2026 年 02 月 28 日

计算机行业研究

买入（维持评级）

行业专题研究报告

证券研究报告

计算机组
分析师：刘高畅（执业 S1130525120005） liugaochang@gjzq.com.cn
分析师：郑元昊（执业 S1130525120004） zhengyuanhao@gjzq.com.cn
联系人：孙恺祈 sunkaiqi@gjzq.com.cn

消费电子 3D 打印迎加速契机

行业观点

- **上游：钛粉工艺改良驱动成本大幅改善，牵引 3D 打印钛粉需求量激增。**
  传统铸锻钛合金生产工艺复杂，成本高，严重限制了钛合金的应用，粉末冶金技术制备钛合金降低了生产成本。粉末冶金法背景下，传统气雾化法的单位可用钛粉成本≈总粉量的雾化全流程成本÷可用粉量；氢化脱氢+球化法下，单位可用钛粉成本≈（氢化脱氢成本+球化成本×目标粉量）÷目标粉量。因而在雾化得粉率较低的情况下，新工艺路线通过将低成本、高得粉率的固态制粉工艺与高端球形化工序进行功能解耦，使高能耗、高成本环节仅服务于目标粒径粉末，从而在提升可用得粉率的同时，显著摊薄单位可用钛粉成本。据《Titanium Powder: Properties, Production Methods, and Industrial Applications》，3D 打印一般需要颗粒 15-45 微米、球度>90%的钛粉，氢化脱氢+球化法制备的钛粉相较传统气雾化球形粉末降本 60-70%。产业信号层面，北美 IperionX 公司基于 HAMR 技术革新传统钛废料回收利用流程，得粉率高达 85-95%，价格由过去 75 美元/kg 降至 55 美元/kg，目前钛粉产能约 200 吨，计划 2027 年扩产至 1,400 吨。据南极熊，国内 3D 打印用钛合金粉末的价格已经从 2023 年的 600 元/kg 降到 2024 年的 300 元/kg 以下，3R 思锐的再生 TC4 钛合金粉有望降至 200 元/kg。
- **中游：3D 打印机三重效率通胀牵引设备环节业绩进入爆发期。**
  3D 打印机三重效率通胀驱动制造环节进一步降本。1）激光器打印效率提升：2000W 光束整形激光器，让粉末床融合 3D 打印速度提高 3 倍。华曙高科于 2025 年 TCTASIA 展业内首发自研光束整形技术，采用大功率激光器与环形光斑设计，结合大层厚工艺及优化扫描线间距，适配不锈钢、钛合金等多种金属材料，零件致密度超 99.95%。同等激光器数量下，150μm 层厚环形光斑打印效率较 60μm 层厚高斯光斑提升 1.5-2.5 倍，其中钛合金效率提升 245%、铝合金 236%。2）激光器数量提升：从双激光到 64 激光。十多年前，尼康发布其双激光器 SLM 280 系统。目前，尼康 SLM Solutions 的旗舰机型是一款配备 12 台激光器、构建体积为 600 x 600 x 600 毫米的选择性激光熔化系统，总激光功率高达 12KW。2024 年，易加三维在 TCT 亚洲展上发布了其全新 EP-M2050 系统，该系统初始配置 36 台激光器，并可扩展至 49 台或 64 台。此外，铂力特和华曙高科等行业领导者也迅速跟进，通过增加激光器数量，满足大型零部件打印需求，同时提高生产效率。3）打印机尺寸提升：华曙高科推出 197L 建造体积大尺寸高效率连续增材制造系统，通过更大成形尺寸、工艺革新、CAMS 连续生产等核心优势，破解大尺寸复杂构件在精度、效率与成本上的制造瓶颈。
- **下游：消费电子 3D 打印迎加速契机，空天、AI、机器人等构建多增长极。**
  全球消费电子大客户正加速将 3D 打印钛合金应用在折叠屏手机铰链、钛合金边框、智能穿戴等精密部件中。我们认为，伴随消费电子、空天、AI、机器人等产业不断突破创新边界，传统制造工艺已临近上限，难以满足散热、轻量化等实际需要，亟需 3D 打印技术突破传统上限，多维需求爆发有望加速产业发展。
- **相关标的：**

  华曙高科、大族激光、飞沃科技、哈森股份、汇创达、银邦股份、铂力特等。

风险提示

- 下游应用拓展不及预期风险，原材料价格波动风险，技术路线迭代风险，地缘政治及汇率波动风险。

内容目录

一、上游：钛粉工艺改良驱动成本大幅改善，牵引 3D 打印钛粉需求量激增 3
二、中游：3D 打印机三重效率通胀牵引设备环节业绩进入爆发期 6
三、下游：消费电子 3D 打印迎加速契机，空天、AI、机器人等构建多增长极 9
四、相关标的 14
风险提示 14

图表目录

图表 1： 粉末冶金法下的钛粉制备工艺 3
图表 2： 氢化脱氢+球化法 VS 传统雾化法 4
图表 3： 传统雾化法钛粉得粉率均低于 50% 4
图表 4： IperionX 基于 HAMR 技术革新传统钛废料回收利用流程 5
图表 5： 3D 打印对于钛粉需求有望快速增长 5
图表 6： 3D 打印产业覆盖打印材料、设备、服务等诸多环节 6
图表 7： 多激光器方案可兼顾打印复杂几何结构的灵活性和高效性 7
图表 8： 多激光器方案可兼顾打印复杂几何结构的灵活性和高效性 8
图表 9： 3D 打印头部厂商业绩进入爆发期 8
图表 10： 超薄均热板能够高效消除局部热点，保障高功率柔性电子设备稳定运行 9
图表 11： 手机散热中均热板二维热传导效果优于热管一维热传导 9
图表 12： Apple Watch Ultra 3 和 Series 11 采用 3D 打印打造边框节约 50%的原材料 10
图表 13： 华为 Mate 系列钛合金中框通过 3D 打印实现减重 10
图表 14： 苹果 iPhone Air USB-C 接口采用 3D 打印技术 10
图表 15： 使用 3D 打印技术制造的燃烧室及弹载复杂内流道高效控温构件 11
图表 16： 典型 8 节点 IsoTruss 结构及实物如图所示，可通过点阵结构设计的散热部件实现高效热管理 11
图表 17： SpaceX 猛禽第一至三代发动机外观对比，管路显著减少，结构、外形发生明显简化 11
图表 18： AMDE 发动机中推力室、涡轮泵等主要零部件均采用增材制造。零件数量由 225 个减少到 6 个 11
图表 19： 德国 Fraunhofer 研究所和德累斯顿工业大学合作研发的 3D 打印塞式喷管发动机，紧凑设计减轻发动机重量，因而比传统发动机节省约 30%的燃料 12
图表 20： 增材制造轻量化 TC4 钛合金金属支撑结构，提高了构件的疲劳性能和高温强度 12
图表 21： 3D 打印从提质、降本、减重三重维度回应单位时间更多卫星发射数量诉求 13
图表 22： 流道拓扑优化后可以显著提升散热性能 13
图表 23： 传统冷板制造需要进行焊接，性能弱于 3D 打印一体成型 13
图表 24： 3D 打印制造轻量化弹性体为 IRON 机器人塑造 “肌肉” 14
图表 25： Kengoro 机器人使用金属 3D 打印打造多孔框架为全身电机降温 14

一、上游：钛粉工艺改良驱动成本大幅改善，牵引 3D 打印钛粉需求量激增

钛及钛合金因具有密度低、强度高、耐腐蚀、生物相容性好等特点被广泛应用于军事、航空、医疗等领域。传统铸锻钛合金生产工艺复杂，成本高，严重限制了钛合金的应用，粉末冶金技术制备钛合金降低了生产成本。

