

金属新材料

金属增材制造行业深度：新时代新工艺，先军后民踏

上新征程

新时代新工艺，加工优势突出：增材制造又称 3D 打印，是一种快速成型的工艺，通过逐层堆叠的方式完成零部件的加工。尤其是金属 3D 打印，在加工高复杂零部件、轻量化以及短生产周期等方面具有优势，先后经历了上升期、过热期、低谷期后，在国内外产业政策和技术路线图的扶持下，金属增材制造迎来了快速发展的成长期，即成熟度曲线的第四阶段。在通胀高企、地缘冲突加剧、供应链安全波动的大背景下，增材制造作为新时代大变局之下的新兴工艺，具有划时代意义和战略价值；

行业三大趋势明显，降本增效拓展应用：经过多年的发展，金属 3D 打印产业逐渐发展出从软件服务到粉末制备，从设备组装到打印服务的完整产业链，产业链各环节形成了犬牙交错的竞争格局，而其中设备制造是核心环节，从竞争壁垒来看，金属 3D 打印具有技术、资质、人才和先入壁垒，头部玩家形成较强的马太效应。2020 年以来，下游航空航天需求激增，带来了行业层面国产化替代、设备大型化以及加工打印中心出现这三大改变。此外，随着下游客户对于成本、轻量化等要求提高，对模型进行拓扑优化以实现更轻的质量和更少的材料损耗，是近年来下游服务厂商及应用客户努力的方向。在金属增材制造的成本结构中，折旧费用和材料费用合计占 80% 以上，结合敏感度分析，我们认为，材料价格、设备成本以及打印效率是影响打印成本的重要因素，而随着材料和设备成本下降以及打印沉积效率提升，增材制造的成本将有望不断下降，从而推动技术可应用空间的持续扩大；

航空航天助推产业腾飞：观察产业发展的规律，先军后民往往是新工艺推广的主要方式，由于军用领域相较于民用领域成本敏感度较低，而金属增材制造在航空航天领域具有较大的轻量化及性能优势，因此率先在该领域得到应用。**航天领域**，近年来由于国家陆续开展了低成本生产战略战术武器的方法和新型空天体系的研究，金属 3D 打印完美符合了航天产业多品种、小批量、整体化、轻量化、低成本等需求，势必成为产业中主流加工技术，在卫星、武器装备、火箭、太空飞行器多个领域存在较大的增长空间；**航空领域**，近年来呈现快速增长态势，军用航空领域，通过增材制造制作的一体化结构有效的实现了飞机的减重增寿。民用航空领域，增材制造作为重要的减重手段，能够满足民航高可靠性、高标准的要求，逐渐得到民航制造业重视：根据我们的预测，未来二十年增材制造在悲观、中性和乐观假设条件下的潜在市场空间将分别达到 1107、1514、1967 亿元。无人机领域，多品种、轻量化、整体化、低成本化的背景以及蜂群式、僚机的战斗模式，非常符合金属 3D 打印的技术特点。动力系统领域，增材制造应用较多，其复

投资评级

增持

维持评级

行业走势图



作者

邓轲 分析师
SAC 执业证书: S0640521070001
联系电话: 021-2356 3561
邮箱: dengke@avicsec.com

王勇杰 研究助理
SAC 执业证书: S0640122070026
邮箱: wangyjsh@avicsec.com

相关研究报告

新材料 2023 年年度策略：花开未可期，守候真成长 —2023-01-12

航空新材料 2022 年 Q3 总结-时期交界点，重结构轻总量 —2022-11-06

铂力特 (688333) 2022 年中报点评：跨越式产能规划，业绩高速增长 —2022-09-01

铂力特 (688333) 2022 年报点评：立足两航，放眼工业—2023-04-02

新材料 2023 年年度策略：花开未可期，守候真成长 —2023-01-12

股市有风险 入市需谨慎

请务必阅读正文之后的免责声明部分

联系地址：北京市朝阳区望京街道望京东园四区2号楼中航产融大厦中航证券有限公司

1

杂设计、一体成型的特点，使得动力系统的零部件越来越多的使用该技术：根据我们的预测，未来二十年在国内民用航发领域的悲观、中性和乐观假设情境下的潜在市场空间分别为 281、614、998 亿元；

民用领域方兴未艾：随着行业需求的多元化以及金属增材制造成本的下降，在其他领域的应用将逐步增多，并从试验件、预研件向产业化、规模化的应用过渡，未来工业领域的应用将打开增材制造行业天花板，带来更大市场空间。**医疗领域：**缩短了制造时间，同时制造出更多轻量化、结构复杂的植入物，为患者带来更多方便；**模具行业：**得益于 3D 打印的复杂模具具有较好的冷却效果，使得无后处理的近净成形成为了可能；**热交换器领域：**为其制造提供了更加紧凑、高效、模块化以及多元化的解决方案，尤其是对于异形件等复杂件的加工，3D 打印技术拥有传统工艺不具备的优势；

投资建议：新时代大变局之下呼唤新工艺，在全球时局焦灼、国家战略扶持、产业日益完善、需求加速扩容的背景下，重视具有自主可控属性、潜在空间巨大的金属增材制造行业的投资价值。我们强调，具有较强议价能力的设备制造商将脱颖而出，形成较强的马太效应，因此建议关注行业内的龙头设备企业及关键零部件制造商。**推荐标的：**具有全产业链优势、深度布局航空航天领域的金属增材制造领军者-铂力特；多元化布局，在金属和非金属打印领域均具有领先优势的企业-华曙高科；在核心零部件国产化替代进程中有望突破的企业-金橙子。

风险提示：核心关键部件依赖进口风险；技术路线替代风险；市场竞争加剧风险；下游需求不及预期风险；市场风险偏好波动风险；募投项目不及预期风险。

正文目录

一、 增材制造行业介绍	7
1.1 工艺原理及技术路线分类	7
1.2 工艺优缺点	9
1.3 金属增材制造处于技术成熟度曲线第四阶段	12
1.4 产业政策助力行业健康发展	16
1.5 新形势下，全球供应链重塑带来增材制造的快速发展	20
1.6 小结	20
二、 行业竞争格局	21
2.1 产业链情况	21
2.2 竞争壁垒	24
2.3 设备大型化、打印中心出现以及国产替代趋势明显	26
2.4 增材制造成本下降曲线分析	33
2.5 小结	36
三、 行业需求情况	37
3.1 航空航天	39
3.2 骨科医疗	52
3.3 模具	56
3.4 热交换器	58
3.5 小结	60
四、 重点标的	60
4.1 铂力特	60
4.2 华曙高科	62

4.3 金橙子.....	64
--------------	----

五、 风险提示.....	65
--------------	----

图表目录

图 1 增材制造技术	7
图 2 全球金属粉末营收情况（百万美元）	8
图 3 金属增材制造技术路线图.....	9
图 4 蜂窝点阵结构	10
图 5 Aeon1 发动机	10
图 6 Aeon1 与传统火箭发动机比较	10
图 7 法国赛峰一体化成型发动机外壳.....	11
图 8 不同工艺对比	11
图 9 技术成熟度曲线	13
图 10 世界上第一台 3D 打印机 SLA-1.....	14
图 11 世界上第一台 3D 打印机 SLA-1.....	15
图 12 电影《十二生肖》中使用 3D 打印	15
图 13 增材制造大事记（1984-2022）	16
图 14 1998 年增材制造技术路线图.....	17
图 15 1998 年和 2009 年路线图区别	17
图 16 增材制造标准框架.....	18
图 17 国内政策情况	19
图 18 海外政策情况	20
图 19 3D 打印金属粉末	21
图 20 SLM 设备内部结构.....	22
图 21 增材制造产业链图.....	23
图 22 增材制造主要参与者及重要环节	24
图 23 不同路线技术特点.....	25
图 24 铂力特设备情况	28
图 25 华曙高科产销量情况（单位：台）	30
图 26 华曙高科前五大客户情况（单位：万元）	30
图 27 铂力特代理收入情况.....	30
图 28 振镜价格（元/台）	31
图 29 激光器价格（元/台）	31
图 30 拓扑优化对打印结构的改变	32
图 31 拓扑优化流程闭环.....	32

图 32 历史相关成本建模.....	34
图 33 增材制造模型成本结构.....	34
图 34 铂力特 3D 打印定制化产品成本拆分.....	34
图 35 敏感性分析	35
图 36 成本下降预测	35
图 37 增材制造打印成本与传统工艺对比（万元）	36
图 38 增材制造全球市场规模.....	37
图 39 中国增材制造产业营收情况.....	37
图 40 全球工业级增材制造设备销售量（单位：台）	38
图 41 全球金属增材制造设备销售量（单位：台）	38
图 42 增材制造下游主要应用及优势	38
图 43 2021 年下游领域价值量占比.....	38
图 44 航空航天产品及具体用途.....	39
图 45 卫星市场空间测算.....	40
图 46 导弹方向舵	41
图 47 微重力环境下 3D 打印样件	41
图 48 Terran 1 全 3D 打印鼻锥	43
图 49 级间解锁装置保护板.....	43
图 50 1950 年以来旅行人次与人口比例	44
图 51 太空旅行潜在市场空间.....	44
图 52 各代飞机典型机型情况.....	45
图 53 拓扑优化零件	45
图 54 防热承载一体化结构.....	45
图 55 铝合金加强框—翼梁整体件	46
图 56 防热承载一体化结构.....	46
图 57 C919 中央翼缘条	47
图 58 空客机舱隔板	48
图 59 增材制造在国内民用航空领域的潜在市场空间预测.....	49
图 60 全球军用无人机市场规模预测及增速	50
图 61 攻击 11 无人机	51
图 62 BLT-S1000 应用案例.....	51
图 63 GE 燃油喷嘴	51
图 64 a-CT7 终端总成结构.....	51
图 65 增材制造在中国民用航空发动机领域的潜在市场空间预测	52
图 66 全球骨科医疗器械市场规模变化	53
图 67 国内骨科植入物销售额.....	53
图 68 骨科植入物 3D 打印工艺流程	53

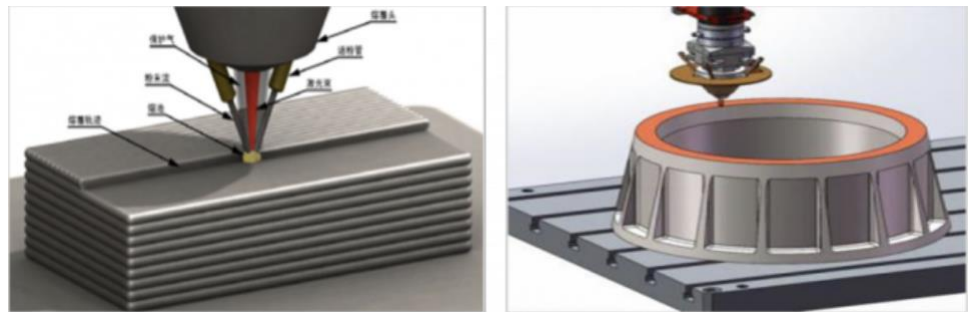
图 69 骨科植入物 3D 打印髌白杯	54
图 70 强生脊椎 3D 打印植入物	55
图 71 3D 打印的金属牙冠	55
图 72 3D 打印医疗器械团体标准.....	56
图 73 国内模具行业下游需求占比.....	57
图 74 历年国内模具行业总产值.....	57
图 75 原始加工条件下的设计.....	57
图 76 使用 3D 打印后的全新设计	57
图 77 米其林雕塑系列轮胎模具.....	58
图 78 胶底模具	58
图 79 中国换热器市场	59
图 80 铂力特股权结构图.....	61
图 81 全产业链生态图	61
图 82 股权结构图	62
图 83 增材制造技术路线分类.....	63
图 84 主要客户（万元）	63
图 85 分业务收入及营收增速.....	64
图 86 公司产销量（台）、产能利用率及产销率.....	64
图 87 激光振镜系统	64
图 88 激光伺服系统	64
图 89 激光设备产量	65

一、增材制造行业介绍

1.1 工艺原理及技术路线分类

增材制造工作原理：又称 3D 打印，是一种快速成型技术，以计算机三维设计模型为蓝本，通过软件分离离散和数控成型系统，利用激光束、热熔喷嘴等方式将金属粉末、陶瓷粉末、塑料、细胞组织进行逐层堆积粘结，最终叠加成型，制造出实体产品。因此，3d 打印可以简单的理解为多层二维打印，3D 打印一般使用特制的材料，基于坐标系，按照三维的图纸，将其一层层喷涂或熔结到三维空间，从而制造出传统工艺难以制造的高复杂度产品。

图1 增材制造技术



资料来源：TechWeb，中航证券研究所

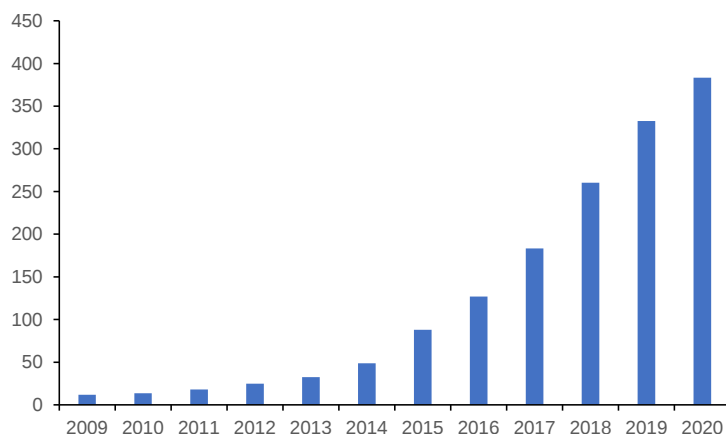
传统打印的区别：与传统打印机类似，增材制造都是由数据驱动完成打印，且集合了软件、机械和电子等多个学科，但两者在打印材料和原理上有较多区别，例如传统打印主要是二维打印，数据输入主要以图片、文字等为主，而 3D 打印机输入源主要是以特定的三维模型等为主，因此较传统打印相比需要切片等步骤。目前 3D 打印技术主要包括金属和非金属两大类，金属类近年来发展较快，因此后面将着重针对金属增材制造进行介绍。

增材制造技术路线：技术路线的不同直接影响到加工的方式和最终成型零部件的尺寸、精度和强度等。目前增材制造的主要技术路线大致可以按照材料及形态、热源、送料方式等进行分类：

- **材料：**目前主流的材料包括金属材料和非金属材料，两者产值比约为 4：6。截至 2021 年，可用于 3D 打印的材料种类达到了 2486 种，其中包含 988 种金属、1222 种聚合物以及 219 种复合材料。材料是根据需求选择的，同时，热源的选择也限制了材料的熔点。由于增材制造率先在航空航天等领域得到应用，近年来金属材料增速较快，2009-2020 年全球金属原材料营收年复合增速达 37.0%。金属材料中应用较多的包括钢材、铝合金、高温合金和钛合金等，同时有部分材料

存在活性较强的问题，比如镁合金，在粉末状态下容易引起粉尘爆炸等风险，虽然可以通过全程气氛保护的方式实现加工，但由于成本过高和风险太大的原因，一直以来都停留在实验室阶段。非金属材料包括聚醚醚酮、陶瓷材料等，还包括细胞组织等；

图2 全球金属粉末营收情况（百万美元）



资料来源：《中国新材料产业发展报告 2021》，中航证券研究所

- **材料形态：**粉末材料是目前最常用的金属材料形态，此外，还有丝材、片材和液体等多种材料形态。增材制造对材料的要求与传统的加工工艺有所不同。以粉末为例，一般用于粉末冶金行业，粉末冶金工艺是将粉末预成型后使用高温高压的条件进行最终定型的工艺，整个过程中粉末发生的物理冶金变化较为缓慢，材料有充分的时间融合反应。而增材制造工艺在热源的作用下的冶金变化是极快的，热源和粉体材料直接接触，粉体材料没有模具和外部压力的作用。因此对于粉体材料的球形度、空心度以及粉径要求较传统的粉末冶金有所不同；
- **热源：**综合考虑气氛、成本、材料熔点以及技术难度等因素，目前大部分企业采用激光作为增材制造的热源，此外，高能电子束、等离子和电弧等也由于各自不同的特点在不同场景下得到应用。电子束和激光的工作原理不同，电子束是高能电子穿过靶材的表面进入一定深度后，通过振动靶材的分子实现将电子的动能转化为热能，而激光的加热方式则是直接使用光子加热靶材表面，激光并未穿透靶材，由于烧结材料的熔点和最终成型零部件的区别，不同的热源会形成不同的结构，在气氛保护上，高能电子束往往要求真空环境，而激光需要惰性气体保护；相比之下，等离子和电弧等热源主要依靠焊接热源将原材料融化，按照成形路径层层堆叠形成金属件，因此无需气氛保护。此外，还有部分热源是使用基板/基材加热的，目前国内使用的较少；
- **送料方式：**目前主要是送料方式主要包括铺粉、送粉/送丝等。其中铺粉工艺是

将金属粉末铺放在基板上，控制热源沿着 X-Y 轴的路径将每层的粉末熔化烧结，并逐层堆叠形成零部件，特别适合制造复杂度高、加工成本高或者定制化程度高的零部件。送粉/送丝的技术主要通过激光熔头或者焊枪等逐层熔覆形成零部件，虽然在成型复杂度上略逊一筹，但是在生产效率上却有较大优势，且在零部件尺寸上没有限制。

图3 金属增材制造技术路线图

原材料形态	热源	技术路线	展示图	主要公司	原材料形态	热源	技术路线	展示图	主要公司
粉材	激光	激光选区熔化 (SLM)		铂力特、华曙高科、雷佳, slm solution, 3D system, 镭明激光	线材	电弧	电弧增材制造 (WAAM)		英尼格玛、AML3D
		激光立体成型 (LSF)		中科煜宸、鑫精合、铂力特、北京煜鼎		等离子	等离子电弧能量沉积 (PWAAM)		挪威钛, WAAM
		金属激光烧结 (SLS)		headmade material		激光	激光束能量沉积 (LMD)		三菱电子、meltio
		区域激光选区熔化		试验阶段		电子束	电子束能量沉积 (EBFF)		probeam, xbeam
		金属立体印刷 (MP)		Adamatec, incus, Exaddon			液态金属印刷		xerox, alcon, grob
	电子束	电子束熔融成型 (EBM)		GE additive, freemelt, 赛隆金属, 三菱电子	片材	基材	超声波能量沉积		fabrisonic
	喷射	粘结剂喷射 (BJ)		ExOne, Meta Additive, Desktop Metal, HP	棒材		摩擦能量沉积		meld, weisser
		混合粘结剂喷射 (MBJ)		3DEO	弥散粒子		纳米粒子喷射		xjet, nanogrande
	溅射	冷喷涂		超卓航科	长丝		长丝熔融堆积		desktop metal, xerion, evo-tech

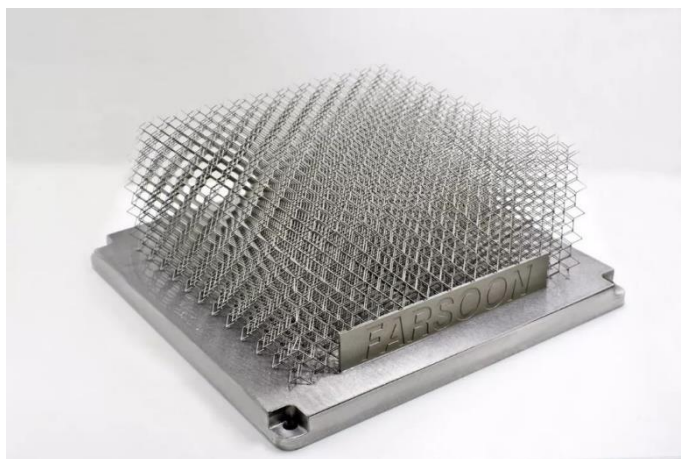
资料来源：AMpower，中航证券研究所

1.2 工艺优缺点

由于增材制造的加工过程具有由二维到三维的堆叠特征，因此具有较为鲜明的优缺点：

优点：（1）可快速加工成型结构复杂的零部件。3D 打印是将三维切片以得到二维的轮廓信息，通过叠层的方式实现零部件成型。因此这种方式不受零部件形状和内部复杂度的影响，尤其是制造一些结构复杂、使用传统工艺较难或者成本较高的产品时，具有突出优势。同时，定制化的特点使得 3D 打印可以根据消费者需求自由定制形状，真正实现按需生产；

图4 蜂窝点阵结构



资料来源：华曙高科官网，中航证券研究所

（2）缩短产品研发周期。使用增材制造技术制造零部件直接由模型驱动，无需模具、夹具等辅助工具，凭借增材制造快速成型快速迭代的特点，可以有效的加快新产品的研发周期，节约昂贵的模具费用，提高产品迭代速度；

图5 Aeon1 发动机



资料来源：Relatively Space，中航证券研究所

图6 Aeon1 与传统火箭发动机比较

	Aeon1	传统火箭发动机
部件数量	三个	一千多个
制造时间	一个月	六个月
最终火箭成本	一千万美元	数千万美元

资料来源：Relatively Space，中航证券研究所

（3）材料利用率高。传统加工工艺会产生大量废料，存在相当的余料价值损耗，增材制造技术根据二维轮廓添加材料，按需制造，加工材料可回收二次利用，因此材料利用率显著高于传统加工模式。尤其是对于较为昂贵的金属材料如钛合金、高温合金等，可节约大量成本；

(4) 实现一体化、轻量化设计。3D 打印的应用可以在保证零部件性能的前提下，通过拓扑优化、结构设计等方法将复杂结构经过变换重新设计成简单结构，从而减轻重量，同时 3D 打印一体成型的加工方式也较大的节省了铆接和焊接的部位，从而进一步提升产品的可靠性；

图7 法国赛峰一体化成型发动机外壳



资料来源：3D 科学谷，中航证券研究所

(5) 提高供应链柔性。3D 打印省去了雇佣较多产业工人、使用大型产线的建设点火试车环节，根据需求及时调整产能，具有“去模具、减废料、降库存”等优点，缩短产业链、提高供应链可靠性以及减少库存风险方面具有较大优势，在供应链安全受到挑战以及需求不确定的当下具有现实意义。

缺点：金属增材制造技术在加工材料、加工精度、表面粗糙度、加工效率上较精密加工仍有较大差距，而小批量的情况下实现了力学性能上，金属增材制造技术已经满足铸造的水平，部分零部件经过热处理后接近锻造水平，因此目前增材制造技术主要的竞争技术是小批量的精密铸造，在部分领域对锻造构成挑战。

图8 不同工艺对比

项目	金属3D打印技术	传统精密加工技术
技术原理	增材制造（分层制造、逐层叠加）	减材制造（材料去除、切削、组装）
技术手段	SLM、LSF	磨削、超精细切削、精细磨削与抛光等
使用场合	小批量、复杂化、轻量化、定制化、功能一体化零部件制造	批量化、大规模制造、复杂零部件制造受限
使用材料	金属粉末、金属丝材等（受限）	几乎所有材料
材料利用率	高，可超过95%	低，材料浪费
产品实现周期	短	相对较长
零件尺寸精度	$\pm 0.1\text{mm}$	$0.1\sim 10\ \mu\text{m}$
零件表面粗糙度	$\text{Ra}2\ \mu\text{m}\sim\text{Ra}10\ \mu\text{m}$ 之间	$\text{Ra}0.1\ \mu\text{m}$ 以下

