

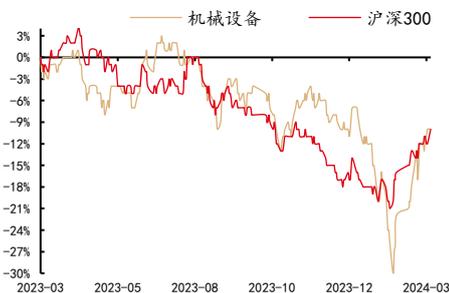
行业投资评级

强于大市|维持

行业基本情况

收盘点位	1399.15
52周最高	1594.48
52周最低	1090.08

行业相对指数表现(相对值)



资料来源：聚源，中邮证券研究所

研究所

分析师:刘卓  
SAC 登记编号:S1340522110001  
Email:liuzhuo@cnpsec.com  
研究助理:傅昌鑫  
SAC 登记编号:S1340123050006  
Email:fuchangxin@cnpsec.com

近期研究报告

《谐波减速器——机器人轻负载关节的核心传动部件》 - 2024.02.26

丝杠及设备—高价值量的核心传动部件

● 投资要点

丝杠是高价值量的传动核心，人形机器人带来新增长空间。人形机器人主要应用滚柱丝杠及梯形丝杠，有望推动产品迅速降本及市场规模成长。单台人形机器人可能使用到4个梯形丝杠及10个行星滚柱丝杠，预计2026E/2028E当人形机器人产量突破10/100万台时，梯形丝杠的增量市场规模为2.83/29.83亿元，行星滚柱丝杠的增量市场规模为104.63/399.63亿元。

梯形丝杠制造工艺较为简单，技术水平成熟，但产品精度及效率较低。滚柱丝杠性能更优、使用寿命长、体积小，但加工工艺壁垒较高，市场空间有待成长。行星滚柱丝杠产品目前主要有五种形式，其中特斯拉Optimus中采用的是反向式。行星滚柱丝杠主要集中于欧洲、美国、日本等，国内企业起步较为落后，目前主要仍依赖海外进口。中国大陆厂商在产品布局上有所空缺，在产品性能上与海外头部厂商仍有差距，未来有望随着人形机器人产业链的国产化，在实践中不断进步。

材料端，符合差异特性要求的合金调制钢为高端市场壁垒。国产丝杠原材料与国外同类产品性能存在差距，特种钢质量及产能或成为瓶颈；加工端，螺纹加工的精度决定产品最终品质。螺纹滚柱是传动的关键部分，成形加工工艺和产品质量直接决定行星滚柱丝杠的性能，螺纹切割的精度和表面热处理的退火工艺为加工难点；服务端，售后故障类型复杂、配套装配及检修服务不完备。

制造设备厂商存在发展机遇。一)精密磨床：制造高精度丝杠产品的关键设备。磨削加工精度极高，显著优于车、铣等。我国磨床进出口贸易逆差呈现逐年缩小态势。德国、日本等在高端磨床领域掌握话语权，国内厂商产品主要偏中低端，市场占有率较低。二)冷锻设备：降本增效的金属冷成型新工艺。冷锻是一种在常温下施加压力来改变金属材料形状的金属加工方法。目前冷锻已经在汽车、航空航天、石油天然气等领域得以应用。冷锻技术的主要优势在于高强度、优异的表面质量、节约能源、提高材料的机械性能。冷锻工艺可以替代行星滚柱丝杠制造过程中粗加工的车铣削环节，从而实现降本增效。冷锻成形技术整体供应链涉及材料、模具、设备、产品全流程，未来随着通用人形机器人所需丝杠拉动需求后，能够快速转化出产能的设备公司有望深度受益。三)旋风铣床：旋风硬铣工艺兼顾加工效率及产品精度。旋风硬铣具备诸多相较于传统切削加工的优势，甚至能够一定程度替代磨削加工。减少切削产生的热量，提高加工精度与表面质量，提高切削速度，提高生产率，降低加工成本，代替电火花加工、磨削加工工艺。旋风硬铣削技术早期在国外发展，逐步引入国内，实现了对于加工效率及产品精度的兼顾。

---

产业链相关标的：

秦川机床、贝斯特、恒立液压、鼎智科技、五洲新春、华辰装备、日发精机、宇环数控、浙海德曼、沃尔德、国机精工

● 风险提示：

人形机器人规模化不及预期风险；行星滚柱丝杠降本不达预期风险；人形机器人产业竞争加剧风险；生产设备技术突破受阻风险。

## 目录

1 丝杠——人形机器人高价值量的传动核心 .....	5
1.1 人形机器人带来丝杠新增长空间 .....	5
1.2 梯形丝杠和滚柱丝杠 .....	6
1.3 行星滚柱丝杠市场格局及行业规模 .....	9
2 行星滚柱丝杠的生产制造壁垒：加工工艺是重难点 .....	11
2.1 材料端，符合差异特性要求的合金调制钢为高端市场壁垒 .....	11
2.2 加工端，螺纹加工的精度决定产品最终品质 .....	12
2.3 服务端，售后故障类型复杂、配套装配及检修服务不完备 .....	14
3 制造设备厂商存在发展机遇 .....	14
3.1 精密磨床：制造高精度丝杠产品的关键设备 .....	15
3.2 冷锻设备：降本增效的金属冷成型新工艺 .....	18
3.3 旋风铣床：旋风硬铣工艺兼顾加工效率及产品精度 .....	20
4 产业链相关标的 .....	22
5 风险提示 .....	27

## 图表目录

图表 1: 丝杠在人形机器人上的应用 .....	5
图表 2: 2024E-2030E 人形机器人市场对丝杠产品需求空间预测 .....	6
图表 3: 梯形丝杠和滚柱丝杠产品对比 .....	6
图表 4: 梯形丝杠实物图 .....	7
图表 5: 30 度梯形丝杠的螺纹形状示意图 .....	7
图表 6: 行星滚柱丝杠外观及内部结构图示 .....	8
图表 7: 常见行星滚柱丝杠类型的技术参数 .....	8
图表 8: 全球代表性行星滚柱丝杠企业区域图 .....	9
图表 9: 2022 年国内行星滚柱丝杠市场格局 .....	10
图表 10: 2019-2023E 全球滚柱丝杠市场规模 (亿美元) .....	10
图表 11: 全代表性行星滚柱丝杠企业及其产品 .....	11
图表 12: 行星滚柱丝杠加工工序 .....	12
图表 13: 精密行星滚柱丝杠副行程误差的影响因素 .....	13
图表 14: 行星滚柱丝杠不同部位热处理方法 .....	14
图表 15: 磨床的细分种类及作用 .....	15
图表 16: 各类机加工能够达到的公差精度等级 .....	16
图表 17: 磨削加工的等级、参数和适用情况 .....	16
图表 18: 2020-2023 年我国磨床产品进口额 (亿元) .....	17
图表 19: 2020-2023 年我国磨床产品出口额 (亿元) .....	17
图表 20: 磨床行业竞争格局情况 .....	17
图表 21: 滚柱冷滚压成形过程 .....	19
图表 22: 螺纹平均生产率对比曲线 .....	19
图表 23: 冷锻工艺产业链相关上市公司 .....	20
图表 24: 旋风硬铣削加工原理图 .....	21
图表 25: 旋风铣床结构示意图 .....	21
图表 26: 汉江机床厂自主研发的 HJ092 旋风机床 .....	22
图表 27: 高刚度精密定位旋风铣刀盘 .....	22
图表 28: 秦川机床子公司汉江机床可提供多种滚动功能部件设备, 螺纹磨床领域技术强劲 .....	23
图表 29: 华辰装备官网展示的精密螺纹磨床系列产品 .....	24
图表 30: 五轴数控多面磨削 (抛光) 机 .....	26
图表 31: 数控定梁龙门导轨磨床 .....	26

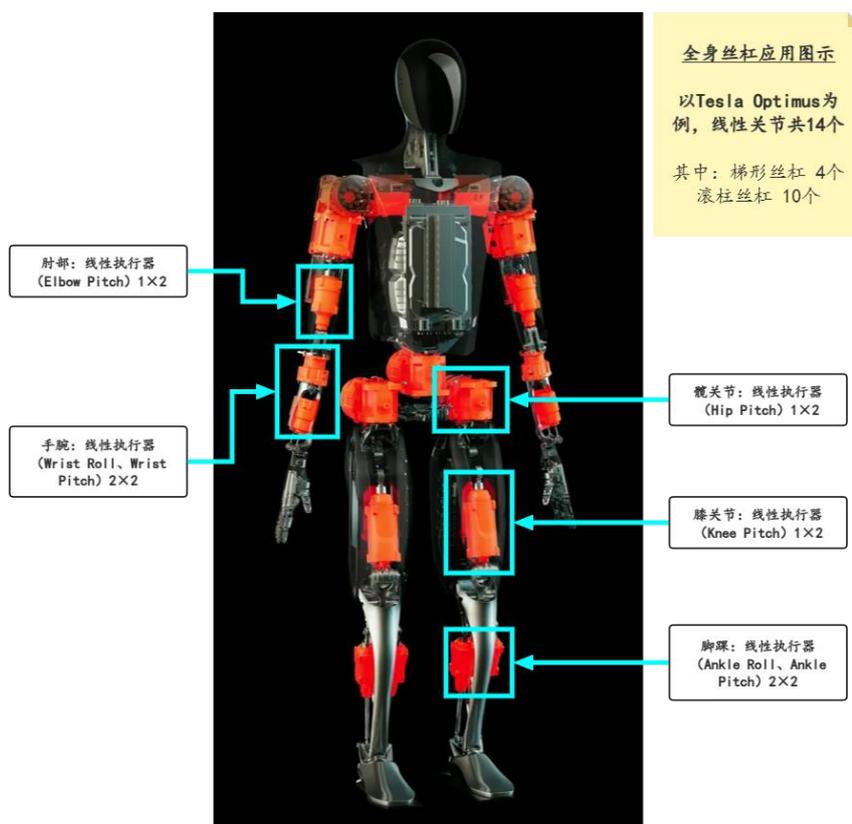
## 1 丝杠——人形机器人高价值量的传动核心

### 1.1 人形机器人带来丝杠新增长空间

丝杠是将旋转运动转换成线性运动，或将扭矩转换成轴向反复作用力的传动零件，同时兼具高精度、可逆性和高效率的特点。其广泛应用于数控机床、制造设备、机器人、精密仪器等领域的传动控制系统之中。根据摩擦特性不同，可以将丝杠分为滑动丝杠、滚动丝杠和静压丝杠，其中滚动丝杠又可分为滚珠丝杠和滚柱丝杠。

