

机械设备

2023年06月18日

人形机器人为低压伺服、轴承开启第二成长曲线

——行业周报

投资评级：看好（维持）

孟鹏飞（分析师）

熊亚威（分析师）

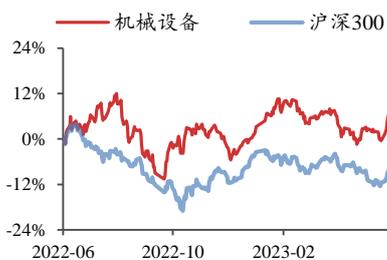
mengpengfei@kysec.cn

xiongyawei@kysec.cn

证书编号：S0790522060001

证书编号：S0790522080004

行业走势图



数据来源：聚源

相关研究报告

《5月PMI位于荣枯线下，静待制造业复苏—行业周报》-2023.6.11

《苹果开发者大会召开在即，关注MR、钛合金等相关设备—行业周报》-2023.6.4

《日本半导体出口管制，国产设备加速成长—行业周报》-2023.5.28

● 特斯拉机器人引领人形机器人产业发展，国产硬件供应商迎来重要机遇

特斯拉机器人拥有非常强的软件优势，落地进度取决于硬件降本的程度。硬件中关节执行器采用的零部件种类和现有的机器人基本一致，关键硬件的设计由特斯拉完成，后续产能支持则由供应商完成。因此，低成本大规模量产能力很强的国产硬件供应商，迎来了导入特斯拉机器人硬件供应链的重要机遇。特斯拉打通人形机器人技术路径、实现量产降本后，扫地机和服务机器人厂商、车企及互联网大厂、运动控制厂商的入局成为可能。目前人形机器人全身40个关节，远超工业机器人的6个关节，一旦形成了人形机器人产业链，零部件将处于供小于求的状态，曾经供货给特斯拉机器人的厂商也将率先受益，形成长期优势。

● 低压伺服驱动器：人形机器人伺服驱动的首选，单机价值量高

低压伺服驱动器主要应用于物流行业使用的AGV（移动机器人）。特斯拉机器人旋转关节、线性关节以及手部关节均使用低压伺服驱动器，带来新增量。根据我们测算，特斯拉机器人降价到2万美金时，单台低压伺服驱动器400元，单机价值量达到1.36万元。人形机器人使用低压伺服驱动主要有以下三点原因：(1)人型机器人使用电池供电，低压伺服驱动器满足工作电压的要求。(2)从原理上看，低压伺服相较于高压伺服可以实现更高的性能。因为大部分低压伺服不使用IGBT，而是使用MOS管，MOS管的开关频率更高、驱动性能更好。(3)低压伺服驱动器比高压伺服驱动器体积更小。低压伺服驱动不需要整流系统（整流模块的作用是把交流电转换为直流电），一般也没有IGBT模块。埃莫（Elmo）是全球伺服驱动器龙头，国内具备低压伺服驱动生产能力的厂商包括步科股份、伟创电气、华成工控（新三板）等，汇川技术、科力尔等公司亦有研发布局。

● 轴承：单机价值高，技术壁垒相对低，可车机协同加速降本

轴承是机械传动轴的支承，减少机械运动中产生的摩擦损失，在汽车中广泛使用。特斯拉可以复用其新能源车的轴承供应链加速机器人的降本。特斯拉机器人降至2万美金时，各类轴承的单价可降到百元及以下，单机轴承价值量3220元。特斯拉机器人根据不同位置的受力特点选用4种不同的轴承，其中深沟球轴承、四点接触轴承、角接触轴承技术壁垒较低，国内已有成熟供应商。交叉滚子轴承制造难度大，全球主要供应商集中在日德，国内人本股份具备小批量供应能力，国机精工具备技术储备和产品。轴承加工对磨床需求量大，要求高。海外高精度磨床交期长达18个月，国内宇环数控、秦川机床、日发精机已具备国产替代的实力，为国产轴承厂扩产保驾护航。

