

通用设备行业深度报告

高壁垒的成长赛道，受益于自主可控&人形机器人未来发展【勘误版】

增持（维持）

2023年07月07日

证券分析师 周尔双

执业证书：S0600515110002

021-60199784

zhouersh@dwzq.com.cn

证券分析师 罗悦

执业证书：S0600522090004

luoyue@dwzq.com.cn

投资要点

■ 丝杠导轨：精密机械中最常用传动部件：

滚珠丝杠是将旋转运动转换成线性运动的理想传动装置，主要由丝杠轴、螺母、滚珠以及循环部件组成；导轨副实现支撑和机械导向作用，主要由导轨和滑座组成。**滚珠丝杠搭配导轨，是精密机械中最常用的传动部件。**

从市场空间来看，根据我们测算，2021年国内滚珠丝杠&导轨市场空间约128亿元。从下游来看，机床、机器人自动化&汽车为丝杠导轨最主要应用下游，其中机床为丝杠导轨最大应用下游，且对精度要求最高。直线导轨凭借其较高的精度和稳定性，在机器人&自动化领域被广泛应用。新能源车也是丝杠导轨的重要下游，可用于新能源汽车的车辆转向系统、刹车系统、加速踏板等领域。

■ 竞争格局：高端领域被外资垄断，国产厂商逐步向上渗透：

从主流厂商来看，丝杠导轨市场分为两大阵营：1) 非中国大陆厂商包括上银、银泰等：特点是成立时间早、经验积累丰富，产品定位高端精密丝杠市场；2) 中国大陆厂商包括南京工艺、汉江机床（秦川子公司）等：特点是起步时间晚，公司规模小，产品主要为精度较低的丝杠导轨。

从竞争格局来看，国内丝杠导轨市场基本被以日资、台资为代表的外企垄断，两者市占率合计达到65%，主要系国产和外资厂商的综合竞争力仍有差距，这种差距主要体现在产品初始性能、精度保持性和批量稳定生产能力等方面。具体分析差距的成因，主要系国内磨床水平较低和淬火等工艺经验积累不足。但在国家专项政策的扶持下，国产头部厂商例如南京工艺、汉江机床正加速进行产品迭代。

■ 行星滚柱丝杠：人形机器人打开长期成长空间：

行星滚柱丝杠结构与滚珠丝杠类似，只是传力元件由滚珠替换为螺旋滚柱，其在承载力、运动平稳性、转速及加速度等方面更具优势，被广泛应用于航空航天等高精密加工领域。国内行星滚柱丝杠行业起步较晚，国产厂商尚不具备规模化量产能力，目前市场主要被斯凯孚、舍弗勒等外资企业所占据。

特斯拉人形机器人的12个线性执行器采用独特的电机+反向式行星滚柱丝杠的方案，其优势在于能够自锁&提供更大的推力，但其难度在于体积小&螺母加工难度较高，目前国产厂商均在加紧研发过程中。**根据我们测算，至2035年人形机器人用行星滚柱丝杠市场空间可达930亿元，远期空间广阔，将打开滚珠丝杠长期市场空间。**

■ 投资建议：

丝杠导轨行业受益于机床自主可控&人形机器人历史性发展机遇，未来市场空间广阔。**推荐【秦川机床】**老牌滚动功能部件龙头，已实现丝杠导轨规模化销售；**【恒立液压】**国产液压传动龙头，布局丝杠导轨扩大传动领域覆盖面。建议关注**【贝斯特】****【鼎智科技】****【恒而达】**，以及未上市的**【南京工艺】**。

风险提示：机床行业景气度不及预期、人形机器人产业化不及预期。

行业走势



相关研究

《高壁垒的成长赛道，受益于自主可控&人形机器人未来发展》

2023-07-05

《数控系统行业深度：“自主可控”背景下，看好国产数控系统加速突围》

2023-05-22

内容目录

1. 丝杠导轨：精密机械中最常用传动部件	5
1.1. 丝杠导轨为核心传动部件，直接影响设备精度和稳定性.....	5
1.2. 机床、自动化&汽车为丝杠导轨主要下游应用领域	8
2. 竞争格局：高端领域被外资垄断，国产厂商逐步向上渗透	10
3. 行星滚柱丝杠：人形机器人打开长期成长空间	14
3.1. 行星滚柱丝杠在承载力、运动平稳性等多方面优于滚珠丝杠.....	14
3.2. 人形机器人打开行星滚柱丝杠长期市场空间.....	18
4. 重点公司介绍	20
4.1. 秦川机床：老牌滚动功能部件龙头，已实现丝杠导轨规模化销售.....	20
4.2. 恒立液压：国产液压传动龙头，布局丝杠导轨扩大传动领域覆盖面.....	23
4.3. 贝斯特：汽车涡轮增压器龙头，切入丝杠导轨领域打开成长空间.....	26
4.4. 鼎智科技：工控微特电机龙头，发力多元业务.....	28
4.5. 恒而达：金属切削工具优质厂商，导轨业务已初具规模.....	30
4.6. 南京工艺：技术积累深厚的老牌滚动功能部件龙头.....	31
5. 投资建议	32
6. 风险提示	33

图表目录

图 1: 滚珠丝杠分类及优缺点.....	5
图 2: 滚珠丝杠和滑动丝杠优劣势对比.....	6
图 3: 滚珠丝杠传动效率高于普通滑动丝杠.....	6
图 4: 导轨副结构及构成部件.....	7
图 5: 滚珠丝杠与导轨精度划分标准.....	7
图 6: 2015-2022 年国内滚珠丝杠&导轨整体市场规模 (单位: 亿元)	8
图 7: 2015-2022 年全球滚珠丝杠&导轨整体市场规模 (单位: 亿美元)	8
图 8: 科德数控机床成本构成.....	9
图 9: 丝杠导轨系机床重要的传动功能部件.....	9
图 10: 特斯拉人形机器人线性执行器零部件, 行星滚柱丝杠为核心零件.....	9
图 11: 丝杠导轨在汽车转向系统中的应用.....	10
图 12: 丝杠导轨在汽车座椅调节系统中的应用.....	10
图 13: 国内丝杠导轨市场份额分布情况, 其中国产化率仅为 25%.....	12
图 14: 2022 年上银科技实现总营收 66.95 亿元人民币.....	12
图 15: 大陆丝杠&中国台湾丝杠摩擦力矩对比	12
图 16: 大陆丝杠&中国台湾丝杠行程误差对比	12
图 17: 大陆丝杠精度随时间退化情况.....	13
图 18: 中国台湾丝杠精度随时间退化情况.....	13
图 19: 滚珠丝杠加工程序复杂, 其中关键在于精磨削工艺和淬火.....	13
图 20: 行星滚柱丝杠结构图.....	15
图 21: 全球行星滚珠丝杠发展历程差异较大, 我国处于发展早期阶段.....	16
图 22: 特斯拉 Optimus 线性关节采用电机+行星滚柱丝杠方案	18
图 23: 特斯拉线性执行器从成本拆分 (2022 年)	18
图 24: 秦川机床发展历程.....	20
图 25: 2022 年汉江机床营收 4.0 亿元, 同比+28.8%.....	23
图 26: 2022 年汉江机床净利润 2479 万元.....	23
图 27: 挖机产业链上下游图解.....	24
图 28: 2022 年公司营业总收入 82.0 亿元, 同比-12%.....	24
图 29: 2022 年公司归母净利润 23.4 亿元, 同比-13%.....	24
图 30: 贝斯特发展历程.....	26
图 31: 贝斯特产品矩阵图.....	27
图 32: 鼎智科技产品矩阵图.....	28
图 33: 鼎智科技 2019-2022 年营收&净利变化	29
图 34: 鼎智科技 2022 年分业务营业收入占比.....	29
图 35: 线性执行器运动控制原理示意图.....	29
图 36: 恒而达产品矩阵图.....	30
图 37: 导轨长度与行走精度图.....	31
图 38: 导轨按精度分类及相关指标.....	31
图 39: 南京工艺发展历程.....	31
图 40: 南京工艺主要产品包括滚动导轨副、滚珠丝杠副、滚动花键副等.....	32
图 41: 相关公司盈利预测与估值情况 (截至 2023 年 7 月 6 日收盘, 单位: 亿元)	33

表 1:	不同分类导轨应用原理和特点情况.....	6
表 2:	主流滚珠丝杠厂商成立时间、主要产品及示意图一览.....	11
表 3:	专项政策扶持下, 国产头部厂商加速丝杠导轨技术迭代.....	14
表 4:	行星滚柱丝杠和滚珠丝杠差异比较.....	15
表 5:	行星滚柱丝杠市场由外资企业主导, 国产厂商起步较晚.....	17
表 6:	行星滚柱丝杠主要分类、优缺点和应用场景.....	19
表 7:	根据我们测算, 至 2035 年人形机器人用行星滚柱丝杠市场空间可达 930 亿元.....	20
表 8:	秦川机床“5221”战略及各实施主体详细拆解.....	21
表 9:	秦川机床 2022 年定增项目情况介绍 (单位: 亿元)	23
表 10:	恒立液压 2021 年定增项目情况介绍 (单位: 亿元)	25

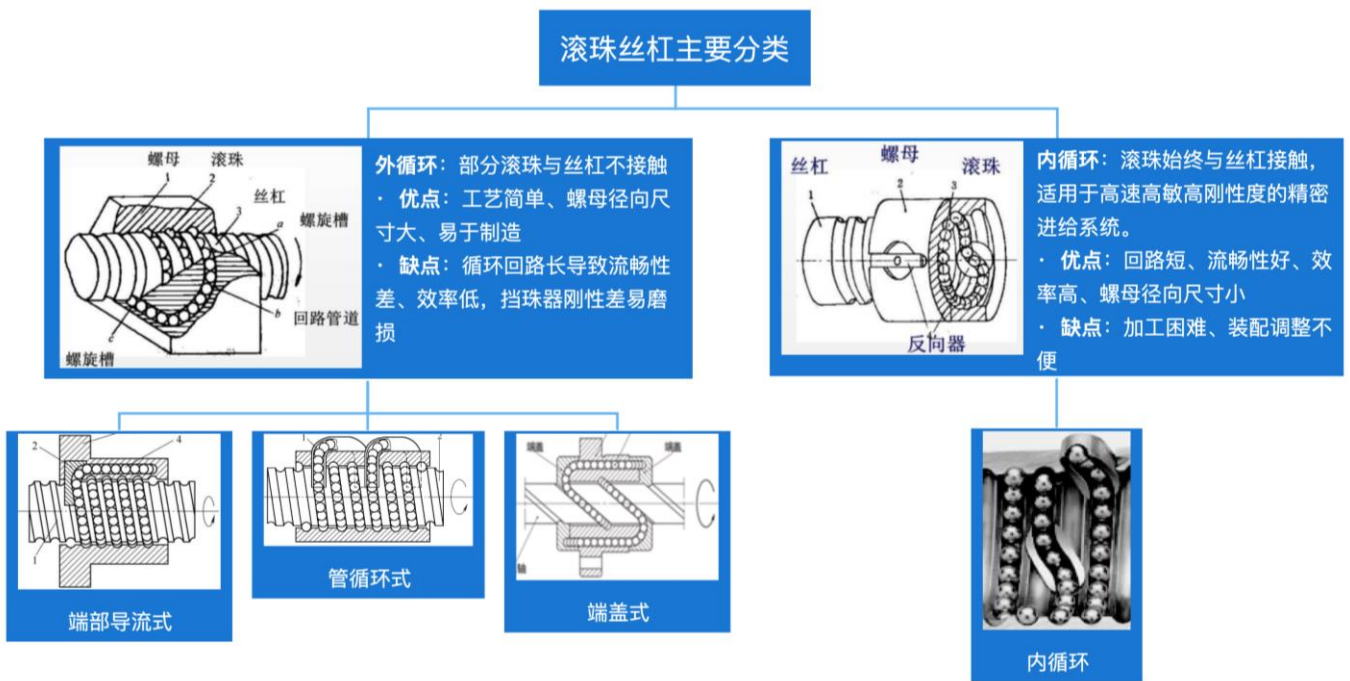
1. 丝杠导轨：精密机械中最常用传动部件

1.1. 丝杠导轨为核心传动部件，直接影响设备精度和稳定性

滚珠丝杠是将旋转运动转换成线性运动的理想传动装置，主要由丝杠轴、螺母、滚珠以及循环部件组成。丝杠轴、螺母和端盖（一类滚珠循环部件，此处以“端盖式循环”为例解释滚珠丝杠传动原理）上都制有圆弧形螺旋槽，将它们套装在一起时，这些槽对合起来就形成了螺旋通道，滚珠能够在通道内循环滚动。当丝杠相对于螺母旋转时，滚珠在滚道内自转，同时又在封闭的滚道内循环运动，使丝杠和螺母相对产生轴向运动。

