

证券研究报告

2024年4月26日

行业报告 | 行业深度研究

机器人系列报告

丝杠：高端机床国产替代，机器人再添增长空间

作者：

分析师 孙潇雅 SAC执业证书编号：S1110520080009



天风证券

[综合金融服务专家]

行业评级：强于大市（维持评级）

上次评级：强于大市

请务必阅读正文之后的信息披露和免责声明

摘要

一、丝杠：线性传动部件，下游应用多在机床、工业自动化、汽车等，人形机器人有望打开新空间

丝杠主要包括梯形丝杠、滚珠丝杠及行星滚柱丝杠。螺纹丝杠主要功能是将旋转运动转换成线性运动，或将扭矩转换成轴向反复作用力，同时兼具高精度、可逆性和高效率的特点。丝杠主要有梯形丝杠、滚珠丝杠和行星滚柱丝杠，滚珠丝杠传动效率、精度明显高于梯形丝杠，故多应用在数控机床等领域，行星滚柱丝杠较滚珠丝杠优势在于抗冲击力、承载力更强。

我们预计全球滚珠/柱丝杠市场空间约在140/20亿元，主要下游是机床/航空航天。目前全球滚珠丝杠市场空间在100-150亿元，其中国内占比约20%，下游包括机床（占比50%+）、工业自动化、汽车；目前全球滚柱丝杠市场空间在20亿元左右，多应用在航空航天。

人形机器人有望扩容滚柱丝杠市场空间30-100亿元。特斯拉人形机器人Optimus的线性执行器核心零部件有滚柱丝杠，我们预计10、50、100万台人形机器人下对应单价为3000元/个、1500元/个、1000元/个，假设14个线性执行器10个采用滚柱丝杠，对应市场空间为30、75、100亿元。

二、丝杠行业国产替代空间大，核心壁垒在于设备&工艺know-how

滚珠丝杠头部企业多在欧洲和日本，高端市场国产化率低。滚珠丝杠目前全球头部NSK、THK等CR5市场占有率达到约46%；国内上银+银泰合计市占率接近50%，NSK、THK合计占比15%。

滚柱丝杠海外全面领先国内，典型龙头有德国舍弗勒等，国内尚处于初始阶段。德国Schaeffler、美国Exlar、瑞士Rollvis、瑞典SKF公司、日本NTN株式会社等公司已经形成了相对成熟的行星滚柱丝杠产品系统，国内尚处于小批量生产的初始阶段。

高精度的滚珠丝杠/滚柱丝杠需磨削加工，核心壁垒在于磨床设备、磨削、热处理工艺know-how。我们认为丝杠国产化的第一重壁垒在于磨床设备（高端丝杠产品的磨床依赖进口，典型进口企业有日本三井），此外整个生产涉及几十道工序，在磨削、热处理等环节均考验know-how，最终考验的是产品的精度保持性和大批量量产的一致性。

摘要

磨削丝杠生产周期较长、效率较低，旋风铣削工艺有望降本提效。一般磨削丝杠粗道加工工艺为砂轮磨削，此工艺下整个生产周期在30-45天，效率较低，旋风铣削（通过安装在高速旋转刀盘上的硬质合金成型刀具，从工件上铣削出螺纹的螺纹），可大幅提升生产效率（理论上比传统加工效率最高可提高10倍），我们认为此技术对要求降本的人形机器人意义较大。

三、投资建议

中高端滚珠丝杠、滚柱丝杠市场多为海外巨头垄断，叠加人形机器人大的产业趋势，中高端丝杠国产替代空间大，建议关注：

- 1) **丝杠**：主营汽车底盘零部件，在精密车加工、磨加工、原材料调质、表面热处理积累了较多know-how的【北特科技】；率先布局机床丝杠，拥有设备先发优势的【贝斯特】。
- 2) **设备**：国内轧辊磨床行业的领军企业，现已具备导轨、丝杠研发和生产能力的【华辰装备】；主营高端车床，具备以车代磨技术，客户群涵盖贝斯特、五洲、双环等的【浙海德曼】；已有数控螺纹磨床产品的【日发精机】。
- 3) **耗材**：旋风铣削工艺下的PCBN刀具企业【沃尔德】。

风险提示：人形机器人发展不及预期、特斯拉人形机器人进展不及预期、丝杠国产化进展不及预期、测算有主观性。

一、丝杠：线性传动部件，下游应用多在机床、工业自动化、汽车等，人形机器人有望打开新空间

丝杠主要包括梯形丝杠、滚珠丝杠及行星滚柱丝杠

□ 螺纹丝杠主要功能是将旋转运动转换成线性运动，或将扭矩转换成轴向反复作用力，同时兼具高精度、可逆性和高效率的特点。

常见的螺旋丝杠传动形式主要有梯形螺纹丝杠、滚珠丝杠和行星滚柱丝杠三种。

- ✓ **梯形螺纹丝杠**：其螺旋形式是一种普通的等腰梯形，传动时存在表面滑动摩擦，连续工作发热严重。此外，传动效率也较低，一般适用于大负载但工作转度和工作制要求很低的应用场合。
- ✓ **滚珠丝杠**：利用滚珠链在丝杠轴与螺母之间做滚动运动，将旋转运动转换成直线运动，由于滚珠不断在两个负载承载面之间循环，存在相互碰撞及末端急剧转向，导致高转速条件下丝杠传动效率降低、噪声大，一般只适用于中等性能要求的应用场合。
- ✓ **行星滚柱丝杠**：以丝杠旋转作为驱动，通过丝杠与滚柱之间的螺旋运动，由滚柱带动螺母做直线运动。行星滚柱丝杠主要由丝杠、螺母和滚柱组成，丝杠和螺母为多头螺纹，行星滚柱一般为单头螺纹，滚柱两端设置了螺纹齿，与内齿圈螺纹啮合，其传动原理与行星轮系相似，丝杠类似太阳轮，滚柱作为行星轮，螺母作为齿圈，当丝杠旋转时，滚柱围绕丝杠作行星运动，同时通过螺旋传动原理将丝杠旋转运动转化为螺母直线往复运动。

