



3D 打印行业研究

买入（首次评级）

行业深度研究

证券研究报告

机械组

分析师：满在朋（执业 S1130522030002） 分析师：李嘉伦（执业 S1130522060003）
manzaipeng@gjzq.com.cn lijialun@gjzq.com.cn

商业航天 3D 打印浪潮将至

投资逻辑：

7 大技术路线加持，3D 打印从概念走向量产。3D 打印相比传统加工方式，通过省去模具或工装的需求大幅降低了初始成本，但其成本优势会随着生产规模的扩大而减弱，具有和传统制造业不同的成本曲线。但随着 3D 打印技术进步，单位生产成本正不断下降，在更大的批量上相比传统加工工艺也开始具有优势，在对成本最敏感的消费电子领域也开始看到成熟应用落地。同时经过多年发展，目前包含了粉末床熔融、定向能量沉积、材料挤出成形等 7 大技术路线，加工材料从高分子到金属覆盖面持续加大，满足不同应用领域需求，我们认为 3D 打印技术已经具备了大规模量产寄出。

为什么 3D 打印可以成为商业航天最终加工解决方案。3D 打印首先从设计角度带来全新的产品设计理念，从制造引导设计转为设计引导制造，基于功能优先设计/轻量化设计理念实现功能集成、零部件数量大幅下降、结构优化，带来轻量化等传统工艺不可比拟的优势，尤其是在对尺寸、重量非常敏感的航天领域优势更加突出。更短的研发生产周期和供应链也降低了全生命周期成本。同时我们看到各类打印材料在航天领域的研发与应用也逐步成熟，3D 打印具备成为商业航天最终解决方案基础。

火箭 3D 打印：配套火箭推力室制造，国内渗透率有望持续提升。推力室是火箭发动机中最复杂、制造难度最大、制造周期最长的部件，目前通过粉末床熔融+定向能量沉积完成推力室喷注器、喷管和燃烧室、涡轮泵等核心零部件加工已有较多成熟方案。国内深蓝航天、蓝箭航天、天兵科技推力室均已有 3D 打印技术应用，当相比例如 NASA 已经形成包含多种技术路线+材料的标准化体系来说还尚显不足，我们认为后续国内火箭 3D 打印对标 NASA、SpaceX 渗透率还有较大提升空间。

卫星 3D 打印：全面助力轻量化，国内外企业加大布局。小卫星作为一箭多星发射的最佳载体正快速发展，探索新工艺来降低结构质量比势在必行。3D 打印通过其拓扑结构优化、功能优先设计完美适配卫星减重和功能集成需求。后续在卫星主结构设计优化（例如加入晶格结构）、支撑散热功能集成、支架减重、连接点轻量化、推力器减重、天线减重等领域均有较大应用空间，成长前景优异。目前国内外企业均积极加大卫星 3D 打印应用布局，3D 打印立方星框架、整星结构、太阳能阵列基板等应用不断落地，后续随着国内火箭可回收技术的成熟发射成本下降，卫星 3D 打印将有更大应用前景

投资建议与估值

考虑 3D 打印当前技术成熟度不断提升具备量产基础，同时有望成为商业航天领域最终加工解决方案，在火箭、卫星上均有较好应用前景，建议关注业务涉及商业航天 3D 打印的标的。

风险提示

商业航天产业进展不及预期风险，3D 打印应用进展不及预期风险，相关标的商业航天业务收入占比较低风险。



内容目录

1. 7大技术路线加持，3D打印从概念走向量产	6
1.1 随着技术迭代，3D打印从概念走向量产	6
1.2 7大技术路线加持，适配不同领域需求	8
2. 为什么3D打印可以成为商业航天最终加工解决方案	14
2.1 设计：面向增材制造进行设计，大幅降低零部件数量	14
2.2 成本：更短的供应链，更低的试错成本	16
2.3 减重：基于拓扑优化等方式实现轻量化	17
2.4 散热：结构与散热集成，满足航天器高功率器件要求	18
2.5 材料：高温合金3D打印走向成熟，新材料潜力巨大	19
3. 火箭3D打印：配套火箭推力室制造，国内渗透率有望持续提升	22
3.1 粉末床熔融+定向能量沉积协作可实现最核心的火箭推力室3D打印加工	22
3.2 NASA、SPACEX积极拥抱3D打印，国内火箭3D打印渗透率或持续提升	30
4. 卫星3D打印：全面助力轻量化，国内外企业加大布局	38
4.1 3D打印适配小卫星轻量化+功能集成需求	38
4.2 从立方体卫星起步，国内外企业持续加大3D打印布局	44
5. 投资建议	48
5.1 投资建议	48
5.2 华曙高科：金属+高分子3D打印全链路布局，航天领域应用持续突破	48
5.3 银邦股份：持有飞而康股权，下游覆盖航空航天领域	50
5.4 飞沃科技：收购新杉宇航部分股权，有较好成长前景	51
5.5 江顺科技：参股九宇建木，九宇建木积极布局DED技术路线	52
5.6 汇纳科技：战略携手金石三维，有望实现强强联合	52
5.7 南风股份：子公司3D打印涉及航空航天领域	53
6. 风险提示	53

图表目录

图表 1：全球首个3D打印设备和打印的零件	6
图表 2：目前已经有超过20种金属3D打印技术	7
图表 3：3D打印具有不同的成本曲线	7
图表 4：3D打印能够走向量产的基础是技术的迭代大幅降低了单位成本	8
图表 5：3D打印已从概念逐步走向量产	8
图表 6：目前3D打印针对各种常见材料衍生出了不同的加工工艺	9
图表 7：3D打印技术可以归类为7类	10



图表 8:	光聚合 3D 打印原理	10
图表 9:	粉末床熔融 3D 打印原理	11
图表 10:	激光选区熔化成形原理	11
图表 11:	粉末床熔融与定向能量沉积在工业领域已经实现了成熟应用	11
图表 12:	定向能量沉积原理	12
图表 13:	常见的熔融沉积成形 (FDM) 就属于材料挤出成形工艺	12
图表 14:	黏结剂喷射技术需要配套额外的后处理来进行使用	13
图表 15:	生坯中粉末的烧结与致密化过程	13
图表 16:	材料喷射技术原理	14
图表 17:	层叠制造原理	14
图表 18:	3D 打印带来了不同的设计、制造理念	15
图表 19:	基于 3D 打印的产品设计新理念	15
图表 20:	NASA 基于面向 3D 打印设计理念显著降低了火箭发动机零件数量	16
图表 21:	通过 3D 打印技术可降低产品全生命周期成本	16
图表 22:	NASA 通过采用 3D 打印技术大幅降低了成本	16
图表 23:	3D 打印可助力实现轻量化设计	17
图表 24:	铂力特为航天五院 3D 打印的微小卫星结构内部	18
图表 25:	深蓝航天通过结构与散热功能集成进一步提高发动机推力室效率	18
图表 26:	弹载复杂内流道高效控温构件	19
图表 27:	航空航天领域用增材制造合金体系及主要牌号	19
图表 28:	航空航天领域用典型增材制造金属材料及其应用	19
图表 29:	激光增材制造镍基高温合金跨层级细微观结构示意图	20
图表 30:	增材制造 GH4169 室温力学性能与传统制造方式的对比	21
图表 31:	采用不同的热处理方式对激光 3D 打印高温合金的性能影响较大	21
图表 32:	连续纤维增强聚合物复合材料性能	21
图表 33:	连续纤维复合材料主要性能优化方式	22
图表 34:	液体火箭发动机主要采用粉末床熔融+定向能量沉积技术配套来进行打印	23
图表 35:	喷注器是火箭推力室“心脏”	24
图表 36:	Rocketdyne 注喷油嘴使用 3D 打印技术制造并完成了测试	24
图表 37:	3D 打印喷注器可大幅减少零件数量	25
图表 38:	LEAP 71 宣布实现了直径 600 毫米喷注器 3D 打印	25
图表 39:	NASA 通过 SLM 打印的再生冷却喷管	26
图表 40:	NASA 通过 LWDC 技术打印的再生冷却喷管	26
图表 41:	采用粉末床熔融技术打印的两段式腔体结构	26
图表 42:	铂力特承担了试车发动机喷注器壳体和推力室身部两个零件的金属 3D 打印工作	27



图表 43:	定向能量沉积技术在燃烧室 3D 打印有较好的应用前景	27
图表 44:	NASA 已经形成了多种实现 DED 加工的技术路线	28
图表 45:	DED 配套工业机器人实现大尺寸零部件加工	28
图表 46:	NASA 布局的一体化再生冷却推力室组件	29
图表 47:	液体火箭发动机涡轮泵结构示意图	29
图表 48:	NASA 3D 打印的涡轮泵零件数量大幅减少	29
图表 49:	液体火箭发动机涡轮泵诱导轮结构	30
图表 50:	诱导轮打印时可通过叶片特征区域支撑结构来约束塑性形变和降低翘曲变形	30
图表 51:	NASA 涉及 3D 打印的中心	31
图表 52:	NASA 马歇尔航天飞行中心形成 3D 打印技术成熟应用	31
图表 53:	目前 NASA 针对不同应用场景开发了不同的配套 3D 打印技术	32
图表 54:	NASA 尝试了多种新型合金来进一步提升 3D 打印性能	32
图表 55:	NASA 采用新型 3D 打印合金的喷管、喷注器均热试车成功	33
图表 56:	NASA 已经进行了长时间的热试车并积累大量“Know How”	33
图表 57:	SpaceX 猛禽 3 发动机通过 3D 打印大幅简化了结构	34
图表 58:	Velo3D 除 SpaceX 外还配套很多军工/航天领域一线客户	34
图表 59:	国内航天领域也行业实现了较多 3D 打印应用成果	35
图表 60:	深蓝航天雷霆 R/雷霆 RS 发动机均采用了 3D 打印技术	35
图表 61:	深蓝航天燃烧室涡轮泵通过 3D 打印带来全面性能提升	36
图表 62:	蓝箭涡轮泵壳体、换热器、推力室、喷管、弯管均涉及了 3D 打印技术的应用	37
图表 63:	TH-12 采用了超大尺寸推力室不锈钢 3D 打印等技术	37
图表 64:	天兵科技的发动机推力室头部壳体为 3D 打印成型一体化结构	38
图表 65:	卫星主要系统构成	39
图表 66:	全球小卫星发射数量正快速增长	39
图表 67:	3D 打印可满足小卫星轻量化设计要求	40
图表 68:	传统卫星舱板结构示意图	40
图表 69:	3D 打印卫星主结构舱板	41
图表 70:	晶格结构是轻量化的理想选择	41
图表 71:	通过拓扑优化可以进一步探索更优的晶格结构	42
图表 72:	3D 打印晶格结构	42
图表 73:	3D 打印可实现舱板支撑+散热功能集成	42
图表 74:	3D 打印点阵结构助力卫星支架实现减重	42
图表 75:	卫星上的连接点也可以进行轻量化设计	43
图表 76:	基于 3D 打印重新设计的推力器	43
图表 77:	直接金属激光烧结制成的天线馈源阵列	44



图表 78:	通过 PEEK 材料打印的立方体卫星	44
图表 79:	金属 3D 打印立方星部署器框架	45
图表 80:	千乘一号卫星实现了三维点阵整星结构应用	45
图表 81:	星众空间金属 3D 打印的“灵巧号”卫星	46
图表 82:	星众空间 3D 打印立方星框架	46
图表 83:	Maxar 卫星使用了将近 1000 个 3D 打印部件	47
图表 84:	3D 打印的铝制结构件被整合到 MDA 的卫星中	47
图表 85:	波音正在推进 3D 打印太阳能阵列基板	48
图表 86:	建议关注公司	48
图表 87:	华曙高科具有较强全链路自主研发能力	49
图表 88:	深蓝航天使用华曙高科设备进行发动机大尺寸喷管 3D 打印	49
图表 89:	飞而康金属增材制造超级工厂	50
图表 90:	飞尔康参与星河动力发动机零部件制造	50
图表 91:	华曙高科高分子材料 3D 打印也实现了航天应用突破	50
图表 92:	飞而康金属 3D 打印加工服务营收破亿	51
图表 93:	飞而康列装 3D 打印设备 50+台, 配套 YF-75DA 发动机部分 3D 打印任务	51
图表 94:	新杉宇航在上料、铺粉、成型、后处理等领域均发布了较多专利	52
图表 95:	金石三维下游应用覆盖航空航天领域	53

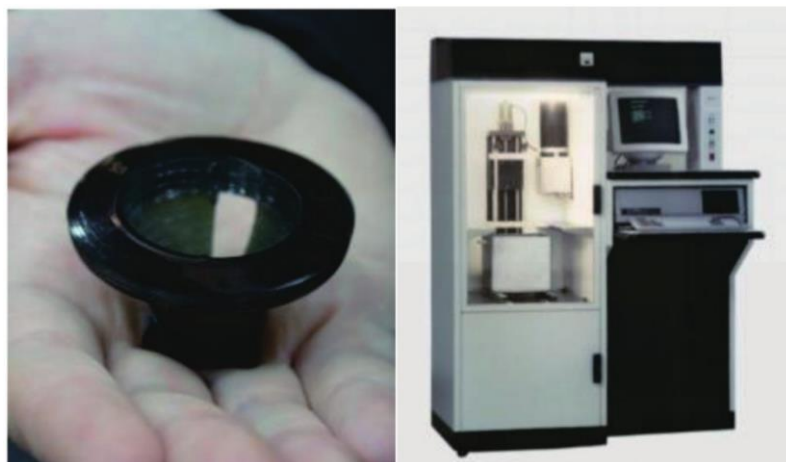


1.7 大技术路线加持，3D 打印从概念走向量产

1.1 随着技术迭代，3D 打印从概念走向量产

纵观制造业历史，人类的制造方式经历了等材制造（铸造、锻造）、减材制造（车、铣、磨）、增材制造（3D 打印）三个阶段的变迁，3D 打印主要以三维 CAD 设计数据为基础，将材料累加起来形成实体结构。1987 年，3D Systems 推出首款光固化增材制造设备 SLA-1 并打印了全球首个增材制造部件。

图表1：全球首个 3D 打印设备和打印的零件



来源：《中国战略性新兴产业研究与发展：增材制造》，国金证券研究所

后续随着越来越多的企业进入市场，3D 打印从塑料延伸至金属领域，到 2002 年德国研制的增材制造装备，可成形接近全致密的精细金属零件和模具，其性能可达到同质锻件水平，3D 打印的工业化应用开始加速。目前金属 3D 打印可使用的材料更广泛，比以前快得多，并且可以生产出质量更高的部件。如今，市面上已有近 20 种不同的金属增材制造技术。



图表2：目前已经有超过 20 种金属 3D 打印技术

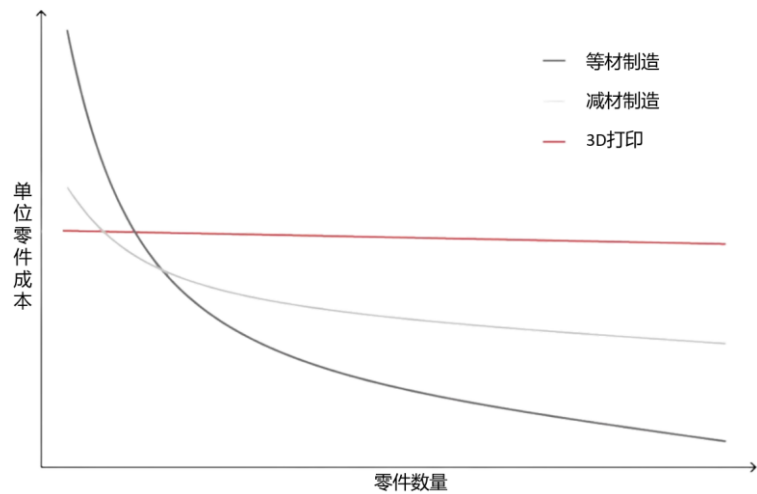
Metal Additive Manufacturing technology landscape



来源：TCT 亚洲，国金证券研究所

3D 打印相比传统加工方式，通过省去模具或工装的需求大幅降低了初始成本，但其成本优势会随着生产规模的扩大而减弱，3D 打印的优势需要综合考虑设计复杂度、生产批量以及、交付周期等。

图表3：3D 打印具有不同的成本曲线

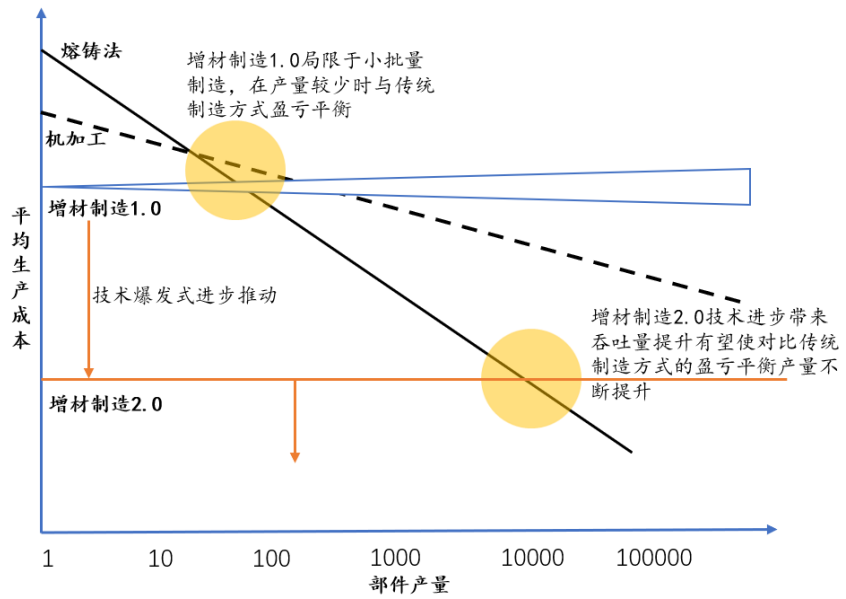


来源：《Additive Manufacturing: A Comprehensive Review》，国金证券研究所

也就是 3D 打印产业的降本不是通过单纯产量的规模化，而是通过技术革新直接改变单位生产成本，从而在更大的批量相比传统加工工艺也具有优势。



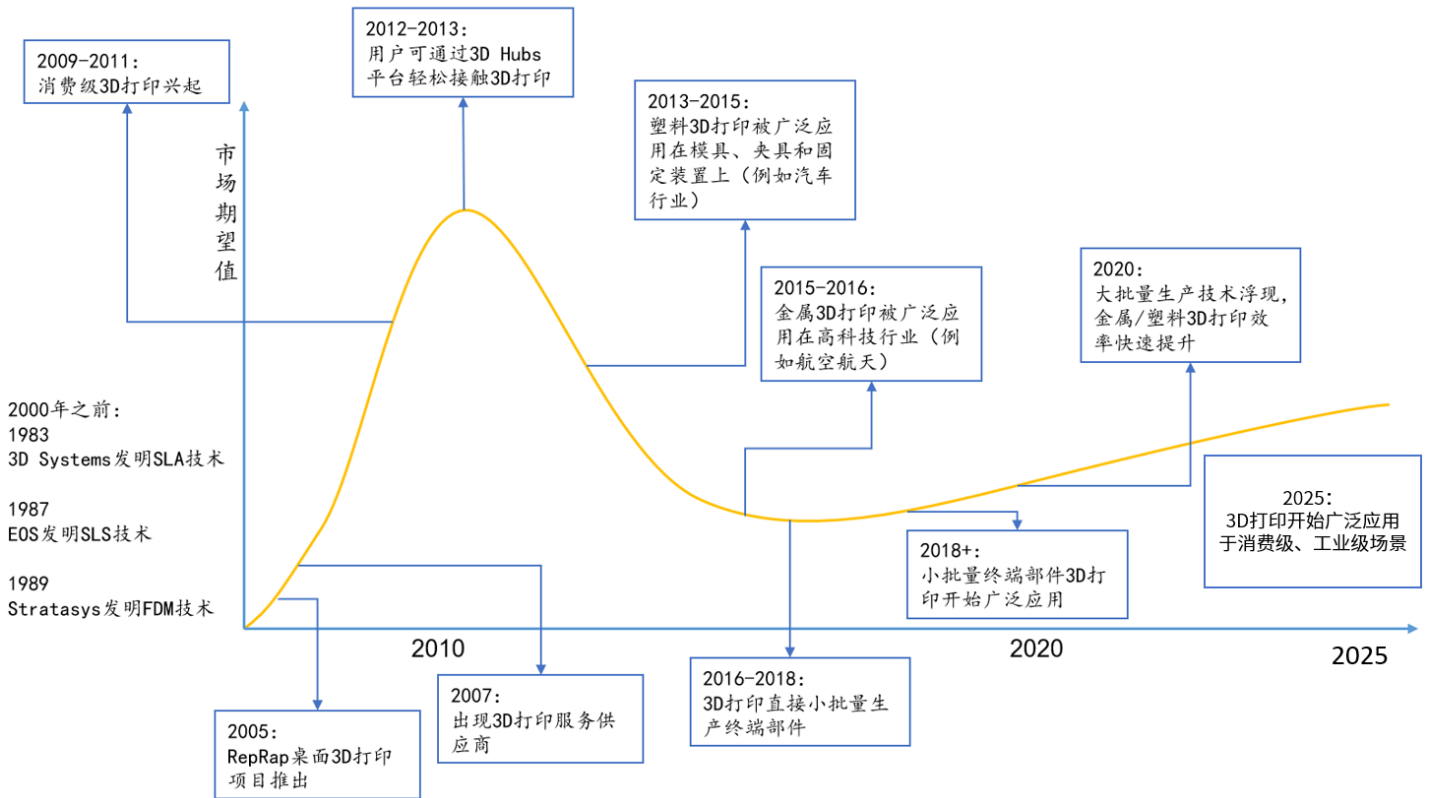
图表4: 3D 打印能够走向量产的基础是技术的迭代大幅降低了单位成本



来源:《Additive Manufacturing: A Comprehensive Review》, 国金证券研究所

根据 Gartner 新兴技术成熟曲线复盘 3D 打印发展历程, 我们认为在 2010 年前后首次出现广泛消费级应用带来的关注度高点后, 3D 打印技术的持续进步逐渐证明了其对于制造业的价值, 从最初因为“概念”而受到追捧, 到通过不断拓展的实际应用打开市场, 完成了从仅可用于原型制造到小批量、大批量终端部件直接生产的跨越式发展

