

丝杆与直线导轨：高精度直线运动核心部件

2023 年 06 月 26 日

► 本周关注：长盛轴承、秦川机床、华中数控、精测电子、巨星科技

► 本周核心观点：关注人形机器人产业催化及通用复苏

► **丝杆与直线导轨：高精度直线运动核心部件。**丝杆是一种机械传动元件，通常用于将旋转运动转换为线性运动，主要由丝杆和螺母两部分组成。目前市场主流产品包括滚珠丝杆、梯形丝杆与行星滚柱丝杆。直线导轨由导轨和导向块两部分组成，导轨一般由钢或铝等材料制成，而导向块则一般由滑块、滑板等部件组成，通过在导轨上滑动实现对工件的定位和运动控制。丝杆与直线导轨广泛应用于数控机床、自动化生产线、医疗器械、机器人、半导体等高精度机械等领域。

► **滚珠丝杆：高精度丝杆代表，2022 年预计全球近 20 亿美元，中国近 30 亿元。**滚珠丝杆组件由内螺纹螺母和螺杆组成，当滚珠丝杆作为主动体时，螺母就会随丝杆的转动角度按照对应规格的导程转化成直线运动。国内将滚珠丝杆分为定位滚珠丝杆副(P)和传动滚珠丝杆(T)两种，精度等级主要分为七个等级，即 1/2/3/4/5/7/10 级，1 级精度最高，依次逐渐降低。国外产品一般不分传动还是定位，一律以 C0~C10 或具体数值表示，一般来说，通用机械或普通数控机床选 C7 (任意 300 行程内定位误差 ± 0.05) 或以下，高精度数控机床选 C5 (± 0.018) 以上 C3 (± 0.008) 以下，光学或检测机械选 C3 以上。目前全球主要的滚珠丝杆厂商有 NSK、THK、SKF 等，CR5 市占率达到约 46%，日本和欧洲滚珠丝杆企业占据了全球约 70% 份额。国内主要玩家包括中国台湾的上银、银泰，中国大陆的汉江、南京工艺，德国的力士乐以及日本的 THK、NSK。在中低端滚珠丝杆领域，中国台湾和中国大陆的企业已经实现了大规模的国产替代，而在高端市场领域，德国和日本的头部占据了 90% 的份额，国产化空间较大。

► **行星滚柱丝杆：丝杆里的塔尖，2022 年全球规模约 6.5 亿元，国内约 1.1 亿元，欧洲企业占绝对优势。**行星滚柱丝杆以丝杆旋转作为驱动，通过丝杆与滚柱之间的螺旋运动，由滚柱带动螺母做直线运动，行星滚柱丝杆主要由丝杆、螺母和滚柱组成。行星滚柱丝杆承载力强（比同规格滚珠丝杆副高出 3 倍以上，最高超过 10 倍）、体积小（在相同载荷的情况下，行星滚柱丝杆体积比滚珠丝杆小 1/3 的空间）、精度高（315mm 行程下，导程精度 $KL5 = \pm 0.005\text{mm}$ ，导程精度 $KL10(\text{标准}) = \pm 0.01\text{mm}$)。但目前行星滚柱丝杆价格较高（国内均价约 1.1 万元/支）导致目前需求场景并不多，参考 IHS Market 预测，2022 年全球行星滚柱丝杆市场规模约 6.5 亿元，国内约 1.1 亿元。目前全球参与市场竞争的厂家主要有：SKF、Rollvis、GSA、Rexroth、CMC、南京工艺、济宁博特、优仕特等。

► **直线导轨：常见的线运动装置，2020 年全球 20 亿美元，国内约 5.2 亿美元。**参考 QY Research 预测，2020 年全球直线导轨市场达到 20.1 亿美元，预计 2027 年将达到 28.6 亿美元，国内 2020 年约 5.16 亿美元，预计到 2027 年将达 8.21 亿美元。目前国内直线导轨的高端市场被瑞士施耐德博格、德国 INA、力士乐、日本 NSK、THK 等品牌瓜分，中端市场则主要是中国台湾上银和银泰的天下，国内主要企业有高新凯特、南京工艺、山东博特、汉江机床等，但整体实力与海外差距较大。

► **投资建议：**建议关注布局滚珠丝杆领域的鼎智科技、秦川机床、贝斯特、长盛轴承、恒立液压等。

► **风险提示：**行业需求偏弱风险、生产设备及原材料采购风险。

推荐

维持评级



分析师 李哲

执业证书：S0100521110006

电话：13681805643

邮箱：lizhe_yj@mszq.com

分析师 罗松

执业证书：S0100521110010

电话：18502129343

邮箱：luosong@mszq.com

相关研究

1. 机器人的进化与觉醒——人形机器人执行 & 传感机构探讨-2023/06/24
2. 一周解一惑系列：多领域散热材料、工艺的发展历史与路径演绎-2023/06/19
3. 机械行业 2023 年中期投资策略：进攻是最好的防守-2023/06/14
4. 一周解一惑系列：核电行业梳理-2023/06/11
5. 一周解一惑系列：X 射线智能检测设备应用梳理-2023/06/05

目录

1 丝杆与直线导轨：高精度直线运动核心部件	3
1.1 丝杆工作原理及特点	3
1.2 丝杆的分类及对比	4
2 滚珠丝杆：高精度丝杆代表	5
2.1 滚珠丝杆由丝杆轴与螺母构成	5
2.2 滚珠丝杆精度国标分 7 级，国际分 6 级	7
2.3 下游以机床注塑机机械工业为主	8
2.4 2022 年滚珠丝杆全球近 20 亿美元，中国近 30 亿元	9
2.5 我国高端滚珠丝杆国产化率较低	11
2.6 滚珠丝杆行业未来发展前景	12
3 梯形丝杆：常见的传动丝杆	13
3.1 梯形丝杆副由梯形丝杆与螺母组成	13
3.2 梯形丝杆主要性能参数	13
4 行星滚柱丝杆：丝杆里的塔尖	14
4.1 行星滚柱丝杆副由丝杆与螺纹滚柱组成	14
4.2 承载力强，体积小，精度高	16
4.3 机器人有望打开空间	17
4.4 2022 年滚柱丝杆全球约 6.5 亿元，国内约 1 亿元	17
4.5 欧洲占据绝对优势，国内性能差距明显	18
5 直线导轨：常见的直线运动装置	20
5.1 直线导轨由导轨与导向块组成	20
5.2 直线导轨主要性能参数	20
5.3 直线导轨下游以精密电子机械机床自动化设备为主	21
5.4 2020 年直线导轨全球 20 亿美元，国内约 5.2 亿美元	21
5.5 高端品由德日企业主导，中端品由中国台湾企业主导	22
6 风险提示	24
插图目录	25
表格目录	25

1 丝杆与直线导轨：高精密直线运动核心部件

1.1 丝杆工作原理及特点

丝杆是一种机械传动元件，通常用于将旋转运动转换为线性运动。它主要由丝杆和螺母两部分组成。丝杆是一种具有螺纹母线的长条状零件，而螺母则是一种外部具有螺纹母线的零件。螺母可以通过转动丝杆来移动沿丝杆的方向。

1.1.1 丝杆的工作原理

丝杆与螺母的工作原理类似于螺旋桨，它们的旋转运动将转换成直线运动。通过控制电机或手摇轮的旋转，可以随时调整螺母所在的位置，从而达到控制设备的目的。这种转换特别适用于需要获得精确定位的设备或机器人。

丝杆一端具有螺纹，并与螺母套在一起。当丝杆旋转时，螺母将移动，从而将旋转运动转换为线性运动。螺母通常由塑料或金属制成，并具有内部螺纹，以便与丝杆的螺纹相匹配。螺母可以通过支架或支柱固定在需要的位置，从而实现控制机器人或设备。

丝杆的工作原理相对简单，但它需要合适的力来保证螺母与丝杆之间的摩擦力不大，从而实现滑动移动。此外，丝杆还应具有足够的刚度和强度，以便在运动时不会产生变形和弯曲。

1.1.2 丝杆的特点

丝杆具有多种特点，使其在机械传动中被广泛应

1) 较小的滑动摩擦系数：丝杆和螺母之间的滑动摩擦系数相对较小，从而确保线性运动的平顺性和精度。由于滑动摩擦系数很小，因此可以更轻松地将螺母沿着丝杆移动，从而减少对电机或手摇轮的功率需求。

