

## 机械

## 人形机器人系列报告一

## 领先大市-A(维持)

AI 超预期助力产业落地，核心零部件配套星辰大海

2024 年 3 月 12 日

行业研究/行业深度分析

机械板块近一年市场表现



资料来源：最闻

## 投资要点：

➢ 本篇深度报告主要围绕以下四个问题展开：

➢ **问题一：AI&人形机器人，大模型是人形机器人的核心助推力。**

人形机器人量产，硬件本体是前置条件，更重要的是“AI 大脑”。从感知、执行、决策和认知四个功能来看，认知和决策功能是智能化的最高标准，其实现也难于感知和执行功能，均具备才能称为 L5 级（自适应型）。正是大语言模型技术的飞速发展，使得机器人能够自主感知环境、理解任务、动作编排等自主完成一套动作成为可能，智元机器人的 EI-Brain 框架为我们提供了一个很好的理解角度；同时，人形机器人也是“具身智能”的最好载体之一。

➢ **问题二：特斯拉 Optimus 零部件拆分，国内供应链主要发力点。**

特斯拉软硬件能力兼备，是最具潜力的人形机器人厂商之一。Optimus 三大系统拆分如下：（1）**控制系统**：FSD & Dojo D1 超算芯片；（2）**传感系统**：各类传感器，包括六维力/力矩传感器、惯性传感器、电子皮肤、视觉等。（3）**执行系统**：躯干 28 个执行器，14\*旋转执行器+14\*线性执行器。长期来看，国内企业有望通过特斯拉汽车供应链逐步渗透，在核心零部件领域的替代潜力巨大，包括传感器、电机、丝杠、减速器、PEEK 材料等环节。

➢ **问题三：应用场景&市场空间，人形机器人长期发展潜力几何？**

人形机器人行业空间的拓展有赖于功能替代性和成本划算性，安全、功能、成本、效率缺一不可。人形机器人兼具工业品和消费品属性，应用场景包括工商业场景&个人/家庭场景，目前优必选 WalkerS 已在新能源车厂首训，Optimus 也将率先应用在汽车制造。经 Figure AI 测算，（1）**体力劳动**：企业劳动角色（30 多亿人），占全球 GDP 的~50%（~42 万亿美元/年）；（2）**消费家居**：全球约 23 亿户家庭，700M 需要居家护理的老龄化人口。终局来看，人形机器人市场空间或在百万亿（美元）级别。

➢ **问题四：复盘可比新兴产业，人形机器人渗透率趋势如何演变？**

新能源汽车领域，2010 年开始，全球电动车销量渗透率从 0→1%→5%→10%，分别用了 7 年、4 年、1 年；中国的电动车产业链发展更为完善，渗透率绝对值水平和增速均高于全球平均水平，渗透率从 0→1%→5%→10%，分别用了 5 年、4 年、2 年，在 2022 年渗透率已接近 30%。整体而言，商业化初期渗透率提升较慢，随着技术工艺优化、产品不断成熟，突破 5%、10%后渗透率增速大幅加快。在硬件上，人形机器人可借鉴或复用部分汽车产业链；在软件上，AI 的超预期发展则成为人形机器人应用的最大变量，成为其规模化应用的关键，人形机器人渗透率提升或快于电动车。

## 相关报告：

【山证 3C 设备】【山证机械】3C 设备产业链专题报告：掘金千亿级市场，折叠屏、钛合金兼具规模与高 α 属性  
2024.1.19

【山证机械】【山证机械】机械行业 2024 年度策略：创变新生，向阳而行  
2024.1.17

## 分析师：

徐风

执业登记编码：S0760519110003

邮箱：xufeng@sxzq.com

请务必阅读最后一页股票评级说明和免责声明

1



更多免费行业报告

并购家

www.ipoipo.cn

# 并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费

- **投资建议：**建议关注：（1）Tier 1 厂商：三花智控、拓普集团；（2）减速器：绿的谐波、中大力德、双环传动、国茂股份、精锻科技、夏厦精密、汉宇集团；（3）丝杠和轴承：恒立液压、贝斯特、北特科技、五洲新春、长盛轴承、鼎智科技、江苏雷利、捷昌驱动、秦川机床；（4）传感器：柯力传感、东华测试、康斯特、奥比中光、芯动联科、汉威科技、华依科技。（5）电机：鸣志电器、步科股份、禾川科技、伟创电气；（6）机床和刀具：华辰装备、沃尔德、日发精机、国机精工；（7）材料：中研股份、新瀚新材、凯盛新材。
- **风险提示：**人形机器人技术进步不及预期，人形机器人降本节奏不及预期，下游商业化应用不及预期，核心零部件国产化进展不及预期。

## 目录

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| 1. 零：人形机器人基本概念.....                    | 7  |
| 1.1 人形机器人的远期目标是通用性.....                | 7  |
| 1.2 催化频出：Optimus 迭代超预期，国内厂商纷纷入局.....   | 9  |
| 2. 问题一：AI&人形机器人，大模型是人形机器人的核心助推力.....   | 12 |
| 2.1 人形机器人产业链梳理及结构拆分.....               | 12 |
| 2.2 大模型为场景泛化提供可能，AI 是我们长期面临的难题之一.....  | 14 |
| 3. 问题二：Optimus 核心零部件拆分，国内供应链主要发力点..... | 16 |
| 3.1 特斯拉 Optimus 主要结构拆分.....            | 16 |
| 3.2 感知系统：关注核心传感器的应用.....               | 17 |
| 3.3 执行系统.....                          | 22 |
| 3.3.1 电机：动力核心，体积小、扭矩密度高.....           | 22 |
| 3.3.2 减速器：刹车装置，谐波国产化率较高.....           | 23 |
| 3.3.3 丝杠：传动机构，行星滚柱丝杠壁垒高.....           | 26 |
| 3.4 材料应用：轻量化趋势下，关注 PEEK 材料应用.....      | 28 |
| 4. 问题三：应用场景&市场空间，人形机器人长期发展潜力几何？.....   | 31 |
| 4.1 应用场景展望：商业&家庭，或率先应用于汽车制造.....       | 31 |
| 4.2 市场空间分析：从终局看，市场空间或在百万亿级别.....       | 32 |
| 5. 问题四：复盘可比新兴产业，人形机器人渗透率趋势如何演变？.....   | 33 |
| 5.1 工业机器人密度复盘：全球分化，韩国最高达 10%.....      | 33 |
| 5.2 电动车渗透率复盘：10%为渗透率拐点，耗时约 11 年.....   | 34 |
| 6. 投资策略.....                           | 35 |
| 6.1 供需双轮驱动，人形机器人有望快速发展.....            | 35 |
| 6.2 人形机器人厂商正专注哪些工作？.....               | 39 |
| 6.3 受益标的梳理.....                        | 39 |

|              |    |
|--------------|----|
| 7. 风险提示..... | 40 |
|--------------|----|

## 图表目录

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| 图 1: 机器人分类.....                               | 7  |
| 图 2: 对比传统机器人, 人形机器人通用性更强.....                 | 8  |
| 图 3: 人形机器人迭代发展的三个阶段.....                      | 8  |
| 图 4: Tesla Bot 概念机的主要等参数.....                 | 10 |
| 图 5: Tesla Bot 搭载 FSD 系统和 Dojo 超级计算机.....     | 10 |
| 图 6: Gen-2 灵活的手部控制.....                       | 10 |
| 图 7: Gen-2 控制平衡并深蹲.....                       | 10 |
| 图 8: CyberOne 的身高、体重、运动速度等参数.....             | 11 |
| 图 9: CyberOne 搭载 Mi Sense 视觉空间系统.....         | 11 |
| 图 10: 人形机器人产业链梳理.....                         | 12 |
| 图 11: 组成人形机器人的三大系统.....                       | 14 |
| 图 12: 智元“具身智脑”EI-Brain 框架.....                | 16 |
| 图 13: Optimus 结构拆分.....                       | 17 |
| 图 14: 人形机器人传感器应用位置示意图.....                    | 18 |
| 图 15: 六维力/力矩传感器.....                          | 19 |
| 图 16: ATI 六维力/力矩传感器解剖图.....                   | 19 |
| 图 17: 鑫精诚传感器在人形机器人的应用.....                    | 19 |
| 图 18: 优必选采用了 4 个六维力/力矩传感器.....                | 19 |
| 图 19: 全球六维力/力矩传感器主流厂商.....                    | 20 |
| 图 20: 2024-2030 年人形机器人领域力传感器市场规模预测 (亿元) ..... | 20 |

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| 图 21: 阵列电子皮肤.....                              | 20 |
| 图 22: 全球 MEMS 惯性传感器市场结构 (亿美元) .....            | 21 |
| 图 23: 全球 MEMS 惯性传感器市场结构 (亿颗) .....             | 21 |
| 图 24: 无框力矩电机结构.....                            | 23 |
| 图 25: (无刷) 空心杯电机结构.....                        | 23 |
| 图 26: 谐波减速器结构图.....                            | 24 |
| 图 27: RV 减速器结构图.....                           | 24 |
| 图 28: 2021 年全球工业机器人减速器竞争格局.....                | 25 |
| 图 29: 2020 年中国机器人减速器市场结构.....                  | 25 |
| 图 30: 2022 年我国谐波竞争格局.....                      | 25 |
| 图 31: 2021 年我国 RV 减速器竞争格局.....                 | 25 |
| 图 32: 行星滚柱丝杠构成.....                            | 26 |
| 图 33: 滚珠丝杠构成.....                              | 26 |
| 图 34: 标准式 VS 反向式行星滚柱丝杠.....                    | 27 |
| 图 35: 2022 年国内行星滚柱丝杠格局.....                    | 28 |
| 图 36: PEEK 材料产业链.....                          | 29 |
| 图 37: 2012-2021 年中国 PEEK 产品市场消费量.....          | 30 |
| 图 38: 2021 年全球 PEEK 主要生产商情况.....               | 30 |
| 图 39: 人形机器人未来应用场景.....                         | 31 |
| 图 40: 优必选人形机器人新能源车厂首次实训.....                   | 32 |
| 图 41: 2010-2022 全球平均&韩国&中国工业机器人渗透率.....        | 34 |
| 图 42: 2022 年各国工业机器人渗透率情况.....                  | 34 |
| 图 43: 2021 年, 新能源汽车市场渗透率达到增长的拐点且不断上升 (%) ..... | 35 |

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| 图 44： 中国 65 岁及以上人口数目与占比持续增长.....         | 36 |
| 图 45： 中国 15-64 岁人口数目与占比明显下滑.....         | 36 |
| 表 1： 特斯拉人形机器人 Optimus 快速迭代.....          | 9  |
| 表 2： 2023 年国产人形机器人发布 10 余款新机.....        | 10 |
| 表 3： 机器人智能化信息模型要素分析表.....                | 15 |
| 表 4： 机器人通用智能化等级的分级.....                  | 15 |
| 表 5： 传感器的简要概述.....                       | 17 |
| 表 6： 人形机器人三种驱动方式对比.....                  | 22 |
| 表 7： 谐波减速器和 RV 减速器对比.....                | 24 |
| 表 8： 滚珠丝杠和行星滚柱丝杠对比.....                  | 27 |
| 表 9： 近年来机器人行业相关政策不断推出.....               | 36 |
| 表 10： 2023 年中国人形机器人投融资情况.....            | 37 |
| 表 11： GPT 系列的技术升级.....                   | 38 |
| 表 12： 重点公司估值表（数据截至 2024 年 3 月 7 日） ..... | 40 |

## 1. 零：人形机器人基本概念

### 1.1 人形机器人的远期目标是通用性

根据国际机器人联合会（IFR）的分类，机器人可分为工业机器人和服务机器人。工业机器人根据机械结构的不同，可以分为线性机器人、SCARA 机器人、并联机器人、多关节机器人、圆柱机器人等类型，广泛应用于搬运/上下料、焊接、喷涂、加工和装配等领域。服务机器人是除工业自动化应用外，能为人类或设备完成有用任务的机器人，主要包括个人/家用服务机器人和专用服务机器人。个人/家用服务机器人是指用于非营利性任务的，一般由非专业人士使用的服务机器人，包括家政服务、教育娱乐、养老助残等类型的机器人。专用服务机器人是用于营利性任务的，一般由培训合格的操作员操作的服务机器人，包括专用清洁机器人、医用机器人、物流机器人、建筑破拆机器人、水下机器人、救援安保机器人、动力人体外骨骼机器人等 12 种类型的机器人。

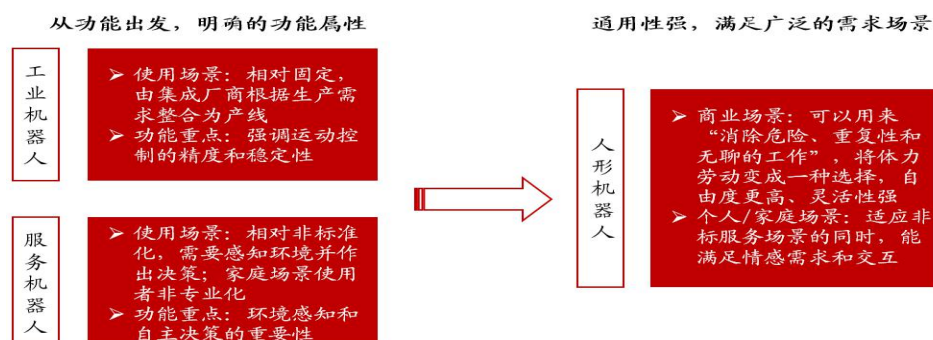
图 1：机器人分类



资料来源：电子发烧友援引国际机器人联合会，中国软件评测中心，山西证券研究所

人形机器人通过仿生形态，提升应用深度和广度，最终实现和人类共同社会化分工。人形机器人的通用性体现在，由于当前社会环境的建立以人类适应为出发点，人形机器人通过以类似人类的能力不需要改造环境就能应对复杂的人类环境，使用场景更广，能作为简单、重复、危险的劳动力替代，也能适应非标服务场景的同时满足情感需求和交互。工业机器人从功能出发，使用场景相对固定，强调运动控制的精度和稳定性；服务机器人需要环境感知和自主决策，使用场景相对非标化，且家庭场景的使用者通常非专业化。

