3 月，特斯拉官宣墨西哥超级工厂，下一代入门级车型将在此率先投产。

我们认为特斯拉机器人有望在墨西哥工厂有首次投入使用。在算法提升、供应链持续优化后，应用场景逐渐扩展到社会服务业和家庭服务业，真正发挥出其相对工业机器人的通用性优势。

图37：2023 年投资者日展示，特斯拉机器人已经可以独立行走



资料来源：特斯拉 2023 年投资者日

图38：特斯拉机器人进行拼装

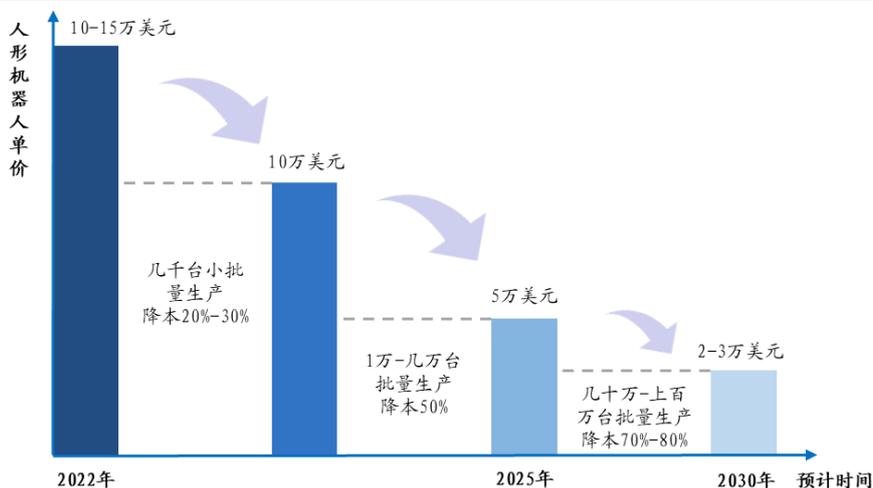


资料来源：特斯拉 2023 年投资者日

4.1.2、按量产规模不同，降本节奏分为 3 阶段

目前人形机器人成本约为 10-15 万美元左右，未来产量增加及工艺改善将降低成本。根据优必选预测，根据量产规模不同，人形机器人降本进程大致分为 3 个阶段：几千台小批量生产，降本 20%-30% 至约 10 万美元；1 万-几万台量产，降本 50% 至 5 万美元；几十万至上百万台大规模量产，降本 70%-80% 至 2-3 万美元。

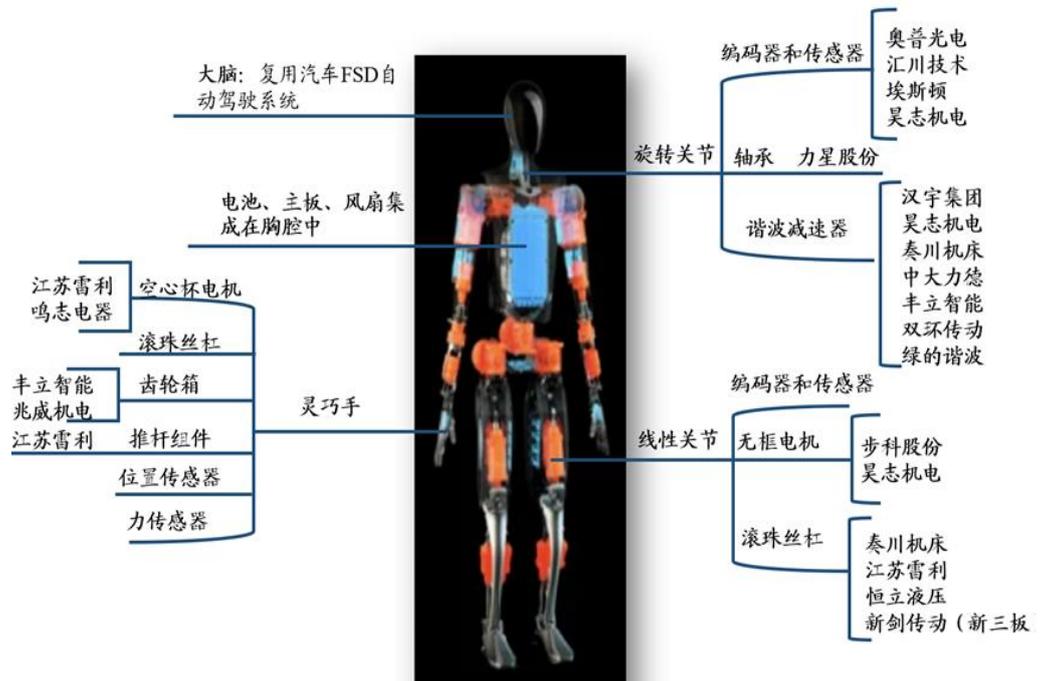
图39：预计 2030 年人形机器人成本将下降至 2-3 万美元



数据来源：优必选、开源证券研究所

5、受益标的

图40：受益标的总览



资料来源：2022 特斯拉 AI DAY、开源证券研究所 注：图中线性关节、旋转关节的使用部位仅为 一处示例

5.1、奥普光电：国内光栅编码器领军者

奥普光电主业为光电测控仪器设备、新型医疗仪器、光学材料和光栅编码器等产品的研发、生产与销售。

奥普光电持股 65% 的子公司禹衡光学前身是始建于 1965 年的长春第一光学仪器厂，是中国最早的光电编码器及光学仪器专业制造商。编码器是伺服电机内部集成的传感器，分为光编码器和磁编码器。从 1967 年制造出中国第一台工业编码器到如今国内领先的高端传感器系列，禹衡光学已实现包括金属光栅角度编码器、绝对式光栅尺（国内唯一）、旋转变压器、角度编码器、齿轮编码器及常规编码器在内的多系列光学编码器产品布局。