● 受益标的

低压伺服驱动：步科股份、伟创电气。交叉滚子轴承：国机精工；其他轴承：五洲新春、力星股份、长盛轴承；轴承加工磨床：宇环数控、秦川机床、日发精机。

● 风险提示：特斯拉人形机器人量产进度不及预期，硬件使用的种类、用量调整，国产供应商导入特斯拉供应链进程不及预期，人形机器人产业发展不及预期。

目录

1、 特斯拉机器人迭代超预期，打开核心零部件市场想象空间.....	3
1.1、 低压伺服驱动器：人形机器人伺服驱动的首选，单机价值量高.....	3
1.2、 轴承：单机价值高，技术壁垒相对低，可车机协同加速降本.....	5
1.3、 轴承加工大量使用高精度磨床，国产替代空间大.....	6
2、 受益标的.....	8
3、 风险提示.....	8

图表目录

图 1： 仅用 8 个月，特斯拉机器人运动执行能力提升明显.....	3
图 2： 低压伺服驱动器图示.....	4
图 3： 低压伺服主要用于 AGV.....	4
图 4： 物流是 AGV 的最大下游.....	4
图 5： 预计 2024 年起国内 AGV 市场以 15%左右的年增速增长.....	4
图 6： 特斯拉人形机器人低压伺服驱动大量应用.....	5
图 7： Elmo 的超小型伺服驱动器的长度小于人类的手指.....	5
图 8： 特斯拉机器人根据不同位置的受力特点选用不同轴承.....	6
图 9： 轴承加工大量使用平面磨床等数控机床.....	7
图 10： 宇环数控生产的精密双端面磨床，精密度可达 μ 级.....	8
表 1： 特斯拉机器人使用轴承，单机价值量大.....	6

1、特斯拉机器人迭代超预期，打开核心零部件市场想象空间

特斯拉机器人拥有非常强的软件优势，落地进度取决于硬件降本的程度。硬件中关节执行器采用的零部件种类和现有的机器人基本一致，关键硬件的设计由特斯拉完成，后续产能支持则由供应商完成。因此，低成本大规模量产能力很强的国产硬件供应商，迎来了导入特斯拉机器人硬件供应链的重要机遇。

2023 年特斯拉股东大会上，特斯拉机器人展示出的复杂动作的执行能力对比 8 个月前的原型机进展明显，充分证明了其优秀的软硬件设计能力，我们认为未来特斯拉机器人将实现更快地迭代。马斯克在 2023 年股东大会上提到未来人形机器人总需求或超过 100 亿台，广阔蓝海市场为硬件厂商带来增长机遇。

图1：仅用 8 个月，特斯拉机器人运动执行能力提升明显



资料来源：2022 特斯拉 AI DAY、2023 特斯拉股东会、开源证券研究所

特斯拉打通人形机器人技术路径、实现量产降本后，新玩家入局成为可能。潜在的人形机器人厂商可分为扫地机及服务机器人厂商、车企及互联网大厂、运动控制厂商三类，分别在感知技术、数据和软件以及运控技术三方面具备优势。人形机器人全身 40 个关节，远超工业机器人的 6 个关节，一旦形成了人形机器人产业链，零部件将处于供小于求的状态，曾经供货给特斯拉机器人的厂商也将率先受益。

