

## 强于大市

## AI 加持，外骨骼机器人加速起跑

## 智能体专题报告之三

外骨骼机器人是一种可穿戴式机器人设备，将人和机械动力装置整合在一起，增强人的运动能力，在医疗、制造业、军工、消费品等领域有明确的需求和广泛的应用潜力。梳理技术、产品和商业化进展，我们判断，行业正处于商业化转换的临界点，有望在短期迎来积极突破。相关投资机会不应忽视。

## 支撑评级的要点

- 外骨骼技术正从垂直领域向大众消费领域延展。外骨骼机器人在医疗领域深耕，而近期谷歌和始祖鸟推出 Mo/Go 外骨骼登山裤，使其进入大众视野，有望在户外运动等场景切入日常消费品领域。产业的业绩释放和估值提升都有望随着 C 端市场空间的引入而带来明显提速。
- 相比人形机器人，外骨骼机器人有自身优势，也较适合我国国情。人形机器人倍受市场关注，而外骨骼机器人作为机器人行业的一条细分赛道，也有自身价值，例如，较符合人类利益，包括在保留就业岗位、交互体验感、减少伦理冲突等方面，容易被人类使用者接受。特别是“就业友好”，即不会取代人类员工，反而是提升劳动者能力、减少劳动损伤等方面的优势，使其在制造业等领域较能落地，能发挥我国劳动力优势。
- 多个下游场景存在刚需，应用前景广阔，规模有望与人形机器人相当。目前外骨骼机器人主要应用在医疗（含助残、养老）、制造业（含建筑、物流）、军工航天、消费品等领域。这些下游行业都有政策、需求等方面的鼓励。例如，养老应用迎来银发经济浪潮；智能制造正在工厂中逐渐普及；户外运动容易接纳新的设备品类。根据多项第三方数据，外骨骼市场在规模和增速方面也确实和人形机器人可匹配。
- AI 激发技术创新，商业化进展迅速，预期后期催化充足。外骨骼机器人在硬件方面的成熟度发展较好，包括电机、电池等都已有的实用基础。目前新的技术突破聚焦于人工智能在外骨骼训练、普适化等方面，后续还可能和脑机接口等结合。随着产品价格逐渐亲民，后续商业化进展也有望加速。未来可以期待的催化因素包括政策、用户、市场营销、龙头企业积极参与等。

## 投资观点

- 我们认为，外骨骼机器人正处于从技术成熟度到达向快速商业化转变的临界点。相比人形机器人，外骨骼行业处于相似的发展阶段，有可复用的产业链供应端，同时又有自身独特的优势。外骨骼技术目前开始从硬件、控制向人工智能训练、通用化转移，同时具备脑机接口等后续技术方面的延伸空间。如果搭载操作系统和对应软件，还能够实现特定的主动运动场景。相关产品企业和产业链公司的投资价值可给予重点关注。

## 评级面临的主要风险

- 核心技术突破不及预期；产品商业化属性不及预期；下游景气度走低。

## 相关研究报告

《华为鸿蒙行业事件点评》20241020

《网络安全行业事件点评》20240930

《计算机行业事件点评》20240918

中银国际证券股份有限公司  
具备证券投资咨询业务资格  
计算机

证券分析师：杨思睿

(8610)66229321

sirui.yang@bocichina.com

证券投资咨询业务证书编号：S1300518090001

## 目录

<b>消费级产品面世，外骨骼机器人处于质变前夜 .....</b>	<b>4</b>
外骨骼机器人正走向消费级市场 .....	4
外骨骼概念及产品分类 .....	4
外骨骼机器人发展历程：经历多年积累，开始步入商用 .....	5
<b>外骨骼刚需应用丰富，规模有望与人形机器人相当 .....</b>	<b>7</b>
外骨骼机器人市场或达百亿美元，规模和增速与人形机器人市场体量相似 .....	7
重点场景包括医疗、工业、运动等，需求明确且政策鼓励性强 .....	8
产品商业化进展迅速，价格降至千元级别，销售渠道逐渐普及 .....	10
<b>技术日渐成熟，AI 大模型带来重大突破 .....</b>	<b>12</b>
核心技术和发展方向 .....	12
AI 大模型对外骨骼机器人产业的影响 .....	12
<b>外骨骼产业链与主要厂商速览 .....</b>	<b>14</b>
产业链较为成熟，格局尚待成型 .....	14
一些典型的外骨骼机器人解决方案企业 .....	14
<b>投资建议 .....</b>	<b>16</b>
投资建议 .....	16
风险提示 .....	16

## 图表目录

图表 1. 始祖鸟 Mo/Go™外骨骼产品 .....	4
图表 2. 巴黎奥运会火炬手 Kevin Piette .....	4
图表 3. 外骨骼产品的分类 .....	5
图表 4. 外骨骼机器人对应人体部位及产品示例 .....	5
图表 5. 2020~2030 年全球外骨骼机器人行业市场规模及预测（单位：亿美元） ..	7
图表 6. 2023~2028 年中国外骨骼机器人行业市场规模空间预测（单位：亿元） ..	7
图表 7. 2018~2025E 中国外骨骼机器人市场销售额 .....	7
图表 8. 2022~2028 年全球人形机器人行业市场规模 .....	8
图表 9. 2022 年全球可穿戴机器人市场份额（按终端用户数） .....	8
图表 10. 2016~2025 年中国康复医疗行业市场规划 .....	9
图表 11. 中国运动康复产业服务总规模及增速预测 .....	9
图表 12. 2013~2023 户外及运动消费市场发展趋势（单位：亿元） .....	10
图表 13. 全球登山装备市场规模（单位：十亿美元） .....	10
图表 14. 2015~2022 年中国外骨骼机器人行业投融资轮次情况（单位：起） .....	11
图表 15. 线上销售外骨骼产品渠道及价格示例 .....	11
图表 16. Hardiman 项目技术问题映射出的外骨骼技术发展方向 .....	12
图表 17. 人体和外骨骼设备协作依赖精密的运动系统控制交互 .....	13
图表 18. 脑控下肢外骨骼系统 .....	13
图表 19. 外骨骼机器人产业链结构 .....	14
图表 20. 2017 年外骨骼机器人企业地域分布和规模，N=70 .....	14
图表 21. 海外外骨骼机器人代表企业 .....	15

