

## 机械设备

2024年12月22日

## 人形机器人丝杠走向量产，国产丝杠领跑全球

——行业周报

投资评级：看好（维持）

孟鹏飞（分析师）

罗悦（分析师）

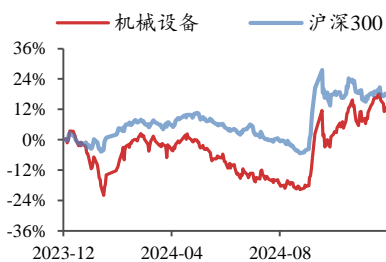
mengpengfei@kysec.cn

luoyue@kysec.cn

证书编号：S0790522060001

证书编号：S0790524090001

### 行业走势图



数据来源：聚源

### 相关研究报告

《机器狗为首发经济重要分支，民用市场大有可为——行业周报》

-2024.12.15

《大国科技博弈持续，设备及零部件为自主可控基石——行业点评报告》

-2024.12.10

《军工有望成为机器人优先落地场景，四足机器狗领衔——行业周报》

-2024.12.8

### ● 丝杠：人形机器人价值量最高的核心硬件

自2022年特斯拉首次在人形机器人关节模组引入行星滚柱丝杠，丝杠已经成为人形机器人价值量占比最高的关键硬件。特斯拉机器人历次迭代最大的边际变化就是丝杠用量持续增加。除线性关节外，灵巧手也使用微型滚珠或者滚柱丝杠；成本占到机器人整体约20%，我们按照人形机器人量产百万台测算，仅特斯拉带来的机器人丝杠市场有望从现在的数亿元扩容至252亿元。我们认为，类比特斯拉在星舰项目中的模式，未来同样会将机器人平台开源，进一步推动供应链量产降本，同时其他人形机器人企业也会以特斯拉的路线和供应链为导向。目前国内近百家人形机器人企业中，使用丝杠方案仅为个位数，未来渗透率有望大幅提升，丝杠的市场空间进一步打开。

人形机器人丝杠需要达到C5级精度，规模化量产壁垒高精度为丝杠的核心技术难点，直接决定了性能及应用领域。根据JIS标准，丝杠的精度等级从C0到C10，其中C0为最高精度，代表丝杠在任意300mm长度内的误差最大为3.5微米。综合人形机器人算法、传感能力及降本维度考虑，我们预计人形机器人丝杠精度需达到C5级。C5精度在丝杠领域属于中高端产品，要求理解电机（需与电机输出功率匹配）输出，同时对材料的理解、内螺纹加工、热处理、车铣加工、螺纹加工、磨制和组装、生产设备定制、刀具管理、检测能力、专业技术人员等都提出了很高的要求。从样品试制、小批量生产、大规模制造交付是三道门槛。

### ● 国内丝杠企业具备量产优势，首个大规模量产项目走向落地

此前行星滚柱丝杠在全球范围内应用有限，具备规模化量产能力的企业极少。国内厂商积极拥抱人形机器人，加大研发、工艺投入和积极做量产准备，相比国外厂商有望更快实现落地。12月18日，杭州新剑传动年产100万台人形机器人及汽车行星滚柱丝杠产业化项目开工，成为全球第一家公布大规模量产的企业。国内丝杠企业具备量产优势，三类具备丝杠底层技术的企业包括：（1）长期深耕丝杠行业的企业：南京化纤（南京工艺）、新剑传动等；（2）精密磨具、精密部件等技术同源性的企业：震裕科技、五洲新春、贝斯特、双林股份等；（3）其他具备精密加工能力的企业：恒立液压。

