

# 人形机器人行业专题报告—— Tesla Bot风起，万亿赛道启航

证券分析师：曾朵红

执业证书编号：S0600516080001

联系邮箱：zengdh@dwzq.com.cn

联系电话：021-60199798

研究助理：谢哲栋

执业证书编号：S0600121060016

2022年8月8日

- **特斯拉“Optimus”即将横空出世，开启人形机器人纪元。** 马斯克将于2022年9月30日发布人形机器人Optimus样机，电动车“掌门人”高调入局人形机器人究竟是“博眼球”，抑或“真功夫”？我们着重探究Optimus落地推广的两大关键问题：**1) 产品“从0到1”**：人形机器人主要有人机交互、环境感知、运动控制这三大核心技术。特斯拉智能汽车≈自动驾驶+轮式机器人——电动车自动驾驶赋能Optimus人机交互、环境感知相关技术，背后是传感器方案、FSD芯片及核心算法平台等；但从“轮式机器人”到高达40个自由度（关节）的人形机器人，机电硬件（主要是电机及其驱动器+减速机）、运动软件算法待突破&迭代。**2) 商业化可行性1→N**：复盘特斯拉电动车的崛起之路，Optimus在智能化技术、市场营销等策略上均可复用电动车时代的经验，在人形机器人赛道上具备强竞争力和先发优势。**放量节奏方面**，参考Model S历程，我们预计人形机器人Optimus将于2023年底交付、2024-25迅速上量，2023-2025年销量分别10/50/100万台。
- **需求：垂直场景选择决定市场空间，我们预计特斯拉Optimus从个人/家庭应用场景切入，后续拓展至商业服务场景及非结构化工业场景，万亿市场可期。** 进入顺序上，我们预计短期进入家务场景，潜在市场空间达14万亿元，中期进入商业服务场景和“非结构化”场景的工业应用，潜在市场空间达25万亿元，长期待交互技术进一步突破后进入情感/陪伴场景，潜在市场空间达31万亿元。
- **供给：运动控制为人形机器人的“核心卡点”，国内运控核心零部件性能日臻成熟，考虑到Optimus规模化量产及降本诉求，国产零部件配套“静待花开终有时”。** 人形机器人产业链可分为上游零部件&原材料、中游系统集成&本体制造、下游应用环境。规模化量产后，Optimus预计售价2.5万美元（约17-18万元）、接近电动车的价格水平，其中运动控制核心零部件伺服系统、减速机等预计占成本的50%。国外供应链性能可靠但成本高，而国内相关工控零部件龙头凭借数十年积累，已突破工业机器人等高端装备，凭借性价比&服务响应快持续替代外资。我们看好人形机器人领域国产供应链比例提升，复刻特斯拉在电动车领域的降本之路。
- **投资建议：推荐动力系统环节三花智控、谐波减速器环节绿的谐波（机械组覆盖）、伺服环节汇川技术、禾川科技、雷赛智能，结构件环节拓普集团（汽车组覆盖），关注微电机环节鸣志电器及江苏雷利等。**
- **风险提示：核心技术突破不及预期，特斯拉机器人量产进度不及预期，宏观经济下行等。**



- 一、人形机器人：历经坎坷，持续发展
- 二、需求：场景为本，空间广阔
- 三、特斯拉Optimus：技术突破+商业化进程
- 四、供给：关注相关产业链配套机会
- 五、个股推荐 & 投资建议
- 六、风险提示

# 一、人形机器人：历经坎坷，持续发展

- 1.1. 机器人概述：可编程操作机，全球达百亿美元
- 1.2. 人形机器人：服务机器人的最高级形态
- 1.3. 核心产品：技术仍需突破，商业化仍是难题

# 1.1.机器人概述：可编程操作机，全球达百亿美元

## 1.1.1. 机器人是可编程的多功能操作机，2021年全球市场达410亿美元

- ❑ 机器人是具备一定程度自主能力的可编程多功能操作机。根据美国机器人协会，机器人是一种可编程和多功能的操作机，或是为了执行不同任务而具可编程动作的专门系统。
- ❑ 2021年全球机器人市场规模达410亿美元，未来空间较大。根据Statista数据，全球机器人销量2019-2021年分别为329亿美元/363亿美元/410亿美元，目前仍处于较初期发展阶段，未来空间较大。根据我国2021年6月1日实施的《机器人分类》，机器人可被分为工业机器人、服务机器人两大类，工业机器人主要应用于工业环境用于制造目的，而服务机器人更重视人类交互。

图 全球机器人销售额2021年达410亿美元

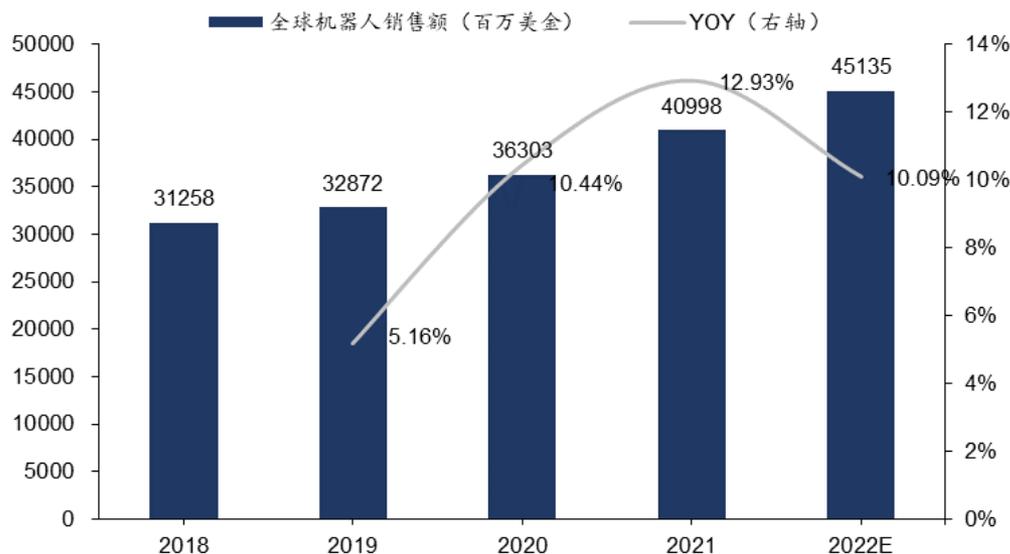
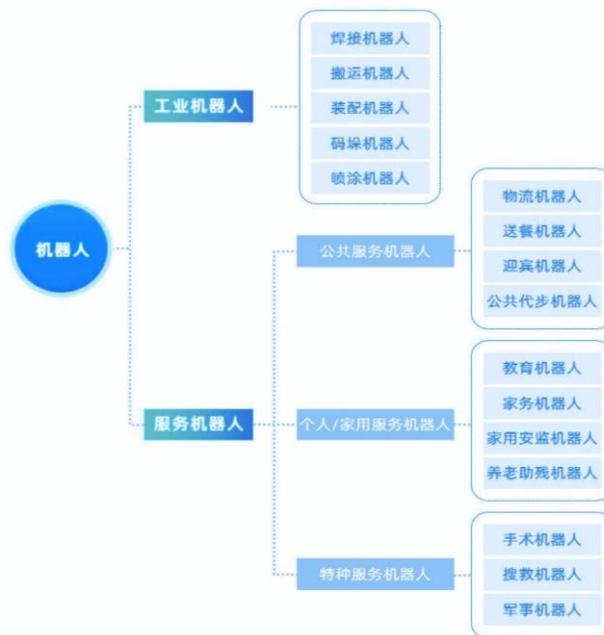


图 机器人分为工业机器人及服务机器人两类



# 1.1. 机器人概述：可编程操作机，全球达百亿美元

## 1.1.2. 服务机器人应用环境复杂度更高，目前市场仍由美国主导，未来空间广阔

- 服务机器人与工业机器人主要区别在于应用环境的复杂程度。工业机器人强调在规划好的环境完成既定任务，同时要求高耐久、高精度、高力矩输出；而服务机器人强调在开放非预设复杂环境下完成轻型作业，尽可能低成本之下的可接受寿命，且对于安全性&可靠性要求很高。
- 服务机器人相比工业机器人发展更初期，未来空间广阔，增速可期。工业机器人发展较早，市场应用更加成熟；而服务机器人处于发展初期，根据Statista数据，2018-2022年全球服务机器人市场增长近119%，增速较快。结构方面，服务机器人市场由美国主导，2021年销售额达120亿美元，占比40%。

图 全球工业机器人市场由中国主导

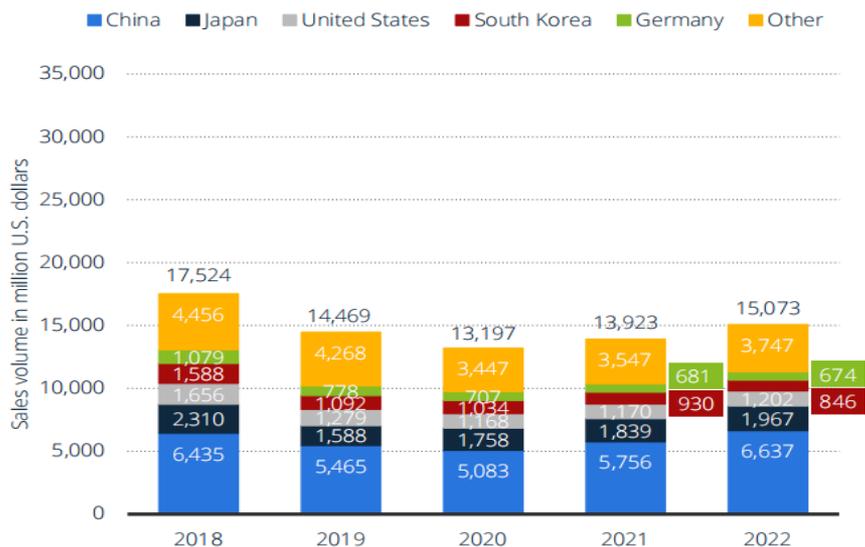
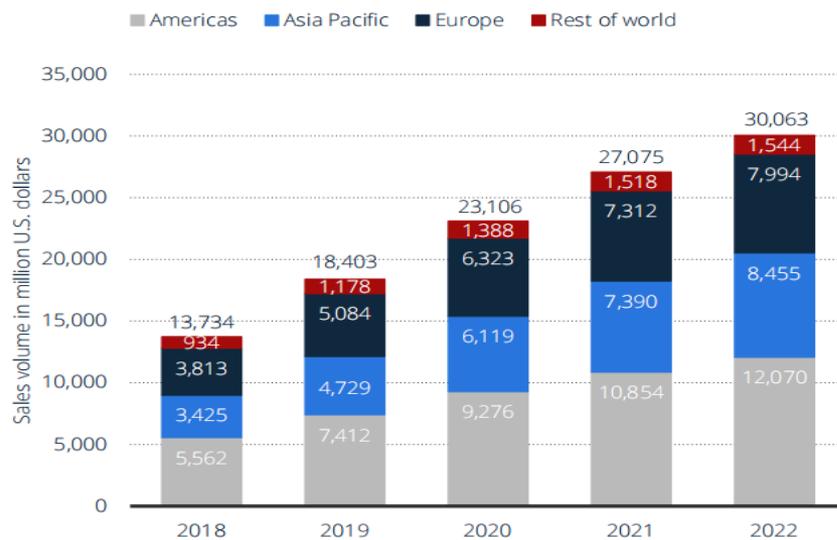


图 服务机器人市场由美国主导



### 1.2.1. 人形机器人是服务机器人的最高级形态，需要更高的交互、感知、控制能力

- 人形机器人是服务机器人的最高级形态，可被广泛应用于生活生产的众多场景。人形机器人被誉为AI领域的终极形态，是指模仿人的形态和行为而设计制造的机器人，设计制造目的是为了与人工工具和环境进行交互，从而辅助甚至替代人类的生产生活。应用场景上，主要分为商用场景和个人/家庭应用场景两大类，涵盖物流、送餐、清洁、陪伴、娱乐等应用领域。
- 相比其他服务机器人，人形机器人需要更高的感知、运动控制、交互能力。1) 交互：人形机器人面临解决情感陪伴的服务需求，与人打交道次数更多，需具备较强的人机交互能力；2) 感知：人形机器人往往面临的场景更多样（专业术语“非结构化环境”），环境不确定性更高，需要具备极强的环境感知能力和非结构化场景作业能力。3) 控制：体型上更类人，体积重量有所受限，同时需要实现步态行走，对运动控制也提出了更高的要求。

图 人形机器人需实现步态行走



图 人形机器人有陪伴、情感功能



## 1.2. 人形机器人：服务机器人的最高级形态

### 1.2.2. 人形机器人的发展历程百年，商业道路坎坷，技术持续缓慢进步

#### 第一阶段：探索起步期 1927-1963

- **1927年**：美国西屋公司制造了世界上第一台人形机器人“Televox”，虽不能走动，但可抬起接收器接听电话。
- **1937年**：西屋公司又制造出“摩托人 Elektro”，其被认为是真正的第一个类人机器人。Elektro 身高 210厘米，体重超过 120 公斤，能够执行 26 种不同的日常活动。
- **1939年**：瑞典奥古斯特·哈蒙发明了电波机器人，长相奇怪但可接受无线电波传送的指令从而实现“行走”。
- **1963年**：NASA推出了“机动多关节假人，可模拟出35种基本基本人类动作”

#### 第二阶段：自主运动研发期 1972-2000

- **1972年**：日本早稻田大学加藤一郎教授率先解决了人形机器人的双足行走问题，至此揭开了人形机器人研究的序幕。
- **1973年**：早稻田大学又研发出第一台真人大小自主式机器人WAROT-1，为其配置了机械手&人工视觉&听力装置。
- **1989年**：美国西北太平洋国家实验室建造出机器人Manny，可以模拟复杂的身体运动和姿势，包括呼吸、皮肤温度、出汗状态。

#### 第三阶段：智能化研发加速期 2000-至今

- **2000年**：本田推出能够跳跃的人形机器人 ASIMO，人形机器人发展逐步成熟。我国第一台人形机器人问世，由国防科技大学研制，命名为“先行者”。
- **2005年**：英国Engineered Arts推出机器人Robo the Spain，可语音、人脸识别。
- **2013年**：Boston Dynamics推出人形机器人Atlas，主打探索运动控制的极致。
- **2014年**：软银和AR联合推出人形机器人Pepper，该机器人2015年开始市售，是人形机器人商用化的重大尝试。
- **2018年**：优必选发布第一代大型双足仿人服务机器人Walker，具备多维力觉、全向听觉、测距等全方位感知系统。
- **2020年**美国敏捷机器人公司成功推出第一款商用化出售的机器人Digit，可在无人干涉的环境中自行搬运箱子。
- **2021年**英国Engineered Arts推出Ameca，是最接近人类面部表情的机器人。
- **2022年**：9月特斯拉AI DAY上有望推出特斯拉人形机器人Optimus原型机。

## 1.3.1. 本田ASIMO：纯电机驱动的人形机器人“鼻祖”

□ 本田ASIMO机器人于2000年推出，采用纯电机驱动，自由度57个，之后十余年不断迭代升级，具备跑、跳、爬楼梯甚至跳舞等功能。售价250万美元，未进行商业化，2018年7月停止更新。

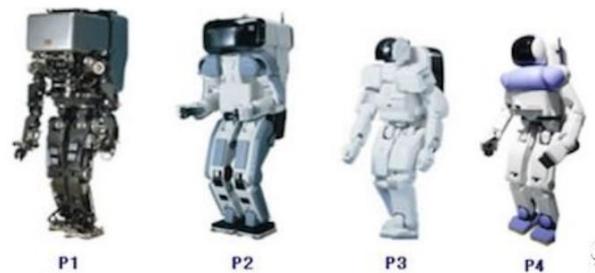
### 本田（日本）/ ASIMO

#### 公司机器人发展时间线

- 1948年成立，从发动机制造起步。
- 1986年开始发展人形机器人，推出两足机器人初期版E0；
- 1887-1991年，依次推出E1/E2/E3，成功实现了步态行走；
- 1991-1993年，进一步推出E4/E5/E6，研发出使机器人**稳步行走的技术**；
- 1993-1997年，研发并推出了**完全可自主步行的拟人机器人P1/P2/P3/P4**，趋势是向小型化轻量化演进；
- 2000年，推出了**搭载i-WLAK技术**的人形机器人ASIMO；
- 2001-2011年针对ASIMO在联网能力、动作灵敏度、交流沟通能力、行为控制、服务类型等方式进行逐步改善。
- 2017年10月，推出救灾机器人E2-DR，转向专业应用领域的机器人研发。
- 2018年，因不够实用停止更新ASIMO，此前其主要应用领域为表演和接待。

#### 核心产品ASIMO情况

- **功能**：ASIMO机器人经过7次迭代，已具备了跑、跳、爬楼梯、打开饮料、踢足球，甚至跳舞等多种本领。同时还可以与人交谈，解释手势并响应各种命令。
- **技术**：（1）环境感知：配备视觉传感器、接地传感器、超声波传感器、压力传感器等等；（2）运动控制：**硬件上纯电机驱动**，软件上采用I-WALK技术实现“预测运动控制”，水平反应控制、目标ZMP控制、步长位置控制等；
- **参数**：身高130cm，体重48kg，运动速度9km/h，自由度达57个。
- **商业化情况**：主要用于接待场景，单台价值250万美元，商业化进程缓慢。
- **局限性**：续航时间短（仅1小时）、售价过高难以商业化，缺乏高级AI技术。



轻量化，功能更完善



## 1.3.2. 波士顿动力ATLAS：液压驱动“集大成者”，带来极致运动控制性能

□ 波士顿动力仿人机器人Atlas于2013年推出，采用液压驱动+控制模式，自由度28个，运动控制能力较为顶尖，目前可以实现多种“跑酷动作”。单台价值200万美金，目前无商业化尝试。

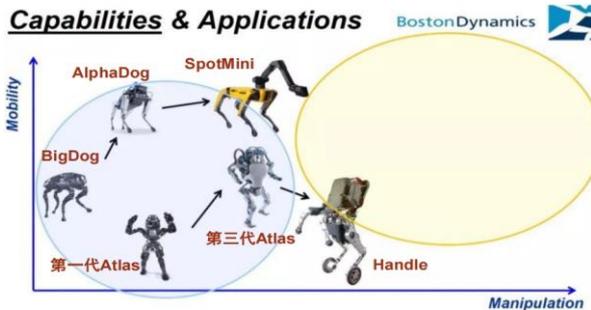
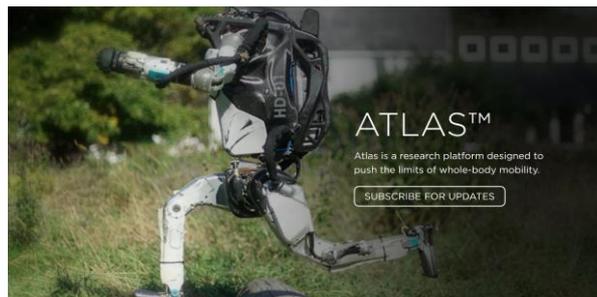
### 波士顿动力（美国）/ATLAS

