

2025年05月05日

外骨骼机器人需求星辰大海，关注产业链投资机会

中小盘研究团队

——中小盘策略专题

周佳（分析师）

zhoujia@kysec.cn

证书编号：S0790523070004

张越（分析师）

zhangyue1@kysec.cn

证书编号：S0790524090003

● 外骨骼机器人迈向成熟化，能够解决下游诸多领域痛点，产业前景广阔

外骨骼机器人是一种结合外骨骼结构与机器人技术的可穿戴智能设备，通过机械结构、驱动系统与人体运动系统耦合，实现对肢体运动的辅助、增强或康复训练。商业化早期主要应用于医疗康复和军工，后续拓展至工业和民用领域。无源外骨骼结构相对简单，完全依赖机械结构和材料特性提供助力，未来向轻量化和机械设计优化的方向发展。有源外骨骼集成了精密的传感器、控制系统和动力装置，可以根据不同的任务和场景通过软件编程等方式灵活调整助力模式和力度大小，能够适应多种复杂的动作和运动状态，但售价昂贵，未来向 AI 融合、能源突破、柔心/轻量化驱动的方向发展。外骨骼商业模式呈现“场景分化、技术支撑、生态协同”特征，预计 2030 年全球市场规模达 146.7 亿美元，年复合增长率达 42.2%。

● 有源外骨骼可分为机械/驱动/传感/控制/能源五大模块

有源外骨骼通用的结构可分为机械系统、驱动系统、传感系统、控制系统、能源系统五大模块，需结合具体的应用场景进行个性化设计。其工作原理的核心是通过“感知-处理-驱动-反馈”闭环系统，实现对人体运动意图的实时捕捉、智能处理及机械助力输出，最终达成人机协同运动。机械系统方面，其设计需严格遵循仿生学原理与人体工程学准则，确保与人体运动结构高度适配，具体包括关节结构、框架与连杆、传动装置以及绑缚与支撑；驱动系统方面，多采用电动机驱动系统，通过电机搭配行星/谐波减速器实现，部分场景会用到丝杠；传感系统方面，其核心作用是人机交互桥梁、环境感知中枢、状态监测，具体可以包括关节角度传感器、足底压力传感器、惯性测量单元 IMU、生理电信息采集系统等；控制系统对采集到的信号处理成电信号正确并按照期望传递到驱动上；能源系统方面，需兼顾能量密度、轻量化、安全性及续航需求，涉及能源类型选择、供电方案设计、能量管理技术等关键环节。

● 有源外骨骼具有较高的技术壁垒，体现在步态检测技术、人机协同等方面

有源外骨骼机器人的技术壁垒包括结构设计、绑带设计、电源续航、步态检测技术、人机协同行走控制等。其中步态检测和人机协同是核心难点。步态检测的准确性及可靠性是控制的前提和基础。目前步态检测的传感器技术能够归纳为足底感知技术、肢体感知技术、混合感知技术三种。人机协同行走控制是外骨骼机器人系统最为关键的技术，本质是外骨骼伴随人体运动时人机间作用力最小。控制系统的设计会直接影响驱动效果和人机交互性。

● 受益标的

外骨骼机器人的受益标的有两条主线：（1）上游硬件端。受益标的美股股份（关节减速器）、宏昌科技（关节减速器）、华依科技（IMU）；（2）中游产品端。受益标的振江股份、探路者。

● 风险提示：宏观经济波动、下游需求不及预期、产品开发不及预期的风险。

相关研究报告

《品牌化运营元年，全渠道布局成效初显—中小盘信息更新》-2025.4.30

《经营业绩稳健增长，核心部件国产替代加速—中小盘信息更新》-2025.4.30

《Q1 业绩靓丽，首发全栈辅助驾驶解决方案—中小盘信息更新》-2025.4.29

目 录

1、 2025 年或为外骨骼机器人需求高企元年.....	3
2、 投资建议.....	12
2.1、 上游硬件端.....	13
2.2、 中游产品端.....	14
3、 风险提示.....	15

图表目录

图 1： 广义的外骨骼机器人是对人体运动进行辅助或者主动助力的一体化机械设备.....	3
图 2： 外骨骼机器人按照应用领域可分为军用/工业用/康服用.....	4
图 3： 外骨骼机器人的应用场景包括康养、工业、民用消费和军工等.....	5
图 4： 国外负重外骨骼助力机器人的设计形形色色.....	5
图 5： 外骨骼机器人的历史发展进程.....	6
图 6： 无源外骨骼机器人的整体结构.....	6
图 7： 典型的无源外骨骼.....	7
图 8： 有源外骨骼机器人功能的实现依赖于传感器、驱动、执行器等的协调.....	7
图 9： 负重外骨骼机器人通过机械系统达到传递重量目的.....	8
图 10： 哈工大对腿部驱动单元的设计.....	9
图 11： 关节结构包括电机、谐波、驱动器以及编码器.....	9
图 12： 关节角度传感器收集关节的转动数据.....	10
图 13： 足底压力传感器系统收集脚部的数据.....	10
图 14： 控制系统的原理包括位移测量、补偿模型等环节.....	11
图 15： 外骨骼实验的控制系统架构包括上机位、中间层和底层.....	11
图 16： 智能能量管理系统（BMS）工作原理示意图.....	12
图 17： 外骨骼机器人产业链纵览.....	12
图 18： 公司的行星减速器、谐波减速器系列产品.....	13
图 19： 广东良质关节的产品主要为减速器.....	14
表 1： 外骨骼机器人按照动力来源可分为无源和有源外骨骼.....	3
表 2： 外骨骼机器人机械系统构成.....	8
表 3： 物理状态监测功能传感器包括关节、惯性等.....	10
表 4： 重点公司盈利预测与估值.....	15

