

# 人形机器人系列专题之丝杠

## 高壁垒精密机械件，国产替代空间广阔

优于大市

### 核心观点

车端和机器人部分零部件生产、制造等环节共通性高，带来汽车零部件公司产业升级机遇。部分机器人零部件与汽零在材料、工艺、设备及成本管控等维度具有一定相通性，具备相似的底层制造逻辑，带来相关零部件（电机、减速器、丝杠等）产业升级机遇（车→机器人）；后续在特斯拉等大厂引领、软硬件技术迭代、相关政策支持的三重催化下，人形机器人发展有望提速，2025年有望成为量产元年，带来相关产业链投资机遇。

**丝杠是人形机器人中旋转运动转直线运动的核心部件。**丝杠是一种将旋转运动转化为直线运动的机械部件，主流丝杠方案包括梯形、滚珠、行星滚柱等，行星滚柱丝杠虽制造成本较高，但具传动效率高、精度高、寿命长、负载能力强等优势，其中反向式滚柱丝杠一体化、小型化程度高，便于集成为机电集成装置，有望成为特斯拉 Optimus 机器人关节的方案选择（预估量产单台机器人关节行星滚柱丝杠价值量占比约15%-25%左右）。

**精度与效率的权衡，行星滚柱丝杠加工工艺和设备的壁垒较为明显。**丝杠性能的背后是极高的工艺要求和设备壁垒，如何在保持精度的同时提高效率，是降低成本、打开空间的重要基础；行星滚柱丝杠壁垒：1) 设备方面，丝杠高精度特性对设备要求高，目前高端加工设备依赖进口，但海外高端磨床成本高且采购周期长；2) 工艺方面，螺纹精度要求高，加工存在轧磨车铣等方案；**螺母内螺纹加工系壁垒之核心，需利用磨杆带动砂轮伸入有限直径的螺母进行磨削，难度极大；**同时热处理环节也需深厚的技术和经验积累；3) **一致性批量生产：**人形机器人远期需求有望达百万台，对供应链的批量生产和一致性保持能力同样提出较高要求。

**人形机器人打开成长空间，国产玩家依托自身优势布局。**外资品牌舍弗勒基于长期技术积累和产业整合等方式主导高端丝杠市场；国内产品在精度、可靠性等指标较外资仍有提升空间；但部分国内玩家也逐步基于自身的能力禀赋（如基于工业母机、车用丝杠等的工艺和设备储备）切入人形机器人丝杠产业布局，国产滚柱丝杠正逐渐被高端应用领域认可和采用；测算中性情形下，中期全球人形机器人关节用行星滚柱丝杠市场空间约150-200亿元。

**风险提示：**行业进展和技术迭代不及预期、供应商订单不确定性的风险。

**投资建议：**关注人形机器人进展带来的投资机遇。看好在技术升级迭代下人形机器人发展，看好机器人量产带来的潜在供应链零部件的需求和投资机会，推荐人形机器人潜在总成供应商三花智控、拓普集团，在相关零部件领域有较深度布局的公司北特科技、贝斯特、双林股份、斯菱股份等。

### 重点公司盈利预测及投资评级

公司代码	公司名称	投资评级	昨收盘 (元)	总市值 (亿元)	EPS		PE	
					2024E	2025E	2024E	2025E
601689.SH	拓普集团	优于大市	52.30	882	1.75	2.30	30	23
002050.SZ	三花智控	优于大市	23.20	866	0.90	1.09	26	21
603009.SH	北特科技	优于大市	39.12	132	0.22	0.32	175	121
300580.SZ	贝斯特	优于大市	20.58	103	0.63	0.78	33	26
300100.SZ	双林股份	优于大市	21.66	87	1.09	1.01	20	21
301550.SZ	斯菱股份	优于大市	62.69	69	1.78	2.10	35	30

资料来源：Wind、国信证券经济研究所预测

### 行业研究 · 行业专题

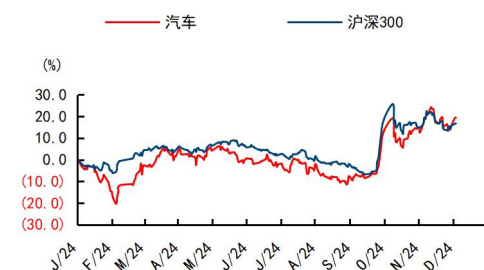
#### 汽车

#### 优于大市 · 维持

证券分析师：唐旭霞  
0755-81981814  
tangxx@guosen.com.cn  
S0980519080002

证券分析师：孙树林  
0755-81982598  
sunshulin@guosen.com.cn  
S0980524070005

#### 市场走势



资料来源：Wind、国信证券经济研究所整理

#### 相关研究报告

- 《汽车行业周报（24年第47周）-鸿蒙智行尊界即将亮相，中欧电车关税或将缓和》——2024-11-25
- 《汽车行业年度投资策略-把握汽车出海及智能化产业升级机遇》——2024-11-22
- 《汽车行业周报（24年第43周）-大选落地特斯拉产业链或迎利好，关注广州车展新车亮相》——2024-11-12
- 《汽车行业2024年11月投资策略暨三季报总结：三季度行业盈利能力略降，关注广州车展》——2024-11-11
- 《特斯拉专题研究系列三十二-车端盈利环比提升，新品周期蓄势待发》——2024-10-25

## 内容目录

<b>前言：机器人与车端供应链高度重合度，带来产业升级机遇</b>	<b>7</b>
机器人与车端供应链高度重合	7
2025 年有望成为量产元年，带来零部件投资新机会	10
<b>精密丝杠：人形机器人线性关节核心零部件</b>	<b>11</b>
梯形丝杠：结构简单，一次完成工艺效率高	15
滚珠丝杠：精密传动元件，滚动摩擦代替滑动摩擦	16
行星滚柱丝杠：精度和承载力高，当下机器人关节主流方案	18
<b>壁垒分析：壁垒高筑，制造设备与工艺技术 Know how 为核</b>	<b>21</b>
工艺：螺纹加工工艺复杂，技术路径尚未收敛，壁垒深厚	22
热处理：工艺复杂、种类繁多，温度把控等多维度要求高	30
设备：尖端设备受制于海外厂商，进口价格高昂	31
<b>市场分析：外资品牌主导高端市场，国产替代+人形机器人催生成长机遇</b>	<b>35</b>
格局：外资品牌先发优势明显，国产品牌处于追赶阶段	35
国产：机加工工艺和设备的共通性驱动零部件厂商积极入局	37
空间：人形机器人有望催生丝杠全新增量空间	39
<b>投资建议：关注具工艺禀赋、设备储备的厂商</b>	<b>41</b>
■ 拓普集团	41
■ 三花智控	42
■ 北特科技	44
■ 贝斯特	49
■ 双林股份	56
■ 斯菱股份	63
<b>风险提示</b>	<b>71</b>

# 图表目录

图 1: 特斯拉人形机器人产品进展 .....	7
图 2: 特斯拉车端 VS 人形机器人 .....	9
图 3: 汽车与人形机器人的线控制动核心部件拆解 .....	9
图 4: 特斯拉人形机器人零部件价值量拆分 .....	10
图 5: 特斯拉人形机器人量产和应用场景探讨 .....	10
图 6: 丝杠基本功能原理 .....	11
图 7: 精密丝杠主要类型 .....	12
图 8: 行星滚柱丝杠应用领域 .....	12
图 9: 行星滚柱丝杠及相关构造拆解 .....	13
图 10: 丝杠导程与螺距关系 .....	13
图 11: 滚珠丝杠的核心结构参数 .....	13
图 12: 梯形丝杠示意图 .....	16
图 13: 梯形丝杠结构简单 .....	16
图 14: 滚珠丝杠结构 .....	16
图 15: 滚珠与滚道接触图 .....	16
图 16: 滚珠与滚道面的小接触点提高传动效率 .....	17
图 17: 螺母轴向载荷由滚珠的接触载荷轴向分量之和平衡 .....	17
图 18: 内循环式与外循环式滚珠丝杠 .....	18
图 19: 行星滚柱丝杠内部结构示意图 .....	18
图 20: 行星滚柱丝杠零部件 .....	18
图 21: 行星滚柱丝杠接触点比滚珠丝杠多 .....	19
图 22: 行星滚柱丝杠寿命比滚珠丝杠高 .....	19
图 23: 滚珠丝杠应力与负载集中在滚珠接触点 .....	19
图 24: 行星滚柱丝杠多个滚柱共同承受载荷 .....	19
图 25: 行星滚柱丝杠类型特点及应用领域 .....	20
图 26: 行星滚柱丝杠与加工制造相关的误差来源 .....	22
图 27: 滚柱一次滚压成形原理 .....	23
图 28: 轧辊及其局部图 .....	23
图 29: 热轧示意图 .....	24
图 30: 冷轧示意图 .....	24
图 31: 轧制丝杠生产率高 .....	24
图 32: 轧制滚柱齿形的应力较为集中 .....	24
图 33: 螺纹车削加工原理图 .....	25
图 34: 砂轮磨削加工外螺纹螺旋面 .....	27
图 35: 砂轮磨削加工螺母内螺纹 .....	27
图 36: 滚珠丝杠的磨削加工工艺流程 .....	27
图 37: 行星滚柱丝杠的磨削加工工艺流程 .....	27

图 38: 旋风硬铣削加工原理图 .....	29
图 39: 旋风铣五大加工运动 .....	29
图 40: 外螺纹旋铣系统 .....	29
图 41: 内螺纹铣削示意图 .....	29
图 42: 丝杠热处理工艺流程 .....	30
图 43: 丝杠热处理工艺曲线 .....	31
图 44: 机床进口数量与均价情况 .....	32
图 45: 热处理设备 .....	32
图 46: 金属加工机床分类 .....	33
图 47: 我国进口与出口磨床均价情况 (单位: 万美元/台) .....	33
图 48: 我国进出口铣床均价情况 (单位: 万美元/台) .....	35
图 49: 我国进出口铣刀均价情况 (单位: 美元/千克) .....	35
图 50: 滚珠丝杠和行星滚柱丝杠发展历程 .....	36
图 51: 2022 年国内中高端滚珠丝杠市场格局情况 .....	37
图 52: 2022 年国内行星滚柱丝杠市场格局情况 .....	37
图 53: 滚珠丝杠应用领域 .....	39
图 54: 特斯拉 Optimus 关节展示 .....	39
图 55: 特斯拉关节分布 .....	39
图 56: 特斯拉 Optimus 机器人丝杠方案 .....	40
图 57: 拓普集团产品拓展图谱 .....	42
图 58: 三花汽零主要产品布局 .....	43
图 59: 北特科技历史沿革 .....	44
图 60: 北特科技股权结构图及控股公司情况 .....	44
图 61: 北特科技主要产品布局 .....	45
图 62: 北特科技营业收入及同比 .....	45
图 63: 北特科技归母净利润及同比 .....	45
图 64: 北特科技毛利率及净利率 .....	46
图 65: 北特科技期间费用率 .....	46
图 66: 贝斯特历史沿革 .....	49
图 67: 贝斯特股权结构图 .....	50
图 68: 贝斯特产业布局 .....	51
图 69: 贝斯特营收结构 (亿元) .....	51
图 70: 贝斯特营业收入及同比 .....	51
图 71: 贝斯特归母净利润及同比 .....	51
图 72: 贝斯特毛利率及净利率 .....	52
图 73: 贝斯特期间费用率 .....	52
图 74: 双林股份历史沿革 .....	56
图 75: 双林股份股权结构 .....	56
图 76: 双林股份产品体系 .....	57
图 77: 双林股份业务结构贡献情况 (亿元) .....	57
图 78: 双林股份业务结构贡献百分比情况 (亿元) .....	57

图 79: 公司核心业务座椅水平驱动器 .....	58
图 80: 双林股份国内与出口业务贡献百分比情况 .....	58
图 81: 双林股份部分客户矩阵 .....	58
图 82: 双林股份营业收入（亿元）及同比 .....	59
图 83: 双林股份归母净利润（亿元）及同比 .....	59
图 84: 双林股份毛利率及净利率 .....	59
图 85: 双林股份期间费用率 .....	59
图 86: 斯菱股份历史沿革 .....	64
图 87: 斯菱股份产品矩阵 .....	64
图 88: 斯菱股份股权架构 .....	65
图 89: 公司海内外营收情况（万元） .....	65
图 90: 公司收入结构占比 .....	65
图 91: 斯菱股份营业收入及同比 .....	66
图 92: 斯菱股份归母净利润及同比 .....	66
图 93: 斯菱股份毛利率及净利率 .....	66
图 94: 斯菱股份期间费用率 .....	66
表 1: 大厂入局带来人形机器人进步发展 .....	8
表 2: 机器人与智能汽车的零部件具有一定相通性 .....	8
表 3: 丝杠关键技术指标、含义及影响因素 .....	13
表 4: 丝杠精度等级及部分应用领域要求 .....	14
表 5: 三种丝杠的核心参数对比及优缺点梳理 .....	15
表 6: 行星滚柱丝杠不同部位热处理方法 .....	21
表 7: 丝杠加工工艺对比 .....	22
表 8: 硬车削加工工艺情况 .....	25
表 9: 丝杆磨削加工工艺流程较长 .....	26
表 10: 行星滚柱丝杠不同零部件加工参数及工艺细节 .....	28
表 11: 秦川机床募投项目车、铣、磨床部分设备价格情况 .....	33
表 12: 国内磨床部分玩家相关信息梳理 .....	34
表 13: 国内外行星滚柱丝杠产品对比 .....	36
表 14: 国内丝杠主要玩家相关信息梳理（单位：亿元） .....	37
表 15: 全球人形机器人关节用行星滚柱丝杠市场空间测算 .....	40
表 16: 北特科技业绩拆分（亿元） .....	47
表 17: 未来 3 年盈利预测表（单位：百万元） .....	47
表 18: 情景分析（乐观、中性、悲观） .....	48
表 19: 可比公司估值 .....	49
表 20: 贝斯特核心管理层情况 .....	49
表 21: 贝斯特业绩拆分（亿元） .....	53
表 22: 未来 3 年盈利预测表（单位：百万元） .....	53
表 23: 情景分析（乐观、中性、悲观） .....	54

表 24: 公司盈利预测假设条件 (%)	54
表 25: 资本成本假设	54
表 26: 贝斯特 FCFF 估值	55
表 27: 绝对估值相对折现率和永续增长率的敏感性分析 (元)	55
表 28: 可比公司估值	56
表 29: 双林股份业绩拆分 (亿元)	60
表 30: 未来 3 年盈利预测表(单位:百万元)	61
表 31: 情景分析(乐观、中性、悲观)	61
表 32: 公司盈利预测假设条件 (%)	62
表 33: 资本成本假设	62
表 34: 双林股份 FCFF 估值	62
表 35: 绝对估值相对折现率和永续增长率的敏感性分析 (元)	62
表 36: 可比公司估值	63
表 37: 公司主要行业内知名客户情况	65
表 38: 斯菱股份业绩拆分 (亿元)	67
表 39: 未来 3 年盈利预测表(单位:百万元)	68
表 40: 情景分析(乐观、中性、悲观)	68
表 41: 公司盈利预测假设条件 (%)	69
表 42: 资本成本假设	69
表 43: 斯菱股份 FCFF 估值	69
表 44: 绝对估值相对折现率和永续增长率的敏感性分析 (元)	70
表 45: 可比公司估值	70

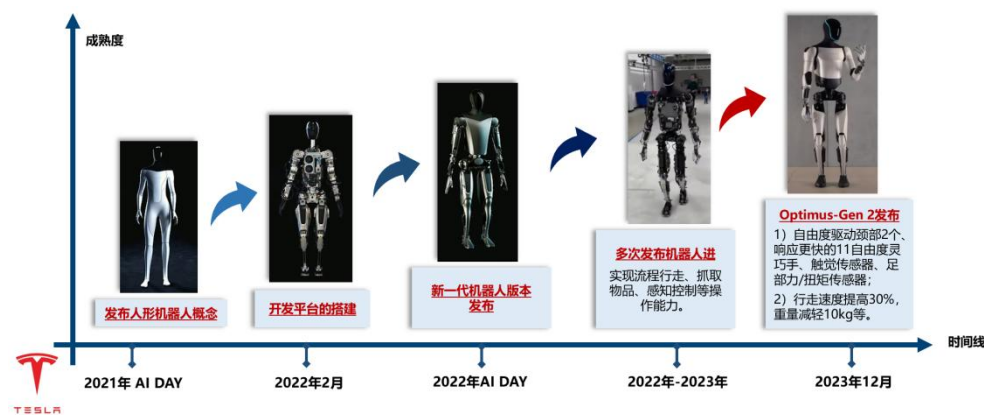
## 前言：机器人与车端供应链高度重合度，带来产业升级机遇

**总结：**车端和人形机器人的部分零部件具有一定技术相通性，供应链重合度较高，汽车领域有产品和技术储备的玩家有望实现车端向人形机器人产业的延伸。特斯拉机器人产品迭代迅速，有望给全球机器人市场带来“鲶鱼效应”，激发人形机器人玩家的活力。在车端与机器人端零部件共通性较高的前提下，叠加大厂入局+技术迭代+政策催化的加持，人形机器人发展有望持续推进，2025年有望成为量产元年，带来相关零部件企业的投资机遇。

### 机器人与车端供应链高度重合

特斯拉于2021年提出人形机器人相关设计概念，于2022年9月在AI Day上首次展示Optimus人形机器人产品，2023年5月特斯拉展示Optimus的进展，能够执行如捡起物品等任务，并在特斯拉工厂中执行简单任务，到23年底发布Optimus Gen-2产品，实现性能、能力的全方位提升；马斯克预计特斯拉Optimus机器人价格最终可能会低于2万美元，量产预计可达数百万台，并宣称人形机器人将成为未来特斯拉长期重要价值来源；后续英伟达发布人型机器人模型，加速产业升级。我们认为特斯拉人形机器人有望给全球机器人市场带来类似于其在新能源汽车领域的“鲶鱼效应”，激发人形机器人玩家的活力。

图1：特斯拉人形机器人产品进展



资料来源：特斯拉官网，汽车之家，国信证券经济研究所整理

**多家互联网科技巨头入局人形机器人赛道。**国际方面，2024年3月英伟达推出人形机器人通用基础模型 Project GROOT 和基于 NVIDIA Thor 系统级芯片（SoC）的新型人形机器人开发套件 Jetson Thor，高效运行多模态生成式 AI 模型，为人形机器人提供强大的算力支持，并于2024年10月推出 AI 小模型 HOVER，仅有 1.5M 参数的神经网络，但足以控制人形机器人执行多种机体运动；英伟达投资的 Figure AI 在2024年8月推出新一代人形机器人 Figure 02；国内方面，小米于2022年发布全栈自研人形仿生机器人 CyberOne，可实现双足运动姿态平衡，全身拥有 21 个自由度，可实现各自由度 0.5ms 级别的实时响应，充分模拟人各项动作。华为2023年6月成立全资子公司极目机器，2024年与乐聚机器人签署战略合作协议，24年6月，华为与乐聚机器人合作的跨服机器人在华为 HDC 2024 开发者大会首度亮相，是国内首款搭载鸿蒙操作系统的全尺寸人形机器人。

**表1: 大厂入局带来人形机器人进步发展**

头部企业	机器人相关动态
特斯拉	1. 2022年2月, 特斯拉推出初代擎天柱原型机。 2. 2022年4月-9月, 特斯拉完成原型机的多次迭代, 擎天柱可以步行、手臂摇摆、脚趾离地等动作, 其骨盆结构得以优化。 3. 2023年5月, 特斯拉通过视频演示了人形机器人行走及工作过程。 4. 2023年12月, 特斯拉发布第二代人形机器人 Optimus, 并于2024年7月在世界人工智能大会亮相, 采用了全部由特斯拉自主设计和制造的执行器和传感器, 行走速度提高了30%, 重量减轻了10公斤, 平衡感和身体控制能力得到改善。
英伟达	1. 2018年, 英伟达推出包含全新硬件、软件和虚拟世界机器人模拟器的 NVIDIA Isaac, 专为机器人设计的计算机平台 Jetson Xavier 和相关的机器人软件工具包。 2. 2023年5月, 英伟达对适用于边缘 AI 和机器人的 NVIDIA Jetson 平台上的 Metropolis 和 Isaac 框架进行软件扩展。 3. 2024年2月, 英伟达成立通用具身智能团队 GEAR。与多家领先的人形机器人公司合作, 共同开发综合 AI 平台, 如 1X Technologies、Agility Robotics、Appteronik、波士顿动力公司、Figure AI、傅利叶智能、Sanctuary AI、宇树科技和小鹏鹏行等。 4. 2024年3月, 英伟达推出人形机器人通用基础模型 Project GROOT 和基于 NVIDIA Thor 系统级芯片 (SoC) 的新型人形机器人开发套件 Jetson Thor, 拥有强大的计算能力和优化的模块化架构, 能够高效运行多模态生成式 AI 模型, 为人形机器人提供强大的算力支持。 5. 2024年10月, 英伟达 GEAR 团队发布 AI 小模型 HOVER, 仅有 1.5M 参数的神经网络, 但足以控制人形机器人执行多种机体运动。
小米	1. 2022年8月, 小米发布了全栈自研人形仿生机器人 CyberOne, 通过机械关节模组和全身控制算法实现双足运动姿态平衡, 并通过音频、视觉算法和模组提供了情感感知和空间三维虚拟重建能力。 2. 2023年4月, 小米设立北京小米机器人技术有限公司, 注册资本 5000 万元。
Figure AI	1. 2024年2月, Figure 宣布与 OpenAI 共同开发下一代人形机器人模型。 2. 2024年3月, Figure 宣布拿到 6.75 亿元融资, 估值 26 亿美元, 推出 Figure 01 人形机器人。 3. 2024年8月, 推出新一代人形机器人 Figure 02, 进行了硬件和软件的重新设计, 提升了人工智能、计算机视觉、电池、传感器和执行器等关键技术, 每天工作 20 小时, 灵巧手 16 个自由度, 承载 25 公斤重量。
华为	1. 2022年4月19日, 达闼机器人股份有限公司与华为技术有限公司在北京签署合作协议, 双方将共同打造云端机器人城市运营联合解决方案, 推广机器人运营服务, 并开展多模态大模型开发、机器人创新应用等领域的全方位合作。 2. 2023年, 华为共有四条机器人相关专利获得授权, 分别是“用于标定机器人的运动学参数的方法和装置”、“机器人控制方法、装置、系统及相关设备”、“执行机器人脚本方法及相关装置”、“一种机器人手臂及机器人”。 3. 2023年6月, 华为成立东莞极目机器人有限公司, 注册资本 8.7 亿元, 华为全资持股。 4. 2024年3月, 华为与乐聚机器人签署战略合作协议, 双方将共同探索“华为盘古大模型+夸父人形机器人”商用落地场景。 5. 2024年6月, 双方合作的跨服机器人在华为 HDC 2024 开发者大会首度亮相, 是国内首款搭载鸿蒙操作系统的全尺寸人形机器人。

资料来源: 各公司官网, 中国机器人网, 中国电子报公众号, 财闻 CWW 公众号, 澎湃新闻, 新浪 VR 公众号, 新智元公众号, 界面新闻公众号, AIGC 新智界公众号, 机器之心公众号, 天眼查, 国信证券经济研究所整理

**传统智能汽车与机器人可分为感知、决策、执行三大层面。**智能汽车可大致分为底盘之上+之下, 底盘之上是智能座舱下人机交互实现场景, 细分产业链为“芯片-系统-应用-显示”; 底盘之下主要为智能电动和智能驾驶, 智能电动集成三电系统, 为整车运动核心能源支撑; 智能驾驶主要基于“传感器-计算平台-自动驾驶算法”作用到执行层面, 实现横向和纵向运动控制, 整体可分为“感知-决策-执行”三大层面; 人形机器人指能够模仿人类运动、表情、互动及动作的机器人, 本质上同样可划分为感知、决策、执行三大层面。

**表2: 机器人与智能汽车的零部件具有一定相通性**

	智能汽车	人形机器人
感知层	摄像头、超声波雷达、毫米波雷达、激光雷达等	力矩传感器、位置传感器、摄像头、毫米波雷达等
决策层	域控制器 (智能驾驶芯片、软件 ECU 等)	AI 芯片等
执行层	线控底盘 (线控制动、线控转向、电控悬架)、智能车灯、其他	手部、脚部、腿部等运动
相通部件	电机、传感器、减速/转换机构 (减速器、丝杠、齿轮等)、电池、轴承、结构件、冷却系统、控制器、芯片、软件;	

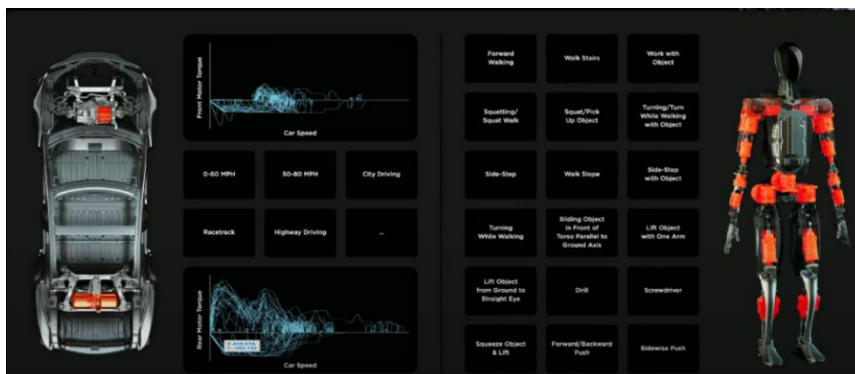
资料来源: 特斯拉官网, 汽车之家, 国信证券经济研究所整理

以特斯拉汽车与人形机器人为例, 其 Optimus 在多个层面沿用汽车领域技术:

- **机械结构:** 据特斯拉 AI DAY, 特斯拉正为 Optimus 研发电池、执行器, 以将功耗保持最低水平, 从传感到融合、再到充电管理等方面, 借鉴了在汽车设计方面的经验; 并采用与汽车相同的芯片, 支持 Wi-Fi、LTE 链接和音频交流。
- **软件方面:** Optimus 有望共用汽车 FSD 自动驾驶系统及 Autopilot 神经网络技术, 同时特斯拉基于汽车安全模拟分析能力打造机器人安全性, 在交通事故模拟中, 特斯拉通过软件优化+电池保护等提升系统软硬件的安全性保障。



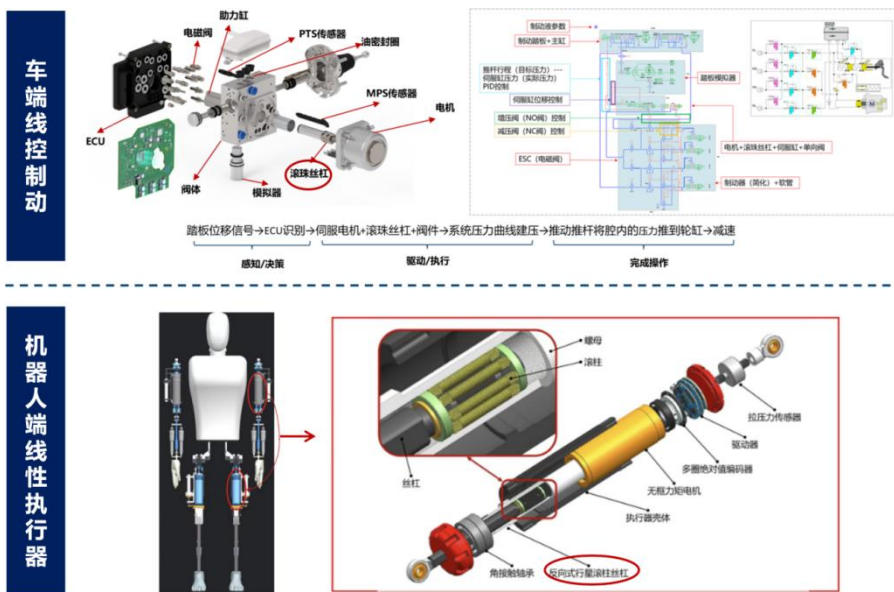
图2：特斯拉车端 VS 人形机器人



资料来源：特斯拉 AI Day，国信证券经济研究所整理

**车端和人形机器人部分零部件具一定共性，供应链重合度较高，汽零公司有望向机器人领域延伸。**如线控制动，车端线控制动核心部件包括电机、滚珠丝杠、模拟器、电磁阀、传感器、ECU 等。而人形机器人线性执行器的核心零部件包括无框力矩电机、传感器、行星滚柱丝杠、轴承等部件，与车端线控制动核心部件具有一定重合。因此机器人零部件与汽车零部件在原材料、设计、工艺、设备、装配，以及成本管控能力、产品质量管控能力体系等方面具有一定相通性，在汽车领域具有相关产品、技术储备的公司，有望实现产品从车端向人形机器人端的延伸。

图3：汽车与人形机器人的线控制动核心部件拆解



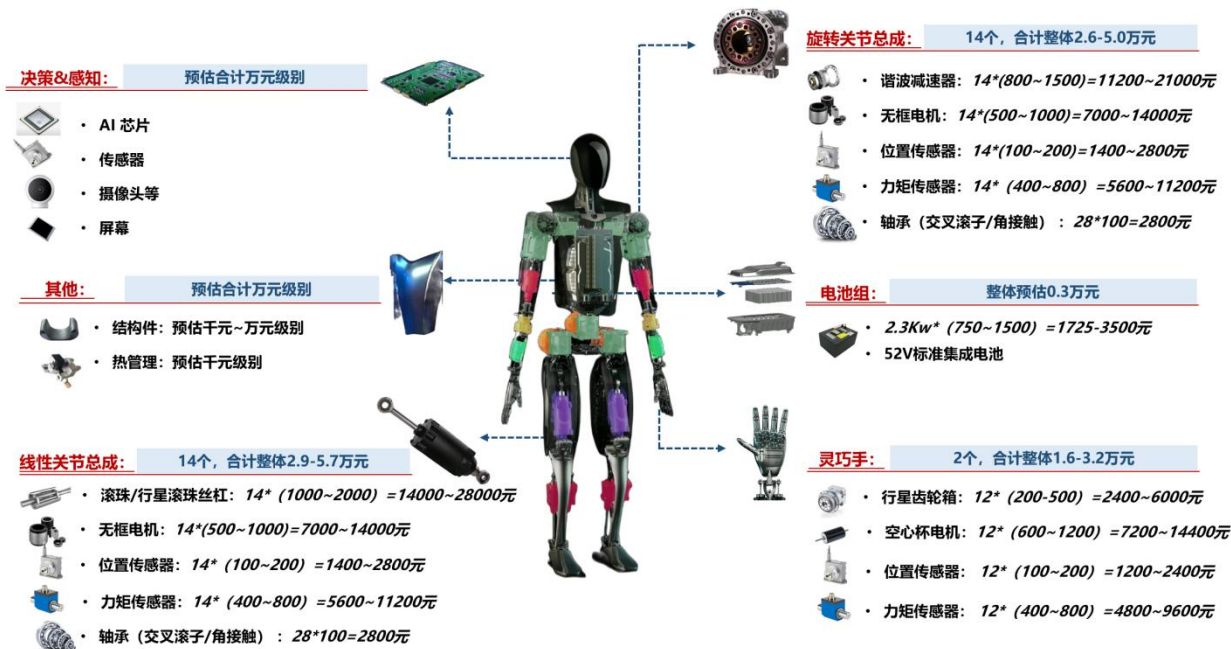
资料来源：拓普集团官网，新剑传动官网，国信证券经济研究所整理

如我们前文所言，在车端与机器人端零部件共通性较高的前提下，人形机器人的发展在大厂入局+技术迭代+政策催化的加持下有望持续提速，带来相关零部件企业的投资机会，基于此，结合 AI DAY 信息我们大概拆解特斯拉 Optimus 内部构造：

**总览：**全身共有 40 个驱动器（躯干 28+手部 12 个），身高约 173cm，体重 73kg，设计行走速度 8km/h，可搬运约 20 磅的货物，搭载 2.3Kwh 的电池组。1) 感知层：主要包括摄像头、毫米波雷达等传感器；2) 决策层：为机器人脑，预计主要为

AI 芯片、FSD 系统等；3) 执行层：线性执行器、旋转执行器以及手部关节；4) 其他：主要包括电池及管理系统，机体结构（仿生结构、其他特殊材料等）。

图4：特斯拉人形机器人零部件价量拆分

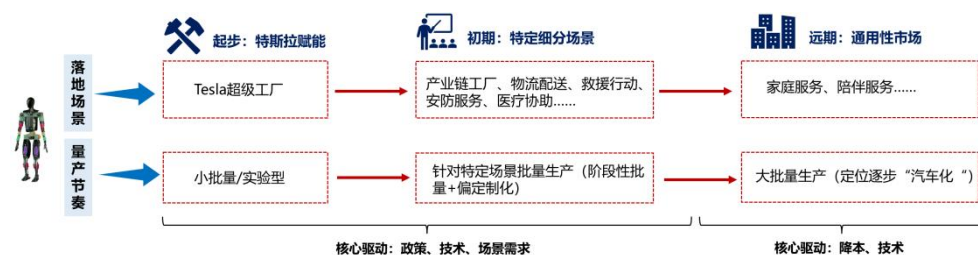


资料来源：特斯拉 AI DAY，绿的谐波公告，双环传动公告，各公司官网，鸣志电器官网，雷赛智能招股书，步科股份招股书，绿的谐波公司公告，柯力传感公司公告，阿里 1688 网站，国信证券经济研究所整理和预测 注：图中数据可能与实际情况有偏差为预估数据，量产后可能有差异，仅供参考，不构成任何投资建议

## 2025 年有望成为量产元年，带来零部件投资新机会

2025 年有望成为人形机器人量产元年。特斯拉从一代人形机器人到二代迭代仅用 9 个月。伴随以 Optimus 为代表的人形机器人的快速进化与创新，人形机器人商业化应用将迎来逐步落地，行业趋势有望加速：1) 应用场景：预计后续特斯拉 Optimus 应用场景将会从 Tesla 超级工厂逐渐向外蔓延，后续辐射到其他制造工厂或相关细分应用场景（商用），远期随机器人持续迭代升级，逐渐落地至通用性（家用）场景；2) 量产节奏：预计短期以特定场景为主导，节奏具一定分散性、阶段性，远期为大批量通用性量产（类似汽车），核心驱动力预计主要为政策、技术、降本和应用场景的需求。