图：梯形/滚珠/滚柱丝杠



梯形丝杠



滚珠丝杠



滚柱丝杠

丝杠的核心参数是精度，JIS等级下数字越小精度越高

- 滚珠丝杠由螺杆、螺母、钢球、预压片、反向器、防尘器组成，是行业主流产品，主要参数包括公称直径、导程、长度、螺母形式、精度。
- 按国内分类，精度等级有P1、P2、P3、P4、P5、P7、P10，日本、韩国，还有中国台湾省采用JIS等级，即C0、C1、C2、C3、C5、C7、C10；欧洲国家的标准采用的是IT0，IT1，IT2，IT3，IT4，IT5，IT7，IT10。一般来说，普通机械采用C7，C10级，数控设备一般采用C5，C3级(C5较多，国内大部分数控机床都是C5级)，航空制造设备，精密投影及三坐标测量设备等一般采用C3，C2精度。

表：滚珠丝杠主要参数

参数	内容
公称直径	丝杠的外径，常见规格有12、14、16、20、25、32、40、50、63、80、100、120，公称直径和负载基本成正比，直径越大的负载越大
导程	导程指的是丝杠旋转一周，螺母直线运动的距离。常见的导程有（单位：mm）：2、4、5、6、8、10、16、20、25、32、40，跟导程有关系的参数是螺母运动速度和滚珠丝杠可提供的直线推力。导程越大，相同转速情况下，直线运动速度越快
长度	一个是全长，另一个是螺纹长度，丝杠全长=有效行程+螺母长度+设计余量+两端支撑长度（轴承宽度+锁紧螺母宽度+裕量）+动力输入连接长度（如果使用联轴器则大致是联轴器长度的一半+裕量）
螺母形式	按法兰形式分大约有圆法兰、单切边法兰、双切边法兰和无法兰几种。按螺母长度分有单螺母和双螺母
精度	按国内分类，精度等级有P1、P2、P3、P4、P5、P7、P10，日本、韩国，还有中国台湾省采用JIS等级，即C0、C1、C2、C3、C5、C7、C10；欧洲国家的标准采用的是IT0，IT1，IT2，IT3，IT4，IT5，IT7，IT10。一般来说，普通机械采用C7，C10级，数控设备一般采用C5，C3级(C5较多，国内大部分数控机床都是C5级)，航空制造设备，精密投影及三坐标测量设备等一般采用C3，C2精度

图：滚珠丝杠构成

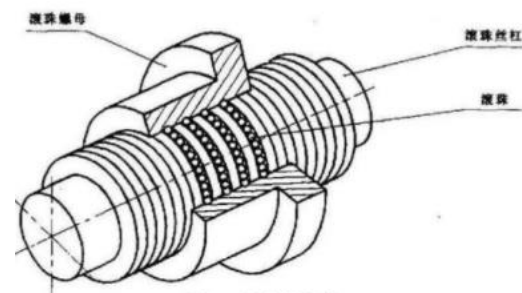
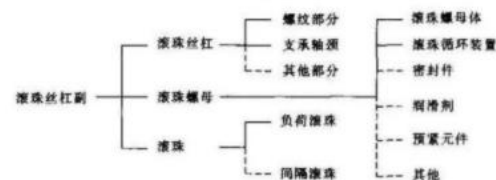


图1 滚珠丝杠副



行星滚柱丝杠较滚珠丝杠优势主要在于抗冲击力、承载力和寿命

- 滚柱是线接触，滚珠是点接触。行星滚柱丝杠载荷传递元件为螺纹滚柱，是典型的线接触；而滚珠丝杠载荷传递元件为滚珠，是点接触。
- 滚柱丝杠抗冲击力更好，其轴向承载力高滚珠3~5倍以上。滚柱丝杠的螺纹滚柱替代滚珠将使负载通过众多接触点迅速释放，从而能有更高的抗冲能力。行星滚柱丝杠机构综合了行星轮系、滚珠丝杠、滚针轴承的运动特点，通过在丝杠周围设置若干行星螺纹滚柱，可大幅增加传动过程中丝杠副的受力接触面积，使机构可以承受更大的载荷和冲击，可靠性高，行星滚柱丝杠传动非常适合用于高速重载工作的应用场合。
- 滚柱寿命更长，是滚珠的10倍以上。在同样体积的情况下，滚柱丝杠有更大的接触面积，将承载力平均分散在更大的表面。从而减小了摩擦力并延长了使用寿命。
- 滚柱丝杠较滚珠噪音更小。滚珠丝杠内的珠子在辊道内需要在某一点上做方向切换，滚柱与主丝杠与同步做圆周运动，故滚柱丝杠拥有更小振动和噪音。

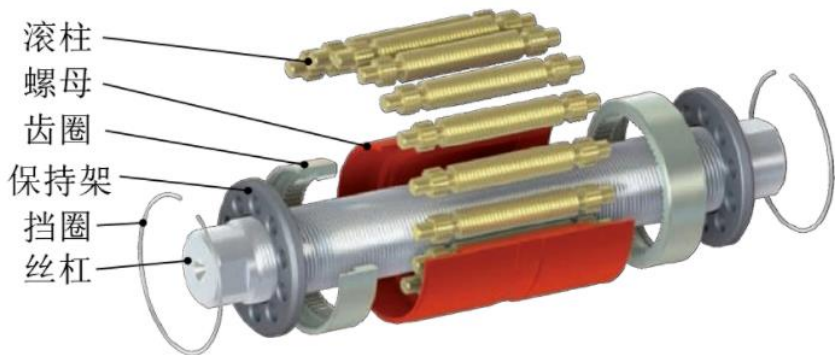
表：行星滚柱丝杠优点VS滚珠丝杠优点

行星滚柱丝杠优点	细节
高承载	采用行星滚柱丝杠是线接触，接触面的增加使承载能力和刚性大大提高。每个滚柱的每条螺旋线都同时与配合部件受力接触，同时承受负载。这种设计保证负载分散在更多的接触点上，降低每个接触点上的最大压力
耐冲击	承受冲击载荷能力很强，工作可靠
体积小	相同载荷情况下，行星滚柱丝杠体积比滚珠丝杠小1/3的空间
高速度	因为不像滚珠丝杠那样，钢球需要反复加载、卸载，还需要在滚珠循环通道两端急剧转向，所以行星滚柱丝杠转速可达6000r/min，最高线速度可达2000mm/s，最大加速度可达3g
噪声低	滚珠丝杠机构的噪声来源于滚珠在循环通道中的相互碰撞和急速转向，而行星滚柱丝杠的噪声来源于滚柱两端正时齿轮机构的啮合，其频率更高，而且不会随丝杠转速升高呈指数级增加。因此，滚柱丝杠比滚珠丝杠的噪声更低
高精度	丝杠轴是小导程角的非圆弧螺纹，有利于达到较高的导程精度，可实现精密微进给
长寿命	行星滚柱丝杠能承受的静载为滚珠丝杠的3倍，寿命是滚珠丝杠的15倍

