



Research and
Development Center

机器人系列报告（三）：人形机器人打开 丝杠成长空间，国产替代有望加速

2023年8月24日

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

人形机器人打开丝杠成长空间，国产替代有望加速

2023年8月24日

本期核心观点

- **丝杠是传动领域的核心部件。**丝杠是将回转运动转化为直线运动，或将直线运动转化为回转运动的理想的产品，在机器人、汽车、机床等领域有所应用。丝杠按其摩擦特性可分为三类：滑动丝杠、滚动丝杠及静压丝杠。滚动丝杠的精度和传动效率较高，但其制造工艺较为复杂。
- **滚珠丝杠应用场景广泛，国产替代空间大。**按照 JIS 等级标准，可以划分为 C0-C10 不同精度的产品，部分高精度机床需要采用 C0-C3 级别的滚珠丝杠。而以工业机器人为例，大多数 C3-C5 级别丝杠能满足其需求。滚珠丝杠广泛应用于高端机床、航空航天、机器人、电动汽车、3C 装备等领域中，在机器人关节上一般采用四连杆的模式进行传动。华经产业研究院预计 2022 年全球滚珠丝杠市场规模预计约为 18.6 亿美元（约合 130 亿元），2015-2022 年复合增长率为 6.2%，目前主要市场份额由海外企业占据，未来随着人形机器人发展，潜在市场空间大。我们认为，滚珠丝杠的壁垒主要在加工工艺上，随着国内企业纷纷布局加码，未来国产替代空间较大。
- **行星滚柱丝杠是高精度传动之冠，高壁垒下成长性赛道。**相比滚珠丝杠和液压部件，行星滚柱丝杠承载力强、可靠性强，可以替代部分领域滚珠丝杠和液压传动装置，渗透率有望提升。行星滚柱丝杠制造门槛较高，对螺纹加工设备、加工方式和磨削的磨床精度要求较高，壁垒较高。2023 年全球行星滚柱丝杠市场规模约 3 亿美元，而人形机器人应用反式行星滚柱丝杠，有望打开成长空间，看好国产头部企业突破相关壁垒。
- **投资建议：**滚珠丝杠和行星滚柱丝杠下游应用较为广阔，国产化率较低。我们认为人形机器人有望拉动精密丝杠市场快速增长，国内品牌崛起蓄势待发，具有精密加工和较强研发能力的国内企业有望核心受益。推荐工控龙头**汇川技术**；建议关注国内自润滑龙头企业**长盛轴承**、微特电机头部企业**鼎智科技**、轴承领军企业**五洲新春**、恒立**液压**、**秦川机床**。
- **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、滚珠丝杠：传动领域核心零部件，远期市场可期	5
1.1 滚珠丝杠：“旋转变直线”关键部件	5
1.2 人形机器人打开成长天花板，国内企业蓄势待发	10
二、行星滚柱丝杠：高精度传动之冠，高壁垒下成长性赛道	15
2.1 高精尖领域传动之冠，渗透率有望提升	15
2.2 制造精度要求严格，壁垒较高	17
2.3 高壁垒下成长性赛道，国产企业大有可为	19
三、人形机器人打开成长空间，国产企业已露锋芒	22
3.1 人形机器人催化，行业成长空间明显	22
3.2 国产企业加速布局，国产替代浪潮已至	22
3.2.1 汇川技术：收购韩国 SBC，加码精密传动领域布局	22
3.2.2 长盛轴承：自润滑轴承龙头，滚珠丝杠业务成长可期	23
3.2.3 鼎智科技：微特电机头部企业，精密运控领域持续成长	23
3.2.4 五洲新春：多业务协同发展，看好丝杠领域布局	24
3.2.5 恒立液压：国产液压件龙头，看好电动化布局发展	24
3.2.6 秦川机床：机床老兵，定增开启新征程	24
四、投资建议	26
五、风险因素	27

图表目录

图表 1：不同种类丝杠对比	5
图表 2：滚珠丝杠结构示意图	6
图表 3：根据特殊用途划分滚珠丝杠	6
图表 4：滚珠丝杠副内循环方式	7
图表 5：滚珠丝杠副外循环方式	7
图表 6：滚珠丝杠特性	7
图表 7：滚珠丝杠选型流程图	8
图表 8：JIS 精度等级标准	9
图表 9：不同用途对应的精度等级	9
图表 10：2020 年我国滚动功能部件下游应用格局	10
图表 11：滚珠丝杠在人形机器人中的应用	10
图表 12：四连杆结构示意图	11
图表 13：丝杠在特斯拉 Optimus 人形机器人中的应用	11
图表 14：2015-2022 年全球滚珠丝杠市场规模及增速情况	11
图表 15：2015-2022 年中国滚珠丝杠市场规模及增速情况（亿元）	11
图表 16：2022 年全球滚珠丝杠行业市场竞争格局情况	12
图表 17：全球滚珠丝杠市场份额情况	12
图表 18：中国滚珠丝杠市场份额情况	12
图表 19：国内外滚珠丝杠主要壁垒	13
图表 20：国内外主要厂商滚珠丝杠产品情况对比	13
图表 21：国内新入局企业滚珠丝杠布局	14
图表 22：行星滚柱丝杠结构形式	15
图表 23：标准式行星滚柱丝杠运动简图	15
图表 24：不同种类的行星滚柱丝杠	16
图表 25：行星滚柱丝杠主要优势	16
图表 26：行星滚柱丝杠误差来源	17
图表 27：Ewellix 滚柱丝杠不同材料对应的性质	18
图表 28：南京工艺滚柱丝杠主要材料	18
图表 29：行星滚柱丝杠螺纹副的加工工艺方法	18
图表 30：全球行星滚柱丝杠市场规模	19

图表 31: 2022 年行星滚柱丝杠国内市场份额占比	20
图表 32: 行星滚柱丝杠企业对比情况	20
图表 33: 行星滚柱丝杠全球市场分布情况	20
图表 34: 国内企业行星滚柱丝杠产品布局	21
图表 35: 行星滚柱丝杠成本构成	21
图表 36: Optimus 线性执行器能拉动钢琴	22
图表 37: 特斯拉 Optimus 采用反式行星滚柱丝杠	22
图表 38: SBC 公司产品结构图	23
图表 39: 长盛轴承 2022 年 9 月定增项目	23
图表 40: 鼎智科技线性执行器产品	24
图表 41: 秦川机床“新能源汽车领域滚动功能部件研发与产业化建设项目”概况	25
图表 42: 主要标的情况	26

一、滚珠丝杠：传动领域核心零部件，远期市场可期

1.1 滚珠丝杠：“旋转变直线”关键部件

丝杠是将回转运动转化为直线运动，或将直线运动转化为回转运动的传动元件。丝杠主要应用于传动和控制系统中，广泛应用于数控机床、制造设备、机器人、精密仪器等领域。

丝杠按其摩擦特性可分为三类：滑动丝杠、滚动丝杠及静压丝杠：

- 1) **滑动丝杠**的牙型多为梯形，这种牙型比三角形具有传动性能好、精度高、加工方便等优点，主要适用于搬运等场景；
- 2) **滚动丝杠**分为滚珠丝杠和滚柱丝杠两大类，滚珠丝杠与滚柱丝杠相比而言，摩擦力小、传动效率高、精度高，但其制造工艺较为复杂，可以用于高端机床、机器人、汽车等场景；
- 3) **静压丝杠**的螺纹牙形与标准梯形螺纹牙形相同，且标准更高，能够获得良好油封及提高承载能力，但是工艺复杂、初期投入成本较高，适合高速插齿机、砂轮架的进给轴、其他重载场合等。

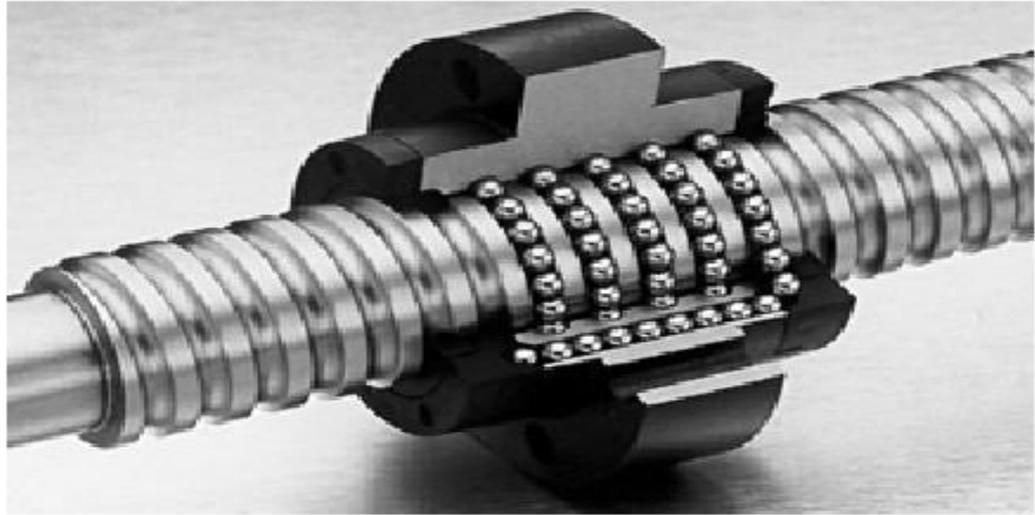
图表 1：不同种类丝杠对比

	滑动丝杠	滚动丝杠	静压丝杠
示意图			
传动效率	26% - 70%	90% - 96%	较高
摩擦系数	0.06 - 0.15	0.0025 - 0.0035	液体摩擦，低速时无摩擦
传动精度	标准精度±250 μm/300mm， 精密精度±75 μm/300mm	滚柱丝杠最高可达C0级， 即±3.5 μm/100mm (行星滚柱丝杠定位精度优于1 μm)	高于滚珠丝杠
承载能力	一般	较好 (行星滚柱丝杠承载重量不小于50 000kg)	较好
使用寿命	较短	较长 (行星滚柱丝杠寿命提高14倍)	极长
自锁性能	完全自锁	无自锁性	较高的自锁性
经济成本	较低	较高	初期成本投入高
应用场景	慢速转移、搬运等	高端机床、航空航天、机器人、 电动汽车、3C 装备等	高速插齿机、砂轮架的进给轴、 其他重载场合等

