

机器人（人形+工业）PCB 需求深度研究报告

从 0 到 1 的潜在爆发 · 期权式配置 · 投资映射

(PCB 五大下游研究系列 · 第四篇)

研究范围：全球机器人产业（工业机器人+人形机器人+服务机器人）对 PCB 行业的需求驱动

方法论：下游需求三维拆解 + 情景分析（保守/中性/乐观）+ 期权式投资逻辑

报告日期：2026 年 5 月

执行摘要 / 核心结论

机器人是 PCB 五大下游研究系列里最特殊的一个——它和 AI 数据中心、汽车、智能手机有本质区别：前三者都是「已经成熟的市场+确定性增量」，而机器人（特别是人形机器人）是「从 0 到 1 的潜在爆发」。投资逻辑、研究方法、跟踪指标都需要不同的视角。

本报告四个核心结论：

第一，机器人下游必须分两类看。工业机器人是成熟稳健市场（全球 ~250 亿美元，年增 6-8%），PCB 需求温和、可见度高；人形机器人是潜在爆发市场（当前几乎为 0，未来想象空间巨大）。**研究两者必须分开做**——用同一个框架分析两者会得到错误结论。

第二，人形机器人是 PCB 行业未来 5-10 年最大的潜在期权。单台人形机器人 PCB 价值预估 \$150-300，是普通工业机器人的 5-10 倍。如果 Tesla Optimus 等头部产品在 2026-2028 年成功量产，2030 年人形机器人 PCB 市场有望达到 \$30-80 亿，2035 年可能突破 \$200 亿。但「如果」是关键——这个赛道的技术、成本、应用场景仍存在多重不确定性。

第三，PCB 厂在机器人产业链中的相对受益弱于上游零部件。研究人形机器人投资必须诚实地认识到：PCB 在单机 BOM 中占比约 5-8%，远低于减速器（25-30%）、伺服电机（15-20%）、AI 计算芯片（10-15%）。**机器人产业链最大的赢家可能是绿的谐波、双环传动等上游零部件公司，而非 PCB 厂**。但 PCB 厂作为「全场景受益者」仍能获得稳定的间接 alpha。

第四，投资策略与前三个下游显著不同。AI 是「大仓位+择时」、汽车是「核心持有」、手机是「现金流稳健」，机器人则是「期权式小仓位+长期跟踪」。建议在 PCB 板块组合中给机器人 5-10% 仓位，分散在 PCB 厂（景旺、东山、沪电）+ 上游零部件（绿的谐波、汇川）+ 直接受益本体厂（如可投资）。

最关键的判断：人形机器人「能否成为下一个智能手机式爆款」是个 5-10 年才能确认的命题。在结果未明的当下，最佳策略是「保持跟踪+小仓位试探」而非重仓押注。本报告提供的跟踪体系（Tesla Optimus 量产、单台成本下降曲线、应用场景验证），是判断这个赛道何时从「期权」转为「核心配置」的关键参考。

第一部分：机器人产业全景

1.1 机器人的四大类

研究机器人下游必须先建立分类框架——四类机器人的成熟度、PCB 需求、投资逻辑各不相同：

类别	代表产品	成熟度	全球年出货	单机 PCB 价值
工业机器人 (多关节)	ABB IRB、库卡、Fanuc M 系列	成熟	~50-55 万台	\$30-50
协作机器人 (Cobot)	优傲 UR、节卡、艾利特	中等	~10 万台	\$15-25
AGV/AMR (移动机器人)	极智嘉、海康、Amazon Kiva	中等	~30 万台	\$25-50
服务机器人 (含人形)	Tesla Optimus、Figure、宇树	早期	~5-10 万台	\$80-300

这张表的关键启示：****工业机器人是稳态市场，人形机器人是爆发性赛道，AGV/AMR 是中速增长****。研究 PCB 行业不能把机器人当成单一赛道——必须分别评估每一类的需求传导。

1.2 工业机器人：成熟稳健的基本盘

工业机器人是 PCB 行业稳定的基本盘需求，已经发展近 60 年，市场格局清晰：

公司	国别	市占率	主要产品
Fanuc 发那科	日本	~17%	工业六轴机器人
ABB	瑞士	~13%	工业六轴机器人+协作
Yaskawa 安川	日本	~11%	工业机器人+伺服
KUKA 库卡	德国 (被美的收购)	~10%	工业机器人
国内 Top (埃斯顿、新松、	中国	~25%	国产替代加速

汇川等)			
其他海外	—	~24%	Epson、Mitsubishi 等

工业机器人的全球市场规模 2024 年约 \$230-250 亿，年化增长 6-8%。中国是最大单一市场（占全球 35-40%），国产替代已经从中端向高端推进——埃斯顿、汇川、新松正在切入汽车焊接、3C 装配等核心场景。

对 PCB 的传导：工业机器人单机 PCB 价值 \$30-50，主要分布在控制器主板（高复杂度）、伺服驱动板（每个关节一块）、传感器接口板。年市场规模约 \$15-20 亿，增速温和（5-8%），是稳定的基本盘但缺乏爆发性。

