

国防军工

高端锻铸行业深度报告：锻大国重器，铸国防长城

报告摘要

◆ 高端锻铸优势显著，是高端装备关键零部件制造的主流工艺

高端锻铸工艺主要是指面向高端装备难加工材料零部件高效制造的，所生产的产品具有高性能、高可靠性、高附加值的锻铸工艺，例如大型复杂构件整体精密锻造技术、径-轴双向精密环轧技术、超塑性等温锻造技术、粉末锻造技术、熔模精密铸造技术等。这些技术可以实现复杂构件整体化、近净成形及成形改性一体化，向高端装备提供小余量或无余量的毛坯和零部件，具有降低生产成本、缩短周期、提高零部件性能和延长高端装备寿命的优势。

目前，高端锻铸工艺已成为制造各型军机机体结构件、飞机起落架结构件、发动机燃机“两机”中的盘环件、叶片等关键零部件的主流工艺，在航空航天、武器装备、船舶制造、核电设备等领域中起着关键作用。

◆ 返回料的应用有望降低高端锻件的成本，熔模精铸+3D打印或将加快高端铸件的生产速度

零部件通过锻造工艺生产时，一般有超过90%的材料会成为返回料，而高温合金中镍金属以及钛合金中钛金属等金属价格高昂，这也导致高端零部件的生产制造成本居高不下。国际方面已经建立起来一套完善的废料回收和再利用模式，例如在高温合金生产过程中返回料使用比例达到70%-90%，可降低成本30%以上。未来在国内大规模应用返回料，是未来高端锻件降低生产成本的重点方向。

熔模精铸+3D打印是高端铸造重要发展方向之一。3D打印无需模具，有效缩短了加工周期，产生的废料极少，在非批量化生产中具有较好的效率和成本优势，在研发阶段有望推动设计方案的快速迭代。当前，熔模精铸+3D打印的应用包括两个不同的层次：一是通过打印获得铸造模样或铸型从而缩短、加速铸造工艺流程；二是采用3D打印方式修复铸件缺陷或组合制造金属构件，提高铸件成品率。在3D打印直接打印金属铸件方面，由于其应力分布、微观孔洞多、表面粗糙度、成本高、

投资评级

增持

维持评级

行业走势图



作者

张超 分析师
SAC 执业证书: S0640519070001
联系电话: 010-59219568
邮箱: zhangchao@avicsec.com

方晓明 分析师
SAC 执业证书: S0640522120001
联系电话: 010-59562523
邮箱: fangxm@avicsec.com

刘帅 研究助理
SAC 执业证书: S0640123070036
联系电话:
邮箱: lius1@avicsec.com

相关研究报告

军工材料月报：中报业绩不佳，静待柳暗花明 —2024-09-18
军工电子月报：把握两个“新” —2024-09-18
军工行业周报：缩量，蓄势 —2024-09-18

股市有风险 入市需谨慎

中航证券研究所发布 证券研究报告

请务必阅读正文之后的免责声明部分

联系地址：北京市朝阳区望京街道望京东园四区2号楼中航产融大厦中航证券有限公司
公司网址：www.avicsec.com
联系电话：010-59219558 传真：010-59562637

生产效率等先天限制，所以 3D 打印还难以成为熔模精铸的替代工艺，当前主要作为铸造工艺的补充和延伸。目前来看，熔模精密铸造在高端装备制造业的转型升级中，仍具有难以替代的作用。

◆ 下游多个领域需求旺盛，高端装备锻铸市场坡长雪厚

① 飞机机身锻铸件

随着军机规模性增长及结构性升级带动锻铸件需求扩大，我们预计 2024-2030 年航空主机厂机体结构的锻铸件总市场空间约为 1500-2500 亿元，年均 220-360 亿元（注：本文测算的锻铸件市场空间是指的成品零部件，而非针对加工环节）。

国产民机加速批产，锻铸件市场迎来新增量，我们预计 2024-2030 年民机机体结构的锻铸件总市场空间约为 280-670 亿元，年均 40-100 亿元。

② 航空发动机锻铸件

军用飞机加速列装带动军用航发批产型号放量，我们预计 2024-2030 年航发主机厂发动机中锻铸件的市场空间约为 2700-3700 亿元，年均 400-530 亿元。

民机发动机国产替代刻不容缓，我们预计 2022-2041 年我国民用航空发动机市场规模 2.25 万亿元，随着国产长江系列发动机的服役和批产，锻铸市场有望迎来“新引擎”。

③ 燃气轮机锻铸件

分布式供能、工业发电、管输增压和船舶动力等领域催化燃机需求释放，伴随国产燃机走向成熟，国内锻铸市场潜力巨大。

④ 舰船锻铸件

军用舰艇持续保持高景气，民用船舶工业进入新一轮上升周期，作为军用舰艇和民用船舶重要配套产业的锻铸行业亦将受益，锻铸件需求有望保持增长。

⑤ 核电机组锻铸件

“双碳”目标为核电发展提供新机遇，2024 年核电机组获批数量创下了审批重启后新高。我们认为中国核电已经进入黄金期，相关锻铸件企业的核电业绩有望进入放量期。我们预计 2024-2033 年核电机组设备的锻铸件总市场空间约为 500 亿元，年均 50 亿元。

◆ 国内高端锻铸能力建设成效显著，横纵双延伸或将为行业公司带来丰厚回报

2022年2月,美国国防部发布的名为《Securing Defense-Critical Supply Chains》报告,提出了加强国防工业基础关键供应链的评估和建议,美国国防部重点提出对于国家安全而言尤为重要的四个重点领域,铸件和锻件即为其中之一。指出对于国防工业基础所有的主要防御系统的开发、采购和维持活动而言,铸件和锻件至关重要。锻件和铸件几乎可用于所有平台(例如,舰船、潜艇、飞机、地面战斗车辆、航天器等)、动能武器和武器系统(例如,枪支、导弹和火箭、炸弹、弹药、火炮等),以及许多支援系统中。**由此可见,保障高端锻铸件能力,对于强化国防工业基础能力和塑造安全、稳定、弹性供应链至关重要,为此我国也是高度重视并快速推进高端锻铸件能力的建设。**

在产能建设上,据不完全统计,国内高端锻铸企业近10年来**推进产能扩产项目16个**(包括计划中以及实施中的),累计投资**76.82亿元**。其中有15个是在近五年才开始建设,当前已投产的项目有11个。其中,锻造行业的扩产项目有9个,累计投资43.39亿元,扩产企业有中航重机、三角防务、派克新材、航宇科技和航亚科技等,扩产的锻件涉及大型模锻件、等温锻件、环形锻件和精锻叶片等。铸造行业的扩产项目有7个,累计投资33.43亿元,扩产企业有航材股份、钢研高纳、应流股份、万泽股份等,扩产的铸件包括精铸叶片、小型结构精铸件和大型薄壁精铸件等。国内高端锻铸产能天花板已经显著提升,随着下游需求释放步入正轨,这一瓶颈突破将为未来业绩增长奠定基础。

在产业链延伸上,据不完全统计,国内高端锻铸企业近10年来**布局产业链延伸项目14个**(包括计划中以及实施中的),累计投资**82.55亿元**。其中产业链横向和纵向延伸项目分别为9个和5个,有12个是在近五年才开始布局,当前已投产的项目有8个。锻造行业的产业链延伸项目9个,累计投资69.98亿元,相关企业有中航重机(横向+纵向延伸)、三角防务(横向+纵向延伸)和派克新材(横向延伸)。高端铸造行业的产业链延伸项目有5个,累计投资13.57亿元,相关企业包括钢研高纳(横向延伸)、图南股份(纵向延伸)和应流股份(横向延伸)。企业通过横向拓展可以布局新的产品,开辟新的细分市场,抬升业绩天花板,纵向延伸可以增厚产品附加值,提升公司盈利能力。

◆ 投资建议

随着下游应用领域需求的加速释放,高端锻铸行业有望迎来新一轮快速成长的机遇。建议关注在新一代军机、国产大飞机、国产燃气轮机、

国产航空发动机和核电设备上取得配套资质和份额的锻铸企业，以及在产业链横向拓展和纵向延伸上顺利布局的企业。

产业链重要企业：

锻造企业：中航重机（600765.SH）、三角防务（300775.SZ）、航亚科技（688510.SH）、航宇科技（688239.SH）、派克新材（605123.SH）和通裕重工（300185.SZ）。

铸造企业：航材股份（688563.SH）、钢研高纳（300034.SZ）、图南股份（300855.SZ）、应流股份（603308.SH）、万泽股份（000534.SZ）。

风险提示：原材料价格波动，影响行业盈利能力；锻铸技术研发遇到瓶颈，可能错失配套新型号装备的机会；产品质量控制失效，导致订单流失；军品价格调整的风险；下游需求调整，客户订单不及预期；下游高端装备新型号研发进展可能不及预期；潜在进入者的冲击风险。

正文目录

一、 锻造是固态金属塑性变形，铸造是液态金属充型.....	11
(一) 锻造可以改善组织缺陷，铸造可以制造复杂内腔结构件.....	11
(二) 锻造和铸造涵盖多种衍生工艺，各有适用场景.....	13
1、 锻造常分为自由锻、模锻和环锻.....	13
2、 铸造包含砂型铸造和特种铸造.....	14
(三) 高端装备对高性能、轻量化和低成本의强烈诉求，牵引高端锻铸 工艺快速发展.....	20
二、 高端锻造已成为高端装备零部件制造主流工艺.....	22
(一) 锻件在高端装备中应用比重高且承担着关键作用.....	22
(二) 高端锻造技术制造精度高，生产成本低，产品质量好.....	24
1、 大型复杂构件整体精密锻造技术.....	24
2、 径-轴双向精密环轧技术.....	25
3、 超塑性等温锻造技术.....	27
4、 粉末锻造技术.....	29
(三) 返回料的应用是未来高端锻造降低生产成本的重点方向.....	30
三、 熔模精铸是许多高端零部件的最优铸造工艺.....	32
(一) 熔模精铸优点突出，可以助推零部件制造提效降本.....	32
(二) 熔模精铸件在高端装备中地位重要且应用广泛.....	35
1、 熔模精铸件在航空航天和武器装备中得到广泛应用.....	35
2、 铸造涡轮叶片是航发和燃机的关键热端部件.....	36
3、 铸造机匣是航空发动机的承力骨架.....	40
(三) 熔模精铸+3D 打印是高端铸造重要发展方向之一.....	43

四、 高端锻铸行业市场空间测算	44
(一) 军机机身锻铸件：受益于军用飞机规模性增长及结构性升级 ...	44
(二) 民机机身锻铸件：国产民机加速批产，锻铸件市场迎来新增量	47
(三) 军用航空发动机锻铸件：军发放量先行，锻铸件价值量占比较大	
.....	51
(四) 民用航空发动机锻铸件：民机发动机国产替代加速、国际转包放	
量，后劲十足	54
(五) 燃气轮机锻铸件：燃机应用领域广泛，国产加速迎来大市场 ...	55
(六) 舰船锻铸件：造船大周期已至，需求持续攀升.....	58
(七) 核电机组锻铸件：核电发展步入黄金期，机组零部件需求加速放	
量.....	60
五、 我国高端锻铸行业发展现状及竞争格局.....	62
(一) 锻铸产量已多年位居世界首位，产业加速迈向高端化.....	62
1、 锻造行业：寻求结构优化，高端产能提升较快	62
2、 铸造领域：行业集中度较低，尚有少数高精尖铸件能力待提升.	65
(二) 高端锻铸位于产业链中游，近年来业绩增长进入快车道.....	68
1、 高端锻铸“小核心、大协作”加快建立，军民两用属性凸显....	68
2、 锻铸板块近年来营收和净利均实现快速增长，行业未来新增量正	
在加速孕育.....	71
3、 高端锻铸壁垒高筑，先发者可以在配套型号上实现垄断供应....	74
(三) 高端锻铸行业产业链整合成为趋势，强者恒强.....	75
1、 PCC 发展路径参考：内生外延式扩张与一体化发展战略并行，助	
推 PCC 成为国际高端锻铸行业的标杆企业.....	75

2、国内高端锻铸产能天花板显著提升，产业链延伸成未来趋势....	78
六、锻铸行业重点上市公司	82
七、风险提示.....	83

图表目录

图 1 常见的零部件生产制造过程.....	11
图 2 锻造使金属晶粒细化，从而得到致密的组织	13
图 3 铸造工艺可以制造复杂结构件，加工余量小	13
图 4 铸造工艺的四个基本环节.....	15
图 5 砂型铸造的主要工序	16
图 6 浇注系统.....	17
图 7 用冒口消除缩孔	17
图 8 在砂型铸造的基础上改变某些条件创造了特种铸造.....	19
图 9 大型民机机身结构锻件.....	22
图 10 直升机结构锻件	22
图 11 典型的粉末锻造工艺流程.....	23
图 12 LEAP 1C 风扇机匣.....	23
图 13 精锻压气机叶片	23
图 14 导弹上的常见的锻件.....	24
图 15 火箭上的常见的锻件.....	24
图 16 F-22 用钛合金大锻件	25
图 17 安-22 用 B95 铝合金隔框	25
图 18 乌克兰新克拉马托重型机器厂(HKM3)建造的 7.5 万吨级模锻液压机.....	25
图 19 美国威曼·高登(Wyman Gordon)公司的 4.5 万吨模锻压机	25
图 20 径向轧制	26
图 21 径-轴双向轧制	26
图 22 典型异形截面轧制环件.....	27
图 23 低压涡轮机匣	27
图 24 普通模造与等温锻造的比较.....	27
图 25 镁合金机匣等温精密锻件.....	29
图 26 钛合金叶栅环等温精密锻件.....	29
图 27 典型的粉末锻造工艺流程.....	29
图 28 国内外高温合金返回料回收利用情况	31
图 29 熔模精铸工艺流程.....	32

图 30 熔模精铸优势突出.....	33
图 31 整体叶盘铸件可以提高结构性能, 降低成本	35
图 32 镁合金铸件可以减轻航天器重量	35
图 33 波音 737-FAD 舱门铸件.....	36
图 34 GE 公司 TiAl 合金涡轮铸件.....	36
图 35 神舟飞船系列的蜗壳铝合金精密铸件	36
图 36 某型导弹引信电子壳体铝合金精密铸件	36
图 37 涡轮叶片是航空发动机的关键热端部件	37
图 38 等轴、定向和单晶叶片.....	38
图 39 涡轮叶片 3 种晶粒组织的形成原理.....	38
图 40 复杂的冷却结构给叶片制造带来了巨大挑战	38
图 41 H25 燃气轮机结构	39
图 42 重型燃气轮机涡轮前进气温度与联合循环效率.....	39
图 43 涡轮叶片制备工艺流程.....	40
图 44 航空发动机上机匣的分布	41
图 45 航空发动机的中介机匣.....	41
图 46 航空发动机的涡轮后机匣.....	42
图 47 3D 打印的蜡模	43
图 48 3D 打印的陶瓷型芯	43
图 49 主机厂及对应型号和军机类型情况	45
图 50 军机各组成部分价值占比.....	46
图 51 ARJ21 新支线飞机	48
图 52 C919 飞机概况.....	49
图 53 民机各组成部分价值占比.....	51
图 54 涡扇发动机价值构成.....	53
图 55 涡扇发动机叶片价值构成.....	53
图 56 我国规划了 3 个型号的民用涡扇发动机.....	54
图 57 分布式能源系统	56
图 58 燃机电厂	56
图 59 我国自主研发的 300 兆瓦级 F 级重型燃气轮机首台样机总装下线.....	58
图 60 燃机结构与航发类似, 同样由大量锻铸件构成.....	58
图 61 我国手持船舶订单量(修正总吨)在全球市场占比 42.97%	60
图 62 我国近年来核准的核电机组数量 (2024 年的数据的统计截止时间为 8 月 31 日)	61
图 63 我国近年来的锻件总产量 (万吨)	62
图 64 二重万航的 800MN 模锻液压机.....	62
图 65 三角防务的 300MN 等温模锻液压机.....	62

图 66 我国铸件产量及增长率情况.....	65
图 67 2023 年生产的铸件按行业拆分.....	65
图 68 2023 年生产的铸件按材质拆分.....	65
图 69 高端锻铸位于高端装备产业链的中游环节	68
图 70 锻造板块的营业收入实现五连增	72
图 71 锻造板块的净利润实现五连增	72
图 72 中航重机在锻造板块中的营收规模最大（亿元）	72
图 73 中航重机锻造板块中的净利润规模最大（亿元）	72
图 74 锻造板块中，三角防务的毛利率持续维持在 40%以上（单位：%）	73
图 75 铸造板块的营业收入实现五连增	73
图 76 铸造板块的净利润实现五连增	73
图 77 钢研高纳在铸造板块中营收规模最大（亿元）	74
图 78 航材股份在铸造板块中净利润规模最大（亿元）	74
图 79 铸造板块中除万泽股份外，各公司的毛利率基本在 30%左右（单位：%）	74
图 80 PCC 官网	76
图 81 PCC 供应的航空零部件	76
图 82 PCC 的发展历程	77
图 83 PCC 在 2011-2015 年的营收（历史汇率口径）	77
图 84 PCC 在 2011-2015 年的净利润（历史汇率口径）	77
图 85 PCC 在 2011-2015 年的毛利率、净利率和 ROE.....	78
图 86 锻铸行业重点公司.....	82
表 1 锻压、铸造和焊接三种制造方式的对比	12
表 2 锻造生产的主要工序	13
表 3 锻造可以分为自由锻、模锻和环锻.....	14
表 4 常用的金属熔炼设备	15
表 5 不合格铸件的类型	17
表 6 铸件成品率的影响因素.....	18
表 7 不同铸造方法的对比	19
表 8 Ti-6Al-4V 压气机叶片在不同锻造工艺下的变形抗力	28
表 9 等温精锻件与普通模锻件生产技术经济指标比较	28
表 10 粉末锻造与普通模锻工艺对比	30
表 11 熔模精铸每道工序的具体内容	32
表 12 熔模精密铸造可以显著实现降本增效	34
表 13 复杂薄壁精密铸件在先进武器装备中的应用情况.....	35
表 14 各代发动机涡轮叶片的材料和结构	37
表 15 燃气轮机与航空发动机涡轮叶片比较	39



表 16 各军种对军机的需求情况和战略定位	44
表 17 主要军机类型投资逻辑.....	45
表 18 我国主要航空主机厂营收规模及增速（亿元）	46
表 19 国产大飞机的产品谱系.....	47
表 20 ARJ21 的 4 款衍生机型.....	48
表 21 2022-2039 各机型价值预测	50
表 22 C919 市场预测（2024—2030 年）	51
表 23 我国重点军用飞机加速列装带动军用航发需求上量.....	52
表 24 我国航空发动机主机厂营收规模及增速（亿元）	53
表 25 2022-2041 年商用航空发动机全球及中国市场空间测算	55
表 26 我国规划到 2025 年输油气管网总里程约 24 万公里.....	56
表 27 水面军舰燃气装备情况.....	57
表 28 美国航空母舰打击群作战编成兵力配置	59
表 29 “十四五”期间锻造行业的部分重点研究方向.....	63
表 30 锻造行业近年来的相关政策.....	64
表 31 “十四五”期间需要重点攻克的部分关键铸件.....	66
表 32 “十四五”期间需要重点攻关的铸造技术	66
表 33 铸造行业近年来的相关政策.....	67
表 34 我国高端装备零部件锻造领域的主要公司（报告期为 2023 年，货币单位： 亿元）	69
表 35 我国高端装备零部件铸造领域的主要公司（财报期为 2023 年，货币单位： 亿元）	70
表 36 高端锻铸行业主要壁垒.....	75
表 37 我国高端锻铸行业近年来的扩产项目（亿元，截止 2024.07）	78
表 38 我国高端锻铸行业近年来布局的产业链延伸项目（亿元，截止 2024.07）	80

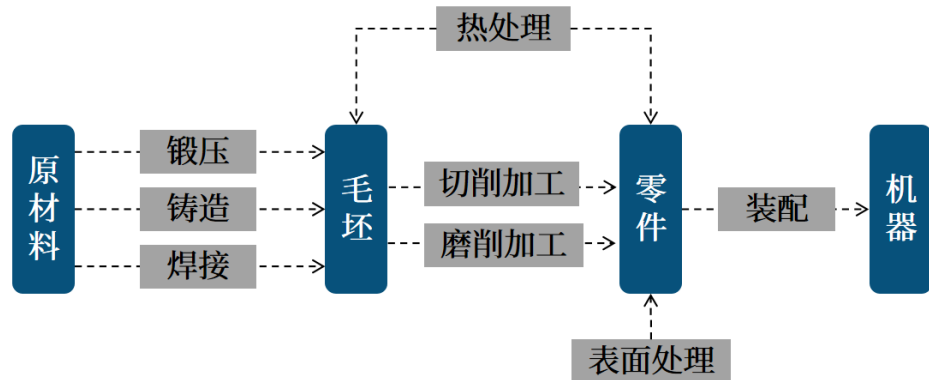
一、锻造是固态金属塑性变形，铸造是液态金属充型

(一) 锻造可以改善组织缺陷，铸造可以制造复杂内腔结构件

现代工业应用的机械装备大多是由金属零部件装配而成，大部分机械零件由于形状复杂或者加工精度和表面质量要求较高，难以采用单一的方法直接生产，通常先用锻压、铸造或焊接等方法制成毛坯，再经过切削/磨削加工的方法制成所需的零件。

另外，为了易于进行切削/磨削加工和改善零件的某些性能，中间常需穿插不同的热处理工艺，如需进一步改善零件力学性能或其他物理、化学性能，还会利用表面处理手段来改变零件表面化学成分及分布。最后，将各种零部件按照规定的技术要求装配起来，经过调试和检验后即可得到机械装备成品。锻铸在航空航天、武器装备、船舶制造、能源设备、工程机械、轨道交通等产业中起着支柱性作用，是现代装备制造工业的基石，为国民经济和国防工业的发展做出了巨大贡献。

图1 常见的零部件生产制造过程



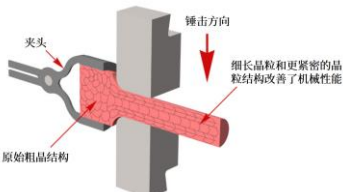
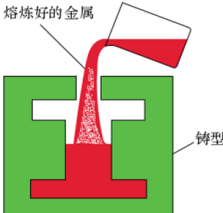
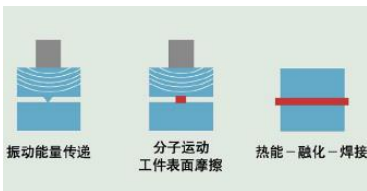
资料来源：《金属工艺学》，中航证券研究所

锻造是金属固态下的塑性变形，铸造是利用液态金属充型。锻造是利用锻造设备对金属坯料施加外力，使其产生永久性塑性变形获得具有一定微观组织和性能、形状和尺寸零件的加工方法。

锻造常与冲压工艺合称为锻压，两者都属于塑性成形，主要区别在于坯料供应形式不同，通常将以锭料或棒料为坯料的锻压称为锻造，将以板料为坯料的锻压称为冲压。

铸造是熔炼金属，制造铸型，并将熔融金属在重力、压力、离心力或电磁力等外力场的作用下充满铸型，凝固后获得一定形状、尺寸与性能铸件的成形方法。

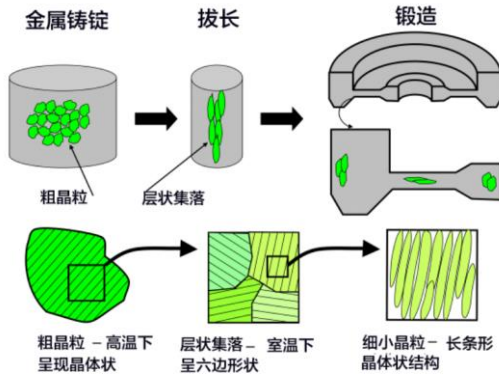
表1 锻压、铸造和焊接三种制造方式的对比

类型	示意图	优势	劣势	应用范围
锻压		1、可消除金属内部的气孔、粗晶、缩松等缺陷，细化了晶粒，组织更致密，力学性能大大提高 2、生产效率较高	1、不能加工脆性材料和形状复杂的毛坯和零件 2、锻压的设备和模具成本相比铸造更高	用于承受重载、动载或复杂载荷的重要零件，如主轴传动轴、齿轮和刀具等
铸造		1、几乎不受形状、尺寸和重量限制，可相当复杂，尤其是内腔形状 2、铸件的形状尺寸与零件非常接近，加工余量小	1、铸件质量不稳定，工序多，影响因素复杂，易产生许多缺陷 2、铸件的机械性能不如锻件	用于承压为主而形状复杂的零件，如床身、立柱、箱体、支架和阀体等
焊接		1、连接性好，可以将不同形状、尺寸甚至是不同材料的物件连接起来 2、接头密封性好，又能保证气密性以及水密性	1、引起较大的残余变形和焊接内应力，影响产品的质量 2、焊缝易产生裂纹、气孔、夹渣等缺陷	用于制造和修复金属零件，如船体，建筑构架，机床机架、压力容器等

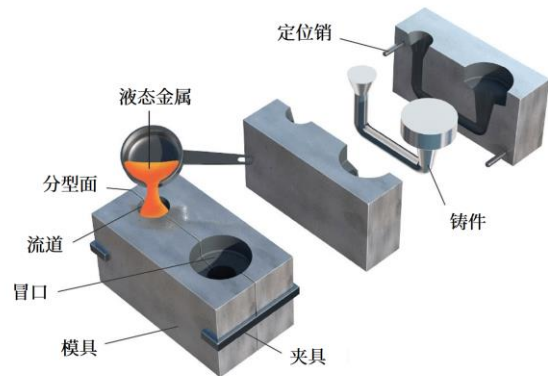
资料来源：《材料成型技术》，搜狐网，Metallurgical Resources 官网，中航证券研究所

金属材料经过锻造后，可以改善组织缺陷，具有优异的综合力学性能。金属材料经过锻造加工后，其中的气孔、缩松等缺陷被压合在一起，并使粗大的晶粒细化，得到致密的金属组织，从而提高锻件的力学性能，因此锻件的力学性能一般优于铸件。此外，在零部件设计时，若正确选用零部件的受力方向与纤维组织方向，还可以提高锻件的抗冲击性能。因此，锻件主要用作承受重载和冲击载荷，如机床主轴、传动轴、齿轮、曲轴、弹簧、锻模等。

铸造工艺具有适用范围广，加工余量小的优点，在现代装备制造中具有很高的占比。铸造工艺几乎不受形状、尺寸、重量和材料类型的限制，加工余量小，在复杂内腔零部件制造中优势显著，常用于承压为主而形状复杂的零件，如床身、立柱、箱体、支架和阀体等。铸造在现代装备制造中具有很高的占比，例如在机床、内燃机的零件中，铸件质量占总质量的 70%~90%；在煤矿机械中，铸件质量占比为 60%~70%；在农业机械中，铸件质量占比为 40~70%。

图2 锻造使金属晶粒细化，从而得到致密的组织


资料来源：派克新材公司公告，中航证券研究所

图3 铸造工艺可以制造复杂结构件，加工余量小


资料来源：Roche Industry 官网，中航证券研究所

(二) 锻造和铸造涵盖多种衍生工艺，各有适用场景

1、锻造常分为自由锻、模锻和环锻

锻造生产过程主要包括下料、加热锻打成形、冷却、热处理、表面处理和检测。在锻造过程中，目标是尽力创造有利的变形条件，充分发挥金属的塑性，降低其变形抗力，消耗最少的功，耗费最少的材料，达到最佳的综合效果。这既取决于被锻金属本身性质，又取决于加工条件，因此对金属性质的理解、加热温度的控制、锻打程序的优化、冷却环境的确定以及热处理和表面处理方法的选取等在锻造工艺中十分重要。

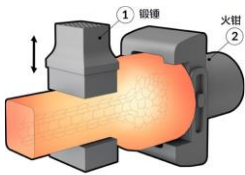
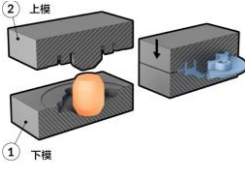
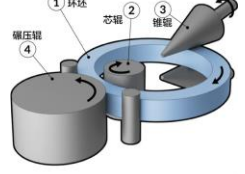
表2 锻造生产的主要工序

序号	工序	主要内容和目的	涉及到的设备
1	下料	根据锻件的形状、尺寸和质量，从选定的原材料上截取相应的坯料	车床、各式锯床、砂轮切断床、冲剪机、剪切机
2	加热	提高坯料的塑性并降低变形抗力，以改善其锻造性能	电加热炉、火焰加热炉
3	锻打成形	坯料在锻造设备上经过锻造成形，才能达到一定的形状和尺寸要求	锻锤、液压机、螺旋压力机、曲柄压力机、精压机、辗环机
4	冷却	冷却方式选择不当，可能由于应力过大产生裂纹而影响产品质量，甚至使锻件报废	风机、铁箱、加热炉（炉冷）
5	热处理	热处理的作用是使锻件的内部组织进一步细化和均匀化，消除锻造残余应力，降低锻件硬度，便于进行切削加工等	固熔淬火炉、时效强化炉、油槽
6	机加工	对锻件取环、锻件切分、机加、粗加工等	车床、机床
7	表面处理	清除锻件表面氧化皮和模锻件的微小毛刺，提高锻件尺寸精度和降低表面粗糙度值，有时还可能使锻件表面强化	喷砂（丸）器、抛丸清理装置、液体喷砂机、酸洗设备
8	检测	为了保证质量，对于金属锻件必须进行质量检验。对检验出有缺陷的锻件，根据使用要求（检验标准）和缺陷的程度确定其合格或报废，或经修补后使用。	硬度机、测量机、超声波检测仪、X射线检测仪、磁粉检测、渗透检测装置、涡流检测仪