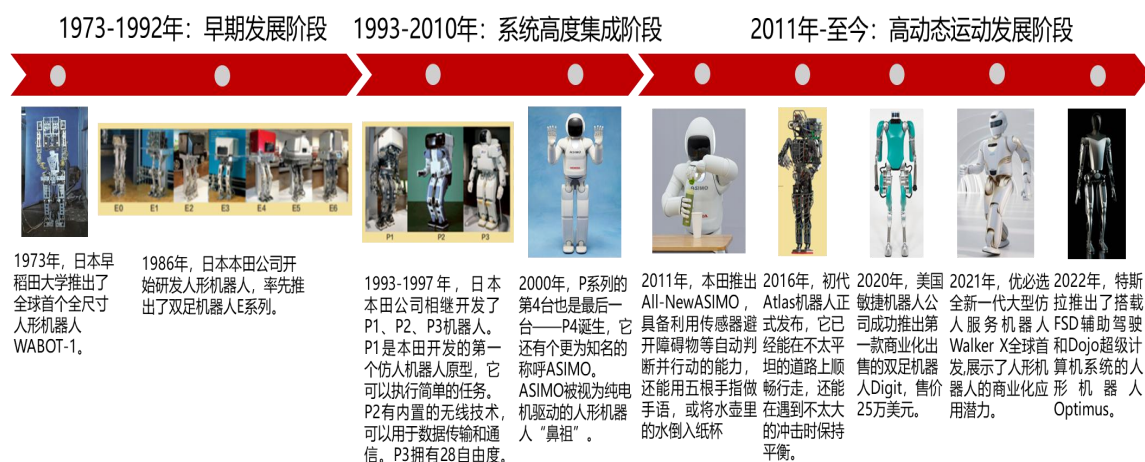
图 2：对比传统机器人，人形机器人通用性更强



资料来源：山西证券研究所根据公开资料整理

现代人形机器人起步于上世纪 60 年代后期，根据产品迭代路线，其发展历程可以分为三个阶段。第一阶段是以日本早稻田大学的人形机器人 WABOT-1 为代表的早期发展阶段，这一阶段的人形机器人实现了从下半身站立，到下半身行走，组装上半身，最后全身协同、缓慢静态行走的技术突破；第二阶段是以日本本田的人形机器人 ASIMO 为代表的系统高度集成阶段，这一阶段的人形机器人不仅实现了连续动态行走，还可以通过感知外部环境及时调整步幅、行走速度、绕过障碍物；第三阶段是以波士顿动力的人形机器人 ATLAS 为代表的高动态运动发展阶段，这一阶段的人形机器人运动性能更强，能完成多种高难度运动动作，展示了人形机器人的平衡能力与敏捷性。

图 3：人形机器人迭代发展的三个阶段



资料来源：腾讯网，通信世界网，中国机器人网，山西证券研究所

## 1.2 催化频出：Optimus 迭代超预期，国内厂商纷纷入局

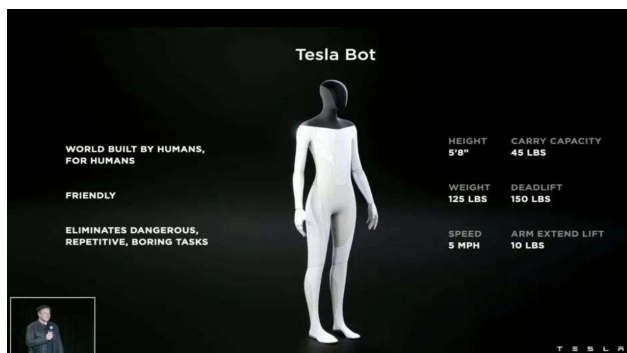
特斯拉于 2021 年 AI day 发布 tesla bot concept，2023 年 12 月发布了 Optimus gen-2，大幅超出市场预期。Gen-2 显示了“Tesla”ID，搭载了自研的执行器和传感器，颈部由 2 自由度驱动，体重减轻 10 公斤、行走速度提升 30%，脚部采用了力/扭矩传感器、铰链化的脚趾部分、脚掌连接的部分更接近人类的足部几何角度，手部 11 自由度、而且所有手指都有触觉感应，用手指捡起鸡蛋后可完好无损的放下，平衡和全身控制算法继续提升、可以在平衡自身的同时进行深蹲，执行器的电子布线高度集成化。Gen-2 的发布表明 Optimus 研发相对顺利，技术性能正在逐步完善中，其中灵巧手、平衡性能表现亮眼。和概念机相比，Optimus 体重仍需降低约 7kg，小型化、轻量化仍是其迭代的方向，涉及到一体化电驱、结构设计优化、减重材料的运用等方面。

表 1：特斯拉人形机器人 Optimus 快速迭代

| 时间          | 事件                                                                                                                                     |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2021 年 8 月  | 特斯拉发布 Optimus 概念                                                                                                                       |
| 2022 年 2 月  | 完成人形机器人开发平台的制造                                                                                                                         |
| 2022 年 9 月  | 展示了 Optimus 的最新型号，通过视频展示了 Optimus 搬运盒子等简单的行动，现场展示了 Optimus 的真机，但只能在工作人员的搀扶下行动                                                          |
| 2023 年 5 月  | 视频展示了 Optimus 可以完成更复杂的活动，例如 Optimus 能做到精准控制力道不打碎鸡蛋（电机转矩控制的能力），此外 Optimus 也展示了其基于端到端 AI 学习人类行为的过程，对物体进行分类摆放等，还展示了其从一个容器中拾取物体并将它放入第二个容器中 |
| 2023 年 7 月  | 二季度电话会，做了大约 10 个 Optimus，马斯克预计明年可以在特斯拉工厂内做一些“有意义”的工作。马斯克预计到今年 11 月就可以完成搭载了特斯拉自己设计的执行器的 Optimus                                         |
| 2023 年 11 月 | Lex Fridman 采访 Musk，灵巧手的目标是“穿针引线”                                                                                                      |
| 2023 年 12 月 | Gen-2 发布，ID 设计、自研的执行器和传感器、2 自由度驱动的颈部、行走速度提升 30%、减重 10 公斤、脚部力/扭矩传感器、铰链化的脚趾部分以及仿生学的脚、11 自由度的全新手、提升的平衡和全身控制算法、集成执行器的电子和布线                 |
| 2024 年 2 月  | 发布 Gen-2 行走视频，行进更加稳定。                                                                                                                  |

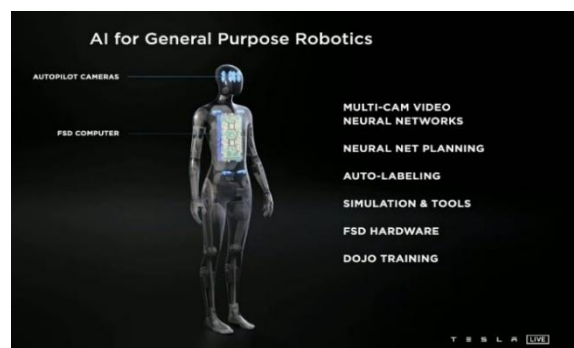
资料来源：Tesla, 36Kr, 21 经济网，中国经济网，腾讯网，证券日报，有新 Newin，山西证券研究所

图 4：Tesla Bot 概念机的主要等参数



资料来源：IT 之家，特斯拉 AI Day，网易科技，山西证券研究所

图 5：Tesla Bot 搭载 FSD 系统和 Dojo 超级计算机



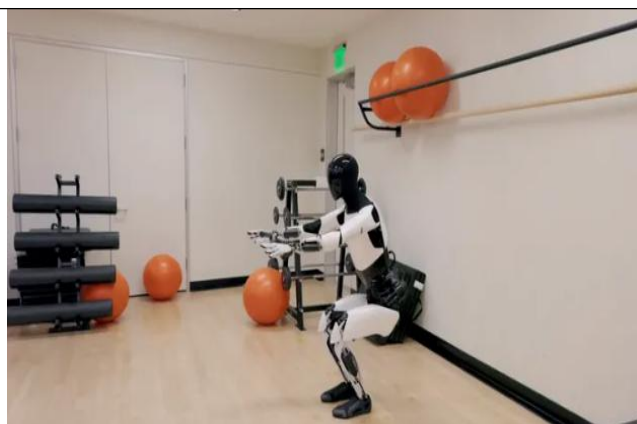
资料来源：腾讯网，特斯拉 AI Day，盖世汽车，山西证券研究所

图 6：Gen-2 灵活的手部控制



资料来源：Tesla，山西证券研究所

图 7：Gen-2 控制平衡并深蹲



资料来源：Tesla，山西证券研究所

人形机器人国内玩家增加，发布新机 10 余款。2022 年，小米的人形机器人 CyberOne 亮相，身高 177cm，体重 52kg，全身 21 自由度，能实现各自由度 0.5ms 级别的实时相应，单手垂直抓握 1.5kg 重物，同时搭载 Mi Sense 视觉空间系统，拥有 85 种环境语义识别、6 类 45 种人类语义情绪识别。2023 年以来，不完全统计，有 10 余款人形机器人发布，其中除了机器人厂商如追觅、傅利叶、达闼、宇数、开普勒、乐聚、理工华汇、中科电机器人公司，还包括汽车厂商小鹏，以及偏互联网的企业如小米、科大讯飞、智元。

表 2：2023 年国产人形机器人发布 10 余款新机

| 时间   | 人形机器人厂商             | 事件                                                                                                                                |
|------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3 月  | 追觅科技                | 推出了实现高度仿生的通用人形机器人，身高 178cm，体重 56kg，全身共 44 个自由度，其中单腿还有完整的 6 自由度，可以完成单腿站立                                                           |
| 7 月  | 傅利叶智能               | 在 2023 世界人工智能大会上发布 GR-1 通用人形机器人，采用自研 FSA 高性能一体化执行器，拥有强大且灵活的运动性能。                                                                  |
| 8 月  | 智元机器人               | 发布其首款人形机器人远征 A1，远征 A1 身高 175cm，重量 55kg，整体为类人造型。                                                                                   |
| 8 月  | 宇树科技                | 发布旗下首款通用人形机器人产品 H1。H1 人形机器人采用轻量化材料设计，整体重量只有 47kg，整身拥有 19 个自由度，行走姿态轻盈稳健，尤为突出的 H1 腿部关节电机部分，峰值扭矩达到了 360N·m，并且配合中空轴线和双编码器。            |
| 8 月  | 达闼机器人               | 在世界机器人大会上发布了人形双足机器人 XR4（七仙女）。                                                                                                     |
| 8 月  | 理工华汇                | 在世界机器人大会上，北京理工华汇展出双足人形机器人“汇童”，身高 165cm，体重 55kg，整身拥有 26 个自由度。                                                                      |
| 10 月 | 小鹏汽车                | 发布了首款人形机器人 PX5，计划优先在小鹏的工厂和销售场景进行实地应用。                                                                                             |
| 10 月 | 科大讯飞                | 科大讯飞人形机器人正式对外亮相。                                                                                                                  |
| 11 月 | 中国电科 21 所（中电科机器人公司） | 发布首款人形机器人，身高 162 厘米，体重 60 千克，拥有 39 个自由度，单臂最大负载 5 千克，双臂最大负载 10 千克，最大行走速度可达 5 千米/时，可拿杯子、搬箱子、走碎石地。                                   |
| 11 月 | 开普勒                 | 先行者系列通用人形机器人面世，身高 178cm，体重 85kg，智能灵巧手共有 12 个自由度，高度仿真人类手部结构，获专属外观专利，全身多达 40 个关节自由度，具备复杂地形行走、智能规避障碍、手部灵活操控、强力负重搬运、手眼协同操作、智能交互沟通等功能。 |
| 12 月 | 乐聚机器人               | 宣布已成功交付首批高动态人形机器人 KUAVO，该款机器人搭载开源鸿蒙系统，重量约 45kg，全身自由度 26 个，其步速最高可达 4.6km/h，快速连续跳跃高度超过 20CM。                                        |

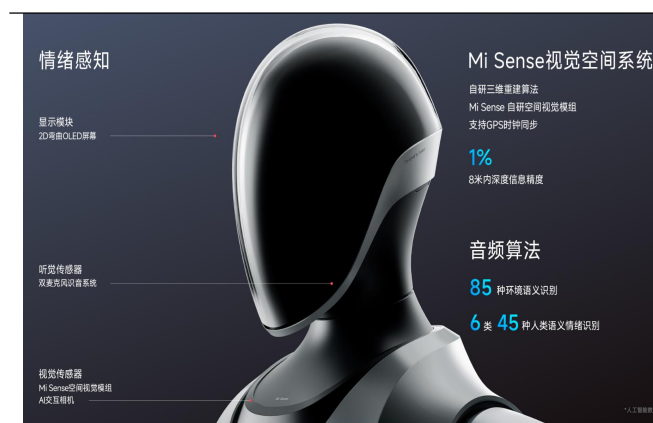
资料来源：中国机器人网公众号，山西证券研究所

图 8：CyberOne 的身高、体重、运动速度等参数

图 9：CyberOne 搭载 Mi Sense 视觉空间系统



资料来源：小米官网，山西证券研究所



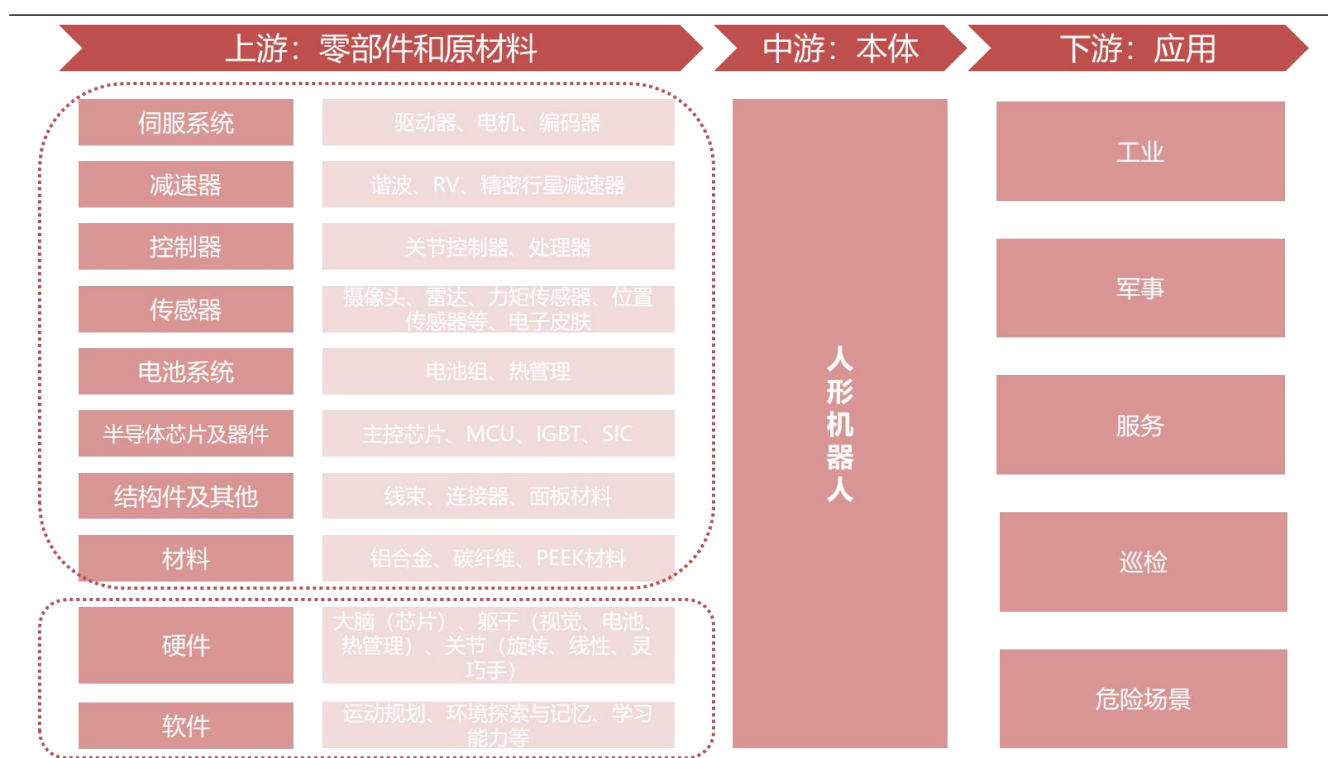
资料来源：小米官网，山西证券研究所

## 2. 问题一：AI&人形机器人，大模型是人形机器人的核心助推力

### 2.1 人形机器人产业链梳理及结构拆分

人形机器人产业链可以分为上中下游三大部分。上游是原材料&零部件生产，核心零部件不仅成本占比最高，而且技术难度最大，软件和硬件环节均具备较高的壁垒；以 Optimus 为例，其软件算法自研，硬件则是我国产业链可以充分切入的环节。中游是本体制造，其技术难度跟随上游零部件，本体制造商会对核心部件做出设计并指定供应商。下游为场景应用，特斯拉机器人制造后或将率先应用于汽车装配工序，优必选机器人此前也发布了在汽车工厂的工作视频等，其他应用场景有望逐步展开。

