

2024 年 10 月 29 日

行业研究

评级：推荐(维持)

研究所：

证券分析师：

罗琨 S0350522110003

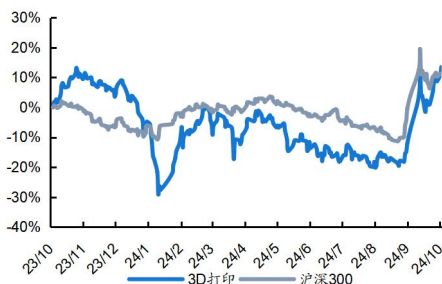
luok@ghzq.com.cn

3D 打印赋能工业制造，航空航天+消费电子领

域双因素驱动行业扩张

——3D 打印行业深度研究

最近一年走势



行业相对表现

2024/10/29

表现	1M	3M	12M
3D 打印	20.41%	33.04%	11.67%
沪深 300	5.97%	15.12%	10.17%

投资要点：

- 3D 打印技术是一种增材制造方法，具有“自由制造、去模具、减废料、降库存”等独特优势，是传统工艺的重要补充。**3D 打印又称增材制造，是基于三维模型数据，采用与传统减材制造技术完全相反的逐层叠加材料的方式，直接制造与相应数字模型完全一致的三维物理实体模型的制造方法，基本原理为以计算机三维设计模型为蓝本，通过软件分层离散和数控成形系统，将三维实体变为若干个二维平面，利用激光束、热熔喷嘴等方式将粉末、树脂等特殊材料进行逐层堆积黏结，最终叠加成形，制造出实体产品。3D 打印具有两大独特优势，一是可快速加工成形结构复杂的零件，无需传统工具夹具和多重处理，实现“自由制造”，缩短产品的研发生产周期；二是制造模式优化，“去模具、减废料、降库存”，材料利用率高并实现降本增效，是传统加工方式的重要补充；目前该技术已广泛应用于航空航天、汽车、军工、核电、船舶、医疗等众多领域。
- 3D 打印技术目前工艺路线百花齐放，其中金属 3D 打印工业化应用最为广泛，选区激光熔融（SLM）是最主流工艺。**3D 打印目前有七大类主流工艺路线——粉末床熔融、定向能量沉积、立体光固化、粘结剂喷射、材料挤出、材料喷射和薄片叠层，各工艺类别下还包括不同的子工艺；打印材料包括金属、无机非金属、有机高分子以及生物材料四种。按工艺类型分，粉末床熔融工艺打印的零件具备良好的力学性能和尺寸精度，是目前工业领域主流的增材制造技术，其中选区激光熔融（SLM）工艺的稳定性和技术成熟度较高，具有突出优势，应用最为广泛；按打印材料可分为金属 3D 打印和非金属 3D 打印，金属 3D 打印工业化应用程度最深，目前在航空航天、医疗等领域均得到了较好的应用，并拓展至消费市场，尤其是 3C 领域；非金属 3D 打印工艺种类较多，应用领域涵盖汽车、医疗和文创等。
- 3D 打印已形成完整产业链，中游企业处于产业链主导地位，行业目前处于快速成长期，规模不断扩张。**3D 打印产业链上游为原材料及零件，包括 3D 打印原材料、核心硬件和软件等；中游以 3D 打印设备生产厂商为主，占据产业链的主导地位，据华经产业研究院数据，2021 年打印设备和服务在全球市场合计占比 80%，在中国市场合

计占比 76%；下游应用覆盖航空航天、汽车工业、电子工业、模具制造、医疗健康、文化创意和建筑等多个领域。根据 Wohlers Associates 统计数据，全球增材制造市场规模不断增长，2013-2023 年期间复合增速超 20%，2023 年全球增材制造行业销售额达到 200.35 亿美元，同比增长 11.1%，其中金属增材制造市场同比实现了 24.4% 的增长。

- **航空航天和消费电子领域是下游未来重要增长市场，金属 3D 打印工业化应用程度将进一步深化，3D 打印行业整体空间有望加速打开。** 1) **航空航天市场：**目前金属 3D 打印在航空航天市场的工业化应用已较为成熟，包括航空领域火箭发动机零件及火箭配件制造，航天领域飞机发动机零件、起落架制造等，实现产品轻量化的同时大幅缩短了生产周期、降低了生产成本；其中据《SpaceX: Starship to Mars-The First 20 Years, 2nd Edition》，SpaceX 生产火箭的猛禽发动机 40% 质量应用了 3D 打印工艺，我国 C919 飞机发动机燃料喷嘴也采用 3D 打印制造，据我们测算 **SpaceX 火箭发动机每年对 3D 打印设备需求约 140-350 台，需求价值量约 1.12-2.80 亿美元，折算成人民币约 8-20 亿元（按 2024 年 10 月 16 日汇率折算），C919 发动机 3D 打印设备总需求量约 1080 台，总需求价值量约 35 亿元，交付时间 7 年（2024-2031 年），C919 发动机 3D 打印设备年需求量约 155 台，年价值量约 4.94 亿元。** 2) **消费电子市场：**是下游应用的新兴市场，“钛合金+3D 打印”有助于实现产品减轻减薄，且原材料和上游设备成本逐渐下降，驱动 3D 打印技术在消费电子领域大规模应用；目前苹果、华为、小米等头部厂家已开始应用 3D 打印技术，包括折叠屏手机钛合金铰链轴盖、手机中框和智能手表等；未来钛合金 3D 打印技术在消费电子领域渗透率有望提高，据我们测算至 2028 年 3D 打印渗透率达到 40%-50% 时，折叠屏手机钛合金铰链轴盖 3D 打印全球市场空间将达到 36.6-45.7 亿元，中国市场空间将达到 17.1-21.4 亿元，手机中框领域全球 3D 打印产业总市场规模预计约 756-945 亿元，手机中框领域中国 3D 打印产业总市场规模约 174-217 亿元。上述市场将为 3D 打印行业提供较大增量。
- **行业评级及重点推荐个股：**随着 3D 打印技术逐步趋于成熟，加工效率和工艺良品率的提升、规模效应的释放，3D 打印成本有望进一步降低，在航空航天、消费电子、汽车及人形机器人、医疗等市场的渗透率将逐步提高，工业化应用加深，我们认为 3D 打印行业的收入规模有望实现较高增长，维持 3D 打印行业“推荐”评级。产业链上游建议关注有研粉材和金橙子，中游建议关注铂力特和华曙高科，下游建议关注金太阳。
- **风险提示：**关键核心器件依赖进口的风险；新兴行业或领域产业化应用风险；市场竞争加剧风险；3D 打印行业下游需求增长不及预期；模型及测算假设误差等。

重点关注公司及盈利预测

重点公司	股票	2024/10/29		EPS			PE			投资
代码	名称	股价	2023A	2024E	2025E	2023A	2024E	2025E	评级	
688456.SH	有研粉材	29.79	0.53	0.76	1.05	56.03	39.20	28.37	未评级	
688291.SH	金橙子	19.75	0.41	0.52	0.66	48.02	37.98	29.92	未评级	
300747.SZ	锐科激光	20.80	0.38	0.56	0.78	54.04	37.14	26.67	未评级	
688333.SH	铂力特	53.58	0.74	1.13	1.73	72.76	47.42	30.97	未评级	
688433.SH	华曙高科	19.94	0.32	0.45	0.63	62.96	44.31	31.65	未评级	
300606.SZ	金太阳	25.20	0.37	0.45	0.71	67.47	56.00	35.49	未评级	

资料来源：ifind，国海证券研究所（注：未评级公司盈利预测取自 ifind 一致预期数据，2023A eps 为摊薄 eps）

内容目录

1、 3D 打印：一种新型制造方式，传统加工技术的重要补充	10
1.1、 3D 打印属于增材制造，具有“自由制造、去模具、减废料、降库存”的优势	10
1.2、 目前主要有七大类工艺，粉末床熔融是主流路线	13
1.2.1、 七大工艺及其子工艺原理：SLM 技术居于重要地位	15
1.2.2、 工艺路线百花齐放，金属 3D 打印工业化应用最成熟	21
1.2.3、 大尺寸、多激光、低成本是未来趋势	23
1.3、 行业政策	24
1.3.1、 欧美等海外国家政策：重点发展金属增材和在航空航天的应用	24
1.3.2、 国内政策：将增材制造列入战略发展层面，PBF、DED 工艺作为重要方向	25
2、 行业产业链分析	26
2.1、 行业上游：原材料及零件	27
2.1.1、 原材料：金属粉末材料占比持续提升	27
2.1.2、 振镜和激光器：价值量占成本 40%	29
2.2、 行业中游：打印设备占据产业链主导地位，设备商逐步转型综合方案提供商	31
2.3、 行业下游：涵盖航空航天、汽车、医疗及消费电子等领域	33
3、 航空航天应用：3D 打印应用最深的领域	35
3.1、 3D 打印在航空航天领域的应用价值：轻量化和一体化	35
3.1.1、 应用优势：实现复杂结构件的轻量化及一体化制造	35
3.1.2、 目前主流工艺是 SLM，适用材料为金属合金	36
3.2、 3D 打印应用的实际案例	38
3.2.1、 火箭发动机：应用 3D 打印技术最多的零件	38
3.2.2、 飞机发动机：GE 利用 3D 打印技术实现部分零部件减重 25%、降本 30%	41
3.2.3、 其他应用：飞机起落架、火箭、卫星等	41
3.3、 市场格局及规模	43
3.3.1、 全球航空航天 3D 打印市场格局：CR5 约 57%，欧美企业主导	43
3.3.2、 市场规模测算：火箭发动机和飞机发动机每年对打印设备需求量超百台	43
4、 民用市场的新未来：消费电子	47
4.1、 “钛合金+3D 打印”优势突出，应用方兴未艾	47
4.1.1、 钛合金具有高机械强度、高强度重量比、耐腐蚀性等优势	47
4.1.2、 3D 打印可以解决钛合金技术的量产痛点和成型问题	47
4.1.3、 综合优势减轻减薄，钛合金 3D 打印成本逐渐下降	48
4.2、 3D 打印钛工艺：主流路线 SLM 和 EBM	50
4.3、 应用案例：手机中框、手机折叠屏铰链等	50
4.4、 市场规模：折叠屏铰链、手机中框打造百亿级市场	51
4.4.1、 手机折叠屏铰链	51
4.4.2、 手机中框	52
5、 汽车及人形机器人应用	55
5.1、 汽车：缩短研发周期、助力降本增效	55
5.1.1、 主要应用方向：前端研发	55
5.1.2、 3D 打印有望改变传统电动汽车制造方式	55
5.1.3、 宝马、大众等车企也逐渐启用 3D 打印技术	56
5.2、 人形机器人：3D 打印助力人形机器人实现灵活运动	58
6、 行业规模、格局及增长空间	60
6.1、 行业规模	60

6.1.1、 3D 打印行业目前处于成长上升期	60
6.1.2、 2013-2023 年行业规模以 21%复合增速增长，2023 年全球销售额达 200 亿美元	60
6.2、 行业格局	62
6.2.1、 国家层面：欧美领先、亚洲追赶，美国和中国位列前二	62
6.2.2、 企业层面：格局相对分散，竞争较为激烈	62
6.3、 增长空间：收入规模有望实现翻倍式增长	64
7、 海外公司巡礼	65
7.1、 3D Systems	65
7.1.1、 主要技术路线 SLA、SLS 和 SLM，应用领域为工业和医疗保健	65
7.1.2、 财务情况：2023 年收入规模约 5 亿美元	65
7.2、 SLM Solutions	66
7.2.1、 专注于 SLM 技术，2023 年被尼康收购	66
7.2.2、 财务情况：2022 年收入规模约 1 亿欧元	67
7.3、 航空航天领域主要企业	67
7.3.1、 Stratasys：业务以聚合物 3D 打印为主	67
7.3.2、 Desktop Metal：粘合剂喷射全球领先	68
7.3.3、 Velo 3D：金属 3D 打印领先，与 SpaceX 合作紧密	69
8、 产业链国内公司梳理	70
8.1、 产业链上游企业	70
8.1.1、 有研粉材：主营业务为有色金属粉体材料	70
8.1.2、 金橙子：振镜控制系统市场领先	71
8.1.3、 锐科激光：国内工业激光器龙头	72
8.2、 产业链中游企业	73
8.2.1、 铂力特：国内金属 3D 打印龙头企业	73
8.2.2、 华曙高科：工业级增材制造领域龙头企业	75
8.3、 产业链下游企业	77
8.3.1、 金太阳：3D 打印后处理厂商	77
9、 行业评级及重点推荐个股	78
10、 风险提示	79

图表目录

图 1: 3D 打印流程	10
图 2: 3D 打印发展历程	12
图 3: 选区激光熔融 (SLM) 成形原理图	16
图 4: 选区激光烧结 (SLS) 成形原理图	16
图 5: 电子束熔化 (EBM/EBSM) 成形原理图	16
图 6: 多射流熔融成形 (MJF) 成形原理图	16
图 7: 激光近净成形 (LENS) 成形原理图	17
图 8: LENS 450 定向能量沉积装备	17
图 9: 电子束熔丝沉积 (EBDM) 成形原理图	17
图 10: 电弧熔丝 (WAAM) 成形原理图	17
图 11: 立体光固化成形 (SLA) 成形原理图	18
图 12: 数字光处理成形原理图	18
图 13: 三维立体打印 (3DP) 成形原理图	19
图 14: DM P2500 高精度黏结剂喷射金属增材制造装备	19
图 15: 熔融沉积成形 (FDM) 原理图	19
图 16: Stratasys F900 材料挤出增材制造装备	19
图 17: 材料喷射成形 (PJ) 原理图	20
图 18: 叠层实体制造成形原理图	20
图 19: LOM-2030 型薄片叠层装备	20
图 20: 金属 3D 打印已实现工业应用	23
图 21: BLT-S1500 技术参数	23
图 22: 各国家及地区 3D 打印发展方针	25
图 23: FAA 增材制造路线图	25
图 24: 3D 打印产业链图谱	26
图 25: 2021 年全球 3D 打印行业细分行业结构	26
图 26: 2021 年中国 3D 打印行业细分行业结构	26
图 27: 2015-2021 年全球增材制造原材料销额占比	27
图 28: 2011-2021 年全球金属增材制造材料销售额及增速	27
图 29: 中国增材制造原材料市场占比	28
图 30: 深圳 JPT 连续光纤激光器	29
图 31: 振镜系统工作原理	29
图 32: 2019-2022H1 华曙高科进口激光器和振镜的比例	30
图 33: SLM Solutions 对多激光设备销量占比的预测	30
图 34: 2017-2021 年全球增材制造工业级设备销售量及增速	32
图 35: 中国 3D 打印设备分工艺占比 (截至 2022 年 10 月)	32
图 36: 2017-2021 年全球金属 3D 打印设备销售额及增速	33
图 37: 2017-2023 年全球金属 3D 打印设备销量及增速	33
图 38: 2021 年全球增材制造下游领域占比	34
图 39: 中国增材制造下游领域占比 (截至 2022 年 10 月)	34
图 40: 3D 打印在航空航天领域的应用优势	35
图 41: 2024 年按材料类型分航空航天 3D 打印全球市场规模占比	37
图 42: Orbex 公司 SLM 技术打印的一体化推力室	39
图 43: Launcher 公司 SLM 技术打印的火箭发动机涡轮泵组件	39
图 44: 3D 打印的氧化剂阀体	39

图 45: Raptor 系列 1-3 代发动机对比	39
图 46: 深蓝雷霆-R1 发动机	40
图 47: 星河动力“苍穹”发动机	40
图 48: GE 公司 3D 打印的发动机燃油喷嘴	41
图 49: C919 LEAP-1C 发动机	41
图 50: 3D 打印的喷气式飞机前起落架	42
图 51: 北京星际荣耀公司 3D 打印的栅格舵	42
图 52: 2023 年全球航空航天 3D 打印市场前 10 强生产商排名	43
图 53: 华为及荣耀折叠屏手机系列厚度和重量变化	49
图 54: 铂力特金属 3D 打印粉末产品价格变化	49
图 55: 锐科激光激光器产品价格变化	49
图 56: Arcam EBM Spectra L 和雷尼绍 RenAM 500Q 钛金属 3D 打印机	50
图 57: 全球折叠屏智能手机出货量及渗透率预测	52
图 58: 中国折叠屏智能手机出货量及渗透率预测	52
图 59: iPhone 15 尺寸与重量	53
图 60: Xiaomi 14 Pro	53
图 61: 汽车领域 3D 打印的应用	55
图 62: 特斯拉 Model Y 一体成型车架将原来 70 个零部件合为 2 个大件	56
图 63: XEV 旗下 LSEV 电动汽车部件采用 3D 打印需要花费的时间	56
图 64: HP Metal Jet 技术生产的汽车零部件	57
图 65: 宝马慕尼黑 3D 打印工厂	57
图 66: 3D 打印产业周期	60
图 67: 1995—2023 年全球增材制造产业产值及增速	61
图 68: 2017—2025 年中国增材制造产业产值及增速	61
图 69: 全球增材制造设备装机量分布格局（截至 2023 年 9 月）	62
图 70: 分具体地区全球增材制造设备装机量份额（截至 2023 年 9 月）	62
图 71: 中国 3D 打印设备市场竞争格局（截至 2023 年 3 月）	63
图 72: 3D Systems 金属 3D 打印机产品	65
图 73: 3D Systems 2021-2023 年营收和净利润	66
图 74: 3D Systems 2023 年营收构成	66
图 75: SLM Solutions 主要产品	66
图 76: SLM Solutions 2019-2023H1 营收及增速	67
图 77: SLM Solutions 2022 年营收构成	67
图 78: Stratasys 2021-2024H1 营收及增速	68
图 79: Stratasys 2023 年营收构成	68
图 80: Desktop Metal 3D 打印机 P-50	68
图 81: Desktop Metal 2022-2024H1 营收及增速	68
图 82: VELO 3D Sapphire 打印机	69
图 83: 国内 3D 打印产业链图谱	70
图 84: 有研粉材 3D 打印粉体材料产品	71
图 85: 有研粉材 2023 年营业收入分产品构成	71
图 86: 金橙子 FalconScan-14 精密振镜	71
图 87: 金橙子 2021-2024H1 营业收入及毛利率	72
图 88: 金橙子 2023 年营业收入分产品构成	72
图 89: 锐科激光 3D 打印专用光纤激光器	72
图 90: 锐科激光 2021-2024H1 营业收入及毛利率	72

图 91: 铂力特 2019-2024H1 营收及增速	74
图 92: 铂力特 2019-2024H1 毛利率	74
图 93: 铂力特 2023 年营业收入分产品构成	74
图 94: 铂力特 2023 年营业收入分行业构成	74
图 95: 华曙高科 2019-2024H1 营收及增速	76
图 96: 华曙高科 2019-2024H1 毛利率	76
图 97: 华曙高科 2023 年营业收入分产品构成	76
图 98: 华曙高科 2023 年营业收入分行业构成	76
图 99: 金橙子 2019-2024H1 营收及增速	77
图 100: 金橙子 2019-2024H1 毛利率	77
表 1: 增材制造与减材制造对比	13
表 2: 主流七大类 3D 打印技术路线	14
表 3: 3D 打印材料分类	15
表 4: 主流 3D 打印工艺对比总结	21
表 5: 部分国家支持 3D 打印行业的政策梳理	24
表 6: 国内支持 3D 打印行业的政策梳理	25
表 7: 3D 打印材料分类、特性及应用	28
表 8: 桌面级和工业级 3D 打印设备对比	31
表 9: 航空航天领域增材制造工艺特性	36
表 10: 航空航天领域增材制造常用材料	37
表 11: SpaceX 火箭发动机 3D 打印设备需求测算表	44
表 12: C919 发动机 3D 打印设备需求测算表	45
表 13: C919 订单情况统计	45
表 14: 消费类产品常用的四种合金材料物理性能对比	47
表 15: 手机金属中框四大材质对比	48
表 16: 手机厂商应用钛合金材料案例	51
表 17: 折叠屏手机钛合金铰链轴盖 3D 打印市场空间测算	52
表 18: 手机中框 3D 打印市场空间测算参数	54
表 19: 手机中框 3D 打印市场空间测算结果	54
表 20: Atlas 3D 打印的人形机器人零件	58
表 21: 除 Atlas 外其他应用 3D 打印技术的人形机器人案例	59
表 22: 全球市场 3D 打印行业主要企业对比	63
表 23: EOS 与铂力特 3D 打印设备性能对比	73
表 24: 华曙高科与可比公司金属 3D 打印设备关键技术指标对比	75

释义

本文 3D 打印技术各工艺缩写和中英文全称对应关系如下：

PBF	指	粉末床熔融（Powder Bed Fusion）
SLM	指	激光选区熔化（Selective Laser Melting）
SLS	指	选区激光烧结（Selective Laser Sintering）
DED	指	定向能量沉积（Directed Energy Deposition）
EBM/EBSM	指	电子束熔化（Electron Beam Melting/Electron Beam Selective Melting）
MJF	指	多射流熔融成形（Multi jet Fusion）
LENS	指	激光近净成形（Laser Engineered Net Shaping）
L-DED	指	激光定向能量沉积（Laser-directed energy deposition），LENS 技术的别称
LMD	指	激光金属沉积（Laser Metal Deposition），LENS 技术的别称
WAAM	指	电弧熔丝增材制造（Wire Arc Additive Manufacturing）
EBDM/EBF ³	指	电子束熔丝沉积（Electron Beam Direct Manufacturing/Electron Beam Free Form Fabrication）
SLA	指	光固化成形（Stereolithography Appearance）
DLP	指	数字光处理（Digital Light Processing）
3DP	指	三维立体打印（Three-Dimensional Printing）
FDM	指	熔融沉积成形（Fused Deposition Modeling）
PJ	指	材料喷射成形（PolyJet）
LOM	指	薄片叠层（Laminated Object Manufacturing）
DMLS	指	直接金属激光烧结技术（Direct Metal Laser Sintering），与 SLM 技术原理非常相似，两者没有明显区分，均完全熔化了金属粉末，有的文章将两者归为一类
L-PBF	指	激光粉末床熔融（Laser Powder Bed Fusion），SLM 技术的别称
CBP	指	细胞绘图打印（Cell Bioprinting）

资料来源：打印派、ScienceDirect、南极熊 3D 打印、非凡士 3D 打印机、电子发烧友、《电子束熔丝沉积快速成形 2319 铝合金的微观组织与力学性能》（于菁等，2018）、百度百科-科普中国、华曙高科招股书、《中国战略性新兴产业研究与发展：增材制造》

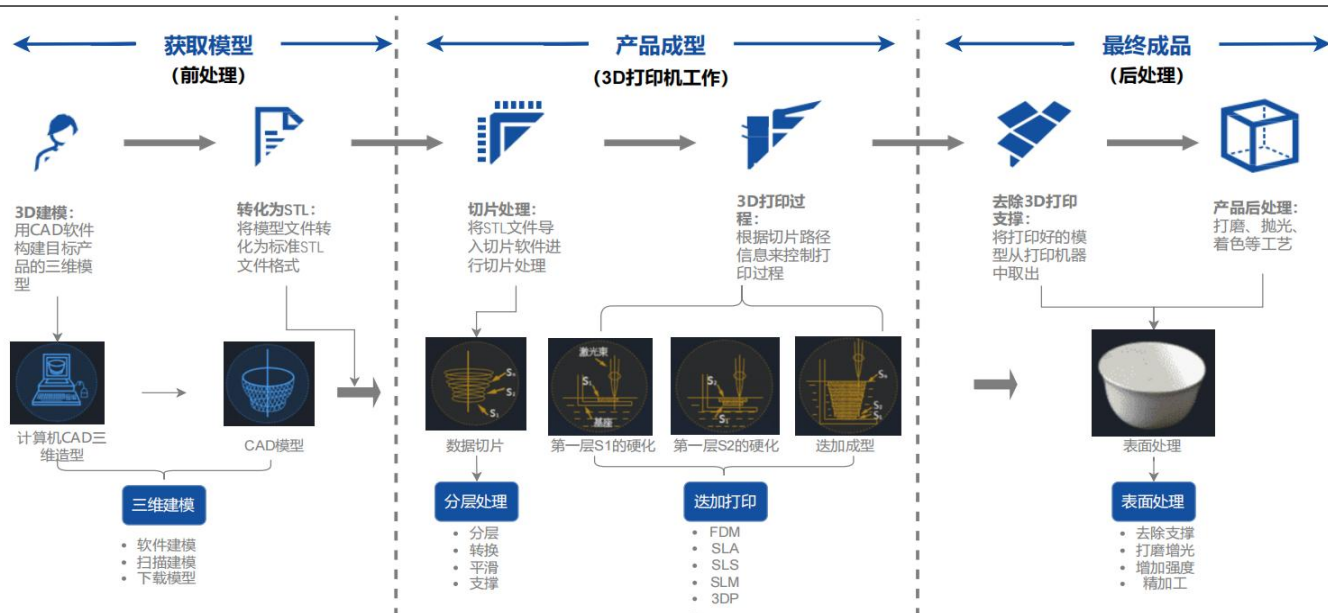
1、3D 打印：一种新型制造方式，传统加工技术的重要补充

1.1、3D 打印属于增材制造，具有“自由制造、去模具、减废料、降库存”的优势

根据《中国战略性新兴产业研究与发展：增材制造》，增材制造（AM）是一种基于离散-堆积原理形成实体物品的新型制造方式，融合了信息技术、先进材料技术、数字制造技术。增材制造又称“3D 打印”，是基于三维模型数据，采用与传统减材制造技术（对原材料去除、切削、组装的加工模式）完全相反的逐层叠加材料的方式，直接制造与相应数字模型完全一致的三维物理实体模型的制造方法。其基本原理为：以计算机三维设计模型为蓝本，通过软件分层离散和数控成形系统，将三维实体变为若干个二维平面，利用激光束、热熔喷嘴等方式将粉末、树脂等特殊材料进行逐层堆积黏结，最终叠加成形，制造出实体产品。

人类制造方式经历了等材制造、减材制造和增材制造三个发展阶段。等材制造是指通过铸、锻等方式生产制造物品，材料重量基本不变，已有 3000 多年历史；减材制造是指在工业革命后，通过使用车、铣、刨、磨等方式对材料进行切削加工、批量化制造产品，已有 300 多年历史；增材制造则采用材料累加方式，利用三维设计数据在一台设备上快速而精确地“自下而上”地“自由”制造出任意复杂形状的物品，已有 40 多年发展历史。增材制造颠覆了传统的思维方式和制造模式，为制造业发展开辟了崭新的广阔天地。目前该技术已广泛应用于航空航天、汽车、军工、核电、船舶、医疗等众多领域。

图 1：3D 打印流程



资料来源：亿渡数据、维纳增材、国海证券研究所

3D 打印发展历程可以分为三个阶段：1) 1980-1990 年为第一阶段，期间 3D 打印专利、技术和原型机先后诞生；2) 1990-2010 年为第二阶段，欧美逐渐形成具有影响力的 3D 打印公司，如 3D Systems、Stratasys、EOS 等，由技术和理论的雏形过渡至 3D 打印机及产品的生产，同时这一阶段 3D 打印生产的产品类别和下游场景也在不断扩大；3) 2010 年至今为第三阶段，龙头企业不断兼并收购，部分技术专利到期，大量企业涌入行业，行业迎来快速发展。

国内 3D 打印起步晚于欧美，但近年来差距逐渐缩小，且商业化规模扩大。1) 起步阶段：我国 3D 打印行业于 20 世纪 90 年代初期起步，由各高校在政府资金支持下启动增材制造技术研究；2) 技术突破阶段：2000-2010 年间各高校先后实现了主流 3D 打印技术零的突破；3) 技术追赶和商业化阶段：2011 年至今处于技术追赶阶段，水平逼近欧美国家，同时涉及 3D 打印业务公司的数量激增，铂力特、华曙高科等 3D 打印企业成功上市，我国 3D 打印行业逐步完成从技术积累到商业化的过渡。

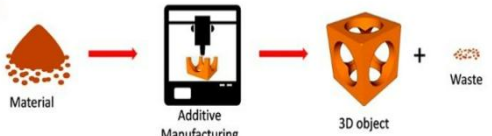
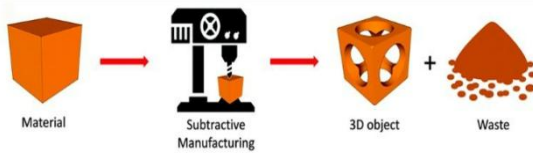
图 2：3D 打印发展历程



资料来源：魔茧科技、幻嘉科技 Coolsiga、《中国战略性新兴产业研究与发展：增材制造》、南极熊 3D 打印、ifind、国海证券研究所

3D 打印是传统加工制造技术的重要补充，各有优劣、长期并存。目前增材制造加工与传统加工方式相比的优势在于：一是可快速加工成形结构复杂的零件，3D 打印的原理决定了其加工基本不受零件形状的限制，无需传统工具夹具和多重处理，实现“自由制造”，并缩短产品的研发生产周期；二是制造模式优化，传统加工切割过程会产生大量废料和余料价值折损，材料利用率低，而 3D 打印具有“去模具、减废料、降库存”的特点，在生产上可以节省材料和能源，材料利用率高并实现降本增效。不足之处在于其加工精度、表面粗糙度和可加工材料等方面还与传统精密加工存在差距，且在大批量制造方面效率和成本不如传统加工。

表 1：增材制造与减材制造对比

加工方式	增材制造	传统减材制造
技术原理		
技术手段	SLM、SLS、DED、FDM 等	磨削、超精细切削、精细磨削与抛光等
适用场合	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，但在复杂化零部件制造方面存在局限
使用材料	金属、无机非金属、有机高分子以及生物材料（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
产品实现周期	短	相对较长
零件尺寸精度	±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）
零件表面粗糙度	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）

资料来源：铂力特招股书、《ANALYSIS OF PA6 POWDER AGEING DURING THE SELECTIVE LASER SINTERING PROCESS》Michael Berer 等、国海证券研究所（注：零件尺寸精度和表面粗糙度参考值以金属 3D 打印为例）