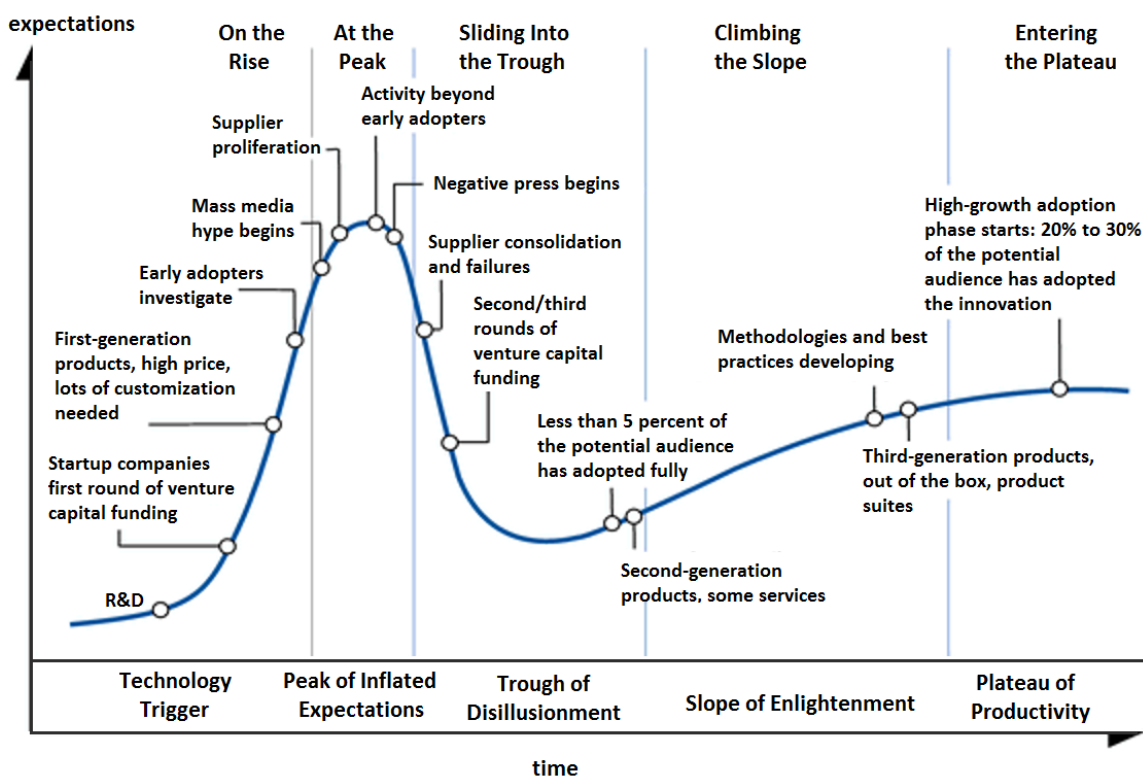
资料来源：铂力特招股说明书，中航证券研究所

1.3 金属增材制造处于技术成熟度曲线第四阶段

技术成熟度曲线 (the Hype Cycle): 技术成熟度曲线又称 Gartner 炒作曲线, X 轴为时间, Y 轴为期望值, 曲线描述了新技术的发展过程, 从诞生到过热, 到低谷, 最后为人们理解和接受的完整阶段。技术成熟度曲线一共分为五个部分, 目前我们判断金属增材制造在航空航天领域的应用处于第四阶段:

- **上升期:** 一项新的技术突破、样品成功试制等重大事件, 标志着某项技术进入了人们的视野, 该阶段是新技术最容易凋敝的阶段, 大部分的技术路线在这一过程中都无法得到足够的应用而被抛弃。而行业巨头应用、国家政策支持或者资本的介入都会快速的提升人们对于新技术的预期, 大量的初创企业出现。一般这个阶段, 新的技术会在各大高校和科研院所诞生, 但仅有少数技术能够得到产业界的认可, 走出实验室;
- **过热期:** 随着技术走出实验室逐渐为人们了解, 预期出现顶峰, 大家对创新技术报以厚望, 甚至高于其实际能力, 该阶段最容易形成投资泡沫, 大量的资本进入也推高了人们的期待, 企业遍地开花。但此时的国产化率仍处于较低水平, 核心的设备和工艺尚未掌握, 因此大多情况下呈现出“两头在外”的代工模式。大量的资本进入催生众多初创企业, 但是大部分企业产品仍然属于低价值的初级阶段, 不能满足实际需求;
- **低谷期:** 随着应用的落地, 人们发现结果并不如预期, 低于预期的财务受益和价值增值使得资本开始离开。伴随而来的是原先并没有自我造血能力的产能进行出清。顶峰期大量收购企业行业巨头账面上累计的商誉陆续减值, 行业内外的资本退潮和补贴的退坡加速了产能的出清, 随之而来的质疑让从业者的迷茫加深;
- **成长期:** 一些早期的企业克服了一些困难, 解决了一些缺陷, 并开始获得收益, 可以继续努力前行。一些有潜力的技术路线和应用开始慢慢进入到试验阶段, 进而产生正向的循环, 与此同时, 有较强预见性的产业资本开始进入行业, 推动行业进入了第二轮发展期, 此时的国产化设备渗透率伴随着产业规模的提高而扩大, 内生性需求开始产生, 产能的投资也开始进入了理性的爬坡期。随着技术成熟和需求的产生, 赚钱效应开始出现, 大量资本开支和一级融资项目的活跃标志着行业进入到快速发展期;
- **成熟期:** 技术的实际效应得到了产业内的客户的认可, 越来越多的企业开始接受并使用该技术, 产业进入成熟期。这个阶段, 虽然利润在增长, 但是技术路线和产业竞争格局开始稳定, 于是资本开支开始放缓, 产业进入到下一个技术的更新迭代中。

图9 技术成熟度曲线



资料来源: Gartner, 中航证券研究所

历史沿革:

早期阶段 (1984 年以前): 3D 打印技术最早可以追溯到 19 世纪, 摄影技术发明后, 人们就开始讨论如何在三维空间中记录我们的影像。1859 年, 法国雕塑家佛朗索瓦首次设计出多角度成像获取物品三维图像的方法, 是今天 3D 扫描技术的鼻祖。1981 年 5 月, 名古屋工业研究所的 Hideo Kodama 博士发表了快速原型的详细信息, 该研究是逐层打印的第一篇文献。1982 年 Joseph Blanthier 发明了用蜡板层叠的方法制作等高线地形图的技术。1984 年, 三名法国工程师申请了立体光刻工业的专利, 随后因为受限于计算机数字化建模、激光、材料等多方面因素, 增材制造技术不具备商业前景而放弃了该项专利。而具有商业头脑的商人查尔斯胡尔 (Charles W.Hull) 获得了这项专利, 并规定了 STL 的文件格式和数字切片的方法, 使用紫外线固化光敏聚合物成型, 通过这项专利, 查尔斯成立了 3D system 公司, 这是 3D 打印产业的萌芽期。

图10 世界上第一台 3D 打印机 SLA-1



资料来源：3D System,中航证券研究所

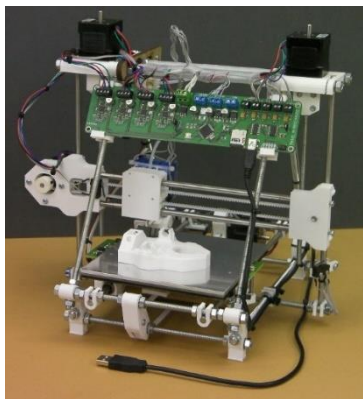
发展阶段（1984-2006 年）：3D 打印技术在 1984-1996 年得到了商业化，SLA（1984）、FDM(1988)、SLS（1992）、3DP（1993）、EBM（1994）以及 SLM（1995）等目前主流的增材制造技术相继出现，而由于当时激光器功率较小，光纤激光器无法完全熔化金属，因此前期的 3D 打印技术主要围绕树脂等非金属材料，或者类似于 SLS 技术在金属表面附着一层非金属材料实现粘结，在性能上有所欠缺；

随后在 1996-2006 年 3D 打印技术快速发展，1996 年 3D system，Stratasys 和 Z Corporation 在上述已有技术的基础上，分别推出了新一代的优化技术如 LENS、DLP 等，行业内诞生了专注于某项技术的专业化公司，如 DTM（SLS 技术）、Arcam（EBM 技术）、Objet（Polyjet 技术）等，专业化分工的出现意味着产业规模开始扩大，同时工业级的设备开始逐步成型，相较于消费级和科研级的设备，工业级设备在成型效率、尺寸以及工作功率等方面具有明显优势。此外，海外较为成熟的技术开始应用于汽车、航空、齿科等领域。2002 年，国内高校如清华大学、华中科技大学、西安交通大学等开始研究 3D 打印，并研制出少量成型的样机，这些早期接触 3D 打印的高校是目前国内 3D 打印产业界和学术界的重要力量，在这个时期，国内开始出现市场化的企业，如上海联泰等，增材制造行业进入了上升期。

成长阶段（2006 年至今）：2006 年以来，行业进入了快速上升期，行业内有名的开源项目 RepRap 和 Fab@home 的出现以及 FDM 等专利技术的到期将消费级 3D 打印推上快车道。老牌增材制造企业如 3D system 开始了大量的并购，账目上积累的商誉成为日后的隐患。金融危机之下，增材制造被寄予厚望，奥巴马国情咨文的演讲将 3D 打印行业推上新的高潮。国内对于增材制造技术的关注也源于海外的一片火热，2012 年《十二生肖》中快速成型的技术引起人们的关注，随后 2014 年桌面级 3D 打

印的热潮席卷国内，短短一年内涌现出上百家企业，国内增材制造进入过热期。在此之前仅有北京太尔时代和杭州铭展等少数企业，大部分企业从事的是两头在外的销售模式，核心技术和需求均依赖海外，因此在需求证伪的情况下进入了寒冬，短短两年内大量企业倒闭。在顶峰期大量收购企业的打印设备巨头 3D system 账面上累计的商誉陆续减值，行业内外的资本退潮和补贴的退坡加速了产能的出清，随之而来的质疑让从业者的迷茫加深，行业进入低谷期；

图11 世界上第一台 3D 打印机 SLA-1



资料来源：3D System，中航证券研究所

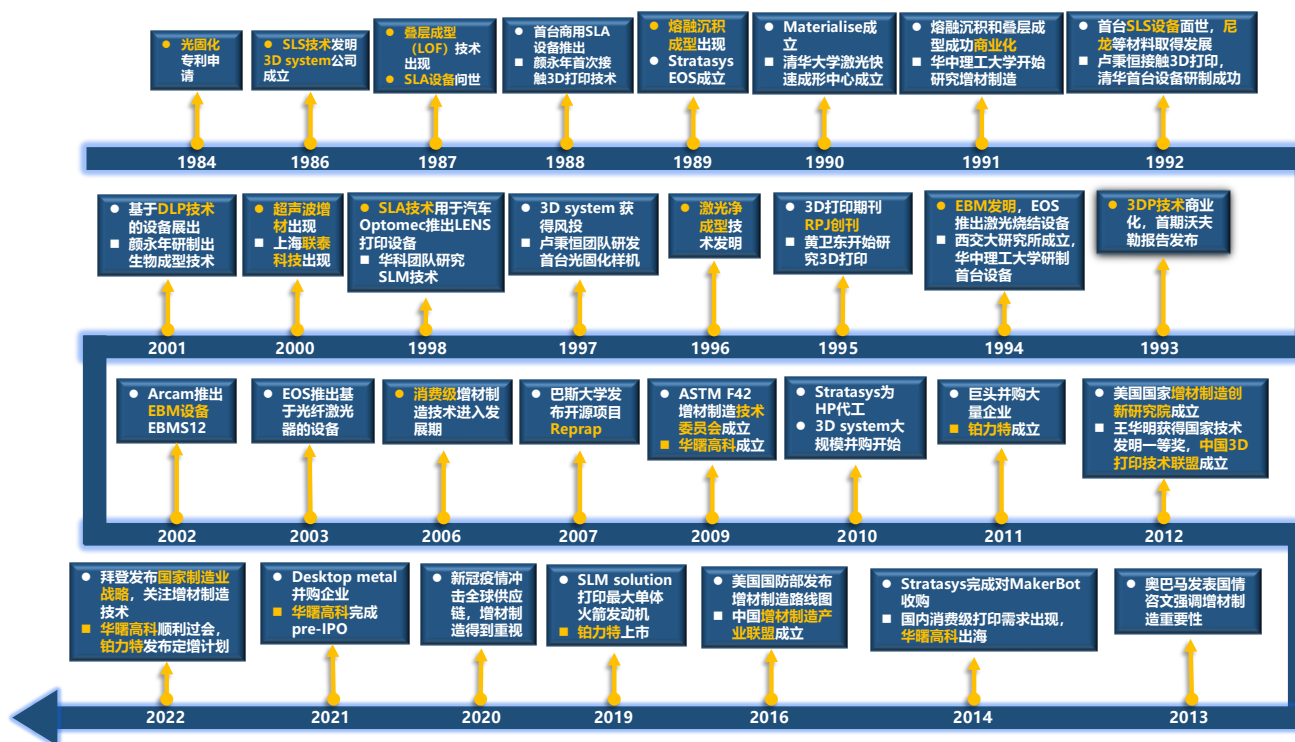
图12 电影《十二生肖》中使用 3D 打印



资料来源：《十二生肖》，中航证券研究所

2016 年，国内经过军队改革，新型号武器定型列装，带动增材制造等新技术逐步提高渗透率，这个阶段在航空航天领域使用增材制造的比例和价值量不断提高，行业内以铂力特、华曙高科为代表的企业也进入了资本开支快速提升的阶段。尤其是 2020 年以来，随着全球供应链冲击加剧，地缘政治局势动荡等因素，增材制造行业重新获得人们的关注，二级市场中如铂力特估值快速提高，一级市场投融资速度明显加快，大量资本开支和一级融资项目的出现标志着行业进入到快速发展期。

图13 增材制造大事记 (1984-2022)



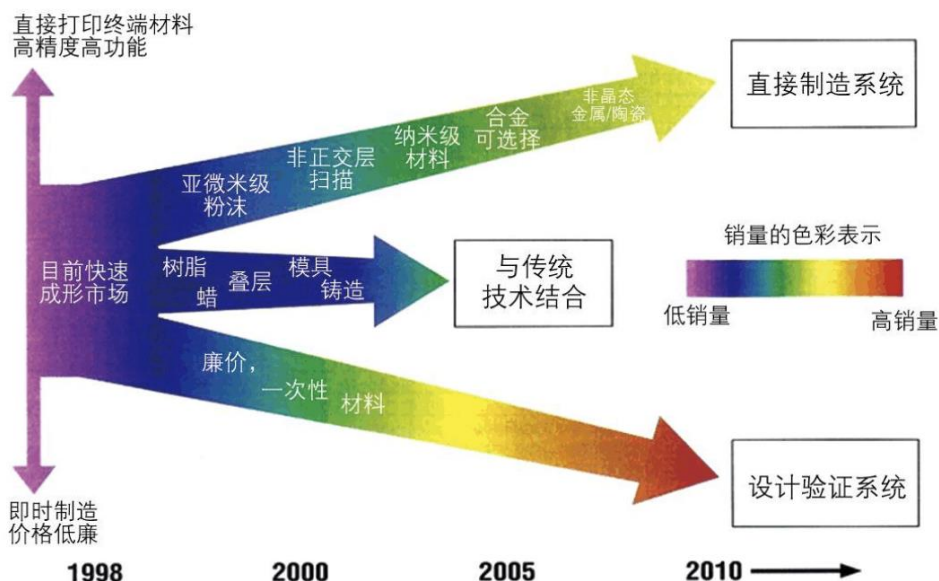
资料来源：公开资料整理，中航证券研究所

注：圆点标记为海外增材制造发展情况，方块标记为国内增材制造发展情况

1.4 产业政策助力行业健康发展

背景介绍：自 3D 打印技术诞生以来，一直面临与传统工艺的对比，因此产业的发展以及政策扶植一般来源于现实的危机。1998 年，受到东南亚经济危机的冲击，需求变得不稳定，同时供应链的安全被各国政府愈加重视。以美国为代表的发达国家制定了一系列 3D 打印相关的技术发展路线图催化相关产业的成熟。当时由美国国家制造科学中心领导的增材制造技术路线图开发得到了美国工业界、政府界以及学术组织的支持，形成的路线图将快速成型技术分为三个子类别，包括设计验证系统、过渡技术系统以及直接制造系统，它预测了行业的演进，虽然相关术语时至今日已经改变，但大体框架却保留了下来；

图14 1998 年增材制造技术路线图



资料来源：《美国 1998 年 3D 打印技术路线图》，中航证券研究所

此后，在 2009 年，全球性的金融危机带来了供应链的断裂以及需求的不确定性增强，美国政府将增材制造技术视为走出危机的重要技术路径。2009 年 12 月，奥巴马政府发布《振兴美国制造业框架》的政策纲要，将人工智能、3D 打印和机器人作为重振美国制造业的三大支柱。在 2009 年度增材制造路线图研讨会上，来自学术界、工业界和政府的 65 位专家共同制定了未来 10-20 年的增材制造研究的路线图，与会者在研讨会上提交白皮书，阐述对增材制造的看法以及未来的技术实现路径，涵盖了 26 条具体建议。与 1998 年的路线图不同，2009 年的路线图更加着重于研究领域，执行的机构大部分为研究机构，其中工业界参与度只有 32%，而大学等研究机构占比高达 45%，因此主要是用于课题的研究，因此相较于 1998 年路线图的前瞻性和准确性有所差距；

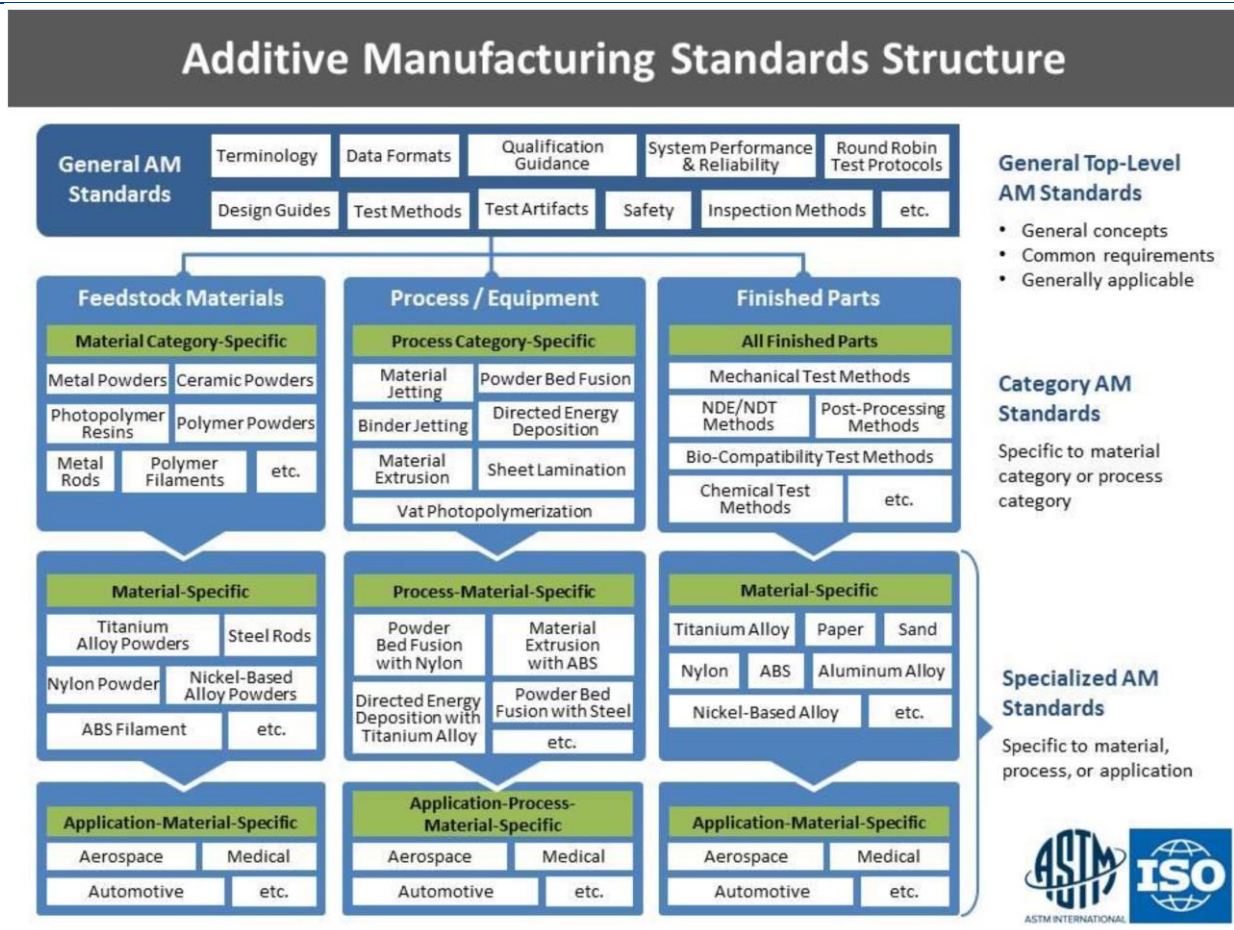
图15 1998 年和 2009 年路线图区别

	1998	2009
重点	工业应用	学术研究
关注点	RPTA II	研究项目
目标应用方	终端消费者	研究机构
路线图制定参与者		
工业界	73%	32%
大学	0%	45%
政府/非盈利组织	27%	23%
功能	路线图	研究课题指引

资料来源：《Roadmap for additive manufacturing—past, present, future》，中航证券研究所

美国国家增材制造创新机构 America makes 每隔一段时间组织力量对增材制造的技术发展路径进行制定，目前最新的一版为 2018 版。2016 年 9 月，在俄亥俄州，AMSC 组织了第二次面对面的闭门会议，审定了路线图的初稿，项目组分为八个小组，每个小组致力于特定领域最新的技术路线图对现有标准和开发中的标准进行编目，并根据需求修订新标准，随后进行差距分析，根据这些因素起草路线图，标准包括了设计、工艺、材料、资格认证、评估和后续维护等多个领域；

图16 增材制造标准框架



资料来源：America makes，中航证券研究所

2020 年以来，随着全球供应链遭遇冲击，以供应链弹性为核心的生产方式得到制造业的认可，增材制造具有无库存柔性生产等特点，因此在供应和需求不确定的情况下实现按需生产，因此近年来逐步得到各国政府的重视。下面列举了国内和国外近年来有关领域的产业政策：

- **国内政策方面：**增材制造技术在航空航天领域的率先应用以及在民用领域的广阔前景被世界各国政府逐步认可，在我国，金属增材制造技术的发展并不落后于海外，这得益于我国出台了较多的产业政策扶持增材制造技术，并制定了行业标准引导产业的健康有序发展。2020 年 2 月，工信部联合标准委员会发布《增材制造标准领航行动计划（2020-2022）》，明确提出了立足我国国