2) 高效率：丝杆的传动效率高，因为它将旋转运动转换为线性运动并消耗较少的能量。丝杆的高效率可以使机械传动更加稳定和可靠。

3) 长寿命：丝杆的操作和使用寿命长，因为它们采用钢或其他坚固的金属制造而成。丝杆的坚固和耐用性可以减少设备故障和维修成本。

4) 可逆转：丝杆的方向可以自由调整，从而让设备可以适应不同的操作需求。丝杆的可逆性使其可以在不改变传动系统的前提下灵活适应不同的应用

5) 易于控制：丝杆的控制非常简单，因为它们可以通过电机或手动轮控制。这种控制程序可以通过编程或其他电子手段自动化，从而进一步提高设备的生产效率和精度。

丝杆作为一种机械传动元件，已被广泛应用于各种生产过程中，由于其具有低滑动摩擦系数、高效率、长寿命、可逆和易于控制等优点，因此是非常理想的传动

元件之一。现今，丝杆在机场、轨道交通系统、自动化设备、机器人、制造系统等行业中得到广泛的应用。

1.2 丝杆的分类及对比

1.2.1 丝杆的分类

常见螺纹丝杠可分为三角螺纹、梯形螺纹、滚珠丝杠与行星滚柱丝杠四种。

1) 三角螺纹丝杠：又叫普通螺纹丝杠，牙型为等边三角形，用于连接紧固。

2) 梯形螺纹丝杠：螺旋形式为普通等腰梯形/滑动摩擦，传动效率 26~46%，适用于木工机械，包装机械等，国产化率较为充分。

3) 滚珠丝杠：滚珠链在丝杠轴与螺母之间做滚动摩擦，传动效率超过 90%，广泛用于机床、电子机械、机器人等场景，据智研咨询统计测算，国产化率不足 60%。

4) 行星滚柱丝杠：据李凯等《精密行星滚柱丝杠的传动特性》，行星滚柱丝杠综合了行星轮、滚珠丝杠、滚针轴承等优点，通过在主丝杠布置若干行星滚柱，大幅增加丝杠传动过程的接触面和受力面，传动效率略低于滚珠丝杠，在润滑条件较好时也可达到 90%以上。国内研究应用及规模化量产尚处初期阶段。

表1：滚珠丝杠、滚柱丝杠、梯形丝杠的特点对比

	梯形丝杠	滚珠丝杠	行星滚柱丝杠
示意图			
接触方式	面接触	点接触	线接触
摩擦力	大	最小	较小
自锁性能	完全自锁	不完全自锁	不完全自锁
传动效率	15%-85%	85%以上	90%以上
承载能力	小	较大	最大
精度	低	最高	较高
丝杠与螺帽间隙	大	小	小
速度	低	较高	最高

资料来源：知乎，深圳合发齿轮机械公众号，百度文库，民生证券研究院

2 滚珠丝杆：高精度丝杆代表

2.1 滚珠丝杆由丝杆轴与螺母构成

1898 年，人们首次尝试在螺帽与螺杆之间加入钢珠，将传统螺杆的滑动接触转换成滚动接触；以滚动摩擦取代滑动摩擦，将螺帽内的钢珠回转运动转为线性运动，将扭矩转换成轴向反复作用力，以此来改善传统螺杆定位不佳及易损害的情况。在凹槽内部，包含在螺母里的是许多由铬钢制成的小球。当滚珠在螺母中循环时，滚珠在螺杆下方提供平稳运动，导流板或返回系统保持球并使它们通过螺母循环。

滚珠丝杠组件由内螺纹螺母和螺杆组成，螺母的螺旋槽与螺杆的螺旋槽相匹配。当滚珠丝杠作为主动体时，螺母就会随丝杆的转动角度按照对应规格的导程转化成直线运动，被动工件可以通过螺母座和螺母连接，从而实现对应的直线运动。

图1：滚珠丝杆钢珠运动结构



资料来源：阿姆达数控公众号，民生证券研究院

图2：螺纹螺母和螺杆的螺旋槽相匹配



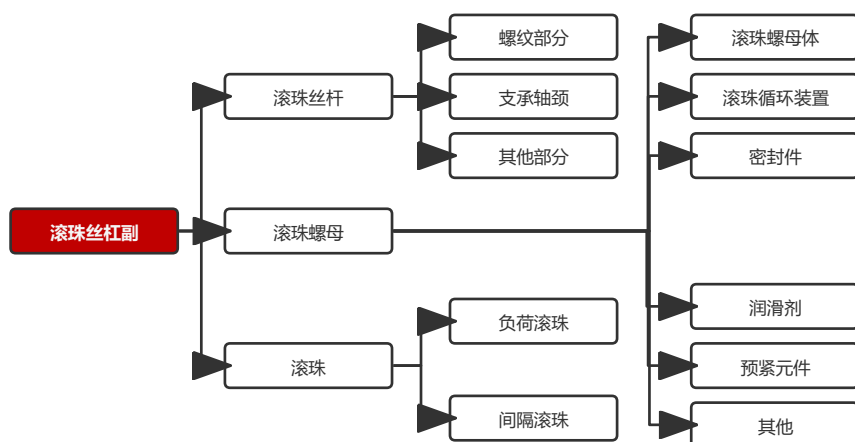
资料来源：阿姆达数控公众号，民生证券研究院

与电机一起使用时，滚珠丝杠的效率高达 90%。它们相当精确，每英尺几千分之一英寸的精度。许多行业都使用滚珠丝杠进行精确控制，包括航空航天，计算机，电子，汽车和医疗行业。

丝杆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，所以其在精度、强度及耐磨性等方面都有很高的要求，因此其加工从毛坯到成品的每道工序都要周密考虑。当前，滚珠丝杆是行业主流产品，相比于普通的丝杆（梯形丝杆），其在自锁性、传动速度、使用寿命和传动效率优势明显。

滚珠丝杆副，又称滚珠丝杆、滚珠丝杠、滚珠螺杆。滚珠丝杆是由丝杆轴和螺母组成，而其中螺母又是由钢球、预压片、反向器、防尘器等组成。

图3：滚珠丝杠构成部分



资料来源：华经情报网，民生证券研究院

滚珠丝杠是在艾克姆螺杆上的进一步延伸和发展，其重要意义就是将轴承从滑动动作变成滚动动作，常见的滚珠丝杠包括自润式滚珠丝杠、静音式滚珠丝杠、高速化滚珠丝杠以及重负荷型滚珠丝杠等，而从循环方式看，滚珠丝杠包括内循环、外循环两种，其中内循环是指滚珠在循环过程中始终与丝杠保持接触，外循环是指滚珠在循环过程中有时与丝杠脱离接触。由于具有很小的摩擦阻力，滚珠丝杠被广泛应用于各种工业设备和精密仪器。

表2：滚珠丝杠分类、原理及特点介绍

类别	原理及特点
自润式滚珠丝杠	具有可拆换除油装置的自润式滚珠丝杠，不需要润滑管路系统与设备，减少了换油和废油处理成本
静音式滚柱丝杠	原理是在滚珠之间设置有特殊沟型的滚珠间隔环，可以抑制住滚珠与滚珠之间碰撞所产生的噪音，使滚珠丝杠在运动的时候更加的安静、平顺
高速化滚珠丝杠	具有高加速、高刚性、高速进给、低振动、低噪音的特点。使用在工具机的快速进给，磨具高速切削中心机和高速纵切中心机等领域
重负荷型滚珠丝杠	能够承受较大的轴向负，适用于全电式设计机、全压机、半导体制造装置和锻压制造装置等
其他分类	<p>轧制和研磨级丝杠：轧制丝杠的精度相对低一点，适用于精度要求不是很高的场合；而研磨级丝杠，精度比较高，适合精度要求高的场合。</p> <p>根据螺母中的滚珠循环方式，可以分为外循环、内循环、端盖式。端盖式是比较早期的结构，但是缺点比较明显，现在基本已经被淘汰了；内循环滚珠丝杠外形尺寸较小，反向器固定牢靠、刚性好且不易磨损，内循环螺母配合的滚珠丝杠轴必须有一头小于谷径，相同公称直径的内循环螺母外径比外循环要小，适合安装空间比较紧凑的场合，内循环多用塑料反向器，对工作温度有一定的要求；相对来说内循环的抗冲击能力比不上外循环，所以大型丝杠以及高负载丝杠大都使用外循环结构</p>

