

自动化设备行业深度报告

人形机器人迎产业化机遇，建议关注核心零部件环节

增持（首次）

2022年07月20日

证券分析师 周尔双

执业证书：S0600515110002

021-60199784

zhouersh@dwzq.com.cn

证券分析师 朱贝贝

执业证书：S0600520090001

zhubb@dwzq.com.cn

投资要点

■ 特斯拉拉开人形机器人产业化序幕，千亿级市场未来可期

2021年8月，特斯拉CEO马斯克于“人工智能日”首次公开展示人形机器人Tesla Bot。2022年6月，马斯克再次于推特称，将于2022年9月30日公布人形机器人原型机。考虑到特斯拉强大的产业化能力与市场影响力，我们认为其有望拉开人形机器人产业化序幕。而深层次来看，我们认为短期内实现产业化仍有许多困难需要克服，例如缺乏拥有刚需的应用场景；售价高昂，性价比比较低；实际应用场景中技术仍不够完善等等。

尽管存在诸多问题，我们仍十分看好并期待特斯拉人形机器人的发布，若其能够明确市场需求，并且在成本控制和技术水平之间形成有效平衡，就有望实现商业化的落地和规模化的量产。且根据MarketsandMarkets的预测，全球人形机器人市场规模（仅考虑单机）将从2022年15亿美元提升至2027年的173亿美元（人民币兑美元6:1计算得1038亿元），千亿市场未来可期。

■ 产业链视角：核心零部件重要性凸显

人形机器人产业链主要包括上游核心软硬件（硬件包括伺服电机、减速器、控制器、传感器等；软件包括机器视觉、人机交互、机器学习、系统控制等）；中游本体制造商和下游应用（包括迎宾接待、高校科研等）。其中核心零部件重要性十分突出，一方面高性能的零部件是实现机器人感知与运动的基础；另一方面核心零部件成本占比较高。以传统工业机器人为例，核心零部件占据了工业机器人整机70%以上的成本。

①**减速器**：主要包括谐波减速器和RV减速器，目前仍主要被日本企业所垄断，近年来在绿的谐波和双环传动等国产龙头的带领下国产化率逐步提升。考虑到人形机器人将为减速器市场需求带来较大增量，根据测算2025年全球谐波减速器市场空间有望达147.5亿元，2022-2025年CAGR=59.5%。

②**控制器**：主要控制机器人在工作空间中的运动位置、姿态和轨迹，近年来机器人控制器市场需求稳步增长。竞争格局方面由于机器人控制器多为本体厂商自制，竞争格局与本体类似，国外企业占据主导地位，国内外差距主要体现在软件算法，近年汇川、埃斯顿等国产机器人龙头正逐步追赶。

③**伺服系统**：主要包括驱动器和伺服电机。相较于通用伺服、机器人用伺服对响应速度、负载能力、体积质量等要求更高，因此国内外差距也更大。近年来汇川、埃斯顿等国产品牌迅速发展，在中低端伺服领域已实现大规模量产，并不断投入研发向高端伺服系统迈进。

■ 主要公司介绍：

（1）绿的谐波（688017.SH）：国产谐波减速器龙头，受益于国产替代&产能扩张，业绩高速增长，2017-2021年收入和归母净利润CAGR分别为26.0%和40.5%。短期来看，根据测算全球谐波减速器市场到2025年仍存在供需缺口，产能扩张下绿的市场份额有望快速提升。此外绿的也正在拓展非机器人应用，包括机床、半导体等新领域，而正在加速推进的人形机器人产业也有望在长期为谐波减速器行业带来较大的市场增量。**（2）埃斯顿（002747.SZ）**：国产工业机器人领军企业，布局工业自动化全产业链，业绩持续稳定增长，2016-2021年收入和归母净利润复合增速达34.8%和12.2%。相较于传统机器人，人形机器人关节更多，运动形式更复杂，对伺服、控制器及机器视觉等诸多技术融合度要求更高，埃斯顿坐拥自主研发的伺服系统、TRIO高端控制技术和Eculid先进的机器视觉技术，三位一体下将充分受益于人形机器人发展机遇。

（3）双环传动（002472.SZ）：专注汽车齿轮箱生产，2013年布局RV减速器率先打破国外垄断自主生产。目前公司RV减速器性能达国内领先水平，未来随着产能进一步释放，国产替代加速，有望开启第二成长曲线。

■ **投资建议**：重点推荐绿的谐波、埃斯顿、汇川技术（东吴电新组覆盖）；建议关注双环传动。

■ **风险提示**：人形机器人产业化不及预期，核心零部件国产化不及预期，人形机器人或存在舆论阻力。

行业走势



相关研究

内容目录

1. 特斯拉拉开人形机器人产业化序幕，千亿级市场未来可期	5
1.1. 特斯拉 Optimus 即将推出，拉开人形机器人产业化序幕	5
1.2. 人形机器人起源于日本，21 世纪以来迅速发展	5
1.3. 产业化落地条件初步具备，千亿市场未来可期	7
2. 产业链视角：核心零部件重要性凸显	9
2.1. 精密减速器：机器人生产中壁垒最高的零部件	11
2.1.1. 精密减速器包含谐波与 RV 减速器，其原理与使用场景各有不同	11
2.1.2. 全球精密减速器被日本垄断，近年国产化率逐步提升	13
2.1.3. 考虑到人形机器人需求，2025 年全球谐波减速器市场空间有望达 147.5 亿元	14
2.2. 控制器&伺服系统：机器人实现运动功能的核心部件	15
2.2.1. 控制器：机器人运动控制的“大脑”	16
2.2.2. 伺服系统：机器人运动控制的“神经系统”	17
3. 主要公司介绍	19
3.1. 绿的谐波（688017.SH）：突出重围的国产谐波减速器龙头	19
3.1.1. 进口替代&产能提升，国产谐波龙头业绩高增	19
3.1.2. 短期内行业供不应求，产能扩张下市场份额提升	21
3.1.3. 新产品+新应用拓宽长期成长边界	22
3.2. 埃斯顿（002747.SZ）：玉汝于成，国产机器人集大成者	23
3.2.1. 国产工业机器人领军企业，布局工业自动化全产业链	23
3.2.2. TRIO 控制器+ESTUN 伺服，打造高端运动控制解决方案	25
3.3. 双环传动（002472.SZ）：高精度齿轮龙头，RV 开启第二成长曲线	26
3.3.1. 国产高精度齿轮龙头，新能源机遇下业绩迎快速增长	26
3.3.2. 率先打破 RV 减速器国外垄断，开启第二成长曲线	28
4. 投资建议	29
5. 风险提示	29

图表目录

图 1: 特斯拉 Optimus 示意图.....	5
图 2: 人形机器人发展历史.....	6
图 3: 目前主流人形机器人参数及应用场景.....	7
图 4: 人形机器人正处于 L3 向 L4 阶段迈进的过程.....	7
图 5: 优必选人形机器人 To B 端的应用场景, 但缺乏刚性需求推动其规模化.....	8
图 6: 机器人产业链情况.....	9
图 7: 人形机器人主要部件构成.....	10
图 8: 工业机器人核心零部件示意图.....	10
图 9: 机器人产业链各环节成本占比.....	10
图 10: 伺服电机输出与本体需求不匹配, 需要减速器进行减速增距.....	11
图 11: 精密减速器包括谐波减速器与 RV 减速器, 但其工作原理和应用场景存在区别.....	12
图 12: 2020 年谐波减速器国内市场销量占比情况.....	13
图 13: 2021 年谐波减速器国内市场销量占比情况.....	13
图 14: 2020 年 RV 减速器国内市场销量占比情况.....	13
图 15: 2021 年 RV 减速器国内市场销量占比情况.....	13
图 16: 国内外各品牌同型号谐波减速器关键参数对比.....	14
图 17: 国内外各品牌同型号 RV 减速器关键参数对比.....	14
图 18: 考虑人形机器人需求, 2025 年全球谐波减速器市场空间有望达 147.5 亿元.....	15
图 19: 运动控制系统应用原理.....	15
图 20: 控制器分类及特点介绍.....	16
图 21: 2022 年国内工业机器人控制器市场规模有望达 16 亿元.....	16
图 22: 国内工业机器人控制器市场四大家族合计市场份额占有率超过 50% (2020 年).....	16
图 23: 国内企业加速布局工业机器人控制器.....	17
图 24: 2019 年伺服系统下游应用领域占比.....	18
图 25: 国内伺服系统市场规模.....	18
图 26: 2015 年国内伺服系统主要供应商市场份额.....	18
图 27: 2019 年国内伺服系统主要供应商市场份额.....	18
图 28: 绿的谐波发展历程.....	19
图 29: 2017-2021 年营业收入 CAGR=26.0%.....	20
图 30: 2017-2021 年归母净利润 CAGR=40.5%.....	20
图 31: 2022Q1 公司毛利率 52.4%, 销售净利率 39.0%.....	21
图 32: 2022Q1 公司期间费用率为 14.9%, 同比+7.1pct.....	21
图 33: 根据测算 2022-2025 全球谐波减速器市场存在供需缺口.....	22
图 34: 埃斯顿发展历程.....	23
图 35: 两大核心业务: 核心零部件+工业机器人.....	24
图 36: 两大核心业务示意图.....	24
图 37: 2021 年公司实现营业收入 30.2 亿元, 同比+20.3%.....	24
图 38: 2021 年公司归母净利润 1.22 亿元, 同比-4.75%.....	24
图 39: 毛利率维持稳定, 规模效应下销售净利率回升.....	25
图 40: 2021 年公司期间费用率为 29.2%, 同比-3.5pct.....	25
图 41: 埃斯顿全新的智能控制单元解决方案示意图.....	25
图 42: 智能控制单元解决方案成功打入锂电行业.....	26

图 43: 智能装备核心控制部件业务迎来快速增长期.....26

图 44: 双环传动营业收入保持持续增长.....27

图 45: 双环传动归母净利润 2021 年迎来拐点.....27

图 46: 2020 年双环传动盈利能力迎来拐点.....27

图 47: 2021 年双环传动期间费用率开始降低.....27

图 48: 双环传动 RV 减速器发展历程28

表 1: 预计 2021-2025 年国内数控机床用谐波减速器的市场规模 CAGR=41%22

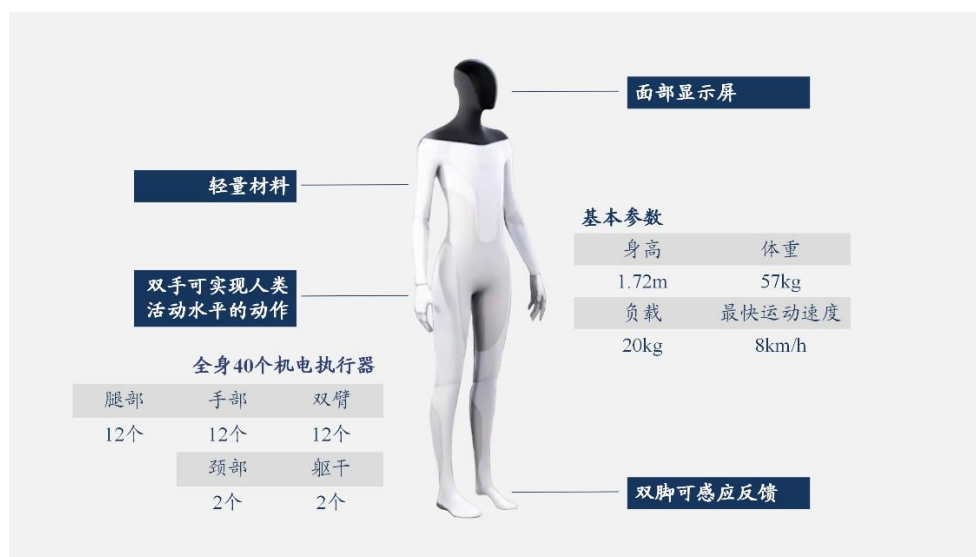
表 2: 相关公司估值情况（截至 2022.7.19 收盘价）29

1. 特斯拉拉开人形机器人产业化序幕，千亿级市场未来可期

1.1. 特斯拉 Optimus 即将推出，拉开人形机器人产业化序幕

2021 年 8 月，特斯拉 CEO 马斯克于“人工智能日”首次公开展示特斯拉人形机器人 Tesla Bot。2022 年 6 月，马斯克再次于推特宣称，特斯拉将于 2022 年 9 月 30 日公布人形机器人原型机，并将其命名为 Optimus（擎天柱），预计最早将于 2023 年开始生产。根据公开信息，Optimus 身高 1.72m，体重 57kg，可负载 20kg，最快运动速度达到 8km/h。

