

机械设备

2023年07月02日

人形机器人轴承需求大，交叉滚子轴承壁垒高

——行业周报

投资评级：看好（维持）

孟鹏飞（分析师）

熊亚威（分析师）

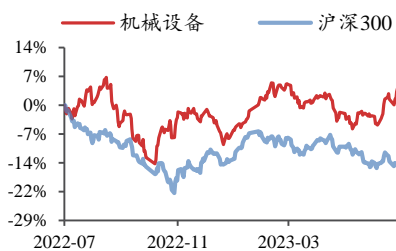
mengpengfei@kysec.cn

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

《高精度传感器国产替代加速，关注力矩传感器与光栅编码器发展机遇——行业点评报告》-2023.6.26

《人形机器人为低压伺服、轴承开启第二成长曲线——行业周报》-2023.6.18

《5月PMI位于荣枯线下，静待制造业复苏——行业周报》-2023.6.11

● 硬件降本是特斯拉机器人量产关键，国产供应商迎来重要机遇

2023世界人工智能大会将于7月6日至8日在上海举办，特斯拉人形机器人将亮相。此前在2023年5月的股东大会上，特斯拉展示了机器人最新开发成果，性能提升，复杂动作的执行能力对比8个月前的原型机进展明显，缩短业界对特斯拉机器人项目落地应用的时间预期，上游零部件供应商的机遇愈发明确。特斯拉此前曾表示人形机器人的未来需求能够达到100亿台量级，远远超过汽车需求，单台机器人的成本低于2万美元，故降本进程成为量产关键。单个特斯拉机器人全身共40个关节，远超工业机器人的6个关节，零部件需求量大，国产硬件供应商具备很强的低成本大规模量产能力，最有望率先导入特斯拉机器人供应链，抢占产业先机。

● 轴承：人形机器人单机需求量大，交叉滚子轴承技术壁垒高

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。特斯拉机器人根据不同位置的受力特点选用4种不同的轴承。深沟球轴承、四点接触轴承应用于线性关节，交叉滚子轴承、角接触轴承应用于旋转关节。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，目前应用于工业机器人关节、加工中心的旋转台、机械手的旋转部，也可用在谐波减速器中（称为薄壁轴承）。交叉滚子轴承由于技术壁垒高，全球范围内可大规模量产的企业少。生产商主要集中在日德。国内方面，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。交叉滚子轴承作为高端精密产品，利润高过其它低端轴承产品。在特斯拉人形机器人大规模需求背景下，能够及时导入供应链的本土厂商将受益。

● 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。海外高端磨床高成本、长交期，国内已涌现出秦川机床、宇环数控、日发精机等高精度轴承磨床厂商，性能比肩海外，有望打破海外厂商垄断局面。

● 受益标的

五洲新春，力星股份，长盛轴承，国机精工，秦川机床，宇环数控，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

目 录

1、 特斯拉机器人进步明显，降本需求下零部件供应商迎机遇.....	3
2、 轴承：单机需求量大，交叉滚子轴承技术壁垒高.....	4
2.1、 旋转关节中交叉滚子轴承制造难度大，量产企业少.....	4
2.2、 线性关节中轴承应用已较为普遍，制造技术难度低.....	5
3、 轴承加工大量使用高精度磨床，国产替代空间大.....	6
4、 受益标的.....	9
5、 风险提示.....	9

图表目录

图 1： 仅用 8 个月，特斯拉机器人性能进步明显.....	3
图 2： 单个特斯拉机器人全身共 40 个关节，零部件需求量大.....	3
图 3： 特斯拉机器人根据不同位置的受力特点选用不同轴承.....	4
图 4： 交叉滚子轴承中的圆柱滚子在呈 90°的 V 形沟槽滚动面通过隔离块被相互垂直地排列.....	5
图 5： 角接触轴承沟道由两段圆弧组成，窜动量明显下降.....	5
图 6： 深沟球轴承采用钢球作为滚动体.....	6
图 7： 四点接触轴承由两个半圈精确拼配而成.....	6
图 8： 磨床是轴承生产的关键设备.....	7
图 9： 轴承内外圆需要经过平面磨削、内/外径磨削、沟（滚）道磨削等工序加工.....	7
图 10： 轴承磨削需要端面磨床、外圆磨床、内圆磨床、无心磨床等数控机床.....	8
图 11： 宇环数控生产的精密双端面磨床，精密度可达 μ 级.....	8
表 1： 国内轴承厂供应深沟球、角接触、四点接触轴承的机会大.....	4
表 2： 深沟球轴承、四点接触轴承都已得到普遍使用.....	5
表 3： 深沟球轴承、四点接触轴承都已得到普遍使用.....	6

