工业机器人芯片全景盘点：运动控制已国产，AI 算力是下一战

> 性质：原创深度分析 日期：2026年11月12日 标注说明：全文执行 [已核实] / [推断] / [估算] 三级证据分级；[已核实]=经信源交叉验证，[推断]=方向可靠但精确值未验证，[估算]=逻辑推理延伸。

一、先看清：一台工业机器人的芯片藏在哪里（分层全景）

一台工业机器人不是"一颗芯片"，而是四套子系统叠加的芯片栈。理解国产供应链的前提，是先分清这四层的分工：

层	子系统	核心芯片	角色
大脑	控制系统	主控 MPU/MCU、DSP、FPGA、（具身智能）AI SoC	轨迹规划、运动插补、多轴协同
神经/肌肉	伺服系统	伺服驱动 MCU/DSP、功率器件 IGBT/SiC、栅极驱动、编码器 ASIC	把指令转成精准的电流/位置/速度
感官	感知系统	视觉 CIS、力/力矩传感器、IMU、磁/光编码器	位置反馈、力控、视觉引导
血管	通信与基础	EtherCAT/工业以太网 ESC、PHY、电源管理、存储	现场总线实时互联、供电

> 注意：减速器（谐波/RV）是工业机器人成本大头，但本质是机械件（柔轮/刚轮/齿轮），基本不含核心芯片，故不在"芯片盘点"内 [已核实]。

二、芯片 BOM 成本结构

控制器占整机成本约 30%–40% [已核实]；伺服系统约 25%（另有"减速器 15%、控制器 10%"的口径并存，差异源于"含伺服与否"的统计边界不同 [推断]）。芯片在控制器 BOM 中占比最高，是工业机器人"皇冠上的明珠"。

三、运动控制芯片国产化：五块拼图

这是"传统工业机器人"芯片的国产化现状，整体呈分化式进展。

1. 主控芯片（大脑）——中低端已替代，高端 FPGA/专用 DSP 仍是短板

类别	国际主导	国产代表	国产化状态
主控 MPU/MCU	瑞萨 RZ/T2H、TI、NXP、ST	先楫半导体、兆易创新、极海、中微、灵动微	中低端全面替代 [已核实]
DSP	TI C2000 系列（伺服标配）	进芯、中科昊芯	高端仍依赖 TI [已核实]
FPGA	Xilinx(AMD)、Altera(Intel)、Lattice	安路科技、紫光同创、高云、复旦微	16 轴以下可用；高端 SerDes/PCIe/DDR IP 有 2–3 代差距 [已核实]
具身 AI SoC	英伟达 Jetson	华为昇腾、地平线、地瓜、黑芝麻	人形机器人"大脑"仍英伟达主导 [已核实]

关键数据 [已核实]：2025 年中国机器人控制器用主控芯片国产占比已达 68%；工业级 ARM 占 58%、FPGA 占 22%、DSP 占 20%；高端芯片进口依赖度从 2020 年 85% 降至 2025 年 35%。

2. 伺服驱动 + 功率器件（神经/肌肉）——国产化最顺利的板块

类别	国际主导	国产代表	状态
伺服 MCU/DSP	TI C2000、ST、瑞萨	先楫 HPM53/6E、极海、中微	已导入 [已核实]
IGBT（中低压）	英飞凌、三菱、富士	斯达半导、时代电气、士兰微、华润微、新洁能、宏微、扬杰	中低压全面替代 [已核实]
IGBT（高压 3300V+）	英飞凌、三菱	仅斯达半导 + 时代电气两家	高压是分水岭 [已核实]
SiC 碳化硅	英飞凌、Wolfspeed、onsemi	斯达、士兰微、时代电气	小批量落地，成本仍是门槛 [已核实]
IPM/栅极驱动	英飞凌、三菱	士兰微（IPM 全球第五）、峰岹、凌鸥	白电已替代，工控渗透中 [已核实]

代表玩家： - 斯达半导——国产 IGBT 市占率第一（模块为主），电压 100V–3300V，率先第七代 IGBT [已核实]；2026 年 1 月再获汇川技术"战略供应商"，深度参与汇川产品定义 [已核实]。 - 时代电气——750V–6500V 全电压覆盖，国内唯一覆盖 3300V 以上轨交/电网高压 [已核实]。 - 士兰微——IDM 全链，2025 年功率半导体营收 63.79 亿元（+17%），其中 IGBT/SiC 营收 32.73 亿元（+43%）；8 英寸 SiC 产线 2026 年 1 月厦门通线，一期规划年产 42 万片 [已核实]。