图5：特斯拉人形机器人量产和应用场景探讨



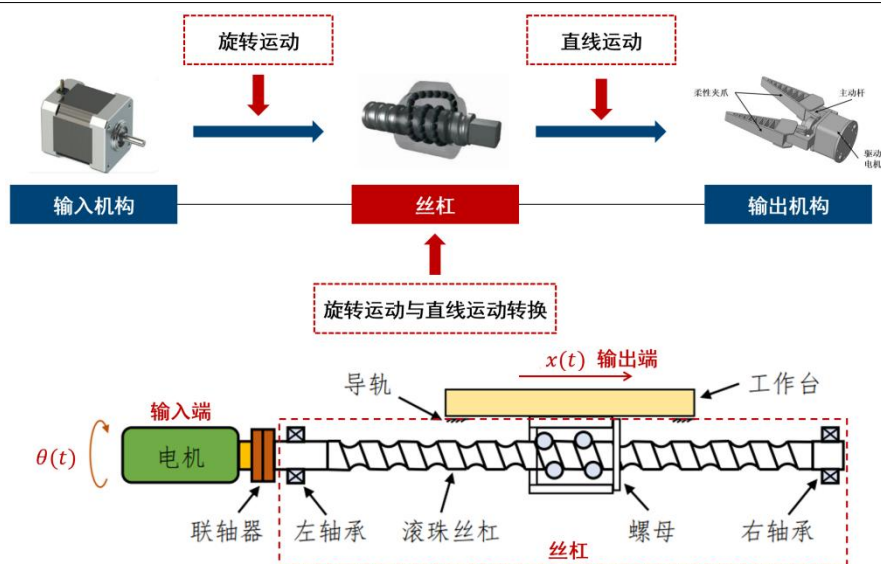
资料来源：特斯拉官网，特斯拉 AI Day，高工机器人，中国机器人网，国信证券经济研究所整理和预测

## 精密丝杠：人形机器人线性关节核心零部件

**总结：**丝杠是一种将旋转运动（电机端）转化为直线运动（输出端）的机械部件，主流丝杠方案包括梯形丝杠、滚珠丝杠和行星滚柱丝杠。相比梯形丝杠，滚珠丝杠和行星滚柱丝杠将传统的滑动摩擦转为滚动摩擦，极大提升传动效率、传动精度、寿命、传动速度；其中行星滚柱丝杠虽制造成本较高，但具备传动效率高、传动精度高、寿命长、负载能力大等优势，在人形机器人中有较好的适配性。反向式滚柱丝杠一体化、小型化程度高，便于集成为机电集成装置，预计是特斯拉 Optimus 机器人线性关节的选择方案。

**丝杠是一种将旋转运动（电机端）转化为直线运动（输出端）的机械部件，广泛应用于具有直线运动功能需求的机器设备。**电机通过联轴器带动丝杠轴转动，丝杠轴上的螺母在螺旋形螺纹的驱动下实现直线往复运动，从而将电机的旋转力矩转化为设备运动所需要的直线方向的驱动力。以精密运动平台为例，其基本结构为电机-滚珠丝杠副-导轨-载物台，其中动力源为步进电机，传动单元为滚珠丝杠副，引导单元为交叉滚柱导轨，执行单元为载物台，滚珠丝杠的主要功能是将电机输出的旋转运动转换为直线运动。

图6：丝杠基本功能原理



资料来源：金属加工公众号，《滚珠丝杠副精密运动平台全行程定位精度预测及补偿》（唐勉志和唐皓，2023），《滚珠丝杠进给系统的联合仿真及控制方法研究》（包正强，2023），国信证券经济研究所整理

### 按摩擦特性，丝杠可分为滑动丝杠、静压丝杠和滚动丝杠：

- 1) **滑动丝杠**：最典型的是梯形丝杠，因其牙型截面为梯形而得名；梯形丝杠由丝杠和螺母组成，导程较大，可在低速转动时实现较快的进给，承载能力强。
- 2) **静压丝杠**：螺纹牙形与标准梯形螺纹牙形相同，但牙形高于同规格标准螺纹1.5~2倍，目的在于获得良好油封及提高承载能力；静压丝杠调整较麻烦，需一套液压系统，工艺复杂，成本较高。
- 3) **滚动丝杠**：在螺母与螺杆之间加入钢珠、滚柱等滚动部件，将传统螺杆滑动接触转换成滚动接触，将螺母内的钢珠、滚柱的回转运动转为线性运动。相比滑动和静压丝杠，滚动丝杠传动过程中能量损耗较少、传动效率也较高，主要包含滚珠丝杠和行星滚柱丝杠。行星滚柱丝杠与滚珠丝杠的主要区别是行星滚柱丝杠负

载的传递单元使用螺纹滚柱而不是滚珠，从而能够承受更高的静态和动态负载，具更强刚度和抗冲击能力，可提供更高转速及更大加速度。此外行星滚柱丝杠为螺纹传动，螺距设计范围更广，导程可比滚珠丝杠更小。

图7：精密丝杠主要类型



资料来源：头豹产业研究院，鼎智科技官网，《行星滚柱丝杠参数设计及静态力学性能分析》（张健聪，2018），国信证券经济研究所整理

产业链拆解来看，以行星滚柱丝杠为例，行星滚柱丝杠产业链由上游原材料与零部件供应、中游行星滚柱丝杠制造、下游多应用领域构成。上游环节，行星滚柱丝杠中丝杠选用的材料多为合金结构钢，螺母和滚柱选用的材料多为高碳铬轴承钢；零部件包括丝杠、螺母、滚柱、内齿圈等关键部件；下游应用场景涵盖多个行业，从汽车、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，应用空间广阔。

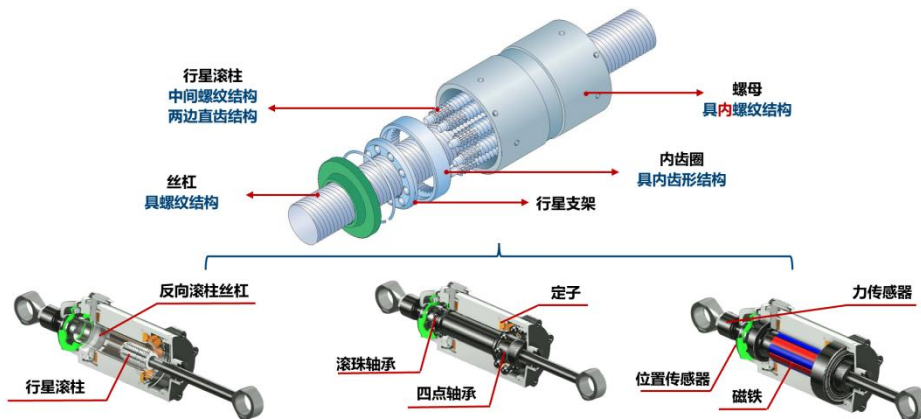
图8：行星滚柱丝杠应用领域



资料来源：前瞻产业研究院，国信证券经济研究所整理

行星滚柱丝杠是人形机器人的核心环节，后续降本空间广阔。以特斯拉机器人Optimus为例，其躯干共有28个关节，旋转关节和直线关节各14个，按照目前的行业情况，预计其中直线关节或采用大、中、小三种共计14个丝杠，分别位于肘部2个、腕部4个、大腿前后4个和小腿4个。根据行业信息，目前人形机器人用行星滚柱丝杠单价为万元级别，成本极高，我们预估后续的降本路径大概为送样阶段（万元级别/套）→小批量生产（几千元/套）→大批量生产（1-2千元/套）的水平，预计批量量产后单台机器人关节丝杠价值量占比约15%-25%左右，是机器人各零部件中价值量占比最高的环节之一，若后续机器人灵巧手部位也采用微行星滚柱丝杠，则价值量占比有望进一步提升。

图9：行星滚柱丝杠及相关构造拆解



资料来源：高工业机器人，Tesla AI day，国信证券经济研究所整理

**丝杠核心参数：**丝杠的关键技术指标包括公称直径、传动效率、载荷、螺旋升角、导程、螺距、寿命、精度、轴向间隙、重复定位精度等。其中螺距是指相邻两牙在中径线上对应两点间的轴向距离；而导程则是指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。因此当螺纹为单线螺纹时，导程=螺距；多线螺纹时，导程=螺距×线数。

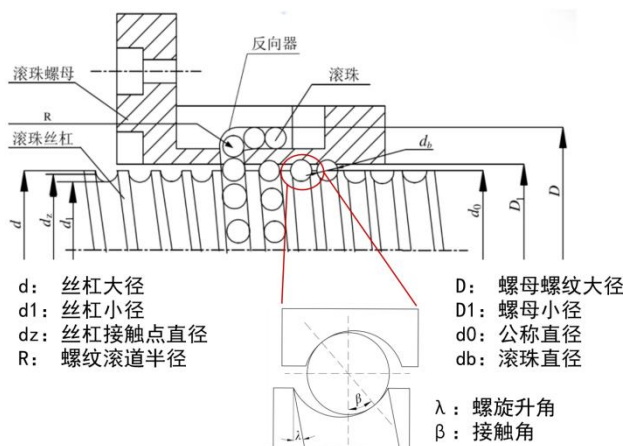
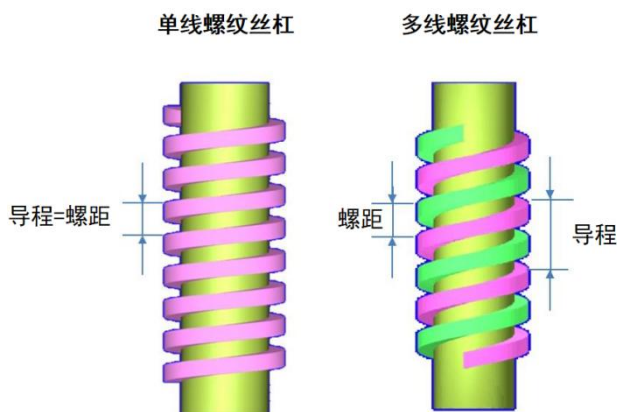
表3：丝杠关键技术指标、含义及影响因素

技术指标	含义	影响因素
公称直径	丝杠的外径，不仅确定了丝杠的基本尺寸，还直接影响其承载能力。常见规格 12、14、16、20、25、32、40、50、63、80、100 等；	加工精度、运转环境等
传动效率	输出功率与输入功率的比值；	摩擦力矩、磨损、精度保持性、润滑、负载、转速等
载荷	分为静态载荷和动态载荷。额定静载荷是使滚珠与滚道区承受最大接触应力处产生不大于 0.0001 滚珠直径的永久变形量的情况下所允许的最大静载荷；额定动载荷是丝杠在运转过程中，螺旋副不发生疲劳剥蚀所能承受的纯轴向载荷；	公称直径、加工误差、表面粗糙度、材料特性、修形量、啮合位置等
螺旋升角	在公称直径的圆柱上螺旋线的切线与垂直于螺纹轴线平面间的夹角 $\lambda$ ，计算公式为： $\tan \lambda = Ph / (\pi d_0)$ ，其中 Ph 是导程， $d_0$ 是公称直径；	公称直径、导程等
导程	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，通常以毫米或英寸表示。导程越大，移动速度越快，但也意味着轴承负载增加；	丝杠长度、公称直径等
螺距	相邻两牙在中径线上对应两点间的轴向距离，通常以毫米或英寸表示。螺距越大，每转实现的进给量越大，但也会导致阻力增大，影响精度；	丝杠长度、公称直径等
寿命	丝杠在使用寿命内所能承受的负荷次数；	负荷、转速、温度、润滑等
精度	丝杠制造精度的评价标准，在行星滚柱丝杠实际的工程应用中，通常将螺母行程为 300mm 时传动误差作为传动精度的指标；	加工误差、负载、转速、润滑等
轴向间隙	在滚珠螺母与滚珠丝杠之间没有相对转动时，两者之间总的相对轴向自由位移量；	加工精度、预压、装配等
重复定位精度	丝杠在相同的条件下多次移动到同一位置时的误差，高精度滚珠丝杠的重复定位精度可以载荷、速度、加/减速度、运动方向、温度、轴向间隙等达到 0.001mm 以下。在需要频繁定位的场合，重复定位精度非常重要。	

资料来源：金属加工公众号，Thomson 官网，百度爱采购，中华人民共和国国家标准 GB/T 17587.5-2008，中华人民共和国国家标准 GB/T 17587.1-2017，上海慧腾官网，《滚珠丝杠副传动效率影响因素试验研究》（冯虎田等，2022），《凸凹式行星滚柱丝杠承载与磨损特性理论研究》（刘荣荣，2022），《滚珠丝杠副额定动载荷值的影响因素研究及其计算实现》（刘波，2006），国信证券经济研究所整理

图10：丝杠导程与螺距关系

图11：滚珠丝杠的核心结构参数



资料来源：机械工程文萃公众号，国信证券经济研究所整理

资料来源：《重载滚珠丝杠副接触载荷与刚度分析研究》(卢宇, 2024)，国信证券经济研究所整理

**丝杠精度等级：**不同国家和地区对丝杠精度等级划分不同的标准，但基本都采用丝杠任意 300mm 行程内的行程变动量来进行衡量。我国国家标准《GB/T 17587.3—2017 滚珠丝杠副第 3 部分》将滚珠丝杠分为 0、1、2、3、4、5、7、10 共 8 个公差等级，其中 0 级（P0）精度最高；据上银科技，基于日本 JIS 标准，丝杠下游应用领域的精度要求较为多样化。其中，工业母机对丝杠的精度要求较高，如用于加工设备的高精密磨床、车床要求 C0 级别精度。在机器人中，精密的机械臂要求 C1~C4 级精度，一般级别的机械手臂则为 C5~C7 精度。

表4: 丝杠精度等级及部分应用领域要求

国内标准	精度等级	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P7	P10
	精度 (μm)	3.5	6	8	12	16	23	52	210
ISO 标准	精度等级	IT0	IT1	IT2	IT3	IT4	IT5	IT7	IT10
	精度 (μm)	4	6	8	12	16	23	52	210
日本 JIS 标准	精度等级	G0	G1	G2	G3	-	G5	G7	G10
	精度 (μm)	3.5	5	7	8	-	18	50	210
主要应用领域		高精度机床、精密测量设备等			航空制造设备，精密投影及三坐标测量设备等		数控设备		普通机械
不同应用领域具 体精度要求	车床	○	○	○	○	○	○		
	磨床	○	○	○	○	○			
	铣床、镗床		○	○	○	○	○		
	钻床					○	○	○	
	航空制造设备、精密投影设备等			○	○				
	机械手臂（精密级）		○	○	○	○			
	机械手臂（一般级）							○	○
航空负载齿轮							○	○	
搬送装置						○	○	○	○




资料来源：中华人民共和国国家标准 GB/T 17587.3—2017，金属加工公众号，上海慧腾官网，上银科技官网，国信证券经济研究所整理

对比三种丝杠的优劣势：梯形丝杠性能弱于滚珠和行星滚柱丝杠，但成本低、结

构简单、制造方便，国产化率较高，通常用于机床等领域；滚珠丝杠传动效率高，但工艺复杂、成本高，适用于高精度传动；行星滚柱丝杠性能更强，传动效率高、精度高、长寿命、高承载，但前期投入成本高，制造壁垒高，国产化率低。

- **梯形丝杠：成本较低，工艺成熟，但滑动摩擦摩擦力大，影响传动效率+精度较低**，一般不用于高速传输，表面损伤较大，寿命较低；梯形丝杠啮合区域较滚珠丝杠大（增大牙形接触面积），提升传动自锁性（可防止工件在断电或停止驱动时滑落）；梯形丝杠一次完成工艺效率高，结构简单，成本较低。
- **滚珠丝杠：摩擦损失小、传动效率高**。滚珠丝杠的丝杠轴与丝杠螺母之间有滚珠做滚动运动，实现较高运动效率（可达 90%+）；由于滚珠丝杠中的滚珠是滚动摩擦，其静摩擦力与动摩擦力几乎相等，因此不需要大的启动力矩，在启动（或低速时）的时候不会发生颤动，提高传动的灵敏度、准确度和平稳性，能够实现精确的微进给。
- **行星滚柱丝杠：高承载、耐冲击、体积小、高速度、低噪音、高精度、长寿命**。行星滚柱丝杠的接触形式为线接触，相比滚珠丝杠大量增加接触点，提升承载力和刚性，利于达到较高的导程精度；相同载荷下，行星滚柱丝杠体积比滚珠丝杠小（预估节省 1/3 左右的空间），且寿命更长。

表5: 三种丝杠的核心参数对比及优缺点梳理

核心指标	梯形丝杠	滚珠丝杠	行星滚柱丝杠
丝杠示意图			
传动方式	滑动摩擦	滚动摩擦（点接触）	滚动摩擦（线接触）
传动精度	低	较高	高
寿命	低	较高	高
承载能力	高	较高	高
成本	低	较高	高
导程	一般 >1mm	一般 >0.5mm	可 <0.5mm
自锁性	高	低	较高
体积	-	-	小
优点	结构和工艺简单、成本低	传动效率高、传动精度高	长寿命、高承载、耐冲击、体积小、高精度、噪音低、高速度
缺点	传动效率和精度低、无法用于高速传动、自锁性低、承载力不高、寿命相对行星滚珠丝杠不高	易发热、寿命低	价格高、生产难度大

资料来源：头豹产业研究院，鼎智科技官网，博特精工官网，《基于行星滚柱丝杠的伺服电动缸节能高效起竖关键技术》（杨光，2023），《鸿鑫公司滚珠丝杠项目的商业计划书》（潘小英，2019），国信证券经济研究所整理

### 梯形丝杠：结构简单，一次完成工艺效率高

梯形丝杠由丝杠和螺母组成，二者通过螺纹直接啮合，当电机驱动丝杠旋转时，螺母通过与丝杠之间的滑动摩擦力而沿丝杠轴向移动。梯形丝杠拥有导程较大、价格低、技术成熟等特点，可在低速转动时实现较快进给，且承载能力强，广泛应用于机床、矿山、医疗等领域。同时梯形丝杠具有一定自锁性。

- **结构简单，加工方便，价格经济**：梯形丝杠的结构相对简单，加工起来也较为方便，在成本上较为经济。

- **自锁性：**自锁性是指由于梯形丝杆的螺纹外形特性，螺旋升角小于当量摩擦角时，丝杆与螺母不会发生滑动。这种自锁性在特定应用领域具有明显优势，例如垂直升降系统中，带自锁的丝杆副无需加装额外的锁紧装置，在电机失速时自锁性提供了更高的安全系数。

梯形丝杠由于滑动摩擦的特性存在一定劣势：

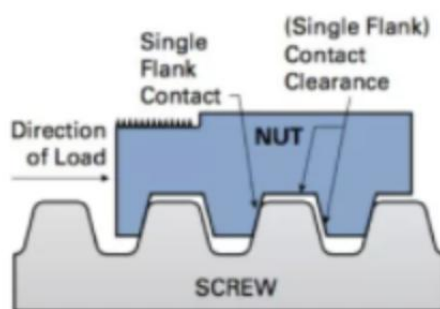
- **工作时温升高、磨损大、寿命低，不适用于高速传输：**滑动摩擦工作时温升较大，过高的速度将在结合面上产生高热量，导致磨损加剧、寿命较低，因而适合于重量较轻，速度要求不高的应用中。
- **传动效率低：**梯形丝杠的传动效率低于其他精密丝杠。

图12：梯形丝杠示意图



资料来源：米思米官网，国信证券经济研究所整理

图13：梯形丝杠结构简单

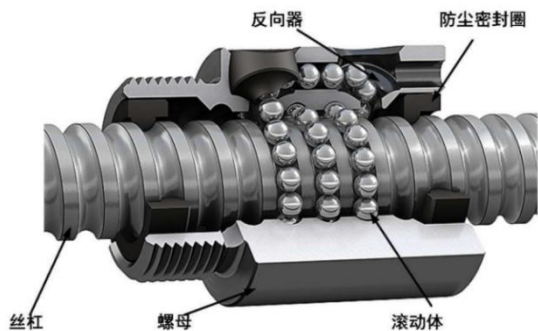


资料来源：斯科勒自动化官网，国信证券经济研究所整理

### 滚珠丝杠：精密传动元件，滚动摩擦代替滑动摩擦

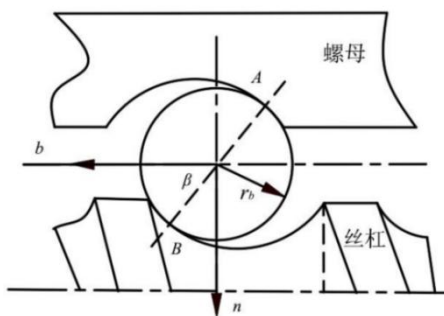
滚珠丝杠由螺杆、螺母、钢球、预压片、反向器、防尘器组成，通过滚珠在螺纹带上滚动，将旋转运动转化为线性运动，具高精度、可逆性和高效率的特点。螺母和丝杆的表面被加工成与滚珠配合的螺纹滚道，滚珠作为中间传动介质在螺旋滚道内沿螺旋滚道运动，从而迫使螺母轴向移动；滚珠滚动一圈后，螺母上设置的反向器会使其回到初始位置，构成滚珠循环链。滚珠反复循环运动，带动螺母沿着丝杆轴向运动，实现旋转和直线运动双向转换。滚珠丝杠使用螺母与丝杠滚道之间的滚动运动代替滑动运动，大大提高传动效率，在传动领域有重要的应用。

图14：滚珠丝杠结构



资料来源：《滚珠丝杠高精研磨工艺及装置研究》（石国辉，2022），国信证券经济研究所整理

图15：滚珠与滚道接触图



资料来源：《精密滚珠丝杠副精度保持性影响因素分析及试验研究》（燕栋，2023），国信证券经济研究所整理

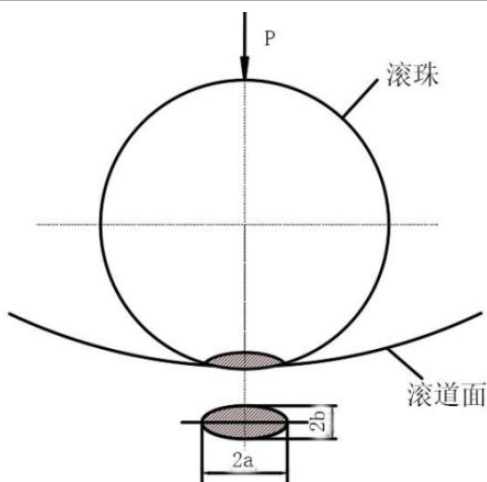


**滚珠丝杠的滚动摩擦原理使其与传统的滑动摩擦方式相比具较多优势：**

- **传动效率高：**滚珠丝杠在实际工作条件下滚动所产生磨损较小，传动效率高（超 90%），产生的功率消耗也相对较低，约传统丝杠 1/4~1/3。
- **传动精度高：**丝杠的轴向间隙可通过预紧力来消除，而热伸长现象则可通过对丝杠预拉伸来补偿，从而可得到较高的定位和进给精度。
- **传动平稳：**传动过程中，滚珠滚动带动丝杠和螺母运动，产生的摩擦阻力很小，启动时无振动、无爬行现象，因此灵敏度较高，可实现精密的微量进给。
- **寿命长：**滚珠丝杠在选材上选用综合力学性能较好的钢材，并经过淬硬等热处理或表面改性处理，因此长期使用后磨损较小，工作寿命较长。

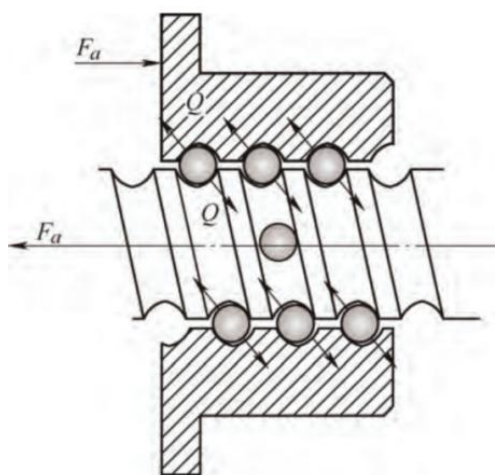
**相比行星滚柱丝杠，滚珠丝杠也存在使用寿命和承载能力低的问题。**在高速运转时，滚珠丝杠里的滚珠受离心力作用发生滑动，使机构的径向振动加剧，相比行星滚柱丝杠出现温升过快与寿命下降等问题。在重载工况下，滚珠由于弹性变形和摩擦力作用，易发生卡死导致无法正常运转。

图16: 滚珠与滚道面的小接触点提高传动效率



资料来源：《精密滚珠丝杠副精度保持性影响因素分析及试验研究》（燕栋，2023），国信证券经济研究所整理

图17: 螺母轴向载荷由滚珠的接触载荷轴向分量之和平衡

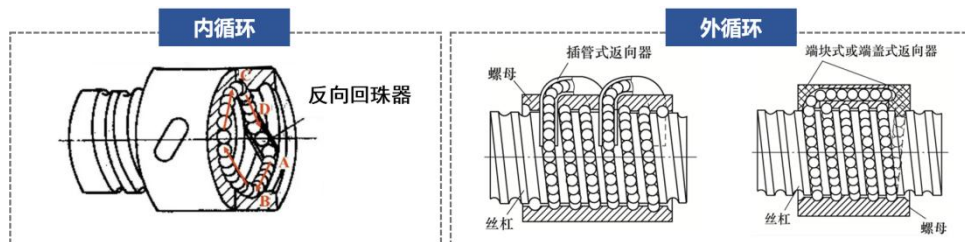


资料来源：《滚珠丝杠副传动效率影响因素试验研究》（冯虎田等，2022），国信证券经济研究所整理

**根据螺母中的滚珠循环方式，滚珠丝杠主要分为外循环、内循环。**

- **内循环滚珠丝杠：**内循环滚珠丝杠主要由丝杠、螺母、滚珠及反向器 4 个部分组成。滚珠在循环过程中始终不离开丝杠表面，具有结构尺寸小、传动效率高、滚珠循环链短、同步性能好的特点，适合用于结构紧凑的机械设备。但反向器安装在螺母内部，加工难度较高。
- **外循环滚珠丝杠：**在运行中滚珠会离开滚道，通过反向器（突出于滚珠螺母外径之上）回到初始位置；外循环结构承载能力较好，且工艺简单，适于批量生产，但其滚道接缝处较难做得平滑，影响滚珠滚动平稳性，甚至发生卡珠现象，噪声较大；同时外循环弯管突出在螺母外部，导致径向尺寸较大。

图18: 内循环式与外循环式滚珠丝杠



资料来源：《高速滚珠丝杠副动力学性能提升的关键技术研究》（张海栋，2019），机械工程文萃公众号，国信证券经济研究所整理

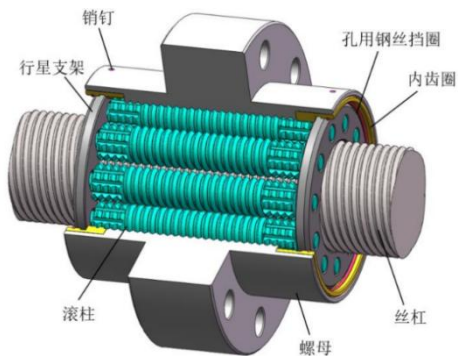
### 行星滚柱丝杠：精度和承载力高，当下机器人关节主流方案

在滚珠丝杠的基础上，行星滚柱丝杠将传动单元变为滚柱，克服传统液压传动装置固有的环境适应性差、可靠性低等缺点，并具极高承载能力、传动精度、传动效率、轴向刚度与高速性能，应用于数控机床、航空航天、武器装备等领域。

#### 标准式行星滚柱丝杠主要包括丝杠、滚柱、内齿圈、保持架和螺母等主要零件：

1) 丝杠上有多头螺纹，2) 滚柱有相同牙型角的单头螺纹；3) 螺母具与丝杠相同头数和牙型的内螺纹；4) 保持架：滚柱通过保持架均匀分布于丝杠、螺母间，防止滚柱相对螺母轴向窜动，保持架与螺母之间轴向方向相对固定；5) 直齿：为消除丝杠螺旋升角对滚柱产生的倾斜力矩，在滚柱两端加工有直齿，与内齿圈啮合，确保滚柱轴线平行于丝杠轴线正常滚动，避免滚柱相对于螺母滑动产生偏斜现象。

图19: 行星滚柱丝杠内部结构示意图



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，2021），国信证券经济研究所整理

图20: 行星滚柱丝杠零部件



资料来源：《行星滚柱丝杠设计》（王家健，2020），国信证券经济研究所整理

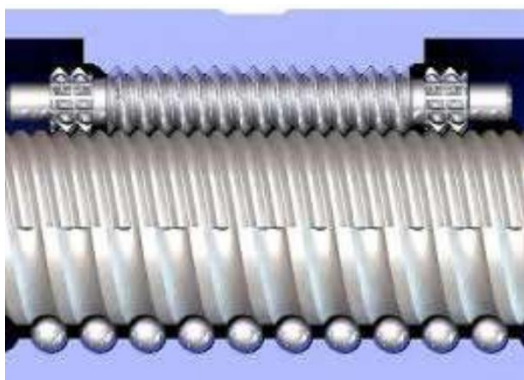
行星滚柱丝杠的传动原理是电机驱动丝杠旋转，从而带动滚柱绕丝杠轴向公转，同时绕自身轴线自转，然后滚柱带动螺母做轴向运动。其中滚柱与螺母的螺旋升角相等以实现二者之间无相对轴向位移，而丝杠的螺旋升角大于滚柱的螺旋升角以实现轴向和周向运动。**与滚珠丝杠相比，行星滚柱丝杠具有以下优势：**

- **承载能力强、工作寿命和可靠性高：**滚柱丝杠的主丝杠周围布置有若干行星螺纹滚柱，作为负载的传递单元，相对滚珠方案大幅增加接触面和受力面，接触线长、传动间隙小，尤其在动载荷工况下，多根滚柱可将冲击分散至螺纹接触线上，使其可承受更高静态和动态负载。行星滚柱丝杠拥有高精度、高传动效率、高承载、高可靠性等优点，**适合用于要求高负载、高功率、高**

转速、高线速度、高加速度、极高精度和刚性的环境，且寿命比滚珠丝杠高，可恶劣工况下连续工作上万小时，工作环境温度范围相比滚珠丝杠提高。

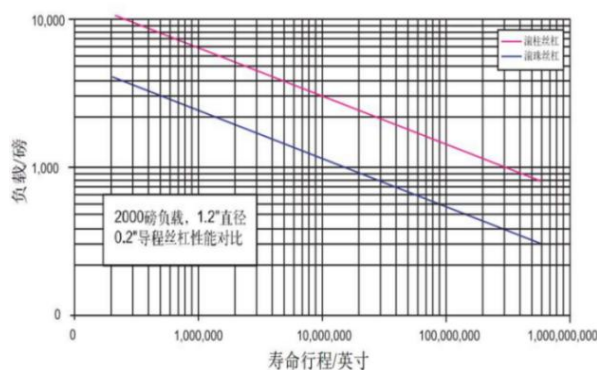
- **传动精度高：**滚柱丝杠中丝杠螺旋升角较小，螺距设计范围更广，导程可以设计得比滚珠丝杠更小，定位精度更高，且传动噪声低。
- **安装空间紧凑：**相同负载下，体积较滚珠丝杠节省约 1/3，安装空间紧凑。
- **速度和加速度特性好：**滚柱丝杠通过滚柱作为传动体进行传动，与行星齿轮类似，在保持架的作用下能够保证啮合运动的顺畅进行，保证螺母能够顺利的往复直线运动，更多的啮合点保证滚柱丝杠可获得更高的速度和加速度。

图21：行星滚柱丝杠接触点比滚珠丝杠多



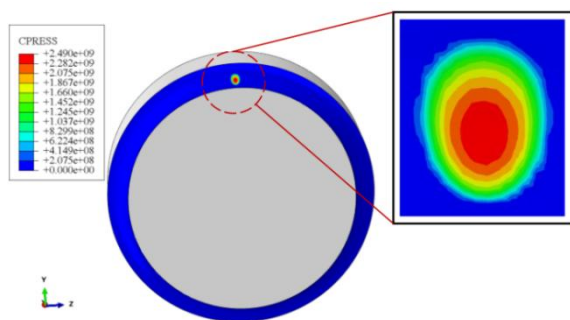
资料来源：《循环式行星滚柱丝杠副的设计及运动连续性研究》（李巧，2021），国信证券经济研究所整理

图22：行星滚柱丝杠寿命比滚珠丝杠高



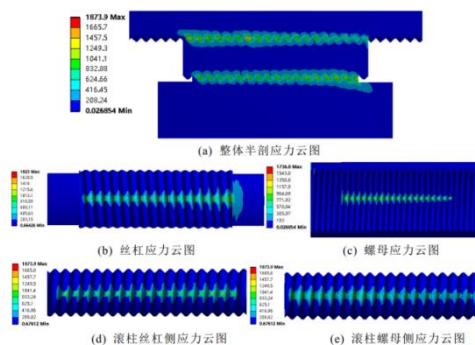
资料来源：《循环式行星滚柱丝杠副的设计及运动连续性研究》（李巧，2021），国信证券经济研究所整理

图23：滚珠丝杠应力与负载集中在滚珠接触点



资料来源：《滚珠丝杠材料的滚动接触疲劳试验与仿真研究》（冯本哲，2023），国信证券经济研究所整理

图24：行星滚柱丝杠多个滚柱共同承受载荷



资料来源：《反向式行星滚柱丝杠静态承载能力研究》（王敏，2021），国信证券经济研究所整理

行星滚柱丝杠根据其结构组成及运动关系不同可分为标准式、反向式、循环式、差动式、轴承环式行星滚柱丝杠：

- **标准式行星滚柱丝杠：**标准方案；为避免滚柱轴线相对于丝杆倾斜，消除丝杆螺旋升角对滚柱产生倾覆力矩，滚柱两端带有螺旋齿，确保滚柱平行于丝杆轴线而正常转动。
- **反向式行星滚柱丝杠：**与标准式的区别在于，反向式是将电机直接集成到滚柱丝杠螺母上，螺母作为旋转输入而丝杆作为直线输出，丝杠上仅在与滚柱

