



信达证券
CINDA SECURITIES

Research and
Development Center

机器人系列报告（四）：精密减速器&轴承，国产突围在即

2023 年 9 月 14 日

并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费



证券研究报告

行业深度研究

电力设备与新能源

投资评级 看好

上次评级 看好

武浩 电力设备与新能源行业首席分析师

执业编号: S1500520090001

联系电话: 010-83326711

邮箱: wuhao@cindasc.com

孙然 电力设备与新能源行业研究助理

联系电话: 18721956681

邮箱: sunran@cindasc.com

信达证券股份有限公司

CINDA SECURITIES CO., LTD

北京市西城区闹市口大街9号院1号楼

邮编: 100031

精密减速器&轴承，国产突围在即

2023年9月14日

本期核心观点

- **精密减速器应用领域广泛，国产减速器蓄势待发。**精密减速器是传动领域核心部件之一，可以改变原动机与执行机构之间的转速和转矩，增加输出的扭矩。减速器下游应用广泛，在起重设施、建材、机器人等领域有所应用，主要产品可以分为谐波减速器、RV 减速器、行星减速器、滤波齿轮减速器等。减速器壁垒主要在于原材料、加工工业和热处理技术等，2021 年国内减速器市场规模千亿，日系企业占据较大市场份额，经过我国减速器近年的发展，与海外头部减速器企业产品差距逐渐收敛，未来份额有望提升。
- **人形机器人催化，机器人减速器市场风起云涌。**减速器作为工业机器人、协作机器人和人形机器人的核心部件，应用领域广阔、发展潜力大。谐波减速器、RV 减速器在机器人应用中占比较多，在机器人中成本占比较高，2022 年全球机器人减速器市场规模约为 14.92 亿美元，前景广阔。人形机器人方面，考虑一体化关节构成和承载因素，特斯拉人形机器人可能使用谐波减速器、类 RV 减速器和行星减速器，而国产机器人方案可能采用行星减速器方案。我们认为随着人形机器人的加速落地，机器人减速器市场规模空间有望打开，相关减速器市场增速有望提升。
- **轴承为机器人减速器、电机、丝杠组成部件之一，国产化在即。**轴承种类繁多，下游应用包括汽车、家电、电机等多个场景，2021 年全球轴承行业的市场规模为 1213 亿美元，市场份额主要由国际厂商所占据。在机器人上，轴承在机器人电机、减速器和丝杠上均有应用，若人形机器人减速器均由谐波减速器构成，我们判断单个机器人轴承价值量较大，有望随着人形机器人落地，快速提升整体市场空间。我们认为，随着机器人打开新应用空间，叠加轴承国产化政策+国内企业发力，国产轴承相关企业有望迎来新机遇。
- **投资建议：**我们认为近期人形机器人尤其是国内机器人厂商+海外大厂的跟进，落地有望加速，相关减速器+轴承企业有望进一步催化。建议关注长盛轴承、五洲新春、双环传动（信达证券研发中心汽车组覆盖）、绿的谐波。
- **风险因素：**核心技术发展不及预期；人形机器人量产不及预期；地缘政治风险&宏观经济下行风险等。

目录

一、减速器：传动领域核心部件，受益机器人市场增长	5
1.1 减速器：传动领域核心之一，应用领域广泛	5
1.2 国产减速器与海外差距收敛，市场规模稳步增长	10
1.3 人形机器人催化，机器人减速器市场风起云涌	13
二、轴承：风起人形机器人，群雄逐鹿谁主浮沉	20
2.1 轴承种类繁多，下游应用广泛	20
2.2 机器人组成部件之一，有望打开成长空间	21
2.2.1 机器人减速器轴承情况	22
2.2.2 电机相关轴承情况	23
2.2.3 丝杠：人形机器人有望催化轴承需求	24
2.3 群雄逐鹿，千亿市场谁主浮沉	26
三、投资建议	31
四、风险因素	32

图表目录

图表 1：精密减速器机电一体化模组示意图	5
图表 2：2019 年中国减速器产品下游行业分布	6
图表 3：谐波减速器下游应用领域	6
图表 4：谐波减速器结构图	6
图表 5：谐波齿轮传动原理图	6
图表 6：RV 减速器结构示意图	7
图表 7：行星减速器结构示意图	8
图表 8：摆线针轮行星传动示意图	8
图表 9：滤波减速器结构示意图	9
图表 10：滤波减速器外形图	9
图表 11：不同种类减速器产品对比（单级）	9
图表 12：全球减速器市场规模（亿美元）	10
图表 13：中国减速器市场规模（亿元）及增速	10
图表 14：我国 RV 减速器市场规模（亿元）	10
图表 15：我国行星减速器销售额情况（亿元）	10
图表 16：我国谐波减速器市场规模（亿元）	11
图表 17：全球精密减速器市场格局	11
图表 18：2022 年我国谐波减速器市场份额占比	11
图表 19：2022 年我国 RV 减速器市场份额占比	12
图表 20：2022 年我国行星减速器市场份额占比	12
图表 21：工业机器人减速产品国内外对比	12
图表 22：(a—c) 国产和 (d—f) 日本柔轮显微组织光学显微镜照片和 SEM 照片	13
图表 23：人形机器人三种驱动方式简图	14
图表 24：LOLA 人形机器人 CAD 模型和整体关节结构图	15
图表 25：LOLA 髋关节结构示意图	15
图表 26：WALK-MAN 弹性驱动单元结构图	15
图表 27：ARTEMIS 下体关节和执行器位置	16
图表 28：ARTEMIS 髋关节驱动单元	16
图表 29：三种驱动单元及减速器对比	16
图表 30：全球机器人领域精密减速器不同产品占比	17
图表 31：全球工业机器人市场规模及增速	17
图表 32：我国 50kg 工业机器人成本构成	17
图表 33：全球机器人用减速机市场规模（亿美元）	18

图表 34: 我国工业机器人减速器需求趋势预测图	18
图表 35: 一体化关节可以采用谐波减速器	18
图表 36: 智元远征 A1 机器人核心关节采用行星减速器方案	18
图表 37: 国内减速器代表相关布局	19
图表 38: 轴承分类情况	20
图表 39: 2021 年轴承下游占比情况	21
图表 40: 轴承在汽车上的应用情况	21
图表 41: 工业机器人减速器对应轴承需求情况	21
图表 42: 人形机器人部件轴承情况	22
图表 43: 谐波减速器柔性轴承	22
图表 44: RV 减速器滚针轴承	22
图表 45: 工业机器人减速器对应轴承需求情况	23
图表 46: 电机对应轴承情况	23
图表 47: 卧式电机选择轴承情况	24
图表 48: 滚珠丝杠两端单向固定支承系统图	25
图表 49: 数控机床对应滚动轴承情况	25
图表 50: 特斯拉人形机器人线性执行器	25
图表 51: 角接触轴承	26
图表 52: 四点接触球轴承	26
图表 53: 深沟球轴承	26
图表 54: 全球轴承市场规模 (亿美元)	27
图表 55: 2020 年全球轴承市场份额情况	27
图表 56: 中国轴承企业主营收入 (亿元)	27
图表 57: 2021 年全球轴承市场份额情况	27
图表 58: 国家轴承相关国产化政策	28
图表 59: 各类轴承攻关单位情况	28
图表 60: 国产轴承布局情况	30
图表 61: 主要标的情况	31

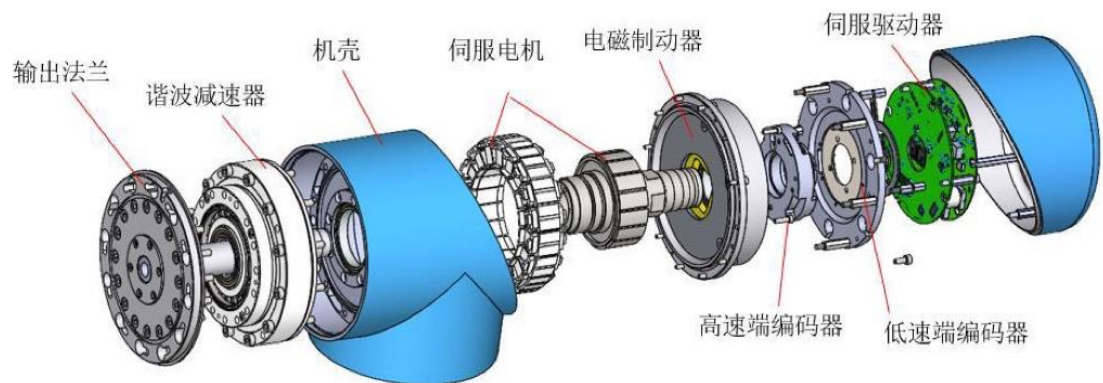
一、减速器：传动领域核心部件，受益机器人市场增长

1.1 减速器：传动领域核心之一，应用领域广泛

减速器的主要作用是改变原动机与执行机构之间的转速和转矩。根据徐彪《行星齿轮减速器传动装置分析与研究》，减速器是一种通过联轴器将原动机与工作机连接起来闭式变速传动装置，大部分情况是降低输出端的旋转速度同时增大输出端的转矩，在某些特定的情况下，亦可用它来提升转速降低转矩，此时则称之为增速器。减速比，也称减速装置的传动比，是指减速机构中瞬时输入速度与输出速度的比值，是减速器选型过程中参考的重要指标。

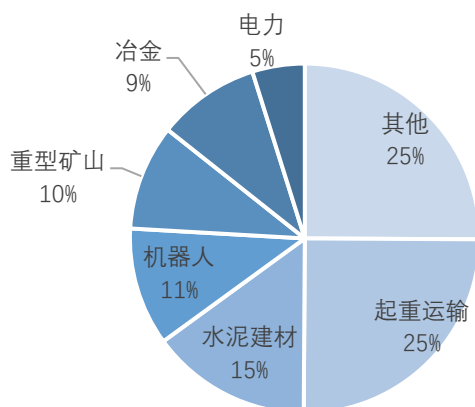
电机可以通过减速器来降低输出轴的转速、增加扭矩输出、减少噪音和振动：1) 在需要精确控制转速的设备中，如工厂生产线、机器人等，一些电机（如步进电机）在低转速下效率不高，因此需要减速器降低电机输出轴的转速；2) 在需要输出较大扭矩的设备中，如起重机、输送带、石材加工机械等，电机直接驱动难以实现所需的扭矩输出，需要减速器来增加扭矩输出；3) 在一些对噪音和振动要求较高的设备中，如飞机、高速列车等，电机直接驱动会产生较大的噪音和振动，影响设备的正常运行和使用寿命，因此需要减速机通过减少电机的转速来降低噪音和振动。

图表 1：精密减速器机电一体化模组示意图



资料来源：绿的谐波公告，信达证券研发中心

减速器在下游行业应用中具有难以替代的配套地位，是机器人的重要组成部分。由于减速器能够改变原动机与执行机构之间的转速和转矩，因此广泛分布于起重运输、水泥建材、数控机床、光伏设备、医疗器械等多个行业和领域。同时，减速器是工业机器人、协作机器人和人形机器人的核心零部件，在工业机器人的生产成本中占 35% 左右，应用领域广阔、发展潜力大。

图表 2：2019 年中国减速器产品下游行业分布


资料来源：中国机械工业联合会，前瞻产业研究院，瞻研究公众号，信达证券研发中心

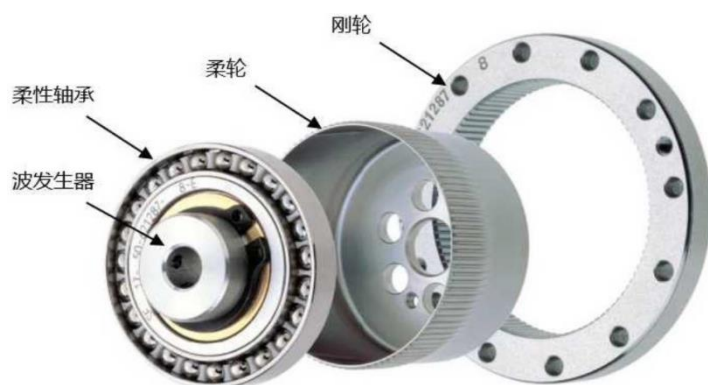
图表 3：谐波减速器下游应用领域


资料来源：绿的谐波招股说明书，信达证券研发中心

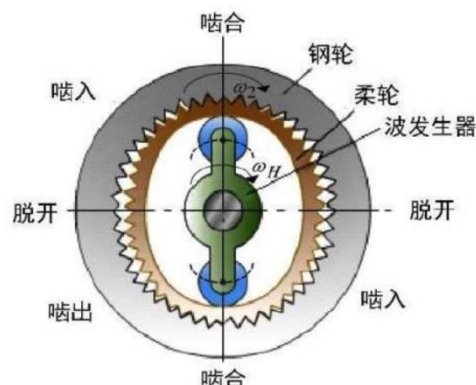
按照控制精度划分，减速器产品可分为一般传动减速器和精密减速器。一般传动减速器控制精度低，可满足机械设备基本的动力传动需求。精密减速器回程间隙小、精度较高、使用寿命长，更加可靠稳定，应用于机器人、数控机床等高端领域。精密减速器种类较多，包括谐波减速器、RV 减速器、摆线针轮行星减速器、精密行星减速器、滤波减速器等。