钛合金的制备工艺主要分为传统熔铸法和粉末冶金法。前者受限于繁复的开坯锻造、高温下杂质控制难度大、加工温度范围窄等问题造成利用率低、生产成本高；后者有效避免了上述问题。

- 传统熔铸法：由于钛的熔炼温度一般为 1800～2000℃，钛在高温下比较活泼，活性较高，在熔炼过程中易与坩埚材料发生反应，制备的钛合金中存在夹杂、成分偏析等问题，而且在小于 882.5℃时，钛的晶格结构为密排六方，变形抗力大，热加工温度范围窄，加工困难。此外，由于熔铸钛合金的组织粗大，必须经过繁复的加工锻造以保证其综合性能，造成铸锻钛合金的利用率低，生产成本高。
- 粉末冶金法：以金属粉末为原料，通过成形、烧结获得最终制品的工艺，具有近净成形的特点。利用粉末冶金技术制备钛合金减少了繁复的开坯锻造过程，同时通过近净成形制坯，能缩短后续塑性加工环节，从而简化生产流程，提高材料利用率，使生产成本大幅度降低。粉末冶金钛合金具有晶粒细小、组织均匀、无成分偏析等优点

图表1：粉末冶金法下的钛粉制备工艺

制粉方法	原料	粉末形貌	工艺及粉末特点
氢化脱氢法	电解钛或海绵钛	不规则形状	成本低，工艺简单，粉末粒度范围宽，O、N 含量高
还原法	四氯化钛或二氧化钛	海绵形	O、N 等杂质含量低，纯度高，流动性好，需要后续分离过程
雾化法	钛丝	球形	杂质含量低，球形度好，粒度大小均匀，粒度较粗
射频等离子体球化法	氢化钛颗粒	球形	纯度高，表面形貌好，内部空隙少，流动性好，生产技术较难

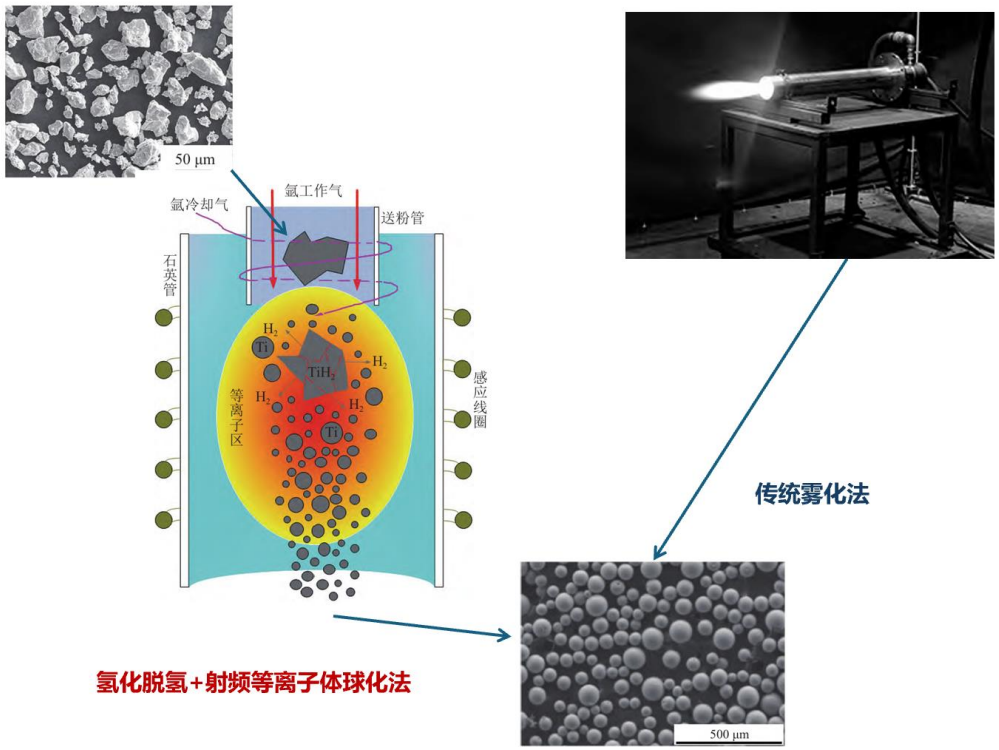
来源：《钛及钛合金粉末制备与成形工艺研究进展》，国金证券研究所

相比于传统雾化法，氢化脱氢+球化法的得粉率更高驱动大幅降本。氢化脱氢+球化法可以直接利用低成本的海绵钛或钛碎料作为原料，先通过氢化脱氢工艺低成本制备出不规则钛粉，再通过射频等离子体瞬间熔融使其球化，球化率可以达到 100%，细粉收得率＞80%，无空心粉，无卫星球，使得球形钛粉的价格大幅度降低。相比之下，传统雾化法很难制备 100 微米以下的钛粉，得粉率较低，因而成本较高。

换言之，我们认为：传统气雾化法下，单位可用钛粉成本≈总粉量的雾化全流程成本÷可用粉量；氢化脱氢+球化法下，单位可用钛粉成本≈（氢化脱氢成本+球化成本×目标粉量）÷目标粉量。因而在雾化得粉率较低的情况下，新工艺路线通过将低成本、高得粉率的固态制粉工艺与高端球形化工序进行功能解耦，使高能耗、高成本环节仅服务于目标粒径粉末，从而在提升可用得粉率的同时，显著摊薄单位可用钛粉成本。

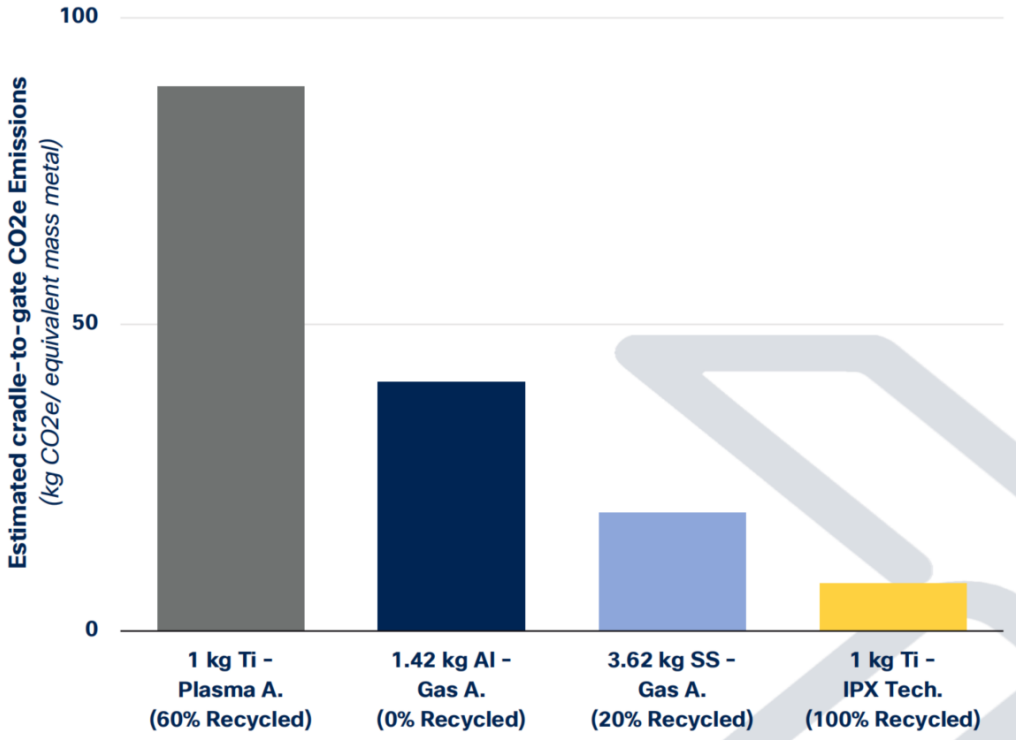
据《Titanium Powder: Properties, Production Methods, and Industrial Applications》，3D 打印一般需要颗粒 15-45 微米、球度>90%的钛粉，因而传统雾化工艺得粉率较低。原材料（钛海绵或废料）约占钛粉成本的 40-60%，钛粉价格根据品级、纯度和生产方式不同，氢化脱氢粉末的平均价格约为 75-120 美元/kg，而气雾化球形粉末约为 200-400 美元/kg，氢化脱氢+球化法制备的钛粉相较传统气雾化球形粉末降本 60-70%。

