

内容目录

第一章 谐波减速器+AI 应用概述	3
第一节 AI 是什么?	3
第二节 AI 和谐波减速器行业有什么关系?	3
一、AI 给谐波减速器行业带来的变化分析	3
二、AI 给谐波减速器行业带来的冲击分析	4
三、AI 给谐波减速器行业带来的变革分析	4
第二章 2023-2028 年谐波减速器市场前景及趋势预测	5
第一节 结构精巧, 实现低速高扭矩输出	5
第二节 技术密集型行业, 高壁垒属性突出	6
一、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	7
二、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	9
第三节 人形机器人产业提速, 谐波减速器百亿蓝海蓄势待发	9
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	9
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	11
第四节 行业集中度较高, 国产品牌打破外资垄断	12
一、哈默纳科先发优势明显, 国产品牌绿的谐波强势突围	13
二、国内产品性能仍有上升空间, 高端产品产能持续扩张	13
第五节 重点公司分析	14
一、绿的谐波: 谐波减速器龙头, 引领国产替代进程	14
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	15
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	15
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	16
五、国茂股份: 通用减速机龙头, 前瞻性布局机器人减速器	17
第三章 谐波减速器+AI 的应用现状及前景预测	18
第一节 为什么众多企业纷纷入局 AI	18
第二节 AI 的意义和作用	21
一、AI 对企业发展的实际意义	21
二、智能化改造需求	21
三、AI 为企业创造价值的模式	22
第三节 谐波减速器+AI 市场应用情况分析	22
一、人工智能开始发挥实际作用	23
二、人工智能渗透到整个企业中	23
三、借助人工智能快速推进自动化	23
四、利用人工智能获得更大收益	23
五、人工智能战略需要集体的转变	24
六、人工智能触发业务流程转变	24
七、机器学习操作 (MLOps) 成为现实	24
八、企业铺设人工智能通道	24
九、新的业务模式可能出现	25

第四节 2023-2028 年谐波减速器+AI 市场发展前景	25
一、AI 给谐波减速器行业带来的机遇分析	25
二、AI 给谐波减速器行业带来的挑战分析	26
三、2023-2028 年谐波减速器+AI 市场发展潜力	26
四、2023-2028 年谐波减速器+AI 市场发展前景	27
五、2023-2028 年谐波减速器+AI 应用前景预测分析	28
第四章 谐波减速器制定和布局+AI 的策略建议	28
第一节 企业如何建立人工智能战略	28
一、专注于战略业务目标	29
二、通过新的、支持人工智能的业务模型产生颠覆性影响	29
三、通过合适的人来执行人工智能战略	29
第二节 人工智能时代下的企业战略分析	30
一、现阶段企业战略管理存在的问题	30
二、人工智能时代下企业战略管理的策略	32
第三节 谐波减速器布局 AI 的发展思路及对策	34
一、构建全方位人工智能管理体系	34
二、健全治理制度:建立合规机制与规范行为	35
三、完善治理组织:明确责任归属与岗位分工	36
四、丰富治理能力:结合风险防范与前沿探索	38
第四节 谐波减速器+AI 切入模式及发展路径分析	40
一、企业快速部署 AI 的动力非常强大	42
二、AI 成熟度:如何衡量?	43
三、不同行业应用 AI 的差距正在缩小	45
四、以传统绩效指标评价, AI 领军者表现非凡	46
五、三一集团:从“聪明工厂”到智造生态	48
六、如何成为 AI 领军者? 五大成功因素	50
七、京东集团:探索 AI 前沿, 沉淀 AI 实力	52
八、从实践到实效, 驱动非凡价值	55
第五章 谐波减速器《+AI 应用前景及布局策略》制定手册	56
第一节 动员与组织	56
一、动员	57
二、组织	57
第二节 学习与研究	58
一、学习方案	58
二、研究方案	58
第三节 制定前准备	59
一、制定原则	59
二、注意事项	60
三、有效战略的关键点	61
第四节 战略组成与制定流程	64
一、战略结构组成	64
二、战略制定流程	64
第五节 具体方案制定	65
一、具体方案制定	65

