

人形机器人系列之五

旋转关节核心零部件，谐波减速器或迎百亿新蓝海

- 机器人“关节”，通过错齿运动实现低速高扭矩输出。**谐波减速器由波发生器、柔轮和钢轮组成。按机械波数量分类，可分为单波/双波/三波传动，目前最常用的为双波传动，柔轮与钢轮的齿数差为 2，当波发生器转一圈后，柔轮才向转动的反方向后退两个齿。谐波减速器具有体积小、重量轻、传动比大、承载力高、传动精度高、传动效率高等优势，广泛应用于机器人、数控机床、光伏设备、医疗器械、半导体设备、航空航天等其他领域，其中机器人为最大的应用市场，在关节传动系统中起到降低输出转速、增大输出扭矩作用，帮助机器人提升抓取精度，提高承载力量。
- 技术密集型行业，多环节存难点。**谐波减速器的失效主要由柔轮的疲劳断裂和柔性轴承的损坏引起，二者在工作中均会产生弹性形变。从各零部件材料、工艺等方面分析如下：
 - 柔轮：1) 材料：含杂质材料影响疲劳性能。**柔轮材料多为 40Cr 合金钢，如 40CrMoNiA/40CrA 等，为保证材料纯净度，长期依赖进口。2) **齿形：齿轮齿形影响传动性能。**较小的齿高会导致柔轮过早发生疲劳断裂，新进入者较难避开齿形专利限制设计出性能相近的齿形。3) **工艺：热处理工艺需根据材料自主研发，齿轮精密加工仍依赖高价值量进口设备。**由于各公司产品材料有一定差异，为保证产品精度，应具备自主研发的热处理工艺；且精加工环节高度依赖进口设备如制齿机、磨床等，单位产能设备投资额超 800 万。
 - 柔性轴承：轴承材料微合金元素配比和热处理工艺的调整可使轴承更耐冲击，使用寿命更长。**
- 工业机器人产业需求向好，夯实谐波减速器稳增长基础。**谐波减速器最常应用在工业机器人领域，劳动力短缺、劳动力成本上涨叠加下游需求长期向好等因素有望驱动工业机器人需求持续增长。预计 2021-2025 年全球工业机器人用谐波减速器市场将由 29.5 亿元增长至 39.1 亿元，CAGR 为 7.3%；中国工业机器人用谐波减速器市场将由 14.4 亿元增长至 23.7 亿元，CAGR 为 13.2%。
- 特斯拉入局加速产业化进程，人形机器人有望开辟百亿新增量。**特斯拉布局人形机器人后实现快速迭代，2023 年追觅、傅利叶、宇树科技等国产品牌也陆续发布人形机器人。随着海外龙头的持续推进和国内利好政策的相继颁布，2024 年有望成为人形机器人量产元年，参考特斯拉 Optimus 使用的旋转关节方案，预计 2024-2030 年全球人形机器人用谐波减速器市场将由 0.2 亿元增长至 267.4 亿元。
- 行业集中度较高，国产品牌打破外资垄断。**日本龙头哈默纳科长期处于垄断地位，国产品牌绿的谐波强势突围。据 MIR，2022 年哈默纳科、绿的谐波、来福谐波中国谐波减速器市占率位列前三，分别为 38%/26%/8%。对比海内外龙头企业，国产谐波减速器虽在转矩/背隙/滞后损失等产品参数方面仍略有差距，但性价比较高，成本优势明显，且持续布局高端产品产能，有望在未来进一步提升国内市场份额。
- 投资建议。**考虑到人形机器人商业化加速，谐波减速器需求迈上新台阶，且该行业自身为技术密集型行业，竞争格局较为集中，存国产替代逻辑，建议关注积极布局谐波减速器的企业：
 - 绿的谐波**，谐波减速器龙头，引领国产替代进程。自主设计“P 齿形”，具备新一代三次谐波技术，产品系列覆盖领域全面。
 - 双环传动**，国内 RV 减速器龙头企业，17 年布局谐波减速器业务。RV 减速器已成功批量应用于国内各机器人头部企业。
 - 中大力德**，可同时提供 RV、谐波、行星减速器和电机、伺服驱动、机电一体化等全系列产品，其中 RV 减速器打破外资垄断，谐波减速器 2020 年实现批量供货。

推荐（维持）

华创证券研究所

证券分析师：黄麟

邮箱：huanglin1@hcyjs.com

执业编号：S0360522080001

行业基本数据

		占比%
股票家数(只)	302	0.04
总市值(亿元)	46,449.60	5.52
流通市值(亿元)	38,360.75	5.89

相对指数表现

%	1M	6M	12M
绝对表现	0.4%	-23.9%	-30.2%
相对表现	4.6%	-9.4%	-11.9%



相关研究报告

《电动车行业跟踪报告：2023 年 12 月德国新能源汽车同比持续回落，瑞士销量攀升，其余欧洲十国平稳收官》

2024-01-09

《电动车行业跟踪报告：12 月造车新势力年终发力表现亮眼，多款重磅新车密集上市》

2024-01-09

《光伏行业周报（20240101-20240107）：2023 年德国光伏装机维持高增，有望延续高景气》

2024-01-08

丰立智能，深耕小模数齿轮产业多年，借助电动工具减速器（齿轮箱）部分设备和技术通用性切入精密减速器领域，募投项目达产后新增谐波减速器产能 3.5 万件。

国茂股份，通用减速器龙头，2021 年前瞻布局谐波减速器领域，成立子公司国茂精密，已顺利完成了 10 种型号的新品开发工作。

- **风险提示**：人形机器人放量不及预期、国产替代进程不及预期、工业自动化需求不及预期等。

投资主题

报告亮点

本报告从谐波减速器产品情况、行业需求、竞争格局三大角度出发，深入分析了谐波减速器的应用前景及市场空间。1) 产品层面，从易失效的柔轮和柔性轴承出发，分析各零部件的技术难点。2) 行业需求层面，对目前最大应用领域工业机器人用谐波减速器的市场空间及人形机器人放量所带来的新增市场空间进行分析测算。3) 竞争格局层面，通过对比国内外龙头企业的发展情况，如收入规模、盈利能力、产品参数、产能布局等，分析目前行业格局和未来发展趋势，并细数了谐波减速器核心供应商的研发情况。

投资逻辑

人形机器人商业化的加速为谐波减速器产业链带来新机遇。随着特斯拉人形机器人的快速迭代，国内企业陆续发布人形机器人样机，叠加国内利好政策频出，预计人形机器人产业化进程将加速，2024年有望成为放量元年。参考 Optimus 旋转关节采用谐波减速器的方案，人形机器人的放量有望为谐波减速器带来百亿级蓝海市场。

竞争格局较优，国产替代方兴未艾。据 MIR，2022 年哈默纳科、绿的谐波、来福谐波中国谐波减速器市占率位列前三，分别为 38%/26%/8%，市场集中度较高。国内绿的谐波率先打破外资垄断，且多企业陆续布局谐波减速器领域，国产品牌有望进一步提升国内市场份额。

目 录

一、机器人关节核心零部件，多环节具高壁垒属性.....	7
（一）结构精巧，实现低速高扭矩输出.....	7
（二）技术密集型行业，高壁垒属性突出.....	9
1、柔轮：原材料、精加工设备依赖进口，热处理需依据材料自主研发.....	9
2、柔性轴承：调整材料合金元素配比及热处理工艺，有望提升产品性能及寿命.....	13
二、人形机器人产业提速，谐波减速器百亿蓝海蓄势待发.....	14
（一）工业机器人产业需求持续向好，奠定谐波减速器市场稳增长基础.....	14
（二）人形机器人开启新赛道，有望引领谐波减速器百亿级新增量.....	17
三、行业集中度较高，国产品牌打破外资垄断.....	20
（一）哈默纳科先发优势明显，国产品牌绿的谐波强势突围.....	20
（二）国内产品性能仍有上升空间，高端产品产能持续扩张.....	22
四、相关标的分析.....	23
（一）绿的谐波：谐波减速器龙头，引领国产替代进程.....	23
（二）双环传动：国内RV减速器龙头企业，17年拓展谐波减速器业务.....	24
（三）中大力德：深耕精密传动领域，同时具备行星/RV/谐波减速器.....	25
（四）丰立智能：专精特新“小巨人”企业，基于电动工具减速器发展谐波减速器.....	27
（五）国茂股份：通用减速机龙头，前瞻性布局机器人减速器.....	28
五、风险提示.....	29

图表目录

图表 1 谐波传动装置构成	7
图表 2 谐波减速器工作原理	8
图表 3 谐波减速器优点	8
图表 4 2022 年哈默纳科收入应用领域分布	8
图表 5 2022 年绿的谐波收入应用领域分布	8
图表 6 机器人用谐波齿轮减速器国家标准（以传动误差衡量）	9
图表 7 机器人用谐波齿轮减速器国家标准（以空程衡量）	9
图表 8 谐波减速器核心零部件生产流程	9
图表 9 40CrNiMoA 刚柔轮的化学成分（质量分数，%）	10
图表 10 国产柔轮夹杂物的能谱分析	10
图表 11 合格与不合格柔轮产品齿形对比	10
图表 12 齿轮齿形设计	11
图表 13 制造流程	11
图表 14 柔轮成形工艺	12
图表 15 平均晶粒尺寸（ μm ）及平均标准偏差对比	12
图表 16 不同成形工艺下柔轮毛坯的硬度（HRC）	12
图表 17 热处理工艺曲线	12
图表 18 绿的谐波募投项目	13
图表 19 制造过程使用设备总结	13
图表 20 失效轴承与日本轴承晶度尺寸、均匀性、晶粒度等级对比	14
图表 21 中国人口自然增长率（%）	14
图表 22 主要国家总人口增长率（%）	14
图表 23 城镇单位就业人员年平均工资-制造业（万元）	15
图表 24 工业增加值（亿美元）	15
图表 25 2021 年工业机器人新增安装量分布	15
图表 26 工业机器人密度（台/万人）	15
图表 27 工业机器人年度新增安装量（万台）	16
图表 28 不同类型工业机器人对比	16
图表 29 工业机器人用谐波减速器销量（万台）	17
图表 30 工业机器人用谐波减速器市场规模（亿元）	17
图表 31 特斯拉人形机器人	17
图表 32 国内人形机器人近期研发情况	18
图表 33 人形机器人政策总结	18

图表 34 人形机器人揭榜挂帅任务榜单	18
图表 35 Optimus 谐波减速器规格.....	19
图表 36 人形机器人用谐波减速器市场规模预测（亿元）	19
图表 37 2020/2021 年中国谐波减速器市场格局	20
图表 38 2022 年中国谐波减速器市场格局	20
图表 39 哈默纳科发展历程	20
图表 40 减速器产品营收（亿元）	21
图表 41 公司毛利率	21
图表 42 绿的谐波发展历程	21
图表 43 谐波减速器及金属部件营收（亿元）	22
图表 44 谐波减速器及金属部件毛利率（%）	22
图表 45 哈默纳科/绿的谐波同规格产品对比	22
图表 46 哈默纳科月产能.....	23
图表 47 绿的谐波产能.....	23
图表 48 绿的谐波谐波减速器产品系列	23
图表 49 绿的谐波营收（亿元）及增速	24
图表 50 绿的谐波归母净利润（亿元）及增速	24
图表 51 双环传动核心产品	25
图表 52 双环传动营收（亿元）及增速	25
图表 53 双环传动归母净利润（亿元）及增速	25
图表 54 中大力德产品	26
图表 55 中大力德营收（亿元）及增速	27
图表 56 中大力德归母净利润（亿元）及增速	27
图表 57 公司各领域主要应用场景产品介绍	27
图表 58 丰立智能营收（亿元）及增速	28
图表 59 丰立智能归母净利润（亿元）及增速	28
图表 60 国茂股份主要产品	28
图表 61 国茂股份营收（亿元）及增速	29
图表 62 国茂股份归母净利润（亿元）及增速	29