图1: 特斯拉 Optimus 示意图



数据来源：特斯拉官网，东吴证券研究所

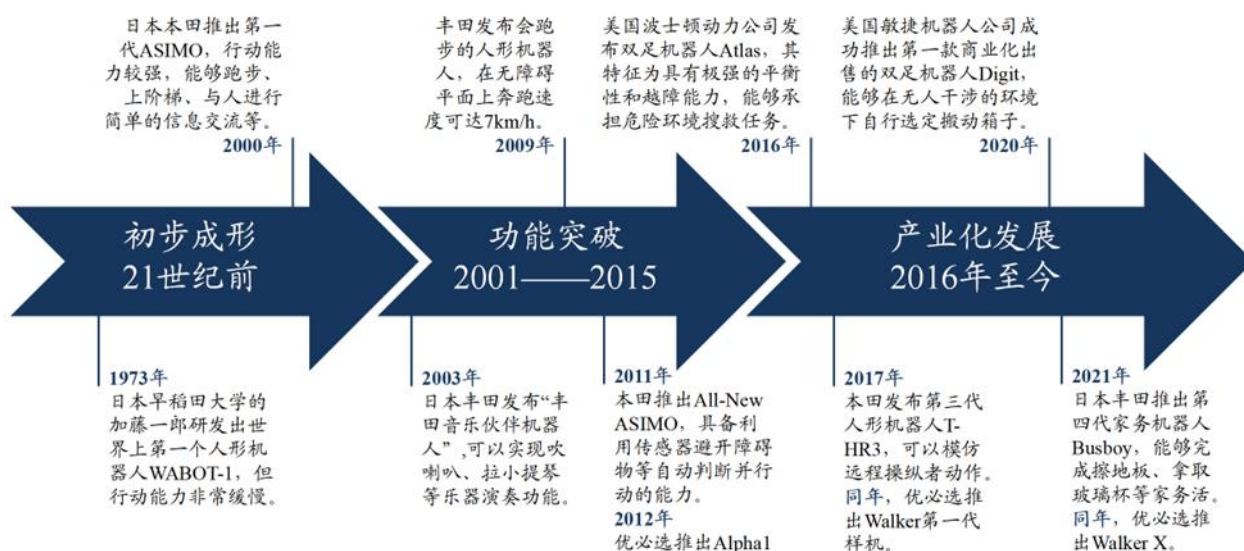
根据特斯拉 CEO 马斯克在“人工智能日”当天的演讲披露，硬件方面 Optimus 全身由 40 个机电执行器控制（腿部 12 个+手部 12 个+双臂 12 个+颈部 2 个+躯干 2 个），面部配有显示屏，双臂采用轻量材料，双手可实现人类活动水平的动作，双脚可感应反馈。软件方面 Optimus 结合了特斯拉的基于视觉神经网络神经系统预测能力的自动驾驶技术，并搭载自研 AI 训练芯片 D1，算力高达每秒 9PFLOPs（9 千万亿次）。考虑到特斯拉强大的产业化能力与市场影响力，我们认为特斯拉 Optimus 的推出有望拉开人形机器人产业化序幕。

1.2. 人形机器人起源于日本，21 世纪以来迅速发展

人形机器人起步于 1960 年代后期，以日本的研究成果最为瞩目。1973 年日本早稻田大学的加藤一郎教授研发出世界上第一款人形机器人 WABOT-1，但其运动能力不足，每走一步需要 45 秒钟。1986 年日本本田开始进行人形机器人 ASIMO 的研究，并成功于 2000 年发布第一代机型。相较于 WABOT-1，ASIMO 能跑能走、上下阶梯，在运动能力方面取得较大突破。

进入 21 世纪后，人形机器人在日美多家企业的大力研发下迅速迭代，并不断取得功能突破。2003 年日本丰田发布第一代仿人类机器人，即“丰田音乐伙伴机器人”，可以实现吹喇叭、拉小提琴等乐器演奏功能。2009 年丰田发布第二代会跑步的人形机器人，在无障碍平面上奔跑速度可达 7km/h。2011 年本田推出的 All-New ASIMO 具备利用传感器避开障碍物等自动判断并行动的能力，还能用五根手指做手语，或将水壶里的水倒入纸杯。至此人形机器人已具备初步的行动能力，逐步向特定场景应用发展。2016 年美国波士顿动力公司发布双足机器人 Atlas，其特征为具有极强的平衡性和越障能力，能够承担危险环境搜救任务。2017 年本田发布第三代人形机器人 T-HR3，可以模仿远程操纵者动作，并于 2020 年东京奥运会中用于与运动员进行远程交流。2020 年美国敏捷机器人公司成功推出第一款商业化出售的双足机器人 Digit，能够在无人干涉的环境下自行选定搬动箱子，适用于物流、仓储、工业等多种应用场景。2021 年日本丰田推出第四代家务机器人 Busboy，能够完成擦地板、拿取玻璃杯等家务活。

图2：人形机器人发展历史



数据来源：各公司官网，物联网，东吴证券研究所整理

国内起步较晚，但发展十分迅速。国内主要人形机器人玩家包括优必选和北京钢铁侠等。优必选以伺服舵机起家，于 2012 年推出第一款人形机器人 Alpha1，经过迅速迭代至 2017 年推出稳定性较强的 Walker 第一代样机，2021 年推出更为成熟的 Walker X，为进军消费级的人形机器人领域做好充分准备。

目前来看，全球范围内较为成功的人形机器人厂商主要包括中国优必选、日本本田和丰田、美国波士顿动力和敏捷机器人，但各家产品在设计结构、价格、功能及运用场景方面均有不同，但从产业化角度来看，仅有美国敏捷机器人和优必选实现了一定程度上的产业化销售。

图3：目前主流人形机器人参数及应用场景

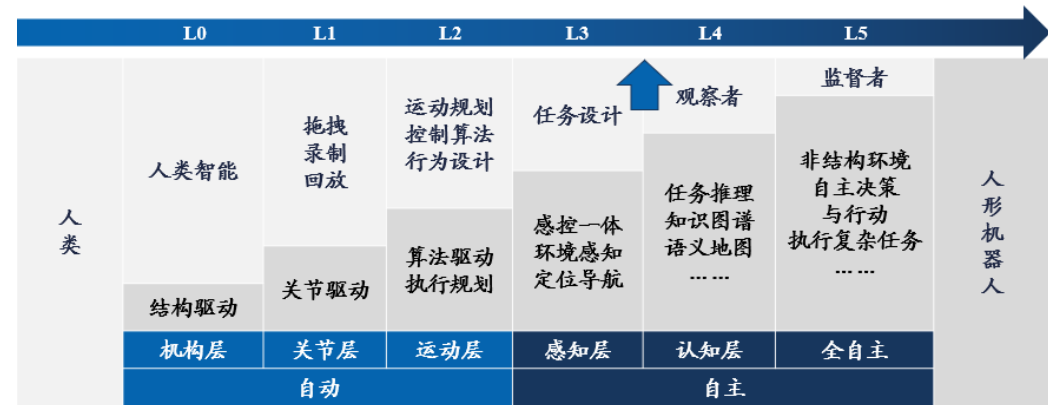
公司名称	特斯拉	日本本田	优必选	美国波士顿动力	美国敏捷机器人
产品名称	Optimus	ASIMO	Walker X	Atlas	Digit
图示					
推出时间	2023年	2000年	2019年	2013年	2020年
身高 (m)	1.72	1.3	1.3	1.5	1.55
体重 (kg)	56.7	48	63	75	42.2
行驶速度	8km/h	9km/h	3km/h	5.4km/h	-
负载 (kg)	20	1	10	-	18
售价	预计2.5万美元	660万美元	-	-	25万美元
成本	-	300-400万美元	BOM成本为10万美元	-	-
功能	适用于重复无聊的或危险性的工作	避障、小跑、踢球等	问询、引领、送物等交互功能	可以实现立定跳远、跳高、后空翻、在软地面跑步等动作	装载和卸载货运箱
应用场景	工厂，仓库，核设施场地，建筑工地，医院，农场，消防部门等	表演、接待	导览、接待、家庭陪伴	危险环境搜救	物流、仓库远程控制和工业检测
商业化情况	预计2025年出货量达到400-500万	没有大规模商业化，现已停止研发	预计在2023年-2024年实现商业化，未来会向迎宾导览、科技展馆等toB端场景转换	与美国军方合作，商业化尚有距离	是第一个商业化出售的双足机器人

数据来源：各公司官网，东吴证券研究所

1.3. 产业化落地条件初步具备，千亿市场未来可期

从基础功能角度来看,人形机器人已初步具备产业化条件。从通用人形机器人的 L0-L5 的发展阶段来看，其正处于 L3 向 L4 阶段迈进的过程。L3 阶段的机器人需要具备感知能力，能利用各种传感器测量环境信息，通过预设程序，进行识别、理解，并反馈预设动作。L3 级别的机器人在架构上至少需要 30 个以上的自由度。L4 阶段的机器人能够通过预设行为和技能模板自主完成任务，不再需要人类的频繁干预。L5 阶段则是理想状态的人形机器人，真正具备人类的思维和创造力。

图4：人形机器人正处于 L3 向 L4 阶段迈进的过程



数据来源：优必选官网，东吴证券研究所

而从现状来看，人形机器人距离真正产业化仍有一定距离。以日本本田 ASIMO 为例，尽管能跑能跳功能齐全，但 2011 年福岛核电站事故发生后，ASIMO 由于无法为救灾做出贡献而遭到群众对其实用性的质疑，2018 年本田宣布因高成本和低实用价值而放弃对 ASIMO 的研发。同样美国波士顿动力的 Atlas 机器人虽饱受外界关注，但现阶段仍未实现产业化出售。我们认为人形机器人过去无法真正产业化主要有以下几点原因：

（1）缺少明确的具备刚需的应用场景：目前已实现量产的机器人都有着明确的应用场景，而且这些应用场景无论是 ToB 还是 ToC 都有大量的刚性需求，例如工业机器人在工业领域实现的搬运、焊接、点胶等工艺，扫地机器人的家用功能，电力巡检机器人在电网的应用等等。而现有的人形机器人的主要应用包括商业领域的导览接待、特殊环境下的搜救搬运等工作，尚无能够大规模应用的刚需场景。我们认为人形机器人要实现大规模产业化落地，前提是需要找准某一细分领域或者特定场景下的市场需求，同时兼具实用性和性价比。

图5：优选人形机器人 To B 端的应用场景，但缺乏刚性需求推动其规模化



数据来源：优选官网，东吴证券研究所

（2）成本高企，产品性价比较低：人形机器人结构复杂，对智能化和感知能力的要求更高，除了控制器、伺服驱动、减速机等传统机器人必须的零部件之外，还要加入大量传感器、机器视觉以及软件层面的 AI 交互系统等，所以制造成本十分高昂。以美国敏捷机器人 Digit 为例，其对外售价为 25 万美元；而 Tesla Bot 要实现 2.5 万美金的预期售价，在大规模生产的基础上还需要进行多方位的技术突破以降低生产成本。

（3）实际应用场景中技术仍需完善：人形机器人在产业化落地过程中，仍有许多亟待解决的技术问题，目前尚处于功能相对简单、初步智能的形态。①人工智能仍不够智能：人工智能限制了人形机器人的发展天花板，人机交互能力还较为薄弱；②机器视觉在复杂场景下的应用：例如在早中晚光照变化较大的情况下，机器视觉定位容易失败；