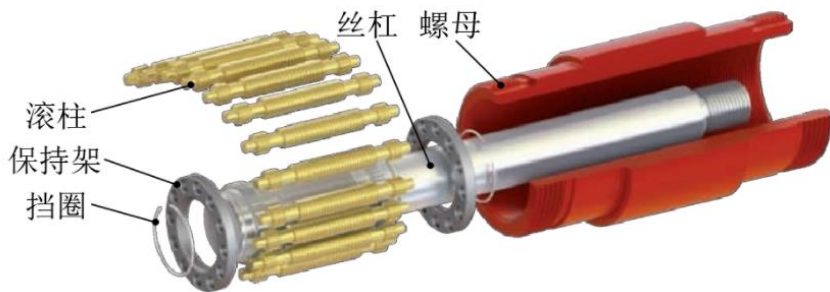
行星滚柱丝杠又细分为标准式/反向式，差别在于丝杠、螺母作用不同

- 行星滚柱丝杠在主螺纹丝杠的周围行星布置了6-12个螺纹滚柱丝杠，滚柱螺母内使用的是小螺纹滚柱与主丝杠相互啮合，这时螺母的结构类似于行星齿轮箱。
- 行星滚柱丝杠按照结构和运动特点分类，有标准式行星滚柱丝杠、反向式行星滚柱丝杠（特斯拉机器人用的）、循环式行星滚柱丝杠、差动式行星滚柱丝杠和轴承环式行星滚柱丝杠五种形式。
- 标准式行星滚柱丝杠主要由丝杠、滚柱、螺母、内齿圈、保持架和挡圈组成。丝杠通常作为动力输入端，只绕自身轴线转动；螺母通常与负载连接，只沿自身轴线移动；滚柱在丝杠的作用下在螺母和丝杠之间做行星运动和轴向移动；内齿圈固连在螺母上，滚柱端齿与内齿圈啮合保证滚柱在螺母上为滚动，滚柱与螺母相对轴向位移为零，与螺母一起沿轴向移动。
- 反向式行星滚柱丝杠与标准式行星滚柱丝杠的差别在于螺母作为动力输入构件，绕自身轴线旋转，丝杠作为执行部件，沿轴向移动；丝杠两端增加齿轮替代内齿圈与滚柱端齿啮合，保证滚柱在丝杠上为滚动，滚柱与丝杠没有相对轴向位移，一起沿轴向移动。反向式行星滚柱丝杠的螺母为主动件，丝杠为输出构件，滚柱、丝杠之间无相对轴向位移，其主要用于中小负载、小行程和高速的应用场景，其最大的优势在于可将其螺母作为电机转子实现电机和丝杠一体化设计，形成结构紧凑的一体式机电作动器。

表：标准式行星滚柱丝杠结构



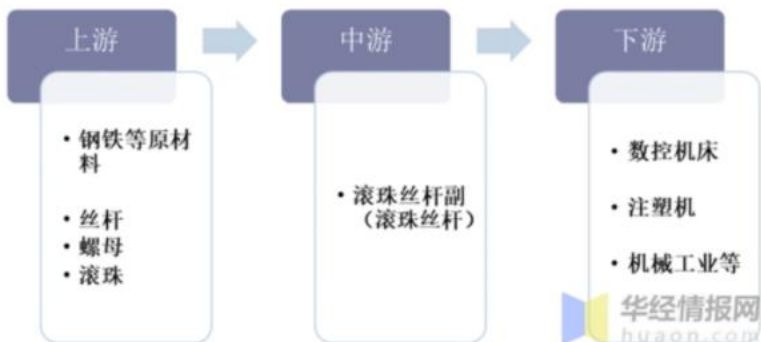
表：反向式行星滚柱丝杠结构



我们预计全球滚珠丝杠市场空间约在100-150亿元，主要下游是机床

- 我们预计目前全球滚珠丝杠市场空间在100-150亿元，其中国内占比约20%。根据秦川机床22年定增募集说明书：预计2022年全球滚珠丝杠市场规模有望达到18.59亿美元（约合136亿人民币），其中我国滚珠丝杠市场规模约为27.7亿元。
- 丝杠下游主要是机床（占比50%+）、工业自动化、汽车。机床中的传动系统需要包括两道滚动直线导轨及一根滚珠丝杠副（一根丝杠、一根螺母、多个钢球组合）来实现精确的移动。根据中国机床协会统计2022年中国机床消费额为274.1亿美元，我们假设按照滚动功能部件在机床中价值量占比10%计算（考虑成形机床传动系统要求低于金切机床），其能够为滚动功能部件（包括丝杠+导轨）提供的市场空间折合人民币为184亿元。

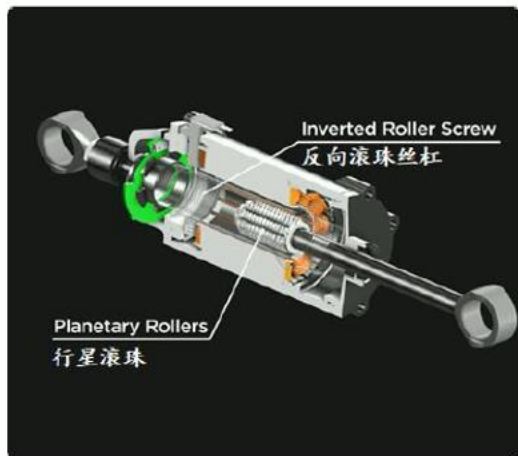
表：滚珠丝杠产业链



滚柱丝杠全球市场空间在20亿元，人形机器人有望大幅扩容市场空间

- 目前全球滚柱丝杠市场空间在20亿元左右，多应用在航空航天。根据persistence market research预测2023年滚柱丝杠全球市场规模约3亿美元，国内市场规模约1300万美元。
- 特斯拉人形机器人Optimus线性执行器有14个，线性关节执行器均使用丝杠（旋转执行器采用谐波），从AI DAY视频看大部分采用的是行星滚柱丝杠。
- 考虑到丝杠在线性执行器的作用对应在旋转执行器为谐波减速器，我们预计未来量产价格在小几千元级别，我们预计机器人10、50、100万台下对应单价为3000元/个、1500元/个、1000元/个，假设14个线性执行器10个采用滚柱丝杠，对应市场空间为30、75、100亿元。