四大与传感器相关的国家重大专项均落户禹衡，体现出公司国内领先的技术实力。“高精度同步控制光电编码器产业化”、“高精度、高分辨力绝对式光栅旋转编码器研制”、“高集成化单码道绝对式光栅尺研发及产业化”、“高分辨率角位移传感器研制与产业化”等国家重大项目均落户禹衡。前两大项目已顺利完成验收。

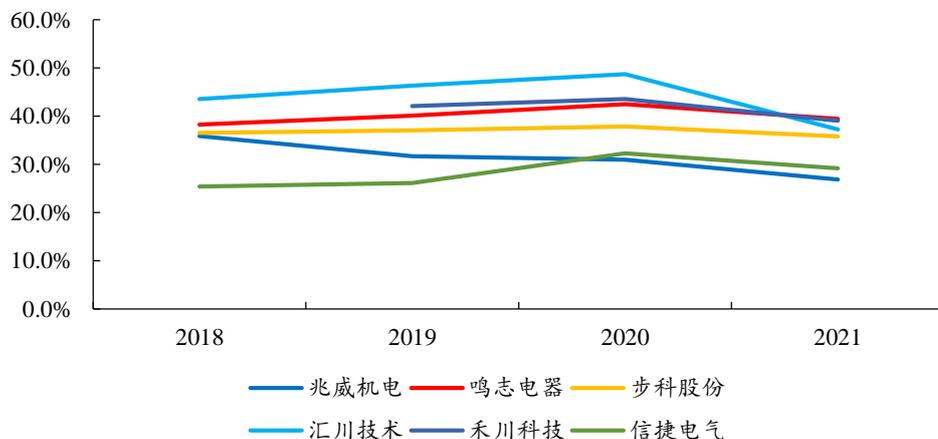
禹衡光学编码器目前跟广州数控等国内主流机器人厂家都有配套。同时，在伺服产品上面，2022 年新推出了一款应用于伺服产品的 25 位绝对式光栅编码器，精度更高、产品稳定性也更好，特别适合在协作机器人上面的使用。同时，尺寸上也变得更小，就是配合服务机器人和小型的机器人关节使用的一个产品。

5.2、汇川技术：工控行业龙头，打通工业机器人上游核心部件及中游本体链条

汇川技术是我国工业自动化领域龙头。主要为设备自动化/产线自动化/工厂自动化提供变频器、伺服系统、PLC/HMI、高性能电机、传感器、机器视觉等工业自动化核心部件及工业机器人产品。

公司全资子公司长春汇通具备光电编码器以及磁编码器自制生产能力，生产的磁编码器应用于公司自产的伺服电机，降低了伺服电机的生产成本，公司运动控制类产品的毛利率行业领先。

图41：汇川技术运控类产品毛利率领先行业



数据来源：Wind、开源证券研究所

2016 年公司收购上海莱恩开始布局滚珠丝杠，截至 2018 年 6 月控股上海莱恩 100% 的股权。2022 年 3 月，公司发布公告，拟成立全资子公司“南京汇川技术有限公司”，进行丝杠、工业机器人生产厂房及配套设施的建设，总投资不超过 16.5 亿元，拟于 2022 年 6 月开工建设。

图42：汇川技术布局除减速器外的工业机器人核心部件以及工业机器人本体



资料来源：汇川技术官网、开源证券研究所

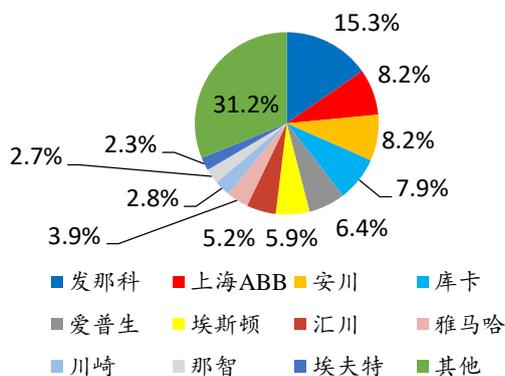
5.3、埃斯顿：掌握运动控制核心技术的国产机器人本体龙头

埃斯顿是我国工业机器人龙头，拥有“核心部件+本体+机器人集成应用”的全产业链竞争优势。核心部件包括伺服系统、PLC、HMI、编码器、数控系统。本体包括六轴通用机器人、四轴码垛机器人、SCARA 机器人以及焊接机器人，应用于涵盖于光伏、锂电、焊接、钣金折弯、冲压、压铸、木工打孔、装配、分拣、打磨、去毛刺、涂胶等。

起步期对数控系统、伺服系统核心技术的潜心研发奠定了公司成为国内工业机器人龙头的基础。公司 2002 年推出金属成形机床数控系统，2006 金属成形机床拓展机床电液伺服系统，2008 年拓展交流伺服系统，2012 年起基于自主运控技术、