#### 公司双足机器人发展 timeline

- 1992年成立，早期研发资金来源于美国军方支持
- 2009年研制出PETMAN Prototype，可以像人一样行走，但需在外力作用下维持平衡，步行速度为3.2英里每小时，与人类步行速度相似。
- 2011年研制出应用于化学防护服性能测试的PETMAN机器人，**创新性的使用液压驱动的方式**，PETMAN可以实现多种运动姿势和各个方向的自由行走。
- 2013年推出仿人机器人Atlas（第一代），**采取全新的模式——电液混合**，增强了运动能力，需要电缆进行供电，配备视觉系统（激光测距仪和立体照相机）。
- 2016年推出第二代Atlas，使用更加轻便的材料缩减了近一半的体型，且具有独立锂电池组电源，脱离了电缆的束缚，同时头部使用光学雷达和立体传感器。
- 2017年-2020年持续改进Atlas，首先使其可稳定快速翻越障碍物，完成空中转体、后空翻等动作，**接着用模型预测控制器技术**，使其对动作进行跟踪以实现平滑交接，**最终引入自主步伐规划算法**，在狭窄地形中自主导航和行动。

#### 核心产品ATLAS情况

- **功能**：Atlas机器人目前已具备了跑、跳、后空翻、空中跳跃、跑酷等多种本领。
- **技术**：（1）环境感知：足部配备力控传感器，头部配备激光雷达与深度相机进行环境感知；（2）运动控制：**硬件上电液混合驱动模式**达到运动控制的极致，软件上采取行为库+模型预测控制技术+自主步伐规划算法；
- **参数**：身高150cm，体重80kg，运动速度5.4km/h，自由度28个（液压关节）。
- **商业化情况**：目前无商业化尝试，单台价值约200万美金
- **局限性**：能耗较大、售价过高难以商业化，缺乏高级AI技术。



# 1.3.核心产品：技术仍需突破，商业化仍是难题

## 1.3.3. 优必选WALKER：国产人形机器人先锋，商业化进程加速中

我国机器人领域领军企业优必选的WALKER原型机于2016年，采用纯电机驱动，自由度41个，并多次迭代，目前版本可进行弹琴、倒水、步态行走等，商业化进程加速中。

### 优必选（中国）/WALKER

#### 公司机器人发展时间线

- 2012年成立，主要业务为服务机器人。
- 2012年推出了第一款人形机器人Alpha 1，这款小型机器人拥有16个伺服舵机，具备可编程、可跳舞、可说话等特点，且价格低廉，获得了市场的认可（由于伺服电机质量要求较高+需要定制化，优必选选择自己生产）
- 2016年推出原型机，可以全向行走，静态上下斜坡晃动平面进行平衡；
- 2017-2018年，推出WALKER第一代，14个自由度，可以实现上下楼梯、踢球踢球、拟人舞蹈，且有一定的人机交互能力。
- 2019-2020年，推出WALKER第二代，36个自由度，可以进行弹琴、倒水、写字画画、类人步态行走、全身实现柔顺控制，复杂路径落脚规划和动作模仿等；
- 2021年，推出WALKER X，41个自由度，在第二代基础上，还具备了复杂地形自适应、U-SLAM视觉导航、智能家居控制、多模态情感交互等功能。

#### 核心产品WALKER情况

- **功能：**WALKER已具备了弹琴、倒水、写字画画、步态行走、动态上下楼梯，跳舞等多种本领，同时具备多模态情感交互能力。
- **技术：**（1）环境感知：头部配备U-SLAM视觉导航，手部力矩传感器、膝盖按照高精度惯导传感器，脐部超声波传感器；（2）运动控制：**硬件上纯电机伺服**，软件上复杂地形自适应、复杂路径落脚规划&动作模仿，全身柔顺控制等；（3）人机交互：多模态情感交互功能。
- **参数：**身高130cm，体重63kg，运动速度3km/h，自由度达41个。
- **商业化情况：**用于发导览、前台、接待等场景，商业化进程加速中。



|              |                          |                          |                   |
|--------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|
| 原型机<br>2016年 | WALKER 1.0<br>2017-2018年 | WALKER 2.0<br>2019-2020年 | WALKER X<br>2021年 |
|--------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|

自由度增加，运动能力增强，功能逐渐完善



## 1.3.4. 其他代表产品：商业化进程较艰难

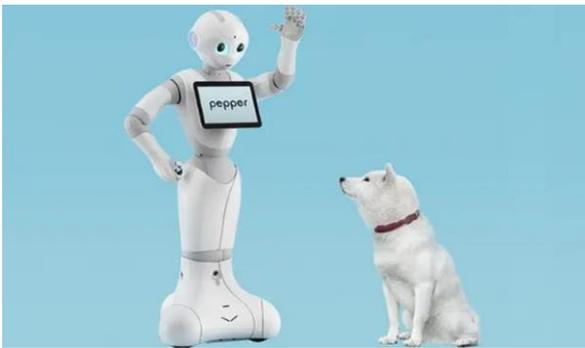
其他代表性产品包括软银的Pepper、Engineered Arts的Ameca、Agility Robotics的Digit等成本均较高，其中Digit主打物流垂直应用场景，商业化效果最好。

### 软银（日本）

#### Pepper

2014年推出，功能较差，商业化失败

- Pepper是由日本软银集团和法国Aldebaran Robotics研发的类人型情感机器人，应用场景为教育、商业等。
- 发展历程：**2014年6月被软银推出，2015年6月公开发售，2018年进入中国市场，2020年8月正式宣布停产。
- 商业化进程：**于2015年进入市场，并于2020年8月份停产，其面向普通消费者的售价为人民币约3万美元，由于价格较高+使用功能性不足，商用失败。
- 功能：**有20个电机，上半身为类人型，整体功能较为单一，可靠性较差。



### Engineered Arts（英国）

#### Ameca

面部逼真&运动性能差，售价超13万美元

- Ameca是英国公司Engineered Arts推出的人形机器人，运动性能较差，但面部表情逼真，主要用于娱乐、表演。
- 发展历程：**2021年12月Engineered Arts发布了Ameca互动视频，2022年1月在CES2022登台亮相。
- 商业化进程：**目前无明确商用化计划，但据路透社，可以13.3万美元出售
- 功能：**Ameca将AI与AB集成在一起，配备广泛的传感器，包括摄像头、麦克风、位置编码器以及具有数千个参数的智能电子设备



### Agility Robotics（美国）

#### Digit

主攻物流、仓储场景，商业化规模小

- Digit是美国Agility Robotics公司推出的人形机器人，主要应用于物流、仓库。
- 发展历程：**2004年Agility Robotics推出机器人MABEL，2009年推出ATRIAS 1.0，2014年推出ATRIAS 2.0，2016年推出著名的CASSIE（只有双脚），2018年推出DIGIT第一代，2019-2020年分别推出DIGIT第二代第三代。
- 商业化进程：**售价为25万美元/套，2021年出货量为40-60台。
- 功能：**具备行走的平衡性，支持大多数软件API，是数据执行机构。



# 1.3.核心产品：技术仍需突破，商业化仍是难题

## 1.3.5. 产品参数对比：外形参数类人，技术仍需突破，商业化进程缓慢

对比六款典型人形机器人核心参数，我们发现：1) 参数方面：通常高度在120-185cm之间，重量为40-80kg，行驶速度3-5km/h，与人较为相似；2) 技术方面：人形机器人三大核心技术为人机交互+场景感知+运动控制，其中场景感知技术随时间推移、进步较为迅速，运动控制方面大多采用液压驱动或纯电机驱动，运控算法方面还有较大提升空间，人机交互上有所突破但距“自主决策”还有较大差距；3) 商业化方面：因机器人未解决痛点需求，同时价格较高，故商业化进程较为缓慢（仅Digit、WALKER等实现商业化）。

表 核心人形机器人产品参数对比

| 名称    | ASIMO   | Pepper                              | Atlas   | Digit   | WALKER  | Ameca   |
|-------|---|-------------------------------------|---|---|---|---|
| 发布时间  | 2000年   | 2015年                               | 2013年   | 2019年   | 2018年   | 2021年   |
| 研发厂商  | 本田（日本）  | 软银集团（日本）                            | 波士顿动力（美国）   | Agility Robotics（美国）  | 优必选（中国）   | Engineered Arts（英国）                                       |
| 基本参数  | 高130cm,<br>重48kg<br>行驶速度9km/h   | 高120cm<br>重28kg<br>行驶速度3km/h        | 高150cm<br>重80kg<br>行驶速度5.4km/h  | 高155cm<br>重42kg   | 高130cm<br>重63kg<br>行驶速度3km/h  | 高187cm<br>重49kg   |
| 价格/成本 | 250万美元/台  | 3万美元/台                              | 200万美元/台  | 25万美元/套   | -   | 13.3万美元/台   |
| 商业化程度 | 未进行商业化  | 2018年停产                             | 未进行商业化  | 2021年出货量40-60台  | 商业化进程加速中  | 目前无明确商用计划   |
| 自由度   | 57个   | 20个                                 | 28个   | 16个   | 41个   | 51个   |
| 应用场景  | 接待场景  | 商业、教育场景                             | 研发平台  | 物流、仓储场景   | 展览、表演、家庭等   | 娱乐、展示场景   |
| 技术情况  | (1) 环境感知：配备视觉传感器、接地传感器、超声波传感器、压力传感器等等；(2) 运动控制：硬件上纯电机驱动，软件上采用I-WALK技术实现“预测运动控制”，水平反应控制、目标ZMP控制等 | 只有20个电机，上半身是人形，硬件薄弱、可靠性也较差、且情感引擎也很差 | (1) 环境感知：足部配备力控传感器，头部配备激光雷达与深度相机进行环境感知；(2) 运动控制：硬件上电液混合驱动模式达到运动控制的极致，软件上采取行为库+模型预测控制技术+自主步伐规划算法 | Digit膝盖关节可以做到向后弯曲，可在各种表面上改善平衡性和稳定性。同时支持大多数的软件API，用户可利用其控件视觉算法来开发用户应用程序。 | (1) 环境感知：头部配备U-SLAM视觉导航，手部力矩传感器、膝盖按照高精度惯导传感器，脐部超声波传感器；(2) 运动控制：硬件上纯电机伺服，软件上复杂地形自适应、路径落脚规划&动作模仿； | Ameca将AI与AB集成在一起，配备广泛的传感器，包括摄像头、麦克风、位置编码器以及具有数千个参数的智能电子设备 |

## 二、需求：场景为本，空间广阔

- 2.1. 场景预测：精准场景定位是商业化基础
- 2.2. 需求预测：全球万亿蓝海市场，未来可期

### 2.1.1 服务机器人应用场景广泛，场景的精准定位是商用化的前提

- ❑ 复盘机器人发展历程，我们认为对产业链的发展来讲，场景选择至关重要。当技术难以研发适用于所有场景的通用机器人时，需求场景越垂直越深，越容易实现商业化的成功。
- ❑ 服务机器人可以分为商业机器人和个人机器人，应用场景较为广泛。商业机器人是指在专业环境中执行服务的机器人，而个人机器人则用于私人家庭。根据Statista数据，商业机器人的应用场景主要包括医疗、物流、农业和其他（包括国防、公共关系等），个人/家庭机器人的应用场景主要为家务机器人（辅助吸尘、地板清洁、草坪修剪、游泳池清洁、窗户清洁、家庭安全等）、娱乐休闲机器人（用于满足情感需求、教育、陪伴等）。

#### ① 商业场景

- 医疗领域：辅助向导、诊断、康复等
- 物流领域：收捡分发包裹、运输等
- 农业领域：农场/牧场辅助工作
- 其他领域：包括国防安全、公共关系维护、营销宣传等



医疗



物流



农业



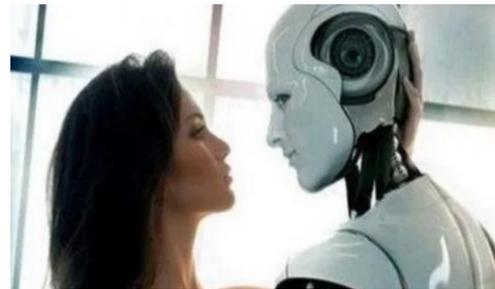
安全

#### ② 个人/家庭场景

- 家务场景：取快递、洗衣服、做清洁、家庭安保、草坪修建等
- 娱乐休闲场景：陪伴、辅助教育工作、满足情感需求和交互等



家务



情感

## 2.1. 场景预测：精准场景定位是商业化基础

### 2.1.2 商业场景下医疗份额最高、物流增速最快，个人/家庭场景具备强增长潜力

- 商业场景中，医疗机器人占据最大的市场份额，物流机器人增速最快。根据Statista数据，2022年服务机器人中应用于医疗场景的机器人销售额达101亿美元，占比约34%，主要由于老龄化导致护理需求人数增加。此外，应用于物流领域的机器人2022年达46亿美元，增速最快，主要由于新冠疫情流行+互联网发展导致在线购物迅速发展，增加了对物流速度和交货时间的要求，物流、仓储中使用机器人可大幅度降低人工成本，提高效率。
- 个人/家庭场景机器人增速较快，仍具备较大增长潜力。个人/家庭场景中，2022年机器人销售规模达91亿美元，相比2018年的46亿美元，实现接近翻倍的增长；其中用于家务场景、情感交互场景的机器人分别占比82%、18%。我们认为个人/家庭场景是机器人未来发展的终极方向，相比商业场景具备更强大的增长潜力，市场空间广阔。

图 服务机器人商业场景下市场规模（百万美元）

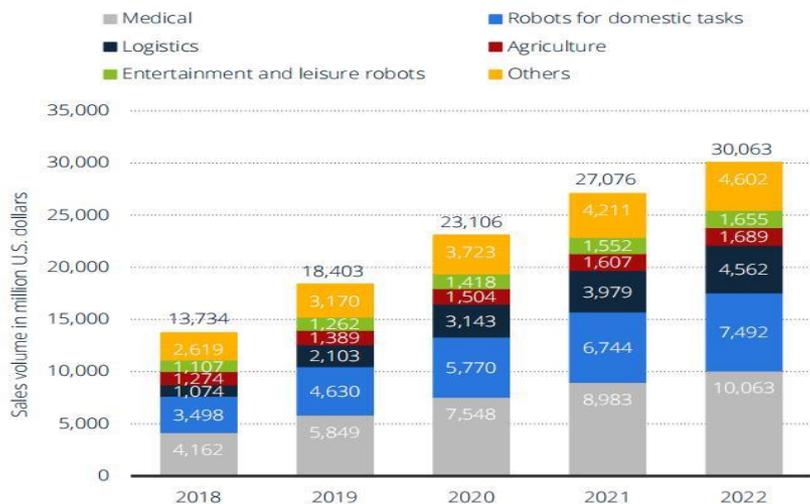
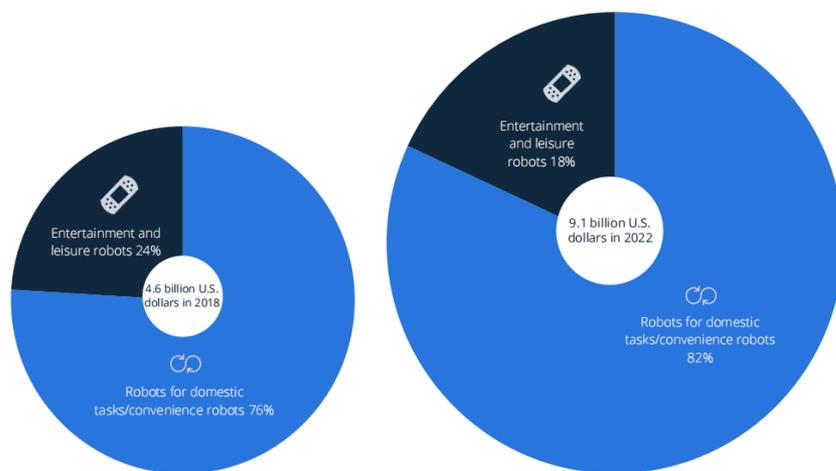


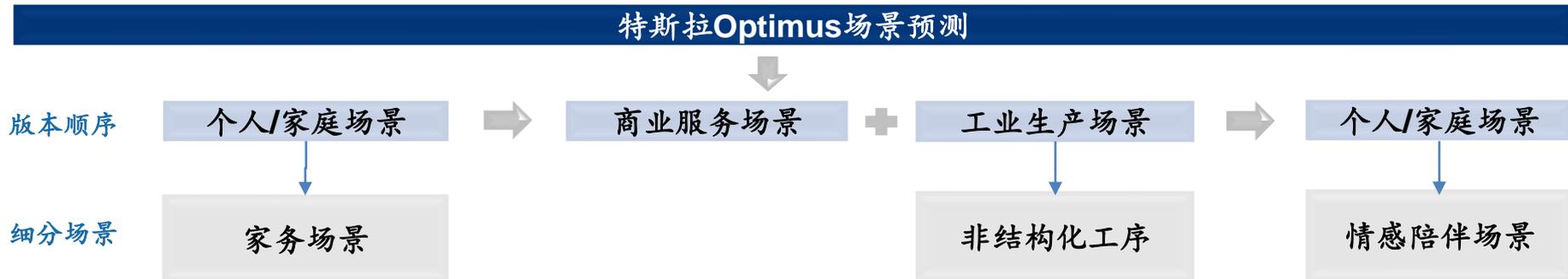
图 服务机器人家务场景下市场规模（百万美元）



### 2.1.3. 特斯拉的Optimus市场预测：个人/家庭场景为核心的偏C端市场

- 根据公开信息，我们认为特斯拉Optimus的应用场景以个人/家庭场景（C端）为主，同样包括商业服务场景与非结构化工业生产场景（B端）。场景进入顺序上，我们预计短期应用于个人/家庭场景，中期有望进入商业服务场景和非结构化&轻量化工业场景，长期待交互技术进一步突破后有望满足情感、陪伴等需求。
- 结构化工业生产场景也许并非Optimus的主要应用场景。由于生产过程中工艺工序较为固定，工业机器人专业化程度高、柔性化程度也在加深，可满足多下游行业生产需求，类人度要求较低，因此并非特斯拉Optimus的核心应用场景。

图 特斯拉机器人需求场景预测示意图



- STEP1: 进入家务场景，需求测算方法为：家庭户数×渗透率
- STEP2: 进入商业场景+工业场景（非结构化工序，传统工业机器人无法胜任），需求测算方式为：从业人数×渗透率
- STEP3: 交互技术进步后，进入情感陪伴场景，需求测算为：一人户家庭数×渗透率

## 2.2. 需求预测：全球万亿蓝海市场，未来可期

### 2.2.1. 短期需求测算（1-3年）：“家务场景” 全球市场规模约14万亿元

- 家务场景机器人应用主要集中于亚洲、美国和欧洲。**根据Statista数据，2022年亚洲、美国、欧洲的家务场景服务机器人销售额预计分别为28亿美元、24亿美元和17亿美元，合计共占89%。故我们选取其中的主要国家：亚洲的日本、中国、韩国，欧洲的英国、法国、德国、意大利，以及美国的家庭户数作为测算依据。
- 我们估计家务场景下，人形机器人市场空间约14万亿元。**考虑经济发展水平和人均收入等因素，我们假设美国/欧洲/亚洲市场未来（约1-3年）人形机器人渗透率分别可达16%/12%/8%，结合美国、欧洲、亚洲的主要户数情况，可计算出美国/欧洲/亚洲的平均台数分别为1343/1496/4347万台，总需求台数可达7186万台。如果单价按照规模化生产后的20万元均价测算，则总市场规模约14万亿元，空间广阔。

