



六维力矩传感器：人形机器人打开应用新场景，国内产业链加速布局

行业评级：增持

分析师：邹润芳
证券执业证书号：S0640521040001

研究助理：闫智
证券执业证书号：S0640122070030

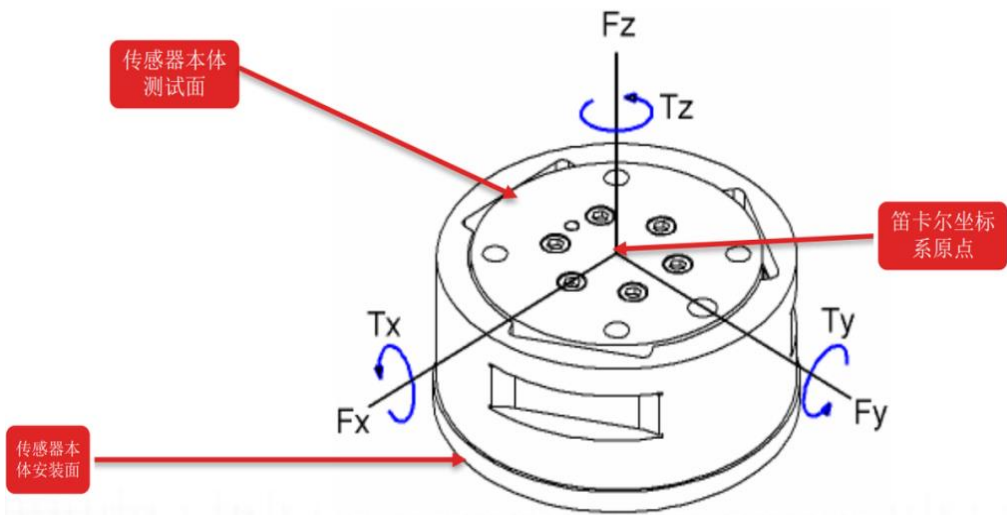
分析师：卢正羽
证券执业证书号：S0640521060001

- **重点推荐：**华中数控、国茂股份、中科创达、航锦科技、双良节能、超图软件、纽威股份、天通股份、西子洁能、捷佳伟创、天准科技
- **核心个股组合：**华中数控、国茂股份、中科创达、贝斯特、五洲新春、禾川科技、航锦科技、双良节能、纽威股份、华伍股份、西子洁能、骄成超声、奥特维、罗博特科、高测股份、宇晶股份、捷佳伟创、科威尔、绿的谐波、埃斯顿、双环传动、柯力传感、瀚川智能
- **本周专题研究：**力矩传感器是机械臂感知力度的重要部件，按照测量维度，力矩传感器可分为一至六维力矩传感器，人形机器人中，对柔顺控制要求高的手腕和脚踝或将使用六维力矩传感器，而身体的其他关节将使用关节扭矩传感器。据GGII数据，2022年我国六维力/力矩传感器销量4840套，同比增长62.58%，预计2023年销量有望突破6700套，同比增速40%左右。目前六维力矩传感器的应用下游以机器人（工业机器人、协作机器人）、医疗领域为主，未来人形机器人有望打开六维力矩传感器的应用新场景。伴随着机器人领域尤其是人形机器人批量应用带来的降本需求，六维力/力矩传感器国内供应商“试用-反馈-迭代-量产”的产业闭环有望逐步实现，而当前人形机器人产业链奇点时刻渐行渐近，国内供应链有望加速实现国产替代。建议关注：柯力传感、瀚川智能、昊志机电。
- **重点跟踪行业：**
 - **锂电设备**，全球产能周期共振，预计21-25年年均需求超千亿，国内设备公司优势明显，全面看好具备技术、产品和规模优势的一二线龙头；
 - **光伏设备**，设备迭代升级推动产业链降本，HJT渗透率快速提升，同时光伏原材料价格下降有望刺激下游需求，看好电池片、组件设备龙头；
 - **换电**，2025年换电站运营空间有望达到1357.55亿元，换电站运营是换电领域市场空间最大的环节，看好换电站运营企业；
 - **储能**，储能是构建新型电网的必备基础，政策利好落地，发电、用户侧推动行业景气度提升，看好电池、逆变器、集成等环节龙头公司；
 - **半导体设备**，预计2030年行业需求达1400亿美元，中国大陆占比提高但国产化率仍低，看好平台型公司和国产替代有望快速突破的环节；
 - **自动化**，下游应用领域广泛的工业耗材，市场规模在400亿左右，预计2026年达557亿元，看好受益于集中度提高和进口替代的行业龙头；
 - **氢能源**，绿氢符合碳中和要求，光伏和风电快速发展为光伏制氢和风电制氢奠定基础，看好具备绿氢产业链一体化优势的龙头公司；
 - **工程机械**，强者恒强，建议关注行业龙头，看好具备产品、规模和成本优势的整机和零部件公司。