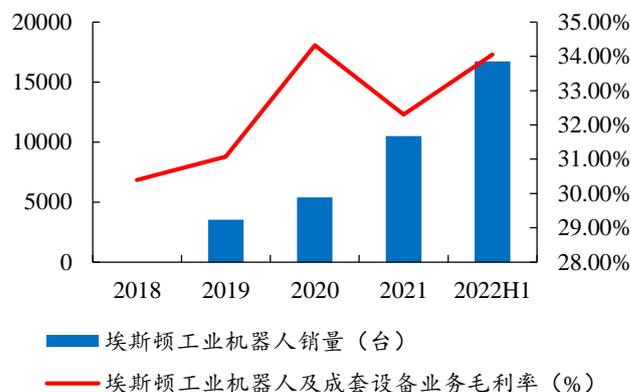
伺服技术优势进入工业机器人领域。全球工业机器人龙头发那科也是凭借对底层数控系统技术的极致掌握，牢牢守住全球工业机器人龙头的地位，毛利率水平高于同为工业机器人四大家族的安川电机及ABB。

图43: 埃斯顿是国产工业机器人龙头（销量，2022年）



数据来源: MIR、开源证券研究所

图44: 埃斯顿工业机器人销量、毛利率双升



数据来源: Wind、开源证券研究所

5.4、秦川机床：磨齿机、磨床核心标的，子公司布局滚珠丝杠

秦川机床是我国机床行业的老牌国企，是我国磨齿机龙头。历经 50 载深耕，公司在机床及核心部件领域的技术产品积淀深厚，是高端数控机床及核心部件国产替代主力军。

主营业务按产业分为机床板块、零部件板块、工具类板块和仪器仪表板块四大板块。

表6: 公司在机床主机以及核心部件滚珠丝杠、刀具、数控系统领域的产品布局

产品分类	主要产品示意图	主要用途
精密磨齿机（国产龙头）		齿轮类零件的加工
数控车床及车削中心		轴或盘套类零件、旋转体盘套类零件的车削加工
加工中心及车铣复合加工中心		壳体、阀类、盘类和箱体类、复杂曲面、多面体零件加工
秦川 QCK/QMK 列专用机床		用于特定典型难加工零件的加工。

数控螺纹磨床		螺纹磨床用于滚珠丝杠副、螺杆副、精密蜗杆等产品加工；刀片磨床用于工量具、刃具领域。蜗杆磨床用于各种齿型蜗杆的精密加工。
外圆磨床		可用于磨削多台阶或带肩面的轴类零件
滚珠丝杠		机床装备、各种机械设备、自动化行业以及汽车制造、高端装备制造等领域
滚动直线导轨		
高端复杂刀具		分为滚齿刀具、插（车）齿刀具、剃齿刀具、拉削刀具、数控刀具、螺纹刀具。主要用于各种高精度齿轮、零部件、成型面及专用零部件的加工。
数控系统		用于数控磨齿机、滚齿机、加工中心等机床控制

资料来源：公司公告、开源证券研究所

扎实推进定增项目，助推新增长。公司拟募集不超过 12.3 亿元，募集资金投资项目总投资额为 14.2 亿元，除去补充流动资金，拟向以下四个项目投入 10.6 亿元。

截至 2023 年 4 月 8 日，本次定增项目已经获得深交所审核通过，尚需经中国证监会同意注册，并由公司向深交所和中国证券登记结算有限责任公司深圳分公司申请办理股票发行和上市事宜，即可完成本次定增项目全部申报批准程序。

表7：定增项目即将落地，公司机床及核新部件产能加码助推新增长

项目名称	投入总资金（亿元）	建设内容	募投项目生产产品示意图	建设期
秦创原·秦川集团高档工业母机创新基地项目（一期）	5.9	高档数控加工中心生产基地及研发中心建设。”预计达产后新增高端五轴数控加工中心产能 235 台。		36 个月
新能源汽车领域滚动功能部件研发与产业化建设	2.0	滚珠丝杠副、滚珠（柱）导轨副数字化车间建设，计划增加滚珠丝杠/精密螺杆副产能 28 万件/年、滑动直线导轨产能 13 万米/年、配套的螺母及滑块产能 30 万件/年及 26 万件/年		36 个月
新能源乘用车零部件建设	1.5	新增发动机轴、发动机从动泵轮、泵轮、副轴等新能源汽车零部件产量合计 24 万套/年，齿轮精度达到 2~3 级		24 个月

项目名称	投入总资金(亿元)	建设内容	募投项目生产产品示意图	建设期
复杂刀具产业链强链补链赋能提升技术改造 (建设主体为汉江机床)	1.17	新建真空热处理厂房及配套设施,提升工艺,改造环保设施,新增整硬合金滚刀、插齿刀、合金及螺旋拉刀、整硬数控刀具、可转位齿轮刀具、可转位铣刀、刀具应用场景关联产品产能等 5.91 万件/年		36 个月

资料来源:秦川机床公告、开源证券研究所

5.5、恒立液压：国内液压件龙头，定增项目加码线性驱动器产能

传统业务：公司是我国液压件龙头。液压元件及系统是大型机械核心传动装置，工程机械为公司核心产品的第一大下游。下游客户包括：美国卡特彼勒、日本神钢、日立建机、久保田建机、三一、徐工、柳工、中铁工程、铁建重工等世界 500 强和全球知名主机客户。