图 10：人形机器人产业链梳理



资料来源：山西证券研究所根据公开资料整理

人形机器人主要由三大系统组成，分别是传感系统、控制系统、执行系统。

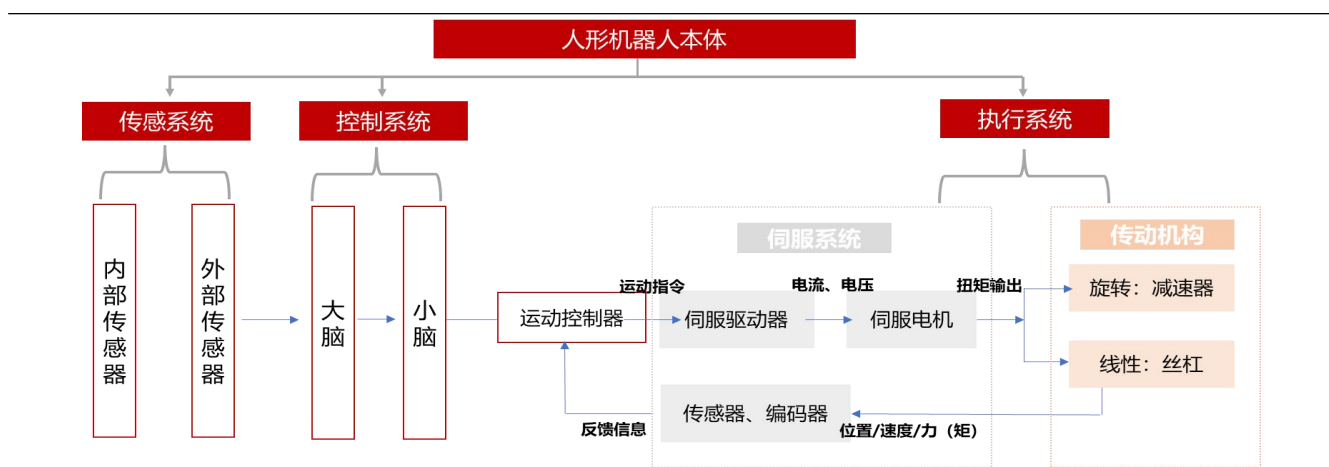
一、传感系统对应“五官”，包含内部传感器和外部传感器。内部传感器主要用来检测机器人本身的状态，为机器人的运动控制提供必要的本体状态信息，如各关节的位置、速度、加速度等，并将所测得的信息作为反馈信号送至传感器，形成闭环控制，主要有位置传感器、速度传感器等。外部传感器则用来感知机器人所处的工作环境或工作状况信息，使机器人的动作适应外界情况的变化，达到更高层次的自动化，提高机器人的工作精度，常见有视觉传感器、触觉传感器等。

二、控制系统对应“大脑”和“小脑”，是机器人的指挥中枢。“大脑”负责环境感知、行为控制、人机交互，通过深度学习和 AI 技术，实现自主学习和智能决策。“小脑”则负责运动控制包括运动规划、姿态控制、动态平衡等，通过实时感知机器人的状态和环境信息，小脑可以调整机器人的动作，使其能够稳定地行走、跑步、跳跃等。控制系统负责处理作业指令信息、内外环境信息，并依据预定的本体模型、环境模型和控制程序做出决策，产生相应的控制信号，通过驱动器驱动执行机构的各个关节按所需的顺序、确定的轨迹运动，完成特定的作业。

三、执行系统对应“肢体”，负责执行控制系统制定的操作。“机器肢”指仿人机械臂、灵巧手、腿足等，“机器体”指骨骼、本体结构等。执行系统的工作流程如下图所示，涉及到伺

伺服系统和执行机构：伺服系统是能根据指令信号精确地控制执行部件的运动速度与位置的驱动系统，一般伺服系统由核心零部件电机、驱动器和传感器/编码器组成；传动机构是把动力从机器的一部分传递到另一部分，实现改变动力机输出转矩或者改变其运动方式（旋转运动和直线运动的转换），机械传动分为两类，一是靠机件间的摩擦力传递动力与摩擦传动，二是靠主动件与从动件啮合或借助中间件啮合传递动力或运动的啮合传动，典型机构有减速器、丝杠、蜗轮蜗杆传动杆等。

图 11：组成人形机器人的三大系统



资料来源：山西证券研究所根据公开资料整理

## 2.2 大模型为场景泛化提供可能，AI 是我们长期面临的难题之一

人形机器人量产，硬件本体是前置条件，更重要的是“AI 大脑”，可以说是我们长期面临的最困难的问题之一。《智能机器人智能化等级评价规范》对机器人智能化水平做了分级，其中通用智能化等级的分级则主要基于机器人综合能力的评级，从感知、执行、决策和认知四个方面，对机器人的智能等级进行评价，该评级不对机器人智能化单项要素进行评价，只对机器人智能化综合能力进行评级。机器人综合通用智能化等级从低到高主要分为 L1 级~L5 级：**a) L1 级（基础型）**：具备感知功能及部分执行功能；**b) L2 级（半交互型）**：具备感知功能和执行功能；**c) L3 级（交互型）**：具备感知功能、执行功能和部分决策功能；**d) L4 级（自主型）**：具备感知功能、执行功能和决策功能；**e) L5 级（自适应型）**：具备感知功能、执行功能、决策功能和认知功能。可见，通用机器人的认知和决策功能是智能化的最高标准，其实现也难于感知和执行功能。

表 3：机器人智能化信息模型要素分析表

| 序号 | 要素 | 子要素  | 测试项目                                       |
|----|----|------|--------------------------------------------|
| 1  | 感知 | 视觉   | 人脸识别、字符识别、图像识别、定位测距                        |
| 2  |    | 听觉   | 声源定位、语音识别                                  |
| 3  |    | 触觉   | 压觉、力觉、冷热觉                                  |
| 4  |    | 嗅觉   | 对于气味的识别                                    |
| 5  |    | 其他   | 环境感知、味觉                                    |
| 6  | 认知 | 建模   | 激光建图、视觉建图、语义建图、知识库构建                       |
| 7  |    | 理解   | 语义理解、多轮语义理解、多轮对话理解、情感理解、多模态意图理解            |
| 8  |    | 推理   | 偏好推荐、知识推理                                  |
| 9  | 决策 | 规划   | 任务规划、动作规划、路径规划、不确定环境下的运动规划                 |
| 10 |    | 优化   | 自适应标定技术、可强化的物体操纵技术、机器学习技术、知识库扩充            |
| 11 | 执行 | 运动执行 | 移动能力、操作能力                                  |
| 12 |    | 交互   | 语音交互、表情交互、文字交互、肢体语言交互、界面交互、多模态交互、多机交互、操作交互 |

资料来源：《智能机器人智能化等级评价规范》，山西证券研究所

表 4：机器人通用智能化等级的分级

| 分级 | 感知功能 | 执行功能 | 决策功能 | 认知功能 |
|----|------|------|------|------|
| L1 | 有    | 部分有  | -    | -    |
| L2 | 有    | 有    | -    | -    |
| L3 | 有    | 有    | 部分有  | -    |
| L4 | 有    | 有    | 有    | -    |
| L5 | 有    | 有    | 有    | 有    |

资料来源：《智能机器人智能化等级评价规范》，山西证券研究所（注：“有”是指具备此功能且达到对应的等级；“部分有”是指具备此功能但未达到对应的等级；“无”是指不做要求。）

正是大语言模型技术的飞速发展，使得机器人能够自主感知环境、理解任务、动作编排等自主完成一套动作成为可能。基于超大规模的数据预训练的语言和图像大模型，具备强大的语义理解、逻辑推理、图像识别、代码生成能力，智元认为语言和图像大模型对于机器人领域的最大价值在于两点：首先是嵌入在大模型中，庞大的先验知识库和强大的通识理解能力，大模型的出现能够让机器人更好地把原有的能力泛化到更通用的场景中；然后是大模型具有的复杂语义多级推理能力，即所谓的“思维链”。以上两点，对于智能机器人的“认知”和“决策”功能的实现至关重要。

智元机器人创始人在公司产品发布会上分享了人形机器人 EI-Brain 框架。“大脑”提供

AI 辅助的抽象思维能力，如逻辑推理、思考能力，完成机器人任务级和技能级的调度，如果端侧部署的模型泛化能力不够，还可再配合云端超脑，在线解锁更复杂的任务调度能力；“小脑”负责产生运动控制指令生成，比如设置上身姿态、控制指关节运动、控制头部姿势等，涉及运动学、动力学；另外“脑干”这一层级主要是解决底层的运动控制能力问题，比如所有电机、电流环、速度环、位置环的控制。

图 12：智元“具身智脑” EI-Brain 框架



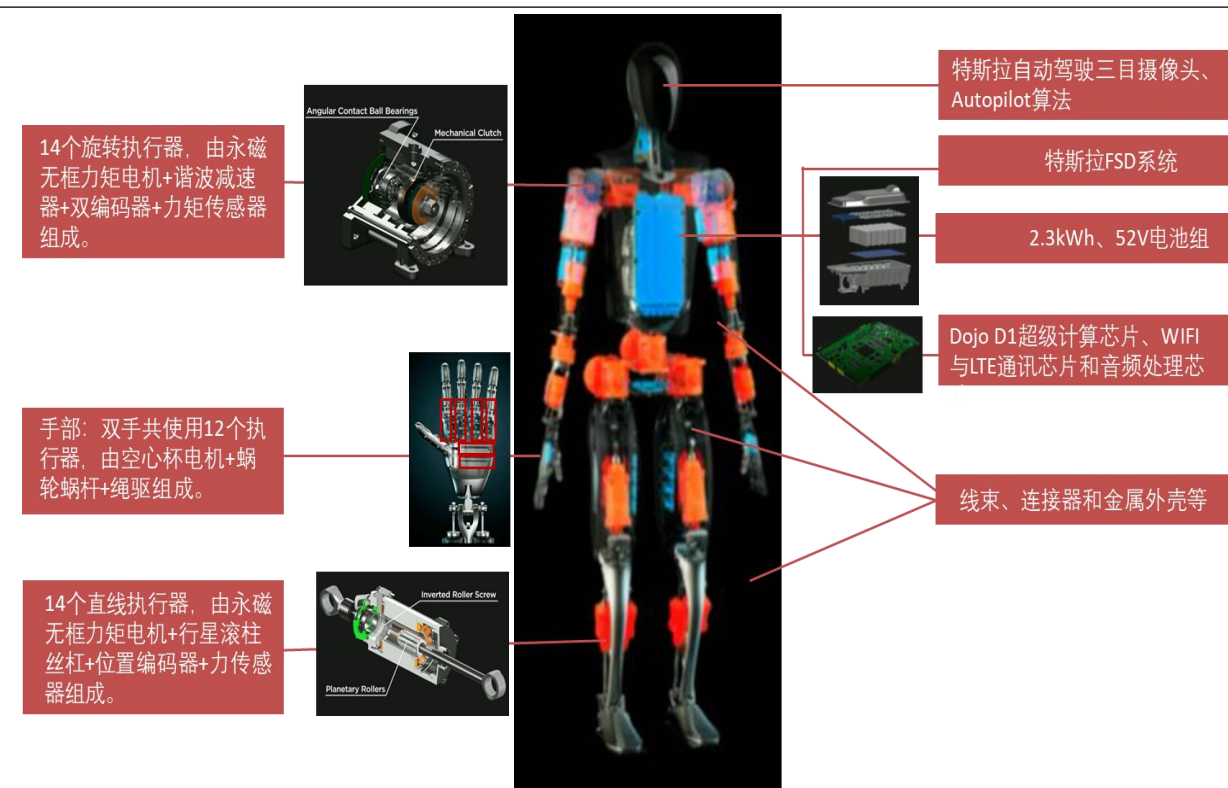
资料来源：智元机器人官网，新智元，山西证券研究所

### 3. 问题二：Optimus 核心零部件拆分，国内供应链主要发力点

#### 3.1 特斯拉 Optimus 主要结构拆分

Optimus 结构拆分如下：（1）控制系统：完全自动驾驶 FSD，Dojo D1 超级计算芯片。（2）传感系统：视觉感知采用 Autopilot 摄像头，手腕、脚踝六维力/力矩传感器，手部电子皮肤，内部编码器等。（3）执行系统：躯干 28 个执行器，旋转和线性执行器各 14 个；旋转执行器结构为无框力矩电机+谐波减速器+扭矩传感器+双编码器，采用交叉滚子轴承；线性执行器结构为无框力矩电机+反向行星滚柱丝杠+力传感器，采用 4 点接触轴承和滚柱轴承；手部共 12 个执行器，结构为空心杯电机+蜗轮蜗杆+绳驱，其中大拇指 2 个执行器、其他手指各 1 个。

图 13: Optimus 结构拆分



资料来源：EET China，特斯拉 AI Day，中国机器人网，汽车电子与软件，山西证券研究所

## 3.2 感知系统：关注核心传感器的应用

传感器技术是机器人控制、交互的前提，是机器人感知环境和完成任务的基础。各种传感器相当于工业机器人的手、眼、耳和鼻，有助于识别自身的运动状态和环境状况。在这些信息的帮助下，控制器可以发出相应的指令，使机器人完成所需的动作。人形机器人和工业机器人使用的传感器种类大致接近，包括触觉传感器、扭矩（力矩）传感器、惯性传感器、视觉传感器、编码器等。

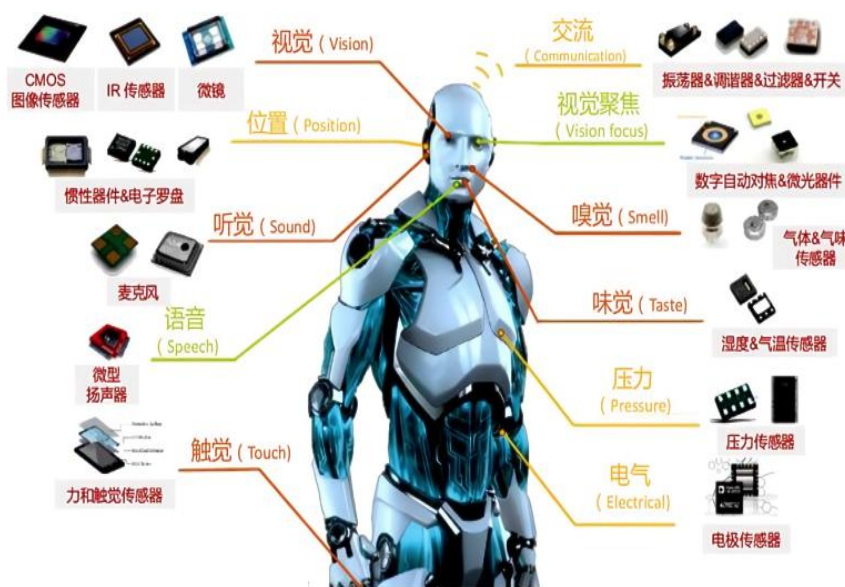
表 5：传感器的简要概述

| 传感器类型 | 原则              | 获得的信息       | 在工业机器人中的应用         |
|-------|-----------------|-------------|--------------------|
| 触觉传感器 | 电容式、压电式、压阻式、光学式 | 接触力、面积、位置   | 人机协作、物体抓取、质量监控     |
| 扭矩传感器 | 感应电阻应变          | 扭矩          | 人-机器人协作、物体抓取、机器人编程 |
| 惯性传感器 | 航位推算（DR）        | 加速度、角速度、方位角 | 导航、操纵器控制           |

| 传感器类型  | 原则                   | 获得的信息 | 在工业机器人中的应用                      |
|--------|----------------------|-------|---------------------------------|
| 视觉传感器  | CCD 或 CMOS 成像        | 图像    | 人-机器人协作 (HRC)、导航、机械手控制、装配、机器人编程 |
| 激光传感器  | 飞行时间 (TOF)、三角测量、光学干涉 | 距离、位移 | 人-机器人协作 (HRC)、导航、操纵器控制          |
| 编码器    | 光电、磁性、电感性、电容性        | 角位移   | 导航、操纵器控制                        |
| 接近传感器  | 电容式、电感式、光电式          | 物体接近  | 人-机器人协作 (HRC)、物体抓取              |
| 声传感器   | 电容                   | 声音信号  | 人-机器人协作 (HRC)、焊接                |
| 磁波传感器  | 霍尔效应                 | 磁场强度  | 航行                              |
| 超声波传感器 | 飞行时间 (TOF)           | 距离    | 障碍物回避                           |