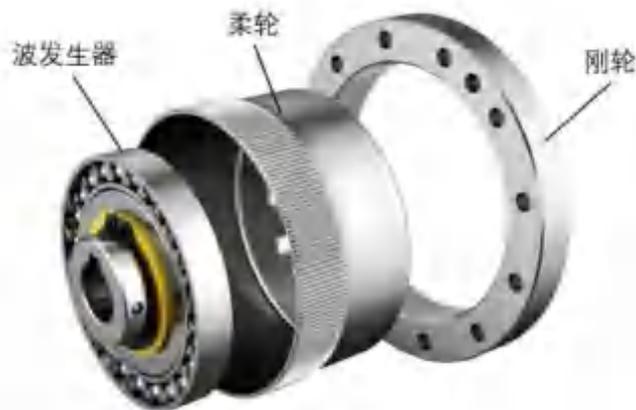
一、机器人关节核心零部件，多环节具高壁垒属性

（一）结构精巧，实现低速高扭矩输出

谐波传动技术发展较早，由空间应用领域向机器人领域延伸。1947年，前苏联工程师首次提出谐波机械传动原理；20世纪50年代，美国工程师 Musser C. W.根据空间应用需求发明了谐波减速机并取得专利。由此可见，前苏联、美国很早就开始研究谐波减速器，但主要集中在空间应用领域；日本虽起步稍晚，但发展迅速，在机器人领域后来居上；我国对谐波减速器的研究始于1961年，1985年“谐波减速器标准系列产品”正式通过鉴定，成为继美国、日本、俄罗斯后第四个具有谐波传动减速器标准系列产品的国家。

谐波减速器由波发生器、柔轮和钢轮组成。按机械波数量分类，可分为单波/双波/三波传动，刚轮和柔轮的齿数差应等于机械波的整数倍，通常取为波数，目前最常用的为双波传动。其中钢轮为带有内齿圈的刚性圆环状零件，通常固定在减速器机体上，具有良好的抵抗外载荷不变形的能力；柔轮为带有外齿圈的柔性薄壁弹性体零件，通常安装在减速器输出端；波发生器由柔性轴承和刚性椭圆凸轮组成，通常安装在减速器输入端，柔性轴承内圈固定在凸轮上，外圈通过滚珠实现弹性变形形成椭圆形。

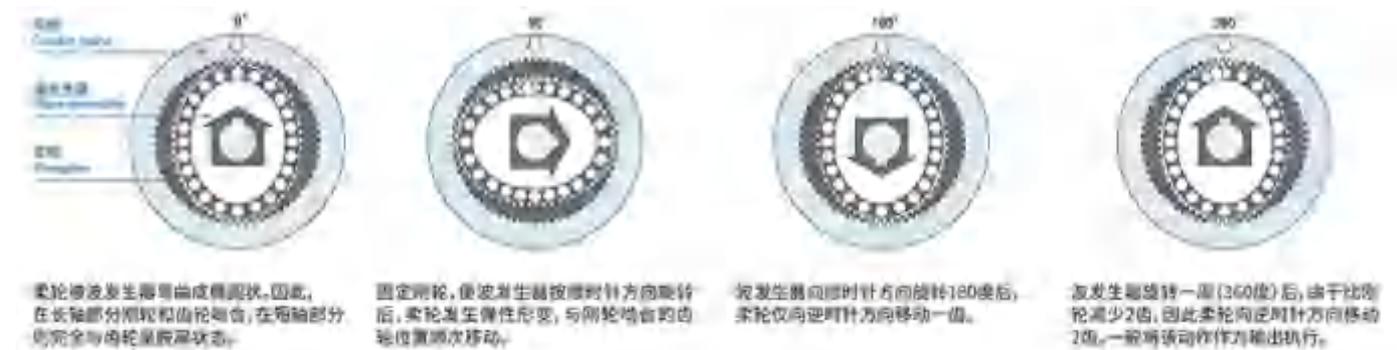
图表 1 谐波传动装置构成



资料来源：杨苡《谐波减速器柔轮的力学特性仿真与试验研究》

柔轮和钢轮之间形成错齿运动，实现低速大扭矩输出。谐波作为减速器使用，通常采用波发生器主动、刚轮固定、柔轮输出形式。装配状态下，波发生器中刚性椭圆凸轮的长轴端对柔性轴承产生挤压，使得柔性轴承沿长轴方向发生形变，这种作用效果会传递到与波发生器紧密相接的柔性齿轮上，进而使其与钢轮内齿啮合，相应的在椭圆短轴方向，钢轮和柔轮则处于分离状态，而除长轴与短轴方向的其他周边齿可统称为处于过渡状态。当波发生器发生连续转动时，柔轮会产生周期性变形，使其外齿圈的每个齿与钢轮的内齿圈相继啮合，即经历啮入-啮合-啮出-脱出四个状态，并不断重复，由此产生了错齿运动，当波发生器转一圈后，柔轮才向转动的相反方向后退两个齿，减速比较大。

图表 2 谐波减速器工作原理



资料来源：来福谐波官网

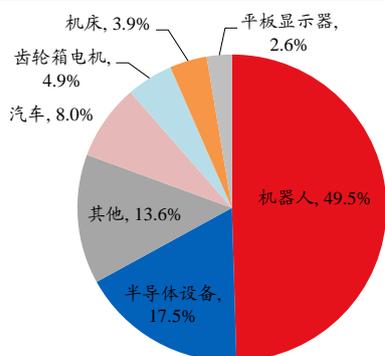
谐波减速器优势众多，广泛应用于机器人关节传动系统。从结构和传动原理方面来看，谐波减速器具有体积小、重量轻、传动比大、承载力高、传动精度高、传动效率高等优势。与普通减速器相比，其体积减小 2/3，重量减轻 1/2；单级传动比可达 30-500；传动效率可达 69%-96%。基于以上优势，谐波减速器可广泛运用于机器人、数控机床、光伏设备、医疗器械、半导体设备、航空航天等其他领域。参考哈默纳科和绿的谐波 2022 年年报，哈默纳科机器人领域收入占比达 49.5%，绿的谐波工业及服务机器人领域收入占比达 81.6%，因此机器人为谐波减速器最大的应用市场，在关节传动系统中起到降低输出转速、增大输出扭矩作用，帮助机器人提升抓取精度，提高承载力量。

图表 3 谐波减速器优点

优点	解读
传动比大	单级传动比可达 30-500
承载力高	同时啮合的齿数可达总齿数的 30%以上
传动精度高	多齿啮合可互相补偿误差，在同等齿轮精度水平下，传动误差仅为普通圆柱齿轮传动的 1/4 左右
传动效率高	柔轮齿在传动过程中沿径向匀速运动，即使输入速度很高，但齿的相对滑动速度仍然极低，齿的磨损小，效率高(可达 69%-96%)
体积小、重量轻	与一般减速器相比，输出扭矩相同时，谐波减速机的体积可减小 2/3，重量可减轻 1/2

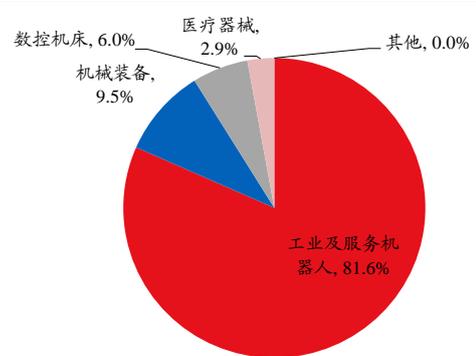
资料来源：来福谐波官网，富宝机电科技，华创证券整理

图表 4 2022 年哈默纳科收入应用领域分布



资料来源：哈默纳科官网，华创证券

图表 5 2022 年绿的谐波收入应用领域分布



资料来源：绿的谐波公司公告，华创证券

(二) 技术密集型行业，高壁垒属性突出

机器人用谐波减速器多为精密级减速器，精度等级位于2级及以上。据《机器人用谐波齿轮减速器》(GB/T 30819-2014)国家标准，减速器的精密等级可通过传动误差和空程来衡量，传动误差 ≤ 30 弧秒为高精密级减速器， 30 弧秒 $<$ 传动误差 ≤ 1 弧分为精密级减速器， 1 弧分 $<$ 传动误差 ≤ 3 弧分为普通级减速器；空程 ≤ 1 弧分为1级， 1 弧分 $<$ 空程 ≤ 3 弧分为2级， 3 弧分 $<$ 空程 ≤ 6 弧分为3级。参考各公司产品参数，应用在机器人中的多为精密级减速器，等级在2级以上。

图表6 机器人用谐波齿轮减速器国家标准（以传动误差衡量）

精度等级	指标
高精密级减速器（A级）	传动误差 ≤ 30 弧秒
精密级减速器（B级）	30 弧秒 $<$ 传动误差 ≤ 1 弧分
普通级减速器（C级）	1 弧分 $<$ 传动误差 ≤ 3 弧分

资料来源：《机器人用谐波齿轮减速器》(GB/T 30819-2014)国家标准，华创证券

图表7 机器人用谐波齿轮减速器国家标准（以空程衡量）

精度等级	指标
1级	空程 ≤ 1 弧分
2级	1 弧分 $<$ 空程 ≤ 3 弧分
3级	3 弧分 $<$ 空程 ≤ 6 弧分

资料来源：《机器人用谐波齿轮减速器》(GB/T 30819-2014)国家标准，华创证券

谐波减速器的失效可主要归因于柔轮的疲劳断裂和柔性轴承的损坏。从谐波减速器核心零部件的角度来看，钢轮、柔轮、凸轮多为自产，工艺流程较为复杂；柔性轴承则多为外购。其中柔轮和柔性轴承是产品疲劳失效的主要原因，其疲劳寿命不仅和啮合原理、齿形设计、结构优化相关，还与原材料、成形工艺、热处理工艺、齿形设计等密切相关。下文将从柔轮及柔性轴承两个核心零部件出发，分析谐波减速器核心技术壁垒。

图表8 谐波减速器核心零部件生产流程



资料来源：科峰智能公司公告，华创证券

1、柔轮：原材料、精加工设备依赖进口，热处理需依据材料自主研发

柔轮是谐波减速器核心部件，产品质量受材料性能、齿形设计及加工工艺影响。柔轮外齿与钢轮内齿不断进行啮入、啮合、啮出和脱开的往复循环，筒部受到周期性弹性变形易发生疲劳断裂，齿部受到周期性摩擦磨损易降低传动精度和传动效率，其中柔轮的疲劳断裂是产品失效的最主要形式，占比超60%，主要可归因于材料、齿形、加工工艺的影响。

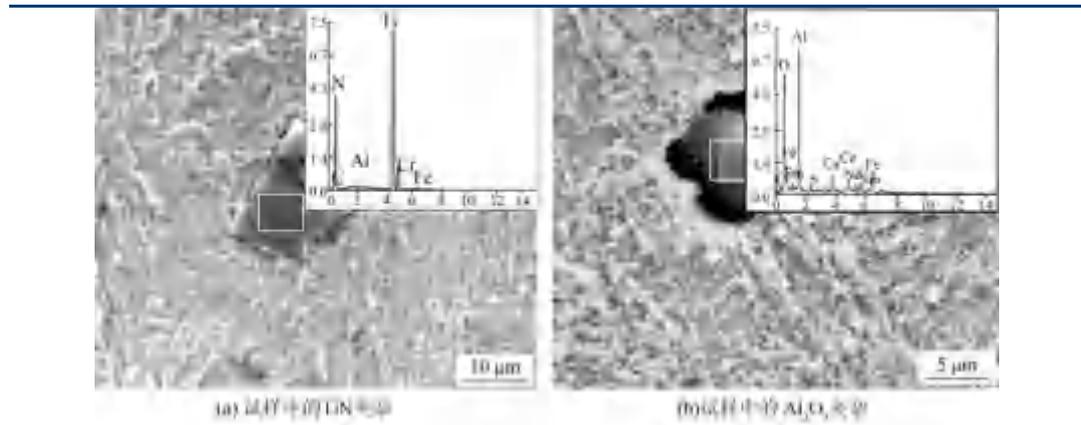
(1) **材料：高强度/高韧性柔轮材料，对提纯技术要求较高，长期依赖进口。**为保证柔轮的耐磨性、传动性能和传动精度，柔轮硬度应比钢轮硬度高；同时由于柔轮筒壁厚较薄，柔轮材料应具有良好的韧性及优良的切削性能。为满足上述各项要求，柔轮材料多用 40Cr 合金钢，如 40CrMoNiA/40CrA 等，而钢轮用球墨铸铁/碳素钢即可满足要求。目前国内提纯技术与国外相比仍有一定差距，通过分析国产失效柔轮材料可以发现，其中存在夹杂物 TiN 和 Al₂O₃，虽然 Al₂O₃ 尺寸均小于 5 μm，但由于其硬度较高，不易产生变形，容易在组织内产生应力集中，严重降低疲劳性能，因此为保证材料的纯净度，目前柔轮材料仍依赖于进口。

图表 9 40CrNiMoA 刚柔轮的化学成分（质量分数，%）

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	P	S	Fe
0.4	0.26	0.76	0.92	1.69	0.2	0.017	0.012	Bal.