1、特斯拉机器人进步明显，降本需求下零部件供应商迎机遇

特斯拉机器人将亮相上海世界人工智能大会，性能提升下零部件供应商机遇愈发明确。2023 世界人工智能大会将于 7 月 6 日至 8 日在上海举办，特斯拉人形机器人将亮相。此前在 2023 年 5 月的股东大会上，特斯拉展示了机器人最新开发成果，相比于 2022 年首次亮相时略显笨拙的表现，机器人性能进步明显，已能够执行较为复杂的任务。特斯拉更新了机器人的电机转矩控制、环境感测和记忆功能，使得机器人更加智能化，在行走时可以通过车载摄像头和传感器发现并记忆周边环境，且复杂动作的执行能力对比 8 个月前的原型机进展明显，能完成灵巧手抓取、物品分类等复杂任务。我们认为机器人性能的明显进步，缩短了产业界对特斯拉机器人项目落地应用的时间预期，上游零部件供应商的机遇也愈发明确。

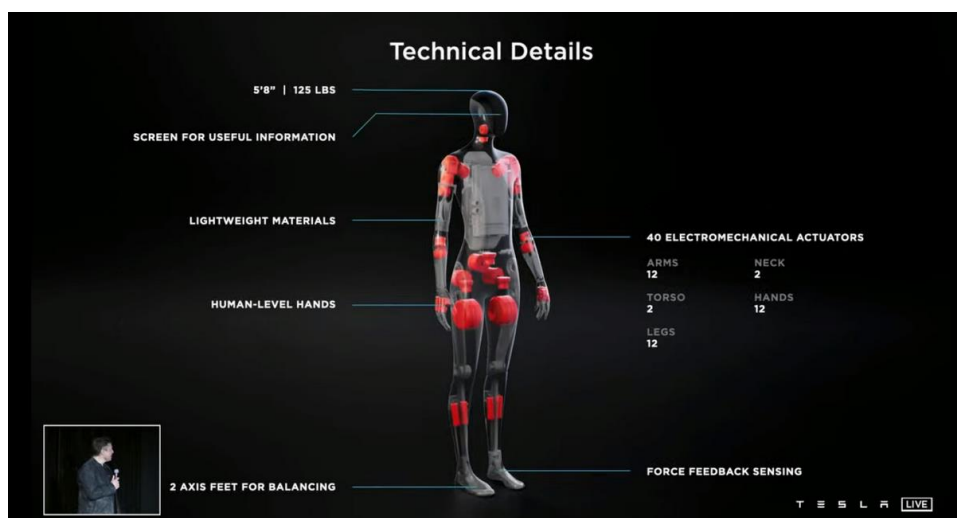
图1：仅用 8 个月，特斯拉机器人性能进步明显



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

降低成本成为量产关键，国产供应商导入供应链机会大。特斯拉此前曾表示人形机器人的未来需求能够达到 100 亿台量级，远远超过汽车需求，单台机器人的成本低于 2 万美元，故降本进程成为量产关键。单个特斯拉机器人全身共 40 个关节，零部件需求量大，国产硬件供应商具备很强的低成本大规模量产能力，最有望率先导入特斯拉机器人供应链。