资料来源：THK 官网，Hyprostatik 官网，Thomson 官网，上海慧腾官网，万捷传动官网，李凯、叶佩青、周晓尧等《精密行星滚柱丝杠的传动特性》，自助贸易，任樱机电官网，信达证券研发中心

滚珠丝杠是电动缸常见的传动元件之一，具有精度高、传动效率高等优势。滚珠丝杠由螺杆、螺母、钢球、预压片、反向器、防尘器组成。滚珠丝杠中，滚珠沿螺旋滚道滚动带动螺母或丝杠轴向移动，将原先传动中使用的 T 形丝杠的螺纹摩擦变为滚动摩擦，降低了摩擦阻力，提高了传动精度与传动机械效率，具有良好性能。

图表 2：滚珠丝杠结构示意图



资料来源：邓琦《行星滚柱丝杠电动缸应用现状》，信达证券研发中心

根据特殊用途，滚珠丝杠可划分为自润式滚珠丝杠、静音式滚珠丝杠、高速化滚珠丝杠、重负荷型滚珠丝杠：

图表 3：根据特殊用途划分滚珠丝杠

	主要优势
自润式滚珠丝杠	免供油设备、油量适当、符合环保概念，适用于机械空间限制无法配置供油系统、不能有油污的环境
静音式滚珠丝杠	滚珠位于滑块的内表面，滑块的底部且位于滚珠的上方设置有流油槽，滑块的上表面设置有流油槽相连通的油孔，从而可以对滑块与长轴的连接处进行全面的封闭，实现隔音的效果，适用于自动化设备、医疗器械、半导体生产装置、夜景设备等领域
高速化滚珠丝杠	循环系统的路径和螺旋路径是平滑且连续的连接；轴向观察螺旋路径为一圆周运动，而循环路径是沿着切线方向和螺旋路径连接；径向观察，循环路径配合着滚珠丝杠的导程角和螺旋路径连接，从而实现滚珠丝杠的高速进给，提高滚珠丝杠效率
重负荷型滚珠丝杠	加强滚珠循环部位的强度设计，可承受较大的轴向负荷，可延长在高加减速进给上之使用寿命，可应用于全电式射出成形机、冲压机、半导体制造装置、重负荷致动器、产业机械、锻压机械等领域

资料来源：《HIWINR E1 系列新产品——自润式滚珠丝杠和自润式直线导轨》，国家知识产权局，NSK 官网，屈岳陵《高效率的 HIWIN SUPER-S 高速化滚珠丝杠》，中国台湾上银科技官网，信达证券研发中心

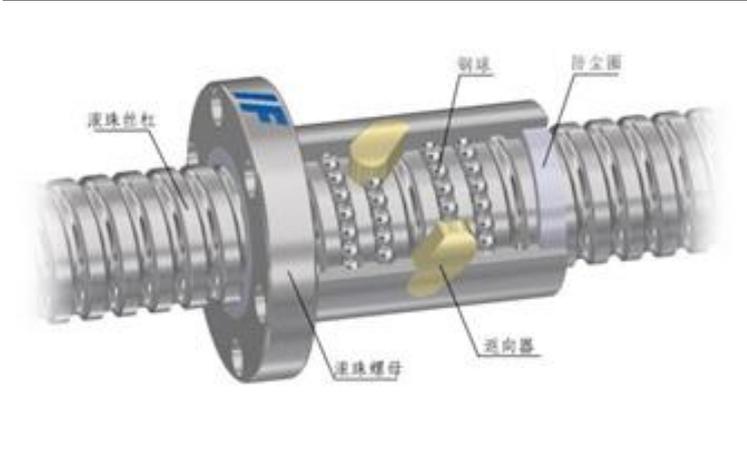
根据循环方式，滚珠丝杠副中滚珠的循环方式有内循环和外循环两种：

1) 内循环：滚珠始终与丝杠保持接触，使用反向器实现滚珠循环。在螺母的外侧钻孔，装上连通相邻滚道的反向器，迫使滚珠越过螺牙顶进入相邻滚道。反向器有两种形式，圆柱凸键反

向器与扁圆镶块返向器，两种返向器相比，后者的尺寸较小，从而减小了螺母的径向尺寸，缩短了轴向尺寸，但这种返向器结构复杂制造困难，且不能用于多头螺纹传动；

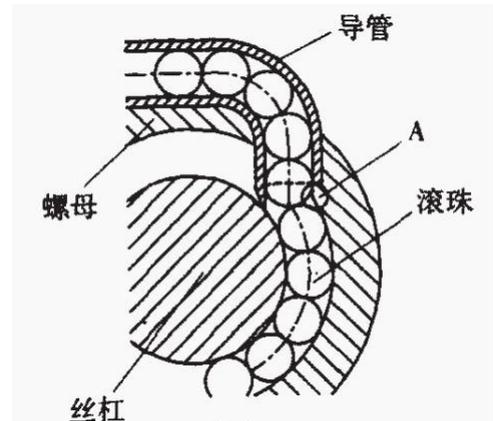
2) 外循环：滚珠在循环过程结束后通过螺母外表面的螺旋槽或插管返回丝杠螺母间重新进入循环。外循环是在螺母体上轴向相隔数个半导程处钻两个孔，孔与螺旋槽相切，作为滚珠的进口与出口，再在螺母的外表面上铣出回珠槽并沟通两孔，并在两孔处装上挡珠器，以回珠管相连，形成一个封闭的循环滚道，这种结构制造简单，使用广泛。但滚道与挡珠器的接缝处，难以制造平滑，从而影响滚珠滚动的平稳性，并产生噪音。

图表 4：滚珠丝杠副内循环方式



资料来源：华欧精密，信达证券研发中心

图表 5：滚珠丝杠副外循环方式



资料来源：孔庆令《外循环滚珠丝杠的几点改进》，信达证券研发中心

图表 6：滚珠丝杠特性

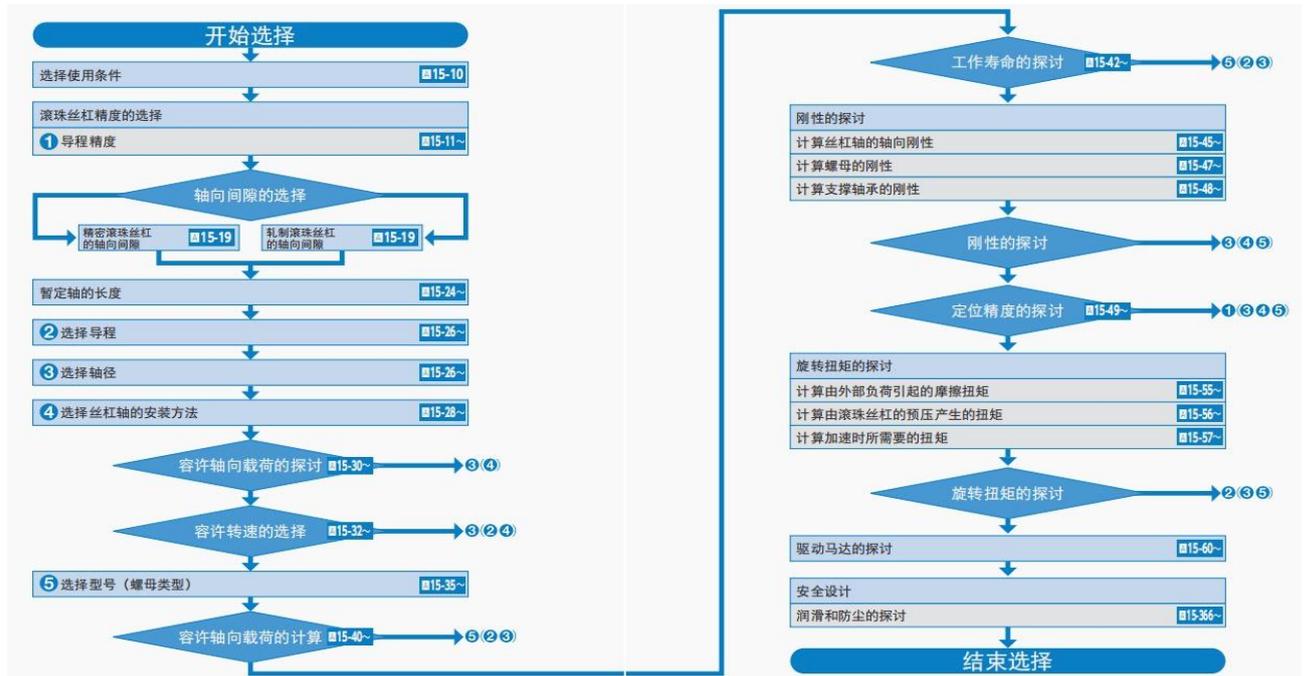
	主要优势
传动精度高	由于滚珠丝杠采用滚珠运动，起动扭矩极小，不会出现打滑等爬行现象，具有较高的进给精度。
传动效率高	与滑动螺旋相比，滚珠螺旋传动的摩擦阻力小，传动效率可达 90% 以上，是滑动丝杠传动的 2-4 倍，能有效地将扭矩转化为推力，或将推力转化为扭矩。
同步性能好	由于滚珠丝杠螺旋传动的滚动摩擦特性，摩擦阻力几乎与运转速度无关，因此，运转启动时无颤动，低速下运转无爬行现象。在需要同步传动的情况下，使用几套相同导程的滚珠丝杠副可以获得良好的同步性能。
传动刚度高	滚珠丝杠副内外滚道均为偏心角双弧面，滚道间隙极小时传动灵活。如有必要，可消除轴向间隙和初级弹性变形，以获得良好的刚性。
使用寿命长	滚珠螺旋副的丝杠、螺母和滚珠都经过淬硬，而且滚动摩擦产生的磨损极小，故螺旋副经长期使用仍能保持其精度，工作寿命很长。
传动的可逆性 (不能自锁)	它既可以把回转运动变成直线运动（正传动），又可以把直线运动变成回转运动（逆传动），滚珠丝杠具有可逆性，但缺点是不能自锁。