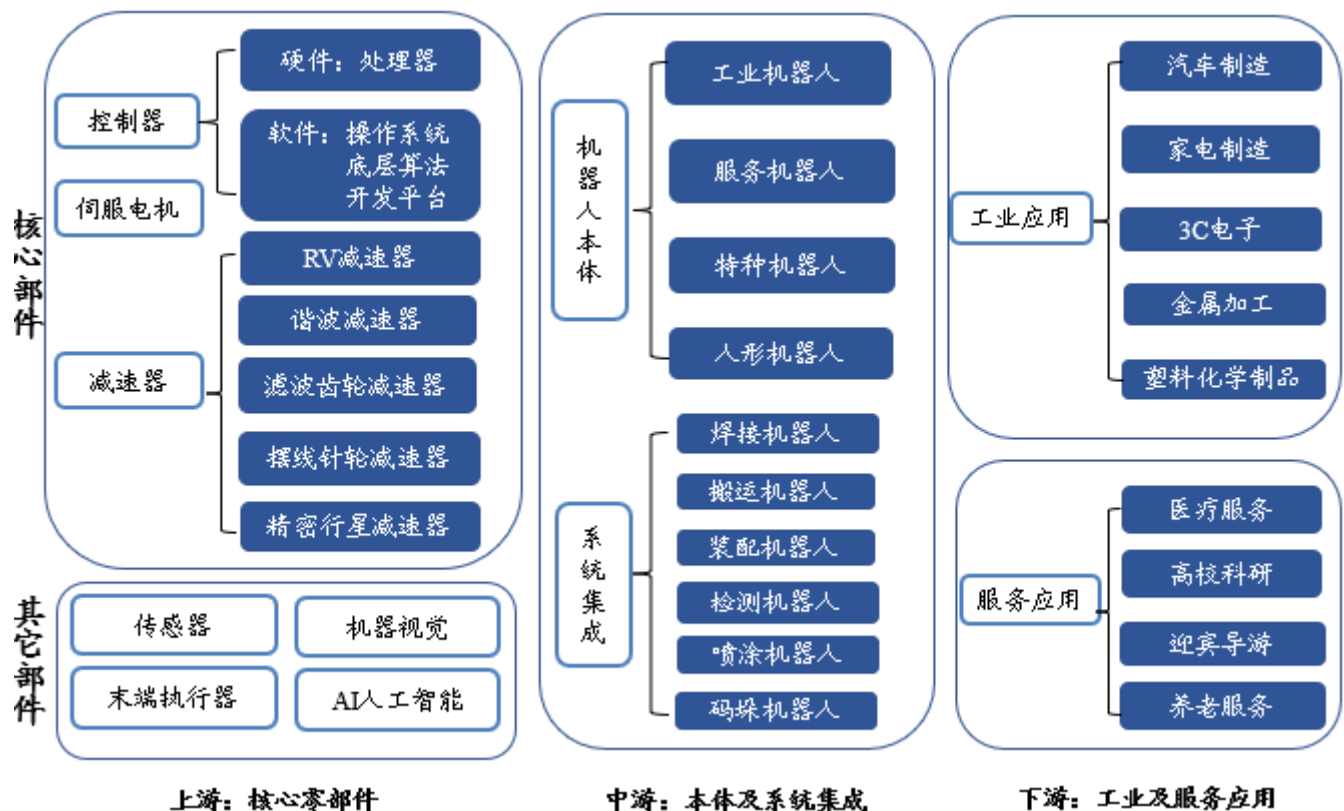
或者在逼仄的白墙下，定位稳定性不好，容易导致导航中断；③缺乏更高效的零部件：例如由于人形机器人需要站立，且体重较大，运动过程中对腿部扭矩需求很大，因此对减速器的刚性、驱动器的功率密度等要求较高。

综合而言，尽管人形机器人距离真正实现产业化仍有诸多困难需要克服，我们仍十分期待特斯拉新一代 Optimus 人形机器人，若其能够明确市场需求，并且在成本控制和水平之间形成有效平衡，就有望实现商业化的落地和规模化的量产。根据全球市场研究机构 Marketsandmarkets 的预测，全球人形机器人市场规模（仅考虑单机）将从 2022 年 15 亿美元提升至 2027 年的 173 亿美元（按人民币兑美元 6: 1 计算为 1038 亿元），CAGR=63.5%。星星之火可以燎原，千亿蓝海市场未来可期。

2. 产业链视角：核心零部件重要性凸显

人形机器人产业链主要分为上中下游三部分。具体来看，上游为核心软硬件，硬件主要包括伺服电机、减速器、控制器、传感器等；软件包括机器视觉、人机交互、机器学习、系统控制等；中游则是人形机器人本体制造商，国内包括优必选、北京钢铁科技、国外包括波士顿动力、美国敏捷机器人、日本丰田、本田、特斯拉等。下游目前还未有成熟的商业应用，可能的应用场景包括迎宾接待、展厅引导、高校科研等。

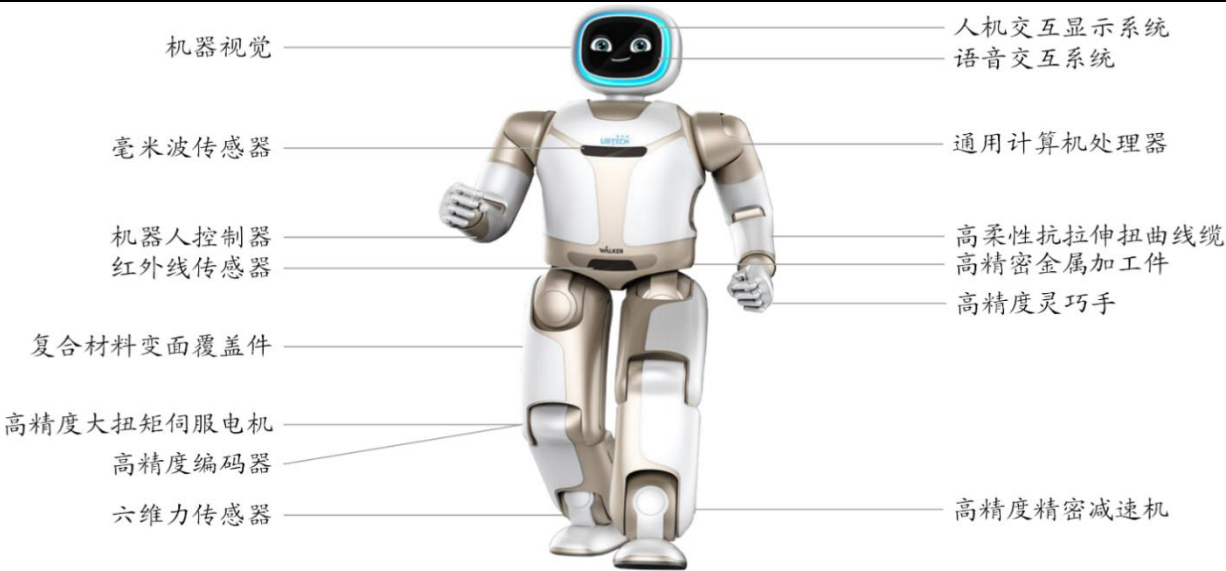
图6：机器人产业链情况



数据来源：中商产业研究院，东吴证券研究所整理

从技术与成本两方面看，核心零部件的重要性尤为突出。一方面，人形机器人技术的本质是 3D 空间中高维度的感知与运动，高性能的核心零部件是实现感知与运动的基础。另一方面，成本上核心零部件也占据重要地位。以传统工业机器人为例，核心零部件占据了工业机器人整机 70% 以上的成本，其中减速器占整机成本约 36%，伺服占整机成本约 24%，控制器占整机约 12%。考虑到人形机器人自由度更高，所需零部件更多，其成本占比将会更高。

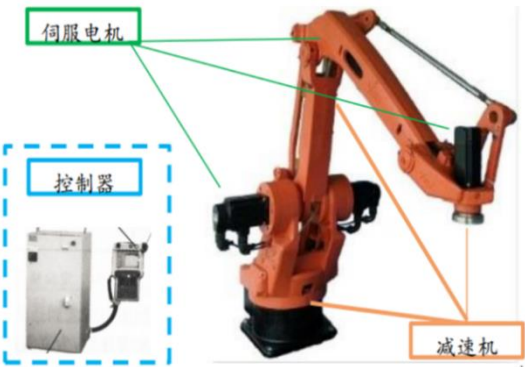
图7：人形机器人主要部件构成



数据来源：优必选官网，东吴证券研究所

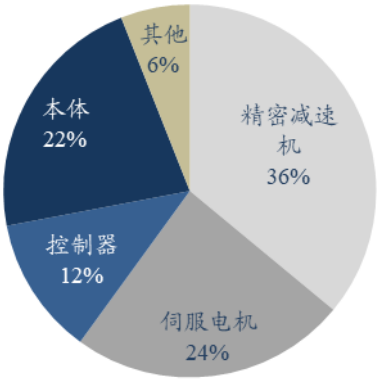
机器人核心零部件主要包括精密减速机、交流伺服电机、控制器。精密减速器是连接动力源和执行机构的中间机构，具有匹配转速和传递转矩的作用。伺服电机在自动控制系统中，用作执行元件，把所收到的电信号转换成电动机轴上的角位移或角速度输出。机器人每个关节运动均需靠伺服电机驱动，以实现多自由度的运动。控制器是工业机器人的大脑，对机器人的性能起着决定性的影响。工业机器人控制器主要控制机器人在工作空间中的运动位置、姿态和轨迹，操作顺序及动作的时间等。

图8：工业机器人核心零部件示意图



数据来源：Ofweek，东吴证券研究所

图9：机器人产业链各环节成本占比



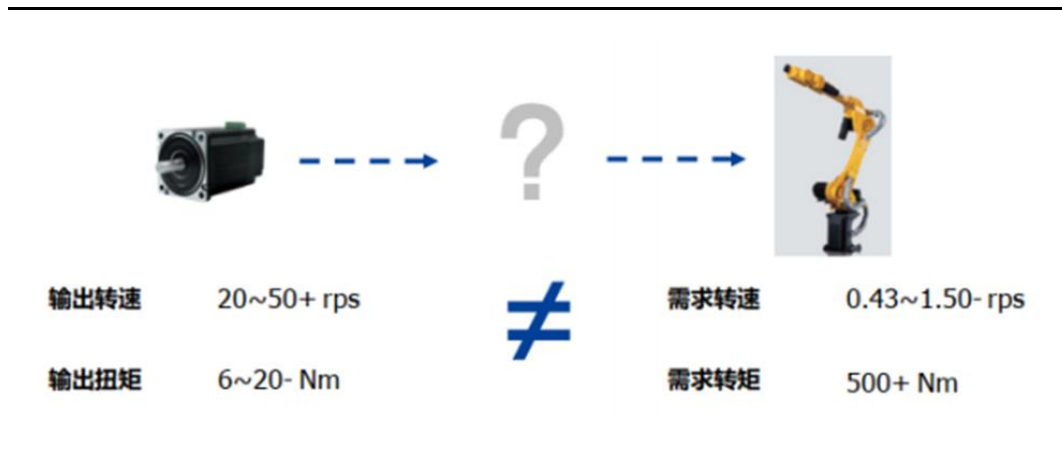
数据来源：Ofweek，东吴证券研究所

2.1. 精密减速器：机器人生产中壁垒最高的零部件

2.1.1. 精密减速器包含谐波与 RV 减速器，其原理与使用场景各有不同

精密减速器是机器人生产过程中技术壁垒最高的零部件。机器人每个关节运动均需靠伺服电机驱动，伺服电机具有输出转速大、输出扭矩小的特点；而关节结构实际上的需求是输出转速小、转动扭矩大，所以现有伺服电机的输出不能满足终端机械本体的运动需求，就需要减速器这一结构进行减速增距。

图10：伺服电机输出与本体需求不匹配，需要减速器进行减速增距



数据来源：埃斯顿官网，东吴证券研究所

精密减速器主要包括谐波减速器与 RV 减速器，但其工作原理和应用场景存在较大区别：

1) 谐波减速器：由波发生器、柔轮和刚轮组成。当波发生器被放入柔轮内圆时，柔轮产生弹性变形弯曲成椭圆状，且由于柔轮外侧的刚轮比其多 2 个齿，导致柔轮长轴部分正好可以与刚轮的齿轮啮合，而短轴部分与刚轮的齿轮呈脱离状态。由于刚轮固定，因此在波发生器逆时针转动时，柔轮作顺时针转动。当波发生器持续转动时，柔轮不断发生变形，两轮轮齿在啮入、啮出的过程中进行错齿运动，波发生器转动 180°，柔轮正好转动一个齿数，其转动角度之比即为减速比。谐波减速器具有以下特点：①体积小和重量轻：由于谐波齿轮传动主要构件只有三个，相较 RV 减速器，零部件至少减少 50%，体积和重量均减少 1/3 以上；②精度高：由于谐波齿轮为多齿同时啮合，并且有两个 180 度对称的齿轮啮合，因此齿距误差较小，使位置精度和旋转精度达到极高的水准；③单级传动比大：波发生器每正时针旋转 180°，柔轮逆时针旋转 1 个齿数，这也造就了其高传动比，其单级传动比可达 50-500 之间。④低负载：由于谐波减速器需要借助柔轮变形进行运动传递，如果负载过大将导致柔轮变形不均匀，且反复的高速变形使得其比较脆弱，因此其承载力有限。