旋合的部位加工有螺纹或螺纹齿。在结构上，相比标准式，反向式的螺母长度比标准式的大，螺母内螺纹长度明显更深，而滚柱和丝杠的长度较短，且无内齿圈，丝杠两端加工有直齿与滚柱两端的直齿啮合。反向式便于集成，一体化、小型化程度高，可将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装置，缺点是螺母中深长的内螺纹不易加工，对加工条件和设备要求较高，而且行程受到螺母内螺纹长度的限制。

- **循环式行星滚柱丝杠：**相比于标准式，循环式去掉内齿圈，增加凸轮环结构，其功能类似于滚珠丝杠返回器，使滚柱在螺母内旋转一周后回到初始位置，另外滚柱上无螺纹、齿轮结构，为环槽状，环槽间距与丝杠、螺母的螺纹匹配，安装在具有凹槽结构的保持架上。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。循环式的缺点在于其凸轮环结构会产生振动冲击，存在噪音问题，而且凸轮环的设计与装配是循环式的难点。
- **差动式行星滚柱丝杠：**与标准式相比，差动式无内齿圈，滚柱上也无齿轮段，滚柱和螺母均为环槽结构。滚柱的环槽分为多段，小直径段环槽与螺母啮合，大直径段环槽与丝杠啮合。差动式丝杠的结构特点使其可获得更小的导程，适用于传动比大、承载能力高的应用场合。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。
- **轴承环式行星滚柱丝杠：**滚柱与循环式相同为环槽结构，相比标准式，其螺母去掉内齿圈，增加壳体、端盖及推力圆柱滚子轴承等部件；轴承环式丝杠上的推力圆柱滚子轴承提高了承载能力，同时也减小各构件间磨损，增大传动效率，适用于高承载、高效率领域，但结构复杂，径向尺寸大，成本高。

图25: 行星滚柱丝杠类型特点及应用领域

行星滚柱丝杠类型	特点	应用领域	示意图
标准式	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 丝杠、螺母为三角形多头螺纹，滚柱为具有一定螺旋升角的球形单头螺纹，并在其两端加工有直齿，内齿圈固定在螺母两端并与滚柱两端的直齿啮合。</li> <li>• 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，是目前应用最广泛的类型。</li> </ul>	精密机床、机器人、军工装备等	
反向式	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 结构形式与标准式类似，不同在于没有内齿圈。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。丝杠两端加工有直齿与滚柱两端的直齿啮合，且螺母作为主动件，丝杠为输出构件，滚柱、丝杠之间无相对轴向位移，主要用于中小负载、小行程和高速的应用场景。</li> <li>• 优点：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，可替代传统液压、气压伺服作动系统。</li> <li>• 缺点：行程受到螺母内螺纹长度的限制。</li> </ul>	航空、航天、船舶、电力等	
循环式	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 相比标准式去掉了内齿圈，增加了凸轮环结构，功能类似于滚珠丝杠的返回器，目的是让滚柱在螺母内旋转一周后回到初始位置。滚柱上无螺纹、齿轮结构，为环槽状，环槽间距与丝杠、螺母的螺纹匹配，安装在具有凹槽结构的保持架上。</li> <li>• 优点：增加了参与啮合的螺纹数量，刚度高、承载能力大，主要应用于要求高刚度、高承载、高精度的场合。</li> <li>• 缺点：凸轮环结构会产生振动冲击，存在噪音问题。</li> </ul>	医疗器械、光学精密仪器等	
差动式	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 与标准式相比去掉了内齿圈，滚柱上没有齿轮段。滚柱、螺母均为环槽结构，且滚柱的环槽分为多段，其中中小径段与螺母啮合，大径段与丝杠啮合。</li> <li>• 优点：可以获得更小的导程，适用于传动比大、承载能力高的应用场合。</li> <li>• 缺点：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。</li> </ul>	航空航天、武器装备、机器人、汽车、高精密机床和石油化工等	
轴承环式	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 滚柱与循环式相同，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。</li> <li>• 优点：推力圆柱滚子轴承大大提高了其承载能力，减小构件间的磨损，增大传动效率，适用于高承载、高效率等领域。</li> <li>• 缺点：结构复杂，径向尺寸大，制造成本高等。</li> </ul>	石油化工、重型机械等	

资料来源：GGII，《行星滚柱丝杠传动精度分析与设计》（柯浩，2020），《差动式行星滚柱丝杠传动特性理论研究》（郑正鼎，2020），国信证券经济研究所整理

## 壁垒分析：壁垒高筑，制造设备与工艺技术 Know how 为核

**总结：行星滚柱丝杠优异性能的背后支撑是极高的工艺要求和设备壁垒，同时行星滚柱丝杠生产的另一关键点主要体现为精度与效率的权衡，如何在保持加工精度的同时提高加工效率，是降低制造成本、打开应用空间的重要前提。总体来看，行星滚柱丝杠的核心在设备能力、制造工艺 know how、批量生产能力：1) 设备方面，丝杠高精度特性对设备要求高，国产磨床加工精度不及进口磨床，出品易不稳定，因此目前高端加工设备依赖进口，但海外高端磨床成本高（近千万元/台）+采购周期长（1年+）；2) 工艺方面，螺纹加工存在轧、磨、车、铣等多种方案，目前磨制是应用相对广泛的方案；螺母的内螺纹加工是核心壁垒所在，制造工艺难度较大；3) 一致性批量生产：人形机器人远期需求有望达百万台，对于零部件公司的批量生产能力和一致性保持能力同样提出较高要求。**

**行星滚柱丝杠难度高、壁垒高筑，是人形机器人最高价值环节的零件之一。** 特斯拉 Optimus 行星滚柱丝杠的核心壁垒在于制造设备和工艺技术的 Know-how，我们从设备采购、热处理工艺、加工工艺等方面分析研究行星滚柱丝杠的技术壁垒。

- **设备资金：**丝杠的高精度特性使其对制造设备要求高，目前高精密加工设备主要依赖进口，购置成本较高；1) **设备受限于进口，到货周期长：**螺纹磨床是提升精度关键设备，包括内螺纹与外螺纹磨床（或车磨一体），国产磨床可满足 C3~C4 精度加工，但批量加工高端丝杠（C0~C2）时易存在出品不稳定性现象，外资设备需从日、欧、美等国家采购，交付周期长，**到货周期至少一年起步**，且设备到场后需定向调试；2) **资金要求高：**进口精密磨床和精密铣床价格高昂，例如大型丝杠切削制造机床每台价格超过百万美元。
- **热处理：**热处理工序可改善丝杠副各零件材料性能、切削性能及消除残余应力，提高材料的表面硬度及耐磨性；技术设备落后、热处理工艺参数选择不当等原因都可能导致热处理质量较差、热处理后材料变形较大，产生接触疲劳磨损，降低使用寿命。

表6: 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	理采用渗碳淬火，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，2021），GGII，国信证券经济研究所整理

- **加工工艺：效率+精度+一致性批量生产。** 螺纹滚柱、螺母、丝杠作为行星滚柱丝杠传动机构的关键部分，其成形加工工艺的效率和精度直接决定丝杠的成本与性能。在丝杠整体加工工序中螺纹加工是重中之重。目前行星滚柱丝杠螺纹加工方式包括包括有轧制（滚轧）、车削、磨制（磨削）、旋风铣等。在丝杠制造过程中会产生误差与能量损失，行星滚柱丝杠主要有形变误差、制造误差、安装误差等，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，想要避免误差的干扰需较多制造工艺 Know-how。此外，人形机器人远期需求有望达百万台，对于零部件公司的批量生产能力和一致性保持能力同样提出较高要求。

图26: 行星滚柱丝杠与加工制造相关的误差来源

与加工制造相关的误差来源	含义	示意图
偏斜误差	<ul style="list-style-type: none"> <li>由于加工误差，滚柱中心轴线无法与丝杠、螺母的中心轴线平行，导致滚柱出现偏斜，或者滚柱在装配过程中，保持架并未正确安装导致滚柱出现偏斜的误差。这两种偏移是对啮合间隙影响最大的因素，进而影响传动精度。</li> </ul>	
安装误差	<b>安装偏心误差</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>由于安装过程中，顶尖中心连线和拨盘轴线产生的直线度偏差。偏心误差会对螺纹啮合状态及齿轮啮合状态产生影响，从而降低行星滚柱丝杠的传动精度。</li> </ul>	
	<b>位置误差</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>在实际装配过程中，受各个零件加工一致性的不同，使得螺母内部齿圈和行星支架的左右对中性较差所产生的误差，即丝杠旋转轴线与螺母外圆轴线之间的偏差。螺母的位置误差会直接影响行星滚柱丝杠的传动精度。</li> </ul>	
螺纹螺距误差	<ul style="list-style-type: none"> <li>丝杠螺纹在磨削加工过程中，机床传动误差、工件和机床母丝杠的热变形误差，以及砂轮与滚道之间的接触变形等因素会导致砂轮的进给量与理论值有所偏差。螺距误差是当滚柱沿轴向母线滚动通过丝杠滚道时，滚柱轴向运动的实际位置与理论位置之间的差异。螺距误差影响行星滚柱丝杠的传动精度和传动效率，对螺纹啮合产生较大影响。</li> </ul>	
螺纹牙型误差	<ul style="list-style-type: none"> <li>也称牙侧角偏差。为实际值与理论设计值之间的误差，牙型半角误差过大会使螺纹副的接触角发生改变导致承载不均，加速螺纹表面的磨损并增大行程误差，且螺纹牙左右侧的牙型角误差不同，会导致行星滚柱丝杠副的正反行程传动性能有所差异，降低传动精度。</li> </ul>	
制造误差	<b>齿轮齿距误差</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>齿轮齿距实际值与理论值之间的偏差。Fpmin为齿距误差最小值，Fpmax为齿距误差最大值。由于每对齿均存在齿距误差，故一般考虑齿轮齿距累积误差，即各齿距误差累积的总幅值Fp。齿轮齿距误差影响对齿轮啮合、齿轮的转角误差，降低传动机构的传动精度。</li> </ul>	
	<b>齿轮齿廓误差</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>在齿廓的范围内，实际齿廓线的包络线有许多条，将距离为最小的两条称为设计齿廓线，它们之间的距离即为齿廓偏差。齿轮齿廓误差不仅会影响齿轮副受载和齿轮的转角误差，从而影响机构的传动精度。</li> </ul>	
制造偏心误差	<ul style="list-style-type: none"> <li>行星滚柱丝杠的螺纹在机械加工的过程中，两端中心孔的轴线与螺纹滚道的轴线没有同轴，此误差导致丝杠在旋转的过程中滚道产生跳动，从而对行程误差产生周期性的影响。直接影响螺纹的啮合状态，从而影响行星滚柱丝杠的传动精度。</li> </ul>	

资料来源：《行星滚柱丝杠传动精度分析与设计》（柯浩，2020），《精密滚珠丝杠磨削加工精度及其测试方法研究》（牛星，2021），《考虑综合误差的行星滚柱丝杠副接触特性分析及参数优化》（伍文博，2023），《精密行星滚柱丝杠副制造工艺制造与传动性能研究》（郑伟，2021），国信证券经济研究所整理

### 工艺：螺纹加工工艺复杂，技术路径尚未收敛，壁垒深厚

在行星滚柱丝杠和滚珠丝杠中，丝杠通过螺纹啮合来实现精密传动，螺纹的加工精度将直接影响丝杠系统的传动精度、使用寿命、平稳性，故螺纹的加工工艺是影响行星滚柱丝杠性能的关键因素，壁垒深厚。

丝杠螺纹加工工艺主要包括轧制和切削法，其中切削包括硬态车削、磨削加工、旋风铣削等工艺，目前看磨削加工是精密丝杠的精加工主流方案。轧制法采用成形滚压模具使工件产生塑性变形以获得螺纹，而切削法则通过去除材料来形成螺纹。具体来看：1) 轧制工艺使用硬化钢模具将工件材料变形为螺纹轮廓，无需切削，加工效率高，但一般精度较低（约 P5~P10 级）；2) 磨制工艺加工工序复杂、效率较低，但最高精度可达 P0 级，是精密滚珠/滚柱丝杠的主流精加工工艺；3) 车削工艺相对磨削效率有所提升（以车代磨的优势），但加工精度不及磨削，且车刀有时存在损耗问题；4) 旋风铣介于磨制和轧制工艺之间，精度和加工效率平衡较好，但在高精度方面与磨削还有差距，且铣刀也存在损耗问题。

表7: 丝杠加工工艺对比

对比项目	轧制	车削	磨削	旋风铣
工艺示意图				

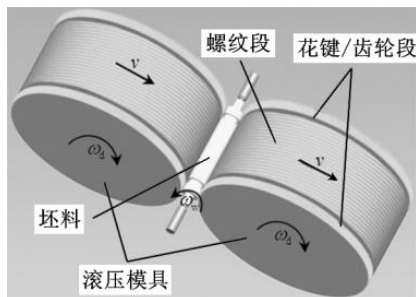
适合加工对象	超细长、大导程丝杠加工，或适于长度 1m、螺距 6mm 以下长径比精度要求不高的丝杠加工	高精度丝杠螺纹加工	适于较长以及长径比大的丝杠
设备与刀具	丝杠轧机	CBN 刀具及数控车床	丝杠磨床或开槽磨床
加工精度	IT10~IT11	粗车：IT11 半精车和精车：IT7~IT10 硬车削：IT5~IT7	精密磨削：IT5~IT8 超精密磨削：IT5 以下
表面粗糙度	Ra0.2~50 μm	粗车：Ra10~20 μm 半精车和精车：Ra0.16~10 μm 硬车削：Ra0.01~0.04 μm	精密磨削：Ra0.04~0.16 μm 超精密磨削：Ra0.01~0.04 μm 镜面磨削：Ra0.01 μm 以下
加工效率	高	中	较低，工序多
优点	生产效率最高	加工精度较高，相当于半精磨、加工效率较高，表面残余应力分布均匀，螺纹部件疲劳寿命高	加工精度最高
缺点	加工精度低、有脆性切削白层	排屑干涉现象增大切削能耗，加快刀具的磨损、降低加工质量	设备成本高、加工工序长、加工效率不高、表面易烧伤、有残余拉应力

资料来源：《行星滚柱丝杠螺纹的硬态车削加工技术研究》（陈晖，2018），《精密滚珠丝杠机械加工工艺规程研究》（郑红，2018），《大型滚珠丝杠硬态铣刀具刃口表征及评价技术研究》（宋树权，2018），《滚珠丝杠螺纹制造技术向高效、低耗、绿色方向发展》（黄祖尧，2010），金属加工公众号，国信证券经济研究所整理

### 1) 轧制：效率高但精度相对受限的加工工艺

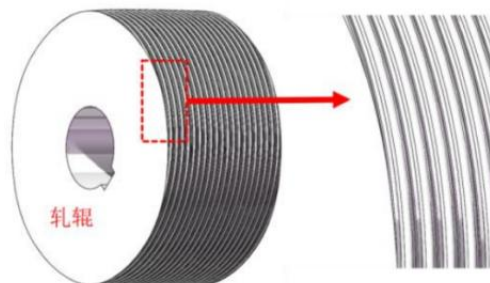
轧制成形螺纹工艺是一种局部连续渐进成形的加工方法，使用滚压轮或搓丝板滚压轧件坯料，利用金属材料的可塑性，坯料表面在滚压力的作用下发生塑性变形而逐渐成形为螺纹。**轧制工艺生产滚柱效率高、损伤小**，成形率远远高于切削加工成形，其局部连续渐进成形，极少损伤金属纤维，塑性变形又能大大增加螺纹滚柱的表面强度，提升螺纹滚柱的机械性能。

图27：滚柱一次滚压成形原理



资料来源：《滚珠丝杠斜轧工艺与试验研究》（张敏华，2023），国信证券经济研究所整理

图28：轧辊及其局部图

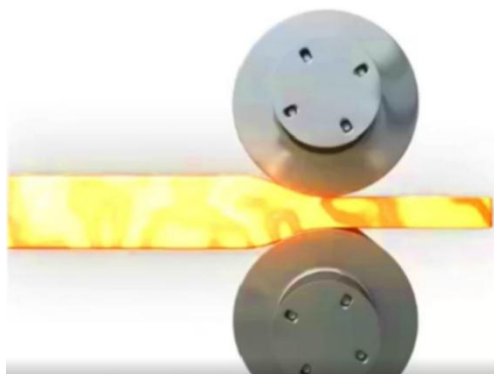


资料来源：《行星滚柱丝杠副滚柱塑性成形的探讨》（张大伟和赵升吨，2015），国信证券经济研究所整理

轧制工艺一般可分为热轧和冷轧。冷轧与热轧的界限是以再结晶温度来区分的，低于再结晶温度为冷轧，高于再结晶温度为热轧（钢的再结晶温度 450~600℃）。

- **热轧**一般将钢材加热至 1100~1250℃进行轧制，热轧后钢材具更高成型性和可加工性，更易于在后续加工中使用。但热轧钢在冷却阶段有收缩，其最终形状的可控制程度较低，因此热轧常用于不需非常严格精度的场景。
- **冷轧**时钢材不进行加热，需更高压力将其轧制成所需的尺寸。冷轧钢的强度更高，表面光滑，在成型后不会收缩，比热轧钢具有**更高强度、硬度、精度**，因此在**丝杠等高精度产品中**，轧制工艺主要使用的是冷轧。

图29: 热轧示意图



资料来源: 制造原理公众号, 国信证券经济研究所整理

图30: 冷轧示意图

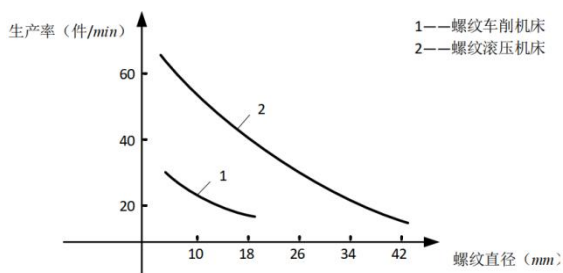


资料来源: 制造原理公众号, 国信证券经济研究所整理

**丝杠冷轧过程可分为四个阶段:** 1) **进给阶段:** 滚压轮旋转并向工件表面快速进给, 同时开启冷却液, 使滚压轮所有齿在圆周上均能受到冷却作用 (润滑全面、冷却充分); 2) **切入阶段:** 滚压轮与工件表面接触并压入一定深度形成齿痕, 同时利用摩擦力带动工件旋转, 实现工件轴向分度; 形成齿痕的基础上连续进给直至终止位置, 形成最终齿廓; 3) **精整阶段:** 轧辊停止径向进给, 但继续旋转 (提高轧件圆度和表面粗糙度), 精整螺纹; 4) **成型结束:** 滚压轮以相对较慢的速度退出, 离开成形区域后再快速退至初始位置, 防止因弹性回弹导致工件齿形表面擦伤。

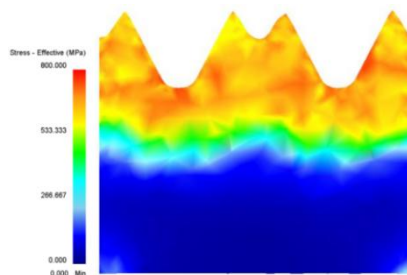
冷轧工艺具有生产周期短、高生产效率等优势, 效率极高, 且冷轧丝杠强度高、疲劳寿命长, 抗拉强度高; 材料利用率高, 可达 90% 以上。但是相比磨制、旋风铣等工艺也存在精度不高、应力较为集中等劣势。

图31: 轧制丝杠生产率高



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, 2020), 国信证券经济研究所整理

图32: 轧制滚柱齿形的应力较为集中



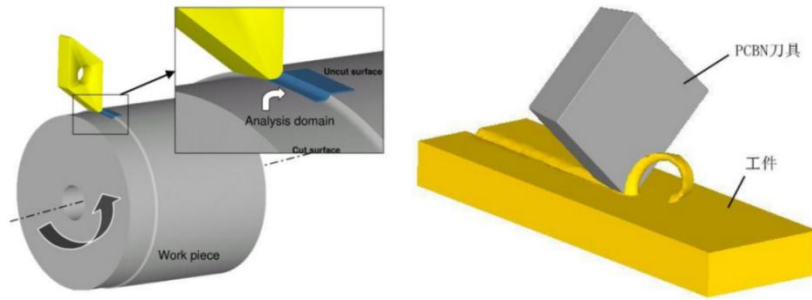
资料来源: 《行星滚柱丝杠滚柱冷滚压成形机理与实验研究》(王旭, 2020), 国信证券经济研究所整理

**2) 车削: 以车代磨提高效率, 但加工精度仍不及磨削**

螺纹车削是刀具在丝杆表面沿螺旋线切削出成型槽的工艺, 将工件表面以直代曲, 刀具沿直线方向施加主切削速度, 工件沿进给方向施加进给速度, 可以在工件表面以螺纹升角切出螺纹槽。车削的刀具材料是聚晶立方氮化硼 PCBN, 硬度可高达 HV8000~9000 (硬度仅低于金刚石)。



图33: 螺纹车削加工原理图



资料来源：《行星滚柱丝杠螺纹的硬态车削加工技术研究》（陈晖，2018），国信证券经济研究所整理

**当前车削丝杠的加工工艺主要采用车削+磨削结合：车削工艺流程可大概总结为：下料-预备热处理-车削-淬火-磨削的流程。**1) **车削**：丝杠加工螺纹滚道时，先对螺纹滚道进行粗加工即粗车螺纹，然后进行淬火（提升硬度）；2) **磨削**：淬火完成后，对滚道进行粗磨，之后进行时效处理（去应力），再进行精磨，制成丝杠。

而“以车代磨”的方式也有一定潜在的应用空间，但目前还需验证效果：行星滚柱丝杠的主要零件通常采用高硬度材料，如淬硬轴承钢、铬镍铁合金、工具钢等，硬度达 60HRC 左右。传统磨削精加工的生产效率低，同时产生大量的切削热造成丝杠螺纹滚道部分退火，导致硬度下降，而且磨削砂轮容易脱粒，并在工件表面产生磨削烧伤与微裂纹，影响丝杠可靠性。在此背景之下，**利用 PCBN 等超硬材料作为刀片进行“以车代磨”的精密加工技术逐步出现**，此方案能保证行星滚柱丝杠螺纹的加工精度与表面粗糙度，同时还能有效提升加工效率、降低制造成本。**硬车削工艺效率较高，但加工精度不及磨削工艺，且刀具易损坏。**

- **优点**：硬车削解决了使用砂轮进行大余量磨削加工的工艺难题，在一台机床上就能完成毛坯到成品的加工，有效提升加工效率。硬车削可使用 PCBN 刀具进行精车，获得的表面粗糙度相当于半精磨水准。车削加工过程中组件的定位精度高，易于保证被加工工件的形状精度和尺寸精度，且车削刀具结构简单，装夹方便，切削过程相对平稳，可采用较大的切削余量。表面残余应力分布更加均匀，增加螺纹部件的疲劳寿命。此外硬车削切屑带走大部分热量，不会产生磨削工艺的表面烧伤问题。
- **缺点**：加工精度不及磨削工艺。此外车削刀具刀刃部分硬而脆，在切削加工过程中产生的排屑干涉会导致刀尖受波动较大的冲击力，使刀具产生磨损。

表8: 硬车削加工工艺情况

参数	具体情况
加工部位	冷轧滚珠丝杠轴端，硬度 HRC60~65，加工余量 10mm
刀具	CBN 高硬刀具，采用纯陶瓷作为结合剂高温高压烧结
切削参数	吃刀深度：8mm，线速度：70~90m/min，走刀量：0.1mm/r
优点	“以车代磨”大余量加工硬材料工艺，解决采用砂轮大余量磨削加工的工艺难题
缺点	刀具易产生磨损或破坏，加工精度不如磨削

资料来源：《精密滚珠丝杠机械加工工艺规程研究》（郑红，2018），国信证券经济研究所整理

### 3) 磨制：精度最高的关键精加工工艺，但加工效率较低

磨削是目前高精度丝杠螺纹的主要加工方法，实质是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，砂轮的表面磨粒划擦、刻划和切削工件表

面，进而获得更高的精度。磨削砂轮的截面形状与被磨削工件的螺纹截面形状类似，通过高精度的数控磨床可加工出高精度的小螺距螺纹，目前对于热后的高硬度螺纹面或硬脆材料螺纹面的高精度加工，磨削是最为行之有效的加工方式。以滚珠丝杠为例，使用磨削加工后精度最高可达到 P0 级。

表9: 丝杆磨削加工工艺流程较长

步骤	工序	步骤	工序
1	丝杆毛坯	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，2021），GGII，国信证券经济研究所整理

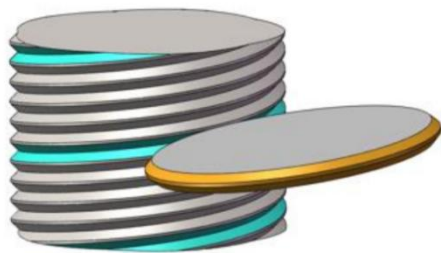
行星滚柱丝杠中丝杠、螺母、滚柱等不同部位的磨削工艺存在差异，提高工艺壁垒。磨削工艺流程长、加工复杂繁琐，同时既需要针对丝杠和滚柱的外螺纹磨削，又需要针对螺母的内螺纹磨削，其中螺母内螺纹加工难度最高。

- **外螺纹磨削：**主要针对丝杠和滚柱；磨削砂轮高速旋转，砂轮刀刃会在旋转过程中形成回转表面。工件一边绕自身轴线转动，一边沿轴线移动，且在转动一圈的同时沿轴向移动单位导程的距离；
- **内螺纹磨削：**主要针对螺母；内螺纹磨削是行星滚柱丝杠加工的关键难点：

**加工过程：**磨削内螺纹时，砂轮外径尺寸受螺纹内孔直径尺寸限制，为保证砂轮不与螺母发生干涉，砂轮直径不可大于螺母螺纹内孔最小直径，且需利用磨杆带动砂轮伸入螺母内螺纹加工位置进行磨削；在磨削中，螺母绕其轴线旋转，砂轮自身高速旋转的同时沿螺母轴线直线进给以完成螺母内螺纹磨削。

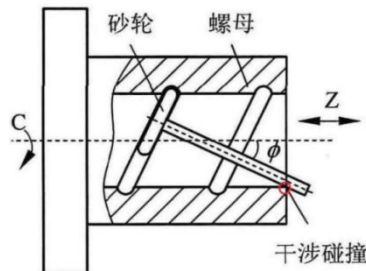
**加工难点：**①内螺纹磨削时磨杆须旋转一个螺旋角，从而使得磨杆可能会和螺母内孔碰撞，无法继续磨削，产生干涉问题，降低磨削精度；②由于磨杆的存在，磨削过程中易造成砂轮振动，振动过大会在加工表面产生振纹，降低螺纹精度，需通过材料和结构等方面改善磨杆振动问题；③螺母内螺纹一般需要经过多次磨削，需要让每次磨削时的砂轮进刀点一致，否则会因为砂轮轨迹(起点、速度)的不同而造成螺纹乱扣，损坏已切好的螺纹沟槽，影响内螺纹精度，需要进行对刀。但是螺母结构尺寸小，半封闭的内部空间非常有限，使得内螺纹自动对刀的难度大大增加；④当内螺纹的牙形尺寸较小时，成形砂轮在磨削加工过程中极易发生磨损和失效，需要对砂轮进行多次重复修整，加工精度和效率很难保证。

图34: 砂轮磨削加工外螺纹螺旋面



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, 2021), 国信证券经济研究所整理

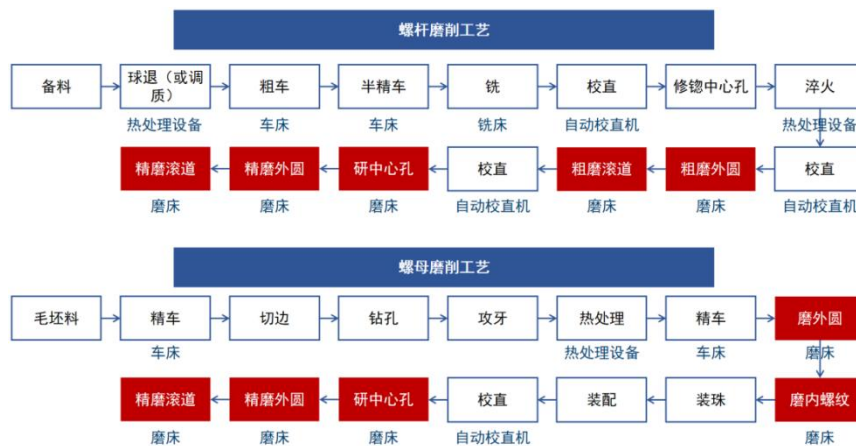
图35: 砂轮磨削加工螺母内螺纹



资料来源:《大导程滚珠螺母内滚道精密磨削关键技术研究》(胡臣, 2022), 国信证券经济研究所整理

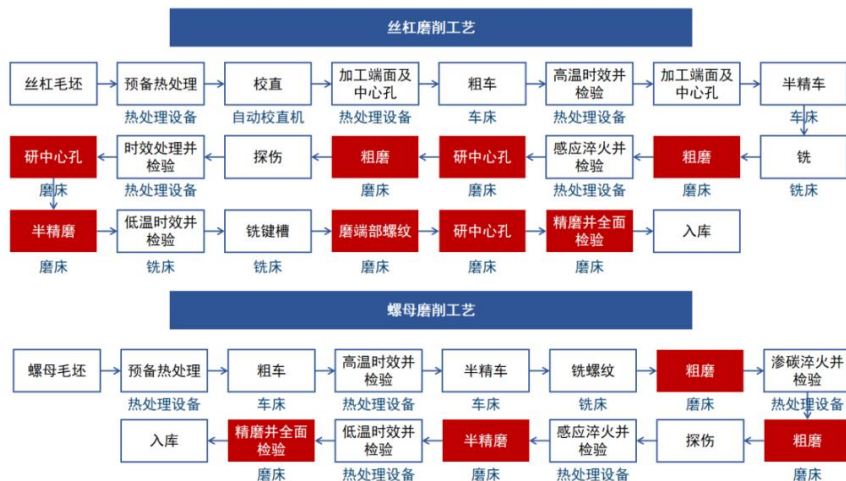
丝杠磨削工序整体流程较长, 滚珠丝杠的螺杆部分和螺母部分各需经过十多道工序方可成形, 其中包括粗磨和精磨工艺; 行星滚柱丝杠则工艺流程更长, 且在螺杆、螺母和滚柱中均需采用磨削工艺。

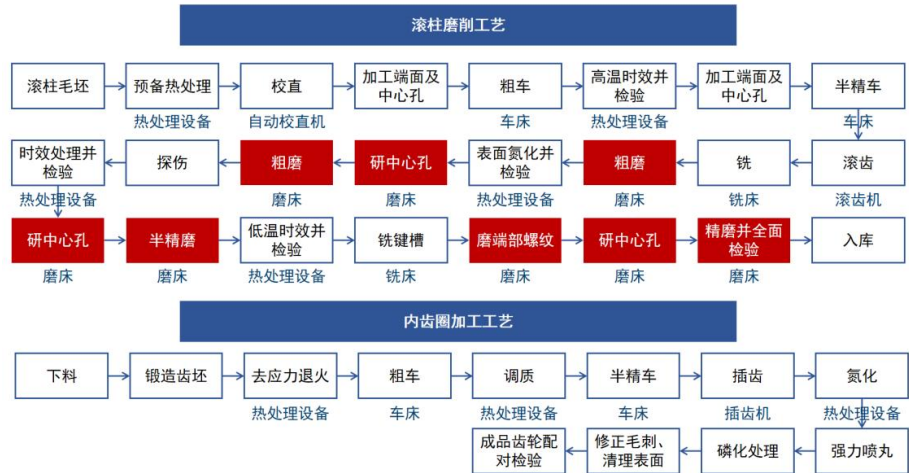
图36: 滚珠丝杠的磨削加工工艺流程



资料来源:《鸿鑫公司滚珠丝杠项目的商业计划书》(潘小英, 2019), 国信证券经济研究所整理

图37: 行星滚柱丝杠的磨削加工工艺流程





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，2021），国信证券经济研究所整理

表10: 行星滚柱丝杠不同零部件加工参数及工艺细节

零部件	加工基准	精度约束-降低偏心误差	表面粗糙度要求	其他要求
丝杠	螺纹：确定丝杠两端轴颈的形位公差大小	对螺纹加工前丝杠外圆的圆跳动作严格的精度约束	● 丝杠螺纹外圆表面粗糙度 Ra0.8 ● 螺纹两侧滚道表面粗糙度 Ra0.32	● 丝杠螺纹牙的左右牙型半角精度 ±0.5°
螺母	螺纹：确定螺母两端外圆的形位公差大小	对螺纹加工前螺母内孔的圆跳动作严格精度约束	● 螺母小径表面表面粗糙度 Ra0.8 ● 螺母两侧滚道表面粗糙度 Ra0.32	● 螺母螺纹牙的左右牙型半角精度 ±0.5° ● 螺母内部装配内齿圈的内孔相对于螺纹的同轴度达 0.008mm ● 螺纹端面圆跳动达 0.02mm ● 螺母左右两端内孔的对称性需严格控制 ● 滚柱螺纹牙的左右圆弧半径精度 ≤0.03mm ● 滚道两侧加工精度尽可能相同
滚柱	螺纹：确定滚柱两端轴颈的形位公差大小	对螺纹加工前滚柱外圆的圆跳动作严格的精度约束	● 滚柱螺纹外圆表面粗糙度 Ra0.8 ● 螺纹两侧滚道表面粗糙度 Ra0.32	● 滚柱螺纹的长度误差 ≤0.5mm ● 滚柱左右两端齿轮应严格对称 ● 多个滚柱的尺寸一致性需较高
零部件	加工基准	加工要求		
内齿圈	外圆：控制内孔同轴度为 0.008mm	● 保证内齿圈和滚柱齿轮的齿形之间不发生干涉，控制齿顶圆和齿根圆公差 ≤0.01mm ● 内齿圈上销钉孔和螺母销钉孔相对于各自端面的位置精度要高 ● 左右内齿圈装配后应严格对称，此对称性完全依靠销钉来实现，所以为了保证一对内齿圈销钉孔位置的一致性，应对一对内齿圈进行配制		
行星架	外圆：控制行星支架小孔位置度在 0.05mm 以内	● 行星支架内孔宜采用正公差，保证内孔直径大于丝杠螺纹大径，装配丝杠时不发生干涉 ● 行星支架外圆直径略小于内齿圈内孔直径且行星支架外圆采用负公差		