资料来源：THK 官网，中国台湾上银科技官网，上海慧腾官网，张庆涛、逢玲《浅谈滚珠丝杠的设计》，信达证券研发中心

滚珠丝杠一般根据使用场景所需精度、刚度、寿命等特性去选择。根据日本 THK 官网，选择滚珠丝杠时，主要根据使用条件并综合考虑各种因素来选择，包括导程精度、轴向间隙、轴径、安装方法、轴向载荷、转速等因素，还包括对于工作寿命、刚性、定位精度、旋转扭矩等指标的要求。滚珠丝杠的主要性能参数包括精度等级、轴向间隙、额定负载、导程等：

- 1) 精度等级（导程精度）：根据使用场合的不同，滚珠丝杠可分为压轧制滚珠丝杠（转造级滚珠丝杠）和精密滚珠丝杠（研磨级滚珠丝杠）。压轧制滚珠丝杠主要用于传送，用于位置精度要求不高的场合，常用精度等级为 C7、C10。精密滚珠丝杠主要用于定位精度要求高的场合，精度等级为 C0~C5 级，常用精度等级为 C3、C5、C7；
- 2) 轴方向间隙：滚珠丝杠的螺母与丝杠轴轴向的间隙值，一般在 0~0.12mm 左右，轴向间隙影响物体移动的重复精度；
- 3) 容许轴向负载：容许轴向负载时指相对于可能使丝杠轴发生屈曲的负载，确保其安全性的负载。施加于丝杠轴的最大轴向负载须小于容许轴向负载；
- 4) 容许转速：滚珠丝杠的转速取决于必要的进给速度和滚珠丝杠的导程，且须小于容许转速。滚珠丝杠的容许转速小于与丝杠轴固有振动一致的危殆速度的 80%；
- 5) 寿命：滚珠丝杠的寿命是指滚珠滚动面或任一滚珠因交变应力而产生疲劳，直至开始产生剥落现象时的总旋转次数、时间、距离；
- 6) 导程：导程为滚珠螺母相对滚珠丝杠旋转一周（即 360°）时的行程。常见丝杠导程有：4、5、6、8、10、12、16、20、32、40、50、60、80、100。

图表 7：滚珠丝杠选型流程图



资料来源：THK 官网，信达证券研发中心

图表 8: JIS 精度等级标准

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

资料来源: 南京春信官网, 信达证券研发中心

根据 NSK 官网, NC 机床对于滚珠丝杠的精度要求大多高于 C5, 其中坐标镗床、磨床等对于精度的要求高于 C2, 是国产化的主要壁垒; 通用机械、工业用机器人、冶金设备机械等对于精度要求相对较低, C5 级别滚珠丝杠可基本满足其要求。

图表 9: 不同用途对应的精度等级

表 4.1 是根据 NSK 的实际经验, 按不同用途选择精度等级的示例。○ 标记表示使用例的精度等级范围, ⊙ 标记表示其中使用例较多的精度等级。通过该表可以初步选定滚珠丝杠的精度等级。

此外, 对于符合实际要求的定位精度的滚珠丝杠的精度等级, 可通过“技术解说篇”的导程精度以及“累计代表导程误差和变动许可值”(A38 页)的列表加以确认。

表 4.1 不同用途区分的滚珠丝杠精度等级表

用途		NC 机床																
		车床	铣床	镗床	加工中心	钻床	坐标镗床	磨床	电火花加工机械	线切割机	电火花加工	冲床	激光加工机械	木工机械				
精度等级	轴	X	Z	XY	Z	XY	Z	XY	Z	XY	Z	XY	Z	XY	Z	XY	XY	Z
		C0	○								○	○	○					
	C1	○		○	○	○			⊙	⊙	○	○						
	C2	○		○	○	○				⊙	○	○	○	⊙	○			
	C3	⊙	○	⊙	○	○	○					⊙	⊙	⊙	⊙	○	○	○
	C5	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙						⊙	○	⊙	⊙	⊙	⊙
	C17						○											⊙
	C10																	○

用途		半导体 / 印刷板制造装置						工业用机器人						原子能					
		通用机械·专用机械	曝光装置	化学处理装置	焊线机	探测器	电子零件插件机	印刷板开孔机	正文坐标型	垂直多关节型	圆筒坐标型	冶金设备机械	注塑机	三维测量仪	办公设备	图像处理装置	控制棒	机械式缓冲器	飞机
精度等级	C0		○			○													
	C1		⊙			⊙	⊙	○											
	C2					○	⊙	○	○										
	C3	○		○			○	⊙	○	○	○							○	○
	C5	⊙					⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	○	○	○	○	○		⊙	⊙
	C17	⊙		⊙					○	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙			○	⊙
C10	○		○						○			⊙	○	○			○	○	

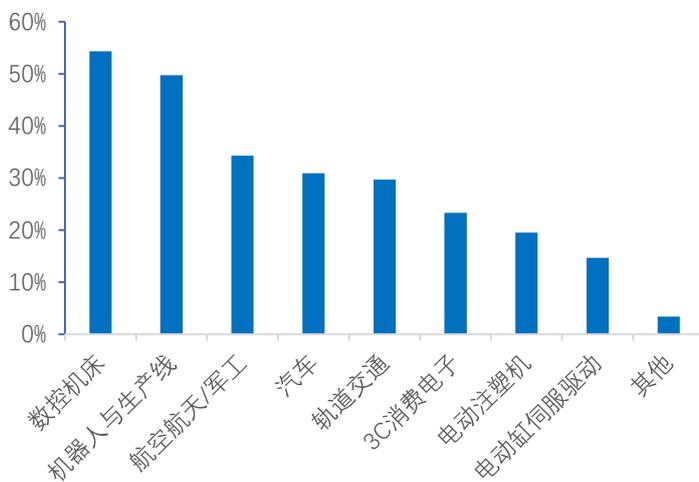
资料来源: NSK 官网, 信达证券研发中心

1.2 人形机器人打开成长天花板，国内企业蓄势待发

滚珠丝杠广泛应用于高端机床、航空航天、机器人、电动汽车、3C 装备等领域中。根据《第三届滚动功能部件用户调查分析报告》，数控机床是滚动功能部件最主要的用户，在下游应用格局中占比 54.3%。随着制造业向数字化、智能化的转型升级与深入，机器人与生产线领域的应用占比快速增长。其他主要终端用户占比呈现均衡化，在机械工业各个领域的应用趋向多元化并不断扩大。

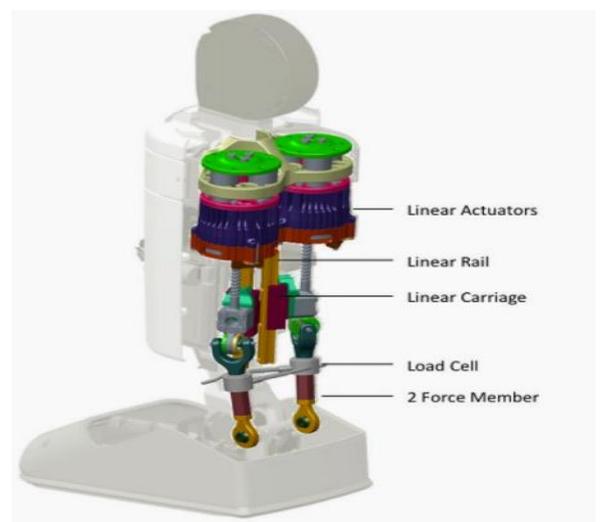
滚珠丝杠应用在机器人关节领域，可以支持机器人快速、精准地完成动作。丝杠本身具有较强传动功能，例如直径仅为 3.5 毫米的滚珠丝杠，可以推动高达 500 磅的负载并执行微米和亚微米范围内的运动，可以更好地模拟人体关节运动。较高的力尺寸比和力重量比可以使机器人快速、精准地完成动作，提高工作效率和精度，而高精度滚珠丝杠能够提供高精度和高重复性的运动控制，保证机器人的动作精度和稳定性。

图表 10：2020 年我国滚动功能部件下游应用格局



资料来源：《第三届滚动功能部件用户调查分析报告》，信达证券研发中心

图表 11：滚珠丝杠在人形机器人中的应用

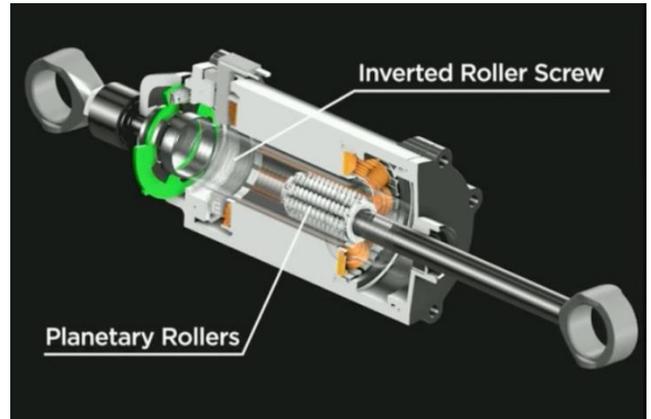


资料来源：《Valkyrie: NASA's First Bipedal Humanoid Robot》，信达证券研发中心

在机器人关节中，滚珠丝杠可以以四连杆的模式进行传动。平面四杆机构是由四个刚性构件用低副链接组成的，各个运动构件均在同一平面内运动的机构，机构类型有曲柄摇杆机构、铰链四杆机构、双摇杆机构等。为了减少腿部惯性、提高驱动器的物理位置，滚珠丝杠利用四连杆方式进行传动，连接相应的驱动器和膝关节、踝关节等运动关节。