人形机器人带来丝杠的新增长空间。丝杠产品在原有数控机床、设备、航空航天等领域已经得到广泛应用，而在人形机器人中也有不少厂商采取了包含丝杠的执行器方案。特斯拉 Optimus 全身 14 个线性执行器中，小臂部分安装的 4 个应用梯形丝杠，其余均使用滚柱丝杠。其他如上海开普勒探索机器人有限公司推出的先行者系列产品，同样采用了自研的行星滚柱丝杠执行器。

图表1：丝杠在人形机器人上的应用



资料来源：Tesla AI Day 2022，中邮证券研究所

人形机器人主要应用滚柱丝杠及梯形丝杠，有望推动产品迅速降本及市场规模成长。我们大致估计单台人形机器人可能搭载 14 个线性执行器，其中需要使用到 4 个梯形丝杠及 10 个行星滚柱丝杠，后续可能随着人形机器人规模上量、降本需求进一步提升而减少单台使用量，对于手臂区域，可能考虑使用 2 个梯形丝杠在负载及精度要求较低的手肘部替换原本的滚柱丝杠方案，进一步降低成本。结合此前系列报告中对于人形机器人总需求的预测数据，可得人形机器人量产后有望推动两类丝杠产品迅速降本及市场规模成长，预计 2026E/2028E 当人形机器人产量突破 10/100 万台时，梯形丝杠的增量市场规模为 2.83/29.83 亿元，行星滚柱丝杠的增量市场规模为 104.63/399.63 亿元。

图表2：2024E-2030E 人形机器人市场对丝杠产品需求空间预测

	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
全球人形机器人总需求 (万台)	1.00	2.30	10.90	58.86	106.19	188.55	362.16
全球人形机器人渗透率 (台/万人)	0.0126	0.0286	0.1340	0.7154	1.2761	2.2401	4.2547
梯形丝杠单价 (元/支)	800	720	648	551	468	398	338
-单台机器人用量(支)	4	4	4	6	6	6	6
-单台机器人价值量 (元/台)	3200	2880	2592	3305	2809	2388	2030
行星滚柱丝杠单价 (元/支)	15000	12000	9600	6720	4704	3763	3011
-单台机器人用量 (支)	10	10	10	8	8	8	8
-单台机器人价值量 (元/台)	150000	120000	96000	53760	37632	30106	24084
梯形丝杠增量市场规模 (亿元)	0.32	0.66	2.83	19.45	29.83	45.02	73.50
行星滚柱丝杠增量市场规模 (亿元)	15.00	27.56	104.63	316.41	399.63	567.65	872.24

资料来源：中邮证券研究所

## 1.2 梯形丝杠和滚柱丝杠

梯形丝杠和滚柱丝杠是未来有可能应用在主流通用人形机器人上的两种产品，针对两者差异可以简单梳理成以下表格：

图表3：梯形丝杠和滚柱丝杠产品对比

	梯形丝杠	滚柱丝杠
传动效率	低，仅 24%-26%	较高，摩擦力较小时可达 90%
摩擦	滑动摩擦发热严重，一般转速不超过 3000RPS	线接触滚动摩擦热效应小且承载力强，转速可达 6000RPS
导程精度	低，品质参差不齐	高，可通过调整螺纹头数等因嘉使导程达到微米级
使用寿命	短，滑动摩擦对元器件的损伤大	很长，显著高于滚珠丝杠，荷载运动可达 1000 万次以上
传动精度	难以实现微进给，存在爬行现象，螺纹间有侧向间隙，反向时有空行程	传动无间隙，无爬行，运转平稳，传动精度高

价格区间	几百到上千，有定制化需求会更高	全球头部公司产品单价在 1-2 万
国产化率	充分	处于起步阶段
应用领域	普通机床和升降机等工业设备	汽车、石油天然气、医疗器械到光学仪器、工程机械、机器人、自动化和机床设备等高端场景

资料来源：观研天下，《机械设计手册》第六版（成大先），米思米，供应商网，中邮证券研究所

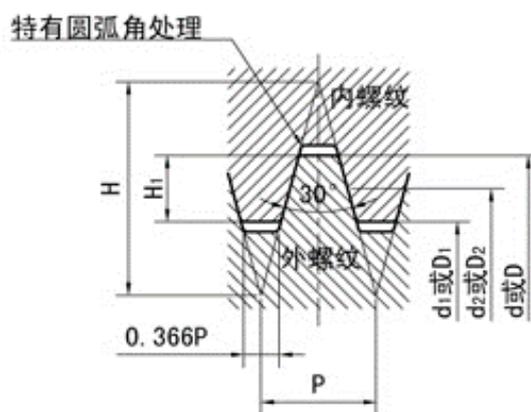
**梯形丝杠制造工艺较为简单，技术水平成熟，但产品精度及效率较低。**梯形丝杠是一种滑动丝杠，应用于滑动丝杠的螺纹通常为梯形、锯齿形及矩形三种，梯形丝杠应用最广（常见标准型为 30 度梯形丝杠），锯齿形主要用于单向受力，矩形螺纹虽然在滑动丝杠中传动效率相对较高，单加工较困难且强度较低，应用较少。梯形丝杠主要用于传动和位置调整装置中，虽然有摩擦力较大、传动效率较低、相对磨损较快等缺点，但同时又具有成本低、承载力大、结构紧凑简单能够自锁等优点，故而广泛应用于各种普通机床和升降机等工业设备。

图表4：梯形丝杠实物图



资料来源：博特精工，中邮证券研究所

图表5：30度梯形丝杠的螺纹形状示意图



资料来源：上隆自动化零件商城，中邮证券研究所

梯形丝杠的加工工艺原本主要采用车削加工，工艺路线为：冷拔→滚花→车螺纹→校正→钻孔→切断→倒角，整体技术简单，工艺路线成熟，但效率较低、成本较高，且由于材料刚度低，车削、滚花时易变形，小号螺轮无法生产。目前多使用旋风铣削工艺代替车削工艺，将铣丝、滚花一次性完成，工艺路线变为冷拔→滚花、铣丝→校正→钻孔、切断→倒角，改进后减少了由切削力引起的振动，表面粗糙度也减小了。

**滚柱丝杠性能更优、使用寿命长、体积小，但加工工艺壁垒较高，市场空间有待成长。**行星滚柱丝杠是将旋转运动转化为直线运动，传动单元为丝杠及螺母之间的滚柱，与滚珠丝杠的主要区别是负载的传递单元使用螺纹滚柱而不是滚珠。区别于滚珠丝杠：1) 行星滚柱丝杠由于高数量的接触点，能够承受更高的静态负载和动态负载，静载为滚珠丝杠的 3 倍，寿命为滚珠丝杠的 15 倍；2) 大量的接触点和接触点的几何结构使行星丝杠比滚珠丝杠具有更强的刚度和抗冲击能

力，同时也可以提供更高的转速及更大的加速度；3) 行星滚柱丝杠为螺纹传动，螺距设计范围更广，行星滚柱丝杠的导程可以设计的比滚珠丝杠更小。总的来说，行星滚柱丝杠与滚珠丝杠结构近似，在将传力元件替换为螺纹滚柱之后，其在传动平稳性、负载能力、转速及加速度、寿命等性能方面更具备优势。

图表6：行星滚柱丝杠外观及内部结构图示



资料来源：EWELLIX（左），苏州卓显创想（右），中邮证券研究所

行星滚柱丝杠产品目前主要有五种形式，其中特斯拉 Optimus 中采用的是反向式。五种形式分别为标准式、反向式、循环式、差动式和轴承环式。标准式行星滚柱丝杠是一种高精度大负载的设计，可以提供非常稳定的驱动扭矩，丝杠多应用于大负载，高速及高加速度应用；反向式行星滚柱丝杠，滚柱不沿丝杠进行轴向运动，其行程运动是在螺母的内螺纹，通过较小的导程实现更高的额定负载，从而降低驱动扭矩，使直接导向成为可能；循环式行星滚柱丝杠是循环滚柱设计，滚柱是导向在一个托架中，其运动方式由一套凸轮来控制，适用于高精度、中低速运行；差动式行星滚柱丝杠最大的特点是具备差动运动，可以获得比一般行星滚柱丝杠更小的导程，更适应高速重载的工作场合；轴承环式行星滚柱丝杠与循环式相同，为环槽结构，相比于标准式其螺母上去掉了内齿圈，增加了壳体、端盖及推力圆柱滚子轴承等部件，推力圆柱滚子轴承大大提高承载能力的同时也减小了各构件间的磨损，增大了传动效率。各类型产品具体参数情况如下表：