情同时对标国际先进水平的增材制造标准体系，并提出了发展目标。在十四五规划中，明确了发展增材制造技术的重要性，并将其列为未来规划发展的重要领域；

图17 国内政策情况

时间	文件	发文单位	主要涉及内容
2022年4月	《“十四五”国家重点研发计划重点专项2022年度项目申报指南》	科技部	“增材制造与激光制造”重点专项2022年度项目申报指南，涉及 21项增材制造指南任务；“先进结构与复合材料”重点专项2022年度项目申报指南建议，其中有3个项目涉及到了增材制造相关技术；“高端功能与智能材料”重点专项2022年度项目申报指南建议，其中有1个项目涉及到了增材制造相关技术。
2021年12月	《“十四五”智能制造发展规划》	工信部、发改委、教育部、科技部等	开发增材制造等先进工艺技术；智能制造技术攻关行动：关键核心技术中包括增材制造；智能制造装备创新发展行动：发展通用智能装备中的激光/电子束高效选区熔化装备、选区激光烧结成形装备等增材制造装备
2021年3月	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》	国务院	明确了发展增材制造在制造业核心竞争力提升与智能制造技术发展方面的重要性，将增材制造作为未来规划发展的重点领域。
2021年2月	《医疗装备产业发展规划（2021-2025年）》（征求意见稿）	工信部	推进传统医疗装备与增材制造等技术融合嵌入升级。开发“增材制造+医疗健康”新产品。
2021年2月	《“十四五”国家重点研发计划重点专项2021年度项目申报指南（征求意见稿）》	科技部	“先进结构与复合材料”重点专项2021年度项目申报指南建议（征求意见稿），其中有7个项目涉及到了增材制造相关技术；“高端功能与智能材料”重点专项2021年度项目申报指南建议（征求意见稿），其中有2个项目涉及到了增材制造（3D打印）相关技术。
2020年2月	《增材制造标准领航行动计划（2020-2022年）》	国家标准化管理委员会、工信部等	立足国情、对接国际的增材制造新型标准体系建设。
2020年1月	《加强“从0到1”基础研究工作方案》	科技部、发改委等	面向国家重大需求，对关键核心技术中的重大科学问题给予长期支持。重点支持人工智能、网络协同制造、3D打印和激光制造、重点基础材料、先进电子材料、结构与功能材料、制造技术与关键部件等重大领域，推动关键核心技术突破。
2019年11月	《国家支持发展的重大技术装备和产品目录（2019年修订）》	财政部、发改委等	工业级增材制造装备（粉末床激光增材制造装备、送粉式激光增材制造装备、送丝式电子束增材制造装备、高功率光纤激光器）属于国家支持发展的重大技术装备和产品。
2017年12月	《增材制造产业发展行动计划（2017-2020年）》	工信部、发改委、财政部等十二部门	提出“五大发展目标”、“五大重点任务”，突破 100种以上重点行业应用急需的工艺装备、核心器件及专用材料；大幅提升增材制造产品质量及供给能力；开展100个以上应用范围较广、实施效果显著的试点示范项目。
2017年10月	《产业关键共性技术发展指南（2017年）》	工信部	3D显示、3D打印金属粉末制备及应用技术、金属熔融激光加工增材制造液压阀等位列其中。
2017年1月	《战略性新兴产业重点产品和服务指导目录》	发改委	将增材制造列为战略性新兴产业重点产品和服务。

资料来源：华曙高科招股书，中航证券研究所

- **海外政策方面：**受到 2020 年以来全球供应链中断和人工成本提升的扰动，各国政府尤其是欧盟和美国等发达国家积极推动增材制造技术的使用，以帮助当地企业完成再工业化，恢复供应链的安全稳定。因此，美国和欧洲相继推出了增材制造技术路线图，2022 年年中，拜登政府推出了 AM forward 计划，旨在使用增材制造技术提高中小企业的竞争力。

图18 海外政策情况

时间	国家	政策	内容
2009	美国	增材制造标准化路线图	以政府部门、高校、科研机构、企业、标准化机构组成标准化联盟，发布增材制造标准建设路线图
2012		增材制造标准化路线图差距进展报告	推动解决增材制造标准化的实施问题
2013		增材制造路线图	分为设计、材料、工艺、价值链四方面，面向
2016		国防部增材制造战略	维修与保障、部署与远征、新部件/系统采办
2022		AM Forward	协调推动增材制造在国防装备、先进制造业中的示范应用并形成产业生态
2020	欧盟	欧洲增材制造技术路线图	在欧盟的资助下，增材制造行业技能战略联盟明确了2030年前的应用需求及技术挑战，从消除增材制造技术差距的角度提出了目标和举措

资料来源：《我国增材制造技术与产业发展研究》，中航证券研究所

1.5 新形势下，全球供应链重塑带来增材制造的快速发展

二十世纪二十年代以来，全球主要面临三大矛盾：原材料价格高位滞涨、供应链安全遭遇挑战和国际冲突日益尖锐——物流成本抬高、生产效率降低，逆全球化的思潮冲击了人们本就脆弱的信任，供应链安全遭受挑战，地缘政治和局部冲突加剧了地区的不安全感，提高了对于快速响应和武装军队能力的要求，三大矛盾相互影响，构成了当今全球供应和需求双双不稳定的新局面；

增材制造的出现让各国发现了新形势下缓解原材料价格高位、供应链不稳定以及装备产能瓶颈的新方法——增材制造的材料回收率相较于传统工艺高、短流程的生产模式适合产业工人短缺以及基础工业薄弱的国家，而在国际地缘政治中受到威胁的国家，快速成型技术可以使其短期内具备较强的武装力量，因此近期各个国家都在积极使用增材制造技术解决其面对的问题；

以沙特为例，2022年12月中国代表团访华期间，沙特各企业与中国签署了一系列企业合作协议，涵盖了运输、物流、医疗、建筑和制造业等等领域，协议价值高达300亿美元，其中代表团中出现了中国的3D打印企业西帝摩，沙特使用增材制造技术解决其油井钻头的更换，其无模具短流程短周期的特点，使其实现了钻头的快速更换。而沙特独特的地理条件和薄弱的工业基础也使其无法实现大规模的铸造，因此增材制造将成为其解决自身供应链安全、减少库存备货和仓储物流成本的重要方法。

1.6 小结

作为新兴工艺，通过降维成二维烧结逐层堆叠的加工模式，增材制造具有传统的变材制造和减材制造不具备的优势，对于超复杂结构、短周期高柔性需求以及高性能要求部件，其适应能力更强，制造成本更低。经历了上升期、过热期、低谷期，在2016年军

队体制改革完成后新的武器装备定型以及 2020 年供应链不稳定性加大的背景下，增材制造逐渐被人们重视，各国纷纷出台产业政策扶持，行业进入了快速发展期，我们认为增材制造技术已经步入技术成熟度曲线的第四阶段。

二、行业竞争格局

2.1 产业链情况

3D 打印行业大致可以分为上中下游三个环节。其中上游环节为原材料及零件，包括 3D 打印原材料、核心硬件和软件等，中游为 3D 打印设备和服务，其中在产业发展初期国产化率尚不高的情况下还存在 3D 打印设备代理商，下游主要为航空航天、汽车、医疗、消费及电子产品等领域：

上游——增材制造行业上游主要包括 3D 打印原材料、核心硬件和软件服务：

- **3D 打印原材料：**是影响产品质量的重要因素，目前使用的金属粉末要求纯度高、球形度、粒径分布窄、氧含量低。目前国内的金属 3D 打印材料已经基本满足国产设备及下游需求，设备厂商一般与第三方材料厂商合作开发各类金属材料及熔融工艺，少量 3D 打印设备及打印服务厂商会自主生产金属 3D 打印材料。目前国内比较知名的 3D 打印粉末提供商包括有研粉材、中航迈特、威拉里、宁波众远、西安赛隆等；

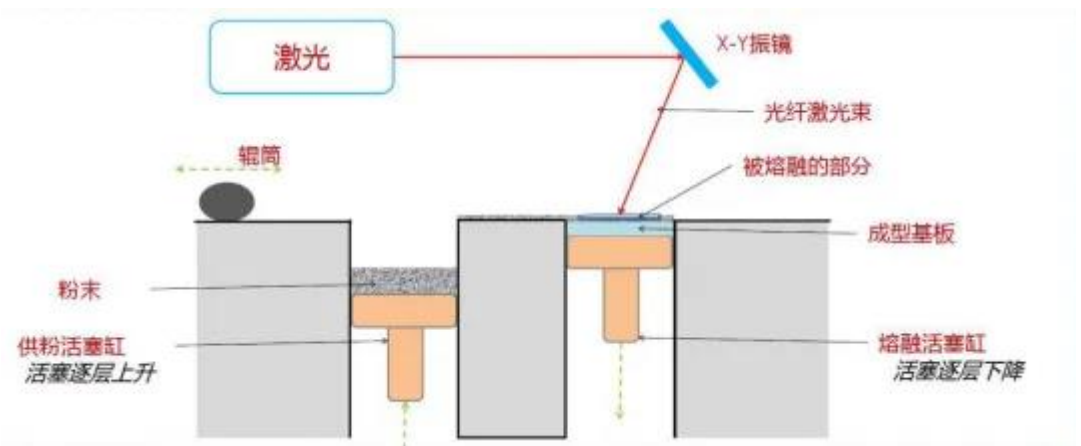
图19 3D 打印金属粉末



资料来源：大大合金，中航证券研究所

- **核心硬件：**增材制造使用的核心硬件包括振镜和激光器，目前国内大部分企业主要采购自美国和德国，存在依赖进口的情况（以华曙高科为例，2022 年上半年振镜国产化率为 0.9%，激光器国产化率为 30.1%）。随着国产振镜和激光器的研制成功及性能提升，目前已实现部分进口替代。比较有名的激光器或振镜提供商包括锐科激光、创鑫激光、大族斯特、正时精控、金橙子等；

图20 SLM 设备内部结构



资料来源：3D 经纬，中航证券研究所

- **软件服务：**3D 打印软件包括工业软件及应用软件，应用软件主要是产业链上下游主体基于需求开发提供，如辅助设计、工程处理、仿真模拟、智能处理软件，工业软件系统指控制 3D 打印设备的控制系统，是 3D 打印设备的核心中枢。目前行业内的大部分设备的工业系统大部分向第三方采购，软件性能提升依赖于软件服务。国内比较有名的工业软件服务商为安世亚太。

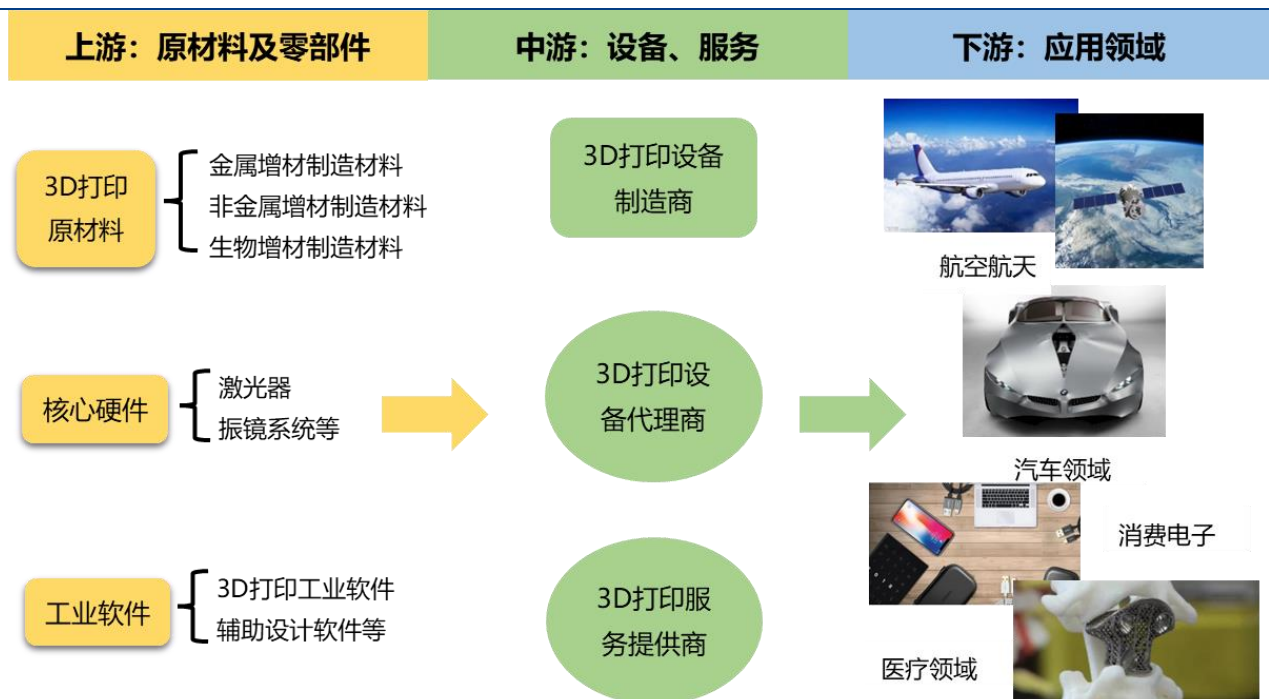
中游——增材制造行业中游主要包括 3D 打印设备制造商和设备技术服务提供商：

- **3D 打印设备：**其中 3D 打印设备是中游、也是产业链的核心主体。增材制造设备制造商研发、生产打印设备提供给下游客户使用，并根据客户反馈不断更新换代，向上游传递市场需求，推动产业链水平提升；
- **3D 打印服务：**近年来，随着增材制造需求的提升，出现了增材制造服务提供商，主要通过 3D 打印设备为客户提供打印服务及各类衍生的技术服务；
- **3D 打印设备代理商：**由于打印应用需求的增多以及打印设备厂商数量的提高，代理设备销售的中介企业也逐渐增多，随着上下游分散化趋势，代理设备企业将会进一步提高影响力。

下游——主要是各下游应用领域，包括航空航天、汽车、医疗、教育等领域。

目前由于增材制造行业最有活力的领域是航空航天，因此主要的客户结构来自于科研单位及高校、各大巨头企业的研发部门以及军工单位的下属院所，此外增材制造在快速修复的领域的优势使其在有相关需求的企业中有所应用，比如油气勘探中的钻头修复和更换，就使用了增材制造技术。

图21 增材制造产业链图

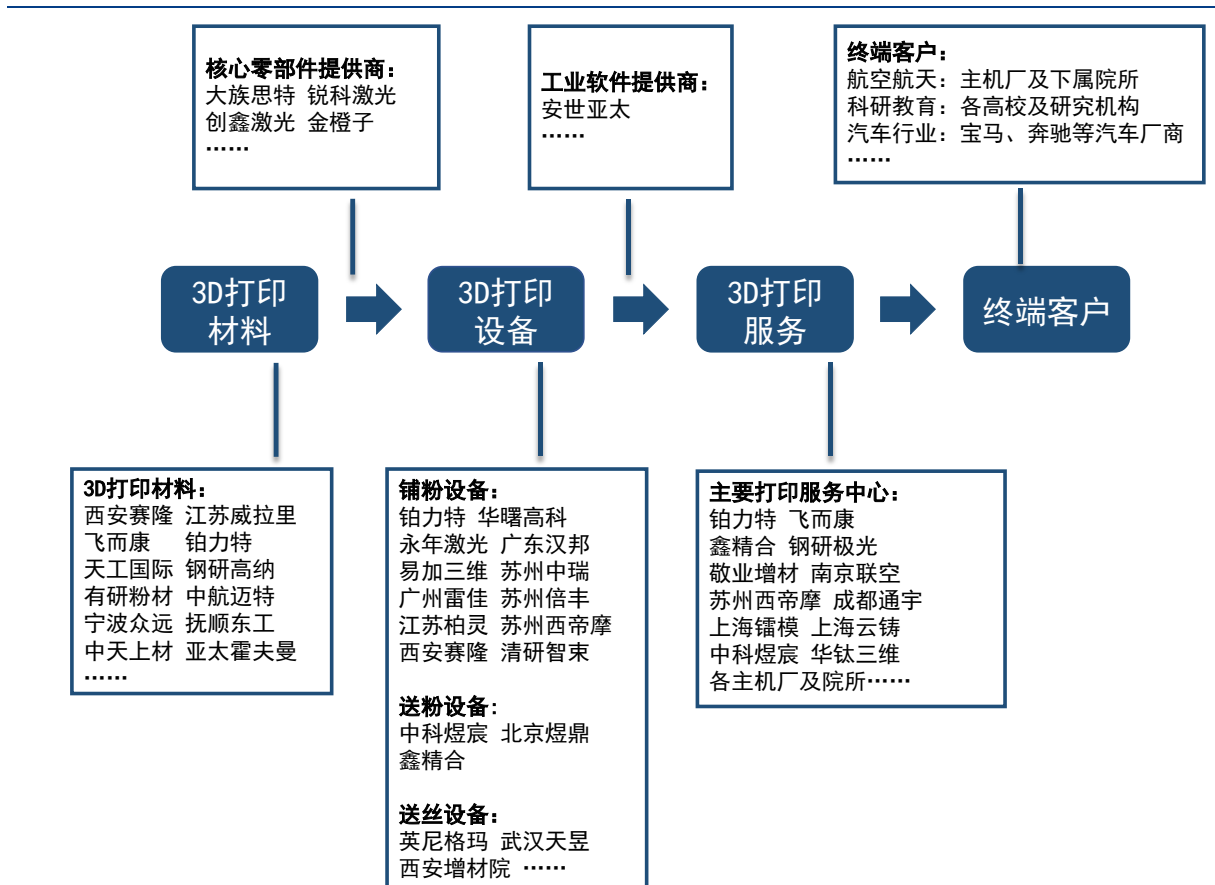


资料来源：华曙高科招股书，中航证券研究所

公司间业务种类犬牙交错：经过多年的发展，产业链中分化出多种增材制造企业类型，他们业务相互交错，形成了独特的业态分布：

- **纯粹的增材制造企业**：以铂力特、华曙高科、飞而康、鑫精合为代表的企业，为了扩充体量、争取足够多政策和融资的支持，大多向产业链上下游进行延伸，在多个领域进行布局，形成了增材制造的产业生态。同时，近年来，在军民融合和武器定型放量的背景下，军工的订单呈现出“小核心，大协作”，即以主机厂为核心，在国内军民企业中寻找配套厂商，民营企业深度参与武器装备的研发、试制和量产。在这一背景下，增材制造企业也深度参与了航空航天领域零部件的试样，得益于军品订单的快速释放，行业内的部分头部公司纷纷拓展了从粉末到设备到服务的全产业链生态；
- **传统业务转型的巨头**：以天工国际、有研粉材、抚顺东工、敬业增材和钢研集团为代表的传统行业巨头纷纷入局，该部分企业凭借自身资本、产业、技术以及客户渠道等资源优势，在产业中取得了一定的优势；
- **下游客户研发部门**：此外还有一些行业参与者，他们属于各企业的科研单位，他们既是下游的终端客户，同时也参与到产业链的各个环节，是产业内不可忽视的力量。例如各大主机厂的科研单位，他们也会采购和招标金属增材制造设备，建设打印服务中心，以满足自身科研和批产的需求。

图22 增材制造主要参与者及重要环节



资料来源：南极熊 3D 打印，中航证券研究所

2.2 竞争壁垒

技术传承：目前主流的增材制造技术主要分为选区熔化和直接能量沉积两条，下面将讲述两条技术路线的技术传承：

- **选区熔化：**选区熔化技术主要包括激光选区烧结（SLS）、激光选区熔化（SLM）以及电子束熔融成型（EBM）等。选区激光烧结（SLS）技术最早由美国德克萨斯大学奥斯汀分校的 Carl Deckard 学者在其硕士论文中首次提出，此后由 DTM 公司将其商业化，即 SinterStation 2000，随后的 DTM 为 3D System 公司收购，而最早广义的 SLS 包括了非金属和金属两种加工工艺——区别在于非金属烧结对温度场和气氛控制的要求较高，而金属烧结则对激光能量密度和控制精度有较高要求。由于 SLS 技术在烧结金属的过程中，金属并未完全熔融，因此成型后的零部件在性能上有所缺陷，因此诞生了 SLM 技术，与 SLS 的区别在于金属粉末在加工过程中被快速熔化。SLM Solution 是选区激光熔融（SLM）路线的先行者，此后涌现出 3D system、EOS、雷尼绍以及 GE 等公司，技术路线得到了快速发展。早期在激光器功率不够的情况下，烧结金属的温度不达标，因此主要采用粉

末外层包覆复合粘结剂的方式烧结，随着近年来高功率激光器的出现，直接烧结金属的工艺也愈发成熟。国内高校最早于上世纪 90 年代引入 SLM 技术，西北工业大学、华中科技大学以及北航等学校研究较多。2010 年以后，铂力特经过市场调研，瞄准了 SLM 技术作为主要的攻关方向，随后逐步形成了 EOS 代理加工、自研设备和打印服务的收入结构。DTM 的创始人许小曙从 3D system 离开后，回国创办了华曙高科，由 SLS 技术向 SLM 路线延伸，并逐步发展出非金属和金属两大技术路线。此外，EBM（电子束熔融成型）由瑞典的 Arcam 最早商用化，随后在国内的清华大学、西北有色研究院等研究机构有所应用，目前国内主要是清研智束、西安赛隆等企业；

- **直接能量沉积：**能量沉积包括电弧增材制造（WAAM）、激光立体成型（LSF）、电子束能量沉积（EBFF）等。电弧增材制造技术主要是起源于英国的克兰菲尔德大学，随后挪威钛等公司将其商业化落地，国内的南京理工大学、华中科技大学以及西安交通大学凭借焊接领域的积累，研究成果先后在英尼格玛、武汉天昱以及西安增材创新研究院落地转化。激光立体成型最早由美国各高校的国家实验室发明，其中技术水平较为领先的是美国能源部下属的 AreoMet，此后国内如西工大、北航等高校也开始了研究，并在中科煜宸、鑫精合、北京煜鼎、铂力特等企业进行了成果转化。而电子束能量沉积技术由于应用较少目前国内没有知名的企业。

图23 不同路线技术特点

技术路线		选区熔化			直接能量沉积		
金属增材制造技术		SLS	SLM	EBM	WAAM	LSF	EBFF
输出热源		激光	激光	电子束	电弧	激光	电子束
材料形式		粉末	粉末	粉末	熔丝	粉末	熔丝
工作环境		惰性气体	惰性气体	真空	大气环境	惰性气体	真空
技术特点	零件尺寸	中小型	中小型	中小型	超大型	大中型	大型
	复杂程度	复杂	极端复杂	极端复杂	较复杂	较复杂	较复杂
	表面质量	一般	优异	良好	很差	一般	差
	后续加工	少量加工	几乎零加工	几乎零加工	后续加工较多	少量加工	少量加工
	制造效率	低	低	中	很高	高	很高
	成型精度	中小型	高	高	差	良	中
	专用模具	无	无	无	无	无	无
	代表厂商	3D system, 华曙高科	Concert laser, Reinshaw, EOS, 西安铂力特, 华曙高科	Arcam, 西安赛隆, 清研智束	WAAM 3D, 英尼格玛	Optomec, InssTek, 中科煜宸、鑫精合、北京煜鼎、西安铂力特	Sciaky, 智熔系统
加工材料		钛合金, 高温合金, 钢, 铝合金, 镁合金, 硬质合金, 钴镍合金等					

资料来源：e-works，中航证券研究所

竞争门槛：增材制造是高科技、高附加值的技术密集型产业，技术壁垒高、设备资本投资大，同时在生产工艺、性能指标上较传统制造业有更高的技术要求。另外，产业定制化属性也使得公司需要深度参与客户产业的产业前期论证和定制化设计，具有较强的客户黏性。目前增材制造技术尚处于产业快速成长期，因此核心技术团队在

