

人形机器人系列专题之减速器

国产品牌有望迎来产业升级机遇

优于大市

核心观点

车端和机器人部分零部件生产、制造等环节共通性高，带来汽车零部件公司产业升级机遇。部分人形机器人零部件与汽车零部件在原材料、设计、工艺、设备及成本管控、质量要求上具有一定相通性，二者往往具备相似的底层制造逻辑，带来相关零部件（电机、减速器、传感器、丝杠等）从汽车向人形机器人领域的产业升级机遇；后续在大厂入局（特斯拉+英伟达等）、技术迭代、政策催化的加持下，人形机器人产业后续有望迎来“新能源汽车时刻”。

匹配转速、传递转矩，减速器为人形机器人核心部件。减速器可实现原动机和执行机构间匹配转速+传递转矩，具精度高、寿命长、稳定性优等特点，在人形机器人等领域有明确应用需求（以特斯拉为例，预计规模化量产后将占人形机器人成本15%-20%）；不同减速器各有千秋：谐波方案（传动比大、体积小）、行星方案（体积小、寿命高）、RV方案（精度高、疲劳强度高）

减速器制造整体是“系统工程”，工艺、材料、设备等环节均存在较高壁垒。减速器在设计、材料、设备、工艺、装配、批产等多环节均具较高壁垒，是一项“系统工程”；整体而言不同减速器壁垒各有侧重，RV减速器主要难点为高精度部件需高加工精度与装配技术；谐波减速器主要难点为柔轮材料选择处理、加工工艺（如热处理）等；行星减速器的核心为高加工精度。

外资仍占精密减速器主导地位，国产减速器替代进程加速。凭借技术专利和在工业机器人应用的先发优势，外资品牌如哈默纳科（谐波减速器全球份额80%+）、纳博特斯克（RV减速器全球份额60%+）目前主导减速器市场；国内厂商起步晚，但在主机厂降本诉求+自身品质提升+合作响应高效三重奏下，陆续突破垄断；行业趋势层面，预计减速器将有两大演进方向，1) 横向(品类迭代)：负载谱系拓展+产品性能升级；2) 纵向(机电一体化)：将减速器与电机、编码器、传感器等组合，形成高附加值模块化产品。

人形机器人催生减速器行业全新驱动力。复盘谐波龙头哈默纳科，其需求拉动力从中低端（机床等）逐步迈向高端领域（半导体设备、高端医疗、航空航天等），展望后续人形机器人有望打开新的增量空间；当下人形机器人主要采用谐波或行星减速器；我们测算中性情形下，中期全球人形机器人关节用减速器市场（谐波+行星）空间约200亿元，带来零部件公司成长机遇。

风险提示：行业进展不及预期，技术发展不及预期。

投资建议：把握产业升级机遇，看好人形机器人进展带来的投资机遇。看好在技术升级迭代下人形机器人发展，看好机器人量产带来的潜在供应链零部件的需求和投资机会，推荐人形机器人潜在总成供应商三花智控、拓普集团，减速器领域汽车零部件公司双环传动、精锻科技等。

重点公司盈利预测及投资评级

公司代码	公司名称	投资评级	昨收盘(元)	总市值(亿元)	EPS		PE	
					2024E	2025E	2024E	2025E
601689.SH	拓普集团	优于大市	37.57	633	1.75	2.30	21	16
002050.SZ	三花智控	优于大市	18.71	698	0.95	1.15	20	16
002472.SZ	双环传动	优于大市	21.81	184	1.22	1.59	18	14
300258.SZ	精锻科技	优于大市	7.40	36	0.54	0.68	14	11

资料来源：Wind、国信证券经济研究所预测

行业研究·行业专题

汽车

优于大市·维持

证券分析师：唐旭霞
0755-81981814
tangxx@guosen.com.cn
S0980519080002

证券分析师：孙树林
0755-81982598
sunshulin@guosen.com.cn
S0980524070005

市场走势



资料来源：Wind、国信证券经济研究所整理

相关研究报告

- 《汽车行业周报（24年第37周）-以旧换新政策有望拉动汽车销量，关注新车发布及三季报行情》——2024-09-23
- 《汽车行业2024年9月投资策略暨中报总结-以旧换新政策拉动汽车销量，汽车板块单二季度净利润同比增长19%》——2024-09-10
- 《汽车行业周报（24年第33周）-赛力斯拟购买华为持有的引望10%股权，关注新车发布及中报行情》——2024-08-26
- 《汽车行业周报（24年第31周）-比亚迪与华为强强联手，关注新车发布及中报行情》——2024-08-12
- 《汽车行业2024年8月投资策略-新品及政策催化有望提振销量，关注华为产业链及中报行情》——2024-08-06

内容目录

前言：机器人与车端供应链高度重合度，带来产业升级机遇	6
机器人与车端供应链高度重合	6
人形机器人发展有望带来相关零部件投资新机会	9
精密减速器：匹配转速、传递转矩，机器人旋转关节核心零部件	11
谐波减速器	13
精密行星减速器	14
RV 减速器	16
壁垒分析：工艺、材料、设备等环节均具难点的系统工程	18
谐波减速器：柔轮材料与制造工艺是核心壁垒	19
行星减速器：加工精度要求高	22
RV 减速器：结构复杂，加工精度与资金要求高	23
市场格局：当前日系仍为主导，国产减速器替代进程加速	27
格局梳理：先发优势下外资品牌主导减速器市场	27
趋势演绎：国产厂商不断缩小差距	28
国内进展：技术持续突破，中高端+多品类推进	30
空间测算：人形机器人有望催生全新增量空间	32
市场规模：精密减速器应用领域不断升级	32
方案选择：谐波+行星为主流减速器技术路径	34
空间测算：预计下全球人形机器人减速器中期规模约 200 亿元	37
投资建议：推荐车与机器人协同的零部件	39
■ 拓普集团	39
■ 三花智控	41
■ 双环传动	42
■ 精锻科技	44
风险提示	46

图表目录

图 1: 特斯拉人形机器人产品进展	6
图 2: 特斯拉车端 VS 人形机器人	8
图 3: 线控制动核心部件拆解	8
图 4: 带输出轴行星减速机	9
图 5: Lucid 行星齿轮传动箱	9
图 6: 特斯拉人形机器人零部件价量拆分	10
图 7: 特斯拉人形机器人核心部件拆解图	10
图 8: 减速器基本功能原理	11
图 9: 中国工业机器人产量数据（万辆）及增速	12
图 10: 工业机器人平均成本占比拆分	12
图 11: 谐波齿轮传动装置的结构	14
图 12: 行星减速器组成构件	15
图 13: 行星减速器传动过程示意图	15
图 14: 行星减速器工作原理	15
图 15: 三级行星减速器示意图	16
图 16: 1~3 级行星减速器减速比情况（输入转速 3000rpm）	16
图 17: RV 减速机在机器人关节的应用	16
图 18: RV 减速机拆解爆炸图	16
图 19: RV 减速机主要构件	17
图 20: RV 减速机运作原理	17
图 21: 减速器制造难点梳理	19
图 22: 国产和日产谐波减速器柔轮组织比较	20
图 23: 热处理工艺流程及相关核心要求	21
图 24: 谐波减速器主要齿形的特点及示意图	21
图 25: 慢走丝、滚齿、插齿工艺对比	22
图 26: 绿的谐波产品生产流程及使用设备情况	22
图 27: 行星减速器耦合设计分析	23
图 28: 行星减速器专用高速数控干切滚齿机	23
图 29: 行星减速器高速系列干切滚齿刀具	23
图 30: 优化前后的摆线轮齿廓设计	24
图 31: RV 减速机回差影响因素多	24
图 32: RV 减速机摆线轮齿廓修形法	25
图 33: 我国工业机器人出货量市场竞争格局	27
图 34: 中国工业机器人本体销量国产品牌份额	27
图 35: 减速器国内与全球竞争格局	28
图 36: 国内减速器行业历史沿革（2013-2023 年）	29
图 37: 2013-2027 年中国工业机器人减速器市场份额分布	29

图 38: 品质、响应及降本驱动国产替代	29
图 39: 国内工业机器人用谐波与 RV 减速器市场格局情况	30
图 40: 减速器行业的演进方向梳理	32
图 41: 哈默纳科减速器需求驱动变化	33
图 42: 绿的谐波减速器下游应用场景分布	33
图 43: 我国谐波减速器市场规模 (亿元)	33
图 44: 全球行星减速器市场区域分布	34
图 45: 全球及中国行星减速器销售金额 (单位: 百万美元)	34
图 46: 主流人形机器人自由度及减速器情况	34
图 47: 特斯拉 Optimus 机器人减速器方案	35
图 48: 智元自研 PowerFlow 关节模组	35
图 49: 宇树科技自研关节模组产品矩阵 (行星减速器)	36
图 50: 傅利叶 GR-1 机器人	36
图 51: 优必选 Walker S 系列机器人	37
图 52: 公司营业收入及增速	39
图 53: 公司净利润及增速	39
图 54: 公司毛利率和净利率	39
图 55: 年度四费费用率	39
图 56: 拓普集团产品拓展图谱	40
图 57: 公司营业收入及增速 (亿元, %)	41
图 58: 公司归母净利润及增速 (亿元, %)	41
图 59: 公司毛利率及净利率 (%)	41
图 60: 公司单季度毛利率及净利率	41
图 61: 三花汽零主要产品布局	42
图 62: 公司营业收入及增速	43
图 63: 公司净利润及增速	43
图 64: 公司毛利率和净利率	43
图 65: 公司单季度毛利率和净利率	43
图 66: 双环传动产品矩阵	44
图 67: 精锻科技营业收入 (亿元) 及增速 (%)	45
图 68: 精锻科技净利润 (亿元) 及增速 (%)	45
图 69: 精锻科技毛利率和净利率 (%)	45
图 70: 精锻科技年度四费费用率 (%)	45
图 71: 精锻科技产品拓展路径	46

表1: 大厂入局带来人形机器人进步发展	7
表2: 机器人与智能汽车的零部件具有一定相通性	7
表3: 特斯拉 Optimus 机器人关节部位及价值量测算	9
表4: 精密减速器关键技术指标、含义及决定因素	12
表5: 精密减速器原理特点、参数、优缺点及应用领域梳理	13
表6: 精密减速器主要生产设备	19
表7: RV 减速器曲柄轴与摆线轮加工工艺流程	25
表8: RV 减速器针齿壳加工工艺流程与关键要素	26
表9: 精密减速器技术壁垒	26
表10: 国内外品牌同型号谐波减速器、RV 减速器技术指标对比	30
表11: 国内减速器主要玩家相关信息梳理	31
表12: 全球人形机器人关节用减速器市场空间测算	38
表13: 重点公司估值表	46

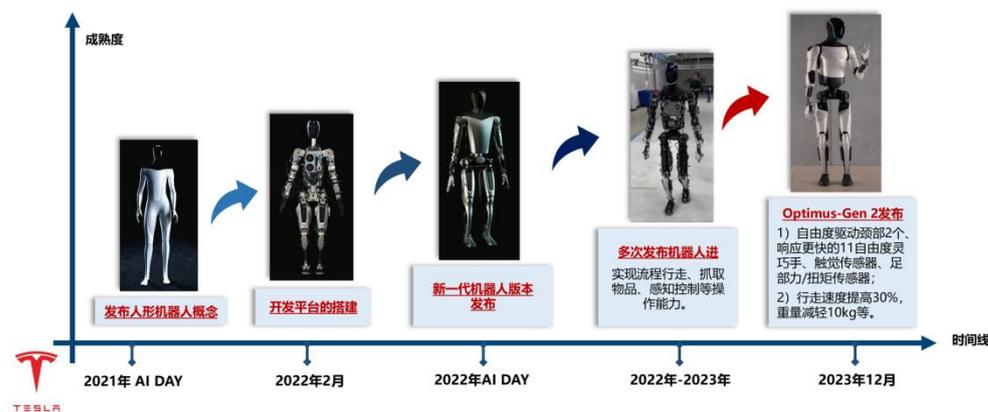
前言：机器人与车端供应链高度重合度，带来产业升级机遇

总结：车端和人形机器人的部分零部件具有一定技术相通性，供应链重合度较高，汽车领域有产品和技术储备的玩家有望实现车端向人形机器人产业的延伸。特斯拉机器人产品迭代迅速，有望给全球机器人市场带来“鲶鱼效应”，激发人形机器人玩家的活力。在车端与机器人端零部件共通性较高的前提下，叠加大厂入局+技术迭代+政策催化的加持，人形机器人发展有望持续推进，带来相关零部件企业的投资机遇。

机器人与车端供应链高度重合

特斯拉于 2021 年提出人形机器人相关设计概念，于 2022 年 9 月在 AI Day 上首次展示 Optimus 人形机器人产品，2023 年 5 月特斯拉展示 Optimus 的进展，能够执行如捡起物品等任务，并在特斯拉工厂中执行简单任务，到 23 年底发布 Optimus Gen-2 产品，实现性能、能力的全方位提升；马斯克预计特斯拉 Optimus 机器人价格最终可能会低于 2 万美元，量产预计可达数百万台，并宣称人形机器人将成为未来特斯拉长期重要价值来源；后续英伟达发布人型机器人模型，加速行业升级。我们认为特斯拉人形机器人有望给全球机器人市场带来类似于其在新能源汽车领域的“鲶鱼效应”，激发人形机器人玩家的活力。

图1：特斯拉人形机器人产品进展



资料来源：特斯拉官网，汽车之家，国信证券经济研究所整理

多家互联网科技巨头入局人形机器人赛道。国际方面，2024 年 3 月英伟达推出人形机器人通用基础模型 Project GR00T 和基于 NVIDIA Thor 系统级芯片（SoC）的新型人形机器人开发套件 Jetson Thor，高效运行多模态生成式 AI 模型，为人形机器人提供强大的算力支持；英伟达投资的 Figure AI 在 2024 年 8 月推出新一代人形机器人 Figure 02；国内方面，小米于 2022 年发布全栈自研人形仿生机器人 CyberOne，可实现双足运动姿态平衡，全身拥有 21 个自由度，可实现各自由度 0.5ms 级别的实时响应，充分模拟人各项动作。华为 2023 年 6 月成立全资子公司极目机器，2024 年与乐聚机器人签署战略合作协议，24 年 6 月，华为与乐聚机器人合作的跨服机器人在华为 HDC 2024 开发者大会首度亮相，是国内首款搭载鸿蒙操作系统的全尺寸人形机器人。

表1: 大厂入局带来人形机器人进展发展

头部企业	机器人相关动态
特斯拉	1. 2022年2月, 特斯拉推出初代擎天柱原型机。 2. 2022年4月-9月, 特斯拉完成原型机的多次迭代, 擎天柱可以步行、手臂摇摆、脚趾离地等动作, 其骨盆结构得以优化。 3. 2023年5月, 特斯拉通过视频演示了人形机器人行走及工作过程。 4. 2023年12月, 特斯拉发布第二代人形机器人 Optimus, 并于2024年7月在世界人工智能大会亮相, 采用了全部由特斯拉自主设计和制造的执行器和传感器, 行走速度提高了30%, 重量减轻了10公斤, 平衡感和身体控制能力得到改善。
英伟达	1. 2018年, 英伟达推出包含全新硬件、软件和虚拟世界机器人模拟器的 NVIDIA Isaac, 专为机器人设计的计算机平台 Jetson Xavier 和相关的机器人软件工具包。 2. 2023年5月, 英伟达对适用于边缘 AI 和机器人的 NVIDIA Jetson 平台上的 Metropolis 和 Isaac 框架进行软件扩展。 3. 2024年2月, 英伟达成立通用具身智能团队 GEAR。与多家领先的人形机器人公司合作, 共同开发综合 AI 平台, 如 1X Technologies、Agility Robotics、Apptironik、波士顿动力公司、Figure AI、傅利叶智能、Sanctuary AI、宇树科技和小鹏鹏行等。 4. 2024年3月, 英伟达推出人形机器人通用基础模型 Project GROOT 和基于 NVIDIA Thor 系统级芯片 (SoC) 的新型人形机器人开发套件 Jetson Thor, 拥有强大的计算能力和优化的模块化架构, 能够高效运行多模态生成式 AI 模型, 为人形机器人提供强大的算力支持。
小米	1. 2022年8月, 小米发布了全栈自研人形仿生机器人 CyberOne, 通过机械关节模组和全身控制算法实现双足运动姿态平衡, 并通过音频、视觉算法和模组提供了情感感知和空间三维虚拟重建能力。 2. 2023年4月, 小米设立北京小米机器人技术有限公司, 注册资本5000万元。
Figure AI	1. 2024年2月, Figure 宣布与 OpenAI 共同开发下一代人形机器人模型。 2. 2024年3月, Figure 宣布拿到6.75亿元融资, 估值26亿美元, 推出 Figure 01 人形机器人。 3. 2024年8月, 推出新一代人形机器人 Figure 02, 进行了硬件和软件的重新设计, 提升了人工智能、计算机视觉、电池、传感器和执行器等关键技术, 每天工作20小时, 灵巧手16个自由度, 承载25公斤重量。
华为	1. 2022年4月19日, 达闼机器人股份有限公司与华为技术有限公司在北京签署合作协议, 双方将共同打造云端机器人城市运营联合解决方案, 推广机器人运营服务, 并开展多模态大模型开发、机器人创新应用等领域的全方位合作。 2. 2023年, 华为共有四条机器人相关专利获得授权, 分别是“用于标定机器人的运动学参数的方法和装置”、“机器人控制方法、装置、系统及相关设备”、“执行机器人脚本方法及相关装置”、“一种机器人手臂及机器人”。 3. 2023年6月, 华为成立东莞极目机器人有限公司, 注册资本8.7亿元, 华为全资持股。 4. 2024年3月, 华为与乐聚机器人签署战略合作协议, 双方将共同探索“华为盘古大模型+夸父人形机器人”商用落地场景。 5. 2024年6月, 双方合作的跨服机器人在华为 HDC 2024 开发者大会首度亮相, 是国内首款搭载鸿蒙操作系统的全尺寸人形机器人。
字节跳动	1. 2023年7月, 字节跳动称机器人团队已有约50人, 计划年底扩充到上百人。 2. 2021、2022两年, 字节跳动关联公司北京量子跃动科技有限公司参与了大寰机器人、未斯科技、未来机器人、盈合机器人等多家机器人及人工智能相关企业投资事件。

资料来源: 各公司官网, 中国机器人网, 中国电子报公众号, 财闻 CWW 公众号, 澎湃新闻, 新浪 VR 公众号, 新智元公众号, 界面新闻公众号, AIGC 新智界公众号, 天眼查, 国信证券经济研究所整理

传统智能汽车与机器人可分为感知、决策、执行三大层面。智能汽车可大致分为底盘之上+之下, 底盘之上是智能座舱下人机交互实现场景, 细分产业链为“芯片-系统-应用-显示”; 底盘之下主要为智能电动和智能驾驶, 智能电动集成三电系统, 为整车运动核心能源支撑; 智能驾驶主要基于“传感器-计算平台-自动驾驶算法”作用到执行层面, 实现横向和纵向运动控制, 整体可分为“感知-决策-执行”三大层面; 人形机器人指能够模仿人类运动、表情、互动及动作的机器人, 本质上同样可划分为感知、决策、执行三大层面。

表2: 机器人与智能汽车的零部件具有一定相通性

	智能汽车	人形机器人
感知层	摄像头、超声波雷达、毫米波雷达、激光雷达等	力矩传感器、位置传感器、摄像头、毫米波雷达等
决策层	域控制器 (智能驾驶芯片、软件 ECU 等)	AI 芯片等
执行层	线控底盘 (线控制动、线控转向、电控悬架)、智能车灯、其他	手部、脚部、腿部等运动
相通部件	电机、传感器、减速/转换机构 (减速器、丝杠、齿轮等)、电池、轴承、结构件、冷却系统、控制器、芯片、软件;	

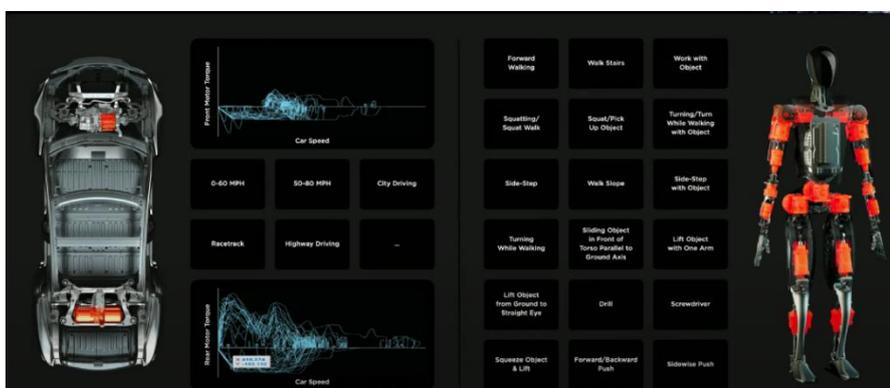
资料来源: 特斯拉官网, 汽车之家, 国信证券经济研究所整理

以特斯拉汽车与人形机器人为例, 其 Optimus 在多个层面沿用汽车领域技术:

- **机械结构:** 据特斯拉 AI DAY, 特斯拉正为 Optimus 研发电池、执行器, 以将功耗保持最低水平, 从传感到融合、再到充电管理等方面, 借鉴了在汽车设计方面的经验; 并采用与汽车相同的芯片, 支持 Wi-Fi、LTE 链接和音频交流。
- **软件方面:** Optimus 有望共用汽车 FSD 自动驾驶系统及 Autopilot 神经网络技术, 同时特斯拉基于汽车安全模拟分析能力打造机器人安全性, 在交通事

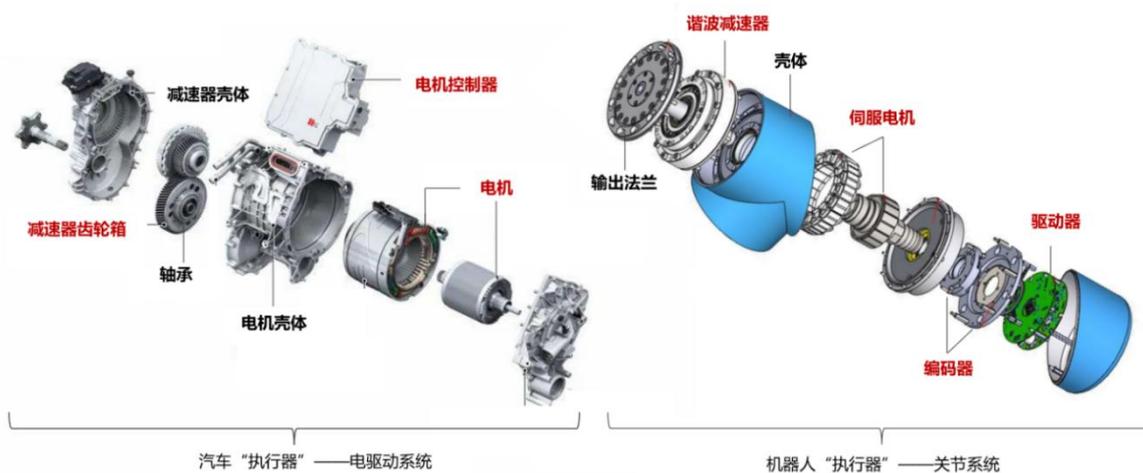
故模拟中，特斯拉通过软件优化+电池保护等提升系统软硬件的安全性保障。

图2: 特斯拉车端 VS 人形机器人



资料来源：特斯拉 AI Day，国信证券经济研究所整理

图3: 线控制动核心部件拆解



资料来源：GGII，汽车之家，绿的谐波公告，国信证券经济研究所整理

车端和人形机器人的部分零部件具有一定共性，二者供应链重合度较高，汽车零部件公司有望向人形机器人领域延伸。总体来看，我们认为包括电机、传感器、减速机构、电池、冷却系统、轴承、芯片等部件在车端与机器人端具有一定技术相通性。同时，机器人零部件与汽车零部件在原材料、设计、工艺、设备、装配，以及成本管控能力、产品质量管控能力体系等方面具有一定相通性，这就意味着在汽车领域具有相关产品、技术储备的公司，有望实现产品从车端向人形机器人端的延伸。

图4: 带输出轴行星减速机



资料来源: Windrive, 国信证券经济研究所整理

图5: Lucid 行星齿轮传动箱



资料来源: 驱动视界, 国信证券经济研究所整理

人形机器人发展有望带来相关零部件投资新机会

如我们前文所言, 在车端与机器人端零部件共通性较高的前提下, 人形机器人的发展在大厂入局+技术迭代+政策催化的加持下有望持续提速, 带来相关零部件企业的投资机会, 基于此, 结合 AI DAY 信息我们大概拆解特斯拉 Optimus 内部构造:

总览: 全身共有 40 个驱动器 (躯干 28 + 手部 12 个), 身高约 173cm, 体重 73kg, 设计行走速度 8km/h, 可搬运约 20 磅的货物, 搭载 2.3Kwh 的电池组。

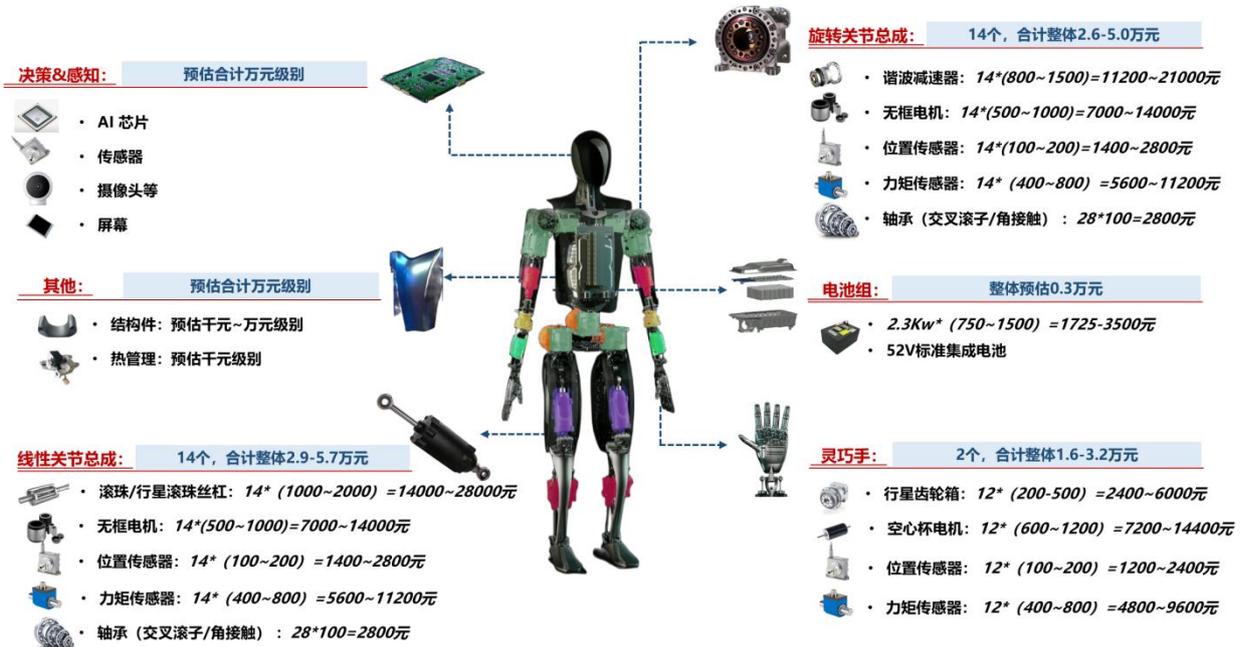
- 感知层: 主要包括摄像头、毫米波雷达等传感器;
- 决策层: 为机器人大脑, 预计主要为 AI 芯片、FSD 系统等;
- 执行层: 线性执行器、旋转执行器以及手部关节;
- 其他: 主要包括电池及管理系统, 机体结构 (仿生结构、其他特殊材料等)。

表3: 特斯拉 Optimus 机器人关节部位及价值量测算

关节部位价值量测算	关节部件	单机器人使用量 (个)	当前单价 (元)	单套机器人价值量 (元)	规模化量产后的单价 (元)	单套机器人价值量 (元)	100 万台机器人空间预估
旋转关节	电机+驱动器	14	1000	14000	500	7000	70
	谐波减速器	14	1500	21000	800	11200	112
	力传感器	14	800	11200	400	5600	56
	编码器	14	200	2800	100	1400	14
	轴承	14	100	1400	50	700	7
	合计			3600	50400	1850	25900
直线关节	电机+驱动器	14	1000	14000	500	7000	70
	滚珠/滚柱丝杆	14	2000	28000	1000	14000	140
	力传感器	14	800	11200	400	5600	56
	编码器	14	200	2800	100	1400	14
	轴承	14	100	1400	50	700	7
	合计			4100	57400	2050	28700
灵巧手	空心杯电机	12	1200	14400	600	7200	72
	齿轮箱(减速器)	12	500	6000	200	2400	24
	编码器	12	200	2400	100	1200	12
	力传感器	12	800	9600	400	4800	48
	合计			2700	32400	1300	15600
合计			10400	140200	5200	70200	702

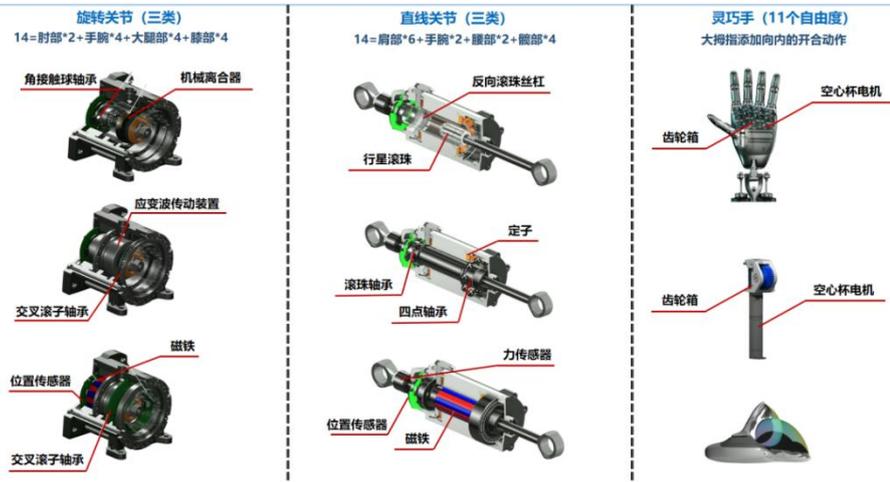
资料来源: 鸣志电器官网, 雷赛智能招股书, 步科股份招股书, 绿的谐波公告, 柯力传感公告, 1688, 国信证券经济研究所整理和预测

图6: 特斯拉人形机器人零部件价值拆分



资料来源: 特斯拉 AI DAY, 绿的谐波公告, 双环传动公告, 各公司官网, 鸣志电器官网, 雷赛智能招股书, 步科股份招股书, 绿的谐波公司公告, 柯力传感公司公告, 阿里 1688 网站, 国信证券经济研究所整理和预测 注: 图中数据可能与实际情况有偏差为预估数据, 量产后可能有差异, 仅供参考, 不构成任何投资建议

图7: 特斯拉人形机器人核心部件拆解图



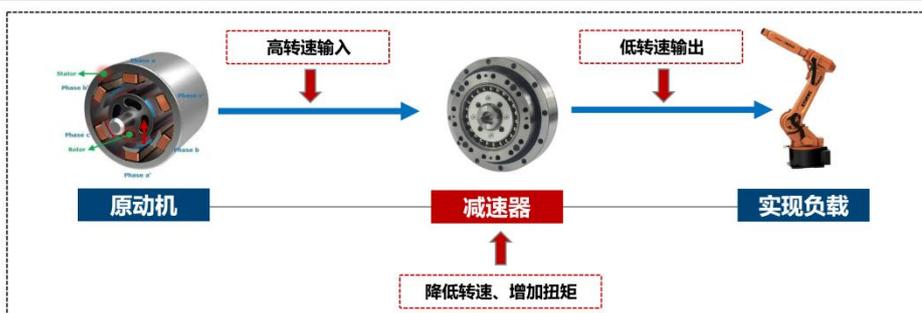
资料来源: 特斯拉 AI DAY, 公司官网, 国信证券经济研究所整理

精密减速器：匹配转速、传递转矩，机器人旋转关节核心零部件

总结：减速器主要用于匹配转速和传递转矩，精密减速器回程间隙小、精度较高、使用寿命长，稳定性高，在人形机器人等高端领域有明确应用场景。**谐波减速器**传动比大，精度高、体积小，在人形机器人小臂、腕部等部位有较强优势；**精密行星减速器**体积小、寿命高，一般单级减速比小；**RV 减速器**具备高精度、大速比、高刚性、高疲劳强度特点。整体来看，减速器在人形机器人等高端领域有明确应用需求（以特斯拉 Optimus 为例，预计规模化量产后减速器占单台人形机器人成本约 15%-20%）。

减速器是一种在原动机和工作机或执行机构之间起匹配转速和传递转矩的减速传动装置。当电机的输出转速从主动轴输入后带动小齿轮转动，小齿轮带动大齿轮运动，而大齿轮齿数多、转速慢，带动输出轴输出，从而起到输出减速、增大扭矩的作用。按精度划分，减速器分为一般传动减速器和精密减速器，一般传动减速器控制精度低，可满足机械设备基本的动力传动需求；精密减速器回程间隙小、精度较高、使用寿命长，更加可靠稳定，可应用于机器人等高端领域。**精密减速器主要分为谐波减速器、行星减速器、RV 减速器等。**

图8：减速器基本功能原理



资料来源：科峰智能招股说明书，国信证券经济研究所整理

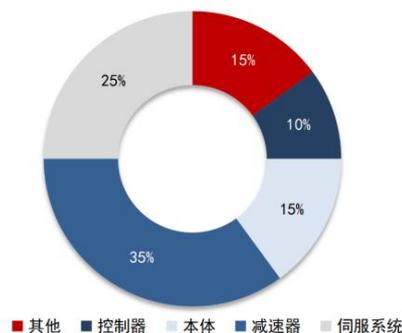
减速器是工业机器人三大核心部件之一，成本占比约 3-4 成。工业机器人广泛应用于汽车制造、设备生产、机械加工等制造环节，近些年随人工费用上升，机器替代人工的趋势愈发明显。2023 年中国工业机器人产量达 43 万台，同比-3.0%，2024H1 产量 28.3 万台，同比+9.6%有所回升。2023 年中国工业机器人销量 31.6 万台，同比+4.3%，2024H1 销量 14.3 万台，同比-6.1%，工业机器人增速有所放缓。工业机器人是集机械+电子+控制+计算机+传感+人工智能等多学科技术于一体的自动化装备，由精密减速器、伺服电机、控制系统与本体几大部分构成。目前工业机器人成本大概构成为：减速机 35%左右+伺服机 20%左右+控制系统 15%左右，减速器是工业机器人重要结构组成。

图9：中国工业机器人产量数据（万辆）及增速



资料来源：国家统计局，高工机器人，国信证券经济研究所整理

图10：工业机器人平均成本占比拆分



资料来源：中商情报网，国信证券经济研究所整理

指标介绍：精密减速器的关键技术指标包括扭转刚度、减速比、传动效率、传动精度、传动误差、启动转矩、空程、背隙等。

表4：精密减速器关键技术指标、含义及决定因素

技术指标	含义	影响因素
扭转刚度	在扭转力矩的作用下，构件抗扭转变形的能力，或额定负载转矩与切向弹性变形转角之比	结构设计、轴承支撑方式、轴承类型、齿轮副的刚度和精度、传动比等
减速比	瞬时输入速度与输出速度的比值，减速比越大，输出速度越慢，增加扭矩越大	输入/输出齿轮数、减速级数等
传动效率	传动效率是指输出功率与输入功率的比值。 传动效率受到减速比、转速、负载扭矩、温度、润滑条件的影响	材料选择、合适的传动级数、结构设计、齿轮的精度等级、齿轮的定位与固定方式、齿轮的安装与配合等
传动精度、传动误差	工作状态下，输入轴单向旋转时，输出轴的实际转角与相对理论转角的接近程度。传动精度的高低用传动误差的大小来衡量，传动误差小，则传动精度高	设计(如齿轮间隙)、加工(如RV减速器摆线轮不同的修形加工法)、安装(啮合传动误差)、润滑等
启动转矩	空载启动时，所需施加的力矩	结构设计、减速比、传动链路的摩擦系数、轴承的质量等
空程	在工作状态下，当输入轴由正向改为反向旋转时，输出轴在转角上的滞后量	结构设计、制造工艺、传动部件的磨损程度、安装和调整等
背隙	将输出端与减速器壳体均固定，在输入端施加±2%额定转矩顺时针和逆时针方向旋转时，减速机输入端的微小角位移就是背隙，也称为侧隙	齿轮的制造精度、轴承的运转精度、油膜的厚度、机床的精度、装配精度、工作环境温度等

资料来源：工业机器人精密减速器综述，哈默纳科产品手册，《影响RV减速器传动精度的因素与控制》（王文涛和杨斌，2018），《行星减速器机械效率影响因素分析》（王亚芹等，2021），爱采购，国信证券经济研究所整理

近年随工业机器人、高端数控机床等智能制造和高端装备领域快速发展，谐波、RV减速器已成为精密传动领域广泛使用的精密减速器（二者合计占全球工业机器人减速器市场约80%）。目前精密减速器已经被应用于人形机器人的旋转关节中，但技术路径尚未收敛。我们发现各人形机器人厂商基于不同减速器的特征、成本等因素的考量，采用不同的技术路径。

- RV减速机具有高精度、大速比、高刚性、高过负载及长寿命、高疲劳强度特点，且振动小，噪音低，能耗低，常用于扭矩较大的机器人关节（腿腰肘三大关节），负载大的工业机器人，一二三轴一般都用RV减速机。由于RV减速器传动比范围大、精度较为稳定、疲劳强度较高，并具有更高的刚性和扭矩承载能力，在机器人大臂、机座等重负载部位拥有优势。
- 谐波传动减速机具有传动比大并且范围广、精度高、体积小、重量轻、传动平稳、噪声小、可向密封空间传递运动等特点。与一般减速器相比，在输出力矩相同时，谐波减速器的体积更小，重量更轻，这使其在机器人小臂、腕

部、手部等部件具有较强优势。但随使用时间增长，运动精度会降低，一般用于负载小的工业机器人或大型机器人末端几个轴。

- 行星减速器以其体积小、寿命高等诸多优点，而被广泛应用于伺服、步进、直流等传动系统中。但行星减速器单级减速比小，想要提供高扭矩需要采用多个行星减速器进行多级减速，从而导致长度和重量增加。特斯拉 Optimus 机器人将行星减速器用于灵巧手部位，而部分机器人厂商则将行星减速器用于腿部、髌部。

表5: 精密减速器原理特点、参数、优缺点及应用领域梳理

	谐波减速器	行星减速器	RV 减速器
工作原理	波发生器产生谐波运动，驱动柔性铰链轮实现行星轮在太阳轮的驱动下转动，实现减速输出	行星轮在太阳轮的驱动下转动，实现减速输出	偏心轮驱动摆线针齿轮进行旋转，通过摆线针齿轮的连续啮合实现减速
技术特点	通过柔轮弹性变形传递运动，主要由柔轮、刚轮、波发生器三个核心部件组成。谐波减速器使用的材料少、体积小、重量轻	由多级行星轮构成，齿数少的齿轮啮合输出轴上的大齿轮从而达到减速的目的	通过多级减速实现传动，一般由行星齿轮减速器的前级和摆线针轮减速器的后级组成，组成的零部件较多
结构特点	主要包括波发生器、柔轮与刚轮。减速器工作时，波发生器会发生可控变形，同时依靠柔轮、刚轮的啮合传递动力	体积比较小，主要包括行星轮、太阳轮和内齿圈。精密行星减速器单级传动比都在 10 以内，且减速级数一般不会超过 3 级	主要包括两级传动装置，分别为渐开线行星齿轮传动和摆线针轮行星传动
单价	1000-5000 元/台	380-1600 元/台	5000-8000 元/台
功率密度	高	相对较低	相对较低
传动精度 (")	≤60	≤180	≤60
传动效率	较高	高	高
传动比	30-160	单级 3-10	30-192.4
设计寿命 (h)	>8000	>20000	>6000
扭转刚度 (N·m/arc min)	1.34-54.09	10-370	20-1176
额定输出转矩 (N·m)	6.6-921	40-1200	101-6135
噪音 (db)	≤60	≤65	≤70
温升 (°C)	≤40	≤30	≤45
输出扭矩	中	小	大
可靠性	相对较低	较高	较高
主流人形机器人厂商应用情况	特斯拉、智元、傅利叶、优必选	智元、宇树、傅利叶、优必选	暂无
优点	高传动比、高精度、结构简单，体积小、重量轻	承载能力高、抗冲击能力强、结构简单，单级行星减速器体积小、重量轻	传动效率高、输出扭矩大，承载力强、扭转刚性大、精度稳定性高
缺点	承载能力、使用寿命、散热条件相对弱	传动比低，输出扭矩较低，多级减速器重量大限制使用场景，高精度提高制造成本	结构、制造工艺复杂，轴承薄弱易磨损，外形尺寸大，应用领域受限