资料来源：《金属工艺学》，《锻造技术速查手册》，航宇科技公司公告，中航证券研究所

锻造主要可以分为自由锻、模锻、环锻三类。自由锻一般是指借助简单工具对铸锭或棒材进行墩粗、拔长、弯曲、冲孔、扩孔等方式生产零件毛坯；模锻是指金属坯料在具有一定形状的锻模膛内受压变形而获得锻件；环锻又称为环形轧制，是借助辗环机使环件产生连续局部塑性变形，进而实现壁厚减小、直径扩大、截面轮廓成形的塑性加工工艺。

表3 锻造可以分为自由锻、模锻和环锻

分类	优缺点	常用设备	应用	示意图
自由锻	优点：所用工具和设备简单，通用性好，成本低 缺点：加工余量大，生产效率低，锻件力学性能和表面质量受生产操作工人的影响大，不易保证	空气锤、蒸汽—空气锤或锻造水压机。	适合单件或极小批量的大锻件生产，有时模锻的坯也会采用	
模锻	优点：加工余量小，生产效率高，内部组织均匀，件与件之间的性能变化小 缺点：需要借助模具，加大了投资，因此不适合单件和小批量生产	模锻锤、曲柄压力机、摩擦压力机、电动（或液压）螺旋锤、模锻液压机	一般用于生产重量不大、批量较大的零件	
环锻	优点：改善工件的金属组织和性能，生产率和材料利用率高，设备吨位小 缺点：生产锻件的类型受限	辗环机、胀形机	适用于批量生产环形锻件	

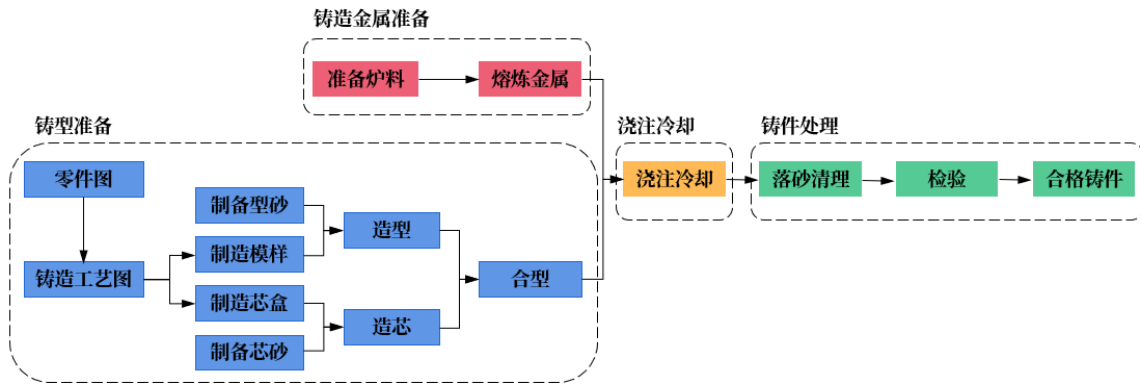
资料来源：三角防务公司公告，派克新材公司公告，航宇科技公司公告，《锻造工艺与模具设计（第二版）》，中航证券研究所

2、铸造包含砂型铸造和特种铸造

(1) 铸造工艺流程长，质控难度大，经济效益与成品率挂钩

铸造工艺可以分为四个基本环节。铸造是将金属熔炼成符合一定要求的液体并浇进铸型里，经冷却凝固、清整处理后得到有预定形状、尺寸和性能铸件的工艺过程。下面以应用最为广泛的砂型铸造为例，铸造工艺可以分为四个基本环节，即铸造金属准备、铸型准备、浇注冷却和铸件处理。

图4 铸造工艺的四个基本环节

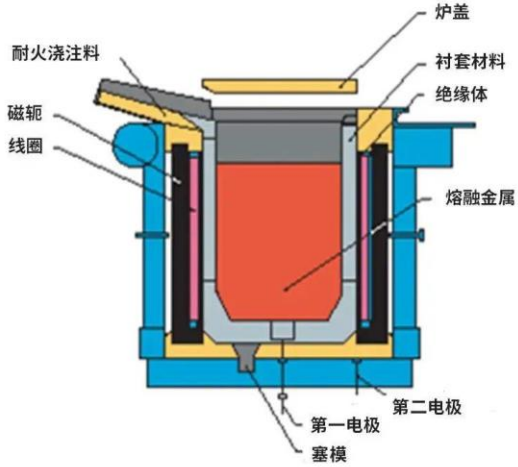
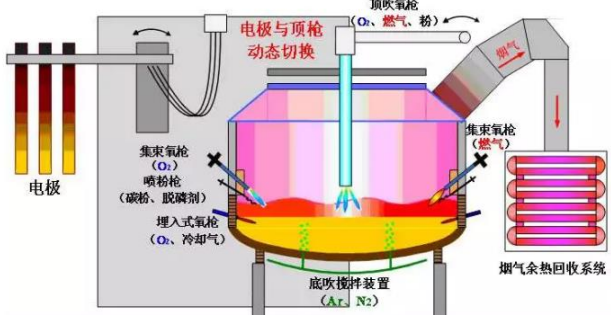


资料来源：《机械制造基础实习》，中航证券研究所

铸造金属准备的基本要求是优质、低耗和高效。铸造金属准备环节包括准备炉料和熔炼金属，熔炼金属不仅是单纯的熔化，还须使浇进铸型的金属在温度、化学成分和纯净度方面都符合预期要求。若控制不当会使铸件化学成分和力学性能不合格，并可能产生气孔、夹渣、缩孔、冷隔和浇不足等缺陷。有时为了达到更高要求，金属液在出炉后还要经炉外处理，如脱硫、真空脱气、炉外精炼、孕育或变质处理等。铸造工艺的耗能较高，其中金属的熔炼与保温占铸造能耗的50%以上，选择合适的熔炼设备对于降低能耗、提高效率和优化成本十分重要，熔炼金属常用的设备有冲天炉、感应炉、坩埚炉等。

表4 常用的金属熔炼设备

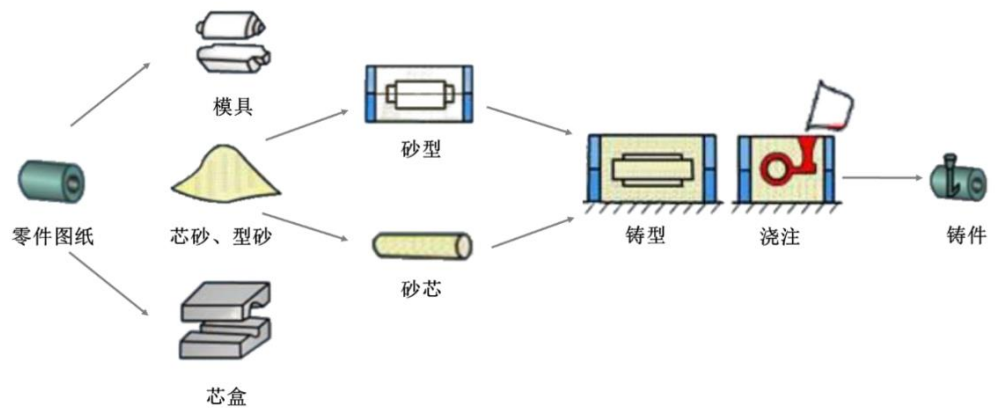
类型	特点	示意图
冲天炉	操作方便、可连续熔炼、生产率高、成本低，其熔炼成本仅为电炉的十分之一，但熔炼的质量不如电炉好，操作环境差。常用于铸铁的熔炼	
感应炉	熔化速度快、耗能低、体积小，但透热能力较弱。主要用于熔炼少量的钢和有色合金	

	<p>中频感应电炉 (250Hz-10kHz)</p>	<p>熔化速度快、生产效率高，温控精度高便于控制熔炼质量，熔炼质量最大可超 60 吨。主要用于优质铸钢、铸铁和铜、铝、镁合金的熔炼</p>	
	<p>工频感应电炉 (50Hz)</p>	<p>结构简单，耗损较小，热效率较高，但更换熔炼金属以及重新启动不太方便。主要用于铸铁、铸钢和铜、铝合金的熔炼</p>	
<p>电弧炉</p>		<p>工艺灵活大，能有效去除杂质，炉温容易控制。真空电弧炉用于铁、镍基高温合金熔炼，真空电弧凝壳炉用于钛、锆合金的熔炼</p>	

资料来源：《特种生产工艺及设备》，《铸造合金熔炼及控制》，搜狐网，鹏远冶金官网，中航证券研究所

铸型准备是铸造生产中最复杂的工序，直接影响铸件的质量。不同的铸造方法有不同的铸型准备内容，以砂型铸造为例，铸型准备包括材料准备和造型造芯两大项工作，铸件的精度主要取决于这道工序。将上型、下型、型芯等部分组成一个完整铸型的操作过程便是合型，是浇注前的最后一道工序。

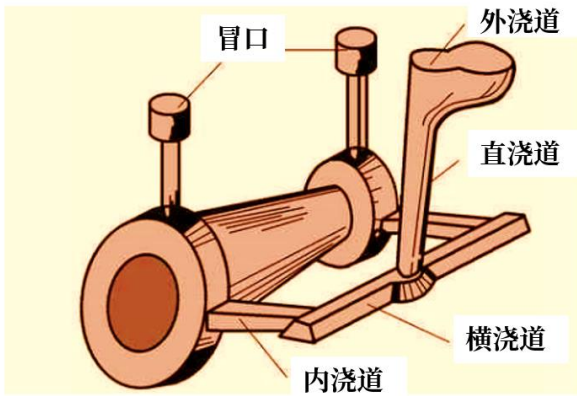
图5 砂型铸造的主要工序



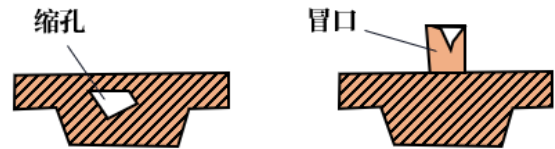
资料来源：明志科技公司公告，中航证券研究所

浇注与冷却过程处理不当易使铸件产生缺陷。浇注是将金属液沿着浇注系统注入铸型的操作过程。浇注系统是为了将金属液准确引入型腔，在铸型中开设的一系列通

道口。浇注过程需要重点关注浇注的温度、速度和位置，不恰当的浇注会引起缩孔、裂纹和气孔等缺陷，甚至破坏铸型。在冷却过程中，流入型腔的金属液往往会产生体积收缩，如果不及及时补充，则在最后凝固部位会产生缩孔，因此还需设置冒口来储存补缩用的金属液，并与型腔相通从而将缩孔从铸件中转移到冒口中。

图6 浇注系统


资料来源：《工程训练教程》，中航证券研究所

图7 用冒口消除缩孔


资料来源：《材料成型技术》，中航证券研究所

铸件处理包括落砂清理和质量检验，铸件有 3 个质量等级，等级以外的为不合格品。落砂是从砂型中取出铸件的操作，落砂后的铸件必须经过清理，才能使铸件外表面达到要求。清理工作主要有切除浇冒口、清除砂芯、清除黏沙和铸件修整，清理完的铸件要进行质量检验，检验方法取决于铸件的质量要求，常用的质量检验方法有外观检测、无损探伤检验和理化性能试验。我国铸件质量分等通则规定，铸件质量可分为内在质量和外观质量，内在质量是指：力学性能、化学成分、金相组织和内部缺陷等，外观质量是指：尺寸公差、表面粗糙度、浇冒口残留量、重量公差、焊补质量、表面缺陷等，按铸件质量要素的等级标准可以将铸件分成合格品、一等品和优等品共三个质量等级。在质量等级以外的铸件称为不合格品，不合格品也称不良品，可分为废品、次品、返修品和回用品(回炉料)。

表5 不合格铸件的类型

分类	含义
废品	废品是指不符合规定要求而不能正常使用的产品，或是铸件缺陷无法修补或修补费用太高，经济上不合算的不合格品。
次品	次品是指存在缺陷但不影响产品主要性能
返修品	返修品是指在技术上可以修复，并在经济上值得修复的不合格产品
回用品	回用品（回炉料），实质上即废品。废品一般作为工业废料回收其残值，而回用品一般由本企业作为熔化炉料回收，再次投入本企业的生产。

资料来源：《铸件缺陷和对策手册》，中航证券研究所

提高铸件合格率可以优化成品率，从而实现更大的经济效益。按铸造管理惯例统计概念，铸件成品率是指投入一定量的金属材料与所生产出的合格铸件的重量之比，

就是通常所说一吨炉料能生产出多少公斤合格铸件。铸件成品率可以拆分成金属收得率、金属利用率、工艺出品率和铸件合格率四个比率的乘积。正常情况下，金属收得率、金属利用率、工艺出品率这三个比率变化很小，而铸件合格率是一个变化较大的因素，在铸件生产的整个过程中，各个工序都会影响铸件质量，稍不注意均会造成铸件报废，故提升铸件合格率是改善成品率的重要方面。在高端铸件生产总成本中，一般以构成本体的金属材料费所占比重最大，因此提高铸件的合格率以优化成品率有望实现更大的经济效益。

表6 铸件成品率的影响因素

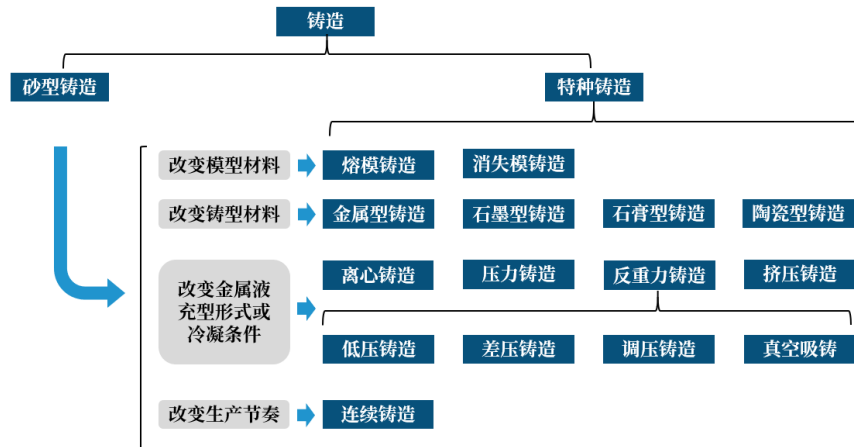
概念名称	计算公式	分析
金属收得率 K_1	$K_1 = (\text{金属液重量} / \text{熔化金属炉料重量}) \times 100\%$	任何熔炉熔炼任何金属均不可避免产生熔炼损失，例如冲天炉熔炼铸铁的绝对烧损率为1.0%，实际通常为5.0%或更高
金属利用率 K_2	$K_2 = (\text{铸件及浇冒口重量} / \text{金属液重量}) \times 100\%$	金属液的飞溅、溢出、跑火等损失
工艺出品率 K_3	$K_3 = (\text{铸件毛重} / \text{铸件及浇冒口重量}) \times 100\%$	每种铸件均须有特定的浇铸系统、工艺补正量，还有的要求设置冒口，有时产生飞刺等，这些增加的铁水用量属于工艺损失
铸件合格率 K_4	$K_4 = (\text{合格铸件重量} / \text{铸件毛重}) \times 100\%$	铸件存在各种缺陷而产生的不良品
铸件成品率 K	$K = K_1 * K_2 * K_3 * K_4 = (\text{合格铸件重量} / \text{熔化金属炉料重量}) \times 100\%$	铸件成品率通常为60-70%，一般铸件越小，成品率越小，铸件越大，成品率越大

资料来源：《提高铸件成品率途径初探》、《如何提高铸件成品率》，中航证券研究所

(2) 铸造类型繁多，熔模精铸是航空航天装备制造的最优化成形工艺

特种铸造以砂型铸造为基础创造而来，可以满足零部件的特殊要求。砂型铸造是以砂为主要造型材料制备铸型的铸造方法，它具有成本低，灵活性大、适应面广的优势，世界各国用砂型铸造方法生产的铸件占铸件总产量的70%-80%。虽然砂型铸造应用普遍，但存在铸造尺寸精度低、表面粗糙度值大和铸件内部质量差等问题。为了改善这些缺陷，满足一些零件的特殊要求，人们在砂型铸造的基础上，通过改变铸型的材料、模型材料和金属液充型形式或冷凝条件等又创造了许多其他的铸造方法，被统称为特种铸造。

图8 在砂型铸造的基础上改变某些条件创造了特种铸造



资料来源：《特种铸造（第三版）》，中航证券研究所

特种铸造各有优越之处,但也存在一定的适用范围。常见的特种铸造有熔模精铸、消失模铸造、金属型铸造、石墨型铸造、离心铸造、压力铸造、反重力铸造、连续铸造等,其中反重力铸造根据施加压力形式的不同,可以分为低压铸造、差压铸造、调压铸造及真空吸铸。每种特种铸造方法,在提高铸件尺寸精度和表面质量、改善合金性能、提高劳动生产率、改善劳动条件和降低铸造成本等方面各有其优越之处,但铸件的结构、形状、尺寸、质量、材料种类往往受到一定限制。

表7 不同铸造方法的对比

类型	特点	优点	缺点	应用
砂型铸造	以砂为主要造型材料制备铸型,重力浇注成型	成本低,灵活性大、适应面广	尺寸精度低,表面粗糙度值大,铸件内部质量差	适于生产质量和精度要求不太高的各类铸件
熔模精铸	在蜡模外制成整体的耐火质薄壳铸型,加热熔掉蜡模后,用重力浇注	铸件精度非常高,表面质量非常好,近净成形	工艺复杂,生产流程和周期较长,质量控制难度较大	适于生产高熔点和难以加工的复杂薄壁金属铸件,例如航发的叶片与机匣、导弹舱体
消失模铸造	又称实型铸造,用泡沫聚苯乙烯塑料模,局部或全部代替木模或金属模造型,在浇注时烧失	铸件设计自由度大	模型材料燃烧影响环境,难以生产薄壁平板类件	核心竞争力在于生产内腔复杂的高难度铸件,如缸盖、缸体和箱体
金属型铸造	将液体金属自由浇入金属铸型内而获得铸件的方法	金属型可重复使用,批产稳定性好,废品率低	不能生产壁厚太薄的铸件,金属型成本较高	批量生产形状较为复杂的非铁合金铸件和钢铁金属的铸件、铸锭
石墨型铸造	用石墨材料制成铸型,重力浇注成型	铸件组织致密,尺寸精度很高	铸型质脆,易碎	铜合金、钛合金螺旋桨等形状不太复杂的铸件
石膏型铸造	使用石膏浆料灌注成铸型来生产铸件	石膏型易于清除,表面光洁,尺寸精度很高	易产生缺陷,生产成本较高	特别适用于生产大型复杂薄壁铝合金铸件

陶瓷型铸造	采用高精度模样，用自硬耐火浆料灌注成型，重力浇注	尺寸精度较高、表面比较光洁	陶瓷浆料价格贵，生产率低	生产合金模具和模具工装
离心铸造	用金属砂或砂型，在离心力作用下浇注成型	铸件组织致密、生产效率较高	铸件内表面粗糙，尺寸不易控制，机械加工量大	主要用于大批量生产空心回转体件，例如轧辊、铸管、双金属铸件
压力铸造	用金属铸型，在高压、高速下充型，在压力下快速凝固	尺寸精度很高，表面光洁，力学性能好，生产效率非常高	设备投资大，铸型制造费用高	适用于大批量生产铸件，汽车工业的压铸件用量最多
反重力铸造	金属液在压力作用下自下而上克服重力充填铸型，根据施加压力形式的不同，可以分为低压铸造、差压铸造、调压铸造及真空吸铸等	充型速度可控，工艺出品率较高，组织致密、机械性能好	设备复杂	一般适用于生产高质量有色金属铸件
挤压铸造	先在铸型的下型中浇入定量的液体金属，迅速合型，并在压力下凝固	铸件内部质量和力学性能甚至可达到同种合金锻件	设备较复杂，挤压钢铁合金时模具寿命较短	适用于生产形状不太复杂的厚壁铸件
连续铸造	铸型是水冷结晶器，金属液连续注入后，凝固的铸件不断地从结晶器的另一端拉出	工艺成品率和生产效率高	设备费用高	大批量生产各类合金的铸管、铸锭、铸带、铸杆等

资料来源：《特种铸造（第3版）》，中航证券研究所

熔模精铸是航空航天军工装备制造的最优成形工艺。当前，国内外航空航天军工装备一体化轻量化设计、低成本批量制造、结构特性愈趋复杂已成为发展的统一趋势。传统的砂型铸造无法实现复杂构件的精准成形，金属型铸造、V法铸造当前只适宜于结构简单部件（环状结构、锥状结构、框梁类结构等）的批量化制造。压力铸造（高压）虽在轨道交通领域应用广泛，但其内部组织较其他成形工艺在疏松、气孔等缺陷上问题严重。石膏型铸造由于铸型导热系数偏低，产品整体机械力学性能不高。综合批量制造成本、产品生产周期和结构精准化成形等因素，对比各种凝固成形制造工艺，熔模精密铸造是最优化匹配的成形工艺，同时可以结合材料体系选择，实现结构部件的材料减重与结构减重双向轻量化设计。

（三）高端装备对高性能、轻量化和低成本强烈诉求，牵引高端锻铸工艺快速发展

高端装备制造处于价值链高端和产业链核心环节，决定着整个产业链综合竞争力的战略性新兴产业，是现代产业体系的脊梁。在调整产业结构的背景下，高端装备制造业被认为是七大新兴产业中资金最密集、产业链最完备、见效最快的产业之一。

高端装备主要包括传统产业转型升级和战略性新兴产业发展所需的高技术、高附加值装备，高端装备的重点领域和方向包括航空航天装备、航发与燃机装备、卫星及应用、海洋工程装备等。高端装备对高性能、轻量化和低成本诉求愈发强烈，牵引

着高端锻铸技术快速发展。本文所指的高端锻铸工艺主要是指面向高端装备难加工材料零部件高效制造的，所生产的产品具有高性能、高可靠性、高附加值的锻铸工艺。

高端装备对零部件高可靠和长寿命的要求主导着锻铸造工艺的改进方向。高端锻铸工艺可以在获得复杂构件形状的同时，通过从材料到最终构件的全工艺过程调控，改善构件内部组织及综合力学性能。同时，高端锻铸工艺能制造整体结构，提高装备适应各种苛刻载荷和保持性能长期稳定性的能力，满足武器装备高可靠性和长寿命的要求。

航空、航天和武器装备对轻量化的永恒追求对锻铸工艺提出了更大的挑战。例如，先进飞机要求结构重量系数在 27-28%，先进航空发动机更是迫切需要减重，以提高推重比。通过优化结构是实现轻量化的重要途径之一，即采用适合于不同载荷的合理结构，根据结构承受的载荷形式及大小，合理地分配材料，把材料放到最能发挥承载能力的位置。典型轻体结构形式有空心变截面、薄壁曲面、多层结构、变厚度、薄壁高筋、整体结构等。轻质材料本身具有难成形特点，同时轻体结构还具有复杂形状特征，两者的耦合也大幅提升了制造的难度，对锻铸工艺提出了更大的挑战。

高端装备制造关于经济性的需求对锻铸工艺提出了新要求。长期以来，对于复杂构件多采用简单形状毛坯通过机械加工获得最终形状构件，这不仅浪费大量材料，还导致制造周期长、效率低、成本高，对钛合金、高温合金和金属基复合材料构件，机械加工成本更高。因此，这要求锻铸造工艺从毛坯成形到近净成形转变。

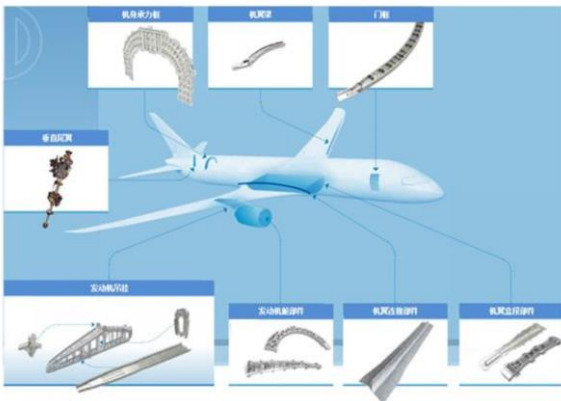
欧美等工业发达国家在研发和应用高端锻铸工艺上富有成效。欧美等工业发达国家在发展锻铸理论上，结合先进计算机技术，综合应用材料、自动控制、机械等方面的新成果，研制并采用了各种高端锻铸成形技术，对复杂的锻铸成形工艺过程进行数字化控制，以实现复杂构件整体化、近净成形及成形改性一体化，向武器装备提供小余量或无余量的毛坯和零部件，大幅降低产品成本，缩短周期，提高零部件使用性能和武器装备的寿命。2022 年，美国国防部发布报告《Securing Defense-Critical Supply Chains》提出，要进一步制定锻造和铸造国防工业战略，研发新的锻铸工艺，加大投资力度。

二、高端锻造已成为高端装备零部件制造主流工艺

(一) 锻件在高端装备中应用比重高且承担着关键作用

锻件是构成飞机骨架的主要承力构件。飞机锻件一般用作受力状态复杂、工作条件恶劣的关键零部件，锻件制成的零件重量约占飞机机体结构重量的 20%-35%，是决定飞机的性能、可靠性、寿命和经济性的重要因素之一。大型民机机身结构件产品包括飞机机体的框、梁类结构件，具体有飞机舱门部位的门框锻件，机头部位的风挡边框锻件，机翼与机身部位的连接件，机翼部位的边条、承力梁、框锻件，发动机吊挂系统锻件，机身承力框锻件，转向舵部位的转轴梁锻件；直升机结构件主要包括发动机系统锻件、传动箱系统锻件、桨毂系统锻件、机身结构锻件、起落架锻件和武器吊挂系统锻件。

图9 大型民机机身结构锻件



资料来源：三角防务公司公告，中航证券研究所

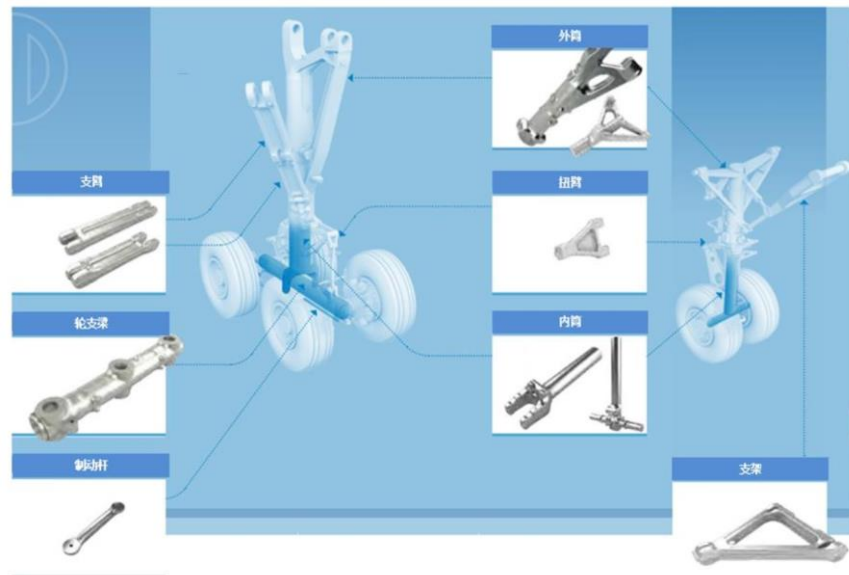
图10 直升机结构锻件



资料来源：三角防务公司公告，中航证券研究所

飞机起落架系统结构件也大量采用锻件。现代飞机的起落架（机轮、制动装置、减振系统、支柱和相应的收放机构）是飞机的主要组成部分之一，它占飞机总重量的 3.5%-5.0%，占飞机结构重量的 15%-20%。起落架承受起飞着陆及滑行和停放时地面给飞机的反作用载荷，缓和飞机着陆及在不平地面上运动时的撞击，它的工作性能的好坏，直接影响着飞机的起飞和着陆性能。起落架系统结构件包括飞机主起系统和前起系统，包括外筒、活塞杆锻件，扭力臂、斜支撑、支架、后支架等锻件。

图11 典型的粉末锻造工艺流程



资料来源：三角防务公司公告，中航证券研究所

锻件制成的零件重量约占发动机结构重量的 30%-45%，包括环形锻件、盘锻件和叶片锻件。航空难变形金属材料环形锻件主要应用于航空发动机的风扇、压气机、涡轮和燃烧室等四大部件中，按照安装位置和功能可以分为机匣、安装边、封严环、各类支承、承力环、盘轴、壳体等部件，主要起包容、连接、支撑、传动、密封等作用，是航空发动机中的重要零部件。盘锻件有压气机盘和涡轮盘，而叶片锻件包括风扇叶片、压气机动叶和静叶，主要位于发动机冷端。

图12 LEAP 1C 风扇机匣



资料来源：航宇科技官网，中航证券研究所

图13 精锻压气机叶片



资料来源：航亚科技官网，中航证券研究所

航天领域广泛使用环形锻件，主要起到承载和连接的作用。战略导弹舱段壳体作为外压冲击载荷和弯矩载荷主要受力部位，其力学性能及总体可靠性要求很高，对制造工艺提出更高要求。通过整体环轧成形工艺，结合合理的坯料变形设计，可以实现薄壁高筒铝合金壳段的“形-性”协同控制。贮箱用过渡环起到连接箱底与筒段的关键作用，相比型材拼焊结构，整体轧制成形环件微观组织、力学性能及应力状态均匀，