资料来源：华经产业研究院，民生证券研究院

2.2 滚珠丝杆精度国标分 7 级，国际分 6 级

包括：精度等级、轴向间隙、额定负载、导程、丝杠轴外径和长度等。

1) **精度等级**（一般所说的精度时导程精度，要求不高时一般选 7、8 级）：

根据使用范围及要求将滚珠丝杠分为定位滚珠丝杠副(P)和传动滚珠丝杠(T)两种，精度等级主要分为七个等级，即 1/2/3/4/5/7/10 级。1 级精度最高，依次逐渐降低。**国外产品一般不分传动还是定位，一律以 C0~C10 或具体数值表示，一般来说，通用机械或普通数控机床选 C7（任意 300 行程内定位误差 ± 0.05 ）或以下，高精度数控机床选 C5（ ± 0.018 ）以上 C3（ ± 0.008 ）以下，光学或检测机械选 C3 以上。**

下表是南京工艺披露按不同用途选择精度等级的示例。“○”标记表示使用较多的精度等级范围。

表3：不同精度滚珠丝杆在下游设备中的应用

用途	NC 机床																
	车床	铣镗床	加工中心	钻床	坐标镗床	磨床	电火花加工	线切割床	冲床	激光加工	木工						
轴	X Z	XY Z	XY Z	XY Z	XY Z	XY Z	XY Z	XY Z	XY Z	XY Z	XY Z						
精度等级	P1	○	○	○			○	○	○	○	○		○	○			
	P2	○	○	○	○				○	○	○		○	○			
	P3	○	○	○	○	○				○	○	○	○	○	○	○	○
	P4	○	○	○	○	○				○	○	○	○	○	○	○	○
	P5	○	○	○	○		○	○					○	○	○	○	○
	Y7																○
	T10																○

资料来源：南京工艺官网，民生证券研究院

表4：不同精度滚珠丝杆在下游设备中的应用（续）

用途	半导体/印刷版制造设备							工业机器人									
	通用 器械 专用 器械	曝光 设备	化学 处理 设备	引线 焊接 机	探 测 器	电子零 件插孔 机	印刷板 开孔机	正交坐 标型 组 装	垂直多关 节型 组 装	圆筒 坐标 型	冶金设 备机械	电动 注塑 机	三维 测量 仪	橡塑 机械	图像 处理 设备		
精度等级	P1	○		○	○		○						○		○		
	P2			○	○	○	○	○					○				
	P3	○		○		○	○	○	○	○							
	P4	○		○		○	○	○	○	○							
	P5	○		○		○	○	○	○	○		○			○		
	Y7	○		○				○	○	○	○	○			○		
	T10	○		○				○			○	○			○		

资料来源：南京工艺官网，民生证券研究院

图4：国内精度标准与国外精度对比情况

P精度等级（南京工艺）	1	2	3	4	5	7	10
任意300行程内行程变动量	6	8	12	16	23	52	210

T精度等级（南京工艺）	1	2	3	4	5	7	10
有效行程 L_{eff} 内的平均行程偏差（仅适用于T类滚珠丝杠）	$e_p = \frac{2 L_{eff}}{300} V_{300p}$			注：1)行程补偿值 $C=0$ 2) V_{300p} 见本表项目号1			

C精度等级（台湾上银）	0	1	2	3	4	5	6
任意300行程内行程变动量	3.5	5	6	8	12	18	23

资料来源：南京工艺，台湾上银官网，民生证券研究院

2) 轴方向间隙：

滚珠丝杠的螺母与丝杠轴轴向的间隙值，一般在 0~0.12mm 左右，轴向间隙影响物体移动的重复精度（一般在 0~±0.02mm）。

3) 容许轴向负载：

容许轴向负载时指相对于可能使丝杠轴发生屈曲的负载，确保其安全性的负载。施加于丝杠轴的最大轴向负载须小于容许轴向负载。

4) 容许转速：

滚珠丝杠的转速取决于必要的进给速度和滚珠丝杠的导程，且须小于容许转速。滚珠丝杠的容许转速小于与丝杠轴固有振动一致的危险速度的 80%。

5) 寿命：

滚珠丝杠的寿命是指滚珠滚动面或任一滚珠因交变应力而产生疲劳，直至开始产生剥落现象时的总旋转次数、时间、距离。

注：一般以下面所示的使用寿命为标准时间

机床：20000 小时；自动控制设备：15000 小时；

工业机械：10000 小时；计量装置：15000 小时。

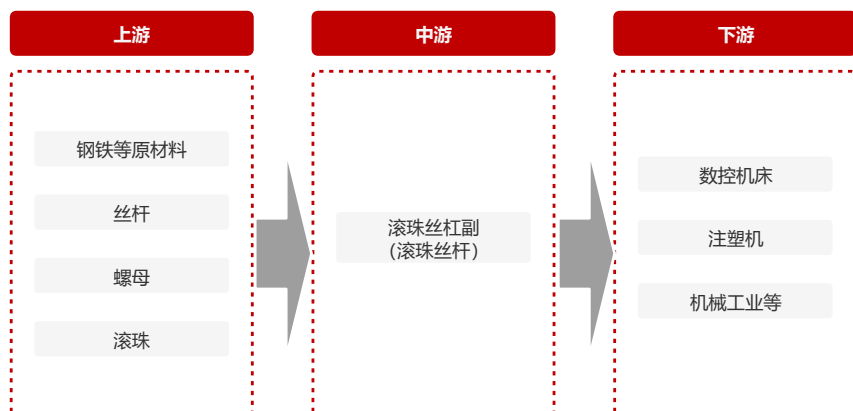
6) 导程：

导程为滚珠螺母相对滚珠丝杠旋转一周（ 2π 弧度，即 360° ）时的行程。常见丝杠导程有：4、5、6、8、10、12、16、20、32、40、50、60、80、100

2.3 下游以机床注塑机机械工业为主

从产业链来看，上游是滚珠丝杠原材料及零部件，原材料主要包括钢铁等，下游应用领域是数控机床、电动注塑机、机械行业等。

图5：滚珠丝杆产业链



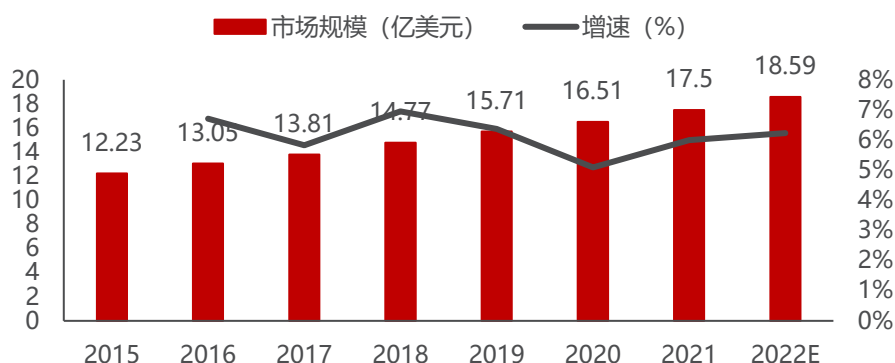
资料来源：华经情报网，民生证券研究院

2.4 2022 年滚珠丝杆全球近 20 亿美元，中国近 30 亿元

2.4.1 2022 年预计全球滚珠丝杆市场近 20 亿美元

近年来，高速、高精及高品质的加工需求不断提升，尤其是在航母航天、汽车工业、模具制造、光电工程和仪器仪表等应用产业，催生了滚珠丝杆更大且更为高端的市场需求。具体来看，根据华经产业研究院数据显示，2021 年全球滚珠丝杆市场规模达到 17.5 亿美元，同比增长 6.0%，2015-2021 年均复合增速达到 6.2%。华经产业研究院预计 2022 年全球市场规模达到 18.59 亿美元。根据 MarketWatch 预测，全球滚珠丝杆市场将在 2028 年达到 30.83 亿美元。