资料来源：陈正周和罗凯宇《热处理对 40CrNiMoA 钢柔轮显微组织和力学性能的影响》，华创证券

图表 10 国产柔轮夹杂物的能谱分析



资料来源：王浩等《谐波减速器柔轮疲劳断裂失效分析》

(2) **齿形：谐波减速器对齿形设计要求严格，较小的齿高会降低疲劳性能。**齿轮齿形可直接影响其传动性能，早期对传动速度、传动功率要求均较低，齿廓往往采用简单的直线或粗糙的曲线。随着减速器向高精度、长寿命方向发展，为满足市场需求，齿廓开始有了精确的曲线形状，渐开线、圆弧、摆线等齿形相继出现。谐波减速器对齿形要求较高，参考《谐波减速器柔轮疲劳断裂失效分析》中选用的不合格柔轮产品，其齿尖呈圆弧形，而合格产品的齿尖更尖锐，较小的齿高会导致柔轮过早发生疲劳断裂。

图表 11 合格与不合格柔轮产品齿形对比

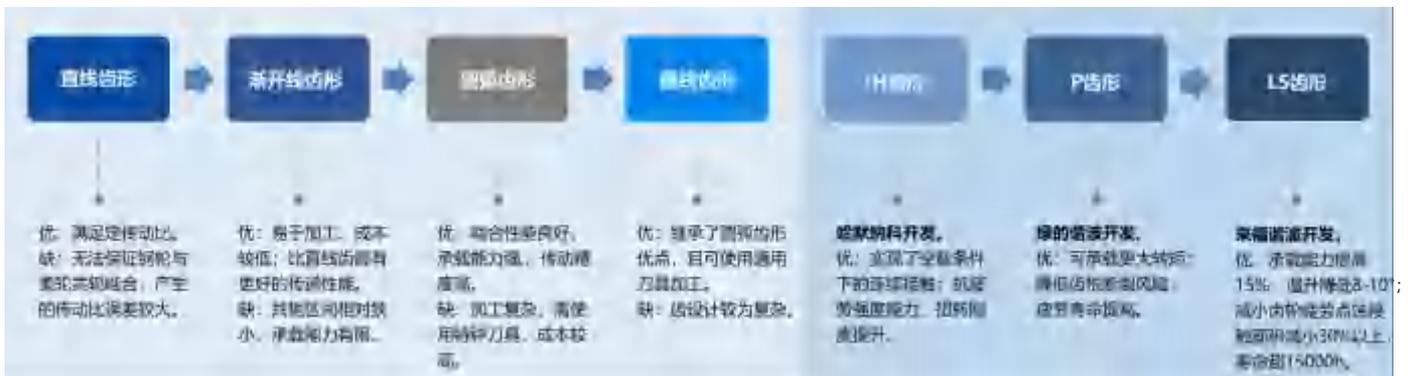
	齿宽 (μm)	齿高 (μm)	齿间距 (μm)
不合格 1#	505	786	1282
不合格 2#	510	819	1284
合格	490	880	1293

资料来源：王浩等《谐波减速器柔轮疲劳断裂失效分析》，华创证券

国内企业相继实现技术破局，突破海外专利限制，自主研发“P”、“δ”齿形。对企业而言，国内相较海外起步略晚，日本哈默纳科作为领头者，率先开发出了具有自主知识产权的“IH”齿形，新进入者较难避开其专利限制设计出性能相近的齿形。国内企业绿

的谐波、来福谐波成功打破海外垄断，先后开发出“P”、“LS”齿形，在疲劳寿命、转矩容量等方面均有明显提升，产品性能与海外相差无几。但对于谐波减速器领域的新进入者而言，在齿形设计方面仍存在壁垒。

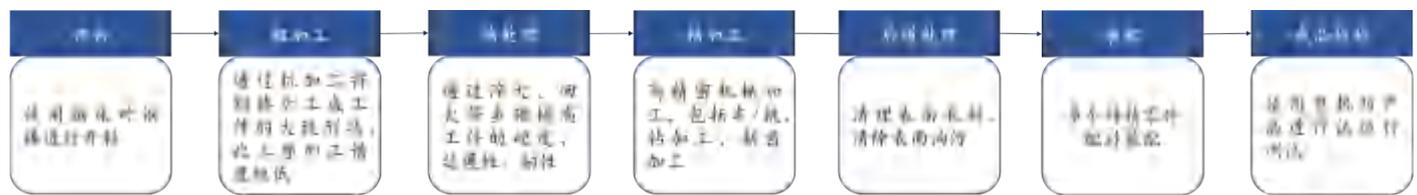
图表 12 齿轮齿形设计



资料来源：向珍琳等《谐波减速器研究现状及问题研究》，杨苡《谐波减速器柔轮的力学特性仿真与试验研究》，哈默纳科公司官网，来福谐波公司官网，华创证券整理

(3) 工艺：谐波减速器的制造需经过开料、粗加工、热处理、精加工、后道处理等多个步骤。由于机器人用谐波减速器的精度较高，制造工艺也必须精密，具体可从粗加工、热处理、精加工环节进行分析。

图表 13 制造流程



资料来源：同川科技，绿的谐波，江门市生态环境局，华创证券整理

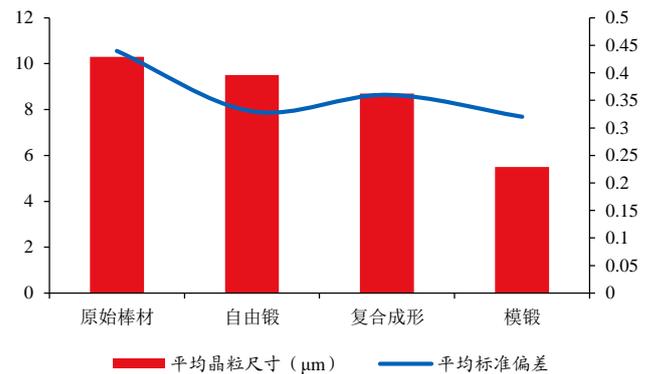
粗加工环节：国内常用模锻和自由锻工艺，模锻工艺下的柔轮毛坯组织性能最优。柔轮成形工艺包括模锻、自由锻和复合成形。据王洋等《成形工艺对谐波减速器柔轮组织性能的影响》，模锻工艺下经热处理后的柔轮毛坯平均晶粒尺寸和平均标准偏差均最小，分别为 5.5 μm 和 0.32；硬度最大且硬度极差最小，分别为 40.3HRC 和 1.9HRC。综合来看，虽然复合成形工艺的材料利用率远高于模锻和自由锻，但易有裂纹产生，工艺难度高；自由锻成本较高，且组织性能不易稳定控制；而模锻的晶粒度与硬度均匀性均较优，更适用于柔轮毛坯的制造。

图表 14 柔轮成形工艺



资料来源：王洋等《成形工艺对谐波减速器柔轮组织性能的影响》

图表 15 平均晶粒尺寸 (μm) 及平均标准偏差对比



资料来源：王洋等《成形工艺对谐波减速器柔轮组织性能的影响》，华创证券

备注：以上数据均为经过热处理后的对比，左轴为平均晶粒尺寸，右轴为平均标准偏差

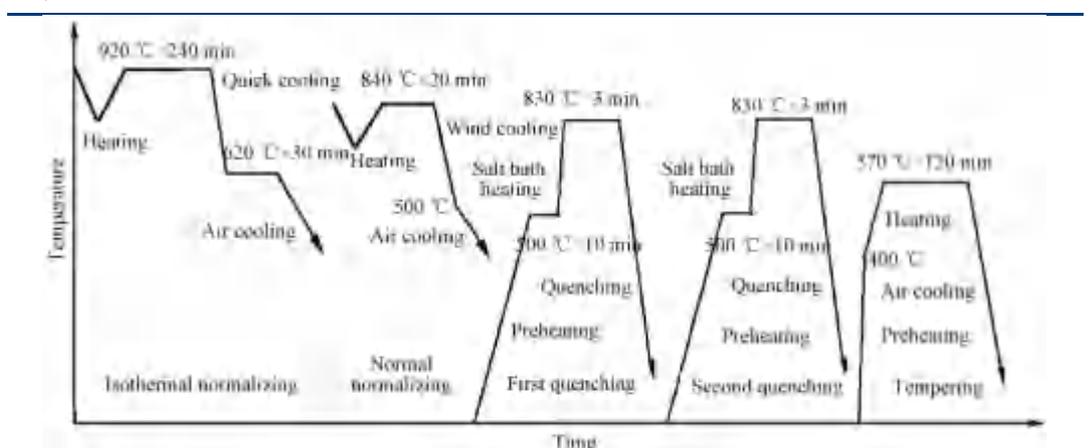
图表 16 不同成形工艺下柔轮毛坯的硬度 (HRC)

	成形后		调质后	
	平均值	极差	平均值	极差
自由锻	12.3	6.2	39	7.9
复合成形	23.5	4.5	37.5	3.6
模锻	33.8	2.5	40.3	1.9

资料来源：王洋等《成形工艺对谐波减速器柔轮组织性能的影响》，华创证券

热处理环节：柔轮综合力学性能较高，热处理工艺流程复杂且需公司自主研发。该工艺不仅可改变钢材的机械性能，如塑性/强度/硬度/韧性等；同时还可改变钢材的化学性质，从而影响其耐腐蚀性/脆性/裂纹敏感性等。以陈正周和罗凯宇《热处理对 40CrNiMoA 钢柔轮显微组织和力学性能的影响》文章中采用的方法为例，制造柔轮需使得热模锻先后经历等温正火、普通正火、粗车、两次淬火、高温回火、半精加工及去应力退火步骤，并通过调整各环节温度/时间最终将 40CrNiMoA 钢柔轮的奥氏体晶粒尺寸细化至 7.1 μm，晶粒度达到 11.5 级。考虑到各公司产品材料不同，一般应具备自主研发的热处理工艺。

图表 17 热处理工艺曲线



资料来源：陈正周和罗凯宇《热处理对 40CrNiMoA 钢柔轮显微组织和力学性能的影响》

精加工环节：柔轮滚齿、钢轮插齿为主流加工方式。齿加工工艺包括慢走丝、滚齿、插齿工艺。慢走丝虽然可提高加工精度，但需 3 次以上的切割才能达到所需的表面质量，生产效率较低，制造成本较高，不适用于批量化生产；且慢走丝仅能切割钢材，球墨铸铁无法使用该方式加工。滚齿和插齿都是齿廓加工中常用的加工形式，滚齿的齿向误差较小、运动精度较好；插齿的齿形精度和齿面粗糙度较好。目前柔轮滚齿、钢轮插齿为主流的谐波减速器加工方法。

精加工设备依赖进口，资金壁垒较高。作为典型的精密加工产品，谐波减速器的性能在很大程度上受生产设备精度的影响。据绿的谐波公司公告，公司募投项目年产 50 万台精密减速器项目投资总额达 6.3 亿元，其中设备投资额占比 66.2%，单位产能设备投资达 836 万元/台。精加工环节关键设备如制齿机、磨床等均依赖进口，海外采购交期较长且单台精密设备价值量高昂，参考市场价格，超精密齿轮加工设备 600 万元/台；超精密磨床 260 万元/台。

图表 18 绿的谐波募投项目

项目名称	产品类型	产品工艺技术	(拟)投资总额 (亿元)	设备投资额 (亿元)	设备投资占比	产能 (万台)	单位产能设备投资 (万元/台)
年产 50 万台精密减速器项目	谐波减速器	二次谐波技术	6.3	4.2	66.2%	50	836
新一代精密传动装置智能制造项目	谐波减速器	三次谐波技术	20.3	8.4	79.2%	100	836
	机电一体化			7.7		20	3866