滚珠丝杠主要可分为内循环和外循环两大类，外循环中又可再分为端部导流、管循环和端盖式。外循环式滚珠丝杠运动时，部分滚珠与丝杠不接触，其优点为工艺简单且易于制造，而缺点为效率较低；内循环式滚珠丝杠运动时，滚珠始终与丝杠接触，适用于高速高敏高刚度场景，但缺点为加工困难。

图1：滚珠丝杠分类及优缺点



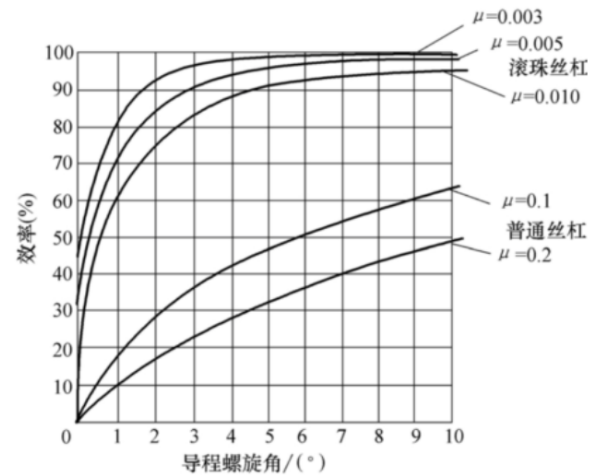
数据来源：金属加工公众号，东吴证券研究所

相较普通滑动丝杠，滚珠丝杠使用滚珠传递运动，具有传动效率高、定位精度高和传动刚度大等明显优势。滑动丝杠的优点在于结构简单、加工方便、成本低和能自锁，缺点是摩擦阻力大，易磨损，传动效率低。目前已逐步被滚珠丝杠所替代，但在部分需要自锁功能和对精度传动效率要求不高的场景仍有应用。

图2: 滚珠丝杠和滑动丝杠优劣势对比

	滚珠丝杠	普通滑动丝杠
优点	传动效率高、定位精度高、精度保持性好、功率消耗低、可预紧、运动可逆	结构简单、加工方便、成本低、能自锁
缺点	结构复杂、制造成本高、安装调试困难、不能自锁	摩擦因数大、易磨损、传动效率低、低速易爬行

图3: 滚珠丝杠传动效率高于普通滑动丝杠



数据来源: 金属加工公众号, 东吴证券研究所

数据来源: 《数控技术》, 东吴证券研究所

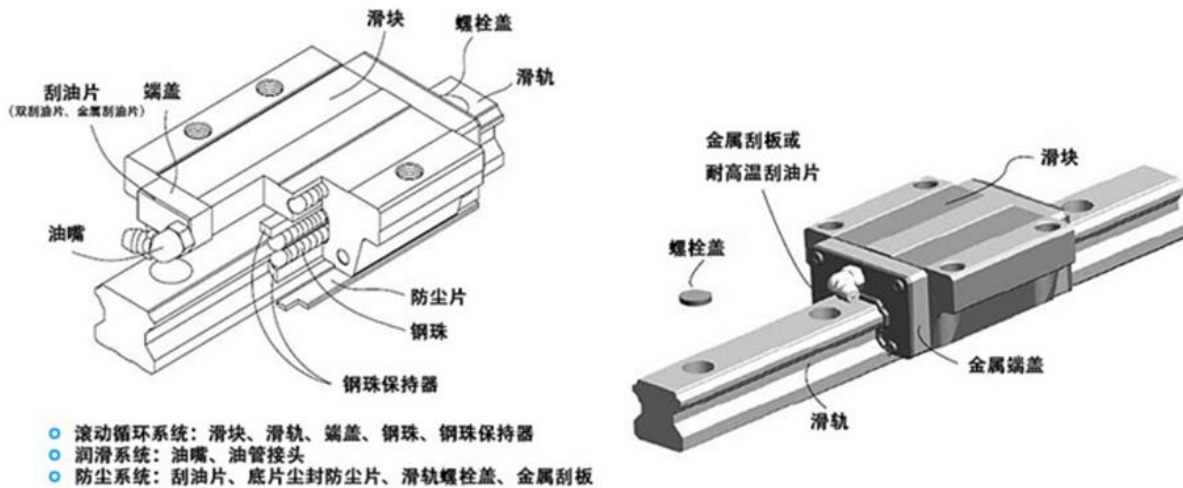
导轨副实现支撑和机械导向作用, 主要由导轨和滑座组成。导轨副, 简称导轨。一副导轨主要由两部分组成: 在工作时固定不动, 起到支撑作用的部分称为支撑导轨 (或导轨); 另一个相对支撑导轨作直线或回转运动, 起到机械导向作用的部分称为滑座。常用导轨种类包括一般滑动导轨、滚动导轨、流体介质摩擦导轨等, 其中滚动导轨摩擦系数小, 故运动灵敏且定位精度高。

表1: 不同分类导轨应用原理和特点情况

	主要细分	应用原理	产品特点
滑动导轨	传统滑动导轨	对导轨接触面进行淬硬和表面磨削处理	结构简单、成本低、高刚性、高吸振性
	注/贴塑导轨	在传统滑动导轨移动构件面上粘贴/注塑非金属涂层	满足加工复杂形面的工件需求, 提升精度, 减少磨损, 不适合大型重载机床
	功能材料导轨	在结合面的接触间隙中填充低刚度中介质, 增加真实接触面积	理论起步阶段, 尚未进入实用
滚动导轨	滚柱/珠/针型	采用滚柱/钢球作为滚动体, 与导轨为点/线接触	灵敏度高、摩擦系数小, 低噪音, 但刚性低, 抗振性差。应用广泛
静压导轨	液体静压导轨	在导轨面间形成静压油膜	启动阻力小, 低速运动平稳性好, 定位精度高, 微量位移准确, 磨损小, 精度保持性好, 寿命长。但抗震性差比滑动导轨要差, 不够环保, 需要额外复杂的油路辅助设备
磁浮导轨	永/电磁式	通过磁场力把进给平台浮起, 使用直线电动机驱动平台运动	处于理论阶段没有实用案例。具有无机械摩擦、无接触磨损和无需润滑的优点。彻底消除爬行现象, 没有因磨损和接触疲劳产生的精度下降和寿命问题

数据来源: 《机床导轨技术研究综述》, 东吴证券研究所

图4：导轨副结构及构成部件



数据来源：NSK，东吴证券研究所

滚珠丝杠精度等级划分标准是任取长度为 300MM 的一段丝杠，测量实际移动距离和理想移动距离的偏差，偏差越小，精度越高。按国内分类，精度等级有 P1、P2、P3、P4、P5、P7、P10；日本、韩国和中国台湾省采用 JS 等级即 CO、C1、C2、C3、C5、C7、C10；欧洲国家采用的标准是 ITO、IT1、IT2、IT3、IT4、IT5、IT7、IT10。通常情况下，普通机械采用 C7、C10 级别丝杠即可满足加工要求；数控设备一般需要 C3、C5 级别丝杠，其中国内大部分数控机床配套 C5 级丝杠。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 级别丝杠。

直线导轨精度按行走 100mm 的平行度划分，可分为普通级（C）、高级（H）、精密级（P）、超精密级（SP）与超高精密级（UP）五个等级，其中平行度是指将导轨以螺栓固定在基准面上，使滑块在导轨全长上运行时，滑块与导轨基准面之间的平行度误差。

图5：滚珠丝杠与导轨精度划分标准

丝杠精度等级	精度等级	C0	C1	C2	C3	C5	C7	C10
	精度(E300)(μm)	3.5	5	7	8	18	50	210
导轨精度等级	精度等级	UP	SP	P	H	C/N		
	精度(E100)(μm)	1	1.5	2	3	5		

数据来源：金属加工公众号，东吴证券研究所

从市场空间来看，全球滚珠丝杠市场规模稳健增长，中国已成为最重要的消费市场之一，长期成长空间可观。根据公司招股书，2016-2021 年全球滚珠丝杠市场规模从 13.1 亿美元增长至 17.5 亿美元；同期我国滚珠丝杠市场规模从 16.8 亿元增长至 25.6 亿元，CAGR 为 8.8%。中国已成为滚珠丝杠产品重要的消费市场之一，约占全球规模总量的

20%左右。

目前没有权威机构对导轨销售规模情况进行追踪统计，但导轨与滚珠丝杠常常配套使用和采购，生产端（主流厂商同时生产丝杠和导轨）便可基于过去生产实践，对两者的市场规模之比做出合理估计。根据我们的草根调研，滚珠丝杠和导轨的市场规模之比约为 1: 4，即滚珠丝杠&导轨的整体市场空间可基于滚珠丝杠市场规模值的五倍进行推算。根据我们测算，2021 年全球滚珠丝杠&导轨市场空间约为 87.5 亿美元，国内滚珠丝杠&导轨市场空间约为 127.8 亿元。

图6：2015-2022 年国内滚珠丝杠&导轨整体市场规模
(单位：亿元)



数据来源：公司《2022 年度向特定对象发行 A 股股票募集说明书（注册稿）》，东吴证券研究所

图7：2015-2022 年全球滚珠丝杠&导轨整体市场规模
(单位：亿美元)



数据来源：公司《2022 年度向特定对象发行 A 股股票募集说明书（注册稿）》，东吴证券研究所

1.2. 机床、自动化&汽车为丝杠导轨主要下游应用领域

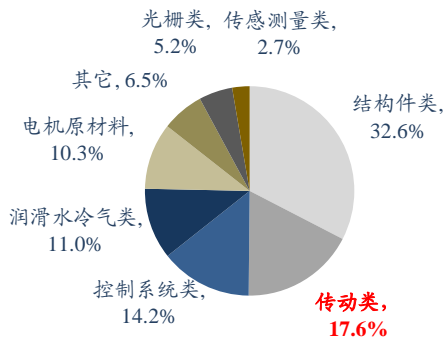
机床系丝杠导轨最主要下游应用：

1) 从使用量来看，一台机床通常搭配三套丝杠导轨：普通三轴机床在其 XYZ 三个线性轴基本采用丝杠导轨传动，1 根丝杠搭配 2 根导轨进行运动。而四五轴旋转轴一般不采用丝杠导轨传动（因此通常来说一台机床搭配三根丝杠+6 根导轨）。但对于部分精度要求较低的中低端机床，会使用皮带或同步轮搭配导轨传动，而替换掉价值量更高的丝杠。

2) 从精度水平来看，机床对于丝杠导轨精度要求更高：相较于自动化&汽车等下游，机床对丝杠导轨精度要求更高，基本上使用的是精度 C5 以上的研磨级丝杠。

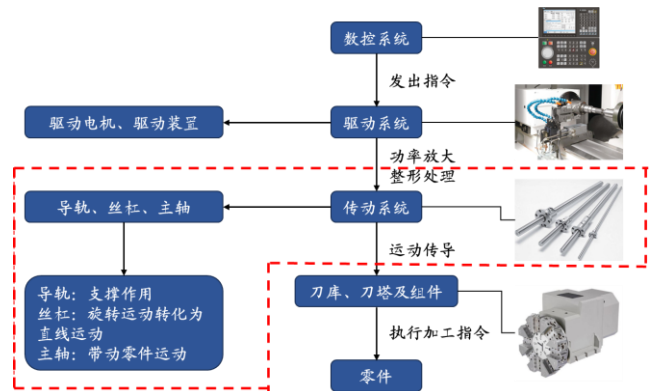
3) 从市场空间来看，机床是丝杠导轨市场最大下游：根据科德数控和纽威数控招股书披露的机床原材料采购情况，传动系统部件占机床成本的平均比例约 15%。根据 MIR 睿工业数据，2021 年国内数控金属加工机床消费额约为 500-600 亿元，可以测算出对应传动系统（以滚珠丝杠&导轨为主）的消费额约为 75-90 亿元。