图：特斯拉Optimus线性执行器



二、丝杠行业国产替代空间大，核心壁垒在于设备&工艺know-how

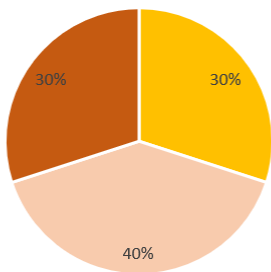
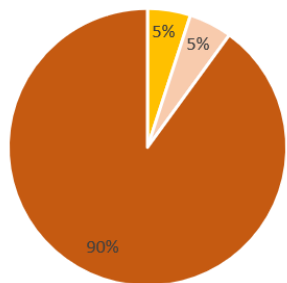
滚珠丝杠头部企业多在欧洲和日本，高端市场国产化率低

□ 从全球供应格局看，NSK、THK等CR5市场占有率达到约46%。

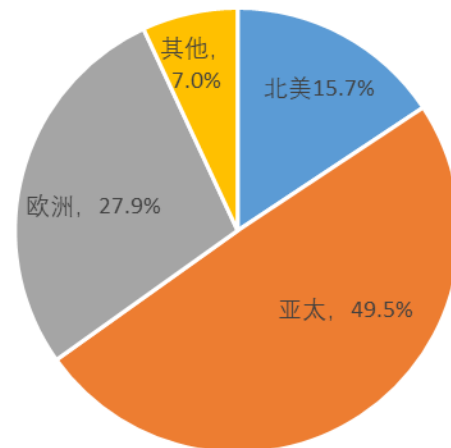
□ 从国内供应格局看，上银+银泰合计市占率接近50%，NSK、THK合计占比15%。上银科技22年营收67亿元（导轨占比64%，丝杠占比22%），毛利率37%，净利润10亿元。

□ 从消费区域看，亚太地区是全球滚珠丝杠的主要市场。2020年亚太、欧洲、北美地区市场份额分别为49.5%、27.9%、15.7%。

图：2022年国内高端（左）/中端（右）滚珠丝杠市场竞争格局



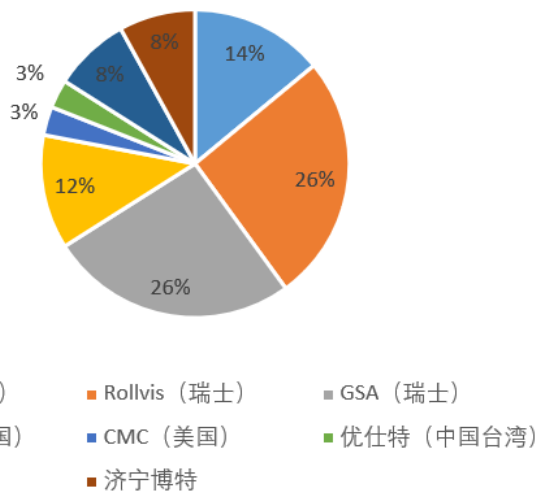
图：2020年全球滚珠丝杠区域分布情况



滚柱丝杠海外全面领先国内，典型龙头有德国舍弗勒等，国内尚处于初始阶段

- 德国Schaeffler、美国Exlar、瑞士Rollvis、瑞典SKF 公司、日本NTN 株式会社等公司已经形成了相对成熟的行星滚柱丝杠产品系统，并在其精度等级、润滑维护、应用平台等方面形成了一定的理论体系，基本在行星滚柱丝杠领域形成了技术垄断。
- 舍弗勒收购Ewellix，成为全球滚柱丝杠绝对龙头。舍弗勒是全球滚动轴承和直线运动产品的龙头企业（22年实现营收158亿欧元，EBIT9.74亿欧元）。舍弗勒于2022年7月24日以5.82亿欧元的价格收购瑞典企业Ewellix（全球领先的线性运动及驱动方案的供应商，主要产品是驱动器、滚珠丝杠、滚柱丝杠等，2021年实现营收2.16亿欧元）。
- 目前国内厂家对行星滚柱丝杠的研制还处在初始阶段。虽然已有部分厂家能够形成小规模的生产，但是其生产出来的产品性能较国外产品还有较大的差距。

图：2022年中国滚柱丝杠市场竞争格局



滚珠丝杠制造分为磨削和冷轧，高精度的需要磨削

□ 滚珠丝杠从加工工艺角度划分为磨削滚珠丝杠和冷轧滚珠丝杠。

✓ 磨削滚珠丝杠：以两端中心孔为加工工艺工序基准，通过热处理、车削、磨削等几十道工序逐一完成，适合给高精度设备做定位部件；

✓ 冷轧滚珠丝杠：采用冷加工工艺模具制造，开模工艺自动化程度高，批量生产后成本低，效率高，但制造精度不甚理想，一般在设备中做传动部件。

表：磨削滚珠丝杠机械加工工艺过程

序号	工艺内容	备注	序号	工艺内容	备注
1	下料	GCr15	12	粗磨 90° V形槽	两顶尖
2	球化退火热处理并检验校直	降低硬度	13	磁力探伤	
3	加工端面，钻中心孔		14	时效处理并检验	去应力
4	粗车		15	研磨中心孔	
5	高温时效并检验	去应力	16	半精磨滚道	两顶尖
6	加工端面，修研中心孔		17	低温时效处理并检验	
7	半精车		18	铣键槽	
8	铣		19	磨端面螺纹	
9	粗磨	两顶尖	20	研磨中心孔	
10	工作表面（滚道）与加工基准（中心孔）淬、回火—检验		21	精磨滚道，全检	两顶尖
11	研磨中心孔		22	装配—跑合—检验—防锈包装—检验—入库	
备注	磨制滚珠丝杠的加工工艺周期约为 30-45 天，周期长，效率低，成本高。				