资料来源：纳博特斯克产品手册，绿的谐波招股说明书，科峰智能招股说明书，瑞迪智驱公告，GGII，中大力德网上商城，郑州迪飞机电官网，电子发烧友，搜狐汽车，立鼎产业研究网，焉知人形机器人公众号，AIOT 大数据公众号，《谐波减速器柔轮疲劳断裂失效分析》（王浩等，2021），《工业机器人精密减速器综述》（黄兴等，2015），《谐波减速器研究现状及问题研究》（向珍珠等，2020），《RV 减速器结构分析及轴承可靠性研究》（程澄，2020），国信证券经济研究所整理

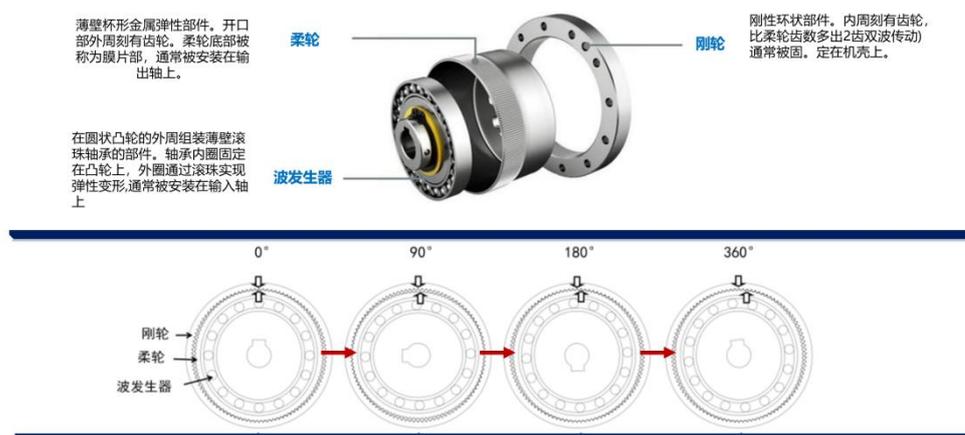
谐波减速器

谐波减速器是一种依靠弹性变形运动来实现传动的新型减速机构，它突破机械传动采用刚性构件机构的模式，使用柔性构件来实现机械传动。谐波减速器主要是

由波发生器、带有内齿圈的刚性齿轮（刚轮）、带有外齿圈的柔性齿轮（柔轮）三个基本构件组成。波发生器是一个凸轮部件，其两端与柔性齿轮的内壁相互压紧。柔轮为可产生较大弹性变形的薄壁齿轮。当波发生器装入柔轮后，迫使柔轮的剖面由原先的圆形变成椭圆形，其长轴两端的齿与刚轮的齿完全啮合，而短轴两端附近的齿则与刚轮完全脱开。谐波减速器具有传动比大、外形轮廓小、零件数目少且传动效率高的特点，一般放置在机器人的小臂、腕部或手部等位置。

谐波减速器利用错齿运动实现降低转速、增加扭矩。谐波减速器的工作原理通常采用波发生器主动、刚轮固定、柔轮输出的形式，波形发生器（椭圆形）作为输入端连接到电机轴上，并且被装入柔轮（圆形），柔轮的剖面被迫产生弹性变形，由圆形变成椭圆形。长轴处柔轮齿轮插入刚轮的轮齿槽内，成为完全啮合状态；而其短轴处柔轮与刚轮的齿完全不接触，处于脱开状态；其他区段的齿处于啮合和脱离的过渡状态。当波发生器连续转动时，柔轮将不断变形并产生错齿运动，柔轮与刚轮的啮合状态也不断改变，由啮入、啮合、啮出、脱开、再啮入，周而复始地进行，从而实现柔轮相对刚轮、沿波发生器相反方向的缓慢旋转，实现波发生器与柔轮的运动传递。

图11：谐波齿轮传动装置的结构



资料来源：环动科技官网，国信证券经济研究所整理

精密行星减速器

精密行星减速器主要由太阳轮、行星轮、行星架、内齿圈构成，其减速传动原理就是齿轮减速原理。精密行星减速器工作时，通常是伺服电机等原动机驱动太阳轮旋转，太阳轮与行星轮的啮合驱动行星轮产生自转。同时，由于行星轮另外一侧与减速器壳体内壁上的环形内齿圈啮合，最终行星轮在自转驱动下将沿着与太阳轮旋转相同方向在环形内齿圈上滚动，形成围绕太阳轮旋转的“公转”运动。行星轮通过公转驱动行星架旋转，行星架与输出轴联接，带动输出轴输出扭矩。通常，每台精密行星减速器都会有多个行星轮，它们会在输入轴和太阳轮旋转驱动下，同时围绕太阳轮旋转，共同输出动力，带动负载运动。

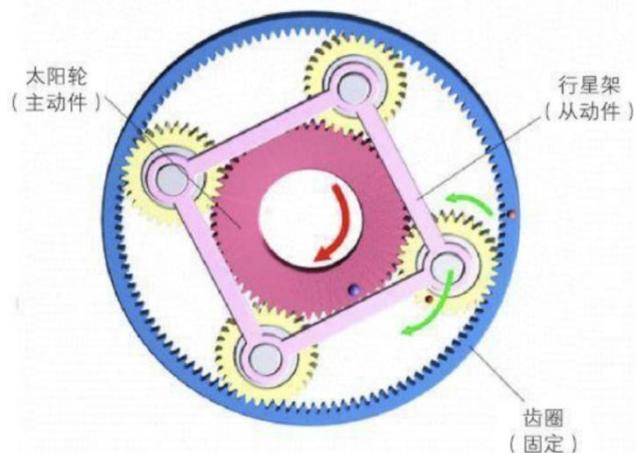
图12: 行星减速器组成构件

- ① 输出轴
- ② 挡圈
- ③ 滚珠轴承
- ④ 输出端盖
- ⑤ 挡圈
- ⑥ 齿轮轴
- ⑦ 联接螺栓
- ⑧ 行星齿轮
- ⑨ 保护外壳
- ⑩ 行星齿轮架
- ⑪ 齿圈
- ⑫ 隔离垫片
- ⑬ 输入太阳齿轮
- ⑭ 输入端盖



资料来源: AIOT 大数据, 国信证券经济研究所整理

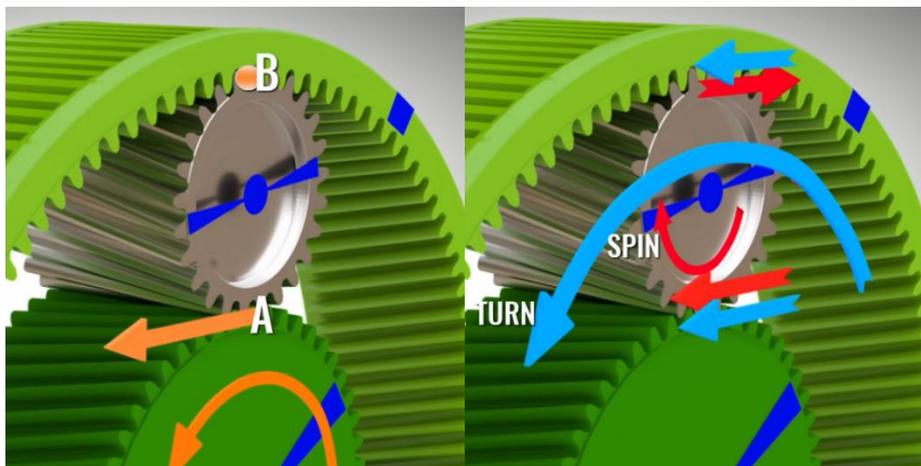
图13: 行星减速器传动过程示意图



资料来源: 有驾, 国信证券经济研究所整理

行星减速器利用行星齿轮的自转和公转运动降低转速、输出扭矩。当太阳轮逆时针旋转、内齿圈固定时, 行星齿轮需要同时自转和公转, 在这种传动模式下, 行星架在内齿圈上进行逆时针旋转运动, 输出轴与行星架相连。由于太阳轮与内齿圈存在齿数差异, 行星架的输出转速会低于太阳轮的输入转速, 从而降低转速, 提升扭矩, 匹配惯量。在机器人领域, 精密行星减速器是移动机器人核心零部件, 主要与伺服电机、控制器共同组成移动机器人的驱动单元。

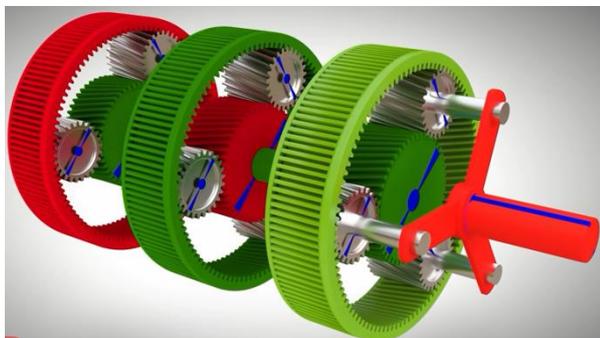
图14: 行星减速器工作原理



资料来源: Youtube Lesics, 国信证券经济研究所整理

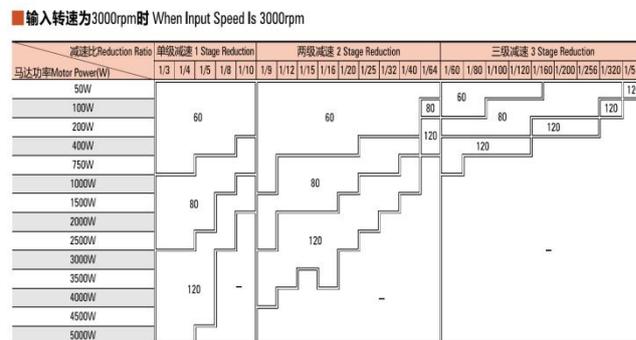
行星减速器主要有单级和多级两种结构。多级行星减速器在单级行星减速的基础上增加了多个级数, 每个级数都由太阳轮、行星轮和内齿轮组成, 形成级联结构, 可以进一步减小输出轴的转速, 提高输出扭矩。多个行星轮的使用分担了载荷, 提高了减速器的承载能力, 但每增加一个行星轮, 就增加一对齿轮啮合, **传动效率就会下降**。多级行星减速器为了结构紧凑, 通常共用内齿轮, 即大齿圈, 同时作为内齿轮也是减速器的外壳(机架)。

图15: 三级行星减速器示意图



资料来源: Youtube Lesics, 国信证券经济研究所整理

图16: 1~3 级行星减速器减速比情况 (输入转速 3000rpm)

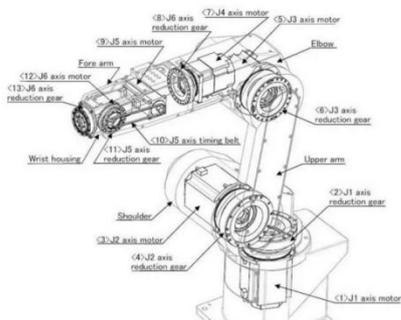


资料来源: 中大力德产品手册, 国信证券经济研究所整理

RV 减速器

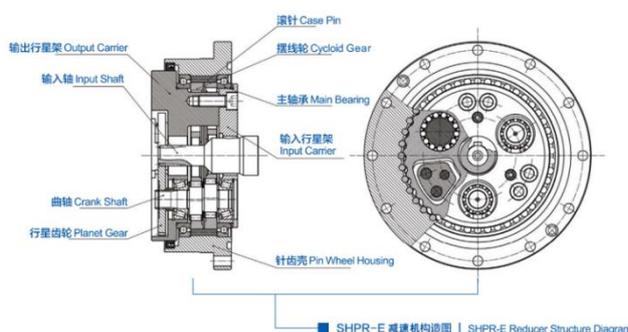
RV 减速器 (Rotary Vector, 旋转矢量) 是一种精密的机械传动装置, 最早由日本发明, 用于实现高扭矩输出和高精度的旋转运动, 通常适用于工业机器人基座、大臂、肩部等重负载的位置。

图17: RV 减速机在机器人关节的应用



资料来源: SUPROR, 国信证券经济研究所整理

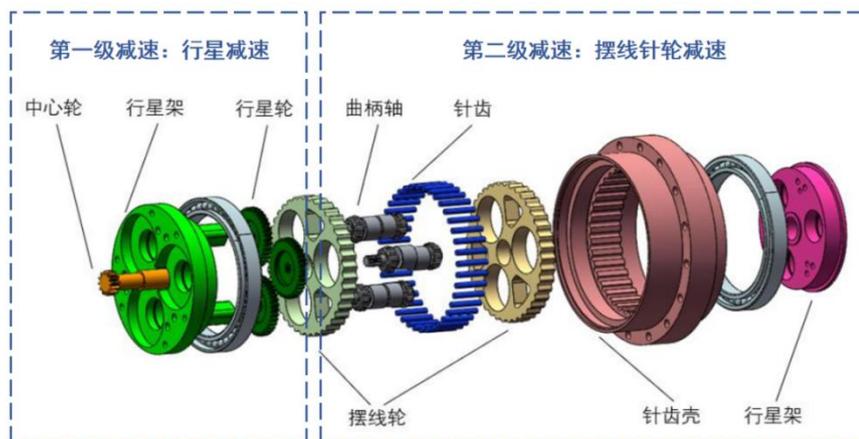
图18: RV 减速器拆解爆炸图



资料来源: 双环传动官网, 国信证券经济研究所整理

RV 减速器的工作原理涉及正齿轮变速和差动齿轮变速, 本质上是多级的减速传递运动。RV 减速器通常由两级减速机构组成, 第一级为正齿轮减速机构 (行星减速器), 通过行星轮和太阳轮实现第一级齿轮减速。第二级为差动齿轮减速机构 (摆线针轮减速器), 通过 RV 齿轮和针轮之间的啮合来达到第二级差动齿轮减速。

图19: RV 减速器主要构件

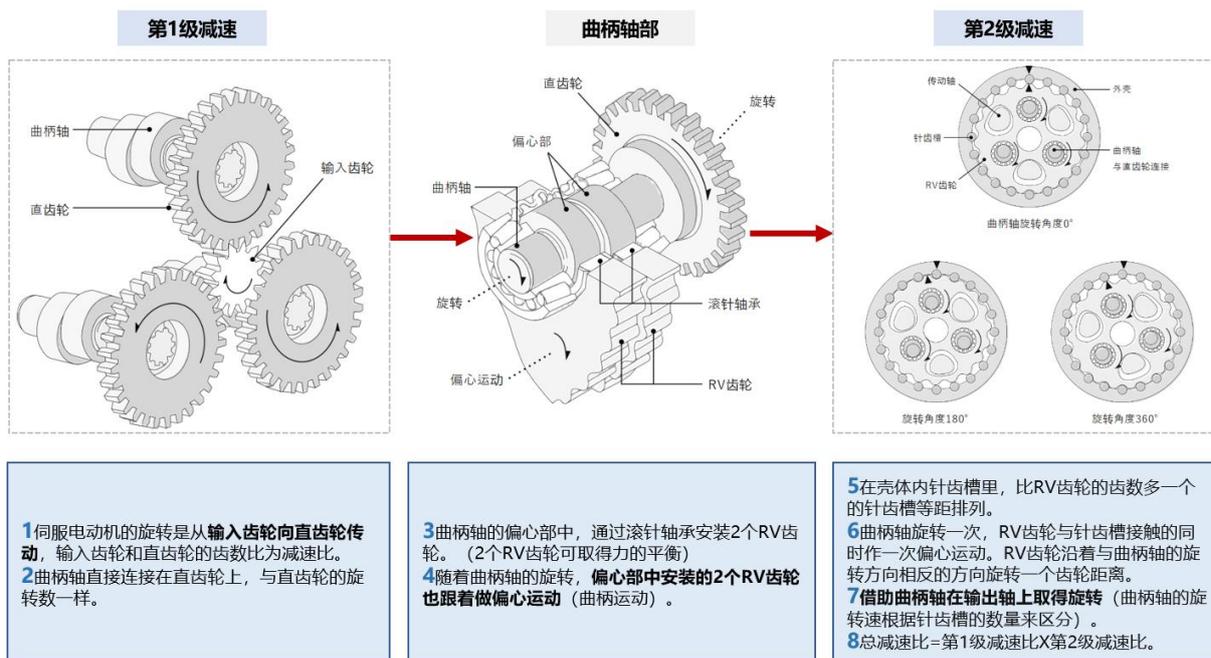


资料来源：《RV 减速器轻量优化设计》（王明楠，2022），国信证券经济研究所整理

RV 减速器是由行星齿轮减速机一级+摆线针轮减速机后级组成的二级减速机：

- ✓ **第一级减速：**太阳轮与电机相连，电机带动太阳轮旋转，太阳轮带动行星轮同时转动，曲柄轴前后端分别与行星轮和RV 齿轮（摆线轮）相连。行星轮旋转时，曲轴以相同的转速旋转。行星轮的齿数多，行星轮的转动速度慢于输入齿轮，实现第一级减速，一级减速比为行星轮与输入齿轮的齿数之比。
- ✓ **第二级减速：**输入轴为第一级减速中的曲柄轴，曲柄轴的偏心部有通过滚针轴承安装的2个摆线轮（RV 齿轮）。在外壳内侧的针齿槽中的针齿数比RV 齿轮多1齿。曲柄轴旋转1周时，2个摆线轮也进行1次偏心运动（曲轴运动）。摆线轮沿着与曲柄轴运动方向相反方向转动1个齿，从而实现减速。

图20: RV 减速器运作原理



资料来源：Nabtesco，双环传动官网，国信证券经济研究所整理

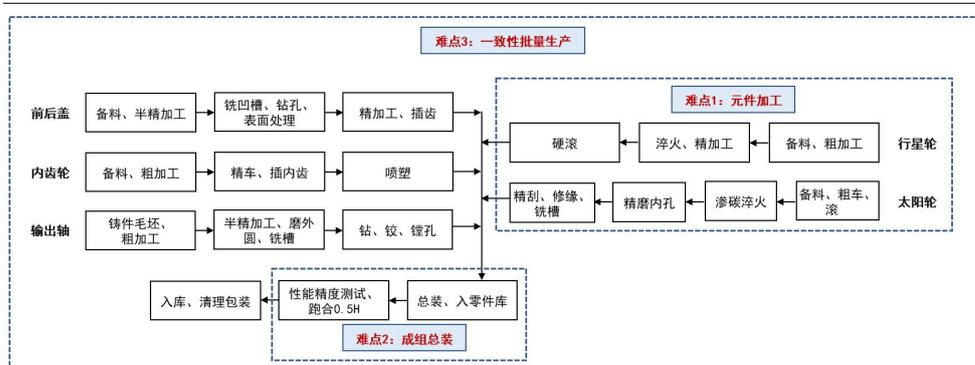
壁垒分析：工艺、材料、设备等环节均具难点的系统工程

总结：减速器制造整体是一个“系统工程”，在研发设计、材料处理、设备采购、工艺制造、装配成组、稳定批产等多环节均存在较高壁垒。**整体而言，我们认为不同减速器的壁垒难点也各有侧重：**RV 减速器主要难点在于大量高精度的零部件需极高的加工精度与装配技术，以及设备资金投入的高门槛；谐波减速器主要难点在于选择合适的柔轮材料、齿形与加工工艺（热处理等）以保证柔轮的使用寿命；行星减速器主要难点在于对加工精度要求高。

减速器是机器人价值成本中较高部件，成本占比 30%-40%左右（以工业机器人为例），同时也是技术壁垒较高的环节。我们认为减速器制造整体是一个“系统工程”，在研发设计、材料处理、设备采购、工艺制造、装配成组、稳定批产等多个方面均有较高壁垒。国内生产高性能减速器的精密加工设备主要来自日本、欧洲等国外厂商，设计、材料、热处理、加工工艺、齿轮、轴承、密封、装配工艺、零件检测、成品检测等一系列环节均存在瓶颈。我们从材料选择、设计、加工工艺、设备资金等方面深度研究了精密减速器的技术壁垒。

- **材料选择：**减速器的齿轮材料不合适可能导致零件过早磨损。齿轮材料选择时应保持较高的弯曲疲劳强度和接触疲劳强度，从而使齿面有足够的硬度和耐磨性，芯部有一定的强度和韧性。**以谐波减速器为例，柔轮周期性发生变形，其材质直接影响谐波减速器的使用寿命。**目前国内使用材料的型号与海外厂商基本一致，**但国内热处理工艺不够完善，材料杂质含量较高，材料性能与国外相比仍有提升空间。**
- **元件加工：**减速器制造壁垒在于各项工艺配合，包括齿面热处理、加工精度、零件对称性、噪音控制、先进设备等。1) 机器人运作对传动准确性要求极高，关键部件(如摆线轮、曲柄轴等)加工精度要求高(通常需达微米级)；2) 减速器持续工作能力(耐磨+精度保持+寿命)影响人形机器人成本，要求较高；3) 国外先进加工和检测设备购置成本较高，且对设备调教能力和效率提升均有较高要求。
- **成组技术：**减速器内部零件较多(尤其是 RV 减速器)，多个零部件装配于同一外壳内，零部件在啮合程度、体积大小等方面具有一定关联性(如 RV 减速器行星齿轮机构要求相位一致)，对高精度装配、高精度检测技术提出了极高的要求。
- **批量生产：**机器人的操作需要具有高度的稳定性和一致性，因此对减速器大批量产品的稳定性和一致性上有较高的要求。精度保持性、产品一致性、减速器与机器人算法结合，是三项最核心的技术要求，一般需长达 10 年的基础理论和经验数据积累。

