

| 证券研究报告 |

人形机器人何时迎来量产？

2024.10.07

中泰机械首席分析师：王可
执业证书编号：S0740519080001

核心观点

- **市场预期：**机器人主题炒作的2-3年以来，市场审美疲劳与特斯拉机器人进展低于预期使得股价目前处于低位。市场当前的预期是，特斯拉机器人25年进入限制性生产，年产几千台，26年开始产品出售，在市场上流通。
- **产业进展：**伴随大模型的开源与英伟达cuda机器人生态系统的开放，越来越多参与者涌入此赛道，且运用局部泛化的能力解锁特定工况，部分机器人公司商业化进展较快。
- **硬件符合的条件：**目前供给端硬件的生产制造及成本已不再是约束条件。摄像头、谐波减速器、传感器、直线执行器等产能较充裕，丝杠此前市场较小，未有存量产能，但目前正进行设备国产化导入，扩产不是硬约束。
- **软件算法：**软件算法的进步是产品功能提升和应用场景扩展的关键。其中，环境理解、智能交互及推理决策等大脑算法发展相对成熟，而运动控制相关的小脑算法处于较为初期阶段。核心约束在数据采集与精细运动底层算法上，可观察产业界在这些方面的积极迭代与演进。
- **风险提示：**人形机器人行业进展不及预期；行业规模测算基于一定的假设，存在不及预期的风险；第三方数据失真的风险；研究报告中使用的公开资料可能存在信息之后或更新不及时的风险等。

目录

CONTENTS

- ① 当前人形机器人的产业进展
- ② 量产硬件端需要满足的条件
- ③ 量产软件端需要满足的条件
- ④ 建议关注
- ⑤ 风险提示



1

当前人形机器人的产业进展

领先 | 深度

1.1、产业进展：各类初创公司涌入机器人赛道，进展可观

□ 人形机器人是远期需求巨大的划时代重磅产品，短期由供给创造需求。伴随大模型的开源与英伟达Cuda机器人生态系统的开放，越来越多的初创公司涌入机器人赛道，以局部泛化的方式训练机器人在封闭场景下完成特定任务。

图表1：海内外人形机器人技术和商业化进度

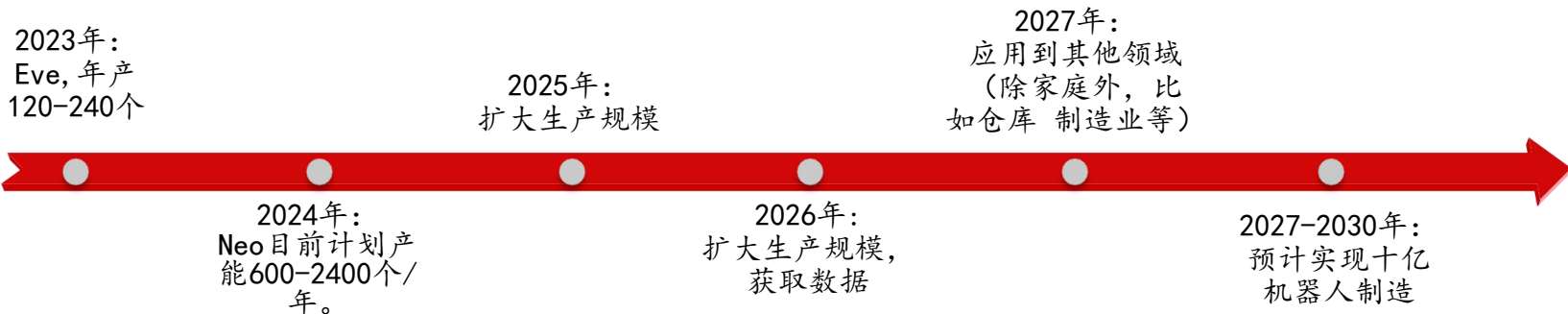
公司名称	机器人称号	视频	是否商业化	公开行走	灵巧手	展示有用工作	大模型+语音融合	自主工作	已公布合作公司
Figure.ai	Figure 02								BMW
Tesla	Optimus Gen2								Tesla
Agility Robotics	Digit v4a				N/A				Amazon
Sanctuary AI	Phoenix Gen7								Canadian Tire Corporation, Limited; Magna International
Apptroik	Apollo								
1X Technology	EVE/NEO								EVE; StrongPoint; ADT Security Services
Mentree Robotics	MenteeBot								
Boston Dynamics	New Atlas								Hyundai
Neura Robotics	4NE-1								
Kind Humanoid	Mona				N/A				
K-Scale Labs	Stomp				N/A				
Reflex Robotics	Reflex			N/A	N/A				
Pollen Robotics	Reachy2			N/A	N/A				
智元机器人	远征A1								临港集团、均普智能
宇树科技	Unitree H1								大学、科研机构
傅利叶智能	Fourier GR-1								科研院校
星动纪元	XBot-L								
优必选	Walker S								蔚来、东风柳汽、一汽大众、极氪5G智慧工厂
乐聚机器人	夸父								蔚来、江苏亨通集团
开普勒机器人	先行者								SIMPPLE
天链机器人	t1								
戴盟机器人	Sparky1			N/A					
星尘智能	AstriBot S1								
银河通用机器人	Sparky1			N/A	N/A				
帕西尼感知科技	Tora			N/A					

来源：各公司官网，中泰证券研究所整理

1.2、各厂商针对不同场景深入探索，强调落地为先

- **Digit:** 24年8月宣布在GX0 Spanx仓库已完成10000个订单机器人的部署，是目前商业化进展较快的机器人。
- **1X:** 新推出neo机器人，针对家庭使用场景，预计2025年实现年产量1000-2000台。
- **智元:** 发布5款机器人，针对柔性制造、家庭服务场景与商场接待等，量产节奏明确：2024年10月双足机器人开启量产，月产100台，预估2024年整体出货超300台。