1.2、目前主要有七大类工艺，粉末床熔融是主流路线

3D 打印目前有七大类主流工艺路线，打印材料包括金属、无机非金属、有机高分子以及生物材料四种。国标《增材制造术语》根据增材制造技术的成形原理，将增材制造工艺分成七种基本类别：粉末床熔融、定向能量沉积、立体光固化、粘结剂喷射、材料挤出、材料喷射和薄材叠层，各工艺类别下还包括不同的子工艺。3D 打印的终端零件性能高度依赖于其制备的设备类型和工艺参数，而粉末床熔融工艺打印的零件具备良好的力学性能和尺寸精度，是目前工业应用领域中主流的增材制造技术；其中，选区激光熔融和选区激光烧结工艺的稳定性和技术成熟度较高，具有突出优势，且选区激光熔融打印的零件力学性能超过铸件甚至部分可以达到锻件标准，应用最为广泛。

按打印材料可以将 3D 打印工艺分为金属 3D 打印和非金属 3D 打印。金属 3D 打印主要分为选区激光熔融（SLM）和定向能量沉积（DED）两大类，其中 SLM 非常适合航空航天小批量、定制化的生产特点，随着技术发展与成本控制，将来有望实现大规模工业化生产，而 DED 目前技术成熟度不及 SLM，因此推广速度慢于 SLM；目前金属 3D 打印在航空航天、医疗等领域均得到了较好的应用，并拓展至消费市场，尤其是 3C 领域。非金属 3D 打印工艺种类较多，应用领域涵盖汽车、医疗和文创等。

表 2：主流七大类 3D 打印技术路线

工艺类型名称	工艺基本原理	主要工艺技术	代表性企业	应用领域	应用材料
粉末床熔融 (Powder Bed Fusion, PBF)	通过热能选择性的熔化/烧结粉末床区域的增材制造工艺	选区激光熔融 (Selective Laser Melting, SLM)	EOS、SLM solutions、铂力特、易加三维、华曙高科	航空航天等复杂金属精密零件、金属牙冠、医用植入物等	金属
		选区激光烧结 (Selective Laser Sintering, SLS)	EOS、3D Systems、华曙高科、易加三维、北京隆源	航空航天领域用工程塑料零部件、汽车家电等领域铸造用砂芯、医用手术导板与骨科植入物等	非金属
		电子束熔化 (Electron Beam Melting, EBM/Electron Beam Selective Melting, EBSM)	Arcam (GE Additive)、天津清研智束	航空航天复杂金属构件、医用植入物等	金属
		多射流熔融成形 (Multi jet Fusion, MJF)	惠普	汽车、医疗保健和消费品	聚合物
定向能量沉积 (Directed Energy Deposition,DED)	利用聚焦热能熔化材料即熔即沉积的增材制造工艺	激光近净成形 (Laser Engineered Net Shaping, LENS)	Optomec Design、鑫精合、铂力特等	飞机等大型复杂金属构件成形与修复等	金属
		电弧熔丝增材制造 (Wire Arc Additive Manufacturing, WAAM)	铂力特等	-	金属
		电子束熔丝沉积 (Electron Beam Direct Manufacturing, EBDM)	-	航空航天大型金属构件等	金属
立体光固化 (VAT Photopolymerization)	通过光致聚合作用选择性地固化液态光敏聚合物的增材制造工艺	光固化成形 (Stereo Lithography Appearance, SLA)	3D Systems、Formlabs、恒通、先临三维、上海联泰	工业产品设计开发、创新创意产品生产、精密铸造用蜡模	非金属
粘结剂喷射 (Binder Jetting)	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 (Three-Dimensional Printing, 3DP)	Exone、VoxelJet、峰华卓立	工业产品设计开发、铸造用砂芯、医疗植入物、医疗模型、创新创意产品、建筑等	非金属
材料挤出 (Material Extrusion)	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 (Fused Deposition Modeling, FDM)	Stratasys、太尔时代	工业产品设计开发、创新创意产品生产等	非金属
材料喷射 (Material Jetting)	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 (PolyJet, PJ)	以色列 Objet	工业产品设计开发、医疗植入物、创新创意产品生产、铸造用蜡模等	非金属
薄片叠层 (Sheet Lamination)	将薄片材料逐层粘结以形成实物的增材制造工艺	薄片叠层 (Laminated Object Manufacturing, LOM)	Helisys、陕西智拓固相	-	-

资料来源：《中国战略性新兴产业研究与发展：增材制造》、华曙高科招股书、铂力特招股书、南极熊 3D 打印、国海证券研究所（注：多射流熔融成形工艺有多重特点、划分不明确，本表参考华曙的分类划分至粉末床熔融，但其也具有材料喷射的特点）

表 3：3D 打印材料分类

类别	材料名称	代表性适用工艺	应用领域
金属材料	钛合金、高温合金、铝合金等金属粉末、液态金属材料等	选区激光熔融（SLM） 电子束熔化（EBM/EBSM） 激光近净成形（LENS） 电子束熔丝沉积（EBDM） 电弧熔丝增材制造（WAAM）	航空航天、船舶工业、核工业、汽车工业、轨道交通等领域高性能、难加工零部件与模具的直接制造
无机非金属增材制造材料	高性能陶瓷、非金属矿、宝石材料、树脂砂、覆沙膜、硅砂、硅酸盐类等	选区激光烧结（SLS） 三维立体打印（3DP） 材料喷射成形（PJ）	航空航天、汽车发动机等铸造用模具开发及功能零部件制造；工业产品原型制造及创新创意产品生产
有机高分子增材制造材料	树脂类：光敏树脂；丝材类：PLA、ABS、PC、PPSF、PETG 等；粉末类：PA、PS、PC、PP、PEEK 等	光固化成形（SLA） 熔融沉积成形（FDM）	工/模具制造、原型验证、科研教学、文物修复与保护、生物医疗等
生物增材制造材料	生物可降解材料、生物相容性材料、活细胞等	细胞绘图打印（CBP）	药物控制释放、器官移植、组织和软骨质结构再生与重建等

资料来源：铂力特招股书、激光制造网、CB insights、国海证券研究所

1.2.1、七大工艺及其子工艺原理：SLM 技术居于重要地位

粉末床熔融（PBF）：指通过热能选择性的熔化/烧结粉末床区域的增材制造工艺，子工艺包括选区激光熔融（SLM）、选区激光烧结（SLS）、电子束熔化（EBM/EBSM）和多射流熔融成形（MJF）。1）**SLM 技术**：指采用激光依据设定参数有选择地分层熔化烧结固体金属粉末，在制造过程中，金属粉末加热到完全融化后成形；工作原理是先在工作平台上铺一层金属粉末材料，计算机将物体的三维数据转化为一层层截面的 2D 数据并传输给打印机，然后激光束在计算机控制下按照截面形状对实体部分所在的粉末进行照射，选区内的金属粉末加热到完全融化后成形，继而形成一层固体零件截面层，当一层烧结完成后，工作台下降一截面层的高度，逐层循环上述过程直至整个物体成形；可选择金属材料包括钛合金、铝合金、高温合金、铜合金、不锈钢、模具钢、难熔金属等。2）**SLS 技术**：采用半固态液相烧结机制，原理为采用铺粉将一层粉末材料平铺在已成形零件上表面，并加热至恰好低于该粉末烧结点的某一温度，控制激光束按照截面轮廓在粉层上扫描，使粉末温度升至熔点，进行烧结并与下面已成形部分实现黏结，一层完成后工作台下降一层厚度，循环过程直至完成整个部件；选材广泛，包括尼龙、蜡、金属和陶瓷粉末等都可以作为烧结对象，成形过程无需支撑。3）**EBM 技术**：指利用高密度的电子束在高真空环境下逐层熔化金属粉末，主要原理与 SLM 类似，区别是能量源不同，利用的是电子束实时偏转实现熔化成形；与 SLM 相比具有更大的功率密度、更高的成形件致密度、更快的制造速度和更广的材料范围等优势，但较难同激光束一样聚焦出细微的光斑，因此成形件尺寸精度不高。4）**MJF 技术**：由惠普公司自主研发，主要原理为铺设成形粉末，喷射熔融辅助剂到打印部分，使粉末材料充分熔化，喷射细化剂到打印区外边缘，进行隔热，最后在成形区域施加能量使粉末熔融，重复上述过程直至加工完成；这种方式可以保证没有打印的粉末保持松散状态，粉末再利用率达 80%（普通

SLS 为 50%)，并能保证打印层表面光滑、提高打印件的精细度；可用材料主要为尼龙。

图 3：选区激光熔融（SLM）成形原理图

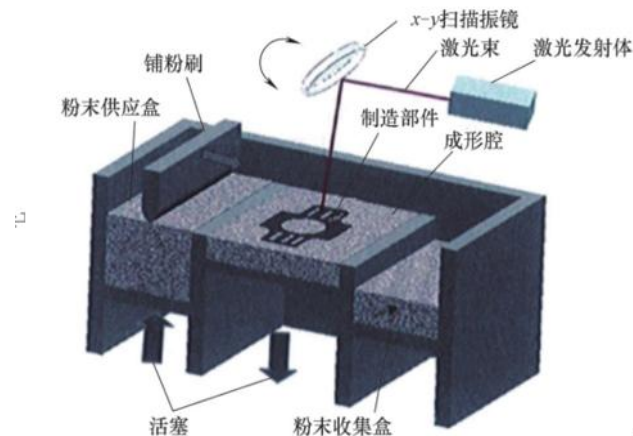
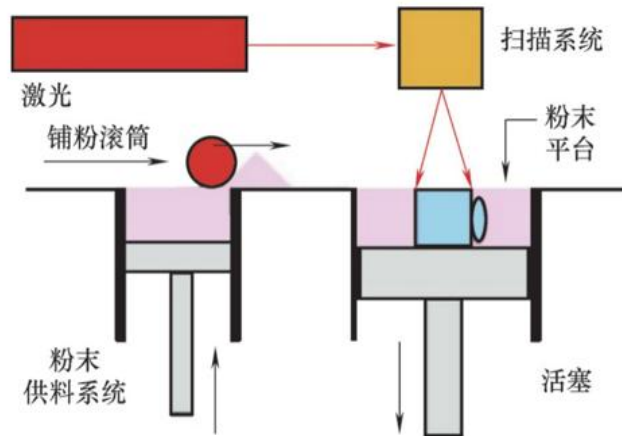


图 4：选区激光烧结（SLS）成形原理图



资料来源：《中国战略性新兴产业研究与发展：增材制造》、广东省增材制造（3D 打印）产业技术路线图

资料来源：《中国战略性新兴产业研究与发展：增材制造》

图 5：电子束熔化（EBM/EBSM）成形原理图

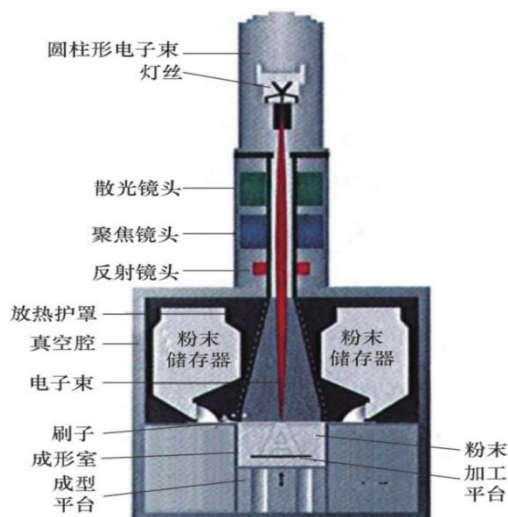
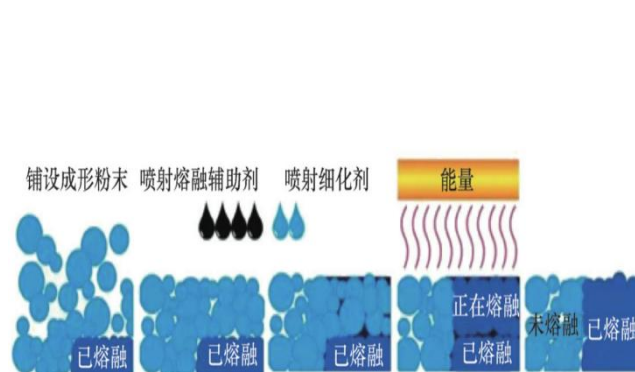


图 6：多射流熔融成形（MJF）成形原理图



资料来源：《中国战略性新兴产业研究与发展：增材制造》、广东省增材制造（3D 打印）产业技术路线图

资料来源：《中国战略性新兴产业研究与发展：增材制造》、惠普公司

定向能量沉积（DED）：是指利用聚焦热能熔化材料的即熔即沉积增材制造工艺，子工艺包括激光近净成形 LENS（也称激光同步送粉技术、激光定向能量沉积 L-DED 和激光金属沉积 LMD）、电子束熔丝沉积技术（EBDM/EBF³）和电弧熔丝增材制造（WAAM），其中 LENS 的研究及应用较多。**1）LENS 技术：**主要成形过程为聚焦激光束在控制下按照预先设定的路径移动，同时粉末喷嘴将金属粉末（或丝状材料）直接输送到激光光斑在固态基板上形成的熔池，使之按由点到线、由线到面的顺序凝固，从而完成一个层截面的打印工作，这样层层叠加，制造出近净形的零部件实体；可用材料主要是成形比较成熟的金属合金粉末材料，包括不锈钢 304/316、工具钢 H13、钛合金 Ti6-4、镍基合金 IN625/IN718 等。**2）EBDM 技术：**在真空环境中，以电子束为热源、金属丝材为成形材料，

通过送丝装置将金属丝送入熔池并按设定轨迹运动,直到制造出目标零件或毛坯;可以直接成形铝、镍、钛或不锈钢等金属材料,也可将两种材料混合在一起。**3) WAAM 技术:** 用低成本的电弧取代激光和电子束作为熔化金属的热源,形成一种成本大幅降低的大尺寸高效率金属增材制造技术,其打印效率较高,成本低廉,很方便打印数米大小的零件,非常适合于 LENS 技术较难制造的高反射性的铝合金。

图 7: 激光近净成形 (LENS) 成形原理图

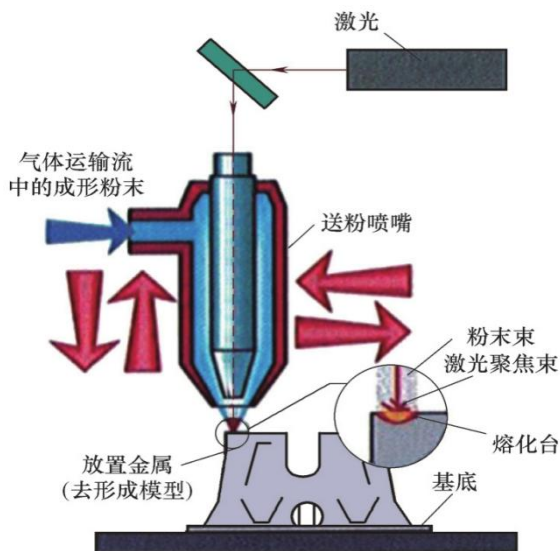


图 8: LENS 450 定向能量沉积装备



资料来源:《中国战略性新兴产业研究与发展:增材制造》、广东省增材制造(3D 打印)产业技术路线图

资料来源:《中国战略性新兴产业研究与发展:增材制造》

图 9: 电子束熔丝沉积 (EBDM) 成形原理图

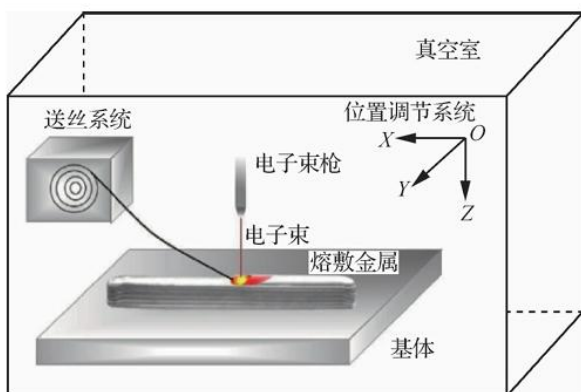
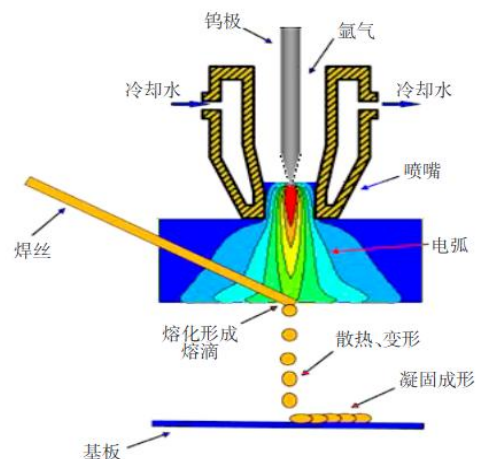


图 10: 电弧熔丝 (WAAM) 成形原理图



资料来源:《太空环境下电子束原位制造技术》(曾如川等, 2018)

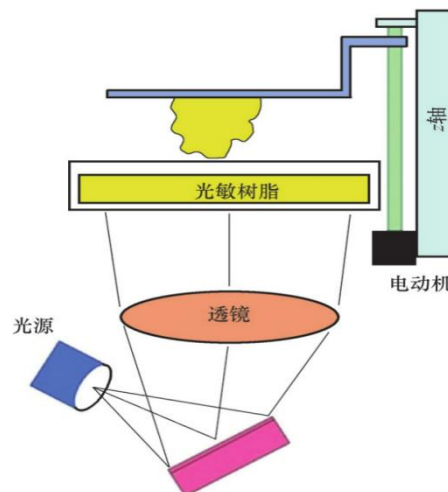
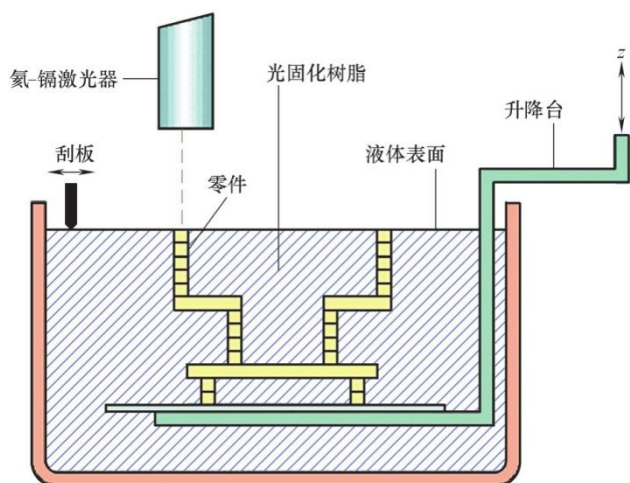
资料来源:《电弧熔丝增材制造综述:物理过程、研究现状、应用情况及发展趋势》(李岩等, 2020)

立体光固化: 指通过光致聚合作用选择性地固化液态光敏聚合物的增材制造工艺,代表性工艺有立体光固化成形 (SLA)、数字光处理 (DLP) 等。**1) SLA 技术:** 以光敏树脂为原料,通过计算机控制紫外激光束使其凝固成形;主要成形过程为用容器盛满液态光敏树脂,氦-镉激光器或氩离子激光器发出的紫外激光束在控

制系统控制下按零件分层截面数据信息在光敏树脂表面进行逐点扫描,使被扫描区域的树脂薄层产生光聚合反应而固化,形成零件薄层。一层固化后,工作台下一移一个层厚距离,以便在原先固化好的树脂表面再敷上一层新的液态树脂,刮板将黏度较大的树脂液面刮平,然后进行下一层的扫描加工,新固化的一层黏结在前一层上,如此重复直至完成零件制造;可用材料为液态形式的光敏热固性聚合物。**2) 数字光处理技术(DLP):**是立体光固化成形的变种形式;在加工产品时,利用数字微镜元件将产品截面图形投影到液体光敏树脂表面,使照射的树脂逐层进行光固化。由于每层固化时是通过幻灯片似的片状固化的,因而速度比同类型的立体光固化成形速度更快。

图 11: 立体光固化成形(SLA)成形原理图

图 12: 数字光处理成形原理图

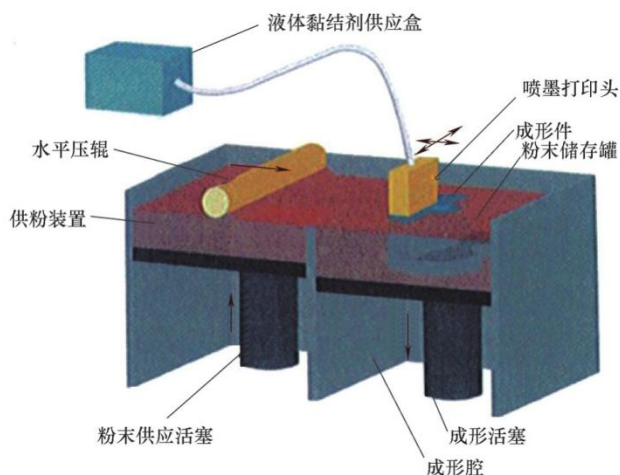


资料来源:《中国战略性新兴产业研究与发展:增材制造》

资料来源:《中国战略性新兴产业研究与发展:增材制造》

粘结剂喷射:指选择性喷射沉积液态黏结剂、黏结粉末材料的增材制造工艺,代表性工艺有三维立体打印技术(3DP)。该技术通过喷头喷出的黏结剂将铺有粉末的各层固化,以创建三维实体原型;从工作方式来看,三维立体打印与传统二维喷墨打印最为接近。具体成形过程为:1)粉末通过水平压辊平铺于平台之上;2)将带有颜色的胶水通过加压方式输送到打印头中存储;3)系统根据三维模型数据将胶水混合并选择性喷射在粉末平面;4)一层黏结完成后,打印平台下降,水平压辊再次将粉末铺平,开始新一层的黏结,如此反复层层打印,直至整个模型黏结完毕。

图 13: 三维立体打印 (3DP) 成形原理图



资料来源:《中国战略性新兴产业研究与发展:增材制造》、
广东省增材制造(3D打印)产业技术路线图

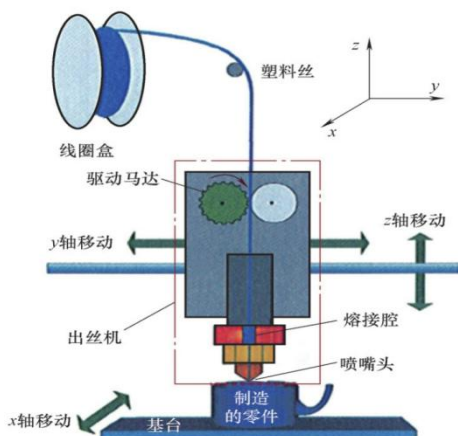
图 14: DM P2500 高精度黏结剂喷射金属增材制造装备



资料来源:《中国战略性新兴产业研究与发展:增材制造》

材料挤出:指将材料通过喷嘴或孔口挤出的增材制造工艺,代表性工艺是熔融沉积成形(FDM)。其主要成形过程为丝状热塑性材料通过喷头加热熔化,喷嘴头底部带有微细喷嘴(直径一般为0.2~0.6mm),在计算机控制下,喷嘴头根据分层截面模型数据做xy平面运动,将熔融状态下的液体材料挤喷出来并最终凝固;一个层面沉积完成后,工作台沿z轴方向按预定增量下降一层厚度的距离,喷嘴头再进行下一层截面的扫描喷丝,如此反复逐层沉积,直到最后一层,最终逐层由底到顶地堆积成一个实体模型或零件。该技术可选材料主要包括各种色彩的工程塑料ABS、PC、PPS以及医用ABS等。

图 15: 熔融沉积成形 (FDM) 原理图



资料来源:《中国战略性新兴产业研究与发展:增材制造》、
广东省增材制造(3D打印)产业技术路线图

图 16: Stratasys F900 材料挤出增材制造装备

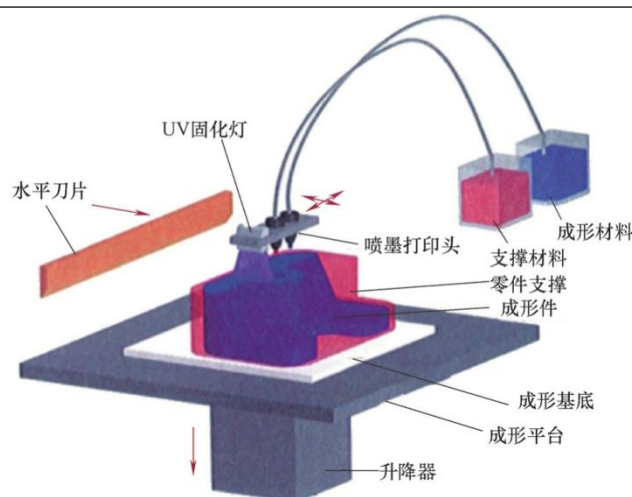


资料来源:《中国战略性新兴产业研究与发展:增材制造》

材料喷射:指将材料以微滴的形式选择性喷射沉积的增材制造工艺,代表性工艺有材料喷射成形(PolyJet)技术。该技术与传统喷墨打印机类似,由喷头将微滴光敏树脂喷在打印基底上,再用紫外光层层固化形成产品。其基本原理与

SLA、数字光处理（DLP）类似，主要成形过程为喷头根据分层截面模型数据做xy平面运动，光敏树脂喷射在工作台上，同时UV固化灯沿着喷头运动轨迹发射紫外光对工作台上的光敏树脂进行固化，完成一层打印；之后工作台沿z轴下降一个层厚，装置重复上述过程，完成下一层打印；重复前述过程，直至工件打印完成；去除支撑结构。该技术适用的光敏聚合物多达数百种，橡胶或刚性材料、透明或不透明材料、无色或彩色材料、标准等级材料或生物相容性材料，以及用于医学领域的专用光敏树脂材料等。

图 17：材料喷射成形（PJ）原理图



资料来源：《中国战略性新兴产业研究与发展：增材制造》、广东省增材制造（3D 打印）产业技术路线图

薄材叠层：指将薄层材料逐层黏结以形成实物的增材制造工艺，代表性工艺是叠层实体制造技术（LOM）。主要成形过程为：运用 CO₂ 激光器进行系统切割，并按照计算机提取的横截面轮廓线数据，用激光将背面涂有热熔胶的纸片材切割出工件的内外轮廓，同时对非零件区域进行交叉切割，以便去除废料。第一层切割好后，送料机会把新一层纸片材叠加上去，工作台带动已成形的工件下降（通常材料厚度为 0.1~0.2mm），与带状片材（料带）分离；供料机构转动收料轴和供料轴，带动料带移动，使新层移到加工区域；工作台上升到加工平面；铺纸加热辊进行热压，工件层数增加一层，高度增加一个料厚；再在新层上切割截面轮廓，最终完成产品成形。原材料主要是纸片、塑料薄膜等片材。

图 18：叠层实体制造成形原理图

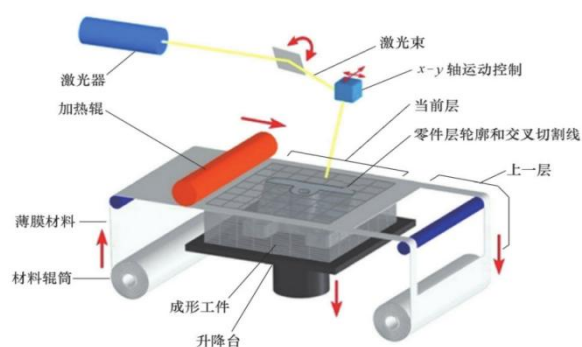


图 19：LOM-2030 型薄材叠层装备



资料来源：《中国战略性新兴产业研究与发展：增材制造》

资料来源：《中国战略性新兴产业研究与发展：增材制造》

1.2.2、工艺路线百花齐放，金属 3D 打印工业化应用最成熟

七大类 3D 打印技术包含不同的子工艺，工艺之间原理、所用材料、打印精度和应用领域等均有差异，目前呈百花齐放、多种技术路线共存的状态。随着科技和增材制造行业的发展，3D 打印技术应用场景已由早期的零件原型快速制备，拓展到直接制造终端零件，实现由“快速原型”向“快速制造”的转变。金属 3D 打印由于其工艺特点，具有成形结构精细和力学性能优越的突出优势，因此应用场景相对更广，工业化应用最成熟，尤其在航空航天、医疗和汽车等领域；其中 L-PBF 已实现广泛工业应用，DED 已形成工业化应用，据 Wohlers 2022 年 Senvol 数据库统计，全球 1026 件金属增材制造产品中，94% 均采用 PBF（902 件）和 DED（61 件）技术制造。未来随着金属 3D 打印技术进一步成熟和成本的进一步下降，有望得到更广泛的推广。