1.3 人形机器人：从 0 到 1 的潜在爆发

全球人形机器人玩家格局

人形机器人 (Humanoid Robot) 是最近 2-3 年最受关注的科技赛道之一。2022 年特斯拉首次发布 Optimus 概念后，全球资本和创业潮迅速涌入。目前格局可分三个梯队：

第一梯队：明确量产计划+大客户验证

Tesla Optimus (美国)：Elon Musk 多次披露「2025 试产、2026 大规模量产」，目标 2026 年内部部署、2027 对外销售，长期目标年产百万台、单机售价 \$20-30K。这是全球最受关注的人形机器人项目，也是最大的潜在变量。

Figure (美国)：Figure 02 已在 BMW 工厂部署测试，OpenAI、微软、Nvidia 等参投，估值高达 26 亿美元，目标 2025-2026 商业化。

Boston Dynamics Atlas (美国, 现代汽车控股) : 电动版 Atlas 2024 年发布, 目标 2025-2026 年在现代汽车工厂部署测试。

第二梯队: 技术领先+早期商业化

Apptроник Apollo (美国) : 与奔驰、GTXO 物流合作; Agility Digit (美国) : 在 Amazon、GTXO 工厂部署; 1X NEO (挪威/美国) : OpenAI 投资, 家用方向; Sanctuary AI Phoenix (加拿大) : 通用任务机器人。

第三梯队: 中国玩家 (数量最多+成本最低)

宇树科技 (杭州) : H1、G1, 全球出货量最大的中国玩家之一, 单机 ¥10-99 万; 智元机器人 (上海) : 远征 A1、A2, 与多个产业方合作; 傅利叶 Fourier (上海) : GR-1、GR-2, 工业场景; 星动纪元 Robot Era (北京) : Star1, 运动能力领先; 小米 CyberOne (北京) : 消费级方向; Astribot S1 (北京) : 双臂操作能力强; 银河通用、戴勒、加速进化、稚晖君等数十家创业公司涌现。

中国成立的「人形机器人创新中心」(北京、上海、深圳、广州、杭州都有), 标志着这个赛道在国家层面被列为战略方向。这是研究中国人形机器人产业链时不可忽视的政策因素。

1.4 人形机器人的市场空间预测 (情景分析)

人形机器人市场空间的预测充满不确定性。我建议用「情景分析」而非「单点预测」:

情景	2027 年出货	2030 年出货	2035 年出货	对应概率
保守情景	5-10 万台	30-50 万台	200 万台	30%
中性情景	20-30 万台	100-200 万台	1000 万台	50%
乐观情景	50 万台+	500 万台+	5000 万台+	20%

情景说明：

保守情景：Tesla Optimus 反复延期，仅在汽车厂内部用、不对外售；其他玩家也仅服务工业场景；2030 年仍处于工业小规模部署阶段。

中性情景：Tesla Optimus 2026 年开始小批量量产，2027-2028 年汽车厂+物流仓储部署，2029-2030 年向其他工业/服务场景渗透；中国玩家在国内市场快速发展。

乐观情景：人形机器人在 2027-2028 年突破成本拐点（单机 < \$20K），在工业、物流、零售、餐饮等多场景大规模部署；2030 年开始进入消费市场（家用陪护、清洁），形成类似智能手机的爆发。

本报告以**中性情景**作为基准，但建议在跟踪过程中持续校准（每季度根据 Tesla 等头部玩家的进展更新）。

1.5 全球机器人 PCB 市场规模预测

年份	工业+协作 PCB	AGV/AMR PCB	人形机器人 PCB (中性)	合计
2024	\$15 亿	\$8 亿	<\$1 亿	~\$24 亿
2027E	\$20 亿	\$12 亿	\$5-10 亿	~\$40 亿
2030E	\$25 亿	\$18 亿	\$30-50 亿	~\$80 亿
2035E	\$32 亿	\$30 亿	\$200 亿+ (中性)	~\$260 亿

对比关键数据：当前机器人 PCB 总市场（\$24 亿）只有 AI 数据中心的 1/5、汽车的 1/5。

但**机器人 PCB 是所有下游中长期想象空间最大的——中性情景下到 2030 年市场规模可能达到

\$80 亿 (5 倍增长) , 2035 年突破 \$260 亿 (10 倍增长) **。这种增长节奏对 PCB 行业是「期权式」机会——前 5 年贡献有限, 后 5-10 年可能爆发。

1.6 与前三个下游的本质差异

维度	AI 数据中心	汽车	智能手机	机器人 (人形)
市场成熟度	成熟扩张	成熟扩张	成熟存量	0 到 1
核心驱动	Capex 投入	渗透率	苹果生态	技术突破
确定性	高 (短期)	极高 (长期)	中等	低-中
弹性	极高	中高	低	极高 (如果成功)
时间维度	3-5 年	10 年	5 年	5-15 年
投资逻辑	择时弹性	长期持有	现金流	期权式

