

证券研究报告

2025年4月6日

行业报告：行业深度研究

电力设备

谐波减速器：人形东风助力国产化进程

作者：

分析师 孙潇雅 SAC执业证书编号：S1110520080009



天风证券
TF SECURITIES

行业评级：强于大市（维持评级）
上次评级：强于大市

请务必阅读正文之后的信息披露和免责声明

摘要

谐波减速器是一种利用柔性齿轮产生可控制的弹性变形波，引起刚轮与柔轮的齿间相对错齿来传递动力和运动的新型传动结构，具备体积小、重量轻、传动能力强的优势，一般用于人形机器人的手臂、手腕等部位。

当前，谐波减速器市场格局以日系厂商为主导，哈默纳科占据80%以上的市场份额。日企哈默纳科的谐波减速器较国产优势主要体现在体积、重量和寿命上。我们认为哈默纳科在谐波领域的领先优势主要体现在齿形设计、柔轮材料、工艺流程上：

- ✓ **齿形设计**：齿轮的齿形与结构是齿轮最核心的部分，直接决定着齿轮的传动性能，哈默纳科具备S齿形和IH齿形两种领先设计。
- ✓ **柔轮材料**：哈默纳科采用V-Ti-Nb复合微合金化（国产多采用V-Ti复合微合金化），成分设计与材质洁净化做得更好，有效提高柔轮的疲劳寿命和稳定性。
- ✓ **工艺流程**：谐波减速器的制造分别需要经历锻造、热处理、粗加工、精密加工、齿轮加工、装配、检验等一系列工艺流程，哈默纳科作为领域龙头，在各环节工艺经验充足。

往后看，随着哈默纳科专利陆续到期+人形机器人放量，我们认为谐波减速器有望迎来国产替代加速。哈默纳科在谐波减速器领域长期占据较大份额原因之一来自其完善的专利布局，但随着时间的推移，专利陆续到期，此块壁垒有望松动。此外，我们分析此前国产化率低除了谐波本身高壁垒，或与市场空间不足、对产业驱动力不足有关，人形机器人一旦放量，有望大幅扩容谐波市场空间，加速全产业链的国产化。

投资建议：看好谐波减速器全产业链国产化机会。谐波环节：建议关注【绿的谐波】（机械组覆盖）、重点推荐【科达利】、重点推荐【斯菱股份】；建议关注柔轮环节：柔轮材料-【翔楼新材】，柔轮加工-【金帝股份】；建议关注刚轮环节：【恒工精密】。

风险提示：人形机器人发展不及预期、股价波动较大风险、技术发展不如预期

1

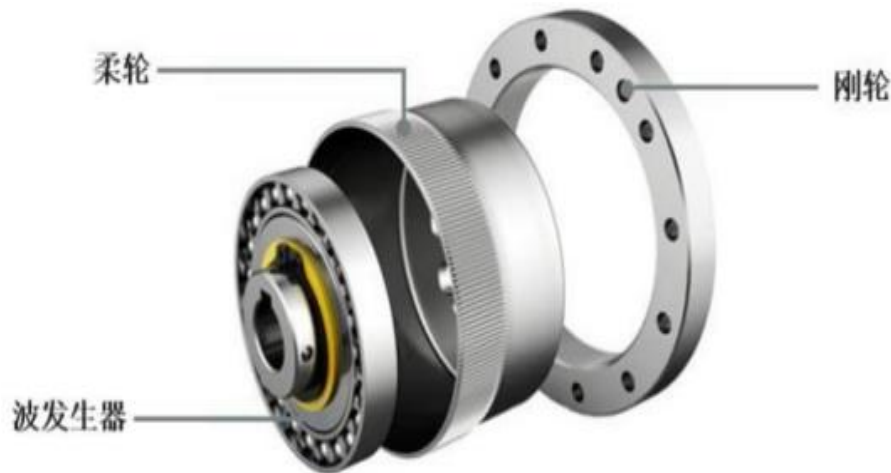
什么是谐波减速器？

谐波减速器：又柔轮、刚轮、波发生器组成，在机器人行业应用广泛

□减速器像是机器人的“关节”，它能让机器人的动作更加平稳、精准，是机器人实现各种复杂动作的关键所在。在人形机器人应用场景中，主要是谐波减速器、RV减速器、行星减速器三类。

□谐波减速器是一种利用柔性齿轮产生可控制的弹性变形波，引起刚轮与柔轮的齿间相对错齿来传递动力和运动的新型传动结构，具备体积小、重量轻、传动能力强的优势。谐波减速器主要由波发生器、柔轮和刚轮三个基本构件组成，当波发生器转动时，会使柔轮产生弹性变形，从而与刚轮实现啮合和脱开的过程，进而实现减速传动。这种传动方式使得谐波减速器具有传动比大、精度高、运动平稳等优点。在对空间和重量要求较高的场景中，谐波减速器有着广泛的应用，比如人形机器人的手臂、手腕等部位。

