ISSUE 03 TRIPLE SEMICONDUCTOR CYCLES

03

全球 AI 与半导体三重周期研究

> AI 改变了周期的振幅与长短，却无法改变经济学均值回归的重力



Yavin 质观 · 独立产业研究
https://zhiguanstudio.cn | 个人公开研究免费分享（非商业用途）

公众号

个人微信

00 / EXECUTIVE SUMMARY · 核心研究结论与关键指标总览

全球 AI 与半导体三重周期核心框架：一阶景气反映当期供需，二阶斜率主导边际定价，长波底座阶梯抬升

基钦短周期 · 3–4 年
现货与二级市场提前定价 $\partial^2P/\partial t^2$ 边际斜率与 $\Delta E=6\cdot AUM\cdot r$ 杠杆调仓

朱格拉中波 · 8–10 年
云厂商资本开支受先进封装、磷化铟光芯片、HBM 与高压变压器四重物理约束

康波长波 · 40–60 年
产业重心由基础设施安装期迈向应用部署期，BOM 权重转向分级存力与能效

异步均值回归
2026Q4–2029 按物理扩产壁垒从消费电子、通用内存到 HBM4 与 CPO 依次再平衡

01
二阶斜率与微观结构校准

产线满载与合同价高企反映当期一阶景气水平，而二级市场与现货提前交易未来 6–12 个月的价格边际变化斜率。剔除 SOXX 按 1 拆 3 正向拆股造成的未复权显示失真后，费城半导体指数回撤 38.24%，贴合过去 31 年 12 次行业调整的中位数（-38.0%）。SOXL 净值回撤 85.4% 主要由 144% 隐含波动率下的伊托波动率损耗与 28.66 亿美元尾盘机械调仓放大，而判定长周期终结的三项一级指标仍为 0/3 触发。

02
四大物理约束与千亿整合

2nm 制程与 CoWoS-L 封装、磷化铟外延光芯片、HBM 达标准内存 3–4 倍的晶圆消耗比，以及交期达 120–160 周的大型电力变压器，共同构成供给端硬约束。围绕上游光源瓶颈，Marvell 已于 2026 年 11 月 2 日以 1,150 亿美元企业价值、4.500 换股比例及 67%:33% 并购后股权结构正式签约并购 Lumentum。需求端则需跟踪高杠杆算力租赁商 5 年期 CDS 升破 1,100bp 引发的局部信用重定价。

03
康波三级需求接力

技术长波沿三条现金流梯队演进：基础设施安装期围绕预训练集群追求峰值浮点算力与整机柜交付。长上下文推理运营期转向 HBM、MRDIMM/CXL 与企业级 eSSD 构成的三级存力卸载及硅光互连。商业部署期则由端到端智能驾驶、具身机器人与按交付结果计费的企业级 Agent 接棒，核心指标转向每瓦有效算力、热管理与毫秒级确定性控制。

04
异步回归与工程财务核验

全产业链按扩产周期分四批异步再平衡：2026Q4 消费电子与前代算力租赁率先调整，2027H1 延伸至通用服务器内存与 800G 可插拔模块，2027H2–2028H1 新建晶圆厂与 6 英寸磷化铟产线释放带动企业级 eSSD 与 1.6T 光模块趋于平衡，HBM4、CPO 与高压变压器韧性延续至 2028H2–2029 年。同时从工程物理与资产负债表出发，核验纯模拟存算替代 HBM、手机晶圆级 3D DRAM 短期普及与服务器折旧拉长等七类假设。

个人公开研究免费分享（非商业用途） | https://zhiguanstudio.cn

00 / TABLE OF CONTENTS · 报告全局研究框架与视觉资产导航

八大篇章导航：从牛鞭效应、31 年 12 次回撤档案到六项高频先行指标与 85 份公开参考信源

CHAPTER 01 FULL-INDUSTRY KITCHIN CYCLE

全产业基钦库存周期：制造时滞、多级牛鞭效应与重资产经营杠杆

- 1.1 6–10 个月制造时滞与多级供应链牛鞭放大方程
- 1.2–1.3 韩国 564 亿美元芯片出口核验与刚性折旧经营杠杆

CHAPTER 02 31-YEAR ARCHIVE & SOX -38.2% ANATOMY

三十年科技周期复盘、二级市场背离机制与 31 年 12 次回撤校准

- 2.1–2.2 四轮历史周期复盘与云买方同芯片卖方走势背离机制
- 2.3 SOXX 拆股校准、伊托波动率损耗与 0/3 一级见顶核验

CHAPTER 03 JUGLAR CAPEX & FOUR PHYSICAL CONSTRAINTS

朱格拉资本开支中波：1.5 万亿美元云投资与四大物理扩产约束

- 3.1 云厂商资本开支扩张、BOM 结构重塑与自由现金流缺口
- 3.2–3.3 四大物理扩产约束（含 Marvell 并购 Lumentum）与 2027H2 投产时序

CHAPTER 04 LTA CORRIDORS & NEOCLOUD CREDIT

长期供货协议、跨云结盟与高杠杆算力租赁信用结构分析

- 4.1 照付不议长协上下限价格走廊与买方展期博弈模型
- 4.2 算力租赁商 1,100bp CDS 利差与服务器折旧年限错配风险

CHAPTER 05 KONDRATIEFF WAVE & JEVONS PARADOX

康波技术长波演进：杰文斯悖论、分级存力卸载与三级需求接力

- 5.1 推理效率提升引发的用量扩张与三级存力卸载账本
- 5.2 智能驾驶、具身机器人工程瓶颈与按结果计费的企业级 Agent

CHAPTER 06 K-SHAPED DIVERGENCE & 18 COMPANIES Q3 AUDIT

产业链 K 型分化、本土全栈系统突围与 18 家代表企业三季报对账

- 6.1–6.2 物理瓶颈盈利分化、全光超节点与国产存储同价竞争
- 6.3 全球与中国 18 家代表性上市公司 2026Q3 财报对账

CHAPTER 07 SIX LEADING INDICATORS & SEVEN PRINCIPLES

六项高频先行指标、分赛道异步再平衡路径与七项工程财务核验

- 7.1–7.2 六项高频先行指标看板与四批异步再平衡压力测试
- 7.3 纯模拟存算、手机端 WoW 3D DRAM、CPO 与折旧年限等七项核验

CHAPTER 08 METHODOLOGY & 85 PUBLIC REFERENCES

四维产业决策建议、跨国会计口径对齐与 85 份公开参考信源

- 8.1–8.2 四类产业主体决策建议、财年口径对齐与五维交叉验证
- 8.3 涵盖海关贸易、法定财报、技术标准与电网数据的 85 份公开信源

VISUAL & QUANTITATIVE ASSET INDEX · 全报告图表与量化矩阵清单

25 CROSS-INDUSTRY EXHIBITS, ITÔ VOLATILITY DRAG, 31-YEAR ARCHIVE & 18-COMPANY Q3 MATRICES

- 图01–图07：三重周期嵌套总览、供应链库存与交期对比、毛利率结构倒挂、五轮周期复盘、云与芯片走势背离、伊托波动率损耗及 31 年回撤坐标
- 图08–图12：云厂商资本开支与自由现金流缺口、四大物理扩产约束、LTA 价格走廊机制、跨云算力结盟及高杠杆算力融资链条
- 图13–图19：康波三级需求接力、三级存力卸载成本测算、物理智能硬件指标重塑、产业链 K 型分化及本土算力份额演变
- 图20–图25：六项高频先行指标看板、2026–2029 分赛道异步再平衡时序及七项工程与财务核验准则

QUOTE · 周期与重力 · AI FULL-INDUSTRY REPORT

技术演进可以拉长产业扩张的跨度并放大单轮投入规模，却无法消除长制造链条中的供需时滞与均值回归。从 2nm 算力硅片、CoWoS 封装、磷化铟光芯片、HBM4 存储到 160 周高压变压器，本轮 AI 硬件景气呈现出康波长波抬升需求底座、朱格拉中波受制物理扩产边界、基钦短波随边际斜率摆动的三重嵌套结构。

—— Yavin 质观 · 全球AI与半导体三重周期研究报告

导论：一阶当期景气与二阶边际斜率的错位

2026 年四季度，全球 AI 硬件供应链与二级市场出现明显的定价分化。在实体制造端，台积电 CoWoS 封装排单延续至 2027 年，磷化铟高速激光器长协签至 2028 年，头部存储原厂单季毛利率升至 89.5%，北美大型电力变压器交期维持在 120 至 160 周。而在金融交易端，费城半导体指数于 11 月初较年内峰值累计回撤 38.24%，营业利润率达 80.2% 的铠侠单日下跌逾 14%，科创板算力板块亦在三季报后明显分化。同时，北美四大云厂商单季合并资本开支升至 2,019 亿美元、自由现金流出现约 300 亿美元净缺口后，市场普遍关注智能驾驶、具身机器人与企业级 Agent 能否承接后续硬件需求。

单一芯片参数或单季毛利率无法解释排产饱满与股价回调并存的现象。理解这一分化，需将分析尺度拉升至基钦库存短周期（3–4 年）、朱格拉设备投资中周期（8–10 年）与康德拉季耶夫技术长波（40–60 年）的三重嵌套框架，把当期供需水位、物理扩产时滞与长期商业现金流置于同一套账本下交叉核验。

第一，二级市场与现货回调反映基钦短周期的二阶边际定价，而非长波终结。长制造链条中，订单饱满刻画的是当期一阶景气水平，而股票与大宗现货提前交易未来 6 至 12 个月的价格边际变化斜率 $\partial^2 P/\partial t^2$。当消费存储现货停涨、前代 H100 裸金属时租跌破 1.5 美元、得州暂缓新建大型数据中心并网审批成为云厂商放缓冗余开支的外部缓冲，叠加 2027 年下半年新建晶圆与封装产线集中投产，资金必然提前折现短周期均值回归。

第二，本轮 AI 具备康波长波的技术扩散深度，但从基础设施安装期迈向生产率部署期，必经资本开支消化与过剩产能出清。过去三十余年信息技术长波中，全球半导体销售额累计增长逾 12 倍，期间仍经历了 7 次跌幅逾 20%–50% 的去库存周期。长波向上决定周期底部阶梯抬升，短波起伏则意味着顶点同质化扩产仍会遭遇减值。

第三，承接云基建的是产业现金流从基础设施建设、线上推理运营向企业与物理生产率兑现的三级接力。随负载由静态预训练转向百万 Token 长上下文 Agent 推理，再延伸至智能驾驶与具身机器人，硬件 BOM 重心依次由峰值浮点算力转向 HBM、MRDIMM/CXL 与企业级 eSSD 三级存力及光互连，最终落脚于每瓦有效算力、毫秒级确定性响应与机电热管理边界。

> 全产业基准推演：2026Q4 至 2027H1，2nm 制程、CoWoS-L、HBM3E/HBM4、1.6T 核心光源与高压变压器维持偏紧，但提价斜率逐季收敛，消费芯片与前代算力租赁率先调整。2027H2 至 2028H1，伴随嘉义 AP7 封装厂、新建存储厂与 6 英寸磷化铟产线通线，通用服务器组件与可插拔模块步入再平衡。

2028H2 至 2029 年，前期 1.5 万亿美元资本开支进入折旧高峰，行业优胜劣汰后转入智能驾驶、具身智能与商业化 Agent 驱动的协同部署期。



— 图 1：全球 AI 与半导体三重周期嵌套框架：康波长波、朱格拉中波与基钦短波耦合机制

第 01–02 章剖析制造时滞下的多级牛鞭效应与刚性折旧经营杠杆，结合 31 年 12 次半导体回撤档案拆解 2026 年 11 月云买方与芯片卖方走势背离机制。第 03–04 章核算云厂商 1.5 万亿美元资本开支与四大物理扩产约束，评估长协价格走廊与高杠杆算力租赁信用风险。第 05–06 章测算杰文斯悖论下的三级存力卸载账本，梳理物理智能工程窄门、产业链 K 型分化、本土全光超节点及 18 家代表企业三季报。第 07–08 章建立六项高频先行指标、四批异步再平衡路径与七项工程财务核验准则。

01 CHAPTER 01 · KITCHIN INVENTORY CYCLE
全产业基钦库存周期：制造时滞、多级牛鞭效应与重资产经营杠杆

1.1 物理制造时滞与多级供应链的牛鞭放大机制

约瑟夫·基钦提出的 36 至 48 个月工商业短周期，核心驱动变量并非底层科学范式更替，而是微观企业的备货扩张与库存出清。尽管大模型 API 调用量与 Token 消耗呈连续平滑增长，上游算力硅片、800G/1.6T

光模块、HBM、服务器 DDR5 与液冷组件的价格及出货量仍呈现出显著的周期摆动。这种需求平滑而供给剧烈波动的现象，源于多级供应链牛鞭效应与硬科技制造的四项物理刚性。

第一，全链路物理制造时滞长达 6 至 10 个月。软件服务可在数秒内弹性扩容容器，而一颗旗舰加速卡从晶圆投片到机房点亮需跨越串联工序：台积电 3nm/2nm EUV 晶圆制造需 3 至 4 个月，CoWoS-L 硅中介层封装与 ABF 基板贴装需 2 至 3 个月，12 层或 16 层 HBM 硅通孔堆叠与热压键合需 4 至 5 个月，配套 200G EML 磷化铟激光器外延生长与 1.6T 光模块封测需 3 至 4 个月，最终运抵代工厂集成为 132kW 液冷整机柜并完成全链路老化测试还需 1 至 2 个月。园区的北美大型电力变压器交付周期更长达 120 至 160 周。

第二，先进晶圆厂与化合物外延洁净室具有高度刚性的固定成本结构。在投资百亿美元级的逻辑代工厂、存储晶圆厂及 MOCVD 外延产线中，设备折旧、特种气体与超纯水电占总成本的 65% 至 75%。产线投产后必须维持 85% 至 95% 以上的稼动率以摊薄固定成本，缺乏向下调节产量的价格弹性。一旦需求放缓，现货价格极易跌穿现金成本线。

第三，下游买方博弈失衡诱发防御性重复下单。对大型云厂商而言，算力冗余主要带来可控的折旧与利息支出，而算力短缺则可能导致模型迭代窗口落后。当 CoWoS 配额、HBM3E 或 200G EML 光芯片出现 10% 的物理缺口时，云厂商与服务器 ODM 往往同时向多家供应商下达真实需求 1.3 至 1.8 倍的备货订单，使终端 30% 的需求增长在晶圆厂端被放大为逾一倍的订单波峰。

第四，整机柜齐套率约束造成结构性半成品积压。一台高密度算力机柜由上万个精密部件耦合而成，缺一颗主控 CPU、一套 800VDC 电源架、一对 600N 盲插液冷快换接头或一台变电站高压变压器，整柜资产便无法通电投运。2026 年三季度，部分北美服务器代工厂仓库内积压了前期高价采购的 DDR5 内存条与光模块，原因正是配套主机组件与机房液冷配电改造延期。同期受贸易合规与清关审查影响，香港保税区仓库亦一度滞留约 60 万颗 H200 芯片。

EQUATION 1-1 · 多级供应链牛鞭放大系数与库存动态积累方程

$$\mathrm{Var}[O_k] \div \mathrm{Var}[D_0] = \prod_{i=1..k} [\,1 + 2 \cdot L_i \div \tau_i + 2 \cdot L_i^2 \div \tau_i^2\,] \cdot [\,1 + \theta_i\,]$$

$$\Delta I_k = Q_{\mathrm{supply},k}[t - L_{\mathrm{fab}}] - D_{\mathrm{real},0} - \Sigma_{i=1..k}\, \gamma_i \cdot [\,\partial P_i \div \partial t\,]$$

物理含义：终端真实算力消耗方差 $\mathrm{Var}[D_0]$ 经各环节物理交期 L_i（CoWoS 约 45 周、HBM 约 36 周、大型变压器约 140 周）与防御性超额下单系数 θ_i 逐级连乘放大。一旦价格环比涨幅 $\partial P_i/\partial t$ 走平，投机性备货需求归零并触发上游订单骤降。



— 图 2：2026Q4 AI 产业链六大核心环节库存水位与物理交付周期对比

1.2 宏观贸易吞吐核验：从韩国芯片出口看真实装机需求

存在重复下单机制，并不意味着 2026 年的硬件高景气仅由渠道囤货驱动。为区分真实集群装机与单纯贸易商炒作，可将韩国产业通商资源部与关税厅披露的 2026 年 10 月出口实绩，同台湾服务器 ODM 存货周转及北美机房上电进度交叉核对。

海关统计显示，2026 年 10 月韩国单月出口总额达 1,152.8 亿美元，同比增长 93.7%，连续两个月站上 1,100 亿美元并实现 425.1 亿美元当月贸易顺差；剔除假期错位带来的 2 个额外工作日后，日均出口额仍达 52.4 亿美元，同比增长 76.1%。按品类拆解，增长高度集中于数据中心基建链条：涵盖 HBM、DDR5 与企业级 NAND 的半导体单月出口达 564.4 亿美元，同比增长 259.4%，占全国总出口比重升至 49.0%；以高密度企业级固态硬盘 eSSD 为核心的计算机及外设出口 58.5 亿美元，同比增长 496.6%；涵盖高压变压器、换热器与特种电缆的通用机械及电气设备出口 48.0 亿美元，同比增长 17.9%。同期代表传统消费电子的无线通信设备仅微增 6.7%，汽车出口下滑 3.1%，石化与钢铁分别收缩 11.3% 与 10.8%，印证本轮制造业扩张由 AI 基础设施定向拉动。