图6：2015-2022 年全球滚珠丝杆市场规模及增速情况



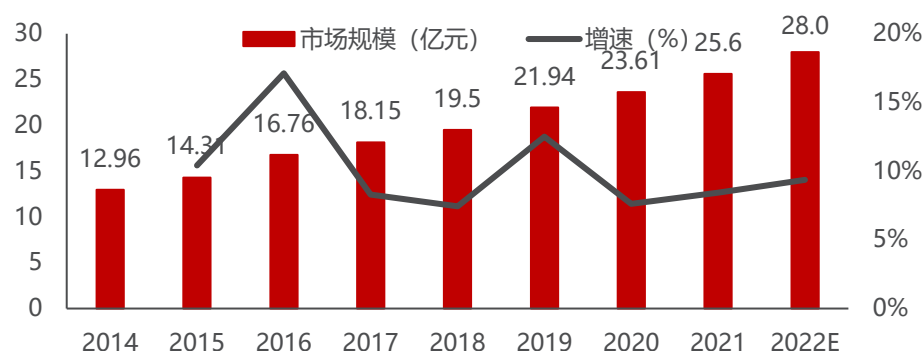
资料来源：华经产业研究院，民生证券研究院

2.4.2 2022 年预计中国滚珠丝杆市场近 30 亿元

从国内市场规模来看，中国作为滚珠丝杆产品重要的消费市场之一，2019 年，

国内滚珠丝杆市场规模占全球规模总量的 20%左右, 该占比在 2021 年提升至 22.9%。据华经产业研究院数据显示, 2021 年我国滚珠丝杆市场规模为 25 亿元, 预计 2022 年市场规模达 28 亿元。

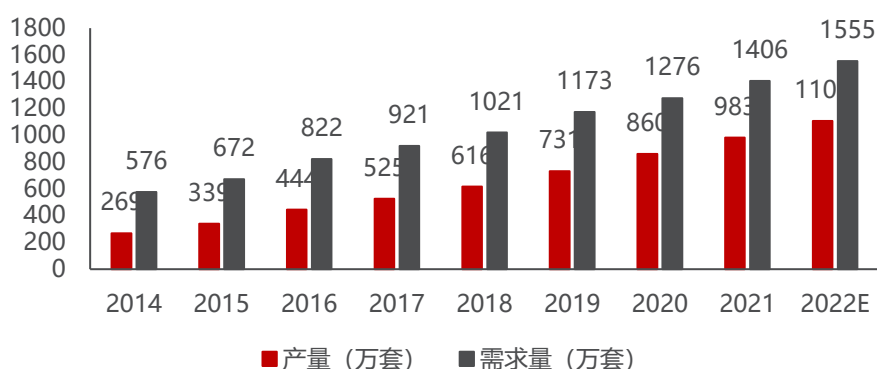
图7：2014-2022 年中国滚珠丝杆市场规模及增速情况



资料来源：华经产业研究院，民生证券研究院

从国内行业供需情况来看, 滚珠丝杆需求量大于产量, 行业供需缺口明显。据华经产业研究院统计, 2021 年中国滚珠丝杆 (滚珠丝杆副) 产量达到 983 万套, 需求量为 1406 万套。

图8：2014-2022 年中国滚珠丝杆产量及需求量情况



资料来源：华经产业研究院，民生证券研究院

从价格走势来看, 近几年来随着我国滚珠丝杆副行业市场竞争加剧, 国内企业向中高端市场渗透, 外资品牌积极抢占经济型产品市场份额, 行业市场竞争显著加剧, 使得行业市场价格总体呈现出明显的下降态势。据华经产业研究院数据显示, 国内滚珠丝杆价格从 2014 年 225 元/套的均价下降至 2021 年的 181 元/套, 预计 2022 年市场价格降至 180 元/套, 下降速度趋缓。

图9：2014-2022 年中国滚珠丝杆价格走势情况



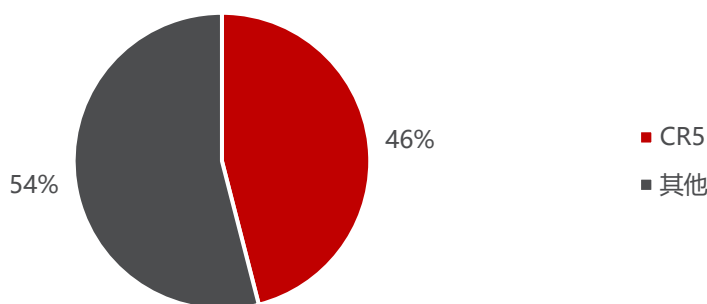
资料来源：华经产业研究院，民生证券研究院

2.5 我国高端滚珠丝杆国产化率较低

2.5.1 全球市场竞争格局

为了实现高速或精密的加工，除在机床设备的结构刚性进行加强设计外，必须同时具备高速主轴系统和高速进给系统，才能达到材料切削过程的高速化，这对于企业的制造能力和设计能力都有较高的要求，从市场竞争格局看，2021 年，全球主要的滚珠丝杆厂商有 NSK、THK、SKF 等，CR5 市占率达到约 46%，其中主要来自欧洲和日本，根据华经产业研究院数据，日本和欧洲滚珠丝杆企业占据了全球约 70%的市场份额。

图10：2021 年全球滚珠丝杆行业市场竞争格局情况（单位：%）



资料来源：华经产业研究院，民生证券研究院

2.5.2 中国市场竞争格局

从 2021 年国内滚珠丝杆市场来看，主要玩家包括中国台湾的上银、银泰，中国大陆的汉江、南京工艺，德国的力士乐，以及日本的 THK、NSK。在中低端滚珠丝杆领域，中国台湾和中国大陆的企业已经实现了大规模的国产替代，而在高端市场领域，德国和日本的头部占据了 90%的份额，国产化空间较大。

2.6 滚珠丝杆行业未来发展前景

我国作为世界上主要的机床消费国，制造业已经发展成为一个支柱产业。由于汽车工业的发展，对机床的速度和效率都提出了新的更高的要求。目前中国机床的数控化率发展很快，提高数控机床功能零部件的性能和质量已经成为中国机床工业发展的当务之急。为实现其高性能，中国生产的机床在驱动上使用高精度滚珠丝杆的比率有了很大的提高。目前机床采用的滚珠丝杆，有价格较低的国产的，也有精度较高的日本和欧洲等进口产品。使用进口产品往往是在那些对加工速度、精度、寿命及稳定性方面有较高要求的机床。

随着机床速度的提高，导轨的使用也由滑动向滚动转化。在中国，由于机床速度较低及制造成本上的原因，滑动导轨的使用还占大多数，但使用滚珠导轨和滚柱导轨的机床数量在急速上升。由于滚动导轨具有高速、长寿命、可加预压、安装方便等方面的优点，随着对机床性能及数控化要求的提高，滚动导轨使用比率的提高是必然的趋势。

3 梯形丝杆：常见的传动丝杆

3.1 梯形丝杆副由梯形丝杆与螺母组成

梯形丝杠的原理是通过梯形丝杠的螺纹副实现转动运动和直线运动的转换。在旋转丝杠时，螺母会随着丝杠的旋转而沿着丝杠前进或后退，实现机械传动。梯形丝杠的原理是利用梯形丝杠剖面的形状，使其斜面与主丝杠旋转方向的力相互作用，产生轴向力，从而实现传动的功能。相比于普通丝杠，梯形丝杠的斜面角度更加陡峭，摩擦力更大，能够承受更大的载荷，并且传动效率更高。梯形丝杠应用宽泛，例如在机床、汽车、航空航天等领域都有重要应用。

