

国防军工

航空发动机深度报告：太行天下脊，当惊世界殊

报告摘要

◆ 航空发动机行业供需共振，进入收获期

近年来，多款国产战鹰接连官宣换装国产发动机。2022年第十四届中国航展上，歼-20飞行员更是透露参加此次航展的歼-20已全部换装“中国心”。多型战斗机、运输机陆续接连换装，证明了我国国产发动机已具备了稳定、可靠的产品，具备了大规模列装的条件。

过去较长时间，航空发动机技术是制约我国航空业发展的一大短板。经过66年的发展历程，国产航空发动机从仿制、改进改型到独立设计制造，走过了艰辛的发展道路，也取得了长足的进步。

在军用航空发动机方面，我国基本形成了自主保障能力，以“太行”系列为代表的三代航空发动机稳定交付，四代机研制、五代机预研加速推进。民用航空发动机方面，活塞、涡桨、涡轴发动机自主化率较高，其中涡轴航空发动机部分机型具备了国际竞争力；此外，装配民机的“长江”系列发动机研制也有了不错的进展。

与此同时，航空发动机供应链也发生了较为可喜的变化，一方面以航发集团为代表的“国家队”发挥产业链“链长”带头作用，采用“小核心、大协作、专业化、开放式”战略，逐步培育完善供应体系；同时，航发集团通过成立航发资产公司、下设航发基金等举措，以资本为纽带，围绕原材料、生产设备、军工电子、小型航空发动机等多个产业链环节进行了布局，形成产业和投资相互促进的良性循环。

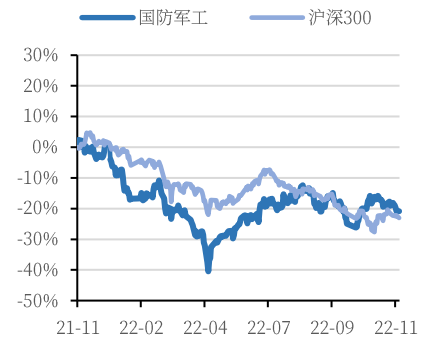
另一方面民参军企业越来越活跃，具体表现为航空发动机相关民营企业数量增加、规模增大、配套层级提升，成为了产业中的有生力量，与体系内企业协同互补，共同推动航空发动机产业链朝着更有韧性、更有弹性、更加安全、更有效率的方向良性发展。航空发动机产业迎来了供需共振的发展机遇，进入行业收获期，投资价值也随之凸显。

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 研究助理
SAC执业证书: S0640120120034
联系电话: 010-59562523
邮箱: fangxm@avicsec.com

相关研究报告

军工行业周报：行情平淡，行业火热—2022-11-27
军工行业周报：大军工—2022-11-20
航空航天产业月报：新型号、新发展、新动能—2022-10-9
全球军贸最新数据分析及判断，止戈为武，以战止战—2022-6-26
军工行业深度报告：最好的时代，最低的估值—2022-5-8
军工材料深度报告：异“材”秀出千林表—2022-4-1
2022年军工行业投资策略：风卷红旗过大关—2022-1-20

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

◆ 多因素共驱军机航发先行放量，商发并举打开市场空间

① 新机列装：军机的规模性增长及结构性升级

目前我国军机已经处于世界一流水平，实现了航空装备跨越式发展，但总体列装数量和代际更替都与军事强国有着不小的差距，存在装备总量少，各机型发展不均的问题。预计未来我国军机市场的空间将不只是规模性的，结构性的转变也在同步推进，随着国产发动机的稳定交付及新型号的不断推出，未来我国列装新机将主要走使用、维护、保障国产发动机的道路，新机列装将有力带动航空发动机的新增需求。

② 国产替代：航空发动机仍为军贸进口最大品类，存在进口替代空间；此外，部分产品有望实现军贸出口

过去二十年，航空发动机仍旧是军贸中进口最多，且出口极少的品类。从军贸数据来看，中国 2017 年—2021 年军贸进口中发动机占比最高，达到 54.21%，仍旧是我国军贸进口最多的品类。2012—2021 年发动机进口数据相比于 2002—2011 年大幅增加 203.84%，而与之对应，我国的航空发动机极少。

随着我国航空发动机自身能力的补足，作为国家战略产品，飞机的“心脏”，航空发动机的国产替代将持续深化，预计军贸进口将持续减少并朝着完全自主供应目标发展；同时，部分产品有望随着飞机或单独出口，打开军贸的市场空间。

③ 消耗属性—存在备发、换发的持续需求

航空发动机从一定程度上具备消耗属性，在飞机使用周期中，需要换发和维修，尤其是练兵备战、实战化训练的频次增加，损耗和换发需求将更大，为航空发动机提供了持续需求。

④ 国产商发—国产飞机的“中国心”，打开增长第二曲线

2022 年 9 月 29 日，国产大飞机 C919 取得型号合格证，拉开国产民航大时代的序幕。与之配套，我国国产商发针对中国商飞的飞机产品共规划了三个产品系列，其中“长江”1000 配装 C919 大型客机、“长江”2000 配装 CRJ929 宽体客机、“长江”500 配装 ARJ21 支线客机的改进型。

我国民用航空发动机虽然取得了一系列进展且已经呈现提速态势，短期内可能会有小批试制订单，但距离批量生产仍需要时间。

◆ **至 2027 年，军用航空发动机市场规模有望达到千亿人民币**

根据党的十九届五中全会明确提出确保 2027 年实现建军一百年奋斗目标，形成了到 2027 年、2035 年、本世纪中叶，近、中、远目标梯次衔接的新“三步走”战略安排。我们将中短期测算的维度放在 2022 年—2027 年，根据不同的主机厂对应的机型发展进行预测，预计至 2027 年，军用航空发动机的市场规模约为 977 亿元—1256 亿元。

◆ **未来 20 年，我国商用航空发动机年均市场规模约为 140 亿美元—210 亿美元**

商用航空发动机市场空间方面，结合中国商飞于 2022 年 11 月发布的未来 20 年商用航空飞机市场预测，我们预计 2022—2041 年全球市场未来 20 年民用航空发动机市场规模为 12804—19206 亿美元，年均市场规模为 464—640 亿美元，其中中国市场未来 20 年民用航空发动机市场规模为 2802 亿美元—4203 亿美元，年均市场规模为 140 亿美元—210 亿美元。

◆ **投资主线建议**

① **主机厂新型号产品逐步成熟，期待盈利能力提升**

虽然我国航空发动机取得了一系列令人瞩目的成就，新产品陆续定型量产，但以航发动力为代表的主机厂盈利能力和利润率并不高，尤其近五年，毛利率呈现下滑的趋势，呈现增收不增利的局面，净利率与国外相比也明显偏低，以 2021 年为例，航发动力净利率仅为 3.61%，而 GE 航空净利率为 13.52%、赛峰集团则达到了 18.04%。随着公司产品成熟度提升，成本工程取得成效，规模效应显现，主机厂盈利能力有望提升，为业绩带来较大的弹性。