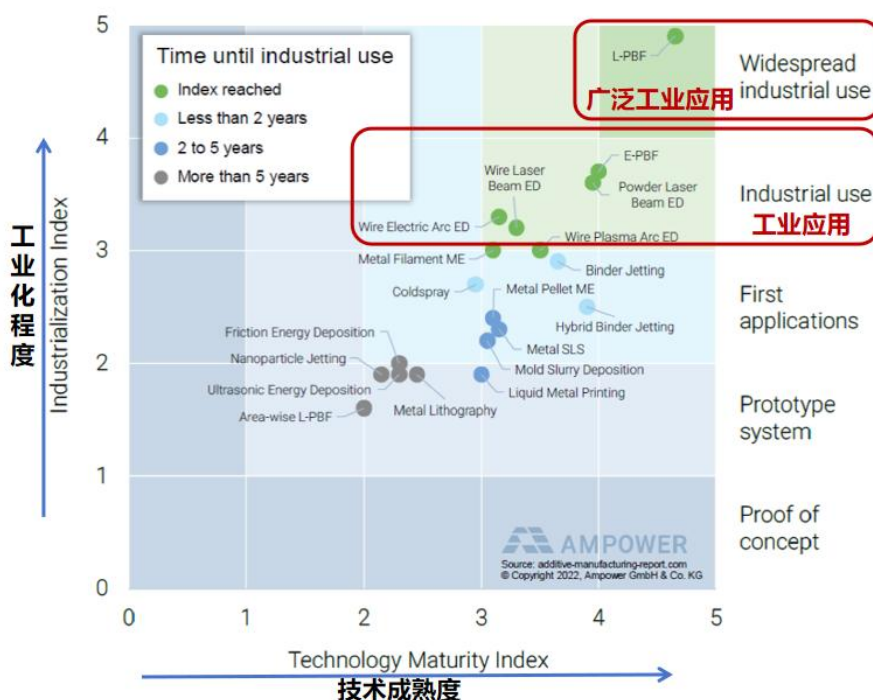
表 4：主流 3D 打印工艺对比总结

工艺类型	子工艺技术	时间	工艺特点及优缺点	打印精度	适用材料	应用领域
粉末床熔融 (PBF)	选区激光熔融 (SLM)	1995 年	成形过程具有很大柔性，能实现复杂结构件的整体制造；金属粉末完全熔化，得到冶金结合的高致密实体，显微组织细小均匀，综合力学性能高于铸件，并接近锻件；激光束能量密度高、光斑直径小，成形结构较为精细。	$\pm 0.3\%$ (下限 $\pm 0.3\text{mm}$)	金属材料 (钛合金、铝合金、铜合金、不锈钢等)	航空航天、军工、医疗、汽车、模具等
	选区激光烧结 (SLS)	1989 年	选材较为广泛，成形过程无须支撑。		塑料、金属和陶瓷粉末	汽车、家电、建筑、航空、电子、消费品及医疗等
	电子束熔化 (EBM/EB SM)	1994 年	具有更大的功率密度、更高的材料-电子束能量吸收率、更高的成形件致密度、更低的热应力和残余应力、更快的制造速度、更广的材料适应范围等优势；但电子束成形过程较难同激光束一样聚焦出细微的光斑，因此成形件难以达到较高的尺寸精度。		金属材料	航空航天高性能复杂零部件和医疗植入体制造等
	多射流熔融成形 (MJF)	2018 年	粉末再利用率和经济效益高、成形速度快、产品精度高。		尼龙 12	汽车、医疗保健和消费品等
定向能量沉积 (DED)	激光近净成形 (LENS)	1996 年	可以实现小规模零部件的无模制造、功能梯度材料打印、零部件修复和再制造；解决了复杂曲面零部件在传统制造中存在的切削加工困难、材料去除量大、刀具磨损严重等问题。主要瓶颈是粉末材料利用率较低，热应力大，零部件存在孔隙、裂纹等内部缺陷和不规则显微组织，影响其质量和力学性能。	$\pm 0.1\text{mm}$	成形比较成熟的金属合金粉末材料	航空航天、汽车、船舶等（制造或修复航空发动机和重型燃气轮机叶轮叶片以及轻量化汽车部件等）
	电子束熔丝沉积 (EBDM/EBF ³)	-	成形速率快、保护效果好、材料利用率高、能量转化率高；使用丝材，其成本比粉末大大降低、沉积速率更快，且不受真空环境限制，适合太空。		混合材料	飞机结构件设计，国际空间站或月球、火星表面加工备用结构件和新型工具等
	电弧熔丝 (WAAM)	新兴发展	大尺寸、高效率 and 低成本，适合于高反射性的铝合金，且由于同弧焊技术的兼容性好，弧焊		金属材料	-

			专业人员较容易掌握；发展很快、正迅速进入规模化的工业应用。			
立体光固化	立体光固化成形（SLA）	1983 年	成形速度快、精度高、表面质量高。	± 0.5% （下限为 ± 0.15mm）	液态形式的光敏热固性聚合物	航空航天、汽车、医疗、家用电器、文物保护等
	数字光处理（DLP）	1987 年	产品性能与立体光固化成形工艺相近，每层固化时是通过幻灯片似的片状固化的，因此成形速度更快，但受数字光镜分辨率限制，只能打印尺寸较小的产品。			在珠宝首饰领域的蜡模打印应用比较成熟；在工业、文创等领域的应用正快速普及
粘结剂喷射	三维立体打印（3DP）	1993 年	优点是成形速度快、大构建体积、价格相对低廉、出色的色彩再现、无支撑；缺点是产品力学性能一般较差，强度、韧性相对较低，通常只能做样品展示，不适用于功能性试验。	± 0.2mm（金属）或 ± 0.3mm（沙子）	沙子、聚合物、金属、陶瓷等	砂型铸造、建筑、工艺品、动漫和影视等
材料挤出	熔融沉积成形（FDM）	1988 年	优点是成本最低的 3D 打印方法，且速度快、使用方便、维护简单、体积小、无污染等；缺点是通常材料性能较低（强度、耐用性等），尺寸精度不高。	± 0.5%（下限 ± 0.5mm）	工程塑料 ABS、PC、PPS 以及医用 ABS 等	大众消费、工业制造、医疗、建筑、教育等（如产品外观评估、方案选择、装配检查、功能测试、用户看样订货、塑料件开模前校验设计）
材料喷射	聚合物喷射（PJ）	2000 年	能够快速、高精度地生成具有精致细节、表面平滑的最终用途零件。	± 0.1mm	光敏聚合物	航空航天、汽车、消费品、医疗等
薄材叠层	叠层实体制造（LOM）	1986 年	原材料易于获取，工艺成本较低，加工过程无化学反应，适合制作大尺寸产品；但由于该工艺 CO ₂ 激光器成本高、原材料种类过少、纸张的强度偏弱且容易受潮，现已逐渐退出增材制造的历史舞台。	± 0.1mm	纸片、塑料薄膜等片材	非功能原型、多色打印、铸模（应用较少）

资料来源：《中国战略性新兴产业研究与发展：增材制造》、南极熊 3D 打印、幻嘉科技 Coolsiga、《电子束熔丝沉积快速成形 2319 铝合金的微观组织与力学性能》（于菁等，2018）、铂力特招股书、国海证券研究所

图 20：金属 3D 打印已实现工业应用



资料来源：AMPOWER Report 2022、国海证券研究所（注：L-PBF 即 SLM、E-PBF 即 EBM、Powder Laser Beam ED 即 LENS、Wire Laser Beam ED 即 EBDM、Wire Electric Arc ED 即 WAAM）

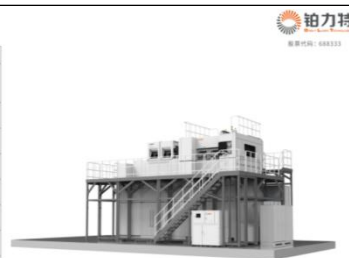
1.2.3、大尺寸、多激光、低成本是未来趋势

增材制造技术未来将向更大尺寸、更多激光、更高效率和更低成本方向发展。随着增材制造技术向生产终端环节拓展，对效率和成型尺寸的要求越来越高，多激光、大尺寸成为了粉末床激光成型工艺发展的新趋势，增材制造装备已经进入“米”级时代；国内多家企业包括铂力特、永年激光、华曙高科和易加三维等企业已研发推出“数十激光”+“米级幅面”的大型 SLM 打印设备，以铂力特产品 BLT-S1500 为例，设备成形尺寸为 1500×1500×1200mm，配备 26 激光器，最大成形效率可达 900cm³/h，提高成形尺寸的同时通过增加激光器数量大幅提升了打印效率。此外，智能传感器和数字总线技术等智能部件的融入将使增材制造装备更加智能化，未来技术的变革发展也将不断推动增材制造工艺成本的降低，以更好地向直接制造最终功能零件发展。

图 21：BLT-S1500 技术参数

BLT-S1500 技术参数

参数指标	BLT-S1500
最大成形尺寸 ⁽¹⁾ (W×D×H)	1500mm×1500mm×1200mm
激光功率	500W×26
光学结构	F-θ 镜
铺粉机构	单/双向铺粉（单刮刀）
最大成形效率 ⁽²⁾	900cm³/h
氧含量	≤100ppm
工作气消耗	10~15L/min@0.3MPa
过滤系统	并联长效型过滤器
粉末处理	自动粉末循环系统
可打印材料	钛合金、铝合金、高温合金、不锈钢、高强钢



(1) 成形尺寸不含 200mm 厚基材厚度
(2) 成形效率与零件的形状、尺寸、材料参数有关
(3) 设备外形数据为理论尺寸，实际设备受配置影响，以现场装机为准

资料来源：铂力特官网

1.3、行业政策

1.3.1、欧美等海外国家政策：重点发展金属增材和在航空航天中的应用

欧美国家对 3D 打印行业的发展非常重视，从上世纪至现在政府均投入了较多的支持，金属 3D 打印和在航空航天领域的应用是重点对象。其中，美国的支持力度较大，率先将 3D 打印产业上升至国家战略发展高度，奥巴马政府和拜登政府相继实施了系列计划引领技术创新和产业化，并把航空航天、国防、医疗作为重点领域；欧盟及成员国注重发展金属 3D 打印技术，建立了多个 3D 打印项目和中心，产业发展和技术应用走在世界前列；日本则发表白皮书，全力振兴 3D 打印产业，并重点发展金属 3D 打印。

表 5：部分国家支持 3D 打印行业的政策梳理

国家	时间	政策内容
美国	2009 年	奥巴马政府发布《振兴美国制造业框架》的政策纲要，提出从七个方面推进“再工业化”，其将人工智能、3D 打印、机器人作为重振美国制造业的三大支柱产业， 3D 打印是第一个得到政府扶持的产业 。
	2012 年	3 月奥巴马政府批准投资 10 亿美元设立国家制造业创新网络（NNMI），NNMI 将由 15 所区域性制造业创新研究所构成，旨在通过官产学研合作方式，加强制造业创新和美国制造业的全球竞争力。 其中，增材制造为列入优先考虑的范畴 。8 月 NNMI 成立了国家增材制造创新学会，其中政府投资 3,000 万美元，企业投资 4,500 万美元，主要由联邦政府负责管理和组建，是一个产学研结合的机构。
	2015 年	根据美国机构 IDA2015 年的报告，美国 the National Science Foundation（NSF）为 AM 研究提供了近 600 项资助，过去 25 年资金超过 2 亿美元。
	2017 年	美国食品和药物管理局（FDA）发布了增材制造的医疗设备指南，包括对增材制造部件或增材制造设备进行测试的建议；在航空航天行业，美国联邦航空管理局（FAA）制定了为期八年的增材制造路线图，涵盖制造和认证政策，且项目受到了 2018 年政府预算的支持，FAA 还批准了商用发动机 3D 打印部件的制造。
	2022 年	拜登政府启动了“AM Forward”计划，将让美国政府和大型跨国公司以及各种方式支持 3D 打印计划和中小企业，联邦政府的具体措施包括：为小型制造商提供融资，以更低的成本安装 3D 打印设备；向中小型制造商提供技术援助；制定 3D 打印劳动力培训课程和学徒计划；制定金属 3D 打印行业标准。
	2024 年	6 月 25 日，美国制造协会（America Makes）宣布开始征集 2024 年开放项目的申请，旨在为专业的 3D 打印领域提供新一轮资金支持；美国国防部副部长办公室、研究与工程制造技术办公室将提供 210 万美元（约合 1525 万人民币）的资金进行支持，旨在加速国防和商业应用领域的 3D 打印技术的开发和部署。
欧洲	1991-2013 年	1984-1987 年“第一个框架计划(FP)”期间就为 3D 打印项目提供资金；随后的框架计划，从 1988-2013 年，为 3D 打印提供了持续的支持。 1991- 2013 年期间设立了 88 个 3D 打印相关项目 。
	2013 年	德国政府为 3D 打印在未来 10 年在科研、教育、产业、环保、知识产权等领域的工作目标做出了宏观布局。根据德国政府 2013 年公布的数据，除去公共资金对高校和科研院所每年数十亿欧元常规性投入以外， 德国对 3D 打印的科研定向投入已超过 2,000 万欧元 。
	2014 年	1 月，英国政府宣布将投资 1,530 万英镑创建一个国家级 3D 打印中心。并将制定英国首个国家级 3D 打印中心的发展计划；该中心于 2015 年正式运营， 重点支持航空航天领域，同时也将支持汽车和医疗等行业 。
日本	2014 年	日本发表制造业白皮书，重点发展机器人、下一代清洁能源汽车、再生医疗以及 3D 打印技术。日本政府在 2014 年投入 40 亿日元，由经济产业省组织实施“以 3D 打印为核心的制造革命计划”。该计划分为两个主题：“ 新一代企业级 3D 打印机技术开发 ”主题以金属材料 3D 打印机为对象，而“超精密 3D 成形系统技术开发”主题以砂模材料 3D 打印机为对象。

资料来源：铂力特公告、《3D Printing Overview, Impacts, and the Federal Role》CRS、3D Printing Asia 官网、3dsciencevalley 官网、3dprint 官网、中国 3D 打印网、国海证券研究所

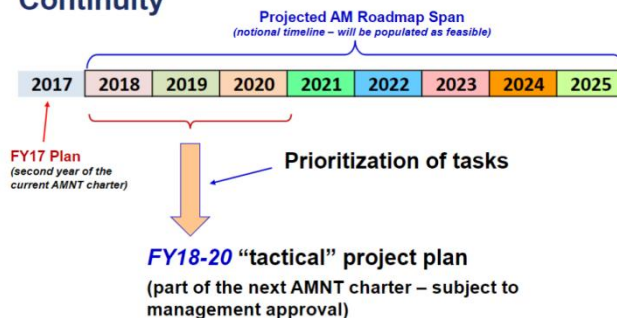
图 22：各国家及地区 3D 打印发展方针



资料来源：铂力特公告

图 23：FAA 增材制造路线图

Tie-in Between the Multi-year Roadmap and 2-year AMNT Project Plan Will Ensure Continuity



资料来源：《Additive Manufacturing Roadmap Update》
(FAA)

1.3.2、国内政策：将增材制造列入战略发展层面，PBF、DED 工艺作为重要方向

我国增材制造技术于上世纪 90 年代初起步，得到了 863 计划和 973 计划支持，后续为推动产业发展，国家先后颁布了一系列法规政策，将增材制造列入战略层面，并且将 SLM、SLS 等粉末床熔融工艺及 DED 工艺作为重点方向。经过多年发展目前我国总体科研和技术与世界先进水平接近，其中金属高性能增材制造技术处于世界先进水平。

表 6：国内支持 3D 打印行业的政策梳理

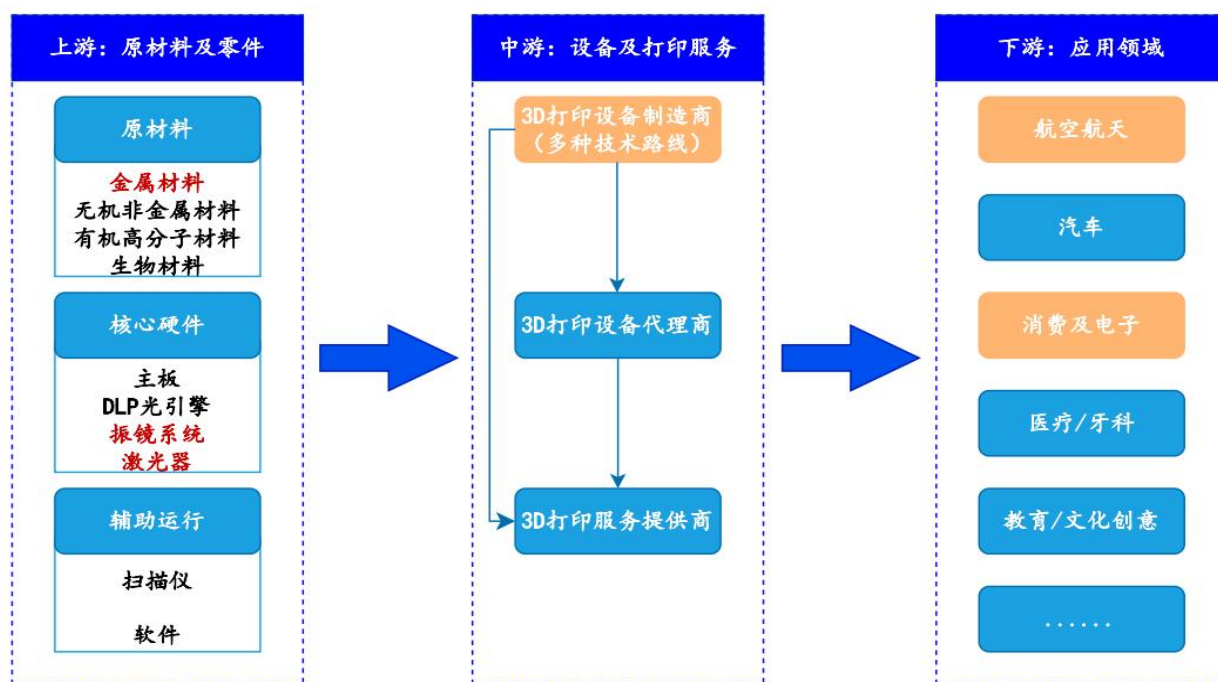
时间	部门	文件	政策内容
2015 年	工信部、发改委、财政部	《国家增材制造产业发展推进计划（2015~2016 年）》	首次明确将增材制造列入到国家战略层面，并提出计划到 2016 年，初步建立较为完善的增材制造产业体系，整体技术水平保持与国际同步，在航空航天等直接制造领域达到国际先进水平，在国际市场上占有较大的市场份额。
2017 年	工信部、发改委等十二部门	《增材制造产业发展行动计划（2017-2020 年）》	明确目标，到 2020 年，增材制造产业年销售收入超过 200 亿元，年均增速 30% 以上；关键核心技术达到国际同步发展水平，工艺装备基本满足行业应用需求，在部分领域实现规模化应用。
2019 年	财政部、发改委等	《国家支持发展的重大技术装备和产品目录（2019 年修订）》	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。
2021 年	国务院	《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》	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。
	工信部、发改委等	《“十四五”智能制造发展规划》	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。
2022 年	科技部	《“十四五”国家重点研发计划重点专项 2022 年度项目申报指南》	“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。

资料来源：铂力特招股书、华曙高科招股书、国海证券研究所

2、行业产业链分析

增材制造经过几十年的发展已经形成了一条完整的产业链。上游为原材料及零件，包括 3D 打印原材料、核心硬件和软件等；中游以 3D 打印设备生产厂商为主，占据产业链的主导地位，据华经产业研究院数据，2021 年打印设备和服务在全球市场合计占比 80%，在中国市场合计占比 76%；下游应用覆盖航空航天、汽车工业、船舶制造、电子工业、模具制造、医疗健康、文化创意和建筑等多个领域，其中航空航天和消费电子是重点市场。

图 24：3D 打印产业链图谱



资料来源：铂力特招股书、华曙高科招股书、国海证券研究所

图 25：2021 年全球 3D 打印行业细分行业结构

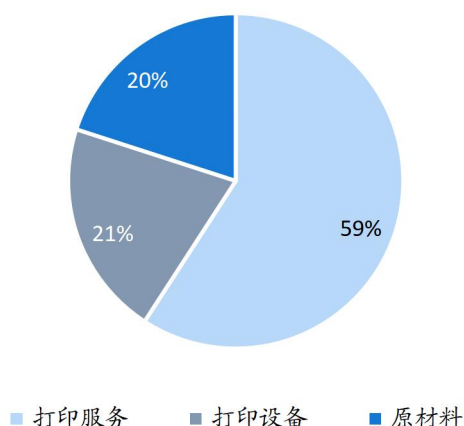
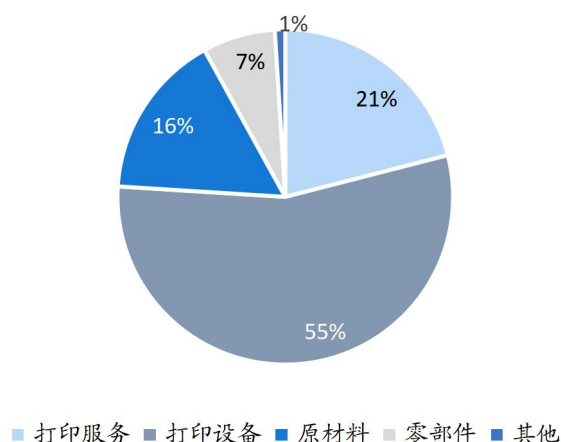


图 26：2021 年中国 3D 打印行业细分行业结构



资料来源：华经产业研究院、国海证券研究所

资料来源：华经产业研究院、国海证券研究所

2.1、行业上游：原材料及零件

2.1.1、原材料：金属粉末材料占比持续提升

3D 打印原材料是影响 3D 打印产品质量的重要因素之一，目前主要可分为金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料以及生物材料等几类。其中，光敏树脂、高分子粉末、丝材和金属粉末应用最为广泛，据 Wohlers Associates，2021 年在全球市场中销售额占比分别为 25%、35%、20%和 18%，且金属粉末的销售额和占比均呈现提升趋势，销售额由 2011 年的 0.18 亿美元增长至 2021 年的 4.73 亿美元，期间年复合增速达 39%，占比由 2015 年的 11%上升至 2021 年的 18%；据中商产业研究院，在国内市场，应用较多的金属粉末有钛合金、铝合金和不锈钢，合计占比 39.3%，其中钛合金占比最高，达 20.2%，其余应用较广的材料包括 PLA、树脂、尼龙、ABS 等有机高分子，合计占比 46.5%。与其他材料相比，金属粉末材料在比强度、比刚度等力学性能上有显著优势，适用于先进制造业，尤其是航空航天、军工等领域，预计其未来销售额和占比将继续保持上升趋势，增长空间广阔。

图 27：2015-2021 年全球增材制造原材料销额占比

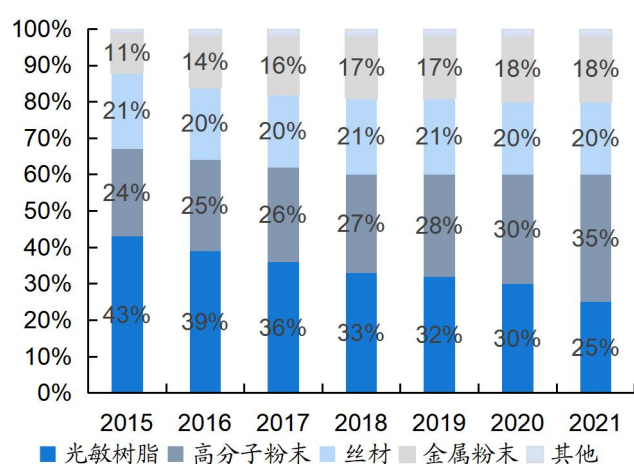
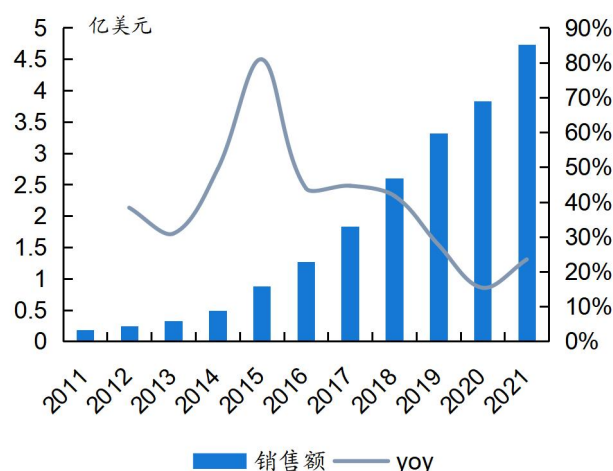


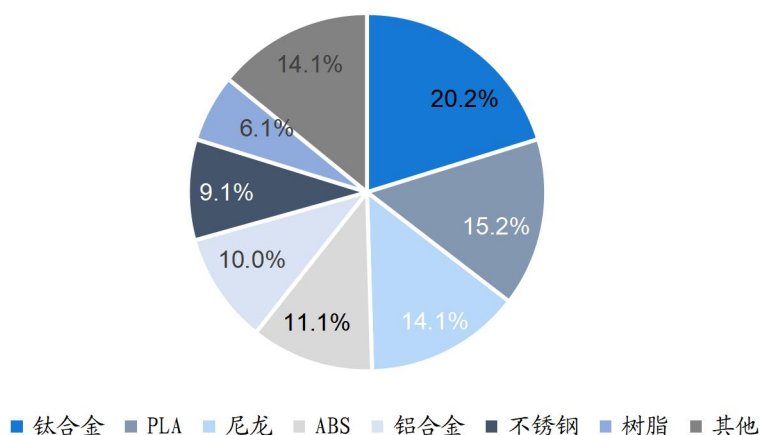
图 28：2011-2021 年全球金属增材制造材料销售额及增速



资料来源：立鼎产业研究院、Wohlers Associates、国海证券研究所

资料来源：铂力特招股书、和诚毕择咨询、Wohlers Associates、国海证券研究所

图 29：中国增材制造原材料市场占比



资料来源：中商产业研究院、国海证券研究所（注：或因四舍五入原因份额加总不为 100%）

表 7：3D 打印材料分类、特性及应用

材料	细分类型	材料特性	缺点	应用场景
金属材料	钛合金	比强度高、耐腐蚀和生物相容性好、耐热性高	制备成本高、品质控制难、产品易疏松	航空航天零部件：飞机发动机压气机部件，火箭、导弹等各种结构件；医疗：骨骼、牙齿等人工植入体
	铝合金	密度低、耐腐蚀性能好、抗疲劳性能较高，且具有较高的比强度、比刚度		
	钴铬合金	腐蚀性能和机械性能优异		
	不锈钢	耐空气、蒸汽、水等弱腐蚀介质和酸、碱、盐等化学浸蚀性介质腐蚀		适合打印尺寸较大的物品
工程塑料	PLA（聚乳酸）	FDM 最常用的耗材，可降解环保塑料，价格便宜、打印性能较好、具有良好的生物相容性	产品易出现各向不同性	教育、医疗、建筑、模具设计等
	ABS	FDM 最常用的耗材，价格便宜、强度高、韧性好、耐冲击		汽车、家电、电子消费品等
	PA（尼龙）	SLS 的主要耗材之一，致密度和强度高，也具备一定柔韧性		用于发动机周边零件、门把手套件、刹车踏板等
	PC	高强度、耐高温、抗冲击、抗弯曲		玻璃装配业、汽车工业和电子、电器工业
光敏树脂材料	光敏树脂	低留灰率、韧性好、精度和表面质量佳	加工速度慢、有一定污染	汽车、家电、电子消费品
陶瓷材料	陶瓷	高强度、高硬度、耐高温、低密度、化学稳定性好、耐腐蚀	熔点较高，难以利用外部能场进行直接成形，制备成本高、品质控制难	航空航天、汽车、生物等
复合材料	碳纤维复合材料	将单一材料与碳纤维混合，综合提升产品强度、粘合度和耐热度，并优化产品重量等物理性质	-	电子消费品、家电、汽车制造、航空航天、医疗器械等
	高分子复合材料	耐高温、耐腐蚀、高阻燃性和优异的力学性能		汽车制造、航空航天、医疗器械等
细胞生物原料	细胞生物原料	生物相容性好	产量低、配套的 3D 打印设备技术要求高	与医学、组织工程相结合，可制造出药物、人工器官

等用于治疗疾病

资料来源：华经产业研究院、前瞻产业研究院、《3D 打印材料及其应用概述》（陈双等，2018）、3D 打印世界、国海证券研究所

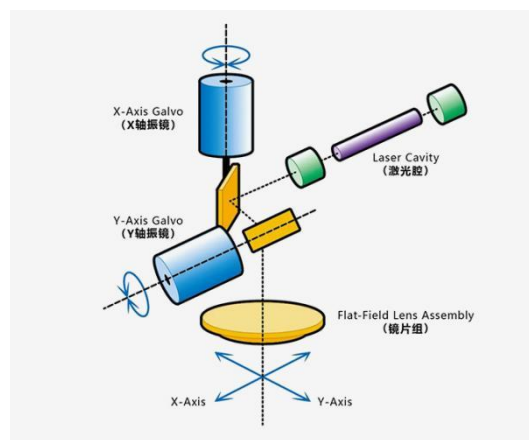
2.1.2、振镜和激光器：价值量占成本 40%

增材制造所使用的核心硬件包括振镜和激光器等，价值量占整个设备成本的 40%。振镜和激光器是 3D 打印设备的核心硬件，价值量占比较高，据国际金属加工网和南极熊 3D 打印，激光器一般占整机设备（金属）成本的 20%以上，激光器和振镜合计占据 40%左右的成本。**1）激光器：**激光是受激辐射产生的光，因方向性强、能量密度高等特点而具有高加工精度及速度优势；目前用于 3D 打印的主流激光器种类包括光纤激光器、固体激光器、半导体激光器和二氧化碳激光器，3D 打印机会根据成型材料的不同匹配不同的激光器。**2）振镜系统：**包括扫描振镜和振镜控制系统。扫描振镜是一种用于激光加工领域的矢量扫描器件，具有小惯量、高速扫描、精准定位和闭环反馈控制等特点；由光学扫描头、电子驱动放大器和光学反射镜片组成，靠两个振镜反射激光，形成 XY 平面的运动。振镜控制系统由振镜电机、激光反射镜片、控制驱动板组成；其将激光束入射到振镜，并通过计算机控制振镜的反射角度，实现激光束的偏转，使具有一定功率密度的激光聚焦点在打标材料上按所需的要求运动，从而在材料表面上留下永久的标记。

图 30：深圳 JPT 连续光纤激光器



图 31：振镜系统工作原理



资料来源：南极熊 3D 打印

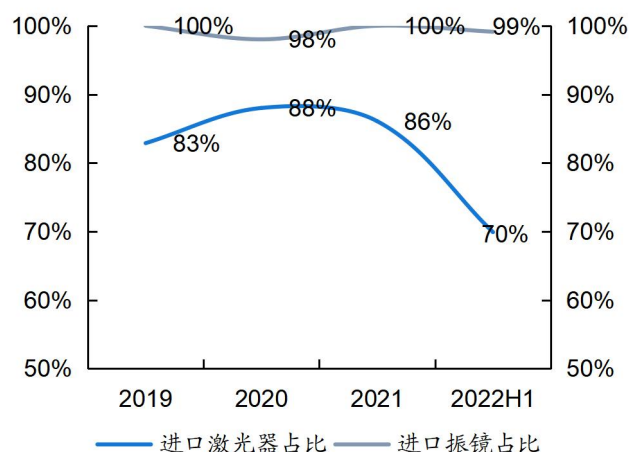
资料来源：南极熊 3D 打印

激光器和振镜系统较大程度依赖进口，具有国产替代空间。目前，这些核心硬件多数采购自美国、德国等，据华曙高科招股说明书，2021 年激光器和振镜平均进口比例分别为 86%和 100%，很大程度依赖进口；但随着国产振镜和激光器的研制成功及性能提升，已实现部分进口替代，其中激光器的国产化进程更快，而振镜控制系统中低端市场已基本实现国产化，在高端应用领域仍然由美国 CTI、德国 Scanlab 和 Raylase 等国外企业占据，在高精度标刻、划线、钻孔领域，国产振镜与国外厂商仍有较大差距。

