

评级： 看好

核心观点

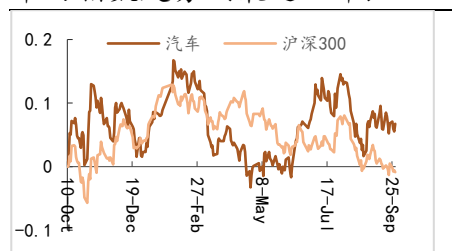
岳清慧

汽车首席分析师

SAC 执证编号：S0110521050003

yueqinghui@sczq.com.cn

市场指数走势（最近 1 年）



资料来源：聚源数据

相关研究

- 汽车行业周报：小鹏新 G9 性价比提升，蔚来科技日多项新技术发布
- 汽车行业周报：国产电车出口加速，欧盟反补贴调查启动
- 汽车行业周报：8 月汽车销量创同期新高，自主品牌出口表现强劲

- **马斯克伟大畅想，特斯拉长期价值来源人形机器人：**马斯克仅用 6 个月时间将特斯拉人形机器人从概念走向现实，随后 8 个月最新版本人形机器人推出，已体现出精准控制力和探索并记忆环境功能。马斯克在 2023 特斯拉股东大会上强调：“如果按照人和机器人的数量为 2:1 比例的话，机器人的需求会远远超过车，特斯拉的长期价值，其大部分价值将是擎天柱。”
- **解构特斯拉人形机器人，硬件具有 28 个自由度，软件与车端共享数据：**
硬件：Optimus 躯干有 28 个驱动器，14 个旋转关节执行器采用无框电机、谐波减速器、传感器、编码器等，14 个直线关节执行器采用无框电机、行星滚珠丝杠、传感器、编码器等。**软件：**FSD 自动驾驶+Dojo 大脑。FSD 自动系统已储备海量数据，人形机器人与电车共享数据源。同时特斯拉超算 Dojo 发布，可进行大规模 AI 训练，加速 FSD 迭代。
- **三重优势，看好人形机器人广阔蓝海市场：**1) **广泛 To C 市场，远期市场规模达万亿：**人形机器人基于通用大模型计算学习，不限制固定应用领域，运转时可根据指令生成相关代码并自主学习周遭环境。从专用到通用场景的升级，人形机器人有望打开机器人应用场景，远期市场空间大。2) **数据引擎自成闭环，迭代和进化速度快：**特斯拉人形机器人和自动驾驶汽车都使用占用网络遵循“感知-认知-决策-执行”的运行逻辑，数据引擎自成闭环，驱动迭代开发。3) **与电车技术同源，降本能力强：**与电车技术同源利于降本，成熟供应链可直接迁移。
- **快速响应、降本增效，关注国产供应链增量机会：**机器人躯干执行器核心零部件为精密减速机、行星滚珠丝杠等。1) **精密减速机：**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。按单个谐波减速器 1300 元计算，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 182 亿元。国产厂商受益于技术进步，加大减速器投资，部分厂商有望实现进口替代。2) **行星滚珠丝杠：**特斯拉首次把行星滚珠丝杠用在人形机器人端，国内行星滚珠丝杠目前还处于早期阶段，生产难度较大，随国内头部企业持续送样，外资主导行业竞争格局有望快速打破，行业有望迎来新的成长机遇。
- **重点关注拥有核心部件制造、进口替代能力企业：**
1) 拓普集团：平台型 tier0.5 供应商，机器人执行器项目进展顺利。
2) 三花智控：热管理龙头研发能力强，聚焦机器人执行电机。
3) 双环传动：减速器业务发力，享受机器人时代红利。
4) 贝斯特：自研高精度滚珠丝杠副，直线滚动部件已具备成熟优势。
5) 精锻科技：精锻齿轮龙头，加速布局差速器总成。
- **风险提示：**人形机器人产业化不及预期，供应链国产化进程不及预期，重点关注公司业绩不及预期。

目录

1 特斯拉发布人形机器人，宏伟蓝图计划尽显	1
1.1 马斯克伟大畅想	1
1.2 解构 Optimus	2
1.2.1 硬件：Optimus 具有 28 个自由度，可演绎多高难度动作	2
1.2.2 软件：FSD 自动驾驶 + Dojo 大脑，与电车共享数据源	3
1.3 多重优势，看好人形机器人广阔蓝海市场	5
2 优势一：广泛 To C 市场，人形机器人赛道远期市场规模达万亿	5
2.1 人形机器人具有场景通用性，可广泛运用多种工作场景	5
2.2 AI 赋能，多场景远期空间大	6
3 优势二：数据引擎自成闭环，迭代进化速度快	7
3.1 纯视觉解决方案，硬件造价低，技术门槛高	7
3.2 强化自动标注+训练能力，海量数据集自成闭环，追求高效	7
4 优势三：与电车技术同源利于降本，成熟供应链可直接迁移	8
4.1 与电车技术同源，降本核心为中国零部件供应链	8
5 产业链梳理：快速响应+降本增效，国产供应链增量机会	9
5.1 Optimus 价值量拆解，核心为精密减速机、行星滚柱丝杠、空心杯电机和编码器	9
5.2 旋转执行器核心部件：谐波减速器	10
5.2.1 谐波减速器由波发生器、柔轮和刚轮三部分构成	10
5.2.2 广泛应用于轻负载，优势显著	11
5.2.3 海外企业垄断，市场空间复合增速达 19%	13
5.2.4 国产厂商受益增量需求，持续进口替代	15
5.3 线性执行器核心部件：行星滚柱丝杠	15
5.3.1 行星滚珠丝杠将旋转运动和直线运动相互转化	15
5.3.2 行星滚柱丝杠精确、稳定与高效操控优势明显	16
5.3.3 外资厂商主导，机器人带来增量空间	17
5.3.4 首次用于人形机器人端，国内厂商受益	18
6 重点关注拥有核心部件制造、进口替代能力企业	18
6.1 拓普集团：平台型 tier0.5 供应商，机器人执行器项目进展顺利	18
6.2 三花智控：热管理龙头研发能力强，聚焦机器人执行电机	19
6.3 双环传动：减速器业务发力，享受机器人时代红利	20
6.4 贝斯特：自研高精度滚珠丝杠副，直线滚动部件已具备成熟优势	22
6.5 精锻科技：精锻齿轮龙头，加速布局差速器总成	23
7 风险提示	24

插图目录

图 1 特斯拉 Optimus 示意图	1
图 2 特斯拉 Optimus 电机转矩控制精密度高	2
图 3 特斯拉 Optimus 探索并记忆环境	2
图 4 Optimus 硬件构造	2
图 5 6 种执行器设计	3
图 6 特斯拉已储备海量数据	4

图 7 超级计算平台 Dojo 算力提升趋势	4
图 8 大模型神经网络训练数量增加	6
图 9 FSD 自动驾驶系统采用占用网络模型	7
图 10 数据引擎自成闭环	8
图 11 特斯拉 Optimus 与车共用底层模块	9
图 12 机器人上中下游示意图	9
图 13 旋转关节执行器拆解	10
图 14 谐波减速器拆解	11
图 15 谐波减速器原理	11
图 16 2017-2025 年全球机器人谐波减速器市场规模情况	14
图 17 行星滚柱丝杠	15
图 18 线性关节使用行星滚珠丝杠	16
图 19 滚柱丝杠可替代滚珠丝杠和液压传动	16
图 20 行星滚柱丝杠应用领域广	17
图 21 公司营收及同比变化趋势（亿元）	19
图 22 公司归母净利润及同比变化趋势（亿元）	19
图 23 公司营收同比变化趋势（亿元）	20
图 24 公司归母净利润同比变化趋势（亿元）	20
图 25 公司部分产品示意图	21
图 26 公司营收同比变化趋势（亿元）	22
图 27 公司归母净利润同比变化趋势（亿元）	22
图 28 公司工装夹具产品示意图	22
图 29 公司营收及同比变化趋势（亿元）	23
图 30 公司归母净利润及同比变化趋势（亿元）	23
图 31 公司营收及同比变化趋势（亿元）	23
图 32 公司归母净利润及同比变化趋势（亿元）	23

表格目录

表 1 人形机器人具有场景通用性	5
表 2 谐波减速器与 RV 减速器对比	12
表 3 谐波减速器与普通减速器相比优势明显	13
表 4 全球谐波减速器竞争格局	14
表 5 公司九大平台线	18
表 6 拓普集团运动执行器市场空间测算（亿元）	19
表 7 三花智控运动执行器市场空间测算（亿元）	20

1 特斯拉发布人形机器人，宏伟蓝图计划尽显

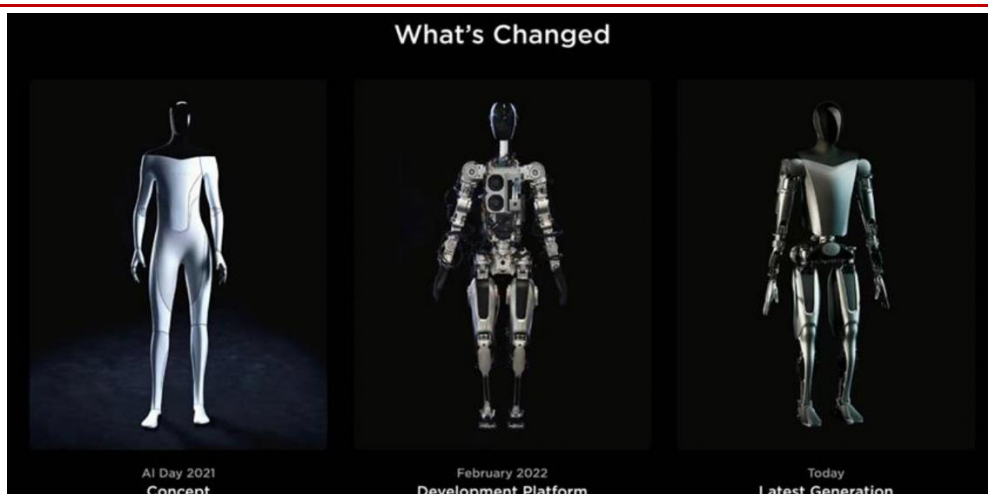
1.1 马斯克伟大畅想

概念机：2021 年 8 月，马斯克在首届 AI DAY 上发布特斯拉人形机器人 Tesla Bot。

原型机：2022 年特斯拉 AI DAY 上，人形机器人 Optimus 首次亮相。从步态行走技术来看，Tesla Bot 在 2022 年 4 月完成第一次步态行走，其后在 6 月、8 月、9 月持续完善行走功能。从功能来看，2022 年 10 月，Tesla Bot 具备了一定的抓取、搬运、上下料功能。