谐波减速器：精密度高、体积小，但承载能力弱、易疲劳，适用于追求精度和轻量化的场合。

谐波减速器是一种利用柔性构件的弹性变形波来进行动力传动变换的新型齿轮减速器。其组成部分主要包括谐波发生器、柔性轮和钢轮。当波发生器装入柔轮后，迫使柔轮在长轴处产生径向变形形成椭圆状。当长轴不断旋转时，柔轮相继由啮合转向啮出，由啮出转向脱开，由脱开转向啮入，由入转向啮合，从而迫使柔轮进行连续旋转。谐波减速器基于错齿运动，将高速的输入变为低速的输出，从而达到减速的目的。

图表 4：谐波减速器结构图


资料来源：张余德龙《谐波减速器柔轮空间齿廓设计与啮合特性研究》，信达证券研发中心

图表 5：谐波齿轮传动原理图


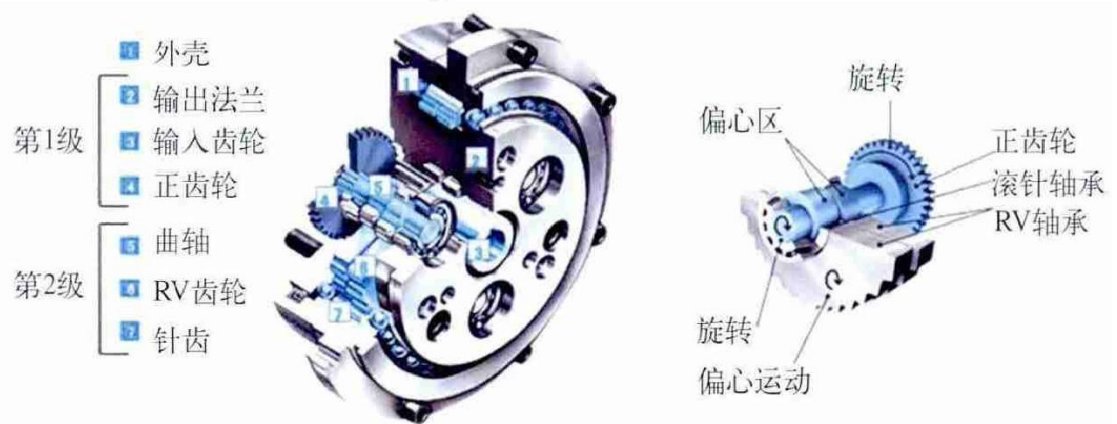
资料来源：韦乐余《谐波减速器柔轮疲劳特性分析及啮合刚度研究》，信达证券研发中心

谐波减速器由于其体积小、重量轻，结构简单紧凑，传动精度高，更适合应用于 3C、半导体、医疗器械等行业的工业机器人之中，以及其他对精度要求高的场合。如今，机器人行业对新一代轻量级协作机器人的需求不断扩大，尤其是在移动和可穿戴机器人领域，其柔性关节的主要来源是关节存在的柔性减速元件，如谐波减速器等传动装置。此外，以谐波减速器和伺服电机为主要组件的谐波转台能够适应大多数机床的生产需求，近年逐渐受到关注。

RV 减速器：承载能力强、高刚度，但体积较大、结构复杂，适用于重负载的场合。

RV(Rotary-Vector)减速器在摆线针轮传动基础上发展起来的。RV 传动由两部分串联而成，分别是第一级渐开线行星齿轮传动和第二级摆线针轮传动。中心齿轮由电机带动，行星齿轮由中心齿轮驱动。此时，中心齿轮以第二级减速的输入速度反向旋转。行星齿轮的转速通过曲轴传递给摆线齿轮，摆线齿轮是偏心的。同时，摆线销是啮合的，使其绕中心轴旋转，转速从轴承两端的曲轴传递到轴承座上，从而达到减速的目的。

图表 6: RV 减速器结构示意图



资料来源：宋松《工业机器人 RV 减速器关键部件制造及对我国精密机床发展思考》，信达证券研发中心

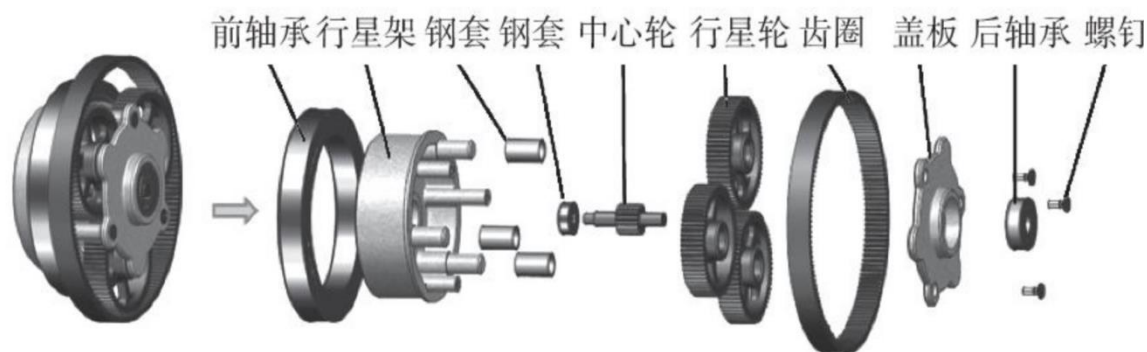
RV 减速器多应用于汽车制造、交通运输、港口码头等的重载机器人，以及其他重载场合中。根据林江海等《工业机器人用精密减速器研究现状》，RV 减速器具有高传动精度、高传动效率、高刚性和高承载能力等特点，既适用于通用传动又适用于专业机器人传动，并通常放置于机座、大臂、肩部等重负载的位置。

行星减速器：传动效率高、成本低，但精密度低、减速比小，通常配合步进电机或伺服电机应用于工业机器人关节中。

在行星减速器中，行星齿轮减速器中心由太阳轮组成，三个行星以太阳轮为中心进行旋转运动。其运动方式类似于地球围绕太阳旋转。行星齿轮减速器的动力来源是电机，电机带动输入轴旋转，其通过浮动齿套使中心轮转动，中心轮与行星轮啮合带动行星轮转动，行星轮通过周转驱动行星架旋转，行星架与输出轴通过螺栓联接在一起，带动输出轴输出扭矩。由于行星轮齿数多于中心轮齿数，从而能够达到减速的目的。

行星齿轮减速器在服务机器人和足式机器人市场中应用空间广阔。相比谐波减速器和 RV 减速器，行星减速器具有成本低、承载能力强、使用寿命长和性能稳定等优点。因此，行星减速器是工业机器人、大型空间机械臂关节以及服务机器人减速器主要的应用对象，并且仿人机器人可采用高扭矩密度电机搭配低减速比行星齿轮减速器，从而达到其对于体积重量、输出能力和动态性能等属性指标的要求。

图表 7：行星减速器结构示意图

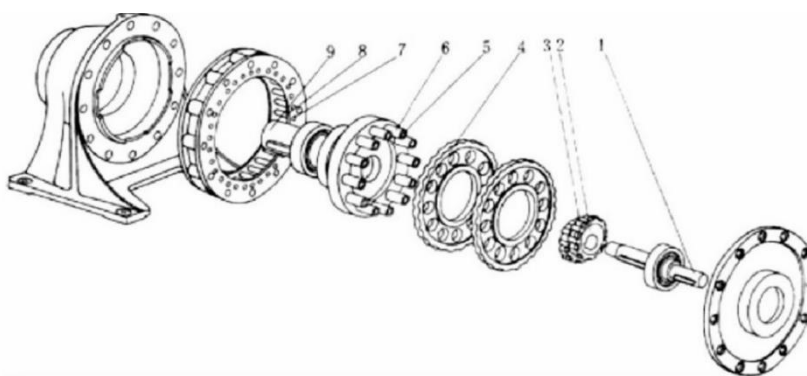


资料来源：洪健、蔡华祥、王晟《一种高性能移动机器人一体化关节模组设计》，信达证券研发中心

摆线针轮行星减速器：运转平稳噪声低，但结构复杂，应用范围广。

摆线针轮行星传动是行星轮采用变幅外摆线的一种少齿差行星齿轮传动，主要由摆线轮、针轮、行星架和输出结构组成。当输入轴旋转时，摆线针轮行星减速器通过偏心轴带动摆线轮旋转，由于偏心轴上的摆线轮与针齿啮合限制，摆线轮旋转时既自身轴线自转，又绕输入轴轴线公转，然后借助输出机构，将摆线轮的低速自转动通过销轴，传递给输出轴，从而获得较低的输出转速。

图表 8：摆线针轮行星传动示意图



注:1- 输入轴, 2- 双偏心套, 3- 转臂轴承, 4- 摆线轮, 5- 柱销, 6- 柱销套, 7- 针齿销, 8- 针齿套, 9- 输出轴。

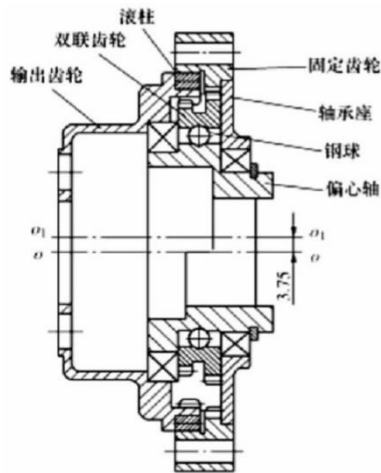
资料来源：吴素珍、陈丹《机器人关节传动用精密减速器研究进展》，信达证券研发中心

滤波齿轮减速器：传动精度高、使用寿命长，多应用于航空航天领域。

滤波齿轮减速器属于 NN 型少齿差减速器，由偏心减速机构、滤波花键机构、三向止推轴承组成。偏心轴的旋转中心与固定内齿轮、输出内齿轮的旋转中心同轴，当通过偏心轴输入转矩时，由于双联齿轮的偏心，及输入齿轮是固定的，双联齿轮一方面绕自身轴线自转，同时还绕偏心轴旋转中心公转，双联齿轮所受两方面的力同时作用于与其啮合的输出内齿轮，获得输出运动。

滤波减速器从结构上解决了谐波减速器中柔轮易变性、材料容易疲劳等缺点。它在运动过程中的传动精度高、传动扭矩大、具有更长的使用寿命，现已广泛应用于航空航天等领域。

图表 9：滤波减速器结构示意图



资料来源：吴素珍、陈丹《机器人关节传动用精密减速器研究进展》，信达证券研发中心

图表 10：滤波减速器外形图



资料来源：吴素珍、陈丹《机器人关节传动用精密减速器研究进展》，信达证券研发中心

图表 11：不同种类减速器产品对比（单级）

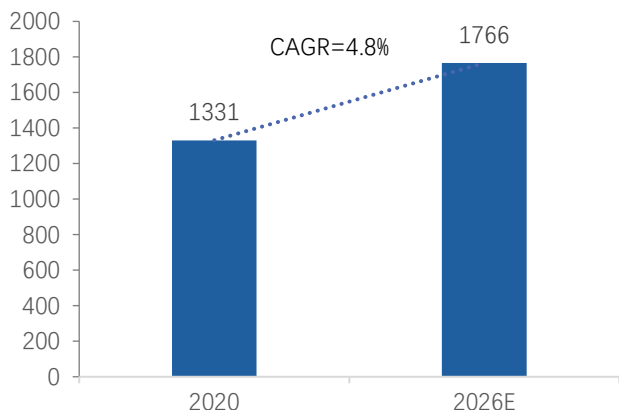
类别名称	谐波减速器	RV 减速器	摆线针轮行星减速器	精密行星减速器
减速比	70~320	31~171	6~119	3~10
传动效率	70%~90%	85%~92%	90%~95%	97%~98%
优点	可通过密封壁传递运动、结构简单、质量和体积小、传动比高、精密度高	承载能力强、刚度、工作寿命长、刚性高、耐冲击性强	结构紧凑，体积相对小；重量轻，通用于中小功率；运转平稳，噪声低	负载能力强、使用寿命长、性能稳定、输出扭矩大、成本较低
缺点	柔轮每转均要经历两次椭圆变形，容易引起材料的疲劳破坏；启动力矩较大；装置发热较严重；承载能力较差	结构复杂、体积较大，制造难度大，价格较高	摆线针轮减速器的结构复杂；制造、安装精度要求高；转臂轴承受力大，影响轴承寿命和承载能力	单级精密行星减速器减速比较小，有时需增加传动级数和齿轮数量以满足特定减速需求，导致体积和质量增加
应用场景	适用于质量和尺寸受限、位置精度要求高的场合，包括机器人的小臂、腕部或手部，以及精密测试设备的微小位移机构等	适用于在机座、大臂、肩部等重负载的位置，以及汽车、运输、港口码头等行业中通常使用配有 RV 减速器的重负载机器人	广泛应用于矿山、化工、起重机械、工程机械等领域	多应用于步进电机和伺服电机的减速传动；工业机器人、大型空间机械臂关节及服务机器人
价格区间	1,000-5,000 元/台	5,000-8,000 元/台	500-2,000 元/台左右	200-2,000 元/台左右

资料来源：绿的谐波招股说明书，吴素珍、陈丹《机器人关节传动用精密减速器研究进展》，林江海、黄鹏程、王燕霜等《工业机器人用精密减速器研究现状》，黄兴、何文杰、符远翔《工业机器人精密减速器综述》，淘宝网，信达证券研发中心