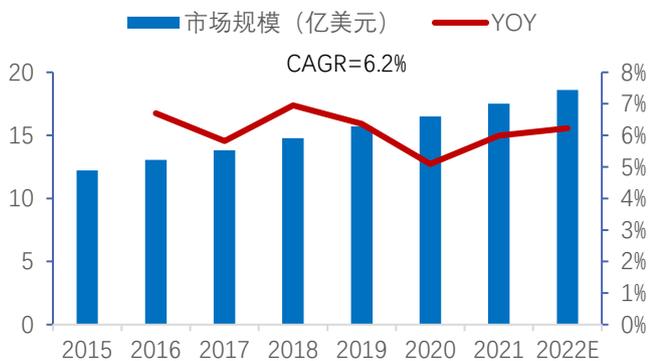
图表 12：四连杆结构示意图


资料来源：格林钛德，信达证券研发中心

图表 13：丝杠在特斯拉 Optimus 人形机器人中的应用


资料来源：特斯拉，信达证券研发中心

高精尖需求不断增加，全球滚珠丝杠市场持续扩大。随着制造业的升级和转型，滚珠丝杠市场需求不断扩张，尤其是在机器人、航空航天等高端领域的应用有望不断扩大，国内滚珠丝杠行业也不断发展。根据华经产业研究院数据，2022 年全球滚珠丝杠市场规模预计约为 18.6 亿美元（约合 130 亿元），2015-2022 年复合增长率为 6.2%；2022 年中国滚珠丝杠市场规模预计约为 28 亿元，2015-2022 年复合增长率为 10.1%。

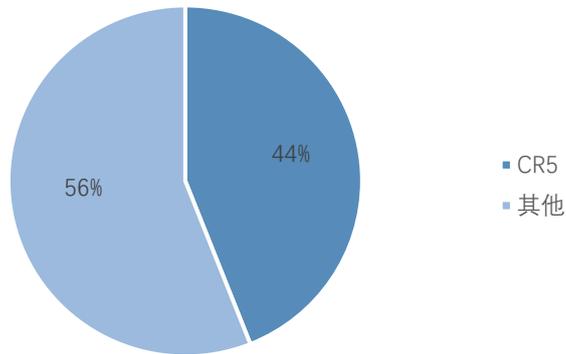
图表 14：2015-2022 年全球滚珠丝杠市场规模及增速情况（亿美元）


资料来源：华经产业研究院，信达证券研发中心

图表 15：2015-2022 年中国滚珠丝杠市场规模及增速情况（亿元）

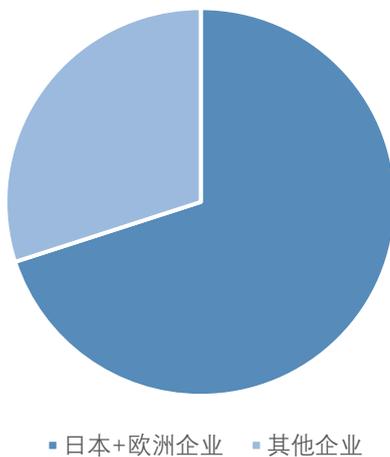

资料来源：华经产业研究院，信达证券研发中心

CR5 超过 40%，全球滚珠丝杠市场集中度较高。全球滚珠丝杠市场主要由欧美和日本等国家的知名企业所垄断，主要生产商有 NSK、THK、SKF 和 TBI MOTION 等企业。这些企业在滚珠丝杠的设计、制造等方面具有丰富的经验和核心的技术，占据了全球市场的大部分份额。同时，国内的滚珠丝杠行业也在迅速发展。近年来，随着国家对制造业的大力支持，国内的滚珠丝杠企业逐渐增多，例如鼎智科技、恒立液压等，并在技术、质量等方面取得了较大的进步。根据 QYResearch 数据，2022 年全球滚珠丝杠行业 CR5 市占率达到约 44%，且主要来自欧美和日本，市场集中度高。

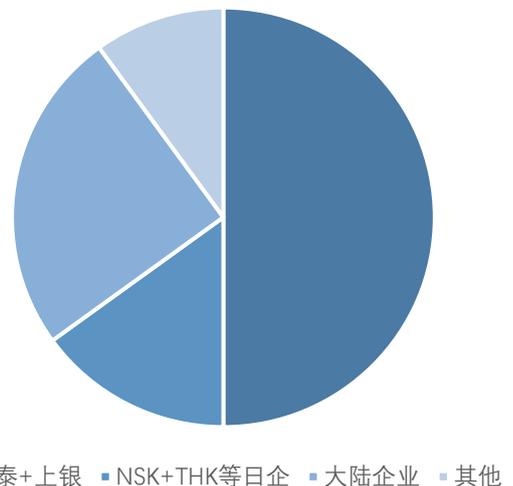
图表 16：2022 年全球滚珠丝杠行业市场竞争格局情况


资料来源：QYResearch，信达证券研发中心

国内大部分市场由上银、NSK 等企业占据，大陆企业市场份额有待提升。根据秦川机床公告，日本和欧洲丝杠导轨企业占据了全球约 70% 的市场份额。在国内市场方面，目前中国台湾上银科技、银泰市场占有率接近 50%，此外 NSK、THK 等日本企业市场占有率约为 15%，其他国内大陆企业的市场占有率约为 25%。

图表 17：全球滚珠丝杠市场份额情况


资料来源：秦川机床公告，信达证券研发中心

图表 18：中国滚珠丝杠市场份额情况


资料来源：秦川机床公告，信达证券研发中心

滚珠丝杠壁垒主要在材料选用、制造工艺上，国内企业有望逐步突破：

1) 材料方面，钢材的配方会影响丝杠的性能。滚珠丝杠材料国内常用 GCr15，日本多选用 S55C，德国多选用 50Cr Mo4Cf53、100Cr6 以及 58Cr V4 等。在有些情况下也使用不锈钢，如 1Cr15Co14Mo5VN 马氏体沉淀强化不锈钢。正确的选用材料，并施以适当的热处理，可以使丝杠

具有良好的综合力学性能及精度保持性。低精度、轻载荷滚珠丝杠用碳素结构钢制造，有些可冷轧成形直接使用。高精度、大载荷滚珠丝杠多用合金工具钢和轴承钢制造，常采用感应淬火热处理；

2) 高精度滚柱丝杠需要磨制工艺。国内丝杠可以满足汽车等要求略高的应用领域需求，恒立液压、秦川机床等头部企业有望在机床等要求较高的领域进行突破。

图表 19：国内外滚珠丝杠主要壁垒

	主要壁垒
材料选用	国外丝杠与国产丝杠均采用的是加入了 Mo 元素的优质合金结构钢，形成的碳化物稳定性极高，熔点和硬度也很高，在加热时比较难溶入奥氏体中。但是，国产滚珠丝杠在 Mn、P 等元素的比例上与国外进口丝杠存在一定的差距。
热处理工艺	钢中冶金缺陷、热轧缺陷、感应加热淬火时表层温度过高和冷却速度过快都是导致滚珠丝杠副早期失效的原因，再加上国产 Cr/Mo 钢材原材料在冶炼、轧制过程中，由于各区域成分不均匀而导致枝晶偏析，并且在后续的控制轧冷过程中操作不当而易于形成带状组织，降低钢的力学性能、切削性能和淬透性，使零件淬火变形倾向增大，强韧性降低。
硬度分布	丝杠凹槽工作部分的硬度分布梯度不合理是导致滚珠丝杠早期失效的重要原因。国外进口丝杠的表面感应加热淬硬层的硬度梯度分布相对国产 Cr/Mo 钢滚珠丝杠更趋于合理，表面硬化层、过渡层到心部的金相组织均优于国产 Cr/Mo 钢滚珠丝杠。

资料来源：丁霞、王倩、李保民等《国产 Cr/Mo 钢滚珠丝杠与国外同类产品的质量分析》，张洪云《精化 55 钢滚珠丝杠双匝感应加热淬火及性能分析》，信达证券研发中心

图表 20：国内外主要厂商滚珠丝杠产品情况对比

	日本 NSK	中国台湾上银	鼎智科技	秦川机床
产品情况	NSK 的滚珠丝杠，出自尖端的摩擦学技术（摩擦制御技术），通过卓越的生产技术和质量管理，生产量稳居世界前列	上银科技精确控管制程，研磨级滚珠丝杠和转造级滚珠丝杠皆严守精确牙型设计，严谨的热处理制程以确保上银科技滚珠丝杠的硬度及耐磨性能，具有高负荷、长寿命的性能	鼎智科技专注于精密运动控制系列产品的研究和创新，并以客户需求和市场发展趋势为导向，形成“整机生产为主、关键零部件生产为支撑”的一体化发展模式，实现了丝杆、螺母等线性执行器核心零部件的自主可控	秦川机床所属汉江机床生产 2 级、3 级精度的滚珠丝杠、直线导轨，有较高的精度保持性，能够满足中高档数控机床的要求，实现了在新能源汽车领域制造装备滚动功能部件和精密螺杆副的国产化推广应用

相关技术研发及项目建设	2023年CIMT展会上,NSK展出了“抑制机床象限突起”的滚珠丝杠技术,该技术可降低滚珠丝杠在圆弧插补加工反向运转时的摩擦波动而产生的运动误差,提升机床加工面品质,做到更节能、更高效	采用SynchMotion™技术的Q1 Type直线导轨由于具有同步联结器,将同一循环内的所有钢珠串联在一起。当滑块开始运动时,所有钢珠几乎同时启动,且钢珠间并无来回的碰撞,在保持一定的运动惯性下,摩擦阻力的变动幅度能有效的减少	公司独立设计T型丝杠的牙形及滚压轮,采用先进滚压设备和生产工艺,丝杠精度、光洁度及传动效率等性能优异;自主研发设计的模芯牙形及独特的脱模装置,与丝杠配合使用背隙可达0.01mm以内,传动寿命可达500万次以上	“新能源汽车领域滚动功能部件研发与产业化建设项目”达产后公司滚珠丝杠/精密螺杆副产品产能将提升至38万件/年,产能提升达到280%
应用场景	高端数控机床、注塑机、普通机械乃至半导体及液晶的制造装置等	半导体制造设备、印刷电路板IC组装设备、医疗设备、机器人臂、精密测量仪器等	X-Y工作台、医疗设备、半导体、电信设备、阀门控制等	铁路转辙机丝杠、电解铝提升机丝杠、登机桥丝杠、矫直机丝杠、机床装备丝杠以及新能源汽车、汽车零部件等领域

