

# 钢的瓶颈不在吨位 而在合格激光芯片

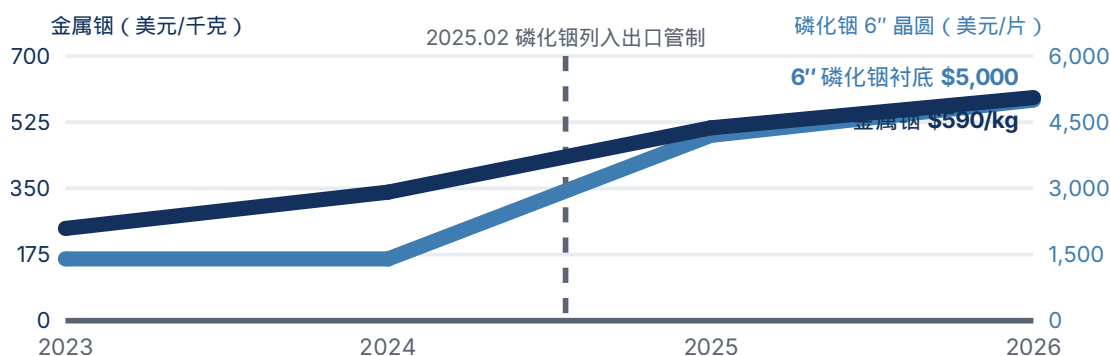
当 AI 集群迈向 800G/1.6T，真正稀缺的不是金属钢，而是能转化为合格磷化铟激光器芯片的有效供给——叠加逐单出口许可，少量物理紧张被放大为算力集群的交付延迟。

## 01 核心观点

钢的瓶颈不是金属吨位，而是能转化为合格磷化铟激光器芯片的有效供给；叠加逐单出口许可，少量物理紧张被层层良率与审批放大为 AI 集群的交付延迟。

- 01 吨位是误导。** AI 光互连 2026 年铟当量需求约 6.8 吨，仅占精炼铟 0.6%；瓶颈在提纯—单晶—衬底—外延—EML 的多级良率，而非金属。
- 02 价值向转化迁移。** 管制后 6" 磷化铟晶圆涨 ~250% 至 ~\$5,000，金属铟仅涨一半；\$1,400 的 1.6T 模块含铟金属仅 ~\$0.08。
- 03 许可即开关。** 磷化铟逐单审批 ~60 工作日；AXT 磷化铟季营收被拉锯（\$3.6M→\$13.1M→\$8M），是吞吐而非产能定交付节拍。
- 04 硅光不去铟，只搬铟。** 1.6T 硅光以 2-4 颗 InP CW 替 8 颗 EML，减半不归零；唯一真去铟的 GaAs VCSEL 仅走短距。
- 05 二阶受益在产能。** 非中国衬底扩产（Coherent 6"、HieFo）、回收、储备（DLA ~\$125M）、英伟达 \$4B 绑定 Coherent/Lumentum。

### 稀缺不在金属铟，而在磷化铟晶圆与出口许可



来源：USGS、SMM、Reuters、SemiAnalysis、Digitimes、K Research 整理，数据截至 2026年6月（E 为估计）

BEAR · 20%

**紧张缓解**

替代提速、审批常态化

BASE · 55%

**结构性紧平衡**

金属充足、转化与外延偏紧

BULL · 25%

**季度级缺口**

许可再延+1.6T 放量+列管

## I 02 产业链全景

### 从锌副产到 AI 激光器：三个真瓶颈决定吞吐

锌精矿 → 粗钢 → 7N 电子级提纯 → InP 单晶/晶锭 → 6" 衬底 → 外延 → EML 激光芯片 → 800G/1.6T 光模块



#### ◆ 三个真瓶颈（金边深蓝节点）：

- ① 7N 电子级提纯——纯度门槛，玩家 ≤5；
- ② 6" InP 衬底——良率 70-75%、出口逐单许可
- ③ EML 激光芯片——管芯良率约 40%、200G/lane 为美日寡头