原型机新版本：特斯拉 2023 年度股东大会上，马斯克现场展示了 Optimus 最新的流畅行走、协同行走、识别并记忆周边环境等功能，并能在工厂中执行简单任务。本次股东大会上，Optimus 展示了双手处理复杂任务的能力，这是当前人形机器人较难做到的一部分。

图 1 特斯拉 Optimus 示意图



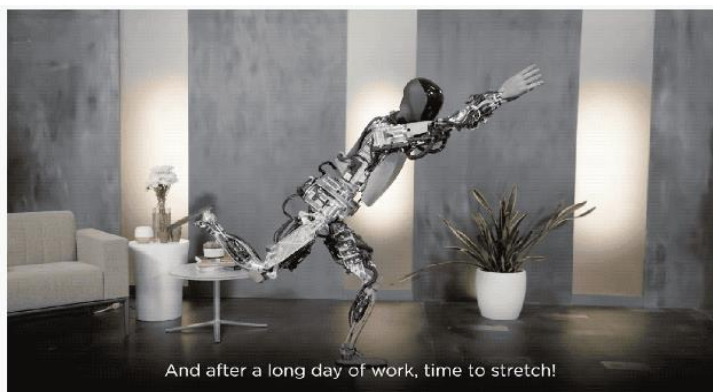
资料来源：特斯拉 AI DAY 2022，首创证券

仅 6 个月时间 Tesla Bot 从概念走向现实，随后 8 个月实现最新版本 Optimus 推出，多版本迭代速度快，最新版 Optimus 体现出：

1) 精准控制力：Tesla Bot 电机转矩控制精密度提高，能够在运动过程中执行多种任务，包括视觉分类积木和简单瑜伽动作。

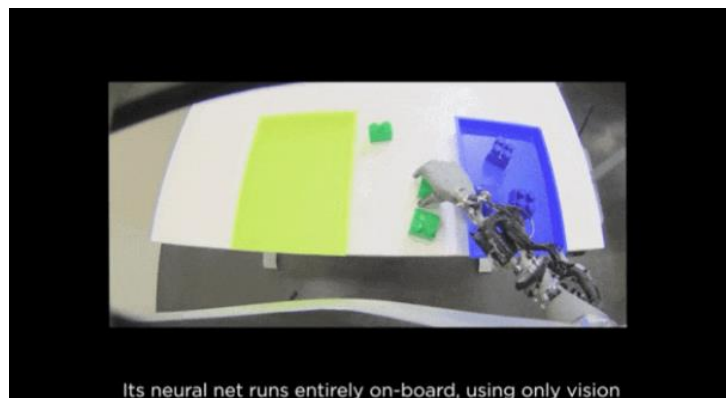
2) 精确神经网络视觉能力：目前特斯拉汽车的 FSD(全自动驾驶)系统和人形机器人的底层模块已经打通，人形机器人可以使用 FSD 构建强大的视觉系统。Optimus 拥有了自我校准手臂和腿部的能力，仅使用视觉和关节位置编码器，可在空间中精准定位自己的肢体。

图 2 特斯拉 Optimus 电机转矩控制精密度高



资料来源：特斯拉机器人推特官方账号，首创证券

图 3 特斯拉 Optimus 探索并记忆环境



资料来源：特斯拉机器人推特官方账号，首创证券

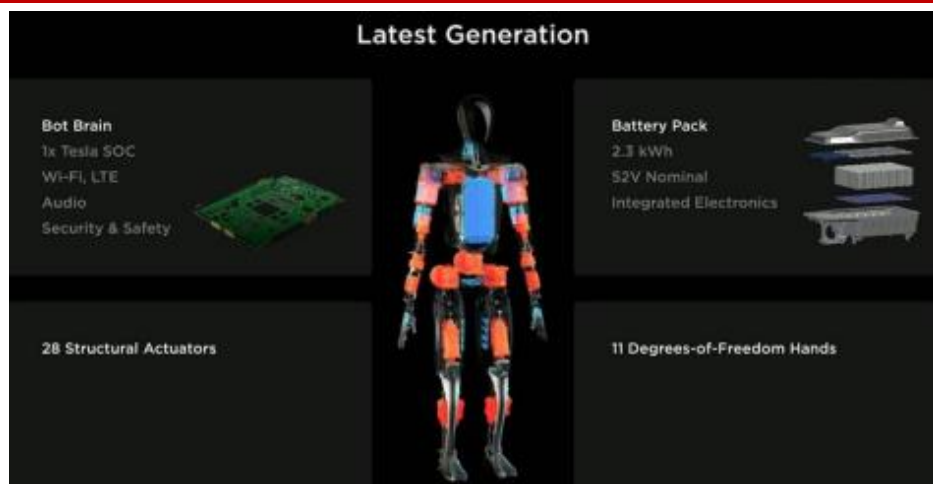
远期规划宏大，长期价值有望超越电动车。人形机器人是通用型机器人，将在工厂、服务业、家庭等各个场景替代人工。马斯克在 2023 特斯拉股东大会上对于人形机器人的长期空间做出了乐观的预测，他强调：“如果按照人和机器人的数量为 2:1 比例的话，机器人的需求会远远超过车，特斯拉的长期价值，其大部分价值将是擎天柱。”

1.2 解构 Optimus

1.2.1 硬件：Optimus 具有 28 个自由度，可演绎多高难度动作

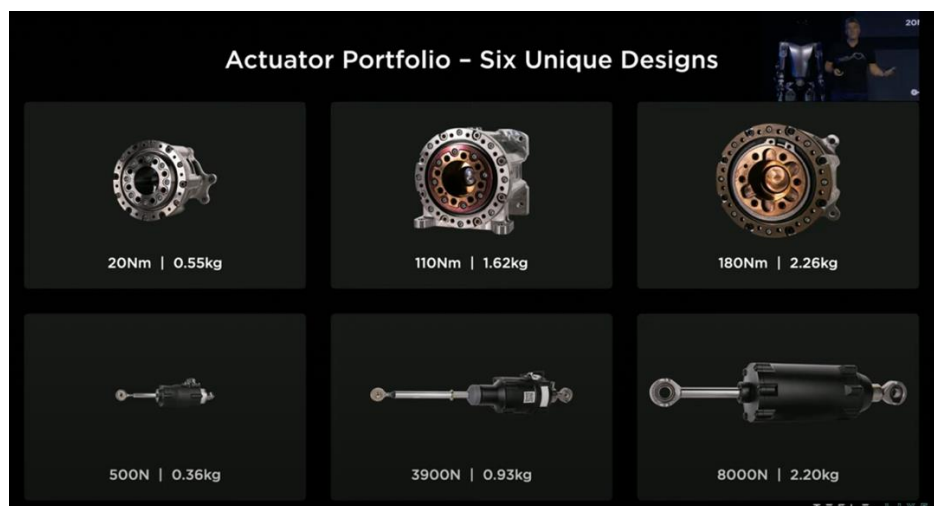
特斯拉人形机器人借鉴汽车设计经验，将从传感到融合、再到充电管理都汇集到这一系统内。机器人躯干处搭载了 2.3kWh、52V 电池包，集成充电管理、传感器和冷却系统。机械结构上，Optimus 拥有 28 个身体执行器，模拟人类关节与肌肉形态，形成旋转关节和线性关节演绎类人动作；灵巧手中单手拥有 6 个执行器，11 个自由度，采用金属肌腱带动机器人精确抓住小而薄的物体。

图 4 Optimus 硬件构造



资料来源：特斯拉 AI DAY 2022，首创证券

图 56 种执行器设计



资料来源：特斯拉 AI DAY 2022，首创证券

1.2.2 软件：FSD 自动驾驶 + Dojo 大脑，与电车共享数据源

特斯拉 FSD 系统已储备海量数据，人形机器人与电车共享数据源。电车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。特斯拉打通了 FSD 和机器人的底层模块，实现了一定程度的算法复用，Optimus 可共享已有的大量 FSD 数据。2022 年 FSD beta 测试版本使用量已由 2000 辆车提升到 16 万辆车。特斯拉计划于 22 年底向全部地区推出 FSD beta，目前测试版软件的累计行驶里程已经突破 4000 万英里，至 22 年底数据量将大幅提升，有望超过 1 亿英里。