相关上市公司：航发动力（600893.SH）、航发控制（000738.SZ）。

② **小核心、大协作深化，关注产业链拓展取得新市场空间的企业**

按照“小核心、大协作、专业化、开放型”发展策略，主机厂聚焦核心能力，并将通用性强、市场竞争充分的零部件加工、工装制造、部组件装配、设备维保等业务转向社会企业配套，培育安全性强、弹性高的供应

体系，发挥社会化产能优势，实现产业链能力的快速提升。截至2022年5月，航发集团外部配套率为27.8%，与成飞集团外部的配套率75%（2020年底数据）相比，有较大的提升空间。

此外，今年以来，多家企业开始密集通过新设公司、合设公司等形式，进行产业化延伸，企业通过内生+外延，完善产业链，巩固核心能力，提升配套层级，持续提升竞争力，有望成为行业重要投资逻辑之一。

相关上市公司：钢研高纳（300034.SZ）、图南股份（300855.SZ）、华秦科技（688281.SH）、锻造产业链相关上市企业。

③ 专注关键技术，在细分领域（如先进材料、叶片、增材制造等）上取得突破的体系外企业，有望高筑行业壁垒，形成稳定配套

一般而言，民营企业技术和资金实力相对有限，在大型航空发动机整机上较难取得突破。但航空发动机是一项复杂的系统工程，其技术一直处于迭代更新中，体系外企业可结合自身的优势，在航空发动机的核心环节、新工艺、新材料等细分方向重点研发投入，这些环节一旦取得突破、将形成较高的壁垒，既有力地促进了行业的发展，同时也将为自身带来稳定且丰厚的回报。

相关上市公司：钢研高纳（300034.SZ）、西部超导（688122.SH）、宝钛股份（600456.SH）、华秦科技（688281.SH）、航亚科技（688510.SH）、应流股份（603308.SH）、万泽股份（000534.SZ）、铂力特（688333.SH）等

正文目录

一、供需共振，航空发动机行业进入收获期	10
(一) 我国航空发动机已形成产品谱系，产业链成熟，具备放量基础	11
1、我国航空发动机已具备谱系化发展的能力	11
2、飞发分离，成立航发集团、打造“中国心”	14
3、民参军积极配套，产业链逐步成熟	17
(二) 多因素共驱军机航发先行放量，商发并举打开市场空间	19
1、新机列装—军机的规模性增长及结构性升级带动的新增需求	19
2、国产替代—航空发动机仍为军贸进口最大品类，存在进口替代空 间；部分产品有望实现军贸出口	21
3、消耗属性—航空发动机存在备发、换发、维修的持续需求	23
4、商发—国产飞机的“中国心”，打开增长第二曲线	23
(三) 航空发动机市场空间测算	28
二、航空发动机的产业特点及分类	31
(一) 产业特点：强国重器，难度大、回报高	31
1、基于核心机衍生发展、不断挑战极端工作环境	31
2、研发周期长、准入门槛高、涉及面广	34
3、技术带动作用强、经济溢出效应明显，必须自主可控发展	36
(二) 航空发动机分类	37
1、活塞发动机—仍广泛用于轻型、低速通航、无人机等	37
2、涡桨发动机—适用于低速飞行，应用于中小型运输机和通飞	37
3、涡轴发动机—功重比高、油耗低，多用于直升机	38
4、涡喷发动机—逐步被涡扇发动机替代，小涡喷可用于中高空无人 机、靶机等	40
5、涡扇发动机—军民机通用主力型号	40
三、航空发动机产业链及价值链拆分	44



- (一) 总装、控制系统—由航发集团下属单位主导..... 47
- (二) 零部件—结构、工艺、材料一体化发展高精尖行业..... 49
 - 1、结构—压气机、燃烧室、涡轮构成三大核心部件 49
 - 2、锻件—发动机的骨骼、主要承力件 53
 - 3、铸件—制造结构设计复杂、成型难度高的零部件 56
 - 4、叶片—零部件数量最多，价值量占比大，具有消耗属性..... 58
 - 5、增材制造—零部件新工艺 61
- (三) 材料—差异化经营，竞合为主，有序扩产..... 63
 - 1、高温合金—制造先进发动机的基石 65
 - 2、钛合金—轻质高强用材..... 69
 - 3、隐身材料—先进航空发动机的关键材料之一 71
 - 4、高性能复合材料—面向未来先进发动机的前沿材料 75
- 四、小型航空发动机—迎接无人机、通航时代的到来..... 79
 - (一) 小型航空发动机的分类与应用 79
 - (二) 小型航空发动机产业链 80
 - (三) 小型航空发动机市场分析 81
 - 1、无人机是小航发主战场..... 81
 - 2、通用航空：发动机可靠性与经济性要求高,市场潜力大 83
 - (四) 小型航空发动机市场竞争格局—国际竞争激烈，国内企业积极推进国产化 85
- 五、产业发展方向及重点关注领域..... 89
 - (一) 航发产业链投资主线分析 89
 - 1、主机厂新型号产品逐步成熟，期待盈利能力提升 89
 - 2、小核心、大协作深化，关注产业链拓展取得业务增量的企业 91
 - 3、专注关键技术，如先进材料、增材制造、叶片等有望成为体系外企业突破点..... 92
 - (二) 产业链全景图及重点公司概况 94