图 家务机器人目前市场区域分布

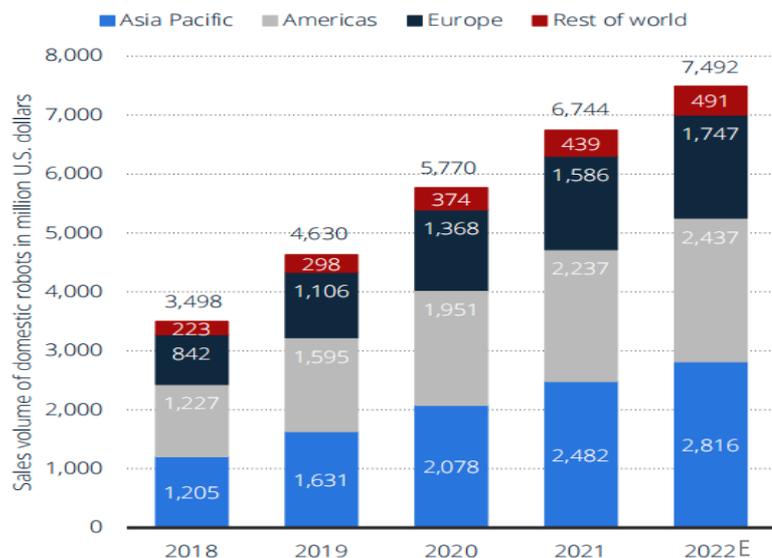


图 短期家务场景下全球市场空间约14万亿

| 市场   | 指标             | 数值     |
|------|----------------|--------|
| 美国市场 | 美国家庭户数 (万)     | 8392   |
|      | YOY            | 0.26%  |
|      | 前5%高收入户数占比 (%) | 23.00% |
|      | 渗透率估计          | 16.00% |
|      | 平均台数 (万台)      | 1343   |
| 欧洲市场 | 英国家庭户数 (万)     | 2780   |
|      | 法国家庭户数 (万)     | 2970   |
|      | 德国家庭户数 (万)     | 4100   |
|      | 意大利家庭户数 (万)    | 2620   |
|      | 渗透率            | 12.00% |
|      | 平均台数 (万台)      | 1496   |
| 亚洲市场 | 韩国家庭户数 (万)     | 2073   |
|      | 日本家庭户数 (万)     | 5738   |
|      | 中国家庭户数 (万)     | 46524  |
|      | 渗透率            | 8.00%  |
|      | 平均台数 (万台)      | 4347   |
| 合计   | 总台数 (万台)       | 7186   |
|      | 单价 (万人民币)      | 20     |
|      | 市场规模 (亿元)      | 143718 |

## 2.2. 需求预测：全球万亿蓝海市场，未来可期

### 2.2.2. 中期需求测算（3-5年）：“家务+商业服务场景”全球市场规模约25万亿元

- 商业服务应用主要集中于美国和欧洲，亚洲增速较快。根据Statista数据，2022年美国、欧洲的商业服务场景机器人销售额分别为91亿美元、60亿美元，合计占比超60%，亚洲销售额2022年达48亿美元，相比2019年增长接近100%，增速较快。
- 我们认为中期（约3-5年）看，特斯拉人形机器人有望进入商业服务场景及部分工业场景，替代服务业与制造业从业人员。与家务场景测算类似，我们仍然选取美洲、欧洲和亚洲的主要国家，以其服务业及制造业从业人数为基础进行测算，对于美国、欧洲、亚洲分别给予渗透率估计值8%、7%、6%，最终得到总的需求台数为5446万台，按照单价20万元测算，商业服务场景下的总市场规模达11万亿元。叠加家务场景下的需求14万亿元，中期维度总市场规模约25万亿元。

图 商业服务机器人目前市场区域分布

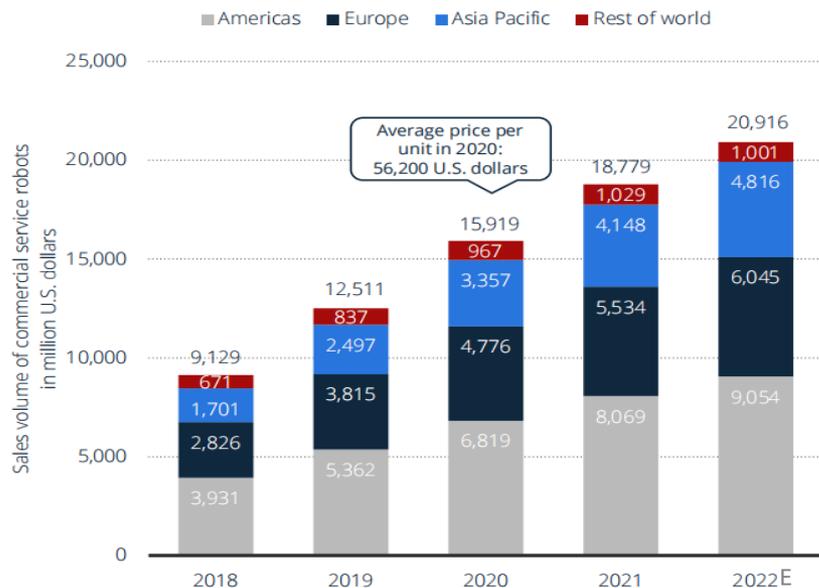


图 中期商业服务场景下全球市场空间约11万亿元

| 市场   | 指标            | 数值     |
|------|---------------|--------|
| 美国市场 | 美国：服务业人数（万人）  | 11943  |
|      | 制造业人数（万人）     | 1233   |
|      | 渗透率估计         | 8%     |
|      | 平均台数（万台）      | 1054   |
| 欧洲市场 | 英国：服务业人数（万人）  | 2654   |
|      | 制造业人数（万人）     | 271    |
|      | 法国：服务业人数（万人）  | 2101   |
|      | 制造业人数（万人）     | 304    |
|      | 德国：服务业人数（万人）  | 2956   |
|      | 制造业人数（万人）     | 827    |
|      | 意大利：服务业人数（万人） | 1641   |
|      | 制造业人数（万人）     | 418    |
|      | 渗透率           | 7%     |
|      | 平均台数（万台）      | 782    |
| 亚洲市场 | 韩国：服务业人数（万人）  | 323    |
|      | 制造业人数（万人）     | 440    |
|      | 日本：服务业人数（万人）  | 831    |
|      | 制造业人数（万人）     | 1060   |
|      | 中国：服务业人数（万人）  | 35806  |
|      | 制造业人数（万人）     | 21712  |
|      | 渗透率           | 6%     |
|      | 平均台数（万台）      | 3610   |
| 合计   | 总台数（万台）       | 5446   |
|      | 单价（万人民币）      | 20     |
|      | 市场规模（亿元）      | 108928 |

## 2.2. 需求预测：全球万亿蓝海市场，未来可期

### 2.2.3. 长期需求测算（5-10年）：“家务+商业服务/工业生产+情感/陪伴场景”全球市场规模约31万亿元

我们认为随着AI技术的进步，人机交互能力逐步加强，最终人形机器人可以很好的满足情感/陪伴需求。我们以一人户家庭为主要目标群体，将美洲、欧洲、亚洲核心国家的家庭户数拆分为一人户家庭和非一人户家庭，一人户家庭以情感/陪伴需求为主、给予较高渗透率（美国、欧洲、亚洲分别为35%、28%、20%）；非一人户家庭按照家务场景需求为主、给予渗透率估计（美国、欧洲、亚洲分别为16%、12%、8%），最终测算得到家务+情感/陪伴场景下人形机器人总需求台数为10107万台，按照单价20万元，则市场规模约20万亿元。

叠加对商业服务/工业生产场景的讨论，长期来看，人形机器人有望实现家务+情感/陪伴+商业/工业三场景需求共振，总市场规模预计可达31万亿元。

注：一人户家庭渗透率估计类比了目前20万元汽车的渗透率：根据国家统计局，2020年有车家庭占41.7%，20万元以上汽车拥有家庭占8%

图 考虑情感陪伴+家务需求，个人/家庭场景下规模达20万亿

| 市场         | 指标           | 数值      |
|------------|--------------|---------|
| 美国市场       | 美国家庭户数（万）    | 8392    |
|            | 其中：一人户家庭数（万） | 2925    |
|            | 非一人户家庭数（万）   | 5467    |
|            | 一人户渗透率（%）    | 35%     |
|            | 非一人户渗透率（%）   | 16%     |
|            | 平均台数（万台）     | 1898    |
| 欧洲市场       | 英国家庭户数（万）    | 2780    |
|            | 其中：一人户家庭数（万） | 300.24  |
|            | 非一人户家庭数（万）   | 2479.76 |
|            | 法国家庭户数（万）    | 2970    |
|            | 其中：一人户家庭数（万） | 451.44  |
|            | 非一人户家庭数（万）   | 2518.56 |
|            | 德国家庭户数（万）    | 4100    |
|            | 其中：一人户家庭数（万） | 1647.6  |
|            | 非一人户家庭数（万）   | 2452.4  |
|            | 意大利家庭户数（万）   | 2620    |
|            | 其中：一人户家庭数（万） | 841     |
|            | 非一人户家庭数（万）   | 1779    |
|            | 一人户渗透率（%）    | 28%     |
|            | 非一人户渗透率（%）   | 12%     |
| 平均台数（万台）   | 2015         |         |
| 亚洲市场       | 韩国家庭户数（万）    | 2073    |
|            | 其中：一人户家庭数（万） | 664     |
|            | 非一人户家庭数（万）   | 1409    |
|            | 日本家庭户数（万）    | 5738    |
|            | 其中：一人户家庭数（万） | 2180    |
|            | 非一人户家庭数（万）   | 3558    |
|            | 中国家庭户数（万）    | 46524   |
|            | 其中：一人户家庭数（万） | 12549   |
|            | 非一人户家庭数（万）   | 33975   |
|            | 一人户渗透率（%）    | 20%     |
| 非一人户渗透率（%） | 8%           |         |
| 平均台数（万台）   | 6194         |         |
| 合计         | 总台数（万台）      | 10107   |
|            | 单价（万人民币）     | 20      |
|            | 市场规模（亿元）     | 202143  |

## 三、特斯拉Optimus：运动控制待突破，商业化可期

- 3.1. 特斯拉Optimus：引爆人形机器人市场
- 3.2. 技术：自研算力芯片加持，运动控制重点突破
- 3.3. 商业化 “1到N”可期，节奏预计快于Model S

## 3.1. 特斯拉人形机器人时间线：预计2022年9月发布Optimus原型机

- ▣ **首次提出概念：**2021年8月20日，马斯克在首届特斯拉人工智能日（AI DAY）上首次发布特斯拉人形机器人（Tesla Bot）计划，代号“擎天柱”（Optimus），正式宣布进军机器人领域，预计2022年完成，第一版可在2023年投入生产。
- ▣ **财报会议提到：**2022年4月，马斯克在财报会议上指出，Optimus的重要性将在未来几年逐渐显现，最终将比汽车业务、比FSD更具价值。
- ▣ **演讲中提及：**2022年的TED访谈中，马斯克也提到人形机器人的第一批生产打算用于那些危险、无聊、重复以及人们不情愿去做的工作。并且表示，起码在两年内可以生产出有实际用途的产品，且价格预计比制造一辆车的价格更便宜（特斯拉汽车在中国的售价最低为30万元左右）。
- ▣ **确定发布时间：**2022年6月，马斯克在推特上发文，将特斯拉第二个人工智能日（AI Day）由原定的8月19日推迟到9月30日，可能推出Optimus原型机，同时马斯克在接受彭博社采访时称：人形机器人Optimus将在9月30日的特斯拉AI日活动上面世。

图 马斯克2022年4月财报会议

"I was surprised that people do not realize the magnitude of the Optimus robot program. The importance of Optimus will become apparent in the coming years. Those who are insightful or who listen carefully will understand that Optimus ultimately will be worth more than the car business and worth more than FSD, that's my firm belief."

- Elon Musk during Q1 2022 TSLA earnings call

图 马斯克2022年6月推特发文



Tesla AI Day pushed to Sept 30, as we may have an Optimus prototype working by then

8:52 AM · Jun 3, 2022 · Twitter for iPhone

# 3.1 特斯拉Optimus: 引爆人形机器人市场

## □ 特斯拉核心参数已公布:

- ✓ 身高5尺8寸（约1.73米），头部带有显示屏，用以展示信息；
- ✓ 采用Autopilot的摄像头作为视觉感知传感器，共八个摄像头；
- ✓ 采用FSD自动驾驶芯片作为计算核心；
- ✓ 脖子、胳膊、手、腿、躯干累计搭载了40个机电传动器；
- ✓ 搭载多相机神经网络、基于神经网络的规化、自动标记、算法训练等；
- ✓ 以轻量材料打造，最高时速达5英里/小时

图 Tesla Bot 基础参数展示

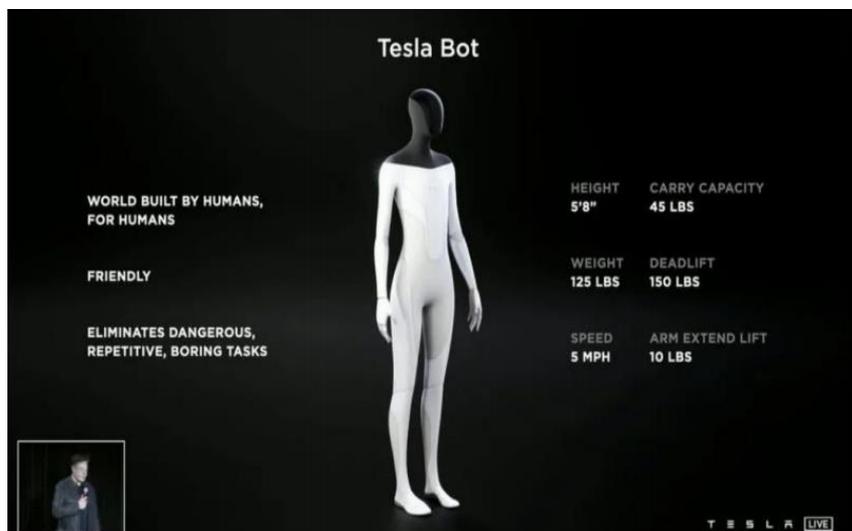


图 Tesla Bot AI功能

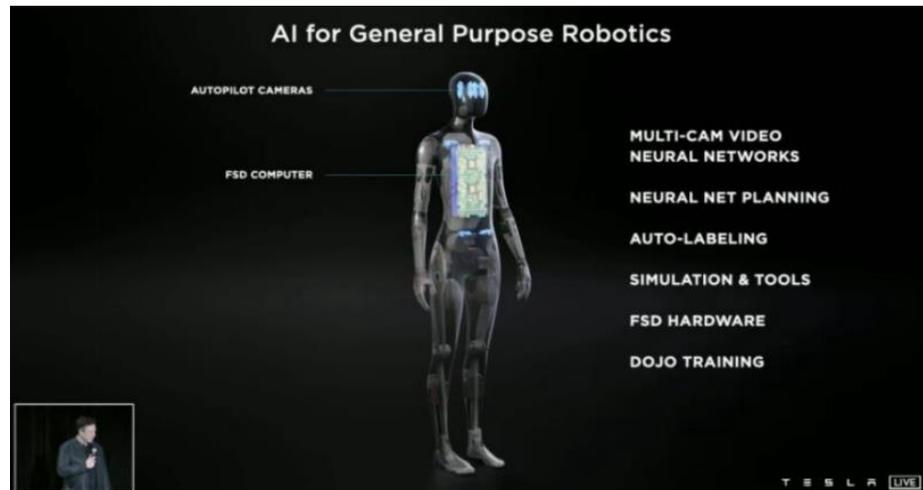
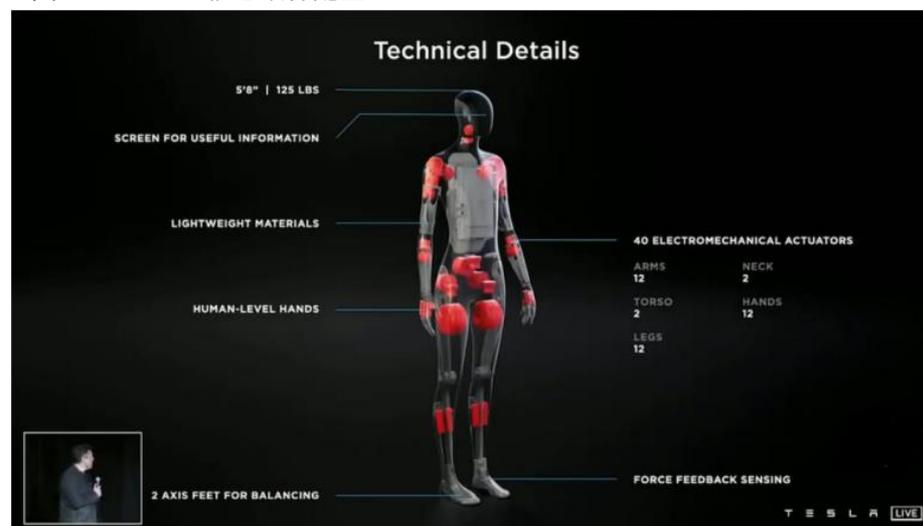


图 Tesla Bot 核心硬件配置



### 3.2.1. 三大核心技术：人机交互、环境感知、运动控制

- **人机交互**：近几年人机交互技术从之前只能接受固定命令，到现在通过大量的深度学习和图像训练，可以精准进行不同场景下的语音语义&图像识别，应用端主要体现在智能家居等领域。
- **环境感知**：指通过摄像头、雷达、传感器（力矩、倾角、红外、触觉、温度等）对机器周围环境的监控&获取信息，应用最为极致的主要为自动驾驶。
- **运动控制**：主要包括硬件、软件两方面：  
1) **硬件**主要为电池、控制器、电机、减速器等，目前难点在核心关节的电机系统设计、材料轻量化等方面；  
2) **软件**主要是协调几十个关节协同运作，含各类运动控制算法（例如现有人形机器人采用水平反应控制、目标ZMP控制、步长位置控制等算法）。

图 人形机器人三大核心技术



#### ① 人机交互

- 语义分析和理解
  - AI图像技术
  - 整合通信技术
  - 云计算技术
- 应用：智能家电、无人驾驶、医疗等

#### ② 环境感知

- 机器视觉识别系统
- 雷达系统
- 超声波传感器
- 红外线传感器
- 信息交换系统
- .....