1.1、低压伺服驱动器：人形机器人伺服驱动的首选，单机价值量高

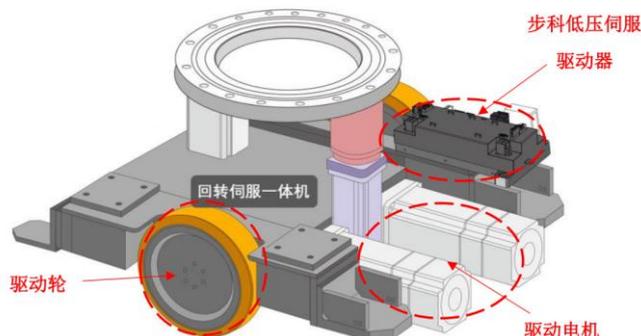
目前，物流行业的 AGV 移动机器人是低压伺服最主要的下游。低压伺服驱动器用来控制低压伺服电机，工作电压一般在 24-70VDC。通用交流伺服系统在伺服领域占据了重要地位，对于 AGV 移动机器人、医疗器械等特殊的应用场合，受场地条件或者出于安全因素考虑，伺服系统只能由电压较低的蓄电池供电，必须采用低电压设计方案。根据 MIR 数据，2022 年国内 AGV 总出货量 4.59 万台，应用于物流行业的 AGV 占 42.5%。