图8: 科德数控机床成本构成



数据来源: 科德数控招股书, 东吴证券研究所

图9: 丝杠导轨系机床重要的传动功能部件



数据来源: 海天精工招股书, 东吴证券研究所

自动化下游中丝杠导轨应用广泛, 人形机器人打开长期空间:

直线导轨通常被应用在机器人&自动化领域: 一方面直线导轨精度较高, 能够保障机器人运动时的准确度; 另一方面直线导轨稳定性好, 能够保证机器人在高速运动中不会出现晃动和失控的现象。而在自动化系统中, 丝杠通常被用于控制工作台、传送带、夹具等部件的运动。

人形机器人产业快速发展, 带来丝杠导轨应用新舞台。 随着特斯拉人形机器人产业化推进, 人工交互及人工智能成为一大趋势, 人形机器人作为“具身智能”最理想载体, 站在多重产业共振的交汇点, 有望引领未来产业变革。人形机器人全身使用 12 个线性驱动器, 采用力矩电机+行星滚柱丝杠的方案, 实现高传动精度的同时也可以保持高精度的控制速度。

图10: 特斯拉人形机器人线性执行器零部件, 行星滚柱丝杠为核心零件

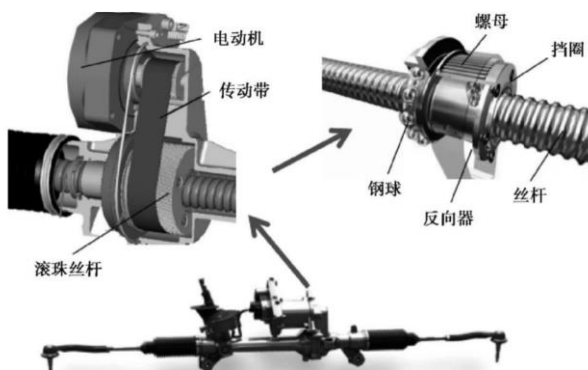


数据来源: 特斯拉 AIDAY 发布会, 东吴证券研究所

新能源汽车也是丝杠导轨的重要下游应用，未来潜在市场空间有望达 250 亿元：丝杠导轨可用于新能源汽车的车辆转向系统、刹车系统、加速踏板、座椅调节和玻璃升降等领域，以转向系统为例，滚珠丝杠用于转换驾驶员的转向输入为前轮的转向运动，以实现灵活、精确的转向操控，提供驾驶的稳定性和准确性。

新能源车用丝杠导轨对精度要求略低，但胜在汽车市场销量基数大。我们预计一辆新能源车在完美状态下会使用 4 套左右的丝杠导轨，假设 1 套价格约 500 元，则单车价值量可达 2000 元左右。假设未来新能源车渗透率提升至 50%，国内汽车销量稳定在 2500 万辆，则新能源汽车用丝杠导轨市场空间有望达 250 亿元。

图11：丝杠导轨在汽车转向系统中的应用



数据来源：NSK 官网，东吴证券研究所

图12：丝杠导轨在汽车座椅调节系统中的应用



数据来源：NSK 官网，东吴证券研究所

2. 竞争格局：高端领域被外资垄断，国产厂商逐步向上渗透

从主流厂商来看，丝杠导轨市场分为两大阵营：1) 非中国大陆厂商包括上银、银泰、日本 THK 和 TSK：特点是成立时间早、经验积累丰富，产品定位高端精密丝杠市场，并配合先进机械的前沿需求不断创新升级。平均营收体量破百亿，完全主导中高端丝杠导轨市场；2) 中国大陆厂商包括南京工艺、汉江机床（秦川子公司）、博特精工和华特机械等：特点是起步时间晚，公司规模小，产品主要为精度较低的丝杠导轨。

表2: 主流滚珠丝杠厂商成立时间、主要产品及示意图一览

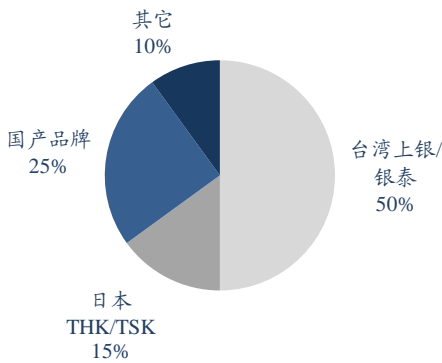
公司名称	成立时间	主要产品	示意图	2022 年公司 营收 (亿元)
台湾上银	1989	精密研磨级滚珠丝杠、转造级滚珠丝杠、高速化低噪音滚珠丝杠 Super T 系列等		67
台湾银泰	1990	主要生产滚珠螺杆、精密螺杆花键、线性导轨、滚珠花键及致动器, 系为精密机械关键性零组件		非上市公司
日本 THK	1946	致力于开发 LM 滚动导轨, 滚珠花键, 滚珠丝杠, 电动智能组合单元等在内的机械元件		206
日本 NSK	1916	直线运动产品包括滚珠丝杠、NSK 直线导轨、直线模组、大扭矩直驱电机和其他精机产品		476
南京工艺	1991	为精密卧式加工中心批量配套滚珠丝杠副、滚动导轨副		非上市公司
汉江机床	1965	以滚珠丝杠副、滚动直线导轨副、滚动导轨块、滚动花键副、螺杆转子副为主的滚动功能部件		4
博特精工	1992	精密滚珠丝杠副、精密滚动直线导轨副		非上市公司
华珠机械	2009	主要从事滚珠丝杠副、梯形丝杠副、轨道交通导柱直线导轨的生产和经营		非上市公司

数据来源: Wind, 各公司官网, 东吴证券研究所

从竞争格局来看, 国内丝杠导轨市场基本被以日资、台资为代表的外企垄断, 两者市占率合计达到 65%。滚动功能部件加工技术壁垒极高、工序流程复杂, 特别是对滚道和轴颈螺纹的精磨工艺将极大地影响后续使用时的定位精度。海外企业具有先发优势, 在产品迭代和可靠性测试方面积累大量数据, 因此产品具有较强竞争力。根据秦川机床公告, 目前上银、银泰国内市场占有率接近 50%, 日本 NSK、THK 等日企市场占有率约 15%; 外资合计占比达 65%, 基本垄断国内市场。

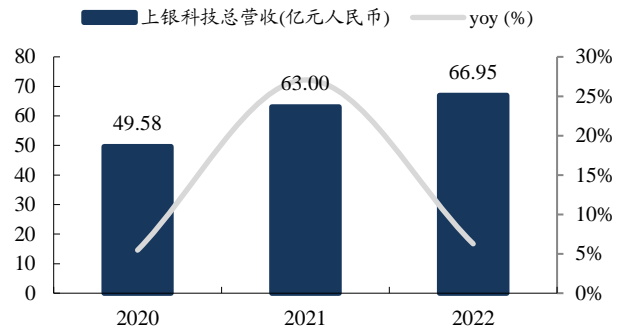
除了市占率存在较大差距, 外资厂商的优秀市场竞争力还体现在收入体量和产品均价上。1) 从收入体量角度看: 2021 年全球丝杠导轨龙头上银科技总营收达 61 亿元, 净利润达 8 亿元。秦川机床下设子公司汉江机床主要负责丝杠导轨、螺纹磨床等业务。根据公司 2022 年报披露, 汉江机床总营收仅为 4 亿元, 若扣除螺纹磨床收入, 秦川机床丝杠导轨业务收入不足 4 亿元, 同外资收入体量相比差距明显。2) 从产品均价看: 根据草根调研反馈, 国产头部企业的产品均价尚未达到外资龙头产品均价的 50%, 说明外资厂商具有较强的议价能力。

图13: 国内丝杠导轨市场份额分布情况, 其中国产化率仅为 25%



数据来源: 秦川机床公告, 东吴证券研究所

图14: 2022 年上银科技实现总营收 66.95 亿元人民币

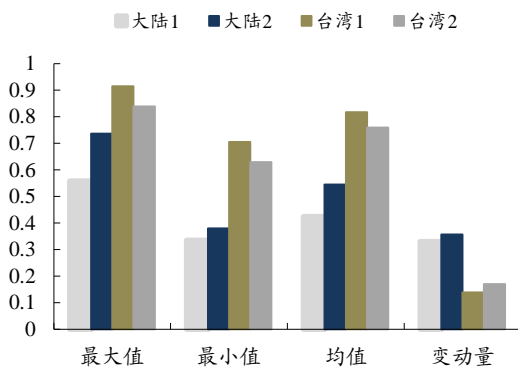


数据来源: Wind, 东吴证券研究所

深究造成巨大差距的原因, 主要在于产品的综合竞争力, 而国产厂商的短板在于:

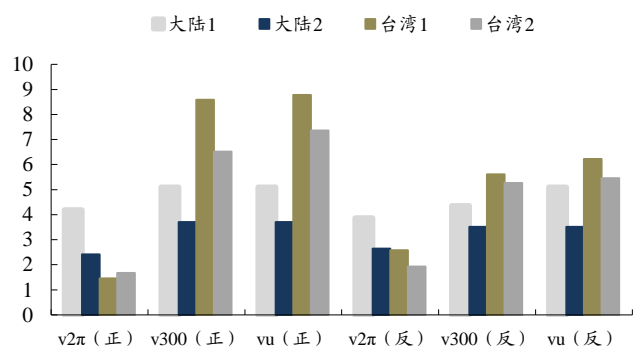
1) **产品初始性能差距:** 国产滚珠丝杠出厂时和外资相比就有性能差距。根据《滚珠丝杠副可靠性增长关键技术研究》实验结果表明(见下图), 针对同一批次的丝杠, 大陆样件的摩擦力矩的均值变化量在 20% 以上, 而中国台湾产品的不到 10%。而从行程误差的分析来看, 单个滚道中国台湾的丝杠性能也更加优异。究其原因, 主要系大陆厂商的预紧的操作不够规范, 同时在施加完预紧力后, 缺乏成熟的摩擦力矩快速检测方法, 来验证预紧力的施加是否合适, 导致滚珠丝杠的综合性能产生差距。

图15: 大陆丝杠&中国台湾丝杠摩擦力矩对比



数据来源: 《滚珠丝杠副可靠性增长关键技术研究》, 东吴证券研究所

图16: 大陆丝杠&中国台湾丝杠行程误差对比



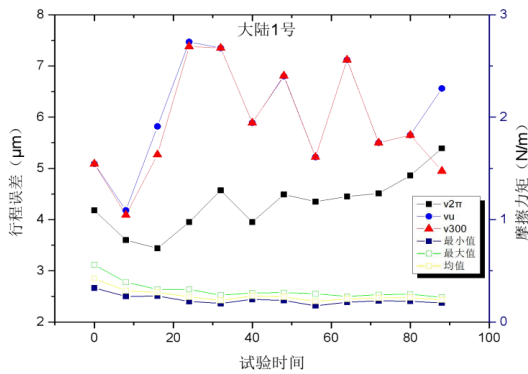
数据来源: 《滚珠丝杠副可靠性增长关键技术研究》, 东吴证券研究所

2) **精度保持性差距:** 在使用初期, 国产滚珠丝杠能够达到设计时要求的重复定位

精度，但经过使用磨耗后滚珠丝杠组件中的背隙会逐渐变大，导致重复定位精度下降，造成设备定位不准的问题。在上文同一试验中，大陆丝杠和中国台湾丝杠在试验过程中均出现不同程度的性能退化，但相较之下大陆丝杠的精度保持性低于中国台湾丝杠。

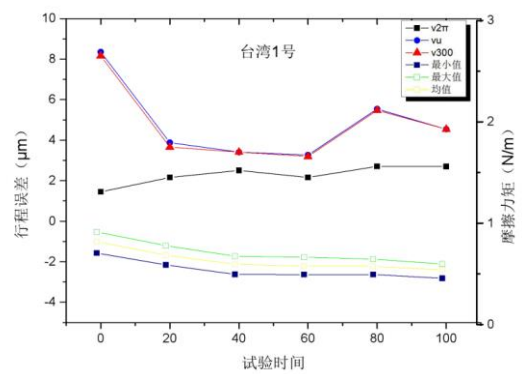
3) 批量生产稳定性：国内企业实际上充分具备做出高精度丝杠的能力，但在大批量加工时无法保证良品合格率。