1.2 国产减速器与海外差距收敛，市场规模稳步增长

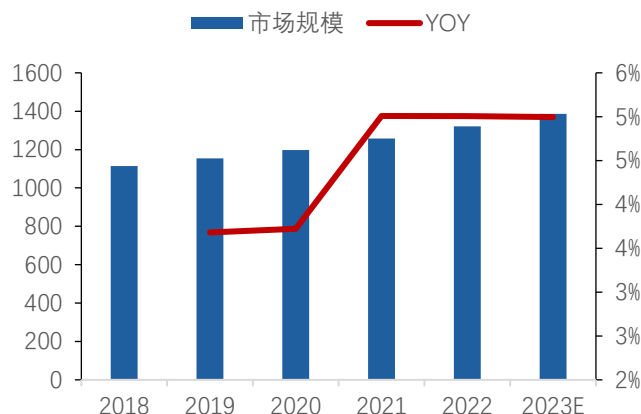
国内外减速器市场规模持续扩张，态势向好。据 Report Linker 数据，2020 年全球减速机市场规模约为 1331 亿美元。近些年来随着全球范围内劳动力成本的提高，各国工业自动化渗透率不断提升，制造业机械设备密度不断加大，传动基础部件减速机的需求也水涨船高。因此 Report Linker 预计 2026 年全球减速机市场规模可达 1766 亿美元，对应 2020-2026 年的年复合增速约为 4.8%。2015 年以来，《中国制造 2025》要求突破机器人减速器等高端产品的技术，国内精密减速器行业进入国产替代阶段，我国 2022 年减速器市场规模为 1321 亿元（约合 190 亿美元）。

图表 12：全球减速器市场规模（亿美元）



资料来源：Report Linker，观研天下，信达证券研发中心

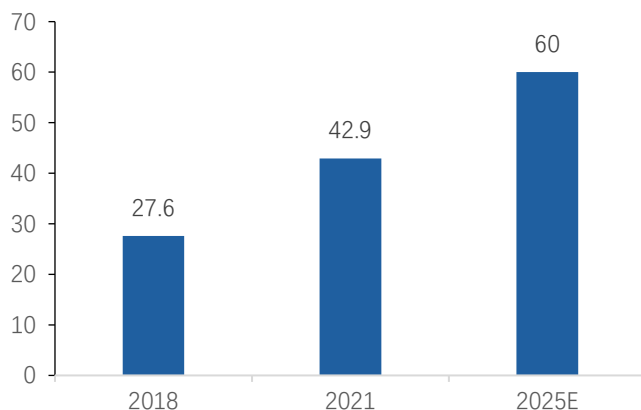
图表 13：中国减速器市场规模（亿元）及增速



资料来源：Report Linker，观研天下，信达证券研发中心

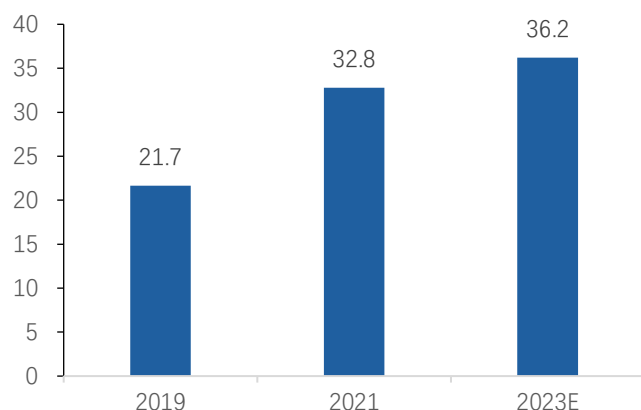
分产品市场规模方面：1) 根据中商产业研究院数据，我国谐波减速器市场规模预计从 2022 年的 21 亿元增长至 2025 年的 33.2 亿元，年复合增长率达 16.5%；2) RV 减速器方面，2021 年市场规模为 42.9 亿元，预计 2025 年达到 60 亿元。3) 行星减速器方面，根据 GYResearch 数据，2019 至 2021 年我国行星减速器市场的年复合增长率为 23.1%，2021 至 2023 年复合增长率降至 5.1%。

图表 14：我国 RV 减速器市场规模（亿元）

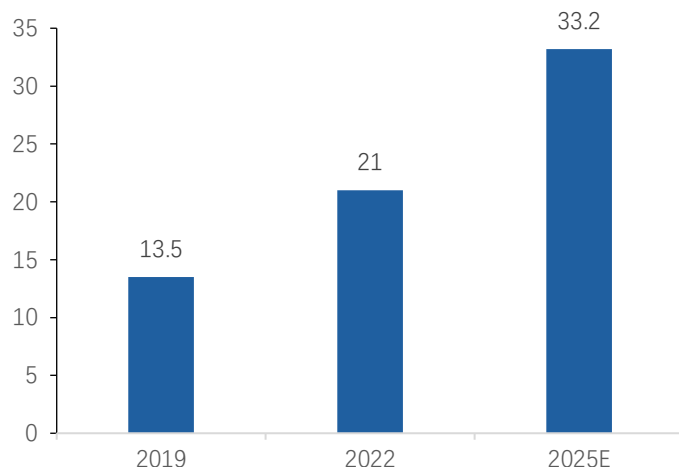


资料来源：中商情报网微信公众号，中商产业研究院，信达证券研发中心

图表 15：我国行星减速器销售额情况（亿元）



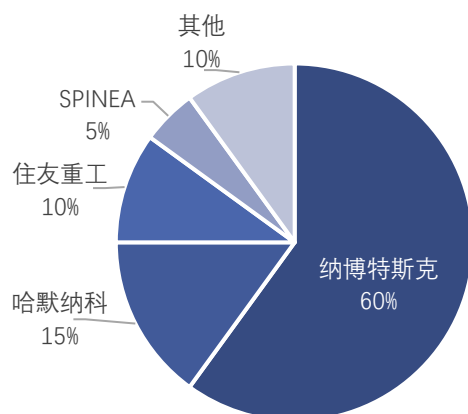
资料来源：QYResearch，中商情报网微信公众号，中商产业研究院，信达证券研发中心

图表 16：我国谐波减速器市场规模（亿元）


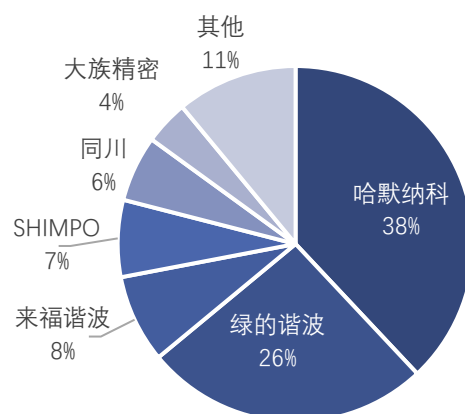
资料来源：中商情报网微信公众号，中商产业研究院，信达证券研发中心

日系企业占据全球精密减速器市场主导地位，我国减速器有望向头部集中。机器人精密减速器制作的工艺流程和工程规范要求较高，因此制造精密减速器所需成本高、加工精度要求高，有很大的技术壁垒。在全球工业机器人减速器的市场中，日本的纳博特斯克和哈默纳科占据了全球 75% 的市场，而另一家住友重工也占据 10% 的市场。反观我国的减速器起步较晚，并且受到国内加工水平的限制，我国精密减速器的缺点包括受制精度不能长时间保持、容易疲劳等。随着下游制造业升级和国家相关政策的出台，国内厂商不断研发核心技术，减速器生产水平逐渐向高端迈进。

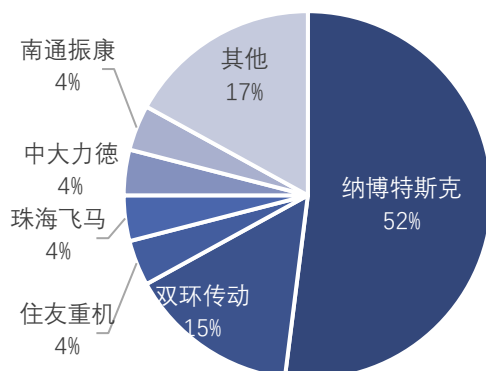
国内市场看，本土精密减速器厂商逐渐扩大市场份额。分产品来看，2022 年我国谐波减速器市场中，哈默纳科市场占有率为 38%，我国本土厂商绿的谐波市占率达 26%，较 2020 年提升 5pct，国内企业产能不断提升，市场份额相应增加。我国 RV 减速器市场中，纳博特斯克占市场主导地位，市占率达 52%，我国双环传动市占率为 15%。行星减速器领域，日本新宝市占率达到 20.4%，我国科峰智能排名第二，市占率达 11.7%。

图表 17：全球精密减速器市场格局


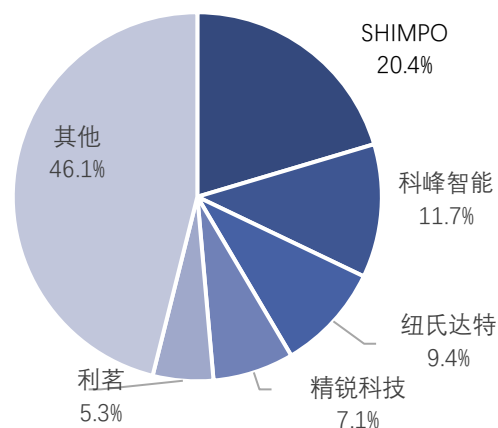
资料来源：熊嘉豪、张广宇、孙启凡《工业机器人精密减速器的应用及现状》，信达证券研发中心

图表 18：2022 年我国谐波减速器市场份额占比


资料来源：MIR DATABANK，中商情报网微信公众号，中商产业研究院，信达证券研发中心

图表 19：2022 年我国 RV 减速器市场份额占比


资料来源：MIR DATABANK，中商情报网微信公众号，中商产业研究院，信达证券研发中心

图表 20：2022 年我国行星减速器市场份额占比


资料来源：MIR DATABANK，中商情报网微信公众号，中商产业研究院，信达证券研发中心

国内外减速器厂商差距收敛。我国在工业机器人用精密减速器领域起步较晚，技术积累较为薄弱。自 20 世纪 60 年代谐波减速器技术引入我国之后，历经多年追赶，现阶段国产精密齿轮减速器在减速比、传动效率等方面与国外优秀产品差距不大。但是由于材料、加工工艺和装备等方面存在一定技术壁垒，国内减速器产业在精度保持性、使用寿命和大批量产品性能一致性方面与国外企业存在一定差距。

图表 21：工业机器人减速产品国内外对比

	哈默纳科 CSG 系列	绿的谐波 LCS 系列	纳博特斯克 RV-E 系列	南通振康 RV 系列
减速比	50~160	30~160	30~191	81~171
输出转速 (r/min)	20	20	25	15
转动精度	0.5' ~2'	-	<23"	<1'
空程	1' ~3'	<40"	<1.5'	-
背隙	3" ~60"	<20"	-	<1'
传动效率 (%)	65~85	-	85~90	>80
平均寿命 (h)	50000	15000	-	>5500
差距	谐波减速器：传动精度、扭矩刚度、寿命、精度有差距；RV 减速器：国产承载能力弱，噪声大，产品系列不全。			

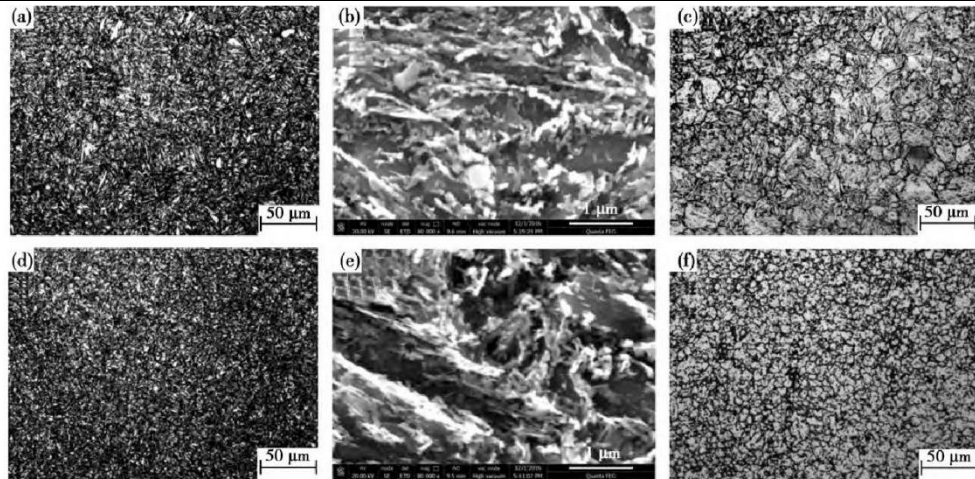
资料来源：中国电子协会，《工业机器人发展现状及分析》，信达证券研发中心

(1) 谐波减速器制造壁垒：柔轮是谐波减速器中加工制造难度较大的结构，是我国自主研发生产谐波减速器的壁垒。柔轮在谐波减速器使用过程中发生往复形变的同时也要承受作用力，这对柔轮的薄壁结构和厚度尺寸设计提出了更高要求。但由于我国起步较晚，基础研究不足，柔轮在疲劳寿命市场和稳定性等指标上与国外存在差距。