机器人下游的研究方法和前三个完全不同——前三者主要研究「数字 (市场规模、份额、利润率)」, 机器人主要研究「概率 (量产时间、成本曲线、应用场景)」。这要求我们在跟踪指标和投资策略上都做相应调整。

第二部分：核心技术趋势的四层递进

人形机器人能否成为下一个智能手机级别的爆款，取决于四个技术维度同时突破——算力（大脑）、执行器（肌肉骨骼）、感知（神经系统）、本体（身体）。我把它们拆开评估每一层的成熟度。

2.1 第一层：算力——VLA 模型与端侧大模型上机器人

VLA 模型：机器人智能化的核心范式

VLA (Vision-Language-Action) 模型是当前人形机器人智能化的核心范式——用大模型同时处理视觉、语言和动作输出，让机器人能理解自然语言指令并执行复杂任务。

代表性进展：

Google RT-1/RT-2/RT-X (2022-2024)：把 PaLM 大模型与机器人控制结合，开创 VLA 范式；Physical Intelligence $\pi 0/\pi 0.5$ (2024-2025)：通用 VLA 模型，支持多种机器人本体；Figure Helix (2025)：第一代垂直整合的 VLA + 本体；OpenAI/Figure 合作 (2024-2025)：GPT-4V 级别多模态模型上机器人；中国玩家（智源、上海 AI Lab、宇树）：陆续发布国产 VLA 模型。

端侧算力需求快速提升

VLA 模型对端侧算力的要求大幅提升。第一代人形机器人控制板算力 50-100 TOPS，第二代提升到 200-500 TOPS，第三代将达到 1000+ TOPS。对应的硬件演进：

代际	算力	代表芯片	时间窗口
----	----	------	------

第一代	50-100 TOPS	Nvidia Jetson Orin、高通 RB6	2023-2024
第二代	200-500 TOPS	Nvidia Jetson Thor	2024-2026
第三代	1000+ TOPS	Nvidia GR00T 平台、自研 AI 芯片	2026-2028
第四代	云-边-端协同	云端 VLA+边缘小模型	2027+

对 PCB 的传导：人形机器人主控板（搭载高算力 SoC）的层数从 8 层提升到 12-16 层，HDI 工艺普及，单板价值从 \$15 涨到 \$30-50。*这部分技术规格已经接近 AI 服务器的低端版本**，沪电、景旺、深南等公司有切入潜力。

2.2 第二层：执行器——关节、减速器、灵巧手

关节驱动：人形机器人的核心成本

人形机器人的关节驱动是单机成本占比最高的部分（30-40%）。Tesla Optimus 一台机器人有 28-40 个自由度（DOF），每个关节都需要：

无框力矩电机或盘式电机；减速器（谐波/行星/RV）；伺服驱动板（小型 PCB，集成 MCU+功率器件）；位置/力矩传感器+接口 PCB；线缆/FPC 走线。

单台人形机器人光是关节驱动板就需要 30-50 块小型 PCB，加上电机控制板和传感器接口板，PCB 数量可能达到 60-80 块。虽然每块单价低（\$3-5），但总价值可观（\$150-250）。

减速器：上游零部件最大瓶颈

减速器是人形机器人产业链最重要的上游环节，全球格局：

谐波减速器：日本 Harmonic Drive（全球第一），中国 ****绿的谐波（A 股龙头）****、汉宇集团、来福谐波；行星减速器：德国 Neugart、Wittenstein，国内紫江、双环传动、双林股份；RV 减速器：日本 Nabtesco、住友，国内中大力德、双环传动。

****绿的谐波是 A 股投资人形机器人产业链最纯粹的标的之一****——Tesla Optimus 谐波减速器供应商之一，国产替代逻辑+人形机器人放量双重驱动。****注意：从投资 ROI 看，减速器公司比 PCB 公司在人形机器人产业链中受益更直接****。

灵巧手：差异化竞争的关键

灵巧手（Dexterous Hand）是人形机器人能否实现「真正通用」的关键——Tesla Optimus 第二代手部 22 DOF，Figure 02 类似规格。灵巧手的工艺挑战极大：

每个手指关节都要微型化伺服或腱传动；需要高密度触觉传感器（每个指尖几十到几百个触点）；走线 FPC 复杂（一只手 5-10 片高密度 FPC）；成本高昂（一只灵巧手成本 \$1500-3000）。

对 PCB/FPC 的传导：灵巧手是 FPC 的高密度应用场景，****FPC 大厂（鹏鼎、东山精密）有切入潜力****。国内灵巧手玩家：因时机器人、强脑科技、傲意科技、宇树等都在布局。

2.3 第三层：感知——视觉、触觉、力觉

视觉感知：进入「2D+3D+Event」时代

人形机器人视觉感知正在从单一 RGB 摄像头向多模态融合演进：

RGB 摄像头：3-6 颗，对应小型 PCB；深度相机/ToF：1-2 颗，对应 ToF 感知板；激光雷达（部分高端机型）：1-2 颗，对应特种 PCB；Event Camera（仿生视觉）：新兴方向，更适合机器人快速运动场景；毫米波雷达（部分服务场景）：避障辅助。