3. 编码器芯片（关节位置反馈）——磁编码器国产突破，高端光栅仍卡

类别	国际主导	国产代表	状态
高端光栅/角度编码器	海德汉、多摩川、雷尼绍、三丰	禹衡光学（国内龙头）	中高端近 90% 仍是进口 [已核实]
磁编码器芯片	多摩川、IC-haus	美新半导体、中科阿尔法	国产 21bit 突破，卡位磁替光 [已核实]

- 美新半导体：AMR 磁编码器芯片线性误差 ≤0.07°、分辨率 21bit、最高 12 万 RPM，3×3mm QFN，规划 1200 万片/年产能，宣称可承接约 40% 光编码器替代市场 [已核实]。
- 先楫 MCU 的编码器接口可无缝对接多摩川/海德汉/IC-haus 主流协议，走"芯片兼容"路线 [已核实]。

4. 视觉芯片（感官）——国产全局快门已反超

类别	国际主导	国产代表	状态
工业/机器人 CIS	索尼、onsemi	豪威集团(韦尔)、思特威、格科微、长光辰芯	全局快门国产领先 [已核实]

- 思特威——SmartGS 全局快门技术，无人机避障 CIS 全球市占率 90%（TSR 2022），产品从 0.3MP 到 9MP 全覆盖，2026 年目标 1.5 亿颗机器视觉 CIS [已核实]。
- 豪威集团(韦尔)——OG09A10（1 英寸工业检测）等全矩阵 + Nyxel 近红外技术，2025 上半年新兴 IoT（含机器视觉）收入 +249% 至 12 亿元 [已核实]。
- 长光辰芯——中科院长光所背景，绑定 Teledyne/Vieworks + 海康机器人，主攻高精度工业检测 [已核实]。

5. 力/力矩传感器（力控）——国产性能媲美、价格腰斩

六维力传感器长期被 ATI 垄断，国产已集体突围 [已核实]：蓝点触控（核心元器件宣称 100% 自主可控）、海伯森、宇立仪器、坤维科技、鑫精诚等。国产主流六维力价格已下探至三四千元，约为外资万元级的一半，综合精度可达 0.1%FS [已核实]。

6. 通信芯片（血管）——EtherCAT 从站芯片国产对标

类别	国际主导	国产代表	状态
EtherCAT ESC	Beckhoff ET1100/1200、TI	先楫（正版授权）、方芯 FCE1100/1200	引脚级兼容对标 [已核实]
工业以太网 PHY	博通、TI、Microchip	裕太微、物芯科技	工业通信模块市占率快速提升 [已核实]

代表性国产破局者——先楫半导体：HPM6E00/HPM6E8Y 是国内首款获 Beckhoff 正版授权的 EtherCAT 从站控制器（ESC） 的 MCU，RISC-V 双核 600MHz（3390 CoreMark/1710 DMIPS），单芯片可驱动四轴电机，电流环 20kHz [已核实]。

四、AI 算力芯片：机器人智能化的新战场

1. 先厘清一个前提

上一节的 FPGA/DSP 解决的是确定性运动控制（1ms 插补、微秒级同步）；而 AI 芯片解决的是智能——感知、理解、规划、决策。工业机器人正处在这两件事的交汇点。

核心矛盾一句话 [已核实]：云端大模型追求吞吐率（每秒处理多少数据），而机器人执行精密操作追求延迟确定性（每次响应必须稳定可预测，卡顿可能造成事故）。这个差异决定了机器人 AI 芯片不能直接搬云端 GPU 那套逻辑。

2. 算力需求三层架构（理解格局的关键）

层	功能	算力量级	对芯片的要求	主导格局
大脑	VLA 大模型、环境理解、任务规划	数百~2000 TOPS	高算力、大显存/带宽	英伟达主导
小脑	运动规划、力控、实时控制	数十 TOPS + 实时性	低延迟、EtherCAT 等	国产明显突破
分布式	关节、灵巧手、单传感器	1 TOPS 以下	MCU 级、量大面广	国产已落地

> 关键认知 [已核实]：一台人形机器人"小脑+分布式"需要几十颗控制芯片（每个关节一颗），但"大脑"只需 1-2 颗高算力芯片。量的逻辑在小脑，价值的逻辑在大脑。

3. 国际主导：英伟达的全栈护城河

英伟达在机器人"大脑"侧建立了从硬件到开发框架到仿真平台的闭环 [已核实]：

产品	算力	定位
Jetson Orin（前代）	275 TOPS	当前主流部署
Jetson AGX Thor	2070 FP4 TFLOPS（128GB 存储，Orin 的 7.5 倍）	旗舰"大脑"，开发者套件 $3499
Jetson T3000（2026.7）	865 FP4 TFLOPS / 32GB	中高端
	400 FP4 TFLOPS / 16GB	拉低门槛