## 消费级产品面世，外骨骼机器人处于质变前夜

### 外骨骼机器人正走向消费级市场

据 36 氪和 IT 之家等媒体报道，2024 年 8 月户外装备巨头始祖鸟联合谷歌 X 实验室衍生公司 Skip 推出了一款名为 Mo/Go™ 的动力外骨骼裤。这件装备在膝盖处内置轻量级电动机，动力模块隐藏在登山裤下的碳纤维支架上，支架固定在登山者身上；可以让使用者感觉减重 14 公斤，助力程度会根据使用者步态和腿部动作实时调整，也可手动调节；其中采用了可充电电池，最大助力模式下续航时间可达 3 小时；裤子、动力模块和电池合计重约 3 公斤。根据报道，预计产品的正式零售价约 5,000 美元（早鸟价为 4,500 美元），预计 2025 年底发货。此外，始祖鸟在美西和加拿大部分地区提供 8 小时的租赁服务，对应租赁价格仅为 80 美元。

之前，外骨骼技术的报道多见于一些重要场合和助残领域。例如，2024 年 7 月 23 日，法国人 Kevin Piette 身着特殊装置成为法国巴黎奥运会火炬手。他曾是网球运动员，11 年前因事故截瘫；穿戴的是法国工程公司 Wandercraft 的 Atalante X；装置同样由电池供电，内置了 12 个驱动器，控制 12 个关节（包括臀部 6 个、脚踝 4 个、膝盖 2 个）。

图表 1. 始祖鸟 Mo/Go™ 外骨骼产品



资料来源：IT 之家、36 氪，中银证券

图表 2. 巴黎奥运会火炬手 Kevin Piette



资料来源：澎湃，中银证券

### 外骨骼概念及产品分类

外骨骼（Exoskeleton）本质是可穿戴式机器人，是一种将人和机械动力装置整合在一起的可穿戴设备。根据结构和应用领域，外骨骼机器人分别可以划分为（1）上肢外骨骼、下肢外骨骼；（2）军用、工业、康复等类型。

图表 3. 外骨骼产品的分类

分类	特点	应用场景
<b>根据应用领域划分</b> 军用、工业用外骨骼机器人 康复型外骨骼机器人	<ul style="list-style-type: none"> <li>可帮助使用者增强肌肉能力、减轻负荷，故也称为“增强型外骨骼机器人”</li> <li>某些场景比较简单重复对人体个性化设计要求低，对实现的功能要求没有医疗端那么精细</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>工业领域内主要是重体力劳动、未完全实现自动化的领域，如汽车制造业、物流行业等军事领域主要是用来提高单兵作战能力</li> </ul>
<b>根据结构划分</b> 上肢外骨骼机器人 下肢外骨骼机器人	<ul style="list-style-type: none"> <li>帮助老年人、残疾人以及中风、偏瘫患者等群体进行康复训练，是当前中国外骨骼机器人行业的主要应用领域</li> <li>穿戴部位为使用者背部，一般可帮助使用者增强上肢力量</li> <li>由主机箱、上肢固定结构、可动关节及连接结构等组成</li> <li>半覆盖型：除主机箱外下肢仅有腿部固定结构、关节及连接结构</li> <li>全覆盖型：包括位于腰背部的主机箱，完全包裹两条腿外侧的金属结构，以及足底金属结构</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>康复领域内可以分为B端和C端(民用端)</li> <li>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</li> <li>主要运用于快递物流、建筑施工等高强度、劳动密集型行业，例如Ekso Bionics公司推出的Evo辅助外骨骼，在佩戴者执行重复性的高空任务时支持手臂，少量应用于康复领域</li> <li>下肢外骨骼机器人主要应用于中风、偏瘫等患者的康复训练、老年人和残疾人助行以及军事等领域</li> </ul>

资料来源：头豹研究院《2021年中国外骨骼机器人行业概览》，中银证券

图表 4. 外骨骼机器人对应人体部位及产品示例

外骨骼机器人可按照与人体耦合的部位分为：

- 上半身外骨骼：腰部、肩部、肘部、手、肩手、肩肘、肩肘手外骨骼，提供力量增强等功能，应用有医疗康复、制造工厂、物流搬运、机场等场景。比如 Ekso Bionics EVO、EksoUE。
- 下半身外骨骼：脚踝、膝盖、髌、髌、髌膝踝外骨骼，提供支撑、稳定和运动功能。应用包括力量增强、远程操控、康复和运动训练、虚拟现实和触觉反馈等场景。比如 ReWalk。
- 全身外骨骼：覆盖四肢和躯干，提供力量增强、支撑稳定、运动等功能。比如 CYBERDYNE HAL5。



(来源：Ekso Bionics)  
(来源：ReWalk) (来源：CYBERDYNE)

资料来源：CBInsight《2021年全球外骨骼机器人产业研究报告》，中银证券

## 外骨骼机器人发展历程：经历多年积累，开始步入商用

外骨骼技术的产生不晚于上个世纪初，产业也经历了较长时间的充分发展，目前开始进入商用和加速阶段。

### 1、早期阶段

- 1890 年，俄罗斯人尼古拉斯·亚根的发明了用压缩空气包为动力的类外骨骼系统；
- 1917 年，美国发明家开发了以蒸汽为动力的外骨骼机器人；
- 1960 年，最早的外骨骼项目出现，来源于美国军方的增强型军用装甲，同期康奈尔大学也开始研究人体增强概念，很快开始研发外骨骼机器人；
- 1970 年，通用电气设计了 Hardman 系统，包含 30 多个关节、能举起 1,500 磅重量。

### 2、快速发展阶段

- 2000 年，在 DARPA 重点支持 EHPA(增强机体外骨骼)项目下，UC Berkeley 研发出下肢 BLEEX 样机；
- 2001 年，ReWalk Robotics (已上市) 在以色列成立，为首个通过美国 FDA 的医疗外骨骼系统；
- 2004 年，日本筑波大学教授创办 CYBERDYNE 公司，核心产品为 HAL (Hybrid Assistive Limb) 外骨骼；
- 2005 年，Ekso Bionics (已上市) 成立，立足军事、医疗等场景，长期保持和 DARPA 合作。

### 3、国内外骨骼发展基本同步

- 2000 年，清华大学等高校和科研机构开展外骨骼相关研究；
- 2004 年，浙江大学研制出可穿戴式柔性外骨骼机械手；
- 2010 年，大艾、布法罗等机器人公司的国产品牌开始起步追赶；
- 2013 年，南京军区总医院博士后工作站发布我国首部外骨骼装置“单兵负重辅助系统”；
- 2014 年，中科院常州先进所研发 EXOP-1 外骨骼系统正式进入调试阶段（22 个传感器、6 个驱动器、1 个控制器，造价 30 万元）；
- 2017 年，迈克机器人发布 BEAR-H11 外骨骼机器人，全球首次采用柔性驱动器为输出，帮助残障人士站立行走；
- 2018 年，大艾机器人获中国首个外骨骼机器人 NMPA 注册证（可向市场销售），标志着产业正式在医疗康复领域商业化；
- 2022 年，冬残奥会上 AiLegs 艾动助力胸 7-8 高位截瘫患者传递火炬，团队还研究了 AiWalker 艾康外骨骼机器人。