随着金属 3D 打印对效率要求的提高。多激光成为其实现高效率、大尺寸及批量制造的升级成型工艺，是粉末床激光成型工艺发展的新趋势。目前很多金属 3D 打印设备厂商已经开发出多激光器金属 3D 打印机，包括 SLM Solutions、3D

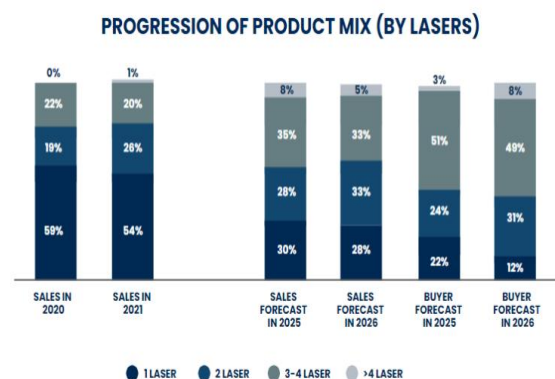
Systems、EOS 和铂力特等，以 Renishaw 的 RenAM 500Q 系统为例，其配备了 4 个 500 W 激光器，制程速度是单激光系统的 4 倍，且保持了较好的精度与质量。据 SLM Solutions 预测，未来多激光设备销量占比将持续提高。

图 32：2019-2022H1 华曙高科进口激光器和振镜的比例



资料来源：华曙高科招股书、国海证券研究所

图 33：SLM Solutions 对多激光设备销量占比的预测



资料来源：SLM Solutions annual report 2022

2.2、行业中游：打印设备占据产业链主导地位，设备商逐步转型综合方案提供商

增材制造行业中游包括 3D 打印设备及设备技术服务，其中 3D 打印设备是中游、也是整个产业链的核心主体。参与主体包括增材制造设备制造商、增材制造服务提供商、各类代理商等。工业级打印设备得到推广，市场前景好，其中金属 3D 打印设备逐渐成为主流。

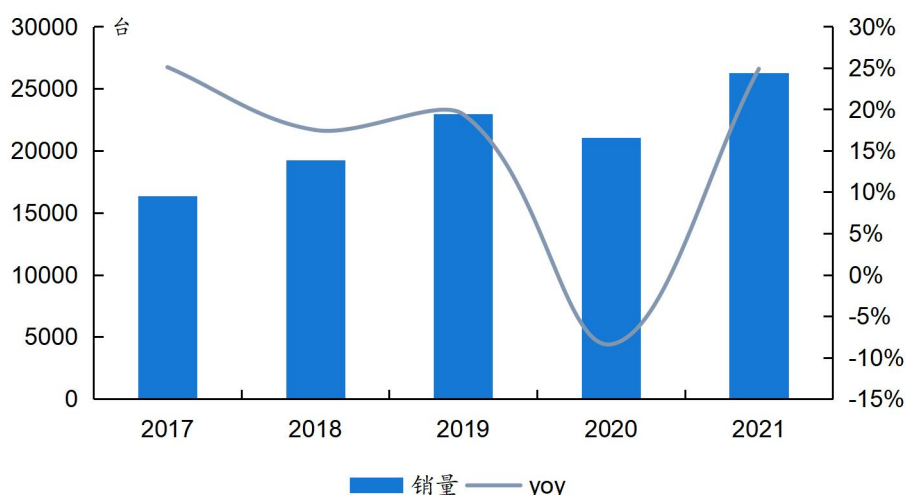
按应用领域，增材制造设备可分为桌面级打印机和工业级打印机。桌面级打印机主要客户是个人和家庭，应用在消费和教育行业居多，因此打印技术要求低于工业级，且价格也更便宜。近年来随着国外桌面级打印机相关专利保护到期，技术壁垒下降，国内桌面级打印机厂家数量迅速增长，新进企业增多，加大了国内桌面级增材制造市场的竞争程度，处于量大价低阶段。与桌面级打印机市场相比，工业级打印机技术壁垒高，资本投入大，一直以来发展较为缓慢，但当前工业级增材制造产业受到政府大力支持，应用场景不断拓展，整个市场呈现快速增长趋势：据 Wohlers Report 数据，2021 年全球工业级增材制造设备销售额为 34.17 亿美元，同比增长 13.40%；除 2020 年受疫情影响，设备销量下滑，其余年份增速均较快，2021 年全球设备共销售了 26,272 台，同比增长 24.90%。工业级增材制造可广泛运用于传统产业转型升级和战略性新兴产业发展，随着增材制造技术的逐渐成熟和成本的不断降低，市场前景可观。

表 8：桌面级和工业级 3D 打印设备对比

	桌面级	工业级
价格	几千元	60 万元到 1000 万元不等
打印技术	FDM、SLA、PJ	SLM、SLS、DED 等
打印速度	较低：多采用 16 位和 32 位芯片，在 SLA 技术上扫描速度多为 1m/秒	快：基本采用 64 位以上芯片，在 SLA 技术上扫描速度可达 7m-15m/秒
打印精度	基本在 0.3mm-0.6mm	0.05mm-0.2mm
打印可靠性	70%多	几乎 100%
打印过程的自检功能	几乎对打印过程没有自动校正和检测功能	标配
打印尺寸	较小	较大，适合规模化生产
打印材料	通常适用于常见塑料材料如 PLA 和 ABS 等	更广泛，包括金属、陶瓷、复合材料等高性能材料
应用领域	个人和家庭领域，比如创意设计、模型制作和手工艺品等；教育领域，用于学生的创造性实践和科学实验	航空航天、医疗器械、汽车制造等领域，用于生产模具、零部件和原型制作等
国内代表企业	创想三维、纵维立方	铂力特、华曙高科

资料来源：stratasys 官网、森工公司官网、激光制造网、中国工控网、36 氪、艾瑞咨询、创想三维官网、纵维立方官网、铂力特招股书、华曙高科招股书、国海证券研究所

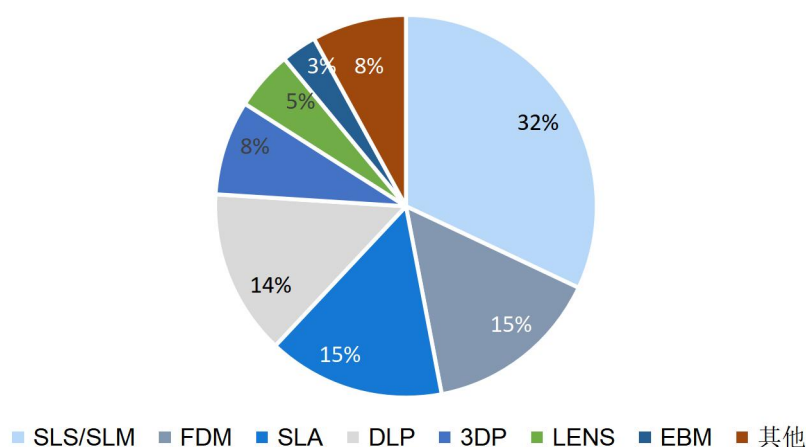
图 34: 2017-2021 年全球增材制造工业级设备销售量及增速



资料来源：和诚毕择咨询、Wohlers Associates、国海证券研究所（注：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）

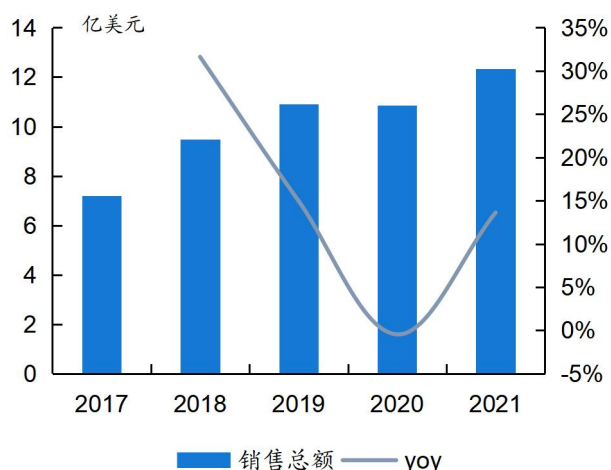
按适用原材料分类，可以分为金属 3D 打印和非金属 3D 打印。据艾瑞咨询统计，截至 2022 年 10 月，中国 3D 打印设备主要以 SLS、SLM 和非金属的 FDM 为主，前两者占比约 32%，FDM 占比约 15%，分别对应工业级和桌面级；金属 3D 打印（SLM、部分 SLS、LENS、EBM）占整体比例约 40%。从全球市场来看，得益于金属增材制造技术的成熟和设备的普及，近年来全球工业级金属增材制造设备稳步增长：根据 Wohlers Associates 统计数据显示，全球金属增材制造设备销售额呈上升趋势，2021 年达 12.34 亿美元，占全球工业级增材制造设备销售额的 36.11%，销量从 2017 年的 1768 台增长至 2023 年的 3793 台，年复合增长率 13.57%。金属 3D 打印凭借优越的打印产品性能逐渐成为主流工艺，据铂力特 2023 年报，金属 3D 打印是目前增材制造技术和产业发展中最为迅速的，已广泛用于航空航天、生物医药、工业模具和动力能源等相关领域，其未来应用场景有望继续深化，销量与份额继续提升，实现较高的增速。

图 35: 中国 3D 打印设备分工艺占比（截至 2022 年 10 月）



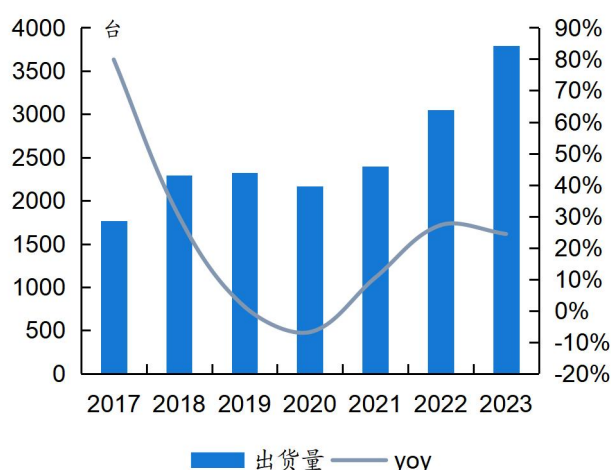
资料来源：36 氪、艾瑞咨询、国海证券研究所

图 36: 2017-2021 年全球金属 3D 打印设备销售额及增速



资料来源：和诚毕择咨询、Wohlers Associates、国海证券研究所

图 37: 2017-2023 年全球金属 3D 打印设备销量及增速



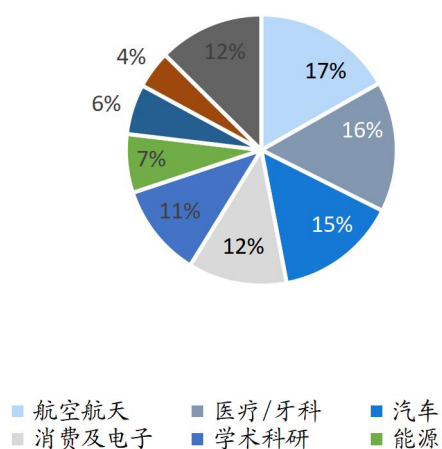
资料来源：前瞻产业研究院、和诚毕择咨询、Wohlers Associates、国海证券研究所

3D 打印产业链整合加剧，设备商转变为综合方案提供商。3D 打印的核心专利大多被设备厂商掌握，因此在整个产业链中占据主导地位，这些设备生产厂商大多亦提供打印服务业务；近年来，3D 打印行业整合加剧，通过并购 3D 打印软件公司、材料公司、服务提供商等，设备生产企业转变为综合方案提供商，加强了对产业链的整体掌控能力。

2.3、行业下游：涵盖航空航天、汽车、医疗及消费电子等领域

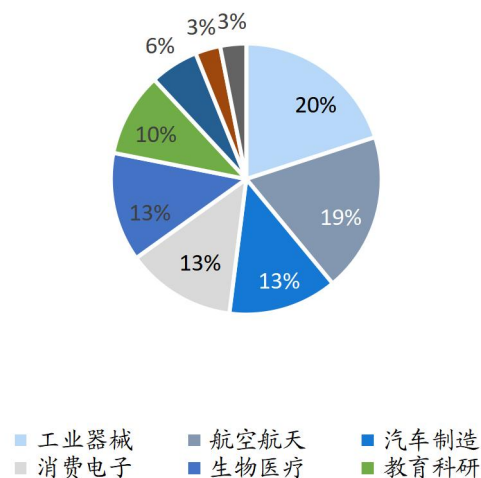
增材制造目前已被广泛应用于航空航天、汽车、医疗等领域，并逐渐应用于消费电子等新兴领域。目前 3D 打印技术在下游行业的应用方式主要分为直接制造、设计验证和原型制造。直接制造是指根据三维模型，直接用增材制造技术生产最终产品，具有产品定制性强与产品精度硬度高的特点，是未来增材制造技术的主要发展趋势。与传统制造相比，采用增材制造技术进行设计验证及原型制造，可节约时间与经济成本。从全球市场来看，根据 Wohlers Report 2022，2021 年增材制造主要应用于航空航天、医疗/牙科、汽车、消费及电子产品等领域，其中航空航天应用最多，占比 17%。据艾瑞咨询，从中国市场来看，主要应用领域包括工业器械、航空航天、汽车制造和消费电子等，其中航空航天是第二大市场，截至 2022 年 10 月占比为 19%；同时，我国 3D 打印以工业级应用为主，据艾瑞咨询统计，工业级应用在整体应用领域中占比 65%-70%，航空航天是工业级应用的主要市场，其在工业级应用中占比 58%，消费级应用在整体应用领域中占比 30%-35%，主要包括教育科研、艺术模型制造和消费电子。

图 38: 2021 年全球增材制造下游领域占比



资料来源: Wohlers Report 2022、华曙高科招股书、国海证券研究所

图 39: 中国增材制造下游领域占比 (截至 2022 年 10 月)



资料来源: 36 氪、艾瑞咨询、国海证券研究所

3、航空航天应用：3D 打印应用最深的领域

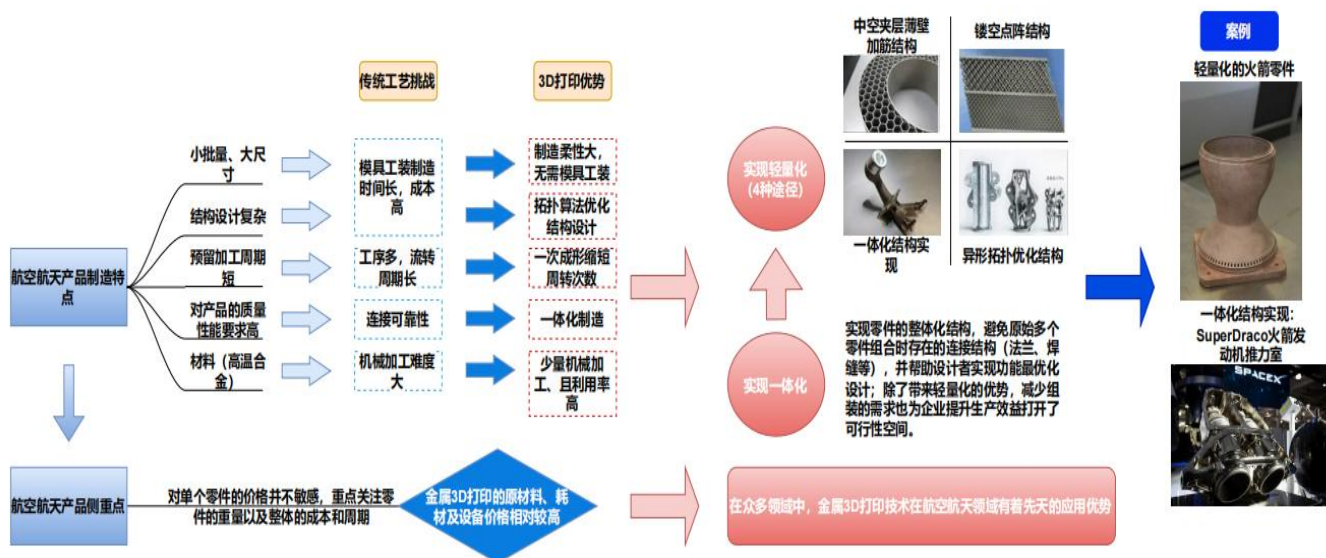
因增材制造更适用于轻量化、结构优质化和集成化要求的产业，且航空航天对 3D 打印的需求弹性相对较小、功能敏感性高，是 3D 打印需求最落地、应用最深入、需求最旺盛的领域，3D 打印未来渗透率有望继续提高并充分受益于航空航天市场规模的扩张，增量空间较大。

3.1、3D 打印在航空航天领域的应用价值：轻量化和一体化

3.1.1、应用优势：实现复杂结构件的轻量化及一体化制造

3D 打印可以实现复杂结构件的轻量化和一体化制造，在航空航天领域具有突出的优势和广阔的应用前景。航空航天产品一般批次数小、尺寸大，产品的预留加工周期短，且对其质量性能要求高；火箭发动机系统的零件大多采用高温合金材料，机械加工难度大，加工周期长，同时其零件结构复杂，有大量的不规则曲面和内流道等，以上因素加大了发动机零件的制造难度，给发动机的制造过程带来了工艺复杂、工序长、周转次数多等一系列问题。传统工艺批量制造的成本和周期优势在航空航天领域体现不显著，而 3D 打印技术在几何设计和优化自由、功能和零件整合、材料利用率、定制和小批量生产，以及缩短制造周期方面具有显著优势，可以实现复杂结构件的轻量化和一体化制造，成为当今航空航天工业制造技术升级的利器。另一方面，航空航天产品对单个零件的价格并不敏感，重点关注零件的重量以及整体的成本和周期，而金属 3D 打印的原材料和设备成本相对较高，在其他对价格敏感的领域应用受限，但在航空航天领域有先天的应用优势。

图 40：3D 打印在航空航天领域的应用优势



资料来源：《3D 打印技术发展趋势及其在商业航天上的应用》（田彩兰等，2024）、《航空航天增材制造技术的应用及发展》（冯斐等，2021）、《3D 打印与航天白皮书 1.0》（3D 科学谷）、国海证券研究所

3.1.2、目前主流工艺是 SLM，适用材料为金属合金

目前在航空航天领域应用较多的 3D 打印技术是粉末床熔融成形（PBF）和定向能量沉积成形（DED），在工业生产中（如 NASA）占据主导地位，具体包括 SLM 选区激光熔融、EBM 电子束选区熔化、LMD 激光金属沉积和 WAAM 电弧熔丝增材制造 4 类技术；其中，SLM 技术最为成熟，能够高效生产复杂结构件或拓扑形状的高致密零部件产品，应用的范围也最广。从工艺特性比较来说，SLM 技术能够生产高分辨率、高质量的零件，航天支架、异形管件等精度要求较高的零件大多采用这种技术生产，且生产出的零部件机械性能超过传统制造技术，缺点在于制作的零件残余应力高、缺陷多，需要进行后处理。DED 技术不依赖粉末床，不受空间尺寸限制，因此可以制造较大尺寸的零部件；还可以对现有零部件进行修补，如涡轮叶片，缺点在于精度不高。

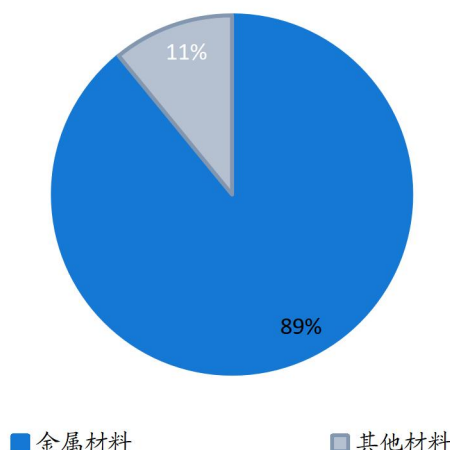
表 9：航空航天领域增材制造工艺特性

工艺类型		能量来源 (W)	过程效率	材料类型	气氛或真空	熔池尺寸 (mm)	沉积速度 (kg/h)	备注
粉末床 熔融 (PBF)	选区激光 熔 化 (SLM)	激 光 100-1000	2%-5%	粉末	氩气	0.3	0.1-0.18	适用于制作小尺寸、形状复杂零件，表面光洁度比 EBM 好；较高的冷却速率。与 EBM 相比，制作的零件残余应力高、缺陷多，需要进行热处理以减小残余应力。
	电子束熔 化 (EBM)	电 子 束 3500	15%-20 %	粉末	高温，恒定 真空	1	0.2-0.36	高精度：密度和机械性能较好；和 SLM 相比，具有较低的屈服强度、较高的断裂应变；通常不需要热处理。比 SLM 工艺制备的零件抗疲劳强度低（因表面光洁度不高）。
定向能 量沉积 (DED)	激光金属 沉 积 (LMD)	激 光 500-3000	2%-5%	粉末	氩气	小 于 WAAM		对反射比为 40%-95% 的合金具有较低的能耗；与 WAAM 技术相比，能够保证零件尺寸精度；精确修补高附加值的零件（如涡轮叶片），缩短交付周期。沉积速率和材料利用率较低。
	电弧熔炼 丝材增材 制 造 (WAAM)	电 弧 2000-400 0	70%	丝材	氩气或其他		0.5-4（不 超过 10）	高材料利用率（90%）、高能效（70%）；低成本生产大尺寸、复杂形状的零部件。表面粗糙，精度低于 PBF 和 LMD 技术，需要进行表面处理、热处理加工；大型部件需进行冷轧。

资料来源：《航天领域 3D 打印材料及工艺技术研究现状》（李晶等，2024）、国海证券研究所

航空航天领域需要具有高韧性、耐热性和耐腐蚀性的高性能材料，以满足使用条件的要求，3D 打印用材料主要为金属基复合材料，据 QYResearch 报告，2024 年金属材料占航空航天 3D 打印全球市场 89.09% 的份额。适用于 3D 打印的特殊材料有铝合金、不锈钢、钛合金、镍基和铁基超合金、铜合金、钴合金、耐高温合金及其他金属材料；其中大部分 3D 打印原料以合金粉末或丝、线材的形式使用。在航天领域中，如火箭发动机，由多种型号的零部件组成，不同零部件需要结合材料的力学性能来满足特殊使用环境，因此材料的选择至关重要。

图 41：2024 年按材料类型分航空航天 3D 打印全球市场规模占比



资料来源：QYResearch、国海证券研究所

表 10：航空航天领域增材制造常用材料

材料类型	子类别	优点	应用
钛基	Ti6Al4V	具有更高的强度质量比、较高的抗拉强度、优异的耐腐蚀性和较好的高温稳定性等优异的性能	是航天领域中使用最多的合金之一 ，通常用于制作火箭推进剂贮箱
	γ-TiAl Ti-6-2-4-2		
铜基	GRCop-84	高强度和高传导率；GRCop-84 合金是一种可被应用于火箭引擎中的粉末冶金新材料，具有优异的导电性、高热膨胀率、高抗拉强度、高抗蠕变性、较好的塑性和抗疲劳强度等性能	常用于热交换器，如燃烧室液体火箭发动机； GRCop-42 合金是 NASA 和太空飞行公司火箭推力室组件首选的铜合金，可以制备完全致密的部件
	GRCop-42 C18150 C18200 铝铜合金		
铁基	不锈钢 17-4PH 不锈钢 15-5GP1 不锈钢 304L 不锈钢 316L	镍基高温合金和铁基合金具有较好的韧性和较低的塑脆转变温度	用于制造燃气涡轮发动机中的高压涡轮盘和叶片、喷射器、点火器等
镍基	铬镍铁合金 625 铬镍铁合金 718 哈氏合金-X 哈氏合金 230		

资料来源：《航天领域 3D 打印材料及工艺技术研究现状》（李晶等，2024）、国海证券研究所

3.2、3D 打印应用的实际案例

航空航天领域，3D 打印技术在国内外已有较多的应用，包括火箭发动机、飞机发动机零部件的制造等，实现产品轻量化的同时大幅缩短了生产周期、降低了生产成本。

3.2.1、火箭发动机：应用 3D 打印技术最多的零件

Orbex 公司采用 SLM 技术打印一体化推力室。 Orbex（英国航天公司）2019 年与 SLM Solutions 合作，采用 SLM 技术打印了一台镍基高温合金火箭发动机，结构优化调整后重量减轻了 30%，效率比同类发动机提高了 20%；同时与传统数控加工技术相比，节省了 90%的周转时间和 50%的加工费。该发动机采用 SLM Solutions 的 SLM 800 设备打印，打印机的尺寸为 260mm × 500mm × 800mm。此外，Orbex 公司为实现快速打印火箭发动机，与 EOS 旗下的 AMCM 公司合作，建造了当时欧洲最大的工业 3D 打印机，预计该打印机每年可以打印超过 35 个大型火箭发动机和主级涡轮泵系统。

Launcher 公司利用 3D 打印技术不断升级火箭发动机的性能，打印液氧涡轮泵和燃烧室等产品。 该公司是美国小型火箭初创公司，成立于 2017 年，2019 年开始研发 3D 打印 E-2 发动机零部件。**E-2 是一款封闭式循环的高性能 3D 打印火箭发动机，其中主要的液氧涡轮泵、燃烧室等产品陆续由 3D 打印技术制造，**其中燃烧室由 AMCM 公司制造的 M4K 设备打印，选用铜合金材料，集成复杂冷却流道结构，提高了发动机的冷却效率。该款发动机于 2022 年 4 月在 NASA 的斯坦尼斯航天中心试车成功。此外，Launcher 公司 2021 年 4 月购买了一台 Velo3D 的蓝宝石打印机打印镍基高温合金材料；同年 9 月，又购买了一台同品牌打印机打印火箭的钛合金零件。

Relativity Space 公司采用 SLM 和 WAAM 技术制造火箭发动机、贮箱等零件。 Relativity Space 是美国一家液体火箭公司，是第一家应用 3D 打印技术整体打印火箭的公司。通过采用 3D 打印技术，大幅简化了产品的供应链，火箭的零件数量由十万多个减少到低于 1000 个；制造周期由 24 个月缩短为 2 个月；迭代周期由 48 个月减少到 6 个月。其中发动机 AEON 1、AEON R 和 AEON VAC 都由 3D 打印制造，通过减少燃烧室、点火器、涡轮泵、反应控制推进器和输送增压系统零部件的数量，提高发动机的可靠性。

图 42: Orbex 公司 SLM 技术打印的一体化推力室



资料来源:《3D 打印技术发展趋势及其在商业航天上的应用》
(田彩兰等, 2024)

图 43: Launcher 公司 SLM 技术打印的火箭发动机
涡轮泵组件



资料来源:《3D 打印技术发展趋势及其在商业航天上的应用》
(田彩兰等, 2024)

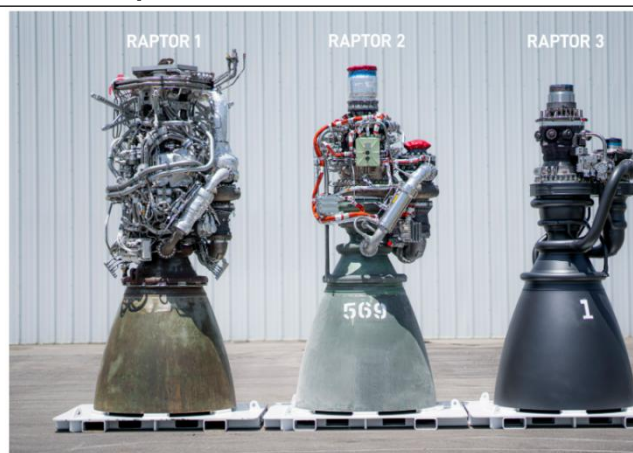
SpaceX 目标是将 3D 打印技术用于星舰尽可能多的部件, 包括发动机和机身, 并已经打印了广泛的部件, 如燃烧室和喷嘴延伸件等。1) SpaceX 于 2014 年推出了 Falcon 9 火箭, 其氧化剂阀体主体由 3D 打印制造, 与传统的铸造零件相比, 3D 打印制造的火箭氧化剂阀体具有卓越的强度、延展性和抗断裂性, 并且材料特性的可变性较低, 且与以月为单位的典型铸造周期相比, 该阀体的 3D 打印时间不到两天; 2) 2019 年, SpaceX 推出的 Starship 的 Raptor 发动机包括许多 3D 打印零件, 如推进剂阀体、涡轮泵零件和喷射器系统的零件, 采用了粉末床激光熔融和电子束熔融技术; 3) 2020 年, 二代 Dragon 载人飞船装有 8 台 SuperDraco 发动机, 是全球首款投入使用的 3D 打印飞船引擎, 多处关键零部件(火箭发动机室、主氧化剂阀体、冷却通道、喷油头和节流系统等)是使用 EOS 的直接金属激光烧结技术(DMLS)制造的, 使用 Inconel 系列镍基高温合金打印完成, 具有高强度和高强韧性; 4) 2024 年 8 月, 首台三代猛禽(Raptor 3, 海平面版本)火箭发动机出厂, 相较于前代的 Raptor 2, 先进金属 3D 打印工艺的使用使得 Raptor 3 减重 7%, 推力高出了 21%, 更是比初代 Raptor 提高了 51%, 且设计得到优化、外观更加简洁。