表 1-1：2026Q4 AI 全产业链六大核心环节供需缺口、物理交期、库存水位与真实吞吐宏观核验矩阵

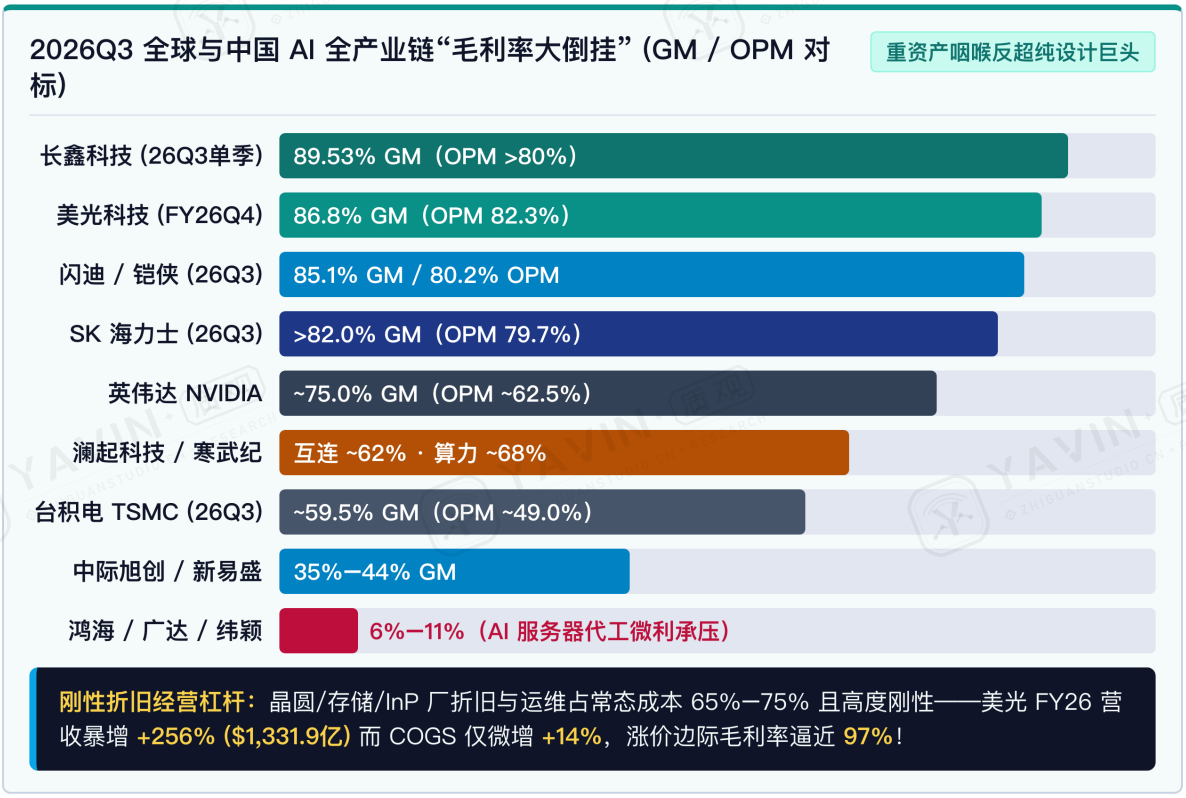
产业链核心环节	代表产品与核心厂商	2026Q4 物理交期与原厂库存	宏观贸易 / 财报吞吐实证数据	所处基钦库存周期位置诊断
1. 电力电网与液冷基建	大型电力变压器(LPT)、重型燃机、800VDC电源、600N盲插液冷（日立能源、GE Vernova、Vertiv、英维克）	变压器交期 **120–160 周**；重型燃机排单至 2029 年；液冷快换交期 20–28 周	韩国 10 月电力机械设备出口 48 亿美元 (+17.9%)；北美 PJM 容量电价暴涨逾 800%	**极度紧缺（物理硬约束）**：无渠道泡沫，但受得州等地审批暂停令政策扰动
2. 先进晶圆与 CoWoS 封装	台积电 N2/N3P 晶圆代工、CoWoS-L/CoWoS-R 封装、味之素 ABF 增层膜、日月光测试	CoWoS 交期 **45–55 周**；产能采取 100% 客户配售制（Allocation），零现货库存	台积电 26Q3 营收与毛利率（59.5%）双超预期，AI 收入占比突破 50%，嘉义 AP7 昼夜抢建	**卖方配售顶峰**：2027 产能已被英伟达、博通、AMD 与云厂自研芯片锁满
3. 光互联与硅光芯片	800G/1.6T 光模块、200G EML 与 CW 磷化铟光源、CPO/OOI 光引擎（Lumentum、中际旭创、新易盛、天孚、源杰）	InP 高速激光器交期 **36–48 周**；头部光模块厂原材料周转紧张，成品直发云厂	Marvell 于 11 月 2 日以 1,150 亿美元企业价值（1:4.500 全股票）正式签约并购 Lumentum，锁死至 2029 年 InP 产能；旭创/新易盛 Q3 净利倍增	**高景气主升浪后半段**：1.6T 供不应求，但 800G 随硅光方案放量将于 2027 进入价格博弈
4. 高端存力与多级存储	HBM3E/HBM4、高容量 DDR5/MRDIMM、PCIe 5.0/6.0 eSSD（海力士、美光、三星、长鑫、长存、澜起）	HBM/eSSD 交期 **32–44 周**；原厂库存从 2023 年 17 周压降至 **2–4 周历史极低值**	韩国 10 月芯片出口 564.4 亿美元 (+259.4%)、eSSD 出口 58.5 亿美元 (+496.6%)；四大原厂毛利率超 82%	**原厂极紧 vs 局部错配**：HBM 锁死至 2027，但部分云厂因 CPU 缺货存在服务器 DDR5 短暂积压
5. 算力硅片与算力租赁	Blackwell GB200/GB300、TPU v6e/v7、昇腾 910C/950、寒武纪、海光；CoreWeave 等 Neocloud	最新旗舰 B300/NVL72 交期 **28–36 周**；但前代 H100/H800 算力卡租赁供给充裕	Google 与甲骨文达成 133 亿美元跨云 TPU 结盟；但前代 H100 裸金属时租从 $8/h 跌至 $1.2–$1.8/h	**新老代际剧烈分化**：新架构一柜难求，前代算力卡面临折旧减值与租金踩踏
6. 消费电子与传统芯片	智能手机 SoC、传统 PC 处理器、消费级 LPDDR5/UFS、中低端模拟/MCU（高通、联发科、中小 Fabless）	整机厂与渠道库存回升至 **10–14 周**；消费级内存与闪存现货价格全面停涨	韩国 10 月无线通信出口仅增 6.7%；32GB DDR5 涨至 $450 倒逼 PC 与手机厂启动 8GB 逆向降配	**率先步入主动去库**：终端消费者拒绝为高溢价硬件买单，BOM 负反馈已启动

贸易流向进一步勾勒出全球 AI 硬件的四级跨国装机闭环：韩国 10 月对美出口增长 60.5% 至 186.8 亿美元（其中半导体增长 372%），对应 HBM 与企业级 eSSD 直供北美本土智算机房；对东盟出口增长 119.8% 至 228.5 亿美元并对中国台湾与大陆保持高增，则对应韩国 HBM3E 运抵台积电与 GPU 裸片完

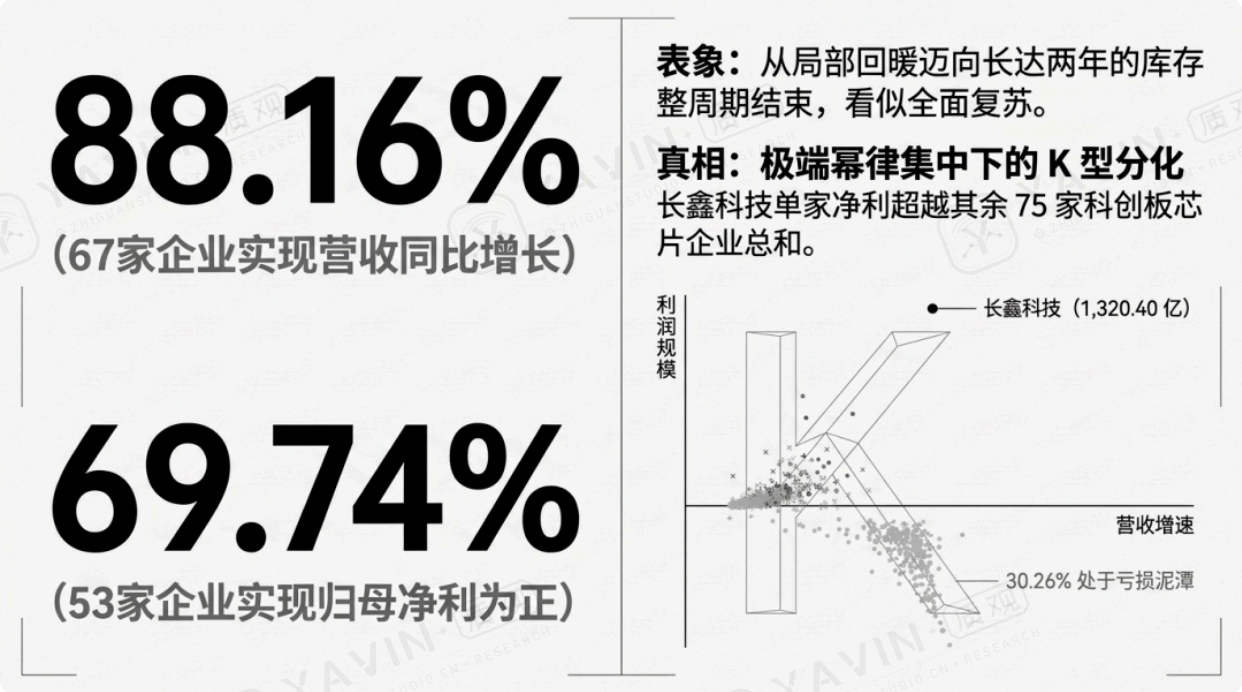
成 CoWoS 封装，随后会同中国大陆厂商在苏州及泰国生产的 800G/1.6T 光模块、台湾散热厂生产的液冷板，发往鸿海、广达与纬颖位于台湾、越南及墨西哥的基地组装为 NVL72 整机柜。广达与纬颖 2026Q3 存货周转天数保持在 38 至 45 天的快速周转区间，说明核心算力部件正被持续装机消化，具体各环节供需对比详见表 1-1。

1.3 产业链毛利率倒挂与刚性折旧的双向经营杠杆

当补库周期叠加物理扩产瓶颈，2026 年三季报呈现出产业链利润分配的结构性倒挂。传统半导体微笑曲线认为轻资产芯片设计商与终端品牌享有更高毛利，重资产制造与存储原厂受制于折旧负担而利润微薄。但在 2026Q3，掌握重资产物理瓶颈的上游原厂全面反超下游。长鑫科技单季销售毛利率达 89.53%，美光 Non-GAAP 毛利率达 86.8%，闪迪达 85.1%，SK 海力士与铠侠单季营业利润率均接近 80%；国内掌握内存接口芯片的澜起科技、算力芯片企业寒武纪与海光信息毛利率亦居于 60% 至 70% 区间。相比之下，英伟达毛利率约为 75.0%，台积电约为 59.5%，而下游缺乏核心壁垒的消费电子整机厂与中小纯设计公司利润率则被明显压缩。



— 图 3：2026Q3 全球与中国 AI 产业链毛利率分布倒挂与刚性折旧经营杠杆



— 图 3A：中国科创板 76 家芯片企业营收增长结构与头部利润集中度分布

重资产原厂在紧缺期展现出的极高盈利弹性，可由固定折旧占比主导的经营杠杆方程定量解释：

EQUATION 1-2 · 重资产晶圆与光芯片原厂刚性折旧经营杠杆方程

$$C_{total} = F_{dep} + c_{var} \cdot Q \Rightarrow GM = 1 - [F_{dep} \div Q + c_{var}] \div P$$

$$\partial GM \div \partial P = [F_{dep} \div Q + c_{var}] \div P^2 = [1 - GM] \div P > 0$$

财务含义：晶圆与外延产线的固定折旧及洁净室能耗 F_{dep} 占常态成本约 70%，单片变动现金成本 c_{var} 仅占营收 10%–15%。以美光 FY2026 为例，全年增量营收 958.1 亿美元而增量营业成本仅 30.9 亿美元，增量毛利率达 96.77%。

但经营杠杆具有严格的双向对称性：上行期涨价几乎全额转化为营业利润，下行期均价回落同样会迅速侵蚀利润表。2026 年前三季度科创板 76 家芯片企业合计营收增长 88.16%，但前十大企业贡献了逾 85% 的净利润；其中算力四强海光信息（149.55 亿元）、寒武纪（95.26 亿元）、摩尔线程（32.89 亿元）与沐曦股份（28.24 亿元）合计实现营收 305.94 亿元、归母净利 72.39 亿元，同时为锁定上游产能形成存货与预付款合计 390.85 亿元。缺乏核心生态位的中小设计企业则在预付锁单与下游账期拉长的双向挤压下出现经营现金流背离。

02 CHAPTER 02 · HISTORICAL ARCHIVE & MICROSTRUCTURE

三十年科技周期复盘、二级市场背离机制与 31 年 12 次回撤校准

2.1 1998–2023 四轮科技基钦周期复盘与库存减值规律

拉长至 1996 至 2026 年的三十年产业史，算力与通信带宽紧缺并非首次出现。从骨干光纤网络、智能手机普及、首轮公有云扩建到疫情数字化缺芯，历次景气冲顶均伴随真实的终端技术变革，但也都在 3 至 4 年窗口内因超额备货与新增产能释放交汇而触发库存修正。

第一轮是 1998 至 2002 年互联网与光通信周期。在骨干网流量翻倍预期驱动下，北美电信运营商举债铺设跨洋光缆，网络与光器件厂商不仅排单逾一年，还通过供应商融资向客户放贷购机。为争夺配额，运营商下达了真实需求 2.5 倍的重复订单。2001 年初信贷收紧后虚增订单迅速消失，思科于 2001 财年第三季度单季计提 22.5 亿美元原材料与半成品库存减值，JDSU 等光器件厂商计提大额商誉及存货减值，北美约 85% 的地下暗光纤经历五年才被 Web 2.0 流量逐步消化。

第二与第三轮分别发生于 2009 至 2012 年移动终端普及期及 2016 至 2019 年首轮公有云扩张期。2016 年下半年至 2018 年上半年，受公有云机房扩建、手机内存扩容与加密资产挖矿三股需求叠加，服务器内存合约价累计上涨逾 130%，晶圆厂资本开支同步推至高位。2018 年下半年北美云厂商转入连续三个季度的资本开支消化期，叠加二手显卡回流渠道，英伟达股价四个月内回撤 54%，存储芯片均价在随后四个季度累计下跌逾 50%。

第四轮是 2020 至 2023 年居家办公与智能汽车缺芯周期。2021 年车规级 MCU、功率器件与成熟制程普遍紧缺，整机厂密集签署不可撤销、不可退货长约并推动晶圆厂满负荷扩产。2022 年下半年起终端消费需求回落与新增产能投产迎头相撞：美光营收由 2022 财年的 307.6 亿美元降至 2023 财年的 155.4 亿美元，毛利率由 45.9% 转为 -7.7%，单季计提 14.3 亿美元存货跌价准备并减产三成，模拟与车规芯片的去库调整更一直延续至 2025 年。

全球科技与半导体三十年五轮基钦周期全景复盘 (1998–2027E)：均值回归从未缺席 30 年增长 12 倍 · 历经 7 次 >20% 回撤

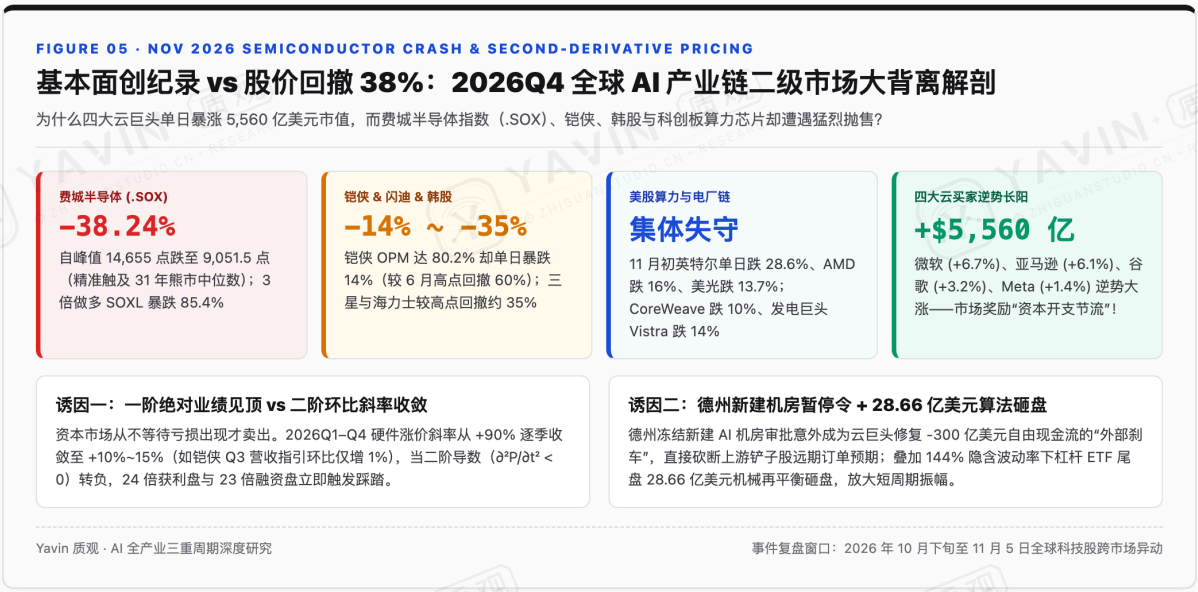
轮次与年份	核心需求引擎	上行期极值表现（繁荣幻觉）	均值回归与去库代价	铁律提炼
第一轮 1998–2002	骨干网光纤、思科路由器、早期服务器	电信 CapEx 占营收 >35%，光器件重复下单 2–3×	思科单季减值 **$22.5 亿**，全美 85% 暗光纤闲置，纳指 –78%	供应商融资掩盖真库存
第二轮 2009–2012	iPhone/安卓普及、尔必达/奇梦达扩产	2010 年全球半导体增速 >31%，存储基带全线缺货	2011–2012 产能释放，DRAM 价格暴跌引发破产重整	同质扩产必致洗牌出清
第三轮 2016–2019	公有云首轮扩张、一代 GPU 挖矿	存储合同价涨 >130%，GPU 一卡难求	2018H2 云大厂消化库存+矿潮退去，GPU 股价腰斩、存储跌 >50%	云厂 CapEx 呈脉冲间歇
第四轮 2020–2023	居家办公、车规 MCU/IGBT、成熟代工	芯片交期 >50 周，车企 NCNR 锁长约	美光营收腰斩，毛利跌至 –7.7% 并减产 30%、减值 **$14.3亿**	越囤越缺终以雪崩收场
第五轮 (当前) 2024–2027E	Blackwell/Rubin、TPU、HBM4、1.6T 光	2026Q3 存储毛利 89.5%，九云厂 CapEx 冲向 1.5 万亿	2026.11 SOX 指数 72h 回撤 38%、铠侠闪崩 14%，交易二阶导拐点	**长波向上，短波右侧博弈**