图表5: 3D 打印已从概念逐步走向量产



来源:《Additive Manufacturing Insight Report》, 国金证券研究所

1.2 7 大技术路线加持, 适配不同领域需求

3D 打印产业经过多年发展, 目前针对各种材料类型均衍生出了不同的加工工艺。



图表6: 目前3D打印针对各种常见材料衍生出了不同的加工工艺

技术分类	优势	局限性	常用材料
FDM	价格低	需要高温环境	PLA
	打印效率高	需使用支撑结构	ABS
	维护成本低	无法打印某些几何形状	PETG
VP	细节和表面质量极佳 适用于复杂精细特征	构建体积有限	光固化树脂
		易收缩和翘曲	蜡材
		存在毒性与环境隐患	陶瓷
MJ	分辨率和细节极佳	成本高	光聚合物
	支持多材料与全彩打印	构建体积受限	热塑性聚合物
	材料选择范围广	打印速度慢	金属粉末
BJ	支持全彩打印 材料类型丰富	零件密度低	PVP
		人工操作繁琐	PVA
		后处理流程复杂	PAA
SLS	无需支撑结构	存在孔隙、收缩和杂质	塑料
	成品各向同性	表面质量较差	复合材料
	可打印复杂几何形状	需后处理优化外观	陶瓷
SLM	无需粘结剂	成本高	钛合金
	通常比SLS速度快	材料灵活性低	不锈钢
	粉末可回收性高	需支撑结构与惰性气体	铝合金
DMLS	无需支撑结构	成本高	不锈钢
	支持多种金属合金材料	孔隙率高	铝
	粉末可回收性高	构建体积有限	钛
EBM	材料性能优异	设备成本高	钛合金
	可加工活性金属	需额外后处理	镍基高温合金
	流程快速高效	材料选择范围有限	钴铬合金
MJF	速度和效率高	材料受限 适用场景较特定	聚酰胺
	后处理流程少		热塑性聚氨酯
	支持多色打印		聚丙烯
	延展性好		
DED	减少废料	需后处理以获得光滑表面 精度较低	不锈钢
	可修复/修改零件		钛合金
	适用于大型部件(效率高)		镍基高温合金
CFR	强度高、重量轻 纤维取向可定制	成本高 材料兼容性有限	尼龙+碳纤维
			PEEK+碳纤维
			ABS+碳纤维
LOM	成本低、速度快	尺寸精度和强度低	纸张
	环境友好	需后处理优化表面	金属箔
	可制作大型零件	复合材料的材料范围有限	塑料

来源:《Additive Manufacturing: A Comprehensive Review》, 国金证券研究所

从大的分类来看一般将3D打印分为7类, 主要包括材料挤出(Material Extrusion)、光聚合(Photopolymerization)、粉末床熔融(Powder Bed Fusion)、材料喷射(Material Jetting)、黏结剂喷射(Binder Jetting)、片材层压(Sheet Lamination)和定向能量沉积(Directed Energy Deposition)。



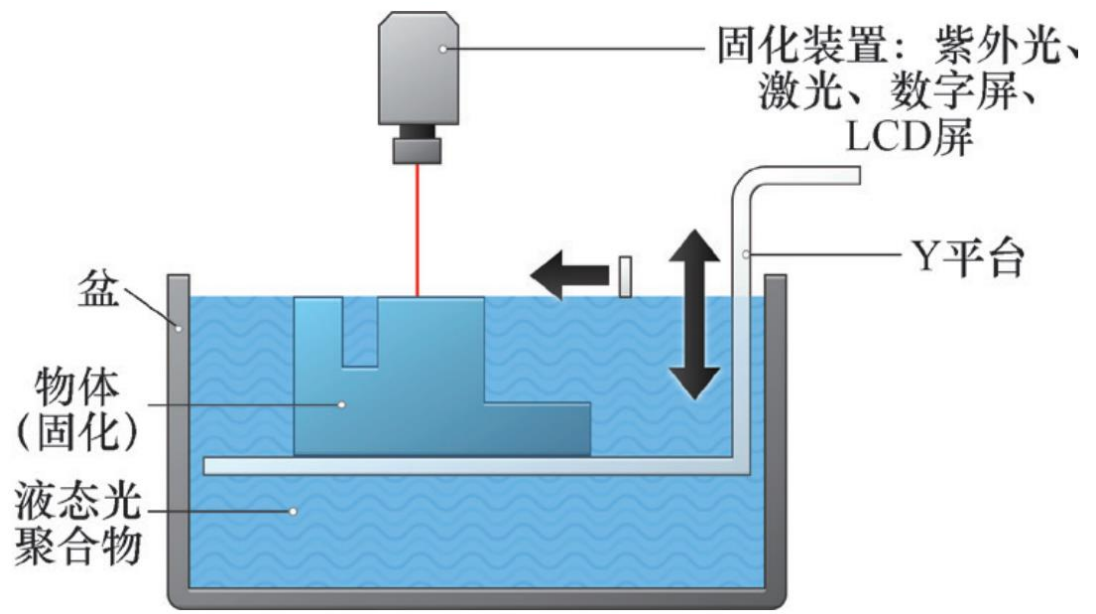
图表7: 3D 打印技术可以归类为 7 类

- 材料挤出技术**
从喷嘴中挤出半液体材料，形成连续的对象层
- 桶式光聚作用**
使用激光束或其他光源在桶内液态感光树脂的表面或底部进行连续固化物体层
- 材料喷射技术**
打印喷头喷射出的液体可以通过UV光固化，也可以在接触空气时固化
- 黏合剂喷射技术**
打印喷头选择性地在连续粉末层中喷射黏合剂
- 粉末床熔融技术**
激光束或其他热源选择性地熔融连续粉末层
- 定向能量沉积技术**
激光束或其他热源熔融沉积的粉末状构建材料
- 层叠制造成型**
逐层黏附纸张、塑料或金属

来源：《中国战略性新兴产业研究与发展：增材制造》，国金证券研究所

光聚合是最常见的用来进行聚合物打印的技术路线，当光聚合物树脂暴露在特定波长的光下时，会发生化学反应，使其变成固体。通过对光源进行升级、加入Z轴连续运动等优化出现了直接光处理、连续液体界面打印等新的技术路线。

图表8: 光聚合 3D 打印原理

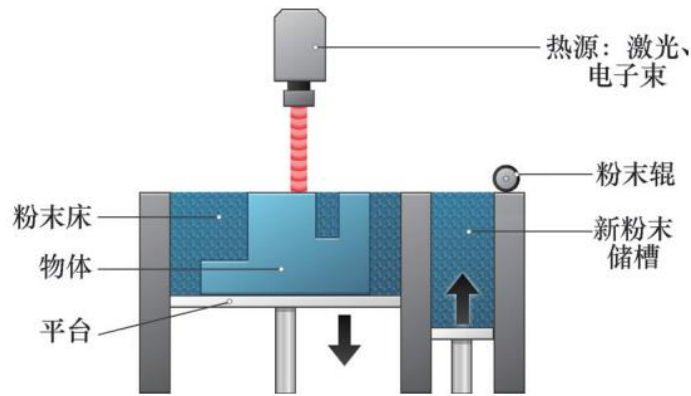


来源：《增材制造技术国内外应用发展趋势》，国金证券研究所

粉末床熔融工艺是指通过热能选择性地熔化/烧结粉末床区域的增材制造工艺。代表性工艺有激光选区熔化、激光选区烧结、电子束选区熔化。该技术路线的选材较为广泛，从尼龙到金属粉末都可以作为烧结对象。

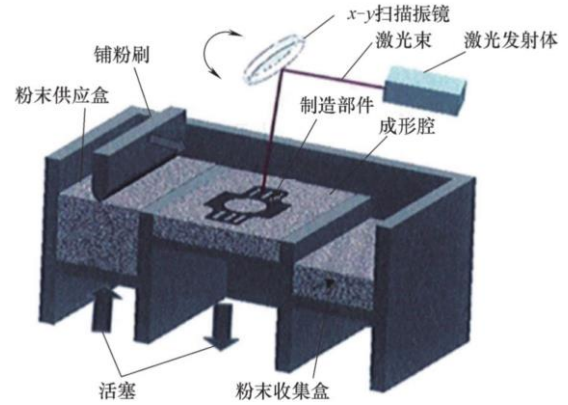


图表9: 粉末床熔融 3D 打印原理



来源:《增材制造技术国内外应用发展趋势》, 国金证券研究所

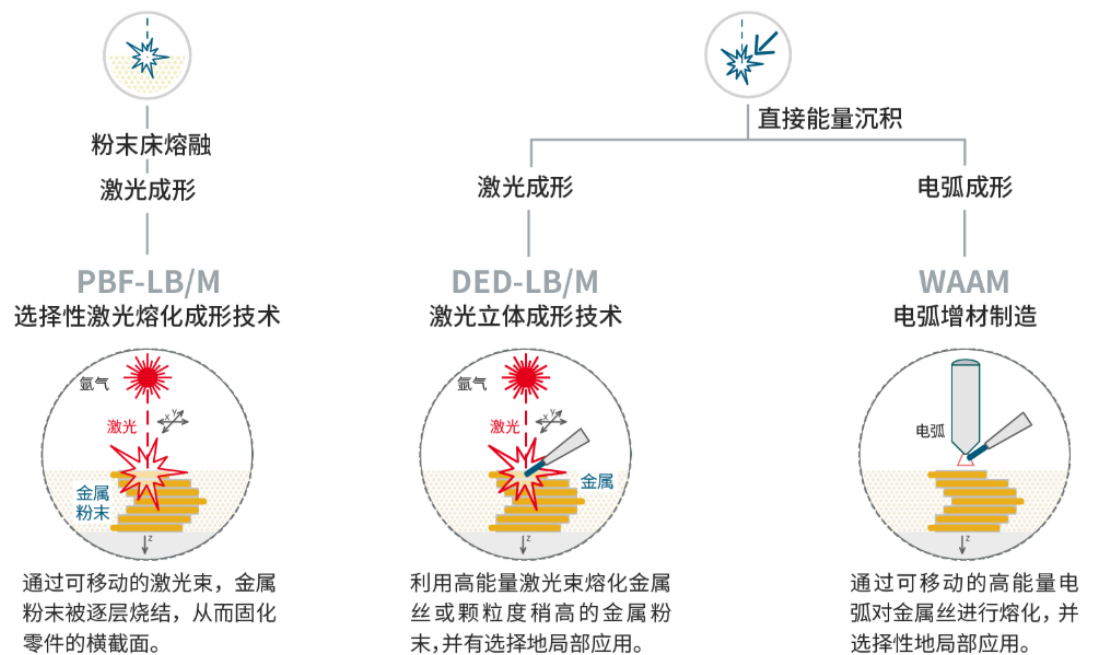
图表10: 激光选区熔化成形原理



来源:《中国战略性新兴产业研究与发展: 增材制造》, 国金证券研究所

目前该技术路线在工业领域已经实现了成熟应用, 通常会一起使用进行加工的还有定向能量沉积技术, 通过直接熔化材料并将它们逐层沉积在工件上来制造零件, 这种增材制造技术主要用于金属粉末或线材原材料。

图表11: 粉末床熔融与定向能量沉积在工业领域已经实现了成熟应用

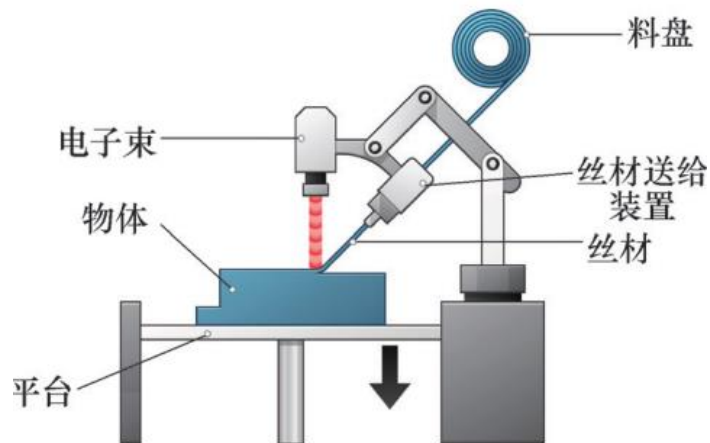


来源: 铂力特官网, 国金证券研究所

定向能量沉积包含了激光粉末成形、激光定向能量沉积、气溶胶喷射、电子束增材制造、激光沉积焊接等技术路线, 和粉末床熔融相比, 定向能量沉积可以在一个零件上打印不同的材料, 同时可以用于损坏修复, 可加工的尺寸往往也比粉末床熔融更大。



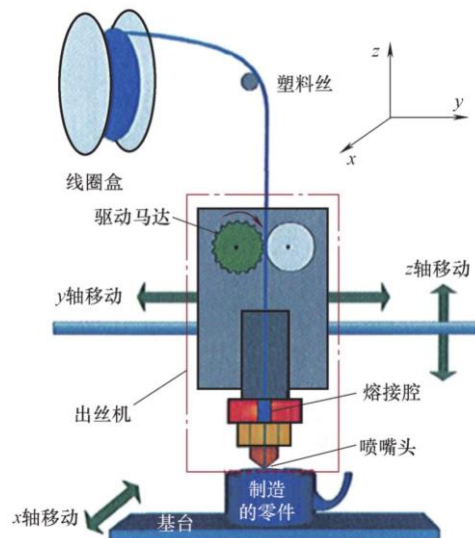
图表12: 定向能量沉积原理



来源:《增材制造技术国内外应用发展趋势》, 国金证券研究所

材料挤出成形是最常见和便宜的 3D 打印技术路线, 消费级的 3D 打印主要就是采用该技术路线进行聚合物 3D 打印。使用热塑性材料的连续长丝作为基材, 细丝从一个线圈通过一个移动的加热打印机挤出机头进料, 通常缩写为挤出机 (Extruder)。熔融材料从挤出机的喷嘴被挤出, 并首先沉积到 3D 打印平台上, 该平台可以加热以获得额外的附着力。第一层完成后, 挤出机和平台在一个步骤中分开, 然后将第二层直接沉积到正在生长的工件上, 挤出机头在计算机控制下移动。

图表13: 常见的熔融沉积成形 (FDM) 就属于材料挤出成形工艺

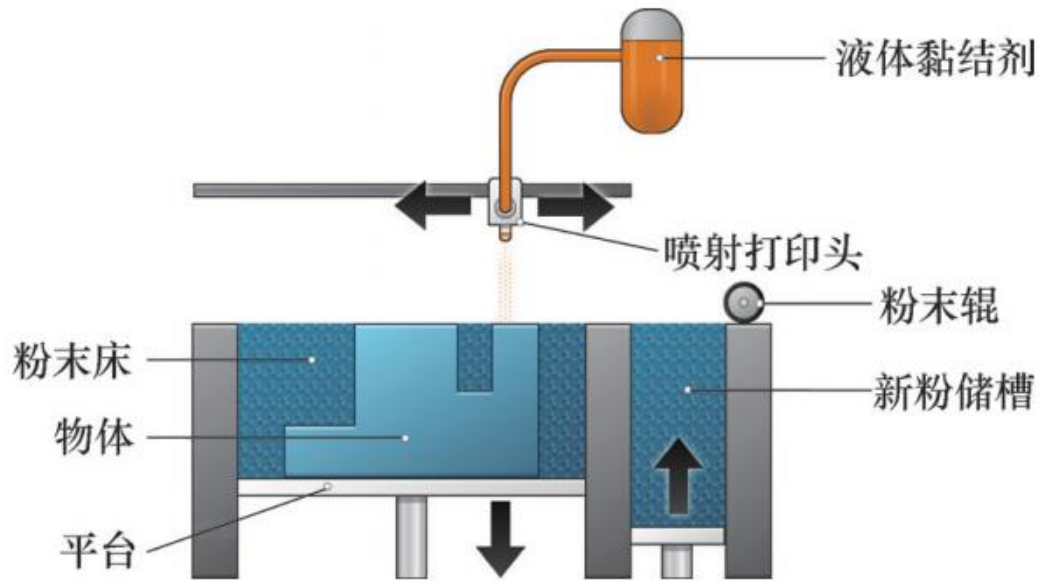


来源:《中国战略性新兴产业研究与发展: 增材制造》, 国金证券研究所

黏结剂喷射技术需要同时使用粉末与黏结剂, 在黏结剂喷射 3D 打印过程中, 3D 打印头在构建平台 X 轴和 Y 轴上水平移动, 沉积黏结剂液滴, 以类似于在纸上打印墨水的方式打印每一层。当一层完成时, 支撑打印物体的粉末床的平台会向下移动, 一层新的粉末散布到构建区域上。该过程逐层重复, 直到所有部分完成。打印后, 零件处于生坯或未完成状态, 需要经过额外的后期处理后才能使用。