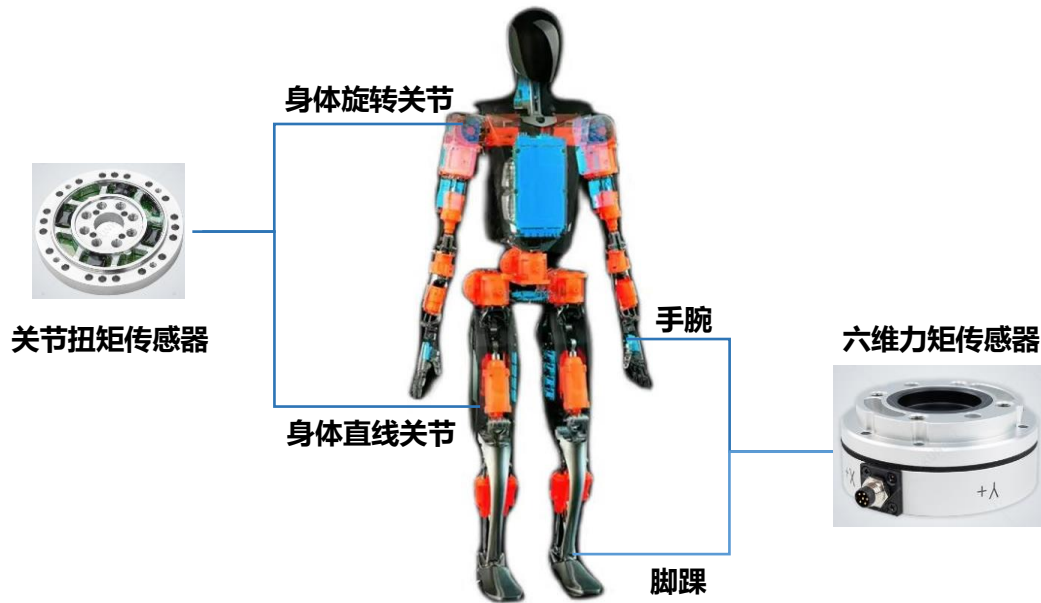
1.本周专题研究：人形机器人手腕和脚踝或将使用六维力矩传感器

- **力矩传感器是机械臂感知力度的重要部件。** 力矩传感器又称扭矩传感器，可在各种旋转或非旋转机械部件上对扭转力矩感知进行检测，将扭力的物理变化转化为精确的电信号，具有精度高、频响快、可靠性好、寿命长等优点。力矩传感器是机械臂的关键部件之一，可为机械臂提供实时的力和力矩信息，实现机械臂对操作对象的力感知，从而协助机械臂完成精细和智能的操作任务。
- **人形机器人中，六维力矩传感器主要用在对柔顺控制要求高的手腕和脚踝。** 按照测量维度，力矩传感器可分为一至六维力矩传感器，其中一维传感器、三维传感器和六维传感器最为常见。六维力传感器也被称为六轴力/力矩传感器、F/T传感器，用于精确测量X、Y、Z三个方向的力信息和 M_x 、 M_y 、 M_z 三个维度的力矩信息。人形机器人中，对柔顺控制要求高的手腕和脚踝或将使用六维力矩传感器，而身体的其他关节将使用关节扭矩传感器（单维）。