资料来源: NSK 官网, 韩景春、郭佳《恩斯克: 核心技术护航, 创新引领未来》, 中国台湾上银科技官网, 鼎智科技官网, 鼎智科技招股说明书, 秦川机床 2022 年年报, 秦川机床公告, 信达证券研发中心

国内多方企业入局, 国产丝杠有望加速突破。目前, 国内新入局企业不断扩大对于线性执行器、滚动功能部件等产品项目的投入, 积极研发精密滚珠丝杠产品和核心技术。但总体来说体量较小, 滚珠丝杠产品以中低端为主, 未来发展空间广阔。

图表 21: 国内新入局企业滚珠丝杠布局

公司名称	相关布局
贝斯特	公司将以全资子公司宇华精机为独立平台, 全面布局直线滚动功能部件, 瞄准高端机床领域、半导体装备产业、自动化产业三大市场进行大力开拓, 推动技术研发、市场开发, 建立配套客户“敏捷、及时、精准”的快速反应能力。
恒立液压	公司线性驱动器项目达产后将形成年产 104,000 根标准滚珠丝杠电动缸、4,500 根重载滚珠丝杠电动缸、750 根行星滚柱丝杠电动缸、100,000 米标准滚珠丝杠和 100,000 米重载滚珠丝杠的生产能力。
长盛轴承	公司滚珠丝杠产品主要应用于商用车变速箱, 乘用车制动、转向及驻车系统。公司已经取得商用车主机厂定点, 其他乘用车客户正在开发过程中。滚珠丝杠产品暂未应用在人形机器人上, 但具备相关的生产能力。
南京工艺	公司近年成功开发 10 米以上整根大丝杠、GZB 型 12 导轨、150 大花键等, 实现了大型、高精滚动功能部件全品种的批量生产, 不断满足国产大型数控装备的巨大需求。公司产品为国内各大主机厂高速、高精中数控机床的成功配套, 推进了国产滚动功能部件的提档升级和替代进口。
五洲新春	公司凭借全产业链的优势, 已经研发成功新能源汽车电子助力转向系统 (EPS) 中控制精度最高的齿条式电动助力转向系统 (REPS) 所需的丝杠螺母轴承组件, 预计 2023 年将形成批量生产。
新剑传动	新剑传动是具备滚珠丝杠、行星滚柱丝杠产品大批量生产能力的企业, 年产能超过 350 万套。成功应用于汽车底盘 EMB 制动系统和人形机器人线形驱动。
南方精工	公司实施年产 600 万套滚珠丝杠副项目。
禾川科技	拟投资 5.6 亿元布局高效工业传动系统及精密传动部件研发及产业化项目, 推进精密导轨、丝杠等传动部件的产业化应用。

资料来源: 贝斯特公告, 恒立液压公告, 长盛轴承公告, 长盛轴承公告, 南京工艺官网, 五洲新春公告, 新剑传动公告, 南方精工公告, 禾川科技公告, 信达证券研究中心

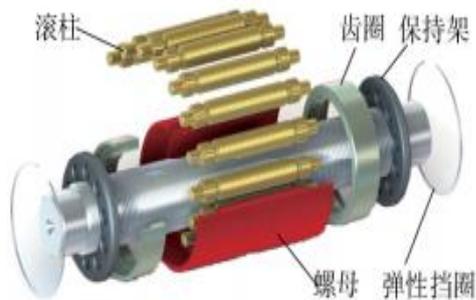
二、行星滚柱丝杠：高精传动之冠，高壁垒下成长性赛道

2.1 高精尖领域传动之冠，渗透率有望提升

行星滚柱丝杠（标准式）是将螺旋运动和行星运动结合在一起，将丝杠旋转运动转变为螺母直线运动的传动机构。参考王家健、张庆的《行星滚柱丝杠运动原理及有限元分析》，行星滚柱丝杠具有承载能力强、刚度大、精度高、耐磨损、耐冲击和寿命长等特点，广泛应用于工业和国防军工领域：

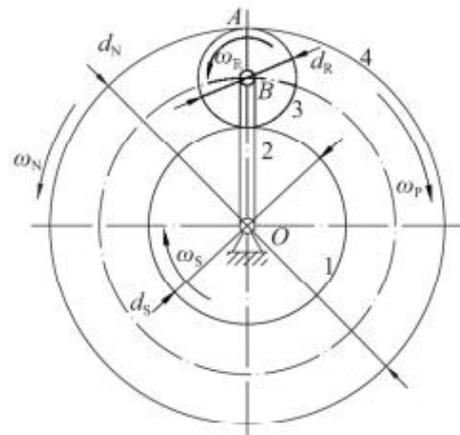
- 1) 构成情况：行星滚柱丝杠主要由丝杠、滚柱、螺母、内齿圈、保持架和弹性挡圈组成；
- 2) 运动模式：行星滚柱丝杠在工作时，丝杠通常作为动力输入端，只绕自身轴线转动；螺母通常与负载连接，只沿自身轴线移动；滚柱在螺母和丝杠之间做行星运动，并且与螺母相对轴向位移为零，与螺母一起沿轴向移动。

图表 22：行星滚柱丝杠结构形式



资料来源：王家健、张庆《行星滚柱丝杠运动原理及有限元分析》，信达证券研发中心

图表 23：标准式行星滚柱丝杠运动简图



资料来源：王家健、张庆《行星滚柱丝杠运动原理及有限元分析》，信达证券研发中心

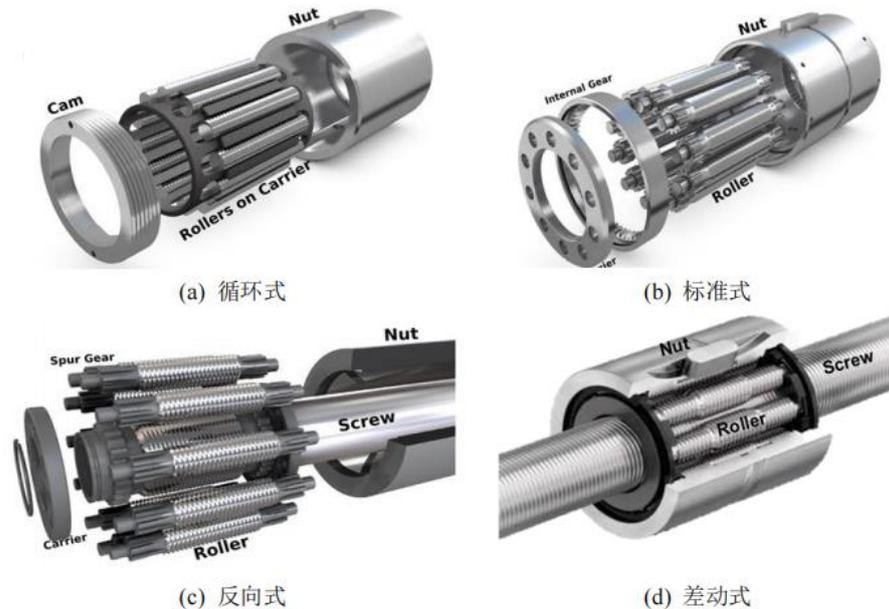
随着行星滚柱丝杠在各行各业的不断深入，其应用场景也越来越多，为了适应不同的应用环境及安装条件，其结构形式也在不断的发展，参考柯浩的《行星滚柱丝杠传动精度分析与设计》，标准式、循环式、反向式、差动式等行星滚柱丝杠应用较多：

- 1) **标准式**：一般情况下，丝杠为主动件，螺母为输出构件。它能够实现较大行程，适用于环境恶劣、高负载、高速等场合，主要应用于精密机床、机器人、军工装备等领域，是目前应用最广泛的类型；
- 2) **反向式**：其结构形式与标准式类似，不同之处在于其没有内齿圈，丝杠两端的直齿与滚柱两端的齿轮啮合，且螺母作为主动件，其长度比标准式的大得多。一般情况下，反向式行星滚柱丝杠的螺母为主动件，丝杠为输出构件，滚柱、丝杠之间无相对轴向位移，其主要用于中小负载、小行程和高速的应用场景，其最大的优势在于可将其螺母作为电机转子实现电机和丝杠一体化设计，形成结构紧凑的一体式机电作动器，C-EMA 可替代传统液压、气压伺服作动系统用于航空、航天、船舶、电力等领域。其主要缺点为行程受到螺母内螺纹长度的限制；
- 3) **循环式**：相比于标准式，其去掉了内齿圈，增加了凸轮环结构，其功能类似于滚珠丝杠的返回器，目的是为了让滚柱在螺母内旋转一周后回到初始位置。循环式行星滚柱丝杠的结构特点增加了参与啮合的螺纹数量，因此具有较高的刚度和较大的承载能力，主要应用于

要求**高刚度、高承载、高精度**的场合，如医疗器械、光学精密仪器等领域。其缺点在于其凸环结构会产生振动冲击，存在噪音问题；

- 4) **差动式**：与标准式相比，其去掉了内齿圈，滚柱上也没有齿轮段。差动式行星滚柱丝杠的结构特点使其可以获得更小的导程，适用于**传动比较大，承载能力较高**的应用场合。但在其运动过程中，螺纹会产生滑动现象，在重载情况下，容易产生磨损，导致精度丧失，可靠性降低等问题。

图表 24：不同种类的行星滚柱丝杠



资料来源：李承胜《行星滚柱丝杠滚柱滚压校直机理与实验研究》，信达证券研发中心

行星滚柱丝杠渗透率有望提升，替代部分领域滚珠丝杠和液压传动装置：1) 相比传动滚珠丝杠，行星滚柱丝杠具有承载力更强、能够应用在复杂恶劣工况、寿命长等优势，有望在机床领域、机器人电动缸等场景应用；2) 参考李凯等的《精密行星滚柱丝杠的传动特性》，基于行星滚柱丝杠的精密传动结构，克服了传统液压传动装置固有的“跑、冒、漏、滴”等环境适应性差、可靠性低、使用维护性差等缺点，有望替代部分场景液压传动装置。

