

2022年10月13日

通用设备

人形机器人专题：特斯拉 Optimus 样机发布后，如何看其市场化前景

——机器人系列报告三

■**核心观点：**北京时间10月1日（北美时间9月30日），特斯拉在 AI Day 2022 发布会如期展示了 Optimus 人形机器人工程机，以及人形机器人的详细参数与开发过程，在会场展示行走能力，并在播放视频中完成提起水壶行走浇花，工厂内搬运物品等动作。我们认为 Optimus 样机发布，验证特斯拉人形机器人研发流程稳步推进，基本符合预期。本场发布会重点关注执行器类型，谐波减速器、永磁力矩电机、直线执行器的选用将对相关产业链带来利好。特斯拉 Optimus 后续市场化过程中我们主要关注：1) 人工智能能否扩展日常使用场景的应用能力使消费者“用得上”；2) 规模化降本能否实现马斯克提出2万美元目标消费者“买得起”。

■特斯拉 Optimus 样机发布：进度符合预期

特斯拉 Optimus 样机如期发布，并在会场及视频中展示其行走、搬运、完成系列行走浇花动作的能力，这些动作都是通过 Optimus 自身集成的软硬件执行完成，没有外部控制与外接线束，说明样机已具备一定程度的运动规划与任务执行能力，产品完成度基本符合预期；研发团队公布硬件系统主要零部件参数，软件系统的算法原理，说明其研发进度如期推进，研发进度符合预期。

■人形机器人市场化，丰富应用场景与规模化降本是关键环节

我们认为，特斯拉 Optimus 量产版本能否获得市场认可，重点关注应用场景丰富程度与规模化降本幅度，两者分别对应消费者“用得上”和“买得起”。

1) **丰富应用场景——“用得上”：**我们曾在特斯拉人形机器人深度报告中阐述，人形机器人可以在人类的衣食住行等环节辅助人类完成繁杂任务，在当前老龄化社会还可以满足老人看护、病患照顾等场景应用，而该部分应用场景的丰富能力主要取决于人形机器人的人工智能水平，能否让消费者“用得上”。人机交互能力与运动规划能力随人工智能水平提高，以满足更加复杂的应用场景。马斯克提到 Optimus 未来将实现老人看护、草坪修剪、家庭烹饪等任务执行。

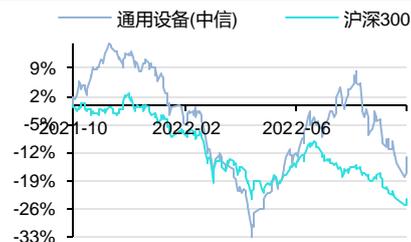
2) **规模化降本——“买得起”：**马斯克提到 Optimus 未来目标价格低于两万美元，若能通过规模化降本实现该目标，使消费者“买得起”，将有利于其市场化。本文更新了特斯拉 Optimus 成本测算，得到其物料成本约为 2.1 万美元，其中以特斯拉 FSD 系统为主的运动控

行业专题报告

证券研究报告

投资评级 **领先大市-A**
维持评级

行业表现



资料来源：Wind 资讯

%	1M	3M	12M
相对收益	-1.93	5.35	10.70
绝对收益	-9.87	-7.08	-12.70

郭倩倩

分析师

SAC 执业证书编号：S1450521120004
guoqq@essence.com.cn

相关报告

行业筑底，静待行业拐点 —— 通用自动化 2022 年中报总结 2022-09-06

人形机器人专题：破局时刻到来，从技术角度分析人形机器人市场化潜力 —— 机器人系列报告二 2022-08-17

谐波减速器专题：机器人核心零部件，国产替代加速进行时 —— 机器人专题报告系列一 2022-08-11

通用自动化 2021 年报&2022Q1 季报总结 2022-05-10

制系统占比 40.45%，关节执行器占比 38.80%，其中谐波减速器占比 23.05%、电机占比 10.12%，直线执行器占比 3.83%。该结果表明，FSD 系统、谐波减速器、力矩电机环节仍是人形机器人产业链主要三大成本支出。本次测算由之前的 2.5 万美元降低到 2.1 万美元，其中主要因直线执行器成本较低，其使用实现了降本。只有规模化降本，才能使消费者“买得起”，使其市场化成为可能。

■从设备角度看特斯拉 Optimus 受益产业链：谐波减速器、永磁力矩电机、直线执行器

在公布信息中重点关注执行器类型，分别公布了三款使用谐波减速器的旋转执行器、三款使用旋转螺杆结构的直线执行器，电机均采用永磁力矩电机。将对**谐波减速器、永磁力矩电机、直线执行器**行业产生利好，原因如下：1) 价值量高：预计 2030 年谐波减速器/永磁力矩电机/直线执行器市场规模将达到 180.55 亿/79.27 亿/30.00 亿美元；2) 国产替代空间大：谐波减速器、旋转螺杆结构直线执行器（线性驱动）、永磁力矩电机等元件均有成熟国产产品，特斯拉 Optimus 若能成功面世，将为产业链相关企业带来利好。

■**投资建议**：建议关注谐波减速器龙头企业：绿的谐波；特斯拉供应链减速器企业：双环传动；线性驱动龙头企业：捷昌驱动；伺服电机龙头企业：中科股份、鸣志电器、步科股份；电机永磁材料龙头企业：中科三环。

■**风险提示**：1) 特斯拉 Optimus 尚未发售，其产能可能不及预期。2) 人形机器人作为消费产品尚不成熟，其市场需求可能不及预期。3) 测算具有主观性。

内容目录

1. 特斯拉 Optimus 样机如期发布，关注哪些参数	5
2. 人形机器人市场化：丰富应用场景与规模化降本是关键	13
2.1. 丰富应用场景：让潜在消费者“用得上”	13
2.2. 规模化降本：让潜在消费者“买得起”	15
2.3. 特斯拉 Optimus 成本拆分测算更新	16
3. 受益环节与增量预测	18
3.1. 产业链受益环节	18
3.2. 增量预测	19
4. 投资建议	21
5. 风险提示	21

图表目录

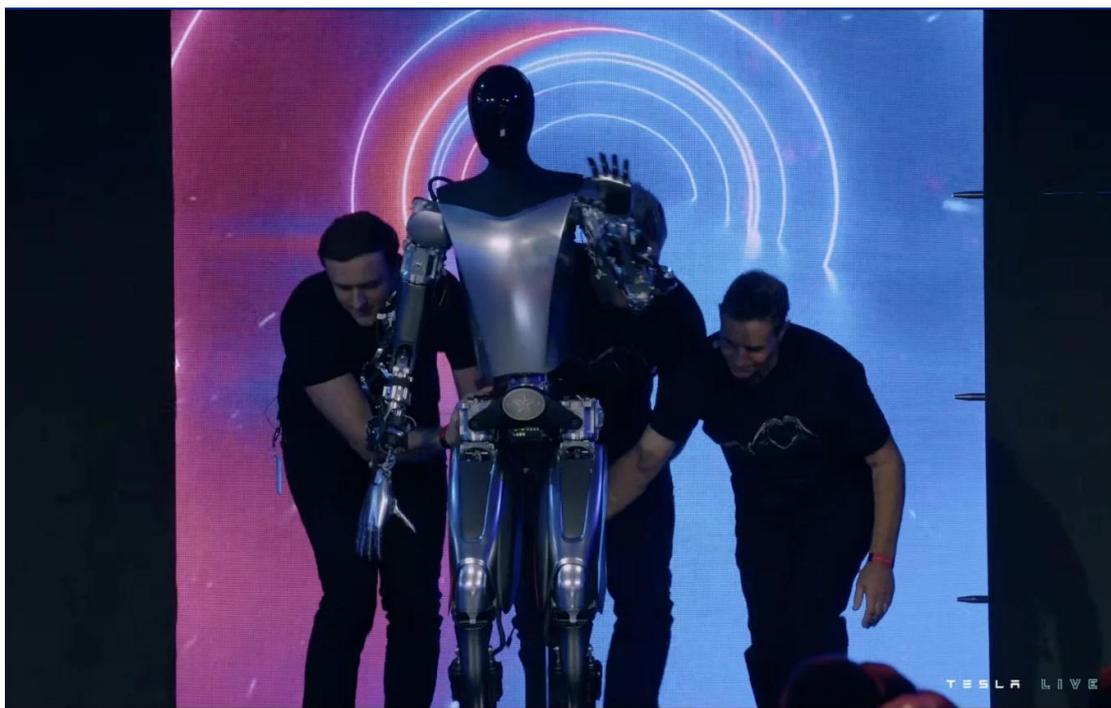
图 1: Optimus 人形机器人样机	5
图 2: Optimus 人形机器人能耗、自由度、质量参数	7
图 3: Optimus 人形机器人执行器结构（左-旋转执行器 右-直线执行器）	7
图 4: Optimus 人形机器人直线执行器吊起三角钢琴	7
图 5: Optimus 人形机器人三种旋转执行器与三种直线执行器参数	8
图 6: Optimus 人形机器人仿人手部结构示意图	8
图 7: Optimus 人形机器人手部执行器与性能参数	9
图 8: Optimus 人形机器人三目摄像头工作画面	9
图 9: Optimus 人形机器人视觉导航系统工作画面	10
图 10: Optimus 人形机器人运动规划流程	10
图 11: Optimus 人形机器人修正现实情况干扰的流程示意图	10
图 12: Optimus 人形机器人膝关节仿生结构设计	11
图 13: Optimus 人形机器人四节点力学结构与传统结构的受力曲线对比	11
图 14: Optimus 人形机器人芯片参数与电池组参数	11
图 15: 特斯拉汽车与人形机器人动力系统元件对比	12
图 16: 特斯拉汽车仿真碰撞测试示意图	12
图 17: Optimus 人形机器人腿部元件易损性测试示意图	12
图 18: Optimus 人形机器人胸腔元件易损性测试示意图	13
图 19: Optimus 人形机器人胸腔元件易损性测试示意图	13
图 20: FSD 公共汽车识别为体素，并区分两节车厢的运动情况（红色静止，蓝色运动）	14
图 21: D1 芯片参数	15
图 22: 以英伟达 A100 为基准对比 Dojo 自动标注与占据网络模型的运算性能	15
图 23: Atlas、Optimus、Walker 新一代横向成本对比	16
图 24: 谐波减速器	18
图 25: 直线执行器	19
图 26: 永磁力矩电机	19
图 27: 人形机器人市场规模预测	20
图 28: 受益产业链市场规模预测	20
表 1: 特斯拉 Optimus 最新公布信息总结	6
表 2: 人形机器人覆盖场景	14