图表7：常见行星滚柱丝杠类型的技术参数

	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
规格	3.5x1—92x36 (丝杠中径 x 导程)	10.5x2—80x16 (丝杠中径 x 导程)	8x0.25—125x5 (丝杠中径 x 导程)	5x0.8—110x2.36 (丝杠中径 x 导程)
效率	80%—90%	70%—90%	60%—80%	60%—70%
导程精度	G1, G3, G5 (每 315mm 行程导程精度: 6um, 12um, 23um)	G1, G3, G5 (每 315mm 行程导程精度: 6um, 12um, 23um)	G1, G3, G5 (每 315mm 行程导程精度: 6um, 12um, 23um)	T3, T5, T7 (每 315mm 行程导程精度: 12um, 23um, 52um)

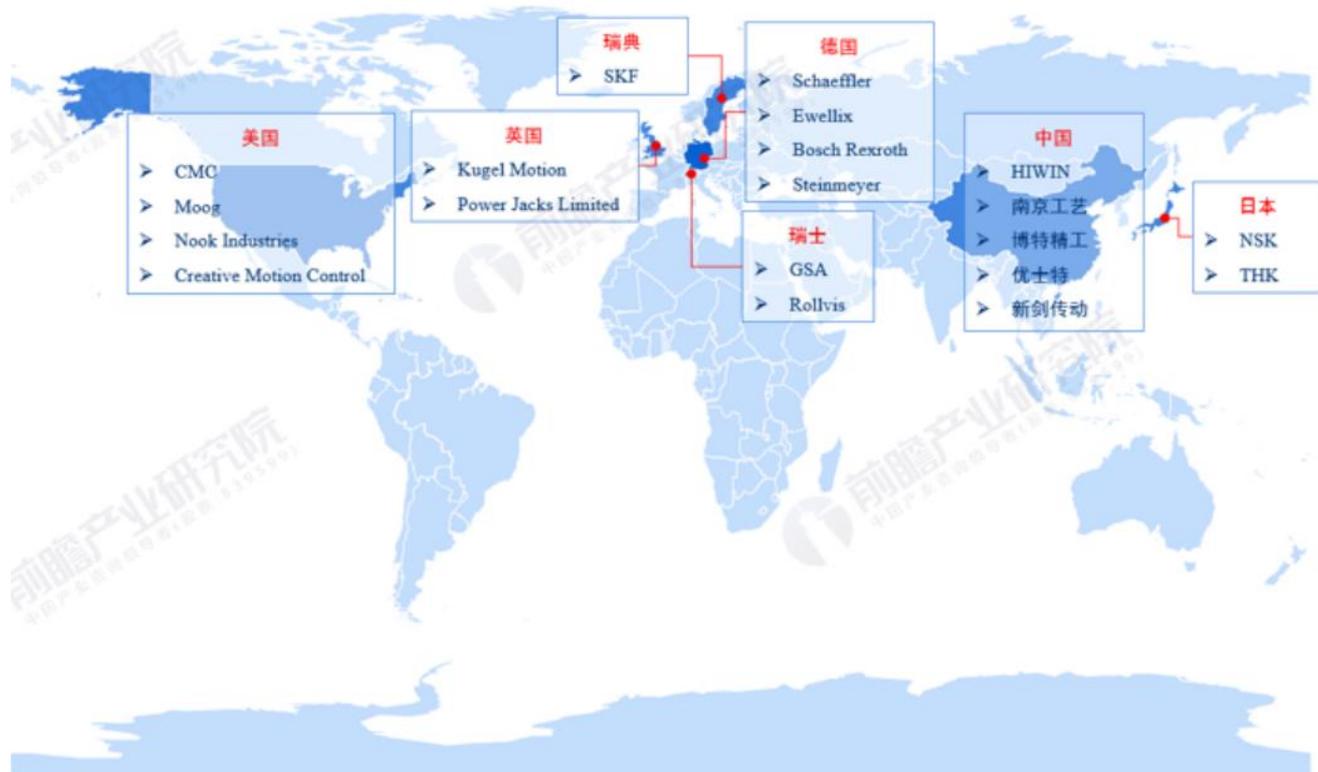
承载	静态承载：8.4KN-1898KN 动态承载：3.9KN-709KN	静态承载：20.8KN-1225KN 动态承载：13.4KN-559KN	静态承载：14.3KN-3972KN 动态承载：7.3KN-986KN	静态承载：10KN-1300KN 动态承载：8KN-550KN
转速	最高可达 12000 转/分	最高可达 10000 转/分	最高可达 10000 转/分	最高可达 14000 转/分
轴向间隙	0.02mm	0.02mm	0.02mm	-0.01mm(过盈预紧)

资料来源：新剑传动，中邮证券研究所

### 1.3 行星滚柱丝杠市场格局及行业规模

行星滚柱丝杠主要集中于欧洲、美国、日本等，国内企业起步较为落后，目前主要仍依赖海外进口。全球代表性的行星滚柱丝杠企业主要分布在欧洲的德国、瑞士、瑞典等地，例如德国的 Ewellix（目前为 Schaeffler 子公司）、瑞士的 GSA/Rollvis 等，美国企业主要有 CMC、Moog，日本企业主要有 NSK、THK 两家，国内则是以 HIWIN、南京工艺、博特精工等。

图表8：全球代表性行星滚柱丝杠企业区域图

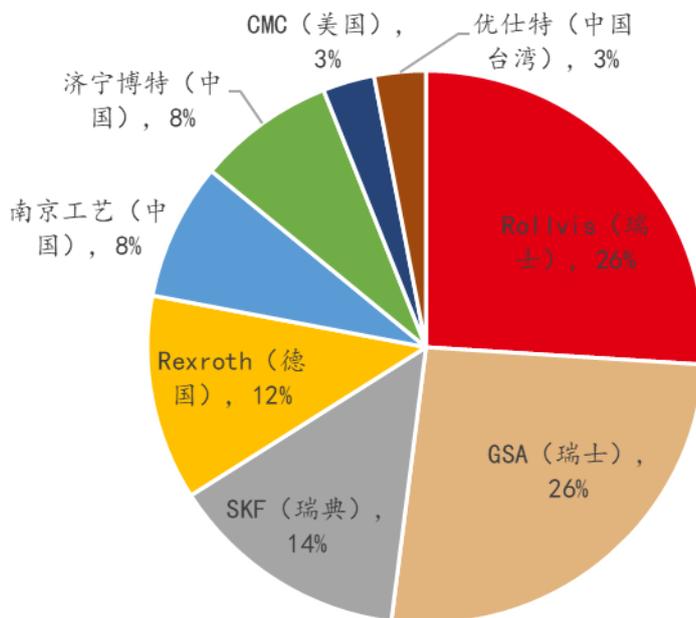


资料来源：前瞻产业研究院，中邮证券研究所

根据前瞻产业研究院引用的《E公司滚柱丝杠产品营销策略研究》(王有雪)数据，2022年国外行星滚柱丝杠龙头制造商 Rollvis、GSA 及 Ewellix 在中国市场的份额占比分别为 26%、26%、14%，中国本土行星滚柱丝杠厂商合计市场份额占比为 19%，其中以南京工艺、博特精工为代表，市场份额均为 8%，除此之外，

美国 Moog、英国 PowerJacks 等厂商也具备生产滚柱丝杠的能力。中国大陆厂商在产品性能上与海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。

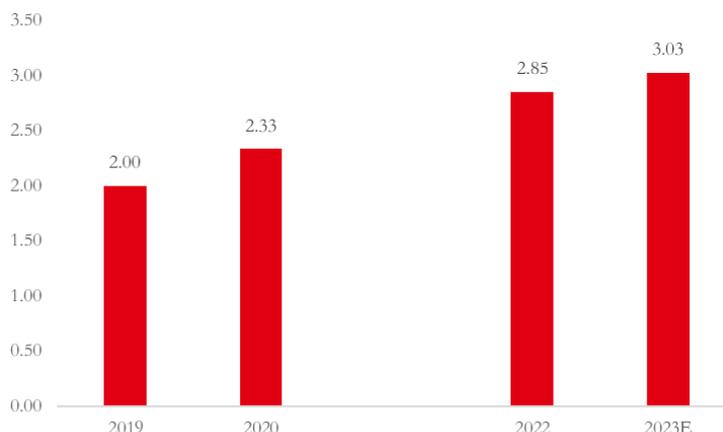
图表9：2022 年国内行星滚柱丝杠市场格局



资料来源：《E 公司滚柱丝杠产品营销策略研究》(王有雪)，中邮证券研究所

受限于制造工艺难度高，生产设备及原有市场需求有限，全球滚柱丝杠市场规模仅有近 3 亿美元。根据 Persistence Market Research 的统计数据，2022 年全球滚柱丝杠市场规模约为 2.85 亿美元，预计 2023 年增长至 3.03 亿美元，后续随着滚柱丝杠导入人形机器人产业链，市场规模有望大幅提升。

图表10：2019-2023E 全球滚柱丝杠市场规模（亿美元）



资料来源：Persistence Market Research，中邮证券研究所

备注：2021 年数据缺失

国内行星滚柱丝杠厂商产品布局有所空缺，性能方面与国外同规格产品存在一定差距。1942年瑞典发明家 Carl Bruno Strandgren 申请了循环式滚柱丝杠的专利，1954年他又申请了标准式和反向式行星滚柱丝杠的专利，从那以后，行星滚柱丝杠产品就在国外市场逐步得到发展。国内厂商整体起步较晚，目前已有后进者能够小规模生产，但性能参数方面与国外产品存在一定差距。未来随着人形机器人产业链的国产化，国内行星滚柱丝杠厂商有望在实践中不断进步。