触觉感知：尚处早期但增长极快

触觉传感器是人形机器人能否实现精细操作的关键。代表玩家：日本 Touchence、美国 Sanctuary AI、国内汉威科技、柯力传感、唯实科技。技术路线包括压阻式、电容式、光学式、仿生皮肤等。

对 PCB 的传导：触觉传感器需要高密度信号采集 PCB（小型多层板）+ 信号调理芯片，未来可能成为 PCB 的新增量品类。

力矩传感器：六维力传感的精密应用

六维力传感器（六自由度力/力矩感知）是机器人精密操作的关键，国内主要玩家：柯力传感（A 股，全球力传感龙头之一）、坤维科技。对 PCB 的拉动有限但稳定。

2.4 第四层：本体——双足/轮式/混合

人形机器人的本体形态有三种主流方案：

双足型（最像人）

Tesla Optimus、Figure、1X NEO、Boston Dynamics Atlas、宇树 H1/G1、智元远征 A1。
优点：通用场景适应性强（楼梯、不平地面）；缺点：稳定性挑战大、成本高、电池续航短（典型 1-2 小时）。

轮式+腿式（混合）

傅利叶 GR-2 (带轮底盘)、部分服务机器人; 优点: 稳定性好、电池利用率高、成本低; 缺点: 上下楼困难、通用性弱。

履带/全地形

工业巡检、特种场景; 优点: 通过性极强; 缺点: 体型大、成本高、不适合精细操作。

****当前主流是双足型****——Tesla、Figure、宇树等头部都选择双足, 本质是想做通用平台 (unified platform) 应对多种场景。这种选择对 PCB 的影响: 双足型机器人对 PCB 数量和复杂度的需求最大。

第三部分：持续性判断（这是个「从 0 到 1」的赛道）

前三篇报告的「持续性判断」是评估「已确定的需求能持续多久」，本篇的「持续性判断」是评估「未确定的需求能否真正爆发」。这是研究方法上的本质差异。我从三个时间维度+情景概率来评估。

3.1 短期（2025-2027）：技术验证期

未来 3 年是人形机器人的「技术验证窗口」，关键观察点：

Tesla Optimus 量产时间：Elon Musk 承诺 2025 试产、2026 量产，但 Tesla 历史上多次延期（FSD、Cybertruck、Roadster 都延期过 2-3 年）。实际量产时间可能在 2026-2027 年。

Figure 工厂部署效果：Figure 02 在 BMW 工厂的实际工作效率、可靠性、ROI 验证；Appttronik、Agility Digit 在客户现场的部署进展。

中国玩家商业化：宇树、智元等公司的 B 端订单（汽车工厂、物流、特种作业）。

****这一阶段对 PCB 行业的实际拉动有限****——全球人形机器人年出货量从 2024 年的 5-10 万台（主要是宇树等中国玩家的研发型产品）增长到 2027 年的 20-30 万台。即使按中性情景，2027 年人形机器人 PCB 市场规模约 \$5-10 亿，对 PCB 行业总盘子的贡献仍然小（< 1%）。

3.2 中期（2028-2030）：商业化爬坡期

中期的关键是「拐点能否出现」——如果 Tesla Optimus、Figure、Appttronik 等头部玩家在 2026-2028 年成功跨越「试产 → 量产」拐点，2028-2030 年人形机器人产业将进入快速爬坡期：

情景一（中性）：单台成本从当前 \$50-100K 下降到 \$20-30K；工业、物流、零售、特种作业大规模部署；2030 年全球年出货 100-200 万台，人形机器人 PCB 市场达 \$30-50 亿。

情景二（乐观）：单台成本下降到 \$15K 以下；进入消费市场（家用陪护、清洁等）；2030 年年出货 500 万台+，PCB 市场 \$80-100 亿。

情景三（保守）：技术或成本问题持续存在；仅在工业有限场景部署；2030 年年出货 30-50 万台，PCB 市场 \$10-15 亿。

3.3 长期（2030+）：可能的爆发期

如果中性或乐观情景实现，2030+ 年人形机器人将进入类似 2010-2015 年智能手机的爆发期：

应用场景从工业延伸到服务业（餐饮、零售、清洁、物流末端）；进入消费市场（陪护、家务、教育）；全球普及率快速提升；2035 年全球保有量可能达到数千万到 1 亿台。

PCB 行业的累计增量空间：在中性情景下 2030-2035 年累计为 PCB 行业贡献 \$300-500 亿，**这是 PCB 行业未来 10-15 年最大的潜在增量**。

3.4 概率分析与情景对应

关键变量	保守情景	中性情景	乐观情景
Tesla Optimus 量产时间	2027+	2026	2025 末
Tesla 年产能 (2030)	10-30 万台	100 万台	300 万台+
全球人形机器人保有量 (2030)	50 万台	300-500 万台	1500 万台+
单机成本 (2030)	> \$30K	\$20-25K	< \$15K
主要应用场景	工业试点	工业+物流	工业+物流+消费