图2：低压伺服驱动器图示



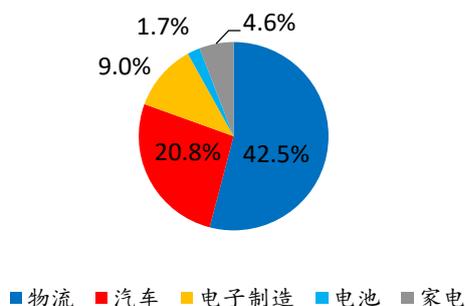
资料来源：步科股份官网

图3：低压伺服主要用于 AGV



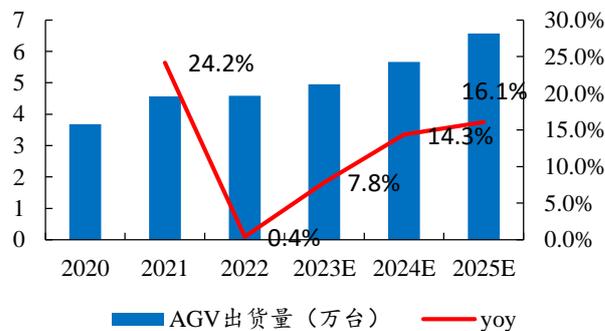
资料来源：《低压大电流交流伺服驱动及抗干扰技术研究》，孙彬

图4：物流是 AGV 的最大下游



数据来源：MIR、开源证券研究所 注：图中数据为 2022 年

图5：预计 2024 年起国内 AGV 市场以 15%左右的年增长速度增长



数据来源：MIR、开源证券研究所

除了 AGV 外，以特斯拉机器人为代表的人形机器人也主要使用低压伺服驱动器，将为低压伺服开启第二增长曲线。人形机器人使用低压伺服驱动主要有三点原因：

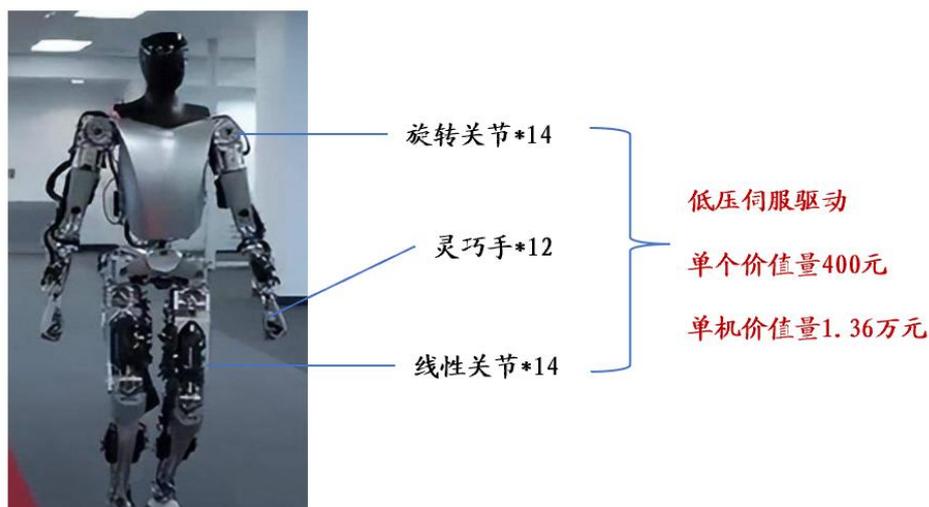
第一，人型机器人使用电池供电，低压伺服驱动器满足人形机器人工作电压的要求。

第二，从原理上看，低压伺服相较于高压伺服可以实现更高的性能。很多低压伺服不使用 IGBT，而是使用 MOS 管，MOS 管的开关频率更高、驱动性能更好。

第三，低压伺服驱动器比高压伺服驱动器体积更小。首先低压伺服驱动不需要整流系统（整流模块的作用是把交流电转换为直流电），其次低压伺服驱动一般也没有 IGBT 模块。

特斯拉机器人旋转关节、线性关节以及手部关节均使用低压伺服驱动器。根据我们测算，特斯拉机器人降价到 2 万美金时，单台低压伺服驱动器 400 元，单机价值量达到 1.36 万元。

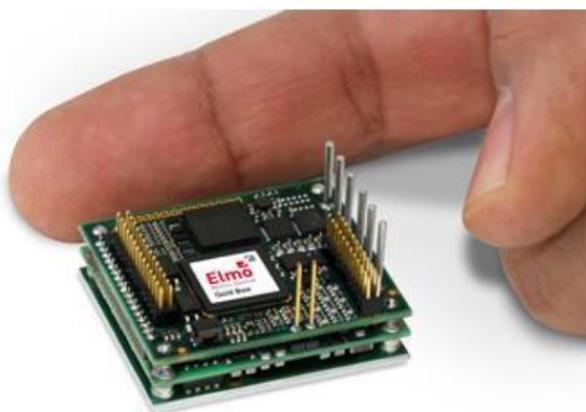
图6：特斯拉人形机器人低压伺服驱动大量应用



资料来源：2023 特斯拉股东会、开源证券研究所

埃莫（Elmo）是全球伺服驱动器龙头，实现量产的 Gold Twitter 驱动器是截至 2017 年全球最小的伺服驱动器。国内厂商新松机器人的第一代协作机器人就配套了 Elmo 的超小型伺服驱动器。国内具备低压伺服生产能力的厂商包括步科股份、伟创电气、华成工控（新三板）等，汇川技术、科力尔等公司亦有研发布局。