图 44: 3D 打印的氧化剂阀体



资料来源: 中国 3D 打印网

图 45: Raptor 系列 1-3 代发动机对比

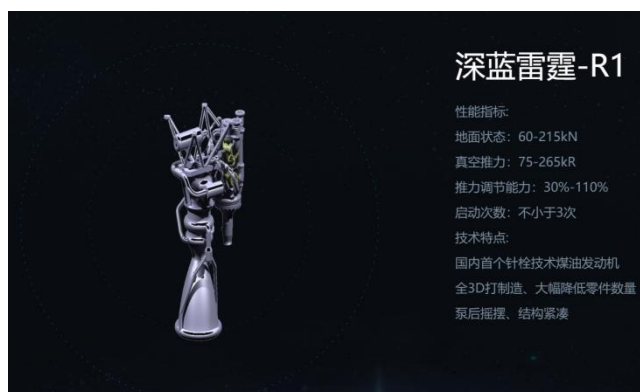


资料来源: 中国 3D 打印网

国内企业江苏深蓝航天是国内早期将 3D 打印技术作为发动机生产工艺的火箭研制公司，85%以上的发动机零件由 3D 打印制造。1) 雷霆-5、雷霆-20A 发动机: 2021 年，深蓝航天成功实现中国首例液氧煤油火箭垂直回收试验“蚱蜢跳”，10 月再次成功实现中国首例液氧煤油火箭百米级垂直回收试验，两次试验所使用的发动机均使用 3D 打印制造；其中雷霆-5 发动机全机 85%重量的零件都由 3D 打印技术制作，雷霆-20A 收扩段采用了国产 3D 打印设备。深蓝航天采用 3D 打印制造涡轮泵离心轮、涡轮盘等产品，实现了尺寸和性能一致性好、整体生产效率高、综合总成本低的优势，并提高了产品的集成化，将原来需要多个机加工零件焊接而成的点火器浓缩为一个，且缩短了打印周期，仅需一周左右。2) 雷霆-R1 发动机: 2022 年 6 月底，深蓝航天 20 吨级液氧煤油发动机“雷霆-R1”试车圆满成功，采用华曙高科大尺寸金属增材制造解决方案 FS621M，发动机中 80%以上零部件采用增材制造工艺生产，包括大尺寸喷管。

国内企业星河动力利用 3D 打印技术制造了涡轮泵和液氧煤油主阀壳体等多款发动机零件。1) “智神星一号”苍穹发动机: 涡轮泵 3D 打印件重量占比约 65%，发生器 3D 打印件重量占比约 75%，主管路 90%为 3D 打印件，推力室 3D 打印部分占比约 30%，阀门壳体类零件约 90%均为 3D 打印制造，涡轮泵和液氧煤油主阀壳体等多款发动机零件由飞而康科技采用华曙高科金属 3D 打印解决方案生产，其中涡轮泵的泵轮与蜗壳在设计时，3D 打印方案较传统方案效率提高约 5%，涡轮盘也同样采取了机加成型与 3D 打印成型两种方案，机加成型需要 20~25 天，3D 打印仅需要 3~4 天，缩短 80%制造周期，降低了生产成本。2) “谷神星一号”四级——“边界”轨姿控动力系统: 集合环以及经进一步改进后的多机集合块使用了 3D 打印技术，简化了管路接口，优化了机加过程。未来，在“苍穹”液氧/煤油火箭发动机、“边界”轨姿控等复杂系统中，星河动力将更多的采用 3D 打印技术。

图 46: 深蓝雷霆-R1 发动机



资料来源: 深蓝航天官网

图 47: 星河动力“苍穹”发动机



资料来源: 星河动力官网

除此之外，蓝箭空间科技股份有限公司为“朱雀二号”配备了二级游机天鹅 10t 级液氧甲烷发动机，其燃气发生器身部和燃烧室均由 3D 打印制造。

3.2.2、飞机发动机: GE 利用 3D 打印技术实现部分零部件减重 25%、降本 30%

GE 航空建立了第一个增材制造技术工业化航空航天供应链。据 3D 打印技术参考, 今年 3 月, GE 公司宣布今年计划向其全球制造工厂和供应链投资超过 6.5 亿美元用于提高其生产能力, 满足商业和国防客户不断增长的需求。在计划中特别提及到, 部分投资将用于增加增材制造机器和工具, 以提高军用旋翼机发动机部件以及窄体和宽体商用飞机发动机的产量。GE 多年来持续推动 3D 打印技术在航空发动机中的应用, 实现了燃油喷嘴、热交换器、涡轮叶片等一系列产品的大规模制造和应用, 用于 LEAP、GE9X、GENX 发动机的安装, 适用于中国 C919、客 A320neo、波音 737 MAX 等机型。其中, GE 公司 3D 打印生产的 LEAP 发动机燃油喷嘴将零件数量由 20 个降至 1 个, 实现了一体化制造, 同时减重 25%、降本 30%, 相较于传统制造有显著优势; GE9X 包含增材制造的零件 304 个, 首次将多种材料和打印工艺投入到单一航空发动机的生产中。

目前国产大飞机 C919 使用的就是 LEAP-1C 型发动机, 且未来还有一套备选方案即正在研制的国产 CJ-1000AX 发动机, 同样也采用了 3D 打印燃烧室燃油喷嘴等多项试制关键技术。

图 48: GE 公司 3D 打印的发动机燃油喷嘴



资料来源: 维科网、南极熊 3D 打印

图 49: C919 LEAP-1C 发动机



资料来源: 3D 打印资源库

3.2.3、其他应用: 飞机起落架、火箭、卫星等

1) 飞机起落架: 法国赛峰集团和 SLM Solutions 合作为商务喷气式飞机 3D 打印前起落架组件, 尺寸达 455 mm × 295mm × 805mm, 采用 3D 打印技术制造, 通过一体化重新设计, 重量减少了大约 15%; 今年 3 月, 国内企业武汉天显制造出 3D 打印的飞机起落架主体, 其只需用到传统制造工艺 10% 的材料。

2) 飞机其他零部件: 波音公司利用 3D 打印技术打印制造了 300 多种不同的飞机零部件, 其中包括形状复杂的冷气流道, 且通过直接能量沉积技术 3D 打印的钛合金结构件获得 FAA 认证; 空客公司通过联合 3D 打印巨头 Stratasys, 采用 FDM 打印技术和 ULTEM 材料成功制造 1000 多个零件, 并且将客舱行李架应用

在 A380 等客机上；C919 飞机不仅发动机应用了 3D 打印，其中央翼缘条、舱门复杂件、机头主风挡窗框等部件也应用了 3D 打印技术。

3) 火箭其他零部件：SpaceX 利用 3D 打印技术除了制造火箭发动机零件外，还制造了多种火箭配件，如燃料系统组件、隔热罩、用于控制推进剂流量和其他流体的阀门和配件、用于在发射期间保护卫星和其他有效载荷的整流罩组件以及火箭飞行姿态控制装置栅格舵；此外北京星际荣耀公司也利用 3D 打印制造了栅格舵。

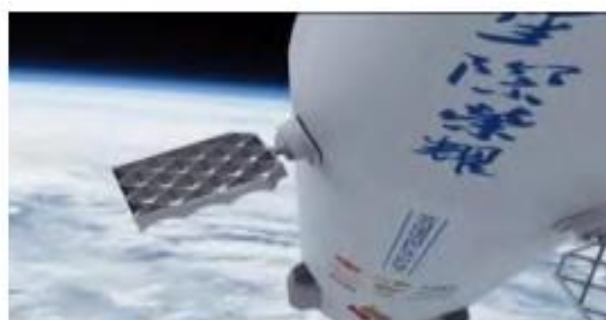
4) 无人机制造：英国南安普顿大学工程师在 2011 年利用 3D 打印技术制造出整个无人机，其标志着无人机制造进入 3D 打印时代。

图 50：3D 打印的喷气式飞机前起落架



资料来源：《3D 打印技术发展趋势及其在商业航天上的应用》
(田彩兰等，2024)

图 51：北京星际荣耀公司 3D 打印的栅格舵



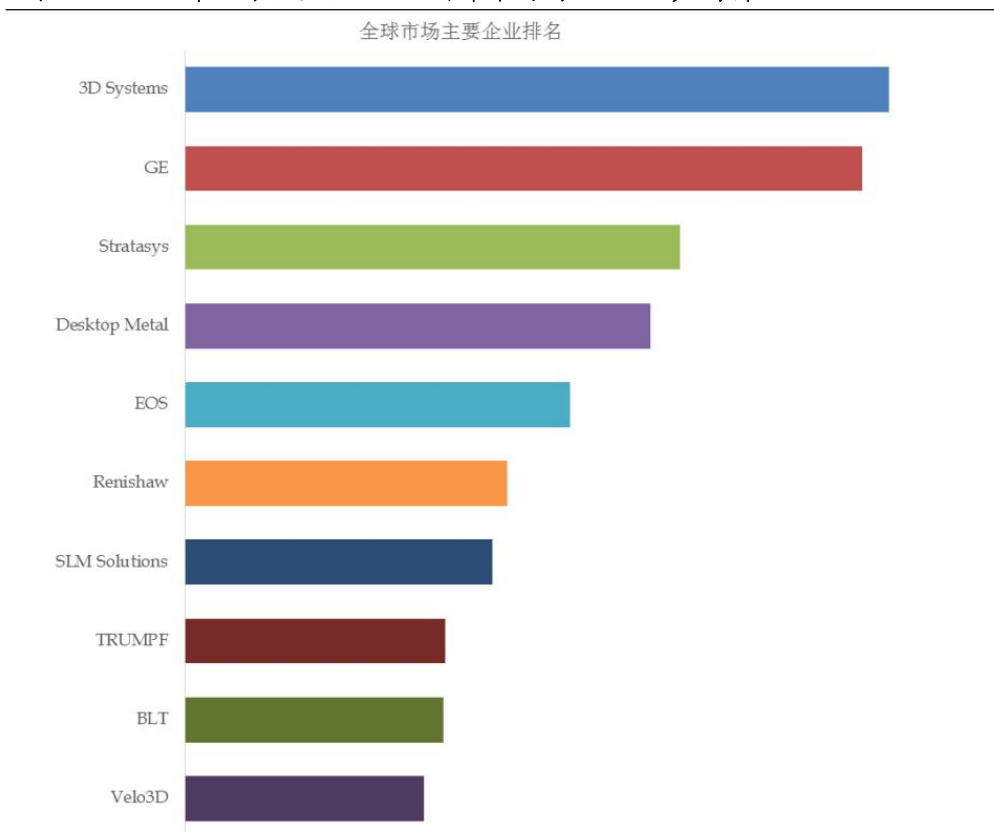
资料来源：《3D 打印技术发展趋势及其在商业航天上的应用》
(田彩兰等，2024)

3.3、市场格局及规模

3.3.1、全球航空航天 3D 打印市场格局：CR5 约 57%，欧美企业主导

全球航空航天 3D 打印市场格局较为集中，2023 年前五大厂商市占率约 57%，主要为欧美企业。据 QYResearch 报告，目前全球范围内，航空航天 3D 打印主要生产商包括 3D Systems、GE、Stratasys、Desktop Metal、EOS、Renishaw、SLM Solutions、TRUMPF、BLT（铂力特）、Velo3D 等，其中 2023 年前五大厂商占有 57.11% 的市场份额。分地区看，全球核心厂商主要分布在北美、欧洲和中国等。

图 52：2023 年全球航空航天 3D 打印市场前 10 强生产商排名



资料来源：QYResearch

3.3.2、市场规模测算：火箭发动机和飞机发动机每年对打印设备需求量超百台

1、SpaceX 火箭发动机每年对 3D 打印设备的需求

根据公式：发动机年需求量 × 发动机单位质量 × 发动机 3D 打印质量占比 × 冗余系数 = 3D 打印机年需求量 × 3D 打印机打印效率 × 设备单台工时，及需求测算表 11，我们预估 SpaceX 火箭发动机每年对 3D 打印设备的需求量在 140-350 台，每年需求的价值量约 1.12-2.80 亿美元，折算成人民币约 8-20 亿元（按 2024 年 10 月 16 日汇率折算）。同时据 3D 打印技术参考，除发动机部件外 SpaceX

还利用 3D 打印技术制造了燃料系统组件、隔热罩、阀门和配件、有效载荷整流罩、栅格舵等火箭其他零件，也为 3D 打印行业提供了较多的市场需求。

表 11: SpaceX 火箭发动机 3D 打印设备需求测算表

参数	数值	假设
单台发动机总质量 (kg)	1525	
3D 打印质量百分比	50%	猛禽以前版本发动机中利用 3D 打印技术的部位重量占比 40%，根据发动机的拆解，喷嘴、涡轮泵、冷却通道、发动机室这些主体部件都能进行 3D 打印，且 3D 打印技术近年来又有新的发展，因此我们估计 3D 打印比重将有一定提高，假设新版发动机 3D 打印部分重量所占比重为 50%
单激光打印效率 (g/h)	250	参考铂力特和华曙高科公众号披露的打印效率数据，计算出单激光平均打印效率为 240.28g/h，因此假设单激光打印效率约 250g/h
单台 3D 打印设备的激光数量 (个)	2-4	据铂力特和华曙高科公众号，假设单台 3D 打印设备的激光头数量为 2-4 个
设备单台工时 (h/年)	4860	铂力特按照成形尺寸将金属 3D 打印设备分为超大型设备、大型设备及其他中小型设备，其每年金属 3D 打印设备运行时长分别为超大尺寸设备 5400 小时、大尺寸设备 4860 小时以及其他设备 4050 小时。我们以大尺寸设备数值为参考，假设火箭发动机相关 3D 打印设备一年工作 4860 小时
SpaceX 火箭发动机年需求量 (台)	800-1000	SpaceX 计划每年生产 800-1000 台火箭发动机
冗余系数	1.1	假设冗余系数为 1.1
SpaceX 火箭发动机对 3D 打印设备的年需求 (台)	140-350	最小值：4 激光、需求 800 台；最大值：双激光、需求 1000 台
设备单价 (万美元)	80	参考 SLM 和 3D Systems 金属 3D 打印设备价格，假设单价为 80 万美元
SpaceX 火箭发动机对 3D 打印设备年需求价值量 (亿美元)	1.12-2.80	

资料来源：中国 3D 打印网、Studia3D、《SpaceX: Starship to Mars-The First 20 Years, 2nd Edition》、铂力特公众号、华曙高科公众号、铂力特公告、builtin、国海证券研究所

2、中国 C919 LEAP-1C 发动机对 3D 打印设备的需求

据测算表 12，我们预测 C919 发动机 3D 打印设备总需求量约 1080 台，总需求价值量约 34.58 亿元，交付时间 7 年（2024-2031 年），C919 发动机 3D 打印设备年需求量约 155 台，年价值量约 4.94 亿元。除发动机外，C919 飞机的中央翼缘条、舱门复杂件、机头主风挡窗框也使用了 3D 打印技术制造，随着 C919 的量产，3D 打印技术在其零件制造上的应用将更加深化，3D 打印市场规模有望得到较大增长。

表 12: C919 发动机 3D 打印设备需求测算表

	参数	数值	备注
(1)	订单数 (架)	1621	据各大航空公司披露的信息整理, 目前 C919 意向订单和确认订单合计为 1633 架, 已交付 12 架, 剩余订单数量为 1621 架
(2)	单个飞机所需燃料喷嘴 (个)	38	C919 飞机发动机采用 3D 打印技术制造的零件为燃料喷嘴, 单个飞机装有两个发动机, 每台发动机需要安装 18 或 19 个燃料喷嘴, 因此假设每架飞机所需的燃料喷嘴为 38 个
(3)	打印效率(h/个)	77.5	铂力特设备 BLT-S400 打印概念型燃油喷嘴模型所耗机时为 77.5H, 以此数据为参考, 假设设备打印效率为 77.5H/个
(4)	一年工作时间 (h)	4860	同 SpaceX 的测算假设, 假设火箭发动机相关 3D 打印设备一年工作 4860 小时
(5)	冗余系数	1.1	假设冗余系数为 1.1
(6)	3D 打印设备总需求量 (台)	1080	$(1) * (2) * (5) / ((4) / (3))$
(7)	交付时间 (年)	7	据航司披露信息, C919 交付时间区间为 2024 年-2031 年
(8)	每年 3D 打印设备需求量 (台)	155	$(6) / (7)$
(9)	设备单价 (万元/台)	320	华曙高科 2023 年设备单价为 314 万元, 大尺寸工业级 3D 打印设备单价会偏高, 因此假设设备单价为 320 万元/台
(10)	每年 3D 打印设备需求价值量 (万元)	49394	$(8) * (9)$

资料来源: COMAC、3D 打印资源库、铂力特公众号、铂力特公告、中国南方航空公告、中国国航公告、西藏航空公众号、东方航空公告、IT 之家、中国商飞官网、海南航空公告、东方航空官网、华夏航空公告、中国民航网、民航资源网、国资委官网、环球网、中国政府网、GE 公司官网、国海证券研究所 (注: 订单数量统计截至 2024 年 10 月 25 日, 每年 3D 打印设备需求量取值为向上取整)

表 13: C919 订单情况统计

时间	国家	订购公司	确认订单	意向订单	交付情况
2011 年 12 月	中国	中国飞机租赁		20	
2011 年 11 月	中国	交银租赁		30	
2011 年 11 月	中国	国航、东航、南航、海航、国银金融租赁		90	
2011 年 10 月	中国	四川航空		20	
2011 年 10 月	中国	工银金租		45	
2012 年 11 月	中国	河北航空		20	
2012 年 11 月	中国	幸福航空		20	
2012 年 11 月	美国	通用电气金融服务 (GECAS)	10	10	
2012 年 9 月	中国	建信金租		50	
2012 年 2 月	中国	中银航空租赁		20	
2012 年 2 月 14 日	中国	农银租赁		45	
2013 年 10 月	中国	兴业金融租赁		20	
2014 年 11 月	中国	招银租赁		30	
2015 年 6 月	中国	平安国际融资		50	
2015 年 1 月 29 日	中国	华夏金租		20	
2016 年 11 月	中国	中信租赁	18	18	
2017 年 12 月	中国	工银金租		55	
2017 年 9 月	中国	中核建租赁	20	20	
2017 年 9 月	中国	华宝租赁	15	15	
2017 年 9 月	中国	航空工业租赁	15	15	
2017 年 9 月	中国	农银租赁	20	10	
2017 年 6 月	中国	光大金融租赁		30	
2018 年 6 月	中国	海航集团		200	
2020 年 6 月 10 日	中国	华夏航空	50		自 2020 年起十年内交付完成

2021 年 3 月	中国	东方航空	5		已全部交付完成
2022 年 11 月	中国	国银金租、工银金租、建信金租、交银金租、招银金租、浦银租赁和苏银金租七家租赁公司	300		
2023 年 9 月	中国	东方航空	100		于 2024 年至 2031 年分批交付；其中 2024 年计划交付 5 架,2025 年至 2027 年每年计划交付 10 架,2028 年至 2030 年每年计划交付 15 架,2031 年计划交付 20 架；目前已交付一架
2023 年 9 月	文莱	骐骥航空		15	
2023 年 4 月	中国	海航航空	60		
2024 年 4 月	中国	中国南方航空	100		于 2024 年至 2031 年期间分阶段交付
2024 年 4 月	中国	中国国际航空	100		于 2024 年至 2031 年分批交付
2024 年 2 月	中国	西藏航空	40		

资料来源：中国南方航空公告、中国国航公告、西藏航空公众号、东方航空公告、IT 之家、中国商飞官网、海南航空公告、东方航空官网、华夏航空公告、中国民航网、民航资源网、国资委官网、环球网、中国政府网、GE 公司官网、国海证券研究所（注：统计截至 2024 年 10 月 25 日）

4、民用市场的新未来：消费电子

3D 打印技术在消费电子领域的发展自 2023 年开始引发关注，相关应用包括手机等电子产品以及智能或机械手表等可穿戴设备，3D 打印技术的应用市场正在不断下沉。随着苹果开始使用这项技术，国内方面无论是电子产品的开发商，还是金属 3D 打印设备商，都在努力争夺“新的民用未来市场”，手机等 3C 产品的制造转型将为 3D 打印市场打开新的应用场景和增长曲线。

4.1、“钛合金+3D 打印”优势突出，应用方兴未艾

4.1.1、钛合金具有高机械强度、高强度重量比、耐腐蚀性等优势

钛合金材料正凭借其优越的性能，成为 3C 消费终端材料的新选择。钛是增材制造中最常用的金属之一，广泛应用于航空航天、关节置换和手术工具、赛车和自行车车架、电子产品和其他高性能产品。钛和钛基合金具有高机械强度、高比强度、轻量化、弹性模量大以及优于不锈钢的耐腐蚀性等优势，火箭和飞机使用这种材料可以减重，并节省燃料、增加有效载荷能力；消费电子产品则可以更好地实现轻薄化和耐久性，因此目前荣耀、苹果、小米等 3C 企业均逐渐开始使用钛合金的零部件。

表 14：消费类产品常用的四种合金材料物理性能对比

材料	密度 (g/cm ³)	抗拉强度 (Mpa)	比强度 (N·m/kg)	弹性模量 E (10 ⁴ Mpa)	硬度 (BHN)	熔点(°C)
铝合金	2.7	110-270	57	7.15	75-120	660
锌合金	6.7	280-440	52	7.05	65-140	385
镁合金	1.8	250-343	191	4.41	40-75	650
钛合金	4.5	580-1646	366	11.76	270-310	1668

资料来源：热处理生态圈、国海证券研究所（注：弹性模量可视为衡量材料产生弹性变形难易程度的指标，其值越大，材料刚度越大）

4.1.2、3D 打印可以解决钛合金技术的量产痛点和成型问题

钛合金材料轻盈坚固，相较于其他材质在重量、强度和耐疲劳度等方面性能优越，但传统减材制造工艺 CNC（数控机床加工）加工钛合金痛点在于刀具损耗大、成本高且良品率低，根据艾邦高分子，传统 CNC 加工钛合金良率仅 30%-40%。据南极熊 3D 打印，小米 14 Ultra 钛金属版是在注射成型烧结体的基础上经过了 CNC 二次加工，使用定制刀具，良率仅 50%，成本较高：注射成型（MIM）工艺基于模具的一体化成形节省了因减材加工带来的大量材料浪费，但由于烧结流程会使得坯体的尺寸精度偏差大、表面粗糙度变差，MIM 部件仍需进行二次 CNC 加工；而细粉生产成本低、喂料需混炼、二次 CNC 加工等流程同样会导致成本增高。据南极熊 3D 打印，目前钛合金轴盖的材料成本约 30 元，而加工成本高达 10 倍，因此一直以来没有在 3C 领域得到大规模推广，各大手机厂商也一直在寻找更低成本的生产模式。而金属 3D 打印技术的成熟能够很好地解决钛合金目前的量产痛点及材料成型问题，避免了刀具切削环节，提高了良品率，可研

发出相对坚固、延展性好、易于打印的高性能钛合金；且激光器和金属粉末的降价，使得 3D 打印钛合金成本逐渐与 CNC 加工平价——根据 Counterpoint，Apple Watchseries6 表壳的机加成本约为 132 元，3D 打印的 Ultra 钛合金成本约为 109 元，成本端具备竞争优势。

表 15: 手机金属中框四大材质对比

	铝合金	不锈钢	钢铝复合压铸	钛合金
成本	★	★ ★ ★	★ ★	★ ★ ★ ★
重量	★	★ ★ ★ ★	★ ★	★ ★ ★
强度（硬度）	★	★ ★ ★	★ ★ ★	★ ★ ★ ★
耐疲劳度	★	★ ★ ★	★ ★	★ ★ ★ ★
环保性	★	★ ★	★	★ ★ ★ ★
加工难度	★	★ ★ ★	★ ★	★ ★ ★ ★
良率	★ ★ ★ ★ (80%)	★ (30%-40%)	★ ★ ★ (70%)	★ (30%-50%)
外观效果	★	★ ★ ★	★ ★	★ ★ ★
工艺成熟度	★ ★ ★ ★	★ ★	★ ★ ★	★
加工方式	多样化加工	锻压+CNC 纯 CNC	压铸+CNC	锻压+CNC 纯 CNC MIM+CNC

资料来源：艾邦高分子、搜狐网、南极熊 3D 打印、国海证券研究所（注：★数量越多，代表其表示的性能属性越高，比如★数越多，成本越高、重量越轻）

4.1.3、综合优势减轻减薄，钛合金 3D 打印成本逐渐下降

3D 打印钛合金工艺有助于手机实现减轻减薄。据华为和荣耀官网披露的手机参数，运用 3D 打印技术之前最轻薄的折叠屏手机华为 MateX3 的厚度为 11.08mm、重量在 239-242.5g，而应用 3D 打印技术的荣耀 Magic V2 厚度仅为 9.9-10.1mm，在产品轻量化上实现了突破；今年 7 月最新发布的 Magic Vs3 折叠屏手机，继续采用了 3D 打印的鲁班钛金铰链，最小厚度仅为 9.8mm、最轻重量只有 229g。在 3D 打印的加持下，折叠屏手机的厚度和重量在不断下降，并且钛合金铰链也有助于减轻折痕，未来折叠屏手机高端市场将会进一步发展，更大程度上实现减轻减薄。

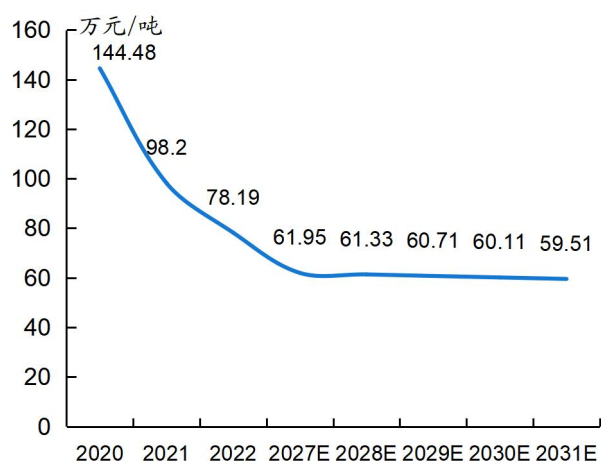
图 53：华为及荣耀折叠屏手机系列厚度和重量变化



资料来源：华为官网、荣耀官网、国海证券研究所

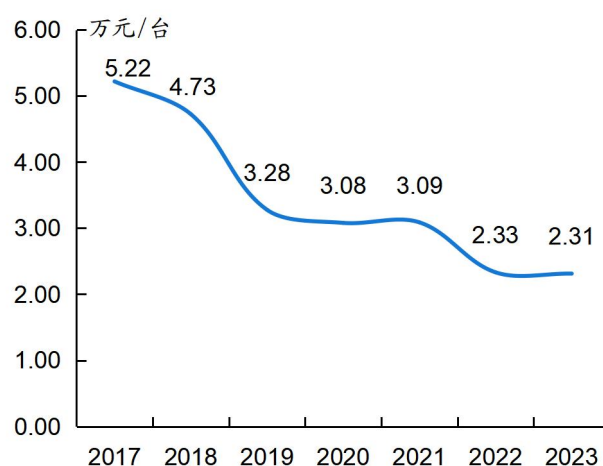
3D 打印原材料和上游设备成本逐渐下降是其在消费电子领域大规模应用的重要驱动因素。一方面，从原材料价格来看，据铂力特公司公告，随着 3D 打印技术的成熟，金属 3D 打印粉末市场供应量不断增长，其价格逐年下降，铂力特自制金属 3D 打印粉末平均售价由 2020 年的 144.48 万元/吨下降至 2022 年的 78.19 万元/吨，且根据铂力特公司预测，粉末单价未来将持续下降趋势，到 2027 年有望下降至 60 万元/吨左右。另一方面，从激光器及振镜系统等上游设备来看，我国激光器国产替代进程持续推进，激光器产品价格下降趋势明显，据锐科激光公司数据，其产品单价从 2017 年的 5.22 万元/台下降至 2023 年的 2.31 万元/台；振镜系统产品价格也逐渐降低，据中经产业信息研究网，我国激光振镜产品平均价格已由 2017 年的 2225.7 元/套下降至 2021 年的 2139.4 元/套，据金橙子公司披露的信息，其高密度振镜产品价格 2023 年同比下降 34.6%。过去 3D 打印的痛点在于无法大规模量产，当前消费电子折叠屏+钛合金趋势可以有效释放 3D 打印市场空间。未来，随着 3D 打印技术在消费电子钛合金领域的量产规模化、良品率进一步提高，带来边际成本下降，以及 3D 打印本身成本的降低，生产成本逐渐可控，钛合金 3D 打印技术有望引领消费电子新革命。

图 54：铂力特金属 3D 打印粉末产品价格变化



资料来源：铂力特公告、国海证券研究所

图 55：锐科激光激光器产品价格变化



资料来源：ifind、国海证券研究所

4.2、3D 打印钛工艺：主流路线 SLM 和 EBM

有多种金属 3D 打印技术可用于加工钛基合金，最常用的是使用钛粉的粉末床熔融工艺（选区激光熔融 SLM 和电子束熔化 EBM）。据 Ampower 报告，大多数钛增材制造零件都是采用粉末床技术制造的。其中，SLM 利用高功率激光器，根据要加工的钛基合金特性，优化和调整加工参数，以控制孔隙率、微观结构和最终材料特性；EBM 使用更高功率的电子束，电子束的高工艺温度导致单层冷却速度较慢，因此与 SLM 相比，微观结构更粗糙。其他适合钛的增材制造方法包括直接能量沉积（DED）、快速等离子体沉积（RPD）和粘合剂喷射。

图 56：Arcam EBM Spectra L 和雷尼绍 RenAM 500Q 钛金属 3D 打印机



资料来源：南极熊 3D 打印

4.3、应用案例：手机中框、手机折叠屏铰链等

钛合金材料在消费电子领域应用逐渐普及，苹果、荣耀等产品开始使用钛合金 3D 打印技术。2023 年 7 月，华为荣耀 MagicV2 折叠屏手机铰链宣布使用钛合金 3D 打印技术制造，首次实现 3D 打印在消费电子领域的规模化应用。据彭博社，Apple Watch Series9 的表壳采用不锈钢粘结剂喷射（Binder Jetting）金属 3D 打印；Apple Watch Ultra 的数字表冠、侧按钮和一些其他操作按钮使用钛合金粉末床激光熔融（SLM）金属 3D 打印生产。2023 年 9 月，苹果发布了全新的 iPhone 15Pro 手机和 Apple Watch Ultra2 手表，二者的边框均使用到了钛合金材料；同年 10 月，小米发布小米 14 系列手机，其中小米 14Pro 提供了钛金属特别版。在以上使用了钛材的 3C 产品中，荣耀折叠屏轴盖和 Apple Watch Ultra2 表壳均为单一钛合金材质，而苹果和小米手机则使用了钛铝复合材料，即内部底板为铝、外部边框为钛，其中苹果手机使用了钛合金，小米手机使用了 99% 纯钛。在苹果、华为等头部厂家的示范效应下，未来钛合金 3D 打印技术在消费电子领域渗透率有望提高，钛合金在 3C 行业中的应用已形成趋势。