图表2: 1X Technology商业化进展



来源: 公司官网, 中泰证券研究所整理

图表3: Neo Beta协助人类做饭



来源: Open AI官方X账号, 中泰证券研究所整理

图表4: Neo Beta整理高脚杯



来源: Open AI官方X账号, 中泰证券研究所整理

图表5: Neo Beta和人类互动



来源: Open AI官方X账号, 中泰证券研究所整理

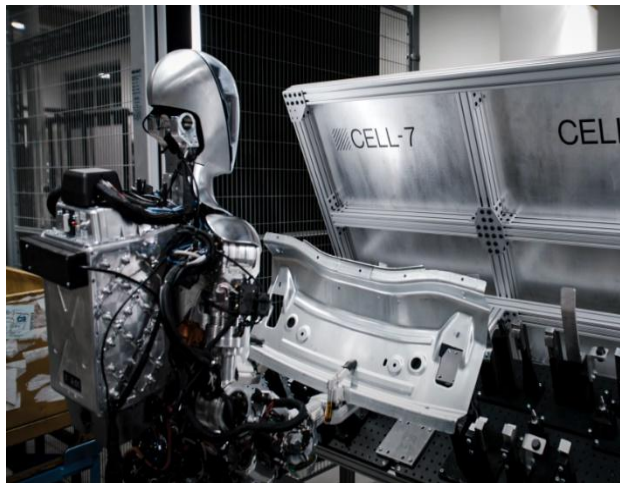
1.3、机器替人将始于智能制造的柔性生产环节，远期需求巨大

□ 目前汽车制造厂及3C工厂劳动力需求庞大，人力成本支出较高，潜在的机器替人空间大。根据统计局数据，截止2024年6月，中国汽车制造业累计用工人数为454万人。比亚迪2023年报公布总人数为703,504人，其中生产人员为524,673人，生产人员占比约74.6%。据此估算，仅中国汽车制造业生产人员就约有339万人，假设人形机器人替换工人的替换率为10%，那么中国汽车制造业有约34万台人形机器人潜在需求。

图表6：特斯拉第二代 Optimus在工厂处理电池



图表7：Figure01基于AI的视觉模型实现“完全自主操控”



图表8：优必选人形机器人 Walker S工业应用能力训练



来源：特斯拉官方X账号，中泰证券研究所整理

来源：Figure官方X账号，中泰证券研究所整理

来源：优必选科技官方微博账号，中泰证券研究所整理

1.4、如何判断机器人进入量产环节的时点？

- 定义：10万台为小批量生产，100万台为进入量产。
- 小批量生产：小批量生产10万台机器人可以替代1/10长尾工况的工位。小批量生产的情况下，核心决定因素不是机器人价格，而是机器人的性能、生产的连续性稳定性等。
 - 硬件满足条件：运动控制稳定、运行连续，生产制造不存在瓶颈。
 - 软件满足条件：局部泛化即可，具备封闭场景完成特定任务的能力。
- 大规模量产：100万台产量下，机器人不仅能满足智能制造工厂的需求，也开始进入服务业甚至家庭，此时硬件价格的降低与软件的泛化能力均非常重要。
 - 硬件满足条件：硬件降本，总体成本下降至低于单个工人成本。
 - 软件满足条件：机器人算法模型出现“智能涌现”，具备全面泛化的能力。



2

硬件需要满足的条件

领先 | 深度

2.1、供给端：硬件不再是约束条件

- 零部件中，摄像头、灵巧手、减速器等产能充足；
- 行星滚柱丝杠由于此前市场极小，目前尚处于小批量试生产阶段，存量产能有限。

图表9：特斯拉人形机器人零部件供应商及产能

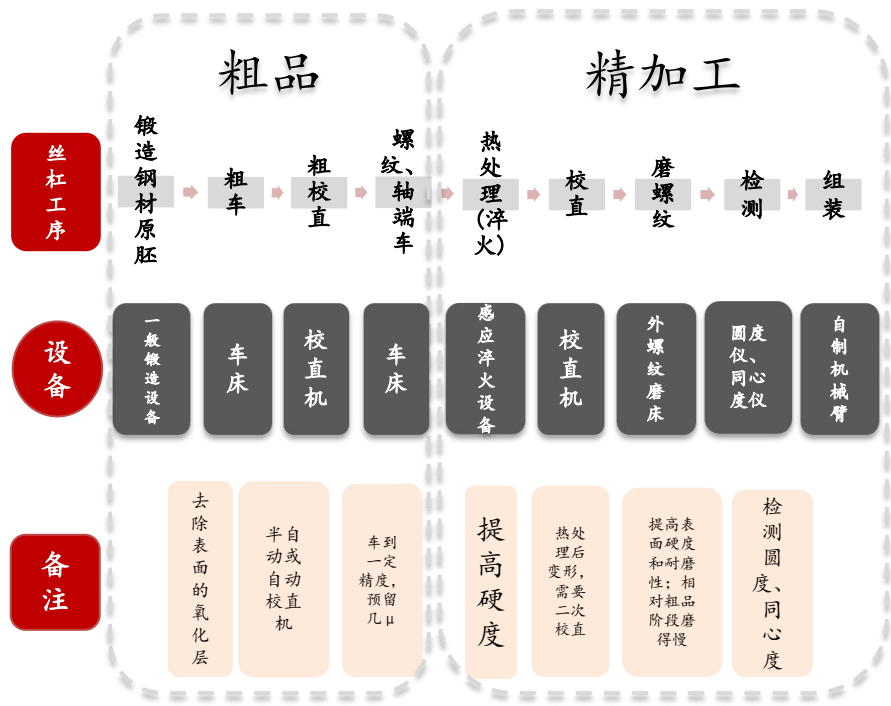
零部件	单个机器人所需数量	10万个机器人所需数量	供应商	产能
摄像头	3	30万	联创电子、亚洲光学等	Optimus配备汽车同款Aotopilot摄像头，联创电子模造玻璃镜片目前产能约为7KK/月，模造玻璃镜片主要对应的是车载镜头和高清广角镜头。联创电子年产2400万颗智能汽车光学镜头及600万颗影像模组。
六维力矩传感器	4	40万	ATI、宇立仪器等	-
直线执行器	14	140万	三花智控、拓普集团等	三花智控计划总投资不低于38亿元建设机器人伺服机电执行器集成组件和域控制器研发及生产基地项目，后续筹划在海外建设生产基地以满足客户量产需求。 拓普自2024Q1开始进入量产爬坡阶段，初始订单为每周100台。在完成4套生产线的安装调试后，目标为年产10万台，后续将年产能提升至百万台。
行星滚柱丝杠	14	140万	北特科技、贝斯特、新剑传动等	目前产能规划中。
谐波减速器	14	140万	哈默纳科	自22年产能扩张后，截止2023年年底产能为25.5万台/月（不含车载16.5万台/月），合计产能306万台/年（不含车载198万台/年）。
灵巧手	44	440万	MAXON、鸣志电器等	MAXON自研自制自动化生产设备，年产量约为500万件。