图2：单个特斯拉机器人全身共 40 个关节，零部件需求量大

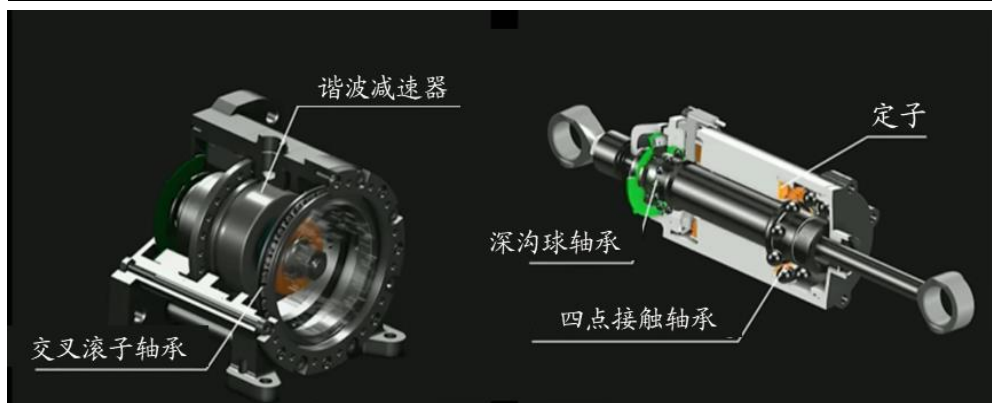


资料来源：环球网

2、轴承：单机需求量大，交叉滚子轴承技术壁垒高

特斯拉机器人关节需要使用大量轴承。轴承是机械传动轴的支承，作用是传递力和运动，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，在线性关节使用 1 个四点接触轴承和 1 个深沟球轴承，在旋转关节使用 2 个角接触轴承和 1 个交叉滚子轴承。单个特斯拉机器人有线性关节、旋转关节各 14 个，故对轴承的需求较大。

图3：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

表1：国内轴承厂供应深沟球、角接触、四点接触轴承的机会大

应用部位	轴承类型	数量	国内供应情况
线性关节	深沟球轴承	1*14	成熟供货，价格低，附加值低
	四点接触轴承	1*14	国内可供货，价格低，精度低
旋转关节	角接触轴承	2*14	国内可供货，价格低，精度低
	交叉滚子轴承	1*14	国内少数厂家可供货，难度大

资料来源：开源证券研究所

轴承可车机协同加速降本。汽车是目前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%，故特斯拉机器人可以复用新能源汽车轴承供应链加速降本。

2.1、旋转关节中交叉滚子轴承制造难度大，量产企业少

旋转关节中交叉滚子轴承制造难度大。特斯拉机器人在旋转关节中使用交叉滚子轴承和角接触轴承。角接触轴承壁垒较低，国内已有成熟供应商。交叉滚子轴承全球范围内可大规模量产的企业少。

- **交叉滚子轴承：制造难度大，可大规模量产的企业少。**交叉滚子轴承已应用于工业机器人关节、加工中心的旋转台、机械手的旋转部。交叉滚子轴承应用于谐波减速器中时，被称为薄壁轴承。结构方面，轴承的圆柱滚子呈 90° 相互垂直交叉排列，通过隔离块将相互垂直的滚子进行隔离。轴承有变形，拉直后可以变成十字交叉滚子导轨使用在机床上。受力方面，可受径向力和轴向力，且能承受更大载荷、游隙更小。交叉滚子轴承制造难度大，加工难度主要在于薄壁的抗变性能。全球范围内可大规模量产的企

业少，主要集中在日德。国内方面包括具备小批量供应能力的人本股份、具备技术储备的国机精工、非上市企业洛阳博盈轴承/洛阳普瑞森等。

- **角接触轴承：壁垒较低，国内已有成熟供应商。**属于可分离轴承，沟道采用由两段圆弧构成的结构。受力方面，能在高转速条件下承受较大的轴向力和径向力，且窜动量相比深沟球明显下降。如果要求更高的载荷，就需要将滚动体从球状改为滚柱。角接触轴承技术壁垒较低，国内已有成熟供应商。

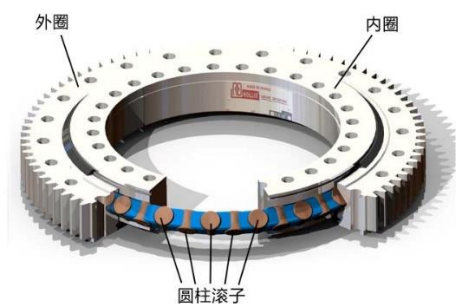
交叉滚子轴承制造难度最大，利润高于低端产品，高技术壁垒厂商将受益。在特斯拉机器人所采用的4种轴承中，交叉滚子轴承制造难度最大。根据QYR数据，2021年全球交叉滚子轴承市场销售额为5.2亿美元，预计2028年将达7.3亿美元，全球市场份额主要被国际厂商占据，包括日本THK、日本IKO、日本NSK、日企哈默纳科和德国舍弗勒旗下的INA等。国内厂商方面，人本股份具备交叉滚子轴承小批量供应能力，国机精工具备相关技术和产品。据搜狐网，交叉滚子轴承作为高端精密产品，利润远高过其它低端轴承产品，国内规模较大的供应商不到10家，其它都是中小型企业。在特斯拉人形机器人大规模需求背景下，能够及时导入供应链的本土厂商将受益。