上游金属吨位充裕，但经四级良率折损与许可吞吐后，少量物理紧张被放大为高速光器件短缺

来源：USGS、Coherent、AXT、Lumentum、SemiAnalysis、公司公告，K Research 整理，数据截至 2026年6月

镉不是独立开采的金属，而是**锌闪锌矿（sphalerite）冶炼的副产品**，矿石含镉仅 1-100 ppm。这决定了它的第一性矛盾：**供给对价格几乎无弹性**——镉价翻倍不会让任何人为了镉去多炼锌，增量只能来自冶炼回收率的边际提升与 ITO 废料回收（约占供给四分之一）。中国占全球精炼镉产能约 61%、产量约 70%，是这条链条的天然闸口。

但 AI 真正的瓶颈不在金属，而在其后的**四级转化良率**：电子级提纯（7N，6N5 以上）玩家不超过五家；6" InP 单晶/衬底良率约 70-75%、且自 2025 年 2 月起出口需逐单许可；外延（MOCVD，Aixtron/Veeco 寡头）订单已排到 record backlog；最终的 200G/lane EML 管芯良率仅约 40%、且被美日厂商（Lumentum 等）寡头把持。每一级良率折损相乘，使上游充裕的金属吨位，在终端表现为高速光器件的硬缺口。

## I 03 供需与价格

### 供给端：中国一家占七成，伴生属性锁死弹性

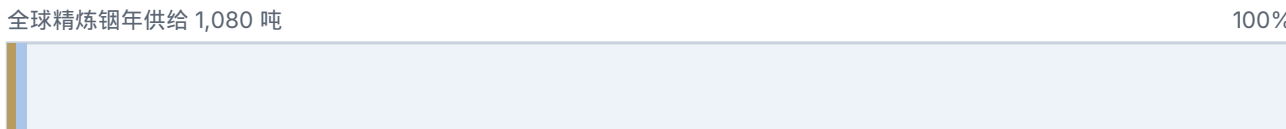


全球精炼钢 2024 年估计产量合计约 1,080 吨；伴生于锌冶炼，供给弹性极低

来源：USGS 《矿产品摘要 2025》（2024 年估计值），K Research 整理，数据截至 2026年6月

全球精炼钢年产量仅约 1,080 吨——不到全球精炼铜年产量（约 2,600 万吨）的两万分之一。这点体量叠加伴生属性，意味着供给曲线近乎垂直；价格信号无法有效拉动增量，只能通过抑制需求或释放回收/库存出清。

### AI 光互连钢当量：1,080 吨里的一道细缝



AI 光互连钢当量需求  $\approx$  6.8 吨（基准，0.63%）；牛市 16.6 吨亦仅 1.5%

吨位是四舍五入的零头——稀缺不在金属，在其后的转化与许可吞吐

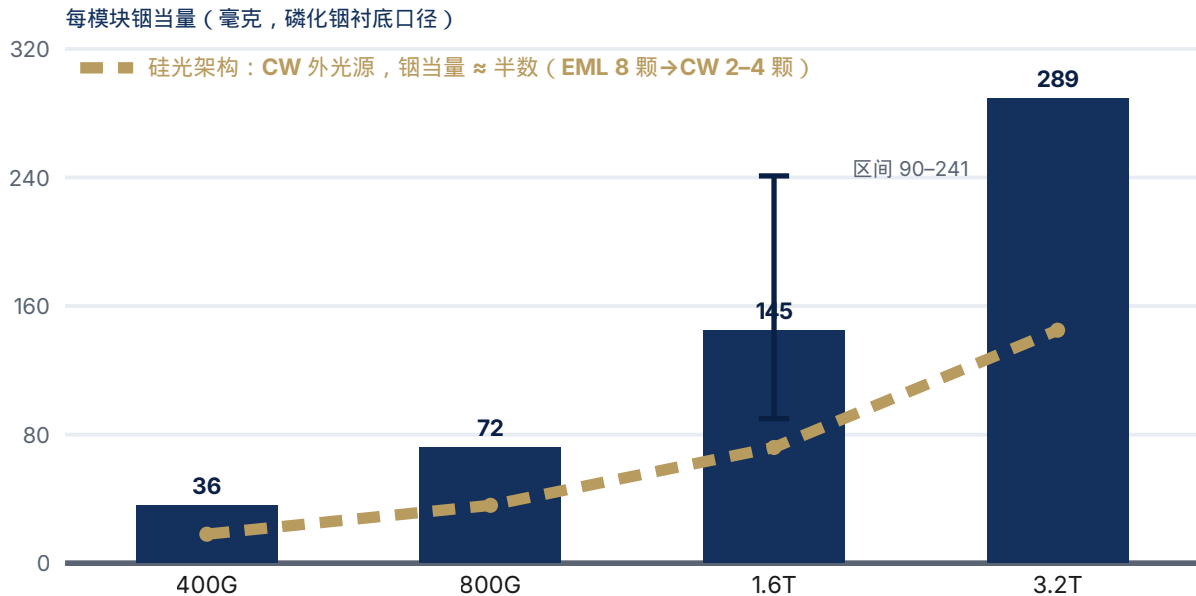
来源：K Research 自下而上测算（800G=4×200G EML、1.6T=8×200G EML、6" 衬底含钢 45.2g、良品管芯 2,500 颗/片基准），交叉 Signal AI/LightCounting 出货区间，数据截至 2026年6月