1、2025 年或为外骨骼机器人需求高企元年

外骨骼机器人是一种结合外骨骼结构与机器人技术的可穿戴智能设备，通过机械结构、驱动系统与人体运动系统耦合，实现对肢体运动的辅助、增强或康复训练。广义上来看，外骨骼助力机器人是指任何能够根据实际需求对人体运动进行辅助或者主动助力的人机一体化机器设备。狭义上来说，是指穿戴在人身上，通过机载计算机系统对传感系统传来的人体运动信息进行运算推理，进而完成外骨骼各驱动关节控制的人机一体化机器设备。从分类上来看，按照驱动关节的个数可以划分为单关节和多关节机器人，按照是否有外部能源可以划分为有源和无源外骨骼机器人。单关节外骨骼助力机器人很容易区分，即髌、膝、踝外骨骼助力机器人系统；多关节外骨骼助力机器人与其相比具有更好的助力效果和能力，在结构设计、驱动方式、步态感知、控制策略及能源配置等问题上更加复杂。无源外骨骼不使用电源，完全依赖机械结构与材料特性提供支撑力。例如利用弹簧、杠杆、气动或碳纤维等材料在形变时储存能量，并在恢复形状时释放能量。有源外骨骼需要装配电池等电源，内置主动动力源，如高性能电机等，能够主动产生能量来辅助人体运动。

图1：广义的外骨骼机器人是对人体运动进行辅助或者主动助力的一体化机械设备



资料来源：傲鲨智能官网

表1：外骨骼机器人按照动力来源可分为无源和有源外骨骼

划分依据	具体分类	解释
按功能划分	增强型外骨骼	帮助使用者增强肌肉能力、减轻负荷,多应用于军事领域及工业领域
	康复型外骨骼	辅助肢体运动障碍患者进行康复训练，多应用于医疗康复领域
按动力来源划分	无源外骨骼	不需要电源供电，主要通过机械结构设计来匹配人体关节进行布局，利用弹性材料的合理布局与组合来实现助力效果，其结构相对简单，制造成本、重量和灵活度方面表现优异，适合长时间穿戴，但通常无法根据不同用户或使用场景进行大幅调整，缺乏实时的自适应能力
	有源外骨骼	集成了精密的传感器、控制系统和动力装置；传感器能实时感知人体运动意图，控制系统根据传感器反馈的数据，实时调整动力装置输出的力量，精确匹配穿戴者的动作需求，提供恰

划分依据	具体分类	解释
按结构划分	上肢外骨骼	到好处的辅助力量，在增强平衡性与稳定性方面表现出色 穿戴部位为使用者背部，由主机箱、上肢固定结构、可动关节及连接结构等组成，其中主机箱中装有系统运行平台、感应控制、电源等设备；上肢外骨骼机器人通过仿真机械设计,将肩关节、肘关节、腕关节设计为可动关节，可帮助使用者增强上肢力量、减轻负重、减少身体损伤及提升工作效率，并让使用者可从容应对更多复杂精密工作。
	下肢外骨骼	下肢外骨骼机器人可覆盖腰部、髋关节到脚部的位置，由主机箱、下肢固定结构、可动关节及连接结构组成，部分产品配备了拐杖以实现支撑和控制功能；下肢外骨骼机器人通过传感系统、动力输出装置、控制系统及能源系统等技术，可帮助使用者通过行走训练提升肌肉力量、恢复下肢神经、避免关节及肌肉萎缩

资料来源：头豹研究院、开源证券研究所

图2：外骨骼机器人按照应用领域可分为军用/工业用/康服用



资料来源：灼鼎咨询

外骨骼机器人商业化早期主要应用于医疗康复和军工，后续拓展至工业和民用领域。外骨骼机器人早期在军用领域有深度的应用。外骨骼机器人起源于上世纪的军用领域，美国军方率先展开研究，目的是提升士兵的作战能力。2000年美国国防高级研究计划局制定“增强人体机能的外骨骼”项目计划，正式将动力外骨骼的研发纳入军队未来装备发展重点方向。典型的军用外骨骼产品包括HULC和傲鲨智能研发的HEMS-L。HULC采用钛合金为主要材料，使用皮带捆绑作为人机结合方式，自重24kg，最大负重91kg，搭载锂离子电池为动力源，在电池满电时可保证穿戴者以4.8km/h的速度行进1h，采用髌膝—踝关节液压驱动方式。**外骨骼机器人在康复医疗领域有重要应用。**下肢外骨骼机器人能够替代康复医师来完成对病人的康复训练，并且对于外骨骼机器人的步态规划可以根据不同病人的具体情况进行不同设定，以求对病人的康复治疗达到最好的治疗效果。在利用外骨骼机器人对病人进行康复训练的同时，利用外骨骼机器人的传感器对病人的肌电信号，步态轨迹，生物力学等相关数据进行采集与分析，可以对病人的病情进行更加精确的分析，加深对于下肢

