



行星滚柱丝杠——高精技术集成之作， 人形机器人线性关节

投资评级：推荐（维持）

报告日期：2024年03月28日

- 分析师：林子健
- SAC编号：S1050523090001

研究创造价值

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

◆ 行星滚柱丝杠是人形机器人优质细分赛道

以特斯拉Optimus为例，单台人形机器人需要14个行星滚柱丝杠，单价约2,000元/个，单台价值量在2.8万元以上。横向对比机器人其他部件，行星滚柱丝杠占人形机器人价值量较高，其毛利率可达60%，盈利能力位居前列。

◆ 滚柱丝杠壁垒高，国产替代前景广阔

滚柱丝杠技术壁垒和价值量高，应用空间增量前景广阔，但国产化率低。相较于滚珠丝杠，滚柱丝杠具备载荷大、精度高、体积小、使用寿命长等特点，更适配于人形机器人领域。由于滚柱丝杠加工流程长、制造壁垒高，相应价值量较高。**未来随着冷锻等工艺趋于成熟，行星滚柱丝杠制造成本有进一步下探空间。**国内行星滚柱丝杠市场集中度较高，目前外国企业占据8成市场份额，**而国内南京工艺等国内企业产品性能与外国产品差距较小，国产替代前景广阔。**

◆ 乘人形机器人东风，市场空间快速放量

机器人的复杂性和功能乃至能力取决于其总自由度的数量以及自由度的配置和控制方式。随着机器人的复杂性和功能性增加，人形机器人自由度数量也将持续上升，**人形机器人自由度上限可参考人体上限可参考人体有数百个自由度，而丝杠是实现人形机器人的线性关节，是实现人形机器人自由度的关键部件。**从未来市场空间来看，2030年人形机器人出货量有望达205.0万台，对应2870.3亿元的市场空间，到2030年，应用于人形机器人的行星滚柱丝杠价值量为229.6亿元，CAGR为154.1%。

◆ 推荐逻辑和相关标的

伴随着将来人形机器人产品趋于成熟，叠加端到端AI大模型赋能，功能性、实用性兼顾，人形机器人将成为“继计算机、智能手机、新能源汽车后的颠覆性产品”，**行星滚柱丝杠作为“执行侧”的关键部件，凭借“高技术壁垒&国产替代趋势显著&清晰降本路径”将成为人形机器人赛道的重要细分投资赛道。**1) **新剑传动**：公司已建成国内首条行星滚柱丝杠产线，产品已应用于人形机器人，汽车领域客户包括吉利、理想、华为等头部车企，机器人合作伙伴包括小米、小鹏、智元、科沃斯机器人等；2) **鼎智科技**：公司线性执行器产品市占率全球第二，通过滚压工艺生产T型丝杠；3) **贝斯特**：通过子公司宇华精机布局丝杠业务，2023年上半年公司高精度滚珠丝杠产品已送样至战略客户处进行验证；4) **秦川机床**：子公司汉江机床掌握螺纹铸造核心技术，丝杠产品精度最高可达P0级，目前2级、3级精度的滚珠丝杠已实现量产，同时公司具备螺纹磨床的生产能力。

公司代码	名称	2024-03-28 股价	EPS			PE			投资评级
			2022	2023E	2024E	2022	2023E	2024E	
000837.SZ	秦川机床	9.16	0.31	0.22	0.31	29.95	41.64	29.38	未评级
300580.SZ	贝斯特	26.07	1.14	0.80	0.97	22.87	32.59	26.88	买入
873593.BJ	鼎智科技	36.07	3.05	0.89	1.18	11.83	40.53	30.64	未评级

注：鼎智科技已发布2023年年报，所以2023年EPS和PE是实际值而非预测。

资料来源：wind，华鑫证券研究（未评级公司盈利预测取自wind一致预期）

机器人市场风险

机器人量产进度不及预期

原材料价格风险

丝杠原材料多采用高碳铬轴承钢，原材料价格上升会导致丝杠成本上升

投产进度不及预期

各个公司丝杠产能布局投产进度可能不及预期

地缘政治风险

丝杠属于高精密产品，生产设备需要高精度螺纹磨床，国内螺纹磨床的进口可能受到外国政策限制

推荐公司业绩不及预期

目录

CONTENTS

- 1、线性传动核心部件，高精技术集成之作
- 2、行星滚柱丝杠精度要求高，加工工艺壁垒深厚
- 3、人形机器人关节核心部件，国产替代前景广阔
- 4、国内企业纷纷布局，丝杠产能迎来爆发期

01

线性传动核心部件，高精技术集成之作

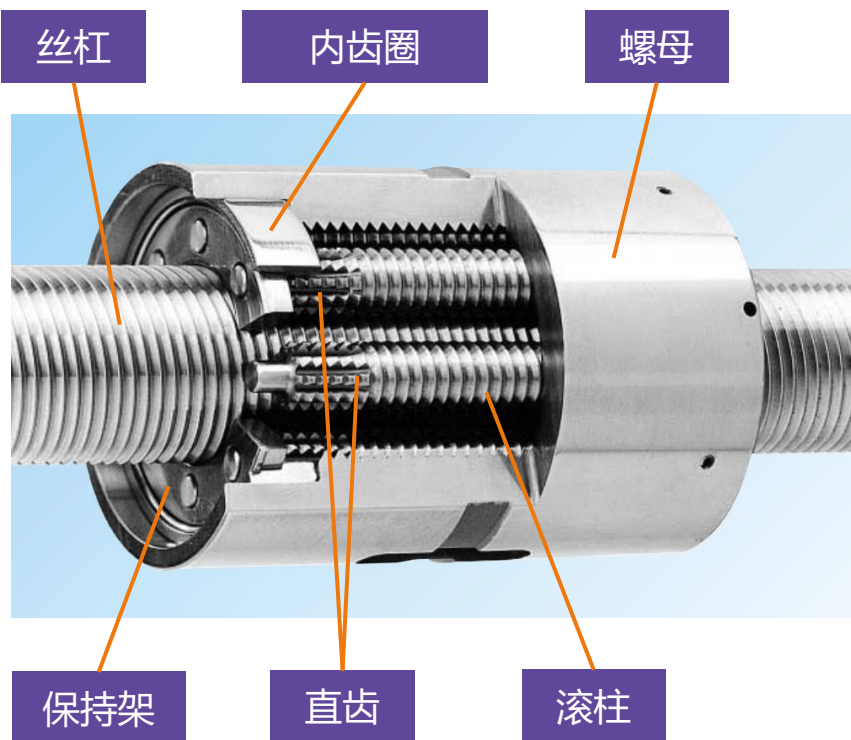
研创造价值

1、线性传动核心部件，高精技术集成之作

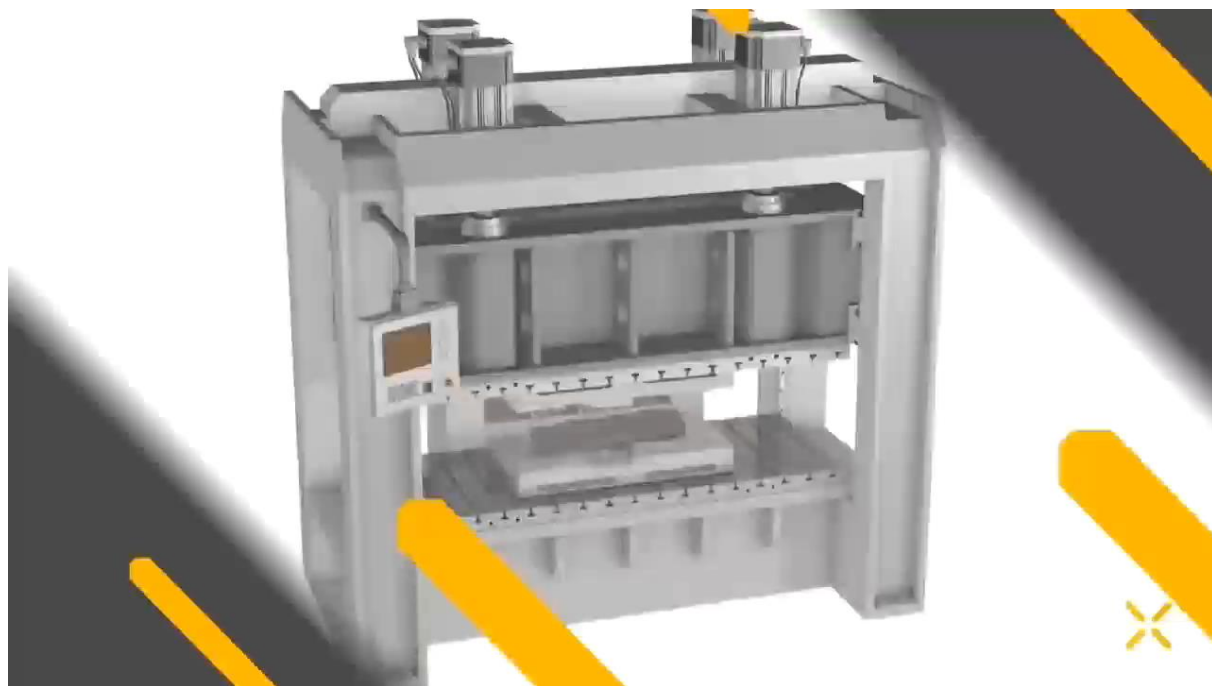
1.1、行星滚柱丝杠介绍

行星滚柱丝杠(PRSM)是一种可将旋转运动和直线运动相互转化的机械传动装置，具有螺纹传动和滚动螺旋传动的综合特征。与滚珠丝杠传动相比，其滚动体不是多个球体，而是含有螺纹的多个滚柱体。螺母或丝杠旋转运动通过滚柱的行星运动转换为直线运动。行星滚柱丝杠传动中特有的滚柱结构，使得滚柱与螺母(或滚柱与丝杠)之间无相对轴向位移，滚柱能够在丝杠和螺母形成的封闭空间内反复循环运动，依靠滚动/滑动摩擦实现运动和动力的传递。

标准式行星滚柱丝杠传动机构的结构形式



滚柱丝杠运动形式



资料来源：SKF, Ewellix, 柯浩《行星滚柱丝杠传动精度分析与设计》 华鑫证券研究

1、线性传动核心部件，高精技术集成之作

1.1、行星滚柱丝杠介绍

导程是丝杠旋转前进中螺母运动的距离。 PRS主要组成元件有：丝杠1，其螺纹牙型是直角的三角形螺纹（至少是3线螺纹）；螺母7，其内螺纹牙型与丝杠相同；滚柱5，其螺纹牙型是直角的圆弧螺纹（单线螺纹），在每个滚柱的末端都有一个圆柱形的枢轴和齿轮。枢轴安装在挡板2的圆孔内，这确保了滚柱的径向均匀分布。轮齿与内齿圈4啮合，这使得滚柱轴向平稳地运行。挡圈3，用来锁紧挡板。平键6，用于联接所传动的物体，其结构简单，拆装方便，对冲性好，适合高速、承受变载、冲击的场合。

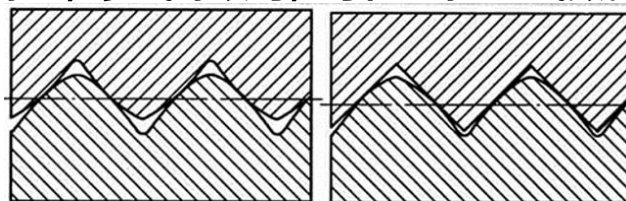
螺纹线数：沿一条螺旋线形成的螺纹称为单线螺纹，沿轴向等距分布的两条或两条以上的螺旋线形成的螺纹称为多线螺纹。

螺距（p）是相邻两牙在中径线上对应两点间的轴向距离。

导程（ph）是同一条螺旋线上的相邻两牙在中径线上对应两点间的轴向距离。

单线螺纹时，导程=螺距；多线螺纹时，导程=螺距×线数。

丝杠和滚柱牙型



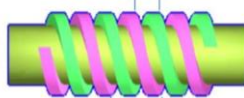
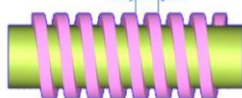
a) 两边弧形

导程=螺距

b) 单边弧形

螺距

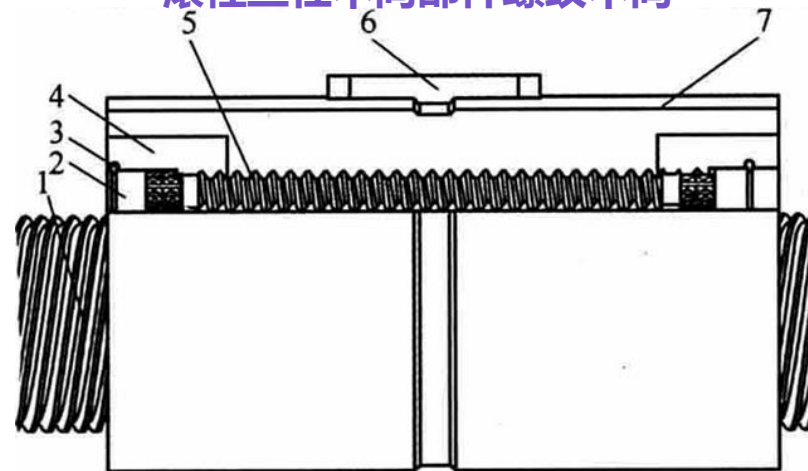
单线螺纹和 双线螺纹 导程区别



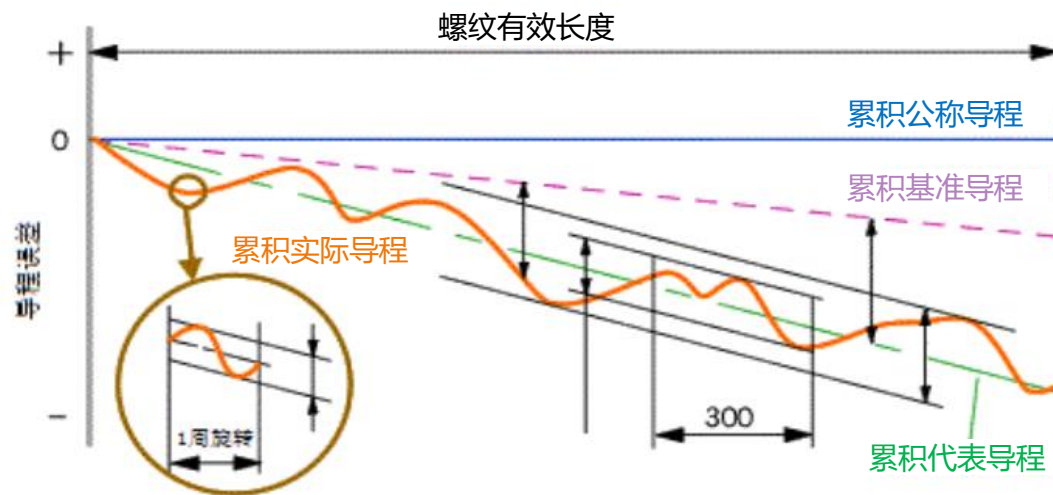
导程

资料来源：冯虎田《滚珠丝杠副动力学设计与其基础》 米思米中国

滚柱丝杠不同部件螺纹不同



丝杠导程



《机械篇 | 说说滚珠丝杠的那些事》华鑫证券研究

1.2、导程精度是PRS的关键指标

导程精度是划分等级的核心指标，C0精度等级最高。在传动中，实际移动距离和理想移动距离的偏差，其中有分为三种情况：1) 旋转一周的运行精度；2) 整根丝杠的运行精度；3) 任意300mm的运行精度。一般情况下导程精度是指运行300mm的精度。一般来说，普通机械采用C10-C7级，数控设备一般采用C5-C3级。航空制造设备，精密投影及三坐标测量设备等一般采用C3、C2精度。另外，C10-C7级一般采用轧制方法制造，C5级及以上采用磨削方法制造。