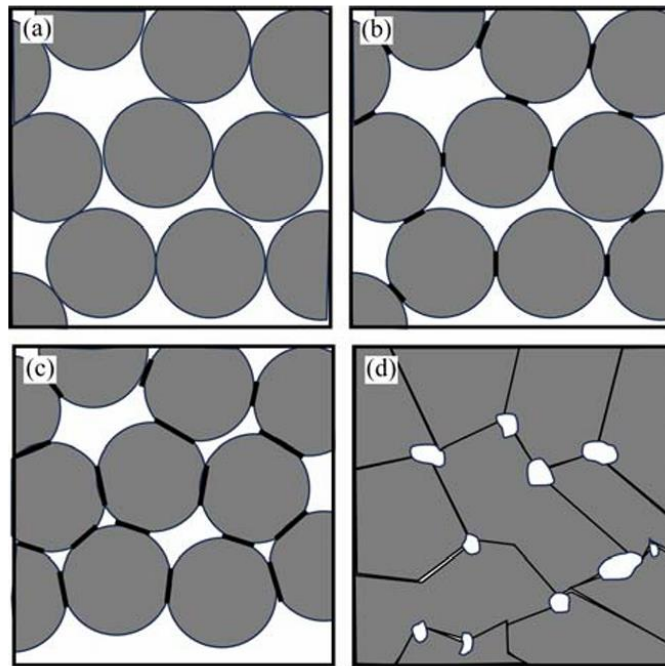
图表14: 黏结剂喷射技术需要配套额外的后处理来进行使用



来源:《增材制造技术国内外应用发展趋势》, 国金证券研究所

例如对打印后生坯进行烧结来获得足够的密度与力学性能, 该过程中坯体的黏结剂在高温下分解成气体排出。

图表15: 生坯中粉末的烧结与致密化过程

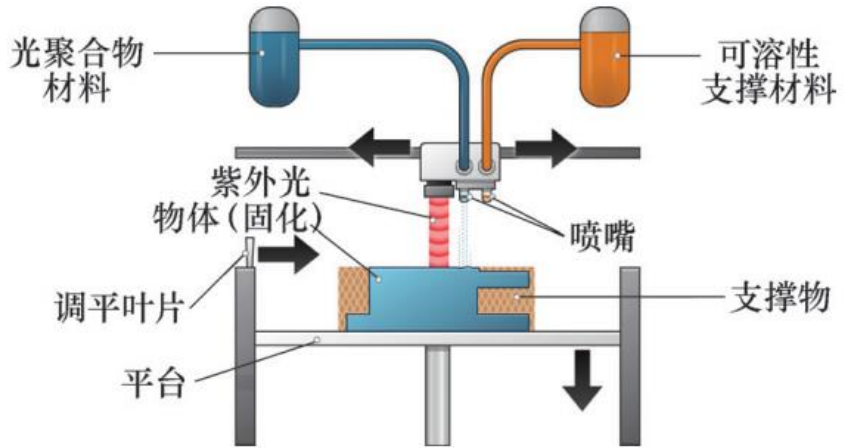


来源:《黏结剂喷射打印技术研究现状与发展趋势》, 国金证券研究所

材料喷射技术与喷墨打印机将墨水逐层放置在一张纸上的方式相同, 材料喷射将材料沉积到构建表面上, 然后使用紫外光固化或硬化该层。逐层重复, 直到对象完成。



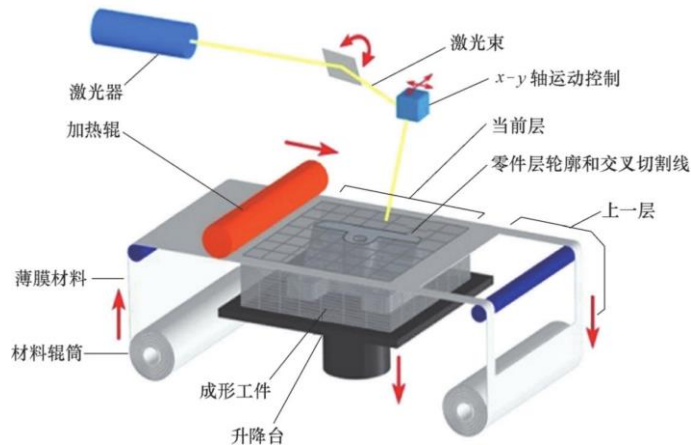
图表16: 材料喷射技术原理



来源:《增材制造技术国内外应用发展趋势》, 国金证券研究所

层叠制造主要将薄层材料逐层黏结以形成实物,可进行一些轻质部件的加工,例如人体工程学研究、地形可视化、纸制物体的结构模型。

图表17: 层叠制造原理



来源:《中国战略性新兴产业研究与发展:增材制造》, 国金证券研究所

2.为什么 3D 打印可以成为商业航天最终加工解决方案

2.1 设计: 面向增材制造进行设计, 大幅降低零部件数量

从减材制造到增材制造,3D 打印突破传统制造方式限制,带来完全不同的设计理念。传统机械加工方法主要是减材制造,在其制造过程中材料逐渐减少以完成最终成形,或使用模具完成等材制造。3D 打印所属的增材制造则打破了传统制造方式限制,利用数字化技术直接完成产品成形,让 3D 打印完全颠覆了原有制造业设计方式,创造了为增材制造而设计的产品,带来了不可替代的巨大优势。



图表18: 3D 打印带来了不同的设计、制造理念

	3D打印	传统精密加工
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	激光选区熔化 光固化成型等	磨削、超精细切削、抛光等
使用材料	塑料、金属、树脂等 (受限)	几乎所有材料 (不受限)
材料利用率	高 可超过95%	低 材料浪费
生产周期	短	长
尺寸精度	±0.1mm (相对于传统精密加工而言偏差较大)	0.1-10μm (超精密加工精度甚至可达纳米级)
表面粗糙度	Ra2μm-Ra10μm之间 (表面光洁程度较低)	Ra0.1μm以下 (表面光洁度较高, 甚至可达镜面效果)

3D打印
设计更自由
制造更简单

来源: 铂力特招股说明书, 国金证券研究所

3D 打印带来了基于增材制造的产品设计理念。可以理解为 3D 打印与传统精密加工的一个核心区别在于, 所成形零部件的结构设计变化不改变加工方式, 即设计者可以在一定约束范围内 (激光加工原理约束、激光加工工艺约束) 通过拓扑优化、有限元分析去优化模型结构。

图表19: 基于 3D 打印的产品设计新理念

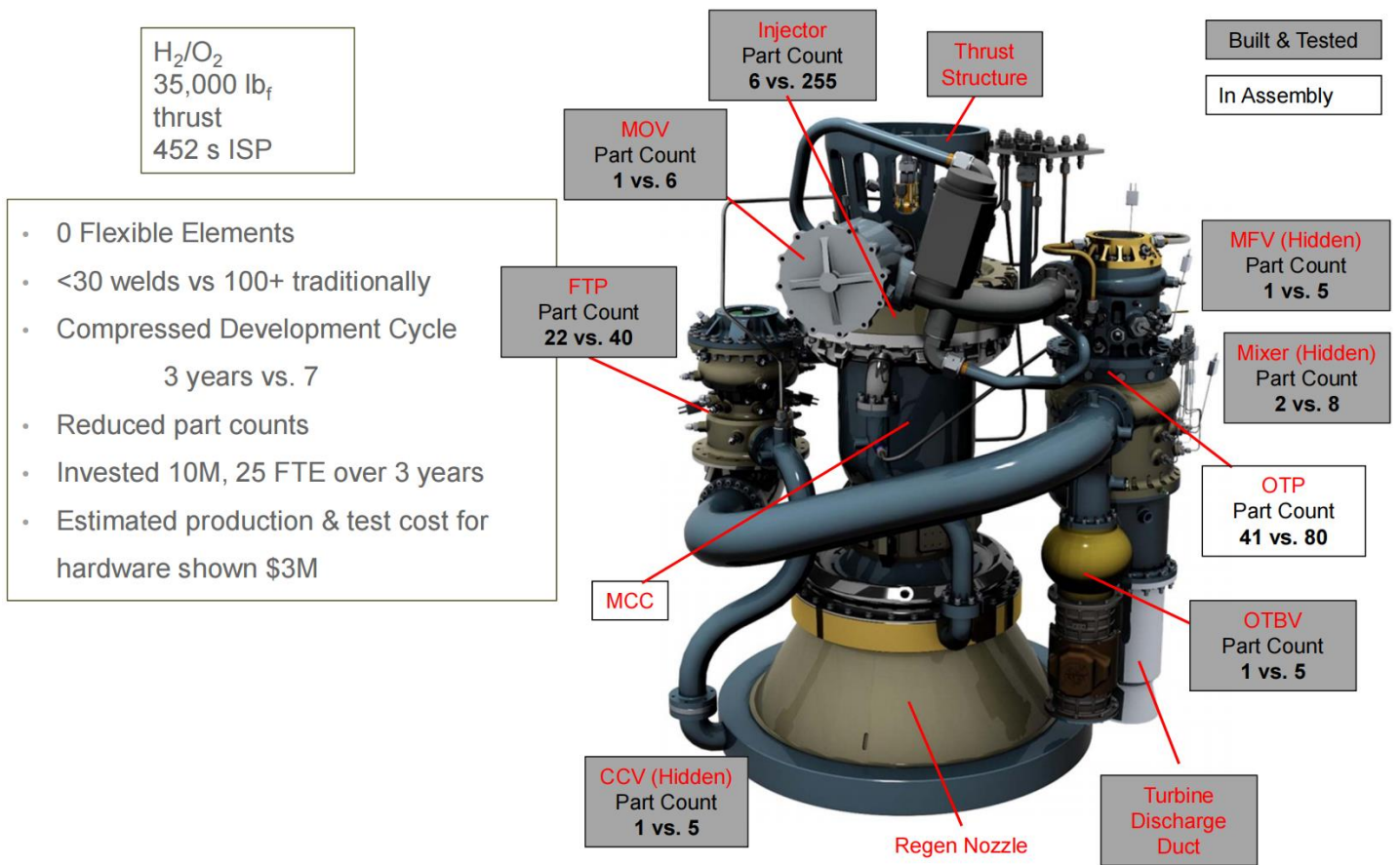


来源: 《3D 打印与工业制造》, 国金证券研究所

NASA 于 2012 年就启动了 AMDE-Additive Manufacturing Demonstrator Engine 增材制造验证机的计划, NASA 认为 3D 打印在制造液态氢火箭发动机方面颇具潜力。在 3 年内, 团队通过增材制造出 100 多个零件, 并设计了一个可以通过 3D 打印来完成的发动机原型。而通过 3D 打印, 零件的数量可以减少 80%, 并且仅仅需要 30 处焊接。



图表20: NASA 基于面向 3D 打印设计理念显著降低了火箭发动机零件数量

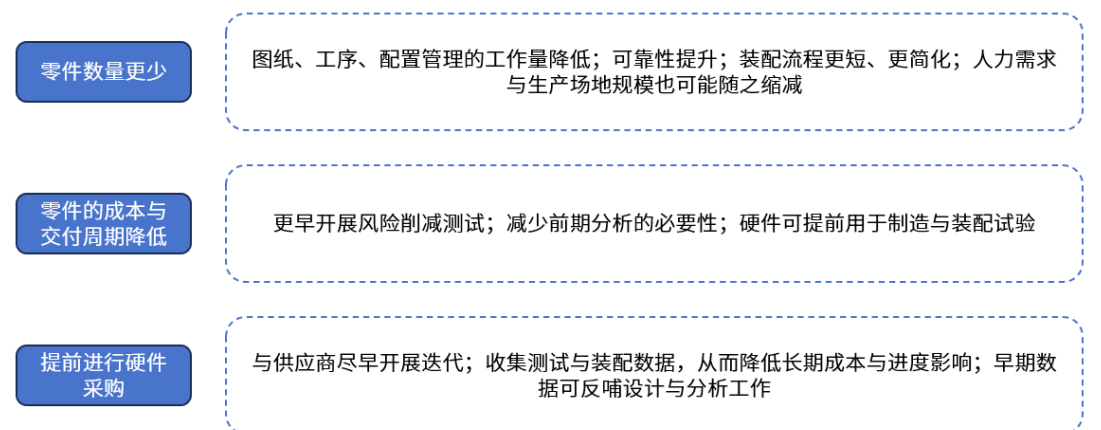


来源: NASA, 国金证券研究所

2.2 成本: 更短的供应链, 更低的试错成本

通过 3D 打印技术可降低产品全生命周期成本, 尤其是相比铸造、CNC 等传统制造工艺需要较长的供应链和交付周期, 3D 打印产品制造、测试与重新设计的成本大幅降低。

图表21: 通过 3D 打印技术可降低产品全生命周期成本



来源: NASA, 国金证券研究所

NASA 通过采用 3D 打印技术大幅降低了成本。

图表22: NASA 通过采用 3D 打印技术大幅降低了成本

维度	技术现状	优化效果	AMDE/低生产成本方案
研发成本 (DDT&E)	成本: 10-40 亿美元	成本/资源仅为 1/10	AMDE 成本: 预计 5000 万美元



	人力：500 名全职员工		人力：25 名全职员工
研发周期 (DDT&E)	7-10 年	研发周期缩短至 1/2	2-4 年
硬件交付周期	3-6 年	生产周期仅为 1/6	6-12 个月
发动机成本	2000-5000 万美元	重复成本仅为 1/10	100-500 万美元
测试-失败-修复循环	150-300 次	低成本测试循环	待定
项目管理人力	NASA 项目管理：30-50 名全职员工	专业培训的项目/成本工程师	LPS 管理：采用 LSE 模式

来源：NASA 官网，国金证券研究所

2.3 减重：基于拓扑优化等方式实现轻量化

以一架起飞重量达 65t 的波音 737 飞机为例，机身每减轻一磅的质量每年将节省数十万美元的燃油成本，在航空航天领域追求轻量化一直是终极目标之一。3D 打印可通过中空夹层/薄壁加筋结构、镂空点阵结构、一体化结构实现、异形拓扑优化结构等方式来实现轻量化。

图表23：3D 打印可助力实现轻量化设计



来源：铂力特官网，国金证券研究所

中国航天科技集团五院总体部在通过 3D 打印实现轻量化方面已经拥有多年经验，并形成了面向 3D 打印制造技术的设计方法。中国航天科技集团五院总体部根据三维点阵的胞元形式的特点，结合三维点阵在航天器结构中应用的实际情况，提出了三维点阵结构胞元的表达规范，即通过胞元占据的空间并结合胞元杆件的直径来表达三维点阵结构胞元的设计信息。



图表24: 铂力特为航天五院 3D 打印的微小卫星结构内部



来源:《3D 打印在航空航天领域的六大切入点》, 国金证券研究所

2.4 散热: 结构与散热集成, 满足航天器高功率器件要求

3D 打印在赋能紧凑化、轻量化设计的同时, 也让结构与散热功能集成、随形水冷等设计更容易实现。例如 2019 年 11 月, 中国的深蓝航天液氧煤油发动机再次进行了推力室长程试车, 取得圆满成功。在推力性能方面, 深蓝航天对主要功能部件进行优化设计, 大量采用 3D 打印工艺, 实现了国内液氧煤油火箭发动机推力室效率从 95%到 99%的技术跨越, 达到了国际先进水平。

其中发动机喷注器壳体和推力室身部两个零件为金属 3D 打印, 发动机喷注器壳体和推力室身部均为航天发动机关键零部件, 零件内部有百余条冷却流道。

图表25: 深蓝航天通过结构与散热功能集成进一步提高发动机推力室效率



来源: 3D 打印科学谷, 国金证券研究所

北京遥感设备研究所为了解决狭小空间、高功率密度下的高效热管理难题采用了在结构内部设计复杂随形内流道的创新设计思路。该方法兼顾了轻量化与高效控温的需求, 最终利用金属 3D 打印实现了复杂内流道构件一体化高质量成形, 为航天弹载超轻-高效控温热功能结构研制提供了新思路。



图表26: 弹载复杂内流道高效控温构件

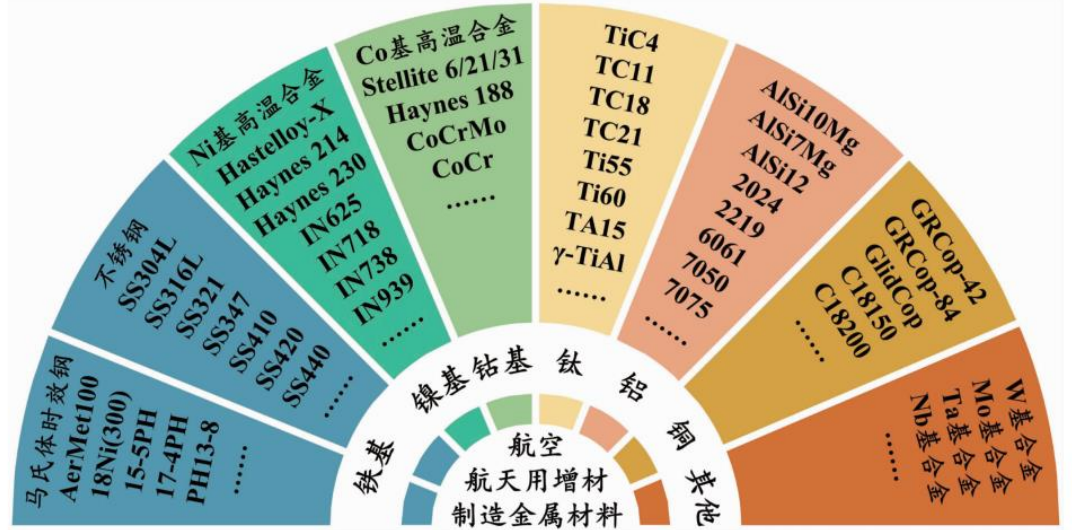


来源:《航天领域金属 3D 打印技术发展方向与产业化建议》, 国金证券研究所

2.5 材料: 高温合金 3D 打印走向成熟, 新材料潜力巨大

航空航天领域高新技术密集, 航空航天高端装备的服役性能很大程度上取决于金属构件的性能。航空航天高性能构件多用于极端苛刻的环境, 要具有超强承载、极端耐热、超轻量化和高可靠性等特点, 其中铁基合金、镍基合金、钛合金、铝合金的生产和应用量大面广。

图表27: 航空航天领域用增材制造合金体系及主要牌号



来源:《航空航天领域用增材制造金属材料的研究进展》, 国金证券研究所

其中钛合金、镍基高温合金在发动机、起落架、推进剂罐等关键部件的用途较为广泛。

图表28: 航空航天领域用典型增材制造金属材料及其应用

合金系	典型牌号	应用场景
铁基合金	AerMet100、18Ni(300)等	火箭和导弹的发动机及铰链、紧固件、起落架等
	SS304L、SS316L等	发动机和排气系统、液压件、热交换器、起落架系统和接头
镍基合金	IN625、IN718等	涡轮发动机燃烧室、涡轮机、外壳、圆盘、叶片等; 液体火箭发动机的阀

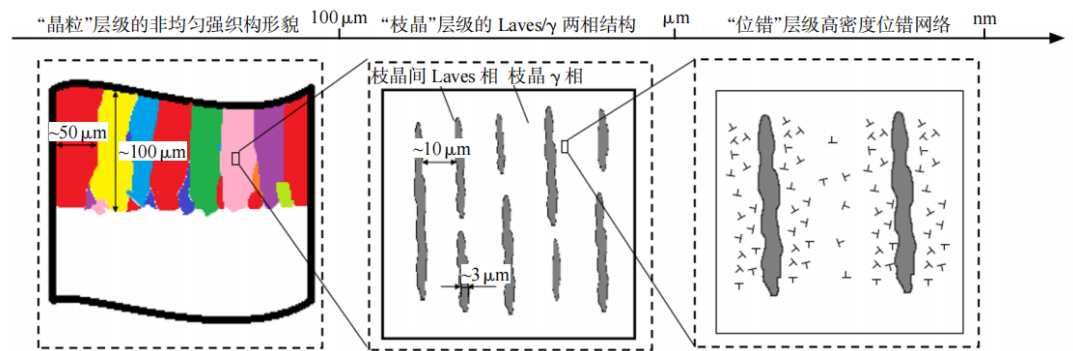


合金系	典型牌号	应用场景
钴基合金	Stellite6/21/31、Haynes188 等	门、涡轮机械、喷射器、点火器和歧管
钛合金	TC4 Ti6242 γ -TiAl	燃气轮机导向叶片和喷嘴 起落架、轴承架、旋转机械、压缩机盘及叶片、低温推进剂罐等 压缩机叶片和旋转机械 涡轮叶片
铝合金	AlSi10Mg、A6061 等	要求减轻质量、降低成本的部件，如飞机机身件等
铜合金	GRCop-42/84、C18150、C18200 等	需要高导热性的高温件，如发动机燃烧室内衬等
其他	钨基合金	发动机的燃烧室、喷嘴、导向器、涡轮盘、尾喷口等
	钼基合金	碱金属热管和核热推进燃料元件等超高温件
	钽基合金	在具有腐蚀性高压和超高温环境中应用的零部件
	铌基合金	铌基 C-103 用于辐射冷却喷嘴、空间反应控制系统和高超音速机翼前缘等；WC3009、C129Y、Cb752、FS-85 用于飞行器热保护系统及空间反应堆堆芯结构

来源：《航空航天领域用增材制造金属材料的研究进展》，国金证券研究所

而由于激光 3D 打印具有极高的冷却速率和温度梯度，会带来独特的跨层级非均匀细观结构。

图表29：激光增材制造镍基高温合金跨层级细观结构示意图

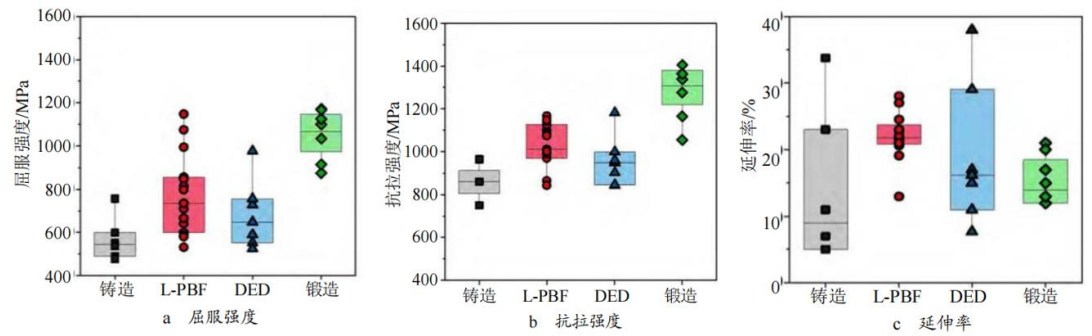


来源：《激光增材制造 GH4169 镍基高温合金力学性能各向异性及热处理调控研究进展》，国金证券研究所

3D 打印高温合金的微观组织与传统的精密铸造或热变形工艺相差较大，具有独特的力学性能特征。3D 打印的高温合金室温下的强度和塑性在铸件和锻件之间。



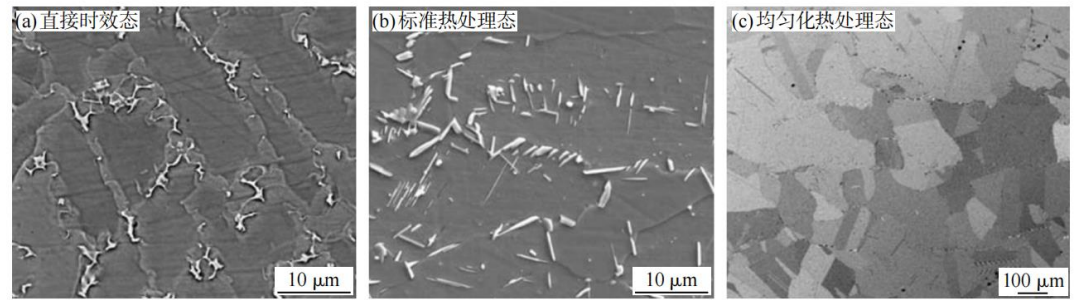
图表30: 增材制造 GH4169 室温力学性能与传统制造方式的对比



来源:《镍基高温合金增材制造技术及其在航天领域应用进展》, 国金证券研究所

目前针对激光 3D 打印高温合金的制造工艺、服役温度、后处理工艺、材料疲劳性能等领域均已经有相对成熟的研究。作为承力件, 增材制造成形的镍基高温合金力学性能介于铸件和锻件之间、蠕变性能可以达到锻件水平、疲劳性能要弱于锻件水平。其中难以避免的气孔、裂纹等缺陷可以通过热等静压、热处理、热机械加工和深层低温处理等方法减少, 从而进一步强化合金性能。