图：谐波减速器的构成



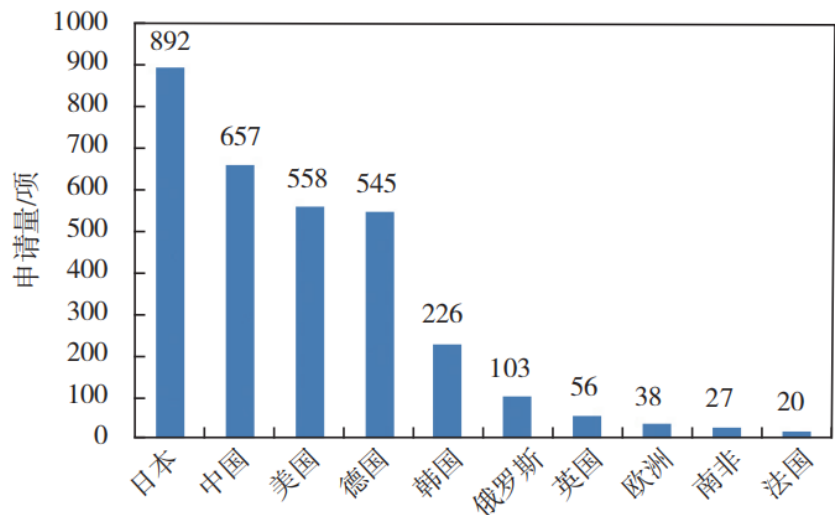
2

谐波减速器当前格局

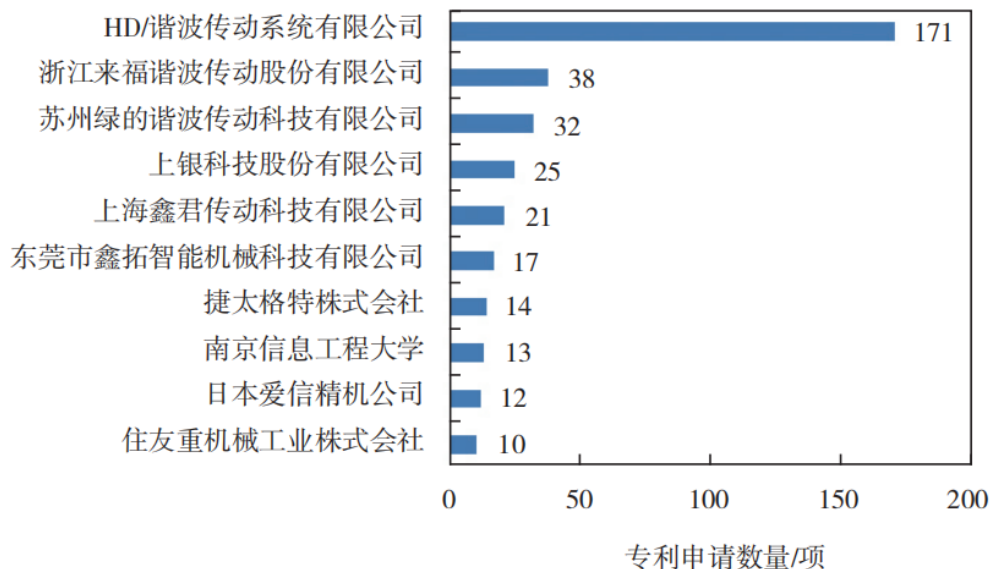
日本在谐波减速器技术积累深厚，特别是哈默纳科

日本在谐波减速器领域技术积累深厚，有大量专利布局。谐波减速器领域包括多类技术，包括总体结构、柔轮、刚轮、凸轮、柔性轴承、交叉滚子轴承、齿形、波发生器、加工制造和试验方法等 10 个关键技术。谐波减速器技术的专利申请主要集中在日本、中国、美国和德国等国家，以上国家的专利申请量占总申请量的 78%。其中，日本的专利申请量最多，达到 892 项，占总申请量的 28%。在我国谐波减速器领域，HD 公司在提交的专利申请量排名在首位。

图：日本在谐波减速器领域技术产出遥遥领先



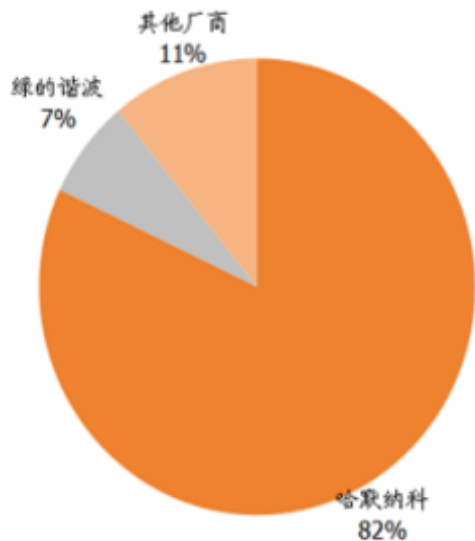
图：2015-2020年我国谐波减速器专利申请数量排名



谐波全球龙头为哈默纳科，占据8成份额

□谐波减速器市场格局以日系厂商为主导，哈默纳科占据最大市场份额。全球谐波减速器市场较为集中。主要参与者为日本的哈默纳科、新宝，中国的绿的谐波、中技克美等。2020年哈默纳科全球市场占有率大于82%，占据主导地位，中企绿的谐波占据7%的市场份额。

图：哈默纳科在谐波减速器领域占据最大市场份额



国产谐波和日企哈默纳科差距主要体现在体积、重量和寿命上

□日企生产的谐波减速器较国产依旧具备相对优势。对比日本Harmonic Drive与绿的谐波对应型号的产品，在性能参数相差无几的情况下，日本 Harmonic Drive 公司生产的谐波减速器具有更小的外形，因此需要的安装空间更小，在体积、重量上都具有优势。设计寿命一项，国内产品远超国外产品，原因可能是计算方法有不同，实际国内产品实际寿命及跑合一段时间后的精度并不如国外产品。

图：日本的谐波减速器产品在性能上具备相对优势

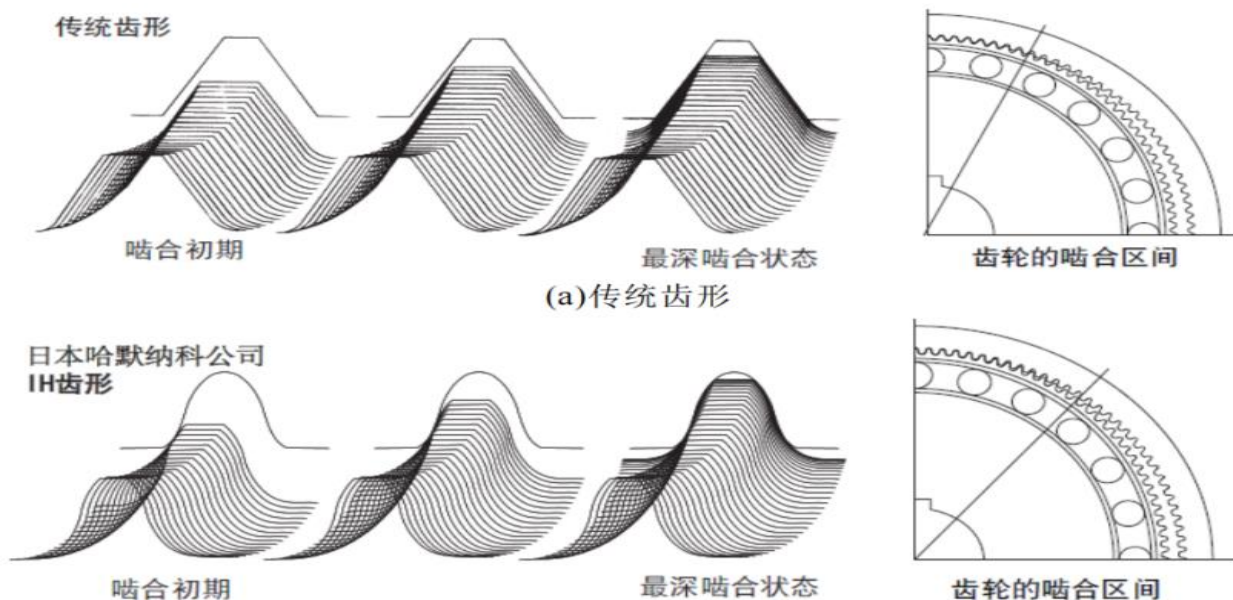
参数指标 Parameter	日本 Harmonic Drive CSF-20-100-2UH	苏州绿的谐波 LCS-20-100-C-I
刚轮外径(mm)	70	94
减速比	100	100
减速器长(mm)	33.5	41
波发生器孔径(mm)	9	10
输出扭矩(Nm)/输入转速(rpm)	40/2000	38/2000
启、停容许最大扭矩(Nm)	82	78
瞬间最大扭矩(Nm)	147	140
间隙（分）	---	≤10
空程（分）	---	≤40
设计寿命 (h)	7000	15000