图11：梯形丝杆例图



资料来源：百度百科，民生证券研究院

3.2 梯形丝杆主要性能参数

1) 外径:与外螺纹牙顶相重合的假想圆柱面直径——亦称公称直径。

2) 内径:与外螺纹牙底相重合的假想圆柱面直径，在强度计算中作危险剖面的计算直径。

3) 中径:在轴向剖面内牙厚与牙间宽相等处的假想圆柱面的直径，近似等于螺纹的平均直径 $d_2 \approx 0.5$ 。

4) 螺距:相邻两牙在中径圆柱面的母线上对应两点间的轴向距离。

5) 导程:同一螺旋线上相邻两牙在中径圆柱面的母线上的对应两点间的轴向距离。

6) 线数:螺纹螺旋线数目，一般为便于制造 $n \leq 4$ 螺距、导程、线数之间关系： $L = nP$ 。

7) 螺旋升角:在中径圆柱面上螺旋线的切线与垂直于螺旋线轴线的平面的夹角。

8) 牙型角:螺纹轴向平面内螺纹牙型两侧边的夹角。

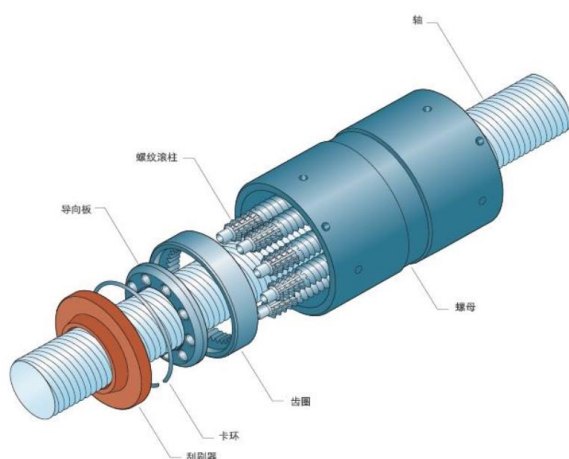
9) 牙型斜角:螺纹牙型的侧边与螺纹轴线的垂直平面的夹角。

4 行星滚柱丝杆：丝杆里的塔尖

4.1 行星滚柱丝杆副由丝杆与螺纹滚柱组成

行星滚柱丝杆以丝杆旋转作为驱动，通过丝杆与滚柱之间的螺旋运动，由滚柱带动螺母做直线运动。行星滚柱丝杆主要由丝杆、螺母和滚柱组成，丝杆和螺母为多头螺纹，行星滚柱一般为单头螺纹，滚柱两端设置了螺纹齿，与内齿圈螺纹齿啮合，其传动原理与行星轮系相似，丝杆类似太阳轮，滚柱作为行星轮，螺母作为齿圈，当丝杆旋转时，滚柱围绕丝杆作行星运动，同时通过螺旋传动原理将丝杆旋转运动转化为螺母直线往复运动。

图12：行星滚柱丝杆示意图及实物图

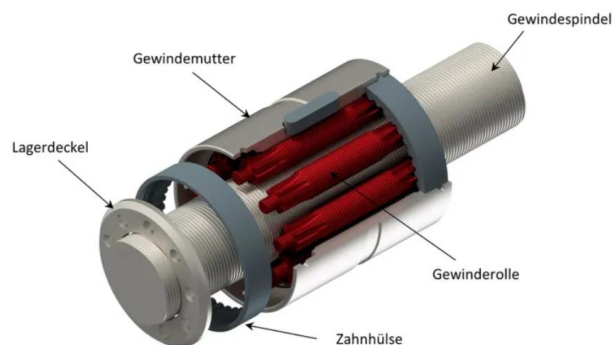


资料来源：北京允诚德谷科技有限公司官网，民生证券研究院

行星滚柱丝杆分为四种不同结构形式：

1)固定滚柱式螺母运动型 (RGT)：如图所示该形式的行星滚柱丝杆由部件：长螺纹主轴，螺纹滚柱，螺纹螺母，轴承盖和齿套筒组成。轴向载荷通过经由螺纹滚柱的螺纹心轴传递到螺纹螺母。该系统通过螺纹滚柱上的齿和两个齿套实现同步。类似于滚珠轴承中的保持架，轴承盖确保丝杆圆周上螺纹滚柱之间的距离。

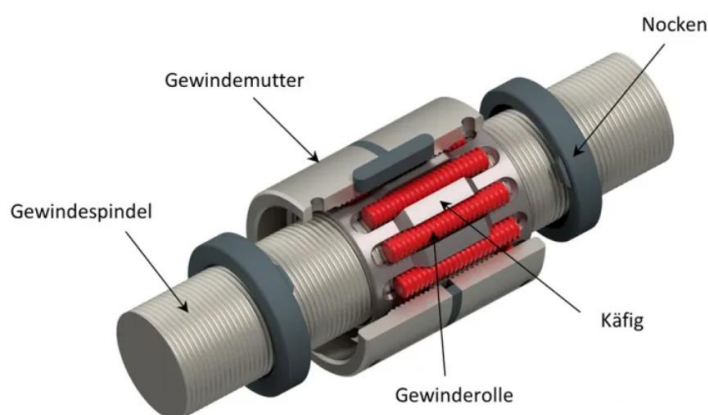
图13：固定滚柱式螺母运动型 (RGT) 示意图



资料来源：知乎，民生证券研究院

2) 循环滚柱式螺母运动型(RGTR): 如图所示该形式的行星滚柱丝杆由部件: 长螺纹主轴, 螺纹滚柱, 螺纹螺母, 笼式保持架和凸轮挡圈组成。此类行星滚柱丝杆具有螺纹滚柱的机械回位功能。通过这种运动学(复位), 可以实现非常小的导程, 螺纹结构坚固且承载力强的行星滚柱丝杆副。这也可以在公称直径较大的丝杆上实现较小的导程。类似于滚珠轴承中的滚珠, 螺纹滚柱通过主轴圆周上的保持架保持在适当的位置。保持架旋转一圈后, 螺纹滚柱就通过凸轮从主丝杆螺纹中径向抬起, 进入主轴螺母的凹槽中。然后在该凹槽中, 通过在螺纹轴上旋转一圈, 使螺纹滚柱向后退回实现一个循环。

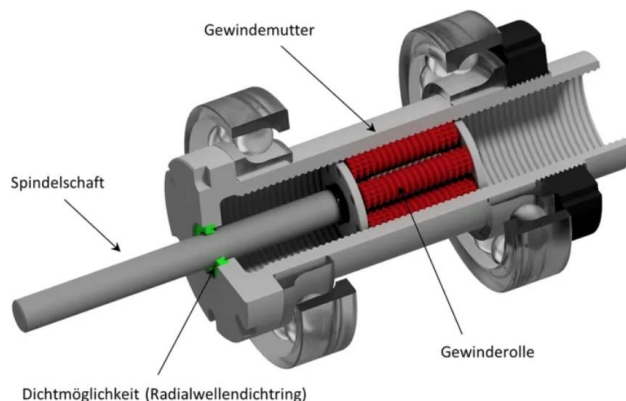
图14: 循环滚柱式螺母运动型(RGTR)示意图



资料来源: 知乎, 民生证券研究院

3) 固定滚柱式螺母反转型(RGTI): 如图所示该形式行星滚柱丝杆由部件: 带有长光轴的螺纹主轴, 螺纹滚柱, 长螺纹螺母, 轴承盖和齿套筒组成。具有逆向设计的 RGTI 是 RGT 的逆向版本。它基本上具有与 RGT 相同的特性, 并且还具有很高的负载能力和定位精度。与 RGT 相比, 采用这种设计时, 主轴上的螺纹滚柱保持在适当的位置, 并通过轴承盖和齿轮轮缘同步。这种反向设计具有光滑的圆柱形主轴, 没有连续的螺纹轮廓。因此该系统可以通过带有径向轴密封环的主轴进行很好的密封。

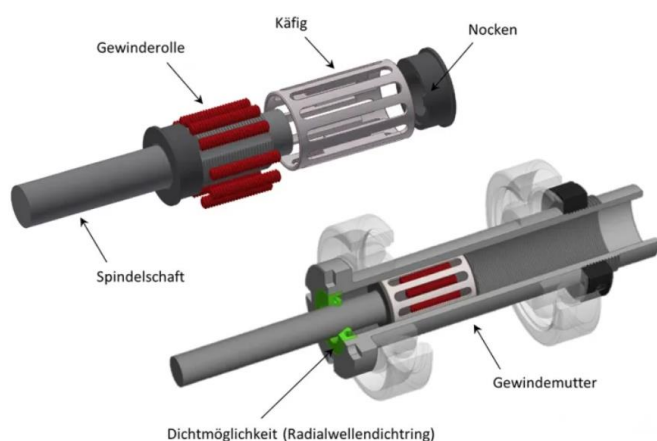
图15: 固定滚柱式螺母反转型(RGTI)示意图



资料来源: 知乎, 民生证券研究院

4) 循环滚柱式螺母反转型(RGTRI): 如图所示该形式的行星滚柱丝杆由部件: 带有长光轴的螺纹主轴, 螺纹滚柱, 长螺纹螺母, 笼式保持架和凸轮挡圈组成。RGTRI 是 RGTR 的逆向设计。它与 RGTR 的不同之处仅在于: 带有螺纹滚子的保持架和用于退回螺纹滚子的凹槽位于主轴上, 而不位于螺母内。归功于其滚子回程的功能原理, RGTRI 还具有螺距小, 螺纹轮廓更坚固的特点。光滑的圆柱形主轴也适用于采用这种反向设计的系统密封。