表 3: 特斯拉 Optimus 成本拆分预测	17
表 4: 本次重点关注标的	21

1. 特斯拉 Optimus 样机如期发布，关注哪些参数

北京时间 10 月 1 日（北美时间 9 月 30 日），特斯拉举办 AI Day 2022 发布会，首次展示了人形机器人的详细参数与开发过程，Optimus 人形机器人工程机在会场展示行走能力，并在播放视频中完成提起水壶行走浇花，工厂内搬运物品等动作，这些动作都是通过 Optimus 自身集成的软硬件执行完成，没有外部控制与外接线束，说明样机已具备一定程度的运动规划与任务执行能力。

图 1：Optimus 人形机器人样机



资料来源：特斯拉 AI Day 2022，安信证券研究中心

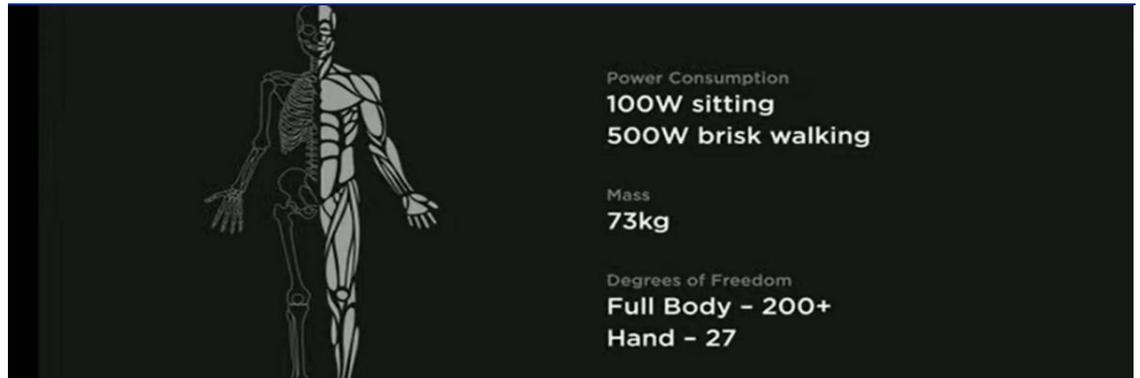
表 1：特斯拉 Optimus 最新公布信息总结

体型参数	身高	172CM
	体重	73kg
手部参数	执行器数量	6 个
	自由度	11 个
设计参数	持力性能	可提起 20 磅重 (9kg) 的包
	旋转执行器-小	扭矩 20Nm, 重 0.55kg
	旋转执行器-中	扭矩 110Nm, 重 1.62kg
	旋转执行器-大	扭矩 180Nm, 重 2.26kg
	直线执行器-小	出力 500N, 重 0.36kg
	直线执行器-中	出力 3900N, 重 0.93kg
	直线执行器-大	出力 8000N, 重 2.2kg
电池与能耗	电池组参数	2.3kWh, 52V 电压
	能耗	静坐能耗 100w, 慢走能耗 500w
机载芯片	除处理芯片外其他芯片	1 块特斯拉 SOC 电池管理芯片、WIFI 与 LTE 通讯芯片、音频处理芯片
执行器总成	旋转执行器总成	采用谐波减速器 (Strain Wave Gearing), 内部具有离合器, 采用永磁力矩电机驱动
	直线执行器总成	采用内部旋转螺杆结构, 通过永磁力矩电机带动螺杆旋转推动执行杆, 将旋转运动转为直线运动
手部	手部结构	采用和人体相同的五指多关节设计
	执行器	为螺杆旋转带动齿轮旋转进而使手指关节旋转的结构
膝关节	四节点杠杆结构	仿造人类膝关节形成四节点杠杆结构, 使下蹲与站立动作变化时力学曲线更平顺, 极端受力变低
设计特点	摄像头	特斯拉自动驾驶三目摄像头 (左右+鱼眼广角)
	视觉系统	视觉算法
	视觉系统	路径规划
运动控制	闭环控制算法	通过周围环境规划理想运动, 根据传感器检测重心与路径的偏移量, 对执行器输出进行修正以完成闭环控制, 抵消实际情况的干扰
损伤控制	模拟算法优化	利用特斯拉汽车碰撞仿真软件对人形机器人 Optimus 跌倒碰撞过程进行仿真, 以优化各元件防损伤能力
能耗控制	能耗优化	参考特斯拉汽车电机牵引力控制的优化, 对执行器运行速度与输出扭矩的参数曲线进行优化, 减少单次执行运动耗能

资料来源：特斯拉 AI Day2022，安信证券研究中心

1) 体型参数：身高 172CM，体重 73kg，静坐能耗 100w，慢走能耗 500w，自由度超过 200 个。

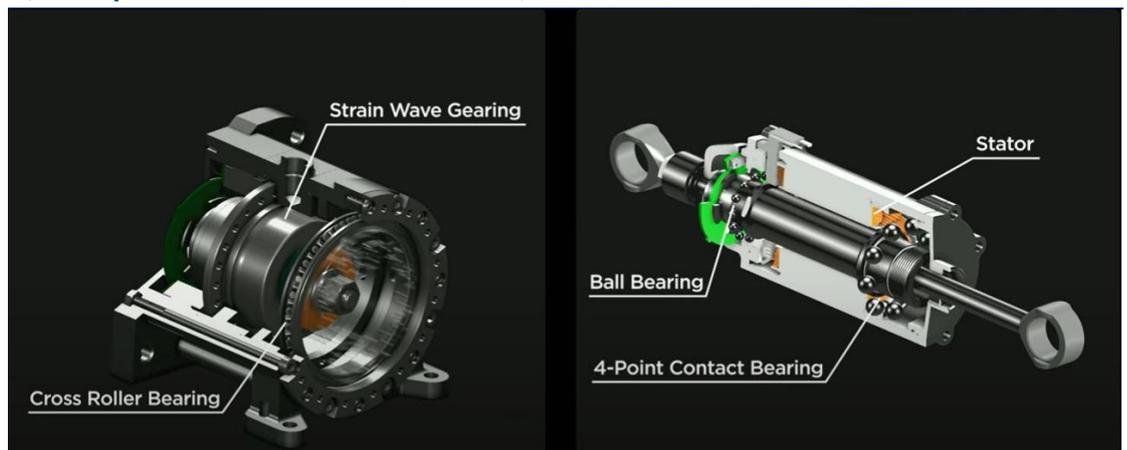
图 2: Optimus 人形机器人能耗、自由度、质量参数



资料来源：特斯拉 AI Day 2022，安信证券研究中心

2) 执行器总成结构：旋转执行器采用谐波减速器 (Strain Wave Gearing)，内部具有离合器，采用永磁力矩电机驱动；直线执行器采用内部旋转螺杆结构，通过永磁力矩电机带动螺杆旋转推动执行杆，将旋转运动转为直线运动，较大的出力性能使其能吊起一架半吨重的三角钢琴（会场视频展示）。