经验上的积累十分重要，先发者具有人才和数据库优势：

- **技术壁垒：**由于增材制造设备涉及到粉末的快速烧结和冷却，因此振镜的精确定位、风场对粉末溅射的抑制和晶格结构的形成等方面技术难度较高，目前仅有少数增材制造企业掌握性能达到锻造水平的飞机承力结构试验件的生产工艺，具有较高的技术壁垒；
- **认证资质壁垒：**由于目前增材制造的零部件主要应用于航空航天高端领域，下游客户对于保密性和可靠性要求较高。此外，目前航空航天下游客户以飞机、导弹、卫星等零部件制造商为主，隶属于航空工业、航天科工、航天科技等企业，相关研发体系中的研发人员人脉背景较为封闭集中，因此具有较强的客户渠道壁垒。此外，由于航空航天产品每个型号均需要经过立项、试制、预研、试飞、列装等不同阶段，产品定型后，供应商更改的难度较大，因此深度参与型号预研的产品供应商在型号落地后，也会进入稳定的合格供应商名单，新进入者短期内无法进入，只能针对新型号进行试制和预研，因此具有很高的进入壁垒；
- **人才壁垒：**由于增材制造行业目前处于快速发展期，因此不同的技术路线尚未成熟，需要大量的研发人员投入研发和试错，有经验的增材制造工程师可以针对需求设计零部件结构和支撑，由于增材制造技术的前部设计需要结合专业知识，在零部件加工时深度介入，而核心人才团队可以有效的针对需求设计响应的结构，从而完成业务，因此核心骨干团队非常重要；
- **先入壁垒：**增材制造产业属于 know-how 领域，设备的稳定性和控制的精度直接决定了成型零部件的成品率和性能，因此熟悉工艺、具有设备制造技术的先入者凭借多年来积累的数据库和实践经验在产业链中通过长年的设备迭代，在设备的稳定性和零部件的成型经验上积累了较多的数据，具有较强的先发优势。另一方面，由于增材制造粉末价格较高，而累计的品牌效应将使得客户在面对高价值量零部件的情况下更倾向于选择具有成熟经验、品牌力强的供应商。

2.3 设备大型化、打印中心出现以及国产替代趋势明显

行业趋势：虽然国内整体的增材制造水平较国外有较大的差距，但国内头部的金属增材制造企业经过多年的发展和积累，在产业化应用和规模生产方面已经处于国际领先水平。尽管在其他行业的研究中，投资者普遍性的将国内的上市公司与海外的公司进行对比，但我们需要指出——海外上市的增材制造企业主要为民用领域为主，技术也主要是粘结剂喷射、光固化等成本低、精度低的路线为主，而国内已上市和待上市的增材制造企业则是高精度、高成本的 SLM 等技术路线。除了由于海外高精度、高价值量的增材制造企业大多是某巨头的业务部门（如 GE additive）或家族企业（如

EOS) 暂未上市计划, 国内近年来航空航天大量的业务需求也使得行业内公司营收规模达到了上市条件, 因此国内外上市的增材制造企业并不能简单的横向对比。而下游客户的需求牵动了产业链的发展升级方向: 1) 航空航天领域集中式的需求爆发, 带动上下游军民企业加工中心的出现, 2) 主战装备大型零部件的需求提高, 带来了对于增材制造设备大型化的需求, 3) 航空航天自主可控的要求促使国产核心零部件的替代进程加快:

- 设备大型化: 增材制造在大型钛合金件上的应用已逐渐成熟, 针对下游客户的需求, 增材制造企业不断提高装备的尺寸, 以铂力特为例, 其开发的 S 系列设备从 S210 的 100mm 尺寸到 S1000 的 1000mm 尺寸, 在尺寸变大的同时, 激光头的数量也随之增多, 成型效率从 15 立方厘米每小时上升到最高 300 立方厘米每小时, 提高了 20 倍。根据产业调研信息, 每多一个激光头, 成型效率提升在 20-50% 左右不等, 目前尚未见到瓶颈。此外, 由于打印舱体的空间有限, 目前激光头和振镜的数量是效率提升的瓶颈, 因此利用振镜对激光进行分光的技术将是未来增材制造成倍提升效率的重要技术;

图24 铂力特设备情况

型号	BLT-S210	BLT-S310/S320	BLT-S400	BLT-S450/S450T/S450Q
材料支持	钛合金、铝合金、高温合金、钴铬合金、钽不锈钢、高强钢、模具钢、铜合金、钨合金、镁合金	钛合金、铝合金、高温合金、不锈钢、高强钢、模具钢、铜合金	钛合金、铝合金、高温合金、不锈钢、高强钢、模具钢、铜合金	钛合金、铝合金、高温合金、不锈钢、高强钢、模具钢
成形尺寸 (W×D×H) (1)	105mm×105mm×200mm	250mm×250mm×400mm	400mm×250mm×400mm	400mm×400mm×500mm 400mm×450mm×500mm 450mm×450mm×500mm
激光器功率	500W	500W (选配500W×2)	500W×2 (选配500W×3)	500W (选配500W×2; 500W×4)
成形效率 (2)	15cm³/h	25cm³/h (选配50cm³/h)	50cm³/h; (选配75cm³/h)	25cm³/h (选配50cm³/h; 100cm³/h)
预热温度	RT+20℃~200℃	RT+20℃~200℃	RT+20℃~200℃	RT+20℃~100℃
铺粉机构	单向变速铺粉	单/双向铺粉	单/双向铺粉	单/双向铺粉
最低氧含量	≤100ppm	≤100ppm	≤100ppm	≤100ppm
气体支持	Ar/N2	Ar/N2	Ar/N2	Ar
功耗	≤4KW	≤8KW (选配≤11KW)	≤11KW	≤10KW (选配≤12KW; ≤15KW)
外形尺寸 (W×D×H)	1300mm×1000mm×1850mm	3400mm×1200mm×2200mm	3400mm×1200mm×2200mm	6100mm×4050mm×3400mm
设备重量 (kg)	约900	约3600	约3700	约14500
示例				
型号	BLT-S510	BLT-S600	BLT-S800	BLT-S1000
材料支持	钛合金、铝合金、高温合金、不锈钢、高强钢、模具钢	钛合金、铝合金、高温合金、不锈钢、高强钢、模具钢	钛合金、铝合金、高温合金、不锈钢、高强钢、模具钢	钛合金、铝合金、高温合金、不锈钢、高强钢、模具钢
成形尺寸 (W×D×H) (1)	500mm×500mm×1000mm	600mm×600mm×600mm	800mm×800mm×600mm	1200mm×600mm×1500mm
激光器功率	500W×4	500W×4	500W×6 (选配500W×8; 500W×10)	500W×8 (选配500W×10; 500W×12)
激光波长	1060nm~1080nm	1060nm~1080nm	1060nm~1080nm	1060nm~1080nm
分层厚度	20 μm~100 μm	20 μm~100 μm	20 μm~100 μm	20 μm~100 μm
最大扫描速度	7m/s	7m/s	7m/s	7m/s
成形效率 (2)	100cm³/h	100cm³/h	150cm³/h (选配200cm³/h; 250cm³/h)	200cm³/h (选配250cm³/h; 300cm³/h)
预热温度	RT+20℃~100℃	RT+20℃~100℃	RT+20℃~100℃	
光束质量	M2<1.1	M2<1.1	M2<1.1	M2<1.1
光学结构	F-θ 镜头	F-θ 镜头	F-θ 镜头	F-θ 镜头
铺粉机构	单/双向铺粉	单/双向铺粉	单/双向铺粉	单/双向铺粉
最低氧含量	≤100ppm	≤100ppm	≤100ppm	≤100ppm
气体支持	Ar	Ar	Ar	Ar
功耗	≤12KW	≤18KW	≤22kw	≤20kw (选配≤22kw; ≤25kw)
供电电压	AC380V3Ph/N/PE	AC380V3Ph/N/PE	AC380V3Ph/N/PE	AC380V3Ph/N/PE
外形尺寸 (W×D×H)	5100mm×5600mm×3800mm	4700mm×5100mm×3800mm	5700mm×5000mm×4400mm	10150mm×6500mm×5525mm
设备重量 (kg)	约11500	约14900	约24300	约35000
配套软件	Magics、BLT-BP、BLT-MCS	Magics、BLT-BP、BLT-MCS	Magics、BLT-BP、BLT-MCS	Magics、BLT-BP、BLT-MCS
示例				

注释：(1) 不包括基材厚度；(2) 与零件的形状、尺寸、材料和参数有关。

资料来源：铂力特官网，中航证券研究所

➤ 小核心大协作下的加工中心出现：随着航空航天领域重点型号的定型，以主机厂

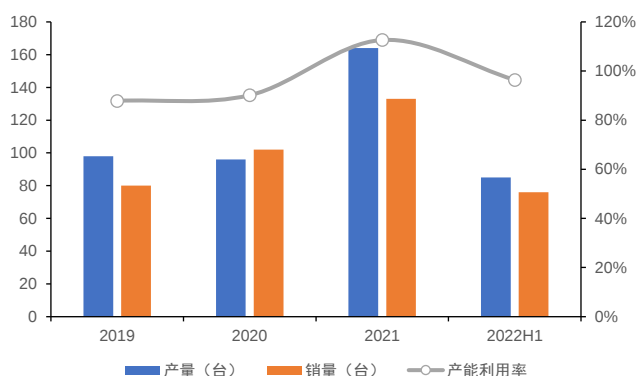
为核心，民参军企业配套的趋势越来越明显，由此诞生了两种加工中心的模式：

1) **小核心引导产业链升级：**主机厂出于供应安全及性能要求的考虑，参与加工中心的建设。主机厂布局打印中心与“小核心大协作”并不违背，而是一种产能补充。通过自建打印中心，下游客户更加直观的了解到行业发展情况，也能带动整体产业链升级：

- **中航沈飞布局增材制造带动产业链需求：**2022 年 9 月 26 日，中航沈飞发布公告，全资子公司与沈北新区政府、沈阳航产集团三方签订《战略合作框架协议》，协同推进航空复材加工、钛合金成型及增材加工、沈阳航空智造生产基地等首期重点项目建设。本次建设旨在发挥供应链链长作用，完善新材料、新工艺布局，提升供应链配套质量及效率，缩短响应时间。我们预计，本次合作将为航空航天领域的增材制造设备的需求提供助力，并实现相关龙头企业业绩的快速增长；
- **航天六院增材中心建设启动：**2021 年 9 月中心启动了产业化厂房建设及改造工作，2022 年 3 月启动一期项目建设，快速推进产业化实施。2022 年下半年，6200 平米厂房已经改造完毕投入使用，一期共有 40 台设备，已有 39 台设备投入使用，保证了先进动力型号的研制，与此同时，公司同步启动了产业化二期及三期项目的论证工作，目前已经完成二期及三期项目招标工作。11 月底设备陆续到位并于 12 月完成安装，随着二期三期项目的推进，下游需求快速增长，牵动产业链发展升级。

2) **大协作加速扩产配套：**随着航空航天领域重点型号的定型，军工小核心大协作的趋势越来越明显。前期投入研发的企业纷纷建立起自己的打印服务中心，以铂力特、飞而康、鑫精合、钢研极光、河北敬业等为首的企业批量生产或购买打印设备进行航空航天核心零部件的打印工作，相关企业加快资本开支建设大中小型打印中心，为上游设备企业带来了较大的营收增长，以湖南华曙高科为代表，可以发现前五大客户中军工客户比例明显提高，此外军工客户的采购量也快速提升，公司产能利用率维持高位，体现出下游客户需求不断提高。此外，铂力特四期定增项目主要目标是建设金属增材制造粉末车间及 3D 打印服务中心，共计设备 505 台/套，意味着头部玩家开始进入批产阶段。

图25 华曙高科产销量情况（单位：台）



资料来源：华曙高科公告，中航证券研究所

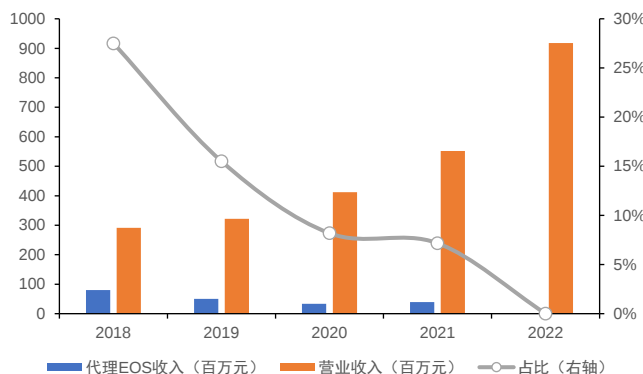
图26 华曙高科前五大客户情况（单位：万元）

	2019	2020	2021
客户H	1,420.84		
Jabil Circuit Inc	1,300.67		
华翔医疗	691.72		
FKM Sintertechnik GmbH	670.26		
无锡产业发展集团有限公司	647.21	5,286.75	4,099.22
青岛意库自造网络科技有限公司		1,009.20	
北京合益鹏科技有限公司		1,005.58	
北京金凯顿机电有限公司		923.82	
上海联泰科技股份有限公司		877.3	2,183.87
客户B			5,351.39
钢研集团			4,033.79
客户A			2,050.91

资料来源：华曙高科公告，中航证券研究所

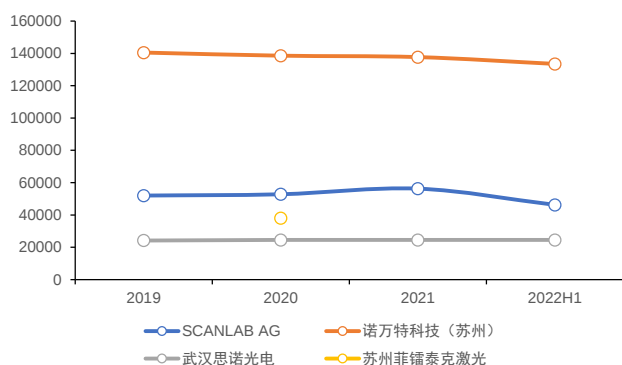
- **国产化替代加速：**国产化替代既是下游客户为了自身供应的安全性和多元化的必然要求，同时也是设备制造商自身出于降本增效，提高产品竞争力的考虑，市场竞争的结果。与十年前国内大量采用海外进口设备相比，近年来国产增材制造设备的市占率逐步提升，以铂力特为例，上市前，铂力特的海外设备制造商代理收入占比高达 27.5%，近年来公司加大自研设备研发投入，代理业务逐渐减少，2022 年公司实现了设备的全部自研。同时，设备制造商也在积极探索核心零部件的国产化。对于激光选取熔化路线（SLM）来说，目前主要的核心零部件包括振镜、激光器、花键、电机，其中振镜和激光器国产化率仍然处于较低水平，也是设备中价值量较高的核心零部件。根据华曙高科答复函，2022 年上半年，国产激光器如创鑫激光已经实现部分供货，单价为 2.75 万元，相较于公司整体采购价 4.55 万元下降较多——一方面是由于公司采购较多的进口 IPG 激光器具有效率高、能耗低、精度高等优点，同时运行时功率衰减少，具有良好的稳定性，因此相较于其他激光器价格较高；另一方面是由于国产激光器生产成本、议价能力相较于海外激光器低。因此综合来看，近年来随着国产激光器厂商的加入，激光器的平均采购价格逐年降低。

图27 铂力特代理收入情况



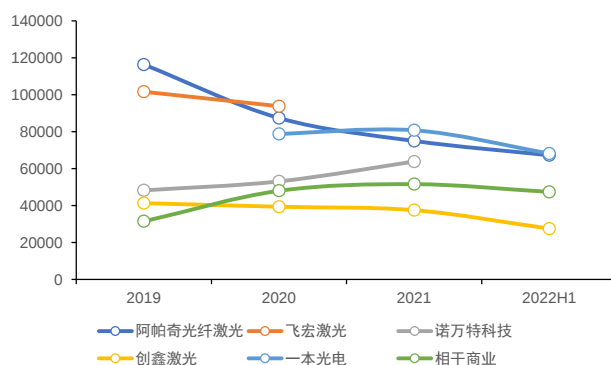
资料来源：，中航证券研究所

图28 振镜价格（元/台）



资料来源：华曙高科公告，中航证券研究所

图29 激光器价格（元/台）

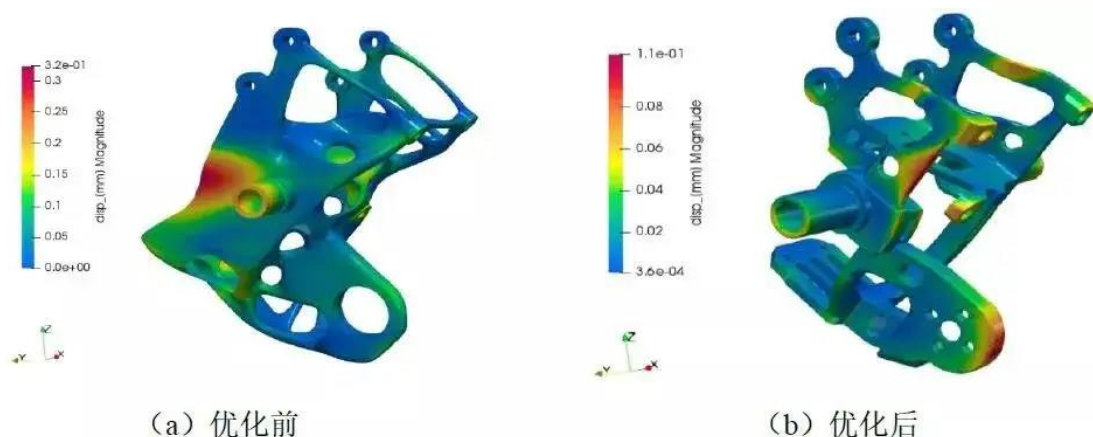


资料来源：华曙高科公告，中航证券研究所

除了目前较为清晰的三大趋势以外，拓扑优化也愈发成为近年来人们关注的重要话题，站在当下时间点来看，虽然目前第三方的拓扑优化团队尚未形成规模，但随着下游需求的多元化以及客户群体的分散化，我们认为，针对特定客户和特定场景的拓扑优化将成为主流。**增材制造与拓扑优化彼此需要、相互促进，甚至带来新的需求：**

- 1) **拓扑优化与增材制造彼此需要：**拓扑优化是一种根据给定负载情况、约束条件和性能指标，在给定区域内对材料分布进行优化的数学方法，因此拓扑优化主要是基于有限元网络而非几何的。目前连续体拓扑优化的研究已经较为成熟，比较知名的工业软件包括美国 Altair 公司的 Hyperworks 系列软件中的 OptiStruct 和德国的 Fe-design 公司的 Tosca（目前已经被达索收购，集成到 Abaqus 中）。**拓扑优化和增材制造的集成能够充分发挥两者的优势和潜力。**区别于传统的经验式的设计模式和面向设计的性能评估，拓扑优化实现了根据性能要求建立模型，并针对需求进行优化。而经过拓扑优化的方案存在的大问题是结构形式复杂、可制造性差，而拓扑优化是通过有限元分析和计算机仿真模拟计算的结构，因此只有在不考虑结构工艺约束的情况下才能发挥最好的效果。早年间工程师尽管通过拓扑优化设计了很多结构独特、高性能的产品，但是往往囿于工艺限制不得不进行妥协，遵循“实现性优先”，舍弃原有的优势。增材制造的出现解决了这一问题，通过堆叠的方式将三维的实体转化为二维的加工过程几乎对复杂度不敏感，从而实现了自由化的设计。因此企业可以根据自身需求设计并打印复杂的产品，不再受到工艺和制造资源的束缚的工程师也能够真正实现“设计即生产”，因此**增材制造让拓扑优化的价值得以完全发挥。同时，另一方面看，增材制造离不开拓扑优化**，由于增材制造的原材料价格较传统工艺高，因此要实现平价甚至经济上的优势，拓扑优化是重要的方法。通过拓扑优化确定和去除不影响零部件刚性的材料，在满足功能和性能要求的基础上实现轻量化，不仅美观独特，而且节省了大量材料，尤其是昂贵的原材料。**因此从这个角度来看，拓扑优化与增材制造相辅相成、互相成就，拓扑优化技术是增材制造工业软件的核心技术之一；**

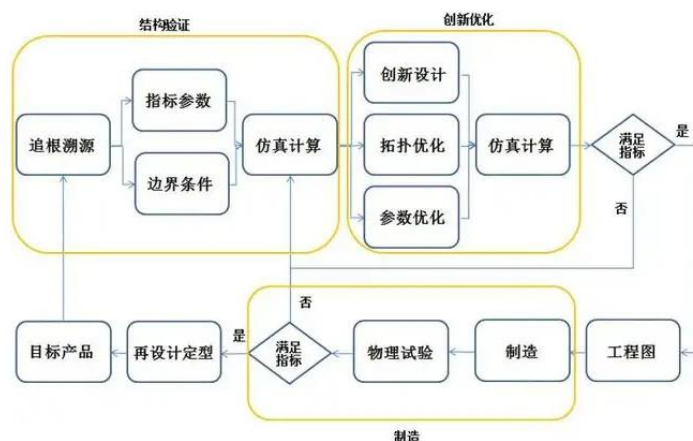
图30 拓扑优化对打印结构的改变



资料来源：敬业增材，中航证券研究所

2) 设计评估与自反馈闭环：增材制造的零部件在打印前、中、后期均需要进行评估，典型的评估方法包括性能仿真和点阵仿真。在打印过程中往往会碰到过度变形、部件开裂、刮板碰撞、支撑断裂等等问题，这与打印前的仿真模拟息息相关。与传统方式不同，增材制造的成本很高，无法承担多次打印失败的风险，因此仿真环境尤为重要，而全数字化的设计及加工方式也为数字孪生提供了可能。由于增材制造涉及到材料的快速熔化和凝固，因此对于熔池的动力学控制以及晶体结构的生长要求更高。一款设计方案诞生后，需要进行数字仿真模拟，然后根据仿真模拟结果优化设计和支撑方案，接着进入下一轮的模拟，直至通过模拟测试。随后，在设备中进行线程试验，试验过程中，软件进行实时模拟仿真，预判可能出现的问题并及时调整。打印结束后，根据部件后续的性能测试进一步优化设计方案，形成闭环；

图31 拓扑优化流程闭环



资料来源：安世亚太，中航证券研究所

3) 创新设计拓展新的需求：在目前的增材制造应用中，下游往往会希望增材制造能够替代已有的零部件的制造工艺，诚然，这是目前下游客户最容易接受的路径，

但我们同时需要指出，尽管目前大部分的需求仍来自于已有的工艺替代的需求，但新的需求将诞生于创新的设计——例如文创产品，通过拓扑优化和点阵设计的文创产品将引发消费者的购物欲望，从而催生出新的需求。因此，从供给端的角度来看，将来随着增材制造的特性与创新性的设计结合，将在更多的领域催生出新的需求。

2.4 增材制造成本下降曲线分析

增材制造成本拆分：为了分析增材制造的成本下降的可能性，我们将增材制造加工过程分为八个过程，分别为气体消耗成本、设备调整成本、冷却分离和表面处理成本、设备维护成本、粉末成本、电能消耗成本和折旧成本，此外，还有预先设计与研发的支出成本。在这些成本中，气体消耗成本、设备调整成本、冷却分离和表面处理成本、设备维护成本等均属于历史统计即可得出的数据，由于技术进步较慢等原因在短期内不会发生太大变化，而粉末成本、电能消耗成本以及折旧成本，由于与零部件的情况相关，因此需要具体分析；