2) RV 减速器: 由两个减速部构成, 在第一减速部中, 输入轴的旋转从输入齿轮传递到直齿轮, 按齿数比进行减速; 在第二减速部中, 有一个曲柄轴与直齿轮相连接, 在曲柄轴的偏心部分, 通过滚动轴承安装 RV 齿轮, 曲柄轴会带动 RV 减速机做偏心运动, 当曲柄轴转动一周, RV 齿轮就会沿与曲柄轴相反的方向转动一个齿, 从而达到减速效果。RV 减速器与谐波减速器一样, 具有精度高、单机传动比大等特点; 但相较于谐波减速器, RV 减速器组成更加复杂, 导致体积和重量较大, 且由于不存在变形运动因此具有更高的刚性和扭矩承载能力, 主导重负载精密减速器领域。

图11: 精密减速器包括谐波减速器与 RV 减速器, 但其工作原理和应用场景存在区别

项目	RV减速器	谐波减速器
技术特点	内燃机或其它高速运转的动力通过减速机输入轴上齿数少的齿轮啮合输出轴上齿数大的齿轮来达到减速的目的。	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。当波发生器持续转动时, 迫使柔轮不断发生变形, 长轴部分钢轮和齿轮啮合, 短轴部分钢轮与齿轮呈脱离状态, 因此两轮轮齿会在进行啮入、啮出的过程中产生错齿运动, 达到减速目的。
产品性能	大体积、高负载能力、高刚度	小体积、低负载能力、高精密度
应用场景	一般应用于工业机器人中机座、大臂、肩部等重负载的位置。	主要应用于小负载工业机器人小臂、腕部或手部; 协作和SCARA机器人大部分动力关节
平均每台机器人使用量	多关节型3台, SCARA型1台	多关节型3.5台、SCARA型3台, 坐标及其它型1台, 协作型7台
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
图例		

数据来源: 绿的谐波招股书, 东吴证券研究所整理

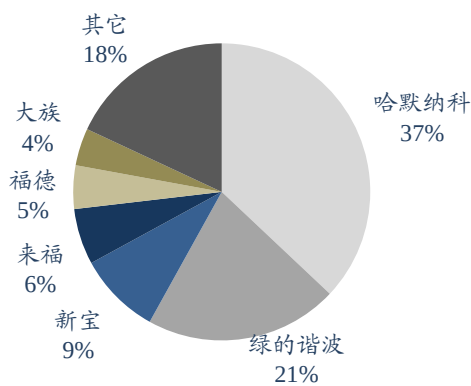
基于以上分析, 由于谐波减速器承载力有限, 但重量、体积较小; RV 减速器具有更高的承载力, 但重量、体积较大, 因此两种减速器短期内呈现互补、而非替代关系。一般来讲, 负载 10kg 以下工业机器人主要使用谐波减速器; 10-20kg 高负载的工业机器人小臂、手腕关节可以采用谐波减速器; 负载 30kg 以上的, 在其轻负荷的末端关节上也能够使用谐波减速器; 而如基座、大臂、肩部等重负载部位多使用 RV 减速器。而在人形机器人的特殊应用场景下, 我们判断应该会同时或单一使用到谐波减速器和 RV 减速器, 但数量和具体使用部位会与每家公司的设计息息相关。例如优必选 Walker X 每条腿使用了 6 个谐波减速器, 而美国敏捷机器人 Digit 每条腿会使用 4 个谐波减速器。

2.1.2. 全球精密减速器被日本垄断，近年国产化率逐步提升

从竞争格局来看，全球机器人减速器市场呈现高度集中状态，几乎被哈默纳科和纳博特斯克垄断。《工业机器人减速器市场分析与产业供需格局研究报告(2018年)》显示，日本纳博特斯克是生产RV减速器的世界巨头，约占60%的全球减速器市场份额；哈默纳科则是谐波减速器领域的龙头，约占15%的全球减速器市场份额。除此之外，日本住友RV减速器和新宝谐波减速器合计占全球10%市场份额，全球减速器市场呈现出日本企业高度集中的局面。

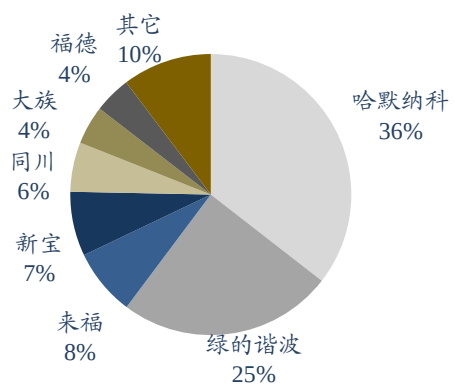
国内减速器市场得益于绿的、双环等龙头的带动，近年来国产化率持续提升。根据高工机器人研究统计，谐波减速器方面，2021年日本哈默纳科和新宝在中国的销量市占率分别同比下滑1.5pct和1.6pct，绿的谐波销量市占率同比提升3.7pct；RV减速器方面，2021年纳博特斯克在中国的销量市占率同比下滑3.0pct，双环传动销量市占率同比提升5.75pct。从产品类型来看，技术难度相对较低的谐波减速器国产化进程相对迅速。

图12：2020年谐波减速器国内市场销量占比情况



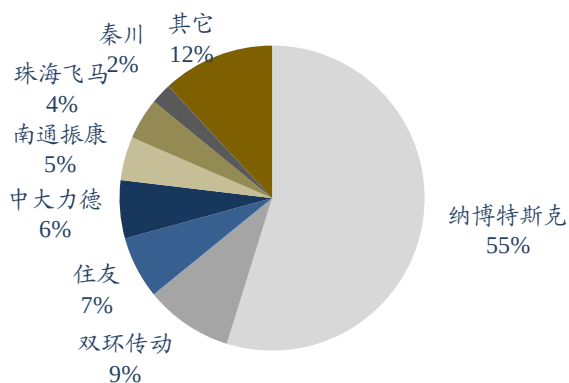
数据来源：高工机器人研究所，东吴证券研究所

图13：2021年谐波减速器国内市场销量占比情况



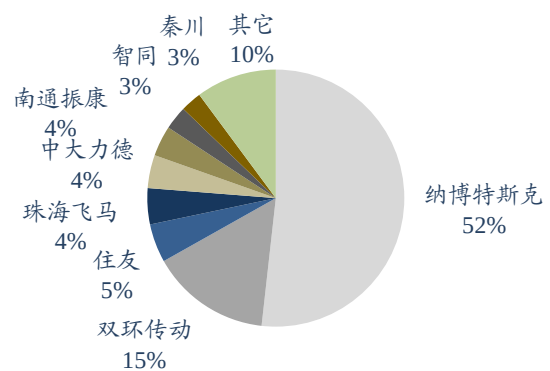
数据来源：高工机器人研究所，东吴证券研究所

图14：2020年RV减速器国内市场销量占比情况



数据来源：高工机器人研究所，东吴证券研究所

图15：2021年RV减速器国内市场销量占比情况



数据来源：高工机器人研究所，东吴证券研究所

关键参数指标相近，实际使用性能仍有较大差距。在比较国内外各品牌同类产品的指标时，可以发现传动精度、减速比、扭矩刚度等关键指标参数已十分接近，但真实差距体现在指标之外，在真实使用过程中，寿命、精度、故障率等方面仍有较大差距。根据我们的产业链调研，以哈默纳科和国内品牌为例，实际使用差距主要体现在两方面：1) 哈默纳科谐波减速器在其全生命周期中可保持零故障，而国内品牌仍有故障率；2) 在相同环境下，哈默纳科谐波减速器的寿命是国内减速器的 1-2 倍，在越恶劣的工况下寿命差距越大。

图16：国内外各品牌同型号谐波减速器关键参数对比

性能指标	绿的 (LHS-32)	来福 (LHT-32)	钩兴 (KSHG-32)	HD (HPG-32)
齿隙精度	$\leq 1\text{arcmin}$	$\leq 1\text{arcmin}$	$\leq 1\text{arcmin}$	$\leq 1\text{arcmin}$
传动精度	$\leq 1\text{arcmin}$	$\leq 1\text{arcmin}$	$\leq 1\text{arcmin}$	$\leq 1\text{arcmin}$
效率	$\geq 80\%$	$\geq 80\%$	$\geq 80\%$	$\geq 85\%$
温升	$< 40^\circ\text{C}$	$< 40^\circ\text{C}$	$< 40^\circ\text{C}$	$< 40^\circ\text{C}$
噪声	$< 75\text{dB(A)}$	$< 75\text{dB(A)}$	$< 75\text{dB(A)}$	$< 75\text{dB(A)}$
允许最高输入转速 (rads/min)	4500	4000	4800	5000
额定扭矩	51-130	99-178	95-170	54-137
最大冲击扭矩	190-652	497-892	450-868	200-686
减速比	30-160	50-160	50-160	30-160
回差	$\leq 10'$	$\leq 10'$	$5' \leq X \leq 10'$	$5' \leq X \leq 10'$
重量	2.5	3.15	3.15	3.2

数据来源：高工机器人整理，东吴证券研究所

图17：国内外各品牌同型号 RV 减速器关键参数对比

性能指标	南通振康 RV-40E	秦川机床 RV-40E	环动科技 SHPR-40E	纳博特斯克 Nab 40E
齿隙精度	$\leq 1\text{arcmin}$	$\leq 1\text{arcmin}$	$\leq 1\text{arcmin}$	$\leq 1\text{arcmin}$
传动精度	$\leq 1\text{arcmin}$	$\leq 1\text{arcmin}$	$\leq 1\text{arcmin}$	$\leq 1.5\text{arcmin}$
效率	$\geq 80\%$	$\geq 80\%$	$85\% \leq X \leq 95\%$	$85\% \leq X \leq 95\%$
温升	$< 47^\circ\text{C}$	$< 45^\circ\text{C}$	$< 45^\circ\text{C}$	$< 45^\circ\text{C}$
噪声	$< 75\text{dB(A)}$	$< 70\text{dB(A)}$	$< 75\text{dB(A)}$	$< 70\text{dB(A)}$
过载	$\leq 250\%$	$200\% \leq X \leq 250\%$	$\leq 250\%$	$\leq 250\%$
减速比	57-153	57-153	56-153	30-191
允许最高输入转速	70	70	70	70
额定扭矩	412	412	412	353
扭转刚度	108	108	108	108
回差	$\leq 10'$	$\leq 10'$	$\leq 10'$	$\leq 10'$

数据来源：高工机器人整理，东吴证券研究所

2.1.3. 考虑到人形机器人需求，2025 年全球谐波减速器市场空间有望达 147.5 亿元

工业机器人、协作机器人为谐波减速器提供基础市场，人形机器人提供增量市场。

①工业机器人：根据 IFR 预测，2020-2025 年全球工业机器人销量 CAGR=8%；②协作机器人：人机交互需求提升+资本涌入，市场规模加速膨胀，根据 IFR 预测 2020-2025 年全球协作机器人销量 CAGR=21%；③人形机器人：根据我们对目前产业形式的判断，保守预计至 2025 年人形机器人销量为 50 万台，与工业机器人相当。

按照一台工业机器人搭载 3.5 台，一台协作机器人搭载 7 台谐波减速器来计算，一台人形机器人搭载 10 台谐波减速器计算，则可得 2022-2025 年全球机器人用谐波减速器需求量将分别达 182/299/467/738 万台，CAGR=59.5%。再按照谐波减速器单价约 2000 元/台测算，则可得 2022-2025 年全球机器人用谐波减速器市场规模将分别达 36.3/59.8/93.4/147.5 亿元。

图18：考虑人形机器人需求，2025 年全球谐波减速器市场空间有望达 147.5 亿元

	2020	2021E	2022E	2023E	2024E	2025E
工业机器人						
全球工业机器人销量（万台）	38.4	43.5	45.3	48.6	51.8	54.9
每台工业机器人平均所需谐波减速器（台）	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
工业机器人用谐波减速器需求（万台）	134	152	159	170	181	192
协作机器人						
全球协作机器人销量（万台）	2.5	2.9	3.3	4.1	5.1	6.5
每台协作机器人平均所需谐波减速器（台）	7	7	7	7	7	7
协作机器人用谐波减速器需求（万台）	17.5	20.3	23.1	28.7	35.7	45.5
人形机器人						
全球人形机器人销量（万台）				10.0	25.0	50.0
每台人形机器人平均所需谐波减速器（台）				10	10	10
人形机器人用谐波减速器需求（万台）				100	250	500
全球机器人用谐波减速器总需求（万台）	152	173	182	299	467	738
谐波减速器平均售价（元）	2000	2000	2000	2000	2000	2000
谐波减速器市场规模（亿元）	30.4	34.5	36.3	59.8	93.4	147.5
YOY	2.4%	13.6%	5.3%	64.5%	56.3%	58.0%