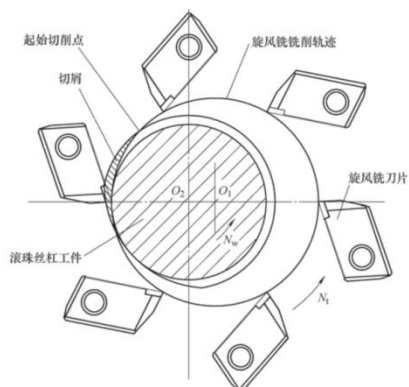
资料来源：《精密行星滚柱丝杠副工艺制造与传动性能研究》（郑伟，2021），国信证券经济研究所整理

#### 4) 旋风铣：兼顾精度与效率，但国内工艺仍需摸索

**旋风铣螺纹是采用旋风铣头来加工螺纹，只需一次切削就能完成螺纹的加工方法**，借助刀盘旋转中心与工件中心的偏心量完成渐进式高速铣削加工，具有铣削速度高、加工效率高、高精度、低成本等优点。加工过程中，旋风铣被安装在车床中拖板上，采用 6~8 把均匀对称的高强度对称铣刀，车床夹持工件完成低速进给运动，旋风铣带动硬质合金刀具高速旋转，完成切削运动，从工件上铣削出螺纹，工件每转 360° 时，刀盘纵向进给一个导程，铣出螺纹。

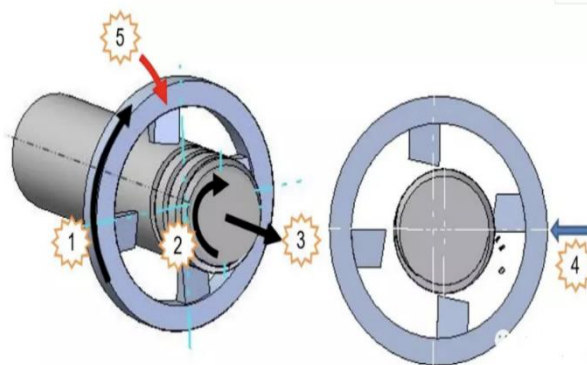
**旋风铣的工艺壁垒主要体现在工艺积累和铣刀耗材等方面。**工艺积累方面，旋风铣运动规律复杂，加工过程中刀架安装倾角、偏心距、刀盘直径及转速比等参数都会对最终加工质量产生影响，需较深的工艺积累；铣刀方面，丝杠工件往往硬度较高，铣刀存在损耗问题，影响刀具切削性能。目前海外在旋风铣的基础理论和关键技术等方面具一定领先优势，国内螺纹旋风铣削仍具改进和提升的空间。

图38: 旋风硬铣削加工原理图



资料来源:《硬铣滚珠丝杠螺纹滚道工艺研究》(张广明等, 2017), 国信证券经济研究所整理

图39: 旋风铣五大加工运动



资料来源: 沐风机械公众号, 国信证券经济研究所整理

### 旋风铣技术拥有以下优势:

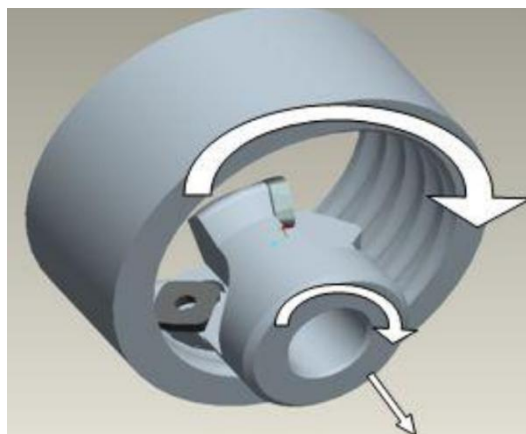
- **切屑轻薄、切削力小、材料去除率高、切削热量散失快:** 在切削过程中, 刀片只有旋转到靠近工件一侧才参与切削, 为刀具提供足够的散热时间, 且切削中产生的大部分热量被切屑带走; 每次加工区域的空间位置相同, 切入到切出的切削厚度与宽度变化为由小变大→由大变小, 一定程度提高单位时间的金属切削率, 提高整体工艺的性能。
- **提高加工精度与表面质量:** 旋风硬铣削常用的刀具材料为 PCBN 材料, 在加工过程中, 高速铣床凭借自身高刚度与精度, 进行渐进式的切向断续切削方式, 切削深度小, 加工精度较高。
- **提高切削速度, 降低加工成本:** 螺纹旋风铣技术可实现一体化加工、免去磨削和多余热处理工序, 可保证加工后丝杠的尺寸精度和表面完整性指标; 加工效率可达磨削的几倍, 与传统切削相比, 刀具使用寿命可提高近 70%。
- **高速旋风铣技术可加工丝杠外螺纹和螺母内螺纹。** 外螺纹旋风铣一次就可完成符合滚道廓型和表面质量要求的螺纹, 同时也可用于螺母内螺纹加工。

旋风铣的缺点在于无法加工部分异形丝杠, 且精度相对磨削仍存在一定差距。

图40: 外螺纹旋铣系统



图41: 内螺纹铣削示意图



资料来源：《滚珠丝杠旋风铣削加工热变形误差及其控制技术研究》（李彦凤，2014），国信证券经济研究所整理

资料来源：《高速滚珠丝杠副动力学性能提升的关键技术研究》（张海栋，2019），国信证券经济研究所整理

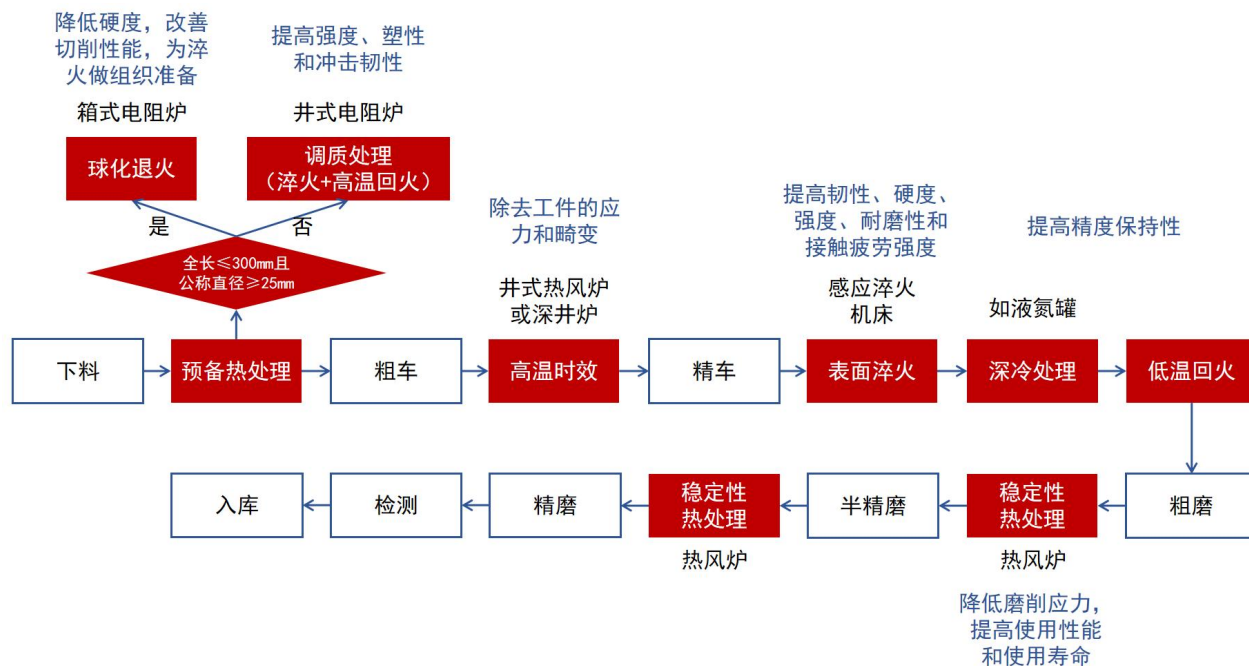
**旋风铣设备方面**，旋风铣床前端有负责夹持工件的三爪卡盘用来固定工件，径向移动的滑板位于床鞍上，滑板上的铣削头用来加工螺旋升角。床鞍上的随动支撑机构随铣削头移动而随动支撑工件。旋风铣机床主要包括旋风铣专机、普通车床+旋风铣刀座、走心机+旋风铣刀座三种，目前国内大多数厂商都采用普通车床+旋风铣刀座的方式，投资小但比较低端，只能加工大的丝杠等部件，不能加工接骨螺钉等微型零件且精度有限。**在刀片方面**，旋风铣多采用 PCBN 成型刀片，不使用冷却液，直接干切削硬后的工件，具有高硬度与高耐磨性、高热稳定性与化学稳定性、导热性良好、摩擦系数较低等优点。但是，丝杠的高硬度导致铣刀易产生磨损，影响切削性能。

### 热处理：工艺复杂、种类繁多，温度把控等多维度要求高

热处理作用是改善丝杠各零件的材料性能、切削性能及消除残余应力，从而提升硬度和韧性。丝杠的热处理工艺包括调质处理（或球化退火）、时效处理、表面热处理、深冷处理等。热处理对于温度把控、设备要求、工艺规范等多个维度有较高要求，技术壁垒较高。

丝杠各零件工作特性和尺寸结构不同，因而热处理方式也有所差异：1) **丝杠**：采用感应淬火作为表面热处理方法，满足“表面具有较高的硬度、耐磨性和强度，心部具备较强韧性以抵抗冲击载荷作用”的性能要求；2) **螺母**：采用渗碳淬火作为表面热处理方法，满足硬度和耐磨性，且可承受较大冲击载荷，延长寿命；3) **滚柱和内齿圈**：整体进行调质处理，使其在较大的动载荷作用下，能很好地承受弯曲和扭转力的作用，且硬度和耐磨性也显著提高。

图42：丝杠热处理工艺流程



资料来源：《高性能 GCr15 钢滚珠丝杠的热加工工艺》（樊伟等，2014），《热处理工艺对机床滚珠丝杠用 GCr15SiMn 轴承钢性能的影响》（雷日扬，2015），国信证券经济研究所整理

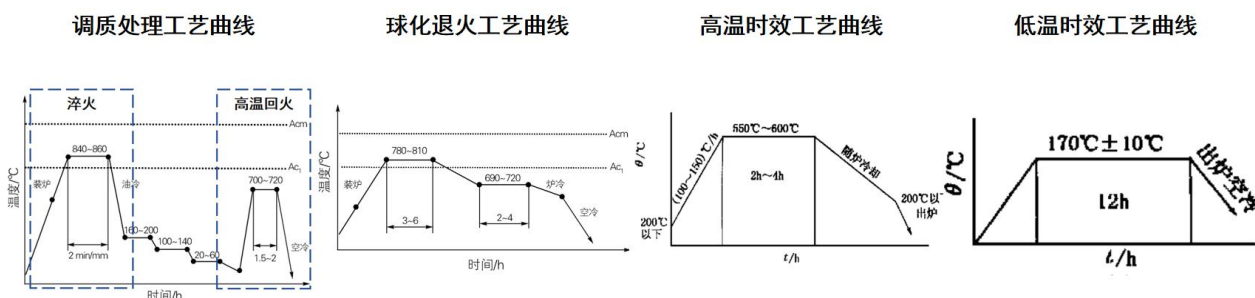
- 预备热处理：**①调质处理：调质处理采用淬火和高温回火来获得均匀细致的回火索氏体组织，为表面淬火和渗氮处理时减少变形作准备；淬火需将炉温升高后，在 Ms 点以上进行快速冷却，在 Ms 点以下缓慢冷却，以防止淬火变形和开裂。高温回火则主要是为了防止淬火组织在室温下发生缓慢分解，引起体积、尺寸和形状变化。②球化退火：球化退火主要可降低工件的硬度，改善切削性能，为后续表面淬火做准备。
- 时效处理：**在滚珠/滚柱丝杠的机械加工过程中，车削、磨削等工艺会产生较大的应力，造成丝杠的畸变，降低使用寿命，需进行时效处理来消除应力，主要包括高温时效和低温时效；①高温时效：目的在于清除机械加工过程中由切削力引起的工件残余内应力，为减小中频淬火变形创造条件。精密丝杠刚性较差，常在粗加工、半精加工之间安排多次时效处理；②低温时效（稳定性热处理）：磨削加工会产生很大的磨削应力，可能引起尺寸变化和表面裂纹，加快磨损与疲劳，须进行低温时效，需注意工件的力学性能要求以及防止发生回火脆性和工件变形。
- 表面热处理：**丝杠和螺母在表面热处理时采用不同的淬火方式，丝杠采用表面感应淬火，螺母则采用渗碳淬火。

①感应淬火：丝杠表面热处理工艺，丝杠表面承受扭转、弯曲力，需具较高硬度、耐磨性和强度，且心部需有较强韧性。采用感应淬火，利用电磁感应原理（磁场中电流分布原理，表层电流密度大，中心处小），将丝杠表面快速加热至淬火温度后急剧冷却，使表面硬度提高，中心未被加热而变形小从而具备心部韧性。

②渗碳淬火：螺母的表面热处理工艺；螺母承受高强度的冲击、扭转及弯曲，螺纹部分须有足够硬度和耐磨性。渗碳淬火后螺母可承受较大冲击载荷，延长寿命。渗碳淬火的工艺存在较高的技术壁垒，不合理的渗碳淬火工艺可能会导致明显裂纹，降低接触疲劳寿命。

- 深冷处理：**一般以液氮作为低温介质，通过调控处理温度、处理时间、降温速率和冷热循环次数等参数，使工件冷却到-190℃以下，使材料的微观结构在低温环境下发生变化，可显著提高使用寿命、耐磨性及尺寸稳定性。

图43：丝杠热处理工艺曲线

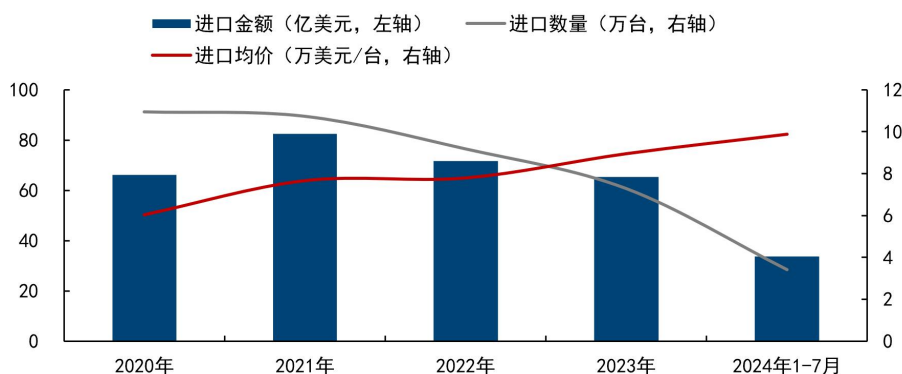


资料来源：高性能 GCr15 钢滚珠丝杠的热加工工艺》（樊伟等，2014），《高性能 GCr15 钢滚珠丝杠的热加工工艺》（樊伟等，2014），《GCr15 制滚珠丝杠热处理工艺研究》（焦正音等，2001），国信证券经济研究所整理

**设备：尖端设备受制于海外厂商，进口价格高昂**

据北特科技公告，人形机器人用丝杠产线相应工序的设备包括粗车设备、硬车设备、热处理淬火机、外圆磨磨床、螺纹磨床、检测设备、实验分析仪器等，高端机加工设备仍然受制于海外。尽管我国机床进口数量呈现下降趋势，说明国产机床能够产生替代效应，但进口机床的均价持续提升。一方面，国内制造业的升级导致对高精度、高效率、智能化机床的需求增加，推高了进口机床的均价。另一方面，进口机床均价升高也在一定程度上表明国产机床替代的进口机床主要是在中低端市场，高端机床的替代不明显。

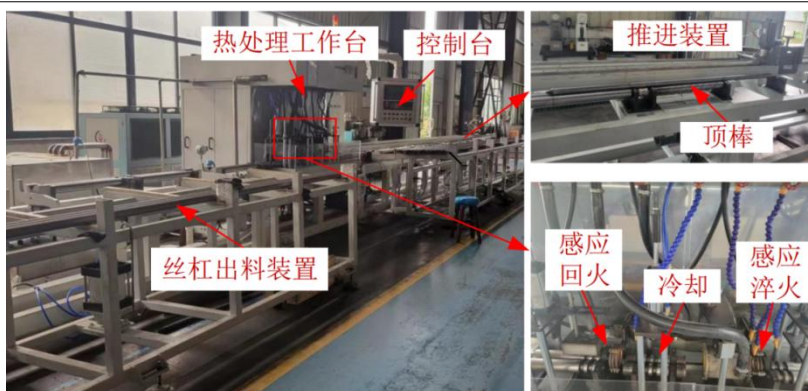
图44: 机床进口数量与均价情况



资料来源：华经情报网，海关总署，国信证券经济研究所整理

在热处理设备方面，国内热处理设备性能已接近国际水平，但可靠性和稳定性仍存不足。热处理工艺为装备制造的基础工艺之一，参与材料预处理以及后续精加工多个环节，对金属工件的硬度、韧性、尺寸稳定性和精度等起到至关重要的影响。以滚珠/滚柱丝杠为例，主要热处理工艺包括调质处理、球化退火、感应淬火、时效处理。目前我国热处理装备制造所需钢材/铜材、冷却机、传感器、液压系统等其性能已达到或接近国际先进水平，除数控系统外其余原材料及部件基本可自主供应。但国产配件的关键问题在于产品可靠性和稳定性较低，导致国产热处理设备在精度和寿命各方面较海外一流的同类型产品仍有差距，仍需依赖进口。

图45: 热处理设备



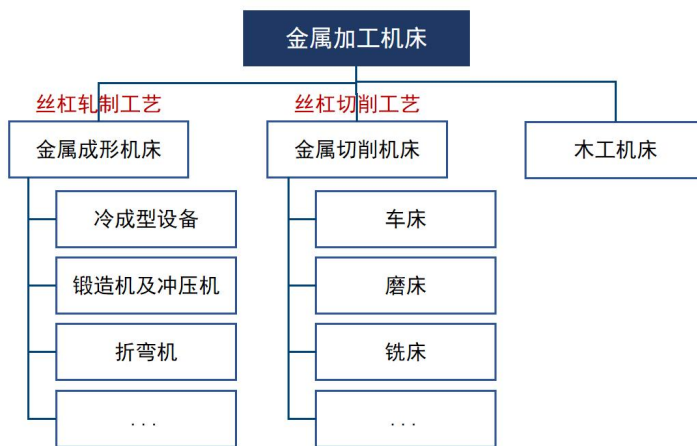
资料来源：《滚珠丝杠斜轧工艺与试验研究》（张敏华，2023），国信证券经济研究所整理

在加工设备方面，根据应用分类，金属加工机床可分为金属切削机床、金属成形机床和木工机床，其中金属切削机床是最主要的一类机床，占金属加工机床总量约2/3。在丝杠的加工工艺中，金属成形机床主要应用于轧制工艺，金属切削机床则主要应用于切削工艺（车、磨、铣）。金属成形机床即锻压设备，指通过对



金属施加压力使之成形的机床，主要包括冷锻机、液压机、机械压力机、冲压机、折弯机等。金属切削机床是用切削等方法主要用于加工金属工件的机器，使得工件被加工成要求的形状、尺寸精度和表面之类。按加工方式划分，金属切削机床可以分为铣床、车床、磨床、钻床、镗床等12类。

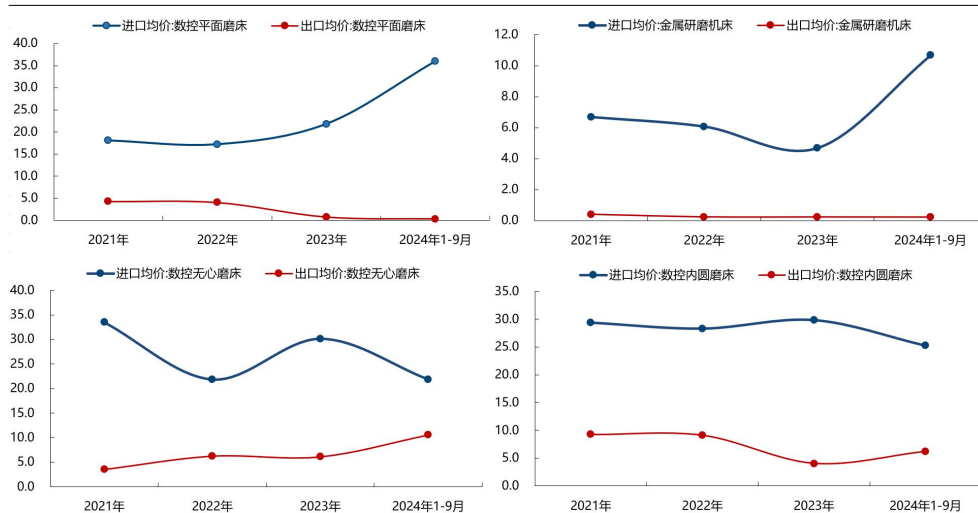
图46: 金属加工机床分类



资料来源：思进智能招股说明书，纽威数控招股说明书，国信证券经济研究所整理

在磨床设备方面，目前精密磨床依然依赖于进口，到货周期长。磨床进口均价明显高于出口均价，国外高端磨床设备的获取成本高，本土品牌磨床的竞争力仍不足。欧洲磨床单价在七八百万元左右，甚至超过千万元，到货周期至少一年起步，而国产磨床价格为两三百万元左右，整体来看磨床设备对供应商资金实力要求高。

图47: 我国进口与出口磨床均价情况（单位：万美元/台）



资料来源：海关统计数据平台，wind，国信证券经济研究所整理

表11: 秦川机床募投项目车、铣、磨床部分设备价格情况

设备种类	单价（万元/台）	设备种类	单价（万元/台）
高精度内圆磨床	750	数控车铣复合机床	150

高精度数控导轨磨床	2400	数控旋风铣床（外）	800
数控高精度万能外圆磨床	230	车铣复合中心	95
数控导轨磨床	1200		
数控外圆磨床	100		
高精度立式内外圆磨床（自制 VG150）	800		
数控内孔磨床	300		

资料来源：秦川机床公告，国信证券经济研究所整理 注：表格数据均来自于秦川机床《关于秦川机床工具集团股份有限公司非公开发行股票申请文件反馈意见之回复（更新稿）》，左侧为项目中磨床价格，右侧为项目中车、铣相关设备价格

我国数控磨床市场的竞争格局可分为三个层次：**第一梯队**为国际性磨床企业，如日本三井精机、德国 Peter Wolters、美国 Lapmaster 等，产品技术含量高，价格昂贵，占据我国数控磨床的高端市场。**第二梯队**为国内具备一定核心竞争力的企业，比如宇环数控、上海机床厂有限公司、杭州杭机股份有限公司等。**第三梯队**为低端企业，产品技术含量低，同质化严重，缺乏核心竞争力，竞争激烈。

**国内磨床向中高端领域突破。**国内磨床企业包括华辰装备、秦川机床、日发精机、宇环数控、宇晶股份、华中数控等，依靠自身优势在不同磨床细分领域深耕，在加工精度、市场占有率、客户拓展、出海等方面均取得了一定进展。

表12: 国内磨床部分玩家相关信息梳理

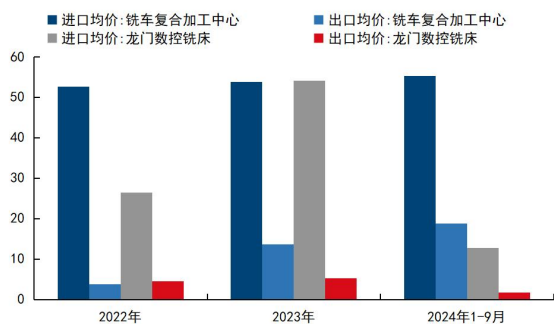
公司	市值	营收	归母	研发	分业务收入	磨床业务情况
华辰装备	66	4.8	1.2	0.3	全自动数控轧辊磨床 4.04+备件 0.39+维修改造业务 0.35+其他业务 0.01	<ul style="list-style-type: none"> <li>核心产品是全自动精密数控轧辊磨床，同时积极推动亚微米级高端复合磨削系列产品、精密螺旋磨床、数控直线导轨磨床、自主数控系统的开发及市场应用。</li> <li>深耕行业近 20 年，已掌握了数控轧辊磨床领域“关键功能部件—整机技术—技术服务”全产业链的核心技术，轧辊磨床产品各项性能指标比肩世界一流产品，尤其在高速高精磨削领域确定了全球技术领先地位，打破了国外品牌对我国轧辊磨削高端装备的垄断。</li> <li><b>精密螺旋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，该产品磨削的标准丝杠试件加工精度等级最高可达 P0（GB/T17587.3-2017）级。</b></li> </ul>
秦川机床	92	37.6	0.5	2	机床类 17.8+零部件类 13.9+工具类 3.2+仪器仪表类 1.0+贸易类 0.7+其他 0.9	<ul style="list-style-type: none"> <li>产品包括<b>数控外螺旋磨床、数控内螺旋磨床，可用于高端滚珠丝杠副、螺母内螺旋滚道的精密磨削加工。</b>秦川机床已发展成为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，在齿轮加工机床、<b>螺旋磨床</b>、加工中心、车削中心、外圆磨床等领域处于国内第一梯队。</li> <li>承担在研国家和省级科技项目有序实施，围绕<b>高精度磨齿机、高精度外圆磨床、精密车床、智能机床、核心功能部件及复杂刀具等</b>，持续攻关 16 项关键核心“卡脖子”技术，开发 15 款工业机器人关节减速器一体机及 10 款裸机产品。</li> <li>2023 年汉江机床 SGK7432×20/1 高精度数控丝杠磨床磨削精度能稳定达到 P1 级。</li> </ul>
日发精机	41	20.8	-9	0.6	数控车床 11.63+固定翼工程、运营及租售 7.89+航空航天部/总装智能装备 0.6+航天零部件加工 0.01+其他 0.69	<ul style="list-style-type: none"> <li>日发机床公司的数控磨超机床及产线，有七大系列产品，涵盖轴承磨超自动线、轴承装配自动线、<b>数控螺旋磨</b>、滚子磨超自动线，数控通用磨床及单机数控磨床等，在该领域已发展为车、钻、磨超、装配的冷加工的整体解决方案的供应商</li> <li><b>数控螺旋磨床于 2023 年研发完成，用于加工新能源汽车、人形机器人、工业母机等行业的丝杠与螺母</b>，高效且精度符合客户要求，获得了客户的认可，日发机床公司已具备了用于丝杠、螺母加工的数控磨削设备的生产能力。用于丝杠、螺母的内、外螺旋磨床及磨削中心已向部分客户交付使用，用于螺母的端面外圆专用磨床已向部分客户交付使用。</li> </ul>
宇环数控	28	4.2	0.4	0.4	智能装备系列 0.37+数控研磨抛光机 2.35+数控磨床 0.81+配件及其他 0.67	<ul style="list-style-type: none"> <li>公司数控磨床主要分为数控端面磨床（含双面磨床和单面磨床）、数控凸轮轴磨床、数控气门磨床、外圆磨床、复合磨床系列产品及其他磨床。</li> </ul>
宇晶股份	41	13	1.1	0.8	抛光研磨机 7.99+热场系统系列产品 0.59+金刚石线 1.43+多线切割机技术改造 0.06+硅片代加工 2.56+其他 0.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>高端数控设备制造、配套核心耗材为主营业务，主要从事高硬脆材料切割、研磨抛光等设备和耗材的研发、生产和销售，产品主要服务于消费电子、光伏、半导体等行业。</li> </ul>
华中数控	55	21.2	0.3	4.2	数控系统与机床 8.92+机器人 11.18+其他 1.05	<ul style="list-style-type: none"> <li>数控系统为先进制造领域关键核心技术，是数控机床的“大脑”。公司的数控系统配套业务主要为各类数控机床企业、汽车、3C、木工、磨床及高端重点领域等行业用户<b>提供数控系统配套和服务。</b></li> <li>充分发挥磨床市场的示范效应，与湖南宇环、杰克机床、秦川格兰德等企业合作，扩大在<b>内外圆磨、平面磨、五轴工具磨、立磨</b>等行业的市场占有率。公司和上海机床厂在复合磨床、外圆磨床、双端面磨床等机型开展了多套套配应用。</li> </ul>

资料来源：wind，各公司公告，国信证券经济研究所整理 注：市值数据截至 2024 年 11 月 27 日，市值、营收、归母、研发投入、分业务

收入均为 2023 年数值，单位为亿元人民币

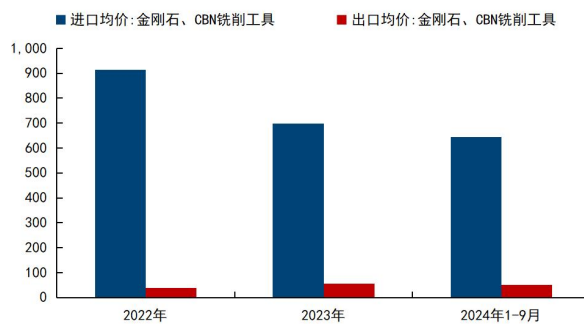
**旋风铣设备方面**，国外生产数控旋风铣床的厂家主要有 GWT 公司，德国 Lerstritz, Burgsmulle, Linsinger，奥地利 WEINGARTNER-MASCHINENBAU 等。欧美等发达国家已成功的将旋风切削技术应用于大型丝杠的制造，而我国发展较慢，大型丝杠切削制造机床主要依赖进口，**每台过百万美元的价格**是关键制约因素。

图48: 我国进出口铣床均价情况（单位：万美元/台）



资料来源：海关统计数据平台，wind，国信证券经济研究所整理

图49: 我国进出口铣刀均价情况（单位：美元/千克）



资料来源：海关统计数据平台，wind，国信证券经济研究所整理

## 市场分析：外资品牌主导高端市场，国产替代+人形机器人催生成长机遇

**总结：**外资品牌舍弗勒基于长期技术积累、客户合作和产业整合等方式占据行业龙头地位，主导高端精密丝杠市场；国内产品受限于磨削等工艺、设备等方面限制，在精度、可靠性等指标与国外头部企业相比仍有提升空间；但部分国内优秀玩家也逐步基于原有的能力禀赋（如基于工业母机、车用丝杠等的工艺和设备储备）切入人形机器人丝杠产业布局，国产滚柱丝杠正逐渐被高端应用领域认可和采用；市场空间来看，测算中性情形下，中期全球人形机器人关节用行星滚柱丝杠市场空间约 150-200 亿元。

### 格局：外资品牌先发优势明显，国产品牌处于追赶阶段

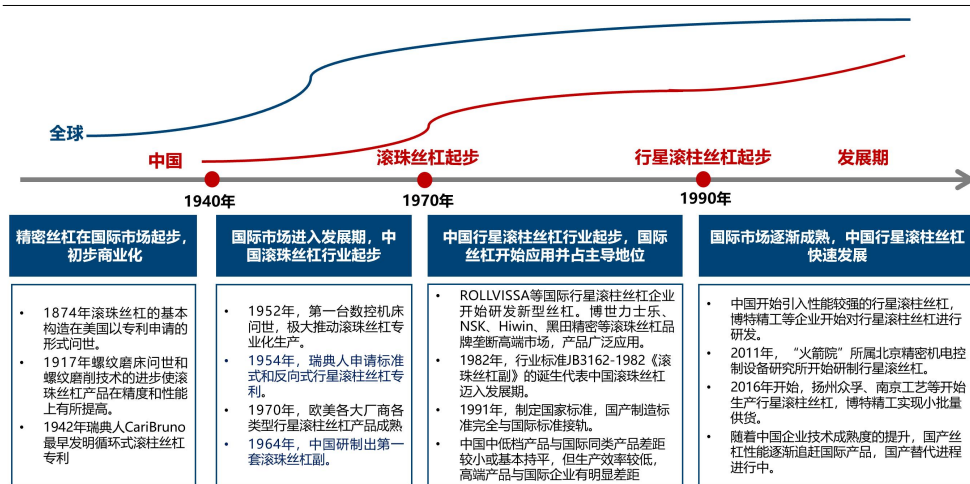
外资滚柱丝杠玩家起步早，具有长期的技术研发积累和客户合作经验。

全球丝杠龙头舍弗勒已经积累大量的生产应用经验，并已经具备成熟的产品系列，形成明显的先发优势，占据市场主导地位。舍弗勒目前旗下三大行星滚柱丝杠业务主体：1) 旗下公司瑞士 GSA 行星滚柱制造公司；2) GSA 于 2016 年收购瑞士 Rollvis（1970 年开始研制行星滚柱丝杠）；3) 2022 年 7 月舍弗勒以约 5.8 亿欧元价格从 Triton 收购瑞典 Ewellix（前身为瑞典 SKF 线性运动技术事业部），23 年 1 月 Ewellix 正式成为舍弗勒集团的新业务板块。Rollvis、Ewellix、GSA 三家公司均在丝杠领域有长期耕耘，至此舍弗勒成为全球丝杠龙头厂商，经过多年技术积累与先发优势，占据主导地位。

