

高工咨询

高工移动机器人

# 2024 THE BLUE BOOK ON THE DEVELOPMENT OF CHINA'S HUMANOID ROBOT INDUSTRY

## 中国人形机器人产业发展蓝皮书



参编单位

优必选  
UBTECH

VIKERO  
伟景机器人

国讯芯微

KUNWEI  
坤维科技

XJCSSENSOR  
鑫精诚传感器

NBIT  
耐予机器人

ROUIST  
Drive Your Way

NEWGEAR  
纽格达



# 人工智能产业链联盟

星主： AI产业链盟主

 知识星球

微信扫描预览星球详情





## 版权声明

本蓝皮书版权为高工咨询（GGII）所有，相关咨询服务由高工咨询（GGII）提供。

高工咨询（GGII）和所有参编企业对本报告拥有共同著作权。报告有偿提供给限定企业，应限于企业内部使用，仅供企业在分析研究过程中参考。如企业引用报告内容进行对外使用，所产生的误解和诉讼由企业自行负责，本公司不承担责任。

如将来用作商业或其他用途，未经本公司同意，不得以任何异于本报告原样之装订或包装形式将本报告出借、转售、出租或在网上发布。凡使用本报告者均受本条款及本报告一切有关版权之条款约束。



## 序言

人形机器人是当今世界科技领域最具潜力和前景的产业之一。随着科技的不断进步和人工智能技术的快速发展，人形机器人作为未来产业的新赛道和经济增长的新引擎，将深刻变革人类生产生活方式，重塑全球产业发展格局。

2023年11月2日，工业和信息化部印发的《人形机器人创新发展指导意见》中提出，到2025年人形机器人创新体系初步建立，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。到2027年，人形机器人技术创新能力显著提升，形成安全可靠的产业链供应链体系，构建具有国际竞争力的产业生态，综合实力达到世界先进水平。

人形机器人产业的发展需要人工智能、高端制造、新材料等先进技术的协同创新和突破。当前，国外人形机器人技术加速演进，我国人形机器人虽然有一定产业基础，但在关键基础部组件、专用操作系统、人工智能大模型、通用整机产品和产业生态等方面仍存在短板弱项，在人形机器人产业尚处于商业化早期阶段，有望迎来爆发式增长的拐点之际，需要加强政策引导与扶持，集聚资源培育形成完善的产业链和产业生态。

人形机器人的研发涉及多个学科领域，技术难度较大，目前仍存在一些技术瓶颈和挑战。因此，对人形机器人产业发展进行全面梳理和分析，对于推动该领域的技术进步和产业发展具有重要意义。

作为新事物，人形机器人迎来发展热潮的同时也不免遭受外界的“质疑”与“唱衰”，从商业化落地的角度看，全球确实鲜有可参考的案例与路径；从技术实现和产品化的角度看，自2022年以来，人形机器人开始进入发展“快车道”，叠加AI大模型的加持，已开始呈现超预期的发展态势。

身处全球科技革命的浪潮之中，我们在脚踏实地的同时更需要仰望星空。

本蓝皮书旨在通过对主要国家人形机器人产业的发展历程和生态体系进行梳理，分析各国人形机器人的技术优势和产业特点，探讨人形机器人技术的发展方向，包括但不限于人工智能大模型、传感器、运动控制等领域的关键技术，探索人形机器人在各领域应用场景和商业模式，挖掘市场潜力和发展前景，总结人形机器人产业发展面临的挑战和机遇，同时结合我国重点城市人形机器人产业基础及优劣势，提出未来发展的趋势和方向，旨在帮助机器人产业链相关企业及投资机构了解当前人形机器人产业的发展态势，把握市场机会，做出正确经营决策。



**特别说明：**本蓝皮书中的大量市场及技术资料，仅供企业经营参考用，望企业不要用于其他商业用途，由此产生的一切后果高工咨询（GGII）将不予承担！

外部环境的不确定性和复杂性加剧，高工咨询（GGII）和所有参编企业真诚地祝福每一家志向远大的企业都能制定出高质量经营决策，不断获得新的成长和成功！

**感谢以下联合参编单位（排名不分先后）：**

|                   |
|-------------------|
| 深圳市优必选科技股份有限公司    |
| 陕西伟景机器人科技有限公司     |
| 国讯芯微（苏州）科技有限公司    |
| 常州坤维传感科技有限公司      |
| 深圳市鑫精诚传感技术有限公司    |
| 南京神源生智能科技有限公司     |
| 罗斯特卡希传动设备（浙江）有限公司 |
| 纽格尔智能传动（广东）有限公司   |



## 目录

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| <b>第一部分 产业篇</b>        | <b>9</b>  |
| 第一章 人形机器人产业发展概况        | 9         |
| 第一节 人形机器人定义与分类         | 9         |
| 第二节 人形机器人发展现状分析        | 14        |
| 第二章 人形机器人产业链发展分析       | 19        |
| 第一节 人形机器人上游核心零部件分析     | 20        |
| 第二节 人形机器人本体发展分析        | 44        |
| <b>第二部分 政策篇</b>        | <b>50</b> |
| 第三章 人形机器人政策环境分析        | 50        |
| 第一节 国家政策               | 50        |
| 第二节 地区政策               | 51        |
| <b>第三部分 区域篇</b>        | <b>53</b> |
| 第四章 国内重点城市人形机器人产业发展分析  | 53        |
| 第一节 北京市                | 53        |
| 第二节 上海市                | 55        |
| 第三节 深圳市                | 56        |
| <b>第四部分 资本篇</b>        | <b>58</b> |
| 第四章 人形机器人行业融资态势分析      | 58        |
| 第一节 行业融资态势             | 58        |
| 第二节 主要投资机构代表           | 59        |
| <b>第五部分 技术篇</b>        | <b>61</b> |
| 第六章 人形机器人技术发展分析        | 61        |
| 第一节 人形机器人技术专利分析        | 61        |
| 第二节 人形机器人“大脑”关键技术发展分析  | 64        |
| 第三节 人形机器人“小脑”关键技术发展分析  | 71        |
| 第四节 人形机器人“机器肢”关键技术发展分析 | 73        |
| 第五节 人形机器人“机器体”关键技术发展分析 | 76        |
| <b>第六部分 市场篇</b>        | <b>79</b> |



|                                  |            |
|----------------------------------|------------|
| 第七章 人形机器人市场空间及发展趋势分析 .....       | 79         |
| 第一节 全球人形机器人市场规模预测及发展趋势分析 .....   | 79         |
| 第二节 中国人形机器人市场规模预测及发展趋势分析 .....   | 81         |
| <b>第七部分 应用前景篇 .....</b>          | <b>83</b>  |
| 第八章 人形机器人下游应用前景分析 .....          | 83         |
| 第一节 人形机器人在工业制造领域的应用前景分析 .....    | 85         |
| 第二节 人形机器人在服务领域的应用前景分析 .....      | 89         |
| 第三节 人形机器人在特种领域的应用前景分析 .....      | 92         |
| 第四节 人形机器人应用路径与应用场景价值图谱 .....     | 94         |
| 第九章 中国人形机器人产业发展机遇与挑战 .....       | 95         |
| 第一节 发展机遇 .....                   | 95         |
| 第二节 主要挑战 .....                   | 97         |
| <b>第八部分 企业篇 .....</b>            | <b>101</b> |
| 第十章 蓝皮书参编单位介绍 .....              | 101        |
| 第一节 优必选 .....                    | 101        |
| 第二节 伟景机器人 .....                  | 105        |
| 第三节 国讯芯微 .....                   | 115        |
| 第四节 坤维科技 .....                   | 122        |
| 第五节 鑫精诚传感器 .....                 | 126        |
| 第六节 神源生 .....                    | 131        |
| 第七节 罗斯特 .....                    | 136        |
| 第八节 纽格尔智能 .....                  | 139        |
| <b>第九部分 案例篇 .....</b>            | <b>147</b> |
| 第十一章 人形机器人&具身智能应用案例 .....        | 147        |
| 第一节 人形机器人案例 .....                | 147        |
| 第二节 控制器案例 .....                  | 150        |
| 第三节 传感器案例 .....                  | 154        |
| 第四节 灵巧手案例 .....                  | 155        |
| <b>附录 1 人形机器人产业链代表厂商名录 .....</b> | <b>156</b> |



## 图表目录

|       |                               |    |
|-------|-------------------------------|----|
| 图表 1  | 人形机器人系统构造及介绍 .....            | 10 |
| 图表 2  | 人形机器人按形态分类对比 .....            | 11 |
| 图表 3  | 人形机器人按应用场景分类对比 .....          | 12 |
| 图表 4  | 人形机器人按驱动类型分类对比 .....          | 12 |
| 图表 5  | 人形机器人产业发展阶段 .....             | 14 |
| 图表 6  | 国外部分企业人形机器人代表产品列举 .....       | 15 |
| 图表 7  | 国内部分企业人形机器人代表产品列举 .....       | 17 |
| 图表 8  | 人形机器人产业链图谱 .....              | 19 |
| 图表 9  | 人形机器人主要原材料和零部件介绍 .....        | 20 |
| 图表 10 | 人形机器人零部件应用示意图 .....           | 21 |
| 图表 11 | 人形机器人领域减速器对比 .....            | 22 |
| 图表 12 | 机器人电机侧重三点：高效率、高动态和高功率密度 ..... | 24 |
| 图表 13 | 人形机器人主要应用电机类型对比 .....         | 24 |
| 图表 14 | 滚珠丝杠与行星滚柱丝杠对比情况 .....         | 27 |
| 图表 15 | 机器人控制框架 .....                 | 28 |
| 图表 16 | 具身智能控制层架构 .....               | 29 |
| 图表 17 | 主要实时操作系统代表厂商及产品 .....         | 30 |
| 图表 18 | 全球主要人形机器人的控制解决方案 .....        | 30 |
| 图表 19 | 人形机器人主要传感器介绍 .....            | 31 |
| 图表 20 | 人形机器人四种环境感知传感器比较 .....        | 34 |
| 图表 21 | 纯视觉与激光雷达方案比较 .....            | 35 |
| 图表 22 | 人形机器人系统架构示意图 .....            | 36 |
| 图表 23 | ROS 框架下人形机器人整体软件架构 .....      | 38 |
| 图表 24 | 大模型在机器人领域研究与应用案例 .....        | 39 |
| 图表 25 | 人形机器人驱动器（执行器）类型和发展历史 .....    | 40 |
| 图表 26 | 三种高性能机器人驱动器（执行器）方案特性比较 .....  | 41 |
| 图表 27 | 主要人形机器人厂商执行器方案 .....          | 42 |
| 图表 28 | 各类型人形机器人厂商代表企业 .....          | 44 |



|       |                                  |    |
|-------|----------------------------------|----|
| 图表 29 | 资深玩家企业能力分布                       | 45 |
| 图表 30 | 初创企业能力分布                         | 45 |
| 图表 31 | 跨界玩家企业能力分布                       | 46 |
| 图表 32 | AI 企业能力分布                        | 47 |
| 图表 33 | 原生机器人厂商能力分布                      | 47 |
| 图表 34 | 全球主要人形机器人对比                      | 48 |
| 图表 35 | 北京、上海、深圳人形机器人相关政策                | 51 |
| 图表 36 | 北京智能机器人产业空间布局                    | 53 |
| 图表 37 | 北京智能机器人产业创新模式                    | 54 |
| 图表 38 | 上海智能机器人“3+X”空间布局                 | 55 |
| 图表 39 | 上海市智能机器人科技创新主体                   | 56 |
| 图表 40 | 深圳市智能机器人科技创新主体                   | 57 |
| 图表 41 | 2022-2024 年 Q1 中国人形机器人相关领域获融资情况  | 58 |
| 图表 42 | 中国主要人形机器人企业融资情况（截至 2024Q1）       | 58 |
| 图表 43 | 中国人形机器人行业主要投资机构代表（排名不分先后）        | 59 |
| 图表 44 | 人形机器人专利申请 Top10 国家及专利数概览         | 62 |
| 图表 45 | 人形机器人专利申请人 Top15 及专利数概览          | 63 |
| 图表 46 | 机器人各部位关键技术攻关                     | 64 |
| 图表 47 | 大模型发展现状与挑战对比                     | 65 |
| 图表 48 | 国内外科技巨头 AI 大模型产品对比               | 66 |
| 图表 49 | 2024-2030 年全球人形机器人市场空间测算         | 79 |
| 图表 50 | 2024-2030 年中国人形机器人市场空间测算         | 81 |
| 图表 51 | 2023 年全球主要人形机器人应用场景及市场推广计划       | 83 |
| 图表 52 | 工业领域主要应用机器人类型                    | 85 |
| 图表 53 | 2017-2023 年工业/移动机器人本体均价（单位：万元/台） | 86 |
| 图表 54 | PC 产品制造层级与自动化技术难度分布              | 87 |
| 图表 55 | 医疗保健与康复领域主要应用机器人类型               | 90 |
| 图表 56 | 人形机器人应用路径与应用场景价值图谱               | 94 |



## 第一部分 产业篇

### 第一章 人形机器人产业发展概况

#### 第一节 人形机器人定义与分类

##### 一、人形机器人的定义

人形机器人是一种仿生机器人，指形状及尺寸与人体相似，能够模仿人类运动、表情、互动及动作的机器人，并具有一定程度的认知和决策智能。人形机器人建立在多学科基础之上，集成人工智能、高端制造、新材料等先进技术，来实现拟人化的功能，环境适应更通用、任务操作更多元、人机交互更亲和，是有望成为继计算机、智能手机、新能源汽车后的颠覆性产品，将深刻变革人类生产生活方式，是一个国家高科技实力和发展水平的重要标志。

人形机器人相比其他机器人，对智能感知、运动控制、智能决策、人机交互的综合能力要求更高。

**智能感知方面**，需要配备多种传感器，能够感知非结构化场景并根据不同的情况做出相应的反应。

**运动控制方面**，需要人形机器人具备高度的精确性和灵敏度、良好的稳定性和平衡控制能力，精确地模仿人类的行走、跑步、抓取等动作，实时响应各种传感器的输入和环境变化。

**智能决策方面**，可通过人工智能技术，根据环境、任务和目标等信息，自主地做出最优的决策，以实现自主导航、任务执行、人机交互等功能，需要高效的算法和强大的计算能力，以处理大量的信息和数据。

**人机交互方面**，需要对自然语言进行识别与处理，以便机器人能够理解用户的指令、问题或指导，需要具备情感识别技术，识别用户情感状态，提供更人性化的互动体验。

此外，对手势与动作的识别、多模态交互等方面也有着较高的要求。

##### 二、人形机器人的构造

人形机器人通常由环境感知模块、决策控制模块、运动控制模块、机械本体模块等多个模块组成，各模块间协同工作，以实现人形机器人的智能运作。



图表 1 人形机器人系统构造及介绍

| 构成部分   | 相关介绍   |
|--------|--|
| 环境感知模块 | 包含各类视觉传感器、音频传感器、触觉传感器、运动传感器等，用于感知环境，获取关于周围世界的信息。                                     |
| 决策控制模块 | 人形机器人的“大脑”，通常由控制器、信号处理器、芯片等构成，运行人形机器人的软件程序，实现人形机器人的决策、规划、协调、学习等功能。                   |
| 运动控制模块 | 人形机器人的“小脑”，是人形机器人的动力和控制系统，负责实现人形机器人的动态平衡、步态规划、关节协调等功能的模块，它通常由运动控制器、驱动器、执行器与运动控制算法组成。 |
| 机械本体模块 | 是人形机器人的“机械肢”、“机械体”，包含骨架、关节、手脚、皮肤等，提供机器人的基本形状和支撑结构，是模拟人体关节以实现运动、完成抓取物体和行走的物理基础。       |
| 人机交互模块 | 包含语音识别与合成、自然语言处理和显示屏、LED 或触摸屏，使人形机器人能够与人类进行有效的交互，借助物理或虚拟界面，使用户能够直接与机器人互动。            |
| 电池管理模块 | 负责监测和控制机器人电池状态和性能，为人形机器人运行提供动力支持，通常由电池管理系统（BMS）、电池充电器、电池电量监测器等组成。                    |
| 通信模块   | 使机器人能够与其他设备、云服务或其他机器人进行通信，包含无线模块（如 Wi-Fi、蓝牙）、有线接口（如以太网端口、USB 端口）等。                   |
| 安全模块   | 是负责保证人形机器人在运行过程中不会对自身、人类或环境造成伤害的模块，具备紧急停止机制、故障监测等功能。                                 |

资料来源：公开资料，高工机器人产业研究所（GGII）整理



### 三、人形机器人的主要类别

根据人形机器人的形态，可以将其分为轮式人形机器人、足式人形机器人、全能型人形机器人，各类型人形机器人产品介绍如下：

图表 2 人形机器人按形态分类对比

| 类型       | 介绍  | 图示  |
|----------|---|---|
| 轮式人形机器人  | 主要采用轮式驱动+协作机器人手臂+灵巧手方案，强调触觉传感器+灵巧手的操作功能，同时兼备移动能力。 |    |
| 足式人形机器人  | 强调机器人的腿部运动能力，手部基本只用作平衡。                           |   |
| 全能型人形机器人 | 具备双足+双臂+双手+各类感知+人工智能的功能，以全面的软硬件基础，适应开放环境中的多任务。    |  |

资料来源：公开资料，高工机器人产业研究所（GGII）整理

根据应用场景，可以将人形机器人分为医疗型人形机器人、军事型人形机器人、教育型人形机器人、娱乐型人形机器人、服务型人形机器人、工业型人形机器人、通用型人形机器人，各类型介绍如下：



图表 3 人形机器人按应用场景分类对比

| 类型       | 介绍                             | 代表产品                              |
|----------|--------------------------------|-----------------------------------|
| 医疗型人形机器人 | 可以协助医生进行手术、诊断、康复、护理等任务。        | Robear 等                          |
| 教育型人形机器人 | 可作为教学辅助工具，提供互动式的学习和教育内容。       | NAO、Alpha Ebot 等                  |
| 娱乐型人形机器人 | 可以与人类进行互动，提供陪伴、娱乐和放松的功能。       | RoboThespian、CyberOne 等           |
| 军事型人形机器人 | 主要用于军事领域，可以执行侦察、战斗、救援等任务。      | FEDOR 等                           |
| 服务型人形机器人 | 可以在酒店、餐厅、商场、家庭等场所提供服务。         | ASIMO、Busboy、WalkerX、达闼 XR-1 等    |
| 工业型人形机器人 | 主要用于工业生产及物流领域，可用于货物搬运、生产制造等场景。 | Digit、远征 A1 等                     |
| 通用型人形机器人 | 可用于工业、服务、教育、医疗等多个领域。           | Fourier GR-1、Optimus、Unitree H1 等 |

资料来源：公开资料，高工机器人产业研究所（GGII）整理

人形机器人的驱动器是机器人运动的关键部件，它负责将其他能量转化为机械能，使机器人得以运动，根据驱动器动力来源的不同，可将人形机器人划分为电机驱动型、液压驱动型、气压驱动型、形状记忆金属、混合驱动型等人形机器人。

图表 4 人形机器人按驱动类型分类对比

| 类型    | 介绍                            | 优点                             | 缺点                                    |
|-------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| 电机驱动型 | 通过电机来驱动机器人的关节旋转或实现其他运动。       | 控制精度高、响应速度快、可靠性高，能够实现复杂的动作和运动。 | 功耗较高、需要较大的空间和重量限制，以及需要采取措施防止过热和过载等问题。 |
| 液压驱动型 | 通过液体压缩泵产生高压液体，高压液体对输出机构做功产生力。 | 输出力矩大、动作速度快、稳定性高，能够实现高负载和复杂动作。 | 需要配套液压系统和油路等设施，相对比较复杂，维护和保养也较为困难。     |



|           |   |   |  |
|-----------|---|---|--|
| 气压驱动型     | 利用气动执行元件将压缩空气的压力能转换为机械能，驱动关节和肢体运动。                                    | 清洁、无污染，操作简单，低成本，易于维护和保养。                                  | 输出力和稳定性相对较低，无法实现高负载和复杂动作。                    |
| 形状记忆合金驱动型 | 具有形状记忆效应和伪弹性特性，可以在加热后发生形状变化，从而产生驱动力。目前，人形机器人领域对形状记忆合金驱动的研究主要集中在灵巧手部位。 | 不需要复杂的控制系统和电源，具备结构简单、功重比大、轻量化、小型化等特点。                     | 形状记忆合金成本较高，对于人形机器人大规模生产和商业化应用会增加成本压力。        |
| 混合驱动型     | 结合不同的驱动方式和技术，以实现更灵活、智能、自适应的运动和互动。目前以电机驱动和液压驱动结合为主。                    | 结合不同驱动方式的优点，以电机驱动和液压驱动结合为例，具有输出力矩大、稳定性高、控制精度高、可实现复杂运动和动作。 | 维护和保养成本高，需要关注不同驱动部分，且考虑到协同作业，控制系统的设计和实现更为复杂。 |

资料来源：公开资料，高工机器人产业研究所（GGII）整理



## 第二节 人形机器人发展现状分析

从 15 世纪达芬奇绘制出世界上第一份人形机器人手稿，到 1973 年早稻田大学研发出的世界第一款人形机器人 WABOT-1，再到特斯拉 Optimus 引发对人形机器人产业化、商业化的探索，人形机器人产业从萌芽概念阶段已经进入产业化落地前期。

图表 5 人形机器人产业发展阶段

| 阶段      | 时间            | 介绍   | 智能化水平 |
|---------|---------------|--|-------|
| 萌芽概念阶段  | 1960 年以前      | 这一阶段主要探索制造具有人类外形的机器人，人形机器人概念主要基于科幻小说和电影中的想象，并没有实际的人形机器人产品出现。   | /     |
| 早期发展阶段  | 1961 年-2000 年 | 这一期间，主要通过电机、舵机和传动装置等机械部件实现人形机器人的基本动作和姿态，但功能相对较为简单，只能进行简单的动作和姿态模拟。  | 低     |
| 高度集成阶段  | 2001 年-2015 年 | 随着传感器、控制器和执行器等技术的进步，人形机器人开始进入系统高度集成阶段。这一阶段的机器人可以实现更加复杂的动作和姿态，同时具备了一定的感知和认知能力。例如，可以通过传感器感知环境，通过控制器进行决策和控制，通过执行器实现各种动作和姿态。 | 较低    |
| 高动态运动阶段 | 2016 年-2023 年 | 随着人工智能技术的进步，人形机器人可以实现高度动态和灵活的动作和姿态，同时具备了更好的环境适应性和智能性。例如，波士顿动力公司的 Atlas 人形机器人可以在复杂的环境中实现高动态的运动控制，具备了自主导航、避障、目标跟踪等功能。      | 中     |
| 产业化落地阶段 | 2024 年及以后     | 当前人形机器人产业处于产业化落地前期，随着相关技术的发展与成熟，全球范围内的多家企业开始加码人形机器人，人形机器人产业化进程将进一步加速。  | 较高    |

资料来源：公开资料，高工机器人产业研究所（GGII）整理

人形机器人产业发展至今，在机体结构、智能感知、驱动控制等领域积累的丰富技术成



果，技术推动从早期日本主导，演变为日本、中国、欧美共同驱动行业技术创新。同时，人形机器人的研究领域不断拓展，从早期实验室的科研场景，向工业、服务、军事等领域不断探索。

此外，随着人工智能大模型的出现，为人形机器人环境感知、行为控制、人机交互能力的增强提供了新路径，使其能够更好地适应复杂环境和任务，提高其自主性和交互性。

### 一、国外人形机器人发展现状分析

国外人形机器人研究起步较早，美、日、俄罗斯等国家持续推动人形机器人的发展，探索人形机器人在军事、医疗、教育、物流、仓储、工业等领域的应用，积极开展关键技术攻关和新兴技术赋能，在关节设计、动力驱动、感知和控制等关键方向取得了大量成果。同时，在软件系统层面，谷歌、微软、英伟达等在人形机器人运动控制算法、AI 大模型领域已形成一定积累。

目前，国外人形机器人行业产业链日趋完善，波士顿动力、本田、特斯拉、Figure AI 等企业相继推出了自身的人形机器人产品，但仅局限于特定空间、特定场景下的运作能力展示，距离商业化、产业化仍有一定距离。同时，人形机器人有望成为具身智能最佳的载体之一，随着人工智能进入高速发展阶段，在人工智能赋能及驱动下，国外人形机器人产业化进程开始提速。

图表 6 国外部分企业人形机器人代表产品列举

| 公司    | 产品            | 技术参数  | 产品介绍   | 应用场景              |
|-------|---------------|---|--|-------------------|
| 特斯拉   | Optimus Gen-2 | 高 1.72 米(5 英尺 8 英寸)，重 57kg，负载 20kg(手臂附加 5kg)，行动速度最高可达 8 公里/小时，全身自由度约有 52 个。 | 自研执行器和传感器；相比第一代颈部新增两个自由度驱动；步行速度上相比前一代提升 30%；增加脚部力/扭矩传感器；11 个自由度灵巧手增加触觉传感器，抓取得到进化；在保持性能的情况下，体重相比第一代减重 10kg。 | 工业制造、仓储物流、家庭服务等领域 |
| 波士顿动力 | Atlas         | 高 1.5 米、重 89kg，自由度 28 个，膝关节扭矩高达 890N·m，髋关节扭矩达 840N·m，行走速度达 2.5m/s。          | 采用电动+液压混合驱动模式，具有高负载驱动特性；使用 3D 打印技术制作机器人的腿部，将伺服阀、执行器、液压管路完全嵌入到四肢机构件中；可在障碍环境内做出跳跃、俯冲翻滚、空翻等一系列高难度全身动作。        | 军事、工业制造等领域        |



|                 |           |  |  |                    |
|-----------------|-----------|--|--|--------------------|
| Agility Robot   | Digit     | 高 175cm，重小于 65kg，最多可承载 16kg。                           | 采用可充电锂电池供电，续航能力达 16 小时；新版 Digit 增加了头部和机械手，安装头部可以提供人机交互（HRI）焦点，手部呈小爪状，可以在保持平衡的状态下搬运和装卸货物。 | 仓储物流               |
| 本田              | ASIMO     | 高 1.3 米，重 50kg，共有 57 个自由度，单手抓力 0.5kg，跑步速度为 7km/s。      | 可跑步、单腿跳跃、上下阶梯、踢足球和开瓶倒茶倒水；具备人工智能 AI 功能，能够理解人类的语言、声音和手势，并根据指令做出相应的动作。                      | 服务领域               |
| Engineered Arts | Ameca     | 重 49kg，高 1.87m，身体共有 52 个模块，支持 51 种关节运动。                | 结合 AI 与 AB(Artificial Body)技术，底层系统是机器人操作系统 Tritium 和工程艺术系统 Mesmer。                       | 娱乐领域               |
| 1X Technologies | NEO       | 高 167cm，重 30kg，4km/h（步行）、12km/h（跑步），承载 20kg，续航能力 2-4h。 | 产品轻量化，采用“无齿轮”设计理念。   | 安保巡逻、仓储物流等领域       |
| Figure AI       | Figure 01 | 身高 167cm，重 60kg，设计承载 20kg，步速 1.5m/s，续航 5 小时。           | Figure 宣言“要做世界上第一个商业上可行的通用型人形机器人”，采用的端到端（End to End）训练方式，具有稳步行走、自主捡物品、搬运物品和自主导航的能力。      | 制造、运输、物流仓储、家庭服务等领域 |

资料来源：公开资料，高工机器人产业研究所（GGII）整理

## 二、中国人形机器人发展现状分析

我国的人形机器人研究开始于 20 世纪 90 年代。前期，在国家“863”计划、国家自然科学基金，以及其他部门及地方的资助下，科研院所成为推动我国人形机器人产业进步的关键力量，期间国防科技大学、哈尔滨工业大学、清华大学、北京理工大学、浙江大学、中国科学院自动化所等多家科研院所，取得了丰硕的研究成果。后续，随着优必选、宇树科技、傅利叶智能、智元机器人等创业企业，小米、科大讯飞等科技大厂，小鹏等造车新势力的入局，我国人形机器人产业实现了从“追赶式创新”到“开拓式创新”的跨越。

经过多年发展，我国人形机器人产业在基础器件、新材料与新结构、控制理论、识别算法、智能理论等领域已取得重要进展，研制出了轮式、足式等多种人形机器人样机，场景覆



盖科研、物流、工业制造、教育、服务等多个场景，总体技术水平已基本达到了国际先进水平，但在关键基础部件、操作系统、整机产品、AI 大脑和产业生态等方面仍存在短板弱项。

现今，我国正加大人形机器人产业扶持力度，通过政策指引、政府扶持、企业及科研院所攻坚的方式，以实现人形在重点领域的批量化创新性应用，抢占人形机器人产业发展先机。

图表 7 国内部分企业人形机器人代表产品列举

| 公司    | 产品         | 技术参数  | 产品介绍   | 应用场景       |
|-------|------------|---|--|------------|
| 优必选   | Walker X   | 高 1.3 米，重 63kg，41 个高性能伺服驱动关节，行走速度 3km/h，全身负载 10kg，双手负载 3kg。               | 搭载高性能伺服关节以及多维力觉、多目立体视觉、全向听觉和惯性测距等全方位的感知系统；全面升级视觉定位导航和手眼协调操作技术，自主运动及决策能力大幅提高，实现平稳快速的行走和精准安全的交互。                       | 服务领域       |
| 傅利叶智能 | GR-1       | 高 1.65 米，重 55kg，步行速度 5km/h，44 个全身自由度，全身由 32 个 FSA 关节构成，最大模组峰值扭矩 230N.m。   | GR-1 采用了高度可扩展的设计，可实现更多的 AI 模型与算法验证；动作方面具备直腿行走快速行走、敏捷避障稳健上下坡，应对冲击干扰与人协同完成动作等功能。                                       | 工业制造、服务等领域 |
| 宇树科技  | Unitree H1 | 高 1.8 米，重 47kg，峰值扭矩密度 189N.m/Kg，最大关节扭矩 N.m，360 行走速度 >1.5m/s，潜在运动潜能 >5m/s。 | 拥有稳定的步态和高度灵活的动作能力，能够在复杂地形和环境中自主行走和奔跑；360° 深度感知，配有 3D 激光雷达+深度相机，实时获取高精度空间数据，实现全景扫描；设计 M107 关节电机，运动灵活度、速度、负载能力、续航得到提升。 | 工业制造、服务等领域 |



|       |               |  |   |   |
|-------|---------------|--|---|---|
| 小米    | CyberOne      | 身高 177cm，体重 52kg，具备 21 个自由度，行走 3.6km/h，最大负荷 1.5kg。   | 环境感知方面，自研的 Mi-Sense 深度视觉模组+AI 算法帮助 CyberOne 实现对真实世界的三维虚拟重建。情绪感知上，CyberOne 搭载自研 MiAI 环境语义识别引擎和 MiAI 语音情绪识别引，能够实现 85 种环境音识别和 6 大类 45 种人类情绪识别。 | 娱乐、服务等领<br>域  |
| 智元机器人 | 远征 A1         | 身高 170cm，体重 55kg，步行速度 7km/h，单臂最大负载 5kg。              | 自研了关节电机 PowerFlow、灵巧手 SkillHand、反曲膝设计等关键零部件，以此提升具身智能机器人的能力、同时降低成本。  | 工业制造等领域   |
| 鹏行智能  | PX5           | 单臂最大负载（3kg）/机械臂自重（5Kg 自重），负载自重比超 0.6，最大末端线速度 1m/s。   | 超轻量化、高负载重量比的机械臂、11 自由度的灵巧手，使其能够完成类似于人类的柔顺抓取操作、搬运操作，即使面对面巾纸、柔性小球等物品，机器人灵巧的双手都能够很好地应对和处理。   | 工业制造、服务<br>等领域                                      |
| 乐聚机器人 | 夸父<br>(KUAVO) | 体重 45KG，全身自由度 26 个，步速最高可达 4.6 公里/小时，快速连续跳跃高度超过 20cm。 | 是国内首款可跳跃、可适应多地形行走的开源鸿蒙人形机器人；现阶段机器人已经能够成功实现任务作业、规划导航等功能；借助其强大的运动控制性能，机器人还可以完成复杂地形自主行走、持续连续跳跃等系列高难度运动。  | 第一阶段教育科<br>研，第二阶段特<br>种、工厂、医疗，<br>第三阶段进入家<br>庭等民生领域 |

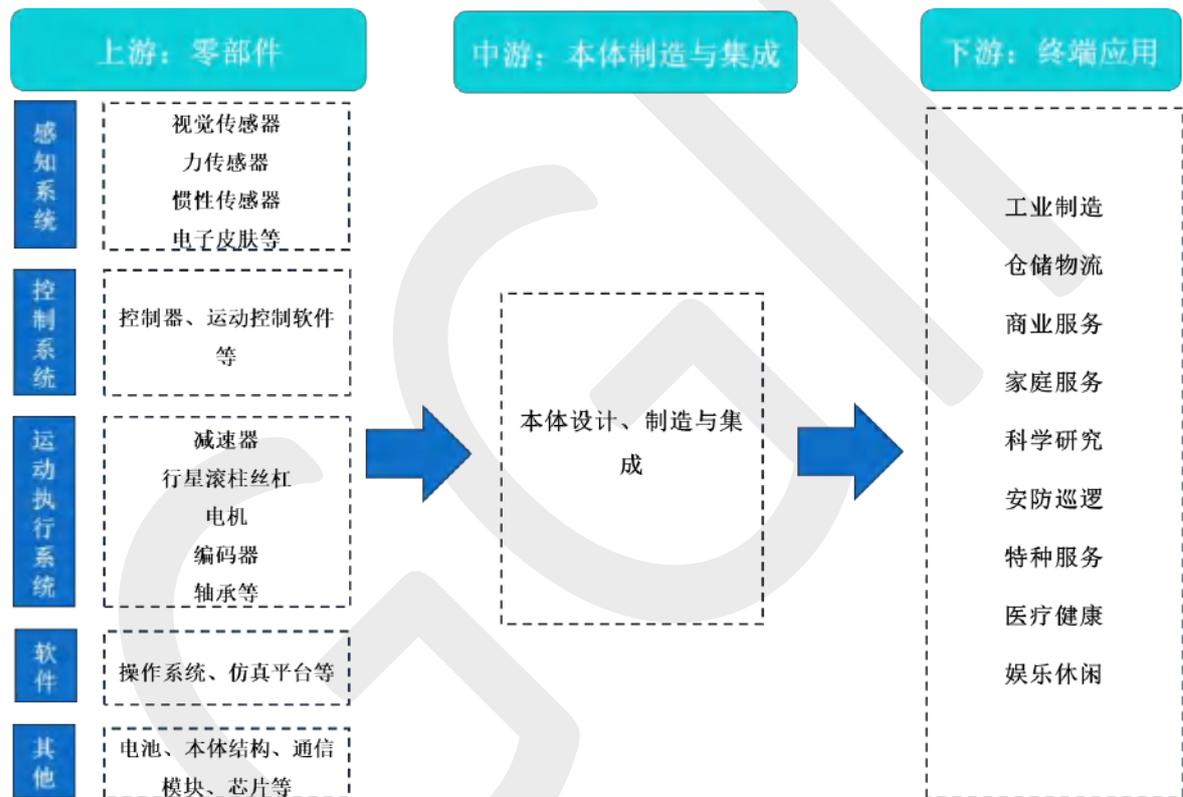
资料来源：公开资料，高工机器人产业研究所（GGII）整理



## 第二章 人形机器人产业链发展分析

人形机器人产业链主要由上游零部件、中游人形机器人本体及下游终端应用等环节组成。目前，由于人形机器人尚未在下游终端应用领域实现规模化商业落地，且部分核心零部件在人形机器人领域的应用尚未得到充分验证。因此，我国人形机器人供应链仍处于持续构建中，随着人形机器人创新体系的逐步建立，“大脑、小脑、肢体”等一批关键技术的持续突破，我国将有望逐步形成高效可靠的人形机器人产业链、供应链体系。

图表 8 人形机器人产业链图谱



资料来源：公开资料，高工机器人产业研究所（GGII）整理



## 第一节 人形机器人上游核心零部件分析

人形机器人的上游包括减速器、电机、丝杠、控制器、传感器等硬件部分，以及软件系统部分。在整条产业链中，从长期来看，最具价值的部分在于软件部分，即能够自研或掌握运动控制、人工智能算法等核心技术者，将掌控人形机器人的中枢与大脑，某种程度上将有望在技术层面主导人形机器人的发展方向和发展节奏；从当下看，价值占比高、增量空间大的主要是传感器、减速器、电机、丝杠等核心零部件。

图表 9 人形机器人主要原材料和零部件介绍

| 模块      | 介绍  |
|---------|---|
| 机械结构零部件 | 零部件包括机器人的关节、轴承、齿轮等，它们的设计和制造决定了机器人的机械性能和运动精度。  |
| 电机      | 电机是人形机器人中最常用的驱动器件之一，人形机器人通常采用高性能、高精度和高响应速度的电机来驱动关节和执行器。人形机器人常用的电机类型包括永磁同步电机、永磁直流电机、无刷直流电机、空心杯电机、步进电机和无框力矩电机。                                    |
| 传感器     | 人形机器人需要传感器来感知周围的环境和物体。常用的传感器有视觉传感器、力传感器、惯性传感器、温度传感器等。传感器的种类和性能影响着机器人的感知能力和精度。   |
| 控制器     | 控制器是人形机器人的大脑，负责机器人的运动控制和行为决策。包括计算机、控制芯片和通信模块等，通常由本体集成厂商自主研发。  |
| 电池      | 电池是为机器人提供电能的关键部件，不同类型的电池，例如镍氢电池、锂电池和钛酸锂电池，具有不同的性能和安全性能，直接影响机器人的续航能力和使用寿命，市面上人形机器人产品多数使用动力锂电池方案。   |
| 减速器     | 减速器是机器人中用于降低电机转速的装置，能够提高机器人关节的扭矩输出和运动精度。人形机器人主要使用谐波减速器和行星减速器，少数部位会用 RV 减速器。   |
| 驱动器     | 用于控制电机旋转的装置，不同类型的驱动器有着不同的性能和应用范围，例如普通驱动器、步进驱动器、伺服驱动器等等。人形机器人的驱动器必须做到体积小、重量轻、轴向尺寸短、高功率密度、高能量利用效率、精度可控、耐冲击性等特性，结合机器人整机结构和控制系统设计优化，才能保证其关节动作的高效执行。 |
| 金属材料    | 人形机器人需要使用大量的金属材料，例如铝合金、钢、铜等。金属材料的特点是硬度高、强度大、导电性好等，适合用于机器人的机械结构和关节部件。  |

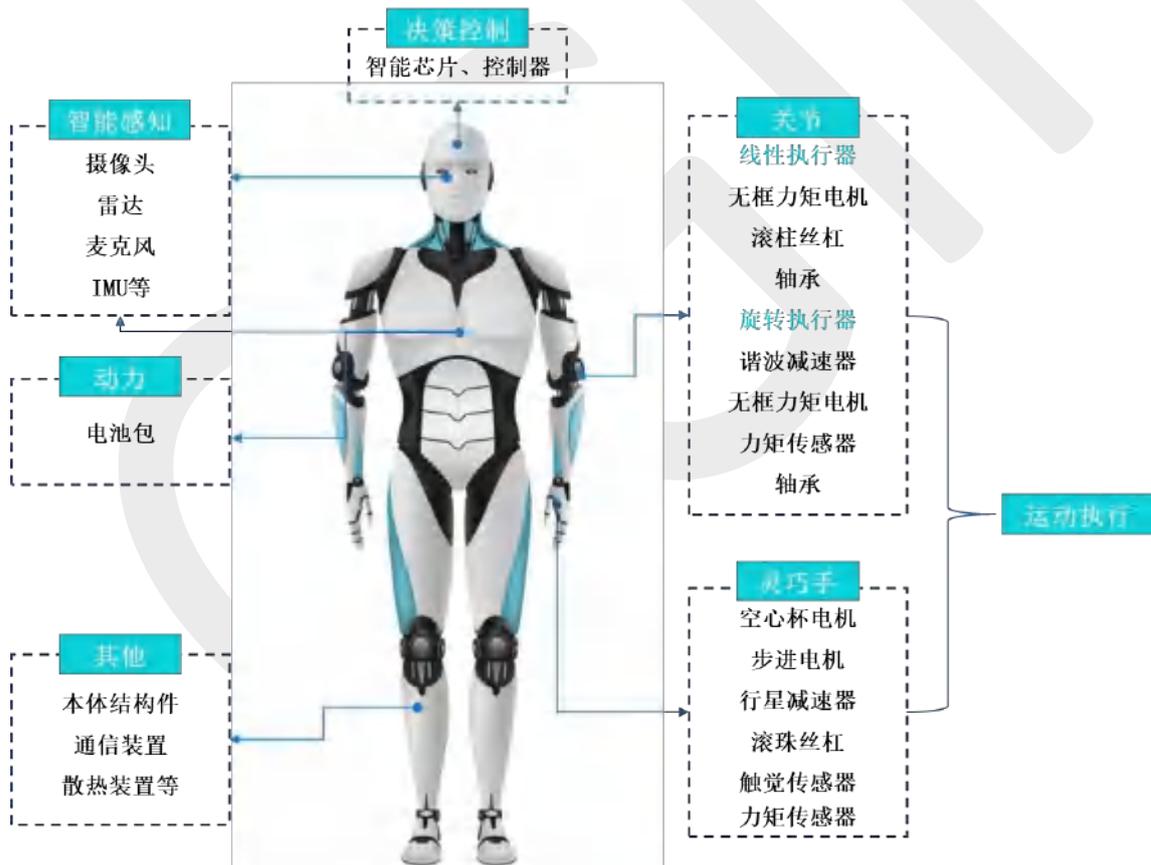


|                       |  |
|-----------------------|--|
| <p><b>塑料材料</b></p>    | <p>塑料材料是人形机器人中广泛应用的一种原材料，包括 ABS、PVC、PE 等等。塑料材料的特点是重量轻、绝缘性好、可塑性高等，适合用于机器人的外壳和零部件。</p>                                     |
| <p><b>PEEK 材料</b></p> | <p>PEEK 材料是全球性能居前的热塑性材料之一，属于特种高分子材料，具有非常好的耐热、耐磨、耐辐射等优异性能，主要用于替代金属材料，在“以塑代钢”“轻量化”的大背景下，PEEK 以其优异的性能在中高端领域逐步替换金属材料的使用。</p> |