图表：六维力和力矩传感器示意图



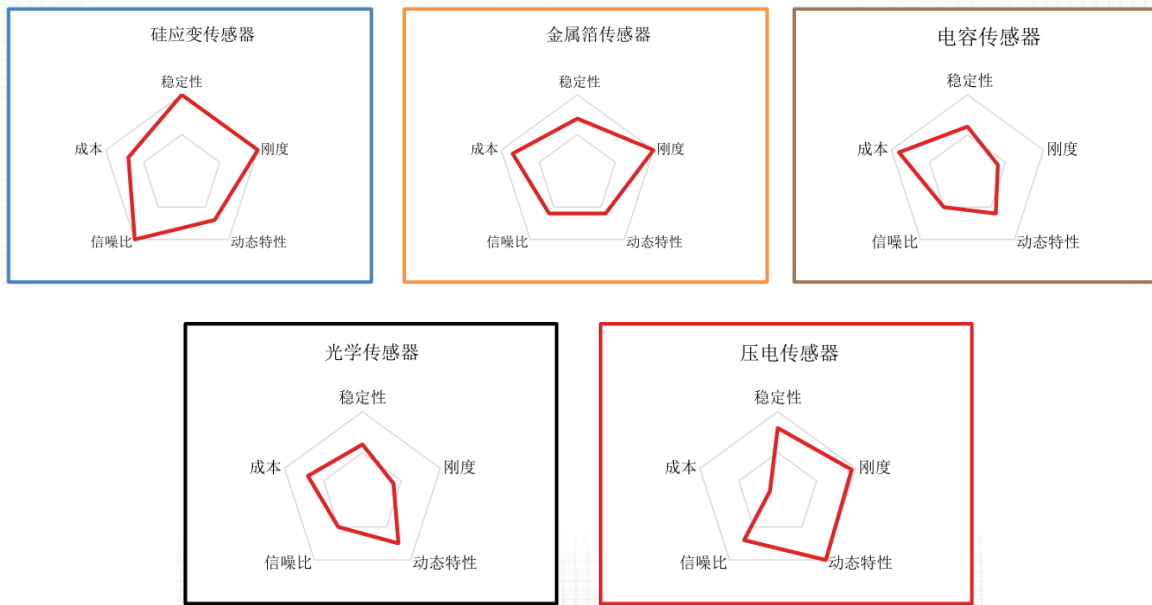
图表：人形机器人力矩传感器应用预估示意图



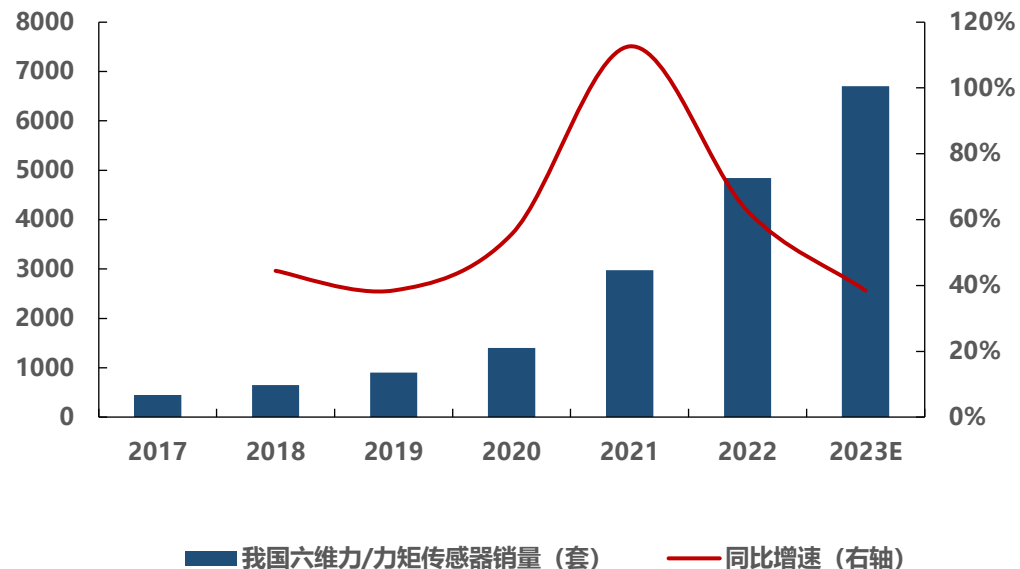
1.本周专题研究：应变片式传感器性能更优，2023年我国六维力矩传感器销量有望突破6700套