表2：深沟球轴承、四点接触轴承都已得到普遍使用

轴承类别	结构原理	承受载荷	制造技术难度
交叉滚子轴承	圆柱滚子呈90°相互垂直交叉排列，通过隔离块将相互垂直的滚子进行隔离	可受径向力和轴向力，且能承受更大载荷、游隙更小	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。人本股份具备交叉滚子轴承小批量供应能力。
角接触轴承	分内外圈，属于可分离轴承。沟道由两段圆弧组成，窜动量明显下降	载荷与深沟球轴承相近，可以在高速旋转时承受径向和轴向负载	技术壁垒较低，国内已有成熟供应商

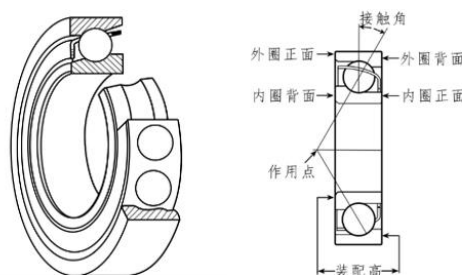
资料来源：鸿元轴承公众号、麒麟机械公众号、开源证券研究所

图4：交叉滚子轴承中的圆柱滚子在呈90°的V形沟槽滚动面通过隔离块被相互垂直地排列



资料来源：搜狐网

图5：角接触轴承沟道由两段圆弧组成，窜动量明显下降



资料来源：麒麟机械公众号

2.2、线性关节中轴承应用已较为普遍，制造技术难度低

深沟球轴承和四点接触轴承应用普遍，技术难度低。特斯拉机器人在线性关节中使用深沟球轴承和四点接触轴承，两种轴承的作用是将旋转部分和非旋转部分进行分离和支撑，都已得到普遍应用，制造技术难度低。

- **深沟球轴承：国内制造设备成熟，价值量较低。**是非常传统的轴承，应用广泛。属于不可分离轴承，在运转过程中采用钢球作为滚动体。受力方面，能承受较大径向力和一定的轴向力。缺点在于，在受双向轴向力时，轴承左右轴向的窜动量较大。深沟球轴承制造设备国内已经非常成熟，品牌厂商数十家，具备制造能力的上百家，价值量较低。
- **四点接触轴承：制造工艺和设备无难点，价值量较低。**由两个半圈精确拼配而成，整体外圈的沟曲率半径非常小，使钢球和内、外圈在四个点上都接触。受力方面，能够承受径向和轴向力。四点接触轴承制造工艺和设备无难点，价值量较低。

图6：深沟球轴承采用钢球作为滚动体


资料来源：SKL 轴承公众号

图7：四点接触轴承由两个半圈精确拼配而成


资料来源：CHIPRO 驰创工业服务公众号

表3：深沟球轴承、四点接触轴承都已得到普遍使用

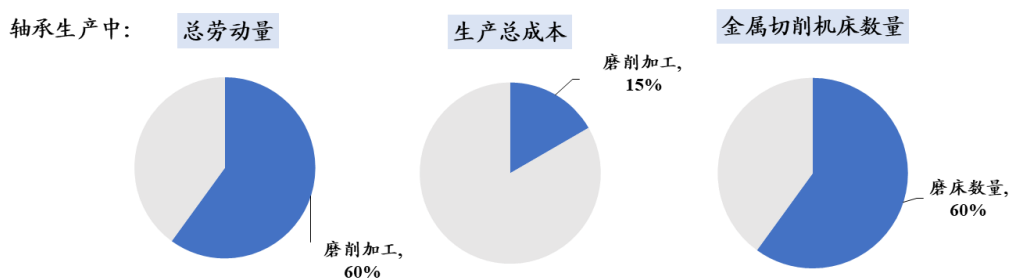
轴承类别	结构原理	承受载荷	制造技术难度
深沟球轴承	属于不可分离轴承。缺点在于，受双向轴向力时，窜动量较大	径向受力较大，也能承受一定的轴向力和双向轴向负载	设计简单，工作期间无需保养，国内品牌厂商数十家，具备制造能力的较多
四点接触轴承	由两个半圈精确拼配而成，整体外圈的沟曲率半径非常小	能够承受径向和轴向力	应用非常普遍，制造工艺和设备难度不高

资料来源：SKL 轴承公众号、CHIPRO 驰创工业服务公众号、开源证券研究所

3、轴承加工大量使用高精度磨床，国产替代空间大

磨床是轴承生产的关键设备。轴承生产中，所需的磨削加工劳动量约占总劳动量的 60%，所用磨床数量也占全部金属切削机床数量的 60%左右，磨削加工成本占轴承生产总成本的 15%以上。