概率估计	30%	50%	20%
------	-----	-----	-----

本报告的核心判断：在三种情景下，机器人下游对 PCB 行业都构成正向贡献，差别在于贡献大小（保守 \$10 亿 vs 乐观 \$80-100 亿）。因此**机器人下游对 PCB 投资是「不输」的——下行风险有限，上行赔率高，**适合作为「期权式」配置而非「核心持仓」。

3.5 与前三个下游的持续性对比

维度	AI	汽车	手机	机器人
3 年确定性	9/10	9/10	7/10	5/10
5 年确定性	7/10	9/10	6/10	5-7/10
10 年确定性	5-6/10	8/10	5/10	5-8/10 (情景依赖)
短期弹性	极高	中	低	低 (量小)
长期弹性	中	中高	低	极高 (如成功)
最佳持有方式	择时	长期	稳健	期权式

第四部分：对 PCB 各品类的需求传导

4.1 工业机器人 PCB（基本盘）

对应硬件：六轴机器人、SCARA、协作机器人。

PCB 构成：控制器主板（高复杂度，8-12 层）+ 伺服驱动板（每个关节一块，6-8 层）+ 传感器接口板。一台六轴机器人通常 6-10 块 PCB，单机 PCB 价值 \$30-50。

全球市场规模：2024 年约 \$15 亿，2030 年 \$25 亿。CAGR 6-8%。**主要受益方：景旺电子、汇川技术（既是机器人厂也是 PCB 客户）、依顿、广合科技**。

4.2 人形机器人 PCB（重点）

对应硬件：人形机器人本体（30-50 DOF）。

PCB 构成（以 Tesla Optimus 级别为例）：

PCB 类别	单机数量	单板价值	总价值
主控板（高算力）	1-2 块	\$30-50	\$30-100
关节伺服驱动板	30-50 块	\$3-5	\$90-250
传感器接口板	20-30 块	\$1-3	\$20-90
视觉/感知板	5-10 块	\$5-15	\$25-150
FPC（关节走线+灵巧手）	30-50 片	\$2-5	\$60-250
电源管理板	3-5 块	\$5-10	\$15-50
合计单机 PCB 价值	—	—	\$240-890

上表说明：单台人形机器人 PCB 价值范围跨度大（\$240-890），实际值取决于设计精度、灵巧手 DOF、感知系统配置。****保守取中位数 \$300，按中性情景 2030 年全球人形机器人年出货 100-200 万台，****对应 PCB 市场规模 \$30-60 亿**。**这是机器人下游最大的潜在增量。

4.3 AGV/AMR PCB (移动机器人)

对应硬件：仓储 AGV、配送 AMR、物流机器人。

PCB 构成：导航控制板（搭载 SoC+激光雷达接口）+ 电机驱动板 + 电池管理板 + 通信板。

单机 PCB 价值 \$25-50。

全球市场规模：2024 年约 \$8 亿，2030 年 \$18 亿。CAGR 14%。****主要受益方：景旺电子（绑定海康、极智嘉）、汇川、东山精密**。**

4.4 服务机器人 PCB (多元化)

对应硬件：清洁、餐饮、零售、医疗辅助等服务机器人。

这一类品类多样，单机 PCB 价值跨度大（\$20-200）。代表玩家：Roborock 石头科技（清洁）、普渡（餐饮）、擎朗（餐饮）、云迹（酒店）、傅利叶（医疗康复）。

4.5 PCB 增量价值地图 (机器人)

子赛道	2024 规模	2030E 规模 (中性)	CAGR	代表受益公司
工业+协作机器人	\$15 亿	\$25 亿	8%	景旺、汇川、依顿
AGV/AMR	\$8 亿	\$18 亿	14%	景旺、东山精密
人形机器人	<\$1 亿	\$30-50 亿	100%+	景旺、东山精密、沪电、鹏鼎
服务机器人	\$5 亿	\$10 亿	12%	多元化
合计	\$28 亿	\$80-100 亿	20-23%	—

对比 AI 数据中心 (2024-2030 增量约 \$345 亿) 和汽车 (增量约 \$185 亿) , 机器人增量约 \$50-70 亿 (中性情景) , 规模显著小。但**增速最高 (CAGR 20%+) 、长期弹性最大 (10-15 年视角下可能反超 AI 数据中心) **。对 PCB 投资是「短期贡献小、长期赔率高」的期权式机会。

第五部分：受益玩家分级清单

研究机器人下游的受益玩家时，必须诚实地认识到：****PCB 在机器人 BOM 中占比仅 5-8%，****减速器（25-30%）、伺服电机（15-20%）、AI 芯片（10-15%）才是产业链最大的赢家****。因此本报告把受益玩家分成三类——直接受益的 PCB 厂、产业链上游零部件、人形机器人本体厂。