行星滚柱丝杠领域国产玩家起步较晚。90 年代后随着数控机床对高精度丝杠的需求上升，中国企业开始研发相关产品。2016 年部分企业的行星滚柱丝杠进入生产阶段，小部分企业实现小批量供货，中国市场进入发展期。目前尽管国内滚柱丝

杠已具一定产业基础，南京工艺、博特精工等厂商已能够小规模生产行星滚柱丝杠，但是性能与国外竞品相比，在效率、承载能力和精度上仍有提升空间。

图50: 滚珠丝杠和行星滚柱丝杠发展历程



资料来源：头豹产业研究院，国信证券经济研究所整理

在高端丝杠领域，国内产品在精度、可靠性等方面与国外头部企业相比仍存在一定差距，特别在行星滚柱丝杠领域，受限于磨削等加工工艺、加工设备等方面的技术限制，国外企业占据行星滚柱丝杠的绝大部分市场份额。精密丝杠制造具备较高的技术壁垒，中高端丝杠采用磨削加工，需经过热处理、车削、磨削等多道工序加工，对原材料、制造工艺要求较高。另外除加工过程中的工艺优化，想要实现性能的提升，最终面临的是“设计-制造-检测”的闭环体系。海外企业具有先发优势，国产品牌在在精度保持性、功能可靠性、寿命、精度、刚度等关键性能指标上依然落后于境外产品，国产品牌市场占有率低。

国产行星滚柱丝杠产品的导程精度最大动载荷、最大静载荷等性能与国际企业相比仍有较大差距。以南京工艺、EWELLIX 和 GSA30mm 直径产品为例进行对比，可看出中国企业缺乏导程精度的统一标准，承载能力显著低于国际企业同规格产品。若要实现国产替代，仍需加大技术研发力度。

表13: 国内外行星滚柱丝杠产品对比

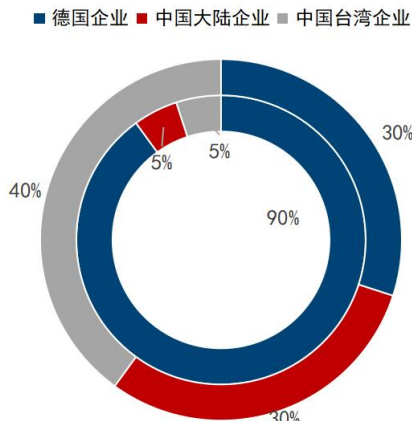
品牌	产品种类	产品参数	应用领域
EWELLIX	<ul style="list-style-type: none"> <li>超大功率行星滚柱丝杠</li> <li>反转式行星滚柱丝杠</li> <li>旋转螺母行星滚柱丝杠</li> <li>标准式行星滚柱丝杠</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>导程精度: G1~G5 全覆盖</li> <li>最大动载荷: 133KN</li> <li>最大静载荷: 197KN</li> <li>尺寸范围: 公称直径 8~64mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>塑料成型</li> <li>机电压力机</li> <li>石油、天然气行业</li> <li>铁路</li> <li>太空望远镜</li> </ul>
GSA	<ul style="list-style-type: none"> <li>滚柱非循环式</li> <li>滚柱循环式</li> <li>反转行星滚柱丝杠</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>导程精度: G1~G5 全覆盖</li> <li>极限速度: 4700rpm</li> <li>最大动载荷: 168.9KN</li> <li>最大静载荷: 246.9KN</li> <li>尺寸范围: 公称直径 20~63mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>数控机床</li> <li>工业机器人</li> <li>航空、航天</li> <li>武器</li> <li>冶金设备</li> <li>汽车工业</li> <li>伺服电动缸</li> <li>注塑</li> </ul>
南京工艺	<ul style="list-style-type: none"> <li>行星滚柱丝杠副</li> <li>循环滚柱丝杠副</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>最大动载荷: 123.3KN</li> <li>最大静载荷: 177.3KN</li> <li>尺寸范围: 公称直径 18~60mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>压力机床</li> <li>钢铁工业</li> <li>军用装备</li> <li>核工业</li> </ul>

资料来源：头豹产业研究院，国信证券经济研究所整理

**滚珠丝杠方面**，中端市场国产替代相对明显，高端市场仍由德国企业主导。在中国市场中，本土企业在中端滚珠丝杠市场份额较高，中国台湾和大陆企业份额合并达七成，三成为德国企业。高端市场由德国企业占主导，占据 90% 的份额。中国企业在丝杠领域起步较晚，企业规模较小，仍未掌握高精度产品技术。但中国企业在丝杠领域进展较快，五洲新春、恒立液压等企业均积极布局高精度丝杠领域，部分已实现量产，推动国产替代进程。

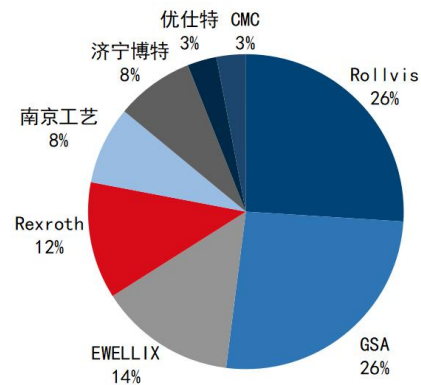
**行星滚柱丝杠方面**，中国行星滚柱市场基本由国际企业主导，市场集中度高。根据 GGII，外资企业如 Rollvis（瑞士）、GSA（瑞士）、Ewellix（瑞典）、Rexroth（德国）在国内市场份额占比分别为 26%、26%、14%、12%，而国内企业合计占比（含南京工艺、博特精工、台湾优仕特）约 20% 左右。据 GGII，2023 年瑞士 GSA 在中国市场的份额已超过 50%。

图51：2022 年国内中高端滚珠丝杠市场格局情况



资料来源：头豹产业研究院，国信证券经济研究所整理 注：内圈为高端市场份额，外圈为中端市场份额

图52：2022 年国内行星滚柱丝杠市场格局情况



资料来源：头豹产业研究院，国信证券经济研究所整理

## 国产：机加工工艺和设备的共通性驱动零部件厂商积极入局

**有精密机加工能力和设备的企业跨界布局滚柱/滚珠丝杠，为精密丝杠市场注入发展新动能。**由于丝杠和其他机械零部件在机加工工艺和设备上具技术共通性，国内汽车零部件企业积极跨界精密丝杠市场，国产丝杠企业通过自主创新已经在滚动丝杠这一高精度、高性能传动领域取得一定突破，并且已经有国产行星滚柱丝杠正在逐渐被高端应用领域认可和采用，中国企业南京工艺和济宁博特亦被列入 TOP10 的行列，标志着国内企业在这一关键领域正在从追赶者向竞争者转变。

表14：国内丝杠主要玩家相关信息梳理（单位：亿元）

公司	市值	营收	归母	研发	分业务收入(亿元)	丝杠相关进展
北特科技	116	18.81	0.51	0.94	底盘零部件 12.9+ 铝合金轻量化 1.3+ 空调压缩机 4.4	● 2024 年 10 月 14 日与江苏昆山经济技术开发区管理委员会签订《投资协议》，拟在江苏昆山经济技术开发区总投资 18.5 亿元，规划用地约 140 亩建设 <b>行星滚柱丝杠研发生产基地</b> 。设立江苏北特机器人科技有限公司，注册资本 3 亿元，公司持股比例为 100%。 ● 持续配合客户开发各型号丝杠零部件，包括螺母、行星滚柱、丝杆、齿圈等，应用于 <b>人形机器人执行器</b> 及汽车后轮转向系统（RWS），但均处于样件阶段。 ● 建设 <b>人形机器人用丝杠产线</b> ，相应工序的设备较为完备，包括 <b>粗车设备、硬车设备、热处理淬火机、外圆磨床、螺纹磨床、检测设备、实验分析仪器</b> 等，实现全工序均由公司 <b>独立完成生产，且能实现单工序自动化方案</b> 。目前，该产线主要配合客户持续开展相应丝杠零部件的样件生产，并未被客户定点。
贝斯特	96	13.43	2.64	0.74	汽车零部件 12+其 他零部件 0.2+智能 装备及工装 0.9+其	● 全面布局直线滚动功能部件（ <b>高精度滚珠/滚柱丝杠副、高精度滚动导轨副</b> 等），瞄准机器人市场，自主研发了应用于 <b>标准式、反转式行星滚柱丝杠</b> 等，与机床商签订批量滚动交付订单，其中代表滚珠丝杠副最高制造水平的 <b>CO 级丝杠副</b> 实现突破，获得客户的首批订单。

			他 0.2	行星滚柱丝杠工艺不断优化, 批量化生产工艺布局不断完善, 关键工艺所需国产化设备合作开发有序推进, 为 <b>2025 年批量供货</b> 做好了技术和设备储备。 ● 2022 年 1 月, 设立全资子公司“无锡宇华精机有限公司”, 全面布局直线运动部件, 产品包括高精度滚珠/滚柱丝杠副、高精度滚动导轨副等, 生产的滚珠丝杠副、直线导轨副等产品已应用于国内知名机床商部分型号的机床上, 自主研发的 <b>行星滚柱丝杠已于 2023 年顺利出样</b> 。 ● 公司汽车座椅水平驱动器与人形机器人行星滚柱丝杠产品在 <b>技术开发方面有同源性, 在螺纹、齿轮加工等生产工艺上有相通性</b> , 进军行星滚柱丝杠领域。 ● 2023 年 7 月, 公司对滚珠丝杠轴承单元项目进行立项, 启动相关研发及制造工作, 计划从 EHB 制动用滚珠丝杠轴承到 EMB 制动用滚珠丝杠、转向用滚珠丝杠轴承产品逐步进行开发。公司已完成 <b>车用滚珠丝杠样件制造</b> , 目前样件在三方验证中, 预计 2024 年 12 月实现 EHB 制动用滚珠丝杠轴承 PPAP (项目定点)。 ● 在 <b>人形机器人滚柱丝杠</b> 方面, 公司内部已经完成正式 <b>研发立项</b> , 制定了研发目标和开发计划, 目前样件制作和设备投资等项目进度按计划快速推进中。		
双林股份	79	41.39	0.81	1.75	内外饰及机电部件 23.8+轮毂轴承部件 12+新能源电机 2.7+其他 2.9	
斯菱股份	65	7.38	1.50	0.33	制动系统类轴承 5.67+传动系统类 轴承 0.95+动力系 统类轴承 0.55+非 汽车类轴承 0.12+ 其他 0.09	● 新设立 <b>机器人零部件事业部</b> , 负责规划机器人零部件发展方向及整体布局, 建设谐波减速器、执行器模组、 <b>滚珠丝杠、行星滚柱丝杠产品的生产线</b> , 打造专业的机器人零部件生产基地。 ● 目前公司已经初步实现丝杠类产品和执行器模组产品的 <b>样品打造</b> 。
五洲新春	65	31.06	1.38	1.01	轴承产品 17.9+汽 车零部件 4.3+热管 理系统零部件 8.3	● <b>丝杠产品: 梯形丝杠、滚珠丝杠副、行星滚柱丝杠</b> 。公司依托以轴承为基础的精密制造行业经验, 发展以高端行星滚柱丝杠产品为切入点的各类丝杠产品, 为直线执行器、旋转执行器和灵巧手提供部件或者成套产品。 ● 公司目前在建设两个丝杠产品的专业化生产车间: 一个是 <b>滚珠丝杠组件及零部件车间</b> , 产品主要用于新能源汽车转向系统及刹车系统; 另一个是 <b>行星滚珠丝杠组件及零部件车间</b> , <b>产品主要用于机器人执行机构核心零部件</b> 。滚珠丝杠车间投资规模更大, 主要是目前新能源汽车部分零部件线性执行器渗透率逐步提升, 市场有需求。
恒立液压	719	89.85	24.99	6.94	液压油缸 46.9+液 压泵阀 32.7+液压 系统 2.9+配件及铸 件 6.7	● 公司投资 <b>14 亿元用于线性驱动器项目</b> , 项目达产后将形成 <b>年产 104000 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、100000 米标准滚珠丝杠和 100000 米重载滚珠丝杠的生产能力</b> 。预计 2024 年第二季度投产。 ● 在丝杠方面, 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; 螺母方面, 采用自主研发材料配方, 自主研发设计的模芯牙形及独特脱模装置, 与丝杠配合使用背隙可达 0.01mm 以内, 传动寿命达 500 万次 (150mm 行程往返) 以上; 行星滚柱丝杠方面, 公司已 <b>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</b> 。 ● 向 AIDIN 提供空心杯、丝杠、齿轮箱等产品用于灵巧手。此外, 鼎智科技负责 AIDIN 智能 6 维 F/T 传感器“AFT200 系列”、超薄关节力矩传感器“ATSB 系列”和微型 6 维 F/T 传感器“AFT 系列”在中国的进口和经销。
鼎智科技	49	2.82	0.81	0.22	线性执行器 1.3+混 合式步进电机 0.5+ 音圈电机 0.6+直流 电机 0.1+其他 0.2	● 向 AIDIN 提供空心杯、丝杠、齿轮箱等产品用于灵巧手。此外, 鼎智科技负责 AIDIN 智能 6 维 F/T 传感器“AFT200 系列”、超薄关节力矩传感器“ATSB 系列”和微型 6 维 F/T 传感器“AFT 系列”在中国的进口和经销。
江苏雷利	96	30.77	3.17	1.47	步进电机 11.54+MA-电机及 组件 5.33+泵 4.12+直流电机 3.69+PP-冲压件 1.76+排水电机 1.66+压铸件 0.99+ 同步电机 0.86+其 他 0.81	● 参股鼎智科技, 持股 34.53%。 ● 拥有紧凑型丝杠电机、贯通式滚珠丝杠电机专利, 持续 <b>加大行星滚珠及滚柱丝杠等产品的研发投入</b> , 在人形机器人领域积极拓展市场, 获得下游客户的普遍认可。 <b>微型精密滚珠丝杠及行星滚柱丝杠产品已完成技术储备, 进入产能提升阶段</b> , 定制机电软一体化的精密运动控制解决方案。高精度滚珠丝杠及行星滚柱丝杠处于 <b>样机测试及客户送样阶段</b> , 已送样多个国内人形机器人厂家。
震裕科技	69	60.19	0.43	2.53	锂电池精密结构件 32.66+电机铁芯 17.11+模具 2.82+ 修模改模配件 0.31	● 设立马丁机器人产业发展平台, 依托在超精密机械零件设计及制造领域的全球一流技术能力, 公司已逐步在人形机器人领域所需精密零件, 如直线执行器、旋转执行器中的传动模块中的核心零部件等精密零件中取得技术工艺突破, 并实现产品的小批量交付。 ● 在机器人 <b>线性关节核心零部件</b> 上, 公司已建成一条 <b>手工线小批量生产</b> , 另外已有几家下游客户在 <b>积极送样</b> 中, 还有一些正在与客户联合开发中, 后续计划建成 <b>2 条中试线, 机器人相关领域已有收入但是体量级别比较小</b> 。
南京工艺	-	-	-	-		● 已实现大型、高精滚动功能部件 <b>全品种的批量生产</b> , 其产品与中国各大主机厂高速、高精度数控机床配套, 极大地推动国产替代进程。 ● 募投约 4 亿元推进工业传动系统及精密导轨、丝杠等传动部件的研发及产业化应用其中导轨将包含多规格型号钢球滚珠导轨、滚柱导轨丝杠产品将包含多规格型号的 <b>研磨级滚珠丝杠行星滚柱丝杠</b> 。其中, 研磨级滚珠丝杠和行星滚柱丝杠产品目前处于 <b>设计规格评审阶段&amp;单元概要设计评审阶段</b> , 后续尚需经过样机、中试、发布阶段, 预计 <b>2025 年 9 月达到可量产状态</b> 。
禾川科技	57	11.16	0.54	1.52	自动化 10.2+机床 0.8	● 公司滚珠丝杠副产品下游市场集中在机床领域、铁路丝杠和登机桥丝杠配套市场, 近两年开发替代进口的加工中心丝杠系列、电动缸丝杠系列产品, 逐步进入中高端领域。滚动直线导轨副产品目前以重载滚柱为主进入中端市场, 各规格系列产品齐全。子公司汉江机床拥有 <b>行星滚柱丝杠</b> 的研发、制造基础, 近年来已有多种产品供给某些特殊行业, 同时, 部分新型号产品正在研制和试验验证, 将逐步完善检测手段, 扩大生产能力。 ● 江机床自有设备具备对功能部件产品性能的提升, 近年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, 丝杠产品精加工水平有效改善, <b>丝杠产品由 P1 级提升到 P0 级, 精度水平达到国际先进水平</b> , 配置自制研发的高效设备, <b>效率提高 30%, 缩减成本 15%</b>
秦川机床	92	37.61	0.52	1.99	机床类 17.8+零部 件类 13.9+工具类 3.2+仪器仪表类 1.0+贸易类 0.7+其 他 0.9	● 具备 <b>滚珠丝杠、行星滚柱丝杠产品大批量生产能力, 年产能超过 350 万套</b> , 其产品成功应用于汽车底盘 EMB 制动系统和人形机器人线性驱动。
新剑传动	-	-	-	-		

雷迪克	26	6.52	1.20	0.28	轮毂单元 2.31+圆锥轴承 1.19+轮毂轴承 1.18+分离轴承 1.16+涨紧轮 0.44+其他轴承配件 0.13+其他 0.12 ● 公司积极推进机械臂关节丝杠轴承等适用于新车型、新领域的产品。 ● 2024 年 10 月 22 日，公司与上海狄兹精密签订股权收购意向性协议，狄兹精密专注于滚珠丝杠、行星滚柱丝杠、车用丝杠、电缸、直线模组、精密对位平台等研发、生产和销售。 ● 2024 年 11 月 21 日，《股权收购意向性协议》终止。
-----	----	------	------	------	---

资料来源：wind，各公司公告，头豹产业研究院，国信证券经济研究所整理 注：市值数据截至 2024 年 11 月 27 日，市值、营收、归母、研发投入、分业务收入均为 2023 年数值，单位为亿元人民币

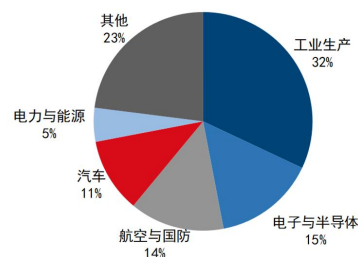
## 空间：人形机器人有望催生丝杠全新增量空间

滚珠/滚柱丝杠的应用领域广泛，已成为高精度传动领域中广泛使用的丝杠方案。在机床制造领域，丝杠可做为传动系统核心部件；在汽车制造领域，滚珠丝杠在新能源汽车转向机构、电助力转向系统、电子驻车系统、刹车系统具有应用前景。在工业装备领域，丝杠、导轨亦作为基础传动部件有着广泛的应用；在机器人制造领域，滚珠丝杠可用于机器人传动装置，通过滚珠丝杠组成单轴机器人/电动缸等完成线性驱动，据特斯拉 AI Day 信息，特斯拉人形机器人 Optimus 有望采用无框电机与行星滚柱丝杠的线性执行器。

图53：滚珠丝杠应用领域

典型行业	应用细分	客户的技术需求	行星滚柱丝杠匹配性
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、极强可靠性
机器人	人形机器人	轻量化、承载能力强	高可靠性、高精度、高传动效率

2022年全球滚珠丝杠下游应用占比



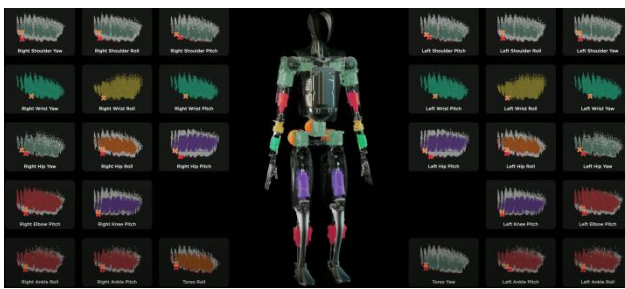
资料来源：头豹产业研究院，《E 公司滚柱丝杠产品营销策略研究》（王有雪，2022），国信证券经济研究所整理

特斯拉 Optimus 机器人全身 14 个线性关节采用行星滚柱丝杠。线性执行器分别位于肘部 2 个、腕部 4 个、大腿前后 4 个和小腿 4 个。肘部和小腿使用负载 3900Nm 的中型行星滚柱丝杠，腕部使用负载 500Nm 的小型丝杠，大腿使用负载 8000Nm 的大型丝杠，其中部分采用了反向式行星滚柱丝杠。

图54：特斯拉 Optimus 关节展示



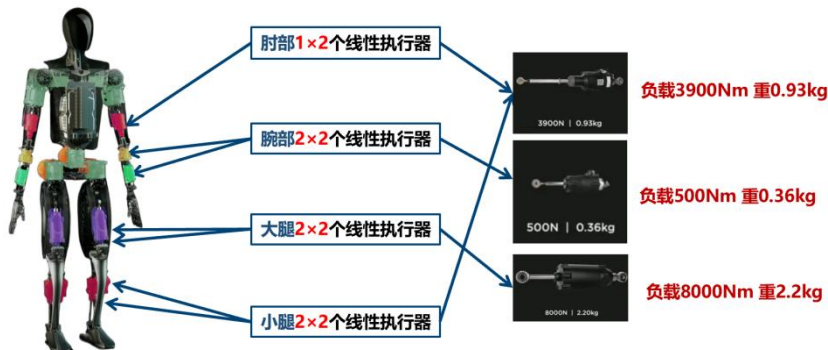
图55：特斯拉关节分布



资料来源: Tesla AI DAY, 国信证券经济研究所整理

资料来源: Tesla AI DAY, 国信证券经济研究所整理

图56: 特斯拉 Optimus 机器人丝杠方案



资料来源: Tesla AI day, 国信证券经济研究所整理

随着人形机器人和大模型等技术的持续突破, 我们预计人形机器人的逐步放量将为行星滚柱丝杠带来广阔的增量需求。我们测算了人形机器人线性关节用行星滚柱丝杠的市场空间, 假设如下:

1、**需求假设:** 根据特斯拉财报电话会信息, 预计特斯拉 Optimus 2025 年销量为千台级别, 主要用于特斯拉自身工厂, 26 年逐步对外销售, 预计后续人形机器人需求有望提速, 假设中性预测下 2030 年全球人形机器人需求为百万台级别; 其他机器人玩家比如 Figure、智元、宇树、傅利叶等玩家也将陆续放量。

2、**配套假设:** 目前单台 Optimus 需约 14 个线性关节, 预计对应 14 套行星滚柱丝杠需求; 其他厂商机器人丝杠使用情况目前清晰度较低, 由于行星滚柱丝杠成本较高, 假设其他厂商机器人使用的行星滚柱丝杠数量少于特斯拉 Optimus。未来, 行星滚柱丝杠产品起量价格降低后, 预计行业中使用行星滚柱丝杠的比例提升。

3、**单价假设:** 参考行业信息, 假设小批量后人形机器人用行星滚柱丝杠单价为 5000-10000 元 (预估, 可能存在偏差), 未来随加工效率提高, 叠加出货量增加形成规模经济效应, 预计行星滚柱丝杠的单价将持续降低, 且降本速度逐渐增加。

根据以上假设, 我们测算得到: **乐观情形下**, 2030 年全球人形机器人用行星滚柱丝杠预计市场空间 287.3 亿元, 2025-2030 年复合增长率 183%。**中性情形下**, 2030 年全球人形机器人用行星滚柱丝杠预计市场空间 187.4 亿元, 2025-2030 年复合增长率 176%。**悲观情形下**, 2030 年全球人形机器人用行星滚柱丝杠预计市场空间 87.5 亿元, 2025-2030 年复合增长率 168%。综上, 在中性预期下, 2030 年全球人形机器人的放量能够为行星滚柱丝杠带来市场规模约 187 亿元, 可见人形机器人的兴起将催生行星滚柱丝杠庞大增量需求。

表15: 全球人形机器人关节用行星滚柱丝杠市场空间测算

	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
<b>乐观</b>						
全球人形机器人需求量 (万台) - 特斯拉	0.2	1.1	5	20	55	115
全球人形机器人需求量 (万台) - 其他厂商	0.07	0.4	1.7	6.7	18.3	38.3
全球人形机器人需求量 (万台) - 合计	0.27	1.5	6.7	26.7	73.3	153.3
<b>中性</b>						
全球人形机器人需求量 (万台) - 特斯拉	0.15	0.7	3	12	35	75
全球人形机器人需求量 (万台) - 其他厂商	0.05	0.3	1	4	11.7	25



全球人形机器人需求量（万台）-合计	0.2	1	4	16	46.7	100
<b>悲观</b>						
全球人形机器人需求量（万台）-特斯拉	0.08	0.2	0.9	3.5	12	35
全球人形机器人需求量（万台）-其他厂商	0.03	0.1	0.3	1.2	4	11.7
全球人形机器人需求量（万台）-合计	0.11	0.3	1.2	4.7	16	46.7
<b>单台机器人-关节用丝杠数量</b>						
特斯拉	14	14	14	14	14	14
其他厂商	5	5	6	6	7	7
<b>行星滚柱丝杠价格</b>						
行星滚柱丝杠单价（万元）	0.50	0.43	0.34	0.27	0.20	0.15
降本速率假设（价格）		-15%	-20%	-20%	-25%	-25%
<b>全球人形机器人行星滚柱丝杠规模（亿元）</b>						
乐观情景市场空间	1.6	7.4	27.3	87.1	183.2	287.3
中性情景市场空间	1.2	4.8	16.3	52.2	116.7	187.4
悲观情景市场空间	0.6	1.4	4.9	15.3	40.0	87.5

资料来源：GGII，特斯拉 AI DAY，头豹研究院，国信证券经济研究所整理和预测 注：测算中价格、份额、量级数据为假设，仅供参考，具有以产业进展为准。

## 投资建议：关注具工艺禀赋、设备储备的厂商

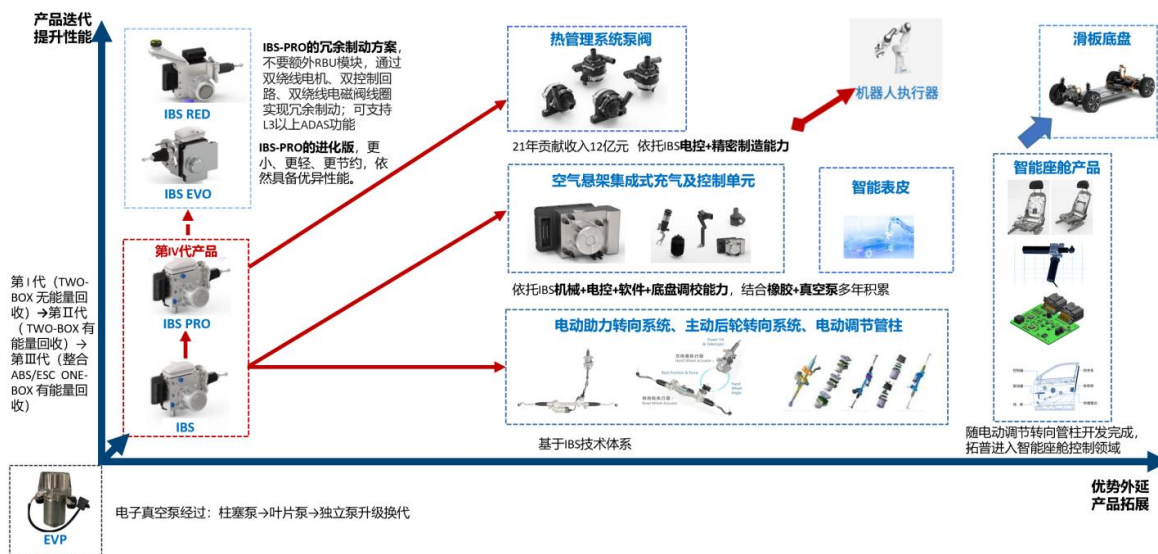
车端和机器人部分零部件生产、制造等环节共通性高，看好产业升级机遇，看好人形机器人进展带来的投资机会。部分人形机器人零部件与汽车零部件在原材料、设计、工艺、设备及成本管控、质量要求上具有一定相通性，二者往往具备相似的底层制造逻辑，带来相关零部件（电机、减速器、传感器、丝杠等）从汽车向人形机器人领域的产业升级机遇；后续在大厂入局（特斯拉+英伟达等）、技术迭代、政策催化的加持下，人形机器人产业后续有望迎来“新能源汽车时刻”。我们看好在技术升级迭代下，人形机器人持续发展，看好机器人量产后带来的潜在供应链零部件的需求和投资机会，**推荐人形机器人潜在总成供应商：三花智控、拓普集团；看好核心工艺有积累与突破、高端设备有储备的丝杠领域玩家：北特科技、贝斯特、双林股份等。**

### ■ 拓普集团

**汽配板块较稀缺的模块化供应商。**拓普集团是围绕汽车底盘打造平台化产品体系的供应商，产品包括减震、内饰、底盘系统、热管理、汽车电子等，客户涵盖全球主流主机厂。2024 年前三季度，拓普实现营收 193.5 亿元，同比 36.8%，归母净利润 22.3 亿元，同比+39.9%，扣非净利润 20.2 亿元，同比+34.8%，预计主要系问界、小米、理想、及吉利等客户贡献。

**品系延展：九大产品构筑平台化供应体系。**拓普深度锚定电动智能增量市场，九大产品（单车配套价值可达 3 万元）有望逐级增厚业绩，催化自身定位向平台化系统级供应商重塑与升级：减震、内饰业务（第一阶）稳定增利（22 年前三季度营收占比超 5 成）支持公司新品研发拓展；轻量化底盘及热管理（第二阶）系拓普核心资产，是当下业绩增长的关键支撑；另外基于电控、软件、精密制造等能力延伸的 IBS、EPS、空悬、座舱、机器人执行器等（第三阶）板块推进顺利，构筑未来增长新势能。

图57: 拓普集团产品拓展图谱



资料来源: 公司官网, 公司公告, 国信证券经济研究所整理

**客户突破: 优质客户结构保障业绩成长确定性。**绑定客户的能力是汽零供应商最核心的能力之一。拓普初期绑定上海通用积累合作和同步研发经验, 2017-2019 年自主品牌客户逐渐上量 (2019 年吉利收入占比超 30%); 后续依托平台化供货+及时响应+正向开发等优势, 客户结构持续取得关键突破, 形成新能源品牌 (特斯拉、新势力、赛力斯、小米、Rivian 等)+自主品牌的优质、稳固的客户矩阵, 叠加 Tier0.5 级模式引领产业分工新变革下的合作深化, 拓普业绩增长具确定性。

**制造升级: 产能扩张与智能制造并举提振盈利能力。**产能量 (响应) 与质 (品质) 共振: 1) 产能扩张: 围绕产业集群, 在宁波 (前湾 2600 亩, 最重要产地)、重庆、武汉等地扩产; 波兰、墨西哥工厂辐射欧洲及北美客户; 2) 智能制造: 推进数字化建设及 MES 管理系统, 实现质控+产品追溯+精益生产+设备管理等多维把控。随全球范围产能爬坡催化边际成本持续下行及智能制造的效应逐步兑现, 拓普有望持续释放经营杠杆, 提升盈利能力。

**优质客户的深度绑定以及新产品的陆续量产带来中长期业绩确定性。**纵观 2024 全年, 车端为拓普基本盘, 公司平台化战略+Tier0.5 模式持续推进, 24 年核心看点在于北美客户、华为、理想、吉利、比亚迪以及小米等优质客户放量, 叠加新产品等持续落地: 拓普空悬目前获 8 个定点项目, 于 23Q4 陆续量产; 线控制动实现 6 个项目定点并正式量产下线; 电调管柱已定点 9 个项目; 智慧电动门系统也逐步量产, 同时热管理工厂覆盖中国、欧洲及美洲, 总产能超 400 万套/年; 另外公司执行器业务持续推进, 24H1 年电驱系统业务实现营收 627 万元, 毛利率 52.3%, 进展顺利。

**风险提示:** 原材料成本上涨; 终端需求不振; 产品研发及客户拓展不及预期。

**特斯拉产业链核心标的, 维持“优于大市”评级。**持续看好公司平台化战略推进带来的业绩成长性, 预计 24/25/26 年公司归母净利润分别为 29.5/38.8/47.9 亿元, EPS 为 1.75/2.30/2.84 元, 维持“优于大市”评级。

### ■ 三花智控

三花智控以热泵技术和热管理系统产品研发应用为核心, 从机械部品开发向电子控制集成的系统控制技术解决方案升级, 成立至今专注于热管理产品零部件及组

件，横向产品品类扩展（阀、泵、散热器、组件等），纵向行业扩展（家电、商用制冷、汽车、储能等）。公司 2024 年前三季度实现营收 205.6 亿元，同比增长 8.4%，归母净利润 23.0 亿元，同比增长 6.6%。公司业绩增长得益于：1) 公司新能源汽车业务订单持续放量，公司汽零业务中新能源车相关占比较高，订单持续放量。2) 制冷空调电器业务公司主导产品市场份额稳步提升。

**热管理行业大赛道、好格局，抓住新能源增量机遇，公司从部件龙头成长为行业龙头。**新能源汽车热管理行业单车价值量 6500 元左右，相较于燃油车提升 2 倍（主要增量为电池侧以及系统更加复杂），公司把握核心零部件，提升集成组件产品比例，目前单车配套价值量可达 5000 元以上。汽车热管理行业集中度高，预计全球乘用车热管理市场空间约为 1800 亿元，呈现增长趋势，传统国际龙头电装、法雷奥、翰昂、马勒四家企业占据 50% 以上的份额。国内企业发力新能源车增量市场，三花智控在车用电子膨胀阀、新能源车热管理集成组件产品市占率全球第一，公司伴随新能源核心客户的快速发展、集成组件收入占比提升，打造行业全球龙头。