图 3: Optimus 人形机器人执行器结构（左-旋转执行器右-直线执行器）



资料来源：特斯拉 AI Day 2022，安信证券研究中心

图 4: Optimus 人形机器人直线执行器吊起三角钢琴



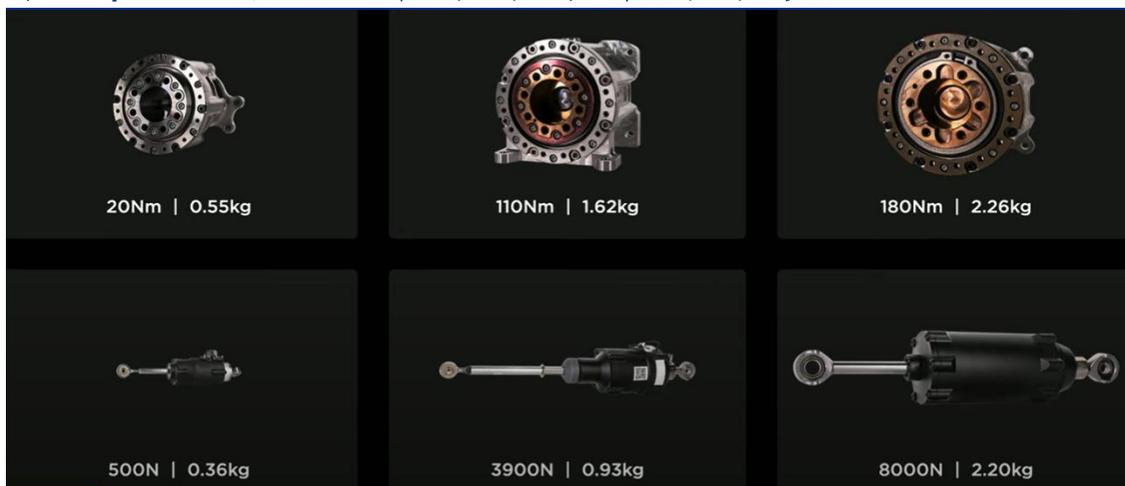
资料来源：特斯拉 AI Day 2022，安信证券研究中心

3) 执行器参数: 不同关节选用不同的三款旋转执行器和三款直线执行器。

旋转执行器参数: 小号-扭矩 20Nm, 重 0.55kg; 中号-扭矩 110Nm, 重 1.62kg; 大号-扭矩 180Nm, 重 2.26kg。

直线执行器参数: 小号-出力 500N, 重 0.36kg; 中号-出力 3900N, 重 0.93kg; 大号-出力 8000N, 重 2.2kg。

图 5: Optimus 人形机器人三种旋转执行器与三种直线执行器参数



资料来源: 特斯拉 AI Day 2022, 安信证券研究中心

4) 手部结构: 手部结构采用和人体相同的五指多关节设计, 执行器为螺杆旋转带动齿轮旋转进而使手指关节旋转的结构。

5) 手部参数: 6 执行器, 11 自由度, 可提起 20 磅 (9kg) 重的包, 具有精确控制握持力输出的传感器。

图 6: Optimus 人形机器人仿人手部结构示意图



资料来源: 特斯拉 AI Day 2022, 安信证券研究中心

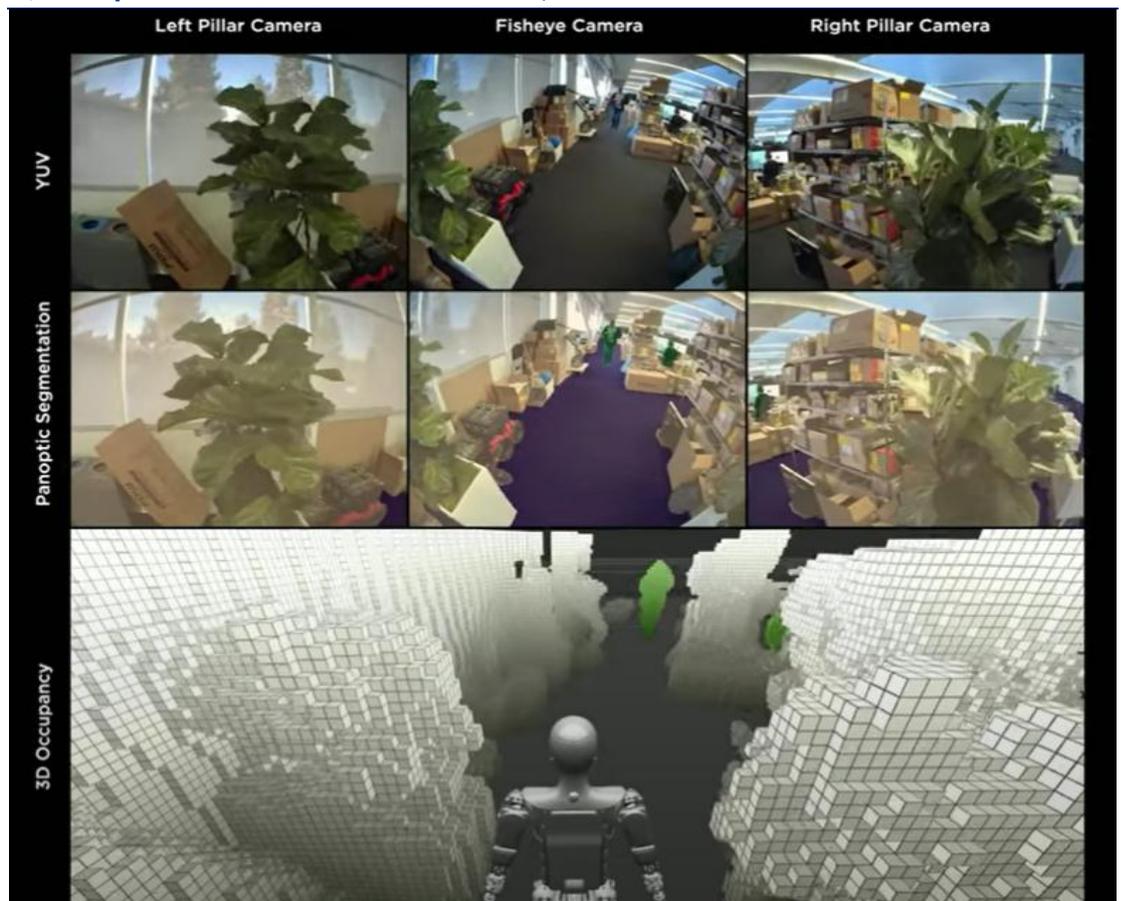
图 7: Optimus 人形机器人手部执行器与性能参数



资料来源：特斯拉 AI Day 2022，安信证券研究中心

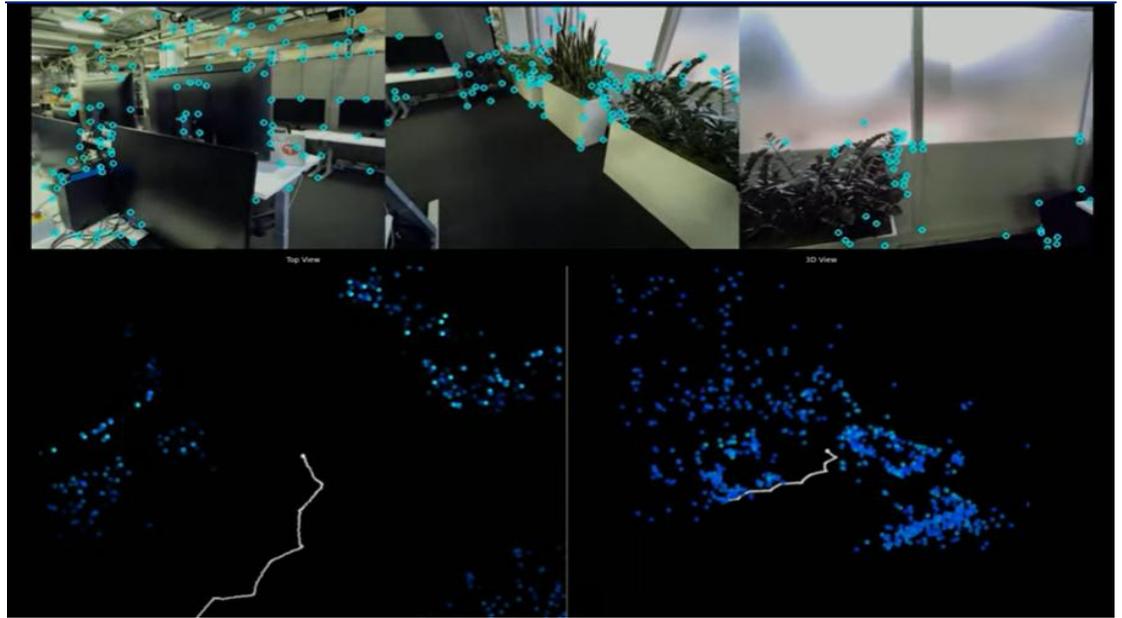
6) 视觉系统：采用特斯拉自动驾驶三目摄像头（左右+鱼眼广角）与 Autopilot 算法，实现图像分层识别，并构建周围 3D 环境，进行空间深度渲染；路径规划通过识别空间内节点，规划可通过的最优路径。