— 图 4：1998–2026 年全球科技与半导体五轮基钦库存周期复盘

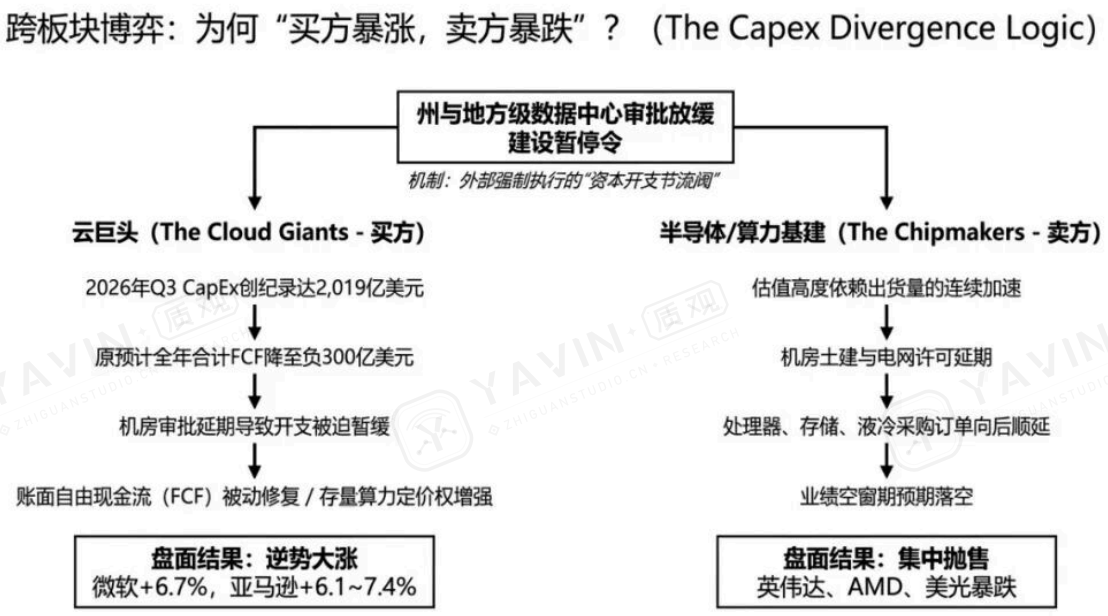
2.2 2026 年 11 月云厂商与上游芯片股价背离的四重机制

对照历史周期规律，可以清晰还原 2026 年 10 月末至 11 月初全球半导体与算力基建板块的剧烈调整。美东时间 10 月 30 日至 11 月 5 日盘中，费城半导体指数由 10,928.40 点回落至 9,051.50 点，较年内高点 14,655.29 点累计回撤 38.24%；3 倍每日重置做多半导体 ETF SOXL 由高点 302.00 美元跌至 38.49 美元，净值缩水逾 85%。横跨美股、日韩与 A 股市场，上游算力芯片、存储原厂（如单季营业利润率达 80.2% 的铠侠单日下跌 14.05%）、新型算力租赁商及独立发电企业同步回撤，具体代表企业基本面与市场表现详见表 2-1。

最具解释意义的信号出现在产业链下游买方：就在上游芯片与电力板块集中回调的 11 月 4 日至 5 日，处于同一条价值链下游的北美四大云厂商微软、亚马逊、Alphabet 与 Meta 同步上涨，单日合计增加 5,560 亿美元市值。下游算力买方估值修复而上游硬件卖方承压，源于四重产业与金融微观机制的共同作用。



— 图 5：2026Q4 全球 AI 产业链当期盈利表现与二级市场回撤背离机制拆解



— 图 5A：跨板块定价分化机制：下游云厂商市值扩张与上游半导体板块回撤归因

第一重机制是得州数据中心审批暂缓令为云厂商提供了外部资本开支节流阀。2026 年三季度北美四大云厂商单季资本开支升至 2,019 亿美元，合并自由现金流出现约 300 亿美元净缺口，市场此前担忧军备竞赛博弈迫使云厂商耗尽现金缓冲。11 月 3 日得克萨斯州因居民电价上涨与电网负荷压力，暂停审批新建超大规模数据中心。对上游芯片、光模块与发电企业而言，这意味着 2027 年部分增量机房上电推迟。但对四大云厂商而言，地方并网限制使其得以在不损失竞争地位的前提下放缓边缘机房招标，修复自由现金流预期。

第二重机制是定价锚从一阶当期利润切换至二阶环比斜率。经历连续两年上涨后，多头持仓高度集中，维持高估值需要盈利环比持续加速。然而至 2026 年四季度，主流服务器内存与企业级闪存季度合约价环比涨幅已由一季度的约 90%、二季度的约 60% 收敛至 10%–15%；铠侠对下一财季营收环比增长指引仅为 1%，部分国产算力芯片三季度环比增速亦有所放缓。当价格与盈利的二阶导数转负，即便当季毛利率仍高达 80% 以上，量化动量模型也会先行削减上游硬件敞口。

第三重机制是核心存储涨价对消费终端 BOM 的反向压制。2026 年 10 月 32GB DDR5 内存模组价格升至 450 美元，叠加先进制程 SoC 提价，PC 与安卓手机整机厂普遍下修 2026Q4 至 2027H1 出货计划，并将部分原定升级至 12GB/16GB 内存的主流机型退回 8GB 配置，需求收缩直接传导至兼顾消费电子业务的综合芯片厂商。

第四重机制是高倍率融资盘与杠杆 ETF 尾盘机械调仓引发的流动性放大。回调前夕，东京市场铠侠信用买方持仓升至卖空持仓的 23 倍；美股期权 30 日隐含波动率升至 144% 后，3 倍杠杆 ETF 为维持日终恒定杠杆率，必须按再平衡公式 $\Delta S_{\text{rebal}} = L \cdot (L-1) \cdot A_{t-1} \cdot r_t$ 在每日收盘前同向交易。仅 11 月初数个交易日，杠杆 ETF 在尾盘最后 30 分钟便集中卖出 28.66 亿美元半导体股票，将基本面斜率修正放大为深度回撤。

表 2-1：2026 年 10–11 月全球 AI 全产业链核心代表标的“创纪录基本面 vs 二级市场剧烈回撤”全景对照表

产业链层级与代表公司	2026Q3 / 最新财季核心业绩表现	最新毛利率 / 营业利润率	下季指引与二阶导数特征	二级市场股价反应与资金微观归因
算力与半导体指数 费城半导体 (.SOX) / 英伟达 / AMD	英伟达单季营收逾 500 亿美元；AMD 数据中心 GPU 翻倍增长，但 PC 与嵌入式承压	NVIDIA GM ~75.0% AMD GM ~54.0%	Blackwell Ultra 需求强劲，但德州暂停令引发 2027 机房通电节奏担忧	.SOX 72 小时跌 11%、较峰值**回撤 -38.24%**（触及 9,051 点）；SOXL 净值暴跌 85.4%，尾盘 28.66 亿美元算法砸盘
先进代工与封装 台积电 (TSMC, 2330.TW)	26Q3 营收与利润全面超预期，AI 加速器收入占比突破 50%，CoWoS 满载	GM ~59.5% OPM ~49.0%	2026 全年美元营收增速上修，但 2nm 早期折旧与海外建厂成本构成扰动	台积电 ADR 在美股风暴中单日回调 -9.53%，反映外资被动 ETF 减仓与地缘/关税折价
NAND 与企业级 SSD 铠侠 (285A.JP) / 闪迪 (SNDK)	铠侠单季营收 2.48 万亿日元 (+453%)；闪迪单季营收 110.3 亿美元超预期	闪迪 GM 85.1% 铠侠 OPM 80.2% (ROIC 102%)	铠侠 Q3 营收指引 2.50 万亿日元（**环比仅 +1%**），NAND 环比涨幅从 +70% 收敛至 +25%	铠侠单日**暴跌 14.05%**、财报后补跌近 10%（较 6 月高点回撤 60%），23 倍信用融资盘连环强平踩踏
DRAM 与 HBM 巨头 SK 海力士 / 美光 / 三星 / 长鑫	海力士单季营收破 104.6 万亿韩元 (+328%)；美光 FY26 营收 1,331.9 亿美元 (+256%)；长鑫前三季净利 1,320 亿	长鑫 GM 89.53% 美光 GM 86.8% 海力士 OPM 79.7%	美光 FY27Q1 指引环比再增 13% 至 615 亿美元；2027 HBM 售罄，但消费端现货停涨	美光单日曾跌 -13.68%，韩国双雄较高点**回撤约 35%**；市场提前 9 个月抢跑 2027H2 新晶圆厂投产预期

产业链层级与代表公司	2026Q3 / 最新财季核心业绩表现	最新毛利率 / 营业利润率	下季指引与二阶导数特征	二级市场股价反应与资金微观归因
光通信与硅光芯片 Marvell / Lumentum / 旭创 / 新易盛	800G/1.6T 光模块出货暴增，Lumentum FY27Q1 营收达 12.6 亿美元（+136.5%），Q2 指引 15.75–16.25 亿美元，国内光模块双雄净利倍增	高端光模块 GM 35%–44% InP 光源芯片 GM >55%	Marvell 以 1,150 亿美元企业价值全股票正式并购 Lumentum（67%:33% 换股，预计 2028H1 交割）引发股本摊薄与整合讨论	Marvell 宣布并购后 48 小时市值一度剧烈震荡蒸发数百亿美元，资金博弈 CPO 技术路线切换风险
算力租赁与独立发电 CoreWeave / Vistra / Constellation	CoreWeave 在手 RPO 合同达 2,500 亿美元，营收高速扩张但利息吞噬现金流	EBITDA 率超 60%，但净利率被高息债务严重侵蚀	单季 CapEx 远超经营现金流，净债务/EBITDA 达 7.5x，5 年 CDS 飙至 1100bp	CoreWeave 单日重挫 -10%，发电龙头 Vistra 暴跌 -14%（受 FERC 否决亚马逊核电并网协议与德州暂停令双重打击）

2.3 SOXX 拆股校准、伊托波动率损耗与一级见顶指标核验

准确定位周期位置，首先需剥离行情除权失真与衍生品损耗。针对 2026 年 11 月 5 日部分行情软件显示的 iShares 半导体 ETF SOXX 单日下跌 69.92%，核对贝莱德官方公告可知，当日系 SOXX 实施 1 拆 3 正向拆股除权首日，前收盘价 335.40 美元除权后基准价应为 111.80 美元，盘中 99.13 美元对应的真实跌幅为 11.33%。

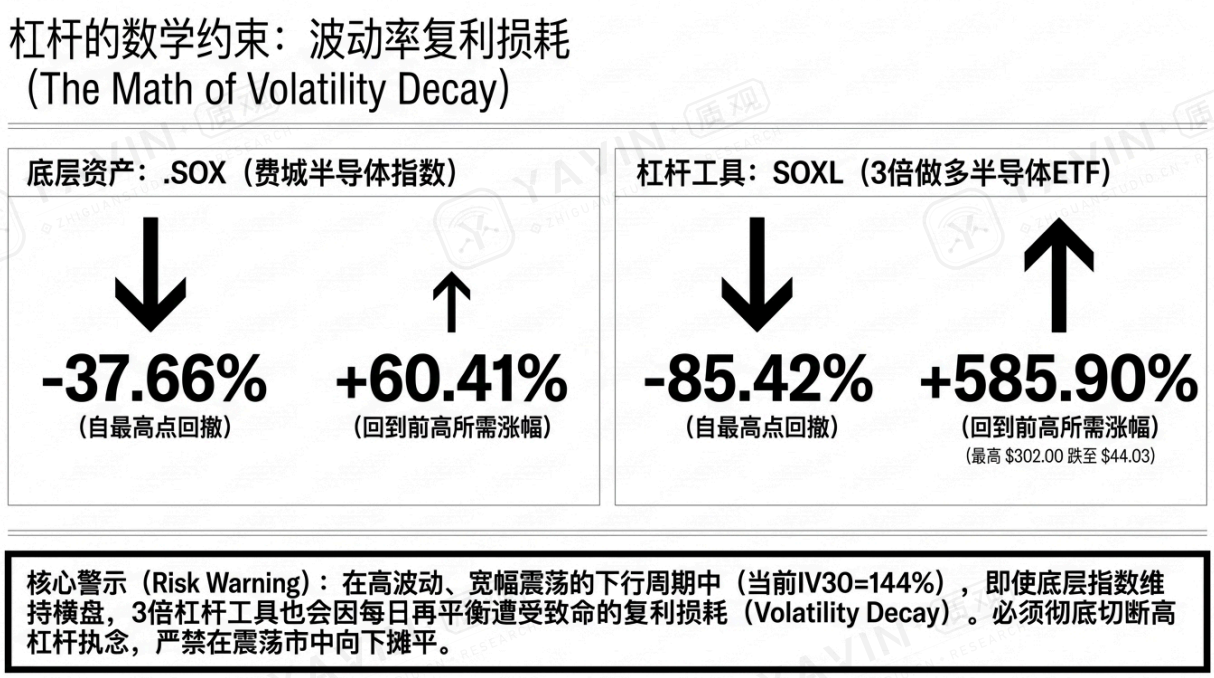
相比之下，峰值规模逾 433 亿美元的 3 倍每日重置杠杆基金 SOXL 净值回撤逾 85%，则是高波动环境下的随机微积分结果。设底层指数遵循几何布朗运动，由伊托引理可导出 L 倍日终恒定杠杆基金在区间 [0, T] 内的净值解析解：

EQUATION 2-1 · 恒定杠杆 ETF 日终再平衡流量与伊托波动率损耗方程

$$\Delta E_{rebal} = L \cdot [L-1] \cdot AUM_{t-1} \cdot r_t = 6 \cdot AUM_{t-1} \cdot r_t \quad [L=3]$$

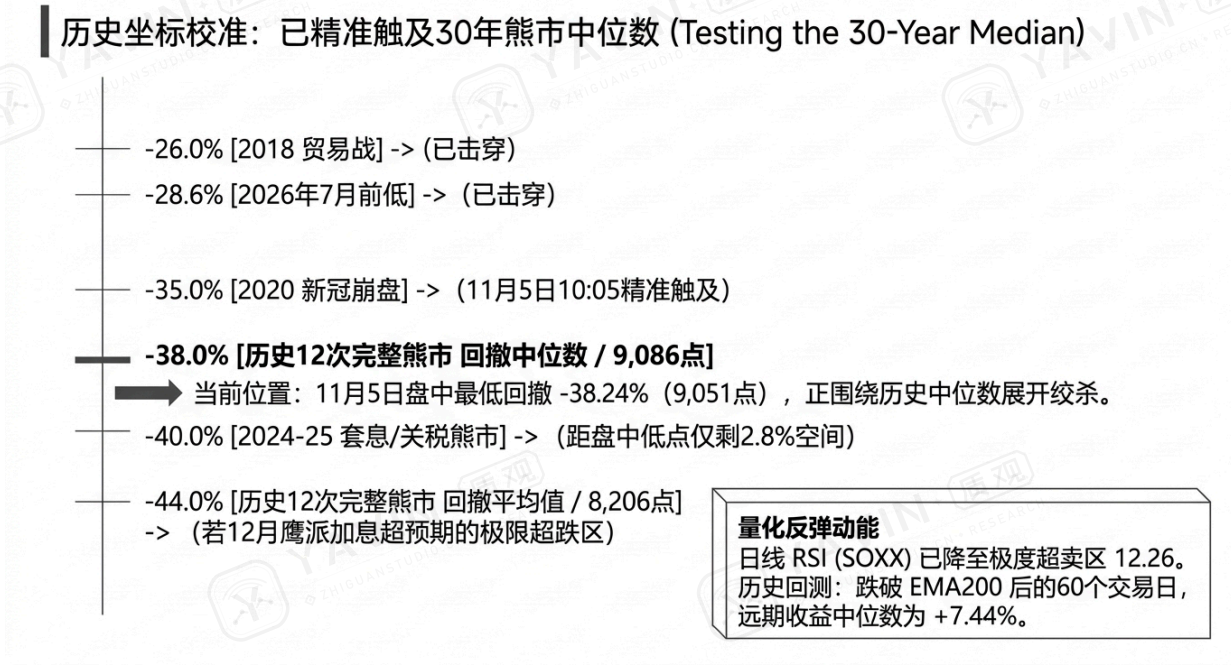
$$V_T = V_0 \cdot [S_T \div S_0]^3 \cdot \exp[-3 \cdot \sigma^2 \cdot T]$$

金融机制含义：当 30 日隐含波动率升至 σ = 144%（$\sigma^2 \approx 2.0736$）时，即便底层半导体指数在一个月内震荡回到原点，方差损耗项 exp[−3 × 2.0736 ÷ 12] ≈ 0.5955 仍会令 3 倍杠杆 ETF 净值损耗 40.45%，叠加主动基金 37% 净超配与做市商负 Gamma 对冲，共同放大了尾盘卖压。