图16: 循环滚柱式螺母反转型(RGTRI)示意图



资料来源: 知乎, 民生证券研究院

4.2 承载力强, 体积小, 精度高

1) 高承载: 行星滚柱丝杆是线接触, 接触面的增加, 使承载能力和刚性大大提高。所以具有高刚性、高承载能力, 比同规格滚珠丝杆副高出 3 倍以上 (最高超过 10 倍)。

2) 耐冲击: 承受冲击载荷的能力很强, 工作可靠。

3) 体积小: 在相同载荷的情况下, 行星滚柱丝杆体积比滚珠丝杆小 1/3 的空间。

4) 高速度: 最高线速度可达 2000mm/s, 输入旋转转速可达 5000rpm 或者更高。最大加速度可达 3g。

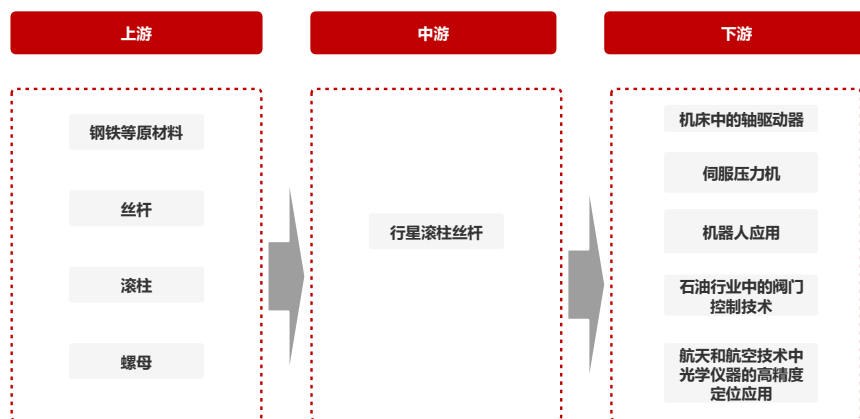
5) 噪音低: 避开了返向装置对 DN 值的制约, 在导程很小的情况下实现高速驱动, $DN \geq 14$ 万, $V_{max} \geq 60$ m/min, 角加速度 7.000 r/s^2 , 振动小、噪音低。

6) 高精度: 丝杆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。导程精度, $KL5 = \pm 0.005 \text{ mm}$, 导程精度 $KL10(\text{标准}) = \pm 0.01 \text{ mm}$ 。(315mm 行程)

7) 长寿命: 由 Hertz pressure(赫兹压力)定律, 我们可以得出: 行星滚柱丝杆能承受的静载为滚珠丝杆的 3 倍, 寿命是滚珠丝杆的 15 倍。

4.3 机器人有望打开空间

图17：行星滚柱丝杆产业链



资料来源：知乎，民生证券研究院

4.4 2022 年滚柱丝杆全球约 6.5 亿元，国内约 1 亿元

在直线传动领域，市场上比较典型的技术有液压传动、滚珠丝杠传动、凸轮连杆传动以及链条传动。与这些传统的传动方式相比，滚柱丝杠具有功率密度比更高、运动精度更高、速度与加速度能力更强、刚性和安全性更高、使用寿命更长、更适应恶劣的使用工况等技术优势，也因此获得越来越多设备制造商的青睐。

表5：滚柱丝杠业务发展的技术环境汇总

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

资料来源：《E 公司滚柱丝杠产品营销策略研究》，民生证券研究院

4.4.1 市场规模：2022 年滚柱丝杆全球约 6.5 亿元，国内约 1.1 亿元

滚柱丝杠属于市场上比较小众的一款传动产品，由于其造价较高，全球产能有

限，加之前期市场推广力度不够，导致目前使用这款产品的国内客户数量有限。2022 年，全球行星滚珠丝杆市场规模 6.5 亿元，国内约 1.1 亿元。但是放眼整个工业市场，我们可以发现该产品的市场成长性还是比较强的。此外，在特斯拉人形机器人加持下，有望迎来新机遇。

参考 IHS Market 预测，其在 2019 年发布的针对直线传动产品的市场研究报告中包含了对于滚柱丝杠产品的市场预测。

表6：IHS Market 对滚柱丝杠的销售预测

销售地区	2022 年销量预测 (万根)	2022 年销售收入预测 (亿元)
全球（含中国）	8.6	6.5
中国	1.0	1.1

资料来源：《E 公司滚柱丝杠产品营销策略研究》，民生证券研究院

4.5 欧洲占据绝对优势，国内性能差距明显

4.5.1 全球市场由欧洲企业主导

与普通的滚珠丝杠产品相比，滚柱丝杠的制造商数量相对较少，而且每一个品牌的产品特性与所在的细分市场也有很大不同。相对分散的目标市场也造成了现有为数不多的产品品牌难以形成市场协同效应，无法深入开发规模市场从而快速提高丝杠销量。

目前世界范围内生产滚柱丝杠并参与市场竞争的厂家主要有：SKF（瑞典）、Rollvis（瑞士）、GSA（瑞士）、Rexroth（德国）、CMC（美国）、南京工艺（中国）、济宁博特（中国）、优仕特（中国台湾）。除这些品牌外，还有 Moog（美国）、Power Jacks（英国）也有生产滚柱丝杠的能力，但产品不外销，主要用于自身生产的电动缸等产品使用。

Rollvis（瑞士）：公司成立于 1970 年，总部位于瑞士日内瓦，是专业设计和生产滚柱丝杠的厂家，产品推广商标为“Rollvis Swiss”。其向市场推出的产品系列较为齐全，可以提供直径范围从 5mm 至 245mm，导程范围从 0.1mm 至 50mm 的几乎全系列研磨级高精度产品。Rollvis 的产品主要应用于航空航天、军工设备、钢铁冶金等领域，近年来也面向普通工业应用如电动缸等提供批量化供货。

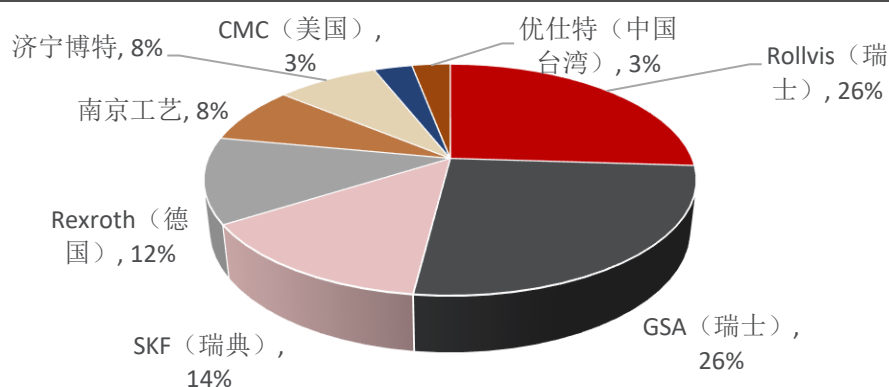
GSA（瑞士）：成立于 1982 年，总部位于瑞士伯尔尼，是专业设计和生产滚柱丝杠的厂家，产品推广商标为“GSA Swiss”。与 Rollvis 公司类似，GSA 的丝杠尺寸系列较全，可以向市场提供直径范围从 5mm 至 245mm，导程范围从 0.5mm 至 50mm 的产品系列。GSA 是目前市场上最具价格竞争力的研磨级滚柱丝杠品牌，其定价相对于 Rollvis 更低，产品质量等级和性能表现也略低于 Rollvis 公司。

Rexroth (德国)：公司和品牌隶属于博世力士乐集团，是一家主要生产液压系统、减速机、电控技术以及机电一体化产品的大型工业品公司。在线性传动技术领域，Rexroth 提供直线导轨、滚珠和滚柱丝杠、电动缸和直线运动模组等产品，其滚柱丝杠产品是在近 10 年内推出的新产品，采用轧制成型技术以满足追求更高经济性的客户需求，但在有高精度和高寿命要求的场景下无法使用。