请阅读最后一页免责声明及信息披露 <http://www.cindasc.com> 12

在原材料选择方面，根据张朝磊等《谐波减速器特殊钢材质柔轮的组织学和力学性能分析》，以日本哈默纳科谐波减速器 CSF-32 柔轮与同型国产柔轮为例，国内外均采用中碳合金特殊钢作为柔轮原材料，而成分上的显著差异在于微合金。国产柔轮采用 V-Ti 复合微合金化，并且 V 的含量较高，而日本柔轮采用 V-Ti-Nb 复合微合金化。与日本柔轮相比，**国产柔轮组织较为粗大（原奥氏体晶粒度小 1.0~4.0 级），而且稳定性较差（原奥氏体晶粒度级差达 3.0 级）。**

图表 22：(a—c) 国产和 (d—f) 日本柔轮显微组织光学显微镜照片和 SEM 照片



资料来源：张朝磊、魏畅、方文等《谐波减速器特殊钢材质柔轮的组织学和力学性能分析》，信达证券研发中心

在加工工艺和热处理技术方面，柔轮失效的主要原因是局部微裂纹和尺寸精度的变化，这涉及到我国的工艺水平和齿面热处理技术。**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，造成露出部分不一致，从而导致国内外减速器性能相差较大。**我国应提高加工工艺和热处理技术，根据穆晓彪等《谐波减速器柔轮与柔性轴承断裂失效分析》，通过多次正火和回火可以细化晶粒、提高晶粒尺寸的均匀性，还能降低晶界出 P、S 元素偏聚，减少脆性断裂，提高材料的力学性能。

(2) RV 减速器制造壁垒：为了达到精度高、可靠性高、使用寿命长的目的，必须严格控制 RV 减速器的精度问题。RV 减速器结构复杂、零件较多，生产加工难度较高，对于我国存在一定的技术壁垒。

在关键零件的加工装备方面，由于 RV 减速器中第一级渐开线行星齿轮传动和二级少齿差摆线针轮行星传动安装在同一个针齿壳内，且为超静定结构，多个零件的相关尺寸互相关联，加上工业机器人对传动误差的高要求，因此对关键零件的加工精度要求通常达到微米级，这对我国的加工装备和检测仪器提出了极大的挑战。

在磨损与润滑问题方面，润滑、摩擦磨损是影响减速器寿命和精度保持性的关键因素，减速器寿命和精度保持是衡量减速器可靠性的尺度，也是现阶段国产减速器与国外产品差距所在。究其原因，一方面是现有加工方式的加工精度特别是表面质量达不到要求，另一方面是对 RV 减速器的磨损机理（针齿、摆线轮齿、曲拐轴承滚针等部位）认识不到位，因而缺少有效的提高耐磨性的应对方式，润滑脂的选用、相关零件的材料及其热处理工艺等与国外有差距。

1.3 人形机器人催化，机器人减速器市场风起云涌

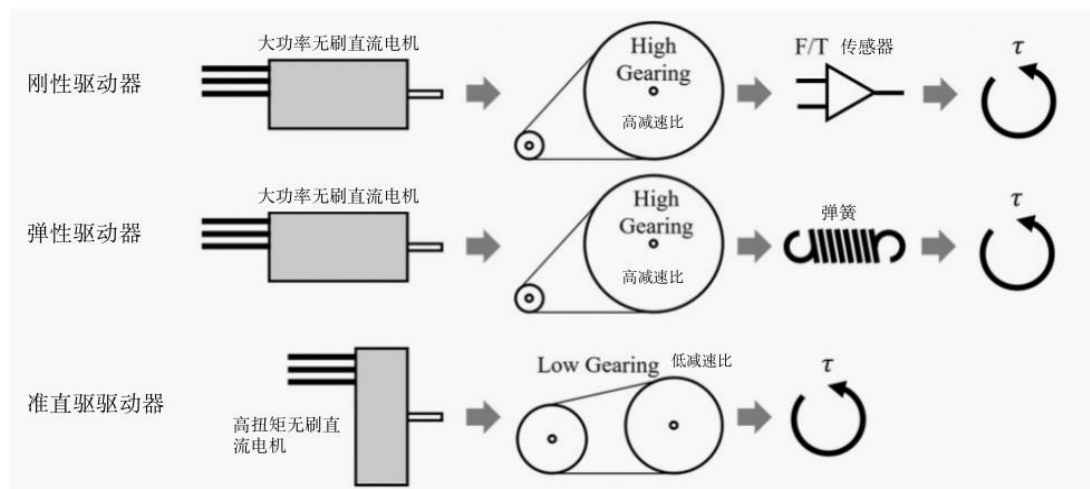
机器人被誉为“位于制造业顶端的明珠”，机器人技术是推动国家工业化和智能化的重要引擎。当前，中国处于产业升级的关键时期，也是重大的发展机遇期。机器人技术已经成为推动中国产业转型的重要力量。减速器作为工业机器人、协作机器人和人形机器人的核心部件，应用领域广阔、发展潜力大。

请阅读最后一页免责声明及信息披露 <http://www.cindasc.com> 13

在传统工业机器人和协作机器人领域，谐波减速器和 RV 减速器应用较为广泛。在轻负载精密减速器领域内，谐波减速器凭借其体积小、传动比高、精密度高等优势，占据该领域的主导地位；RV 减速器的传动原理及结构特点，使其具有大体积、高负载能力和高刚度特性的特点，其在重负载精密减速器领域内也具有一定主导地位。

在人形机器人领域，谐波减速器应用更为广泛、行星减速器有望受益。随着人形机器人市场的加速扩大，减速器需求面临攀升。双足人形机器人的驱动单元主要有三种类型：传统驱动单元、串联弹性驱动单元和准直驱驱动单元，需要根据人形机器人的具体关节位置和特性选择不同的驱动单元，从而满足各个关节的不同需要。其中，谐波减速器是传统驱动单元、串联弹性驱动单元的主要组成部分，而行星减速器则是准直驱驱动单元的核心部件。目前，谐波减速器凭借高精度、小体积的特点在众多人形机器人产品中得到应用；参考李慧莱等的《高扭矩密度仿人机器人驱动单元研究》的观点，准直驱驱动单元（高扭矩密度电机+行星减速器）更加适合人形机器人对于体积重量、输出能力和动态性能等的要求。

图表 23：人形机器人三种驱动方式简图

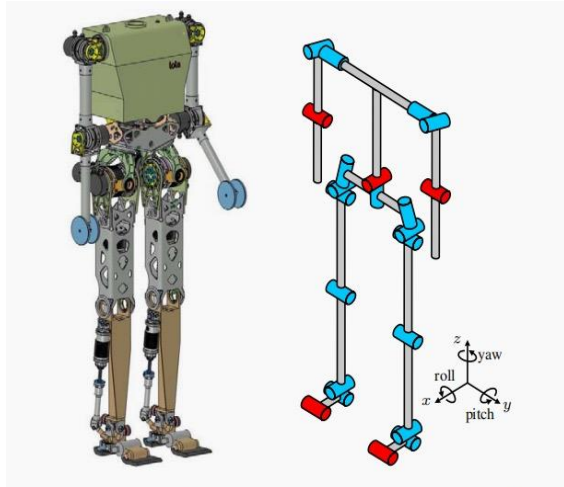


资料来源：eScholarship, Zhu, Taoyuanmin, Hong, Dennis W 《Design of a Highly Dynamic Humanoid Robot》，信达证券研发中心

(1) 传统驱动单元（刚性驱动单元，TSA）一般采用高转速、低扭矩电机搭配高减速比谐波减速器，输出扭矩大、运动精度高。但是，减速器较高的体积和重量导致驱动单元体积、重量大，无法满足仿人机器人的小型化、轻量化需求；同时，由于谐波减速器和 F/T 传感器较为脆弱，无法承受冲击载荷，导致高减速比的齿轮仅能完成缓慢、相对静态的运动。

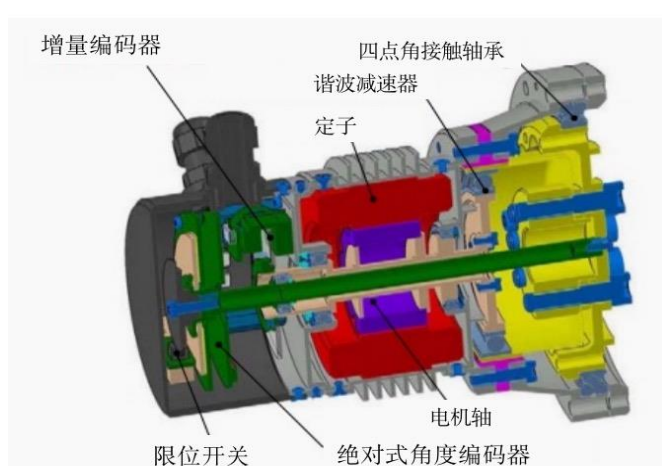
LOLA 人形机器人将电机、谐波减速器和传感器融合成一个高度集成的机电联合模块。LOLA 身高 1.8m，全身共有 22 个自由度，运动速度可达 5km/h，谐波减速器的减速比为 50（髋部，俯仰角）~100（手腕、肘部等）。电机采用无框无刷电机，这使得集成设计优化为小空间和低重量。膝关节和踝关节采用基于滚珠丝杠的直线传动，其他关节（如髋关节）采用谐波传动齿轮作为减速器。每个驱动单元包含增量旋转编码器和绝对角度编码器，以及光屏障作为限位开关。

图表 24: LOLA 人形机器人 CAD 模型和整体关节结构图



资料来源: IEEE, S. Lohmeier et al 《Modular Joint Design for Performance Enhanced Humanoid Robot LOLA》, 信达证券研发中心

图表 25: LOLA 髋关节结构示意图

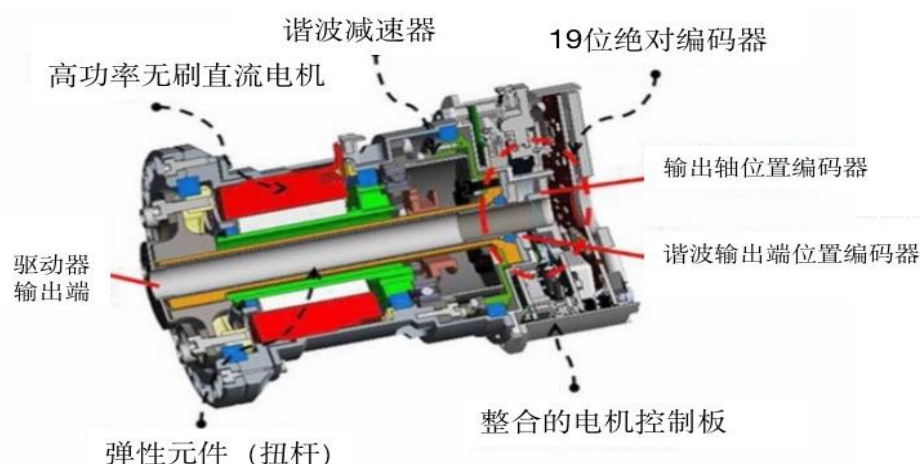


资料来源: IEEE, S. Lohmeier et al 《Modular Joint Design for Performance Enhanced Humanoid Robot LOLA》, 信达证券研发中心

(2) 串联弹性驱动单元 (SEA) 也大多采用高转速、低扭矩电机搭配高减速比谐波减速器, 与传统驱动单元的区别为输出端和负载之间采用弹性部件连接, 其优势在于弹性部件提高了驱动单元的柔度, 使机器人关节柔顺性得到改善。然而, 弹性部件对高频运动的响应性差导致驱动单元系统带宽低、动态性能差, 无法应对实际工况的复杂快速变化。

WALK-MAN 人形机器人身高 1.915m, 质量 132kg, 每条腿有 6 个自由度, 采用弹性驱动单元方案, 具有高功率密度和良好的稳健性。WALK-MAN 的驱动单元由无框无刷直流电机、谐波减速器 (减速比为 80~120) 和弹性元件组成, 并采用空心轴设计方法, 以减小尺寸和重量。

图表 26: WALK-MAN 弹性驱动单元结构图

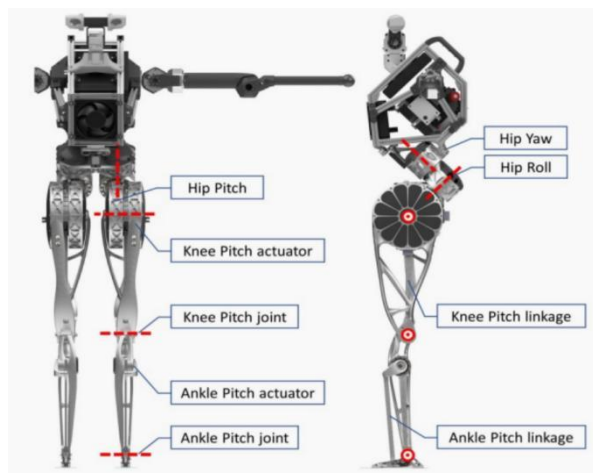


资料来源: WILEY ONLINE LIBRARY, N. G. Tsagarakis et al 《WALK-MAN: A High-Performance Humanoid Platform for Realistic Environments》, 信达证券研发中心