来源：2022年特斯拉AI Day，各公司公告，中泰证券研究所整理

2.2、行星滚柱丝杠：产品已实现国产化，且生产设备逐步开始国产替代

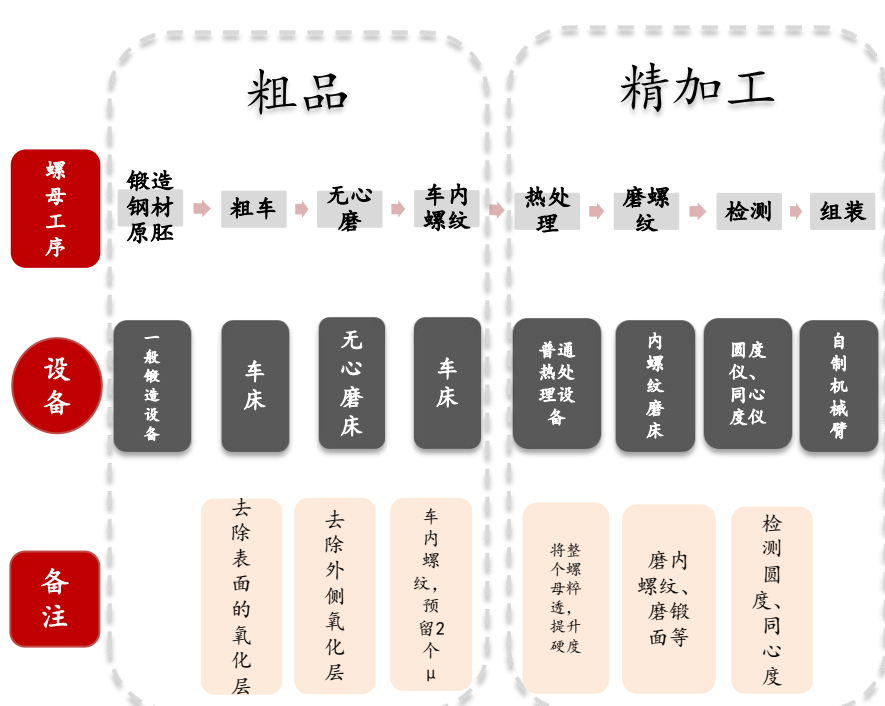
- 行星滚柱丝杠生产流程中，核心难点是针对丝杠及滚柱的外螺纹磨制及针对螺母的内螺纹滚道磨制。尤其是反向式行星滚柱丝杠，从驱动丝杠改变为驱动螺母。这种丝杠的特点是螺母较长，在加工过程中，需要用悬臂吊一个小砂轮来磨制螺母内滚道，因此内螺纹磨制时间较长，工艺难度也较大。螺纹磨床决定加工精度，是生产工序中最核心的设备。

图表10:行星滚柱丝杠（丝杠）工艺流程



来源：贝斯特公司公告、中泰证券研究所整理

图表11:行星滚柱丝杠（螺母）工艺流程



来源：贝斯特公司公告、中泰证券研究所整理

2.2、行星滚柱丝杠：产品已实现国产化，且生产设备逐步开始国产替代

- 国内高精度的CNC加工设备市场此前被外资磨床垄断，国内企业份额较少。目前国内磨床设备企业的技术积极迭代创新，以汉江机床为例，率先开发SK7120数控螺纹塞规丝杠磨床，可加工各种齿形圆柱形或圆锥形的外螺纹，参照滚珠丝杠精度国标，磨削精度可达到P1级。
- 从技术参数对比上看，国产螺纹磨床与进口设备差距在逐步缩小。
- 注：JIS标准为C0、C1、C3、C5、C7、C10，国内丝杠精度划分为P1、P2、P3、P4、P5、P7、P10。一般来说，C3精度介于P2~P3之间。

图表12: 秦川机床SK7120数控螺纹塞规丝杠磨床主要技术参数

	主要规格
最大磨削直径	Ø200mm
最大安装直径	200mm
顶尖距	350mm
最小磨削直径	2mm
可磨螺纹最大长度	250mm
可磨螺纹最大螺距	0.25-6mm
可磨螺纹最大导程角	±30°
可磨螺纹头数	1~99 (任意)
最高磨削精度	P1

来源：秦川机床官网，中泰证券研究所整理

图表13: 日本三井GSE200H螺杆蜗杆数控磨床主要技术参数

	主要规格
工作台上的回转	Ø480mm
中心间距离	2,250mm
可磨削螺纹长	2,000mm
可磨削最大工件直径	Ø360mm
砂轮尺寸	Ø510×10~50×Ø228.6mm
砂轮轴最高回转速度	2,250min ⁻¹
砂轮最高使用周速度	3,600m/min
砂轮倾斜角度	±45°
主轴贯通孔直径	Ø76mm (选配: Ø103mm)
主轴回转速度	100min ⁻¹
最高磨削精度	C0

来源：日本三井官网，中泰证券研究所整理

2.2、设备国产化替代将大幅降低行星滚柱丝杠生产成本

- 在人形机器人产业应用之前，行星滚柱丝杠是极为小众的产品，主要用在军工、汽车制造设备、医疗、机床等行业，总体市场规模近100亿元。市场主要供应商为舍弗勒、力士乐等外资品牌。
- **国产设备渗透：**此前高精度加工依赖海外精加工设备，伴随下游客户生产工艺的不断探索与国产设备性能不断提升，国产设备正逐步进入下游厂商。
- **设备折旧占成本大头：**在行星滚柱丝杠产品生产成本构成中，原材料为特钢，成本占比极小。生产加工及检测环节的设备折旧为生产成本大头，尤其是生产节拍较慢的高精度加工磨床等设备，其设备价格昂贵、工时较长，因此设备折旧较高。
- 伴随生产工艺的改进与国产设备的逐步替代，国产行星滚柱丝杠的生产瓶颈被打破，且有望大幅降本。