图表2：氢化脱氢+球化法 VS 传统雾化法



来源：《钛及钛合金粉末制备与成形工艺研究进展》，《等离子火炬雾化制备金属 3D 打印专用钛合金粉体技术分析》，国金证券研究所

图表3：传统雾化法钛粉得粉率均低于 50%



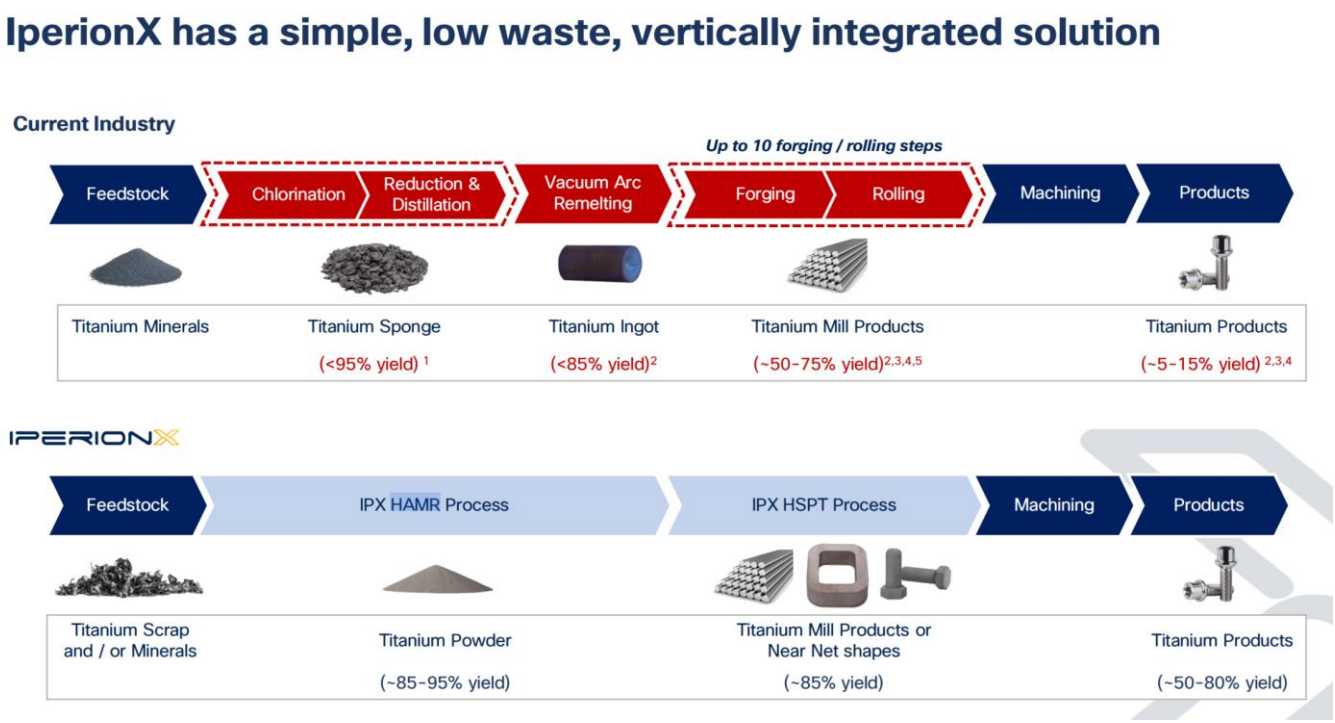
来源：IperionX IR PPT，国金证券研究所

IperionX 公司获得国防部用于钛生产和增材制造的 4,710 万美元资助。2026 年 1 月，IperionX

获得美国国防部资金资助，资金将用于扩建 IperionX 的钛制造园区，其中包括初级和二级冶金以及先进的制造技术。据该公司称，扩产将包括传统的半成品和用于 3D 打印的原料材料。

据 IperionX IR PPT，公司基于 HAMR 技术革新传统钛废料回收利用流程，得粉率高达 85-95%，价格由过去 75 美元/kg 降至 55 美元/kg，目前钛粉产能约 200 吨。根据公司向澳大利亚证券交易所提交的文件，公司已开始在其弗吉尼亚钛制造园区将钛产能扩大至每年 1,400 吨，该园区预计于 2027 年年中投入使用，此次扩建预计将耗资 7,510 万美元。

图表4：IperionX 基于 HAMR 技术革新传统钛废料回收利用流程

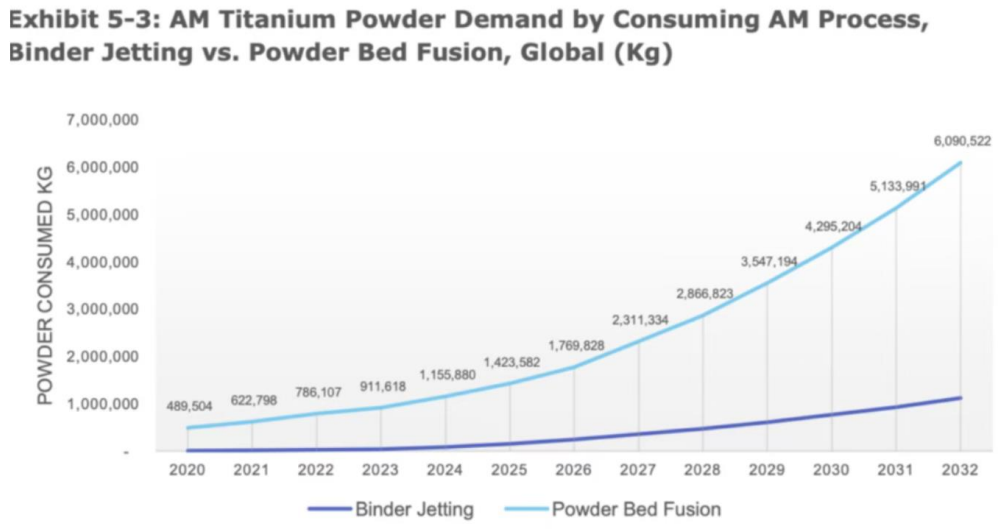


来源：IperionX IR PPT，国金证券研究所

据南极熊，国内 3D 打印用钛合金粉末的价格已经从 2023 年的 600 元/kg 降到 2024 年的 300 元/kg 以下，降幅高达 50%。据 3R 思锐，再生 TC4 钛合金粉有望降至 200 元/kg。

钛粉价格的大幅降低有望牵引下游应用百花齐放，据 AM Research《2024 年增材制造用钛粉》，钛 3D 打印粉末市场预计从 2023 年的 2.14 亿美元增长到 2032 年的 14 亿美元。