— 图 5B：伊托引理框架下 3 倍杠杆 ETF 波动率损耗曲线与 144% 隐含波动率净值衰减

将本轮费城半导体指数由 14,655.29 点至 9,051.50 点（-38.24%）的回撤放入 1995 至 2026 年共 12 次行业深度调整档案（表 2-2）中校准，过去 31 年回撤中位数恰为 -38.0%，算术均值为 -44.2%。历史修复路径按触发性质分为三类：第一类为流动性挤兑或安装期中段换挡，通常在 6 至 9 个月内收复前高；第二类为典型基钦库存去化，筑底修复历时 12 至 18 个月；第三类为宏观信贷危机叠加全行业产能泡沫出清（如 2000 年通信泡沫与 2008 年金融危机），跌幅超过 70% 且修复耗时 4 至 14 年。



— 图 5C：1995–2026 年费城半导体指数 12 次历史回撤中位数校准与本轮调整坐标

表 2-2：1995–2026 年全球半导体指数（.SOX）31 年 12 次重大回撤完整量化档案与周期性质分类矩阵

调整时期	峰值 → 谷值跌幅	探底时长 / 类型	核心宏观与产业触发机制	后续修复节奏与对 2026–2027 的启示
1995.09–1996.07	**-46.8%**	10个月 · Type II	Windows 95 首波备货后 DRAM 价格暴跌与 PC 渠道去库	互联网商用安装期未完，11 个月收复失地并开启四年主升浪
1997.08–1998.10	**-53.5%**	14个月 · Type I/II	亚洲金融危机韩日存储倾销 + LTCM 高杠杆流动性挤兑	美联储预防式降息化解信贷踩踏后，18 个月翻逾 5 倍
2000.03–2002.10	**-83.9%**	31个月 · Type III	科网泡沫破灭、电信债违约、85% 暗光纤闲置与思科 22.5 亿减值	买方全靠发债且无现金流造血，指数耗时 14 年才重回 2000 高点
2004.01–2004.09	**-36.7%**	8个月 · Type II	美联储开启加息周期叠加 2G 手机与消费芯片阶段性库存消化	典型复苏期中继回调，去库两季后企稳回升
2007.07–2008.11	**-69.9%**	16个月 · Type III	次贷危机引爆全球银行业信用冻结与终端总需求休克	奇梦达破产促成 DRAM 三强寡头格局，智能手机接棒长波
2011.02–2011.10	**-30.8%**	8个月 · Type II	欧债危机冲击、日本地震供应链中断与传统 PC 需求见顶	尔必达重整出清后，4G 移动互联网推动板块稳步长牛
2015.06–2016.02	**-26.9%**	8个月 · Type II	4G 智能手机渗透率增速换挡与新兴市场汇率波动去库	公有云与深度学习训练需求随后启动 2016–2018 超级景气
2018.03–2018.12	**-27.9%**	9个月 · Type II	首轮云 CapEx 消化期 + 加密矿卡崩盘 + 贸易关税摩擦	11 个月重创新高，印证云巨头短暂消化并非长波终结
2020.02–2020.03	**-38.4%**	1.5个月 · Type I	全球疫情突发引发跨资产无差别流动性挤兑与保证金强平	仅 3 个月全面收复，远程数字化随即引爆两年缺芯潮
2022.01–2022.10	**-48.0%**	9.5个月 · Type II	美联储激进加息 500bp 杀估值 + 疫情消费电子超额订单崩塌	2022.11 ChatGPT 横空出世，14 个月收复前高开启 AI 纪元
2024.07–2024.08	**-26.8%**	1.5个月 · Type I	日元套息交易平仓踩踏 + Blackwell B200 早期掩膜微调延误传闻	纯微观结构去杠杆，量产落地后迅速重拾主升趋势
2026.07–2026.11	**-38.24%**	**当前 · Type I/II交界**	**德州限电令顺延机房排期 + $450 内存挤压消费端 + SOXL 28.7亿砸盘**	**精准触及 31 年中位数（-38.0%），一级见顶指标 0/3 触发**

逐项核查判定科技长周期见顶的三项一级指标，当前触发状态为 0/3，表明本轮 38.24% 回撤属于康波安装期中段的筹码出清与消费端异步去库（第一类与第二类交界），而非 2000 年式的系统性崩塌。其一，核心买方现金流未恶化：不同于 2000 年依赖高收益债融资购置光缆的电信商，2026 年中美头部云厂商每年

产生逾 5,000 亿美元经营性现金流，且均未下调 2027 全年 AI 资本开支预算；其二，核心物理产能未现违约：CoWoS-L、HBM3E/HBM4 与高速光引擎长协未发生主流云厂砍单，已交付集群保持高负载运行；其三，金融信贷未出现系统性传染：尽管高杠杆算力租赁商 5 年期 CDS 升破 1,100bp，但北美投资级债券市场流动性充裕，大型云厂商的资产负债表阻断了信用风险外溢。

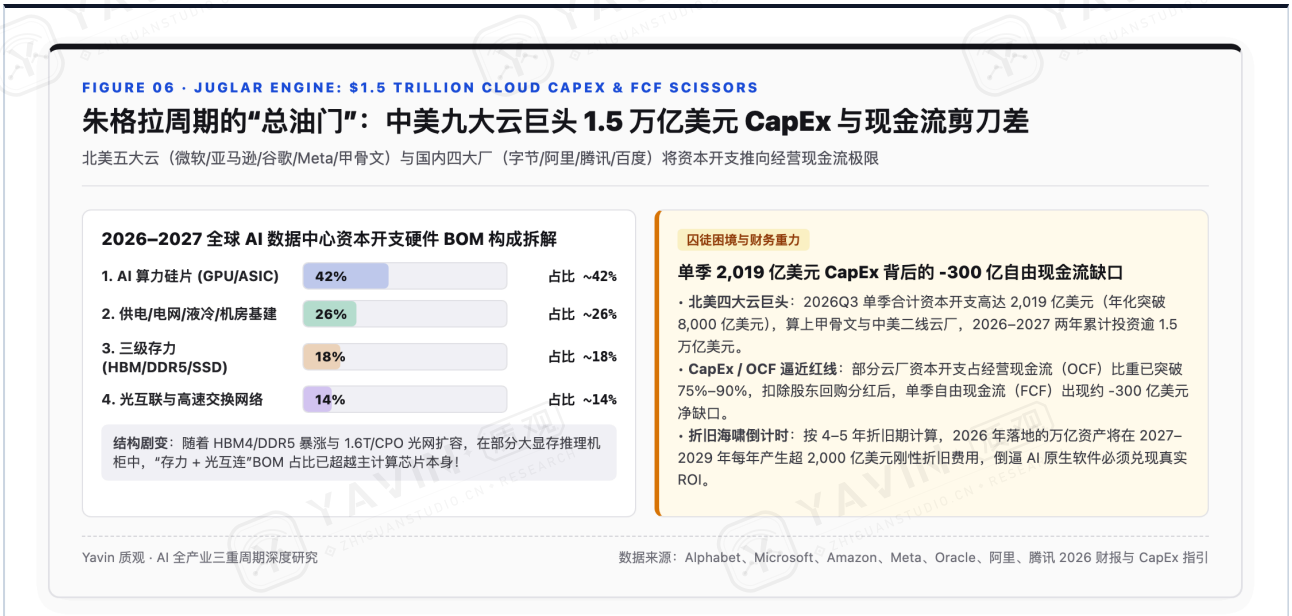
CHAPTER 03 · JUGLAR CAPEX & PHYSICAL CONSTRAINTS

03 朱格拉资本开支中波：1.5 万亿美元云投资与四大物理扩产约束

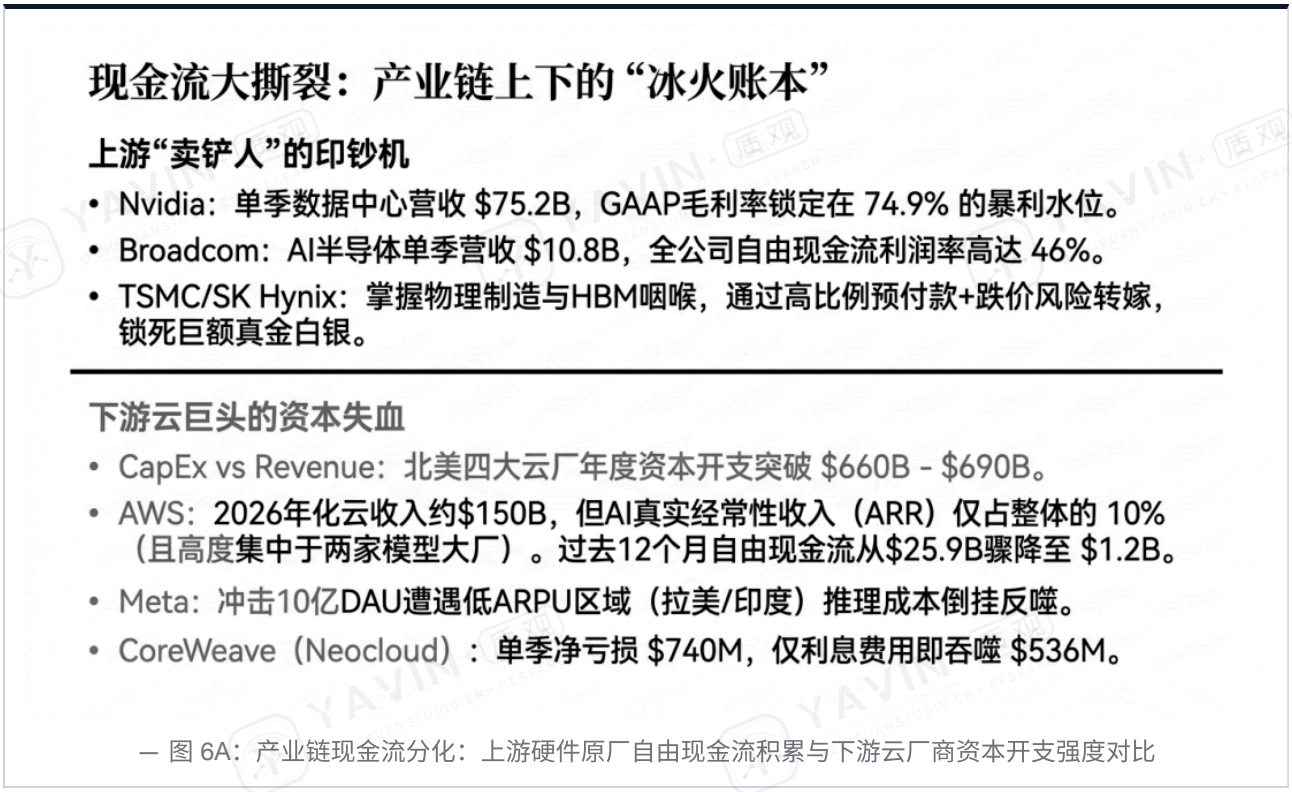
3.1 中美头部云厂商资本开支扩张、BOM 权重迁移与现金流约束

克莱门特·朱格拉提出的 8 至 10 年中周期，以企业固定资产更新与大型基础设施扩建为核心驱动变量。如果说基钦周期衡量渠道与仓库内的元器件水位，朱格拉周期衡量的则是全社会新建智算园区、2nm 晶圆厂、化合物外延产线与高压变电站的资本形成规模。汇总各公司三季报与预算指引，北美五大云服务商（AWS、微软、Alphabet、Meta、Oracle）、中国四大互联网云厂商及主权算力基金在 2026 至 2027 两年的累计 AI 资本开支正迈向 1.5 万亿美元；仅 2026 年三季度单季，北美四大云厂商合并资本开支即达 2,019 亿美元，年化规模突破 8,000 亿美元，同比增长逾 65%。

在总额扩张的同时，资本开支内部的硬件 BOM 权重已发生显著迁移。2023 年预训练初期，算力投资高度集中于采购通用 GPU。而到 2026 至 2027 年，随着千亿参数混合专家模型转向百万 Token 长窗口多模态推理，单机柜功率升至 132kW 至 600kW，新建智算中心的投资结构已分化为四大模块：计算硅片（GPU 与定制 ASIC）约占 42%；供电变电、800VDC 配电、盲插液冷与机房土建约占 26%；由 HBM、DDR5/MRDIMM 与 PCIe 5.0/6.0 企业级 eSSD 构成的三级存力系统约占 18%（在高并发长上下文推理服务器中，存储 BOM 占比已从早期的 15% 升至 40%–55%）；800G/1.6T 光模块、CPO 与高速交换网络约占 14%。



— 图 6：中美主要云厂商 1.5 万亿美元资本开支规划、硬件 BOM 拆解与自由现金流缺口



— 图 6A：产业链现金流分化：上游硬件原厂自由现金流积累与下游云厂商资本开支强度对比

3.2 供给端四大物理扩产约束与光互连垂直并购整合

移动互联网时期，软件企业融资后采购标准 x86 服务器，通常半年至一年即可填平供给缺口。而在本轮万亿美元级资本开支下，核心硬件紧缺之所以持续两至三年，根本原因在于供给端同时遭遇四道无法仅凭短期资金投入跨越的工程物理约束。

第一道约束在于先进制程流片门槛与 CoWoS-L 异质集成良率。进入台积电 2nm 全环绕栅极纳米片节点后，单片 12 英寸晶圆代工报价升至 2.5 万至 3 万美元以上，计入 EDA 授权、高速 SerDes 与 HBM4 物理层 IP、光罩及软硬件验证后，单颗旗舰 AI 芯片开发门槛高达 7 亿至 10 亿美元，迫使缺乏量产规模摊薄能力的初创芯片企业退出先进节点竞争。封装环节的物理瓶颈更为突出：将双光罩计算裸片与 8 至 12 颗 HBM 拼装在 3.3 至 5.5 倍光罩尺寸中介层上的 CoWoS-L 工艺，因硅中介层与有机基板热膨胀系数相差近 5 倍，在回流焊高温下易产生微米级翘曲与微凸块虚焊。同时高阶基板必需的绝缘介质材料 ABF 增层膜由日本味之素占据全球 95% 以上份额，化工材料谨慎扩产与洁净室装机周期共同限制了高端算力卡的交付上限。

第二道约束在于高速光互连演进与磷化铟外延产线扩产周期。当单通道速率升至 224Gbps PAM4，趋肤效应与介质损耗使无源铜缆有效传输半径缩短至约 1 至 1.5 米，跨机柜网络及下一代超高密度机柜内互连均须加速转向 1.6T 光模块与 CPO。无论是可插拔方案所需的单波 200G EML，还是硅光与 CPO 必需的 70mW–100mW 高耐温连续波激光器，底层发光芯片均需在脆弱的磷化铟化合物衬底上经 MOCVD 完成数百层纳米级外延生长，并通过数千小时可靠性老化筛选，从订购外延炉到数据中心级良率爬坡至少需 18 至 24 个月。正因磷化铟光源长协已锁至 2028–2029 年，定制芯片厂商 Marvell 于 2026 年 11 月 2 日正式签约并购光芯片龙头 Lumentum，交易企业价值达 1,150 亿美元，换股比例为 4.500，并购完成后双方

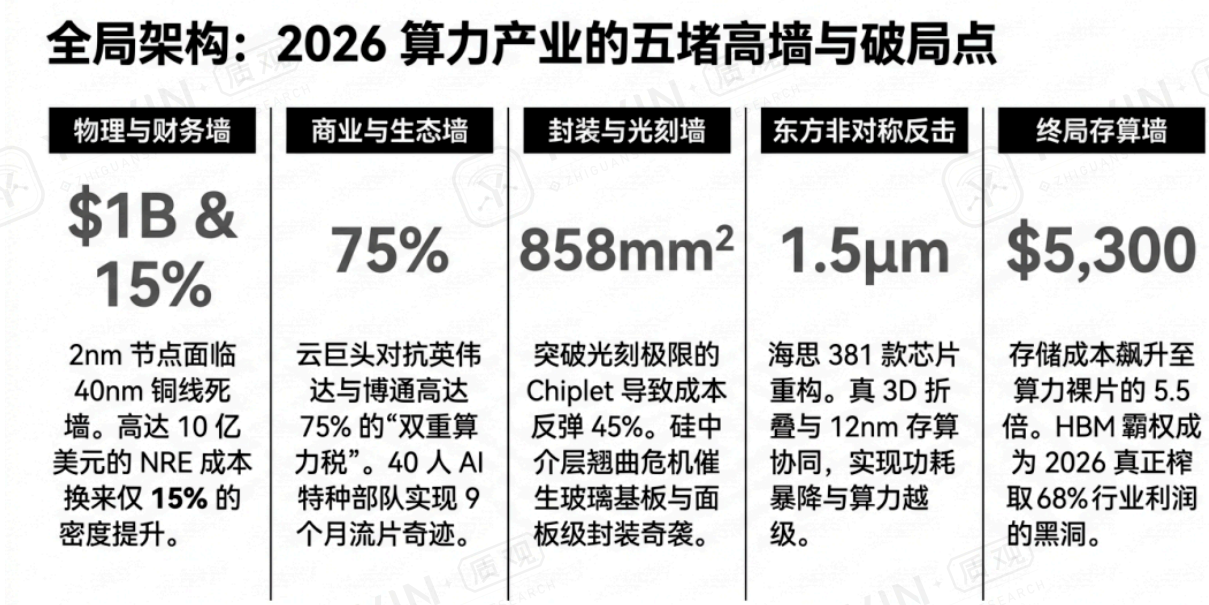
股东按 67%:33% 比例持有合并公司股权，藉此打通高速 DSP 电芯片、硅光调制器与磷化铟光源的垂直整合链条。

第三道约束在于 HBM 晶圆面积消耗比与逻辑基础裸片代工切换。HBM 需将 12 至 16 层超薄 DRAM 垂直堆叠并打穿数千根微米级硅通孔以构建 1024-bit 至 2048-bit 总线，硅通孔阵列与纠错电路占用 25% 至 35% 的裸片面积；叠加多层热压键合 75% 至 82% 的复合良率折损，生产 1GB HBM3E/HBM4 消耗的 12 英寸晶圆面积达到同容量标准 DDR5 的 3 至 4 倍。2026 年底 HBM 仅占全球 DRAM 位元出货量的 10%–12%，却吸收了 30%–35% 的先进 DRAM 晶圆产能，对通用服务器内存形成显著产能挤出。进入 HBM4 世代后，底层基础裸片首次由存储厂自产转为台积电 12nm/5nm 定制逻辑工艺，并伴随热压键合向混合键合设备过渡的跨厂协同约束。