图17：大陆丝杠精度随时间退化情况



数据来源：《滚珠丝杠副可靠性增长关键技术研究》，东吴证券研究所

图18：中国台湾丝杠精度随时间退化情况



数据来源：《滚珠丝杠副可靠性增长关键技术研究》，东吴证券研究所

具体分析国产厂商短板成因，主要是国内磨床水平较低和淬火等工艺经验积累不足。在丝杠导轨的加工过程中，对螺纹滚道和轴颈的精细磨削是最关键的环节，需要使用高精度磨床配合加工。而国内外磨床水平差距过大，进口磨床不仅精度高，同时能够做到可靠性好，保障批量加工的稳定性。此外工艺决定生产效率，从钢材的选用、前端热处理，到粗磨、精磨、后段检测等环节都需要一些通过实践总结的参数经验，而不是仅依靠理论设计。国内企业起步晚，仍需时间和机会去不断试错，积累经验。

图19：滚珠丝杠加工程序复杂，其中关键在于精磨削工艺和淬火

序号	工艺内容	序号	工艺内容
1	下料、热处理（淬火）、检验校直	9	粗磨90°v形槽
2	加工端面、钻中心孔	10	磁力探伤
3	粗车	11	时效处理并检验
4	高温时效并检验	12	研磨中心孔
5	半精车、铣	13	半精磨滚道、低温时效处理并检验
6	粗磨	14	铣键槽
7	工作表面（滚道）与加工基准中心孔）淬、回火、检验	15	精磨端部螺纹、精磨中心孔、精磨滚道
8	研磨中心孔	16	装配-跑合-检验-入库

数据来源：《精密滚珠丝杠机械加工工艺规程研究》，东吴证券研究所

专项政策扶持下，国产头部厂商加速产品迭代。南京工艺、汉江机床等国产头部厂商，在国家政策和 04 专项的支持下，迅速进行技术迭代。2020 年由南理工、南京工艺、汉江机床、博特精工等国产头部企业共同完成的「滚动功能部件服役性能成套测评方法与装备及性能提升关键技术」荣获技术发明一等奖。该项目聚焦于滚动功能部件的 4 项核心指标：可靠性、精度、刚性和预紧力，攻克了丝杠高精研磨改性和高效旋铣等性能提升关键技术，并成功研制出双螺母预紧高速精密滚珠丝杠副 DKFZD5020，首次为高档数控机床配套。

表3: 专项政策扶持下，国产头部厂商加速丝杠导轨技术迭代

指标类型	成果	提升关键
可靠性	聚焦磨损和疲劳两种主要失效形式，发明了丝杠高精研磨新型工艺技术及装置	精度保持性从 1000 小时提升至 4000 小时，平均无故障工作时间从 4000 小时提升至 10000 小时以上
精度	发明了丝杠/螺母/导轨/滑块滚道型面高精无损测量方法和装置，研发了国内最大规格的丝杠硬旋铣数控机床	精度提升一个等级，综合加工效率提升 3 倍以上
刚性	发明了可控加载与微形变补偿装置，研发了滚动功能部件综合刚度高精高效检测装备	重复测量精度从 10% 提升至 3% 以内，检测效率提升 70% 以上，形成了尺寸精度和工艺可控的高刚性设计方法，大幅提升了产品刚度值
预紧力	开发了滚珠丝杠副动态摩擦系数实测技术，研发了预紧力与空载扭矩同步在线测量装置	计算精度较日本 THK 传统公式的 80% 提升至 90% 以上

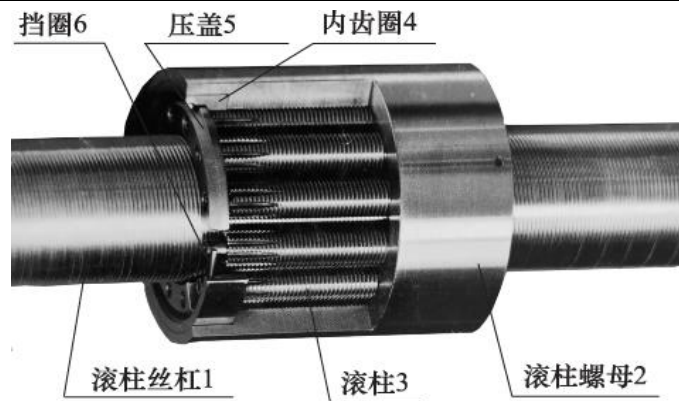
数据来源：《机床工具工业年鉴》，东吴证券研究所

3. 行星滚柱丝杠：人形机器人打开长期成长空间

3.1. 行星滚柱丝杠在承载力、运动平稳性等多方面优于滚珠丝杠

行星滚柱丝杠主要是由滚柱丝杠、滚柱螺母、滚柱、内齿圈、压盖及挡圈组成。滚柱丝杠与滚柱螺母为齿形角 90° 的多头螺纹，滚柱为齿形双凸圆弧的单头螺纹，若干滚柱围绕丝杠均匀分布。当滚柱丝杠旋转时，滚柱既围绕丝杠轴作公转，又围绕自身轴线作自传，带动滚柱螺母作轴向移动。行星滚柱丝杠结构与滚珠丝杠类似，只是传力元件为螺旋滚柱，属于典型的线接触；而滚珠丝杠的传力元件为滚珠，属于点接触。

图20: 行星滚柱丝杠结构图



数据来源:《行星滚柱丝杠副的研究》, 东吴证券研究所



行星滚柱丝杠相比于滚珠丝杠在承载力、运动平稳性、转速及加速度等方面更具优势:
(1) 高转速和高平稳性: 滚柱在丝杠中滚动时无返向机构, 不产生震动, 运行平稳, 转速可达 6000r/min, 加速度可达 7000rad/s²。
(2) 高承载和高刚度: 相同丝杠直径下行星滚柱丝杠承载能力提高 6 倍, 相同负载下节省 1/3 空间, 寿命提高 14 倍, 工作环境温度提高 2 倍, 且采用行星机构控制滚柱运动高速运转时噪声较小。
 但是由于螺纹分度误差及牙型强度等原因, 行星滚柱丝杠的实际承载小于理论承载, 且传动效率和精度方面也与滚珠丝杠存在一定差距, 在润滑良好的情况下行星滚柱丝杠传动效率可接近 90%。

在应用领域方面, 由于行星滚珠丝杠具有较高的综合性能, 当前主要应用在精密加工领域。目前行星滚珠丝杠的应用领域包括航空航天、核动力等特种领域, 比如飞机起落架、直升机悬挂发射装置等。此外在民用市场上对行星滚柱丝杠有一定需求, 如汽车 ABS 系统、电动缸、石油化工等场景。

表4: 行星滚柱丝杠和滚珠丝杠差异比较

类别	滚珠丝杠	行星滚柱丝杠
结构组成	由丝杠、螺母、钢球、导珠管等组成, 丝杠和螺母螺纹为单头或多头, 丝杠、螺母螺纹滚道为单圆弧滚道或双圆弧滚道, 结构简单	由丝杠、螺母、滚柱、内齿圈、压盖、挡圈等组成。丝杠、螺母为齿形角 90° 三角形多头螺纹, 滚柱为双凸圆弧齿形单头螺纹, 结构复杂
外形尺寸	滚珠螺母外形尺寸小	滚柱螺母外形尺寸大
滚动体	滚珠	滚柱
转速及加速度	一般额定最高转速在 3000-5000r/min, 随导程变化有所调整	转速可达 6000r/min, 加速度可达 7000rad/s ²
运动平稳性	滚珠在丝杠循环滚珠链中运动时易产生冲击, 平稳性较弱	滚柱在丝杠中滚动时无返向机构, 不产生震动, 运行平稳
传动效率	由于滚珠外表面粗糙度高且精度高, 滚动摩擦系数小, 传动效率大于 90%	虽滚柱与丝杠、螺母间为点接触及滚动摩擦, 由于滚柱、丝杠和螺母加工误差及表面粗糙等原因, 传动效率一

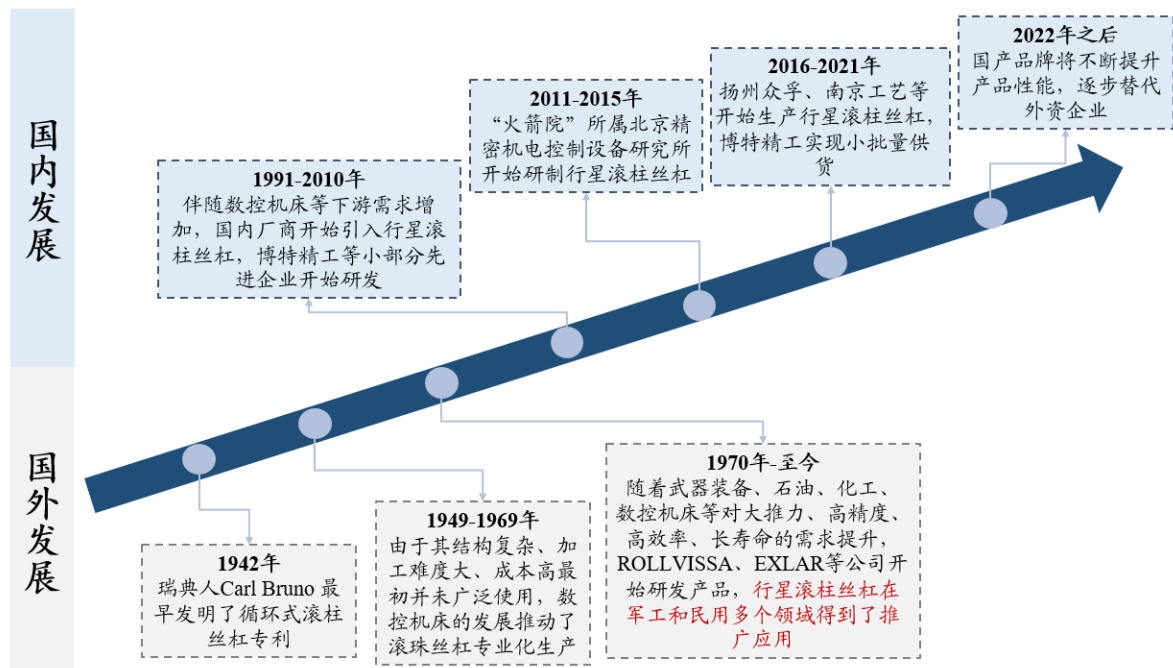
般低于 90%

传动精度	C0 级滚珠丝杠最低可达约 4um/300mm	精度最高的 G1 级可达 6um/300mm
承载	小规格、小导程：承载小 大规格、大导程：承载大	滚柱接触点多，接触承载大，小规格、小导程行星滚柱丝杠承载大于滚珠丝杠
可靠性	结构简单，零件加工及装配精度易于保证，可靠性高	丝杠、螺母为多头细牙螺纹，由于螺纹分度误差及牙型强度等原因，实际承载小于理论承载，可靠性较差
图示		

数据来源：《行星滚柱丝杠副的研究》，东吴证券研究所

国内行星滚柱丝杠行业起步较晚，国产厂商尚不具备规模化量产能力。1942 年瑞典发明家 Carl Bruno 申请滚柱丝杠专利，由于其成本高、结构复杂等原因并未大规模使用，1970 年后逐步受到全球市场重视。国内起步较晚，1990 年后国内才逐步引入行星滚柱丝杠，并仅在部分先进企业中开始研发。

图21：全球行星滚珠丝杠发展历程差异较大，我国处于发展早期阶段



数据来源：《行星滚柱丝杠副的研究》，SKF 官网，东吴证券研究所

从竞争格局来看，目前市场仍主要被外资企业主导。外资头部厂商包括瑞典斯凯孚、瑞士 GSA、德国舍弗勒旗下的 INA 等，均具备系列齐全的相关产品。而国内行星滚柱丝杠生产企业较为稀缺，大部分还处于研发或小批量生产状态，成熟规模应用的产品较少，相关企业包括博特精工、汉江机床、南京工艺等。