表：冷轧滚珠丝杠机械加工工艺过程

序号	工艺内容	备注	序号	工艺内容	备注
1	轧制滚珠丝杠	GCr15	4	滚道抛光	
2	检验校直		5	加工轴端	
3	端部退火	降低硬度	6	装配—跑合—检验—防锈包装—检验—入库	
备注	轧制滚珠丝杠的加工工艺周期约为 1-3 天，周期短，效率高，成本低。				

磨削滚珠丝杠生产核心工序在于磨削，高端产品设备依赖进口

- 滚珠丝杠主要生产过程包括下料、粗车、粗磨、半精磨、车螺纹、精磨等工序，此外生产过程中还需要根据客户需要对工件去应力、淬火、回火、校直、表面处理等工序。
- 我们认为丝杠生产最核心的环节在于磨削，核心设备是磨床，磨床供应商较为知名的有日本三井，国产磨床设备和进口尚有较大差距。滚珠丝杠生产涉及的核心设备有磨床，包括数控螺纹磨床、数控外圆磨床。经营磨床的相关公司有秦川机床、日发精机等。
- 滚柱丝杠生产流程和设备大致和滚珠丝杠相同。

图：滚珠丝杠生产工艺流程



旋风铣替代磨削有望降本提效，带来PCBN刀具增量机会

- 磨削滚珠丝杠滚道粗加工方法又分为砂轮磨削（最常用的）、硬车削、旋风铣削。1）砂轮磨削：采用砂轮磨削磨制出90° V型槽，生产效率较低。2）硬车削：把淬硬材料的车削作为粗加工或最终加工、精加工的新工艺，通常采用高转速、大切深，金属切除效率是磨削加工的3倍多，优点是效率高，缺点是适用于长径比小的滚珠丝杠。3）旋风铣削：通过安装在高速旋转刀盘上的硬质合金成型刀具，从工件上铣削出螺纹的螺纹，生产效率最高，缺点是适用于长径比较大的滚珠丝杠+高精度难做。
- 常用的砂轮磨削涉及到的设备为丝杠磨床或开槽磨床，后两种效率更高的工艺需采用CBN刀具及数控，车床。
- 旋风铣削最大的优点是效率高（理论上比传统加工效率最高可提高10倍），且对工人操作技术要求不高（所使用的是成型刀片）。
- 高效率的生产丝杠对未来机器人等市场降本意义重大。磨削的效率较低，生产周期在30-45天，因此高效率的生产对降本意义重大。

图：砂轮磨削、硬车削、旋风铣削工艺对比

粗加工	设备与刀具	粗加工	生产效率	备注
砂轮磨削	丝杠磨床或开槽磨床	磨制 90° V型槽	低	需要半精磨和精磨
硬车削	CBN 刀具及数控车床	车制 90° V型槽	中	适于长度 1m、螺距 6mm 以下长径比小的滚珠丝杠
旋风铣削	CBN 刀具及数控车床	工作滚道一次铣削成型，加工达到半精磨精度	高	适于较长以及长径比大的滚珠丝杠

三、投资建议

投资建议：人形产业趋势下，看好中高端丝杠国产化，建议关注丝杠、设备、耗材（刀具）

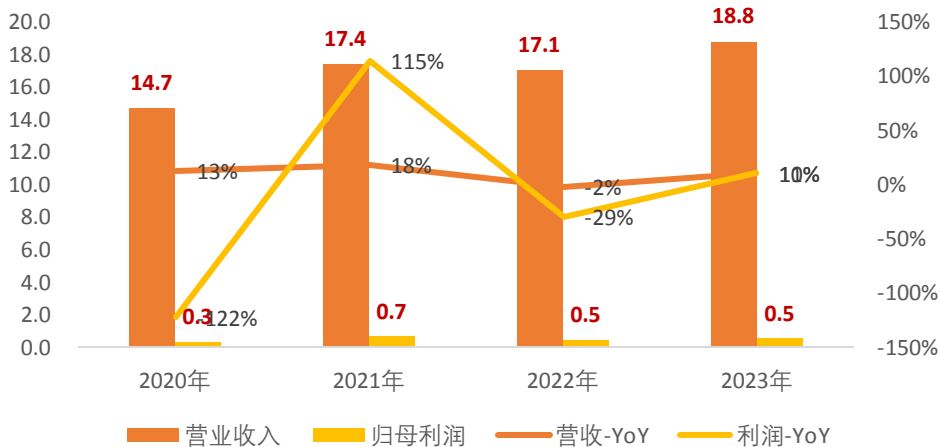
中高端滚珠丝杠、滚柱丝杠市场多为海外巨头垄断，叠加人形机器人大的产业趋势，中高端丝杠国产替代空间大，建议关注：

- 1) **丝杠**：主营汽车底盘零部件，在精密车加工、磨加工、原材料调质、表面热处理积累了较多know-how的【北特科技】；率先布局机床丝杠，拥有设备先发优势的【贝斯特】。
- 2) **设备**：国内轧辊磨床行业的领军企业，现已具备导轨、丝杠研发和生产能力的【华辰装备】；主营高端车床，具备以车代磨技术，客户群涵盖贝斯特、五洲、双环等的【浙海德曼】；已有数控螺纹磨床产品的【日发精机】。
- 3) **耗材**：旋风铣削工艺下的PCBN刀具企业【沃尔德】。