图 8: Optimus 人形机器人三目摄像头工作画面



资料来源：特斯拉 AI Day 2022，安信证券研究中心

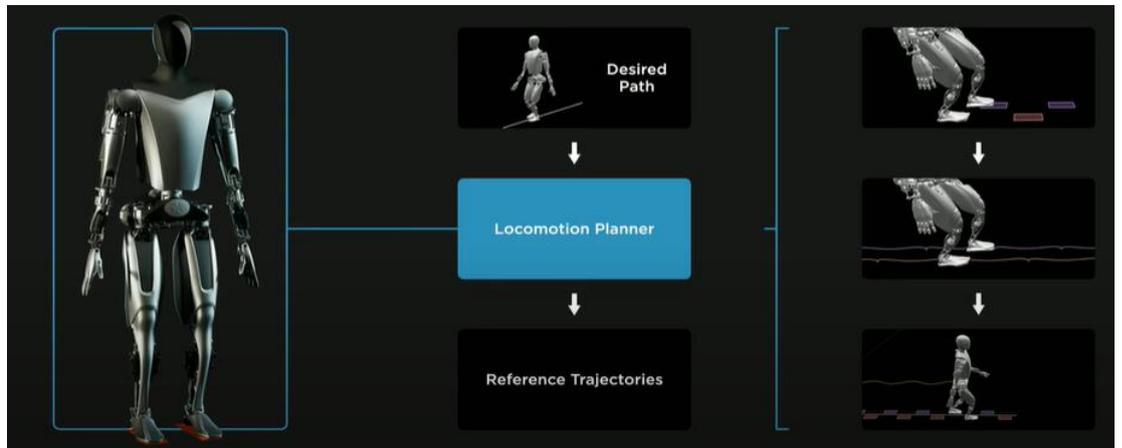
图 9: Optimus 人形机器人视觉导航系统工作画面



资料来源：特斯拉 AI Day 2022，安信证券研究中心

7) **运动控制**：通过周围环境规划理想运动，根据传感器检测重心与路径的偏移量，对执行器输出进行修正以完成闭环控制，抵消实际情况的干扰。

图 10: Optimus 人形机器人运动规划流程



资料来源：特斯拉 AI Day 2022，安信证券研究中心

图 11: Optimus 人形机器人修正现实情况干扰的流程示意图



资料来源：特斯拉 AI Day 2022，安信证券研究中心

8) **膝关节结构**：仿造人类膝关节形成四节点杠杆结构，使下蹲与站立动作变化时力学曲线更平顺，极端受力变低。

图 12: Optimus 人形机器人膝关节仿生结构设计



资料来源：特斯拉 AI Day 2022，安信证券研究中心

图 13: Optimus 人形机器人四节点力学结构与传统结构的受力曲线对比

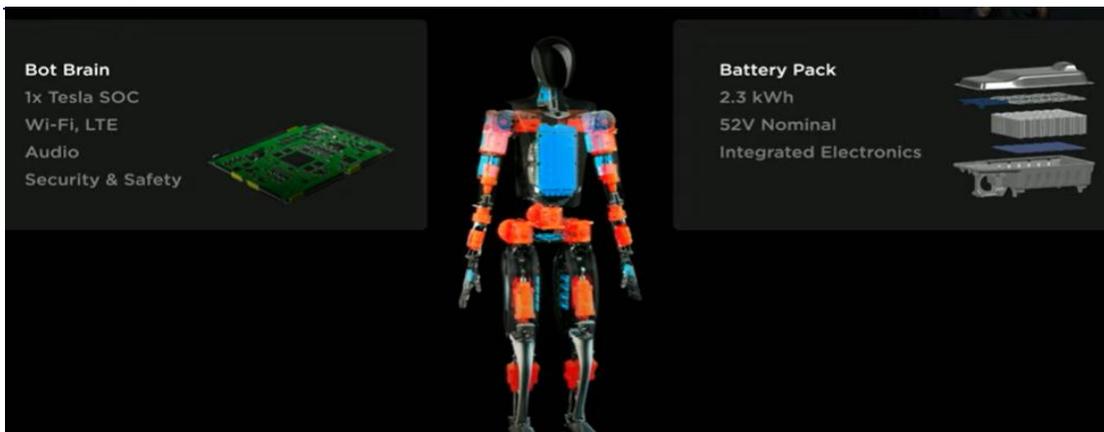


资料来源：特斯拉 AI Day 2022，安信证券研究中心

9) **机载芯片参数**：除运算芯片，含 1 块特斯拉 SOC 电池管理芯片、WIFI 与 LTE 通讯芯片、音频处理芯片。

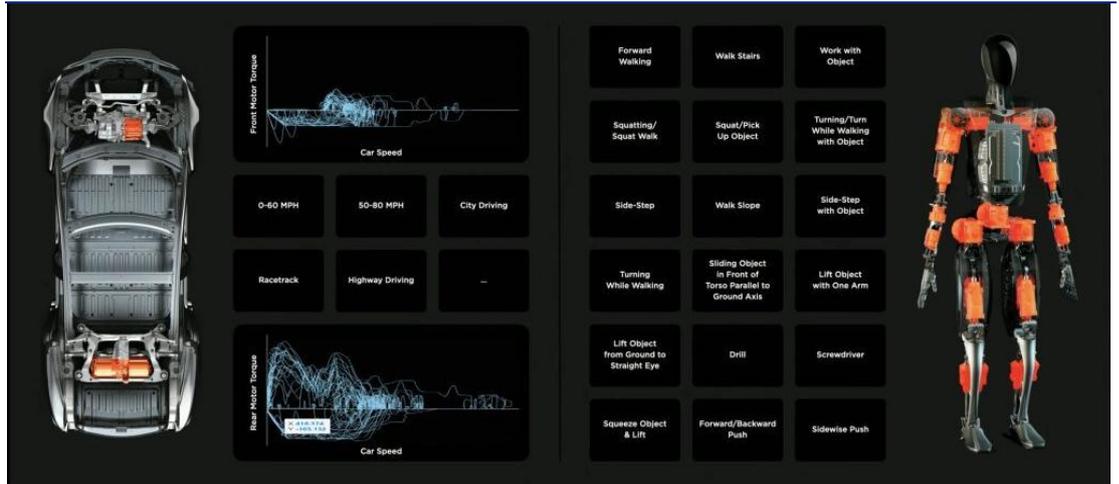
10) **电池组参数**：2.3kWh，52V 电压。

图 14: Optimus 人形机器人芯片参数与电池组参数



资料来源：特斯拉 AI Day 2022，安信证券研究中心

图 15：特斯拉汽车与人形机器人动力系统元件对比



资料来源：特斯拉 AI Day 2022，安信证券研究中心

11) 损伤控制：利用特斯拉汽车碰撞仿真软件对人形机器人 Optimus 跌倒碰撞过程进行仿真，以优化各元件防损伤能力。

图 16：特斯拉汽车仿真碰撞测试示意图



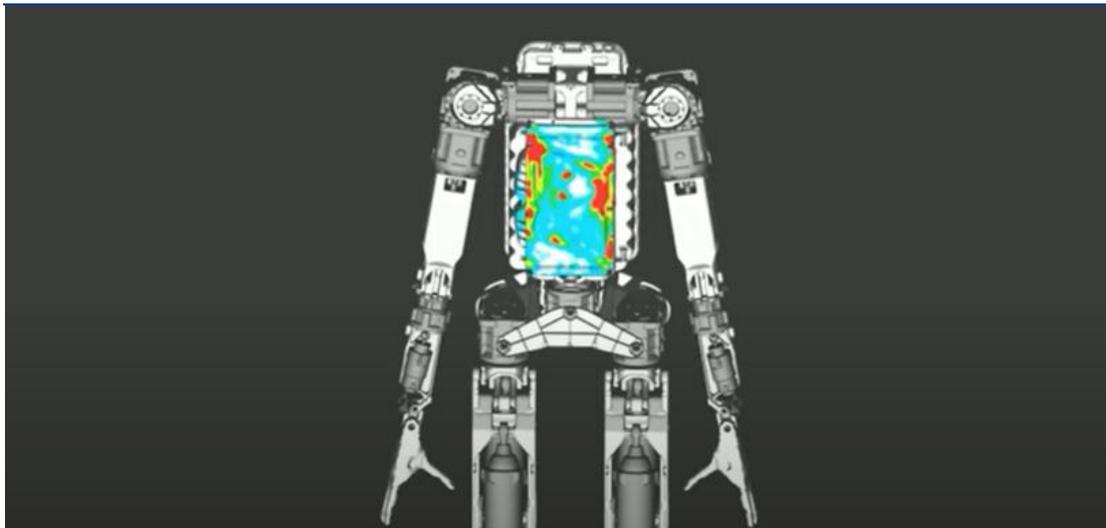
资料来源：特斯拉 AI Day 2022，安信证券研究中心

图 17：Optimus 人形机器人腿部元件易损性测试示意图



资料来源：特斯拉 AI Day 2022，安信证券研究中心

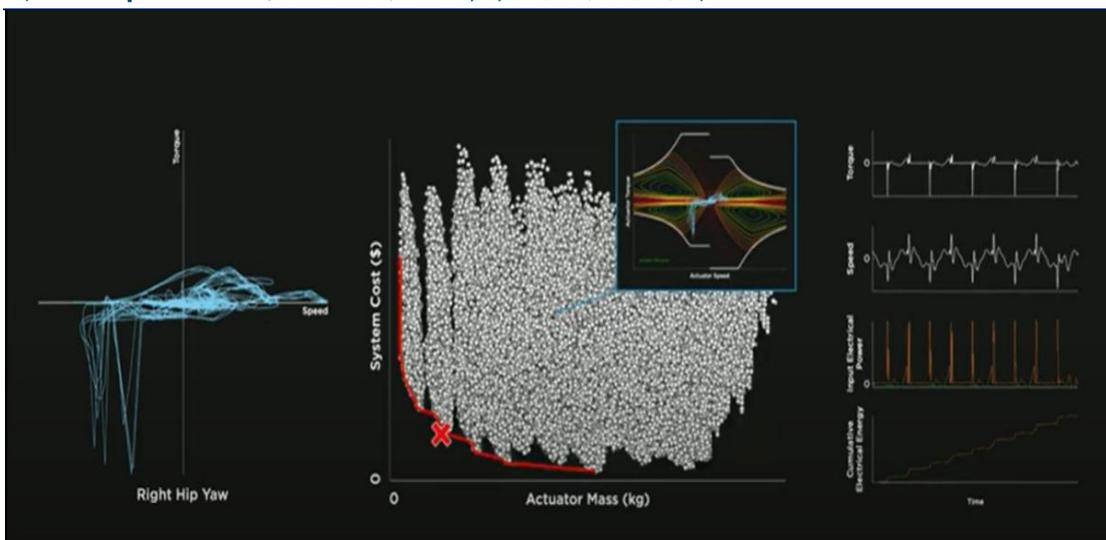
图 18: Optimus 人形机器人胸腔元件易损性测试示意图



资料来源：特斯拉 AI Day 2022，安信证券研究中心

12) 耗能优化：参考特斯拉汽车电机牵引力控制的优化，对执行器运行速度与输出扭矩的参数曲线进行优化，减少单次执行运动耗能。

图 19: Optimus 人形机器人胸腔元件易损性测试示意图