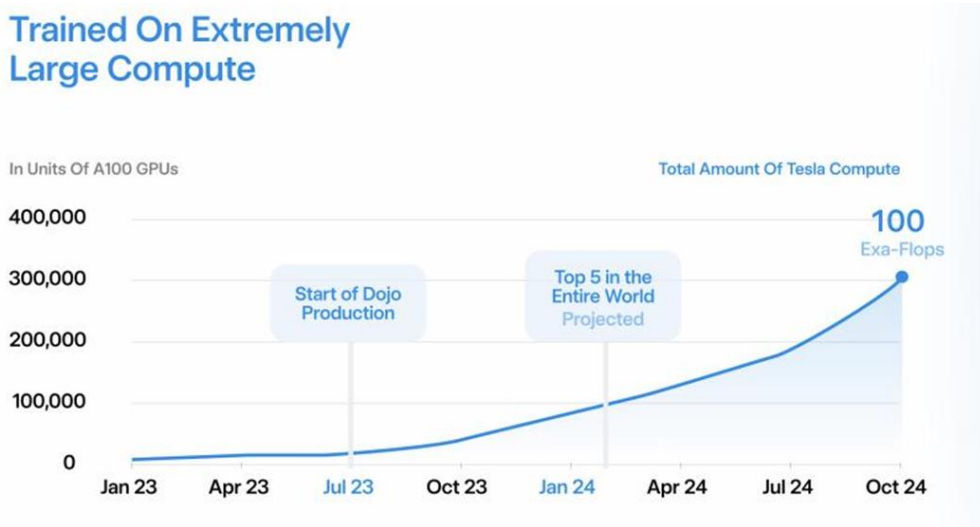
图 6 特斯拉已储备海量数据



资料来源：特斯拉 AI DAY 2022，首创证券

Tesla 超算 Dojo 发布, 可进行大规模 AI 训练, 加速 FSD 迭代。Optimus 大脑使用超算集群 Dojo, Tesla AI 公布 7 月 Dojo 已正式投产, Dojo 加入了更多计算模块以换取更高的算力和效率, 特斯拉算力将进入快速增长期。每个 Dojo 集成了 120 个训练模块, 内置 3000 个 D1 芯片, 将有超过 100 万个训练节点。特斯拉推特官方账号 TESLA AI 预计, 2024 年 2 月特斯拉的算力规模将进入全球前五, 2024 年 10 月特斯拉的算力总规模将达到 100 Exa-Flops, 相当于 30 万块英伟达 A100 显卡的算力总和。Dojo 能够处理庞大数据量, 一方面加速特斯拉的 Autopilot 和 FSD 系统的迭代, 另一方面为 Optimus 提供算力支持。

图 7 超级计算平台 Dojo 算力提升趋势



资料来源：特斯拉 AI DAY 2022，首创证券

1.3 多重优势，看好人形机器人广阔蓝海市场

政策支持，通用人工智能发展有望加速。北京市发布《北京市促进通用人工智能创新发展的若干措施(2023-2025年)(征求意见稿)》，其中提出探索具身智能、通用智能体和类脑智能等通用人工智能新路径，包括推动具身智能系统研究及应用，突破机器人在开放环境、泛化场景、连续任务等复杂条件下的感知、认知、决策技术。

行业演变，推动具身智能发展。5月17日，英伟达创始人兼首席执行官黄仁勋在ITFWorld2023半导体大会表示，人工智能下一个浪潮将是“具身智能”。同时他也公布了Nvidia VIMA多模态具身人工智能系统，能够在视觉文本提示的指导下执行复杂的任务。具身智能是将智能算法与机器人的感知、行动和环境交互等能力结合，使机器人以更自然、更智能的方式与周边环境进行交互并完成任务。马斯克也表示通用型AI算法未来将长期支持的特斯拉机器人发展。因此，人形机器人能够和具身智能非常好地结合，是具身智能的终极形态。

产品端原型机方案基本确立，特斯拉迈出关键的第一步。特斯拉人形机器人原型机方案基本确立，后面进入验证和小批量量产阶段，有望快速迎来量产落地，机器人行业将迎来整体性机会。我们认为特斯拉人形机器人的优势在于：1) **广泛To C市场**：人形机器人基于通用大模型计算学习，不限制固定应用领域，运转时可根据指令生成相关代码并自主学习周遭环境。从专用到通用场景的升级，人形机器人有望打开机器人应用场景，远期市场空间大。2) **迭代和进化速度快**：特斯拉人形机器人和自动驾驶汽车都使用占用网络遵循“感知-认知-决策-执行”的运行逻辑，数据引擎自成闭环，驱动迭代开发。3) **降本能力强**：与电车技术同源利于降本，成熟供应链可直接迁移。

2 优势一：广泛 To C 市场，人形机器人赛道远期市场规模达万亿

2.1 人形机器人具有场景通用性，可广泛运用多种工作场景

人形机器人打开通用场景大门，在特种工作场景具有不可替代性。相比工业机器人，人形机器人使用场景具有通用性，理论上能完成所有人类进行的非标任务，可被赋予更多商业价值。人形机器人的优势在于具有较高的行动灵活性和较强的环境适应能力，并具有直接交互对话能力，可运用在多种场景和广泛C端市场，在特种工作场景具有不可替代性。

表 1 人形机器人具有场景通用性

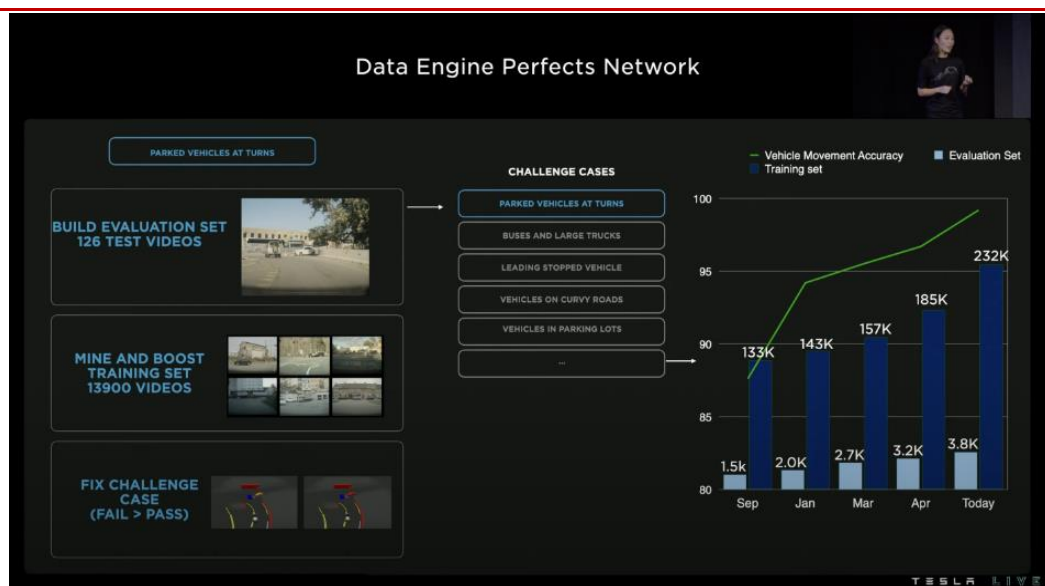
优点	原因
可编程	机器人的控制需要一系列技术手段，包括机器人控制系统的设计、机器人的精确定位、机器人的动力学模型建立、机器人的控制算法设计等。
拟人化	人形机器人能够和具身智能非常好地结合，是具身智能的终极形态
通用性	较高的行动灵活性和较强的环境适应能力，可执行危险、重复或枯燥的工作

资料来源：人民网，首创证券

2.2 AI 赋能，多场景远期空间大

AI 赋能感知能力、思考和决策能力，机器人更加通用。1) 感知：一方面，大模型的强拟合能力使得人形机器人在进行目标识别、避障、三维重建、等任务时拥有更高的精确度；另一方面，大模型基于海量数据，提升场景泛化效果。2) 思考和决策：大模型让机器人拥有常识，从而具备通用性去完成各种任务，彻底改变通用机器人实现的模式。

图 8 大模型神经网络训练数量增加



资料来源：特斯拉 AI DAY 2022，首创证券

人形机器人商业化未来可期，蓝海市场远期空间大。根据优必选招股书，预期 2026 年全球人形机器人解决方案市场规模将达到 80 亿美元。高工机器人产业研究所 (GGII) 预计，2026 年全球人形机器人在服务机器人中的渗透率有望达到 3.5%，市场规模超 20 亿美元，到 2030 年，全球市场规模有望突破 200 亿美元。

3 优势二：数据引擎自成闭环，迭代进化速度快

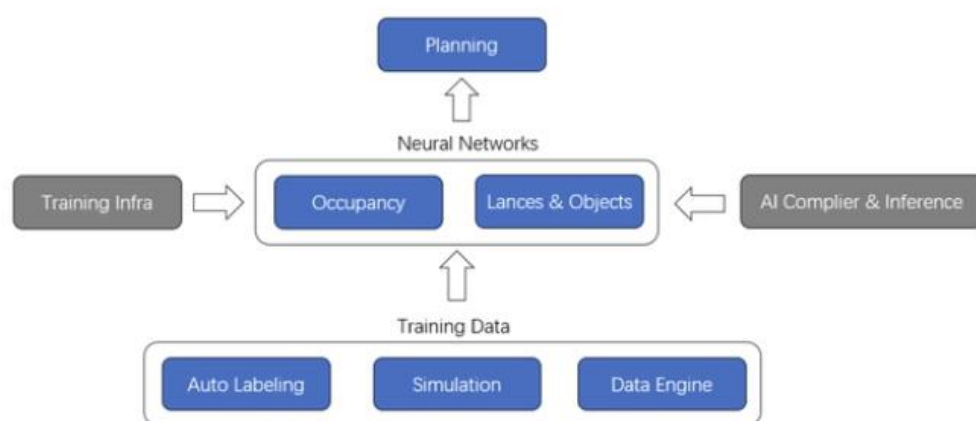
3.1 纯视觉解决方案，硬件造价低，技术门槛高

特斯拉采用纯视觉解决方案，技术突破造就高壁垒。纵观国内外自动驾驶公司解决方案主要分为两大路线：1) 特斯拉纯视觉方案；2) 其他公司多模态（雷达、相机）融合方案。特斯拉 Optimus 将会使用“Occupancy Network”占用网络从纯视觉方案出发解决通用障碍物检测来识别可行动区域。占用网络是一种新的三维重建方法，可隐式地将三维曲面表示为深度神经网络分类器的连续决策边界。占用网络优势如下：