图21: 减速器制造难点梳理



资料来源：中大力德公告，高工机器人，机器人网，国信证券经济研究所整理

- 设备资金：**减速器的高精度特性对制造设备和检测设备要求高，包括磨齿机、插齿机、滚齿机、磨床等，目前高端精密加工设备主要依赖进口，购置成本较高，具体来看：1) **资金需求高：**据 GGII，在有一定技术积累情况下，RV 减速器设备投入至少需 2 亿以上，核心零件针齿壳和摆线轮的加工设备从欧洲进口，单台均价超过 1500 万元；谐波减速器生产设备费用占整体投入 70%-80%左右，5000 万左右的设备投入才能实现小批量生产。2) **到货周期长：**部分减速器的设备交付期约 1 年左右，特殊设备则需要 14 个月甚至更长时间才能到货，对厂商的资金要求高。

表6: 精密减速器主要生产设备

设备名称	数量 (台/套)	总价 (万元)	设备名称	数量 (台/套)	总价 (万元)
立式加工中心	50	2500	立式磨床	4	2440
数控车床	10	500	加工中心	16	2460
数控滚齿机	50	20000	滚齿机	24	2910
六轴工业机器人	100	2000	插齿机	4	1800
数控磨床	50	10000	磨齿机	4	3320
定制化热处理产线	1	800	数控车床	16	860
装配工作站	100	400	测量仪	5	670
网络服务器	20	100	试验仪	3	150
			热处理	1	450

资料来源：绿的谐波招股说明书，中大力德招股说明书，国信证券经济研究所整理 注：表格左侧为年产 50 万台精密谐波减速器所需设备及数量，表格右侧为年产 20 万台精密行星、RV 减速器所需设备及数量

我们从材料选择、设计、加工工艺、设备与资金等方面梳理了精密减速器的技术壁垒。基于技术难度进行总体排序，我们认为 RV 减速器与谐波减速器整体制造壁垒相对更高，整体而言不同减速器的壁垒难点也各有侧重：1) **RV 减速器主要难点**在于大量高精度的零部件需要极高的加工精度与装配技术，以及设备资金投入的高门槛；2) **谐波减速器主要难点**在于选择合适的柔轮的材料、齿形与加工工艺以保证柔轮的使用寿命；3) **行星减速器主要难点**在于加工精度要求高。

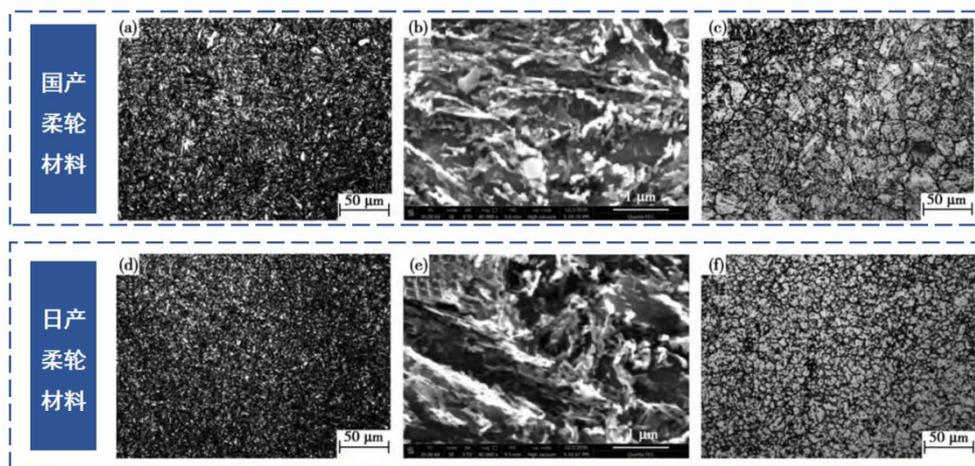
谐波减速器：柔轮材料与制造工艺是核心壁垒

谐波减速器主要是由波发生器、刚轮、柔轮三个基本构件组成，柔轮是谐波减速器中结构最复杂、最易受外力损坏及腐蚀磨损的部件，是谐波减速器的核心技术

壁垒。

1) **材料选择与热处理工艺壁垒**：柔轮材质直接影响谐波减速器的使用寿命，需要具有足够韧性、强度和高耐疲劳特性。较差的柔轮材料可能存在晶粒和铁氧体相的不合理，产生局部微裂纹和尺寸精度的变化，导致柔轮失效。目前，国内外的谐波减速器柔轮材料基本为 40Cr 合金钢，包括 40CrMoNiA、40CrA、30CrMoNiA、38Cr₂Mo₂VA 等中碳合金钢，其中前两种最为常用。龙头厂商哈默纳科的谐波减速器柔轮使用材料纯度高，组织晶粒精度等级高，洁净度较好，组织均匀，在疲劳寿命和稳定性方面较好。虽然国内厂商采用同样材料，但材料提纯技术和热处理工艺不够完善，材料杂质含量较高，材料卷气、夹杂严重，柔轮组织粗大，稳定性差，材料性能与国外仍有距离。

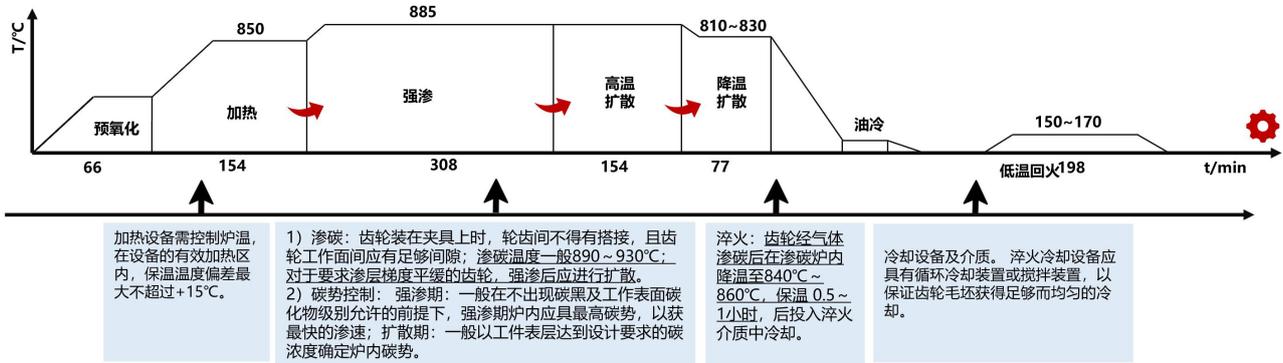
图22: 国产和日产谐波减速器柔轮组织比较



资料来源：《谐波减速器特殊钢材质柔轮的组织 and 力学性能分析》（张朝磊等，2018），国信证券经济研究所整理

热处理：热处理是高精度齿轮成型的核心环节之一，齿轮的抗接触疲劳强度、抗弯曲疲劳强度、心部韧性、表面硬度及耐磨性等都是热后齿轮的关键指标，直接影响齿轮使用寿命长短。热处理一方面可强化齿轮强硬度，提升其耐磨性，另一方面也可以降低后续工艺对精度的需求。热处理对于设备要求、工艺规范、温度把控等多个维度有较高的要求，同时热处理过程中的变形情况不容忽视，是引发齿轮尺寸发生改变、产生异常噪声的重要原因，甚至还会影响齿轮的使用寿命。总体来看，齿轮的热处理工艺如渗碳、高频淬火等会使齿轮变硬，但同时也会使材料变脆，合适的热处理工序需要保证齿面的硬度、齿轮的屈服抗拉强度、韧性、足够的精度，在多个方面进行平衡，具有较高的技术壁垒。

图23: 热处理工艺流程及相关核心要求



资料来源：《变速箱齿轮热处理与质量控制探讨》（杨小冈，2018），《8AT 大主减速器齿轮热处理与形变研究》（史秋月等，2019），公司公告，国信证券经济研究所整理

2) 设计壁垒：齿轮的齿形直接决定减速器的传动性能。哈默纳科的“S”齿形，在空载条件下基本实现连续接触，突破传统齿形只在负载条件下才实现多齿啮合的连续接触的状况，柔轮轮齿抗疲劳强度能力提升1倍，扭转刚度提高70%~100%。国内厂商在齿形设计方面也有一定进展。绿的谐波研发出低齿高大齿宽的P形齿，保证啮合量的同时减小啮合距离，柔轮径向变形量较小，延长柔轮寿命。来福谐波研发出一种δ齿形并申请了相关专利，使谐波减速器寿命及转矩容量均提高了30%以上。

图24: 谐波减速器主要齿形的特点及示意图

谐波减速器齿形	特点	示意图
S齿形	<ul style="list-style-type: none"> S齿形在空载条件下基本实现了连续接触，突破了传统齿形只有在负载条件下才能实现多齿啮合的连续接触的状况。 相比于渐开线齿形，在相同传动效率的情况下，同时参与啮合齿数加倍，齿根处的圆角半径增大，使轮齿的抗疲劳强度能力提升1倍，扭转刚度提高70%~100%。 相比双圆弧齿形，S齿形在凸齿廓共轭区的侧隙更小、更均匀，有利于合理分配齿间载荷，且齿顶高系数对S齿形的啮合侧隙影响很小，S齿形的啮合性能更优。 S齿形对柔轮的加工工艺要求非常高，生产过程很复杂，增加生产成本。 	
P齿形	<ul style="list-style-type: none"> P齿形的齿高较低，能承受更大的转矩；齿宽较大，降低了齿根断裂的风险；柔轮变形量较小，柔轮的疲劳寿命得到提高；20%~30%的齿同时参与啮合，齿面比压较小。 P齿形为获得更大的承载能力，齿高设计较低，同时也降低了传动精度。 	
δ齿形	<ul style="list-style-type: none"> δ齿形包括顶部曲线、过渡曲线、底部曲线，过渡曲线的弧顶向外凸出，底部曲线的弧顶向内凹陷，且顶部曲线、过渡曲线与底部曲线之间平滑连接。 δ齿形寿命提高超过30%，转矩容量提升超过30%，传动的平稳性得到显著提高。 	

资料来源：《圆柱杯型柔轮力学及振动特性分析与结构优化》（李良玉，2024），《谐波减速器研究现状及问题研究》（向珍琳等，2020），国信证券经济研究所整理

3) 加工壁垒：柔轮的加工工艺复杂，导致不同工艺处理下的产品性能相差大，具有较高的壁垒。柔轮属于薄壁构件，不同类型的柔轮筒体结构、齿形的迭代也使得加工工艺较为复杂，需要对热处理后的坯料开展粗车、半精车、精车、齿加

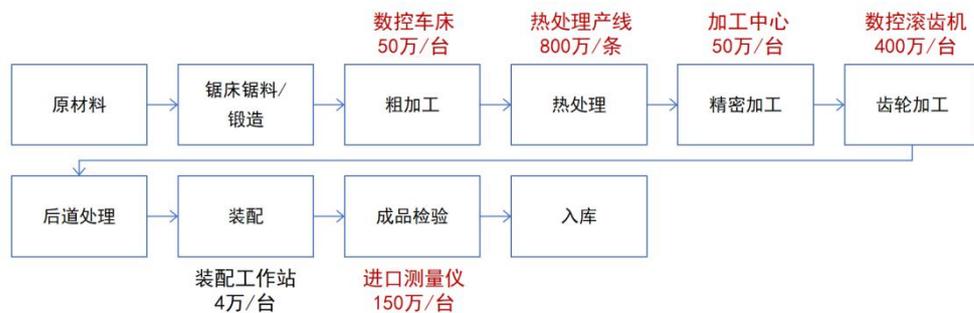
工、喷丸等加工工序。制齿工艺方面，目前日本哈默纳科运用先进的加工技术已经能够实现一分钟完成两个工件的齿形加工。尽管国内厂家开始追求高速滚齿、精密磨削、强力插齿等先进加工工艺，**但国内的制齿工艺效率不足国外的二分之一，受制于机床与刀具依赖进口、货期拉长等因素，柔轮加工工艺壁垒高。**

图25: 慢走丝、滚齿、插齿工艺对比

工艺	原理	特点	示意图
慢走丝	<ul style="list-style-type: none"> 慢走丝是利用连续移动的细金属丝作电极，对工件进行脉冲火花放电，产生6000度以上高温，蚀除金属、切割成工件的一种数控加工机床。 	<ul style="list-style-type: none"> 由于慢走丝线切割机是采用线电极连续供丝的方式，因此即使线电极发生损耗，也能连续予以补充，故能提高零件加工精度。多次切割技术是提高低速走丝电火花线切割加工精度及表面质量的根本手段。一般是通过一次切割成形，二次切割提高精度，三次以上切割提高表面质量。 	
滚齿	<ul style="list-style-type: none"> 滚齿工艺运用展成法原理用滚刀来加工齿轮，相当于一对交错螺旋齿轮啮合。 	<ul style="list-style-type: none"> 滚齿为连续切削，无空行程，所以滚齿生产率一般比插齿高。 	
插齿	<ul style="list-style-type: none"> 插齿是用插齿刀按展成法或成形法加工内、外齿轮或齿条等的齿面。 	<ul style="list-style-type: none"> 插齿的齿形精度比滚齿高，插齿后齿面的粗糙度比滚齿细，插齿的运动精度比滚齿差。 钢轮插齿工艺可以应对任何材料，包括钢材和球墨铸铁。此外，滚齿与插齿相较于慢走丝，在效率上提高了近10倍，在插齿工艺上还可添加附加装置，以此达到与慢走丝一样的精度。 	

资料来源：GGII，今日减速机，国信证券经济研究所整理

图26: 绿的谐波产品生产流程及使用设备情况



资料来源：绿的谐波招股说明书，国信证券经济研究所整理

行星减速器：加工精度要求高

精密行星减速器主要由太阳轮、行星轮、内齿圈三大核心部件构成，主要的技术难点也在于三大部件的生产加工。精密行星减速器对高精度的要求增加了生产制造难度。

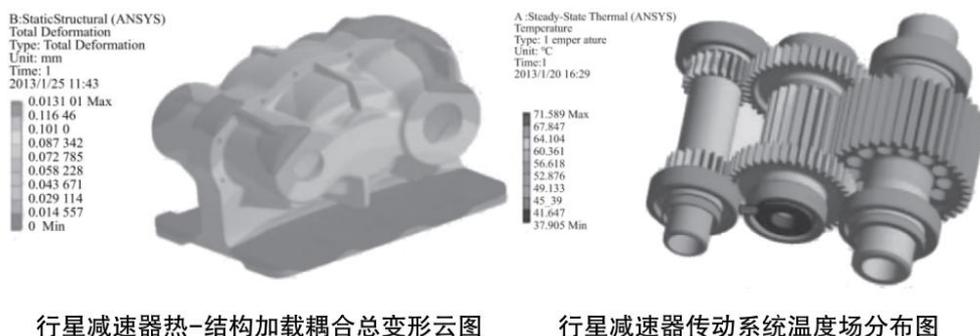
1) 设计壁垒：

- **动力学设计：**精密行星齿轮减速器精度要求高，在零件加工和装配中不可避免产生误差，结构设计和加工装配误差综合作用导致减速器可能出现振动等问题，严重时导致齿轮失效和整机损坏，需进行合理的动力学设计，进行动

态性能优化。

- **耦合分析：**精密行星减速器工作过程是流场、温度场、结构应力场等物理场复合作用的过程。高功率密度行星减速器体积小、热源较多、散热面积小，工作时产生大量热量，散热不足会导致减速器内温度升高，结构发生热变形。因此需考虑多物理场的耦合，如即流-固-热耦合、热-声-振耦合等。

图27：行星减速器耦合设计分析



行星减速器热-结构加载耦合总变形云图

行星减速器传动系统温度场分布图

资料来源：《高功率密度行星减速器设计的关键核心技术综述》（张建润等，2020），国信证券经济研究所整理

2) 加工工艺壁垒：

- **齿轮加工工艺：**需要将传统的普通精密车床升级为数控车床，采用专用高速数控干切滚齿机，并且配套研发高速系列干切滚齿刀具，从而优化工艺参数。
- **行星架加工工艺：**需要采用自动化组合加工机床及组合夹具，实现精加工。
- **内齿圈加工工艺：**齿圈的精度直接影响传动质量，薄壁齿圈零件加工工艺过程主要包括锻造毛坯→车削加工→调质→车削加工→插齿加工→渗氮热处理等多个步骤，较为繁琐，对精度要求较高。

图28：行星减速器专用高速数控干切滚齿机



资料来源：《机器人关节精密行星齿轮减速器关键生产工艺设计》（马巍等，2017），国信证券经济研究所整理

图29：行星减速器高速系列干切滚齿刀具



资料来源：《机器人关节精密行星齿轮减速器关键生产工艺设计》（马巍等，2017），国信证券经济研究所整理

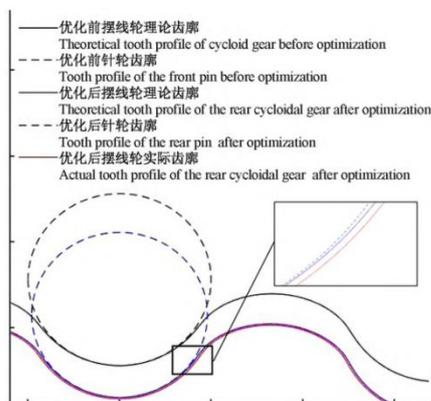
RV 减速器：结构复杂，加工精度与资金要求高

RV 减速器由高精度的元件组成，对材料科学、精密加工装备、加工精度、装配技术、高精度检测技术均提出了极高的要求，也存在显著的硬件设备门槛，尤其是高精度机床的投入。由于 RV 减速器本身由行星减速器和摆线针轮减速器组成，因此行星减速器的技术难点同样也是 RV 减速器的技术难点。同时，RV 减速器有两级传动，不同零部件的生产一致性和精度要求高。RV 减速器中，上一级 1 微米大小误差传导到下一级齿轮上可能会放大数十倍，经过多个机器人关节层层放大，最后误差可能被放大至几百倍，可能极大影响整体精度。此外，RV 减速器的精密加工设备费用高昂，且采购周期 1 年以上，具有明显的设备资金壁垒。

1) 设计壁垒：难点在于摆线轮齿廓和整体的公差分配设计。

- **齿廓设计**：摆线轮的齿廓是 RV 减速机的“核心线”，如果齿廓设计不准，工作中受力不均，齿轮磨损经过几百倍放大后，精度会受到较大影响。此外，还要考虑材料热变形弹性变形、齿轮啮合原理、齿轮传动位移、运动角度等多个影响精度的要素。同时，优化齿廓需要与理论齿廓的逼近程度较高，且留有满足润滑要求的齿侧间隙与径向间隙，设计门槛非常高。
- **公差分配设计**：RV 减速器的高精度特性对回差有较高要求，一般要求不超过 1 arcmin，而公差分配需要把 1 arcmin 的许用回差进行合理分配。然而，一台 RV 减速器有 20 多种零件，如行星架盖、主轴承、滚针轴承、行星底座、摆线轮、针齿壳、偏心轴等，多个零件均装配于同一针齿壳内，在啮合程度、体积大小等方面具有一定关联性，影响回差的因素众多，公差分配设计较难。因此，RV 减速器的零件公差设计是其研发过程中的一大难点，公差分配不当可能会导致传动精度达不到预期的要求。

图30: 优化前后的摆线轮齿廓设计



资料来源：《基于压力角的摆线针轮齿廓曲线优化方法》（李有堂和董浩楠，2024），国信证券经济研究所整理

图31: RV 减速器回差影响因素多



资料来源：《RV 减速器关键零部件公差设计方法研究》（曹代佳，2015），国信证券经济研究所整理

2) 加工工艺壁垒：国产减速器厂家的加工工艺始终和行业龙头存在一定差异。

RV 减速器对尺寸公差和位置精度要求非常高，摆线轮、曲柄轴、针齿壳为最难加工的工件，加工精度要求高。

- **曲柄轴**：曲柄轴承孔、外齿形加工难度高。曲柄轴承孔及中间工艺孔有孔径和位置度、垂直度等较高要求，对夹具的精度要求较高。
- **摆线轮**：制造精度要求达到微米级。摆线轮较薄且结构复杂，热处理后摆线轮轮端面极易翘曲变形，无法采用常规平面磨工艺加工两端面，需要对摆线轮的淬火过程进行热力学仿真分析并选取合适的磨削量，以有效控制热变形。