六、风险提示..... 103

图表目录

图 1 航发集团股权结构及业务分类 15

图 2 航空发动机核心上市企业数量（单位：个） 17

图 3 国内发动机产业链主要企业 18

图 4 主机厂及对应型号和军机类型情况..... 21

图 5 2017-2021 年军贸进口中发动机占比最高，达到 54.21%（单位：百万 TIV） 22

图 6 中国航发商发产品规划 24

图 7 “长江”系列发动机技术特点 25

图 8 2022-2041 年全球各类型客机交付量及价值比例..... 27

图 9 航空发动机研制流程 31

图 12 中、美、俄战斗机发动机发展对比..... 35

图 13 F135 发动机研制历程 35

图 14 单位重量创造价值的对比..... 36

图 15 航空发动机的分类与适用范围..... 37

图 16 涡桨-6 发动机 38

图 17 大型特种用途民用飞机—AG600 38

图 18 民用飞机较多的使用高涵道比的加力式涡扇发动机 43

图 19 我国航空发动机科研生产体系主体构 44

图 20 发动机控制系统构成 48

图 21 典型涡扇喷气式发动机结构..... 50

图 22 压气机结构变化 50

图 23 燃烧室结构示意图 51

图 24 航空发动机盘锻件、轴件..... 54

图 25 航空发动机环锻件 54

图 26 航空铸件生产流程示意图..... 56

图 27 涡轮叶片发展历程 59

图 28 3 种精密铸造涡轮叶片 59

图 29 航空发动机对应部件及材料..... 64

图 30 高温合金在航空发动机使用位置示意图 65

图 31 高温合金母合金生产工艺流程图..... 67

图 32 航空发动机隐身材料的应用..... 72

图 33 隐身涂层材料的主要工艺..... 73

图 34 斯奈克玛将陶瓷基复合材料应用于燃烧室火焰筒和火焰稳定器..... 77



图 35 GE 公司采用陶瓷基复合材料叶片的涡轮转子	77
图 36 小型航空发动机产业链	81
图 37 中国在役通用航空器架数（2010 年-2021 年）	84
图 38 2021 年中国在役通用航空器数量（单位：架）	84
图 39 2014-2021 年中国大陆通航数量变化以及 2021 年航空器类型占比.....	85
图 40 需求增加，行业收入迎来提速.....	89
图 41 航空发动机主机厂归母净利稳步提升.....	89
图 42 产品成熟度有待提升，主机厂盈利水平仍较低	90
图 43 我国航空发动机科研生产体系主体构成	94
图 44 航发集团股权结构及业务分类.....	95
图 45 国内发动机产业链主要企业.....	96
表 1 我国发动机发展情况及现状	11
表 2 我国航空发动机研制大事件	12
表 3 航发集团 2016 年—2021 年经营情况（单位：亿元）	15
表 4 航发集团控股上市（拟上市）企业概况及经营情况	15
表 5 航发资产及旗下基金围绕航发产业链投资的典型案例	16
表 6 各军种对军机的需求情况和战略定位.....	19
表 7 主要军机类型投资逻辑	20
表 8 近十年飞机军贸进口大幅减少；但航空发动机进口持续增加.....	22
表 9 近十年飞机军贸出口大幅增加；航空发动机出口极少	22
表 10 大涵道比航空发动机产品成本构成分解表	23
表 11 A320 系列、B737 系列与 C919 飞机发动机应用现状.....	25
表 12 全球各地区客机机队预测（单位：架次）	26
表 13 全球各地区历史和预测的客机交付量（单位：架次）	27
表 14 我国主要军机主机厂及航空发动机主机厂营收规模及增速.....	28
表 15 军用航空发动机主机厂市场规模测算（2022—2027）（单位：亿元）	29
表 16 2022-2041 年商用航空发动机全球及中国市场空间测算	30
表 17 美国主要核心机发展情况.....	33
表 18 涡轴发动机的分代	38
表 19 战斗机及其动力的发展	41
表 20 典型欧美涡扇发动机及对应参数.....	42
表 21 大涵道比涡扇发动机的四个发展阶段.....	43
表 22 航空发动机产业链各环节现状及全景图	45
表 23 航空发动机主机厂及其对应产品.....	47
表 24 航空发动机主机厂及控制系统相关企业及概况（单位：亿元）	49
表 25 涡扇发动机核心部件典型材料和工艺	52



表 26 航空发动机材料工艺概况.....	53
表 27 航空锻造工艺分类	54
表 28 航空发动机锻件相关企业及概况（单位：亿元）	56
表 29 航空发动机铸件制造相关公司概况（单位：亿元）	57
表 30 航空发动机叶片相关公司（单位：亿元）	60
表 31 增材制造主要工艺及原理.....	61
表 32 航空航天领域增材制造相关上市公司（单位：亿元）	63
表 33 第一代至第五代发动机采用的新材料.....	65
表 34 高温合金材料分类及对应特点和典型应用	66
表 35 国内主要高温合金上市及拟上市企业主要情况及对比（单位：亿元）	68
表 36 飞机发动机应用钛合金的部位及合金制造方法	70
表 37 一些西方国家航空发动机的钛用量.....	70
表 38 航空发动机钛合金材料主要公司概况（单位：亿元）	71
表 39 典型隐身措施应用难点及代价.....	72
表 40 隐身涂层材料的主要工艺.....	73
表 41 隐身材料相关上市公司概况（单位：亿元）	75
表 42 航空发动机复合材料相关上市公司概况（单位：亿元）	78
表 43 小型、大型燃气涡轮发动机的技术特点比较	79
表 44 小型航空发动机的主要应用领域.....	80
表 45 不同类型军用无人机动力装置要求和类型	82
表 46 我国小型航空发动机主体系内企业及相关产品	86
表 47 我国小型航空发动机主要民营企业概况	87
表 48 航发动力主要子公司近五年财务数据.....	90
表 49 航空发动机产业链主要企业扩产及延伸产业链情况	91
表 50 航空发动机产业链各环节现状及全景图	97
表 51 航发产业链重点上市企业概况（单位：亿元）	99

一、供需共振，航空发动机行业进入收获期

航空发动机是建设巩固国防和强大军队的重要保障，是国家战略科技力量、国家工业基础、科技水平和综合国力的集中体现，也是强国象征。近年来，多款国产战鹰接连官宣换装国产发动机，证明了我国国产发动机已具备了稳定、可靠的产品，具备了大规模列装的条件。

与此同时，航空发动机产业链的变化也是令人欣喜的。一方面，2016年，航发集团的成立，将航空发动机独立于整机制造之外，使之不受制于整体飞机制造的限制，从而具备了更大的灵活性，标志着我国航空发动机产业将形成全新格局。同时，航发集团采用“小核心、大协作、专业化、开放式”的研发生产体系，以产业链“链长”为目标，培育完善生产体系。航发集团通过成立航发资产公司，下设航发基金等举措，以资本为纽带，产业和投资相互促进，围绕原材料、设备、军工电子、小型航空发动机等多个产业链环节进行了布局。

随着民参军门槛降低、需求增加，民营企业在航空发动机产业表现越发活跃，成为了产业的有生力量，积极推动了产业链朝着更有韧性、更有活力、更有弹性、更有效益、更加成熟的方向良性发展。

军用航空发动机需求方面，我国军用航空装备已经实现了从第三代到第四代、从机械化到信息化、从陆基到海基、从中小型到大中型、从有人到无人的跨越式发展。随着我国国防和军队现代化建设的进程提速，国家从数量上与性能上都对军机提出更为迫切的需求，由此推升了航空发动机的需求快速提升。此外，相较于军机而言，航空发动机存在备发及换发的客观需求，存在一定的消耗属性。我国航空发动机具备了谱系化生产能力，过去二十年，航空发动机仍旧是军贸中进口最多，且出口极少的品类。随着我国航空发动机自身能力的补足，作为国家战略产品，飞机的“心脏”，航空发动机的国产替代将持续深化，预计，军贸进口将持续减少；同时，部分产品有望随着飞机或单独出口，打开军贸的市场空间。

商用航空发动机需求方面，国产民机 C919 于 2022 年 9 月取得型号合格证，拉开了国产民机大时代的序幕。我国民机产业完成了从蹒跚起步到振翅欲飞的跨越。与之配套，我国规划了“长江”系列商用发动机，目前正稳步推进中，且已取得了较好的进展，商用航空发动机与军机技术同源、产业链重合度较高，一旦商用航空发动机取得突破，将极大拓展市场空间，有力的促进我国航空发动机事业的高质量发展。