表 16: 手机厂商应用钛合金材料案例

品牌	型号	发布时间	使用部位
苹果	iphone 15 Pro/Pro Max	2023 年 9 月	手机中框
	Apple Watch Ultra/Ultra 2	2023 年 9 月	手表表壳、表带
华为	荣耀折叠屏 Magic V2	2023 年 7 月	手机铰链轴盖
	荣耀折叠屏 Magic Vs3	2024 年 7 月	手机铰链轴盖
	Watch 4 Pro	2023 年 5 月	手表表壳
三星	Galaxy S24 Ultra	2024 年 1 月	手机中框
	Galaxy Watch5 Pro	2022 年 9 月	手表表壳
OPPO	折叠屏 Find N2	2022 年 12 月	手机螺丝
	折叠屏 Find N3	2023 年 10 月	手机铰链、摄像头圆环
小米	Xiaomi 14 Pro	2023 年 10 月	手机中框
	Xiaomi 14 Ultra	2024 年 2 月	手机中框

资料来源：全景财经、南极熊 3D 打印、IT 之家、界面新闻、国海证券研究所

4.4、市场规模：折叠屏铰链、手机中框打造百亿级市场

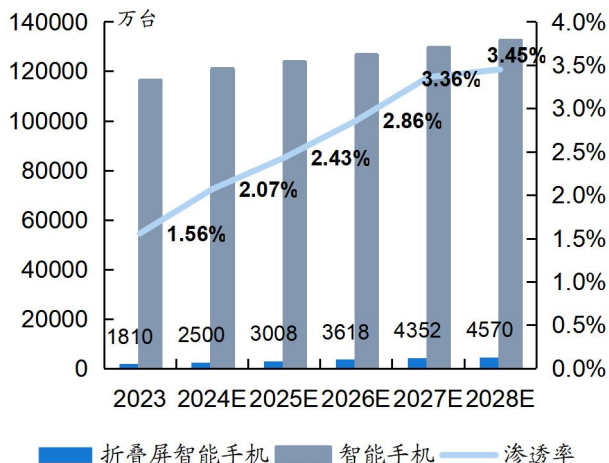
4.4.1、手机折叠屏铰链

1、**钛合金铰链轴盖成本预估 250 元**：据财联社，现阶段钛合金轴盖的材料成本约为 30 元，加工成本在 200-300 元之间，因此假设钛合金铰链轴盖总体成本（材料+加工）为 250 元。

2、**全球折叠屏手机销量及渗透率**：根据 IDC，全球折叠屏手机 2023 年销量 1810 万台，2024 年预计为 2500 万台，至 2028 年 4570 万台，折叠屏手机渗透率达 3.45%，2023-2028 年期间 CAGR 为 20.3%；智能手机 2023-2028 年期间 CAGR 为 2.3%。

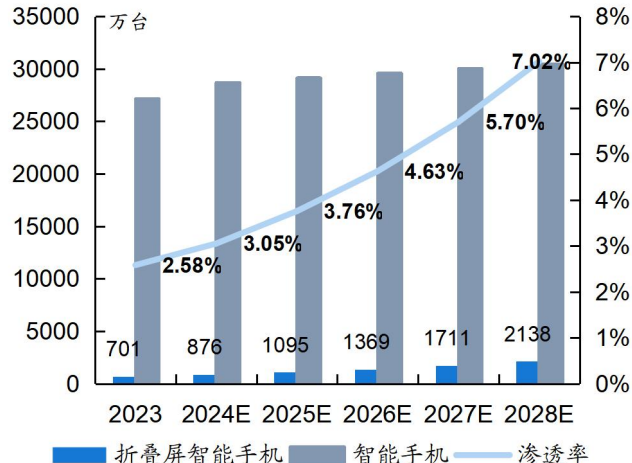
3、**中国折叠屏手机销量及渗透率**：根据 IDC，中国折叠屏手机 2023 年销量 700.7 万台，预测中国市场整体增速高于全球，我们假设 2023-2028 年期间 CAGR 为 25%；智能手机市场受疫情影响，2022、2023 两年销量同比下滑，据 IDC 预测 2024 年开始会逐渐复苏，我们假设增长恢复后增速为 1.5%，到 2028 年中国折叠屏市场销量将达 2138 万台，渗透率约 7.0%。

图 57：全球折叠屏智能手机出货量及渗透率预测



资料来源：IDC、国海证券研究所

图 58：中国折叠屏智能手机出货量及渗透率预测



资料来源：IDC、IT之家、国海证券研究所

4、假设 2023-2028 年期间 3D 打印在折叠屏市场渗透率由 5%提高至 40%-50%，成本由 250 元逐渐下降至 200 元，得到下表测算结果；可以看到当 2028 年 3D 打印钛合金铰链渗透率上升至 40%-50%区间，折叠屏手机钛合金铰链轴盖 3D 打印全球市场空间将达到 36.6-45.7 亿元，中国市场空间将达到 17.1-21.4 亿元。

表 17：折叠屏手机钛合金铰链轴盖 3D 打印市场空间测算

	渗透率	成本 (元)	全球折叠屏智能手机出货量 (万台)	全球市场空间 (万元)	折叠屏智能手机 (万台)	中国市场空间 (万元)
2023	5%	250	1,810	22,625.00	701	8,758.75
2024E	10%	250	2,500	62,500.00	876	21,896.88
2025E	15%	200	3,008	90,225.00	1,095	32,845.31
2026E	20%	200	3,618	144,720.90	1,369	54,742.19
2027E	30%	200	4,352	261,148.86	1,711	102,641.60
2028E	40%-50%	200	4,570	365,600.00-457,000.00	2,138	171,069.34-213,836.67

资料来源：IDC、国海证券研究所

4.4.2、手机中框

钛合金 3D 打印市场空间=钛合金粉末市场空间+3D 打印设备市场空间

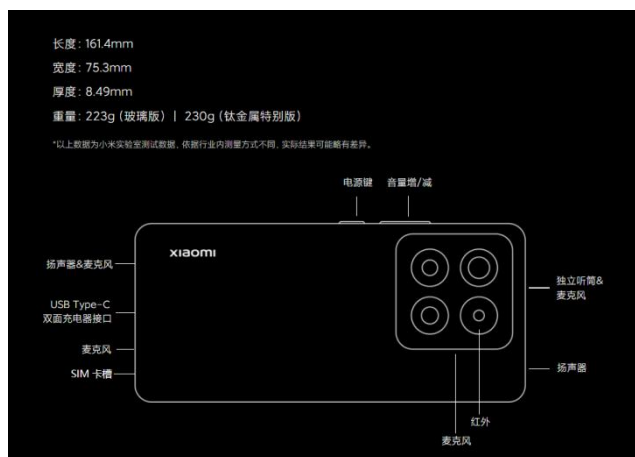
1、手机中框的重量：首先估算手机中框的体积，以苹果手机 iPhone 15 和小米手机 Xiaomi 14 Pro 为例，一般手机厚度在 8-9mm，中框厚度假设为 2mm，iPhone 15 手机中框的体积为 6.71cm³，Xiaomi 14 Pro 手机中框体积为 7.90cm³；钛合金密度取 4.51g/cm³，计算得出 iPhone 15 手机中框重量 30.28g，Xiaomi 14 Pro 手机中框重量 35.64g，预估智能手机钛合金中框重量在 30-35g 之间，因此我们假设钛合金手机中框重量为 34g。

图 59: iPhone 15 尺寸与重量



资料来源: 苹果手机官网

图 60: Xiaomi 14 Pro



资料来源: 小米手机官网

2、手机中框生产需要的钛合金粉末: 据艾邦智造, 钛合金手机中框整体良率约为 30%-40%, 随着后续 3D 打印技术的日益成熟, 良品率有望得到提升, 因此我们预计良率为 50%, 得到生产一个手机中框需要 $34g/50\%=68g$ 钛合金粉末。

3、钛合金粉末成本: 据阿里巴巴平台数据, 目前钛合金粉末价格在 800-900 元/KG 之间, 我们取中值, 假设钛合金 3D 打印粉末价格为 850 元/kg, 钛合金粉末成本为 $68*850/1000=57.8$ 元。

4、3D 打印设备效率: 据我们统计的铂力特和華曙高科公众号披露的设备打印效率信息, 打印钛合金零部件时单个激光打印效率为 20-240g/h, 我们取中值 120g/h, 并假设激光数量为 2 个; 由于消费电子领域打印机部件多为小尺寸, 因此设备每年工时参考铂力特特定增说明书中披露的其他设备每年运行时长 4050 小时; 推算得到双激光设备每年打印钛合金手机中框个数为 28588 个, 同时我们假设未来几年打印效率会逐渐提高, 见表 18 打印效率列。

5、3D 打印设备单价: 参考華曙高科 2023 年年报数据, 假设 2023 年设备单价为 314 万元, 由于市场成熟, 我们假设未来几年设备价格会下降。

6、手机中框 3D 打印市场空间: 我们假设 2023-2028 年手机中框 3D 打印渗透率由 5%提高至 40%-50%区间, 利用上述参数并结合智能手机出货量, 我们可以分别推算出钛合金 3D 打印设备和钛合金 3D 打印粉末的市场空间, 可以看到至 2028 年, 随着 3D 打印渗透率达到 40%-50%, 全球 3D 打印产业总市场规模预计约 756-945 亿元, 中国 3D 打印产业总市场规模约 174-217 亿元。

表 18: 手机中框 3D 打印市场空间测算参数

中框体积 (cm ³)	6.0-8.0
钛合金密度 (g/cm ³)	4.51
钛合金中框重量 (g)	34
设备每年运行时间 (h)	4050
设备单激光打印效率 (g/h)	120
双激光设备每年打印钛合金手机中框个数 (个/年)	28588.24
粉末价格 (元/kg)	850
粉末利用率	50%
设备单价	313.8

资料来源: 苹果及小米官网、艾邦智造、阿里巴巴、铂力特公众号、华曙高科公众号、华曙高科公告、晶成钛业官网、国海证券研究所

表 19: 手机中框 3D 打印市场空间测算结果

全球								
时间	渗透率	打印效率 (个/年)	智能手机出货量 (亿台)	需要的设备台数 (台)	设备单价 (万元)	设备市场空间 (亿元)	粉末市场空间 (亿元)	总市场空间 (亿元)
2023	5%	28588	11.63	2035	313.8	63.85	33.62	97.47
2024E	10%	29000	12.10	4172	300	125.17	69.94	195.11
2025E	15%	29000	12.38	6403	300	192.08	107.32	299.40
2026E	20%	29000	12.66	8733	250	218.33	146.38	364.71
2027E	30%	29500	12.95	13174	250	329.35	224.63	553.97
2028E	40%-50%	29500	13.25	17969-22461	250	449.23-561.53	306.39-382.99	755.62-944.52
中国								
时间	渗透率	打印效率 (个/年)	智能手机出货量 (亿台)	需要的设备台数 (台)	设备单价 (万元)	设备市场空间 (亿元)	粉末市场空间 (亿元)	总市场空间 (亿元)
2023	5%	28588	2.71	474	313.8	14.89	7.84	22.73
2024E	10%	29000	2.87	990	300	29.69	16.59	46.28
2025E	15%	29000	2.91	1507	300	45.20	25.26	70.46
2026E	20%	29000	2.96	2039	250	50.98	34.18	85.16
2027E	30%	29500	3.00	3052	250	76.30	52.04	128.34
2028E	40%-50%	29500	3.05	4130-5163	250	103.26-129.07	70.43-88.03	173.68-217.11

资料来源: 苹果及小米官网、艾邦智造、阿里巴巴、铂力特公众号、华曙高科公众号、华曙高科公告、晶成钛业官网、IDC、IT之家、国海证券研究所

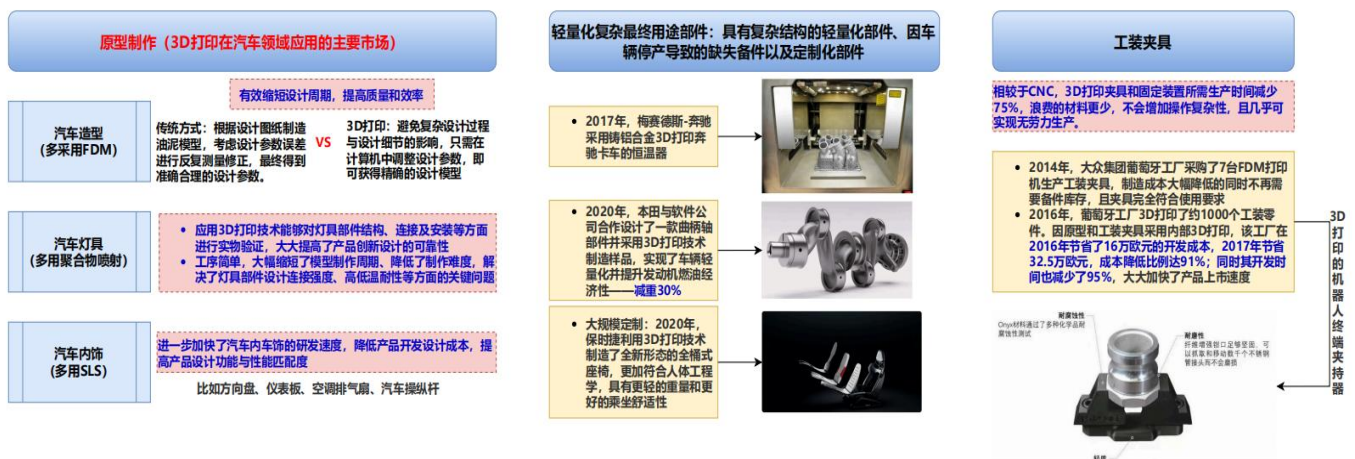
5、汽车及人形机器人应用

5.1、汽车：缩短研发周期、助力降本增效

5.1.1、主要应用方向：前端研发

目前 3D 打印技术在汽车设计领域应用较多，可以提高设计质量、拓宽设计空间。3D 打印虽然不能大批量、低成本、高效率的制作出类似汽车三大件的核心零部件，但可以为汽车产品设计的创意性、精细化发展提供技术支撑，主要应用于汽车零部件的原型制造、轻量化复杂最终用途部件以及工装夹具，为整车生产链条锦上添花。3D 打印技术不断融入汽车的生产制造过程，宝马、大众、福特、本田等车企都在各自的设计中心探索着 3D 打印对汽车生产制造带来的更多可能性。相比于传统造车过程，3D 打印技术可以为车企节省更多的成本，缩短研发到上市的时间；同时，3D 打印机可以 24 小时全天候工作，减少人力成本，并可以通过接收到的数据进行逆向生产，让整个汽车制造过程变得更加灵活多变，使汽车制造业变得更加高效。

图 61：汽车领域 3D 打印的应用



资料来源：《3D 打印技术在汽车设计中的应用》（韦学军，2022）、中国 3D 打印网、Newsroom、华港科技官网、国海证券研究所

5.1.2、3D 打印有望改变传统电动汽车制造方式

特斯拉 3D 打印砂型模具，助力一体化压铸降本增效。据南极熊 3D 打印，2023 年 9 月，特斯拉在一体化压铸上取得技术突破，可将电动汽车几乎所有复杂车身底部零件压铸成一个整体。传统的金属模具改造既昂贵又耗时：比如仪表板模具的成本在 10 万-15 万美元，保险杠模具的成本在 5 万-10 万美元，发动机部件模具的起价约为 2 万美元，最高可达 8 万美元以上；此外，这些模具设计一次调整可能花费高达 10 万美元，从头开始创建一个全新的模具成本可能飙升至 150 万美元，特别是对于汽车底部等大型复杂结构。因此需要详细的设计工作、专门的机械和劳动力、满足质量和安全标准的严格测试以及铸造所需的耐用材料的成本。相比之下，3D 打印砂模既可以节约成本又可以缩短验证周期：工程师可以

使用数字设计文件和 3D 打印机轻松修改设计，并且可以在数小时内以较低的成本打印出新的砂模，砂型铸造的设计验证过程成本是现有方案中最低的，仅为金属原型的 3%，并将设计验证周期从长达一年缩短至两到三个月，实现更快速的创新和调整。3D 打印砂模与一体化压铸技术的结合将令特斯拉生产成本减半，或改变传统的电动汽车制造方式。

意大利 XEV 是一家“互联网+工业 4.0+智能电动汽车”的新兴造车公司，团队来自宝马、大众等知名车企，其创新型汽车工厂的核心为智能增材生产解决方案，通过多台汽车级智能 3D 打印机的配合，达到环保高效以及低成本的汽车 3D 打印生产线。XEV 创新型汽车工厂相比传统的汽车生产线，可将成本和新车研发时间减少多达 90%。EV 的产品 YOYO 全身采用 3D 打印技术制造，尽管只是首批试制车，YOYO 目前已获得多项认证，是全球首台量产化 3D 打印新能源汽车；3D 打印的复杂结构可提升其零件的强度，同时也提升了整车的安全性和可靠性。

图 62：特斯拉 Model Y 一体成型车架将原来 70 个零部件合为 2 个大件



资料来源：中国 3D 打印网

图 63：XEV 旗下 LSEV 电动汽车部件采用 3D 打印需要花费的时间



资料来源：3D 打印网

5.1.3、宝马、大众等车企也逐渐启用 3D 打印技术

大众：2019 年开始使用惠普金属 3D 打印技术进行大规模定制和装饰部件的制造，目标是每年制造 5-10 万个足球大小尺寸的零件，包括变速杆和后视镜支架等。大众成立了加州创新与工程中心（IECC），推出了一款集成 3D 打印的独特概念车，并宣布与 GKN、惠普一同在 HP Metal Jet 上生产了 10000 个金属零件。为了利用粘结剂喷射的优势，大众正在扩大与惠普的合作伙伴关系，以布局更多产能，并引入西门子为该技术提供专门的软件。截至 2022 年，使用粘结剂喷射制造的第一批汽车零部件已送往大众的奥斯纳布吕克工厂进行认证；该零件用于大众 T-Roc 敞篷车的 A 柱，其重量是由钢板制成的传统部件的一半。

福特：2021 年开始计划在规模化汽车制造中采用 3D 打印技术，正在开发的 3D 打印零部件将用于福特“非常受欢迎的车型”的全面生产。针对 3D 打印下一代电动机，福特还与蒂森克虏伯、亚琛工业大学组成联盟展开研究，以开发下一代电动汽车灵活、可持续的生产工艺：通过 3D 打印电动机铜线圈绕组，改变电动机线圈设计思路，传统工艺的铜丝或者铜片在狭小的电动机定子、转子空间内很难展现最优设计，而 3D 打印将带来一定的改变。

宝马：2019 年，启动 IDAM 联合项目，旨在推动“汽车领域增材制造技术的工业化和数字化”。IDAM 目标是建立两条试验线，一条在 GKN 的波恩工厂，另一条在宝马集团的慕尼黑工厂；具体目标是每年采用 3D 打印技术制造至少 50000 个批量生产的零部件和 10000 多个备品备件。IDAM 试生产线包含一个开放式体系结构，可适用于任何 LPBF 系统。2020 年，宝马投资 1500 万欧元的慕尼黑 3D 打印工厂正式启动，在德国 IDAM 计划支持下，该 3D 打印工厂还建设了模块化和几乎完全自动化的 3D 打印生产线，涵盖了从数字化设计到零部件 3D 打印制造再到后处理的全过程。通过综合考虑融入汽车生产线的要求，项目合作伙伴计划将流程链中的手工部分从目前的约 35%减少为不到 5%；同时 3D 打印金属零部件的单位成本应该减半。

图 64：HP Metal Jet 技术生产的汽车零部件

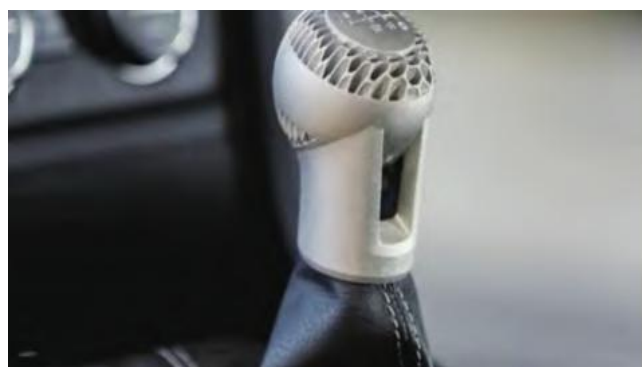


图 65：宝马慕尼黑 3D 打印工厂



资料来源：《3D 打印在新能源汽车制造领域的应用与发展趋势》（王晓燕等，2022）

资料来源：3D 科学谷

使用 3D 打印技术有助于车企节约成本和时间，3D 打印在汽车行业的应用场景未来有望继续突破。在竞争激烈的汽车制造行业，越来越多的制造商采用 3D 打印技术在大批量生产前低成本的测试产品和制造定制化的配件。虽然现阶段主流的 3D 打印技术只停留在前端研发和样品生产阶段，尚不能进入大规模生产环节，但仅在样品试制阶段，就已经为企业节省了不少成本及时间。我们预计未来 3D 打印有望给汽车行业带来较大突破，类似 YOYO 这种量产型 3D 打印新能源车逐渐成为可能，在前端研发环节进一步渗透的同时，向终端生产环节延伸。

5.2、人形机器人：3D 打印助力人形机器人实现灵活运动

至 2020 年，波士顿动力的 Atlas 人形机器人经过了 11 年的发展史，它集成了世界上最先进的技术，可以实现高度多样化和灵活的运动。在所有先进技术中，**3D 打印为 Atlas 的零件赋予了跳跃和翻腾所需的最佳强度/重量比**。在 Atlas 机器人制造中 3D 打印技术不仅可以定制非标部件伺服阀，还可以优化腿部结构设计、减轻机器人肢体惯性，并打印液压动力单元（HPU）实现更高效率。

表 20: Atlas 3D 打印的人形机器人零件

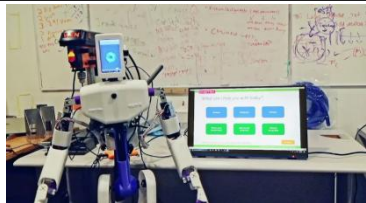
零件	应用场景	打印实物图
非标部件伺服阀	随着机器人体积越来越小，市面上较难找到适用于它的高性能伺服阀；研究团队自行开发，采用 3D 打印制作了比航天使用的更小巧、更轻质的伺服阀，新的伺服阀拥有多种模式，阀门响应时间短，旁路泄露极低。	
腿部结构	为解决机器人本身重量较高带来的肢体惯性问题，研究团队对 Atlas 的腿部进行了优化设计，使其更轻、更紧凑、更加集成：团队用 3D 打印制造了 Atlas 的腿部结构，将执行器和液压管线直接嵌入到了腿部的结构中，代替了传统的组装方式，大大减少了零部件数量，让腿部更轻便。从结构图可以看出，Atlas 腿部采用了仿生设计，具有高强度/重量比的晶格以及类似人类骨骼的多孔结构，既保证强度又减轻质量。	
液压动力单元（HPU）	波士顿动力将 3D 打印应用于制造 Atlas 机器人的液压动力单元（HPU），可以制造紧凑、轻量型阀块，较大减轻重量并提高空间利用率，并具有相当的可扩展性。HPU 位于机器人的中心位置，3D 打印用于制造收集电力并输出液压动力所涉及的稳态控制器、传感器、过滤器、排污阀等部件，有效利用了原本剩余的空间。此外，Atlas 的歧管有 18 个阀门，实现机器人上半身功能，通过结构有机设计和 3D 打印减轻了压力下降的问题，并淘汰了大量过剩的组件。最终整个结构的重量仅为 5 千克，功率达到 5 千瓦。	

资料来源：3D 打印技术参考、AM 易道公众号、国海证券研究所

除 Atlas 外，3D 打印在其他的人形机器人上也实现了较多应用。InMoov 是第一个开源的 3D 打印手部假肢，现在是一款真人大小的 3D 打印机器人；意大利公司 Youbionic 为 Boston Dynamic 的另一款机器狗 SpotMini 搭载了一双 3D 打印仿生手臂；法国公司 Pollen Robotics 于 2019 年推出了高度互动的人工智能机器人 Reachy；英国公司 Engineered Arts 打造的 Ameca 某些部分（例如牙齿和牙龈）使用 3D 打印制成等。

传统的机器人设计受限于加工工艺，很难实现结构件的一体化制造，导致机器人笨重低效；而 3D 打印可以打破设计约束，将传统需要组装的多个零件“打印”成一个整体结构，不仅减轻了重量，提高了强度，还能实现更加复杂、灵巧的设计。随着 3D 打印材料与工艺的不断进步，未来 3D 打印在人形机器人领域的应用将会不断深化，帮助其实现更优异的性能。

表 21：除 Atlas 外其他应用 3D 打印技术的人形机器人案例

人形机器人类型	制作者	时间	应用部位	机器人实物图
InMoov	法国雕塑家兼设计师 Gael Langevin	2012 年	最早的 3D 打印机器人项目之一，最初是一个假肢手，是第一个开源的 3D 打印手部假肢，现在是一款真人大小的 3D 打印机器人	
SpotMini	意大利公司 Youbionic	2018 年	3D 打印仿生手臂，使其拥有了类人的双臂，可以完成更多人类的工作	
ASPIR V2	John Choi	2019 年	其机身由 90 个部件组成，每个部件均为 3D 打印，具有高度灵活的人形自动化，大小适合儿童	
Reachy	法国公司 Pollen Robotics	2019 年	3D 打印的机器人躯干，足够灵活，可以玩井字棋或端咖啡。机器人每个部分都是 3D 打印的	
Ameca	英国公司 Engineered Arts	2021 年	具有逼真的面部表情和肢体动作外，还拥有麦克风、摄像头和扬声器，可以实现实时人际互动，其某些部分（例如牙齿和牙龈）使用 3D 打印制成	
Youbionic X1 Pro	意大利公司 Youbionic	/	全 3D 打印人形机器人，由低成本电子伺服电机组成，由简单直观的控制板控制，其结构采用模块化设计，可轻松定制	

资料来源：All3DP、AM 易道公众号、中关村在线、Youbionic 官网、国海证券研究所

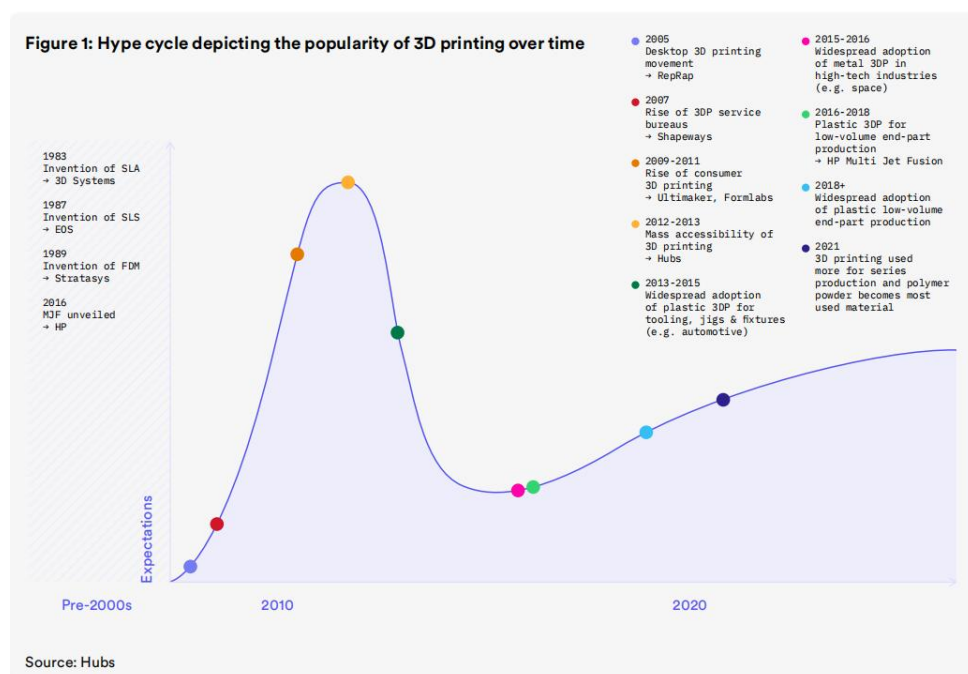
6、行业规模、格局及增长空间

6.1、行业规模

6.1.1、3D 打印行业目前处于成长上升期

3D 打印产业目前处于成长上升期。据 HUBS 发布的《3D Printing Trend Report 2022》，21 世纪以来 3D 产业发展经历三个阶段：1) 2005 年-2013 年，3D 打印初步形成商业模式，桌面 3D 打印、消费级打印服务快速发展；2) 2013 年-2021 年，渗透率缓慢提升，金属 3D 打印、塑料 3D 打印进入工业生产；3) 2023 年以后 3D 打印首次大规模进入 3C 消费电子行业。经过 30 多年的发展，增材制造产业正从起步期迈入成长期，渗透率呈现快速增长趋势。

图 66: 3D 打印产业周期



资料来源：《3D Printing Trend Report 2022》HUBS

6.1.2、2013-2023 年行业规模以 21%复合增速增长，2023 年全球销售额达 200 亿美元

全球增材制造市场规模不断增长，2013-2023 年期间复合增速超 20%。根据 Wohlers Associates 统计数据显示，全球增材制造产业产值（包括产品和服务）持续上升，2010 年以来，除 2020 年受疫情影响增速有所放缓，其余年份均保持较高的增长，增速在 10%以上，2013-2023 年十年期间 CAGR 达 20.8%，实现翻倍式增长。2023 年，全球增材制造行业首次突破 200 亿美元大关，销售额达到 200.35 亿美元，同比增长 11.1%；其中金属增材制造市场同比实现了 24.4% 的增长，共出货约 3793 套金属增材制造系统，2022 年出货量为 3049 套。