齿形设计：齿轮最核心的部分，决定着齿轮的传动性能

□ 齿轮的齿形与结构是齿轮最核心的部分，决定着齿轮的传动性能，其他方面的改进只能在此基础上做局部的优化。随着市场的发展，谐波减速器经历了直线齿形、渐开线齿形、圆弧齿形、摆线齿形几个阶段。为了在竞争中取得优势，各家厂商研发出自主高效的独特齿形设计。

□ 哈默纳科作为谐波减速器领域的领头者，开发出了具有自主知识产权的“S”齿形。该齿形基于柔轮曲线映射提出一种齿条近似方法，映射的基准曲线是柔轮齿顶相对于刚轮的啮合轨迹。“S”齿形在空载条件下基本实现了连续接触，突破了传统齿形只有在负载条件下才能实现多齿啮合的连续接触的状况。“S”齿形相比于渐开线齿形，在相同传动效率的情况下，同时参与啮合齿数加倍，齿根处的圆角半径增大，使柔轮轮齿的抗疲劳强度能力提升1倍，扭转刚度也提高了70%~100%。之后，公司又对S齿形进行修形设计，研发出了IH齿形。

图：哈默纳科的IH齿形

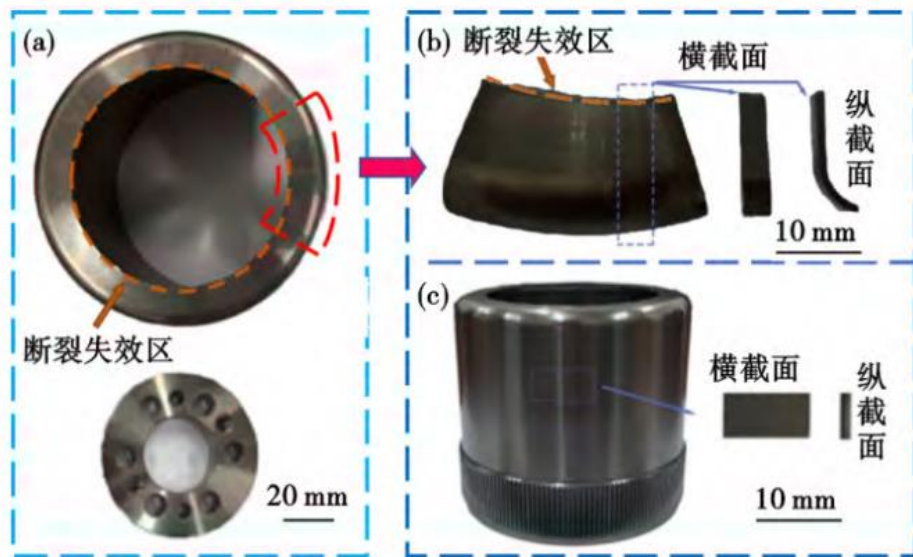


柔轮材料：影响谐波减速器的疲劳寿命

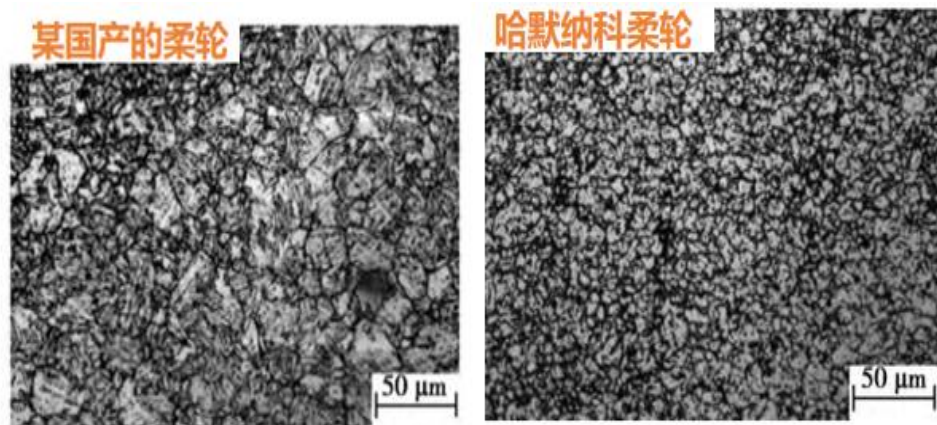
□柔轮是谐波减速器的关键部件，柔轮特殊的受力情况使柔轮成为最容易发生疲劳失效的零件，根据《谐波减速器服役过程中柔轮断裂失效原因分析与工艺改进》，由疲劳断裂导致的柔轮失效占总失效形式的60%以上，是谐波减速器失效的主要形式。哈默纳科在柔轮材料工艺方面建立起先发优势。