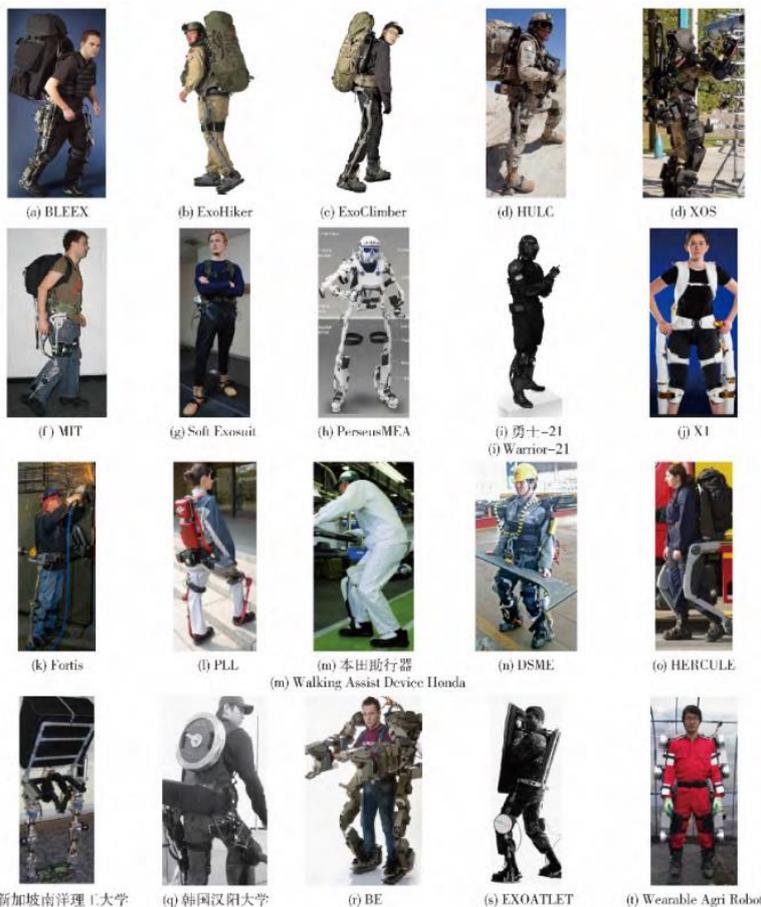
疾病患者的病理性分析与相应诊疗方案。外骨骼机器人向工业和民用消费领域拓展。以汽车工业为例，目前的末端汽车总装线工位依旧无法被自动化设备所取代，这些工位作业对工人的肩部和腰部骨骼关节带来极大损伤，外骨骼机器人可以大幅度增强人类的上肢力量、降低劳动强度、提高整体作业效率

图3：外骨骼机器人的应用场景包括康养、工业、民用消费和军工等



资料来源：前瞻经济学人

图4：国外负重外骨骼助力机器人的设计形形色色



资料来源：《多关节外骨骼助力机器人发展现状及关键技术分析》

图5：外骨骼机器人的历史发展进程



资料来源：灼鼎咨询、开源证券研究所

无源外骨骼结构相对简单，完全依赖机械结构和材料特性提供助力，例如碳纤维弹簧储能、杠杆原理或气动装置。无源外骨骼不使用电源，利用弹簧、杠杆、气动或碳纤维等材料在形变时储存能量，并在恢复形状时释放能量。无源外骨骼主要由机械支架、无动力弹性元件及连接件构成，分别对应于人体骨骼肌中的骨骼、肌肉和肌腱，是仿生学、动力学和机械工程的结合。由于质量重会导致运动不协调及能量消耗多，因此要保证外骨骼结构紧凑、材料的强度高密度低，满足轻量化的使用要求。目前无动力外骨骼中常采用流体弹簧、涡卷弹簧、形状记忆合金、弹性软体材料等。无源外骨骼的工作原理是利用人体运动中被动消耗的能量。运动中被动消耗的能量，通过适当地力传递与能量储存，并在运动中需要人体肌肉做出正功的时候释放这些能量、输出助力，就能减轻人体肌肉负荷，从而省力。以程天科技易行无源外骨骼产品 EasyGo 为例，其将产品价格从万元级降至 2500 元，采用碳纤维增强尼龙复合材料，整机重量不到 2.5 公斤。这类产品主要面向 C 端市场，如景区租赁或家庭康复。无源外骨骼的创新方向集中在材料轻量化和机械设计优化。

图6：无源外骨骼机器人的整体结构



资料来源：《一种无源髋关节助力外骨骼设计与人机工程研究》

图7：典型的无源外骨骼

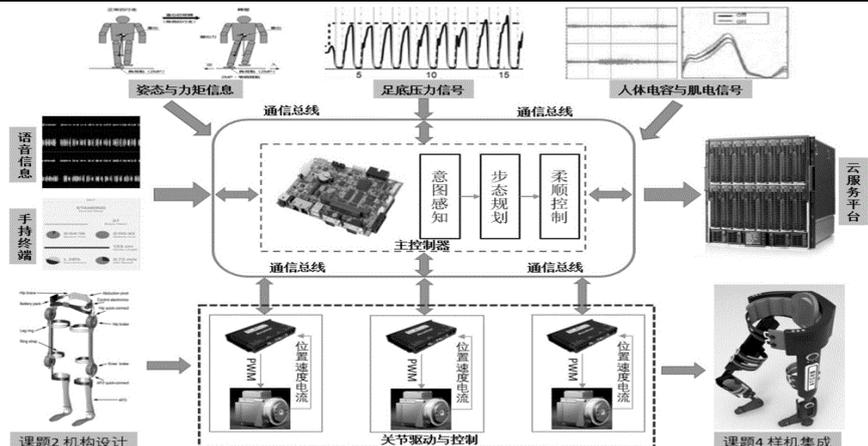


资料来源：BME 康复工程协会

有源外骨骼需要软硬件、传感器配合和合理的结构组合，结构较为复杂，售价高昂。有源外骨骼集成了精密的传感器、控制系统和动力装置。传感器能实时感知人体运动意图，控制系统根据传感器反馈的数据，实时调整动力装置输出的力量，精确匹配穿戴者的动作需求，提供恰到好处的辅助力量，在增强平衡性与稳定性方面表现出色。可以根据不同的任务和场景，通过软件编程等方式灵活调整助力模式和力度大小，从而适应多种复杂的动作和运动状态，因此有源外骨骼下游应用的场景更加丰富，包括工业制造、康复医疗、军工等。有源外骨骼通常采用高强度、轻质化的材料来减轻整体重量，同时确保足够的刚性和耐用性。由于有源外骨骼结构复杂、技术壁垒较高，因此制造成本高昂，通常售价在万元以上。例如，肯綮科技的登山外骨骼机器人内置自研无刷电机，通过 AI 算法感知用户运动意图，最高可降低 30% 登山体能消耗，续航达 4-6 小时。其核心技术包括多传感器融合（如肌电、压力、加速度传感器）和自适应控制算法。有源外骨骼未来的发展方向包括 AI 融合、能源突破、柔心/轻量化驱动。