二、配套方案制定	68
第六章 谐波减速器《+AI 应用前景及布局策略》实施手册	68
第一节 培训与实施准备	68
第二节 试运行与正式实施	69
一、试运行与正式实施	69
二、实施方案	69
第三节 构建执行与推进体系	70
第四节 增强实施保障能力	71
第五节 动态管理与完善	71
第六节 战略评估、考核与审计	72
第七章 总结：商业自是有胜算	72

第一章 谐波减速器+AI 应用概述

第一节 AI 是什么？

人工智能（Artificial Intelligence），英文缩写为 AI。它是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门新的技术科学。

人工智能是计算机科学的一个分支，它企图了解智能的实质，并生产出一种新的能以人类智能相似的方式做出反应的智能机器，该领域的研究包括机器人、语言识别、图像识别、自然语言处理和专家系统等。人工智能从诞生以来，理论和技术日益成熟，应用领域也不断扩大，可以设想，未来人工智能带来的科技产品，将会是人类智慧的“容器”。人工智能可以对人的意识、思维的信息过程的模拟。

第二节 AI 和谐波减速器行业有什么关系？

一、AI 给谐波减速器行业带来的变化分析

人工智能是制造业迈向工业 4.0 和工业互联网时代的重要新兴技术能力。制造业对于人工智能技术的使用正在稳步上升。

在制造业中人工智能不断丰富和迭代自身的分析和决策能力，以适应不断变化的工业环境，帮助企业在产生大量结构化和非结构化数据的复杂生产环境中更为快速、准确地梳理参数之间的相关

性，提高生产效率，优化设备产品性能，具有自感知、自学习、自执行、自决策、自适应等特征。制造业中的人工智能的本质是实现复杂工业技术、经验、知识的模型化和在线化，从而实现各类创新的工业智能应用。

人工智能还能提升用户体验做出贡献，诸如智能客服、智能推荐、精准营销等场景深入落地到各行各业；企业有意在数字人、虚拟 NFT 等数字化营销内容创作领域布局，以创造差异化的营销体验，升级品牌形象。

二、AI 给谐波减速器行业带来的冲击分析

从技术的行业应用而言，创新应用场景逐步增多。过去一年，中国人工智能应用保持快速发展的势头，行业应用场景较去年也更加深入和细化。除了相对成熟的应用场景之外，物流、制造、能源、公共事业和农业等在人工智能的应用方面得到快速发展，创新应用场景逐步增多。

未来五年，随着人机交互、机器学习、计算机视觉、语音识别技术达到更为成熟阶段，人工智能应用将呈现出如下发展趋势：从单点技术应用迈向多种人工智能能力融合、从事后分析迈向事前预判和主动执行、从计算智能和感知智能迈向认知智能和决策智能，以知识为主要生产工具的创作型工作（如文字、视频、图像和音频创作，软件开发，IP 孵化等）将实现更大程度的智能化；行业企业也将持续创新，拓展数字孪生与人工智能技术的融合应用，推进在能源电力、制造、建筑等行业发展，构建虚拟工厂、数字孪生电网、数字孪生城市，加强数字与现实世界的连接，优化流程，实现全域管理，决策智能。

人工智能正在加深对实体经济的支持，产生一批成熟应用的场景，包括但不限于人员设备管理、行为预测、供需销售预测等。另外，科学家们越来越多地利用人工智能技术和方法，从数据中建立模型，重点围绕新材料研发等领域加速对前沿科学问题的探究。例如，在材料领域，科学家基于人工智能网络模型和大规模分子数据集，提升分子动力学模拟的极限，以快速、准确的方式预测新材料的特征