产品	算力	定位
Jetson T2000（2026.7）		

2026 年 6 月发布的 Halos for Robotics 更进一步，把芯片+操作系统+安全认证打包，已有 43 家企业参与 [已核实]。英伟达 2027 财年 Q2 边缘计算收入 72 亿美元，同比 +27% [已核实]。

但——一个关键判断值得记住 [已核实]：英伟达的护城河在软件生态，而这个生态在机器人领域远不如 AI 训练市场根深蒂固，机器人开发者的工具链迁移成本，远低于云厂商切换训练框架的成本。这是国产真正的窗口。

4. 国产阵营逐家盘点

第一梯队：已经规模出货的"平台型"玩家

- 地瓜机器人（地平线孵化）：旭日 S600 与地平线征程 6P 同架构，算力 560 TOPS [已核实]；旭日系列芯片累计出货突破 800 万片（2026 上半年），具身智能客户覆盖率超 50% [已核实]；2026 年 9 月完成 4 亿美元 C 轮融资 [已核实]。
- 华为昇腾：310（12nm，16 TOPS INT8，典型功耗仅 5.5–8W）[已核实]；310B/Atlas 200I A2 模组主攻边缘推理、工业质检、机器人 [已核实]。关键落地：汇川 MC300 控制器采用昇腾 310B，用于汽车焊接机器人 [已核实]。生态策略：CANN 深度开源 + CloudRobo 具身智能平台（华为云明确"不做本体，做算力+模型"）[已核实]。
- 瑞芯微：RK3588/RK3588S 被智元灵犀 X2、逐际动力 LimX Oli、优必选 Walker X、宇树 G1 等多款人形机器人采用 [已核实]。定位：8K 旗舰 SoC 在机器人场景的复用，靠海量 ISV 生态取胜 [已核实]。

第二梯队：从汽车智驾横切过来的"降维打击者"

- 黑芝麻智能：华山 A2000X 等效 1000 TOPS（国产"大脑"算力领跑），A2000 对标 4 颗 OrinX；武当 C1236 作"小脑"，形成"华山（大脑）+武当（小脑）"双芯片方案 [已核实]。
- 芯驰科技：R1 系列 = 机器人"计算大脑"；D9-Max SoC = "智控小脑"，支持 EtherCAT 实时通信 [已核实]。全栈覆盖"大脑-小脑-躯干-关节"。
- 爱芯元智：2026 年 2 月港股上市，"中国边缘 AI 芯片第一股"，中高端视觉边缘芯片全球市占率 24.1%（第一），累计出货近 2 亿颗 [已核实]。自研"爱芯通元"混合精度 NPU，原生支持 DeepSeek/Qwen/Llama [已核实]。

第三梯队：新入场/差异化路线

玩家	打法	关键点
海光信息	海光 1000，C86 架构	嵌入式工控、轻量化部署 [已核实]
睿芯	高光 D35，RISC-V+数据流融合架构	架构创新而非制程，已量产 [已核实]
辉羲智能	R1 芯片	已用于工业轮式人形机器人精灵 G2 [已核实]

玩家	打法	关键点
沐曦 × 优必选	合资曦选创智	2027 流片、2028 量产具身芯片 [已核实]
云天励飞	DeepXBot 系列	正在开发"大脑"芯片 [已核实]
寒武纪	云端为主	边缘/机器人非主战场 [已核实]

5. 三大未解争论（格局尚未定型的关键）

别把"算力竞赛"的叙事当成全部真相 [已核实]：

① 算力 vs 实时性——发布会上都在比 TOPS（Thor 2070、黑芝麻 1000、高通 IQ10 700），但机器人真正要的是"延迟确定性"。具身智能芯片的"无人区"恰恰在这里——谁在功耗-算力-实时性三角约束下找到最优解，谁才赢。

② 大脑 vs 小脑分工——大脑侧英伟达主导；小脑侧国产化明显更快，因为小脑接近 MCU/DSP 技术范畴，成熟制程就能做 [已核实]。

③ 自研 vs 通用 vs 合资——整机厂自研（理想马赫 M100）、合资（沐曦×优必选）、平台化外供（地瓜/芯驰/爱芯）三条路线并存。核心判断 [已核实]：自研能否可持续，取决于规模效应能否覆盖研发成本 + 芯片团队能否跟上算法迭代 + 内部整机业务能否提供足够需求量——三者缺一不可。