图表11：全代表性行星滚柱丝杠企业及其产品

厂商	产品类型	精度水平	直径尺寸 mm	导程范围 mm	动载荷	静载荷	其他
Ewellix	标准式	G1-G5	8-240	2-50	高达 3994kN	高达 23387kN	高转速
	反向式		18-48	2.4-6	高达 259kN	高达 559kN	
	循环式		8-125	1-5	高达 756kN	高达 2270kN	
Rollvis	标准式	G1-G5	螺杆：3.5- 210 螺母：15-440	1-50	107kN	224.7kN	品类齐全
	反向式				(以 30×	(以 30×	
	循环式				5mm 产品	5mm 产品为	
	差分式				为例)	例)	
Rexroth	行星式	T5/T7/T 9	15-75	5-20			轧制工艺领先
南京工艺	行星式		螺杆：30.6- 61.5 螺母：97-180		106kN	174kN	
	循环式				(以 30×	(以 30×	
博特精工	行星式	G3-G5	螺杆：24-63 螺母：48-118	2-10	5mm 产品	5mm 产品为	
					为例)	例)	

资料来源：Ewellix，立鼎产业研究院，中邮证券研究所

## 2 行星滚柱丝杠的生产制造壁垒：加工工艺是重难点

### 2.1 材料端，符合差异特性要求的合金调制钢为高端市场壁垒

行星滚柱丝杠采用的钢材特性差异大，符合差异特性要求的合金调制钢为高端市场壁垒。国内标准行星滚柱丝杠材料绝大部分采用马氏体不锈钢，满足一般性强度、硬度和耐磨性要求，但高硬度与抗腐蚀度难以同时达成；而国外厂商以合金调制钢为原材料，具备较高的疲劳极限和抗多次冲击能力，以及良好的低温冲击韧性。

国产丝杠原材料与国外同类产品性能存在差距,特种钢质量及产能或成为瓶颈。据世界钢铁统计数据 2022 年度调查,中国大陆粗钢产量 101.3 千万吨,维持全球产量首位,但同年特种钢进口数据达到了 850 多万吨,说明了我国在特定场景所需的特种钢上无法自给自足。根据《国产 Cr/Mo 钢滚珠丝杠与国外同类产品的质量分析》(丁震,王倩等)分析可知,国产 Cr/Mo 钢滚珠丝杠与国外同类滚珠丝杠的显微组织对比可知,国产丝杠存在的带状偏析组织,是造成产品使用性能不佳的重要原因。带状组织具有显著的方向性,并且容易造成在变形过程中的应力集中,甚至出现裂纹。严重的带状组织往往伴随着品粒尺寸的不均匀,导致各部位的性能不一致,在发生变形时容易在品粒粗大的、脆弱的部位首先形成微裂纹,从而导致断裂。因此,带状组织是脆弱的部位,是裂纹萌生的敏感区域,有利于裂纹的形成及扩展,带状组织越严重,对塑韧性的危害就越大。此外,带状组织还会降低钢的力学性能、切削性能和淬透性,使零件淬火变形倾向增大,强韧性降低。

## 2.2 加工端,螺纹加工的精度决定产品最终品质

图表12: 行星滚柱丝杠加工工序

步骤	工序	步骤	工序
1	丝杠毛坯	13	粗磨
2	预备热处理	14	探伤
3	校直	15	时效处理并检验
4	加工端面 and 中心孔	16	研中心孔
5	粗车	17	半精磨
6	高温时效并检验	18	低温时效并检验
7	加工端面 and 修中心孔	19	铣键槽
8	半精车	20	磨端部螺纹
9	铣	21	研中心孔
10	粗磨	22	精磨并全面检验
11	感应淬火并检验	23	入库
12	研中心孔		

资料来源:《精密行星滚柱丝杠副工艺制造与传动性能研究》(郑伟),中邮证券研究所

螺纹滚柱是传动的关键部分,成形加工工艺和产品质量直接决定行星滚柱丝杠的性能。当行星滚柱丝杠传动机构工作时,多个螺纹滚柱共同承受载荷,避免任何一个螺纹滚柱因承载过大而造成损伤失效。螺纹滚柱作为行星滚柱丝杠传动机构的关键部分,其成形加工工艺和产品质量直接决定行星滚柱丝杠传动机构的装配质量和性能。目前行星滚柱丝杠螺纹加工包含滚压法(属于锻压,含搓丝/滚丝)和切削法(含车削/铣削/磨削等)的方式,具体而言,车削、铣削、滚压

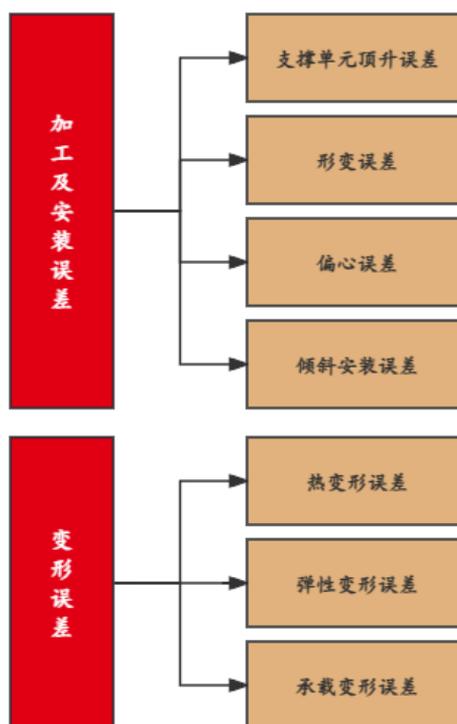
等一般用在前半粗加工部分，精加工部分则基本上无法避开磨削的环节，除了使用旋风硬铣削加工技术以整体代替切削+磨削的路径。

行星滚柱丝杠制造精度要求高，螺纹切割的精度和表面热处理的退火工艺为加工难点。丝杠螺纹的加工技术主要分为两种，一种是热加工粗坯件后先用车削和铣削进行粗加工，之后应用磨床磨削至尺寸和精度要求。由于热处理后丝杠硬度高，该方法的难点在于螺纹切割，报废率高将影响整体生产进度；另一种则是采用冷轧工艺直接将粗坯件加工至一定精度。

### 一、丝杠精度

行星滚柱丝杠副是通过螺纹啮合来实现精密传动，因此滚道表面粗糙度宜采用较高精度等级。同时，行星齿轮的齿形较小，为了保证行星滚柱丝杠副的装配精度，齿轮副也应采用较高加工精度等级。能够影响到精密行星滚柱丝杠副行程误差的因素主要有下图中几点：

图表13：精密行星滚柱丝杠副行程误差的影响因素



资料来源：《精密行星滚柱丝杠副行程误差影响因素试验研究》（郑伟），中邮证券研究所

根据《精密行星滚柱丝杠副行程误差影响因素试验研究》（郑伟）中的对比分析可知，加工工艺水平及安装精度对行星滚柱丝杠的行程误差指标有着重要影响。其中制造环节包括螺纹螺距、螺纹牙型、齿轮齿距、齿轮齿廓、制造偏心等误差，行星滚柱丝杠的性能需求对制造提出了非常高的精度条件。磨削是高精度

丝杠螺纹的主要加工方法，磨削的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，进而获得更高的精度，而磨削加工中最关键的设备就是提升丝杠精度的螺纹磨床。

## 二、表面热处理

热处理的作用是改善行星滚柱丝杠副各零件的材料性能、切削性能以及消除残余应力。热处理工艺可分为两大类：预备热处理和最终热处理。预备热处理的作用是改善丝杠切削性能、消除残余应力以及为最终热处理做准备，主要工艺包括调质、退火、正火、时效处理等；最终热处理的作用是提高螺纹的表面硬度以及耐磨性。

**图表14：行星滚柱丝杠不同部位热处理方法**

部位	热处理方法
丝杠表面	采用感应淬火，硬化层深度 1.5-2.0mm
螺母表面	采用渗碳淬火，硬化层深度 1.0-1.4mm
滚柱和内齿圈	整体进行调质处理，调质硬度 HB235，齿面氮化处理，齿面硬度不低于 HV600，硬化层深度 0.4-0.5mm

资料来源：《精密行星滚柱丝杠副工艺制造与传动性能研究》（郑伟），中邮证券研究所

由于技术设备落后、热处理工艺参数选择不当等原因，导致热处理质量较差、热处理后变形较大，行星滚柱丝杠副的主要损坏形式是接触疲劳磨损，不当的热处理工艺会使得其寿命降低。

### 2.3 服务端，售后故障类型复杂、配套装配及检修服务不完备

行星滚柱丝杠制造精密程度高，故障类型复杂，配套的装配、检修服务需及时到位。行星滚柱丝杠传动系统在机器中的使用非常频繁，其出现定位精度下降、轴承磨损、噪音过大等故障时需要及时修复。然而，行星滚柱丝杠制造精密程度高、加工技术难度大，非专业人士很难正确地判断故障原因并完成维护。这要求行星滚柱丝杠厂家提供可靠的装配、售后服务，并逐渐积累信用形成品牌效应。

## 3 制造设备厂商存在发展机遇

通过梳理行星滚柱丝杠的加工工序流程，我们可以大致归纳出目前可行的三条加工制造路径，一是车铣削（粗加工）+磨削（精加工），二是冷锻（粗加工）+磨削（精加工），三是在形状、精度要求不太高时，使用旋风铣工艺加工全程。

其中，车铣磨的路径是滚柱丝杠的传统生产方式，磨削基本上是产品精度要求较高的情况下必定需要的步骤，而冷锻和旋风铣工艺则是迅速降本增效的市场要求下产生的新可能性。

### 3.1 精密磨床：制造高精度丝杠产品的关键设备

磨床是利用磨具对工件表面进行磨削加工的机床。多数的磨床是使用高速旋转的砂轮进行磨削加工，少数会使用油石、砂带等其他磨具和游离磨料进行加工，如珩磨机、超精加工机床、砂带磨床、研磨机和抛光机等。磨床可以加工内外圆柱面、圆锥面、平面、齿轮齿廓面、螺旋面及各种成型面等各种表面，还可以刃磨刀具和切断，支持多种类型的工艺。磨削加工的加工精度比较高，主要用于零件精加工，尤其是淬硬钢件和高硬度特殊材料的精加工。