#### 反共识

市场把钢当作“LCD/ITO 小金属”，又担心“AI 把钢买爆”。两者都错位：AI 光互连的钢吨位是零头（基准 0.63%），但它高度集中在高纯度与磷化钢转化环节。结论：做多“钢金属价格”是错配的交易；真正的稀缺租金在 InP 衬底、外延与 EML 良率，以及决定其吞吐的出口许可。

## I 04 技术路线

### 速率翻倍，铟当量翻倍；硅光只是搬铟不去铟



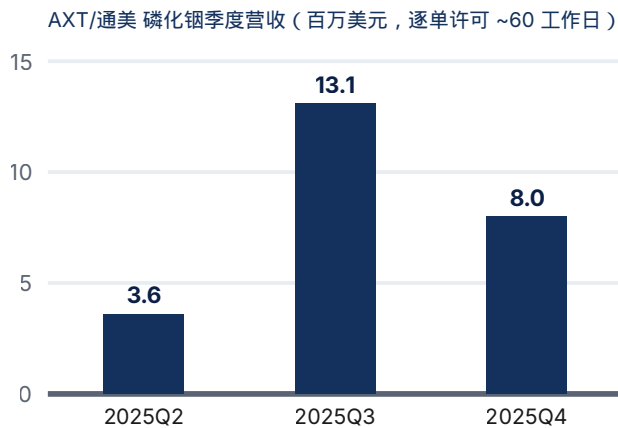
来源：Coherent、Lumentum 器件资料与产业拆解，K Research 测算（铟当量为衬底口径，含良率折损分摊）；1.6T 区间反映管芯尺寸与良率假设，数据截至 2026年6月

物理上，800G（4×200G）到 1.6T（8×200G）每条 lane 各需一颗 EML，InP 用量随速率线性翻倍，3.2T（16 lane）再翻一倍。这是需求端最确定的结构性增量。

关键的反共识在替代路径。**硅光（SiPh）不消灭 InP，只是重新安置它**：硅不能发光，硅光模块仍要 2-4 颗 InP CW 外光源，单模块激光成本从 EML 的约 \$80-100 降到 \$20-40，铟用量减半但不归零；且密度越高、部署越广，系统级 InP 需求往往不降反升。**薄膜铌酸锂（TFLN）与聚合物调制器**同理——它们替代的是调制器，光源仍是 InP。唯一真正“去铟”的是 **GaAs 基 VCSEL**，但其多模、短距特性只适用机柜内 scale-up；机柜间单模长距仍由 InP（EML 或 InP-CW+硅光）承担。替代的尽头，仍是磷化铟。

## I 05 政策与催化

### 许可即开关：磷化铟营收随审批节奏剧烈摆动



来源：AXT 季报、Semiconductor Today, K Research 整理，数据截至 2026年6月

2025 年 2 月 4 日，商务部 10 号公告将**磷化铟 (HS 2853904051)** 及前驱体三甲基/三乙基铟 (HS 2931900032) 列入出口管制，沿用镓锗 (2023.08)、锑 (2024) 的剧本。

每一笔订单需单独许可、约 **60 个工作日**。AXT (AXTI) /通美自 6 月 11 日起获首批许可，季度磷化铟营收随之 **\$3.6M→\$13.1M→\$8M** 大幅拉锯——许可吞吐成为交付节拍器。