□哈默纳科的材料优势提高了其柔轮的疲劳寿命和稳定性。目前国内外均主要采用40CrA等中碳合金钢，其热处理工序多，处理细致，国内主要靠自主摸索积累经验，缺乏相关系统的基础研究。材料的差异化主要体现在特殊钢中的微合金成分中，哈默纳科采用V-Ti-Nb复合微合金化（国产多采用V-Ti复合微合金化），晶粒度级达到11.5级（下图国产柔轮在7.5-10.5），成分设计与材质洁净化做得更好，有效提高柔轮的疲劳寿命和稳定性。

图：特殊的受力情况使柔轮成为最容易疲劳失效的零件



图：对比组织的原奥氏体晶粒，国产柔轮明显更粗大（晶粒度级更低）



工艺流程：谐波减速器制造的流程繁复带来工艺要求

□谐波减速器的制造分别需要经历锻造、热处理、粗加工、精密加工、齿轮加工、装配、检验等一系列工艺流程，每个环节都需要相应的工艺积累。其中，柔轮属于薄壁构件，且不同类型的柔轮，筒体结构各不相同，柔轮的加工工艺较为复杂。由于新齿形的发展，刚、柔轮刀具的通用性受到限制，使得新型加工工艺如净成形加工逐渐成为研究方向。哈默纳科作为领域龙头，具备50年的工艺经验积累，使产品的性能、质量、寿命得到保证，并持续在设计、材料、生产上进行优化。

图：谐波减速器的制造流程



3

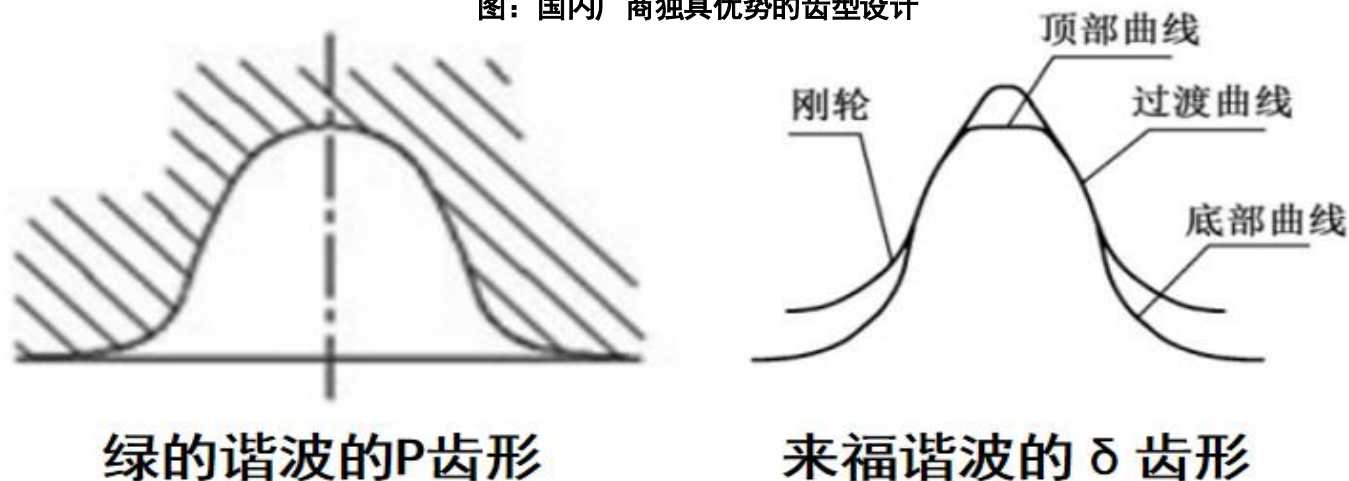
后续格局：专利到期+人形放量，有望加速谐波减速器国产替代

国内企业另辟蹊径开发新齿形+哈默专利到期，国产替代可期

□国内企业积极开发独特齿形，避开专利壁垒。随着在谐波减速器领域技术经验的积累，国内企业自主开发的齿形技术走出与哈默纳科不同的技术路线。1) 国内苏州绿的谐波研发出了P型齿，这种齿型齿高低，齿宽与齿根弧度较大，故齿面比压较小，齿根断裂失效的风险较小。此外，P型齿柔轮径向变形量较小，减小了谐波减速器在运转过程时柔轮的交变应力，从而提高了柔轮疲劳寿命，较适合于短杯型的柔轮；2) 浙江来福推出一种“ δ ”齿形，包括顶部曲线、过渡曲线、底部曲线，过渡曲线的弧顶向外凸出，底部曲线的弧顶向内凹陷，且顶部曲线、过渡曲线与底部曲线之间平滑连接，寿命提高超过30%，转矩容量提升超过30%，传动的平稳性得到显著提高。

□哈默纳科技术基本专利到期，国产谐波减速器或迎来替代机会，后进厂商可以利用过期专利使其谐波减速器产品获得基本性能。此外，早期（特别是2000年之前）谐波减速器研发聚焦于本体相关技术（传动装置、测量技术等），此后研发重心逐步向应用端（机械手、电机等）转移，我们分析谐波减速器本体的技术壁垒未来有望因早期关键专利过期而降低。

图：国内厂商独具优势的齿型设计



人形机器人放量有望加速谐波国产化进程

□我们分析此前国产化率低除了谐波本身高壁垒，或与市场空间不足、对产业驱动力不足有关，但人形谐波相比工业谐波空间有显著提升，有望加速全产业链的国产化。

□从产能角度看，哈默纳科和绿的谐波合计产能在几百万级别，人形机器人市场空间增长时增长曲线陡峭，易于出现紧张。根据哈默纳科最新财报，公司目前工业谐波年产能在200万台。具体情况为：1) 车载谐波：9万台/月；2) 工业谐波：16.5万台/月，有明4万+穗高9万+德国2.7万+美国0.8万。绿的谐波目前规划产能在100万台。