不同用途丝杠精度需求

丝杠性能指标说明

性能指标	说明
丝杠轴径	常见的规格有：8、10、12、14、15、20、25、32（单位：mm）。一般是轴径越大，负载越大。
静/动额定负荷	静额定负荷指的是在静止状态下，丝杆可以承受的额定负荷。一般我们只关心动额定负荷就可以。实际负载和额定负荷的比值越小，丝杆的理论寿命越长。
导程	导程指的是丝杆旋转一周，螺母直线运动的距离。常见的导程有（单位：mm）：2、4、5、8、10、20、25、32。
精度	按国内分类，精度等级有P1、P2、P3、P4、P5、P7、P10，日本、韩国，还有中国台湾省采用JIS等级，即C0、C1、C2、C3、C5、C7、C10；欧洲国家的标准采用的是IT0，IT1，IT2，IT3，IT4，IT5，IT7，IT10。

丝杠精度标准

精度等级	C0	C1	C2	C3	C5	C7	C10
精度 (E300)(μm)	3.5	5	7	8	18	50	210

用途	C0	C1	C3	C5	C7	C10
机床	○	○	○	○		
加工中心		○	○	○		
铣床		○	○	○		
钻床			○	○	○	
坐标镗床	○	○				
磨床	○	○	○			
放电加工机		○	○			
射出成形机				○	○	
钢铁设备机械				○	○	
冲床			○	○		
激光加工机			○	○		
通用机械、专用机械			○	○	○	○
木工机				○	○	○
化学处理装置			○	○		
电子部件实装机		○	○	○		
焊线机		○	○	○		
探测器	○	○				
印刷基板开孔机		○	○	○		
直交座标型机器人			○	○		
垂直多关节型机器人			○	○		
三元测定机	○	○	○			
图像处理装置	○	○	○			
原子能控制棒			○	○	○	
航空器			○	○	○	

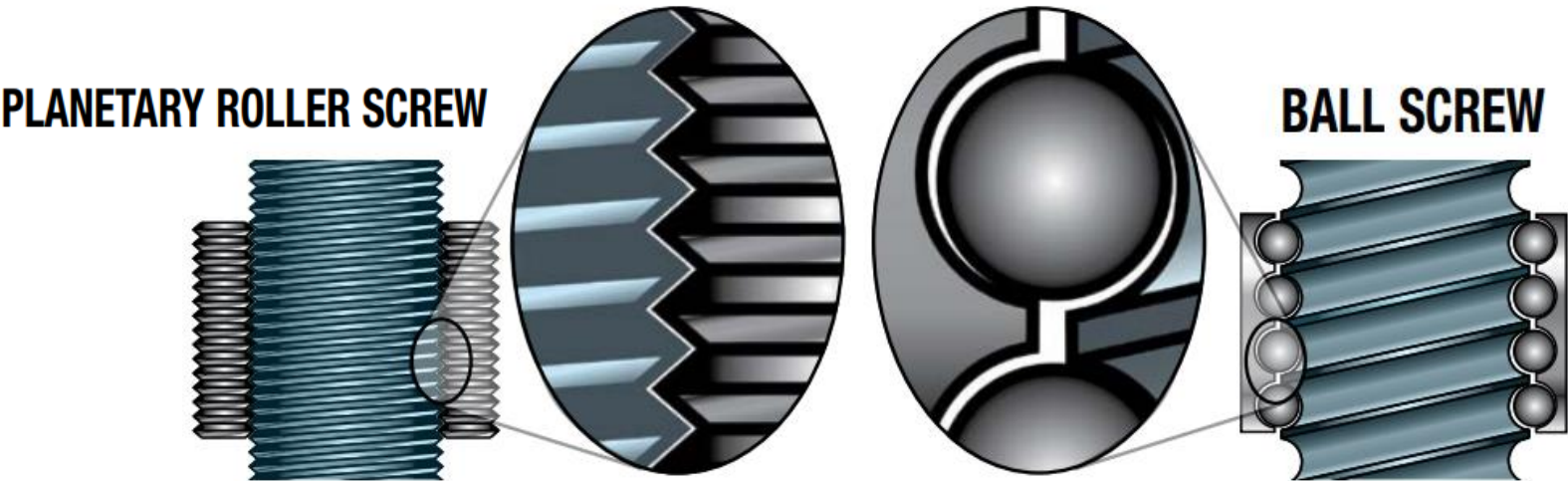
资料来源：中捷众创公众号，椿中岛《直线运动产品综合样本》，华鑫证券研究

1.3、滚柱丝杠和滚珠丝杠比较优势在于精度、载荷、寿命等多方面

滚珠丝杠螺母组件包含多个滚珠轴承，能够处理中等负载的滚珠轴承有最小尺寸要求。与相似尺寸和导程的滚柱丝杠相比，滚珠轴承的半径需要更粗糙的螺距，导致接触点更少。加上较小的接触半径和允许轴承互相接触的设计，限制了滚珠丝杠的DLR（Dynamic Load Rating），导致较低的力和较短的使用寿命。相比于传统的滚珠丝杠传动，行星滚柱丝杠传动呈现**多副(螺纹副和齿轮副)、多体(多个零件参与啮合传递运动和动力)、多点(螺纹副多点接触)**的啮合特征，故在相同丝杠直径下，**行星滚柱丝杠比滚珠丝杠的承载能力提高6倍，相同负载下节省1/3空间，寿命提高14倍，工作环境温度范围提高2倍。**

在实际应用中，滚柱相对于螺母无轴向运动，丝杠转速可达6000r/min，螺母直线速度可达2m/s。采用行星滚柱丝杠作为传动机构的EMA与采用滚珠丝杠的EMA相比**相同推力下重量减少30%，相同重量下推力提升50%**。而且，行星滚柱丝杠可采用微小导程(螺距可达0.3mm)，不仅更便于控制传动精度和提升动态频响，而且由于更多接触点同时参与传力，能够实现重载条件下的超高精密传动。

行星滚柱丝杠与滚柱丝杠性能对比

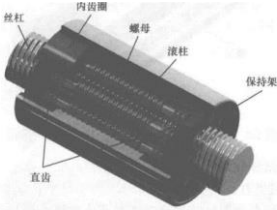
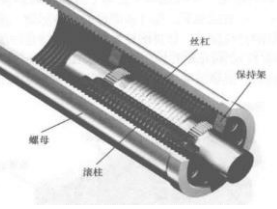
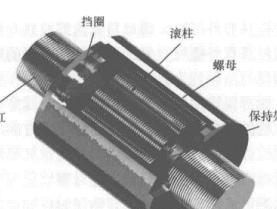
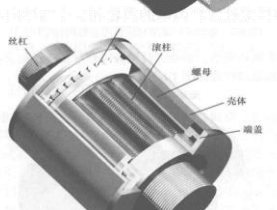


性能	滚柱丝杠	滚珠丝杠
动态额定载荷	非常高	中等
寿命	很长，几倍于滚珠丝杠	一般
冲击载荷	非常高	中等
相对体积	最小	中等
加速度	高	中等
精度	高	一般

资料来源：TOLOMATIC，华鑫证券研究

1、线性传动核心部件，高精技术集成之作

1.4、不同类别行星滚柱丝杠运动方式和应用场景不同

类别	运作方式	结构特点	性能特点	应用场景	图示
标准式行星滚柱丝杠	丝杠为主动件，螺母为输出构件。当丝杠旋转时，滚柱通过与丝杠之间的螺纹啮合一方面会沿着丝杠轴线方向作直线运动，另一方面会在丝杠、螺母之间作行星运动，	丝杠和螺母为多头螺纹,牙型均为三角形。滚柱为单头螺纹,牙型为球形轮廓。滚柱两端加工有直齿,与安装于螺母内的内齿圈啮合,以确保滚柱轴线平行于丝杠轴线而正常滚动。	能够实现较大行程。	适用于环境恶劣、高负载、高速等场合，是目前应用最广泛的类型。主要应用轧钢、切削运动等。	
反向式行星滚柱丝杠	反向式行星滚柱丝杠传动与标准式工作原理一样。与标准式行星滚柱丝杠不同的是，反向式行星滚柱丝杠将螺母作为主动件，由丝杠直线输出，滚柱与丝杠之间没有相对轴向位移。因此，滚柱螺纹和丝杠螺纹长度一致。	没有内齿圈。在丝杠螺纹两端加工有外直齿，即由标准式滚柱直齿与内齿圈的内啮合变为丝杠直齿与滚柱直齿的外啮合。	行程受到螺母内螺纹长度的限制。	用于中小负载、小行程和高速的应用场景。如航空、航天、船舶、电力等领域。	
循环式行星滚柱丝杠	滚柱在完成一个循环后进行位置重置，即回到初始位置重新与丝杠啮合，同滚珠丝杠传动的返回器功能相似。螺母沿径向加工有一个凹槽，滚柱每完成一个循环后在凸轮环作用下将滚柱挡入凹槽，与丝杠螺纹脱离啮合回到起始位置。	去掉了内齿圈，增加了一个带有凸轮的挡圈。滚柱结构形式不是单头螺纹，而是无螺旋升角的“环槽”状，并沿轴线圆周排。	可采用更小的螺线程导程，位置精度高，啮合点更多，承载力更大，但摩擦也会增强。	应用于要求高刚度、高精度的场合，医疗器械、印刷机械、光学精密仪器等领域。	
轴承环式行星滚柱丝杠	滚柱和螺母之间没有轴向位移,动力由丝杠传给滚柱，再由滚柱传给两端的推力圆柱滚子轴承，螺母可自由旋转并将动力传给推力圆柱滚子轴承，最后由推力圆柱滚子轴承传到壳体上。	丝杠是多头螺纹，滚柱与循环式行星滚柱丝杠的滚柱相似，同为无螺旋升角的“环槽”结构，但螺母不是单个部件，而是由推力圆柱滚子轴承和壳体组成。	轴承环的旋转将摩擦力沿圆周方向分散，摩擦力小，传动效率高。	适用于较大轴向负载、高轴向刚度、高效率等场合，如石油化工、重型机械等领域。	
差动式行星滚柱丝杠	螺母、滚柱和丝杠螺距相等，滚柱与螺母相对轴向位移为零，端部保持架用于支撑多个滚柱。丝杠做正传动运动，即将丝杠的螺旋运动转换为螺母沿轴向方向的直线运动。	省去内齿圈，多了端部保持架和挡圈等。差动式行星滚柱丝杠的滚柱螺纹分为两段，可在螺纹啮合的两端形成稳定支撑，从而防止倾斜。	承载能力强、刚度大、磨损小和寿命长，具有更大的传动比。	适用于承载能力较高的应用场合。	

资料来源：刘更《行星滚柱丝杠传动啮合原理》 华鑫证券研究

1、线性传动核心部件，高精技术集成之作

1.5、行星滚柱丝杠在军工和民用均有大量应用场景

国外行星滚柱丝杠产品已经在军工装备、汽车自动化产线、大型机床、电动执行器等产品领域获得规模商业化应用。在民用领域，行星滚柱丝杠与电机一体化形成电动执行器，国外已经在阀门执行器、塑料机械、无人汽车、六自由度模拟器、高端汽车生产线等领域得到应用。行星滚柱丝杠在国外军品应用案例包括 F-35B 战斗机电动起落架、潜艇自由度模拟仿真平台、电动造波机、美国鱼鹰战斗机航空武器悬挂发射系统装置、美国武装直升机的航空武器悬挂发射系统装置和螺旋桨高低调节装置等。

行星滚柱丝杠属于精密传动零部件，国内目前行星滚柱丝杠加工制造设备主要有采用滚珠丝杠制造设备或者研发专用制造设备，加工精度基本可以达到 G5 级精度。国内行星滚柱丝杠厂商受加工设备、加工工艺、材料和热处理工艺、测试设备、产业工人等因素的制约导致产品无法实现规模化地商业推广和应用。在替代国外进口产品以及未来全电动装备发展中，行星滚柱丝杠存在着巨大的市场应用前景。

滚柱丝杠有非常广泛的应用场景

- 行业
- 航天航空
 - 石油行业
 - 半导体
 - 军工
 - 核工业
 - 生物化学工业
 - 汽车制造业
 -

- 设备
- 光学仪器
 - 连铸机
 - 医疗器械
 - 望远镜
 - 阀门控制
 - 测量仪器
 - 印刷
 - 机床
 - 激光设备
 - 压力机
 - 电动缸
 -

滚柱丝杠在典型行业应用

典型行业	应用细分	客户的技术需求	滚柱丝杠匹配性
医疗器械	CT、MRI	安全性高、设计紧凑	高功率密度
	放疗设备	精度高、刚性高	高精度、高刚性
自动化设备	金属成型机	承载能力强、设计紧凑	高功率密度
	精密机床	使用寿命长	使用寿命长
	娱乐模拟器	精度高、刚性高	高精度、高刚性
	伺服压力机、注塑机	速度和加速度高	高速、高加速性能
汽车生产线技术	自冲铆、涂胶	轻量化	高功率密度
	伺服点焊设备	定位精度高 寿命长、可靠性强	高传动精度 极强的可靠性