图表 25：行星滚柱丝杠主要优势

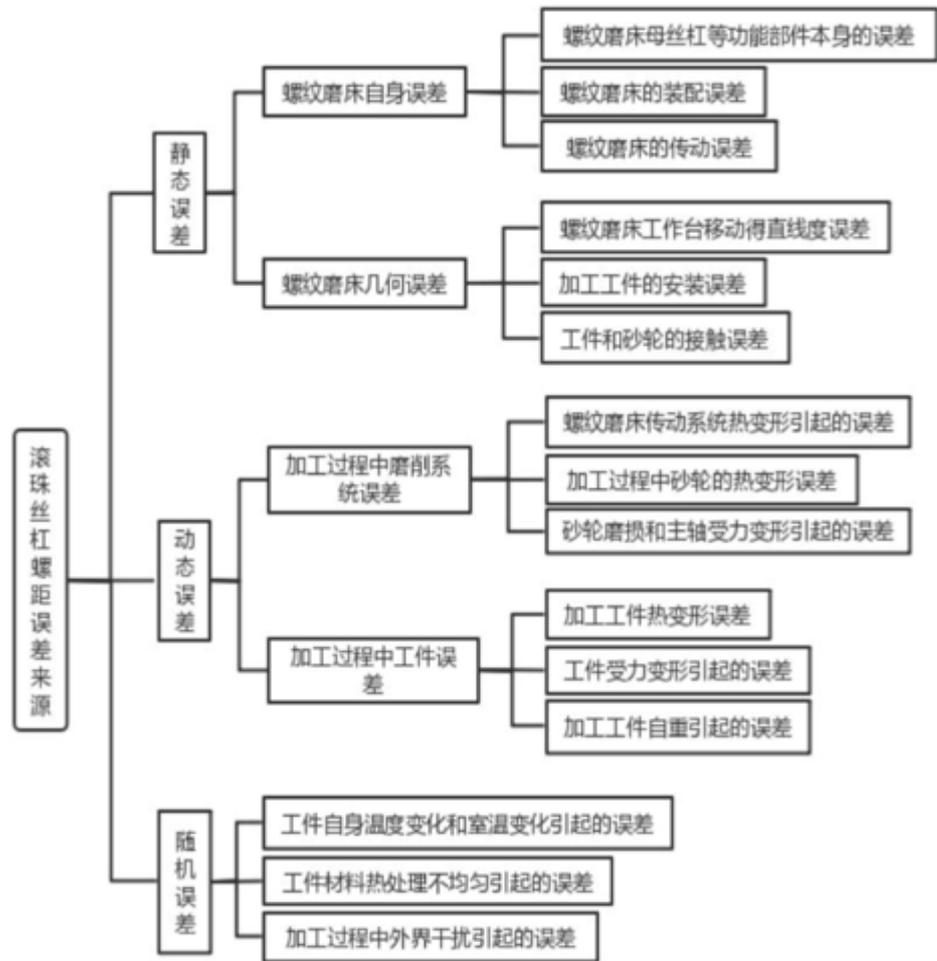
	主要优势
承载力强	相同丝杠直径下，比滚珠丝杠承载能力提高 6-15 倍
节省空间	相同负载下，比滚珠丝杠节省 1/3 空间，传动效率高
传动效率好	润滑良好情况下可达 90%，噪声小
速度和加速度好	转速可达 6000r/min，直线速度可达 2m/s，加速度可达 1000rad/s ²
定位精度	定位精度优于 1um
寿命	寿命比同类滚珠丝杠提高 10 倍以上
工作环境温度范围	比同类型滚珠丝杠提高 2 倍以上

资料来源：李凯等《精密行星滚柱丝杠的传动特性》，信达证券研发中心

2.2 制造精度要求严格，壁垒较高

行星滚柱丝杠对制造精度要求较高。从行星滚柱丝杠的误差来源来看，主要误差可以分为静态误差、动态误差和随机误差，其中静态误差主要是螺纹磨床工作和装配中存在的误差，动态误差是加工切削时候存在的误差。行星滚柱丝杠对精度和性能要求较高，因此对其中螺纹加工设备、加工方式和磨削的磨床精度要求较高。

图表 26：行星滚柱丝杠误差来源



资料来源：牛星《精密滚珠丝杠磨削加工精度及其测试方法研究》，信达证券研发中心

国内外的行星滚柱丝杠生产存在着材料选择、结构设计、加工工艺、设备影响等壁垒：

1) 材料选择：行星滚柱丝杠的性能在很大程度上取决于材料的性能。为了提高结构的刚度和强度，虽然可以在结构形式、结构尺寸等方面进行设计和改进，但最直接有效的途径是选择弹性模量和强度高的材料。

国外行星滚柱丝杠的材料以合金结构钢为主。根据 Ewellix 官网，其标准丝杠轴主要由经过预处理的 50CrMo4（或 42CrMo4）制成，通过感应进行表面硬化；螺母和滚柱采用进行了全面硬化的 100Cr6 轴承钢。合金结构钢具有优良的淬透性和强度，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。

国内行星滚柱丝杠的材料主要选用马氏体不锈钢和奥氏体不锈钢。马氏体不锈钢的淬性较好，可通过淬火、回火等热处理工艺进行强化，从而获得较高的硬度、强度以及耐磨性，但是在韧性和耐蚀性方面普遍有短板。奥氏体不锈钢具有较好的塑性、良好的耐腐蚀性能、抗氧化性能和优良的焊接性能，但强度相较其他钢材较差。

图表 27: Ewellix 滚柱丝杠不同材料对应的性质

标准钢材选择	钢	供应状态	热处理	最大允许运行温度	在标准回火温度下的表面硬度
标准轴	50CrMo4 or 42CrMo4	预处理拉伸强度880至1030Mpa, 屈服强度>650Mpa	感应淬火	110 °C	58 到 60
标准轴 (按需求)	50CrMo4	预处理拉伸强度880至1030Mpa, 屈服强度>650Mpa	感应淬火 高温回火	150 °C	58 到 60
特殊轴	100Cr6	预处理拉伸强度840至970Mpa, 屈服强度>500Mpa	感应淬火	180 °C	59 到 63
螺母&滚柱	100Cr6	退火的	淬透	180 °C	58 到 62

资料来源: Ewellix 官网, 信达证券研发中心

图表 28: 南京工艺滚柱丝杠主要材料

马氏体不锈钢材料

特 点: 承载能力: ★★★★★
耐腐蚀性: ★★★★★

使用场合: 经过特殊处理后, 可适合真空环境、高/低温环境。固体润滑后可适合真空环境; 填充高温、低温润滑脂后可适合高/低温环境用



奥氏体不锈钢材料

特 点: 承载能力: ★★★
耐腐蚀性: ★★★★★

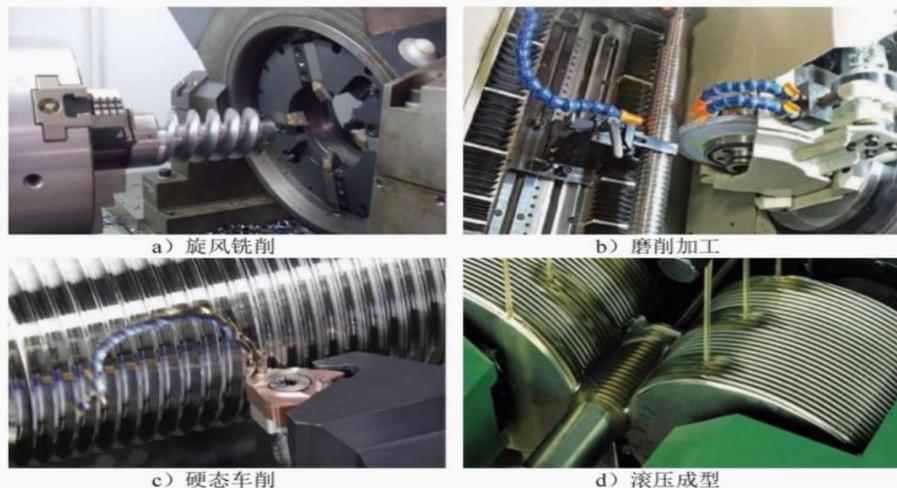
使用场合: 极低温环境及无磁性场合



资料来源: 南京工艺官网, 信达证券研发中心

2) 结构设计: 行星滚柱丝杠的滚柱部分由螺纹和端部齿轮两部分组成, 在运行过程中同时存在螺纹啮合和齿轮啮合, 因此二者参数匹配设计与建模比较复杂。此外, 螺纹牙型参数对 PRSM 载荷分布有很大的影响, 并且牙型参数需满足螺纹牙强度准则以防止螺纹牙根位置发生断裂; 需满足螺纹牙接触屈服准则以保证螺纹牙的接触处于弹性阶段, 不会发生不可恢复的塑性变形, 以提高 PRSM 疲劳寿命。因此需注意 PRSM 螺纹牙型的设计。

3) 加工工艺: 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 螺纹的制造工艺方法主要为旋风铣削、磨削加工、硬态车削、滚轧成型等。其中, 磨削是高精度丝杠螺纹的主要加工方法, 使用螺纹磨床高速旋转的成型砂轮对加工工件表面进行高速切削, 实质是砂轮的表面很多磨粒划擦、刻划和切削工件表面。使用磨削加工的滚珠丝杠最高可达到 P1 级。目前国内多采用非精密磨削加工丝杠螺纹副, 对砂轮品质要求高、生产能耗大、会产生粉尘污染等问题, 难以满足精密 PRS 的制造需求。精密磨削受到机床丝杠本身的传动误差和非渐进性误差、环境温度的变化和工件本身的刚度和强度不均等误差等影响, 对于制作工艺和环境的要求较高。