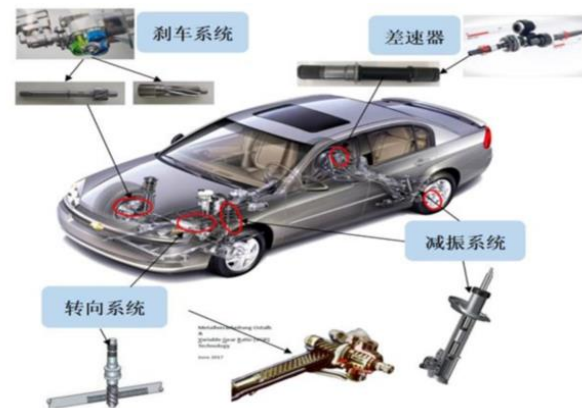
北特科技：坚持“汽车零部件业务为基石，人形机器人业务为未来”的双引擎战略

- 公司主营产品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。底盘零部件主要产品转向器齿条、齿轮、减振器活塞杆、线控刹车IPB-Flange为汽车核心安全零部件；铝合金轻量化的核心铝锻造技术主要应用于新能源汽车轻量化方向；空调压缩机业务，为国内最大的商用车压缩机主机厂供应商，产品种类齐全，研发能力和试验验证能力处于国内领先水平。
- 公司在战略上高度重视人形机器人业务，推进人形机器人用丝杠产品的样件研发工作，推进人形机器人用丝杠产品规模化产线的建设工作，同时根据汽车Tier1客户需求，研究将丝杠产品应用于汽车后轮转向系统（RWS）。
- 北特科技打入丝杠市场的优势在于：**1）产品协同**：汽车底盘零部件生产工艺与丝杠产品的生产工艺具有较高的同源性，研发团队在精密车加工、磨加工、原材料调质、表面热处理、探伤、校直等环节，形成了一套专业性高、体系性强的工艺流程和生产方案；**2）客户协同**：公司扎根汽车底盘零部件行业20多年，已建立一套相对完备的优质客户体系和良好市场口碑，且产品多样性使公司各产品的客户资源可实现共享，降低市场开发成本；**3）研发优势**：公司的高速旋风车削为自主研发，相关技术达到了国内领先、国际先进水平。

图：北特科技20-23年度收入、归母净利润（单位：亿元/%）



图：北特科技底盘零部件业务主要产品



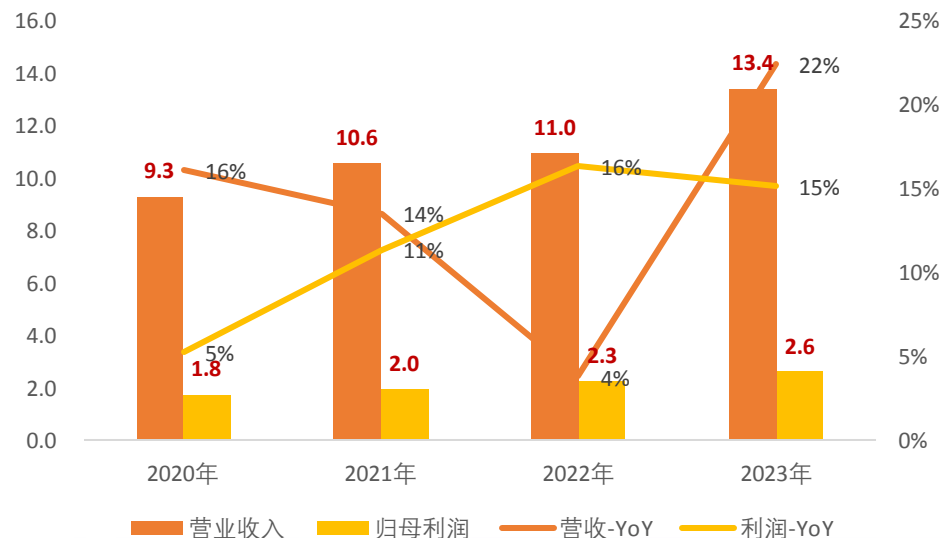
贝斯特：涡轮增压业务坚挺，新能源汽车零部件，滚珠丝杠开拓二三增长极

□ 公司主业坚挺（涡轮增压器零部件近些年收入增速10-15%），毛利率多年稳定在35%左右，第二增长极（新能源车零部件）22年开始放量，安徽工厂正在建设当中，第三增长极滚珠丝杠正处于发展中，后续几年有望逐渐放量。

□ 2022年初成立全资子公司宇华精机布局直线滚动功能部件，瞄准高端机床、机器人等市场。该项目将引进生产及检测等进口设备约300台套（其中，研发设备70台），配套软件及系统、公辅设施等30余套，23H1已经完成高精度滚珠丝杠副、直线导轨副等产品的首台套下线，并已开始送样。

□ 我们认为贝斯特打入丝杠市场的优势在于：**1）产品工艺协同**：滚珠丝杠涉及精密加工+多道流程，这与公司主业涡轮增压器零部件要求类似，公司在精密加工积累了较多经验；**2）客户协同**：丝杠最大下游是机床，汽车也是主要下游市场之一，这两块是公司目前产品的主要下游，公司和国内主流发动机制造企业和整车整机厂关系紧密；**3）设备优势**：滚珠/柱丝杠涉及较多进口设备，进口设备交期较长，公司率先布局，形成了设备领先优势。

图：贝斯特20-23年收入、归母净利润（单位：亿元/%）



图：宇华精机滚动功能部件核心产品及应用领域



华辰装备：国内轧辊磨床行业的领军企业，现已具备导轨、丝杠研发和生产能力

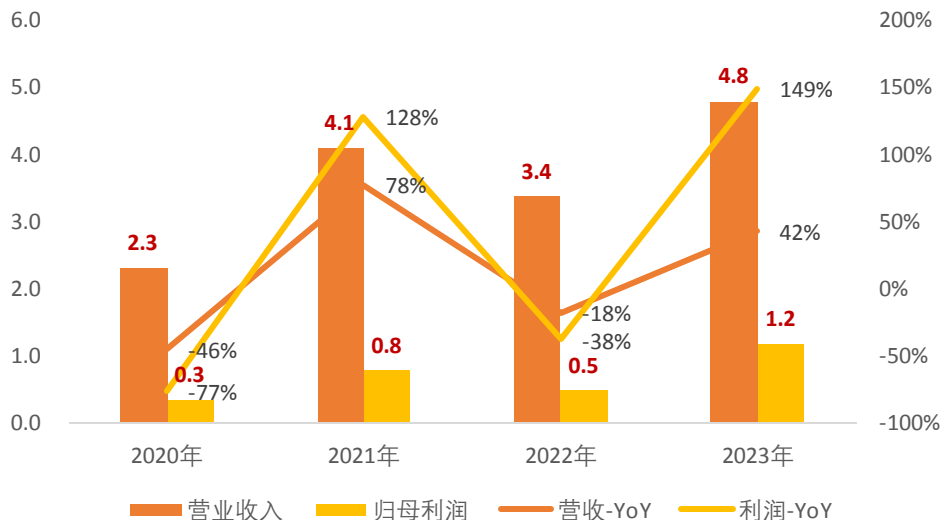
□ 公司主营全自动数控轧辊磨床，是国内轧辊磨床行业的领军企业。全自动高精度数控轧辊磨床是专门用于轧辊精度修复的重要配套设备，目前是公司收入大头（23年占比84%）。