资料来源：rollvis产品手册，华鑫证券研究

资料来源：王有雷《F公司滚柱丝杠产品营销策略研究》，华鑫证券研究

02

行星滚柱丝杠精度要求高，加工工艺壁垒深厚

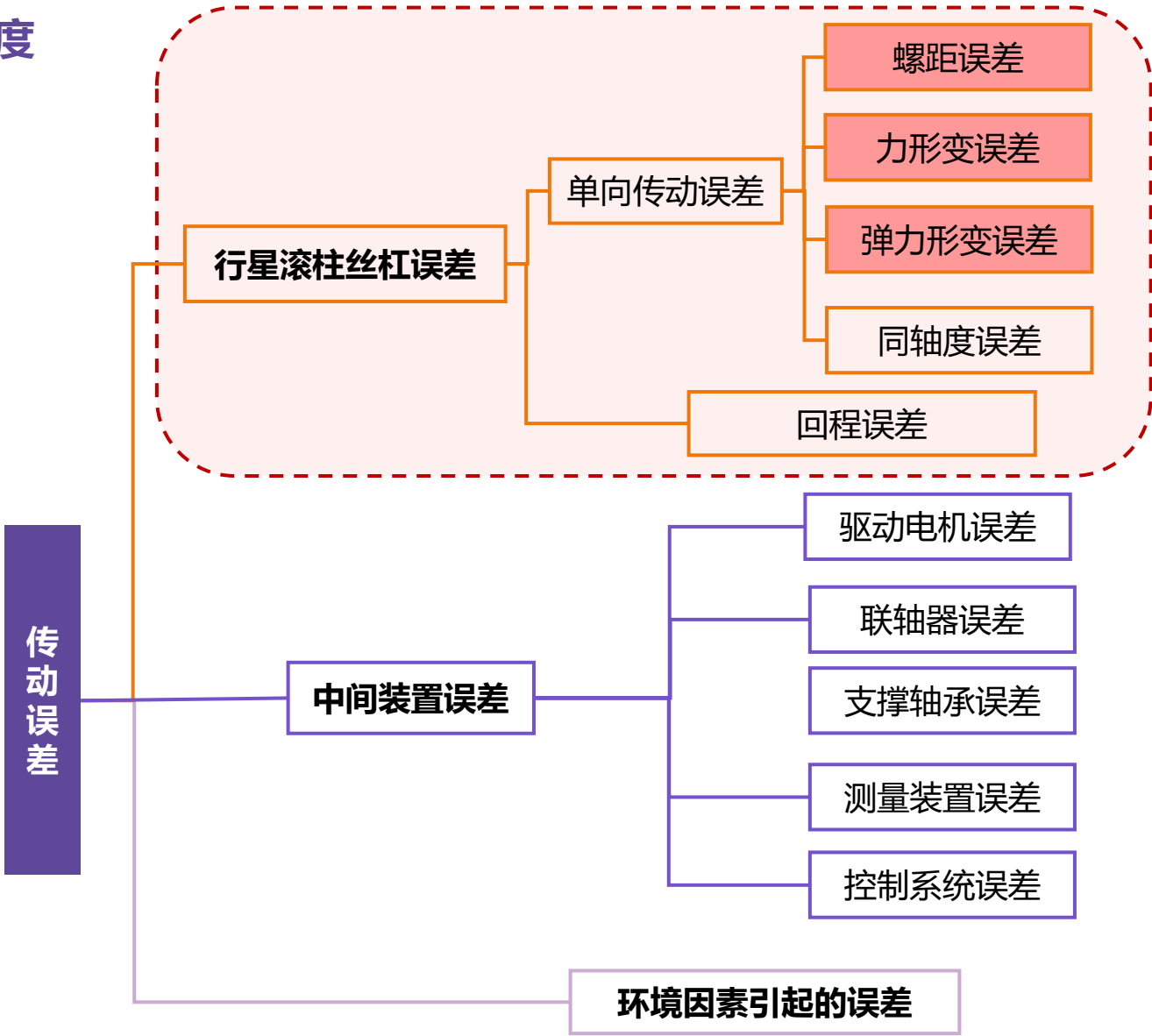
研究创造价值

2、行星滚柱丝杠精度要求高，加工工艺壁垒深厚

2.1、滚柱丝杠加工的核心在于减小误差、提高精度

PRS在实际运用过程的传动误差主要包括PRS自身误差、中间装置误差和环境因素引起的误差等。PRS传动误差是指螺母实际位移与理论位移之差。由于PRS传动机构是驱动电机、联轴器、支撑轴承、行星滚柱丝杠、测量装置、控制系统等部件一体化集成设计的复杂的机电设备，因此影响传动精度的误差来源众多，且性质和规律各不相同。PRS传动误差可由丝杠、滚柱和螺母引起的误差进行叠加，但在工程实际中，不能进行简单线性叠加。

- **螺距误差**：属于系统误差且为某一固定值。
- **力形变误差和弹性接触形变误差**：在轴向载荷和扭转力矩作用下，丝杠会发生力形变，形变量与丝杠的支撑方式和有效长度有关。
- **同轴度误差**：PRS在加工制造过程中，螺纹制造误差造成螺纹与轴颈部的同轴度误差，进而引起传动误差。
- **安装误差**：与滚珠丝杠类似，PRS自身径向跳动和轴向窜动也会影响到传动精度。可通过设计预紧螺母等硬件调校机构以减少影响。
- **回程误差**：指输入轴正向、反向运动一次，实际与理论行程之间的偏差，反映丝杠、滚柱和螺母的螺纹间隙对传动精度的影响。



资料来源：精密行星滚柱丝杠的传动特性 李凯，华鑫证券研究

阅读最后一页重要免责声明

2、行星滚柱丝杠精度要求高，加工工艺壁垒深厚

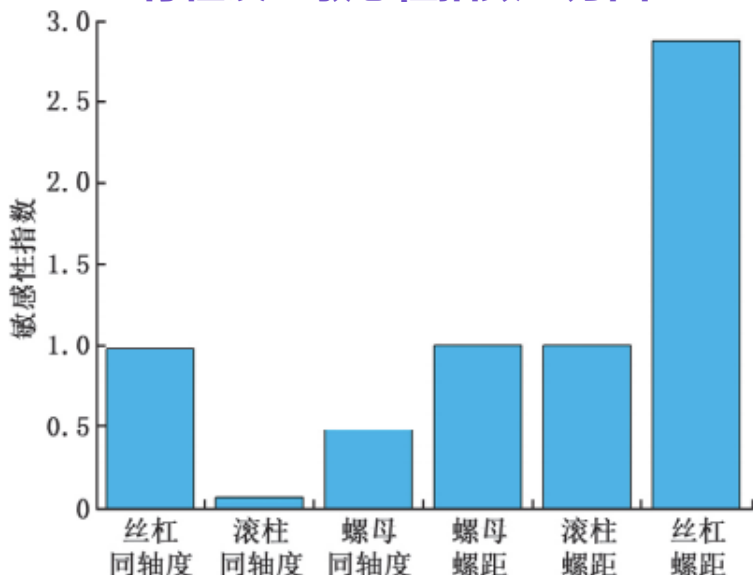
2.1、丝杠螺距误差是产生误差最主要因素

在实际生产加工过程中，螺距误差对啮合干涉或啮合间隙影响明显。精密传动行程精度的影响误差大致分为三类：周期性系统误差、随机误差、非周期性系统误差。PRS的行程精度的周期性误差主要由丝杠、滚柱、螺母螺纹同轴度原始误差引起；而非周期性误差则由丝杠、滚柱、螺母中径误差及螺距误差引起；随机误差是温度、湿度、环境因素引起。

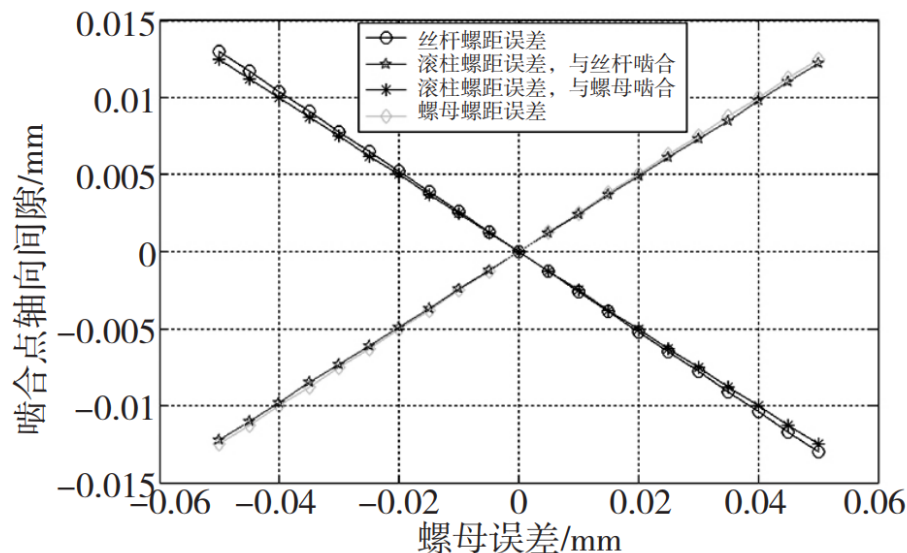
所有误差因素与行程误差均为正相关，其敏感性指数从大到小依次为：丝杠螺距（2.8570）、滚柱螺距（1.0000）、螺母螺距（1.0000）、丝杠螺纹同轴度（0.9800）、螺母螺纹同轴度（0.4750）、滚柱螺纹同轴度（0.0585），滚柱同轴度敏感性指数小于0.1，可以忽略不计。

中径误差对行程精度无直接影响，但对轴向间隙有显著影响。相关敏感性指数从大到小依次为：滚柱中径误差（-4）、丝杠中径误差（-2）、螺母中径误差（2）。丝杠、滚柱、螺母中径误差与啮合间隙量在同一数量级上，对啮合点轴向间隙量的影响最大，螺距误差次之，误差会导致啮合干涉或间隙量过大。

行程误差敏感性指数直方图



啮合间隙量与滚柱、螺母、丝杆螺距误差成线性关系



资料来源：吴翰林《基于加工误差敏感度与模糊层次分析法的行星滚柱丝杠公差匹配优化方法》、华鑫证券研究

2、行星滚柱丝杠精度要求高，加工工艺壁垒深厚

2.2、螺纹加工工艺是丝杠加工的核心壁垒

行星滚柱丝杠的材料选取决定结构刚度，直接影响形变误差。提高结构的刚度和强度，最有效的途径是选择弹性模量和强度高的材料。材料在行星滚柱丝杠设计具有很重要的作用。

行星滚柱丝杠中丝杠选用的材料为合金结构钢42CrMo，合金结构钢42CrMo强度和淬透性比35CrMo有所增高，调质后有较高的疲劳极限和抗多次冲击能力，低温冲击韧性良好。对合金结构钢42CrMo需做预处理，表硬度不低于54~60HRC。螺母和滚柱选用的材料为高碳铬轴承钢GCr15，其综合性能良好，火和回火后具有高而均匀的硬度，良好的耐磨性和高的接触疲劳寿命，热加工变形性能和切削加工性能均好。对高碳铬轴承钢 GCr15 需做进行淬火处理，其表面接触硬度为56~60HRC。

滚柱的滚动表面与丝杠的两个接触螺纹槽表面是容易产生疲劳点蚀。丝杠和螺母的螺旋槽的表面及滚柱的滚动表面进行渗碳或碳氮共渗处理，可以生成硬化的表层，以延长使用寿命，提高承载能力。

丝杠材料选择

	应用范围	材料	热处理	HRC
丝杠	l≤1m	20CrMoA	渗碳、淬火	60±2
	l≤2.5m	42CrMoA、55Mn、50Mn、60Mn	高、中频淬火	
	l>2.5m	38CrMoAlA	氮化	
	d>40mm	GCr15SiMn	整淬	850HV
	d≤40mm l≤2m	GCr15	整淬	60+2
	do≤40mm	GCr15		
	d=40-80mm l≤2m	CrWMn	整淬	
	有防腐要求者	9Cr18	中频淬火	56
螺母		GCr15、CrWMn、9Cr18	淬火回火	60+2
		18CrMnTi、12CrNiA、12Cr2Ni4A	渗碳、淬火	

GCr15报价在5000元/吨以上



资料来源：我的钢铁，冯虎田《滚珠丝杠副动力学设计与基础》，华鑫证券研究

2、行星滚柱丝杠精度要求高，加工工艺壁垒深厚

2.2、螺纹加工工艺是丝杠加工的核心壁垒

磨削精度高，滚扎效率高，硬旋铣较均衡。行星滚柱丝杠依靠零件间的螺纹啮合实现传动功能，螺纹的加工精度将直接影响系统的传动精度、使用寿命、与平稳性，故优化螺纹的加工技术是提升PRS整体性能的关键。PRS 螺纹制造工艺方法主要为成型加工，例如目前应用于丝杠副螺纹制造技术主要有磨削技术、滚轧成型和旋风铣削技术三种。

三种螺纹加工工艺对比

工艺项目	磨削	滚轧成型	旋风硬旋铣
对材料要求	无特殊要求	对精胚外圆尺寸、公差、圆度、圆柱度、直线度要求严格,材料塑性应变能力、延伸率要求较高	对精胚外圆的圆度、圆柱度、直度及硬化层深度,硬度的均匀性有要求
最高加工精度	P3级,P1级,PO级	P3、P5导程误差的波动小、线性好	P3级导程误差的波动小、线性好
齿形精度及表面质量	砂轮品质和使用寿命对其有直接影响	Ra=0.5-0.8um,表面光滑、处于压应力状态	Ra=0.4um,高速、渐近、低温切削,表面质量优于磨削
适宜加工对象	常用规格高精度丝杠螺纹的精加工	超细长、大导程、超大导程双头和多头螺纹	整体大型超长丝杠,大钢球重型BS,各类异型螺杆
资源友好性	湿切削,能耗、油耗、水耗均较高	低耗无屑加工、材料利用率高达80%以上	干切削,省工序,能耗、油耗、水耗低于磨削
环境友好性	有磨粒金属粉尘、油雾	无油雾和粉尘,污染小	噪声小,无油、少屑,污染小
生产效率与制造周期	效率低、工序多、制造周期最长	单机快速产出,库存性供货	生产效率高于磨削低于冷滚轧
装备及制造成本	螺纹磨床已国产化,生产工序多、制造成本高	关键设备前期投入大,后期成本取决于轧辊寿命、研发制造能力	关键设备前期投入大,后期成本取决于PCBN刀片寿命及刃磨的自主化能力
量产	更换工件规格较容易,不受生产批量限制	标准化,系列化大批量生产	调整对刀比较麻烦,适用一定批量的产品

资料来源：王伟《大型螺纹旋风硬铣削数值模拟及工艺参数优化》 华鑫证券研究

2、行星滚柱丝杠精度要求高，加工工艺壁垒深厚

2.2.1、磨削精度高，生产效率低

越精密、硬度越高的丝杠的工艺要求高、工序步骤多、加工时间长。

- 1) 精密级及普通级两类丝杠由于材料的不同，其毛坯的热处理方式也就不同。毛坯热处理是预备性热处理，可以消除毛坯制造带来的内应力，并且能控制硬度以适应机械加工的切削性能。碳素钢球化退火后金相组织稳定，残余应力被消除，具备很好的加工性；
 - 2) 机械加工的时效处理工序不同。丝杠精度不同则时效处理次数不同，**一般来说，精度要求越高，时效处理次数越多。**
- 此外，硬度要求高的丝杠（HRC56以上）必须进行淬火处理，淬火可以有效地保证丝杠的机械性能、硬度和稳定性。淬火工艺的丝杠需要多次回火以及冰冷处理以消除应力。

精密丝杠和普通丝杆磨削加工工艺对比

	毛坯	粗加工	半精加工			精加工
精密丝杠	下料 金相检查 球化退火 (弯曲≤5mm)	切端面，用调心套打中心孔 粗车两端及外圆 高温时效 (t=500~550℃, 10小时) (径向跳动≤1.5mm)	切两端面，重打中心孔 半精车外圆 粗车螺纹(螺纹槽宽4mm, 深8.5mm) 高温时效(t=500~550℃, 10小时) (径向跳动≤1mm)	切两端，重打中心孔 再半精车外圆 再粗车螺纹(螺纹槽宽5mm, 深7.5mm) 低温时效 (t=160℃±10℃,36时) (径向跳动≤0.5mm)	切端面，重打中心孔 粗磨外圆 半精车螺纹(车成15°牙形) 低温时效(t=160℃±10℃, 36小时) (径向跳动≤0.25 mm)	切端面，重打中心孔，齐总长 半精及精磨外圆及轴颈 精车螺纹至图纸尺寸 研磨螺纹
普通丝杠	下料 校直正火 (弯曲≤2mm)	切端面，打中心孔 粗车两端及外圆校直 高温回火 (径向跳动≤1mm)	打中心孔，齐总长 半精车两端及外圆 粗车螺纹校直 低温时效 径向跳动≤0.2mm)			粗磨外圆 半精车螺纹 低温时效 (径向跳动≤0.5mm)
						修研中心孔 精磨外圆及两段 精车螺纹至图纸尺寸