资料来源：特斯拉 AI Day 2022，安信证券研究中心

2. 人形机器人市场化：丰富应用场景与规模化降本是关键

2.1. 丰富应用场景：让潜在消费者“用得上”

我们曾在人形机器人深度报告中阐述，人形机器人可以在人类的衣食住行等环节辅助完成繁杂任务，而替代自己完成日常繁杂劳动是潜在个人用户的需求。在当前老龄化社会还可以满足老人看护、病患照顾等场景应用，而该部分应用场景的丰富能力主要取决于人形机器人的人工智能水平。人机交互能力与运动规划能力随人工智能水平提高，以满足更加复杂的应用场景。马斯克提到 Optimus 未来将实现老人看护、草坪修剪、家庭烹饪等任务执行。

表 2：人形机器人覆盖场景

按人类基本需求分类				按工作性质分类	
① 食	② 住	③ 行	④ 陪伴	① 从事体力劳动	② 从事服务工作
进行烹饪，北京冬奥会中烹饪机器人已替代厨师	整理家务，替代家政人员服务	为用户提供“跑腿”服务，替代外卖员，甚至驾驶载具	与用户进行交流，替代社区工作者，心理医生	进行组装、搬运、等劳动，但与工业机器人不同，人形机器人能执行非标准任务	在餐厅、酒店等场景为客户提供服务，替代服务员

资料来源：《机器人产业发展规划2021》，安信证券研究中心

特斯拉在应用场景扩展方面的“杀手锏”：即强大的 FSD 系统视觉识别学习算法，以及 D1 芯片支持的强大运算能力。特斯拉在自动驾驶技术路线中十分偏执的减少激光雷达的使用，起到了显著的降本效果。但其底层逻辑不仅是为了降本，且因为人类并没有类似激光雷达的器官，自动驾驶和人形机器人本质上都是完成对人类行为的模仿与替代，通过集中研发投入在视觉识别领域，逐渐接近人类的智能水平。

本次发布会还公布了 FSD 系统最新的研发细节，FSD 系统对道路环境与生活场景的识别能力，以及 Dojo 芯片的算力将有效支持特斯拉 Optimus 对人类日常生活场景的识别与运动控制、路径规划。

其中重点关注占据网络 (Occupancy Network) 提供的环境体素化识别能力，以及 D1 芯片性能。

占据网络 (Occupancy Network)：通过视觉算法将环境转化为体素 (三维像素点)，相当于对三维空间进行时刻感知，并将体素分为运动体素和静态体素，分别对应运动或静态的物体，对激光雷达识别三维环境的功能实现较好替代。体素识别最大的优势是对物体识别的通用性，不论物体种类，都可以转化为体素进行识别，这有利于人形机器人在不同场景应用的通用性。

图 20：FSD 公共汽车识别为体素，并区分两节车厢的运动情况 (红色静止，蓝色运动)

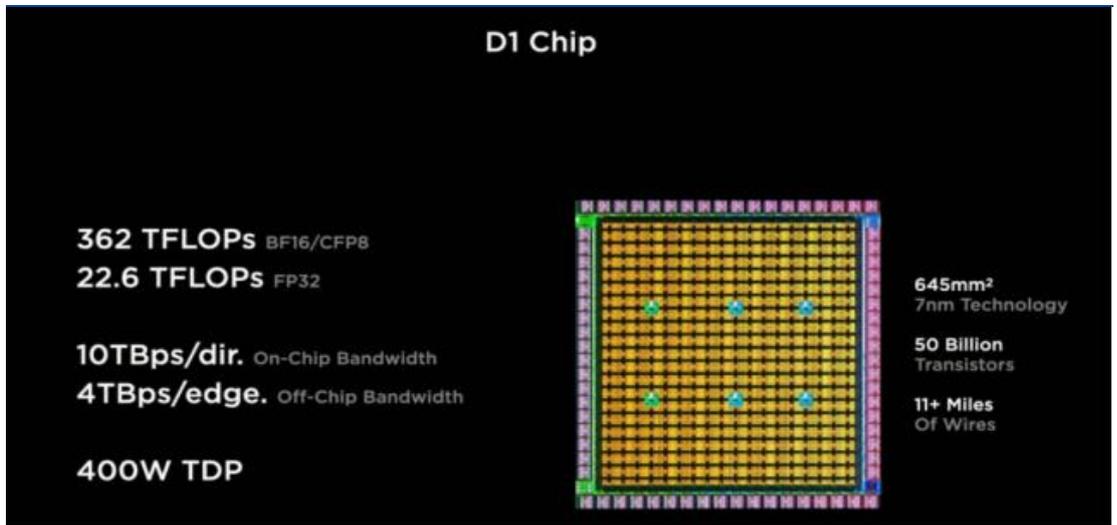


资料来源：特斯拉 AI Day 2022，安信证券研究中心

D1 芯片：Optimus 机载芯片，相当于其大脑，具有比普通 GPU 芯片更强大的算力和更低的延迟，而环境识别的运算均依靠该芯片进行处理。该芯片由台积电制造，采用 7nm 工艺，拥有 500 亿个晶体管，芯片面积达 645mm²，小于英伟达的 A100 (826 mm) 和 AMD