资料来源：绿的谐波公司公告，华创证券

图表 19 制造过程使用设备总结



资料来源：江门市生态环境局，同川科技年产谐波减速器 2 万台新建项目环境影响报告表，华创证券

2、柔性轴承：调整材料合金元素配比及热处理工艺，有望提升产品性能及寿命

柔性薄壁轴承工作中会发生弹性形变，易发生疲劳失效。波发生器由椭圆形凸轮和柔性薄壁轴承组成。椭圆形凸轮不发生弹性变形，而柔性薄壁轴承内圈安装在凸轮上，外圈安装在柔轮上，由于其壁厚比较薄，工作中随凸轮的转动而发生弹性形变，不仅需承受滚动体的循环应力载荷，而且要承受来自椭圆长轴的周期性交变挤压及外部载荷的挤压，相较普通轴承，更易发生疲劳失效。

材料的选择及热处理工艺的优化对柔性轴承性能的提升较为重要。据穆晓彪等《谐波减速器柔轮与柔性轴承断裂失效分析》，相较于日本产品，失效产品晶粒尺寸高 $6.9\mu\text{m}$ ，平均标准偏差高 0.19，晶粒度等级低 2 级。从性能改进的角度来看，**材料方面**，目前柔性薄壁轴承内外圈、滚动体均采用高碳铬轴承钢，添加一定含量的微合金元素不仅可以细化晶粒，还能提高晶粒粗化的温度，便于在更高温度下热成形。**热处理环节**，多次正火和回火可细化晶粒、提高晶粒尺寸的均匀性，减少脆性断裂，提高材料的力学性能。参考绿的谐波，通过调整轴承材料合金元素配比，采用全新的热处理工艺，制造出最新款无疲劳 DNG 柔性轴承的更耐冲击，使用寿命更长。

图表 20 失效轴承与日本轴承晶度尺寸、均匀性、晶粒度等级对比

	失效轴承	日本轴承
平均晶粒尺寸 (μm)	13.1	6.2
平均标准偏差	0.41	0.22
晶粒度等级	9.5	11.5

资料来源：穆晓彪等《谐波减速器柔轮与柔性轴承断裂失效分析》，华创证券

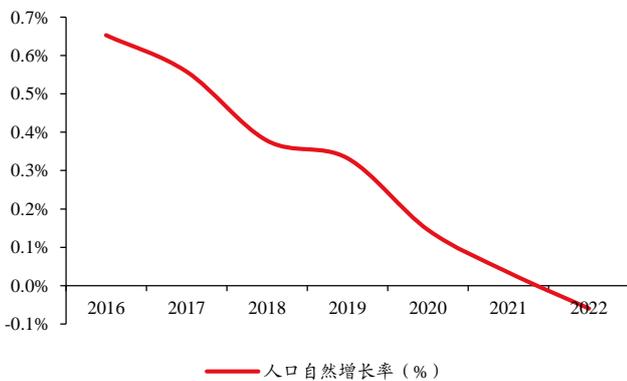
二、人形机器人产业提速，谐波减速器百亿蓝海蓄势待发

(一) 工业机器人产业需求持续向好，奠定谐波减速器市场稳增长基础

工业机器人主要用于生产线上的自动化加工、装配、搬运、焊接、喷涂等工作，考虑到其可提高生产效率、降低生产成本、提高产品精度和质量、减少人工劳动强度，**劳动力短缺问题、劳动力成本增加叠加下游需求长期向好**等因素有望驱动工业机器人市场的持续增长。

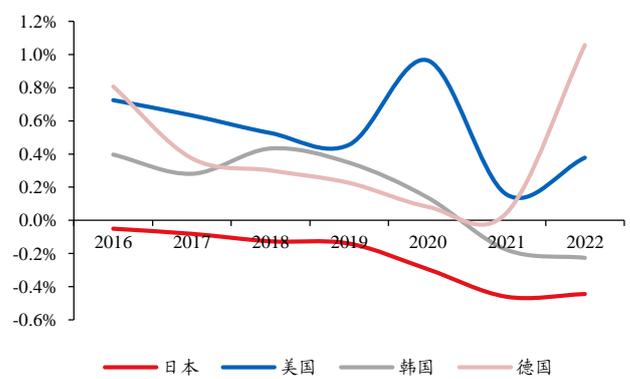
人口减少、老龄化加剧的背景下，**劳动力短缺现象将逐步凸显**。从 2022 年工业机器人大国的人口数量来看，美国/德国总人口增长率短期受移民增加影响小有上涨，但长期下降趋势不变；中国人口自然增长率首次为负值；日/韩人口数量分别同比-0.4%/-0.2%。从人口结构来看，老龄化程度日益加深，以我国情况为例，60 周岁及以上人口比例逐年上涨，2022 年为 19.8%，同比+0.9pct。人口减少、老龄化加剧问题将使得强度大、重复性高、条件恶劣的低端工作面临用工荒的问题。

图表 21 中国人口自然增长率 (%)



资料来源：iFind，国家统计局，华创证券

图表 22 主要国家总人口增长率 (%)

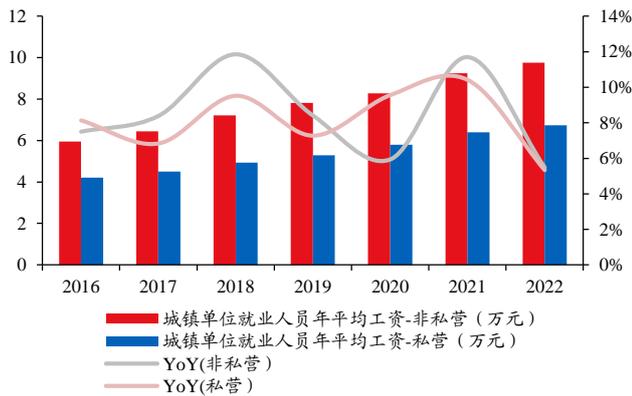


资料来源：iFind，世界银行，华创证券

劳动力成本呈逐年上升趋势。人口数量、结构的变化使得劳动力供不应求，制造业劳动力成本逐渐提高。根据国家统计局数据，2016-2022 年，非私营制造业企业人员年平均工资由 5.9 万元增长至 9.8 万元，CAGR 为 8.6%；私营制造业企业人员年平均工资由 4.2 万元增长至 6.7 万元，CAGR 为 8.1%。

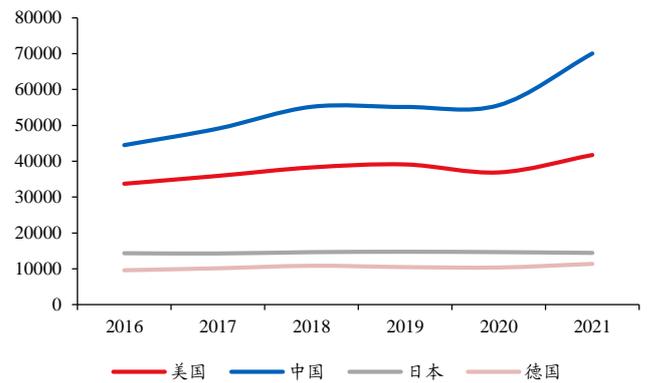
下游应用产业需求长期向好。多国工业增加值呈上升趋势，其中中美两国较为明显。据世界银行统计，2016-2021 年，中国工业增加值由 44462 亿美元增长至 70018 亿美元，CAGR 为 9.5%；美国工业增加值由 33730 亿美元增长至 41698 亿美元，CAGR 为 4.3%。工业增加值的增长表明企业生产能力和效益有所提高，下游产业景气度持续向好发展。

图表 23 城镇单位就业人员年平均工资-制造业（万元）



资料来源: iFind, 国家统计局, 华创证券

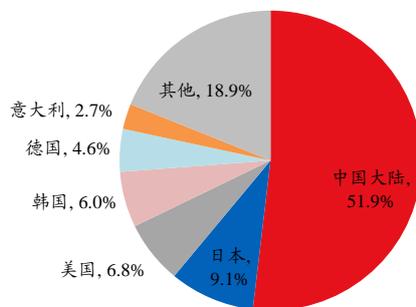
图表 24 工业增加值（亿美元）



资料来源: iFind, 世界银行, 华创证券

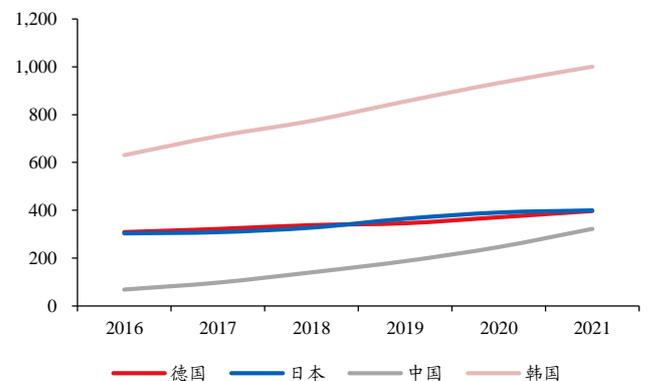
工业机器人产业稳增，中国为核心增长市场。目前全球制造业正向着自动化、集成化、智能化及绿色化方向发展，在疫情的催化作用下，2020年起中国工业机器人产业引领全球市场迎来了快速发展期，新增安装量增速维持较高水平。据 IFR/GGII 和我们预测，2021-2025 年，全球工业机器人年度新增安装量将由 51.7 万台增长至 69 万台，CAGR 为 7.5%；中国年度新增安装量将由 26.8 万台增长至 44 万台，CAGR 为 13.2%。从新增安装量分布来看，2021 年中国大陆占比达 51.9%，位列全球第一。但通过对比各国工业机器人密度可见，中国与其他国家仍有差距，2021 年中国工业机器人密度为 322 台/万人，而德国/日本/韩国分别为 397/399/1000 台/万人。

图表 25 2021 年工业机器人新增安装量分布



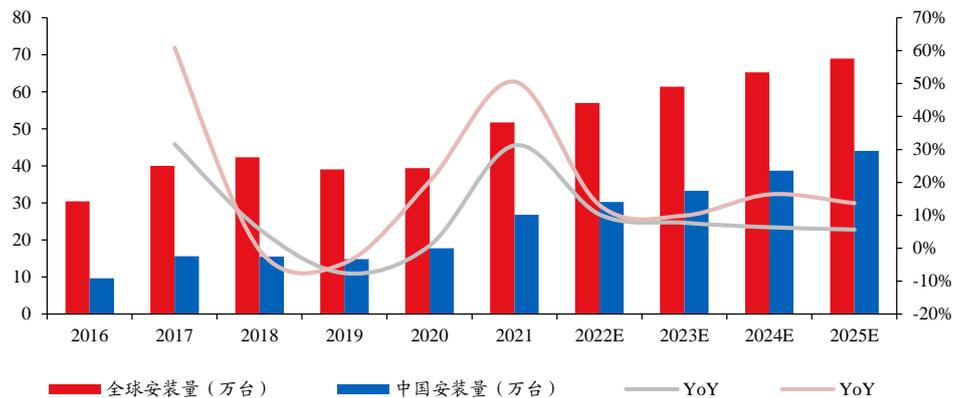
资料来源: IFR, 华创证券

图表 26 工业机器人密度（台/万人）



资料来源: iFind, IFR, 华创证券

图表 27 工业机器人年度新增安装量（万台）



资料来源: IFR, GGII, 华创证券预测

多关节工业机器人为未来发展趋势，预计单台用谐波减速器数量将小幅上升。工业机器人可分为六轴/协作/SCARA 和 DELTA 机器人，谐波减速器一般用于手臂、腕部或手部关节。每台六轴多关节机器人需搭配 6 台精密减速器，其中轻负荷的可用谐波减速器；协作机器人全部关节均用谐波减速器，一般为 6-7 台；SCARA 机器人一般使用 2-3 台谐波减速器；DELTA 机器人需使用 3 台谐波减速器。考虑到多关节机器人灵活性和自由度高，可适应不同的工作环境和任务，随着机器人技术的不断进步和应用场景的不断拓展，多关节机器人的应用将会更加广泛，因此单台用谐波减速器数量将呈上升趋势。