资料来源：《轴、箱体、丝杠加工》，华鑫证券研究

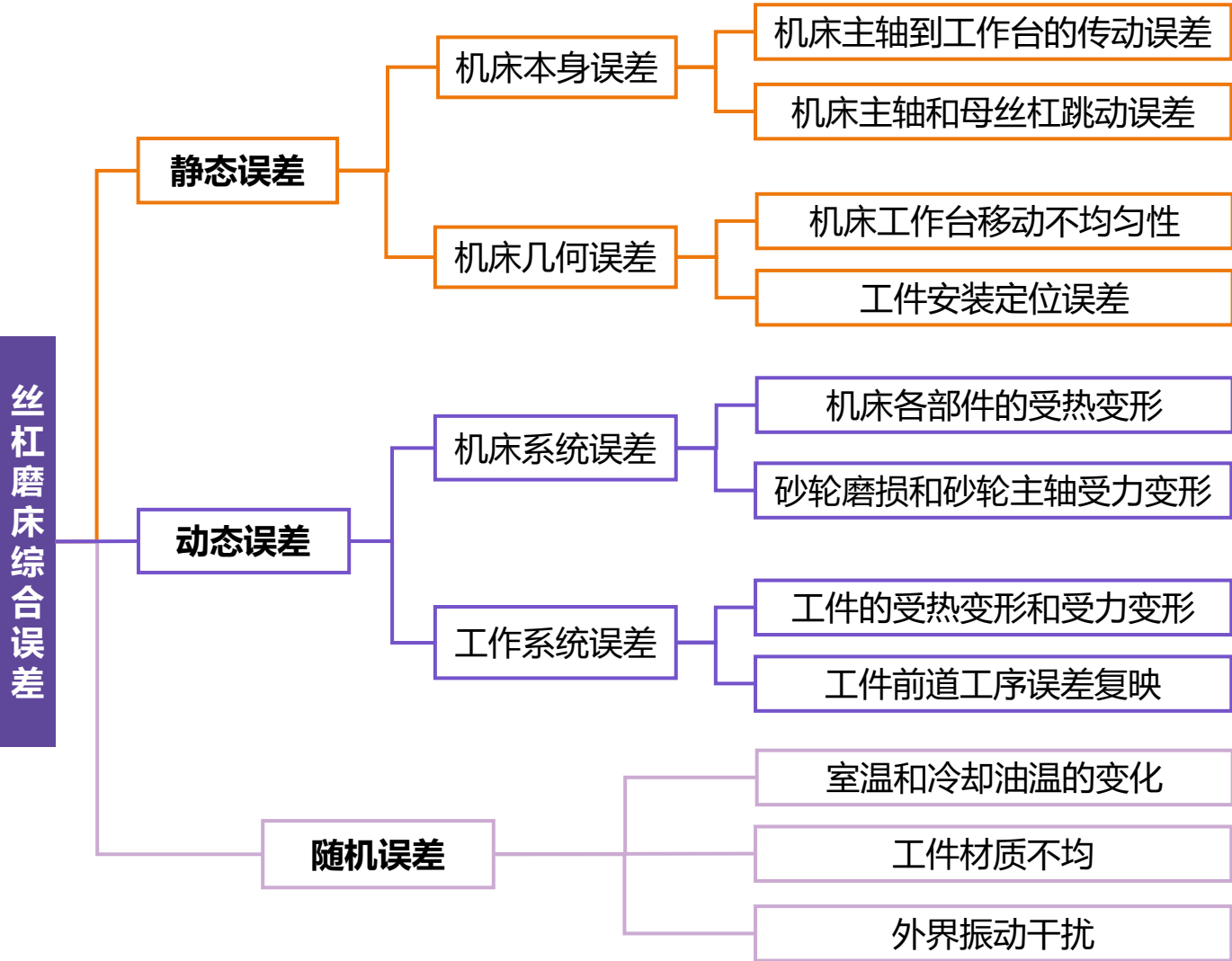
2.2.1、磨削精度高，生产效率低

一般来说，磨削精度的提升决定着丝杠的精度提升。我们目前加工滚珠丝杠依然停留在“扎—淬—磨”或者“车—淬—粗磨—精磨”的工艺方法，磨削是丝杠加工的最后道工序。

丝杠磨削精度的因素种类繁多，影响效果也是相互差异。其中各因素所占的比例如下：几何误差为15%—35%，力变形误差占25%—40%，热变形误差占35%—50%，这三种主要因素可占据90%多。

主要产生误差原因总结：

- 1) 丝杠刚度较低，加工过程中弯曲变形，并且容易产生振动，造成螺距误差，；
- 2) 工作台伺服电机的齿轮减速机构本身存在制造精度误差、装配精度误差以及使用过程中磨损造成的误差
- 3) 砂轮在磨削过程中的损耗和接触变形的导致控制系统发出的信号并不能完全转化为所要求的理想进给量；
- 4) 砂轮的接触点位置在不断变化，丝杠的温度分布不均，加工过程中80%热量被丝杠吸收产生热变形，对加工精度造成极大的影响。



资料来源：刘鹏飞《滚珠丝杠磨削加工误差预测补偿关键技术研究》，华鑫证券研究

2、行星滚柱丝杠精度要求高，加工工艺壁垒深厚

2.2.1、螺纹磨床精度已跟上，但核心数控系统仍采用国外产品

欧洲、日本是高端磨床主要产地，对中国采取出口限制措施。2023年4月DMG的每台机床都配备RMS（机床搬迁安保）装置，出售给中国的所有机床都需要增加位置传感器，日本发那科高端五轴数控系统对华禁售。**数控系统是螺纹磨床提高精度的关键，但目前高档数控机床配套的数控系统由发那科、西门子等境外厂商所垄断。**采用国外数控系统前提下，国产磨床加工精度已达P1及以上精度。

- **上海机床厂SK7420型数控丝杠磨床：可磨削P1级甚至更高精度的滚珠丝杠。**适合于磨削三角螺纹、梯形螺纹、锯齿螺纹、圆弧滚珠丝杠以及其他螺纹齿形的外螺纹，可实现P1级精度滚珠丝杠的磨削。统采用西门子 840D控制系统，可控制六轴三联动。
- **汉江机床SK7405数控丝杠磨床：可磨削P2精度丝杠，**采用西门子828D数控系统，实现三轴二联动，配置螺纹自动对刀装置，满足批量加工要求；配置金刚滚轮修整器，实现砂轮自动成型修整。可采用多线或单线磨削技术，实现丝杠高效磨削同时可实现丝杠高精密磨削。

上海机床厂SK7420型数控丝杠磨床参数

主要规格：

最大磨削直径	Ø200 mm
最大磨削长度	2 000 mm
顶尖距	2 200 mm
中心高	150 mm
工件最大重量	250 kg
砂轮规格	Ø500×10、15、24×Ø305 mm
砂轮线速度	35 m/s
工件转速（无级）	0.5~50 r/min
工作台纵向移动速度(Z轴)	0.1~4 000 mm/min
砂轮架横向移动速度(X轴)	0.1~4 000 mm/min

汉江机床SK7405数控丝杠磨床参数

1、最大安装直径	50mm
2、顶尖距	150mm
3、最大可磨直径	50mm
4、最小可磨直径	2mm
5、可磨螺纹最大长度	120mm
6、可磨螺纹的螺距	0.25~12mm
7、可磨螺纹最大导程角	左6° 右6°
8、可磨螺纹的头数	1~45（任意）
9、头架主轴转数	1~80 r/min
10、砂轮最大线速度	50m/s
11、砂轮尺寸	350×10×203mm
12、机床外形尺寸（长X宽X高）	1600mm×1700mm×1900mm
13、机床重量	约2500kg

资料来源：肖建军《高精度滚珠丝杠磨床的设计与开发》、汉江机床官网、华鑫证券研究

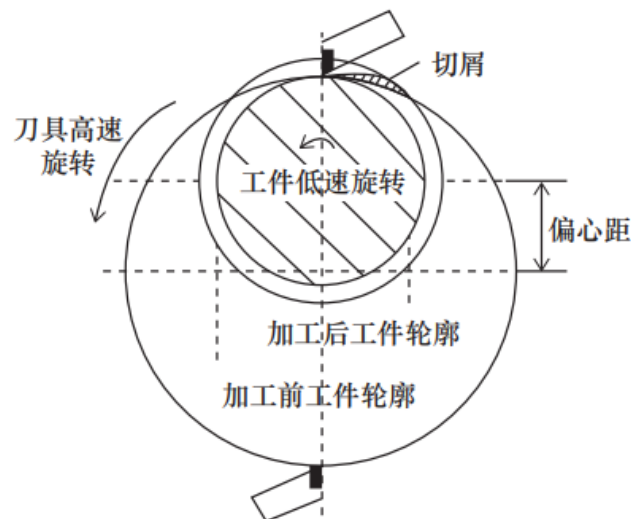
2、行星滚柱丝杠精度要求高，加工工艺壁垒深厚

2.2.2、旋风铣削生产效率高，国产机床具备较不错的加工能力

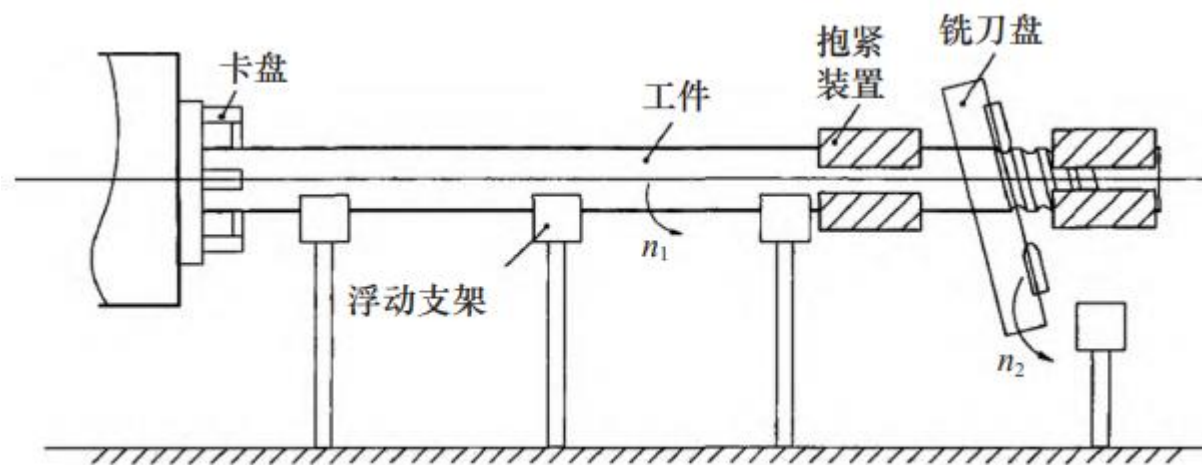
旋风铣削与磨削加工相比，加工效率是其 3~5 倍；与传统切削相比，刀具使用寿命提高了 70%。硬轴承钢 GCr15 工件（硬度为 62~65 HRC）利用刀盘上的多把（6 或 8）均匀对称的高强度成型铣刀，借助于刀盘旋转轴线与工件轴线存在的偏心距 e 依次参与切削，且两轴线夹角为螺纹的螺旋角。旋风铣削加工时，刀盘与工件同向旋转完成顺铣；工件以 1~10 r/min 低速旋转，而刀盘以每分钟大于 600 r/min 的转速旋转，工件每旋转一周，刀盘沿着工件轴线移动一个螺纹导程的距离，从而实现整个螺纹滚道的加工。在切削过程中，只有旋转到靠近工件一侧才能参与并完成其切削，这就为远离工件的刀具足够的散热时间在切削液冷却中，旋风硬铣削无需使用切削液实现干切削（压缩空气制冷）。

旋风铣削精度不高的原因在于两点：1) 旋风头的回转轴线与工件轴线有一交角 P ，若采用直线刃刀具就会使螺纹的中心轴向截面牙形轮廓成为曲线；2) 由于刀刃切削运动轨迹与被加工螺纹空间曲线不一致，而将相交部分切去，这一现象就是过切。如果切削会产生过切现象会将螺纹牙槽切大。

旋风硬铣削加工原理图



旋风铣削工作台



资料来源：旋风硬铣削加工技术及其在精密滚珠丝杠加工中的应用 宋现春 华鑫证券研究

2、行星滚柱丝杠精度要求高，加工工艺壁垒深厚

2.2.2、旋风铣削生产效率高，国产机床具备较不错的加工能力

国外旋风铣床生产技术较为成熟，汉江机床和博特精工正奋起直追。世界专业生产CNC旋风铣床的厂家包括：德国Leistritz公司、GWT公司、Burgsmuller公司、奥地利WEING ÄRTNER公司、Linsinger公司等。西方的CNC硬旋铣技术是1987年首次引进到我国，2004年南京工艺装备厂首次购进德国Leistritz公司的PW160型CNC硬旋铣机床，时隔5年后又购进Leistritz公司最新的PW300HP型10mCNC硬旋铣机床。

德国Leistritz：该公司的PWM200型CNC内螺纹旋风硬铣机床对淬火60HRC滚珠螺母实施内旋铣，导程精度可达P3级，表面粗糙度值 $R_a < 0.4\mu\text{m}$ ，中径圆柱度0.01mm，齿形精度0.004mm。

汉江机床：凭借其在螺纹制造技术方面的优势，用大约两年的时间自主研发成功HJ092型九轴三联动CNC丝杠硬旋铣床（6m、8m），该机床用国产CBN盘铣刀对62HRC的滚珠丝杠硬旋铣后精度可达C5级，表面粗糙度值 $R_a = 0.4 \sim 0.6\mu\text{m}$ 。

山东博特精工：博特精工有多年的旋风软铣经验，近年该公司在CX63普通旋铣机床的基础上自行设计制造SXC A6163型数控旋风铣床，加工精度0.032mm/300mm（C7级），表面粗糙度值 $R_a = 3.2\mu\text{m}$ 。

汉江机床HJ092参数

1、规格	$\Phi 125 \times 6000\text{mm}$
2、加工直径	$\Phi 40 \sim \Phi 125$
3、加工长度	2000~6000mm
4、可加工螺纹的螺距	5~40mm
5、可加工螺纹最大螺旋升角	$\pm 20^\circ$
6、可加工螺纹的头数	1~99(任意)
7、旋风铣头拖板快速移动速度	3000mm/min
8、旋风铣头快进退速度	10000mm/min
9、头架主轴转速	0.5~40r/min
10、旋风铣头主轴转速	425~955r/min
11、刀具分度圆	$\Phi 60, 90, 135\text{mm}$
12、刀具线速度	180mm/min
13、头架通孔直径	$\Phi 105\text{mm}$
12、尾架顶尖孔	5号(莫式)
13、机床外形尺寸(长X宽X高)	10750×2380×2172mm
14、机床重量	22000kg