图 67：1995—2023 年全球增材制造产业产值及增速



资料来源：3D 打印技术参考、《中国战略性新兴产业研究与发展：增材制造》、Wohlers Associates、国海证券研究所

2015-2020 年我国增材制造市场以 30% 左右增速保持高速增长, 预计 2021-2025 年增速约 25%。中国增材制造行业相对欧美国家起步较晚, 在经历了初期产业链分离、原材料不成熟、技术标准不统一与不完善及成本昂贵等问题后, 目前已日趋成熟, 且我国高度重视增材制造产业发展, 近年来 3D 打印应用程度不断深化, 我国增材制造市场呈现快速增长趋势。据中国增材制造产业联盟统计, 在 2015-2017 年三年期间, 我国增材制造产业规模年均增速超过 30%; 据前瞻产业研究院数据, 2017-2020 年, 中国 3D 打印产业规模逐年增长, 年复合增速 29.4%, 显著高于同期全球平均增速 20.3%, 2020 年中国 3D 打印产业规模为 208 亿元, 同比增长 32.1%。根据前瞻产业研究院预测, 到 2025 年我国 3D 打印市场规模将超过 630 亿元, 2021-2025 年复合年均增速接近 25%。

图 68：2017—2025 年中国增材制造产业产值及增速



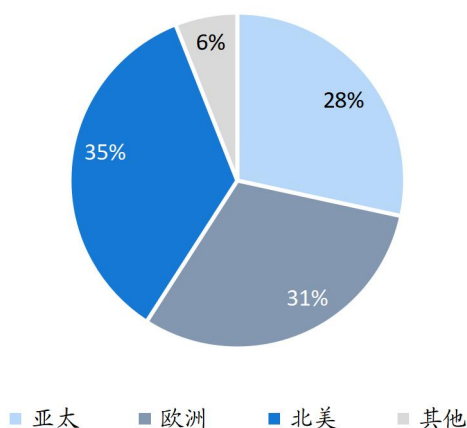
资料来源：华曙高科招股书、前瞻产业研究院、国海证券研究所

6.2、行业格局

6.2.1、国家层面：欧美领先、亚洲追赶，美国和中国位列前二

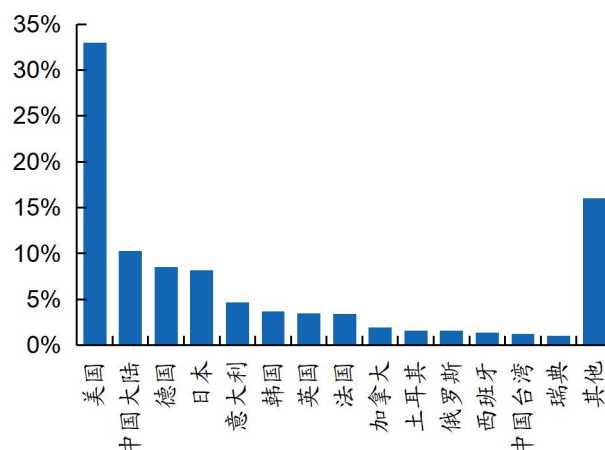
全球增材制造装备装机量欧美地区处于领先地位，亚洲国家逐渐追赶，美国和中国装机量份额排名前二。据铂力特公告，截至 2023 年 9 月，全球 3D 打印市场主要集中在北美、欧洲和亚太地区三个地区，三个地区的 3D 设备累计装机量合计占全球的 95%，其中约 35%在北美（美国为主），欧洲和亚太地区各占 30%左右。分具体国家看，美国、中国、日本和德国四个国家累计装机量排名前列，其中美国占比 33.0%，处于领先地位，中国（大陆和台湾）占比 11.5%，位列第二。从企业数量来看，3D 打印企业集中在美国、德国及中国：据华曙高科招股书，2021 年美国 3D 打印制造商数量 59 家排名第一，德国制造商数量 38 家排名第二，中国制造商数量 37 家排名第三。

图 69：全球增材制造设备装机量分布格局（截至 2023 年 9 月）



资料来源：铂力特公告、国海证券研究所

图 70：分具体地区全球增材制造设备装机量份额（截至 2023 年 9 月）

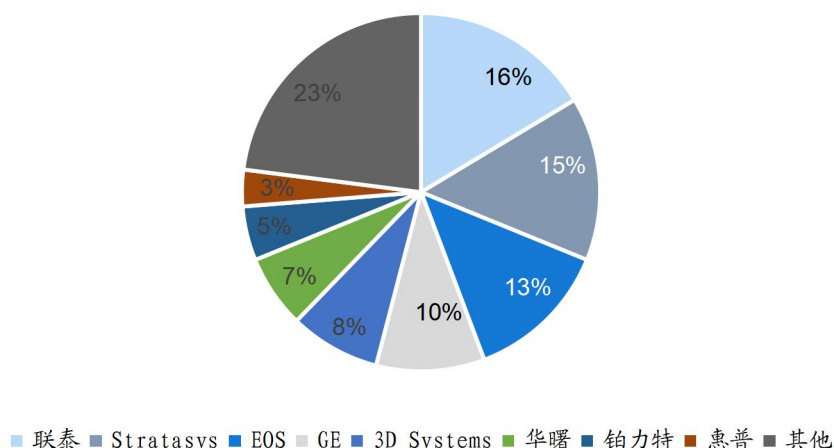


资料来源：铂力特公告、国海证券研究所

6.2.2、企业层面：格局相对分散，竞争较为激烈

增材制造行业经过 30 余年的发展，技术不断创新，规模稳步增长，技术体系和产业链条不断完善，目前已建立起较为稳定的增材制造产业生态体系和行业竞争格局，呈现出行业整体高速增长，由几家巨头主导，其他设备制造商后起追赶的发展态势。国际市场，EOS、SLM Solutions 和 3D Systems 等公司起步较早，占据领先地位，随着 GE、HP 等的快速发展，逐步取得较高市场份额。国内市场上，主流设备品牌包括联泰、Stratasys、EOS、GE、3D Systems、华曙、铂力特和惠普等；据中商产业研究院数据显示，截至 2023 年 3 月，联泰在 3D 打印行业中市场占比最大达 16.4%，其次为 Stratasys 和 EOS，分别占比 14.8%和 13.1%。目前行业内头部企业主要工艺为 SLS、SLM，且多为解决方案的提供商，业务涵盖 3D 打印产业链的上中下游，提供打印设备、材料及服务的全流程解决方案；头部企业如 3D Systems、EOS、SLM Solutions 等应用领域多为航空航天、汽车等工业制造和医疗两大领域，Desktop Metal、先临三维、纵维立方等企业则以消费级 3D 打印设备及服务为主。

图 71: 中国 3D 打印设备市场竞争格局 (截至 2023 年 3 月)



资料来源: 中商产业研究院、国海证券研究所

表 22: 全球市场 3D 打印行业主要企业对比

所属国家	企业名称	产品布局			主要工艺	营业收入	市场占有率	应用领域
		打印材料	打印设备	打印服务				
德国	EOS	✓	✓	✓	SLS、SLM	暂未上市, 数据未披露	2023 年欧美市场占有率超 40%	汽车、航空、消费品、医疗
德国	SLM Solutions	✓	✓	✓	SLM	2022 年 1.06 亿欧元	2021 年 2.15%	航空航天与国防、汽车、能源、医疗等
美国	惠普 (HP)	✓	✓	✓	MJF	2021 年 4102 亿元, 但未披露其 3D 打印设备的财务数据	-	消费电子、医疗、工业等
美国	3D Systems	✓	✓	✓	SLA、SLS、SLM	2023 年 4.88 亿美元	2021 年 6.89%	航空航天、汽车、珠宝, 牙科等医疗保健领域
美国	Stratasys	✓	✓	✓	FDM、PJ、SLA	2023 年 6.28 亿美元	-	航空航天、汽车、消费品、牙科等
美国	Desktop Metal	✓	✓	×	3DP (粘结剂喷射)	2023 年 1.90 亿美元	-	消费、汽车、教育等
英国	Renishaw	✓	✓	×	SLM	20223 年 6.89 亿英镑 (包含非 3D 打印业务收入)	-	航空航天、汽车、医疗
美国	Velo 3D	✓	✓	✓	无支撑金属 3D 打印	2023 年 7744 万美元	-	航空航天、国防及能源
国内企业	铂力特	✓	✓	✓	SLM、LSF、WAAM	2023 年 12.3 亿元	2021 年 1.06%	航空航天发动机、医疗、科研
	华曙高科	✓	✓	✓	SLM、SLS	2023 年 6.1 亿元	2021 年 1.42%	航空航天、汽车、模具、3C 及消费品
	联泰科技	✓	✓	✓	SLA、SLM、SLS 等	终止上市、未披露	-	电子、牙科、教育、文创、建筑

先临三维	×	✓	✓	SLA、FDM	终止上市，未披露	-	工业和齿科
纵维立方	✓	✓	×	SLA、FDM	暂未上市，未披露	-	珠宝、医疗、教育

资料来源：华曙高科招股书、前瞻产业研究院、各公司年报及官网、ifind、国海证券研究所

6.3、增长空间：收入规模有望实现翻倍式增长

经过 30 多年发展，增材制造产业正从起步期迈入成长期，近年来呈现快速增长趋势，至 2023 年全球增材制造行业销售额达到 200.35 亿美元；根据 Wohlers 预测，到 2025 年全球增材制造收入规模将较 2020 年将增长 2 倍，达到 298 亿美元，到 2030 年将增长 5.6 倍，达到 853 亿美元。

分市场来看，（1）**航空航天市场**：根据 QYResearch 最新调研报告，预计至 2030 年全球航空航天 3D 打印市场规模将达到 24.88 亿美元（按 2024 年 10 月 10 日汇率折算约 175.9 亿人民币），2024-2030 年复合增长率 CAGR 为 15.35%；（2）**消费电子市场**：根据前文测算，随着 3D 打印在消费电子领域渗透率的提高，折叠屏手机铰链和手机中框 3D 打印市场空间广阔，至 2028 年 3D 打印在消费电子领域渗透率达 40%-50% 时，上述两大领域全球 3D 打印市场总规模预计将达 792.2-990.2 亿元，中国 3D 打印市场规模将达 190.8-238.5 亿元；（3）**汽车和医疗市场**：根据《Global Additive Manufacturing Market, Forecast to 2025》报告显示，从 2015 年到 2025 年，全球汽车行业、垂直医疗设备的 3D 打印收入将分别以 34% 和 23% 的复合增速增长，假设 2020 到 2029 年全球汽车行业、垂直医疗设备的 3D 打印收入仍保持同样的增长速度，预计未来十年全球汽车行业、垂直医疗设备的 3D 打印市场价值将分别到达 991.75 亿美元（按 2024 年 10 月 10 日汇率折算约 7011.7 亿人民币）和 480.22 亿美元（按 2024 年 10 月 10 日汇率折算约 3395.2 亿人民币），年均 99.18 亿美元和 48.02 亿美元。

7、海外公司巡礼

7.1、3D Systems

7.1.1、主要技术路线 SLA、SLS 和 SLM，应用领域为工业和医疗保健

美国 3D Systems 成立于 1986 年，在纽约证券交易所上市，目前系全球销售规模最大的 3D 打印解决方案供应商，提供“从设计到制造”全套增材制造解决方案，包括 3D 打印机、打印材料、打印服务和云计算按需定制部件。主要技术路线为 SLA、SLS 和 SLM，业务领域分为工业和医疗保健两大板块；其中工业板块包括航空航天与国防、汽车、铸造和消费科技等，在航空航天领域，具体应用有无源射频硬件、轻量支架、发动机部件、推进器、热交换器等，在汽车领域，具体应用有发动机舱和动力系统、车身内部和装饰等；医疗保健板块包括牙科、医疗设备和生物打印。

图 72：3D Systems 金属 3D 打印机产品



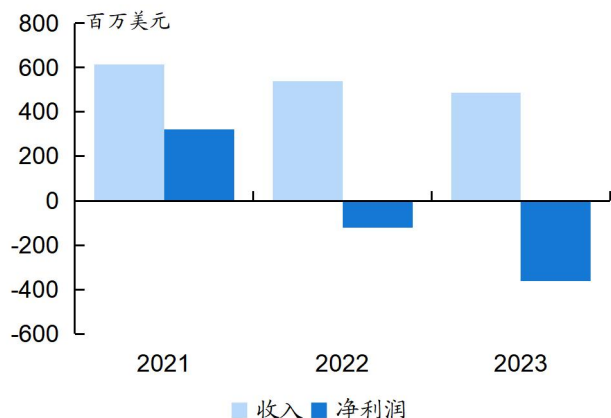
资料来源：3D Systems 官网

7.1.2、财务情况：2023 年收入规模约 5 亿美元

2021-2023 年 3D Systems 公司营收有一定下滑，2023 年营收 4.88 亿美元，净利润-3.63 亿美元。据知产力，2012-2022 年 3D Systems 营收维持在 5-7 亿美元，商业化层面表现较差，营收增长遇阻一方面主要由于 2013、2014 年部分早期专利失效，技术壁垒有所降低，大量企业涌入进来抢“蛋糕”，尤其是消费级产品市场价格敏感，导致 3D Systems 等老玩家份额下降；2016 年，3D Systems 抽身消费级市场，业务重心转移到牙科领域，维持了业绩平衡；但 2022 年，通货膨胀导致非必要消费意愿下降，3D Systems 公司牙科业务同比下滑 46%，整体营收也下滑较多；2023 年收入继续下降，同比下滑了 9.3%，主要系牙科市场的销量下降，某一关键客户打印机销售减少。另一方面，3D Systems

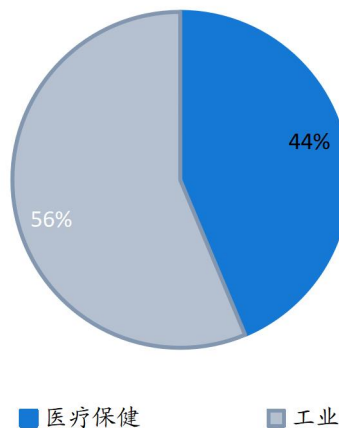
多年横向纵向大量并购，但对于并购企业整合不利，一定程度上拖累了 3D Systems 的业绩，致使其业绩不振、甚至出现亏损。

图 73: 3D Systems 2021-2023 年营收和净利润



资料来源：3D Systems 公告、国海证券研究所

图 74: 3D Systems 2023 年营收构成



资料来源：3D Systems 公告、国海证券研究所

7.2、SLM Solutions

7.2.1、专注于 SLM 技术，2023 年被尼康收购

德国 SLM Solutions 公司是金属激光增材制造设备生产商及服务提供商，于法兰克福上市，专注于选区激光熔化（SLM）相关的高新技术研发及产业化，为客户提供具有高自由度形态部件的设计和制造方法，提供个性化定制及批量的部件生产。应用领域包括航天、汽车、能源、国防、医疗保健和工具制造等，在航空航天领域，应用案例有推力室、热交换器、喷气发动机；在汽车领域，应用案例有铝制电机支架、刹车卡钳、电机外壳。据南极熊 3D 打印，2023 年 1 月 21 日，SLM Solutions 被日本尼康公司收购，用时四个多月，收购总额为 6.22 亿美元（约合 42 亿人民币）；通过此次收购，一方面进一步提升 SLM Solutions 在增材制造领域的领导地位，另一方面尼康将数字制造作为新的增长动力，加强和发展其数字制造业务。

图 75: SLM Solutions 主要产品

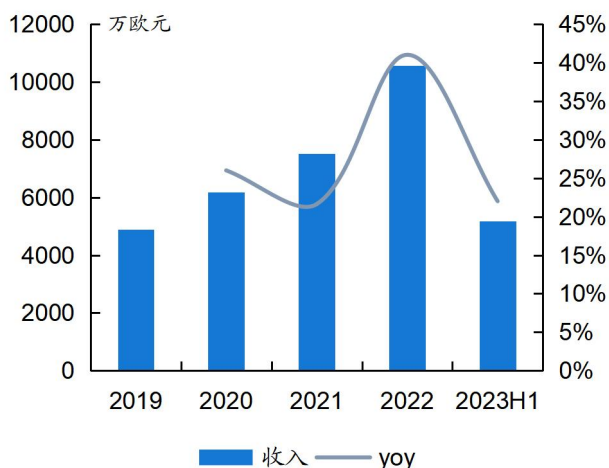


资料来源：SLM Solutions 官网

7.2.2、财务情况：2022 年收入规模约 1 亿欧元

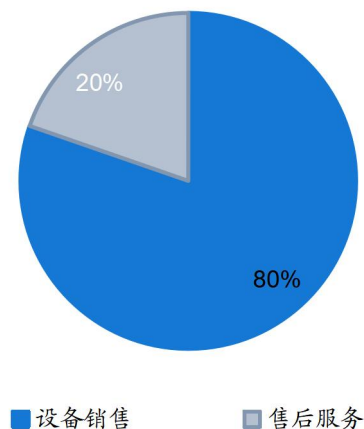
2019-2022 年 SLM Solutions 公司营收逐年增长，且增速保持在 20% 以上，得益于市场对金属增材制造解决方案的强劲需求，2023 年上半年创纪录收入为 5190 万欧元。SLM Solutions 公司营业收入由 2019 年的 4896 万欧元增长至 2022 年的 1.06 亿欧元，每年增速均在 20% 以上，2022 年同比增长了 41%；公司盈利尚未转正，但亏损逐年减少，2022 年调整后的 EBITDA 为 -119.3 万欧元，亏损同比缩窄 86%，盈利能力持续改善。据 SLM Solutions 2022 年年报，公司 2022 年收入 80% 来自设备销售，20% 来自售后服务。

图 76：SLM Solutions 2019-2023H1 营收及增速



资料来源：SLM Solutions 公告及官网、国海证券研究所

图 77：SLM Solutions 2022 年营收构成



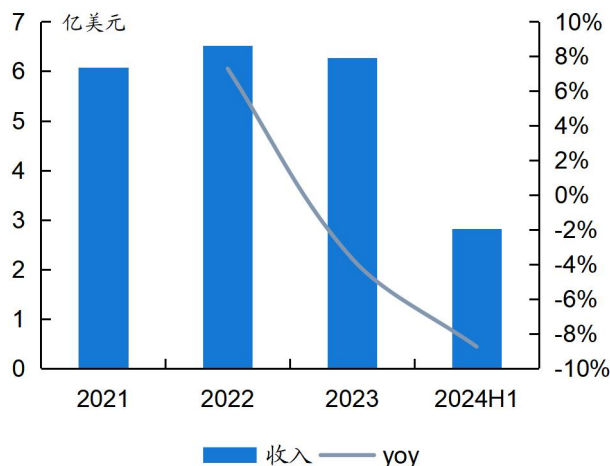
资料来源：SLM Solutions 公告、国海证券研究所

7.3、航空航天领域主要企业

7.3.1、Stratasys：业务以聚合物 3D 打印为主

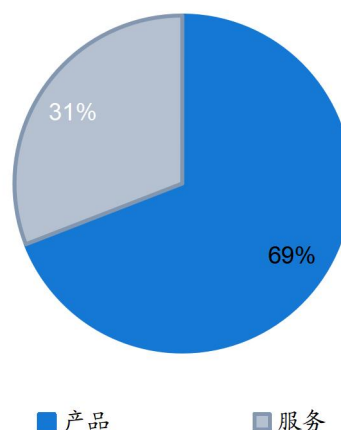
Stratasys 开发工业级增材解决方案，3D 打印产品覆盖的技术路线有 FDM、DLP 和 PJ，以聚合物 3D 打印为主，下游客户分布领域也非常广泛，涵盖航空航天、汽车、消费品、牙科、医疗及教育等。从财务方面看，Stratasys 2023 年收入 6.28 亿美元，同比小幅下滑 3.7%，净亏损 1.23 亿美元；最新报告期即 2024 年上半年公司收入 2.82 亿美元，同比下降 8.7%，净亏损 0.52 亿美元。2023 年公司营收约 69% 来自 3D 打印产品销售，31% 来自 3D 打印服务，销售地区主要为美洲。据 Stratasys 2023 年年报，公司实施北极星战略，最初重心在聚合物 3D 打印，预计后续将通过收购或投资的方式加强和发展金属 3D 打印领域。

图 78: Stratasys 2021-2024H1 营收及增速



资料来源: Stratasys 公告、国海证券研究所

图 79: Stratasys 2023 年营收构成

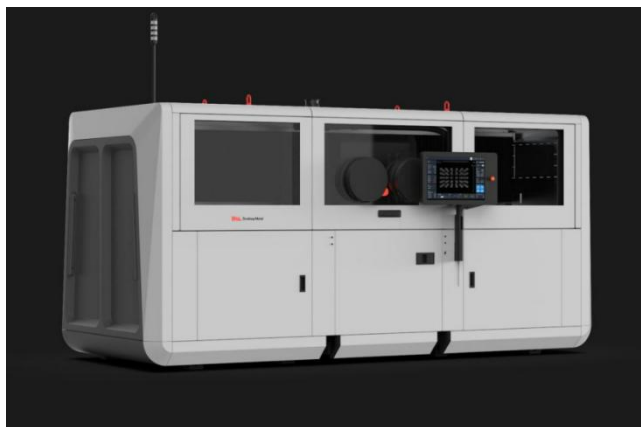


资料来源: Stratasys 官网、国海证券研究所

7.3.2、Desktop Metal: 粘合剂喷射全球领先

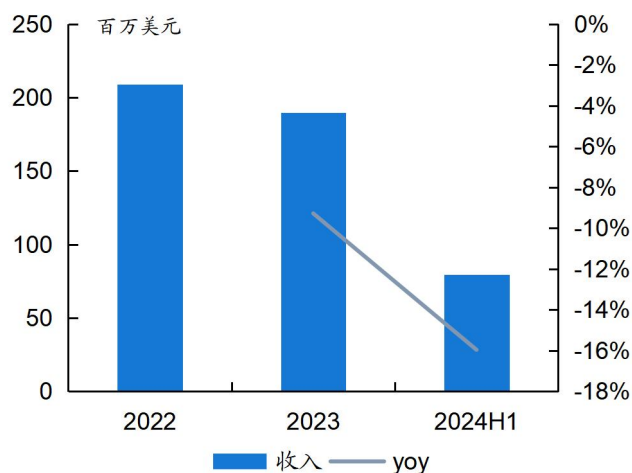
Desktop Metal 是全球领先的粘合剂喷射 3D 打印公司，拥有全球最大的 DLP 聚合物客户网络之一，总部位于美国马萨诸塞州的伯灵顿；公司分销网络现已覆盖 65 个国家，拥有 200 多个合作伙伴。Desktop Metal 产品主要技术路线是粘合剂喷射（BJT）和数字光处理（DLP），覆盖行业有汽车、消费品、重工业、教育及机械设计等。据 Desktop Metal 2024 年二季报显示，2022 年以来公司营收出现一定下滑，2023 年全年收入 1.90 亿美元，同比减少 9.3%，2024 年上半年收入 0.80 亿美元，同比减少 16.0%；公司尚未实现净盈利，但亏损程度呈下降趋势，2024 年二季度调整后的 EBITDA 为-0.13 亿美元，亏损同比收窄 12%。

图 80: Desktop Metal 3D 打印机 P-50



资料来源: Desktop Metal 官网

图 81: Desktop Metal 2022-2024H1 营收及增速



资料来源: Desktop Metal 公告、国海证券研究所

7.3.3、Velo 3D: 金属 3D 打印领先, 与 SpaceX 合作紧密

Velo3D 是金属 3D 打印解决方案的领先供应商, 提供全方位集成金属增材制造解决方案, 首创无支撑金属 3D 打印技术, 大幅减少后期处理、实现高质量的表面光洁度。据 36 氪, 金属增材制造主要是熔池快速凝固的焊接工艺, 在凝固和冷却过程中, 零件承受热应力和残余应力; 而支撑有两个作用, 一是用作锚定固件, 以限制零件并防止零件因热变形而移动, 二是使热量传递。临时支撑结构在直接能量沉积 (DED) 和传统粉末床熔融 (PBF) 中是一个不便的必要条件, 经常需要进行后期加工操作, 后处理会增加成本和时间延迟, 还限制了设计自由度。VELO 3D 可以使现有的粉末床熔融解决方案在无支撑的情况下打印小倾角的结构, 并且内管直径最大可达 100mm, 不仅消除了后处理, 而且还克服了“45 度法则”, 即小于 45 度角需要加支撑的限制。目前 VELO 3D 可以做到不需要支撑结构, 大幅减少后期处理, 实现高质量的表面光洁度, 同时打印大内径的结构, 减少了内部几何结构对支撑结构的依赖。**VELO 3D 下游领域主要为航空航天、国防和能源, 在引擎、热交换器、压力容器、推进器和涡轮机械等方面应用较多, 和 SpaceX 公司合作紧密。**据 VELO 3D 2023 年报, 公司 2023 年实现总收入 7744 万美元, 其中 3D 打印机销售收入 6894 万美元。

图 82: VELO 3D Sapphire 打印机

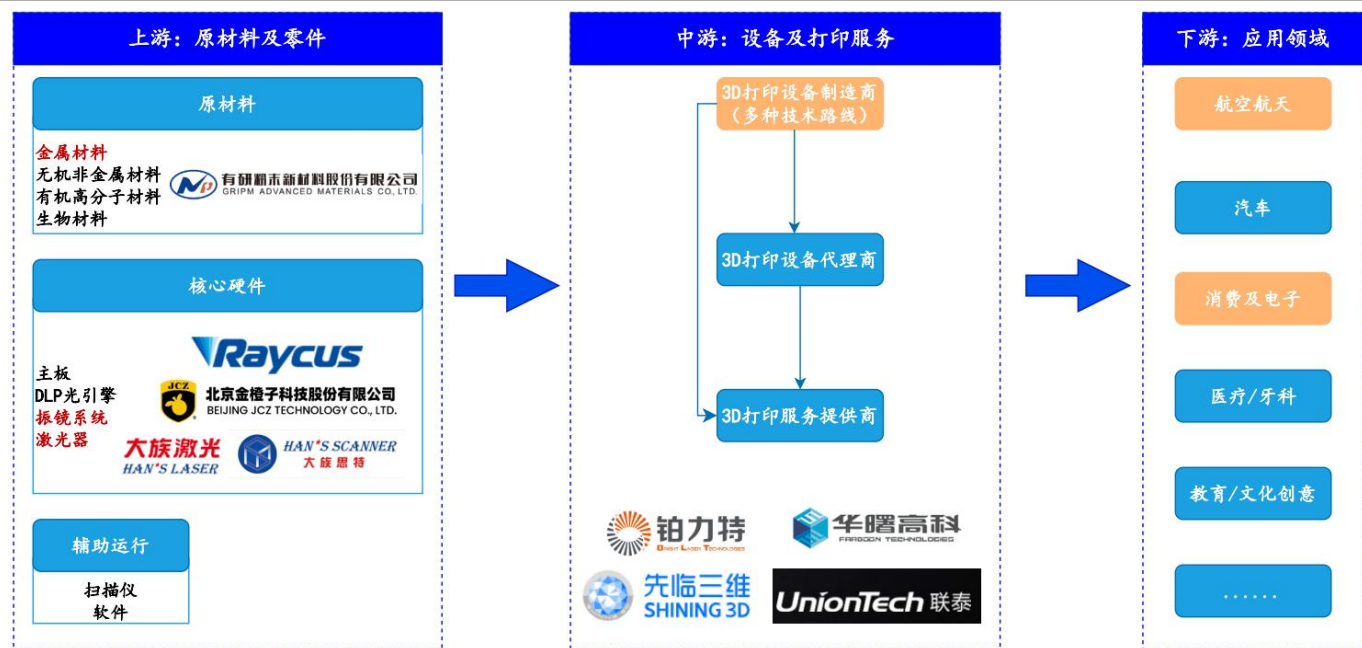


资料来源: VELO 3D 官网

8、产业链国内公司梳理

经过数十年发展，我国 3D 打印产业链已日益成熟，涌现出多家企业。产业链上游企业包括原材料厂商有研粉材，振镜厂商金橙子、大族思特、菲镭泰克等，激光器厂商锐科激光、长飞光坊激光、杰普特激光、大族激光等；中游企业处在产业链核心地位，包括铂力特、华曙高科、先临三维、联泰科技等多家公司；产业链下游后处理环节企业包括金太阳等。

图 83：国内 3D 打印产业链图谱



资料来源：铂力特招股书、华曙高科招股书、各公司官网、国海证券研究所

8.1、产业链上游企业

8.1.1、有研粉材：主营业务为有色金属粉体材料

有研粉末新材料股份有限公司成立于 2004 年 3 月，专业从事有色金属粉体材料的设计、研发、生产和销售，是国内铜基金属粉体材料和锡基焊粉材料领域的龙头企业，2021 年于上交所科创板上市。经过多年积累，公司掌握了球形金属粉体材料制备技术、高品质电解铜粉绿色制备技术、超细金属粉体材料制备技术和 3D 打印粉体材料制备技术等有色金属粉体制备核心技术。公司产品主要分为三大类，分别为先进铜基金属粉体材料、高端微电子锡基焊粉材料和 3D 打印粉体材料，其中 3D 打印粉体材料包括气雾化为主要工艺生产的铝、铜、钛、高温合金、模具钢、钴铬合金等粉末材料，产品杂质含量低、球形度好、成分均匀，主要应用于航空航天、模具制造、生物医疗等领域。据 ifind 数据显示，2023 年公司 3D 打印粉体材料收入约 3045 万元，占总收入比重较小，约 1.1%。