资料来源：高工机器人产业研究所（GGII）

当前，人形机器人领域核心零部件国产化空间较大，且核心零部件的攻克是人形机器人量产化的先决条件，零部件的国产化将为人形机器人在性能、成本、可靠性、安全性和技术创新等方面提供更多的可能性，助力人形机器人产业化进程。

图表 10 人形机器人零部件应用示意图



资料来源：公开资料，高工机器人产业研究所（GGII）整理

## 一、核心零部件

### 1、减速器

减速器是一种由封闭在刚性壳体内的齿轮传动、蜗杆传动、齿轮-蜗杆传动所组成的独立部件，常用作原动机与工作机之间的减速传动装置。在原动机和工作机或执行机构之间起



匹配转速和传递转矩的作用。绝大部分电机负载大、转速高，不适宜用原动机直接驱动，而减速器能够将电动机、内燃机或其他高速运转的动力通过输入轴上齿数少的齿轮啮合输出轴上的大齿轮来达到减速目的。

在人形机器人领域，减速器与电机、传感器、驱动器等构成关节执行器，当前 RV 减速器、谐波减速器、行星减速器在人形机器人领域具有一定的适配性，各减速器对比情况如下：

图表 11 人形机器人领域减速器对比

| 维度    | RV 减速器  | 谐波减速器   | 行星减速器   |
|-------|---|---|---|
| 图示    |  |  |  |
| 技术特点  | 通过多级减速实现传动，一般由行星齿轮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，结构较复杂。                           | 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。        | 行星齿轮结构减速机通常由多级行星轮组成，由齿数少的齿轮啮合输出轴上的大齿轮来达到减速的目的。                                      |
| 工作原理  | 偏心轮驱动摆线针齿轮进行旋转，通过摆线针齿轮的连续啮合实现减速。  | 波发生器产生谐波运动，驱动柔性铰链轮实现减速输出。   | 行星轮在太阳轮的驱动下转动，实现减速输出。   |
| 功率密度  | 相对较低  | 高   | 相对较低  |
| 传动效率  | 可达 95%以上  | 可达 90%以上  | 可达 80%以上  |
| 传动精度  | 较高  | 高   | 较高  |
| 输出扭矩  | 大   | 中   | 小   |
| 可靠性   | 较高  | 相对较低  | 较高  |
| 成本    | 高   | 较高  | 低   |
| 人形机器人 | 腰部、髋关节等   | 肩关节、肘关节、腕关节、  | 手部、膝关节、踝关节  |



|      |  |        |   |
|------|--|--------|---|
| 使用部位 |  | 腰部、颈部等 | 等 |
|------|--|--------|---|

资料来源：公开资料，高工机器人产业研究所（GGII）整理

当前，我国精密减速器行业已出现绿的谐波、来福谐波、同川精密、大族精密、环动科技、中大力德等企业，很大程度上推动了精密减速器的国产化进程。

在谐波减速器方面，国产谐波减速器替代相对明显，我国自主生产的谐波减速器在性能与可靠性方面已初步达到国际主流水平。

在RV减速器方面，由于RV减速器产品结构和技术工艺较谐波减速器复杂，核心技术仍未完全掌握，尽管部分企业已具备一定的RV减速器批量生产能力，但行业整体与国外先进水平仍有差距。

在行星减速器方面，目前市场主要参与者为外资厂商、合资厂商与国产厂商，其中国产厂商更多聚焦于中低端应用领域，在高端精密行星减速器领域外资厂商依然占据主要市场份额。主要代表厂商有赛威传动（德国）、纽卡特（德国）、威腾斯坦（德国）、新宝（日本）、纽格尔智能（中国）、罗斯特（中国）、中大力德（中国）、纽仕达特（中国）、科峰智能（中国）等。

## 2、电机

电机（俗称“马达”）是指依据电磁感应定律实现电能转换或传递的一种电磁装置，主要作用是产生驱动转矩，作为用电器或各种机械的动力源。关节电机为人形机器人各种动作和姿态的实现提供动力，具备减速、传动、提升扭矩等功能，作为机器人的核心硬件，是机器人运动的“心脏”。

人形机器人的自由度决定电机需求的数量，机器人灵活性越高，所需的电机数量越多。人形机器人电机有三个关键点：高效率、高动态和高功率密度。

- 高效率：低能耗和低摩擦损失很重要，因为机器人通常由电池供电，能经受得起苛刻的运行条件，可进行十分频繁的正反向和加减速运行，并能在短时间内承受过载。
- 高动态：整个驱动器（电机、机构、接线、传感器和控制器）的惯性应尽可能低，电动机从获得指令信号到完成指令所要求的工作状态的时间应短。
- 高功率密度：机器人应用需要高速、高扭矩电机，这些电机还需要小巧，紧凑，轻巧。



图表 12 机器人电机侧重三点：高效率、高动态和高功率密度



资料来源：Maxon 官网、高工机器人产业研究所（GGII）

人形机器人中常见的电机类型包括步进电机（Stepper Motor）、无框力矩电机、永磁同步电机（PMSM）、空心杯电机（Coreless Motor）等。这些电机类型各有特点，适用于不同的应用场景。例如，无框力矩电机和 PMSM 电机具有高效、高扭矩密度和长寿命等特点，因此在需要高性能和精确控制的人形机器人中得到了广泛应用。空心杯电机是一种直流永磁的伺服控制电机，主要应用于末端灵巧手。此外，步进电机在人形机器人眼睛、手腕关节等位置也具有一定的适配性。

图表 13 人形机器人主要应用电机类型对比

| 性能   | 步进电机  | 无框力矩电机   | 永磁同步电机                                   | 空心杯电机                            |
|------|---|--|--|----------------------------------|
| 图示   |   |  |  |                                  |
| 控制精度 | 取决于相数和拍数，两相混合式步进电机的步距角一般为 $1.8^\circ$ 、 $0.9^\circ$ 。 | 取决于电机结构和编码器，高精度的无框力矩电机控制精度可以达到 $0.1^\circ$ 甚至更高精度。 | 取决于编码器，高性能的永磁同步电机能达到 $0.1^\circ$ 甚至更高精度。 | 高性能的空心杯电机能达到 $0.1^\circ$ 甚至更高精度。 |
| 低频特性 | 低速时易出现低频振动  | 扭矩产生相对平滑，无显  | 具有良好的低频特                                 | 具有良好的低频                          |



|                              | 现象  | 著的扭矩脉动                    | 性                              | 特性                           |
|------------------------------|---|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| <b>矩频特性</b>                  | 输出力矩随转速升高而下降，低速时转矩较高，高速时转矩会急剧下降。            | 具有高扭矩输出，且随着频率增加，扭矩性能逐渐减小。 | 具有较高的转矩密度，使其在高速运行时仍然能够输出较大的扭矩。 | 具有较高的功率密度，温升高，效率高。           |
| <b>过载能力</b>                  | 一般不具有过载能力                                   | 具有较强的过载能力                 | 具有较强的过载能力                      | 具有较强的过载能力                    |
| <b>运行性能</b>                  | 开环控制，启动频率过高或负载过大易出现失步或堵转的现象，停止时转速过高易出现过冲现象。 | 闭环控制，一般不会出现失步或过冲现象。       | 闭环控制，一般不会出现失步或过冲现象。            | 闭环控制，一般不会出现失步或过冲现象。          |
| <b>速度响应性能<br/>(从静止到工作转速)</b> | 200~400 毫秒                                  | 几毫秒到十几毫秒                  | 20~50 毫秒                       | <28 毫秒                       |
| <b>悬停能力</b>                  | 停转时转矩达到峰值，保持力矩较大，可以在不使用刹车的情况下保持在停止位置。       | 在无外部扭矩作用下能够保持稳定的转速。       | 悬停状态下能够保持稳定的输出，为悬停运动提供强大的支持。   | 悬停状态下能够保持稳定的输出，为悬停运动提供强大的支持。 |
| <b>经济性</b>                   | 结构简单，成本较低                                   | 结构相对简单，成本高                | 结构相对简单，成本高                     | 结构相对简单，成本高                   |
| <b>人形机器人领域应用空间</b>           | 小   | 大                         | 大                              | 大                            |

资料来源：公开资料、高工机器人产业研究所（GGII）整理

当前，我国步进电机产业发展已较为成熟，企业在技术方面不断进行研发和创新，产品性能和可靠性不断提升，与国际先进水平的差距不断缩小，形成了完善的产业链和供应链。而在无框力矩电机和空心杯电机领域，国产与国际头部企业仍存在较大差距。

在无框力矩电机方面，无框力矩电机磁路和工艺设计是影响电机转矩密度、功率密度的重要环节，国外领先企业凭借技术积累与市场先发优势，在产品核心性能指标和市场份额方



面存在优势。经过多年发展，步科股份、杭州三相、大族电机等国内公司不断创新，产品关键参数与国外企业的差距不断缩小，但转矩密度和国外高端无框力矩电机相比仍存在差距，且国产份额提升空间较大。

在空心杯电机方面，国外头部企业占据市场主要份额，其采用一次性绕制成型的生产技术，掌握壁垒线圈绕组设计和加工、壁垒绕线设备技术等核心技术，国内企业主要用绕卷式生产，工艺比较繁琐，而且自动化程度低，性能与国外先进水平存在较大差距，且绕线机一般只能绕制尺寸较小、线径较细、形状单一的线圈，无法满足大功率空心杯电机的要求。

### 3、丝杠

丝杠是一种将电机端旋转运动转化为直线运动的机械部件，广泛应用于具有直线运动功能的机器设备中。电机通过联轴器带动丝杠轴转动，丝杠轴上的螺母在螺旋形螺纹的驱动下实现直线往复运动，从而将电机的旋转力矩转化为设备运动所需要的直线方向的驱动力。按摩擦特性，丝杠分为滑动丝杠、滚动丝杠以及静压丝杠，其中滚动丝杠在人形机器人领域适配性更高，包含滚珠丝杠和行星滚柱丝杠，可应用于人形机器人灵巧手、线性执行器等部位。

滚珠丝杠由螺杆、螺母、钢球、预压片、反向器、防尘器组成，通过滚珠在螺纹带上滚动，将旋转运动转化为线性运动，具备高精度、可逆性和高效率的特点。

行星滚柱丝杠其由行星架、内齿圈、螺母、滚柱、丝杠等组成，通过在主丝杠周围布置若干行星螺纹滚柱，大幅增加丝杠传动过程的接触面和受力面，在具备较高精度和传动效率的基础上，具有高承载、高可靠性等优点。

受限于行星滚柱丝杠成本的限制，在人形机器人产业化发展前期，或将存在滚珠丝杠和行星滚柱丝杠两种精密传动解决方案并存的局面，随着人形机器人产业化进程的持续推进，国产行星滚柱丝杠厂商通过技术创新与迭代有望进一步降低成本，行星滚柱丝杠有望逐步取代滚珠丝杠精密传动解决方案。



图表 14 滚珠丝杠与行星滚柱丝杠对比情况

| 维度    | 滚珠丝杠  | 行星滚柱丝杠   |
|-------|---|--|
| 传动单元  | 滚珠  | 螺纹滚柱   |
| 图示    |  |  |
| 传动效率  | 由于滚珠的使用，摩擦较小，因此具有较高的效率。   | 滚柱丝杠的滚柱与螺纹接触面相对较大，可能产生较大的摩擦，效率较滚珠丝杠低。  |
| 导程    | 受滚珠直径限制大于 0.5mm   | 可小于 0.5mm 或更小  |
| 承载能力  | 滚珠与丝杠的接触为点接触，承载能力相对较低。  | 滚柱与丝杠接触半径更大，且所有滚柱同时参与啮合，接触点多，承载能力强。  |
| 抗冲击能力 | 相对行星滚柱丝杠较低  | 滚柱丝杠能够承受更大的轴向力和径向力，抗冲击能力更高。  |
| 速度    | 速度相对行星滚柱丝杠较慢  | 行星滚柱丝杠没有轴向运动，速度更快  |
| 体积    | 在同载荷的情况下，体积相对行星滚柱丝杠较大。  | 在同载荷的情况下，行星滚柱丝杠的体积比滚珠丝杠小 1/3。  |
| 寿命    | 寿命相对行星滚柱丝杠较低  | 寿命可达滚珠丝杠的 15 倍   |

资料来源：公开资料，高工机器人产业研究所（GGII）整理

在高端丝杠领域，国内产品在精度、可靠性等方面与国外头部企业相比仍存在一定差距，特别在行星滚柱丝杠领域，受限于磨削等加工工艺、加工设备等方面的技术限制，国外企业占据行星滚柱丝杠的绝大部分市场份额，尽管国内行星滚柱丝杠已有一定产业基础，如南京工艺、博特精工、新剑智能等厂商已能够小规模生产行星滚柱丝杠，但是性能与国外产品依然存在一定的差距，主要体现在效率、承载能力和精度上。

#### 4、控制器

机器人控制框架一般采用层级控制（Hierarchical Structure）方法，机器人编程和控制层级可划分为多个层级，譬如任务级、动作级、关节级，或者在《Robotics Modelling, Planning and Control》里，分为任务级、技能级、动作级、伺服级等。

在层级控制的方法中，高层级负责任务定义和动作规划，低层级负责实时运动控制。



图表 15 机器人控制框架



资料来源：韩峰涛专栏，高工机器人产业研究所（GGII）整理

人形机器人采集并处理多种模态数据，执行机构复杂程度远高于工业机器人，对控制器实时算力、集成度要求高。其在运动控制、智能感知、智能决策方面的要求如下：

- 在智能感知方面，人形机器人需要感知周围环境并根据环境变化做出相应的调整，需要控制器具备一定的感知和理解能力，包括对视觉、听觉、触觉等信息的处理和分析，这被称为多模态感知。
- 在智能决策方面，人形机器人需要具备一定的智能水平，包括学习能力、记忆能力、分析能力等，需要控制器具备强大的计算能力和数据处理能力，能够实现机器学习、自然语言处理、情感识别等高级功能，以上被定义为人形机器人的大脑属性。
- 在运动控制方面，行动过程中要同时完成 3D 地图构建、路径规划、多传感器数据采集、采集运算并实现闭环控制等，需要具备高精度的运动控制能力，以保证其动作的准确性和协调性，要求控制器能够快速接收和处理传感器信号，并实时计算出机器人的运动轨迹，从而驱动机器人做出相应的动作，此方面被定义为人形机器人小脑的主要作用。

大脑和小脑在具身智能控制层要实现高速实时协同。

当前主流的大小脑架构主要有两种方案，一种是异构，通过 X86 工控机+RTLinux 软实时+开源 EtherCAT 协议栈实现运动控制算法，将英伟达或其他品牌的具身智能 AI 芯片作为大脑实现多模态感知、深度学习和生成式 AI，大小脑之间以网络通讯实现交互，mS 级的网络延迟成为该方案的主要瓶颈。



另一类方案是只使用具身智能芯片将实时操作系统和协议栈直接作用于芯片的 CPU 部分，而 GPU 部分负责多模态生成式 AI，因此 CPU 被赋予小脑的角色，GPU 则为大脑，两者间通过基于实时操作系统上运行的多进程和多线程实现交互，大小脑的协同延迟降低为 nS 级别，为融合一体化开发和部署提供了更好的灵活性和实时性。

图表 16 具身智能控制层架构



资料来源：国讯芯微，高工机器人产业研究所（GGII）整理

实时机器人控制系统主要包含控制硬件、实时操作系统、实时主站和控制软件。

其中控制硬件是提供整个控制系统的通信和计算的载体；实时主站是基于 RTOS（实时操作系统）实现的一套满足实时性要求的 EtherCAT 主站协议栈程序，可以完成所有的运动关节和传感器的实时控制和采集，是人形控制系统的核心。

同时多主站可以让不同关节运动分组进行轨迹规划，让更多 CPU 参与并行正逆解计算，有效解决单一 CPU 浮点运算能力始终不足，以及需要更漫长的控制周期问题，多任务的 APP 是一套多线程的运行框架，能够将不同的算法封装到不同的 APP 中，以不同的周期在多核异构的 CPU 上实时运行，并且可以交换数据，同时它也是算法、软件开发的通用平台。



图表 17 主要实时操作系统代表厂商及产品

| 实时操作系统         | 所属公司      | 知识产权归属 | 是否授权           | 实时属性 | 最小抖动<br>(数据越小越好) | 最大抖动<br>(数据越小越好) |
|----------------|-----------|--------|----------------|------|------------------|------------------|
| VxWorks        | 美国风河      | 美国     | SDK 费用 License | 硬实时  | 2uS              | 35uS             |
| NECRO          | 国讯芯微      | 中国     | 免费             | 硬实时  | 0.1uS            | 7uS              |
| Windows Intime | 微软        | 美国     | SDK 费用 License | 硬实时  | 2uS              | 35uS             |
| Linux RT       | Github 微软 | 美国     | 开源 GPL3        | 软实时  | 10uS             | 200uS            |

资料来源：公开资料，高工机器人产业研究所（GGII）整理

人形机器人控制器通常由本体企业自主研发，控制器的优劣某种程度上可以反映出厂商核心竞争力的高低，一方面人形机器人控制器搭载了很多核心的软件算法，这些软件算法属于产品的核心竞争力；另一方面，人形机器人具有高度复杂的结构和功能需求，且每个人形机器人项目在设计、性能和应用方面都有其独特之处，一般通用控制器很难满足这些特定需求。

图表 18 全球主要人形机器人的控制解决方案

| 产品        | 控制解决方案   |
|-----------|--|
| 本田 ASIMO  | 控制计算机放置在躯体里，由四个运行着 VxWorks 实时操作系统的处理器构成，分别控制手、腿、关节、视觉，与输入输出控制板之间通过总线连接。          |
| 波士顿 Atlas | 使用集成 IMU、联合位置和力传感器来控制自身的肢体动作。模型预测控制器（MPC）使用机器人动力学模型来预测机器人未来的动作，优化行为，随时间推移产生最佳动作。 |
| 欧洲 ICUB   | 动作指定并非基于系统本身，而是远端控制，使用名为 ARCHER 的学习型算法体系。用一台相机捕获并处理标的图像，对失败的尝试分析，并找出最佳的射击角度、轨迹等。 |
| 法国 ROMEO  | 在基于 LPPA 所制作的控制图表功能上，提出了中心控制，架构，可以获得高质量的被动步态模式。                                  |
| 软银 Pepper | 支持通过 Wi-Fi 接入云端服务器，这能够令其表现和各类识别系统更加智能。为了扩展其应用实现，厂商也公开发布了 SDK，开发者可个性化设定。          |



|                           |   |
|---------------------------|---|
| <p><b>软银 Nao</b></p>      | <p>使用网线或 WIFI 连接 NAO 与电脑，并通过 Mitek 智慧大脑软件控制。一个 CPU 位于头部，运行一个 Linux 内核，并支持厂商自行研制的专有中间件（NAOqi）。第二个 CPU，位于机器人躯干内。</p>  |
| <p><b>特斯拉 Optimus</b></p> | <p>特斯拉采用与 Autopilot 相同的算法框架，通过自动标注 (Auto Labeling)、仿真 (Simulation) 和数据引擎 (Data Engine) 形成训练数据用以训练 Optimus 的神经网络，使特斯拉人形机器人能够做到损伤控制、感知周围环境、自主规划行动路径、直立行走并保持相对平衡等功能。</p> |

资料来源：企业官网，高工机器人产业研究所（GGII）整理

其中特斯拉 Optimus 使用自研的 HW3.0AI 芯片模组，同样实现了基于实时操作系统在 CPU 小脑上的运动控制和 GPU 大脑上的具身智能，是目前人形机器人控制系统架构中走在前列的。

随着国内企业加速布局，国内产品已经能够满足各种复杂运动控制需求，并且在精度、稳定性和可靠性等方面达到了较高的水平。但算法的迭代优化、二次开发需要大量的经验积累以及场景的验证，导致国内外控制器差距主要集中于软件算法。在人形机器人领域，控制器与人形机器人的适配性仍处于持续的验证过程中，国内外控制器厂商处于同一起跑线上，因此，国产控制器有望在人形机器人领域完成软件算法的优化与积累，补齐软件短板。

### 5、传感器

感知是控制和执行的前提，人形机器人可通过传感器实现对外界光、力、声、电等信息的感知，为控制和执行提供实时反馈。感知层的传感器是软件控制和硬件零部件的桥梁，是物理世界与数字世界的接口，是实现具身智能的关键。

人形机器人对感知要求较高，涵盖了视觉、力觉、听觉、触觉等方面。各主要传感器介绍如下：

图表 19 人形机器人主要传感器介绍

| 类型                  | 基本介绍  | 特点   |
|---------------------|---|--|
| <p><b>视觉传感器</b></p> | <p>通过相机硬件和计算机算法，让机器人处理来自现实世界的视觉数据，根据技术路线可分为结构光、ToF、双目/多目视觉、激光扫描等。</p> | <p>通常配备先进的机器视觉系统，结合多模态感知能力和 AI 算法，以实现环境感知、目标追踪、导航规划、人机交互等功能。</p> |
| <p><b>听觉传感器</b></p> | <p>人形机器人的听觉传感器主要为麦</p>  | <p>模拟人类听觉功能，用于接收和识别声音信</p>                                       |



|                     |  |  |
|---------------------|--|--|
|                     | <p>克风，包括声音接收器、信号处理器和音频处理软件等部分。</p>   | <p>号，进而实现语音识别、语音合成、声源定位等功能。</p>  |
| <p><b>力传感器</b></p>  | <p>人形机器人的力传感器主要为力矩传感器，其可以在各种旋转或非旋转机械部件上对扭转力矩感知进行检测，将扭力的物理变化转化为精确电信号的一种传感器。</p> | <p>力传感器主要作用为感知并度量力，应用于人形机器人关节部位，其中六维力传感器是维度最高的力矩传感器，能给出最为全面的力觉信息，力传感器领域的高价值品类。</p> |
| <p><b>运动传感器</b></p> | <p>人形机器人运动传感器主要为惯性传感器（IMU），人形机器人位移姿态检测和稳定性控制主要依赖于MEMS IMU。</p>                 | <p>通过采集角速度与加速度等惯性信息可以用于推算人形机器人的实时位置与运动轨迹。同时，它可以与机器人搭载的多传感器融合，在数据类型和数据频率间实现互补。</p>  |
| <p><b>触觉传感器</b></p> | <p>大多被排列成矩阵组成阵列触觉传感器，空间分辨率可达毫米级，接近人类的皮肤，因而被称为“电子皮肤”。</p>                       | <p>可覆盖于人形机器人三维载体表面，实现与环境接触力、温度、湿度、震动、材质、软硬等特性的检测，是人形机器人实现类人触觉的关键。</p>              |

资料来源：公开资料，高工机器人产业研究所（GGII）整理

**视觉传感器方面：**我国机器视觉行业相对于国际机器视觉市场发展较晚，在高端视觉传感器方面落后于欧美日本等国家，但在中国传统制造业自动化与数字化转型升级的驱动以及在中国机器视觉技术不断更新迭代的背景下，中国本土厂商占据的市场份额持续提升，出现了海康机器人、奥比中光、舜宇、梅卡曼德、博升光电、安思疆、中科融合等一批产业链优秀厂商，且奥比中光、舜宇、安思疆等企业的视觉传感器已在商用服务机器人领域实现大批量应用。

**听觉传感器方面：**听觉传感器相关技术已较为成熟，广泛应用于各类电子产品中，实现语音识别、环境噪音检测等功能，国内听觉传感器产业发展已相对成熟，可满足人形机器人领域对听觉传感器的需求。

**六维力传感器：**近年来入局者逐年增加，但受限于该领域的高技术壁垒，真正具备批量化产品供应能力的厂商依然偏少，其中坤维科技、鑫精诚传感器、宇立仪器、蓝点触控、神源生等厂商已具备批量化生产能力。

**惯性传感器方面：**根螺仪的偏零稳定性可将 MEMS IMU 分为消费级 ( $>15^\circ/h$ )、战术级



0.15-15° /h)、导航级(0.01-0.15° /h)、战略级(<0.01/h)，其中战术级可满足人形机器人对姿态控制的要求，而国内战术级达到1° h以内的精度基本依赖于海外进口。由于高性能MEME IMU在芯片设计及工艺方案、ASIC芯片设计、封装、测试等各个环节均存在较高的技术要求。目前，国内仅芯动联科等少数厂商可以实现高性能MEMS IMU批量化生产。

**柔性触觉传感器方面：**限于批量化生产技术的限制，柔性触觉传感器/电子皮肤仍处于起步阶段，且国内厂商柔性触觉传感器产品性能与国外存在一定差距，主要应用在消费电子领域，在人形机器人领域的应用处于验证阶段。代表厂商如帕西尼亦推出了多维触觉传感器、消费级触觉传感器、触觉灵巧手等相关产品。

**位置和角度传感器方面：**位置和角度传感器（如编码器、光电传感器等）用于测量机器人关节和执行器的相对或绝对位置和角度。这些传感器为运动控制提供关键信息，确保机器人执行准确的运动轨迹，这类型的传感器目前以进口为主。

**足底压力传感器方面：**足底压力传感器用于测量机器人在行走过程中足底与地面之间的压力分布。这些传感器有助于改善机器人的步态控制和平衡保持，同时可以用于检测地面特性，如摩擦系数和地形变化等。

**麦克风和语音传感器方面：**麦克风和语音传感器用于捕捉周围环境的语音，包括人类的语音。这些传感器使得机器人能够通过语音识别技术理解人类的指令，实现与人类的自然交互。

**气味传感器方面：**气味传感器使机器人能够检测空气中的气体成分，如有毒气体或可燃气体等。这些传感器在特定应用场景中具有重要作用，如环境监测和灾害救援等。

**皮肤传感器方面：**皮肤传感器模拟人类皮肤的触觉感知功能，可以检测表面的纹理、温度和压力等信息。这些传感器有助于实现更自然的人机交互和提高机器人执行任务时的感知能力。代表厂商有中国台湾原见精机，其较早开展了电感式安全皮肤的产品化；越疆科技在国内首推了基于安全皮肤的非接触式碰撞检测技术，推出了非接触式安全皮肤。

人形机器人的环境感知方案或可类比智能汽车，环境感知是对于环境的场景理解能力，例如障碍物的类型、道路标志及标线、行车车辆的检测、交通信息等数据的语言分类。环境感知需要通过传感器获取大量的周围环境信息，确保对车辆周围环境的正确理解，并基于此做出相应的规划和决策。

同样地，人形机器人也需要感知系统判断周遭环境。由于各类环境感知传感器在感知性能上各有优劣，大部分企业会采用混合方案。



图表 20 人形机器人四种环境感知传感器比较

| 性能         | 摄像头  | 毫米波雷达              | 激光雷达           | 超声波雷达    |
|------------|--|--------------------|----------------|----------|
| 测距/测速      | 可实现测距，但精度较低                                    | 纵向精度高，横向精度低        | 高精度            | 高精度      |
| 感知距离       | 几十米  | 可达 200 米以上         | 可达 200 米以上     | 一般 2 米以内 |
| 行人、物体识别    | 通过 AI 算法识别，但难以识别非标准障碍物                         | 难以识别               | 3D 建模，易识别      | 可识别      |
| 路标识别       | 可识别  | 无法识别               | 无法识别           | 无法识别     |
| 恶劣天气       | 易受影响   | 不受影响               | 易受影响           | 不受影响     |
| 温度稳定性      | 高  | 高                  | 高              | 低        |
| 运行速度测量能力   | 弱  | 强                  | 强              | 一般       |
| 光照         | 除夜视红外都影响                                       | 不受影响               | 不受影响           | 不受影响     |
| 算法技术成熟度    | 高  | 较高                 | 一般             | 高        |
| 成本         | 一般   | 较高                 | 高              | 低        |
| 自动驾驶主要应用场景 | 车道偏离预警、车道保持系统、盲区监测系统、前车防撞预警、交通标志识别、交通信号识别、全景泊车 | 自适应巡航控制系统、自动刹车辅助系统 | 实施建立车辆周边环境三维模型 | 泊车辅助     |

资料来源：公开资料、高工机器人产业研究所（GGII）整理

人形机器人感知方案或如同自动驾驶，分为纯视觉感知与激光雷达两大路线。纯视觉感知路线以机器视觉为核心，利用摄像头实现自动驾驶，其优势为成本低且符合人眼逻辑，在数据积累达到一定规模后能够超越激光雷达方案的表现，但在恶劣环境下，摄像头完成感知任务的难度也会随之提升。

激光雷达方案可以在现有技术条件下实现快速 3D 建模，比较精准的还原路况信息，形成计算机可以快速识别、快速处理、快速应对的方案，目前的痛点在于成本高昂、且对芯片算力需求大。

特斯拉凭借自身的算法能力、数据储备等优势，采取基于摄像头的视觉方案；而其他企业通常选择基于激光雷达的技术方案。因此在人形机器人方面，特斯拉可能会坚持纯视觉路线，随着各类传感器技术持续提升，产业链逐步成熟以及成本逐渐降低，未来多传感融合的



混合方案或将成为主流方案。

图表 21 纯视觉与激光雷达方案比较

|    | 纯视觉方案   | 激光雷达方案  | 混合方案  |
|----|---|---|---|
| 优势 | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 成本低</li> <li>■ 技术成熟度高</li> <li>■ 产业链成熟度高</li> <li>■ 符合人眼逻辑</li> </ul>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 识别率高</li> <li>■ 环境适应力强</li> <li>■ 产业链成熟度高</li> </ul>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 结合前两者技术优势</li> </ul>                             |
| 劣势 | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 易受天气影响</li> <li>■ 易受光照影响</li> <li>■ 算力需求较高</li> <li>■ 需要大量图像训练集</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 易受天气影响</li> <li>■ 成本高</li> <li>■ 工艺复杂</li> <li>■ 技术成熟度低</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 成本高</li> <li>■ 供应链复杂</li> <li>■ 技术门槛高</li> </ul> |

资料来源：公开资料、高工机器人产业研究所（GGII）整理

## 6、动力电池

动力电池为人形机器人提供所需的能量，对机器人的性能、续航能力、安全性以及成本等方面具有重要影响。具体功能和作用如下：

- **能量供应：**动力电池为人形机器人提供电能，驱动机器人的电机、执行器、传感器和其他电子设备。在很大程度上，动力电池的性能决定了机器人的运行时间、工作效率和整体性能。
- **续航能力：**电池的容量和能量密度直接影响人形机器人的续航能力。高能量密度的电池可以在不增加机器人重量的情况下提供更长的工作时间，从而提高机器人的实用性和应用范围。
- **动力性能：**动力电池需要为人形机器人提供足够的输出功率，以确保电机和执行器能够在需要的时候快速响应。高输出功率的电池可以提高机器人的动力性能，使其在执行任务时更为迅速和高效。
- **系统稳定性：**电池作为人形机器人的能源系统，其稳定性对整个机器人系统的运行至关重要。高品质的动力电池能确保在各种工作条件下提供稳定的电压和电流，降低故障风险。
- **安全性：**动力电池的安全性对人形机器人的使用至关重要。良好的热管理和防爆保护设计可以降低因电池故障导致的安全隐患，保证人形机器人在各种环境下安全运





机器人软件发展有望缩小与国际先进水平的差距。

## 1、算法

算法是人形机器人运作的核心，其与硬件搭配，决定并赋能人形机器人的行为和功能，涉及运动控制、感知、决策等多个领域，包含运动控制算法、智能决策算法、机器视觉算法、语音交互算法等，其中智能决策算法可以类比成大脑的认知能力，认知能力会随着算法训练层次提高而增长，相比感知、控制算法具备较高的发展上限。目前多数人形机器人本体企业都具备算法开发能力，在软件框架的基础上，通过开发、集成各类算法，以实现人形机器人智能运转。人形机器人对算法的要求如下：

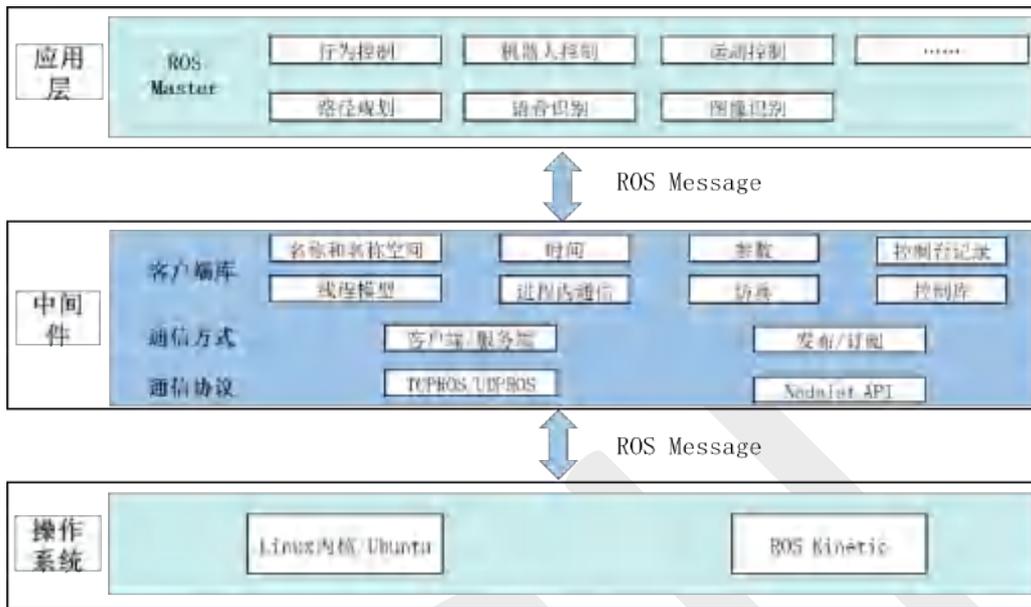
- **实时性**：人形机器人的动作和行为需要实时响应，要求算法能够快速处理信息并做出反应。
- **稳定性**：人形机器人通常在动态和不确定的环境中工作，要求算法稳定可靠，能够应对各种突发情况。
- **高算力**：人形机器人通常需要处理大量的数据和信息，需要算法具备高算力，能够快速处理海量数据和信息。
- **可扩展性**：随着技术的不断进步，人形机器人的功能和性能可能会得到不断提升。因此，需要算法运行的环境必须具备可扩展性，能够适应未来的发展和变化。
- **安全性**：人形机器人的行为和动作必须安全可靠，避免对人类或其他物体造成伤害。因此，算法运行的环境必须具备安全性，能够保证机器人的行为和动作符合预设的规范和条件。
- **易维护性**：人形机器人的维护和管理需要方便快捷，要求算法运行的环境必须具备良好的可维护性，方便对机器人进行调试、更新和升级等操作。

## 2、软件

软件是人形机器人算法的载体，其研发通常依托于机器人软件框架进行二次开发。软件框架为人形机器人软件开发提供了组织结构和基础工具，使得开发者能够更高效地构建、开发和维护软件系统，其决定了软件开发效率和后续功能的实现程度。现有软件框架包括 Player/stage、OROCOS、ROS、YARP、OPRoS 等，其中 ROS（Robot Operating System，机器人操作系统）当下常用的软件框架，ROS 是一种具有分布式架构的机器人软件框架，它通过使用基于 TCP/IP 的通信方式，实现了模块间点对点的松耦合连接，具有点对点设计、多语言支持、架构精简与集成度高、组件化工具包丰富等特点。



图表 23 ROS 框架下人形机器人整体软件架构



资料来源：公开资料，高工机器人产业研究所（GGII）整理

### 3、AI 大模型

目前大模型技术已从单纯的大语言模型（LLM）发展到图像-语言多模态模型（VLM）乃至图像-语言-动作多模态模型（VLA），其中图像-语言-动作多模态模型（VLA）的推出，实现了数据与处理任务的跃升。从文本到图像再到现实世界，大模型的数据模态逐渐丰富，数据规模的数量级迅速增长，大模型的应用场景和价值量也成比例扩张。

在人形机器人领域，AI 大模型将会从感知（语音、视觉）、决策、控制等多方面与人形机器人结合，形成感知、决策、控制闭环，提升机器人的智能水平。

- 在感知方面，视觉大模型赋能人形机器人识别更精确，场景更通用；
- 在决策方面，通过多模态统一建模，使得机器人能综合视觉、语音、文本多维度信息，实现各感官融合决策能力的提升；
- 在控制方面，在生成式 AI 的推动下，机器人编程的门槛将会慢慢降低，最终实现自我编程、自我控制。

通过人形机器人的泛化能力与思维链能力，已经成为人形机器人产业的发展趋势，国外微软、谷歌、英伟达等企业大模型在人形机器人领域的应用已取得一定进展，国内尽管发布了百度文心一言、华为盘古、复旦 MOSS、科大讯飞星火、阿里云通义、字节跳动云雀等众多大模型，但与人形机器人的集合仍在初步探索阶段。

未来人形机器人方向将会是感知-决策-控制一体化的端到端通用大模型，集合大规模数据集管理、云边端一体计算架构、多模态感知与环境建模等技术。



图表 24 大模型在机器人领域研究与应用案例

| 大模型产品                             | 大模型介绍  |
|-----------------------------------|--|
| 微软 ChatGPT                        | 在机器人领域的应用主要体现在两个方面：自然语言交互和自动化决策。在自然语言方面，机器人可以通过 ChatGPT 来理解人类的自然语言指令，并根据指令进行相应的动作；在自动化决策方面，机器人可以通过 ChatGPT 来生成任务方案，根据任务要求做出相应的决策。          |
| 柏林工业大学和 Google Robotics 团队 PaLM-E | 是最大的多模态视觉语言模型，在 PaLM 模型基础上，引入了具身化和多模态概念，实现了指导现实世界机器人完成相应任务的功能。   |
| 谷歌 RT-2                           | 全球第一个控制机器人的视觉-语言-动作（Vision-Language-Action, VLA）模型，通过将 VLM 预训练与机器人数据相结合，能够端到端直接输出机器人的控制。   |
| 斯坦福大学李飞飞团队 VoxPoser               | 智能系统 VoxPose 可以从大模型 LLM 和视觉语言模型 VLM 中提取可行性和约束，以构建 3D 仿真环境中的值地图，供运动规划器使用，用于零样本本地合成机器人操纵任务的轨迹，从而在真实世界中的零样本机器人操纵。                             |
| Meta 和 CMU 团队 RoboAgent           | 采用了大规模机器人数据集进行训练，考虑到机器人在现实世界中的训练和部署效率问题，Meta 将数据集限制到了 7500 个操作轨迹中，并基于此让 RoboAgent 实现了 12 种不同的复杂技能，包括烘焙、拾取物品、上茶、清洁厨房等任务，并能在 100 种未知场景中泛化应用。 |
| 英伟达 Eureka                        | 该系统以 OpenAI 的 GPT-4 为基础，本质是一种由大模型驱动算法生成工具，能训练实体机器人执行例如“转笔”、“开抽屉”、“拿剪刀”、“双手互传球”等多种复杂动作。   |
| 英伟达 GROOT                         | 目标是成为人形机器人通用大模型，旨在让人形机器人理解自然语言文本、语音、视频，以模仿人类运动，并与现实世界互动。   |
| 阿里云机器人大模型                         | 方案集成了通义千问、通义万相等基础模型及阿里云物联网平台，可赋予机器人知识库问答、工艺流程代码生成、机械臂轨迹规划、3D 目标检测和动态环境理解等全方位能力，不仅可以大幅降低机器人开发的门槛，还让机器人轻松完成灵活性更高的非标任务，推动机器人在更广泛的应用场景落地。      |
| 华为盘古大模型                           | “盘古”大模型具备强大的语义理解、动态规划、多模态信号理解等能力，将为人形机器人大模型的开发提供智能化决策基础。依托盘古大模型的数据处理能力，可建立丰富且高质量的人形机器人数据集，并且充  |