- 1) 硬件造价低，技术门槛较高
- 2) 通用障碍物检测具备良好的泛化能力
- 3) 视觉图像相较于雷达更为精确，数据源角度上限更高

通过占用网络，特斯拉可以把一些当前场景下遮挡静止物体和动态物体也用体块来表示出来，这样就增加了特斯拉的视野域，让特斯拉可以对接下来路径规划有了更多信息。

图 9 FSD 自动驾驶系统采用占用网络模型



资料来源：特斯拉 AI DAY 2022，首创证券

3.2 强化自动标注+训练能力，海量数据集自成闭环，追求高效

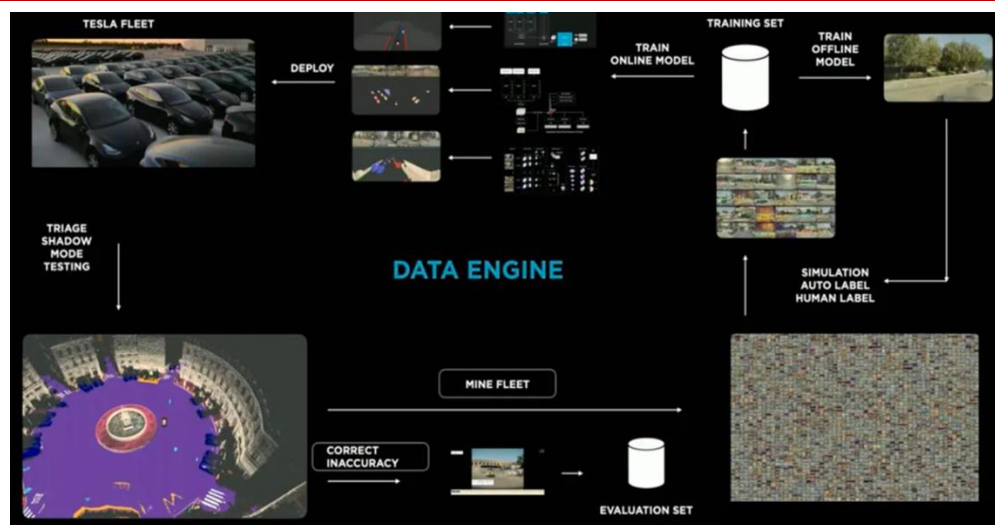
强化自动标注和训练能力，数据集自成闭环。对于深度学习，为了让模型不断扩张感知领域，就需要不断将路面上可能出现目标类别添加数据集来重新训练模型。数据引擎是特斯拉数据驱动系统的一部分，另外两个部分分别为自动标注系统和仿真系统。

- 1) 通过数据引擎，采集到的高价值数据将被送到自动标注系统快速的生成 corner case 数据集，用来迭代神经网络模型。通过这一数据

集，特斯拉得以建成数据闭环。

- 2) 通过如此循环，特斯拉能够借助量产车队的扩张，收集并训练更多的 corner case，从而逐步化解长尾难题，而这又要求特斯拉具备更高效的数据标注及训练能力。
- 3) 为了从海量数据中高效率筛选优质数据进行训练，特斯拉采用人工+自动标注的方式，建立了针对海量原始视频数据的视频训练库。这一训练库的优势在于将数据直接提供给云端进行训练，进一步提升了训练效率。

图 10 数据引擎自成一环



资料来源：特斯拉 AI DAY 2022，首创证券

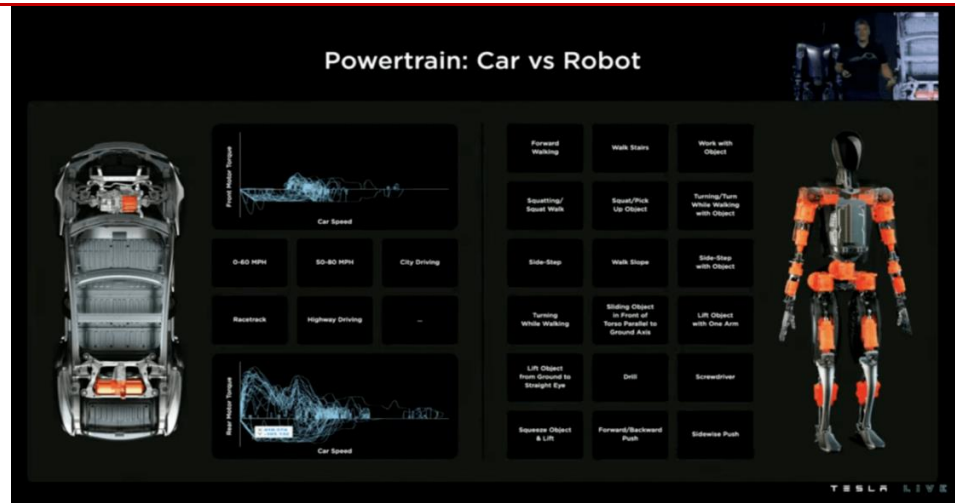
特斯拉的数据闭环追求高效。不仅对数据引擎、自动标注和仿真系统效率的不断提升，且与感知、算力系统拟合，使数据闭环提效的同时做到降本。

4 优势三：与电车技术同源利于降本，成熟供应链可直接迁移

4.1 与电车技术同源，降本核心为中国零部件供应链

特斯拉已有技术积淀可在人形机器人中复用，软件和电池基本都有成熟的供应链或能够自制，但核心硬件零部件需要外采。根据 OFWeek 数据显示，减速器、伺服、控制器占工业机器人成本的比例分别为 35%、20%、15%。特斯拉已有技术积淀可在人形机器人中复用，Optimus 采用与特斯拉自动驾驶汽车相同的计算硬件，比如 Optimus “大脑”运行在 Tesla SoC（系统级芯片）上，导航用的 Autopilot 系统和电动车上类似。其成熟的汽车产业链可直接迁移至机器人端，有利于大幅降低制造成本。

图 11 特斯拉 Optimus 与车共用底层模块

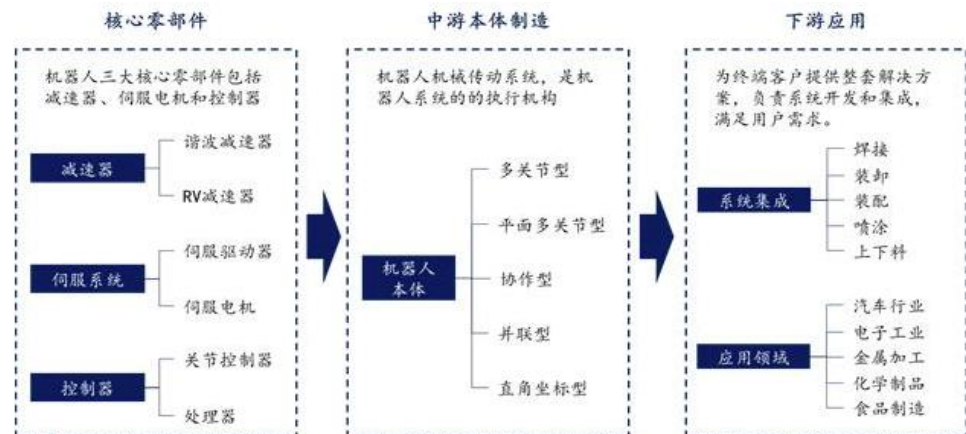


资料来源：特斯拉 AI DAY 2022，首创证券

5 产业链梳理：快速响应+降本增效，国产供应链增量机会

在人形机器人商业化的大趋势下，国产高性价比的零部件优势凸显。在行业拐点、政策催化、市场主题的共同催化下，机器人行业将迎来整体性机会。我们认为国内产业链机遇主要在硬件端，国内部分汽车零部件企业积极拓展业务，布局机器人产业关键零部件环节，有望在产业高速增长长期受益。

图 12 机器人上中下游示意图



资料来源：绿的谐波招股书，wind，首创证券

5.1 Optimus 价值量拆解，核心为精密减速机、行星滚柱丝杠、空心杯电机和编码器

全身共 40 个关节执行器，躯干部分 28 个。特斯拉机器人全身共使用 40 个关节执行器，其中手部执行器 12 个为空心杯关节，躯干部分共 28 个，主要分为旋转和线性两大类各 14 个。

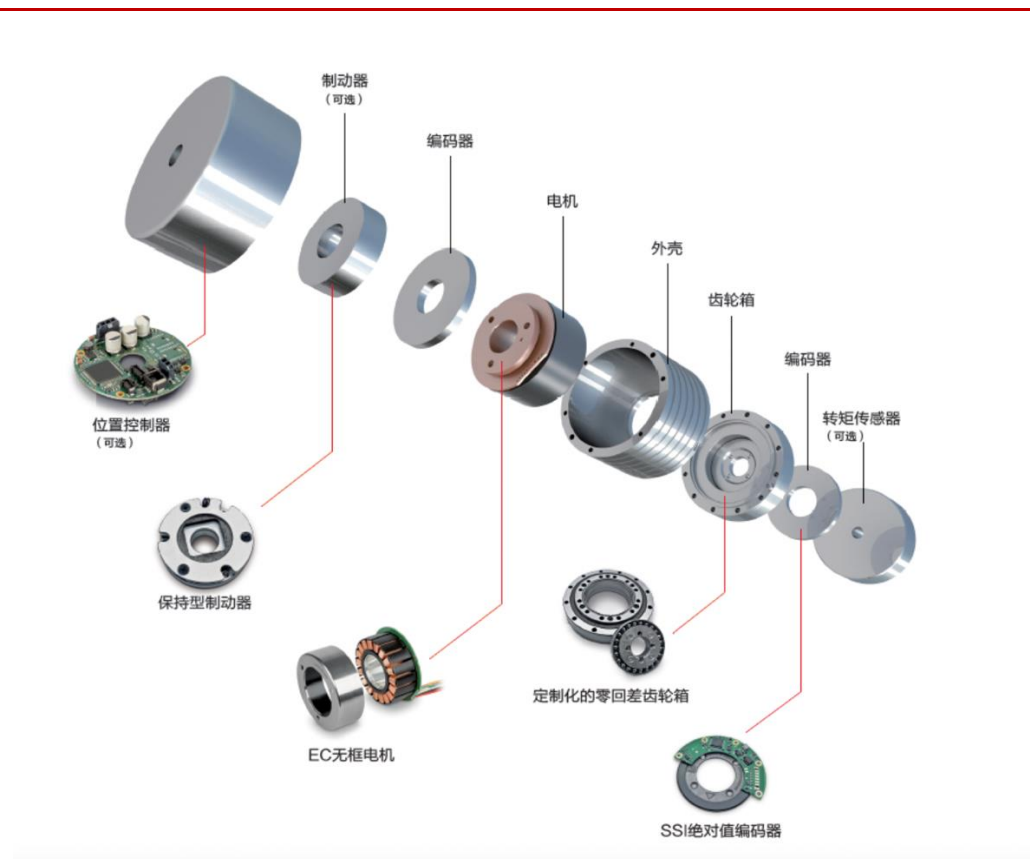
机器人躯干执行器核心零部件为精密减速机、行星滚珠丝杠等。1) 精密减速器是连接动力源和执行机构的中间机构，具有匹配转速和传递转矩的作用。2) 行星滚珠丝杠为核心传动部件，直接影响设备精度和稳定性。