表5: 行星滚柱丝杠市场由外资企业主导, 国产厂商起步较晚

公司	国家	成立时间	主要产品	主要应用领域	优势	
斯凯孚	瑞典	1907年	轴承制造和密封件以及轴承相关工具, 滚柱丝杠业务包括行星滚柱丝杠及循环式滚柱丝杠	汽车、电机电器、航空航天、钢铁等	全球轴承厂商之首	
舍弗勒	德国	1946年	INA 和 FAG 品牌的高质量滚动轴承、关节轴承、滑动轴承和直线运动产品	汽车、半导体、工业机器人及自动化、石化等	滚动轴承和直线运动产品	
力姆泰克	瑞士	1970年	非循环式 (RV、BRV)、循环式 (RVR)、反转行星滚柱丝杠 (RVI) 和差动行星滚珠丝杠 (RVD)	机床、工业机器人、军事、航空航天等	特殊规格的超精密行星滚柱丝杠	
外资	GSA	瑞士	1982年	滚柱非循环式 (RGT)、滚柱循环式 (RGTR) 以及反转行星滚柱丝杠 (RGTI)	数控机床、工业机器人、航空航天、武器、冶金设备、汽车等	行星滚珠丝杠产品系列最全、规格型号最多
	Exlar	美国	1922年	电动缸、伺服电动缸、电机、伺服电机、防爆电机、齿轮减速机、驱动器、执行器、电子定位器等	汽车、自动化、油、气、包装等领域	行星丝杠伺服缸制造厂家
	Power Jack	英国	1988年	机电起重、定位和负载监控设备, 行星滚珠丝杠包括标准式和反转式	汽车、机电作动器等	高精密加工
	LTK	德国	1985年	行星滚柱丝杠 (RV、BRV、RVR、RVI、RVD)、直线轴承、滚针轴承、球轴承、滚动直线导轨、滚珠丝杠、齿轮	工业机器人等	线性传动全系列领域产品覆盖
	博特精工	中国	1966年	精密滚珠丝杠、精密滚动直线导轨、高速精密电主轴、X-Y精密双坐标工作台、行星滚柱丝杠等	数控机床、军工装备、核电、航空航天、轨道交通、医疗等	致力于滚动功能部件研究, 已批量生产行星滚柱丝杠
内资	南京工艺	中国	1991年	高精度滚珠丝杠、大型滚珠丝杠、滚动导轨	数控机床、自动化、半导体等	研制出行星滚柱丝杠样品, 额定承载能力为 39t
	汉江机床	中国	1998年	滚珠丝杠、滚动直线导轨、滚动导轨块、滚动花键、螺杆转子副、齿轮齿条、精密工作台和精密零部件	机床、铁路、矿山冶金、石油化工、汽车、通用机械、IT 等	
	思科瑞	中国	2014年	行星滚柱丝杠、衍生电控伺服作动缸	建筑、军工、医疗、能源等	已在部分场合实现国产替代

数据来源: 各公司官网, 东吴证券研究所

从产品性能角度来看, 国内外行星滚柱丝杠产品仍存在较大差距: 1) 载荷方面, 目前国内行星滚柱丝杠承载能力仍未达到国际最大载荷水平; 2) 在精度等级方面, 国

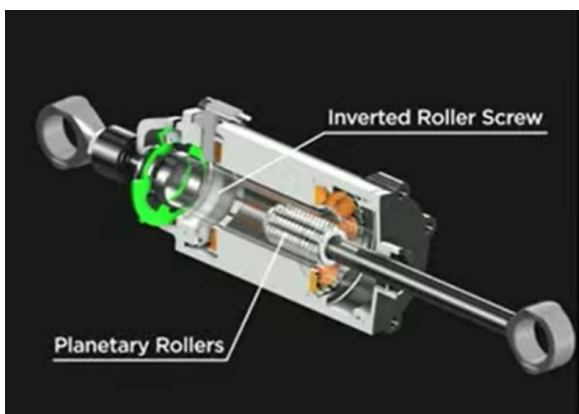
内头部厂商例如博特精工目前仅达到 G3 精度，而外资企业基本已实现 G1-G5 精度全覆盖；3) 在丝杠尺寸范围方面，国内企业能覆盖的公称直径范围远远小于海外厂商，产品种类不够齐全。

3.2. 人形机器人打开行星滚柱丝杠长期市场空间

特斯拉 Optimus 线性关节采用电机+行星滚柱丝杠方案。根据特斯拉 AI Day 发布会披露，特斯拉 Optimus 人形机器人共有 28 个运动关节，包括旋转执行器和线性执行器。旋转执行器主要分布于肩部、髋部等需要大角度旋转的关节；而线性执行器分布于膝肘等摆动角度不大的单自由度关节和腕踝两个双自由度但是体积紧凑的关节。其中旋转关节的方案和传统仿人形机器人基本一致，采用电机+谐波减速机的形式；而线性执行器的分布却与以 Asimo 为代表的传统电伺服机器人差异较大，采用力矩电机+行星滚柱丝杠方案，其中行星滚柱丝杠成本占比可达 56%。

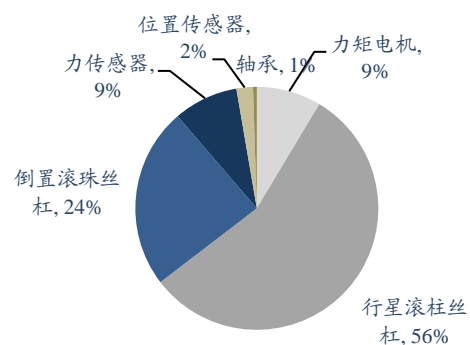
特斯拉 Optimus 独创的线性关节方案，其优势在于能够自锁&提供更大的推力。1) 具备自锁能力：线性执行器的螺杆传动机构通过合理设计可以具备自锁能力，即下半身不动时可以自动锁定姿态，以减少能耗，能够形成一个低功耗且稳定的底部支架。2) 能够提供更大的推力：相较于传统的旋转执行器，线性执行器可以纵向分布，最大限度利用腿部或肘部空间，以布置更大更长的电机，从而提供更大的推力。根据特斯拉 AI Day 发布会展示，一台线性执行器可以吊起一台钢琴，可见其巨大的拉力。

图22: 特斯拉 Optimus 线性关节采用电机+行星滚柱丝杠方案



数据来源：特斯拉 AI DAY，东吴证券研究所

图23: 特斯拉线性执行器从成本拆分（2022 年）



数据来源：特斯拉 AI DAY，东吴证券研究所

具体剖析线性关节方案，采用的是反向行星滚柱丝杠技术。行星滚柱丝杠可分为标准式、反向式、循环式、差动式和轴承环式五大类。一般标准式行星滚柱丝杠中，丝杠为主动件，螺母为输出构件，其优点在于能够实现较大行程，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。而反向式行星滚珠丝杠中，螺母为主动件，丝

杠为输出构件，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，结构更为紧凑，主要用于中小负载、小行程和高速的应用场景。

表6: 行星滚柱丝杠主要分类、优缺点和应用场景

种类	优缺点	应用场景	图例
标准式	目前应用最广泛的行星滚柱丝杠	机床、机器人、军工等	
反向式	优点: 一体化设计，结构紧凑; 缺点: 行程受到螺母内螺纹长度的限制	航空航天、船舶、电力等	
循环式	优点: 具有较高的刚度和较大的承载能力 缺点: 凸轮环结构会产生震动，存在噪音	医疗器械、光学精密仪器	
差动式	优点: 可以获得更小的丝杠导程 缺点: 重载情况下，容易产生磨损和精度丧失、可靠性较低问题	适用于传动比更大的场景	
轴承环式	优点: 较高的承载能力和传动效率 缺点: 结构复杂、径向尺寸大，制造成本高	石油化工、重型机械	

数据来源:《行星滚柱丝杠传动精度分析与设计》，东吴证券研究所

特斯拉人形机器人用反向式行星滚柱丝杠的难点在于体积小&螺母加工难度较高。

1) 体积小: 一般而言，丝杠体积越小加工难度越高，例如 0.05 μm 的精度误差如果存在于外径 30-50mm 丝杠，仍能够稳定流畅运行；但如果存在于外径 10mm 的丝杠上就无法运行。而特斯拉人形机器人用的反向式行星滚柱丝杠，其外径小于一般普通丝杠，加工难度更高。2) 螺母加工难度高: 反向式行星滚柱丝杠的螺母比普通螺母要更长，且与电机转子集成，加工难度很高。

根据我们测算，至 2035 年人形机器人用行星滚柱丝杠市场空间可达 930 亿元，远期空间广阔，测算假设如下:

- (1) **人形机器人销量**: 我们假设远期至 2035 年，人形机器人销量可达 1000 万台;
- (2) **单台人形机器人线性执行器用量**: 按照特斯拉 Optimus 设计，一台人形机器人使用 12 个线性执行器;
- (3) **线性执行器单价**: 假设单价每年下降 10%，至 2035 年下降至 1550 元/套;
- (4) **行星滚柱丝杠占线性执行器成本比重**: 假设稳定在 50%。

表7: 根据我们测算, 至 2035 年人形机器人用行星滚柱丝杠市场空间可达 930 亿元

	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E	2035E
人形机器人销量(万台)①	0.5	3	10	16	22	36	61	100	1000
单个机器人线性执行器用量(个)②	12	12	12	12	12	12	12	12	12
单价(元)③	3600	3240	2916	2624	2362	2126	1913	1722	1550
单价 YOY (%)	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%
单台机器人价值量(万元)⑤=②*③	4.3	3.9	3.5	3.1	2.8	2.6	2.3	2.1	1.9
线性执行器空间(亿元)⑥=①*⑤	2.2	11.7	35	50.4	63.5	91.4	139.9	206.6	1860.0
滚柱丝杠占线性执行器成本比(%)⑦	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
行星滚柱丝杠空间(亿元)⑧=⑥*⑦	1.1	5.9	17.5	25.2	31.8	45.7	70	103.3	930

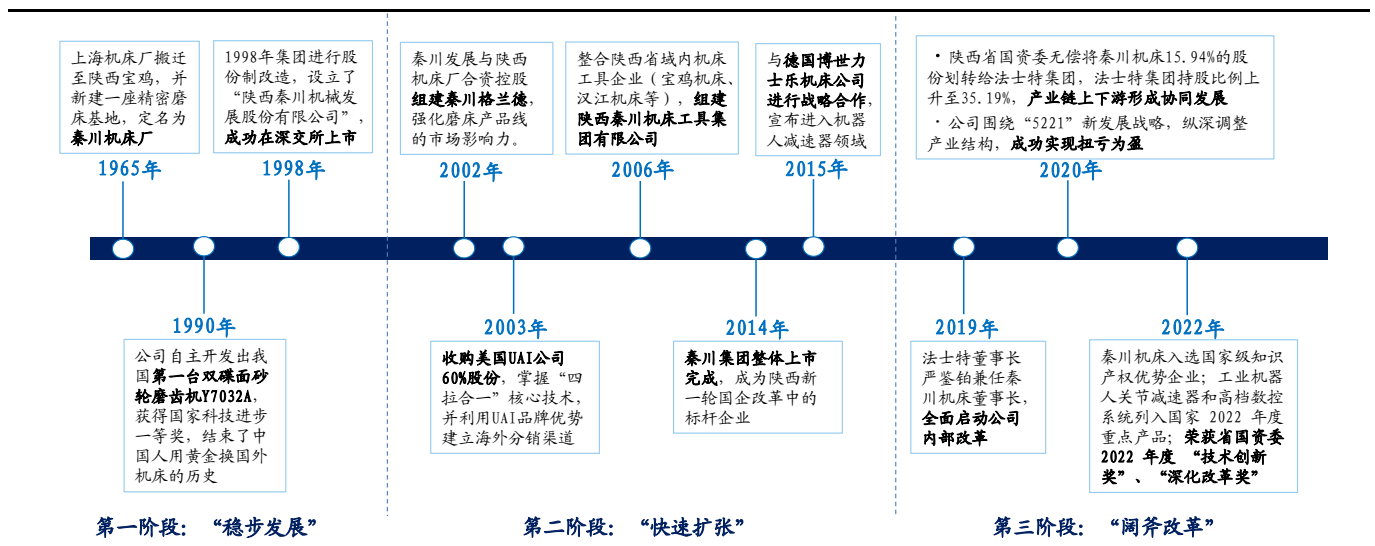
数据来源: Wind, 东吴证券研究所

4. 重点公司介绍

4.1. 秦川机床: 老牌滚动功能部件龙头, 已实现丝杠导轨规模化销售

秦川机床成立于 1965 年, 专业从事机床工具制造, 是国内产品精密复杂程度最高、产业链最完整的企业之一, 引领高端数控机床等前沿技术和设备的研发。集团旗下拥有秦川本部、汉江机床、汉江工具、沃克齿轮、秦川数控等多家专精特新“小巨人”企业, 先后承担国家重大专项 100 余项, 在齿轮加工机床、加工中心、车削中心、螺纹磨床、复杂刀具等领域处于国内第一梯队。