分发挥盘古大模型的多模态能力，实现复杂任务场景下综合感知和任务分解，提升各类泛化场景下的具身智能操作水平。

资料来源：公开资料，高工机器人产业研究所（GGII）整理

### 三、关节执行器

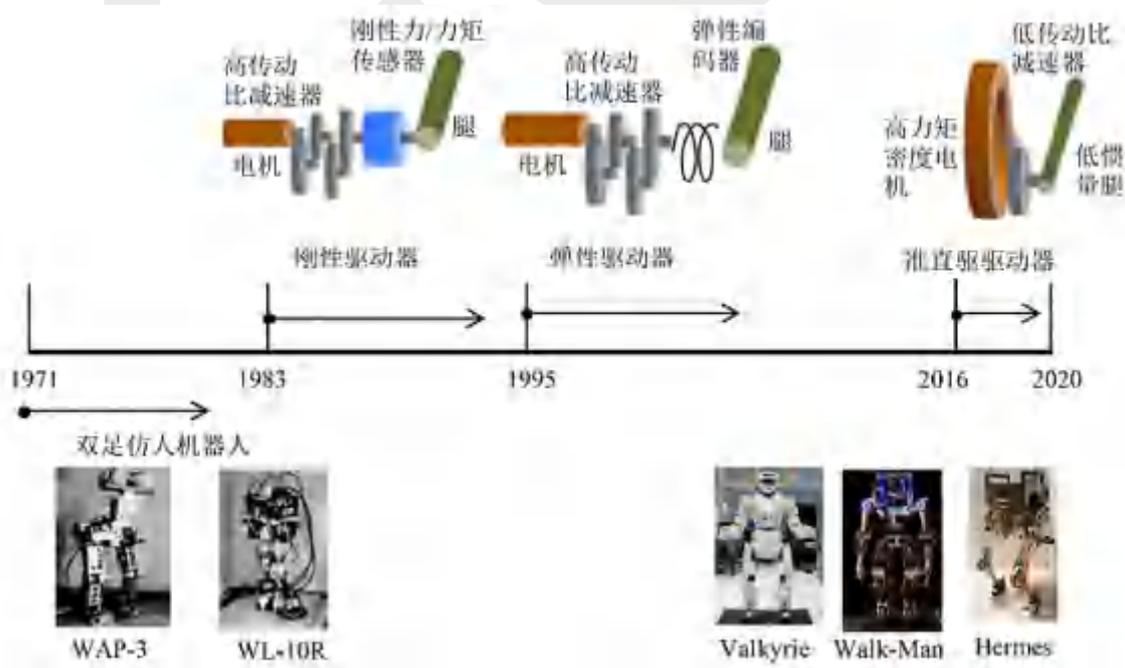
关节执行器（Actuators，简称为执行器）即机器人一体化关节，是影响机器人硬件成本和运动性能的关键部分。关节执行器是驱动机器人执行机构（手臂、腿部等）运动的组件，安装在机器人关节处，通过将电机的旋转运动转化为驱动连杆机构运动，又被称为（关节）驱动器或关节模组。

执行器主要由多种零部件组成，包括电机（驱动装置）、减速器（传动装置）、编码器（传感装置）、伺服驱动和控制软件（控制装置）等。

按照运动类型，执行器可分为旋转执行器（Rotary Actuator）、线性执行器（Linear Actuator）。两者区别在于，线性执行器是将旋转运动转换为直线运动输出，而旋转执行器则是输出旋转运动。从各家人形机器人厂商的执行器方案看，大部分厂商均以旋转执行器为主，少数厂商会采用线性执行器，如特斯拉。

从驱动器发展历程来看，驱动器经历了从刚性驱动器到弹性驱动器和准直驱驱动器的发展变化，准直驱驱动器已逐渐成为近几年机器人行业研究的热点。

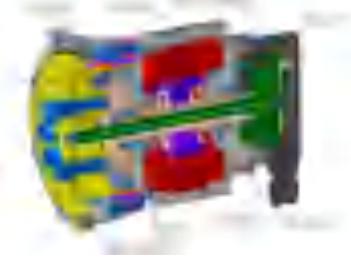
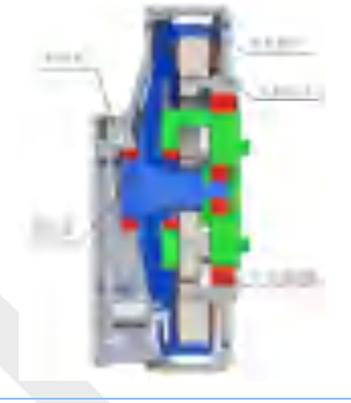
图表 25 人形机器人驱动器（执行器）类型和发展历史



资料来源：《国内外双足人形机器人驱动器研究综述》（丁宏钰等），GGII 整理



图表 26 三种高性能机器人驱动器（执行器）方案特性比较

| 类型      | 刚性驱动器（TSA）  | 弹性驱动器（SEA）  | 准直驱驱动器（PA/QDD）  |
|---------|---|---|---|
| 结构配置    | 无刷电机+高传动比减速器（谐波）<br>+高刚性力矩传感器   | 无刷电机+高传动比减速器（谐波）<br>+弹性体  | 高扭矩密度电机（无框力矩电机）+低<br>传动比减速器（行星）   |
| 图示      |    |   |    |
| 传感器方案   | 双位置传感器（编码器）   | 三个位置传感器（编码器）  | 一个位置传感器（编码器）  |
| 力矩测量方式  | 应变片原理或电流  | 编码器或应变片原理   | 电流环   |
| 控制特点    | 简单、精度高  | 复杂、精度低，机器人整机的运动<br>控制比较难实现  | 简单、精度一般   |
| 功率特点    | 无功率调制   | 功率调制好   | 无功率调制   |
| 扭矩密度    | 高   | 高   | 较低  |
| 外部冲击减缓性 | 差   | 好   | 好   |
| 机械复杂性   | 复杂  | 复杂  | 简单  |
| 能量效率    | 效率低   | 功率一般  | 效率高   |
| 安全性     | 差   | 好   | 好   |
| 技术成熟度   | 相对完善成熟  | 主流研究中   | 发展崛起中   |
| 性能优势    | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 力测量精度高，双通道可解扭矩和弯矩的耦合；</li> <li>✓ 本体刚度高，测量力通频带宽；</li> <li>✓ 高频响应，技术成熟，输出能力强。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 力测量精度较高，无温漂、零漂等问题，无需频繁标定；</li> <li>✓ 生产效率高；</li> <li>✓ 柔性抗外界冲击性能强且能够储能，输出能力强。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 关节结构简洁，硬件可靠性高；</li> <li>✓ 本体刚度高，测量力通频带宽；</li> <li>✓ 实现成本低，能耗低；</li> <li>✓ 高频响应，可做到高精度控制，抗冲击能力强。</li> </ul> |
| 性能缺陷    | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 存在温漂、零漂，实际使用中需频繁标定，动态物理交互性能</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>在本体高刚度、测量高精度和实现低成本这三个维度很难取得平衡。</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 力测量精度低，串联复杂减速箱传动环节，静摩擦力建模难</li> </ul>  |



|             |   |                          |  |
|-------------|---|--------------------------|--|
|             | 较差；<br>✓ 关节结构复杂，硬件可靠性低（如谐波减速器容易受冲击损坏），生产工艺复杂；<br>✓ 实现成本高。 | 一般刚度较小，高频力矩响应性能较弱，通频带较窄。 | 度高，在高减速比关节中测量微小扭矩不灵敏；<br>✓ 小减速比减速器，能量输出密度不足。   |
| <b>成本</b>   | 高   | 高                        | 低  |
| <b>应用场景</b> | 传统双足机器人、工业机器人、协作机器人、精密转台                                  | 协作机器人、四足机器人、人形机器人        | 四足机器人、人形机器人                                    |
| <b>代表案例</b> | 特斯拉 Optimus   | 美国宇航局 Valkyrie           | 智元远征 A1、IX Technologies 的 EVE、小米的 CyberDog 系列等 |

资料来源：知乎专栏《机器人力控制》《对于腿足式机器人三类主流关节驱动器性能的对比讨论》（任贇宇），《国内外双足人形机器人驱动器研究综述》（丁宏钰等），《基于准直驱电机的足式机器人系统设计及运动控制研究》（张宇），INNFOS 机器人，《A Low Cost Modular Actuator for Dynamic Robots》（Benjamin G. Katz），华宝证券研究创新部，GGII 整理

基于成本、技术性能与软硬件耦合等多方面的考量，各家人形机器人厂商在驱动器部件选用细节上存在一定的差异。从代表厂商披露的执行器方案来看，主要以刚性驱动器（TSA）方案和准直驱驱动器（PA/QDD）方案为主。

图表 27 主要人形机器人厂商执行器方案

| 公司  | 型号           | 核心零部件方案 |         |     |       |       | 执行器类型 |            | 灵巧手关节方案    |
|-----|--------------|---------|---------|-----|-------|-------|-------|------------|------------|
|     |              | 电机      | 伺服驱动    | 编码器 | 力矩传感器 | 减速方案  | 旋转/直线 | TSA/SEA/PA |            |
| 优必选 | WalkerX      | 无框力矩电机  | 有       | 2个  | 有     | 谐波    | 旋转    | TSA        | /          |
| 智元  | 远征 A1        | /       | 矢量控制驱动器 | 2个  | /     | 行星    | /     | PA         | /          |
| 达闼  | 小紫 XR-4(双足)  | 无框力矩电机  | /       | 2个  | 选配    | 行星    | 旋转    | PA         | 空心杯电机+齿轮传动 |
| 宇树  | Unitree H1   | 无框力矩电机  | 有       | 2个  | /     | 行星    | 旋转    | PA         | /          |
| 小米  | Cyberone(铁大) | 无框力矩电机  | 有       | 1个  | 无     | 行星    | 旋转    | PA         | /          |
| 傅利叶 | Fourier GR-1 | /       | 有       | 有   | 无     | /     | 旋转    | /          | /          |
| 小鹏  | PX5          | /       | 有       | 有   | /     | 谐波+行星 | /     | TSA、PA     | 空心杯电机+连    |



|                     |         |               |   |                               |   |                      |           |     |                                      |
|---------------------|---------|---------------|---|-------------------------------|---|----------------------|-----------|-----|--------------------------------------|
|                     |         |               |   |                               |   |                      |           |     | 杆                                    |
| 开普勒                 | 先行者 K1  | /             | 有 | 有                             | / | 谐波+行星<br>+行星滚柱<br>丝杠 | 旋转+直<br>线 | /   | /                                    |
| 特斯拉                 | Optimus | 无框力矩电<br>机    | 有 | 旋转关<br>节 2 个+<br>直线关<br>节 1 个 | 有 | 谐波+行星<br>滚柱丝杠        | 旋转+直<br>线 | TSA | 空心杯电机+行<br>星精密齿轮箱+<br>位置传感器+全<br>属腱绳 |
| lx<br>Technologies  | EVE     | 直驱电机          | / | /                             | / | /                    | /         | PA  | /                                    |
| Agility<br>Robotics | Digit   | 有刷/无刷<br>直流电机 | / | /                             | / | 谐波/摆线<br>针轮          | /         | SEA | /                                    |

资料来源：企业官网，公开资料，华宝证券研究创新部，GGII 整理



## 第二节 人形机器人本体发展分析

人形机器人本体设计、制造与集成是产业链的核心环节，是人形机器人产业化、商业化的关键。当前，人形机器人本体行业处于产业化发展前期，行业对于人形机器人本体的战略意义已有共识，但其大规模商业化落地的路径仍未真正走通，人形机器人本体行业仍处于探索阶段，从零部件的选用、软件系统的开发、本体的设计到场景的聚焦，各类人形机器人方案不断地迭代、创新，人形机器人产业“0-1”拐点有望提前到来。

人形机器人本体发展面临的主要困境包括：技术基础有待增强、制造成本需要大幅降低、算力需求大、通用场景验证等，对于人形机器人行业来说，只有解决上述发展困境，人形机器人行业才有望从实验科研场景走上商业化场景。

当前，市场人形机器人本体玩家，根据其原有属性大致可分为专业机器人企业、新能源汽车企业、互联网企业和科研院所及孵化企业四类，各类型人形机器人代表企业如下：

图表 28 各类型人形机器人厂商代表企业

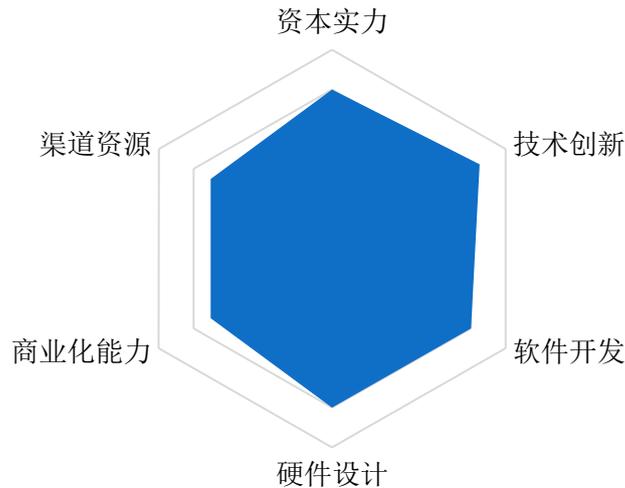
| 资深玩家            | 初创企业      | 跨界玩家 | 科技 AI 企业 | 原生机器人厂商 |
|-----------------|-----------|------|----------|---------|
| 优必选             | 傅利叶智能     | 小鹏汽车 | 科大讯飞     | 遨博智能    |
| 波士顿动力           | 智元机器人     | 特斯拉  | 达闼机器人    | 埃斯顿酷卓   |
| 乐聚机器人           | 宇树科技      | 追觅   |          | 福德机器人   |
| 钢铁侠科技           | 戴盟机器人     | 小米   |          | 天太机器人   |
| 伟景机器人           | 逐际动力      | 戴森   |          | 博实股份    |
| Engineered Arts | 银河通用机器人   | 三星   |          |         |
|                 | 开普勒机器人    |      |          |         |
|                 | 星动纪元      |      |          |         |
|                 | Figure AI |      |          |         |

资料来源：高工机器人产业研究所（GGII）

**资深玩家：**这类企业成立之初便聚焦于机器人领域，在人形机器人领域具备较多的技术积累，拥有专业的研发团队和技术实力，形成了较强的硬件设计能力和软件开发能力。这类厂商深耕人形机器人多年，但由于人形机器人产业化发展仍处于早期阶段，产品尚未实现批量化落地，其下游渠道资源积累有所欠缺，对于其自身资金实力的考验较大。



图表 29 资深玩家企业能力分布



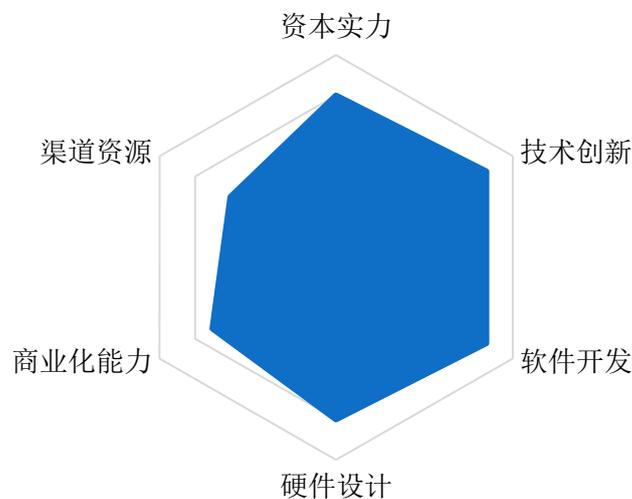
资料来源：高工机器人产业研究所（GGII）

**初创企业：**人形机器人初创型公司主要分为两类：院校及研究所孵化出身和科技巨头企业出身。这类企业属于新生代人形机器人主力军，凭借豪华的团队与突出的技术创新实力，易获得资本的青睐与加持，为自身人形机器人的研发创新及产品落地提供资金支持。

依靠院校或研究所中的科研成果孵化创业，一方面具备一定的专业技术优势，另一方面“新鲜血液”在创新研发上相对更加敢于尝试，敢于质疑以往的传统技术路线及方案。某种程度上来说，有了前人的铺路，初创企业可以借鉴的试错范本更多，减少了走弯路的可能性。

相对而言，技术出身的创始团队在企业的经营管理经验方面积累相对较少，是企业发展存在的短板之一。随着技术创新的持续推进，该类厂商有望通过产品创新来补足自身在渠道和管理方面的短板，从而获得快速成长。

图表 30 初创企业能力分布



资料来源：高工机器人产业研究所（GGII）



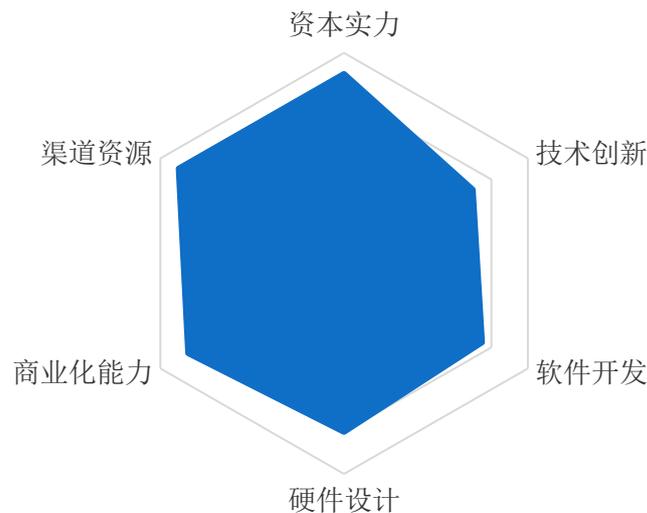
**跨界玩家：**作为机器人产业链下游终端，车企、手机、家电等企业对于机器人本就是刚需。这类跨界玩家研发人形机器人天然自带诸多优势。

以车企为例，一方面，人形机器人研发是一场持久战，需要良性且强大的资金链。若车企发展稳健，则能够为人形机器人研发提供大量且长期稳定的资金，以供技术研发不断试错与改进。另一方面，车企作为机器人产业链的下游终端，自带应用场景。当车企的人形机器人初代产品研发出来，就可以立即在产线中进行测试试用。

除此之外，新能源汽车企业可以将自身在动力系统、视觉感知、智能驾驶等方面的技术优势应用到人形机器人上，提高机器人的综合性能和续航能力。同时，新能源汽车企业具有较强的生产能力和供应链管理能力和终端生产经验，在人形机器人设计研发阶段能够更贴近场景的使用需求，在人形机器人商业化上具有较强优势。

但对于“新势力”以及处于行业波动阶段的造车企业而言，若自身主业发展出现问题，无法保证经营的健康性与可持续性，那么人形机器人将有可能胎死腹中。

**图表 31 跨界玩家企业能力分布**



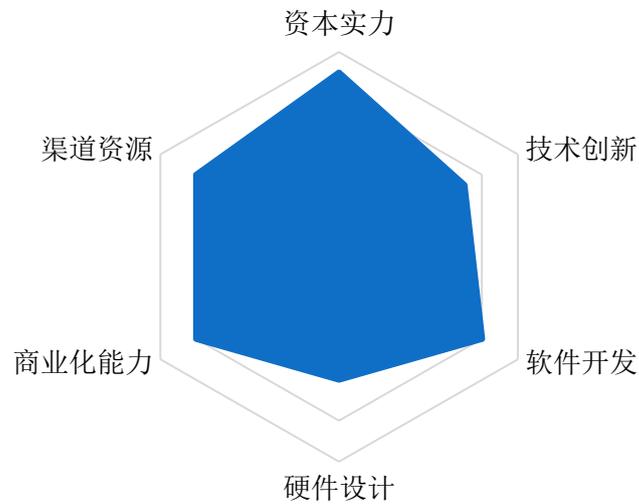
资料来源：高工机器人产业研究所（GGII）

**科技 AI 企业：**科技企业经过多年的发展，具备较强的资本实力和渠道资源。这类企业最显著的优势体现在人形机器人的“智能化”上，“智能”也正是当前人形机器人所欠缺的，以及其落地应用的必备条件。此外，其在数据、算法和算力等方面拥有较多积累，且具备一定人工智能的基础，可以在人形机器人软件开发上形成一定优势。但由于科技企业规模较大，业务线条多，在人形机器人产业发展尚未实现商业化阶段，对人形机器人技术创新上的投入相对有所局限。此外，受限于互联网科技业务本质的影响，缺乏硬件设计与制造的经验，在



人形机器人硬件设计能力上略有不足。

图表 32 AI 企业能力分布

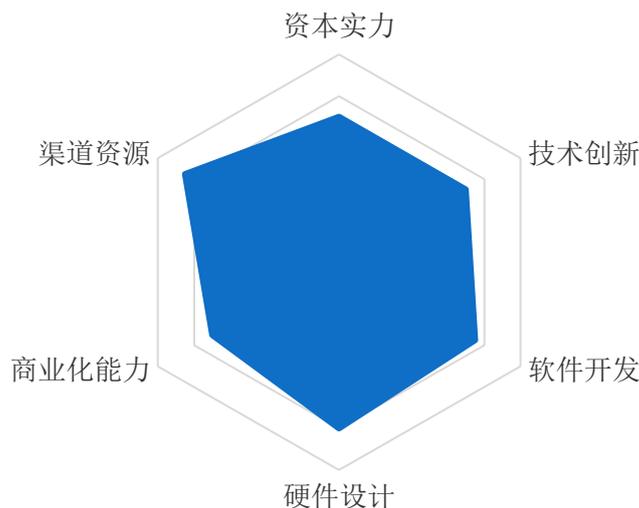


资料来源：高工机器人产业研究所（GGII）

**原生机器人厂商：**“原生”机器人研发派一般具备多年的研发经验，以及成功的实际应用案例，在过往的工业机器人、协作机器人、移动机器人等领域有所建树，在人形机器人研发及应用方面均有可参考及复制的经验。

软件开发与技术创新能力是该类厂商的短板之一，人形机器人对于软硬件的要求相较于过往的机器人都将高出数个等级，这对于原生机器人厂商而言将会是不小的挑战。

图表 33 原生机器人厂商能力分布



资料来源：高工机器人产业研究所（GGII）

当前全球人形机器人市场处于早期阶段，主要集中在日本、美国、欧洲、中国等机器人产业链较为领先的国家和地区；多数产品还处于原型或者概念验证阶段，尚未实现大规模量



产和广泛商业化应用。已实现推出原型机/产品的公司包括日本本田、美国波士顿动力、美国敏捷机器人、中国优必选、中国宇树科技、中国小米和美国特斯拉等。

其中，本田 ASIMO 有 34 个自由度，均为旋转执行器，采用伺服电机+谐波减速器方案，优必选 Walker 有 40 个自由度，采用相似架构；敏捷机器人 Digit Robot 有 20 个自由度，采取伺服电机+谐波减速器/摆线减速器方案，小米 CyberOne 有 21 个自由度，采取相似架构；波士顿动力 Atlas 有 28 个自由度，采用液压驱动方案；特斯拉 Optimus 有 28 个自由度，采用 6 种执行器，旋转执行器为电机+谐波减速器，线性执行器为电机+滚柱丝杠。

图表 34 全球主要人形机器人对比

|       | 本田<br>ASIMO   | 波士顿<br>Atlas  | 敏捷机器人<br>Digit  | 优必选<br>WalkerX   | 小米<br>CyberOne  | 特斯拉<br>Optimus  |
|-------|---|---|---|--|---|---|
| 国家    | 日本  | 美国  | 美国  | 中国   | 中国  | 美国  |
| 自由度   | 58  | 28  | 20  | 41   | 21  | 50  |
| 产业化水平 | 未产业化，<br>停产阶段   | 未商业化  | 商业化早期   | 商业化早期  | 推出一代原<br>型机   | 推出二代原<br>型机   |
| 应用场景  | 展览  | 搜索、救援等<br>特种场景  | 物流、仓库<br>远程控制和<br>工业检测等   | 教育、物流、<br>医疗康养、展<br>览等   | 制造、物<br>流、生活服<br>务等   | 制造、物<br>流、生活服<br>务等   |
| 技术方案  | 旋转电机：伺<br>服电机+谐波<br>减速器   | 液压驱动  | 伺服电机+谐<br>波减速器/摆<br>线减速器  | 旋转电机：伺<br>服电机+谐波<br>减速器  | 伺服电机+<br>谐波减速器<br>/摆线减速<br>器  | 旋转执行器<br>为电机+谐波<br>减速器，线性<br>执行器为电<br>机+滚柱丝杠  |
| 示意图   |  |  |  |  |  |  |

资料来源：各公司官网、高工机器人产业研究所（GGII）

近 10 年，人工智能、传感器等技术的快速发展，越来越多企业进入人形机器人领域，既有跨界巨头，也有新兴创业公司；由于人形机器人涉及的技术种类多且技术难度较大，对资金要求很高，且尚未出现成熟的应用场景，表现为商业化落地难度较大；没有较强的技术



实力和资本实力难以开发出优秀的产品，因此头部企业具有明显的竞争优势。

特斯拉于 2022 年 10 月发布人形机器人 Optimus，马斯克表示将于 3-5 年实现量产，售价不超过 2 万美元；2022 年 11 月，微软发布聊天机器人 OpenAI，具备了丰富的知识和广泛的话题覆盖能力，可以回答问题、撰写文章、参与对话等。能够为人形机器人提供自然语言处理和理解的能力，使人形机器人能够与人类进行流畅的交流和互动。

GGII 认为，跨界巨头的参与和关键技术突破，将为人形机器人带来新的发展机遇。随着科技发展和市场需求的变化，越来越多的跨界巨头开始关注和参与人形机器人行业。这些公司在资金、技术、人才、市场等方面具有显著优势，有能力推动人形机器人技术突破和应用。



## 第二部分 政策篇

### 第三章 人形机器人政策环境分析

#### 第一节 国家政策

##### 一、强化顶层设计，明确发展路径

2015 年以来，国家陆续出台相关智能机器人的产业发展规划，或者在智能制造整体战略方向中重点提出智能机器人板块的发展指引，2021 年国家发布《“十四五”机器人产业发展规划》，2023 年 1 月发布《机器人+应用行动实施方案》，推动机器人产业提升创新能力、增强高端产品供给，优化产业组织结构，从战略上做好顶层设计。

2023 年 11 月工业和信息化部发布《人形机器人创新发展指导意见》，首次将人形机器人上升至国家层面专项行动指导意见层次，人形机器人战略地位上升。意见按照谋划三年、展望五年的时间明确了人形机器人发展的战略部署，并结合关键技术、重点产品和部组件攻关，场景应用拓展，产业生态营造，支撑能力强化等，为我国人形机器人产业的发展指明了方向。

##### 二、制定行业规范，规范产业发展

国家标准委等相关部印发《国家智能制造标准体系建设指南（2021 版）》、《国家新一代人工智能标准体系建设指南》、《国家机器人标准体系建设指南》等文件，引领并加快工业、家用、公共服务等领域机器人标准制定、产品认证或注册，为机器人落地后规范化发展奠定基础。

为进一步规范人形机器人产业发展，前瞻性的布局未来产业标准，2023 年 8 月工业和信息化部等四部门印发《新产业标准化领航工程实施方案（2023—2035 年）》，提出：“研制人形机器人术语、通用本体、整机结构、社会伦理等基础标准。开展人形机器人专用结构零部件、驱动部件、机电系统零部件、控制器、高性能计算芯片及模组、能源供给组件等基础标准预研。研制人形机器人感知系统、定位导航、人机交互、自主决策、集群控制等智能感知决策和控制标准。开展人形机器人运动、操作、交互、智能能力分级分类与性能评估等系统评测标准预研。开展机电系统、人机交互、数据隐私等安全标准预研。面向工业、家庭服务、公共服务、特种作业等场景，开展人形机器人应用标准预研”。

##### 三、开展揭榜挂帅，激发创新活力

2023 年 8 月，工业和信息化部印发《关于组织开展 2023 年未来产业创新任务揭榜挂帅



工作的通知》，指出“面向元宇宙、人形机器人、脑机接口、通用人工智能等4个重点方向，聚焦核心基础、重点产品、公共支撑、示范应用等创新任务，发掘培育一批掌握关键核心技术、具备较强创新能力的优势单位，突破一批标志性技术产品，加速新技术、新产品落地应用”。“揭榜挂帅”制度的发布，旨在激励有能力、有担当的科研创新主体或团队领衔承担关键核心技术攻关等重点任务，进而发现、依托和整合最具优势的创新单元，利用市场竞争来激发创新活力，对攻克人形机器人领域关键核心技术，实现重大科技突破有着战略性意义。

## 第二节 地区政策

2023年以来，人形机器人行业持续升温，在国家相关政策的引导下，北京、上海、深圳等地方政府积极跟进，相继推出了人形机器人发展相关政策，制定了发展路径及相应保障措施，以推动人形机器人产业创新发展，实现产业聚集，抢占人形机器人产业化机遇。

图表 35 北京、上海、深圳人形机器人相关政策

| 发布地区 | 发布时间    | 政策名称                           | 政策内容  |
|------|---------|--------------------------------|---|
| 北京   | 2023年6月 | 《北京市机器人产业创新发展行动方案（2023—2025年）》 | 着眼世界前沿技术和未来战略需求，加紧布局人形机器人，带动医疗健康、协作、特种、物流四类优势机器人产品跃升发展，实施百项机器人新品工程，打造智能驱动、产研一体、开放领先的创新产品体系。对标国际领先人形机器人产品，支持企业和高校院所开展人形机器人整机产品、关键零部件攻关和工程化，加快建设北京市人形机器人产业创新中心，争创国家制造业创新中心。 |
| 北京   | 2023年8月 | 《北京市促进机器人产业创新发展的若干措施》          | 围绕机器人操作系统、高性能专用芯片和伺服电机、减速器、控制器、传感器等关键零部件，以及人工智能、多模态大模型等相关技术，支持企业组建联合体，通过“揭榜挂帅”聚力解决机器人产业短板问题和“卡脖子”技术难题。由机器人骨干企业牵头，整合国内外一流创新资源，组建人形机器人创新中心，开展关键共性技术研究。                      |



|    |          |   |  |
|----|----------|---|--|
| 上海 | 2023年5月  | 《上海市推动制造业高质量发展三年行动计划（2023-2025年）》       | 瞄准人工智能技术前沿，构建通用大模型，面向垂直领域发展产业生态，建设国际算法创新基地，加快人形机器人创新发展。  |
| 上海 | 2023年10月 | 《上海市促进智能机器人产业高质量创新发展行动方案（2023-2025年）》   | 开发通用人形机器人原型机，实现人形机器人面向场景应用的优化迭代，促进类脑智能等前沿技术与机器人融合创新，进一步提高智能水平。依托浦东、宝山、闵行等重点区域结合产业特色，形成3个国家级智能机器人特色产业园区。打造机器人产业三条辐射带，建设浦东、临港全场景机器人辐射带；宝山、嘉定工业机器人及零部件辐射带；闵行、青浦、松江、金山等工业和服务机器人辐射带，推动产业集聚。 |
| 深圳 | 2022年6月  | 《深圳市培育发展智能机器人产业集群行动计划（2022-2025年）》      | 到2025年，我市智能机器人产业增加值达到160亿元，智能机器人关键技术取得重大突破，核心零部件自主可控水平大幅提升。加强人工智能技术与机器人的深度融合，前瞻布局类脑智能、人一机一环境三元融合、多形态自重构、高效仿生驱动、机器人全域感知与数字孪生等前沿技术。  |
| 深圳 | 2023年5月  | 《深圳市加快推动人工智能高质量发展高水平应用行动方案（2023-2024年）》 | 聚焦通用大模型、智能算力芯片、智能传感器、智能机器人、智能网联汽车等领域，实施人工智能科技重大专项扶持计划，重点支持打造基于国内外芯片和算法的开源通用大模型，实施核心技术攻关载体扶持计划，支持科研机构与企业共建5家以上人工智能联合实验室，加快组建广东省人形机器人制造业创新中心。发挥粤港澳大湾区制造业优势，开展人形机器人规模化应用。                 |

资料来源：公开资料，高工机器人产业研究所（GGII）整理



## 第三部分 区域篇

### 第四章 国内重点城市人形机器人产业发展分析

#### 第一节 北京市

##### 一、产业发展现状

北京机器人产业起步早，创新资源集中，在医疗、服务、物流、特种等机器人应用场景已形成市场领先优势，形成北部产业结合示范区、南部机器人产用结合集聚区机器人产业空间布局，并以中关村科学城为创新引领，北京经济技术开发区为重点，房山、顺义、大兴、门头沟等区为特色集聚区的智能机器人产业格局。

图表 36 北京智能机器人产业空间布局

| 地区   | 定位         | 布局情况  |
|------|------------|---|
| 北部地区 | 产研结合示范区    | 1、海淀区以机器人原创和前沿技术创新为导向，打造国际领先的企业孵化和创新创业生态；<br>2、昌平区以承接中关村机器人创新成果转化为导向，引入机器人科技型中小企业和独角兽企业，优化机器人创新成果转移转化生态。                  |
| 南部地区 | 机器人产用结合集聚区 | 1、支持北京经济技术开发区以机器人全产业链布局为导向，引入国际一流的机器人优质企业，重点承载全市重大产业化项目，打造机器人产业综合集聚区；<br>2、发挥特色产业集聚优势，支持丰台等区聚焦特种机器人等领域，建设细分行业机器人产用结合特色园区。 |

资料来源：北京市政府，高工机器人产业研究所（GGII）整理

在人形机器人方面，北京已聚集因时机器人、智同科技等核心零部件企业，小米、银河通用机器人、星动纪元、加速进化、钢铁侠等本体企业，并积极探索以 3C 电子制造、新能源汽车生产、安防应急等典型场景应用示范为牵引，通过“揭榜挂帅”等方式支持产业链上下游企业联合开展产品攻关和产线建设，推进人形机器人产业链自主化进程。

##### 二、产业创新能力

北京致力于打造全球科创关键枢纽，科研产出连续 6 年居全球科研城市首位，日渐成为国际前沿科技的重要策源地和全球产业变革的重要驱动地。在此背景下，北京积极推进智能



机器人领域创新，推广产学研用协同创新、央地协同创新、创新创业孵化、跨界融合创新四大创新模式。

图表 37 北京智能机器人产业创新模式

| 模式类别     | 模式介绍  |
|----------|---|
| 产学研用协同创新 | <p>1、聚焦医疗健康机器人、特种机器人、协作机器人等领域，推动市级产业创新中心建设；</p> <p>2、支持有能力有条件的企业与高校、科研院所共建研发机构、搭建技术研发和工程化平台，突破关键共性技术及关键核心部件瓶颈；</p> <p>3、支持企业和用户以上下游需求和供给能力为依据、以应用为导向，协同开展机器人创新应用，建立产业链上下游互融共生、分工合作、利益共享的一体化组织新模式。</p> |
| 央地协同创新   | <p>1、支持中央企业、单位与本市企业搭建技术转移转化平台，建立创新成果产业化合作模式；</p> <p>2、组织本市企业与中央企业、单位进行对接和联合开展机器人研发、产业化和示范应用项目。</p>  |
| 创新创业孵化   | <p>1、组织机器人创新创业大赛、项目路演等活动，邀请行业专家、企业家、投资人等担任创新创业导师，培育推荐创新型企业 and 重点项目；</p> <p>2、支持领军企业采取新型研发创新组织模式，孵化科技型小微企业；</p> <p>3、发挥产业基金作用，引导社会资本投资机器人创新创业活动。</p>  |
| 跨界融合创新   | <p>1、支持有条件的传统制造业企业拓展业务领域，开展机器人研发生产和集成应用，培育机器人系统解决方案；</p> <p>2、支持新一代信息技术、互联网、人工智能等创新型企业结合应用场景，开发机器人产品、开展技术和模式创新、拓展市场应用空间，培育形成国内领先的机器人产业融合创新生态圈。</p>  |

资料来源：北京市政府，高工机器人产业研究所（GGII）整理

依托于北京智能机器人产业坚实的创新基础，北京人形机器人产业创新水平也位居全国前列，聚集了清华、北航、北理工、中科院自动化所等机器人领域重点高等院校与科研院所，其中清华大学、北京理工大学在人形机器人领域布局专利数量优势较为明显。同时，国内首家省级人形机器人创新中心落户北京，将开展通用机器人本体原型、人形机器人通用大



模型等 5 项重点任务攻关，北大与智元机器人组建联合实验室，都进一步增强北京人形机器人产业创新水平。

## 第二节 上海市

### 一、产业发展现状

人形机器人产业发展离不开现有智能机器人产业的基础，上海从上游核心零部件、中游本体到下游集成及终端应用，已经形成了较为完整的产业链体系，聚集了 ABB、库卡、发那科、安川、新松、新时达、节卡等工业机器人企业，此外众多物流仓储、医疗健康、建筑服务、公共服务等领域的机器人企业集聚也在提速。目前上海智能机器人已经形成“3+X”空间布局，为上海人形机器人产业的发展奠定了较好的产业基础。

图表 38 上海智能机器人“3+X”空间布局

| 地区  |      | 布局情况                    |                   |
|-----|------|-------------------------|-------------------|
| “3” | 浦东新区 | 临港新片区                   | 工业机器人+服务机器人       |
|     | 浦东新区 | 机器人谷                    | 工业机器人             |
|     | 宝山区  | 上海机器人产业园                | 工业机器人+服务机器人+特种机器人 |
|     | 嘉定区  | 工业机器人+服务机器人             |                   |
| “X” | 松江区  | 松江经开区西区                 | 工业机器人             |
|     | 松江区  | 洞泾机器人产业园                | 工业机器人+服务机器人       |
|     | 青浦区  | 青浦人工智能产业园               | 工业机器人+服务机器人       |
|     | 金山区  | 金山工业园                   | 工业机器人+服务机器人       |
|     | 普陀区  | 上海智能制造及机器人产业园<br>(张江普陀) | 服务机器人             |
|     | 徐汇区  | 漕河泾新兴技术开发区              | 服务机器人             |
|     | 长宁区  | 虹桥临空经济示范区               | 服务机器人             |
|     | 奉贤区  | 临港奉贤园区                  | 服务机器人             |

资料来源：上海产业地图，高工机器人产业研究所（GGII）整理

在人形机器人产业方面，上海已聚集步科股份、鸣志电器、禾赛科技等核心零部件企业，傅利叶智能、智元机器人、上海开普勒、达闼机器人、中电科机器人等本体设计与制造企业，以及蔚来、上汽等众多终端企业，已具备较好的人形机器人产业基础。



## 二、产业创新能力

上海为建设具有全球影响力的科技创新中心，持续提升创新资源集聚力、科技成果影响力、新兴产业引领力、创新环境吸引力、区域辐射带动力，科技成果不断涌现，对高层次人才吸引力持续提升，根据《中国区域科技创新评价报告 2022》数据显示，2022 年上海综合科技创新水平指数为 87.14，位居全国第一。

在智能机器人创新方面，上海形成了囊括高等院校、科研院所、创新平台、创新企业为矩阵的创新体系，为上海人形机器人产业的发展提供了坚实支撑。

图表 39 上海市智能机器人科技创新主体

| 主体类别 | 创新单位   |
|------|--|
| 高等院校 | 复旦大学智能机器人研究院、上海交通大学元知机器人研究院、同济大学机器人与人工智能实验室等。  |
| 科研院所 | 上海电气中央研究院、上海机器人产业技术研究院等。                       |
| 创新平台 | 上海市机器人研发与转化功能型平台、国家机器人检测与评定中心（总部）、通用机器人产业研究院等。 |
| 创新企业 | 傅利叶智能、智元机器人、达闼机器人、上海开普勒、步科股份、鸣志电器等。            |