南京工艺 (国产)：直径范围包括 30/39/48/60mm，导程范围包括 10/15/20mm，主要用在伺服电动缸领域。

博特精工 (国产)：直径范围包括 24/30/36/39/48/63mm，导程范围包括 4 至 36mm。

图18：国内市场份额情况 (2022 年预测)



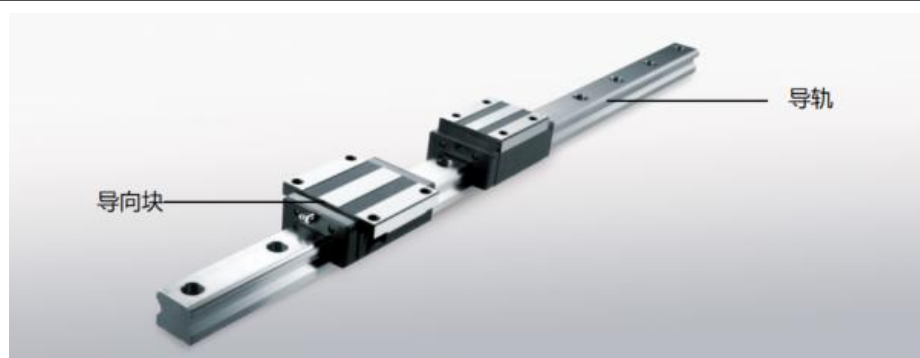
资料来源：《E 公司滚柱丝杠产品营销策略研究》，民生证券研究院

5 直线导轨：常见的直线运动装置

5.1 直线导轨由导轨与导向块组成

直线导轨是机械加工中常见的一种机械结构，它主要由导轨和导向块两部分组成。导轨一般由钢或铝等材料制成，具有一定的硬度和刚性，而导向块则一般由滑块、滑板等部件组成，可以在导轨上滑动，实现对工件的定位和运动控制。直线导轨的机械结构简单、稳定、可靠，广泛应用于数控机床、自动化生产线、医疗器械等领域。

图19：直线导轨的机械结构



资料来源：Solidworks 公众号，民生证券研究院

从直线导轨的机械结构看，可以分为以下几种：

表7：直线导轨的机械结构分类

类型	适用范围
普通直线导轨	一般适用于低精度和低速的机械设备，其定位精度和导向精度相对较低。
高精度直线导轨	适用于高精度、高速的机械设备，具有较高的定位精度和导向精度。
高速直线导轨	适用于高速、高频率的机械设备，具有较高的运动速度和快速定位的能力。
脉冲直线导轨	具有较高的控制精度和稳定性，适用于需要高速运动和高精度定位的机械设备，如数控机床、半导体设备等。
滚动直线导轨	通过滚动体的滚动，实现导向和定位，具有高精度、高刚度和长寿命等特点，适用于高速、高精度的机械加工和自动化生产线等领域。

资料来源：Solidworks 公众号，民生证券研究院

5.2 直线导轨主要性能参数

精度：直线导轨的精度是指运动部件在导轨上的定位精度，通常用直线度、平行度、垂直度等参数来表示。

刚度：直线导轨的刚度是指其抵抗变形的能力，即在承载负载时不发生过度弯曲或挠曲等变形，影响运动部件的运动精度。常用的指标包括刚度系数和刚度矩阵。

载荷能力：直线导轨的载荷能力是指其能承受的最大负载，通常用额定载荷和

静载荷等参数来表示。

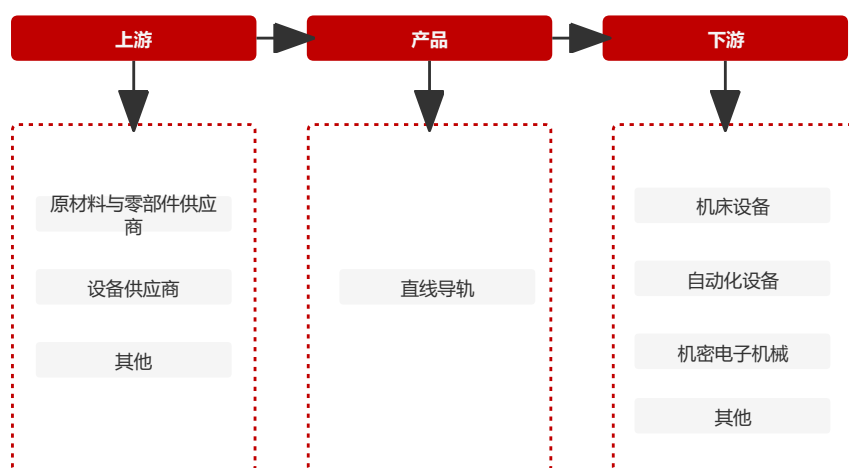
寿命：直线导轨的寿命是指其在规定的负载和使用条件下能够保持一定的性能和寿命的时间，通常用工作寿命和预期寿命等参数来表示

摩擦力：直线导轨的摩擦力是指导轨和运动部件之间的摩擦力，通常用滑动摩擦系数和滚动摩擦系数等参数来表示。选择性能好的直线导轨需要考虑多个因素，包括应用环境、负载、速度、精度等方面。

5.3 直线导轨下游以精密电子机械机床自动化设备为主

线性导轨生产企业采购的主要零部件和原材料是轴承钢，钢球等。钢材的价格变化将对公司生产成本造成显著影响。中国经济持续快速的增长，为线性导轨产品提供了巨大的市场空间。近些年，伴随着中国电力工业、数据通讯业、城市轨道交通业、船业、汽车业等行业的不断扩大，线性导轨的应用领域也越来越广。

图20：直线导轨产业链



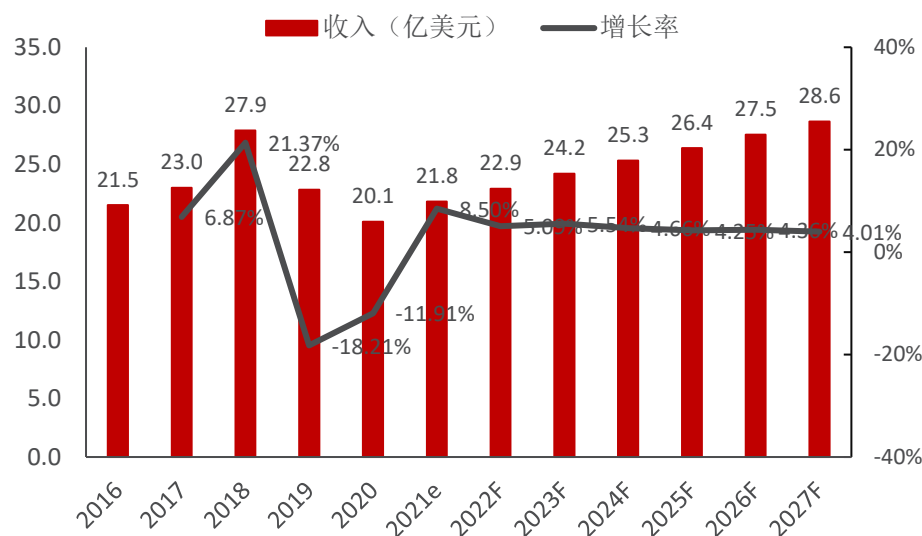
资料来源：QYResearch，民生证券研究院

5.4 2020 年直线导轨全球 20 亿美元，国内约 5.2 亿美元

5.4.1 2020 年全球直线导轨市场约 20 亿美元

参考 QY Research 数据，2020 年全球直线导轨市场达到 20.1 亿美元，预计 2027 年将达到 28.6 亿美元，年复合增长率 CAGR=4.65%。