图58: 三花汽零主要产品布局



资料来源：三花控股官方微信公众号，国信证券经济研究所整理

**开拓储能、机器人等业务，技术具有同源性，布局新的增长点。**车用动力电池和储能电池在温控技术方面同源，储能业务公司 2023 年上半年突破行业标杆客户，已实现营收。机器人方面，公司重点聚焦仿生机器人机电执行器业务（运动控制核心环节，工业机器人中成本占比 70% 左右）。机电执行器业务在电机控制技术方面与公司现有产品具备同源性，公司已组建 50 人的机电执行器产品研发团队，并与绿的谐波签署战略合作框架协议。公司未来三年预计将招募在电机、传动、电控、传感器等领域的专业人才，将研发团队扩充至 150 人，预计机电执行器产品总团队规模在 300 人以上。公司已与多个客户建立合作，并积极筹划海外生产布局，具备先发优势。

投资智能变频控制器、机器人伺服电机控制器、域控制器项目，开拓新增长点。2024 年 1 月公司签订《三花智控未来产业中心项目投资协议书》，计划总投资不低于 50 亿元，项目包括 1) 公司控股子公司先途电子智能变频控制器项目，2) 三花智控机器人伺服机电执行器项目、热管理域控制器项目。以上布局有利于公司从机械部品开发向电子控制集成的系统控制技术解决方案开发升级，并向变频控制技术与系统集成升级方向延伸发展，有望成为潜在增长点。

**风险提示：**新能源汽车销量不及预期、原材料价格上涨、技术风险、政策风险、客户拓展风险、汇率风险等。

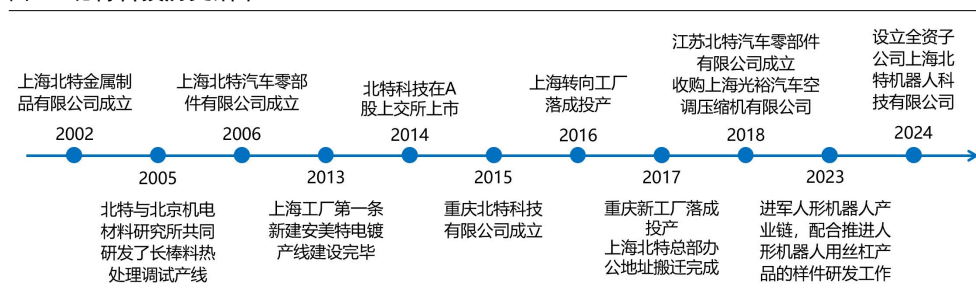
**投资建议：**维持盈利预测，维持“优于大市”评级。预测公司 2024-2026 年归母净利润为 33.66/40.07/48.00 亿元，每股收益 0.90/1.09/1.29 元，维持“优于大市”评

级。

## ■ 北特科技

北特科技成立于 2002 年，于 2014 年上市，公司主要业务分为底盘零部件、汽车空调压缩机、高精密零部件、铝合金轻量化等，在上海、长春、天津、重庆、江苏等地深度布局专业化、规模化生产基地，主要生产配套各类乘用车、商用车、新能源汽车关键零部件，已成为国内最具影响力的专业研发、制造企业之一。2024 年前三季度公司实现营收 14.6 亿元，同比+9.6%，归母净利润 0.6 亿元，同比+111%。

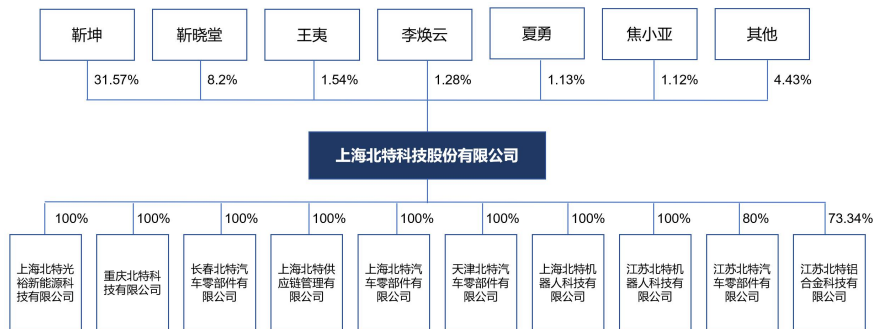
图59：北特科技历史沿革



资料来源：公司官网，公司公告，国信证券经济研究所整理

**公司股权集中架构稳定，整体业务矩阵完善。**截至 2024Q3，北特科技实控人为靳坤，直接持有北特科技 31.57% 股份，靳坤的儿子靳晓堂持有 8.2% 股份，共计持有北特科技 39.77%，控制权相对集中。此外公司设立江苏北特汽车零部件、重庆北特科技、江苏北特科技有限公司等多家子公司，围绕四大主营业务进行全方位布局，整体业务矩阵完善。

图60：北特科技股权结构图及控股公司情况



资料来源：公司公告，天眼查，wind，国信证券经济研究所整理

**公司主要业务包括底盘零部件业务、铝合金轻量化业务、空调压缩机业务三大板块。**公司底盘零部件业务在更为细分的转向器齿条、减振器活塞杆行业内占主导地位；空调压缩机业务也在商用车同行业中保持领先地位。公司主要产品包括底盘零部件（细分为转向器类零部件、减振器类零部件、差速器类零部件、高精密类零部件）、铝合金轻量化零部件、空调压缩机及热管理系统。同时公司部分新品也迎来订单增量，如博世智能集成刹车系统核心零部件 IPB-Flange、采埃孚（ZF）CDC 减振控制阀零部件、耐世特齿轮、齿条等零部件销量持续增长。

图61: 北特科技主要产品布局

业务板块	产品细分	主要产品名称	代表产品展示	业务板块	产品细分	主要产品名称	代表产品展示					
底盘零部件业务	转向器类零部件	齿条		铝合金轻量化业务	集成总成	集成总成						
		齿轮				电池包连接块						
		扭力杆				Yoke类件						
		螺杆			控制臂	两点臂						
		输出轴				三点臂 U型臂						
		输入轴				空气悬架-上气室锅盖						
	减振器类零部件	活窗杆			空调压缩机业务	传统燃油车压缩机	传统燃油车压缩机					
	差速器类零部件	输出轴					新能源电动压缩机 (27/34/46/80CC 等)					
	高精密度类零部件	CDC-evo控制阀壳体 (外置)					IPB	Flange	Piston	热管理系统	整车集成式热管理系统	
		CDC-ivo控制阀零部件 (内置)										
IPB												
滤油器												
泵体												

资料来源: 公司官网, 公司公告, 国信证券经济研究所整理

公司已建立一套相对完备的客户体系且客户优质, 多为全球汽车零部件 50 强企业、国内著名合资车企、国内知名自主品牌车企。

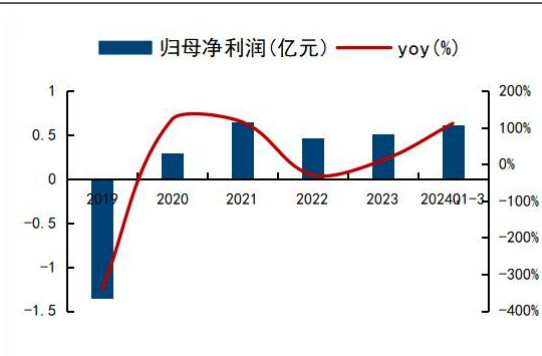
- **底盘零部件业务**, 转向器类、减振器类产品客户体系已基本覆盖所有国内外知名转向系统、减振系统制造企业。转向器类产品主要客户包括豫北机械、耐世特、采埃孚、博世华域、荆州恒隆、蒂森克虏伯、杭州世宝、万都、蜂巢、一汽光洋等; 减振器类产品第一大客户为国内减振器总成龙头万都, 其余客户包括比亚迪等; 高精密度类产品主要客户包括采埃孚、费尼亚、博世等。
- **铝合金轻量化业务**, 主要客户包括比亚迪、采埃孚等国内外知名整车厂和汽车零部件一级供应商。
- **空调压缩机业务**, 主要客户包括北汽福田、一汽奔腾、中国重汽、上汽大通、北汽越野等知名整车厂和江淮松芝、上海良澄、柳州松芝、江西新电、江苏创导空调等知名汽车零部件企业。

财务方面, 2019-2023 年北特科技营收复合增速为 7.6%, 规模实现稳定增长, 利润率稳中有升, 2023 年公司底盘零部件和铝合金业务逐步释放产能, 底盘零部件业务收入同比+7.0%, 铝合金轻量化业务随着新项目量产, 产销量大幅增长, 收入同比+182.1%, 空调压缩机业务随着市场回暖, 收入同比+3.7%。2024 年前三季度北特科技实现营收 14.6 亿元, 同比+9.6%; 归母净利润 0.6 亿元, 同比+111%; 扣非净利润 0.5 亿元, 同比+127.3%; 随着产能建设和项目投入各费用有所增加, 但得益于规模效应, 成本逐渐摊薄, 公司盈利能力有望稳步提升。

图62: 北特科技营业收入及同比



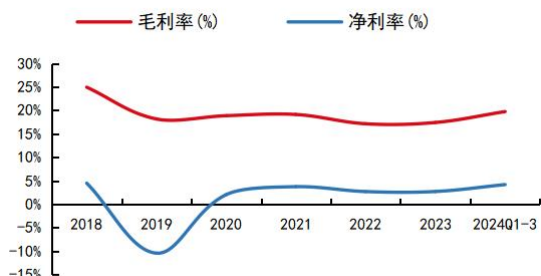
图63: 北特科技归母净利润及同比



资料来源：wind，国信证券经济研究所整理

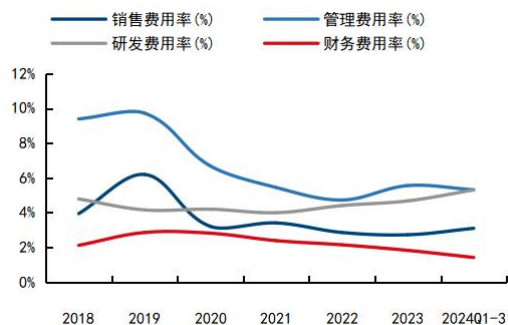
资料来源：wind，国信证券经济研究所整理

图64：北特科技毛利率及净利率



资料来源：wind，国信证券经济研究所整理

图65：北特科技期间费用率



资料来源：wind，国信证券经济研究所整理

## 估值和投资建议：

### 假设前提

我们的盈利预测基于以下假设条件：

**底盘零部件业务：**公司重视各主机厂可变单双齿转向机机会，推进荆州恒隆两款单齿 VGR 齿条逐步量产，新获耐世特、一汽光洋等客户的项目定点；持续开发主动式减振器类相关产品，包括 CDC 电磁减振器活塞杆、交叉孔及圆弧槽活塞杆等，获比亚迪、万都、马瑞利、保隆科技等客户项目定点并批产；推进和实现了博世线控制刹车核心零部件 IPB-Flang、采埃孚 CDC 内置电磁阀中 4 个核心零部件批量生产和交付，新获博世线控制刹车 IPB-Piston 项目、费尼亚 3 个喷油器体项目、康明斯 3 个项目定点；积极拓展海外市场，现有海外订单逐渐量产释放，如已稳定向采埃孚德国、塞尔维亚供应配套奔驰新能源 EQ 系列车型的差速器输出轴，出口采埃孚德国、韩国的主动减振器内置电子阀核心零部件以及出口蒂森克虏伯德国的齿轮、扭杆等装配件，新获耐世特波兰配套宝马系列车型的齿轮项目定点；另外，新开发舍弗勒、伯科姆、多耐、中科大等客户，预计后续公司底盘零部件业务有望稳定增长，预计 24/25/26 年业务收入为 12.2/13.0/14.0 亿元，考虑到后续产品持续放量带来的成本摊销，毛利率维持相对稳定的状态，假设毛利率分别为 23%/23%/23%。

**空调压缩机业务：**公司电动压缩机产品获北汽福田、上汽大通、北汽股份、北汽越野、江淮汽车等客户的项目定点；传统压缩机产品获北汽福田等客户的项目定点；集成式热管理系统，获福田戴姆勒、集瑞联合重工等客户项目定点，预计 24/25/26 年工装夹具业务为 4.8/5.0/5.2 亿元，考虑到后续产品持续放量带来的成本摊销，毛利率有望实现一定增长，假设毛利率分别为 9%/11%/12%。

**铝合金轻量化业务：**公司持续加快新能源汽车市场布局，在现有比亚迪、采埃孚、萨克斯等客户基础上，积极开拓更多新客户，并新获比亚迪更多车型的集成阀岛、控制臂等产品定点，预计 24/25/26 年营收为 2.3/4.0/6.1 亿元，考虑到后续产品持续放量带来的成本摊销，假设毛利率分别为 15%/18%/20%。

**其他业务：**主要是包括公司其他的一些零部件加工业务，预计 24/25/26 年营收为 1.8/2.2/3.0 亿元，假设毛利率分别为 22%/23%/23%。

**整体来看**，预计 24/25/26 年公司整体营收为 21.0/24.3/28.4 亿元，考虑到后续产品持续放量带来的成本摊销，毛利率维持相对稳定的状态，假设毛利率分别为 19%/19%/20%。随产业进展提速叠加公司研发投入的持续，公司有望开拓全新增长曲线，同时公司紧贴汽车产业集群战略，在上海、无锡、盐城、天津、长春、重庆等全国性汽车产业基地或主要客户所在地相继建立生产基地，直接配套汽车产业集群，公司可及时掌握客户最新需求，提高客户响应能力及满意度，将客户的实时要求及时、准确地反馈至生产基地，做出迅速调整，实现与客户协同发展。

**费率方面**：我们认为公司费率有望逐渐趋稳，得益于规模上量后对于成本的摊销，假设 24/25/26 年公司研发费率为 5%/5%/4%；管理层面，公司持续推进降本增效，保证公司运行效率，假设 24/25/26 年公司管理费率为 5%/5%/4%；销售费率层面，考虑到公司新产品拓展需投入一定资源，假设 24/25/26 年销售费率为 3%/3%/3%。

表16：北特科技业绩拆分（亿元）

	2022	2023	2024E	2025E	2026E
<b>客车底盘</b>					
收入	10.6	11.4	12.2	13.0	14.0
YOY		7%	7%	7%	7%
成本	8.6	8.9	9.4	10.1	10.8
毛利	2.1	2.5	2.7	2.9	3.1
毛利率(%)	19%	22%	23%	23%	23%
<b>汽车空调压缩机类</b>					
收入	4.3	4.5	4.8	5.0	5.2
YOY		5%	6%	5%	5%
成本	3.8	4.1	4.3	4.4	4.6
毛利	0.5	0.4	0.4	0.5	0.6
毛利率(%)	11%	8%	9%	11%	12%
<b>精密加工</b>					
收入	1.4	1.6	1.8	2.2	3.0
YOY		17%	11%	25%	35%
成本	1.1	1.3	1.4	1.7	2.3
毛利	0.3	0.4	0.4	0.5	0.7
毛利率(%)	21%	21%	22%	23%	23%
<b>铝锻轻量化事业部</b>					
收入	0.5	1.3	2.3	4.0	6.1
YOY		191%	75%	73%	55%
成本	0.5	1.2	1.9	3.3	4.9
毛利	0.0	0.1	0.3	0.7	1.2
毛利率(%)	0%	8%	15%	18%	20%
<b>合计</b>					
收入	17.1	18.8	21.0	24.3	28.4
YOY		10%	11.8%	15.3%	17.0%
成本	14.1	15.5	17.1	19.5	22.7
毛利	2.9	3.3	3.9	4.7	5.7
毛利率(%)	17%	17%	19%	19%	20%

资料来源：wind，国信证券经济研究所整理和预测 注：因机器人量产节奏未明确，因此本次预测存在暂未充分体现机器人业务带来的收益的不确定性，具体以公司为准，仅供参考。

按上述假设条件与假设，我们预计公司 24/25/26 年营收分别 21.0/24.3/28.4 亿元，同比分别+12%/+15%/+17%，毛利率分为 19%/19%/20%，归母净利润分别为 0.8/1.2/1.7 亿元，同比增速为+58%/+44%/+46%，EPS 分别为 0.22/0.32/0.47 元。

表17：未来 3 年盈利预测表(单位：百万元)

	2023	2024E	2025E	2026E
营业收入	1881	2104	2425	2838
营业成本	1553	1712	1955	2271

销售费用	51	61	70	74
管理费用	104	110	124	130
研发费用	88	102	113	122
营业利润	59	86	125	182
归属于母公司净利润	51	80	116	169
EPS	0.14	0.22	0.32	0.47
ROE	3%	5%	7%	11%

资料来源：Wind、国信证券经济研究所整理和预测

## 盈利预测的敏感性分析

表18: 情景分析（乐观、中性、悲观）

	2022	2023	2024E	2025E	2026E
<b>乐观预测</b>					
营业收入(百万元)	1706	1881	2108	2437	2860
(+/-%)	-1.9%	10.3%	12.1%	15.6%	17.4%
净利润(百万元)	46	51	117	158	218
(+/-%)	-29.4%	10.7%	130.8%	34.9%	37.9%
摊薄 EPS	0.13	0.14	0.33	0.44	0.61
<b>中性预测</b>					
营业收入(百万元)	1706	1881	2104	2425	2838
(+/-%)	-1.9%	10.3%	11.8%	15.3%	17.0%
净利润(百万元)	46	51	80	116	169
(+/-%)	-29.4%	10.7%	57.6%	44.5%	45.7%
摊薄 EPS(元)	0.13	0.14	0.22	0.32	0.47
<b>悲观的预测</b>					
营业收入(百万元)	1706	1881	2099	2414	2817
(+/-%)	-1.9%	10.3%	11.6%	15.0%	16.7%
净利润(百万元)	46	51	43	74	120
(+/-%)	-29.4%	10.7%	-15.0%	70.5%	62.6%
摊薄 EPS	0.13	0.14	0.12	0.21	0.33
总股本(百万股)	359	359	359	359	359

资料来源：国信证券经济研究所预测

## 估值与投资建议

### 投资建议：机器人丝杠潜在核心标的，给予“优于大市”评级

我们选取同样作为机器人领域核心供应商的拓普集团和三花智控，以及在减速器领域具备优势的双环传动作为可比公司，参考可比公司估值。北特科技能力全面，1) 材料研发方面，通过和钢厂的产学研合作，材料整合、开发和配置能力得到进一步加强，具备开发和替代进口高性能优质切削用金属棒材的能力；2) 材料加工方面，具备高精度、高性能汽车和机械行业优质结构钢棒材和零件的生产、加工能力，相关技术达到国内领先、国际先进水平；3) 产品制造方面，掌握高频淬回火、中频调质、中频消应力等热处理核心工艺，以及多轴技术、电镀处理、磨齿、铣齿、滚齿、外圆磨削、超精车削及磨削等关键专机加工工艺，通过自主研发工装自动化、检验测量工具等，结合引进德国、法国、美国；4) 设备布局方面：具备日本等国外先进高端精密设备的优势，为抢占技术、品类和市场先机打下坚实的基础。公司重点建设人形机器人用丝杠产线，相应工序的设备较为完备，包括粗车设备、硬车设备、热处理淬火机、外圆磨磨床、螺纹磨床、检测设备、实验分析仪器等，实现全工序均由公司独立完成生产，且能实现单工序自动化方案，若后续业务进展顺利，则该业务后续有望给公司带来全新的增长动力，因此我们认为公司可以享受一定的估值溢价。预计公司 24/25/26 年营收分别为



21.0/24.3/28.4 亿元，同比分别+12%/+15%/+17%，归母净利润分别为 0.8/1.2/1.7 亿元，同比增速为+58%/+44%/+46%，EPS 分别为 0.22/0.32/0.47 元，首次覆盖，看好公司后续在车端和机器人端的业务成长性，给予“优于大市”评级。

表19: 可比公司估值

公司代码	公司名称	投资评级	昨收盘 收盘(元)	总市值 (亿元)	EPS			PE		
					2023A	2024E	2025E	2023A	2024E	2025E
601689.SH	拓普集团	优于大市	52.30	882	1.95	1.75	2.30	27	30	23
002050.SZ	三花智控	优于大市	23.20	866	0.78	0.90	1.09	30	26	21
002472.SZ	双环传动	优于大市	27.78	235	0.96	1.22	1.51	29	23	19
	平均							29	26	21
603009.SH	北特科技	优于大市	39.12	132	0.14	0.22	0.32	276	175	121

资料来源: Wind, 国信证券经济研究所整理和预测; 注: 数据时间为 12 月 1 日收盘价;

## ■ 贝斯特

**起家于工装夹具，深耕涡轮增压领域，积累精密加工工艺与设备。**贝斯特成立于 1997 年 5 月，1999 年进入铝合金精密零部件制造，2002 年开始进入增压器精密件制造，并于 2017 年上市。2022 年 1 月布局直线运动部件，包括滚珠/滚柱丝杠副、滚动导轨副等。公司主要产品为涡轮增压器精密轴件、涡轮增压器叶轮、涡轮增压器中间壳、新能源汽车精密零部件、工装夹具等业务。

图66: 贝斯特历史沿革



资料来源: 公司公告, 公司官网, 国信证券经济研究所整理

**贝斯特核心管理层拥有多年产业经验，专业性强。**贝斯特董事长曹余华曾任无锡机床厂工人、主任设计师、非标设计室主任，总经理、副总经理也具备多年的产业经验。

表20: 贝斯特核心管理层情况

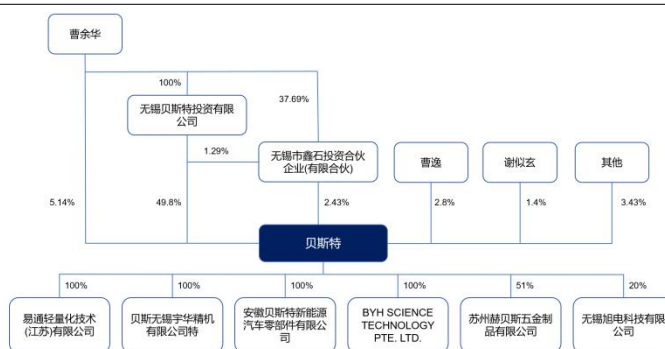
姓名	职位	经历
曹余华	董事长	男, 1954 年出生, 中国籍, 无永久境外居留权, 大学学历, 第十五届无锡市人大代表、江苏省劳动模范。曾于 1970 年 8 月至 1997 年 3 月任无锡机床厂工人、主任设计师、非标设计室主任, 于 1997 年 4 月起在贝斯特有限任职, 现任公司董事长, 兼任控股股东无锡贝斯特投资有限公司执行董事及总经理、参股子公司无锡旭电科技有限公司董事长。
曹逸	副董事长、董事	女, 1987 年 3 月出生, 中国国籍, 无永久境外居留权, 硕士。曾任汇丰银行(中国)上海分行中小企业部客户经理, 现任公司副董事长、审计委员会委员, 兼任控股股东无锡贝斯特投资有限公司监事、无锡市鑫石投资合伙企业(有限合伙)执行事务合伙人委派代表、无锡市硕石投资合伙企业(有限合伙)执行事务合伙人委派代表。
郭俊新	总经理、董事	男, 1971 年出生, 中国籍, 无永久境外居留权, 研究生学历, 高级工程师。曾于 1994 年 7 月至 1996 年 3 月任高邮市石油机械厂技术员, 于 1996 年 4 月至 1997 年 9 月任扬州高明发动机有限公司职员, 于 1997 年 10 月起在贝斯特有限任职, 现任公司总经理、董事, 兼任易通轻量化技术(江苏)有限公司法定代表人以及董事长、安徽贝斯特汽车零部件有限公司总经理。
张新龙	副总经理、研究院院长	男, 1969 年出生, 中国籍, 无永久境外居留权, 本科学历, 高级工程师。曾于 1994 年 7 月至 1999 年 7 月任无锡旭电科技有限公司设计员、技术科科长, 于 1999 年 8 月起在贝斯特有限任职, 现任公司副总经理、研究院院长, 兼任无锡旭电科技有限公司董事, 无锡宇华精机有限公司法定代表人、执行董事、总经理, 安徽贝斯特汽车零部件有限公司法定代表人、执行董事。

赵宇	副总经理、研究院副院长	男，1967 年出生，中国籍，无永久境外居留权，本科学历。曾于 1990 年 8 月至 1997 年 6 月任江苏灌南压铸机厂焊接车间技术员、车间副主任、检验员、铸锻件外协主管，于 1997 年 6 月至 1999 年 5 月任常州阳光减震器厂发动机开发主管、车间检验员、设计工程师、加工车间主管，于 1999 年 5 月起在贝斯特有限任职，现任公司副总经理、研究院副院长。
陈斌	副总经理、董事会秘书、财务总监	男，1985 年出生，中国籍，无永久境外居留权，硕士研究生学历。曾于 2010 年 1 月至 2013 年 11 月任上海东方证券资产管理有限公司区域总监，于 2013 年 11 月起在贝斯特有限任职，现任公司副总经理、董事会秘书以及财务总监，兼任无锡旭电科技有限公司监事。

资料来源：贝斯特公告，国信证券经济研究所整理

**公司股权集中架构稳定。**截至 2024Q3，贝斯特实控人为曹余华，直接持有贝斯特 5.14% 股份，通过持有贝斯特投资从而持有贝斯特 49.80% 股份；曹余华还持有无锡市鑫石投资合伙企业（有限合伙）37.69% 股份，无锡市鑫石投资合伙企业（有限合伙）持有贝斯特 2.43% 股份。曹余华的一致行动人为妻子谢似玄、女儿曹逸，分别持有贝斯特 1.40%、2.80% 股份，公司控制权相对集中。

图 67：贝斯特股权结构图



资料来源：公司公告，天眼查，国信证券经济研究所整理

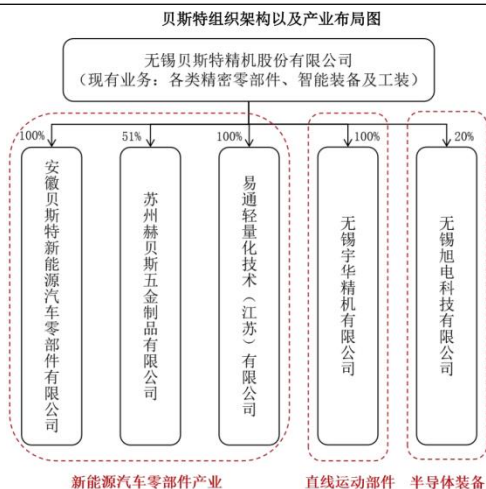
**贝斯特利用在智能装备及工装领域的丰富技术积淀，将业务延伸至高端航空装备制造、自动化装备、工业母机以及人形机器人等领域，主拓展为三大板块：**

**1) 第一梯次产业：涡轮增压器核心零部件、各类精密零部件以及智能装备及工装等原有业务。**第一梯次产业是贝斯特稳健发展的压舱石，主要产品包括两大部分：智能装备及工装（工装夹具+飞机机身自动化钻铆系统+生产自动化系统）、精密零部件（燃油车零部件+飞机机舱零部件+其他）。

**2) 第二梯次产业：新能源汽车零部件业务，重点布局新能源汽车轻量化结构件。**贝斯特 2019 年收购苏州赫贝斯后拓展新能源车零部件业务，产品包括新能源电动汽车安全扣件、汽车充电扣等铝合金和压铸零配件产品；全资子公司易通轻量化公司主要致力于新能源汽车轻量化产品，包括新能源汽车车载充电机组件、直流变换器组件等；22 年 6 月设立全资子公司布局新能源汽车轻量化结构件等。

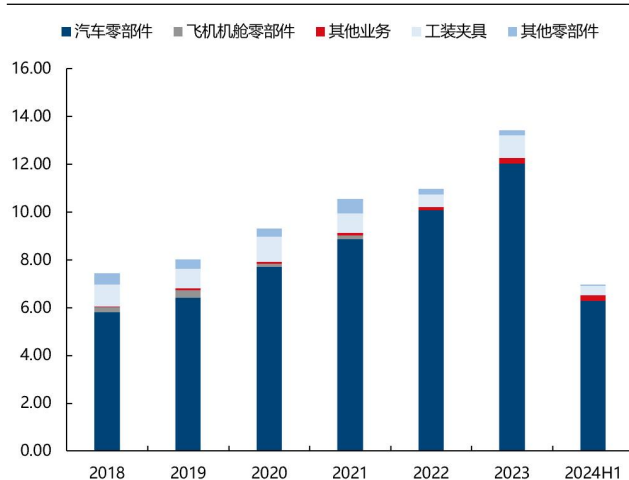
**3) 第三梯次产业：工业母机、人形机器人等领域，全面布局直线运动部件，产品包括：高精度滚珠/滚柱丝杠副、高精度滚动导轨副等。**贝斯特积极布局人形机器人精密丝杠，行星滚柱丝杠顺利出样。2022 年 1 月贝斯特设立全资子公司“无锡宇华精机有限公司”，布局直线运动部件，产品包括高精度滚珠/滚柱丝杠副、高精度滚动导轨副等，瞄准中高端机床领域、自动化产业、人形机器人、智能网联汽车等领域进行大力开拓。2024 年上半年公司生产的滚珠丝杠副、直线导轨副等产品已应用于国内知名机床商部分型号的机床上；自主研发的行星滚柱丝杠已于 2023 年顺利出样，并紧跟市场发展以及技术方向。

图68: 贝斯特产业布局



资料来源：公司公告，国信证券经济研究所整理

图69: 贝斯特营收结构（亿元）



资料来源：公司公告，国信证券经济研究所整理

**贝斯特客户资源丰富、优质，支撑贝斯特实现稳定业绩和持续发展：**

- **精密零部件业务：**与盖瑞特、康明斯、博马科技、长春富奥石川岛、博格华纳、皮尔博格等著名汽车涡轮增压器和发动机相关企业建立长期稳定的业务合作关系。在智能装备及工装业务中，公司已成为上汽通用、潍柴动力等整车整机厂的主要供应商之一。
- **新能源汽车零部件业务：**纯电动汽车核心零部件方面，贝斯特已经与新能源汽车领域众多知名企业建立合作。混合动力汽车零部件方面，持续不断地积极主动参与客户新产品的创新研发，并跟随客户将业务拓展至整车客户端，众多主流插电式混动及增程式汽车都搭载了公司涡轮增压器核心零部件。

**营利稳步增长，人形机器人丝杠相关业务有望成为“第三成长曲线”。**2019-2023年贝斯特营收复合增速为10.86%，利润复合增速9.5%，保持稳步增长。2024年前三季度营收10.4亿元，同比+3.5%，归母2.3亿元，同比+7.08%；扣非净利润2.1亿元，同比+22.4%，毛利率、净利率均保持稳定。贝斯特在智能装备业务、汽车零部件业务上积累了精加工工艺和设备，当前已布局行星滚柱丝杠，未来在人形机器人端有广阔的应用空间，第三梯次的工业母机、人形机器人等领域业务有望为贝斯特带来继智能装备业务、汽车零部件业务后的“第三成长曲线”。

图70: 贝斯特营业收入及同比



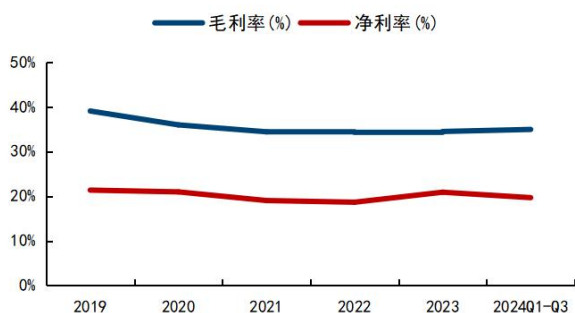
资料来源：wind，国信证券经济研究所整理

图71: 贝斯特归母净利润及同比



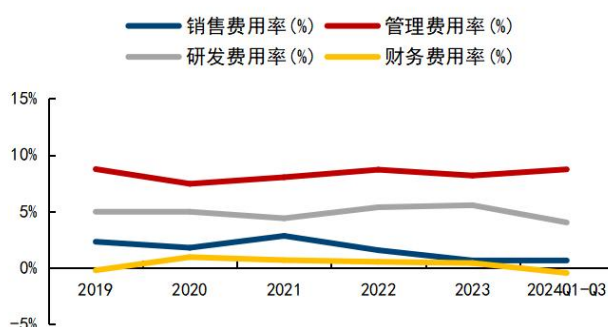
资料来源：wind，国信证券经济研究所整理

图72: 贝斯特毛利率及净利率



资料来源: wind, 国信证券经济研究所整理

图73: 贝斯特期间费用率



资料来源: wind, 国信证券经济研究所整理

### 假设前提

我们的盈利预测基于以下假设条件:

**汽车零部件业务:** 汽车零部件业务为公司主业, 主要包括各类精密零部件、涡轮增压器核心零部件、新能源汽车零部件业务。围绕涡轮增压业务, 公司不断开源节流、提高市场份额, 一方面维护老客户原业务, 另一方面拓展老客户新业务, 同时不断开发新客户, 凭借公司品牌、研发优势、品质优势等, 提高产品性价比, 持续提升公司产品的市场占有率。同时公司重点强调苦练内功, 不断以智能制造、优化工艺以及严控各项成本等为主要抓手, 持续提升生产效率, 不断提高产品质量, 进一步实现公司降本增效的目标。近年来公司重点布局新能源汽车轻量化结构件等, 进一步围绕市场优化产品结构, 围绕潜在或现有客户加快响应速度, 进一步增强客户粘性, 提升公司在新能源汽车产业链中的竞争力, 预计后续公司汽车零部件业务有望稳定增长, 预计 24/25/26 年汽车零部件业务收入为 14.0/16.3/19.0 亿元, 考虑到后续产品持续放量带来的成本摊销, 毛利率维持相对稳定的状态, 假设毛利率分别为 34%/34%/34%。

**工装夹具:** 主要包括工装夹具、飞机机身自动化钻铆系统、生产自动化系统等, 目前占比相对较低 (不到 10%), 预计随客户放量, 预计 24/25/26 年工装夹具业务为 1.2/1.5/1.8 亿元, 考虑到后续产品持续放量带来的成本摊销, 毛利率维持相对稳定的状态, 假设毛利率分别为 36%/37%/37%。

**其他零部件业务:** 主要是包括一些零部件相关业务, 预计后续维持稳定增长, 且后续丝杠业务有望放量, 拉动业务体量提升, 带来全新增长点, 预计 24/25/26 年营收为 0.2/0.3/0.4 亿元, 假设毛利率分别为 17%/17%/18%。