图24: 秦川机床发展历程



数据来源: 公司官网, 陕西国资委官网, 东吴证券研究所

以高端数控机床业务为引领, 向机床产业链上下游延伸, “5221”战略开启老牌机

机床龙头新发展阶段。根据公司 2022 年报，公司主营业务可分为四大块：主机业务、高端制造业务、核心零部件业务、智能制造及核心数控技术业务。“5221”发展战略是指，到“十四五”末，公司实现机床主机收入、高端制造收入、核心零部件收入、智能制造及核心数控技术收入分别占到总销售收入 50%、20%、20%、10%的具体目标。公司坚定推进落实“5221”战略，矢志从国产机床龙头转型升级为覆盖面更广的高端装备制造业龙头企业。

表8: 秦川机床“5221”战略及各实施主体详细拆解

“5221”战略目标	主要产品介绍	产品示意图	销售主体	产品
机床主机收入占比达 50%	精密齿轮加工机床：磨齿机、滚齿机、铣齿机、齿机、车齿机、轮倒角机	 	秦川机床本部	磨齿机、五轴加工中心
	数控车床：CK/BL 系列	 	宝鸡机床	通用数控机床、加工中心
	加工中心：五轴立式加工中心、五轴卧式加工中心、五轴车铣复合加工中心、龙门加工中心、专用加工中心	 		
	精密磨床：外圆磨床、螺纹磨床、刀具磨床、蜗杆磨床	 	汉江机床	螺纹机床
测量设备：GMC 系列齿轮测量中心、OCM 系列光学轴类测量中心	 	秦川格兰德	外圆磨床系列	
高端制造收入占比达 20%	机器人减速器	 	秦川机床本部	机器人关节减速器
	齿轮箱及齿轮零部件：汽车全功率取力器、齿轮箱系列、弧锥齿轮、面齿轮、圆柱齿轮、人字齿齿轮、精密蜗轮副、工程机械分动箱、数控工作台、数控转台、压缩机	 	沃克齿轮	机器人关节减速器

核心零部件 收入 占比达 20%	<p>液压件及液压系统: 元器件类产品、汽车零部件类、液压试验台及液压系统类</p>		秦川机床本部	液压件及液压系统
	<p>滚动功能部件: 丝杠、导轨</p>		汉江机床	零部件, 包括滚珠丝杠和直线导轨
	<p>精密工装夹具: 滚齿夹具、液压涨紧夹具、中空吹塑模具、齿轮磨床金刚石砂轮修整器、过滤机</p>		秦川宝鸡仪表	仪器仪表
	<p>刀具系列: 齿轮刀具、拉削刀具、铣削刀具、冷压刀具、通用刀具</p>		汉江工具	复杂刀具
智能制造和核心数控技术收入占比达10%	<p>数控系统: QCNC6803 数控内孔曲线磨床专用数控系统、QCNC6850 数控系统、成形磨齿机摆线齿轮截形计算软件、减速器传动链精度测试仪</p> <p>智能机床 机床再制造 秦川云</p>		西安秦川数控系统工程(已合并至秦川技术研究院)	数控系统

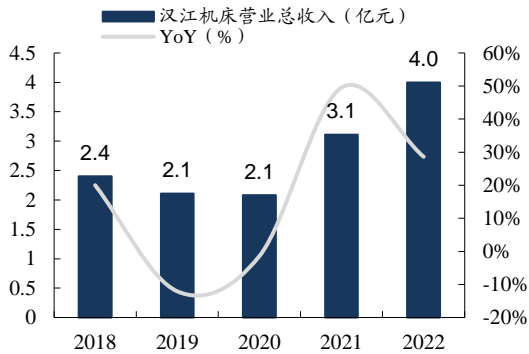
数据来源: 公司 2021 年年报、2022 年年报, 公司官网, 东吴证券研究所

秦川机床下设子公司汉江机床专门负责丝杠导轨业务, 其规模&竞争实力处于国内第一梯队。

1)从规模来看,处于国产厂商前列:汉江机床 2022 年营收达 4.0 亿元,同比+28.8%,实现净利润 2479 万元,同比+162.2%,在行业景气度较低背景下逆势增长。

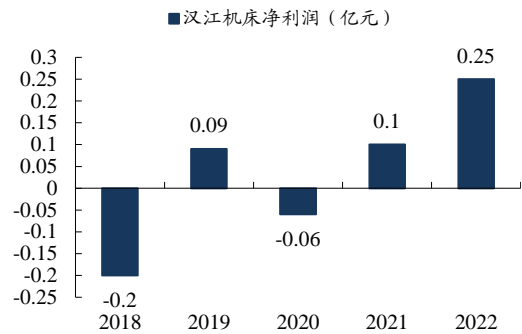
2)从竞争优势来看:①丝杠导轨业务历史悠久,技术沉淀深厚:汉江机床专业从事滚动功能部件 50 余年,是中国机床工具工业协会滚动功能部件分会的会长单位。2020 年,汉江机床完成滚柱直线导轨副等 15 项丝杠产业新产品开发,完成大导程螺母加工工艺等科研创新工作 8 项;③拥有领先的螺纹磨削技术:汉江机床是国内螺纹磨床龙头,掌握了螺纹磨削核心技术,其中丝杠导轨产品精度等级可达 P2-P3,引领核心滚动功能件进口替代;③磨床与丝杠导轨业务协同发展:高精度磨床是丝杠导轨生产的必要设备,公司磨床和滚动功能件业务的无缝对接有效促进研发的良性循环。

图25: 2022年汉江机床营收4.0亿元, 同比+28.8%



数据来源: Wind, 东吴证券研究所

图26: 2022年汉江机床净利润2479万元



数据来源: Wind, 东吴证券研究所

3) 产能方面也积极布局: 2023年6月26日, 公司发布公告, 2022年定增共募集资金总额12.3亿元, 主要聚焦于高端产品研发扩产。其中包括主要应用在新能源汽车领域滚动功能部件研发与产业化建设项目, 项目拟建设滚珠丝杠副、滚珠(柱)导轨副数字化车间。项目达产后预计增加滚珠丝杠/精密螺杆副产能28万件/年、滑动直线导轨产能13万米/年、配套的螺母及滑块产能30万件/年及26万件/年。

表9: 秦川机床2022年定增项目情况介绍(单位: 亿元)

序号	投资项目	项目用途	投资总额	募集资金投资总额	项目达产后年收入	投资回收期(年)
1	秦创原·秦川集团高档工业母机创新基地项目(一期)	用于大型设备及零部件的加工	5.9	4.5	7.5	8.8
2	新能源汽车领域滚动功能部件研发与产业化建设项目	新能源汽车用加工中心等工作母机、新能源汽车转向系统及刹车系统	2.0	1.8	5.0	6.5
3	新能源乘用车零部件建设项目	新能源汽车传动齿轮	1.5	1.3	2.6	6.2
4	复杂刀具产业链强链补链赋能提升技术改造项目	用于金属切削机床	1.2	1.0	1.6	6.9
5	补充流动资金	满足快速扩展业务的要求	3.7	3.7	—	—

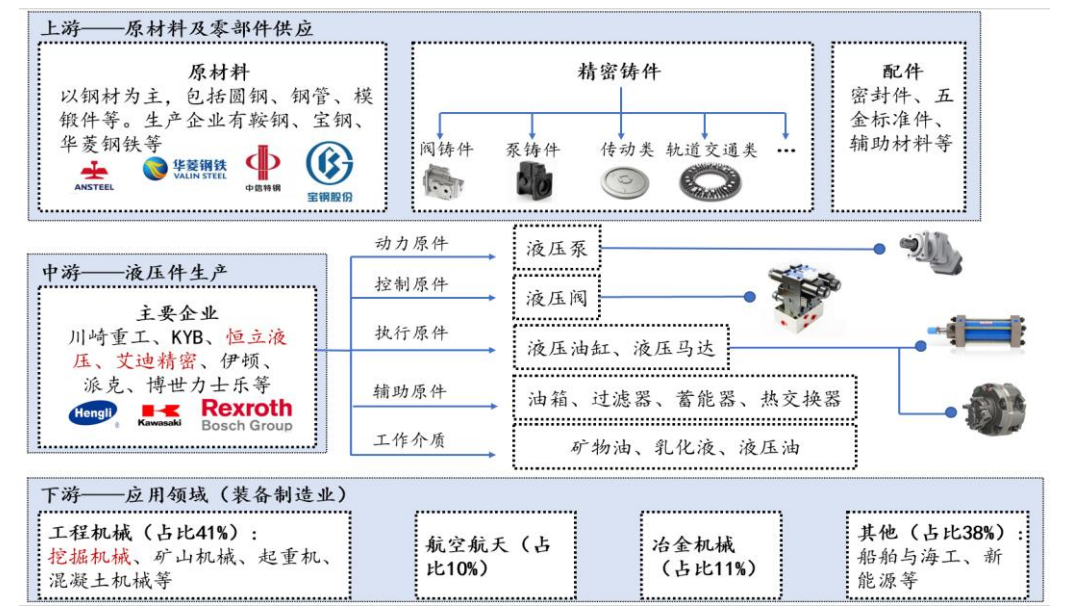
数据来源: 公司公告, 东吴证券研究所

4.2. 恒立液压: 国产液压传动龙头, 布局丝杠导轨扩大传动领域覆盖面

恒立液压是国产高端液压件稀缺龙头, 坚持液压传动领域技术革新。恒立液压是一家专业生产液压元件及液压系统的公司, 主营产品包括液压油缸、液压泵阀、油缸配件、液压系统、挖掘机专用油缸等。在液压件市场中应用最广、技术密度最高之一的挖机板块, 2020年公司已占据国内挖机油缸54%销量份额, 在非挖领域, 恒立液压主要有高

机、海工海事、盾构机、新能源四个业务板块，是其重要的业绩稳定器。

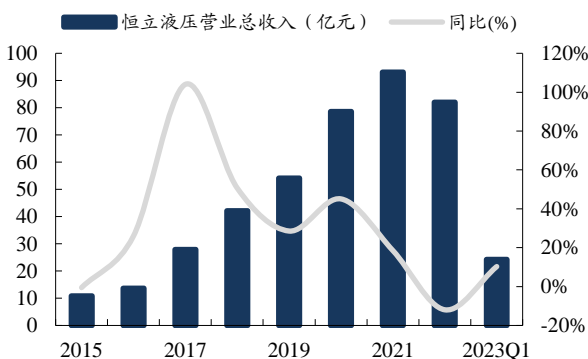
图27：挖机产业链上下游图解



数据来源：前瞻产业研究院，公司公告，东吴证券研究所

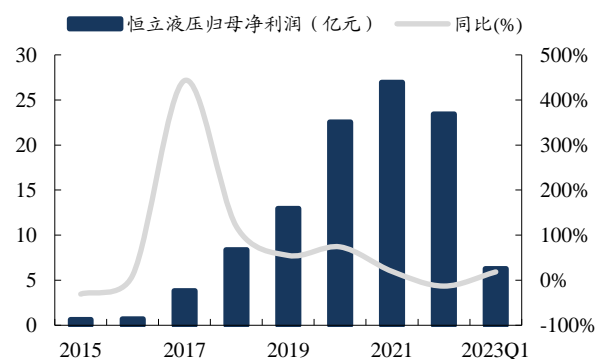
受益挖机核心零部件国产替代，公司业绩快速增长。恒立液压与三一、徐工、柳工等国内龙头主机厂合作关系紧密，下游复苏率先受益。2016下半年以来国内挖掘机市场进入上行周期，油缸等核心零部件供不应求，国产替代加速，恒立液压迎发展机遇，份额快速提升。2016-2022年，恒立液压挖机油缸销量从14万只增加到63万只，收入从5亿元增长至28亿元。按行业销量测算，2016-2022年恒立挖机油缸市占率从53%提升至66%。2022年以来，工程机械行业进入下行周期，恒立液压业绩受到影响，但公司逐步拓展至挖机以外的新赛道，有望穿越周期实现逆势增长。