第四道约束在于高压变电设备交期与机柜热力学边界。一座十万卡级计算集群连同冷却系统的恒定负荷达 150MW 至 250MW，而北美电网接入所需的大型电力变压器受高磁感取向硅钢紧缺与熟练绕线技工不足制约，交付周期已由疫情前的 30–50 周拉长至 120–160 周，表后自备电源所用的重型燃气轮机排单亦延至 2029 年以后。在机房内部，单机柜功率由传统风冷的 8–12kW 升至 NVL72 的 120–132kW 并向 250–600kW 演进，传统 48V 铜母排电流高达数千安培，推动行业在 OCP 2026 规范下转向 ±400V/800VDC 高压直流供电及单托盘插拔力达 600N 的无滴漏盲插液冷系统，对密封可靠性与瞬态电流控制提出严苛要求。



— 图 7：朱格拉扩产周期的四大物理约束：2nm/CoWoS、磷化铟光芯片、HBM 晶圆消耗与高压变压器



— 图 7A：算力基础设施五项工程约束与系统破局路径：从先进制程流片成本到封装及供电架构

3.3 2025–2029 全球新增产能释放时序与 2027H2 供需分水岭

物理扩产壁垒拉长了紧缺持续时间，但朱格拉周期的内生规律在于，2025 至 2026 年的超额毛利已驱动四大环节同步启动百亿美元级资本开支，经历 24 至 36 个月建设与认证周期后，新增有效供给将于 2027 年下半年起陆续交汇释放（各赛道重点扩产项目明细见表 3-1）。

按投产日历核验：先进封装端，伴随台积电新竹宝山与高雄 2nm 量产、台南群创改造厂与嘉义 AP7 封装基地爬坡，叠加日月光与安靠扩产，全球 CoWoS 月产能将由 2025 年底的 7 万片升至 2027 年底的 13 万至 15 万片以上；光芯片端，海内外龙头正推进 4 英寸向 6 英寸磷化铟外延产线切换以倍增单片产出面积，同时硅光方案在 800G/1.6T 模块中的渗透率预计于 2027 年超过 50%，分流传统 EML 压力；存储端，SK 海力士清州 M15X 与龙仁一期、三星平泽 P4/P5、美光爱达荷博伊西与广岛新厂以及长鑫、长存扩产产线将在 2027H2 至 2028 年集中通线；电力设备端，国内外变压器新产能亦于 2027H2–2028 年批量交付，微软签约的三哩岛核电 835MW 机组计划于 2028 年并网。2027 年下半年由此成为全产业从全面紧缺转向分批再平衡的关键节点。

2025—2029 全球 AI 全产业链新增物理产能释放日历：为何 2027H2 是分水岭? 30—36 个月朱格拉建设时滞

四大物理瓶颈	代表扩产项目与资本开支	2026—2027H1（紧缺）	2027H2—2028（释放）	2028H2—2029（大考）
1. 先进晶圆与 CoWoS	台积电竹科/高雄 N2、嘉义 AP7、日月光/Amkor 扩产	月产能向 9—11 万片爬坡，仍落后需求约 15%	嘉义 AP7 与海外线投产，CoWoS 再翻倍、溢价回落	若商业化放缓，3nm/2nm 与封装利用率周期性松动
2. 光通信与硅光 InP	Marvell×Lumentum、源杰/长光华芯 InP 线、旭创/易盛泰国厂	200G EML 与 CW 极缺，1.6T 模块享有高溢价	6 英寸 InP 良率突破 + 硅光 CW 渗透率超 50%	板载 NPO/CPO 替代部分可插拔，800G 沦为红海
3. 存储厂 HBM/NAND	海力士 M15X & 龙仁一期、三星 P4/P5、美光 Boise/广岛、长鑫/长存	仅 M15X 与 P4 局部贡献 HBM4，eSSD 刚性紧缺	龙仁/Boise/P5 通线，位元供给增速跳升至 **22%+**	多座百亿美金 Megafab 满产，若备货放缓则去库
4. 电网燃机与核电	GE/西门子燃机、日立/伊顿变压器新厂、三哩岛 835MW 复产	变压器交期 160 周、得州排队 5 年，电力成硬顶	新建变压器与 BTM 表后微电网缓解部分排队	三哩岛核电 (2028) 与 SMR 小堆并网锁定零碳基荷

— 图 8：2025–2029 年全球 AI 产业链新增物理产能投产日历与 2027H2 供需分水岭

表 3-1：2025–2029 全球 AI 全产业链四大物理瓶颈扩产项目、投资规模与有效供给释放时序核验表

物理瓶颈赛道	核心扩产主体与重大工程项目	资本开支与产能扩张目标	洁净室完工与设备装机窗口	大规模有效供给释放与周期影响
1. 先进制程与 CoWoS 封装	台积电竹科宝山/高雄 N2 厂、嘉义 AP7 厂、台南群创改造厂；日月光/Amkor 先进封装线	台积电年 CapEx 达 380–450 亿美元；CoWoS 月产能向 14 万片+迈进	2026H2–2027H1 密集装机调试	**2027H2 起封装瓶颈显著缓解**：CoWoS 配售溢价回落，算力卡交付周期缩短至 16–20 周
2. 光芯片与高速光模块	Lumentum/Coherent 6 英寸 InP 扩产、源杰科技/长光华芯新产线、中际旭创/新易盛泰国与国内基地	全球光通信产业链累计扩产逾 80 亿美元；硅光 CW 光源产能翻番	2026Q4–2027H2 逐步通过客户可靠性认证	**2027H2–2028 光源紧缺改善**：800G 进入成熟价格竞争，1.6T 与 NPO/CPO 成为新利润中心
3. 存储晶圆厂 (DRAM/HBM/NAND)	海力士清州 M15X & 龙仁一期、三星平泽 P4/P5、美光博伊西 ID1 & 广岛厂、长鑫/长存新厂	2026 年全球 DRAM CapEx 增 +80%、2027 再增 +60%，单片晶圆厂投资 150–250 亿美元	M15X (26H2)；博伊西/龙仁/平泽 P5 (27H1–27H2 装机)	**2027H2 过渡，2028–2029 迎产能洪峰**：多座 Megafab 同步满产，行业面临经典均值回归大考

物理瓶颈赛道	核心扩产主体与重大工程项目	资本开支与产能扩张目标	洁净室完工与设备装机窗口	大规模有效供给释放与周期影响
4. 电网变压器与燃气轮机/核电	日立能源/伊顿/GE Vernova 北美与全球扩产、中国变压器龙头出海建厂、三哩岛核电重启	全球电网与表后电源投资超 2,000 亿美元/年；核电 PPA 锁定 20 年基荷	新建变压器工厂 2027 投产；核电重启定于 2028 年	**周期最长的慢变量（2028–2030）**：短期靠表后燃气轮机+储能过渡，电力长周期高景气最久

CHAPTER 04 · LTA CORRIDORS & NEOCLOUD CREDIT

04 长期供货协议、跨云结盟与高杠杆算力租赁信用结构分析

4.1 照付不议长协的价格走廊机制与履约展期边界

在 2025 至 2026 年的产能争夺中，多年期照付不议长协 LTA 与预付款锁单普及至全产业链：算力与跨云层面，Alphabet 向 Oracle 开放 TPU 算力生态，推动 Oracle 待履约合同升至 1,330 亿美元以上，国内海光信息等企业亦向上游封测及存储厂支付逾 58 亿元预付款锁单；光互连层面，磷化铟激光器产能被长协签至 2028–2029 年，Marvell 更通过并购 Lumentum 直接锁定内部供应；存储与能源层面，五大存储原厂普遍收取客户 15%–25% 无息产能定金，微软与亚马逊则分别签署长达 20 年的核电直供协议。

但拆解上市公司年报与供应链合同结构可见，长协并未消除周期波动，而是改变了利润弹性与风险承担方式。绝大多数硬件 LTA 采用基准价叠加季度现货指数浮动，并设定上下限价格走廊。在极度紧缺期，季度涨幅上限条款（通常限定单季环比上调不超过 10%–15%）限制了已将八成产能锁入长协的原厂获取现货溢价，使其毛利率环比斜率提前走平。而在供需逆转期，当现货价跌破保底价超过违约金比例（通常为未提货金额的 10%–20%）时，参照过往多晶硅、集运与 2023 年车规芯片长约经验，大型买方普遍会凭借长期采购地位协商推迟提货、重议基价或将定金折抵下一代产品货款。

EQUATION 4-1 · 硬件多年期 LTA 上下限价格走廊与展期违约边界

$$P_{LTA} = \min[\, P_{cap},\ \max[\, P_{floor},\ \alpha \cdot P_{base} + [\,1-\alpha\,] \cdot P_{spot}\,]\,]$$

$$E[Rev_{real}] = Q_{contract} \cdot P_{LTA} \cdot [\,1 - Pr[PushOut \mid P_{floor} - P_{spot} > C_{penalty} \div Q_{contract}]\,]$$

契约博弈含义：封顶价 P_{cap} 约束上行期边际涨价弹性；下行期一旦保底价与现货价差超过单位违约成本 $C_{penalty}/Q_{contract}$，高杠杆买方倾向选择展期或弃定重谈，使账面长协转化为现货抛压。

FIGURE 09 · LTA PRICE COLLAR & NEOCLOUD GPU SUBPRIME CONTAGION

全产业 LTA 照付不议长协与“显卡次贷”传导链：风险只是从仓库搬进了资产负债表

长协锁住了物理出货量，却用“上下限价格走廊”封死了上行暴利；而下游算力租赁商的 7.5 倍债务杠杆正成为周期的薄弱引爆点

左翼机制 · 全产业 LTA 长协与价格走廊 (Price Collar)

从台积电、Google×Oracle 到存储五巨头的千亿锁单

- **全产业普及**：Google 与甲骨文签下 133 亿美元跨云 TPU 备货协议、海光信息 58 亿锁单、五大存储原厂锁定 2026–2028 HBM/eSSD 长协、微软签下 20 年核电 PPA。
- **定价天花板公式**：$P_{LTA}(t) = \min(P_{cap}, \max(P_{floor}, \alpha \cdot P_{base} + (1-\alpha) \cdot P_{spot}))$。长协虽提供保底价（$P_{floor}$），但设立严格上限（$P_{cap}$），封死原厂在极度紧缺期的边际涨价弹性。
- **违约历史教训**：一旦下游现金流逆转，客户宁可支付 10%–20% 违约金或要求展期（Push-out），把合同重新变成渠道抛压。

右翼机制 · 华尔街与陆家嘴“显卡次贷”危机传导

CoreWeave 1100bp CDS 与折旧年限“会计魔术”

- **高杠杆算力二房东**：以 CoreWeave 为代表的 Neocloud 累计背负约 290 亿美元债务与租赁义务，净债务/EBITDA 高达 7.5 倍，2,500 亿美元待履约合同（RPO）高度集中于单一客户。
- **CDS 违约警报**：CoreWeave 5 年期 CDS 利差飙升至 940–1100bp，按 40% 回收率推导，**隐含五年累计违约概率高达 ~60%**！
- **折旧年限魔术穿帮**：云与租赁商将 GPU 服务器折旧期从 3 年拉长至 6 年（年虚增利润超 300 亿美元），但 Blackwell/Rubin 每 12–18 个月迭代令 H100 租金跌破 $1.5/h，经济寿命远短于会计寿命！

⚠ 次贷负反馈闭环：H100/B200 裸金属租金下滑 → Neocloud 偿债备付率（DSCR）跌破 1.05x 触发债务交叉违约 → 债权人强平抛售二手算力卡 → 冲垮新卡价格体系 → 倒逼云厂与 ODM 砍减上游芯片/光模块/存储 LTA 长单！

Yavin 质观 · AI 全产业三重周期深度研究

风险数据来源：CoreWeave 招股书与债券文件、DTCC CDS 报价、云巨头折旧会计政策附注

— 图 9：全产业照付不议长协价格走廊与高杠杆算力信贷风险传导链条

① Google Cloud (Alphabet · Q3 2026)

单季 CapEx $51.36B

在手合同积压：$567.7B（超 55% 须在 24 个月内确认为营收，电力/机房进度滞后于订单）。

单季云营收 / 营业利润率：$30.71B (+103% YoY)，OPM 跳升至 **36.2%**（去年同期 23.7%）。

CapEx 失血约束：2026 年全年 CapEx 逼近 **$1,950亿–$2,050亿**，单季资本开支同比暴增 **+114.4%** 至 $51.36B。

② Oracle OCI (Q1 FY2027)

RPO $664.0B · 多云扩张

剩余履约义务 (RPO)：高达 **$664.0B**，绑定天量多云企业级算力合同，急需扩充异构算力池。

单季云基建营收：$7.40B (+121% YoY)，设定 FY30 长期营业利润率 **40%+** 目标。

借力 TPU 破局：依托 $20B 级筹资空间主动承担重资产机房与电力 CapEx，原生接入 Google TPU 8t/8i 集群。

③ 现金流急冻：Alphabet 季度自由现金流（FCF）断崖坠落演变（+$24.60B → −$9.07B）

Q3 经营现金流 $42.29B − CapEx $51.36B = −$9.07B

Q4 2025	Q1 2026	Q2 2026	Q3 2026
+$24.60B	+$10.10B	−$5.90B	−$9.07B
现金充沛基准期	重资产投资爬坡压减	首次跌破盈亏转负	库存 $10.95B · 折旧 $8.36B/季

财务战略推演：自身 FCF 转负倒逼 Google 实施“轻资产化杠杆”——由外部云伙伴（Oracle OCI）承担机房与电网重资产 CapEx，自身将积压硅片转化为高毛利系统销售与算力分成。

— 图 9A：Google 与 Oracle 跨云 TPU 结盟的备货义务与多芯片异构生态博弈

4.2 高杠杆算力租赁商 CDS 重定价与服务器折旧年限错配

头部云厂商即使面临长协约束，仍可依靠年均上千亿美元的搜索、电商与企业云主业现金流消化库存；本轮朱格拉周期真正脆弱的信用环节，集中于依靠私募信贷扩张的新型算力租赁商（如 CoreWeave、Lambda、Crusoe、IREN、Nebius）及部分跨界购卡企业（买方分层风险对比见表 4-1）。此类机构通常以所购 H100/B200 加速卡作为抵押物，向私募信贷基金借入年化利率 9.5% 至 14.0% 的高息债务，再向上游签署硬件与机房长租合约，依赖下游算力租金偿付本息。2026 年三季度末以来，这一融资链条显现出三项资产负债表压力。

第一，高财务杠杆触发信用违约互换大幅重定价。以体量居首的 CoreWeave 为例，公司虽握有高度集中于少数头部客户的约 2,500 亿美元待履约合同，但高强度购卡开支令全年自由现金流净流出逾 150 亿美元，账面总债务与数据中心租赁负债累计约 290 亿美元，净债务与 EBITDA 比值升至 7.5 倍。面对 2026 年下半年约 75 亿美元高息债务到期再融资压力，其 5 年期 CDS 利差由年初的 350bp 走阔至 940bp–1,100bp，按标准风险中性定价折算，债券市场隐含的五年累计违约概率已接近 60%。

第二，服务器会计折旧年限拉长与硬件经济寿命缩短形成错配。2022 至 2025 年间，北美主要云厂商先后将服务器与网络设备的会计折旧年限由 3 年延长至 5 至 6 年，每年合计减少折旧费用并增厚账面营业利润逾 300 亿美元。然而，从 Hopper、Blackwell 到 Vera Rubin，旗舰加速卡工程迭代周期已压缩至 12 至 18 个月，每代架构将单 Token 推理能耗与综合成本降低 60%–80%。硬件经济寿命（约 2.5–3 年）明显短于会计折旧年限（5–6 年）：至 2026 年四季度，前代 H100 裸金属服务器二级市场时租已由高点 8 美元降至 1.20 至 1.80 美元，逼近机架电费与运维现金成本，为后续资产减值测试埋下隐患。

第三，缺乏调度壁垒的跨界算力租赁与中游垫资环节承压。国内部分早期高价采购算力卡的跨界企业，因集群上架率不足 40%、租金回落及政企账期拉长而陷入合同纠纷与资产减值；科创板三季报亦显示，上游紧缺原厂账面持有逾 70 亿元无息合同负债，而中游板卡、模组与系统集成商则垫付了近 400 亿元存货与应收款项。

EQUATION 4-2 · 高杠杆算力租赁商 CDS 隐含违约率与偿债备付率方程

$$\lambda_{hazard} = S_{CDS} \div [\,1 - R_{rec}\,] \;\Rightarrow\; PD_{5Y} = 1 - \exp[\,-5 \cdot \lambda_{hazard}\,] \approx 60.0\%$$

$$DSCR = [\,N_{GPU} \cdot u \cdot P_{rent} \cdot 8760 - OPEX_{IDC}\,] \div [\,Debt \cdot r_{interest} + Principal_{due}\,]$$

信用传导含义：按 S_{CDS} = 1,100bp 及显卡快速贬值下的违约回收率 R_{rec} = 40% 测算，五年隐含违约率达 60.0%。一旦稼动率 u 低于 75% 或时租 P_{rent} 跌破 1.65 美元，偿债备付率 DSCR 将跌穿 1.0 倍并触发抵押显卡处置与上游撤单。