有利于提高贮箱整体可靠性。导弹用锻件产品主要用于导弹发动机机匣、导弹外壳、环形连接件、装载环等。火箭用锻件产品主要用于运载火箭发动机机匣、安装边、支座、法兰，运载火箭整流罩、运载火箭外壳、卫星支架等。

图14 导弹上的常见的锻件

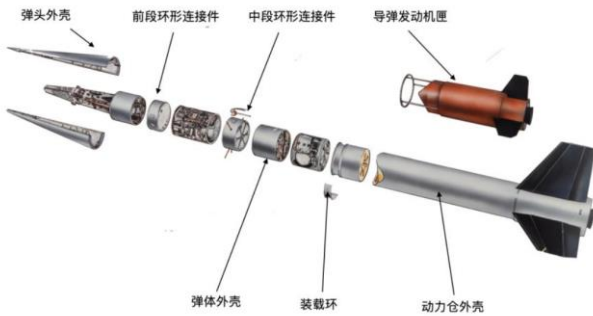
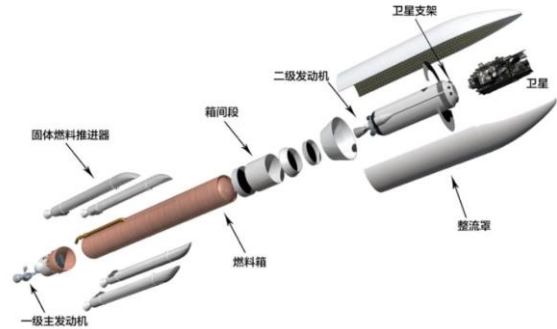


图15 火箭上的常见的锻件



资料来源：派克新材公司公告，中航证券研究所

资料来源：派克新材公司公告，中航证券研究所

(二) 高端锻造技术制造精度高，生产成本低，产品质量好

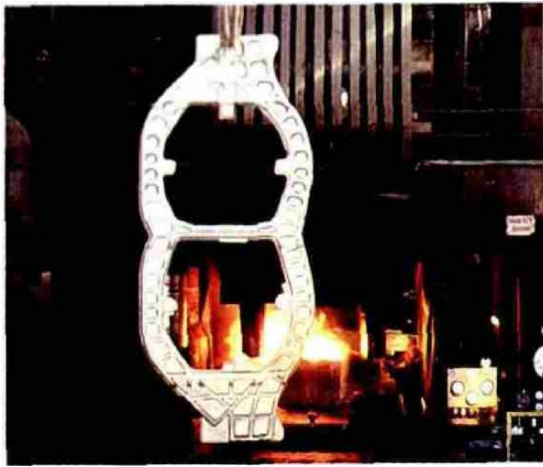
1、大型复杂构件整体精密锻造技术

大型复杂构件整体精密锻造技术不仅可以提高零部件可靠性，还能减轻结构重量、降低制造成本、缩短制造流程。此类技术主要就是利用整体锻造成型的加工方式将原本多件工件组合成为一体，不仅可以降低零部件、连接件的数量，提高零部件可靠性，还能减轻结构重量、降低制造成本、缩短制造流程。例如，飞机承力框构件是飞机结构件中典型的大型锻件，这类锻件形状特征复杂，空间跨度尺寸大，成形困难并且往往带有不同形状尺寸的肋和辐板，模具充填困难，成形载荷大，锻件组织均匀性和流线完整性不易控制。若将传统的多段组合框改为整体框，这样既可以减少零件或连接件的数量，避免螺栓机械连接或焊接连接的薄弱面，减少应力集中源和避免金属流线中断、提高飞机隔框的抗疲劳、抗应力腐蚀等性能和安全可靠性。另外，还可以设计更薄的构件剖面，大大减轻飞机结构质量和提高飞机结构效益。

整体精密锻造技术在国外已得到广泛应用。根据《航空钛合金锻造技术的研究进展》，目前国外已经开始广泛在航空装备的生产中应用钛合金整体成型技术，在较为先进的军用飞机中，将近 40% 的结构都是钛合金整体性的构件，例如美国 F-22 战斗机的 4 个承力隔框就是采用整体精密热模锻造技术，锻件投影面积为 4.06~5.67m²，其中机身整体隔框闭式模锻件，投影面积达到 5.67m²，是目前世界上最大的钛合金整体隔框锻件。美国 F/A-18 歼击机淘汰了之前的制造方式，采用生产整体隔框精锻件（投影面积为 4m²）取代原设计中的 368 种零件，使飞机减重 350kg，节约机械加工工时 50%。俄罗斯安-22 运输机通过此类技术生产 20 个隔框锻件（投影面积为 3.5m²），减少了 800 个零件，使飞机机体减重 1000kg，减少机械加工工时 20%。大型复杂构

件整体精密锻造技术可以有效降低飞机结构重量，增加发动机推重比，显著提高飞行器的总体效能，已经成为第三、四代飞机生产技术的重要标志性技术之一。

图16 F-22用钛合金大锻件



资料来源：《国内外大锻件制造的发展与对比》，中航证券研究所

图17 安-22用 B95 铝合金隔框



资料来源：《国内外大锻件制造的发展与对比》，中航证券研究所

大型航空关键构件往往外形尺寸庞大、材料变形强度高，使得其模锻成形时所需的变形压制力十分巨大，必须使用重型压力机设备进行压制成形。美、俄、法等少数制造强国在 20 世纪就已研制出了 400~750 MN 的巨型压力机设备。依靠这些大型模锻液压机生产的大型整体优质模锻件，为美、俄、法 3 国在航空产品方面能够生产出第四、五代军用战机和波音 B747、空客 A380 空中“巨无霸”飞机提供了有力支撑，使其在航空航天产品方面居于世界前列。中航重机的公告显示，全球范围内 400MN 以上大型锻压机共有 12 台，其中美国拥有 4 台，俄罗斯拥有 2 台，法国拥有 2 台，中国拥有 4 台。

图18 乌克兰新克拉马托重型机器厂(HKM3)建造的 7.5 万吨级模锻液压机



资料来源：CNC 机床网，中航证券研究所

图19 美国威曼·高登(Wyman Gordon)公司的 4.5 万吨模锻压机



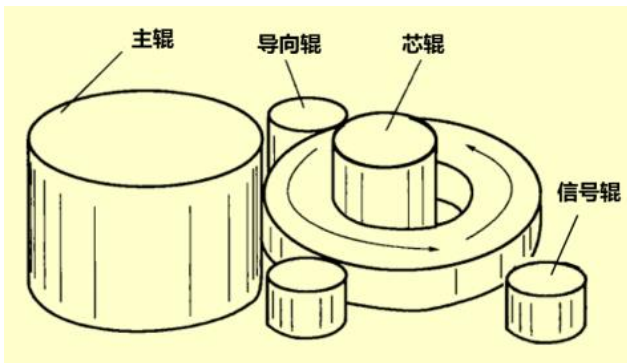
资料来源：CNC 机床网，中航证券研究所

2、径-轴双向精密环轧技术

精密环轧技术是生产高性能无缝环件的首选工艺方法。无缝环件在航空、航天、船舶、兵器、核工业等诸多军工领域广泛应用，发动机机匣、安装边、导弹舱体结合环、飞船加强环、火炮、坦克座圈等都是由辗轧环件加工的。因此，精密环轧技术对于提高武器装备的性能水平、使用寿命和研发能力都有重要影响。

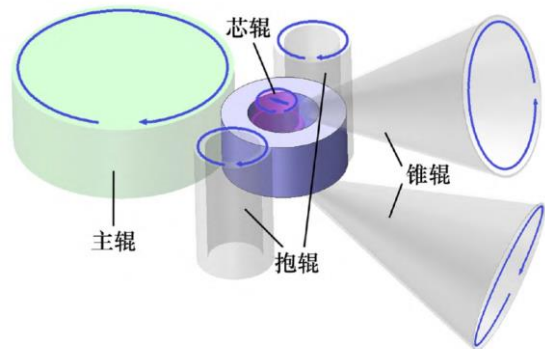
径-轴双向轧制是国外近年来采用的一种精密环轧技术。环轧按其受压及变形方向的不同，可以分为径向轧制和径-轴双向轧制两类。径向轧制指在环轧过程中，环壁径向受压缩，轴向不受轧棍限制，金属主要沿切线方向延伸，径向轧制工艺主要适用于矩形截面环形件的成形。为了改善轧制环件的端面质量、轧制成形复杂截面轮廓的环件，在径向环件轧制设备的基础上，增加一对轴向端面轧棍，对环件的径向和轴向同时进行轧制，这样使得径向轧制产生的环件端面凹陷再经过轴向端面轧制而得以修复平整，且轴向端面轧制还可使环件获得复杂的截面轮廓形状。

图20 径向轧制



资料来源：《先进航空钛合金材料与应用》，中航证券研究所

图21 径-轴双向轧制



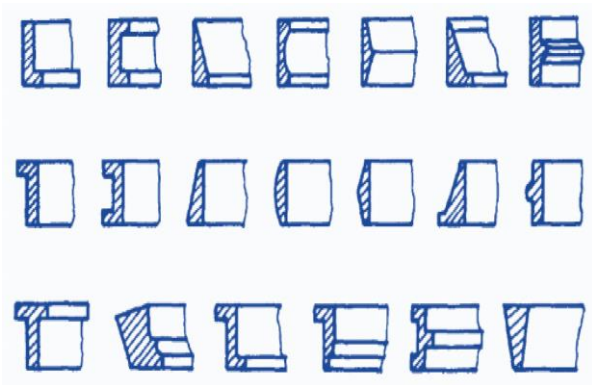
资料来源：《基于 FEMEM 和 RSM 方法的异形环轧制型腔填充难度评价方法》，中航证券研究所

径-轴双向轧制技术可以实现多种形状异形环的整体近无余量成形。径-轴双向轧制技术从径向和轴向两个方向对环件进行轧制变形，不但使环件各部位的变形更加均匀充分，而且可以获得更加精确的环件形状尺寸。通过选用各种相应形状的主动辊和从动辊，径-轴双向轧制技术还可以生产各种异形截面的环形件。通过合理的轧制孔型设计，可以实现多种形状异形环的整体近无余量体轧制成形，大幅提高材料利用率、降低生产成本，缩短生产周期，提高产品质量，因而得到了各发达国家的高度重视。

径-轴双向轧制技术是航空发动机异形环件生产制造的关键工艺。径-轴双向轧制技术已成功应用于先进航空发动机精密环件的生产中，GE 公司采用精密环轧技术生产的 CFM56 发动机钛合金机匣和 In718 合金高筒薄壁环，晶粒度达到 ASTM8 级以上，材料利用率达到 25%-35%，环件尺寸精度达到了环件外径的 1/1000。根据《锻造技术速查手册》，采用精密环轧技术生产的环件直径可达 0.02-10m，高度为 0.01-4m，壁厚为 2-48mm，环件的质量为 0.1-8200kg。20 世纪 80 年代以来，美、德、俄、英、法等国均广泛采用环轧技术生产出高质量的航空发动机压气机机匣、涡轮机

匣、燃烧室机匣、密封环、安装边等异形环件。

图22 典型异形截面轧制环件



资料来源：《锻造技术在航天运载器中的应用及展望》，中航证券研究所

图23 低压涡轮机匣

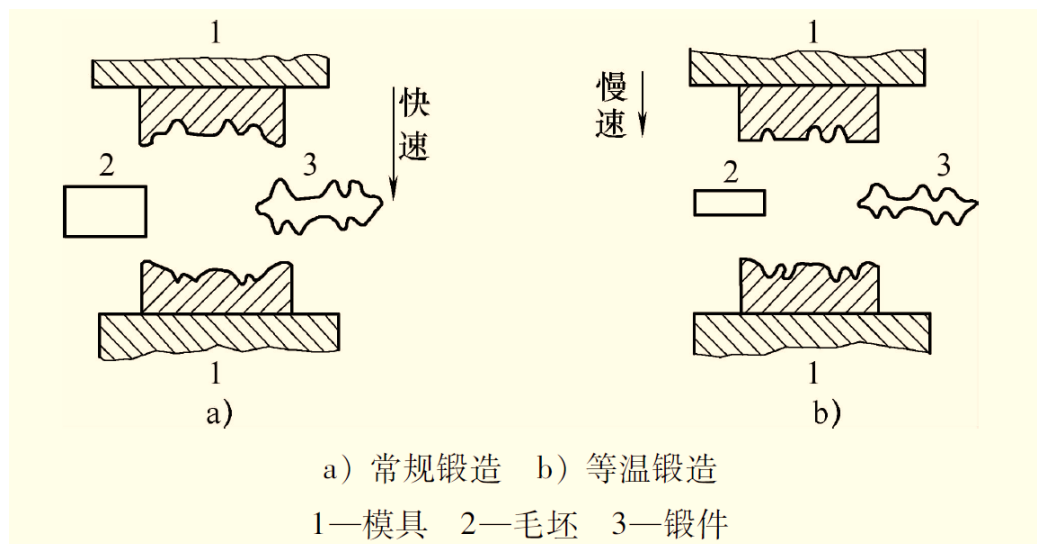


资料来源：航宇科技官网，中航证券研究所

3、超塑性等温锻造技术

在锻造工艺中，尤其是在锻造具有薄的腹板、高肋和薄壁的零件时，毛坯的温度很快地向模具散失，变形抗力迅速增加，塑性急剧降低，不仅需要大幅度提高设备吨位，也易造成锻件开裂。因此，不得不增加锻件厚度，增加机加工余量，降低了材料利用率，增加了制件成本。自 20 世纪 70 年代以来得到迅速发展的等温成形与超塑成形为解决上述问题提供了强有力的手段。

图24 普通模造与等温锻造的比较



资料来源：《锻造技术速查手册》，中航证券研究所

超塑性等温锻造的模具温度与坯料加热温度相近，消除了“激冷”效应。等温锻造最早是利用材料的超塑性发展出的一种模锻技术，因此又称为超塑性等温锻造，它是指对具有超塑性变形特点的材料在进行锻造成形时，首先将合金在接近正常再结晶

温度下进行热变形（挤压、轧制或锻造）以获得超细的晶粒组织，然后在合金超塑变形温度下，在与坯料具有相同温度的模具中以极慢的速度模锻成所需要的形状。热模锻时模具温度一般为坯料加热温度的 10%-38%，而锻造时压力保持时间甚至会小于 1 秒；等温锻造时模具温度为坯料加热温度的 95%-105%，超塑性等温锻造时压力保持时间有时会长达 1 小时。由于等温锻造具有相对较高的模具温度，减少或消除了锻坯接触冷模而产生的“激冷”效应，保证锻坯在整个锻造过程能保持在基本恒定的温度。

表8 Ti-6Al-4V 压气机叶片在不同锻造工艺下的变形抗力

锻造工艺	变形抗力(MPa)	变形速率(s ⁻¹)
普通模锻	1200	10 ¹ ~10 ³
半等温模锻	700	10 ⁻¹ ~10 ¹
等温模锻	150	10 ⁻³ ~10 ⁻²
超塑性模锻	40	10 ⁻³ ~10 ⁻²

资料来源：《锻造最新前沿技术研究综述(上)》，中航证券研究所

超塑性等温锻造解决了锻造大型精密锻件和难变形合金需要特大吨位设备和成形性能差的困难。超塑性等温锻造使材料在锻件成形过程处于超塑性变形状态，降低了材料的变形抗力，单位压力一般为常规热锻的 1/5 - 1/10，因此同等尺寸的锻件可以采用更小的设备成形。超塑性等温锻造有效提高了材料的变形性能，解决了锻造大型精密锻件和难变形合金需要特大吨位设备和成形性能差的困难，可以在低于常规锻造很多的载荷下，成形出高质量、高精度的薄壁、薄腹板、高肋板和其他复杂锻件，这对很难机械加工的高温合金和钛合金锻件特别有利。

表9 等温精锻件与普通模锻件生产技术经济指标比较

零件名称	材料利用率		生产率	产品质量
	普通模锻	精密模锻		
盒形接头 (航空锻件)	12.6%	47.5%	机加工时节约 76.5%	改善了疲劳性能和抗应力腐蚀性能，提高了使用寿命
支臂 (航空锻件)	29.1%	45.1%	机加工时节约 86.2%	改善了疲劳性能和抗应力腐蚀性能，提高了使用寿命
接头 (航空锻件)	10.24%	71.9%	机加工时节约 80.6%	改善了疲劳性能和抗应力腐蚀性能，提高了使用寿命
飞机框段精锻件	9.1%	74.2%	机加工时减少 90%以上	提高力学性能

资料来源：《金属塑性成形手册（上）》，《等温精密锻造技术的研究进展》中航证券研究所

20 世纪 70 年代到 80 年代，美国、俄罗斯已经开始在航空关键钛合金部件方

面使用等温锻造技术。利用该技术可以将钛合金叶片尺寸的精确度控制在 0.01mm, 非加工面超出 80%, 同时还能减轻航空钛合金部件的重量。我国在航空钛合金加工的过程中, 也开始使用可控应变等温锻造技术, 生产出组织性能、力学性能可以符合标准的 TC17 钛合金双性能整体叶盘, 同时还研究生产了 TI-1023 钛合金飞机结构等温锻造工件, 重量降低到 1.9kg, 材料的利用率提高到 74% 以上, 从显微组织方面来讲, 比自由锻件和模锻件性能高很多。

图25 镁合金机匣等温精密锻件



图26 钛合金叶栅环等温精密锻件



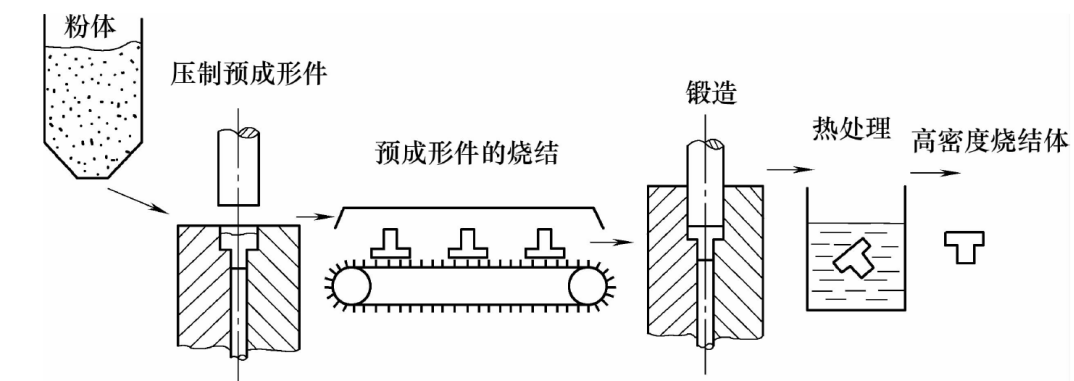
资料来源:《锻造技术在航天运载器中的应用及展望》, 中航证券研究所

资料来源:《锻造技术在航天运载器中的应用及展望》, 中航证券研究所

4、粉末锻造技术

粉末锻造是粉末冶金与精密模锻相结合的新型工艺, 兼有二者的优点。它是以金属粉末为原料, 经过冷压成形、烧结、热锻成形或由粉未经热等静压、等温模锻, 或直接由粉末热等静压及后续处理等工序制成所需形状的精密切件。一般的粉末冶金制件, 含有大量的孔隙, 致密度差, 经过热等静压或加热锻造后, 可使制件的相对密度提高至 98% 以上。

图27 典型的粉末锻造工艺流程



资料来源:《锻造技术速查手册》, 中航证券研究所

粉末锻造与普通模锻工艺相比的主要优点表现在能源消耗低、尺寸精度高、力

学性能好、内部组织均匀、不存在组织偏析。粉末锻造可高效率生产形状复杂的零件，这是由于粉末锻造预成形坯的变形抗力小，质量可精确控制，预成形坯形状可根据锻件形状优化设计，因而可一次锻打成形。在航空工业中，应用比较广泛的主要是高温合金、钛合金和铝合金的粉末锻造，如高温合金涡轮盘、钛合金风扇盘和铝合金飞机大梁接头等。

表10 粉末锻造与普通模锻工艺对比

对比项目	普通模锻	粉末锻造
100mm 的尺寸精度	±1.5mm	±0.2mm
制品质（重）量波动	±3.5%	±0.5%
表面粗糙度	≥12.5μm	0.8 ~3.2μm
初加工毛坯的材料利用率	70%	99.5%
制品的最终材料利用率	40% ~60%	80% ~90%

资料来源：《锻压手册》，中航证券研究所

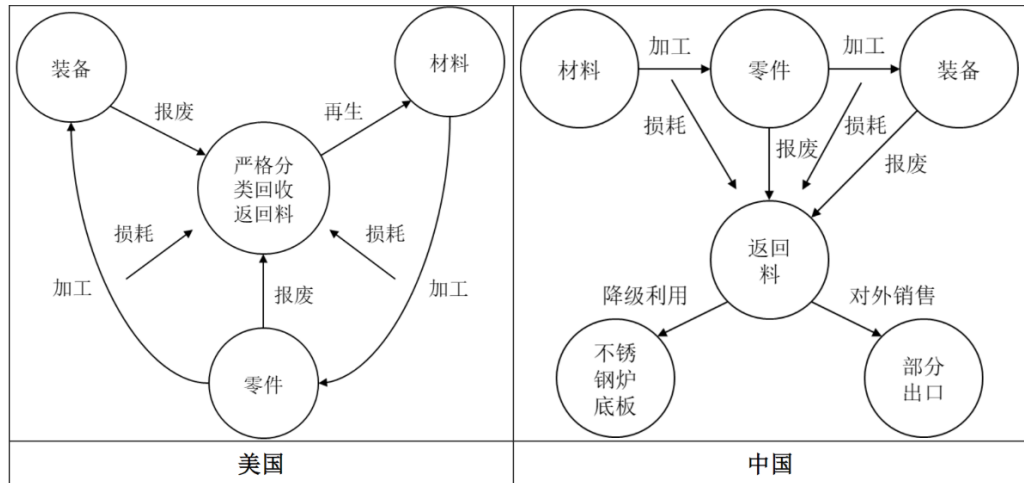
（三）返回料的应用是未来高端锻造降低生产成本的重点方向

高温合金在加工流程中会产生大量返回料，材料利用率很低导致零部件成本高昂。以高温合金的尖端应用航空发动机为例，由于需要充分考虑强度、空气动力、减重等要求，零件加工环节多、形状复杂、精度要求高，导致材料有效利用率非常低，一般情况下超过 90% 的材料会成为返回料，高温合金中镍金属的价格高昂，这也导致相关零部件的生产制造成本居高不下。

返回料的应用可以有效降低成本。根据中航上大的公告披露，以 GH4169 牌号高温合金为例，公司使用约 70% 的同牌号返回料作为原材料进行冶炼生产，相较于传统使用纯金属料的生产方式可降低生产成本约 30%。根据论文《钛合金低成本化制备技术研究现状》，利用钛合金加工制成的 TC4 板坯，板材成本降低 20% 以上，组织和力学性能与常规 TC4 板材基本一致。根据中航重机的公告，以 TC4 产品为例，如果利用回收料熔炼成钛锭较利用海绵钛熔炼成钛锭将降低成本约 30%。

国际方面已经建立起来一套完善的废料回收和再利用模式。例如，美国从 20 世纪 70 年代起开展高温合金返回料的再生利用，目前已形成技术成熟、体系完善、返回料严格分类回收和再生利用的全产业链闭环模式，在高温合金生产过程中返回料使用比例达到 70%-90%。返回料经过多次真空提纯和精炼，再生利用后的纯净度水平和各项指标稳定性均优于矿冶新料，使得再生材料的质量和稳定性水平大幅提升，同时还可降低成本 30% 以上。

图28 国内外高温合金返回料回收利用情况



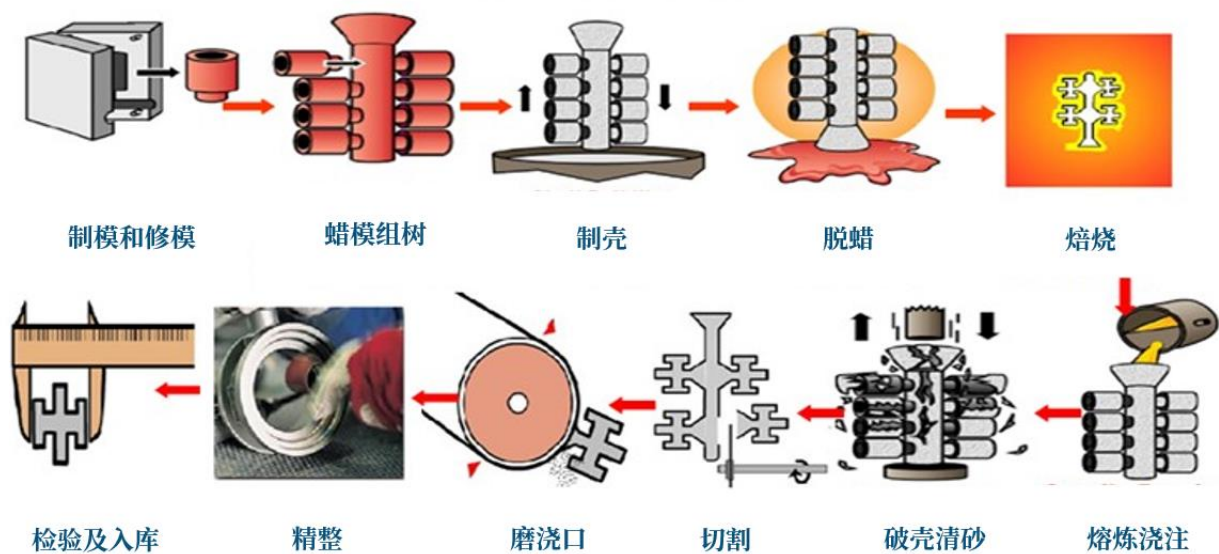
资料来源：中航上大公司公告，中航证券研究所

三、熔模精铸是许多高端零部件的最优铸造工艺

(一) 熔模精铸优点突出，可以助推零部件制造提效降本

熔模精铸以蜡模为型，用耐火材料制作型壳，脱蜡后形成空腔并浇注熔体形成铸件，成形后的铸件只需少许的修整和热处理即可得到所需零部件，故也被称为熔模精铸。熔模精铸的主要工艺流程为：制模→修模→蜡模组树→制壳（多层反复）→脱蜡→焙烧→熔炼浇注→破壳清砂→切割→精整→缺陷修复→热处理→无损检测→检验→产品交付。

图29 熔模精铸工艺流程



资料来源：丰汇机械官网，中航证券研究所

表11 熔模精铸每道工序的具体内容

序号	工序名称	内容
1	制模	制模就是将蜡料压入模具型腔，冷却取出形成蜡模。
2	修模	修复蜡模表面的一些外观缺陷，如批缝、注蜡嘴、流纹等。
3	组树焊接	组树焊接是将修好了的蜡模按照工艺卡进行浇注系统的焊接。
4	制壳	制壳工艺为全硅溶胶工艺（因环保问题，水玻璃工艺已逐步被淘汰），即在蜡模表面先蘸上配好的硅溶胶涂料，然后撒上耐火砂料，型壳在特定的温湿度下进行干燥硬化，这样在蜡模表面形成了致密的耐火涂层，然后重复该工序 5-6 此，最后就形成了具有一定强度和耐火度的硅溶胶型壳。该工序上精铸的关键工序，质量的保证，需要注意涂料撒砂均匀，严格控制涂料的粘度、砂粉的粒度以及车间温湿度。
5	脱蜡	脱蜡是将型壳里面的蜡通过高温蒸汽让蜡融化然后排出来，这样就得到了空腔的可以浇注成型的模壳了。
6	型壳焙烧	型壳焙烧主要是烧掉模壳中残留的蜡和水分，同时精密铸造是在红壳状态下浇注，通常将模壳在 1000 度左右焙烧 1-2 小时。
7	熔炼浇注	按照产品的材质成分进行配料，然后进行钢液熔炼，除渣光谱测试，成分合格后就可以浇注，需要在红

		壳状态下严格按照工艺卡的要求将钢水浇入模壳，形成逐渐毛坯。
8	清砂脱壳	待浇注后的产品充分冷却后，使用人工（锤击）或振动脱壳机使模壳从铸件上分离，得到浇注件。手工初步清砂后进行一次抛丸，这样铸件毛坯表面的型壳就基本除净了。
9	切割	切割就是将模组上的铸件产品与浇注系统分离，所有的精铸件用的都是等离子切割，注意浇口余根不要过长，关键是不要切伤铸件本体。
10	磨浇口	磨浇口即是将切除浇注系统后的毛坯铸件上面的浇口余根去除掉，主要是通过砂轮打磨或者砂带打磨进行磨削，该工序有分为初磨和精磨，注意打磨不要损伤零件本体。
11	精整	精整主要是修复铸件表面可能会有的一些外观缺陷，如砂孔、渣孔、飞边毛刺、变形等，主要的方式就是焊补、打磨、校正和抛丸。
12	检验及入库	精整后的铸件发质量部做尺寸外观检查，合格后就可以打包入库。

资料来源：《特种铸造》，中实仪信网，中航证券研究所

熔模精铸生产的零件精度高，表面质量光洁，能够实现近净成形，适于生产高熔点和难以加工的复杂薄壁金属铸件。熔模精铸的主要优势有：

图30 熔模精铸优势突出



资料来源：《特种铸造》，中航证券研究所

(1) **近净成形，大幅降低制造成本。**熔模精铸件尺寸精度高其尺寸精度可达 CT5-CT7 级（砂型铸造为 CT10-CT13 级），表面非常光洁，Ra 最小可达 0.8μm，可大大减少铸件的切削加工余量，甚至某些铸件只留打磨、抛光余量，不必机械加工即可使用，即实现近净成形。当采用熔模精铸方法可节省大量设备和机加工时，大幅节约金属原材料，熔模精铸件的金属利用率是一般锻造件的 3 倍左右。