图表15：磨床的细分种类及作用

种类	用途
外圆磨床	普通型的基型系列，主要用于磨削圆柱形和圆锥形外表面的磨床。
内圆磨床	普通型的基型系列，主要用于磨削圆柱形和圆锥形内表面的磨床。此外，还有兼具内外圆磨的磨床，
坐标磨床	具有精密坐标定位装置的内圆磨床。
无心磨床	工件采用无心夹持，一般支承在导轮和托架之间，由导轮驱动工件旋转，主要用于磨削圆柱形表面的磨床，如轴承。
平面磨床	主要用于磨削工件平面的磨床。手摇磨床适用于较小尺寸及较高精度工件加工，可加工包括弧面、平面、槽等的各种异形工件；大水磨适用于较大工件的加工，加工精度不高，与手摇磨床相区别。
砂带磨床	用快速运动的砂带进行磨削的磨床。
珩磨机	主要用于加工各种圆柱形孔（包括光孔、轴向或径向间断表面孔、通孔、盲孔和多台阶孔），还能加工圆锥孔、椭圆形孔、余摆线孔。
研磨机	用于研磨工件平面或圆柱形内、外表面的磨床。
导轨磨床	主要用于磨削机床导轨面的磨床。
工具磨床	用于磨削工具的磨床。
多用磨床	用于磨削圆柱、圆锥形内、外表面或平面，并能用随动装置及附件磨削多种工件的磨床。
专用磨床	从事对某类零件进行磨削的专用机床。按其加工对象又可分为：花键轴磨床、曲轴磨床、凸轮磨床、齿轮磨床、螺纹磨床、曲线磨床等。
端面磨床	用于磨削齿轮端面的磨床。

资料来源：中邮证券研究所

磨削加工精度极高，显著优于车、铣等。磨削通常用于半精加工和精加工，精度可达 IT8~IT5 甚至更高，表面粗糙度一般磨削为 1.25~0.16 $\mu$ m。其中，精密磨削表面粗糙度为 0.16~0.04 $\mu$ m；超精密磨削表面粗糙度为 0.04~0.01 $\mu$ m；镜面磨削表面粗糙度可达 0.01 $\mu$ m 以下。

图表16：各类机加工能够达到的公差精度等级

加工方法	IT等级																	
	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
研磨	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
珩							■	■	■	■	■							
圆磨							■	■	■	■	■							
平磨							■	■	■	■	■							
金钢石磨							■	■	■	■	■							
金刚石镗							■	■	■	■	■							
拉削							■	■	■	■	■							
铰孔								■	■	■	■	■	■					
车									■	■	■	■	■	■				
镗									■	■	■	■	■	■				
铣										■	■	■	■	■				
刨插											■	■	■	■	■			
钻孔												■	■	■	■	■	■	
滚压、挤压													■	■	■	■	■	
冲压														■	■	■	■	■
压铸															■	■	■	■
粉末冶金成形																■	■	■
粉末冶金烧结																	■	■
砂型铸造、气割																		■
锻造																		■

资料来源：金属加工公众号，中邮证券研究所

磨削加工一般分为普通磨削、精密磨削、高精度磨削和超精密磨削。精密磨削依靠精密磨床的精度来保证，主要是通过对砂轮的精细修整，最终实现极低的表面粗糙度和极高的精度要求。超精密磨削的最大特点是高精度、高效率及低成本。

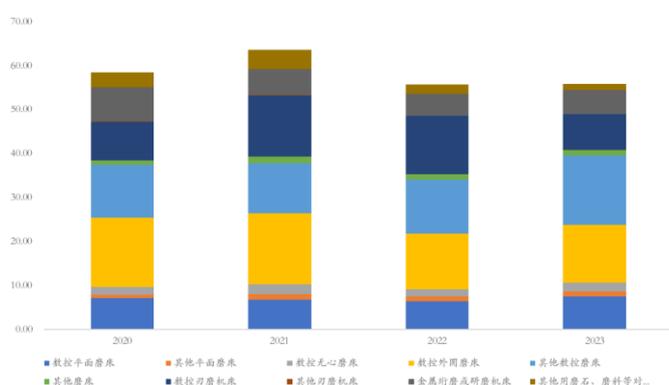
图表17：磨削加工的等级、参数和适用情况

相对磨削等级	加工精度/ $\mu\text{m}$	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	适用范围
普通磨削	$>1$	0.16~1.25	各种零件的滑动面、曲轴轴颈、凸轮轴轴颈、活塞、普通滚动轴承滚道及平面、内圆、外圆和桃形凸轮,各种刀具的刃磨,一般量具的测量面等
精密磨削	0.5~1	0.04~0.16	液压滑阀、液压泵、油嘴、针阀、机床主轴、量规、四棱尺、高精度轴承滚柱、塑料及金属带、压延辊
高精度磨削	0.1~0.5	0.01~0.04	高精度滚柱导轨、精密机床主轴、金属线纹尺、标准环、塞规、量杆、半导体硅片、金属带、压延辊
超精密磨削	$\leq 0.1$	$\leq 0.01$	精密级金属线纹尺、轧制微米级厚度带的压延辊、超光栅、超精密磁头、超精密电子枪、固体电子元件及航天器械、激光光学部件、核融合装置、天体观测装置等零件加工

资料来源：《磨料、磨具与磨削技术（第2版）》（李伯民），中邮证券研究所

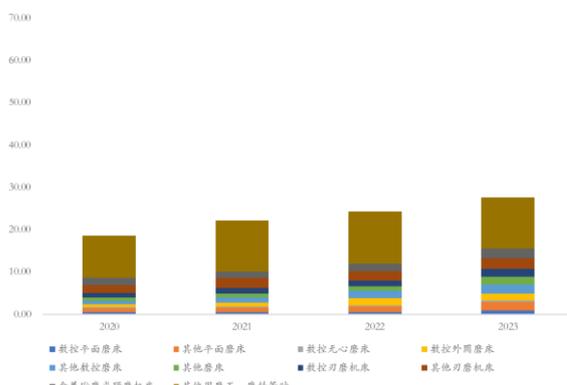
我国磨床进出口贸易逆差呈现逐年缩小态势，但总体进出口价值量差距仍较大。根据中国海关总署统计数据，中国磨床进口额从2020年的58.42亿元下降至2023年的55.87亿元，同时中国磨床出口额从2020年的18.54亿元上升至2023年的27.66亿元，期间贸易逆差缩小了11.67亿元。可以看出，我国原本高度依赖国外数控磨床产品，目前国产替代进程已经在提速中，未来将会从各个核心部件自给能力上逐个突破。《中国制造2025》也明确提出“到2025年，70%的核心基础零部件、关键基础材料实现自主保障；加快高档数控机床、增材制造等前沿技术和装备的研发；组织实施高档数控机床等一批创新和产业化专项、重大工程”。

图表18：2020-2023年我国磨床产品进口额（亿元）



资料来源：中国海关总署，中邮证券研究所

图表19：2020-2023年我国磨床产品出口额（亿元）



资料来源：中国海关总署，中邮证券研究所

德国、日本等在高端磨床领域掌握话语权，国内厂商产品主要偏中低端，市场占有率较低。在磨床领域，德国、日本等老牌发达国家起步较早，技术水平和经验积累丰富，产品附加值较高，主要面向航空航天、汽车等下游领域；国内厂商一部分是原有的磨床制造国有企业改制重组而来，规模及实力都领先于国内后进者；国内另一部分是从市场经济带来对数控机床需求的增长之后，快速入局发展的民营数控磨床企业。

图表20：磨床行业竞争格局情况

海外龙头	国内国企	国内民营
德国 KorberSchleifring	秦川机床	宇环数控
德国 Emag	上海机床	华辰装备
日本 JTEKT	无锡机床	.....
瑞士 Rollomatic	.....	
.....		

资料来源：中邮证券研究所

未来随着人形机器人投入首批量产潮，考虑到人形机器人所能达到的规模数量，对于丝杠产品的需求将被极大程度地拉动，而在制造高精度丝杠产品中必不可少、本身也价格不菲的精密磨床，其需求也将同步增长。未来磨床行业的领先厂商有望享受到通用机器人发展的时代红利。

### 3.2 冷锻设备：降本增效的金属冷成型新工艺

**冷锻是一种在常温下施加压力来改变金属材料形状的金属加工方法。**与热锻相比，冷锻不需要对金属材料进行加热处理，因此能够保持材料的晶粒细小和原有的力学性能。冷锻的原理是通过将金属材料置于常温下，施加巨大的压力来使其发生塑性变形，从而改变其形状。冷锻过程中，金属材料受到压力的作用，其晶粒受到严重变形和重新排列，从而使材料的强度得到提高。

目前冷锻已经在汽车、航空航天、石油天然气等领域得以应用。通过冷锻，可以制造高强度的汽车零部件，如曲轴、齿轮、传动轴等。这些零部件对于汽车的可靠性和安全性至关重要，冷锻能够提供所需的高强度和精度；航空发动机的叶片、涡轮盘等关键部件需要具备高强度和高耐热性能，冷锻能够满足这些要求，并提供出色的材料性能；石油天然气领域的工作环境恶劣，对材料的耐腐蚀性和高强度要求较高，冷锻能够满足这些要求。

**冷锻技术的主要优势在于：**

- 1) **高强度：**冷锻可以提供高强度的金属材料，使其具备更好的抗拉强度和抗疲劳性能。
- 2) **优异的表面质量：**冷锻能够提供较好的表面质量，减少后续加工的需求。
- 3) **节约能源：**与热锻相比，冷锻不需要加热材料，能够节约能源消耗。
- 4) **提高材料的机械性能：**冷锻过程中，金属材料的晶粒受到严重变形和重新排列，使其机械性能得到提高。