三、AI 给谐波减速器行业带来的变革分析

制造业在人工智能的主要应用场景包括：交互界面智能化、质量管理及推荐系统、维修及生产检测自动化、供应链管理自动化、产品分拣等。IDC 预计，到 2023 年年底，中国 50%的制造业供应链环节将采用人工智能，从而可以提高 15%的效率。这将使企业能够更好地预测市场变化、消费趋势和习惯的变化，甚至是气候变化，进而将预测结果与库存管理相联系，帮助企业努力使库存水平贴近市场需求，促进销售，同时降低成本，把控风险。此外，诸如媒体和娱乐、游戏、建筑等行业也在加速元宇宙技术的落地和应用，基于人工智能、物联网、智能边缘等技术，满足市场对于多元

化、定制化、共情化的体验，改善运营流程，加速学习、分享、创造，产生更大的经济和社会价值。实现元宇宙构想以及物理与数字世界间的互联，需要创建更多的数字资产/数字人，这对计算性能与计算资源提出新的要求。目前元宇宙基础设施的搭建已经开始起步，通过构建能够支持应用落地的人工智能算力基础设施，提升基础平台的支撑力度，为将来满足企业和用户在虚拟环境中的应用需求夯实基础。

第二章 2023-2028 年谐波减速器市场前景及趋势预测

第一节 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。

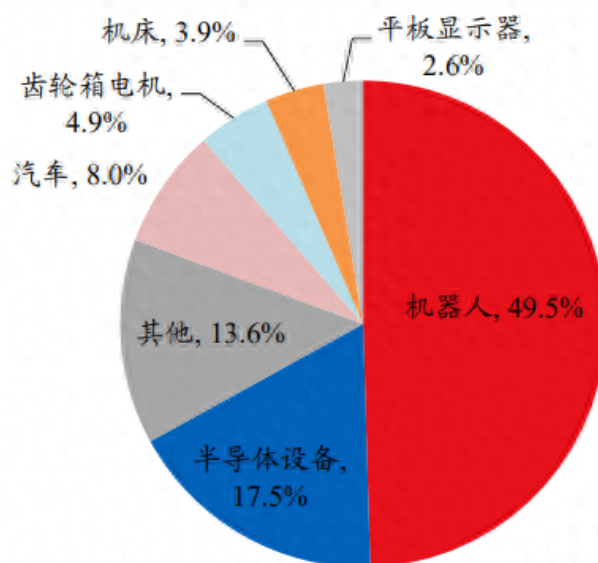
谐波减速器由波发生器、柔轮和钢轮组成。按机械波数量分类，可分为单波/双波/三波传动，刚轮和柔轮的齿数差应等于机械波的整数倍，通常取为波数，目前最常用的为双波传动。其中钢轮为带有内齿圈的刚性圆环状零件，通常固定在减速器机体上，具有良好的抵抗外载荷不变形的能力；柔轮为带有外齿圈的柔性薄壁弹性体零件，通常安装在减速器输出端；波发生器由柔性轴承和刚性椭圆凸轮组成，通常安装在减速器输入端，柔性轴承内圈固定在凸轮上，外圈通过滚珠实现弹性变形成椭圆形。

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-脱离四个状态，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。

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 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

第二节 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/T30819-2014）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。

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。

一、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

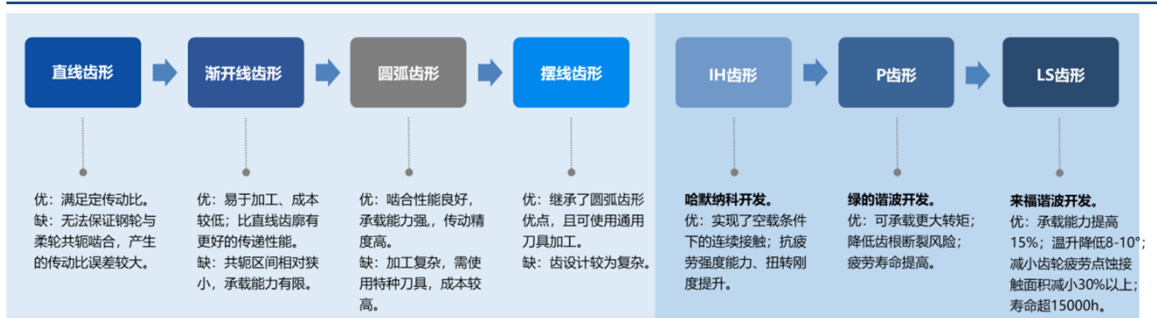
柔轮是谐波减速器核心部件，产品质量受材料性能、齿形设计及加工工艺影响。柔轮外齿与钢轮内齿不断进行啮入、啮合、啮出和脱开的往复循环，筒部受到周期性弹性变形易发生疲劳断裂，齿部受到周期性摩擦磨损易降低传动精度和传动效率，其中柔轮的疲劳断裂是产品失效的最主要形式，占比超 60%，主要可归因于材料、齿形、加工工艺的影响。