电动缸是液压缸的升级产品，公司布局滚珠丝杠及电动缸和行星滚柱丝杠电动缸有两大核心优势。第一，公司已经前瞻性地在电动缸领域已形成相关技术积累和试产经验，2020 年之前公司已成功完成 1.25T-75T 等电动缸样品生产和验证，已向客户交付成品并实现销售。**第二，**滚珠丝杠的工件特点是加工精度高、变形要求严格，而公司凭借在液压件领域多年积累，拥有很强的精密加工制造能力，具备生产滚珠丝杠的技术、工艺和设备基础。公司也是全球范围内少数拥有自制铸件厂的液压件企业之一。

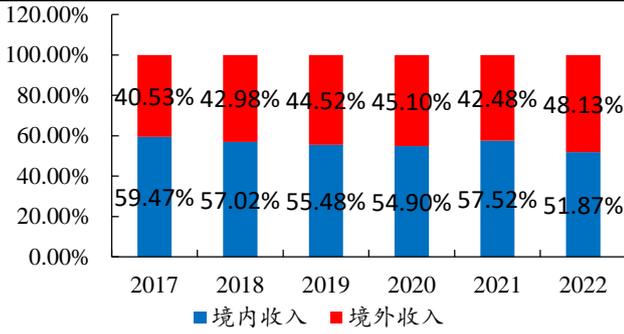
2022 年公司定增项目之一线性驱动器项目总投资 15.27 亿元，其中建设投资 14.1 亿元，该项目达产后将形成年产 104000 根标准滚珠丝杠电动缸、4500 根重载滚珠丝杠电动缸、750 根行星滚柱丝杠电动缸、100000 米标准滚珠丝杠和 100000 米重载滚珠丝杠的生产能力。

5.6、鸣志电器：海外布局最充分的国产空心杯电机供应商

鸣志电器以步进电机起家，是打破日企垄断、进入混合式步进电机全球前十的唯一一家内资企业，目前步进电机的市场份额全球前三。

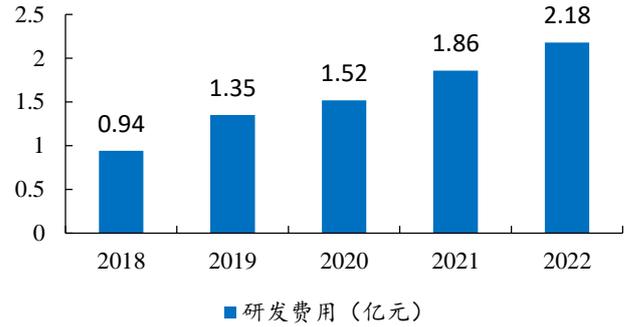
鸣志电器的核心优势在于通过对三家海外优质运控企业的收购，切入了价值量更高的空心杯电机市场，并积累了重要的海外客户资源。2022 年，鸣志电器海外收入占总收入比例的。此外，公司对研发高度重视，2020 年以来研发费用保持在 1.5 亿以上并不断增长。

图45：鸣志电器境内外市场齐头发展



数据来源：Wind、开源证券研究所

图46：公司高度重视研发

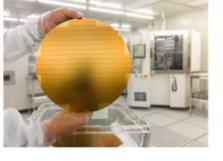


数据来源：Wind、开源证券研究所

2014-2015年，鸣志电器收购美国 AMP 和 LIN 公司，打入核心技术圈，为合作优秀人才和优质客户奠定基础。两家公司均地处硅谷附近，成立 30 余年，在北美生物医疗仪器设备、高端安防监控设备、航空航天电子设备等高附加值领域拥有重要市场份额和客户资源。LIN 具备尖端 0.9 度混合式步进电机技术，公司后续与谷歌、特斯拉的合作得益于收购了 Lin 公司。

2019 年，鸣志电器收购瑞士 Technosoft motion，扩展无刷电机、空心杯电机。T motion 早期曾为全球最强的空心杯电机企业 Maxon 代工电机，在空心杯电机、一体化无刷电机领域享有一定的 knowhow，产品广泛应用于医疗设备、半导体设备、超细微加工和机器人等领域。

图47：被收购公司在机器人、半导体、航空航天等领域有技术积累和成熟解决方案

<div style="border: 1px dashed gray; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Lin engineering</div>	 公司的混合式步进电机和 BLDC 电机作为泵驱动用于呼吸机，用于重症患者护理	 航空用步进电机满足 AS9100 标准，提供 IP65 和 IPX7 级步进电机	 航天级电机具备 AS9100D 认证
<div style="border: 1px dashed gray; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">TECHNOSOFT Motion</div>	 公司的机器人运控解决方案包括机器人外骨骼、协作机器人、AGV等	 仪器光学解决方案包括数码显微镜、激光测量系统、航拍相机、光度测量、镜片整形和抛光、自动对焦和自动变焦等	 半导体设备的运控解决方案包括原子层蚀刻、修剪和成型、拾取和放置处理程序

资料来源：各公司官网、开源证券研究所

5.7、步科股份：伺服电机实力逐步展现

步科股份是国内领先的工业自动化与工厂数字化的解决方案供应商。步科股份为移动机器人、工业机器人、新能源制造，还有医疗设备、仓储物流、机床行业提供涵盖伺服系统、PLC、步进系统、HMI 等工控部件的解决方案，其中机器人行业为公司营收主要来源。

公司全资子公司常州精纳专业从事伺服电机的研发生产。主营产品包括低压直

流伺服电机、高压直流伺服电机、无框电机、无刷电机以及可集成减速机、驱动器的一体化伺服电机五大品类。其中，无框电机主要用在协作机器人，基本可以做到和国际龙头企业性能、功率和过载能力、以及动态响应能力接近，同时成本和售价具有一定优势。