### ● 投资建议

受益标的：（1）丝杠：五洲新春、震裕科技、南京化纤、双林股份（2）丝杠设备和刀具：浙海德曼、集智股份、秦川机床、恒锋工具、华锐精密。

● 风险提示：宏观经济波动风险；机器人量产不及预期；供应链发展不及预期。

## 内容目录

1、 丝杠：人形机器人价值量最高的核心硬件.....	3
1.1、 丝杠为人形机器人价值量最高的核心部件.....	3
1.2、 国产机器人丝杠渗透率提升空间大，丝杠市场有望进一步打开.....	4
1.3、 规模化量产壁垒高精度为丝杠的核心技术难点.....	5
2、 人形机器人丝杠重大量产项目落地，国内供应链有望领跑全球.....	7
2.1、 国内丝杠企业具备量产优势，首个大规模量产项目走向落地.....	7
2.2、 三类具备丝杠底层技术的企业.....	8
3、 投资建议.....	8
4、 风险提示.....	9

## 图表目录

图 1： 行星滚柱丝杠由螺母、丝杠和滚柱组成.....	3
图 2： 丝杠应用于人形机器人的线性执行器中.....	3
图 3： 特斯拉 Gen1 灵巧手采用“腱绳+蜗轮蜗杆”的传动方案.....	4
图 4： 特斯拉 Gen3 灵巧手应采用“腱绳+丝杠”的传动方案.....	4
图 5： 行星滚柱丝杠以及滚珠丝杠的主要生产流程.....	7
图 6： 新剑传动年产 100 万台人形机器人及汽车行星滚柱丝杠产业化项目.....	8
表 1： 丝杠具有高承载力、高精度和刚性等突出优势.....	5
表 2： JIS 丝杠精度等级划分标准（丝杠在任意 300mm 长度内的最大误差）.....	6
表 3： C5 精度丝杠属于中高端产品，精度要求较高.....	6

## 1、丝杠：人形机器人价值量最高的核心硬件

### 1.1、丝杠为人形机器人价值量最高的核心部件

丝杠是人形机器人非常重要的部件，成本占到机器人整体约 20%，为价值量最高的核心部件。丝杠是将旋转运动转化为直线运动的部件，特斯拉机器人线性关节应用行星滚柱丝杠，灵巧手应用微型滚珠丝杠。根据大规模量产后人形机器人成本 2 万美金，按照行星滚柱丝杠单价 1000 元，单机用量 18 根，微型滚珠丝杠单价 300 元，单机用量 24 根，丝杠 ASP 达 2.5 万元，占到人形机器人 BOM 成本约 20%，是人形机器人价值量最高的核心部件。

图1：行星滚柱丝杠由螺母、丝杠和滚柱组成

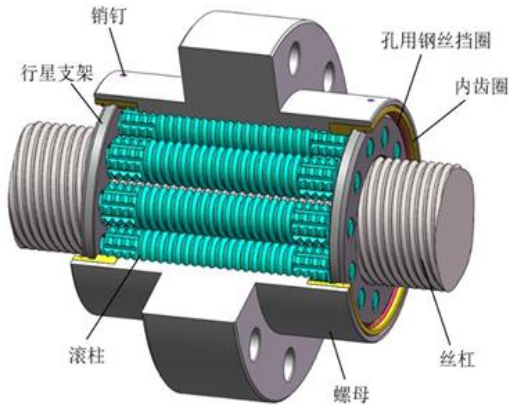
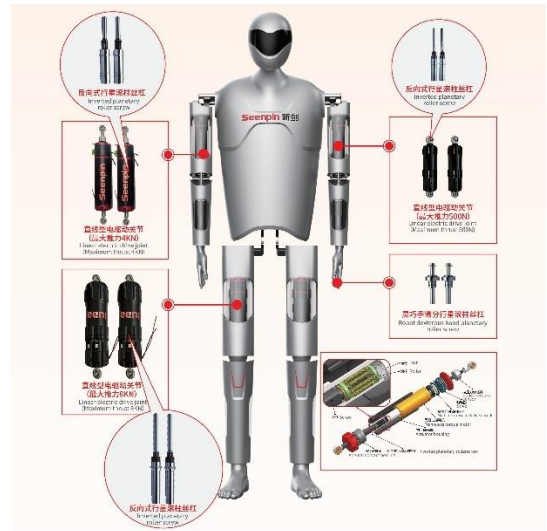