图表 29: 行星滚柱丝杠螺纹副的加工工艺方法


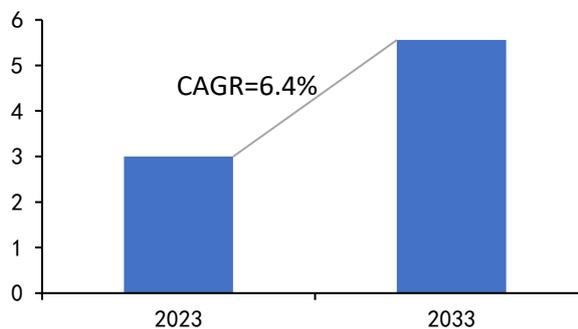
资料来源: 陈晖《行星滚柱丝杠螺纹的硬态车削加工技术研究》, 信达证券研发中心

4) 设备影响：丝杠磨床的磨削精度对丝杠的加工精度和性能起着较为关键的作用，但国产丝杠磨床与国外同类先进产品相比在技术上还有明显的差距，包括：数控系统集成度较低，没有实现其他辅助轴的一体化数控模式；磨削加工过程中在线检测系统的开发还不完备，还需要进一步开发新型实用的磨削加工精度在线检测系统；在磨削过程和磨削工艺的分析研究方面基础较为薄弱，也影响到我国滚动功能部件和丝杠磨床的创新能力。

2.3 高壁垒下成长性赛道，国产企业大有可为

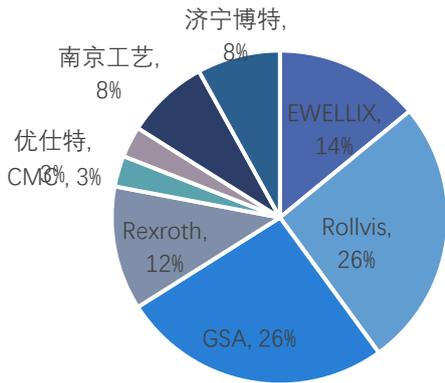
2023 年全球行星滚柱丝杠市场规模约 3 亿美元，增速快于滚珠丝杠。根据 Persistence 数据，全球行星滚柱丝杠市场规模约 3 亿美元，预计到 2033 年市场规模将达到 5.6 亿美元，复合增速约为 6.4%。在应用场景上，目前行星滚柱丝杠主要应用在钢铁制造业、自动化市场、航空航天等领域。

图表 30：全球行星滚柱丝杠市场规模



资料来源：Persistence，信达证券研发中心

行星滚柱丝杠市场国产厂商潜在空间大。参考王有雪的《E 公司滚柱丝杠产品营销策略研究》，国内行星滚柱丝杠市场目前以 EWELLIX 公司（瑞典）、Rollvis（瑞士）、GSA（瑞士）、Rexroth（德国）、CMC（美国）、南京工艺（中国大陆）、济宁博特（中国大陆）、优仕特（中国台湾）为主。除这些品牌外，Moog（美国）、Power Jacks（英国）等也具备生产滚柱丝杠的能力。中国大陆厂商南京工艺、济宁博特在产品性能上与境外头部厂商仍有差距，未来有望通过提升产品性能提高市占率。

图表 31：2022 年行星滚柱丝杠国内市场份额占比


资料来源：王有雪《E 公司滚柱丝杠产品营销策略研究》，信达证券研发中心

图表 32：行星滚柱丝杠企业对比情况

	南京工艺	GSA AG	Boach Rexroth	EWELLIX
产品品类	<ul style="list-style-type: none"> 行星滚柱丝杠副 循环滚柱丝杠副 	<ul style="list-style-type: none"> 滚柱非循环式(RGT系列和RGTB系列) 滚柱循环式(IRGT系列) 反转行星滚柱丝杠(RGTI系列) 	未给出	<ul style="list-style-type: none"> 超大功率行星滚柱丝杠(HR型) 反转式行星滚柱丝杠(ISR型) 旋转螺母行星滚柱丝杠(SRR型) 标准式行星滚柱丝杠(SR型)
下游应用	<ul style="list-style-type: none"> 注塑 压力机床 钢铁工业 军用装备 核工业 	<ul style="list-style-type: none"> 数控机床 工业机器人 航空(飞机/直升机) 航天(卫星) 武器(坦克) 冶金设备 汽车工业 伺服电动缸 	<ul style="list-style-type: none"> 伺服电动缸 机床 医疗设备 	<ul style="list-style-type: none"> 塑料成型 机电压力机 石油、天然气行业 铁路 太空望远镜

资料来源：南京工艺，中国供应商，爱采购，信达证券研发中心

国内企业行星滚柱丝杠产品布局较为稀缺，且在导程精度、最大动载荷、最大静载荷等性能方面与国外同规格产品存在差距。在导程精度方面，国外领先企业载导程精度方面能够实现 G1-G5 全覆盖，而国内缺乏能够达到这一标准的企业；在最大动载荷、最大静载荷方面，国内的行星滚柱丝杠产品显著低于国外同规格产品，而承载能力是行星滚柱丝杠的重要性能之一，亟需我国实现核心技术创新。

图表 33：行星滚柱丝杠全球市场分布情况

厂商名称	导程精度	极限速度	最大动载荷	最大静载荷	尺寸范围
南京工艺	未给出	未给出	123.28KN	177.28KN	公称直径18-60mm
GSA AG	G1-G5全覆盖	4700rpm	168.9KN	246.9KN	公称直径20-63mm
EWELLIX	G1-G5全覆盖	未给出	133KN	197KN	公称直径8-64mm

注：以 $d_0=30\text{mm}$ 为基准作为同规格对比产品。

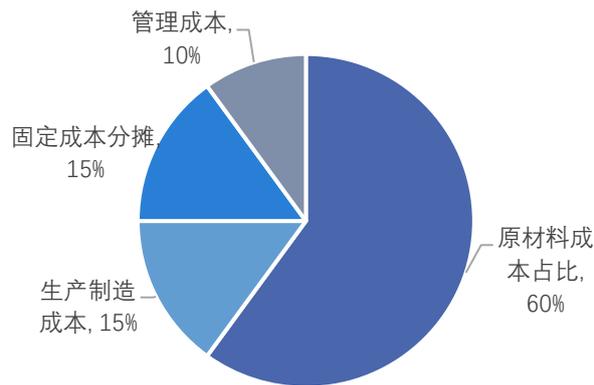
资料来源：各公司官网，信达证券研发中心

图表 34：国内企业行星滚柱丝杠产品布局

公司名称	相关布局
鼎智科技	公司在微型行星滚柱丝杠的研发与生产上已有里程碑式达成。近期人形机器人、精密机床等行业的发展带动了国内企业在行星滚柱丝杠方面的投入。
恒立液压	公司进行线性驱动器项目建设，已具备 750 根行星滚柱丝杠电动缸的生产能力。
贝斯特	公司设立全资子公司宇华精机，充分利用现有资源，全面布局直线滚动功能部件，瞄准高端机床领域、半导体装备产业、自动化产业三大市场进行大力开拓。
新剑传动	新剑传动是具备滚珠丝杠、行星滚柱丝杠产品大批量生产能力的企业，年产能超过 350 万套，成功应用于汽车底盘 EMB 制动系统和人形机器人线形驱动。
南京工艺	公司具备生产行星滚柱丝杠产品的能力。以 $d_o=30\text{mm}$ 为基准，其行星滚柱丝杠产品最大动载荷可达 123.28KN，最大静载荷可达 177.28KN。

资料来源：鼎智科技公告，恒立液压公告，贝斯特 2022 年年报，新剑传动公告，南京工艺官网，信达证券研发中心

行星滚柱丝杠核心成本是原材料成本。参考王有雪的《E 公司滚柱丝杠产品营销策略研究》，EWELLIX 公司行星滚柱丝杠在国内成本构成为：原材料成本占 60%，生产制造成本占 15%，固定成本分摊为 15%，管理成本占 10%。

图表 35：行星滚柱丝杠成本构成


资料来源：王有雪《E 公司滚柱丝杠产品营销策略研究》，信达证券研发中心

三、人形机器人打开成长空间，国产企业已露锋芒

3.1 人形机器人催化，行业成长空间明显

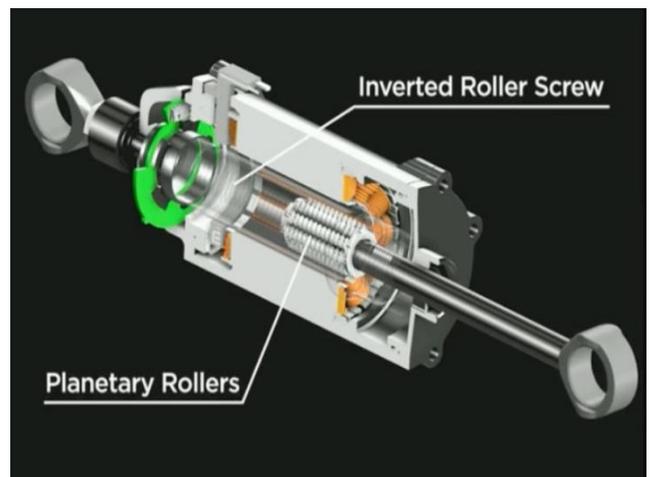
人形机器人有望打开滚珠丝杠、行星滚柱丝杠市场空间。在2022年特斯拉AI DAY中，Optimus展示的线性执行器采用反式行星滚柱丝杠，反式行星滚柱丝杠的主要优势是承载力强。我们考虑到机器人部分执行器对承载力没有太高需求，同时反式行星滚柱丝杠价格较贵，可能会更换为滚珠丝杠或者滑动丝杠。若大规模使用后，相关丝杠成本降低为千元/个左右，则100万人形机器人对应市场空间为140亿元。