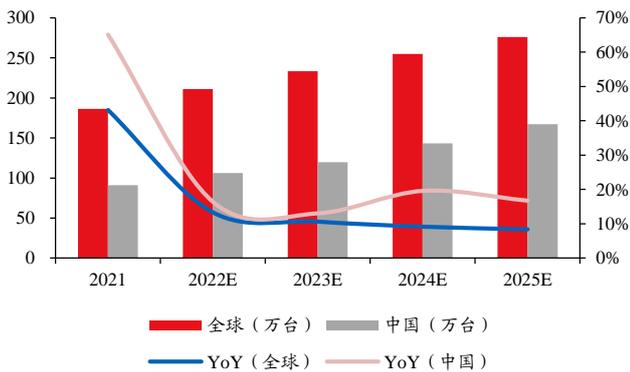
图表 28 不同类型工业机器人对比



资料来源: 华数机器人, 机械工业信息研究院, 绿的谐波招股说明书, 华创证券整理

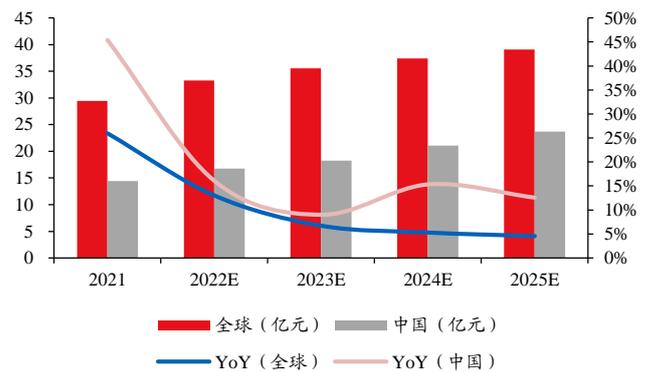
预计 2025 年底全球工业机器人用谐波减速器市场规模达 39 亿元，中国占比 67.3%。从销量（万台）来看，预计 2021-2025 年全球工业机器人用谐波减速器销量将由 186.1 万台增长至 276 万台，CAGR 为 10.4%；中国工业机器人用谐波减速器销量将由 91.1 万台增长至 167.4 万台，CAGR 为 16.4%。从市场规模（亿元）来看，预计 2021-2025 年全球工业机器人用谐波减速器市场将由 29.5 亿元增长至 39.1 亿元，CAGR 为 7.3%；中国工业机器人用谐波减速器市场将由 14.4 亿元增长至 23.7 亿元，CAGR 为 13.2%。

图表 29 工业机器人用谐波减速器销量（万台）



资料来源：绿的谐波招股书，GGII，IFR，华创证券测算

图表 30 工业机器人用谐波减速器市场规模（亿元）

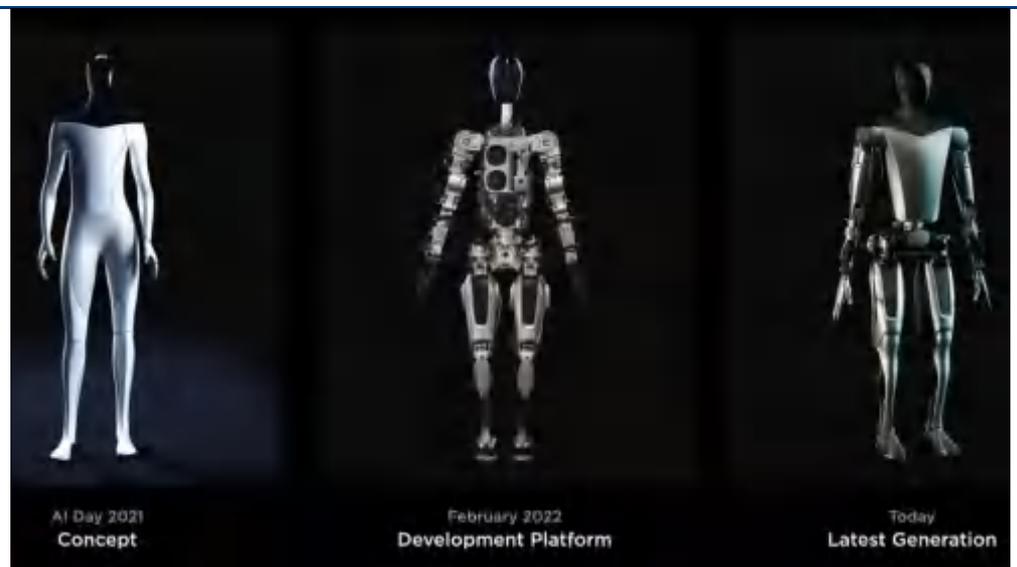


资料来源：绿的谐波招股书，GGII，IFR，华创证券测算

（二）人形机器人开启新赛道，有望引领谐波减速器百亿级新增量

特斯拉入局，人形机器人实现快速迭代。特斯拉于 2021 年 AI Day 首次提出人形机器人计划；于 2022 年 AI Day 发布 Optimus 原型机，实现了行走、挥手、搬运货物、给花浇水等动作；2023 年 5 月股东大会上，Optimus 灵活性有所提高，可执行更复杂的任务，实现更为流畅的行走和抓取物品。从计划到样机发布，特斯拉仅用了不到 1 年的时间，人形机器人正式开始走进现实。

图表 31 特斯拉人形机器人



资料来源：特斯拉 AI Day 2022

国产人形机器人持续发力，2023 年多家公司首次发布样机。我国对人形机器人的研发起步相对较晚，初期多为高校参与，北理工、浙江大学等已取得较好的成果，为中国人形机器人产业化打下了坚实的理论基础。目前由于该领域技术壁垒较高，国内研发人形机器人本体的公司除高校研究机构孵化公司外，其余多为高科技公司，且随着特斯拉 Optimus 的问世，国内企业加速布局。2023 年以来，追觅、傅利叶、宇树科技等相继发布人形机器人，意味着人形机器人正逐步走向商用化。

图表 32 国内人形机器人近期研发情况



资料来源：各公司官网，华创证券整理

海外龙头进展较快，2024 年有望迎来量产元年。马斯克于特斯拉 2023Q2 业绩说明会上表明，目前公司已生产 10 台人形机器人，计划于 23 年 11 月进行行走测试，于 24 年在特斯拉工厂进行实用性测试，待完全量产后价格或将降至 2 万美元以下。预期特斯拉人形机器人将于 2024 年实现小批量生产。

国内利好政策频出，“揭榜挂帅”助力攻关关键核心技术。人形机器人技术虽已取得显著进展，但在本体能力、运动能力和智能能力方面仍面临一定挑战，且大部分企业的生产成本仍处于较高水平，不利于量产。为推动产业化进程，山东、深圳、上海、北京陆续出台相关政策支持人形机器人的创新发展和规模化应用。2023 年 9 月 13 日，工信部印发《关于组织开展 2023 年未来产业创新任务揭榜挂帅工作的通知》，在人形机器人揭榜挂帅任务榜单中以 2025 年为检验时间点，提出了多项创新任务和预期目标，如集成减速器、电机、驱动器的一体化旋转电驱动关节峰值输出功率密度应优于 600W/kg，峰值力矩密度应优于 100N.m/kg。2023 年 10 月 20 日，《人形机器人创新发展指导意见》发布，明确 2025 年人形机器人创新体系初步建立；2027 年技术创新能力显著提升等目标。

图表 33 人形机器人政策总结

时间	省市	文件	内容
2023/6/28	北京	《北京市机器人产业创新发展行动方案（2023—2025 年）》	着眼世界前沿技术和未来战略需求， 加紧布局人形机器人 ，带动医疗健康、协作、特种、物流四类优势机器人产品跃升发展，实施百项机器人新品工程，打造智能驱动、产研一体、开放领先的创新产品体系。
2023/6/15	上海	《上海市推动制造业高质量发展三年行动计划（2023-2025 年）》	瞄准人工智能技术前沿，构建通用大模型，面向垂直领域发展产业生态，建设国际算法创新基地， 加快人形机器人创新发展 。
2023/5/31	深圳	《深圳市加快推动人工智能高质量发展高水平应用行动方案（2023—2024 年）》	实施核心技术攻关载体扶持计划，支持科研机构与企业共建 5 家以上人工智能联合实验室， 加快组建广东省人形机器人制造业创新中心 ；发挥粤港澳大湾区制造业优势， 开展人形机器人规模化应用 。
2023/4/29	山东	《山东省制造业创新能力提升三年行动计划（2023—2025 年）》	研究制定山东省未来产业高质量发展行动计划， 加快布局人形机器人、元宇宙、量子科技、未来网络、碳基半导体、类脑计算、深海极地、基因技术、深海空天开发等前沿领域 ，推进 6G 技术研发和应用。

资料来源：各省市政府官网，华创证券

图表 34 人形机器人揭榜挂帅任务榜单

环节	2025 目标
基础部分：	
全身动力学控制算法	自由度不少于 28 个；平地最大行走速度 ≥4km/h；最大奔跑速度 ≥9km/h
电机驱动器	最高效率不低于 95%；重量小于 210g（含散热片）；尺寸小于 170cm ³ ；最大连续功率达到 6kW
力传感器	精度达到 0.5%FS；响应时间优于 0.03s

MEMS 姿态传感器	俯仰角和横滚角静态精度为 0.1°；零偏稳定性 (1σ, 10s 平滑) 不低于 0.3° /h
触觉传感器	指尖、指腹和掌面部传感器阵列密度 1mm × 1mm (厚度 ≤ 0.3mm)；力检测范围 0.1N/cm ² ~240N/cm ² (10g/cm ² ~24kg/cm ²) ± 5%；最小检测力 10g
产品部分:	
旋转型电驱动关节	集成减速器、电机、驱动器等, 峰值输出功率密度优于 600W/kg; 峰值力矩密度优于 100N.m/kg
直线型电驱动关节	推力覆盖 500-10000N; 推力密度不低于 1500 N/kg
机械臂与灵巧手	手指末端负载能力 ≥ 3kg; 灵巧手集成位置、力、触觉等传感器, 臂体重量 ≤ 9kg (其中灵巧手 ≤ 900g)
高算力主控制器	单台主控制器工作功耗不高于 60W; 算力不低于 200Tops
高能量密度电池	输出电压 48V-100V; 电池组的能量密度不低于 220Wh/kg

资料来源: 工信部, 华创证券

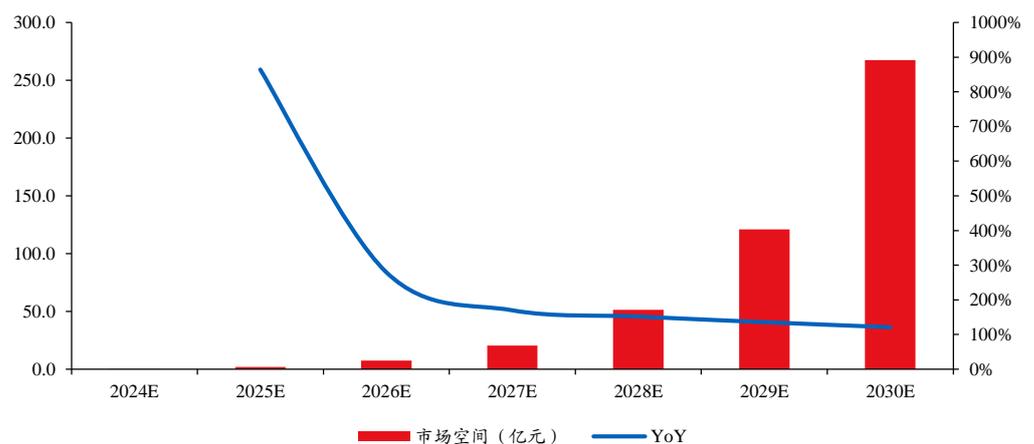
人形机器人的量产将为谐波减速器开辟百亿级新市场。特斯拉 Optimus 躯干共有 28 个关节执行器, 其中旋转关节 14 个, 包括肩部 6 个、肘部 2 个、腰部 2 个、髋部 4 个。旋转关节由无框力矩电机+谐波减速器+力矩传感器+双编码器构成, 其中谐波减速器规格为 3 种, 分别为 20Nm/110Nm/180Nm。参考该方案, 假设 2024 年起人形机器人将实现从 0 到 1 的跨越, 且谐波减速器价格随着产量的提升呈逐步下降趋势, 预计 2024-2030 年人形机器人用谐波减速器市场将由 0.2 亿元增长至 267.4 亿元。