有源外骨骼机器人的工作原理核心是通过“感知-处理-驱动-反馈”闭环系统，实现对人体运动意图的实时捕捉、智能处理及机械助力输出，最终达成人机协同运动。感知层不仅包含环境感知，更依赖肌电/脑电信号、关节接触力等生物信号实时捕捉人体运动意图；处理层需通过 AI 算法融合生物力学与动力学数据，解决人机运动的强耦合问题（如动态平衡控制、步态规划）；驱动层采用轻量化仿生结构（如碳纤维关节、柔性驱动）适配人体运动轨迹（重量通常 <15kg）；反馈层构建针对人体安全的冗余机制（如毫秒级急停、跌倒预判），通过生物信号与力反馈动态调整助力输出。

图8：有源外骨骼机器人功能的实现依赖于传感器、驱动、执行器等的协调



资料来源：《助力外骨骼控制系统及控制方法与流程》张涛

有源外骨骼机器人需要结合具体的应用场景进行个性化设计。对于医疗康复场景，由于患者腿脚运动受限，需要辅助行走，因此外骨骼需要带着人行走；对于军工场景，士兵需要外骨骼来帮助背负负重，则外骨骼主要起到助力的作用；对于工业制造的应用场景，外骨骼需要针对特定生产环节附加姿态锁定功能，帮助工人以持久的状态维持特定的工作姿态。有源外骨骼机器人通用的结构可分为机械系统、驱动系统、传感系统、控制系统、能源系统五大模块。机械系统是外骨骼机器人的物理载体，采用仿生设计实现与人体运动的精准适配；驱动系统是动力核心；传感系统是人机交互的“神经末梢”，通过多模态传感器实时捕捉运动意图与状态；控制系统是智能决策中枢，依托嵌入式 CPU 与专用算法实现分层控制。

(1) 机械系统

外骨骼机器人的机械系统是实现人机协同运动的物理基础，其设计需严格遵循仿生学原理与人体工程学准则，确保与人体运动结构高度适配，同时满足不同场景（医疗康复、工业助力、军事负重）的功能需求。在仿生设计层面，机械系统以人体关节运动学为蓝本，精准复刻关节自由度——如下肢外骨骼通常配置髋关节 3 自由度（屈伸 $\pm 130^\circ$ 、收展 $\pm 45^\circ$ 、旋转 $\pm 50^\circ$ ）、膝关节 1 自由度（屈伸 $\pm 130^\circ$ ）及踝关节 3 自由度（背屈/跖屈 $\pm 20^\circ$ 、内翻/外翻 $\pm 15^\circ$ ），通过 D-H 坐标系建模优化关节布局（如北京工业大学外骨骼膝关节同轴误差 $< 2\text{mm}$ ），确保运动轨迹与人体完全同步，减少人机干涉风险。材料选择上，医疗康复型多采用碳纤维（密度 1.7g/cm^3 ，强度 $3000\text{MPa}+$ ）与钛合金构建轻量化框架（整机重量 $18\text{-}25\text{kg}$ ），搭配可伸缩连杆（调节范围 $\pm 10\text{cm}$ ）和弹性束缚装置（如 Indego 外骨骼的压力传感绑带，自动适配 $155\text{-}190\text{cm}$ 身高），实现穿戴舒适性与运动灵活性的平衡；工业军事型则强化结构强度，采用高强度钛合金（强度重量比 > 25 ）与液压驱动连杆，负载比可达 $1:2$ （如 BLEEX 外骨骼负重 45kg ，自身重量 22kg ），满足重载环境下的抗冲击需求。

图9：负重外骨骼机器人通过机械系统达到传递重量目的



资料来源：惠美达应急公众号

表2：外骨骼机器人机械系统构成

功能定位	技术参数/典型配置
关节结构	实现人体关节运动模拟，决定自由度与运动范围
	下肢：髋关节 3DOF(屈伸/收展/旋转)、膝关节 1DOF(屈伸)、踝关节 3DOF；上肢：肩 3DOF、肘 1DOF、

功能定位		技术参数/典型配置
框架与连杆	承载机械负载, 连接各关节并传递动力	腕 2DOF 材料: 碳纤维 (密度 1.7g/cm ³ , 强度 3000MPa+)、钛合金 (强度重量比高); 可调式连杆 (调节范围 ±10cm)
传动装置	传递驱动力, 实现关节运动的速度/扭矩转换	齿轮减速器 (减速比 1:10, 精度 ±0.1°)、蜗轮蜗杆 (高精度场景)、柔性传动 (钢丝绳/皮带, 适合气动外骨骼)
绑缚与支撑	固定外骨骼与人体, 确保力传递与舒适性	弹性绑带+压力传感器 (如 HAL 外骨骼的腰部绑带压力分布均匀度 >90%); 磁吸式支撑座 (蹲坐时稳定吸附)

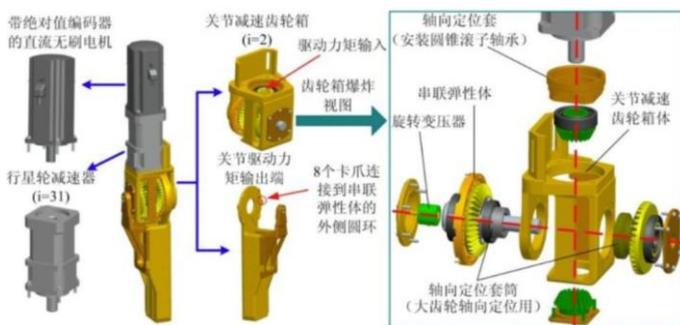
资料来源:《基于 sEMG 信号的外骨骼机器人上肢康复系统研究》、《外骨骼型下肢康复机器人结构设计及动力学分析》、《基于柔性传动的助力全身外骨骼机器人系统研究》等、开源证券研究所