## 外骨骼刚需应用丰富，规模有望与人形机器人相当

### 外骨骼机器人市场或达百亿美元，规模和增速与人形机器人市场体量相似

(1) ABI 机构预测，外骨骼机器人产业的全球产值将从 2020 年的 3.92 亿美元增加到 2030 年的 68 亿美元，CAGR 为 33%。另外，出货量会从 2025 年的 10.7 万件增加到 2028 年的 30.1 万件；

(2) MarketsandMarkets 认为，外骨骼机器人 2023 年全球规模为 7 亿美元，2028 年将增长到 37 亿美元，CAGR 为 38%；

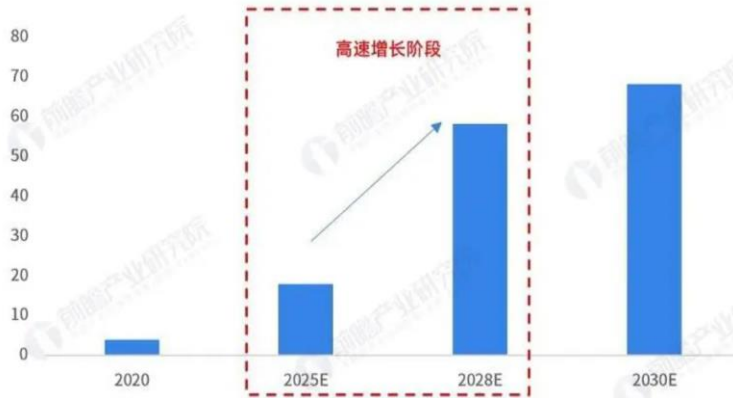
(3) Fortune Business Insight 指出，2022 年全球外骨骼机器人行业规模为 9 亿美元，2030 年有望达到 146.7 亿美元，CAGR 达 42.2%。其中，头部厂商占据约 55~60% 的市场份额；

(4) Grand View Research 数据显示，2012~2022 年期间，外骨骼机器人在医疗机器人市场中的占比明显提升，CAGR 达到 47%，远高于其他类别医疗机器人的平均增速；

(5) 前瞻产业研究院预计，到 2028 年中国外骨骼机器人市场规模将达到 24 亿元，2023~2028 年 CAGR 为 50%；

(6) 头豹研究院预测，2021 年到 2025 年中国外骨骼机器人的销售额从 6.8 亿元增长到 105.6 亿元，CAGR 高达 98.5%。

图表 5. 2020~2030 年全球外骨骼机器人行业市场规模及预测（单位：亿美元）



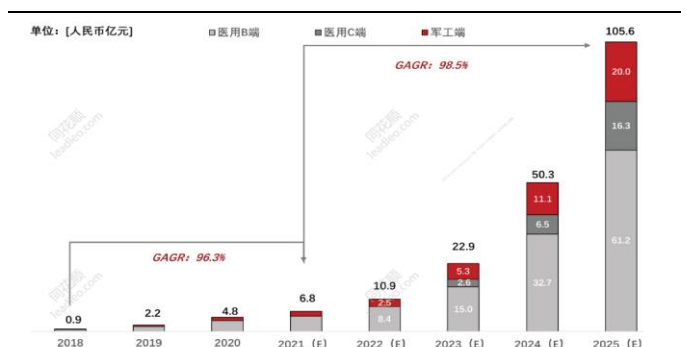
资料来源：ABI、前瞻产业研究院，中银证券

图表 6. 2023~2028 年中国外骨骼机器人行业市场规模空间预测（单位：亿元）



资料来源：前瞻产业研究院，中银证券

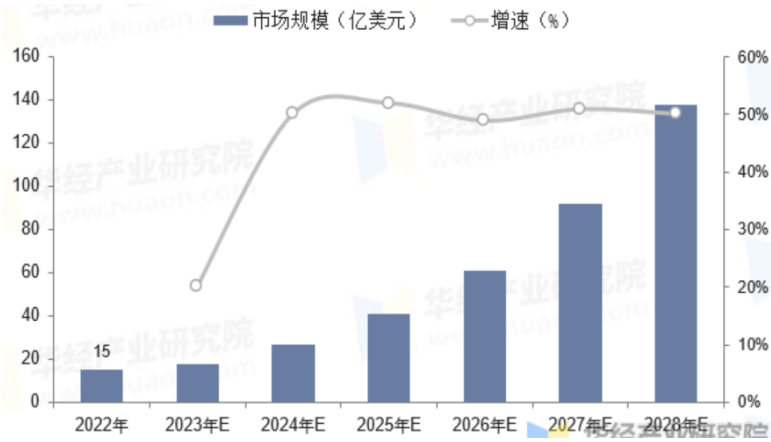
图表 7. 2018~2025E 中国外骨骼机器人市场销售额



资料来源：头豹研究院《2021 年中国外骨骼机器人行业概览》，中银证券

人形机器人是近来逐渐受到关注的一个机器人赛道。根据华经产业研究院的数据，预计 2022~2028 年，全球人形机器人市场规模有望从 15 亿美元快速增长到超过百亿美元，未来数年增速有望保持在 50% 左右。我们比较人形机器人市场规模可见，外骨骼机器人同样作为规模或达百亿美元级别、增速或达 40% 的高景气度市场，在体量和成长性方面与之相当，值得等量重视。