(2) **造型性好，可以减轻结构质量。**采用熔模精铸工艺可以生产外形和内腔非常复杂的零件，最小孔径可达 1.0mm，最小壁厚可达 0.8mm，提高设计自由度，实现结构减重。

(3) **一次成型，可以实现减重延寿。**将原来由许多零件组合、焊接的部件进行整体设计铸造成形，可以消除装配结构，降低零件重量，减少各部件焊接组装，避免组装应力，改善抗疲劳特性，延长工作寿命。

(4) **适应性强，满足柔性化生产。**熔模精铸的工装模具可采用多种材料和工艺方法制造，它既适用于大批量生产，也适用于小批量生产，甚至单件生产，能够满足现代柔性化生产的需求。模具在大批量生产时可用金属压型，小批量生产时可采用易熔合金或石膏压型。熔模精铸的合金材料也不受限制，各种合金材料均可制造，如碳钢、不锈钢、合金钢、铸铁、铝合金、铜合金、镁合金、钛合金以及高温合金。

(5) **性能优良，可以具备媲美锻件的力学性能。**通过“热等静压”气锻方式提高铸件致密度及性能。热等静压是将铸件置于密封耐压容器内，抽真空后充入惰性气体介质，升温加压。在高温和均匀的高压下铸件内部的封闭的孔隙（气孔、疏松）被压实闭合，并扩散结合为致密的组织，使铸件缺陷得到修复，性能得到明显改善的一种热处理工艺，目前热等静压已广泛用于钛合金、高温合金铸件。

(6) **生产高效，可以成规模制造，具有规模效应。**熔模精铸可以通过蜡模组树的方式，实现对中小型零部件的一次浇注大批量生产，从而提高生产效率，降低生产成本。

使用熔模精铸件的增益效果十分显著。自 20 世纪 70 年代起，欧美等工业发达国家率先采用大型整体精密铸件代锻件、板焊组合件以提高部件整体结构性能和可靠性、减轻结构重量、降低制造成本、缩短制造周期。例如波音 767-40ER 飞机的仪表控制台框架，过去由 296 个零件组成，现改为 11 个精密件整体成形，壁厚仅为 1.8mm。部件减重 27kg，成本降低 50%，制造周期缩短 89%，工装费用减少 90%。

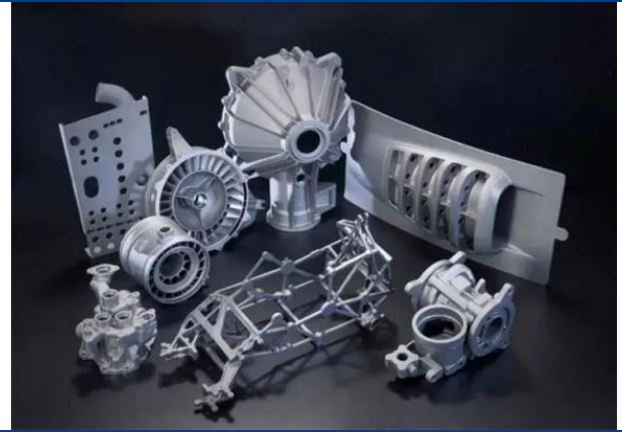
表12 熔模精密铸造可以显著实现降本增效

型号部位	替代形式	实现效益
V-22 直升机传动系统	用 3 个合金整体精铸件和 32 个紧固件代替了过去由 43 个铝合金锻件和 536 个紧固件制成的组件。	大幅度降低了结构重量，降低制造成本 30%，缩短制造周期 62%。
C-17 前部铸件	MAIC 研制出一个长 760mm、厚约为 1.25mm 的前部铸件代替了 17 个部件。	节约成本超过 40%，并减轻了质量。
波音 767-40ER 飞机的仪表控制台框架	过去由 296 个零件组成，现改为 11 个精密件整体成形，壁厚仅为 1.8mm。	部件减重 27kg，成本降低 50%，制造周期缩短 89%，工装费用减少 90%。
美国“宇宙神”发动机	“宇宙神” MA-5A 发动机液氧级间段接头是由 10 个零件、2 个焊点组成，而 MB-5B 采用整体精铸成形后，接头一次性浇铸成形，无焊点。	原来每个接头成本为 41000 美元，改后成本降低到原来的 1/10，仅为 4000 美元。
美国空间运输主发动机 STME	主燃烧室使用精确的熔模成形技术，将结构外壳、前后歧管、支柱与前法兰进行整体组型浇铸，并在液氮、液氧涡轮泵的组件中壳体、叶轮、叶片等广泛采用了熔模精密铸造技术。	采用这种制造工艺可使燃烧室零件数量减少 50 多个，焊接次数减少约 90 个，生产制造成本得以显著降低。

资料来源：《航空制造技术》，《Progress in structural materials for aerospace systems》，中航证券研究所

图31 整体叶盘铸件可以提高结构性能，降低成本


资料来源：《熔模精密铸造在航空航天领域的应用现状与发展趋势》，中航证券研究所

图32 镁合金铸件可以减轻航天器重量


资料来源：thompsoncasting，中航证券研究所

(二) 熔模精铸件在高端装备中地位重要且应用广泛

1、熔模精铸件在航空航天和武器装备中得到广泛应用

熔模精铸件如今在航空航天和武器装备中广泛应用，是先进航空航天和武器装备产品轻量化、精确化、长寿命、低成本发展的重要技术基础。包括发动机叶片、机匣在内，还有飞机舱门、机翼及平尾支座等飞机中的关键构件，其形状尺寸、组织结构和性能直接影响发动机和飞机的性能、结构重量系数、寿命和制造成本等各种重要指标，当前基本采用的都是精铸件。据统计，发达国家的高温合金熔模精密铸件约占航空发动机重量的 1/4，其中结构件约占 2/3。除了航空装备外，在航天、船舶、兵器和电子领域也广泛应用熔模精铸件。

表13 复杂薄壁精密铸件在先进武器装备中的应用情况

装备领域	部位	典型构件	铸件种类及用量
航空	发动机	定向和单晶叶片	高温合金
		整体叶盘	高温合金
		机匣	高温合金、钛合金、铝合金
机体	进气道唇口、机翼接头构件等异形承力构件	铝合金、钛合金	
航天	发动机	叶盘、壳体等	70%高温合金、10%铝合金
	弹体	舱体、弹头等	40%铝合金，部分钛合金
船舶	发动机	增压器叶轮、涡轮叶片、缸体等	铝合金、高温合金
	鱼雷壳体、推进器	壳体、叶轮等	铝合金、钛合金
兵器	车用发动机	缸体、缸盖等	铝合金、高温合金
电子	控制系统框架	仪表壳体、波导壳体等	铝合金

资料来源：《航空制造技术》，中航证券研究所

图33 波音 737-FAD 舱门铸件

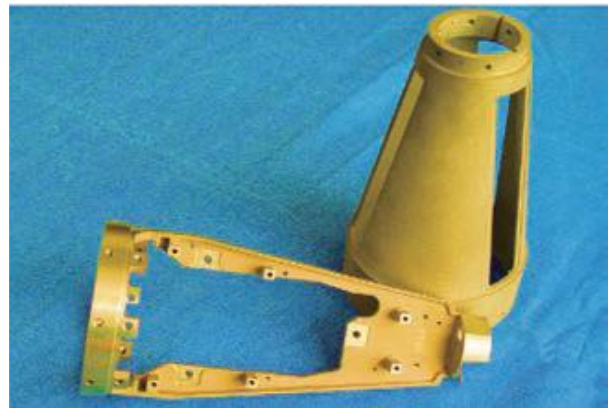

资料来源：《熔模精密铸造在航空航天领域的应用现状与发展趋势》，中航证券研究所

图35 神舟飞船系列的蜗壳铝合金精密铸件


资料来源：《熔模精密铸造在航空航天领域的应用现状与发展趋势》，中航证券研究所

图34 GE 公司 TiAl 合金涡轮铸件


资料来源：《用于波音 787 客机的 GEnx 发动机设计特点》，中航证券研究所

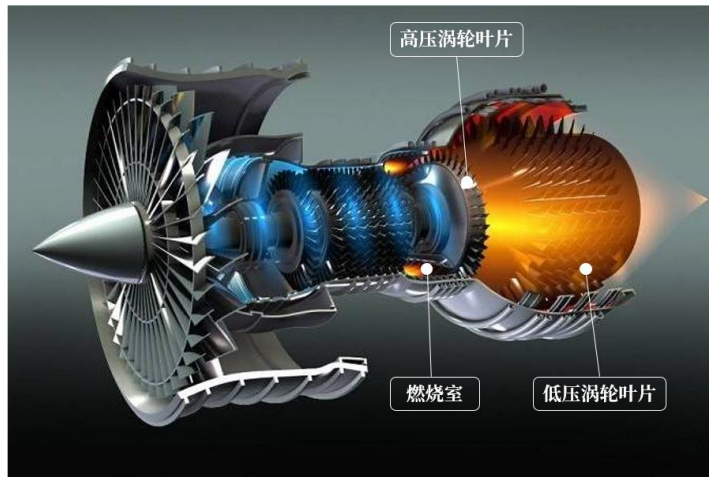
图36 某型导弹引信电子壳体铝合金精密铸件


资料来源：《熔模精密铸造在航空航天领域的应用现状与发展趋势》，中航证券研究所

2、铸造涡轮叶片是航发和燃机的关键热端部件

涡轮叶片是航空发动机中最关键的零件之一，处于发动机中温度最高、应力最复杂、环境最恶劣的部位，且数量众多、形状复杂、尺寸要求高、加工难度大，直接影响着航空发动机的性能。涡轮叶片是将高温、高压燃气的能量持续转换为机械能并带动其他部件工作，根据所处环境的差异，可以细分为高压和低压涡轮叶片。高压涡轮叶片需要在 1400°C~2200°C、20atm~50atm 的环境中以 1.5 万转/分钟的速度下高速旋转，叶片榫头（工作叶片和涡轮盘相连的部分）所承受的离心力相当于叶片重量的 1 万倍，高达 10~15 吨。因此，高压涡轮叶片要求具备极强的耐高温、抗蠕变、抗疲劳和抗腐蚀能力以及较长的使用寿命。当高温高速高压气流经过高压涡轮叶片后，含有的能量有所下降，低压涡轮叶片的工作环境会相对温和一些，相应的性能要求会有所降低。

图37 涡轮叶片是航空发动机的关键热端部件



资料来源：新浪网，中航证券研究所整理

为使航空发动机实现大推力、高推重比、低油耗，主要措施是提高涡轮前进口温度。涡轮进口温度每提高 100℃，航空发动机的推重比能够提高 10%左右，国外现役最先进第四代推重比 10 一级发动机的涡轮进口平均温度已经超过了 1800K，第五代发动机的涡轮进口温度更是突破了 2000K。

表14 各代发动机涡轮叶片材料和结构

代别	主要性能指标	典型发动机	叶片结构	叶片材料
第二代	推重比: 4-6 涡轮前温度: 1300-1500K	斯贝 MK202 服役: 20 世纪 60 年代	实心或简单对流冷却结构	定向合金和高温合金
第三代	推重比: 7-8 涡轮前温度: 1680-1750K	F100, F110 服役: 20 世纪 70 年代	气膜冷却空心结构	第一代单晶和定向合金
第四代	推重比: 9-10 涡轮前温度: 1850-1980K	F119, EJ200 服役: 20 世纪末	复合冷却空心结构	第二代单晶合金
第五代	推重比: 12-15 涡轮前温度: 2100-2200K	F135 服役: 21 世纪初	双层壁超冷/铸冷涡轮叶片	金属间化合物 第三代单晶合金

资料来源：《航空发动机涡轮叶片材料的应用与发展》，中航证券研究所

单晶叶片的使用对提高涡轮进口温度起到了至关重要的作用。铸造高温合金是涡轮叶片的主要选用材料，根据凝固结晶组织不同，可以分为等轴晶铸造高温合金、定向凝固柱晶高温合金和单晶高温合金。从 1960 到 1990 年间，涡轮叶片从等轴晶空心叶片发展到先进的单晶空心叶片，其工作温度提高了 300℃-400℃，发动机燃油效

率提高了 30%左右。

图38 等轴、定向和单晶叶片

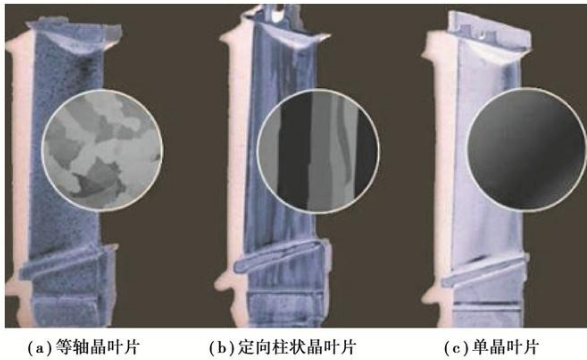
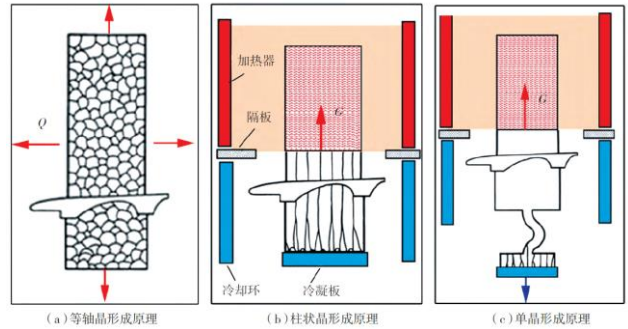


图39 涡轮叶片 3 种晶粒组织的形成原理

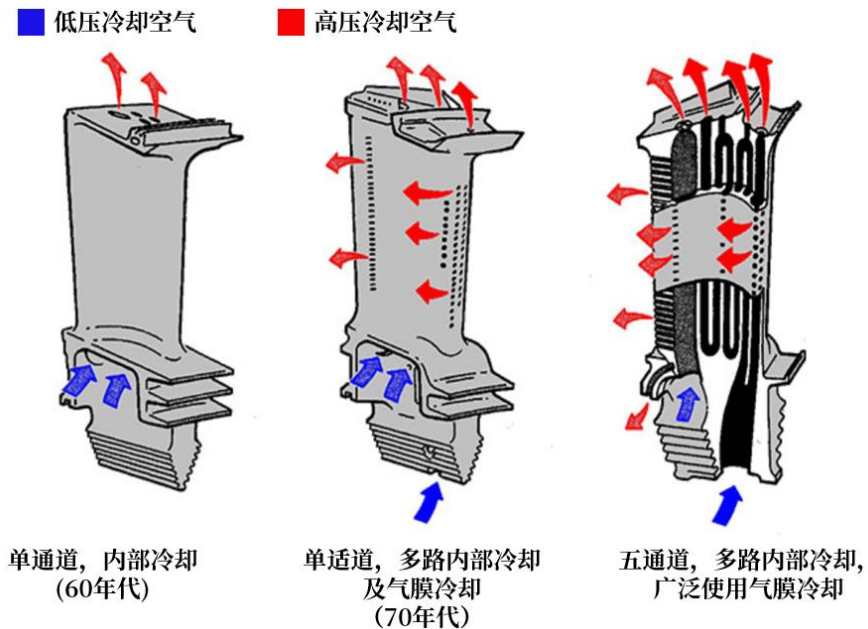


资料来源：《镍基单晶高温合金表面再结晶控制技术的研
究进展》，中航证券研究所

资料来源：《高温合金叶片单晶凝固技术的新发展》，中
航证券研究所

采用先进的冷却结构可进一步提高涡轮叶片的承温能力。目前，涡轮叶片采用的冷却技术包括：气膜冷却、冲击冷却、扰流柱强化换热、肋壁强化换热等。总地来看，气冷结构对涡轮前进口温度的提升贡献率达到了 70%。然而，随着冷却技术的不断改进，叶片内部结构愈加复杂，对于涡轮叶片的材料设计和制造工艺设计提出了更高的挑战。

图40 复杂的冷却结构给叶片制造带来了巨大挑战

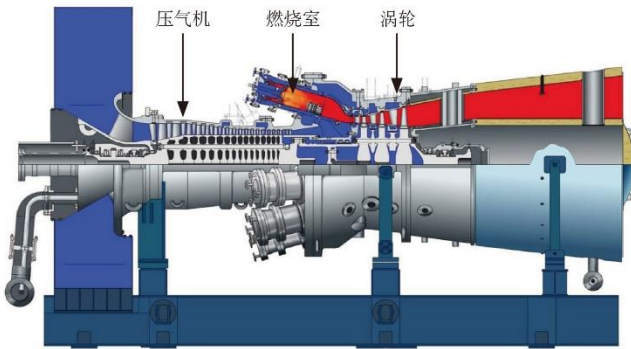


资料来源：ResearchGate,, 中航证券研究所

燃气轮机为了提高热效率和循环功率，同样追求更高涡轮前进气温度。燃气轮机是包括大飞机、特种船舶、新一代主战坦克、民用发电等领域的主要动力源之一。燃气轮机和航空发动机结构比较类似，为了提高热效率和循环功率，实现路径同样也是

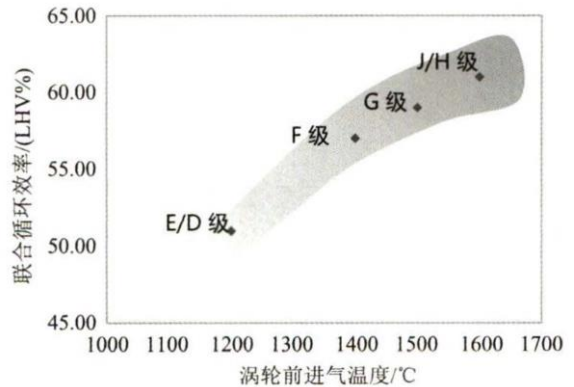
提高涡轮前的进气温度。相关研究表明，涡轮进口温度每提高 40℃，燃机热效率可提高 1.5%，功率相应增加 10%。自 1939 年第一台燃气轮机在瑞士诞生以来，重型燃机的涡轮前的进气温度由最初的 550℃提高到了现今的 1600℃，单循环效率由 17.4% 提高到了 40%以上，单机功率也由最初的 4MW 提高到了 470MW，使用大于 1600℃ 涡轮前进气温度的先进燃气轮机所能达到的联合循环电厂效率可达 62%以上。

图41 H25 燃气轮机结构



资料来源：《SGT800 工业燃气轮机技术及市场分析》，中航证券研究所

图42 重型燃气轮机涡轮前进气温度与联合循环效率



资料来源：《燃气轮机涡轮叶片制造工艺现状及发展方向》，中航证券研究所

燃气轮机叶片的工作环境更为恶劣，对叶片制造提出了更高要求。与航空发动机相比，工业燃气轮机叶片的工作环境要恶劣得多，大多含硫、钒等杂质，造成热腐蚀，对高温合金部件破坏作用大；燃机叶片寿命通常达几万乃至几十万小时，承受基本载荷的时间长；燃气轮机叶片尺寸大、质量大，航发叶片长度最大约为 10cm，重量基本为数百克，相对容易制成单一的晶体，但燃气轮机的叶片长度可达 15 至 40cm，重量可从数公斤到约 10 公斤，对叶片制造形成了极大挑战。

表15 燃气轮机与航空发动机涡轮叶片比较

机型	燃气轮机	航空发动机
尺寸	大 (910mm)	小 (30~150mm)
质量	<18kg	0.1-0.2kg
环境	含硫、钒等杂质，热腐蚀明显	热腐蚀不明显
稳态下运行时间	>10 ⁵ h	25000h
峰值温度下运行时间	>10 ⁵ h	1000h

资料来源：《重型燃气轮机定向结晶叶片材料与制造工艺》，中航证券研究所

绝大部分涡轮叶片都采用熔模精铸工艺成形，我国叶片制造成形精度偏低、废品率较高，一直是困扰我国高性能航空发动机和燃气轮机研制的难题。从涡轮叶片零件图开始，到完成制造交付给用户包括了 10 余项工艺技术，其中精密铸造含有将近 200 个工艺环节，过程非常复杂。单晶涡轮叶片精铸技术长期由发达国家掌握并严加保密拒绝转让，而我国单晶叶片成形精度偏低、废品率较高，这一直是困扰我国高性能航空发动机和燃气轮机研制的难题。在 2016 年以前，从国内学术界的探索研究和

工业界的实施应用情况来看，单晶空心涡轮叶片的合格率极低，仅为 10%左右。

根据中国科学院金属研究所的成果《航空发动机单晶高温合金叶片典型铸造缺陷的全流程控制技术及应用》，截至 2018 年，我国已将实心单晶叶片的合格率从小于 20%提高到 75%以上，复杂空心单晶叶片的合格率从小于 10%提高到 50%以上，但与国外高达 70%~80%的单晶叶片合格率相比仍然存在较大差距。单晶高温合金材料的基体为镍元素，其中含有铼、钼等多种稀有贵金属，原材料价格高昂。以百川盈孚统计的 2024 年 5 月的数据为例，电解镍的市场月均价为 14.87 万元/吨，99.99% 铼粉的市场价格为 1200-1500 万元/吨，钼铼（99.99%min）市场价格为 260-270 万元/吨。因此，通过提高叶片合格率有望获得非常可观的经济效益。

图43 涡轮叶片制备工艺流程



资料来源：《先进高温结构材料与技术》，中航证券研究所

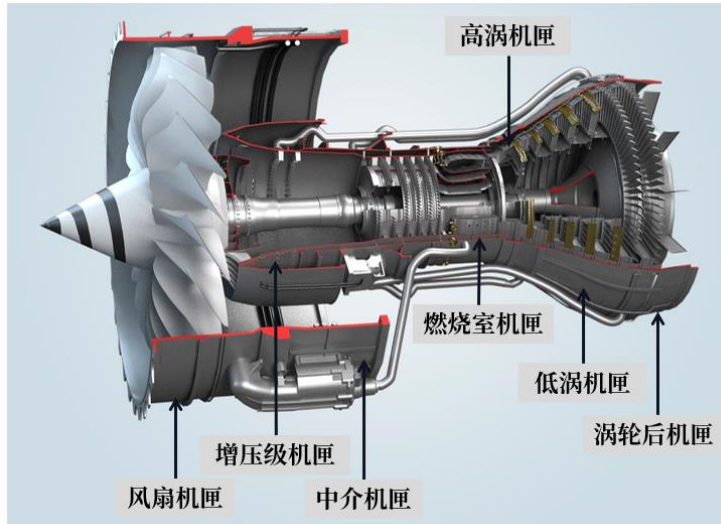
高压涡轮叶片的单片价值量上万元。由于高压涡轮叶片原材料价格高昂，制造工序复杂、生产难度大且合格率不高，因此价值量非常高。根据 2019 年万泽股份测算的相关数据，在航空发动机中，单晶涡轮叶片的价格约为 3 万元/片；燃气轮机涡轮叶片由于体积较大，价格更高，进口价约为 40 万元/片，而国产替代后的价格则约为 20 万元/片。

3、铸造机匣是航空发动机的承力骨架

机匣是航空发动机的关键部件，在发动机中主要起包容转子和承担载荷的作用。机匣外形结构复杂，不同型号发动机的机匣形状各不相同，设计功能决定了机匣的形状，基本形状特征是圆筒形或圆锥形的壳体和支板组成的构件。发动机机匣类零件主要包括风扇机匣、增压级机匣、中介机匣、压气机机匣、燃烧室机匣、涡轮级间机匣、

涡轮机匣、涡轮后机匣、轴承机匣、中央传动机匣、附件机匣和尾椎等。带整流支板的中介机匣和涡轮后机匣结构复杂，是发动机上的主要承力件，大部分采用熔模精铸工艺制造。

图44 航空发动机上机匣的分布

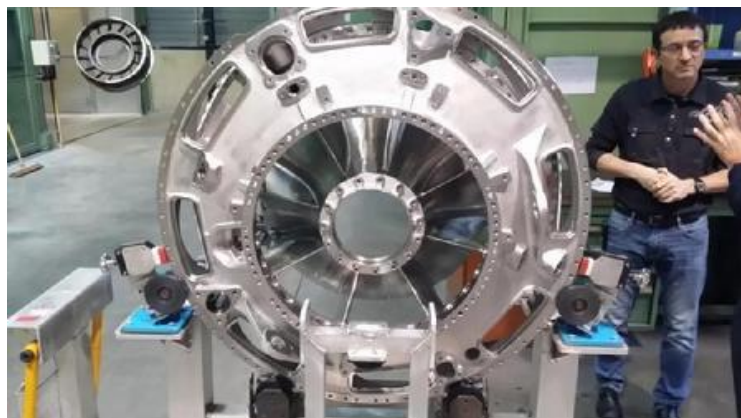


资料来源：Free3D 官网，中航证券研究所

① 中介机匣

中介机匣是涡扇发动机中连接风扇和压气机的重要过渡通道和主要承力部件，相当于发动机的骨架。发动机的推力主要通过中介机匣、主推力安装节和辅助推力安装节传递到飞机上，其中，中介机匣承受机动载荷、支点载荷、气动载荷和温度载荷等载荷的综合作用，承载情况复杂。因此，中介机匣需要与高压压气机、低压压气机、支点轴承座等部件紧密结合，研制要求很高。

图45 航空发动机的中介机匣



资料来源：中国航发集团官网，中航证券研究所

铸造中介机匣的制造难度很高，目前只有少数国家掌握。中介机匣具有尺寸与面

积大、壁厚薄和形状复杂的结构特点，制造难度非同一般。传统的制造方法是将复杂结构分解为十几或几十个较为简单的结构件先行制造，再采用焊接或铆接等方式连接成整体结构。由此方法制造的中介机匣结构刚性较低，大量焊缝和铆钉增加了结构重量，制造过程质量控制难度大，生产周期长。如今，采用钛合金熔模精铸技术能够实现中介机匣复杂结构的一次完整成形，不仅能减轻结构重量，还可以显著提高结构刚性，简化加工装配过程。为降低成本，减少机加工和焊接工序，目前国际上趋向于整体铸造技术制造中介机匣，如 RR 公司的 Trent1000 已将中介机匣和前框进行整体铸造。铸造钛合金中介机匣对现代航空发动机不可或缺，目前世界上只有少数国家掌握了中介机匣整体铸造技术。

② 涡轮后机匣

涡轮后机匣是发动机重要的承力框架，主要由内环（轮毂）、支板和外机匣 3 部分组成，起到支承核心机匣及低压涡轮后支点的作用。涡轮后机匣外环上安装有发动机的后安装节，将发动机径向载荷通过涡轮后机匣传给飞机。该机匣承受机动载荷、支点载荷、气动载荷和温度载荷等的联合作用，承载情况同样十分复杂。

图46 航空发动机的涡轮后机匣



资料来源：Senior Aerospace Ketema 公司官网，中航证券研究所

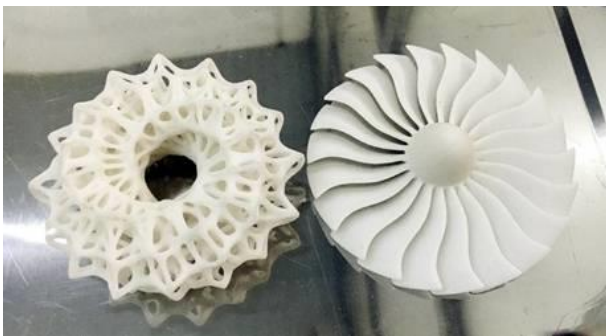
整体铸造技术是当前涡轮后机匣的主流制造工艺，国外技术先进，国内持续突破。国外为了降低成本和提高可靠性，从 20 世纪 70 年代就开始研究整体铸造技术代替分体焊接技术，并于 80 年代将高温合金纯净化制备以及热等静压技术引入高温合金大型复杂薄壁结构件整体精铸，不仅使整体铸造成型零件的结构尺寸显著增加，而且使大型铸件的强度、寿命和可靠性得以大幅提升。西方民用航空发动机如 PW4000、Trent700、Trent800 等均采用了高温合金整体精铸机匣，PCC 公司已经实现了应用于 Trent800 的外廓尺寸达 $\Phi 1930\text{mm}$ 、最小壁厚 $1.5\text{mm} \pm 0.25\text{mm}$ 的涡轮后机匣的整体精铸。我国在 2016 年也已突破外廓尺寸超过 1.3 米的复杂薄壁型高温合金精密铸件制造技术，2018 年在大型复杂铸件整铸工程化能力与批次稳定性上继续突破，**使**

铸造合格率提高了 20%，将大型复杂薄壁铸件的合格率提高至 80%，生产周期缩短 30%。

(三) 熔模精铸+3D 打印是高端铸造重要发展方向之一

快速熔模精密铸造技术（熔模精铸+3D 打印）是重要的发展方向之一。由于熔模精密铸造工艺过程复杂且制造周期长，难以满足现代社会对企业产品多样化和市场快速响应的需求。而 3D 打印技术是制造业领域正在迅速发展的一项新技术，它以数字模型文件为基础，运用粉末状金属或塑料等可粘合材料，通过逐层打印的方式来构造物体。3D 打印无需模具，有效缩短了加工周期，产生的废料极少，在非批量化生产中具有较好的效率和成本优势，在研发阶段有望推动设计方案的快速迭代，成为该阶段的制造主力。快速熔模精密铸造技术就是将 3D 打印技术与熔模精密铸造工艺相结合 3D，当前 3D 打印技术在精铸工艺流程中的应用包括两个不同的层次：一是通过打印获得铸造模样或铸型从而缩短、加速铸造工艺流程；二是采用 3D 打印方式修复铸件缺陷或组合制造金属构件，提高铸件成品率。