图7：Elmo 的超小型伺服驱动器的长度小于人类的手指

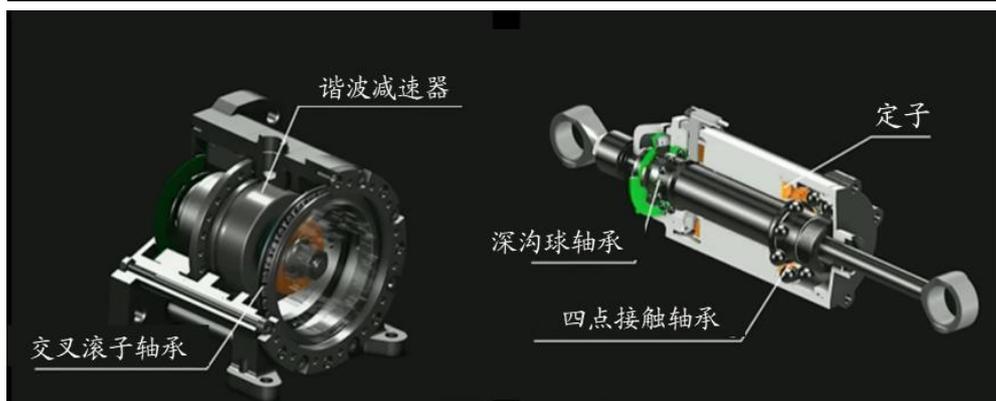


资料来源：Elmo 官网

1.2、轴承：单机价值高，技术壁垒相对低，可车机协同加速降本

轴承是机械传动轴的支承，主要功能是传递力和运动，减少机械运动中产生的摩擦损失。特斯拉机器人中使用 4 种轴承。特斯拉机器人旋转关节使用 2 个角接触轴承，用来承受较高的转速的和一定的轴向力。使用 1 个刚性强的交叉滚子轴承，同时承受较大的径向力和轴向力。线性关节使用 1 个四点接触轴承，在高转速条件下承受双向较大的轴向力和径向力，以及 1 个深沟球轴承。

图8：特斯拉机器人根据不同位置的受力特点选用不同轴承



资料来源：2022 特斯拉 AI DAY、开源证券研究所

汽车是轴承应用最为广泛的领域，根据人本股份招股书，来自汽车行业的轴承消费量已占到轴承行业总量的 39.19%、特斯拉机器人可以复用新能源汽车轴承供应链加速降本。降至 2 万美金时，各类轴承的单价可降到百元及以下，单机轴承价值量 3220 元。

表1：特斯拉机器人使用轴承，单机价值量大

轴承种类	数量	国内供应情况	单个价值量 (元)	单机价值量 (元)
深沟球轴承	1*14	成熟供货，价格低，附加值低	30	420
角接触轴承	2*14	国内可供货，价格低，精度低	40	1120
四点接触轴承	1*14	国内可供货，价格低，精度低	20	280
交叉滚子轴承	1*14	国内少数厂家可供货，难度大	100	1400
总计				3220