4

投资建议

投资建议

□看好谐波减速器全产业链国产化机会。

✓ 谐波环节：建议关注【绿的谐波】（机械组覆盖）、重点推荐【科达利】、重点推荐【斯菱股份】；

✓ 建议关注柔轮环节：柔轮材料-【翔楼新材】，柔轮加工-【金帝股份】；

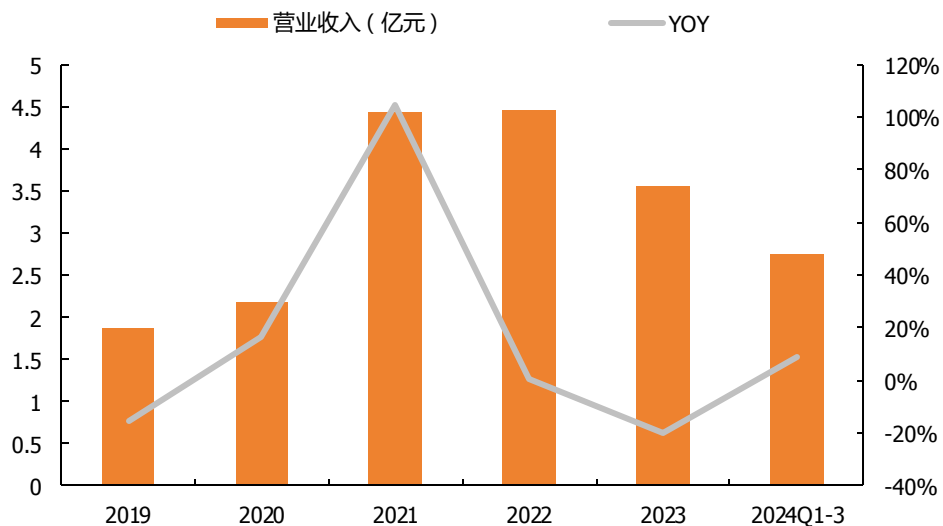
✓ 建议关注刚轮环节：【恒工精密】。

绿的谐波：具备多年经验工艺经验的老牌谐波厂商

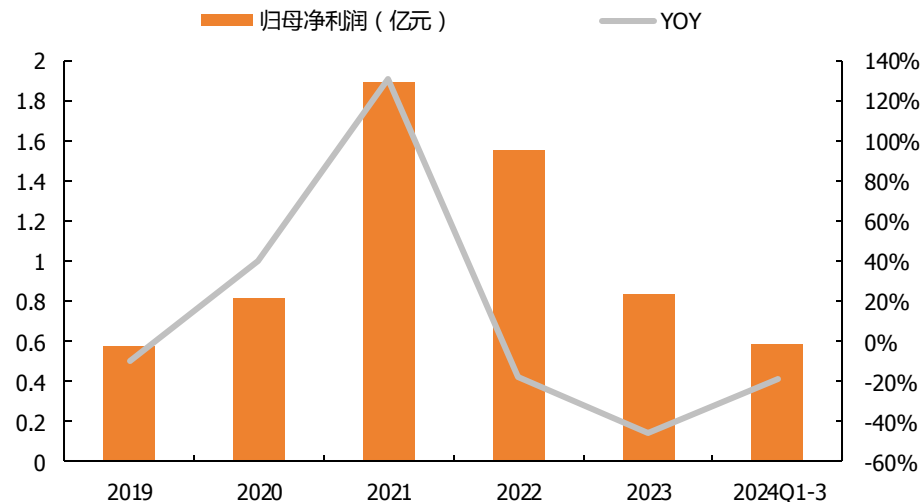
国内老牌谐波减速器企业：全球份额仅次于哈默纳科，主营产品包括谐波减速器、机电一体化执行器、高精度数控转台等，产品广泛应用于机器人、数控机床、航空航天、激光加工、3C电子与半导体、工厂自动化、医疗器械、物流自动化等领域。自2003年开始，公司核心团队就从事机器人用精密谐波减速器理论基础的研究，具备多年的技术积累。

产能准备充足：2023年绿的谐波完成了年产50万台精密减速器的扩产项目，还计划建设100万台新一代应用三次谐波技术的谐波减速器，预计2025年投产，2027年满产并达到159万台。

图：绿的谐波2019-2024Q1-3的营业收入



图：绿的谐波2019-2024Q1-3的归母净利润

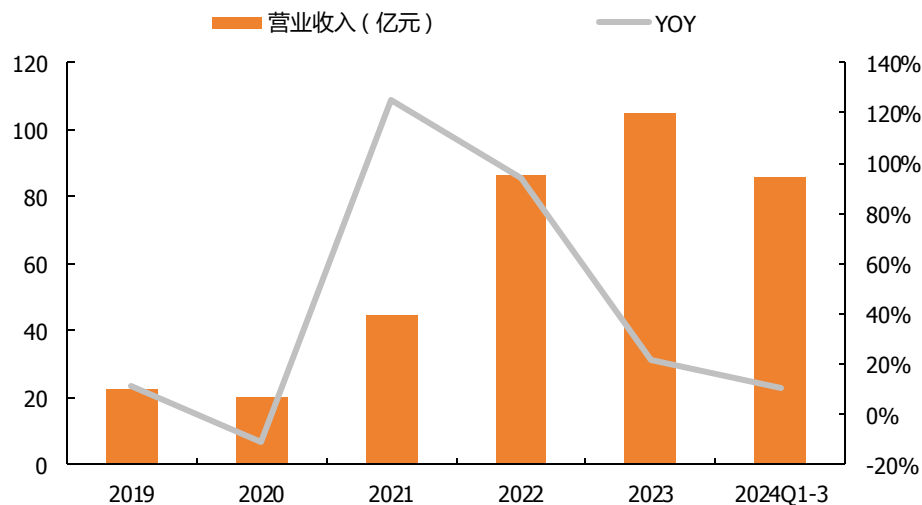


科达利：深度布局谐波减速器和关节模组，技术来自中国台湾公司盟英

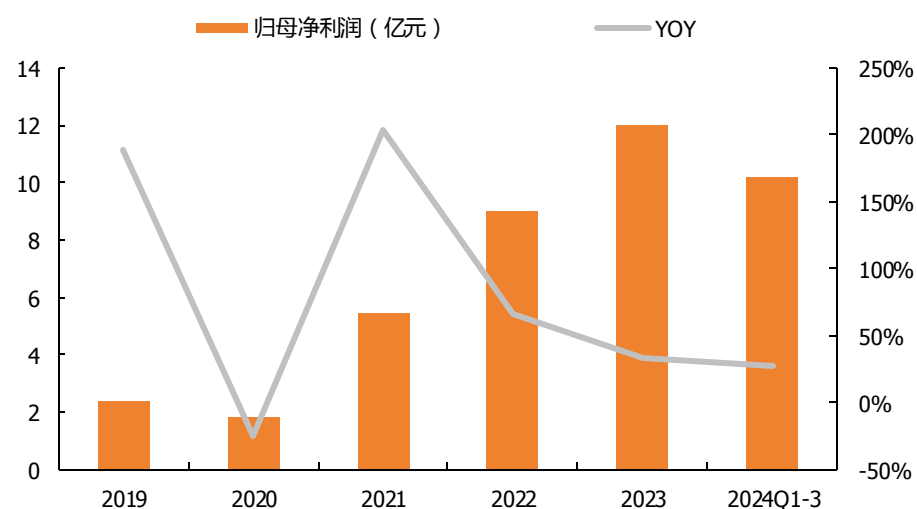
□**在结构件领域有深厚积累：**一家锂电池精密结构件和汽车结构件研发及制造企业，产品主要分为锂电池精密结构件、汽车结构件两大类，广泛应用于汽车及新能源汽车、便携式通讯及电子产品、电动工具、储能电站等众多行业领域。公司坚持定位于高端市场、采取重点领域的大客户战略。