□ 公司在23年年报首次提到了精密螺纹磨床和数控直线导轨磨床。

✓ **精密螺纹磨床**：对标世界一流产品，各项精度指标达到世界一流产品同等水平，该产品磨削的标准丝杠试件加工精度等级最高可达P0级。产品广泛应用于工业母机、机器人制造、航空航天、汽车零部件制造、装备制造、精密仪器制造等。

✓ **数控直线导轨磨床**：可实现对直线导轨的自动磨削、自动误差补偿。该产品能够为工业母机、机器人制造、航空航天、汽车零部件制造、精密仪器制造等行业关键装备的直线导轨副提供高精度高效率自动化磨削加工。客户进展端，根据华辰精密装备公众号 2023年10月8日发布，华辰装备计划于1年内向贝斯特精机提供对标国际行业龙头企业领先水平的精密数控直线导轨磨床产品。

图：华辰装备20-23年度收入、归母净利润（单位：亿元/%）



图：精密螺纹磨床

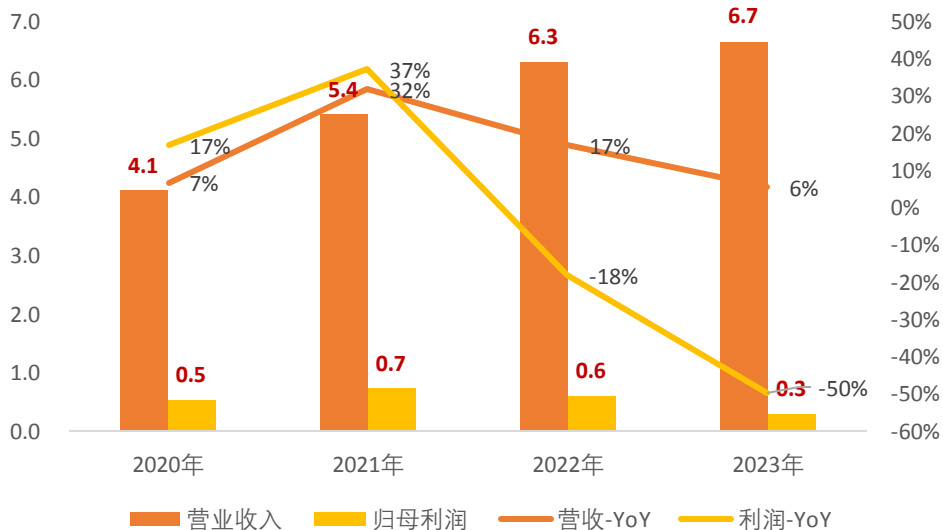


浙海德曼：主营高端车床，具备以车代磨技术，客户群涵盖贝斯特、五洲、双环等

□ 公司主营数控车床研发、设计、生产和销售，下游是汽车制造、工程机械、通用设备、军事工业。公司目前产品分为T系列高端数控机床、自动化生产线、车铣复合并行复合加工中心、普通型数控车床四个大类。目前公司已经掌握了主轴端部跳动小于1微米的高精密数控车床主轴技术。从行业应用看，主要应用于汽车制造60%，工程机械、航空航天、通用设备、模具制造、医疗器械等行业领域40%。

□ 公司客户涵盖贝斯特、五洲新春、双环传动，具备以车代磨工艺。公司的高精度高刚性的高精密级数控车床具备较强的以车代磨效果，贝斯特、五洲新春、双环传动等都与海德曼建立了多年的合作关系。

图：浙海德曼20-23年收入、归母净利润（单位：亿元/%）



图：浙海德曼工厂内情况

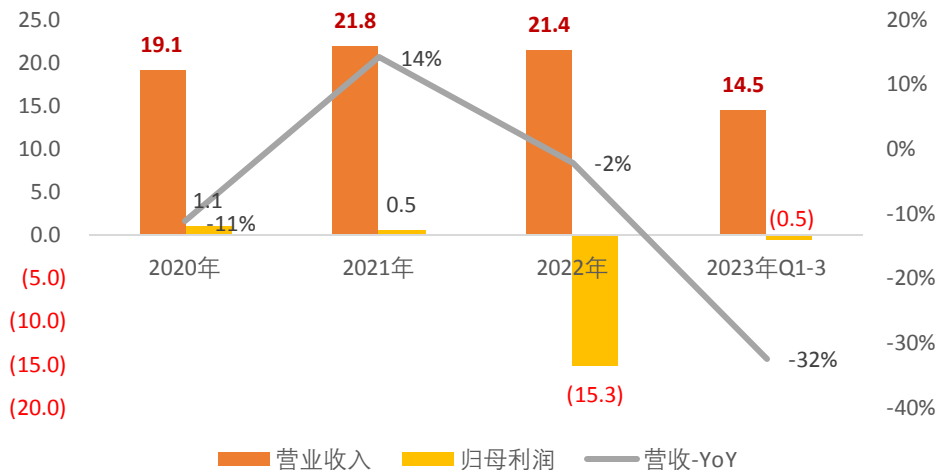


日发精机：国内高端数控机床领先企业，2023年推出数控螺纹磨床，市场开拓取得进展

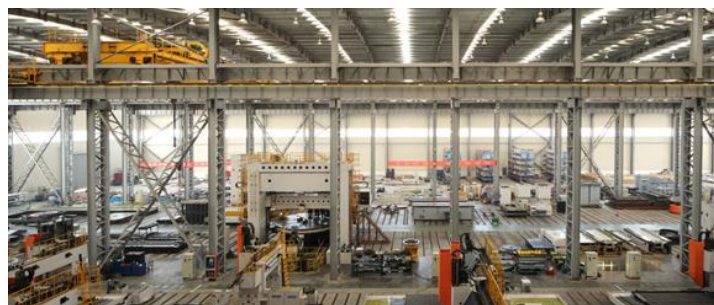
□ 子公司日发机床主营中高端数控机床，下游是汽车、工程机械、农业机械、石油化工、铁路轨道交通等高精密机械及零部件制造业，产品包括轴承数控磨超机床及产线、金切类数控机床及产线，其中高端轴承磨超加工及装配生产线在国内市场占有率名列前茅；日发航空装备从事航空航天高精密零部件的加工制造等业务；意大利MCM公司为全球领先的卧式加工中心制造商，拥有技术成熟的监控软件JFMX系统；Airwork公司从事民航货运飞机的设计改造、维护及租售等业务。公司数字化智能机床及产线收入占比超50%。