图表31: 采用不同的热处理方式对激光 3D 打印高温合金的性能影响较大



来源:《激光增材制造 GH4169 镍基高温合金力学性能各向异性及热处理调控研究进展》, 国金证券研究所

除金属件外, 高性能复合材料也可通过 3D 打印工艺进行加工, 例如连续纤维增强聚合物复合材料具有质量轻、强度高、耐高温、耐腐蚀的特点, 尤其适用于航天领域。

图表32: 连续纤维增强聚合物复合材料性能

类别	材料	密度/(g/cm ³)	直径/μm	拉伸模量/GPa	弯曲模量/GPa
树脂基体	PLA	1.26	1750	2.25	2.39
	ABS	1.04	1750	1	2.4
	PA	1.1	1750	2.2	0.84
	PEEK	1.3	1750	3.7	3.6
连续纤维增强体	碳纤维	1.4/1.3	400	54	51
	玻璃纤维	2.4	300	21	22
	凯夫拉纤维	1.2	300	27	26
	黄麻纤维	1.5	200	27.4	—

来源:《连续纤维增强聚合物复合材料 3D 打印工艺研究进展》, 国金证券研究所

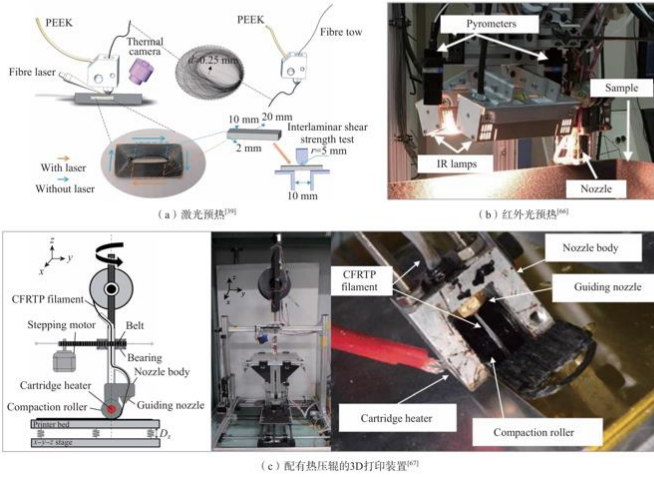
连续纤维复合材料的打印性能也可以通过层间结合性能强化工艺、纤维浸渍性能强化工艺等方式进一步提升。



图表33：连续纤维复合材料主要性能优化方式

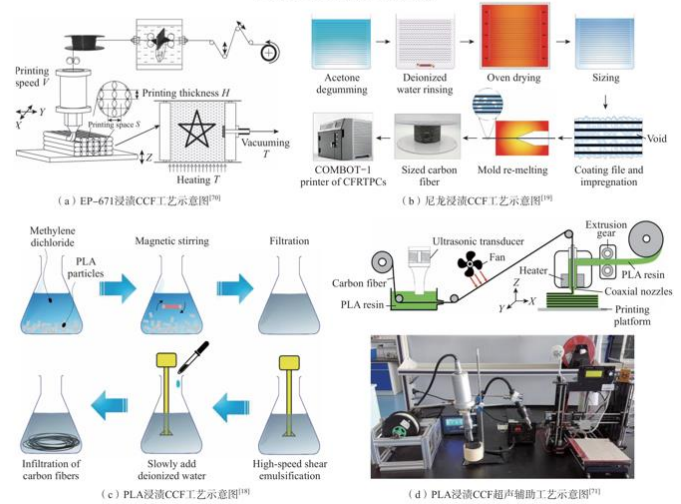
层间结合性能强化

通过激光预热、红外光预热等方式强化打印层之间的粘结，提升层间结合性能



纤维浸渍性能强化

确保纤维与基体之间的良好接触以及有效的载荷传递，从而起到纤维增强的作用



来源：《连续纤维增强聚合物复合材料 3D 打印工艺研究进展》，国金证券研究所

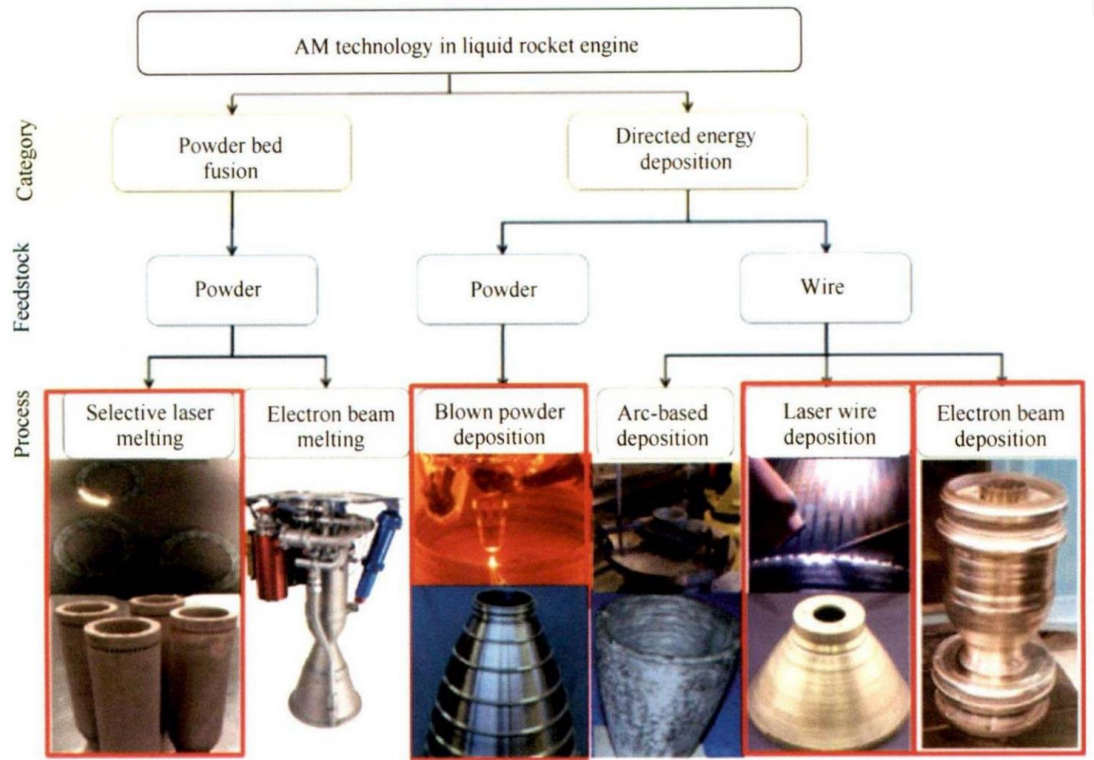
3.火箭 3D 打印：配套火箭推力室制造，国内渗透率有望持续提升

3.1 粉末床熔融+定向能量沉积协作可实现最核心的火箭推力室 3D 打印加工

火箭推力室是火箭发动机中完成推进剂能量转化和产生推力的组件，作为最复杂、制造难度最大、制造周期最长的部件，业内对 3D 打印的研究与应用也最深入。固体火箭推力室的结构较为简单，液体火箭推力室的结构则较为复杂，主要由喷注器、燃烧室和喷管组成，主要采用粉末床熔融+定向能量沉积技术配套来进行打印。



图表34：液体火箭发动机主要采用粉末床熔融+定向能量沉积技术配套来进行打印



来源：《液体火箭发动机增材制造技术研究进展》，国金证券研究所

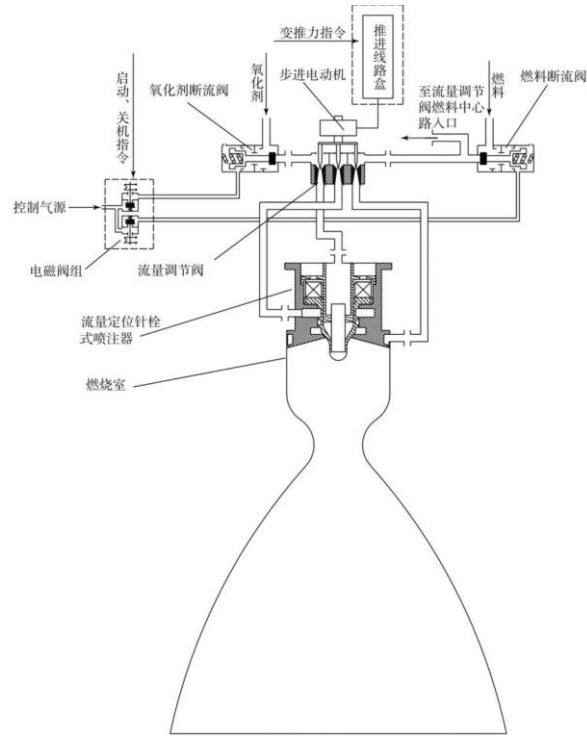
推力室的 3D 打印集中在喷注器、冷却喷管、燃烧室、涡轮泵等部件：

1) 喷注器

喷注器要承受高温高压、高流速冲击等一系列恶劣工况，需要满足复杂流路的尺寸精度及表面粗糙度等设计要求，也是发动机制造难度最大的零部件之一。喷注器的制造水平直接影响着发动机推进剂的雾化、混合和燃烧，决定着燃烧稳定性的水平和发动机的性能。传统方式制造的喷注器有数十乃至成百上千个独立零件，然后通过机械连接或焊接等方式集成在一起，制造成本极高，生产周期很长。



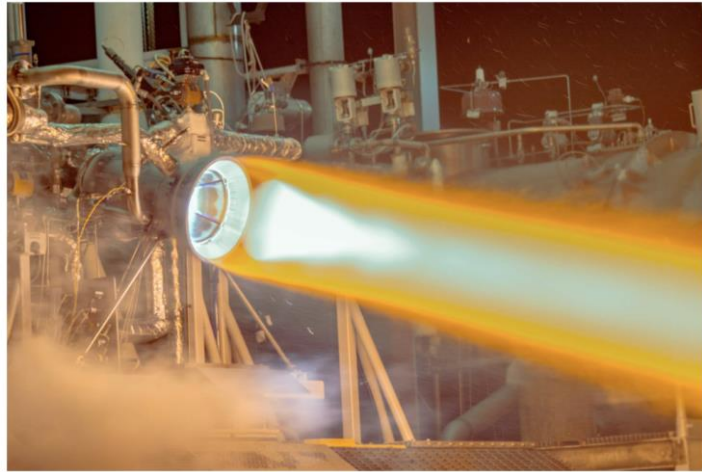
图表35: 喷注器是火箭推力室“心脏”



来源:《深空探测技术》, 国金证券研究所

2015年, 美国 Rocketdyne 公司采用 3D 打印技术制造 AR1 火箭发动机的主要单喷嘴, 并成功完成一系列液体火箭发动机高压点火试验测试, 其中部分离心式喷嘴采用了选择性激光熔化技术 (SLM) 制造。

图表36: Rocketdyne 注喷嘴使用 3D 打印技术制造并完成了测试



来源: 3dprintingindustry, 国金证券研究所

国内航天科技六院、深蓝航天等单位也已通过 3D 打印技术成功生产出燃气发生器喷注器 (离心式)、喷注器壳体等, 并通过单机热试考核。根据《基于 3D 打印的高性能 HAN 基单组元发动机喷注器》案例, 通过采用 3D 打印技术, 喷注器零件数量由莲蓬式的 27 个集成为 1 个, 减少喷注管两端 48 条钎焊缝结构和隔热框两端 2 条对接焊缝结构, 产品生产工艺性得到进一步优化, 可靠性得到进一步提高。



图表37: 3D 打印喷注器可大幅减少零件数量



来源:《基于 3D 打印的高性能 HAN 基单组元发动机喷注器》, 国金证券研究所

LEAP 71 在 2025 年 11 月 6 日宣布, 与德国工业 3D 打印先驱尼康 SLM Solutions 合作, 成功生产出一款 2000 千牛的全流量分级燃烧火箭发动机喷注头, 该部件是 LEAP 71 XRB-2E6 甲烷/液氧火箭发动机的关键元件。其直径达 600 毫米, 是目前已生产的最大、最复杂的 3D 打印航天器部件之一。

图表38: LEAP 71 宣布实现了直径 600 毫米喷注器 3D 打印



来源: LEAP 71 官网, 国金证券研究所

2) 喷管和燃烧室

发动机的再生冷却喷管是发动机推力室的重要组件, 也是一种典型的薄壁结构, 传统的制造方法是采用锻造/钣金/旋压, 然后机加工、铣槽和热处理, 最后通过钎焊等方法连接, 由于低温和流动对壁面的设计要求, 还需进行表面加工和制造公差等后处理工作, 采用 3D 打印将大幅简化该过程。NASA 从 2013 年开始研究 3D 打印再生冷却喷管, SLM 和 LWDC (Laser Wire Direct Closeout) 技术均有尝试。



图表39: NASA 通过 SLM 打印的再生冷却喷管



图表40: NASA 通过 LWDC 技术打印的再生冷却喷管



来源:《液体火箭发动机增材制造技术研究进展》, 国金证券研究所

来源:《液体火箭发动机增材制造技术研究进展》, 国金证券研究所

燃烧室的 3D 打印目前 SLM 技术和 PBF 技术业内均有尝试, NASA 燃烧室的 3D 打印实现了超过 50% 的制造周期缩短和 25% 的成本下降, 随着技术的成熟还有进一步下降空间。

图表41: 采用粉末床熔融技术打印的两段式腔体结构

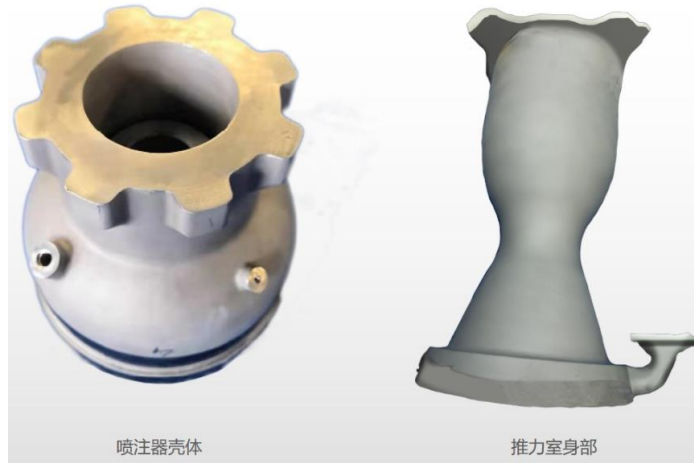


来源:《液体火箭发动机增材制造技术研究进展》, NASA, 国金证券研究所

深蓝航天在 2019 年热试的推力室主体结构全部采用 3D 打印, 将研制周期缩短了 80% 以上。在推力性能方面, 深蓝航天对主要功能部件进行优化设计, 大量采用 3D 打印工艺, 实现了国内液氧煤油火箭发动机推力室效率从 95% 到 99% 的技术跨越, 达到了国际先进水平。



图表42: 铂力特承担了试车发动机喷注器壳体和推力室身部两个零件的金属 3D 打印工作



来源：铂力特官网，国金证券研究所

这里的一个难点在于燃烧室、喷管往往需要采用多材料进行复合制造，例如 NASA 在推力室会采用铜合金和镍合金的双材料复合，DED 技术会有更好的应用前景，例如 NASA 的一个 7.8kN 液氢/液氧发动机的燃烧室是先使用 L-PBF 技术制造铜合金燃烧室夹层，再使用 EBF (Electron beam freeform fabrication) 技术制造外壁。DED 可以进行不同材料二次打印的优势充分发挥了出来。

图表43: 定向能量沉积技术在燃烧室 3D 打印有较好的应用前景

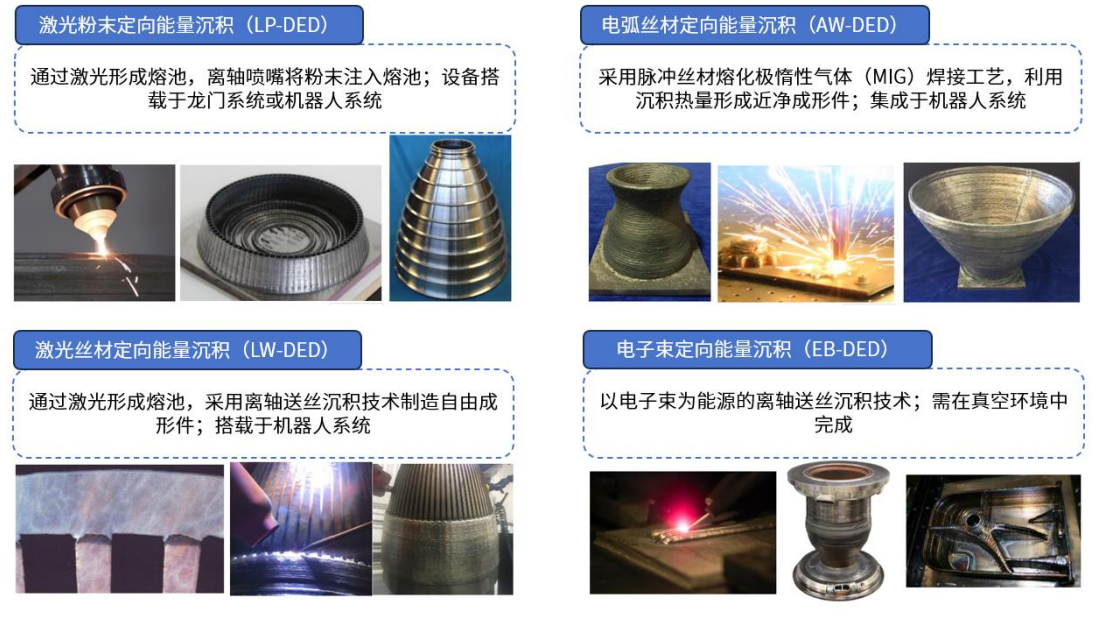
	粉末床熔融	定向能量沉积
特征分辨率/复杂度	特征分辨率高 壁厚与孔径 < 0.010 英寸	特征分辨率中等 壁厚 > 0.040 英寸，孔径数量有限
沉积速率	构建速率低 < 0.3 磅/小时	构建速率高 磅/小时 (部分系统 > 20 磅/小时)
多合金/梯度材料	单次构建仅用单一材料	单次构建可选用多合金或梯度材料
可用材料	可用材料数量多，且持续开发中	可用材料数量多，且持续开发中
生产效率	单次构建可生产多个零件，产量较高 受现有构建体积限制	通常仅限单次构建；编程/准备时间较长
零件尺寸/规模	直径 < 15.6 英寸 (400 毫米) 或 16" × 24" × 19"	规模受门架或机器人尺寸限制
附加特征/修复功能	无法 (或仅有限) 向现有零件添加材料	可向现有零件添加材料或特征