#### ③ 运动控制

- **硬件**：电池、控制器、电机、减速器、编码器、热管理系统等
- **软件**：各种运动控制技术，包括目标ZMP控制、步长位置控制等

### 3.2.2. 人形机器人在交互&环境感知方面，可复用特斯拉自动驾驶等技术

- 智能汽车≈自动驾驶+轮式机器人，人机交互、环境感知相关技术可以复用，我们认为车企布局人形机器人逻辑较顺。Optimus头部配备与特斯拉汽车相同的摄像头等传感器阵列，算力支持由FSD（Full Self-driving，自动驾驶）芯片提供，同时与汽车共用AI系统，利用Dojo超级计算机的训练机制去提升机器人的功能。
- FSD（Full Self-driving，自动驾驶）芯片：**特斯拉自动驾驶芯片完成了由Mobileye、英伟达向自研FSD芯片的迭代（台积电代工），自研芯片算力可满足L5级别自动驾驶。
- D1芯片：**2021特斯拉AI日公布自研芯片D1，采用分布式架构，7nm制程，每个D1芯片搭载500亿个晶体管、354个训练节点，单芯片BF16精度下算力高达362 TFLOPs，功耗仅400W。特斯拉25个D1芯片组成一个训练模块，实际应用中，特斯拉将120个训练模块组装成超级计算机，含有3000个D1芯片、超100万个训练节点，算力可达1.1 EFLOP。

图 Optimus与自动驾驶技术同源

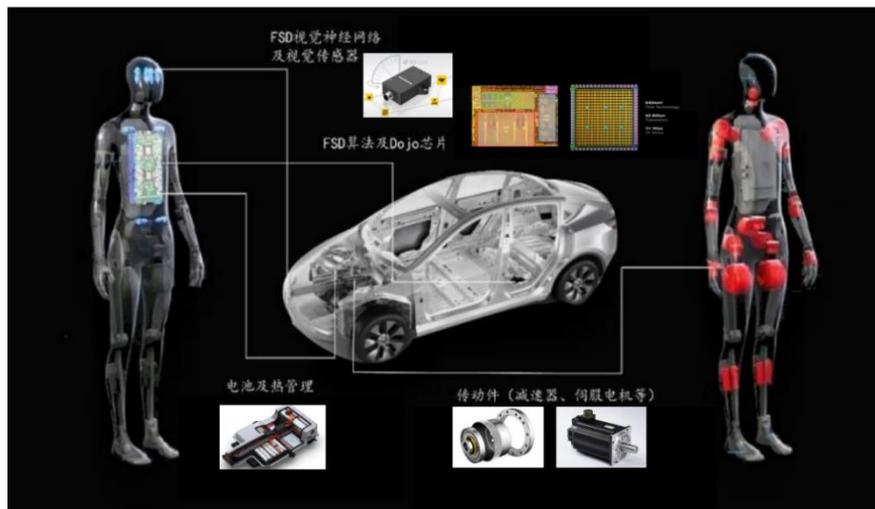


图 众多电动车企业躬身入局人形机器人

| 时间      | 事件   |
|---------|--|
| 2021年6月 | 韩国现代汽车集团公司宣布以 8.8 亿美元从日本软银收购波士顿动力的八成股权。                      |
| 2021年8月 | 小米在其新品发布会上展示了自研的第一代仿生机器人 CyberDog"铁蛋"，并宣布成立小米机器人实验室          |
|         | 百度首次提及其未来的理想自动驾驶概念车“汽车机器人”<br>特斯拉在AI DAY上提出要推出一款人形机器人Optimus |
| 2021年9月 | 小鹏汽车发布其收款智能机器人“小白龙”  |

### 3.2.3. “轮式机器人” → 双脚直立人形机器人，运动控制要求大幅提升

- 汽车通过四个轮子进行加减速、转向，自由度低、运动过程单一；人形机器人面临非结构化场景，运动形式更加柔性灵活（脖子、肩膀、手掌、腰、双脚等关节协调运动），对运动控制要求更为苛刻。
- 机器人常见驱动路线可分液压驱动、气压驱动、电机驱动。液压驱动耐冲击性较强，适用于跳跃、爬坡、翻转等动作，但成本高、速度慢；电机驱动使用更加方便，精度更高、响应速度更快且成本低；气压驱动应用少（主要用于机械手）。特斯拉拟采用纯电机驱动方式，最核心部件是各关节的电机系统，难点主要在于精准控制&轻量化&成本低。

图 液压驱动、气压驱动和电机驱动比较

| 驱动系统 | 优势  | 缺点  | 使用场景                                | 应用广泛性 | 成本 | 速度 | 精度 | 耐冲击性 |
|------|---|---|-------------------------------------|-------|----|----|----|------|
| 液压驱动 | 1) 能够以较小的驱动器输出较大的驱动力/力矩；<br>2) 驱动油缸直接做成关节的一部分，结构简单紧凑，刚性好；<br>3) 定位精度高于气压驱动，并可以实现任意位置的开停；<br>4) 液压驱动调速比较简单和平稳；<br>5) 使用安全阀可简单有效的防止过载；<br>6) 润滑性好，寿命更长； | 1) 油液容易泄露，从而影响工作的稳定性和定位精度，且会造成环境污染；<br>2) 需配备压力源及复杂的管路系统，因此成本较高；                            | 大多应用于要求输出力较大而运动速度较低场合，以电液伺服系统驱动为代表。 | 中等    | 最高 | 较慢 | 中等 | 最高   |
| 气压驱动 | 1) 速度较快，主要由于压缩空气的黏性小，流速快（一般可达180m/s）；<br>2) 更加干净和简单，废气可直接排入大气，不会造成污染；<br>3) 通过调节气量可实现无极变速；<br>4) 成本低，且具有较好的缓冲性；                                       | 1) 功率重量比小，驱动装置体积大；<br>2) 很难保证很高的定位精度，因为气体具有可压缩性；<br>3) 废气排出时，会伴随产生噪音；<br>4) 气压系统易锈蚀，且低温易结冰； | 在中、小负荷的机器人中采用，尤其是工业机器人手中应用较多        | 较少    | 最低 | 中等 | 最低 | 中等   |
| 电机驱动 | 电机驱动是利用各种电动机产生力和力矩，直接或经过机械传动去驱动执行运动，省去了中间能量转换的过程，所以比液压和气压效率都更高，使用方便且成本相对低，大致可以分为普通电机、步进电机以及直线电机驱动三类。  |   |                                     | 最多    | 中等 | 最快 | 最高 | 较低   |

## 3.3.1. 复盘特斯拉电车商业化成功之路

- █ **十年间特斯拉电动车年销量从百辆迅速增长至近百万辆。**回顾特斯拉近十年销量，2011年特斯拉全球销量不足300辆，历经十年迅速增长至2021年的93.6万辆，10年CAGR高达124%。其中，2012年Model S上市，特斯拉销量增长至2650辆；2018年Model 3在美交付，销量同比高增139%达到25万辆；2021年国产Model Y上市。
- █ **Model 3/Y价格下沉引爆市场，为销量贡献主力军。**2018年 Model S/X进入销量瓶颈期，Model 3/Y在18-21年销量实现高速增长，销量占比稳步提升。其中2021年 Model S/X销2.5万辆，同比-56.2%，销量占比2.7%；2021年 Model 3/Y销91.1万辆，同比+106%，销量占比97.3%，贡献2021年主要增量。

图 特斯拉2013-2021年销量（万辆）

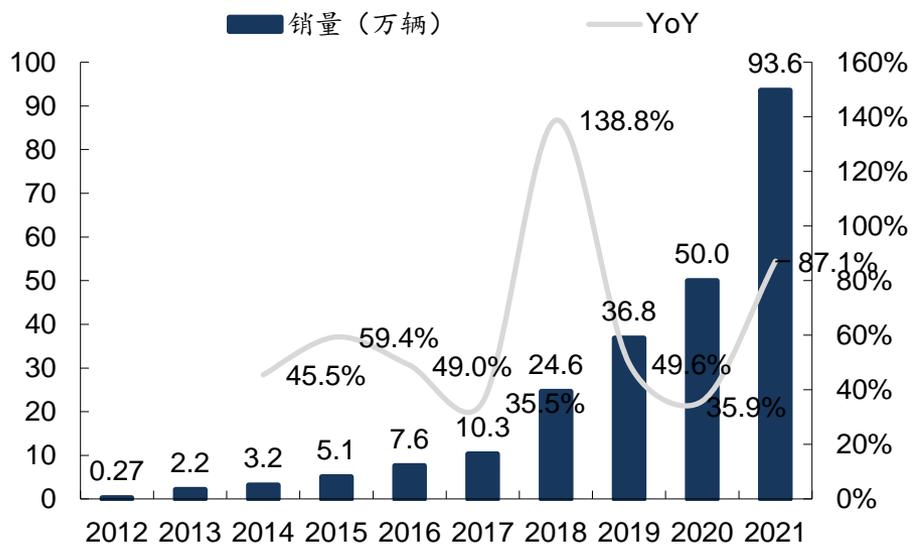
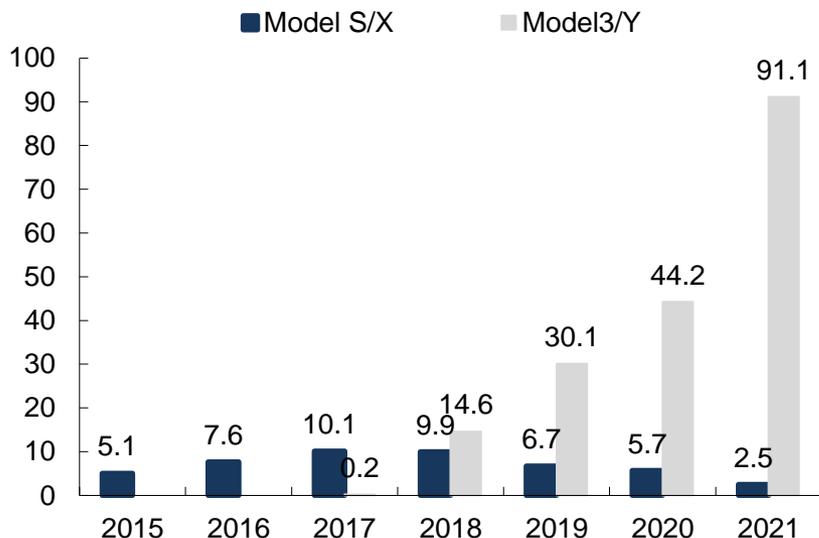


图 特斯拉分车型2015-2021销量（万辆）



### 3.3.2. 特斯拉电动车商业化要素一：解决续航的核心痛点

- 解决措施一：动力电池大容量化。** 特斯拉Model系列分车型不同配置中，续航里程最低为Model X三电机全轮驱动Plaid版536km， Model 3 Performance高性能全轮驱动版最高达到675km，具有优越的续航能力。特斯拉采用的是由松下生产的18650电池，18650锂电池的容量一般为1200~3600mAh之间，显著高于一般电池容量（800mAh左右）。
- 解决措施二：充电设施遍布全球。** 超级充电桩拥有250kW的最大充电功率，最快可以在15分钟内为车辆补充约250km的续航。截至2022年7月，特斯拉在中国大陆已建设开放1200多座超级充电站，超级充电桩超8700个，700多座目的地充电站，目的地充电桩超1800个，覆盖370多个城市及地区。同时全球范围内超级充电站和超级充电桩超3.5万个。

图 特斯拉分车型续航情况)

|                    | Model X | Model S | Model 3   | Model Y   |
|--------------------|---------|---------|-----------|-----------|
| 续航里程 (km)          | 536-560 | 637-652 | 556-675   | 545-660   |
| 电池能量 (kWh)         | 100     | 100     | 60-78.4   | 60-78.4   |
| 电池能量密度 (Wh/kg)     |         |         | 126-168   | 126-168   |
| 百公里耗电量 (kWh/100km) |         |         | 12.5-13.2 | 12.7-14.4 |
| 充电时间 (小时)          | 1-10    | 1-10    | 1-10      | 1-10      |

图 特斯拉充电站和充电桩布局

|    | 超级充电站  | 超级充电桩  | 目的地充电站 | 目的地充电桩 |
|----|--------|--------|--------|--------|
| 中国 | 1200+  | 8700+  | 700+   | 1800+  |
| 全球 | 35000+ | 35000+ |        |        |



## 3.3 商业化：“1到N”可期，节奏预计快于ModelS

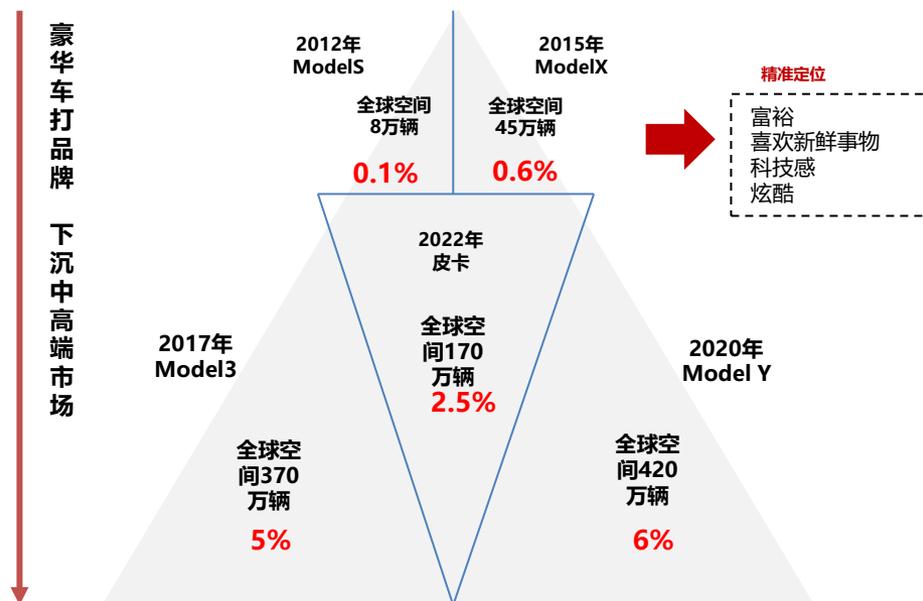
### 3.3.2. 特斯拉电动车商业化要素二：价格下沉，“统领”中高端市场

□ 以豪华车打品牌，下沉中高端市场，市场空间从50万辆扩张至800万辆：特斯拉商业模式与市场策略清晰：率先推出Roadster，打入高端跑车市场，随后通过D级轿跑Model S和豪华SUV Model X实现规模化量产，打造特斯拉“高端化、智能化”品牌；并通过Model 3下沉至4万美元内（国产补贴价已下探至28万元内），对标奥迪A4/A6、宝马3/5系、奔驰C/E级等，性能不输同级别BBA燃油车。

图 Model 3对标车型参数对比

|             | Model 3 | 奥迪 A4 | 宝马3系  | 奔驰C级  | 奥迪 A6 | 宝马5系  | 奔驰E级  | 雷克萨斯ES |
|-------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 起售价 (万元)    | 27.99   | 35.98 | 29.39 | 32.52 | 46.18 | 43.39 | 43.68 | 29.49  |
| 最高车速 (km/h) | 225     | 235   | 222   | 225   | 232   | 230   | 227   | 205    |
| 百公里加速 (s)   | 6.1     |       | 9     | 9     | 8.4   | 8.6   | 7.7   |        |
| 最大扭矩 (牛米)   | 340     | 320   | 250   | 250   | 320   | 290   | 320   | 208    |
| 最大输出功率 (kw) | 194     | 150   | 115   | 125   | 140   | 135   | 145   | 127    |
| 续航里程 (km)   | 556     |       |       |       |       |       |       |        |
| 综合工况油耗 (L)  | -       | 6.6   | 6.9   | 6.1   | 6.3   | 6.6   | 7.45  | 6.25   |

图 特斯拉产品推出时间，对应的渗透率（红色）



## 3.3 商业化：“1到N”可期，节奏预计快于ModelS

### 3.3.2. 特斯拉电动车商业化要素三：智能化技术引领市场，全方位碾压竞争对手

□ 特斯拉在软硬件方面全面领先，自动驾驶技术至少领先5年。自动驾驶的核心壁垒在于芯片、算法和数据，特斯拉均具备领先优势，且实现了芯片及自动驾驶解决方案的自主研发。

图 各大车企自动驾驶发展情况对比



| 车型         | 自动驾驶辅助系统          | 自动驾驶分级 | 适用速度范围   | 自动刹车功能  | 传感器方案                           | 已实现功能  |
|------------|-------------------|--------|----------|---------|---------------------------------|--|
| 特斯拉Model S | Autopilot         | L2.5   | <145Km/h | <45Km/h | 8个摄像头+12个超声波传感器+毫米波雷达           | 自动辅助转向功能，主动巡航控制功能，紧急制动、碰撞预警和盲点监测等              |
| 奥迪A8       | Traffic Jam Pilot | L3     | <60Km/h  | <30Km/h | 4个摄像头+5个毫米波雷达+12个超声波传感器+1个激光扫描仪 | 满足一定限制条件下（简单的道路拥堵状况），车辆会完全接管驾驶任务，直到系统通知用户再次接管。 |
| 沃尔沃XC60    | Pilot Assist      | L2     | <130Km/h | <60Km/h | 2个超广角摄像头+12个超声波雷达+毫米波雷达         | 操控车辆使其保持在车道标线之间行驶，并保持预设速度或与前车的预设距离。            |
| 奔驰GLC      | Drive Pilot       | L2     | <130Km/h | 否       | 4个全景摄像头+5个毫米波雷达                 | 与前车保持合理的距离巡航，最高210km/h的速度跟车，转向功能               |
| 凯迪拉克CT6    | Super Cruise      | L2     | <120Km/h | 未公布     | 5个摄像头+超声波传感器+毫米波雷达              | 在高速公路上以最高时速85英里/小时的速度承担过度的转向，油门和制动任务，          |

## 3.3 商业化：“1到N”可期，节奏预计快于ModelS

### 3.3.3. Optimus商业化节奏预计快于Model系列

复盘特斯拉电动车的成功之路，人形机器人有望解决替代人类进行多类型、重复性工作的痛点，合理定价下可具备较强经济性（假设Optimus价格在20-40万元，回收期有望在2-5年以内），叠加智能化相关技术迭代使得Optimus有望逐步成为“爆款”，产品已具备商业化基础。

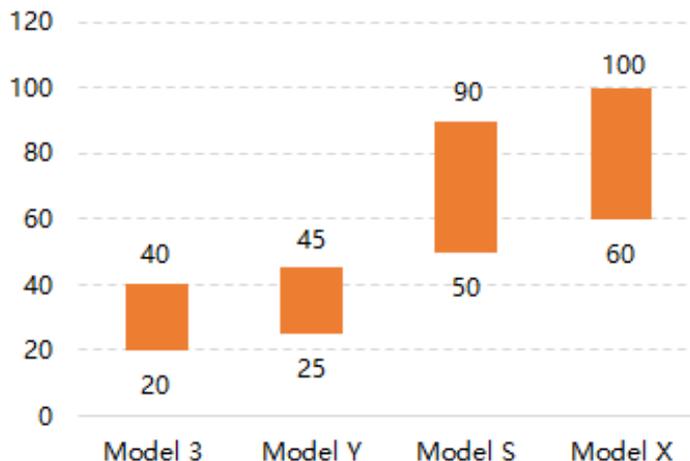
图 人形机器人 VS 电动汽车

| 指标    | 电动汽车                                     | 人形机器人                      |
|-------|--|----------------------------|
| 价格    | 20-100万                                  | 20-40万                     |
| 经济性   | 不输燃油车                                    | 不输劳动力成本                    |
| 解决痛点  | 续航能力优越、充电设备完备                            | 应用于家务场景、商业服务场景等，替代人类进行日常工作 |
| 技术成熟度 | 具备自研FSD芯片及D1算力芯片，自动驾驶技术领先至少5年            | 技术可复用                      |
| 推广策略  | 从高端入手下沉低端采取“线上官网订车 + 线下直营中心”的销售模式，空间快速打开 | 营销策略可复用                    |