资料来源：工业机器人传感器技术综述\_邢国芬，山西证券研究所

图 14：人形机器人传感器应用位置示意图

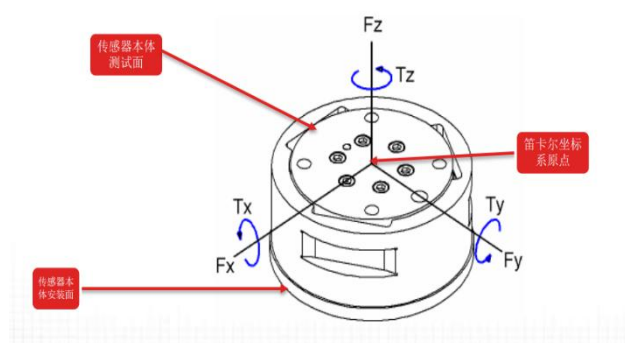


资料来源：Yole，GGII，山西证券研究所

力觉传感器是感知并度量力的传感器，六维力传/力矩传感器信息最全、技术壁垒最高。最常见的是一维、三维和六维力传感器，二维和五维的力觉传感器较少。六维力/力矩传感器，指的是在指定的直角坐标系内，能同时测量沿三个坐标轴方向的力和绕三个坐标轴方向的力矩。六维力/力矩传感器是维度最高的力觉传感器，它能给出最为全面的力觉信息，对于机器人产业链和其它智能装配来说非常重要，同时技术难度和使用难度都比较大。根据优必选的人形机器

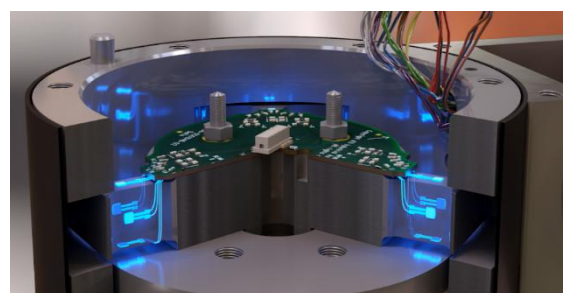
人参数，其采用了4个六维力/力矩传感器，分别应用在人形机器人的手腕、脚踝处，此外鑫精诚还研发了在灵巧手应用的微型六维力传感器。六维力传/力矩传感器技术壁垒高，ATI为全球龙头，国内企业中坤维科技、宇立仪器、鑫精诚、蓝点触控均有一定的技术积淀。GGII预测到2030年，全球人形机器人领域力传感器市场规模将达328亿元，其中人形机器人领域六维力传感器市场规模将达138亿元。

图 15：六维力/力矩传感器



资料来源：ATI 工业自动化，山西证券研究所

图 16：ATI 六维力/力矩传感器解剖图



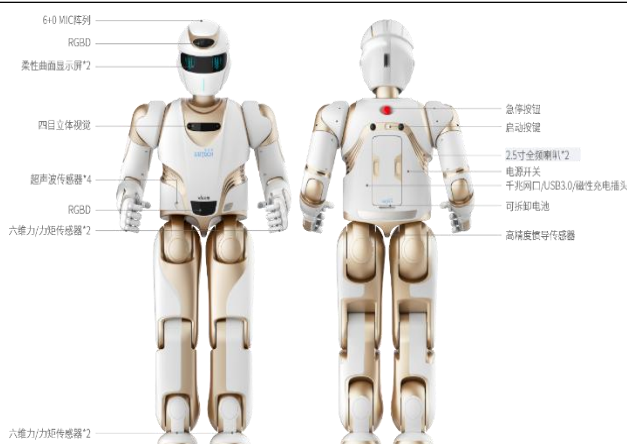
资料来源：ATI 工业自动化，山西证券研究所

图 17：鑫精诚传感器在人形机器人的应用



资料来源：深圳市机器人协会订阅号，山西证券研究所

图 18：优必选采用了4个六维力/力矩传感器



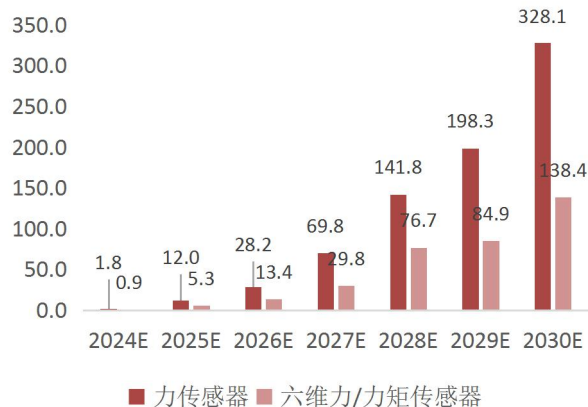
资料来源：优必选官网，山西证券研究所

图 19：全球六维力/力矩传感器主流厂商



资料来源：GGII，山西证券研究所

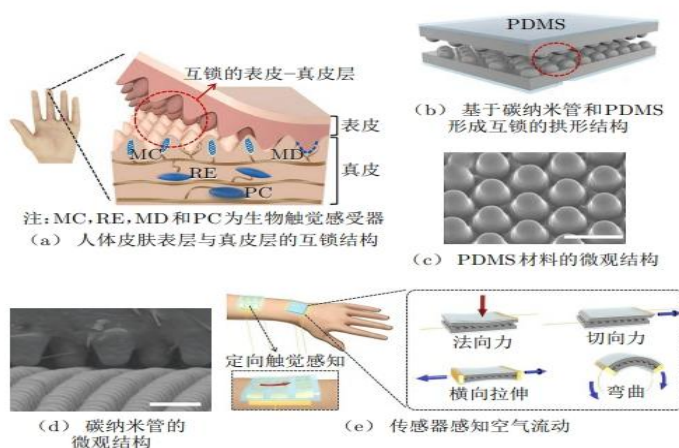
图 20：2024-2030 年人形机器人领域力传感器市场规模预测（亿元）



资料来源：GGII，山西证券研究所

电子皮肤是一种先进的柔性触觉传感器。电子皮肤高度模拟生物皮肤，轻薄柔软、可拉伸、甚至可自我修复，并对温度、湿度、硬度、粘度的感知能力，应用在医疗、机器人、可穿戴领域。Optimus gen-2 手部或集成了柔性触觉传感器，更全面地感知物体和环境，在演示视频中，机器人展现出了出色的控制能力，可以轻松地操作拿起鸡蛋。

图 21：阵列电子皮肤

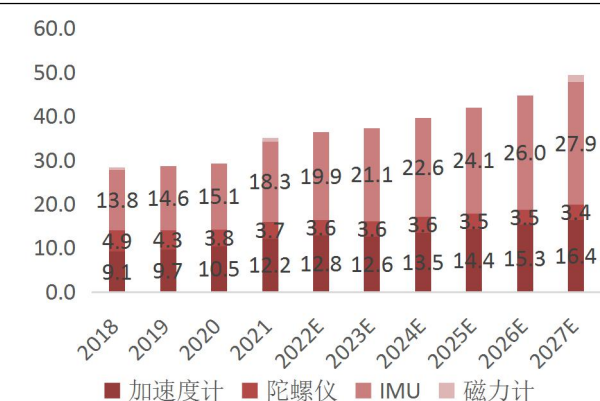


资料来源：触觉传感器与电子皮肤研究进展\_朱盛鼎等，山西证券研究所

**MEMS 惯性传感器**是将物体运动的加速度、位置和姿态转换为电信号的器件，包括

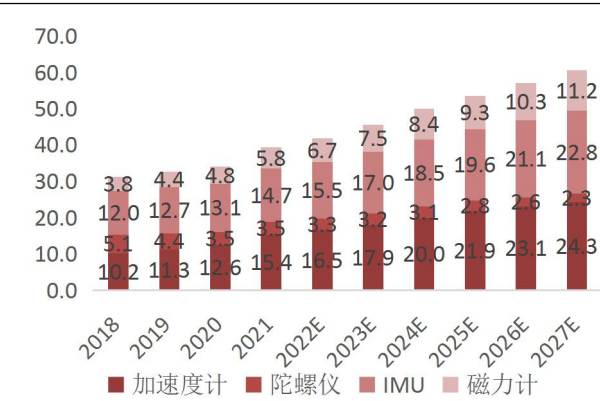
**MEMS 加速度计、MEMS 陀螺仪、磁力计和惯性测量单元（IMU）。**据 Yole，全球 MEMS 惯性传感器市场规模从 2018 年 28.31 亿美元、31.21 亿颗增长至 2021 年 35.09 亿美元、39.39 亿颗，预计 2027 年增长至 49.43 亿美元、60.60 亿颗；其中，IMU 是主要的 MEMS 惯性传感器产品，2021 年，IMU、加速度计、陀螺仪、磁力计的占比分别是 52.15%、34.74%、10.66%、2.45%。目前，人形机器人解决方案仍在持续迭代中，关于 IMU 的使用数量和位置尚无定论，根据论文“Multi-IMU Proprioceptive State Estimator for Humanoid Robots”，在人形机器人放入 5 个 IMU 可以显著改进运动学模型，所获轨迹估计更为准确，并且可以构建相对地面实况几乎没有失真的高程图；目前，优必选人形机器人采用了 1 个高精度惯性传感器。

图 22：全球 MEMS 惯性传感器市场结构（亿美元）



资料来源：Yole，明碁传感招股书，山西证券研究所

图 23：全球 MEMS 惯性传感器市场结构（亿颗）



资料来源：Yole，明碁传感招股书，山西证券研究所

**3D 视觉感知技术具备更广泛的应用空间，可以采集并输出“人体、物体和空间”的三维矢量信息。**2D 图像仅能够提供固定平面内的形状及纹理信息，无法提供 AI 算法实现精准识别、追踪等功能所需的空形貌、位姿等信息；3D 视觉感知技术则充分弥补了 2D 成像技术的缺陷，在同步提供 2D 图像的同时，还能够为 AI 算法及算力提供视场内物体的深度、形貌、位姿等 3D 信息，3D 视觉感知技术将成为促使人工智能更广泛应用的关键共性技术。据 GGII 发布的《2023 机器视觉产业发展蓝皮书》，**在中国服务机器人 3D 视觉传感器领域，奥比中光市占率 71.09%，位列行业第一；**公司可提供单目结构光、双目结构光、iToF、LiDAR 在内的完整视觉感知产品方案，合作机器人企业超过 100 家，Jabil（捷普）、优必选等头部机器人企业均是合作客户。

### 3.3 执行系统

#### 3.3.1 电机：动力核心，体积小、扭矩密度高

电机作为“执行机构”，主要是应用在精确的转速、位置控制上，人形机器人的关节越多，其柔性和精度就越高，所要求使用的控制电机数量就越多。波士顿动力 Atlas 采用液压驱动，液压驱动虽然输出力大，但成本高、维护性差，商业化较难，因此目前人形机器人方案多数为电机驱动。Optimus 执行器中典型的应用有无框力矩电机、空心杯电机等。

表 6：人形机器人三种驱动方式对比

| 特性    | 气动          | 液压                  | 电动                      |
|-------|-------------|---------------------|-------------------------|
| 复杂性   | 简单的系统组成     | 中等复杂的系统组成           | 控制系统及移动配件可在多种复杂度配置下配合运作 |
| 峰顶功率  | 高           | 极高                  | 高                       |
| 控制    | 简易阀         | 使用者必要               | 具电力控制器之移动控制能力的弹性        |
| 位置准确性 | 达到位置准确性非常困难 | 冲程中点定位要求额外的配件及使用者支持 | 定位能力和速度控制可容许进行同步        |
| 速度    | 极高          | 中等                  | 中等                      |
| 负荷等级  | 高           | 极高                  | 依据速度和定位需求可能很高           |
| 使用寿命  | 中等          | 长期                  | 长期                      |
| 加速    | 极高          | 极高                  | 中等                      |
| 震动负荷  | 可处理震动负荷     | 防爆、防震及防火花           | 处理震动负荷能力有限              |
| 环境    | 高噪音等级       | 液压液体渗漏及处理           | 最少                      |
| 效用    | 压缩机、动力、导管   | 帮浦、动力、导管            | 选择时才有动力                 |
| 效率    | 低           | 低                   | 高                       |
| 可信赖性  | 极佳          | 优良                  | 优良                      |
| 维护    | 高度使用者维护     | 高度使用者维护             | 维护需求低甚至不需要维护            |
| 购买成本  | 低           | 高                   | 高                       |
| 操作成本  | 中等          | 高                   | 低                       |
| 维护成本  | 低           | 高                   | 低                       |

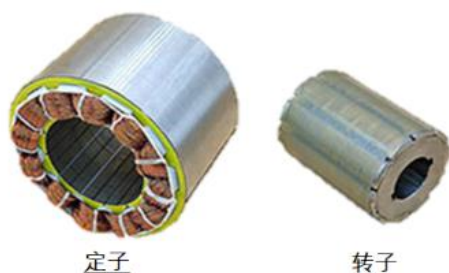
资料来源：Timotion，山西证券研究所

**无框力矩电机：**不同于普通伺服电机，它没有机壳（也称为“框架”），只有转子和定子 2 个部件。由于没有机壳，它方便集成到有限空间或受限环境中，在具备普通伺服电机精准控制、快速响应的同时，提高了扭矩密度。非常适合集成在人形机器人的关节执行器中，“力矩”则是表明它以产生旋转力矩为主要目标，因此它能够被用于人形机器人躯干中的旋转关节，例如

肩部、腕部、髋部、腰部。

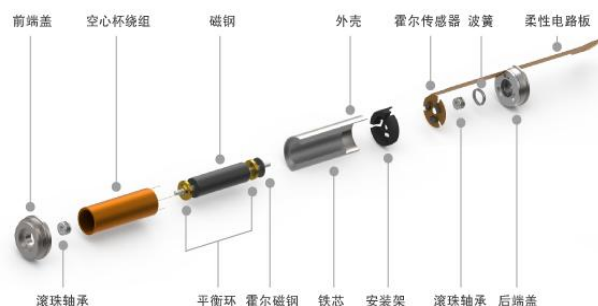
**空心杯电机：**采用无铁芯转子，彻底消除了由于铁芯形成涡流而造成的涡流损耗，使得电动机运转性能优化，并具备控制和拖动特性。省去铁芯的空间，可以做到更小的尺寸和更高的效率，因此十分适合用于驱动人形机器人的手指。