图表5：3D 打印对于钛粉需求有望快速增长

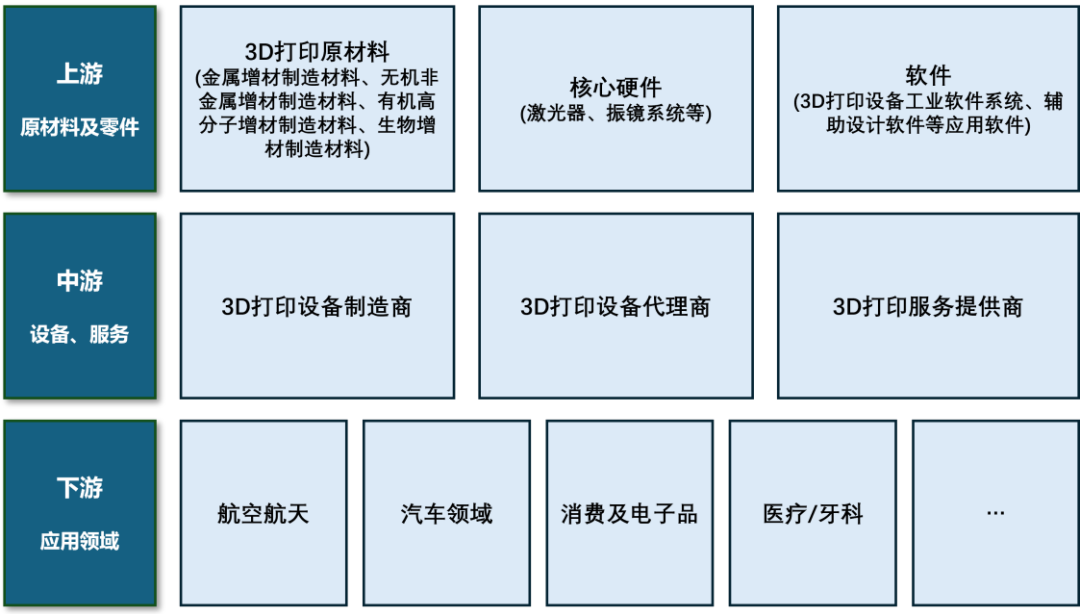


来源：南极熊 3D 打印，国金证券研究所

二、中游：3D 打印机三重效率通胀牵引设备环节业绩进入爆发期

按照产业链分工，3D 打印上游包括金属、高分子等打印材料，激光器、振镜系统等硬件，工业软件系统等软件；中游包括设备制造商、代理商、服务商；下游客户面向航空航天、工业、消费、医疗、科研等千行百业。

图表6：3D 打印产业覆盖打印材料、设备、服务等诸多环节



来源：华曙高科招股说明书，国金证券研究所

我们认为，3D 打印机三重效率通胀驱动制造环节进一步降本。激光器打印效率提升+激光器数量提升+打印机尺寸提升三重通胀之下驱动打印效率指数级释放，同时进一步压降制造成本。

- 激光器打印效率提升：2000W 光束整形激光器，让粉末床融合 3D 打印速度提高 3 倍。2024 年 11 月，高功率半导体和光纤激光器供应商 nLIGHT 宣布将在 Formnext 2024 展会上推出新型 CoronaAFX-2000 激光器。传统 3D 打印激光器通常采用高斯分布，这对工业级 3D 打印提出了挑战。德国弗劳恩霍夫增材制造技术研究所激光粉末床熔融部门负责人 Philipp Kohlwes 表示：“高功率激光的能量集中通常导致能量分布不均。如果激光中心的能量过高，可能会导致熔池不均匀，从而产生飞溅和质量缺陷。”

  金属 3D 打印中的激光束整形技术通过在烧结金属粉末之前调整激光束的形状来解决这一问题。这些调整后的光束轮廓可以使熔池中的能量分布更均匀，从而提高 3D 打印过程的稳定性。Kohlwes 强调，这种技术可以将过程稳定性提升 40%。nLight 表示，AFX-2000 采用创新的动态光束整形技术，能够提供高达传统激光器两倍的功率，同时保持生产过程的稳定性。高功率不仅提升了打印速度，还有效降低了高质量零件的生产成本，从而大幅提高了整体生产率。

  华曙高科于 2025 年 TCTASIA 展业内首发自研光束整形技术。目前该技术适配 FS721M、FS350M 等多款机型，实现国内外多台销售装机，未来将拓展至更多大型设备。该技术采用大功率激光器与环形光斑设计，结合大层厚工艺及优化扫描线间距，适配不锈钢、钛合金等多种金属材料，零件致密度超 99.95%。同等激光器数量下，150μm 层厚环形光斑打印效率较 60μm 层厚高斯光斑提升 1.5-2.5 倍，其中钛合金效率提升 245%、铝合金 236%。

- 激光器数量提升：从双激光到 64 激光。尼康 SLM Solutions 是最早推出多激光系统的公司之一。十多年前，该公司发布了其双激光器 SLM 280 系统。如今，SLM 280 已发展到第三代——SLM 280 PS，并被奥迪和布加迪等汽车制造商广泛采用。目前，尼康 SLM Solutions 的旗舰机型是 NXG XII 600，这是一款配备 12 台激光器、构建体积为 600 x 600 x 600 毫米的选择性激光熔化系统，总激光功率高达 12 千瓦。该设备已被 Divergent Technologies 和 GKN Aerospace 等企业采用，并且多家用户一次性安装了多台 NXG XII 600。2024 年，易加三维在 TCT 亚洲展上发布了其全新 EP-M2050 系统，该系统初始配置 36 台激光器，并可扩展至 49 台或 64 台，最大构

建体积达 2050x2050x1100mm，且 Z 轴高度可扩展至 2000mm。此外，铂力特和华曙高科等行业领导者也迅速跟进，通过增加激光器数量，满足大型零部件打印需求，同时提高生产效率。

根据英国制造技术中心（MTC）发布的报告，激光器在多激光系统中的相互作用是最大的技术挑战之一。如果不能有效优化激光器之间的“拼接”过程，可能会带来更多制造缺陷。MTC 增材制造高级研究工程师 Alex Hardaker 表示：“用户需要特别关注多个激光器之间的相互作用。不仅是激光器在单个零件上同时工作时的拼接问题，还要考虑气流是否会将一个熔池产生的烟雾或飞溅物带到另一个激光器区域。”这些因素及其对零件质量的影响都必须在认证过程中加以考虑，这也增加了测试的复杂性。此外，还需考虑多激光系统中校准漂移对设备长期运行的影响，并据此制定合理的校准周期，以确保零件的一致性。

图表7：多激光器方案可兼顾打印复杂几何结构的灵活性和高效性



来源：3D 打印资源库，国金证券研究所

- 打印机尺寸提升：华曙高科推出 197L 建造体积大尺寸高效率连续增材制造系统。

2025 年，华曙高科推出大尺寸高效率连续增材制造系统 FS721M-H-8-CAMS，通过更大成形尺寸、工艺革新、CAMS 连续生产等核心优势，破解大尺寸复杂构件在精度、效率与成本上的制造瓶颈。相较于 FS721M-8-CAMS 设备，其 Z 轴尺寸（含成形基板厚度）增加 67%，建造体积达 197L，不仅能实现复杂结构高精度一体化成形，确保大尺寸工件结构和性能的协同优化，而且可满足批量高效生产。