图47 3D 打印的蜡模



资料来源：沈铸所官网，中航证券研究所

图48 3D 打印的陶瓷型芯



资料来源：3D 打印技术参考网，中航证券研究所

在 3D 打印技术直接打印金属铸件方面，由于其应力分布、微观孔洞多、表面粗糙度、成本高、生产效率等先天限制，当前还难以成为熔模精铸的替代工艺，尚且只能作为铸造工艺的补充和延伸。目前来看，熔模精密铸造在高端装备制造业的转型升级中，仍具有难以替代的作用。

四、高端锻铸行业市场空间测算

(一) 军机机身锻铸件：受益于军用飞机规模性增长及结构性升级

随着我国国防和军队现代化建设的进程提速，叠加地缘政治形势复杂多变，国家从数量上与性能上都对军机提出更为迫切的需求，合力推动军机市场空间的快速增长。在陆军加速迈进立体化作战时代、海军要求以航母等新型作战力量建设为突破、空军加速“空天一体、攻防兼备”战略转型之际，军机都将扮演关键角色。与此同时，随着未来战争将实现陆、海、空、天、网、电的多军种多领域的深度联合作战，军机将成为关键枢纽和节点，在各军种内承担核心作战及协同任务，重要性不断提升。

表16 各军种对军机的需求情况和战略定位

军兵种	发展趋势	进展情况	军机类型
陆军	加速迈进立体化作战时代，构建“空地一体，立体突击”的核心军事能力。	空中突击部队作为陆军新型作战力量编入建制，“融合编组、立体突击”成为训练常态。	直升机、无人机等
海军	以新型战略核潜艇、国产航母、大型驱护舰等新型作战力量建设为突破和重点持续推进转型发展。	舰载战斗机批量交付，新型反潜巡逻机补齐海军反潜作战的短板，预警机、舰载直升机再添新型号。	舰载机、战斗机、直升机、运输机、预警机、无人机、教练机等
空军	按照“空天一体、攻防兼备”的战略目标，加快推进战略转型。	新时代的人民空军历史性地跨入战略空军门槛。近年来，歼-20、歼-16D、运-20、空警-500、红-9B等一大批新型国产主战装备投入实战化训练，空军战略预警、空中打击、防空反导、信息对抗、空降作战、战略投送和综合保障等能力不断提升。	战斗机、轰炸机、直升机、运输机、预警机、无人机、教练机等

资料来源：人民网等，中航证券研究所整理

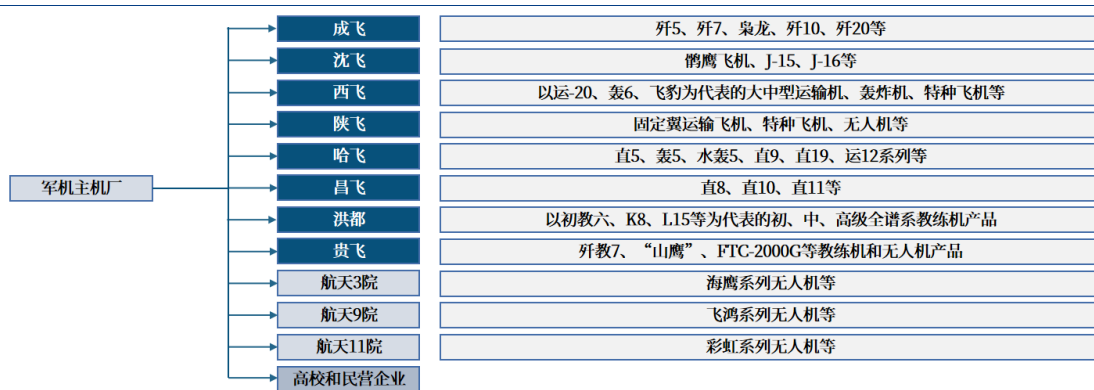
另一方面，近年来，我国面临周边环境日益复杂，舰载机和航母的组合实战、战斗机大航程巡航作战和隐身突防、适应高原环境的武装直升机、向高原运送物资以及空中加油的大型运输机等新需求亟待满足，这就对军机执行作战任务的能力提出了更高的要求，也构成了我国军机未来需要重点突破的发展方向，市场的空间不只是规模性的，结构性的转变也在同步推进。对于不同类型的军机，投向的重点将沿着优化武器装备规模结构以及发展新型武器装备的战略方向。

表17 主要军机类型投资逻辑

类型	特性及用途	投资逻辑
战斗机	保护制空权，具有飞行性能优良、机动灵活、火力强大的特性。	更新换代，形成以三代为主体、四代为骨干的装备体系。
轰炸机	地面轰炸，具有突击力强、航程远、载弹量大、机动性高的特性。	对提高空军战略打击能力有重要作用。
舰载机	在航母上起降，性能决定航母的战斗能力。	形成舰载机和航母的组合实战能力具有重要作战意义。
直升机	高性价比，运输、巡逻、救护等多种用途。	多军种列装，军民两用属性较强。
运输机	空运兵员、武器装备和军用物资等后勤保障力。	我军后勤保障力重要性日益提升，同时可向民用拓展。
无人机	平台属性强，可执行各类战略和战术任务，包括侦察预警、跟踪定位、特种作战、信息对抗、战场搜救等。	军事智能化的重要发展方向，应用场景广阔，适于各军种。
电子战飞机	专门对敌方雷达、电子制导系统和无线电通信设备进行电子侦察、干扰和攻击。	顺应军事信息化和智能化的发展趋势，填补空白。
教练机	训练飞行人员。	满足日益增长的练兵备战的训练需求，以及建立完善的战斗训练系统体系。

资料来源：人民网、环球网等，中航证券研究所整理

目前我国军机已经处于世界一流水平，但总体列装数量和代际更替都与军事强国存在较大差距，存在装备总量相对较少，各机型发展不均的问题。与此同时，我国在航空装备领域的投入也与军事强国存在差距，为提升技术实力和战斗实力，我国军机产业的放量增长和装备升级时不我待，尤其是先进战机、轰炸机和大型运输机的规模列装和填补空白的全谱系发展，紧迫性更为凸显。

图49 主机厂及对应型号和军机类型情况


资料来源：中国航空工业集团官网，研究院官网，中航证券研究所整理

下面，我们以中航沈飞、中航电测（成飞）、中航西飞、洪都航空和中直股份的2023年的业绩总和作为市场空间的测算基准，综合考虑我国未来的军费增长和军机需求等各方面因素，我们作出如下基本假设：

① 2024-2030年的航空主机厂市场在2023年基准的基础上将实现复合增速4-6%。

据此测算，2024-2030年我国航空主机厂的市场规模约为1.55-1.68万亿元，年

均约为 2213-2397 亿元。

表18 我国主要航空主机厂营收规模及增速（亿元）

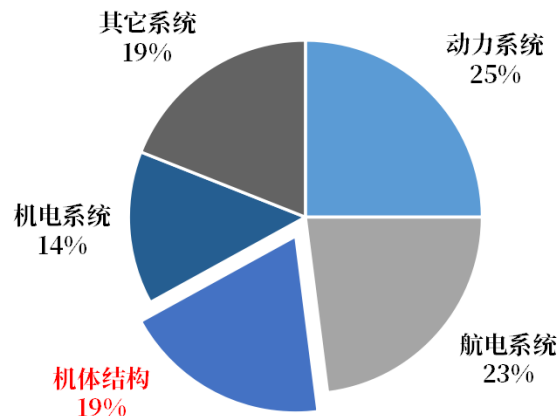
代码	公司名称	主要产品	2021 年 营业收入	2021 年 营收增速	2022 年 营业收入	2022 年 营收增速	2023 年 营业收入	2023 年 营收增速
600760.SH	中航沈飞	多款型号 战斗机	340.9	24.79%	416.0	19.93%	462.5	11.18%
300114.SZ	中航电测 (成飞)	多款型号 战斗机	533.9	-	672.9	26.04%	749.7	11.41%
000768.SZ	中航西飞	运输机等	327.0	-2.34%	376.6	15.17%	403.0	7.01%
600316.SH	洪都航空	教练机等	72.1	42.33%	72.5	0.50%	37.3	-48.6%
600038.SH	中直股份	直升机等	217.9	10.86%	194.7	-10.63%	233.3	19.81%
-	总计	-	1491.8	-	1732.7	16.76%	1885.76	8.83%

资料来源：iFinD，中航电测公告，中航证券研究所

未来我国军机的发展将从规模性和结构性上同步转变，随着军机的稳定交付及新型号的不断推出，将有力带动航空锻件的强劲需求。根据立鼎产业研究院的数据，对于军机，动力系统占整机价值比最高，达 25%，航电系统次之，机体结构占比约为 19%。我们作出如下假设：

- ①根据《中航重机：华丽转身整机制造商钢筋铁骨锻造者》，锻件在在整机价值占比约为 6%-9%；
- ②铸件在整机价值占比约为 4-6%；
- ③综合以上两个假设，锻铸件在整机价值占比约为 10-15%。

图50 军机各组成部分价值占比



资料来源：立鼎产业研究院，中航证券研究所

据此测算，我们预计 2024-2030 年航空主机厂机体结构的锻件市场空间为 929-

1510 亿元，平均每年市场需求为 133-216 亿元；铸件市场空间为 620-1007 亿元，平均每年市场需求为 89-144 亿元。

综上，2024-2030 年航空主机厂机体结构的锻铸件总市场空间约为 1500-2500 亿元，年均 220-360 亿元（注：本文测算的锻铸件市场空间是指的成品零部件，而非针对加工环节）。

（二）民机机身锻铸件：国产民机加速批产，锻铸件市场迎来新增量

民航业复苏明显，全球民机 ABC 格局初步构建。2023 年，民航业复苏明显，据国际航空运输协会（IATA）统计，2023 年全球航空客运总量（按收入客公里计算）已恢复至 2019 年水平的 94.1%。2023 年 12 月 6 日，国际航空运输协会大幅调高 2023 年全球航空运输业盈利预期。中国商飞优先布局国内市场，C919 正式开始商业化飞行，并取得超千架在手订单，全球民机 ABC 格局（空客、波音、商飞）初步构建。

中国商飞公司通过支线飞机型号研制、窄体干线飞机产业发展、宽体飞机拓展形成了全系列产品三部曲，构建了完整的研发体系和产品谱系，探索独具特色的商用飞机发展路径。

表19 国产大飞机的产品谱系

飞机型号	产品定位	当前进展
ARJ21	中短程支线飞机，座级 78-90 座，航程 2225-3700 公里，主要用于满足从中心城市向周边中小城市辐射型航线的使用要求	基本型飞机已经实现了成熟的商业运营，此外还研发了公务机、医疗机、货机和应急救援指挥机 4 款衍生机型
C919	中程窄体干线客机，座级为 158-168 座，航程为 4075-5555km，	截至 2024 年 9 月，共向客户交付 9 架飞机，已经开展商业运营
C929	远程宽体干线客机，标准三舱 280 座，航程为 12000km	截至 2023 年 11 月，C929 启动初步设计

资料来源：中国商飞官网，中国航协公众号，中航证券研究所整理

① ARJ21 支线飞机

ARJ21 支线飞机已经交付百余架，并在基本型的基础上衍生出 4 款新机型。我国自行研制的中短程支线飞机 ARJ21，自 2016 年 6 月正式投入商业运营以来，截至 2023 年 11 月，已累计向客户交付 117 架，开通国内外航线 400 余条，通航城市 140 余座，并在印尼开启了海外运营。此外，还研发了公务机、医疗机、货机和应急救援指挥机 4 款衍生机型，这标志着该款飞机正在规模化系列化发展道路上稳步推进。

表20 ARJ21 的 4 款衍生机型

衍生机型	产品定位
ARJ21 公务机	具有灵活高效、静谧舒适的特点，能够根据客户个性化需求，灵活布置相对独立的功能区间
ARJ21 医疗机	具备航空医疗救援和医疗转运等功能，可用于病患转运、传染病转运和重症急救
ARJ21 货机	可满足特种货物市场、高原市场，以及短途国际货运航线等多种航空货运需求
ARJ21 应急救援指挥机	通过加装专用任务系统，实现对灾情的态势感知、指挥决策和调度处置，可用于空域指挥、应急救援指挥和救援力量运送、建立灾区临时通信网络等

资料来源：中国商飞官网，中航证券研究所整理

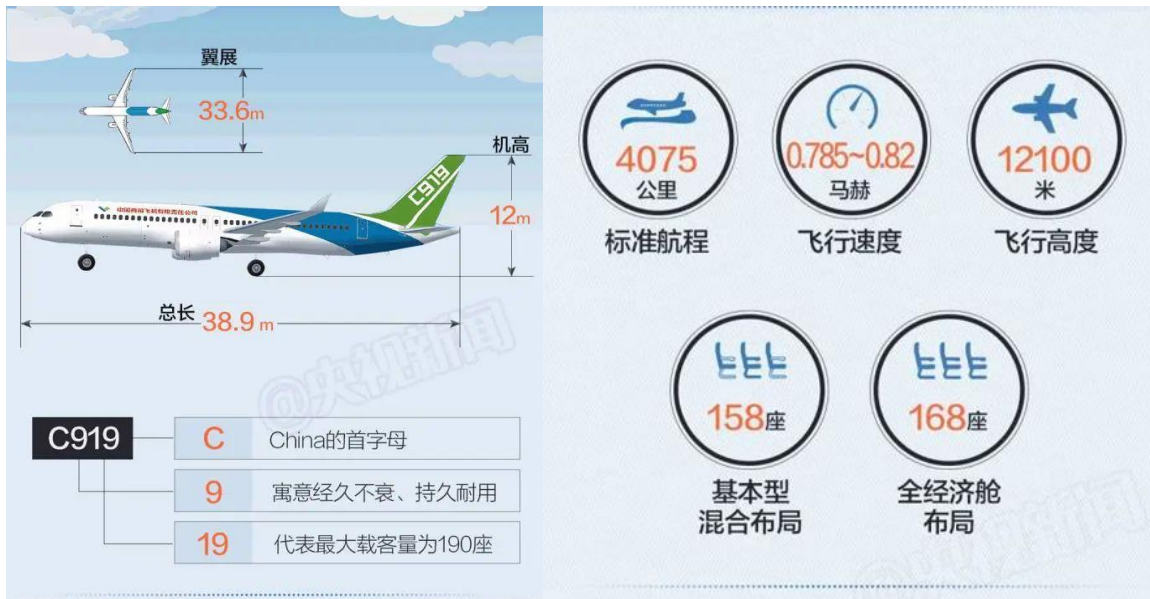
图51 ARJ21 新支线飞机


资料来源：中国航空工业集团官方公众号，中航证券研究所

② C919 窄体干线飞机

C919 一年内已交付三架，交付节奏有所提速。全球首架 C919 大型客机于 2022 年 12 月 9 日交付首家用户中国东航。2023 年 5 月 28 日，C919 大型客机完成首个商业航班飞行，正式进入民航市场，开启市场化运营。2023 年 7 月 14 日，第二架 C919 飞机正式交付中国东方航空。2023 年 12 月 9 日，东航接受首批采购五架飞机中的第三架。2023 年 12 月 29 日，中国商飞向中国东方航空交付第四架 C919 飞机。四架飞机的交付周期间隔从七个月到五个月缩短至一个月，交付节奏不断提速。截至 2024 年 9 月，中国商飞已向客户交付 9 架 C919 飞机，已经开展商业运营。

图52 C919 飞机概况



资料来源：中国航空工业集团官方公众号，中航证券研究所

③ C929 宽体干线飞机

C929 宽体干线飞机将改由我国独立自主发展，目前已进入设计阶段，预计 2030 年之后能够投入商业运营。CR929 远程宽体客机原本计划由中国商飞公司和俄罗斯联合制造集团联合研制，时隔六年，国产宽体客机的机名再次改回 C929，表明 C929 客机已经由中俄联合研制更改为中方独立自主发展，俄罗斯成为系统和技术提供商。截止 2023 年 11 月，C929 已启动初步设计。据商飞董事长贺东风透露，国产宽体客机 C929 预计 2030 年之后能够投入商业运营。

根据中国商飞公司市场预测年报（2022 年—2041 年），全球预计将有约 42428 架新机交付，价值约 6.4 万亿美元(以 2021 年目录价格为基础)，用于替代和支持机队的发展，其中约 71.6%为单通道喷气客机。中国的航空公司将接收其中的 9284 架新机，市场价值约 1.5 万亿美元(以 2021 年目录价格为基础)。

表21 2022-2039 各机型价值预测

客机类型		全球		中国
		新机交付量 (架)	市场价值 (亿美元)	新机交付量 (架)
涡扇支线客机	小型	160	50	0
	中型	484	231	0
	大型	3723	1924	958
单通道喷气客机	小型	2092	1890	260
	中型	20587	24161	4987
	大型	7688	10377	1041
双通道喷气客机	小型	5689	17068	1509
	中型	1466	5692	477
	大型	539	2612	52

资料来源：《中国商飞公司市场预测年报 2022-2041》，COMAC，中航证券研究所

随着国产民机进入产业化和规模化阶段，量价齐升带动市场规模扩大。飞机制造过程非常复杂，交付速度受到全产业链的制约，同时也在持续的改进和调整，C919在早期阶段扩产会相对偏谨慎。随着规模生产经验逐渐成熟，供应链配合愈加娴熟，未来C919的扩产有望迎来加速度。2023年年初，中国商飞透露，预计C919在5年内年产能规划将达到150架，甚至更多。

2024年3月28日，中国商飞供应商大会召开，上海市经济信息化委副主任表示，将重点以中国商飞总装基地、中国航发商发总装基地为牵引，建设临港新片区成为大飞机及航空发动机制造高地，加快建设世界级大飞机园区；以中国商飞上海飞机设计研究院为牵引，建设浦东新区成为大飞机研发高地；以中国航发商发研发设计中心和中航民机机载系统工程中心为牵引，建设闵行区成为航空发动机和机载系统研发高地。

综合产能建设及市场需求情况，我们作出如下假设：

①预计2024年中国商飞将下线25-35架C919，2025年将下线45—55架，“十五五”期间有望下线300-500架，那么2024-2030年共预计下线370-590架。

根据中国东航2022年5月公告披露，C919目录单价为0.99亿美元/架（折合人民币6.53亿元/架）；根据国航2023年12月公告披露，国产大飞机C919的目录单价提升为1.08亿美元/架（折合人民币7.67亿元/架）。市场空间的测算上，我们参考国航的披露定价，即1.08亿美元/架，假设汇率为1美元=7人民币，则预计2024-2030年C919的市场空间为2797.2亿元—4460.4亿元。预计2030—2040年，随着全产业链基本成熟，飞机运营、配套维修能力基本完善，市占率逐步提升，国产大飞机也有望迎来黄金时期。

表22 C919 市场预测（2024—2030 年）

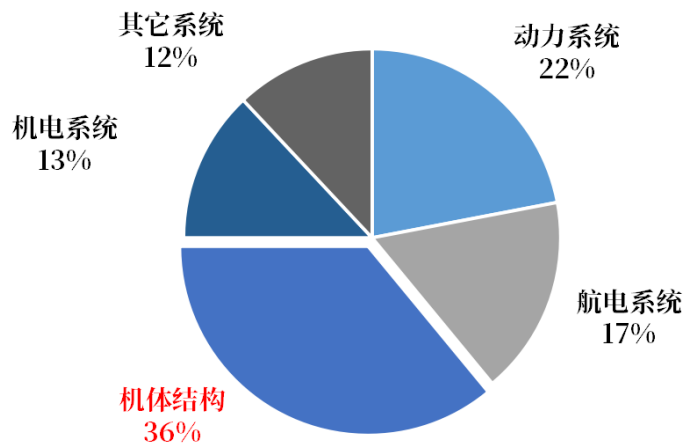
项目	2024 年	2025 年	十五五
下线数（架）	25—35	45—55	300—500
总价值（亿元）	189.0—264.6	340.2—415.8	2268.0—3780.0

资料来源：中航证券研究所

国产大飞机加速批产，民机锻铸件需求进入扩展区间。根据立鼎产业研究院测算，对于民机，机体结构占整机比超过 1/3，达到 36%，动力系统次之，航电和机电系统合计占 30%。我们作出如下假设：

- ①根据《中航重机：华丽转身整机制造商钢筋铁骨锻造者》，锻件在整机价值占比约为 6%-9%；
- ②铸件在整机价值占比约为 4-6%；
- ③根据以上两个假设，锻铸件在整机价值占比约为 10-15%。

图53 民机各组成部分价值占比



资料来源：立鼎产业研究院，中航证券研究所

据此测算，我们预计 2024-2030 年民机机体结构的锻件市场空间为 168-401 亿元，平均每年市场需求为 24-57 亿元；铸件市场空间为 112-268 亿元，平均每年市场需求为 16-38 亿元。综上，2024-2030 年民机机体结构的锻铸件总市场空间约为 280-670 亿元，年均 40-100 亿元。在国产替代和自主可控的形势下，未来随着国产大飞机产能爬坡加速，国产锻铸件有望充分受益，民机锻铸件市场将快速打开。

（三）军用航空发动机锻铸件：军发放量先行，锻铸件价值量占比较大

军用飞机加速列装带动军用航发批产型号放量。为实现强军备战目标，“十四五”

以来，我国武器装备发展由以往的“研制、定型或小批量生产阶段”发展到批量生产阶段，特别是军用飞机、军用无人机加速发展不断列装上量。从运-20到歼-20，再到直-20，这些年我国航空工业领域“20家族”不断壮大，各种机型相继研制成功并体系化发展。随着军用飞机型号升级和新机型加速列装对新型航空发动机提出了新需求，军用航发产品线愈发丰富，众多产品将陆续定型批产。同时，伴随国产军用航发技术逐渐成熟，新型号定型速度也将加快。

表23 我国重点军用飞机加速列装带动军用航发需求上量

型号	首飞/官方披露的时间	列装时间	研制单位	发动机	飞机简介	图示
运-20	2013年首架原型机首飞	2016年首装交付、正式服役	中航西飞	D-30KP-2/WS18/WS20	新一代军用大型运输机	
歼-16	2011年首飞	2016年11月正式批量部署	中航沈飞	WS10	基于歼-11系列战机发展而来的新型第三代多用途双座歼击轰炸机	
歼-20	2011年首飞	2018年正式列装	中国航空工业成飞	WS10	高隐身性、高态势感知、高机动性等能力的隐形第五代制空战斗机	
直-20	2013年首飞	2019年在70年国庆阅兵式上首次公开亮相	中直股份	涡轴10	10吨级通用战术直升机	

资料来源：人民网、新华网、中国军网、中国新闻网、央广网、俄罗斯卫星通讯社、新京报、中航证券研究所

航发动力是航空发动机龙头企业，是国内唯一能够研制涡喷、涡扇、涡轴、涡桨、活塞等全谱系军用航空发动机的企业，主要营业收入涵盖了西航、黎明、黎阳和南方四家主机厂。航发科技掌握了航发机匣、轴承等零部件的制造技术，是涡扇发动机重点型号的零部件配套单位，控股股东是中国航发成发。

表24 我国航空发动机主机厂营收规模及增速（亿元）

代码	公司名称	主要产品	2021年 营业收入	2021年 营收增速	2022年 营业收入	2022年 营收增速	2023年 营业收入	2023年 营收增速
600893.SH	航发动力	航空发动机及衍生产品	341.0	19.10%	371.0	8.78%	437.3	17.89%
600391.SH	航发科技	航空发动机零部件	35.0	28.79%	38.0	8.47%	45.2	18.85%
合计			376.1	19.94%	409.0	8.75%	482.5	17.98%

资料来源：iFinD，中航证券研究所

我们以航发动力和航发科技在 2023 年的总营业收入作为空间测算的基准，综合考虑我国未来的发动机需求结构、换发频率和备发要求等因素，我们作出如下基本假设：

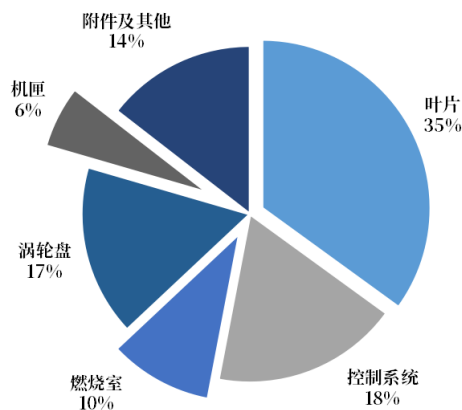
①2024-2030 年航发主机厂发动机市场在 2023 年基准的基础上将实现复合增速 10-15%。

据此测算，2024-2030 年我国航发主机厂发动机的市场规模约为 5035—6141 亿元，年均 719-877 亿元。

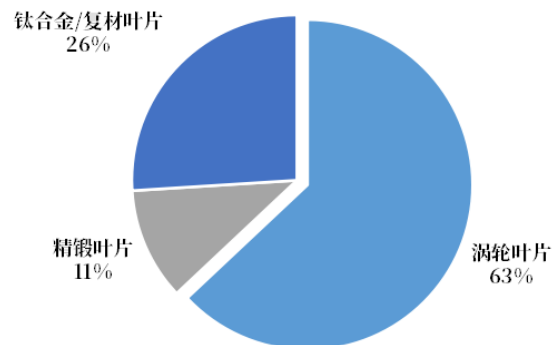
涡扇发动机应用数量多、价值量高，因此我们以涡扇发动机各组件的价值量占比作为整个主机厂航空发动机的代表。涡扇发动机中的叶片、涡轮盘、燃烧室和机匣主要由锻铸件构成，根据立鼎产业研究院的数据，涡扇发动机的叶片、涡轮盘、燃烧室和机匣的价值占比高达 68%。我们作出如下假设：

①假设锻铸件在涡扇发动机中的价值量占比为 55%-60%。

我们预计 2024-2030 年航发主机厂发动机中锻铸件的市场空间约为 2700-3700 亿元，年均 400-530 亿元。

图54 涡扇发动机价值构成


资料来源：立鼎产业研究院，中航证券研究所

图55 涡扇发动机叶片价值构成


资料来源：立鼎产业研究院，中航证券研究所

表25 2022-2041年商用航空发动机全球及中国市场空间测算

类型	涡扇支线 客机	单通道喷气 客机	双通道喷气 客机	总计	年均数据
2022-2041 全球交付量总 (架)	4367	30367	7694	42428	2121
价值总计(亿美元)	2210	36430	25380	64020	3201
发动机市场空间 (22%) (亿美元)	486.2	8014.6	5583.6	14084.4	704.2
其中: 2022-2041 中国交付量总 (架)	958	6288	2038	9284	464
中国对应价值总计 (亿美元)	495	7493	6631	14619	731.0
国内发动机市场空间 (22%) (亿美元)	108.9	1648.5	1458.8	3216.2	160.8

资料来源: COMAC, 中航证券研究所

除了国产发动机,我国锻铸企业还通过国际航空“转包”的形式参与到国外民用航空发动机的锻铸件制造中。按照国际航空发展规律,航空飞机及发动机产品的输出方(如波音、GE等)至少得向输入市场转包生产不低于20%的零部件转包生产份额,即“补偿贸易额度”。根据2020年航亚科技公司公告中的推算,全球航空发动机零部件总体转包业务的市场规模约为100亿美元左右,我国在民用航空发动机零部件总体转包业务中市场份额占比不到10%,总体不到10亿美元。

(五) 燃气轮机锻铸件: 燃机应用领域广泛, 国产加速迎来大市场

燃气轮机可以分成重型燃气轮机、轻型燃气轮机、微型燃气轮机,主要应用领域有分布式能源、调峰电站、管输增压、煤化工、风光互补、生物质气化联合循环、移动电源车和船舶、坦克动力等领域。

①管道增压

我国油气管网增压运输对轻型燃气轮机的需求强劲。油气管网是国家重要的基础设施和民生工程,是油气上下游衔接协调发展的关键环节,是现代能源体系和现代综合交通运输体系的重要组成部分。我国进口油气运输管线工程、国内系列天然气运输工程(“西气东输”、“北气南下”、“海气登陆”)和成品油运输工程(北油南运、沿海内送)使得我国对燃气轮机需求急速上升。以西气东输工程为例,天然气管线一般每隔100至200公里设有一个由多台压缩机组构成的压气站,通过燃气轮机不断加压保证天然气的长距离输送,需要大量采购30MW级燃气轮机驱动压缩机组。根据国家发改委和能源局联合印发的《中长期油气管网规划》规划,到2025年输油气管网总里程约24万公里,而根据中国石油管道局工程有限公司首席专家张文伟介绍,截至2022年底,我国长输油气管网总里程约18万公里。国内和“一带一路”沿线的油气管网工程对轻型燃气轮机具有广阔的强劲需求。

表26 我国规划到 2025 年输油气管网总里程约 24 万公里

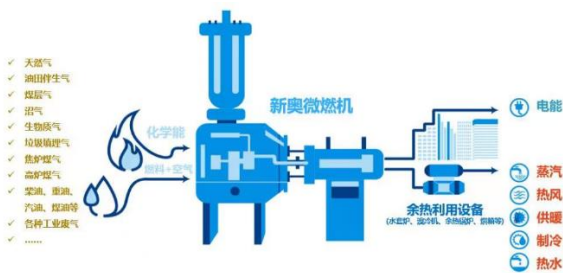
指标	2015 年	2022 年	2025 年	2015-2025 年均增速
原油管道 (万公里)	2.7	2.8	3.7	3.2%
成品油管道 (万公里)	2.1	3.2	4.0	6.7%
天然气官网 (万公里)	6.4	12	16.3	9.8%
总里程	11.2	18	24	7.9%