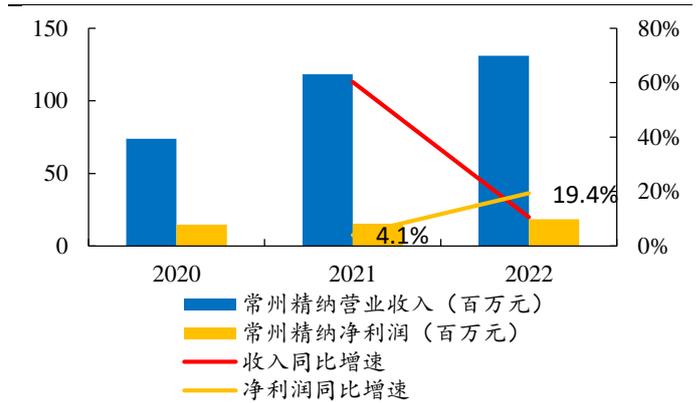
2022年，常州精纳实现营业收入 1.31 亿元，同比提升 10.6%，实现净利润 0.18 亿元，同比增长 19.4%，增速相较 2021 年提升 15.4pcts。2022 年工业自动化行业景气度较为低迷，但公司的营收、净利润逆势增长，体现出公司的产品实力不断受到客户认可，未来增长潜力较大。

图48：步科股份 146W 无框电机的额定转矩可达到 1350mNm

定子外径 (mm)	型号	额定功率(W)	额定转矩(Nm)	最大转矩(Nm)	额定转速(rpm)
52	STW52-1537D16ENL	159	0.4	1.2	3790
60	STW60-1431D16ENL	146	0.45	1.35	3100
76	STW76-2933D16ENL	293	0.85	2.55	3300
104	STW104-4529D16ENL	380	1.5	4.5	2420
132	STW132-11832D16ENL	1180	3.5	8.75	3220

资料来源：常州精纳官网、开源证券研究所

图49：2020-2022年，常州精纳净利润同比增速提升



数据来源：步科股份年报、开源证券研究所

5.8、江苏雷利：不断向高附加值领域拓展的微特电机龙头

传统业务：2017 年上市之初，公司是国内领先的家用电器微特电机及智能化组件整体解决方案提供商，空调电机及组件、洗衣机排水泵、洗衣机排水电机和冰箱电机及组件是公司的主营产品。

上市以来，公司不断拓展高附加值市场，目前形成了家电、新能源、工业控制、医疗四个板块。医疗板块主要产品包括线性执行器、直流无刷电机、音圈电机、空心杯电机，应用领域主要为呼吸机和 IVD (含宠物 IVD)。工控板块，公司布局伺服电机、伺服驱动、齿轮箱、丝杆、编码器五大产品线。新能源板块含储能和新能源车两大业务板块，其中新能源车业务含电子化与轻量化两个方向，储能板块主要产品为冷却水泵。2022H1，工控、医疗、汽车领域分别实现营业收入 1.6/1.5/1.47 亿元。

公司切入空心杯电机和丝杠的途径是对鼎智科技进行收购，鼎智科技自 2008 年成立以来便专注于精密直线运动系统，核心优势产品为丝杠组件、线性执行器。

2022 年江苏雷利实现营业收入 29 亿元，同比下降 0.57%，实现归母净利润 2.6 亿元，同比增长 6.60%。净利润上涨的原因，一方面在于公司持续加大新能源汽车电子泵、储能泵、工控电机、医疗用音圈电机、空心杯电机、激光雷达电机等产品的研发投入，改善产品销售结构，使得综合产品毛利率有所提升；另一方面子公司鼎智科技的医疗板块业务实现快速增长，使得公司盈利能力显著提升。

5.9、汉宇集团：谐波减速器后起之秀，生产效率、机电一体化实力国内领先

汉宇集团旗下控股子公司同川科技于 2012 年成立，2015 年逐步进行谐波减速器研发，核心技术与与哈默纳科一脉相承，具备正向研发实力，谐波减速器产品性能位列国内第一梯队，主要应用于工业机器人领域，**年产能达十万台级。**

规模化量产能力保障：成本低：公司使用的球墨铸铁材料成本低；**加工效率高：**加工设备车齿机、插齿机、滚齿机在**效率和精度方面极具优势**，使用相同机台数时，**公司从原材料到产成品的总时间相比国内其他厂商降低 30%**；**拥有设备采购渠道优势：**海外设备产能不足、交期延长是掣肘谐波减速器厂商产能扩张因素之一，公司在成立初期多次前往日本调研，在日积累了谐波减速器产业链资源，可以以更低的价格、更短的交期购入加工设备。

参股海伯森，延伸公司机电一体化能力，扩大潜在合作客户群体：传感器是机电一体化系统最主要也最难突破的环节，公司参股国内高端传感器龙头海伯森布局传感单元。海伯森生产的高端六维力传感器获全球协作机器人大厂丹麦优傲独家认证，首次打破在高端传感器领域的美日德垄断。优傲作为国际协作机器人头部厂商，其协作机器人产品对关节的轻量、集成有更高的要求 and 更广泛的需求。海伯森通过优傲的认证后也为同川科技带来潜在的合作契机。

5.10、绿的谐波：国内谐波减速器龙头

绿的谐波是国产谐波减速器龙头，也是国内首家量产谐波减速器的厂商。产品包括谐波减速器及金属部件、机电一体化产品及液压产品，客户包括埃斯顿、节卡智能、汇川技术、华数机器人、广州数控、新时达、埃夫特、遨博智能、亿嘉和、优必选、Universal Robots、Kollmorgen、Varian Medical System 等工业机器人和协作机器人厂商。