资料来源：公开资料，高工机器人产业研究所（GGII）整理

## 第三节 深圳市

### 一、产业发展现状

深圳智能机器人产业发展态势良好，工业机器人产业具备较为完整的产业链，在减速器、伺服系统、控制器、本体和集成应用等方面均有布局，其中伺服系统处于国内领先地位。深圳智能机器人产业积极拓展在电子信息、汽车、教育、安防、物流等领域，以实现智能机器人在重点行业的规模化应用。当前，深圳智能机器人产业主要以南山、宝安为主，并在福田区、南山区、前海布局研发设计环节，在宝安区、深汕特别合作区布局研发设计和生产制造环节，现已建成南山机器人产业园、智能机器人产业园、宝安机器人制造产业园等多个机器人产业园。

以现有的智能机器人产业为基础，在人形机器人领域，深圳已聚集了汇川技术、雷赛智能、奥比中光、大族传动、同川科技、固高科技等企业，涉及减速器、电机、控制器、传感器等核心零部件，拥有优必选、逐际动力、乐聚机器人等一批本体企业，已形成较好的人形



机器人产业先发优势。

## 二、产业创新能力

深圳坚持把创新作为城市发展主导战略，前瞻布局高新技术产业、战略性新兴产业、未来产业，现已建设基础研究机构 10 家、诺奖实验室 11 家、省级新型研发机构 39 家，累计建成国家重点实验室、国家工程实验室等各级各类创新载体超过 3200 家，科技创新基础位居全国前列。

在智能机器人领域，深圳现已建成深圳市人工智能与机器人研究院、深圳市智能机器人研究院、中国科学院深圳先进技术研究院智能仿生研究中心、香港中文大学（深圳）机器人与人工智能实验室等智能机器人科研院所，形成了以科研机构、创新企业为核心的创新体系。

图表 40 深圳市智能机器人科技创新主体

| 主体类别 | 创新单位   |
|------|--|
| 高等院校 | 香港中文大学（深圳）机器人与人工智能实验室。                                       |
| 科研院所 | 深圳人工智能与机器人研究院、深圳市智能机器人研究院、中国科学院深圳先进技术研究院智能仿生研究中心、深圳清华大学研究院等。 |
| 创新平台 | 深圳先进院、鹏程实验室等。  |
| 创新企业 | 优必选、乐聚机器人、逐际动力、戴盟机器人、汇川技术、奥比中光、鑫精诚传感器、安思疆等。                  |

资料来源：公开资料，高工机器人产业研究所（GGII）整理

依托深圳完善的智能机器人产业链，以及较强的上下游企业协同创新能力，深圳已取得众多人形机器人科技创新成果，优必选 Walker X、乐聚夸父（Kuavo）、逐际动力 CL-1、戴盟 Sparky1 等人形机器人研发及应用探索持续深入，其中优必选人形机器人有效专利数量全球第一。同时，深圳市积极推动人形机器人产业链相关企业创新，实施核心技术攻关载体扶持计划，支持科研机构与企业共建 5 家以上人工智能联合实验室，并加快组建广东省人形机器人制造业创新中心。



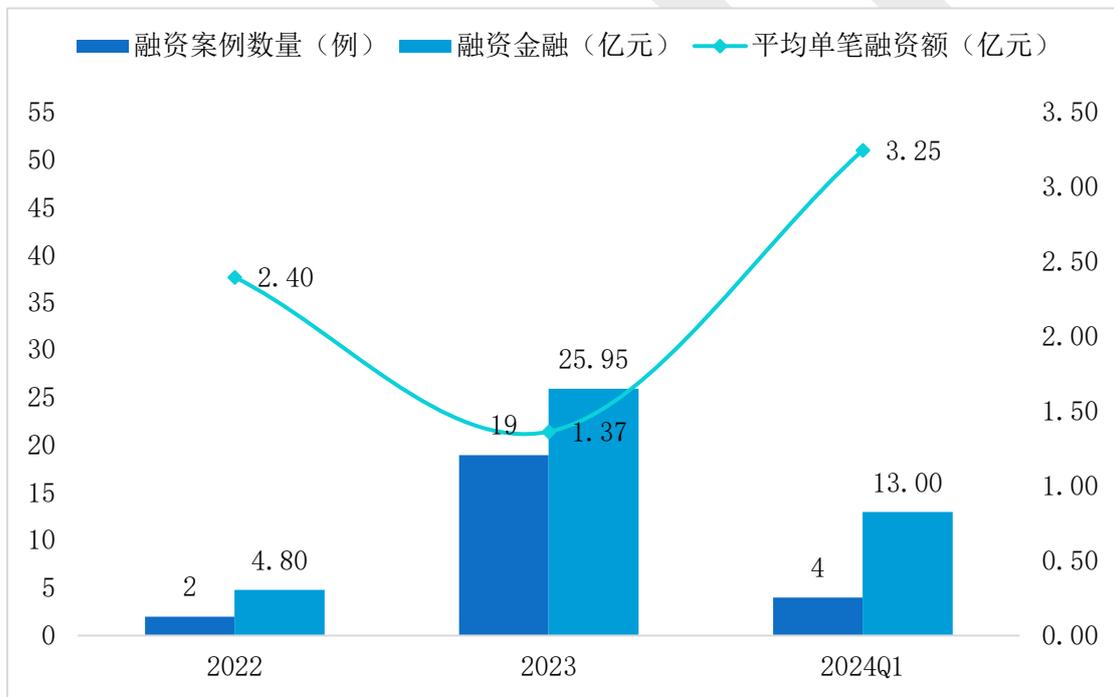
## 第四部分 资本篇

### 第四章 人形机器人行业融资态势分析

#### 第一节 行业融资态势

据 GGII 不完全统计，自 2022 年以来，中国人形机器人领域共发生 25 笔融资，涉及金额近 44 亿元。从融资企业来看，大部分企业处于发展早期阶段，资本的持续涌入无疑将为人形机器人的发展注入强劲动力，预计未来几年人形机器人与具身智能相关的创业企业将会持续增加，资本持续加注的同时，中国人形机器人与具身智能将进入发展提速期。

图表 41 2022-2024 年 Q1 中国人形机器人相关领域获融资情况



数据来源：公开信息、高工机器人产业研究所（GGII）整理

图表 42 中国主要人形机器人企业融资情况（截至 2024Q1）

| 企业    | 成立时间   | 融资轮次   | 最新轮次 | 最新融资额   |
|-------|--------|--------|------|---------|
| 优必选   | 2012 年 | 共 9 轮  | 已上市  | 5 亿元    |
| 傅利叶智能 | 2015 年 | 共 10 轮 | D 轮  | 未披露     |
| 钢铁侠科技 | 2015 年 | 共 6 轮  | 股权融资 | 未披露     |
| 宇树科技  | 2016 年 | 共 8 轮  | B+轮  | 约 10 亿元 |
| 乐聚机器人 | 2016 年 | 共 5 轮  | 股权融资 | 未披露     |



|       |       |     |        |       |
|-------|-------|-----|--------|-------|
| 达闼机器人 | 2018年 | 共6轮 | C轮     | 10亿元+ |
| 戴盟机器人 | 2021年 | 共1轮 | 天使轮    | 数千万元  |
| 逐际动力  | 2022年 | 共2轮 | Pre-A轮 | 约2亿元  |
| 智元机器人 | 2023年 | 共6轮 | A++++轮 | 未披露   |
| 星动纪元  | 2023年 | 共2轮 | 天使轮    | 超亿元   |
| 银河通用  | 2023年 | 共3轮 | 天使+轮   | 约亿元   |

数据来源：公开资料，高工机器人产业研究所（GGII）整理

## 第二节 主要投资机构代表

图表 43 中国人形机器人行业主要投资机构代表（排名不分先后）

| 机构            | 主要投资标的（人形机器人领域）    |
|---------------|--------------------|
| 红杉中国          | 宇树科技、智元机器人、傅利叶智能   |
| 深创投           | 宇树科技、达闼机器人、乐聚机器人   |
| 经纬创投          | 宇树科技、智元机器人、银河通用机器人 |
| IDG 资本        | 傅利叶智能、银河通用、星海图     |
| 无限基金 SEE Fund | 银河通用机器人、星海图、松延动力   |
| 比亚迪           | 智元机器人、优必选          |
| 美团            | 银河通用机器人、宇树科技       |
| 软银集团          | 傅利叶智能、达闼机器人        |
| 联想创投          | 星动纪元、逐际动力          |
| 昆仲资本          | 戴盟机器人、逐际动力         |
| 松禾资本          | 乐聚机器人、优必选          |
| 蓝驰创投          | 智元机器人、银河通用机器人      |
| 科大讯飞          | 银河通用机器人、优必选        |
| 金石投资          | 宇树科技、优必选           |
| 德迅投资          | 宇树科技、星尘智能          |
| 奇绩创坛          | 智元机器人、帕西尼          |
| BV 百度风投       | 智元机器人、星海图          |



|        |           |
|--------|-----------|
| 英诺天使基金 | 加速进化、松延动力 |
| 源码资本   | 宇树科技      |
| 明势资本   | 逐际动力      |
| 高榕资本   | 智元机器人     |
| 鼎晖投资   | 智元机器人     |
| 东方富海   | 达闼机器人     |
| 世纪金源   | 星动纪元      |
| 顺为资本   | 宇树科技      |
| 高瓴创投   | 智元机器人     |
| 三花控股   | 智元机器人     |
| 中科创星   | 智元机器人     |
| 元璟资本   | 傅利叶智能     |
| 前海母基金  | 傅利叶智能     |
| 火山石资本  | 傅利叶智能     |
| 富士康    | 达闼机器人     |

资料来源：公开资料、高工机器人产业研究所（GGII）整理



## 第五部分 技术篇

### 第六章 人形机器人技术发展分析

#### 第一节 人形机器人技术专利分析

人形机器人技术是当前科技领域的一个热门话题，从专利申请情况来看，可划分为四个发展阶段：

**技术萌芽阶段（2000 年以前）：**人形机器人技术开始受到关注，一些基础技术和概念开始出现。这个阶段的专利申请数量较少，主要以日本为主。

**缓慢发展阶段（2000 年-2014 年）：**虽然人形机器人技术仍然在发展，但整体来看，专利申请的数量和质量的增长速度相对缓慢。这个阶段前期以日本为主，后期则逐渐转向其他国家，如中国、美国、韩国及欧洲等国家。

**发展初期阶段（2015 年-2017 年）：**随着技术的不断进步和市场的扩大，人形机器人技术得到了快速的发展。这个阶段的专利申请数量相比之前有明显增长，主要原因在于中国众多新申请人涌入该技术领域，使得中国的专利申请量大幅增加。

**稳定发展阶段（2018 年至今）：**人形机器人技术的专利申请数量保持稳定增长，各国之间的竞争也日益激烈。同时，随着技术的不断成熟和市场需求的扩大，人形机器人在各个领域的应用也日益广泛。

截至 2023 年 6 月，全球人形机器人累计申请专利数量排名前五的国家分别为中国、日本、韩国、法国和美国。从不同国家的累计申请专利数量看，中国已累计申请 6618 件人形机器人技术专利，是申请数量最多的国家。从不同国家的有效发明专利数量看，日本所拥有的数量位居全球第一，中国仅次于日本。

当前来看，全球范围内的人形机器人技术专利呈现出多元化、多层次的发展态势。美国、日本等国家在人形机器人技术方面拥有较大优势，中国在人形机器人技术领域的专利数量和质量均得到快速提升，成为该领域专利数量增长最快的国家之一，技术实力和创新能力不断增强。随着技术的不断发展和市场的不断扩大，预计未来人形机器人技术专利数量仍将继续保持增长态势。



图表 44 人形机器人专利申请 Top10 国家及专利数概览

| 排名 | 申请人国别 | 累计申请专利数（件） | 有效发明专利数（件） |
|----|-------|------------|------------|
| 1  | 中国    | 6618       | 1699       |
| 2  | 日本    | 6058       | 1743       |
| 3  | 韩国    | 1279       | 674        |
| 4  | 法国    | 766        | 245        |
| 5  | 美国    | 685        | 358        |
| 6  | 德国    | 135        | 60         |
| 7  | 英国    | 66         | 14         |
| 8  | 加拿大   | 39         | 6          |
| 9  | 意大利   | 33         | 12         |
| 10 | 印度    | 29         | 6          |

数据来源：人民网研究院，高工机器人产业研究所（GGII）整理

有效发明专利数量是衡量一个国家或企业在该领域技术实力和创新能力的重要指标之一。从各国申请人来看，中国在入形机器人有效发明专利数量方面表现出色，其中优必选科技是该领域的佼佼者，其入形机器人有效发明专利数量在全球范围内名列前茅。

**日本：**在入形机器人技术领域同样具有较高的技术实力和创新能力，本田、丰田、精工爱普生、索尼等日本企业在入形机器人领域的研发实力和技术成果使其在该领域处于领先地位。

**韩国：**在入形机器人技术领域的有效发明专利数量排名第三。韩国的三星、现代汽车等企业是入形机器人领域的知名企业，其技术实力和创新能力在该领域具有较高的声誉。

**美国：**入形机器人技术研发主要集中在高校和企业，其中波士顿动力、特斯拉等企业在该领域具有较高的技术实力和创新能力。

**德国：**在入形机器人技术领域的有效发明专利数量排名第五，德国的西门子、库卡等企业的技术实力和创新能力在该领域具有较高的声誉。

总体来看，入形机器人技术领域的有效发明专利数量排名前五的国家中，中国、日本和韩国等亚洲国家在该领域的技术实力和创新能力较强，而美国和德国等西方国家也在该领域具有一定的技术实力和创新能力。排名靠前的申请人主要为实力较强的老牌日韩企业，优必选科技则作为中国人形机器人代表企业跻身其中，其他申请人则以高等院校和科研机构为



主。

图表 45 人形机器人专利申请人 Top15 及专利数概览

| 排名 | 申请人名称   | 有效专利数（件） | 有效发明专利数(件) |
|----|---------|----------|------------|
| 1  | 本田      | 674      | 659        |
| 2  | 优必选     | 763      | 476        |
| 3  | 三星      | 426      | 424        |
| 4  | 丰田      | 349      | 332        |
| 5  | 精工爱普生   | 328      | 328        |
| 6  | 索尼      | 225      | 224        |
| 7  | 波士顿动力   | 203      | 203        |
| 8  | 软银      | 202      | 179        |
| 9  | 达闼科技    | 186      | 147        |
| 10 | 北京理工大学  | 110      | 107        |
| 11 | 浙江大学    | 95       | 88         |
| 12 | 清华大学    | 110      | 75         |
| 13 | 之江实验室   | 62       | 55         |
| 14 | 韩国科学技术院 | 51       | 51         |
| 15 | 哈尔滨工业大学 | 44       | 44         |

数据来源：人民网研究院，高工机器人产业研究所（GGII）整理



## 第二节 人形机器人“大脑”关键技术发展分析

人形机器人产业的发展需要人工智能、高端制造、新材料等先进技术的协同创新和突破。2023年11月2日，工业和信息化部印发的《人形机器人创新发展指导意见》中提出，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。《人形机器人创新发展指导意见》为机器人关键技术攻关指明了方向，将有助于推动我国人形机器人产业的健康快速发展。

图表 46 机器人各部位关键技术攻关

| 部位      | 关键技术群  |
|---------|--|
| 机器人“大脑” | 围绕动态开放环境下人形机器人感知与控制，突破感知-决策-控制一体化的端到端通用大模型、大规模数据集管理、云边端一体计算架构、多模态感知与环境建模等技术，提高人形机器人的人-机-环境共融交互能力，支撑全场景落地应用。              |
| 机器人“小脑” | 面向人形机器人复杂地形通过、全身协同精细作业等任务需求，开展高保真系统建模与仿真、多体动力学建模与在线行为控制、典型仿生运动行为表征、全身协同运动自主学习等关键技术研究，提升人形机器人非结构化环境下全身协调鲁棒移动、灵巧操作及人机交互能力。 |
| “机器肢”   | 面向人形机器人高动态、高爆发和高精度等运动性能需求，研究人体力学特征及运动机理、人形机器人动力学模型及控制等基础理论，突破刚柔耦合仿生传动机构、高紧凑机器人四肢结构与灵巧手设计等关键技术，为人形机器人灵活运动夯实硬件基础。          |
| “机器体”   | 面向人形机器人本体高强度和高紧凑结构需求，研究人工智能驱动的骨架结构拓扑优化、高强度轻量化新材料、复杂身体结构增材制造、能源-结构-感知一体化设计以及恶劣环境防护等关键技术，打造具有高安全、高可靠、高环境适应性的人形机器人本体结构。     |

资料来源：《人形机器人创新发展指导意见》，高工机器人产业研究所（GGII）整理

### 一、人工智能大模型

人形机器人的“大脑”是指基于人工智能大模型的机器人控制系统，用于实现机器人的感知、决策、学习和控制等功能。2023年，随着人工智能大模型技术的快速迭代，为人形机器人的产业落地提供了重要的技术支撑。在人-机-环境交互方面，大模型可以接受视觉、语



言、触觉等多种信息输入，提升交互能力。人工智能大模型是实现高度智能化人形机器人的关键技术之一。

目前常见的人工智能大模型有 NLP（Natural Language Processing，自然语言处理）大模型、CV（Computer Vision，计算机视觉）大模型和多模态大模型等。

### 1、NLP（Natural Language Processing，自然语言处理）大模型

NLP 大模型是人工智能领域的重要研究方向，融合了语言学、计算机科学、机器学习、数学、认知心理学等多个学科领域的知识。自然语言处理包含自然语言理解和自然语言生成两个方面，常见任务包括文本分类、结构分析、语义分析、知识图谱、信息提取、情感计算、文本生成、自动文摘、机器翻译、对话系统、信息检索和自动问答等。研究内容覆盖的粒度包括字、词、短语、句子、段落和篇章等多种层次。由于语言的复杂性，高精度、高鲁棒、可解释的通用自然语言处理系统目前还没有成熟解决方案，仍需进行长期研究。

### 2、CV（Computer Vision，计算机视觉）大模型

CV（Computer Vision，计算机视觉）大模型是指基于深度学习的计算机视觉模型，通常用于图像识别、目标检测、人脸识别、图像分割等计算机视觉任务。计算机视觉作为人工智能和深度学习的子领域，目前主要以深度卷积神经网络（CNN）和 Transformer 为支撑，针对各个应用场景开发优化类人视觉功能，例如厂商利用图像识别、图像和视频搜索、视频合成等技术应用于汽车交通、媒体标签等常用场景。

### 3、多模态大模型

多模态大模型是指将文本、图像、视频、音频等多模态信息联合起来进行训练的模型。这种模型可以处理和分析多种类型的数据，例如文本、图像、视频和音频，从而更全面地理解和利用各种信息。多模态大模型的训练通常采用深度学习技术，通过对大量多模态数据进行学习，模型能够从数据中提取出更丰富、更复杂的信息。多模态大模型在许多领域都有应用，例如自然语言处理、计算机视觉、音频处理等。

图表 47 大模型发展现状与挑战对比

| 维度 | NLP 大模型   | CV 大模型   | 多模态大模型                 |
|----|---|--|------------------------|
| 现状 | 分别在语言理解与生成、智能创作、机器翻译、智能对话、知识图谱和定制化语言解决方案落地应用，整体算法发展顺利，数据源可获得性较强，产品迭 | 2D 数据工业质检、智慧城市落地完善，应用场景多、可商业化市场大，拥有最佳实践；人脸、OCR 识别发展较为成熟。 | 面临数据成本高、模型开发难、算力资源不足等。 |



|               |                              |  |                        |
|---------------|------------------------------|--|------------------------|
|               | 代速度较快。                       |  |                        |
| <b>挑战</b>     | 语言的歧义、文化差异及多样化、情感分析困难。       | 3D/4D 数据识别面临变形、光照、遮挡等可以依靠大规模预训练模型解决部分痛点的问题；算法处理复杂。 | 融合不同模态的信息并提高模型的标识能力。   |
| <b>预期未来发展</b> | 以多个数据信息维度约束来验证情感分析及文本分析的准确性。 | 打通数据融合以突破 3D/4D 获取瓶颈。                              | 多模态将持续拓展各行业场景下的信息融合应用。 |

资料来源：公开信息，高工机器人产业研究所（GGII）整理

从技术的角度来看，大模型发端于自然语言处理领域，继语言模态之后，如视觉大模型等其他模态的大模型研究，也开始逐步受到重视。2023 年，是人工智能大模型快速发展的一年，据不完全统计，国内公开的 AI 大模型数量已经超过 200 个，但国内大模型的能力与迭代速度距离国际先进水平尚有差距。目前，人工智能技术的发展正面临着大量跨模态任务的挑战，跨多个模态的数据融合问题开始变成行业探究的重点。随着国内人工智能企业和人形机器人企业加大合作力度，未来在大模型的赋能下，机器人拥有了更加智慧的大脑，自主学习能力大幅提升。

图表 48 国内外科技巨头 AI 大模型产品对比

| 企业     | NLP             |      | CV                  |      | 多模态            |       |
|--------|-----------------|------|---------------------|------|----------------|-------|
|        | 模型              | 参数量  | 模型                  | 参数量  | 模型             | 参数量   |
| 百度     | ERNIE 3.0-Titan | 260B | VIMER-UFO 2.0       | 17B  | ERNIE-ViLG 2.0 | 24B   |
| 腾讯     | HunYuan-NLP     | 1T   | HunYuan-vcr         | -    | HunYuan_tvr    | -     |
| 阿里     | AliceMind-Plug  | 27B  | 通义-视觉               | -    | M6             | 10T   |
| 华为     | 盘古语义大模型         | 200B | 盘古视觉大模型             | 3B   | 盘古多模态大模型       | -     |
| OpenAI | GPT-3           | 175B | Image GPT           | 6.8B | GPT-4          | 1800B |
| 谷歌     | PaLM-2          | 340B | V-MoE               | 15B  | PaLM-E         | 562B  |
|        |                 |      | ViT-22B             | 22B  |                |       |
| 微软     | Turing ULR v6   | 5.4B | Swin Transformer V2 | 3B   | BEiT-3         | 1.9B  |

资料来源：公开信息，高工机器人产业研究所（GGII）整理



## 二、大规模数据集管理

数据集作为数据资源的核心组成部分，是指经过专业化设计、采集、清洗、标注和管理，生产出来的专供人工智能算法模型训练的数据。大数据的核心始终是面向海量数据的存储、计算、处理等基础技术。

人形机器人大规模数据集管理关键技术包括数据采集、标注、存储、检索和应用等方面。而云计算作为一种分布式计算技术，可以为这些关键技术提供强大的支持。以下是云计算在人形机器人大规模数据集管理中的应用：

**数据存储和管理：**云计算提供了大规模的存储和计算资源，可以用来存储人形机器人采集的大量感知数据和标注数据。通过云计算平台，可以实现数据的集中管理和备份，保证数据的安全性和可靠性。

**数据处理和分析：**云计算可以提供强大的计算能力，支持大规模数据的处理和分析。通过云计算平台，可以使用各种人工智能算法对感知数据进行处理和应用，例如目标检测、图像分割、姿态估计等任务。

**数据检索和共享：**云计算可以提供高效的数据检索和共享功能，方便人形机器人快速检索和应用数据。通过云计算平台，可以实现基于关键字、图片、语音等多种方式的检索方式，同时保证检索结果的准确性和实时性。此外，云计算还可以实现数据的共享和协同处理，方便多个机器人之间进行数据交互和协作。

**数据安全和隐私保护：**云计算提供了数据加密、访问控制等安全机制，可以保护人形机器人数据的安全和隐私。通过云计算平台，可以对数据进行加密存储和处理，同时设置访问权限和身份验证，保证数据的安全性和完整性。

总的来说，云计算在人形机器人大规模数据集管理中具有重要的作用。通过云计算平台，可以实现数据的集中管理、高效处理、快速检索和安全保护，为人形机器人的智能化提供有力支持。未来，随着技术的不断进步和应用的不断拓展，云计算将在人形机器人大规模数据集管理中得到更广泛的应用。

## 三、云边端一体计算架构

人形机器人的云边端一体计算架构是指将云计算、边缘计算和终端计算相结合，构建一个高效、协同的计算架构，以满足人形机器人在各种应用场景下的需求。

在该架构中，云计算负责大规模数据的存储、管理和分析，提供强大的计算能力和算法支持；边缘计算则负责处理靠近机器人终端的数据，减少数据传输延迟，提高实时性；终端



计算则负责机器人自身的感知、决策和控制任务。

具体而言，云边端一体计算架构包括以下几个部分：

**云计算平台：**提供大规模的存储和计算资源，用于存储和管理人形机器人采集的大量感知数据和标注数据。云计算平台还可以提供各种人工智能算法和工具，支持数据的分析和挖掘。

**边缘计算节点：**部署在机器人附近或网络边缘的计算节点，负责处理机器人产生的实时数据。边缘计算节点可以减少数据传输延迟和网络拥塞，提高机器人的响应速度和实时性。同时，边缘计算节点还可以执行一些轻量级的计算任务，减轻云计算平台的负担。

**终端计算设备：**人形机器人自身搭载的计算机和传感器等设备，负责机器人的感知、决策和控制任务。终端计算设备需要具备高性能的计算能力和丰富的接口，以支持各种复杂的应用场景。

在云边端一体计算架构中，云计算、边缘计算和终端计算之间需要进行高效的协同和通信。例如，机器人可以将采集的感知数据上传至边缘计算节点进行处理，然后将处理结果上传至云计算平台进行进一步的分析和挖掘；同时，云计算平台也可以将训练好的模型下发至边缘计算节点或终端计算设备，以支持机器人的实时决策和控制。

云边端一体计算架构可以实现云计算、边缘计算和终端计算的高效协同和互补，为人形机器人提供更强大、更灵活的计算能力，从而满足其在各种应用场景下的需求。

#### 四、人-机-环境共融交互

人形机器人需要具备对人类意图的认知和理解能力，以便与人类进行自然交互。这需要利用人工智能和人机交互技术，对人类语言、手势、情感等信息进行处理和分析，以实现人形机器人对人类意图的准确理解和响应。

其次，人形机器人需要与环境进行交互，以实现与环境的协同作业。这需要利用传感器技术、环境建模技术和自主导航技术等，使人形机器人能够感知环境信息、构建环境模型、进行路径规划和动作规划等。

此外，人形机器人还需要具备群体智能和协作能力，以便与多个机器人进行协同作业。这需要利用群体智能和协同控制等技术，实现机器人之间的信息共享、任务分配、动作协调等。

人形机器人的环境建模技术是其实现与环境交互和适应的基础。环境建模技术将感知到的环境信息进行整合和表示，以便机器人可以对环境进行模拟、预测和规划，实现各种任务。



在环境建模过程中，机器人需要利用各种传感器来获取环境信息，如激光雷达、摄像头、超声波传感器等。这些传感器可以帮助机器人获取环境的三维信息、纹理信息、距离信息等，从而构建出更加准确的环境模型。

为了提高环境建模的效率和精度，机器人还需要利用计算机视觉和机器学习等技术对获取的环境信息进行处理和分析。例如，可以利用计算机视觉技术对图像和视频数据进行处理，提取出场景中的特征和物体，从而实现对环境的准确建模。

## 五、具身智能控制平台架构

传统 X86+AI 芯片的具身智能控制平台虽然在一定程度上能够实现机器人的运动控制和智能决策，但仍然存在一些显著的缺点。

在性能上，传统的 X86 架构在处理复杂任务时会遇到瓶颈，尤其是在实时性要求较高的情况下。AI 芯片虽然擅长进行深度学习等计算任务，但由于其与 X86 之间的数据传输通常通过网络实现，网络阻塞与通讯非实时同步的问题难以规避，这可能导致计算结果的传递延迟，影响机器人的实时响应能力。

从稳定性方面来看，开源的实时 RT-Linux 系统在机器人运行多个程序时会出现较大的抖动，这可能导致运动控制的不稳定。此外，开源的 EtherCAT 协议栈可能存在功能缺失和性能较差的问题，这可能会对伺服从站的兼容性与稳定性构成不可控因素。

由于 X86 和 AI 芯片分别负责不同的任务，它们之间的协同工作需要良好的整合。然而，现有的解决方案往往需要在不同平台或芯片间进行切换和整合，这不仅增加了系统的复杂性，还可能导致性能下降和延时增加。

从手眼协调的角度来看，传统 X86+AI 芯片控制器可能无法满足全身 60 多个运动关节的高性能控制需求。由于实时性和稳定性的限制，机器人的手眼协调可能受到影响，这在一定程度上限制了机器人在复杂环境中的应用。

多模态感知的使用使得机器人能够获取更加丰富和准确的环境信息，而基于 GPU 的识别过程则能够迅速对这些信息进行处理和分析。

**多模态传感器**，包括高分辨率摄像头、2D、3D 相机、双目摄像头等。它们能够捕捉环境中的视觉信息，包括颜色、形状、纹理和深度等，为机器人提供关于周围环境的详细数据。

听觉传感器（麦克风）用于接收声音信号，并转换为可处理的电信号。机器人可以通过听觉传感器识别语音命令、环境噪音以及其它声音线索，实现与人类的交互或对环境中的声音事件作出响应。



触觉传感器这类传感器能够检测物体表面的触感信息，比如压力、温度等。触觉传感器对于机器人来说尤为重要，可以帮助它们实现精细操作、物体抓取和姿态感知等功能。结合了加速度计、陀螺仪和磁力计等传感器，用于测量和跟踪机器人的运动状态，包括姿态、速度和加速度等。这些信息对于机器人的导航、平衡和动作控制至关重要。

激光雷达（LiDAR）通过发射激光束并测量其反射回来的时间，来获取周围环境的三维点云数据。

红外传感器能够检测红外辐射，对于夜视、温度测量和物体检测等任务十分有用。

气味传感器用于检测环境中的气味分子，可以用于空气质量监测、食品安全检测以及机器人通过气味识别物体等应用。

GPU 在具身智能控制平台架构中扮演着大脑的角色。它具备强大的计算能力和多模态感知监测能力，能够接收并处理来自各种传感器的信息，如视觉、触觉、声音等。通过对这些信息的综合分析，GPU 能够识别生成高层级的行为，为系统的运动规划提供指导。

CPU 在具身智能控制平台架构中扮演着小脑的角色。它负责将 GPU 生成的高层级行为决策转换成低层级的系统命令。CPU 根据期望目标点，计算出相应的控制参数，如转速、位置信号等，并将这些参数传递给执行机构，以实现系统的精确控制。CPU 还具备强大的数据处理能力和实时性能，能够确保在复杂环境中对系统进行快速、准确的控制。

在具身智能控制中，EtherCAT 通信确保了机器人能够快速、准确地执行决策，实现全身关节的协同运动。然而，单主站在控制多关节运动时确实存在问题，尤其是在需要同时控制 40-60 个关节的运动并保持高实时性和稳定性的情况下。只有一个主站设备负责发起通信和控制从站设备，性能瓶颈是一个明显的问题。

由于只有一个主站负责所有通信任务，当从站设备数量较多或者数据量较大时，主站可能会成为性能瓶颈，限制整个系统的通信速率和实时性。可靠性和稳定性也是单主站结构面临的挑战。如果主站设备出现故障或性能下降，整个系统可能会受到影响，甚至导致系统瘫痪。单主站结构也可能增加系统的单点故障风险。

从扩展性和灵活性的角度来看，单主站结构也存在一定局限性。随着系统规模的扩大和功能的增加，可能需要更多的主站设备来分担通信和控制任务，以提高系统的整体性能。然而，在单主站结构下，这通常需要对整个系统进行重新设计和部署，增加了成本和复杂性。

MIT 在论文《Humanoid Locomotion as Next Token Prediction》中研究提出的用 Transformer token 形式来训练决策大模型，让 GPU 进行思考后由 CPU 进行决策的方法，确实为具身智能的端到端实现提供了一种创新性的落地可能性。



GPU 首先收集环境信息、历史轨迹数据以及机器人的状态信息。这些数据被用于作为 Transformer 模型的输入。为了将这些数据输入到 Transformer 模型中，GPU 需要将它们转换为一系列的 Token。Token 是模型能够理解和处理的基本数据单元。这一步骤通常涉及到数据的编码和特征提取。GPU 使用 Transformer 模型，通过自注意力机制和编码器-解码器结构，学习并生成轨迹。

在训练阶段，模型通过优化算法调整内部参数以最小化预测轨迹与实际轨迹之间的差异。一旦模型训练完成，GPU 可以使用该模型进行轨迹生成。一旦模型训练完成，GPU 将其加载到 GPU 内存中，以便在 CUDA 环境中执行。

在模型推理阶段，CUDA 能够利用 GPU 的并行计算能力加速模型的执行。GPU 将输入数据传递到 GPU 上，并利用 CUDA 进行高效的矩阵运算和神经网络前向传播。GPU 使用训练好的模型生成轨迹后，还需要进行轨迹规划以产生具体的插补点。这些插补点描述了机器人在不同时间点的位置和姿态。将规划好的轨迹数据转换为 EtherCAT 协议所需的格式，以确保数据能够正确地在 EtherCAT 网络中传输。

通过 EtherCAT 多主站同步机制，GPU 将插补点数据同步释放到所有关节链路中。各个关节将同时接收到相应的指令，并按照规划好的轨迹进行运动。关节接收到指令后，开始执行相应的动作，从而驱动机器人按照生成的轨迹进行移动。实现基于多模态生成式 AI 与运动控制的完美融合。

具身智能的发展是一个太过迅速的过程，从当前的阶段到实现 AGI（人工通用智能）和通用机器人，还有很长的路要走。在这个过程中，不仅需要不断创新和探索新的技术思路，还需要同步发展相关的法律法规，以确保技术的健康发展与社会的和谐共处。

### 第三节 人形机器人“小脑”关键技术发展分析

人形机器人的“小脑”是指控制机器人运动的核心算法和控制系统，是由一系列算法和硬件设备组成。根据接收来自各种传感器和执行器的信息，“小脑”及时调整机器人的运动状态，旨在让人形机器人能够实现自主、精确和高效的运动控制及平衡调节，包括对机器人的姿态、位置、速度等参数的实时调整。同时还需要具有一定的学习和适应能力，以便能够根据环境和任务的变化来调整其控制策略。

#### 一、高保真系统建模与仿真技术

人形机器人的高保真系统建模与仿真是一种精确模拟人形机器人运动和行为的技術。这



种技术可以为人形机器人的设计、开发和优化提供重要的支持和参考。

高保真系统建模与仿真的主要目标是建立与真实机器人尽可能一致的模型，以便更准确地模拟机器人的运动和行为。这需要考虑到机器人的物理属性、运动学和动力学特性，以及各种传感器和执行器的性能。

在建立高保真系统模型之后，可以使用仿真软件进行仿真测试。通过模拟不同的环境和任务，可以评估机器人的性能和表现，并对其进行优化和改进。这种仿真测试可以大大减少实际测试和实验的时间和成本，同时也可以避免一些潜在的风险和危险。

**高保真系统建模与仿真在人形机器人的应用中具有以下优点：**

**预测性：**通过高保真系统建模与仿真，可以预测机器人在各种环境和任务下的性能和表现，从而提前发现和解决潜在的问题。

**优化性：**通过仿真测试，可以对机器人的设计和参数进行优化，提高机器人的性能和效率。

**降低成本：**高保真系统建模与仿真可以大大减少实际测试和实验的时间和成本，降低研发成本。

**提高安全性：**通过仿真测试，可以评估机器人的安全性能和风险，并对其进行改进，提高机器人的安全性。

## 二、多体动力学建模与在线行为控制

人形机器人的多体动力学建模与在线行为控制是实现机器人精确运动的关键技术之一。通过这些技术的应用，可以使人形机器人更好地适应各种复杂的环境和任务，提高其性能和效率。

多体动力学建模主要关注机器人整体的运动学和动力学特性，通过建立机器人各部分之间的相互作用关系，预测机器人在各种环境下的运动轨迹和姿态。这种建模方法可以为人形机器人的运动控制提供重要的指导和参考。

在线行为控制则是在机器人运动学模型的基础上，根据环境信息和任务需求，实时生成合适的运动轨迹和动作序列。这种控制方法需要考虑到机器人的动态特性和环境变化，以保证机器人在各种环境和条件下都能够稳定、准确地完成预期的运动。

在实际应用中，多体动力学建模与在线行为控制是相辅相成的。通过多体动力学建模，可以预测机器人在不同环境和任务下的运动轨迹和姿态，为在线行为控制提供重要的参考和依据。同时，在线行为控制可以根据环境和任务需求，实时调整机器人的运动轨迹和姿态，



保证机器人的运动性能和适应性。

### 三、全身协同运动自主学习

人形机器人的全身动力学控制主要涉及机器人在运动过程中的力学特性和控制策略。动力学控制的目标是了解机器人在运动过程中所受到的力和力矩的产生、传递和控制机制，以提高机器人的动态性能和轨迹跟踪精度。

全身协同运动自主学习通常涉及机器人的感知、学习和控制等多个方面。首先，机器人需要具备感知能力，能够获取自身的运动状态和周围环境的信息。这可以通过各种传感器来实现，例如姿态传感器、速度传感器和碰撞传感器等。

其次，机器人需要具备学习能力，能够从自身的运动数据和环境信息中提取有用的特征，并建立相应的模型。机器学习算法，如深度学习、强化学习等，被广泛应用于这一领域。通过这些算法，机器人可以不断优化自身的运动参数，提高运动的协调性和稳定性。

最后，机器人需要具备控制能力，能够根据自身的运动状态和目标位置来调整各关节的运动。这通常涉及到复杂的动力学计算和优化算法，以确保机器人的运动既准确又高效。

实现全身协同运动自主学习需要多方面的技术支持，包括传感器技术、机器学习算法和控制算法等。同时，还需要考虑如何提高机器人的适应性和鲁棒性，以便在复杂的环境中实现稳定和可靠的自主运动。

## 第四节 人形机器人“机器肢”关键技术发展分析

人形机器人的“机器肢”是指机器人肢体（包括机械臂、灵巧手和腿足等）部分，“机器肢”通常具有多个关节和自由度，可以完成复杂的动作，它们可以抓取和移动物体，进行精细操作，如装配、搬运、包装等。“机器肢”的设计和性能取决于机器人的应用领域和需求，需要具备高度的灵活性、自由度以及力量和稳定性，可以执行复杂的动作，重物搬运或抗冲击等任务。

此外，“机器肢”还配备各种传感器和智能技术，以实现精确的运动控制和感知能力。这些技术可以包括机器视觉、运动控制、力传感器等，使“机器肢”能够更好地适应不同的环境和任务需求。

人形机器人肢体的设计还需要充分考虑人体力学的特征和运动机理，其动力学模型需要考虑机器人的质量分布、惯性、重力等因素，以及关节的约束和驱动力矩。在结构上，机器人需要具备与人类相似的骨骼结构和关节配置，以便能够模拟人类的动作。在控制上，机器



人需要具备与人类相似的神经控制系统，以便能够协调肌肉的运动和力量输出。

## 一、刚柔耦合仿生传动机构

人形机器人的刚柔耦合仿生传动机构是融合了机械工程、材料科学、生物力学和先进控制理论的跨学科成果，旨在通过高度拟真的方式赋予机器人更加自然、流畅和安全的操作能力。

人形机器人的刚柔耦合仿生传动机构关键技术主要体现在以下几个方面：

- **多自由度设计：**刚柔耦合传动机构通常在设计上模仿人体关节的复杂性，包括多个旋转和移动自由度。这种设计允许机器人手指、手腕乃至全身各部位实现类似人类的灵活运动。
- **刚性与柔性结合：**在传动机构中，刚性部分提供结构支撑和精确控制，例如使用电动机或液压缸驱动的刚性连杆系统。柔性部分则模拟人体组织如肌肉、肌腱和皮肤等的弹性变形，利用材料的弹性和可变形性来吸收冲击、增强适应性和安全性。
- **智能材料应用：**采用智能材料（如形状记忆合金、压电材料、电磁致动器）构建柔性部件，使机器人能够在特定条件下改变其形态或硬度，以实现更接近生物体的动态响应。
- **力感知与反馈控制：**结合传感器技术，实时获取关节力矩、速度和位置信息，形成闭环控制系统。通过仿生力反馈机制，机器人可以像人手那样根据接触物体时感受到的力大小和方向调整握持力度和动作姿态。
- **建模与仿真优化：**建立刚柔耦合系统的动力学模型，并通过计算机仿真对传动机构进行性能优化。这有助于理解并改进结构的动力学行为，提高整体的稳定性和效率。
- **协同控制策略：**刚柔耦合仿生传动机构要求开发高级的控制算法，使得机器人能有效协调各个关节之间的运动关系，实现在抓取、操作和行走等过程中自然且准确的动作表现。
- **生物力学原理借鉴：**研究人员深入研究生物力学原理，将生物体中的高效能量传递、力量分布和负载平衡机制应用于机器人设计中，从而提升传动机构的效能和耐久性。