(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；同时由于柔轮筒体壁厚较薄，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 μ m，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。

(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。

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：向珍珠等《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。

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。

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。该工艺不仅可以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。

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。

二、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

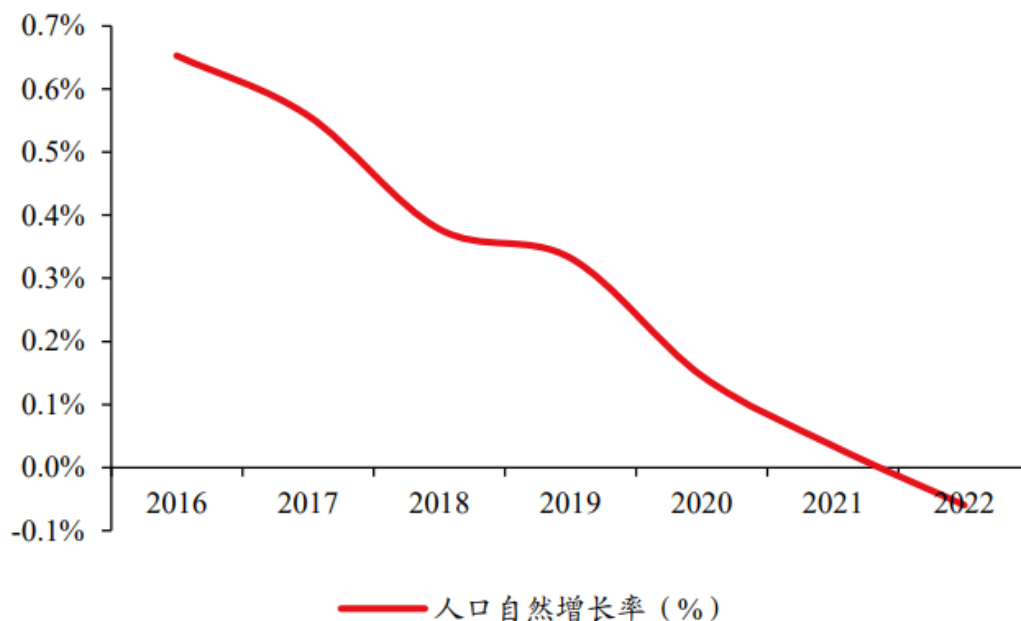
柔性薄壁轴承工作中会发生弹性形变，易发生疲劳失效。波发生器由椭圆形凸轮和柔性薄壁轴承组成。椭圆形凸轮不发生弹性变形，而柔性薄壁轴承内圈安装在凸轮上，外圈安装在柔轮上，由于其壁厚比较薄，工作中随凸轮的转动而发生弹性形变，不仅需承受滚动体的循环应力载荷，而且要承受来自椭圆长轴的周期性交变挤压及外部载荷的挤压，相较普通轴承，更易发生疲劳失效。材料的选择及热处理工艺的优化对柔性轴承性能的提升较为重要。据穆晓彪等《谐波减速器柔轮与柔性轴承断裂失效分析》，相较于日本产品，失效产品晶粒尺寸高 6.9 μm ，平均标准偏差高 0.19，晶粒度等级低 2 级。从性能改进的角度来看，材料方面，目前柔性薄壁轴承内外圈、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。

第三节 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

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。

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。

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

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/875230123210011212>