5.2 旋转执行器核心部件：谐波减速器

5.2.1 谐波减速器由波发生器、柔轮和刚轮三部分构成

旋转执行器由角接触轴承、谐波减速器、交叉滚子轴承、编码器、无框电机和力矩传感器等组成。谐波减速器是机器人的核心传动部件，可用于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。

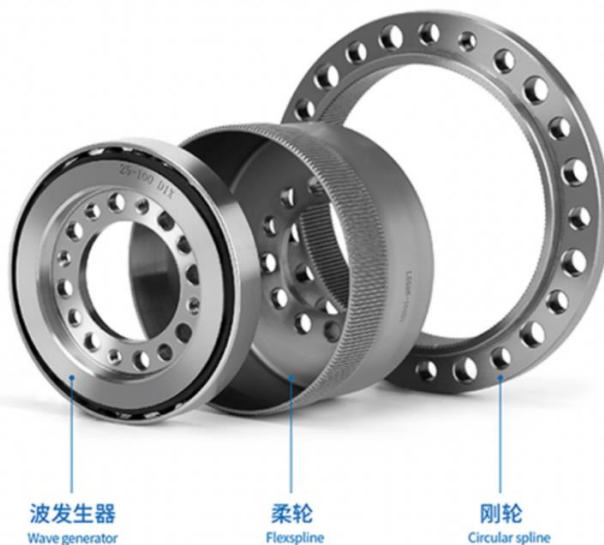
图 13 旋转关节执行器拆解



资料来源：maxon 官网，首创证券

谐波减速器由波发生器、柔轮和刚轮三部分构成。1) 波发生器：由柔性轴承与椭圆形凸轮组成，波发生器通常安装在减速器输入端，柔性轴承内圈固定在凸轮上，外圈通过滚珠实现弹性变形成椭圆形。2) 柔轮：带有外齿圈的柔性薄壁弹性体零件，通常安装在减速器输出端。3) 刚轮：带有内齿圈的刚性圆环状零件，一般比柔轮多两个齿轮，通常固定在减速器机体上。

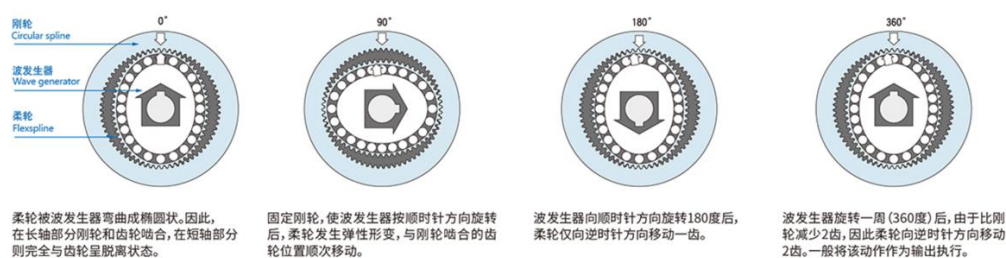
图 14 谐波减速器拆解



资料来源：来福谐波官网，首创证券

谐波减速器通常采用波发生器主动、刚轮固定、柔轮输出形式。1) 当波发生器装入柔轮内圆时，迫使柔轮产生弹性变形而呈椭圆状，使其长轴处柔轮轮齿插入刚轮的轮齿槽内，成为完全啮合状态；而其短轴处两轮轮齿完全不接触的脱离状态。从啮合到脱开的过程之间则处于啮出或啮入状态。2) 当波发生器连续转动时，迫使柔轮不断产生变形，使两轮轮齿在进行啮入、啮合、啮出、脱出的过程中不断改变各自的工作状态，产生了错齿运动，从而实现了主动波发生器与柔轮的运动传递。

图 15 谐波减速器原理



资料来源：来福谐波官网，首创证券

5.2.2 广泛应用于轻负载，优势显著

谐波减速器体积小、重量轻、传动比大，广泛应用于轻负载领域。谐波减速器和 RV 减速器广泛应用于精密减速器行业。RV 减速器由一个行星齿轮减速机的前级和一个摆线针轮减速机的后级组成，与谐波减速器相比：1) 谐波减速器：具有单级传动比大、体积小、质量小、运动精度高并能在密闭空间和介质辐射的工况下正常工作的优点。且在输出力矩相同时，谐波减速器

的体积可减少 2/3，重量可减轻 1/2，在机器人小臂、腕部、手部等部件具有优势。2) RV 减速器：具有传动比范围大、精度较稳定、疲劳强度较高，有更高的刚性和扭矩承载能力，在机器人大臂、机座等重负载部位拥有优势。RV 减速器因重量重、外形尺寸较大，无法向轻负载领域发展。此外，RV 减速器零部件数量多、制造和装配难度大，不利于大规模生产。

表 2 谐波减速器与 RV 减速器对比

	RV 减速器	谐波减速器
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。
产品性能	大体积、高负载能力和高刚度	体积小、传动比高、精密度高
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。
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。
价格区间	5,000-8,000 元/台	1,000-5,000 元/台
背向间隙	≤ 60 arc sec	≤ 20 arc sec
传动效率	$> 80\%$	$> 75\%$
温升	$\leq 45^{\circ}\text{C}$	$\leq 40^{\circ}\text{C}$
噪声	$\leq 70\text{db}$	$\leq 60\text{db}$
减速比	30-192.4	30-160
额定转矩下使用寿命	$> 6,000\text{h}$	$> 8,000\text{h}$
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

资料来源：wind，首创证券

表 3 谐波减速器与普通减速器相比优势明显

优点	原因
体积小，重量轻	与普通减速器比，谐波减速器的体积可减少 2/3，重量可减少 1/2
结构简单，零件数量少	谐波减速器只有三个基本部件：波发生器、柔轮和刚轮。输入与输出轴同轴，结构简单，安装方便
传动速比大	单级谐波减速器齿轮传动速度比大多在 70-320，多级传动速比可达 3000 多
承载能力高	谐波齿轮传动过程中同时啮合的齿数较多，同时啮合的齿数可达总齿数的 30%以上，承载能力高
传动精度高	谐波齿轮传动中啮合的齿数多，误差均匀化，即多齿啮合对误差有补偿作用，因此传动精度高。当齿轮精度等级相同时，传动误差仅为普通圆柱齿轮传动的 1/4 左右。同时，可以使用微量变化波发生器的半径来增加软轮的变形，使齿间隙非常小，甚至可以实现无侧间隙啮合。因此，谐波齿轮减速器传动空间小，适用于反向旋转。
传动效率高，运动平稳	柔轮齿在传动过程中径向移动均匀。即使输入速度很高，轮齿的相对滑动速度仍然很低。因此，轮齿磨损小，效率高（可达 69%-96%）。两侧工作，无冲击，运动平稳
运动可以传递到封闭空间	谐波传动可以利用柔轮的柔性特性传递到封闭空间，其他传动无法比拟

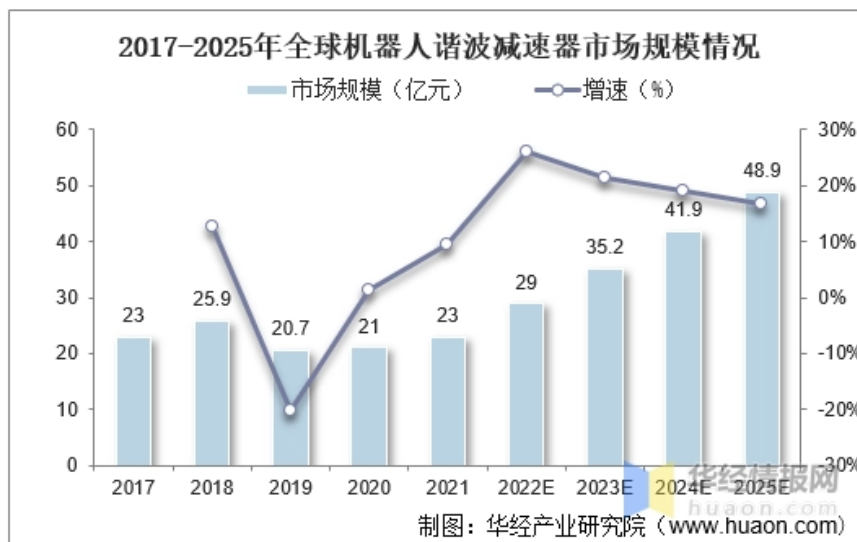
资料来源：川铭精工，首创证券

5.2.3 海外企业垄断，市场空间复合增速达 19%

谐波减速器应用领域广泛，市场空间增速快。谐波减速机应用领域广泛，市场空间广阔，目前以各种机器人为主，除机器人外，谐波减速机还广泛运用于数控机床、光伏设备、医疗器械、半导体设备、航空航天等其他领域。据《华经产业研究院》统计，2021 年全球机器人下游谐波减速器市场规模为 23 亿元，预计 2022 年达到 29 亿元，2025 年接近 49 亿元，2022-2025 年市