表1 我国发动机发展情况及现状

发动机类型	机型	现状
小涵道比涡扇发动机	战斗机, 如歼 10、歼 11、歼 20 等	以“太行”系列为代表的三代发动机稳定交付, 四代机研制、五代机预研加速推进。典型事件包括第十四届中国航展上, 空军举行发布会, 指出参展歼-20 已全部换装“中国心”
大涵道比涡扇发动机	运输机、轰炸机等	根据第十三届珠海航展运 20 总师唐长红披露, 运 20 已经装上了中国心, 而且有两型发动机供选择。目前我国已经具备了一定的自主保障能力
	民机	规划了“长江”系列三型发动机。其中 CJ1000A 涡扇发动机配拟配套 C919, 2017 年 12 月首台整机完成装配; 2018 年 5 月验证机首台整机点火成功。目前在在有序推进中
涡轴发动机	各系列直升机	通过自主研发、中法联合研制等多种路径, 取得了较大进展, 自主化率较高。2021 年研制 AES100 涡轴发动机具备国际竞争力、完全自主知识产权。代表型号包括: “玉龙”涡轴发动机、涡轴 16 系列、AES100 涡轴发动机
涡桨发动机	公务机、运输机等	基本可以自主保障。代表型号包括: 涡桨 6 系列, AEP80 涡桨发动机
涡喷发动机	逐步被涡扇发动机替代	主要应用于二代机和轰炸机, 逐步被取代
活塞发动机	通航、无人机等	体系内企业为主、民营企业积极参与共同推进国产化进程

资料来源: WIND, 航发集团官网信息等, 中航证券研究所整理

(一) 我国航空发动机已形成产品谱系, 产业链成熟, 具备放量基础

1、我国航空发动机已具备谱系化发展的能力

我国航空发动机的研制是在新中国成立后一片空白的基础上发展起来的, 从最初的修理、仿制、改进改型到独立设计制造高性能航空发动机, 走过了一条十分艰辛的发展道路。我国也是继美、俄、英、法之后第五个可以自主研发先进航空发动机的国家。

① 仿制和改进

1956 年, 中国第一台涡喷 5 发动机根据苏联发动机的技术资料在沈阳仿制成功, 此后很长一段时间, 中国航空发动机都以仿制和改进为主, 例如涡喷-6、涡喷-7 和涡喷-8。

② 部分自主设计

进入上世纪 70 年代, 我国开始对航空发动机进行了部分的自主设计, 如基于涡喷-7 研制的涡喷-13 系列发动机和基于英国斯贝 MK202 的涡扇-9 系列发动机。其中, 涡

喷-13 于 1985 年开始装机试飞，满足了歼-8II 飞机研制进度的要求。

③ 拥有自主知识产权

2002 年，国产涡喷-14 “昆仑” 发动机定型，中国首次走完了自行研制的全过程，成为继美、俄、英、法之后的第五个航空发动机生产国。2005 年 12 月，“太行” 发动机研发成功，成为我国首个具有自主知识产权的高性能大推力涡扇发动机，标志着我国航空发动机研制从中等推力到大推力、从涡喷到涡扇、从第二代到第三代的跨越。

表2 我国航空发动机研制大事件

年度	发动机型号	我国航空发动机研制发展历程	主要配装飞机型号
1954 年	M11	我国第一台活塞式发动机 M11 型试制成功，仅用了 7 个月零 3 天，在株洲的航空发动机厂完成试制任务	初教五
1956 年	涡喷 5	我国第一台喷气式发动机涡喷 5 试制成功。我国国产航空发动机进入喷气时代	歼-5、歼教-5、轰-5
1957 年	喷发 1A	吴大观等人开始研制国产涡喷发动机喷发 1A，为离心式单转子涡喷发动机；该款机型 1958 年实现首飞	歼教-1
1958 年	涡喷 6 系列	沈阳黎明航空发动机厂开始试制我国首台轴流式涡喷发动机涡喷 6，1959 年 3 月首台发动机通过鉴定试车，1961 年定型生产交付	歼-6、强-5 系列
1966 年	涡喷 7 系列	涡喷 7 系列轴流式双转子带加力燃烧室涡喷发动机，1962 年黎明开始准备，1965 年全面试制，1966 年通过国家鉴定转批产，1967 年生产定型	歼-7、歼-8 系列
1977 年	涡浆 6 系列	涡浆 6 属于中等功率单轴涡轮螺旋桨发动机，1969 年开始研制，1970 年台架试车，1976 年完成定型长试和试飞，1977 年设计定型小批交付，1993 年取得型号合格证，1996 年取得生产合格证	运-8 系列中型运输机，AG600 水陆两栖飞机
1988 年	涡喷 13 系列	1978 年开始设计研制，1988 年设计定型，1990 年荣获国家科技进步一等奖	歼-7、歼-8 飞机
1988 年	涡轴 6 系列	涡轴 6 发动机于 1975 年开始研制，1976 年投产试制，1980 年台架试车，1988 年通过技术鉴定后转小批生产	直 8
1995 年	“秦岭” 涡扇发动机	“秦岭” 发动机 1995 年实现国产化技术鉴定，1996 年开始全面国产化	飞豹歼击轰炸机
2002 年	“昆仑” 发动机	“昆仑” 发动机于 20 世纪 80 年代开始研制，2002 年设计定型，是我国第一型全面贯彻国军标、严格按照型号规范自行设计研制的航空发动机，具有完全自主知识产权	歼-8 系列
2006 年	“太行” 涡扇发动机	“太行” 行发动机 2006 年国家批准设计定型，标志着我国航空发动机研制从中等推力到大推力、从涡喷到涡扇、从第二代到第三代的跨越	歼-10、歼-11、歼-20 等

2013年	“玉龙”涡轴发动机	“玉龙”发动机是我国自主研制的先进涡轴发动机，取得了127项专利成果，在国内首次建立、应用并验证先进涡轴发动机研制体系，闯出了一条独立自主研制先进涡轴发动机道路，2013年玉龙发动机获得国家科技进步一等奖	直10
2017年	CJ1000A 涡扇发动机	CJ1000A 大涵道比商用航空发动机是我国研制的首款大涵道比民用涡扇发动机，能够满足150-180座级单通道飞机（配备双发）对动力的需求。2017年12月首台整机完成装配；2018年5月验证机首台整机点火成功	拟配装C919等
2019年	涡轴16系列	涡轴16发动机由中法联合研制，开创了我国高技术产业对外合作新路。2019年获得型号合格证，2021年获得生产许可证	AC352 直升机
2021年	AES100 涡轴发动机	AES100 涡轴发动机于2021年7月成功首飞，是我国自主研发、具有国际竞争力和完全自主知识产权的先进民用涡轴发动机	5吨级民用直升机
2021年	AEP80 涡桨发动机	AEP80 涡桨发动机2021年亮相珠海航展，可用于2-6吨级单发或5-10吨级双发涡桨飞机	适用于公务机、教练机、运输机、无人机等多个机型

资料来源：航发集团微信公众号，中航证券研究所

在航空发动机的研制发展进程中，我国也取得了一系列成就，可以总结为如下几点：

① 形成了完善的研制生产体系

以发动机设计研究院所和主机生产企业为核心，建成一批专业化配套生产企业和科研院所共同组成的航空发动机研制生产体系。2016年成立中国航发集团，实现飞发分离发展。我国航空发动机研制体系专业覆盖度广，建有多多个国防科技重点实验室，创新中心，研发中心等，形成了完善的研发生产体系。