图 人形机器人经济性测算

| 指标                | 美国    | 中国    |
|-------------------|-------|-------|
| 2021年平均工资（万元）     | 35.77 | 10.68 |
| Optimus价格区间上限（万元） | 40    |       |
| Optimus价格区间下限（万元） | 20    |       |
| 回收期上限（年）          | 1.12  | 3.75  |
| 回收期下限（年）          | 0.56  | 1.87  |

图 特斯拉分车型所选价格区间（万元）

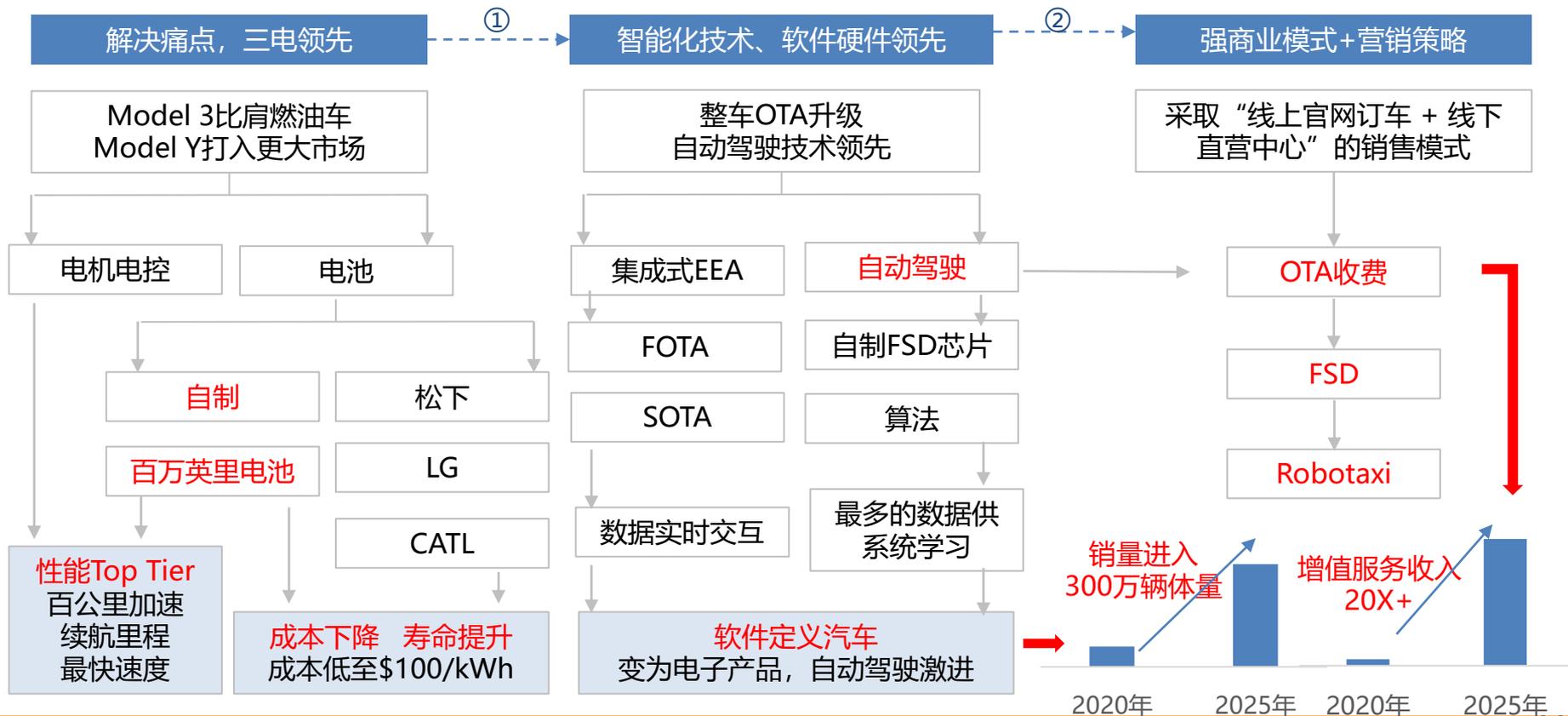


# 3.3 商业化：“1到N”可期，节奏预计快于ModelS

## 3.3.3. Optimus商业化节奏预计快于Model系列

□ 特斯拉在三电技术、智能化技术、商业模式&营销策略方面全面领先，相比其他自动驾驶厂商具备绝对竞争力，由于人形机器人和电动车具备众多相似之处，我们认为在人形机器人领域特斯拉相比其他厂商仍具备相对优势，Optimus商业化成功率较高，有望率先主导市场。

图 特斯拉三电技术、智能化技术、商业模式全面领先



## 3.3 商业化：“1到N”可期，节奏预计快于Model S

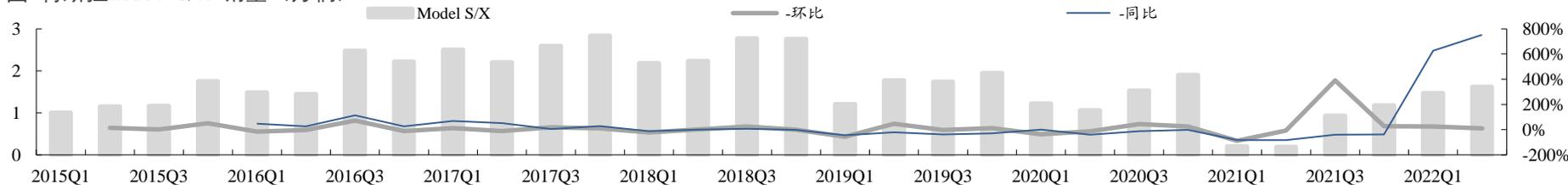
### 3.3.4. 放量节奏:参考Model S历程，预计Optimus将于2023年底交付，24-25迅速上量

□ Model S为特斯拉最长线的产品，从2012年上市至今，我们认为可以通过特斯拉Model S的发展历程判断人形机器人的放量节奏：上市以来，Model S不断更新换代，15-17年逐步起量，17-18年达到稳态销量水平，18Q4销2.76万辆（含Model X），19年以来Model S进行改款，21年推出S Plaid，突破销量瓶颈。

图 特斯拉Model S全系列产品上市时间图谱

| 车型             | 2014 | 2015 | 2016  | 2017    | 2019             | 2020                | 2021 |
|----------------|------|------|-------|---------|------------------|---------------------|------|
| Model S 60系列   |      | 60   | 60    |         |                  |                     |      |
|                |      | 60D  | 60D   |         |                  |                     |      |
| Model S 70系列   |      | 70   | 70    |         |                  |                     |      |
|                |      | 70D  | 70D   |         |                  |                     |      |
| Model S 75系列   |      |      | 75    | 75      |                  |                     |      |
|                |      |      | 75D   | 75D标准续航 |                  |                     |      |
| Model S 85系列   | 85   | 85   |       |         |                  |                     |      |
|                |      | 85D  |       |         |                  |                     |      |
|                | P85  | P85D |       |         |                  |                     |      |
| Model S 90系列   |      | 90   |       |         |                  |                     |      |
|                |      | 90D  | 90D   | 90D     |                  |                     |      |
|                |      | P90D | P90D  |         |                  |                     |      |
| Model S 100系列  |      |      |       | 100D    |                  |                     |      |
|                |      |      | P100D | P100D   |                  |                     |      |
| 新 Model S      |      |      |       |         | 标准续航版            |                     |      |
|                |      |      |       |         | 长续航版             | 长续航升级               | 长续航版 |
|                |      |      |       |         | Performance 高性能版 | Performance 高性能版    |      |
| Model S Plaid版 |      |      |       |         |                  | Plaid<br>Plaid Plus |      |

图 特斯拉Model S/X 销量（万辆）

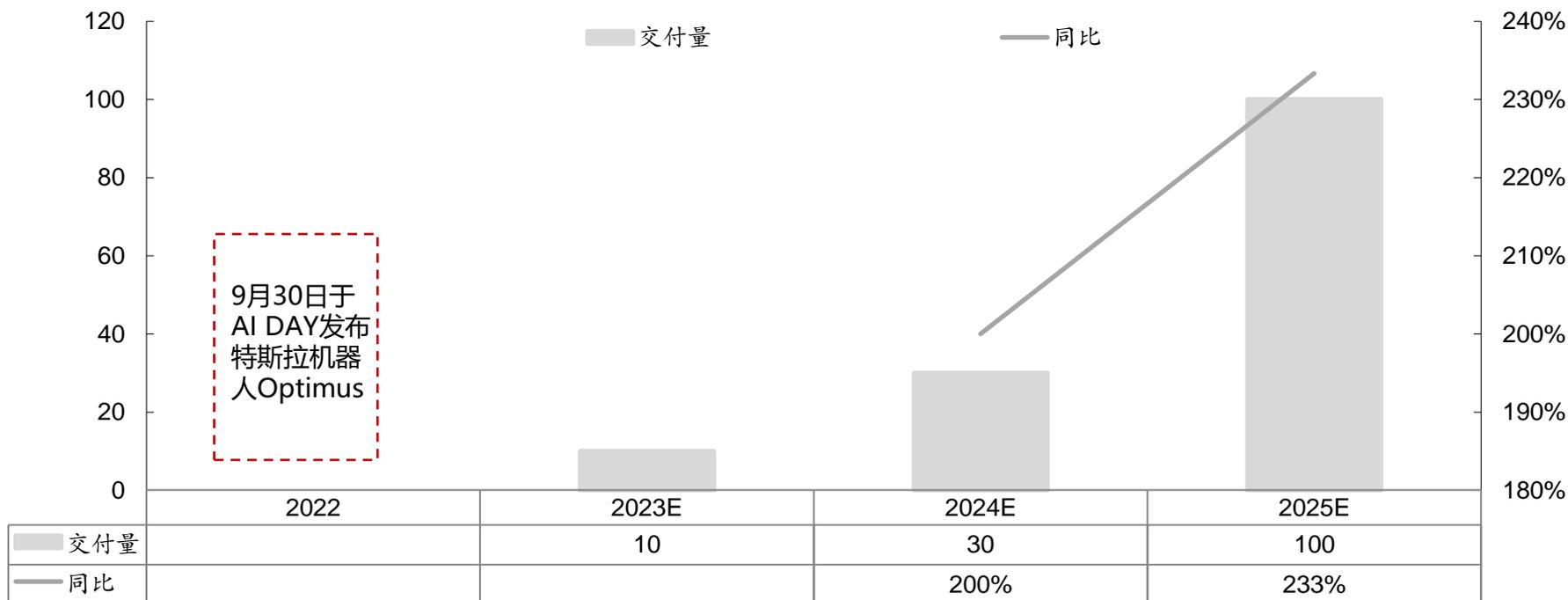


## 3.3 商业化：“1到N”可期，节奏预计快于ModelS

### 3.3.4. 放量节奏：参考Model S历程，预计Optimus将于2023年底交付，24-25迅速上量

□ 人形机器人有望于23年底交付，我们预计2025年前可维持100%以上高增速：类比特斯拉Model S——12年上市，5年时间销量迅速增长，16-17年销量增速（含Model X）分别为50%/33%（13-15年我们预计复合增速80%+），18年销量稳定。我们预计Optimus有望于2022-2023年开放预定，2023年底开始交付，交付量10万台左右，交付后2-3年交付量预计逐步爬坡。考虑到人形机器人为新兴产品，市场空间相对电动车更广阔，因此Optimus量产后增速有望远高于Model S，我们预计2024-2025年销售量分别为30万台/100万台。

图 特斯拉人形机器人销售节奏及销量预测（万台）



## 四、供给：关注相关产业链配套机会

- 4.1. 人形机器人成本拆分与产业链梳理
- 4.2. 伺服：运动控制核心部件，国产替代进行时
- 4.3. 减速器：增量空间明显，谐波减速器受益最大

## 4.1.1. 产业链梳理：上游零部件/原材料、中游系统集成/本体制造、下游应用场景

- 人形机器人产业链可分为三大部分：上游零部件&原材料（价值量占比高）、中游系统集成&本体制造、下游个人/企业相关应用场景。
- 特斯拉为系统集成商，我们预计软件算法及部分核心零部件仍由特斯拉自研（代工交给供应商）——与电动车业务上特斯拉扮演的角色类似。

图 人形机器人产业链情况



## 4.1.2. 成本拆分：动力总成系统/智能感应系统/结构件及其他预计分别占比60%/20%/20%

□ 人形机器人的成本可拆分为动力总成系统（占总成本比重的60%）、智能感应系统（占20%）、结构件及其他（占20%）三部分。其中，动力总成系统包括电池系统、电驱系统（这里的动力总成定义类似电动车上的“三电系统”），我们预计两者分别占总成本的10%、50%。

图 特斯拉Optimus成本占比拆分&预测



注：成本占比均来自东吴证券研究所估计

## 4.1.3. 成本预估：我们预计特斯拉Optimus当下单台成本19万元，规模量产后降本值得期待

- 我们预计2023年单台Optimus的成本在19万元人民币左右（2.8万美元左右），规模化量产后降本值得期待。官方披露特斯拉人形机器人自由度40个（颈部2个+手臂12个+腿部12个+胯部2个+手指12个），我们预计配备40个电机，而且50%的电机是需要配备减速机（手指等关节不需要），应轻量化、体积小等要求，我们预计全部使用谐波减速机（共20台）。
- Optimus成本远低于其他人形机器人，有望实现量产。目前日本本田ASIMO、波士顿动力Atlas单台成本分别为250/200万美元，商业化相对成功的Digit单价也高达25万美元。马斯克在2022年4月的TED演进中透露“Optimus单价或许比一辆车的价格更低”，并与主持人以2.5万美元的价格进行讨论。我们认为Optimus规模量产后降本可期，比对手更具价格优势。

图 特斯拉Optimus各关节电机构成

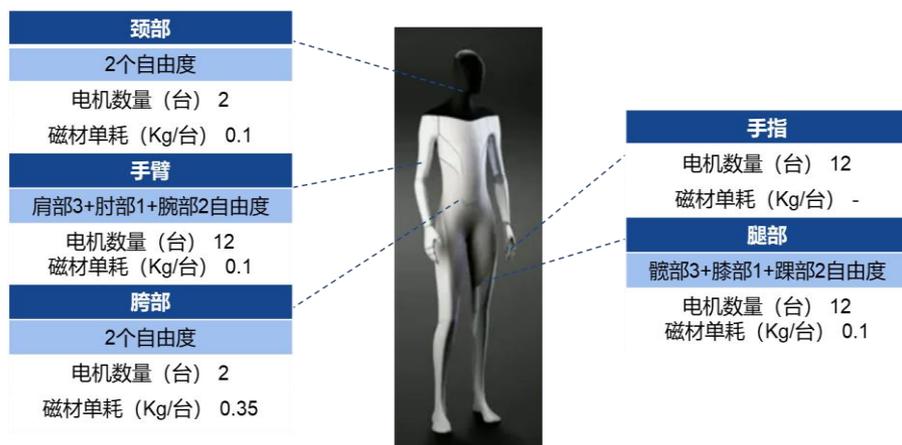


图 特斯拉Optimus 2023年成本预估（单位：元）

| 部件             | 数量     | 单价 | 成本     |       |
|----------------|--------|----|--------|-------|
| 伺服系统<br>(含控制器) | 100瓦   | 6  | 4000   | 24000 |
|                | 20-70瓦 | 22 | 1500   | 33000 |
|                | 10瓦    | 12 | 600    | 7200  |
| 伺服系统总成本        |        |    | 64200  |       |
| 减速器            | 谐波减速机  | 20 | 1500   | 30000 |
| 减速机总成本         |        |    | 30000  |       |
| 动力控制总成本        |        |    | 94200  |       |
| 动力控制成本占比（除电池）  |        |    | 50%    |       |
| 人形机器人总成本       |        |    | 188400 |       |

注：伺服系统 = 伺服电机 + 伺服驱动器  
 驱控一体 = 伺服驱动器 + 伺服电机 + 编码器  
 注：每个零部件实际量产成本预计更低

## 4.1.4. 产业链拉动预测：我们预计2025年伺服/减速器/控制器新增空间为170/399/170亿元

- 根据马斯克的近期采访，第一版Optimus预计在2023年投入生产，且地位会高于新能源汽车。此前，我们预计2023-2025年Optimus产量可达10/30/100万台，规模效应下售价预计逐渐降低，假设为25/20/17万元，对应市场规模可达250/600/1700亿元。在成本逐渐降低的趋势下，假定2023年成本占销售额比重为95%（之后每年小幅下降），动力总成系统（不含电池）占成本50%，最终得到2023-2025年动力总成系统市场空间分别为119/270/740亿元。
- 根据Ofweek数据，2021年工业机器人成本构成中，核心零部件减速器/伺服电机/控制器成本分别占比35%/15%/15%。虽然人形机器人相比工业机器人拥有更高级的智能感知系统（包括环境感知+人机交互），但其运动控制层面成本占比与工业机器人类似。我们按照该比例对核心驱动部件的空间进行预测：2025年伺服电机/减速机/控制器的增量空间分别为170/399/170亿元。

图 2021年工业机器人成本占比

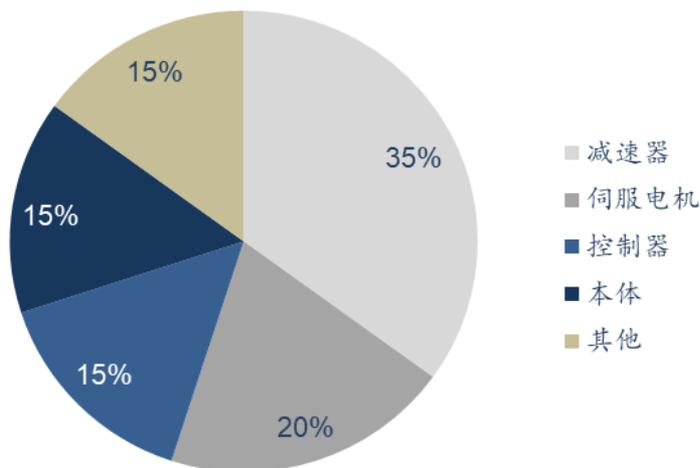


图 核心驱动部件市场空间测算

| 相关指标             | 2023E | 2024E | 2025E |
|------------------|-------|-------|-------|
| 特斯拉Optimus产量（万台） | 10    | 30    | 100   |
| 售价（万元）           | 25    | 20    | 17    |
| 市场规模（亿元）         | 250   | 600   | 1700  |
| 假设：成本占比          | 95%   | 90%   | 87%   |
| 动力总成系统占比（除电池）    |       | 50%   |       |
| 动力总成系统成本（亿元）     | 119   | 270   | 740   |
| 其中假设：伺服电机占比      |       | 23%   |       |
| 减速机占比            |       | 54%   |       |
| 控制器占比            |       | 23%   |       |
| 伺服电机增量空间（亿元）     | 27    | 62    | 170   |
| 减速机增量空间（亿元）      | 64    | 146   | 399   |
| 控制器增量空间（亿元）      | 27    | 62    | 170   |