3

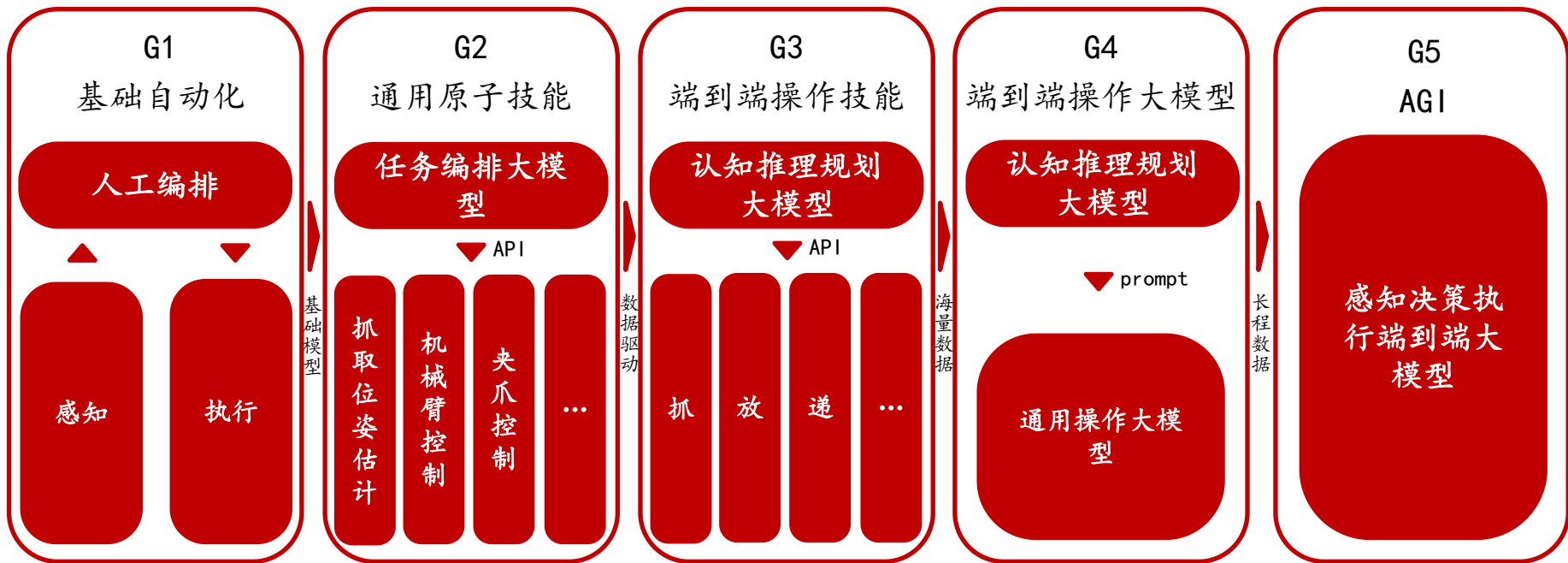
软件需要满足的条件

领先 | 深度

3.1、软件算法进步才是推动人形机器人功能提升和应用场景拓展的关键

- 具身智能（Embodied AI）：集成环境理解、智能交互、认知推理、规划执行于一体的系统化方案。其中，通过包罗万象的海量Tokens训练的LLM，其内蕴的Common Sense以及思维逻辑，能够成为面向机器人的General Planner。

图表14: 具身智能技术演进路线



来源：2024智元年度新品发布会，中泰证券研究所整理

3.1、软件算法进步才是推动人形机器人功能提升和应用场景拓展的关键

- 从底层算法模型来看，机器人的软件可以分为大脑与小脑。大脑负责感知外界并模拟人类思维决策过程，小脑则模仿生物进行复杂的运动控制。目前大小脑发展不均衡，相较于智能“大脑”的智力快速提升，灵巧“小脑”能够实现的灵巧操作能力亟待加强。
- 大脑部分主要职能是环境理解、智能交互与认知推理，基础是机器视觉、大语言模型的发展。

图表15：机器人软件构成



来源：工业产业链研究公众号，焉知人形机器人公众号，中泰证券研究所整理

3.2、大脑算法中的环境理解，基于机器视觉，发展相对成熟

- 环境理解算法发展相对成熟。环境理解的主要算法有1) 检测、分割。检测分割伴随计算机机器视觉的发展，目前已经相对成熟。2024年7月，Meta 推出Segment Anything Model 2 (SAM 2)。SAM 2 可以为静态图像和动态视频内容提供实时、可提示的对象分割，将图像和视频分割功能统一到一个系统中。SAM 2 的出现是检测分割算法的一个重大进步，并且已经实现开源。2) 多模态Grounding。通过文本和图像的信息输入，对图像中隐含的我们需要了解的位置信息、常识等进行理解。Prompt的多样性使得多模态Grounding更有针对性。

图表16: Meta开源「分割一切」2.0模型



来源: SIGGRAPH, 中泰证券研究所整理

图表17: 多模态Grounding (3D)