- **硅应变传感器综合性能更优。** 根据感力原理的不同，力/力矩传感器主要分为应变式、光学式和压电式三类：1) 应变式力传感器采用硅应变片或金属箔，本质是材料本身发生形变进而转化为阻值变化；2) 光学式传感器是通过光栅反应形变再转化力；3) 电容传感器是利用电容作为敏感元件，将被测压力转换成电容值改变的力传感器；4) 压电式传感器是将被测量物理量变化转换成压电材料因受机械力产生静电电荷或电压变化的传感器。整体来看，硅应变传感器在稳定性、信噪比以及动态特性等方面有较大优势；电容传感器的成本优势明显；光学传感器动态特性优势突出；压电传感器的刚度、动态特性较优。
- **据GGII数据，2022年我国六维力/力矩传感器销量4840套，同比增长62.58%，预计2023年销量有望突破6700套，同比增速40%左右。目前六维力矩传感器的应用下游以机器人（工业机器人、协作机器人）、医疗领域为主，未来人形机器人有望打开六维力矩传感器的应用新场景。**

图表：硅应变传感器综合性能更优



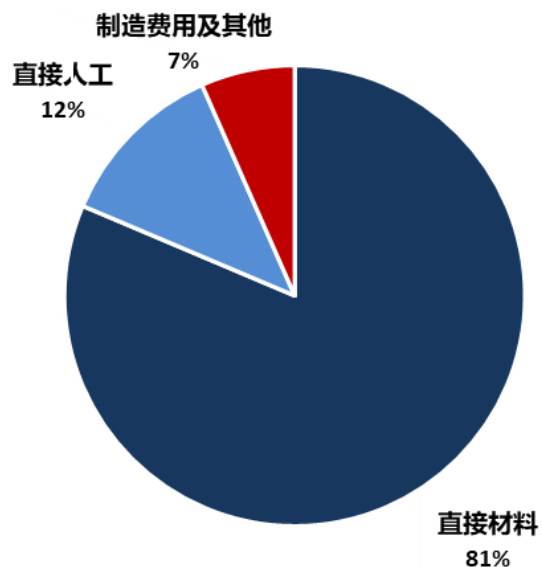
图表：2023年我国六维力/力矩传感器有望突破6700套



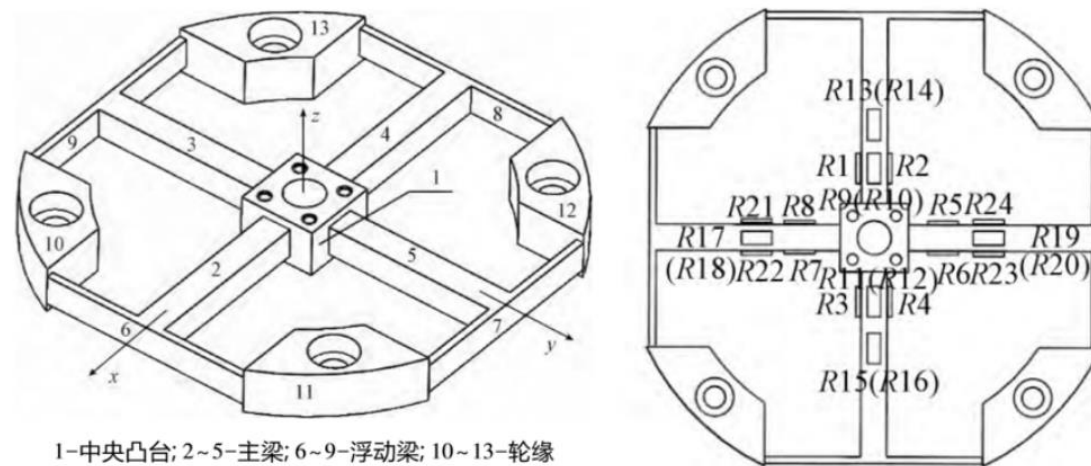
1.本周专题研究：六维力矩传感器研发生产难度大，规模化后降本有望持续体现

■ **六维力/力矩传感器研发生产难度大，规模化后降本有望持续体现。**与单维力传感器相比，多维力/力矩传感器除了要解决对所测力分量敏感的单调性、一致性问题外，还需解决因结构加工和工艺误差引起的维间干扰问题、动静态标定问题以及矢量运算中的解耦算法和电路实现等，对设备和材料要求较高，研发制造难度远高于单维力传感器。应变式力传感器的主要生产原材料为应变片和压头，以柯力传感为例，2022年主营产品应变式传感器的直接材料成本达81%；六维力/力矩传感器所需应变片数量是单维力传感器的数倍，叠加生产难度大，其成本远高于单维力矩传感器，据百度爱采购数据，ATI FC-NANO17六维力/力矩传感器单价为2万元，我们认为，未来随着国内应变片及相关产业链研发、生产能力提升以及下游需求打开，六维力/力矩传感器成本有较大下降空间。