德国Leistritz LWN 90s



资料来源：秦川机床官网，Leistritz官网，华鑫证券研究

03

人形机器人关节核心部件，国产替代前景广阔

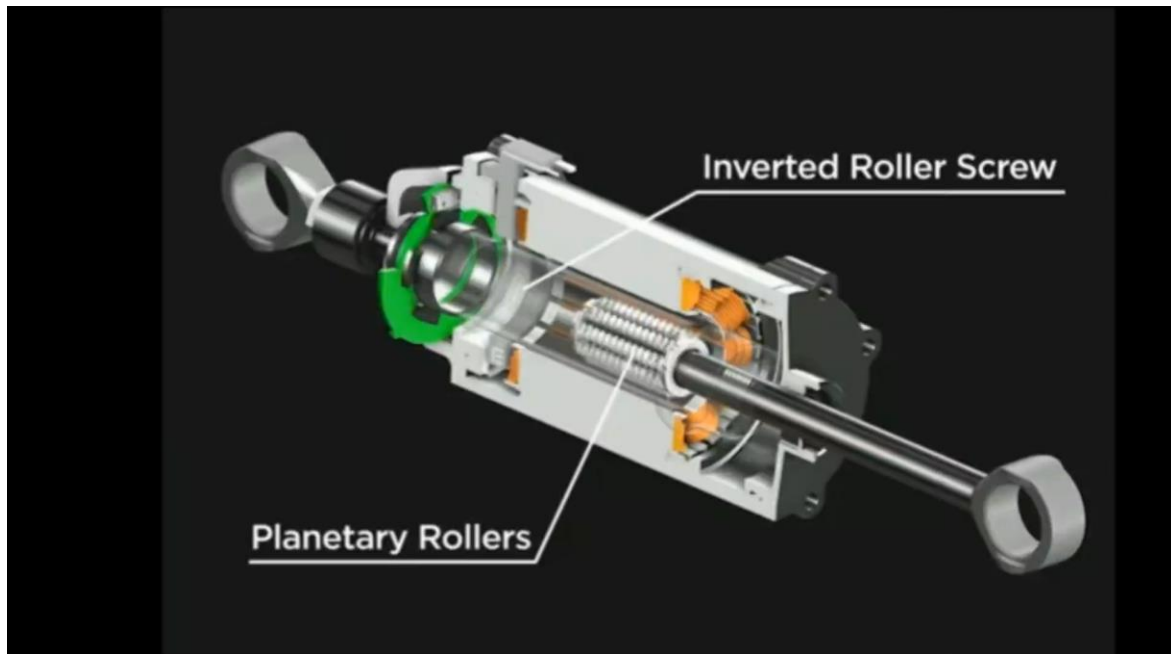
研究创造价值

3、人形机器人关节核心部件，国产替代前景广阔

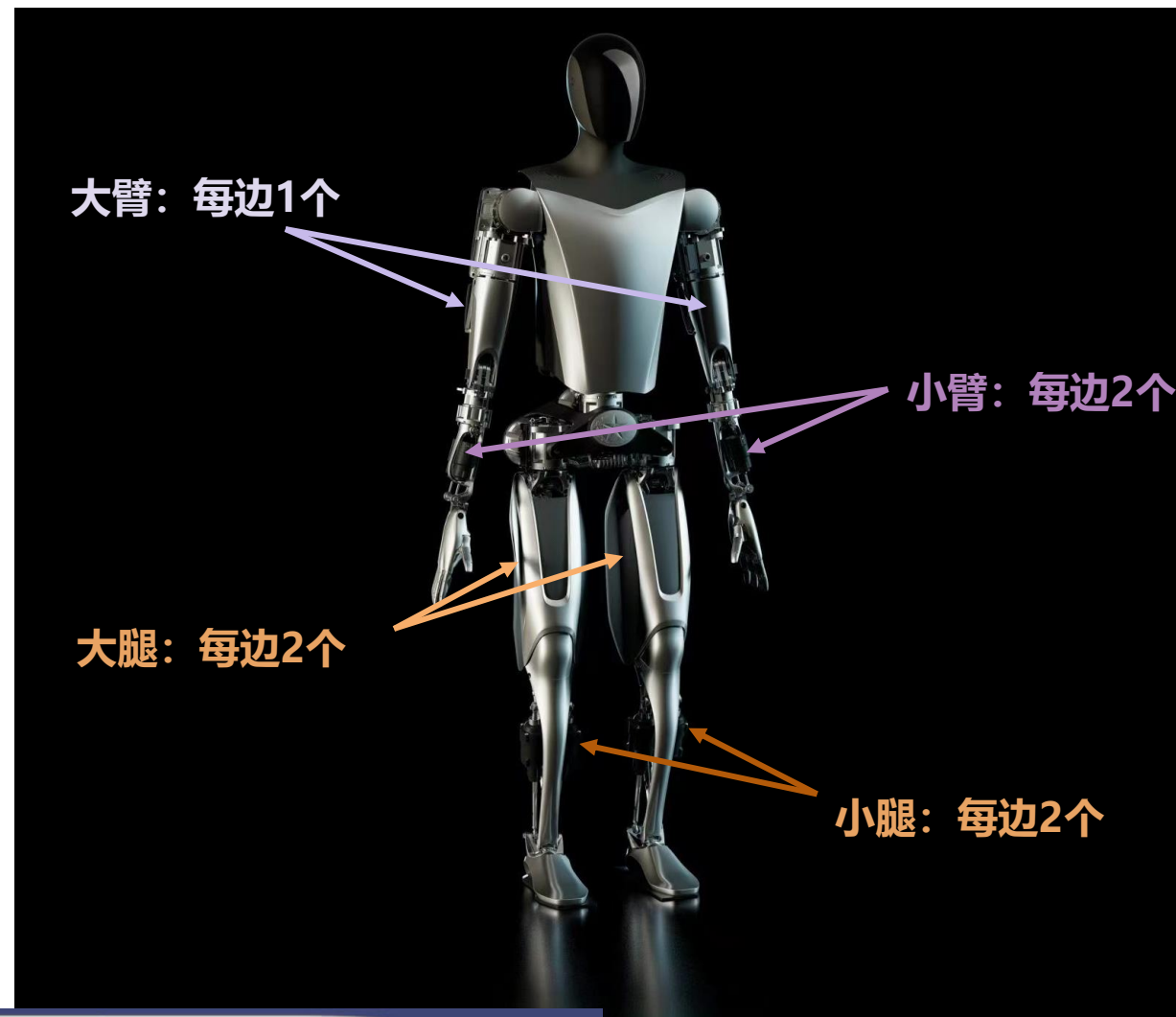
3.1、行星滚柱丝杠是人形机器人关节核心部件

特斯拉Optimus关节——线性执行器运动模式

每台特斯拉Optimus包含14个丝杠



特斯拉Optimus采用大、中、小三种线性执行器



资料来源：特斯拉AI day，华鑫证券研究

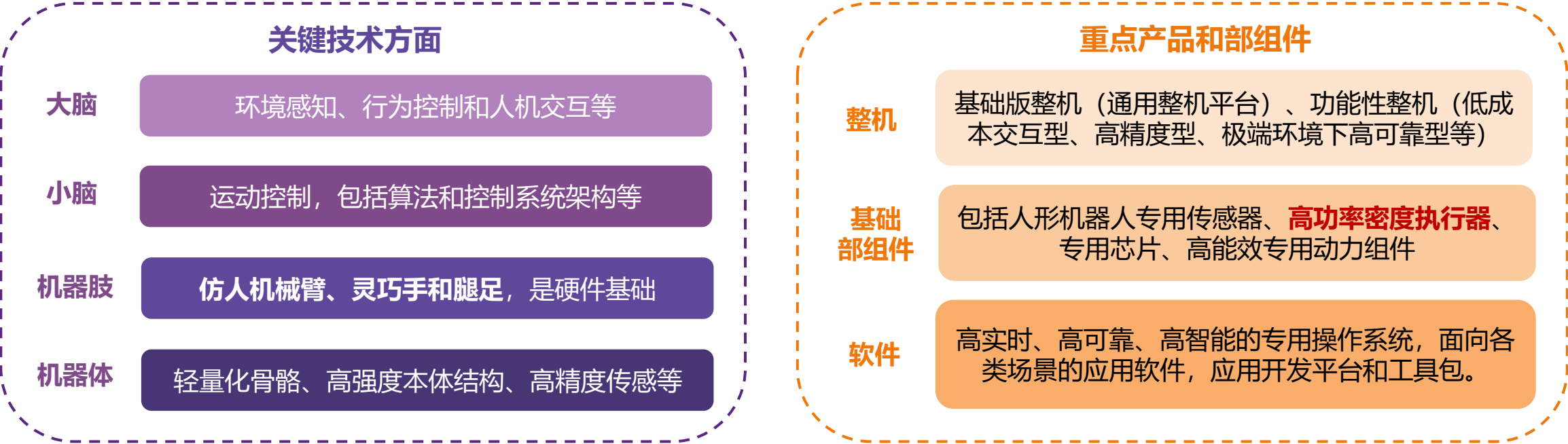
3、人形机器人关节核心部件，国产替代前景广阔

3.2、人形机器人作为颠覆性产品，将成为未来经济发展新引擎

2023年11月，工信部发布《人形机器人创新发展指导意见》，聚焦关键技术突破及重点产品和部组件培育。《指导意见》将人形机器人定位为“继计算机、智能手机、新能源汽车后的颠覆性产品”，是科技竞争的新高地、未来产业的新赛道、经济发展的新引擎，并强调通过开展试点示范、加强供需对接、加速成果转化、完善应用机制等方法拓展人形机器人使用场景。主要场景包括以下几方面：

- **特种领域**：如要地警戒守卫、民爆、救援等；
- **制造业场景**：聚焦3C、汽车等制造业重点领域；
- **民生及重点行业**：如医疗、家政等民生领域服务应用，农业、物流等重点行业。

人形机器人未来投资方向聚焦在关键技术和重点产品部组件方面

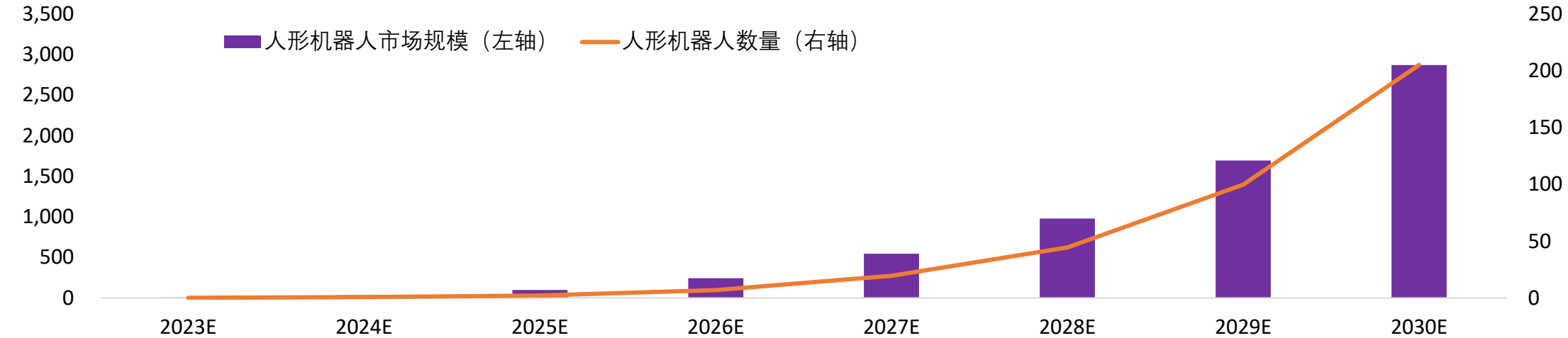


3、人形机器人关节核心部件，国产替代前景广阔

3.3、人形机器人新蓝海，滚柱丝杠市场开启新飞跃

我们预测，到2030年人形机器人数量将达到205.0万台，人形机器人市场规模将达到2,870.3亿元。我们预测，2023年-2030年全球人形机器人市场规模将从8.4亿元增长至2,870.3亿元，年复合增长率130.2%。

2023E-2030E全球人形机器人数量以及市场规模（万台，亿元）



预测项目	单位	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
人形机器人数量	万台	0.1	0.7	2.2	7.0	19.5	44.5	99.7	205.0
机器人单个价值量	万元	70	50	45	35	28	22	17	14
人形机器人市场规模	亿元	8.4	33.9	97.8	243.3	545.0	978.8	1694.3	2870.3
滚柱丝杠单个价值量	万元	0.20	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.10	0.08
人形机器人滚柱丝杠市场规模	亿元	0.3	1.5	4.3	11.7	30.0	62.3	132.6	229.6

资料来源：GGII，秦川机床公告，新财富产业研究院，华鑫证券测算

3、人形机器人关节核心部件，国产替代前景广阔

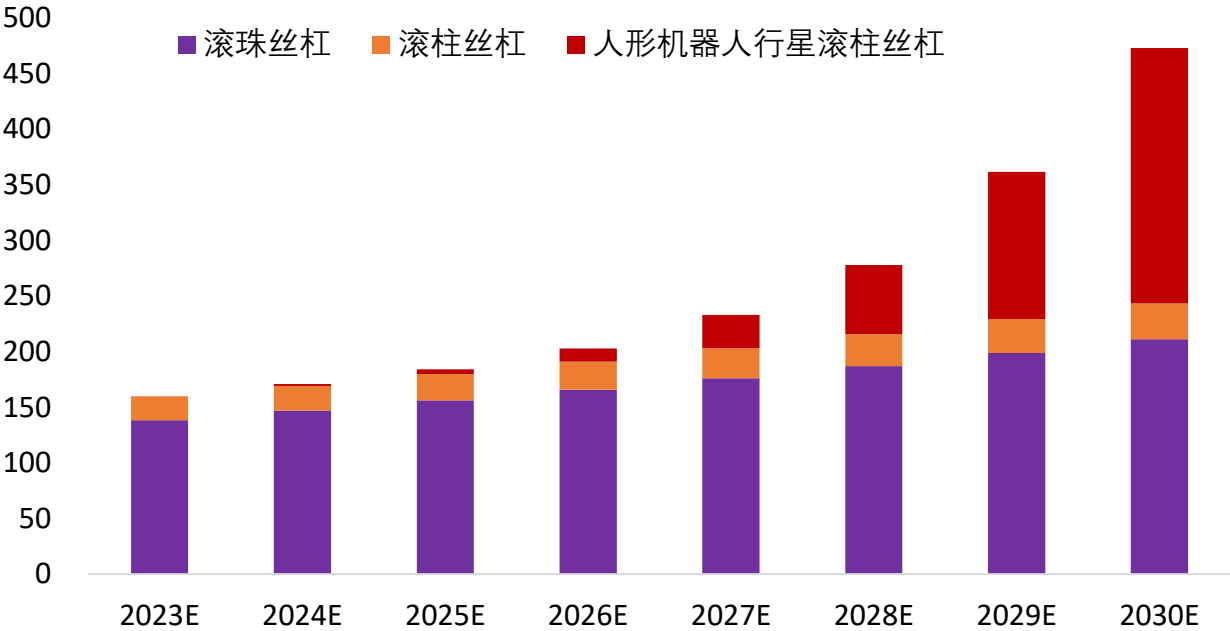
3.3、人形机器人新蓝海，滚柱丝杠市场开启新飞跃

丝杠是线性关节中价值量占比最高的零部件，约占人形机器人核心部件成本的15%。

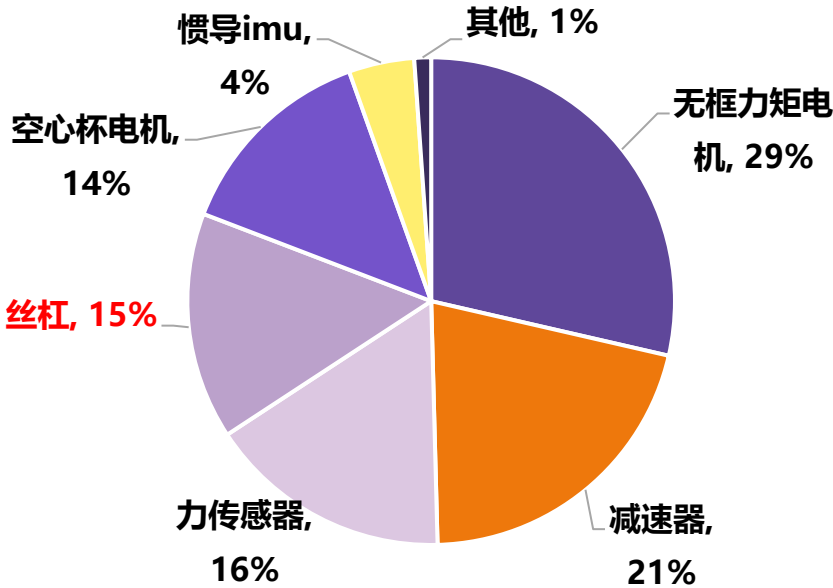
- 以特斯拉Optimus为代表，单个机器人丝杠数量：**2*7=14个**
- 目前Rollvis单个行星滚柱丝杠价格较高，**约2000元/个**
- 单个机器人丝杠价值量：**14*0.2=2.8万元**