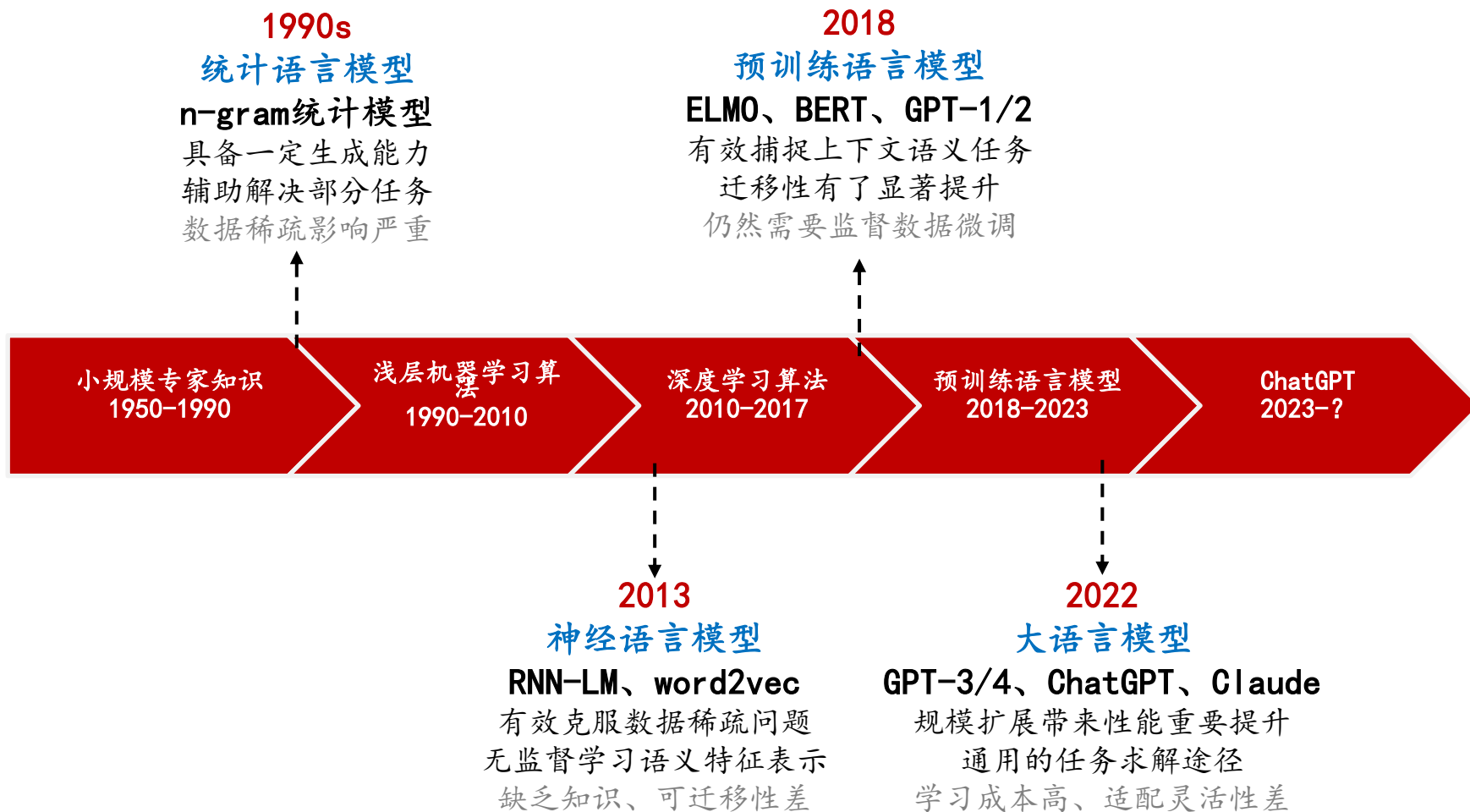


来源: Jiayong Huang et. al., An Embodied Generalist Agent in 3D World, 2023, 中泰证券研究所整理