图2：丝杠应用于人形机器人的线性执行器中



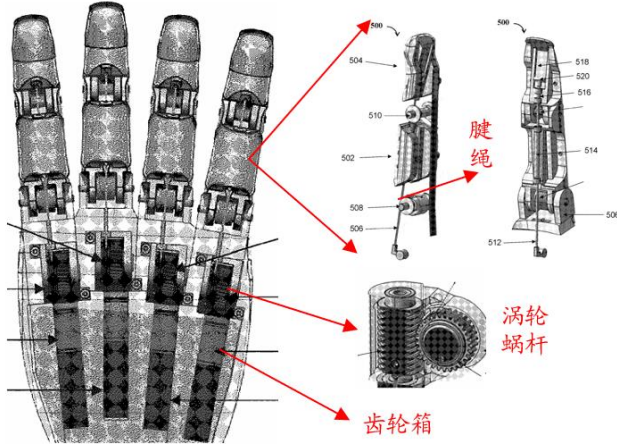
资料来源：郑伟《精密行星滚柱丝杠副工艺制造与传动性能研究》

资料来源：新剑传动

我们按照人形机器人量产百万台测算，仅特斯拉带来的机器人丝杠市场有望从扩容至 252 亿元。我们按照人形机器人量产百万台时，单台机器人行星滚柱丝杠数量 18 根、单价 1000 元，微型滚珠丝杠数量 24 根、单价 300 元，机器人丝杠市场有望扩容至 252 亿元，其中行星滚柱丝杠市场扩容 180 亿元，微型滚珠丝杠市场扩容 72 亿元。

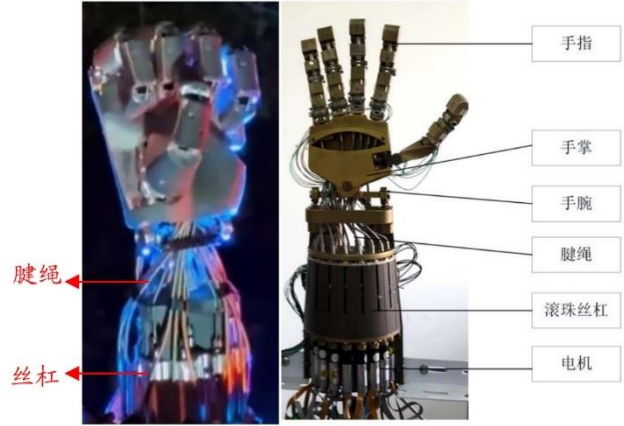
特斯拉机器人迭代，最大的边际变化是丝杠用量持续增加。特斯拉机器人历史迭代最大的边际变化就是丝杠用量持续增加。除线性关节外，灵巧手也使用微型滚珠或者滚柱丝杠。

图3：特斯拉 Gen1 灵巧手采用“腱绳+蜗轮蜗杆”的传动方案



资料来源：特斯拉、开源证券研究所

图4：特斯拉 Gen3 灵巧手应采用“腱绳+丝杠”的传动方案



资料来源：特斯拉、开源证券研究所

## 1.2、国产机器人丝杠渗透率提升空间大，丝杠市场有望进一步打开

此前丝杠的主要痛点在于成本高、有量产能力的供应商少、配套控制算法不成熟等，限制在丝杠在机器人领域的应用。早期丝杠的制造成本较高，生产精密的丝杠和配套部件需要大量投入，有量产能力的供应商少，高成本成为应用障碍。此外，过去丝杠产品普遍较重，占据较大空间，限制了人形机器人在高机动性和灵活性的应用。在早期人形机器人算法不够完善背景下，精确控制丝杠的动作、避免误差积累也成为一大挑战。以上因素限制了丝杠在人形机器人领域的应用。