② 构建了一大批航空发动机基础科研条件与重要设施

科研设施条件得到大面积的显著改善，在多个方面达到世界先进水平，为发动机的设计、研制、试验和生产提供了强有力的基础技术支撑。

③ 具备研制生产当今几乎所有种类航空动力产品的能力

我国目前的研制能力包括航空发动机、辅助动力、燃气轮机、飞机/直升机传动系统等，所设计生产的涡喷、涡扇、涡轴、涡桨、活塞发动机等产品广泛配装于各类军民飞机、直升机和大型舰艇；基本满足了国产歼击机、强击机、轰炸机、运输机、教练机和直升机等航空装备的需求。以“太行”为代表的高性能发动机的研制成功与批产，标志着我国航空发动机产业综合能力跨上新台阶。

2、飞发分离，成立航发集团、打造“中国心”

此前，发动机业务与飞机制造业务均属于航空工业集团的子版块，在该体系下，发动机的发展依附于飞机，发动机的型号依赖于飞机型号，由于，全新研制一型跨代航空发动机，一般需要二十几年，比全新研制同一代飞机时间长一倍，因此航空发动机的发展始终滞后于飞机。

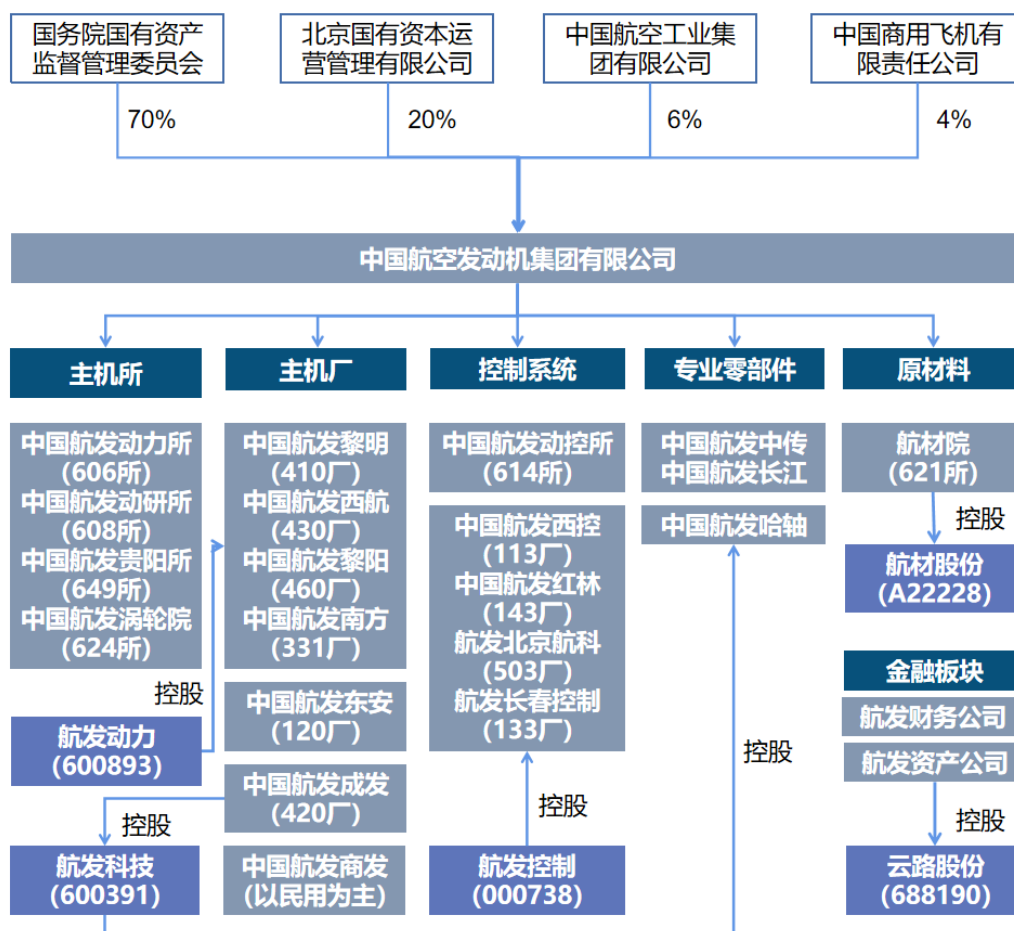
如果要立足于自主研发的中国航空发动机，就需要有更多耐心和科学的方法，做到动力“先行”，然后与飞机“同行”。为解决飞机、航空发动机进度不匹配的困境，飞发分离、设立新的主体专注于航空发动机的研发、生产及制造。

飞发分离也是国际通用做法，国际上的飞机制造商大多专注于飞机制造和研发，例如波音和空中客车两大巨头，而发动机则由专门的发动机公司提供，例如通用、普惠和罗罗等。这种分线发展的好处是，可以先将发动机研制出来，研制飞机的时候再找合适的发动机。

2016年8月，中国航空发动机集团公司成立大会在京举行。作为中央管理的国有特大型企业，航发集团是实施航空发动机专项的责任主体，由国务院、北京市人民政府、中国航空工业集团公司、中国商用飞机有限责任公司共同出资组建，是国有控股的集团公司。

航发集团的成立将研制周期长于一般机体的发动机独立于整机制造之外，使之不受制于整体飞机制造的限制，从而具备了更大的灵活性，其成立标志着我国航空发动机产业将形成全新格局，对我国航空工业未来发展具有重要意义。

航发集团采用“小核心、大协作、专业化、开放式”的研发生产体系，走一条从基础研究到关键技术突破，到战略性航空发动机产品研制的自主创新研制的发展道路，同时也带动我国科学技术和工业技术水平的提升。

图1 航发集团股权结构及业务分类


资料来源：天眼查、WIND、公开资料整理，中航证券研究所

表3 航发集团 2016 年—2021 年经营情况 (单位：亿元)

科目	2016	2017	2018	2019	2020	2021
资产总额	1263.35	1326.72	1421.18	1593.42	1628.14	2024.21
净资产	575.27	741.57	830.92	938.87	1001.04	1114.30
总收入	446.02	467.55	449.07	494.40	—	—
净利润	16.00	13.84	21.35	23.23	26.31	28.35

资料来源：公司公告、航材股份招股书、云路股份招股书等，中航证券研究所

表4 航发集团控股上市（拟上市）企业概况及经营情况

代码	公司简称	产业链环节	上市时间	2021 年营业收入 (亿元)	2021 年归母净利润 (亿元)
600893.SH	航发动力	总装厂、零部件、维修等	1996-04-08	341.02	11.88
000738.SZ	航发控制	控制系统生产制造	1997-06-26	41.57	4.88
600391.SH	航发科技	航空零部件制造	2001-12-12	35.05	0.21
688190.SH	云路股份	先进磁性金属材料（民品）	2021-11-26	9.36	1.20
A22228.SH	航材股份	高温合金、钛合金材料等	—	19.47	3.75

资料来源：公司公告、航材股份招股书、云路股份招股书等，中航证券研究所

此外，航发集团通过成立航发资产公司，下设航发基金等举措，以资本为纽带，调动全国各方面的优势资源，与社会各方力量形成良性互动，建立“小核心、大协作、专业化、开放式”的研发生产体系，形成产业和投资相互促进的良性循环。