(2) 驱动系统

目前常用的外骨骼驱动方式有电动机、液压、气压三种, 以电机驱动为主。随着同步电动机、伺服电动机以及减速器的发展, 复杂模块简单化, 电动机驱动系统的功率质量比也在逐渐提高, 因此外骨骼多采用电动机驱动系统。如 Ekso Bionics 外骨骼采用高性能无刷电动机配合行星减速器与蜗轮蜗杆减速器二级减速; ReWalk 外骨骼采用高性能无刷电动机配合行星减速器与正交锥齿轮减速器二级减速; HAL-5 外骨骼采用盘式电动机组合谐波减速器一级减速。

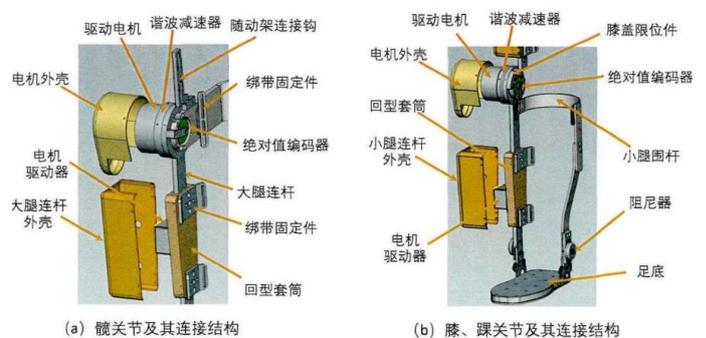
电机是装配在关节处直接提供关节力矩的设备, 其主要可分为伺服电机、步进电机。伺服电机 (医疗级首选) 采用稀土永磁材料 (如钕铁硼), 功率密度达 3kW/kg, 扭矩范围 10-50N·m, 配合行星齿轮减速器 (传动效率 90%+) 实现角度控制精度 ±0.1°。步进电机 (工业辅助场景) 成本低、抗干扰性强。对于部分应用场景可能会在关节处用到滚柱丝杠。直流伺服电机先通过减速器降低转速、增大力矩, 然后通过联轴器将旋转运动传递给丝杠, 丝杠带动丝母滑块在导向杆的导向作用下进行往复运动, 从而带动各个关节进行屈伸运动。同时采用增量式编码器作为角度传感器检测角度的变化, 用于后续的控制中。

图10: 哈工大对腿部驱动单元的设计



资料来源: dfrobot 官网

图11: 关节结构包括电机、谐波、驱动器以及编码器



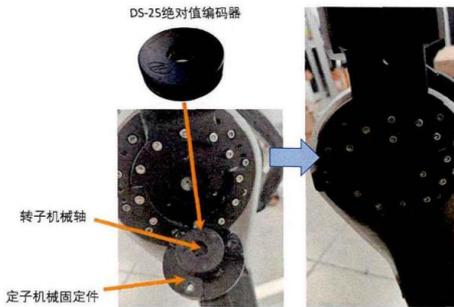
资料来源:《面向康复训练的下肢外骨骼系统集成与主动控制技术研究》

(3) 传感系统

外骨骼机器人传感系统是集成于外骨骼设备中, 用于实时感知人体运动意图、

外部环境状态及设备自身状态的多元传感器组合及数据处理系统。其核心功能是通过多维度传感器采集数据，经融合处理后转化为控制指令，实现外骨骼与人体运动的精准协同、环境适应性及安全保护，技术路径涵盖生物信号感知、物理状态监测及环境交互感知三大维度。其核心作用为：(1) 人机交互桥梁：通过肌电、压力等传感器解读用户运动意图（如行走、抓握），响应延迟需 $<50\text{ms}$ 以保证实时性；(2) 环境感知中枢：识别地形（坡度、障碍物）、负载变化（如搬运重物时的重心偏移），确保复杂场景安全作业；(3) 状态监测核心：监控关节扭矩、电池续航、电机温度等，避免过载或故障（如防跌倒算法依赖 IMU 数据实时修正姿态）。具体可以包括关节角度传感器、足底压力传感器、惯性测量单元 IMU、生理电信息采集系统等。

图12：关节角度传感器收集关节的转动数据



资料来源：《面向康复训练的下肢外骨骼系统集成与主动控制技术研究》

图13：足底压力传感器系统收集脚部的数据



资料来源：《面向康复训练的下肢外骨骼系统集成与主动控制技术研究》

表3：物理状态监测功能传感器包括关节、惯性等

	功能概述	控制性能
关节角度传感器	测量关节实时角度与运动范围，用于步态分析和运动控制算法优化	美国 Ekso GT 外骨骼部署高精度编码器监测髋、膝关节弯曲角度；中科院合肥所外骨骼通过关节角度实现柔顺控制。
力/力矩传感器	检测人机交互力与地面反作用力，实现力反馈控制和运动平衡	日本 HAL 外骨骼脚底压力传感器感知地面反作用力调整支撑力矩；浙江大学外骨骼通过力传感器实现干扰力模糊控制。
惯性测量单元 (IMU)	监测姿态（倾斜、旋转）和加速度，用于平衡控制和步态规划	美国 Indego 外骨骼利用 IMU 检测身体倾斜，调整关节驱动力保持平衡；迈步科技 BEAR H1 通过 IMU 实现无辅助行走。
位置传感器	监测外骨骼连杆位置和位移，确保机械运动精度与动作协调	德国 RehaCom 外骨骼用拉线式传感器测量关节伸缩长度；香港中文大学 CUHK-EXO 通过位置传感器优化步态算法。