### 政策博弈与二阶效应

金属铟本身尚未列管，但 Reuters 报道海关审查趋严、已要求欧洲买家披露最终用户与地理位置——这是走向列管或最终用户穿透的前奏。一旦金属铟入管制，紧张将沿链条向上再加一档。催化与受益正在显性化：**英伟达 (NVDA) 3 月斥资 \$4B 绑定 Coherent (COHR) /Lumentum (LITE)** (各 \$2B) 锁产能；**Coherent 6" InP 产线获 CHIPS 意向 \$50M**、单片产出 4 倍且死片成本降逾 60%；美国 **DLA 约 \$125M 高纯铟招标** (拟采约 222 吨、近一年消费量)；加州 HieFo 复产、回收体系扩张。稀缺租金正流向**非中国转化产能**，而非铟矿端。

## I 06 情景与风险

### 三情景矩阵：概率加权下，基准是“高位紧平衡”，尾部在许可与列管

维度	BEAR · 20%	BASE · 55%	BULL · 25%
核心假设	替代提速、库存充足、审批回归常态	金属充足，高纯转化与外延持续偏紧	许可再延长+1.6T 放量+金属铟被列管
关键变量	1.6T 出货 ~5M/许可 <30天/6" 晶圆回落至 ~\$3,000	1.6T ~10M/许可 ~60天/6" 晶圆 ~\$5,000	1.6T ~20M/许可 >90天/金属铟入管制目录
结果区间	InP 紧张缓解，价格高位回落	结构性紧平衡，高位震荡	电子级铟与 InP 衬底季度级缺口
概率	20%	55%	25%
触发信号	衬底交期连续两季缩短	季度许可获批量稳定、EML 良率 <50%	金属铟列管、InP 交期破 12 个月

来源：K Research 情景框架，概率为主观估计，三者合计 100%；数据截至 2026年6月

### 我们错了的信号

- 磷化铟 6" 衬底交期与价格连续两个季度下降 2026Q4 前
- 1.6T 模块实测 InP 用量显著低于 8 颗 EML（环调/VCSEL 主导） 2026Q4 前
- 主要厂商 InP 库存超 12 个月且许可无实质延迟 2027Q1 前
- 硅光/TFLN 在头部客户批量替代且 CW 光源亦去 InP 化 2027H1 前
- 金属铟现货跌破 \$400/kg 且出口恢复常态 2026Q4 前

### 风险清单

1. **替代加速**——硅光/VCSEL/TFLN 渗透快于预期——监测：1.6T 中硅光份额、VCSEL 在 scale-up 占比
2. **政策反转**——中美关税缓和、审批放量——监测：MOFCOM 许可获批率与时长、金属铟列管与否
3. **需求证伪**——AI 资本开支放缓、1.6T 推迟——监测：云厂 CapEx、Signal/LightCounting 1.6T 出货
4. **双重订购**——渠道超额下单致虚高库存——监测：模块厂库存天数、预付款比例
5. **估值拥挤**——InP/光模块标的持仓拥挤——监测：拥挤度、AXT/Coherent/Lumentum 估值分位

## 07 结论与行动

把“钢供需平衡”重写为“可转化为合格激光器芯片的有效钢供给”：少做多金属钢、多盯磷化钢衬底/外延/EML 良率与出口许可吞吐，以及押注非中国转化产能与回收的二阶受益者。

### 接下来盯什么

#### 2026Q3

OFC/ECOC 与各厂季报

Coherent/Lumentum/AXT 的 InP 排产、许可获批量与 EML 良率口径

#### 2026Q3-Q4

MOFCOM 许可节奏

逐单审批时长是否突破 60 天；金属钢是否进入管制或最终用户穿透

#### 2026Q4

1.6T 放量验证

Signal/LightCounting 出货与硅光/EML 架构占比，校准钢当量斜率

#### 2027

非中国转化产能落地

Coherent 6" (CHIPS)、HieFo、住友/JX 扩产与 DLA 储备到货



扫码进入口罩哥知识星球

解锁全部 K Research 独家研报

本报告由 K Research 独立制作，所载信息均来源于公开资料，K Research 不对其准确性与完整性作任何保证。报告内容仅代表制作时点的研究观点，不构成任何证券、加密资产或其他金融产品的投资建议，亦不构成任何买卖要约。投资者据此操作，风险自担。市场有风险，投资需谨慎。本报告版权归 K Research 所有，未经书面授权，任何机构和个人不得以任何形式转载、复制或引用。