## 二、高紧凑四肢结构

人形机器人的高紧凑机器人四肢结构是一种先进的设计理念，通过采用模块化设计、轻量化材料、高效传动机构、紧凑的关节设计和先进的控制系统等技术手段，可以实现机器人的高紧凑、轻巧和灵活的设计目标。这种设计可以提高机器人的机动性和能源效率，使其更加适应各种复杂和未知的环境。这种结构通常采用以下设计原则：



- **模块化设计：**将机器人的四肢划分为多个模块，每个模块具有特定的功能和结构。这种设计方法可以使机器人的四肢更加紧凑，同时方便生产和维护。
- **轻量化材料：**采用轻质材料，如铝合金、碳纤维等，可以显著降低机器人的重量，同时保持足够的强度和稳定性。这些材料还可以提高机器人的机动性和灵活性。
- **高效传动机构：**为了实现机器人的高紧凑设计，需要采用高效的传动机构，如齿轮、链条、传动带等。这些机构可以有效地传递动力，同时减小机器人的整体尺寸和重量。
- **关节设计：**机器人的关节是实现其运动的关键部件。高紧凑的机器人四肢结构需要采用紧凑的关节设计，如旋转关节、球形关节等。这些关节可以减小机器人的整体尺寸和重量，同时提高机器人的灵活性和稳定性。
- **控制系统：**为了实现机器人的高紧凑设计，需要采用先进的控制系统。控制系统需要协调机器人的各个关节的运动，实现高效的控制和操作。这种控制系统可以显著提高机器人的机动性和灵活性。

### 三、灵巧手设计

人形机器人灵巧手是模仿人类手部结构与功能的高复杂度机械装置，其关键技术主要包括以下几个方面：

- **深度仿生技术：**人形机器人的灵巧手需要具备像人手一样的灵活性、精巧性和功能多样性。这需要从外形、内在结构、驱动和传动原理等多个方面进行深度仿生，使机器手能够模拟人类手指的复杂运动，实现抓取、操作和感知等多种功能。
- **柔性感知技术：**人手的感知能力使其能够适应各种形状和尺寸的物体，实现精细的操作和抓取。为了实现这一功能，人形机器人灵巧手需要配备能够感知外界信息的传感器，并将这些信息反馈给机器人的控制系统，以便机器人能够根据实际情况进行实时的调整和控制。
- **机器学习技术：**为了让人形机器人灵巧手能够像人类一样具有学习和自适应的能力，需要进行大量的训练和优化。机器学习技术可以帮助机器人通过不断的学习和调整，提高其操作和抓取的准确性和稳定性，使其能够适应各种复杂和未知的环境。
- **控制系统技术：**人形机器人灵巧手的控制系统是其实现各种功能的核心。控制系统需要协调机器人的各个手指的运动，以及与机器人的其他系统的协同工作。这需要高精度的控制算法和优化技术，以保证机器手的稳定性和精度。



## 第五节 人形机器人“机器体”关键技术发展分析

人形机器人的“机器体”指的是机器人的主体结构，人形机器人通常具有仿人类的头部、躯干、四肢以及面部表情等特征，能够实现人类的基本动作和姿态，如行走、跑跳、抓取、操作等。

人形机器人“机器体”通常采用高精度传感器、控制器和执行器等技术，来实现机器人的感知、决策和动作等功能。它可以通过各种传感器来感知环境、检测自身状态和接收指令等信息，通过控制器进行信息处理和决策，再通过执行器实现各种动作和姿态。

在材料方面，机器体通常采用金属、碳纤维和复合材料等。金属材料如铝合金、钛合金和钢材具有较高的强度和刚性，适用于需要承受较大负载的部位；碳纤维和复合材料则具有较低的重量和良好的耐腐蚀性，适用于需要轻量化的部位。

在制造方面，机器体通常采用数控加工、3D 打印等技术进行制造。数控加工可以实现对复杂形状和高精度要求的加工，而 3D 打印则可以快速制造出复杂的结构，缩短研发周期。

### 一、结构拓扑优化设计

轻量化技术是指在满足结构性能需求的前提下，通过对材料、结构和制造工艺等方面的优化，减少结构质量的技术。轻量化技术主要分为材料轻量化和结构轻量化。材料轻量化是开发和利用新型轻质材料来制造零部件的技术，如目前广泛用于航空航天飞行器结构的碳纤维复合材料以及镁铝等各类轻质合金。结构轻量化是指通过调控零件可设计区域的形状、尺寸及材料分布，降低整体质量的技术，主要包括仿生结构设计、胞元结构设计以及拓扑优化设计等。

拓扑优化是一种广泛应用于机器人结构设计的轻量化设计方法，旨在寻求材料的最优分布方式，使得在给定的约束下，达到结构的某种性能要求。近年来，以机器学习为代表的人工智能方法的迅猛发展，成为拓扑优化最具有发展前景的新学科方向。通过将人工智能算法与拓扑优化框架结合，使得拓扑优化的效率大幅提高，同时也为实时拓扑优化的实现提供了可能。通过结合智能优化算法、机器学习和深度学习等技术，可以对机器人骨架结构进行优化设计，提高机器人的性能和适应性，为人形机器人在各种复杂环境和任务中的应用提供有力支持。

### 二、高强度轻量化新材料

人形机器人需要具备轻量化和高强度的材料，以便实现灵活的运动和承受外部冲击。目前，新型材料如碳纤维、钛合金等被广泛应用于人形机器人的制造中，这些材料不仅轻巧耐



用，而且具有高强度和抗疲劳性能。高强度轻量化新材料的应用可以提高人形机器人的强度和刚度，同时减轻其重量，从而提高机器人的机动性和能效。这对于人形机器人的运动性能和动态特性有着至关重要的影响。

2023年12月，特斯拉展示了Optimus-Gen2二代人形机器人，通过改用了大量PEEK树脂以达到减重目的。PEEK材料是一种高性能的聚合物材料，具有优异的机械性能、耐高温和化学稳定性等特点。由于其良好的机械性能和耐久性，PEEK材料在人形机器人的制造中具有广泛的应用前景。例如，可以使用PEEK材料制造机器人的关节、肌肉和其他结构，这些结构需要承受高强度的力和具有耐久性。

### 三、复杂身体结构增材制造技术

由于人形机器人需要模拟人类的动作和姿态，关节数量和种类较多，意味着机器人的身体结构需要与人类的身体结构相类似，包括骨骼、肌肉、韧带等多个方面。这种仿生设计使得人形机器人的身体结构更加复杂。

增材制造，也称为3D打印，波士顿动力公司使用3D打印技术制造了Atlas机器人的腿部结构以及液压动力单元部件。这种制造方法有助于实现复杂形状的高精度制造，并且可以快速制造出原型和零件，加速产品开发过程。同时，3D打印还可以减少生产过程中的模具和夹具成本，提高生产效率并降低生产成本。这种技术的应用使得波士顿动力公司能够更好地优化Atlas机器人的设计和性能，以满足各种复杂任务的需求。

增材制造技术为人形机器人的设计和生产提供了新的可能性，它通过逐层堆积材料的方式来制造机器人身体结构。这种制造技术具有以下优点：

**高度定制化：**增材制造技术可以根据具体需求，定制不同的机器人身体结构。这种定制化的制造方式使得机器人能够更好地适应特定任务和环境。

**轻量化：**增材制造技术可以使用更少的材料来制造机器人身体结构，从而实现轻量化。轻量化的机器人可以具有更好的机动性和能效。

**高精度：**增材制造技术可以制造出高精度的机器人身体结构，从而实现更精确的运动和更准确的感知。这种高精度制造方式有助于提高机器人的性能和稳定性。

**复杂的内部结构：**增材制造技术可以制造出复杂的机器人身体内部结构，从而实现更高效的动力传输和更精确的控制系统。这种复杂的内部结构有助于提高机器人的性能和可靠性。

结合增材制造技术和高强度轻量化材料，可以制造出具有高度仿生和逼真外观的人形机



机器人。通过数字化设计和增材制造，可以快速、准确地制造出各种形状和结构的机器人身体部分，从而实现更高效、更灵活的生产。

#### 四、动力单元与能源管理技术

人形机器人的动力单元与能源管理技术是其核心组件和技术之一，它们决定了机器人能否高效、稳定地执行各种动作和任务，并维持长时间的自主运行能力。具体涉及以下几个方面：

**动力单元：**动力单元通常包括电动伺服驱动系统，由高性能电机（如直流伺服电机或交流伺服电机）、减速器和编码器等组成，为机器人各个关节提供精确的动力输出，实现高精度的位置控制和力矩控制。高集成度的动力单元设计有助于减少体积、减轻重量以及优化能量传递效率。

**能源供应：**能源主要来源于电池组，如锂离子电池、燃料电池或其他新型储能技术，要求具有高能量密度、长寿命、快速充电及安全性能良好等特点。

为了满足人形机器人长时间活动的需求，需要研发大容量、轻量化且能有效散热的电池技术。

**能源管理技术：**能源管理系统负责监控和分配整个机器人系统的电力需求，通过智能算法优化能源使用策略，确保在不同的工作负载条件下保持稳定的电源输出。

先进的能源管理技术可以实时监测电池状态（如电量、温度、健康状况），并根据机器人的运动模式、传感器数据和其他操作参数进行动态调整，延长电池续航时间。

**能源回收与节能机制：**在某些情况下，例如机器人行走或做功时产生的动能可以通过制动或反向驱动的方式部分回收，转化为电能存储起来，实现能量循环利用，提高整体能效。

**热管理：**动力单元和电池在高功率运行下会产生大量热量，因此高效的热管理技术至关重要，这包括散热设计、主动冷却系统等，以保证硬件组件在适宜的工作温度范围内，避免过热带来的安全隐患和性能下降。

人形机器人在动力单元与能源管理技术的突破，对于提升机器人性能、扩大应用场景、降低运营成本等方面都起到了关键作用。



## 第六部分 市场篇

### 第七章 人形机器人市场空间及发展趋势分析

#### 第一节 全球人形机器人市场规模预测及发展趋势分析

目前，全球人形机器人行业还处于技术探索的早期阶段，尚未实现人形机器人的大规模应用。考虑现有的技术发展、市场需求、政策环境等因素，我们可以根据现有数据和趋势进行一些推测。

从供给端来看，2024 年 IX Technologies、Agility Digit、优必选等人形机器人厂商将有望实现商业化落地，从其规划的落地场景来看，工业制造及仓储物流领域将率先实现应用。

从渗透率的角度来看，人形机器人在工业制造领域的应用前景呈现出积极态势。尽管目前人形机器人技术主要还在研发阶段和特定场景试用中，但随着技术的不断进步、成本的降低以及应用场景的拓展，预计未来几年内其在多个下游领域的渗透率将逐步提升。

通过测算人形机器人在不同领域的渗透率，GGII 预测，2024 年全球人形机器人市场规模为 10.17 亿美元，到 2030 年全球人形机器人市场规模将达到 150 亿美元，2024-2030 年 CAGR 将超过 56%，全球人形机器人销量将从 1.19 万台增长至 60.57 万台。

图表 49 2024-2030 年全球人形机器人市场空间测算

| 全球工业领域人形机器人市场空间测算      |        |        |        |        |        |         |         |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 年份                     | 2024E  | 2025F  | 2026F  | 2027F  | 2028F  | 2029F   | 2030F   |
| 全球工业机器人市场规模(亿美元)       | 244.61 | 273.96 | 306.84 | 343.66 | 384.90 | 431.08  | 482.81  |
| 全球工业机器人年均复合增速预测(%)     | 12%    |        |        |        |        |         |         |
| 全球工业领域人形机器人渗透率预测(%)    | 1.2%   | 1.5%   | 1.8%   | 2.2%   | 2.6%   | 3.0%    | 3.5%    |
| 全球工业领域人形机器人市场空间预测(亿美元) | 2.94   | 4.11   | 5.52   | 7.56   | 10.01  | 12.93   | 16.90   |
| 全球服务领域人形机器人市场空间测算      |        |        |        |        |        |         |         |
| 年份                     | 2024E  | 2025F  | 2026F  | 2027F  | 2028F  | 2029F   | 2030F   |
| 全球服务机器人市场规模(亿美元)       | 339.06 | 423.83 | 529.79 | 662.23 | 827.79 | 1034.74 | 1293.42 |
| 全球服务机器人年均复合增速预测(%)     | 25%    |        |        |        |        |         |         |



|                         |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 全球服务领域人形机器人渗透率预测 (%)    | 1.7%   | 2.3%   | 3.2%   | 4.2%   | 5.5%   | 7.1%   | 8.8%   |
| 全球服务领域人形机器人市场空间预测 (亿美元) | 5.76   | 9.75   | 16.95  | 27.81  | 45.53  | 73.47  | 113.82 |
| 全球特种领域人形机器人市场空间测算       |        |        |        |        |        |        |        |
| 年份                      | 2024E  | 2025F  | 2026F  | 2027F  | 2028F  | 2029F  | 2030F  |
| 全球特种机器人市场规模(亿美元)        | 133.57 | 153.61 | 176.65 | 203.15 | 233.62 | 268.66 | 308.96 |
| 全球特种机器人年均复合增速预测 (%)     | 15%    |        |        |        |        |        |        |
| 全球特种领域渗透率预测 (%)         | 1.1%   | 1.6%   | 2.2%   | 3.0%   | 4.0%   | 5.3%   | 6.7%   |
| 全球特种领域人形机器人市场空间预测 (亿美元) | 1.47   | 2.46   | 3.89   | 6.09   | 9.34   | 14.24  | 20.70  |
| 全球人形机器人市场空间测算           |        |        |        |        |        |        |        |
| 年份                      | 2024E  | 2025F  | 2026F  | 2027F  | 2028F  | 2029F  | 2030F  |
| 全球人形机器人市场规模预测(亿美元)      | 10.17  | 16.32  | 26.36  | 41.47  | 64.88  | 100.64 | 151.42 |
| 全球人形机器人均价预测(万美元)        | 8.57   | 6.26   | 5.03   | 4.17   | 3.56   | 3.15   | 2.50   |
| 全球人形机器人销量预测(台)          | 11867  | 26070  | 52405  | 99448  | 182247 | 319492 | 605680 |

数据来源：高工机器人产业研究所（GGII）

注：人形机器人的实际市场空间及在各领域的渗透率可能会受到多种因素的影响，包括但不限于技术创新速度、市场需求变化、政策法规环境、市场竞争格局以及成本效益比等，下同。



## 第二节 中国人形机器人市场规模预测及发展趋势分析

中国已经连续多年稳居全球最大的工业机器人消费国和生产国的位置。在工业自动化、智能制造战略的推动下，中国市场需求旺盛，尤其是在汽车制造、电子设备、金属制品、食品加工等众多领域中，工业机器人的应用大幅度增加。同时，中国政府对于机器人产业给予了高度重视与政策扶持，这促进了国内机器人产业链的快速发展，包括核心零部件的研发制造能力提升，以及整机系统的集成创新能力增强。

此外，除了工业机器人市场外，服务机器人在中国的发展也非常迅速，涉及到家庭服务、医疗康复、教育娱乐、公共服务等多个应用场景。随着技术进步和社会需求的变化，中国机器人市场呈现出多元化、智能化的特点，并且持续保持着强劲的增长态势。

现阶段来看，中国人形机器人产业的发展将依托于政府的战略引导和制度保障以及坚实的产业链基础、巨大的内需市场和强大的技术研发实力，这都为人形机器人在中国的大规模应用创造了有利条件。不过，要达到大规模商业化应用的程度，还需克服多项技术和非技术难题。

GGII 预测，中国在人形机器人赛道的年均增速将高于全球平均水平，2024 年中国人形机器人市场规模为 21.58 亿元，到 2030 年将达到近 380 亿元，2024-2030 年 CAGR 将超过 61%，中国人形机器人销量将从 0.40 万台左右增长至 27.12 万台。

图表 50 2024-2030 年中国人形机器人市场空间测算

| 中国工业领域人形机器人市场空间测算     |        |        |         |        |         |         |         |
|-----------------------|--------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|
| 年份                    | 2024E  | 2025F  | 2026F   | 2027F  | 2028F   | 2029F   | 2030F   |
| 中国工业机器人市场规模(亿元)       | 349.60 | 402.04 | 462.35  | 531.70 | 611.45  | 703.17  | 808.65  |
| 中国工业机器人年均复合增速预测(%)    | 15%    |        |         |        |         |         |         |
| 中国工业领域人形机器人渗透率预测(%)   | 1.5%   | 1.8%   | 2.1%    | 2.5%   | 2.9%    | 3.3%    | 3.8%    |
| 中国工业领域人形机器人市场空间预测(亿元) | 5.24   | 7.24   | 9.71    | 13.29  | 17.73   | 23.20   | 30.73   |
| 中国服务领域人形机器人市场空间测算     |        |        |         |        |         |         |         |
| 年份                    | 2024E  | 2025F  | 2026F   | 2027F  | 2028F   | 2029F   | 2030F   |
| 中国服务机器人市场规模(亿元)       | 697.32 | 906.52 | 1178.47 | 1532.0 | 1991.62 | 2589.10 | 3365.83 |
| 中国服务机器人年均复合增速预测(%)    | 30%    |        |         |        |         |         |         |
| 中国服务领域人形机器人渗透率预测(%)   | 1.9%   | 2.5%   | 3.4%    | 4.4%   | 5.7%    | 7.3%    | 9.0%    |



|                           |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 中国服务领域人形机器人市场空间预测<br>(亿元) | 13.25  | 22.66  | 40.07  | 67.41  | 113.52 | 189.00 | 302.92 |
| <b>中国特种领域人形机器人市场空间测算</b>  |        |        |        |        |        |        |        |
| 年份                        | 2024E  | 2025F  | 2026F  | 2027F  | 2028F  | 2029F  | 2030F  |
| 中国特种机器人市场规模(亿元)           | 220.32 | 264.38 | 317.26 | 380.71 | 456.86 | 548.23 | 657.87 |
| 中国特种机器人年均复合增速预测(%)        | 20%    |        |        |        |        |        |        |
| 中国特种领域渗透率预测(%)            | 1.4%   | 1.7%   | 2.3%   | 3.3%   | 4.3%   | 5.6%   | 7.0%   |
| 中国特种领域人形机器人市场空间预测<br>(亿元) | 3.08   | 4.49   | 7.30   | 12.56  | 19.64  | 30.70  | 46.05  |
| <b>中国人形机器人市场空间测算</b>      |        |        |        |        |        |        |        |
| 年份                        | 2024E  | 2025F  | 2026F  | 2027F  | 2028F  | 2029F  | 2030F  |
| 中国人形机器人市场规模预测(亿元)         | 21.58  | 34.39  | 57.07  | 93.26  | 150.90 | 242.91 | 379.70 |
| 中国人形机器人均价预测(万元)           | 54.00  | 40.00  | 30.00  | 25.00  | 20.00  | 17.50  | 14.00  |
| 中国人形机器人销量预测(台)            | 3996   | 8597   | 19023  | 37304  | 75450  | 138805 | 271214 |

数据来源：高工机器人产业研究所（GGII）



## 第七部分 应用前景篇

### 第八章 人形机器人下游应用前景分析

2023 年，人形机器人厂商在产品研发和市场布局上瞄准了多个下游应用场景。从各家厂商应用规划来看，中短期内，人形机器人将主要集中应用于工业制造、仓储物流、民生服务及特种应用领域；中长期内，人形机器人的目标将是走进千家万户，为家庭场景提供相关服务。

图表 51 2023 年全球主要人形机器人应用场景及市场推广计划

| 机器人产品                      | 应用场景规划   | 市场推广计划   |
|----------------------------|--|--|
| 特斯拉<br>Optimus             | 预计 2024 年将用于特斯拉工厂，做移动搬运、零部件装配等工业级操作，之后扩展至家庭等更复杂环境中。            | 2025-2027 年，预计 Optimus 可能将大规模量产至百万台量级，单台成本或将低于 2 万美元。  |
| 1X Technologies<br>EVE（双轮） | 主要应用于物流、零售和巡逻领域。   | 2022 年向 ADTCommercial 交付了 140 台机器人，应用于夜间巡逻工作，2023 年 1 月表示当年目标是部署 150-300 台机器人。                     |
| 1X Technologies<br>NEO（双足） | 处理物流、制造、操作机械等工业任务，未来还可以提供清洁、整理家务以及为行动不便的个人提供支持、获取物品和陪伴等日常生活服务。 | 尚在研发中。   |
| Agility<br>Digit           | 专为物流工作设计，目前主要用于搬运仓库的手提袋、包裹，未来计划应用于货物卸载、配送等场景。                  | Agility 在俄勒冈州塞勒姆的制造工厂，预计第一年的生产能力为数百台 Digit 机器人，并有能力扩展到每年 1 万多台机器人。计划 2024 年交付第一批 Digit，2025 年全面上市。 |
| 宇树科技<br>Unitree H1         | 生活场景为主。  | 2023 年 Q4 小规模量产交付。   |
| 达闼科技<br>Ginger             | 迎宾导览、商业促销、节目表演、教育科研、养老陪护等领域。                                   | 预计 2024 年发布，2025 年量产，2035 年提供全球化服务。  |
| 傅利叶智能                      | 工业、康复、居家、科研。   | 一两年量产交付，三年能灵巧完成通用任   |



|                        |   |                                     |
|------------------------|---|-------------------------------------|
| GR-1                   |   | 务，五至十年走入家庭。                         |
| 智元机器人<br>远征 A1         | 先应用于 3C 制造，汽车制造等工业智造领域，随后逐步走向家庭，协助工人、科研人员和家庭成员完成各种任务。         | 计划 2024 年商业化落地，先用于汽车、3C 制造，再逐步走入家庭。 |
| 小鹏<br>PX5              | 优先在小鹏的工厂和销售场景进行实地应用。  | 仍处于早期阶段。                            |
| 中国电科 21 所<br>电科机器人 1 号 | 智慧物流的搬运、分拣、配送的功能。   | 预计 2024 年 Q1 投入到智慧物流生产场景中做应用验证。     |
| 优必选<br>Walker S        | 率先打造适用于汽车领域工业场景的人形机器人整机，未来还将逐步拓展至汽车零部件、3C、智慧物流等其他智能制造领域及应用场景。 | 预计 24 年交付第一批 500 台机器人，远期规划 1 万台。    |
| 开普勒机器人<br>K1、S1 和 D1   | 教育科研、自动化生产线、智能搬运、环境巡检、应急救援、户外安全作业及高危环境作业等。                    | 预计 2024 年完成落地量产。                    |

资料来源：公开信息、各企业官网，高工机器人产业研究所（GGII）整理



## 第一节 人形机器人在工业制造领域的应用前景分析

目前，人形机器人在工业制造与物流领域的应用仍处于起步阶段，主要应用于一些高度自动化和智能化的企业。与工业机器人和移动机器人相比，人形机器人在某些特定场景下具有更好的适应性和灵活性，但在大规模应用方面仍受到成本、技术和市场接受度等因素的限制。

图表 52 工业领域主要应用机器人类型



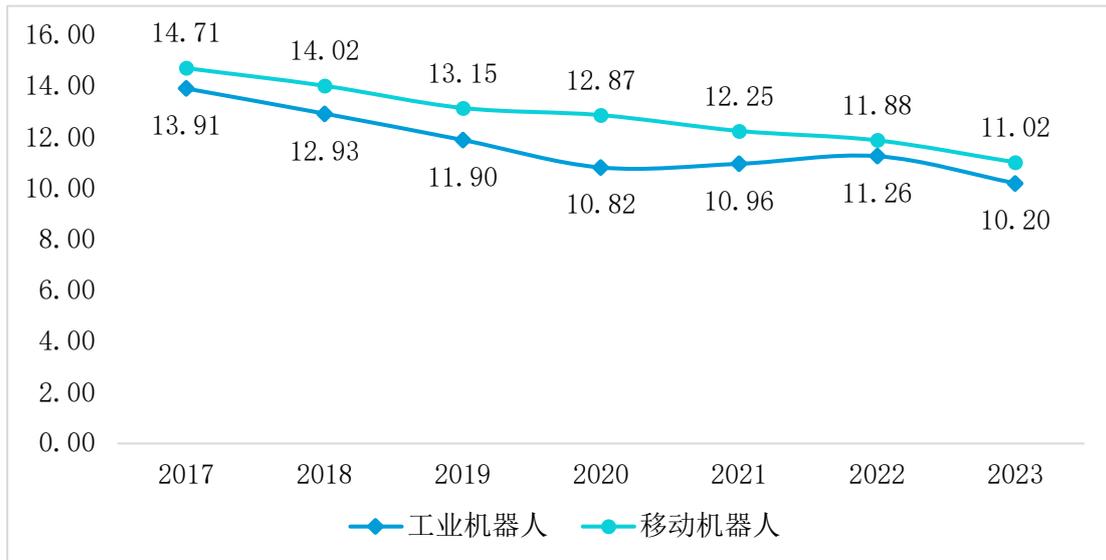
图片来源：公开资料

人形机器人在工业制造与物流领域主要的挑战如下：

- **技术难点：**人形机器人需要具备高精度、高速度和高稳定性的运动控制能力，以满足各种生产任务的需求。此外，机器人还需要与其他设备和系统进行协同作业，提高整体生产效率。
- **成本问题：**人形机器人的研发和生产成本相对较高，尤其是在传感器、执行器和控制系统等关键部件方面。这导致了人形机器人的市场价格偏高，产品价格远远高于工业机械臂、AGV/AMR、复合机器人等非人形机器人方案和人机协作方案，影响其在工业制造与物流领域的普及。
- **法规与安全问题：**在工业制造与物流领域，人形机器人需要遵守严格的安全规定，以降低与人类工人和其他设备的安全风险。这些法规可能会限制人形机器人的功能和应用范围。



图表 53 2017-2023 年工业/移动机器人本体均价（单位：万元/台）



数据来源：高工机器人产业研究所（GGII）

## 一、汽车制造

目前，特斯拉、优必选、小米、小鹏、智元机器人等人形机器人厂商均已将目光聚集于工业制造领域，2024 年人形机器人将有望在汽车领域率先批量使用。

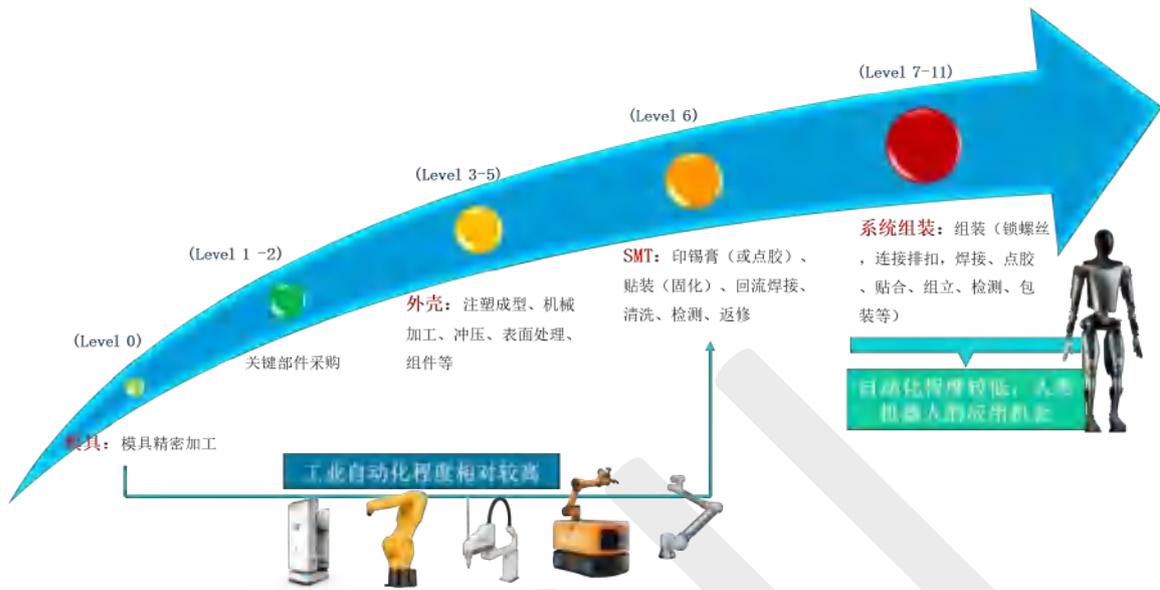
人形机器人可以实现与传统自动化设备的协同，在汽车生产上，可用于新能源汽车工厂装配底盘、打螺丝，提升工厂智能化水平，实现复杂工业场景的无人化生产。特斯拉的人形机器人 Optimus 将率先应用于汽车制造领域，包括但不限于特斯拉的超级工厂内部，协助或替代人类完成重复性、危险性高的工作，预计 2024 年进行实用性测试，未来有望全面接管特斯拉汽车的生产。优必选推出的工业版人形机器人 Walker S，将率先适用于汽车领域工业场景，未来还将逐步拓展至汽车零部件、3C、智慧物流等其他智能制造领域及应用场景，预计 24 年交付第一批 500 台机器人，远期规划 1 万台。小米、小鹏则积极推进人形机器人在自有制造系统中的分阶段落地。智元机器人远征 A1 将首先面向工业场景，规划在比亚迪工厂参与外观检测流程、进行装配底盘等汽车装配线上作业，未来将走向家用场景。

## 二、3C 电子制造

在 3C 制造领域，智元机器人和优必选都致力于开发和应用人形机器人技术以提高生产效率、优化工作流程，并解决劳动力密集型环节的挑战。



图表 54 PC 产品制造层级与自动化技术难度分布



资料来源：公开资料，高工机器人产业研究所（GGII）整理

人形机器人在 3C 电子制造领域的应用主要体现在以下几个方面：

**精密装配与操作：**3C 电子产品如智能手机、笔记本电脑、智能穿戴设备等，其内部结构复杂，包含大量微小精细的零部件。人形机器人通过高精度的机械臂和灵巧手，可以进行精准的抓取、放置、组装等操作，完成电路板焊接、屏幕安装、电池固定等精密装配任务。

**柔性化生产线作业：**由于人形机器人具备类似人类的移动能力和关节灵活性，能够适应不同的生产线布局和工位需求，实现产线的快速调整和重组，尤其适合多品种、小批量、快节奏的生产模式。

**物料搬运与物流管理：**在仓库管理和生产线物料供应环节，人形机器人可以高效地进行物料搬运、库存盘点等工作，通过自动识别技术，准确无误地将物料送达指定工位，提高供应链效率。

**质量检测与维护：**结合视觉识别、力感知等先进技术，人形机器人可以执行产品的外观检查、功能测试等质量控制任务，同时也能对生产设备进行预防性维护和故障排查，降低停机时间。

**危险环境替代工作：**在一些存在有毒有害物质或高温高压等恶劣环境中，如焊接、清洗等工序，人形机器人可替代人工，保障人员安全。

**协同工作与智慧工厂建设：**随着物联网、人工智能等技术的发展，人形机器人能与其他自动化设备无缝协作，共同构建智慧工厂，实现从原料入库到成品出库全过程的智能化、无人化生产。



人形机器人在 3C 电子制造业的应用有助于提升产品质量、生产效率和安全性，对于推动产业升级和智能制造具有重要意义。

### 三、智慧物流

在智慧物流领域，1X Technologies、Agility Digit 和中国电科 21 所等厂商在尝试利用人形机器人的优势来解决传统物流难题，推动行业向更加智能化和自动化的方向发展。

人形机器人在智慧物流领域的应用正日益凸显其价值，主要体现在以下几个方面：

**仓储管理与拣选：**人形机器人可以灵活地在货架间移动，利用视觉识别和深度学习技术精准定位和抓取货物，实现智能拣选。例如，在大型电商仓库中，人形机器人能根据订单信息高效完成商品的分拣、打包工作。

**搬运与装卸：**利用人形机器人的力量与灵活性，能够进行重物搬运以及复杂环境下的货物装卸作业，减轻工作人员的体力负担，并在高架库、窄巷道等特殊环境下替代人力操作。

**自主导航与调度：**配备先进的传感器和自主导航系统的人形机器人可以在复杂的仓库环境中实现自主路径规划和避障行驶，同时通过中央管理系统实时调度，提高整体作业效率。

**最后一公里配送：**在快递和外卖行业，人形机器人或类人形的递送机器人可以将包裹直接送达消费者手中，尤其适合于公寓楼、办公区等场所的室内递送服务，提供更便捷的终端交付体验。

**应急处理与异常检测：**在物流过程中遇到突发状况时，如库存异常、设备故障等问题，人形机器人可及时响应并采取相应措施，协助维护物流系统的正常运行。

**客户服务交互：**部分人形机器人具备良好的人机交互能力，可以用于接待客户、解答疑问、指导操作等服务场景，提升物流服务质量。

人形机器人在工业制造与物流领域有着广阔的发展前景，但从现阶段技术发展来看，人形机器人仍面临的问题包括以下几个方面：

**技术难度高：**人形机器人需要具备高度仿生的关节、肌肉和感知系统，以实现类似人类的各种动作和姿态。这需要解决许多复杂的技术问题，如机器人的自由度、动力系统、控制算法等。同时，人形机器人还需要具备高度的自主性和智能性，以便能够适应各种复杂的工业环境和任务。

**制造和维护成本高：**人形机器人的制造需要高精度和高可靠性的零部件，如传感器、执行器、控制器等，因此其制造成本较高。同时，由于人形机器人的结构和控制系统较为复杂，其维护成本也较高。此外，人形机器人还需要进行大量的调试和校准，以确保其性能和精度。



**安全性问题：**人形机器人在工业制造和物流领域的应用需要保证其安全性和可靠性，以避免对人员和货物造成损害。由于人形机器人的运动系统较为复杂，其存在一定的安全风险，如碰撞、跌落等。因此，需要采取有效的安全措施和技术手段，以降低风险和提高安全性。

**适应性和灵活性不足：**人形机器人在工业制造和物流领域的应用需要具备高度的适应性和灵活性，以应对不同的环境和任务。然而，目前的人形机器人在这方面还存在一定的不足，如对不同地形和环境的适应性较差、对不同货物的处理能力有限等。

**法律法规和标准缺失：**目前，关于人形机器人的法律法规和标准还存在一定的缺失，这制约了人形机器人在工业制造和物流领域的应用和发展。例如，对于人形机器人的安全性能、可靠性等方面的标准尚未建立，这使得其在实际应用中存在一定的法律风险。

## 第二节 人形机器人在服务领域的应用前景分析

随着人工智能、机器学习和传感器技术的快速发展，以及人们对便捷生活需求的不断提高，人形机器人将在服务、娱乐、医疗、养老等领域发挥重要作用。从供给端角度来看，目前人形机器人在民生服务领域有落地计划的厂商包括达闼科技、宇树科技、傅利叶智能、开普勒机器人及优必选等。人形机器人有望在以下几个方面实现更高的渗透率：

### 一、家庭服务与陪伴

作为陪伴型机器人，人形机器人能提供家政、教育、娱乐等多种服务，如照顾老人与儿童、进行简单的家务劳动、辅导孩子学习等。随着老龄化社会问题日益凸显以及家庭结构的变化，这类需求将会持续增长，进而提高人形机器人在家用市场的渗透率。人形机器人在家庭服务与陪伴领域的作用和优势如下：

- **外形与人类相似：**人形机器人的外观设计接近人类，使得家庭成员更容易与其互动和建立联系。这种亲切感有助于加强机器人与用户之间的情感纽带，更易被家庭用户接受。
- **自然交互能力：**人形机器人具备文字、语音、视觉等多模态交互的能力，可以与家庭成员进行流畅的对话。这种交互方式类似于人与人之间的沟通，使得机器人更易于被接受，并能提供有针对性的服务。
- **学习能力：**人形机器人具有环境感知和深度学习的能力，可以通过观察和交互不断学习和优化其行为。这使得机器人能够适应家庭环境的变化，为用户提供更加个性化和智能化的服务。



- **多功能集成：**人形机器人集多种功能为一体，如家务助手、娱乐伙伴、健康监测、安全保障等，能够满足家庭成员在生活、学习和工作等方面的多样化需求，提高家庭生活质量。

当前，人形机器人在家庭服务与陪伴领域的应用仍处于起步阶段，主要集中在提供基本陪伴、娱乐互动和简单家务服务。例如日本的 Softbank 公司推出的 Pepper 机器人和美国的 Jibo 机器人，这些机器人能够进行语音交流、表情识别、情感分析等，为用户提供陪伴和简单的家庭服务。但目前市面上的人形机器人功能仍然相对有限，尚未广泛应用于家庭环境。

## 二、医疗保健与康复

医疗保健与健康领域的基本面表现为不断增长的全球医疗和康复需求。随着人口老龄化、慢性病发病率上升以及新型疾病的出现，医疗系统面临着极大的压力。当前行业主要的痛点包括医护人员短缺、医疗资源分布不均衡和医疗成本高昂等。

根据中华人民共和国国家卫生健康委员会的数据，60 岁及以上的老年人口预期将于 2022 年至 2035 年持续增长，并将于 2030 年达到 4 亿人，占 2035 年总人口的 30% 以上。由此可以看出，养老已经成为中国家庭亟需解决的重大问题。

中国面临长期护理工作人员短缺和人口老龄化日益严重的问题。考虑到劳工成本不断上涨和长期护理工作人员的供应预期增长相对缓慢，智能康养机器人能够承担繁重和重复的康复任务，并确保训练动作的准确性和一致性，作为更有效和高效的方法，可以应对快速增加的养老需求，并填补中国长期工人的供需缺口。

图表 55 医疗保健与康复领域主要应用机器人类型



资料来源：公开资料，高工机器人产业研究所（GGII）整理

人形机器人在医疗保健与健康领域的主要作用是辅助医护人员进行日常工作，降低其工作强度与工作负担。人形机器人在医疗保健与康复领域主要作用和优势如下：

- **人性化的交互：**人形机器人具有类似于人类的外形和行为，这使得它们能够更自然



地与患者进行交互。与传统的机器人或计算机界面相比，人形机器人可以更好地建立信任感和亲切感，有助于提高患者的舒适度和配合度。

- **灵活性与适应性：**人形机器人具有高度的灵活性和适应性，可以在各种不同的环境和场景中提供个性化的服务。在康复训练过程中，人形机器人可以根据患者的具体需求和进展情况，实时调整训练计划和方法，提高康复效果。
- **无疲劳工作：**人形机器人不会因疲劳而影响工作效率和准确性。这意味着它们可以在医疗保健和康复领域提供持续、高质量的服务，从而减轻医护人员的工作压力，提高整体的医疗服务水平。
- **远程医疗支持：**通过高速网络连接，人形机器人可以远程接入医疗专家的知识和经验，为患者提供实时的专业咨询和支持。这种模式可以弥补地理和资源限制，让更多患者享受到优质的医疗服务。
- **数据收集与分析：**人形机器人可以实时收集患者的生理数据、康复进度等信息，并通过人工智能技术进行分析，为医生提供有关患者状况的详细报告。这将有助于医生更准确地评估患者的需求和治疗效果，制定更合适的治疗方案。

现阶段，人形机器人在医疗保健与康复领域的应用仍处于起步阶段。面临的难点主要包括技术成熟度、成本、医疗准确性和安全性等问题，人形机器人需要具备高度可靠的操作能力和判断力，以便在各种医疗场景中准确执行任务。此外，医疗行业对安全性和隐私性要求极高，人形机器人的生产和应用需要满足诸多严格的标准和认证要求。

### 三、教育与科研

人形机器人可作为教学助手进入课堂，通过生动有趣的方式传授知识，激发学生的学习兴趣，同时也能减轻教师的工作负担。未来，随着教育信息化进程加快，人形机器人在教育领域的渗透率有望提升。

总体来看，人形机器人在服务领域的商业化应用还处于初级阶段，但随着技术成熟度的提高、产品性能的优化以及市场需求的增长，预计在未来数十年内，人形机器人在上述各个领域的渗透率将持续上升，并深刻改变人们的生活方式和社会服务体系。然而，要实现这一目标，还需解决诸如成本效益、用户接受度、隐私保护等一系列技术问题和伦理挑战。



### 第三节 人形机器人在特种领域的应用前景分析

#### 一、安防巡逻

从供给端来看，1X Technologies 的 EVE 人形机器人目前已成功应用于巡逻安保场景，EVE 机器人还能够执行护理和调酒任务，并使用类似人的手臂进行操作。这些机器人具有头、脸和两只自主移动的手臂，使其与其他保安机器人区别开来。在过去的几年里，非人形的机器人已经被用于安保任务，例如加利福尼亚州 Knightscope 开发的蛋形 K5 和创业公司 Ascento 创建的两轮机器人在瑞士的铁路车库巡逻。然而，像 EVE 这样的具备人形特征的机器人还是主要局限于实验室环境，未能有效过渡到现实世界的应用。