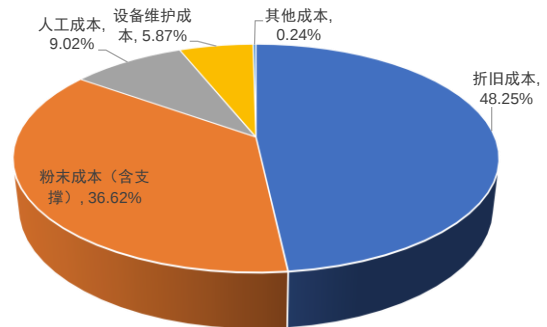
我们将历史相关的成本参数进行了估计，并以一个具体的零部件为例分析相关成本结构以及敏感度。我们假设了一个零件大小 935mm*526mm*1463mm 的钛合金零部件，由于粉末烧结过程需要附加额外的支撑结构以维持零部件的形状，此处假设支撑部分占零部件的比例约为 10%，模型复杂度方面，设定单层层高为 20 μ m，模型复杂度为 0.06（即零部件实际成形速度相对于打印机堆积效率的比，越小说明越复杂），以铂力特 S1000 打印机为参考，得出最终的成本大约为 119 万元，其中折旧费用和粉末成本最高分别占比 48.3%和 36.6%；

图32 历史相关成本建模

成本影响因素	数值	单位
开始时气体体积	30	L
结束时气体体积	25	L
保护气体密度	809.5	kg/m ³
保护气体的单位价格	6.5	元/kg
历史设备调整时间	0.3	h
操作员工时薪	30	元/h
历史成形件分离时间	0.1	h
历史成型件表面处理时间	0.5	h
激光功率	1000	W
历史成型件分离所耗功率	1000	W
历史成型件表面处理所耗功率	1000	W
电能单价	0.9	元/度
设备定期检查成本	50000	元
设备维修成本	100000	元
设备维修频率	0.2	次
金属粉末材料利用率	90	%
模型实体部分密度	4.51	g/cm ³
模型支撑部分密度	4.51	g/cm ³
金属粉末单价	2000	元/kg
铺粉设备功率	440	W
单层铺粉时间	9	秒
购买设备费用	13000000	元
设备使用周期	8	年
单台设备占地面积	50	平米
厂房折旧成本	2	元/平米/年

资料来源：《SLM 打印金属零件成本分析及预测模型》，中航证券研究所

图33 增材制造模型成本结构

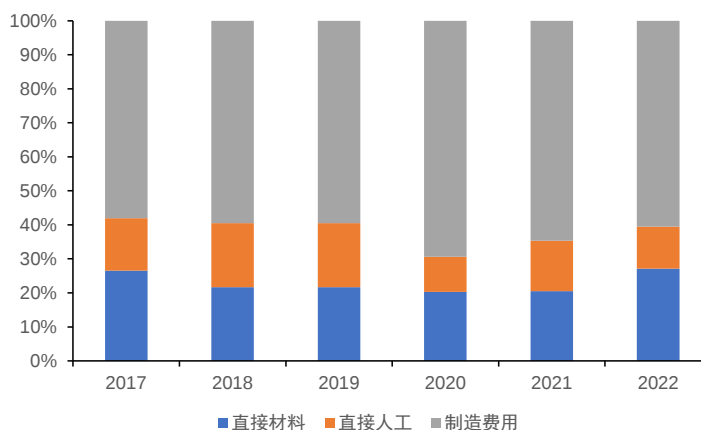


资料来源：中航证券研究所

备注：其他包括电能、气体消耗、冷却分离及设备调整成本

与铂力特对比可知，打印服务方面，原材料成本、人工费用以及制造费用分别占比约 20%/20%/60%，其中人工费用、制造费用高于模型的主要原因包括前期设计成本和后处理成本等。敏感性分析方面，粉末价格变动±20%，成本变动±7.3%；设备价格变动±20%，成本变动±9.6%；人均薪酬变动±20%，成本变动±1.8%；

图34 铂力特 3D 打印定制化产品成本拆分



资料来源：iFinD，中航证券研究所

图35 敏感性分析

敏感度分析	-40%	-20%	0	+20%	+40%
粉末价格（元/kg）	1200	1600	2000	2400	2800
总成本（万元）	102	111	119	128	137
变动幅度	-14.6%	-7.3%	0.0%	7.3%	14.6%
设备价格（万元）	780	1040	1300	1560	1820
总成本（万元）	96	108	119	131	142
变动幅度	-19.3%	-9.6%	0.0%	9.6%	19.3%
人均薪酬（万元）	12	16	20	24	28
总成本（万元）	115	117	119	121	124
变动幅度	-3.6%	-1.8%	0.0%	1.8%	3.6%

资料来源：中航证券研究所

根据我们对柏灵激光、飞而康、威拉里、西安赛隆等企业的调研，2012 年以来，设备端成本下降了 4/5、材料下降了 3/4、效率提升四倍、所需支撑下降了 33%，良品率提升了 10 个百分点，分析成本下降的主要原因是加工效率提升带来的单缸机时的下降、规模生产粉末的价格下降、支撑优化后粉末用量的下降。根据我们的模型计算，2012 年以来总成本下降了 84.2%，预计未来到 2025 年设备成本下降 50%，材料价格下降 20%，沉积效率提升 3 倍，支撑比例不变，良品率提升 3 个百分点，总成本下降一半。由于增材制造计算成本是按照机时折旧与粉末消耗为主，因此与注塑成形和粉末冶金相比，在零部件数量满足一定条件的情况下，将具有优势；

图36 成本下降预测

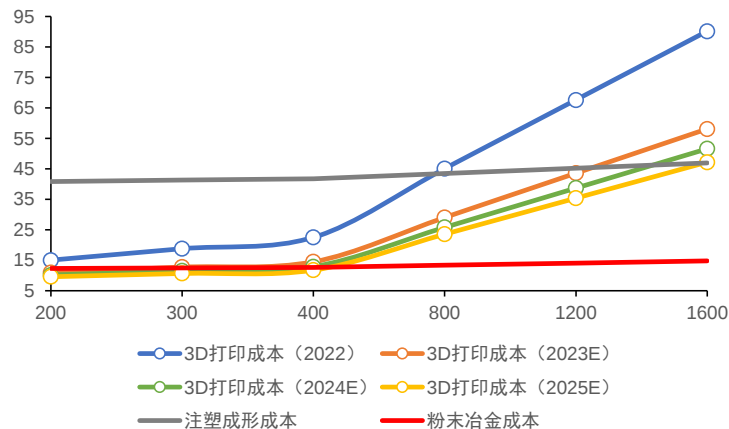
	2012	2022	2023E	2024E	2025E
设备成本（万元）	800	160	120	100	80
材料价格（元/kg）	800	200	190	180	160
沉积效率（cm ³ /h）	20	80	160	200	240
所需支撑比例（%）	15	10	10	10	10
良品率（%）	20	30	31	32	33
3D打印总成本（万元）	142.7	22.5	14.5	12.9	11.8
注塑成形模具（万元）	30	40	40	40	40
注塑成形单件制造成本（元）	43.8	43.8	43.8	43.8	43.8
粉末冶金模具（万元）	12	12	12	12	12
粉末冶金单件制造成本（元）	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5

资料来源：中航证券研究所

据此我们可以画出 2022 年当前时间点下，某款具体的 3D 打印零部件的成本与注塑成形、粉末冶金零部件的对比，需要指出的是，一缸粉末增加额外数量的零部件的边际成本几乎相当于粉末本身的成本，因此严格意义上来说，3D 打印零部件的成本应该呈现阶梯式跳跃上升。根据我们的模型推算，3D 打印在 2022 年的技术水平之下，打印 400 件以内的某款零部件的成本相较于注塑成形有较大优势，而假设到 2024 年技术有所提升，各项成本有所下降，效率提高之下，增材制造可以实现 400 件的成本低于粉末冶金。同时我们可以看出，到 2025 年，打印零部件数量达到 1600 件时，3D 打印成本才会高于注塑成形，反映出随着 3D 打印技术的进步带来的成本降低，3D 打印成本相比传统工艺存在优势的零件数量级逐渐变大，增材制造批产的应用空间

不断提高。

图37 增材制造打印成本与传统工艺对比（万元）



资料来源：中航证券研究所

备注：横坐标为制造件数

成本下降未来可期：近年来成本下降呈现加速趋势，主要原因是 17 年以后多激光头的出现、下游需求旺盛带来粉末规模效应提高等因素，我们认为未来增材制造降本的主要思路包括：1) 新的技术路线；2) 打印效率提高带来的机时下降；3) 粉末价格的下降；4) 拓扑优化和支撑优化减少粉末用量，未来随着增材制造的成本降低，将带来更多的需求应用。

2.5 小结

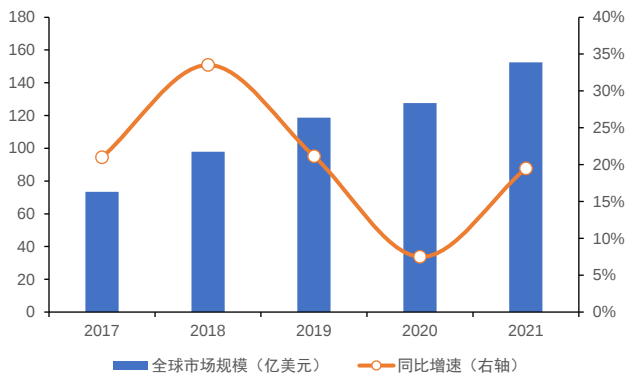
增材制造的产业链大致分为上游的原材料、核心零部件以及软件服务，中游的打印设备和打印服务以及下游的具体应用等。经过多年的发展，产业链衍生出不同类型的企业，包括了纯粹的增材制造企业，为了争取足够的资源，他们大多依靠自身优势向产业上下游延申，形成自身生态；也包括了传统业务转型的巨头，凭借自身积累在产业内取得了一定优势；还有一些下游客户自身的研发部门，由于对自身行业有较多了解，因此通过与设备厂合作参与到打印加工环节，拥有一定的议价能力。从技术传承来看，增材制造大致分为选区熔化路线和直接能量沉积路线，相似路线可以延伸和拓展。同时，增材制造具有一定的竞争门槛，包括技术壁垒、认证资质壁垒、人才壁垒以及先入壁垒。从行业发展趋势来看，国内和海外上市企业出现了一定的分化，国内的增材制造企业朝着设备大型化、打印服务规模扩大化以及国产化替代的方向发展。同时，未来随着增材制造下游应用越来越多，第三方的拓扑优化企业将会越来越多，通过将增材制造的工艺和行业知识结合，传统的设计方法将会被面向需求的拓扑设计方法替代，并衍生出更多新的需求。最后我们根据产业调研和历史数据拆解了当前增材制造的成本结构，得出了在一定的生产数量内增材制造的成本低于注塑成型和粉末

冶金，随着增材制造各环节成本的降低，将其临界数量将逐渐右移，带来更多的需求应用。

三、行业需求情况

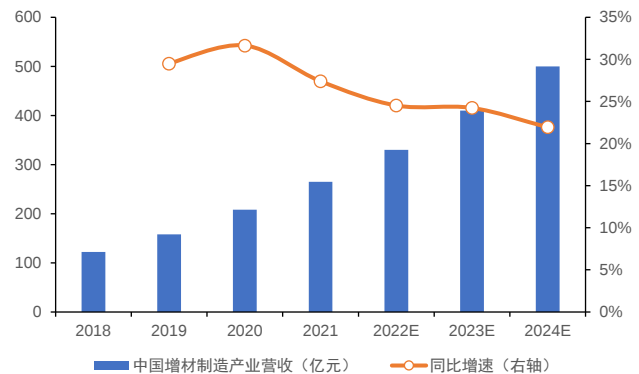
全球 3D 打印市场进入快速发展期，我国增速突出：经过多年发展，增材制造产业进入了快速发展期，根据《Wohlers Report 2022》报告显示，2021 年全球增材制造市场规模达到 152 亿美元，同比增长 19.5%，其中产品市场规模为 62.29 亿美元，同比增长 17.5%，服务收入为 90.15 亿美元，同比增长 20.9%，2017-2021 年年复合增速 20.1%。根据报告预测，到 2025 年增材制造收入规模较 2021 年将增长近 2 倍，达到 298 亿美元，到 2031 年增材制造收入规模将较 2021 年增长 5.6 倍，达到 853 亿美元。而我国的增材制造产业近年来增速明显快于全球，根据中国增材制造产业联盟估算，2021 年我国增材制造企业营收约 265 亿元，近四年平均增长率约为 30%，较全球平均增速高出近 10 个百分点，2021 年，50 家规模以上企业总营收达到 91.2 亿元，比 2020 年的 65.5 亿元增加近 30 亿元，同比增长 39.2%。根据赛迪顾问预测，未来三年我国 3D 打印产业复合增长率为 24.1%，2024 年产业规模增长至 500 亿元；

图38 增材制造全球市场规模



资料来源：《Wohlers Report 2022》，中航证券研究所

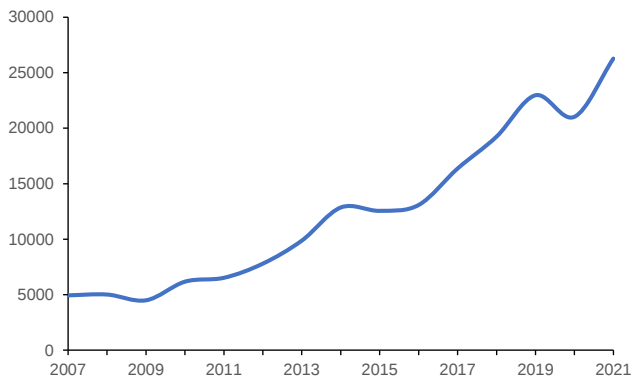
图39 中国增材制造产业营收情况



资料来源：中国增材制造产业联盟，中航证券研究所

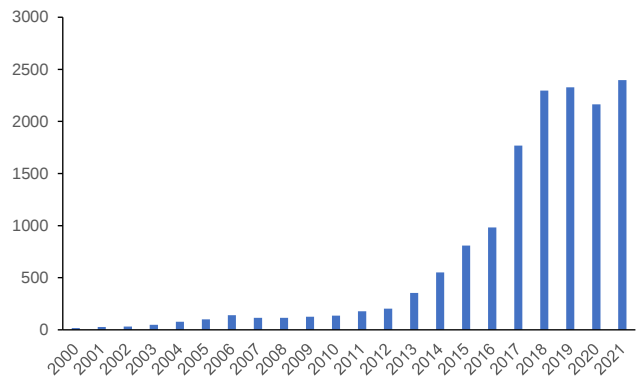
工业级增材制造设备明显增多，其中金属近十年增长十倍：根据《Wohlers Report 2022》显示，2021 年全球工业级增材制造设备（指面向工业且售价在 5000 美元以上的机器）销售量达到 26272 台，较 2020 年增长 24.9%。过去十年全球金属增材制造设备销售量实现了超过十倍的增长，2021 年度全球金属增材制造装备销售量约为 2397 台，较 2020 年增长了近 10.7%；

图40 全球工业级增材制造设备销售量（单位：台）



资料来源：《Wohlers Report 2022》，中航证券研究所

图41 全球金属增材制造设备销售量（单位：台）



资料来源：《Wohlers Report 2022》，中航证券研究所

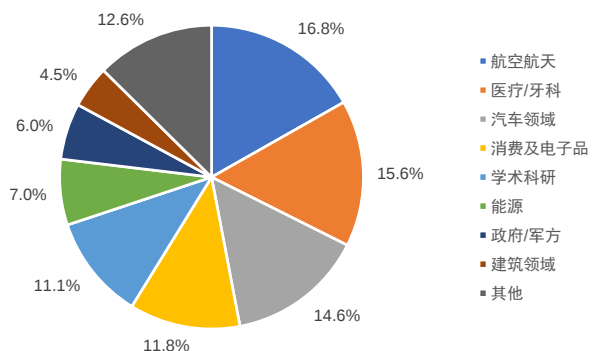
下游应用领域多元化,应用深度不断拓展:增材制造已经被广泛应用于航空航天、汽车、医疗等领域,并逐步被尝试应用于更多领域。如航空航天领域,具有成本不敏感、性能要求高、减重需求大等特点,因此增材制造的先天优势较大,成为了近年来应用领域最多,价值量占比最高的领域。医疗/牙科领域定制化需求较多、消费者价格承受力强,同时时间周期较短,也非常适合使用增材制造产品。此外,在汽车、消费电子、科研等领域,增材制造均发挥着重要作用,因此在各个领域均具有较大的增长潜力。根据 Wohlers Report 2022 报告显示,2021 年增材制造主要应用于航空航天、汽车、消费与电子品、医疗/牙科、学术科研等领域。

图42 增材制造下游主要应用及优势

应用领域	产品	应用效果
航空发动机	燃油喷嘴	减重25%,去库存95%,一体化成型,成本降低30%,耐用性提高5倍
	传感器、热交换器	有效减少零部件生产、运输和存储,燃油效率提高10%
航空飞机	客舱支架	400个零部件整合成1个,制造周期由2年缩短至100h内
	吊耳、钛合金承力构件	轻量化
航天火箭	喷管、叶片、燃烧室	制造速度提高10倍,成本降低50%
燃气轮机	燃料喷射器主体及冷却系统	联合循环净销量有62.7%突破至64%,预计可节省百万美元燃料
	燃烧器、静叶片与动叶片修复	修复相应快,减少停电损失,相比旧零件,翻新零部件可提高发电销量1%,减少材料浪费65%
骨科植入物	脊椎骨、下颌骨、胸腔、髌部、膝盖、肩部等	个性化,提高康复速度及效果
齿科产品	金属义齿及支架	个性化
模具	复杂型腔、随形冷却结构	一体化成型,制造周期缩短15%-45%,冲模效率及寿命明显提高
汽车	恒温器盖配件	快速配件更换
	发动机组件	部件减少25%,质量减轻2%
轨道交通	热交换器	2000个不见整合为一个,体积缩小70%,散热距离缩短

资料来源：《中国新材料报告（2021）》，中航证券研究所

图43 2021 年下游领域价值量占比



资料来源：华曙高科招股说明书，中航证券研究所

3.1 航空航天

根据 Wohlers Report 2022 的统计，2021 年全球航空航天需求占比 16.8%，根据 AM power 预测，航空航天领域使用增材制造技术制造的最终产品而非模具的比例将大大提高。站在目前的时间点来看，航空航天领域的应用也印证了这一趋势，其应用范围已经从零部件级（飞机、卫星、高超飞行器、载人飞船零部件打印）发展至整机级（发动机、无人机、微/纳卫星整机打印）。

图44 航空航天产品及具体用途

应用材料	产品名称	具体用途及实现功能	产品示例	应用材料	产品名称	具体用途及实现功能	产品示例
高温合金	发动机集成件	以航空发动机为基本构型为载体，通过整体化设计，实现了典型的轻量化特征、空间多尺度结构、异形曲面及流道等复杂特征，实现了大尺寸部件与局部灵活可动性特征。		钛合金	主连接箱体	组合制造，在传统铸件上加工精细结构	
	燃油喷嘴	航空发动机燃油喷嘴，应用于燃烧室，内部具有复杂内腔和流道，实现了零件一体化成形，生产周期大大缩短，已经实现验证机上100%设计转速稳定运转，实现了批量化生产			中央翼上下缘条	保证抗疲劳等性能的同时，缩短了项目研发周期，在0919研发阶段起到重要作用	
	叶轮盘	适用于900℃以下的热端部件和静子结构，内部无缺陷，性能优于铸件，在涡轮工作叶片、导向叶片、导向器和涡轮盘等零件上应用广泛			飞机进气道壁	异形曲面结构，制造周期短，变形可控且无需后处理	
钛合金	格栅舱门	薄壁异形曲面、内部镂空、大区域高密度直、斜向格栅孔，具有零部件一体化、加工周期短、减重效果明显等优点		铝合金	膀胱支架	卫星上重要零部件，拓扑优化同时减轻重量	
	通风器	蜂窝结构一次成型，整体无缝、无需模具，实现功能优先、任意结构的蜂窝，解决传统工艺良品率低的问题，已经实现小批量装机			天线支架	卫星的天线支架经过拓扑优化和一体化设计，相较于传统工艺减重35%，应力集中问题得到缓解，峰值应力响应状态降低6%，材料利用率提高，避免了机加工过程的浪费	
	空心叶片	一体化制造空心叶片，解决连接缺陷问题，内腔为W型加强筋，减重近30%，强度更好，制造周期更短		铜合金	发动机尾喷管	结构内外壁有50条冷却槽道，由于集成了复杂冷却流道，增大了接触面积，因此效率极大提升，且设计更加紧凑和轻量化	
	钛合金框零件	主承力结构件，降低了生产周期和成本，缩短研制周期			高频感应线圈	成形内部空腔薄壁环形结构，实现了较高的反射率	

资料来源：铂力特公告，中航证券研究所

近年来由于国家陆续开展了低成本生产战略战术武器的方法和新型空天体系的研究，同时民用航天的兴起，带动了航天产业的全面繁荣，金属 3D 打印完美符合了航天产业多品种、小批量、整体化、轻量化、低成本等需求，势必成为航天产业中主流加工技术甚至是某些产品唯一加工技术，在卫星、武器装备、火箭、太空飞行器多个领域存在较大的增长空间：

<1>增材制造实现卫星结构减重：2019 年 8 月 17 日，千乘一号 01 星作为主星搭载捷龙一号遥一火箭升空，卫星发射入轨圆满成功。千乘一号是目前国际上尺寸最大的增材制造整星结构，使用轻量化的三维点阵结构完成设计，通过铝合金增材制造技术一体化制备，整星历时 14 个月完成研制，重量 65 公斤。与传统卫星相比，传统卫星结构承载比 20%左右，整星频率 70Hz，千乘一号 01 星结构承载比 15%，整星频率 110Hz。该卫星采用铂力特的 BLT-S600 设备打印，内部采用点阵化结构，零件

最小特征仅 0.5mm，由于整体轮廓尺寸较大，因此整星内有超过 100 万个点阵结构特征。通过宏细观一体化优化方法设计的千乘一号考虑了整体工艺约束和整星装配约束，实现了点阵材料细观构型和连接结构的创新设计。目前该设计方法已经用于卫星整星结构、相变储能热控结构与有效载荷支架结构，相较于传统的制造工艺，实现了结构减重 30-60%；

根据中航证券深度报告《新时代的中国航天》，卫星分为通信卫星、导航卫星、遥感卫星三类，按照传统卫星的价值量分布，增材制造潜在可替代总体结构的价值量占比约为 6%，按照中性假设 2021-2025 年增材制造技术的在中小型卫星渗透率在 10% 左右，在大型卫星的渗透率在 2% 左右，2021-2025 年市场合计规模将达到 5.8 亿左右。

图45 卫星市场空间测算

卫星系列名称	卫星单价 (亿元/颗)	卫星需求 (颗)	增材制造潜在 空间占比	增材制造技 术渗透率	合计市场规 模 (亿元)
通信卫星 (大卫星)	9.5	10	6%	2%	0.1
通信卫星 (小卫星或微小卫星)	0.57	1664	6%	10%	5.7
合计					5.8

资料来源：《新时代的中国航天》，中航证券研究所

<2>国内外积极使用 3D 打印提升导弹性能：早在数年前，雷神公司已经用增材制造技术制造出 80% 以上的导弹部件；ATK 公司成功试验了 3D 打印的高超声速发动机燃烧室；美国海军在 2016 年首次测试了采用 3D 打印的导弹部件。与此同时国内在 3D 打印导弹部件的试验也同样不落后于美方。中国日报海外版发布了一篇题为《3D 打印加速中国导弹生产》的文章，文中介绍了航天科工集团利用 3D 打印技术加速巡航导弹设计和生产的事例。三院的技术人员表示，采用传统的方法制造一个燃气方向舵往往需要数十名技术人员和工人，花费一到两个月才能完成，涉及铸造和焊接等一系列工序。而燃气方向舵用于改变发动机燃气流，用于改变导弹的侧向控制力，仅仅是导弹上的一个小部件，而整个导弹中涉及许许多多的零部件，使用传统工艺步骤长、生产时间长，同时考虑到多数导弹属于小批量生产，因此综合成本也不低；