# 4.1 人形机器人成本拆分与产业链梳理

## 4.1.5. 重点关注伺服、减速器、控制器三大核心部件产业链机会

- ▣ 特斯拉电动汽车产业链供应商国产占比较高。根据人民网资讯，2021年底特斯拉上海超级工厂国产化率90%左右。除自动驾驶算法和芯片外，其他基本零部件基本都是国产。
- ▣ 国内供应商有望凭成本优势切入人形机器人产业链环节。人形机器人生产制造与新能源汽车相似，除核心芯片&软件外，硬件（尤其是动力总成系统）预计会与相关供应商合作。国产厂商因成本、供应链等优势，有望切入特斯拉Optimus供应链。

图 特斯拉汽车产业链供应商情况

| 特斯拉产业链 |          |  |
|--------|----------|--|
| 电池组    | 电池整体     | 宁德时代                                   |
|        | 正极材料     | 杉杉股份、天齐锂业、洛阳铜业、寒锐钴业、格林美                |
|        | 负极材料     | 中国宝安、杉杉股份、亿纬锂能                         |
|        | 电池PACK   | 先导智能、五矿资本、赣锋锂业                         |
|        | 隔膜       | 航天彩虹、恩杰股份                              |
|        | 电解液      | 新宙邦、长园集团                               |
|        | 电池连接件    | 长盈精密、诺德股份                              |
| 电池管理系统 | 保护壳      | 科达利、旭升股份、常铝股份                          |
|        | 集成电路     | 英博尔、德州仪器                               |
|        | 传感器      | 均胜电子、安洁科技、东睦股份                         |
|        | PCB板     | 沪电股份、世运电路、生益科技、金安国纪、华正新材、东山精密、超华科技、景旺电 |
| 充电     | 冷却液      | 新疆天业、东华科技                              |
|        | 散热器      | 东山精密、超华科技、景旺电子、常铝股份                    |
| 电驱动    | 充电线      | 智慧能源、长盈精密、宏发股份                         |
|        | 充电桩      | 众业达、许继电气、国电南瑞、上海普天、万马股份、科士达、中恒电气       |
| 中控     | 电机       | 中科三环、横店东磁、东经股份、格林美                     |
|        | 电机驱动模块   | 旭升股份                                   |
| 车身     | 自动驾驶系统   | 联创电子、均胜电子                              |
|        | 仪表天线地图   | 科森科技、大富科技、四维图新、东睦股份                    |
|        | 空调系统     | 三花智控、银轮股份                              |
| 内饰     | 车身模具     | 天汽模                                    |
|        | 座椅、车身冲压件 | 华域汽车、华达科技、威唐工业                         |
|        | 方向盘      | 云海金属、均胜电子                              |
|        | 车门铸件减震   | 宜安科技、广东鸿图、京威股份、文灿股份                    |
| 底盘     | 中控屏      | 莱宝高科、晶瑞股份、天华超净、长信科技、京东方                |
|        | 安全系列     | 均胜电子、海利得、模塑科技、华域汽车                     |
|        | 座椅内饰     | 华域汽车、易德龙、日盈电子、宁波华翔                     |
| 底盘     | 玻璃、减噪    | 福耀玻璃、岱美股份、拓普集团                         |
|        | 转向、制动    | 安洁科技、百达精工、京山轻工                         |
|        | 胎压、轮胎    | 保隆科技、海利得                               |
| 底盘     | 底盘结构件    | 拓普集团                                   |

## 4.2 伺服：运动控制核心部件，国产替代进行时

### 4.2.1. 伺服系统：运动控制核心部件，市场空间超230亿元

- ▣ **伺服：运动控制的核心。**伺服是自动化运动控制核心部件，以位置、速度、转矩为控制量，动态跟踪目标变化从而实现控制。伺服系统主要由伺服电机（含编码器）、伺服驱动器构成——驱动器接受上层控制器（上位机）指令，控制伺服电机进行相应转动。
- ▣ **2021年伺服系统国内市场空间为233亿元，2014-2021 CAGR=16.09%，维持较高增速。**

图 伺服实物图



图 伺服系统原理示意图

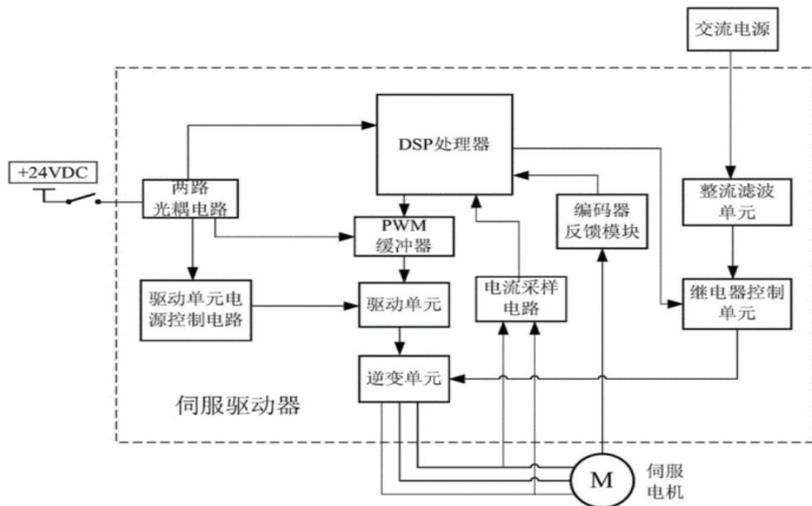


图 伺服系统市场规模（亿元）



## 4.2 伺服：运动控制核心部件，国产替代进行时

### 4.2.2. 伺服：日系厂商优势突出，内资整体快速追赶，部分赶超

- 伺服下游以先进制造行业为主，包括工业机器人、机床、锂电、光伏、3C、包装、物流等。
- 格局方面，日系厂商优势突出，内资份额快速追赶。2019-2021年安川/松下/三菱等日系占据近50%销售额市占率，内资龙头汇川技术销售额市占率快速提升，从2019年6.2%提升至2022Q1的16.6% (+10.4pct)、超过安川、松下，位居第一。二线龙头雷赛智能、信捷电气、禾川科技等销售额市占率<5%，但因锂电、光伏等增量市场中，外资的先发优势较弱，内资凭借产品高性价比及快速响应能力奋起直追，二线龙头销售额份额有望快速提升。

图 伺服系统下游行业分布（2021A）

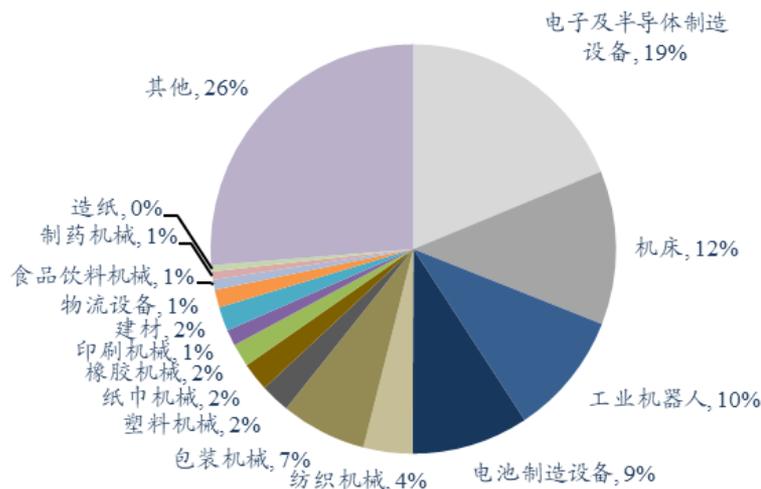
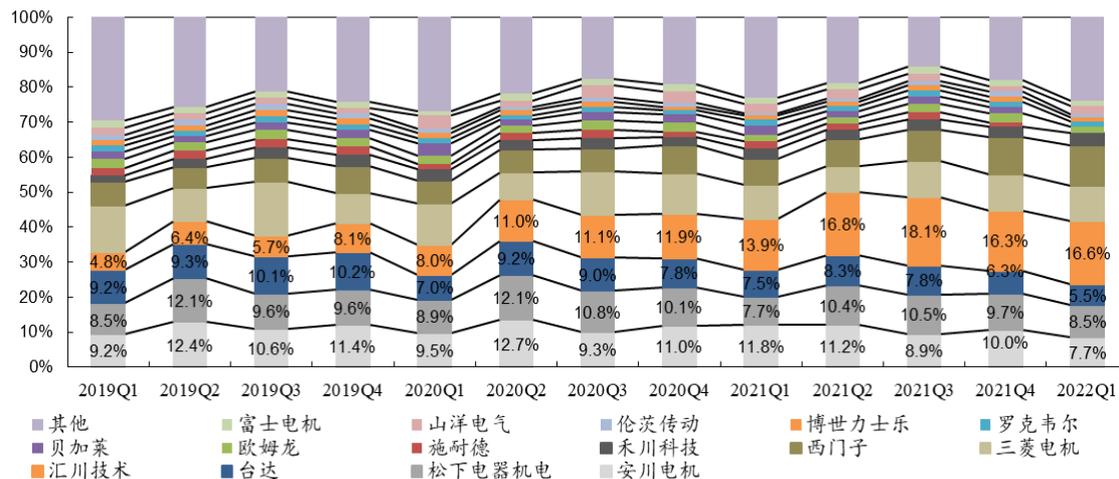


图 伺服系统厂商格局情况（2021A）



## 4.2 伺服：运动控制核心部件，国产替代进行时

### 4.2.3. 伺服：内资自主研发能力较强，技术上实现追赶甚至超越

▣ 技术上伺服系统自主研发能力较强，主流参数与外资相近甚至赶超。目前编码器分辨率、过载能力、最高转速和频率响应四个维度看，汇川技术目前与台达、安川、松下等外资品牌参数相近，部分参数性能略强于三菱、西门子等，内资伺服龙头抓住疫情、缺芯等机遇，持续替代外资份额。

图 伺服系统参与者主要技术参数对比

|        |  松下<br>(MINAS A6) |  安川<br>(西格玛-7) |  台达<br>(ASDA-A3) |  汇川技术<br>(SV660) |  三菱<br>(MELSERVO-J4) |  西门子<br>(S210) |  英威腾<br>(DA300) |  信捷<br>(MS6-80) |
|--------|--|---|---|--|---|---|--|--|
| 编码器分辨率 | 23bit  | 24bit   | 24bit   | 23bit  | 22bit   | 20bit   | 23bit  | 17bit  |
| 过载能力   | 350%   | 350%  | 350%  | 350%   | 300%  | 350%  | 300%   | 300%   |
| 最高转速   | 6500r/min  | 6000r/min   | 6000r/min   | 6000r/min  | 6000r/min   | 6000r/min   | 5000r/min  | 5200r/min  |
| 频率响应速度 | 3.2kHz   | 3.1kHz  | 3.1kHz  | 3.0kHz   | 2.5kHz  | 3.0kHz  | 3.0kHz   | -  |

注：1) 松下的伺服系统产品参数上最为领先，市场份额目前也是第一

2) 编码器分辨率指编码器可以测量到的最小距离，分辨率越高，编码器可量化单位越多；

3) 过载能力表示最大转矩相对额定转矩的倍数，越大越好；频率响应速度越快越好，伺服反应越快。

4) 红色方框表示目前厂商中参数最领先的。

## 4.2.4. 伺服：内资头部厂商已然崛起，有望成为人形机器人降本助推手

- 交流伺服国产替代较为明显，日韩份额下降较大。**本土厂商占比从2017年的27.7%提升至2022Q1的45.4%（上升17.7pct），主要替代日韩厂商份额。内资龙头汇川技术销售额市占率快速提升，从2018年6.2%提升至2022Q1的16.6%（+10.4pct）、超过安川、松下，位居第一。二线龙头雷赛智能、信捷电气、禾川科技等因锂电、光伏等增量市场机会凭借产品高性价比及快速响应能力奋起直追，从2018-2022Q1份额分别提升1.20%/1.42%/1.50%，实现突破。
- 在国内厂商产品技术水平达标+实现一定品牌认可度的情况下，人形机器人带来的产业链机会有望继续加速伺服系统国产替代进程，关注龙头汇川技术及禾川、信捷、雷赛等优质厂商。**

图 国内核心厂商伺服产品份额提升

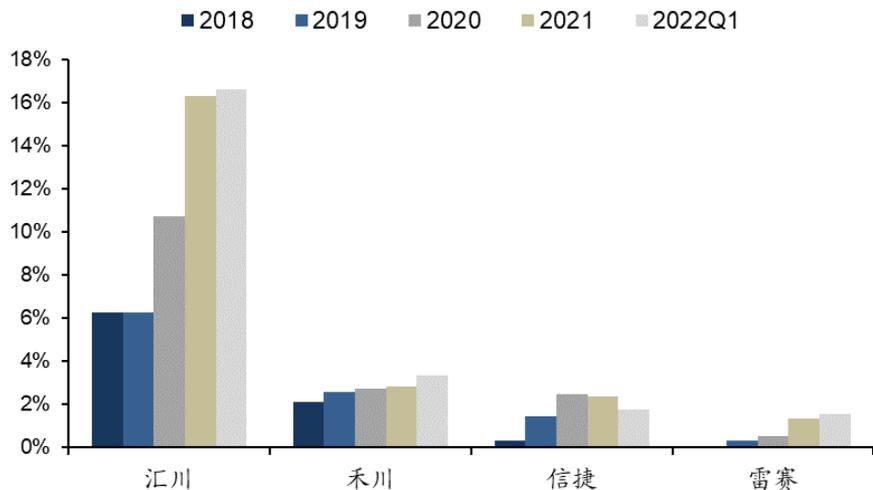
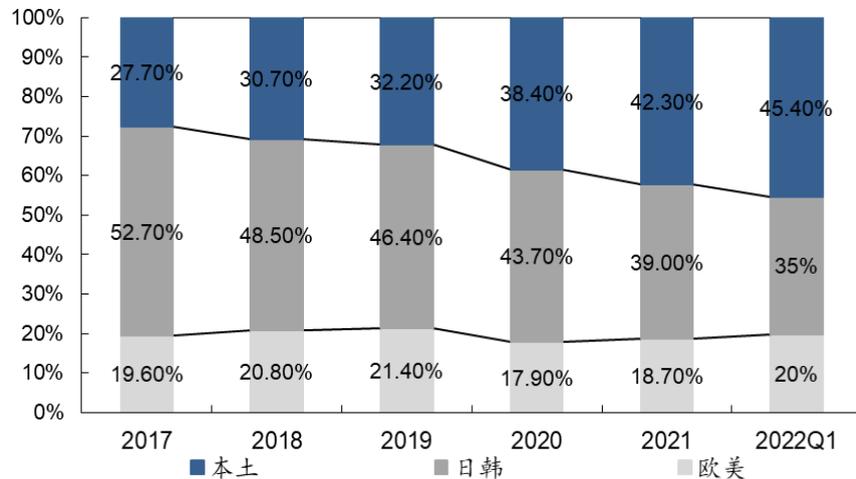


图 本土厂商伺服份额变化



## 4.3 减速器：增量空间明显，谐波减速器受益最大

### 4.3.1. 减速器：人形机器人对减速器有明显拉动作用，谐波减速器增量空间最大

- 精密减速器是一种精密的动力传达机构，连接了伺服电机和执行机构，电机一般高转速+低扭矩，因此减速器的核心作用是降低转速+提升扭矩。
- 工业上常用的减速器主要可分为RV减速器和谐波减速器，二者具有众多不同：1) 构造上：RV减速器较为复杂，谐波减速器结构简单，只包括钢轮、柔轮、波发生器三部分；2) 性能上：RV减速器寿命长、抗冲击负载大，但价格高；谐波减速器体积小&重量轻，但无法用于大负载应用；3) 应用场景上：RV减速器通常应用于医疗机械、机床、雷达换向装置等方面，谐波减速器则多用于服务机器人、工业机器人、智能家居上。
- 总结来看，谐波减速机主要在需要轻量化+保证精度+不需要大负载的场景下应用，根据高工机器人数据，工业机器人中RV和谐波减速器的使用量约为65%：35%，人形机器人因形态类人相比工业机器人，预计会使用谐波减速机，带来产业链较大增量空间。

图 RV减速器示意图



图 谐波减速器示意图



图 谐波减速器&RV减速器性能对比

| 维度      | 谐波减速器                                       | RV减速器                           |
|---------|---|---------------------------------|
| 产品性能    | 体积小、传动比高、高精度                                | 体积大、高负载、高刚度                     |
| 应用场景    | 机器人小臂、腕部、手部等轻负载                             | 多关节机器人基座、大臂、肩部等高负载              |
| 价格区间（元） | 1000-5000                                   | 5000-8000                       |
| 构造不同    | 钢轮、柔轮和波发生器（简单）                              | 行星齿轮结构和摆线针轮结构（复杂）               |
| 性能区别    | 传动精度高，传动比大，体积小&轻，但材料容易疲劳损失，有回城误差，无法使用于大负载应用 | 传动比大，寿命长，精度高且稳定，效率高，抗冲击负载大，但价格高 |
| 应用场景区别  | 服务机器人、智能家居、工业机器人（SCARA机器人、协作机器人、Delta机器人）   | 变位机、医疗器械、机床、太阳能面板换向装置、雷达换向装置    |

## 4.3 减速器：增量空间明显，谐波减速器受益最大

### 4.3.2. 谐波减速器：国产化大势之下，绿的谐波有望独当一面

- 根据GGII数据，2021年国内谐波减速器市场规模达33亿元，其中工业机器人为主要应用领域，规模达27.5亿元。人形机器人因构造更追求轻量化对谐波减速器的需求比例远高于工业机器人，相比其他产业链环节，谐波减速器具备最大增量空间。
- 竞争格局方面，日系厂商占据龙头，但国产替代加速中。日本的哈默纳克仍然强势，2021年市占达35%，其优势在于产品成熟且系列化，劣势是交期较长和服务响应较慢。绿的谐波是谐波减速器国内龙头，2021年市占约25%。谐波减速器相比RV减速器技术壁垒偏低，国内厂商相对容易突破，目前国产替代进行中。