Arcturus (750 mm)，工艺为 7nm，包含 500 亿个晶体管，BF16/CFP8 峰值算力达 362TFLOPS，FP32 峰值算力达 22.6TFLOPS，热设计功耗（TDP）不超过 400W。

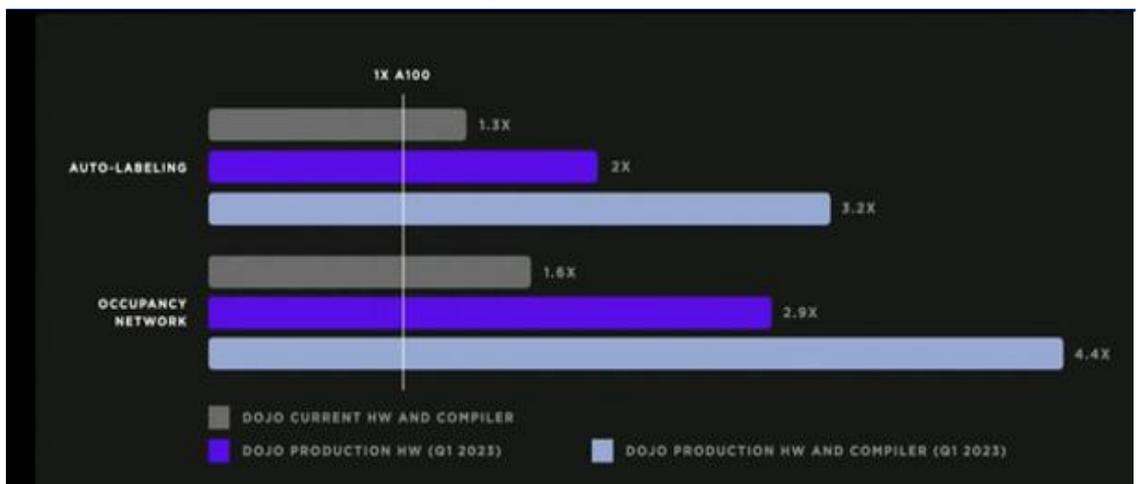
图 21：D1 芯片参数



资料来源：特斯拉，安信证券研究中心

由于 Dojo 超算由 D1 芯片组成，我们可以从本次发布会 Dojo 的训练能力窥见 D1 芯片的强大性能。进行自动标注算法、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，这说明以 D1 芯片为支撑，将很好的保证 Optimus 在环境识别算法运行的算力。因此 D1 芯片为特斯拉 Optimus 应用场景扩展起到重要算力支撑作用。

图 22：以英伟达 A100 为基准对比 Dojo 自动标注与占据网络模型的运算性能



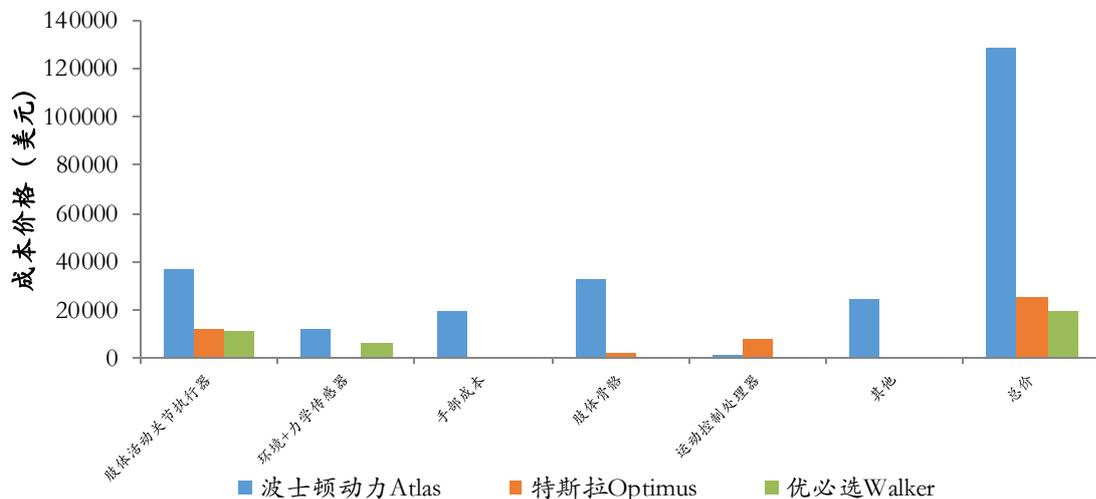
资料来源：特斯拉 AI Day2022，安信证券研究中心

2.2. 规模化降本：让潜在消费者“买得起”

马斯克提到 Optimus 未来目标价格低于两万美元，若能通过规模化降本实现该目标，使消费者“买得起”，将有利于其市场化。当前限制人形机器人市场化的关键因素之一就是人形机器人的成本，马斯克多次以汽车价格作为参照，因为一台家用汽车在大多数家庭中已算是大额开支，成本若远超家用汽车价格，将使绝大多数家庭望而却步。若人形机器人能像新能源汽车一样走向量产化，实现降本增效，则存在较大市场空间，因此人形机器人市场化的关键在于降本。

参考之前的测算结果，横向对比主流人形机器人，我们可看出特斯拉 Optimus 具有市场化潜力的关键在于其成本可控制在约 2.5 万美元，远低于波士顿动力 Atlas 约 12.9 万美元的成本，与优必选 Walker 约 1.9 万美元的成本可同台竞争。而根据最新参数进行测算，当前成本约为 2.1 万美元，若能进一步下探到 2 万美元以下，竞争优势将更加明显。

图 23: Atlas、Optimus、Walker 新一代横向成本对比



资料来源：波士顿动力，特斯拉，优必选，安信证券研究中心

2.3. 特斯拉 Optimus 成本拆分测算更新

由于本次发布会更新了特斯拉 Optimus 人形机器人信息，执行器等原件种类与使用数量均有更新，因此做以下测算更新。

特斯拉 Optimus 成本拆分预测，假设如下：

- ① **执行器数量**：根据发布会信息我们可知最新 Optimus 使用 12 个直线执行器，16 个旋转执行器。
- ② **肢体关节执行器核算方法**：旋转执行器由无框力矩电机、谐波减速器、控制器构成，直线执行器由永磁力矩电机、直线执行器减速器、控制器构成。
- ③ **成本拆分包含部件**：成本拆分预测中仅包含机体的主要部件，其余零部件如线束、装配螺丝等未计入。
- ④ **零配件品牌型号选用**：当前特斯拉 Optimus 主要零部件信息未知，对于信息未知的零部件，我们选用近似性能参数（即能满足产品设计需求）零配件进行测算。
- ⑤ **各部件参数与价格信息来自以下来源**：相关公司招股书、相关公司在相关电商网站官方报价、销售商报价等。具体来源参照分析依据所述。