来源：NASA，国金证券研究所

目前 NASA 已经形成了多种实现 DED 加工的技术路线。



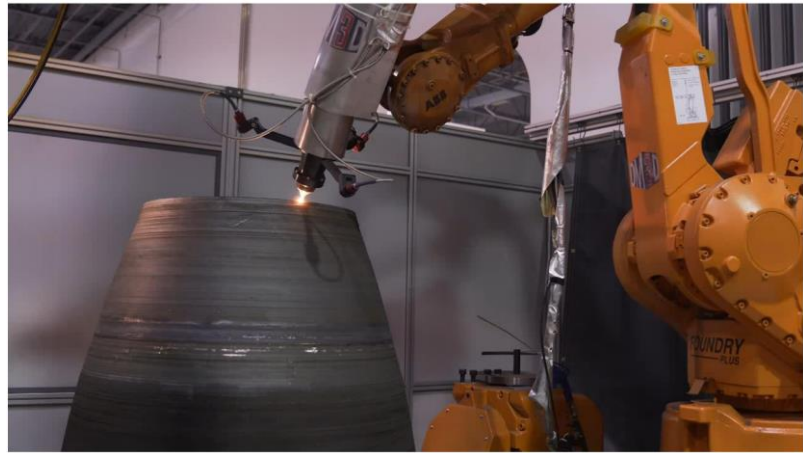
图表44: NASA 已经形成了多种实现 DED 加工的技术路线



来源: NASA, 国金证券研究所

DED 和 SLM 设备固定一个打印区域不同，其主要通过一个五轴加工头完成打印，因此可以和工业机器人/龙门架配套来进行大尺寸零件加工，使用起来更加灵活。

图表45: DED 配套工业机器人实现大尺寸零部件加工

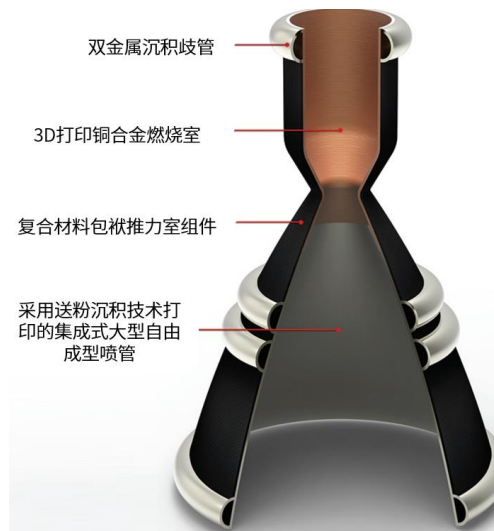


来源: NASA, 国金证券研究所

同时 NASA 在其“快速分析与制造推进技术 (RAMPT)”计划下研发了一款轻量化的一体式再生冷却推力室组件，传统的推力室组件制造方式是分别加工喷注器、主燃烧室和喷管，再通过螺栓或焊接将各部件在接头处组装起来，NASA 则尝试直接在燃烧室上通过 DED 技术沉积喷管，以此制造一体式推力室组件，消除了复杂接头。同时用复合材料包覆层替代传统的实心金属护套提供支撑，使整体重量减轻了 40% 以上。



图表46: NASA 布局的一体化再生冷却推力室组件

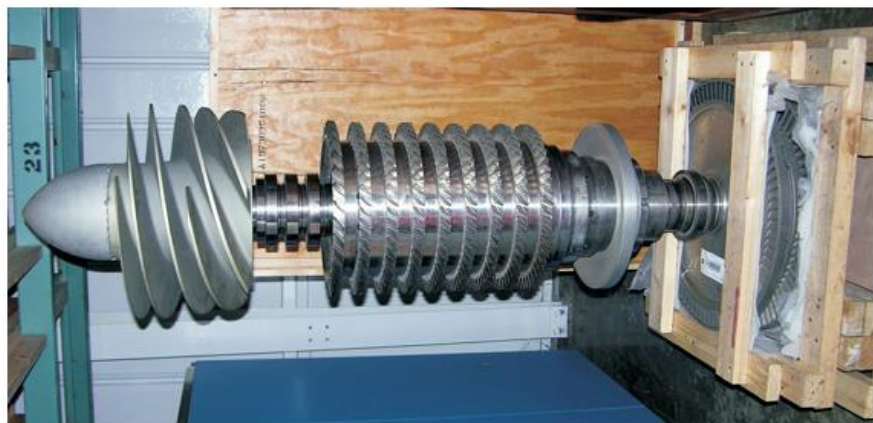


来源:《A One-piece Liquid Rocket Thrust Chamber Assembly》, 国金证券研究所

3) 涡轮泵

在发动机运行过程中, 涡轮泵面临着高转速、高流体压力及高温梯度等极端工况, 是发动机最易发生故障的部件之一。

图表47: 液体火箭发动机涡轮泵结构示意图



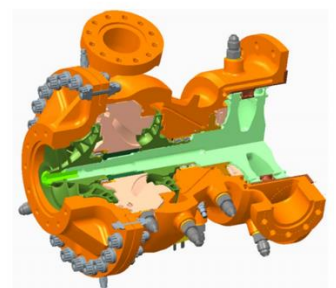
来源:《增材制造液体火箭发动机涡轮泵组件研究进展》, 国金证券研究所

NASA 在 2015 年采用增材制造技术制造了上面级氢泵, 服役温度 -240°C , 转速为 $5 \times 10^4 \sim 9.2 \times 10^4 \text{r/min}$, 单件产品累计试车 250s。2016 年测试了增材制造的甲烷涡轮泵, 零件数量减少 45%, 服役温度 -159°C , 转速 $3.6 \times 10^4 \text{r/min}$, 进行了 6 次试车, 并采用直接金属激光烧结 (DMLS) 技术对 J-2X 发动机燃料泵的入口管进行了研究。

图表48: NASA 3D 打印的涡轮泵零件数量大幅减少

首款增材制造的涡轮泵已完成制造与测试:

- ✓ 相比传统设计, 零件数量至少减少 50%, 增材制造件占总质量的 90%
- ✓ 进度缩短 45%
- ✓ 硬件成本为 30 万美元
- ✓ 在液氢/气氢 (LH₂/GH₂) 环境中测试了增材制造硬件
- ✓ 首台设备已完成 25 次以上启动
- ✓ 转速达 90000 转/分钟, 功率为 1900 马力

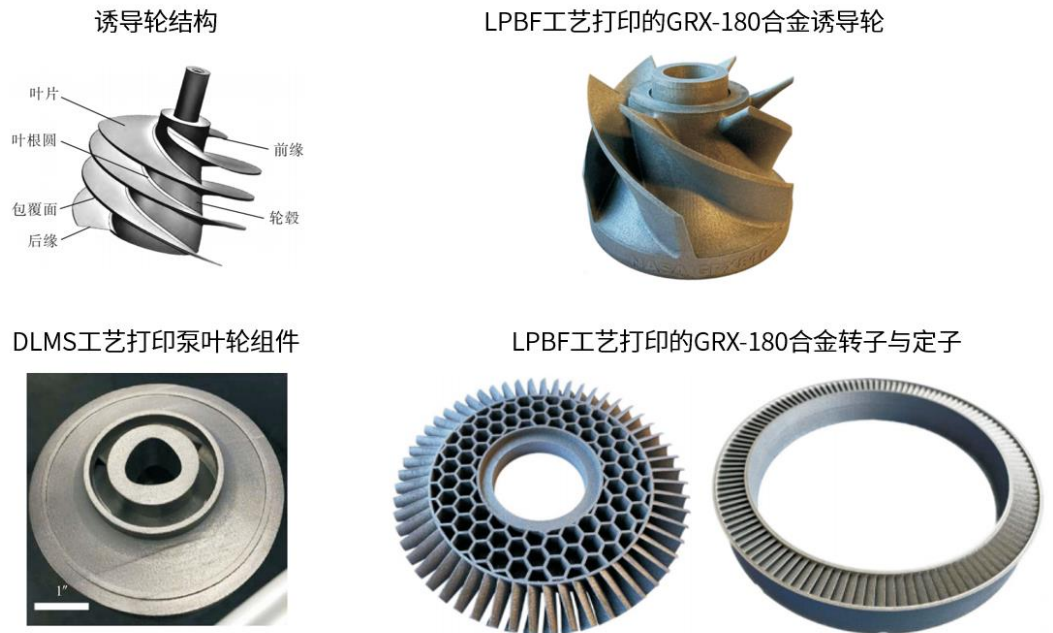




来源：NASA，国金证券研究所

涡轮泵的诱导轮、泵叶轮、涡轮盘均可通过 3D 打印技术制造。其中诱导轮是液体火箭发动机涡轮泵中的核心部件之一，通过预增压设计提升主叶轮入口压力，从而增强泵体的抗气蚀能力，并保障其在高速运转工况下的稳定性；泵叶轮通过高速旋转将贮箱内的低压推进剂增压至燃烧室所需高压，通过对诱导轮预增压和叶片优化设计，能够提高入口压力并使流场更加均匀，从而避免因气蚀和流动分离而引起的性能下降；涡轮盘(又称涡轮)核心功能是将高温高压燃气的内能转化为动能，为泵端提供输入功率，并且还可以通过改变涡轮转速或流量来实现发动机推力的灵活控制。

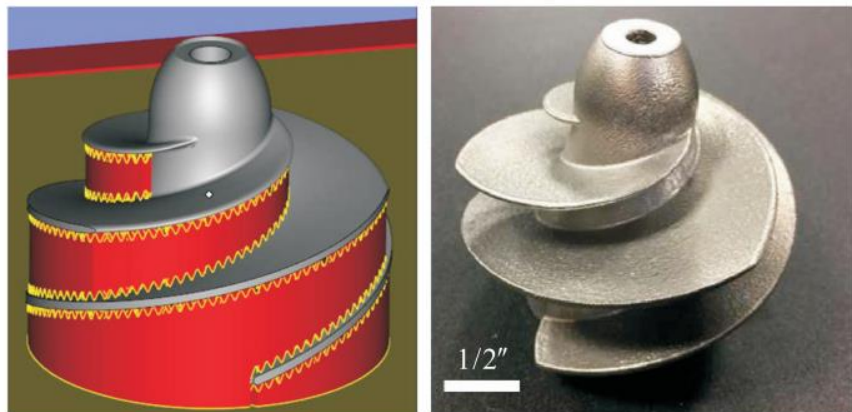
图表49：液体火箭发动机涡轮泵诱导轮结构



来源：《增材制造液体火箭发动机涡轮泵组件研究进展》，国金证券研究所

基于 3D 打印特有的逐层成型优势，可采用功能导向型设计方法：融合点阵结构与拓扑优化技术，构建梯度化轻质结构；借鉴生物结构(如移植蜂窝栅格翼的力学构型)，提高涡轮泵壳体抗压强度、疲劳寿命，为发动机系统减重。

图表50：诱导轮打印时可通过叶片特征区域支撑结构来约束塑性形变和降低翘曲变形



来源：《增材制造液体火箭发动机涡轮泵组件研究进展》，国金证券研究所

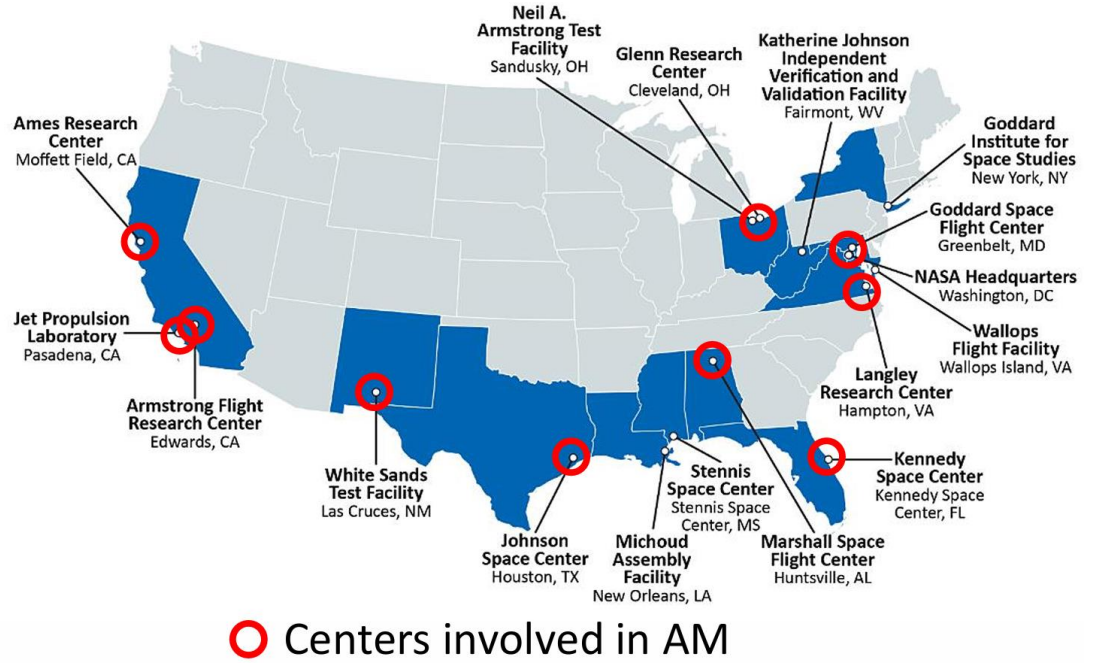
3.2 NASA、SPACEX 积极拥抱 3D 打印，国内火箭 3D 打印渗透率或持续提升

NASA 在 2012 年就启动了 AMDE (Additive Manufacturing Demonstrator Engine) 3D 打



印发动机验证计划，可以说是全面拥抱 3D 打印技术。

图表51: NASA 涉及 3D 打印的中心



来源:《Additive Manufacturing for Space Applications》, 国金证券研究所

例如其马歇尔航天飞行中心目前已经形成了同时包含 SLA/FDM/SLM/DED 技术的成熟应用。

图表52: NASA 马歇尔航天飞行中心形成 3D 打印技术成熟应用

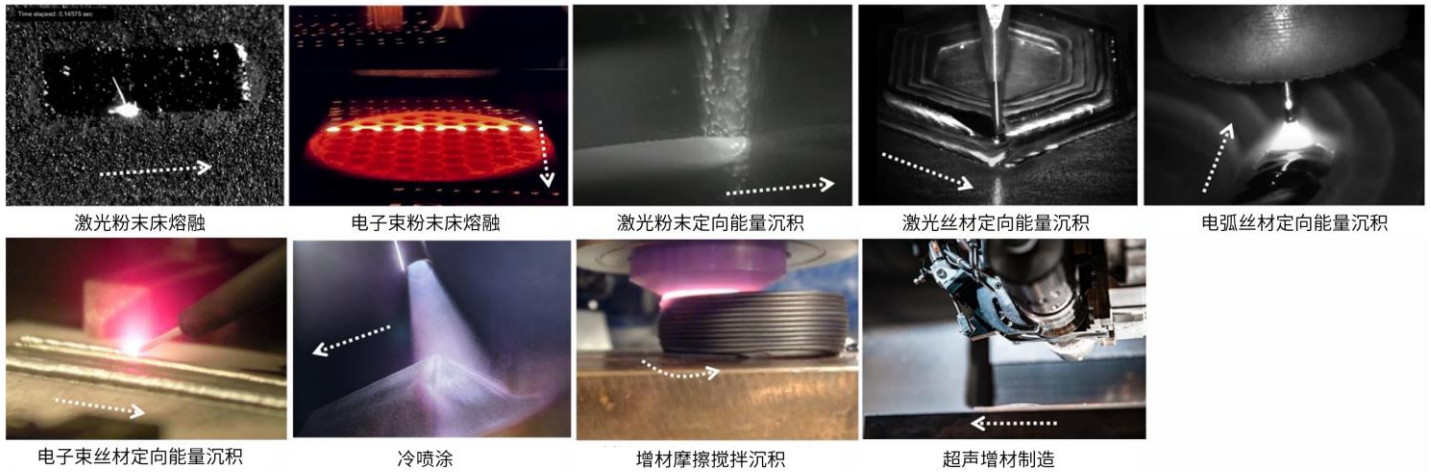


来源: NASA, 国金证券研究所

目前 NASA 针对不同应用场景开发了不同的配套 3D 打印技术。



图表53: 目前 NASA 针对不同应用场景开发了不同的配套 3D 打印技术



来源: NASA, 国金证券研究所

同时也积极尝试了多种新型合金来进一步提升 3D 打印性能。

图表54: NASA 尝试了多种新型合金来进一步提升 3D 打印性能

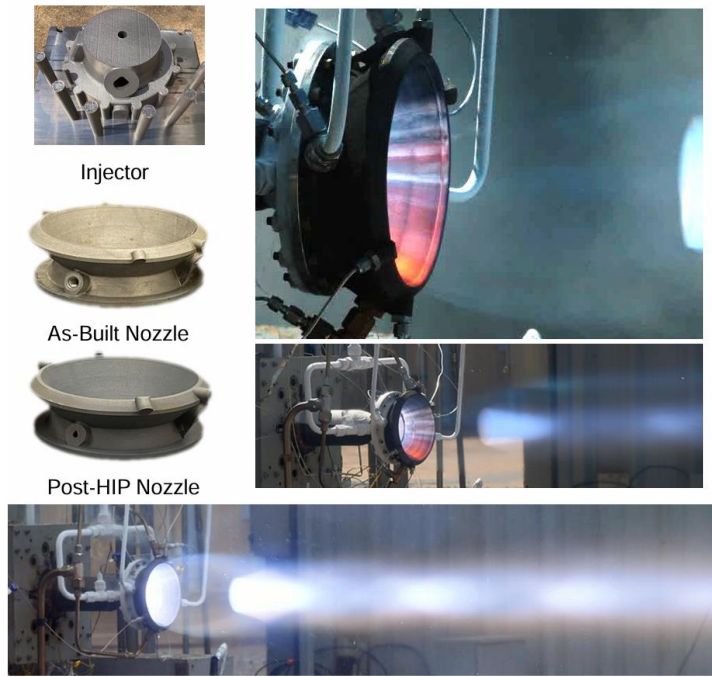
最高使用温度 (°C)	合金类别	用途	新型增材制造合金	推进系统应用
200	铝	轻量化	-	多种用途
750	铜	高导电性; 高温强度	GRCoP-42 GRCoP-84	燃烧室
800	铁-镍	高强度、抗氢腐蚀性	NASA HR-1	喷管、动力头
900	镍	高强度重量比	-	喷射器、涡轮
1100	氧化物弥散强化镍	高温高强度; 低蠕变	GRX-810 Alloy 718-ODS	喷射器、涡轮
1850	难熔金属	极端温度环境	C-103、C-103-CDS、钼、钨	无冷却燃烧室

来源: NASA, 国金证券研究所

NASA GRX-810 合金在马歇尔航天中心实现了热试车成功, 采用 GRX-180 合金的喷管累计完成 90 次启动, 总运行时长 2309 秒。喷注器 A 累计完成 30 次启动, 总运行时长 591 秒; 喷注器 B 累计完成 84 次启动, 总运行时长 2228 秒, 相比采用因科镍合金 625、因科镍合金 718 制备的喷射器相比, 该喷射器的寿命实现显著提升



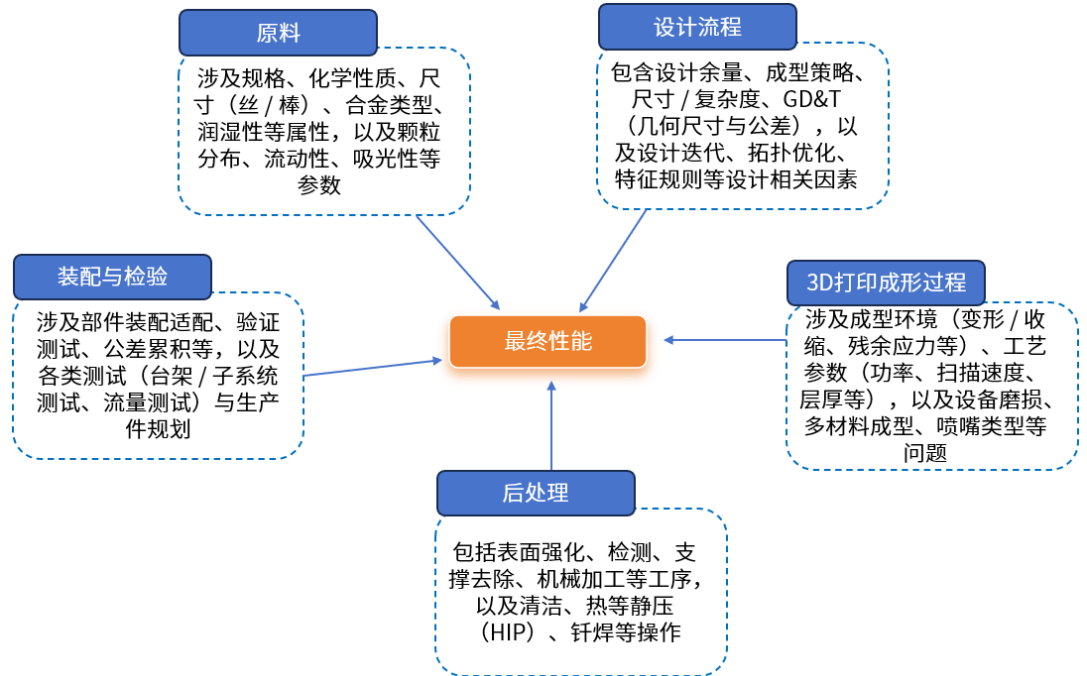
图表55: NASA 采用新型 3D 打印合金的喷管、喷注器均热试车成功



来源: NASA, 国金证券研究所

NASA 积累了共计 11 万秒的 3D 打印燃烧室、喷管、喷注器热试车时间, 相关技术积累成熟度非常高 (截至 2023 年 9 月 20 日的数据)。

图表56: NASA 已经进行了长时间的热试车并积累大量 “Know How”