图表：2022年柯力传感应变式传感器直接材料成本占比达81%



图表：某小型化六维力/力矩传感器结构及应变片（24个）粘贴方式示意图



1.本周专题研究：人形机器人奇点渐近，六维力矩传感器国产替代有望加速

- 人形机器人奇点渐近，国内六维力/力矩传感器产业链加速布局。**六维力/力矩传感器早期应用场景以航天领域的空间机械臂为主，欧美国家起步较早，ATI、AMTI等外资供应商在灵敏度、串扰、抗过载能力及维间耦合误差等方面具有领先优势；早期我国研发团队多为国防军工和科研院所，随着工业机器人及协作机器人等民用需求起量，国内本土供应商持续涌现，如宇立仪器、坤维科技、鑫精诚、海伯森、蓝点触控、神源生智能、瑞尔特测控等，均已有相关的产品落地并进入产业化应用。此外，昊志机电、柯力传感、埃力智能等已经具备六维力/力矩传感器的生产能力，部分产品型号开始进入下游用户的验证测试阶段。我们认为，伴随着机器人领域尤其是人形机器人批量应用带来的降本需求，六维力/力矩传感器国内供应商“试用-反馈-迭代-量产”的产业闭环有望逐步实现，而当前人形机器人产业链奇点时刻渐行渐近，国内供应链有望加速实现国产替代。建议关注：柯力传感、瀚川智能、昊志机电。

图表：国内主要六维力/力矩传感器布局企业

公司	六维力/力矩传感器布局
柯力传感	公司开发了三维力、六维力等多维力传感器，可用于机器手臂运动与工作载荷监测、曲面研磨抛光、加工中心精雕加工、医疗设备精密测控等，具有高精度、高灵敏度、抗偏载能力强、维间耦合小等特点。目前多维力系列产品仍处于小批量试制阶段。
瀚川智能	全资子公司苏州瀚海皓星投资管理有限公司于2020年12月投资了坤维科技，持股比例为5.21%。
昊志机电	公司六维力矩传感器当前主要应用在“按摩机器人”产品。
宇立仪器（未上市）	多轴力传感器产品包括六维力传感器、三维力传感器、一维力传感器和关节扭矩传感器。早期主要应用在汽车假人碰撞行业，目前，宇立仪器六维力传感器已拓展到机器人打磨领域，与ABB、库卡均有合作。
坤维科技（未上市）	坤维科技六维力传感器早期应用在火箭、导弹等高速飞行器的空气动力学性能参数测试，未来将主攻协作机器人、服务机器人及人形机器人市场，同时拓展医疗市场和运动健康市场。