2023年-2030年全球滚珠+滚柱丝杠市场规模将从159.5亿元增长到473.0亿元，CAGR为16.8%；**2030年，应用于人形机器人的行星滚柱丝杠价值量为229.6亿元，CAGR为154.1%，贡献滚珠+滚柱丝杠市场73.1%的增量。**

2023-2030年全球丝杠市场规模预测（亿元）



特斯拉机器人核心零部件价值量占比



资料来源：globenewswire，GGII，秦川机床公告，新财富产业研究院，华鑫证券测算

资料来源：前瞻产业研究院，华鑫证券研究

3、人形机器人关节核心部件，国产替代前景广阔

3.4、外国企业起步早，全球滚柱丝杠市场为国外厂商主导

GSA、Ewellix、Rollvis、Rexroth等国外企业代表滚柱丝杠制造一流水平。目前生产滚柱丝杠并参与市场竞争的厂家主要有：GSA（瑞士）、Ewellix（瑞典）、Rollvis（瑞士）、Rexroth（德国）、CMC（美国）、南京工艺（中国）、济宁博特（中国）、优仕特（中国台湾）。除这些品牌外，还有 Moog（美国）、Power Jacks（英国）也有生产滚柱丝杠的能力，但产品不外销，主要用于自身生产的电动缸等产品使用。

全球丝杠市场主要参与者

厂商	工艺	尺寸	主要应用场景	简介
GSA	研磨	齐全	军事和工业	GSA 公司成立于 1982 年，总部位于瑞士伯尔尼，目前是全球最大的行星滚柱丝杠专业制造厂家，产品推广商标为“GSA Swiss”。与 Rollvis 公司类似，GSA 的丝杠尺寸系列较全，可以向市场提供直径范围从 5mm 至 245mm，导程范围从 0.5mm 至 50mm 的产品系列。GSA行星滚柱丝杠公司为德国舍弗勒集团的供应商。产品主要销售到航空航天、军工设备以及钢铁冶金等行业中，也在尝试开发一般工业领域的应用。
Rollvis	研磨	齐全	军事和工业	Rollvis 公司成立于 1970 年，总部位于瑞士日内瓦，是专业设计和生产滚柱丝杠的 厂家，产品推广商标为“Rollvis Swiss”。其向市场推出的产品系列较为齐全，可以提供 直径范围从 5mm 至 245mm，导程范围从 0.1mm 至 50mm 的几乎全系列研磨级高精度 产品。Rollvis 的产品主要应用于航空航天、军工设备、钢铁冶金等领域，近年来也面向 普通工业应用如电动缸等提供批量化供货。2016年，Rollvis被瑞士GSA公司并购。
Rexroth	轧制	较齐全	工业	公司和品牌隶属于博世力士乐集团，是一家主要生产液压系统、减速机、电 控技术以及机电一体化产品的大型工业品公司。在线性传动技术领域，Rexroth 提供直线导轨、滚珠和滚柱丝杠、电动缸和直线运动模组等产品，其滚柱丝杠产品是在近 10 年内推出的新产品，采用轧制成型技术以满足追求更高经济性的客户需求，但在有高精度和高寿命要求的场景下无法使用产品主要销售到一般工业领域中，尤其在注塑机和伺服压力机械等应用中业务成长速度快。
Ewellix	研磨	齐全	工业	法国Transrol公司1968年被SKF集团收购，2018年被欧洲Triton集团收购，2019年更名为EWELLIX，2022年再次被舍弗勒收购。公司总部位于瑞典哥德堡，全球范围内拥有 8 家工厂及1200 名员工，2021 年实现滚柱丝杠收入在3 亿人民币。公司的核心业务是设计、生产和销售直线传动类零部件产品，包括直线导向类（成型导轨、精密导轨、直线轴承）、滚珠和滚柱丝杠、电动推杆和升降柱、高性能电动缸以及直线模组等。产品主要应用于医疗设备、自动化生产线、非道路机械以及其他通用设备行业。

资料来源：《E公司滚柱丝杠产品营销策略研究》王有雪，华鑫证券研究

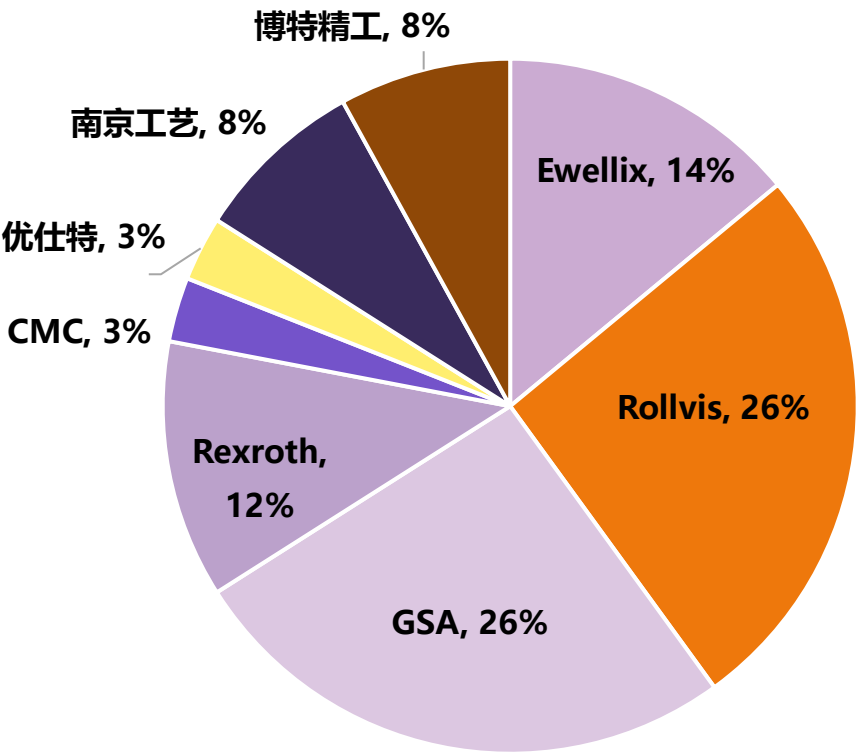
3、人形机器人关节核心部件，国产替代前景广阔

3.4、国内外企业产品性能存在一定差距，仍有国产替代空间

国内行星滚柱丝杠市场集中度较高，外国企业占据8成市场份额。GSA和Rollvis各占据26%的市场份额，其次是Ewellix和Rexroth分别占据14%、12%市场份额，CR4为78%。南京工艺和博特精工作为国内滚柱丝杠企业各占据8%市场份额。

国外企业产品型号规格非常齐全，性能上处于领先地位。GSA等欧洲企业之间产品性能差距较小，南京工艺产品性能与外国产品差距较小。

国内行星滚柱丝杠市场竞争格局



各家行星滚柱丝杠参数性能比较

直径×导程(mm)	厂家	额定动载荷(kN)	额定静载荷(kN)	轴向间隙(mm)
30×5	GSA	60-127	76-259	0.02
	Rollvis	107	225	0.03
	SKF	105	218	0.02
	Ewellix	105	218	0.02
	Rexroth	87	178	-
	CMC	134	282	-
	优仕特	107	225	0.03
	南京工艺	88	168	-
	博特精工	30	51	-
48×10	GSA	189-289	333-668	0.02
	Rollvis	198	442	0.04
	SKF	265	581	0.04
	Ewellix	265	581	0.04
	Rexroth	220	475	-
	CMC	221	467	-
	优仕特	258	559	0.03
	南京工艺	232	475	-
	博特精工	124	219	-

3、人形机器人关节核心部件，国产替代前景广阔

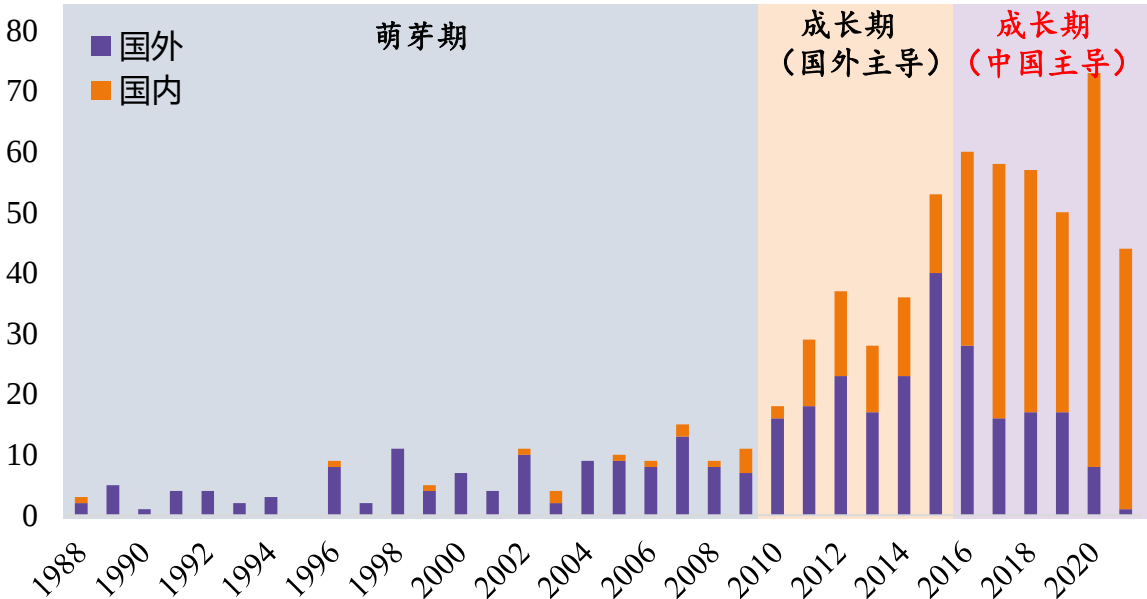
3.5、中国滚柱丝杠专利数量跃居第一，中国滚柱丝杠产业处于规模化应用关键节点

行星滚柱丝杠技术方面相关专利申请趋势可分为萌芽期和成长期：

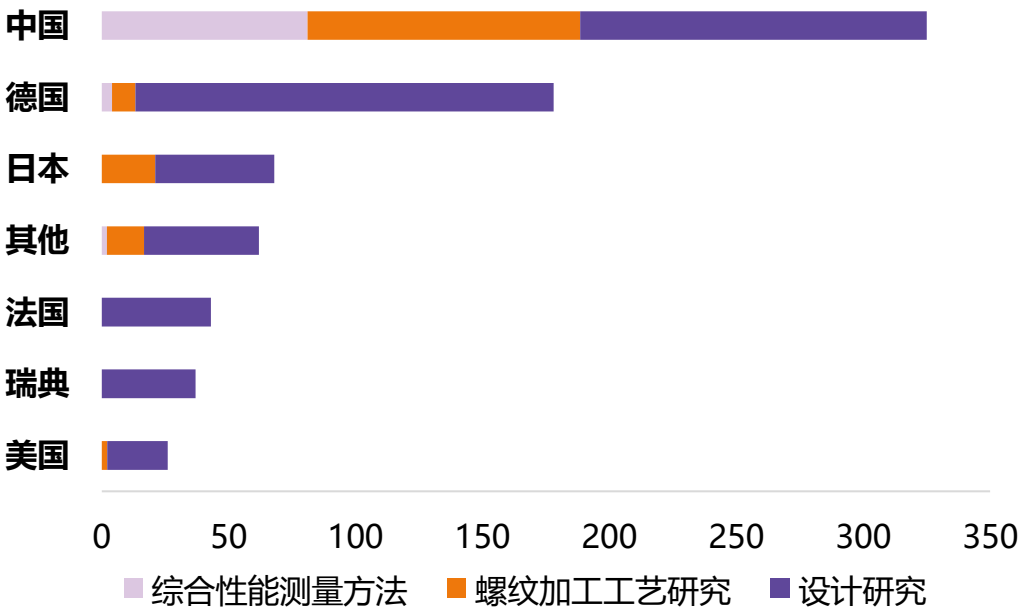
- **萌芽期（2009年之前）**，每年的专利申请数量不超过15 项，且多数专利来源于日本、德国、法国、美国、瑞士等国家，技术主要涉及行星滚柱丝杠总体结构设计技术、行星滚柱丝杠及螺母螺纹加工制造技术方面，主要申请人有日本丰田、舍弗勒、SKF、NSK等。
- **成长期（2010年至今）**，专利数量总体呈现快速增长趋势，可分为2个阶段：第一阶段系 2015 年之前，专利数量增长动力主要来源于德国、瑞典、法国、日本等国家，技术主要涉及行星滚柱丝杠总体结构设计方面。第二阶段系 2016 年以后，中国专利数量的占总申请量比重逐年扩大，技术主要涉及行星滚柱丝杠总体结构设计、行星滚柱丝杠及螺母螺纹加工制造、行星滚柱丝杠副传动精度及效率测量、刚度特性试验等方面。

截止2021年，中国的累积专利申请量最多（325 项），占总申请数量44%，且在各技术领域的专利申请数量均保持较高水平。

行星滚柱丝杠专利已经进入中国主导的成长期



各国行星滚柱丝杠专利技术数量



资料来源：《行星滚柱丝杠技术专利分析》田青 华鑫证券研究

3、人形机器人关节核心部件，国产替代前景广阔

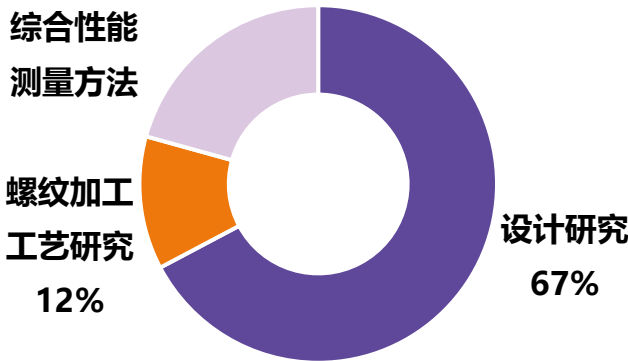
3.5、滚柱丝杠新兴技术领域众多，国内高校具备相当技术基础

行星滚柱丝杠技术发展方兴未艾，专利涉及多个新兴专业领域。近年来，行星滚柱丝杠副总体结构设计技术、螺纹磨削用砂轮—廓形修整及保持技术、深孔内螺纹制造技术研究、传动效率测量试验研究方面的年申请数量较多且呈增长趋势，是目前高精度行星滚柱丝杠副技术领域的热点。啮合机理与接触特性研究、静刚度与变形研究、载荷分布与均载方法研究、摩擦机理与传动效率研究方面的专利均在近几年出现，是目前高精度行星滚柱丝杠副技术领域的新兴技术，主要由中国相关研究机构申请。

国内申请专利机构主要为研究所和高校，包括北京精密机电控制设备研究所（42项）、西北工业大学（22项）、南京理工大学（14项）、哈尔滨工业大学（10项）、中国船舶704研究所（8项）。