图46 导弹方向舵



资料来源：《中国日报》，中航证券研究所

而如今采用增材制造技术加工，几个工人一周时间就可以制造出一个方向舵，不仅节省了人力和时间，在重量和精度控制上也比机械加工要好——传统工艺制造的方向舵表明需要进行二次加工，相比之下 3D 打印制造的零部件表面十分光滑，几乎可以直接安装在导弹上。在制造大型导弹部件的过程中，3D 打印将原材料的利用率提高了数十倍，而且产品合格率和结构强度表现更好。目前三院已经成为增材制造技术的重要用户，大量的 3D 打印技术被用于制造导弹的部件，例如发动机和弹身等。同时，3D 打印一体成型的特点让设计不再局限于工艺，增材制造中心与武器装备设计部门合作，将拓扑优化设计引入到新型导弹中，使得工程师们可以设计出传统方法难以制造但性能优异的先进、复杂组件，3D 打印重新定义了导弹的设计工作，可以改善导弹的热力性能并尝试之前无法使用的设计。

<3>空间站与太空修复：随着我国的航天事业迈向深空，零部件的应急修复成为了重要的课题，考虑到太空的失重环境以及其他星球表面不同的大气和重力环境，使用特殊的材料可以实现在失重条件下微重力环境下的太空制造技术；

图47 微重力环境下 3D 打印样件



资料来源：央视新闻，中航证券研究所

使用太空 3D 打印机，可以实现 4 小时内打印出应急的零部件，因此各国纷纷投入研究。同时，3D 打印解决的不仅是应急需求，考虑到运输和库存成本，使用 3D 打印技术在太空中更加具有可行性。由于空间站、基地车以及复杂航天器的系统包括了数以万计的零部件，尽管制造时设计了较高的冗余度，但仍不可避免的面临零部件老化损坏或者是更新升级的需求，而携带大量预制零件不仅占用了大量空间、耗费了宝贵的载荷资源，同时也并不经济。如果太空 3D 打印可以实现，那么就地制造所需零部件，将较大的节约空间并提高效率。未来，随着太空旅行、太空移民的技术逐步成熟，在空间站或者其他星球建立临时的“零件工厂”将成为可能，进一步减轻重量，提高有效载荷。

<4>火箭部件需要增材制造：近年来，随着星链计划的推出以及行业内对航天的重视度提高，火箭发射将朝着高频次方向发展，因此加工的速度成为近年来商业航天关注的重点。传统火箭制造由载荷、制导、推进和结构四个主要系统构成，多年来一直依靠大型工厂、固定工具、复杂供应链以及大量成熟的产业工人，在 2 年或者更长的时间内完成制造，而商业航天的公司囿于投资久期、发展历史、风险承担能力等因素，不可能采用传统的火箭制造体系，而 3D 打印无库存、柔性生产、快速制造、性能优异等优点完美的符合他们的诉求，在小批量的情况下，成本甚至较重新培育传统供应链更少。因此 3D 打印几乎成为商业航天必选的技术路线；

以 3D 打印火箭创业公司 Relatively Space 为例，其将于近期发射首枚全金属 3D 打印火箭 Terran 1，该火箭载荷约 1000 公斤，火箭采用了两种类型的 3D 打印技术制造火箭质量 90% 以上的结构。公司子公司 Stargate 可以打印直径 3.4 米、高 7.6 米的结构件，是目前最大的金属部件。每个 Terran 1 装备有九台 Aeon 1 发动机，通过 3D 打印减少发动机燃烧室、点火器、涡轮泵、推进器等系统内的零部件数量（数千→100 个），其可以在 60 天的时间内制造出 Terran 1 的发动机。此外，Relatively Space 正在开发新一代火箭——Terran R，将一代火箭的有效载荷提升 20 倍，同时支持可重复使用，这将有力支撑客户对于大型火箭的商业需求。与 Terran 1 一样，Terran R 也将使用 3D 打印制造 90% 以上的零部件。3D 打印技术将有效帮助公司实现 20 年内规模化的太空旅行的目标；

图48 Terran 1 全 3D 打印鼻锥



资料来源：Relatively Space，中航证券研究所

与此同时，在国内的航天系统内，也开始尝试采用增材制造技术实现部分零件的制造。2020 年 7 月，长征五号运载火箭在文昌发射中心点火发射，长征五号火箭上采用了 50 个 3D 打印的零部件。其中运载火箭上一个重要的零部件——级间解锁装置保护板，就是中国运载火箭技术研究院及工艺研究所通过 3D 打印加工的。由于火箭上升过程中需要不断的将完成工作的各级单位抛弃，因此级间分离装置非常重要，但由于其保护板单批次加工件数少，采用传统工艺开模成本较高。而通过华曙高科 HT1001P 制造的 3D 打印高分子保护板安装更加简单，一体成型无需保存模具，因此综合来看使用增材制造技术加工成本较低。

图49 级间解锁装置保护板

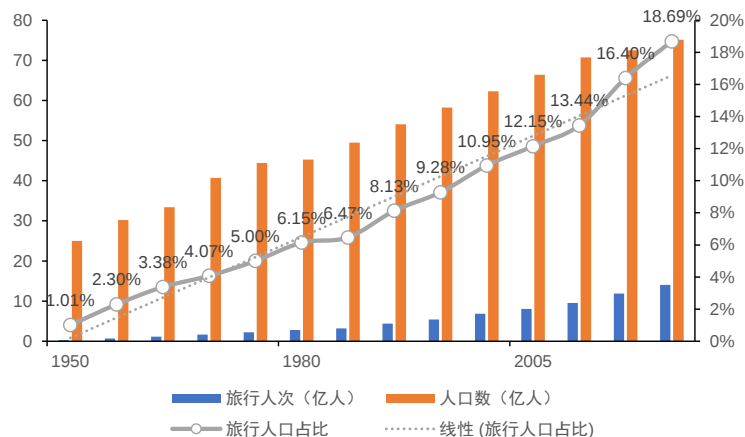


资料来源：华曙高科公众号，中航证券研究所

<5>太空旅行将成为旅游业的重要环节：我们认为，航天产业的快速扩大必须依靠太空旅游等新兴产业，尽管目前未来前景尚不明确，但随着深空技术的成熟，未来太空旅游将成长为旅游业的重要一极。我们认为，太空旅行的发展与国际旅游业有相似之处，1950 年以后，随着世界经济的复苏以及人口的增长，旅行人次及旅行人口比例持续提高，从 1950 年的 1.0% 上升至 2018 年的 18.7%。同时国际旅行的比例提高

与跨洋旅行的技术提升有关，1950 年以后大型的邮轮、宽体客机技术的成熟拉低了整体出行的成本。因此我们判断，随着深空推进技术的成熟以及大型载人工具的出现，几十年后，太空旅行也将成为重要的旅行方式和目的地；

图50 1950 年以来旅行人次与人口比例



资料来源：Our World in data，中航证券研究所

根据我们的判断，太空旅行单次往返花费费用和人群渗透率成负相关，以俄罗斯一家“亚轨道旅行”为主要经营项目的公司出具的市场报告为参考，做出如下假设：

- 为方便计算，下文中涉及到的金额均进行了折现；
- 2021 年太空旅行单人成本在 25 万美元，未来二十年每年随着技术进步折现到当下的成本降低 10%，未来二十到三十年每年成本降低 6%；
- 折现后的太空旅行的成本在年可支配收入的 5-10 倍可以被接受；
- 全球来看，人均可支配收入约为 3000 美元，收入结构方差应大于中国，因此全球可支配收入应该服从方差至少为 0.7，期望为 0.3 万美元的正态分布；

图51 太空旅行潜在市场空间

	2021	2025	2030	2035	2040	2045	2050
单人成本（万美元）	25	15	9	5	3	2	2
全球人口数量（亿人）	79	83	87	92	96	101	106
潜在人群比例	0%	0%	0%	0%	0.005%	0.29%	2.81%
潜在人群数量（人）	0	0	0	0	13827	648515	4593578
潜在市场空间（亿美元）	0	0	0	0	4	145	752

资料来源：《居民收入分布特征及影响因素》，中航证券研究所

根据我们上文的假设，单人成本降低至年可支配收入的 5-10 倍时太空旅行可以被接受，按照我们的预计，到 2040 年折现后的太空旅行的单人成本将降低至 3 万美元，大致为当年全球人均可支配收入的 10 倍，潜在市场空间将达到 4 亿美元。到 2050 年太空旅行将达到约 750 亿美元的市场，带动增材制造技术百亿美元以上市场空间。

航空领域主要分为军用、民用、无人机以及动力系统等：

<1>军用航空：

减重增寿：机体结构是决定军机性能的关键要素，国外各代战机结构重量占全机重量的比例不断降低，由此带来了机体疲劳寿命的增长。但相较于理想重量，F35A 超重 640kg，F35B 超重 900kg。目前机体结构主要采取以小拼大的方式，通过连接紧固件完成连接，然而这种方法存在机体结构超重、疲劳环节多以至于频发开裂等问题，此外我国的紧固件材料尚依赖进口。通过增材制造进行飞机结构件的一体化设计并制造，既减少了结构件和连接件的数量，又能有效消除分离面，减少冗余结构，减缓应力集中和疲劳薄弱环节。据《激光加工技术在钛合金航空结构件制造的应用与展望》所述，使用一体化设计可以有效减少机体重量 20%以上、减少力学薄弱环节 30%以上，有效提升机体寿命，同时简化装配环节，预计缩短制造周期 30%以上。

图52 各代飞机典型机型情况

飞机代数	典型机型	机体结构重量占比	寿命	主要结构材料
一代机	F86	——	——	木质、钢骨架
二代机	米格23	33~37%	2000h	铝合金、钢
三代机	苏-27、F16、F18	32%	2000~4000h	铝合金、钛合金、复合材料、钢
四代机	F22、F35、T50	28%	6000h	铝合金、钛合金、复合材料、钢

资料来源：《激光加工技术在钛合金航空结构件制造的应用与展望》，中航证券研究所

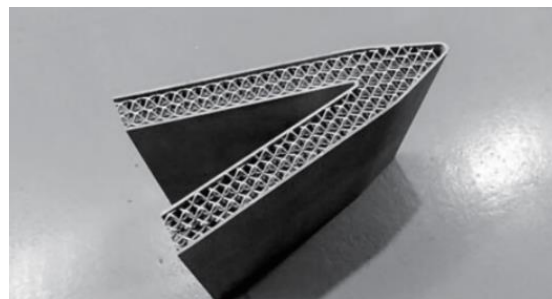
图53 拓扑优化零件



资料来源：《激光加工技术在钛合金航空结构件制造的应用与展望》，中航证券研究所

注：通过仿生拓扑优化实现了无冗余设计，优化前后零件质量减重 60.6%。

图54 防热承载一体化结构



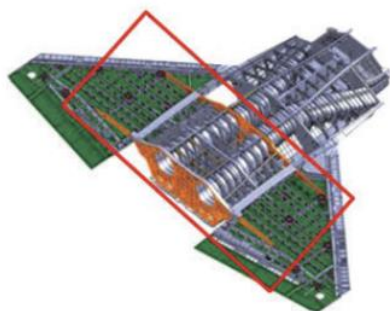
资料来源：《激光加工技术在钛合金航空结构件制造的应用与展望》，中航证券研究所

注：将放热材料、微结构与结构构型融合，耐热防热同时实现减重。

由于新一代战机对于减重增寿提出了新的要求，传统结构的战机出现了设计极限，需要新的工艺来突破结构质量和使用寿命的瓶颈。增材制造作为一种轻量化、高复杂的制造工艺，帮助四代机实现了极限的突破——根据央视报道，在鹞鹰战机上，已经有一百余件零部件采用增材制造技术。根据王向明在《飞机新概念结构设计与工程应用》中的描述，通过增材制造整体结构设计，飞机的铝合金加强框——翼梁整体件实现了零部件数量减少 50%，减重 38%，翼根高度降低 1/4、制造效率提升 10 倍以

上；

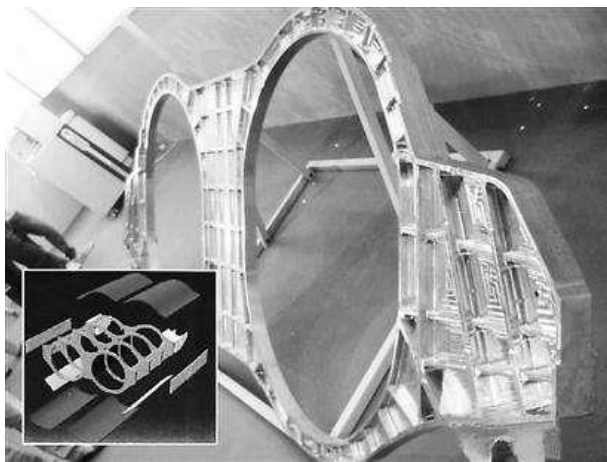
图55 铝合金加强框—翼梁整体件



资料来源：《飞机新概念结构设计与工程应用》，中航证券研究所

北航王华明团队设计的飞机钛合金主承力构件无需大型锻造设备加工，采用激光快速成型双相钛合金特种热处理工艺，使得其主承力构件的安全性和损伤容限接近钛合金模锻件水平。王华明团队先后成功实现了激光快速成形飞机角盒、座椅支座和腹鳍接头等四种钛合金承力结构件。

图56 防热承载一体化结构



资料来源：《激光加工技术在钛合金航空结构件制造的应用与展望》，中航证券研究所

鉴于紧张的国际形势，淘汰旧设备采购新装备将是未来我国国防建设的重点，在十四五期间仍将是军用飞机加速批产的阶段。随着增材制造技术的成熟，新的生产工艺正在被更多的军用飞机采用，并带来战机性能和生产效率的提升。

<2>民用航空：对于民用航空制造业来说，性能和成本永远是关注的焦点，与传统加工方式相比，金属增材制造加工周期短，材料利用率高，且最终成型的零部件质

量轻、性能好，因此能够满足民航高可靠性、高标准的要求，同时民用航空对经济性有较大的考虑，增材制造作为一个重要的减重手段，逐渐得到民航制造业重视：

增材制造性能好，速度快，省材料：钛合金材质的中央翼缘条，是铂力特在 2012 年 1 月使用 LSF 工艺打印的承力构件，当年通过了商飞的性能测试，2013 年应用在国产大飞机 C919 的验证机中。作为机翼中的关键部件，当时的制造能力无法满足需求，而使用增材制造工艺加工，不仅力学性能通过了商飞的五项性能测试，强度一致性显著优于波音公司标准，更是得到了商飞部门“性能好于锻造件”的高度评价。传统工艺 6 个月才能完成制造的中央翼缘条，使用 LSF 技术仅仅耗时五天（正式打印），体现出新产品快速开发一次成型的特点，同时昂贵的钛合金粉末利用率较高，不会造成浪费；

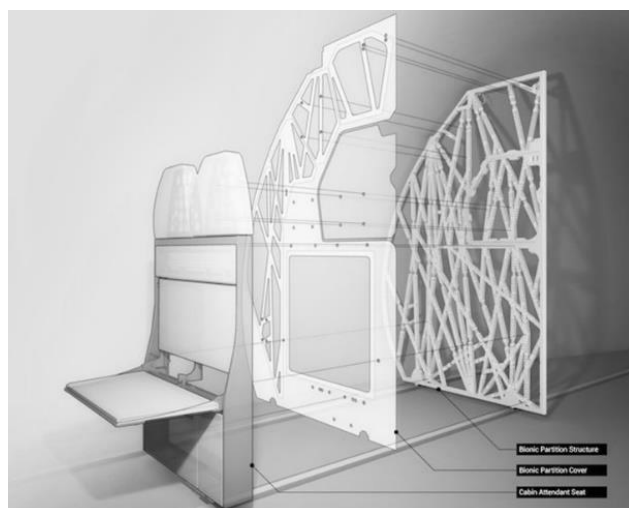
图57 C919 中央翼缘条



资料来源：亚洲工业网，中航证券研究所

民航减重是直接效益：对于航空航天飞行器而言，减重是永恒的主题，增材制造在点阵结构制造方面具有天然的优势，因此，目前已经在“锱铢必较”的国际民航客机制造领域获得了实际的工程应用，如空客的商业飞机机舱隔板就是典型的代表，使用点阵结构隔离乘客和乘务员区域，同时在紧急状态下还可以充当担架和安全座椅，最终的成形部件由 112 个部件组装而成，相较于原先的蜂窝复合材料隔板减重 45%（30kg），每年可以为空客节省 46.5 万吨二氧化碳排放量，并有望批量运用于 A320 客机上；

图58 空客机舱隔板



资料来源：Airbus，中航证券研究所

民航市场空间预测：我们判断，随着增材制造工艺的成熟，越来越多的型号和零部件将采用增材制造技术，主要替代的市场为精密铸造和部分锻造件。目前由于增材制造技术出现时间较短，因此主要是替代一些非承力件，未来随着越来越多的承力件通过试验阶段，将有望形成更加大的市场空间。由于目前增材制造的前景尚未完全得到验证，因此我们根据下述悲观、中性和乐观的条件进行估计，对于国内未来二十年民用飞机机体结构使用增材制造的潜在市场空间进行预测，预计未来二十年金属增材制造在悲观、中性和乐观条件下的潜在市场空间分别达到 1107、1514、1967 亿元：

- 民用飞机和军用飞机价值量占比不同，根据前瞻产业研究院数据，民用飞机机体结构约占飞机价值量的 37%，假设单通道、双通道以及涡扇支线的民用飞机机体结构大致在这个范围内；
- 由于增材制造是新的技术，承力件、非承力件以及内饰由于重要性不同，因此渗透率有所不同，我们再次对于机身、机翼、尾翼、起落架、内饰件未来二十年的渗透率做出悲观中性和乐观假设。

图59 增材制造在国内民用航空领域的潜在市场空间预测

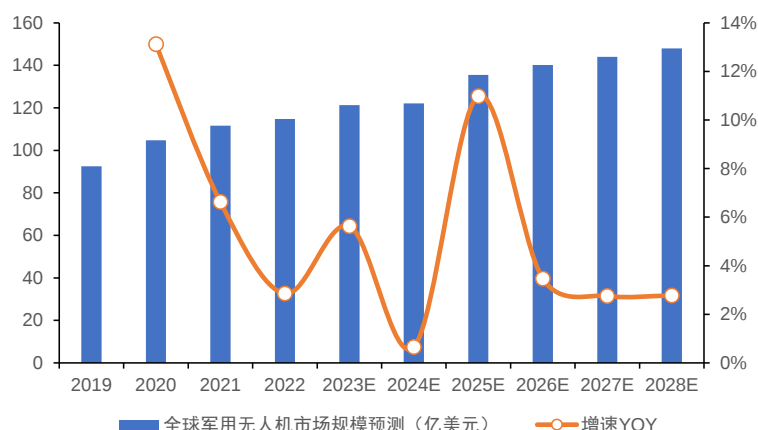
悲观									
机型	新机交付量 (架)	飞机价值量 (亿元)	中国民航 市场空间 (亿元)	机身结构 价值量 (亿元)	零部件	成本结构	零部件市 场空间 (亿元)	增材制造渗 透率	增材制造潜 在市场空间 (亿元)
双通道喷气客机	1836	23	97183	35958	机翼	32%	11506	3%	345
					机身	40%	14383	3%	431
单通道喷漆客机	6295	8.2			尾翼	6%	2157	3%	65
					起落架	9%	3236	1%	32
涡扇支线客机	953	3.5			内饰件	13%	4674	5%	234
合计	9084	10.7					35958	3.1%	1107
中性									
机型	新机交付量 (架)	飞机价值量 (亿元)	中国民航 市场空间 (亿元)	机身结构 价值量 (亿元)	零部件	成本结构	零部件市 场空间 (亿元)	增材制造渗 透率	增材制造潜 在市场空间 (亿元)
双通道喷气客机	1836	23	97183	35958	机翼	32%	11506	4%	460
					机身	40%	14383	4%	575
单通道喷漆客机	6295	8.2			尾翼	6%	2157	4%	86
					起落架	9%	3236	2%	65
涡扇支线客机	953	3.5			内饰件	13%	4674	7%	327
合计	9084	10.7					35958	4.2%	1514
乐观									
机型	新机交付量 (架)	飞机价值量 (亿元)	中国民航 市场空间 (亿元)	机身结构 价值量 (亿元)	零部件	成本结构	零部件市 场空间 (亿元)	增材制造渗 透率	增材制造潜 在市场空间 (亿元)
双通道喷气客机	1836	23	97183	35958	机翼	32%	11506	5%	575
					机身	40%	14383	5%	719
单通道喷漆客机	6295	8.2			尾翼	6%	2157	5%	108
					起落架	9%	3236	3%	97
涡扇支线客机	953	3.5			内饰件	13%	4674	10%	467
合计	9084	10.7					35958	5.5%	1967

资料来源: Boeing Current Market Outlook、前瞻产业研究院, 中航证券研究所

<3> 无人机: 典型的分类包括军用无人机、工业无人机以及消费无人机。

军用无人机: 根据中航证券深度报告《军用无人机行业深度报告: 欲穷千里目, 更上一层楼》, 2019-2028 年全球无人机年产值 (含采购) 逐年增长, 到 2028 年产值预计达到 147.98 亿美元, 复合增长率 5.4%, 根据美国国防部公开国防预算美军 2016-2022 年军用无人机采购费用总额约占国防费用比例为 1.2%; 参考无人机的发展历程, 我国军用无人机市场规模将持续扩大;

图60 全球军用无人机市场规模预测及增速



资料来源：美国国防部，中航证券研究所

同时，近年来无人作战、蜂群作战以及忠诚僚机的概念兴起。无人机价格低、性能适中同时无人智能化作战等优势就凸显出来，由于本身的耗材属性决定了其需求在军用航空主战装备增速趋缓的情况下仍保持较大的需求量，同时无人作战的理念也让其在军用航空整体的需求量不断提高。无人机市场的迅速增长，势必给金属 3D 打印市场带来较多需求——无人机多品种、轻量化、整体化、低成本化的背景以及蜂群式、僚机的战斗模式，非常符合金属 3D 打印的技术特点，而其无载人的特点使得设计师可以更加激进的使用 3D 打印这一新工艺；

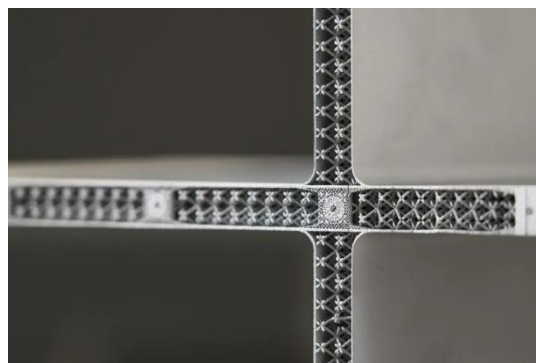
最近央视首次曝光了国产攻击 11 无人机，其能够像歼 20 一样作战，在高威胁、强对抗的实战环境中，也能够完成作战任务，其能力被概括为高隐身、强突防、打得准。无人机之间的通信的稳定性和距离是无人机作战的核心和基础，其必须具备强指向性、抗干扰能力和动态调整能力，我们推测相控阵天线将有效提升通讯的强度，因此将来会成为军用通讯的重要手段。根据铂力特公众号公布的 BLT-S1000 最新应用案例中的描述：“阵面板是阵列天线中用于安装辐射单元的载体，由不少于两个辐射单元规则或随机排列并通过适当激励获得辐射特性的特殊天线。阵列天线的辐射电磁场是组成该天线阵各单元辐射场的总和（矢量和）”，我们合理推测增材制造将有效解决无人机重量较重等问题。