但同时，冷锻需要具备高压力和高精度的设备，投资成本较高，且工艺涉及多项参数控制，需要经验丰富的操作人员，某些在常温下难以进行冷锻的材料也对冷锻技术有所限制。

图表21：滚柱冷滚压成形过程

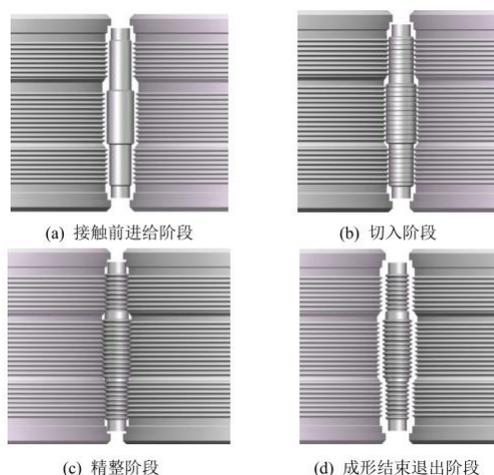
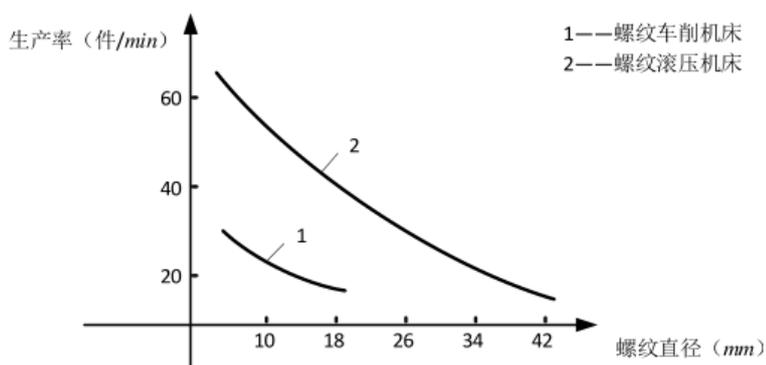


图 2.1 滚柱冷滚压成形过程

资料来源：《行星滚柱丝杠滚柱冷滚压成形机理与实验研究》（王旭），中邮证券研究所

冷锻工艺可以替代行星滚柱丝杠制造过程中粗加工的车铣削环节，从而实现降本增效。上图描述了行星滚柱通过冷滚压成形的过程。在滚柱成形过程中，工件自由放置在支承上，利用重力约束于两滚压轮之间，加工过程中，各项参数完全一致的两滚压轮同向旋转，并利用同步带带动螺母丝杠机构实现径向进给运动，依靠摩擦力提供摩擦力矩带动工件旋转，并逐步压入，形成最终齿形。

图表22：螺纹平均生产率对比曲线



资料来源：《行星滚柱丝杠滚柱冷滚压成形机理与实验研究》（王旭），中邮证券研究所

冷锻滚压成形的螺纹加工效率远超传统机加工。随着机械装备快速发展，传统机加工方法已经很难满足现代工业对产品制造高功效、高精度、高强度以及低损耗的使用需求。为了弥补传统机加工方法的缺陷，滚压成形方法(加工齿轮、螺纹和花键等)得到了蓬勃发展。滚柱的冷滚压成形工艺较传统机加工有如下优点：

一般生产效率较传统车削加工提高近十倍，当使用自动上下料机构时，生产效率更高；尺寸一致性好；表面质量较高且稳。

冷锻成形技术整体供应链涉及材料、模具、设备、产品全流程，未来随着通用人形机器人所需丝杠拉动需求后，能够快速转化出产能的设备公司有望深度受益。

**图表23：冷锻工艺产业链相关上市公司**

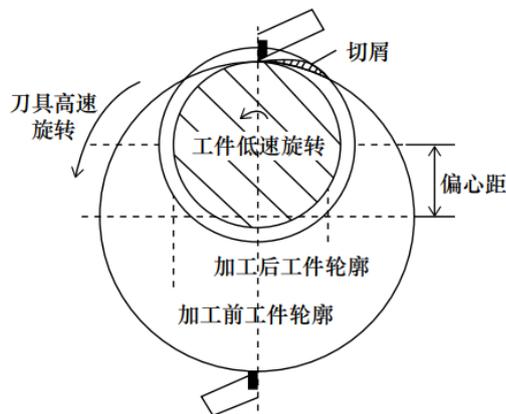
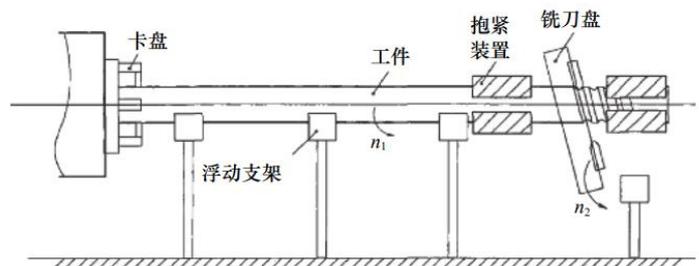
<b>新坐标</b>	拥有应用于驻车制动系统的滚珠丝杠传动结构相关专利，国内精密冷锻件龙头
<b>思进智能</b>	设备环节 A 股首家冷成形装备制造行业的上市公司，冷锻工艺板块龙头
<b>恒锋工具</b>	布局多种冷挤压刀具，精密拉削刀具、花键量具等产品市占率 30%-40%
<b>精锻科技</b>	公司大多产品都应用了冷锻工艺和技术

资料来源：爱企查，各公司公告，中邮证券研究所

### 3.3 旋风铣床：旋风硬铣工艺兼顾加工效率及产品精度

旋风硬铣削技术是一种高效、绿色环保的螺纹加工技术。旋风硬铣削技术原理如图所示，淬旋风铣是通过安装在高速旋转刀盘上的硬质合金成型刀具，从工件上铣削出螺纹的螺纹加工方法。硬轴承钢 GCr15 工件（硬度为 62-65HRC）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。因其铣削速度高（速度达到 400m/min），加工效率高，和传统的车削效率高几倍甚至十几倍，加工过程中切削飞溅如旋风而得名——旋风铣。旋风铣可以实现干切削、重载切削、难加工材料和超高速切削，消耗动力小。表面粗糙度能达到  $Ra0.8\mu m$ 。旋风铣时机床主轴转速慢，单位时间的金属切削率更大程度地提高了，并且切削中产生的大部分热量被薄而狭长“逗号”状切屑带走，同时还能够得到可与磨削相当甚至超过磨削的加工表面质量。

旋风铣机床是一种可以实现加工大型螺纹的高效能精密专用装备，用来加工以淬硬钢为代表的各种难加工的材料。旋风铣床前端有负责夹持工件的三爪卡盘，用来固定工件一侧，位于左侧的工件主轴箱、机床床身、刀架、尾架、随动支撑及浮动支撑部分、在线测量等共同组成。它的技术附加价值很高，径向移动的滑板位于床鞍上，滑板上的铣削头用来加工螺旋升角，伺服电机控制铣削头的工作。床鞍上的随动支撑机构随铣削头移动而随动支撑工件，整体结构如图所示：

**图表24：旋风硬铣削加工原理图**

**图表25：旋风铣床结构示意图**


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)，中邮证券研究所

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)，中邮证券研究所

旋风硬铣削具备诸多相较于传统切削加工的优势，甚至能够一定程度替代磨削加工。旋风硬铣削的优势如下：

(1) **减少切削产生的热量。**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）。加工区域中火花四溅，产生的切削热传入切屑，由于自身细长且薄的特点将热量迅速排出。

(2) **提高加工精度与表面质量。**在刀具使用中，旋风硬铣削常用于切削加工的刀具材料为PCBN材料，使用性能良好；在加工过程中，高速铣床凭借自身高刚度与精度，进行渐进式的切向断续切削方式，切削深度小。

(3) **提高切削速度，提高生产率，降低加工成本。**硬铣削技术与传统切削相比有着“质的飞跃”。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%。

(4) **代替某些制造工艺。**硬度60-65HRC的零件可以通过高速切削来完成，并且能够实现电火花加工、磨削加工这种高强度与高硬度加工。

旋风硬铣削技术早期在国外发展，逐步引入国内，实现了对于加工效率及产品精度的兼顾。20世纪60-70年代旋风铣削在我国国内很多机械制造公司都有所应用，最主要的使用在一般钢材各种螺纹软铣的旋风铣头。在此之后，旋风铣床逐渐在大连机床厂、北京机床研究所、山东博特和南京工艺等投入使用，利用旋风铣床完成精密滚珠丝杠的高效粗加工。哈尔滨汽轮机厂将内旋铣加工方法应用在汽轮机高中压缸英制螺纹接配与重型机械中，实现由软铣到硬铣的巨大突破。当时我国有关旋风铣削的工艺参数还在“低精度”“软铣”范围，并且旋风铣床主要依赖国外引进，南京工艺在2004年首次引进了德国公司的PW160型CNC旋风硬铣机床，在2009年又引进同公司的PW300HP型1000mmCNC旋风硬铣机床，可以精铣出整体800mm以上的大型滚珠丝杠副。我国汉江机床厂自主研发的HJ092型旋风铣床，单次铣长度最大可达800mm。同时期，旋风铣削技术已经在很多西方发达国家推广使用。CNC旋风铣机床与高刚度精密定位刀盘首次在我国

举办的 Metalstes 西德金属加工展览会被展出，并且在此之后德国企业向中国机床滚动功能部件企业介绍了旋风铣削技术。

图表26：汉江机床厂自主研发的HJ092 旋风机床



图表27：高刚度精密定位旋风铣刀盘



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），中邮证券研究所

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），中邮证券研究所

高速硬旋风铣技术作为一种高效低耗、绿色环保的先进制造加工技术，可以完成各种淬硬及难加工材料的切削以及进行磨削加工的某些工作。相较于磨制工艺，旋风铣工艺加工步骤较少，且对于预处理完的丝杠可以进行存储，加工效率更高；而和传统切削、轧制丝杠对比，旋风铣工艺也能够制作 C1-C2 精度级别的丝杠，产品精度更高。