行星滚柱丝杠专利技术具体涉及领域数量（项）

各技术分支专利数量占比



一级技术	二级技术	1992-1996	1997-2001	2002-2006	2007-2011	2012-2016	2017-2021
设计研究	总体结构设计	14	28	39	61	135	151
	啮合机理与接触特性	0	0	0	0	0	7
	静刚度与变形研究	0	0	0	0	0	1
	载荷分布与均载方法	0	0	0	0	3	5
	摩擦机理与传动效率	0	0	0	0	0	2
螺纹加工 工艺研究	螺纹硬态车削工艺	0	0	1	0	4	4
	螺纹磨削用砂轮廓形修整及保持技术	2	0	0	3	10	16
	深孔内螺纹制造技术	2	1	2	6	22	42
	大长径比外螺纹制造技术	0	0	1	2	8	3
综合性能 测试研究	内外螺纹检测技术	0	0	0	0	3	0
	传动精度测量实验	0	0	0	5	16	13
	刚度特性试验	0	0	0	0	3	9
	传动效率测量试验	0	0	0	2	10	28

资料来源：《行星滚柱丝杠技术专利分析》田青 华鑫证券研究

0 4

国内企业纷纷布局，丝杠产能迎来爆发期

研究创造价值

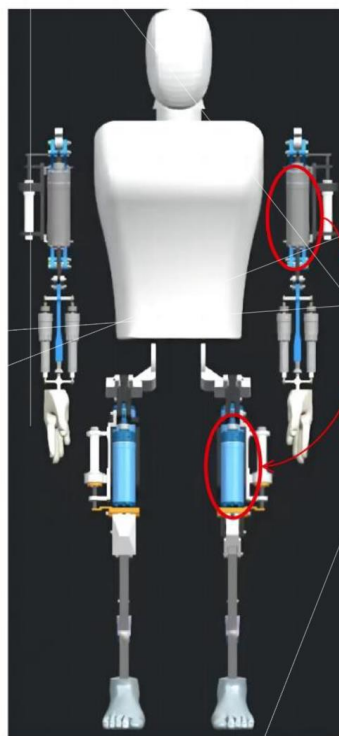
4.1、新剑传动——已建成国内首条行星滚柱丝杠产线

深耕机械传动技术，行星滚柱丝杠产品已应用于人形机器人。新剑传动主营业务是为半导体通讯、计算机、电子、汽车、工程机械、人机协作及服务机器人等行业提供蜗轮、蜗杆传动部件和精密零部件产品。公司拥有80多项专利技术，其中发明专利13项，是国家高新技术企业。公司与国内外多家研究机构成为战略合作伙伴关系，并成立研发中心及新剑传动（上海）联合研发实验室分部，研发方向为机械传动技术和人工智能应用集成技术。目前公司丝杠产品汽车领域客户包括吉利、理想、华为、一汽等；机器人合作伙伴包括小米、小鹏、智元机器人、科沃斯机器人等。

新剑传动应用于人形机器人产品

成功应用于仿生机器人：反向式行星滚柱丝杠-直线型电驱动关节/旋转型电驱动关节

Seenpin 新剑



资料来源：新剑传动官网 华鑫证券研究

4.1、新剑传动——已建成国内首条行星滚柱丝杠产线

公司建有国内行星滚柱丝杠首条产线，年产能超过 350 万套。公司行星滚柱丝杠产线于2022年3月批量化生产，目前已具备350万套的批量化生产能力。2022年行星滚柱丝杠电动缸产线系列产品销售收入为2,367.8万元，同比增长100%，毛利率可达33.5%。目前公司的滚珠丝杠、行星滚柱丝杠产品已经成功应用于汽车底盘 EMB 制动系统和人形机器人线形驱动。

新剑传动行星滚柱丝杠产品参数

产品技术标准	标准式行星滚柱丝杠	反向式行星滚柱丝杠	循环式行星滚柱丝杠	差动式行星滚柱丝杠
丝杠中径 (mm)	3.5-60	10.5-80	8-63	5-63
丝杠长度 (mm)	960	960	960	-
导程 (mm)	1-35	2-16	0.25-4	0.8-2.66
效率 (%)	75--95	70—90	60—80	60-80
导程精度 (μm)	G3,G5 (每315mm行程, 导程精度: 12μm,23μm, 53μm)	G1,G3,G5 (每315mm行程, 导程精度: 6μm, 12μm,23μm)	G3,G5, G7 (每315mm行程,导程精度: 12μm, 23μm,52μm)	T5,T7 (每315mm行程,导程精度: 23um,52pm)
静载荷能力 (KN)	8.9-950	20.8-225	14.3-560	10-370
动载荷能力 (KN)	3.9-470	13.4-559	7.3-219	8-256

资料来源：新剑传动官网，华鑫证券研究

4.2、鼎智科技——线性执行器龙头企业

以精密运动控制系列产品的设计、研发、生产和销售为核心业务，线性执行器市占率全球第二。公司的线性执行器、混合式步进电机、直流电机、音圈电机及其组件等产品被广泛应用于医疗诊断设备、生命科学仪器等医疗器械领域，以及机器人、流体控制、精密电子设备等工业自动化领域，并能够根据客户个性化需求，提供集产品研发设计、样品打样制造、核心部件自制、柔性精密生产、高效物流配送一体化服务。公司主营业务线性执行器最主要的竞争对手是美国海顿科克，目前公司在全球市场占有率排名第二，在国内市占率已经超过对方成为第一。公司具备单独设计的丝杆螺母传动组的能力，并致力于丝杆、螺母的研发。目前，公司的微型行星滚柱丝杠正处于研发过程中。

鼎智科技丝杆产品

产品类型	产品介绍	产品图示
滑动丝杆 线性执行器	该类产品采用混合式步进电机予以驱动，包括外部驱动式、贯通轴式和固定轴式三种驱动方式，机座尺寸范围为14mm-86mm，重复定位精度可达±0.01mm，最小导程分辨率可达0.0006mm，最大推力可达200KG，具有噪音低、寿命长等特点，主要用于医疗设备、实验室设备、美容行业、3D打印设备等领域。	
滚珠丝杆 线性执行器	该类产品采用混合式步进电机予以驱动，主要为外部驱动式，最小机座尺寸可达14mm，重复定位精度可达±0.005mm，使用寿命 > 20,000小时，效率 > 90%，具有高速运行、快速响应等特点，主要用于半导体行业及工业自动化行业。	
永磁电机 线性执行器	该类产品采用混合式步进电机予以驱动，主要为外部驱动式，最小机座尺寸可达14mm，重复定位精度可达±0.005mm，使用寿命 > 20,000小时，效率 > 90%，具有高速运行、快速响应等特点，主要用于半导体行业及工业自动化行业。	

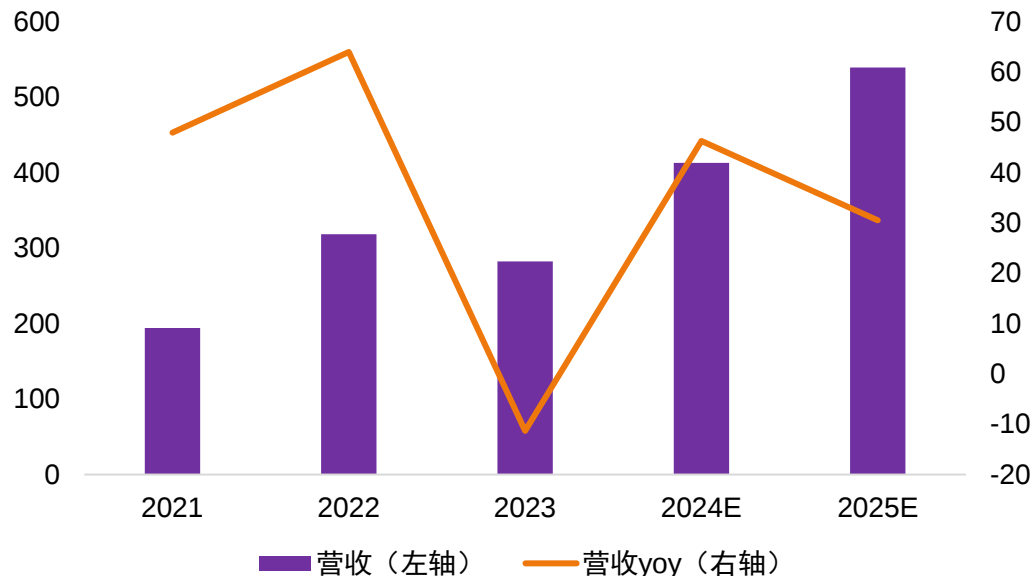
资料来源：鼎智科技官网，鼎智科技招股书，华鑫证券研究

4.2、鼎智科技——线性执行器龙头企业

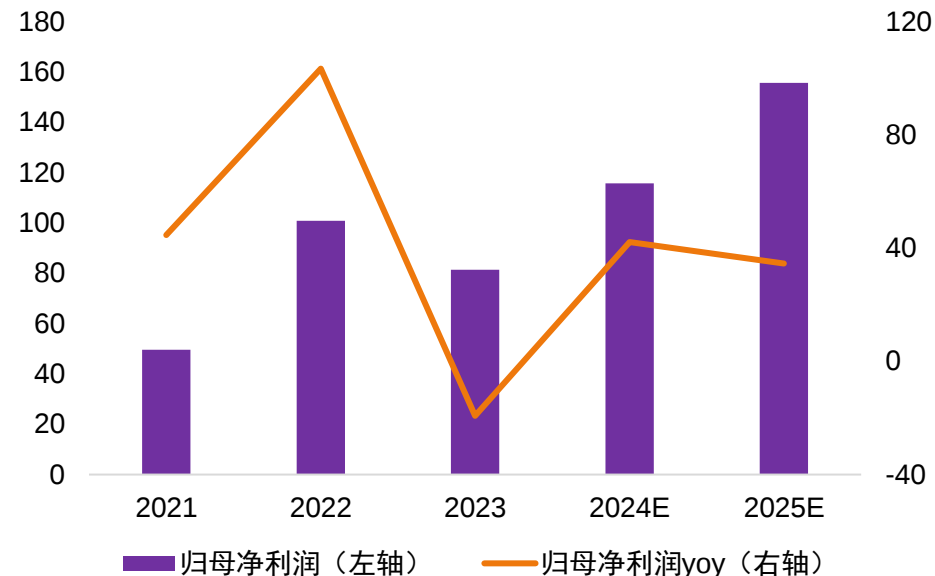
公司坚持一体化发展模式，实现微特电机产品的核心零部件自主可控。

- **丝杆方面**，公司独立设计T型丝杆的牙形及滚压轮，丝杠直径2mm-16mm，导程在 0.3mm-25.4mm，采用国际先进滚压设备和生产工艺，产品表面光洁度 $Ra < 0.2$ ，导程精度 $\pm 0.002\text{mm}$ ，行程误差 $< 0.1\text{mm}@300\text{mm}$ ，具有良好的丝杆精度、光洁度及传动效率；公司自主研发的丝杆校直机构及测量系统可实现T型丝杆的自动校直，产品直线度可达 0.02mm 以下 $@300\text{mm}$ ，成为国内较早采用该技术工艺的丝杆电机厂家。
- **螺母方面**，公司采用自主研发的材料配方，自主研发设计的模芯牙形及独特的脱模装置，与丝杆配合使用背隙可达 0.01mm 以内，传动寿命可达500万次（150mm行程往返）以上，具有优秀的传动精度、传动效率及寿命，采用机械加工和注塑两种加工方式。

鼎智科技营业收入及预测（百万元，%）



鼎智科技归母净利润及预测（百万元，%）

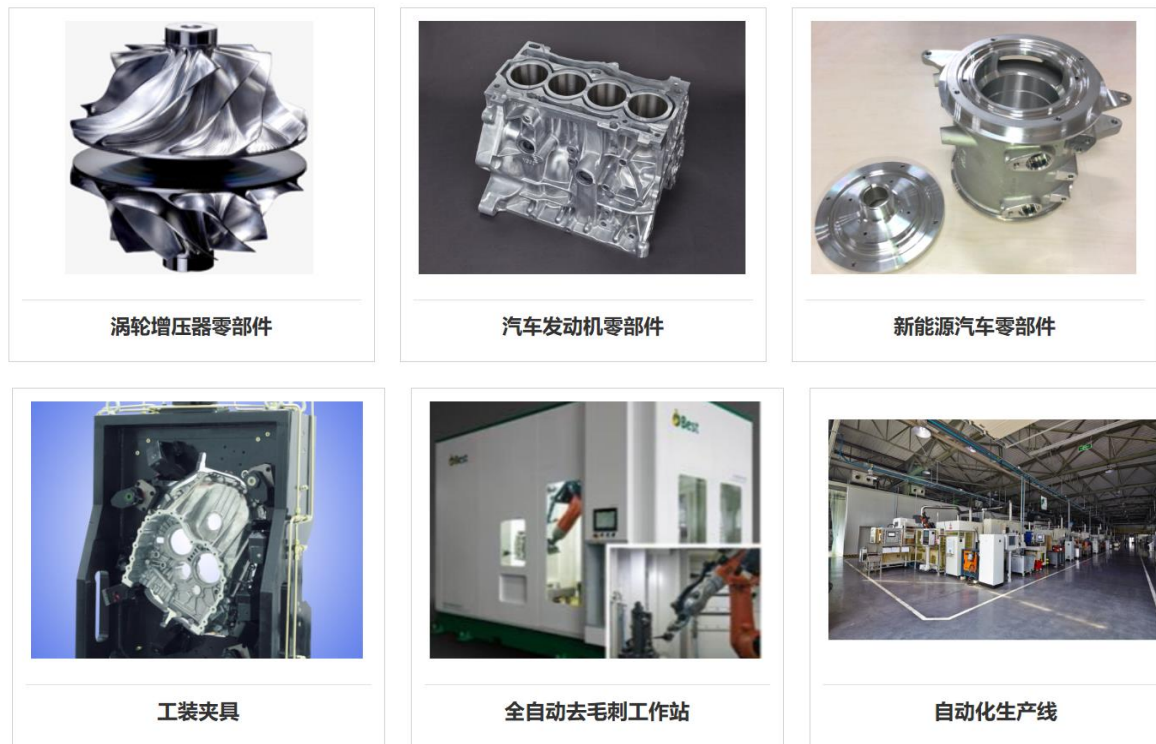


资料来源：wind，华鑫证券研究

4.3、贝斯特——子公司高精度丝杠产品已送检

专注精密零部件研发，设立子公司宇华精机布局滚动功能部件。贝斯特深耕精密零部件和智能装备及工装产品的研发、生产及销售，具备精密零部件加工领域形成的技术优势及自动化生产线的柔性加工能力。公司充分发挥“精密加工为特长、铸造产业为支撑、智能装备为驱动”的产业联动发展的核心竞争优势，高举高打全面布局直线滚动功能部件，导入“工业母机”新赛道。公司具备车削制造-微米级公差零件的大批量的生产能力，高精度加工方面有深厚沉淀。2022年，子公司宇华精机成立，承载高端装备核心滚动功能部件项目，主要包括高精度滚珠丝杠副、高精度滚动导轨副等产品制造。