图61 攻击 11 无人机



资料来源：新浪军事，中航证券研究所

图62 BLT-S1000 应用案例



资料来源：铂力特公众号，中航证券研究所

<4>动力系统：动力系统中增材制造的应用较多，不管是燃油喷嘴还是进出口阀门，使用复杂流道的结构不光可以减轻整体重量、降低局部温度，还可以提升燃烧效率，提高整体性能。增材制造复杂设计、一体成型的特点，使得动力系统的零部件越来越多的使用该技术：

GE 公司基于一体化制造的思路设计的燃油喷嘴实现了减重 25%的同时缩短了制造周期，降低了制造成本，使用全新思路生产的燃油喷嘴寿命提升了 5 倍以上，目前 GE 这款燃油喷嘴每年的产量在 35000-40000 件，已经应用在空客 A320neo、波音 737MAX、商飞 C919 和波音 777-8 等机型上。此外，GE9X 发动机中还拥有 304 个通过增材制造加工的零部件，涵盖了七大类型，传统上的 GE9X 换热器使用数十根金属管组成，而用于 GE9X 的 3D 打印零部件具有完全不同的形状和复杂的内部结构，可以充分利用增材制造实现自由设计。此外，在 GE a-CT7 直升机发动机采用增材制造工艺后，原先 300 多个的传统制造零部件仅需 1 个完整的增材制造部件即可实现。因此缩短了供应链，减少了库存风险，同时一体化成型的部件有效的降低了整体质量。

图63 GE 燃油喷嘴



资料来源：GE，中航证券研究所

图64 a-CT7 终端总成结构



资料来源：GE，中航证券研究所

军用航发空间预测：发动机现有工艺包括液态成型、塑性成型和粉末冶金，目前潜在可能替代的工艺包括液态成型中的精密铸造以及塑性成形中的锻造成型，考虑到其他工艺的替代可能，我们估计军用航空发动机增材制造潜在替代空间较大；预计未来，增材制造渗透率将逐年提升，有较大空间。

民用航发空间预测：参照上面对于民用航空机体结构的预测，我们给出未来二十年金属增材制造在国内民用航发领域的悲观、中性和乐观假设情境下的潜在市场空间分别为 281、614、998 亿元：

- 由于增材制造制造的零部件大部分为静态部件，因此维修比例预计在 1% 左右；
- 双通道、单通道以及涡扇支线客机的发动机价值量分别为 1.65、0.99、0.4 亿元；
- 我们认为民用航空发动机中增材制造潜在替代空间约 10%；
- 在悲观、中性、乐观假设下，未来二十年内民航更换发动机的需求比例分别为 10%、20%、30%，增材制造零部件渗透率分别为 10%、20%、30%。

图65 增材制造在中国民用航空发动机领域的潜在市场空间预测

悲观										
机型	新机交付量	单机装备发动机数量 (台/架)	更换发动机比例	发动总需求量 (台)	发动机价值量 (亿元)	发动机市场空间 (亿元)	发动机维修比例	发动机潜在替代空间 (亿元)	增材制造渗透率	增材制造潜在市场空间 (亿元)
双通道喷气客机	1836	4	10%	8078	1.7	13329	1%	1346	10%	135
单通道喷气客机	6285	2	10%	13827	1.0	13689	1%	1383	10%	138
涡扇支线客机	953	2	10%	2097	0.4	839	1%	85	10%	8
总计	9074	/	/	/	/	27857	/	2814	/	281
中性										
机型	新机交付量	单机装备发动机数量 (台/架)	更换发动机比例	发动总需求量 (台)	发动机价值量 (亿元)	发动机市场空间 (亿元)	发动机维修比例	发动机潜在替代空间 (亿元)	增材制造渗透率	增材制造潜在市场空间 (亿元)
双通道喷气客机	1836	4	20%	8813	1.65	14541	1%	1469	20%	294
单通道喷气客机	6285	2	20%	15084	0.99	14933	1%	1508	20%	302
涡扇支线客机	953	2	20%	2287	0.4	915	1%	92	20%	18
总计	9074	/	/	/	/	30389	/	3069	/	614
乐观										
机型	新机交付量	单机装备发动机数量 (台/架)	更换发动机比例	发动总需求量 (台)	发动机价值量 (亿元)	发动机市场空间 (亿元)	发动机维修比例	发动机潜在替代空间 (亿元)	增材制造渗透率	增材制造潜在市场空间 (亿元)
双通道喷气客机	1836	4	30%	9547	1.65	15753	1%	1591	30%	477
单通道喷气客机	6285	2	30%	16341	0.99	16178	1%	1634	30%	490
涡扇支线客机	953	2	30%	2478	0.4	991	1%	100	30%	30
总计	9074	/	/	/	/	32922	/	3325	/	998

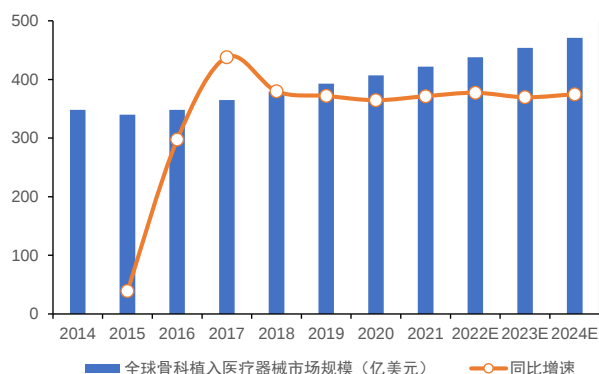
资料来源：Boeing Current Market Outlook、前瞻产业研究院，中航证券研究所

3.2 骨科医疗

根据 Evaluate Medtec，2017 年全球骨科器械市场规模为 365 亿美元，全球医

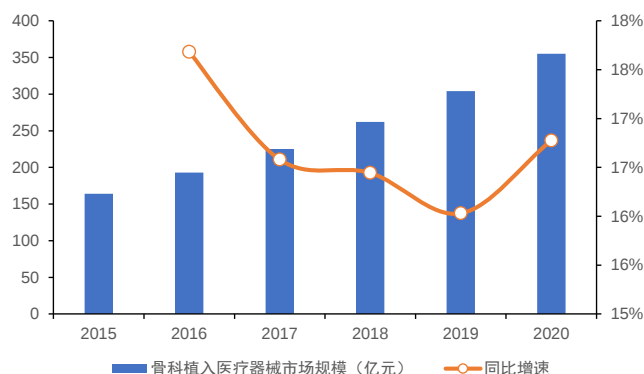
疗器械市场规模为 4050 亿美元，骨科器械占比 9.01%。根据 World Preview 预测，到 2024 年全球骨科市场规模将增长至 471 亿美元。2018 年我国的骨科植入物市场销售规模约为 262 亿元，同比增速 16.4%，2010-2018 年复合增速为 17.5%。随着我国进入老龄化社会，人均 GDP 的提高以及人们对于高水平生活需求的提高，国内骨科植入物的市场有望维持 15%以上的增速；

图66 全球骨科医疗器械市场规模变化



资料来源：Evaluate Medtec，中航证券研究所

图67 国内骨科植入物销售额



资料来源：医疗器械蓝皮书，中航证券研究所

3D 打印定制化方案为医疗带来更多可能：3D 打印可以为医疗行业带来全定制化的个性解决方案，并能在最短的时间进行加工制造。骨科植入物是理想的应用领域，传统的金属加工方法需要首先制造出模具，对于只需要少量的植入物来说，生产成本过于昂贵，因此大部分患者倾向于选择标准化的植入物，因此术后愈合和适配度并不高。而使用增材制造技术，不仅解决了小批量定制化成本高的问题，同时缩短了制造时间，也可以制造出更多轻量化、结构复杂的植入物，为患者预后带去更多方便：

图68 骨科植入物 3D 打印工艺流程

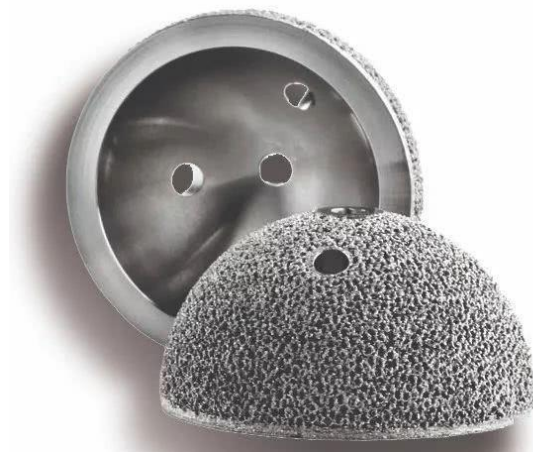


资料来源：AMpower，中航证券研究所

- **髌臼杯**：北京大学第三医院骨科副主任医师蔡宏指出，3D 打印人工髌关节的关键就在于臼杯，与传统的钛合金铸造不同，3D 打印的臼杯和微孔表面是一

气呵成的，医生将数据和需求传送给制造企业，工程人员将数据通过软件分析重新见构成三维实体，根据设定的形状将钛合金粉末逐层堆积锻造，最终打印出一个表面具有微孔结构的白杯，且一次可以打印几十个。目前骨科的手术费用中，70%主要用于购买进口的内植物，而使用 3D 打印技术制造的产品，能够在品质不低于国外人工关节的同时，价格是进口的 1/2 或 2/3，能够大大降低患者的就医费用。同时，3D 打印制造的白杯表面密布不均匀的小孔，粗糙的表面可以加大髌臼杯的摩擦力，术后更加稳定，便于更好的发生骨整合，即骨头更好的长入金属髌臼杯之中；

图69 骨科植入物 3D 打印髌臼杯



资料来源：3D 科学谷，中航证券研究所

- **椎间融合器：**老年人口的增加和运动损伤的提高推动了椎间融合器的增长，但是目前椎间融合器高昂的价格和专业医生的缺乏也限制了其大规模的额应用。3D 打印技术制造的颈椎、胸椎和腰椎融合器，普遍优势在于集成了有利于骨融合的多孔结构，使得最终的产品更好的服务于患者。以强生为例，其发布的 3D 打印脊椎融合器产品组合-Couduit，包含了五种不同的产品，均采用了 3D 打印技术制造，技术来源是强生 18 年收购的德国脊椎 3D 打印植入物公司 EIT，使用该技术制造的 CONDUIT 植入物，与常规钛产品相比具有纳米级特征，显示出增加的成骨细胞附着力，孔隙率达 80%；

图70 强生脊椎 3D 打印植入物



资料来源：强生，中航证券研究所

- **口腔齿科:**金属 3D 打印用于制作牙冠等, 给制造商带来了巨大的竞争优势, 凭借传统机加工、铸造等制造方法不能比拟的定制化、加工复杂几何形状的优势, 增材制造在口腔医疗领域率先实现了规模生产。以铂力特的齿科专用设备 BLT-S200 为例, 每版最多可打印 110 颗牙冠, 打印时间约 7 小时, 一公斤粉末的价格在 4000 元, 大约能打印 600-700 个单位。大规模生产带来的牙冠成本的显著下降, 无需后处理的净近成型零部件能将单位材料成本压缩到 5-7 元, 与传统 CNC 相比单位成本仅为 1/3。

图71 3D 打印的金属牙冠



资料来源：铂力特，中航证券研究所

医疗标准限制行业发展: 目前的我国的医疗器械主管部门是国家发改委以及 CFDA, 行业自律组织为中国医疗器械行业协会。增材制造在医疗领域的应用缓慢的主要原因是相关的法律法规和行业标准尚不完善。人工髋关节已经获批, 而人工锥体和人工椎椎尚未获批, 尽管我国研发人工髋关节早于一些国家, 但是由于美国等国家不需要做临床认证, 因此相关产品早于中国获批生产, 比如韩国、德国与之相似的骨科内植物已经上市, 而中国的认证注册审批流程时间较长, 人工髋关节从临床到最后获批, 经历了 40 个月的时间。值得注意的是, 3D 打印医疗器械团体标准已经累计发布三版共

30 条标准，目前已经完成第四次团体标准的征集，预计很快发布。

图72 3D 打印医疗器械团体标准

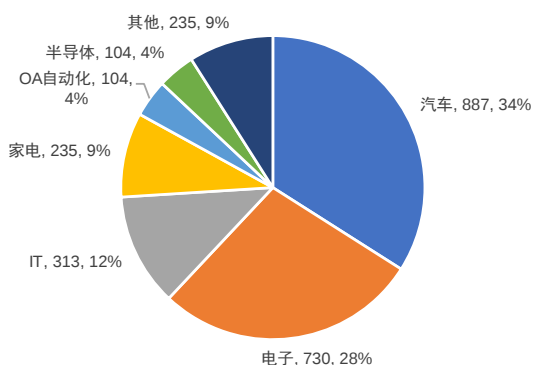
团体标准批次	标准序号	标准名称	团体标准批次	标准序号	标准名称
第一批	T/CAMD1 025-2019	《定制式医疗器械力学等效模型团体标准》	第三批	T/CAMD1 059-2021	《医疗器械用电子束粉末床熔融增材制造装备》
	T/CAMD1 026-2019	《定制式医疗器械质量体系特殊要求团体标准》		T/CAMD1 060-2021	《定制式增材制造脊柱侧凸矫形器》
	T/CAMD1 027-2019	《匹配式人工颞下颌关节团体标准》		T/CAMD1 061-2021	《增材制造个性化金属胸壁畸形矫形器》
	T/CAMD1 028-2019	《定制式增材制造医疗器械的互联网实现条件的通用要求团体标准》		T/CAMD1 062-2021	《增材制造聚醚醚酮（PEEK）个性化颅颌面植入器械》
	T/CAMD1 029-2019	《定制式医疗器械医工交互全过程监控及判定指标与接受条件团体标准》		T/CAMD1 063-2021	《增材制造患者匹配腕手矫形器》
第二批	T/CAMD1 046-2020	《3D打印金属植入物质量均匀性评价方法及判定指标》		T/CAMD1 064-2021	《增材制造耳部压力矫形器》
	T/CAMD1 045-2020	《3D打印金属植入物有限元分析方法》		T/CAMD1 065-2021	《增材制造钛金属脊柱假体》
	T/CAMD1 044-2020	《增材制造（3D打印）口腔金属种植体》		T/CAMD1 066-2021	《增材制造钛金属个体化骨缺损填充体》
	T/CAMD1 043-2020	《增材制造（3D打印）个性化牙种植体》		T/CAMD1 067-2021	《增材制造钛金属膝关节假体》
	T/CAMD1 042-2020	《医用增材制造钛金属粉末》		T/CAMD1 068-2021	《增材制造钛金属腕关节假体》
	T/CAMD1 041-2020	《增材制造（3D打印）定制式骨科手术导板》		T/CAMD1 069-2021	《增材制造匹配式口腔咬合板》
	T/CAMD1 040-2020	《金属增材制造医疗器械生产质量管理体系的特殊要求》		T/CAMD1 070-2021	《增材制造个性化医疗器械用三维建模软件特殊要求》
	T/CAMD1 039-2020	《生物打印医疗器械生产质量管理体系特殊要求》		T/CAMD1 071-2021	《增材制造金属植入物残留颗粒生物学危害评价标准》
	T/CAMD1 038-2020	《增材制造（3D打印）口腔种植外科导板》		T/CAMD1 072-2021	《增材制造股骨柄疲劳性能测试》
	T/CAMD1 037-2020	《3D打印钛金属临床应用标准》		T/CAMD1 073-2021	《增材制造医用金属粉末重复再利用控制标准》

资料来源：3D 打印医疗器械专业委员会，中航证券研究所

3.3 模具

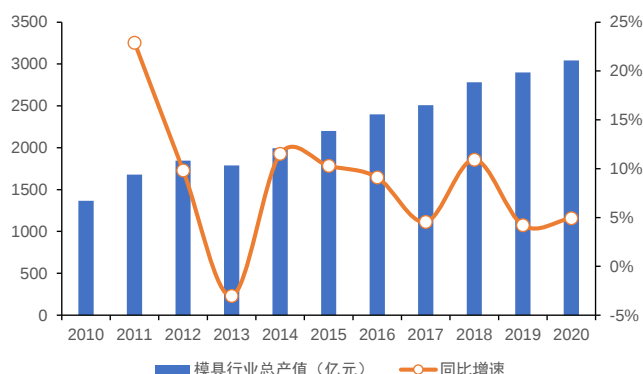
模具是万业之母，主要应用于电子、汽车、电机、电气、仪器、家电和通讯领域，其中，根据中国工业模具协会的数据，2020 年汽车模具需求量 34%、电子行业需求占比 28%、IT 需求占比 12%、家电需求占比 9%，自动化需求占比 4%，半导体需求占比 4%，其他行业需求占比 9%。目前中、日、德、韩、意为主要的注塑模具和冲压模具生产国，其中中国产值最大。根据国家统计局数据显示，我国模具行业工业产值已从 2010 年的 1367.3 亿元上升至 2020 年的 3043 亿元。

图73 国内模具行业下游需求占比



资料来源：中国工业模具协会，中航证券研究所

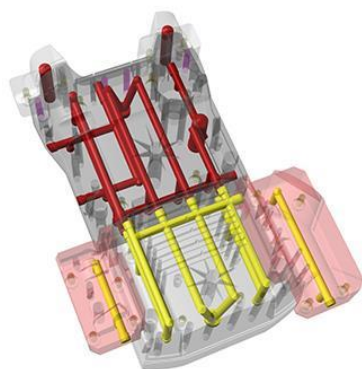
图74 历年国内模具行业总产值



资料来源：国家统计局，中航证券研究所

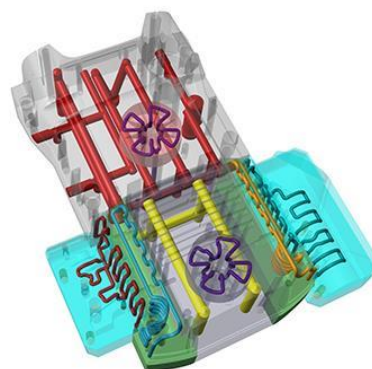
增材制造在模具行业的广泛应用主要得益于 3D 打印的复杂模具具有较好的冷却效果——冷却通道摆脱了交叉钻孔的限制，使得接近模具冷却表面的内部通道设计成为了可能，这种平滑的拐角带来了更快的流量和能量效率。以雷尼绍为例，他们的网格设计和仿真效果小时，经过优化的设计可以带来冷却液流量 50% 以上的提高，显著提升冷却效果——通过随形设计的模具，使得注塑过程中模具壁温度降低 40-70℃，冷却时间从 22 秒缩短至 10 秒，减少 55%，成型周期从 52 秒缩短至 37 秒。

图75 原始加工条件下的设计



资料来源：雷尼绍，中航证券研究所

图76 使用 3D 打印后的全新设计



资料来源：雷尼绍，中航证券研究所

模具行业中使用增材制造的下游客户种类包括汽车、鞋等众多行业：

轮胎模具：采用 3D 打印技术设计的轮胎基膜形状多样，与传统工艺相比减少了基膜生产步骤、提升精度、缩短了生产时间，3D 打印可以解决复杂、异形轮胎基膜在加工时出现的难题，更为轮胎基膜形状的多样性提供了更自由的设计空间。目前米其林已经感受到增材制造的潜力，通过 3D 打印技术制造的雕塑系列轮胎 Michelin Cross Climate+ 已经得到安全认证，这使得米其林的轮胎在市场更具竞争力；

图77 米其林雕塑系列轮胎模具



资料来源：米其林，中航证券研究所

随着市场的竞争激烈化,消费者对鞋子个性化需求越来越高,鞋模具的小批量化、快速化和高精密化趋势越发明显,使用3D打印技术不仅能将复杂的加工流程简单化,还可以在三维数据的基础上设计和生产产品。采用金属3D打印可以在5-7天内完成模具的交付,并且可以实现更加复杂、带有防伪纹路的鞋模,因此得到客户的广泛认可。

图78 胶底模具



资料来源：汉邦科技，中航证券研究所

3.4 热交换器

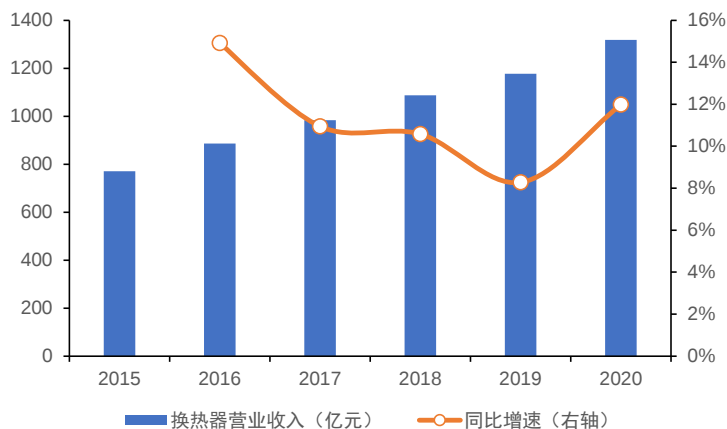
散热器和换热器对设备的稳定运行起到重要作用,而增材制造技术为热交换器的制造提供了更加紧凑、高效、模块化以及多元化的解决方案,尤其是对于异形件、薄壁件、一体化件、点阵结构等复杂件的加工,3D打印技术拥有传统工艺不具备的优势:

- **一体化结构:** 3D打印技术可以将几个零部件以整体的方式制造出来,这种高效的设计方案使得热交换器不容易发生泄露,而且能够更好的处理高压应用,而使用传统工艺制造的热交换器最大的风险之一就是泄露风险;

- **薄壁结构：**3D 打印可以实现热交换器 200 微米的厚度，从而使得热交换过程更加高效，而且即使这些薄壁结构很薄，但是仍然可以承受高温高压，同时薄壁件对于材料的节省也是巨大的，尤其是较为昂贵的材料；
- **更换零部件：**在热交换器的使用寿命中，腐蚀是不可忽视的重要问题，使用增材制造技术可以对存在潜在风险的零部件进行更换，由于增材制造无需开模，因此在修复及更换场景下就显得更加合适；
- **复杂设计：**与传统加工方式不同，3D 打印自由设计的理念可以用来制造各种异形管道或者形状各异的翅片，不再需要钎焊来构建微通道板，这种几何自由度可以使得 3D 打印的结构设计更容易，内部复杂度提升一个数量级；
- **定制化：**由于热交换器是定制化，但是他们的定制化程度始终受到目前制造技术的限制，3D 打印突破了这些限制，使得目前的设计和制造可以应用于任何应用的热交换器上；
- **轻量化：**3D 打印的交换器相较于传统工艺制作的交换器更轻更高效，在某县案例中，3D 打印生产的热交换器相较于之前轻约 20%，效率高约 20%。

热交换器市场前景广阔：随着现代工业的迅速发展，以能源为中心的各项问题和矛盾日益突出，在寻找新能源的同时，人们也在寻找节能的方式。使用更高效的热交换技术可以很有效的提高能量的转化效率。2019 年我国的热交换器市场规模约为 1168 亿元，2020 年我国热交换器市场规模为 1296 亿元左右。