3.3、大脑算法中的智能交互与认知推理，伴随大模型的迭代而发展

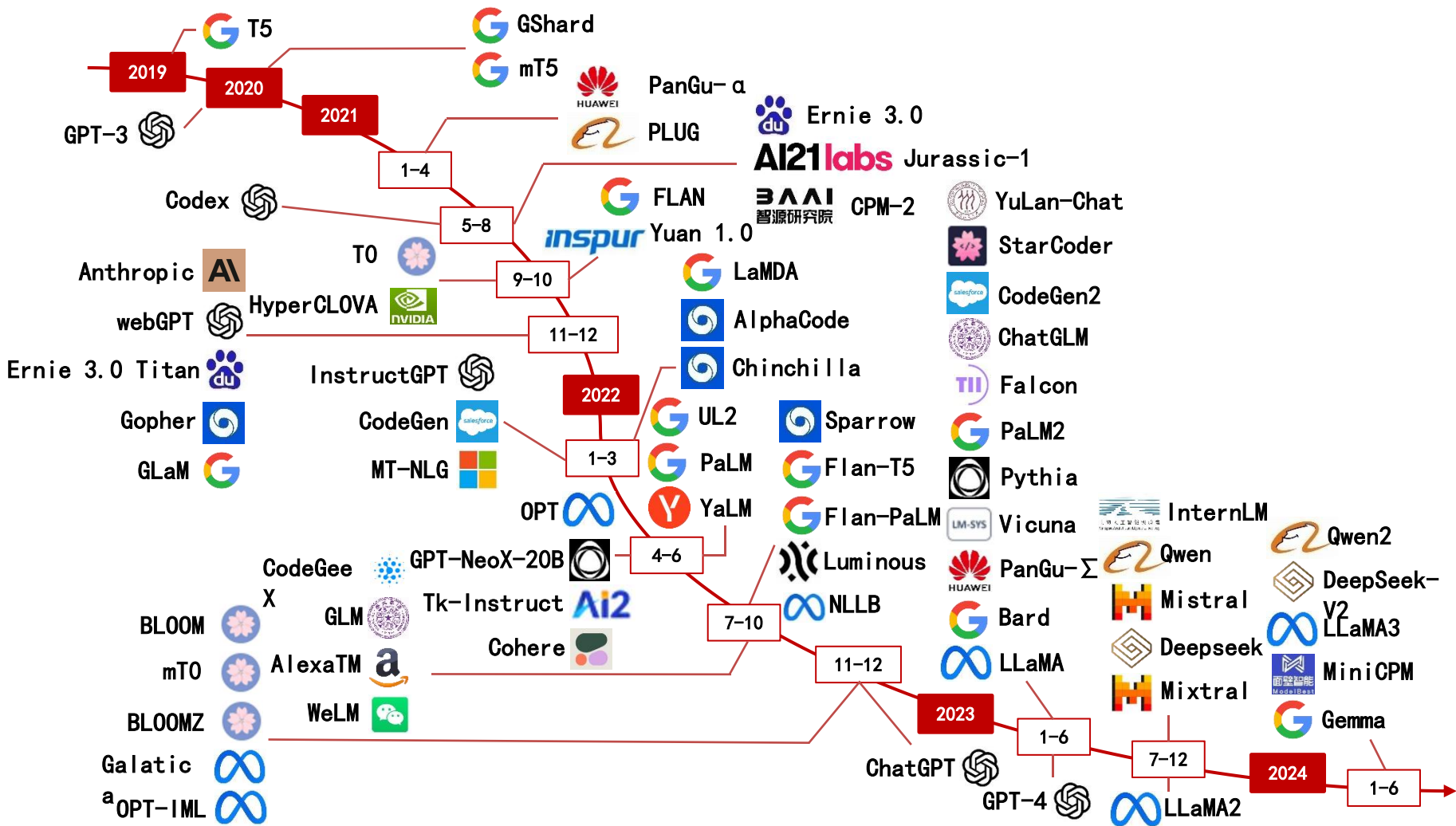
□ 智能交互与认知推理，伴随大模型的迭代而发展。

图表18: 语言模型发展



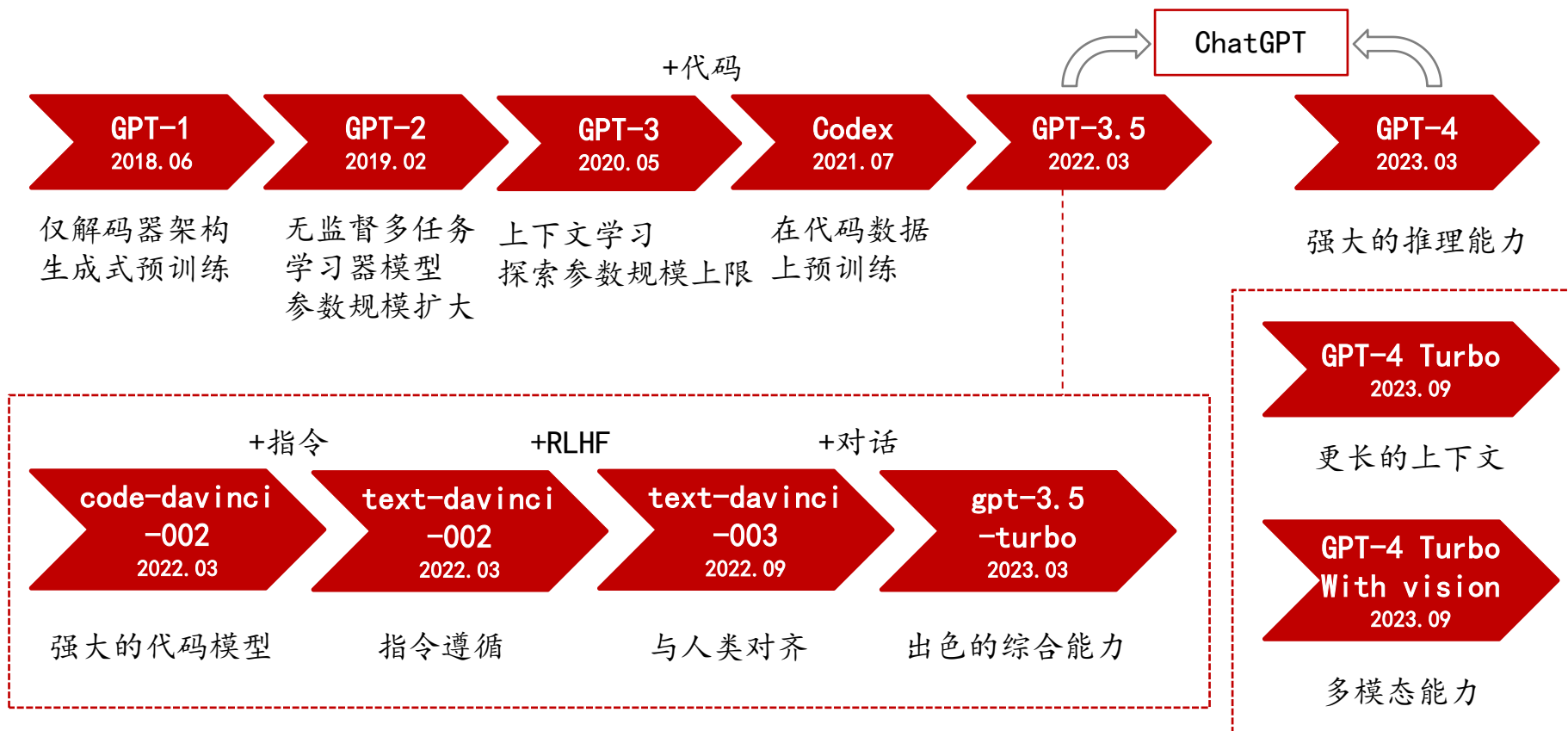
3.3、大脑算法中的智能交互与认知推理，伴随大模型的迭代而发展

图表19:大语言模型（百亿参数以上）时间轴



3.3、大脑算法中的智能交互与认知推理，伴随大模型的迭代而发展

图表20: GPT发展历程



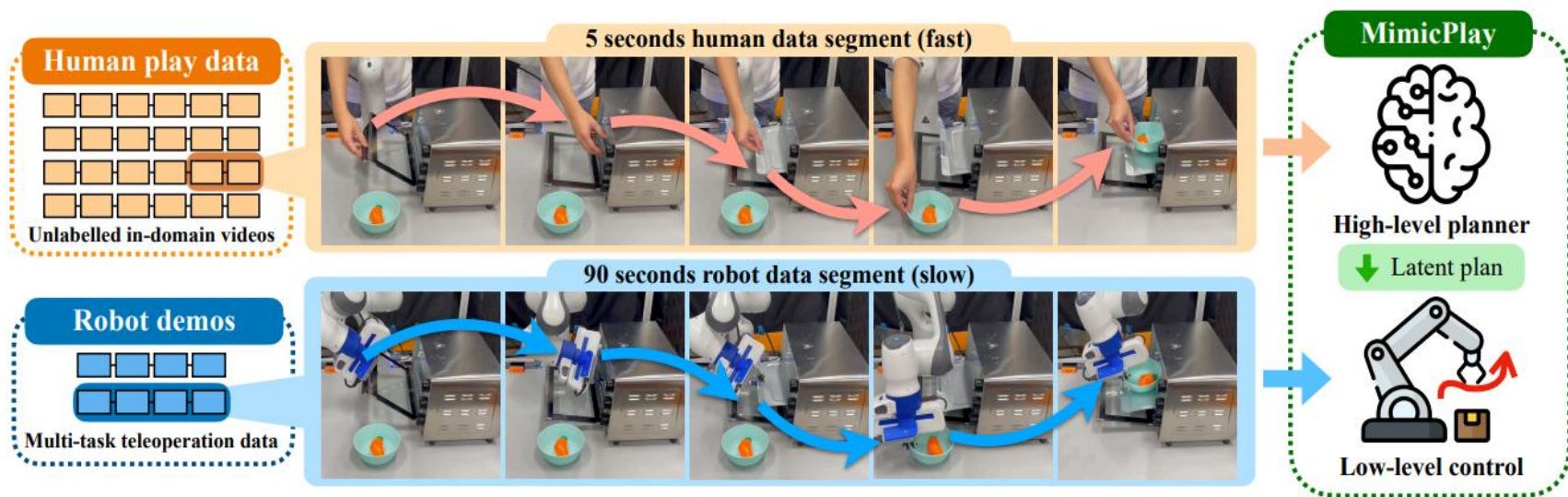
来源：中国人民大学《大语言模型》，中泰证券研究所整理

3.4、小脑部分发展的制约因素之一是数据采集

□ 小脑即运动控制，发展停留在相处初期，主要制约因素之一是数据采集。相较于大模型的发展拥有海量的数据输入，机器人的训练数据集是十分有限的，主要有以下几种数据来源：

- 利用视频数据引导学习。利用人操作的视频，用数据来引导机器人真机上的学习，提升收集效率。这种方式可以从广泛的互联网视频中提取数据，提高数据利用效率，减轻算法对数据采集的依赖。局限性：信息表征的局限性、相对真机的还原性等。

图表21: MimicPlay



来源：Chen Wang et al., MimicPlay: Long-Horizon Imitation Learning by Watching Human Play, 2023, 中泰证券研究所整理

3.4、小脑部分发展的制约因素之一是数据采集