(3) 根据李慧莱等《高扭矩密度仿人机器人驱动单元研究》, 准直驱驱动单元 (PA) 大多采用高扭矩密度电机搭配低减速比行星齿轮减速器, 驱动单元在输出较高扭矩的同时还具有重量

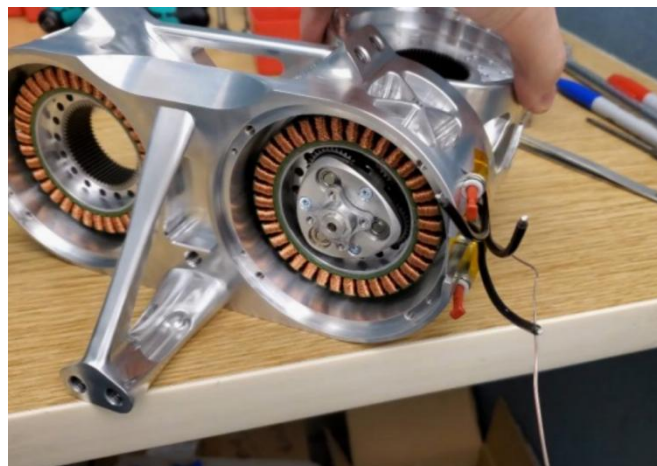
轻、动态性能好等优势，但运动精度不可避免地受到齿轮啮合回差的影响。

图表 27：ARTEMIS 下体关节和执行器位置



资料来源：eScholarship, Zhu, Taoyuanmin、Hong, Dennis W 《Design of a Highly Dynamic Humanoid Robot》，信达证券研发中心

图表 28：ARTEMIS 髋关节驱动单元



资料来源：eScholarship, Zhu, Taoyuanmin、Hong, Dennis W 《Design of a Highly Dynamic Humanoid Robot》，信达证券研发中心

(4) 少数仿人机器人和可穿戴机器人采用电静液作动器作为驱动单元，虽然输出能力较电驱动单元强，但体积重量大且系统带宽低，仍无法满足仿人机器人对小型化和高动态性能的需求。

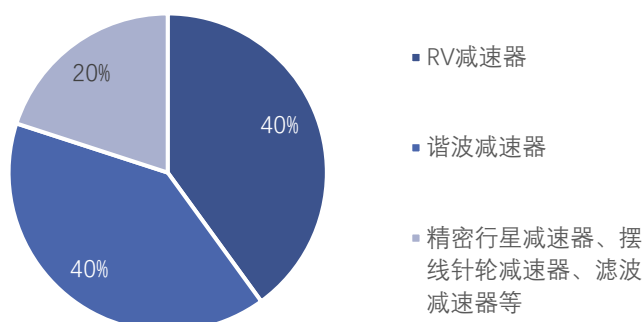
图表 29：三种驱动单元及减速器对比

驱动形式	传统驱动 (TSA)	串联弹性驱动 (SEA)	准直驱驱动 (PA)
基本组成	高速低扭矩电机 高减速比谐波减速器	高速低扭矩电机 高减速比谐波减速器 弹性部件	高扭矩密度电机 低减速比行星减速器
优点	输出扭矩大 运动精度高	柔顺性好	扭矩密度大 动态性能好
缺点	结构笨重 运动惯量大	结构复杂 系统带宽低	精度稍低
应用场景	精密系统（精密机床、仪器仪表） 传统双足机器人	安全性系统 协作机器人	四足机器人 小型双足机器人
机器人应用部位	小臂、腕部或手部等精度要求高的 部位	大臂、肩部等重负载的部位	腰部、髋部等体积较大、精度要求 较低的部位

资料来源：绿的谐波招股说明书，李慧莱、凌振飞、王泽正等《高扭矩密度仿人机器人驱动单元研究》，丁宏钰、石照耀、岳会军等《国内外双足人形机器人驱动器研究综述》，信达证券研发中心

谐波减速器、RV 减速器在机器人应用中占比较多。根据 GGII、纳博特斯克数据，RV 减速器、谐波减速器和精密行星减速器等分别占全球机器人领域精密减速器的 40%、40%、20%，我们认为机器人的相关应用有望带动相关减速器市场规模快速提升。

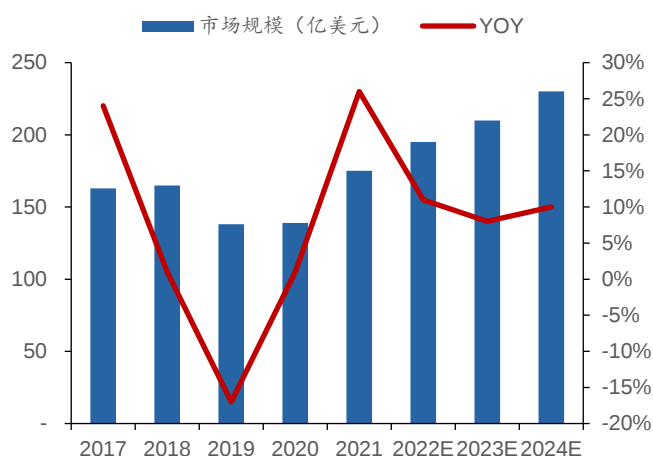
图表 30：全球机器人领域精密减速器不同产品占比



资料来源：GGII，纳博特斯克，中商情报网微信公众号，中商产业研究院，信达证券研发中心

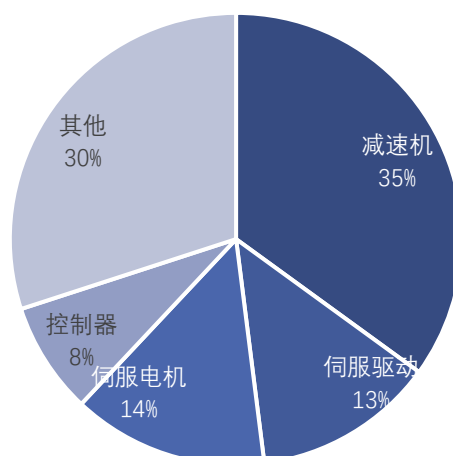
作为机器人核心零部件，机器人用减速器市场规模扩大。根据 IFR、中国电子学会数据，全球工业机器人市场规模预计从 2022 年的 195 亿美元增长至 2024 年的 230 亿美元，期间 CAGR 为 8.6%。同时，减速器占工业机器人生产成本的 35%左右，是工业机器人的核心零部件之一，根据 GIR 数据，全球机器人用减速器市场规模将由 2022 年的 14.92 亿美元增长至 2029 年的 22.66 亿美元，期间 CAGR 为 6.2%，市场前景广阔。根据 GGII 数据，2021 年中国工业机器人减速器总需求量为 93.13 万台，同比增长 78.06%。

图表 31：全球工业机器人市场规模及增速

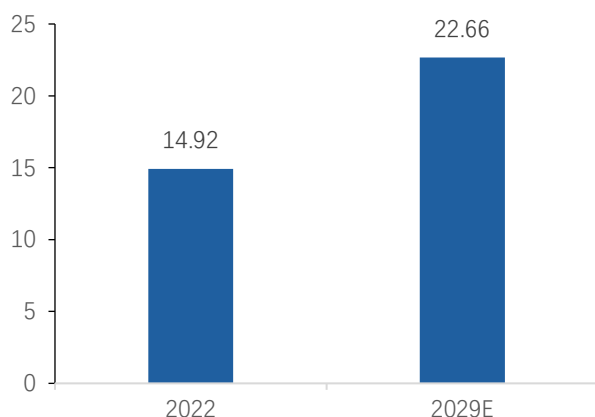


资料来源：IFR，中国电子学会《中国机器人产业发展报告（2022 年）》，贵州省大数据发展管理局，信达证券研发中心

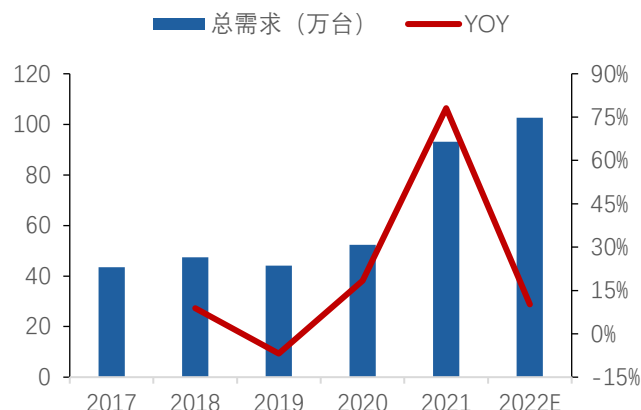
图表 32：我国 50kg 工业机器人成本构成



资料来源：王田苗、陶永《我国工业机器人技术现状与产业化发展战略》，信达证券研发中心

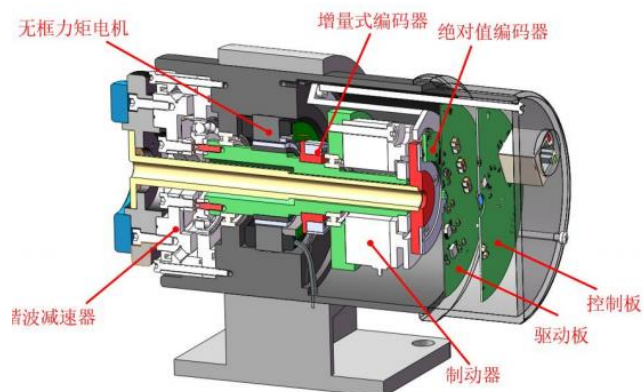
图表 33：全球机器人用减速机市场规模（亿美元）


资料来源：GIR，信达证券研发中心

图表 34：我国工业机器人减速机需求趋势预测图


资料来源：中商情报网微信公众号，中商产业研究院，GGII，信达证券研发中心

人形机器人落地加速，有望打开相关减速机成长空间。1) 参考特斯拉 AI DAY 相关内容，特斯拉人形机器人身边可运动部件采用一体化关节构成，包括三种旋转执行器和三种线性执行器，其中旋转关节采用电机+传感器+谐波减速器的方案。若参考协作机器人方案，则人形机器人对应减速机可以采用谐波减速机用量，若考虑部分位置负载大和降本因素，可能将髋部等位置的谐波减速机替换成行星减速机或者类 RV 减速机；2) 国产机器人方面，A1 人形机器人使用了准直驱关节方案，实现了低齿槽转矩设计，搭配 10 速比以内的高力矩透明度行星减速机、共轭同轴双编码器、一体液冷循环散热系统。我们认为目前而言，人形机器人可以采用谐波、行星和类 RV 减速机方案，人形机器人落地的加速有望带动相关减速方案的使用。

图表 35：一体化关节可以采用谐波减速机


资料来源：刘哲《协作机器人一体化关节力矩感知与柔顺控制研究》，信达证券研发中心

图表 36：智元远征 A1 机器人核心关节采用行星减速机方案


资料来源：快科技，信达证券研发中心

国内企业加速布局减速机，持续取得进展。近年来，国内厂商加速减速机国产替代的进程，加大相关产品的研发投入、丰富国内减速机布局，在齿形设计、机电耦合等领域不断攻克核心技术，谐波减速机不断追求定制化、模块化，RV 减速机向大负载方向发展，逐渐缩小与哈默纳科、纳博特斯克等海外顶尖厂商的差距。



图表 37：国内减速器代表相关布局

公司名称	相关布局
绿的谐波	公司推出 N 系列、Y 系列、E 系列等 谐波减速器 产品，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、机电耦合技术等核心技术，能够满足人形机器人等新的应用场景的需要。公司是全球仅次于哈默纳科的谐波减速器厂商。
双环传动	公司在大负载 RV 减速器 产品方面取得较大突破，2022 年 RV 减速器年化产能在 10 万台左右，是国产 RV 减速器市场的佼佼者；公司原有产品基础上开发出 3 大衍生新型号的谐波减速器。目前公司产品已基本覆盖国内主流机器人客户，机器人减速器板块保持稳步向上态势。
昊志机电	目前公司 谐波减速器 已经形成完整的产品族谱，RV 减速器在打磨产品性能阶段。此外，公司攻克了智能机器人用“高性能谐波减速器”等核心功能部件技术，打破了智能机器人核心功能部件依赖进口的局面。
中大力德	目前 RV 减速器 以微小型为主，同时正在研制大规格型号，可用于大负载工业机器人，计划产能布局在佛山子公司；行星减速器方面，公司侧重于向更高精尖的产品进行衍生设计，目前公司正在研发试制消隙减速器，可应用于机床四五轴；谐波减速器则会朝模组化方向进行研究与发展。
丰立智能	公司齿轮箱升级及改造项目达产后，预计将新增电动工具减速器产能 205 万件，精密 谐波减速器 产能 3.5 万件。在立足传统小模数齿轮业务的基础上，公司做大精密减速器业务规模，并将谐波减速器推向市场。