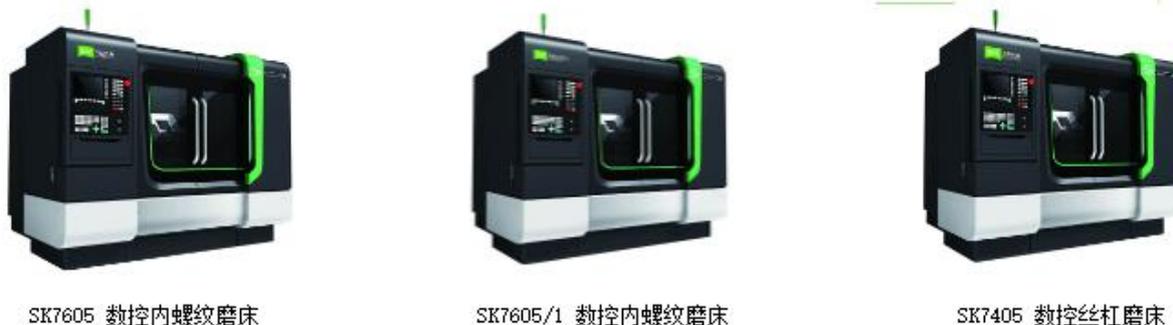
## 4 产业链相关标的

### （一）秦川机床：母公司为上游精密磨床领先制造商，滚珠丝杠已量产出货

汉江机床是上市公司秦川机床的子公司，也是国家第三个五年计划时期兴建的三线建设重点工程之一，机械工业大型骨干企业，国内螺纹磨床主导企业。公司主营产品包括机床与滚动功能部件，具有 50 年的设计制造经验。母公司秦川机床生产的精密磨床包括螺纹磨床、蜗杆磨床、外圆磨床等，其中螺纹磨床可用于滚珠丝杠副、螺杆菌副、精密蜗杆等产品的加工，多项产品填补了国内空白。近年来秦川机床通过自主研发及制造，对螺纹磨床系列产品的高效升级改造，子公司丝杠产品精加工水平得到有效的改善，精度达到国际先进水平。子公司汉江机床的丝杠产品精加工全部为其自主研发制造的螺纹磨床。

2023 年 7 月，秦川机床为“新能源汽车领域滚动功能部件研发与产业化建设项目”实施定向增发，该项目达产后将新增滚珠丝杠/精密螺杆菌副产能 28 万件/年、滑动直线导轨产能 13 万米/年，公司滚珠丝杠/精密螺杆菌副产品产能将提升至 38 万件/年，滑动直线导轨产能将提升至 18 万米/年，产能分别提升达到 280%和 260%。

图表28：秦川机床子公司汉江机床可提供多种滚动功能部件设备，螺纹磨床领域技术强劲



资料来源：汉江机床官网，中邮证券研究所

### （二）贝斯特：特斯拉直接供应商，大举进军丝杠产业

贝斯特成立于1997年，公司主营业务为研发、生产及销售各类精密零部件及工装夹具产品。公司利用在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，为气动工具和制冷压缩机等高端制造领域供应精密零部件。2020年2月，公司正式取得特斯拉供应商代码，成为特斯拉合格供应商。2022年1月，公司设立全资子公司无锡宇华精机，全面布局直线滚动功能部件。子公司将引进生产及检测等进口设备约300台套（其中研发设备70台），配套软件及系统、公辅设施等30余套。项目建成后，主营产品包括高精度滚珠丝杠副、高精度滚动导轨副等，将瞄准高端机床领域、半导体装备产业、自动化产业三大市场进行大力开拓。截至目前，子公司生产的滚珠丝杠副、直线导轨副等产品首台套已实现成功下线，部分产品已在送样验证过程中。

### （三）恒立液压：以定增布局滚柱丝杠，项目投产在即

2021年9月，公司发布非公开发行股票预案，为恒立墨西哥项目、线性驱动器项目、通用液压泵技改项目等项目募集资金50亿元，其中14亿元用于线性驱动器项目投资建设。截至目前公司财报披露，项目仍在稳步推进中，预计于2024Q1投产，该项目达产后年产10.4万根标准滚珠丝杠电动缸、4500根重载滚珠丝杠电动缸、750根行星滚柱丝杠电动缸、10万米标准滚珠丝杠和10万米重载滚珠丝杠的生产能力。

### （四）鼎智科技：深耕线性执行器市场，滑动及行星滚柱丝杠已完成送样

公司丝杠在内的多款产品比肩海外龙头，国内领先且稀缺。线性执行器（丝杠+电机）全球市占率约10%，产品性能对标美国海顿科克，音圈电机进入迈瑞医疗有创呼吸机供应链。公司深耕医疗、工控行业近二十年，为海内外2000余家客户提供“电机+传动（丝杠）+控制器+编码器”定制化微型运动系统方案。通过联合研发与客户建立深度合作关系，产品不可替代性强。目前多个系统品类进入“定制-试产-量产”的“量产”阶段，相关产品将进入业绩爆发期。此外，公司横向

布局高景气的医疗器械及康养赛道，例如“直流电机+丝杠”模组可用于可穿戴外骨骼机器人等。

公司布局精密微型电控、电机、传动、减速器，积极探索相关产品及系统化组件在人形机器人领域的应用。公司与多个机器人厂家有序接洽中，送样某人形机器人样机滑动丝杠以及行星滚柱丝杠的核心部件，并提出量产降本方案，已获得终端客户认可。公司滑动丝杠效率国内领先，布局小尺寸滚珠丝杠和滚柱丝杠，最小直径为 3mm，该产品精度与寿命等方面要求高；行星滚柱丝杠国内企业较少布局，公司已完成零部件研发并送样客户，成套行星滚柱丝杠在研发阶段。

#### （五）五洲新春：轴承企业向丝杠延展，紧抓下游大客户动向

公司以轴承零部件起家，产品阵列丰富，丝杠工艺与轴承相近，复制性强，且轴承作为高速旋转部件，精度要求高于丝杠，轴承企业进军丝杠优势得天独厚。部分产品经历了研发迭代及市场开拓，2024 年有望在汽车及新能源车上实现销售收入或者提升市场份额，比如球环滚针轴承、轮毂轴承、驱动电机轴承，新能源汽车转向系统及刹车系统用滚珠丝杠产品，新能源汽车安全系统及热管理零部件等。此外，公司自 2022 年开始，产品就间接进入了特斯拉汽车供应链，同时公司也持续与特斯拉的一级供应商三花智控保持业务合作。公司主营的轴承、丝杠、螺母等产品均可应用于人形机器人上，未来有望受益于通用人形机器人行情。

#### （六）华辰装备：自主开发高端数控磨床，与贝斯特达成战略合作

图表29：华辰装备官网展示的精密螺纹磨床系列产品



型号	精密外螺纹磨床HC-600T/HC-1000T/HC-1600T		精密内螺纹磨床HC-180NT/HC-250NT	
	值	单位	值	单位
核心技术参数	600/1000/1600	mm	180/250	mm
最大螺纹直径	320 (外)	mm	100 (内)	mm
最大工件重量	80/150	kg	20	kg
螺旋升角范围	±25	°	±12	°
表面粗糙度	Ra≤0.4	μm	Ra≤0.4	μm
标准试件精度	V2IP≤0.005	μm	V25P≤0.005	μm
	V300P≤0.008	μm	V50P≤0.008	μm

资料来源：华辰装备官网，中邮证券研究所

公司是国内专业从事全自动高精度数控轧辊磨床研发生产的创新型领先企业。公司开发的精密螺纹磨床对标世界一流产品，各项精度指标达到世界一流产品同等水平，标准丝杠试件加工精度等级最高可达 P0 (GB/T17587.3-2017) 级。公司还开发了内外圆复合磨床(亚 $\mu$ 磨削系列产品)。产品能够广泛应用于工业母机、机器人制造、汽车零部件制造、精密仪器制造、航空航天等多个重点领域。

2023 年 10 月，华辰装备与贝斯特精机围绕后者滚动功能部件项目所需高端精密磨削装备的技术开发及产品应用验证等事项进行深入交流与沟通，并达成了全面战略合作关系。根据双方所签署的协议，华辰装备计划于 1 年内向贝斯特精机提供对标国际行业龙头企业领先水平的精密数控直线导轨磨床产品以及相应技术支持，该产品为目前全球磨削长度最长、技术难度及磨削效率最高的产品。双方将致力于工业母机核心功能部件领域，共同推动国产高端数控直线导轨磨床关键核心技术攻关，力争取得重大技术突破，实现该项目的工程化示范应用及产品进口替代。

#### **(七) 日发精机：螺纹磨床试磨反馈良好，轴承相关装备积累已深**

日发精机子公司日发机床定位于高端数控机床，用定制化设计、规模化生产、全方位服务逐步实现进口替代并占有优势的行业地位。在 2023 年推出了数控螺纹磨床，试磨情况良好。数控螺纹磨床用于加工新能源汽车、人形机器人、工业母机等行业的丝杆与螺母，高效且精度符合客户要求，获得了客户的认可。数控螺纹磨床用于加工新能源汽车、人形机器人、工业母机等行业的丝杆与螺母，高效且精度符合客户要求，获得了客户的认可。公司在市场开拓上取得一定的进展，用于丝杆螺母的端面外圆磨床已向某客户交付使用，用于丝杆、螺母的内、外螺纹磨床已向某客户交付使用。截至目前，已与部分客户达成合作，同时与一些意向客户正在进行技术交流、洽谈合作事宜。