随着技术的不断进步和成本的降低，未来人形机器人在安保领域的应用将会越来越广泛。人形机器人可以在各种复杂的环境中执行安保任务，例如在园区、工厂、仓库等区域进行巡逻监控，对机柜外观、开关、表计等进行仔细巡查，排查是否存在安全隐患。

然而，要实现人形机器人在安保领域的广泛应用，还需要解决一些技术挑战和克服一些社会问题。例如，需要提高人形机器人的自主性和智能化程度，使其能够更好地适应各种复杂环境和任务；同时，也需要解决数据安全和隐私保护等问题，以保护企业的商业机密和用户的个人信息。

#### 二、危险作业

在危险作业领域，人形机器人可以替代人类在危险的环境中进行工作，提高工作效率和安全性。但是也存在一些挑战和限制，需要不断改进和完善技术，降低成本和提高可靠性。

在石油和天然气行业中，人形机器人可以用于钻井、油气管道巡检、危化品处理等危险作业。通过远程控制和智能化决策，人形机器人可以在高污染、高辐射等恶劣环境下进行工作，提高工作效率和安全性。

在核能行业中，人形机器人可以用于核废料处理、核设施维护等危险作业。由于核辐射对人体有很大的危害，人形机器人可以在辐射环境下进行工作，降低人员伤亡风险。

此外，在矿山、化工、消防等领域，人形机器人也可以发挥重要作用。在矿山场景中，人形机器人可以用于矿井巡检、采矿等危险作业；在化工场景中，人形机器人可以用于化工



厂巡检、危险品处理等危险作业；在消防场景中，人形机器人可以用于灭火、救援等危险作业。

### 三、灾害救援

人形机器人在灾害救援领域具有广泛的应用前景。在地震、火灾、洪水等灾害发生后，人形机器人可以帮助救援人员快速定位受害者，提高救援效率，减少人员伤亡。

首先，人形机器人可以进入人类无法到达或者难以进入的区域，如废墟、坍塌的建筑物等。这些区域可能会存在危险，但是人形机器人可以在不危及救援人员生命安全的情况下进行搜索和救援工作。通过配备各种传感器和设备，人形机器人可以检测生命迹象、搜寻被困人员、探测有害气体等，为救援人员提供重要的信息。

其次，人形机器人可以帮助救援人员进行危险的操作。例如，在一些情况下，需要进入高温、有毒或放射性等危险环境，而这些环境对人类的生命健康有严重威胁。通过远程控制人形机器人，救援人员可以在安全的环境下进行操作，避免暴露于危险之中。

此外，人形机器人还可以协助救援人员进行物资运输和后勤保障工作。在灾区中，物资运输可能会受到限制，但是人形机器人可以在复杂的环境中自主导航，将物资送达救援人员手中。同时，人形机器人也可以提供必要的生活支持，如送餐、运送医疗用品等。

虽然人形机器人在灾害救援领域具有广泛的应用前景，但是也存在一些挑战和限制。例如，在复杂的环境下，人形机器人的行动可能会受到限制，无法完全替代人类的救援工作。此外，人形机器人的技术成本和维护成本也较高，需要考虑到经济可行性和可持续性。

综上所述，人形机器人在灾害救援领域具有广泛的应用前景和重要的意义。它可以提高救援效率、减少人员伤亡、协助救援人员进行危险操作和物资运输等。但是也需要考虑到技术挑战和经济成本等因素的限制。在未来，随着技术的不断进步和成本的降低，人形机器人在灾害救援领域的应用将更加广泛和普及。

人形机器人在其他特种领域的应用也值得探索。由于人形机器人具有与人类相似的形态和功能，因此它们可以适应各种特殊环境和任务，如水下、太空等。

在水下和太空环境下，人形机器人也可以发挥重要作用。例如，在水下资源勘探、水下考古等领域，人形机器人可以代替人类潜水员进行作业，避免潜水员面临的生命危险。在太空探索方面，人形机器人可以执行各种复杂任务，如维修卫星、空间站建设等。

此外，人形机器人还可以用于军事领域，如侦察、排爆、反恐等领域。由于人形机器人具有高度的机动性和隐蔽性，可以快速、准确地完成任务，减少人员伤亡和风险。

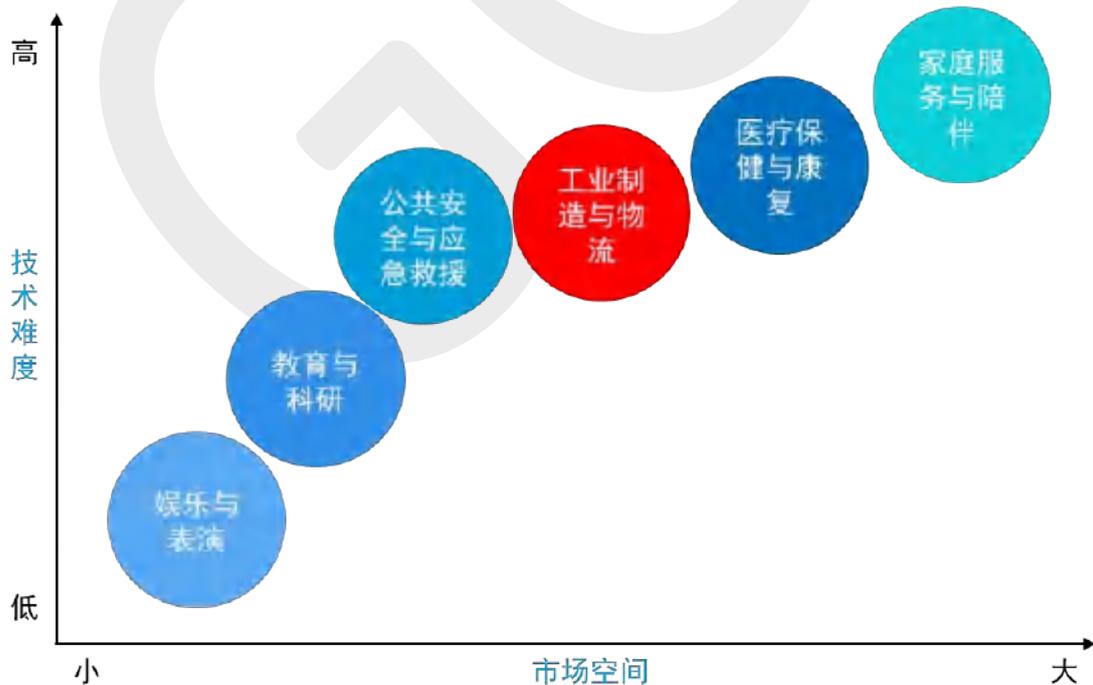


#### 第四节 人形机器人应用路径与应用场景价值图谱

围绕技术难度和市场空间两个维度展开分析，基于当前人形机器人的技术发展现状与趋势，GGII 做如下判断：

- 短期来看，对于商用服务领域的结构化场景有望率先落地，一方面，场景数据的获取门槛较低，可以快速支持人形机器人的训练成长；另一方面，该类场景在保证人机安全的前提下，容错率相对较高，这为人形机器人的快速成长与落地奠定了基础。
- 中长期来看，随着人形机器人能力的提升，有望在工业制造、物流、公共安全与应急救援迎来破局，如在汽车总装、3C 后段装配与检测、物流搬运与分拣、危险场景应急救援等场景中发挥价值，鉴于以上领域对于效率、精度、高可靠性的要求较高，同时容错率相对较低，对于人形机器人的能力和通用性提出了更高的要求，大规模落地应用的难度倍增。
- 长期来看，人形机器人的终极目标应该是走进千家万户，成为家庭助手，家庭场景下对于人形机器人的通用性、安全性、智能性均提出了更高的要求。此外，从市场空间角度看，人形机器人只有从 2B 场景延伸至 2C 场景，才有可能支撑起其所谓的万亿市场规模。

图表 56 人形机器人应用路径与应用场景价值图谱



资料来源：高工机器人产业研究所（GGII）



## 第九章 中国人形机器人产业发展机遇与挑战

### 第一节 发展机遇

#### 一、未来产业新赛道，万亿蓝海待掘金

2023 年工信部发布《人形机器人创新发展指导意见》，将人形机器人定义为有望成为继计算机、智能手机、新能源汽车后的颠覆性产品。当前，在全球人口增速放缓、老龄化程度加深以及制造业加速升级的大背景下，人形机器人已成为科技竞争的新高地、未来产业的新赛道、经济发展的新引擎。

人形机器人作为重要的未来产业之一，被认为具有万亿规模的潜力，主要是基于以下几个原因：

**技术进步与市场需求：**随着人工智能、机器学习、传感器技术和机器人硬件制造的进步，人形机器人正逐渐从概念阶段走向实用化。在人口老龄化、劳动力成本上升、以及对提高生产效率和生活质量的需求背景下，市场对于能够代替或辅助人类执行各类任务的人形机器人有着巨大的需求。

**广泛的应用领域：**人形机器人可应用于多个行业，包括但不限于家庭服务（家务、看护老人儿童等）、教育娱乐、商业服务、医疗保健、工业生产、安全防护、军事及太空探索等。这些领域的广泛应用意味着巨大的市场前景。

**潜在的经济效益：**每个细分市场的潜在客户群体巨大，如家用机器人可以进入全球数亿家庭；而在工业和服务业中，机器人能取代人力从事重复劳动，降低运营成本，提高工作效率，从而创造极大的经济价值。

**政策推动与投资增长：**各国政府对科技创新的重视和支持，以及社会资本和产业基金的大规模投入，都在加速人形机器人行业的产品化和产业化进程。

综上所述，人形机器人因其独特的优势和广阔的市场前景，被认为是继自动驾驶、智能家居等领域后又一极具潜力的蓝海市场，一旦实现规模化生产和应用，将有可能催生出一个万亿元级别的庞大产业链。

#### 二、多重利好因素催化，产业趋势加速确认

**从专利积累来看，**近十年国内人形机器人技术专利申请数量呈现出增速显著提升的趋势，越来越多的企业、高校、学术机构持续投入人形机器人研发，各项技术的进步加快了人形机器人产品研发和商业化应用，尽管目前各家人形机器人仍处于原型机研发的早期阶段，但它所带来的潜在技术变革和对某些生产生活场景的改变值得高度关注。



从技术发展来看，AI 大模型的加速迭代对人形机器人的产业化进程产生了显著推动作用，主要体现在以下几个方面：

**智能化程度提升：**AI 大模型如 GPT 系列、BERT 等在自然语言处理、视觉识别、语音合成等方面取得的重大突破，为人形机器人提供了更强大的感知、理解和决策能力。这使得机器人能更好地理解人类指令，进行复杂对话，甚至预测和满足用户需求，极大地提高了其服务质量和交互体验。

**自主学习与优化：**通过深度学习的大规模预训练和持续学习，人形机器人可以实现自我学习和不断进化，适应各种复杂的环境变化和任务需求，进一步增强其自主性和实用性。

**跨领域融合创新：**AI 大模型能够集成来自不同领域的知识，为人形机器人提供更全面的功能支持。例如，在医疗、教育、娱乐、养老等领域中，人形机器人可以通过调用 AI 大模型中的相关知识库来提供定制化服务。

**降低研发成本与缩短开发周期：**基于大模型的通用性和迁移学习能力，可以在一定程度上减少从零开始的研发投入，缩短人形机器人新功能开发的时间周期，加快产品迭代速度，加速产业化进程。

**标准化与模块化发展：**随着 AI 大模型技术的发展，人形机器人的核心智能组件有可能实现标准化和模块化设计，便于大规模生产和组装，从而降低成本，推动产业化进程。

AI 大模型的快速发展为人形机器人的产业化铺平了道路，使之从概念走向现实应用，并有望在未来逐渐渗透到各个生活场景之中，成为社会经济发展的重要驱动力。

**政策支持也是人形机器人产业化趋势加速的重要因素。**从产业政策来看，2023 年，北京、上海、深圳等城市在积极推动人形机器人产业的发展，加快布局并建设创新中心。

在北京方面，成立了省级人形机器人创新中心，目标打造全球首个“硬件母平台”，开展通用机器人本体原型、通用大模型等的研发工作，并设定了多项重点任务进行科技攻关。

上海则瞄准了人工智能技术前沿，提出构建通用大模型，致力于面向垂直领域发展产业生态，同时建设国际算法创新基地，通过吸引国内外顶尖人才和资源，来加速推进人形机器人的创新发展。

深圳也提出了相应的行动计划，包括组建人形机器人制造业创新中心，以及开展通用型具身智能机器人的研发与应用，实施核心技术的自主研发和产业化。



### 三、专用向通用升级，特定场景率先落地

从当前人形机器人的发展来看，胜任多场景下复杂任务的通用人形机器人还比较遥远。针对特定任务和环境设计的机器人可以更好地聚焦功能需求、技术难点以及成本效益比，降低对数据、算力的依赖，有望率先落地。

从供给端来看，2023年中国企业积极入局人形机器人产业，标杆企业不断推进产品迭代和商业化落地，2024年人形机器人将有望实现制造业场景应用的突破，小批量应用于汽车、电子及仓储物流等生产制造，2024年人形机器人在工业制造领域或将迎来商业化元年。

## 第二节 主要挑战

### 一、核心技术亟待突破和创新

人形机器人作为机器人领域最高阶的产品，其发展仍面临众多技术挑战，包括但不限于以下几个方面：

**运动控制与动态平衡：**保持稳定行走和执行精细动作是首要挑战。人形机器人需要在各种复杂的地形上行走、跑步、跳跃甚至进行翻滚等高难度动作，这要求精密的关节设计、高效的步态规划算法以及强大的实时控制系统。然而，实现高度自然且稳定的运动控制是一项极具挑战性的技术难题。研究人员需要开发先进的算法和控制策略，以优化人形机器人的运动性能。此外，降低执行器的成本、重量和体积，提高其响应速度和精度也是关键研究方向。

**感知与环境交互：**实现类似人类的感知能力，如视觉、听觉、触觉、力觉等，并将这些信息整合用于决策，这需要高度集成且准确的传感器技术和先进的信号处理算法。当前，虽然已有一些成熟的感知技术，如计算机视觉和语音识别，但将它们应用于人形机器人仍面临很多挑战，如实时性、鲁棒性和能耗等。

**人工智能与学习能力：**开发更智能的人工智能系统，使人形机器人能够通过深度学习、强化学习等方法自我学习和适应环境变化，实现类人的认知和决策过程。

**力量与柔韧性：**设计兼具力量和柔韧性的机械结构以模拟人体肌肉骨骼系统的功能，例如开发高性能的驱动单元、材料科学的进步和仿生学的应用。

**能源效率与续航：**提高能源利用效率，延长电池寿命或寻找替代能源方案，确保机器人有足够的能量完成任务。研究人员需要研究高效的能源管理策略，以降低能耗并延长机器人的续航时间。此外，寻求新型的能源存储技术，如高能量密度的电池和超级电容器，也是一



个重要研究方向。

**复杂的人机交互：**研发出更加自然、直观的人机交互界面，让机器人能更好地理解人类语言、表情和肢体语言，实现更为人性化、无缝化的交流体验。

人形机器人的发展涉及多学科交叉，从硬件到软件、从底层控制到高级认知仍需要不断的技术突破和创新。

## 二、法规与伦理挑战

随着人形机器人逐渐开始在各个领域落地应用，相关的法规和伦理规范也变得愈加重要。例如，在医疗、护理领域的应用，人形机器人必须符合医疗设备的相关规定，并且保障患者的隐私和安全。在人工智能等新技术领域，也需要制定相关的伦理规范来保障人类的基本权利和道德价值。

### 1、法规制定与更新

随着人形机器人技术的发展，现有的法规可能不再适用或无法满足新的技术需求。政府和监管机构需要密切关注人形机器人领域的技术进展，及时制定或更新相关法规，以确保技术发展的合规性。同时，不同国家和地区的法律法规差异可能导致跨国合作难题，需要国际间加强合作与协调。

### 2、机器人权利与责任

人形机器人真正落地应用的过程中，机器人是否应当拥有某种程度的权利和责任必将成为一个争议问题。例如，如果机器人在执行任务过程中造成了财产损失或人身伤害，应该由谁承担责任？是制造商、使用者还是机器人本身？这些问题需要在法律框架中得到明确的界定。

### 3、人工智能偏见与歧视

人形机器人中的人工智能系统可能会受到训练数据的影响，导致偏见和歧视问题。例如，在语音识别或面部识别过程中，机器人可能对某些人群表现出不公平的态度。为避免这些问题，监管机构和企业需要关注算法的公平性和透明度，确保机器人在与人类互动时不会产生歧视行为。

## 三、安全与隐私问题

人形机器人的数据采集、传输和存储也面临着许多安全风险。例如，数据泄露、黑客攻击等安全问题，需要建立安全保障措施来保障数据的安全。此外，人形机器人的安全措施也需要不断加强，以防止机器人的操作失误或控制失灵带来的安全隐患。



## 1、系统安全

人形机器人往往由多个复杂的软硬件系统组成，这些系统可能存在潜在的安全漏洞。黑客可能利用这些漏洞对机器人发起攻击，篡改其行为或窃取数据。因此，保障系统安全对于人形机器人行业至关重要。开发者需要在设计和生产过程中充分考虑安全因素，采用加密、防火墙等技术手段来确保系统的安全性。

## 2、个人隐私保护

人形机器人在执行任务时可能需要收集和处理大量个人信息，如面部识别数据、语音指令、生物识别数据等。这些敏感信息如果泄露，将对个人隐私造成严重侵犯。为确保隐私安全，开发者应采取严格的数据保护措施，如数据加密、访问控制等。此外，合规的数据收集、存储和处理流程也是保护隐私的关键。

## 3、物理安全

人形机器人在执行任务时可能与人类和环境密切互动，因此需要确保其在操作过程中不会对人类或环境造成危害。为此，研发人员应设计出具备安全功能的机器人，例如紧急停止按钮、碰撞检测系统等。同时，使用者和维护人员也需要接受相应的培训，以确保在机器人出现故障或异常行为时能够及时采取措施，避免意外伤害。

## 4、数据泄露风险

人形机器人在执行任务过程中可能会与云服务器、其他机器人或设备进行数据交换。在这些过程中，数据可能会受到黑客攻击或泄露。为防止数据泄露，开发者需要采用加密通信、VPN 等技术手段，保证数据在传输过程中的安全性。

## 四、规模化落地应用难题

### 1、通用化与智能化的实现

当前人形机器人产业在迈向通用化、智能化、大规模应用的过程中，面临着多方面的挑战：

**高质量数据不足：**训练先进的人工智能模型需要大量的高质量数据作为支撑。人形机器人要实现高度拟人的行为和交互，就需要收集和处理各种复杂环境下的大量数据，包括但不限于视觉、听觉、触觉等多模态数据。目前的数据采集和标注工作尚无法满足构建一个完全适应所有场景的通用模型的需求。

**算力瓶颈：**当前 AI 算法对于计算资源的要求较高，运行复杂的感知、决策算法往往需要强大的计算能力。而将这样的高算力系统集成到小型化、轻量化的人形机器人中是一个技



术难题。

**人机交互安全性：**确保人形机器人与人类用户之间安全、有效的互动是至关重要的。这涉及到机器人如何识别并正确响应人类的行为意图、情感状态，以及在意外情况下如何保证人身安全等问题。

**长尾场景问题：**现实世界中的应用场景繁多且复杂，存在很多边缘或非常规场景（即所谓的“长尾场景”）。人形机器人要应对这些特殊情况，需要具备极高的自主性和适应性，而这在当前的技术水平下还很难实现。

## 2、市场接受度

市场接受度是衡量人形机器人在目标市场中的普及程度和受欢迎程度的重要指标。人形机器人在实际应用中的普及将受到诸多因素的影响，如用户对新技术的接受程度、文化差异以及行业应用的实际需求等。

要提高市场接受度，企业需要不断优化产品性能，提高用户体验，并加强市场推广，以提高潜在用户的认知度和信任度。

## 3、成本与价格因素

人形机器人居高不下的成本是制约其发展最重要的原因之一，一方面人形机器人的生产成本较高，包括硬件、软件和人工智能等方面的投入，且人形机器人尚未实现规模化应用，规模效应尚未体现；另一方面，人形机器人的研发投入较高，这无形中增加了人形机器人的隐性成本。

人形机器人面临来自其他类型机器人（包括工业机器人、AGV/AMR、服务机器人等）和劳动力的竞争。在诸多工业场景中，非人形机器人和自动化设备具有更高的性价比，能够以较低的成本实现自动化的功能。因此，降低人形机器人的综合成本以提高人形机器人的性价比对于人形机器人的规模化应用至关重要。



## 第八部分 企业篇

### 第十章 蓝皮书参编单位介绍

#### 第一节 优必选

##### 一、企业简介

**成立时间：2012年；总部：深圳**

优必选科技成立于2012年3月，是人形机器人的领导者和智能服务机器人的领航企业。优必选布局了人形机器人全栈式技术，并在此基础上开展智能服务机器人解决方案的研发、设计、智能生产和商业化应用，涵盖了多个行业的企业级和消费级广泛应用场景。2023年12月29日，优必选（股票代码：9880.HK）于香港交易所主板挂牌上市。

优必选是全球极少数具备人形机器人全栈式技术能力的公司，也是全球极少数完成小扭矩到大扭矩（扭矩从0.2Nm到200Nm）伺服驱动器批量生产的公司，其自主研发的人形机器人Walker是中国首个商业化双足真人尺寸人形机器人。截至2023年12月31日，优必选全栈式技术拥有2100余项机器人及人工智能相关专利，其中逾400项为海外专利，发明专利占比超50%。

##### 二、核心技术

优必选是全球极少数具备人形机器人全栈式技术能力的公司，包括行业领先的机器人技术（机器人运动规划和控制技术、伺服驱动器）、人工智能技术（计算机视觉和语音交互）、机器人与人工智能融合技术（SLAM及自主技术、视觉伺服操作和人机交互），以及机器人操作系统应用框架（ROSA）。

##### **核心技术1——机器人运动规划与控制技术**

优必选持续提升机器人的运动规划与控制技术、机器人全身力矩控制技术，以及开展基于强化学习端到端的人形机器人步态规划算法研究。在感知驱动的步态规划与生成方面取得进展，机器人可以根据识别的地形信息自主完成上下斜坡、上下台阶等复杂场景的移动。针对双臂的协同操作，开发并完善了任务空间混合控制框架，实现双臂协同力位混合控制并提高其任务开发效率。

##### **核心技术2——伺服驱动器和传动技术**

优必选是全球范围内极少数可以完成集成行星滚柱丝杠传动、电机、驱动板以及传感器组成的伺服模组研发和产品输出的公司，其“舵机及机器人”专利也先后获得了广东专利银



奖及中国专利优秀奖。根据大型人形机器人运动能力的需求，优必选研发了多种伺服驱动器和传动技术。其中，大推力直线伺服驱动器，集成了力矩电机、滚珠丝杠、驱动板、位置传感器、拉压力传感器等部件，为下一代大型人形机器人运动能力提升，奠定了硬件基础。

### 核心技术 3——计算机视觉技术

面向公司多业务线产品在端侧的人机交互需要，优必选把高性能视觉模型轻量化落地到机器人和智能产品中，构建了机器人基于物体识别与跟踪、图像分割、位姿估计、图像生成等技术的多样化能力。同时，视觉研发采用了主动学习、半监督学习、多任务学习、自监督学习等机器学习范式，融合了基础视觉模型、多模态模型、创新的数据增强、度量学习、训练加速等手段，满足了算力各异的产品需求。

### 核心技术 4——语音交互技术

优必选研发了离线语音全链路交互技术，实现了端侧的应用，涵盖了自动语音识别(ASR)、自然语言处理(NLP)、语音合成(TTS)等关键组件。该技术无需依赖网络连接，且具有低延时、高速度的特性，保证了交互过程的流畅性。由于算法是离线运行在机器人的本体上，能够保护用户隐私，确保用户数据的安全性。

### 核心技术 5——智能定位与导航技术

优必选对自研的U-SLAM定位导航系统持续升级，结合3D SLAM建图定位、场景自主决策、3D感知避障、语义定位等技术，研发融合感知决策规划算法，可以帮助机器人实时感知多类型障碍物、区分动态和静态环境，并做出最优的行为决策和路径规划决策。在动态变化的情况下，机器人可以做出灵活、安全、流畅的导航控制。

### 核心技术 6——人形机器人多模态具身智能系统

优必选的“人形机器人多模态具身智能系统”，是集人机交互，指令理解等技术于一体的智能系统；除了能够自然地响应用户的对话外，也会通过多轮交互的形式，准确提炼对话中的语义，生成可执行的任务指令。当用户通过自然语言与人形机器人进行交互后，该智能系统除了响应生成合适的回复外，也会生成包含可执行的任务指令。



### 三、核心产品

优必选是人形机器人的领导者和智能服务机器人的领航企业。从2016年推出 Walker 原型机以来，经历了五次迭代。



（优必选大型人形机器人 Walker 的五次迭代）

2016年推出的 Walker 原型机，拥有12个自由度的腿可以完成行走和上下斜坡的动作，可在斜坡晃动平面上保持平衡。

2018年优必选发布了 Walker 第一代，身高1.35m，重37kg，除双腿12个自由度外，增加了头部2个自由度。这一年，Walker 突破了波动地形上的自平衡、力位混合控制、不平整地面行走等技术，第一次加入了机器视觉和导航定位等感知功能。Walker 第一代具备了一定的智能，可以识别并跟踪足球，以及在三维数字地图中进行导航。

2019年优必选推出 Walker 第二代，身高1.45m，重77kg，增加了双臂和双手，全身达到了36个自由度以及力觉反馈系统。此外，Walker 第二代还拥有视觉、听觉、空间知觉等全方位的感知，并实现了平稳快速的行走和灵活精准的操作。Walker 第二代全新升级了所有的伺服关节，设计了系列伺服舵机作为驱动单元，支持位置模式、速度模式和力矩模式三种控制方式。

2021年优必选推出 Walker X，身高1.30m、体重63kg，具备41个高性能伺服关节构成的灵巧四肢，以及多维力觉、多目立体视觉、全向听觉和惯性、测距等全方位的感知系统，拥有全面升级的视觉定位导航和手眼协调操作技术，自主运动及决策能力大幅提高，可以实现平稳快速的行走和精准安全的操作，已在科普教育、影视文娱、政企展厅等领域实现了示范应用。



2023 年优必选推出工业版人形机器人 Walker S，身高 1.7 米，体重 60kg，可替换末端执行器，搭载了 41 个高性能伺服关节以及多维力觉、多目立体视觉、全向听觉和惯性、测距等全方位的感知系统，拥有全面升级的视觉定位导航、手眼协调操作、步态控制、多模态路径规划垂域模型等技术，机器人的自主运动及决策能力大幅提高，可在工业及商用场景精准安全地完成指定工作任务。





## 第二节 伟景机器人

### 一、企业简介

**成立时间：2017年；总部：北京**

陕西伟景机器人科技有限公司（以下简称“伟景机器人”）成立于2017年，是一家专注于智能人形机器人和立体智能视觉系统研发、生产及应用的高科技人工智能公司。公司自成立以来在智能人形机器人和智能立体视觉领域坚持核心技术自主研发，形成了以自主核心算法、软件、硬件、部件及行业系统解决方案为一体的全产业链。目前已经申请及授权的软硬件技术专利140余项，发明专利60余项，其中多项已授权的发明及实用新型专利为人形机器人产业化技术中很重要的核心专利。

公司产品包括智能人形机器人、农业采摘机器人、智能人形手、人形机器人专用3D视觉相机等多款智能产品，为多领域提供了智能化的解决方案，解决了众多行业难题。

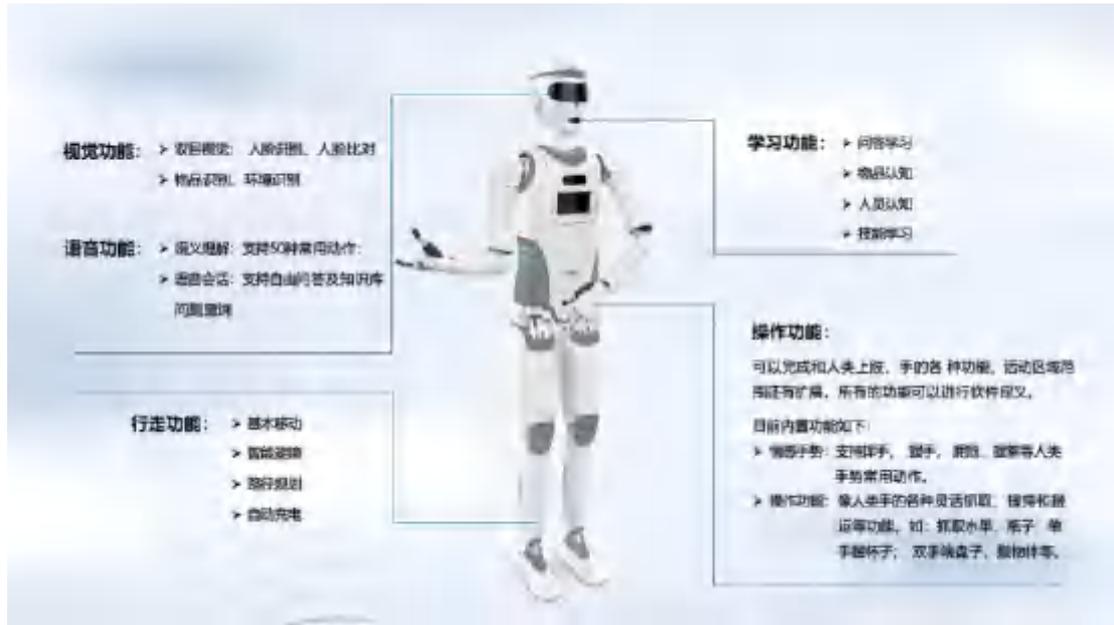
### 二、核心技术

#### 核心技术1——完全自主研发的创新型机器人本体

人形机器人硬件、应用软件、控制算法等均为自主研发，完全自主可控，具备高效布局能力。

- 机器人本体采用仿人形结构及多关节运动机构设计，整机具备40个自由度；
- 具备智能认知、智能感知的立体视觉技术，识别速度快，识别精确度高；
- 集成机器视觉、自然学习、图像处理等人工智能技术，可实现手眼协调，实现类似人手的灵活抓取、握持和搬运等功能；
- 手臂末端定位重复精度达到国内外先进水平；
- 集成了多阵列语音系统，具备人机对话、语音识别、语义解析功能，采用离线和在线语音交互技术，通过智能切换可实现自然、流畅的人机交互。

未来将具备高效的传动，向拟人化、实用化、轻量化、低成本方向发展。



## 核心技术 2——人形机器人大量采用以滚珠丝杆为核心的传动装置

具备低成本、高精度、超轻量化、高刚性、传动效率高、高响应性等特点, 为人形机器人商业化提供坚实的基础。

### ①人形机器人关节模组

伟景机器人自主研发的全新一代高性能机器人关节产品, 包含旋转关节模组、推杆关节模组两大类产品, 完全专门针对人形机器人进行开发, 具有体积小、重量轻、高能量密度、高精度等特点。

### ②传动结构设计

可以实现三环控制（电流环、位置环、速度环），采用双编码器，高集成化模块。旋转关节模组主要由无刷力矩电机、谐波减速机、磁编码器、驱动器等组成；推杆关节模组由无刷力矩电机、滚珠丝杆、编码器、驱动器等组成；通过自我研发设计，实现高集成化的功能模块，具有尺寸小、单位体积下的能量密度大的特点。

### ③电机伺服系统设计

目前研发目标是实现电机的三种基本控制模式（扭矩模式、速度模式、位置模式）和 PVT（路径规划）功能。对于机器人来说，最重要的是位置模式和 PVT 功能。PVT 功能的实现，建立在电机三种基本控制模式的基础上。三种基本控制模式的实现，建立在电机三环控制（电流环、速度环、角度环）的基础上，而无刷电机三环控制的实现，建立在对电机线圈电流精确控制的基础上。无刷电机电流控制有 BLDC（采用六步换向）和 PMSM（正弦波矢量控制）两种方式。根据是否使用传感器来获取转子的位置信息，又有有感和无感之分。所以对



电机线圈电流精确控制有四种方式：BLDC 无感、BLDC 有感、PMSM 无感、PMSM 有感。

目前的技术路线为 PMSM(FOC)+PVT 的方式。

#### ④机器人通信系统设计

机器人通信系统的研发涉及两部分：电机间的通信同步问题，上位机与电机的通信。

目前上位机与电机通信采用工业以太网（Ethernet）的方式，电机间的通信同步采用 CAN-FD 通信协议来保证。

#### ⑤机器人运动系统设计

机器人运动系统包括机器人的路径规划算法、机械臂的轨迹规划等。

机器人路径规划采用：激光雷达（硬件）+SLAM 算法（软件）的方式实现。

机械臂的轨迹规划采用：ROS 系统的机械臂运动学正逆解的方式实现。

此外，目前正在研发双足设计，硬件已完成生产，算法及软件正在调试。

未来更加轻量化、更低成本、更高精度。



### 核心技术 3——伟景自主研发的以高精度立体视觉为核心的手眼伺服系统（自然学习+具身智能）

以高精度立体视觉系统为核心，基于“Natural Learning”自然学习核心算法，搭载自主研发的灵巧手，通过 Mark 点识别，可以实现眼到手到，手眼伺服。

#### ①智能化硬件技术

立体相机采用前端智能化设计，在相机端嵌入多块高性能处理芯片，可直接在前端快速实时地进行图像处理，满足数据的无延迟的特性。



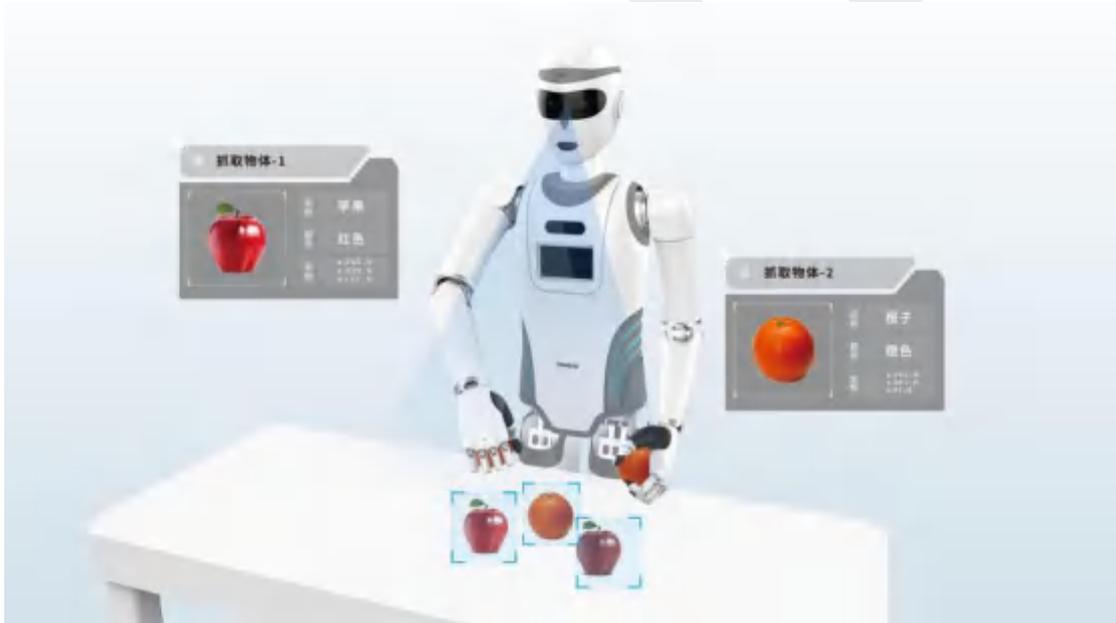
## ②相机图像处理技术

相机端支持多种图像处理，包括滤波、特征提取分割、增益等，并能通过参数设置对图像的检测区域、曝光等进行设置及处理。

## ③立体智能视觉技术

采用可见光双目视觉系统实现，结合“Natural Learning”自然学习核心算法，利用两个平行的摄像头进行拍摄，然后根据两幅图像之间的差异（视差），利用一系列复杂的算法计算出特定点的距离，当数据足够时可快速生成点云数据模型、RGBD 数据、深度图、灰度图、彩色图等结果数据信息。

未来手眼速度更快、更高精度，结合更加智能化的灵巧手，使机器人做到穿针引线。



## 核心技术 4——自主研发的机器人控制系统

①**硬件系统**采用先进的无刷力矩电机、谐波减速机或滚珠丝杆、双编码器、驱动器等部件组成，确保控制系统实现三环闭环高精度控制。

②**ViHero 创世纪版具备 VSLAM 视觉导航技术**，集成了激光雷达及超声传感器，可实现自主避障和智能路径规划功能；双足机器人依靠其双足多自由度的设计，可实现在非平整路面或有障碍物等复杂路面上自如行走。

## ③复杂性与精确性

人形机器人的控制算法需要处理大量的运动学、动力学和感知数据，以实现高度复杂的动作和精确的控制。控制算法能够精确地模拟人体的运动规律，并实时调整机器人的运动状态，以适应不同的环境和任务需求。



#### ④稳定性与安全性

控制算法确保了人形机器人在运动过程中的稳定性，避免摔倒或发生其他意外情况。同时，算法还考虑到机器人的安全性，确保在与人或其他物体交互时不会造成伤害。

#### ⑤自适应性与学习能力

人形机器人的控制算法具备一定的自适应性和学习能力，以便在未知或变化的环境中自主调整运动策略，提高机器人的适应性和灵活性。

#### ⑥高效性

通过优化控制算法，人形机器人可以实现更高效地运动和作业，提高机器人的工作效率。

#### ⑦准确性

精确的控制算法使得人形机器人能够更准确地执行复杂的动作和任务，提高工作的精确度和质量。

#### ⑧智能性

控制算法使得人形机器人具备一定的智能性，能够自主决策、学习和适应环境，从而更好地与人类或其他机器人进行协作。

未来更加智能化，满足更多的使用场景。





## 核心技术 5——AI 学习

### ①深度学习与神经网络的应用

人形机器人 AI 学习技术广泛采用深度学习和神经网络，使得机器人能够处理复杂的感知和决策问题。这些技术使得人形机器人能够理解和解析大量的数据，并从中提取出有用的信息。

### ②实时学习与反馈

人形机器人能够在执行任务的过程中实时学习和调整，通过接收来自环境或用户的反馈，不断改进自身的行为。这种实时学习和反馈机制使得人形机器人能够更好地适应变化的环境和任务。

### ③更高的智能化水平

通过 AI 学习技术，人形机器人能够实现更高级别的智能化，从而能够更好地理解并满足用户的需求。它们能够与人类进行更自然的交互，甚至在某些方面超越人类的能力。

### ④提高效率和降低成本

通过 AI 学习技术，人形机器人可以不断优化自身的性能和工作效率，从而降低运行成本。此外，AI 学习技术还可以帮助人形机器人减少错误和事故的发生率，进一步提高工作效率和安全性。

### ⑤强大的学习与适应能力

人形机器人通过 AI 学习技术，能够不断地从经验中学习和适应新的环境和任务。它们可以自我优化运动轨迹、动作策略，甚至能够识别并理解人类的语言和情绪，从而进行更精准的互动。

### ⑥更强的自主性和灵活性

AI 学习技术使得人形机器人具备更强的自主性和灵活性，能够在未知或变化的环境中自主决策和行动。这种自主性和灵活性使得人形机器人能够胜任更多种类的任务，包括那些需要高度适应性和创造性的任务。



### 三、核心产品

#### 产品 1——智能人形机器人

2021年9月，伟景机器人推出其第一代智能人形机器人产品 ViHero 创世纪版，是一款面向社会和家庭的专业级人形智能服务机器人，其集各类智能技术于一身，包括机器人本体、机器视觉、语义解析、人机交互、运动控制、智能抓取以及自然学习、大数据、云端控制等内容，目前已实现量产。

ViHero 不仅可以广泛应用于迎宾、讲解以及训练等场景，还可以进入社区和家庭，辅助老人起居及看护孩童陪伴学习等，深度参与日常工作和生活。ViHero 所融入的技术体现在“脑”“身体”“眼”“手”“听”“说”等各个功能，其中有很多创新性技术，具体体现在机器人身上的机械结构、部件设计、智能控制、视觉伺服和智慧学习等。