**整体来看,** 预计 24/25/26 年公司整体营收为 15.7/18.4/21.6 亿元, 考虑到后续产品持续放量带来的成本摊销, 毛利率维持相对稳定的状态, 假设毛利率分别为 35%/35%/35%。1) 第一梯次产业: 涡轮增压器核心零部件、各类精密零部件以及智能装备及工装等原有业务; 2) 第二梯次产业: 新能源汽车零部件业务, 重点布局新能源汽车轻量化结构件、高附加值精密零部件以及氢燃料、天然气燃料汽车核心部件等产品; 3) 第三梯次产业: 工业母机、人形机器人等领域, 产品包括: 高精度滚珠/滚柱丝杠副、高精度滚动导轨副等。

**费率方面:** 我们认为公司费率有望逐渐趋稳, 得益于规模上量后对于成本的摊销, 假设 24/25/26 年公司研发费率为 5%/5%/5%; 管理层面, 公司持续推进降本增效,

保证公司运行效率，假设 24/25/26 年公司管理费率为 7%/7%/7%；销售费率层面，考虑到公司新产品拓展需投入一定资源，假设 24/25/26 年销售费率为 1%/1%/1%。

表21: 贝斯特业绩拆分（亿元）

贝斯特	2022	2023	2024E	2025E	2026E
<b>汽车零部件</b>					
收入	10.1	12.0	14.0	16.3	19.0
YOY		19%	16%	17%	17%
成本	6.7	8.0	9.2	10.8	12.6
毛利	3.4	4.0	4.7	5.5	6.5
毛利率 (%)	34%	33%	34%	34%	34%
<b>工装夹具</b>					
收入	0.5	0.9	1.2	1.5	1.8
YOY		77%	28%	25%	20%
成本	0.3	0.6	0.8	0.9	1.1
毛利	0.2	0.3	0.4	0.6	0.7
毛利率 (%)	39%	36%	36%	37%	37%
<b>其他业务</b>					
收入	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3
YOY		71%	10%	15%	15%
成本	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
毛利	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3
毛利率 (%)	95%	99%	99%	99%	99%
<b>其他零部件</b>					
收入	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4
YOY		-8%	5%	25%	50%
成本	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4
毛利	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
毛利率 (%)	14%	16%	17%	17%	18%
<b>合计</b>					
收入	11.0	13.4	15.7	18.4	21.6
YOY		22%	17%	18%	17%
成本	7.2	8.8	10.2	12.0	14.0
毛利	3.8	4.6	5.5	6.4	7.6
毛利率 (%)	34%	34%	35%	35%	35%

资料来源：wind，国信证券经济研究所整理和预测 注：因机器人量产节奏未明确，因此本次预测存在暂未充分体现机器人业务带来的收益的不确定性，具体以公司为准，仅供参考。

按上述假设条件与假设，我们预计公司 24/25/26 年营收分别 15.7/18.4/21.6 亿元，同比分别+17%/+18%/+17%，毛利率分为 35%/35%/35%，归母净利润分别为 3.2/3.9/4.8 亿元，同比增速分别为+19%/+24%/+22%，EPS 为 0.63/0.78/0.95 元。

表22: 未来 3 年盈利预测表(单位: 百万元)

	2023	2024E	2025E	2026E
营业收入	1343	1566	1843	2161
营业成本	880	1019	1198	1405
销售费用	9	8	10	11
管理费用	110	119	138	145
研发费用	74	81	96	99
营业利润	299	356	440	539
归属于母公司净利润	264	315	389	476
EPS	0.53	0.63	0.78	0.95
ROE	9%	10%	12%	13%

资料来源：Wind、国信证券经济研究所整理和预测

## 盈利预测的敏感性分析

**表23: 情景分析（乐观、中性、悲观）**

	2022	2023	2024E	2025E	2026E
<b>乐观预测</b>					
营业收入(百万元)	1097	1343	1570	1853	2180
(+/-%)	3.8%	22.4%	16.9%	18.1%	17.6%
净利润(百万元)	229	264	338	418	512
(+/-%)	16.4%	15.1%	28.4%	23.7%	22.3%
摊薄 EPS	0.46	0.53	0.68	0.84	1.03
<b>中性预测</b>					
营业收入(百万元)	1097	1343	1566	1843	2161
(+/-%)	3.8%	22.4%	16.6%	17.7%	17.3%
净利润(百万元)	229	264	315	389	476
(+/-%)	16.4%	15.1%	19.4%	23.7%	22.3%
摊薄 EPS(元)	0.46	0.53	0.63	0.78	0.95
<b>悲观的预测</b>					
营业收入(百万元)	1097	1343	1561	1832	1097
(+/-%)	3.8%	22.4%	16.2%	17.3%	16.9%
净利润(百万元)	229	264	291	360	441
(+/-%)	16.4%	15.1%	10.5%	23.8%	22.4%
摊薄 EPS	0.46	0.53	0.58	0.72	0.88
总股本(百万股)	200	340	499	499	499

资料来源：国信证券经济研究所预测

### 估值与投资建议

考虑公司的业务特点，我们采用绝对估值和相对估值两种方法来估算公司合理价值区间。

**绝对估值：24.4-26.9元**

未来估值假设条件见下表：

**表24: 公司盈利预测假设条件（%）**

	2022	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E
营业收入增长率	3.8%	22.4%	16.2%	17.3%	16.9%	14.7%	11.8%	9.8%
营业成本/营业收入	65.7%	65.5%	66.4%	66.3%	66.3%	66.3%	66.3%	66.3%
管理费用/营业收入	8.3%	7.8%	7.4%	7.3%	6.6%	6.6%	6.1%	6.1%
研发费用/营业收入	5.4%	5.5%	5.3%	5.3%	4.7%	5.1%	4.6%	4.1%
销售费用/销售收入	1.5%	0.6%	0.6%	0.6%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%
营业税及附加/营业收入	1.1%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%
所得税税率	-12.5%	11.2%	11.2%	11.2%	11.2%	11.2%	11.2%	11.2%
股利分配比率	17.6%	30.6%	29.4%	29.4%	29.4%	29.4%	29.4%	58.8%

资料来源：国信证券经济研究所预测

**表25: 资本成本假设**

无杠杆 Beta	0.93	T	11.00%
无风险利率	2.50%	Ka	8.55%
股票风险溢价	6.50%	有杠杆 Beta	0.91
公司股价(元)	20.58	Ke	8.42%
发行在外股数(百万)	499	E/(D+E)	102.3%
股票市值(E, 百万元)	10269	D/(D+E)	-2.3%
债务总额(D, 百万元)	-230	WACC	8.51%
Kd	5.30%	永续增长率(10年后)	2.0%

资料来源：国信证券经济研究所假设

根据以上主要假设，采用 FCFF 估值方法，得出公司价值区间为 24.4-26.9 元，估值中枢为 25.5 元。

表26: 贝斯特 FCFF 估值

	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
EBIT	322.4	383.2	479.7	542.8	636.4	715.8	889.0
所得税税率	11.00%	11.00%	11.00%	11.00%	11.00%	11.00%	11.00%
EBIT*(1-所得税税率)	286.9	341.1	427.0	483.1	566.4	637.1	791.2
折旧与摊销	138.7	155.8	165.9	175.0	183.8	192.4	201.0
营运资金的净变动	228.7	(188.5)	102.0	(340.8)	472.6	(65.3)	(65.8)
资本性投资	(201.0)	(151.0)	(131.0)	(131.0)	(131.0)	(131.0)	(131.0)
FCFF	453.4	157.5	563.9	186.3	1,091.8	633.2	795.4
PV (FCFF)	417.8	133.7	441.4	134.4	725.8	387.9	449.1
核心企业价值	<b>11,602.7</b>						
减：净债务	(1,133.2)						
股票价值	<b>12,735.9</b>						
每股价值	<b>25.52</b>						

资料来源：国信证券经济研究所预测

### 绝对估值的敏感性分析

该绝对估值相对于 WACC 和永续增长率较为敏感，下表为敏感性分析。

表27: 绝对估值相对折现率和永续增长率的敏感性分析（元）

		WACC 变化				
		7.5%	8.0%	<b>8.54%</b>	9.0%	9.5%
永续 增长 率变 化	3.0%	28.41	28.41	28.41	28.41	28.41
	2.5%	26.85	26.85	26.85	26.85	26.85
	<b>2.0%</b>	<b>25.52</b>	<b>25.52</b>	<b>25.52</b>	<b>25.52</b>	<b>25.52</b>
	1.5%	24.39	24.39	24.39	24.39	24.39
	1.0%	23.40	23.40	23.40	23.40	23.40

资料来源：国信证券经济研究所分析

### 相对估值：23.4-25.7 元

我们选取同样作为机器人领域核心供应商的拓普集团和三花智控，以及在减速器领域具备优势的双环传动作为可比公司，参考可比公司估值。公司业绩弹性来自优质客户稳步放量以及新品的放量，贝斯特后续的业务增长点在于：1) 第一梯次产业：涡轮增压器核心零部件、各类精密零部件以及智能装备及工装等原有业务；2) 第二梯次产业：新能源汽车零部件业务，重点布局新能源汽车轻量化结构件、高附加值精密零部件以及氢燃料、天然气燃料汽车核心部件等产品；3) 第三梯次产业：工业母机、人形机器人等领域，产品包括：高精度滚珠/滚柱丝杠副、高精度滚动导轨副等。**整体来看**，预计公司 24/25/26 年营收分别 15.7/18.4/21.6 亿元，同比分别+17%/+18%/+17%，归母净利润分别为 3.2/3.9/4.8 亿元，同比增速分别为+19%/+24%/+22%，EPS 为 0.63/0.78/0.95 元。若后续公司丝杠业务进展顺利，则该业务后续有望给公司带来全新的增长动力，因此我们认为公司可以享受一定的估值溢价，我们给予公司 2025 年 30-33x 估值，对应一年期目标估值区间 23.4-25.7 元，相较于现在仍有 14%-25%估值空间，首次覆盖，给予“优于大市”评级。

表28: 可比公司估值

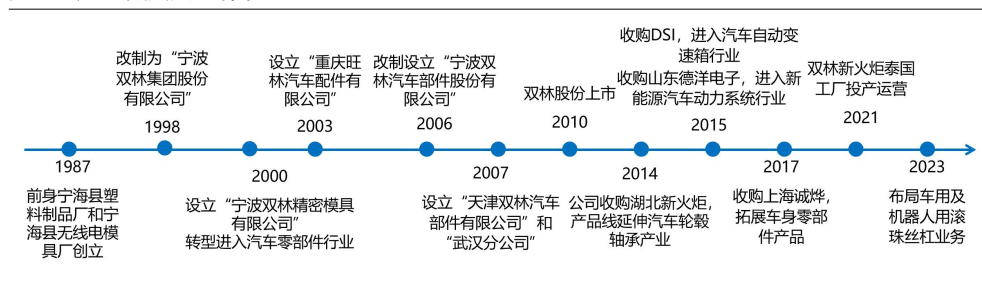
公司代码	公司名称	投资评级	昨收盘 (元)	总市值 (亿元)	EPS			PE		
					2023A	2024E	2025E	2023A	2024E	2025E
601689.SH	拓普集团	优于大市	52.30	882	1.95	1.75	2.3	27	30	23
002050.SZ	三花智控	优于大市	23.20	866	0.78	0.90	1.09	30	26	21
002472.SZ	双环传动	优于大市	27.78	235	0.96	1.22	1.5	29	23	19
	平均							29	26	21
300580.SZ	贝斯特	优于大市	20.58	103	0.53	0.63	0.78	39	33	26

资料来源: Wind, 国信证券经济研究所整理和预测; 注: 数据时间为 12 月 1 日收盘价;

## ■ 双林股份

双林股份成立于 2000 年 11 月, 并于 2010 年上市, 从事汽车部件的研发、制造与销售业务的专业智造企业。公司产品在多个细分领域拥有较强的市场竞争力。在汽车电动座椅关键零部件 (HDM)、内外饰注塑件和安全件、车窗升降系统结构件、中大型高强度辊压件、轮毂轴承等领域内已经形成较大的规模和影响力, 得到客户和主机厂的广泛认可和肯定。

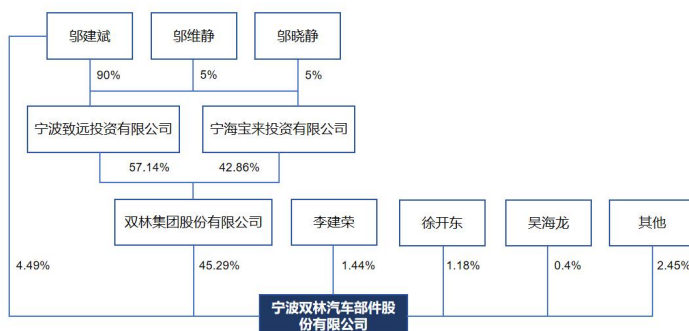
图74: 双林股份历史沿革



资料来源: 公司官网, 公司公告, 国信证券经济研究所整理

**公司股权集中架构稳定。**截至 2024Q3, 双林实控人为邬建斌, 直接持有双林汽车 4.49% 股份, 通过控制宁波致远投资公司持有双林集团 57.14% 股权, 进而控制双林集团股份有限公司 45.29% 的股权, 合计控制双林 49.78% 股份, 公司控制权集中。

图75: 双林股份股权结构



资料来源: 公司官网, 公司公告, 国信证券经济研究所整理

**公司业务布局多样化, 内外饰、轮毂轴承、汽车机电等业务布并举, 具备平台型供货的能力。**各事业部积极提升技术研发能力、拓展客户市场、提高营运效率、优化管理效能等, 各种资源得到有效配置, 公司产品以其功能性、可靠性、安



全性及过程的管控力在国产零部件替代中占有一定的优势。

图76: 双林股份产品体系



资料来源: 公司官网, 公司公告, 国信证券经济研究所整理

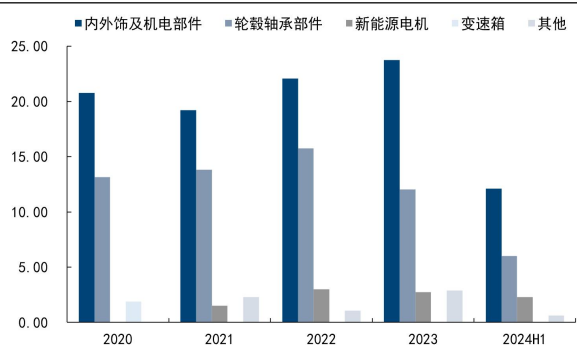
**1) 汽车内外饰及精密部件:** 内外饰包括保险杠、门板、立柱、中控、背门、侧围条等; 精密注塑零部件包括安全气囊盖、油桶、点火线圈等; 注塑模具包括汽车门板、保险杠、仪表台、天窗等, 公司年模具加工能力 1000 余套, 检具 200 余套。

**2) 智能控制系统部件:** 包括汽车座椅水平驱动器 (HDM) 与座椅电机。公司 2000 年开展 HDM 研发, 是国内自主研发该产品最早的民营企业, 已成为国内生产和销售汽车座椅水平驱动器规模最大企业之一; 座椅电机主要包括水平滑轨电机、抬高电机、靠背调角电机等, 公司水平滑轨电机已经逐步量产, 抬高电机已经测试与小批量开始供货, 电动头枕升降电机总成 2024 年下半年将逐步量产。

**3) 新能源动力系统:** 新能源电动汽车电驱动系统产品包括驱动电机、二合一和三合一一体化电桥等, 公司 155 平台电机目前市场保有量超过 100 万台, 180 扁线电机三合一电桥平台于 2023 年 9 月开始逐步实现量产。

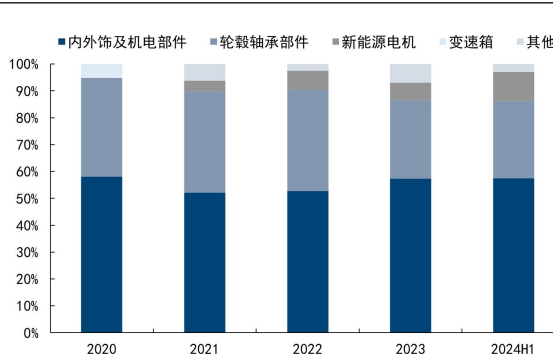
**4) 轮毂轴承:** 全资子公司湖北新火炬, 主要研发、生产和销售汽车轴承、轿车轮毂轴承单元, 具有年产 1800 万套轮毂轴承及单元的生产能力, 是我国轮毂轴承行业的龙头企业。公司境外投资新火炬泰国工厂, 已布局 3 条高端轮毂轴承生产线, 实现全工艺流程本地化生产, 2024 年 5 月已开始小批量产。

图77: 双林股份业务结构贡献情况 (亿元)



资料来源: 公司公告, 国信证券经济研究所整理

图78: 双林股份业务结构贡献百分比情况 (亿元)



资料来源: 公司公告, 国信证券经济研究所整理

**5) 滚珠丝杠:** 汽车用滚珠丝杠轴承单元系将滚珠丝杠的外套与单列球轴承的内圈融为一体, 再将其与轴承外圈、钢球及保持架装成一体, 形成小的总成单元, 主要用于制动和转向领域。公司计划从 EHB 制动用滚珠丝杠轴承到 EMB 制动用滚珠丝杠、转向用滚珠丝杠轴承、机器人用滚柱丝杠产品逐步进行开发。已完成车用

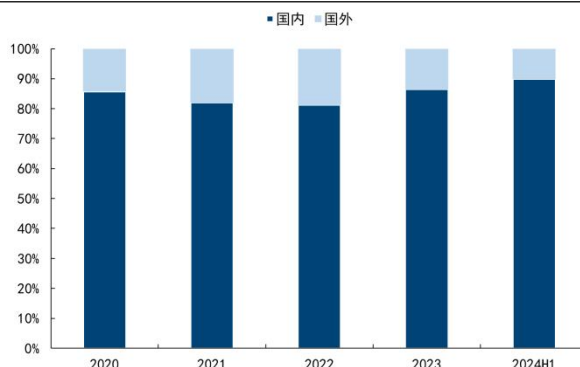
滚珠丝杠样件制造，预计 2024 年 12 月实现 EHB 用滚珠丝杠轴承项目定点。在人形机器人滚柱丝杠方面，内部已经完成正式研发立项，目前快速推进中。

图79：公司核心业务座椅水平驱动器



资料来源：公司官网，国信证券经济研究所整理

图80：双林股份国内与出口业务贡献百分比情况



资料来源：公司公告，国信证券经济研究所整理

**较强的汽车零部件研发创新能力，零部件品类协同优势。**双林股份设 5 大研发中心，建有 1 座院士工作站、2 座博士后科研工作站、3 家高新技术企业研究开发中心、2 家获得 CNAS 认可的实验室。在汽车电动座椅关键零部件（HDM）、内外饰注塑件和安全件、车窗升降系统结构件、中大型高强度辊压件、轮毂轴承等领域内已经形成了较大的规模和影响力，得到客户和主机厂的广泛认可和肯定。随着汽车舒适性、智能化及节能化的要求不断提高，公司持续进行技术升级、产品迭代，以满足整车厂对产品性能不断提高的需求。

**客户群体优质稳定，产品具有较强的协同效应。**公司拥有稳定的优质客户群体。产品用户包括佛瑞亚、联合电子、博泽、奥托立夫、马勒、采埃孚、李尔、博格华纳、安道拓、麦格纳、法雷奥等全球知名零部件一级配套供应商和上汽通用五菱、大众、长安、日产、一汽、长城、福特、北京现代、东风、吉利、蔚来等主流整车厂。同时随着外延式发展，公司客户及产品协同效应明显。

**合理的战略布局及稳定的优质客户资源优势。**公司已建立合理的战略布局，在国内多地以及泰国、北美等地布局生产、研发或售后服务基地，通过与 OEM 厂商就近配套，提高快速反应能力。同时公司通过提高产品设计精度、工艺技术进步、提高自动化水平、实施平台生产、推行全员质量成本控制和精益生产等方式，确保对成本的精确控制，不断地降低产品成本，具有成本领先优势。

图81：双林股份部分客户矩阵



资料来源：公司官网，公司公告，国信证券经济研究所整理

双林股份 2020-2023 年营收复合增速为 3.7%，自 2020 年起归母净利润逐步上升，

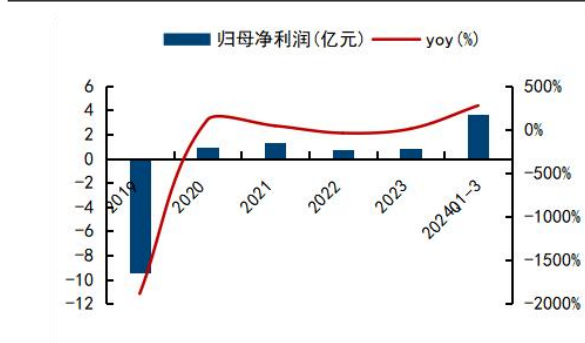
利润率稳中有升，各项费用率得到稳定控制。2024 年前三季度实现营收 32.4 亿元，同比+12.3%；归母净利润 3.7 亿元，同比+274%；扣非净利润 2.4 亿元，同比+226.4%；2024 年公司内外饰及机电部件与轮毂轴承部件业务稳步增长，随着 180 扁线电机三合一电桥平台实现产业化开始放量，新能源电机业务大幅增长，24H1 营业收入同比+266.1%，贡献较大的销售额度。

图82: 双林股份营业收入（亿元）及同比



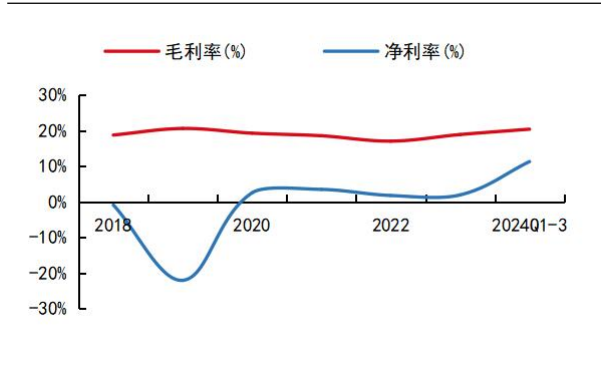
资料来源：公司公告，wind，国信证券经济研究所整理

图83: 双林股份归母净利润（亿元）及同比



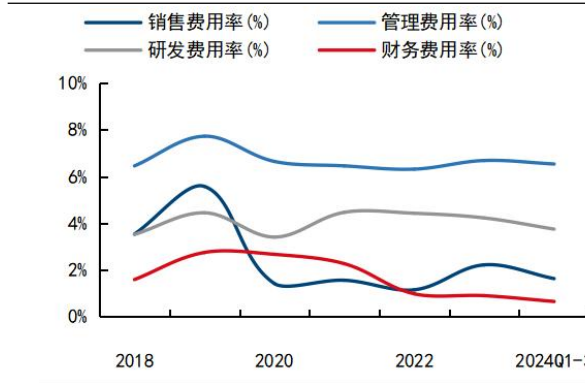
资料来源：公司公告，wind，国信证券经济研究所整理

图84: 双林股份毛利率及净利率



资料来源：公司公告，wind，国信证券经济研究所整理

图85: 双林股份期间费用率



资料来源：公司公告，wind，国信证券经济研究所整理

## 估值和投资建议：

### 假设前提

我们的盈利预测基于以下假设条件：

**内外饰件业务：**1) 在汽车内外饰系统零部件领域，公司主要生产保险杠、门板、立柱、中控、背门、侧围条等，在多地建立生产基地，主要配套上汽通用五菱、上海大众、重庆长安等整车厂；2) 在汽车精密注塑零部件领域，公司主要生产汽车安全气囊盖、油桶、点火线圈、精密齿轮、发动机周边精密零部件、汽车冷却系统等产品；3) 汽车座椅水平驱动器主要安装于汽车座椅底部的滑轨内，主要由精密蜗轮蜗杆齿轮和丝杆螺母螺纹等一系列零件组成，公司已经得到国内外众多知名一级配套商和整车厂商的认可，公司与客户合作较为紧密，在项目类型、产品结构等方面均取得进一步发展，预计 24/25/26 年业务收入为 26.6/29.9/33.3 亿元，考虑到后续产品持续放量带来的成本摊销，毛利率维持相对稳定的状态，假设毛利率分别为 21%/22%/22%。

**轮毂轴承单元：**全资子公司湖北新火炬，主要研发、生产和销售汽车轴承、轿车轮毂轴承单元，具有年产 1800 万套轮毂轴承及单元的生产能力，是我国轮毂轴承行业的龙头企业。公司境外投资新火炬泰国工厂，开启海外扩张。公司已布局 3 条高端轮毂轴承生产线，实现全工艺流程本地化生产，2024 年 5 月已开始小批量生产。预计 24/25/26 年工装夹具业务为 12.9/13.8/14.7 亿元，假设毛利率维持相对稳定的状态，假设毛利率分别为 24%/24%/24%。

**新能源电机：**公司专注于新能源汽车电驱动系统研发、生产和销售，产品包括驱动电机、二合一和三合一一体化电桥等，公司 155 平台电机目前市场保有量超过 100 万台。2023 年 9 月 180 扁线电机三合一电桥平台开始逐步实现量产，主要配套五菱缤果系列车型，月产量约 10000 台，220 平台电机正在开发中，预计 2025 年量产。预计本业务 24/25/26 年营收为 5.1/7.6/9.9 亿元，假设毛利率分别为 14%/15%/16%。

**新产品开发：**2023 年 7 月，公司对滚珠丝杠轴承单元项目进行立项，启动相关研发及制造工作，计划从 EHB 制动用滚珠丝杠轴承到 EMB 制动用滚珠丝杠、转向用滚珠丝杠轴承产品逐步进行开发。公司已完成车用滚珠丝杠样件制造，目前样件在三方验证中，预计 2024 年 12 月实现 EHB 制动用滚珠丝杠轴承 PPAP(项目定点)。在人形机器人滚柱丝杠方面，公司内部已经完成正式研发立项，制定研发目标和开发计划，目前样件制作和设备投资等项目进度按计划快速推进中。

**整体来看，**预计 24/25/26 年公司整体营收为 47.5/54.6/61.9 亿元，考虑到后续产品持续放量带来的成本摊销，毛利率维持相对稳定的状态，假设毛利率分别为 21%/21%/21%。

**费率方面：**我们认为公司费率有望逐渐趋稳，得益于规模上量后对于成本的摊销，假设 24/25/26 年公司研发费率为 4%/4%/4%；管理层面，公司持续推进降本增效，保证公司运行效率，假设 24/25/26 年公司管理费率为 6%/6%/6%；销售费率层面，假设 24/25/26 年销售费率为 1%/1%/1%。

表29：双林股份业绩拆分（亿元）

双林股份	2022	2023	2024E	2025E	2026E
<b>内外饰件</b>					
收入	22.1	23.8	26.6	29.9	33.3
YOY		8%	12%	12%	12%
成本	17.9	19.6	20.9	23.5	26.2
毛利	4.1	4.2	5.7	6.4	7.2
毛利率(%)	19%	18%	21%	22%	22%
<b>轮毂轴承单元</b>					
收入	15.8	12.0	12.9	13.8	14.7
YOY		-24%	7%	7%	7%
成本	13.0	9.2	9.8	10.5	11.2
毛利	2.8	2.8	3.1	3.3	3.5
毛利率(%)	18%	24%	24%	24%	24%
<b>新能源电机</b>					
收入	3.0	2.7	5.1	7.6	9.9
YOY		-9%	87%	50%	30%
成本	3.0	2.6	4.3	6.5	8.4
毛利	0.0	0.2	0.7	1.1	1.5
毛利率(%)	1%	6%	14%	15%	16%
<b>其他零部件</b>					
收入	1.1	2.9	2.9	3.3	4.0
YOY		176%	0%	15%	20%
成本	0.9	2.3	2.3	2.6	3.1
毛利	0.2	0.6	0.6	0.7	0.9

毛利率 (%)	19%	22%	22%	22%	22%
合计					
收入	41.9	41.4	47.5	54.6	61.9
YOY		-1%	15%	15%	13%
成本	34.7	33.6	37.3	43.0	48.8
毛利	7.1	7.8	10.2	11.6	13.1
毛利率 (%)	17%	19%	21%	21%	21%

资料来源：wind，国信证券经济研究所整理和预测 注：因机器人量产节奏未明确，因此本次预测存在暂未充分体现机器人业务带来的收益的不确定性，具体以公司为准，仅供参考。

按上述假设条件与假设，预计 24/25/26 年公司整体营收为 47.5/54.6/61.9 亿元，同比分别 +15%/+15%/+13%，毛利率分为 21%/21%/21%，归母净利润分别为 4.4/4.1/4.8 亿元，同比增速分别为 +444%/-8%/+18%（注：25 年利润下滑主要系 24 年投资收益波动影响），EPS 分别为 1.09/1.01/1.19 元。

表30：未来 3 年盈利预测表(单位：百万元)

	2023	2024E	2025E	2026E
营业收入	4139	4750	5462	6190
营业成本	3357	3735	4302	4880
销售费用	92	66	76	80
管理费用	277	305	346	369
研发费用	175	188	208	229
营业利润	125	494	467	551
归属于母公司净利润	81	440	407	479
EPS	0.20	1.09	1.01	1.19
ROE	4%	19%	16%	18%

资料来源：wind，国信证券经济研究所整理和预测 注：因机器人量产节奏未明确，因此本次预测存在暂未充分体现机器人业务带来的收益的不确定性，具体以公司为准，仅供参考。

## 盈利预测的敏感性分析

表31：情景分析（乐观、中性、悲观）

	2022	2023	2024E	2025E	2026E
<b>乐观预测</b>					
营业收入(百万元)	4185	4139	4780	5533	6308
(+/-%)	13.7%	-1.1%	15.5%	15.7%	14.0%
净利润(百万元)	75	81	639	635	743
(+/-%)	-41.7%	7.6%	689.9%	-0.7%	17.0%
摊薄 EPS	0.19	0.20	1.59	1.58	1.85
<b>中性预测</b>					
营业收入(百万元)	4185	4139	4750	5462	6190
(+/-%)	13.7%	-1.1%	14.8%	15.0%	13.3%
净利润(百万元)	75	81	440	407	479
(+/-%)	-41.7%	7.6%	444.0%	-7.6%	17.8%
摊薄 EPS(元)	0.19	0.20	1.09	1.01	1.19
<b>悲观的预测</b>					
营业收入(百万元)	4185	4139	4719	5392	6074
(+/-%)	13.7%	-1.1%	14.0%	14.2%	12.7%
净利润(百万元)	75	81	246	186	227
(+/-%)	-41.7%	7.6%	203.6%	-24.1%	21.8%
摊薄 EPS	0.19	0.20	0.61	0.46	0.56
总股本(百万股)	402	402	402	402	402

资料来源：国信证券经济研究所预测

## 估值与投资建议

考虑公司的业务特点，我们采用绝对估值和相对估值两种方法来估算公司合理价值区间。

**绝对估值：23.3-26.1元**

未来估值假设条件见下表：

表32：公司盈利预测假设条件（%）

	2022	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E
营业收入增长率	13.7%	-1.1%	14.8%	15.0%	13.3%	10.0%	10.0%	6.0%
营业成本/营业收入	83.0%	81.1%	78.6%	78.8%	78.8%	78.8%	79.0%	78.0%
管理费用/营业收入	5.8%	6.2%	6.1%	6.1%	5.7%	5.7%	5.0%	4.5%
研发费用/营业收入	4.4%	4.2%	4.0%	3.8%	3.7%	3.5%	3.4%	3.4%
销售费用/销售收入	1.2%	2.2%	1.4%	1.4%	1.3%	1.3%	1.2%	1.2%
营业税及附加/营业收入	0.8%	0.9%	0.9%	0.9%	0.9%	0.9%	0.9%	0.9%
所得税税率	18.5%	23.0%	10.0%	12.0%	12.0%	12.0%	12.0%	12.0%
股利分配比率	444.8%	66.0%	66.0%	66.0%	66.0%	66.0%	66.0%	66.0%

资料来源：国信证券经济研究所预测

表33：资本成本假设

无杠杆 Beta	0.93	T	10.00%
无风险利率	2.50%	Ka	8.55%
股票风险溢价	6.50%	有杠杆 Beta	1.04
公司股价（元）	21.66	Ke	<b>9.26%</b>
发行在外股数（百万）	402	E/(D+E)	88.44%
股票市值(E, 百万元)	8711	D/(D+E)	11.56%
债务总额(D, 百万元)	1041	WACC	<b>8.74%</b>
Kd	5.30%	永续增长率（10年后）	2.0%

资料来源：国信证券经济研究所假设

根据以上主要假设，采用 FCFF 估值方法，得出公司价值区间为 23.3-26.1 元，估值中枢为 24.7 元。

表34：双林股份 FCFF 估值

	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
EBIT	412.1	480.2	575.5	648.2	770.8	937.1	984.7
所得税税率	10.00%	12.00%	12.00%	12.00%	12.00%	12.00%	12.00%
EBIT*(1-所得税税率)	370.9	422.6	506.4	570.4	678.3	824.6	866.5
折旧与摊销	196.7	211.8	224.7	236.7	244.9	249.7	253.2
营运资金的净变动	(27.8)	(81.3)	(86.8)	(1,531.6)	539.2	(190.7)	(175.8)
资本性投资	(201.0)	(201.0)	(201.0)	(151.0)	(51.0)	(51.0)	(51.0)
FCFF	338.7	352.0	443.3	(875.4)	1,411.4	832.6	893.0
PV(FCFF)	311.5	297.7	344.8	(626.2)	928.5	503.7	496.8
核心企业价值	10,931.6						
减：净债务	1,041.2						
股票价值	9,890.3						
每股价值	24.59						

资料来源：国信证券经济研究所预测

### 绝对估值的敏感性分析

该绝对估值相对于 WACC 和永续增长率较为敏感，下表为敏感性分析。

表35：绝对估值相对折现率和永续增长率的敏感性分析（元）

		WACC 变化				
		7.5%	8.0%	8.54%	9.0%	9.5%
永续 增长 率变 化	3.0%	27.92	27.92	27.92	27.92	27.92
	2.5%	26.12	26.12	26.12	26.12	26.12
	2.0%	24.59	24.59	24.59	24.59	24.59
	1.5%	23.28	23.28	23.28	23.28	23.28
	1.0%	22.13	22.13	22.13	22.13	22.13