公司最新定增项目拟募集不超过 20.3 亿元，用于新一代精密传动装置智能制造项目的建设，项目达成后将新增新一代谐波减速器 100 万台、机电一体化执行器 20 万套的年产能，公司大规模量产的能力进一步提升。

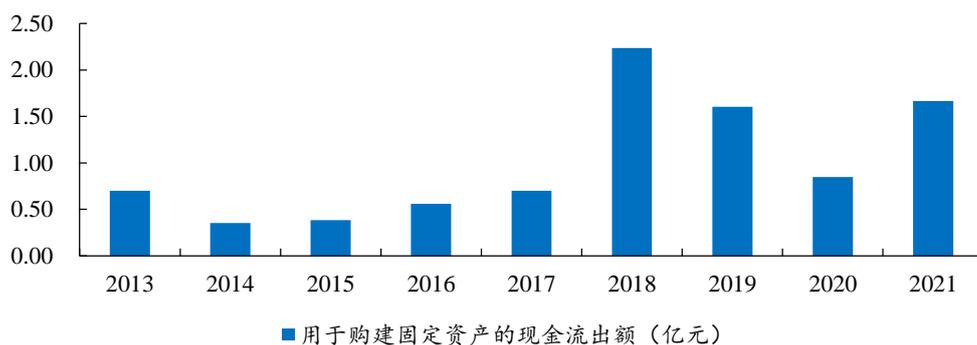
公司通过收购开始初步布局机电一体化。江苏开璇（绿的谐波控股 100%）主营 Ether CAT 总线型伺服驱动器、结构紧凑型伺服电机、无框力矩电机旋转执行器、谐波减速模组等产品。苏州麻雀（公司控股 70%）提供机器人应用集成、工业视觉系统、人机交互系统、MES、SCADA 等智能制造全方位解决方案。

5.11、中大力德：机器人运动执行部件制造的多面选手

中大力德是国内唯一同时提供精密减速器、伺服驱动，永磁直流电机和交流减速电机的机械传动控制核心部件制造商。人形机器人落地条件之一是零部件标准化，因人形机器人的零部件数量远超工业机器人，届时会带来大量、多品类的标准零部件需求。公司自制除控制器外的所有机器人核心部件，公司的多品类布局契合本体厂商需求。

公司具备非常强的制造能力，自 2000 年起做减速电机起家，发展至今形成了训练有素的生产队伍，拥有充足的设备支撑，保障公司产能扩张：公司的精密行星减速器已实现年出货量 70 万台的水平。谐波减速器大规模生产难度近似于精密行星减速器、伺服系统大规模生产难度更低。截至 2022H1，公司拥有 600 名技术熟练的生产人员，2022 年底精加工设备总量预计超过 200 台。佛山基地、可转债募投项目达产后，精密减速器（主要为 RV、谐波减速器）设计产能将达到 50 万台/年，伺服系统设计产能将达到 18 万套/年。

图50：中大力德持续投入固定资产，大量购置的设备已经摊销完毕



数据来源：Wind、开源证券研究所

5.12、昊志机电：高度稀缺的机床高端主轴、机器人关节模组供应商

数控机床：数控机床用高端电主轴技术壁垒高，昊志机电是国内第一家，也是唯一一家以高速精密电主轴及其零配件为主业的上市公司，为中高档数控机床提供自主研发、自主品牌的主轴系列产品。此外，立足主轴，公司自主研发拓展了转台、直线电机、DD 直驱电机、导轨等数控机床核心部件。

机器人：由于数控机床和工业机器人的底层技术同源，公司拓展机器人核心部件。其中，自主研发的产品包括谐波减速器、RV 减速器（正在研发中）、机器人关节模组以及末端执行机构。2020 年通过收购瑞士瑞诺集团，拓展了运动控制器、伺服电机和伺服驱动。瑞诺集团始建于 1941 年，自 1959 年以来一直专注于工业自动化及机械制造业，是享誉欧洲的工业自动化驱动及控制系统设备供应商。

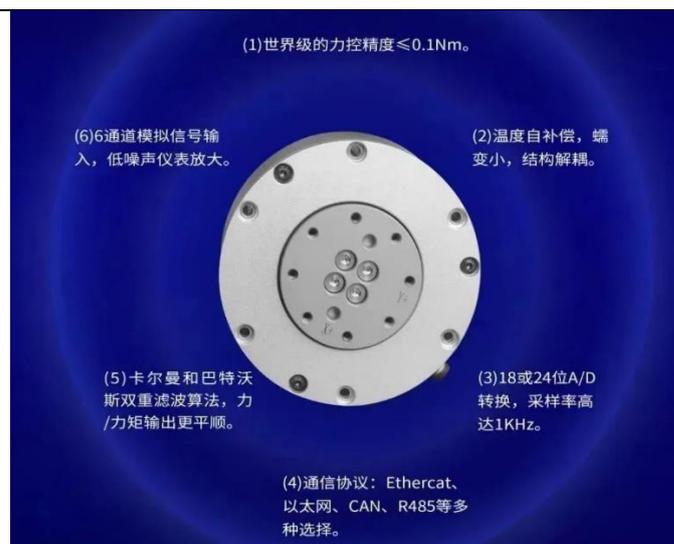
目前，公司应用于协作机器人领域的产品已形成链条，是稀缺的可以提供整个机器人关节模组和末端执行机构的企业。包括控制器（瑞士瑞诺集团以及国内控制器）、谐波减速器、DD 电机、驱动器、编码器、六维力矩传感器（机电一体化最难环节，公司已成功自主研发，体现出公司强劲的市场竞争力）。