ViHero 创世纪版发布后，伟景机器人秉承“为梦想、为世界打造一款真正的智能机器人”发展理念，继续研发更为复杂的双足机器人，该款机器人具备像人一样通过双足行走，能够根据不同路面状况调整自身各关节的转角，实现在非平整路面或有障碍物等复杂路面上的步态切换，灵活自如地完成躲避障碍物、跨越沟壑、上下楼梯、爬坡等任务。

这种卓越的地面适应性使得双足机器人能够在各种环境中稳定行走，尤其是在面对非连续、不规则的路面时，许多其他类型的机器人难以胜任，而双足机器人则能轻松适应。双足机器人计划 2024 年年底发布。





### 产品 2——智能人形手

智能人形手按照真实人手 1:1 设计，可模拟人手完成各种复杂抓握动作和手势展示。控制系统采用先进的压力反馈控制方法，可根据物品的材质和重量智能调节抓力的大小。智能人形手和伟景立体智能视觉系统集成后，可通过 MARK 点识别算法实时跟踪手掌的空间位置和姿态，实现各种复杂环境下物品的取放、物品的搬移。智能人形手有如下优势：

- 机械结构采用多关节运动机构，仿照人五指关节结构设计，负载能力 2kg；
- 控制系统采用先进的电流反馈控制方法，抓力可适应物体的表面材质和质量；
- 手掌部集成伟景独特的 MARK 点，通过立体智能视觉系统可实时跟踪手掌的空间位置和姿态；
- 手眼协调，实现类似人手的灵活抓取、握持和搬运等功能。



### 产品 3——采摘机器人

采摘机器人是专门为采摘蔬果（如苹果、番茄、冬枣等）而设计的创新机器人。它结合了先进的视觉识别、定位和机械臂控制技术，以及精密的机械操作，使得蔬果采摘变得高效、准确和智能。

#### 主要特点和优势：

- **高效快速：**采摘机器人能够在短时间内完成大量果实的采摘任务，比传统人工采摘提高了数倍的效率。
- **精准定位：**通过先进的视觉识别和定位技术，机器人可以准确地辨别成熟的果实，并使用精密的机械臂进行准确的采摘动作，避免对未成熟或受损的果实造成损害。



- **轻柔采摘：**采摘机器人的机夹具采用特殊设计，能够轻柔地采摘果实，保证采摘过程中的品质和完整性。
- **数据记录与分析：**采摘机器人可实时记录采摘过程中的数据，如采摘时间、数量等信息，并通过数据分析为农民提供生产决策支持，帮助提高农作物的品质和产量。
- **灵活适应：**采摘机器人可以根据不同的蔬果种类和农田环境进行调整和适应，确保在各种情况下都能高效运作。

通过使用采摘机器人，种植业类企业可以减轻体力劳动负担，提高采摘效率，同时保证了蔬果采摘的品质和产量。





## 第三节 国讯芯微

### 一、企业简介

**成立时间：2017年；总部：苏州**

国讯芯微（NIIC）专注于实时操作系统和 EtherCAT 协议栈的研发与应用，汇聚了一批业内顶尖的工程师和科研人员，始终致力于为智能制造输出自主可控核心技术产品。

公司基于 ARM 体系芯片平台研发自主化 NOM 系列产品，并结合自主研发的工业实时操作系统 NECRO 囚牛和 NECRO SUPER STUDIO 软 PLC IDE 构成了一套完整的控制系统平台产品，为智能制造领域提供实时操作系统 SDK、IDE 工具链和完整的自动化、运动控制解决方案。

国讯芯微的技术实力得到了广泛认可，先后荣获“工信部首届智能制造大赛创新赛道全国第二”、“工信部创新类示范项目”、“金鸡湖人才计划科技领军人才企业”等荣誉，NECRO 囚牛和 NSS 两大软件已成功大批量应用于机器人、半导体、新能源、激光、数控等智能制造领域，其软硬件一体化策略满足了各种高实时、高精度的工业控制场景需求，为企业带来了高效且高性价比的产品研发与量产。

截至 2024Q1，使用国讯芯微产品的客户已超五十余家，提供完整控制产品，帮助不同应用领域的客户解决控制痛点问题，推进产品快速落地。

### 二、核心技术

#### 核心技术 1——融合所有通用人工智能的通用机器人控制平台

NSPIC-R006NP 具身智能控制平台，将感知、决策、控制完美融合，巧妙地集成了 AI SOC 平台、高性能实时操作系统 NECRO 囚牛和 EtherCAT 多主站 NIIC EtherCAT Master 2.0。

NSPIC-R006NP 具有强大的 AI 计算能力，能够部署最大、最复杂的模型以解决自然语言理解、3D 感知、多传感器融合等领域的边缘 AI 和机器人技术挑战。NSPIC-R006NP 目前已集成 YOLOv5 目标检测算法、Llama 2 LLM 大语言模型，其开放的架构和易于二次开发的特点，展现出了强大的灵活性和通用性。

在实时运动控制方面，NSPIC-R006NP 具有新型控制架构，基于 NECRO 囚牛，GPU（大脑）拥有强大的并行计算和图形处理能力，能够快速处理数据并输出决策，CPU（小脑）负责执行基础运算和逻辑判断，确保系统的稳定运行，确保了机器人在复杂动作和高速运动中的卓越性能。并且采用国讯芯微首创的 EtherCAT 多主站同步技术，高精度、高实时性，能确保在最小的 250 微秒控制周期内，保证 40 多个关节的精确协同。



运用 Transformer 模型处理感知信息，通过 Token 化提取特征辅助决策。GPU 集群训练大模型，通过 CUDA 执行，最终所有端到端轨迹规划算法产生的插补点经 EtherCAT 同步释放至关节链路，实现多模态 AI 与运动控制高效融合。

### 核心技术 2——实时操作系统 NECRO 囚牛

NECRO 囚牛，一款由国讯芯微独立研发的实时操作系统，100%自主代码硬实时微内核，深度满足底层系统国产化需求。NECRO 囚牛以其独特的可裁剪微内核结构脱颖而出，模块化设计赋予其高度的灵活性，可根据具体应用场景进行定制裁剪。其核心特性包括硬实时内核和抢占式调度算法，支持高达 99 级的优先级，确保性能强劲。

NECRO 囚牛拥有卓越的实时性能，微秒级操作系统抖动，纳秒级中断响应速度。NECRO 囚牛提供 100%原生的 API 接口，同时 100%兼容与 Linux 命令和 Shell 脚本。NECRO 囚牛还提供了一套丰富的 SDK，支持超过 400 种行业库和生态库，包括英伟达 CUDA 和 华为昇腾生成式 AI 生态。此外，NECRO 囚牛还集成了多种自研的浮点运算加速算法和视觉加速算法。

不仅如此，NECRO 囚牛还支持微服务和容器技术，能够轻松应对现代软件架构的需求。同时，它还支持多种工业控制专用总线，如 EtherCAT 和 CANOPEN 等，进一步增强了其在工业自动化领域的适用性。

在 PLC 运行模式方面，NECRO 囚牛能够满足单次、周期、连续运行、中断等多种模式的需求，并支持多任务控制。其稳定的性能使得它能够轻松应对高速多轴联动控制、高速生产线等复杂机器控制要求。

### 核心技术 3——多 EtherCAT 主站

国讯芯微自主知识产权 EtherCAT 多主站 NIIC EtherCAT Master 2.0，可以有效减少数据传输的延迟和抖动。支持最小 125uS 的控制周期，并且 EtherCAT 抖动控制在 2uS 以内。目前，国讯芯微自研的 EtherCAT Master2.0 已经适配了全球范围内近百家伺服、IO 和传感器厂商。

EtherCAT 在大部分情况下都用于代替 CAN，EtherCAT 基于以太网技术，具有更高的传输速度，适用于需要快速实时通信的高速应用。相比之下，CAN 总线的传输速度一般为几百 kbps 到数 Mbps，适用于中低速应用场景。EtherCAT 主站设备使用标准的以太网控制器，具有网口接口卡的计算机和具有以太网控制的嵌入式设备均可作为 EtherCAT 主站。这种兼容性使得 EtherCAT 可以与多种设备和系统无缝集成，提高了系统的灵活性和可扩展性。EtherCAT 网络可连接设备数多达 65535 台，且采用主从结构和主站广播的方式，在一个以太网帧内实现了多个从站设备的同步通信。



## 核心技术 4——自主软 PLC IDE

NECRO Super Studio（简称 NSS）是国讯芯微开发的基于 B/S 架构和 IEC61131-3 国际编程标准的，面向工业 4.0 及智能制造的软 PLC 开发平台。NSS 平台的独特优势是用户无需安装本地软件就可以实现一个完整的工业自动化解方案。

支持 IEC 61131-3 标准的编程环境，目前支持标准的 ST 语言、FBD 编程语言、CFC 编程语言和 LD 梯形图。支持多种工业以太网包含 EtherCAT 主站、EtherNET/IP、CANOPEN、Scanner 与 Adapter、Profinet 从站、Modbus TCP/RTU 等；标准 PLCOPEN 运动控制算法库包含单轴、多轴、轴组、电子齿轮、凸轮与凸轮表、平面与空间直线、圆弧插补等。国内唯一自主多 EtherCAT 主站同步支持，满足复合机器人、多通道多刀塔复杂数控系统及百米磁悬浮柔性制造线等各类智能制造高端需求。NSS 支持 2D 3D 机器视觉深度学习和 ChatGPT 多模态生成式 AI 与 LLM 大语言模型。

NSS 支持 IEC 61499，可以通过 C++ 等高级语言自行编写导入功能块，通过自定义方式可以支持各类算法，根据控制功能需要选择特定功能块，并按照 IEC 61499 标准将它们进行软件互连，设计灵活，包括机器人算法、视觉算法等，适合各类电气工程师到高级语言工程师使用，这种方法为控制系统的设计和改进了提供了高度灵活性，修改调试程序十分方便，在 NSS 中修改程序后，runtime 将自动根据程序修改 XML，无需下载，简单快捷。

## 三、核心产品

### 产品 1——具身智能控制平台

**产品概述：**NSPIC-R006NP 是一款专为人形机器人设计的高算力、低功耗的具身智能控制平台，搭载了实时操作系统 NECRO 囚牛，适配 Ubuntubase 文件系统，并通过 EtherCAT 多主站 NIIC EtherCAT Master 2.0，将控制逻辑与机器人或系统的物理特性紧密结合。

NSPIC-R006NP 能够实现 13B-70B 的大模型推演，支持深度学习、计算机视觉等多种算法。具有丰富的接口资源、软件开发工具和生态资源，便于开发者进行定制化开发和优化，目前适配 GMSL 摄像头、双目摄像头、雷达、伺服系统、灵巧手以及六维力传感器等生态链产品。可满足人形大模型机器人的实时感知、决策与控制需求，是实现机器人智能化和自主化的关键。



| 软件资源                 | 硬件参数  |                              | 生态        |
|----------------------|-------|------------------------------|-----------|
| NIIC EtherCAT MASTER | CPU   | 12x Arm Cortex-A78AE 2.2GHz  | GMSL 摄像头  |
| NECRO 囚牛             | 内存    | 64GB LPDDR5                  | 双目 3D 摄像头 |
| CUDA                 | AI 算力 | Up to 275 Sparse TOPS (INT8) | 全景雷达      |
| cuDNN                | 网口    | 1 路万兆 + 8 路千兆                | 六维力传感器    |
| TensorRT             |       | 最多 5 路 EtherCAT              | 力矩传感器     |
| VPI                  | HDMI  | 2x M.2 1x HDMI               | 灵巧手       |
| opencv               | 音频    | 1x AUX                       | 伺服驱动器     |
| llamaspeak           | USB   | 8x USB 3.2                   | 旋转电机      |
| YOLOv5               | 串口通信  | 2x RS485                     | 滚柱丝杠      |
| cuda                 | CAN   | 2x CANFD                     | 麦克风阵列     |
| ROS2                 | 摄像头接口 | 8x GMSL                      | 扬声器       |

### 产品 2——NECRO 囚牛实时操作系统

**产品概述：**NECRO 囚牛是工信部认证的 100%自主源代码微内核硬实时操作系统，由国讯芯微自主研发，微秒级操作系统抖动，纳秒级中断响应速度，达到行业领先水平。

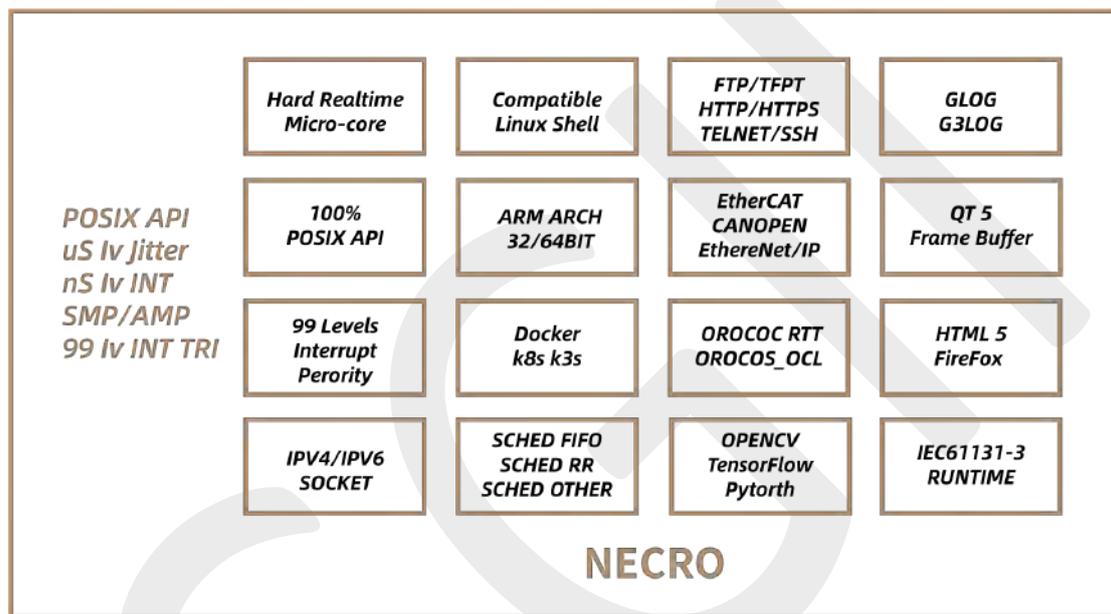
NECRO 囚牛支持 EtherCAT、EtherNET/IP、CANOPEN、ProfiNET 等多种协议，支持国内首创的 EtherCAT 双主站，可与通用大模型等技术深度融合，提供安全、稳定、易用、智能的



系统平台。

NECRO 囚牛不仅提供丰富的视觉算法支持，还支持英伟达 CUDA，能够充分利用 GPU 资源加速计算，有效提高机器学习的效率和精度。

NECRO 囚牛高实时、高精度、高智能，经过了大量成功案例验证，广泛应用于机器人、半导体、数控系统、航空航天、运控 PLC、锂电新能源、超长磁悬浮轨道等业务功能复杂、实时性、扩展性、稳定性、安全性要求高的行业领域。



（NECRO 囚牛）

### 产品 3——NECRO Super Studio 工业软 PLC IDE

**产品概述：**NECRO Super Studio（简称 NSS）作为一款工业软 PLC IDE，基于 B/S 架构和 IEC 61131-3 国际标准编程环境，具有强大的功能、卓越的扩展性、出色的兼容性以及简易的操作性。

NSS 采用 Web 设计，极大方便进行实时编程、监控和调试。NSS 集成了标准 PLCOPEN 运动控制算法库，为用户提供了丰富的运动控制功能。同时，NSS 还支持自定义功能块，可实现个性化的编程需求。NSS 是国内自主多 EtherCAT 主站同步技术的代表，可以实现高速、高精度的数据传输和控制。

除了传统的工业自动化技术，NSS 还融入了机器学习、ChatGPT 多模态生成式 AI、LLM 等前沿人工智能技术。使得 NSS 在数据分析、预测和优化等方面具备了更强大的能力。

NSS 支持的产品种类丰富，成为企业快速构建自动化生产流程、提升生产效率的得力助手。选择 NSS，企业将迈向更加高效、智能的工业自动化时代。





已广泛落地运动控制器、机器人控制器、国产 PLC 代替和数控系统。



（工业多主站模块 NOM-R001DP）



## 第四节 坤维科技

### 一、企业简介

**成立时间：2018年；总部：北京**

常州坤维传感科技有限公司成立于2018年，是一家致力于提供高精度力觉传感器（六维力传感器）及力控解决方案的高新技术企业。公司主营智能力觉传感器的研发、制造、销售、及技术推广，开发面向机器人及其他智能装备行业的力觉传感器产品，为机器人及其它智能装备、工业过程监控、产品质量检测、科研测试测量等领域提供力觉测量解决方案及相关产品。坤维创始团队全部来自于国家航天科研机构，具备20余年研发、生产高精度六维力传感器的经验，掌握力觉测量核心技术，具备相关产品的自主知识产权。

### 二、核心技术

#### 核心技术1——结构解耦

- 把空间中任意方向的力和力矩通过传感器弹性体结构实现正交解耦，即某个结构测量单元只对它要测的分量敏感，对其它方向的载荷不敏感。
- 结构解耦只能解决一部分的信号耦合问题，剩余耦合需要特殊算法来解耦。
- 坤维基于多学科优化平台的结构优化技术，可以把解耦结构优化到极致。
- 结构解耦需要考虑弹性体加工成本。解耦效果和结构的复杂性成正相关关系，但结构越复杂，加工成本越高。

#### 核心技术2——算法解耦

- 算法解耦可以解决结构解耦无法应对的耦合问题，它直接决定了传感器的串扰性能（Crosstalk）。串扰是指，其它方向载荷在目标测量方向上产生的干扰误差。串扰是决定绝对准度（Absolute Accuracy，即测量值偏离被测真值程度的衡量指标）的最重要影响因素。
- 坤维采用基于现代试验设计理论、响应面理论和机器学习原理构建了解耦算法，其在军用领域经过了充分的验证，解耦效果十分理想，准度（含串扰）可以达到0.3%FS以内的水平（国军标要求）。
- 如果将六维力传感器产品依然采用线性拟合叠加的方式进行解耦（把六个维度分别当作六个一维力传感器处理，不考虑六个维度间的非线性干扰），解耦效果不好，串扰指标一般在2%FS~5.0%FS。



### 核心技术 3——六维联合加载标校及检测

六维力传感器解构算法的数学模型及模型参数通过六维联合加载标定的方式获得。

■ 六维联合加载标校是指可以按任意大小比例同时对传感器施加正交三方向力和三方向力矩，也可以任意选择若干个方向按任意比例施加载荷。六维联合加载设备的外形可参考下图，下图分别为 NASA、日本宇航中心、德国宇航中心的六维联合加载标校设备。

■ 加载过程中，通过激光位移传感器监测因传感器受力变形导致的加载坐标系实时误差，修正载荷真值，从而提高标校准度。

■ 国内尚无厂商具备成熟的六维联合加载技术和相应的自动化标校设备。坤维的核心技术团队在航天军工领域有 15 年相关技术积累，目前在常州已自研自建了 5 套全自动的六维联合加载标定检验设备，可以保证每月 1500 台的产能。

■ 采用六维联合加载标定及检测的方式，确保了六维力传感器在受到任何方向、任何作用点的载荷时都能对其精确测量，不用在客户现场标定，提高了安装调试效率和可维护性。



（NASA 的六维联合加载标定设备）



（日本宇航中心的六维联合加载标定设备）



（德国宇航中心的六维联合加载标定设备）

### 核心技术 4——MEMS 应变计技术

■ 坤维基于 6 寸晶圆采用 MEMS 技术设计并生产半导体应变计。半导体应变计的灵敏度是普通金属箔式应变计的 20 倍以上，有助于提高传感器的综合性能。

■ 坤维采用无机物粉末烧结技术封装半导体应变计，避免了有机粘接剂的长期稳定性不佳问题，提高了传感器的使用寿命。

■ 基于 MEMS 应变技术，生产过程的 80%实现了自动化，有效降低了制造成本，提高了生产效率。

### 三、核心产品

| 产品名称  | 产品图片  | 产品介绍  | 产品特点   |
|-------|---|---|--|
| KWR46 |  | KWR36 系列六轴力传感器是一款微型高精度力觉传感器，可实时测量正交三方向的力和力矩。传感器基于应变电测原理设计，采用六轴联合标定技术提升精准度。产品可适配坤维多款信号采集模块，常被应用于医疗手术、科学研究、工业自动化等领域。  | <ul style="list-style-type: none"> <li>●六轴联合标定，充分抑制串扰；</li> <li>●微型高精度六轴力觉传感器；</li> <li>●采用航空合金，高过载，兼具高刚性和高灵敏度。</li> </ul> |
| KWR63 |  | 采用航空合金，高过载，兼具高刚性和高灵敏度<br>KWR46 系列六轴力传感器是一款小型高精度力觉传感器，可实时测量正交三方向的力和力矩。传感器基于应变电测原理设计，采用六轴联合标定技术提升精准度。可与坤维多款信号采集模块均可无缝衔接，实现 RS422、RS485、CAN、USB 和工业以太网等通信方式，广泛应用于医疗测试、小型工业机器人、自动化测量、航空航天测试等领域。 | <ul style="list-style-type: none"> <li>●六轴联合标定，充分抑制串扰；</li> <li>●小型高精度六轴力觉传感器。</li> </ul>                                  |



|                  |   |  |  |
|------------------|---|--|--|
| <p>KWR75</p>     |    | <p>采用航空合金，高过载，兼具高刚性和高灵敏度。KWR63 系列六轴力传感器是一款小型化高精度力觉传感器，可实时测量正交三方向的力和力矩。传感器基于应变电测原理设计，采用六轴联合标定技术提升精准度。可通过连接不同信号采集模块来实现 RS422、RS485、CAN、USB 和工业以太网等通信方式，与多数协作机器人末端外径尺寸接近，现已应用于科学研究、自动化检测、航空航天测试等领域。</p>       | <ul style="list-style-type: none"><li>●六轴联合标定，充分抑制串扰；</li><li>●小型化高精度六轴力觉传感器。</li></ul>                |
| <p>KWR61N66</p>  |    | <p>KWR61N66 系列是一款外型扁平，结构紧凑的高精度扭矩传感器。采用航空级不锈钢材料，具有高过载、高刚性和高灵敏度等特点，且具有一定程度的耐腐蚀性。该传感器基于应变电测原理，并内置信号采集模块，实现力矩载荷的实时测量和转换。结构采用拓扑优化设计，提高传感器在非额定载荷方向的强度和刚度，提高了传感器在不同场景和领域的适用性，广泛应用于科学研究、工业机器人、协作机器人和航空航天测试等领域。</p> | <ul style="list-style-type: none"><li>●使用寿命 1500 万次；</li><li>●结构紧凑；</li><li>●RS485 通信数字信号输出；</li></ul> |
| <p>KWR85N207</p> |  | <p>KWR85N207 系列是一款外型扁平，结构紧凑的高精度扭矩传感器。采用航空级不锈钢材料，具有高过载、高刚性和高灵敏度等特点，且具有一定程度的耐腐蚀性。该传感器基于应变电测原理，并内置信号采集模块，实现力矩载荷的实时测量和转换，广泛应用于科学研究、工业机器人、协作机器人和航空航天测试等领域。</p>  | <ul style="list-style-type: none"><li>●稳定可靠。</li></ul>   |



## 第五节 鑫精诚传感器

### 一、企业简介

**成立时间：2009年；总部：深圳**

“鑫精诚传感器”成立于2009年，以研发、生产、销售、服务为一体的国家高新与专精特新企业。拥有从事智能传感器与控制仪表行业多年的专业研发设计经验团队50余人，获得发明专利20余项，实用新型专利65余项，软著30余项。

鑫精诚传感器是国内最早关注并研发六维力传感器的企业之一，也是目前国内六维力传感器结构创新相关专利获得最多的企业。公司研发的六维力传感器具有精度高、抗冲击能力强、零点稳定、信噪比大、高低温特性好、刚度大、长期可靠性强、尺寸可多样化定制等优点，通过特殊独有的解耦方法设计，使传感器的串扰误差非常小，尤其是长期的串扰误差小。

目前公司的六维力传感器产品直径跨度覆盖9.5mm-400mm，力量程跨度从5N到500kN，力矩量程跨度从0.1N.m到20kN.m，可覆盖绝大部分应用领域。

鑫精诚传感器同样也是国内最早关注并研发关节扭矩传感器的企业之一，公司研发的关节扭矩传感器具有刚性大、抗冲击能力强、零点漂移小、抗偏载能力强、正反向对称性好、装配影响小、温度特性好等特点；公司拥有独有的交叉载荷影响自补偿技术，使得交叉载荷的对扭矩的信号影响小。

公司从创立之初就一直专注于力学传感器行业，近年来对人形机器人行业的力觉应用十分重视并投入了大量的研发资源，积极参与人形机器人公司的各类力觉传感器应用痛点的解决。通过大量的自主研发、试样和改进提升，力求可以提供适合人形机器人使用的高性价比的产品，通过积极参与、主动投入的方式来实现和人形机器人行业共发展。

### 二、核心技术

#### 1、在六维力传感器领域的核心技术竞争力和技术独特性

(1) 公司技术实力雄厚，成功开发了世界上最小的电阻应变式六维力传感器，这个产品体现了目前电阻应变式六维力传感器设计及制造的最高技术难度，传感器直径仅9.5mm，感知精度可达0.01N和0.001N.m。产品可以被应用于机器人灵巧手上，让灵巧手拥有精确力学感知，通过这个产品的开发也间接说明鑫精诚传感器在六维力传感器领域的技术领先性。

(2) 为了适应人形机器人的户外应用和涉水应用，公司成功开发了IP67防护级别的六维力传感器，该传感器在高防护性能下而不损失传感器的性能和分辨率，使得六维力传感器



不惧在潮湿环境及水下被使用。

（3）为了解决人形机器人在跳跃、跑动、碰撞时，对下肢六维力传感器的冲击而造成传感器过载或零点漂移的痛点。公司成功开发了可以承受 10 倍冲击零点不变、使用寿命 1 亿次以上的新型压电式六维力传感器，突破了压电传感器的固有电荷快速泄露的难题，可以在一定的时间可以保持电荷的稳定，从而使得六维力传感器在下肢关节安装的强度和刚度的技术难题被解决；此外通过特殊的温度补偿原理，解决人形机器人在不同的工作温度中快速切换使用，传感器安装温度急剧变化而导致传感器的数据也会变化的痛点。

（4）为了解决目前六维力传感器价格偏高，人形机器人厂家应用成本无法下降的痛点，公司通过大量的研发技术迭代优化结构成本、精益化生产优化制造成本、大批量制造优化物料成本等方式推出一款超级性价比的高精度六维力传感器。彻底解决了六维力传感器价格贵、用不起的问题，降低了人形机器人对力传感器使用成本的压力。

## 2、在关节扭矩传感器领域的核心技术竞争力和技术独特性

（1）为了解决关节扭矩传感器的交叉载荷对输出信号影响的痛点，公司开发了独有的交叉载荷影响自补偿技术，可以让交叉载荷的影响误差小于 0.5%，使得交叉载荷对扭矩的信号影响大大降低。

（2）为了解决人形机器人在跳跃、跑动、碰撞时，对关节扭矩传感器的冲击而造成传感器过载或零点漂移，以及原有电阻应变式关节扭矩传感器的刚性不足导致机器人定位精度误差大的痛点，公司应用新型的 MEMS 技术开发出一款高刚性、高冲击性、高使用寿命的关节扭矩传感器。

（3）众所周知，人形机器人中的关节数量众多，为了在合理的总价内让每个关节都可以安装应用关节扭矩传感器，公司正投入大量的资金和技术用于自动化生产线的建设，通过自动化生产和规模化生产来降低产品成本和满足巨大的产能需求。

## 3、未来产业发展格局与技术趋势

公司在未来几年会继续关注人形机器人力学传感器的行业发展，并加大研发投入，继续在高刚性、高过载能力、抗冲击性能、高防水性能、高稳定性、高使用寿命、低成本等方面深耕布局。

在新产品线上，公司将开发毫牛级别的超微型六维力传感器、集成多种物理量的融合型传感器，具有的多种自补偿功能的 AI 智能型传感器等创新型的传感器。与此同时公司也将继续主动参与解决各种力觉传感器在人形机器人种的行业应用痛点。在解决痛点的过程种实现技术的突破，最终实现和人形机器人行业共发展。



### 三、核心产品

（1）世界上最小的电阻应变式六维力传感器，传感器直径仅 9.5mm，感知精度可达 0.01N 和 0.001N.m。产品可以被应用与机器人灵巧手上，让灵巧手拥有精确力学感知。



（2）IP67 防护级别的六维力传感器，该传感器在高防护性能下而不损失传感器的性能和分辨率，使得六维力传感器不惧在潮湿环境及水下被使用。



（3）通过大量的研发技术迭代优化结构成本、精益化生产优化制造成本、大批量制造优化物料成本等方式推出的超级性价比的高精度六维力传感器。在价格大幅下降的同时产品的性能和质量不打折扣。



（4）压电六维力传感器具备高刚性、高稳定性、低温漂、低零飘、长期可靠性好、抗过载能力强（ $\leq 120\%$ ）、工作温度范围广、使用寿命长、固有频率高、上下双法兰连接、极低的阈值、使用寿命过亿次、更加贴合人形机器人脚踝处的应用需求。



（5）基于 MEMS 原理的关节力矩传感器，无需胶水粘贴，采用硅微熔技术。过载能力、温度灵敏度漂移、长期可靠性、刚性、一致性等方面均表现突出。通过全自动化设备投入，规模化生产，大幅降低传感器的价格，确保人形机器人的每个关节都能用得起。





## 第六节 神源生

### 一、企业简介

**成立时间：2012年，总部：南京**

依托南航雄厚的力学、特种加工和仪器设计等学科基础，掌握了兼顾高刚度和高灵敏度的应变式多维力传感器正向设计及结构优化技术，建立了完整的产品质量保障体系，实现了高性价比六维力传感器、测力阵列和机器人的力控应用。多维力传感器累计出货 1000 多台，产品性能达到国际先进水平，多家用户评测名列前茅，在运动力学测试阵列市场排名第一。

### 二、核心技术

#### 1、企业核心技术 1

建立了多维力传感器结构设计及优化技术。发明了贴片区应变梯度小、积分大的弹性体结构优化设计新方法，实现了多维力传感器高灵敏度、高动态性能、低维间耦合的目标，降低了对贴片精度的要求。据此发明的 12 梁高刚度六维力传感器，量程从 100 克到 100 吨，维间耦合 $<1\%$ ，是现有六维力传感器耦合最低、承载范围最大的。

**技术趋势与方向 1：**优化设计方法，提升设计效率，构建针对不同场景、多因素影响下的自动设计软件；实现从中国制造向中国创造的转变。

#### 2、企业核心技术 2

发明了与传感器结构一体化、多通道、集成式微信号处理器，解决了微信号容易受到干扰的问题；使力传感器的信号处理和防护技术达到领先地位。

**技术趋势与方向 2：**提升信号处理系统的集成度和参数设置的自动化程度。发展无线传输和无线供电技术，满足动态测试的需求。

#### 3、企业核心技术 3

掌握了规模生产中材料/加工、装配技术等对传感器性能影响的规律，确定了装配流程、温度场等因素的自适应补偿方法；运用有限元分析不同装配流程引发的装配应力变化规律，固化装配工艺，消除装配应力对性能的影响。采用消除残余应力、规范加工工艺、稳定应变计贴片工艺、固化工艺和老化程序，建立标准生产工艺，实现了输出灵敏度、分辨率等关键指标的实测值与理论值偏差不超过 5%，产品一次性合格率超过 95%，实现了高品质、低成本的批量生产。

**技术趋势与方向 3：**稳定和优化生产工艺，完善高性价比多维力传感器生产工艺技术。综合考虑生产流程长、工艺路线复杂、涉及学科多，使得多维力传感器生产管理科学化和工



艺优化特别困难。为此针对结构件加工/生产、装配等工艺过程的研究，形成有效的、固定的生产工艺是六维力传感器生产企业的重要命题。

#### 4、企业核心技术 4

发明了多维力传感阵列，实现了分布式多维力同步采样，开发了多通道、多物理量同步采样形成的海量数据的智能处理/采样方法，解决了采样通道数与采样频率、采样效率之间的矛盾。为高速运动力学、康复医学、机器人学等前沿科学研究提供可靠的技术和设备支持。构建了大数据的规整、海量的感知和采集方法和设备。

**技术趋势与方向 4：**海量数据的运用技术。针对体育运动、医疗/康复测试、仿生研究等行业需要，建立运动力学数据的监测、运用技术。配合其他物理量，如运动行为、肌电和脑电数据，构建多物理参数间的耦合协调关系。解决大数据的同步和配准问题。智能数据处理技术，主动筛选有效数据，极大地减轻数据存储量。

#### 5、企业核心技术 5

建立了重力/惯性力快速高精度补偿技术：设计激励策略，配合重力/惯性力辨识新算法，补偿精度、实现快速补偿上述技术，提高了作业效率，保障了产品一致性。

自适应力反馈控制技术，用多维力传感器融合导纳控制与力/位混合控制，解耦接触作业空间的位置和力约束，采用轨迹跟踪算法实现位置控制，采用导纳控制算法实现力控制，形成力控指令集，以动态库或指令集形式供机器人用户使用。

**技术趋势与方向 5：**结合机器人应用从非接触模式（如喷漆、焊接、涂胶等）到接触模式（如装配、抛光、去毛刺、助力机器人和康复机器人等）的发展需求，完善机器人与作业对象间的力/位置混合控制、末端接触力和位置跟踪控制技术，实现机器人运动控制的智能化。

### 三、核心产品

| 产品 1 | 中空环式六维力传感器   |
|------|--|
| 产品概述 | 中空环式结构，环内可走线，方便机器人布线；可选环内壁、环外壁两种出线方式；钛合金/合金钢材质；量程400N/20Nm-5000N/300Nm六个型号可选，高刚度、高灵敏度、低耦合（0.5%FS），配套NST系列采集器，适用于打磨、装配等力反馈控制应用。 |



|      |   |
|------|---|
| 产品图片 |  <p>(中空环式六维力传感器)</p>  |
| 产品 2 | XLH 系列数字六维力传感器  |
| 产品概述 | 专为协作机器人设计的六维力传感器，集成数字一体化设计，具有 EtherNet、RS485 通讯两种通讯模式可选，直径 72mm，重量 260g，量程 50N/1.5Nm-600N/25Nm 四个型号，符合协作机械臂的机械接口，传感器小巧轻便，自带连接法兰及螺钉等安装配件，拆装简单方便。 |
| 产品图片 |  <p>(XLH 系列数字六维力传感器)</p>                                     |
| 产品 3 | DTH 系列经济型数字六维力传感器   |
| 产品概述 | 用于牵引示教的经济型数字六维力传感器，配置相关软件，售价万元以内。传感器小巧轻便，重量小于 350g，符合协作机械臂的机械接口，RS485 通讯，直径 73mm，200N/6Nm、500N/15Nm 两个型号。                                       |
| 产品图片 |   |



|      |  |  |
|------|--|--|
|      | （DTH 系列经济型数字六维力传感器）  |  |
| 产品 4 | 超大量程传感器  |  |
| 产品概述 | 为满足大型、超重受力部件测试的需求，订制的大量程六维力传感器，量程从 14kN-600kN，适用于机器人防碰撞、搬运、碰撞检测、冲击检测等领域，支持按需订制。  |  |
| 产品图片 | <br>（由左至右分别是：1.4 吨六维力传感器、3 吨六维力传感器和 10 吨六维力传感器）  |  |
| 产品 5 | 运动力学测试平台   |  |
| 产品概述 | <p>基于自研三维力/六维力传感器及数据采集系统的多维传感器阵列，按照研究对象的不同，已制作交付不同型号的运动力学测试平台十多台，分别用于人体、小型动物、仿生机器人的运动力学测试研究及体育竞技训练研究。已交付的测试平台包含多维力传感器的数量从十多个到 100 个；力测试范围从 1.5N 到 5kN，满足了壁虎、昆虫、运动员、病人和机器人运动力学测试的需求。平台均支持同步信号触发，可配套高速摄像机，具有无效数据过滤功能，部分具有旋转功能，可模拟平面、斜面及垂直面。</p> <p>正在研制中的自由体操竞技测力台面积达 13*13 米，包含 300 多只多维力传感器及 13*13 米柔性传感器，除能获取运动员的运动反力外，还能同步获取运动员足底接触面的压力分布数据。</p> |  |
| 产品图片 |   |  |
|      | （GF2025 壁虎机器人运动力学测试系统）   | （GF2410B 大鼠运动力学测试系统）   |



（GF2040 人体运动力学测试系统）



（GF105K 智能剑道测力平台（一个单元））

GGI



## 第七节 罗斯特

### 一、企业简介

**成立时间：2012年；总部：深圳**

目前公司在国内布局三家公司，分别是：深圳市罗斯特传动设备有限公司，成立于2012年；佛山市罗斯特传动设备有限公司，成立于2017年；罗斯特卡希传动设备（浙江）有限公司，成立于2021年。公司员工共计280余人，2023年产值1.5亿，主要生产行星减速机、谐波减速机等高精度传动件，公司的减速机相关技术主要来源于德国和日本，拥有外籍工程师，产品对标日本、德国以及中国台湾品牌，主要的客户群体包括机器人、激光设备、机床、印刷机、高端包装机、模切机等中高端行业，销售区域覆盖国内市场及多个海外市场，国外市场包括伊朗、印度、越南等亚洲国家，以及美国、德国等欧美国家。

### 二、核心技术

| 核心技术描述  | 技术趋势与方向                            |
|---|------------------------------------|
| <p><b>企业核心技术 1：</b>拥有高端的检测设备，以及业内资深的技术人员，保证产品精度最高能做到1弧分，达到行业领先水平；</p>  | <p>随着制造工艺的改良，减速机逐步向高精度发展。</p>      |
| <p><b>企业核心技术 2：</b>采用硬齿面、高精度的齿轮，目前行星齿轮减速机在制造过程中普遍采用渗碳和氮化等化学热处理。制造精度方面已达6级以上。通过提高硬度和精度使行星齿轮减速机在保证承载能力的前提下，使齿轮尺寸变得更小，进一步节省能耗。</p>                           | <p>齿轮向更小发展，刚性向更强发展，减速机体积向更小发展。</p> |
| <p><b>企业核心技术 3：</b>电机与减速机一体化设计，已经实现伺服电机和减速机一体式结构，减小了装配空间，同时降低生产成本。</p>  | <p>伺服和减速机实现机电一体化。</p>              |



## 三、核心产品

| 产品名称                | 产品图片  | 产品介绍  | 产品特点  |
|---------------------|---|---|---|
| PGH 盘式行星减速机系列       |    | <ul style="list-style-type: none"><li>■ 盘式行星减速机核心部件输入齿轮轴、齿圈、行星齿、输出轴、机壳几个关键部件组成，通过电机带动运转，实现减速，增大扭矩的效果；</li><li>■ 盘式行星减速机是一种高性能、高可靠性的减速装置，适用于各种需要高精度、高扭矩传输的机械设备中。</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>■ 良好的结构设计、高刚性、高精度(<math>\leq 1 \text{arcmin}</math>)、高负载能力、维护简单，拆卸方便；</li><li>■ 其材质使用以高强度硬质合金钢，耐高温、耐腐蚀，采用双列角接触轴承，已在重载机器人传动关节部位广泛应用。</li></ul> |
| NVR 中空型高精度螺旋伞齿减速机系列 |   | 中空型高精度螺旋伞齿减速机是一款结合中空螺旋伞齿设计与行星结构部分组合而成传动技术的先进减速设备。它通过独特的齿轮结构，提供高效、稳定且高精度的传动效果，应用于工业机器人以及四、五轴工业母机的刀塔关键部位。   | 此款中空设计，具有稳定的运行性能、优化了设计和制造工艺，采用圆锥滚子轴承结构，承载能力高、精度高的特点。  |
| PSH 高刚性行星减速机        |  | 高刚性行星减速机是一种结合圆锥滚子轴承与行星传动机构的减速设备，结合了行星减速机的特点与圆锥滚子轴承的优势。这是一种高效、重载且高精度的传动装置。这种组合将行星减速机的紧凑、高效传动特性与圆锥滚子轴承的高承载能，高精度旋转特性结合，为机器人应用提供强大的传动解决方案。                                    | 圆锥滚子轴承结合行星传动机构结合使用，具有重载能力强、精度高、传动效率高、应用广泛。能够满足各种重载、高精度和高效传动的需求。这种结构为工业应用提供了卓越的传动性能。   |



|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
| <p>PBHR 低背隙<br/>高转速直角<br/>输出减速机<br/>系列</p> |   | <p>低背隙高转速直角输出减速机其独特之处是输出轴与输入轴之间的角度为直角，这种减速机通常用于需要将旋转动力从一个轴传递到与其垂直的另一个轴的应用中。这种高效、紧凑且灵活的传动设备在各种工业应用中发挥着重要的作用。随着技术的不断进步和应用领域的不断拓展，低背隙，高转速 PBHR 直角减速机将继续发挥其独特优势，为各种复杂机械系统提供可靠的动力传递解决方案。</p> | <p>其特点主要体现在：直角传动设计、结构紧凑、高强度与高刚性、高传动效率实用性强，使其在各种工业应用中发挥着重要作用。</p>   |
| <p>CSL-S0 杯型<br/>谐波系列</p>                  |  | <p>主要由减速机壳、柔性传动轮、柔性振荡器和针齿轮四个部分组成。其中，针齿轮嵌入柔性振荡器的柔性传动轮凸缘内，并与外围齿圈啮合，从而形成传动。这种结构使得杯型谐波减速器具有结构紧凑、传动比大、柔轮应力小、拆卸方便等优点。</p>   | <ul style="list-style-type: none"><li>■ 结构紧凑、传动比大、柔轮应力小、拆卸方便；</li><li>■ 高精度（&lt;10arcsec）、高扭矩、低噪音。</li></ul> |