丝杠具有高承载力、高精度和刚性等突出优势，特斯拉率先采用丝杠方案，并推动工艺优化及供应链量产降本，推动了产业链对丝杠方案的认可。丝杠具有强大的承载力、优异的精度保持性和刚性等优势，能够提供较大的推力和高负载能力，适应人形机器人执行复杂任务时对精细控制和稳定性的需求。特斯拉通过工艺优化，解决了传统方案中精度控制和重量问题，并且通过与供应商合作推动丝杠量产，大幅降低生产成本。随着特斯拉成功应用丝杠方案，人形机器人逐渐展现出丝杠的独特优势，推动了产业链对丝杠方案的广泛认可。



**表1: 丝杠具有高承载力、高精度和刚性等突出优势**

优势	描述
强承载力	丝杠能够提供较大的推力和扭矩，适应高负载任务，特别是在复杂的机器人动作中能够保持稳定。
高精度控制	丝杠系统具有非常高的定位精度，适合执行精密任务，能够确保机器人在长时间运行中的精度保持。
刚性保持性	丝杠结构刚性较强，能够避免系统变形或松动，提供更为稳定的运动和负载支持。
高传动效率	与其他传动系统相比，丝杠具有较高的传动效率，减少能量损耗，提升整体系统的效率。
自锁特性	丝杠具备自锁功能，能够在没有外部动力的情况下保持当前状态，有助于减少能耗，适用于静态姿势保持。
节能	由于自锁特性，丝杠在静止时无需持续消耗能量进行支撑，能效比其他传动方式更优。

资料来源：金属加工公众号、开源证券研究所

我们认为，类比特斯拉在星舰项目中的模式，未来同样会将机器人平台开源，进一步推动供应链量产降本，同时其他人形机器人企业也会以特斯拉的路线和供应链为导向。目前国内近百家人形机器人企业中，使用丝杠方案仅为个位数，未来渗透率有望大幅提升，丝杠的市场空间进一步打开。

### 1.3、规模化量产壁垒高精度为丝杠的核心技术难点

精度代表了丝杠的核心技术难点。丝杠精度指丝杠传动的移动距离与理想移动距离之间的偏差，偏差越小则精度越高。丝杠精度的要求非常高，主要体现在以下三个方面：

**(1) 旋转一周的运行精度：**指的是丝杠旋转一圈时，实际移动的距离与理想值之间的误差。

**(2) 整根丝杠的运行精度：**指的是整根丝杠在运动过程中的精度，通常涉及到丝杠的整体几何误差和负载分布。

**(3) 任意 300mm 的运行精度：**指的是在丝杠的任意 300mm 长度范围内，丝杠的精度。通常，精度等级是根据这一段距离内的误差来衡量的。

在国际上，丝杠精度标准之一为 JIS 标准(日本、韩国和中国台湾等地广泛使用)。根据 JIS 标准，丝杠的精度等级从 C0 到 C10 不等。精度等级为 C0 时，丝杠在任意 300mm 长度内的误差最大为 3.5 微米；精度等级为 C10 时，误差最大为 210 微米。

**表2: JIS 丝杠精度等级划分标准（丝杠在任意 300mm 长度内的最大误差）**

精度等级	C0	C1	C2	C3	C5	C7	C10
精度(E300) (um)	3.5	5	7	8	18	50	210

资料来源：开源证券研究所

**丝杠精度直接决定了性能及应用领域。**从下游应用来看，普通机械设备通常采用 C7 和 C10 级丝杠精度；而在工业机器人领域，一般的机械臂使用 C5 至 C7 级精度，精密机械臂则需要 C1 至 C4 级精度；航空制造设备、精密投影仪和三坐标测量设备等通常使用 C3 级精度；对于工业母机，特别是用于加工设备的高精密磨床和车床，对丝杠的精度要求较高，通常需要 C0 级精度。综上所述，非标设计中常用的滚珠丝杠精度等级为 C7，而对精度要求更高的应用，C5 级精度通常已足够满足需求。综合人形机器人算法、传感能力及降本维度考虑，我们预计人形机器人丝杠精度需达到 C5 级。