表 3：特斯拉 Optimus 成本拆分预测

9	部件名称	渠道	品牌	单价 (美元)	数量	总价 (美元)	占比	分析依据	供应链标的
环境探测传感器	摄像头	采购	韦尔股份、舜宇光学等	US\$103.57	1	US\$103.57	0.49%	该价格为特斯拉三目摄像头配件价格，非成本价	韦尔股份、晶方科技
	毫米波雷达	采购	华域汽车、德赛西威	US\$299.00	1	US\$299.00	1.42%	相关供应商未公布成本，以奔驰汽车供应链 OEM 产品 A0009055510 77GH 传感器为例	华域汽车、德赛西威
力学传感器	压力传感器	采购	以 SingleTack 产品为例	US\$98.50	2	US\$197.00	0.94%	SingleTack 量程 450 牛传感器为例报价 98.5 美元为例	苏州固锟
头部交互	显示屏	采购	参考特斯拉车机屏幕供应商：台湾宸鸿光电科技，LG	US\$100.00	1	US\$100.00	0.48%	以 iPad Pro 屏幕供应价 100 美元为例	三安光电
动力电池	电池组	采购	参考特斯拉动力电池供应商：LG 化学	US\$174.59	1	US\$174.59	0.83%	参考优必选 Walker 磷酸铁锂电池参数 54.6V/10Ah/ 6 kg 参数，查找到圣阳蓄电池 SCIFP4810 48V10AH 采购价 174.59 美元 (1299 人民币)	宁德时代、比亚迪、亿纬锂能
运动规划+处理器	FSD 系统	自研架构代工制造	三星制造芯片	US\$8,500.00	1	US\$8,500.00	40.45%	初代 FSD 售价 5000 美元，最新一代 FSD 售价 1.2 万美元，取其平均数进行估算	中芯国际
手部活动关节执行器	微型伺服电机	采购	未知	US\$71.02	12	US\$852.23	4.06%	以 DSpower R026 大扭矩微型金属舵机为例 (实际执行器为类似大小及功率)	汇川技术
	永磁力矩电机	采购	未知	US\$132.90	16	US\$2,126.40	10.12%	以 T-motor CubeMars Robot Dynamics RI80 KV75 为例	步科股份
	谐波减速器	采购	未知	US\$242.20	16	US\$4,844.00	23.05%	根据绿的谐波招股书，谐波减速器售价人民币 1631.95 元 (242.20 美元)	绿的谐波、汉宇集团
肢体活动关节执行器	编码器	采购	未知	US\$23.67	28	US\$378.72	1.80%	以多摩川 OIH48-2500P8L6-5V TS5214N510 为例	汇川技术、奥普光电
	直线执行器 (含电机, 减速器)	采购	未知	US\$52.99	12	US\$635.88	3.03%	以 SZMWKJ 牌 6000N 直线执行器为例	捷昌驱动
	直线减速器编码器	采购	未知	US\$14.00	12	US\$168.00	0.80%	以 SZMWKJ 牌 6000N 直线执行器编码器为例	捷昌驱动
肢体骨骼	手臂 胸腔 腿部 脚部	自研	未知	US\$87.76	30kg	US\$2,632.84	12.53%	以相对高成本的碳纤维材料估算，机体重量 56.67kg，估算除电池电机等元件外重量 30kg 左右，以 87.76 美元 (588 人民币) / 千克单价计算	海源复材
合计						US\$21,012.23	100%		

资料来源：特斯拉 AIDAY 2022, DSpower, ebay, 安信证券研究中心

根据上表信息我们可知，特斯拉 Optimus 肢体活动关节执行器仍占据较高价值量，占整机 38.80%；使用直线执行器或成为特斯拉 Optimus 降本路线之一，由于直线执行器相较于旋转执行器使用减速器其结构更简单，旋转蜗杆结构即可实现较高减速比和较低成本，在将测算假设由 28 个旋转执行器更新为 12 个直线执行器、16 个旋转执行器后，总成本从原来的 2.5 万美元下探至当前的 2.1 万美元。

3. 受益环节与增量预测

3.1. 产业链受益环节

由上一章成本拆分测算我们可以看出，特斯拉人形机器人零部件中，最大价值量环节在肢体活动关节执行器部分，其次是运动控制系统及处理器（Autopilot+FSD+Dojo）。而特斯拉的运动控制系统为自研，芯片以三星、台积电代工为主，国产替代空间暂不明朗。对于国内相关产业链公司，主要受益环节集中在执行器元件。

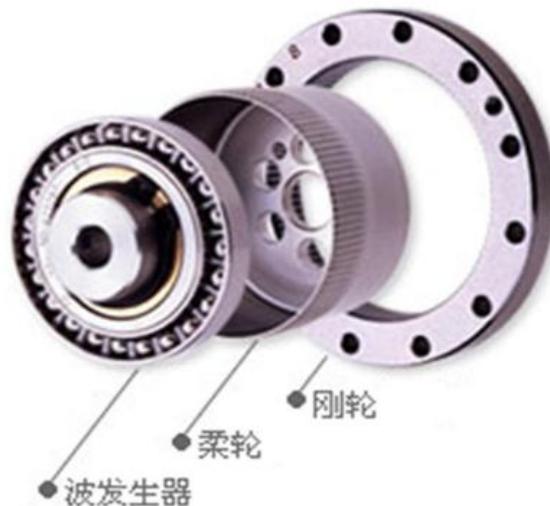
执行器元件主要关注以下组件：

- 1) **谐波减速器**：是一种靠波发生器装配上柔性轴承使柔性齿轮产生可控弹性变形，并与刚性齿轮相啮合来传递运动和动力的齿轮传动。具有承载力大、减速比高、质量较轻、精度较高的特点。根据发布会信息，特斯拉 Optimus 旋转执行器均使用谐波减速器，其市场化将使谐波减速器行业产生新的增量。

建议重点关注特斯拉人形机器人对谐波减速器的利好，原因如下：

- 人形机器人对谐波减速器的使用量远高于工业机器人、协作机器人。工业机器人谐波减速器使用量 1-6 台，协作机器人谐波减速器使用量 6-7 台，而特斯拉 Optimus 单台使用量达到 16 台。
- 谐波减速器价值量较高，根据上文测算，一台特斯拉 Optimus 使用 16 台谐波减速器，价值量约在 4844 美元，占整机 21.16%。
- 谐波减速器在国内存在世界级头部玩家绿的谐波等企业，存在进入特斯拉供应链的可能。

图 24：谐波减速器



资料来源：《最简单的谐波减速器》，安信证券研究中心

- 2) **直线执行器（线性驱动）**：采用内部旋转螺杆结构，通过永磁力矩电机带动螺杆旋转推动执行杆，将旋转运动转为直线运动，出力较高，相当于人的大小腿肌肉。

建议关注特斯拉人形机器人对直线执行器的利好，原因如下：

- 特斯拉 Optimus 对直线执行器单台使用量达到 12 台，数量较高。
- 直线驱动器在国内存在成熟厂商捷昌驱动等企业，且特斯拉使用直线执行器的重要目的之一在于降本，国产直线驱动器具有一定价格优势，存在进入特斯拉供应链的可能。

图 25：直线执行器



资料来源：捷昌驱动，安信证券研究中心

3) **永磁力矩电机**：其特点是堵转力矩大，空载转速低，不需要任何减速装置可直接驱动负载，过载能力强。长期堵转时能产生足够大的转矩而不损坏。

建议关注特斯拉人形机器人对永磁力矩电机的利好，原因如下：

- 永磁力矩电机价值量较高，根据上文测算，一台特斯拉 Optimus 旋转执行器使用 16 台谐波减速器，价值量约在 2126 美元，占整机 10.12%。
- 特斯拉供应链中已有国内永磁材料供应商中科三环，人形机器人的量产将为永磁材料、力矩电机国产厂商带来进一步利好。

图 26：永磁力矩电机



资料来源：航天十六所，安信证券研究中心

3.2. 增量预测

根据 EMERGEN 测算，2021 年全球人形机器人市场规模达到 10.2 亿美元，预计 2030 年将达到 783.3 亿美元，CAGR 为 62.5%，其中机器人硬件部分市场规模 CAGR 为 63.1%。