贝斯特精密零部件和智能装备产品



贝斯特子公司宇华精机相关丝杠产品



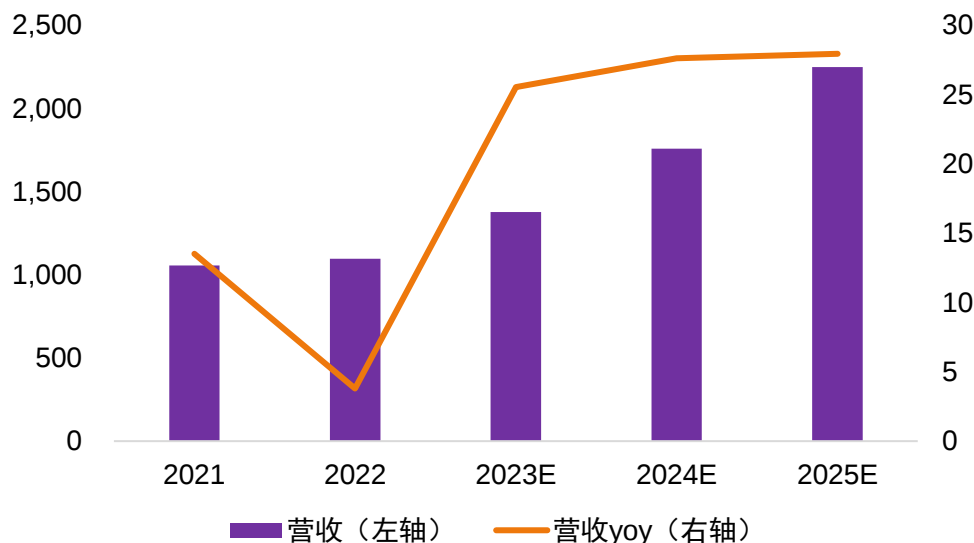
资料来源：贝斯特官网，贝斯特公众号，华鑫证券研究

4.3、贝斯特——子公司高精度丝杠产品已送检

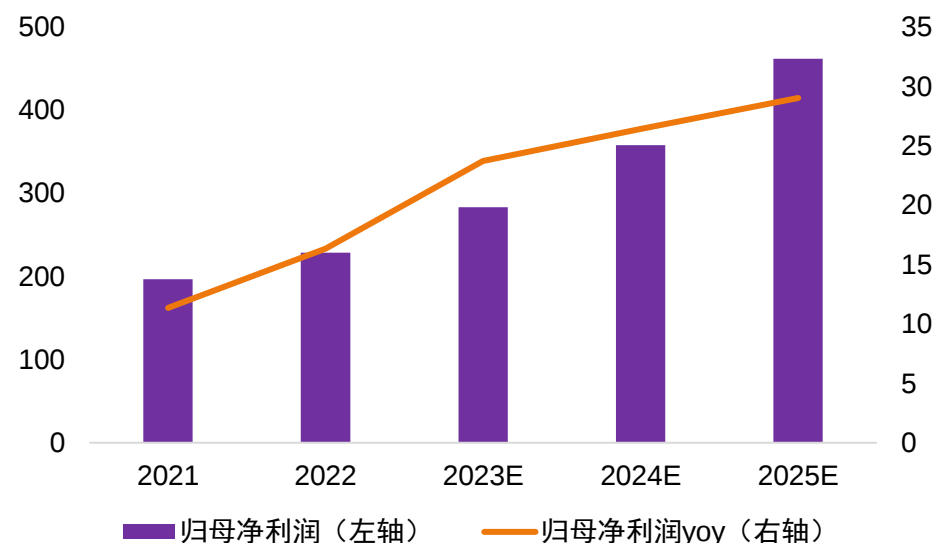
宇华精机滚动功能部件产品2023上半年已经完成送样。目前，该项目已获国家专项资金支持，总投资12亿元，利用4.5万平方米厂房，引进生产及检测设备279台（其中研发设备70台），配套软件及系统29套、公辅设施5套。达产后，具备年产15万套高精度滚珠丝杠副以及24.8万米高精度滚动导轨副部件的生产能力，年产值达15亿元。截至2023年4月，部分进口设备已运抵车间，正在进行设备安装调试，其余设备正陆续采购中。2023年上半年宇华精机已经成功完成了高精度滚珠丝杠副、直线导轨副等产品的首台套下线，并将部分产品送样至战略客户处进行验证。

公司布局“直线滚动功能部件”主要优势在于：1) 公司汽车精密零部件规模制造技术和智能化生产技术可直接移植到直线滚动功能部件领域。并且，公司现有上千台高端机床，可进一步进行产业化应用验证，未来公司作为“供应商”和“客户”的双重角色，能够不断提升机床商和滚动功能部件质量、效率，实现双赢；2) 公司专门建立了一支专业技能过硬的技术团队，对滚动功能部件有丰富的经验和深入的理解。

贝斯特营业收入及预测（百万元，%）



贝斯特归母净利润及预测（百万元，%）



资料来源：wind，华鑫证券研究

4.4、秦川机床——主机业务龙头企业，具备丝杠加工设备生产能力

国内高端装备制造领军企业，主机带动核心零部件性能受益。秦川机床拥有秦川机床本部、宝鸡机床、汉江机床、汉江工具、沃克齿轮、秦川格兰德、秦川宝仪等多家子公司，是我国精密数控机床与复杂工具研发制造基地、中国机床工具行业的龙头骨干企业。公司产业链完整、产品线众多、系统集成能力强大、综合竞争优势显著。秦川集团积极布局机器人核心部件，目前公司RV机器人关节减速器已有5大系列、23种规格、130种速比，是国内规格最全，系列最多的工业机器人关节减速器生产制造商。公司已开始进行谐波减速器研发与试制，产品商业化后将与机器人关节减速器形成合力，共同拓展下游客户。

秦川机床相关产品

产品分类	主要产品	应用领域	产品图示
数控车床	CK/BL系列	该数控车床机床可配置多种数控系统用于高精高速复合加工。主要适用于新能源、半导体靶材、汽车、机械、摩托车、电机、轴承、液压等领域	
加工中心	龙门加工中心等	龙门加工中心可用于高精度、形状复杂的平面、曲面和特型零件的加工与制造，主要适用于汽车制造、新能源、机床、印刷、医疗器械等领域	
精密磨床	螺纹磨床等	螺纹磨床可用于滚珠丝杠副、螺杆副、精密蜗杆等产品的加工，主要适用于滚动功能部件、汽车零部件及新能源等领域	
测量设备	精密齿轮测量中心等	该系列可用于高精度齿轮各项精度测量。主要适用于汽车、工程机械、机床、石油化工、冶金矿山、纺织、印刷机械等领域	

产品分类	主要产品	应用领域	产品图示
滚动功能部件	滚珠丝杠	该系列可用于铁路转辙机丝杠、电解铝提升机丝杠、登机桥丝杠、矫直机丝杆、机床装备丝杠以及新能源汽车、汽车零部件等领域	
部件	滚动直线导轨	该产品可用于机床装备、各种机械设备、自动化行业以及汽车制造等领域	
工业机器人关节减速器	E、C、F、N和一体机五大系列	该系列产品可满足客户5KG~800KG不同机器人及自动化应用的减速器选型需求，广泛应用于关节机器人、SCARA机器人等各个工业领域	
高端复杂刀具		该系列分为滚齿刀具、插（车）齿刀具、数控刀具、螺纹刀具等，主要用于汽车、电梯、冶金、矿山、工程机械、石油机械、重型机械、机床、机器人关节减速器等领域各类传动齿轮的加工	

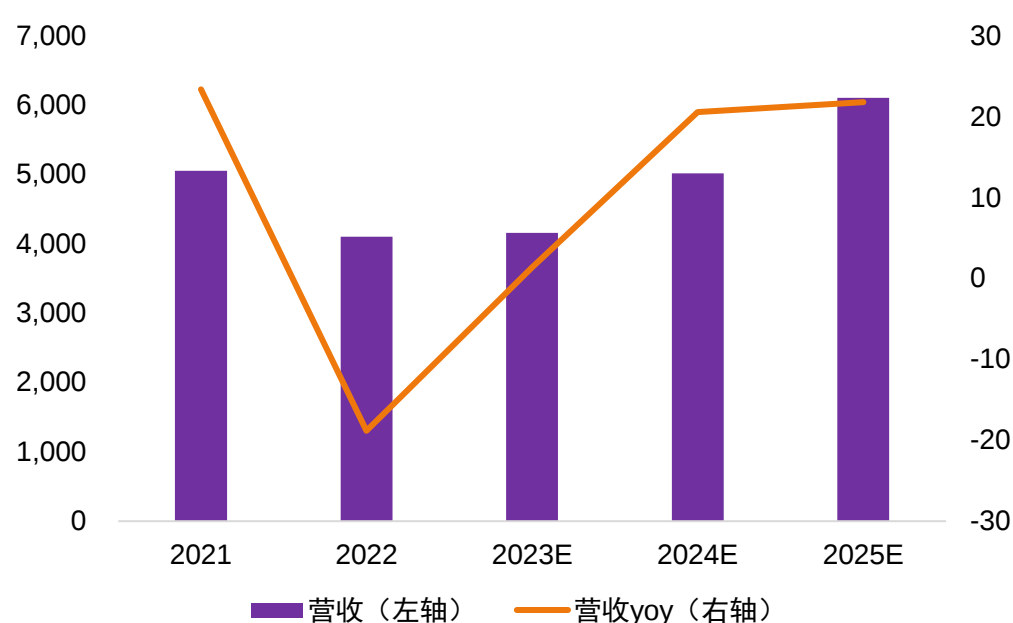
资料来源：秦川机床2022年报，华鑫证券研究

4.4、秦川机床——主机业务龙头企业，具备丝杠加工设备生产能力

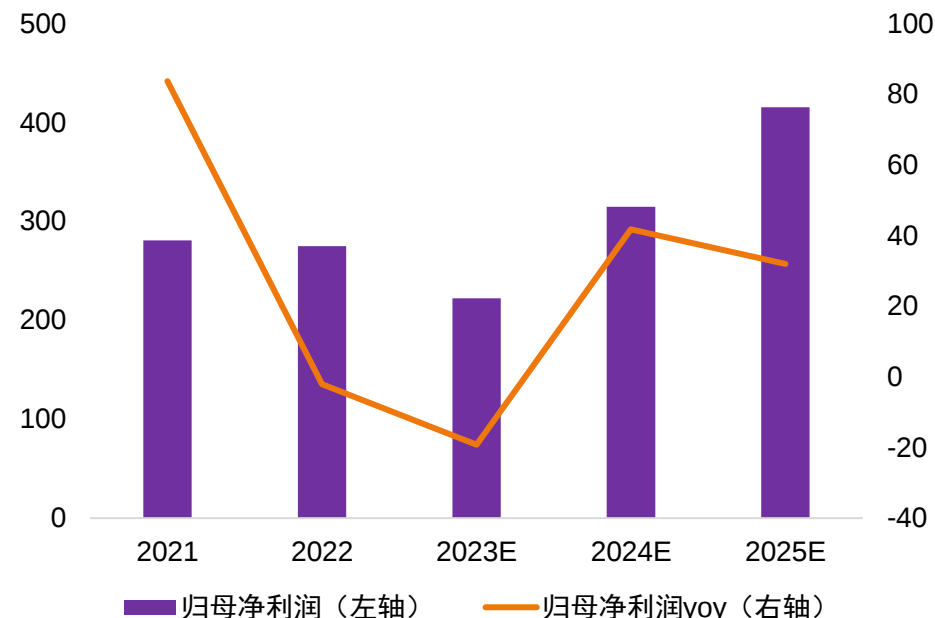
子公司汉江机床掌握螺纹铸造核心技术。汉江机床形成以自动化、数字化、智能成套成线产品为主的精密数控螺纹加工机床产业，以滚珠丝杠副、滚动直线导轨副、滚动导轨块、滚动花键副、螺杆转子副、齿轮齿条副、精密工作台和精密零部件产品为主的滚动功能部件产业。

丝杠产品精度最高可达P0级，2级、3级精度的滚珠丝杠、直线导轨已实现量产。截至2023年5月，汉江机床丝杠产品由P1级提升到P0级，精度达到国际先进水平；导轨产品精度由2级提升到1级，精度达到国内先进水平。汉江机床的SK6010机床采用旋风硬铣削工艺技术和西门子828D数控系统，实现三轴三联动控制，主要用于滚珠丝杠螺纹滚道硬旋铣成型加工，也可用于梯形丝杠螺纹的旋铣加工，300mm长度上误差0.052mm。SK7405数控丝杠磨床于批量精密磨削小规格丝杠的圆弧螺纹滚道，可磨螺纹螺距在0.25~12mm。SK7612数控内螺纹磨床主要用于批量磨削各种双圆弧滚道的转向器及滚珠丝杠螺母，在50mm长度内导程累积误差为0.009mm。

秦川机床营业收入及预测（百万元，%）



秦川机床归母净利润及预测（百万元，%）



资料来源：wind，华鑫证券研究

机器人市场风险

机器人量产进度不及预期

原材料价格风险

丝杠原材料多采用高碳铬轴承钢，原材料价格上升会导致丝杠成本上升

投产进度不及预期

各个公司丝杠产能布局投产进度可能不及预期

地缘政治风险

丝杠属于高精密产品，生产设备需要高精度螺纹磨床，国内螺纹磨床的进口可能受到外国政策限制

推荐公司业绩不及预期

林子健：厦门大学硕士，自动化/世界经济专业，CPA，6年汽车行业研究经验。曾任职于华福证券研究所，担任汽车行业分析师。2023年加入华鑫证券研究所，担任汽车行业首席分析师。兼具买方和卖方行业研究经验，立足产业，做深入且前瞻的研究，擅长自下而上挖掘个股。深度覆盖特斯拉产业链/一体化压铸等细分领域。

谢孟津：伦敦政治经济学院硕士，2023年加入华鑫证券。

张智策：武汉大学本科，哥伦比亚大学硕士，2024年加入华鑫证券。2年华为汽车业务工作经验，主要负责智选车型战略规划及相关竞品分析。

证券分析师承诺

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告。本报告清晰准确地反映了本人的研究观点。本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

免责声明

华鑫证券有限责任公司（以下简称“华鑫证券”）具有中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。本报告由华鑫证券制作，仅供华鑫证券的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。

本报告中的信息均来源于公开资料，华鑫证券研究部门及相关研究人员力求准确可靠，但对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。我们已力求报告内容客观、公正，但报告中的信息与所表达的观点不构成所述证券买卖的出价或询价的依据，该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。投资者应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时结合各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就财务、法律、商业、税收等方面咨询专业顾问的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，华鑫证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。本公司或关联机构可能会持有报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等服务。本公司在知晓范围内依法合规地履行披露。

本报告中的资料、意见、预测均只反映报告初次发布时的判断，可能会随时调整。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。在不同时期，华鑫证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。华鑫证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。

本报告版权仅为华鑫证券所有，未经华鑫证券书面授权，任何机构和个人不得以任何形式刊载、翻版、复制、发布、转发或引用本报告的任何部分。若华鑫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，华鑫证券对此等行为不承担任何责任。本报告同时不构成华鑫证券向发送本报告的机构之客户提供的投资建议。如未经华鑫证券授权，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。华鑫证券将保留随时追究其法律责任的权利。请投资者慎重使用未经授权刊载或者转发的华鑫证券研究报告。

证券投资评级说明

股票投资评级说明：

	投资建议	预测个股相对同期证券市场代表性指数涨幅
1	买入	> 20%
2	增持	10%—20%
3	中性	-10%—10%
4	卖出	< -10%

行业投资评级说明：

	投资建议	行业指数相对同期证券市场代表性指数涨幅
1	推荐	> 10%
2	中性	-10%—10%
3	回避	< -10%

以报告日后的12个月内，预测个股或行业指数相对于相关证券市场主要指数的涨跌幅为标准。

相关证券市场代表性指数说明：A股市场以沪深300指数为基准；新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以道琼斯指数为基准。



华鑫证券
CHINA FORTUNE SECURITIES

研究创造价值