图 24：无框力矩电机结构



资料来源：研一机械官网，山西证券研究所

图 25：（无刷）空心杯电机结构



资料来源：鸣志电器官网，山西证券研究所

**编码器通常内置在伺服电机末端。**编码器的分辨率决定了伺服电机旋转的角位移，所以编码器分辨率越高，控制精度也越高。国内厂商汇川、禾川的编码器在过载能力等指标基本达到外资水平，但在产品使用稳定性及耐用性方面依然与外资厂商存在差距。

### 3.3.2 减速器：刹车装置，谐波国产化率较高

**减速器是安装在连接伺服电机和执行机构之间的刹车。**减速器一方面可以保证精度，另一方面当负载较大，伺服电机功率有限导致输出扭矩较小时，减速器可以提高扭矩。与通用减速器相比，人形机器人的关节减速器要求具有传动链短、体积小、功率大、质量轻和易于控制等特点。

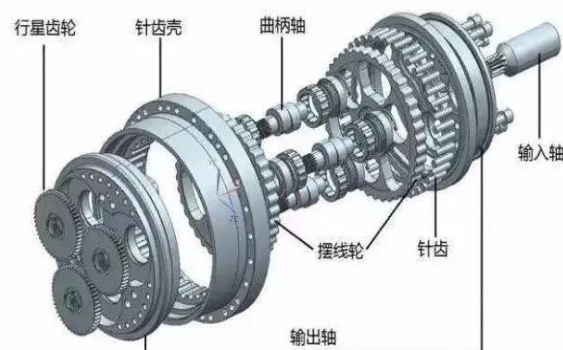
**精密减速器主要包括 RV 减速器和谐波减速器。**谐波减速器结构简单紧凑，适合于小型化、低、中载荷的应用。相比于谐波减速器，RV 减速器具有更高的疲劳强度、刚度和回差精度，适合中、重载荷的应用。Optimus 的方案中，目前旋转关节采用的是谐波减速器方案。

图 26：谐波减速器结构图



资料来源：绿的谐波招股书，山西证券研究所

图 27：RV 减速器结构图



资料来源：工业机器人公众号，山西证券研究所

表 7：谐波减速器和 RV 减速器对比

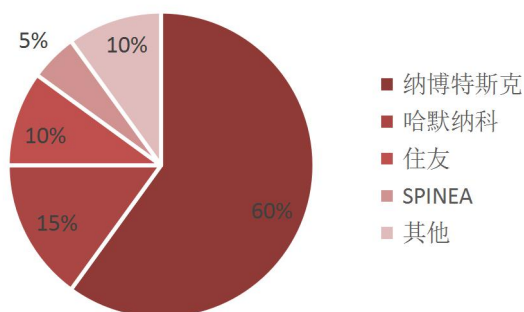
| 项目        | RV 减速器                                          | 谐波减速器                                                                       |
|-----------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 技术特点      | 通过多级减速实现传动，一般由行星齿轮减速器的前级和摆线针轮减速器的后级组成，组成的零部件较多。 | 通过柔轮的弹性变形传递运动，主要由柔轮、刚轮、波发生器三个核心零部件组成。与 RV 及其他精密减速器相比，谐波减速器使用的材料、体积及重量大幅度下降。 |
| 产品性能      | 大体积、高负载能力和高刚度                                   | 体积小、传动比高、精密度高                                                               |
| 应用场景      | 一般应用于多关节机器人中机座、大臂、肩部等重负载的位置。                    | 主要应用于机器人小臂、腕部或手部。                                                           |
| 终端领域      | 汽车、运输、港口码头等行业中通常使用配有 RV 减速器的重负载机器人。             | 3C、半导体、食品、注塑、模具、医疗等行业中通常使用由谐波减速器组成的 30kg 负载以下的机器人。                          |
| 价格区间      | 5,000-8,000 元/台                                 | 1,000-5,000 元/台                                                             |
| 背向间隙      | $\leq 60$ arc sec                               | $\leq 20$ arc sec                                                           |
| 传动效率      | $> 80\%$                                        | $> 75\%$                                                                    |
| 温升        | $\leq 45^{\circ}\text{C}$                       | $\leq 40^{\circ}\text{C}$                                                   |
| 噪声        | $\leq 70\text{db}$                              | $\leq 60\text{db}$                                                          |
| 减速比       | 30-192.4                                        | 30-160                                                                      |
| 额定转矩下使用寿命 | $> 6,000\text{h}$                               | $> 8,000\text{h}$                                                           |
| 额定输出转矩    | 101-6,135 N · m                                 | 6.6-921 N · m                                                               |
| 扭转刚性      | 20-1,176 N · m/arc min                          | 1.34-54.09 N · m/arc min                                                    |

资料来源：绿的谐波招股书，山西证券研究所

减速器生产壁垒高，国内减速器起步较晚，目前应用仍较多依赖进口。打破海外技术壁垒的关键：（1）设备端，国内厂商仍以进口为主，加速提高国产精密设备制造水平仍为关键。（2）工艺端，齿形设计、柔轮强度、生产制造等要素构成谐波减速器的核心技术壁垒。

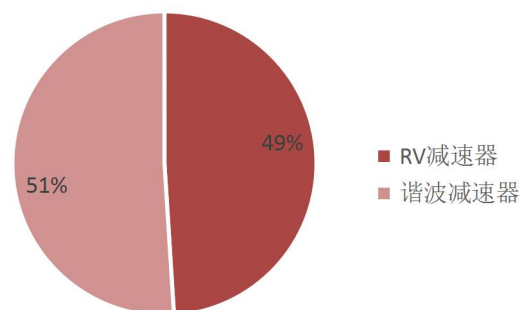
从市场格局看，我国谐波减速器和 RV 减速器市场目前均是日系品牌占据主导地位，其中谐波国产化率高于 RV 减速器。2022 年，哈默纳科以 38% 的市场份额占据谐波减速器市场第一，绿的谐波以 26% 的份额占据谐波减速器市场第二；2021 年，纳博特斯克以 53% 的市场份额占据 RV 减速器市场第一，双环传动以 14% 的份额占据 RV 减速器市场第二。在绿的谐波等国产龙头带领下，谐波减速器逐渐打破日本技术垄断，技术差距明显收敛，而技术壁垒更高的 RV 减速器，国产化率亟需提高。

图 28：2021 年全球工业机器人减速器竞争格局



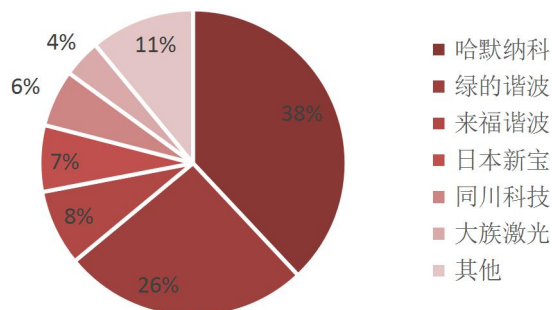
资料来源：中商情报网《2022 年中国减速器产业链上中下游市场剖析》，GGII，山西证券研究所

图 29：2020 年中国机器人减速器市场结构



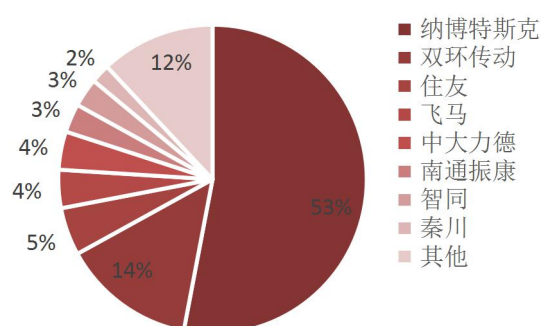
资料来源：华经产业研究院，山西证券研究所

图 30：2022 年我国谐波竞争格局



资料来源：华经产业研究院，山西证券研究所

图 31：2021 年我国 RV 减速器竞争格局



资料来源：中商情报网《2022 年中国减速器产业链

上中下游市场剖析》，GGII，山西证券研究所

### 3.3.3 丝杠：传动机构，行星滚柱丝杠壁垒高

螺旋传动是机械传动的一种，依靠螺旋与螺纹牙面旋合实现回转运动与直线运动转换，主要包括滑动丝杆螺母传动、滚珠丝杆传动和行星滚柱丝杆传动等。普通的螺母螺杆机构由于传动摩擦阻力大、传递效率低等缺点被逐渐淘汰，目前较常用的是滚珠丝杆传动和行星滚柱丝杆传动。

行星滚柱丝杠与滚珠丝杠类似，是一种可将旋转运动和直线运动相互转化的机械装置，主要是滚动体不同。行星滚柱丝杠副主要由滚柱丝杠、滚柱螺母、滚柱、内齿圈、压盖及挡圈组成。滚柱丝杠与滚柱螺母为齿形角  $90^\circ$  的多头螺纹，滚柱为齿形为双凸圆弧的单头螺纹，若干滚柱围绕丝杠均匀分布。当滚柱丝杠旋转时，滚柱既围绕丝杠轴作公转，又围绕自身轴线作自传，带动滚柱螺母作轴向移动。

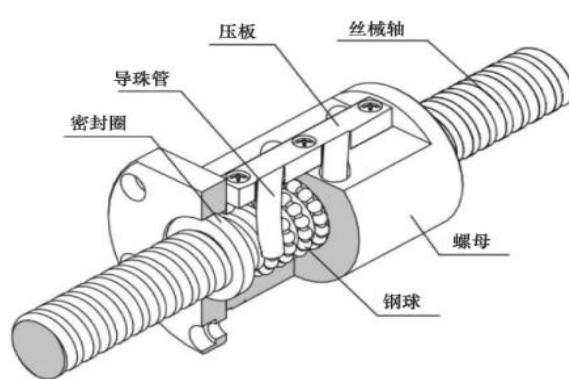
根据 Optimus 的结构，我们看到在线性执行器中用到了反式行星滚柱丝杠，反向式 PRS 与标准 PRS 工作原理一样，不同的是将螺母作为主动件由丝杠直线输出，滚柱和丝杠之间没有相对轴向位移，因此滚柱螺纹和丝杠螺纹长度一致。这种结构的最大优点是可将螺母作为电机的转子实现电机和丝杠的融合设计，螺母作为电机转子可使结构更加紧凑、重量更小。这种结构的缺点是需要加工较长的螺母内螺纹以保证丝杠行程，因此对螺母的加工提出了更高的要求。

图 32：行星滚柱丝杠构成



资料来源：行星滚柱丝杠副的研究\_肖正义，山西证

图 33：滚珠丝杠构成

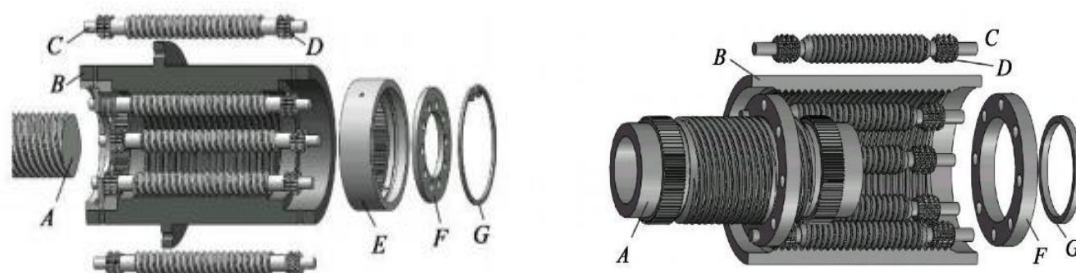


资料来源：行星滚柱丝杠副的研究\_肖正义，山西证

券研究所

券研究所

图 34：标准式 VS 反向式行星滚柱丝杠



A：丝杠；B：螺母；C：滚柱；D：直齿；E：内齿圈；F：滚柱保持架；G：弹簧挡圈

资料来源：行星滚柱丝杠副的新发展及关键技术\_刘更，山西证券研究所

表 8：滚珠丝杠和行星滚柱丝杠对比

|         | 滚珠丝杠                                                         | 行星滚柱丝杠                                                           |
|---------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 结构组成    | 由丝杠、螺母、钢球、导珠管等组成。<br>丝杠和螺母螺纹为单头或多头，丝杠、螺母螺纹滚道为单国滚道或双国滚道。结构简单  | 由丝杠、螺母、滚柱、内齿圈、压盖、挡图等构成。丝杠、螺母为齿形角 90° 三角形多头螺纹。滚柱为双凸圆弧齿形单头螺纹。结构复杂。 |
| 循环方式特点  | 丝杠、螺母滚道通过导珠管组成滚珠循环回路,每一个导珠管组成 1.5 圈或多国滚珠链,丝杠副可以由多个导珠管组成多个滚珠链 | 滚柱丝杠副结构类似于行星齿轮结构。丝杠副有多个滚柱，且滚柱与丝杠、螺母星多点接触                         |
| 外形尺寸    | 由于滚珠螺母及滚珠丝杠滚道槽较深,该珠嵌在丝杠、螺母内部,因此,该珠螺母外形尺寸小。                   | 由于丝杠螺母牙型深度较小,滚柱直径又大,滚柱螺母外形尺寸大。                                   |
| 运动平稳性   | 由于滚珠在丝杠副循环滚珠链中运动要通过返向机构,容易产生冲击影响丝杠副平稳性                       | 滚柱在丝杠副中滚动没有返向机构,不产生冲击、震动，因而丝杠副运行平稳。                              |
| 传动效率    | 由于滚珠外表面粗糙度高且精度高,滚动摩擦系数小,传动效率高,可以大于 90%。                      | 虽滚柱与丝杠、螺母接触为点接触及滚动摩擦，由于螺母、丝杠及滚柱加工误差及表面粗糙度等原因，传动效率一般低于 90%。       |
| 承载      | 小规格、小导程，承载小；大规格、大导程，承载大                                      | 滚柱接触点多，接触承载大，小规格、小导程行星滚柱丝杠副承载大于滚珠丝杠副承载                           |
| 加工及装配工艺 | 简单                                                           | 复杂                                                               |
| 可靠性     | 结构简单,零件加工及装配精度易于保证，因此，可靠性高                                   | 丝杠、螺母为多头细牙螺纹,由于螺纹分度误差及牙型强度等原因，实际承载远小于                            |

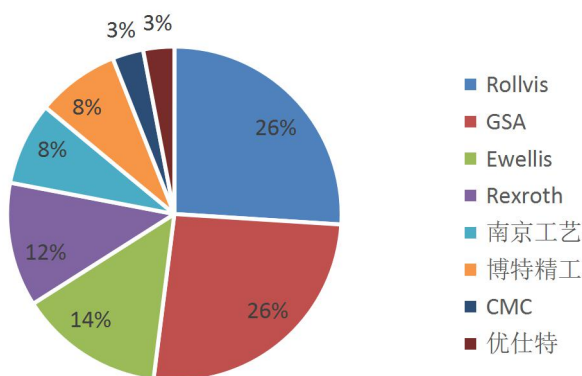
| 滚珠丝杠 | 行星滚柱丝杠    |
|------|-----------|
|      | 理论承载，且可靠性 |