5.1 第一档：受益 PCB 厂（间接但稳健）

景旺电子 (002953.SZ) ——国内汽车+工业 PCB 龙头，已绑定汇川等机器人客户，未来人形机器人产业链的潜在主力供应商。受益逻辑：现有客户基础+大尺寸 PCB 工艺能力。估值合理 (PE 15-20x)，是「确定性+期权」组合标的。

东山精密 (002384.SZ) ——FPC 全球第二，已切入特斯拉/华为问界供应链，****人形机器人 FPC 是未来重要新增量****。Tesla 与东山有合作历史，Optimus 量产后弹性大。

鹏鼎控股 (002938.SZ) ——FPC 全球第一，灵巧手 FPC 的潜在受益者。苹果可能进军机器人领域（家用陪护方向），鹏鼎有先发优势。

沪电股份 (002463.SZ) ——AI 高速板技术能力可延伸到人形机器人主控板（搭载高算力 AI 芯片）。技术储备充分但客户关系待建立。

汇川技术 (300124.SZ) ——本身是机器人厂（既做工业机器人也是协作机器人玩家），也是 PCB 厂的客户。同时在新能源车电控领域领先。

5.2 第二档：上游零部件（受益更直接）

绿的谐波 (688017.SH) ——**A 股投资人形机器人产业链最纯粹的标的之一**——全球第二大谐波减速器厂商，Tesla Optimus 减速器供应商之一。国产替代+人形机器人放量双重驱动。估值高 (PE 60-100x) ， 但赔率匹配。

双环传动 (002472.SZ) ——RV 减速器+行星减速器多元化，机器人产业链布局领先。估值合理，是稳健的产业链配置。

中大力德 (002896.SZ) ——RV 减速器国产替代主力，机器人减速器细分龙头。

汉威科技 (300007.SZ) ——传感器多元化布局，触觉传感器有储备。

柯力传感 (603662.SH)——全球力传感器龙头之一，机器人六维力矩传感器布局。

鸣志电器 (603728.SH) ——微特电机+伺服电机，机器人执行器供应商。

雷赛智能 (002979.SZ) ——运动控制+伺服驱动，机器人控制系统供应商。

地平线 (9660.HK) ——智驾 SoC 龙头，未来可能切入机器人 AI 芯片。

寒武纪 (688256.SH) ——AI 芯片国产替代龙头，机器人 AI 芯片潜在供应商。

5.3 第三档：人形机器人本体厂（待上市/早期）

目前国内人形机器人头部厂商大多未上市（宇树、智元、傅利叶、星动纪元等），投资途径有限。可以通过以下方式间接参与：

宇树科技：传闻 2025-2026 年港股或科创板 IPO；智元机器人：稚晖君创立，多家产业方持股；Tesla (TSLA.US)：人形机器人 Optimus 是 Tesla 长期增长引擎之一，可作为投资 Tesla 的额外理由；Figure AI、Appteronik 等：海外公司，目前未上市。

5.4 受益玩家投资逻辑对比

类别	代表公司	受益强度	弹性	估值水平
上游核心零部件	绿的谐波、双环传动	强	极高	高 (PE 50-80x)
上游电机/控制	汇川、雷赛、鸣志	中强	高	中 (PE 25-40x)
PCB 厂	景旺、东山、沪电	中	中	合理 (PE 15-25x)
AI 芯片	寒武纪、地平线	中强	高	高 (PE > 100x)
传感器	柯力、汉威	中	中	中 (PE 25-40x)
本体厂	Tesla、宇树 (未上市)	极强	极高	—

投资策略含义：如果聚焦 PCB 板块，机器人下游标的（景旺、东山、沪电）应作为「受益 + 多业务线」配置；如果可以扩展到上游零部件，**绿的谐波是最纯粹的人形机器人 alpha**。

Tesla 美股是另一个选择（AI+自动驾驶+人形机器人三引擎）。

第六部分：核心跟踪指标体系

机器人下游的跟踪指标和前三个下游差异极大——前三者跟踪「需求强度」（capex、销量、渗透率），本篇跟踪「概率验证」（量产时间、成本曲线、应用场景）。

6.1 月度高频指标

指标	数据源	频率	意义
Tesla Optimus 进展	Tesla 财报+ Musk 推特+电话会	季度	全球最关键单一变量
全球工业机器人月度出货	IFR、中国机器人产业联盟	月度	工业基本盘
国内人形机器人公司订单	宇树、智元、傅利叶等公开披露	随时	中国进展
上市公司公告	深交所/上交所/港股	随时	国内供应链动态
上游零部件营收	绿的谐波、双环传动季度报告	季度	产业链景气信号

6.2 季度战略指标

Tesla 业绩与指引——

Tesla 季度业绩会的 Optimus 进展披露（Musk 多次详细介绍）；Tesla 资本开支（Optimus 产线建设占比）；Tesla 内部部署人数（员工数量）。

海外人形机器人公司进展——

Figure AI 融资+客户进展（BMW、其他车厂）；Appttronik、Agility 商业化数据；Boston Dynamics Atlas（现代汽车）部署数据。