— 图 9B：GPU 抵押信贷结构、服务器折旧年限调整与高杠杆算力租赁商偿债能力拆解

表 4-1：AI 全产业链 LTA 照付不议长协条款与下游算力买家财务健康度 / 次贷风险敞口矩阵

买方阵营分类	代表企业与样本	LTA 长协锁单内容与期限	核心财务健康度与杠杆指标 (2026Q3)	潜在违约 / 砍单传染路径评估
第一梯队：超大规模云霸主 (Hyperscalers)	微软、谷歌 (Alphabet)、亚马逊 (AWS)、Meta	锁定台积电 CoWoS、海力士/美光 HBM、旭创/Lumentum 1.6T 光模块、20 年核电 PPA	主业年经营现金流各超 1,000 亿美元，净现金充沛；但单季 CapEx 达 2,019 亿，FCF 短期转负 (-300 亿)	**极低违约风险，但有展期权**：不会破产赖账，但会借德州审批暂停令主动放缓 2027 提货节奏
第二梯队：激进追赶型巨型云厂	甲骨文 (Oracle)、主权 AI 云基金	与 Google 签 133 亿跨云 TPU、包揽数十万卡 Blackwell 集群与燃气轮机长约	甲骨文 RPO 突破 1,330 亿美元，但资产负债率高于四大云，依赖发债与预收款滚动扩建	**中度展期风险**：高度依赖 OpenAI 等头部模型大客户续约，若下游融资放缓将削减非核心采购
第三梯队：高杠杆算力独角兽 (Neoclouds)	CoreWeave、Lambda Labs、Crusoe、IREN、Nebius	以 GPU 抵押借款签下数百亿美元服务器、光模块、存储与高价机房租赁长约	CoreWeave 总债务与租赁约 290 亿美元，**净债务/EBITDA 达 7.5x，5Y CDS 飙至 1100bp**	**极高次贷爆雷风险（核心引爆点）**：一旦再融资受阻或大客户不续租，将被迫违约砍单并抛售二手卡

买方阵营分类	代表企业与样本	LTA 长协锁单内容与期限	核心财务健康度与杠杆指标 (2026Q3)	潜在违约 / 砍单传染路径评估
第四梯队：跨界算力二房东与中小买方	A 股跨界算力租赁商、中小型 AI 初创公司	高价采购 H800/H100/ 国产算力服务器及配套 800G 光模块、DDR5 内存	机房实际点亮率与出租率分化巨大，应收账款周转天数突破 120–180 天，现金流紧绷	**已开始局部出清**：无力追加后续采购，部分闲置服务器已流入二级折价转手市场

05 CHAPTER 05 · KONDRATIEFF WAVE & DEMAND RELAY

康波技术长波演进：杰文斯悖论、分级存力卸载与三级需求接力

5.1 算法效率提升下的杰文斯悖论与三级存力卸载成本测算

康德拉季耶夫与熊彼特所刻画的 40 至 60 年技术长波，在产业演进上通常分为两个阶段：前半程为历时 15 至 20 年的基础设施安装期，特征是超前资本开支与局部估值泡沫；经历中段产能消化与信用出清后，后半程进入历时 20 至 30 年的全行业生产率部署期。2025 年初 DeepSeek-R1/V3 通过多头潜在注意力架构与底层汇编优化将单次训练及推理成本降低约 80% 时，市场一度担忧算法提效会削减算力与光模块需求。但至 2026 年三季度，全球逻辑芯片、1.6T 光模块、HBM 与企业级 eSSD 实际消耗量反而再创新高。这一结果验证了经济学中的杰文斯悖论：当通用目的技术的单位资源成本大幅下降且需求价格弹性绝对值大于 1 时，效率提升会解锁原本不具备商业可行性的复杂场景，拉动总资源消耗非线性扩张。

2026 年的硬件吞吐增长主要由三类负载演进驱动。第一，交互模式由单轮问答转向测试时计算扩展与多步 Agent 工作流：单次问答仅消耗约 500 个 Token，而企业级软件研发 Agent 在自主定位缺陷、调用工具、编译测试与多轮校验过程中，单任务消耗达 50 万至 500 万个 Token，推动 2026 年中国市场推理算力占 AI 总算力比重升至 72.6%。第二，百万至千万 Token 超长上下文普及前缀 KV Cache 分级卸载：为避免每次解码重复计算历史前缀，集群将热状态驻留于 L1 HBM，温数据卸载至基于澜起科技接口芯片驱动的 12,800 MT/s MRDIMM 与 CXL 内存池（L2），冷历史上下文则直通 64TB/122TB PCIe 5.0/6.0 企业级 eSSD（L3）。第三，Triton、OpenXLA 等开源编译栈逐步成熟，使线上推理负载从单一 GPU 扩展至云厂商定制 ASIC 及全光互连国产超节点。

EQUATION 5-1 · 杰文斯需求弹性条件与三级存力卸载集群 TCO 方程

$$\partial E_{total} \div \partial \eta_{eff} = [\, E_{total} \div \eta_{eff} \,] \cdot [\, |\varepsilon_D| - 1 \,] > 0 \quad [\, |\varepsilon_D| \in [2.2, 3.8] \,]$$

$$TCO_{mem} = M_{KV,1} \cdot C_{HBM} + M_{KV,2} \cdot C_{MRDIMM} + M_{KV,3} \cdot C_{eSSD} + B_{RDMA} \cdot C_{optical}$$

成本测算含义：按 L1 HBM 约 18 美元/GB、L2 MRDIMM/CXL 约 3.5 美元/GB、L3 企业级 eSSD 约 0.12 美元/GB 测算，32 并发百万上下文集群承载 40TB KV Cache 时，采用三级卸载配合高速 RDMA 光网可将存储硬件投资由纯 HBM 方案的 1,600 万美元降至 282.4 万美元，节省 82.4% 且首字延迟损耗小于 8%。

AI 康波技术长波扩散三大机制：杰文斯悖论 × Physical AI × 行业 Agent 从云端建设走向全社会生产率

定律一 · 杰文斯悖论

效率催生需求爆炸： DeepSeek/MoE 令单 Token 成本跌 90%，却引爆测试时计算与 1M–10M 超长上下文 Agent。

三级卸载经济账： 32 并发 1M 上下文若全靠 HBM 需 **$1,600 万**；引入“L1 HBM + L2 MRDIMM/CXL + L3 PCIe 6.0 eSSD”压降至 **$282.4 万 (–82.4%)**，TTFT 仅损 <8%。

主力一 · Physical AI 物理智能

端侧大小脑： FSD V14、Thor (2,000 TOPS) 与 VLA 视觉动作模型让汽车/机器人变身移动超算。

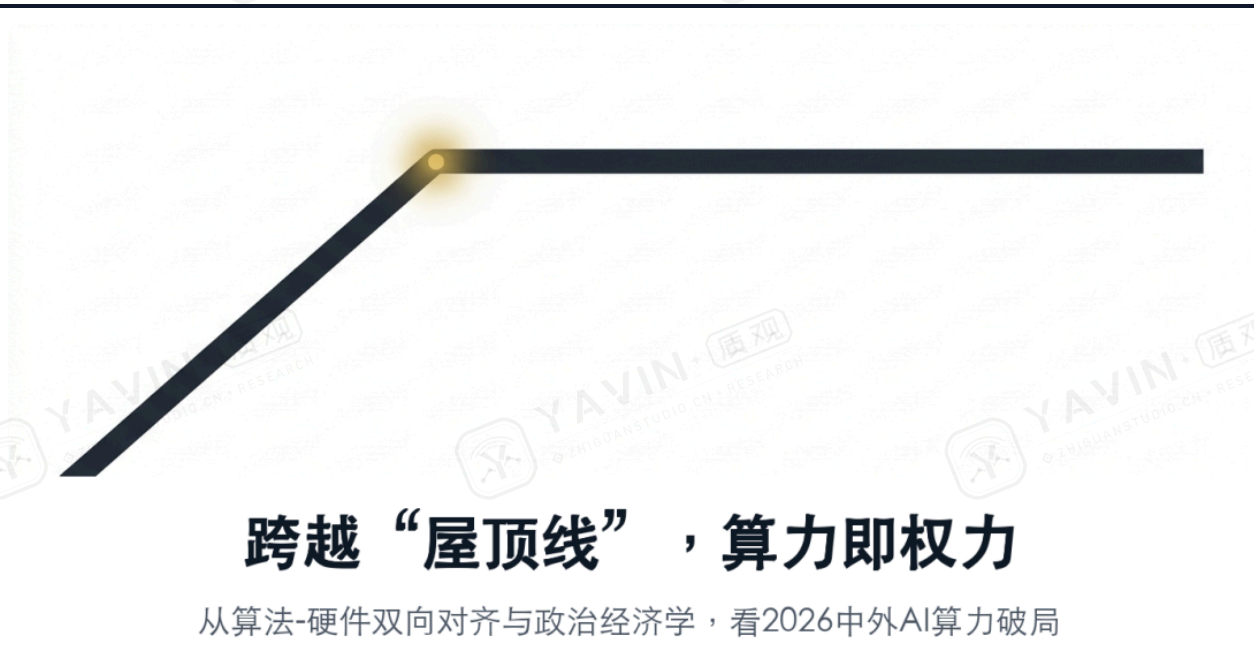
闭环回流： 人形机器人攻坚 120°C 电机热墙与行星滚柱丝杠，每百万台催生云端 **PB 级世界模型** 仿真回流。

主力二 · 行业 Agent 与端侧换机

生产率真实兑现： AI 编程、金融量化、新药生成、数字孪生切入可替代人工工时的预算盘。

终端换机潮： AI PC/手机熬过短期 BOM 涨价阵痛后，由 3D DRAM 与混合卸载开启十亿台换代周期。

— 图 10：AI 康波技术长波扩散路径：杰文斯悖论与智能驾驶、具身机器人、企业级 Agent 需求接力



— 图 10A：Roofline 模型演进：从预填充计算受限到推理解码访存带宽受限的软硬件协同

5.2 从基础设施建设到生产率兑现：智能驾驶、具身机器人与企业级 Agent

当云厂商首轮机房扩建增速趋缓后，产业增长动力正沿着基础设施建设、线上推理运营向企业与物理世界生产率兑现三级递进（阶段映射见表 5-1）。一旦大模型走出恒温机房进入移动载具与工业现场，硬件评价标准便由峰值浮点算力转向功耗包络、热稳定性与毫秒级确定性控制。

第一条接力路径是端到端智能驾驶与车规自研芯片商业化。2026 年智能驾驶由规则算法全面转向视觉-语言-动作 VLA 端到端模型与 Robotaxi 运营验证。无论是搭载英伟达 Drive Thor，还是采用蔚来神玑、小鹏图灵、理想马赫及地平线征程 6P 等自研车规芯片，每台高阶智驾车辆在端侧均需配置 2 至 4 颗 4nm/5nm 大算力 SoC、32GB–64GB 车规 LPDDR5X 与 1TB 闪存，同时倒逼主机厂在云端配套数万卡仿真训练集群。由于先进车规芯片研发与流片投入突破百亿元，多家头部车企于 2026 年启动芯片部门独立融资并向外部机器人及工业客户供货。

第二条接力路径是具身智能人形机器人的工业落地与三道物理量产门槛。相较二维道路行驶，面向装配、分拣与康养作业的人形机器人要从展会演示（部分仍依赖后台人工遥操作）走向百万台级工业部署，须突破三项工程约束：一是端侧 Batch = 1 访存带宽与功耗约束，物理避障与抓取要求端到端控制延迟低于 10–20 毫秒且整机计算功耗受限于 30W–100W 被动或微风散热，无法像云端通过大批量并发摊薄权重读取开销；二是 120°C 关节电机热退磁边界，全身 28 至 50 个密闭关节执行器在连续高扭矩作业时绕组温度易升破 120°C–150°C，引发钕铁硼永磁体不可逆退磁与编码器热漂移；三是微米级行星滚柱丝杠与内螺纹磨床瓶颈，核心传动产能长期集中于瑞士 Rollvis、GSA 与德国 SMS 等厂商，直至 2026–2027 年国内绿的谐波、北特科技、贝斯特、五洲新春等企业推进以车代磨与国产高精磨床工艺，整机 BOM 才具备向 2 万美元（约 15 万元人民币）盈亏平衡线收敛的基础。

第三条接力路径是企业级软件从按席位订阅转向按交付结果计费。传统 SaaS 按账号数量收费，当 AI Agent 提升单人研发或客服效率时，企业采购席位数反而缩减。2026 年跑通商业闭环的行业应用普遍转向按结果定价，如按成功闭环的客诉工单、完成审查的代码提交或合规合同数量计费，以真实运营降本反哺上游云端推理与芯片折旧。



— 图 10B：物理智能对芯片与硬件产业链价值分配及核心工程指标的重塑

表 5-1：AI 康波周期“三级现金流接力（建设的钱 → 运营的钱 → 生产率的钱）”全产业硬件与商业映射矩阵

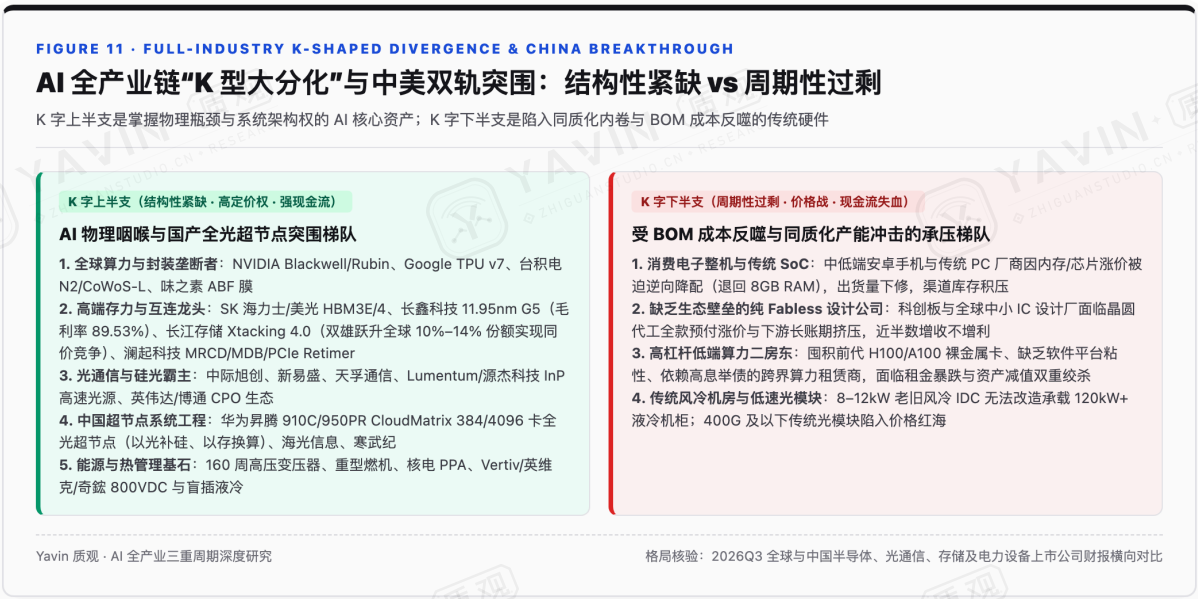
康波演进阶段	核心时间窗口	主导商业模式与现金流来源	核心受益硬件与物理瓶颈转移	阶段切换时的基钦短周期风险特征
第一阶段：建设的钱 (Infrastructure Frenzy)	2023–2027H1（当前所处主战场）	云巨头、主权基金与初创公司军备竞赛，抢购预训练与基础智算集群	旗舰训练 GPU (Blackwell/Rubin)、CoWoS 封装、HBM3E/4、800G/1.6T 光模块、160 周电网变压器、液冷机柜	**二阶导数敏感度极高**：一旦云厂 CapEx 增速放缓或电力审批卡壳，铲子股估值立即剧烈回撤
第二阶段：运营的钱 (Runtime & Token Economy)	2026H2–2029（正在加速接力）	大模型 API 吞吐收费、跨云算力联邦调度、百万上下文缓存与企业私有化推理	推理专用 ASIC (TPU v7/Trainium 3/昇腾/海光)、L2 MRDIMM/CXL 内存池、L3 大容量 PCIe 6.0 eSSD、板载硅光 CPO/OOI	**前代高成本硬件出清**：能耗高、显存小的旧款 GPU 租金崩盘，硬件采购转向极致 TCO 与能效比 ($/Token)
第三阶段：生产率的钱 (Synergy & Physical AI)	2027–2035+（康波长期主升浪）	Robotaxi 按里程收费、具身机器人替代蓝领工时、AI Agent 按商业交付结果抽成、AI 终端换机	车规/机器人端侧大算力 SoC (Thor/神玑/图灵)、3D DRAM/LPDDR6、行星滚柱丝杠/无框电机、工业传感器、云端仿真集群	**伪应用证伪洗牌**：纯套壳软件与依靠远程遥操作的伪机器人出局，掌握垂直行业工作流与物理可靠性者通吃

06 CHAPTER 06 · K-SHAPED DIVERGENCE & DOMESTIC STACK
产业链 K 型分化、本土全栈系统突围与 18 家代表企业三季报对账

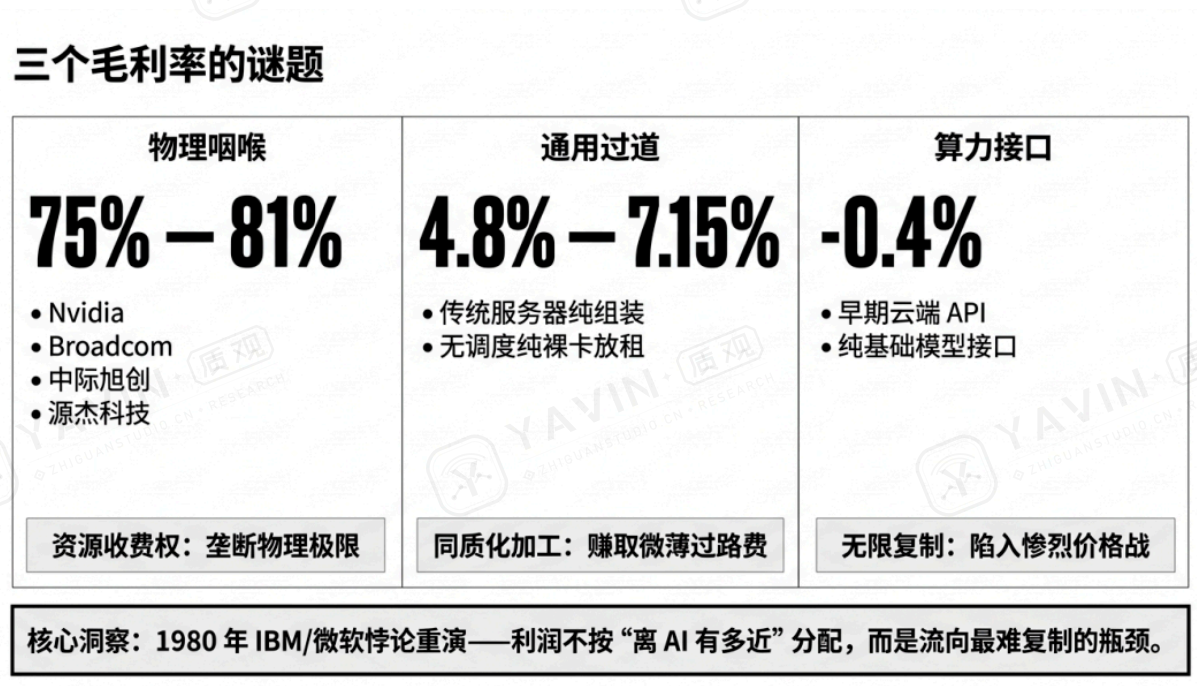
6.1 物理瓶颈与通用环节的 K 型盈利分化机制

将短波库存、中波扩产与长波技术演进叠加后，2026 至 2028 年科技制造业的核心特征是告别同涨同跌，沿是否占据物理瓶颈与系统生态位呈现显著的 K 型盈利分化，单纯依赖行业平均稼动率已无法指导排产决策。