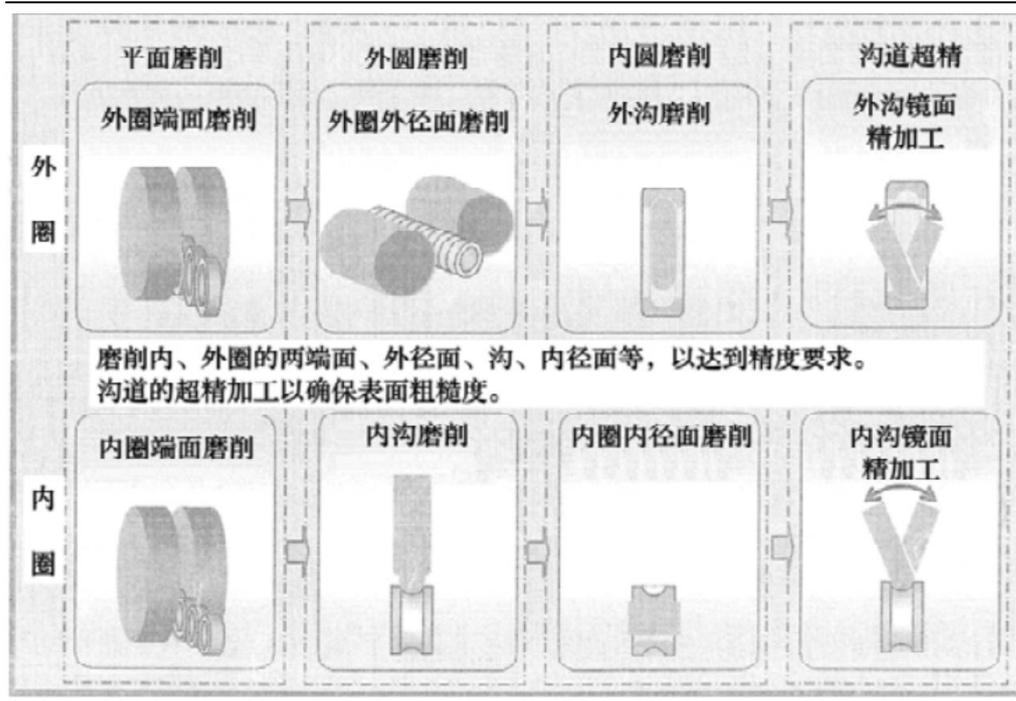
资料来源：特斯拉 2022 AI DAY、开源证券研究所

国产轴承厂供应深沟球轴承、角接触轴承以及四点接触轴承更具备优势。深沟球轴承设计简单，能高速运行并且工作期间无需保养，价格低，国内已经实现成熟供货。交叉滚子轴承是和谐波减速器配套使用，制造难度大，全球范围内可大规模量产的企业少，主要包括日本 THK、日本 IKO、日本 NSK、日企哈默纳科和德国舍弗勒旗下的 INA。国内人本股份具备交叉滚子轴承小批量供应能力，国机精工具备技术储备和产品。

1.3、轴承加工大量使用高精度磨床，国产替代空间大

磨削加工是轴承生产的关键工序，磨床是核心设备。磨削加工成本占轴承生产成本的 15%以上。其中，轴承生产过程中所需的磨床数量占全部金属切削机床数量的 60%左右，生产中所需的磨削加工劳动量约占总劳动量的 60%。

图9：轴承加工大量使用平面磨床等数控机床



资料来源：轴承杂志社公众号

日德厂商占据我国高精密磨床市场的主要份额。德国 Mikrosa（米克罗莎）、德国利勃海尔、日本光洋株式会社（无心磨床），日本东洋（轴承内圆磨床）在我国高精度磨床领域占据重要份额，掌握顶尖的高速磨削技术，生产的数控磨床的外表面磨削砂轮线速度可达到 120m/s，内表面磨削线速度可达到 60m/s~80m/s。根据龙腾轴承数据，当机床的磨削速度由 35m/s 提高到 50~60m/s 时，一般生产效率就可以提高 30%~60%。

海外高端磨床高成本、长交期，国内已涌现出宇环数控、日发精机、秦川机床等高精密轴承磨床厂商，将打破海外厂商垄断局面。日德厂商严格按照规划进行机床的生产，不会轻易扩产，交货周期很长。国内日发精机，宇环数控，秦川机床生产的磨床性能比肩海外，具备国产替代的能力，保障国产轴承厂的扩产。

图10：宇环数控生产的精密双端面磨床，精密度可达 μ 级


YHMM7776 精密级数控立式双端面磨床



YHMM300 精密级立式双端面磨床

资料来源：宇环数控官网

2、受益标的

低压伺服驱动：

【步科股份】

步科股份生产的低压伺服驱动器目前应用于移动机器人、医疗影像等领域。公司产品实力强，新松机器人等协作机器人厂商，西门子医疗、联影医疗等医疗器械厂商都是公司的主要客户。

【伟创电气】

主业：变频器、伺服系统与控制系统等产品的研发、生产及销售，专注于电气传动和工业控制领域。

2022Q2，公司成立了机器人行业部，布局低压伺服、空心杯电机、特种无框力矩电机、谐波减速器等产品。

2023年5月，公司发布定增公告，拟向特定对象发行股票募集资金总额不超过人民币10亿元。其中，5亿元拟投向数字化生产基地建设项目，达产后，公司总产能预计将达到195万台/年左右。（工控产品的设计产能截至2022年末约83万台/年）。拟投资1.2亿元建设“苏州技术研发中心（二期）”项目，研发中高压变频器、低压伺服产品等新产品以及应用于光伏、锂电领域的新品等。

轴承：交叉滚子轴承：国机精工；**其他轴承：**五洲新春，力星股份，长盛轴承。

轴承加工设备（磨床）：宇环数控、秦川机床、日发精机。

3、风险提示

- (1) 特斯拉人形机器人量产进度不及预期；
- (2) 硬件使用的种类、用量调整；
- (3) 国产供应商导入特斯拉供应链进程不及预期。

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10层
邮编：200120
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

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

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