表5 航发资产及旗下基金围绕航发产业链投资的典型案例

企业简称	持股比例	投资日期	企业简介	产业链环节
蓝天钛金	7.8%	2020/4/20	蓝天钛金是一家航空航天紧固件及结构件研发商，提供钛合金抗拉型、钛合金抗剪型、普通六角螺母、半圆头铆钉、沉头铆钉、十字槽沉头螺、十字槽盘头螺、内六角圆柱头、六角头全螺纹、六角头螺栓、偏心十字槽大、开槽圆柱头螺等产品	零部件
宗申航发	6.5%	2020/11/20	无人机发动机及其零部件、通用航空发动机及其零部件、船用柴油发动机及其零部件和螺旋桨	中小型航空发动机
万丰飞机	10.0%	2021/7/1	全球化通用飞机制造商，是全球第三大固定翼通航飞机制造商	通用飞机整机
合智熔炼装备	16.0%	2021/3/26	合智熔炼装备（上海）有限公司是一家特种熔炼装备生产商，合智 Herz 系列产品主要包括各种规格的真空感应熔炼炉、保护气氛电渣重熔炉、真空自耗重熔炉、三室真空精密铸造炉（主要指等轴晶及定向/单晶炉）、中频感应熔炼真空脱气炉等应用于特种冶炼的专业设备	高温合金设备
强航时代	7.0%	2021/12/27	民用航空器零部件设计和生产，民用航空器生产	零部件加工
和鸿科技	10.7%	2021/7/29	从事航空民用发动机零部件、飞机结构零部件生产制造	零部件加工
科荣达	6.4%	—	北京科荣达航空科技股份有限公司是一家集航空机载设备维修、航空器材租售和专用测控设备研制于一体的综合服务提供商	维修、测控、租赁等
李龚导航	6.0%	2021/9/7	是国内复杂电磁信号处理和北斗高精度定位与定向、高动态、惯性导航与组合导航技术领域领先的高可靠应用产品和解决方案提供商。	惯导等
上海万泽	3.8%	2021/11/30	高温合金叶片、新材料等	高温合金、叶片
汉能科技	6.2%	2021/12/16	多年来一直致力于提供航空发动机及燃气轮机试验设备、试验技术研究及相关技术在其他领域的延伸应用，已在航空发动机和燃气轮机试验设备的模块化、标准化设计、制造、安装、调试和运营服务一体化方面积累了丰富的经验，是目前国内该行业唯一一家民营企业	试验测试
索辰信息	2.7%	2021/12/14	索辰信息是一家系统软硬件研发及 SaaS 服务商，主要为客户提供产品全生命周期协同研制系统软硬件、SaaS 服务，产品和服务覆盖研发前沿工程、数字化设计及智能制造	仿真

中发天信	1.2%	2020/7/31	各类型小型航空发动机研制、生产、试验、维修、保障服务以及航发零部件、附件的试验服务，旨在为国内外公务机、无人机、巡航弹等提供的动力配套服务	中小型航空发动机
中科航星	1.6%	2020/5/22	由中国科学院工程热物理研究所、青岛军民融合发展集团有限公司与其他投资人合资组建	中小型航空发动机
慧石科技	3.0%	2022/7/28	是致力于服务国防军工、汽车、高铁及能源等领域的传感器行业领导者。公司以研制生产“国内急需的、国外禁运的、国内还做不好的”的高性能传感器为主业，拥有国际一流的传感器核心技术和世界级的经验丰富的传感器设计研发及生产制造人才	传感器

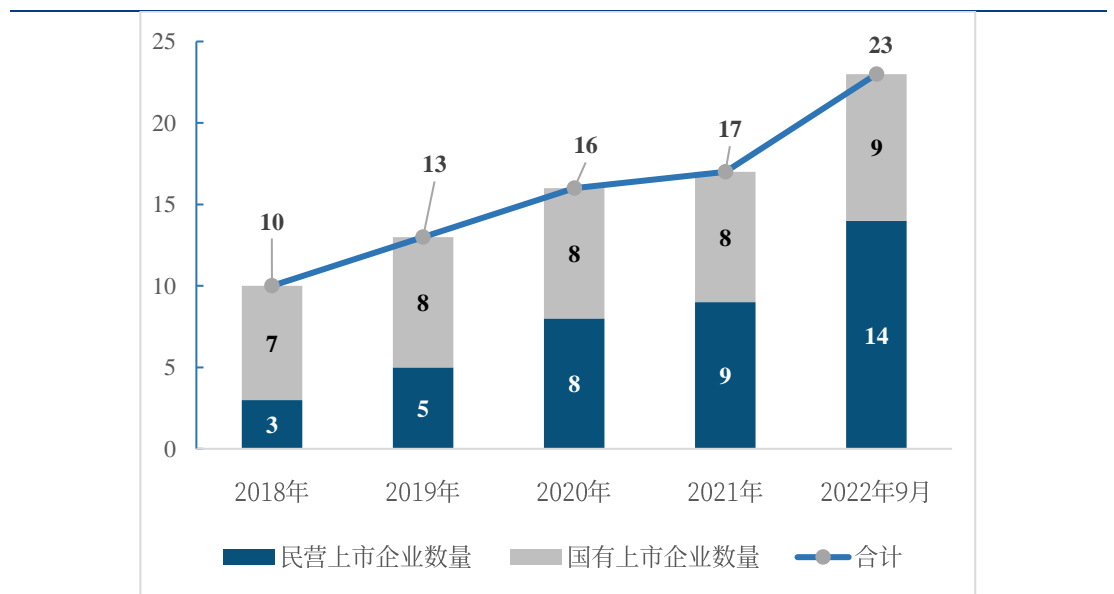
资料来源：天眼查，中航证券研究所整理

3、民参军积极配套，产业链逐步成熟

近年来，民参军企业门槛逐步降低，同时航空发动机的需求增加叠加航发集团“小核心、大协作”的持续推进，为航空发动机民营企业提供了较好的市场发展机遇。随着注册制的开放，航空发动机配套企业走向资本市场，借力资本市场实现了实力的快速提升，也为完善航空发动机做出了积极的贡献。