图51：昊志机电形成了完善的协作机器人产品链条



资料来源：昊志机电微信公众号

图52：公司成功自主研发六维力矩传感器，实力彰显



数据来源：昊志机电微信公众号

对瑞士瑞诺集团的收购帮助公司加速海外市场的开拓。在瑞士、德国、法国、

西班牙、意大利、美国、英国和中国等国家均设有子公司，并且在众多新兴市场国家拥有合作伙伴，建立了遍布全球的营销渠道，并积累了丰富的客户资源和良好的市场口碑，公司正在逐步利用瑞诺集团的营销资源，加快公司业务在海外市场的开拓。

5.13、双环传动：国内精密齿轮加工领导者，布局机器人用减速器、优势复制

主业：公司是国内精密齿轮加工龙头，在精密齿轮制造领域四十余载的工艺经验积累。公司发展历程中坚持投入高端设备，并通过和设备磨合参透齿轮生产工艺，是国内少数可以大批量供应 4 级精度齿轮的厂商。在汽车齿轮领域，公司已绑定采埃孚、一汽、上汽、广汽、通用和福特等客户。

机器人用减速器业务：RV 减速器和齿轮制造技术同源，公司前期产能扩张的设备投入也可保障减速器稳定扩产。公司也正在进行谐波减速器的研发，RV 减速器制造难度比谐波减速器大，公司具备技术路径优势。

5.14、丰立智能：国内高端电动工具用齿轮龙头，谐波减速器带来新增增长

传统业务：钢齿轮、齿轮箱及零部件、精密机械件、粉末冶金制品以及气动工具的研发、生产及销售，产品定位中高端，下游为电动工具行业。丰立智能已与博世集团、史丹利百得、牧田、创科实业等电动工具行业国际龙头建立了长期稳定的合作关系，产品实力得到验证。

谐波减速器业务：2015 年公司拿到博世全球的优秀供应商，博世出于商业考虑，培育丰立做小微精密减速器。有了博世的培养，再加上公司掌握齿轮制造技术，向精密减速器延伸存在技术优势，公司开始陆续向百得、牧田、日立供货。

2022 年上市募投项目之一的齿轮箱升级及改造项目拟投资 1.1 万元，项目达产后，预计将新增电动工具减速器产能 205 万件，精密谐波减速器产能 3.5 万件。

5.15、力星股份：国内精密轴承钢球龙头

力星股份的核心产品为轴承滚动体，包括轴承钢球和轴承滚子。轴承钢球广泛应用于机动车制造领域、精密机床、轻工家电、风力发电、工程机械、航空设备以及其他通用机械设备制造领域中所需的各类轴承中；**滚子**由于接触面广，极限转速低，主要应用于轨道交通、盾构机、风电主轴、重卡等负荷能力要求较高的领域。

公司是国内精密轴承钢球领域龙头。公司的轴承钢球销售收入连续多年排名国内第一，是目前国内唯一一家进入国际八大轴承制造商采购体系的内资企业，供货给全球最大轴承制造商瑞典斯凯孚集团。

陶瓷球产品是公司重点产业化推进项目，初期目标市场为新能源汽车领域。陶瓷球解决了电驱系统性能提升的问题，主要体现在提速、稳定性（温升变化小、噪音、寿命）、绝缘（安全性）等方面，对新能源汽车的性能改善起关键作用。由于工艺复杂，高端产品稀缺，目前市场同尺寸陶瓷球价格是钢球的几百倍。目前，公司陶瓷球产能仍在建设。

根据公司 2022 年半年报，力星股份的 II 级轴承滚子已开始大批量生产，I 级轴承滚子也已通过国家轴承质量监督检测中心检测，开始小批量生产，未来滚子业

务将成为公司利润的主要增长点之一。

表8：站在特斯拉机器人产业化落地起点，国产厂商增长动能充沛

证券代码	公司简称	评级	收盘价 (元)	EPS			PE		
				2023E	2024E	2025E	2023E	2024E	2025E
002338.SZ	奥普光电	未评级	30.51	0.84	1.19	1.67	36.25	25.69	18.31
300124.SZ	汇川技术	未评级	58.70	1.98	2.53	3.16	29.68	23.23	18.56
002747.SZ	埃斯顿	未评级	23.63	0.34	0.56	0.86	68.61	42.08	27.61
000837.SZ	秦川机床	未评级	11.86	0.40	0.52	0.64	29.96	22.89	18.45
601100.SH	恒立液压	未评级	57.20	2.02	2.43	2.91	28.29	23.54	19.66
603728.SH	鸣志电器	未评级	44.12	0.99	1.51	2.09	44.53	29.18	21.15
688160.SH	步科股份	未评级	36.22	1.37	1.77	2.28	26.46	20.45	15.89
300660.SZ	江苏雷利	未评级	27.93	1.34	1.77	2.13	20.83	15.82	13.14
300403.SZ	汉宇集团	未评级	7.36	0.38	0.42	-	19.21	17.47	-
688017.SH	绿的谐波	未评级	127.71	1.47	2.02	2.70	87.14	63.20	47.36
002896.SZ	中大力德	买入	22.67	0.65	0.98	1.25	38.50	25.50	20,10
300503.SZ	昊志机电	未评级	8.77	1.02	-	-	-	-	-
002472.SZ	双环传动	未评级	23.91	0.94	1.23	1.58	25.34	19.37	15.09
301368.SZ	丰立智能	未评级	22.97	-	-	-	-	-	-
300421.SZ	力星股份	未评级	11.54	0.66	0.99	1.28	17.46	11.62	8.98