#### **(八) 宇环数控：**

在 3C 领域，公司基于自身技术优势可为智能手机、笔记本、平板、智能可穿戴等提供加工设备，公司将继续努力为包括 VR/AR 在内的各类市场客户提供专业磨削解决方案。公司的技术水平、生产能力、产品质量及响应速度等得到了客户的肯定和认可，与苹果产业链公司建立了长期的合作关系。除此之外，公司也有为华为、荣耀、小米、三星等消费电子品牌企业的供应商及代工厂提供相关的设备配套服务。2023 年宇环数控与捷普科技新签累计 2.53 亿元订单，有望持续受益于新材料和新产品催化。数控磨床方面，不同应用领域客户企业对产品的技术和性能要求差异较大，公司主要竞争对手有日本日清、光洋及国内山东、上海、沈阳等地的磨床企业。

公司高精度数控复合立式磨床通用化程度较高，可对大型轴承、液压阀套、液压缸体、精密齿轮、阀门等具有高精度及表面质量要求的产品进行加工，下游应用覆盖装备制造业、机械加工业、军工行业等多个领域。公司复合立式磨床自推出以来，受到了市场和客户的广泛关注并已签署订单。近年来公司产品加工精度等级可达 IT3~IT2 级，平均毛利率也保持在 40%以上。2023 年度 Q1 至 Q3 产

品销售毛利率分别为 51.27%、51.08%和 49.39%。公司研发的导轨磨床，采用龙门式布局，可对机床或其他装备产品上的中、大型结构件进行加工，加工精度可达到 IT3 级，目前已实现少量销售。

图表30：五轴数控多面磨削（抛光）机



图表31：数控定梁龙门导轨磨床



资料来源：宇环数控官网，中邮证券研究所

资料来源：宇环数控官网，中邮证券研究所

**（九）浙海德曼：提前布局产业链内 Tier2，优势卡位静待机器人周期开启**

公司产品为高精度车床，可应用在丝杠、减速器等人形机器人领域核心部件的生产制造中，下游客户涵盖了机器人零部件的主流供应商，未来想象空间在于突破以车代磨、车齿加工等技术，打造高精、高效、高可靠性的高端数控机床，有望解决卡脖子的丝杠降本量产问题，实现进口替代目标。公司研发力量雄厚，也提前布局了相关产业领域需求，产品也得到了多家机器人产业链内 Tier2 零部件供应商的高度评价。贝斯特、五洲新春、双环传动等都与海德曼建立了多年的合作关系，公司入局及卡位优势明显，随机器人周期开启，未来公司车/铣床及加工中心产品均有望放量。

**（十）沃尔德：国内超硬刀具行业龙头，丝杠加工刀具市场空间广阔**

公司成立于 2006 年，主营业务为超高精密刀具、高精密刀具以及超硬材料制品三大类，其中精密切削刀具产品以超硬切削刀具为主，超硬材料制品则主要包含 PCD 复合片、PCBN 复合片、CVD 金刚石材料等。超硬刀具加工效率高、使用寿命长、加工质量好，已为公司构筑核心竞争力。目前公司已经与山特维克、日本住友等老牌厂商同台竞技，下游应用场景也在逐步得以拓展。

**（十一）国机精工：丝杠旋转铣 PCBN 专用刀片技术领先，金刚石战略定位进一步升级**

公司主营业务为高端轴承和超硬材料两大板块，其中轴承业务利润已经连续 8 年稳定增长，尤其在卫星火箭上应用的特种轴承居于垄断地位，近两年有望迎

来业绩爆发式增长，其他风电、机床、高铁轴承也在稳步推进中。磨料磨具业务的运营主体主要为三磨所和新亚公司，该行业的产品有超硬材料、超硬材料磨具和高端装备。超硬材料磨具应用场景有半导体、光电、汽车、工磨具等；高端装备目前主要是六面顶压机，同步开展 SPS 烧结压机、高效混料机的开发；超硬材料有大单晶金刚石和金刚石复合片，目前大单晶金刚石主要是培育钻石毛坯，同步进行的有光学窗口片、散热片等功能化应用的开发，光学窗口片和散热片已在 2023 年实现部分销售。

此外，国机精工将与河南省新材料集团共同组建金刚石公司，整合完成后，国机精工、新材料集团所持金刚石公司的股权比例保持在 67%: 33%。此举之后金刚石战略定位进一步升级，组建金刚石公司有利于“科研+产业”资源整合、深化金刚石技术应用。

## 5 风险提示

人形机器人规模化不及预期风险；  
行星滚柱丝杠降本不达预期风险；  
人形机器人产业竞争加剧风险；  
生产设备技术突破受阻风险。

## 中邮证券投资评级说明

投资评级标准	类型	评级	说明
报告中投资建议的评级标准： 报告发布日后的 6 个月内的相对市场表现，即报告发布日后的 6 个月内的公司股价（或行业指数、可转债价格）的涨跌幅相对同期相关证券市场基准指数的涨跌幅。 市场基准指数的选取：A 股市场以沪深 300 指数为基准；新三板市场以三板成指为基准；可转债市场以中信标普可转债指数为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以标普 500 或纳斯达克综合指数为基准。	股票评级	买入	预期个股相对同期基准指数涨幅在 20%以上
		增持	预期个股相对同期基准指数涨幅在 10%与 20%之间
		中性	预期个股相对同期基准指数涨幅在-10%与 10%之间
		回避	预期个股相对同期基准指数涨幅在-10%以下
	行业评级	强于大市	预期行业相对同期基准指数涨幅在 10%以上
		中性	预期行业相对同期基准指数涨幅在-10%与 10%之间
		弱于大市	预期行业相对同期基准指数涨幅在-10%以下
	可转债评级	推荐	预期可转债相对同期基准指数涨幅在 10%以上
		谨慎推荐	预期可转债相对同期基准指数涨幅在 5%与 10%之间
		中性	预期可转债相对同期基准指数涨幅在-5%与 5%之间
		回避	预期可转债相对同期基准指数涨幅在-5%以下

## 分析师声明

撰写此报告的分析师（一人或多人）承诺本机构、本人以及财产利害关系人与所评价或推荐的证券无利害关系。

本报告所采用的数据均来自我们认为可靠的目前已公开的信息，并通过独立判断并得出结论，力求独立、客观、公平，报告结论不受本公司其他部门和人员以及证券发行人、上市公司、基金公司、证券资产管理公司、特定客户等利益相关方的干涉和影响，特此声明。

## 免责声明

中邮证券有限责任公司（以下简称“中邮证券”）具备经中国证监会批准的开展证券投资咨询业务的资格。

本报告信息均来源于公开资料或者我们认为可靠的资料，我们力求但不保证这些信息的准确性和完整性。报告内容仅供参考，报告中的信息或所表达观点不构成所涉证券买卖的出价或询价，中邮证券不对因使用本报告的内容而导致的损失承担任何责任。客户不应以本报告取代其独立判断或仅根据本报告做出决策。

中邮证券可发出其它与本报告所载信息不一致或有不同结论的报告。报告所载资料、意见及推测仅反映研究人员于发出本报告当日的判断，可随时更改且不予通告。

中邮证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或者计划提供投资银行、财务顾问或者其他金融产品等相关服务。

《证券期货投资者适当性管理办法》于 2017 年 7 月 1 日起正式实施，本报告仅供中邮证券客户中的专业投资者使用，若您非中邮证券客户中的专业投资者，为控制投资风险，请取消接收、订阅或使用本报告中的任何信息。本公司不会因接收人收到、阅读或关注本报告中的内容而视其为专业投资者。

本报告版权归中邮证券所有，未经书面许可，任何机构或个人不得存在对本报告以任何形式进行翻版、修改、节选、复制、发布，或对本报告进行改编、汇编等侵犯知识产权的行为，亦不得存在其他有损中邮证券商业性权益的任何情形。如经中邮证券授权后引用发布，需注明出处为中邮证券研究所，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节或修改。

中邮证券对于本申明具有最终解释权。

## 公司简介

中邮证券有限责任公司，2002年9月经中国证券监督管理委员会批准设立，注册资本50.6亿元人民币。中邮证券是中国邮政集团有限公司绝对控股的证券类金融子公司。

公司经营范围包括：证券经纪；证券自营；证券投资咨询；证券资产管理；融资融券；证券投资基金销售；证券承销与保荐；代理销售金融产品；与证券交易、证券投资活动有关的财务顾问。此外，公司还具有：证券经纪人业务资格；企业债券主承销资格；沪港通；深港通；利率互换；投资管理人受托管理保险资金；全国银行间同业拆借；作为主办券商在全国中小企业股份转让系统从事经纪、做市、推荐业务资格等业务资格。

公司目前已经在北京、陕西、深圳、山东、江苏、四川、江西、湖北、湖南、福建、辽宁、吉林、黑龙江、广东、浙江、贵州、新疆、河南、山西、上海、云南、内蒙古、重庆、天津、河北等地设有分支机构，全国多家分支机构正在建设中。

中邮证券紧紧依托中国邮政集团有限公司雄厚的实力，坚持诚信经营，践行普惠服务，为社会大众提供全方位专业化的证券投、融资服务，帮助客户实现价值增长，努力成为客户认同、社会尊重、股东满意、员工自豪的优秀企业。

## 中邮证券研究所

### 北京

邮箱：yanjiusuo@cnpsec.com

地址：北京市东城区前门街道珠市口东大街17号

邮编：100050

### 上海

邮箱：yanjiusuo@cnpsec.com

地址：上海市虹口区东大名路1080号邮储银行大厦3楼

邮编：200000

### 深圳

邮箱：yanjiusuo@cnpsec.com

地址：深圳市福田区滨河大道9023号国通大厦二楼

邮编：518048