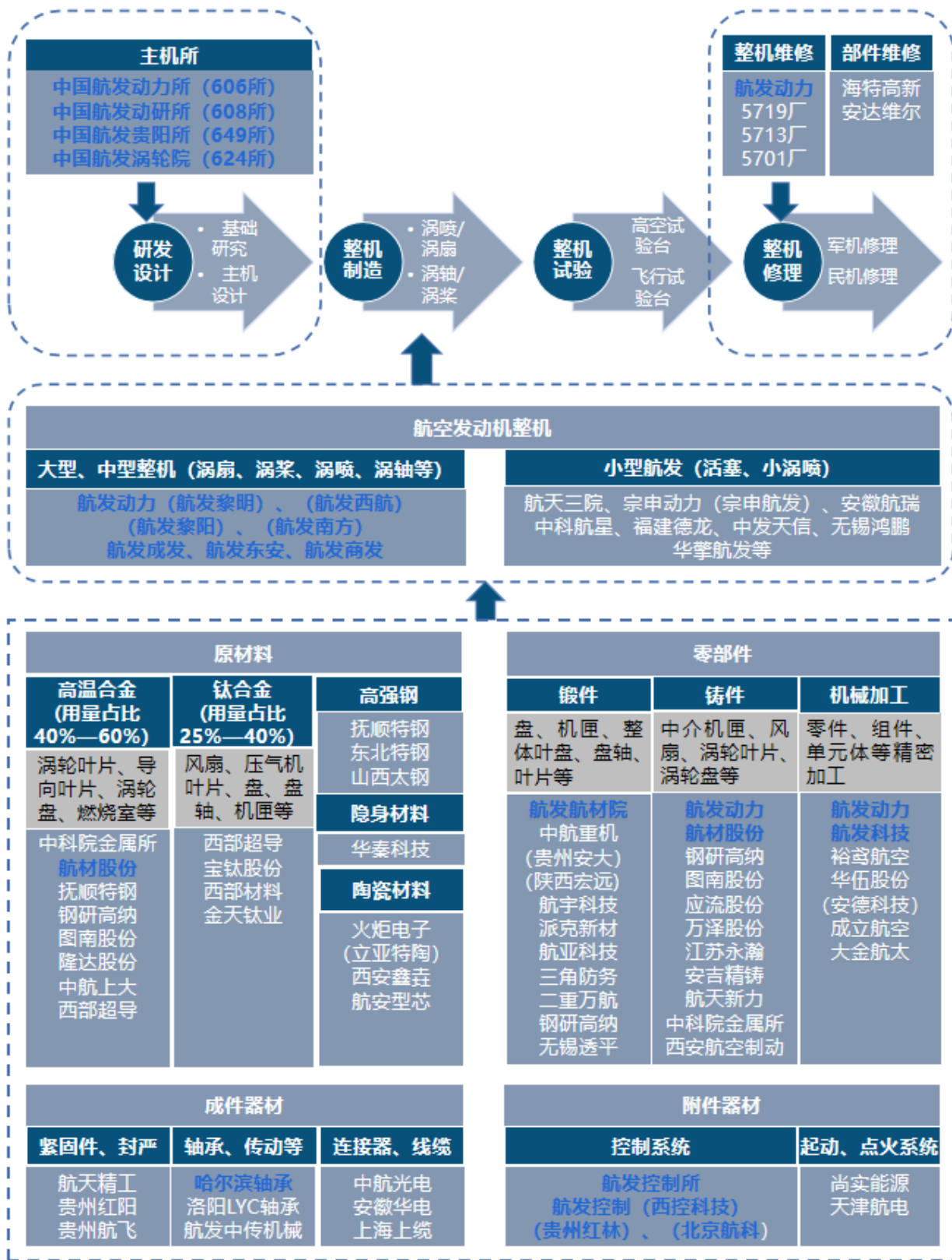
目前我国航空发动机产业链整体仍集中在航发集团体系内，外部配套率仍有较大的提升空间；同时，我国民营企业、高校、科研院所等持续加码航空发动机新技术、新工艺、新材料等攻关，作为航发产业链的补足，将发挥越来越重要的作用，其中也有望成长起来一批实力较强的民营企业。

图2 航空发动机核心上市企业数量（单位：个）



资料来源：WIND，中航证券研究所。注：以上数据截至2022年10月，含拟上市企业

图3 国内发动机产业链主要企业



资料来源: WIND, 公司官网等, 中航证券研究所 注: 标注为蓝色企业为航发集团控股

整体而言, 航空发动机产业链已经初步具备产业基础, 研制产品稳步推进, 定型产品呈现多元化、谱系化发展; 下游需求的高景气催生产业的高速发展, 航空发动机迎来了发展机遇期。

(二) 多因素共驱军机航发先行放量，商发并举打开市场空间

1、新机列装—军机的规模性增长及结构性升级带动的新增需求

2021年11月25日，国防部公开表示要在新的起点上推动我军武器装备建设再上一个大台阶，基本建成以三代为主体、四代为骨干的装备体系。其中，军机相关的骨干装备包括歼-20飞机、歼-16飞机、歼-10C飞机和直-20直升机。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6 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7 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	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

在军机的技术水平和研发能力方面，美国一直走在最前端。从第五代战机的研发开始，相较于耗费巨资投入数十年研制新型战机，通过快速引入最新技术升级电子系统和机载武器成为机型迭代的新趋势。自 2016 年起，美空军不再纠结战斗机的代际划分，转向使用“穿透性制空”这一名称来代指下一代制空作战平台。这一转变颠覆了以往依赖“机型替换”进行单一平台更新换代的思路，转向提升飞机本身的强作战性能。强作战性能的特点一般可以用“4S”来概括，即 Stealth（隐形）、Super Sonic Cruise（超音速巡航能力）、Super Maneuverability（超机动能力）、Superior Avionics for Battle Awareness and Effectiveness（超级信息优势）。依托军机的平台属性，各类电子系统和武器系统的重要性和价值量占比持续提升。

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有着不小的差距，存在装备总量少，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，尤其是先进战机的规模列装和填补空白的全谱系发展，紧迫性更为凸显。

图4 主机厂及对应型号和军机类型情况

军机主机厂	成飞	歼5、歼7、枭龙、歼10、翼龙系列等
	沈飞	鹞鹰飞机、J-15、J-16等
	西飞	以运-20、轰6、飞豹为代表的大中型运输机、轰炸机、特种飞机等
	陕飞	固定翼运输飞机、特种飞机、无人机等
	哈飞	直5、轰5、水轰5、直9、直19、运12系列等
	昌飞	直8、直10、直11等
	洪都	以初教六、K8、L15等为代表的初、中、高级全谱系教练机产品
	贵飞	歼教7、“山鹰”、FTC-2000G等教练机和无人机产品
	航天3院	海鹰系列无人机等
	航天9院	飞鸿系列无人机等
	航天11院	彩虹系列无人机等
	高校和民营企业	

资料来源：航空工业集团官网，研究院官网，中航证券研究所整理

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。预计未来我国军机市场的空间将不只是规模性的，结构性的转变也在同步推进，随着国产发动机的稳定交付及新型号的不断推出，未来我国列装新机将主要走使用、维护、保障国产发动机的道路，新机列装将有力带动航空发动机的新增需求。

2、国产替代—航空发动机仍为军贸进口最大品类，存在进口替代空间；部分产品有望实现军贸出口

在发展谱系上，我国形成了涡喷、涡扇、涡轴、涡桨、活塞发动机和燃气轮机等全谱系产品研发和生产能力，广泛配装于各类军民用飞机、直升机和大型舰艇，基本能满足我国航空设备的要求，拥有“玉龙”、涡轴16、“昆仑”、“太行”等先进成熟型号。

近年来，两机专项、飞发分离、成立航发集团等为我国航空发动机制造业的发展给予了强力支持。但同时，我们也应认识到，我国航空发动机仍有部分品类需要进口，依然存在较大的国产替代空间。