量。此外，在实际的RV减速器传动过程中，为了补偿制造误差便于装拆和保证良好的润滑，不允许摆线轮齿与针轮齿之间没有间隙。因此，实际的摆线轮不能采用标准齿形，均须用修形齿形。摆线针轮的**修形加工法（等距修形法、移距修形法和转角修形法）各有优劣，三种修形法也可组合使用（如负等距+负移距润滑效果好，降低对传动误差的影响；负等距+正移距可使啮合齿面接触应力分布均匀，受力状况明显改善）**，需要合理选取。

表7: RV 减速器曲柄轴与摆线轮加工工艺流程

序号	曲柄轴工序名称	曲柄轴工序描述	摆线轮工序名称	摆线轮工序描述
1	取料	根据尺寸选取适合的毛坯件	精密锻造	直接锻造成型并留一定的加工余量
2	粗车	粗车外圆及两端面	等温退火	消除残余应力、降低硬度，方便后续加工
3	粗磨	粗磨曲柄及主轴外圆	抛丸处理	清除锻造和退火加工留下的表面氧化层
4	粗滚	粗滚渐开线外花键	渗碳淬火	提高表面硬度、耐磨性和接触疲劳性能
5	粗车	根据偏心距粗车两曲柄	回火	消除内应力、减小变形、提高工件性能
6	淬火	渗碳淬火，深度为 0.9~1.2mm	粗磨	粗磨摆线轮两端面、齿廓曲面、中间及轴承孔
7	精滚	精滚渐开线外花键	精磨	精磨摆线轮两端面、齿廓曲面、中间及轴承孔
8	精磨	精磨主轴及两曲柄外圆	表面清理	清洗零件磨削残留的铁屑和磨削液
9	检验	检验加工精度	检验	检验加工精度
10	入库	入库保存	入库	入库保存

资料来源：《RV 减速器关键零部件工艺设计及综合性能测试》（付毅，2017），国信证券经济研究所整理

图32: RV 减速器摆线轮齿廓修形法

修形工艺	原理	示意图
等距修形	<ul style="list-style-type: none"> 在加工摆线轮时，将磨轮半径增大或减小，其余的加工条件不变，所得到的摆线轮修形齿廓与理论齿廓法线间隙是处处相同的，短幅系数也没有发生变化。 存在正等距修形和负等距修形两种工艺。 	
移距修形	<ul style="list-style-type: none"> 在加工摆线轮时，将磨轮向工作台中心靠近或远离，其余加工条件不变，所得到的摆线轮修形齿廓与理论齿廓法线间隙并不是处处相等的，且短幅系数也发生了变化。 存在正移距修形和负移距修形两种工艺。 	
转角修形	<ul style="list-style-type: none"> 在第一次磨出标准齿形后，将摆线轮转动一个微小的角度 δ，改变摆线轮在磨削时的初始位置，后用标准摆线轮齿加工方法对摆线轮进行二次加工。加工得到的摆线轮齿廓与理论齿廓之间侧隙均匀，但齿根与齿顶部分没有间隙，不能满足润滑要求以及弥补工艺误差，故不能单独使用。 	

资料来源：《RV 减速器摆线轮齿廓修形研究》（陈智龙，2019），CSDN，国信证券经济研究所整理

- **针齿壳：针齿壳的加工及装配精度要求高。**针齿壳两端的角接触球轴承支撑孔方面的尺寸精度、形位公差与表面粗糙度都必须满足一定的精度等级，滚针孔的加工需具备较高的精度。

表8: RV 减速器针齿壳加工工艺流程与关键要素

序号	工序	关键要素	加工工艺要求
1	精密铸造	测量工件, 符合坯件工序尺寸加工要求	预留加工余量 2~3mm
2	球化退火处理	使用温度-时间记录仪记录、检测, 满足保温时间及温度要求	铸件加热至共析温度附近(约 700~760°C), 保温 3~6h, 然后随炉冷至 600°C 出炉空冷
3	抛丸处理	按工序要求配制清洗液, 目测清洗效果	抛丸时间 10min
4	表面清洗处理	按工序要求配制清洗液, 控制清洗液温度及清洗液温度	80~100°C 热水冲洗, 清洗时间 30~40min
5	磷化处理	按工序要求配制磷化液, 控制磷化液温度及磷化时间, 检测磷化质量	磷化温度 85~90°C, 处理时间 30~40min
6	针齿壳粗加工	检测工件, 表面粗糙度控制在 Ra 3.2~1.6, 满足工序加工精度要求	加工中心镗铣留加工余量 0.5~0.3mm, 加工粗糙度 Ra3.2~1.6
7	淬火回火处理	使用温度-时间记录仪记录、检测, 满足保温时间及温度要求; 使用硬度仪检测工件硬度	加热至 840~950°C 保温 1~2h, 盐水中冷却至 400°C 并保温 2h, 随炉空冷
8	深冷稳定处理	使用温度-时间记录仪记录、检测, 满足保温时间及温度要求	在液氮中冷却至 -150°C 保温 6h
9	针齿壳精加工	检测工件, 表面粗糙度控制在 Ra 0.8~0.4, 满足工序加工精度要求	加工至粗糙度 Ra0.8~0.4
10	针齿壳检验, 成品入库	满足检验规程要求, 按保管规程存储	按图纸检测尺寸与形位公差, 登记入库

资料来源:《RV 减速器关键零部件工艺设计及综合性能测试》(付毅, 2017), 国信证券经济研究所整理

表9: 精密减速器技术壁垒

技术壁垒	谐波减速器	行星减速器	RV 减速器
材料选择壁垒	<ul style="list-style-type: none"> 柔轮材质直接影响谐波减速器使用寿命, 较差材料可能存在晶粒和铁氧体相的变化, 产生局部微裂纹和尺寸精度的变化, 导致柔轮失效。 虽然国内外的材料牌号一致, 但国内材料制造加工工艺、热处理工艺、材料提纯技术不完善, 材料杂质含量较高, 性能与国外仍有距离。 	<ul style="list-style-type: none"> 行星减速器的齿轮材料不合适可能导致零件过早磨损。 齿轮材料选择时应保持较高的弯曲疲劳强度和接触疲劳强度, 齿面应有足够的硬度和耐磨性, 芯部要具有一定的强度和韧性。不同材料存在不同的优劣, 需要合理选择。 	<ul style="list-style-type: none"> RV 减速器的材料直接影响到减速器性能、寿命和可靠性。 摆线轮材料选择时主要侧重于材料自身的淬透性及重载情况下的抗冲击特性, 常见材料为轴承钢 (GCr15) 及低碳合金钢 (CrMn、CrMo 合金), 需合理选择并进行热处理。
设计壁垒	<ul style="list-style-type: none"> 哈默纳科 S 齿形同时参与啮合齿数加倍, 齿根圆角半径增大, 抗疲劳强度能力提升 1 倍, 扭转刚度提高 70%~100%。 绿的谐波的低齿高大齿宽的 P 形齿保证齿的啮合量同时减小啮合距离, 使柔轮径向变形量较小, 延长柔轮寿命。 来福谐波 δ 齿形相关专利, 提升减速器的寿命及转矩容量 30% 以上。 	<ul style="list-style-type: none"> 动力学设计: 行星减速器传动结构复杂、精度要求高, 在零件加工和装配过程中不可避免产生误差, 结构设计有误差可能导致减速器可能出现振动等问题, 严重时导致齿轮失效和整机损坏。 耦合分析: 行星减速器运行是流场、温度场、结构应力场等物理场复合作用的过程, 需考虑多物理场的耦合作用。 	<ul style="list-style-type: none"> 齿廓设计: 摆线轮的齿廓是 RV 减速机的“核心线”, 设计门槛非常高。 公差分配设计: RV 减速器要求公差不过 1 arc min, 而需要对关键零部件实现公差合理分配。公差分配不当可能会导致传动精度达不到预期的要求, 是研发的一大难点。
加工工艺壁垒	<ul style="list-style-type: none"> 热处理工艺: 不同的热处理工艺导致粗加工精度下的应力残留、热处理表面外硬内软及加工余量不同, 造成露出部分不一样, 性能相差较大。 加工工艺: 目前哈默纳科已实现一分钟完成两个工件的齿形加工。国内目前仍采用慢走丝、滚齿、插齿等传统轮齿成形工艺, 效率不足国外一半。 	<ul style="list-style-type: none"> 齿轮加工工艺: 将传统的普通精密车床升级为数控车床, 采用专用高速数控干切滚齿机, 并且配套研发高速系列干切滚齿刀具, 从而优化工艺参数。 行星架加工工艺: 需采用自动化组合加工机床及组合夹具, 提高加工精度。 内齿圈加工工艺: 齿圈的精度直接影响传动质量, 薄壁齿圈零件加工工艺过程包括多个步骤, 较繁琐, 精度要求高。 	<ul style="list-style-type: none"> 摆线轮加工工艺: 制造精度要求达到微米级, 对设备、工艺和人员要求较高。摆线轮的不同修形加工法各有优劣, 需合理选取。 针齿壳: 针齿壳两端的角接触球轴承支撑孔方面的尺寸精度、形位公差与表面粗糙度都必须满足一定的精度等级, 滚针孔的加工精度需具备较高的加工精度。
设备资金壁垒	<ul style="list-style-type: none"> 高端精密加工设备依赖进口。谐波减速器生产企业的设备费用占整体投入 80% 左右, 生产谐波减速器需要 5000 万左右, 生产投入才能实现小批量生产, 设备交付期约 1 年。 	<ul style="list-style-type: none"> 行星减速器的精密加工和检测设备, 如数控磨齿机、数控插齿机、数控滚齿机、立式复合磨床、数控立式加工中心、数控立式镗铣加工中心、三坐标测量机等, 需从日本、德国、美国进口。 	<ul style="list-style-type: none"> 针齿壳和摆线轮的加工设备从欧洲进口, 单台均价超 1500 万, 国产机床在精度和工艺方面还无法满足要求。如智同科技仅完成了摆线轮理论初步设计和试制阶段就已投入 7000 万左右。设备采购周期在一年以上, 对资金储备有较高要求。

资料来源: 中大力德招股说明书, 高工机器人, 纽格尔官网, 直驱 CDDIA 公众号, 金属加工公众号, 齿轮传动公众号, 瞭望公众号, 《PEEK 基复合材料短筒谐波减速器的设计关键问题研究》(江宇, 2023), 《不同参数对谐波减速器柔轮动态特性的影响》(李奇, 2016), 《谐波减速器研究现状及问题研究》(向珍琳等, 2020), 《高功率密度行星减速器设计的关键核心技术综述》(张建润等, 2020), 《机器人关节精密行星齿轮减速器关键生产工艺设计》(马镛等, 2017), 《影响 RV 减速器传动精度的因素与控制》(王文涛和杨斌, 2018), 《RV 减速器针齿壳零件加工工艺设计与分析》(葛捷, 2018), 国信证券经济研究所整理

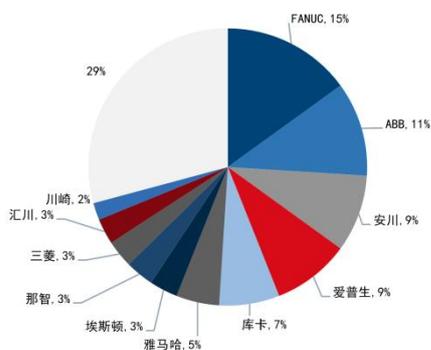
市场格局：当前日系仍为主导，国产减速器替代进程加速

总结：凭借技术专利以及在工业机器人的应用带来的先发优势，外资品牌如哈默纳科（谐波减速器全球份额 80%+）、纳博特斯克（RV 减速器全球份额 60%+）目前主导精密减速器市场，国内厂商虽起步相对晚，但已逐步具备一定规模和技术实力，与国际头部厂商差距逐渐缩小，后续在主机厂降本诉求+自身品质提升+合作响应高效的三重奏下，国产替代趋势逐渐明晰；当下减速器行业两大趋势持续演进，1) 横向（负载谱系拓展+迭代产品性能）：①开拓不同负载等性能指标的减速器产品；②升级当下减速器指标性能；③推进新型减速器产品创新（新材料、新结构）；2) 纵向（机电一体化）：将减速器与电机、编码器、制动器、传感器等组合，提供高附加值模块化产品，打开半导体、光学、测量等下游市场。机电一体化供货有望成为未来的趋势。

格局梳理：先发优势下外资品牌主导减速器市场

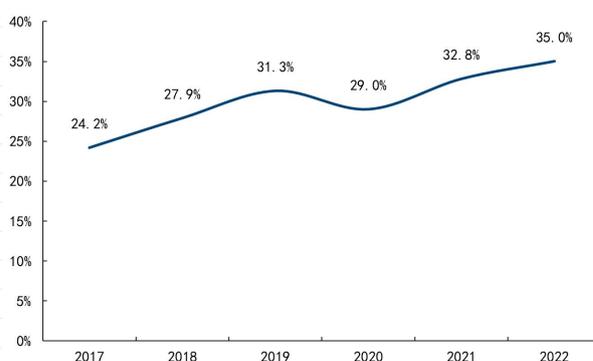
四大家族占据工业机器人半壁江山，国产厂商不断缩小差距。2020 年我国新装工业机器人全球占比 43.8%；外资工业机器人品牌起步早，在技术、规模方面具较强优势，在我国长期维持 60%以上市占率，其中以 ABB、发那科、库卡及安川为代表的四大家族厂商标额约 5 成。近几年受物流、疫情、缺芯影响，外资货期延长+产品涨价，内资在本土供应链、货期、价格等方面逐渐掌握一定优势，且在产品质量、定制方面与一线品牌差距逐渐缩小。国产工业机器人龙头以埃斯顿、汇川等为代表，已具备一定规模和技术实力。国内工业机器人对本土供应链的庞大需求驱动内资减速器品牌发展。

图33：我国工业机器人出货量市场竞争格局



资料来源：中商情报网，国信证券经济研究所整理

图34：中国工业机器人本体销量国产品牌份额



资料来源：GGII，中商情报网，国信证券经济研究所整理

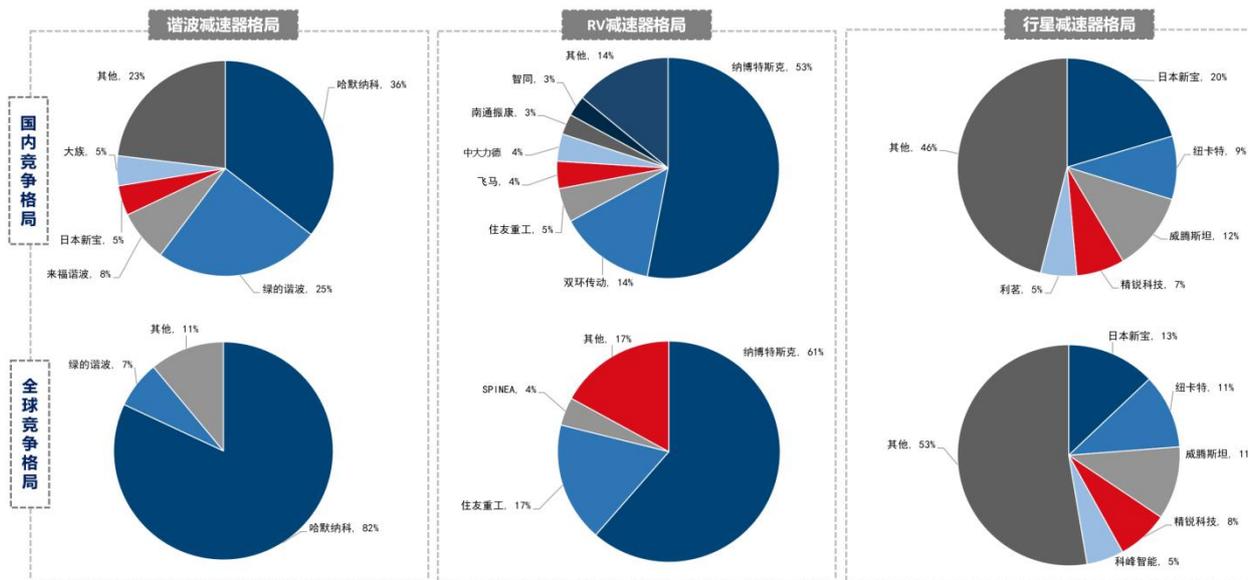
减速器市场当下主要由日系等外资品牌主导。精密减速器作为技术密集型行业，材料、设计、加工工艺、加工设备等方面均存在较高技术壁垒，因此先进者具备先发优势。得益于在工业机器人领域的领先优势，德日等外资品牌主导精密减速器市场，外资品牌如日系龙头哈默纳科、纳博特斯克分别占据谐波减速器、RV 减速器市场 60%以上的市场份额，两者产品定位高端，品牌效应明显，与下游客户厂商深度绑定。

- **谐波减速器方面**，凭借技术专利、工业机器人的领先带来的先发优势，日系龙头哈默纳科垄断谐波减速器市场，全球份额超 80%，国产玩家绿的谐波全

球市占率不足 7%左右，国内市场来看，哈默纳科市占率约 36%，第二名为国产谐波减速器的龙头绿的谐波（占比 25%），其他玩家如日本新宝、来福谐波份额均不足 10%。

- **行星减速器方面**，德日等品牌行星减速器在材料、设计、质量控制、精度、可靠性和寿命等方面领先，国内厂商则聚焦于中低端领域，高端减速器领域外资厂商依然占主要份额。全球格局来看，日本新宝份额 13%，纽卡特 11%，威腾斯坦 11%。国内份额来看，日本新宝份额 20%，纽卡特份额 9%，威腾斯坦份额 12%。
- **RV 减速器方面**，国内 RV 减速器企业起步较晚，当前本土 RV 减速器品牌主要仍聚焦在本土机器人品牌的中低端和中低负载产品系列。RV 减速器市场集中度较高，全球 CR10 超 83%，纳博特斯克份额为 61%，住友重工份额 17%。国内竞争格局与全球类似，纳博特斯克市占率 53%，其次是双环传动，市场份额为 14%，是我国本土龙头企业；住友占比 5%，飞马占比 4%，中大力德占比 4%，南通振康占比 3%，智同占比 3%。

图35: 减速器国内与全球竞争格局



资料来源: GGII, QY Research, 科峰智能招股说明书, 观研天下, 国信证券经济研究所整理

趋势演绎：国产厂商不断缩小差距

近年国产减速器厂商已具备一定规模和技术实力，国产替代趋势明显。我国减速器行业起步慢，但内资品牌不断实现技术突破，随着国内制造业智能化、自动化转型升级加快，工业机器人市场规模不断扩大，带动精密减速器行业市场需求持续增长，国内减速器玩家配合下游需求持续扩充产能，逐渐开始切入下游客户，内资份额开始明显提升。据 GGII，目前我国超 100 家本土企业涉足精密减速器生产，企业数量逐渐增多，且技术和研发实力逐步提升，部分厂商已实现量产并逐步推向市场，精密减速器的国产替代进程逐步体现效果。2013-2023 年，国内减速器行业实现一定的技术和品牌积累。

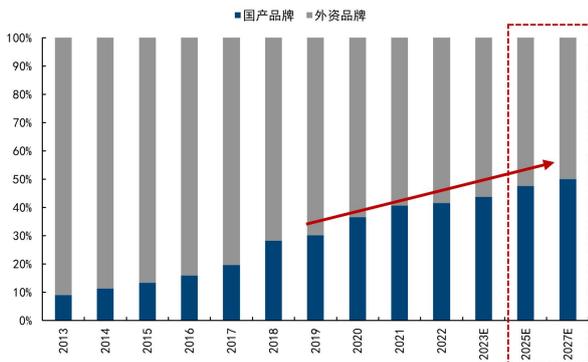
图36: 国内减速器行业历史沿革 (2013-2023年)



资料来源: GGII, 国信证券经济研究所整理

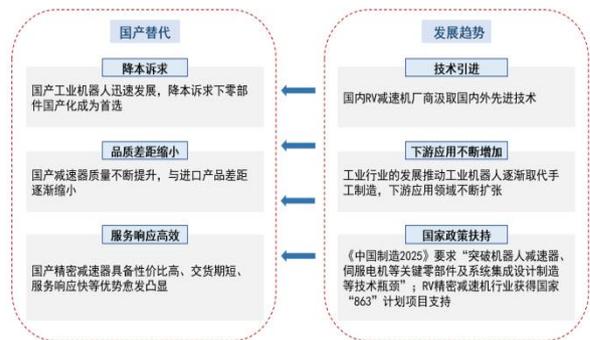
工业机器人三大环节中伺服系统、控制器目前国产化程度已较高, 国产减速机也得到一定规模应用, 如埃斯顿工业机器人产品核心部件自主使用率超80%。我们认为未来减速机实现国产替代是必然趋势, 将在降本诉求+品质提升+响应高效的三重驱动下逐渐兑现: 1) 降本: 降本诉求下零部件国产化成为首选; 2) 品质: 经国内多年科技创新及技术经验积累, 国产减速机质量不断提升, 与进口产品差距逐渐缩小; 3) 响应: 工业机器人需求增长的背景下, 对减速机厂商服务响应的要求提升, 国产减速机的高性价比、短交货期、快速响应服务等优势愈发凸显。