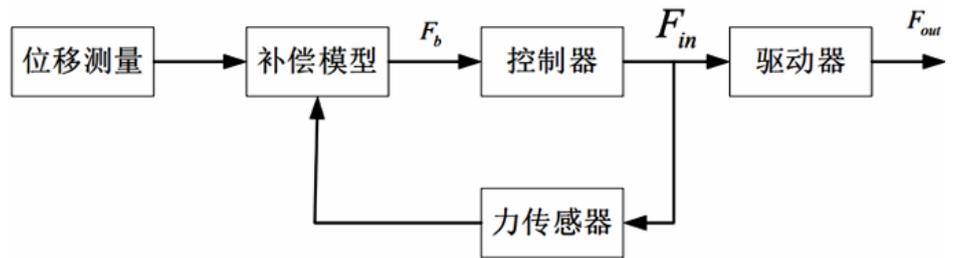
资料来源：《面向康复训练的下肢外骨骼系统集成与主动控制技术研究》、《下肢外骨骼人体运动预测与人机协调控制技术研究》、开源证券研究所

(4) 控制系统

控制技术本质上是对采集到的信号处理成电信号正确并按照期望传递到驱动上。外骨骼的控制系统主要包括嵌入式核心控制器，CAN 总线与传感器系统，传感器与控制器，控制器与驱动器之间都使用 CAN 总线进行通信。控制器是基于 ARM-Cortex-A9 的架构，使用 Freescale 双核处理器，该控制器支持 Linux 系统与

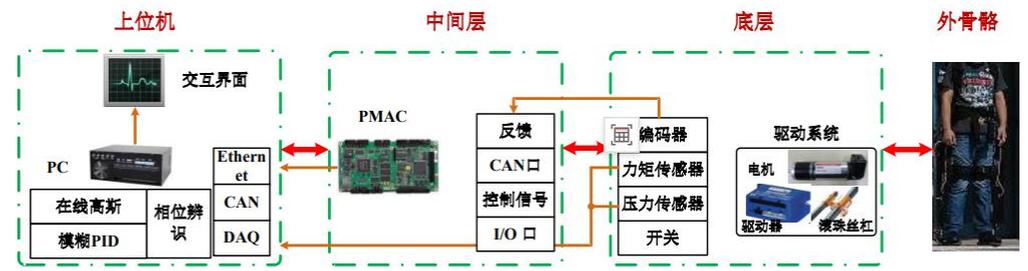
Android 系统，所有的数据处理以及控制解算都在控制器上完成。控制器与驱动器或者传感器之间采用 CAN 连接，CAN 的通讯能够达到每秒 1M 比特的速度，传感器信息使用一路 CAN 总线，控制信息使用另外一路 CAN 总线。控制系统由三级控制器组成，包括上位机、中间级和底层。上位机，比如 PC 机，通过 VC++ 与 Matlab 等设计人机交互界面，然后计算得到相应的控制命令，将计算结果发给中间级；中间级，比如 PMAC 以及数据采集卡等，负责执行上位机的算法以及收集传感器与驱动器等的信号；底层，主要是指实际的硬件设备，包括机械系统，传感器，驱动系统等，接受到控制命令，使机械结构进行响应。

图14：控制系统的原理包括位移测量、补偿模型等环节



资料来源：《外骨骼机器人关节的机械结构和控制技术研究进展》

图15：外骨骼实验的控制系统架构包括上位机、中间层和底层



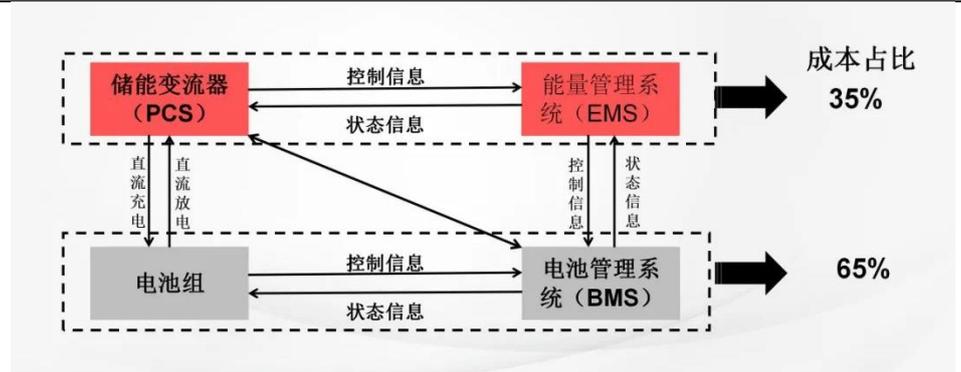
资料来源：《下肢外骨骼人体运动预测与人机协调控制技术研究》龙亿

(5) 能源系统

外骨骼机器人的能源系统是支撑其运动、控制及续航能力的核心模块，直接影响设备的便携性、工作时长及适用场景，其设计需兼顾能量密度、轻量化、安全性及续航需求，涉及能源类型选择、供能方案设计、能量管理技术等关键环节。当前主流方案以锂离子电池为主，凭借技术成熟、能量密度较高（150-250Wh/kg）的优势，广泛应用于医疗康复型外骨骼（如日本 HAL 续航 160 分钟、以色列 ReWalk 支持 160 分钟续航），而工业/军事场景则探索氢燃料电池（能量密度 300-400Wh/kg 以上）及混合供能方案（如锂电池+振动回收技术）以满足长时间负重需求。核心组件包括分布式轻量化电池模块（常嵌入腰部或大腿外侧）、智能能量管理系统（BMS），后者可实时监控电压、电流并优化充放电策略，提升安全性与续航效率。

能量回收技术（如压电材料回收关节振动能量）作为辅助手段，逐步应用于降低能耗。未来固态电池（能量密度突破 400Wh/kg）、柔性电池及智能化能源管理算法（结合 AI 预测能耗）将推动能源系统向高能量密度、高效回收及柔性集成方向发展，同时氢燃料电池与超级电容的组合方案有望在军事/工业外骨骼中实现更长续航（如 8-10 小时），助力外骨骼在医疗康复、工业助力、抢险救灾等领域的深度应用。