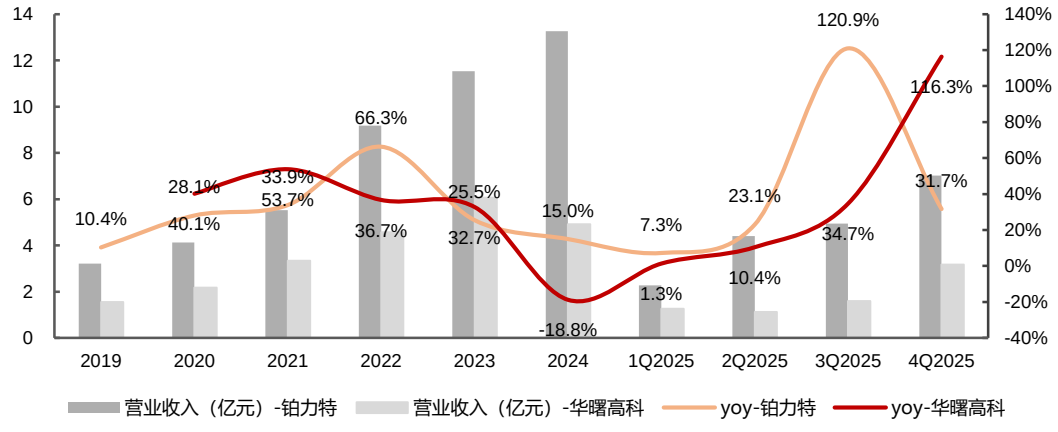
图表8：多激光器方案可兼顾打印复杂几何结构的灵活性和高效性



来源：南极熊 3D 打印，国金证券研究所

国内 3D 打印头部厂商受益打印机效率提升业绩释放进入爆发期。从营收规模看，华曙高科与铂力特均保持了长期的增长态势，3Q25 以来营收增速明确迎来拐点向上。

图表9：3D 打印头部厂商业绩进入爆发期



来源：ifind，国金证券研究所

三、下游：消费电子 3D 打印迎加速契机，空天、AI、机器人等构建多增长极

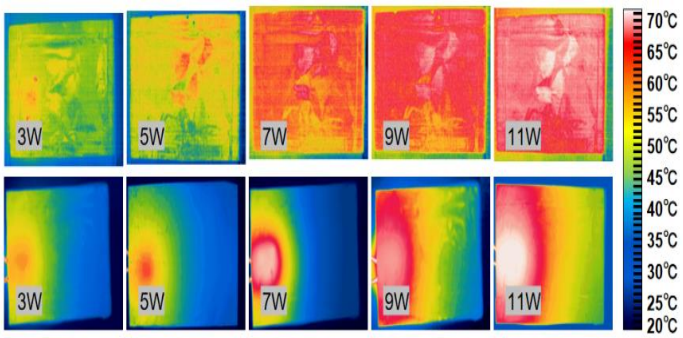
我们认为，伴随消费电子、空天、AI、机器人等产业不断突破创新边界，传统制造工艺已临近上限，难以满足散热、轻量化等实际需要，亟需 3D 打印技术突破传统上限，多维需求爆发有望加速产业发展。

1）3C 消费电子：突破钛合金加工与定制化瓶颈，有望开启大规模量产新纪元。在 3C 领域，随着折叠屏手机对轻薄化与耐用性的极致追求，钛合金成为铰链轴盖等关键部件的首选材料，金属 3D 打印凭其在难加工材料上的成本优势与复杂结构成形能力，已成为钛合金精密构件的主流制造方案。

端侧 AI 时代，传统工艺难以解决散热与轻量化的平衡难题。随着 AI 大模型在手机及 AIPC 等移动端落地，芯片瞬时的高算力会引发热流密度激增，与设备极致轻薄化的空间限制形成矛盾，必须依靠均热板高效气液相变导热机制保障高性能运转。传统工艺均面临问题，比如传统刚性金属均热板，难以适配折叠屏及可穿戴设备等形态的动态弯曲需求，聚合物基柔性方案则面临高温工况下，析出的不可凝气体会降低产品质量。

3D 打印赋能端侧 AI 设备热管理。面对超薄尺寸、柔性形态与高效散热难以兼顾的痛点，高精度 3D 打印利用微米级材料堆叠技术实现一体化成型，能够构建出耐受反复弯曲且结构连续的精密毛细芯，突破了传统工艺的制造束缚，成功制备出兼具优异机械柔性与热稳定性的超薄均热板，为新一代自适应柔性电子设备提供了关键的热管理解决方案。

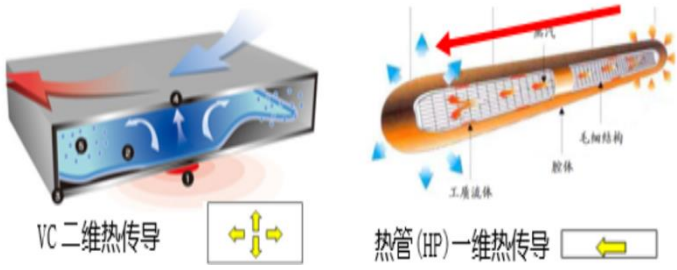
图表10：超薄均热板能够高效消除局部热点，保障高功率柔性电子设备稳定运行



来源：《High-precision additive manufacturing enabled ultra-thin flexible vaporchamber for adaptive and efficient electronic cooling》，国金证券研究所

（注：上图为超薄均热板）

图表11：手机散热中均热板二维热传导效果优于热管一维热传导



来源：华为官网，国金证券研究所

3D 打印破解钛合金加工难题，成为消费电子高端化关键。钛合金凭借优异的比强度与高端质感，成为消费电子摆脱同质化、迈向高端化的核心材料，然而其加工难度大导致的低良率与高成本限制了大规模应用。

- 传统 CNC 减材工艺，面临钛合金难切削、刀具磨损快、加工周期长、材料利用率低等成本难题。
- 3D 打印技术，具备极致设计自由度，可精准构建中空点阵、随形内腔，制造出传统工艺难及的轻量化形态；同时，3D 打印将钛粉利用率大幅提升至 95%以上，在有效摊薄原材料损耗成本的基础上，更通过一体化成型设计消除了多组件拼装产生的公差累积与连接失效风险，增强了精密结构件的整体可靠性。

国内外头部手机大厂，不约而同选择 3D 打印赋能创新落地。

- OPPO Find N5：该旗舰折叠屏机型首次深度应用国产 SLM 技术打造钛合金铰链，其铰链关键部件厚度从 0.3mm 突破至 0.15mm，由此实现铰链翼板强度提升 120%、外转轴中框抗冲击与跌落性能提升 100%、铰链整体刚度提升 36%，整机折叠态厚度同步压缩至 8.93mm。
- 荣耀 Magic V2：作为全球首款将 SLM 技术用于折叠屏铰链轴盖的量产机型，成功消除多部件组装公差，为整机闭合状态 9.9mm 的极致轻薄形态提供极佳支撑。铰链宽度在降低 27%的同时实现结构强度提升 150%，并完美通过 40 万次折叠寿命测试。

- 小米 Watch 5: 在可穿戴设备领域，小米推出了业内首款量产级 3D 打印钛合金表带，利用 SLM 技术构建出传统工艺无法实现的镂空晶格结构。得益于复杂几何成型能力，该表带在保持极致强度的前提下将重量控制在 43g，较同体积不锈钢减重 50%并兼具透气排汗功能。
- 苹果多款产品：致力于推动制造工艺的系统性变革，正通过将 3D 打印技术从原型制作推向大规模量产。苹果已成功在 Apple Watch Ultra 3、Series 11 及新款 iPhone Air 的 USB-C 端口中应用 100%回收钛金属粉末进行批量化增材制造，不仅将原材料用量减少 50%，预计年省超 400 公吨钛，有力支撑“Apple 2030”碳中和目标。根据安徽增材制造科技报道，苹果在 iPhone 钛合金边框的试制中创新引入电子束熔化技术，成功构建内部点阵晶格结构，使边框吸能性能提升 50%。此外，苹果 iPhone Air USB-C 接口采用 3D 打印技术。