2.重点跟踪行业：光伏、储能、锂电

- **光伏设备**：1) N型电池片扩产项目多点开花，光伏设备企业技术持续突破，需求与技术共振，推动光伏产业高景气增长。**建议关注：迈为股份、捷佳伟创等**。2) 光伏产业链价格调整将会使产业链利润重新分配，同时刺激下游需求，有望引导整个产业链向好发展。在产业链调整的过程中，看好以下几个方向：靠近下游的电池组件、电站运营环节；非硅辅材、耗材环节；光伏设备等。**建议关注：双良节能、奥特维等**。
- **锂电设备**：从新技术带来新需求、扩产结构性加速度和打造第二成长曲线等角度出发筛选公司，2023年重点推荐以下方向：1、新技术：①复合集流体从0到1加速渗透，推荐关注相关设备商**东威科技、骄成超声**；②若大圆柱渗透率提升，激光焊接等环节有望受益，推荐关注**联赢激光**；2、锂电储能：2023年或成为国内大储高增速元年，重点关注电池、逆变器、温控、消防等环节；3、主业拓展：锂电设备是少有的能出现千亿级别大市值公司的领域，推荐关注平台型公司**先导智能**；电力电子、激光加工技术具备延展性，需求增长持续性有望更强，推荐关注**星云股份**等；4、出口链：海外扩产有望出现结构加速，推荐关注**杭可科技**。
- **储能**：发电侧和用户侧储能均迎来重磅政策利好，推动储能全面发展。1) 发电侧：2021年8月10日，《关于鼓励可再生能源发电企业自建或购买调峰能力增加并网规模的通知》出台，首次提出市场化并网，超过保障性并网以外的规模按15%的挂钩比例（4小时以上）配建调峰能力，按照20%以上挂钩比例进行配建的优先并网，抽水蓄能、电化学储能都被认定为调峰资源，为发电侧储能打开。2) 用户侧全面推行分时电价，峰谷价差达3到4倍，进一步推动用户侧储能发展。**星云股份**是国内领先的以锂电池检测系统为核心的智能制造解决方案供应商，与锂电池、储能行业头部企业进行战略合作并推广储充检一体化储能电站系列产品。**科创新源**通过液冷板切入新能源汽车和储能赛道，已进入宁德时代供应商体系，随着下游需求不断提升，未来有望放量增长。
- **氢能源**：绿氢符合碳中和要求，随着光伏和风电快速发展，看好光伏制氢和风电制氢。**建议关注：隆基绿能、亿华通、兰石重装、科威尔等**。

2.重点跟踪行业：工程机械、半导体设备、自动化、碳中和、氢能源

- **激光设备**：激光自动化设备市场格局分散，且其通用属性较强，下游分散，行业集中度提高难度较大。激光加工相对于传统方式，优势明显，重点关注其在锂电、光伏等高成长性行业的大规模应用。以锂电池激光焊接为例，若按照激光焊接设备占比10%计算，2021-2025年合计新增需求约487亿元。重点关注深耕细分高景气赛道的激光加工设备龙头，**帝尔激光、联赢激光、大族激光、海目星等**。（详见《2023年投资策略：复苏可期，成长主导，星光渐亮》报告）
- **工程机械**：强者恒强，建议关注龙头公司。**推荐关注：三一重工、恒立液压、中联重科等**。
- **半导体设备**：全球半导体设备市场未来十年翻倍增长，国产替代是一个长期、持续、必然的趋势：1) 根据AMAT业绩会议，预计2030年半导体产业规模将达到万亿美元，即使按照目前14%的资本密集度，设备需求将达到1400亿美元，而2020年为612亿美元。2) 2020年，中国大陆首次成为全球半导体设备最大市场。2021Q1，中国大陆出货额为59.6亿美元，环比增长19%，同比增长70%，仅次于韩国。3) 在瓦森纳体系下，中国半导体设备与材料的安全性亟待提升，而国产化率水平目前仍低。**建议关注：中微公司、北方华创、华峰测控、长川科技、精测电子、芯源微、万业企业、至纯科技、华海清科等**。
- **自动化**：刀具是“工业牙齿”，其性能直接影响工件质量和生产效率。根据中国机床工具工业协会，我国刀具市场规模在400亿元左右，预计到2026年市场规模将达到557亿元。该市场竞争格局分散，CR5不足10%；且有超1/3市场被国外品牌占据。刀具属于工业耗材，下游应用领域广泛，存量的市场需求比较稳定，伴随行业集中度提高和进口环节替代，头部企业有望迎来高速增长机遇。**建议关注华锐精密、欧科亿**。
- **碳中和**：1) 换电领域千亿市场规模正在形成；2) 全国碳交易系统上线在即，碳交易市场有望量价齐升。**建议关注移动换电及碳交易受益标的一一协鑫能科**，公司拥有低电价成本，切入移动能源领域具备优势；坐拥2000万碳资产，碳交易有望带来新的业绩增长。