资料来源：行星滚柱丝杠副的研究\_肖正义，山西证券研究所

**滚珠丝杠/行星滚柱丝杠副技术壁垒高。**为保证传动过程中的精度保持性和功能可靠性，丝杠副产品需要具备较高的尺寸稳定性、可靠性、易成形性和生产效率等，对企业新材料及热加工工艺及其装备的技术研发能力提出较高要求。

**全球滚珠柱丝杠市场以国外品牌厂商参与为主，自主品牌有待突破。**论文《E 公司滚柱丝杠产品营销策略研究》指出，根据 IHS Market 预测，2022 年，滚柱丝杠全球销量 8.6 万根，销售额 6.5 亿元人民币，平均售价 7558.1 元/根；其中，中国市场销量 1 万根，销售额 1.1 亿元人民币，平均售价 1.1 万元/根。目前世界范围内生产滚柱丝杠并参与市场竞争的厂家主要有 Rollvis（瑞士）、GSA（瑞士）、Ewellis（瑞典）、Rexroth（德国）、南京工艺（中国）、济宁博特（中国）、CMC（美国）、优仕特（中国台湾），根据《E 公司滚柱丝杠产品营销策略研究》，2022 年以上企业在我国国内的市场份额为 26%、26%、14%、12%、8%、8%、3%、3%，大陆企业合计占比仅为 16%。

图 35：2022 年国内行星滚柱丝杠格局



资料来源：E 公司滚柱丝杠产品营销策略研究\_王有雪，山西证券研究所

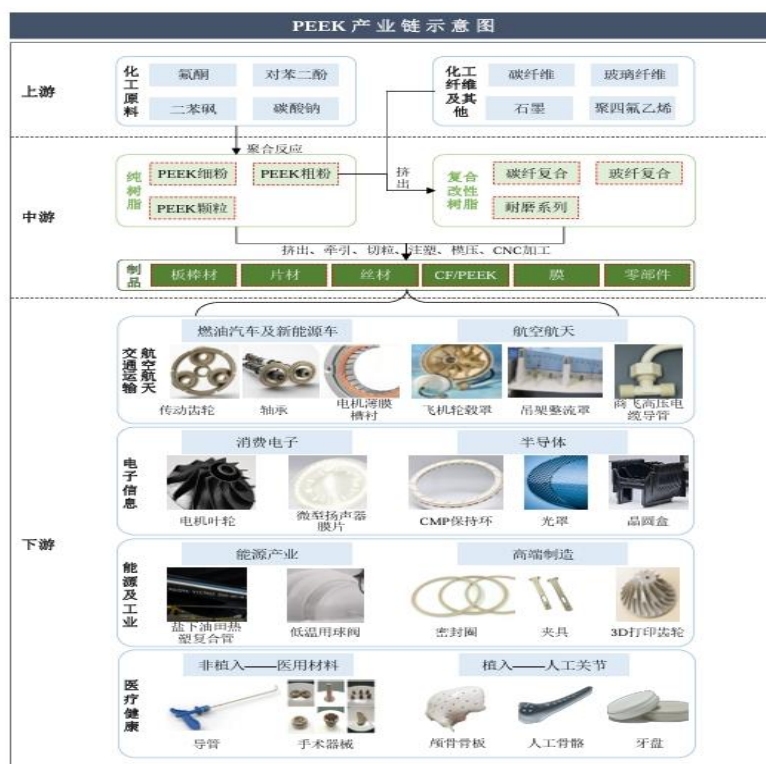
### 3.4 材料应用：轻量化趋势下，关注 PEEK 材料应用

轻量化是人形机器人迭代发展的主要趋势之一。轻量化趋势的主要原因如下：（1）轻量化有助于提高机器人运动的机动性和工作效率，改善其操作速度和动作准确度。（2）轻量化有助

于减轻机器人运动惯性，提高了机器人的安全性。(3) 在满足机器人高速度和高精度基础性能要求的基础上，通过轻量化技术减轻机器人的自重，可以有效降低能耗，提升机器人的续航时间。据论文《机器人轻量化材料应用的研究进展》，机器人轻量化是在保证机器人功能的先进性、稳定性、使用的可靠性和服役的安全性的前提下，通过结构优化设计、轻量化材料选择、先进制造工艺，来达到机器人构件轻量化的目的。

**PEEK 是机器人轻量化材料的一种，可用于机器人轴承等部位。**当前机器人常用的轻量化材料包括镁合金、铝合金、碳纤维复合材料、工程塑料等。(1) **镁合金**：最轻的金属结构材料，其密度不到钢铁的 1/4，比强度远高于钢铁材料，ASIMO 外壳为镁合金材质。(2) **铝合金**：密度约为铁合金的 1/3，比强度也远高于铁合金。(3) **碳纤维复合材料**：强度远高于钢铁，比强度甚至高达钢铁材料的 43 倍，其密度由于成分不同，只有钢铁材料的 1/6~1/4 之间。(4) **PEEK 材料**：具有机械特性好、耐热等级高、耐腐蚀等特点，广泛应用于汽车、航空航天、电子信息、能源及工业、医疗健康等多个领域。目前 PEEK 材料应用在汽车主动力轴承等部位具备刚性、韧性、耐热、耐磨、自润滑效果好等特点，有望应用在人形机器人轴承部位。

图 36：PEEK 材料产业链



资料来源：中研股份招股说明书，《化工新型材料》2020 年 5 月《聚醚醚酮市场分析及发展趋势》，前瞻产

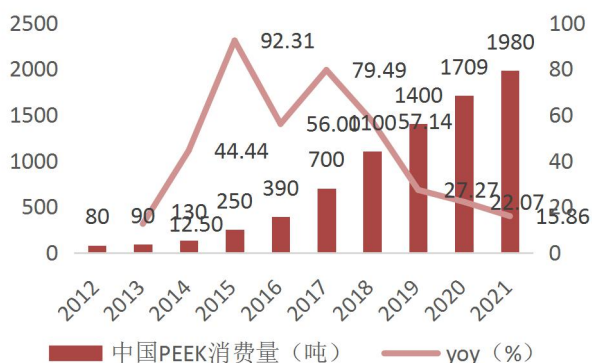
业研究院《2022-2027 年中国 PEEK 材料行业市场前景预测与投资战略规划分析报告》，山西证券研究所

长期来看，人形机器人有望带动 PEEK 材料市场。(1) 全球：2012 年 PEEK 消费量达到 3,590 吨，2019 年全球消费量 5,835 吨，年均增长率 7.19%，预计 2022 年 PEEK 材料的全球市场需求预计可达到 7,560 吨。据 Emergen Research，2019 年全球 PEEK 市场容量在为 7.21 亿美元，预计到 2027 年将增长至 12.26 亿美元，年均复合增长率为 6.8%。(2) 中国：从 2012 年的 80 吨增长至 2021 年的 1,980 吨，年均复合增长率达到 42.84%，增速数倍于全球水平。根据中研股份招股说明书，沙利文预测 2027 年中国 PEEK 市场空间将达到 28.38 亿元；Emergen Research 预测全球 PEEK 市场空间预计到 2027 年将达到 12.26 亿美元（约 85.39 亿人民币）。

(3) 人形机器人增量：据艾邦官网，人形机器人对 PEEK 材料的使用量在 10kg 左右，按照 2022 年单价 33.7 万元/吨，则每个人形机器人对应的价值量约为 3000 元，100 万台出货量则对应 30 亿元市场空间。

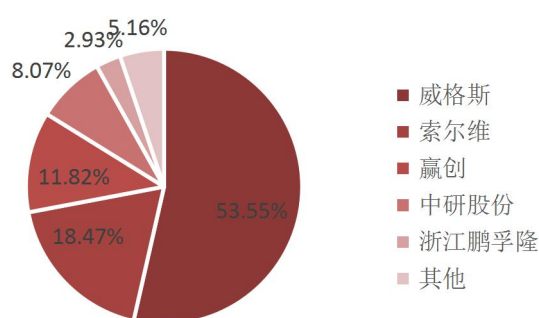
全球 PEEK 供给呈现“一超多强”的格局，中研股份为国内龙头。据中研股份招股书，英国威格斯是全球最大的 PEEK 生产商，产能达到 7,150 吨/年，约占全球总产能的 60%；比利时索尔维现有 PEEK 产能 2,500 吨/年；德国赢创是第三大 PEEK 生产商，其 PEEK 产能已达到 1,800 吨/年，目前产品主要出口欧洲。目前我国 PEEK 产能主要集中在中研股份、浙江鹏孚隆等公司。其中，中研股份的产能达 1,000 吨/年，是国内最大的 PEEK 生产企业之一。2021 年公司 PEEK 年销量约为 622.74 吨，全球市场占有率约为 8.07%，产销规模均处于国内首位。

图 37：2012-2021 年中国 PEEK 产品市场消费量



资料来源：《化工新型材料》2020 年 5 月《聚醚醚酮市场分析及发展趋势》，前瞻产业研究院

图 38：2021 年全球 PEEK 主要生产商情况



资料来源：沙利文咨询，中研股份招股说明书，山西证券研究所

《2022-2027 年中国 PEEK 材料行业市场前景预测  
与投资战略规划分析报告》，中研股份招股说明书，  
山西证券研究所

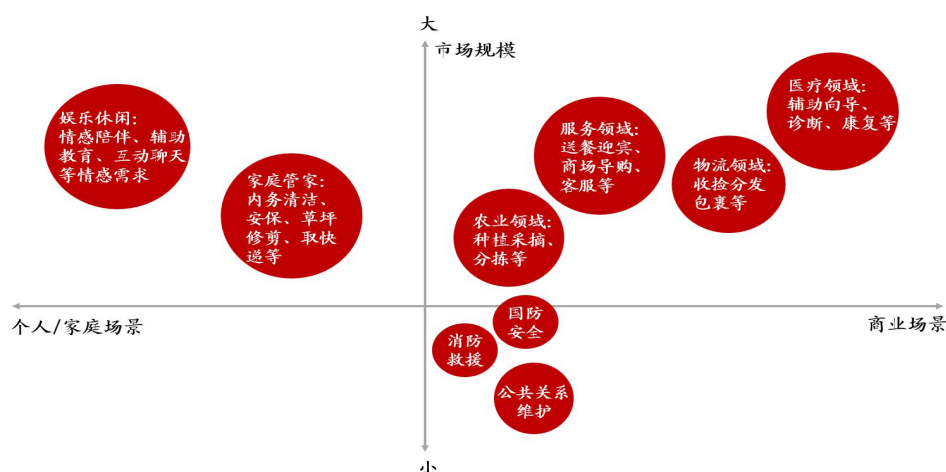
## 4. 问题三：应用场景&市场空间，人形机器人长期发展潜力几何？

### 4.1 应用场景展望：商业&家庭，或率先应用于汽车制造

商业化应用主要包括工商业场景、个人/家庭场景以及特种场景。工商业场景端的应用包括在制造、医疗、物流、服务、农业、国防安全、消防救援、公共关系维护等领域，个人/家庭场景端的应用包括家庭管家（养老、清洁、安保等）和娱乐休闲（情感陪伴、辅助教育、互动聊天等）。整体来看，首批应用或是制造业、物流、仓储和零售等劳动力短缺最严重的行业。在早期开发中，类人机器人完成的任务将是结构化的和重复的，但随着时间的推移，随着机器人学习和软件的进步，类人机器人的能力将得到扩展，并能够处理更复杂的工作职能。

优必选 2 月末分享了人形机器人 WalkerS 在新能源车厂首训视频，该人形机器人在新能源车厂完成了移动产线启停自适应行走、感知自主操作等任务；Tesla 人形机器人 Optimus 预计也会先应用在汽车制造领域。

图 39：人形机器人未来应用场景



资料来源：山西证券研究所

图 40：优必选人形机器人新能源车厂首次实训



资料来源：优必选微信视频号，山西证券研究所

## 4.2 市场空间分析：从终局看，市场空间或在百万亿级别

目前，市场对于人形机器人市场空间的预期逐步趋于乐观，我们在市场主流观点的基础上做进一步分析。

由于还在产业化初期，三方机构对人形机器人空间的预测方差较大，2030 年左右的空间预测在亿美元级、百亿美元级、千亿美元级均有。（1）Research Dive Analysis 于 2023 年 5 月发布的报告显示，2021 年全球人形机器人市场规模为 3.08 亿美元，预计到 2031 年达到 6.10 亿美元；（2）Markets and Markets 于 2023 年 7 月发布的报告显示，全球人形机器人市场规模将从 2023 年的 18 亿美元增长至 2028 年的 138 亿美元；（3）据高盛预测，到 2035 年全球人形机器人市场规模有望达到 1540 亿美元。

国内外主流主机厂创始人对行业的判断多基于远期终局的探讨，逻辑上主要是基于对劳动力配比、场景渗透的判断，终局或能达百万亿美元级别。（1）优必选：全球首家将双足真人尺寸人形机器人的成本降低至 10 万美元以下。优必选科技副总裁付春江曾表示，预计在 2025 年左右，人形机器人的成本可以降到 5 万美元左右。（2）马斯克：表示当机器人年销量达到现在的车的销量时（2022 年是 8000 万台）成本能到 2 万美元。他认为最终机器人:人的比例很可能是 1:1 甚至 2:1，所以未来人形机器人的天花板可能是 100 亿台甚至以上，远期对应空间百万亿美元级别。（3）Figure AI：①体力劳动：体力劳动报酬是商品和服务价格的主要驱

动力，企业劳动角色（3+ 十亿人），占全球 GDP 的~50%（~42 万亿美元/年），但随着这些机器人“加入劳动力”，从工厂到农田，劳动力成本将下降，直到它与租用机器人的价格相等，从而促进长期、整体的成本降低。随着时间的流逝，随着机器人能够制造其他机器人，人类可能会完全离开这个循环，从而进一步降低价格。②消费家居：全球约 23 亿户家庭，700M 需要居家护理的老龄化人口。

## 5. 问题四：复盘可比新兴产业，人形机器人渗透率趋势如何演变？

### 5.1 工业机器人密度复盘：全球分化，韩国最高达 10%

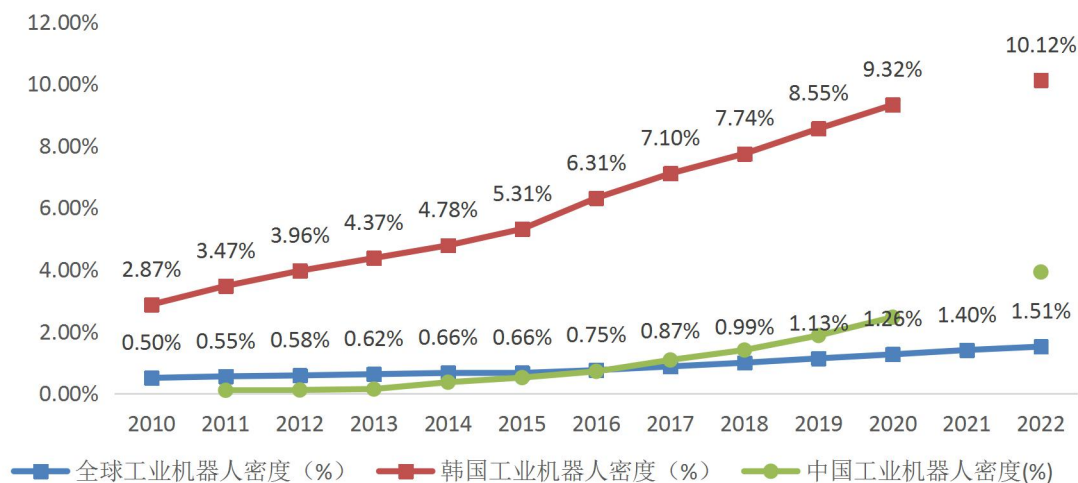
（1）2010-2022 年，全球工业机器人密度从 0.50% 提升至 1.51%，12 年间提升了约 1pct，即每 1 万个工人的工业机器人用量从 50 台增长 151 台，cagr 为 9.6%；