数据来源：IFR，东吴证券研究所测算

2.2. 控制器&伺服系统：机器人实现运动功能的核心部件

机器人的运动控制主要通过控制器和伺服系统共同完成，而伺服系统主要包括伺服驱动器和伺服电机。运动控制上游包括各类电子元器件，如 PCB 面板、IC 芯片、晶体管、电阻电容等，中游核心部件包含运动控制器、伺服驱动器、伺服电机，下游运用于工业机器人、半导体、机床等各行各业。

图19：运动控制系统应用原理



数据来源：雷赛智能招股书，东吴证券研究所

2.2.1. 控制器：机器人运动控制的“大脑”

运动控制器是根据指令和传感信息控制机器人完成任务的装置，由控制板卡和算法控制软件组成，技术路线包括 PLC、PC-based 和嵌入式控制器三种。其中 PC-Based 能够实现更为复杂的运动控制，目前已成为发展最快的运动控制器，随着下游工业机器人、半导体等行业对运动控制要求的提高，PC-Based 控制将迎来更为广阔的发展。

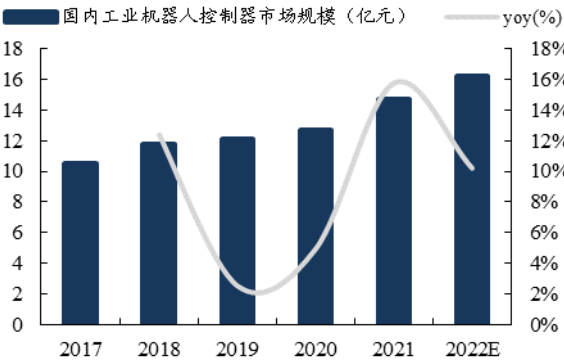
图20：控制器分类及特点介绍

分类	特点	应用领域
PLC控制器	系统简单，体积小，可靠性高，但不支持复杂算法，可以通过在 PLC 平台上，添加驱动步进电机或伺服电机的位置控制模块，在为各种机械设备提供逻辑控制的同时，提供运动控制功能	可以用于圆周运动或直线运动的控制，广泛应用于各种机械、机床、机器人和电梯等行业
嵌入式控制器	涵盖从简单到复杂的各种运用，具有应用灵活、稳定性高、定制性强、价格便宜、操作和维护方便的特点	在针织机械、激光、切割、点胶机等设备制造行业有广泛的应用
PC-Based控制卡	系统通用性强、可拓展性强，能够满足复杂运动的算法要求、抗干扰能力强，可供用户根据不同的需求，在DOS或Windows等平台下自行开发应用软件，组成各种控制	主要应用于电子、半导体、工业机器人、包装等领域

数据来源：雷赛智能招股书，东吴证券研究所

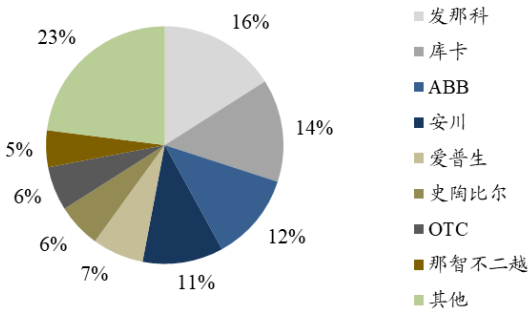
控制器作为机器人的大脑，对机器人的运动性能起着决定性的影响。工业机器人控制器主要控制机器人在工作空间中的运动位置、姿态和轨迹，操作顺序及动作的时间等。而对于不同类型的机器人，其控制器类型与设计方案也有所不同。例如直角坐标机器人售价低，运动控制相对简单，多采用工控机+运动控制卡的方案；而在多关节机器人和 SCARA 的场景下，由于机器人结构紧凑，运动控制较为复杂，多采用示教器+嵌入式控制器的方案。近年来随着工业机器人的市场扩张，机器人控制器市场需求也稳步增长。根据中商产业研究院统计，2022 年国内工业机器人控制器市场规模有望达 16.2 亿元，2017-2022 年复合增长率为 9.1%。

图21：2022 年国内工业机器人控制器市场规模有望达 16 亿元



数据来源：中商产业研究院，东吴证券研究所

图22：国内工业机器人控制器市场四大家族合计市场份额占有率超过 50%（2020 年）



数据来源：埃夫特招股书，东吴证券研究所

工业机器人控制器多为本体厂商自制，竞争格局与本体类似。目前国外主流机器人厂商的控制器均为在通用的多轴运动控制器平台基础上进行自主研发，以四大家族和国内主流品牌为例，已均基本实现自主生产。因此从竞争格局来看，工业机器人控制器市场份额与工业机器人匹配，2020 年四大家族合计市场份额占有率达到 50% 以上。

国内外差距主要集中于软件算法，近年来国内企业加速布局。从产品差距来看主要体现在软件和算法方面，采用的硬件平台与国外差距不大。一方面国外品牌天然具有先发优势；另一方面软件算法等二次开发需要大量的经验积累，而国外品牌工业机器人占据市场主导地位，能够在更多更高端的场景下进行开发试错，因而能够更加迅速的成长迭代。近年来国内企业加速布局控制器市场，例如埃斯顿收购 TRIO，埃夫特战略投资 ROBOX，并成立子公司瑞博思，逐步追赶国外品牌的步伐。

图23：国内企业加速布局工业机器人控制器

企业名称	减速器	伺服电机	控制器
库卡	外购	外购	自产
发那科	外购	自产	自产
安川电机	外购	自产	自产
ABB	外购	自产	自产
埃斯顿	外购	自产	收购TRIO，自产
汇川技术	外购	自产	自产
埃夫特	外购	外购	收购ROBOX，自产
新松	外购	国产化替代中	国产化替代中
新时达	外购	外购	少量自产

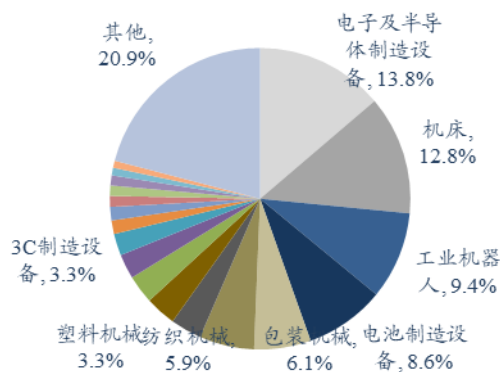
数据来源：埃夫特招股书，东吴证券研究所

2.2.2. 伺服系统：机器人运动控制的“神经系统”

伺服系统主要包括伺服驱动器和伺服电机，是工业自动化设备的“神经系统”。伺服系统是指以物体的位置、方位、状态等控制量组成的，能够跟随任意变化的输入目标或给定量的自动控制系统，主要包括驱动器和电机两部分。伺服系统可按照控制命令的要求，对功率进行放大、变换与调控等处理，通过驱动装置对电机输出力矩、速度和位置的控制量，最终形成的机械位移能准确地执行输入指令要求。伺服系统决定了自动化机械的精度、控制速度和稳定性，因此是工业自动化设备的核心。

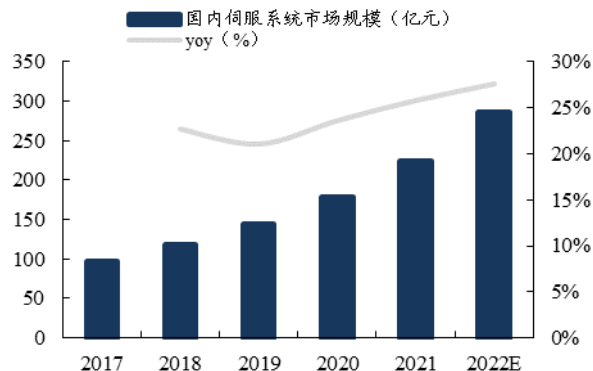
下游需求升级，市场规模逐步扩大。伺服行业下游应用行业随高精密设备需求的不断提升，实现了从纺织、包装、印刷等传统领域向电子设备制造、工业机器人等新兴领域的转移。2019 年，电子半导体、机床和工业机器人是伺服应用最主要的三大市场，占比达到 36%。随着伺服系统下游应用的转型升级，市场规模也在逐步扩大。根据中商产业研究院测算，2022 年国内伺服系统市场规模有望达 286 亿元，2017-2022 年复合增长率为 24.1%。

图24：2019年伺服系统下游应用领域占比



数据来源：MIR，东吴证券研究所

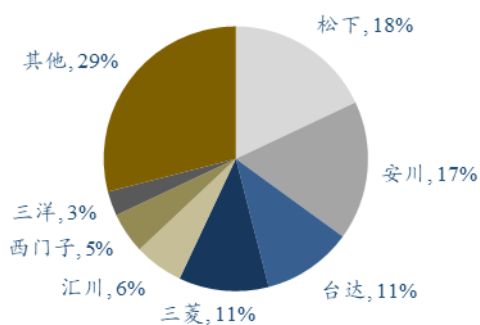
图25：国内伺服系统市场规模



数据来源：中商产业研究院，东吴证券研究所

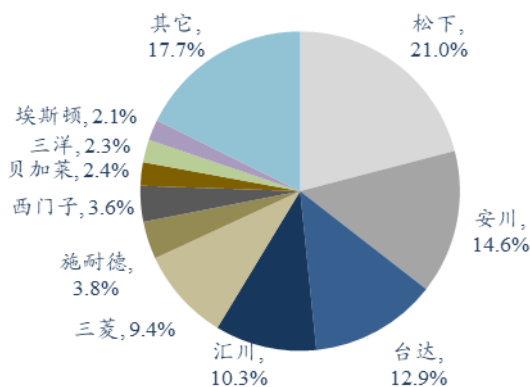
外商占据半壁江山，国产奋起直追。由于内资品牌在技术储备、产品性能、质量、品类上和国外品牌存在一定的差距，且电机编码器芯片依赖进口，国产伺服电机尚不能完全替代国外品牌，欧美和日系品牌仍然垄断着中高端伺服系统市场。2019年，松下、安川、三菱三大日系品牌就占据国内伺服系统全部市场份额的约45%，西门子、博世力士乐、贝加莱等欧美系品牌主要把握高端市场，部分欧美品牌推出中端产品。随着国内电机制造水平的大幅提升，交流伺服技术也逐渐为越来越多的国内厂家所掌握，同时交流伺服系统上游芯片和各类功率模块的不断进行技术升级，促成了国内伺服驱动器厂家在短短的不足十年时间里实现了从起步到全面扩展的发展态势。

图26：2015年国内伺服系统主要供应商市场份额



数据来源：工控网，东吴证券研究所

图27：2019年国内伺服系统主要供应商市场份额



数据来源：MIR，东吴证券研究所

相较于通用伺服，机器人用伺服系统对性能等各方面要求更高。机器人伺服系统通常指用于多轴运动控制的精密伺服系统，其对伺服系统的反应速度、体积、性能等诸多方面均提出更高的要求。（1）**快速响应性：**机器人工作节拍快，对伺服系统的反应灵敏

性要求更高，一般以伺服电机的机电时间常数的大小来反应伺服电机快速响应的性能；

(2) 高负载运作：由于大型工业机器人负载量十分大，因此要求机器人的伺服电机的起动转矩大，转动惯量小，有足够的起动转矩惯量比。此外工业机器人会进行十分频繁的正反向和加减速运行，并可能在短时间内承受数倍过载；**(3) 体积质量小：**为配合工业机器人的体型，伺服电机必须体积小、质量小、轴向尺寸短，并且还要经受得起苛刻的，可进行十分频繁的正反向和加减速运行，并能在短时间内承受数倍过载。