图表12：Apple Watch Ultra 3 和 Series 11 采用 3D 打印打造边框节约 50%的原材料



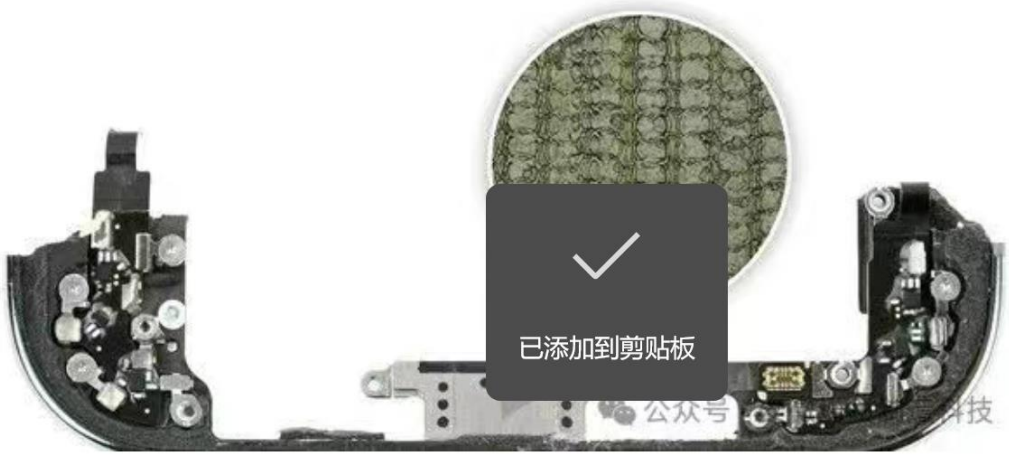
来源：苹果官网，国金证券研究所

图表13：华为 Mate 系列钛合金中框通过 3D 打印实现减重



来源：涟一 CMF 创新研究，国金证券研究所

图表14：苹果 iPhone Air USB-C 接口采用 3D 打印技术



来源：安徽增材制造科技，国金证券研究所

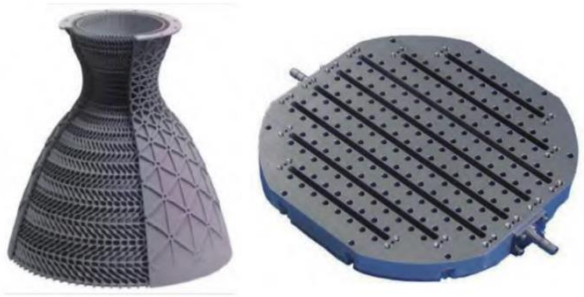
2）航空航天：与 3D 打印迭代速度快、一体化成形的特点强耦合，重塑空天时代。航空航天是全球 3D 打印主要下游应用，该领域对轻量化、复杂结构一体化成型有刚性需求，3D 打印技术能够突破传统制造在面对复杂硬性结构时的加工限制，实现设计及生产。此外，3D 打印无模具制造的特性大幅缩短了零部件的研发迭代周期，成为提升商业航天火箭运载能力降低发射成本的关键工艺，正加速从原型试制向规模化零部件生产跨越。

低轨星座“占频保轨”的国家战略目标对于火箭发射成功率、发射次数及单箭可载荷卫星数量均提出进步要求，分别对应火箭零部件生产制造的提质、降本、减重三大环节（计算公

式：卫星发射数量=发射成功率*发射次数*单箭卫星数量）：

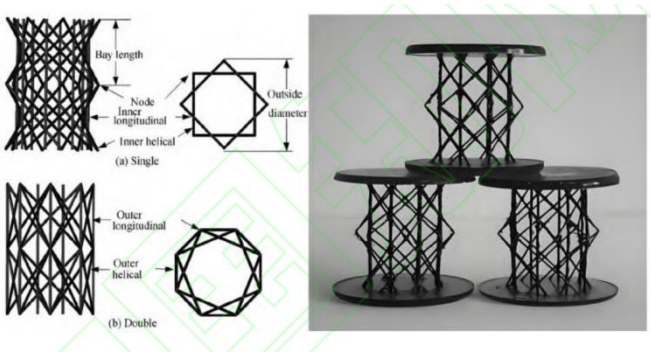
- 金属 3D 打印技术可使火箭复杂零部件的生产制造形状设计几乎不设限、焊接组装更结实，因而更能应对极端环境，实现“提质”。金属 3D 打印技术通过计算机控制系统，将金属粉末、线材逐层堆积来将设计模型，可实现复杂、灵活的零件建造，以应对太空更具有挑战性的场景（例如微重力、强辐射、真空、温度交变等极端工况），提升可回收火箭发射成功率。同时，传统火箭发动机制造方法需将推力室内壁、外壁和冷却通道分别制造后，通过钎焊或扩散焊连接；而 3D 打印可以直接制造出带有复杂内流道的推力室，通过一体化成型避免薄弱的连接处环节，显著提高部件极端工况下的结构完整性，延长服役寿命。此外，一些 3D 打印技术使用点阵结构，使部件具有更大的比表面积，易于散热，可实现高效的热管理（例如，一种典型 8 节点 IsoTruss 结构，在结构结实的同时易于透气散热，是制造火箭的良好材料）。

图表15：使用 3D 打印技术制造的燃烧室及弹载复杂内流道高效控温构件



来源：《航天领域金属 3D 打印技术发展方向与产业化建议》明宪良等，国金证券研究所

图表16：典型 8 节点 IsoTruss 结构及实物如图所示，可通过点阵结构设计的散热部件实现高效热管理



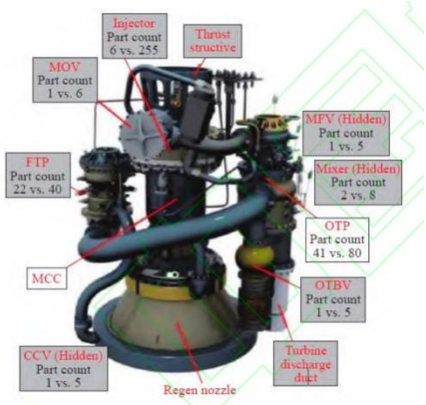
来源：《金属增材制造在火箭动力与结构系统中的集成》曲忠凯等，国金证券研究所

- 金属 3D 打印技术可以凭一体化成型减少多余管路、增材制造方式提高贵金属材料利用率、缩短生产周期提高周转率，实现火箭零部件的“降本”。3D 打印技术带来的零部件集成一体化，最直接的结果是减少管路、进一步降低成本。以 SpaceX 的猛禽（Raptor）系列发动机为例，单台 Raptor 3 仅 25 万美元，相比 Raptor 1 便宜了近 90%。同时，传统“减材”方式机械加工的材料利用率通常低于 20%，大部分材料变成了切屑；对比之下，增材制造则是近净成形技术，材料利用率可达 90%以上，可以显著降低火箭零部件生产的材料成本，对于昂贵的火箭制造原材料而言更加价格优势。此外，增材制造还可以减少工装夹具的使用，缩短制造周期，10 天即可生产出传统工艺需耗时 20 天生产的产品，效率翻倍。美国的 Relativity Space 公司通过采用 3D 打印技术，将其火箭零件数量从传统的 100,000 个大幅减少到约 1000 个，最大限度地减少了潜在故障点，能够在 60 天内打印和组装一枚火箭，而传统火箭通常需要 18 个月。