资料来源：国信证券经济研究所分析

### 相对估值：23.3-25.3元

我们选取同样作为机器人领域核心供应商的拓普集团和三花智控，以及在减速器领域具备优势的双环传动作为可比公司，参考可比公司估值。双林股份具有内外饰件业务、轮毂轴承单元、新能源电机等支柱性业务，有望随着客户放量，以及产能的持续布局实现稳定的业务增长，同时2023年7月，公司对滚珠丝杠轴承单元项目进行立项，启动相关研发及制造工作，计划从EHB制动用滚珠丝杠轴承到EMB制动用滚珠丝杠、转向用滚珠丝杠轴承产品逐步进行开发。在人形机器人滚柱丝杠方面，公司内部已经完成正式研发立项，制定研发目标和开发计划，目前样件制作和设备投资等项目进度按计划快速推进中。整体来看，预计24/25/26年公司整体营收为47.5/54.6/61.9亿元，同比+15%/+15%/+13%，归母净利润分别为4.4/4.1/4.8亿元，同比+444%/-8%/+18%（25年利润下滑主要系24年投资收益波动影响），EPS分别为1.09/1.01/1.19元。若后续公司丝杠业务进展顺利，则该业务后续有望给公司带来全新的增长动力，因此我们认为公司可以享受一定的估值溢价，我们给予公司2025年24-25x估值，对应一年期目标估值区间24.3-25.3元，相较于现在仍有12%-17%的估值空间，首次覆盖，给予“优于大市”评级。

表36：可比公司估值

公司 代码	公司 名称	投资 评级	昨收盘 (元)	总市值 (亿元)	EPS			PE		
					2023A	2024E	2025E	2023A	2024E	2025E
601689.SH	拓普集团	优于大市	52.30	882	1.95	1.75	2.3	27	30	23
002050.SZ	三花智控	优于大市	23.20	866	0.78	0.90	1.09	30	26	21
002472.SZ	双环传动	优于大市	27.78	235	0.96	1.22	1.5	29	23	19
	平均							29	26	21
300100.SZ	双林股份	优于大市	21.66	87	0.20	1.09	1.01	108	20	21

资料来源：Wind，国信证券经济研究所整理和预测；注：数据时间为12月1日收盘价；

## ■ 斯菱股份

斯菱股份是一家专业生产汽车轴承的汽车零部件制造企业，主营业务为汽车轴承的研发、制造和销售。所研发的产品涉及轮毂轴承、轮毂轴承单元、圆锥轴承、离合器、涨紧轮及惰轮轴承等多个产品系列。公司自2004年成立以来，以市场需求为导向、客户体验为基石、技术创新为动力，在汽车轴承领域积累了多年的售后市场及主机配套市场经验，致力于打造全球领先的汽车轴承民族品牌，成为具有全球竞争力的汽车轴承制造商。

图86: 斯菱股份历史沿革



资料来源：公司官网，公司公告，国信证券经济研究所整理

公司主营业务是汽车轴承的研发、制造和销售。主要产品应用于制动系统、动力系统和传动系统。产品包括轮毂轴承单元、轮毂轴承、圆锥轴承、离合器轴承、涨紧轮及惰轮轴承、单项皮带轮、重卡轴承、驱动电机轴承等。在汽车轴承售后市场领域，产品型号覆盖率为各大供应商的核心竞争力之一。公司积累了多年的研发和生产经验，产品体系完善，覆盖多种型号规格。目前公司产品总共四大类产品，型号多达 6,000 余种，其中制动系统类轴承 4,800 余种，传动系统类轴承 1,000 余种，动力系统类轴承 300 余种，非汽车轴承 100 余种。多样化的型号能够满足不同客户的订单需求，并有效减少前期试生产所耗费的时间周期，从而加快从订单下达到产品交付间隔时间，有效提高公司的订单管理能力。

图87: 斯菱股份产品矩阵

产品类别	产品名称	产品细分	产品图示	结构特点	主要应用
制动系统类轴承产品	轮毂轴承	第一代锥结构轮毂轴承		第一代轮毂轴承是独立的旋转体，由两套或多套角接触球轴承或圆锥滚子轴承组成，包含外圈、内圈、滚动体、保持架等四大件，将原两套分立的角接触球轴承或圆锥滚子轴承集成为一套外圈整体式、内圈背对背的组合。根据轴承内圈滚动体的不同，轮毂轴承可分为两类，第一代锥结构轮毂轴承的内圈滚动体为圆锥滚子，第一代球结构轮毂轴承的内圈滚动体为球，两种轮毂轴承性能略有不同，第一代球结构轮毂轴承承载能力较强，但是转速相对较低，第一代锥结构轮毂轴承是线接触，承载能力弱，但是转速相对低一些。	应用于汽车制动系统，安装在汽车制动轴处，是用来承重和为轮毂的转动提供精确引导的核心零部件，也是关系到汽车行驶安全的重要零部件。
		第一代球结构轮毂轴承			
	轮毂轴承单元	第二代轮毂轴承单元		第二代轮毂轴承单元是第一代轮毂轴承的升级版、集成版，在具有第一代轮毂轴承的产品特点外，二代产品外圈集成安装法兰，将轮毂轴承外圈与悬架或者刹车盘相配合的部件制成一体。	应用于汽车制动系统，安装在汽车制动轴处，是用来承重和为轮毂的转动提供精确引导的核心零部件，也是关系到汽车行驶安全的重要零部件。
		第三代轮毂轴承单元		第三代轮毂轴承单元是第二代轮毂轴承单元的升级版、集成版，在具有第二代轮毂轴承单元的产品特点外，三代产品外圈都集成法兰，可直接通过螺栓连接于悬架、安装到刹车盘和轮毂上。	
重卡轴承	单列圆锥轴承或双列圆锥滚子轴承或第二代轮毂轴承单元			重卡轴承主要分为：单列圆锥轴承或双列圆锥滚子轴承或第二代轮毂轴承单元，第二代轮毂轴承单元产品外圈集成安装法兰，将轮毂轴承外圈与悬架或者刹车盘相配合的部件制成一体。	应用于卡车制动系统，安装在汽车制动轴处，是用来承重和为轮毂的转动提供精确引导的核心零部件，也是关系到汽车行驶安全的重要零部件。
传动系统类轴承产品	圆锥轴承	公制单列圆锥滚子轴承		单列圆锥滚子轴承，轴承由一个带锥形滚道的外圈和一个带锥形内圈、圆锥滚子等组成，带滚子和保持架的内圈组件可以与外圈分开单独安装。	单列圆锥滚子轴承在工业领域，汽车领域均有广泛的应用，如减速机、齿轮箱等。
		英制单列圆锥滚子轴承			
	驱动电机轴承	向心深沟球轴承		向心球轴承，由外圈、内圈、钢球或陶瓷球、尼龙保持架、密封件组成，使用及安装方便。	主要应用在新能源汽车的驱动电机中，是用来承重和为轮毂的转动提供精确引导的核心零部件，也是关系到汽车行驶安全的重要零部件。
离合器轴承	离合器分离轴承		离合器分离轴承，由外圈和内圈、一组钢球和保持架以及轴套支架等部件组成，离合器轴承工作时，离合器踏板的力会传导到离合器分离轴承上。	离合器分离轴承安装于离合器和变速器之间，其主要功能是通过轴承轴向移动，实现汽车发动机与传动系统之间的结合或断开，从而使汽车平稳起步、换挡、停车，并对汽车传动系统负载起保护作用。	
动力系统类轴承产品	产品类型 涨紧轮轴承系列	产品细分 涨紧轮		结构特点 涨紧轮用于汽车传动系统的皮带涨紧装置，主要由滚动轴承、固定支架、扭簧、轴套等零件组成，通过把皮带涨紧，减小它们运动过程中的震动和能量损失	主要应用 涨紧轮轴承，广泛应用于汽车、输送机、起重设备等机器的发动机中
农机轴承和农机轴承单元	工程机械用轴承	角接触轴承，调心球及调心滚子轴承		依据工程机械的使用工况，工程机械用轴承，具有高承载、长寿命等特点，同时具备易安装及维护方便、快捷的特点。	主要用在工程机械的动力传动部位，以定制化的非标轴承为主，也包含部分标准轴承。
	农机轴承和农机轴承单元	外球面轴承，带座外球面轴承，农机轴承单元		外球面轴承，是由一个外径面为球面结构的外圈，一个内圈，一组钢球和一组保持架组成，依据应用工况不同，附加偏心套或紧定套等部件。带座外球面轴承，依据不同的应用工况集成了不同结构的轴承座。农机轴承单元集成了安装法兰，安装方便、快捷。	农机轴承广泛应用于割草机、打捆机、收获机、脱粒机、播种机、旋耕机、施肥机等农业机械。依据集成的程度不同，分为农机轴承、带座外球面轴承和农机轴承单元。

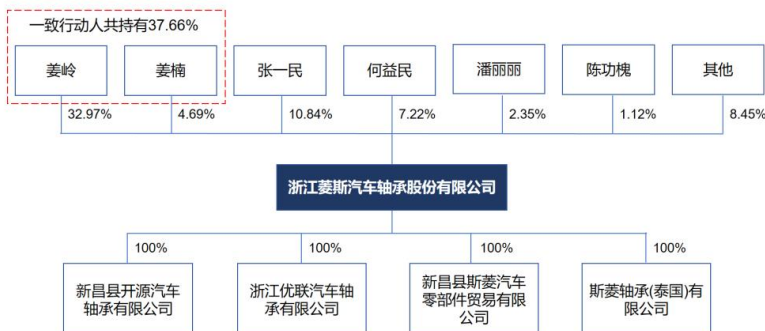
资料来源：公司官网，公司公告，国信证券经济研究所整理

公司股权集中架构稳定。截至 2024Q3，斯菱股份实控人姜岭直接持有斯菱股份



32.97%股份，姜岭的一致行动人姜楠直接持有斯菱股份 4.69%股份，由此，斯菱股份的实际控制人姜岭、姜楠共持有 37.66%的股份，整体股权结构集中、稳定。

图88: 斯菱股份股权架构



资料来源：公司官网，公司公告，国信证券经济研究所整理

公司重视全球化布局以及优质客户的深度绑定：

- **销售渠道及客户资源：**经过多年的业务积累和并购整合，公司已实现北美、欧洲、亚洲等境外主要售后市场销售渠道的全覆盖。同时凭借在质量、产品体系、研发、组织管理等方面优势，公司在与众多知名企业的合作交流中，发展和积累了一批优质的客户资源，并为之建立长期稳定的合作关系。

表37: 公司主要行业内知名客户情况

客户名称	基本情况
辉门	原美国纳斯达克上市公司，全球性汽车零部件制造供应商
NAPA	美国纽交所上市公司 Genuine Parts 子品牌，世界最大的汽车配件及用品销售商之一，Genuine Parts 为世界 500 强
GMB	全球性汽车零部件制造供应商，在全球多地设有工厂和销售公司，韩国子公司为韩国交易所上市公司
GATES	全球最大的汽车传动带制造商之一，主营汽车发动机中的皮带、涨紧轮、水泵的制造和销售业务
OPTIMAL	欧洲汽车售后市场老牌公司，2020 年被美国汽车回收巨头 LKQ 收购，主营汽车轴承、悬挂部件、减震器、制动系统和传感器的制造和销售业务
VALEO	全球性汽车零部件制造供应商，世界 500 强

资料来源：公司公告，国信证券经济研究所整理

- **海外产能布局：**公司 2019 年设立泰国子公司，2023 年对泰国子公司进行第二期投资建设，新购置土地和厂房，并添置热锻线、正火线、感应热处理生产线等设备扩产，除此之外，公司已初步建立北美市场的本地服务能力，进一步加快公司主业全球化产业布局的节奏。

图89: 公司海内外营收情况（万元）

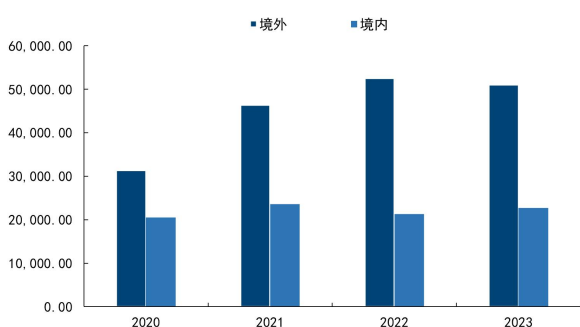
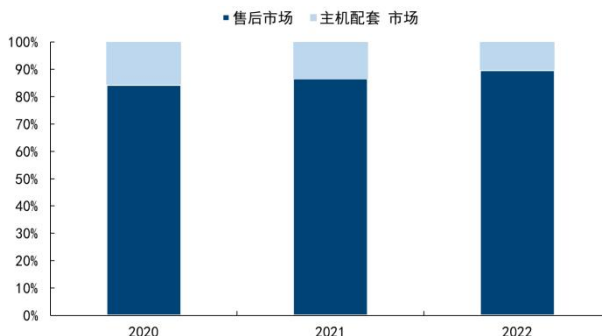


图90: 公司收入结构占比



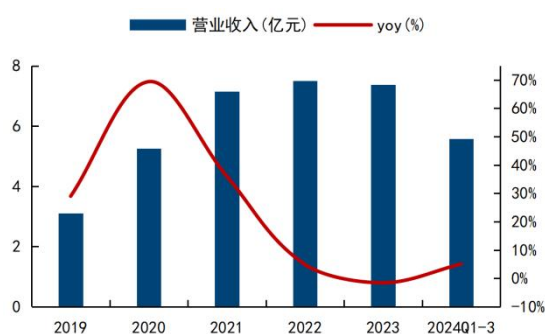
资料来源：公司公告，国信证券经济研究所整理

资料来源：公司公告，国信证券经济研究所整理

**后续看点：**根据公司战略发展规划，公司持续关注不断增长的机器人零部件市场。2023年，公司完成组建专门的研发、技术团队，对机器人关节零部件产品进行研究开发，并取得相应成果。同时，公司已协作下游客户及上游供应商，组成完整的产业链，2024年公司将会以产业链协同的形式参与新产品的投产工作。

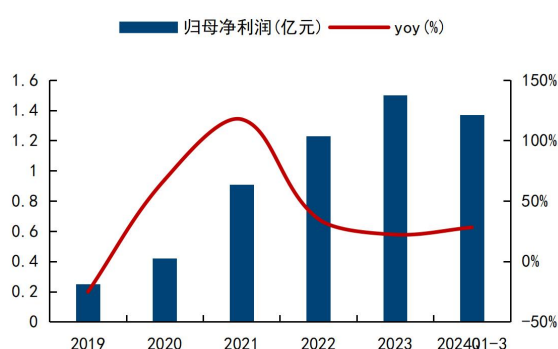
斯菱股份营收稳定，2019-2023年营收复合增速为18.94%，利润复合增速43.10%，毛利率与净利率持续增长，各项费用率稳定控制。2024年前三季度实现营收5.57亿元，同比+5.06%；归母净利润1.37亿元，同比+28.13%；扣非净利润1.28亿元，同比+22.5%。公司主要业务制动系统类轴承与传动系统类轴承均实现30%+毛利率，高端汽车轴承智能化建设项目投产后预计释放大量产能。

图91：斯菱股份营业收入及同比



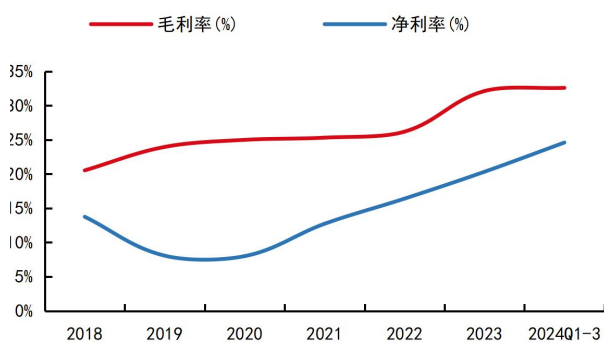
资料来源：wind，国信证券经济研究所整理

图92：斯菱股份归母净利润及同比



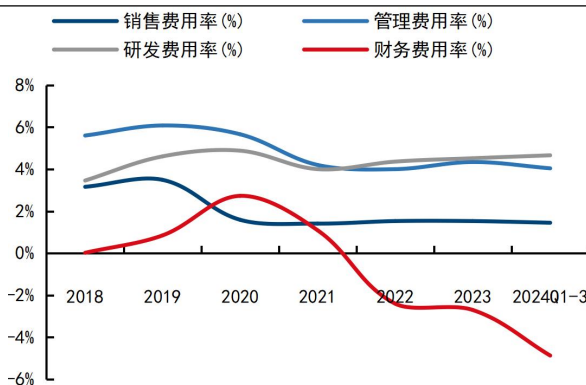
资料来源：wind，国信证券经济研究所整理

图93：斯菱股份毛利率及净利率



资料来源：wind，国信证券经济研究所整理

图94：斯菱股份期间费用率



资料来源：wind，国信证券经济研究所整理

## 估值和投资建议：

### 假设前提

我们的盈利预测基于以下假设条件：

**制动系统类轴承业务：**为公司的核心业务，主要分布三大部分：（1）轮毂轴承，应用于汽车制动系统，安装在汽车制动轮轴处，是用来承重和为轮毂的转动提供精确引导的核心零部件，也是关系到汽车行驶安全的重要零部件；（2）轮毂轴承单元：应用于汽车制动系统，安装在汽车制动轮轴处，是用来承重和为轮毂的转

动提供精确引导的核心零部件，也是关系到汽车行驶安全的重要零部件；（3）重卡轴承：应用于卡车制动系统，安装在汽车制动轮轴处，是用来承重和为轮毂的转动提供精确引导的核心零部件，也是关系到汽车行驶安全的重要零部件；公司与客户合作较为紧密，在项目类型、产品结构等方面均取得进一步发展，预计24/25/26年业务收入为6.0/7.3/8.7亿元，考虑到后续产品持续放量带来的成本摊销，毛利率维持相对稳定的状态，假设毛利率分别为32%/32%/32%。

**动力系统类轴承业务：**公司生产的涨紧轮轴承系列，根据用途的不同，可分为涨紧轮轴承、惰轮轴承及附件涨紧器，主要应用涨紧轮轴承，广泛应用于汽车、输送机、起重设备等机器发动机中。预计24/25/26年业务营收为0.6/0.6/0.7亿元，假设毛利率维持相对稳定的状态，假设毛利率分别为32%/32%/32%。

**传动系统类轴承：**1) 圆锥轴承：公司生产的圆锥滚子轴承根据轴承外形尺寸的不同，可分为公制单列圆锥滚子轴承和公制单列圆锥滚子轴承；单列圆锥轴承在工业领域，汽车领域均有广泛的应用，如减速机，齿轮箱等；2) 公司生产的驱动电机轴承是电动车驱动系统用高速球轴承，产品具有轻扭矩、高速、耐高温、耐频繁启停伴随的瞬间大冲击载荷的特性，应用在新能源汽车的驱动电机中，是用来承重和为轮毂的转动提供精确引导的核心零部件，也是关系到汽车行驶安全的重要零部件；3) 公司生产的离合器轴承系列，主要应用在手动挡的燃油乘用车、卡车、农机及工程车辆的传动系统。预计本业务24/25/26年营收为1.1/1.3/1.6亿元，假设毛利率分别为33%/33%/33%。

**非汽车类轴承业务：**主要是用在工程机械、农机轴承应用场景，预计本业务24/25/26年营收为0.1/0.1/0.2亿元，假设毛利率分别为38%/38%/38%。

**新产品开发：**根据公司战略发展规划，公司持续关注不断增长的机器人零部件市场。2023年，公司完成组建专门的研发、技术团队，对机器人关节零部件产品进行研究开发，并取得相应成果。同时，公司已协作下游客户及上游供应商，组成完整的产业链，2024年公司将会以产业链协同的形式参与新产品的投产工作。

**整体来看，**预计24/25/26年公司整体营收为7.9/9.6/11.3亿元，考虑到后续产品持续放量带来的成本摊销，毛利率维持相对稳定的状态，假设毛利率分别为32%/32%/32%。

**费率方面：**我们认为公司费率有望逐渐趋稳，得益于规模上量后对于成本的摊销，假设24/25/26年公司研发费率为5%/5%/5%；管理层面，公司持续推进降本增效，保证公司运行效率，假设24/25/26年公司管理费率为4%/4%/4%；销售费率层面，假设24/25/26年销售费率为2%/2%/2%。

表38：斯菱股份业绩拆分（亿元）

	2023	2024E	2025E	2026E
<b>制动系统类轴承</b>				
收入	5.7	6.0	7.3	8.7
YOY	3%	7%	22%	18%
成本	3.9	4.1	5.0	5.9
毛利	1.8	1.9	2.3	2.7
毛利率(%)	31%	32%	32%	32%
<b>动力系统类轴承</b>				
收入	0.6	0.6	0.6	0.7
YOY	11%	5%	12%	12%
成本	0.4	0.4	0.4	0.5
毛利	0.2	0.2	0.2	0.2
毛利率(%)	32%	32%	32%	32%
<b>非汽车类轴承</b>				

收入	0.1	0.1	0.1	0.2
YOY	-27%	4%	12%	12%
成本	0.1	0.1	0.1	0.1
毛利	0.04	0.0	0.1	0.1
毛利率(%)	38%	38%	38%	38%
<b>传动系统类轴承</b>				
收入	1.0	1.1	1.3	1.6
YOY	-21%	15%	20%	20%
成本	0.6	0.7	0.9	1.1
毛利	0.3	0.4	0.4	0.5
毛利率(%)	33%	33%	33%	33%
<b>其他业务</b>				
收入	0.1	0.1	0.1	0.1
YOY	-19%	5%	25%	25%
成本	0.01	0.0	0.0	0.0
毛利	0.1	0.1	0.1	0.1
毛利率(%)	83%	83%	83%	83%
<b>合计</b>				
收入	7.4	7.9	9.6	11.3
YOY		7.4%	20.5%	18.1%
成本	5.0	5.4	6.5	7.6
毛利	2.4	2.6	3.1	3.7
毛利率(%)	32%	32%	32%	32%

资料来源: wind, 国信证券经济研究所整理和预测 注: 因机器人量产节奏未明确, 因此本次预测存在暂未充分体现机器人业务带来的收益的不确定性, 具体以公司为准, 仅供参考。

按上述假设条件与假设, 预计 24/25/26 年公司整体营收为 7.9/9.6/11.3 亿元, 同比分别 +7%/+20%/+18%, 毛利率分为 32%/32%/32%, 归母净利润分别为 2.0/2.3/2.6 亿元, 同比增速分别为 +31%/18%/13%, EPS 为 1.78/2.10/2.38 元。

表39: 未来3年盈利预测表(单位: 百万元)

	2023	2024E	2025E	2026E
营业收入	738	793	955	1128
营业成本	501	536	645	762
销售费用	11	12	15	17
管理费用	32	34	40	44
研发费用	33	38	46	53
营业利润	174	218	257	291
归属于母公司净利润	150	196	231	262
EPS	1.36	1.78	2.10	2.38
ROE	9%	11%	11%	11%

资料来源: wind, 国信证券经济研究所整理和预测 注: 因机器人量产节奏未明确, 因此本次预测存在暂未充分体现机器人业务带来的收益的不确定性, 具体以公司为准, 仅供参考。

## 盈利预测的敏感性分析

表40: 情景分析(乐观、中性、悲观)

	2022	2023	2024E	2025E	2026E
<b>乐观预测</b>					
营业收入(百万元)	750	738	794	960	1137
(+/-%)	4.9%	-1.5%	7.6%	20.9%	18.5%
净利润(百万元)	123	150	208	246	281
(+/-%)	35.2%	22.2%	38.8%	18.5%	14.1%
摊薄 EPS	1.49	1.36	1.89	2.24	2.55
<b>中性预测</b>					
营业收入(百万元)	750	738	793	955	1128

(+/-%)	4.9%	-1.5%	7.4%	20.5%	18.1%
净利润(百万元)	123	150	196	231	262
(+/-%)	35.2%	22.2%	30.7%	17.9%	13.4%
摊薄 EPS(元)	1.49	1.36	1.78	2.10	2.38
<b>悲观的预测</b>					
营业收入(百万元)	750	738	792	951	1119
(+/-%)	4.9%	-1.5%	7.3%	20.1%	17.7%
净利润(百万元)	123	150	184	216	243
(+/-%)	35.2%	22.2%	22.8%	17.3%	12.7%
摊薄 EPS	1.49	1.36	1.67	1.96	2.21
总股本(百万股)	83	110	110	110	110

资料来源：国信证券经济研究所预测

### 估值与投资建议

考虑公司的业务特点，我们采用绝对估值和相对估值两种方法来估算公司合理价值区间。

**绝对估值：70.6-78.9元**

未来估值假设条件见下表：

表41：公司盈利预测假设条件（%）

	2022	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E
营业收入增长率	4.9%	-1.5%	7.4%	20.5%	18.1%	17.0%	16.0%	16.0%
营业成本/营业收入	73.8%	67.9%	67.6%	67.6%	67.5%	67.5%	65.0%	62.0%
管理费用/营业收入	3.7%	4.0%	4.0%	4.0%	3.7%	3.0%	2.5%	2.5%
研发费用/营业收入	4.4%	4.5%	4.9%	4.9%	4.7%	4.0%	3.5%	3.0%
销售费用/销售收入	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.0%	1.0%
营业税及附加/营业收入	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%
所得税税率	7.9%	13.9%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%	10.0%
股利分配比率	3.0%	0.9%	0.9%	0.9%	0.9%	0.9%	0.9%	0.9%

资料来源：国信证券经济研究所预测

表42：资本成本假设

无杠杆 Beta	0.93	T	10.00%
无风险利率	2.50%	Ka	8.55%
股票风险溢价	6.50%	有杠杆 Beta	0.93
公司股价（元）	62.69	Ke	8.55%
发行在外股数（百万）	110	E/(D+E)	99.95%
股票市值(E, 百万元)	6896	D/(D+E)	0.05%
债务总额(D, 百万元)	4	WACC	10.00%
Kd	5.30%	永续增长率（10年后）	2.0%

资料来源：国信证券经济研究所假设

根据以上主要假设，采用 FCFF 估值方法，得出公司价值区间为 70.6-78.9 元，估值中枢为 24.6 元。

表43：斯菱股份 FCFF 估值

	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
EBIT	167.5	202.3	244.6	305.4	416.2	545.3	643.2
所得税税率	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
EBIT*(1-所得税税率)	150.7	182.1	220.1	274.8	374.6	490.8	578.9
折旧与摊销	20.8	24.7	27.7	30.9	34.0	37.2	39.5
营运资金的净变动	(1.9)	(8.8)	(9.8)	(120.0)	(75.4)	(0.3)	(68.3)

资本性投资	(48.3)	(48.3)	(48.3)	(48.3)	(48.3)	(48.3)	(11.0)
FCFF	121.3	149.7	189.7	137.4	285.0	479.5	539.2
PV(FCFF)	111.7	127.0	148.3	99.0	189.1	293.1	303.7
核心企业价值	<b>7,944.4</b>						
减：净债务	(241.2)						
股票价值	<b>8,185.6</b>						
每股价值	<b>74.41</b>						

资料来源：国信证券经济研究所预测

### 绝对估值的敏感性分析

该绝对估值相对于 WACC 和永续增长率较为敏感，下表为敏感性分析。

表44：绝对估值相对折现率和永续增长率的敏感性分析（元）

		WACC 变化				
		7.5%	8.0%	8.54%	9.0%	9.5%
永续 增长 率变 化	3.0%	84.24	84.24	84.24	84.24	84.24
	2.5%	78.92	78.92	78.92	78.92	78.92
	2.0%	74.41	74.41	<b>74.41</b>	74.41	74.41
	1.5%	70.55	70.55	70.55	70.55	70.55
	1.0%	67.19	67.19	67.19	67.19	67.19

资料来源：国信证券经济研究所分析

### 相对估值：69.3-73.5 元

我们选取同样作为机器人领域核心供应商的拓普集团和三花智控，以及在减速器领域具备优势的双环传动作为可比公司，参考可比公司估值。斯菱股份产品包括轮毂轴承单元、轮毂轴承、圆锥轴承、离合器轴承、涨紧轮及惰轮轴承、单项皮带轮、重卡轴承、驱动电机轴承等。公司积累多年的研发和生产经验，产品体系完善，覆盖多种型号规格。多样化的型号能够满足不同客户的订单需求，并有效减少前期试生产所耗费的时间周期，从而加快从订单下达到产品交付间隔时间，有效提高公司的订单管理能力。2023 年，公司完成组建专门的研发、技术团队，对机器人关节零部件产品进行研究开发，并取得相应成果。整体看，预计 24/25/26 年整体营收为 7.9/9.6/11.3 亿元，同比分别+7%/+20%/+18%，毛利率分为 32%/32%/32%，归母净利润分别为 2.0/2.3/2.6 亿元，同比增速分别为 +31%/18%/13%，EPS 为 1.78/2.10/2.38 元。若后续公司机器人业务进展顺利，则该业务后续有望给公司带来全新的增长动力，因此我们认为公司可以享受一定的估值溢价，我们给予公司 2025 年 33-35x 估值，对应目标一年期估值区间 69.3-73.5 元，相较于现在仍有 10%-17% 的估值空间，首次覆盖，给予“优于大市”评级。

表45：可比公司估值

公司 代码	公司 名称	投资 评级	昨收盘 (元)	总市值 (亿元)	EPS			PE		
					2023A	2024E	2025E	2023A	2024E	2025E
601689.SH	拓普集团	优于大市	52.30	882	1.95	1.75	2.3	27	30	23
002050.SZ	三花智控	优于大市	23.20	866	0.78	0.90	1.09	30	26	21
002472.SZ	双环传动	优于大市	27.78	235	0.96	1.22	1.5	29	23	19
	平均							29	26	21
301550.SZ	斯菱股份	优于大市	62.69	69	1.36	1.78	2.10	46	35	30

资料来源：Wind，国信证券经济研究所整理和预测；注：数据时间为 12 月 1 日收盘价；

## 风险提示

机器人量产节奏不及预期的风险，技术发展不及预期，相关供应商能否取得最终订单的不确定性的风险。

## 免责声明

### 分析师声明

作者保证报告所采用的数据均来自合规渠道；分析逻辑基于作者的职业理解，通过合理判断并得出结论，力求独立、客观、公正，结论不受任何第三方的授意或影响；作者在过去、现在或未来未就其研究报告所提供的具体建议或所表述的意见直接或间接收取任何报酬，特此声明。

### 国信证券投资评级

投资评级标准	类别	级别	说明
报告中投资建议所涉及的评级（如有）分为股票评级和行业评级（另有说明的除外）。评级标准为报告发布日后6到12个月内的相对市场表现，也即报告发布日后的6到12个月内公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。A股市场以沪深300指数（000300.SH）作为基准；新三板市场以三板成指（899001.CSI）为基准；香港市场以恒生指数（HSI.HI）作为基准；美国市场以标普500指数（SPX.GI）或纳斯达克指数（IXIC.GI）为基准。	股票 投资评级	优于大市	股价表现优于市场代表性指数10%以上
		中性	股价表现介于市场代表性指数±10%之间
		弱于大市	股价表现弱于市场代表性指数10%以上
		无评级	股价与市场代表性指数相比无明确观点
	行业 投资评级	优于大市	行业指数表现优于市场代表性指数10%以上
		中性	行业指数表现介于市场代表性指数±10%之间
		弱于大市	行业指数表现弱于市场代表性指数10%以上

### 重要声明

本报告由国信证券股份有限公司（已具备中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）制作；报告版权归国信证券股份有限公司（以下简称“我公司”）所有。本报告仅供我公司客户使用，本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式使用、复制或传播。任何有关本报告的摘要或节选都不代表本报告正式完整的观点，一切须以我公司向客户发布的本报告完整版本为准。

本报告基于已公开的资料或信息撰写，但我公司不保证该资料及信息的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映我公司于本报告公开发布当日的判断，在不同时期，我公司可能撰写并发布与本报告所载资料、建议及推测不一致的报告。我公司不保证本报告所含信息及资料处于最新状态；我公司可能随时补充、更新和修订有关信息及资料，投资者应当自行关注相关更新和修订内容。我公司或关联机构可能会持有本报告中所提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或金融产品等相关服务。本公司的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中所提及的意见或建议不一致的投资决策。

本报告仅供参考之用，不构成出售或购买证券或其他投资标的的要约或邀请。在任何情况下，本报告中的信息和意见均不构成对任何个人的投资建议。任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。投资者应结合自己的投资目标和财务状况自行判断是否采用本报告所载内容和信息并自行承担风险，我公司及雇员对投资者使用本报告及其内容而造成的一切后果不承担任何法律责任。

### 证券投资咨询业务的说明

本公司具备中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。证券投资咨询，是指从事证券投资咨询业务的机构及其投资咨询人员以下列形式为证券投资人或者客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或者间接有偿咨询服务的活动：接受投资人或者客户委托，提供证券投资咨询服务；举办有关证券投资咨询的讲座、报告会、分析会等；在报刊上发表证券投资咨询的文章、评论、报告，以及通过电台、电视台等公众传播媒体提供证券投资咨询服务；通过电话、传真、电脑网络等电信设备系统，提供证券投资咨询服务；中国证监会认定的其他形式。

发布证券研究报告是证券投资咨询业务的一种基本形式，指证券公司、证券投资咨询机构对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析，形成证券估值、投资评级等投资分析意见，制作证券研究报告，并向客户发布的行为。



## 国信证券经济研究所

### 深圳

深圳市福田区福华一路 125 号国信金融大厦 36 层  
邮编：518046 总机：0755-82130833

### 上海

上海浦东民生路 1199 弄证大五道口广场 1 号楼 12 层  
邮编：200135

### 北京

北京西城区金融大街兴盛街 6 号国信证券 9 层  
邮编：100032