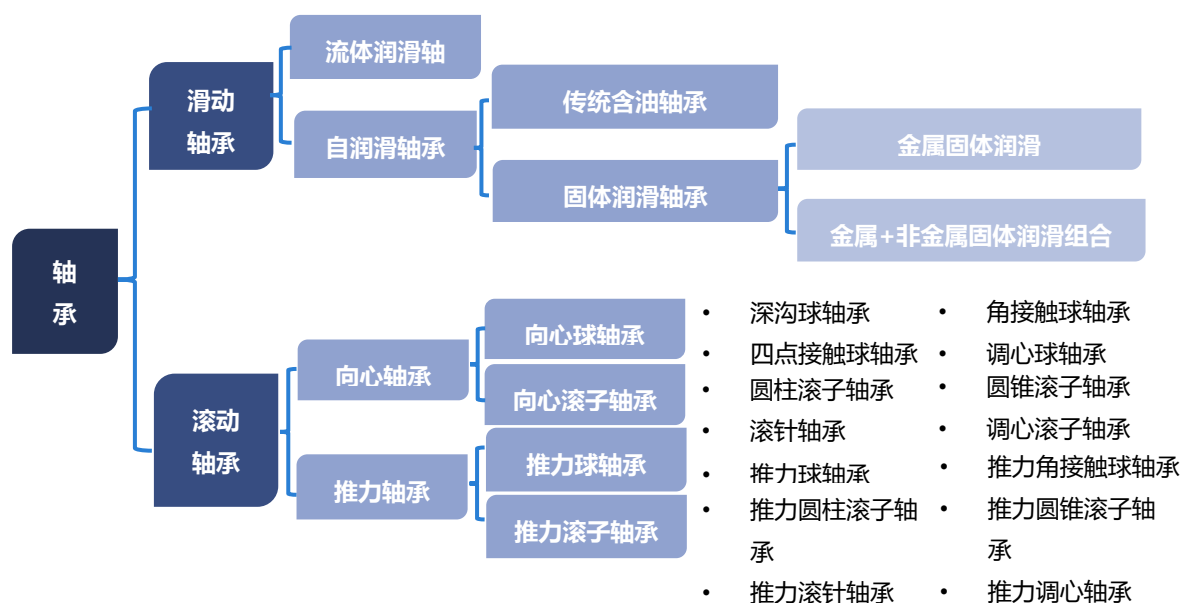
资料来源：各公司公告，各公司年报，各公司招股说明书，信达证券研发中心

二、轴承：风起人形机器人，群雄逐鹿谁主浮沉

2.1 轴承种类繁多，下游应用广泛

按照轴承运转时轴与轴承座间不同的摩擦性质，可划分为滑动轴承（滑动摩擦轴承）和滚动轴承（滚动摩擦轴承）两大类。轴承工业的主产品为滚动轴承，根据其承受的载荷方向，可进一步分成向心轴承（承受径向载荷）和推力轴承（承受轴向载荷）两类。而滑动轴承根据工作的摩擦状态不同，可分为流体润滑（摩擦）轴承、非完全流体润滑（摩擦）轴承和无润滑（干摩擦）轴承，后两者通常属于自润滑轴承，此类轴承在工作时无需添加或长期无需添加润滑剂，适用于低速、重载和恶劣工况的情形。

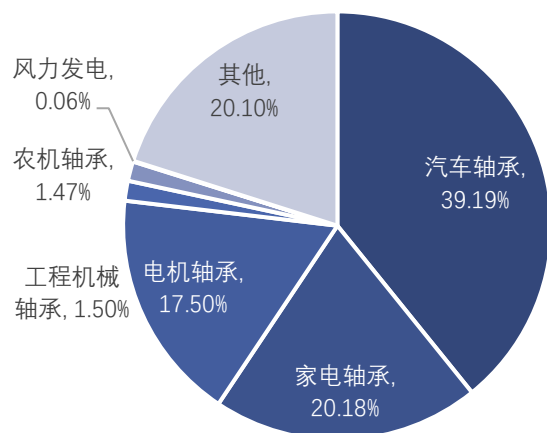
图表 38：轴承分类情况



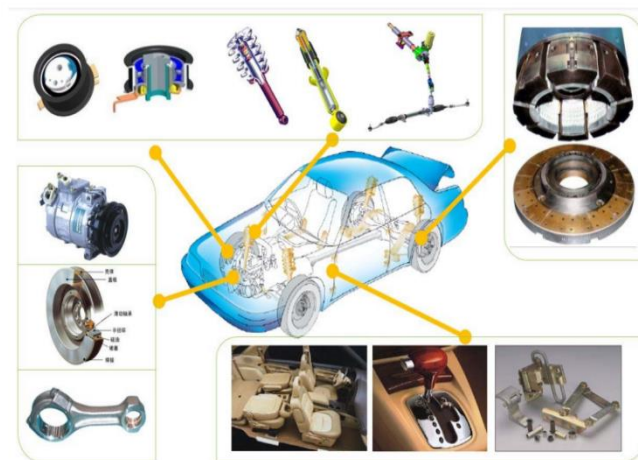
资料来源：长盛轴承公告，五洲新春公告，信达证券研发中心

我国的轴承产业链资源较为完善，具体环节而言，产业链上游包括轴承钢、金属材料、改性塑料等非金属材料 and 零部件等。中游轴承制造材料主要是钢材和金属材料等，下游应用与汽车行业、机器人行业、工程机械、风电等行业紧密相关，整体来看，所涉领域范围十分广泛。汽车是轴承应用较为广泛的领域。

汽车中应用轴承的部位涉及传统汽车的动力、传动、底盘及辅助系统等，以及新能源汽车电机、减速器等部件制造等领域。据中研产业研究院统计，一辆汽车在装配及售后维修用备件所使用的各类轴承平均约 80 余套，而在各类轴承产品中，自润滑轴承中的金属塑料聚合物自润滑卷制轴承具有无铅的优势，被广泛应用于乘用车制造过程中。

图表 39：2021 年轴承下游占比情况


资料来源：人本股份公告，信达证券研发中心

图表 40：轴承在汽车上的应用情况


资料来源：长盛轴承公告，信达证券研发中心

2.2 机器人组成部件之一，有望打开成长空间

轴承是机器人组成部件之一。轴承主要应用在机器人电机、减速器等环节，以工业机器人为例，工业机器人制作中使用的轴承主要包括等截面薄壁轴承和交叉滚子轴承两大类，此外还有谐波减速器轴承、直线轴承和关节轴承等，主要分类及应用如下：

图表 41：工业机器人减速器对应轴承需求情况

序号	类别	种类	应用部位	技术指标
1	等截面薄壁轴承	薄壁四点接触球轴承、薄壁角接触球轴承、薄壁深沟球轴承	工业机器人腰部、肘部、腕部	精度 P5 级，寿命 6000h 以上
2	薄壁交叉圆柱滚子轴承	多种薄壁交叉圆柱滚子轴承	工业机器人机械手臂、肩部、腰部、臂部	精度 P4 级，寿命 6000h 以上
3	RV 减速机轴承	多种薄壁轴承、圆柱滚子保持架组件	广泛应用于工业机器人	精度 P4 级，温升不超过 30℃，寿命 6000h 以上
4	谐波减速机轴承	柔性轴承	中小转矩机器人关节	精度 P5 级（部分 P4 级），寿命 6000h 以上

资料来源：麒麟机械微信公众号，信达证券研究中心

人形机器人轴承主要应用在减速器、丝杠和减速器等中。参考 Optimus 结构，人形机器人关节中的线性执行器和旋转执行器中包括电机、丝杠和减速器，未来有望提升相关轴承用量。

图表 42：人形机器人部件轴承情况

组成部件	轴承种类	单个价值量	数量
丝杠	深沟球轴承	几元	1
	四点接触轴承	60 元左右	1
电机	深沟球轴承	几元	2
谐波减速器	交叉滚子轴承	百元-几百元	1
	柔性轴承	80 元左右	1
行星减速器	球轴承	几元	2
	滚针轴承	几元	3
RV 减速器	滚针轴承	几元	6
	圆锥轴承	几元	6
	角接触轴承	几十元	2

资料来源：淘宝网，信达证券研究中心

2.2.1 机器人减速器轴承情况

轴承是减速器的核心零部件之一。以工业机器人为例，减速器有 RV 减速器、谐波减速器、摆线针轮减速器、行星减速器等，其中用量较大、技术水平较高的谐波减速器和 RV 减速器，这两类减速器对应轴承技术要求相对也较高。由于工业机器人轴承对应空间有限，会使用轻量化的薄壁轴承和异型轴承，另外，工业机器人的高载荷、高回转精度、高运转平稳性、高定位速度、高重复定位精度、长寿命、高可靠性的性能要求配套轴承也必须具备高承载能力、高精度、高刚度、低摩擦力矩、长寿命、高可靠性的性能。

- 1) 谐波减速器轴承包括用于刚轮的薄壁交叉圆柱滚子轴承和用于柔轮的柔性轴承；
- 2) RV 减速器轴承包括作为减速器主轴承的薄壁角接触球轴承，用于偏心轴定位和主体支承的薄壁圆锥滚子轴承，用于摆线轮支承的圆柱滚子(滚针)保持架组件以及用于齿轮支承的薄壁深沟球轴承。

图表 43：谐波减速器柔性轴承


资料来源：鸿元轴承微信公众号，信达证券研发中心

图表 44：RV 减速器滚针轴承


资料来源：爱思米机械传动官网，信达证券研发中心

2020 年中国工业机器人轴承市场空间约十四亿元。根据何加群的《论我国重大技术装备轴承的自主安全可控》，以 6 轴工业机器人为例进行分析，其需配套 4 个 RV 减速器和 2 个谐波减速器，则配套轴承数量为 66 套，价值约 6 000 元。2020 年全国工业机器人需求约 23.7×10^4 套，需配套轴承 $1\,564 \times 10^4$ 套、价值 14 亿元。

图表 45：工业机器人减速器对应轴承需求情况

	轴承类型	配到轴承需求量/套
RV 减速器	角接触球轴承	2
	圆锥滚子轴承	6
	滚针轴承	1
	圆柱滚子保持架组件	6
谐波减速器	柔性轴承	1
	十字交叉滚子轴承	1
	薄壁深沟球轴承	1

资料来源：轴承杂志社，何加群《论我国重大技术装备轴承的自主安全可控》，信达证券研究中心

2.2.2 电机相关轴承情况

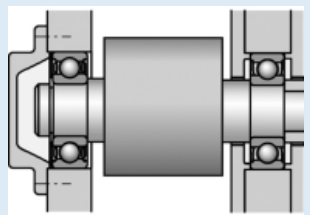
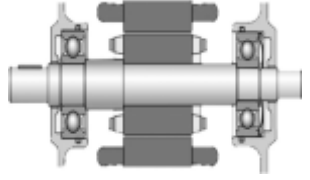
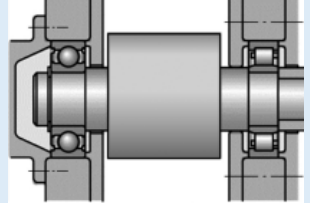
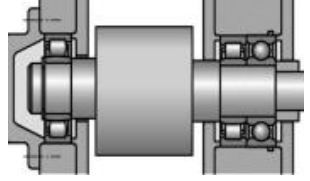
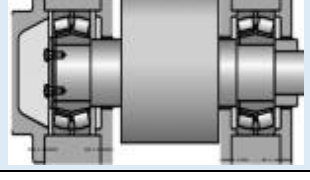
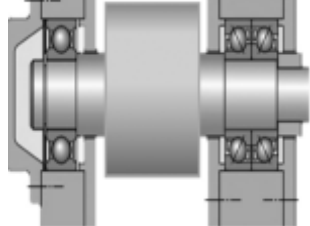
轴承在电机里的主要作用是支撑旋转体。轴承在电机中的主要作用是充当支撑结构，支撑机械旋转体，以降低设备在传动设计过程中进行机械载荷的摩擦系数。电机根据负荷不同、大小不同、安装方式等搭配不同的轴承。

图表 46：电机对应轴承情况

电机规格	安装方式		负荷方式		轴承配置
	立式	卧式	外界轴向负荷	外界径向负荷	
小型电机	否	是	轻	轻	深沟球轴承*2
	否	是	轻	重	圆柱滚子轴承+深沟球轴承
	否	是	重	轻	角接触轴承*2+深沟球轴承
	是	否	轻	轻	深沟球轴承*2
	是	否	重	轻	角接触轴承+深沟球轴承
大中型电机	否	是	轻	轻	圆柱滚子轴承*2+深沟球轴承；调心滚子轴承*2
	否	是	轻	重	圆柱滚子轴承+角接触轴承*2
	是	否	轻	轻	角接触轴承+深沟球轴承
	是	否	重	轻	角接触轴承+深沟球轴承

资料来源：机械工业出版社，才家刚、王勇等《电机轴承应用技术》，信达证券研究中心

图表 47：卧式电机选择轴承情况

分类	特点和应用场景	示意图
双深沟球轴承结构-普通结构	用于普通中小型电机，当电机外部不连接轴向和径向负荷时，经常使用两个深沟球轴承的结构布置	
双深沟球轴承结构-交叉定位结构	常用于小型电机，其承载特点与普通两轴承结构类似，承载能力不高，没有明确的定位端和浮动端，两套轴承分别在某一个方向上对轴进行轴向定位	
一柱一球轴承结构	当因电机连接的外部径向负荷比较重，深沟球轴承的径向负荷能力不足以承担时，通常考虑引入圆柱滚子轴承。	
两柱一球轴承结构	中大型电机自重很大，电机轴承即便仅仅支撑转子重量，其负荷也已经十分大了。选用深沟球轴承作为轴伸端轴承使用，当进行负荷校核时，如果寿命校核计算不达标，应该选用两柱一球轴承结构。	
双调心滚子轴承结构	调心滚子轴承有两列可调心的滚子，因此其径向负荷承载能力比圆柱滚子轴承还好，所以在重负荷的场合是个可选择的轴承类型	
深沟球轴承加配对角接触球轴承	卧式安装电机在承受不是很大的轴向负荷时，可以使用深沟球轴承来承担。但如果轴向负荷较大，超过了深沟球轴承的承受能力，就需要采用深沟球轴承加配对角接触球轴承的轴承结构布置方式	