图表 35 Optimus 谐波减速器规格



资料来源: 特斯拉 AI Day 2022

图表 36 人形机器人用谐波减速器市场规模预测 (亿元)

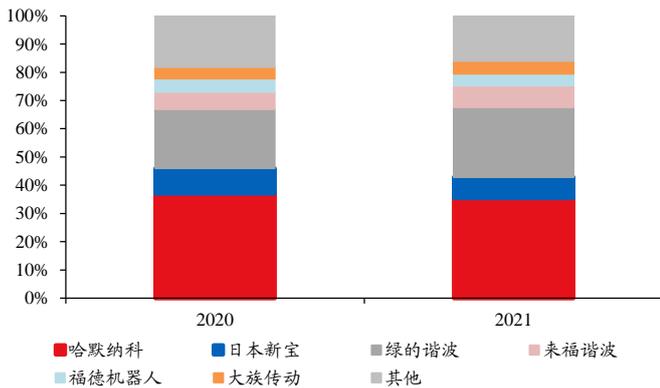


资料来源: 绿的谐波, 华创证券预测 (单台人形机器人谐波减速器用量参考特斯拉, 价格参考当前国产价格)

三、行业集中度较高，国产品牌打破外资垄断

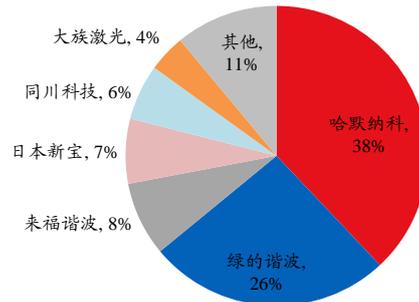
市场集中度较高，国产替代趋势明确。据华经产业研究院统计，2020-2021年，哈默那科/绿的谐波中国谐波减速器市占率由37%/21%变化为35.5%/24.7%，虽然日本企业长期处于垄断地位，但近几年国产替代趋势明确，绿的谐波市占率逐渐提升。据MIR，2022年哈默那科、绿的谐波、来福谐波中国谐波减速器市占率位列前三，分别为38%/26%/8%。

图表 37 2020/2021 年中国谐波减速器市场格局



资料来源：华经产业研究院，华创证券

图表 38 2022 年中国谐波减速器市场格局

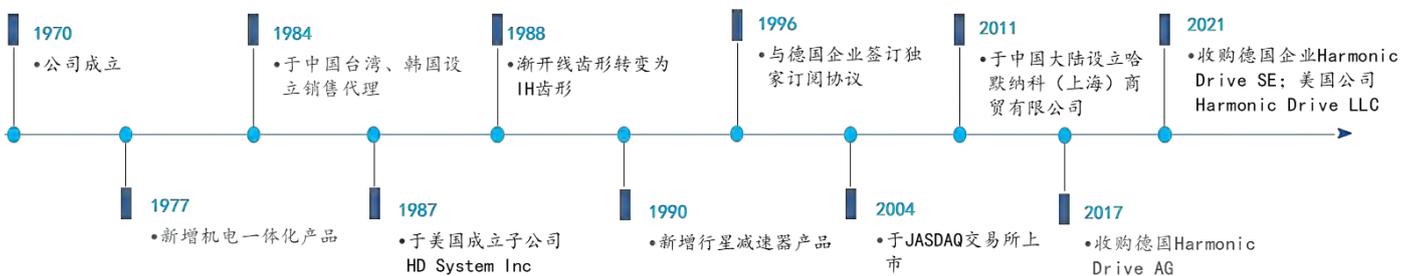


资料来源：MIR，华创证券

（一）哈默那科先发优势明显，国产品牌绿的谐波强势突围

先发优势明显，全球市场布局。哈默那科成立于1970年，初期专注于谐波减速器市场；1977年新增机电一体化产品；1990年新增行星减速器产品。谐波减速器产品领域，1988年CSS系列产品诞生，由渐开线齿形转变为IH齿形，产品的强度、刚性和寿命等性能均有所提升；此后伴随着技术的不断升级，CSF、CSG等系列产品相继出现，且在减速比/扭矩能力/使用寿命/厚度等方面均有明显突破，产品性能领先。在市场开拓方面，公司自1984年起对全球市场进行布局，先后切入中国台湾、韩国、美国、德国、中国大陆市场，进一步打开了成长空间。

图表 39 哈默那科发展历程

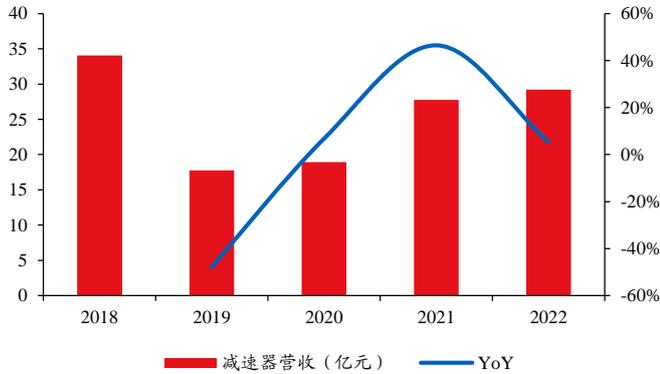


资料来源：哈默那科官网，华创证券

2019-2022 财年减速器营收持续上升，整体毛利率维持较高水平。2019年，中美贸易摩擦背景下，公司受中国市场减少对自动化投资的影响，销量大幅下降；此后随着需求的好转，减速器营收呈逐年上升趋势。2019-2022年，公司减速器产品营收由17.8亿元增

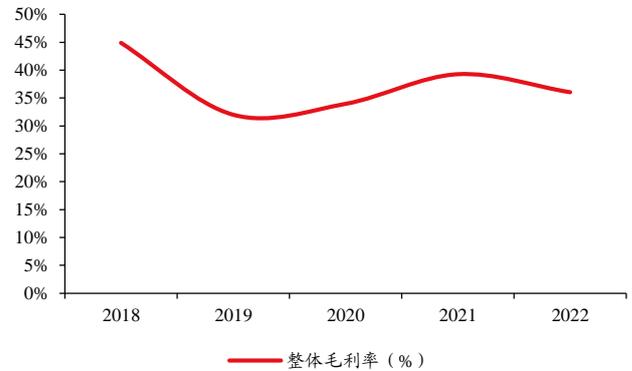
长至 29.2 亿元，CAGR 为 18.1%。且由于公司产品技术壁垒较高，整体毛利率虽有小幅波动，但始终保持较高水平，2022 年为 36.1%。

图表 40 减速器产品营收 (亿元)



资料来源：公司官网，华创证券

图表 41 公司毛利率



资料来源：公司官网，华创证券

国产品牌代表，实力发展迅速。绿的谐波成立于 2011 年；2013 年公司相继推出十四个系列近百种谐波减速器，产品逐渐被市场认可；2018 年，精密谐波减速器产品系列已达十九个，完成 10 万台产销目标；2019 年面向未来的新一代三次谐波减速器“Y 系列”成功问世；2020 年成功于上交所上市。

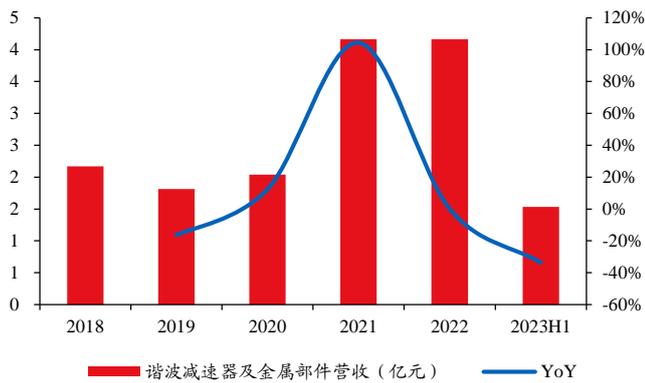
图表 42 绿的谐波发展历程



资料来源：绿的谐波官网，华创证券

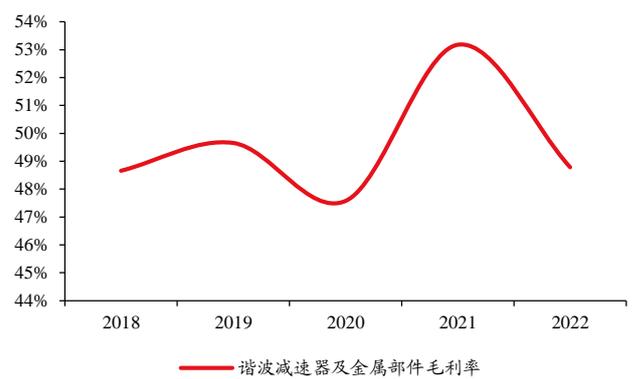
开拓国内市场，盈利能力优异。谐波减速器及金属部件产品方面，2018-2022 年公司对国内市场的开拓卓有成效，营收由 2.2 亿元增长至 4.2 亿元，CAGR 为 17.7%；2023H1 受国内工业机器人行业需求放缓影响，实现营收 1.5 亿元，同比-33.7%。公司具成本优势，谐波减速器及金属部件板块毛利率高于哈默纳科整体毛利率水平，2022 年为 48.8%。

图表 43 谐波减速器及金属部件营收（亿元）



资料来源：公司公告，华创证券（备注：为保证数据可比性，将2018-2019年谐波减速器和精密零部件合计统计）

图表 44 谐波减速器及金属部件毛利率（%）



资料来源：公司公告，华创证券（备注：为保证数据可比性，将2018-2019年谐波减速器和精密零部件合计统计）

（二）国内产品性能仍有上升空间，高端产品产能持续扩张

海内外技术差距逐渐接近，国内品牌仍存上升空间。通过自主研发，绿的谐波发展完善了新一代谐波啮合“P 齿形”设计理论体系、新一代三次谐波技术、独特材料改性技术、齿廓修形优化技术、协同高效润滑技术及超精密制造加工工艺等核心技术，产品性能已与哈默纳科相差无几，但通过对比可用于人形机器人领域的同规格产品参数可以发现，海外产品在转矩/背隙/滞后损失等方面仍略优于国内。但从价格来看，国内产品价格明显低于海外产品，性价比较高。

图表 45 哈默纳科/绿的谐波同规格产品对比

公司名称	型号	减速比	输入 2000r/min 时的额定转矩 (N·m)	起动·停止时的容许最大转矩 (N·m)	平均负载转矩的容许最大值 (N·m)	背隙 (Arc Sec)	容许最高输入转速 (脂润滑) (r/min)	滞后损失 (arc min)
哈默纳科	CSD-20	50	17	39	24	0	6500	2
		80	24	51	33			1
		100	28	57	34			1
		120	28	60	34			1
		160	28	64	34			1
绿的谐波	LCD-20	50	16	37	23	≤ 20	6000	2
		80	23	49	28			2
		100	27	54	32			2

资料来源：哈默纳科官网，深圳品行机电设备有限公司官网（绿的谐波授权销售服务中心），华创证券

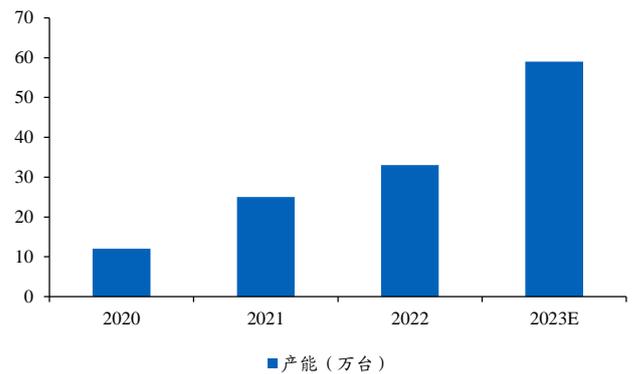
持续扩充产能，高端产品产能增加。从产能布局来看，截至 2022 年 3 月，哈默纳科谐波减速器产能为 222 万台/年（不含车载为 150 万台/年），且公司计划将 2023 年产能提升至 306 万台/年（不含车载为 198 万台/年）。绿的谐波前募项目计划于 2023 年达产，达产后产能为 59 万台/年；最新募投项目为“新一代精密传动装置智能制造项目”，产品采用三次谐波技术，用于机器人、高端数控机床及配件、半导体制造设备领域，新增产能 100 万台/年。根据两次募投项目进度，预计公司 2025 年底总产能可达 79 万台/年，2027 年可达 159 万台/年。