**表3: C5 精度丝杠属于中高端产品，精度要求较高**

丝杠	所属类别	国内供应情况
梯形丝杠和 C7-C10 级滚珠丝杠	中低端丝杠	国内成熟供货。制造难度低、低价竞争激烈。
C3-C5 级滚珠丝杠、C3-C5 级行星滚柱丝杠	中高端丝杠	国内可供货。制造难度更大，价值量更高。
C0-C3 级滚珠丝杠、C0-C3 级行星滚柱丝杠	高端丝杠	国内极少数厂商可供货。制造难度最大、产品价值量最高。

资料来源：金属加工微信公众号、米思米中国公众号、开源证券研究所

**C5 精度在丝杠领域属于中高端产品，要求理解电机（需与电机输出功率匹配）输出，同时对材料的理解、内螺纹加工、热处理、车铣加工、螺纹加工、磨制和组装、生产设备定制、刀具管理、检测能力、专业技术人员等都提出了很高的要求。从样品试制、小批量生产、大规模制造交付是三道门槛。**

丝杠在生产过程中涉及多个复杂环节，包括设计、材料选择、加工工艺、设备管理等，尤其在人形机器人产业链中，丝杠技术是一个高壁垒的核心环节。

**(1) 设计与匹配：**高精度丝杠设计需要与电机输出功率、负载要求等匹配，要求较强的技术能力。

**(2) 制造工艺：**内螺纹加工是丝杠生产中的主要难点，目前主要依赖磨削工艺，虽然可以满足精度要求，但加工效率较低。此外，热处理工艺的差异是丝杠性能差距的一个重要原因。

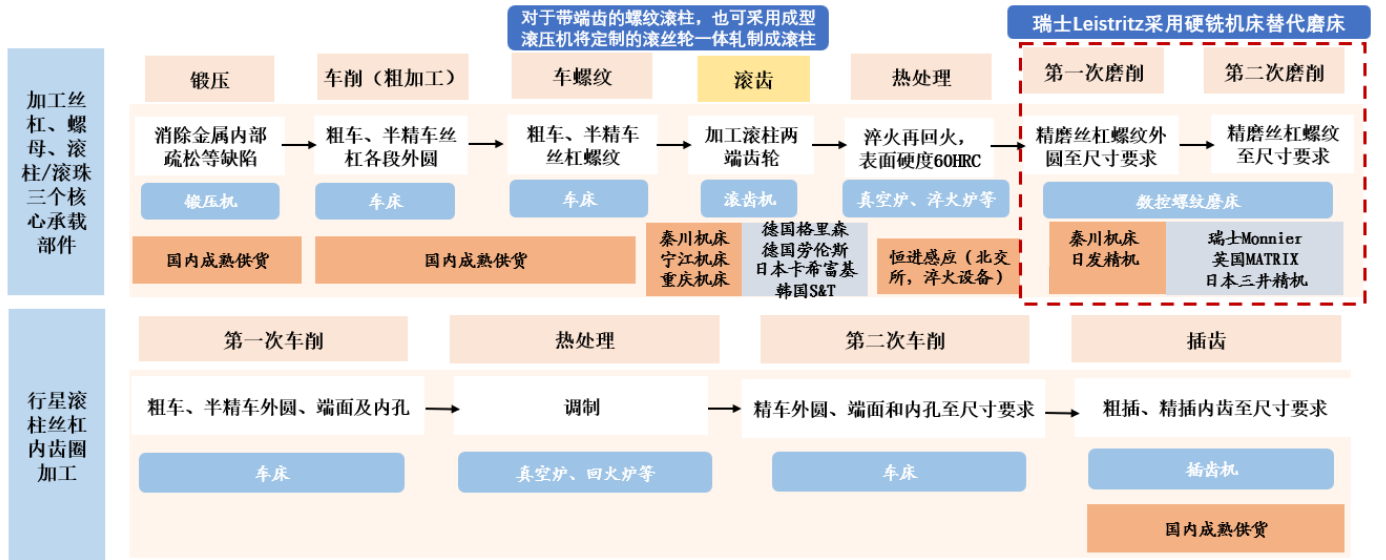
**(3) 生产设备：**丝杠生产需要精密设备，如车床、铣床、磨床和热处理设备等，其中螺纹磨床是核心设备，国内设备多依赖进口，扩产周期较长，短期无法迅速扩产。