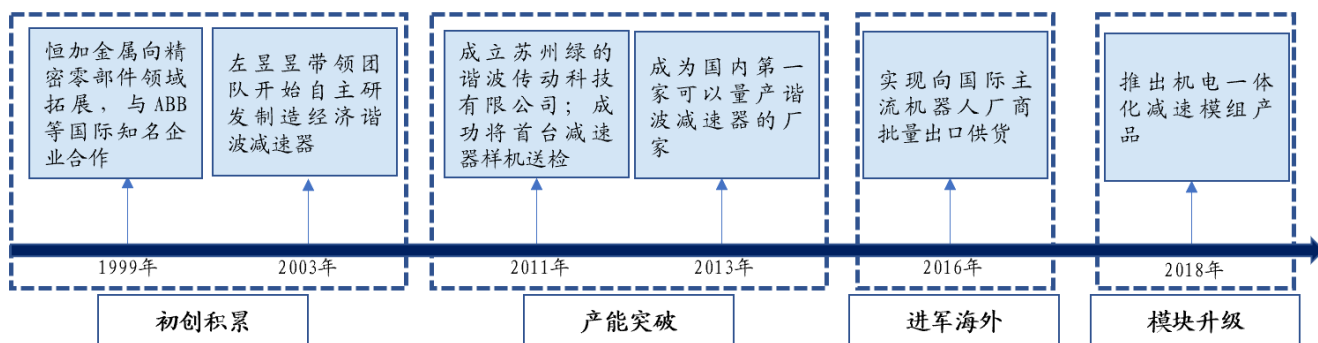
正是由于机器人对伺服系统的更高要求，相较于通用伺服，国内外机器人用伺服系统的技术差距更大，这也直接影响到国内外工业机器人性能和稳定性的差距。近年来汇川技术、埃斯顿、广州数控设备等较大规模伺服电机品牌涌现，目前在中低端伺服领域已经可以实现大规模量产，市场占有率不断提升，并不断投入研发向高端伺服系统迈进。

3. 主要公司介绍

3.1. 绿的谐波（688017.SH）：突出重围的国产谐波减速器龙头

公司是精密传动装置龙头，主要从事精密传动装置研发、设计、生产和销售。绿的谐波前身是恒加金属，从事金属来料加工业务。1999年，绿的谐波创始人左昱昱加入公司，并领导公司逐渐向精密零部件领域拓展，成为ABB等国际知名企业的精密零部件供应商。2003年，公司开始进行谐波传动的理论与技术研究。2011年，公司成功将首台减速器样机送检，并于同年成立苏州绿的谐波传动科技有限公司。2013年，公司成为国内第一家可以量产谐波减速器的厂家，并成功与国内知名机器人生产厂商埃夫特批量合作。2016年，与Universal Robots签订协议，开始向国际主流机器人厂商批量出口供货。2018年，公司推出机电一体化减速模块产品，进一步实现了价值增值。凭借多年以来深耕精密传动领域，公司在行业内已建立较强的品牌知名度，成长为国内领军企业。

图28：绿的谐波发展历程

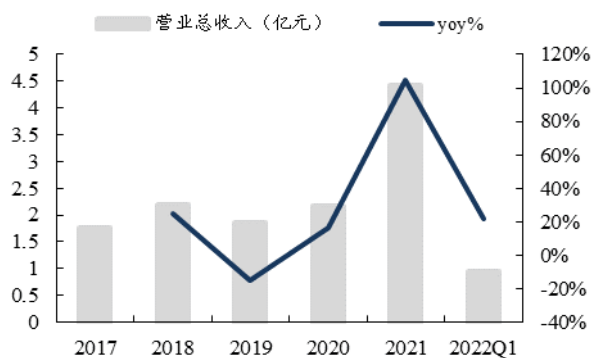


数据来源：绿的谐波招股书，东吴证券研究所

3.1.1. 进口替代&产能提升，国产谐波龙头业绩高增

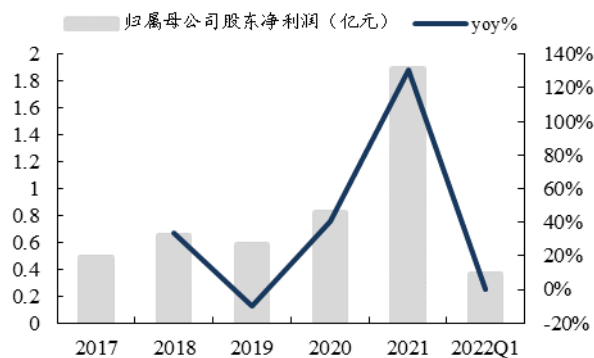
受益于进口替代&产能提升，公司营业收入和规模净利润高速增长。公司营业收入从 2017 年 1.76 亿元增长至 2021 年 4.43 亿元，CAGR=26.0%，归母净利润从 0.49 亿元增长至 1.89 亿元，CAGR=40.5%。公司业绩高增主要得益于 2018 年后公司率先实现了谐波减速器的规模化生产，打破了国际品牌在国内机器人谐波减速器领域垄断地位，并迅速提升自身产能，谐波减速器销售量迅速提升。公司 2022Q1 实现营收 0.94 亿元（同比+22.0%，环比-24.25%），归母净利润 0.37 亿元（同比+0.18%，环比-22.7%），增速略微放缓，主要原因系：1）2021Q1 业绩处于历史高位，同期基数较高；2）2022 年 3 月以来华东地区疫情，整体生产及收发货受到一定影响；3）2022Q1 受春节停工影响，环比业绩有所下滑。

图29：2017-2021 年营业收入 CAGR=26.0%



数据来源：Wind，东吴证券研究所

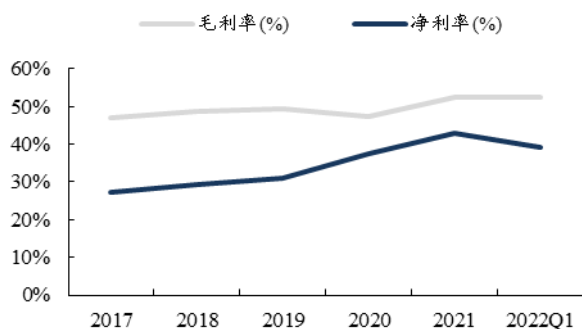
图30：2017-2021 年归母净利润 CAGR=40.5%



数据来源：Wind，东吴证券研究所

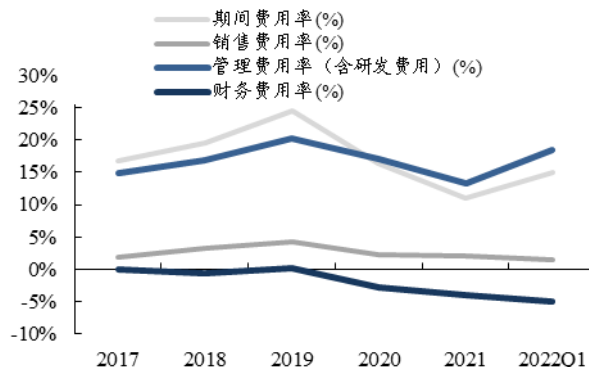
公司盈利水平逐步提升，管理&研发费用率提升拉低销售净利率。2017-2021 年公司毛利率水平持续上升，2021 年综合毛利率达 52.5%，同比大幅提升 5.3pct；2022Q1 销售毛利率为 52.4%，同比持平，仍维持高位。公司毛利率逐步提升主要系公司生产工艺提高、生产规模扩大，规模效应下主营产品谐波减速器成本逐渐下降所致。销售净利率方面也逐步提升，2021 年销售净利率达 42.9%，同比+5.3pct；2022Q1 销售净利率为 39.0%，同比-8.4pct，主要系期间费用率提升至 14.9%，同比+7.1pct，其中变动较大的为管理费用率 6.2%（同比+2.8pct），研发费用率为 12.2%（同比+3.4pct）。我们判断公司管理费用的增加主要系计提股份支付费用所致，剔除股份支付影响后管理费用率为 3.8%（同比+0.5pct）。

图31: 2022Q1 公司毛利率 52.4%，销售净利率 39.0%



数据来源: Wind, 东吴证券研究所

图32: 2022Q1 公司期间费用率为 14.9%，同比+7.1pct



数据来源: Wind, 东吴证券研究所

3.1.2. 短期内行业供不应求，产能扩张下市场份额提升

（1）需求端：根据前文测算，若不考虑人形机器人为谐波减速器带来的增量需求，2022-2025 年全球谐波减速器需求量分别为 182/199/217/238 万台；若考虑人形机器人的增量需求，2022-2025 年全球谐波减速器需求量分别为 182/299/467/738 万台。

（2）供给端：在测算全球机器人用谐波减速器供给时，我们将全球供应商简化为哈默纳科、绿的谐波（后简称“绿的”）和其它品牌。①哈默纳科是全球谐波减速器龙头，2018 年约占 60%以上的销量市场份额，根据其年报披露的扩产计划推算，2022-2025 年哈默纳科机器人用谐波减速器产量预计分别为 78/100/105/110 万台，CAGR=12.0%；②绿的谐波作为国内谐波减速器龙头，自动化生产下产能提升迅速，我们预计其 2022-2025 年机器人用谐波减速器产量分别为 35/50/65/85 万台，CAGR=34.4%；③其它品牌如日本新宝等，我们假设其合计产量按照年均 20%的复合增速增长。

综合考虑哈默纳科、绿的谐波和其它品牌，2022-2025 年全球机器人用谐波减速器产量将达 137/179/204/236 万台，CAGR=19.9%。再与需求相比，若不考虑人形机器人带来的增量需求，可得 2022-2025 年全球机器人用谐波减速器供需缺口分别为 44.4/20.3/12.8/1.3 万台。若考虑人形机器人带来的增量需求，可得 2022-2025 年全球机器人用谐波减速器供需缺口分别为 44.4/120.3/262.8/501.3 万台。同时我们认为，在新冠疫情的催化下，“机器换人”的趋势有望加速，即机器人相关的需求存在超市场预期可能性，故谐波减速器行业短期内将持续供不应求。

产能扩张下绿的谐波市场份额有望快速提升。经过 10 数年的技术积累，绿的谐波的产品寿命和性能已不输国外，因此市场供不应求的背景下，公司的新增产能将直接转化为市场份额，业绩有望快速兑现。根据我们测算，2025 年绿的谐波减速器产量的市场份额有望达到 36%。

图33: 根据测算 2022-2025 全球谐波减速器市场存在供需缺口

	2020A	2021A	2022E	2023E	2024E	2025E
哈默纳科谐波减速器产能	63.7	71.4	78.3	99.8	104.7	110.0
绿的谐波谐波减速器产能	12.0	25.7	35.0	50.0	65.0	85.0
其他品牌谐波减速器产能	18.2	20.0	24.0	28.7	34.5	41.4
全球机器人用谐波减速器总供给	93.9	117.1	137.3	178.5	204.2	236.4
未考虑人形机器人全球机器人用谐波减速器总需求	151.9	172.6	181.7	198.8	217.0	237.7
考虑人形机器人全球机器人用谐波减速器总需求	151.9	172.6	181.7	298.8	467.0	737.7
未考虑人形机器人全球机器人用谐波减速器供需缺口	58.0	55.5	44.4	20.3	12.8	1.3
考虑人形机器人全球机器人用谐波减速器供需缺口	58.0	55.5	44.4	120.3	262.8	501.3
绿的谐波产能市场份额(%)	13%	22%	25%	28%	32%	36%

数据来源: IFR, 哈默纳科公告, 绿的谐波公告, 东吴证券研究所

3.1.3. 新产品+新应用拓宽长期成长边界

基于体积小、精度高、传动效率高的特点,除了工业机器人领域以外,谐波减速器还广泛应用于数控机床、半导体设备、新能源、航空航天等领域。对标哈默纳科谐波减速器 40-60%的非机器人应用,绿的谐波目前主要下游仍为机器人领域,正逐步拓宽非机器人应用,主要包括电液伺服、高端 E 系列谐波产品及机电一体化:

(1) **电液伺服**: 电液伺服系统是以液体作为动力传输介质的自动化控制设备,具有响应速度快、功率质量比值大及抗负载刚度大等特点,是移动机器人最理想的驱动设备。未来随着四足机器人逐步拉开产业化序幕,电液伺服未来可期。

(2) **E 系列谐波减速器**: 通过对谐波齿形、啮合、材料热处理及制造工艺等方面的全方位优化,可以使谐波减速器运行时的振动得到明显改善;同时采用全新的密封结构,油脂防渗漏性能比之前产品提高 3-5 倍;运转时的噪音也有减弱,适用于半导体设备行业、医用机器人以及装配机器人等对振动方面有较高要求的行业领域。

(3) **机电一体化**: 主要是将伺服、谐波减速器、传感器等零部件集成模块,以提升产品的综合性能。目前公司主要聚焦的下游为数控机床,我们预计 2021-2025 年国内数控机床用谐波减速器的市场规模 CAGR=41%,将为谐波减速器市场再添增量。