（2）各地区工业机器人发展情况差别大，亚洲渗透率高于欧美，2022 年亚洲、欧洲、美洲工业机器人密度分别为 1.68%、1.36%、1.20%；其中，韩国是工业机器人密度最高的国家，2010 年起就有 2.87%，到 2022 年则提升到了 10.12%，12 年间增长了约 7.25pct，每 1 万个工人的工业机器人用量从 287 台增长 1012 台，cagr 为 11.1%；

（3）2022 年我国工业机器人密度 3.92%，居于全球第五位，第 2-4 位为新加坡、德国、日本，分别为 7.30%、4.15%、3.97%。2011-2022 年，我国工业机器人密度快速提升，每 1 万个工人的工业机器人用量 cagr 达到 39.6%。

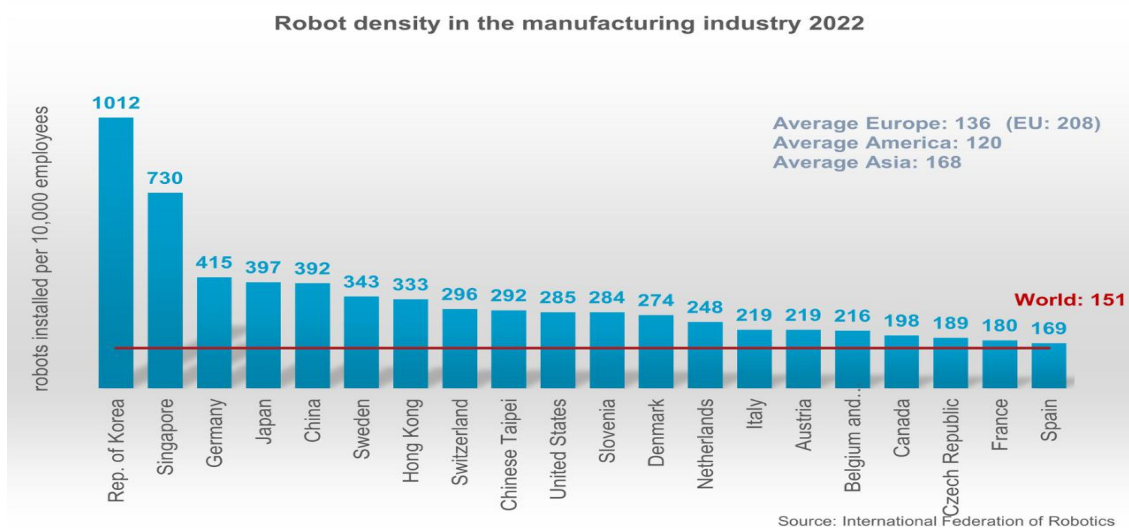
结合行业的相关研究，全球工业机器人的密度未能迅速提升的原因主要是不够智能、不易于使用，表现为交付效率低、生产部署时间长、没有柔性生产能力、应用门槛高等方面。由于人形机器人人类人的能力，旨在填补劳动力缺口，应比工业机器人更好适应生产环境，但智能化水平、交付效率等仍值得重视。

图 41：2010-2022 全球平均&韩国&中国工业机器人渗透率



资料来源：IFR，，山西证券研究所

图 42：2022 年各国工业机器人渗透率情况



资料来源：IFR，山西证券研究所

## 5.2 电动车渗透率复盘：10%为渗透率拐点，耗时约 11 年

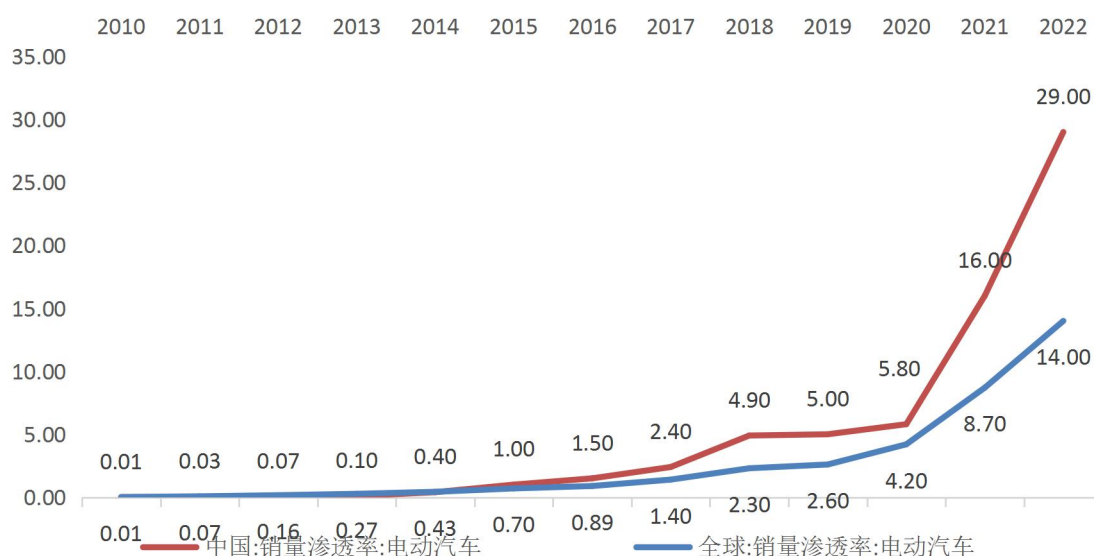
整体而言，商业化初期渗透率提升较慢，随着技术工艺优化、产品不断成熟，渗透率突破 5%、10%后，渗透率增速大幅加快。

(1) 从全球来看，2021&2022 年是渗透率快速提升的两个重要的节点，渗透率分别超过 5% 和 10%，达到 8.7% 和 14%，同比分别增加 4.5pct/5.3pct。全球电动车销量渗透从 0.01% 到 5% 用了近 11 年（2010-2021 年），从 5% 到 10% 则仅用了 1 年左右。

(2) 中国的电动车产业链发展更为完善，渗透率绝对值水平和增速均高于全球平均水平，具体来看，2019 年突破 5%（较全球早 2 年）、2021 突破 10%（达到 16%，较全球早 1 年）、2022 年则大幅增长至 29%。从我国经验来看，0-1%-5%-10%-30%，分别用了 5 年-4 年-2 年-1 年。

在硬件上，人形机器人可借鉴或复用部分汽车产业链；在软件上，AI 的超预期发展则成为人形机器人应用的最大变量，成为其规模化应用的关键，人形机器人渗透率提升或快于电动车。

图 43：2021 年，新能源汽车市场渗透率达到增长的拐点且不断上升（%）



资料来源：IEA，山西证券研究所

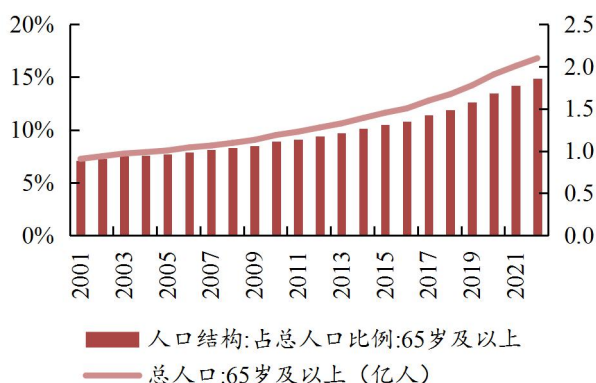
## 6. 投资策略

### 6.1 供需双轮驱动，人形机器人有望快速发展

**需求端：**人口老龄化程度进一步加深，劳动力不足问题日益凸显。根据国家统计局数据，我国老年人口数目持续攀升，2021 年 65 岁以上人口突破 2 亿人，2022 年 65 岁以上人口占比

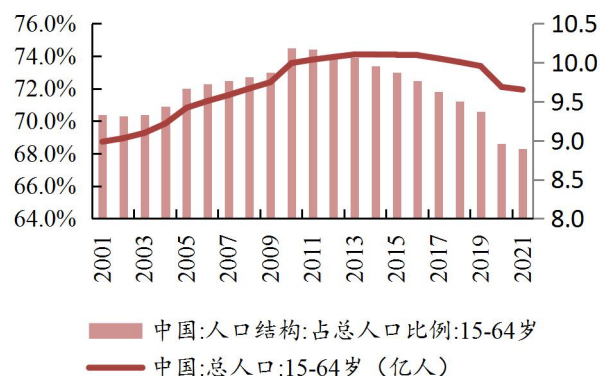
达 14.9%，我国已处于老龄化社会。同时我国劳动人口数量从 2013 年的最高峰 10.1 亿人锐减到 2021 年的 9.7 亿人，劳动力不足、劳动力成本上涨等问题也日益凸显。而人形机器人作为人力替代，能有效提高生产率的同时，还能减轻劳动力成本上涨的压力，因此老龄化与人力短缺催生人形机器人需求增长。

图 44：中国 65 岁及以上人口数目与占比持续增长



资料来源：，山西证券研究所

图 45：中国 15-64 岁人口数目与占比明显下滑



资料来源：，山西证券研究所

**供给端（1）：政策支持叠加技术迭代推动人形机器人迎来发展黄金期，产业资本关注度大幅提高。**2023 年 10 月，工业和信息化部发布《人形机器人创新发展指导意见》，提出“到 2025 年，人形机器人创新体系初步建立，‘大脑、小脑、肢体’等一批关键技术取得突破，确保核心部组件安全有效供给。整机产品达到国际先进水平，并实现批量生产，在特种、制造、民生服务等场景得到示范应用，探索形成有效的治理机制和手段。”《指导意见》详细列示了重点产品和部组件攻关，涵盖了基础版整机、功能型整机、传感器、执行器、控制器、动力电源等诸多方向。在产业资本端，据中国机器人网统计，2023 年 1 月 1 日到 12 月 15 日，国内共有 9 家人形机器人企业获得累计超过 19 亿的融资，其中有 3 家企业单轮融资金额超亿元。

表 9：近年来机器人行业相关政策不断推出

| 时间      | 政策                            | 颁发部门             | 内容                                                                             |
|---------|-------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 2016.03 | 《机器人产业发展规划（2016-2020 年）》      | 工信部、发改委、财政部三部委联合 | 要求大力发展机器人关键零部件，为工业机器人厂家提供各种高稳定性，可靠性和高寿命的部件，保障工业机器人市场的规范性。经过五年努力，形成较为完善的机器人产业体系 |
| 2017.08 | 《“智能机器人”重点专项 2017 年度项目专项申报指南》 | 科技部              | 明确围绕智能机器人基础前沿技术、新一代机器人、关键共性技术、工业机器人、服务机器人、特种机器人 6                              |

| 时间      | 政策                              | 颁发部门                     | 内容                                                                                                                                                 |
|---------|---------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|         |                                 |                          | 个方向，启动 42 个项目，拟安排总经费约 6 亿元。                                                                                                                        |
| 2017.11 | 《增强制造业核心竞争力三年行动计划（2018-2020 年）》 | 发改委                      | 聚焦市场潜力大、产业基础好、外溢效应明显的智能服务机器人领域，推动医疗康复机器人、特种服务机器人关键技术研发和产业化示范。加快公共服务机器人、个人服务机器人推广应用。                                                                |
| 2017.12 | 《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划》           | 工信部                      | 到 2020 年，智能服务机器人环境感知、自然交互、自主学习、人机协作等关键技术取得突破，完成技术与功能验证，实现 20 家以上示范应用。                                                                              |
| 2019.10 | 《产业结构调整指导目录》                    | 发改委                      | 重点鼓励发展人机协作机器人、双臂机器人、弧焊机器人、重载 AGV、专用检测与装配机器人集成系统等产品，以满足我国量大面广制造业转型升级的需求                                                                             |
| 2019.10 | 《制造业设计能力提升专项行动计划（2019-2022 年）》  | 工信部、发改委、教育部、财政部、商务部等十三部委 | 在高档数控机床和机器人领域，重点突破系统开发平台和伺服机构设计，多功能工业机器人、服务机器人、特种机器人设计等。                                                                                           |
| 2021.12 | 《“十四五”机器人产业发展规划》                | 工信部、科学技术部、发改委等十五部委       | 到 2025 年我国成为全球机器人技术创新策源地、高端制造集聚地和集成应用新高地。“十四五”期间，将推动一批机器人核心技术和高端产品取得突破，整机综合指标达到国际先进水平，关键零部件性能和可靠性达到国际同类产品水平；机器人产业营业收入年均增速超过 20%。                   |
| 2023.01 | 《“机器人+”应用行动实施方案》                | 工信部、教育部、财政部等十七部委         | 目标到 2025 年，制造业机器人密度较 2020 年实现翻番，服务机器人、特种机器人行业应用深度和广度显著提升。                                                                                          |
| 2023.10 | 《人形机器人创新发展指导意见》                 | 工信部                      | 到 2025 年，人形机器人创新体系初步建立，“大脑、小脑、肢体”等一批关键技术取得突破，确保核心部件安全有效供给。整机产品达到国际先进水平，并实现批量生产，在特种、制造、民生服务等场景得到示范应用，探索形成有效的治理机制和手段。                                |
| 2024.1  | 《关于加快应急机器人发展的指导意见》              | 应急管理部、工业和信息化部            | 加快构建应急机器人体系，提高应急管理的无人化、智能化水平。到 2025 年，要研发一批先进应急机器人，大幅提升科学化、专业化、精细化和智能化水平；建设一批重点场景应急机器人实战测试和示范应用基地，逐步完善发展生态体系；应急机器人配备力度持续增强，装备体系基本构建，实战应用及支撑水平全面提升。 |

资料来源：发改委，科技部，工信部，应急管理部，山西证券研究所

表 10：2023 年中国人形机器人投融资情况

| 公司      | 时间        | 轮次   | 金额  | 投资方                            |
|---------|-----------|------|-----|--------------------------------|
| 银河通用机器人 | 11 月 22 日 | 天使+轮 | 亿元级 | 美团战略、北大燕缘创投、清华 SEE Fund、IDG 资本 |
| 加速进化    | 11 月 15 日 | 天使轮  | 数千万 | 天创资本                           |
| 北京人形机器人 | 11 月 12 日 | -    | -   | 北京亦庄机器人科技产业发展有限公司              |

|        |        |            |      |                      |
|--------|--------|------------|------|----------------------|
| 创新中心   |        |            |      |                      |
| 逐际动力   | 10月17日 | 天使轮、Pre-A轮 | 近2亿  | 峰瑞资本、智数资本、绿洲资本、联想创投等 |
| 戴盟机器人  | 9月13日  | 天使轮        | 数千万  | 昆仲资本                 |
| 帕西尼感知  | -      | Pre-A及加轮   | 数千万  | 盈富泰克、光跃投资            |
| 智元机器人  | 2月27日  | 天使轮        | -    | 高瓴创投、奇迹创坛等           |
|        | 4月1日   | A轮         |      | 高瓴创投等                |
|        | 4月28日  | A+轮        |      | BV 百度风投等             |
|        | 8月21日  | A+轮        |      | 比亚迪等                 |
|        | 12月14日 | A+轮        | 超6亿  | 蓝驰创投、高瓴创投等           |
| 月泉仿生科技 | 7月1日   | 天使轮        | 千万级  | 中关村发展启航基金            |
| 达闼机器人  | 6月27日  | C轮         | 超10亿 | 知识城集团、上海国盛投资集团、水木春锦  |