□**切入谐波减速器领域：**与苏州伟创、上海盟立共同投资设立深圳伟达立，旨在打造第二增长曲线打开未来成长空间。技术上，谐波减速器技术来源于中国台湾和海外地区，并已在减速器制造领域积累了多年经验，形成了坚实的技术基础。

图：科达利2019-2024Q1-3的营业收入



图：科达利2019-2024Q1-3的归母净利润

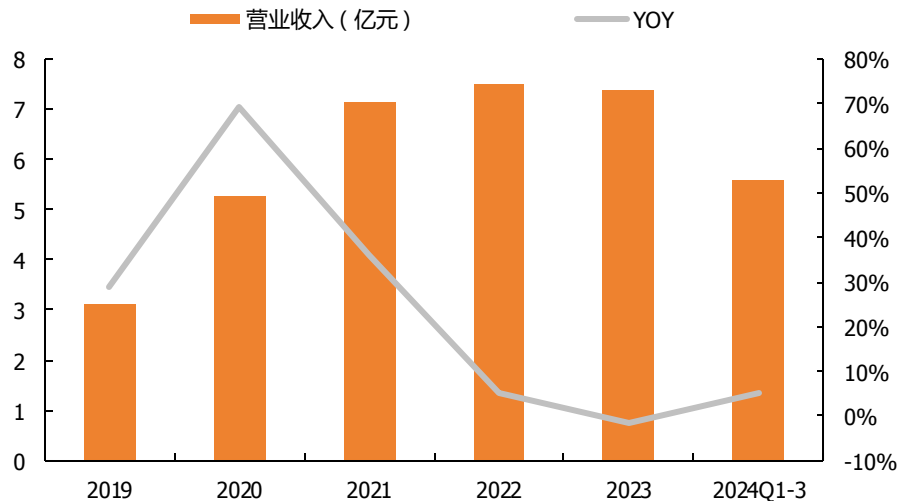


斯菱股份：产品定位谐波，工艺和主业轴承有共通性

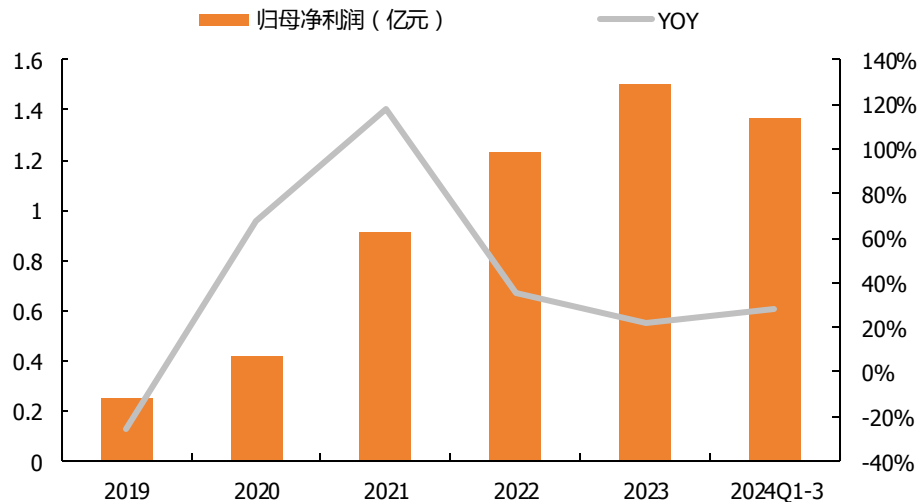
公司介绍：是一家专业生产汽车轴承的汽车零部件制造企业，主营业务为汽车轴承的研发、制造和销售。所研发的产品涉及轮毂轴承、轮毂轴承单元、圆锥轴承、离合器、涨紧轮及惰轮轴承等多个产品系列。公司建立了包括车加工、热处理、磨加工、装配等轴承加工全产业链的先进智造系统，运用自动化、智能化制造提高产品品质和运营效率。

切入谐波减速器领域：目前公司主要聚焦于谐波减速器的研发和量产，该产品适用于工业机器人、协作机器人、人形机器人等多个应用场景。谐波减速器的核心设备已于2024年底陆续到位，安装调试结束后可开始小批量量产。同时，公司计划将于2025H1投资第二产线。