图28：2022年公司营业总收入82.0亿元，同比-12%



数据来源：Wind，东吴证券研究所

图29：2022年公司归母净利润23.4亿元，同比-13%



数据来源：Wind，东吴证券研究所

定增项目加码滚珠丝杠产品线，公司未来发展战略布局。2021年9月，恒立液压发布定向增发项目，拟定增募集资金总额50亿元，主要用于墨西哥项目、线性驱动器项目、国际研发中心项目、通用液压泵技改项目、超大重型油缸项目和补充流动资金。其中，线性驱动器项目主要聚焦于电动缸和滚珠丝杠设备研发，电动缸是液压缸和气动缸的升级产品，具有性能可靠、动作灵敏特点，而滚珠丝杠是电动缸的关键零部件，也是公司未来重点开拓市场之一。项目达产后，预计产能标准滚珠丝杠电动缸10.4万根。重载滚珠丝杠电动缸4500根、行星滚柱丝杠电动缸750根，并具备10万米标准滚珠丝杠和10万米重载滚珠丝杠的生产能力。

表10: 恒立液压2021年定增项目情况介绍(单位: 亿元)

序号	投资项目	项目用途	投资总额	募集资金投资总额	项目达产后年产能
1	恒立墨西哥项目	用于完善海外供应体系，开拓北美市场	12.3	11.0	油缸200440根，延伸缸和其他特种油缸62650根，液压泵和马150000台
2	线性驱动器	电动缸是液压缸的升级产品，滚珠丝杠是电动缸的核心零件，完善产品体系。	15.3	14.0	标准滚珠丝杠电动缸104000根。重载滚珠丝杠电动缸4500根、行星滚柱丝杠电动缸750根
3	恒立国际研发中心项目	整合公司内部研发资源、优化基础研发条件，提升研发效率	6.5	5.7	—
4	通用液压泵技改项目	开拓通用液压泵阀市场领域	3.1	2.9	通用液压泵70000台
5	超大重型油缸项目	完善公司非标定制化超大重型油缸生产能力	1.5	1.4	形成年产2800吨非标定制超大重型油缸的生产能力
6	补充流动资金	满足快速扩展业务的要求	15.0	15.0	—

数据来源: 公司公告, 东吴证券研究所

恒立液压在滚珠丝杠业务方面的优势体现在:

1) 凭借在液压领域的深厚积累，拥有精密加工制造能力: 公司掌握了高精密液压铸造、摩擦焊接、热处理、高压密封、测试和机加工等核心技术，并具备较高的工艺集成能力和深厚的工艺基础数据积累，通过优化关键工艺，提高生产线的运行效率和制造水平，能够实现滚珠丝杠产品的高质量生产。

2) 实力雄厚，在制造设备设施方面拥有领先优势: 恒立液压是全球范围内少数拥有自制铸件厂的液压企业之一，拥有开展精密加工制造的基础条件，目前拥有3个“江苏省示范智能车间”并实施严格的5S管理，投资配备了全球领先的生产制造设备。

4.3. 贝斯特：汽车涡轮增压器龙头，切入丝杠导轨领域打开成长空间

贝斯特成立于1997年，主营业务为各类精密零部件及工装夹具产品的生产、销售及研发。公司发展历程主要可以分为以下几个阶段：

(1) 1997-2019年：公司以工装夹具起家，后通过外企联合开发和自研技术创新，完成了涡轮增压器零部件的技术领跑和市场稳开拓，产品覆盖叶轮、中间壳、轴承件、压气机壳等高价值量高难度零件。

(2) 2019-2022年：2019年公司敏锐把握新能源汽车市场爆发机会，收购苏州赫贝斯51%股权，成功进入特斯拉供应链，主要供给铝合金结构件，并于2020年发行可转债，募集资金5.3亿元，用于加快新能源汽车功能部件的开发。

(3) 2022年至今：2022年公司再次调整战略方向，设立全资子公司宇华精机，开启直线滚动功能部件产品研发，进军工业母机领域。目前已有滚珠丝杠副、直线导轨副等产品成功生产落地。

图30：贝斯特发展历程



数据来源：贝斯特官网，东吴证券研究所

产品线多维发展，丝杠导轨有望成为公司未来发展支柱。贝斯特主营产品经历了智能装备—涡轮增压零部件—新能源汽车零部件—滚珠丝杠的变化历程。

1) **智能装备中**，工装夹具是公司创立之初首发产品，经过 20 余年的发展，向着感知、智能、自适应、数字化方向发展新一代智能夹具；

2) **涡轮增压零部件**：公司是国内涡轮增压器零部件龙头，主要产品包括涡轮增压器精密轴承件、叶轮、中间壳、压气机壳、发动机缸体等，与盖瑞特、康明斯、博格华纳、三菱重工等全球领先的涡轮增压器和发动机相关制造企业建立了长期稳定的业务合作关系。受益于涡轮增压器自身渗透率的提升&混动车高搭载率带来的增量，公司涡轮增压器板块有望保持稳健增长。

3) **新能源汽车零部件**：公司依托精密加工能力，积极布局新能源汽车领域，主要产品包括纯电动汽车载充电机模组、驱动电机零部件、控制器零部件、底盘安全件等以及氢燃料电池汽车空压机叶轮、空压机压力回收和整流器、电机壳、轴承盖以及功能部件等新能源汽车零部件。

图31：贝斯特产品矩阵图



数据来源：公司官网，东吴证券研究所

切入机床丝杠导轨领域，有望打开长期成长空间，而贝斯特在丝杠导轨领域的优势主要包括：

1) **拥有客户基础**: 贝斯特以机床工装夹具业务起家, 积累了大量的机床客户, 切入机床滚珠丝杠领域, 有一定的客户复用。

2) **机加工能力强并能够在内部自行验证**: 贝斯特作为机加工出身企业, 拥有数百台机床, 滚珠丝杠产品能够自产自研, 加速迭代研发;

3) **送样进展较快**: 目前贝斯特首台套滚珠丝杠&导轨产品已经成功下线并送样, 有望于 2024 年迎来批量订单。

4.4. 鼎智科技: 工控微特电机龙头, 发力多元业务

鼎智科技成立于 2008 年, 是以微特电机为主要构成的定制化精密运动控制解决方案提供商。公司主要产品包括线性执行器、混合式步进电机、直流电机、音圈电机及其组件等, 被广泛应用于医疗设备、机器人自动化等领域。公司控股股东为上市公司江苏雷利, 江苏雷利为国产电机龙头, 与公司形成很好的协同效应。

图32: 鼎智科技产品矩阵图



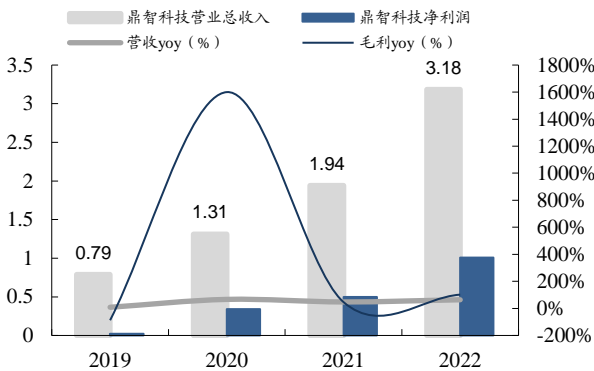
数据来源: 公司官网, 东吴证券研究所

近年来公司营收增速较快, 其中线性执行器业务为主要收入来源。2019-2022 年公司营收从 0.79 亿元提升至 3.18 亿元, CAGR=34.2%, 其中线性执行器贡献大部分收入。

2022 年公司线性执行器收入 1.9 亿元，占总营收比重为 60%。利润端公司表现也非常优异，归母净利润从 2019 年的 0.02 亿元提升至 1.01 亿元。

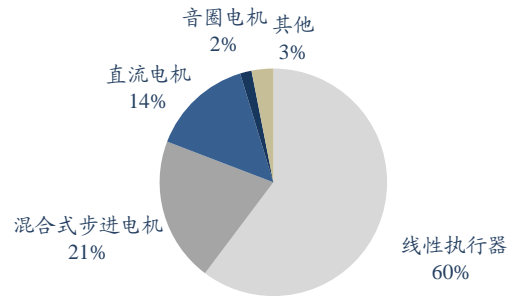
2023Q1 在制造业复苏不及预期背景下，依旧保持业绩快速增长。公司实现营收 1.33 亿元，同比+81.45%；实现归母净利润 0.38 亿元，同比+51.7%，主要系呼吸机需求快速释放带来音圈电机的迅速放量。

图33: 鼎智科技 2019-2022 年营收&净利变化



数据来源: Wind, 东吴证券研究所

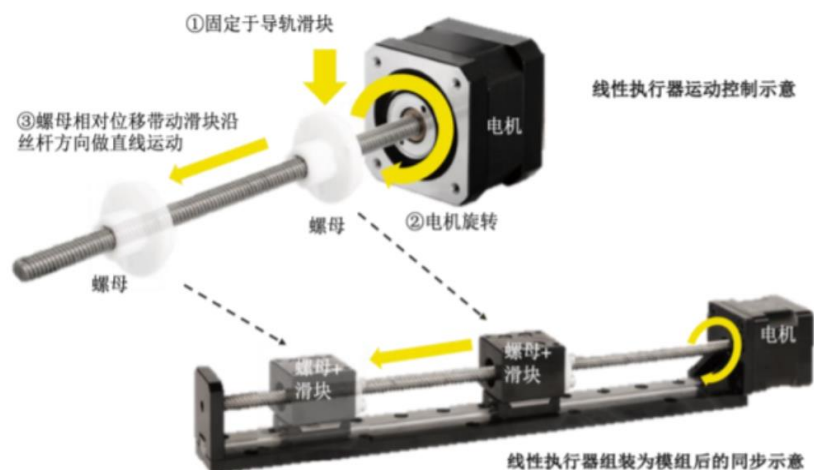
图34: 鼎智科技 2022 年分业务营业收入占比



数据来源: Wind, 东吴证券研究所

公司线性执行器产品以步进电机为主要构成，将丝杠与电机转子直接连接，配备螺母通过与丝杠的相对位移实现电机旋转运动向直线运动的转化，从而使得电机提供简单有效的直线运动。按照传动电机种类及传动螺母类型，线性执行器可分为滑动丝杠线性执行器、滚珠丝杠线性执行器和永磁电机线性执行器三大类。

图35: 线性执行器运动控制原理示意图



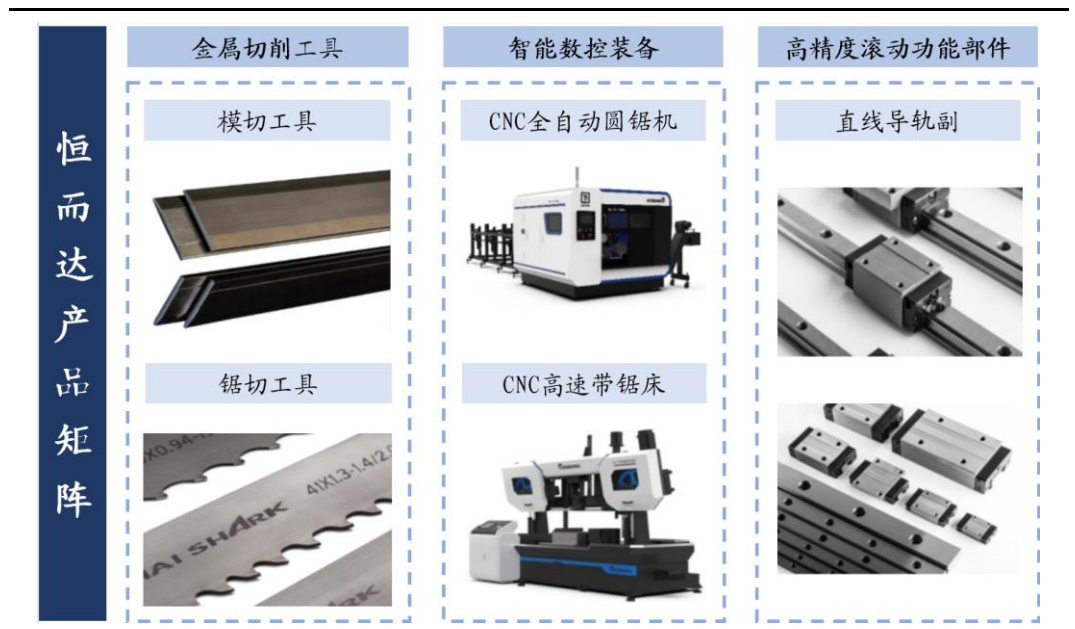
数据来源: 鼎智科技招股书, 东吴证券研究所

特斯拉人形机器人线性关节采用电机+反向式行星滚柱丝杠结构，而鼎智科技同时掌握微特电机&丝杠螺母制造技术，足以满足人形机器人线性关节执行器制造要求，未来有望深度受益于人形机器人快速放量。