表1: 预计 2021-2025 年国内数控机床用谐波减速器的市场规模 CAGR=41%

	2020	2021A	2022E	2023E	2024E	2025E
金属切削机床产量(万台)	44.6	55.6	63.5	70.2	79.9	72.7
数控化率	43.2%	47.4%	51.5%	55.7%	59.8%	64.0%
数控金属切削机床产量(万台)	19.3	29.3	32.7	39.1	47.8	46.5
谐波减速器渗透率	5%	8%	11%	14%	17%	20%
单台机床平均所需谐波减速器(台)	3	3	3	3	3	3
机床用谐波减速器需求(万台)	2.9	7.0	10.8	16.4	24.4	27.9
谐波减速器单价(元/台)	2000	2000	2000	2000	2000	2000
机床用谐波减速器市场空间(亿元)	0.6	1.4	2.2	3.3	4.9	5.6

YOY

143.3%

53.6%

52.0%

48.6%

14.5%

数据来源：国家统计局，东吴证券研究所测算

2021 年公司已实现数控机床领域收入 0.24 亿元（同比+231.6%），医疗器械领域收入 0.14 亿元（同比+237.3%），在总收入中合计占比达 8.5%，此外在半导体设备领域也有小批量出货，这些新产品和新领域的应用将进一步拓宽公司的长期成长边界。而正在加速推进的人形机器人产业也有望在长期为谐波减速机行业带来较大的市场增量。

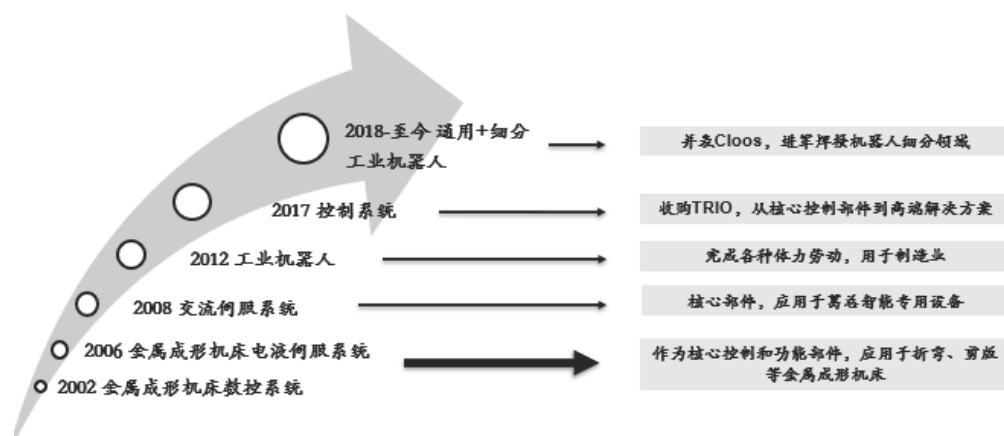
风险提示：谐波减速器行业发展不及预期，行业竞争加剧，新品拓展不及预期。

3.2. 埃斯顿（002747.SZ）：玉汝于成，国产机器人集大成者

3.2.1. 国产工业机器人领军企业，布局工业自动化全产业链

深耕高端智能装备行业近三十载，全面覆盖工业自动化产业链。南京埃斯顿自动化股份有限公司成立于 1993 年，以金属成形机床数控系统起家，后逐渐拓展至电液伺服系统和交流伺服系统，是国内最早自主研发交流伺服系统的公司。借助核心零部件上的优势，公司于 2012 年转型为国产机器人企业，并持续保持高速态势发展，2015 年于深交所上市。2016 年起公司围绕机器人产业链持续进行外延并购，先后收购英国 TRIO，控股意大利 Euclid，参股美国 BARRETT，德国 M.A.i.公司，并购德国 CLOOS，为公司运动控制解决方案、智能化协作、三维视觉技术、焊接机器人等方面的发展战略奠定了坚实基础。

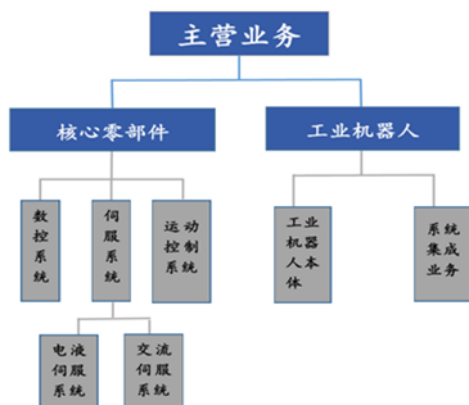
图34：埃斯顿发展历程



数据来源：公司官网，东吴证券研究所

公司核心业务主要分为核心零部件与机器人本体，其中核心零部件包括数控系统、伺服系统和运控系统，机器人本体包括 3-500KG 的全系列工业机器人，并覆盖折弯、弧焊、搬运、码垛等主要应用领域。机器人本体业务受益于持续的研发投入、机器人技术和性能全面提升、近年来增速较快，2021 年出货量成功超过万台，国内出货量排名第七。

图35：两大核心业务：核心零部件+工业机器人



数据来源：埃斯顿招股书，东吴证券研究所

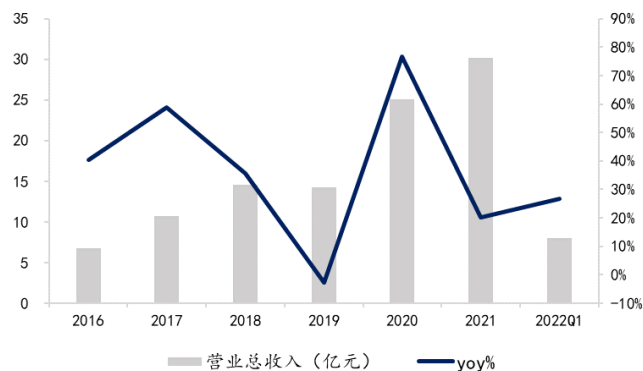
图36：两大核心业务示意图



数据来源：埃斯顿官网，东吴证券研究所

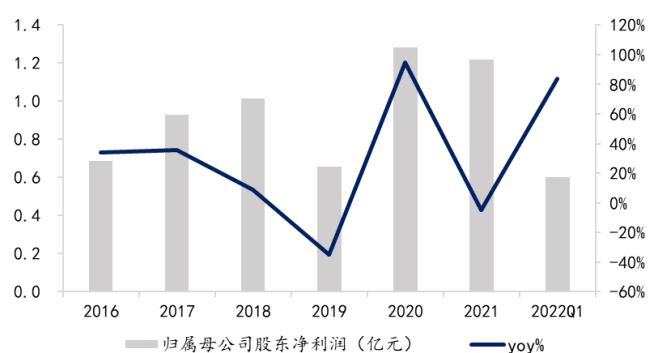
受益于工业自动化趋势+核心订单稳定，公司业绩持续稳定增长，2016-2021 年收入复合增速达 34.8%，归母净利润复合增速达 12.2%。2016-2021 年公司营业收入由 6.8 亿元增长至 30.2 亿元，归母净利润由 0.7 亿元增长至 1.2 亿元，除 2019 年收入略有下滑外均保持稳步增长。2019 年收入下滑主要原因系：1）大环境方面受最大下游汽车制造业下滑严重影响，2019 年机器人行业整体大幅下滑；2）公司层面，公司于 2019 年有选择的放弃部分竞争激烈、毛利率低的系统集成项目，导致公司收入下滑。2022Q1 公司实现营业收入 8.05 亿元，同比+26.6%，环比+12.0%；归母净利润 0.60 亿元，同比+83.7%，环比+75.7%；业绩超市场预期。虽然疫情对公司造成一定影响，但公司紧抓新能源行业的发展机遇，持续获得龙头企业的较大订单并陆续交付，业绩仍实现较快增长。

图37：2021 年公司实现营业收入 30.2 亿元，同比+20.3%



数据来源：Wind，东吴证券研究所

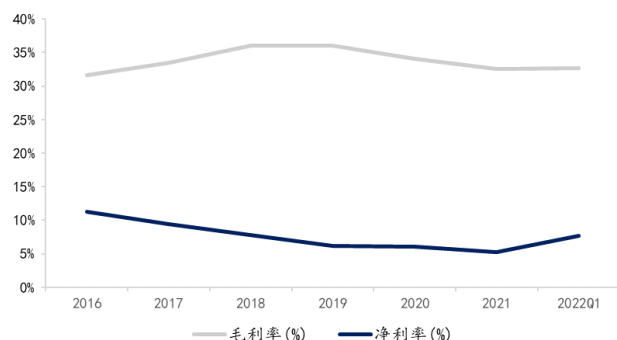
图38：2021 年公司归母净利润 1.22 亿元，同比-4.75%



数据来源：Wind，东吴证券研究所

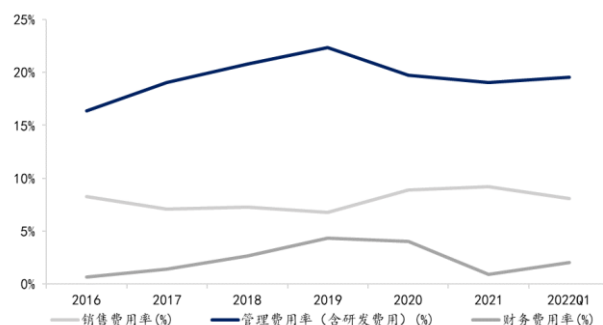
毛利率维持稳定，规模效应下销售净利率已有回升。2016 年以来，公司毛利率始终维持在 35%左右的水平小幅波动。而 2022Q1 公司销售净利率已有好转，主要系期间费用有所下降。我们判断，随着原材料价格逐步趋稳，公司机器人本体出货量提升，规模效应进一步凸显后，公司盈利能力将迎来上升期。

图39：毛利率维持稳定，规模效应下销售净利率回升



数据来源：Wind，东吴证券研究所

图40：2021年公司期间费用率为29.2%，同比-3.5pct



数据来源：Wind，东吴证券研究所

3.2.2. TRIO 控制器+ESTUN 伺服，打造高端运动控制解决方案

埃斯顿以伺服起家，技术积淀深厚。公司 2000 年开始自主研发交流伺服系统，是国内最早开始研发交流伺服系统的公司之一。2016 年适用于高端行业多轴控制的内置 EtherCAT 总线伺服批量投入市场，进一步巩固公司在高端通用伺服系统的领先地位。

收购 TRIO，打造高端运动控制解决方案。公司于 2017 年 2 月以 1550 万英镑收购了英国控制器企业 TRIO 100% 股权。TRIO 为全球控制器龙头，与美国泰道共同垄断全球高端 PC-Based 控制器，其产品可以无缝控制 1 到 128 个轴伺服电机、步进电机或液压系统，功能强大。融合 TRIO 控制技术和自身在伺服系统的技术积淀后，埃斯顿推出全新的智能控制单元解决方案，逐步由核心部件生产商向高端运动控制解决方案提供商转型。在全新的控制方案下，单台 TRIO PC-Based 控制器集成控制多台 SCARA/DELTA 机器人、交流伺服系统、视觉系统，完美取代原来的 PLC 以及机器人运动控制器，满足客户自动化产线柔性化，自动化设备模块化及小型化的需求。

图41：埃斯顿全新的智能控制单元解决方案示意图



数据来源：埃斯顿官网，东吴证券研究所

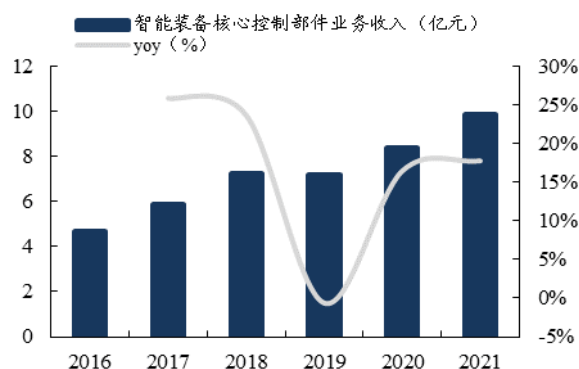
成功打入锂电、3C 等下游，公司智能装备核心控制部件业务迎来快速增长期。2016 收购 TRIO 后，公司智能控制单元解决方案成功打入锂电、3C 等下游。例如在锂电行业软包焊接应用场景，公司通过 1 个 TRIO 控制器同时控制两台 SCARA 机器人以及机器人周边的伺服轴。内置机器人防碰撞算法，两台 SCARA 与周边模组协同运行，较大优化机器人的运行轨迹，提升电池上下料的运行节拍。得益于应用场景的打开，智能装备核心控制部件业务迎来快速增长期，营业收入从 2016 年的 4.67 亿元提升至 2021 年的 9.88 亿元，CAGR=16.2%。