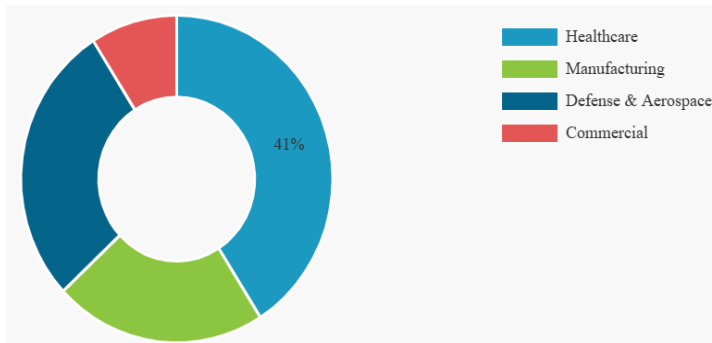
图表 8. 2022~2028 年全球人形机器人行业市场规模



资料来源：华经产业研究院，中银证券

从下游行业的终端用户数占比来看，全球可穿戴外骨骼机器人中医疗领域占比约 41% 为最高，随后是制造业、国防航空、商业等领域。

图表 9. 2022 年全球可穿戴机器人市场份额（按终端用户数）



资料来源：Fortune Business Insights，中银证券

## 重点场景包括医疗、工业、运动等，需求明确且政策鼓励性强

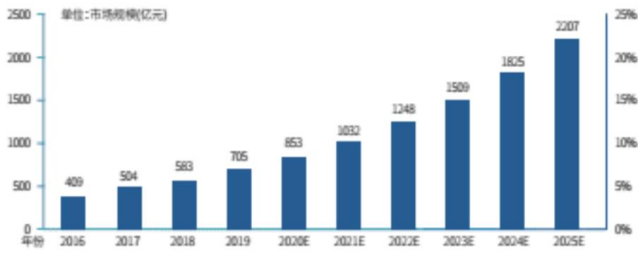
我们认为，医疗（包括助残、运动康复、养老）、工业（包括制造、建筑）、运动（包括户外、运动训练）等是外骨骼机器人存在重点需求的下游场景。其中，医疗用户的刚需更为明确，工业和运动的用户也有较为充足的意愿开展采购。

### 1、医疗方面

因运动、工伤、意外等不同原因造成的肢体损伤患者，应有较大意愿使用外骨骼设备提供康复、助残等功能。据《中国卫生健康统计年鉴》数据，2018 年中国康复医疗市场总消费约为 582 亿元人民币。同时，据毕马威（KPMG）预计，2020~2025 年我国康复医疗市场年复合增长率将达 20.9%，在 2025 年突破 2,000 亿元。据运动康复产业联盟数据，运动康复产业市场总规模从 2020 年的 8.5 亿元，增长至 2023 年的 22.5 亿元，三年间 CAGR 近 40%；预计 2028~2030 年期间，产业进入百亿元规模。

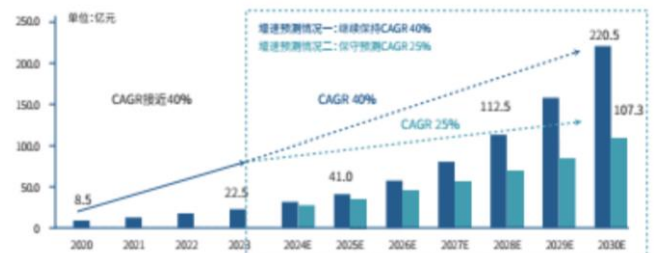


图表 10. 2016~2025 年中国康复医疗行业市场规划



资料来源：运动康复产业联盟《2023-2024 年版中国运动康复产业白皮书》，中银证券

图表 11. 中国运动康复产业服务总规模及增速预测



资料来源：运动康复产业联盟《2023-2024 年版中国运动康复产业白皮书》，中银证券

虽然医院场景是外骨骼较早进入的场景，但目前产品的渗透率还很低，参考搜狐科技 2024 年对大艾机器人的报道：以一家医院配置 2 台外骨骼机器人康复设备计算，每台每天至少可以帮助 16~17 人进行康复训练；尽管大艾机器人部署到了全国 200~300 家医院，但他们认为在国内的普及率可能连 1/10 (的医院) 都覆盖不到。

《中国脊髓损伤者生活质量及疾病负担调研报告 2023 版》显示，现存脊髓损伤患者 374 万，每年新增约 9 万人。根据新三板智库估算：目前国内有残疾人康复机构 8,000 个，假设其中 20% 的康复机构在设备、人员及环境方面配置相对高端，对于外骨骼机器人需求更为密切，再叠加部分三甲医院及民营医院的需求，每台 30~50 万元计算，市场潜力约为 20 亿元。

除了伤残治疗和助力，养老也是能发挥外骨骼机器人价值的典型场景。2024 年 1 月 15 日，国务院印发《关于发展银发经济增进老年人福祉的意见》，这是首个以“银发经济”命名的文件，随后包括工信部在内的四部门对其进行解读。根据统计局数据，2021 年末我国 60 岁以上人口达 2.67 亿，2024 年 1 月央视网报道我国 60 岁以上人口已有 3 亿。艾媒数据统计，2021 年我国养老市场规模达 8.8 万亿；新华社提到我国（2024 年）银发经济规模在 7 万亿元左右，占 GDP 比重大约为 6%，到 2035 年有望达到 30 万亿元左右。

人口基数增加的同时，对于新生事物，银发人群也在逐渐提高接纳度。例如，QuestMobile 的 2023 年数据显示银发人群开始融入智能生活，超 4 千万用户使用智能家居 APP，并向智能穿戴等类型应用快速蔓延。澎湃报道，2022 年 2 月国务院印发《“十四五”国家老龄事业发展和养老服务体系规划》中，强调加快人工智能、脑科学、虚拟现实、可穿戴等新技术在健康促进类康复辅助器具中的集成应用，发展外骨骼康复训练等康复辅助器具。

## 2、工业制造方面

人形机器人的远景是可以取代部分工人，外骨骼机器人则是提升工人的劳动能力、减少可能的劳动损害。36 氪报道，一项英国建筑行业统计数据表明，在 78,000 例职业健康病例中，53% 的患者患有肌肉骨骼疾病，体力劳动造成的肌肉骨骼损伤不可忽视。我们认为，无论是工业企业、建筑企业或者是物流企业，都会有意愿使用外骨骼设备。

CBInsights《2021 年全球外骨骼机器人产业研究报告》也有类似观点，报告引述 ABI 的数据表明，“2018 年工业类细分板块市场规模达 1.04 亿美元，2028 年预计达 29 亿美元，10 年 CAGR39.5%。工业类板块将在 2028 年占据整体市场营收一半比重”。报告认为，工业类外骨骼单价会远低于医疗类外骨骼，所以出货量方面工业类外骨骼占比或达一半以上。