处于上行通道的环节集中于四类具备强扩产壁垒的咽喉节点：一是先进逻辑代工、CoWoS-L 封装、ABF 介质膜及先进键合设备；二是 HBM3E/HBM4、高端服务器 DDR5/企业级 NAND 以及澜起科技主导的 DDR5 MRCD/MDB 与 PCIe 6.0 Retimer 互连芯片；三是磷化铟 200G EML 与大功率连续波激光器、1.6T 光模块及硅光/CPO 引擎；四是大型电力变压器、重型燃机及 800VDC 盲插液冷供配电系统。上述环节普遍获得下游预付款锁单，毛利率维持在 45% 至 89.5%。处于下行通道的则涵盖三类缺乏壁垒的领域：受内存涨价挤压而终端换机平淡的传统 PC 与中低端手机整机及其配套消费级 SoC、CIS、显示驱动与通用模拟芯片；既无自有产线又无算法耦合生态的中小纯设计公司及 DDR3/低容量 DDR4/消费级 NOR 等利基存储（毛利率多停留在 25%–38%）；以及高息举债囤积前代 H100/A100 裸金属服务器、缺乏调度软件粘性的二线算力租赁商。



— 图 11：AI 产业链 K 型盈利分化与中美双轨技术演进：结构性紧缺环节与周期性过剩环节对比



— 图 11A：AI 硬件价值链利润重分配：物理瓶颈环节、通用组件与高速互连芯片毛利率对比

6.2 本土算力与存力体系演进：全光超节点架构与存储同价竞争

在全球产业链分化过程中，外部对先进 EUV 光刻、CoWoS 封装配额及高带宽 HBM 的出口管制，推动中国本土算力、存力与光互连体系走出了一条以系统拓扑和异构工艺弥补单点制程限制的工程路径。

在算力与集群架构端，面对单颗国产芯片峰值算力与海外旗舰的制程代差，本土工程团队通过高密度光互连在系统层实现带宽对齐。以华为昇腾 CloudMatrix 384 超节点及向 4,096 卡演进的全光互连矩阵为代

表，方案打破传统服务器机箱边界，依托国内成熟的 800G/1.6T 光模块与全光交换 OCS 供应链构建无阻塞光互连网络，将数百颗加速卡耦合为统一逻辑计算池。配合海光信息深算系列、寒武纪思元系列、摩尔线程与沐曦股份针对混合专家模型的底层算子融合优化，以及于 2026 年 11 月 10 日正式公告拟分拆独立赴港上市的阿里平头哥（真武系列云端芯片累计交付逾 47 万片），2026 年国产 AI 加速卡在本土智算集采市场的份额升至 85%–92%。

在存力与全球配套端，本土存储原厂实现了工艺微缩与定价地位的同步突破。长鑫科技依托 11.95nm 线宽第五代 DRAM 工艺，在无 EUV 条件下通过多重曝光与高深宽比电容工艺量产 8000–8533 Mbps LPDDR5X 与高密度服务器 DDR5 RDIMM，全球 DRAM 产能份额突破 12%–14%，2026Q3 单季毛利率达 89.53%；长江存储采用晶栈 Xtacking 4.0 晶圆级混合键合架构，将外围逻辑晶圆与近 300 层存储阵列晶圆独立制造后微米级键合，I/O 速率达 3.6–4.8 GB/s，全球 NAND 份额迈向 10%–13%。2026 年下半年，两家原厂在主流服务器与高端终端渠道消除了过往 15%–25% 的折价，实现与海外三大原厂同价竞争。此外，国内厂商占据全球 800G/1.6T 光模块逾 60% 份额，主导制定 JEDEC DDR5 MRCD/MDB 国际标准，并在高压变压器与液冷组件上具备 12–18 个月的快速扩产交付能力。



— 图 11B：2026 年中国 AI 加速卡市场结构变化与本土算力底座份额演进

6.3 全球与中国 18 家代表性企业 2026Q3 财务指标与周期定位

为将三重周期推演落实至可核查的上市公司账本，表 6-1 汇总了算力芯片、晶圆代工、光通信、核心存储、电力液冷与算力云六大赛道共 18 家全球及中国代表性企业 2026 年三季度（或对应最新财季）的营收规模、利润率结构、二阶斜率特征及所处周期位置。

表 6-1：全球与中国 AI 全产业链 18 家核心标杆企业 2026Q3 财务指标、毛利率倒挂与周期位置核验总表

赛道层级	公司名称与代码	2026Q3 / 最新财季核心营收与净利	最新毛利率 / 营业利润率	核心产业卡位与三重周期位置核验
1. 全球算力霸主	英伟达 (NVIDIA, NVDA)	单季营收逾 500 亿美元，数据中心占比 ~88%	GM ~75.0% OPM ~62.5%	Blackwell Ultra (GB300) 与 NVL72 机柜统治训练与高端推理；受制于 CoWoS 与客户机房通电节奏
2. 跨云定制硅片	谷歌 / 博通 (GOOGL / AVGO)	博通 AI 半导体与网络年化营收冲向 200 亿美元 +	博通半导体 GM ~68%+	TPU v6e/v7 首次通过甲骨文 133 亿协议跨云外销；博通垄断定制 ASIC 与 Tomahawk 6 交换芯片
3. 国产算力双雄	寒武纪 (688256) 海光信息 (688041)	寒武纪 Q3 营收与预收款爆发；海光前三季营收净利高速双增，58 亿锁单	寒武纪 GM ~68% 海光 GM ~63%	国产智算集采份额突破 85%+ 的核心受益者；深算 DCU 与思元加速卡全面切入金融、运营商与互联网推理
4. 晶圆与封装霸主	台积电 (TSMC, 2330.TW)	26Q3 营收与利润创历史新高，AI 营收占比破 50%	GM ~59.5% OPM ~49.0%	全球唯一掌握 2nm GAA 与 CoWoS-L 超大硅中介层量产能力；嘉义 AP7 厂将于 2027H2 释放翻倍封装产能
5. 光芯片与互联并购	Marvell (MRVL) Lumentum (LITE)	Lumentum FY27Q1 营收达 12.6 亿美元（+136.5%），Q2 指引 15.75–16.25 亿美元，InP 产能售罄至 2029	InP 高端光芯片 GM >55%	Marvell 以 1,150 亿美元企业价值全股票正式并购 Lumentum，构建“DSP 电芯片 + 硅光 + InP 激光器”垂直整合闭环
6. 全球光模块双雄	中际旭创 (300308) 新易盛 (300502)	26Q3 营收与归母净利润同比翻倍高增，海外出货满载	GM 35.0%–44.2% 净利率 22%–28%	800G 绝对主力、1.6T 率先批量交付北美云厂；硅光方案占比提升对冲 EML 紧缺，布局 NPO/CPO
7. 光引擎与国产光源	天孚通信 (300394) 源杰科技 (688498)	天孚光引擎满产；源杰高速 EML 与大功率 CW 光源放量	天孚 GM >55% 源杰高端品 GM >60%	卡位 1.6T/CPO 精密光引擎封装与国产磷化铟（InP）外延激光器替代咽喉

赛道层级	公司名称与代码	2026Q3 / 最新财季核心营收与净利	最新毛利率 / 营业利润率	核心产业卡位与三重周期位置核验
8. 海外 HBM/DRAM	SK 海力士 (000660) 美光 (Micron, MU)	海力士 Q3 营收 104.6 万亿韩元 (+328%)；美光 FY26 营收 1,331.9 亿美元 (+256%)	美光 GM 86.8% 海力士 OPM 79.7%	HBM3E/HBM4 锁死至 2027；刚性折旧下边际毛利率逼近 97%，但需警惕 2027H2 新厂投产后的斜率放缓
9. 海外 NAND/eSSD	铠侠 (285A.JP) 闪迪 (SNDK)	铠侠单季营收 2.48 万亿日元 (+453%)；闪迪单季 110.3 亿美元	闪迪 GM 85.1% 铠侠 OPM 80.2%	受益 AI 推理 eSSD 暴增，但铠侠因 Q3 指引环比仅 +1% 及 23 倍融资盘踩踏单日暴跌 14%，率先反映二阶导拐点
10. 中国存储原厂	长鑫科技 (688825) 长江存储 (YMTC)	长鑫前三季营收 2,690.24 亿 (+738.5%)，归母净利 1,320.40 亿（Q3 单季净利 544.35 亿）	**长鑫 Q3 单季 GM 89.53%**，OPM >80%	11.95nm G5 与 Xtacking 4.0 跃升全球 10%–14% 份额并实现“同价竞争”，领跑全球半导体盈利榜
11. 内存与 PCIe 互连	澜起科技 (688008.SH)	26Q3 互连类芯片营收与净利润创历史单季新高	互连芯片 GM ~62%–65%	DDR5 子代迭代（RCD）叠加 AI 服务器 MRDIMM（MRCD/MDB）与 PCIe 6.0 Retimer、CXL 控制器三重放量
12. A 股存储模组	佰维存储 (688525) 江波龙 / 德明利	前三季营收净利同比暴增数倍，但 Q3 末存货账面值达百亿级	GM 22%–32%（受晶圆成本重定价影响）	前期低价库存红利在 Q1–Q2 集中兑现；进入 Q3–Q4 后高价晶圆入库，二阶环比弹性向原厂收敛
13. 电网与液冷基石	Vertiv (VRT) / 日立能源 / 英维克	在手订单（Backlog）再创历史新高，排产至 2028 年	液冷与配电系统 GM 35%–42%	卡位 160 周大型变压器、800VDC 高压供电与 132kW–600kW 机柜盲插液冷（UQD），周期跨度最长
14. 算力租赁新贵	CoreWeave (CRWV)	待履约 RPO 达 2,500 亿美元，但单季 FCF 巨额净流出	EBITDA 率 >60%，但净利被高息吞噬	背负 290 亿美元债务与租赁，**净债务/EBITDA 达 7.5x，5Y CDS 飙至 1100bp（隐含 60% 违约率）**，为次贷风险核心监测点

CHAPTER 07 · LEADING INDICATORS & FALSIFICATION

07 六项高频先行指标、分赛道异步再平衡路径与七项工程财务核验

7.1 追踪周期边际拐点的六项高频先行指标

二级市场与衍生品定价通常领先实体财报拐点 6 至 9 个月，渠道现货价通常领先季度长协价 3 至 6 个月。为动态捕捉 2026 至 2029 年各细分环节的供需切换窗口，可建立横跨买方现金流、信用利差、现货价差、瓶颈交期、电网审批与商业变现的六项高频跟踪指标。

第一项是北美四大云厂商资本开支占经营现金流比值与自由现金流缺口。当单季合并资本开支站上 2,019 亿美元、资本开支占经营现金流比值逼近 80%–90% 且自由现金流缺口超过 300 亿美元时，一旦其中两家在财报指引中将下年度资本开支增速下调至 15% 以内，上游硬件估值将普遍转入收缩。第二项是高杠杆算力租赁商 5 年期 CDS 利差与前代卡二级时租：重点跟踪 CoreWeave 5 年期 CDS（当前处于 940–1,100bp）及 2027 年初 75 亿美元债务展期条款，若 H100 时租跌破 1.10 美元现金电费线或触发债权人处置抵押显卡，将直接传导至服务器代工厂撤单。

第三项是服务器存储现货与季度合约价差及光模块季度议价斜率：若渠道现货价持续 6 周低于季度长协价，或主流 DDR5、企业级 eSSD 与 800G 光模块合约环比涨幅连续两季收敛至 5%–10% 以内，表明下游安全库存已满、长协价格走廊触顶。第四项是台积电 CoWoS 非头部客户展期情况与 200G EML/CW 光源交期：一旦二线 ASIC 客户推迟流片提货，或磷化铟激光器交期由 40 周回落至 20 周以内，中游模组与板卡的紧缺溢价将向制造业均值回归。

第五项是北美 ERCOT 与 PJM 电网并网放行量及大型变压器交期：若新建数据中心并网限制由得州扩展至弗吉尼亚、俄亥俄等核心州，或变压器交期维持在 140 周以上，已交付的芯片与光模块将在代工厂端形成等电型被动库存。第六项是企业级 Agent 经常性收入 ARR、Robotaxi 商业运营里程与人形机器人工业工位无干预连续运行小时数：核算新增软件与按结果付费收入能否覆盖全球每年逾 2,000 亿美元的 AI 硬件折旧，是检验康波安装期能否平稳过渡至部署期的核心财务准绳。

个人公开研究免费分享（非商业用途） | https://zhiguanstudio.cn

指标 1 · 云厂 CapEx/OCF
警戒线 >80% 及 FCF 净缺口，监测董事会是否触发强制节流。

指标 2 · CoreWeave CDS & 租金
5Y CDS 利差 (~1,100bp) 与 H100/B200 裸金属时租，防债务展期冻结。

指标 3 · 价格环比二阶导
DDR5/NAND 现货–合约价差与 1.6T 光模块季议价，现货领先合约 3–6 月。

指标 4 · CoWoS & InP 排期
盯紧台积电订单是否 Push-out 及 EML/CW 交期是否自 40 周跌回 <20 周。

指标 5 · 电网审批与变压器
ERCOT/PJM 电网并网速度与 160 周变压器交期，决定芯片变算力上限。

指标 6 · Agent ARR & 端侧
验证商业 API 收入与车队/具身工时能否覆盖每年 >$2,000 亿硬件折旧。

2026–2029 三阶段全产业异步调整时间表 库存与扩产节奏校准

时间窗口	供需核心特征	率先承压 / 均值回归	结构性坚挺 / 接棒领涨
2026Q4–2027H1 高位分化窗口	AI 核心件仍处卖方市场，但涨价斜率收敛，股价高波动	消费 PC/手机存储现货、前代 H100 租赁、无壁垒纯 Fabless	Blackwell Ultra/TPU v7、HBM3E/4、1.6T 光、800VDC、变压器
2027H2–2028H1 产能释放过渡	M15X/龙仁/博伊西新厂、嘉义 CoWoS 与光芯线出货，走向平衡	通用服务器 DRAM、标准 eSSD、800G 可插拔模块、二线云	定制基片 HBM4、板载 NPO/CPO 光引擎、端到端智驾与端侧 NPU
2028H2–2029 周期大考接棒	万亿 CapEx 迎折旧与产能洪峰，洗牌出清后转入部署期	同质化标准存储、成熟代工、无 ROI 通用大模型基建	具身人形机器人、商业化行业 Agent、全光超节点与核电电网长基建

— 图 12：AI 全产业六项高频先行指标跟踪体系与 2026–2029 年分赛道异步再平衡时间表

7.2 2026–2029 四批异步均值回归路径与宏观下行压力测试

依据各环节物理扩产周期与技术替代难度，2026 年四季度至 2029 年全产业链将分四批依次经历供需再平衡。第一批（2026Q3–2026Q4）为消费级 PC/手机芯片、消费存储现货、前代 H100 裸金属租赁与无生态护城河的纯设计公司，受 32GB DDR5 涨至 450 美元引发的整机降配与新架构替代影响率先去库；第二批（2027H1）为标准服务器 DDR5 RDIMM 与成熟 400G/800G 可插拔光模块，随前期齐套等待库存消化及硅光渗透率提升而趋于平稳；第三批（2027H2–2028H1）为企业级 eSSD 与 1.6T 可插拔光模块，伴随美光博伊西、海力士龙仁、长存/长鑫新厂及 6 英寸磷化铟产线投产步入供需平衡；第四批（2028H2–2029）为 HBM4/HBM4E、板载共封装光学 CPO、2nm 旗舰算力芯片与高压电力变压器，因定制逻辑基础裸片、硅中介层光电耦合及三年以上电网设备扩产周期而具备最长景气韧性。

参照韩国央行《2026 宏观经济展望与半导体下行压力测试》框架扩展至全行业四类情景：乐观紧缺情景（概率 20%）下，Agent 与物理智能提前放量支撑云资本开支维持 35% 以上增长，紧缺延续至 2028 年；基准异步回归情景（概率 50%）下，2027H2 新产能释放带动硬件均价温和回落 15%–25% 后企

稳；产能洪峰叠加云厂节流情景（概率 20%）下，若 2027 年 AI 芯片与存储混合均价同比下跌 10%–20%，仅韩国半导体出口就将减少 265 亿至 530 亿美元、拖累 GDP 增速 0.3–0.6 个百分点，前期毛利率逾 85% 的重资产原厂在反向经营杠杆下营业利润率将回落 25–35 个百分点；信用违约冲击情景（概率 10%）下，高杠杆算力租赁商债务展期受阻引发二手显卡集中处置与上游长协连环重谈。

7.3 基于工程物理与资产负债表的七项伪命题核验

在产业景气高位，市场常出现脱离热力学、良率统计与会计准则的技术及商业外推。结合工程物理与财务底账，需对七类流行假设明确适用边界。其一，纯模拟或 SRAM 存算一体短期内无法替代 HBM：基于阻变存储器的模拟存算受电导漂移与热噪声制约，模数转换电路占用逾 60% 芯片面积与功耗，计算精度局限于 INT4/INT8，难以满足千亿参数模型对 FP16/BF16/FP8 动态范围与确定性的要求；数字型 SRAM 存算在 3nm 节点下单比特面积不再微缩，单芯片仅能容纳数百 MB 权重，仅适用于低功耗端侧唤醒协处理。