图 谐波减速器市场规模（亿元）

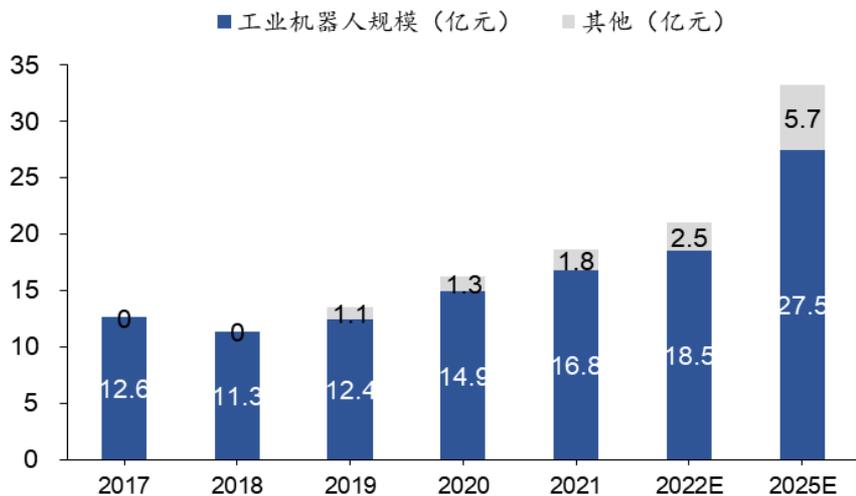
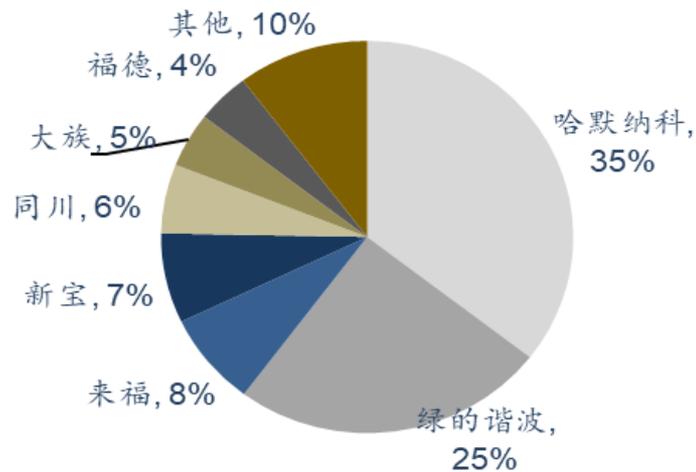


图 2021年谐波减速器各厂商市占份额



## 4.3 减速器：增量空间明显，谐波减速器受益最大

### 4.3.2 谐波减速器：国产化大势之下，绿的谐波有望独当一面

中国机器人关节用高精度减速机研发起步较晚，再加上相关技术封锁等原因，与精度、噪声、寿命相关的核心技术成为“卡脖子”难题，但近期已经实现了一些突破，从份额提升角度来看，谐波减速器中绿的谐波市占从2020年的21%提升至2021年的25%，来福市占也提升了2pct，突破明显。我们认为谐波减速器相关国产厂商技术水平已基本过关，未来依靠较低的价格、较短的交付周期、较快的服务相应，以及本土化定制化服务有望进一步加速国产替代。

图 减速器核心厂商

图 减速器相关厂商份额变化

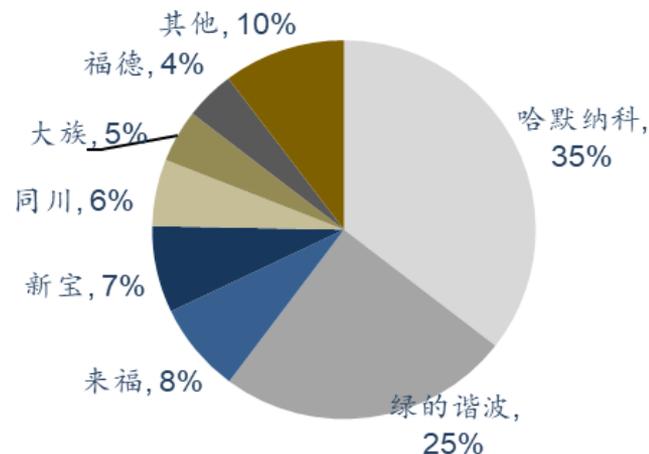
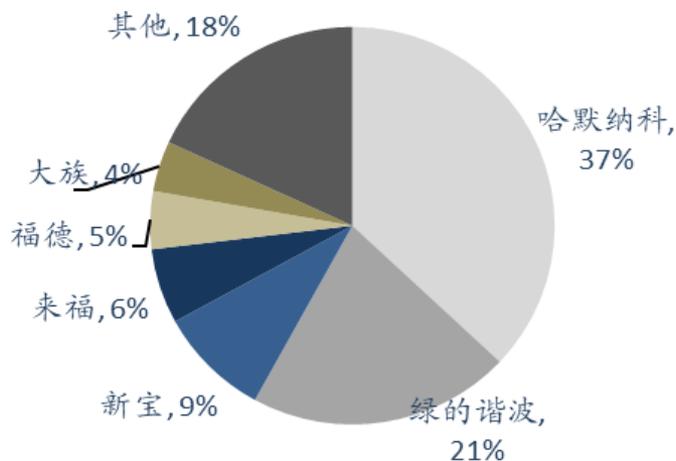
2020年竞争格局

2021年竞争格局

#### ①谐波减速器

- 哈默纳科
- 绿的谐波
- 日本新宝
- 绿的谐波
- 大族激光

核心厂商



## 五、个股推荐

- 5.1. 三花智控：汽车热管理龙头，机器人打开空间
- 5.2. 绿的谐波：谐波减速器龙头，增量空间可期
- 5.3. 鸣志电器：产品结构优化，解决方案能力提升
- 5.4. 拓普集团：打造世界级Tier0.5供应商
- 5.5. 汇川技术：国内工控龙头，抗周期能力显现
- 5.6. 禾川科技：工控新锐羽翼渐丰，机器人伺服领先
- 5.7. 江苏雷利：产品闭环布局中，微电机领航者
- 5.8. 雷赛智能：运动控制全面布局，步进系统龙头
- 5.9. 投资建议

# 5.1 三花智控：汽车热管理龙头，机器人打开空间

- 传统制冷2022年有望达到20-30%同比增速，中长期保持相对稳健。** 受益于竞争对手盾安被格力收购，2022年美的、海尔等客户转单至三花，全年有望同增20-30%。中长期看传统制冷业务CAGR有望10%增长，家用制冷、微通道、亚威科相对稳健（行业缓慢、公司全球份额高），商用制冷行业增速快+国产替代份额提升，有望给传统制冷板块带来结构性机会。
- 新能源汽车热管理系统爆发，卡位龙头客户、受益行业快速扩容与单车供应货值提升。** 三花依托在传统制冷与传统车领域的优势，卡位新能源车热管理龙头客户，供应包括特斯拉Model 3/Y（供应占比高）、大众MEB、沃尔沃、戴姆勒、比亚迪、蔚来等重点客户&车型，且ASP不断提升，最高达6000元左右，我们预计汽零板块收入23年80亿+、25年200亿+，“再造三花”。
- 三花是特斯拉汽车热管理系统供应商，具备良好合作基础。** 机器人部分关节功率密度要求高，需要热管理相关技术加持，公司未来有望成为Optimus核心供应商，打开新的成长空间。
- 盈利预测：** 我们预计2022-24年归母净利润分别为23.2亿元/30.3亿元/38.7亿元，同比+38%/+30%/+28%。
- 风险提示：** 家电销售不及预期、新能源车销量不及预期、竞争加剧等。

图 三花智控主要财务指标

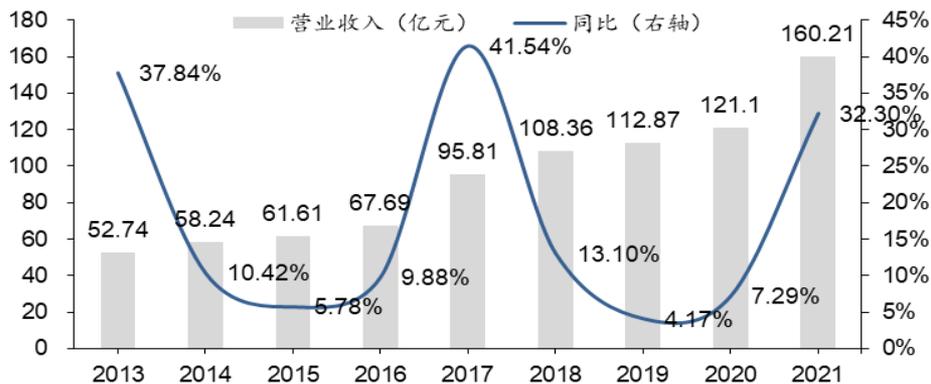


图 三花智控业务结构



## 5.2 绿的谐波（机械组覆盖）：谐波减速器龙头，增量空间可期

- 绿的谐波是国产谐波减速器龙头，专业从事精密传动装置研发、设计、生产和销售的高新技术企业，主要产品是谐波减速器、机电一体化产品和精密零部件，目前国内销售额市占超20%。
- 减速器市场成长期，营收归母增速较快，长期保持高毛利，盈利能力强。2021年营业收入达到4.43亿元（其中谐波减速器占比90%+），同增105%，归母净利润达1.89亿元，同增131%，营收和归母增速较快主要由于我国谐波减速器处于成长期，市场扩张较为明显。毛利水平方面，2017年以来，毛利率持续维持40%以上，其中核心产品谐波减速器毛利超过50%，盈利能力较强。
- 公司下游客户大多数是主流机器人厂商，如国内的埃斯顿、优必选，国外的Universal Robots、Kollmorgen等，我们认为目前公司是全球少数具备量产谐波减速器能力的公司之一，谐波减速器内资龙头，随着人形机器人市场“从0到1”，公司有望打开更大的市场增量空间。
- 盈利预测（来自东吴机械）：预计2022-24年归母净利润为2.7亿元/3.9亿元/5.2亿元，同比+42%/+45%/+33%。
- 风险提示：宏观经济下行、竞争加剧、国内疫情加剧等等。

图 绿的谐波营收与归母净利润

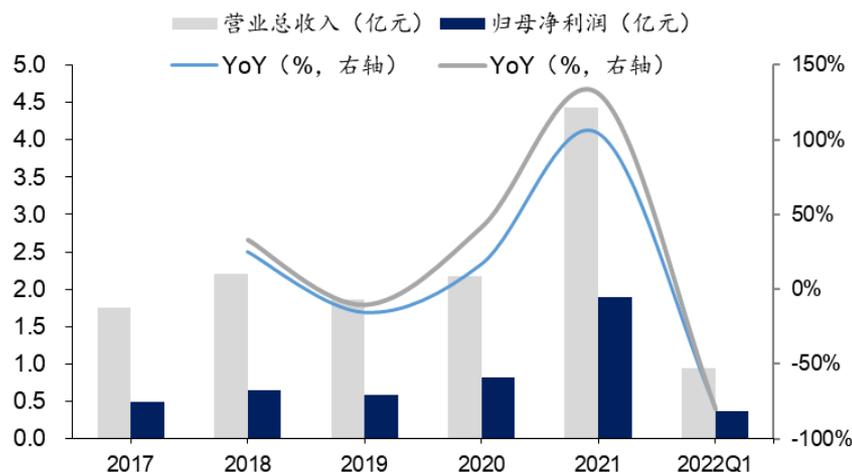
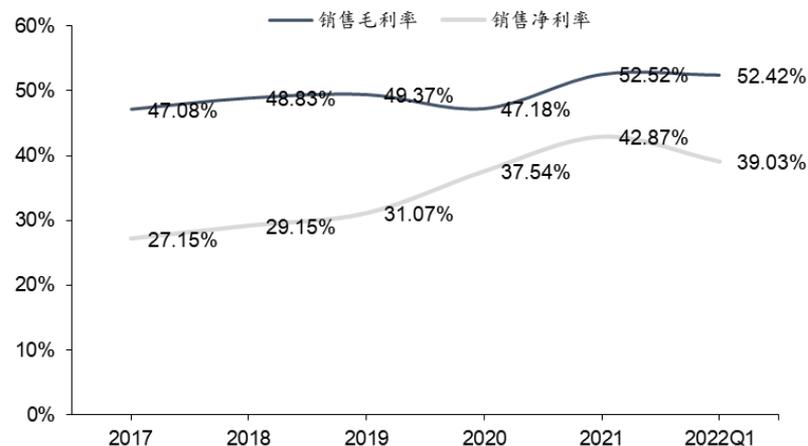


图 绿的谐波毛利率净利率情况



## 5.3 鸣志电器：产品结构优化，解决方案能力提升

□ 鸣志电器是我国步进电机龙头，营收稳步增长。公司混合式步进电机在全球享有较高市场地位，全球份额10%+，打破日本企业的长期垄断。公司收入稳步增长，2022Q1受疫情、汇率、国际海运费多因素影响，公司增速有所下滑，当期收入/归母净利润分别为6.76/0.39亿元，分别同比+10.03%/-31.44%；销售毛利率/销售净利率分别为38.32%/5.82%。

□ 切入伺服电机、驱动控制系统等，多款新产品已落地。通过合资设立安浦鸣志自动化，收购AMP、T Motion，投资设立苏州传动，公司在运动控制智能装备领域布局趋于完善，基于现有产线平台开发的直流无刷电机、无齿槽空心杯无刷电机、集成式伺服电机等产品技术行业领先，用于商业移动机器人、AGV、AMR等多种场景。未来公司电机产品有望应用于人形机器人手指等关节。

图 鸣志电器核心电机产品（与机器人相关的产品）



图 鸣志电器近年营收与归母净利润变化

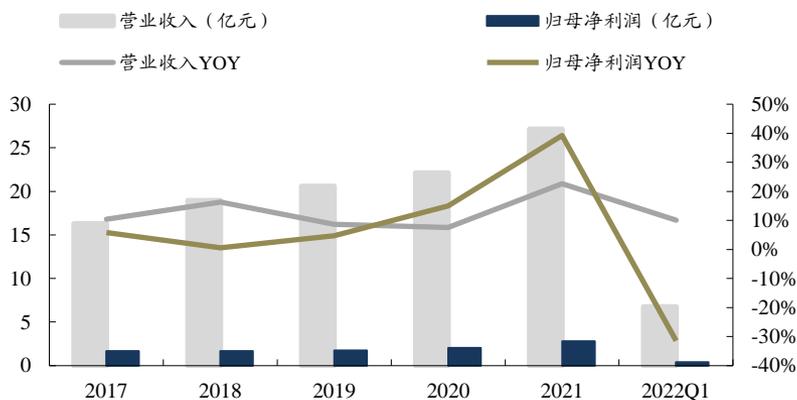
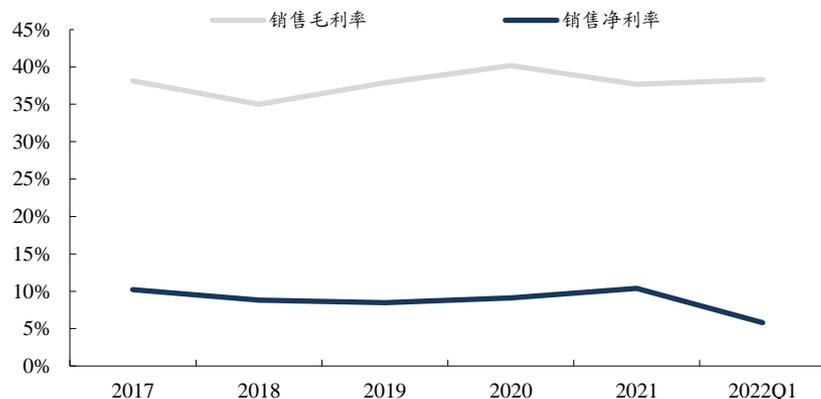


图 鸣志电器近年销售毛利率、销售净利率



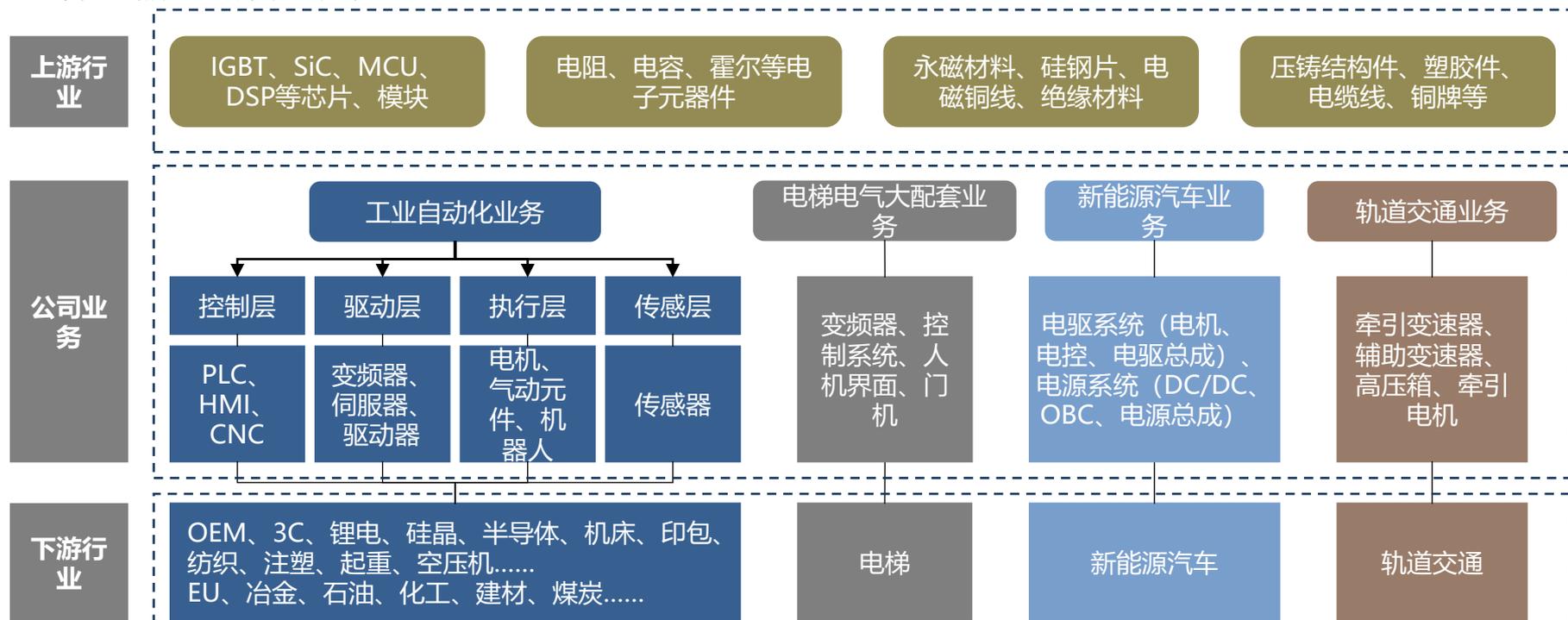
## 5.4 拓普集团（汽车组覆盖）：打造世界级Tier0.5供应商

- ❑ **NVH领域自主龙头，顺应产业趋势，客户结构不断更新。**公司核心业务NVH（减震+内饰）属于整车系统工程，因此能够参与整车项目的同步研发，与OEM建立稳定的伙伴关系。截至2019年，根据我们测算，公司减震产品全国市占率达到7.4%（销量口径），内饰产品因为全产业链布局带来较高的毛利率。随着国内汽车行业的趋势变化：合资增长(2015年之前)→自主突破(2015-2019年)→新能源崛起(2020年)，公司核心客户从通用→吉利→特斯拉不断更新，同时布局海外新能源车企（Rivian）以及国内造车新势力（蔚小理+华为）等，营收体量有望顺应产业的变革持续增长。
- ❑ **打造“2+N”产品矩阵，目标Tier0.5级供应商。**公司依托在NVH赛道上管理/研发/制造/商务领域的成功经验，不断通过技术迭代升级，打造“2+N”产品矩阵：1) 借助橡胶减震产品的金属-橡胶技术，切入轻量化底盘(约3000元)+空气悬挂业务(约8000元)；2) 通过收购福多纳和浙江家力，补全高强度钢底盘技术；3) 大力研发汽车电子业务(约3000元)，并依托其带来的电控技术和精密制造能力，成功研发热管理系列产品(约3000元)；4) 凭借轻量化底盘业务积累的压铸+模具制造技术，切入一体化压铸领域(约2000-10000元)。截至2022年中，公司能够配套单车价值量达到3万元，通过模块化供应，向Tier 0.5角色转变。
- ❑ **盈利预测（来自东吴汽车）：**预计2022-24年归母净利润分别为17.0亿/23.6亿/33.6亿，同比+67%/+39%/+42%。
- ❑ **风险提示：**原材料涨价超市场预期，芯片供应短缺超市场预期，新能源车渗透率增长不及预期。