图：斯菱股份2019-2024Q1-3的营业收入



图：斯菱股份2019-2024Q1-3的归母净利润

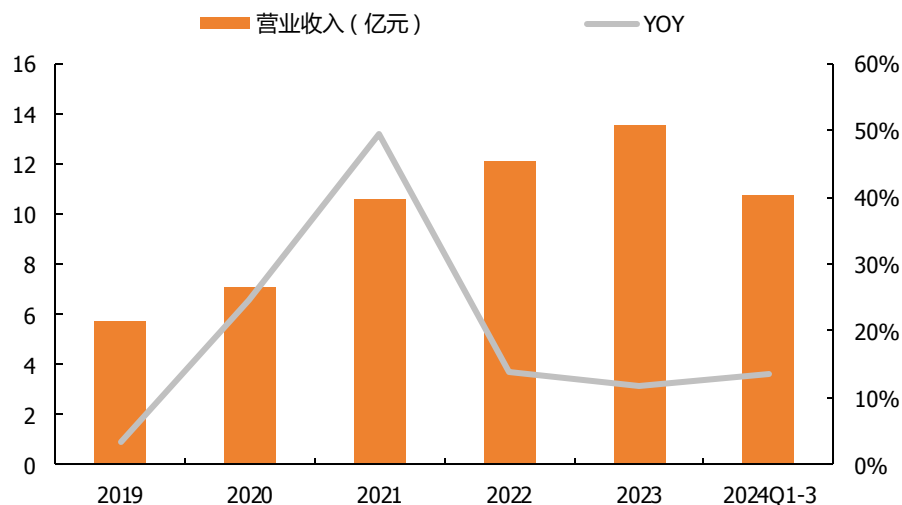


翔楼新材：专攻减速器柔轮材料，精冲路线生产效率优势明显

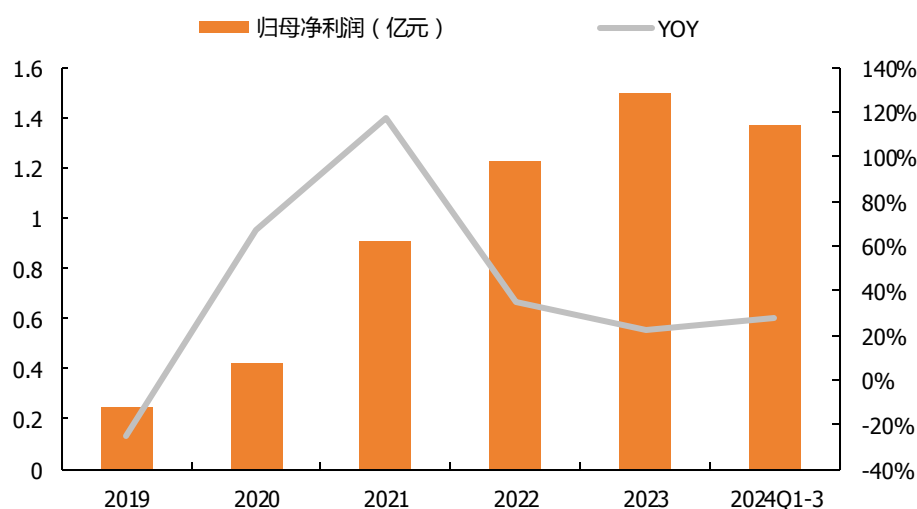
□**公司介绍：**主要从事定制化精密冲压特殊钢材料的研发、生产和销售，产品包括碳素结构钢、合金结构钢等特种结构钢及弹簧钢、轴承钢、工具钢等特种用途钢。公司产品主要用于各类汽车精冲零部件，应用范围覆盖汽车发动机系统、变速器与离合器系统、座椅系统，内饰系统等结构件及功能件。此外，公司部分产品亦用于精密刀县、电气零部件等领域。

□**柔轮材料业务：**减速器柔轮用的钢材材料研发进度已经完成60%，后面根据客户认证的反馈进行进一步调整。目前材料的框架已经基本定好，后面会在现有框架下进行细微调整。公司的精冲路线生产效率优势明显，一分钟能生产多个柔轮胚料，缩短工序。

图：翔楼新材2019-2024Q1-3的营业收入



图：翔楼新材2019-2024Q1-3的归母净利润

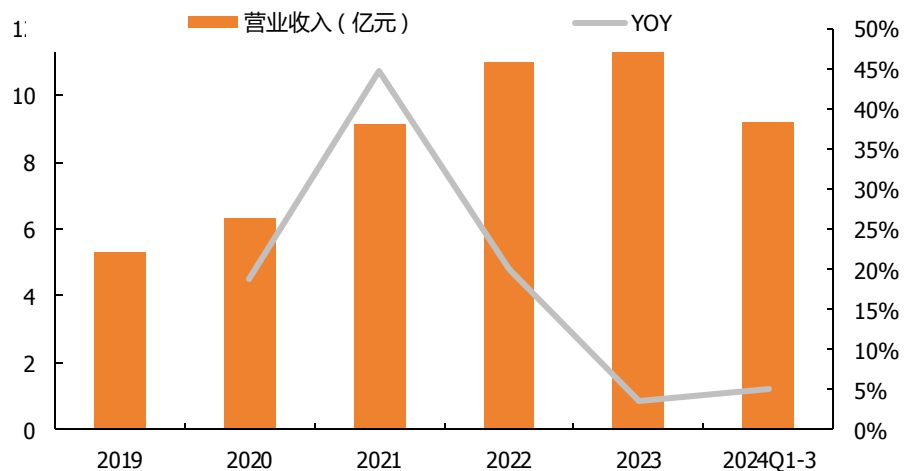


金帝股份：产品定位柔轮初坯，工艺上采用精密冲压替代传统锻造

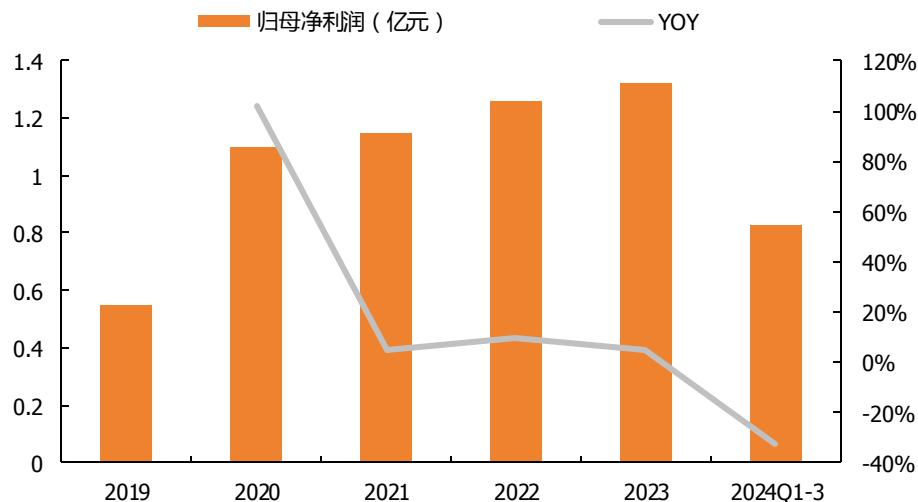
□**公司介绍：**公司主要产品包括轴承保持架和汽车精密零部件两大类。轴承保持架产品广泛应用于汽车工业、风电设备、工程机械、机床工业、智能化高端装备等众多领域。