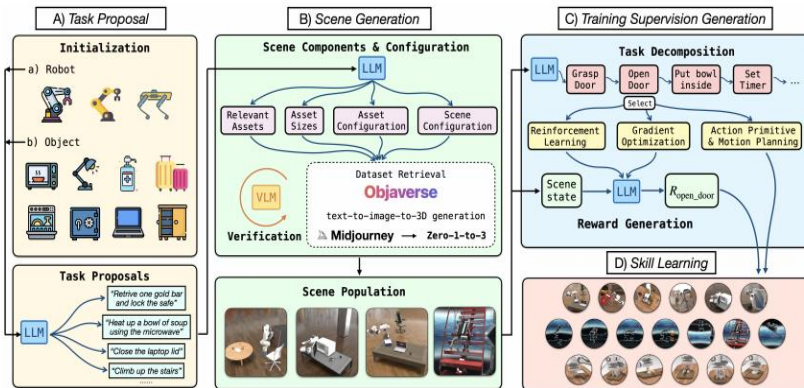
- **Vision Pro等硬件操作采集。**工作人员佩戴VR眼镜及VR手套，实现双臂灵巧手的遥操作，实时解析手部姿态并采集数据。VR手套的作用是把人手的多关节高自由度的复杂运动做采集和映射，这样实现遥操作的时候可以采集针对各手指自由度的真实完整的数据。目前Tesla、Sanctuary AI目前都采用这种方式。信息含量全面准确、但采集效率比较低，数量级上远远不够。
- **生成式仿真。**以RoboGen为例，通过构建一个闭环来实现数据获取。首先propose一个任务，然后基于这个任务generate对应的各种环境，最后在环境中进行学习。利用这样一个循环实现针对不同任务的各种环境大规模数据收集。

图表22：使用Apple Vision Pro为操作员提供第一人称视角控制的人形机器人



来源：AI寒武纪公众号，中泰证券研究所整理

图表23：RoboGen流程



来源：新智元公众号，中泰证券研究所整理

3.4、小脑部分发展的制约因素之一是数据采集

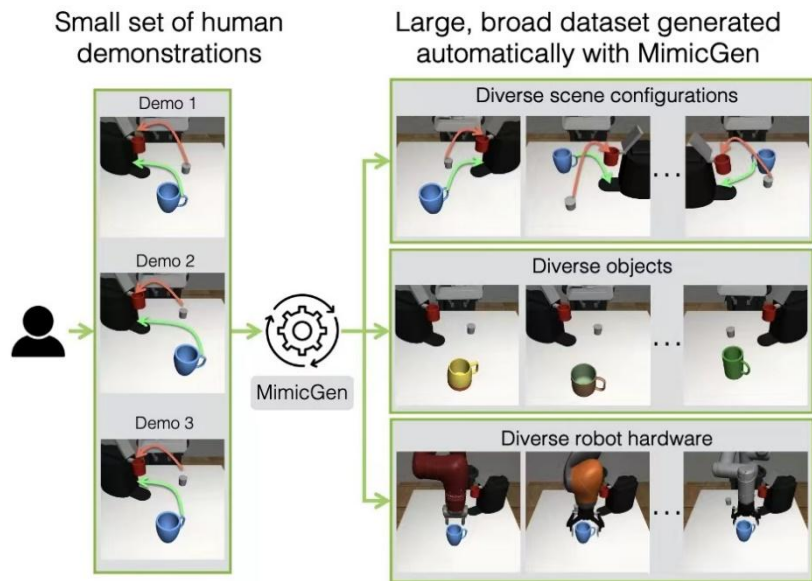
- **物理数据+生成式仿真。**英伟达Groot模型中MimicGen的处理方式，基于之前收集到的一小组真实示范数据，通过改变环境的视觉外观和布局来倍增，创建无数虚拟环境，最后应用MimicGen来倍增动作，形成一个更大的数据集。这种方式通过GPU加速仿真技术，将稀缺昂贵的人类示范数据转化为海量的训练样本，为解决机器人运动控制数据来源这一痛点提供一个解决思路。