资料来源：Wind、开源证券研究所 注：中大力德盈利预测来自开源证券研究所，其他来自 Wind 一致预期 收盘日为 2023 年 5 月 17 日

6、风险提示

特斯拉机器人迭代进度不及预期、特斯拉机器人进入汽车厂开始使用的进度不及预期、中国企业进入特斯拉供应链进程不及预期。

特别声明

《证券期货投资者适当性管理办法》、《证券经营机构投资者适当性管理实施指引（试行）》已于2017年7月1日起正式实施。根据上述规定，开源证券评定此研报的风险等级为R3（中风险），因此通过公共平台推送的研报其适用的投资者类别仅限定为专业投资者及风险承受能力为C3、C4、C5的普通投资者。若您并非专业投资者及风险承受能力为C3、C4、C5的普通投资者，请取消阅读，请勿收藏、接收或使用本研报中的任何信息。因此受限于访问权限的设置，若给您造成不便，烦请见谅！感谢您给予的理解与配合。

分析师承诺

负责准备本报告以及撰写本报告的所有研究分析师或工作人员在此保证，本研究报告中关于任何发行商或证券所发表的观点均如实反映分析人员的个人观点。负责准备本报告的分析师获取报酬的评判因素包括研究的质量和准确性、客户的反馈、竞争性因素以及开源证券股份有限公司的整体收益。所有研究分析师或工作人员保证他们报酬的任何一部分不曾与，不与，也将不会与本报告中具体的推荐意见或观点有直接或间接的联系。

股票投资评级说明

	评级	说明
证券评级	买入（Buy）	预计相对强于市场表现 20% 以上；
	增持（outperform）	预计相对强于市场表现 5%~20%；
	中性（Neutral）	预计相对市场表现在 -5%~+5% 之间波动；
	减持	预计相对弱于市场表现 5% 以下。
行业评级	看好（overweight）	预计行业超越整体市场表现；
	中性（Neutral）	预计行业与整体市场表现基本持平；
	看淡	预计行业弱于整体市场表现。

备注：评级标准为以报告日后的 6~12 个月内，证券相对于市场基准指数的涨跌幅表现，其中 A 股基准指数为沪深 300 指数、港股基准指数为恒生指数、新三板基准指数为三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）、美股基准指数为标普 500 或纳斯达克综合指数。我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重建议；投资者买入或者卖出证券的决定取决于个人的实际情况，比如当前的持仓结构以及其他需要考虑的因素。投资者应阅读整篇报告，以获取比较完整的观点与信息，不应仅仅依靠投资评级来推断结论。

分析、估值方法的局限性说明

本报告所包含的分析基于各种假设，不同假设可能导致分析结果出现重大不同。本报告采用的各种估值方法及模型均有其局限性，估值结果不保证所涉及证券能够在该价格交易。

法律声明

开源证券股份有限公司是经中国证监会批准设立的证券经营机构，已具备证券投资咨询业务资格。

本报告仅供开源证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的机构或个人客户（以下简称“客户”）使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。本报告是发送给开源证券客户的，属于商业秘密材料，只有开源证券客户才能参考或使用，如接收人并非开源证券客户，请及时退回并删除。

本报告是基于本公司认为可靠的已公开信息，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、工具、意见及推测只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买证券或其他金融工具的邀请或向人做出邀请。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。客户应当考虑到本公司可能存在可能影响本报告客观性的利益冲突，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。本报告中所指的投资及服务可能不适合个别客户，不构成客户私人咨询建议。本公司未确保本报告充分考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需要。本公司建议客户应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。若本报告的接收人非本公司的客户，应在基于本报告做出任何投资决定或就本报告要求任何解释前咨询独立投资顾问。

本报告可能附带其它网站的地址或超级链接，对于可能涉及的开源证券网站以外的地址或超级链接，开源证券不对其内容负责。本报告提供这些地址或超级链接的目的纯粹是为了客户使用方便，链接网站的内容不构成本报告的任何部分，客户需自行承担浏览这些网站的费用或风险。

开源证券在法律允许的情况下可参与、投资或持有本报告涉及的证券或进行证券交易，或向本报告涉及的公司提供或争取提供包括投资银行业务在内的服务或业务支持。开源证券可能与本报告涉及的公司之间存在业务关系，并无需事先或在获得业务关系后通知客户。

本报告的版权归本公司所有。本公司对本报告保留一切权利。除非另有书面显示，否则本报告中的所有材料的版权均属本公司。未经本公司事先书面授权，本报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。

开源证券研究所

上海

地址：上海市浦东新区世纪大道1788号陆家嘴金控广场1号楼10层

邮编：200120

邮箱：research@kysec.cn

北京

地址：北京市西城区西直门外大街18号金贸大厦C2座9层

邮编：100044

邮箱：research@kysec.cn

深圳

地址：深圳市福田区金田路2030号卓越世纪中心1号楼45层

邮编：518000

邮箱：research@kysec.cn

西安

地址：西安市高新区锦业路1号都市之门B座5层

邮编：710065

邮箱：research@kysec.cn