中国玩家进展——

宇树、智元、傅利叶、星动纪元的订单、出货、融资；国内人形机器人创新中心（北京、上海、深圳等）的实质进展；「人形机器人 2027 形成产业化」等政策推进。

技术里程碑——

VLA 模型能力进展（OpenAI、Google、Physical Intelligence 等）；新一代 AI 芯片发布（Nvidia GR00T、高通新一代机器人芯片）；灵巧手成本下降；电池续航提升（LFP→固态）。

6.3 关键里程碑事件

Tesla Optimus 时间线（最关键）——

2025：Tesla 内部部署数千台用于工厂任务；2026：开始小批量对外销售（B 端客户）；
2027：消费者预订（如果按计划）；**任何延期或加速都是关键信号**。

成本下降曲线——

当前单台成本：Tesla Optimus 估算 \$50-100K，宇树 H1 ¥10-99 万，Figure 02 估算 \$50K+；目标成本：Tesla 长期目标 \$20K，宇树目标 ¥10 万以内；**单台成本跌破 \$20K 是关键拐点**——对应的应用场景从工业（ROI 容忍）扩展到中小企业、再到消费市场。

应用场景验证——

汽车工厂部署（Tesla、BMW、Mercedes、现代汽车）：是否实现真正的生产力？物流仓储（Amazon、GXO）：单台 ROI 是否优于现有自动化方案？进入消费市场：家用、清洁、陪护是否有可行的商业模式？

风险预警事件——

Tesla Optimus 量产再次延期；Figure 等头部公司商业化失败；重大安全事故引发监管反弹；成本下不来（如关键零部件价格降不下去）；VLA 模型能力遇到瓶颈（任务泛化失败）。

6.4 核心数据源清单

类别	推荐数据源	覆盖范围
全球机器人数据	IFR（国际机器人联合会）	工业机器人统计
国内数据	中国机器人产业联盟、高工机器人	中国市场
人形机器人专项	Goldman Sachs、Morgan Stanley、SemiAnalysis 报告	深度研究
头部公司	Tesla 财报、Figure 融资公告	进展跟踪
产业大会	WAIC、ICRA、世界机器人大会、CES Robotics	新品+趋势
专家访谈	GLG、Mosaic	技术深度

第七部分：风险因素

7.1 量产时间反复延期（最大风险）

Tesla 在 FSD、Cybertruck、Roadster 等项目上多次大幅延期（2-3 年），Optimus 同样存在延期风险。Musk 公开承诺的「2025 试产、2026 量产」可能延后到 2027-2028 年。其他玩家（Figure、Apptроник）也存在类似风险。

应对策略：以「中性情景」为基准做投资决策，不要 fully price in 乐观情景；持续跟踪 Tesla AI Day、季度业绩会、Musk 推特。

7.2 成本下不来（中等风险）

人形机器人能否真正爆发，关键看单台成本能否从当前 \$50-100K 降到 \$20K 以下。这个目标涉及多个维度——减速器降本、电机国产化、传感器规模化、AI 芯片普及。如果某个环节降本不及预期，整体成本曲线会被拖慢。

应对策略：跟踪上游零部件成本结构（绿的谐波、雷赛等公司财报中的 ASP 变化）；关注 Tesla、宇树等头部玩家的成本披露。

7.3 应用场景不明确（中等风险）

目前可见的人形机器人应用场景（汽车工厂、物流、特种作业）规模都不大。如果 5-10 年内无法找到「类似智能手机」的爆发场景，人形机器人可能停留在「工业小众」级别（类似工业机器人本身）。

应对策略：跟踪「单台 ROI」数据——如果汽车工厂部署 Optimus 的 ROI 优于现有自动化（成本+灵活性），是积极信号；如果只是「可以工作但 ROI 不好」，则要警惕泡沫。

7.4 VLA/大模型能力瓶颈（技术风险）

人形机器人的「智能」依赖 VLA 模型，但当前 VLA 模型在长程任务规划、动作泛化、复杂场景适应等方面仍有局限。如果 VLA 模型能力遇到 scaling 瓶颈，机器人通用化能力会被卡住。

应对策略：跟踪 OpenAI、Google、Physical Intelligence 等头部 VLA 模型进展；关注开源 VLA 模型（如 OpenVLA）的能力提升。

7.5 产业泡沫风险（中等风险）

2024-2025 年人形机器人赛道融资和概念股估值已经偏高。Goldman Sachs、Morgan Stanley 等大行的乐观预测推动了情绪。如果 2026-2027 年实际进展不及预期，估值可能大幅回调。

应对策略：避免「人形机器人概念股」的盲目追高；选择有真实业务（工业机器人、汽车业务）作为基本盘的公司，把人形机器人作为「期权」而非主业。

7.6 中美科技竞争（地缘政治风险）

如果美国限制对中国出口高端 AI 芯片（如 Nvidia Jetson Thor），中国人形机器人玩家被迫使用国产替代（华为昇腾、寒武纪、地平线），可能影响产品性能和量产时间。但同时这也加速国产 AI 芯片在机器人领域的部署。