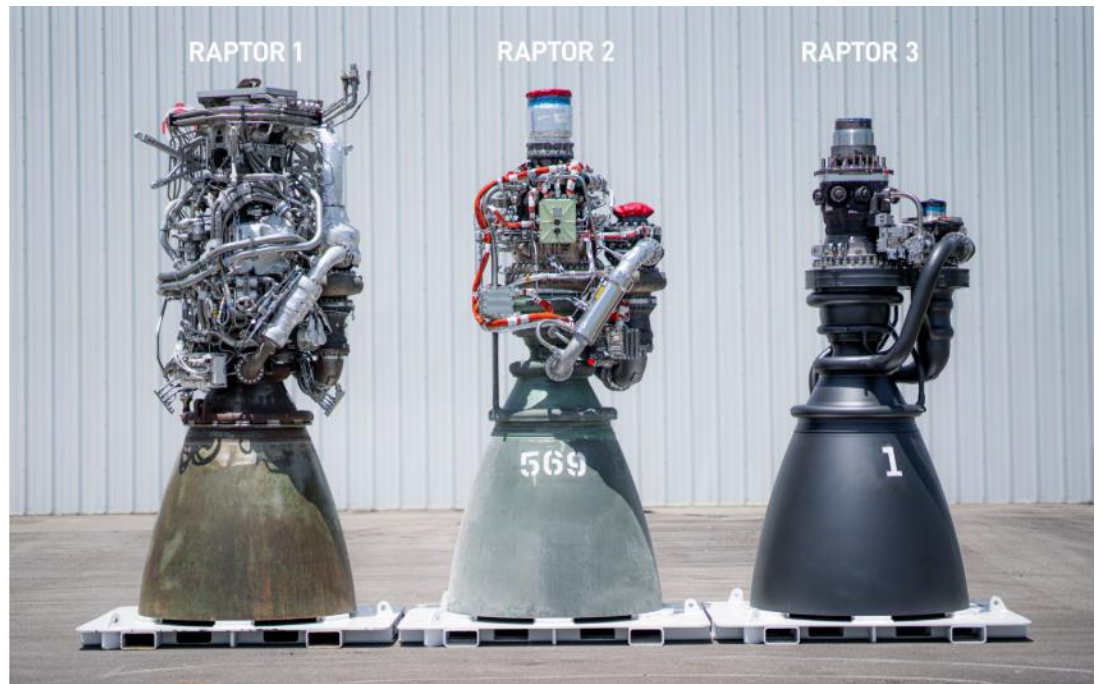


来源: NASA, 国金证券研究所

SpaceX 最新迭代的猛禽 (Raptor) 发动机通过 3D 打印技术实现了更精简、集成化的设计, 猛禽 3 SN1 简化了结构, 将次级流道内置于机体, 并为外露部件配备了再生冷却系统。因此, 猛禽 3 无需再使用隔热罩, 这不仅减少了额外的重量与复杂度, 连灭火系统也一并省去了。



图表57: SpaceX 猛禽 3 发动机通过 3D 打印大幅简化了结构



来源: tctmagazine, 国金证券研究所

24 年 9 月, Velo3D 宣布与 SpaceX 签署了一份总价值 800 万美元的技术授权与支持协议, SpaceX 获得了 Velo3D 增材制造技术的授权, 同时还将获得一系列工程及支持服务。Velo3D 的 8 个 1kw 激光头设备 Sapphire XC 1MZ 打印尺寸可达 600mm 直径, Z 轴高度 1000mm。

图表58: Velo3D 除 SpaceX 外还配套很多军工/航天领域一线客户



来源: Velo3D 官网, 国金证券研究所

国内航天领域也实现了较多 3D 打印应用成果, 目前有多个 3D 打印的关节零部件已经实现了热试车成功得到验证。



图表59：国内航天领域也行业实现了较多3D打印应用成果



根据航天科技集团等网站信息整理，但由于我国航天领域存在大量未公开的增材制造应用，此图仅展示了2019年以来部分典型公开应用。

来源：3D打印科学谷，国金证券研究所

深蓝航天雷霆R/雷霆RS发动机均采用了3D打印技术，大幅降低了零件数量。

图表60：深蓝航天雷霆R/雷霆RS发动机均采用了3D打印技术

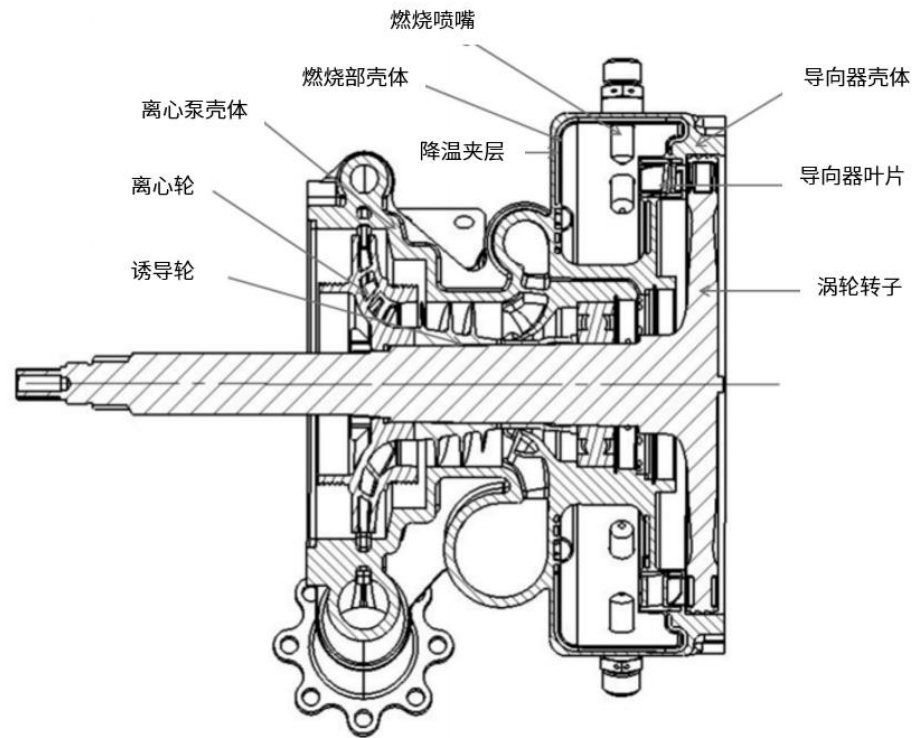


来源：深蓝航天官网，国金证券研究所

其中的燃烧室涡轮泵基于3D打印一体化结构设计显著降低了结构复杂性，省去了装配时位置校准的一系列复杂操作及对应的结构设计；避免了连接面密封性容易出现故障的问题；拓宽了选材范围；减重同时减少了装置体积，提升发动机推重比，带来了全面的性能升级。



图表61：深蓝航天燃烧室涡轮泵通过 3D 打印带来全面性能提升



来源：《一种燃烧室涡轮泵及其应用》，国金证券研究所

蓝箭航天 2019 年就开始和铂力特合作，铂力特已助力蓝箭航天朱雀三号可重复使用火箭首次大型垂直起降飞行试验任务、朱雀二号遥二运载火箭发射任务等取得成功。根据蓝箭航天招股说明书信息，蓝箭针对减轻发动机结构质量的需求，优化了发动机组件和总装设计，大量采用增材制造技术、高精度铸造技术等，TQ-12B 发动机推重比达到 162。该技术应用于天鹊系列液氧甲烷发动机。

从蓝箭公布的专利来看目前其涡轮泵壳体、换热器、喷管、燃烧室均涉及了 3D 打印技术的应用。



图表62：蓝箭涡轮泵壳体、换热器、推力室、喷管、弯管均涉及了3D打印技术的应用

涡轮泵壳体

通过将泵壳流道设计为具有倾斜非对称特征截面的双隔舌蜗壳结构，且可以更好的用于3D打印方式生产，解决了传统涡轮泵流道3D打印工艺难度高、周期长、成本高等问题

推力室

通过3D打印制备燃烧室毛坯，燃烧室毛坯的喉部位置套设固定套，使得固定套位于与喉部表面，采用激光焊接将两者固定在一起，得到燃烧室；燃烧室与二次加压处理获得的扩张段焊接连接在一起，获得推力室身部组件。具有工艺简单，制造周期短，节约成本，可以大批量生产，提高产能等优点。

换热器

第一集流管、所述换热通道和所述第二集流管为3D打印一体成型。该换热器轻质高效，具有高可靠性，且工艺简单能够降低成本。

喷管

叠层打印大型薄壁夹层再生冷却喷管，能够提高大型喷管的生产效率，降低生产成本

弯管

主管路、多个分支管路、第一法兰以及多个第二法兰通过3D打印的方式一体成型，可以根据实际需求实现多次点火，还能够保证发动机燃烧组件结构稳定，提高发动机点火的可靠性。

来源：《一种泵壳流道设计方法及涡轮泵壳体》，《一种推力室身部组件焊接加工工艺及航天器推力室》，《一种基于3D打印的换热器及火箭发动机》，《一种叠层打印大型薄壁夹层再生冷却喷管方法和喷管》，《一种用于火箭发动机点火的弯管结构》，国金证券研究所

2023年4月天兵科技自主研发的液氧煤油发动机TH-11V为全球首款应用3D打印技术的闭式循环补燃发动机，相比传统生产工艺，发动机数量减少80%，制造周期缩短70%-80%，成本和重量降低40%-50%，发动机推质比达到100以上。目前TH-12发动机已经全部圆满完成校准热试车并交付首飞，国内首次采用的冷气多次起动技术、自燃点火技术、燃烧不稳定抑制技术、超大尺寸推力室不锈钢3D打印制造技术和涡轮盘热力组件3D打印技术等关键技术。

图表63：TH-12采用了超大尺寸推力室不锈钢3D打印等技术

推进剂	液氧+煤基煤油
海平面推力	95t
海平面比冲	285s
真空推力	/
真空比冲	/
推质比	163
启动次数	4次
系统	燃气发生器循环
振动方式	泵后摆
变推力范围	50%~110%
可重复使用次数	≥50(次)

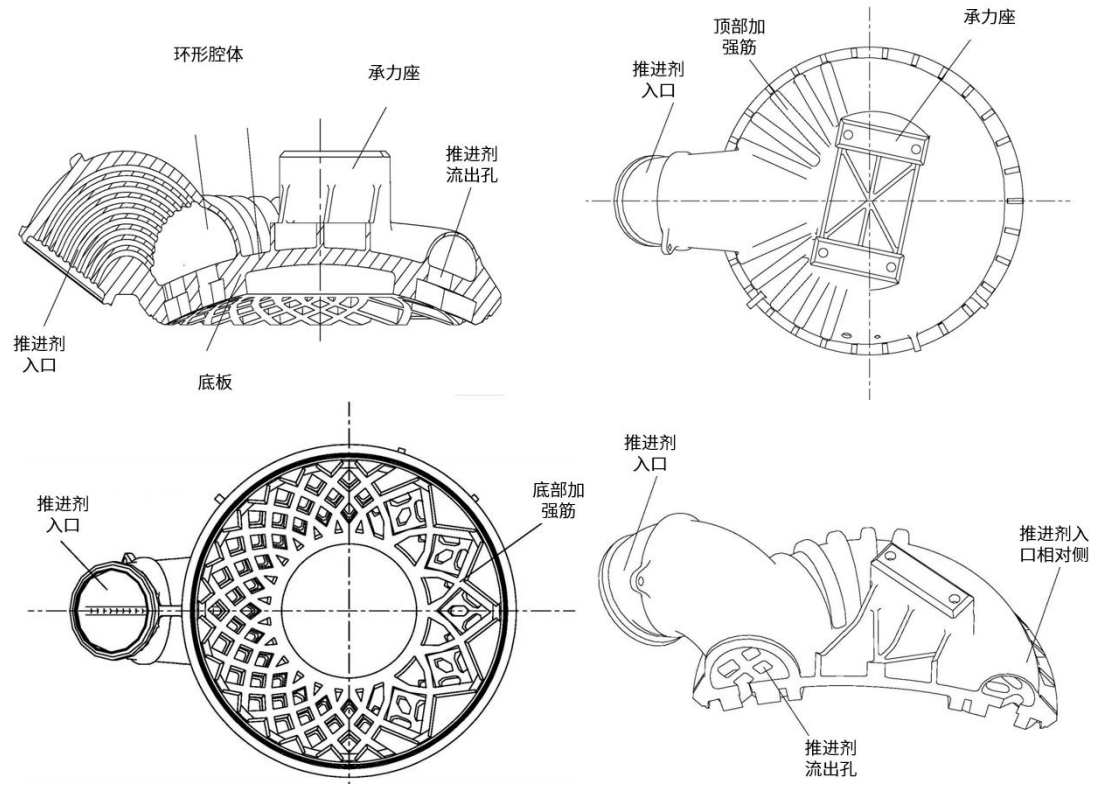
来源：天兵科技官网，南极熊3D打印，国金证券研究所

天兵科技的发动机推力室头部壳体为通过3D打印成型的一体化结构，推力室头部壳体集成度和尺寸精度高；因为无焊接，因此结构承力性能提高；然后通过多个推进剂流出孔进



入到喷前腔内，提高了推流剂的喷出均匀度。推力室头部壳体包含了接受和流出推进剂的环形腔体、推进剂入口和推进剂流出孔，材料可为不锈钢 316L、GH4169 (沉淀强化镍基高温合金)。

图表64：天兵科技的发动机推力室头部壳体为 3D 打印成型一体化结构



来源：《发动机推力室头部、发动机推力室、发动机及液体火箭》，国金证券研究所

可以看到国内在火箭发动机 3D 打印领域也已经做出了很多研究和产品应用的尝试，但相比国外例如已经形成标准化体系的 NASA 来说还尚显不足，目前国内 3D 打印主要是覆盖了发动机内的一部分零部件，同时 3D 打印的不同技术路线、不同材料的尝试也更少，我们认为后续国内火箭 3D 打印对标 NASA、SpaceX 渗透率还有较大提升空间。

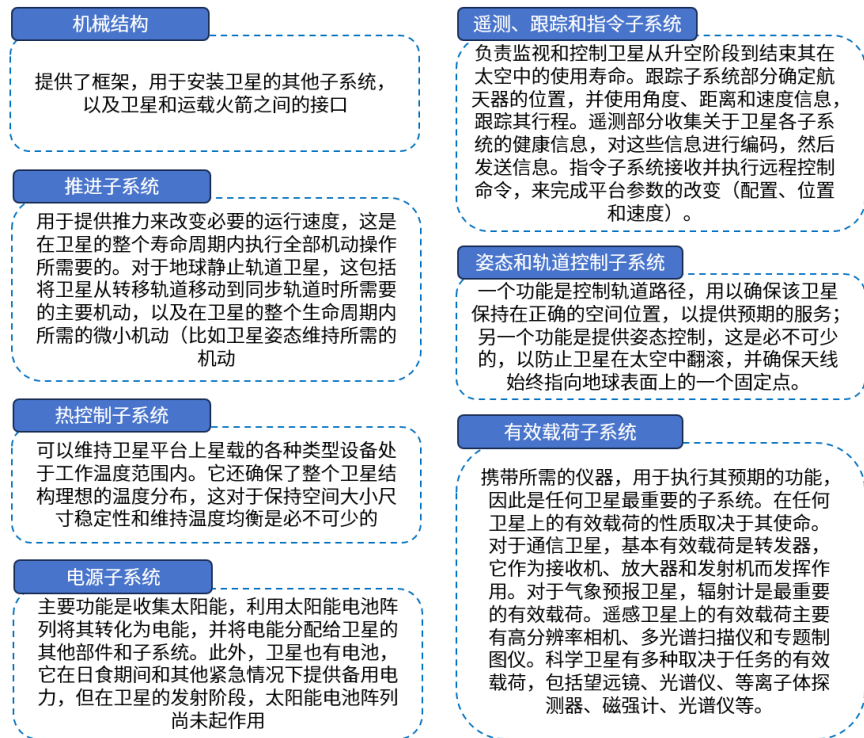
4.卫星 3D 打印：全面助力轻量化，国内外企业加大布局

4.1 3D 打印适配小卫星轻量化+功能集成需求

卫星一般由机械结构、推进子系统、热控制子系统、电源子系统、遥测/跟踪和指令子系统、姿态和轨道控制子系统、有效载荷子系统、天线子系统等构成。



图表65: 卫星主要系统构成



来源:《卫星技术 原理篇》, 金证券研究所

得益于进入外太空成本的降低小卫星正快速发展。一箭多星发射已成为运载火箭技术发展的重要趋势之一，小卫星由于体积包络较小、重量较轻，正是一箭多星发射的最佳载体。卫星产品的相关技术向小型化、微型化方向发展的同时，高集成度、高智能化、高性能和低成本也成为了卫星的主要设计目标。

图表66: 全球小卫星发射数量正快速增长

国家/地区	2019年发射数量/颗	2020年发射数量/颗	2021年发射数量/颗	2022年发射数量/颗	2023年发射数量/颗	合计发射数量/颗	占比
全球	420	1195	1753	2380	2661	8409	100%
美国	268	968	1226	1930	2153	6545	77.83%
中国	54	51	83	151	140	479	5.70%
英国	13	105	289	118	149	674	8.02%
欧盟	37	25	69	72	68	271	3.22%
俄罗斯	10	12	11	4	35	72	0.86%
日本	12	3	23	9	6	53	0.63%
印度	6	2	4	7	72	91	1.08%
加拿大	1	6	11	9	17	44	0.52%
其他国家	19	23	37	80	21	180	2.14%

来源:《小卫星技术与应用发展研究》, 国金证券研究所

传统百公斤级小卫星的结构质量占比约为 20%，需要探索新的制造工艺来将占比降低至 15% 以下，而 3D 打印技术可以通过释放结构设计潜能来进一步实现卫星极致轻量化，同时缩短卫星的研制、定制化周期，具有非常好的应用前景。



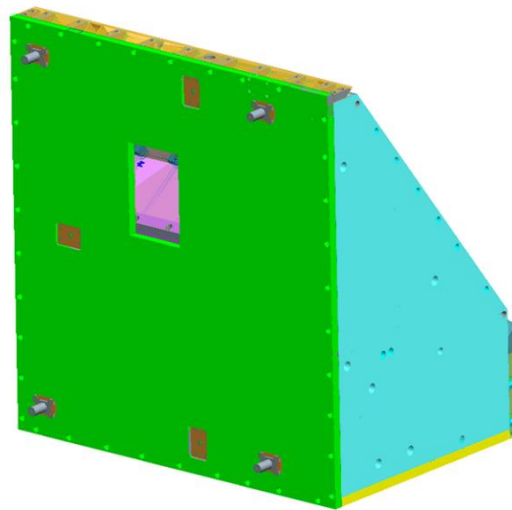
图表67: 3D 打印可满足小卫星轻量化设计要求

主承力结构	次承力结构及功能结构	卫星平台载荷的一体化
<p>通过等刚度点阵结构取代传统蜂窝夹层结构，再结合 3D 打印的技术特点，可实现蒙皮—点阵—埋件的一体化主承力结构的设计与制造，提高卫星结构构型和布局设计的自由度，缩减主承力结构板零件数量，有利于实现多载荷、多工况下的卫星整体结构拓扑优化，实现最佳传力路径、最佳刚度设计，预计减重 10% 左右，缩短结构加工及部装时间，实现满足整星力学性能要求的极致轻量化结构研制，提高卫星载质比</p>	<p>通过拓扑优化异形实体设计、外部蒙皮+内部点阵中空设计等方式，相对于铸造，可实现单件减重30%以上，制造周期缩短20%以上，单件研制成本与传统制造方法相当。以某直属件支架产品为例，采用3D打印蒙皮点阵的轻量化构型后，相比原铸造构型设计减重60%，减重效果显著。</p>	<p>将次承力结构与卫星壁板等主承力框架集成设计，打破平台载荷的界面，可以减少或消除安装，减少质量冗余，提升结构整体刚度，实现主结构整体优化减重。</p>

来源：《星座卫星 3D 打印批量生产发展趋势与展望》，国金证券研究所

通过 3D 打印技术首先可以对卫星主结构进行优化，卫星主结构通常为多块蜂窝夹层板通过紧固件连接而成，蜂窝夹层板包括上下面板、蜂窝、热控管路、连接紧固件、胶膜和发泡胶等结构，在蜂窝夹层板中面板、蜂窝、热控管路、连接紧固件均通过发泡胶或胶膜粘在一起。利用 3D 打印技术可以使结构通过金属键直接连接在一起，实现轻量化