**(4) 原材料：**国产丝杠原材料与国外相比仍存在差距，主要与成本构成和加工

工艺密切相关，原材料的性能提升需要生产企业积累。

(5) 专业技术人员：高精度丝杠需要高级技师操作精密设备，人员培训周期通常需要几个月甚至数年，对制造企业的技术人员管理提出了高要求。

图5：行星滚柱丝杠以及滚珠丝杠的主要生产流程



资料来源：《行星滚柱丝杠设计》王家健、莱斯特瑞兹机械微信公众号、中国机床网、新剑机电传动微信公众号等、开源证券研究所

## 2、人形机器人丝杠重大量产项目落地，国内供应链有望领跑全球

### 2.1、国内丝杠企业具备量产优势，首个大规模量产项目走向落地

国内丝杠企业具备量产优势，首个大规模量产项目走向落地。此前行星滚柱丝杠在全球范围内应用有限，具备规模化量产能力的企业极少。国内厂商积极拥抱人形机器人，加大研发、工艺投入和积极做量产准备，相比国外厂商有望更快实现落地。12月18日，杭州新剑传动年产100万台人形机器人及汽车行星滚柱丝杠产业化项目开工，成为全球第一家公布大规模量产的企业。

**图6：新剑传动年产 100 万台人形机器人及汽车行星滚柱丝杠产业化项目**


资料来源：浙江省人民政府

## 2.2、三类具备丝杠底层技术的企业

综合以上分析，三类具备丝杠底层技术的企业包括：

- (1) 长期深耕丝杠行业的企业：南京化纤（南京工艺）、新剑传动等；
- (2) 精密磨具、精密部件等技术同源性的企业：震裕科技、五洲新春、贝斯特、双林股份等；
- (3) 其他具备精密加工能力的企业：恒立液压等。

## 3、投资建议

受益标的：(1) 丝杠：五洲新春、震裕科技、南京化纤、双林股份；(2) 丝杠设备和刀具：浙海德曼、集智股份、秦川机床、恒锋工具、华锐精密。



#### 4、风险提示

宏观经济波动风险；机器人量产不及预期；供应链发展不及预期。

## 特别声明

《证券期货投资者适当性管理办法》、《证券经营机构投资者适当性管理实施指引（试行）》已于2017年7月1日起正式实施。根据上述规定，开源证券评定此研报的风险等级为R3（中风险），因此通过公共平台推送的研报其适用的投资者类别仅限定为专业投资者及风险承受能力为C3、C4、C5的普通投资者。若您并非专业投资者及风险承受能力为C3、C4、C5的普通投资者，请取消阅读，请勿收藏、接收或使用本研报中的任何信息。

因此受限于访问权限的设置，若给您造成不便，烦请见谅！感谢您给予的理解与配合。

## 分析师承诺

负责准备本报告以及撰写本报告的所有研究分析师或工作人员在此保证，本研究报告中关于任何发行商或证券所发表的观点均如实反映分析人员的个人观点。负责准备本报告的分析师获取报酬的评判因素包括研究的质量和准确性、客户的反馈、竞争性因素以及开源证券股份有限公司的整体收益。所有研究分析师或工作人员保证他们报酬的任何一部分不曾与，不与，也将不会与本报告中具体的推荐意见或观点有直接或间接的联系。