□**探索以精密冲压工艺代替锻造工艺研发生产柔轮初坯产品，**该产品需要协同钢材母材生产厂、精冲材料二次加工压延厂商进行原材料的开发，以替代国外进口材料，从而满足该产品需要一定的刚性和柔性的特殊材质。目前，柔轮初坯产品尚处于研发阶段，需要根据客户的工艺技术要求试制并由客户进行加工装配进行性能测试。

图：金帝股份2019-2024Q1-3的营业收入



图：金帝股份2019-2024Q1-3的归母净利润

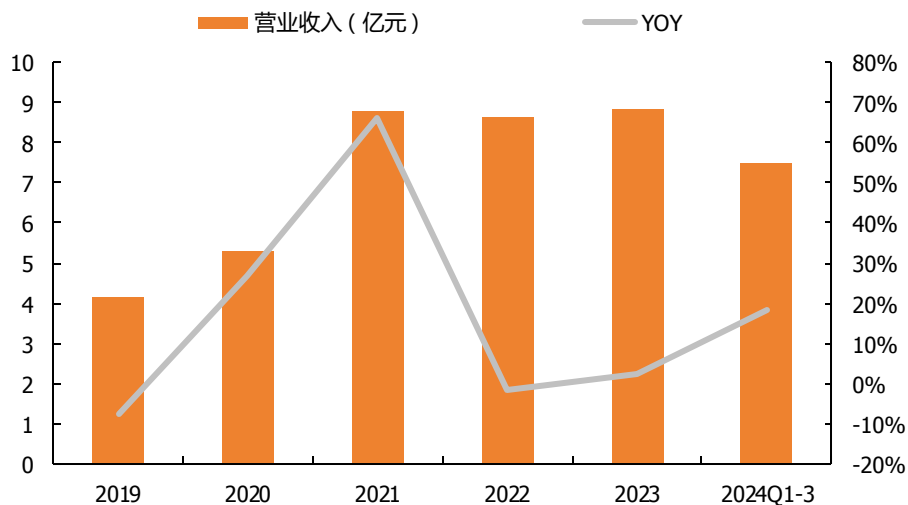


恒工精密：国内连铸球墨铸铁龙头，专注谐波减速器刚轮材料开发

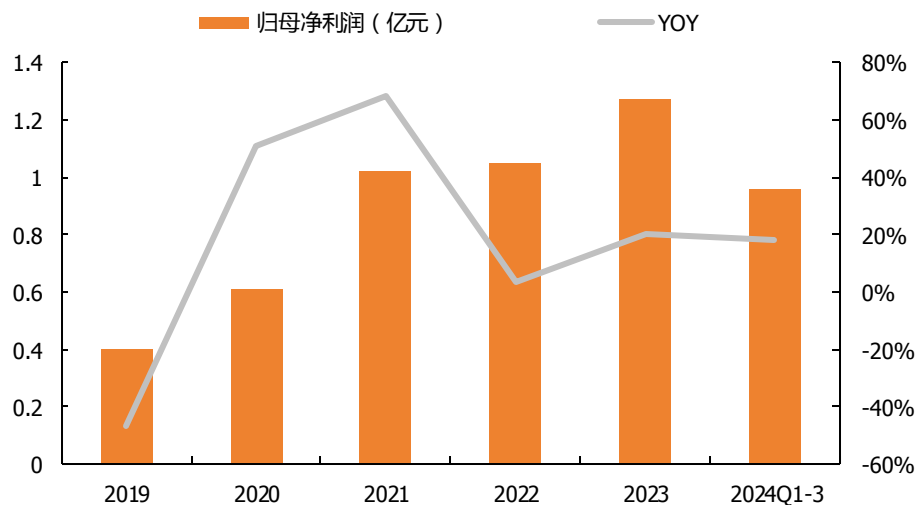
□公司在工业部件领域具备深厚积累：公司专注于流体科技新材料的研发、生产加工和销售，产品广泛应用于液压动力机械、空压领域、注塑机及配件领域、减速机领域、新能源车零部件制造等多个领域。

□布局减速器刚轮材料：公司目前谐波减速机相关产品主要为刚轮，公司在减速机核心部件领域的发展战略为重点专注于关键材料和核心部件，减速机部件客户和产品拓展方面已经做到了成熟量产。

图：恒工精密2019-2024Q1-3的营业收入



图：恒工精密2019-2024Q1-3的归母净利润



风险提示

- **人形机器人发展不及预期：**本文看好谐波国产化一大前提是人形机器人的发展和放量，若行业进展不及预期，将影响全文的逻辑推演。
- **股价波动较大风险：**机器人行业属于0-1阶段，板块股价波动较大。
- **技术发展不如预期：**国内企业谐波减速器技术研发进度不及预期，将影响全文逻辑推演。

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：我们具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，本报告所表述的所有观点均准确地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法。我们所得报酬的任何部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体投资建议或观点有直接或间接联系。

一般声明

除非另有规定，本报告中的所有材料版权均属天风证券股份有限公司（已获中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）及其附属机构（以下统称“天风证券”）。未经天风证券事先书面授权，不得以任何方式修改、发送或者复制本报告及其所包含的材料、内容。所有本报告中使用的商标、服务标识及标记均为天风证券的商标、服务标识及标记。

本报告是机密的，仅供我们的客户使用，天风证券不因收件人收到本报告而视其为天风证券的客户。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但天风证券对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的信息、意见等均仅供客户参考，不构成所述证券买卖的出价或征价邀请或要约。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。客户应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，天风证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。过往的表现亦不应作为日后表现的预示和担保。在不同时期，天风证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。

天风证券的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。天风证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。天风证券的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

特别声明

在法律许可的情况下，天风证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。因此，投资者应当考虑到天风证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突，投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。

投资评级声明

类别	说明	评级	体系
股票投资评级	自报告日后的6个月内，相对同期沪深300指数的涨跌幅	买入	预期股价相对收益20%以上
		增持	预期股价相对收益10%-20%
		持有	预期股价相对收益-10%-10%
		卖出	预期股价相对收益-10%以下
行业投资评级	自报告日后的6个月内，相对同期沪深300指数的涨跌幅	强于大市	预期行业指数涨幅5%以上
		中性	预期行业指数涨幅-5%-5%
		弱于大市	预期行业指数涨幅-5%以下