场空间 CAGR 为 19.1%左右。

图 16 2017-2025 年全球机器人谐波减速器市场规模情况



资料来源：华经产业研究院，首创证券

全球龙头为日本哈默纳科，全球市占率超 80%。谐波减速器最初用于美国航天运动控制，谷川齿轮将其引入日本并量产，于 1970 年成立哈默纳科。产品包括精密减速机（谐波减速器、减速器组件和行星减速器）和机电一体化产品（执行器、控制器）。哈默纳科技术迭代、产品矩阵丰富、海外版图扩张，垄断了全球谐波减速机市场份额。据新思界产业研究中心数据，2020 年哈默纳科全球市占率超 82%。

表 4 全球谐波减速器竞争格局

企业名称	简要
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中有较高的市场占有率。
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。
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（871601.00），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。

资料来源: wind, 首创证券

5.2.4 国产厂商受益增量需求, 持续进口替代

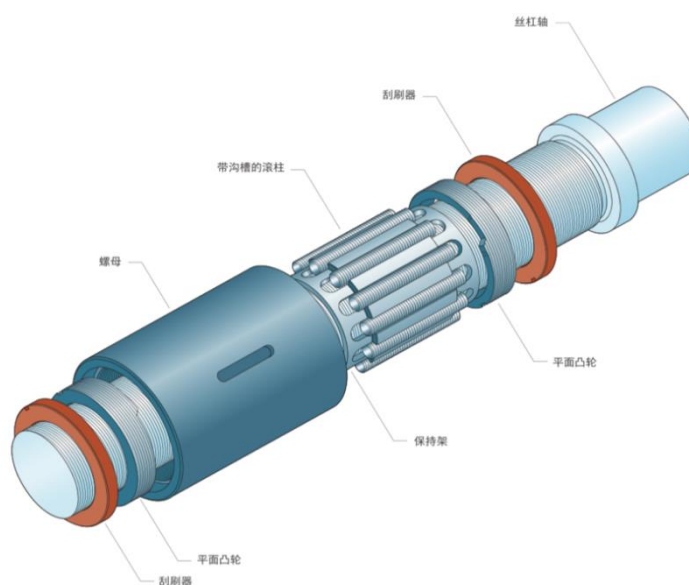
特斯拉机器人的旋转关节需要更轻量、小型、集成化的传动装置, 全身 14 个旋转关节中各使用 1 个谐波减速器。按单个谐波减速器 1300 元计算, 当特斯拉机器人实现 100 万产量时, 谐波减速器新增市场规模达到 182 亿元。国产厂商受益于技术进步, 加大减速器投资, 部分厂商有望实现进口替代。

5.3 线性执行器核心部件: 行星滚柱丝杠

5.3.1 行星滚珠丝杠将旋转运动和直线运动相互转化

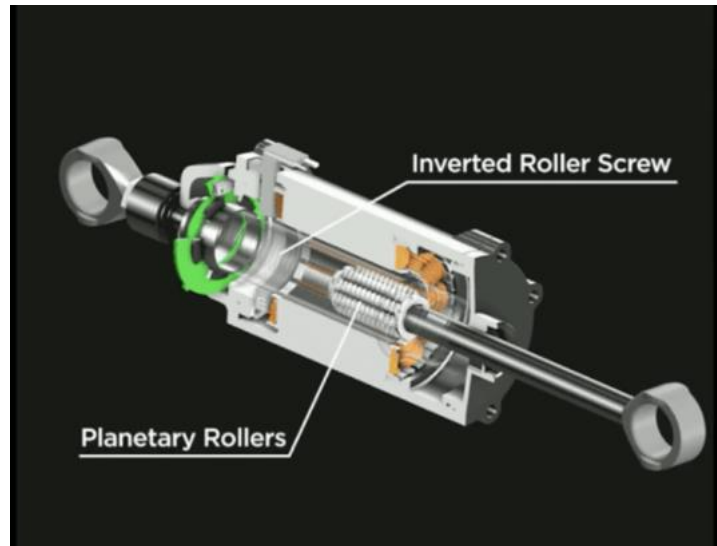
行星滚柱丝杠可将旋转运动和直线运动相互转化, 具有承载力强、体积小和高精度等特点。特斯拉机器人线性执行器采用电机、行星滚珠丝杠、力矩传感器和位置传感器方案。行星滚柱丝杠主要由丝杆、螺母和滚柱组成, 在主螺纹丝杠的周围行星式地布置了 6-12 个螺纹滚柱, 将电机的旋转运动转换为丝杠或螺母的直线运动。同时把传统滚珠丝杠式的点接触变换成了精度与承载力更高的线/面接触, 能够在极端环境下承受重载上千个小时, 具有较强承载力。

图 17 行星滚柱丝杠



资料来源: 道臣天津自动化有限公司官网, 首创证券

图 18 线性关节使用行星滚珠丝杠



资料来源：特斯拉 AI DAY 2022，首创证券

行星滚柱丝杠可替换滚珠丝杠和传动液压传动方式。1) 替代滚珠丝杠：不需要滚珠返回器，可规避噪音。且行星滚柱丝杠拥有更多啮合点，在恶劣工况具备更优刚度和承载能力。2) 替代液压传动：采用行星滚柱丝杠，总体积缩减，规避漏油问题，拆装维修简单。可有效实现电控化、易替换。

图 19 滚柱丝杠可替代滚珠丝杠和液压传动

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：杭州新剑机电传动股份有限公司官网，首创证券

5.3.2 行星滚柱丝杠精确、稳定与高效操控优势明显

行星滚柱丝杠优势明显，利于 Optimus 进入工厂精确、稳定与高效的操

作。

1) 精度保持性好：相比较旋转关节，直线关节中的行星滚柱丝杠通过预压螺母的形式，易实现传动零背隙，而旋转关节的减速器则需通过繁琐工

艺去保证；

2) **刚度强**：相较于谐波减速器的柔轮，行星滚柱丝杠由于线/面接触，刚度保持性好，更加利于上肢精巧平稳操作；在相同丝杠直径下承载能力提高 **6 倍**，相同负载下比滚珠丝杠节省 **1/3 空间**、寿命提高 **14 倍**、工作环境温度范围提高 **2 倍**，提升了刚度和抗冲击能力。

3) **旋转速度大和加速度大**：能够提供更高旋转速度和加速度，转速可达 16000r/min，直线速度 2m/s，加速度 3g。

4) **耐冲击能力强**：行星丝杠的耐冲击性好于滚珠丝杆，远好于谐波传动，原因为谐波每次的受力齿数较少，柔轮壁厚薄，容易断齿与筒裂。而行星丝杠受力均匀，寿命长；

5) **能量效率高**：腿部由于行星滚柱丝杠的自锁特性，站立作业时腿部电机无需出力，能量效率高，续航长；

5.3.3 外资厂商主导，机器人带来增量空间

外资厂商主导，国内厂商稀缺。截止 2022 年，全球主要的滚珠丝杆厂商有 NSK、THK、SKF 等，CR5 市占率达到约 46%。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。特斯拉首次把行星滚珠丝杆用在人形机器人端，行业有望迎来新的成长机遇。

行星滚柱丝杠应用领域广泛，未来十年复合增速预计 **5.8%**。行星滚柱丝杠可用于机床设备、医疗器械、智能汽车等多领域，应用范围广泛。根据 Persistence market research 预计，2023 年全球行星滚柱丝杠市场空间约为 3.0 亿美元，预计 2033 年全球行星滚柱丝杠市场空间达 5.3 亿美元，未来十年复合增速为 5.8%，同时人形机器人的成长可能带来更大成长空间。

图 20 行星滚柱丝杠应用领域广



资料来源：杭州新剑机电传动股份有限公司官网，首创证券

5.3.4 首次用于人形机器人端，国内厂商受益

特斯拉首次把行星滚珠丝杆用在人形机器人端，国内行星滚柱丝杆目前还处于早期阶段，生产难度较大，随国内头部企业持续送样，外资主导行业竞争格局有望快速打破，行业有望迎来新的成长机遇。

6 重点关注拥有核心部件制造、进口替代能力企业

6.1 拓普集团：平台型 tier0.5 供应商，机器人执行器项目进展顺利

平台化集成化发展，产品线相互赋能。公司定位 tier0.5 供应商，具备同步研发、机电软件一体化整合、模块化及全球供货能力。公司同时保持平台化发展，九大产品线相互赋能，护城河稳固。

表 5 公司九大平台线

公司产品分类	主要产品
NVH 减震系统	动力总成悬置、衬套、橡胶金属件、曲轴扭转减震器等
内外饰系统	汽车门板、顶棚、主地毯、衣帽架、隔音隔热件、行李箱隔音件等隔声降噪产品，以及密封条、装饰条等
车身轻量化	一体化成型车身前后底板、车身结构件、车门结构件、电池 PACK 结构件等
智能座舱部件	转屏控制器、电动尾门、电动移门、座椅舒适系统等
热管理系统	集成式热泵总成、多通阀、电子水泵、电子膨胀阀等
底盘系统	前后副车架、铝副车架、控制臂、拉杆、转向节等
空气悬架系统	成式供气单元、空气悬架、高度传感器等
智能驾驶系统	线控转向、线控刹车、电调管柱等
机器人运动执行器	旋转执行器和直线执行器