图21：全球直线导轨市场收入及增长率：（2016-2027）&（亿美元）

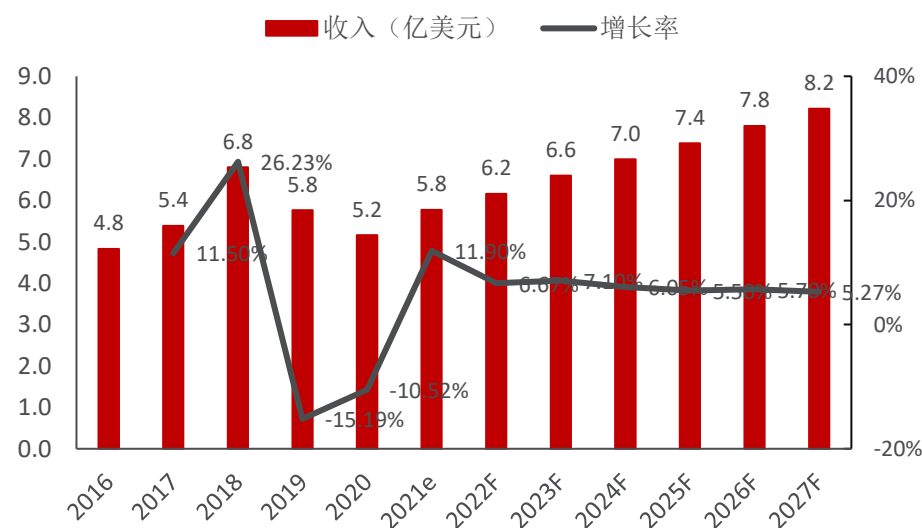


资料来源：QYResearch 整理研究，民生证券研究院

5.4.2 2020 年中国直线导轨市场约 5.2 亿美元

中国直线导轨近年来发展迅速，有国外的大企业与中国公司合资在中国也建立了生产基地，2020 年中国大陆地区生产完成的直线导轨大概 8966 千套，预计到 2027 年大概 14897 千套。参考 QY Research 数据，中国直线导轨市场生产消费规模 2020 年大概是 5.16 亿美元，预计到 2027 年中国的直线导轨市场规模将会达到 8.21 亿美元，大约占全球 28.67%。

图22：中国直线导轨市场收入及增长率：（2016-2027）&（亿美元）



资料来源：QYResearch 整理研究，民生证券研究院

5.5 高端品由德日企业主导，中端品由中国台湾企业主导

5.5.1 全球市场竞争格局

直线导轨市场的竞争格局是集成的，行业内主要的厂商包括德国的 Bosch Rexroth、日本 THK、日本 IKO、日本 NSK、德国 Schaeffler 集团等。这些公司都具有较强的技术实力和生产能力，以满足不同领域的市场需求。此外，还有一些相对较小的本土厂商在市场中扮演着重要的角色。

5.5.2 中国市场竞争格局

目前国内直线导轨的高端市场被瑞士施耐德博格、德国 INA、力士乐、日本 NSK、THK 等品牌瓜分，中端市场则主要是中国台湾上银和银泰的天下，中国大陆主要企业有高新凯特、南京工艺、山东博特、汉江机床、上海中恒、大连高金、浙江思凯特、浙江新亿特、浙江海天等，但整体实力与海外差距较大。直线导轨市场需求巨大，但是国内品牌企业较少，尚无法与国际品牌企业一争高下。

6 风险提示

1) 行业需求偏弱风险。丝杆导轨下游受宏观经济影响较大，目前国内宏观经济需求偏弱，若后续继续走弱的话，对丝杆导轨的需求可能造成一定影响。

2) 生产设备及原材料采购风险。丝杆导轨的生产设备大多从日德采购，购买高端磨床可能存在供货端交付风险，且部分特殊钢材国内自产仍有压力，设备及材料端供应时效可能会对国内企业成长带来一定压力。

插图目录

图 1: 滚珠丝杆钢珠运动结构.....	5
图 2: 螺纹螺母和螺杆的螺旋槽相匹配.....	5
图 3: 滚珠丝杆构成部分.....	6
图 4: 国内精度标准与国外精度对比情况	8
图 5: 滚珠丝杆产业链.....	9
图 6: 2015-2022 年全球滚珠丝杆市场规模及增速情况.....	9
图 7: 2014-2022 年中国滚珠丝杆市场规模及增速情况.....	10
图 8: 2014-2022 年中国滚珠丝杆产量及需求量情况	10
图 9: 2014-2022 年中国滚珠丝杆价格走势情况	11
图 10: 2021 年全球滚珠丝杆行业市场竞争格局情况 (单位: %)	11
图 11: 梯形丝杆例图	13
图 12: 行星滚柱丝杆示意图及实物图	14
图 13: 固定滚柱式螺母运动型 (RGT) 示意图.....	14
图 14: 循环滚柱式螺母运动型 (RGTR) 示意图.....	15
图 15: 固定滚柱式螺母反转型 (RGTI) 示意图	15
图 16: 循环滚柱式螺母反转型 (RGTRI) 示意图	16
图 17: 行星滚柱丝杆产业链.....	17
图 18: 国内市场份额情况 (2022 年预测)	19
图 19: 直线导轨的机械结构.....	20
图 20: 直线导轨产业链.....	21
图 21: 全球直线导轨市场收入及增长率: (2016-2027) & (亿美元)	22
图 22: 中国直线导轨市场收入及增长率: (2016-2027) & (亿美元)	22

表格目录

表 1: 滚珠丝杆、滚柱丝杆、梯形丝杆的特点对比.....	4
表 2: 滚珠丝杆分类、原理及特点介绍.....	6
表 3: 不同精度滚珠丝杆在下游设备中的应用	7
表 4: 不同精度滚珠丝杆在下游设备中的应用 (续)	7
表 5: 滚柱丝杆业务发展的技术环境汇总	17
表 6: IHS Market 对滚柱丝杆的销售预测.....	18
表 7: 直线导轨的机械结构分类.....	20

分析师承诺

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并登记为注册分析师，基于认真审慎的工作态度、专业严谨的研究方法与分析逻辑得出研究结论，独立、客观地出具本报告，并对本报告的内容和观点负责。本报告清晰地反映了研究人员的研究观点，结论不受任何第三方的授意、影响，研究人员不曾因、不因、也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

评级说明

投资建议评级标准		评级	说明
以报告发布日后的 12 个月内公司股价（或行业指数）相对同期基准指数的涨跌幅为基准。其中：A 股以沪深 300 指数为基准；新三板以三板成指或三板做市指数为基准；港股以恒生指数为基准；美股以纳斯达克综合指数或标普 500 指数为基准。	公司评级	推荐	相对基准指数涨幅 15%以上
		谨慎推荐	相对基准指数涨幅 5% ~ 15%之间
		中性	相对基准指数涨幅-5% ~ 5%之间
		回避	相对基准指数跌幅 5%以上
	行业评级	推荐	相对基准指数涨幅 5%以上
		中性	相对基准指数涨幅-5% ~ 5%之间
		回避	相对基准指数跌幅 5%以上

免责声明

民生证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。

本报告仅供本公司境内客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。本报告仅为参考之用，并不构成对客户的投资建议，不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，客户应当充分考虑自身特定状况，不应单纯依靠本报告所载的内容而取代个人的独立判断。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容而导致的任何可能的损失负任何责任。

本报告是基于已公开信息撰写，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、意见及预测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，且预测方法及结果存在一定程度局限性。在不同时期，本公司可发出与本报告所刊载的意见、预测不一致的报告，但本公司没有义务和责任及时更新本报告所涉及的内容并通知客户。

在法律允许的情况下，本公司及其附属机构可能持有报告中提及的公司所发行证券的头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或正在争取提供投资银行、财务顾问、咨询服务等相关服务，本公司的员工可能担任本报告所提及的公司的董事。客户应充分考虑可能存在的利益冲突，勿将本报告作为投资决策的唯一参考依据。

若本公司以外的金融机构发送本报告，则由该金融机构独自为此发送行为负责。该机构的客户应联系该机构以交易本报告提及的证券或要求获悉更详细的信息。本报告不构成本公司向发送本报告金融机构之客户提供的投资建议。本公司不会因任何机构或个人从其他机构获得本报告而将其视为本公司客户。

本报告的版权仅归本公司所有，未经书面许可，任何机构或个人不得以任何形式、任何目的进行翻版、转载、发表、篡改或引用。所有在本报告中使用的商标、服务标识及标记，除非另有说明，均为本公司的商标、服务标识及标记。本公司版权所有并保留一切权利。

民生证券研究院：

上海：上海市浦东新区浦明路 8 号财富金融广场 1 幢 5F； 200120

北京：北京市东城区建国门内大街 28 号民生金融中心 A 座 18 层； 100005

深圳：广东省深圳市福田区益田路 6001 号太平金融大厦 32 层 05 单元； 518026