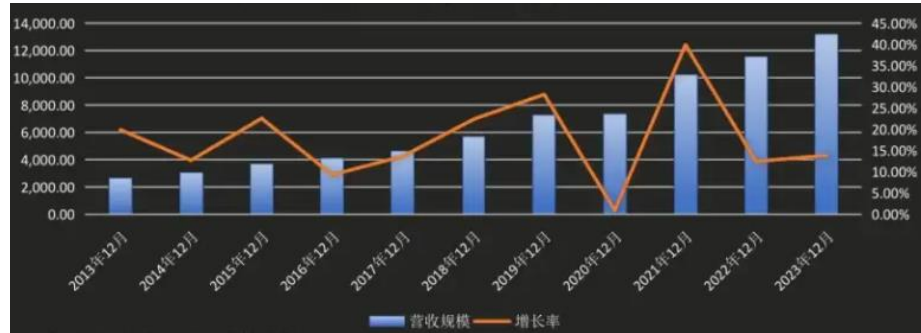
一个案例来源于贵州茅台，他们考虑引入外骨骼装置提高白酒制造能力。2021 年茅台集团在外骨骼机器人创新企业傲鲨智能考察交流，介绍了茅台白酒传统工艺制作过程中，制作人员劳动强度高，效率低，长期容易形成职业伤害，“希望借力外骨骼机器人改善现状，保护一线人员”。而根据企查查数据，茅台公司新获得一项名为“一种外骨骼背部结构及外骨骼装置”的专利授权，授权日为 2024 年 4 月 2 日。

## 3、运动及户外方面

户外、极限和常规体育运动场景也是一个外骨骼机器人主流场景，奥运会火炬传递、始祖鸟 Mo/Go™ 等事件都对这一应用场景。对于体育运动参与者来说，外骨骼既可以增强运动能力、提升运动成绩，也可能减少疲劳程度、降低危险。而且在户外运动爱好者群体中，设备往往是投入较大的重点领域。市面上不乏无人机、运动相机、全景相机等专门针对运动人群的创新品类被研发出来并销售，也孕育出大疆、GoPro、Insta360 等领军企业。

根据中国纺织品商业协会的数据, 2023 年户外及运动消费市场规模超过 1.2 万亿元, 同比增速在 15% 以上。回顾近 10 年中国户外市场发展趋势, 户外的平均增长率要高于纺织行业的其他品类。其中, 2023 年出口和内需拉动均面临严峻挑战的情况下, 户外市场的销售仍然普遍好于预期。

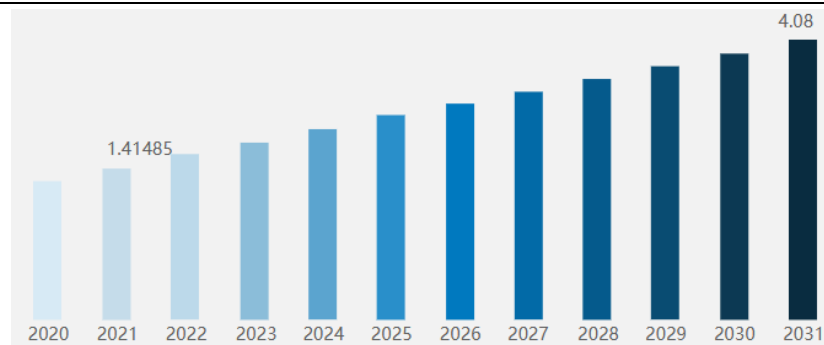
图表 12. 2013~2023 户外及运动消费市场发展趋势 (单位: 亿元)



资料来源: 中国纺织品商业协会户外用品分会《中国户外用品行业发展报告 (2023)》, 中银证券

具体到 Mo/Go 所处的登山装备领域, 据 Business Research Insights 统计, 全球市场规模从 2021 年的 14.1 亿美元将上升到 2031 年的 40.8 亿美元, 期间年复合增速为 11.5%。

图表 13. 全球登山装备市场规模 (单位: 十亿美元)

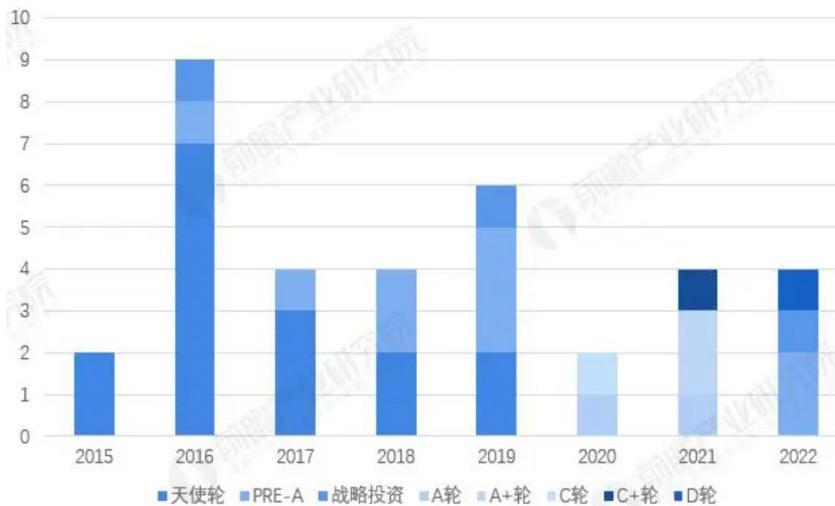


资料来源: Business Research Insights, 中银证券

## 产品商业化进展迅速, 价格降至千元级别, 销售渠道逐渐普及

作为一个新兴的产业, 外骨骼机器人过去获得投资界的关注应该在一级市场较多, 特别是早期投资环节。根据烯牛数据的统计, 2015~2022 年每年有数起对于外骨骼技术公司的投融资事项发生, 以 2020 年为界, 之前多在天使轮等早期轮次, 之后 A~D 轮的后续投资则较多, 也从一个侧面反映这个行业的成熟度有所提升。

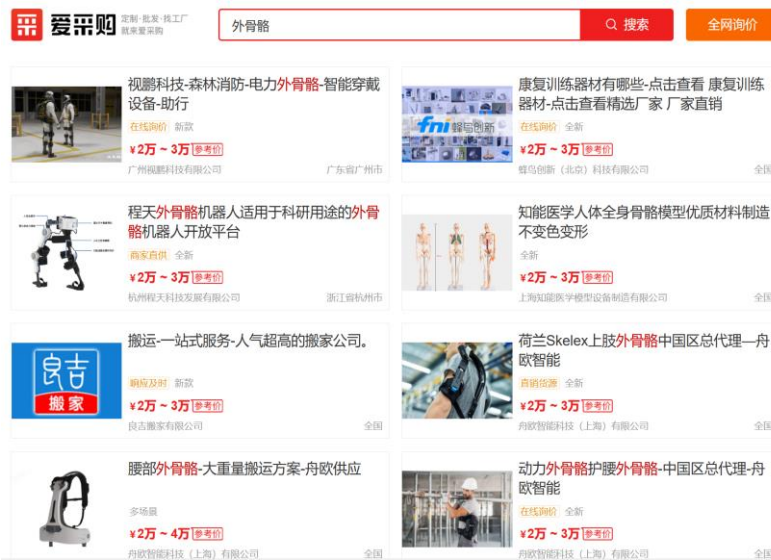
图表 14. 2015~2022 年中国外骨骼机器人行业投融资轮次情况 (单位: 起)