其二，手机 SoC 晶圆级混合键合 WoW 垂直堆叠 3D DRAM 难以在 2027 年前普及：晶圆对晶圆键合无法像 CoWoS 那样预先筛选已知合格裸片，总良率受逻辑晶圆、DRAM 晶圆与键合良率三者连乘制约（$Y_{\text{total}} = Y_{\text{SoC}} \times Y_{\text{DRAM}} \times Y_{\text{bond}}$），单点缺陷即报废双晶圆组。同时手机 SoC 峰值发热直传上方 DRAM，结温每升高 10°C 电容漏电翻倍，叠加逻辑代工厂与存储原厂产线属地分离带来的超薄晶圆跨厂运输损耗，端侧短期仍以 LPDDR5X/LPDDR6 配合扇出型封装为主。

其三，CPO 在 2026–2027 年不会全面取代可插拔光模块：将微环调制器或光源紧耦合于 85°C 高温 GPU 中介层，面临谐振波长热漂移与运维解耦难题（单一光通道失效即需整块昂贵算力板返修），2026–2027 年逾九成跨机柜网络仍将采用 800G/1.6T 可插拔模块，CPO 主要在超高密度机柜内 Scale-Up 交换网络中渐进渗透。其四至其七项财务与基建核验同样明确：服务器折旧由 3 年拉长至 6 年增厚的账面利润终需面对 2.5–3 年硬件经济寿命的减值重估；LTA 长协受价格走廊与违约金阈值约束而非固定保底收益；14 天工厂预制化机柜拼装无法绕开园区外 120–160 周的高压变电站并网周期。而依赖后台遥操作、尚未解决 120°C 关节连续工况热退磁与 15 万元整机成本门槛的演示型人形机器人，距离工业工位规模化替代仍有明确工程距离。

核心验证指标体系与前瞻跟踪框架

一、宏观贸易高频验证（Trade）		
核心指标：**韩国11月出口数据。**	观测阈值：**11月日均出口企稳50亿美元上方；全月出口填补700亿缺口助力年度破1万亿美元。**	信号含义：**验证剔除日历效应后，AI硬件拉货的跨月度内生惯性。**
二、产品价格与代际切换（Pricing & Tech）		
核心指标：**HBM4量产渗透率及DDR5合约价。**	观测阈值：**SK海力士对英伟达560美元/颗HBM4实际交付；Q4通用DDR5价格环比斜率。**	信号含义：**检验高ASP能否抵消出货量基数效应，及服务器端能否完全吸纳消费端砍单损失。**
三、长协执行率与CapEx兑现（Contracts）		
核心指标：**LTA/NBM履约提货率。**	观测阈值：**闪迪939亿NBM的RPO转化率；下游云厂商是否存在推迟提货(Push-out)行为。**	信号含义：**检验行业是否真正具具备长久期基础设施资产属性的最终试金石。**

— 图 12A：面向 AI 供应链与商业模型的七项工程物理及资产负债表证伪核验

CHAPTER 08 · DECISION FRAMEWORK & REFERENCES

08 四维产业决策建议、跨国会计口径对齐与 85 份公开参考信源

8.1 面向四类产业与研究主体的周期应对策略

综合全产业三重周期分析，算力、光互连、分级存力与电力基础设施的长期需求中枢正随康波长波阶梯抬升，但物理制造时滞与资本开支周期决定了均值回归始终在场。在当期业绩处于高位而边际斜率开始分化的阶段，四类产业主体需采取差异化的经营与风控准则。

对上游芯片、光器件、存储与电力设备原厂而言，不宜在逾 80% 毛利率阶段将下游防御性重复订单线性外推并举债扩张同质化产能，而应通过收取现金预付款锁定真实需求，将自由现金流定向投入 2nm GAA/CoWoS-L、6 英寸磷化铟连续波光源与 CPO、HBM4 混合键合及 800VDC 配电等下一代技术壁垒，防范 2028 年多厂集中投产后的价格竞争。对云服务商与算力基建方而言，核心指标应由单纯扩充卡数转向单兆瓦 Token 产出率与全生命周期总拥有成本优化，通过 GPU 与定制 ASIC 异构混推、三级存力卸载及高密光互连修复自由现金流，平稳消化前期资本开支折旧。

对下游整机厂商与企业应用采购方而言，2026Q4 至 2027H1 应避免在现货高点超额囤积通用内存与前代算力卡，结合现货与合约价差收敛节奏及 2027H2 新产能释放窗口分批锁定成本，并将研发资源集中于可按商业交付结果计费的行业 Agent 与闭环物理智能场景。对长期产业研究者而言，则需严格区分康波长波的结构性成长与基钦短波的库存波动，既识别衍生品机械调仓与地方并网延期对高壁垒物理咽喉资产造成的短期定价错位，也对高杠杆算力租赁商信用利差走阔及纯设计公司存货周转拉长保持审慎。

8.2 跨国会计财年口径对齐与五维交叉验证方法

本报告在跨国财务对账中统一对齐自然年季度口径：美光科技 FY2026 财年截至 2026 年 8 月末，其 FY26Q4 对应自然年 2026Q3；铠侠 FY2026 财年自 2026 年 4 月 1 日起算，其 FY26Q2 对应自然年 2026Q3；台积电、SK 海力士、三星电子、中际旭创、长鑫科技、寒武纪、海光信息与澜起科技等均直接采用自然年季度披露数据。全文结论均经过五类公开独立信源交叉核验：海关进出口实物统计（韩国产业通商资源部/关税厅、中国台湾财政部）、晶圆与封装产线设备排期、公开渠道现货与长协报价、北美 ERCOT/PJM 电网并网队列及变压器交期统计，以及 DTCC 信用衍生品利差与期权波动率微观结构数据。

8.3 全文引用的 85 份公开参考资料索引

PRIMARY REFERENCES · 全产业多源交叉核验核心文献与财报索引（精选 50 项代表性总目，涵盖全部 85 份底层信源）

[01] Joseph Kitchin (1923), 'Cycles and Trends in Economic Factors', Review of Economics and Statistics（基钦 40 个月库存短周期原始文献）

[02] Clément Juglar (1862), 'Des Crises Commerciales et de leur Retour Périodique'（朱格拉 8–10 年设备投资与固定资产扩产周期理论）

[03] Nikolai Kondratieff (1925) & Joseph Schumpeter (1939), 'Business Cycles'（康德拉季耶夫 40–60 年长波与熊彼特三周期嵌套模型）

[04] Carlota Perez (2002), 'Technological Revolutions and Financial Capital: The Dynamics of Bubbles and Golden Ages'（技术革命安装期泡沫与部署期黄金时代转折理论）

[05] NVIDIA Corporation FY2026/FY2027 Quarterly Reports (Form 10-Q) & GTC 2026 Blackwell Ultra / Vera Rubin Architecture Whitepaper

[06] Taiwan Semiconductor Manufacturing Co. (TSMC, 2330.TW) 2026Q3 Earnings Release, OIP Symposium N2 (2nm GAA) & CoWoS-L Capacity Roadmap

[07] Alphabet Inc. (GOOGL) & Oracle Corporation (ORCL) 2026 Cross-Cloud TPU v6e/v7 Ironwood Strategic Partnership & $133B RPO Disclosures

[08] Microsoft, Amazon, Alphabet & Meta 2026Q3 Form 10-Q Filings: $201.9B Single-Quarter Combined CapEx & -$30B Free Cash Flow Scissors Analysis

[09] Marvell Technology (MRVL) & Lumentum Holdings (LITE) Definitive All-Stock Merger Agreement ($115B EV / 1:4.500 Exchange Ratio, Nov 2, 2026) & InP Photonic Fabric Roadmap to 2029

[10] Lumentum Holdings FY2026/FY2027 Earnings Releases: 200G EML & High-Power CW Laser Long-Term Agreements (LTA) & 6-Inch InP Wafer Transition

[11] NVIDIA Optical Interconnect (OOI / Micro-Ring Resonator DWDM) & Broadcom Bailly 51.2T Co-Packaged Optics (CPO) IEEE/OFC Technical Papers

[12] LightCounting & Cignal AI (2026Q4), 'High-Speed Ethernet Optics Report: 800G/1.6T Pluggable vs. NPO/CPO Market Forecast 2026–2030'

[13] 中际旭创（300308.SZ）、新易盛（300502.SZ）、天孚通信（300394.SZ）2026 年第三季度报告及 800G/1.6T 硅光模块产能披露

[14] 源杰科技（688498.SH）、长光华芯（688048.SH）2026 年三季报：100G/200G PAM4 EML 及大功率硅光 CW 激光器芯片量产进展

[15] 韩国产业通商资源部（MOTIE）与韩国关税厅：《2026 年 10 月进出口动向公告》（总出口 1,152.8 亿美元 +93.7%、半导体 564.4 亿美元 +259.4%、eSSD 58.5 亿美元 +496.6%）

[16] SK Hynix Inc. (000660.KS) 2026Q3 Financial Results: Revenue 104.62 Trillion KRW (+328% YoY), Operating Profit 83.33 Trillion KRW (OPM 79.7%), M15X & Yongin Fab Schedule

[17] Micron Technology (MU) FY2026 Form 10-K & FY26Q4 Earnings Release: Full-Year Revenue $133.19B (+256%), Non-GAAP GM 86.8%, Boise ID1 & Hiroshima Fab CapEx

[18] Samsung Electronics (005930.KS) 2026Q3 DS Division Earnings Release: 147.1 Trillion KRW Revenue, Pyeongtaek P4/P5 & HBM4 Custom Base Die Roadmap

[19] 长鑫科技集团股份有限公司（688825.SH）科创板招股说明书及 2026 年第三季度报告（前三季营收 2,690.24 亿元、归母净利 1,320.40 亿元、Q3 单季毛利率 89.53%、11.95nm G5 工艺）

[20] 长江存储科技有限责任公司（YMTC）晶栈 Xtacking 4.0 架构白皮书及高堆叠 TLC/QLC 企业级 eSSD 技术规范

[21] Kioxia Holdings (285A.JP) FY2026 Q2 Financial Results & Investor Day 2026: Revenue 2.48T JPY, OPM 80.2%, ROIC 102% & Stock Price Divergence Analysis

[22] SanDisk Corporation (SNDK) 2026Q3 Earnings Release: Revenue $11.03B, Non-GAAP Gross Margin 85.1% & Enterprise NAND Bit Shipment Report

[23] 澜起科技股份有限公司（688008.SH）2026 年三季报及 JEDEC DDR5 MRCD/MDB（12,800 MT/s MRDIMM）、PCIe 6.0 Retimer、CXL 内存扩展控制器技术文档

[24] 寒武纪（688256.SH）、海光信息（688041.SH）2026 年第三季度报告（存货、预付款项 58 亿锁单与合同负债全链路财务核验）

[25] 科创板 76 家半导体与集成电路上市公司 2026 年三季报全景财务数据库（总营收 +88.16%、利润幂律分布与 Fabless 经营现金流剪刀差）

[26] 华为技术有限公司：《昇腾 CloudMatrix 384 / 4096 超节点全光互连架构与 CANN 异构计算白皮书》（2026）

[27] DeepSeek-AI (2025–2026), 'DeepSeek-V3 / R1 Technical Report: Multi-Head Latent Attention (MLA), PTX-Level Kernel Optimization & DualPipe Communication'

[28] 智谱华章（Zhipu AI）& 清华大学 KEG 实验室：GLM-5.3 百万上下文多智能体工作流（Agentic Workflow）与 HiSparse 三级存力卸载实测账本

[29] Open Compute Project (OCP) Global Summit 2026 Specifications: ±400V / 800VDC High-Voltage Rack Power Architecture & UQDB v2.0.0 600N Blind-Mate Liquid Cooling

[30] Vertiv Holdings (VRT), Quanta Computer (2382.TW), Wiwynn (6669.TW) & Foxconn (2317.TW) 2026Q3 Reports: GB200/GB300 NVL72 Rack Integration & L0–L5 Testing

[31] U.S. Department of Energy (DOE) & Wood Mackenzie (2026), 'Large Power Transformers (LPT) Supply Chain Assessment: 120–160 Week Lead Times & GOES Steel Bottleneck'

[32] PJM Interconnection & ERCOT (Texas) 2026/2027 Capacity Market Auction Results (+800% Price Surge) & Texas Data Center Moratorium Policy Analysis

[33] Federal Energy Regulatory Commission (FERC) Order Rejecting Amazon-Talen Susquehanna Nuclear Co-Location Amended ISA (Nov 2026) & Microsoft-Constellation Three Mile Island PPA

[34] GE Vernova (GEV) & Siemens Energy 2026Q3 Heavy-Duty Gas Turbine Backlog Reports (Sold Out Through 2029)

[35] CoreWeave Inc. S-1 / Debt Offering Memoranda & DTCC Credit Default Swap (CDS) Market Data: $29B Total Debt/Lease Obligations, 7.5x Net Debt/EBITDA & 1100bp 5Y CDS Spread

[36] Wall Street Private Credit AI Infrastructure Monitor (Blackstone, Magnetar, Carlyle GPU-Backed Loan Covenants & DSCR Stress Tests, 2026)

[37] 2026 年 11 月 3–5 日美股费城半导体指数（.SOX 回撤 -38.24% 触及 9,051 点）、3 倍杠杆 ETF（SOXL 暴跌 85.4%，尾盘 28.66 亿美元机械再平衡砸盘）交易台微观结构复盘

[38] Bank of Korea (韩国央行), 'Macroeconomic Impact Stress Test of Global Semiconductor Price Mean-Reversion in 2027–2028' (Nov 2026)

[39] SEMI (2026Q4), 'World Fab Forecast Report: 2025–2028 Global 300mm Wafer Fab & Advanced Packaging CapEx and Cleanroom Startup Timeline'

[40] TrendForce / DRAMeXchange (2026Q4), 'Global Server DRAM, HBM3E/HBM4 & Enterprise SSD Contract vs. Spot Price Momentum Index'

[41] Ajinomoto Co., Inc. (2802.T) FY2026 Functional Materials Segment Report: ABF (Ajinomoto Build-up Film) Capacity for CoWoS & AI Server Substrates

[42] Hanmi Semiconductor (042700.KS) & ASMPT 2026 TC Bonder and Hybrid Bonding Equipment Delivery Schedule for HBM4 16-Hi Stacks

[43] Tesla, Inc. AI Day / Autonomy Event 2026: FSD V14 End-to-End VLA Network, Cybercab Robotaxi Fleet Economics & Optimus Gen3 28-Actuator BOM Analysis

[44] NVIDIA Drive Thor (2000 TOPS) & Physical AI Isaac GR00T Foundation Model Architecture Specification (2026)

[45] 蔚来神玑 NX9031、小鹏图灵芯片、理想马赫 100 及地平线征程 6P（J6P）车规级端到端智驾芯片流片与独立分拆商业化报告（2026）

[46] Rollvis SA (Switzerland), GSA & SKF Group High-Precision Planetary Roller Screw Technical Catalog & Humanoid Robot Linear Actuator Thermal Demagnetization (120°C) Study

[47] 绿的谐波（688017.SH）、北特科技（603009.SH）、贝斯特（300580.SZ）、三花智控（002050.SZ）2026 年具身智能机器人执行器与行星滚柱丝杠量产进展

[48] 佰维存储（688525.SH）、江波龙（301308.SZ）、兆易创新（603986.SH）、德明利（001309.SZ）2026 年三季报及利基型 DRAM / NOR Flash 周期对比

[49] 英维克（002837.SZ）、思源电气（002028.SZ）、金盘科技（688676.SH）2026 年三季报：算力中心全链条液冷与北美数据中心变压器出海订单核验

[50] IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC 2026), 'Physical Limits of Analog Compute-in-Memory (CIM) vs. HBM4 & Wafer-on-Wafer 3D DRAM Thermal/Yield Bottlenecks'

STATUTORY FILINGS × SYSTEM ARCHITECTURE × SUPPLY CHAIN VERIFICATION

研究方法论、数据核验口径与核心产业判断

C1 · 跨国会计财年与拆股除权口径严格校准（STATUTORY & CORPORATE ACTION CALIBRATION）

美光 FY26Q4、铠侠 FY26Q2、Lumentum FY27Q1 及台积电、海力士、长鑫、寒武纪、海光、澜起统一校准至 2026Q3/Q4 最新法定口径，并精确还原 SOXX 1 拆 3 除权与 Marvell×Lumentum 1,150 亿美元企业价值正式合并条款。

C2 · 五维公开数据交叉验证（FIVE-DIMENSIONAL PUBLIC VERIFICATION）

综合比对宏观海关出口统计（韩国 MOTIE 10 月 564.4 亿美元芯片出口）、晶圆与封装扩产日历（SEMI/TSMC OIP）、DRAMeXchange/LightCounting、北美 ERCOT/PJM 电网队列及 DTCC CDS 数据。

C3 · 熊彼特三周期嵌套与 31 年历史基准（TRIPLE-CYCLE & 31-YEAR ARCHIVE）

严格区分影响短期波动的基钦二阶导（$\partial^2P/\partial t^2$）与杠杆 ETF 再平衡流、决定中期产能边界的朱格拉设备周期，以及康德拉季耶夫技术长波。

C4 · 第一性原理工程物理标尺（FIRST-PRINCIPLES VERIFICATION）

坚持热力学结温极限、良率连乘定律、光功率链路预算与设备真实经济折旧寿命四项客观工程标尺，理性审视各细分技术路线的产业化边界。

非商业免费分享与免责声明：本报告由「Yavin 质观」基于公开技术文献、学术顶会论文、国际通用行业统计及上市公司法定披露文件独立整理，仅作个人公开研究免费交流分享，非商业用途。报告内容在任何情况下均不构成任何证券投资建议、个股评级、目标价预测或商业采购依据，读者应当独立判断并自行承担风险。