图8：磨床是轴承生产的关键设备



资料来源：《我国轴承制造技术的现状及其发展趋势》（刘桥方等，2005年）、开源证券研究所

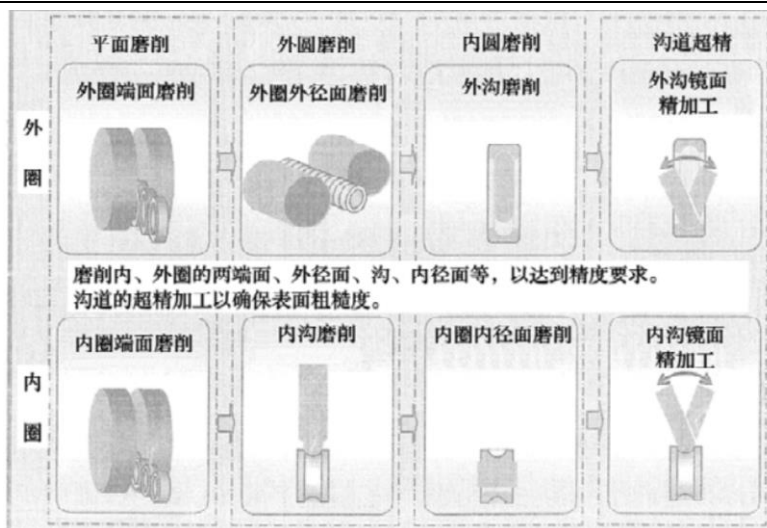
一般来讲，轴承的磨削、超精包括以下工艺环节：

(1) 外圈：平面磨削→外径磨削→沟（滚）道磨削→沟（滚）道超精。

(2) 内圈：平面磨削→内外径磨削→内径磨削→沟（滚）道磨削→沟（滚）道超精。

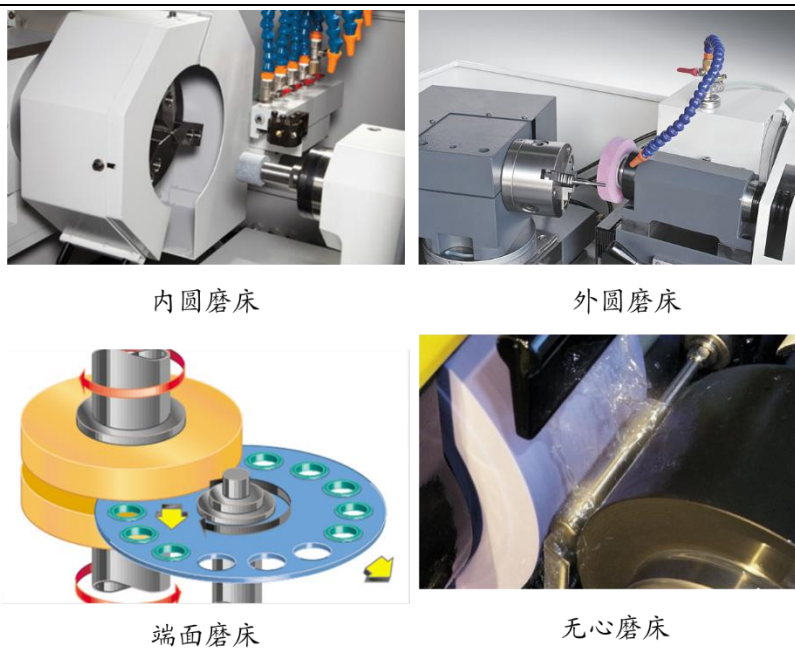
所应用的机床包括端面磨床、外圆磨床（外圆磨）、内圆磨床（内圈磨）无心磨床（外圆磨、外沟磨、内径面磨）等。

图9：轴承内外圈需要经过平面磨削、内/外径磨削、沟（滚）道磨削等工序加工



资料来源：轴承杂志社公众号

图10：轴承磨削需要端面磨床、外圆磨床、内圆磨床、无心磨床等数控机床



资料来源：海默数控官网、博纳领航官网、兴富祥科技官网、巨升精机官网、开源证券研究所

日德厂商占据我国高精度磨床市场的主要份额。德国米克罗莎（无心磨床）、德国利勃海尔、日本光洋株式会社（无心磨床），日本东洋（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%。

国内磨床厂商逐步打破海外垄断。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。国内宇环数控（端面磨床）、秦川机床（外圆磨床等）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11：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

4、受益标的

五洲新春，力星股份，长盛轴承，国机精工，秦川机床，宇环数控，日发精机

5、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

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