## 5.5 汇川技术：国内工控龙头，抗周期能力显现

- 通用自动化：2022年紧抓结构性机会、保供应保交付。** 2022H1公司借助外资缺货机遇，快速响应客户需求，PLC、机器人继续维持50%以上高增，PLC接替伺服成为下一个高增产品；伺服、变频增速同比在30%+。展望2022年，尽管市场回归同比5-10%左右的温和增长，但先进制造需求仍旺盛+外资供应压力大，公司库存充足以保障交付，全年工控板块营收有望同比30%以上。
- 公司对抗周期能力已显现：1) 高景气下游占比提升——**能源板块SBU占比超20%（锂电、光伏、风电等）、先进制造SBU占比超30%（手机、机床等），这些行业的成长性给公司增长带来很好支撑。**2) 内功的持续提升——**2019年开启组织变革、2022年“收官之年”，后续持续迭代战略CG、研发IPD、营销LTC等变革项目，用流程去定义组织。

图 汇川技术上下游与公司业务



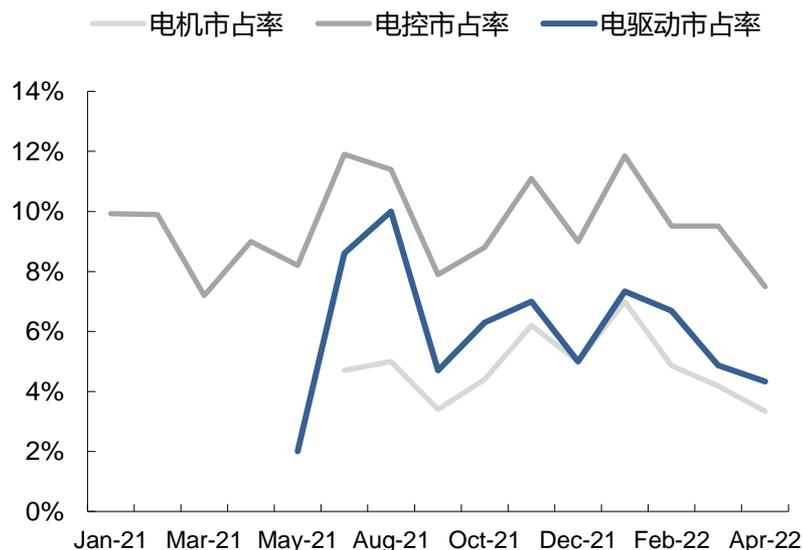
## 5.5 汇川技术：国内工控龙头，抗周期能力显现

- 新能源汽车：新势力继续放量，传统车迎头直追，海外项目持续突围。** 2022年新势力理想、小鹏订单维持高增，传统自主品牌2022年贡献增量。2022年重点任务保交付，常州一期产能饱满、二期规划建设，全年收入预计同比有望翻倍、接近50亿，利润端预计盈亏平衡。
- 电梯：2022H1房地产不景气、疫情带来压力，全年预期仍保持10%左右稳健增长。**
- 盈利预测：我们预计2022-24年归母净利润分别为43.0亿元/56.1亿元/73.0亿元，同比+21%/+30%/+36%。（扣非归母净利润为36.7亿元/48.7亿元/67.3亿元，同比+26%/+33%/+38%）。**
- 风险提示：宏观经济下行、新能源车销量不及预期、竞争加剧等。**

表 汇川联合动力现有&接触中的主流车企客户情况

| 车企类型 | 车企     | 车型                  | A/B点            | 产品   |           |
|------|--------|---------------------|-----------------|------|-----------|
| 国内   | 新势力    | 理想                  | 理想ONE           | A点   | 电机、电控、三合一 |
|      |        | 小鹏                  | P7/P5           | A点   | 电控        |
|      |        | 威马                  | EX5/EX6 Plus/W6 | A点   | 电机+电控     |
|      | 传统自主品牌 | 广汽                  | 埃安、传祺等          | A点为主 | 电机、电控、三合一 |
|      |        | 长城                  | 欧拉iQ混动等         | A点为主 | 电机、电控     |
|      |        | 奇瑞                  | 某平台             | A点   | 电机、电控、电源  |
| 海外   | 欧系主流客户 | PSA                 | 某MPV车型          | A点   | 电控        |
|      |        | Lotus               | -               | A点   | DC/DC     |
|      |        | 奥迪                  | PPE平台           | A点   | DC/DC     |
|      |        | 保时捷                 |                 | A点   | 无线充电      |
|      | 接触中    | 大众、沃尔沃、戴姆勒、宝马也有项目接触 |                 |      |           |

图 汇川新能源乘用车各产品装机量市占率



# 5.6 禾川科技：工控新锐羽翼渐丰，机器人伺服领先

- 伺服系统：高景气行业占比高+外资替代，但我们预计公司伺服业务可达35%+CAGR：**1) 下游结构来看，锂电、光伏、机器人等景气较高的先进制造业已占到60%，公司2022H1订单增速较高。2) 疫情、芯片短缺背景下，公司凭借产品定制化服务抢占外资份额，2020年起伺服销售额份额每年以2-3pct提升。利润端随新一代伺服产品于22H2开始放量，毛利率有望回升至40%+。
- PLC：通过“PLC+伺服”解决方案的定制化服务及较高的性价比，进一步提升巩固光伏、锂电等客户的份额。**先进制造行业的竞争更多是解决方案的竞争，目前公司PLC产品序列日臻完备，已经通过锂电等行业大客户测试，2022年有望顺利导入。
- 盈利预测：我们预计公司2022-24年归母净利润分别为1.6亿元/2.5亿元/3.6亿元，同比+46%/56%/42%。**
- 风险提示：宏观经济下行，竞争加剧，国内疫情加剧等。**

图 禾川科技收入结构

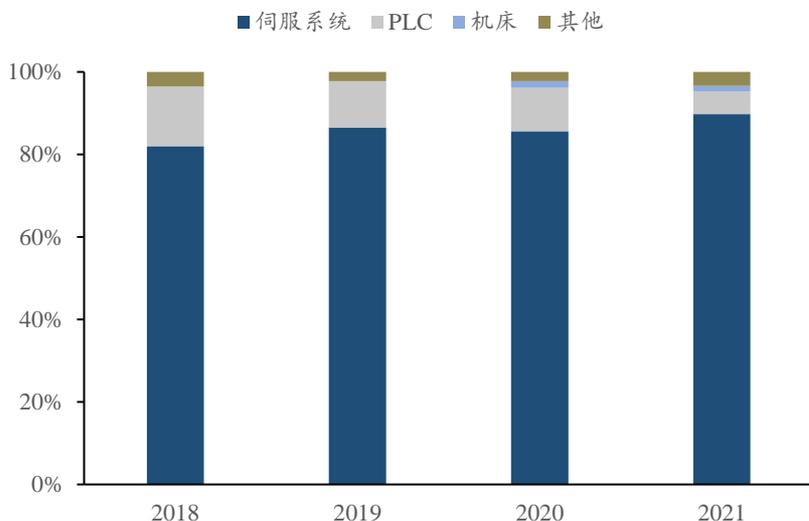


图 禾川科技产品下游及核心客户



## 5.7 江苏雷利：产品闭环布局中，微电机领航者

□ **微电机赛道领航者，营收稳步增长，利润率有所回升。** 公司是我国领先的微电机企业，通过不断外延并购、内部扩张业务领域不断拓宽，应用包括微特电机、医疗器械、新能源汽车零部件、家用电器四个行业。公司收入增速稳定，2022Q1受疫情、汇率等因素影响营收有所下滑，当期营业收入/归母净利润分别为7.21/0.69亿元，分别同比+0.42%/-16.69%，销售毛利率/销售净利率分别为27.85%/11.44%。

□ **收购鼎智科技，医疗空心杯电机优势资源整合，更多场景有待开拓。** 2019年公司并购鼎智科技70%股份，鼎智科技立足高端医疗器械，主攻医用及工业控制无刷电机，发展空心杯电机、控制、精密齿轮箱以及音圈电机产品。鼎智有刷电机、无刷电机、空心杯电机效率分别可达到70%/80%/90%，位居行业前列。

图 江苏雷利近年营收与归母净利润变化



图 鼎智科技电机产品



直流无刷电机  
5个标准尺寸，从16mm-86mm

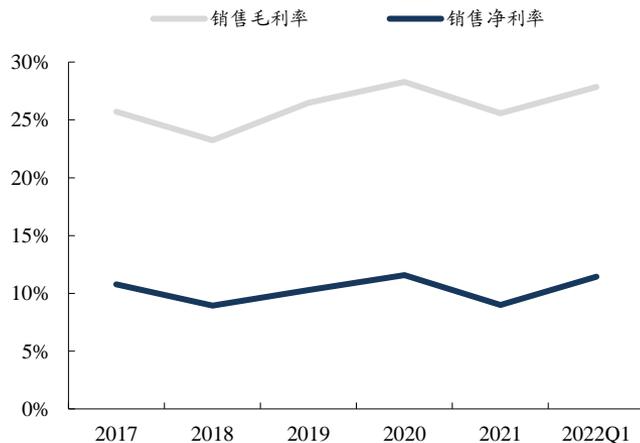


空心杯（无槽无刷）电机  
最高转速100000rpm，最大效率90%



音圈电机

图 江苏雷利近年销售毛利率、销售净利率



# 5.8 雷赛智能：运动控制全面布局，步进系统龙头

- 运动控制核心部件和解决方案专家，伺服、PLC步入成长期。**雷赛智能聚焦运动控制领域，布局伺服系统、控制器、步进系统三大主业。伺服进入成长期，2019年发布旗舰系列L7系列伺服、20年发布了L8系列高端交流伺服系统，21年起持续提升销售额份额；PLC发力伊始，经过市场验证后也有望高增。战略方面聚焦新能源、机床、3C、物流四大行业，并积极推进流程型组织变革、完善薪酬体系。
- 传统产品稳健向上、份额相对稳定。**步进系统国内龙头、市占率38%，需求&格局稳定；PC-based控制卡国内第二、市占率16%。
- 盈利预测：**我们预计2022-24年归母净利润分别为2.45亿元/3.30亿元/4.39亿元，同比+12%/+35%/+33%。
- 风险提示：**宏观经济下行、竞争加剧等。

图 雷赛智能近年营收与归母净利润变化

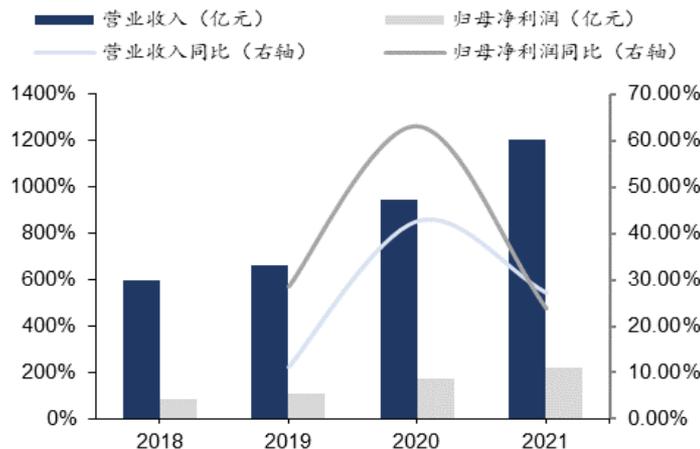
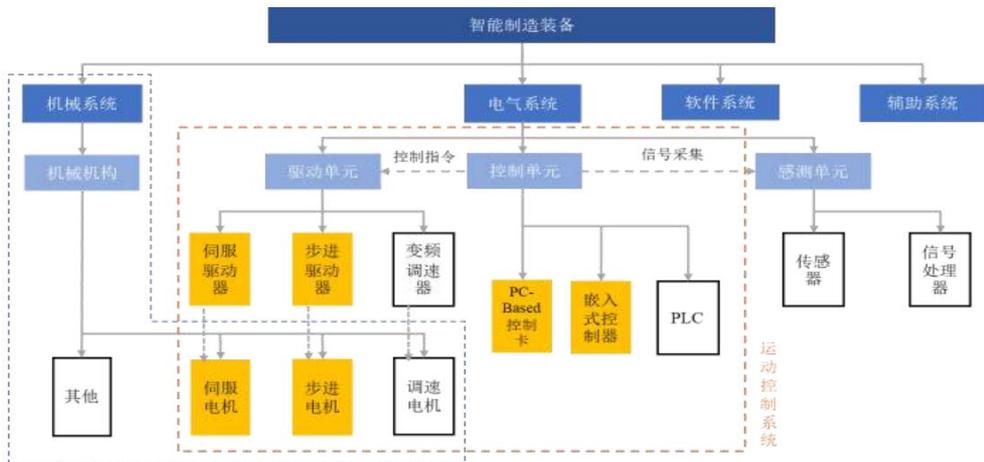


图 雷赛智能近年销售毛利率、销售净利率



图 雷赛智能产品涵盖伺服系统



- 运动控制为人形机器人的“核心卡点”，国内运控核心零部件性能日臻成熟，考虑到Optimus规模化量产及降本诉求，国产零部件配套“静待花开终有时”。**人形机器人产业链可分为上游零部件&原材料、中游系统集成&本体制造、下游应用。规模化量产后，Optimus预计售价2.5万美元（约17-18万元）、接近电动车价格带，其中运动控制核心零部件电机、减速机、控制器等预计占成本的50%。国外供应链性能可靠但成本高，而国内相关工控零部件龙头凭借数十年积累，已突破工业机器人等高端装备，凭借性价比&服务响应快持续替代外资。我们看好人形机器人领域国产供应链比例提升，复刻特斯拉在电动车领域的降本之路。
- 投资建议：**推荐动力系统环节**三花智控**、谐波减速器环节**绿的谐波**（机械组覆盖）、伺服环节**汇川技术**、**禾川科技**、**雷赛智能**，结构件环节**拓普集团**（汽车组覆盖），关注微电机环节**鸣志电器**及**江苏雷利**等。

图 相关公司盈利预测（截至8月8日）

| 名称   | 证券代码      | 股价 (元) | 归母净利润 (亿元) |       |       |       | EPS (元/股) |       |       |       | PE    |       |       |       | 评级 |
|------|-----------|--------|------------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
|      |           |        | 2021A      | 2022E | 2023E | 2024E | 2021A     | 2022E | 2023E | 2024E | 2021A | 2022E | 2023E | 2024E |    |
| 三花智控 | 002050.SZ | 27.67  | 16.8       | 23.2  | 30.3  | 38.7  | 0.47      | 0.65  | 0.84  | 1.08  | 59    | 43    | 33    | 26    | 买入 |
| 绿的谐波 | 688017.SH | 175.70 | 1.9        | 2.7   | 3.9   | 5.2   | 1.12      | 1.60  | 2.31  | 3.08  | 157   | 110   | 76    | 57    | 买入 |
| 鸣志电器 | 603728.SH | 38.61  | 2.8        | 3.4   | 5.4   | 8.3   | 0.66      | 0.81  | 1.28  | 1.97  | 58    | 48    | 30    | 20    | 买入 |
| 拓普集团 | 601689.SH | 82.81  | 10.2       | 17.0  | 23.6  | 33.6  | 0.92      | 1.54  | 2.14  | 3.05  | 90    | 54    | 39    | 27    | 买入 |
| 汇川技术 | 300124.SZ | 63.57  | 35.7       | 43.0  | 56.1  | 73.0  | 1.35      | 1.63  | 2.13  | 2.77  | 47    | 39    | 30    | 23    | 买入 |
| 禾川科技 | 688320.SH | 71.97  | 1.1        | 1.6   | 2.5   | 3.6   | 0.73      | 1.06  | 1.66  | 2.38  | 99    | 68    | 43    | 30    | 买入 |
| 江苏雷利 | 300660.SZ | 36.29  | 2.4        | 3.5   | 4.9   | -     | 0.93      | 1.34  | 1.87  | -     | 39    | 27    | 19    | -     | 买入 |
| 雷赛智能 | 002979.SZ | 21.35  | 2.2        | 2.5   | 3.3   | 4.4   | 0.71      | 0.79  | 1.07  | 1.42  | 30    | 27    | 20    | 15    | 买入 |

※注：鸣志电器、双环传动、江苏雷利盈利预测均来自于Wind一致预期，其余均来自于东吴证券研究所

## 六、风险提示

- ❑ **核心技术突破不及预期：**目前人形机器人还需要进一步突破人机交互、环境感知、运动控制等核心技术，一旦核心技术的研发和突破不及预期，将会影响产品的量产节奏。
- ❑ **特斯拉机器人量产进度不如预期：**在较大需求空间情况下，供给侧即产能决定了短期市场规模，如果特斯拉产能短期不足，将会影响机器人量产进度及相关供应商的经营业绩。
- ❑ **新冠疫情反复&地缘政治不确定性对供应链产生影响：**新冠疫情反复可能导致部分地区的供应链因疫情管控而受到影响，此外地缘政治的不确定性也极有可能引发跨国供应链紧张，从而影响人形机器人的生产交付。
- ❑ **宏观经济下行：**人形机器人有消费品属性，宏观经济下行将会导致居民可选消费支出减少，进而影响人形机器人短期需求。

东吴证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

本研究报告仅供东吴证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。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，本公司不对任何人因使用本报告中的内容所导致的损失负任何责任。在法律许可的情况下，东吴证券及其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并进行交易，还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

市场有风险，投资需谨慎。本报告是基于本公司分析师认为可靠且已公开的信息，本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，也不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，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。

本报告的版权归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。如引用、刊发、转载，需征得东吴证券研究所同意，并注明出处为东吴证券研究所，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。

东吴证券投资评级标准：

公司投资评级：

买入：预期未来6个月个股涨跌幅相对大盘在15%以上；

增持：预期未来6个月个股涨跌幅相对大盘介于5%与15%之间；

中性：预期未来6个月个股涨跌幅相对大盘介于-5%与5%之间；

减持：预期未来6个月个股涨跌幅相对大盘介于-15%与-5%之间；

卖出：预期未来6个月个股涨跌幅相对大盘在-15%以下。

行业投资评级：

增持：预期未来6个月内，行业指数相对强于大盘5%以上；

中性：预期未来6个月内，行业指数相对大盘-5%与5%；

减持：预期未来6个月内，行业指数相对弱于大盘5%以上。

东吴证券研究所  
苏州工业园区星阳街5号  
邮政编码：215021  
传真：（0512）62938527  
公司网址：<http://www.dwzq.com.cn>

# 东吴证券 财富家园