资料来源: 烯牛数据、前瞻产业研究院《2023 年全球及中国外骨骼机器人行业市场及前景分析》, 中银证券

近年来, 我们认为行业得到了较为长足的发展 (包括下面章节技术部分的讨论), 产业的商业化基础在逐步提升。例如, 通过线上渠道可以获取不同厂家不同型号的产品采购信息, 价格也快速降到有吸引力的程度。

图表 15. 线上销售外骨骼产品渠道及价格示例



资料来源: 爱采购, 中银证券

《中国经营报》2024 年 7 月 15 日报道, 在世界 AI 大会 (WAIC) 期间, 上海傲鲨智能展示了多款轻量化的“千元级外骨骼”产品, 包括 PES-U 储能上肢外骨骼、FIT-U 智能电动上肢外骨骼机器人、FIT-HV 智能电动腰部外骨骼机器人, 其中最低的售价为 6,999 元。我们有理由相信, 随着技术成熟、原材料成本下降、产业规模化优势体现, 还会有更多更优惠的产品陆续面世。

## 技术日渐成熟，AI 大模型带来重大突破

### 核心技术和发展方向

外骨骼机器人需要依赖较为复杂的电控技术、电机技术以及传感系统，同时还需要较强的智能控制能力。

图表 16. Hardiman 项目技术问题映射出的外骨骼技术发展方向



资料来源：CBInsight 《2021 年全球外骨骼机器人产业研究报告》，中银证券

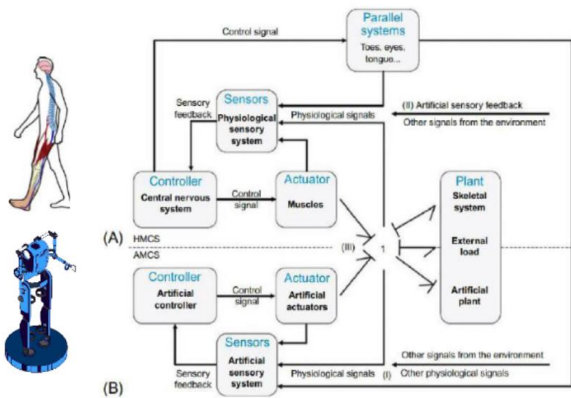
根据从业公司广州视鹏科技的梳理，外骨骼技术涉及高效低延控制算法、先进生物传感技术、纳米抗菌仿生材料、人体动作意图识别、人机交互人体力学、多源信号处理分析等。

### AI 大模型对外骨骼机器人产业的影响

我们认为，相比其他领域是属于改善型技术（即使得产品更为完善），感知人体意图的技术属于外骨骼领域的基础型技术（即决定产品可用性），因为人体和外骨骼设备协作依赖双方的运动系统控制交互，而交互的精密性和一致性则决定了到底机器人的效果是“助力”还是“费力”。如果设备能够感知意图，并同步甚至早一步带动人体，则是助力；反之人体需要先行带动设备，则是费力。

图表 17. 人体和外骨骼设备协作依赖精密的运动系统控制交互

	人体 (HMCS)	外骨骼 (AMCS)
力学结构/机械结构	骨骼和被动组织	机械结构和被动元件
致动器	肌肉	人工致动器
控制器	中枢神经系统接收来自生理传感器的感觉反馈	人工控制器接收来自传感器的测量数据并生成控制信号以操作致动器



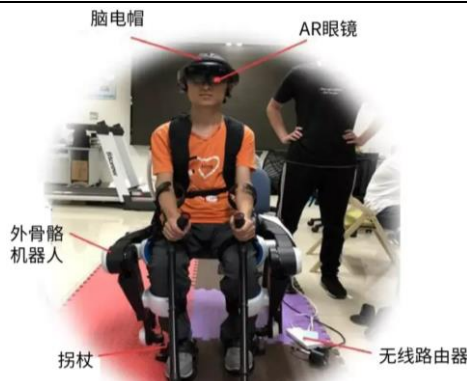
资料来源: CBInsight 《2021 年全球外骨骼机器人产业研究报告》, 中银证券

以前, 这类机器人依赖手动制定的规则, 但是近期业界正在逐渐使用机器学习、大模型等 AI 技术来突破意图感知相关领域的技术门槛。2024 年 6 月 12 日, 北卡罗来纳州立大学团队在 Nature 期刊发表的论文 Experiment-free exoskeleton assistance via learning in simulation 显示利用人工智能和计算机模拟训练机器人外骨骼, 帮助人们行走、跑步或攀爬, 而不需要进行任何实验。该研究或有助于推动外骨骼和义肢等装置的广泛应用。团队开发了一个能从人类-装置交互中学习的框架, 该框架不需要漫长的人体实验和人力资源。他们开发了能在模拟中生成人体运动、肌肉协调和外骨骼控制的三个互联神经网络。该研究发现, 他们的控制器让使用者的代谢率在行走时降低 24.3%, 跑步时降低 13.1%, 爬楼梯时降低 15.4%。

我们发现, 除了辅助提高运动能力, 外骨骼机器人还可以进一步提供主动牵引的平台。可以想象, 在搭载操作系统和对应软件后, 机器人能够主动带动身体进行一些体育项目的学习、站坐姿的矫正等。

另外, 感知意图的前沿技术还包括脑机接口 (Brain-computer interface, BCI), 即一种非肌肉控制的通讯技术, 将人脑的信号直接转换成控制外部设备的命令, 信息的传递无需经过外周神经和肌肉组织。BCI 的基本原理一般是检测大脑在进行思维活动或受外部感觉刺激时出现的的一系列神经系统活动, 经过信号处理, 从而辨别出人的控制意图。