图表17：SpaceX 猛禽第一至三代发动机外观对比，管路显著减少，结构、外形发生明显简化



图表18：AMDE 发动机中推力室、涡轮泵等主要零部件均采用增材制造。零件数量由 225 个减少到 6 个

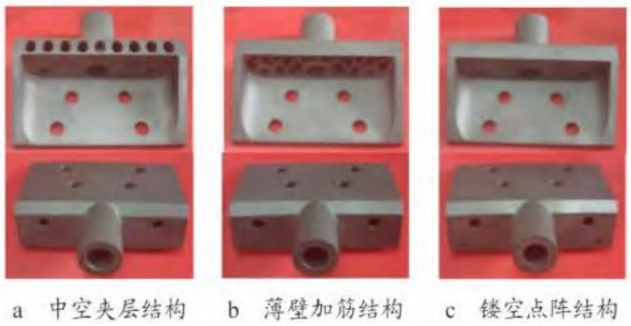


来源：SpaceX 官网，《航天领域金属 3D 打印技术发展方向与产业化建议》明宪良等，国金证券研究所

来源：《金属增材制造在火箭动力与结构系统中的集成》曲忠凯等，国金证券研究所

- “减重”是航天领域永恒的课题，3D 打印结合拓扑优化设计，能实现材料在空间中的精准分布，创造出最优轻量化结构。一方面，目前火箭部件中的，已采用 3D 打印一体化成型的方式生产制造。单从发动机看，英国罗罗公司所造 UltraFa 发动机的中间压缩机壳使用 3D 打印技术生产，呈现完全一体化结构，无复杂焊接件，且通过结构优化将零件从 855 个减少为 12 个；在成本节省 25%的同时，实现发动机重量减 5％、燃油效率提高 1％。同时，SpaceX 的猛禽发动机迭代后，同时实现了重量减少和推力提升：与 Raptor 1 相比，Raptor 3 单台重量减少 555kg，推力增加 51%。另一方面，拓扑优化也可通过有限元软件计算出最佳材料分布，去除冗余材料，使得传动结构达到传统设计 2-3 倍的刚度-重量比。在火箭系统中，结构减重能直接、有效地转化为运载能力的提升或发射成本的降低，经济效益显著，使得拓扑优化技术成为提升商业火箭核心竞争力的重要工程手段。

图表19：德国 Fraunhofer 研究所和德累斯顿工业大学合作研发的 3D 打印塞式喷管发动机，紧凑设计减轻发动机重量，因而比传统发动机节省约 30%的燃料



来源：《金属增材制造在火箭动力与结构系统中的集成》曲忠凯等，国金证券研究所

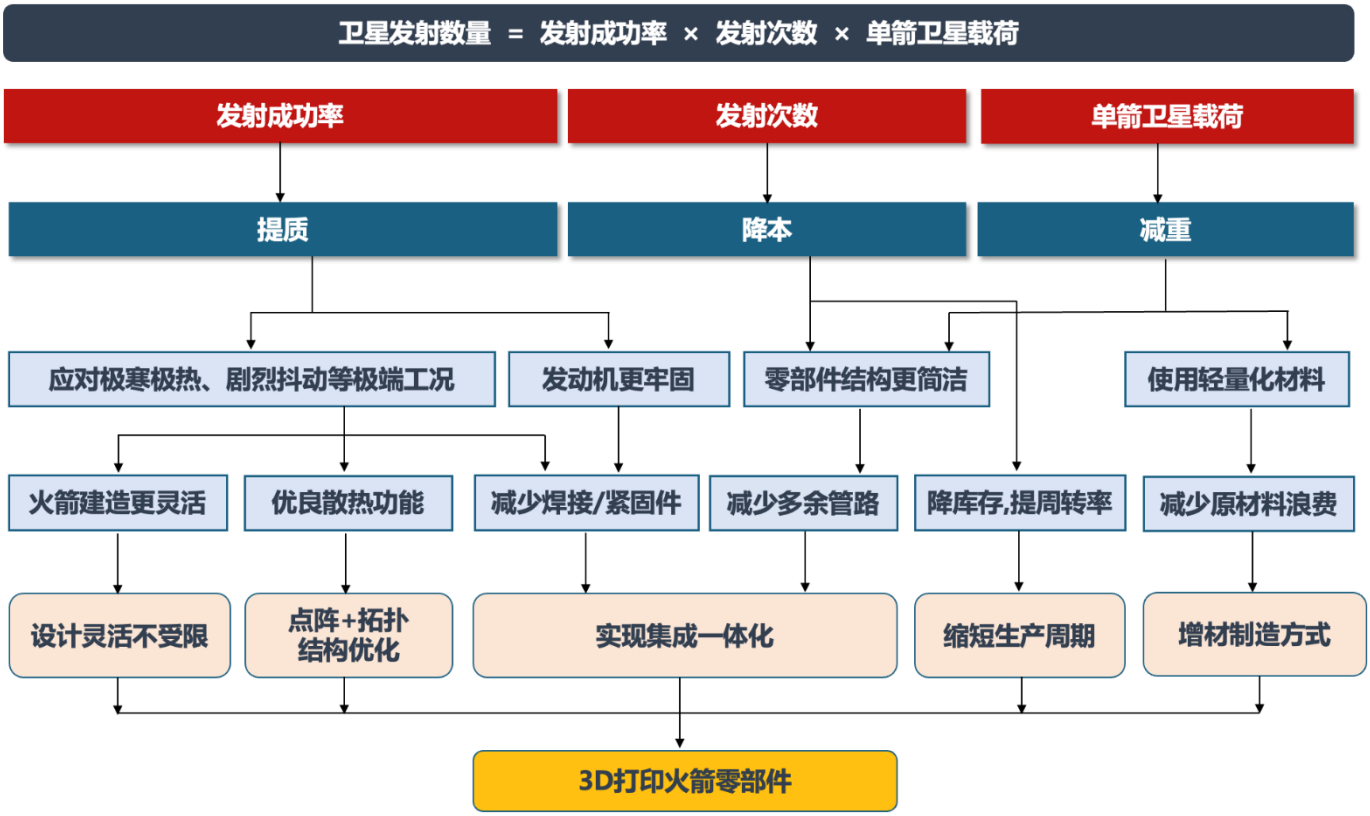
图表20：增材制造轻量化 TC4 钛合金金属支撑结构，提高了构件的疲劳性能和高温强度



图14 3D打印塞式喷管

来源：《航天领域金属 3D 打印技术发展方向与产业化建议》明宪良等，国金证券研究所

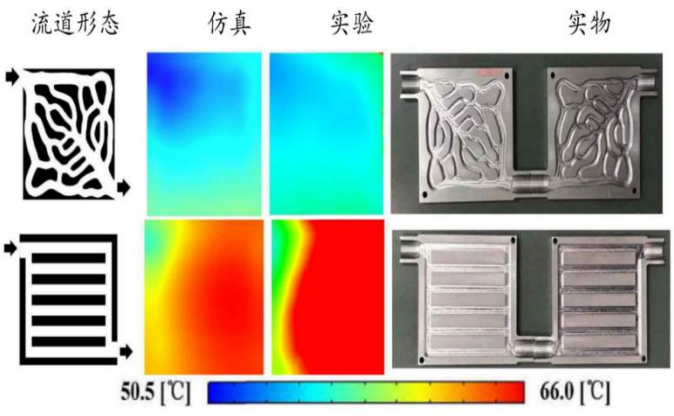
图表21：3D 打印从提质、降本、减重三重维度回应单位时间更多卫星发射数量诉求



来源：《航天领域金属 3D 打印技术发展方向与产业化建议》明宪良等，《金属增材制造在火箭动力与结构系统中的集成》曲忠凯等，《金属 3D 打印——未来制造业的数字化变革》徐海彬，《3D 打印一体化成型在复杂机械传动结构中的应用及可靠性分析》李璐，《增材制造技术在重点行业的应用及未来发展趋势》付成铭等，国金证券研究所

3）液冷散热：AI 大爆发，3D 打印突破液冷微通道痛点。随着 AI 大模型训练推动数据中心功率密度飙升，传统散热方式已难以为继，高效液冷散热成为刚需。3D 打印技术能够突破几何结构限制，制造出传统工艺无法实现的仿生叶脉状流道、直径低于 1mm 的精细复杂微通道及多孔介质结构，不仅从根源上消除了焊接带来的泄漏隐患与热阻界面，更通过最大化换热表面积和优化流体动力学路径，显著提升了换热效率与均温性能，完美适配高性能计算芯片及高功率电子设备对极致热管理的严苛要求。