图37: 2013-2027年中国工业机器人减速器市场份额分布



资料来源: GGII, 国信证券经济研究所整理

图38: 品质、响应及降本驱动国产替代



资料来源: GGII, 前瞻产业研究院, 国信证券经济研究所整理

我国现阶段机器人精密减速器制造与国际头部厂商差距逐渐缩小, 国产替代有望进一步突破市场份额。

- **核心指标方面**, 国际品牌产品在传动精度、保持高精度的使用寿命、产品一致性等方面具备领先优势, 但国产品牌与国际品牌的差距正在缩小, 国产高端精密减速器在部分领域实现了进口替代, 未来将向高精度、轻量化、高功率密度、模块化、集成化、智能化方向发展。

表10: 国内外品牌同型号谐波减速器、RV 减速器技术指标对比

减速器类型	公司	产品型号	减速比	最小齿隙	传动精度	额定扭矩
谐波减速器	哈默纳科（日本）	CSG-32	50-160	5 arc sec	1 arc min	99-178Nm
	双环传动	SHXB 32	50-100	10 arc sec	1 arc min	76-137Nm
	绿的谐波	LHS-32	30-160	10 arc sec	1 arc min	51-130Nm
RV 减速器	纳博特斯克（日本）	RV-20E	57-161	1 arc min	1 arc min	167Nm
	双环传动	SHPR-20E	57-161	1 arc min	1 arc min	167Nm
	中大力德	E 系列 150-20E	41-161	1 arc min	1 arc min	196Nm

资料来源：各公司产品手册，国信证券经济研究所整理

- **谐波减速器方面，国产谐波减速器替代相对明显。当下国内谐波减速器市场虽仍由日系主导，但内资品牌市场份额逐步提升。**GGII 统计数据显示，目前中国市场超 100 家本土企业涉足精密减速器的生产，谐波减速器企业超 50 家。绿的谐波是国产谐波减速器的龙头企业，目前国内份额 25%，国内其他厂商份额也逐渐提升，如来福、大族、同川等，外资龙头品牌哈默纳科整体份额有所下降。在价格方面，国产厂商价格低于日系厂商。例如，在质量、型号相差不大的情况下，绿的谐波（1500 元左右）谐波减速器产品售价一般比哈默纳科同类型产品（3000-4000 元左右）低 50%。
- **RV 减速器方面，从竞争格局来看，2021-2023 年纳博特斯克的国内市场份额明显降低，国内双环传动、珠海飞马、智同科技、中大力德等厂商的市场份额逐渐提升，国产 RV 减速器的替代进程加速。**

图39: 国内工业机器人用谐波与 RV 减速器市场格局情况



资料来源：GGII，国信证券经济研究所整理

国内进展：技术持续突破，中高端+多品类推进

国内减速器厂商技术持续突破，开始向中高端减速器市场进发。近年，国内减速器企业取得了显著进步和发展，不仅在产品布局方面日臻完善，同时市场占有率上也实现显著提升，逐渐向日系厂商垄断的中高端市场推进。

表11: 国内减速器主要玩家相关信息梳理

公司	市值	营收	归母	研发投入	减速器相关业务收入	产品	减速器进展
双环传动	181	81	8	4	6	RV、谐波等	<ul style="list-style-type: none"> ● RV 减速器: 具 SHPR-C 和 SHPR-E 两大系列, 国产 RV 减速器市占率连续第一。中小负载机器人用新一代高功重比 RV 减速机规模量产; 中大负载机器人 (50Kg-210Kg 负载) 用 RV 减速机取得关键性突破。RV 减速器年化产能 10 万台左右。 ● 谐波减速器: 已有 6 年积累, 供应链端、技术端的共通性加速谐波减速器产品迭代过程, 已形成多型号产品的批量供货。
中大力德	39	11	0.7	0.7	2	行星、RV、谐波	<ul style="list-style-type: none"> ● 从 2008 年开始研发减速器, 具备减速器、电机、驱动器三位一体能力, 主要减速器产品覆盖谐波、行星、RV 减速器。目前已掌握 RV 减速器生产加工所需的工艺、组合和装配技术, 核心技术主要包括整体结构式角接触轴承摆线减速器技术、摆线轮摆线齿修形数学模型及工艺技术、摆线减速器摆线片工艺技术、RV 减速器与弧锥齿轮的组合与装配技术等。
秦川机床	69	38	0.5	2	-	RV 等	<ul style="list-style-type: none"> ● 突破 RV 减速器关键零件的瓶颈工序及核心工艺装备, 形成完善的检测、试验、验证设施等, 主要技术指标均达到国际同行业先进水平; 机器人关节减速器有 5 大系列、40 种规格、140 多种速比, 是国内规格最全、系列最多、满足 5-1000KG 负载匹配全系列工业机器人关节减速器产品的供应商, 机器人关节减速器实现 N 系列 6 个规格的定型销售, 产品谱系更趋完整, 突破 N 系列减速器关键设计和制造技术, 实现小批销售。
绿的谐波	108	4	0.8	0.5	3	谐波	<ul style="list-style-type: none"> ● 国内谐波减速器龙头, 核心团队从事精密传动领域超 20 年, 产品寿命、传动误差、传动效率、噪声等关键性能指标已达行业前列。2021 年国内市占率 24.7%, 同时持续研发新一代机电一体化产品, 丰富、优化产品结构。2023 年完成年产 50 万台精密减速器的扩产项目的土建及设备采购, 在国内率先实现谐波减速器的工业化生产和规模化应用, 打破国际垄断。 ● 在谐波减速器结构设计、齿形研究、啮合原理、传动精度、疲劳寿命、振动噪声抑制、精密加工等方面持续研发投入。
科达利	220	105	12	6	-	谐波	<ul style="list-style-type: none"> ● 国内最大的动力电池精密结构件供应商之一。2024 年公司投资设立深圳科盟公司进入减速器行业, 透过各方的资源投入有助于提升综合效益, 以合资方式成立新公司进行深度的合作, 进一步扩大整体的经营效益。
精锻科技	34	21	2	1	-	行星	<ul style="list-style-type: none"> ● 机器人减速器的研发工作进行中, 在研机器人关节行星减速器, 目前正与客户讨论应用场景, 确认设计的边界设计, 以建立设计试验规范。 ● 公司也在与国内外的设备供应商在探讨新的工艺和装备。2023 年已在进行样品开发和内部试验验证, 以积累设计和试验的经验数据。公司已成立项目团队负责该业务, 根据客户和市场需求同步进行技术研发和产能规划落实。
丰立智能	41	2	0.1	0.2	1	谐波、行星	<ul style="list-style-type: none"> ● 起家于小模数螺旋锥齿轮, 业务逐步拓展到微型精密减速器 (行星减速器、谐波减速器等) 等。大力布局以钢齿轮为主线延伸到用于机器人行业的精密减速器产品, IPO 募投项目已于 23H2 进入安装调试阶段, 2024 年将全力进行产能爬坡。 ● 公司成功研发多种类常规型号产品以及用于机器人的超薄款谐波减速器, 用于灵巧手的直锥齿轮等产品。公司对谐波减速器新厂区空间预留四条产线, 每条产线年产约 3.5 万台设置。公司 23 年谐波减速器产线达成, 常规型号全部研发完成, 目前进入小批量生产中, 已与人形机器人、协作及工业机器人等部分客户合作, 并产生少量营业额。
来福谐波	未上市	2	-	-	1.5	谐波	<ul style="list-style-type: none"> ● 具有低温升、低启动扭矩、高可靠性、高精度、高扭矩、高寿命、大速比、小体积等特性。产品批量运用在工业机器人、服务机器人、医疗器械、高精度自动化设备等领域。公司自主研发伺服电机编码器、驱动器。

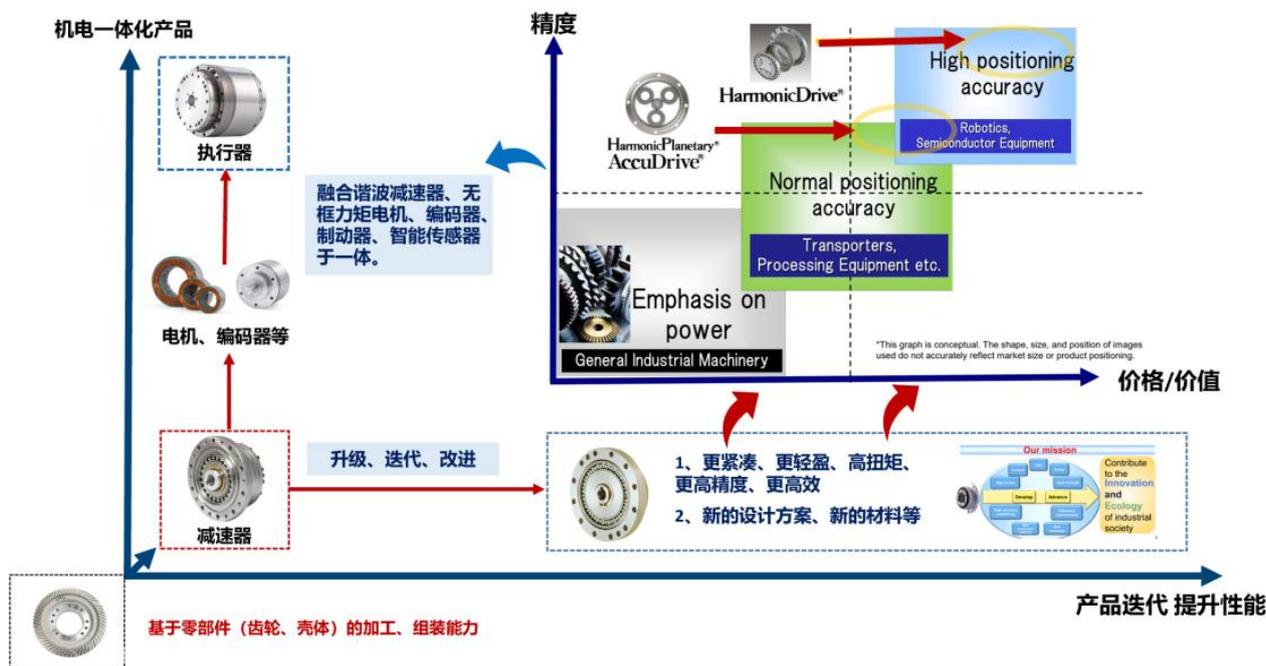
资料来源: wind, 各公司官网, 高工机器人, 各公司公告, 国信证券经济研究所整理 注: 市值数据截至 2024 年 9 月 13 日, 市值、营收、归母、研发投入、减速器收入均为 2023 年数值, 单位为亿元人民币

后续升级方向: 横 (谱系拓展)、纵 (机电一体化) 并举

我们认为, 减速器是执行器中较高附加值、较高供货壁垒的环节, 具备减速器能力的供应玩家将在执行器中占据重要地位, 减速器具备两大潜在的行业演进方向: 升级和延展。

- **横向 (负载谱系拓展+迭代产品性能)**: ①继续开拓不同负载等性能指标的减速器产品; ②升级当下减速器指标性能 (扭矩、精度、效率、体积、重量等); ③推进新型减速器产品创新 (新材料、新结构), 以及布局高精度减速器在更多领域的应用探索。
- **纵向 (机电一体化)**: 国内外领跑企业纷纷开发一体化模块。国际谐波减速器厂商提出“整体运动控制”, 国内龙头品牌绿的谐波、双环传动也在推进机电一体化布局, 将谐波减速器与电机、编码器、制动器、传感器等组合, 提供高附加值模块化产品, 打开半导体、光学、测量等下游市场。机电一体化供货有望成为未来的趋势。

图40: 减速器行业的演进方向梳理



资料来源: GGII, 哈默纳科, 绿的谐波公告, 双环传动公告, 国信证券经济研究所整理

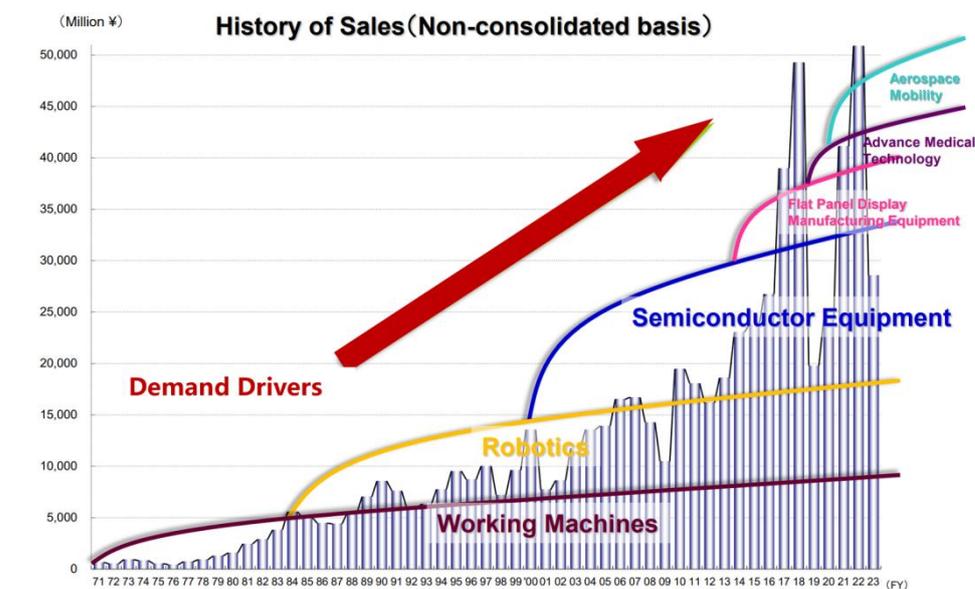
空间测算：人形机器人有望催生全新增量空间

小结：当前，精密减速器主要在机器人、高端机床等高端制造领域得到普遍应用。精密减速器已经被应用于主流人形机器人的旋转关节中，但技术路径尚未收敛，主要采用谐波减速器+行星减速器的方案。随着人形机器人和大模型等技术的持续突破，我们对人形机器人用精密减速器的市场空间进行了测算。经测算，我们预计中性情形下，2030年全球人形机器人用谐波减速器市场空间175.7亿元，行星减速器25.8亿元，合计约201.5亿元，年复合增长率212%，可见人形机器人的兴起为减速器注入新的强心剂，催生精密减速器庞大增量需求。

市场规模：精密减速器应用领域不断升级

精密减速器下游终端场景主要包括机器人、新能源设备、高端机床、医疗器械、半导体设备、电子设备、印刷机械等高端制造领域。以绿的谐波为例，绿的谐波减速器下游细分应用占比较大的为多关节机器人(36.2%)、协作机器人(32.41%)、高端数控机床(7.5%)；哈默纳科减速器需求的拉动力按时间顺序主要为机床、工业机器人、半导体设备、平板显示器制造设备、高端医疗、航空航天等，随着谐波减速器技术的发展，其应用领域也在不断拓展。

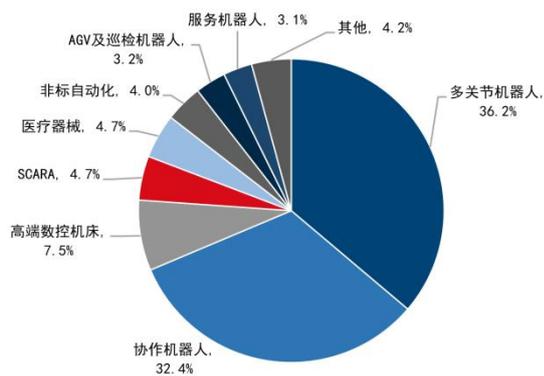
图41: 哈默纳科减速器需求驱动变化



资料来源: GGI I, 哈默纳科公告, 国信证券经济研究所整理

谐波减速器方面，谐波减速器在传动领域广泛适用，应用行业正不断拓宽至高端数控机床、半导体制造设备、医疗器械等领域。我国从 20 世纪 60 年代就开始谐波方面研制工作，目前国内国内主要生产家有绿的谐波、来福谐波等；在人形机器人领域，**由于谐波减速器体积小、质量轻、传动比高，在人形机器人中通常被用于小臂、腕部或手部等末端轴位置等轻负载部位**；据中商产业研究院，2022 年我国谐波减速器市场规模约 21 亿元，2023 年增至 24.9 亿元，2024 年市场规模将达 29.4 亿元，2025 年市场规模有望超过 33 亿元。

图42: 绿的谐波减速器下游应用场景分布



资料来源: 中商产业研究院, 国信证券经济研究所整理

图43: 我国谐波减速器市场规模（亿元）

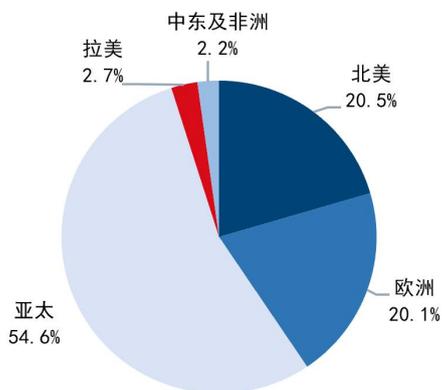


资料来源: 中商产业研究院, 国信证券经济研究所整理

行星减速器方面，近年我国机械设备制造业规模发展迅速，带动机械传动领域减速器行业规模扩张。行星减速器下游行业主要为移动机器人、新能源设备、高端机床、电子设备、智能交通等高端装备制造业。在一般传动领域，我国减速器已基本实现国产化，但高端精密行星减速器国产化率低。据 QY Research，2022 年全球行星减速器销量 540 万台，销售金额 12 亿美元，行星减速器市场的主要供应商集中在美国、欧洲和日本等地。这些地区的厂商拥有先进的技术和品牌优势，

同时也在不断推出新产品和新技术。2022 年中国减速器销量为 231.9 万台，销售金额 5 亿美元。预计 2029 年全球行星减速器规模将达 22.3 亿美元，中国市场规模将达 11.5 亿美元。

图44: 全球行星减速器市场区域分布



资料来源: QY Research, 科峰智能招股说明书, 国信证券经济研究所整理

图45: 全球及中国行星减速器销售金额 (单位: 百万美元)



资料来源: QY Research, 科峰智能招股说明书, 国信证券经济研究所整理

方案选择: 谐波+行星为主流减速器技术路径

目前, 减速器已经被应用于人形机器人的旋转关节中, 但技术路径尚未收敛。我们总结了特斯拉、智元、宇树、傅利叶、优必选的人形机器人减速器方案, 发现各厂商基于不同减速器的特征、成本等因素的考量, 采用不同的减速器方案。综合来看, 大部分主流厂商在人形机器人中使用谐波减速器+行星减速器的技术方案。而RV减速器由于成本较高、体积较大, 暂无主流人形机器人厂商披露使用。

图46: 主流人形机器人自由度及减速器情况

厂商及型号	特斯拉Optimus	智元A1	宇树G1 EDU	傅利叶GR-1	优必选Walker X
总自由度	40	49+	43	44	41
减速器	谐波 (预计)	谐波、行星	行星	谐波、行星	谐波、行星
头/颈部自由度	-	未披露	-	3	3
腰部自由度	2	未披露	1+2	3	-
腿部自由度	6*2	未披露	6*2	6*2	6*2
手臂自由度	7*2	未披露	5*2	7*2	7*2
灵巧手自由度	6*2	17	7*2+2*2	6*2	6*2

资料来源: 各公司官网, 国信证券经济研究所整理

■ 特斯拉 Optimus 机器人全身 14 个旋转关节均采用谐波减速器, 手部 12 个自

由度采用行星齿轮箱。根据特斯拉 AI Day 发布会，Optimus 机器人的旋转执行模组主要在手臂、腿、躯干和颈部等部位，对应采用 14 个谐波减速器，主要分为 20Nm/0.55kg、110Nm/1.62kg、180Nm/2.26kg 三种。在手部，Optimus 采用行星齿轮箱。