图表 36: Optimus 线性执行器能拉动钢琴



资料来源：砍柴网，Tesla AI Day，信达证券研发中心

图表 37: 特斯拉 Optimus 采用反式行星滚柱丝杠



资料来源：Tesla AI Day，信达证券研发中心

3.2 国产企业加速布局，国产替代浪潮已至

3.2.1 汇川技术：收购韩国 SBC，加码精密传动领域布局

汇川技术创立于2003年，专注“信息层、控制层、驱动层、执行层、传感层”核心技术，专注于工业自动化控制产品的研发、生产和销售，定位服务于高端设备制造商。汇川技术机械传动业务开始于2016年收购的具有日资背景的海莱恩精密机床附件有限公司，产品包括：精密滚珠丝杠、滚珠花键、单轴机器人等，围绕“高承载、机械组合、机电耦合”打造产品优势，在注塑机、机器人等行业国内市场占有率居于领先地位。

2023年5月，汇川技术正式完成对韩国 SBC Linear Co., Ltd.（简称“SBC”）的收购。SBC是韩国本土最早开发线性导轨产品并量产的精密功能部件制造企业，主要产品包括滚珠直线导轨、滚柱直线导轨、轧制丝杠和搬运用滑轨，在精度保持性、噪声、刚性等指标居于行业前列。此次收购新增了精密直线导轨产品线，“汇川精密丝杠+SBC直线导轨”将强化汇川技术的多产品组合方案能力，助力汇川技术成为领先的精密机械传动产品及解决方案供应商。

图表 38：SBC 公司产品结构图


资料来源：汇川技术微信公众号，信达证券研发中心

3.2.2 长盛轴承：自润滑轴承龙头，滚珠丝杠业务成长可期

长盛轴承是国内领先的自润滑轴承企业。始创于 1995 年，公司主要产品包括双金属自润滑轴承、金属塑料自润滑轴承、金属基自润滑轴承、塑料自润滑轴承等，实现半数左右出口，主要应用于汽车、工程机械、农业机械、轻工机械、大型施工机械、航空航天、高速列车、高精数控机床、核电等领域。公司拥有省级研究院，具有较强的自主创新能力，是行业标准的主要制定者之一。

进一步满足市场需求，扩产滚珠丝杠。公司建设自润滑轴承技改扩产项目，项目达产后，将形成年产 16,000 万套金属塑料聚合物自润滑轴承、100 万套金属基自润滑轴承、400 万套双金属边界润滑轴承、200 万套高性能自润滑平面滑动轴承、3 万套滚珠丝杠的生产能力。

图表 39：长盛轴承 2022 年 9 月定增项目

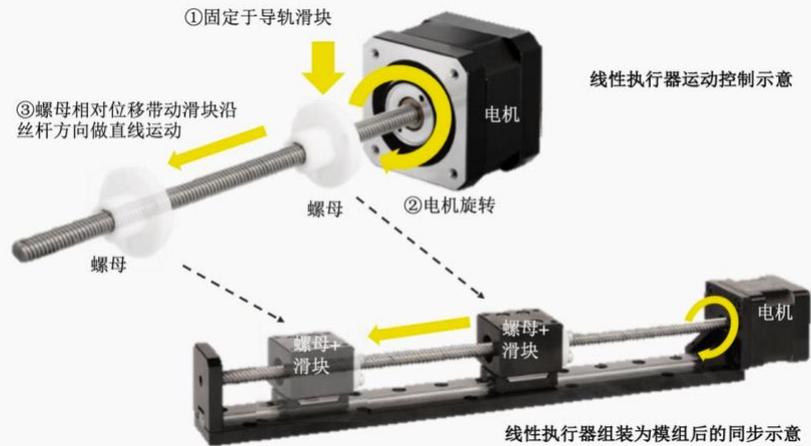
项目名称	投资总额（万元）	拟使用募集资金金额（万元）
扩建年产自润滑轴承 16.700 万套、滚珠丝杠 3 万套项目	26,540.19	20,500.00
新建年产 14.000 套风力发电自润滑轴承项目	13,116.92	9,600.00
研究院建设项目	3,026.00	2,500.00
补充流动资金	12,000.00	12,000.00
合计	54,683.11	44,600.00

资料来源：长盛轴承公告，信达证券研发中心

3.2.3 鼎智科技：微特电机头部企业，精密运控领域持续成长

国内领先的定制化精密运动控制解决方案提供商。鼎智科技成立于 2008 年，形成了以步进电机为基础的精密运动控制系列产品，主要包括线性执行器、混合式步进电机、直流电机、音圈电机及其组件等产品。产品广泛使用于医疗诊断设备、生命科学仪器、实验室自动化、机器人、流体控制、半导体及精密电子生产设备，各类工业自动化设备。

公司线性执行器为行业领先产品，成功研发丝杠制造核心技术。鼎智科技依托常州市智能驱动组件工程技术研究中心，独立设计 T 型丝杆的牙形及滚压轮，采用先进滚压设备和生产工艺，丝杆精度、光洁度及传动效率等性能优异。公司已成功研发丝杆滚轧技术、螺纹一体注塑技术等多项核心技术，并积极推动技术成果转化。公司的线性执行器在迈瑞医疗、深圳新产业、美国 IDEXX、美国 Adaptas、韩国三星等企业产品中得到应用。

图表 40：鼎智科技线性执行器产品


资料来源：鼎智科技招股说明书，信达证券研发中心

3.2.4 五洲新春：多业务协同发展，看好丝杠领域布局

五洲新春是国内轴承行业进口替代最具实力的企业之一，是一家集研发、制造和服务为一体的综合型企业集团。公司主营业务为轴承、精密机械零部件和汽车安全系统、热管理系统零部件的研发、生产和销售，为主机客户提供行业领先的解决方案和高效保障。公司为国内少数涵盖精密锻造、制管、冷成形、机加工、热处理、磨加工、装配的轴承、精密零部件全产业链企业。

利用轴承底层技术，增加丝杠产能。公司密切关注新能源车丝杠螺母单元应用的大趋势，凭借全产业链的优势，已经研发成功新能源汽车电子助力转向系统（EPS）中控制精度最高的齿条式电动助力转向系统（REPS）所需的丝杠螺母轴承组件，公司预计 2023 年将形成批量生产。

3.2.5 恒立液压：国产液压件龙头，看好电动化布局发展

国内领先、国际一流的国产液压龙头企业。恒立液压成立于 2005 年，从液压油缸制造发展成为集液压元件、精密铸件、液压系统等产业于一体的大型综合性企业，先后建立了恒立油缸、恒立铸件、恒立液压等多个产业制造基地。公司先后收购上海立新液压、德国 InLine 液压等品牌企业，不断开拓国际市场。

具备精密加工制造能力，具备生产滚珠丝杠的技术工艺和设备基础。公司掌握高精密液压铸造技术、摩擦焊接技术、热处理技术等精密加工制造工艺，并且是全球范围内少数拥有自制铸件厂的液压件企业之一，为滚珠丝杠产品的加工生产奠定了良好的生产基础。2021 年公司定增拟募集资金 50 亿元，其中 14 亿用于线性驱动器项目，该项目达产后将形成年产 104,000 根标准滚珠丝杠电动缸、4,500 根重载滚珠丝杠电动缸、750 根行星滚柱丝杠电动缸、100,000 米标准滚珠丝杠和 100,000 米重载滚珠丝杠的生产能力。

3.2.6 秦川机床：机床老兵，定增开启新征程

秦川机床是中国机床工具行业品类最多、精密复杂程度最高、产业链最完整的企业之一，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。公司立足机床工具行业，建有国家级企业技术中心、院士专家工作站、博士后科研工作站，在齿轮加工机床、加工中心、车削中心、螺纹磨床、复杂刀具等领域处于国内第一梯队。

集团公司旗下汉江机床是国内螺纹磨床主导企业。公司产品以滚动功能部件为主，包括滚珠丝杠副、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

和精密零部件等。公司拥有省级滚动功能部件研究所，具备规格、数量、精度齐全的滚动功能部件加工设备 1299 台（其中金属切削设备 800 多台）和行业先进的螺纹检测仪器、滚动直线导轨综合精度检测仪，具备年产各类滚珠丝杠 20 万副、滚珠直线导轨 10 万米的生产能力。用户领域涵盖机床工具制造、铁路、矿山冶金、石油化工、汽车、通用机械及 IT 等行业。

定增扩产滚珠丝杠，有望为营收提供新增量。公司发布定增方案，拟投资 2 亿元用于滚珠丝杠副、滚珠（柱）导轨副数字化车间建设，计划增加滚珠丝杠/精密螺杆副产能 28 万件/年、滑动直线导轨产能 13 万米/年、配套的螺母及滑块产能 30 万件/年及 26 万件/年。

图表 41：秦川机床“新能源汽车领域滚动功能部件研发与产业化建设项目”概况

项目名称	新能源汽车领域滚动功能部件研发与产业化建设项目
项目总投资	20,000.00 万元
拟使用募集资金投入金额	18,000.00 万元
项目建设主体	陕西汉江机床有限公司
项目建设期	36 个月
建设内容	滚珠丝杠副、滚珠（柱）导轨副数字化车间建设

资料来源：秦川机床公告，信达证券研发中心

四、投资建议

滚珠丝杠和行星滚柱丝杠下游应用较为广阔，国产化率较低。我们认为人形机器人有望拉动精密丝杠市场快速增长，国内品牌崛起蓄势待发，具有精密加工和较强研发能力的国内企业有望核心受益。推荐工控龙头**汇川技术**；建议关注国内自润滑龙头企业**长盛轴承**，微特电机头部企业**鼎智科技**，轴承领军企业**五洲新春**，恒立液压和秦川机床。

图表 42：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	63.73	854.5	2.02	2.42	2.91	31.54	26.29	21.93
鼎智科技	873593.BJ	79.90	38.4	2.69	3.6	4.73	29.7	22.37	16.9
秦川机床	000837.SZ	12.24	123.6	0.32	0.43	0.56	37.91	28.32	21.72
汇川技术	300124.SZ	66.65	1,774.7	1.94	2.5	3.17	34.3	26.46	21.0
五洲新春	603667.SH	14.69	54.2	0.62	0.89	1.16	23.76	16.44	12.65
长盛轴承	300718.SZ	18.38	54.9	0.80	1.0	1.31	23.1	18.04	14.0

资料来源：Wind，信达证券研发中心

备注：股价为 8 月 23 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

五、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。