## 股票投资评级说明

	评级	说明
证券评级	买入（Buy）	预计相对强于市场表现 20% 以上；
	增持（outperform）	预计相对强于市场表现 5%~20%；
	中性（Neutral）	预计相对市场表现在 -5%~+5% 之间波动；
	减持（underperform）	预计相对弱于市场表现 5% 以下。
行业评级	看好（overweight）	预计行业超越整体市场表现；
	中性（Neutral）	预计行业与整体市场表现基本持平；
	看淡（underperform）	预计行业弱于整体市场表现。

备注：评级标准为以报告日后的 6~12 个月内，证券相对于市场基准指数的涨跌幅表现，其中 A 股基准指数为沪深 300 指数、港股基准指数为恒生指数、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）、美股基准指数为标普 500 或纳斯达克综合指数。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取决于个人的实际情况，比如当前的持仓结构以及其他需要考虑的因素。投资者应阅读整篇报告，以获取比较完整的观点与信息，不应仅仅依靠投资评级来推断结论。

## 分析、估值方法的局限性说明

本报告所包含的分析基于各种假设，不同假设可能导致分析结果出现重大不同。本报告采用的各种估值方法及模型均有其局限性，估值结果不保证所涉及证券能够在该价格交易。

## 法律声明

开源证券股份有限公司是经中国证监会批准设立的证券经营机构，已具备证券投资咨询业务资格。

本报告仅供开源证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的机构或个人客户（以下简称“客户”）使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。本报告是发送给开源证券客户的，属于商业秘密材料，只有开源证券客户才能参考或使用，如接收人并非开源证券客户，请及时退回并删除。

本报告是基于本公司认为可靠的已公开信息，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、工具、意见及推测只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买证券或其他金融工具的邀请或向人做出邀请。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。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。客户应当考虑到本公司可能存在可能影响本报告客观性的利益冲突，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。本报告中所指的投资及服务可能不适合个别客户，不构成客户私人咨询建议。本公司未确保本报告充分考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需要。本公司建议客户应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。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。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所引致的任何损失负任何责任。若本报告的接收人非本公司的客户，应在基于本报告做出任何投资决定或就本报告要求任何解释前咨询独立投资顾问。

本报告可能附带其它网站的地址或超级链接，对于可能涉及的开源证券网站以外的地址或超级链接，开源证券不对其内容负责。本报告提供这些地址或超级链接的目的纯粹是为了客户使用方便，链接网站的内容不构成本报告的任何部分，客户需自行承担浏览这些网站的费用或风险。

开源证券在法律允许的情况下可参与、投资或持有本报告涉及的证券或进行证券交易，或向本报告涉及的公司提供或争取提供包括投资银行业务在内的服务或业务支持。开源证券可能与本报告涉及的公司之间存在业务关系，并无需事先或在获得业务关系后通知客户。

本报告的版权归本公司所有。本公司对本报告保留一切权利。除非另有书面显示，否则本报告中的所有材料的版权均属本公司。未经本公司事先书面授权，本报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。

## 开源证券研究所

### 上海

地址：上海市浦东新区世纪大道1788号陆家嘴金控广场1号楼3层  
邮编：200120  
邮箱：research@kysec.cn

### 深圳

地址：深圳市福田区金田路2030号卓越世纪中心1号楼45层  
邮编：518000  
邮箱：research@kysec.cn

### 北京

地址：北京市西城区西直门外大街18号金贸大厦C2座9层  
邮编：100044  
邮箱：research@kysec.cn

### 西安

地址：西安市高新区锦业路1号都市之门B座5层  
邮编：710065  
邮箱：research@kysec.cn