图表68: 传统卫星舱板结构示意

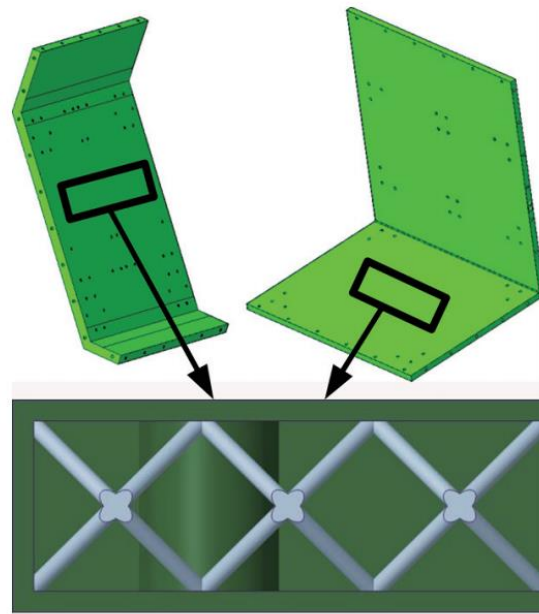


来源：《轻质承载热控卫星主结构设计及其增材制造研究》，国金证券研究所

基于 3D 打印的技术特点可将舱板作为一个整体零件直接进行制造，节省胶膜和发泡胶作为连接介质的冗余的质量。其结构设计中主结构舱板可以借鉴传统卫星舱板结构，蜂窝板面板可以直接借用、蜂窝可以采用低密度点阵结构进行替代、连接紧固件可以基于 3D 打印技术进行重新设计。



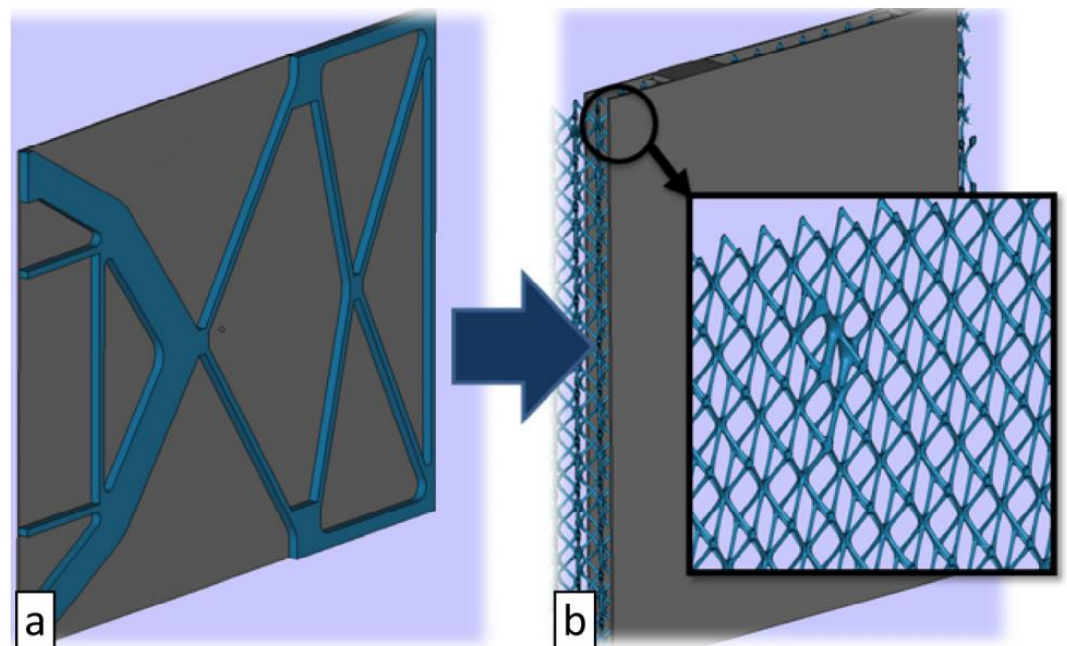
图表69: 3D 打印卫星主结构舱板



来源:《轻质承载热控卫星主结构设计及其增材制造研究》, 国金证券研究所

一个最常见的优化就是从传统的加强筋面板转向 3D 打印的晶格结构。

图表70: 晶格结构是轻量化的理想选择



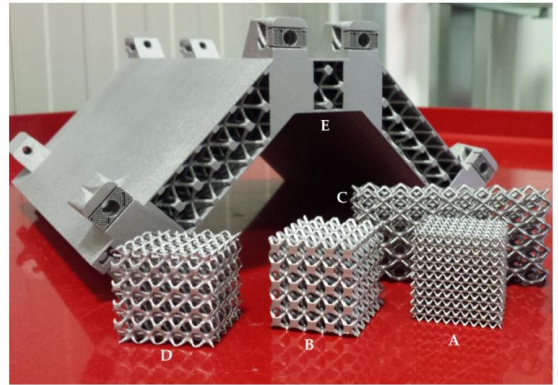
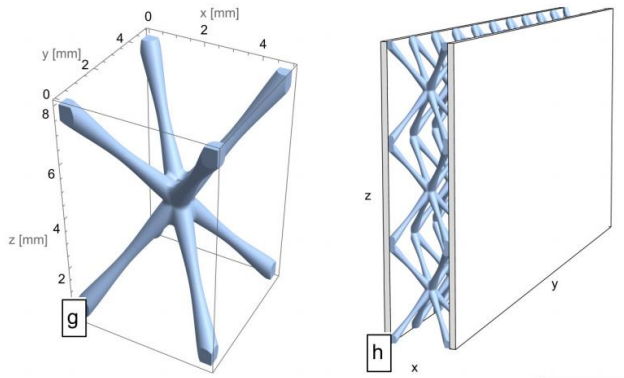
来源:《Additive Manufacturing for Lightweighting Satellite Platform》, 国金证券研究所

通过拓扑优化可以进一步探索更优的晶格结构,例如研究人员引入了一种定制化的“星形”晶格:它无需支撑即可打印,同时具备对称的力学特性。晶格类型与基本尺寸的确定,同时兼顾了增材制造的兼容性与结构要求(孔隙率为5%)。



图表71: 通过拓扑优化可以进一步探索更优的晶格结构

图表72: 3D 打印晶格结构

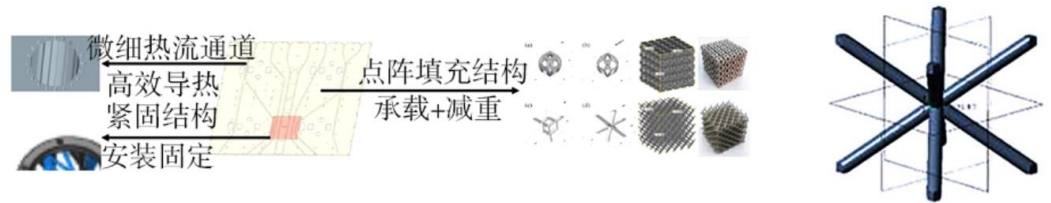


来源:《Additive Manufacturing for Lightweighting Satellite Platform》, 国金证券研究所

来源:《Additive Manufacturing for Lightweighting Satellite Platform》, 国金证券研究所

舱板除为载荷、单机提供安装承载功能外,有时也要为单价提供散热面,需要在单机安装面区域的舱板内部设置热控管路。对于传统蜂窝夹层板,需要将提前挤压成形制备的热控管路预埋到蜂窝夹层板中,然后与上下面板、蜂窝芯子复合。采用 3D 打印制造的舱板,可以将热管、舱板一次打印成形,即对卫星结构舱板进行结构热控协同的多学科优化设计。

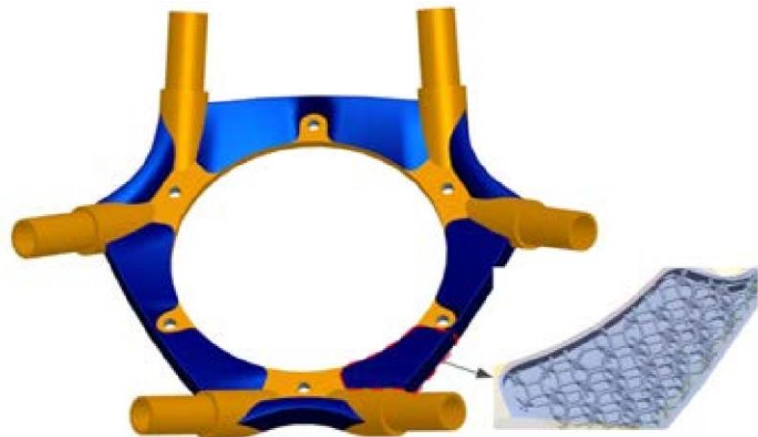
图表73: 3D 打印可实现舱板支撑+散热功能集成



来源:《轻质承载热控卫星主结构设计及其增材制造研究》, 国金证券研究所

卫星上反作用飞轮、太阳敏感器等单机对安装角度有特殊要求,需要通过单机支架将其连接在卫星主结构上。这些支架传统都是采用铸造或锻造原材料结合机械加工(如车、铣、刨、磨等)方式制备。通过 3D 打印技术可以实现拓扑优化和参数优化,相比传统工艺存在较大的结构优化设计空间。

图表74: 3D 打印点阵结构助力卫星支架实现减重

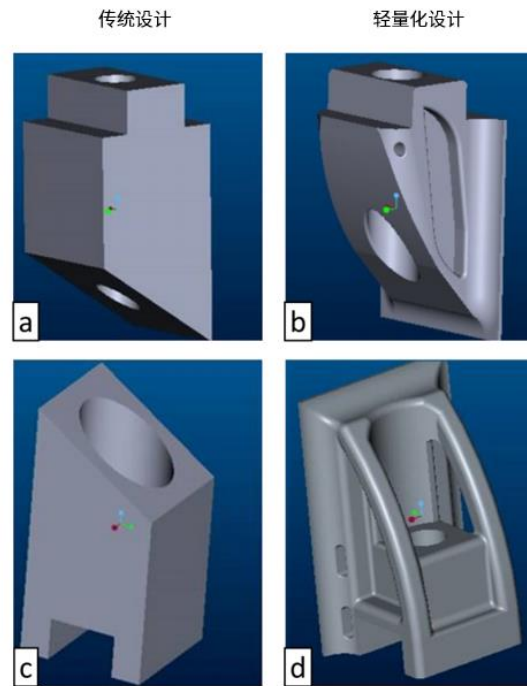


来源:《卫星轻量化发动机支架底盘激光增材制造技术研究》, 国金证券研究所

卫星上的连接点也可以进行轻量化设计,一般的连接点形态近似带螺纹孔的平行六面体,配合机械加工成型的接头,通过拓扑优化可以进一步实现轻量化。



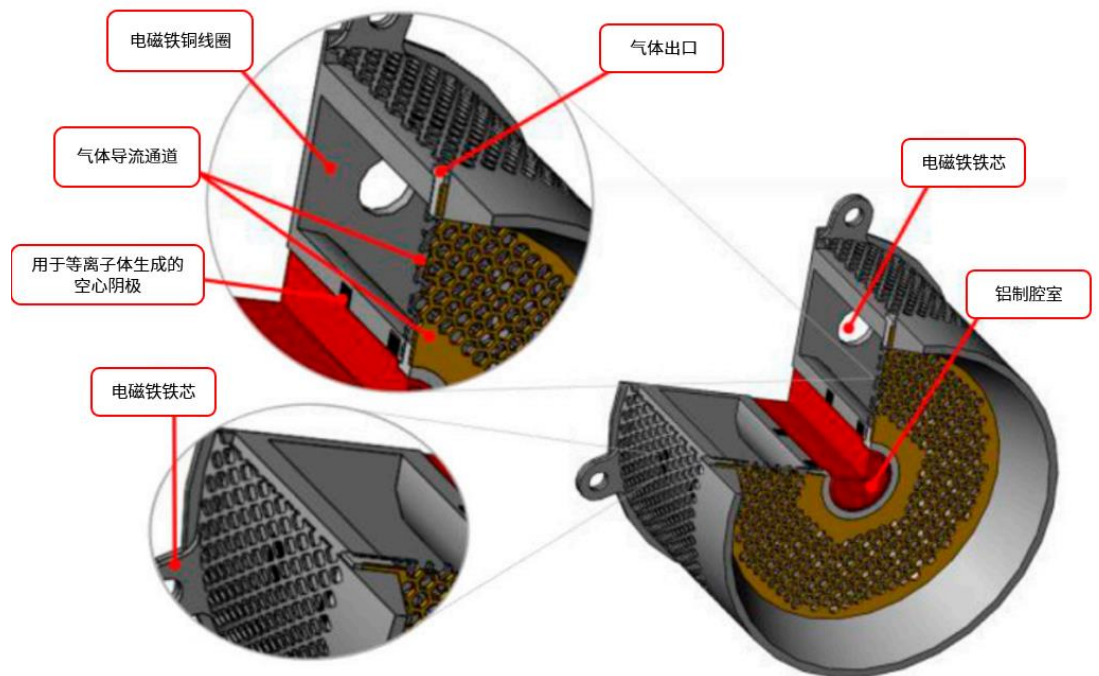
图表75: 卫星上的连接点也可以进行轻量化设计



来源:《Additive Manufacturing for Lightweighting Satellite Platform》, 国金证券研究所

推力器基于 3D 打印重新设计后也可以进一步减重。

图表76: 基于 3D 打印重新设计的推力器



来源:《Metal Additive Manufacturing for Satellites and Rockets》, 国金证券研究所

通信卫星需要实现高数据传输速率,这就要求具备大带宽与高功率水平,因此天线需采用特殊设计,每副天线要集成多个辐射喇叭。这类复杂的设计需求让 3D 打印成为合适的选择。



图表77: 直接金属激光烧结制成的天线馈源阵列



来源:《Metal Additive Manufacturing for Satellites and Rockets》, 国金证券研究所

4.2 从立方体卫星起步, 国内外企业持续加大 3D 打印布局

立方体卫星是用来进行简单太空观测和对地大气进行测量的标准立方体模块或其组合体的小卫星。它部署廉价, 仅需搭载在火箭平台上, 发射费用低, 在卫星组网、商业航天领域具有广阔的应用前景。

立方体卫星相对简单的结构形式使其成为 3D 打印技术理想的研究和试验对象, 国内某航空航天研究院所运用远铸智能 INTAMSYS 的高性能双喷头 3D 打印设备 FUNMAT PRO 410 打印立方体卫星进行相关的科学研究试验, 该立方体卫星使用两种不同的 INTAMSYS PEEK 材料, 如下图所示, 黑色和黄色的 PEEK 材料, 完成全部打印过程。目前打印样件已经通过了前期的科学研究测试, 接下来按照后续计划将在模拟环境下进行下一步的科学研究测试。

图表78: 通过 PEEK 材料打印的立方体卫星



来源: 远铸智能微信公众号, 国金证券研究所

同时国内已经实现了全球首个金属 3D 打印立方星部署器 COSPOD-3D 上天, 用于容纳多层展开帆板、大型天线、相机等外部凸出卫星载荷。COSPOD-3D 由星众空间研制, 由铂力特基于金属 3D 打印技术制造, 重量相比于传统机械加工产品减轻了一半, 加工周期也得以缩短。



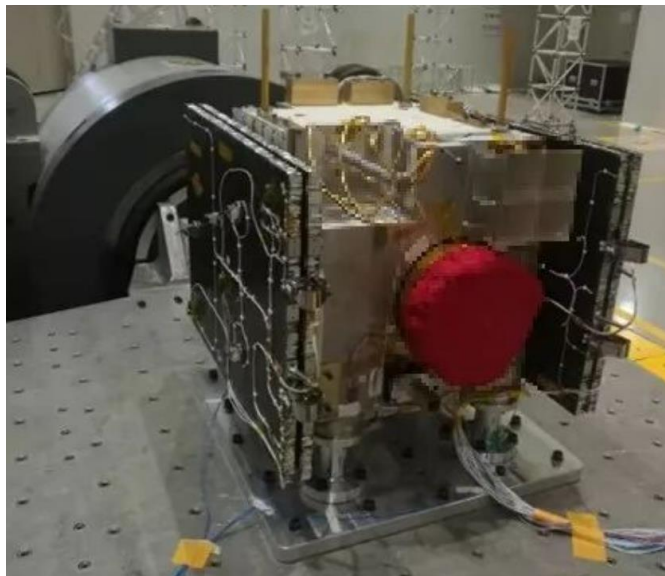
图表79: 金属 3D 打印立方星部署器框架



来源:《图说太空中的 3D 打印》, 国金证券研究所

2019 年 8 月, 捷龙一号遥一火箭在酒泉卫星发射中心点火起飞, 以“一箭三星”的方式将“千乘一号 01 星”卫星送入预定轨道。千乘一号卫星主结构是国际首个基于 3D 打印点阵材料的整星结构, 结构采用面向增材制造的轻量化三维点阵结构设计方法进行设计, 整星结构通过铝合金增材制造技术一体化制备。传统微小卫星结构重量占比为 20%左右, 整星频率一般为 70Hz 左右。千乘一号微小卫星的整星结构重量占比降低至 15%以内, 整星频率提高至 110Hz, 整星结构零部件数量缩减为 5 件, 设计及制备周期缩短至 1 个月。

图表80: 千乘一号卫星实现了三维点阵整星结构应用



来源: 3D 打印科学谷微信公众号, 航天五院总体部, 国金证券研究所

2021 年 12 月, 由铂力特打印、星众空间出品的“灵巧号”太空实验卫星搭载由陕西第一家商业火箭公司陕西华羿鸿达科技发射的“华羿一号”亚轨道火箭在西北某试验场成功实施首次飞行。



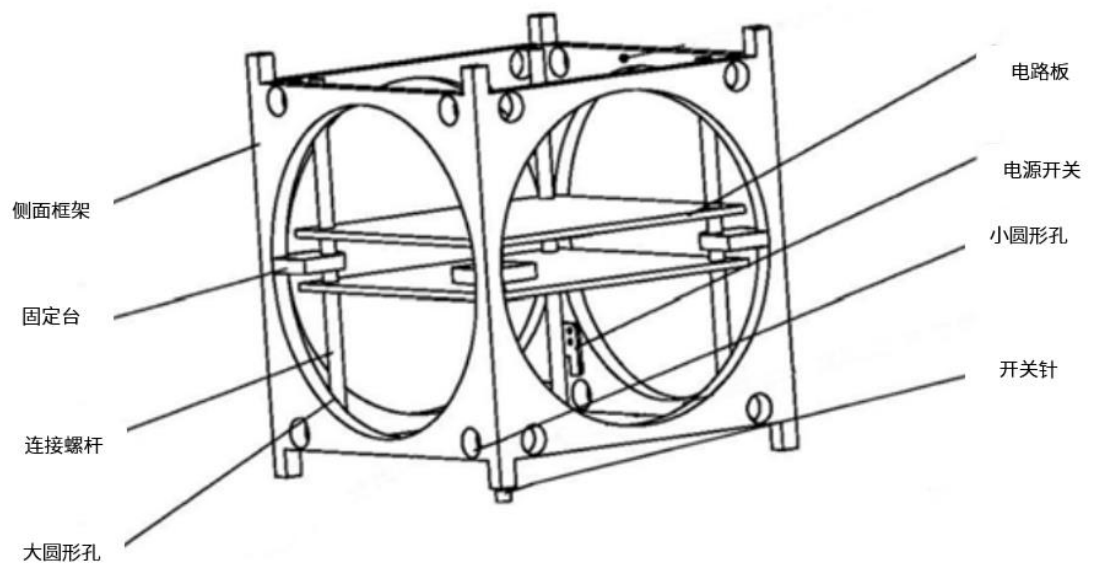
图表81: 星众空间金属 3D 打印的“灵巧号”卫星



来源：铂力特官网，国金证券研究所

从星众空间发布的专利看，采用金属 3D 打印技术的立方星框架结构强度高达 500MPa，重量为传统方法的一半，设计制造周期缩短，在实现原有立方星框架装载不同功能载荷的基础上，更能适应航天器对载荷质量的严格要求。