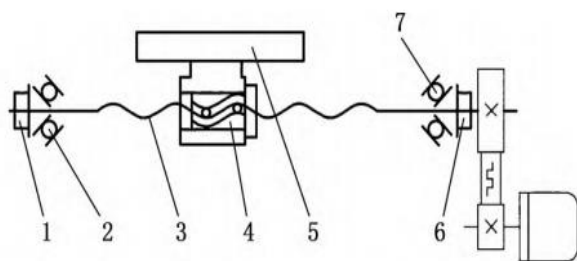
资料来源：机械工业出版社，才家刚、王勇等《电机轴承应用技术》，信达证券研究中心

2.2.3 丝杠：人形机器人有望催化轴承需求

丝杠一般通过轴承组合安装。参考徐晓华等的《滚珠丝杠支承系统滚珠丝杠-轴承综合轴向变形分析计算》，滚珠丝杠旋转运动时需要对应的支撑结构，需要轴承组合安装，安装形式可以分为五种：一端双向固定一端自由、一端双向固定一端支承(浮动)、两端单向固定、一端双向固定一端单向固定、两端双向固定，其中后三种都要采取预拉伸安装方式，使得在丝杠支承系统最大轴向负载和工作温升情况下，丝杠始终处于受拉状态或临界状态。丝杠在数控机床中应用广泛，可以采用两种轴承进行组合使用。

请阅读最后一页免责声明及信息披露 <http://www.cindasc.com> 24

图表 48：滚珠丝杠两端单向固定支承系统图



- 1,6.锁紧螺母 2,7.丝杠轴承 3.滚珠丝杠副
4.丝杠螺母 5.移动部件

资料来源：徐晓华等《滚珠丝杠支承系统滚珠丝杠—轴承综合轴向变形分析计算》，信达证券研发中心

图表 49：数控机床对应滚动轴承情况

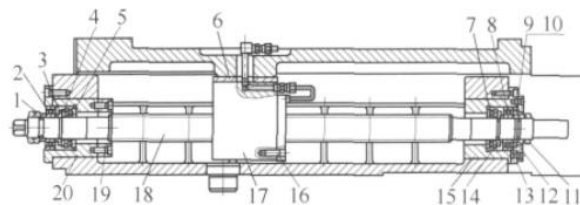


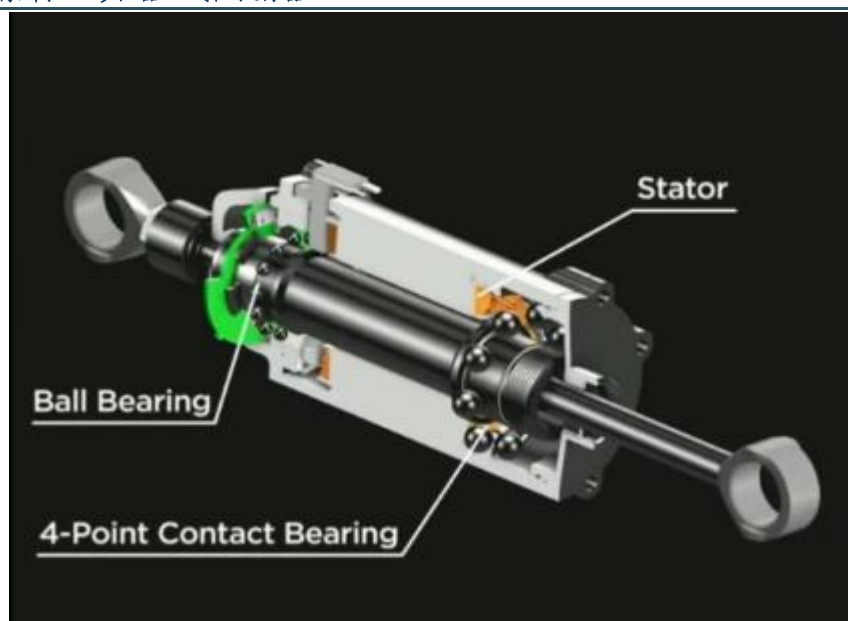
图 1

- 1、11. 圆螺母 2. 深沟球轴承 3、14. 挡套 4. 预紧套
5、7. 推力球轴承 6. 调整块 8. 角接触轴承 9. 调整垫
10. 隔垫 12. 端盖 13、16. 螺钉 15、20. 套
17. 螺母座 18. 滚珠丝杠 19. 丝杠保护圈

资料来源：徐赞等《数控机床滚珠丝杠和滚动轴承的预紧方法》，信达证券研发中心

参考 2022 AI DAY 展示信息，我们推测特斯拉人形机器人线性执行器采用深沟球轴承和四点接触球轴承进行安装使用。

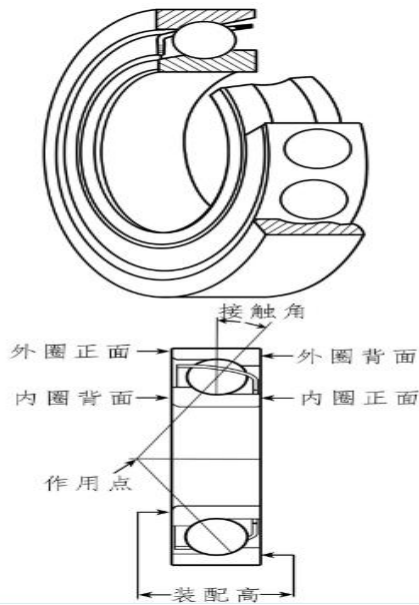
图表 50：特斯拉人形机器人线性执行器



资料来源：特斯拉，信达证券研发中心

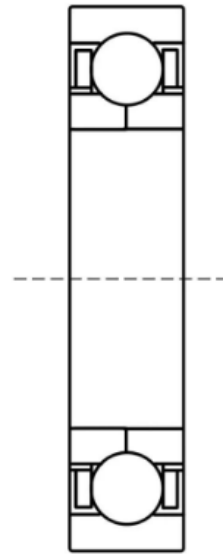
四点接触球轴承：承载力强，可以节省空间。角接触球轴承可同时承受径向负荷和轴向负荷，能在较高的转速下工作。四点接触球轴承是角接触轴承的一种，但其内、外圈分离型单列角接触球轴承，内圈分成二个，以一个轴承可以承受二个方向的轴向载荷，因此承载性强。

图表 51：角接触轴承



资料来源：新昌浙江工业大学科学技术研究院微信公众号，信达证券研发中心

图表 52：四点接触球轴承



资料来源：新昌浙江工业大学科学技术研究院微信公众号，信达证券研发中心

深沟球轴承由四部分组成。一个外圈，一个内圈、一组钢球和一组保持架构成。其结构简单，使用方便，是生产较为普遍，应用较为广泛的一类轴承，主要优势有：

- 1) 使用范围广。适用于高转速以及极高转速的运行。
- 2) 使用方便，不但耐用而且无需经常维护，结构简单，制造成本低，易达到较高制造精度。
- 3) 轴承摩擦系数小，极限转速高。

图表 53：深沟球轴承



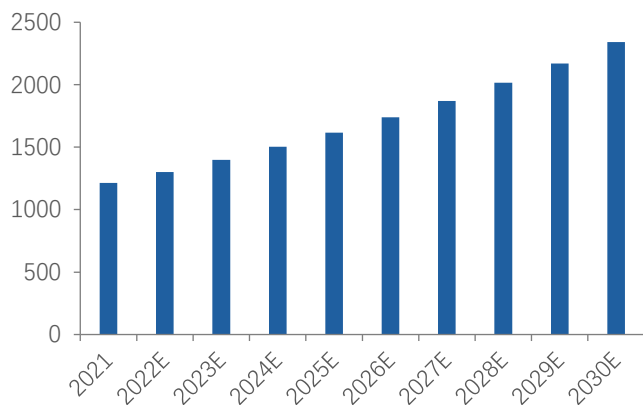
资料来源：STT 官网，信达证券研发中心

2.3 群雄逐鹿，千亿市场谁主浮沉

Precedence Research 的研究报告显示，2021 年全球轴承行业的市场规模为 1213 亿美元，2022 年达 1302 亿美元，预计未来十年内将以 7.6% 的年复合增长率发展，2030 年市场规模将超过 2430 亿美元。全球轴承市场结构呈现出典型的垄断竞争格局，具体表现为以八家跨国企业为代表，分别是瑞典 SKF（斯凯孚）、德国 Schaeffler（舍弗勒）、日本 NSK（恩斯克）、日本

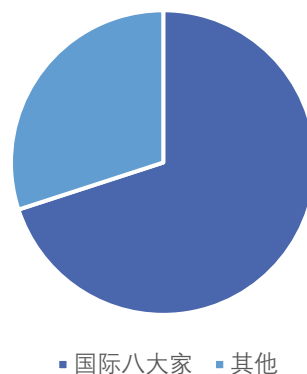
JTEKT（捷太格特）、日本 NTN（恩梯恩）、美国 TIMKEN（铁姆肯）、日本 NMB（美蓓亚）和日本 NACHI（不二越），同时垄断了世界轴承行业的高端市场，这八家跨国企业统称为国际八大家。而我国轴承企业在全球市场的占有率偏低，据人本股份招股说明书数据，2021 年中国市场占全球市场规模比例约为 34%。

图表 54：全球轴承市场规模（亿美元）



资料来源：中轴协轴承工业微信公众号，信达证券研发中心

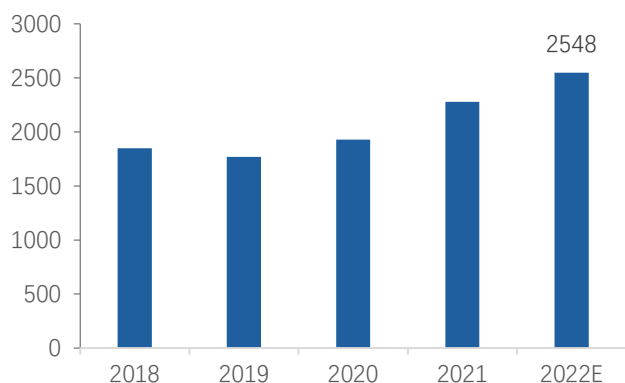
图表 55：2020 年全球轴承市场份额情况



资料来源：人本股份招股说明书，信达证券研发中心

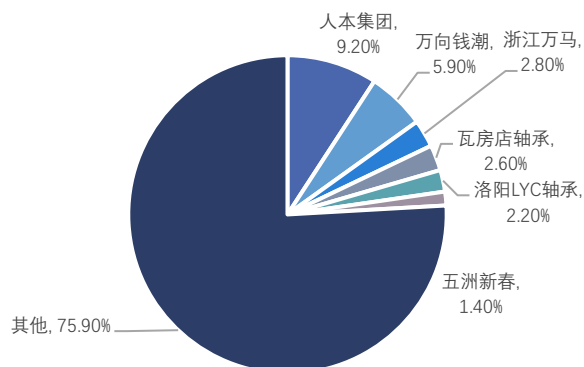
国内轴承市场超过两千亿，国内企业持续突破。根据中国轴承工业协会估算，我国轴承行业 2022 年完成营业收入 2548 亿元，相比 2021 年的 2278 亿元增长 11.9%。市场份额方面，本土轴承企业的营收规模较低、市场份额较分散、多生产中低端产品。

图表 56：中国轴承企业主营收入（亿元）



资料来源：中国轴承工业协会，中商情报网公众号，中商产业研究院，信达证券研发中心

图表 57：2021 年全球轴承市场份额情况



资料来源：宁波市轴承行业协会微信公众号，华经产业研究院，信达证券研发中心

随着国家制造业的不断发展和技术创新，轴承市场需求将持续增长。同时国家相关政策也为轴承行业的发展提供了良好的宏观环境。2019 年，发展改革委修订发布《产业结构调整指导目录（2019 年本）》将 18 种轴承列为鼓励类产品，也是《中国制造 2025》的核心基础零部件。

请阅读最后一页免责声明及信息披露 <http://www.cindasc.com> 27

2021年，中国轴承工业协会发布《全国轴承行业“十四五”发展规划纲要》，提出推动我国轴承产业由全球轴承产业链的中低端迈向中高端，提高国产轴承的技术水平和质量水平，满足主机配套需求并替代进口。我们认为相关行业政策及产业政策的引导作用有望推动行业的技术进步，促进行业提高自主创新能力，加快产业结构优化升级。