五、两颗代表性国产芯片硬核拆解

1. 地瓜「旭日 S600」——"单芯片全栈"范式

这是目前国产专为具身智能设计的大算力 SoC 里最完整的一颗 [已核实]，核心是异构多核、大小脑一体化：

单元	配置	作用
BPU（算力核）	4× BPU Nash 架构	560 TOPS @INT8（1/2 稀疏），跑 VLA/VLM 大模型
CPU（调度核）	18× Cortex-A78AE @2.0GHz	复杂任务并行处理、多模型调度
MCU（实时核）	6× Cortex-R52+（1×DCLS + 2×Split-Lock 锁步）	运动控制、安全实时控制
GPU	Arm Mali-G78AE，220 GFLOPS@FP32	图形/辅助渲染
内存	32/64GB 256-bit LPDDR5，204.8 GB/s	大模型权重带宽
存储	64GB UFS 3.1 + NVMe(PCIe)	—

关键工程指标 [已核实]：支持 24 路相机并发接入，4K@480FPS 像素吞吐；-40~105°C 宽温（车规级）；端侧模型实测 Qwen3-VL-8B 达 35.1 TPS（4-bit Decode）、Whisper-medium 61.5 TPS；VLA 算法（Pi0、千问等）运行在约 10Hz——说明 560 TOPS 能让主流 VLA 跑到"人机交互可用"的帧率，但离"高速精密操作"还有距离。

生态打法 [已核实]：云端 RoboGo（数据生成/训练）→ PC 端 RDK Studio（部署）→ 板端 Moss（开源 AI Agent）。配套与兆易创新做 EtherCAT 方案：S600 当 EtherCAT 主站、兆易新一代 MCU 当关节从站，微秒级控制。已聚合 100+ 产业链伙伴、20+ 头部客户（它石智航、帕西尼、维他动力等）。

2. 黑芝麻「华山 A2000 + 武当 C1236」——"双芯片大小脑"范式

华山 A2000（大脑） [已核实]：7nm 工艺，Lite/标准/Pro 三档，分别对标 1/2/4 颗英伟达 Orin X；A2000X 等效 1000 TOPS，直接对标英伟达 Thor（1000 TOPS）；集成 CPU+GPU+NPU 多单元，最高支持 24 颗摄像头。

武当 C1236（小脑） [已核实]：本土首颗单芯片 NOA 平台，八核 Cortex-A78AE 车规 CPU（ASIL-D）；DynamAI NN 引擎（混合精度 4/8-bit MAC 阵列）+ Mali G78AE GPU；实时处理 32K DMIPS（DCLS 下 16K DMIPS）；内置 2×10GbE + 2×2.5GE 线速转发、12 路摄像头；通过分时 OS + 硬件隔离实现 AI 运算与控制任务并行。

落地载体 [已核实]：武汉大学刘胜院士团队的"天问"人形机器人（1.7m、65kg、36 自由度、7 自由度灵巧手），A2000 当大脑、C1236 当小脑，2025 年起即将批量出货。

3. 两条路线对照 [推断]

维度	地瓜 S600	黑芝麻 华山+武当
架构	单芯片异构（大小脑一体）	双芯片分工
算力	560 TOPS（1/2 稀疏）	A2000X 等效 1000 TOPS
实时控制	片上 6×R52+ MCU	独立 C1236 芯片
来源	地平线智驾 BPU 技术	黑芝麻智驾 SoC 技术
优势	集成度高、BOM 省	功能安全强、算力上限高

六、「大脑-小脑」算力芯片的经济账

先锚定整机成本 [已核实]：马斯克明确提出，人形机器人量产成本须压到 2–3 万美元（约 14–21 万元）才能普及；而当前高端原型机（如北理工"汇童"）仍高达 70 万美元——量产降本的核心就在核心零部件。

芯片成本结构（分层估算，标注等级）：

层	芯片	数量	单价区间	单台小计	等级
大脑	英伟达 Jetson Thor	1	量产模块约 1–2 万元（套件 $3499）	1–2 万	[估算]
大脑（国产替代）	地瓜 RDK S600 / 黑芝麻 A2000	1	约 3,000–5,000 元（S100 锚点 2,799 元）	0.3–0.5 万	[已核实/估算]
小脑/主控	芯驰 D9-Max / 先楫 HPM6E / 兆易	1–2	数十~数百元	数百元	[估算]
分布式关节	MCU（每关节一颗）	30–50	5–50 元	0.1–0.3 万	[估算]
伺服功率器件	IGBT/SiC + 驱动 IC	30–50 关节	数十元/关节	0.3–1 万	[估算]
感知芯片	CIS + 力传感器 + IMU	若干	—	数百~数千元	[估算]