图表 46 哈默纳科月产能



资料来源：哈默纳科官网

图表 47 绿的谐波产能



资料来源：绿的谐波公告，华创证券

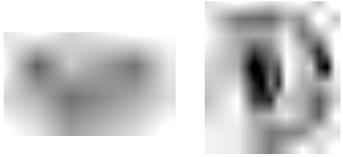
四、相关标的分析

(一) 绿的谐波：谐波减速器龙头，引领国产替代进程

专注精密传动装置研发，技术实力领先。公司专业从事精密传动装置的研发、设计、生产和销售，产品包括谐波减速器及精密零部件、机电一体化执行器、微型电液伺服装置、智能自动化装备等。谐波减速器领域，公司率先实现了工业化生产和规模化应用，打破了国际品牌在国内谐波减速器市场的垄断。目前公司共有LCD/LCS/LCSG/LHD/LHS/LHSG六大系列产品，覆盖工业机器人/人形机器人/金属机床/医疗机械等高端制造领域，产品采用自主研发设计的“P齿形”，且具备新一代三次谐波技术，在全球走在前列。截至2023H1，公司已拥有境外专利6项，国内有效专利117项（其中发明专利19项，实用新型专利98项），外观设计专利4项，软件著作权3项。

图表 48 绿的谐波谐波减速器产品系列

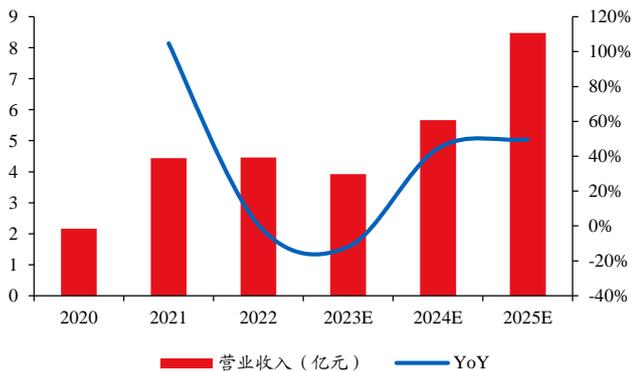
产品系列	产品特点	应用领域	产品图示
LCD	柔轮为超薄杯状结构，整机设计采用超扁平结构，体积小、重量轻。	机器人/人形机器人	
LCS	柔轮为杯形标准筒结构	机器人/人形机器人/金属机床/印刷装订纸品加工机械/半导体制造装置/医疗机械等	
LCSG	高扭矩型谐波减速器，扭矩承载能力比LCS系列提升30%以上。其柔轮为杯形标准筒结构。	机器人/人形机器人/金属机床/印刷装订纸品加工机械/木材轻金属塑料加工机床/印刷电路制造装置	

LHD	LHD-I 系列柔轮为超薄结构，整机设计已达到扁平的极限；LHD-III 系列柔轮为超薄中空翻边结构，波发生器凸轮中部有大口径中空轴孔。	机器人/人形机器人/半导体制造装置/FPD 制造设备/金属机床/金属加工机械/印刷装订纸品加工机械等	
LHS	柔轮为中空翻边形标准筒结构	机器人/人形机器人/金属机床/金属加工机械/印刷装订纸品加工机械等	
LHSG	高扭矩谐波减速器，扭矩承载能力比 LHS 系列提高 30% 以上。其柔轮为中空翻边形标准筒结构。	机器人/人形机器人/金属机床/金属加工机械/印刷装订纸品加工机械/木材轻金属塑料加工机床等	

资料来源：绿的谐波公司官网，华创证券

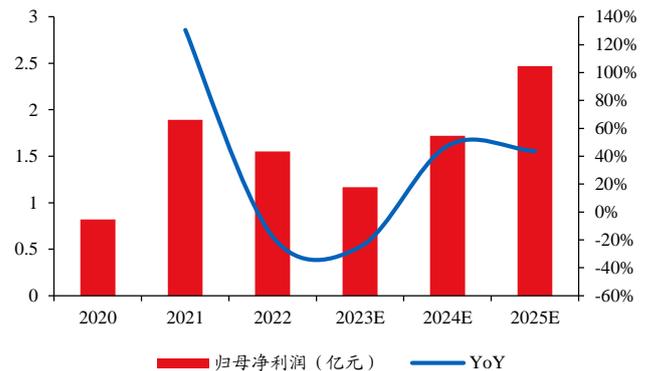
截至 2024 年 1 月 4 日，根据 Wind 一致性预测，预计公司 23/24/25 年营收为 3.9/5.7/8.5 亿元，同比-12%/+44.4%/+49.6%；归母净利润为 1.2/1.7/2.5 亿元，同比-25%/+47.5%/+43.6%，对应当前 PE 为 200.9/136.2/94.8 倍。

图表 49 绿的谐波营收（亿元）及增速



资料来源：Wind，华创证券

图表 50 绿的谐波归母净利润（亿元）及增速



资料来源：Wind，华创证券

（二）双环传动：国内 RV 减速器龙头企业，17 年拓展谐波减速器业务

布局机器人关节高精密减速机，RV 减速器国产第一品牌。双环传动成立于 1980 年，由摩托车齿轮逐步向汽车、工程机械、工业机器人等领域迈进，目前主要产品为乘用车齿轮、商用车齿轮、工程机械齿轮、减速器及其他产品。机器人领域，2013 年公司开始研发 RV 减速器，成功打破日本垄断，成为国产第一品牌，并于 2017 年研制谐波减速器。2020 年子公司环动科技成立，专门从事机器人关节高精密减速机、高精密液压零部件的研发及产业化，目前自主开发的 SHPR-E、SHPR-C 等系列共计 50 多个品种减速机已实现 3kg-1000kg 工业机器人用减速机的全面覆盖并成功批量应用于国内各机器人头部企业。

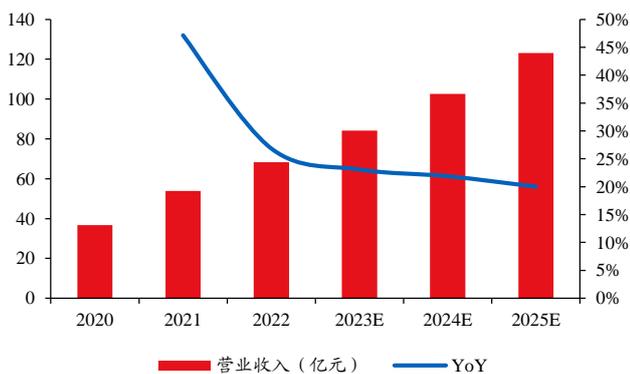
图表 51 双环传动核心产品



资料来源：公司官网

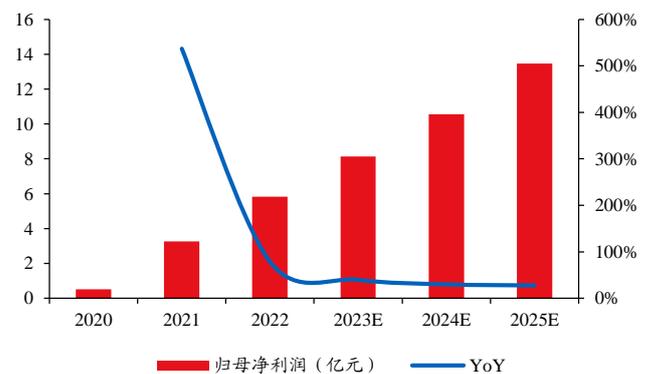
截至 2024 年 1 月 4 日，根据 Wind 一致性预测，预计公司 23/24/25 年营收为 84.2/102.6/123.1 亿元，同比增长 23.1%/21.9%/20%；归母净利润为 8.1/10.6/13.5 亿元，同比增长 39.7%/29.9%/27.5%，对应当前 PE 为 25.7/19.8/15.5 倍。

图表 52 双环传动营收（亿元）及增速



资料来源：Wind，华创证券

图表 53 双环传动归母净利润（亿元）及增速



资料来源：Wind，华创证券

（三）中大力德：深耕精密传动领域，同时具备行星/RV/谐波减速器

深耕精密传动领域，由单一产品向模组化产品演进。中大力德成立于 1998 年，深耕自动化传动与驱动装置的研发和制造，相继推出微型无刷直流减速电机、精密行星减速器、滚筒电机、RV 减速器、谐波减速器、伺服驱动、永磁直流减速电机等产品。且顺应行业小型化、集成化、一体化的发展趋势，整合核心零部件系统，围绕工业自动化和工业机器人推出“精密行星减速器+伺服电机+驱动”一体机、“RV 减速器+伺服电机+驱动”一体机、“谐波减速器+伺服电机+驱动”一体机等模组化产品，产品结构实现升级。

图表 54 中大力德产品

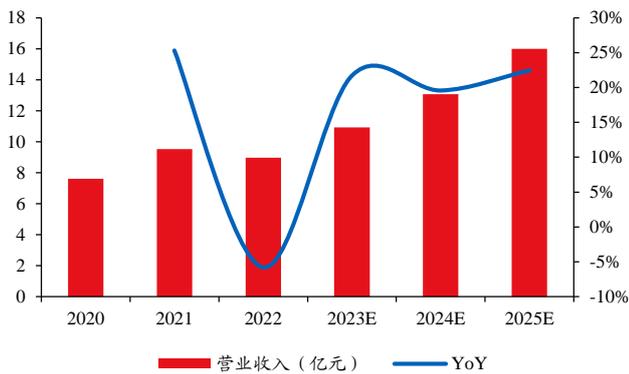
产品名称	应用领域	图示
减速电机	智能物流、食品、包装、纺织、木工、陶瓷、电子医疗等工业自动化领域的机械设备	
行星减速器	叉车、医疗设备、AGV 无人搬运车、门禁系统、数控机床、机械手、食品机械、包装机械、激光切割机、木工雕刻机等自动化设备	
RV/谐波减速器	工业机器人、服务机器人、工业自动化中的 H 型和 L 型的变位机、机床四五轴、新能源汽车机壳的压铸、分割器等	
伺服电机	工业机器人和工业自动化	
驱动器	工业机器人和工业自动化	
机器人组件	焊接、搬运、码垛、打磨、3C 等行业	

资料来源：公司公告，公司官网，华创证券

RV 减速器打破外资垄断，切入谐波减速器市场。公司先后开发行星/RV/谐波减速器，且在 RV 减速器方面跻身第一梯队，逐步实现进口替代。公司对谐波减速器的研发相对较晚，2016 年进行开发，2020 年实现批量供货。目前公司可同时提供 RV、谐波、行星减速器和电机、伺服驱动、机电一体化等全系列产品，25kg 以下的“半个机器人”已批量生产，50kg 和 100kg 的已经完成组装并进入测试阶段。

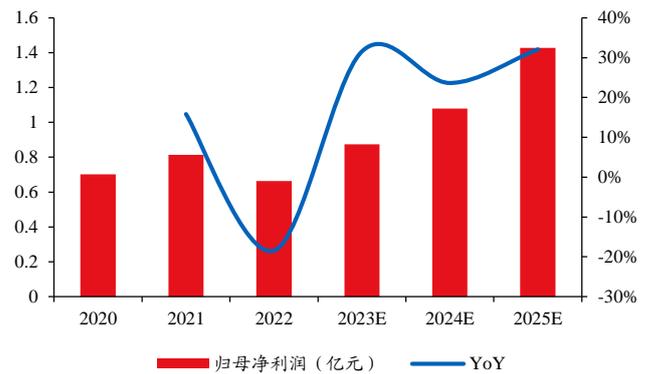
截至 2024 年 1 月 4 日，根据 Wind 一致性预测，预计公司 23/24/25 年营收为 10.9/13.1/16 亿元，同比增长 21.7%/19.6%/22.4%；归母净利润为 0.9/1.1/1.4 亿元，同比增长 31.6%/23.7%/32.1%，对应当前 PE 为 60.5/48.9/37 倍。