图表 18. 脑控下肢外骨骼系统



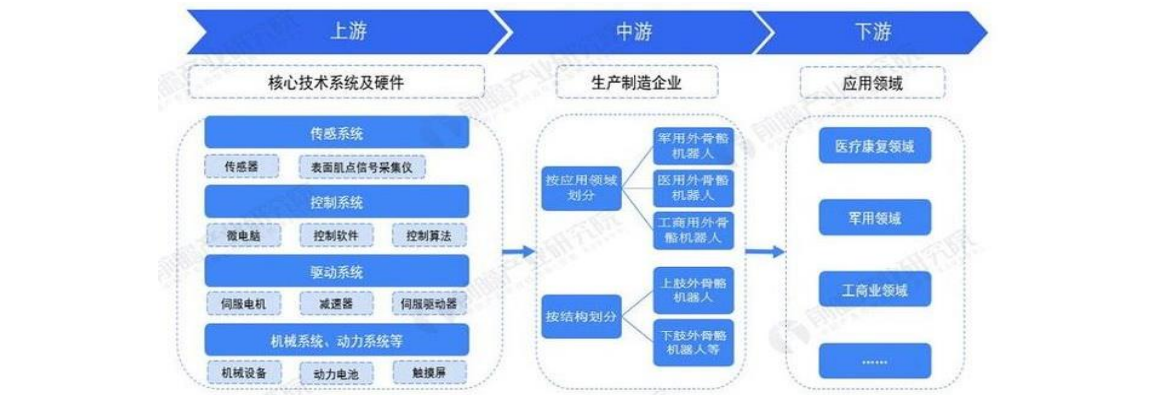
资料来源: 知乎、傅利叶智能, 中银证券

## 外骨骼产业链与主要厂商速览

产业链较为成熟，格局尚待成型

一方面，外骨骼机器人和人形机器人在产业链上游（零部件等）重叠较大，另一方面，外骨骼机器人的整机设备厂商和下游会有所差别。

图表 19. 外骨骼机器人产业链结构



资料来源：前瞻产业研究院，中银证券

市场已经对机器人上游供应链有较为充分研究，我们将在专题的后续报告中跟进。本文随后聚焦在针对外骨骼细分场景的产业链环节和企业集中讨论。

### 一些典型的外骨骼机器人解决方案企业

相比人形机器人领域存在特斯拉、波士顿动力等巨头系企业的格局，专门制造外骨骼机器人的企业目前还以创新型企业为主。虽然前文行业发展历程章节也提到有 Ekso、ReWalk 等美股上市公司，但是体量也较为有限。海外以欧美、日韩等地区的企业为主。

图表 20. 2017 年外骨骼机器人企业地域分布和规模，N=70



资料来源：CBInsight、Wearable Robotics Association，中银证券

图表 21. 海外外骨骼机器人代表企业

美国	加拿大	日本
• AlterG	• Bionik Laboratories	• Archelis
• Bioness	• B-Temia	• ATOUN
• Ekso Bionics	• Human in Motion Robotics	• CYBERDYNE
• HuMoTech	• Revision Military	• Honda
• Indego	• Trexo Robotics	• Innophys
• Levitate		• Skeletonics
• Lockheed Martin	澳大利亚	韩国
• Raytheon	• Rex Bionics	• Angel Robotics
• Roam Robotics		• Daewoo
• Springactive	法国	• Hyundai Motor
• SuitX	• ErgoSante	• SG ROBOTICS
• UniExo	• Wandercraft	• Walkbot

资料来源: CBInsight 《2021 年全球外骨骼机器人产业研究报告》, 中银证券

国内一些有代表性的外骨骼设备企业如大艾机器人、布法罗机器人、傲鲨智能、中航创世纪、迈步机器人、迈宝智能、傅利叶智能、英汉思、极壳等。

## 投资建议

### 投资建议

我们认为，外骨骼机器人正处于从技术成熟度到达向快速商业化转变的临界点。相比人形机器人，外骨骼行业处于相似的发展阶段，有可复用的产业链供应端，同时又有自身独特的优势——较符合人类利益，如在就业、体验感、伦理等方面，较能被人类使用者接受；外骨骼机器人不会取代人类岗位，具备“就业友好”属性，使其适宜在制造业等领域推广，也符合具备劳动力优势的我国国情。从发展方向看，我们预计在医疗、运动、工业等刚需场景会率先得到广泛应用，但也有可能随着“爆款”出现，在消费领域获得突破。

外骨骼技术目前开始从硬件、控制向人工智能训练、通用化转移，同时具备脑机接口等后续技术方面的延伸空间。如果搭载操作系统和对应软件，还能够实现特定的主动运动场景。

### 风险提示

#### 1、核心技术突破不及预期

电池、电机、轻量化、AI 适应算法等有待进一步成熟完善。后续，脑机交互等相关技术的研发需求或将陆续浮出水面，可使产品功能性和舒适性更强。但是，整体上技术研发都具有不确定性。

#### 2、产品商业化属性不及预期

过去产品价格受材料、零部件、算法等多个因素居高不下；近年来，随着消费市场对外骨骼技术的重视、产品原材料价格下降等因素，产品售价开始下降至千元级别，或许有助于消解部分对此类风险。但整体的商业化的推动还可能存在波动。另外，工业设计等方面还需要更好满足消费级市场需求。

#### 3、下游景气度走低

落地领域中，工业制造业、高端医疗和康养等行业是下游重点领域，如果宏观经济承压，可能会对行业采购等方面造成压力，影响早期需求的及时释放和兑现。



## 披露声明

本报告准确表述了证券分析师的个人观点。该证券分析师声明，本人未在公司内、外部机构兼任有损本人独立性与客观性的其他职务，没有担任本报告评论的上市公司的董事、监事或高级管理人员；也不拥有与该上市公司有关的任何财务权益；本报告评论的上市公司或其它第三方都没有或没有承诺向本人提供与本报告有关的任何补偿或其它利益。

中银国际证券股份有限公司同时声明，将通过公司网站披露本公司授权公众媒体及其他机构刊载或者转发证券研究报告有关情况。如有投资者于未经授权的公众媒体看到或从其他机构获得本研究报告的，请慎重使用所获得的研究报告，以防止被误导，中银国际证券股份有限公司不对其报告理解和使用承担任何责任。

## 评级体系说明

以报告发布日后公司股价/行业指数涨跌幅相对同期相关市场指数的涨跌幅的表现为基准：

### 公司投资评级：

- 买入：预计该公司股价在未来 6-12 个月内超越基准指数 20% 以上；
- 增持：预计该公司股价在未来 6-12 个月内超越基准指数 10%-20%；
- 中性：预计该公司股价在未来 6-12 个月内相对基准指数变动幅度在 -10%-10% 之间；
- 减持：预计该公司股价在未来 6-12 个月内相对基准指数跌幅在 10% 以上；
- 未有评级：因无法获取必要的资料或者其他原因，未能给出明确的投资评级。