资料来源：wind，首创证券

设立机器人事业部，中长期确定性强。公司拓展能力边界，进军机器人执行器业务。机器人业务尚处蓝海，公司布局运动执行器，是机器人的核心部件之一，样品已获得客户的认可，后续发展潜力大。未来随新产品业绩释放，公司中长期发展确定性强。我们假设公司运动执行器产品分别做悲观/中性/乐观假设，单个价值量分别为 2/3/4 万元，机器人年出货量分别做悲观/

中性/乐观假设为 10 万/50 万/100 万台，每年营收增量如下表所示：

表 6 拓普集团运动执行器市场空间测算（亿元）

		单个价值量假设		
		悲观预期 2 万元/套	中性预期 3 万元/套	乐观预期 4 万元/套
出货 量 假 设	悲观预期 10 万台/年	20	30	40
	中性预期 50 万台/年	100	150	200
	乐观预期 100 万台/年	200	300	400

资料来源：首创证券预测

营收和净利润保持快速增长，受益机器人事业部有望更上一层楼。公司 20-22 年营收快速增长，从 20 年的 65.11 亿增长至 22 年的 159.93 亿元，CAGR 达 56.73%。归母净利润从 20 年的 6.28 亿元增长至 22 年的 17 亿元，CAGR 达 64.53%。公司 2023 年上半年实现营收 91.60 亿元，同比增长 34.83%；归母净利润 10.94 亿元，同比增长 54.57%；扣非净利润 10.27 亿元，同比增长 49.99%。随公司成立机器人事业部，业绩有望受益增长。

图 21 公司营收及同比变化趋势（亿元）

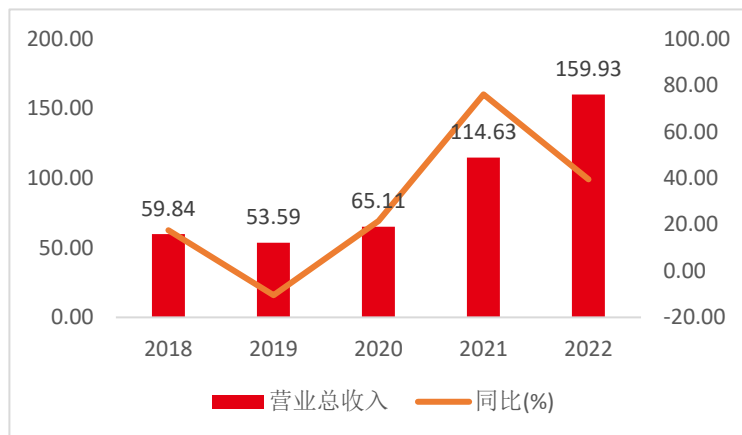
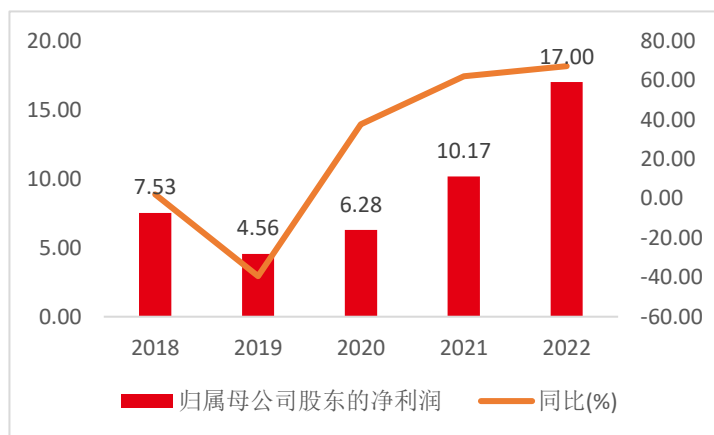


图 22 公司归母净利润及同比变化趋势（亿元）



资料来源：wind，首创证券

资料来源：wind，首创证券

6.2 三花智控：热管理龙头研发能力强，聚焦机器人执行电机

汽车和储能双轮驱动，热管理龙头自主研发能力强。公司自主研究能力强，阀门类产品具备先发优势，是国内最早自主研发出车用电子膨胀阀的企业，同时产品序列丰富，覆盖除压缩机外所有热管理部件，未来有望持续受益于新能源汽车渗透率提升。公司同时开辟储能赛道，阀、泵、换热器等技术汽车同源，有望直接复制汽车端成功经验。

聚焦机器人电机执行器，打开远期成长空间。公司携手绿的谐波布局机器人机电执行器业务。绿的谐波是国内谐波减速器龙头，深耕谐波传动领域近 20 年。公司通过与绿的谐波合作，提高执行器技术壁垒，优势互补，远期成长空间大。我们假设公司运动执行器产品分别做悲观/中性/乐观假设，单个价值量分别为 2/3/5.7 万元，机器人年出货量分别做悲观/中性/乐观假设为 10 万/50 万/100 万台，每年营收增量如下表所示：

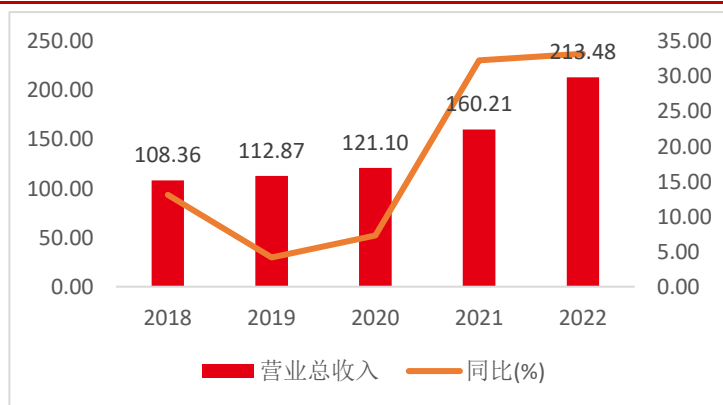
表 7 三花智控运动执行器市场空间测算（亿元）

		单个价值量假设		
		悲观预期 2 万元/套	中性预期 3 万元/套	乐观预期 5.7 万元/套
出货量假设	悲观预期 10 万台/年	20	30	57
	中性预期 50 万台/年	100	150	285
	乐观预期 100 万台/年	200	300	570

资料来源：首创证券预测

公司营收近两年快速增长，接近翻番。公司营收从 20 年的 121.10 亿元增长到 22 年的 213.48 亿元，CAGR 达 32.77%。归母净利润从 20 年的 14.62 亿元增长至 22 年的 25.73 亿元，CAGR 达 32.66%。23H1 实现营收 125.29 亿元，同比增长 23.32%；归母净利润 13.95 亿元，同比增长 39.03%。公司业绩增长动能强劲，有望随机器人业务更上一层楼。

图 23 公司营收同比变化趋势（亿元）



资料来源：wind，首创证券

图 24 公司归母净利润同比变化趋势（亿元）



资料来源：wind，首创证券

6.3 双环传动：减速器业务发力，享受机器人时代红利

机械传动齿轮龙头，转型精密减速器实力强劲。公司深耕机械传动齿轮领域四十余年，借助高精度齿轮优势，发展 RV 减速器业务，具有精度高、噪音小、使用寿命长等优势，同时公司具备高精度小偏心曲轴双顶磨削技术、

强力高效摆线磨齿技术等精加工及配套技术，已成为国产 RV 减速器龙头。2018 年公司开始研制谐波减速器，现已形成多个型号产品的批量供货，产品性能获客户认可。

精密减速器业务放量，迎接时代红利。公司机器人精密减速器业务快速放量，销量同比大幅增长。机器人业务迈入发展快车道，公司产品已基本覆盖国内主流机器人客户，得益于客户的快速发展，机器人核心零部件企业加速成熟，公司有望充分享受机器人时代红利，打开业绩成长空间。

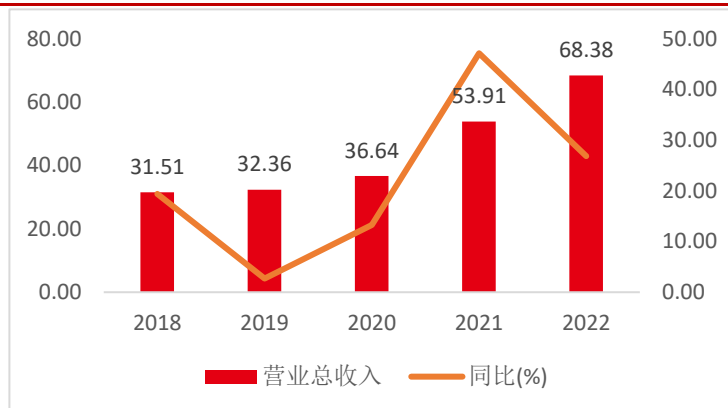
图 25 公司部分产品示意图



资料来源：公司年报，wind，首创证券

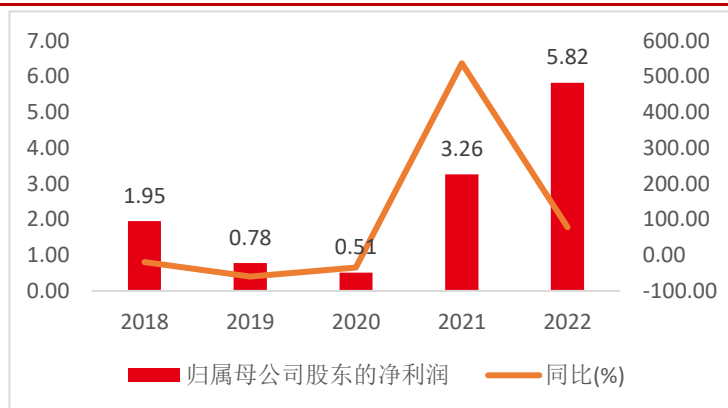
营收大幅增长，业绩迈入成长期。公司 2020-2022 年实现营收 36.64/53.91/68.38 亿，实现归母净利润 0.51/3.26/5.82 亿元；2020-2022 年实现收入复合增速 36.61%、归母净利润复合增速 237.81%。23H1 公司实现收入 36.86 亿元，同比增长 18.99%；归母净利润 3.69 亿元，同比增长 46.89%，公司业绩迈入快速成长期。