资料来源：国家发改委和能源局联合印发的《中长期油气管网规划》，央视网，中航证券研究所

②分布式供能、工业发电

燃机在分布式供能和工业发电等领域的需求急速上升。全世界 1/5 发电量来自于燃气轮机，燃气轮机循环热效率可以到达 60%，远远超过一般火电站使用的超临界燃煤系统的 40%。当前，我国正在建设以大规模可再生能源发电为主体，安全高效的新型电力系统。电力供应需考虑可负担性和可达性、能源供应安全性以及环境可持续性三个核心维度，而风能、太阳能等能源自身存在随机性、间歇性和波动性，使得电网和电力供应系统的安全性和稳定性备受考验。而燃气轮机效率高、可靠性强、操作灵活、排放低，可使用氢燃料混合物，其发电、调峰、备用电源的功能更适应工业化发展，是目前以新能源为主体的新型电力系统底层布置的最优选择，未来燃气轮机对新型电力系统的支撑作用将越发显现。

根据《燃气分布式能源各阶段技术发展分析》的数据，截至 2020 年，国内燃气分布式能源项目达到 632 个，均为天然气分布式能源项目。燃气分布式能源项目装机容量为 22.74 GW，预计到 2030 年，装机容量达到 58.43 GW，到 2060 年装机容量达到 59.9 GW。

图57 分布式能源系统


资料来源：新奥动力官网，中航证券研究所

图58 燃机电厂


资料来源：中船动力官网，中航证券研究所

③舰船动力

舰船燃气轮机具有功率大、尺寸小、质量轻、起动迅速、加速性和机动性好等优点，可以有效改善舰船的战术技术性能，使舰船的速度大大提高。世界各国海军在役

的舰船普遍采用了全燃动力或柴燃联合动力装置，装舰范围包括舰空母舰、巡洋舰、护卫舰、导弹快艇、猎潜艇、鱼雷快艇、登陆艇、潜艇支援船、破冰船和测量船等。燃气轮机在发达国家的大中型水面舰艇动力中已处于主导地位，航空母舰、巡洋舰、驱逐舰以及护卫舰中约有 3/4 的舰船采用了燃气轮机。当前，我国海军的仍处于快速发展阶段，舰船燃气轮机需求量较大，随着国产舰船燃气轮机研制成功，并批量生产，国产舰船燃气轮机有望在主力舰艇上批量列装。

表27 水面军舰燃气装备情况

燃机型号	国家	舰级
LM2500	美国	·提康德罗加级导弹巡洋舰（满载排水量 9590t） ·阿利·伯克级导弹驱逐舰 Flight III型（满载排水量 9500t） ·斯普鲁恩斯级导弹驱逐舰（满载排水量 8040t）
	德国	·不来梅级（122 型）（满载排水量 3600t） ·勃兰登堡级（123）型（满载排水量 4700t）
	以色列	·埃拉特（SAAR5）级护卫舰（满载排水量 1227t）
	澳大利亚	·安扎克级（MEKO200）护卫舰（满载排水量 3600t）
	日本	·“金刚”级驱逐舰（满载排水量 9485t）
	韩国	·“蔚山”级（满载排水量 2300t） ·“浦项”级轻型导弹护卫舰（满载排水量 1220t） ·“玉浦”级驱逐舰（满载排水量 3900t）
奥林普斯 TM3B	英国	·“无敌”级轻型航空母舰（满载排水量 20600t） ·42 型导弹驱逐舰（满载排水量 4675t）
	法国	·乔治·莱格级 F70 型（满载排水量 4580t）
	阿根廷	·“布朗海军上将”级驱逐舰（满载排水量 3360t） ·“大力士”级护卫舰驱逐舰（满载排水量 4100t）
	日本	·“初雪”级驱逐舰（满载排水量 3800t）
斯贝 SMIA	英国	·“大刀” 22 型（满载排水量 4900t）
	意大利	·卡雷尔·多尔曼级护卫舰（满载排水量 3320t）
	日本	·“朝暮”级驱逐舰（满载排水量 4200t） ·“阿武隈”级护卫舰（满载排水量 2550t）
MT30	美国	·“自由”级滨海战斗舰（满载排水量 3089t） ·朱姆沃尔特级驱逐舰（满载排水量 14564t）
	意大利	·海军两栖攻击舰（满载排水量 33000t）
	日本	·30-FFM 护卫舰（满载排水量 5500t）
	韩国	·“大邱”级护卫舰（满载排水量 3650t）

资料来源：《舰用航改燃气轮机技术应用及发展思路》，中航证券研究所

我国近年来自主研发燃气轮机相继落地，国产化程度逐步提升。2022 年 11 月 25 日，国内首台主机国产化率为 100% 的 F 级 50MW 重型燃气轮机完工发运，2023 年 3 月 8 日在华电清远华侨工业园天然气分布式能源站正式投入商业运行。2023 年 6 月 4 日，拥有自主知识产权的 110 兆瓦级“太行 110”重型燃气轮机通过产品验证

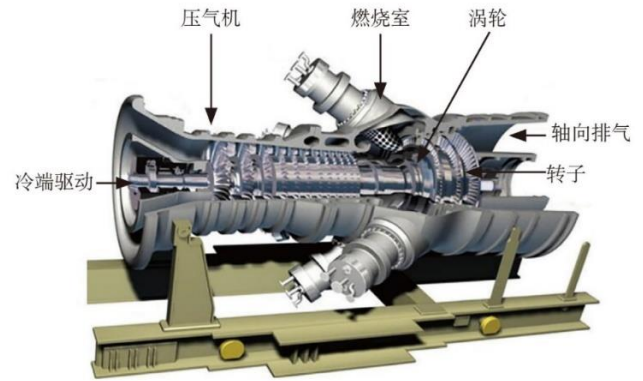
鉴定。2024年2月28日，我国自主研制的300兆瓦级F级重型燃气轮机首台样机在上海临港总装下线。

图59 我国自主研制的300兆瓦级F级重型燃气轮机首台样机总装下线



资料来源：央视新闻，中航证券研究所

图60 燃机结构与航发类似，同样由大量锻铸件构成



资料来源：《SGT800工业燃气轮机技术及市场分析》，中航证券研究所

燃气轮机的结构、材料和工艺与航空发动机非常类似，国内外均有许多燃气轮机是由航空发动机改装而来，因此锻铸件在燃气轮机中同样具有非常高的占比，例如机匣、叶片、盘件等零部件。燃气轮机的下游应用领域广泛、需求量大，据统计，2022年我国燃气轮机市场规模达到了616.69亿，随着国产燃机愈发成熟，国内锻铸件市场有望进一步拓宽。

(六) 舰船锻铸件：造船大周期已至，需求持续攀升

船舶工业是为国民经济及国防建设提供技术装备的现代综合性和军民结合的战略产业，是国家实施海洋强国和制造强国战略的重要支撑。新世纪以来，我国船舶工业快速发展，已经成为世界最主要的造船大国之一。船舶工业根据用途可分为军用舰艇和民用船舶两大类。

① 军用舰艇

近年来我国海军装备建设呈现高速更新迭代的态势。伴随2022年第一艘国产电磁弹射航母下水，中国进入三航母时代指日可待。同时，还有多艘055型驱逐舰，075二号舰、三号舰接连入列中国海军，我国远海防卫作战装备力量体系发展步伐加快，近海防御作战装备力量体系优化提高，两栖攻击装备力量体系不断加强。近期地缘关系急剧紧张，亚太局势日趋复杂，台海、南海局势不断紧张，这些主力军舰为维护地区局势稳定、把握战略主动发挥着举足轻重的作用。从未来发展方向上看，美国现有11艘航母服役，我国目前仍然数量较少，仍有较大的发展空间，此外航母编队需配置相应的护卫舰、驱逐舰、登陆舰和补给舰等舰船，仍有较大的造舰诉求。同时，由水

面至水下，布局向海底、深海作战舰艇也将是我国发展新域新质作战力量的重点，这也将催生一系列新型舰艇的装备需求。

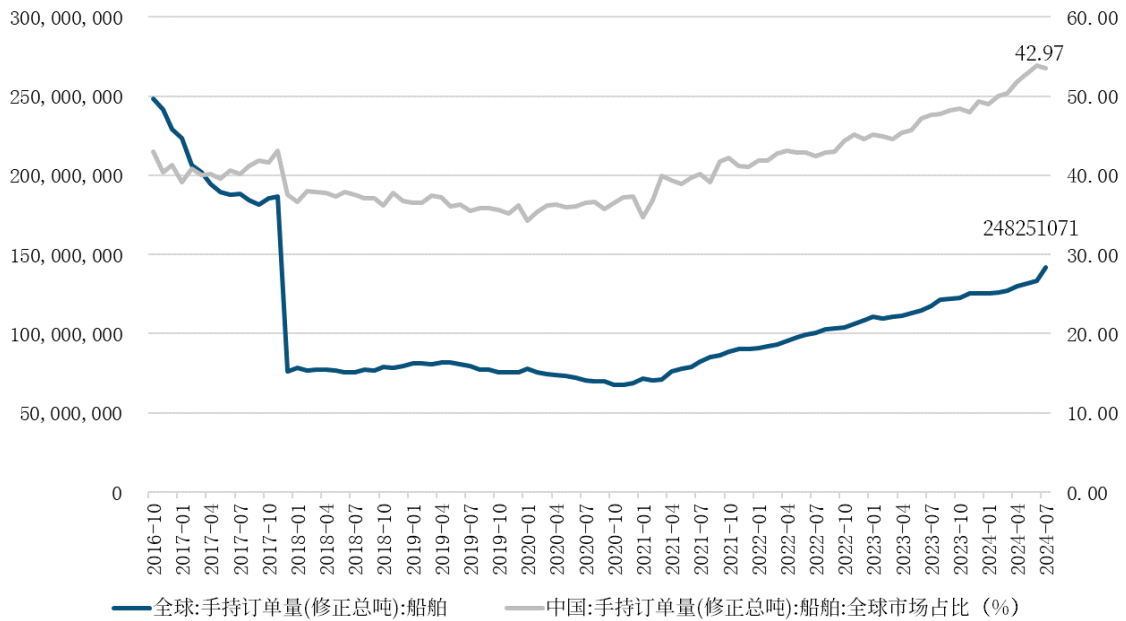
表28 美国航空母舰打击群作战编成兵力配置

基本配置		装备型号	数量
航空母舰 (CVN)		尼米兹级或福特级	1
舰载机联队 (CVW)	1×海上战斗直升机中队	F/A-18C/E/F 或 F-35C	>44
	1×海上打击直升机中队	E-2C/E-2D	4/5
	1×运输机小队	EA-18G	7(5)
	4×战斗机中队	MH-60S	8
	1×预警机中队	MH-60R	7
	1×电子战中队	C-2A	2
攻击型核潜艇 (SSN)		洛杉矶级或弗吉尼亚级或海狼级	1
导弹巡洋舰 (CG)		提康德罗加级	1-2
导弹驱逐舰 (DDG)		阿利伯克级	4
快速战斗支援舰(T-AOE)		供应级或其他	1
岸基海上巡逻机(P-8A)		海神	1
岸基预警机 (E-3)		哨兵	1

资料来源：系统工程公众号（中国船舶工业系统工程研究院），中航证券研究所

③ 民用船舶

民用船舶进入新一轮高景气周期，我国造船业有望充分受益。民用船舶行业是国民经济中的重要组成部分，它不仅为海洋资源的开发提供了装备，也为世界贸易提供了必需的平台。近年来，伴随船龄陆续到期、减碳政策促进更新换代以及航运贸易迎来新高峰，民用船舶行业进入新一轮高景气周期。而我国造船业经过供给侧出清、市场化改革、产业转型升级以及加速拓展海外市场后，我国船舶产业实现崛起，成功跻身世界造船第一梯队，持续保持全球领先地位。截止 2024 年七月份，全球造船厂手持船舶订单量达到约 2.48 亿修正总吨，我国造船厂手持船舶订单量在全球市场占比为 42.97%。

图61 我国手持船舶订单量(修正总吨)在全球市场占比 42.97%


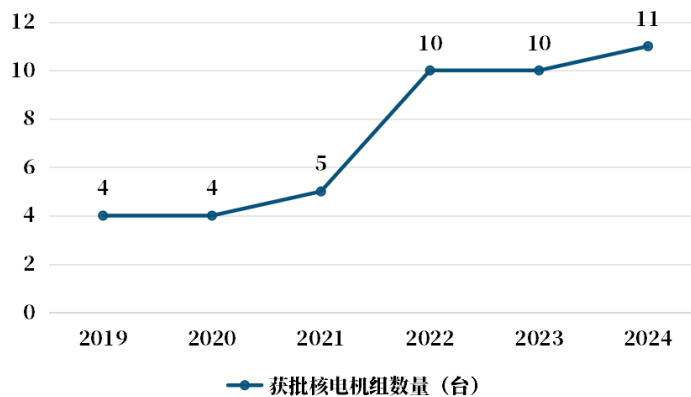
资料来源: Wind, 中航证券研究所

军用舰艇产业持续保持高景气度, 民用船舶工业进入新一轮上升周期, 作为军用舰艇和民用船舶重要配套产业的锻铸行业亦将受益, 锻铸件需求有望保持增长。

(七) 核电机组锻铸件: 核电发展步入黄金期, 机组零部件需求加速放量

“双碳”目标为核电发展提供新机遇。2020年9月, 我国正式提出二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值, 努力争取于2060年前实现碳中和的目标。“双碳”目标的提出, 为包括核电在内的清洁低碳能源提供了新的发展机遇。在我国“十四五”规划和党的二十大报告中, 均提出要“积极安全有序发展核电”。

核电机组获批数量创下了审批重启后新高。根据《中共中央国务院关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》, 将沿海核电与西北风电光伏、西南水电、海上风电等一并列入清洁能源基地, 并明确提出加快这些清洁能源基地建设。2024年8月19日, 国务院常务会议审议决定核准江苏徐圩、山东招远、广东陆丰、浙江三澳、广西白龙五个核电项目, 核准机组数量共11台, 这也是国常会首次一次性核准5个核电项目。2011年日本发生福岛核泄漏后, 国内核电审批速度放缓甚至暂停。2019年, 核电审批重启, 此次国常会单次核准机组数量11台, 获批数量创下了审批重启后新高。

图62 我国近年来核准的核电机组数量（2024 年的数据的统计截止时间为 8 月 31 日）


资料来源：华夏时报，中航证券研究所

据华夏电力测算，在碳达峰碳中和目标下，按照 2030 年、2050 年核电的发电量占比分别达 10%和 18%测算，我国的核电在运装机容量至少需要达到 1.5 亿千瓦和 3.8 亿千瓦。以此测算，我国未来十年必须保持每年核准 10 台以上核电机组的发展力度。根据中国核能行业协会数据，我国目前已形成年供 10 台/套左右百万千瓦级压水堆核电主设备成套供货能力。我们作出以下假设：

- ①2024-2033 年，年均审批开工核电机组 10 台；
- ②百万千瓦级三代核电机组的单台投资额在 200 亿元；
- ③设备费用在核电机组建设中占比为 30%；
- ④根据中国核电网，核电站的前期建设工作一般需要 5-10 年，由于投资节奏难以掌握，我们以年为单位按照直线平均法均摊。

据此测算，2024-2033 年我国核电机组设备的市场规模约为 6000 亿元，年均约为 600 亿元。

核电设备许多关键零部件均采用铸锻件，包括核反应堆压力容器、核主泵、蒸汽发生器、稳压器、主管道、阀门等。我们作出以下假设：

- ①根据中国锻压网数据，一套百万千瓦压水堆核电机组铸锻件价值达 5 亿元。

综合以上假设，2024-2033 年核电机组设备的锻铸件总市场空间约为 500 亿元，年均 50 亿元。我们认为，中国核电已经进入黄金期，相关锻铸件企业的核电业绩有望进入放量期。

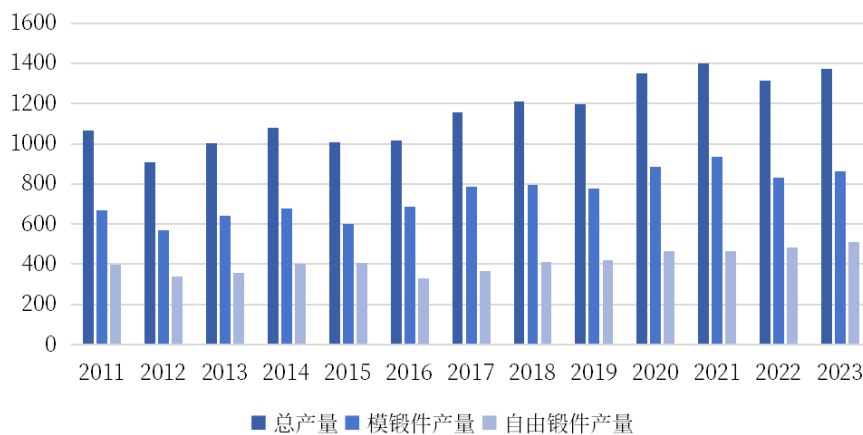
五、我国高端锻铸行业发展现状及竞争格局

(一) 锻铸产量已多年位居世界首位，产业加速迈向高端化

1、锻造行业：寻求结构优化，高端产能提升较快

我国锻造行业的产量全球第一，但企业平均产量较低。自 2013 年起，我国的锻件总产量长期维持在 1000 万吨以上，产量持续维持全球首位。根据《中国锻压行业“十四五”发展纲要》，国内骨干锻造企业数量仍有 460 家，企业平均产量还比较低。

图63 我国近年来的锻件总产量（万吨）



资料来源：中国锻压协会，中航证券研究所

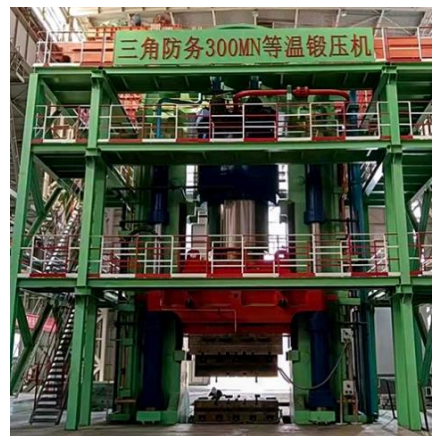
“十三五”期间，我国锻造在装备及产品方面取得了较大的突破。在锻造设备方面，截止“十三五”末期，我国已经具备了世界顶级吨位且技术含量高的 800MN 模锻液压机、300MN 等温模锻液压机、350MN 高能螺旋离合式压力机、360MN 立式挤压机等先进锻压设备，大大提升我国锻造技术的研发和生产能力。

图64 二重万航的 800MN 模锻液压机



资料来源：中国日报网，中航证券研究所

图65 三角防务的 300MN 等温模锻液压机



资料来源：三角防务官网，中航证券研究所

面对激烈的全球化市场竞争，国内领先锻造企业管理的内涵已从生产能力的提升转向以提质、增效、降本为主的内生动力变革。产品技术、工艺技术、模具技术及装备技术都产生了较大的突破。锻造产品向多元化复合化发展，结构上整体化、模块化；材料高强度、轻量化，多样化；工艺向“控形、控性”、冲锻结合等复合化工艺发展。锻造生产向自动化、数字化、信息化方向发展。

表29 “十四五”期间锻造行业的部分重点研究方向

分类	细分方向
基础锻造材料	620℃及以上超超临界高温锻件的材料开发与制造
	大规模高品质高温合金、钛合金材料研制
核心软件的开发	锻造产品 CAD/CAE 工程软件自主研发，实现国产化应用
	精密环形锻件的主动精度预测工艺软件与系统开发
	航空回转体锻件产品的可视化仿真验证与系统开发
先进锻造工艺技术	冷锻、温锻、热锻和挤压相结合的复合成形工艺研究
	细晶超塑性及低温超塑性工艺研究。
	精密环件轧制技术与低残余应力环件生产制造技术
	发动机及燃气轮机用特种合金零部件研制，航空用关键件难变形材料控形、控性技术研究及应用。航天用大型异形环技术研究及应用
	面向航空航天精密锻件小批量多品种柔性自动化、数字化和信息化生产线管控技术研究。
锻造、数字化、信息化技术及装备	高性能自动化、数字化和信息化锻造设备关键技术研发及应用示范。
	研究基于 AI 算法的精准诊断模型，通过对设备及零部件运行数据分析，实现准确的故障预测，降低设备停机率
	锻件生产全流程在线能耗数据采集系统
先进重大工艺装备	多工位模锻成形技术与自动化成套生产线
	超塑性等温锻造工艺研究、机器人作业系统研发
	十万吨级以上超大型多功能液压机

资料来源：《中国锻压行业“十四五”发展纲要》，中航证券研究所

为更好推动锻造行业高质量发展，持续提升对装备制造业的支撑和保障作用，实现锻件质量和效益明显提升，国家相关部门接连出台了多项支持和引导政策。

表30 锻造行业近年来的相关政策

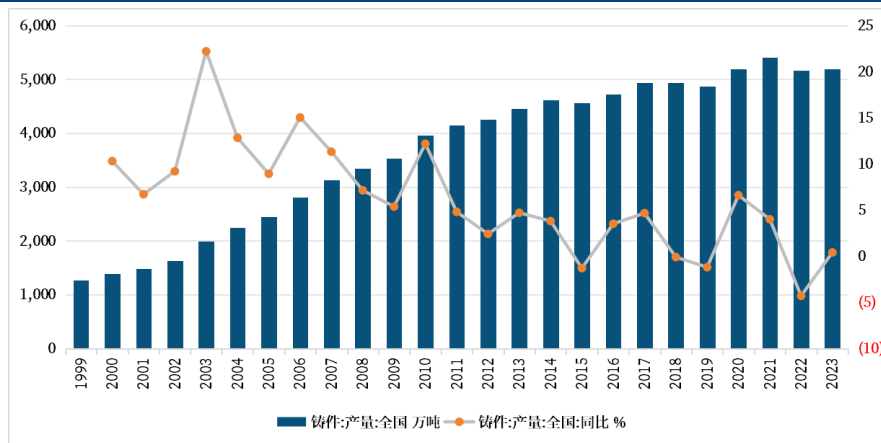
发布时间	制定单位	文件名称	重点内容
2015年05月	国务院	国务院关于印发《中国制造2025》的通知	加快应用清洁高效铸造、 锻压 、焊接、表面处理、切削等加工工艺，实现绿色生产
2016年09月	工信部、国家发改委、科技部、财政部	《四部委关于印发制造业创新中心等5大工程实施指南的通知》	超大型构件先进成形、焊接及加工制造工艺“一条龙”应用计划。针对核电等能源装备及海洋工程和船舶装备等对超大型构件先进制造工艺的需求，推广超大型构件铸造工艺、 锻造 工艺、焊接工艺及加工工艺、超大型构件精密焊接工艺等
2017年05月	国家发改委	《战略性新兴产业重点产品和服务指导目录》2016版	高强度铝合金 锻件 。高性能钛及钛合金线、棒、带、管、板、异型材等， 钛及钛合金模锻件 ， 旋锻件 ，铸锻件，医用钛合金材料（髌关节，骨钉，骨板），医用钛合金器件，大规格特种钛合金锻件。纯镍，镍合金丝，线、棒、管、带、板等型材，印花镍网，镍基合金、钴基合金铸件。高性能镁合金及变形镁合金，镁合金腐蚀控制及防护， 镁合金锻件
2019年11月	国家发改委	关于推动先进制造业和现代服务业深度融合发展的实施意见	提升装备制造业和服务业融合水平。推动装备制造企业向系统集成和整体解决方案提供商转型。支持市场化兼并重组，培育具有总承包能力的大型综合性装备企业。发展辅助设计、系统仿真、智能控制等高端工业软件，建设铸造、 锻造 、表面处理、热处理等基础工艺中心。用好强大国内市场资源，加快重大技术装备创新，突破关键核心技术，带动配套、专业服务等产业协同发展
2021年9月	中国锻压协会	《中国锻造行业“十四五”发展纲要》	以提高产业基础能力和产业链水平为目标。重点发展基础核心技术，如基础材料、基础核心零部件、核心软件等，以解决制约行业发展的瓶颈问题，增强板、补短板；提高行业信息化、数字化、自动化水平，提升实现智能化基础，占领制造技术的制高点；提高行业产品质量和竞争力；优化产业结构布局，完善产业链，培育建设一批具有核心竞争力的产业集群、集团或产业基地；坚持绿色发展，走可持续发展的道路
2023年03月	工信部、国家发改委、生态环境部	《工业和信息化部等三部委关于推动铸造和锻压行业高质量发展的指导意见》	发展先进锻压工艺与装备。重点发展精密结构件高速冲压、超高强度板材深拉深、高强轻质合金板材冲击液压成形、复杂异型结构旋压、高速精密多工位锻造、冷热径向锻造、冲锻复合近净成形、短流程模锻及自由锻、 精密锻造 、 粉末精密锻造 、数字化钣金制作成形中心、数字化高效通用零件加工中心等先进锻压工艺与装备。引导各地结合实际谋划新建或改造升级的高端建设项目落地实施，支持企业围绕主机厂或重大项目配套生产，保障装备制造业产业链供应链安全稳定。
2023年08月	工信部、财政部等	工业和信息化部等七部门关于印发《机械行业稳增长工作方案（2023—2024年）》的通知	落实推动铸造和 锻压 行业高质量发展的指导意见，促进加工工艺向高效化、精细化升级，推动锻铸造企业规范、创新、绿色和智能发展。

资料来源：各部门官网，中航证券研究所

2、铸造领域：行业集中度较低，尚有少数高精尖铸件能力待提升

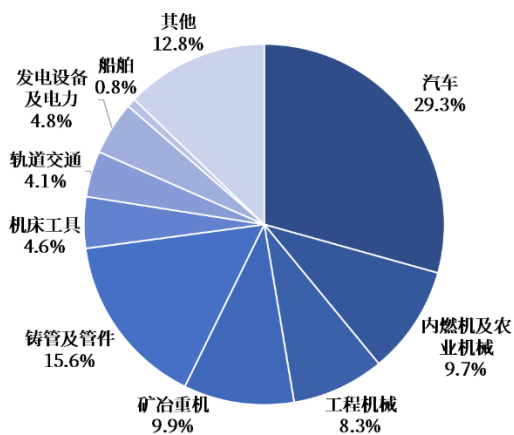
我国铸造总产量常年位居世界首位，行业集中度还比较低。截至 2023 年，我国各类铸件总产量 5190 万吨，占全球总产量的 60% 以上。我国尽管铸造企业数量有较大幅度减少，但截止“十三五”末仍有 2 万多家铸造工厂，数量偏多，企业平均规模偏小，企业规模过小，不利于采用更为高效智能的生产装备，不利于提高劳动生产率，难以进行集约式生产以实现更高的规模效益。

图66 我国铸件产量及增长率情况



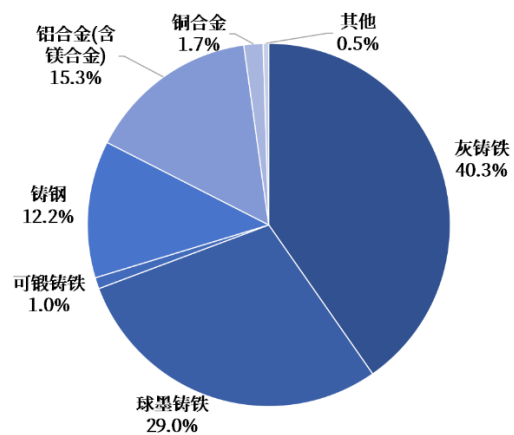
资料来源：iFinD，中航证券研究所

图67 2023 年生产的铸件按行业拆分



资料来源：铸造业协会官网，中航证券研究所

图68 2023 年生产的铸件按材质拆分



资料来源：铸造业协会官网，中航证券研究所

我国铸件制造能力稳步提升，但高精尖铸件与世界先进水平相比仍存在一定差距。我国铸造工艺技术水平稳步提高，百万千瓦级以上三代核电设备高压外缸大型铸钢件，百万千瓦 600℃等级超超临界汽轮机机组等众多领域都有了较大突破。我国绝大多数领域关键铸件已实现自主化制造，但尚有少数关键铸件（如重型燃气轮机热端部件与燃烧室喷嘴、超大型单晶铸造动叶片和静叶片、核燃料储运罐、高铁铸钢制动

盘、航空发动机叶片等)不能完全满足主机和重大技术装备的要求。同时,很多关键铸件(如高压大流量液压铸件、汽车发动机关键铸件、超大型舰船用的中低速柴油机的灰铸铁缸套等)在产品性能一致性和质量稳定性方面仍需进一步提升。

表31 “十四五”期间需要重点攻克的部分关键铸件

产品类型	部件
航空航天	航空航天、军工行业所需钛合金、高温合金、镁合金、铝合金复杂铸件,如大推力航空发动机用高温合金定向凝固柱晶/单晶涡轮叶片、大型钛合金机匣等。
重型燃气轮机	50MW以上重型燃气轮机耐高温热部件如导流体、轮毂、内外缸体、耐高温单晶铸造叶片、燃烧喷嘴耐高温合金部件等。
船舶	船用螺旋桨等关键铸件,大型钛合金机匣等;大型船用柴油机机体、缸盖、曲轴铸件,船用螺旋桨等关键铸件。
核电设备	1000MW以上核电设备主泵泵体等超大型不锈钢铸件;百吨级超大断面($\geq 500\text{mm}$)球墨铸铁核乏燃料储运容器铸件等。