图42：智能控制单元解决方案成功打入锂电行业



数据来源：埃斯顿官网，东吴证券研究所

图43：智能装备核心控制部件业务迎来快速增长期



数据来源：Wind，东吴证券研究所

相较于传统工业机器人，人形机器人关节更多，运动形式更复杂，对伺服、控制器及机器视觉等诸多技术及技术融合度提出了更高的要求。因此我们判断人形机器人企业在采购驱控部件时，将更倾向于选择有能力同时提供伺服和控制器，且在多年的实践中对技术融合有较多积累的企业。埃斯顿坐拥自主研发的伺服系统、TRIO 高端控制技术和 Eculid 先进的机器视觉技术，三位一体下有望受益于人形机器人发展机遇。

风险提示：机器人行业发展不及预期，行业竞争加剧，并购协同效应不及预期。

3.3. 双环传动（002472.SZ）：高精度齿轮龙头，RV 开启第二成长曲线

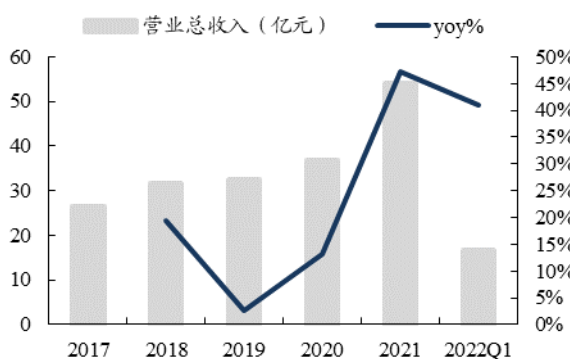
3.3.1. 国产高精度齿轮龙头，新能源机遇下业绩迎快速增长

专注齿轮生产，迎新能源发展机遇。双环传动成立于 1980 年，创立之初便立足于高端齿轮生产，逐步进入一汽、采埃孚、舍弗勒等燃油车变速箱齿轮体系。后因传统燃油车齿轮箱多为整车厂自制，公司发展遇到瓶颈，于 2013 年进行转型，进入新能源车减速器齿轮领域，并通过为比亚迪等知名厂商设计并供给齿轮率先完成技术突破与积累。2020 年后新能源车渗透率逐步提升，且造车新势力冲击下整车厂更多将精力集中于软

件开发和智能驾驶研究，齿轮外包需求激增，双环传动电动车齿轮开始逐步放量。2021年上半年公司成功进入北美某龙头新能源车企供应链，迎来业绩快速增长期。

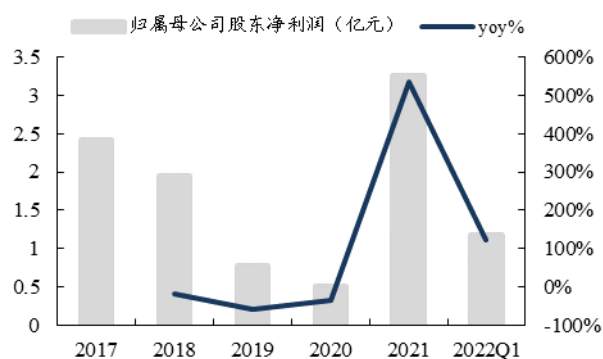
具体来看，2017-2021 年虽然双环传动营业收入仍保持正增长，但由于燃油车业务发展遇到瓶颈，且提前布局新能源产能带来较大的折旧摊销费用，2017-2020 年双环传动归母净利润持续下滑。2021 年随着新能源行业快速增长，公司提前产能布局迎来回报期，2021 年公司收入和归母净利润分别同比+47%和+537%。2022H1 在疫情影响下维持较高增速，根据公司中报业绩预告，预计 2022H1 实现归母净利润 2.4 亿-2.6 亿元，同比增长 84.2%-99.8%；扣非后净利润 2.2 亿-2.4 亿元，同比增长 104.9%-124.0%。

图44：双环传动营业收入保持持续增长



数据来源：Wind，东吴证券研究所

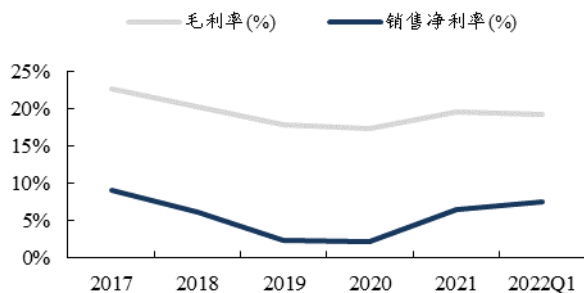
图45：双环传动归母净利润 2021 年迎来拐点



数据来源：Wind，东吴证券研究所

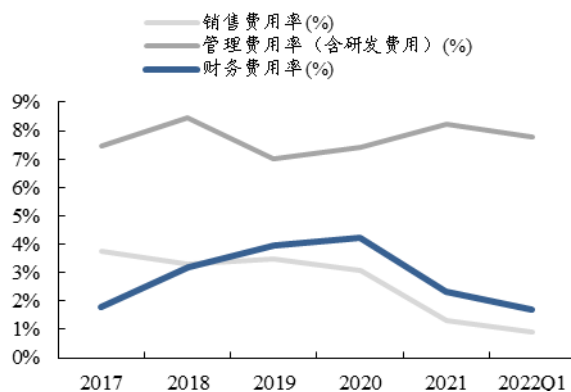
产品结构改善&规模效应下盈利能力逐步修复。2017-2020 年随着市场竞争格局恶化，公司盈利能力不断走低，2021 年以来逐步修复，2021 年公司毛利率和销售净利率分别同比+2.2pct 和 4.4pct，主要得益于：1) 产品结构改善：毛利率更高的新能源及高端齿轮业务收入占比持续提升；2) 规模效应：随着公司产能逐步提升，规模效应下期间费用率逐步降低。

图46：2020 年双环传动盈利能力迎来拐点



数据来源：Wind，东吴证券研究所

图47：2021 年双环传动期间费用率开始降低



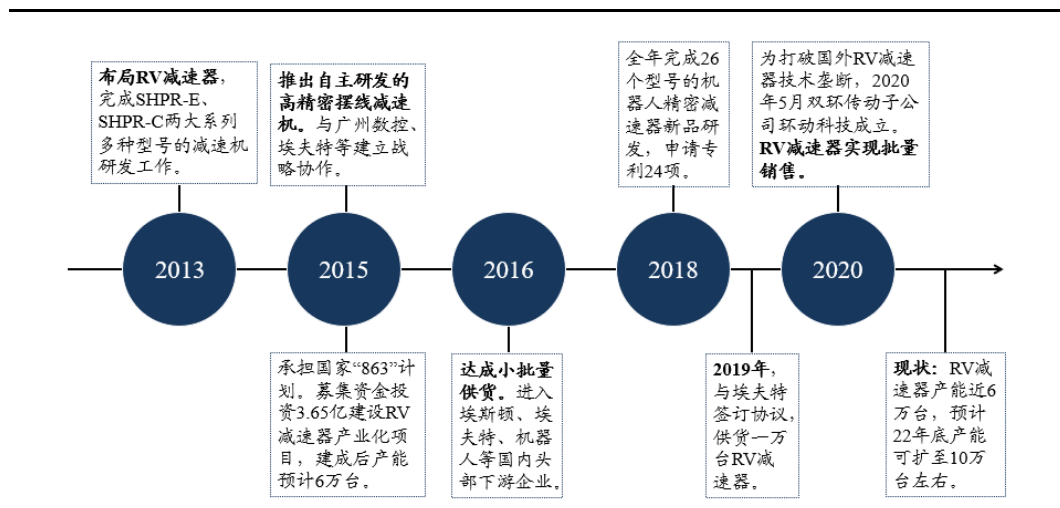
数据来源：Wind，东吴证券研究所

产能扩张&订单充足&价值量提升，新能源机遇下公司充分受益。（1）**产能扩张：**得益于公司对新能源车齿轮的提前布局，公司具备快速扩产能力，公司目前已建成 170 万台套/年纯电齿轮产能，预计 2022 年底将扩张至 350 万台套/年。（2）**订单充足：**随着新能源车渗透率不断提高，新能源车齿轮需求饱满，且公司已凭借高精度齿轮成功打入比亚迪、蔚来等知名车企供应链。另一方面，相较于传统燃油车厂商多自制齿轮，电动齿轮精度较高，对设备投入和人才储备要求较高，且造车新势力冲击下整车厂更多将精力集中于软件开发和智能驾驶研究，齿轮外包需求激增。双重影响下，截至 2021 年底，公司在手订单共约 16.4 亿元，在手订单饱满。（3）**价值量提升：**电驱动系统对齿轮的设计要求较传统燃油车更高，对齿轮精度、轻量化设计、噪声等均有更高的要求。因此在价值量和毛利率方面，电驱动齿轮均高于传统燃油车齿轮。综合而言，新能源车发展机遇下，公司迎产能扩张、订单饱满、价值量提升三重利好。

3.3.2. 率先打破 RV 减速器国外垄断，开启第二成长曲线

十年磨一剑，公司率先打破国外垄断实现 RV 减速器自主生产。2013 年公司借助在齿轮领域的积累，开始研发机器人用 RV 减速器，并于 2015-2016 年形成小批量出货。2020 年 5 月公司子公司环动科技成立，专注于 RV 减速器的研发和生产。目前公司 RV 减速器已形成 SHPR-E、SHPR-C、SHPR-H 三大系列，共有 40 多种型号，性能达国内领先水平，并成功打入埃夫特、广州数控、新松等国内知名机器人品牌。

图48：双环传动 RV 减速器发展历程



数据来源：双环传动官网、东吴证券研究所

国产替代&产能提升，RV 减速器开启第二成长曲线。随着公司 RV 减速器产业化项目产能逐步释放，公司减速器业务收入从 2018 年的 0.63 亿元提升至 2021 年的 1.84 亿元，CAGR=43.1%。至 2021 年底项目完全投产后公司 RV 减速器产能近 6 万台/年，

并规划 2022 年底扩产至 10 万台/年。未来随着公司 RV 减速器产能进一步释放，国产替代加速，有望开启公司第二成长曲线。

风险提示：RV 减速器行业发展不及预期，行业竞争加剧，产能扩张速度不及预期。

4. 投资建议

重点推荐【绿的谐波】突出重围的国产机器人龙头，【埃斯顿】玉汝于成，国产机器人集大成者，【汇川技术】变革赋能，国产电控&工控龙头（东吴电新组覆盖）；建议关注【双环传动】高精度齿轮龙头，RV 减速机开启第二成长曲线。

表2：相关公司估值情况（截至 2022.7.19 收盘价）

股票 代码	公司 名称	市值 (亿元)	股价 (元)	归母净利润（亿元）			PE			投资 建议
				2022E	2023E	2024E	2022E	2023E	2024E	
688017.SH	绿的谐波	277.3	164.5	2.7	3.9	5.2	103	71	53	重点推荐
002747.SZ	埃斯顿	216.7	24.9	2.6	3.9	5.5	83	55	39	重点推荐
300124.SZ	汇川技术	1,644.5	62.4	43.0	56.1	73.0	38	29	23	重点推荐
002472.SZ	双环传动	251.1	32.3	5.3	7.6	10.2	47	33	25	建议关注
	平均						68	47	35	

数据来源：Wind，东吴证券研究所

注：绿的谐波、埃斯顿为东吴机械组预测，汇川技术为东吴电新组预测，双环传动为 Wind 一致预期。

5. 风险提示

（1）人形机器人产业化不及预期：人形机器人仍处于发展初期阶段，若产业化应用场景不足，则会导致人形机器人产业化不及预期。

（2）核心零部件国产化不及预期：人形机器人对于产业链要求较高，若国产零部件厂商产品性能提升不及预期，无法满足人形机器人使用需求，则可能导致零部件国产化不及预期。

（3）人形机器人或存在舆论阻力：人形机器人自诞生以来就伴随着诸多舆论压力，不同人群对于人形机器人的看法也有差异，若舆论阻力巨大，或导致人形机器人推广不及预期。

免责声明

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>