图47: 特斯拉 Optimus 机器人减速器方案



资料来源：特斯拉 AI day，国信证券经济研究所整理

- 智元远征 A1 机器人采用谐波一体关节，以及自研带行星减速器的关节电机，2024 年 8 月对关节电机进行了优化迭代。智元在 2023 年 8 月推出 A1 人形机器人时就采用了谐波一体关节+自研的关节电机 PowerFlow。PowerFlow 使用准直驱关节方案实现低齿槽转矩设计，搭配 10 速比以内的高力矩透明度行星减速器、共轴同轴双编码器一体液冷循环散热系统，以及自研的矢量控制驱动器。2024 年 8 月 18 日，智元远征系列发布了面向交互服务场景的 A2、面向柔性智造场景的 A2-W 和面向重载特种场景的 A2-Max 三款人形机器人。A2 全身 40+个自由度，采用高可靠、轻量化、超高槽满率绕线工艺的量产自研一体化关节，最高峰值扭矩 430Nm，电机扭矩密度 50Nm/kg，动态性能佳，关节可靠支持长时间稳定行走。同时，智元对关节电机 PowerFlow 进行了迭代优化，在可靠性和稳定性方面针对量产开展了大量优化和测试。

图48: 智元自研 PowerFlow 关节模组

系列	8513	8523	15022
最大外径 (mm)	89	112	164
轴向长度 (mm)	48.4	71.1	60.4
重量 (kg)	0.9	1.61	3.2
额定扭矩 (Nm)	48	96	270
峰值扭矩 (Nm)	91	182	512
峰值扭矩 (rpm)	120	115	98
防护等级	IP5X	IP5X	IP5X

资料来源：智元新品发布会，国信证券经济研究所整理

- 宇树人形机器人主要采用行星减速器。2023 年 8 月 15 日，宇树正式发布首款通用型人形机器人 H1。2024 年 5 月 13 日，宇树发布了最新一代人形机器人——Unitree G1 人形智能体，售价 9.9 万元起，拥有超大关节运动空间角度，23-43 个关节自由度，力控灵巧手。G1 人形机器人有 G1 和 G1 EDU 两种型号，

后者提供不同模块方案的搭配，在算力、自由度（共 43 个）、承载能力、手臂负载重量、关节运动空间等方面较优。此外，宇树自研自产 G1 的关节模组，共有 3 种类别，带双编码器的行星减速器关节模组最大瞬时扭矩 140Nm。

图49: 宇树科技自研关节模组产品矩阵（行星减速器）

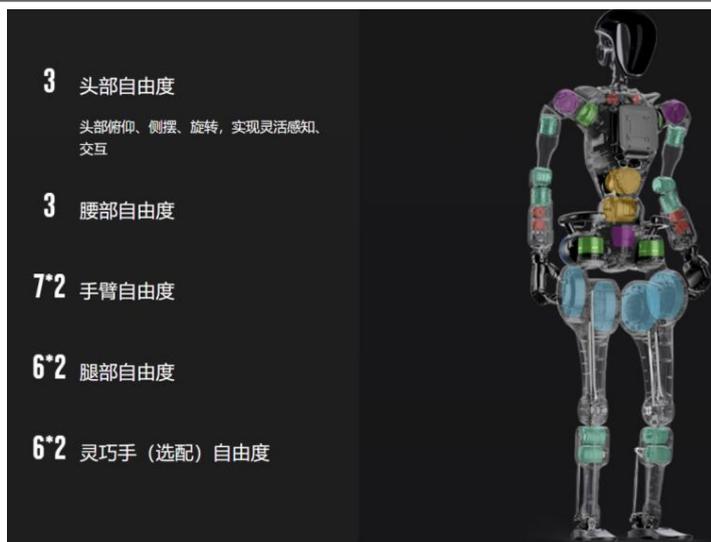


型号	A1电机	G0-M8010-6	超级机器人防水关节 B1-16
重量	605g	530g	1740g
最大瞬时扭矩	33.5N.m	23.7N.m	140N.m
最大关节转速	21rad/s	30rad/s（24V供电时）	-
扭矩常数	0.9287N.m/A	0.63895Nm/A	2.165N.m/A

资料来源：宇树科技官网，国信证券经济研究所整理

- 傅利叶人形机器人采用谐波+行星减速器方案。**傅利叶通用型人形机器人 GR-1 拥有高度仿生的躯干构型和拟人化的运动控制，全身最多达 44 个自由度，最大关节峰值扭矩达 230Nm，具备快速行走，敏捷避障，稳健下坡，抗冲击干扰等运动功能，是通用人工智能的理想载体。内置 32 个全自研 FSA 高性能一体化执行器（集成电机、驱动器、减速器及编码器），最大峰值扭矩达 230Nm，高动态响应能力，实现高难动作力度和精度的精准控制。可模拟人类不同运动方式，实现转头、扭腰、和抓取、跑步、跳跃等拟人化运动。与非网预计 32 个执行器为头部、腰部、手臂和腿部，上半身选择使用谐波减速器，下半身髋关节则采用行星减速器。

图50: 傅利叶 GR-1 机器人



资料来源：傅利叶机器人产品手册，国信证券经济研究所整理

- **优必选人形机器人主要采用谐波减速器，同时自研谐波+行星减速器。**优必选 Walker 具有 36 个高性能伺服关节，采用精密谐波减速器，伸展状态单臂能够实现负载 1.5kg。Walker X 和 Walker S 具有 41 个高性能伺服关节，分别能够达到最大转矩 200Nm、300Nm，最大转速 90rpm、130rpm。优必选自研的伺服驱动器集成了高密度无框力矩电机、双位置编码器、行星/谐波减速器和高性能处理控制器，形成一体化，可以满足高功率密度、大扭矩输出的需求。目前支持最大扭矩 $\geq 200\text{Nm}$ ，具有高集成度、高性价比、高同步性、高精度、低虚位、抗冲击能力强、高寿命、低噪音的优点。

图51：优必选 Walker S 系列机器人



资料来源：优必选官网，国信证券经济研究所整理

空间测算：预计下全球人形机器人减速器中期规模约 200 亿元

随着人形机器人和大模型等技术的持续突破，我们预计人形机器人的逐步放量将为精密减速器带来广阔的增量需求。我们测算人形机器人关节用精密减速器的市场空间，假设如下：

1、**需求假设：**根据特斯拉财报电话会信息，预计特斯拉 Optimus 2025 年销量为千台级别，主要用于特斯拉自身工厂，26 年逐步对外销售，预计后续人形机器人需求有望提速，假设中性预测下 2030 年全球人形机器人需求为百万台级别；其他机器人玩家比如 Figure、智元、宇树、傅里叶等玩家也将陆续放量。

2、**配套假设：**目前单台特斯拉 Optimus 需 14 个旋转关节，对应 14 台减速器需求，假设皆为谐波方案；其他主机厂假设单台机器人需 35 个减速器，但部分国内机器人方案选择行星减速器，设置当前谐波减速器与行星减速器在传统方案里占比为 5:5，后续谐波减速器在传动方案中的渗透率逐步提升，升至 6:4。

3、**单价假设：**参考绿的谐波、科峰智能公告及行业信息，假设人形机器人用谐波减速器单价为 2000 元，行星减速器单价为 1000 元，并以年度 10% 速率降本。

根据以上假设，我们测算得到：**乐观情形下**，2030 年全球人形机器人用谐波减速器预计市场空间 269.4 亿元，行星减速器 39.6 亿元，合计约 309 亿元，2025-2030 年复合增长率 221%。**中性情形下**，2030 年全球人形机器人用谐波减速器预计市场空间 175.7 亿元，行星减速器 25.8 亿元，合计约 201.5 亿元，2025-2030 年复合增长率 212%。**悲观情形下**，2030 年全球人形机器人用谐波减速器预计市场空间 82 亿元，行星减速器 12.1 亿元，合计约 94.1 亿元，2025-2030 年复合增长率 204%。综上，在中性预期下，2030 年全球人形机器人的放量能够为精密减速器带来市场规模约 200 亿元，可见人形机器人的兴起为减速器注入新的强心剂，催生精密减

速器庞大增量需求。

表12: 全球人形机器人关节用减速器市场空间测算

	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E	25-30 CAGR
乐观							
全球人形机器人需求量(万台)-特斯拉	0.20	1.1	5.0	20.0	55.0	115.0	
全球人形机器人需求量(万台)-其他厂商	0.07	0.4	1.7	6.7	18.3	38.3	
全球人形机器人需求量(万台)-合计	0.27	1.5	6.7	26.7	73.3	153.3	256%
中性							
全球人形机器人需求量(万台)-特斯拉	0.15	0.7	3.0	12.0	35.0	75.0	
全球人形机器人需求量(万台)-其他厂商	0.05	0.2	1.0	4.0	11.7	25.0	
全球人形机器人需求量(万台)-合计	0.20	0.9	4.0	16.0	46.7	100.0	247%
悲观							
全球人形机器人需求量(万台)-特斯拉	0.08	0.2	0.9	3.5	12.0	35.0	
全球人形机器人需求量(万台)-其他厂商	0.03	0.1	0.3	1.2	4.0	11.7	
全球人形机器人需求量(万台)-合计	0.11	0.3	1.2	4.7	16.0	46.7	237%
减速器数量(单台机器人-关节)							
	Optimus-减速器	14	14	14	14	14	
	其他厂商-减速器	35	35	35	35	35	
减速器结构渗透率							
量&价假设	Optimus-谐波减速器	100%	100%	100%	100%	100%	
	其他厂商-谐波减速器	50%	50%	50%	50%	50%	
	其他厂商-行星减速器	50%	50%	50%	50%	50%	
减速器单价(万元)							
	谐波减速器	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13	-10%
	行星减速器	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	-10%
乐观情景	减速器需求量(万台)-谐波减速器	4.0	21.8	99.2	396.7	1090.8	256%
	减速器需求量(万台)-行星减速器	1.2	6.4	29.2	116.7	320.8	256%
	减速器市场规模(亿元)-谐波减速器	0.8	3.9	16.1	57.8	143.1	221%
	减速器市场规模(亿元)-行星减速器	0.1	0.6	2.4	8.5	21.0	221%
中性情景	减速器需求量(万台)-谐波减速器	3.0	13.9	59.5	238.0	694.2	247%
	减速器需求量(万台)-行星减速器	0.9	4.1	17.5	70.0	204.2	247%
	减速器市场规模(亿元)-谐波减速器	0.6	2.5	9.6	34.7	91.1	212%
	减速器市场规模(亿元)-行星减速器	0.1	0.4	1.4	5.1	13.4	212%
悲观情景	减速器需求量(万台)-谐波减速器	1.6	4.4	17.9	69.4	238.0	237%
	减速器需求量(万台)-行星减速器	0.5	1.3	5.3	20.4	70.0	237%
	减速器市场规模(亿元)-谐波减速器	0.3	0.8	2.9	10.1	31.2	204%
	减速器市场规模(亿元)-行星减速器	0.0	0.1	0.4	1.5	4.6	204%

资料来源: GGII, 头豹产业研究院, 绿的谐波公告, 科峰智能招股说明书, 国信证券经济研究所整理和预测

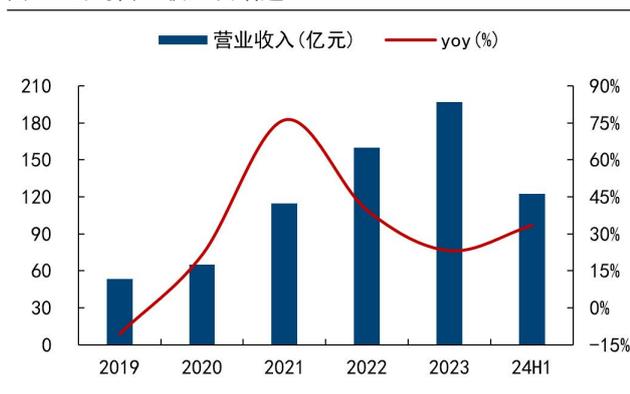
投资建议：推荐车与机器人协同的零部件

车端和机器人部分零部件生产、制造等环节共通性高，看好产业升级机遇，看好人形机器人进展带来的投资机会。部分人形机器人零部件与汽车零部件在原材料、设计、工艺、设备及成本管控、质量要求上具有一定相通性，二者往往具备相似的底层制造逻辑，带来相关零部件（电机、减速器、传感器、丝杠等）从汽车向人形机器人领域的产业升级机遇；后续在大厂入局（特斯拉+英伟达等）、技术迭代、政策催化的加持下，人形机器人产业后续有望迎来“新能源汽车时刻”。我们看好在技术升级迭代下，人形机器人持续发展，看好机器人量产后带来的潜在供应链零部件的需求和投资机会，推荐人形机器人潜在总成供应商三花智控、拓普集团，减速器领域玩家公司双环传动、精锻科技等。

■ 拓普集团

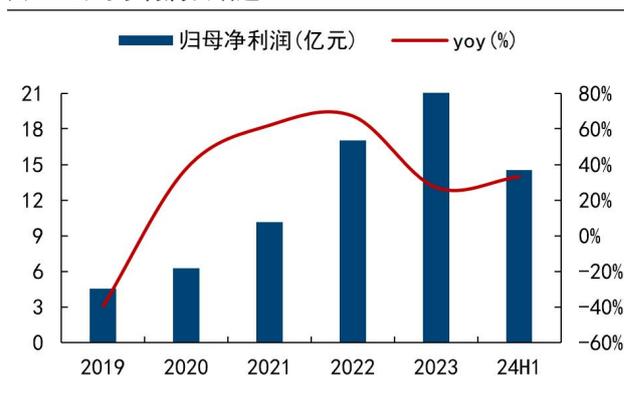
汽配板块较稀缺的模块化供应商。拓普集团是围绕汽车底盘打造平台化产品体系的供应商，产品包括减震、内饰、底盘系统、热管理、汽车电子等，客户涵盖全球主流主机厂。拓普集团 24H1 营收 122.3 亿元，同比+33%；单季度来看，营收 65.4 亿，同比+39%，环比+15%，营收环比+8.5 亿元，预计主要系问界、小米、理想、比亚迪及吉利等客户贡献；24H1 拓普实现归母净利润 14.5 亿元，同比+33%。

图52：公司营业收入及增速



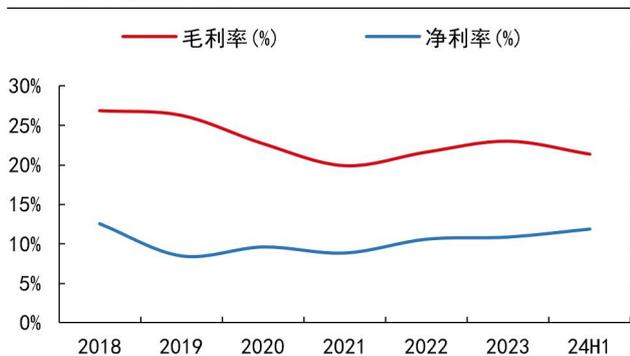
资料来源：公司公告、Wind、国信证券经济研究所整理

图53：公司净利润及增速



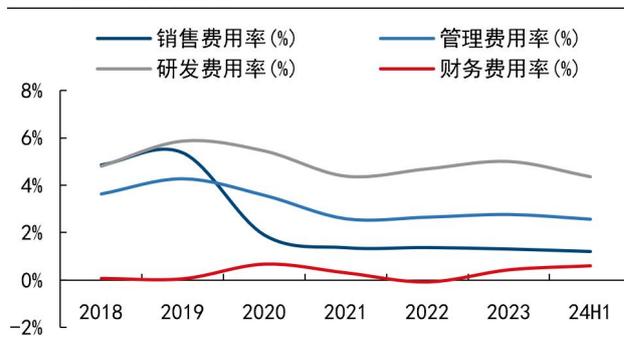
资料来源：公司公告、Wind、国信证券经济研究所整理

图54：公司毛利率和净利率



资料来源：公司公告、Wind、国信证券经济研究所整理

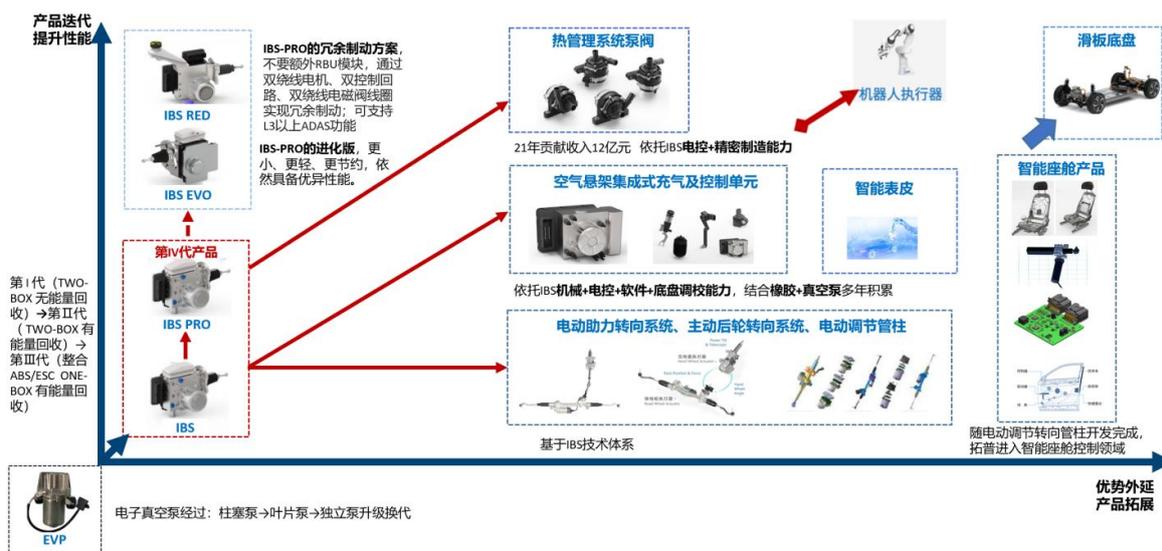
图55：年度四费费用率



资料来源：公司公告、Wind、国信证券经济研究所整理

产品系延展：九大产品构筑平台化供应体系。拓普深度锚定电动智能增量市场，九大产品（单车配套价值可达3万元）有望逐级增厚业绩，催化自身定位向平台化系统级供应商重塑与升级：减震、内饰业务（第一阶）稳定增利（22年前三季度营收占比超5成）支持公司新品研发拓展；轻量化底盘及热管理（第二阶）系拓普核心资产，是当下业绩增长的关键支撑；另外基于电控、软件、精密制造等能力延伸的IBS、EPS、空悬、座舱、机器人执行器等（第三阶）板块推进顺利，构筑未来增长新势能。

图56：拓普集团产品拓展图谱



资料来源：公司官网，公司公告，国信证券经济研究所整理

客户突破：优质客户结构保障业绩成长确定性。绑定客户的能力是汽零供应商最核心的能力之一。拓普初期绑定上海通用积累合作和同步研发经验，2017-2019年自主品牌客户逐渐上量（2019年吉利收入占比超30%）；后续依托平台化供货+及时响应+正向开发等优势，客户结构持续取得关键突破，形成新能源品牌（特斯拉、新势力、赛里斯、小米、Rivian等）+自主品牌（比亚迪、吉利等）的优质、稳固的客户矩阵，叠加Tier0.5级模式引领产业分工新变革下的合作深化，拓普业绩增长具确定性。

制造升级：产能扩张与智能制造并举提振盈利能力。产能量（响应）与质（品质）共振：1）产能扩张：围绕产业集群，在宁波（前湾2600亩，最重要产地）、重庆、武汉等地扩产；波兰、墨西哥工厂辐射欧洲及北美客户；2）智能制造：推进数字化建设及MES管理系统，实现质控+产品追溯+精益生产+设备管理等多维把控。随全球范围产能爬坡催化边际成本持续下行及智能制造的效应逐步兑现，拓普有望持续释放经营杠杆，提升盈利能力。

优质客户的深度绑定以及新产品的陆续量产带来中长期业绩确定性。纵观2024全年，车端为拓普基本盘，公司平台化战略+Tier0.5模式持续推进，24年核心看点在于北美客户、华为、理想、吉利、比亚迪以及小米等优质客户放量，叠加新产品等持续落地：拓普空悬目前获8个定点项目，于23Q4陆续量产；线控制动实现6个项目定点并正式量产下线；电调管柱已定点9个项目；智慧电动门系统也逐步量产，同时热管理工厂覆盖中国、欧洲及美洲，总产能超400万套/年；另外公司执行器业务持续推进，24H1年电驱系统业务实现营收627万元，毛利率52.3%，进展顺利。

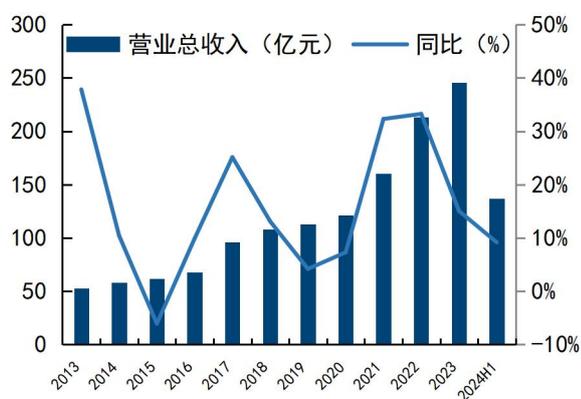
风险提示：原材料成本上涨；终端需求不振；产品研发及客户拓展不及预期。

特斯拉产业链核心标的，维持“优于大市”评级。持续看好公司平台化战略推进带来的业绩成长性，预计 24/25/26 年公司归母净利润分别为 29.5/38.8/47.9 亿元，EPS 为 1.75/2.30/2.84 元，维持“优于大市”评级。