资料来源:《铸造行业“十四五”发展规划》,中航证券研究所

表32 “十四五”期间需要重点攻关的铸造技术

分类	细分	内容
高性能铸件材料技术	有色合金	高强度高韧性铝合金和镁合金系列材料,高强耐热镁合金,高强高韧耐热钛合金。
	铸造金属基复合材料	碳纤维、陶瓷纤维等铝基复合材料,超轻铸造镁锂合金材料,其他高性能镁基、铜基、钛基复合材料。
先进铸造原辅材料		快干型硅溶胶,高品质锆英砂等耐火材料,高品质填充蜡,无硬脂酸低温模料,特种涂料添加剂,陶瓷型芯,电容石英等。
关键生产技术		高温合金定向凝固及单晶铸件的铸造技术;铸造复合金属材料的生产技术;铸造用高纯生铁、超高纯生铁生产控制技术;熔模铸造用复杂陶瓷型芯成型/脱除工艺技术;铸造合金高效、环保精炼和变质处理技术;大型复杂精密铝、镁、铁等合金铸件的铸造技术:复杂型芯系统的高效、高精度制备和除芯清理技术。
先进铸造工艺		应用于熔模铸造快速成型技术【选区激光烧结(SLS)、光固化(SLA)、熔融沉积(FDM)】;增材制造陶瓷型芯制造技术;铸造+快速成型复合铸造成形技术;快速成型大批量产业化应用技术。
质量检测及修复		铸件残余应力、弹性模量、断裂韧性等关键性能指标的精确检测技术;铸件工业CT无损检测技术;铸件三维光学照相尺寸测量技术,铸件壁厚超声测量技术;铸件激光熔覆和焊补修复技术;铸件热等静压处理技术;轻合金铸件浸渗密封技术。
智能制造	铸造工业软件	基于物联网技术的关键过程参数控制系统研究,柔性化制造执行系统研发,面向铸造生产智能单元管理与控制系统研发。
	智能检测技术	铸件智能化无损检测技术、图像识别技术在铸造企业的应用研究。
	工业互联网	面向铸造行业的工业互联网平台开发及建设,标识解析体系在铸造企业的应用研究,远程运维技术及平台的应用研究,基于数值模拟技术的“1+N”铸造数字化智能化创新平台。

资料来源:《铸造行业“十四五”发展规划》,中航证券研究所

国家颁布多项政策，引导铸造产业高水平、高质量发展。与发达国家的铸造发展水平相比，我国铸造行业整体上在科技创新水平、资源利用与生产效率、产业与产品结构、信息化程度、质量与效益等方面仍有一定差距，节能减排和转型升级任务艰巨。为此，国家近年来颁布了多项政策积极推动行业进一步实现高质量发展。

表33 铸造行业近年来的相关政策

发布时间	制定单位	文件名称	重点内容
2016年3月	工信部	《铸造行业“十三五”发展规划》	提高铸造产业集中度，攻克高端关键铸件的生产技术、节能减排再上新台阶等发展目标；提出深入推进铸造行业准入制度实施，加快淘汰落后产能。
2016年6月	工信部	《工业绿色发展规划（2016-2020年）》	传统铸造产业绿色化改造升级是重点，需进一步加大铸造领域先进节能环保技术、工艺和装备的应用，推进铸造企业将绿色理念贯彻于铸件生产全过程。
2017年10月	工信部	《产业关键共性技术发展指南（2017年）》	将“高效造型技术与铸造再生技术”列入装备制造领域亟待突破的基础工艺，重点突破可靠、高效、自动、精确、易诊断静压自动造型线，高效率液压缸，伺服控制液压系统，实时位移检测、伺服控制系统及变频技术等高紧实度粘土砂高效造型技术；粘土砂废（旧）砂、树脂自硬砂废（旧）砂、水玻璃砂废（旧）砂和固体废弃物资源化再利用等铸造废（旧）砂的再生技术与设备系统制造技术。
2017年12月	工信部、教育部等12部门	《增材制造产业发展行动计划（2017-2020年）》	推进增材制造在模型开发、复杂铸件制造、铸件修复等关键环节的应用，发展铸造专用大幅面砂型（芯）增材制造装备及相关材料，促进增材制造与传统铸造工艺的融合发展。
2019年9月	中国铸造协会	《铸造企业规范条件》（T/CFA0310021-2019）团体标准	针对行业现状，瞄准国际先进，规定了铸造企业的建设条件与布局、企业规模、生产工艺、生产装备、质量管控、能源消耗、环境保护、安全生产及职业健康和监督管理规范条件。
2019年10月	国家发改委	《产业结构调整指导目录（2019年本）》	《目录》中“鼓励类”第十四项“机械”中第20条“高强度、高塑性球墨铸铁件；高强钢锻件；耐高温、耐低温、耐腐蚀、耐磨损等高性能，轻量化新材料铸件、锻件；汽车、能源装备、轨道交通、航空航天、军工、海洋工程装备关键铸件、锻件。”
2021年5月	中国铸造协会	《铸造行业“十四五”发展规划》	将汽车铸件、能源动力及输变电装备铸件、轨道交通、航空航天和军工等领域关键铸件，列为“十四五”期间铸造行业需要重点攻关的一批影响高端装备制造业发展瓶颈的关键铸件。
2023年2月	工信部；国家发改委；国防科工局等	关于印发《智能检测装备产业发展行动计划（2023—2025年）》 工信部联通装〔2023〕19号的通知	供给能力提升重点方向：航空航天行业。突破超大尺寸金属构件全自动检测装置、复材构件成型检测装备、发动机涡轮叶片铸造过程温度检测系统、复杂叶片尺寸及型面检测仪、机器人自动钻铆检测系统、整机和部件机电性能测试系统、检测装配一体化检测装置等。
2023年3月	工信部；国家发改委	《工业和信息化部等三部委关于推动铸造和锻压行业高质量发	发展先进铸造工艺与装备。重点发展高紧实度粘土砂自动化造型、高效自硬砂铸造、精密组芯造型、壳型铸造、离心铸造、金属型铸造、铁模覆砂、消失模/V法/实型铸造、轻合金高压/

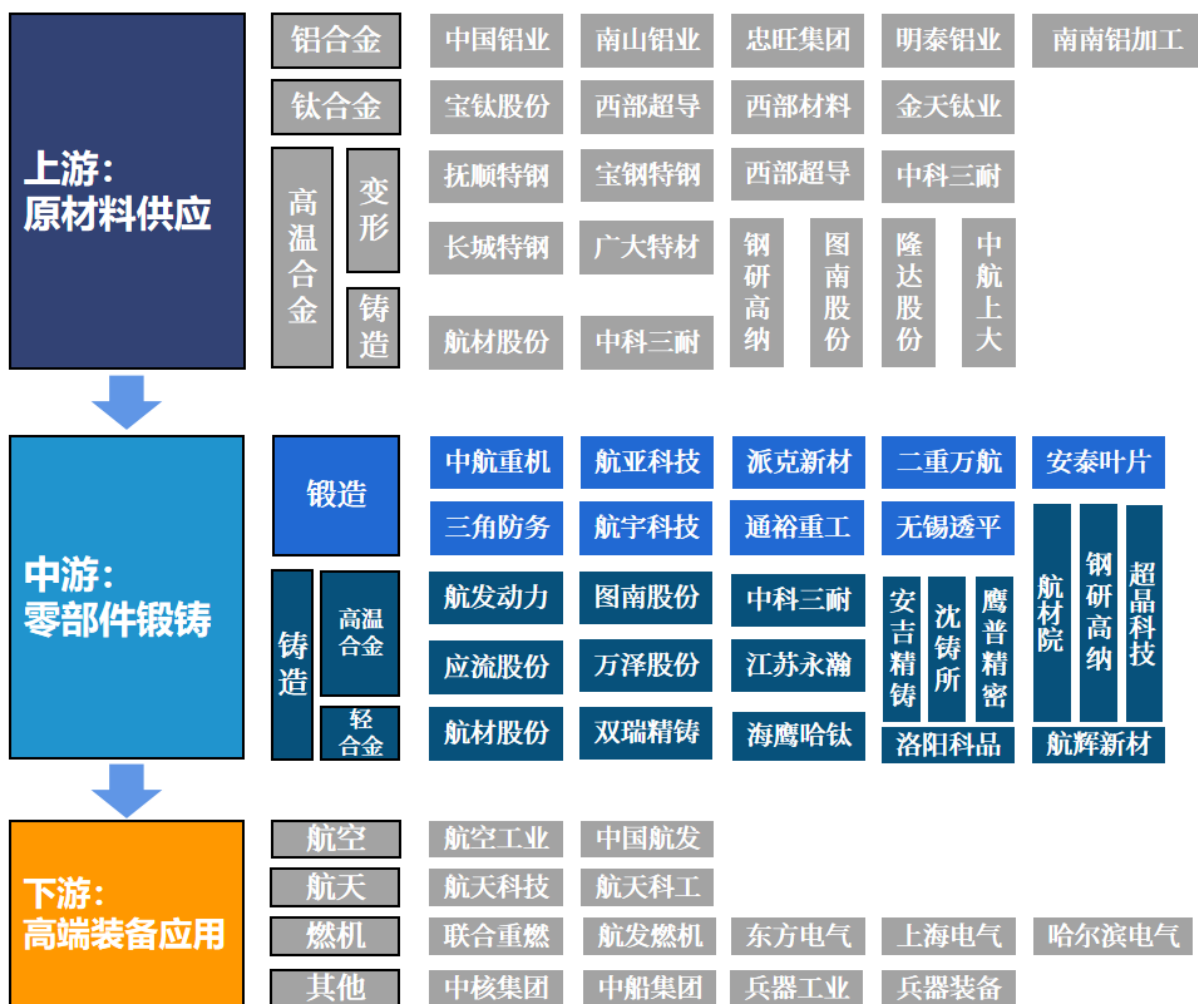
	展的指导意见》	挤压/差压/低压/半固态/调压铸造、硅溶胶熔模精铸、短流程铸造、砂型 3D 打印等先进铸造工艺与装备。
--	---------	---

资料来源：各部门官网，中航证券研究所

(二) 高端锻铸位于产业链中游，近年来业绩增长进入快车道

锻铸行业位于产业链中游。锻铸行业上游主要是各类金属材料冶炼企业，如碳钢、不锈钢、合金钢、铝合金、钛合金、高温合金等，原材料的质量水平直接影响锻铸行业的发展，原材料的价格波动对锻铸行业的毛利率也有重要影响。下游是各类高端装备制造企业，包括航空、航天、燃机、核电、船舶和兵器等领域的大型央企。

图69 高端锻铸位于高端装备产业链的中游环节



资料来源：中航证券研究所

1、高端锻铸“小核心、大协作”加快建立，军民两用属性凸显

随着我国“小核心、大协作”的军工科研生产体系加快建立，多家央国企和民参军企业都参与到国内高端装备的零部件锻造中来。央国企主要有中航重机（中国航空工业集团）、二重万航（中国二重）、航材院（中国航发）、钢研高纳（钢研院）、无锡

透平（上海电气）、安泰叶片（中国航发西发）和通裕重工（珠海港）等，民参军企业有三角防务、航宇科技、派克新材、航亚科技和超晶科技等。

表34 我国高端装备零部件锻造领域的主要公司（报告期为2023年，货币单位：亿元）

公司简称	背景及特点	产品类别	营收	净利润
中航重机 (600765.SH)	中国航空工业集团控股上市公司，航空锻造领军企业。国内配套军用发动机、商用发动机等；国外产品主要为罗罗、IHI、ITP 等公司配套发动机锻件。公司装备了500MN大型模锻压机和250MN等温锻压机	飞机机身机翼结构锻件，航空发动机盘轴类和环形锻件，航天发动机环锻件	105.77	13.97
二重万航	中国二重与中国航空工业集团共同持股，产品覆盖航空、航天、能源、舰船动力、铁路、汽车、起重等行业，国内客户有中国商飞、航空工业、中国航发，国外客户有利勃海尔、赛峰集团。公司装备了800MN大型模锻压机	航空锻件为主导产品	-	-
航材院	中国航发集团所属研究院，锻铸技术研发能力强，在国内航空市场居于领先地位，航材院与Kirkhill-TA公司、SNECMA公司、SELL公司、空客公司等国际知名企业建立了产品供应关系	各种金属材料的自由锻件、等温锻件、精密锻件、钣金件	-	-
无锡透平	实控人是上海电气，是国内领先、全球知名的电站汽轮机叶片专业供应商。年产能可达30万片以上，产品遍布中国每一台30万千瓦以上功率的汽轮机，拥有中国70%以上的大叶片市场份额	动力装备所需的叶片、盘等关键动力部件	-	-
钢研高纳 (300034.SZ)	中国钢研集团下属企业。铸造高温合金领域的龙头，北京钢研院旗下，是我国高温合金及轻质合金领域技术水平最为先进、生产种类最为齐全的企业之一，是国内航空、航天、兵器、舰船和核电等行业重要的研发生产基地	航空发动机盘锻件、汽轮机涡轮盘	34.08	4.16
安泰叶片	中国航发西航全资子公司。安泰公司引进了以色列叶片技术国际公司具有国际先进水平的精密锻造和机械加工工艺，产品应用在商用航空发动机、工业和船用燃气轮机、汽轮机	压气机叶片和风扇叶片、医疗植入件及各类结构件	-	-
通裕重工 (300185.SZ)	珠海港集团控股公司。公司新增700MN大型模锻设备，预计2024年底达到预定可使用状态。公司加大对高端装备的布局力度，已成立了航空航天事业部、海工事业部、核装备事业部。	船用轴系锻件（传动轴、曲臂等）	58.09	2.08
三角防务 (300775.SZ)	民营企业，是国内航空工业飞机和发动机的关键锻件主要供应商，主要研制生产航空、航天、船舶等行业锻件产品。公司具有400MN大型模锻件生产线、300MN等温锻件生产线和Φ2500mm环轧件生产线，公司计划建设1000MN/1250MN（10万吨/12.5万吨）精密智能模锻生产线以提升超大型航空锻件精密模锻工艺技术。	飞机机身结构件及航空发动机盘件	24.94	8.15

航宇科技 (688239.SH)	民营企业。产品广泛应用于国内军用发动机及国外商用的发动机；国内配套军用发动机、国产商发，境外客户为 GE 航空、普惠、罗罗、赛峰、霍尼韦尔、MTU 等	航空发动机环锻件	21.04	1.84
派克新材 (605123.SH)	民营企业。产品应用于航空航天、能源电力、石油化工及机械等多个行业领域，已进入上海电气、东方电气、中船集团等国内各领域龙头企业的供应链体系，并已通过罗罗、三菱电机、西门子等国际高端装备制造商的供应链体系认证	航空、航天、能源、石化和机械用环锻件	36.18	4.92
航亚科技 (688510.SH)	民营企业，专注于航空发动机关键零部件及医疗骨科植入锻件的研制，已成为中国航发集团、赛峰集团、英国 RR、GE 航空等国内外主流发动机公司的供应商	航空发动机压气机叶片、转动件及结构件、医疗骨科植入锻件	5.44	0.87
超晶科技 (874478.NQ)	民营企业，由西工大牵头成立。公司主要产品包括高性能钛合金材料、锻压成型结构件、精铸成型结构件，产品在航空航天主体结构、航空制动系统、航空航天发动机系统等得到广泛应用	航空紧固件材料、航空制动壳体、导弹壳体、固体发动机壳体	2.94	0.61

资料来源：iFinD，公司官网等，中航证券研究所整理

高端精铸件材料主要以铝合金、钛合金等轻合金和高温合金为主，铸造公司根据自身研制能力和下游配套行业需求，有的专注于轻金属铸造，有的致力于高温合金铸造。专注于轻金属铸造的公司有航材股份（中国航发）、海鹰哈钛（航天科工）、双瑞精铸（中船）、洛阳科品、航辉新材等；专注于高温合金铸造的公司有航发动力下属铸造厂（中国航发）、中科三耐（中科院）、图南股份、应流股份、万泽股份、江苏永翰等。同时具备轻合金和高温合金铸造的企业有安吉精铸（中国航空工业集团）、航材院（中国航发）、钢研高纳（钢研院）、沈铸所（中国机械总院）和鹰普精密。

表35 我国高端装备零部件铸造领域的主要公司（财报期为 2023 年，货币单位：亿元）

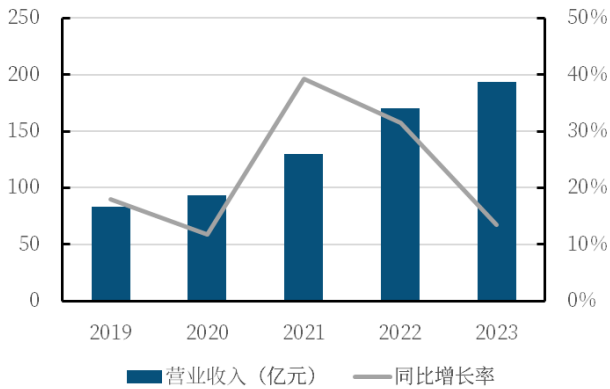
公司简称	背景及特点	产品类别	营收	净利润
航材院	中国航发集团所属研究院。技术研发能力强，具有制备等轴晶、定向和单晶空心无余量部件的高温合金精密铸造生产线，具有铝合金铸件研制能力，在国内航空市场居于领先地位	高温合金叶盘、机匣、叶片铸件，铝合金铸件为主	-	-
航材股份 (688563.SH)	中国航发集团下属企业，控股股东是航材院。钛合金铸件产品覆盖了绝大部分在研及在制国产航空发动机，国际航空钛合金铸件上，公司也是国内唯一能够承制新一代 LEAP 发动机中介机匣的公司	航发和燃机铸件为主，例如中介机匣、压气机或风扇用钛合金精密铸件等	28.03	5.76
航发动力下属 铸造厂 (600893.SH)	中国航发集团下属企业。各大主机厂内部设有铸造分厂	涡轮盘、叶片等	-	-
钢研高纳 (300034.SZ)	中国钢研集团下属企业。铸造高温合金领域的龙头，北京钢研院旗下，是我国高温合金及轻质合金领域技术水平最为先进、生产种类最为齐全的企业之一	航发和燃机涡轮叶片等，航天发动机氧泵、静子类铸件	34.08	4.16

安吉精铸	中国航空工业集团下属企业。从事航空、航天钛合金、高温合金、铝合金、镁合金、钢合金等精密铸件产品的研制、生产和服务，产品覆盖发动机、飞机、航天、电子等行业	航空、航发和燃机铸件	-	0.83
沈铸所	中国机械总院下属公司。设有大型铝镁合金铸件生产基地、有色精密铸造生产基地、钛合金铸件生产基地、高温合金铸件生产基地、铜合金铸件生产基地，为我国航空航天装备的配套及国内外大型电站的建设，提供了大量的优质铸件和产品。	钛合金、锆合金、铜合金泵和阀，铝合金舱体铸件、高温合金叶片	-	-
中科三耐 (430513.NQ)	中科院金属所下属企业。中国航空发动机、燃机轮机等先进动力用透平叶片、高温合金等主要生产基地之一	航发和燃机的涡轮叶片，涡轮增压器叶片	1.61	0.21
海鹰哈钛	航天科工成员单位。拥有 300 吨钛合金铸件生产线，产品应用于航空、航天、船舶等行业	钛合金铸件	-	-
双瑞精铸	前身是中船重工第七二五研究所第七研究室。主要生产钛合金铸件，是国内船舶、航空、航天等领域的钛产品的核心供应商。	船舶螺旋桨、法兰、阀门，高尔夫球头	-	-
鹰普精密 (1286.HK)	民用企业。全球第七大熔模精铸制造商，拥有包括不锈钢、合金钢、铜合金、铝合金、高温合金、碳钢、铸铁等上百种黑色和有色合金材料的铸造能力，产品应用于工程机械、航空、汽车和医疗领域	壳体、齿轮箱、阀座、连接杆、法兰、医疗支架	46.04 (亿港元)	5.87 (亿港元)
图南股份 (300855.SZ)	民营企业。少数能同时批量化生产变形高温合金、铸造高温合金产品的企业之一，航空发动机机匣市占率较高	航发和燃机机匣	13.85	3.30
应流股份 (603308.SH)	民营企业。产品主要服务于航空航天、燃气轮机、核能核电、海洋工程、油气化工、工矿设备和流体机械等高端装备领域	航发和燃机高温合金叶片，核电站铸件和产品，泵和阀门及其他工业用铸造零部件	24.12	2.78
万泽股份 (000534.SZ)	民营企业。掌握精密铸造叶片核心技术，并成功使用自主研发的镍基高温母合金试制出高品质的等轴、定向及单晶涡轮叶片	等轴、定向及单晶涡轮叶片	9.81	1.89
江苏永瀚	民营企业。主要致力于镍基、钴基等高温合金叶片等热端部件的精密铸造，产品出口美国 GE 能源、意大利安萨尔多	航空发动机、燃气轮机用的等轴、定向、单晶高温合金涡轮叶片及热端部件	-	-
洛阳科品	民营企业。主营业务为高端钛合金铸件的制造和精密加工	航天和航空用铸件	-	-
航辉新材	民营企业。专业从事高端钛合金、铝合金等先进材料与成型工艺研究的国家高新技术企业	复杂薄壁钛合金精密结构件、高强高韧铝合金精密结构件	-	-

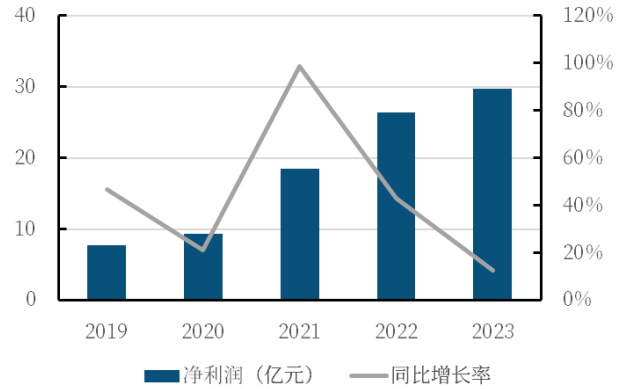
资料来源：iFinD，公司官网等，中航证券研究所

2、锻铸板块近年来营收和净利均实现快速增长，行业未来新增量正在加速孕育

2023年，锻造板块的营收和净利创近五年新高。2023年，锻造板块的营业收入达到193.37亿元，同比增长13.4%；净利润为29.76亿元，同比增长12.6%。营收和净利增速相较于2021年和2022年有所放缓，一方面是高速增长后带来的高基数影响，另一方面也是受到2023年下游军工央企的“十四五”中期计划调整的影响。随着下游国产民机、民发和燃机产业链的日益成熟以及国际航空转包市场的快速复苏，高端锻件需求有望接替形成新增量。

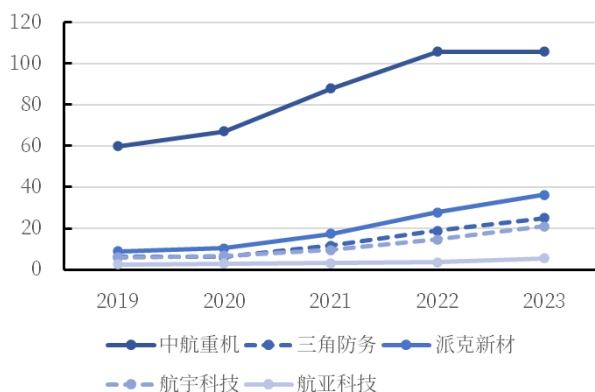
图70 锻造板块的营业收入实现五连增


资料来源：iFinD，中航证券研究所

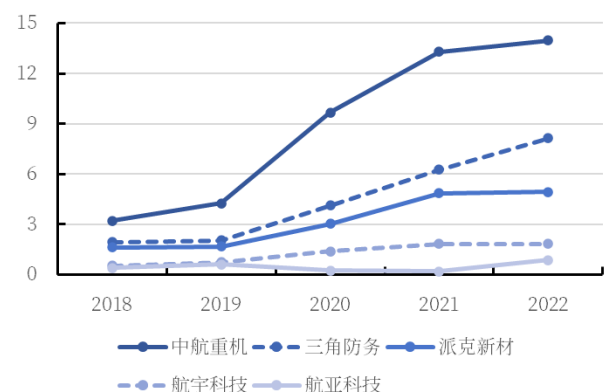
图71 锻造板块的净利润实现五连增


资料来源：iFinD，中航证券研究所

中航重机的营收和利润规模最大，三角防务的毛利率水平最高。2023年，中航重机的营收达到105.77亿元，净利润为13.97亿元，两项数据均为业内最高。营收方面，随后分别是派克新材、三角防务、航宇科技和航亚科技；净利润方面，随后分别是三角防务、派克新材、航宇科技和航亚科技；毛利率方面，三角防务近五年来持续保持在40%以上，航亚科技在2023年实现显著改善，恢复至35%以上，中航重机近五年来实现稳步增长，在2023年突破30%。

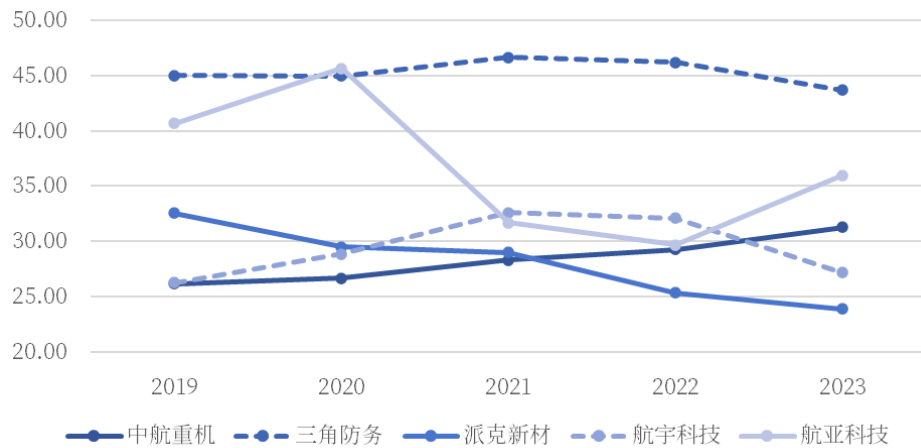
图72 中航重机在锻造板块中的营收规模最大（亿元）


资料来源：iFinD，中航证券研究所

图73 中航重机锻造板块中的净利润规模最大（亿元）


资料来源：iFinD，中航证券研究所

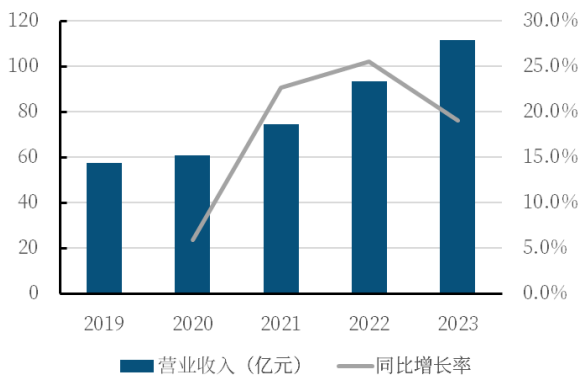
图74 锻造板块中，三角防务的毛利率持续维持在40%以上（单位：%）



资料来源：iFinD，中航证券研究所

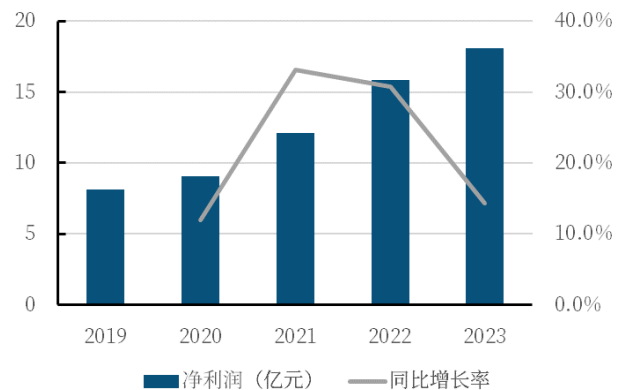
2023年，铸造板块的营收和净利同创近五年新高。2023年，铸造板块的营业收入达到111.49亿元，同比增长19.1%；净利润为18.11亿元，同比增长14.3%。营收和净利增速呈现放缓趋势。高端铸件在民发和燃机中价值量占比非常，随着下游先进军发的定型批产、国产燃机和民发产业链的日益成熟以及海外市场逐步复苏，高端铸件需求有望迎来新增量。