□ 公司23年推出数控螺纹磨床，其中数控外螺纹磨床主要用于螺杆、蜗杆、丝杆等零件的外螺纹精密磨削加工，数控内螺纹磨床主要用于滚珠丝杠螺母外圆、端面及圆弧形内螺纹滚道的复合精密磨削加工。数控螺纹磨床用于加工新能源汽车、人形机器人、工业母机等行业的丝杆与螺母。目前公司在市场开拓上取得进展，用于丝杆螺母的端面外圆磨床、用于丝杆、螺母的内、外螺纹磨床已向客户交付使用。公司将重点跟踪数控螺纹磨床下游客户和最终用户的技术发展路线，将相关领域的产品研发作为未来发展的重点方向。

图：日发精机20-23年Q1-3收入、归母净利润（单位：亿元/%）



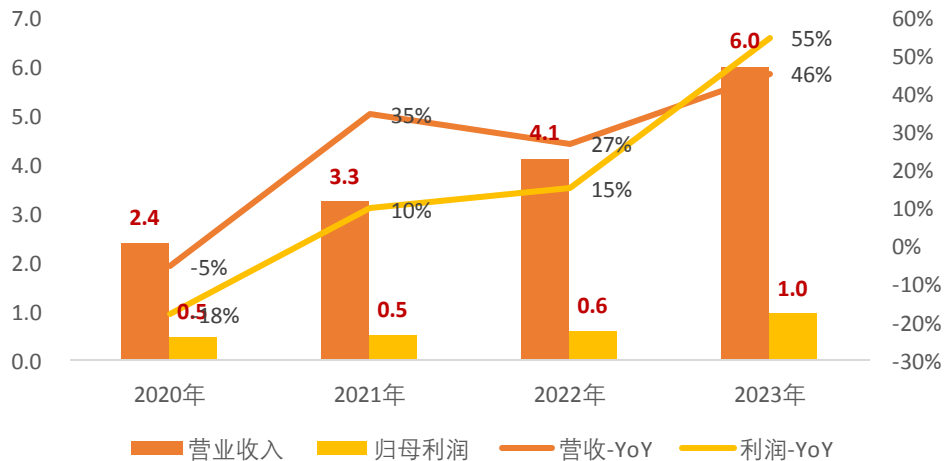
图：日发精机工厂内情况



沃尔德：超硬刀具业务国内领先，PCBN刀具以铣代磨高效加工滚珠丝杠

- 公司主营刀具业务和培育钻石及CVD金刚石功能材料业务，定位高端市场。刀具产品包括钻石刀轮、金刚石磨轮、PCD/PCBN 刀具等，能够为客户研发设计定制化刀具5.5万余种；培育钻石及CVD金刚石功能材料业务，国内少数能掌握CVD法三大制备工艺的公司，产品包括金刚石膜声学器件、金刚石热沉材料等。
- PCBN（聚晶立方氮化硼）硬度仅次于金刚石，且具有较好的导热性和耐磨性、较高的热稳定性和优良的化学稳定性，是理想的切削铁系金属的材料。PCBN 刀具主要用于高温合金、淬硬钢、冷硬铸铁等难加工材料的半精加工和精加工，应用行业包括汽车、3C、航空航天、新能源、工程及通用机械、家电家居等。
- 滚珠丝杠常用材质有42CrMo和GCr15，热处理后硬度在HRC58-62之间，且对加工后工件形位公差和尺寸精度要求严格。PCBN刀具具有高硬度和热稳定性，可以以铣代磨高效加工滚珠丝杠。
- 公司针对滚珠丝杠硬旋铣加工研发多款牌号，产品包括成型刀、轮廓刀、倒角刀，适用范围广。适用于高档数控机床等领域的滚珠丝杠加工用的PCBN旋铣刀片和刀盘实现批量供应，取得市场突破和营业收入增长。

图：沃尔德20-23年收入、归母净利润（单位：亿元/%）



图：沃尔德PCD/PCBN 刀具



风险提示

- **人形机器人发展不及预期的风险：**丝杠国产化推进部分依赖人形机器人的发展和放量，行业进展不及预期。
- **特斯拉人形机器人进展不及预期的风险：**人形机器人的发展核心看特斯拉人形机器人发展，特斯拉进展不及预期。
- **丝杠国产化进展不及预期的风险：**众多公司布局丝杠进展不及预期。
- **测算有主观性：**文中测算基于一定前提假设，存在具有定主观性、假设不成立、市场发展不及预期等因素导致测算结果偏差的风险。

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：我们具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，本报告所表述的所有观点均准确地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法。我们所得报酬的任何部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体投资建议或观点有直接或间接联系。

一般声明

除非另有规定，本报告中的所有材料版权均属天风证券股份有限公司（已获中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）及其附属机构（以下统称“天风证券”）。未经天风证券事先书面授权，不得以任何方式修改、发送或者复制本报告及其所包含的材料、内容。所有本报告中使用的商标、服务标识及标记均为天风证券的商标、服务标识及标记。

本报告是机密的，仅供我们的客户使用，天风证券不因收件人收到本报告而视其为天风证券的客户。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但天风证券对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的信息、意见等均仅供客户参考，不构成所述证券买卖的出价或征价邀请或要约。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。客户应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，天风证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。过往的表现亦不应作为日后表现的预示和担保。在不同时期，天风证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。

天风证券的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。天风证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。天风证券的资产管理部门、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的意见或建议不一致的投资决策。

特别声明

在法律许可的情况下，天风证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。因此，投资者应当考虑到天风证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突，投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。

投资评级声明

类别	说明	评级	体系
股票投资评级	自报告日后的6个月内，相对同期沪深300指数的涨跌幅	买入	预期股价相对收益20%以上
		增持	预期股价相对收益10%-20%
		持有	预期股价相对收益-10%-10%
		卖出	预期股价相对收益-10%以下
行业投资评级	自报告日后的6个月内，相对同期沪深300指数的涨跌幅	强于大市	预期行业指数涨幅5%以上
		中性	预期行业指数涨幅-5%-5%
		弱于大市	预期行业指数涨幅-5%以下