4.5. 恒而达：金属切削工具优质厂商，导轨业务已初具规模

恒而达系国内金属切削工具领域龙头企业，主营业务包括金属切削工具、智能数控装备及高精度滚动功能部件的研发、生产及销售。其中金属切削工具产品包括模切工具、锯切工具、裁切工具等，智能数控装备产品包括 CNC 全自动圆锯机、高速数控带锯床、柔性材料智能裁切机等，高精度滚动功能部件主要产品为直线导轨副，系公司 2022 年度正式产业化推出的产品。

图36：恒而达产品矩阵图



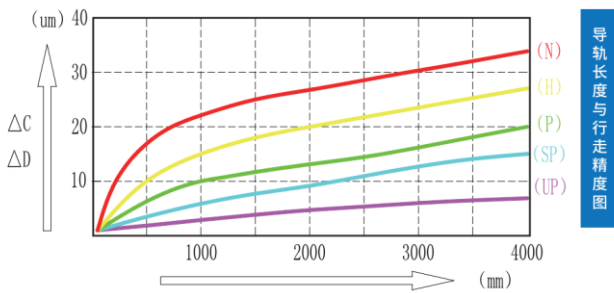
数据来源：恒而达官网，东吴证券研究所

恒而达自制机床设备的过程中，发现中高端导轨市场供给不稳定，且主要供应商来自于海外，遂于 2018 年开始准备进入导轨市场。为了加快直线导轨副产品的产业化速度，公司打破常规项目实施方式，通过先租后建的方式（即通过先租赁第三方生产线进行生产工艺验证测试，并同步进行自有生产线设计建设的方式），在一年内完成了直线导轨副产品的生产工艺验证、专用生产设备研发、生产线设计建设及小批量试产工作。2022 年恒而达直线导轨副产品已实现销售收入 444.4 万元，初具规模。

从产品精度来看，恒而达目前导轨产品按照 P 级标准生产，产品精度已位于国产厂商前列。在销售策略方面，考虑到恒而达为导轨行业新进入者，公司采取“以高打低”策略，即产品精度为 P 级但以 H 级价格出售，以期迅速打开国内市场。从发展目标角度

来看，公司短期目标即通过加大研发&迅速扩产，将导轨业务做大做强；中长期来看，公司有望切入滚珠丝杠市场，形成丝杠与导轨的协同销售。同时在设备方面，公司具备自制数控装备的能力，虽然目前大部分导轨生产设备均为外采，但未来公司计划凭借自身的装备生产能力，实现大部分丝杠导轨加工设备的自制。

图37: 导轨长度与行走精度图



数据来源: 恒而达官网, 东吴证券研究所

图38: 导轨按精度分类及相关指标

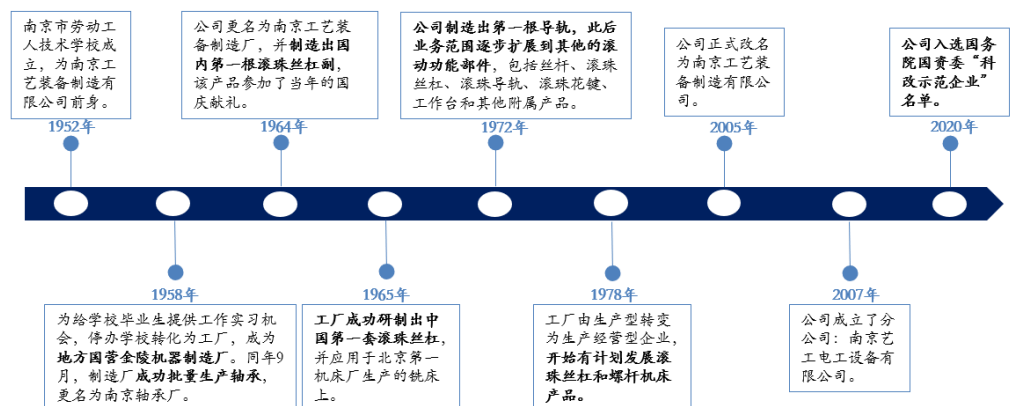
项目	精密等级				
	一般级 (N)	高级 (H)	精密级 (P)	超高级 (SP)	最顶级 (UP)
组合高公差 (H)	±0.1	±0.04	0-0.04	0-0.02	0-0.01
组合宽公差 (W)	±0.1	±0.04	0-0.04	0-0.02	0-0.01
单轴成对组合高公差 (ΔH)	0.03	0.02	0.01	0.005	0.003
单轴成对组合宽公差 (ΔW)	0.03	0.02	0.01	0.005	0.003
平面 C 相对于平面 A 的行走精度	ΔC 参考上图、左表				
平面 D 相对于平面 B 的行走精度	ΔD 参考上图、左表				

数据来源: 恒而达官网, 东吴证券研究所

4.6. 南京工艺: 技术积累深厚的老牌滚动功能部件龙头

南京工艺装备制造有限公司(以下简称“南京工艺”)脱胎于南京轴承厂,并于1964年制造出国内第一根滚珠丝杠副,应用在北京第一机床厂的铣床上。1972年南京工艺研制出国内第一根导轨副,此后业务范围逐步扩展到其他的滚动功能部件,包括滚珠花键、工作台和其他附属产品。目前公司是国内历史最悠久,技术积累最为深厚的老牌滚动功能部件龙头,产品性能处于国内领先水平。

图39: 南京工艺发展历程



数据来源: 南京工艺官网, 东吴证券研究所

图40：南京工艺主要产品包括滚动导轨副、滚珠丝杠副、滚动花键副等

滚动导轨副			滚珠丝杠副					滚动花键副		其他	
GZB AA/AAL 滚柱重载直线 导轨副	GZB BA/BAL 滚柱重载直线 导轨副	GGB AA/AAL 精密滚珠直线 导轨副	DKF紧凑型 高速精密滚 珠丝杠副	DKFZD紧 凑型高速精 密滚珠丝杠 副	DKF型高 速精密滚 珠丝杠副	DKFZD型 高速精密滚 珠丝杠副	XDK轻载型旋 转螺母组合单 元	GJZ型凸缘式 滚动花键副尺 寸系列	GJZA型凸缘 式重型滚动花 键副	模组：MK系列模组	
GGB AB/ABL 精密滚珠直线 导轨副	GGB BA/BAL 精密滚珠直线 导轨副	GGC微型滚动 直线导轨副	全电动注塑 机用高负载 驱动滚珠丝 杠副	JF型大型重 载滚珠丝杠 副	JFZD型大 型重载垫 片预紧滚 珠丝杠副	FFZ型内循 环浮动式增 大滚珠直径 预紧滚珠丝 杠副	XJD重载型旋 转螺母组合单 元	GJF凸缘式滚 动花键副尺寸 系列	GJH型凸缘方 形滚动花键副 尺寸系列	行星滚柱丝杠副	
GGY滚动圆弧 导轨副	GZD滚柱导轨 块	GZV滚柱交叉 导轨副	FFB型内循 环浮动式变 位导程预紧 滚珠丝杠副	FFZD型内循 环浮动式垫 片预紧滚珠 丝杠副	FFZL内循 环浮动式 螺纹预紧 滚珠丝杠	JF型微型滚 珠丝杠副		GJZG型凹槽 式滚动花键副	GJFG型凹槽 式滚动花键副 尺寸系列	数控精密工作 台	铝合金结构工 作台

数据来源：南京工艺官网，东吴证券研究所

南京工艺滚动功能部件产品在精度和规格等诸多方面，全面领先于国内同行。

1) 产品规格方面：公司当前能够生产滚珠丝杠最小规格产品的直径为 8mm，导程为 1.5mm；而能够生产最大规格产品的直径可达 200mm，导程为 40mm；可以供应适应各种应用场合的产品。

2) 产品精度方面：公司滚珠丝杠产品最高精度可达 P1 级别，并可实现 P2 级精度丝杠稳定供应，领先于国内其余厂商。

南京工艺滚动功能部件产品性能国内领先，主要得益于强大的设备能力和丰富的技术资源积累。设备方面，公司拥有德国高速硬体旋铣螺纹加工中心，INDEX 车铣复合加工中心、日本高精度螺纹磨床等多种类高精尖设备，赋能高精密丝杠导轨的生产。技术方面，公司作为国内历史最悠久的滚动功能部件厂商，技术积累深厚。为打破国外壁垒，先后组建中国机械工业滚动功能部件工程研究中心、江苏省认定企业技术中心，以持续进行技术研发。

5. 投资建议

丝杠导轨行业受益于机床自主可控&人形机器人历史性发展机遇，未来市场空间广阔。推荐【秦川机床】老牌滚动功能部件龙头，已实现丝杠导轨规模化销售；【恒立液压】国产液压传动龙头，布局丝杠导轨扩大传动领域覆盖面。建议关注【贝斯特】【鼎智科技】【恒而达】，以及未上市的【南京工艺】等相关标的。

图41: 相关公司盈利预测与估值情况 (截至 2023 年 7 月 6 日收盘, 单位: 亿元)

证券代码	公司	收盘价 (元)	市值	2023归母 净利润	2024归母 净利润	2025归母 净利润	2023PE	2024PE	2025PE
000837.SZ	秦川机床	15.6	157.5	3.35	4.56	6.00	47	35	26
601100.SH	恒立液压	64.9	869.8	27.38	31.62	41.02	32	28	21
873593.BJ	鼎智科技	123.0	59.1	1.31	1.77	2.39	45	33	25
300580.SZ	贝斯特	23.2	74.4	2.68	3.41	4.20	28	22	18
300946.SZ	恒而达	38.9	46.6	1.36	1.94	2.27	34	24	21

数据来源: Wind, 东吴证券研究所 (其中秦川机床、恒立液压盈利预测来自于东吴机械组, 贝斯特、恒而达盈利预测来自于 Wind 一致预期)

6. 风险提示

- 数控机床行业景气度不及预期:** 数控机床行业景气度受下游制造业景气度影响较大, 若下游通用设备制造业复苏不及预期, 机床及零部件行业需求将受到较大影响。
- 人形机器人产业化不及预期:** 因市场需求不足、应用场景未打开等因素影响, 存在人形机器人产业化进程不及预期的可能性。
- 丝杠导轨行业竞争加剧风险:** 丝杠导轨市场空间大, 新进入玩家众多, 尚无法完全排除竞争加剧风险。

免责声明

东吴证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

本研究报告仅供东吴证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议，本公司及作者不对任何人因使用本报告中的内容所导致的任何后果负任何责任。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。

在法律许可的情况下，东吴证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

市场有风险，投资需谨慎。本报告是基于本公司分析师认为可靠且已公开的信息，本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，也不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。

本报告的版权归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。经授权刊载、转发本报告或者摘要的，应当注明出处为东吴证券研究所，并注明本报告发布人和发布日期，提示使用本报告的风险，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。未经授权或未按要求刊载、转发本报告的，应当承担相应的法律责任。本公司将保留向其追究法律责任的权利。

东吴证券投资评级标准

投资评级基于分析师对报告发布日后 6 至 12 个月内行业或公司回报潜力相对基准表现的预期（A 股市场基准为沪深 300 指数，香港市场基准为恒生指数，美国市场基准为标普 500 指数，新三板基准指数为三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）），具体如下：

公司投资评级：

- 买入：预期未来 6 个月个股涨跌幅相对基准在 15% 以上；
- 增持：预期未来 6 个月个股涨跌幅相对基准介于 5% 与 15% 之间；
- 中性：预期未来 6 个月个股涨跌幅相对基准介于 -5% 与 5% 之间；
- 减持：预期未来 6 个月个股涨跌幅相对基准介于 -15% 与 -5% 之间；
- 卖出：预期未来 6 个月个股涨跌幅相对基准在 -15% 以下。

行业投资评级：

- 增持：预期未来 6 个月内，行业指数相对强于基准 5% 以上；
- 中性：预期未来 6 个月内，行业指数相对基准 -5% 与 5%；
- 减持：预期未来 6 个月内，行业指数相对弱于基准 5% 以上。

我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重建议。投资者买入或者卖出证券的决定应当充分考虑自身特定状况，如具体投资目的、财务状况以及特定需求等，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。

东吴证券研究所
 苏州工业园区星阳街 5 号
 邮政编码：215021
 传真：（0512）62938527
 公司网址：<http://www.dwzq.com.cn>