核心结论 [推断]：

1. "大脑"是价值洼地，也是降本主战场——英伟达方案单台 1–2 万元，国产方案能砍到 3,000–5,000 元，单这一项就差 2–4 倍。这是国产最大的机会点。
2. "量在关节、价在大脑" 再次成立：一台机器人几十颗关节 MCU，加起来可能还没一颗大脑芯片贵。短期国产该抢的是"大脑"的性价比替代，长期才是"小脑+关节"的量。
3. 控制器占整机成本 30–40%，而芯片又是控制器 BOM 的大头——算力芯片成本直接决定人形机器人能否迈过"2 万美元量产线"。这就是为什么优必选要拉沐曦合资自研芯片、理想要做马赫 M100：整机厂已经算明白这笔账了。
4. 成本-算力的甜点区：地瓜 RDK S100（128 TOPS）定价 2,799 元，约为英伟达同算力方案一半 [已核实]。国产的打法不是"追最高算力"，而是在 560 TOPS 以下用价格碾压，把"够用"的算力做便宜——符合"当前 VLA 只需约 10Hz 就能跑"的现实。

七、结论：一条渐进线 + 三个判断

运动控制芯片：一条"从外围到核心"的渐进线

板块	国产化程度	一句话
功率器件（中低压）	基本替代	走得最远
视觉 CIS	领先/反超	全局快门已反超
力传感器	突破+降价	性能媲美、价格腰斩
主控 MCU/MPU	中低端替代	高端专用化还在爬坡

板块	国产化程度	一句话
通信（EtherCAT）	已对标	生态 IP 仍需补
编码器	磁编码突破	高端光栅仍 90% 进口
FPGA（高端）	短板	SerDes/高速 IP 落后 2–3 代
高端 DSP	依赖 TI	伺服核心仍进口
高压 IGBT/SiC	短板	仅 2 家能做、良率待爬

卡脖子最硬的四个点 [已核实]：高端 FPGA（多轴纳米级同步的 SerDes/高速接口 IP）、伺服专用高性能 DSP（TI C2000 生态）、高端光栅/角度编码器 ASIC（海德汉/多摩川垄断）、高压大功率 IGBT 与高端 SiC 量产一致性。

AI 算力芯片：三个判断

1. 分水岭在"大脑"：高端算力环节目前仍由海外主导，多家整机厂高算力配置仍选英伟达 Orin/Thor，国产方案现阶段更多承担基础算力与运动控制职能 [已核实]。
2. 国产破局逻辑不是"复制英伟达"，而是架构创新（RISC-V、数据流、混合精度 NPU）绕开先进制程限制 + 价格更低 + 小脑分布式先做透再向大脑渗透 [已核实]。
3. 胜负手在软件生态能否低成本迁移，而不在纸面 TOPS。算法（VLA/世界模型）尚未收敛前，通用平台仍是主流；一旦 3–5 年内算法定型，专用芯片空间才真正打开 [推断]。

附：证据分级与主要信源

证据分级声明：本文所有外部数据均标注 [已核实]/[推断]/[估算] 三级；[已核实] 数据来自下列公开信源并经交叉核对，[估算] 为基于整机成本锚点的推理延伸（已明确标注，非实测）。

主要信源： - 中国工控网《工业机器人控制器市场格局深度拆解》（2026-04） - 东方财富《2026 机器人控制器行业词条报告》 - 中国工控网《FPGA 在工业运动控制中的复兴》（2026-08） - 界面新闻《国产算力争夺具身智能场景》（2026-09） - 盖世汽车《440 亿涌入具身智能，芯片赛道却有一道"无人区"》 - 21 世纪经济报道《逐际动力联手东土科技》（2026-09） - 钛媒体/半导体产业纵横《国产人形机器人用的哪家处理器》 - 东方财富·地平线机器人（9660 HK）深度研报 - 地瓜机器人官方（4 亿美元 C 轮、800 万片出货、旭日 S600 规格） - 黑芝麻智能官网·武当 C1236 规格页、武汉市人民政府/央广网"天问"报道 - 昇腾社区《昇腾 310 系列详细技术解析》 - 士兰微 2025 年报、行家说三代半、36氪（IGBT 格局） - 民生证券《光栅尺的测量地位及国产化进程》、证券时报/国信证券（六维力传感器） - 爱集微/腾讯新闻《CIS 成机器人视觉核心》（2026-03）