图79 中国换热器市场



资料来源：华经产业研究院，中航证券研究所

增材制造的热交换器近年来在各行各业均有所应用：

汽车大灯散热器：英国 Betatype 开发了适合通过增材制造技术生产的汽车大灯散热器，并通过 SLM 设备实现了量产。通过集成化的设计，使得打印零件在打印工程中无需添加额外的支撑，并在完成后通过手工的方式即可分离，无需借助分离切割设备。经过设计优化的零部件，使用雷尼绍的 RenAM500Q，制造散热器的时间进一步

减少至 19 小时以下，单系统产能从 7055 个增加到 135168 个，如果使用七台设备，每年可以实现接近 100 万个 3D 打印零件的加工；

薄壁热交换器：3D Medlab 使用 EOS 设备制造的薄壁热交换器翅片厚度达到 0.2mm，弯管厚度达 0.5mm，整体尺寸为 100*120*25mm。通过达索的 Solidworks 以及西门子的 PLM 软件进行仿真优化，热交换器的结构进一步得到了优化，经过重新设计的新型热交换器不仅实现了轻量化，还避免了焊接带来的泄露风险；

多材料热交换器：德马吉森精机通过混合增材制造设备将铜与不锈钢粉末结合打印出一体化的热交换器部件，将需要热交换效率高的部分用铜金属制造，从而在提高热交换效率的同时节约了成本。此外，德马吉森使用 SLM 技术制造散热结构，然后用另一台设备进行内部蜂窝结构的加工，使得整个零部件兼具了复杂的结构和较低的成本，一体化成型的结构也避免了焊接的需求，提高了加工效率。

3.5 小结

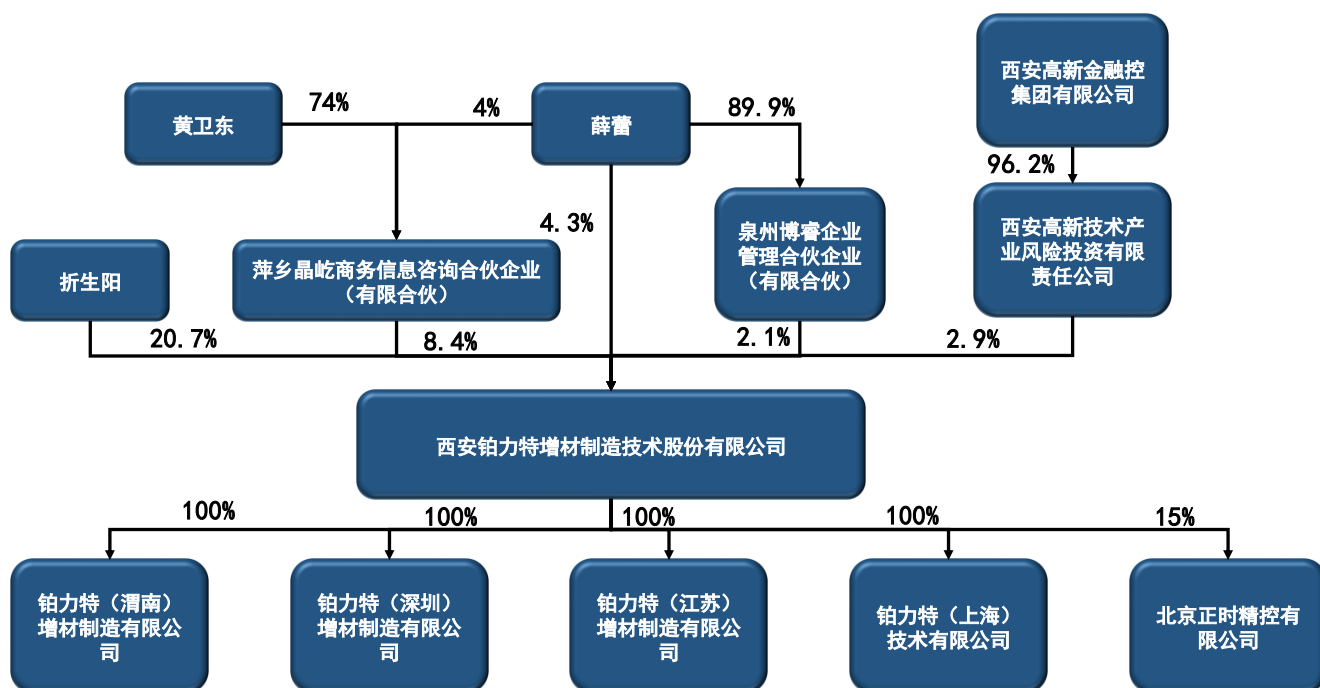
增材制造技术以其轻量化、复杂度高、制造周期短以及库存低等优势逐渐为航空航天、骨科医疗、模具制造以及热交换器等领域认可，尤其是航空航天领域，目前已经摆脱了简单的试验样品制造领域，进入到批量化零部件生产等领域。根据铂力特近期的定增回复函中描述，目前锻造、铸造等传统制造市场已有超过千亿元市场规模，金属 3D 打印作为其有效补充，预计可实现其中 20-30% 的技术替代，伴随着航空航天、民用领域蕴含的巨大潜力，金属 3D 打印行业将迎来持续性的发展。

四、重点标的

4.1 铂力特

公司及创始人介绍：公司核心团队来自于西北工业大学的材料学院，以黄卫东教授和薛蕾教授为核心，凝结了一批西工大的技术骨干。西北工业大学是我国航空航天传统强校，培养了大批在航空航天领域的领军人物。依托西工大优秀的航空航天基因，铂力特在航空航天领域的资源优势显著，先后拿到了“星、箭、船、弹、机”等六十余项重点型号的零部件预研认证，并逐步走向批产。目前公司股权结构稳定，实控人为折生阳（20.9%），薛蕾（6.5%）。

图80 铂力特股权结构图



资料来源：iFinD，中航证券研究所

全产业链优势突出：公司以 LSF 工艺起家，随后介入到 SLM 工艺中，在代理海外 EOS 设备的同时积极布局自研设备，随后从设备、打印服务切入到粉末制备，2021 年公司入股北京正时精控，主要业务为振镜及其控制系统的研发生产。经过多年积累，公司形成了从软件设计到粉末制备到设备制造到打印服务的全产业链生态，通过与下游主机厂客户的深度绑定和设备的快速更新迭代完成了自身护城河的打造，同时全产业链的模式实现了公司盈利能力的提高，全套解决方案也进一步提高了公司的营收规模，加快了融资的节奏。全产业链的模式使得公司领跑同行，成为国内首家在科创板上市的增材制造企业。

图81 全产业链生态图



资料来源：铂力特招股书，中航证券研究所

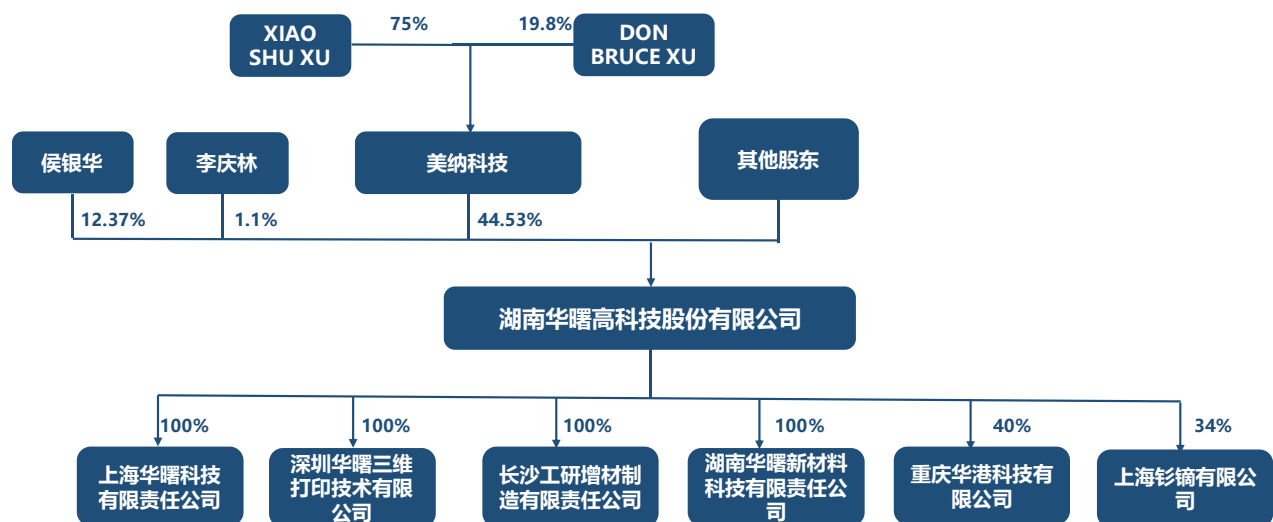
股权激励方案绑定核心团队：2020 年公司发布股权激励方案，计划覆盖董事长、副总经理及核心技术骨干人员，总共授予 400 万股，占当时总股本 5%，通过股权激励绑定核心技术团队，在行业高速成长期增强凝聚力，公司将保持竞争优势。

产能规划彰显公司信心：2022 年 7 月 22 日，公司在官方公众号中官宣三期项目正式开工，根据其环评报告披露情况，三期项目较一期、二期扩产较多。此外，公司于 8 月 29 日发布定增预案，拟募资 31.1 亿元，建设四期项目，项目投资额 25.1 亿元，主要用于粉末生产线、打印服务生产线建设，共配备各类设备 505 台，建成后，产能将实现跨越式增长，进一步拉大公司与竞争对手的差距。大规模的产能扩张反映了公司目前充裕的在手订单，彰显了公司对于行业发展的信心。

4.2 华曙高科

创始人与团队介绍：许小曙博士是知名的粉末床 3D 打印技术的专家，拥有超过 20 年的增材制造经验，是发明 SLS 技术的 DTM 公司的核心技术总监，DTM 公司于 2001 年被 3D system 收购，许小曙博士继续担任 3D system 技术总监。2009 年，应湖南省邀请，许小曙博士回国创办华曙高科，上市前许小曙及其子许多合计间接持有公司 44.53% 的股份和 56.89% 的投票表决权，股权结构较为稳定。

图82 股权结构图



资料来源：华曙高科招股书，中航证券研究所

多重工艺自主可控，Flight 技术加速非金属制造：公司成立十余年来专注于工业级增材制造设备的研发，先后开发出金属增材制造 (SLM)、高分子增材制造 (SLS) 设备，是国内工业级增材制造设备领域的龙头企业之一。公司多年来通过技术积累完成了底层软件和引擎系统的搭建，并提供给客户具有开源特征的全套 3D 打印软件系

统的解决方案。此外，公司自主研发光纤激光烧结技术，实现了非金属高分子材料的超精细超高速烧结，领先行业。

图83 增材制造技术路线分类

工艺类型	工艺说明	主要工艺技术路线
粉末床熔融	通过热能选择性的熔化/烧结粉末床区域的增材制造工艺	激光选区熔化（SLM）、激光选区烧结（SLS）、电子束熔化（EBM）、多射流熔融成形（MJF）
定向能量沉积	利用聚焦热能将材料同步熔化沉积的增材制造工艺	激光近净成形（LENS）
立体光固化	通过光致聚合作用选择性的固化液态光敏聚合物的增材制造工艺	光固化成形（SLA）
粘结剂喷射	选择性喷射沉积液态粘结剂粘结粉末材料的增材制造工艺	三维立体打印（3DP）
材料挤出	将材料通过喷嘴或孔口挤出的增材制造工艺	熔融沉积成形（FDM）
材料喷射	将材料以微滴的形式按需喷射沉积的增材制造工艺	材料喷射成形（PJ）
薄材叠层	将薄层材料逐层粘结以形成实物的增材制造工艺	薄材叠层（LOM）

资料来源：华曙高科招股书，中航证券研究所

重点客户扩产带来重要机遇，海外资源促进公司多元化发展：航空航天领域，公司深度绑定下游核心客户，如客户 A、客户 B、客户 C、中国商飞、客户 D 等，均是国内该领域的核心集团；中国一汽、潍柴动力、钢研集团、万华化学等汽车、材料领域的领军企业也助力公司在其他领域的突破；与国内顶尖医科大学的合作帮助公司在医疗等领域深入发展。同时，公司创始人许小曙博士的海外背景有助于公司在获取海外资源上取得较大优势——公司先后与巴斯夫、戴姆勒、宝马、空客、捷普、宝洁、西门子等行业巨头建立合作关系，多元化的布局让公司发展更加具有持续性。

图84 主要客户（万元）

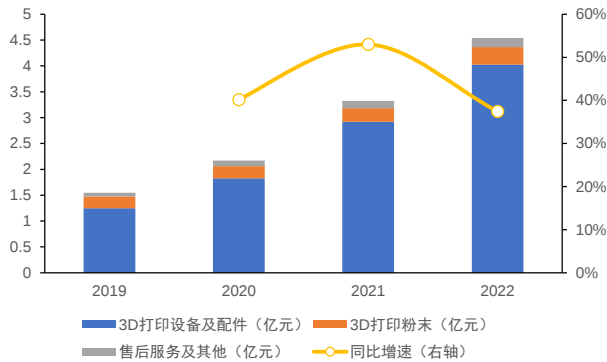
	2019	2020	2021
客户H	1,420.84		
Jabil Circuit Inc	1,300.67		
华翔医疗	691.72		
FKM Sintertechnik GmbH	670.26		
无锡产业发展集团有限公司	647.21	5,286.75	4,099.22
青岛意库自造网络有限公司		1,009.20	
北京合益鹏科技有限公司		1,005.58	
北京金凯顿机电有限公司		923.82	
上海联泰科技股份有限公司		877.3	2,183.87
客户B			5,351.39
钢研集团			4,033.79
客户A			2,050.91

资料来源：华曙高科招股书，中航证券研究所

满销满产，募投项目打开公司成长空间：根据公司招股书，截至最新报告期，公司在用户处的装机量已超过 650 台，居于行业前列，本次公开发行募集资金将用于增

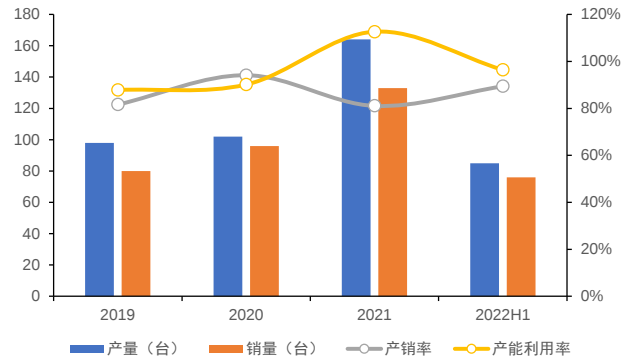
材制造设备的扩产、研发以及创新研究院的建设，建成后将打开公司中长期市场空间。

图85 分业务收入及营收增速



资料来源：华曙高科招股书，中航证券研究所

图86 公司产销量（台）、产能利用率及产销率

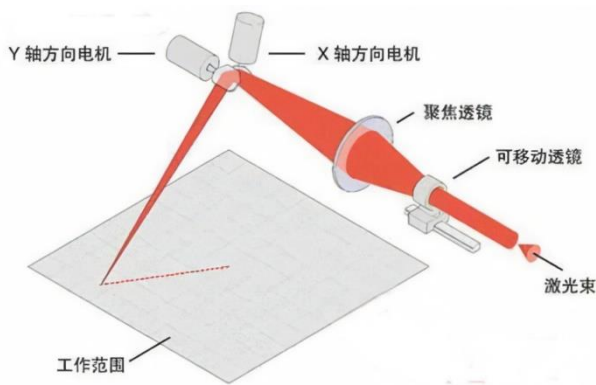


资料来源：华曙高科招股书，中航证券研究所

4.3 金橙子

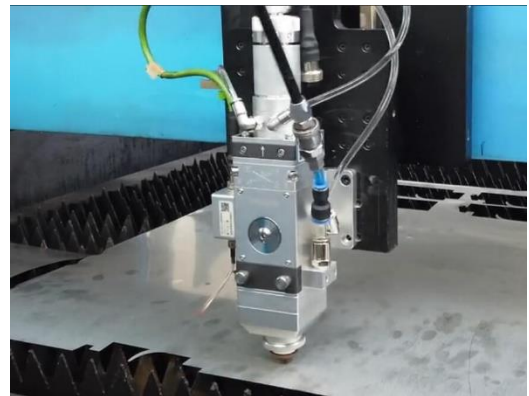
国内激光振镜控制系统龙头：公司主营业务为激光控制系统及精密加工设备，目前激光控制系统分为振镜控制系统及伺服控制系统，2020年激光振镜控制系统领域公司市占率32%，行业第一。伺服控制系统主要竞争对手为柏楚电子和维宏股份，是公司近年来拓展的新领域，收入规模仍处于较低水平。

图87 激光振镜系统



资料来源：激埃特光电，中航证券研究所

图88 激光伺服系统

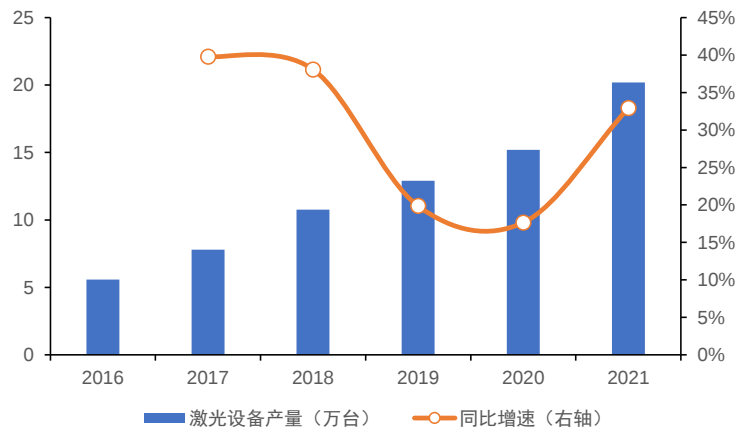


资料来源：维宏股份官网，中航证券研究所

下游需求旺盛，激光行业卖铲人：激光行业近年来迎来快速增长，我国激光设备产量从16年的5.6万台增长至21年的20.2万台，复合增速29.3%。下游新能源领域对精密加工要求逐渐提升，如电池极耳焊接、光伏激光设备等，振镜控制系统均有应用。此外，增材制造行业主流技术路线SLM多激光头、高精密度的要求对振镜

控制系统要求更高，由于下游涉及航空航天以及行业整体降本要求，国内 SLM 设备厂家国产替代需求强烈，随着公司突破高端精密激光振镜控制系统技术以及下游增材制造行业快速增长，未来行业需求将保持较快增速。

图89 激光设备产量



资料来源：华经产业研究院，中航证券研究所

募投项目战略布局助力公司发展：公司募投项目主要包括柔性精密平台研发及产业化、高精度数字振镜系统项目、市场营销及技术支持，前两项募投项目将帮助公司在高端振镜控制系统领域扩大产能、储备技术，进一步取得领先优势，并实现机器人视觉等技术成果的转化。而市场营销及技术支持网点建设将帮助公司提升售前售后服务，加强客户粘性。

五、风险提示

下游需求不及预期风险：由于增材制造是新技术，产业链尚处于起步阶段，需求应用尚需拓展，因此面临下游需求不及预期的风险；

关键核心器材依赖进口风险：虽然行业内相关公司均在积极布局国产核心零部件的验证替代，但目前仍存在核心关键零部件依赖进口的风险；

技术路线替代风险：由于增材制造属于新兴行业，因此存在技术路线变动导致相关公司技术路线替代风险；

市场竞争加剧风险：由于增材制造行业相关参与者较多，因此存在市场竞争加剧导致相关公司盈利能力下滑风险；

募投项目不及预期风险：目前产业链相关企业都在积极布局投资项目，因此需要留心项目推进不及预期风险；

市场风险偏好波动风险：成长性赛道具有估值高的特点，股价容易受到市场波动影响。

公司的投资评级如下:

买入: 未来六个月的投资收益相对沪深 300 指数涨幅 10%以上。

持有: 未来六个月的投资收益相对沪深 300 指数涨幅-10%~10%之间。

卖出: 未来六个月的投资收益相对沪深 300 指数跌幅 10%以上。

行业的投资评级如下:

增持: 未来六个月行业增长水平高于同期沪深 300 指数。

中性: 未来六个月行业增长水平与同期沪深 300 指数相若。

减持: 未来六个月行业增长水平低于同期沪深 300 指数。

研究团队介绍汇总:

中航证券新材料团队: 擅长新材料和宏观周期研究, 依托中航工业集团强大产业背景, 研究体系重点围绕航空新材料, 并逐步拓展至新能源材料、轻量化材料等, 形成赛道型产业链覆盖和跟踪, 注重投研一体, 形成业务层面一二级市场协同。

销售团队:

李裕洪, 18674857775, liyuq@avicsec.com, S0640119010012

李友琳, 18665808487, liyoul@avicsec.com, S0640521050001

曾佳辉, 13764019163, zengjh@avicsec.com, S0640119020011

分析师承诺:

负责本研究报告全部或部分内容的每一位证券分析师, 再次申明, 本报告清晰、准确地反映了分析师本人的研究观点。本人薪酬的任何部分过去不曾与、现在不与、未来也将不会与本报告中的具体推荐或观点直接或间接相关。

风险提示: 投资者自主作出投资决策并自行承担投资风险, 任何形式的分享证券投资收益或者分担证券证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

免责声明:

本报告由中航证券有限公司(已具备中国证券监督管理委员会批准的证券投资咨询业务资格)制作。本报告并非针对意图送发或为任何就送发、发布、可得到或使用本报告而使中航证券有限公司及其关联公司违反当地的法律或法规或可致使中航证券受制于法律或法规的任何地区、国家或其它管辖区域的公民或居民。除非另有显示, 否则此报告中的材料的版权属于中航证券。未经中航证券事先书面授权, 不得更改或以任何方式发送、复印本报告的材料、内容或其复印本给予任何其他人。

本报告所载的资料、工具及材料只提供给阁下作参考之用, 并非作为或被视为出售或购买或认购证券或其他金融票据的邀请或向他人作出邀请。中航证券未有采取行动以确保于本报告中所指的证券适合个别的投资者。本报告的内容并不构成对任何人的投资建议, 而中航证券不会因接受本报告而视他们为客户。

本报告所载资料的来源及观点的出处皆被中航证券认为可靠, 但中航证券并不能担保其准确性或完整性。中航证券不对因使用本报告的材料而引致的损失负任何责任, 除非该等损失因明确的法律或法规而引致。投资者不能仅依靠本报告以取代行使独立判断。在不同时期, 中航证券可发出其它与本报告所载资料不一致及有不同结论的报告。本报告及该等报告仅反映报告撰写日分析师个人的不同设想、见解及分析方法。为免生疑, 本报告所载的观点并不代表中航证券及关联公司的立场。

中航证券在法律许可的情况下可参与或投资本报告所提及的发行人的金融交易, 向该等发行人提供服务或向他们要求给予生意, 及或持有其证券或进行证券交易。中航证券于法律容许下可于发送材料前使用此报告中所载资料或意见或他们所依据的研究或分析。

联系地址: 北京市朝阳区望京街道望京东园四区 2 号楼中航产融大厦中航证券有限公司

公司网址: www.avicsec.com

联系电话: 010-59219558

传 真: 010-59562637