## 第八节 纽格尔智能

### 一、企业简介

**成立时间：2014年；总部：东莞**

纽格尔智能传动（广东）有限公司，2014年在东莞建立生产基地，目前拥有50000 m<sup>2</sup>独立工业园区，500多名员工，400多台生产、检测设备，10年专注精密传动领域，主要生产精密行星减速机、减速电机、直线模组三大系列产品。公司获得“高新技术企业”、“科技型中小企业”“专精特新”认证，拥有99项专利，含49项发明专利、50项实用新型专利，是一家“专业化、精细化、特色化、创新型”重研发的科技型企业。

公司目前大力开展机电一体化产品研发与生产，涵盖关节行星减速机、减速电机、电机执行器等，主要运用在机器人关节部位。产品结构紧凑体积小，性能稳定，适配于装置空间有限的机器人。依托经验丰富，专业可靠的工程团队，纽格尔可提供项目定制解决方案，目前与机器人产业深度合作，合作产品已成功应用于包括安防巡检、勘测探索、公共救援、科技展馆、影视综艺、商演活动、政企展厅等众多场景。

### 二、核心技术

关节执行器是机器人实现各种复杂运动的基础部件，针对机器人所开发的各种复杂的智能控制算法，最终结果都是转换成发送给关节执行器的简单指令。从机器人控制系统的角度来看，该控制系统的输入量即每个关节的力矩，理想的机器人关节能够准确地输出系统期望的力矩，这个需求看似简单，但是实际上大多数电机都不能够做到精确控制（比如异步电机），或者只能精确控制位置、角度（比如步进电机）。

所以，一款性能优异的关节执行器，应当关节电机的FOC矢量控制技术、电机本体的性能优化设计，以及关节执行器自身重量应尽可能轻量化，转动惯量应设计的尽可能小，电机额定及最大工况下的发热和散热问题，这些都需要使用有限元FEA仿真分析技术，从结构、材料、工艺等各方面因素对关节执行器进行多学科设计优化。

纽格尔推出多种型号规格的关节执行器产品，集成了力矩电机、驱动器、编码器和高精度行星减速器，采用FOC矢量驱动控制算法，主要应用在四足机器人、轮足机器人以及人形机器人等各种新型仿生自主运动机器人领域，具有结构紧凑、功率密度大、力矩响应速度快、过载能力高、低背隙高精度等特点。具体体现在：

- 1) 低转速下保持精确控制；
- 2) 快速实现电机换向旋转；



- 3) 实现力矩、速度、位置三个闭环控制；
- 4) 响应快、运行稳定，振动低、噪声小；
- 5) 电机槽极优化，高转矩密度，及齿槽转矩优化；
- 6) 高精度的行星减速器（斜齿），齿背隙低于 3 弧分；
- 7) 支持双编码器，进一步提高反馈控制精度；
- 8) 支持多机串联，便于供电和数据转发。

### 三、核心产品

纽格尔针对四足或人形机器人的关节执行器产品主要分为三个类别：关节行星减速器、关节减速电机、关节执行器（关节电机）。



#### 产品 1——关节行星减速器

该产品仅包含机械部分，适配客户自主设计的永磁无刷电机及驱动。使用高精度斜齿轮实现顺畅安静的运转；高刚性、高扭矩：输出端使用交叉滚子轴承；一体式紧凑设计，减小重量和转动惯量。该产品目前应用较多的有 8010、10015、13020 三个型号，具体详情如下：

| 8010 减速器基础参数 |              |
|--------------|--------------|
| 应用领域         | 四足、人形或外骨骼机器人 |
| 工作温度         | -20℃~50℃     |
| 减速比          | 7:1          |
| 背隙精度         | 5arcmin      |



|   |               |                        |
|---|---------------|------------------------|
|    | 额定输出力矩        | 15-22.5N.m             |
|   | 额定输入转速        | 4000rpm                |
|   | 转动惯量          | 0.13Kg.cm <sup>2</sup> |
|   | 设计寿命          | 20000h                 |
|   | 10015 减速器基础参数 |                        |
|   | 应用领域          | 四足、人形或外骨骼机器人           |
|   | 工作温度          | -20℃~50℃               |
|   | 减速比           | 7:1                    |
|   | 背隙精度          | 5arcmin                |
|   | 额定输出力矩        | 35-65N.m               |
|   | 额定输入转速        | 3000rpm                |
|   | 转动惯量          | 0.40Kg.cm <sup>2</sup> |
|   | 设计寿命          | 20000h                 |
|  | 13020 减速器基础参数 |                        |
|   | 应用领域          | 四足、人形或外骨骼机器人           |
|   | 工作温度          | -20℃~50℃               |
|   | 减速比           | 7:1                    |
|   | 背隙精度          | 5arcmin                |
|   | 额定输出力矩        | 85-115N.m              |
|   | 额定输入转速        | 3000rpm                |
|   | 转动惯量          | 1.45Kg.cm <sup>2</sup> |
| 设计寿命  | 20000h        |                        |

### 产品 2——关节减速电机

**产品技术特点：**包含减速器和电机，不含驱动及电机外壳，适配客户自主设计的电机控制驱动。减速电机是由行星减速器、定子铁心、转子磁钢、以及主轴转架等零件构成。因为



电机更适合在高转速、低扭矩的工况下高效率的运转，而四足或人形机器人需要的是低转速、高扭矩的执行器，所有电机转子需要通过一个机械的减速器减速之后，再输出力矩，从而能够实现大扭矩平稳运行。

电机部分的绕组方案采用分数槽集中绕组设计，具有铜耗小、谐波含量高、齿槽转矩小等特点，再通过有限元仿真，对比分析了平均转矩输出、齿槽转矩、绕组系数、不平衡力、反电势、气隙磁密等特点，迭代达到电机的最优化设计方案。

| 8010 关节减速电机基础参数 |                |
|-----------------|----------------|
| 应用领域            | 四足、人形或外骨骼机器人   |
| 驱动方式            | FOC            |
| 工作温度            | -20℃~50℃       |
| 极对数             | 21             |
| 相数              | 3              |
| 绝缘等级            | H              |
| 减速比             | 7:1            |
| 背隙精度            | 6 弧分           |
| 额定电压            | 48V(支持 24-48V) |
| 额定电流            | 10A            |
| 额定扭矩            | 8N. m          |

| 10015 关节减速电机基础参数 |                |
|------------------|----------------|
| 应用领域             | 四足、人形或外骨骼机器人   |
| 驱动方式             | FOC            |
| 工作温度             | -20℃~50℃       |
| 极对数              | 21             |
| 相数               | 3              |
| 绝缘等级             | H              |
| 减速比              | 10:1           |
| 背隙精度             | 6 弧分           |
| 额定电压             | 48V(支持 24-48V) |
| 额定电流             | 10A            |



|  |                  |                |
|--|------------------|----------------|
|  | 额定扭矩             | 18N. m         |
|  | 额定转速             | 210rpm         |
|  | 峰值扭矩             | 45N. m         |
|  | 13020 关节减速电机基础参数 |                |
|  | 应用领域             | 四足、人形或外骨骼机器人   |
|  | 驱动方式             | FOC            |
|  | 工作温度             | -20℃~50℃       |
|  | 极对数              | 21             |
|  | 相数               | 3              |
|  | 绝缘等级             | H              |
|  | 减速比              | 10:1           |
|  | 背隙精度             | 6 弧分           |
|  | 额定电压             | 48V(支持 24-48V) |
|  | 额定电流             | 15A            |
|  | 额定扭矩             | 48N. m         |
|  | 额定转速             | 120rpm         |
|  | 峰值扭矩             | 128N. m        |

### 产品 3——关节执行器（关节电机）

关节执行器包含减速器、电机、驱动控制及编码器，所有零部件装配完整，支持伺服运控两种控制模式，突破常规实现位置速度加速度同步控制，并自适应 PID 设置，拆包通电即用，并支持高度定制化的关节模组，更适合四足或人形机器人产品应用的快速迭代开发。



（关节执行器主要构件图）

机器人关节执行器的核心构件是由行星减速器、无刷外转子电机和驱动板（含编码器）构成，根据不同应用场景的需求，可支持单编码器和双编码器两种方案。

关节执行器作为一个高度集成的机器人动力单元，内部已经封装了电机底层的 FOC 矢量控制算法，它可以对永磁同步电机进行高精度的闭环控制，实现很多传统电机控制方法所无法达到的效果。三相 FOC 矢量控制的基础是旋转变换三个方向的磁场，根据当前永磁体转子的角度、角速度、期望的输出力矩、以及采样得到的 U、V、W 三相电流，计算三个线圈的电压状态，再通过 MOS 管控制三个线圈的电压通断，即可得到期望的磁场，实现对力矩的高精度控制。

| 8010 关节执行器基础参数 |                |
|----------------|----------------|
| 应用领域           | 四足、人形或外骨骼机器人   |
| 驱动方式           | FOC            |
| 工作温度           | -20℃~50℃       |
| 极对数            | 21             |
| 相数             | 3              |
| 绝缘等级           | H              |
| 减速比            | 7:1            |
| 背隙精度           | 6 弧分           |
| 额定电压           | 48V(支持 24-48V) |





|  |                 |                |
|--|-----------------|----------------|
|  | 额定电流            | 10A            |
|  | 额定扭矩            | 8N. m          |
|  | 额定转速            | 480rpm         |
|  | 最大扭矩            | 18N. m         |
|  | 编码器类型           | 单圈绝对值磁编码器      |
|  | 编码器分辨率          | 14bit          |
|  | 电源接口            | XT30           |
|  | CAN 接口          | 1Mbps          |
|  | 10015 关节执行器基础参数 |                |
|  | 应用领域            | 四足、人形或外骨骼机器人   |
|  | 驱动方式            | FOC            |
|  | 工作温度            | -20℃~50℃       |
|  | 极对数             | 21             |
|  | 相数              | 3              |
|  | 绝缘等级            | H              |
|  | 减速比             | 10:1           |
|  | 背隙精度            | 6 弧分           |
|  | 额定电压            | 48V(支持 24-48V) |
|  | 额定电流            | 10A            |
|  | 额定扭矩            | 18N. m         |
|  | 额定转速            | 210rpm         |
|  | 峰值扭矩            | 45N. m         |
|  | 内环编码器类型         | 单圈绝对值磁编码器      |
|  | 内环编码器分辨率        | 14bit          |
|  | 外环编码器类型         | 单圈绝对值磁编码器      |
|  | 外环编码器分辨率        | 15bit          |
|  | 电源接口            | XT30           |
|  | CAN 接口          | 1Mbps          |
|  | 13020 关节执行器基础参数 |                |



|   |          |                |
|---|----------|----------------|
|  | 应用领域     | 四足、人形或外骨骼机器人   |
|   | 驱动方式     | FOC            |
|   | 工作温度     | -20℃~50℃       |
|   | 极对数      | 21             |
|   | 相数       | 3              |
|   | 绝缘等级     | H              |
|   | 减速比      | 10:1           |
|   | 背隙精度     | 6 弧分           |
|   | 额定电压     | 48V(支持 24-48V) |
|   | 额定电流     | 15A            |
|   | 额定扭矩     | 48N. m         |
|   | 额定转速     | 120rpm         |
|   | 峰值扭矩     | 128N. m        |
|   | 内环编码器类型  | 单圈绝对值磁编码器      |
|   | 内环编码器分辨率 | 14bit          |
|   | 外环编码器类型  | 单圈绝对值磁编码器      |
|   | 外环编码器分辨率 | 15bit          |
|   | 电源接口     | XT60           |
|   | CAN 接口   | 1Mbps          |



## 第九部分 案例篇

### 第十一章 人形机器人&具身智能应用案例

#### 第一节 人形机器人案例



目前，人形机器人已经进入产业化落地阶段，智能制造尤其是汽车制造领域或将成为其首个大规模应用的领域。优必选正在与行业优秀合作伙伴一起推进人形机器人在汽车制造领域的落地应用，联合打造试点示范工位，共同推动面向工业场景的人形机器人规模化应用。近日，优必选人形机器人 Walker S 进入蔚来第二先进制造基地总装车间进行实地“培训”，实现全球首例人形机器人在汽车工厂流水线与人类协作完成汽车装配及质量检查作业。



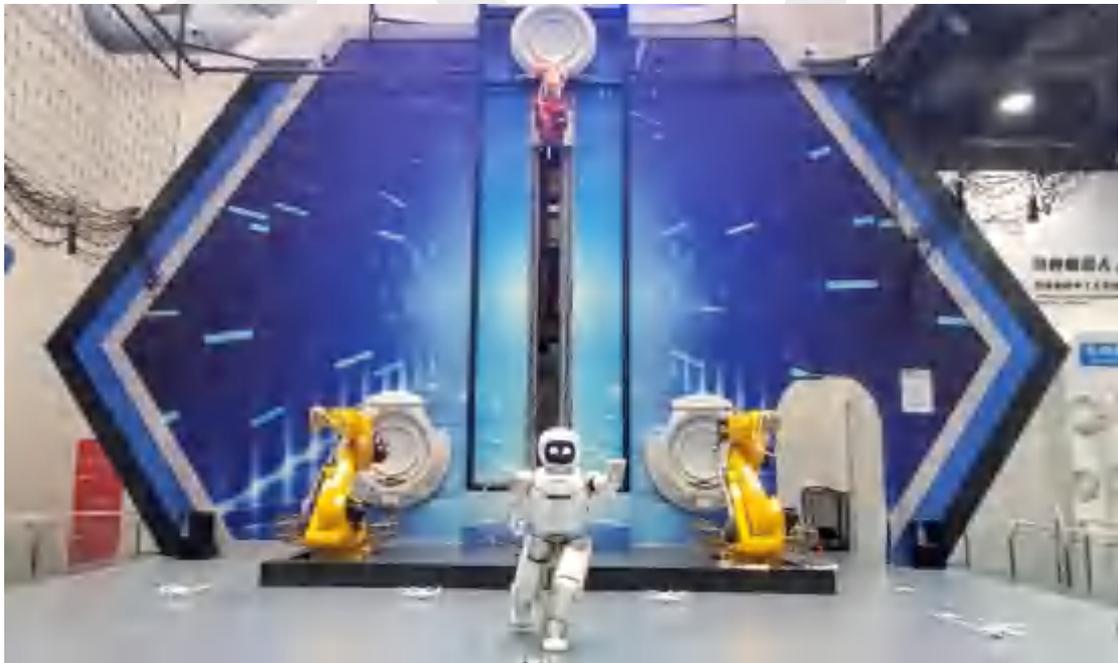
（优必选人形机器人 Walker S 进入蔚来第二先进制造基地总装车间进行“实训”）

近两年，AI 大模型和人形机器人的爆发成为全球科技发展的重要推动力。2024 年 4 月，百度与优必选强强联手，共同探索中国 AI 大模型+人形机器人的应用。优必选基于百度智能云千帆 AppBuilder 开发，快速构建任务规划与执行能力，实现人形机器人 Walker S 与百度文心大模型技术深度融合，其创新应用和实现难度在全球范围内属于行业第一梯队水平。



（优必选人形机器人 Walker S 完成物体干扰分拣任务）

商用服务场景是人形机器人最快应用的市场，优必选正在逐步推进大型人形机器人在商用服务领域的应用。在中国科技馆、石家庄人工智能教育基地和杭州市临平区人工智能教育基地等科技展馆中，优必选大型人形机器人也在提供导览讲解、表演展示等服务，推动人工智能和机器人科普教育。



（优必选人形机器人 Walker 在中科技馆“机器人大秀场”展示高难度瑜伽动作）

此外，优必选科技作为 2020 年迪拜世博会中国馆“官方唯一智能机器人合作伙伴”，为全球游客提供智能服务，接待了超过 165 场来自阿联酋、奥地利、俄罗斯、德国、法国、日本等 45 个国家和地区的政企商界嘉宾及 VIP 参访团，创造了人类历史上首个大型人形机

器人真正商业化落地应用的历史。



（优必选熊猫机器人优悠在迪拜世博会中国馆前方与游客互动）

在影视综艺领域，优必选参与了春晚和大运会闭幕式的表演。在 2019 年春节联欢晚会上，6 台 Walker 机器人与演员同台表演歌舞《青春畅想》，这是全球大型人形机器人首次在大型晚会上进行集体舞蹈节目表演。2023 年 8 月 8 日，Walker X 和熊猫机器人担任大运会闭幕式“智慧大运”的表演者，是世界性综合运动会闭幕式首次采用大型人形机器人。



（优必选人形机器人 Walker X 在大运会闭幕式上炫酷表演）



第二节 控制器案例

|                  |  |
|------------------|--|
| <p>案例一</p>       |  <p><b>国讯芯微</b></p>   |
| <p>案例名称</p>      | <p>国内首款具身智能人形大模型控制器方案</p>  |
| <p>企业需求点</p>     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 缺乏能够同时实现高精度运动控制与机器视觉的单一 SOC 平台；</li> <li>2. 当前人形机器人控制器普遍缺乏 LLM 和 LVM 等先进的 AI 能力；</li> <li>3. 降低控制器各环节适配复杂度，提升研发效率。</li> </ol>  |
| <p>面临挑战</p>      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 高实时协调运动控制；</li> <li>2. 高速的通讯机制；</li> <li>3. “感-算-控”一体化。</li> </ol>   |
| <p>项目应用核心技术点</p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在 AI SOC 平台上植入高性能实时操作系统和运动控制平台；</li> <li>2. 强大 EtherCAT 多主站技术，实现机器人四肢与头部腰部 30-40 个运动关节高速协同工作；</li> <li>3. 基于 Transformer 大模型，实现端到端自主规划。</li> </ol>   |
| <p>解决方案</p>      | <p>现有人形机器人依赖 X86 工控机实现运动控制，并与 AI 芯片为核心的视觉控制器通过网络相连。X86 上一般采用了开源 rtlinux 和开源 EtherCAT 协议栈，但软实时的 rtlinux 在机器人几百个程序运行时抖动最大高达 100uS，而开源 EtherCAT 协议栈功能缺失、性能较差，对伺服从站的兼容性与稳定性构成不可控因素。同时，AI 芯片的计算结果通过以太网传输至运动控制器时，网络阻塞与通讯非实时同步的问题难以规避，从而阻碍了计算结果的精准实时传递至运动控制器。基于以上因素，X86+AI 是无法满足全身 30 多个运动关节的高性能控制，实时性与稳定性均受限，严重影响了手眼协调。</p> <p>目前国讯芯微是全球极少数能够在 AI SOC 平台上植入高性能实时操作系统和运动控制平台的企业，可提供同时具有强大的 AI 计算能力、高实时协调运动控制、EtherCAT 多主站技术、高性能、超低功耗的控制器方案。</p> <p><b>新型控制架构：</b>在传统架构中，AI 芯片执行复杂的智能决策和计算</p> |



任务（大脑），X86 工控机负责基础运算和实时控制（小脑）。而在 NSPIC-R006NP 控制平台中，基于 NECRO，GPU 成为大脑，因其强大的并行计算和图形处理能力，能够快速处理数据并输出决策，显著提升智能处理速度。CPU 则扮演了小脑的角色。它负责执行基础运算和逻辑判断，确保系统的稳定运行。CPU 虽计算能力逊于 GPU，但其稳定性和可靠性至关重要，NECRO 架构显著提升了信息传递速度，相比传统异构网络，大幅提高了系统响应和运算效率。



**强大的 AI 计算能力：**NSPIC-R006NP 能够实现 13B-70B 的大模型推演以解决自然语言理解、3D 感知、多传感器融合等领域的边缘 AI 和机器人技术挑战，目前已集成机器学习、深度学习、生产式 AI、YOLO、LLM、LVM 等 AI 功能。



（YOLO+LLM 演示）

**大小脑端到端协同：**运用 Transformer 模型处理视觉、听觉、触觉信息等感知信息，通过数据 Token 化提取特征并辅助决策规划。GPU 集群训练大模型，在 CUDA 中执行。最终将所有端到端轨迹规划算法产生插补点通过 EtherCAT 多主站同步释放到所有关节链路中产生最有效的动作，



实现多模态 AI 与运动控制的融合。

**强大 EtherCAT 多主站技术：**国讯芯微是国内唯一支持多 EtherCAT 主站同步技术的企业，可以有效减少数据传输的延迟和抖动。NIIC EtherCAT Master 2.0 能够确保每个主站能够独立工作，最小控制周期都为 125uS，多主站之间可以实现 nS 级数据同步。可将双手、双腿、头与躯干等所有的传感器分配到不同的主站中，以 125uS 的 2 次方倍数控制周期同相位高速协同。



（EtherCAT 抖动测试）

**人形大模型生态支持：**国讯芯微打通了大模型生态中的各个环节，目前已实现 GMSL 摄像头、双目 3D 摄像头、全景雷达、六维力传感器、力矩传感器、灵巧手、伺服驱动器、旋转电机、滚柱丝杠、麦克风阵列、扬声器等生态链路打通，可打包支持提供给客户，无需再进行软件 SDK 适配、多方采购等繁琐的适配工作。



（NECRO 人形大模型 SDK 软件生态）



（雷达演示）



（六维力传感器演示）



（摄像头演示）



## 第三节 传感器案例

|           |   |
|-----------|---|
| 案例一       |  <b>XJCSENSOR</b><br><b>鑫精诚传感器</b>           |
| 案例名称      | 运用于理疗项目的六维力传感器  |
| 企业需求点     | 运用协助机器人在人体做理疗按摩   |
| 面临挑战      | 机器人按压人体时需要机器人的安全性，以及按压人体时舒适力调控性，所以需要在机器人末端增加一个六维力传感器。   |
| 解决方案      | 1、六维力传感器的精度需达到 0.5%F. S, 保证机器人按摩时人体的舒适性。<br>2、六维力传感器输出频率可达到 1000HZ. 减少六维力传感器与机器人之间的通讯延时。<br>3、六维力传感器传感器的使用寿命可到到满量程 1000 万次以上。 |
| 机器人用量     | 每台理疗机器人安装一个。  |
| 项目成效及效益体现 | 协助机器人加装六维力传感器后，按摩舒适力调整可控制在 $\pm 2N$ 内。  |



#### 第四节 灵巧手案例



伟景机器人灵巧手（智能人形手）按照真实人手 1:1 设计，完全独立自主研发，机械结构、外观结构、电机控制系统全部自主设计。

手指采用四连杆运动机构，仿照人手五指关节结构设计，单只手负载能力 2kg。

控制系统采用先进的电流反馈控制方法，抓力可适应物体的表面材质和重量。

手掌部集成伟景独特的 MARK 点，通过立体智能视觉系统可实时跟踪手掌的空间位置和姿态，实现类似人手的灵活抓取、握持和搬运等功能。

提供二次开发 SDK，支持用户对单个手指或多个手指的同时控制，从而完成模拟人手完成各种抓握动作。

**目前已实现量产。**





## 附录 1 人形机器人产业链代表厂商名录

| 序号 | 企业名称             | 类型      | 国家 |
|----|------------------|---------|----|
| 1  | 优必选              | 人形机器人本体 | 中国 |
| 2  | 乐聚机器人            | 人形机器人本体 | 中国 |
| 3  | 乐森机器人            | 人形机器人本体 | 中国 |
| 4  | 星动纪元             | 人形机器人本体 | 中国 |
| 5  | 理工华汇             | 人形机器人本体 | 中国 |
| 6  | 银河通用机器人          | 人形机器人本体 | 中国 |
| 7  | 钢铁侠科技            | 人形机器人本体 | 中国 |
| 8  | 达闼机器人            | 人形机器人本体 | 中国 |
| 9  | 智元机器人            | 人形机器人本体 | 中国 |
| 10 | 傅利叶智能            | 人形机器人本体 | 中国 |
| 11 | 宇树科技             | 人形机器人本体 | 中国 |
| 12 | 小米科技             | 人形机器人本体 | 中国 |
| 13 | 鹏行智能             | 人形机器人本体 | 中国 |
| 14 | 追觅科技             | 人形机器人本体 | 中国 |
| 15 | 开普勒              | 人形机器人本体 | 中国 |
| 16 | 科大讯飞             | 人形机器人本体 | 中国 |
| 17 | 加速进化             | 人形机器人本体 | 中国 |
| 18 | 有鹿机器人            | 人形机器人本体 | 中国 |
| 19 | 逐际动力             | 人形机器人本体 | 中国 |
| 20 | 戴盟机器人            | 人形机器人本体 | 中国 |
| 21 | 北京人形机器人创新中心      | 人形机器人本体 | 中国 |
| 22 | 之江实验室            | 人形机器人本体 | 中国 |
| 23 | 熵洛智能             | 人形机器人本体 | 中国 |
| 24 | 特斯拉              | 人形机器人本体 | 美国 |
| 25 | 波士顿动力            | 人形机器人本体 | 美国 |
| 26 | Agility Robotics | 人形机器人本体 | 美国 |
| 27 | 1X Technologies  | 人形机器人本体 | 挪威 |
| 28 | Aptronik         | 人形机器人本体 | 美国 |
| 29 | 本田 ASIMO         | 人形机器人本体 | 日本 |
| 30 | Caltech AMBER    | 人形机器人本体 | 美国 |
| 31 | UCLA RoMela      | 人形机器人本体 | 美国 |
| 32 | Figure           | 人形机器人本体 | 美国 |
| 33 | 三星               | 人形机器人本体 | 韩国 |



|    |                   |                 |    |
|----|-------------------|-----------------|----|
| 34 | 伟景机器人             | 人形机器人本体         | 中国 |
| 35 | 松延动力              | 人形机器人本体         | 中国 |
| 36 | 星海图               | 人形机器人本体         | 中国 |
| 37 | 众擎机器人             | 人形机器人本体         | 中国 |
| 38 | 星尘智能              | 人形机器人本体         | 中国 |
| 39 | Naver Labs        | 人形机器人本体         | 韩国 |
| 40 | 人形机器人（上海）有限公司     | 人形机器人本体         | 中国 |
| 41 | 深圳国创具身智能          | 人形机器人本体         | 中国 |
| 42 | 五八智能              | 仿生机器人           | 中国 |
| 43 | 微雪电子              | 仿生机器人           | 中国 |
| 44 | 腾讯 Robotics X 实验室 | 仿生机器人           | 中国 |
| 45 | OPPO              | 仿生机器人           | 中国 |
| 46 | 奇点机器人             | 仿生机器人           | 中国 |
| 47 | 全智能机器人            | 仿生机器人           | 中国 |
| 48 | 大象机器人             | 仿生机器人           | 中国 |
| 49 | 仿翼科技              | 仿生机器人           | 中国 |
| 50 | 月泉仿生              | 仿生机器人           | 中国 |
| 51 | 云深处               | 仿生机器人           | 中国 |
| 52 | 中大力德              | RV、行星减速器        | 中国 |
| 53 | 环动科技              | RV、行星减速器        | 中国 |
| 54 | 智同科技              | RV 减速器          | 中国 |
| 55 | 斯微特               | RV 减速器          | 中国 |
| 56 | 南通振康              | RV 减速器          | 中国 |
| 57 | 纳博特斯克             | RV 减速器          | 日本 |
| 58 | 住友                | RV 减速器          | 日本 |
| 59 | 六环传动              | RV 减速器          | 中国 |
| 60 | 秦川机床              | RV 减速器          | 中国 |
| 61 | 飞马传动              | RV 减速器          | 中国 |
| 62 | 昊志机电              | 谐波、RV 减速器、空心杯电机 | 中国 |
| 63 | 大族精密              | 谐波减速器           | 中国 |
| 65 | 新宝                | 谐波减速器           | 日本 |
| 66 | 中技克美              | 谐波减速器           | 中国 |
| 67 | 德美精密              | 谐波减速器           | 中国 |
| 68 | 来福谐波              | 谐波减速器、关节模组      | 中国 |
| 69 | 绿的谐波              | 谐波减速器、关节模组      | 中国 |
| 70 | 同川精密              | 谐波减速器、关节模组      | 中国 |
| 71 | 哈默纳科              | 谐波减速器、关节模组      | 日本 |



|     |         |             |      |
|-----|---------|-------------|------|
| 72  | 福德机器人   | 谐波减速器、关节模组  | 中国   |
| 73  | 无锡巨蟹    | 关节模组        | 中国   |
| 74  | 钛虎机器人   | 关节模组        | 中国   |
| 75  | 瑞迪智驱    | 关节模组        | 中国   |
| 76  | 清能德创    | 关节模组        | 中国   |
| 77  | 台邦      | 行星减速器       | 中国   |
| 78  | 科峰智能    | 行星减速器       | 中国   |
| 79  | 纽仕达特    | 行星减速器       | 中国   |
| 80  | 罗斯特     | 行星减速器       | 中国   |
| 81  | 纽格尔     | 行星减速器、关节模组  | 中国   |
| 82  | 爱磁科技    | 精密减速器       | 中国   |
| 83  | 陶氏精密    | 精密减速器       | 中国   |
| 84  | 博特精工    | 行星滚柱丝杠      | 中国   |
| 85  | 南京工艺    | 行星滚柱丝杠      | 中国   |
| 86  | 新剑智能    | 行星滚柱丝杠      | 中国   |
| 87  | GSA     | 行星滚柱丝杠      | 瑞士   |
| 88  | SKF     | 行星滚柱丝杠      | 瑞典   |
| 89  | 上银      | 滚珠丝杆        | 中国台湾 |
| 90  | TBI     | 滚珠丝杆        | 中国台湾 |
| 91  | THK     | 滚珠丝杆、行星滚柱丝杠 | 日本   |
| 92  | 步科电气    | 力矩电机        | 中国   |
| 93  | 杭州三相    | 力矩电机        | 中国   |
| 94  | 易尔泰     | 力矩电机        | 中国   |
| 95  | 大族电机    | 力矩电机        | 中国   |
| 96  | 合泰电机    | 力矩电机        | 中国   |
| 97  | 三瑞智能    | 力矩电机        | 中国   |
| 98  | 常州运控    | 力矩电机        | 中国   |
| 99  | 科尔摩根    | 力矩电机、关节模组   | 美国   |
| 100 | 雷赛智能    | 力矩电机、空心杯电机  | 中国   |
| 101 | Elmo 埃莫 | 伺服驱动器       | 以色列  |
| 102 | 汇川技术    | 伺服系统、编码器    | 中国   |
| 103 | 禾川股份    | 伺服系统、编码器    | 中国   |
| 104 | 多摩川     | 伺服系统、编码器    | 中国   |
| 105 | 卧龙电驱    | 电机、驱动       | 中国   |
| 106 | 鸣志电器    | 空心杯电机       | 中国   |
| 107 | 鼎智科技    | 空心杯电机       | 中国   |
| 108 | 五颗星马达   | 空心杯电机       | 中国   |



|     |           |               |     |
|-----|-----------|---------------|-----|
| 109 | 唯川科技      | 空心杯电机         | 中国  |
| 110 | 双环全新      | 空心杯电机         | 中国  |
| 111 | 万至达电机     | 空心杯电机         | 中国  |
| 112 | 雷尼绍       | 编码器           | 中国  |
| 113 | 内密控       | 编码器           | 中国  |
| 114 | 海德汉       | 编码器           | 中国  |
| 115 | 锐鹰        | 编码器           | 中国  |
| 116 | 禹衡光学      | 编码器           | 中国  |
| 117 | 零差云控      | 编码器、关节模组      | 中国  |
| 118 | 精谷智能      | 编码器、关节模组      | 中国  |
| 119 | 尼康        | 编码器、关节模组      | 日本  |
| 120 | 国讯芯微      | 操作系统、控制系统     | 中国  |
| 121 | 拓普        | 执行器模组         | 中国  |
| 122 | 三花智控      | 执行器模组         | 中国  |
| 123 | 宁德时代      | 动力电池          | 中国  |
| 124 | 比亚迪       | 动力电池          | 中国  |
| 125 | 亿纬锂能      | 动力电池          | 中国  |
| 126 | ATL       | 动力电池          | 中国  |
| 127 | 泰科伺服      | 关节模组          | 中国  |
| 128 | 禾赛科技      | 激光雷达          | 中国  |
| 129 | 速腾聚创      | 激光雷达          | 中国  |
| 130 | 北醒光子      | 激光雷达          | 中国  |
| 131 | 万集科技      | 激光雷达          | 中国  |
| 132 | 西克        | 激光雷达          | 德国  |
| 133 | 倍加福       | 激光雷达、编码器、力传感器 | 德国  |
| 134 | 思岚科技      | 激光雷达          | 中国  |
| 135 | 坤维科技      | 力传感器          | 中国  |
| 136 | 蓝点触控      | 力传感器          | 中国  |
| 137 | 鑫精诚传感器    | 力传感器          | 中国  |
| 138 | OptoForce | 力传感器          | 匈牙利 |
| 139 | 恩智浦（NXP）  | 力传感器          | 荷兰  |
| 140 | 施耐德       | 力传感器          | 法国  |
| 141 | SRI 宇立    | 力传感器          | 中国  |
| 142 | 神源生智能     | 力传感器          | 中国  |
| 143 | 华力创科学     | 力传感器          | 中国  |
| 144 | 帕西尼科技     | 触觉传感器、灵巧手     | 中国  |
| 145 | 纽迪瑞科技     | 传感器           | 中国  |



|     |                       |            |       |
|-----|-----------------------|------------|-------|
| 146 | 埃戈罗                   | 传感器        | 美国    |
| 147 | 雄克                    | 传感器、末端执行器  | 德国    |
| 148 | Robotiq               | 传感器、末端执行器  | 加拿大   |
| 149 | Onrobot               | 传感器、末端执行器  | 丹麦    |
| 150 | SMC                   | 传感器、末端执行器  | 日本    |
| 151 | ATI                   | 传感器、末端执行器  | 美国    |
| 152 | Weiss Robotics        | 传感器、末端执行器  | 德国    |
| 153 | 海伯森                   | 力传感器、其他传感器 | 中国    |
| 154 | 因时机器人                 | 灵巧手        | 中国    |
| 155 | 桥田                    | 快换、末端执行器   | 中国    |
| 156 | 忆海原识                  | 类脑智能、灵巧手   | 中国    |
| 157 | 大寰机器人                 | 末端执行器      | 中国    |
| 158 | 增广智能                  | 末端执行器      | 中国    |
| 159 | 费斯托                   | 末端执行器      | 德国    |
| 160 | 慧灵科技                  | 末端执行器      | 中国    |
| 161 | Zimmer Group          | 末端执行器      | 德国    |
| 162 | Righthand Robotics    | 末端执行器      | 美国    |
| 163 | Soft Robotics         | 末端执行器      | 美国    |
| 164 | Grabit                | 末端执行器      | 美国    |
| 165 | IAI                   | 末端执行器      | 日本    |
| 166 | Mindman               | 末端执行器      | 中国台湾  |
| 167 | 柔触机器人                 | 末端执行器      | 中国    |
| 168 | RGK                   | 末端执行器      | 中国台湾  |
| 169 | Active8 Robots        | 末端执行器      | 英国    |
| 170 | Chanto Air Hydraulics | 末端执行器      | 中国台湾  |
| 171 | QB Robotics           | 末端执行器      | 意大利   |
| 172 | Barrett Technology    | 末端执行器      | 美国    |
| 173 | Shadow Hand           | 末端执行器      | 英国    |
| 174 | DLR/HIT Hand          | 末端执行器      | 德国/中国 |
| 175 | 钧舵机器人                 | 末端执行器      | 中国    |
| 176 | 知行机器人                 | 末端执行器      | 中国    |
| 177 | 索尼                    | 视觉传感器      | 日本    |
| 178 | 奥比中光                  | 视觉传感器      | 中国    |
| 179 | 安思疆                   | 视觉传感器      | 中国    |
| 180 | 舜宇                    | 视觉传感器      | 中国    |
| 181 | 银牛微电子                 | 视觉传感器      | 中国    |
| 182 | 迈尔微视                  | 视觉传感器      | 中国    |



|     |        |             |    |
|-----|--------|-------------|----|
| 183 | 图漾科技   | 视觉传感器       | 中国 |
| 184 | 英特尔    | 视觉传感器       | 美国 |
| 185 | 梅卡曼德   | 视觉传感器       | 中国 |
| 186 | 中科融合   | 视觉传感器       | 中国 |
| 187 | 海康机器人  | 视觉传感器       | 中国 |
| 188 | 华睿科技   | 视觉传感器       | 中国 |
| 189 | 地平线    | 芯片          | 中国 |
| 190 | 寒武纪    | 芯片          | 中国 |
| 191 | 英伟达    | 芯片、大模型      | 美国 |
| 192 | 华为     | 芯片、云平台、大模型  | 中国 |
| 193 | 墨现科技   | 压力传感器、触觉传感器 | 中国 |
| 194 | 思必驰    | 语音传感方案      | 中国 |
| 195 | 科大讯飞   | 语音传感方案、大模型  | 中国 |
| 196 | 阿里云    | 云平台、大模型     | 中国 |
| 197 | 微软     | 云平台、大模型     | 美国 |
| 198 | Google | 云平台、大模型     | 美国 |
| 199 | 百度     | 大模型         | 中国 |
| 200 | 商汤     | 大模型         | 中国 |

# AI人工智能产业链联盟

#每日为你摘取最重要的商业新闻#

更新 · 更快 · 更精彩



Zero

AI音乐创作人  
水墨动漫联盟创始人  
百脑共创联合创始人  
人工智能产业链联盟创始人  
中关村人才协会秘书长助理  
河北北大企业家分会秘书长  
墨攻星辰智能科技有限公司CEO  
河北清华发展研究院智能机器人中心线上负责人  
中关村人才协会数字体育与电子竞技专委会秘书长助理



主要业务:AI商业化答疑及课程应用场景探索, 各类AI产品学习手册, 答疑及课程



欢迎扫码交流

提供: 学习手册/工具/资源链接/商业化案例/  
行业报告/行业最新资讯及动态



人工智能产业链联盟创始人

邀请你加入星球, 一起学习

## 人工智能产业链联盟报 告库



星主: 人工智能产业链联盟创始人

每天仅需0.5元, 即可拥有以下福利!  
每周更新各类机构的最新研究成果。立志将人工智能产业链联盟打造成市面上最全的AI研究资料库, 覆盖券商、产业公司、研究院所等...

知识星球

微信扫码加入星球 ▶





### 关于我们：

高工咨询成立于 2006 年，是以新兴产业为研究方向的专业咨询机构。专注于机器人、锂电、储能、氢能、智能汽车、新材料等国家战略新兴产业领域的产业研究和咨询服务，为企业、金融机构和政府提供全方面的整合服务。

高工咨询拥有超过 100 名产业研究人员，每年实地调研超过 3000 家企业，建立了全面的产业研究及咨询数据库。服务过 60 多家世界 500 强公司，100 多家中国上市公司，50 多个地方政府。

### 高工咨询服务矩阵：



### 联系我们：

深圳市高工咨询有限公司

地址：深圳市南山区蛇口网谷万海大厦 A 座 401-402

电话：0755-26981898

邮箱：[sn.luo@gaogong123.com](mailto:sn.luo@gaogong123.com) 或 [zhangyuan.lu@gaogong123.com](mailto:zhangyuan.lu@gaogong123.com)

联系我们:

高工机器人产业研究所 (GGII)

电话: 13530052504

邮箱: [Zhangyuan.lu@gaogong123.com](mailto:Zhangyuan.lu@gaogong123.com)



高工机器人  
官方微信号



高工移动机器人  
官方微信号