图表 55 中大力德营收（亿元）及增速



资料来源: Wind, 华创证券

图表 56 中大力德归母净利润（亿元）及增速

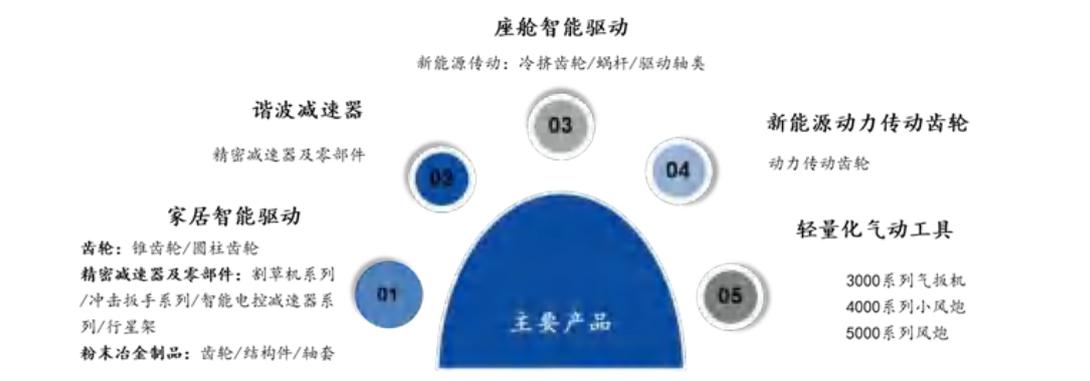


资料来源: Wind, 华创证券

(四) 丰立智能：专精特新“小巨人”企业，基于电动工具减速器发展谐波减速器

专精特新“小巨人”企业，齿轮及相关精密部件领域经验丰富。丰立智能以刚齿轮为主线逐步延伸至用于机器人行业的精密减速器及新能源汽车行业的动力传动齿轮、座舱智能驱动等产品，广泛应用于新能源汽车、工业机器人、智能家居、医疗器械、电动工具、电站远程控制系统等领域。

图表 57 公司各领域主要应用场景产品介绍



资料来源: 公司公告, 华创证券

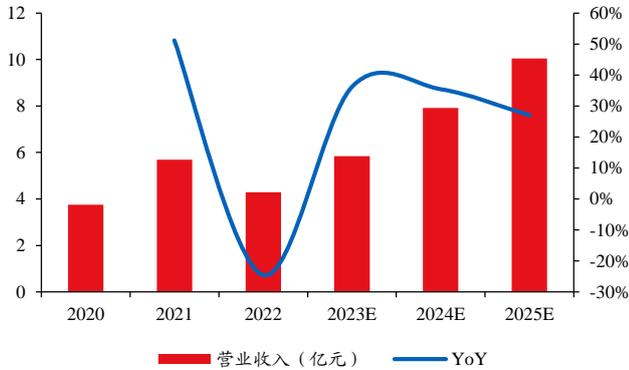
精密减速器产品起步较晚，借助设备及技术共通性快速发展。2016年，公司第一款谐波减速器研发成功；2022年，公司向机器人整机企业送样，目前延伸应用于传统机器人行业的精密减速器业务量占比较小，且产品暂未应用于人形机器人领域。公司募投项目齿轮箱升级及改造项目达产后，预计将新增精密谐波减速器产能 3.5 万件。公司深耕于小模数齿轮产业多年，在精密减速器领域优势如下：

设备：机器人关节对减速器的控制精度、稳定性要求更高，募投项目拟购入超精密数控车床、柔轮精密滚齿机、钢轮内齿超精密线切割机、进口精密滚插机、精密数控凸轮磨床，以满足谐波精密减速器的生产需求。但同时，部分设备与公司电动工具减速器（齿轮箱）生产设备可共用，如变压器扩容、空压机、冷干机等。

技术：谐波减速器与电动工具减速器（齿轮箱）在技术设计层面具有一定共通性，都是基于小模数齿轮理论，对齿形进行修正设计及计算，从而降低齿高、减少齿间摩擦、提高精度及耐久性。目前发行人已具备一定的谐波减速器理论基础及技术储备。

截至 2024 年 1 月 4 日，根据 Wind 一致性预测，预计公司 23/24/25 年营收为 5.8/7.9/10.1 亿元，同比增长 36.2%/35.4%/27.1%；归母净利润为 0.8/1.1/1.3 亿元，同比增长 71.5%/31.2%/23.8%，对应当前 PE 为 69.8/53.2/43 倍。

图表 58 丰立智能营收（亿元）及增速



资料来源: Wind, 华创证券

图表 59 丰立智能归母净利润（亿元）及增速



资料来源: Wind, 华创证券

(五) 国茂股份：通用减速机龙头，前瞻性布局机器人减速器

深耕减速机行业 30 年，子公司国茂精密专注精密传动业务。公司主营产品为齿轮减速机和摆线针轮减速机，产品广泛应用于工程机械、智能物流与仓储、工业自动化、冶金、环保、新能源、食品轻工、港口机械、资源开采等通用机械行业各领域。2021 年子公司国茂精密成立，同期完成对安徽聚隆机器人减速器有限公司、安徽聚隆启帆精密传动有限公司与减速机有关的部分业务及业务资产的收购，公司专注于谐波产品的工艺改善、成本管控以及型号的完善。2022 年通过工艺改进，产品角度传递精度小于 20 角秒，达到业界先进水平；通过新材料的运用及设计端的优化，部分产品在性能不变的前提下，重量减少约 30%，可有效降低材料成本。此外，顺利完成了 10 种型号的新品开发工作。

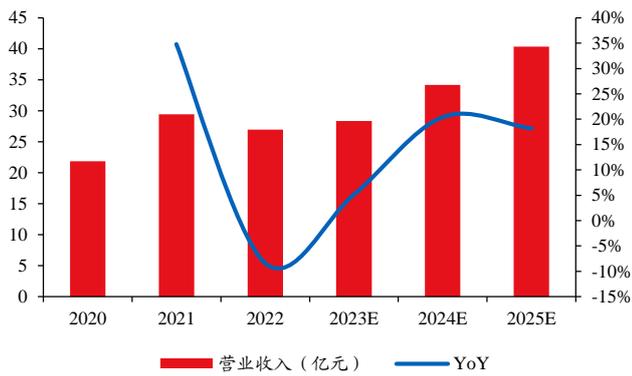
图表 60 国茂股份主要产品

产品类别	图示	特点
齿轮减速机		传动效率高；传递功率范围较广；结构灵活，可满足各种工况要求
摆线针轮减速机		结构紧凑体积小；单级传动比大；运转平稳噪声低、拆卸方便、易维修

资料来源: 公司公告, 华创证券

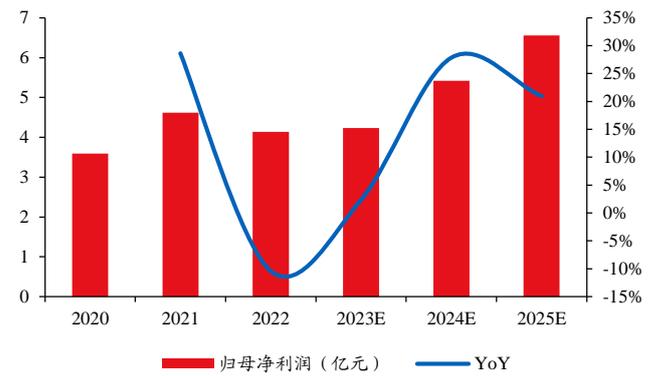
截至 2024 年 1 月 4 日，根据 Wind 一致性预测，预计公司 23/24/25 年营收为 28.4/34.1/40.4 亿元，同比增长 5.1%/20.4%/18.2%；归母净利润为 4.2/5.4/6.6 亿元，同比增长 2.4%/27.9%/21%，对应当前 PE 为 24.3/19/15.7 倍。

图表 61 国茂股份营收（亿元）及增速



资料来源: Wind, 华创证券

图表 62 国茂股份归母净利润（亿元）及增速



资料来源: Wind, 华创证券

五、风险提示

人形机器人放量不及预期、国产替代进程不及预期、工业自动化需求不及预期等。

电力设备新能源小组团队介绍

中游制造组组长，电力设备新能源首席研究员：黄麟

吉林大学材料化学博士，深圳大学材料学博士后，曾任职于新时代证券/方正证券/德邦证券研究所。2022 年加入华创证券研究所。

高级分析师：盛炜

墨尔本大学金融专业硕士，入行 5 年，其中买方经验 2 年。2022 年加入华创证券研究所。

高级研究员：苏千叶

中南大学硕士，研究方向锂电池，曾任上汽新能源动力电池工程师、德邦电新研究员，2022 年加入华创证券研究所。

高级研究员：何家金

上海大学硕士。2 年电新研究经验，曾任职于方正证券研究所、德邦证券研究所，2022 年加入华创证券研究所。

高级研究员：吴含

中山大学金融学学士，伦敦大学国王学院金融硕士。1 年产业，2 年电新研究经验，曾任职于西部证券研究所、明阳智能投关部、德邦证券研究所。2022 年加入华创证券研究所。

研究员：梁旭

武汉大学物理学本科，港中文金融硕士，曾任职于德邦证券研究所。2022 年加入华创证券研究所。

助理研究员：代昌祺

西北农林科技大学金融学硕士，曾任职于德邦证券研究所。2022 年加入华创证券研究所。

助理研究员：蒋雨凯

中国科学技术大学金融硕士。2023 年加入华创证券研究所。

助理研究员：杨天翼

中山大学金融硕士。2023 年加入华创证券研究所。

华创行业公司投资评级体系

基准指数说明:

A股市场基准为沪深300指数, 香港市场基准为恒生指数, 美国市场基准为标普500/纳斯达克指数。

公司投资评级说明:

强推: 预期未来6个月内超越基准指数20%以上;
推荐: 预期未来6个月内超越基准指数10% - 20%;
中性: 预期未来6个月内相对基准指数变动幅度在-10% - 10%之间;
回避: 预期未来6个月内相对基准指数跌幅在10% - 20%之间。

行业投资评级说明:

推荐: 预期未来3-6个月内该行业指数涨幅超过基准指数5%以上;
中性: 预期未来3-6个月内该行业指数变动幅度相对基准指数-5% - 5%;
回避: 预期未来3-6个月内该行业指数跌幅超过基准指数5%以上。

分析师声明

每位负责撰写本研究报告全部或部分内容的分析师在此作以下声明:

分析师在本报告中对所提及的证券或发行人发表的任何建议和观点均准确地反映了其个人对该证券或发行人的看法和判断; 分析师对任何其他券商发布的所有可能存在雷同的研究报告不负有任何直接或者间接的可能责任。

免责声明

。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。

本报告所载资料的来源被认为是可靠的, 但本公司不保证其准确性或完整性。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断。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。本公司在知晓范围内履行披露义务。

报告中的内容和意见仅供参考, 并不构成本公司对具体证券买卖的出价或询价。本报告所载信息不构成对所涉及证券的个人投资建议, 也未考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需求。客户应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定状况, 自主作出投资决策并自行承担投资风险, 任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。本报告中提及的投资价格和价值以及这些投资带来的预期收入可能会波动。

本报告版权仅为本公司所有, 本公司对本报告保留一切权利。未经本公司事先书面许可, 任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发表、转发或引用本报告的任何部分。如征得本公司许可进行引用、刊发的, 需在允许的范围内使用, 并注明出处为“华创证券研究”, 且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

证券市场是一个风险无时不在的市场, 请您务必对盈亏风险有清醒的认识, 认真考虑是否进行证券交易。市场有风险, 投资需谨慎。

华创证券研究所

北京总部	广深分部	上海分部
地址: 北京市西城区锦什坊街26号恒奥中心C座3A 邮编: 100033 传真: 010-66500801 会议室: 010-66500900	地址: 深圳市福田区香梅路1061号中投国际商务中心A座19楼 邮编: 518034 传真: 0755-82027731 会议室: 0755-82828562	地址: 上海市浦东新区花园石桥路33号花旗大厦12层 邮编: 200120 传真: 021-20572500 会议室: 021-20572522