图 27：人形机器人市场规模预测

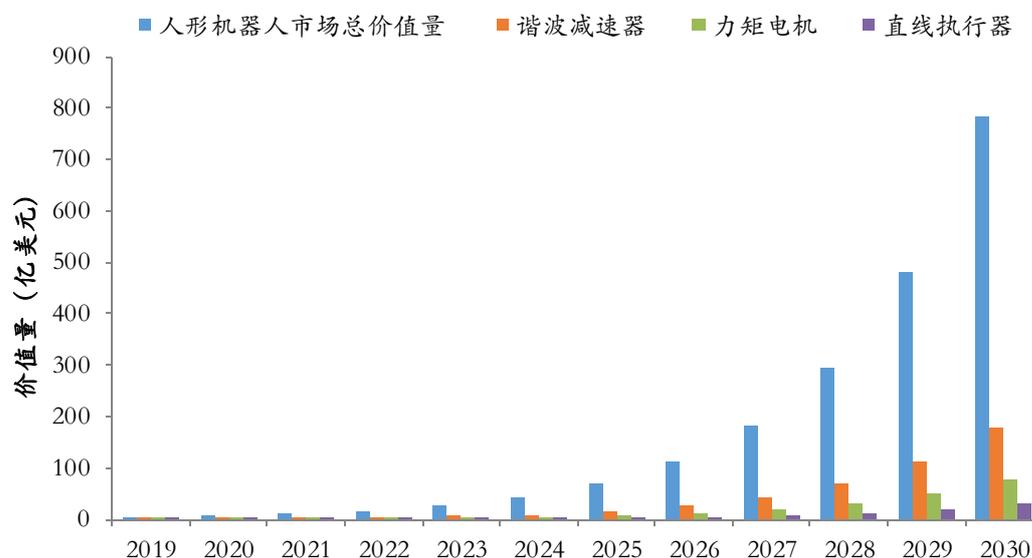


资料来源：EMERGEN，安信证券研究中心

基于上述数据，我们对特斯拉 Optimus 机器人相关受益产业链进行增量测算，测算基于以下假设：

- 1) **测算情形**：假设全球人形机器人产品都以特斯拉 Optimus 零部件价值量进行测算。
- 2) **受益产业链与价值量占比**：受益产业链主要关注具有国产替代潜力的谐波减速器、直线执行器、永磁力矩电机部分进行增量测算，根据第二章测算结果，谐波减速器/永磁力矩电机/直线执行器分别占单台价值量比例 23.05%/10.12%/3.83%。
- 3) **零配件品牌型号选用**：当前特斯拉 Optimus 主要零部件信息未知，对于信息未知的零部件，我们选用近似性能参数（即能满足产品设计需求）零配件进行测算。

图 28：受益产业链市场规模预测



资料来源：EMERGEN，安信证券研究中心（注：人形机器人市场总价值量数据来自 EMERGEN 测算）

由当前测算方法得出结果，2030 年预计谐波减速器/永磁力矩电机/直线执行器市场规模将达到 180.55 亿/79.27 亿/30.00 亿美元。且谐波减速器、螺杆结构直线执行器（线性驱动）、永磁力矩电机等元件均有成熟国产产品，特斯拉 Optimus 若能成功面世，将为产业链相关企业带来利好。

4. 投资建议

基于本文测算，由于人形机器人市场增量引起的谐波减速器/永磁力矩电机/直线执行器市场增量可观，且具有国产替代潜力，建议关注相关标的。

谐波减速器部件建议关注以下标的：

- **绿的谐波：**谐波减速器龙头企业，由于特斯拉人形机器人使用谐波减速器量较大，对其形成利好。
- **汉宇集团：**其子公司同川科技生产谐波减速器，同川精密部门从 2015 年专注研究谐波减速器，在冲压设备用谐波减速器市场经验丰富。
- **双环传动：**作为特斯拉汽车减速器供应链企业，有一定可能被纳入特斯拉人形机器人供应链。

直线执行器（线性驱动）部件建议关注以下标的：

- **捷昌驱动：**国内线性驱动龙头企业，做医疗器械电动推杆起家，目前线性驱动产品已在工业机器人等领域应用。

电机部件建议关注以下标的：

- **步科股份：**公司业务涉及伺服系统、步进系统、可编程逻辑控制器、变频器等，获得 2022 年移动机器人供应链优秀企业奖（运控驱动模块类）。
- **鸣志电器：**鸣志电器是运动控制领域的知名制造商，生产伺服电机、驱动器等产品
- **中科三环：**特斯拉汽车供应链企业，永磁材料供应商。人形机器人肢体关节对无框力矩电机需求量大，直流无框力矩电机是一种永磁直流伺服电动机，其增量利好永磁材料供应商。

表 4：本次重点关注标的

细分行业	证券代码	证券简称	市值	EPS				PE			
			(亿元)	2021	2022E	2023E	2024E	2021	2022E	2023E	2024E
谐波减速器	688017.SH	绿的谐波	305.34	1.57	1.53	2.16	2.93	111.11	79.96	56.59	41.65
	300403.SZ	汉宇集团	41.91	0.38	0.39	0.44		17.35	17.76	15.87	
特斯拉车用减速器	002472.SZ	双环传动	238.75	0.42	0.70	0.99	1.33	65.73	43.99	30.97	23.10
力矩电机	688160.SH	步科股份	27.03	0.89	--	--	--	38.79	--	--	--
	603728.SH	鸣志电器	132.75	0.67	0.76	1.29	2.18	35.63	41.36	24.54	14.46
电机永磁材料	000970.SZ	中科三环	176.28	0.37	0.71	0.95	1.20	42.86	20.32	15.32	12.12
直线执行器	603583.SH	捷昌驱动	100.78	0.71	1.08	1.59	2.33	70.08	24.33	16.49	11.26

资料来源：Wind，安信证券研究中心（注：均采用wind一致预期）

5. 风险提示

- 1) 特斯拉 Optimus 尚未发售，其产能可能不及预期。
- 2) 人形机器人作为消费产品尚不成熟，其市场需求可能不及预期。
- 3) 测算具有主观性。

■ 行业评级体系

收益评级:

领先大市 — 未来 6 个月的投资收益率领先沪深 300 指数 10%以上;

同步大市 — 未来 6 个月的投资收益率与沪深 300 指数的变动幅度相差-10%至 10%;

落后大市 — 未来 6 个月的投资收益率落后沪深 300 指数 10%以上;

风险评级:

A — 正常风险, 未来 6 个月投资收益率的波动小于等于沪深 300 指数波动;

B — 较高风险, 未来 6 个月投资收益率的波动大于沪深 300 指数波动;

■ 分析师声明

本报告署名分析师声明, 本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格, 勤勉尽责、诚实守信。本人对本报告的内容和观点负责, 保证信息来源合法合规、研究方法专业审慎、研究观点独立公正、分析结论具有合理依据, 特此声明。

■ 本公司具备证券投资咨询业务资格的说明

安信证券股份有限公司(以下简称“本公司”)经中国证券监督管理委员会核准, 取得证券投资咨询业务许可。本公司及其投资咨询人员可以为证券投资人或客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或间接的有偿咨询服务。发布证券研究报告, 是证券投资咨询业务的一种基本形式, 本公司可以对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析, 形成证券估值、投资评级等投资分析意见, 制作证券研究报告, 并向本公司的客户发布。

■ 免责声明

本报告仅供安信证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因为任何机构或个人接收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本报告基于已公开的资料或信息撰写，但本公司不保证该等信息及资料的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映本公司于本报告发布当日的判断，本报告中的证券或投资标的价格、价值及投资带来的收入可能会波动。在不同时期，本公司可能撰写并发布与本报告所载资料、建议及推测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息及资料保持在最新状态，本公司将随时补充、更新和修订有关信息及资料，但不保证及时公开发布。同时，本公司有权对本报告所含信息在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。任何有关本报告的摘要或节选都不代表本报告正式完整的观点，一切须以本公司向客户发布的本报告完整版本为准，如有需要，客户可以向本公司投资顾问进一步咨询。

在法律许可的情况下，本公司及所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券或期权并进行证券或期权交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务，提请客户充分注意。客户不应将本报告为作出其投资决策的惟一参考因素，亦不应认为本报告可以取代客户自身的投资判断与决策。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议，无论是否已经明示或暗示，本报告不能作为道义的、责任的和法律的依据或者凭证。在任何情况下，本公司亦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。

本报告版权仅为本公司所有，未经事先书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发表、转发或引用本报告的任何部分。如征得本公司同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“安信证券股份有限公司研究中心”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

本报告的估值结果和分析结论是基于所预定的假设，并采用适当的估值方法和模型得出的，由于假设、估值方法和模型均存在一定的局限性，估值结果和分析结论也存在局限性，请谨慎使用。

安信证券股份有限公司对本声明条款具有惟一修改权和最终解释权。

安信证券研究中心

深圳市

地址：深圳市福田区福田街道福华一路119号安信金融大厦33楼

邮编：518026

上海市

地址：上海市虹口区东大名路638号国投大厦3层

邮编：200080

北京市

地址：北京市西城区阜成门北大街2号楼国投金融大厦15层

邮编：100034