图 26 公司营收同比变化趋势（亿元）



资料来源：wind，首创证券

图 27 公司归母净利润同比变化趋势（亿元）



资料来源：wind，首创证券

6.4 贝斯特：自研高精度滚珠丝杠副，直线滚动部件已具备成熟优势

多层次布局业务，导入工业母机赛道。公司业务格局清晰，第一层次涡轮增压器基本盘业务，提供稳定现金流，并向增程式、混动汽车零部件拓展；第二层次向新能源汽车零部件赛道的转型升级，定位电动汽车、氢燃料汽车核心零部件；第三层次全面布局直线滚动功能部件，导入“工业母机”新赛道。

自研高精度滚珠丝杠副，布局直线滚动功能部件。公司积累大量整车厂、机床等优质客户，充分利用现有资源，全面布局直线滚动功能部件。22 年设立全资子公司无锡宇华精机，生产的滚珠丝杠副、直线导轨副等首台套已实现成功下线。

图 28 公司工装夹具产品示意图



智能夹具

资料来源：公司年报，wind，首创证券

营收和净利润保持正向增长。公司营业收入从 20 年的 9.31 亿元增长至 22 年的 10.97 亿元，归母净利润从 20 年的 1.77 亿元增长至 22 年的 2.29 亿元。公司成本控制能力强，20-22 年的汽车零部件毛利率分别为 38.9%、34.5%和 33.6%。随公司滚珠丝杠副下线，加码业绩增长。

图 29 公司营收及同比变化趋势（亿元）

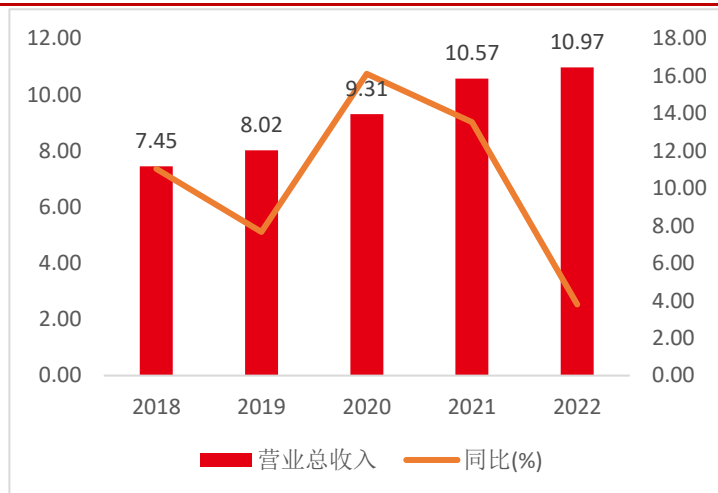
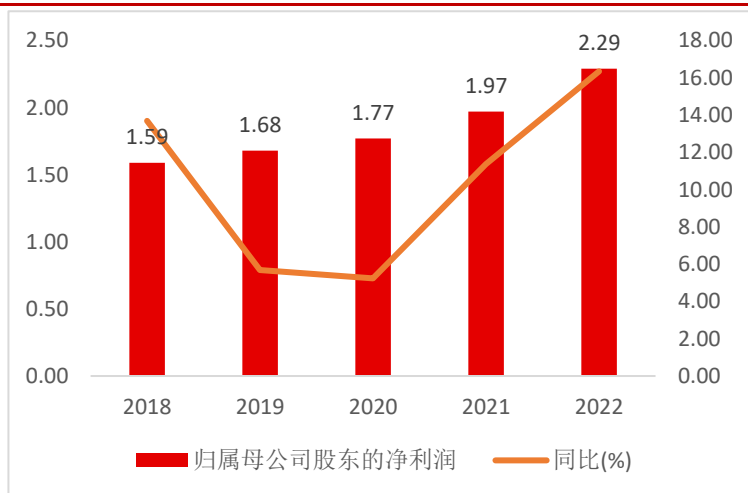


图 30 公司归母净利润及同比变化趋势（亿元）



资料来源：wind，首创证券

资料来源：wind，首创证券

6.5 精锻科技：精锻齿轮龙头，加速布局变速器总成

汽车精锻齿轮龙头，加速布局变速器总成。公司积累变速器锥齿轮及部分结合齿的锻造、机加、模具等经验，逐步打造变速器总成厂商产品涉及变速器总成、行星架总成等。公司发展升级机器人业务，已与潜在客户交流。

变速器总成产品营收占比快速提升，业绩受益快速放量。公司营收从 20 年的 12.03 亿增长至 22 年的 18.08 亿，CAGR 达 22.59%；归母净利润从 20 年的 1.56 亿增长至 22 年的 2.47 亿，CAGR 达 25.83%。随公司变速器总成订单快速放量，以及发展潜在机器人业务，公司业绩有望放量增长。

图 31 公司营收及同比变化趋势（亿元）

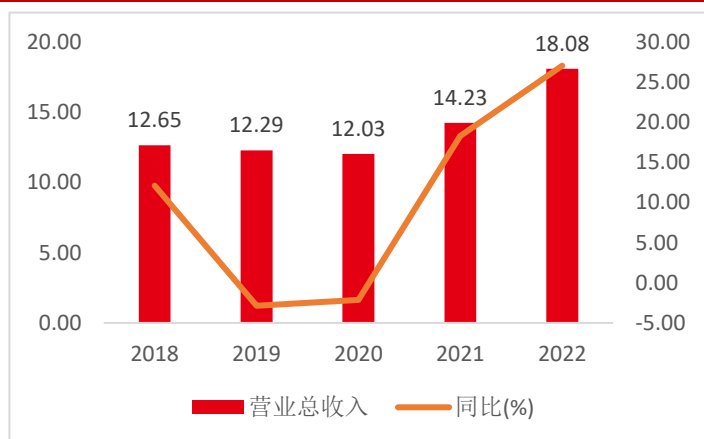
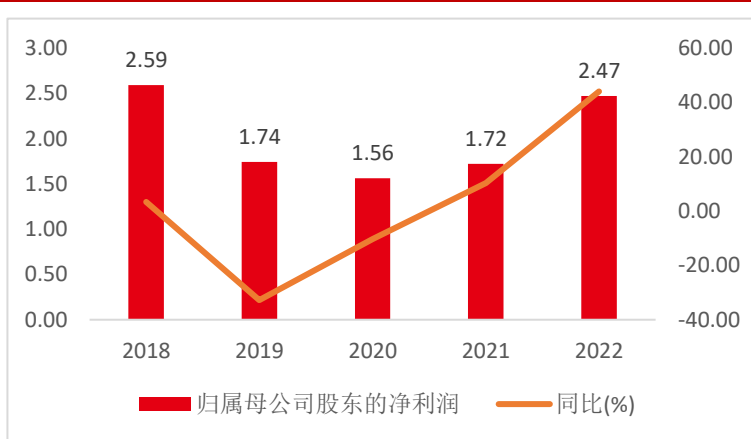


图 32 公司归母净利润及同比变化趋势（亿元）



资料来源：wind，首创证券

资料来源：wind，首创证券

7 风险提示

- 1) 人形机器人产业化不及预期。若产品产业化低预期，将影响产品出货量及产业发展速度。
- 2) 供应链国产化进程不及预期。若供应链国产化进程较慢，可能影响相应产品收入。
- 3) 重点关注公司业绩不及预期。若产业链相关公司业绩下滑，相关业务规划推进可能受到影响。

分析师简介

岳清慧，毕业于厦门大学，曾就职于国金证券、方正证券，曾获得新财富汽车第三、第四。2021年5月加入首创证券，负责汽车行业研究。

分析师声明

本报告清晰准确地反映了作者的研究观点，力求独立、客观和公正，结论不受任何第三方的授意或影响，作者将对报告的内容和观点负责。

免责声明

本报告由首创证券股份有限公司（已具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格）制作。本报告所在资料的来源及观点的出处皆被首创证券认为可靠，但首创证券不保证其准确性或完整性。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。投资者应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专业财务顾问的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，首创证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。投资者需自主作出投资决策并自行承担投资风险，任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

本报告所载的信息、材料或分析工具仅提供给阁下作参考用，不是也不应被视为出售、购买或认购证券或其他金融工具的要约或要约邀请。该等信息、材料及预测无需通知即可随时更改。过往的表现亦不应作为日后表现的预示和担保。在不同时期，首创证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。

首创证券的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。首创证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。首创证券的自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

在法律许可的情况下，首创证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行业务服务。因此，投资者应当考虑到首创证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突。投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一信赖依据。

本报告的版权仅为首创证券所有，未经书面许可任何机构和个人不得以任何形式转发、翻版、复制、刊登、发表或引用。

评级说明

1. 投资建议的比较标准	评级	说明
投资评级分为股票评级和行业评级	股票投资评级	买入 相对沪深 300 指数涨幅 15% 以上
以报告发布后的 6 个月内的市场表现为比较标准，报告发布日后的 6 个月内的公司股价（或行业指数）的涨跌幅相对同期的沪深 300 指数的涨跌幅为基准	增持	相对沪深 300 指数涨幅 5%-15% 之间
	中性	相对沪深 300 指数涨幅 -5%-5% 之间
	减持	相对沪深 300 指数跌幅 5% 以上
2. 投资建议的评级标准	行业投资评级	看好 行业超越整体市场表现
报告发布日后的 6 个月内的公司股价（或行业指数）的涨跌幅相对同期的沪深 300 指数的涨跌幅为基准	中性	行业与整体市场表现基本持平
	看淡	行业弱于整体市场表现