图 84：有研粉材 3D 打印粉体材料产品

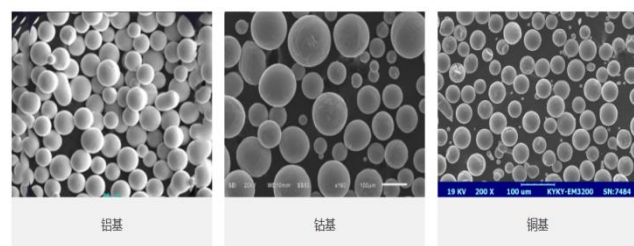
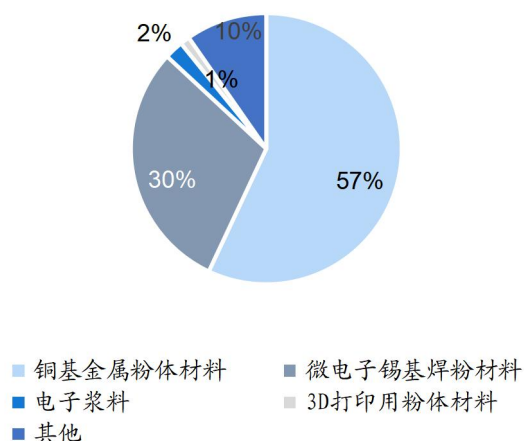


图 85：有研粉材 2023 年营业收入分产品构成



资料来源：有研粉材官网

资料来源：ifind、国海证券研究所

8.1.2、金橙子：振镜控制系统市场领先

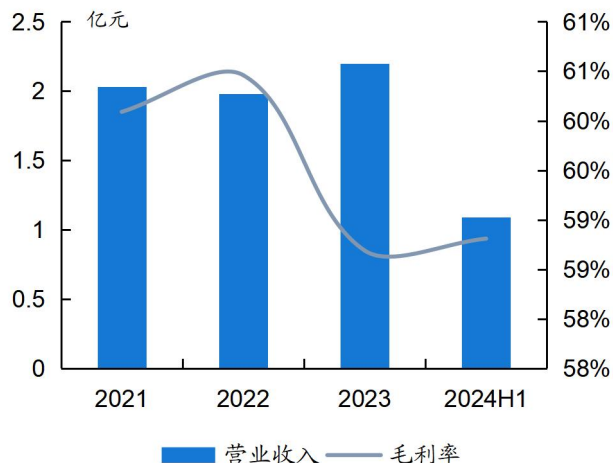
北京金橙子科技股份有限公司于 2004 年成立，是国内振镜控制系统领军企业。据南极熊 3D 打印，按 2020 年振镜控制系统出货量计算，金橙子市占率为 32%。公司主营业务涵盖激光加工控制系统、激光系统集成硬件、激光精密加工设备，据公司 2023 年数据，公司总营业收入 2.20 亿元，其中激光加工控制系统收入占比约七成，收入约 1.52 亿元，激光系统集成硬件收入占比 18%，激光精密加工设备占比 11%；公司产品包括激光标刻控制系统、激光切割系统、激光焊接系统、高精密振镜等，高精密振镜产品以及激光伺服控制系统产品目前正处于市场推广阶段。

图 86：金橙子 FalconScan-14 精密振镜



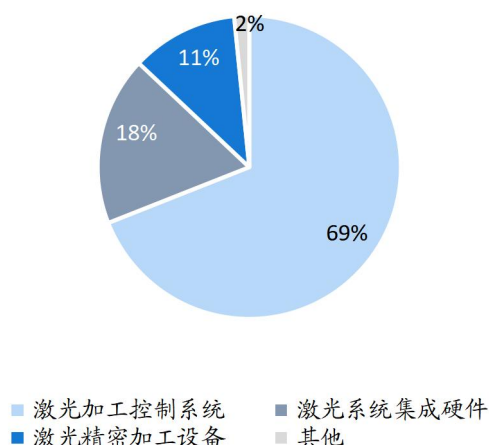
资料来源：金橙子官网

图 87：金橙子 2021-2024H1 营业收入及毛利率



资料来源：ifind、国海证券研究所

图 88：金橙子 2023 年营业收入分产品构成



资料来源：ifind、国海证券研究所

8.1.3、锐科激光：国内工业激光器龙头

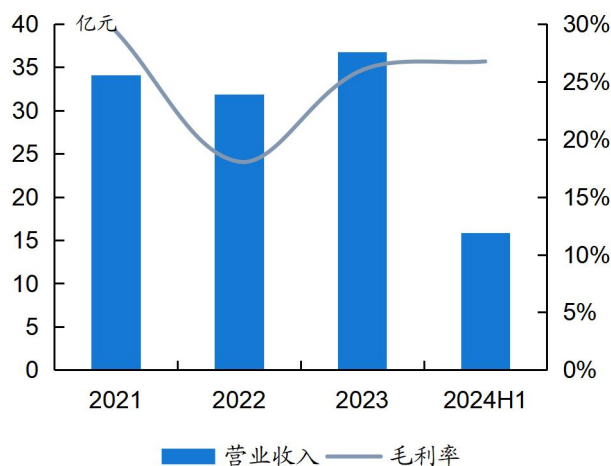
锐科激光为国内工业激光器龙头企业。武汉锐科光纤激光技术股份有限公司是一家专业从事光纤激光器及其关键器件与材料的研发、生产和销售的国家火炬计划重点高新技术企业，是全球有影响力的具有从材料、器件到整机垂直集成能力的光纤激光器研发、生产和服务供应商。公司主营业务包括为激光制造装备集成商提供各类光纤激光器产品和应用解决方案，并为客户提供技术研发服务和定制化产品；主要产品包括脉冲光纤激光器、连续光纤激光器、准连续光纤激光器和直接半导体激光器等，产品广泛应用于激光制造如打标、切割、焊接、熔覆、清洗、增材制造等领域。锐科激光系国内光纤激光器龙头企业，公司高功率激光器技术已达到国际领先水平，在国内市场正逐步实现国产替代。据 ifind 数据统计，公司 2023 年实现总营业收入 36.80 亿元，毛利率 26%。

图 89：锐科激光 3D 打印专用光纤激光器



资料来源：锐科激光官网

图 90：锐科激光 2021-2024H1 营业收入及毛利率



资料来源：ifind、国海证券研究所

8.2、产业链中游企业

8.2.1、铂力特：国内金属 3D 打印龙头企业

铂力特专注于工业级金属增材制造，整体实力在国内外金属增材制造领域处于领先地位。公司提供金属增材制造全套解决方案，业务涵盖金属 3D 打印设备的研发及生产、金属 3D 打印定制化产品制造、金属 3D 打印原材料的研发及生产等，构建了较为完整的金属 3D 打印产业生态链。目前公司已发展成为国内最具产业化规模的金属增材制造创新研发、规模化生产企业，产品广泛应用于航空航天、工业机械、能源动力、科研院所、医疗研究、汽车制造、船舶制造及电子工业等领域；其中在航空航天领域，公司市场占有率较高，与中航工业下属单位、航天科工下属单位、航天科技下属单位、航发集团下属单位、中国商飞下属单位以及各类科研院校等主要客户形成紧密合作关系。公司技术路线主要为激光选区熔化（SLM）、激光立体成形（LSF）技术以及电弧增材制造技术（WAAM）；公司产品的核心技术指标已达到国外同类领先产品的水平。

表 23：EOS 与铂力特 3D 打印设备性能对比

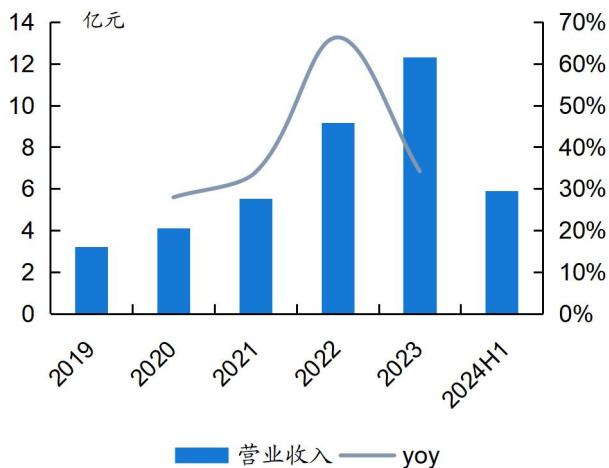
技术指标参数	EOS-M290	铂力特-S400
最大成形尺寸	250mm × 250mm × 325mm	400mm × 250mm × 400mm
分层厚度	20-100 μm	20-100 μm
激光器功率及数量	400W*1	500W*2
激光器光束质量	M ² < 1.1	M ² < 1.1
最大扫描速度	7m/s	7m/s
重复定位精度	± 5 μm	± 5 μm
最高预热温度	100℃	200℃
氧含量	≤ 1000ppm	≤ 100ppm
铺粉机构	单向铺粉	双向铺粉
可打印材料	钛合金、铝合金、高温合金、钴铬合金、不锈钢、高强钢、模具钢等	钛合金、铝合金、高温合金、钴铬合金、不锈钢、高强钢、模具钢等
产品图		

资料来源：铂力特招股书、EOS 官网、铂力特官网、国海证券研究所

铂力特营业收入保持高速增长，毛利率水平较高，在 50% 附近波动，航空航天是公司重要市场。据 ifind 数据显示，2019 年以来公司收入逐年增长，2019-2023 年期间 CAGR 接近 40%，2022 年增速高达 66.3%，2023 年实现收入 12.32 亿元；公司毛利率较高，在 45%-55% 区间波动。分产品来看，目前公司收入主要来源于 3D 打印定制化产品及技术服务和自研 3D 打印设备、配件销售两大板块，

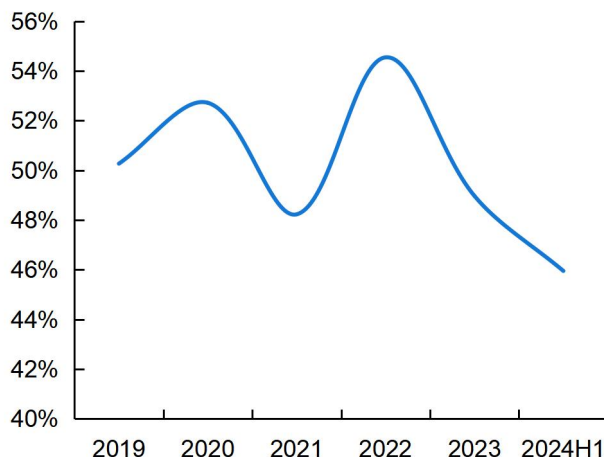
2023 年占总收入比分别为 51%和 43%，此外 3D 打印原材料占收入比约 5%，剩余 1%来自于公司代理销售收入。分行业看，公司收入主要集中在航空航天和工业机械领域，其中 2023 年航空航天领域占比最高，达 56.0%，其次是工业机械领域，占比约 37.3%。

图 91：铂力特 2019-2024H1 营收及增速



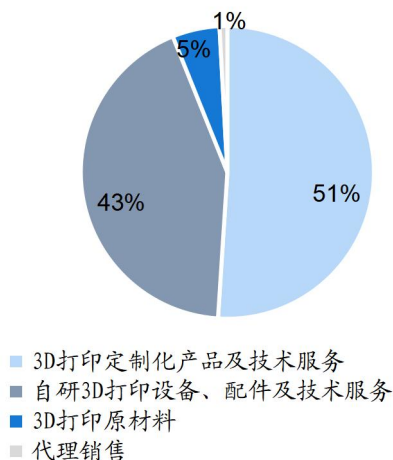
资料来源：ifind、国海证券研究所

图 92：铂力特 2019-2024H1 毛利率



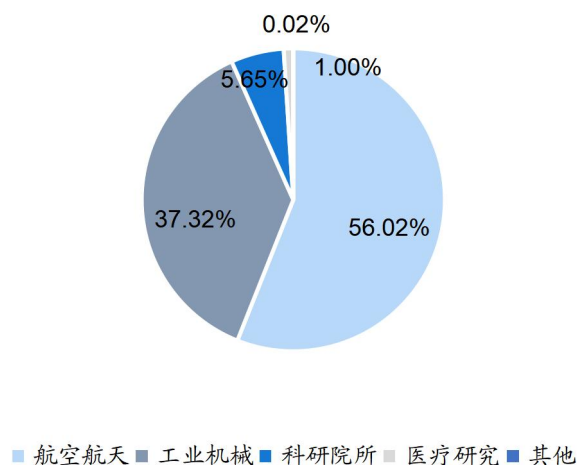
资料来源：ifind、国海证券研究所

图 93：铂力特 2023 年营业收入分产品构成



资料来源：ifind、国海证券研究所

图 94：铂力特 2023 年营业收入分行业构成



资料来源：ifind、国海证券研究所

铂力特实现技术突破，开发出了无支撑金属 3D 打印，同时在文创领域也有较多拓展。对于 SLM 技术来说，当悬垂结构与成形面的夹角大于 45° 时一般无需添加支撑结构，而小于 45° 角时通常需要添加支撑来保证零件成形，支撑从成本和结构可行性等方面限制了增材制造的应用拓展；而公司开发出的无支撑打印技术方案，可以实现 30° 以下悬垂结构的无支撑打印，解决了小角度悬垂结构的成形问题，拓宽了 SLM 成形技术的应用范围，已应用到零件生产中。据公司 2023 年报，公司进一步拓展了文创领域应用市场，包括开发、发布羽毛球、“同舟共

济”奖牌、北京古建、飞机笔架、DNA 手环、《中国诗词大会》徽章等文创产品。

随着航空航天领域对大尺寸精密构件的需求，大尺寸、多激光的高效增材制造装备是未来的发展趋势。目前，国内外均在致力于大尺寸多光束激光选区熔化成形装备及工艺技术研究，包括 EOS、Additive Industries Metal、SLM Solutions 等多家公司均发布了多激光、大成形尺寸的打印设备。铂力特 2023 年发布的 BLT-S1500 配备 26 激光器，设备成形尺寸为 500mm × 1500mm × 1200mm (W × D × H)，突破成形尺寸限制，为工业领域提高“降本、提质、增效”的批量化生产解决方案，推进金属增材制造市场化应用程度不断加深。

8.2.2、华曙高科：工业级增材制造领域龙头企业

华曙高科是我国工业级增材制造设备龙头企业之一。公司定位于工业级增材制造领域，面向工业终端产品的直接制造和产业化应用，提供自主设备和材料；主要工艺路线为选区激光熔融（SLM）与选区激光烧结（SLS）；产品广泛应用于航空航天、汽车、医疗、工业模具、教育科研、电子电器、消费品、文创等领域。公司具有完整性、自主性和开放性的技术优势，与同行业可比公司相比，金属 3D 打印设备的关键技术指标达到国际领先水平，最大成形尺寸和振镜最大扫描速度居于领先水平。同时，公司装机量也位于行业前列：截至 2023 年 2 月，公司在用户处的装机量已超 700 台，单一客户装机量超过 10 台的产业化客户数量近 10 家；其中金属 3D 打印设备全球装机量超过 330 台，中大型金属设备（400mm 以上大尺寸）用户装机量超过 90 台，单一客户金属设备装机量超过 30 台。

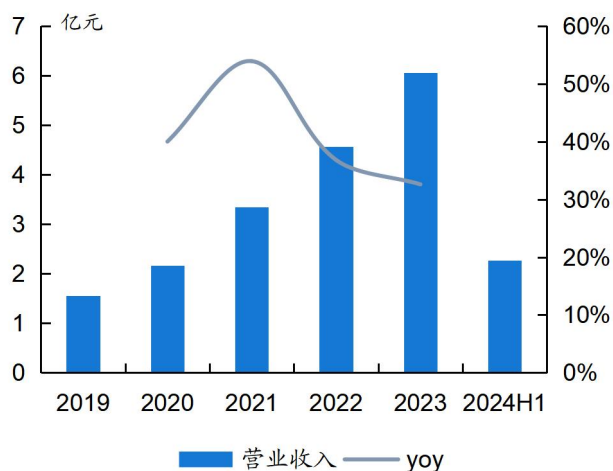
表 24：华曙高科与可比公司金属 3D 打印设备关键技术指标对比

指标	华曙高科	同行业竞争对手			备注	华曙高科指标先进性水平
		EOS	SLM Solutions	3D systems		
最大成形尺寸	1330 × 700 × 1700	450 × 450 × 1000	600 × 600 × 600	500 × 500 × 500	成形尺寸越大，设备设计、制造难度成倍增加；	国际领先
光学系统	动态聚焦技术、定焦技术可选	定焦技术	动态聚焦技术	/	定焦技术适合批量化生产；动态聚焦技术难度更高，更灵活	国际先进
振镜最大扫描速度 (m/s)	15.2	7	10	/	最大扫描速度越快，可有效减少激光扫描跳转时间，生产效率越高	国际先进
软件	全自主研发	设备控制软件自研，数据处理软件购买第三方	设备控制软件自研，数据处理软件购买第三方	全自主研发	全系列软件自主研发，数据安全性更高，开放核心参数，支持快速功能定制，贴合行业应用	国际领先

资料来源：华曙高科招股书、国海证券研究所

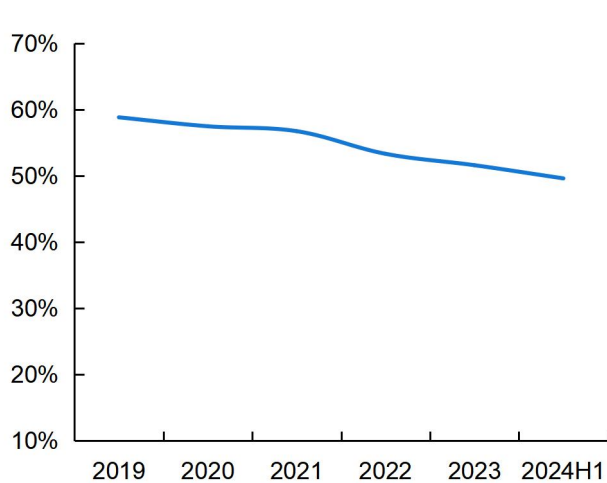
2019-2023 年期间华曙高科营业收入每年以超 30% 的增速增长，毛利率逐渐下滑但仍保持在 50% 左右，盈利能力较强。根据 ifind 数据，公司 2019-2023 年期间营业收入的复合增速高达 41%，且每年增速均在 30% 以上，2023 年实现营收 6.06 亿元，最新报告期 2024 年上半年实现收入 2.27 亿元；公司毛利率逐年下滑，由 2019 年的 58.8% 下降至 2023 年的 51.6%，主要系 3D 打印市场日益成熟、竞争加剧，但公司盈利能力仍较强，全年毛利率保持在 50% 以上。分产品看，公司收入主要来源于 3D 打印设备及辅机配件的销售，2023 年占收入比约 89.1%，3D 打印粉末收入占比约 6.5%；分行业看，公司收入主要来自航空航天领域，2023 年占比约 61%，其次是工业领域，占比 27%，剩余收入分布于高校及科研医疗、政府事业领域。

图 95：华曙高科 2019-2024H1 营收及增速



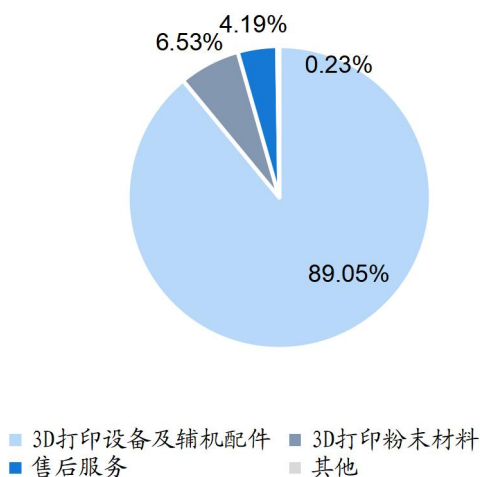
资料来源：ifind、国海证券研究所

图 96：华曙高科 2019-2024H1 毛利率



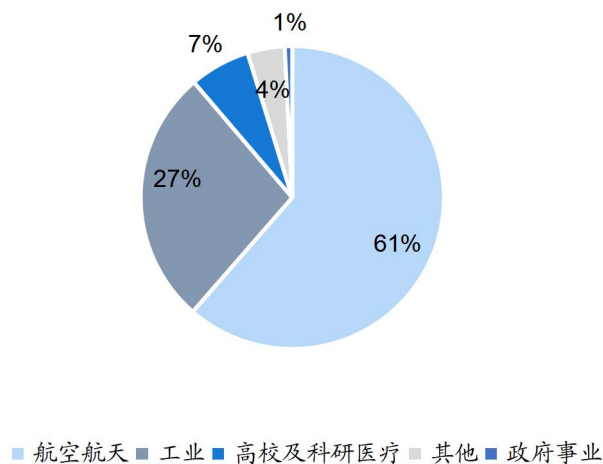
资料来源：ifind、国海证券研究所

图 97：华曙高科 2023 年营业收入分产品构成



资料来源：ifind、国海证券研究所

图 98：华曙高科 2023 年营业收入分行业构成



资料来源：ifind、国海证券研究所

华曙高科在低空经济领域取得突破。据华曙高科 2023 年年报，公司深耕 3D 打印技术领域多年，深入理解下游各行业客户多样化需求，通过自主创新，在增材制造尺寸、效率、质量、成本、智能化等领域不断取得新的突破，推出更多面向产业化细分用户的解决方案。在低空经济领域，公司与国际知名飞行汽车厂商持

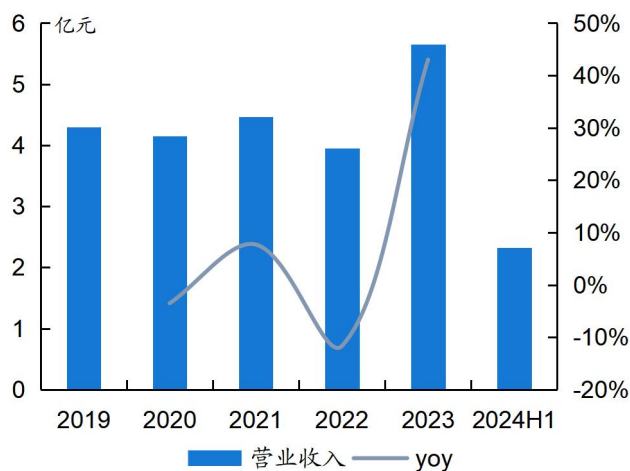
续多年合作并取得新的突破,为未来该领域业务的进一步拓展奠定了良好的技术能力与深厚的市场基础。

8.3、产业链下游企业

8.3.1、金太阳：3D 打印后处理厂商

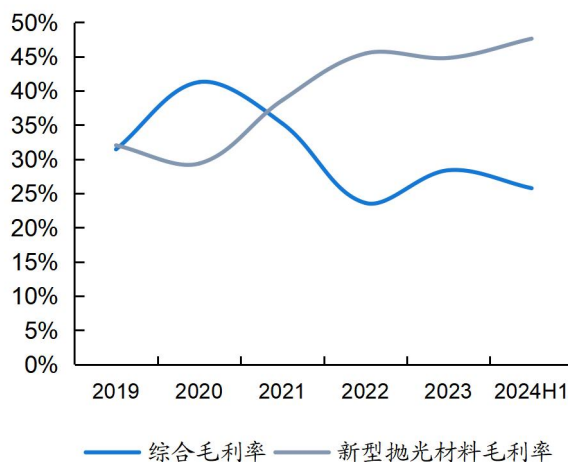
金太阳为 3D 打印后处理环节厂商,未来将聚焦于高端消费电子、钛合金和火箭钢等新材料,重点发展与 3D 打印相关的高端新型抛光材料等。东莞金太阳研磨股份有限公司专业从事中高档涂附磨具产品研发制造,2004 年成立,2017 年在深圳证券交易所成功挂牌上市,一直专注于纸基类及新型基材类研磨产品,产品广泛应用于航空航天、汽车制造、钢铁、3C 电子、家具、乐器、纺织、皮革等行业,为客户的精密研磨和抛光提供高端产品和个性化系统解决方案。据金太阳 2023 年年报,2024 年公司将聚焦于高端消费电子产品的迭代升级及钛合金、火箭钢等新材料的应用,以 3D 打印的规模化应用所带来的精密研磨抛光需求为契机,在保持纸基类、布基类抛光材料稳定增长的基础上,重点推进高端新型抛光材料、精密结构件制造及智能数控装备业务放量增长,加速电子及半导体抛光材料市场推广及量产。据 ifind 数据,2019 年以来金橙子公司营业收入有一定波动,2023 年恢复增长,实现收入 5.65 亿元,同比大幅增加 43.0%,毛利率约 28.4%;同时公司重点发展的新型抛光材料毛利率较高,有望拉动公司整体毛利率,提高公司盈利水平。

图 99: 金橙子 2019-2024H1 营收及增速



资料来源: ifind、国海证券研究所

图 100: 金橙子 2019-2024H1 毛利率



资料来源: ifind、国海证券研究所

9、行业评级及重点推荐个股

随着 3D 打印技术逐步趋于成熟，加工效率和工艺良品率的提升、规模效应的释放，3D 打印成本有望进一步降低，在航空航天、消费电子、汽车及人形机器人、医疗等市场的渗透率将逐步提高，工业化应用加深，我们认为 3D 打印行业的收入规模有望实现较高增长，维持 3D 打印行业“推荐”评级。产业链上游建议关注有研粉材和金橙子，中游建议关注铂力特和华曙高科，下游建议关注金太阳。

重点关注公司及盈利预测

重点公司	股票	2024/10/29		EPS			PE			投资
代码	名称	股价	2023A	2024E	2025E	2023A	2024E	2025E	评级	
688456.SH	有研粉材	29.79	0.53	0.76	1.05	56.03	39.20	28.37	未评级	
688291.SH	金橙子	19.75	0.41	0.52	0.66	48.02	37.98	29.92	未评级	
300747.SZ	锐科激光	20.80	0.38	0.56	0.78	54.04	37.14	26.67	未评级	
688333.SH	铂力特	53.58	0.74	1.13	1.73	72.76	47.42	30.97	未评级	
688433.SH	华曙高科	19.94	0.32	0.45	0.63	62.96	44.31	31.65	未评级	
300606.SZ	金太阳	25.20	0.37	0.45	0.71	67.47	56.00	35.49	未评级	

资料来源：ifind，国海证券研究所（注：未评级公司盈利预测取自 ifind 一致预期数据，2023A eps 为摊薄 eps）

10、风险提示

1) 关键核心器件依赖进口的风险: 增材制造装备核心元器件激光器、振镜对进口依赖的程度较高,未来若发生全球贸易摩擦和地缘政治风险加剧,可能造成核心元器件供应紧张及价格上涨,造成 3D 打印成本上升,影响行业内企业经营;

2) 新兴行业或领域产业化应用风险: 行业整体发展时间较短,处于产业化应用的初步阶段,技术成熟度低于传统制造方式,且应用成本相对较高,应用领域范围及深度均有限,存在短时间内无法拓展新兴行业或领域应用的风险;

3) 市场竞争加剧风险: 3D 打印核心专利保护期结束后进入 3D 打印行业或布局相关业务的公司逐渐增加,受技术端影响行业具有后发优势,引起行业竞争加剧;

4) 3D 打印行业下游需求增长不及预期: 3D 打印产业下游需求航空航天领域依赖技术研发、突破,以及客户预算;民用方面消费电子领域依赖折叠屏手机渗透率及 3D 打印渗透率的提高。

5) 模型及测算假设误差: 本文预测航空航天及消费电子 3D 打印市场空间时搭建了模型并采取了一定假设,可能存在模型及假设误差。

【北交所&新兴成长组小组介绍】

罗琨，现任国海北交所&新兴成长组首席分析师，毕业于香港浸会大学经济学硕士、湖南大学会计学本科，7年证券从业经验。曾任财信证券资管投资部投资经理、研究发展中心机械研究员、宏观策略总监。所在团队曾获得2022、2023年新财富最佳分析师入围、2023年金麒麟菁英分析师、2023年Choice最佳分析师。

【分析师承诺】

罗琨，本报告中的分析师均具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉的职业态度，独立、客观的出具本报告。本报告清晰准确的反映了分析师本人的研究观点。分析师本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收取到任何形式的补偿。

【国海证券投资评级标准】

行业投资评级

推荐：行业基本面向好，行业指数领先沪深300指数；

中性：行业基本面稳定，行业指数跟随沪深300指数；

回避：行业基本面向淡，行业指数落后沪深300指数。

股票投资评级

买入：相对沪深300指数涨幅20%以上；

增持：相对沪深300指数涨幅介于10%~20%之间；

中性：相对沪深300指数涨幅介于-10%~10%之间；

卖出：相对沪深300指数跌幅10%以上。

【免责声明】

本报告的风险等级定级为R3，仅供符合国海证券股份有限公司（简称“本公司”）投资者适当性管理要求的客户（简称“客户”）使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。客户及/或投资者应当认识到有关本报告的短信提示、电话推荐等只是研究观点的简要沟通，需以本公司的完整报告为准，本公司接受客户的后续问询。

本公司具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。本报告中的信息均来源于公开资料及合法获得的相关内部外部报告资料，本公司对这些信息的准确性及完整性不作任何保证，不保证其中的信息已做最新变更，也不保证相关的建议不会发生任何变更。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。报告中的内容和意见仅供参考，在任何情况下，本报告中所表达的意见并不构成对所述证券买卖的出价和征价。本公司及其本公司员工对使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失概不负责。本公司或关联机构可能会持有报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等服务。本公司在知晓范围内依法合规地履行披露义务。

【风险提示】

市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告视为作出投资决策的唯一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在决定投资前，如有需要，投资者务必向本公司或其他专业人士咨询并谨慎决策。在任何情况下，

本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议。投资者务必注意，其据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或者关联机构无关。

若本公司以外的其他机构（以下简称“该机构”）发送本报告，则由该机构独自为此发送行为负责。通过此途径获得本报告的投资者应自行联系该机构以要求获悉更详细信息。本报告不构成本公司向该机构之客户提供的投资建议。

任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。本公司、本公司员工或者关联机构亦不为该机构之客户因使用本报告或报告所载内容引起的任何损失承担任何责任。

【郑重声明】

本报告版权归国海证券所有。未经本公司的明确书面特别授权或协议约定，除法律规定的情况外，任何人不得对本报告的任何内容进行发布、复制、编辑、改编、转载、播放、展示或以其他方式非法使用本报告的部分或者全部内容，否则均构成对本公司版权的侵害，本公司有权依法追究其法律责任。