### 行业投资评级：

- 强于大市：预计该行业指数在未来 6-12 个月内表现强于基准指数；
- 中性：预计该行业指数在未来 6-12 个月内表现基本与基准指数持平；
- 弱于大市：预计该行业指数在未来 6-12 个月内表现弱于基准指数；
- 未有评级：因无法获取必要的资料或者其他原因，未能给出明确的投资评级。

沪深市场基准指数为沪深 300 指数；新三板市场基准指数为三板成指或三板做市指数；香港市场基准指数为恒生指数或恒生中国企业指数；美股市场基准指数为纳斯达克综合指数或标普 500 指数。

## 风险提示及免责声明

本报告由中银国际证券股份有限公司证券分析师撰写并向特定客户发布。

本报告发布的特定客户包括：1) 基金、保险、QFII、QDII 等能够充分理解证券研究报告，具备专业信息处理能力的中银国际证券股份有限公司的机构客户；2) 中银国际证券股份有限公司的证券投资顾问服务团队，其可参考使用本报告。中银国际证券股份有限公司的证券投资顾问服务团队可能以本报告为基础，整合形成证券投资顾问服务建议或产品，提供给接受其证券投资顾问服务的客户。

中银国际证券股份有限公司不以任何方式或渠道向除上述特定客户外的公司个人客户提供本报告。中银国际证券股份有限公司的个人客户从任何外部渠道获得本报告的，亦不应直接依据所获得的研究报告作出投资决策；需充分咨询证券投资顾问意见，独立作出投资决策。中银国际证券股份有限公司不承担任何由此产生的任何责任及损失等。

本报告期内含保密信息，仅供收件人使用。阁下作为收件人，不得出于任何目的直接或间接复制、派发或转发此报告全部或部分予任何其他人，或将此报告全部或部分公开发表。如发现本研究报告被私自转载或转发的，中银国际证券股份有限公司将及时采取维权措施，追究有关媒体或者机构的责任。所有本报告期内使用的商标、服务标记及标记均为中银国际证券股份有限公司或其附属及关联公司（统称“中银国际集团”）的商标、服务标记、注册商标或注册服务标记。

本报告及其所载的任何信息、材料或内容只提供给阁下作参考之用，并未考虑到任何特别的投资目的、财务状况或特殊需要，不能成为或被视为出售或购买或认购证券或其它金融票据的要约或邀请，亦不构成任何合约或承诺的基础。中银国际证券股份有限公司不能确保本报告中提及的投资产品适合任何特定投资者。本报告的内容不构成对任何人的投资建议，阁下不会因为收到本报告而成为中银国际集团的客户。阁下收到或阅读本报告须在承诺购买任何报告中所指之投资产品之前，就该投资产品的适合性，包括阁下的特殊投资目的、财务状况及其特别需要寻求阁下相关投资顾问的意见。

尽管本报告所载资料的来源及观点都是中银国际证券股份有限公司及其证券分析师从相信可靠的来源取得或达到，但撰写本报告的证券分析师或中银国际集团的任何成员及其董事、高管、员工或其他任何个人（包括其关联方）都不能保证它们的准确性或完整性。除非法律或规则规定必须承担的责任外，中银国际集团任何成员不对使用本报告的材料而引致的损失负任何责任。本报告对其中所包含的或讨论的信息或意见的准确性、完整性或公平性不作任何明示或暗示的声明或保证。阁下不应单纯依靠本报告而取代个人的独立判断。本报告仅反映证券分析师在撰写本报告时的设想、见解及分析方法。中银国际集团成员可发布其它与本报告所载资料不一致及有不同结论的报告，亦有可能采取与本报告观点不同的投资策略。为免生疑问，本报告所载的观点并不代表中银国际集团成员的立场。

本报告可能附载其它网站的地址或超级链接。对于本报告可能涉及到中银国际集团本身网站以外的资料，中银国际集团未有参阅有关网站，也不对它们的内容负责。提供这些地址或超级链接（包括连接到中银国际集团网站的地址及超级链接）的目的，纯粹为了阁下的方便及参考，连结网站的内容不构成本报告的任何部份。阁下须承担浏览这些网站的风险。

本报告所载的资料、意见及推测仅基于现状，不构成任何保证，可随时更改，毋须提前通知。本报告不构成投资、法律、会计或税务建议或保证任何投资或策略适用于阁下个别情况。本报告不能作为阁下私人投资的建议。

过往的表现不能被视作将来表现的指示或保证，也不能代表或对将来表现做出任何明示或暗示的保障。本报告所载的资料、意见及预测只是反映证券分析师在本报告所载日期的判断，可随时更改。本报告中涉及证券或金融工具的价格、价值及收入可能出现上升或下跌。

部分投资可能不会轻易变现，可能在出售或变现投资时存在难度。同样，阁下获得有关投资的价值或风险的可靠信息也存在困难。本报告中包含或涉及的投资及服务可能未必适合阁下。如上所述，阁下须在做出任何投资决策之前，包括买卖本报告涉及的任何证券，寻求阁下相关投资顾问的意见。

中银国际证券股份有限公司及其附属及关联公司版权所有。保留一切权利。

## 中银国际证券股份有限公司

中国上海浦东  
银城中路 200 号  
中银大厦 39 楼  
邮编 200121  
电话: (8621) 6860 4866  
传真: (8621) 5888 3554

## 相关关联机构:

### 中银国际研究有限公司

香港花园道一号  
中银大厦二十楼  
电话:(852) 3988 6333  
致电香港免费电话:  
中国网通 10 省市客户请拨打: 10800 8521065  
中国电信 21 省市客户请拨打: 10800 1521065  
新加坡客户请拨打: 800 852 3392  
传真:(852) 2147 9513

### 中银国际证券有限公司

香港花园道一号  
中银大厦二十楼  
电话:(852) 3988 6333  
传真:(852) 2147 9513

### 中银国际控股有限公司北京代表处

中国北京市西城区  
西单北大街 110 号 8 层  
邮编:100032  
电话: (8610) 8326 2000  
传真: (8610) 8326 2291

### 中银国际(英国)有限公司

2/F, 1 Lothbury  
London EC2R 7DB  
United Kingdom  
电话: (4420) 3651 8888  
传真: (4420) 3651 8877

### 中银国际(美国)有限公司

美国纽约市美国大道 1045 号  
7 Bryant Park 15 楼  
NY 10018  
电话: (1) 212 259 0888  
传真: (1) 212 259 0889

### 中银国际(新加坡)有限公司

注册编号 199303046Z  
新加坡百得利路四号  
中国银行大厦四楼(049908)  
电话: (65) 6692 6829 / 6534 5587  
传真: (65) 6534 3996 / 6532 3371