图75 铸造板块的营业收入实现五连增



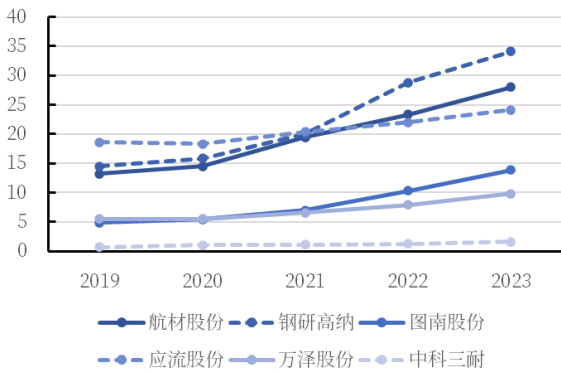
资料来源：iFinD，中航证券研究所

图76 铸造板块的净利润实现五连增

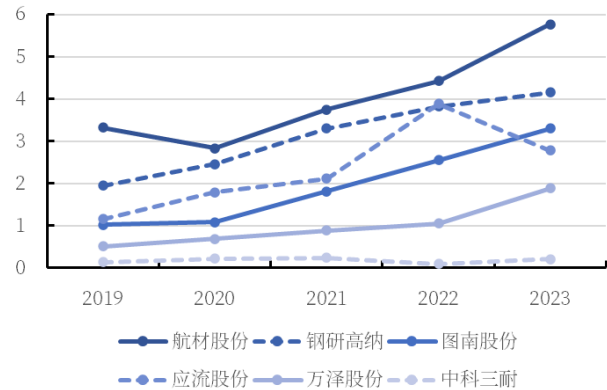


资料来源：iFinD，中航证券研究所

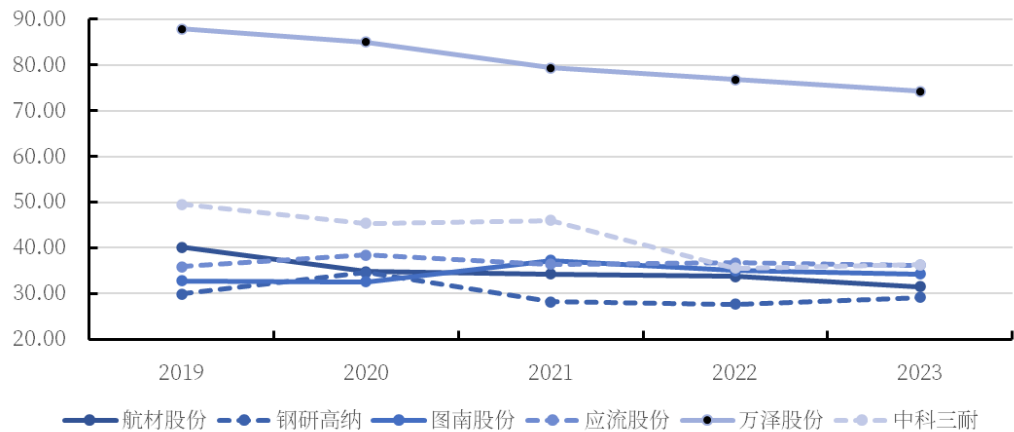
钢研高纳的营收规模最大，航材股份的净利润规模最大。2023年，钢研高纳在营收方面处于行业首位，达到34.08亿元，随后分别是航材股份、应流股份、图南股份、万泽股份和中科三耐；净利润方面，规模最大的是航材股份，达到5.76亿元，随后分别是钢研高纳、图南股份、应流股份、万泽股份和中科三耐；毛利率方面，万泽股份近五年来综合毛利率均超过70%，这主要是由于公司益生菌业务的毛利率接近90%，万泽股份的铸造业务在2023年的毛利率为35.76%。其他几家公司的综合毛利率基本在30%左右。

图77 钢研高纳在铸造板块中营收规模最大（亿元）


资料来源：iFinD，中航证券研究所

图78 航材股份在铸造板块中净利润规模最大（亿元）


资料来源：iFinD，中航证券研究所

图79 铸造板块中除万泽股份外，各公司的毛利率基本在30%左右（单位：%）


资料来源：iFinD，中航证券研究所

3、高端锻铸壁垒高筑，先发者可以在配套型号上实现垄断供应

高端锻铸行业主要有六重壁垒。包括资金壁垒、人才壁垒、技术经验壁垒、资质准入壁垒、客户认可壁垒、市场先入壁垒。尤其是市场先入壁垒方面，在锻铸产品质量稳定的前提下，用户在选定合格供应商后通常不会轻易更换，先进入者有望从下游需求释放中持续获益。

表36 高端锻铸行业主要壁垒

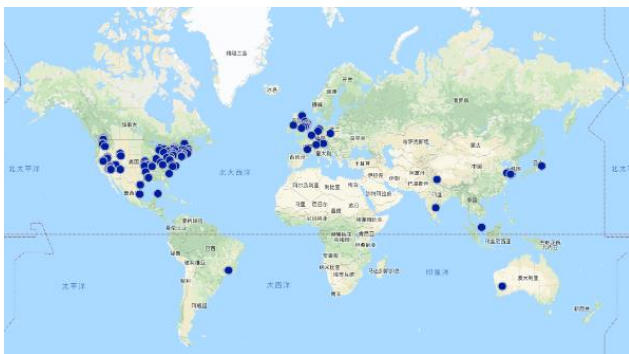
壁垒类型	具体内容
资金壁垒	锻铸行业属于资金密集型行业，进入该行业需具备相对充分的资金实力。锻铸企业无论是厂房建设、设备采购、原材料备货、模具开发、工艺改进、研发投入、产品生产，还是日常资金周转、劳动用工等，都需要企业投入较为大量的资金，且新进入者在产能规模、生产装备的投资上达到一定水平，才能在行业内形成竞争力参与市场竞争。较高的资金投入门槛对于锻铸行业的新进入者构成了一定的行业壁垒
人才壁垒	为了生产出定制化程度高、工艺复杂、加工精度高、产品质量稳定的锻铸件产品，企业一般须拥有一支经验丰富、技术水平高的人才队伍。一方面，需要理论知识丰富、科研能力强的研发队伍；另一方面，需要操作经验丰富、业务水平高的技术工人队伍。目前，实际从事高端锻铸相关研发和生产的高级技术人员和技术工人匮乏，而培养一名合格的研发人员和熟练的技术工人往往需要多年时间。所以，专业的生产工人和高素质的技术人员也是进入行业的一个重要壁垒
技术经验壁垒	锻铸造加工过程中涉及物理、化学、冶金学、电工学、热力学、流体力学、机械制造等多学科、多领域的综合性技术，工艺技术种类多且复杂，需要长期的技术沉淀和经验积累。同时，锻铸件产品门类众多，下游行业应用广泛，不同行业的客户群体对产品的材质、结构、重量、性能及质量要求差异较大，即使是同行业内的不同企业，也会具有不同程度的个性化、定制化的产品需求。锻铸造行业的市场参与者只有跨越相应的技术和经验门槛，才能充分适应市场变化和满足客户需求，进而在业务拓展过程中形成竞争优势。因此，成熟的铸造技术工艺和丰富的生产加工经验，对于铸造行业的新进入者将会形成较高的行业壁垒
资质准入壁垒	在航空航天领域，基于产品质量可靠性、安全性、稳定性等要求的考虑，相关企业必须取得相应资质和认证方可进入客户合格供方目录。在军用航空领域，供应商首先须取得军工业务相关资质，并通过国防组织质量管理体系认证。之后须通过目标客户对公司的文件资质审核、现场审核、样品试制等，审核通过后进入客户合格供方目录。在民用航空领域，波音、空客、中国商飞等要求从事民用航空产品转包生产的供方通过 AS9100 质量管理体系认证，并通过相应的供应商综合能力评审，企业取得第三方质量管理体系认证是市场准入的先决条件之一。前述资质的取得不仅需要企业具备较强的研发、技术、装备实力，且要求企业具有较高的过程管理能力，因此对企业的考察周期较长，成为进入本行业的主要前提条件之一
客户认可壁垒	锻铸行业的下游客户出于对保障自身供应链渠道的安全性、稳定性等考虑，在选择锻铸件企业作为合格供应商时，通常会要求锻铸企业达到相应的资质标准并建立严格的考核评审机制，除了对供应商的产品质量、技术水平、工艺设备等进行严格的评估考量，有时还会对供应商在安全生产、环境保护等方面是否达标提出要求。对于新进的企业而言，进入军工行业并要在短时间内取得军工企业的认可是非常困难的，客户认可壁垒高
市场先入壁垒	用户对供应商选择有严格的评定程序，供应商的变更存在较高的技术风险和不确定因素。因此， 在锻铸产品质量稳定的前提下，用户在选定合格供应商后通常不会轻易更换

资料来源：航材股份公司公告，三角防务公司公告，航宇科技公司公告，中航证券研究所

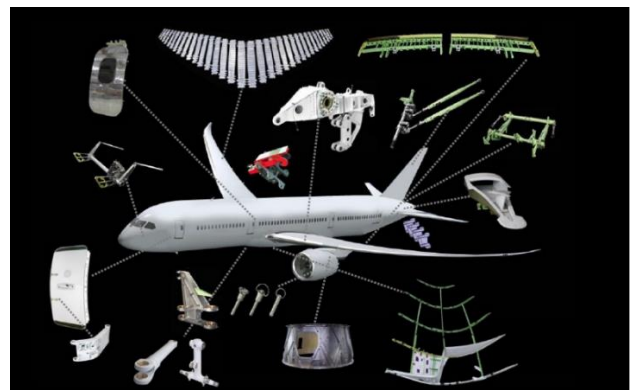
（三）高端锻铸行业产业链整合成为趋势，强者恒强

1、PCC 发展路径参考：内生外延式扩张与一体化发展战略并行，助推 PCC 成为国际高端锻铸行业的标杆企业

Precision Castparts Corp. (PCC) 是全球高端精密零部件龙头，产品包括复杂锻件，精密铸件，航空紧固件以及其他的关键特殊金属零部件。PCC 总部位于美国俄勒冈州波特兰，160 余家子公司和分支机构遍布全球，是一家全球性的复杂金属部件和产品的制造商，主要服务于航空航天，能源设备制造业和通用工业产品制造业。PCC 集团按产品类别主要有三大板块：精密铸造产品(PCC Structurals、PCC Airfoils)；锻造产品(Wyman-Gordon、PCC Energy、TIMET、SMC)；结构件产品(PCC FaSTENers、PCC Aerostructures)。2009 年，PCC 集团在《财富》500 强榜单中排名第 362 位，在航空航天和国防工业中排名第 11 位。2015 年，排名分别上升为第 322、9 位。2014 年，根据市值，PCC 集团在标准普尔 500 指数中排名第 133 位。2016 年 1 月，PCC 集团被伯克希尔哈撒韦公司以 372 亿美元的价格收购。

图80 PCC 官网


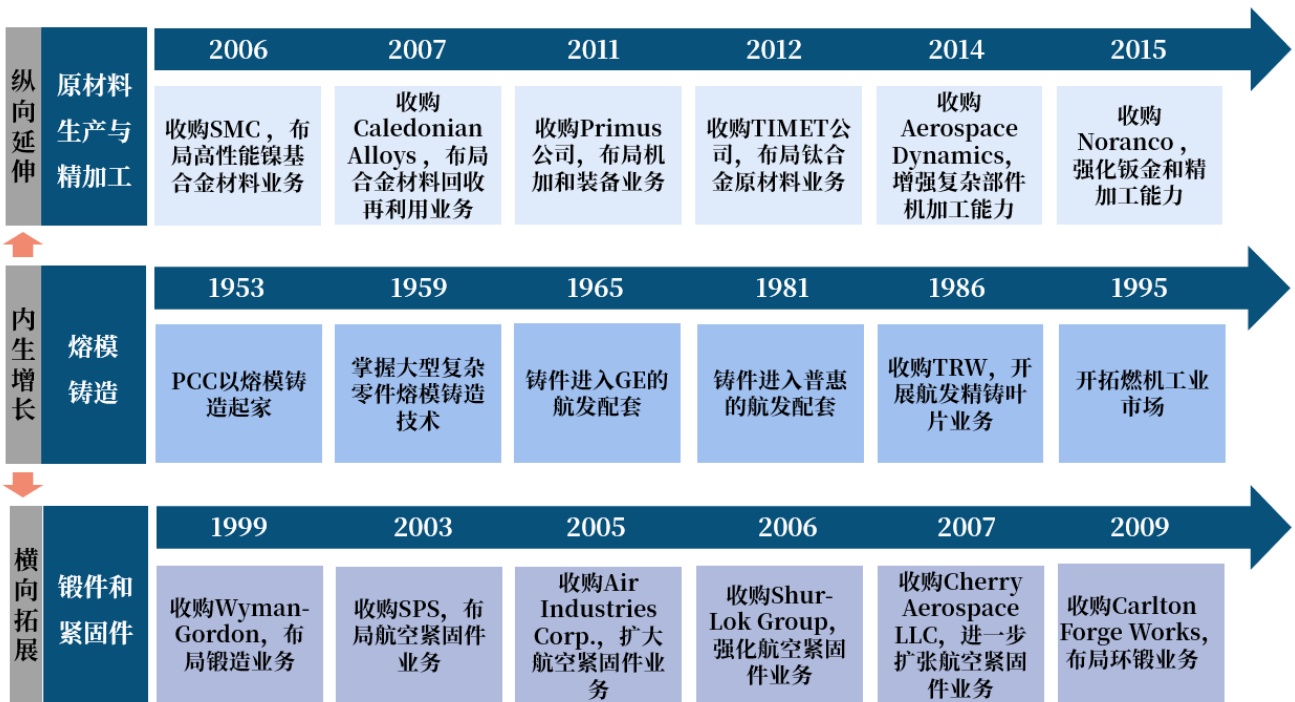
资料来源：PCC 官网，中航证券研究所

图81 PCC 供应的航空零部件


资料来源：PCC 官网，中航证券研究所

PCC 由铸造业务起家，秉持内生外延式扩张和一体化发展战略。PCC 成立以来一直积极围绕着主业进行外延并购，不断通过并购和内部整合沿产业链纵向延伸，布局了锻件、高端材料、零部件加工和标准件制造等业务。公司通过外延并购，使其业务覆盖航空加工领域、燃机领域各个方面，纵向扩张降低成本，横向扩张创造品牌效应，修筑护城河。

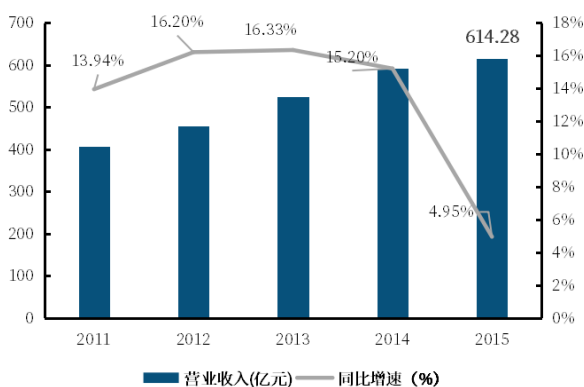
图82 PCC的发展历程



资料来源: PCC 及子公司官网, 中航证券研究所

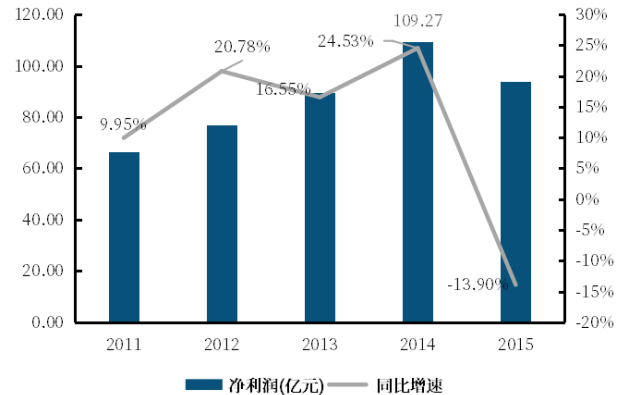
一体化战略成效显著, 公司营收持续增长、盈利能力保持稳健。PCC 在 2011-2015 年的营业收入保持稳定增长, 在 2015 年达到 614 亿元, 在退市前的 10 年中, 净利润的最大值为 2014 年的 109 亿元。2011-2015 年间, 毛利率始终维持在 30% 以上, 净利率在 15%, ROE 在 13%, 具有非常稳健的盈利能力。PCC 集团由一个位于美国的小型熔铸厂逐步发展, 壮大成为今天国际锻铸产业的顶尖企业和财富五百强企业, 对于我国的锻铸企业的定位与发展有着一定的启示和借鉴作用。

图83 PCC 在 2011-2015 年的营收 (历史汇率口径)

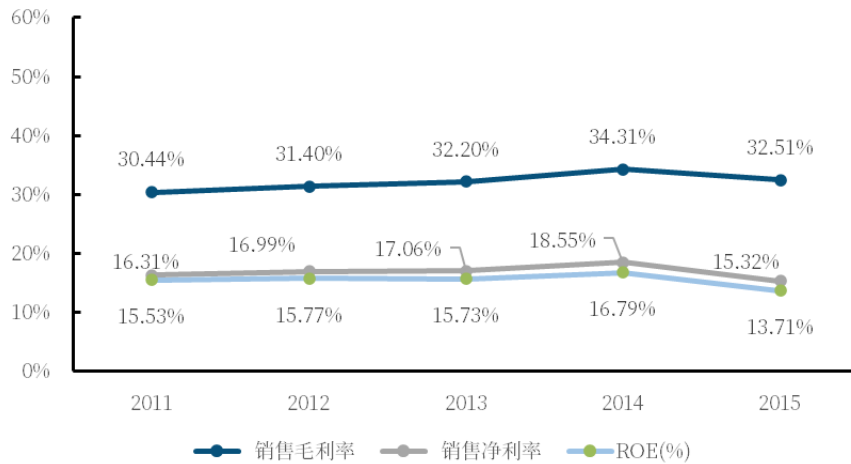


资料来源: Wind, 中航证券研究所

图84 PCC 在 2011-2015 年的净利润 (历史汇率口径)



资料来源: Wind, 中航证券研究所

图85 PCC 在 2011-2015 年的毛利率、净利率和 ROE


资料来源：Wind，中航证券研究所

2、国内高端锻铸产能天花板显著提升，产业链延伸成未来趋势

据不完全统计，国内高端锻铸企业近 10 年来共推进扩产项目 16 个（包括计划中以及实施中的），累计投资 76.82 亿元。在 16 个扩产项目中，有 15 个是在近五年才开始建设。在扩产项目中，已投产的有 11 个，占比为 69%；高端锻造行业的扩产项目有 9 个，累计投资 43.39 亿元；高端铸造行业的扩产项目有 7 个，累计投资 33.43 亿元。扩产的锻件类产品涉及大型模锻件、等温锻件、环形锻件和精锻叶片等，铸件类产品包括精铸叶片、小型结构精铸件和大型薄壁精铸件等。

表37 我国高端锻铸行业近年来的扩产项目（亿元，截止 2024.07）

分类	公司简称	公告时间	项目名称	计划总投资	项目建设周期	项目简介
高端锻造	中航重机	2019 年 12 月	民用航空环形锻件生产线建设项目	4.50	已投产	项目拟新建一条中型环件生产线及智能管控平台，打造具有国际竞争力的智能化航空环锻件生产线。项目建成后将提高中、小型环锻件的生产能力。
		2021 年 6 月	航空精密模锻产业转型升级项目	8.05	36 个月	通过本项目建设，将提高宏远公司航空精密模锻件研制、生产配套能力，满足国内军用飞机、商用飞机及国际商用飞机大型精密模锻件市场需求，实现宏远公司产业转型升级。
		2021 年 6 月	特种材料等温锻造生产线建设项目	6.40	36 个月	本项目建设完成后可推动安大公司现有航空发动机盘类零件的流程化、智能化、批量化生产发展，并将促进特种材料等温锻件技术研发与应用，提高安大公司特种材料等温锻件水平，增强其核心竞争力。特种材料等温锻（环锻件）
	三角防务	2019 年 5 月	400MN 模锻液压机生产	1.34	已投产	400MN 模锻液压机生产线技改及深加工项目建成运行后，可达到年生产某型号飞机用承力

			线技改及深加工建设项目			铝合金锻件 450 件、其他铝合金锻件 983 件的热处理及加工能力。
		2019 年 5 月	发动机盘环件先进制造生产线建设项目	2.22	已投产	通过本项目建设，形成新增年产高温合金环锻件 2,080 件、钛合金环锻件 2,163 件，铝合金环锻件 2,703 件的生产能力
	派克新材	2020 年 8 月	航空发动机及燃气轮机用热端特种合金材料及部件建设项目	5.80	已投产	本项目拟建设航空发动机和燃气轮机用热端特种合金锻件的综合性制造基地，建成后用于航空发动机及燃气轮机用高温合金、钛合金、铝合金、特种不锈钢及其他锻件产品的生产，另外，也可用于工业重型燃气轮机、核电装备和海工装备等高端锻件的生产。
	航宇科技	2021 年 6 月	航空发动机、燃气轮机用特种合金环轧锻件精密制造产业园建设项目	6.00	已投产	本项目通过实现航空发动机、燃气轮机用特种合金环轧锻件产业化、规模化、自动化生产，提升公司中小型环轧锻件的生产能力；此外通过数字化管理、智能化流程、信息化驱动等，提高智能化生产水平，提升公司装备水平，增强公司在航空领域的竞争力。
	航亚科技	2023 年 8 月发布预案	航空发动机关键零部件三期生产线二阶段建设项目	5.00	-	-
2020 年 12 月		航空发动机关键零部件产能扩大项目	4.08	已投产	本次募集资金将用于新建厂房及购置设备，扩大现有产品产能。具体用于航空发动机压气机叶片、航空发动机转动件及结构件等产品的生产。	
高端铸造	航材股份	2023 年 7 月	航空航天钛合金制件热处理及精密加工工艺升级项目	5.47	3 年	本项目针对国内外航空航天飞机、发动机对高性能钛合金精密制件的需求，提升现有研发及中试能力和自动化水平，建设成品中心、热等静压研发中试线和酸洗研发中试线，建成国家级钛合金精密成型技术研究中心和国际先进的钛合金精密制件科研及中试生产基地。项目建成后，将大幅提升型号任务保障能力，促进新型钛合金研制及其精密成型技术的发展。
	钢研高纳	2019 年 6 月	轻质合金精铸件扩产项目	3.62	已投产	铝镁钛航空精铸件年产 57320 台（187.5 吨）
		2019 年 6 月	高温合金精铸件扩产项目	2.66	已投产	高温合金航空精铸件年产 950 台/套

		2020年5月	建设青岛新力通新厂(北区)	2.35	已投产	旨在满足国际石化订单要求的自动化较高的石化炉管的规模化生产、乙烯裂解炉抗结焦炉管的规模生产, 新增年产能7000吨
		2023年8月	航空航天用叶片及小型结构件研发生产项目	2.38	1年	年产航空航天用叶片及小型结构件22.37万件
	应流股份	2019年11月	高温合金叶片精密铸造项目	11.77	已投产	项目建成后将形成年产20万件高温合金叶片, 产品包括等轴晶叶片、定向单晶叶片、钛铝叶片等
	万泽股份	2016年7月	航空及航改发动机关键高温合金部件熔模精密铸造产业化项目	5.18	已投产	本项目主要产品及产量为低压涡轮高温合金转动叶片5万片/年、低压涡轮高温合金导向叶片1万片/年、高温合金喷嘴环2000个/年、高温合金汽车涡轮增压器涡轮100万个/年、钛合金及其衍生物叶片2000个/年

资料来源: 公司公告, 公司官网, 知网, iFinD, 中航证券研究所整理

据不完全统计, 国内高端锻铸企业近10年来共布局**产业链延伸项目14个**(包括计划中以及实施中的), 累计投资**82.55亿元**。在14个产业链延伸项目中, 有12个是在近五年才开始布局。在产业链延伸项目中, 已投产的有8个, 占比为57%; 高端锻造行业的产业链延伸项目有9个, 累计投资69.98亿元; 高端铸造行业的产业链延伸项目有5个, 累计投资13.57亿元; 产业链横向延伸的项目有9个, 纵向延伸的项目有5个。企业通过横向拓展可以布局新的产品, 开辟新的细分市场, 抬升业绩天花板; 纵向延伸可以增厚产品附加值, 提高盈利能力。

表38 我国高端锻铸行业近年来布局的产业链延伸项目(亿元, 截止2024.07)

分类	公司简称	发行时间	项目名称	计划总投资	项目建设周期	项目简介	延伸方向
高端锻造	中航重机	2019年12月	西安新区先进锻造产业基地建设项目	13.92	已投产	本项目新建等温锻造生产线、精密锻造生产线和数值仿真模拟中心, 以及大型模具制造和产品加工、热表处理、理化检测、动力配套等辅助设备设施, 使宏远公司新区基地尽快形成相对独立的科研生产体系, 新增精密化、大型化模锻件以及难变形材料、超塑性成形等温锻件的生产能力。主要产品有等温锻件、热模锻件、精密模锻件等模锻件	横向延伸
		2023年6月发布预案	收购宏山锻造80%股权项目	13.18	已投产	解决公司当前大型锻造设备不足的问题, 大型航空模锻件, 公司评估宏山锻造产能为各类锻件14,000.00吨/年	横向延伸



		2023年6月发布 预案	技术研究院 建设项目	4.62	3年	技术研究院将从事钛合金材料回收再生业务,开展共性基础技术研究、前沿新工艺技术攻关研究以及产业链延伸,主要产品为钛合金棒材	纵向延伸
三角 防务		2019年5月	军民融合理 化检测中心 公共服务平台项目	1.11	已投产	通过本项目建设,可满足公司原材料入厂检测,锻件出厂检测以及相关科研要求。	纵向延伸
		2023年1月	航空精密模 锻产业深化 提升项目	3.25	3年	本项目重点引进中小锻件锻造设备、快锻机、加热炉等设备,建设中小锻件生产线,提高中小锻件的产能,与公司原有中大型锻件生产线有机结合,形成全品类配套能力,提升公司的整体盈利能力。 2、项目投资概算和融资安排	横向延伸
		2023年1月	航空发动机 叶片精锻项 目	5.26	3年	本项目重点引进挤压机、压力机、加热炉等设备,建设航空发动机叶片生产线,形成航空发动机叶片的产能,与公司原有中大型锻件生产线有机结合,形成全品类配套能力,提升公司的整体盈利能力。	横向延伸
		2023年1月	航空数字化 集成中心项 目	3.74	3年	本项目新建机翼前缘组件装配生产线、后缘组件装配生产线、壁板组件装配线、活动翼面组件装配生产线和车间智能管控系统,旨在由锻件产业链向下游部组件装配延伸,充分利用公司现有客户资源,满足主机厂部组件装配的外协配套需求,提升公司的整体盈利能力。	纵向延伸
		2021年5月	先进航空零 部件智能互 联制造基地 项目	8.90	3年	本项目将主要建设航空精密零件数字化智能制造生产线和飞机蒙皮镜像铣智能制造生产线。本项目完成后,公司将根据客户规定参数及来料,为客户受托加工航空、航天等领域结构件及蒙皮,并收取加工费。	纵向延伸
	派克 新材		2022年10月	航空航天用 特种合金结 构件智能生 产线建设项 目	15.00	2年	通过本项目建设,将提高公司特种合金结构件的研制、生产配套能力
高端 铸造	钢研 高纳	2018年12月	购买青岛新 力通工业有 限责任公司 部分股权	3.72	已投产	拓展石化、冶金、玻璃、热处理等行业所用的裂解炉炉管和转化炉炉管、连续退火线(连续镀锌线)炉辊和辐射管、玻璃输送辊、耐高温耐磨铸件等产品	横向延伸

		2021年4月	年产8000件高品质金属增材制造结构件项目	3.08	已投产	项目建成后，将形成高品质金属增材制造结构件8000件的生产规模	横向延伸
		2023年2月	两机用高端金属盘锻件产业基地项目	2.3	已投产	锻轧产线以3万吨模锻以及500吨环轧设备为主	横向延伸
	图南股份	2020年7月	年产3,300件复杂薄壁高温合金结构件建设项目	2.58	已投产	本次“年产3,300件复杂薄壁高温合金结构件建设项目”产品为不同规格型号的复杂薄壁高温合金结构件	纵向延伸
	应流股份	2016年6月	航空发动机及燃气轮机零部件智能制造生产线项目	1.89	已投产	航空发动机及燃气轮机零部件智能制造生产线项目主要包括新增航空发动机及燃气轮机零部件的生产、检测和试验关键设备；以及新增航空发动机及燃气轮机零部件智能自动化生产线硬件、网络及软件管理系统。	横向延伸

资料来源：公司公告，公司官网，中国航空新闻网，中国有色网，iFinD，中航证券研究所整理

六、锻铸行业重点上市公司

锻造和铸造行业的竞争者数量较多，业内竞争也是愈发激烈。锻造行业的重点上市公司有中航重机、三角防务、航亚科技、航宇科技、派克新材和通裕重工等，铸造行业的重点上市公司有航材股份、钢研高纳、图南股份、应流股份和万泽股份。

图86 锻铸行业重点公司



资料来源：中航证券研究所

七、风险提示

- ①原材料价格波动，影响行业盈利能力；
- ②锻铸技术研发遇到瓶颈，可能错失配套新型号装备的机会；
- ③产品质量控制失效，导致订单流失；
- ④军品价格调整的风险；
- ⑤下游需求调整，客户订单不及预期；
- ⑥下游高端装备新型号研发进展可能不及预期；
- ⑦潜在进入者的冲击风险。

公司的投资评级如下:

买入: 未来六个月的投资收益相对沪深300指数涨幅10%以上。

持有: 未来六个月的投资收益相对沪深300指数涨幅-10%~10%之间。

卖出: 未来六个月的投资收益相对沪深300指数跌幅10%以上。

行业的投资评级如下:

增持: 未来六个月行业增长水平高于同期沪深300指数。

中性: 未来六个月行业增长水平与同期沪深300指数相若。

减持: 未来六个月行业增长水平低于同期沪深300指数。

研究团队介绍汇总:

中航证券军工团队: 资本市场大型军工行业研究团队, 依托于航空工业集团强大的军工央企股东优势, 以军工品质从事军工研究, 以军工研究服务军工行业, 力争前瞻、深度、系统、全面, 覆盖军工行业各个领域, 服务一二级市场, 同军工行业的监管机构、产业方、资本方等皆形成良好互动和深度合作。

销售团队:

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

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

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

分析师承诺:

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

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

免责声明:

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

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

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

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

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

公司网址: www.avicsec.com

联系电话: 010-59219558

传 真: 010-59562637