图表 58：国家轴承相关国产化政策

政策名称	发布部门	发布时间	相关内容
《全国轴承行业“十三五”发展规划》	中国轴承工业协会	2016.06	提出以《中国制造 2025》为纲领，贯彻创新驱动战略方针，主动适应新常态，引领新常态。加强供给侧结构性改革，着力转变发展方式，调整产业结构，推行绿色制造，实现创新升级，打造由核心能力、核心技术、核心产品构成的核心竞争力，加快建设世界轴承强国步伐
《产业结构调整指导目录（2019 年本）（修正）》	国家发改委	2019.1	时速 200 公里以上动车组轴承，飞机发动机轴承及其他航空轴承，医疗 CT 机轴承，深井超深井石油钻机轴承，海洋工程轴承，电动汽车驱动电机系统高速轴承（转速 1.2 万转/分钟），工业机器人 RV 减速机、谐波减速器轴承以及上述轴承的零件列入鼓励类产业投资项目
全国轴承行业“十四五”发展规划纲要	中国轴承工业协会	2021.06	规划完成 8 种高端轴承标志性产品攻关，完成国家科技部每年下达的国家重点研发计划“制造基础技术与关键部件”等重大专项项目等

资料来源：宁波市轴承行业协会微信公众号，华经产业研究院，信达证券研究中心

国内轴承企业不断在技术研发方面加大投入，提高技术水平和产品质量，满足持续增长的市场需求，从而在国际市场竞争中占据优势。中国轴承企业在技术研发、品牌建设、市场开拓等方面都有所进步，已经具备一定的国际竞争力，将在未来的竞争中获得更多的市场份额和利润。我国战略性新兴产业和制造强国战略重点发展领域需要大量的高端轴承为重大技术装备配套，轴承行业正着力进行这些轴承的研发→工程化→产业化。

图表 59：各类轴承攻关单位情况

轴承类型	关键技术指标	建议参加攻关单位	
		轴承企业	产业链上下游单位
民用航空轴承	dn 值大于 $3.0 \times 10^6 \text{mm} \cdot \text{r/min}$ ，耐高温 250-300℃，寿命高于 15000h	洛阳轴承研究有限公司、洛阳 LYC 轴承有限公司、天马轴承集团公司、瓦房店轴承集团公司、中国航发哈尔滨轴承有限公司、福建龙溪轴承(集团)股份有限公司、上海集优天安轴承有限公司、苏州轴承厂有限公司、人本集团有限公司等	河南科技大学、航空工业综合技术研究所、清华大学、哈尔滨工业大学等
高速动车组轴承	精度等级 P4，轴重不小于 18t，运行环境温度-40-40℃，满足高速动车组 350, 250km/h 的使用要求，使用寿命	洛阳 LYC 轴承有限公司、瓦房店轴承集团公司、天马轴承集团公司、中浙高铁轴承有限公司、人本集团有限公司等	中国铁道科学研究院有限公司、中国中车股份有限公司、江阴兴澄特种钢铁有限公司、河南科技大学等

	达到 330x104km, 免维护周期不低于 165x104km		
数控机床主轴轴承	精度等级 P2 或 P4, 精度寿命 30000h, 温升小于 20°C, dmn 值约 4.0x106mm • r/min, 平均无故障时间 (MIBF) 2000h	天马轴承集团公司、浙江优特轴承有限公司、无锡二轴轴承有限公司、常熟长城轴承有限公司、浙江华星轴承有限公司、洛阳轴承研究所有限公司、人本集团有限公司、哈尔滨新哈精密轴承股份有限公司、哈尔滨北辰精密轴承制造有限公司等	清华大学、武汉理工大学、上海第二工业大学、西安交通大学、河南科技大学、宝鸡机床集团有限公司、浙江海德曼机床制造有限公司、台州市东部数控设备有限公司、东莞市德夫曼科技实业有限公司等
盾构机主轴承	无故障使用 10000h (或累计掘进 10km 以上), 轴向跳动不大于 0.1mm, 适用转速 1-3r/min	洛阳 LYC 轴承有限公司、洛阳轴承研究所有限公司、洛阳新强联回转支承股份有限公司、瓦房店轴承集团公司、人本集团有限公司、天马轴承集团公司等	中铁工程装备集团有限公司、中铁道集团有限公司、江阴兴澄特种钢铁有限公司、浙江大学、郑州机械研究所等
工业机器人轴承	RV 减速器轴承: 精度等级 P4, 温升小于 30°C, 使用寿命 6000h 以上; 谐波减速器轴承: 精度等级 P5 (部分 P4), 使用寿命 10000h 以上; 等截面薄壁轴承: 精度等级 P5, 使用寿命 6000h 以上; 薄壁交叉滚子轴承: 精度等级 P4, 使用寿命 6000h 以上	常熟长城轴承、浙江慈兴、八环科技等	清华大学、华南理工大学、上海大学、重庆大学、常熟理工大学、浙江环动、南通振康、双环传动、中技克美等
城市轨道交通轴承	精度等级 P5, 轴重不小于 14t, 运行环境温度-40~40°C, 温升不大于 50°C, 满足地铁车辆 80~160km/h 的使用要求, 使用寿命不小于 240x104km, 免维护周期不低于一个架修期	天马轴承集团公司、洛阳 LYC 轴承有限公司、瓦房店轴承集团公司、西北轴承有限公司、大连凯特乐机械有限公司、上海集优联合滚动轴承有限公司、哈尔滨轴承集团公司、中浙高铁轴承有限公司、人本集团有限公司等	北京地铁运营公司、洛阳市轨道交通集团、杭州杭港地铁有限公司、中国中车股份有限公司、重庆大学等
风力发电机组轴承	2MW 以上主轴轴承、偏航变桨轴承, 各种功率的增速器轴承、发电机轴承, 使用寿命 176000h	瓦房店轴承集团公司、天马轴承集团公司、洛阳 LYC 轴承有限公司、洛阳新强联回转支承股份有限公司、大连冶金轴承集团公司、洛阳轴承研究所有限公司、人本集团有限公司、江苏力星通用钢球股份有限公司等	金风科技股份有限公司、浙江运达风电股份有限公司、中车永济电动有限公司、重庆大学、武汉理工大学、中国船舶重工集团海装风电股份有限公司、明阳智慧能源集团股份有限公司、重庆大学等

资料来源: 何加群《论我国重大技术装备轴承的自主安全可控》, 信达证券研究中心

国产轴承企业加速突破。按照 2021 年各企业的轴承产品产量划分, 位于第一梯队的是人本股

请阅读最后一页免责声明及信息披露 <http://www.cindasc.com> 29

份和五洲新春，其产量超过了 1 亿套，其中人本股份产量为 17.56 亿套，五洲新春的产量为 4.68 亿套，两家企业的市场占比合计不足 10%。位于第二梯队的是光洋股份、万向钱潮、襄阳轴承、瓦轴集团、龙溪股份，产量超过 1000 万套。位于第三梯队的则是产量不足 1000 万套的企业。我们认为国内轴承行业竞争充分，随着行业的持续转型与升级，我国轴承市场的集中度有望上升。

图表 60：国产轴承布局情况

国内轴承产品企业布局			
企业名称	主营产品	终端客户	2021 年轴承产量
			(万套/万件)
人本股份	汽车轴承、家用电器轴承等	大众、丰田、徐工集团、三一集团、中国中车、中国中铁等知名企业	175631
五洲新春	中小型精密轴承、圆锥滚子轴承等	比亚迪、特斯拉、蔚来、远景能源、上海电装等众多知名企业	46765.28
光洋股份	高精度滚针轴承、离合器分离轴承等汽车配套轴承	大众、戴姆勒、一汽等国内外知名车企	8848
万向钱潮	汽车配套轴承等	东风、长安、上汽等国内外主要整车企业	8580.62
襄阳轴承	汽车配套轴承等	国内外知名车企	3388
龙溪股份	关节轴承、圆锥滚子轴承等	工程机械、载重汽车主机市场及航空航天等领域的国内外知名企业	1777.08
国机精工	高、中端产品为主	国防军工、风力发电、冶金等行业的知名企业	57.09
新强联	风电主轴承、偏航轴承等关键零部件	明阳智能、东方电气和哈电风能	2.07

资料来源：智研咨询，信达证券研究中心

三、投资建议

我们认为近期人形机器人尤其是国内机器人厂商+海外大厂的跟进，落地有望加速，相关减速器+轴承企业有望进一步催化。建议关注长盛轴承、五洲新春、双环传动（信达证券研发中心汽车组覆盖）、绿的谐波。

图表 61：主要标的情况

证券简称	证券代码	股价	市值	EPS			PE		
		(元)	(亿元)	2023E	2024E	2025E	2023E	2024E	2025E
恒立液压	601100.SH	64.35	862.8	2.01	2.40	2.90	32.03	26.83	22.15
鼎智科技	873593.BJ	78.79	37.8	2.59	3.52	4.54	30.4	22.40	17.35
秦川机床	000837.SZ	12.42	125.4	0.29	0.40	0.53	42.45	30.99	23.56
汇川技术	300124.SZ	69.30	1,846.4	1.94	2.52	3.17	35.67	27.51	21.83
五洲新春	603667.SH	17.81	65.7	0.53	0.75	1.01	33.75	23.88	17.68
长盛轴承	300718.SZ	18.64	55.7	0.81	1.03	1.32	23.12	18.14	14.16

资料来源：，信达证券研发中心

备注：股价为9月13日收盘价，汇川技术为信达证券研发中心预测，其余为wind一致预期

四、风险因素

核心技术发展不及预期。精密丝杠对磨削工艺要求较高，需要较高的精加工技术，若技术发展不及预期将影响国内企业突破相关市场。

人形机器人量产不及预期。人形机器人若量产不及预期，将影响产业链企业相关订单落地情况。

地缘政治风险&宏观经济下行风险。地缘政治风险及宏观经济下行将影响电机产业链及技术转移。

研究团队简介

武浩，电力设备新能源首席分析师，中央财经大学金融硕士，6 年新能源行业研究经验，曾任东兴证券基金业务部研究员，2020 年加入信达证券研发中心，负责电力设备新能源行业研究。研究聚焦细分行业及个股挖掘，公众号：电新之瞻。

黄楷，电力设备新能源行业分析师，墨尔本大学工学硕士，伦敦卡斯商学院金融硕士，3 年行业研究经验，2022 年加入信达证券研发中心，负责光伏行业研究。

曾一赞，新能源与电力设备行业研究助理，悉尼大学经济分析硕士，中山大学金融学学士，2022 年加入信达证券研发中心，负责电力设备及储能行业研究。

陈玟洁，团队成员，上海财经大学会计硕士，2022 年加入信达证券研发中心，负责锂电材料行业研究。

孙然，新能源与电力设备行业研究助理，山东大学金融硕士，2022 年加入信达证券研发中心，负责工控、充电桩及机器人产业链研究。

分析师声明

负责本报告全部或部分内容的每一位分析师在此申明，本人具有证券投资咨询执业资格，并在中国证券业协会注册登记为证券分析师，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告；本报告所表述的所有观点准确反映了分析师本人的研究观点；本人薪酬的任何组成部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体分析意见或观点直接或间接相关。

免责声明

信达证券股份有限公司（以下简称“信达证券”）具有中国证监会批复的证券投资咨询业务资格。本报告由信达证券制作并发布。

本报告是针对与信达证券签署服务协议的签约客户的专属研究产品，为该类客户进行投资决策时提供辅助和参考，双方对权利与义务均有严格约定。本报告仅提供给上述特定客户，并不面向公众发布。信达证券不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。客户应当认识到有关本报告的电话、短信、邮件提示仅为研究观点的简要沟通，对本报告的参考使用须以本报告的完整版本为准。

本报告是基于信达证券认为可靠的已公开信息编制，但信达证券不保证所载信息的准确性和完整性。本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告最初出具日的观点和判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会出现不同程度的波动，涉及证券或投资标的的历史表现不应作为日后表现的保证。在不同时期，或因使用不同假设和标准，采用不同观点和分析方法，致使信达证券发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告，对此信达证券可不发出特别通知。

在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议，也没有考虑到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，若有必要应寻求专家意见。本报告所载的资料、工具、意见及推测仅供参考，并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的邀请或向人做出邀请。

在法律允许的情况下，信达证券或其关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能会为这些公司正在提供或争取提供投资银行业务服务。

本报告版权仅为信达证券所有。未经信达证券书面同意，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发布、转发或引用本报告的任何部分。若信达证券以外的机构向其客户发放本报告，则由该机构独自为此发送行为负责，信达证券对此等行为不承担任何责任。本报告同时不构成信达证券向发送本报告的机构之客户提供的投资建议。

如未经信达证券授权，私自转载或者转发本报告，所引起的一切后果及法律责任由私自转载或转发者承担。信达证券将保留随时追究其法律责任的权利。

评级说明

投资建议的比较标准	股票投资评级	行业投资评级
本报告采用的基准指数：沪深 300 指数（以下简称基准）； 时间段：报告发布之日起 6 个月内。	买入 ：股价相对强于基准 20% 以上；	看好 ：行业指数超越基准；
	增持 ：股价相对强于基准 5%~20%；	中性 ：行业指数与基准基本持平；
	持有 ：股价相对基准波动在±5%之间；	看淡 ：行业指数弱于基准。
	卖出 ：股价相对弱于基准 5% 以下。	

风险提示

证券市场是一个风险无时不在的市场。投资者在进行证券交易时存在赢利的可能，也存在亏损的风险。建议投资者应当充分深入地了解证券市场蕴含的各项风险并谨慎行事。

本报告中所述证券不一定能在所有的国家和地区向所有类型的投资者销售，投资者应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专业顾问的意见。在任何情况下，信达证券不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任，投资者需自行承担风险。