- 产品和技术迭代升级不及预期
- 海外市场拓展不及预期
- 海外复苏不及预期、国内需求不及预期
- 原材料价格波动
- 零部件供应受阻
- 客户扩产不及预期
- 市场竞争加剧。



邹润芳

中航证券总经理助理兼研究所所长
先后在光大、中国银河、安信证券负责机械军工行业研究，在天风证券负责整个先进制造业多个行业小组的研究。作为核心成员五次获得新财富最佳分析师机械（军工）第一名、上证报和金牛奖等多次第一。在先进制造业和科技行业有较深的理解和产业资源积淀，并曾受聘为多家国有大型金融机构和上市公司的顾问与外部专家。团队擅长自上而下的产业链研究和资源整合。
SAC: S0640521040001



卢正羽:

先进制造行业 研究员 (手机/微信:15517207789)
香港科技大学理学硕士，2020年初加入中航证券研究所，覆盖通用设备、军民融合和计算机板块。
SAC: S0640521060001



闫智:

先进制造行业 研究员 (手机/微信:13121190503)
南京大学工学硕士，2022年7月加入中航证券研究所，覆盖锂电设备、激光设备板块。
SAC: S0640122070030

我们设定的上市公司投资评级如下:

- | | |
|-----------|-----------------------------------|
| 买入 | : 未来六个月的投资收益相对沪深300指数涨幅10%以上。 |
| 持有 | : 未来六个月的投资收益相对沪深300指数涨幅-10%-10%之间 |
| 卖出 | : 未来六个月的投资收益相对沪深300指数跌幅10%以上。 |

我们设定的行业投资评级如下:

- | | |
|-----------|----------------------------|
| 增持 | : 未来六个月行业增长水平高于同期沪深300指数。 |
| 中性 | : 未来六个月行业增长水平与同期沪深300指数相若。 |
| 减持 | : 未来六个月行业增长水平低于同期沪深300指数。 |

分析师承诺

负责本研究报告全部或部分内容的每一位证券分析师，再次申明，本报告清晰、准确地反映了分析师本人的研究观点。本人薪酬的任何部分过去不曾与、现在不与、未来也将不会与本报告中的具体推荐或观点直接或间接相关。

风险提示：投资者自主作出投资决策并自行承担投资风险，任何形式的分享证券投资收益或者分担证券证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

免责声明

本报告由中航证券有限公司（已具备中国证券监督管理委员会批准的证券投资咨询业务资格）制作。本报告并非针对意图送发或为任何就送发、发布、可得到或使用本报告而使中航证券有限公司及其关联公司违反当地的法律或法规或可致使中航证券受制于法律或法规的任何地区、国家或其它管辖区域的公民或居民。除非另有显示，否则此报告中的材料的版权属于中航证券。未经中航证券事先书面授权，不得更改或以任何方式发送、复印本报告的材料、内容或其复印本给予任何其他人。未经授权的转载，本公司不承担任何转载责任。

本报告所载的资料、工具及材料只提供给阁下作参考之用，并非作为或被视为出售或购买或认购证券或其他金融票据的邀请或向他人作出邀请。中航证券未有采取行动以确保于本报告中所指的证券适合个别的投资者。本报告的内容并不构成对任何人的投资建议，而中航证券不会因接受本报告而视他们为客户。

本报告所载资料的来源及观点的出处皆被中航证券认为可靠，但中航证券并不能担保其准确性或完整性。中航证券不对因使用本报告的材料而引致的损失负任何责任，除非该等损失因明确的法律或法规而引致。投资者不能仅依靠本报告以取代行使独立判断。在不同时期，中航证券可发出其它与本报告所载资料不一致及有不同结论的报告。本报告及该等报告仅反映报告撰写日分析师个人的不同设想、见解及分析方法。为免生疑，本报告所载的观点并不代表中航证券及关联公司的立场。

中航证券在法律许可的情况下可参与或投资本报告所提及的发行人的金融交易，向该等发行人提供服务或向他们要求给予生意，及或持有其证券或进行证券交易。中航证券于法律容许下可于发送材料前使用此报告中所载资料或意见或他们所依据的研究或分析。