■ 三花智控

三花智控以热泵技术和热管理系统产品研发应用为核心，从机械部品开发向电子控制集成的系统控制技术解决方案升级，成立至今专注于热管理产品零部件及组件，横向产品品类扩展（阀、泵、散热器、组件等），纵向行业扩展（家电、商用制冷、汽车、储能等）。三花智控 2024H1 实现营业收入 136.8 亿元，同比增长 9.2%，实现归母净利润 15.1 亿元，同比增长 8.6%，实现扣非归母净利润 15.3 亿元，同比增长 4.1%。

图57: 公司营业收入及增速 (亿元, %)



资料来源: 公司公告, 国信证券经济研究所整理

图58: 公司归母净利润及增速 (亿元, %)



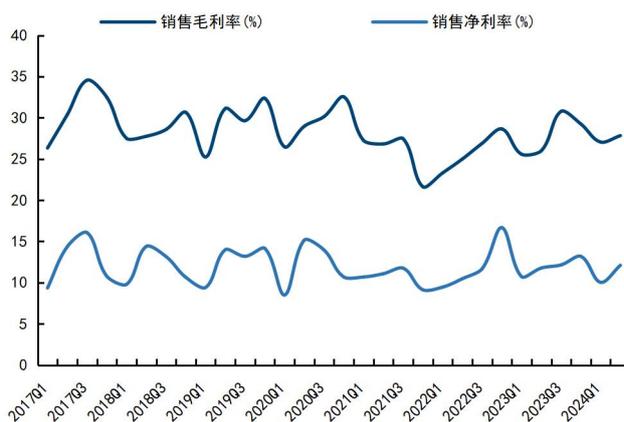
资料来源: 公司公告, 国信证券经济研究所整理

图59: 公司毛利率及净利率 (%)



资料来源: 公司公告, 国信证券经济研究所整理

图60: 公司单季度毛利率及净利率



资料来源: 公司公告, 国信证券经济研究所整理

热管理行业大赛道、好格局，抓住新能源增量机遇，公司从部件龙头成长为行业龙头。新能源汽车热管理行业单车价值量 6500 元左右，相较于燃油车提升 2 倍（主要增量为电池侧以及系统更加复杂），公司把握核心零部件，提升集成组件产品比例，目前单车配套价值量可达 5000 元以上。汽车热管理行业集中度高，预计全球乘用车热管理市

场空间约为 1800 亿元，呈现增长趋势，传统国际龙头电装、法雷奥、翰昂、马勒四家企业占据 50%以上的份额。国内企业发力新能源车增量市场，三花智控在车用电子膨胀阀、新能源车热管理集成组件产品市占率全球第一，公司伴随新能源核心客户的快速发展、集成组件收入占比提升，打造行业全球龙头。

图61：三花汽零主要产品布局



资料来源：三花控股官方微信公众号，国信证券经济研究所整理

开拓储能、机器人等业务，技术具有同源性，布局新的增长点。车用动力电池和储能电池在温控技术方面同源，储能业务公司 2023 年上半年突破行业标杆客户，已实现营收。机器人方面，公司重点聚焦仿生机器人机电执行器业务（运动控制核心环节，工业机器人中成本占比 70%左右）。机电执行器业务在电机控制技术方面与公司现有产品具备同源性，公司已组建 50 人的机电执行器产品研发团队，并与绿的谐波签署战略合作框架协议。公司未来三年预计将招募在电机、传动、电控、传感器等领域的专业人才，将研发团队扩充至 150 人，预计机电执行器产品总团队规模在 300 人以上。公司已与多个客户建立合作，并积极筹划海外生产布局，具备先发优势。

投资智能变频控制器、机器人伺服电机控制器、域控制器项目，开拓新增长点。2024 年 1 月公司签订《三花智控未来产业中心项目投资协议书》，计划总投资不低于 50 亿元，项目包括 1) 公司控股子公司先途电子智能变频控制器项目，2) 三花智控机器人伺服机电执行器项目、热管理域控制器项目。以上布局有利于公司从机械部品开发向电子控制集成的系统控制技术解决方案开发升级，并向变频控制技术与系统集成升级方向延伸发展，有望成为潜在增长点。

风险提示：新能源汽车销量不及预期、原材料价格上涨、技术风险、政策风险、客户拓展风险、汇率风险等。

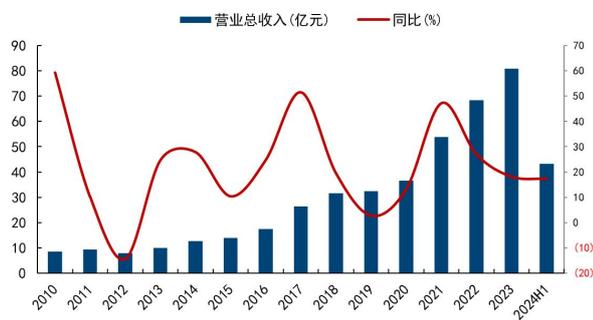
投资建议：维持盈利预测，维持“优于大市”评级。预测公司 2024-2026 年归母净利润为 35.38/43.02/50.95 亿元，每股收益 0.95/1.15/1.37 元，维持“优于大市”评级。

■ 双环传动

深耕传动部件四十载，专精齿轮研发与制造。双环传动创立至今 40 余年持续专注于机械传动，当下在国内纯电汽车大功率市场占据 70%+份额，我们认为双环当下已实现两轮“蜕变”：第一轮是齿轮外包趋势带来第三方供应商的订单机遇，第二轮是新能源车爆发催生大量齿轮需求+大幅提升制造壁垒，**双环依托产能前瞻布局+批量供货能力锁定主机厂订单并达成深度合作，持续巩固市场地位**；我们认为当下双环传动面临第三轮成长机遇，即①出海：技术与产品出口打开成长天花板

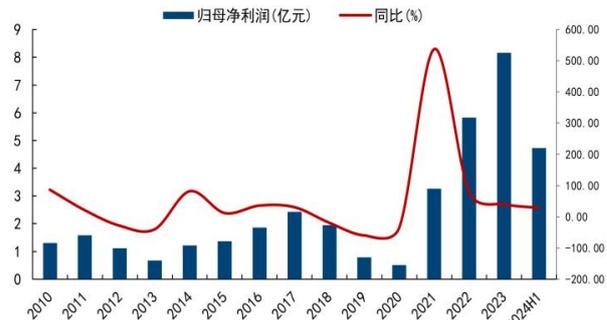
板；与②平台：打造齿轮领域平台化供应体系，品类持续延展开辟新增长曲线。

图62：公司营业收入及增速



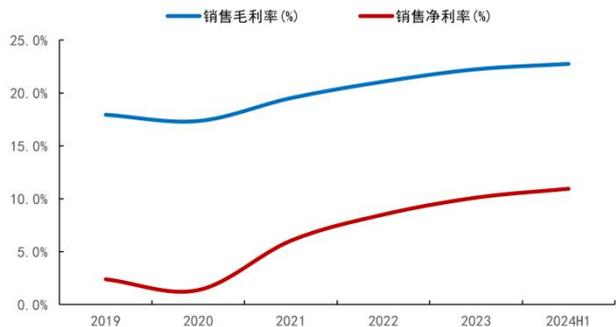
资料来源：公司公告、Wind、国信证券经济研究所整理

图63：公司净利润及增速



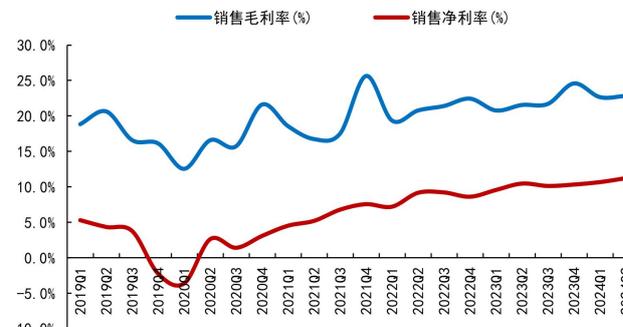
资料来源：公司公告、Wind、国信证券经济研究所整理

图64：公司毛利率和净利率



资料来源：公司公告、Wind、国信证券经济研究所整理

图65：公司单季度毛利率和净利率



资料来源：公司公告、Wind、国信证券经济研究所整理

内核：高精齿轮工艺生产 Know how 为核，车与机器人双环共振。新能源车减速器齿轮较传统车齿轮对啮合精度、噪音控制、刚度寿命等标准要求提升，叠加齿轮外包趋势演进，催化新能源车用齿轮迎来行业升级、需求放量与格局重塑的机遇。双环战略眼光超前，具极限制造+一致性出货+正向开发能力，客户与订单持续突破（国内大功率新能源车齿轮市占率 70%+）；商用车方面有望充分受益于国内重卡 AMT 渗透率提升；机器人：公司 RV 减速器打破日欧品牌垄断格局。后续随下游工业自动化需求提升，公司减速器业务有望持续放量；同时谐波减速器多型号产品已批量供货并获客户认可，后续有望逐步车+机器人有望实现共振增长。

图66: 双环传动产品矩阵



资料来源：公司官网、公司公告、国信证券经济研究所整理

展望：全球化战略推进与品类矩阵延展打开增长空间。当下双环适逢第三轮升级机遇，即①出海：全球化战略推进，海外建厂与客户突破并举，后续有望承接国内增长打开远期空间；②平台化：我们认为双环的核心优势在于产品（一致性+性能）、管理（降本增效）、研发（技术与开发能力）三大维度，构筑车端齿轮+机器人减速机+工程机械齿轮等产品加持的平台化供应体系，保障增长动力，后续依托于此优势有望持续延展品系开辟新增长曲线。

催化：降本增效与智能制造推进，盈利能力有望持续提升。前期高资本开支压制利润释放，后随订单陆续量产，公司产能利用率逐步提升改善利润率；后续叠加持续的技术升级、工艺优化、管理提升等降本增效方式推进（齿轮原材料成本占比约50%，给予降本增效空间），公司盈利能力有望逐步提升。

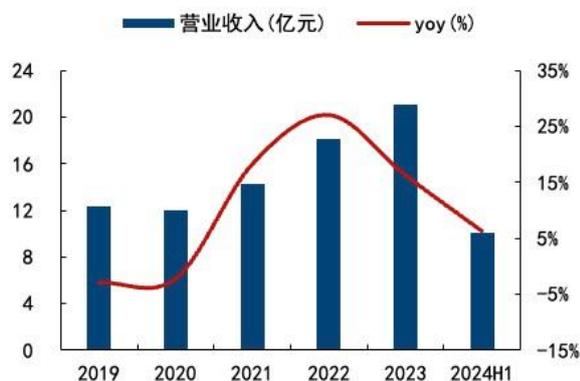
风险提示：汽车销量不及预期、行业竞争加剧、产品研发不及预期风险。

投资建议：国内高精齿轮专家，维持“优于大市”评级。看好双环出海打开长期成长空间及产品线开拓带来的业绩增量，预计24/25/26年归母净利润10.5/13.5/16.2亿元，对应EPS为1.22/1.59/1.90元，维持“优于大市”评级。

■ 精锻科技

定位：国内乘用车精锻齿轮细分赛道龙头。公司系国内乘用车精锻齿轮龙头（精锻齿轮全国市占率超40%），在精锻技术及客户积累加持下打造出“锥齿轮+结合齿+差速器总成+轴类件+其他”的配套矩阵。

图67: 精锻科技营业收入（亿元）及增速（%）



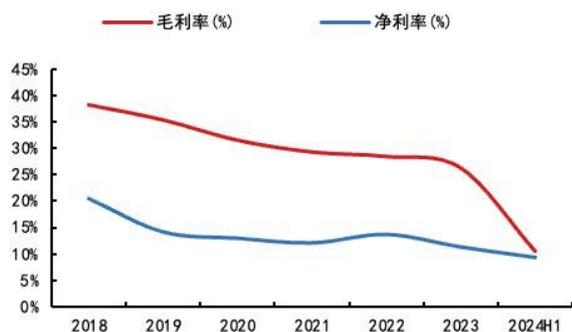
资料来源：公司公告、Wind、国信证券经济研究所整理

图68: 精锻科技净利润（亿元）及增速（%）



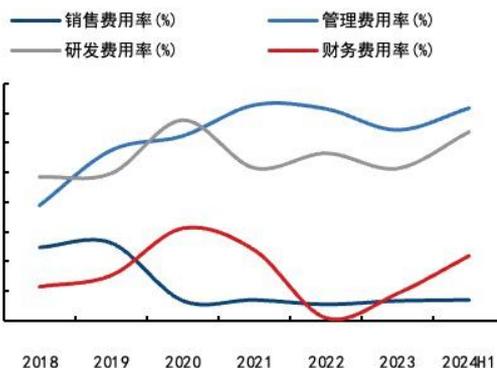
资料来源：公司公告、Wind、国信证券经济研究所整理

图69: 精锻科技毛利率和净利率（%）



资料来源：公司公告、Wind、国信证券经济研究所整理

图70: 精锻科技年度四费费用率（%）

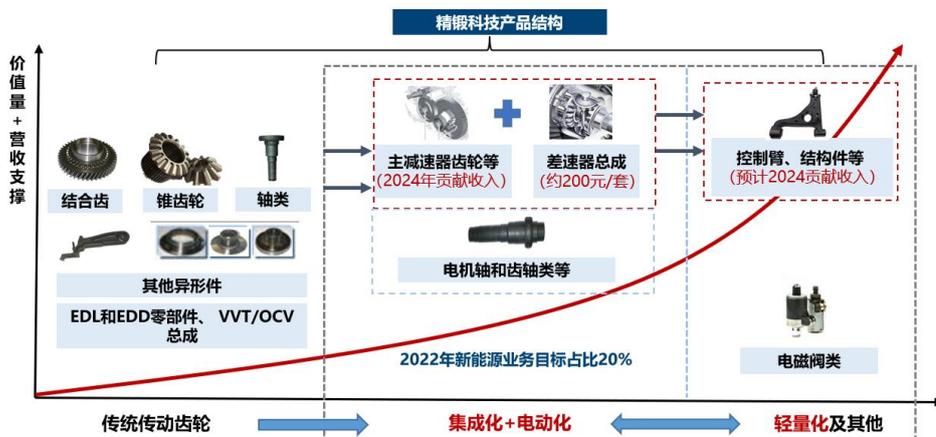


资料来源：公司公告、Wind、国信证券经济研究所整理

行业：电动车爆发驱动产业升级、重塑与放量。新能源车以减速器+差速器的传动结构替代传统汽车变速器+差速器的结构，单套减速器平均搭载 2-3 颗齿轮，燃油车变速器平均配套 10-20 颗齿轮不等，差速器总成二者皆需（平均 4 颗齿轮，齿轮价值约 200 元）；在 1）量增：双电机、混动车型的渗透下单车搭载数量上探及 2）价升：啮合精度、噪音控制等标准升级下单颗价值量提升的双重催化下，车用齿轮行业有望迎来升级、需求放量与格局重塑的机遇，估测得 2025 年国内/全球新能源车用齿轮空间分别为 138/296 亿元。

品系：切入减速器领域，产品矩阵总成化与多元化并举。公司以锻造工艺、模具制造等底层技术为基础，横向拓展产品矩阵（减速器齿轮+轻量化）实现配套产品向总成化和多元化推进。后续随产品矩阵逐渐完备（主减速器齿轮预计 24 年增收；轻量化预计 24 年增收；差速器总成产能积极扩建），公司有望不断开拓新客户、新市场，提升竞争力和市占率，打造全新增长曲线。

图71：精锻科技产品拓展路径



资料来源：精锻科技公告，汽车维修技术网，太平洋汽车网，国信证券经济研究所整理

客户：大众为基，持续获取海内外新能源车企定点。0→1：早期绑定大众（占比3成）等车企及零部件 Tier1，受益于燃油车的时代红利；1→N：新能源车持续放量，精锻凭技术+产品积累，斩获自主车企、新势力、全球电动车大客户等车企定点；公司有望进入电动化时代的业绩上行通道。

风险提示：汽车销量不及预期、行业竞争加剧、产品研发不及预期风险。

投资建议：持续看好精锻客户持续放量带来的业绩增量，预计 2024-2026 归母净利润为 2.6/3.3/4.1 亿元，EPS 为 0.54/0.68/0.84 元，维持“优于大市”评级。

表13：重点公司估值表

公司代码	公司名称	投资评级	2024/9/25 收盘 (元)	总市值 (亿元)	2023A	2024E	2025E	2023A	2024E	2025E
601689.SH	拓普集团	优于大市	37.57	633	1.28	1.75	2.30	29	21	16
002050.SZ	三花智控	优于大市	18.71	698	0.78	0.95	1.15	24	20	16
002472.SZ	双环传动	优于大市	21.81	184	0.96	1.22	1.59	23	18	14
300258.SZ	精锻科技	优于大市	7.40	36	0.49	0.54	0.68	15	14	11

资料来源：wind，国信证券经济研究所整理和预测

风险提示

行业进展不及预期，技术发展不及预期。

免责声明

分析师声明

作者保证报告所采用的数据均来自合规渠道；分析逻辑基于作者的职业理解，通过合理判断并得出结论，力求独立、客观、公正，结论不受任何第三方的授意或影响；作者在过去、现在或未来未就其研究报告所提供的具体建议或所表述的意见直接或间接收取任何报酬，特此声明。

国信证券投资评级

投资评级标准	类别	级别	说明
报告中投资建议所涉及的评级（如有）分为股票评级和行业评级（另有说明的除外）。评级标准为报告发布日后6到12个月内的相对市场表现，也即报告发布日后的6到12个月内公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。A股市场以沪深300指数（000300.SH）作为基准；新三板市场以三板成指（899001.CSI）为基准；香港市场以恒生指数（HSI.HI）作为基准；美国市场以标普500指数（SPX.GI）或纳斯达克指数（IXIC.GI）为基准。	股票 投资评级	优于大市	股价表现优于市场代表性指数10%以上
		中性	股价表现介于市场代表性指数±10%之间
		弱于大市	股价表现弱于市场代表性指数10%以上
		无评级	股价与市场代表性指数相比无明确观点
	行业 投资评级	优于大市	行业指数表现优于市场代表性指数10%以上
		中性	行业指数表现介于市场代表性指数±10%之间
		弱于大市	行业指数表现弱于市场代表性指数10%以上

重要声明

本报告由国信证券股份有限公司（已具备中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）制作；报告版权归国信证券股份有限公司（以下简称“我公司”）所有。本报告仅供我公司客户使用，本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式使用、复制或传播。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，一切须以我公司向客户发布的本报告完整版本为准。

本报告基于已公开的资料或信息撰写，但我公司不保证该资料及信息的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映我公司于本报告公开发布当日的判断，在不同时期，我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。我公司不保证本报告所含信息及资料处于最新状态；我公司可能随时补充、更新和修订有关信息及资料，投资者应当自行关注相关更新和修订内容。我公司或关联机构可能会持有本报告中所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或争取提供投资银行、财务顾问或金融产品等相关服务。本公司的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中所提及的意见或建议不一致的投资决策。

本报告仅供参考之用，不构成出售或购买证券或其他投资标的的要约或邀请。在任何情况下，本报告中的信息和意见均不构成对任何个人的投资建议。任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。投资者应结合自己的投资目标和财务状况自行判断是否采用本报告所载内容和信息并自行承担风险，我公司及雇员对投资者使用本报告及其内容而造成的一切后果不承担任何法律责任。

证券投资咨询业务的说明

本公司具备中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。证券投资咨询，是指从事证券投资咨询业务的机构及其投资咨询人员以下列形式为证券投资人或者客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或者间接有偿咨询服务的活动：接受投资人或者客户委托，提供证券投资咨询服务；举办有关证券投资咨询的讲座、报告会、分析会等；在报刊上发表证券投资咨询的文章、评论、报告，以及通过电台、电视台等公众传播媒体提供证券投资咨询服务；通过电话、传真、电脑网络等电信设备系统，提供证券投资咨询服务；中国证监会认定的其他形式。

发布证券研究报告是证券投资咨询业务的一种基本形式，指证券公司、证券投资咨询机构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，并向客户发布的行为。

国信证券经济研究所

深圳

深圳市福田区福华一路 125 号国信金融大厦 36 层
邮编：518046 总机：0755-82130833

上海

上海浦东民生路 1199 弄证大五道口广场 1 号楼 12 层
邮编：200135

北京

北京西城区金融大街兴盛街 6 号国信证券 9 层
邮编：100032