资料来源：中国机器人网公众号，山西证券研究所

**供给端（2）：AI 赋能，ChatGPT 加速人形机器人应用。**ChatGPT 背后自然语言模型的技术跃迁大力推动了人机交互的发展，2022 年 OpenAI 发布了诞生于 GPT-3.5 基础上的聊天机器人 ChatGPT，ChatGPT 能回答连续性的问题、承认自己的错误、质疑不正确的假设、承认自身无知和对专业技术的不了解，极大提升了对话交互模式下的用户体验。从 GPT-1 到 ChatGPT 到 GPT-4 不仅是训练模型的进步，也意味着自然语言模型更广阔的应用空间。

相较于硬件的迭代来看，软件算法对于人形机器人的规模化应用仍然是挑战。人形机器人作为人机交互的最佳载体，通过引入 AI 模型，可以提高人形机器人在视觉、语音、运动控制、决策等方面的能力，加强人形机器人与人类的交互体验，使得人形机器人能部署到更复杂的开放环境中，在日常生活中发挥更大作用，并打开应用场景。比如：（1）物流与配送，人形机器人可以通过深度学习算法识别路面和行人，规划避障路线，完成快递、餐饮等配送任务，提高配送效率和安全性；（2）安保与监控，人形机器人可以通过人脸识别技术识别特定人员或者追踪特定目标，提高监控精度和效率；（3）医疗服务，人形机器人可以通过语音识别技术与患者进行沟通，帮助医生进行诊断和治疗；（4）餐饮服务，人形机器人可以通过语音识别技术和人机交互技术提供点餐服务。伴随人工智能、云计算、大数据等新一代数字技术的快速发展，人形机器人将进一步向智能化、人性化迭代，迎来新一轮科技革命和产业变革。

表 11：GPT 系列的技术升级

| 模型    | 发布时间       | 参数量    | 预训练数据量 | 上下文窗口     |
|-------|------------|--------|--------|-----------|
| GPT-1 | 2018 年 6 月 | 1.17 亿 | 约 5GB  | 512token  |
| GPT-2 | 2019 年 3 月 | 15 亿   | 40GB   | 1024token |

|       |            |        |      |            |
|-------|------------|--------|------|------------|
| GPT-3 | 2020 年 5 月 | 1750 亿 | 45TB | 2048token  |
| GPT-4 | 2023 年 3 月 | 1.8 万亿 |      | 32000token |

资料来源：中国指挥与控制学会，36Kr，IT 之家，山西证券研究所

## 6.2 人形机器人厂商正专注哪些工作？

**Figure AI** 在获得各界大佬入局后，估值和关注度持续提升，作为人形机器人种子选手，其发展方向对于我们加强行业认知也具备一定的参考意义。公司官网披露了其目前专注的领域，主要包括：

**（1）系统硬件：**设计一个完全机电的人形机器人，包括手，目标是开发具有非专业人类物理能力的硬件。公司团队正在根据运动范围、有效载荷、扭矩、运输成本和速度来衡量这一点，并将通过快速的发展周期继续改进。

**（2）单位成本：**通过高速批量生产来降低单个人形机器人的单位成本，努力实现可持续的规模经济。通过每小时的完全运营成本来衡量成本。

**（3）安全：**类人机器人将与工作场所的人类互动，安全至关重要，其设计需要符合行业标准和企业要求。

**（4）批量生产：**不仅需要提供高质量的产品，还需要以非常高的产量交付。我们预计，随着我们退出原型设计并进入批量生产，学习曲线会很陡峭。为此，我们深思熟虑制造设计、系统安全性、可靠性、质量和其他生产计划。

**（5）人工智能：**建立一个人工智能系统，使人形机器人能够自主执行日常任务，可以说是长期面临的最困难的问题之一。公司团队正在通过构建可以与复杂和非结构化现实世界环境交互的具身智能代理来解决这个问题。

## 6.3 受益标的梳理

人形机器人行业空间的拓展有赖于功能替代性和成本划算性，安全、功能、成本、效率缺一不可。当前产业发展体现出以下特点：（1）产业加速发展，资本关注度大幅度提升；（2）商业化尚在早期，率先应用在汽车制造；（3）技术迭代快速，安全和降本仍是主要诉求。建议关注：（1）Tier 1 厂商：三花智控、拓普集团；（2）减速器：绿的谐波、中大力德、双环传动、国茂股份、精锻科技、夏厦精密、汉宇集团；（3）丝杠和轴承：恒立液压、贝斯特、北特科技、五洲新春、长盛轴承、鼎智科技、江苏雷利、捷昌驱动、秦川机床；（4）传感器：柯力传感、

东华测试、康斯特、奥比中光、芯动联科、华依科技、汉威科技。（5）电机：鸣志电器、步科股份、禾川科技、伟创电气；（6）机床和刀具：华辰装备、沃尔德、日发精机、国机精工；（7）材料：中研股份、新瀚新材、凯盛新材。

表 12：重点公司估值表（数据截至 2024 年 3 月 7 日）

|         | 公司名称 | 总市值（亿元） | 营业收入（百万） |        |        | 归母净利润（百万） |       |       | PE    |       |       |
|---------|------|---------|----------|--------|--------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         |      |         | 2022A    | 2023E  | 2024E  | 2022A     | 2023E | 2024E | 2022A | 2023E | 2024E |
| Tier1   | 三花智控 | 905.53  | 21,348   | 26,824 | 32,767 | 2573      | 3128  | 3893  | 30    | 30    | 24    |
|         | 拓普集团 | 636.15  | 15,993   | 20,639 | 28,288 | 1700      | 2202  | 3038  | 38    | 30    | 22    |
| 电机      | 鸣志电器 | 237.13  | 2,960    | 3,057  | 3,801  | 247       | 182   | 306   | 57    | 137   | 82    |
|         | 步科股份 | 44.11   | 539      | 634    | 768    | 91        | 96    | 121   | 27    | 49    | 39    |
|         | 禾川科技 | 47.24   | 944      | 1,642  | 2,053  | 90        | 139   | 184   | 78    | 35    | 27    |
|         | 伟创电气 | 64.74   | 906      | 1,725  | 2,246  | 140       | 283   | 374   | 27    | 23    | 18    |
| 减速器     | 绿的谐波 | 218.77  | 446      | 545    | 814    | 155       | 163   | 238   | 105   | 139   | 95    |
|         | 双环传动 | 205.55  | 6,838    | 10,110 | 12,021 | 582       | 1044  | 1307  | 37    | 20    | 16    |
|         | 中大力德 | 50.94   | 898      | 1,089  | 1,300  | 66        | 83    | 101   | 52    | 63    | 51    |
|         | 国茂股份 | 89.43   | 2,697    | 2,720  | 3,274  | 414       | 403   | 520   | 33    | 22    | 17    |
|         | 精锻科技 | 48.61   | 1,808    | 2,199  | 2,698  | 247       | 272   | 336   | 23    | 18    | 15    |
|         | 夏厦精密 | 41.88   | 518      |        |        | 88        |       |       |       |       |       |
|         | 汉宇集团 | 46.31   | 1,058    | 1,110  | 1,165  | 204       | 215   | 231   | 17    | 22    | 21    |
| 丝杠      | 贝斯特  | 95.42   | 1,097    | 1,374  | 1,756  | 229       | 282   | 357   | 16    | 36    | 28    |
|         | 北特科技 | 49.33   | 1,706    | 1,879  | 2,209  | 46        | 52    | 86    | 47    | 101   | 62    |
|         | 恒立液压 | 761.85  | 8,197    | 8,844  | 10,416 | 2343      | 2448  | 2886  | 35    | 32    | 27    |
|         | 五洲新春 | 63.29   | 3,200    | 3,547  | 4,284  | 148       | 170   | 245   | 30    | 38    | 27    |
|         | 秦川机床 | 99.78   | 4,101    | 4,216  | 5,089  | 275       | 230   | 322   | 31    | 44    | 31    |
|         | 鼎智科技 | 35.92   | 318      | 413    | 539    | 101       | 116   | 156   | 69    | 33    | 24    |
|         | 江苏雷利 | 86.89   | 2,900    | 3,369  | 4,062  | 259       | 350   | 454   | 24    | 26    | 20    |
|         | 长盛轴承 | 47.79   | 1,071    | 1,266  | 1,563  | 102       | 246   | 309   | 67    | 19    | 15    |
|         | 捷昌驱动 | 66.84   | 3,007    | 3,107  | 3,609  | 328       | 302   | 384   | 30    | 23    | 18    |
| 传感器     | 柯力传感 | 86.19   | 1,061    | 1,227  | 1,491  | 260       | 312   | 390   | 18    | 29    | 23    |
|         | 东华测试 | 66.12   | 367      | 544    | 760    | 122       | 175   | 250   | 43    | 39    | 28    |
|         | 康斯特  | 38.62   | 414      | 501    | 618    | 75        | 100   | 133   | 34    | 40    | 30    |
|         | 奥比中光 | 132.24  | 350      | 726    | 1,143  | (290)     | (76)  | 67    |       |       | 199   |
|         | 华依科技 | 26.16   | 337      | 724    | 1,227  | 36        | 122   | 228   | 113   | 22    | 12    |
|         | 芯动联科 | 133.28  | 227      | 475    | 683    | 117       | 234   | 321   | 0     | 56    | 41    |
|         | 汉威科技 | 53.60   | 2,395    | 2,463  | 2,778  | 276       | 362   | 332   | 20    | 15    | 17    |
|         | 凌云股份 | 88.69   | 16,689   | 18,577 | 20,209 | 339       | 615   | 728   | 23    | 15    | 12    |
|         | 日发精机 | 42.89   | 2,139    | 2,057  | 2,380  | (1530)    | (613) | 52    |       |       | 83    |
| 产线设备与刀具 | 华辰装备 | 68.21   | 336      | 463    | 620    | 47        | 119   | 152   | 100   | 59    | 46    |
|         | 国机精工 | 54.91   | 3,436    | 2,956  | 3,468  | 233       | 279   | 362   | 25    | 19    | 15    |
|         | 沃尔德  | 26.66   | 414      | 763    | 932    | 63        | 140   | 169   | 55    | 19    | 16    |
|         | 浙海德曼 | 40.57   | 631      | 797    | 989    | 60        | 59    | 82    | 39    | 71    | 51    |
| 材料      | 中研股份 | 34.67   | 248      | 311    | 403    | 56        | 85    | 124   | 0     | 43    | 29    |
|         | 新瀚新材 | 35.20   | 398      | 603    | 777    | 107       | 127   | 185   | 22    | 30    | 20    |
|         | 凯盛新材 | 63.01   | 1,010    | 1,107  | 1,575  | 235       | 202   | 320   | 49    | 32    | 20    |

资料来源：，山西证券研究所（注：2023-2024 年数据为 wind 一致预期）

## 7. 风险提示

人形机器人技术进步不及预期。人形机器人发展时间较短，软件和硬件技术成熟度不足，特别是软件技术对应用场景泛化至关重要，仍有迭代的空间。

**人形机器人降本节奏不及预期。**对比国内外的各家人形机器人，可以看到人形机器人成本仍然比较高昂，一定程度上制约了其应用推广。

**下游商业化应用不及预期。**人形机器人的增长潜力依赖于产品和服务满足市场需求和客户偏好的能力，而商业化应用的推广仍取决于人形机器人的性能、成本、效率、安全性，实现完全仿人化以满足复杂的客户需求仍需做出大量投入。

**核心零部件国产化不及预期。**人形机器人部分核心零部件技术壁垒高，使用稳定性要求高，批量化应用对产能释放弹性要求高，国内供应商在某些域仍与国外大厂有所差距，技术、产能的限制下或无法迅速进入领先人形机器人厂商的供应链。

**分析师承诺：**

本人已在中国证券业协会登记为证券分析师，本人承诺，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告。本人对证券研究报告的内容和观点负责，保证信息来源合法合规，研究方法专业审慎，分析结论具有合理依据。本报告清晰准确地反映本人的研究观点。本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点直接或间接接受到任何形式的补偿。本人承诺不利用自己的身份、地位或执业过程中所掌握的信息为自己或他人谋取私利。

**投资评级的说明：**

以报告发布日后的 6--12 个月内公司股价（或行业指数）相对同期基准指数的涨跌幅为基准。其中：A 股以沪深 300 指数为基准；新三板以三板成指或三板做市指数为基准；港股以恒生指数为基准；美股以纳斯达克综合指数或标普 500 指数为基准。

无评级：因无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见的结果的重大不确定事件，或者其他原因，致使无法给出明确的投资评级。（新股覆盖、新三板覆盖报告及转债报告默认无评级）

**评级体系：****——公司评级**

- 买入： 预计涨幅领先相对基准指数 15%以上；
- 增持： 预计涨幅领先相对基准指数介于 5%-15%之间；
- 中性： 预计涨幅领先相对基准指数介于-5%-5%之间；
- 减持： 预计涨幅落后相对基准指数介于-5%- -15%之间；
- 卖出： 预计涨幅落后相对基准指数-15%以上。

**——行业评级**

- 领先大市： 预计涨幅超越相对基准指数 10%以上；
- 同步大市： 预计涨幅相对基准指数介于-10%-10%之间；
- 落后大市： 预计涨幅落后相对基准指数-10%以上。

**——风险评级**

- A： 预计波动率小于等于相对基准指数；
- B： 预计波动率大于相对基准指数。

## 免责声明:

山西证券股份有限公司(以下简称“公司”)具备证券投资咨询业务资格。本报告是基于公司认为可靠的已公开信息,但公司不保证该等信息的准确性和完整性。入市有风险,投资需谨慎。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,公司不对任何人因使用本报告中的任何内容引致的损失负任何责任。本报告所载的资料、意见及推测仅反映发布当日的判断。在不同时期,公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。公司或其关联机构在法律许可的情况下可能持有或交易本报告中提到的上市公司发行的证券或投资标的,还可能为或争取为这些公司提供投资银行或财务顾问服务。客户应当考虑到公司可能存在可能影响本报告客观性的利益冲突。公司在知晓范围内履行披露义务。本报告版权归公司所有。公司对本报告保留一切权利。未经公司事先书面授权,本报告的任一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,或以任何侵犯公司版权的其他方式使用。否则,公司将保留随时追究其法律责任的权利。

依据《发布证券研究报告执业规范》规定特此声明,禁止公司员工将公司证券研究报告私自提供给未经公司授权的任何媒体或机构;禁止任何媒体或机构未经授权私自刊载或转发公司证券研究报告。刊载或转发公司证券研究报告的授权必须通过签署协议约定,且明确由被授权机构承担相关刊载或者转发责任。

依据《发布证券研究报告执业规范》规定特此提示公司证券研究业务客户不得将公司证券研究报告转发给他人,提示公司证券研究业务客户及公众投资者慎重使用公众媒体刊载的证券研究报告。

依据《证券期货经营机构及其工作人员廉洁从业规定》和《证券经营机构及其工作人员廉洁从业实施细则》规定特此告知公司证券研究业务客户遵守廉洁从业规定。

## 山西证券研究所:

### 上海

上海市浦东新区滨江大道 5159 号陆家嘴滨江中心 N5 座 3 楼

### 太原

太原市府西街 69 号国贸中心 A 座 28 层  
电话: 0351-8686981  
<http://www.i618.com.cn>

### 深圳

广东省深圳市福田区林创路新一代产业园 5 栋 17 层

### 北京

北京市丰台区金泽西路 2 号院 1 号楼丽泽平安金融中心 A 座 25 层