图表24: RoboCasa对环境外观及布局进行扩散倍增



来源: AI寒武纪公众号, 中泰证券研究所整理

图表25: MimicGen倍增人类原始数据

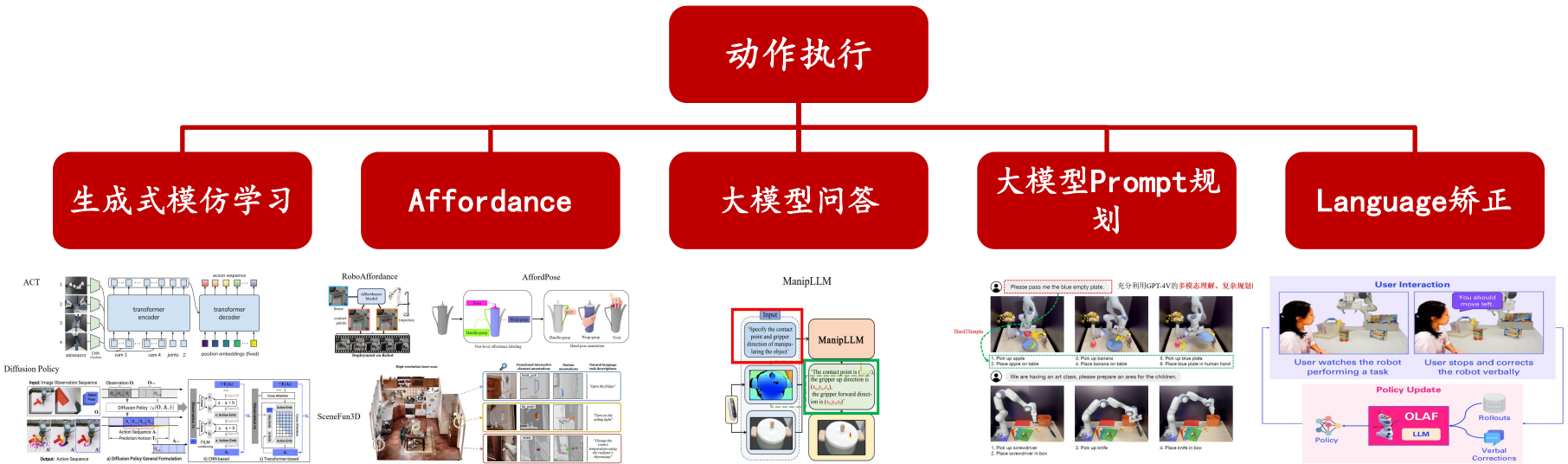


来源: 新智元公众号, 中泰证券研究所整理

3.5、精细运动执行尚未有统一的底层算法

- ❑ **动作执行：**目前精细动作尚未有统一的底层算法，肢体运动的统一底层算法是issac gym+强化学习。因为在下肢运动中，可以设置“不摔倒、走得快”等作为奖励函数来强化学习，而且身体运动容错空间相对高。但精细操作中不同任务对应不同的奖励函数，无法设置统一的奖励函数进行强化学习，因此目前尚未有统一的底层算法。
- ❑ 目前精细动作执行的底层算法主要有以下几种，但尚未有相对统一的算法。

图表26: 动作执行拆解



来源：Tony Z. Zhao et. al., Learning Fine-Grained Bimanual Manipulation with Low-Cost Hardware, 2023; Cheng Chi et. al., Diffusion Policy: Visuomotor Policy Learning via Action Diffusion, 2023; Shikhar Bahl et. al., Affordances from Human Videos as a Versatile Representation for Robotics, 2023; Juntao Jian et. al., AffordPose: A Large-scale Dataset of Hand-Object Interactions with Affordance-driven Hand Pose, 2023; SceneFun3D et. al., SceneFun3D: Fine-Grained Functionality and Affordance Understanding in 3D Scenes, 2024; Xiaoqi Li et. al., ManipLLM: Embodied Multimodal Large Language Model for Object-Centric Robotic Manipulation, 2023; Yingdong Hu et. al., Look Before You Leap: Unveiling the Power of GPT-4V in Robotic Vision-Language Planning, 2023; Huihan Liu et. al., Interactive Robot Learning from Verbal Correction, 2023; 中泰证券研究所整理



4

建议关注

领先 | 深度

4、建议关注

- A股标的主要通过硬件切入人形机器人产业链，我们梳理并建议关注以下标的：
 - 总成商：三花智控、拓普集团
 - 行星滚柱丝杠：北特科技、贝斯特、恒立液压、五洲新春
 - 减速器：中大力德、斯菱股份、双环传动、绿的谐波、精锻科技
 - 灵巧手：鸣志电器、兆威机电
 - 传感器：柯力传感、安培龙、东华测试、汉威科技
 - 设备：浙海德曼、秦川机床、华辰装备、日发精机



5

风险提示

领先 | 深度

风险提示

- 人形机器人行业进展不及预期。
- 行业规模测算基于一定的假设，存在不及预期的风险。
- 第三方数据失真的风险。
- 研究报告中使用的公开资料可能存在信息之后或更新不及时的风险。

投资评级说明：

	评级	说明
股票评级	买入	预期未来6~12个月内相对同期基准指数涨幅在15%以上
	增持	预期未来6~12个月内相对同期基准指数涨幅在5%~15%之间
	持有	预期未来6~12个月内相对同期基准指数涨幅在-10%~+5%之间
	减持	预期未来6~12个月内相对同期基准指数跌幅在10%以上
行业评级	增持	预期未来6~12个月内对同期基准指数涨幅在10%以上
	中性	预期未来6~12个月内对同期基准指数涨幅在-10%~+10%之间
	减持	预期未来6~12个月内对同期基准指数跌幅在10%以上

备注：评级标准为报告发布日后的6~12个月内公司股价（或行业指数）相对同期基准指数的相对市场表现。其中A股市场以沪深300指数为基准；新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以摩根士丹利中国指数为基准，美股市场以标普500指数或纳斯达克综合指数为基准（另有说明的除外）。

重要声明

- 中泰证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证券监督管理委员会许可的证券投资咨询业务资格。本报告仅供本公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。
- 本报告基于本公司及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，反映了作者的研究观点，力求独立、客观和公正，结论不受任何第三方的授意或影响。本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，可能会随时调整。本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。本报告所载的资料、工具、意见、信息及推测只提供给客户作参考之用，不构成任何投资、法律、会计或税务的最终操作建议，本公司不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保。本报告中所指的投资及服务可能不适合个别客户，不构成客户私人咨询建议。
- 市场有风险，投资需谨慎。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。
- 投资者应注意，在法律允许的情况下，本公司及其本公司的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。本公司及其本公司的关联机构或个人可能在本报告公开发布之前已经使用或了解其中的信息。
- 本报告版权归“中泰证券股份有限公司”所有。事先未经本公司书面授权，任何机构和个人，不得对本报告进行任何形式的翻版、发布、复制、转载、刊登、篡改，且不得对本报告进行有悖原意的删节或修改。