图16: 智能能量管理系统 (BMS) 工作原理示意图



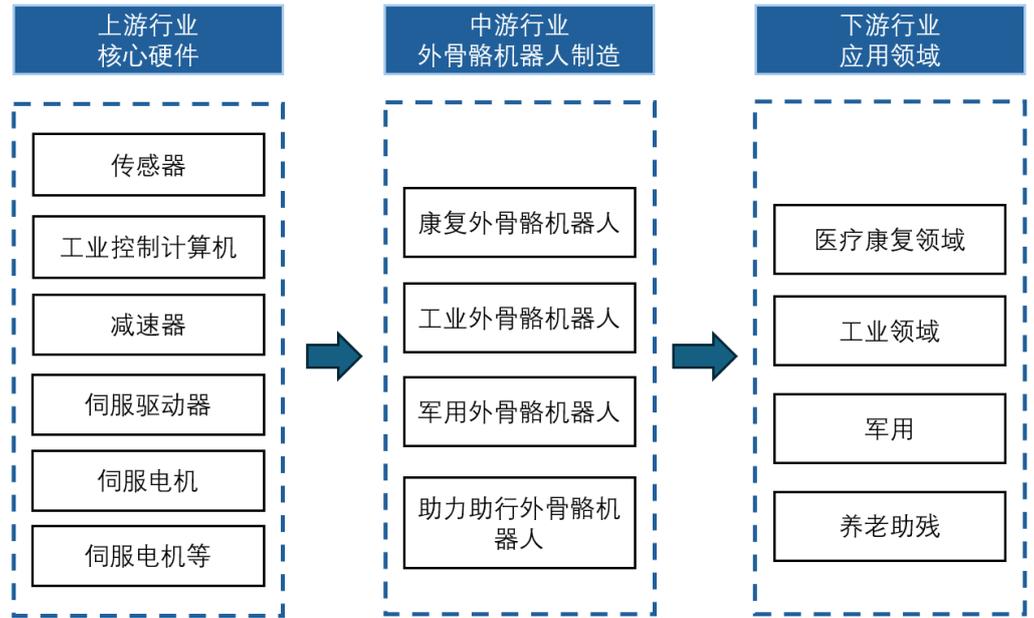
资料来源: 深圳信迈科技

有源外骨骼机器人的技术壁垒包括结构设计、绑带设计、电源续航、步态检测技术、人机协同行走控制等。(1) **结构强度**: 涉及材料的选择, 避免断裂对人体产生危害。机械主体要选择轻质、高强度、抗疲劳的材料。(2) **绑带设计**: 人体与外骨骼之间是通过在肩部、腰部、大腿处的绑带进行连接和固定, 这要求绑带与人体各个部位具有较好的匹配性及舒适性, 要避免由于长时间挤压、摩擦而损伤皮肤。(3) **电源续航能力**: 当前电驱动外骨骼机器人一般依靠可充电锂电池、蓄电池、燃料电池来为能源动力系统提供能量来源。由于电池受体积和质量等因素限制, 存在能量密度、功率密度低等缺点。因此为使外骨骼机器人的工作时间更长、工作更加稳定, 一方面制造商需要研究常规电池或燃料电池的特性, 设计续航时间长、质量功率比高、安全性能符合要求的专用动力输出能源, 为动力、信号采集和控制机构提供能源; 另一方面需要综合考虑低功耗技术、节能控制技术和能源回收技术等。(4) **步态检测技术**: 步态检测的准确性及可靠性是控制的前提和基础。目前步态检测的传感器技术能够归纳为足底感知技术、肢体感知技术、混合感知技术三种。**足底感知技术**是通过传感器检测足部人机作用力或地面反力来判断不同步态。通过在足底安装六维力/力矩传感器来感知足底的人机作用力、力矩的大小和方向对步态进行检测和判定。**肢体感知技术**就是利用传感器检测下肢或者躯干的运动意图。具体可以细分为基于角度传感器的感知技术、基于肌电传感器的感知技术和基于脑机接口的感知技术。**混合感知技术**就是利用两种及以上类型的传感器对人体步态进行耦合识别和判定。(5) **人机协同行走控制策略**: 是外骨骼助力机器人系统最为关键的技术, 本质是外骨骼伴随人体运动时人机间作用力最小。控制系统的设计会直接影响驱动效果和人机交互性。主要有五种控制策略, 分别为灵敏度放大控制策略、基于预定步态的控制策略、基于步态的预定驱动控制策略、混合控制策略以及基于动力学的控制策略。对于负重外骨骼助力机器人, 应用灵敏度放大控制策略效果最好, 而对于康复外骨骼助力机器人, 预定步态控制策略应用最为成熟。

2、投资建议

外骨骼机器人的商业模式呈现“场景分化、技术支撑、生态协同”特征。医疗领域依赖合规销售与服务增值, 工业场景聚焦 B2B 解决方案与租赁模式, 消费级市场通过轻量化产品与零售渠道破局, 军事领域则依赖定制化采购与技术壁垒。未来随着技术成熟(如成本下降 40%)、政策支持(如中国“十四五”康复器械补贴)及场景拓展(如养老护理、低空经济辅助设备), 商业模式将向“硬件+服务+数据”的复合型生态演进, 预计 2030 年全球市场规模达 146.7 亿美元, 年复合增长率 42.2%。

图17: 外骨骼机器人产业链纵览



资料来源：华经情报网、开源证券研究所

2.1、上游硬件端

(1) 美湖股份

公司主营业务包括泵、电机以及具身智能功能部件。2024 年公司在变速箱/变速器油泵、电子泵类、电机、行星/谐波减速器、具身智能关节模组（执行器）等产品领域取得重大突破。油泵领域，公司已成为国内龙头企业；电机领域，公司未来重点发展高集成型电机、无刷电机、关节模组电机等；具身智能功能部件领域，公司全资子公司湖南机油泵主要生产精密齿轮、行星减速器、谐波减速器等产品，其已具备年产 5 万套精密谐波减速器、年产 500 万台套精密齿轮的生产能力。公司下游客户包括玉柴、潍柴动力、东风康明斯、中国重汽、一汽锡柴、一汽大柴、上柴、洛拖、上汽、东风汽车、长安汽车、吉利汽车、广汽、比亚迪、江淮汽车、奇瑞汽车、长城汽车、赛力斯、小米、小鹏、理想等国内主要主机厂。