第八部分：结论与投资建议

8.1 一句话核心判断

机器人（特别是人形机器人）是 PCB 行业未来 10-15 年最大的潜在期权，但短期贡献有限。投资策略不是「重仓押注」而是「期权式持有+持续跟踪」——在 PCB 板块组合中给机器人 5-10% 仓位，分散在 PCB 厂（景旺、东山）、上游零部件（绿的谐波）、AI 芯片（寒武纪、地平线）。**真正的 alpha 在于跟踪量产时间表和成本曲线，等中性情景被验证后再加仓**。

8.2 三档投资标的建议

第一档：PCB 板块内的间接受益（必配）

景旺电子（汽车+工业+机器人 PCB 多业务线，已建立机器人客户关系）；东山精密（FPC 大厂，Tesla 关系，灵巧手 FPC 弹性）；鹏鼎控股（FPC 全球第一，苹果可能进军机器人领域）；沪电股份（高算力主控板技术储备）。这些公司在机器人之外都有强大的基本盘，机器人是「免费期权」。

第二档：上游零部件（更纯粹的产业链 alpha）

绿的谐波（最纯粹的人形机器人产业链标的，但估值高）；双环传动（多元化减速器+稳健估值）；汇川技术（机器人本体+电机+多业务）；雷赛智能（运动控制系统）。

第三档：本体厂（高赔率高风险）

Tesla (TSLA.US) : AI+自动驾驶+人形机器人三引擎; 宇树科技 (待上市, 关注 IPO) ; 智元机器人 (待上市) ; 海外 Figure AI、Apptronic (未上市, 关注融资动态) 。

8.3 四大下游组合配置建议 (基于四篇报告)

组合类型	AI	汽车	手机	机器人	总仓位	适合人群
进攻型	55%	20%	10%	10%+5%前瞻	100%	高风险偏好
平衡型	35%	30%	15%	10%+10%前瞻	100%	中等风险偏好
保守型	20%	45%	20%	5%+10%其他	100%	低风险偏好

其中: AI=沪电+胜宏+深南; 汽车=景旺+世运+东山+依顿; 手机=鹏鼎+东山; 机器人=景旺+东山+绿的谐波+寒武纪; 前瞻=兴森+沃格光电 (玻璃基板) 。注意东山精密、景旺电子在汽车+手机或汽车+机器人多个赛道重叠出现, 他们是 PCB 板块的「全能型」标的。

8.4 与前三篇报告的衔接

前四篇下游研究系列已经覆盖了 PCB 行业的四大主流下游:

AI 数据中心: 高弹性短期+中期持续; 汽车 (EV+智驾) : 长期稳健成长; 智能手机+消费电子: 稳定基本盘; 机器人 (人形+工业) : 从 0 到 1 的潜在期权。四个下游加起来覆盖了 PCB 行业 70%+ 的需求来源, 构成了完整的「PCB 板块投资地图」。

下一步研究序列: 第五篇将聚焦能源 (储能+光伏+充电) 和通信 (5G/6G+卫星互联网) , 完成五大下游研究系列。能源/通信赛道相对前四个不那么显眼, 但持续性强、玩家结构清晰, 是组合中的「补充配置」。

****完整完成五大下游研究后，可以考虑做一份「PCB 行业投资全景手册」****——把所有关键 PCB 公司的下游暴露度、估值、风险点矩阵化呈现，作为后续投资决策和持仓调整的核心参考工具。

附录：核心术语表

缩写	全称	含义
DOF	Degrees of Freedom	自由度（关节数量）
VLA	Vision-Language-Action Model	视觉-语言-动作模型
AGV	Automated Guided Vehicle	自动导引车
AMR	Autonomous Mobile Robot	自主移动机器人
Cobot	Collaborative Robot	协作机器人
RV	Rotary Vector Reducer	RV 减速器（行星摆线）
BLDC	Brushless DC Motor	无刷直流电机
FOC	Field Oriented Control	磁场定向控制（电机控制算法）
IMU	Inertial Measurement Unit	惯性测量单元
ToF	Time of Flight	飞行时间（深度感知）
LiDAR	Light Detection and Ranging	激光雷达
Event Camera	—	事件相机（仿生视觉）
Tactile Sensing	—	触觉传感
Dexterous Hand	—	灵巧手
End Effector	—	末端执行器
TOPS	Trillion Operations Per Second	每秒万亿次运算
RT-1/RT-2/RT-X	Robot Transformer	Google 机器人 Transformer 模型系列
GR00T	—	Nvidia 通用机器人基础模型
IFR	International Federation of Robotics	国际机器人联合会
AEC-Q	Automotive Electronics Council Qualification	汽车电子认证（部分用于机器人）
Optimus	—	Tesla 人形机器人产品

Figure	—	美国人形机器人公司+产品
---------------	---	--------------