图表22：流道拓扑优化后可以显著提升散热性能



来源：《基于 COMSOL 液冷板拓扑优化设计》，国金证券研究所

图表23：传统冷板制造需要进行焊接，性能弱于 3D 打印一体成型

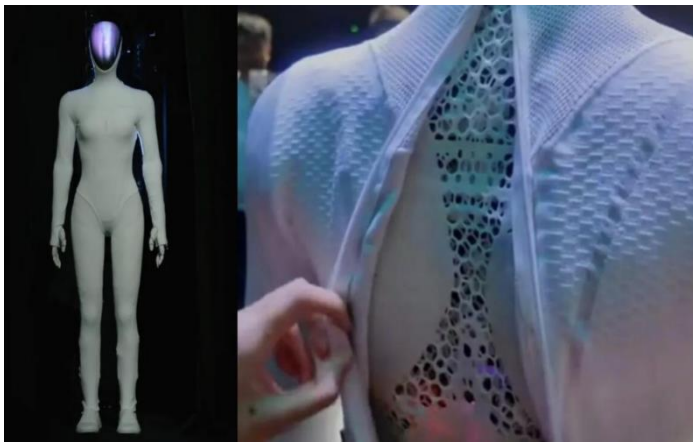
制造工艺	优势	劣势
钎焊	支持更高工作压力 可钎焊翅片以增强刚度	成本高 需考虑钎料化学兼容性 铜在钎焊过程中退火,降低刚度
搅拌摩擦焊(FSW)	支持一体/分体式设计 不导致铜退火	成本高 工艺时间长 需更多材料用于焊缝
软钎焊	成本低于钎焊/FSW 不导致铜退火	需考虑焊料兼容性 无法焊接翅片 焊点易脆化/产生气孔
O 型圈	成本低 支持非金属材料 支持复杂流道设计	工作压力低 密封可靠性差 寿命短 高温下易泄漏

来源：热管理网，国金证券研究所

4）具身智能：解决轻量化与散热双重约束，重构机器人硬件形态。在轻量化方面，3D 打

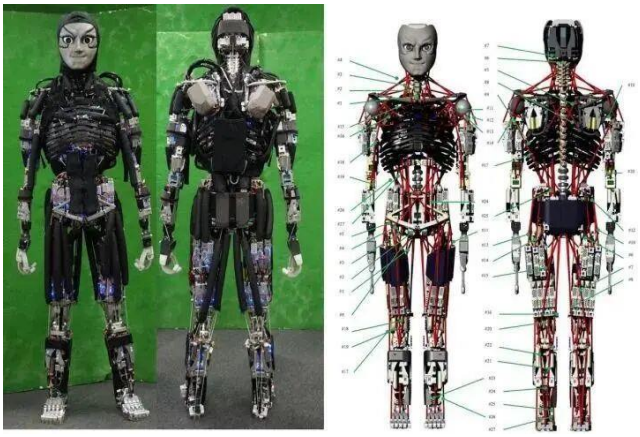
印借助拓扑优化与点阵结构重构机器人骨骼，突破传统减材制造的几何限制，基于力学仿真精准分配材料，打造高刚度重量比的中空或晶格化结构，大幅降低肢体末端惯量并提升动态响应与续航能力，为具身智能提供兼顾高强度与轻量化的骨架支撑。在散热管理方面，人形机器人关节模组空间受限且高热流密度，3D 打印通过结构散热一体化设计，在承力结构内构建随形冷却流道或多孔散热介质优化换热与流体路径。既解决了高集成度下的热聚集失效风险、保障电机与驱动器持续峰值输出，也为具身智能适应长时间高动态复杂作业环境奠定了热物理基础。

图表24：3D 打印制造轻量化弹性体为 IRON 机器人塑造“肌肉”



来源：36 氪公众号，国金证券研究所

图表25：Kengoro 机器人使用金属 3D 打印打造多孔框架为全身电机降温



来源：车乾智能体公众号，国金证券研究所

四、相关标的

华曙高科、大族激光、飞沃科技、哈森股份、银邦股份、铂力特等。

风险提示

■ 下游应用拓展不及预期风险

若航空航天领域的资本开支放缓，或消费电子巨头在新产品中采纳 3D 打印技术的节奏推迟，将直接抑制中游设备厂商的出货量及业绩增速。

■ 原材料价格波动风险

产业链上游高度依赖钛合金、高温合金等高品质金属粉末，若基础大宗商品价格大幅波动，或高品质粉末产能释放不足，将直接导致生产成本上升，侵蚀 3D 打印制造环节的毛利率水平。

■ 技术路线迭代风险

增材制造技术路线繁多，若粘结剂喷射等新兴低成本技术取得突破性进展，可能会对当前主流的激光熔融技术路线造成替代冲击，重塑竞争格局。

■ 地缘政治及汇率波动风险

鉴于 3D 打印在军工及航天领域的敏感性，若国际贸易环境恶化，海外实施更严格的进出口管制，将限制国产头部设备厂商的出海进程，并可能影响部分核心元器件（如高端芯片、特种激光器）的供应链安全。

行业投资评级的说明：

买入：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15%以上；

增持：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%—15%；

中性：预期未来 3—6 个月内该行业变动幅度相对大盘在 -5%—5%；

减持：预期未来 3—6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5%以上。

特别声明：

国金证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

形式的复制、转发、转载、引用、修改、仿制、刊发，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发，需注明出处为“国金证券股份有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，但国金证券及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。本报告反映撰写研究人员的不同设想、见解及分析方法，故本报告所载观点可能与其他类似研究报告的观点及市场实际情况不一致，国金证券不对使用本报告所包含的材料产生的任何直接或间接损失或与此有关的其他任何损失承担任何责任。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，在不作事先通知的情况下，可能会随时调整，亦可因使用不同假设和标准、采用不同观点和分析方法而与国金证券其它业务部门、单位或附属机构在制作类似的其他材料时所给出的意见不同或者相反。

本报告仅为参考之用，在任何地区均不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告提及的任何证券或金融工具均可能含有重大的风险，可能不易变卖以及不适合所有投资者。本报告所提及的证券或金融工具的价格、价值及收益可能会受汇率影响而波动。过往的业绩并不能代表未来的表现。

客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突，而不应视本报告为作出投资决策的唯一因素。证券研究报告是用于服务具备专业知识的投资者和投资顾问的专业产品，使用时必须经专业人士进行解读。国金证券建议获取报告人员应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。

在法律允许的情况下，国金证券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多种金融服务。

本报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布该研究报告的人员。国金证券并不因收件人收到本报告而视其为国金证券的客户。本报告对于收件人而言属高度机密，只有符合条件的收件人才能使用。根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告仅供国金证券股份有限公司客户中风险评级高于 C3 级（含 C3 级）的投资者使用；本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，不应被视为对特定客户关于特定证券或金融工具的建议或策略。对于本报告中提及的任何证券或金融工具，本报告的收件人须保持自身的独立判断。使用国金证券研究报告进行投资，遭受任何损失，国金证券不承担相关法律责任。

若国金证券以外的任何机构或个人发送本报告，则由该机构或个人为此发送行为承担全部责任。本报告不构成国金证券向发送本报告机构或个人的收件人提供投资建议，国金证券不为此承担任何责任。

此报告仅限于中国境内使用。国金证券版权所有，保留一切权利。

上海	北京	深圳
电话：021-80234211	电话：010-85950438	电话：0755-86695353
邮箱：researchsh@gjzq.com.cn	邮箱：researchbj@gjzq.com.cn	邮箱：researchsz@gjzq.com.cn
邮编：201204	邮编：100005	邮编：518000
地址：上海浦东新区芳甸路 1088 号紫竹国际大厦 5 楼	地址：北京市东城区建内大街 26 号新闻大厦 8 层南侧	地址：深圳市福田区金田路 2028 号皇岗商务中心 18 楼 1806

【小程序】
国金证券研究服务

【公众号】
国金证券研究