图表82: 星众空间 3D 打印立方星框架

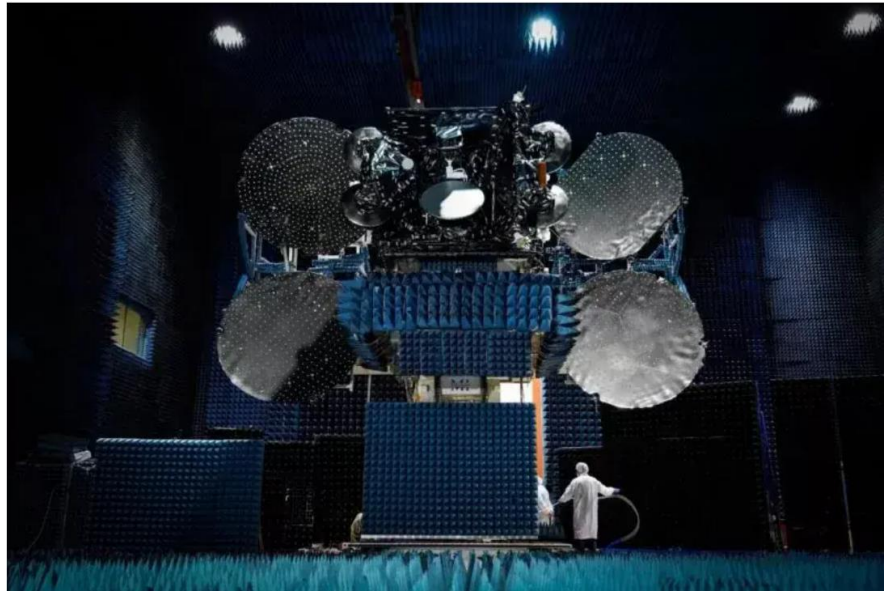


来源：《一种基于 3D 打印的立方星框架》，国金证券研究所

Zenith Tecnica 专注于钛合金 3D 打印，目前与卫星制造商 Maxar Technologies 合作配套结构件。2019 年由 Maxar 制造的卫星使用了将近 1000 个 3D 打印部件。



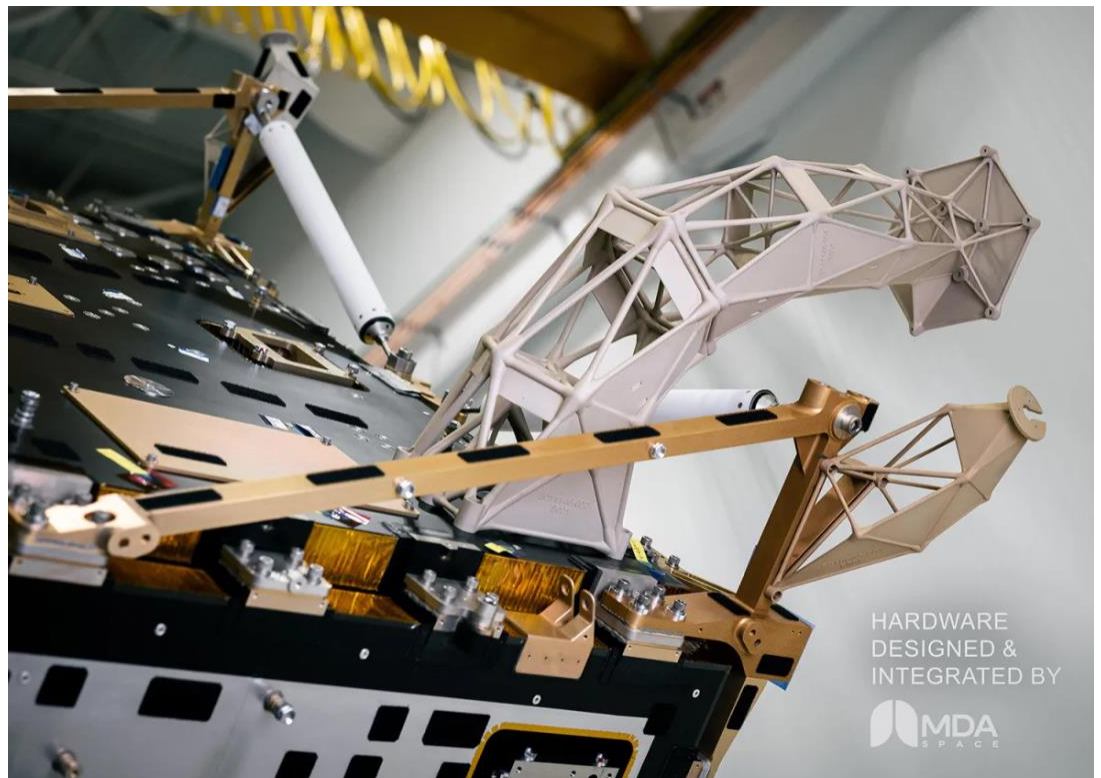
图表83: Maxar 卫星使用了将近 1000 个 3D 打印部件



来源: zenith tecnica 官网, 国金证券研究所

Burloak 被 MDA Space 选中为 AURORA 卫星其提供超过 50000 个金属 3D 打印制造的 Ka 波段天线配套, 凭借在铝、钛等高性能金属领域的技术专长, Burloak 帮助 MDA 减少了零件数量、提升了射频性能, 并优化了结构以提高质量效率。MDA 的 AURORA 卫星供应链将为核心客户 Telesat 的低轨卫星 Telesat Lightspeed、Globalstar 的下一代低轨卫星提供配套。MDA 正在扩大产能, 目标实现每日交付 2 颗 AURORA 卫星。

图表84: 3D 打印的铝制结构件被整合到 MDA 的卫星中



来源: spacenews, 国金证券研究所

波音也正全面拥抱 3D 打印技术, 在波音的产品体系中, 已集成超 15 万个 3D 打印部件, 在产品周期、成本与性能方面均实现显著收益。包括当前生产的每颗宽带全球卫星通信 (WGS) 卫星采用超 1000 个射频部件; 多个小型卫星产品线采用全 3D 打印结构。目前波



波音开发了首批 3D 打印太阳能阵列基板用于 Millennium 制造的小型卫星，该方案将从打印到最终组装的复合材料制造时间最多压缩 6 个月，相比当前周期，生产效率提升幅度最高可达 50%。这种新型阵列方案可从小型卫星拓展至更大平台（包括波音 702 级航天器），目标在 2026 年推向市场。

图表85：波音正在推进 3D 打印太阳能阵列基板



来源：波音官网，国金证券研究所

5. 投资建议

5.1 投资建议

考虑 3D 打印当前技术成熟度不断提升具备量产基础，同时有望成为商业航天领域最终加工解决方案，在火箭、卫星上均有较好应用前景，建议关注业务涉及商业航天 3D 打印的华曙高科、银邦股份、飞沃科技、江顺科技、汇纳科技、南风股份。

图表86：建议关注公司

证券代码	股票名称	市值 (亿元)	归母净利润 (亿元)					PE				
			2023A	2024A	2025E	2026E	2027E	2023A	2024A	2025E	2026E	2027E
688433.SH	华曙高科	334	1.31	0.67	0.88	1.13	1.67	255	497	382	297	200
300337.SZ	银邦股份	138	0.64	0.58				214	239			
301232.SZ	飞沃科技	123	0.56	-1.57				219	N/A			
001400.SZ	江顺科技	68	1.46	1.55	1.28	1.79	2.19	46	44	53	38	31
300609.SZ	汇纳科技	54	-0.34	-0.24	0.08	0.27	0.56	N/A	N/A	672	199	96
300004.SZ	南风股份	62	-0.21	0.74				N/A	83			

来源：Ifind，国金证券研究所；注：盈利预测取自 Ifind 2026 年 1 月 15 日一致预期

5.2 华曙高科：金属+高分子 3D 打印全链路布局，航天领域应用持续突破

华曙高科实现了金属、高分子 3D 打印的材料、设备、服务一体化布局，其中软件、控制也为自研配套，具有较强的全链路自主研发能力。



图表87：华曙高科具有较强全链路自主研发能力

全流程操作系统

Software System

华曙高科自主研发增材制造数据处理、设备控制、质量控制以及面对增材产线的MES系统全软件，不依赖第三方实现全流程。华曙开放多类核心技术参数，支持用户进行个性化工艺研发，兼容第三方应用软件。同时，华曙提供软件终生免费升级服务。



数据处理软件 BuildStar

- 三维可视化
- 参数丰富 & 开源
- 离线 / 在线切片模式可选
- 生成支撑



设备控制软件 MakeStar

- 可视化程度高
- 设备控制参数丰富
- 生成详细打印报告



智能铺粉检测监控系统

- 铺粉检测及智能处理
- 打印过程可追溯



面向产线的MES系统

- 功能模块化设计，高度定制
- 设备智能化管理，大数据分析
- 极致增效 助力降本

高性能 3D 打印材料

High-performance Materials

只有拥有自己的材料，才能不受制于人，才能真正帮助用户降低使用成本。华曙高科开发钛合金、铝合金、高温合金、铜合金、不锈钢、模具钢以及钽、钨等金属材料打印工艺，可根据客户需求定制开发材料工艺。拥有超过 20 多种高分子 3D 打印材料，包括类 PA12 系列、类 PA11、PA6、TPU、PP、PPS 等，同时与合作伙伴联合开发针对航空航天、医疗等应用的特种材料，帮助用户不断扩大增材制造的应用广度和深度。



自研振镜控制卡

Self-developed Control Card

华曙高科自主研发振镜控制卡，实现了振镜控制技术国产替代并在技术层面构筑了华曙自身特有的创新路线。华曙自研振镜控制算法确保更精准的能量控制与打印稳定性，同时支持多激光高效协同且兼容性强，显著提升打印生产效率和工艺适配能力。

来源：华曙高科官网，国金证券研究所

2022 年，深蓝航天采用华曙高科面向航空航天批量生产的高效增材制造系统 FS621M，成功实现多批次火箭发动机大尺寸喷管一体化快速制造。该喷管具有复杂型面和再生冷却通道，内部夹层密排上百条流道，一体化设计程度和成形要求较高，高度方向尺寸达到 780mm，在设计和工艺上的创新点包括多功能零件一体化设计、局部点阵减重设计，局部自支撑工艺优化设计等。如采用传统的机加、焊接工艺则实现成本高、周期长，合格率低。通过华曙高科金属增材制造解决方案 FS621M，深蓝航天成功实现其一体化制造成形，将产品“设计、试验、改进”周期大幅缩短。

图表88：深蓝航天使用华曙高科设备进行发动机大尺寸喷管 3D 打印



来源：华曙高科官网，国金证券研究所

华曙高科和飞尔康联合部署了金属增材制造产业化超级工厂，2019 年 7 月，飞而康科技与星河动力公司建立了联系，并在 9 月正式承接了“苍穹”50 吨级可重复使用液氧/煤油发动机各大小零件总计 30 多件打印需求。该批零件在设计制造的过程中，使用了华曙高科金属 3D 打印解决方案，历时 4 个月顺利完成所有零件的交付。期间，飞而康团队在华曙高科开源金属 3D 打印设备上开发了针对火箭发动机部件的激光束焊接，叶轮、转轴的 五轴加工工艺，动平衡实验，阳极氧化处理，以及气压液压测试多套专属定制试验工装。



图表89：飞而康金属增材制造超级工厂



图表90：飞尔康参与星河动力发动机零部件制造



来源：华曙高科官网，国金证券研究所

来源：华曙高科官网，国金证券研究所

除金属 3D 打印外，华曙高科也实现了高分子材料航天应用突破，长征五号运载火箭上的一个重要部件级间解锁装置保护板，正是中国航天科技集团公司中国运载火箭技术研究院航天材料及工艺研究所通过采用华曙高科连续增材制造系统（CAMS）HT1001P 解决方案加工而成。火箭级间解锁装置保护板每个部件尺寸约为 370mm*100mm*125mm，最终整个部件尺寸直径约 5000mm，采用 HT1001P 打印近 50 件拼接而成，耗时仅 48 小时。

图表91：华曙高科高分子材料 3D 打印也实现了航天应用突破



来源：华曙高科官网，国金证券研究所

5.3 银邦股份：持有飞而康股权，下游覆盖航空航天领域

根据银邦股份公告信息，公司于 2012 年出资设立飞而康，初始持股比例为 45%，后续经员工持股计划增持和股权转让，公司持股比例下降为 17.27%。飞而康主营业务是金属 3D 打印（增材制造），通过 3D 打印生产的零部件主要应用于飞机、火箭、航空发动机等航空航天领域。

2024 年飞而康年度产值达 1.5 亿，其中金属 3D 打印加工服务营收破亿。



图表92：飞而康金属 3D 打印加工服务营收破亿



来源：飞而康官网，国金证券研究所

截至 2025 年 2 月飞而康已经列装各类大中小激光选区熔融设备 50+台，最大成型幅面 1500*1500mm。中国航天科技集团六院北京航天动力研究所研制的 YF-75DA 发动机助力长征八号甲运载火箭完成首飞，飞而康承担了 YF-75DA 发动机部分结构的 3D 打印任务。

图表93：飞而康列装 3D 打印设备 50+台，配套 YF-75DA 发动机部分 3D 打印任务



来源：飞而康官网，国金证券研究所

2025 年 12 月蓝箭航天朱雀三号遥一运载火箭在东风商业航天创新试验区成功发射并进入预定轨道。此次任务中，飞而康为火箭核心动力系统——天鹊系列液氧甲烷发动机提供核心构件。实现了构件“减重增韧”的双重突破，大幅提升零件综合性能；通过精准调控打印成型与热处理全流程参数，彻底解决了金属 3D 打印易变形、易开裂的行业痛点，确保每件产品都能经受太空极端环境的考验。后续有望在商业航天领域不断实现突破。

5.4 飞沃科技：收购新杉宇航部分股权，有较好成长前景

飞沃科技于 2025 年 12 月 30 日完成了成都新杉宇航科技有限公司 60%股权收购，新杉宇航主营业务为金属 3D 打印服务，产品主要包括液体火箭发动机零部件，如喷注器、燃烧室、收扩段、扩张段、涡轮泵等；航空发动机叶片类及其他金属 3D 打印零部件。

新杉宇航主要客户为天兵科技，中科宇航、星际荣耀、星火空间等企业，2025 年商业航天营业收入约 1081 万元（未经审计，且不含航空板块营业收入），目前收入体量较小，有较



好的成长前景。

图表94：新杉宇航在上料、铺粉、成型、后处理等领域均发布了较多专利

申请日	发明名称	申请日	发明名称	申请日	发明名称
2025.01.20	一种用于增材制造可 变导热系数基板	2022.10.20	SiC 颗粒增强铝合金 复合材料的 SLM 成型 方法	2022.08.02	一种 3D 打印基板线 切割快速夹持工装
2024.12.26	一种用于 3D 打印参 数的测试块	2022.10.08	一种增材制造刮刀堆 粉清洁结构	2022.08.01	一种 3D 打印设备铺 粉装置
2024.11.27	一种航空发动机喷嘴 活门钎焊方法	2022.09.28	一种筋网易更换的振 动筛	2022.08.01	一种 3D 打印粉料上 料装置
2024.11.04	一种防止钛合金开裂 的包圆增材制造工艺	2022.08.26	一种应用于 3D 打印 机的多种粉料复合铺 粉装置及使用方法	2022.08.01	一种 3D 打印工件去 支撑快速装夹工装
2024.09.18	一种工装压力测试装 置	2022.08.19	一种拆装快捷的滚筒 筛粉机	2022.07.26	一种 3D 打印粉料研 磨装置
2024.09.06	一种用于电阻点焊撕 破检验的工装	2022.08.11	一种应用于 3D 打印 机的双层振动铺粉装 置	2022.07.26	一种 3D 打印工件打 磨装置
2024.09.04	一种用于 3D 打印薄 壁零件支撑去除的工 装	2022.08.11	一种粉料筛吸一体设 备	2020.12.14	一种金属陶瓷复合材 料的 3D 打印方法
2024.07.31	一种 3D 打印轴类产 品校直工装	2022.08.08	一种自动调节刮抹结 构高度的 3D 打印用 铺粉装置	2020.12.14	一种金属 3D 打印的 逐层选择性杂质清理 装置及工艺
2024.07.24	一种 3D 打印管道及 台阶产品去支撑工具	2022.08.05	一种多级筛分高可靠 性筛粉机	2020.12.14	一种 3D 打印管路内 表面处理装置及处理 方法
2024.07.03	一种自适应蜂窝点焊 电极	2022.08.05	一种基于抽吸原理的 高效率粉料回收机	2020.11.06	一种基于多材料 3D 打印的物料供给搅拌 设备

来源：国家知识产权局，国金证券研究所

5.5 江顺科技：参股九宇建木，九宇建木积极布局 DED 技术路线

根据上海证券报信息，九宇建木空天科技（上海）有限公司（简称“九宇建木”）发生工商变更，新增江阴一合乙巳创业投资合伙企业（有限合伙）等为股东，后者由九鼎新材及江顺科技等参与持股。九宇建木注册资本增至 351.85 万元。具体来看，江顺科技和九鼎新材对江阴一合乙巳创业投资合伙企业（有限合伙）持股比例分别为 41.25%、30.94%，后者基金则持有九宇建木 5.26% 的股份。

根据无锡日报信息，2025 年 7 月九宇建木商业航天总部基地签约活动在无锡高新区举行，九宇建木商业航天总部基地项目总投资 1.5 亿元，预计未来 5 年内将实现产值 6.5 亿元。九宇建木将通过加大研发投入力度，加快技术创新步伐，充分发挥在金属增材制造领域的技术优势，重点突破航天发动机关键部件制造“卡脖子”技术，打造集 DED 金属 3D 打印的技术开发、新材料、新工艺、新设备及零部件制造为一体的商业航天总部基地，助力高新区商业航天产业链的进一步完善和升级。

5.6 汇纳科技：战略携手金石三维，有望实现强强联合

根据汇纳科技公告信息，2025 年 5 月汇纳科技原控股股东、实际控制人张宏俊将 15% 股权转让给金石三维董事长江泽星旗下控制的企业。同时江泽星与上市公司签订了《附条件生效的股份认购协议》，拟全额认购定向发行的股票不超过 3600 万股，股份转让及向特定对象发行完成后，上市公司控股股东、实际控制人由张宏俊先生变更为江泽星。



金石三维集团成立于 2015 年，是中国领先的全品类增材制造综合解决方案提供商，是国家高新技术企业、专精特新“小巨人”企业，可为全球客户提供 3D 打印设备+打印服务+打印材料+打印软件于一体的工业级增材制造综合解决方案。金石三维集团总部位于深圳，在全国设有 30 多家子公司，生产基地总面积超 20 万平方米，员工人数超 1,000 人，是国内增材制造产业布局最广的 3D 打印科技公司之一。

图表 95：金石三维下游应用覆盖航空航天领域



来源：金石三维官网，国金证券研究所

通过本次收购，金石三维集团在工业级 3D 打印设备、材料及打印服务的技术优势，与汇纳科技在 AI 算法和高性能算力领域的深厚积累将形成“硬科技+软实力”的黄金互补。具体而言，通过深度整合金石三维集团的工业级增材制造技术与汇纳科技的 AI 算法能力和算力资源，一方面，可以实现 3D 打印路径 AI 优化、打印工艺 AI 改良、3D 打印模型 AI 生成、3D 打印过程 AI 动态监测等 AI 技术的场景化应用；另一方面，通过高性能算力资源赋能增材制造流程，将有助于构建云端产业协同平台，实现增材制造设备远程监控、3D 打印产能动态调配等 AI 工业管理系统。

5.7 南风股份：子公司 3D 打印涉及航空航天领域

根据公司公告信息，公司于 2024 年 12 月收购了子公司南方增材少数股东权益，至此，南方增材转型从事 3D 打印服务业务，截至目前，相关业务正常推进中。为了满足市场及客户需求，公司于 2025 年 9 月审批通过南方增材投资 5,000 万元用于 3D 打印服务项目固定资产投资事项，目前正按规划执行相关扩产计划。

根据公司公告信息，南方增材有红光、绿光打印设备，红光打印设备主要打印不锈钢、合金钢、钛合金等材料，绿光打印设备主要打印铜、钨、黄金等高反、难熔材料。目前，南方增材正就 3D 打印业务在鞋模、军工、航空航天、散热等领域的应用，进行送样、业务洽谈等工作。南方增材以提供解决方案并输出产品为主，即可以根据客户需求，通过打印方案设计、工艺优化等为客户提供更经济合理的创新解决方案和产品思路。

6. 风险提示

商业航天产业进展不及预期风险：2025 年 10 月，“航天强国”被写入二十届四中全会公报，与制造强国等并列表述，标志着航天产业已上升至国家战略核心层面。商业航天在“十五五”期间有望迎来快速发展。其中火箭可回收技术对于后续产业进展将产生较大影响，若火箭可回收技术发展不及预期，商业航天产业将面临进展不及预期风险，相关标的的业绩与估值将受到影响。

3D 打印应用进展不及预期风险：3D 打印目前在火箭、卫星上均有较好应用前景，但存在由于成本、良率、表面加工质量等因素造成的应用进展不及预期风险，将对相关标的的业绩与估值造成受到影响。

相关标的商业航天业务收入占比较低风险：商业航天目前正处快速发展时期，但很多环节还处于小批量阶段，相关标的的存在来自于商业航天领域的收入占比依旧较低的风险。



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：北京市东城区建国内大街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