公司具备具身智能关节模组（执行器）全流程产品开发及量产能力，其核心功能件（行星/谐波减速器、无框力矩电机、驱动器）均自主研发并已实现规模化生产配套能力。公司应用于外骨骼机器人的关节模组已实现批量化的生产配套。

图18：公司的行星减速器、谐波减速器系列产品



资料来源：美湖股份 2024 年年报

(2) 宏昌科技

公司主营业务为流体电磁阀、传感器。公司的流体电磁阀、模块化组件、水位传感器是生产洗衣机等家电厨卫用品的重要配件。主要通过 Tier1 或 Tier2 形式为海尔、美的、海信、松下、西门子、小米等国内外家电客户提供相应的产品配套服务。汽车零部件领域，公司从事汽车内饰件总成产品的研发生产。主要产品包括门内护板总成、立柱总成、行李箱总成、衣帽架总成、前后保险杠注塑以及模检具等，主要通过 Tier1 或 Tier2 形式为零跑，吉利等车企提供相应的产品配套服务。2025 年 2 月公司与广东良质关节签署增资协议，公司拟使用增资 1,500 万元的方式投资良质关节，本次投资完成后持有该公司 15% 的股权。良质关节成立于 2024 年 9 月，专业从事高精度谐波减速器、行星减速器及行星关节和谐波模组研发、生产，创始人曾在日本尼得科新宝公司工作。其产品可应用于人形机器人、协作机器人、机器狗等领域。该公司已与部分人形机器人和外骨骼公司签署了或正在签署相关采购协议。

图19：广东良质关节的产品主要为减速器



资料来源：高工人形机器人

(3) 华依科技

公司主要生产高精度惯导产品，以自研为核心推出了一系列惯导、卫导和高精度定位产品，为智能驾驶汽车、自动驾驶、机器人、无人机等移动载体提供稳定可靠的定位解决方案。2024 年公司凭借在 IMU 领域的深厚积累与国内多家头部机器人企业展开深度合作，围绕机器人重心姿态控制、运动控制等方向展开算法及硬件研发，目前已得到部分客户订单，实现了人形机器人 IMU 的小批量供货。

IMU 在具身智能中具有重要的应用场景。作为 L3 及以上等级智能体的基础感知单元，IMU 通过实时捕捉加速度、角速度等本体运动信息，与视觉、触觉等多模态感知形成互补。在复杂动态环境中，当外部视觉感知受限或通信延迟显著时，IMU 能够依托其毫秒级响应的运动数据，结合边缘计算与运动控制算法，为智能体提供连续稳定的位姿解算与动作规划能力。随着可穿戴外骨骼等领域的深化应用，具备高精度、低延迟特性的 IMU 将支撑智能系统实现更精细的运动交互与自主适应。

2.2、中游产品端

(1) 振江股份

公司主营业务为风电设备、光伏/光热设备零部件；紧固件的设计、加工与销售；海上风电安装及运维服务。主要产品包括转子、定子、塔筒、机舱罩等风电设备产品，固定/可调式光伏支架、追踪式光伏支架等光伏设备产品；紧固件主要是具有防松性能的高品质产品，主要客户群分布在汽车、风电光伏、铁路、工程机械、航空航天等行业。公司先后与西门子集团、通用电气等全球知名企业，以及上海电气、正泰电器、阳光电源、天合光能、东方电气、中国中车等国内知名公司建立了良好的合作关系。

针对公司所处的重工业特殊岗位人员劳动强度大，劳动力不足等实际情况，为了减轻车间员工的劳动强度，公司与研发团队共同成立机器人公司，专注于外骨骼机器人的智能控制算法及仿生学设计的研究，并于2024年已有4项专利申报，主要涉及上肢助力外骨骼、腰部助力外骨骼的总体技术和核心部位的组件技术。

(2) 探路者

2024年12月探路者在其2025年秋冬订货会上发布了下肢外骨骼产品。探路者下肢外骨骼是和迈宝智能联合研发完成，从材料、结构到控制系统全面实现自主可控。采用基于人因功效学的仿生结构设计，集成多模态传感器系统和智能化运动控制算法，实现人机交互智能识别。相较于国内外同类产品，探路者下肢外骨骼在多个关键领域实现显著的技术突破和性能提升，在助力效果、续航时间、适应性、轻量化、智能交互等方面均有改善，很好满足了用户在各种户外运动环境下的高强度使用需求，为户外爱好者提供安全可靠的助力。

表4：重点公司盈利预测与估值

股票代码	公司简称	评级	最新收盘价(元)	总市值(亿元)	EPS			P/E		
					2025E	2026E	2027E	2025E	2026E	2027E
603319.SH	美湖股份	未评级	38.39	93.20	1.06	1.29	1.62	87.95	72.02	57.38
301008.SZ	宏昌科技	未评级	27.54	31.01	-	-	-	-	-	-
688071.SH	华依科技	未评级	36.37	30.84	0.69	1.50	-	44.64	20.62	-
603507.SH	振江股份	未评级	26.49	48.82	1.92	2.65	3.17	25.37	18.42	15.41
300005.SZ	探路者	未评级	10.15	89.70	0.27	0.31	0.37	334.56	287.30	244.00

数据来源：Wind、开源证券研究所（注：收盘日期2025年4月30日，均来自Wind一致预期）

3、风险提示

下游需求不及预期的风险。若下游应用场景对外骨骼的需求不及预期，则会影响产业链公司盈利的兑现。

产品开发不及预期的风险。若中游厂商产品开发不及预期，则会影响到公司相关业务的销售收入。

宏观经济波动的风险。

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

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