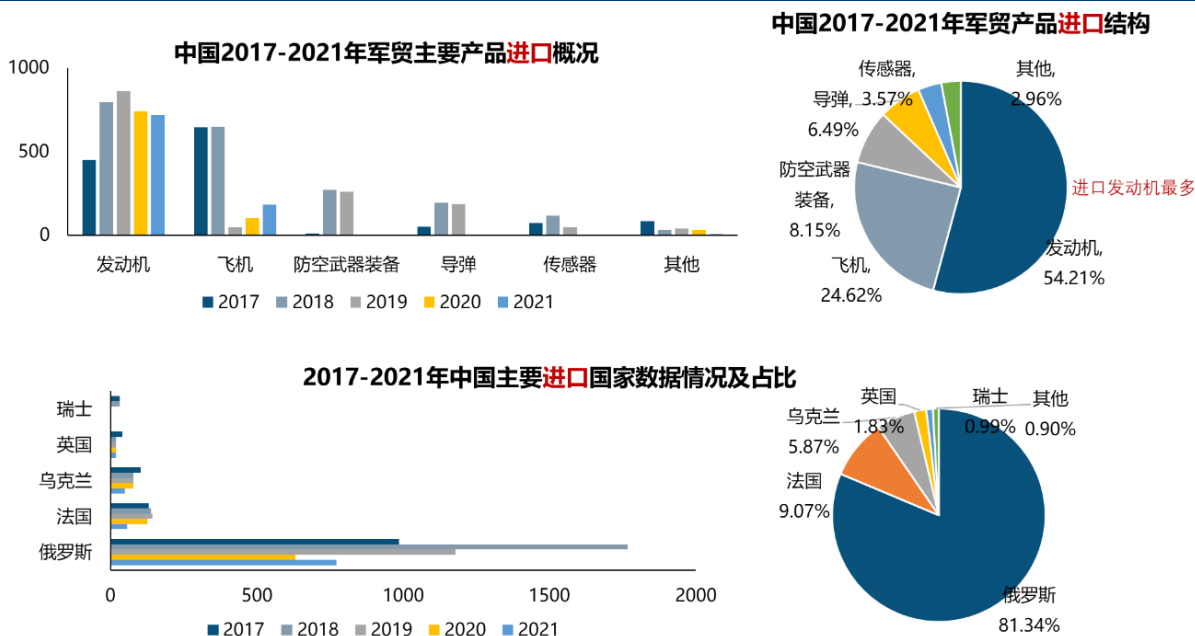
从军贸数据来看，中国 2017 年—2021 年军贸进口中发动机占比最高，达到 54.21%，仍旧是我国军贸进口的主要品类。

从飞机、发动机进出口数据对比，受益于我国军机的快速发展，涌现出歼 20、运 20、直 20 等新型号装备，实现了航空装备跨代发展。在军贸出口上，枭龙战机、翼龙无人机大放异彩，2012—2021 年军机进口数据相比于 2002—2011 年下滑 63.23%，出现较为明显的下降；而与之对应，出口数据同比上升 60.23%，大幅增加。

虽然我国歼 20、运 20 等新型装备已官宣换发“中国心”，表明我国从技术研发及

生产制造上已具备一定的能力，但仍旧无法完全满足需求。从军贸进口来看，2012—2021 年发动机进口数据相比于 2002—2011 年大幅增加 203.84%，而与之对应，我国的航空发动机出口极少，仍以满足国内需求为主。

图5 2017-2021 年军贸进口中发动机占比最高，达到 54.21%（单位：百万 TIV）



资料来源：SIPRI，中航证券研究所整理分析

注：TIV 全称 Trend-Indicator Value，是 SIPRI 创建的衡量各种主战武器转让量的指标，TIV 的意义是体现军事资源的转移。每一件武器都有其特有的 TIV。非全新或经翻新过的军品再次进行转让等行为，TIV 的赋值均会不同幅度的下降，TIV 数据并不代表武器转让销售价格

表8 近十年飞机军贸进口大幅减少；但航空发动机进口持续增加

类别	2002—2011 (百万 TIVs)	2012—2021 (百万 TIVs)	增幅	变化趋势	国内对应装备代表
飞机	10352	3806	-63.23%	大幅减少	歼 20、运 20、直 20 等
发动机	1903	5782	203.84%	大幅增加	涡扇 10 系列发动机等

资料来源：SIPRI，中航证券研究所整理。

表9 近十年飞机军贸出口大幅增加；航空发动机出口极少

类别	2002 — 2011 (百万 TIVs)	2012 — 2021 (百万 TIVs)	增幅	变化趋势	出口主要装备代表
飞机	2688	4307	60.23%	大幅增加	枭龙战机、翼龙系列无人机等
发动机	0	1	---	---	---

资料来源：SIPRI，中航证券研究所整理

3、消耗属性—航空发动机存在备发、换发、维修的持续需求

航空发动机全寿命周期要经历研发、制造、使用维护三个阶段。研发阶段又分为预先研究阶段和型号研制阶段。在全寿命周期中，研发、制造、维护的比例分别为10%—20%、40%、50%左右。在和平时期，由于武器系统服役的时间更长，发动机的寿命达到15—25年，维护费用在发动机整个生命周期内的总费用占比越来越大。

航空发动机从一定程度上具备消耗属性，在战机使用周期中，需要换发和维修，尤其是练兵备战、实战化训练的频次增加，损耗和换发需求将更大，为航空发动机提供了持续需求。

表10 大涵道比航空发动机产品成本构成分解表

全寿命周期阶段	各阶段成本构成	目标成本占比 (%)	全寿命周期成本占比 (%)
研发阶段 (10%)	应用基础	4	0.4
	先进部件	26	2.6
	技术验证机	10	1
	工程发展	10	1
	型号验证机	50	5
制造阶段 (40%)	原材料费用	50	20
	劳动力费用	25	10
	其他	25	10
维护阶段 (50%)	发动机管理	3	1.5
	外场更换周转件	9	4.5
	备用发动机	5	2.5
	航线维修	10	5
	发动机维修	22	11
	零备件航材	51	25.5

资料来源：《大涵道比涡扇发动机总体性能与循环参数设计》，中航证券研究所

4、商发—国产飞机的“中国心”，打开增长第二曲线

2009年1月18日，中国大飞机项目落户上海，中国航发商用航空发动机有限责任公司（中国航发商发）在上海应运而生。中国航发商发是中国航发集团的直属公司，被国家批准为民用大涵道比涡扇发动机研发的总师单位和总承制单位，承载着让装配“中国心”的国产大飞机早日翱翔蓝天的使命。

中国航发商发在成立之初便确立了民机研发的市场观、客户观、适航观，坚持“两头在内、中间在外、关键在手”的发展理念，专注于产品设计研发与总装交付，专注于客户服务、维护大修等高附加值环节，聚集航空发动机的全球供应链整合和管控。

中国航发商发的国产民用发动机共规划了三个产品系列为中国商飞的飞机产品配套：

- 一是 160 座窄体客机发动机“长江”1000， 配套 C919 大型客机；
- 二是 280 座宽体客机发动机“长江”2000， 配套 CRJ929 宽体客机；
- 三是 110-130 座的新支线发动机“长江”500， 配套 ARJ21 支线客机的改进型。

三个产品系列在技术上一脉相承，其技术路线是以“长江”1000 发动机的核心机为基准，经过相似放大和局部优化发展出“长江”2000 的核心机，再匹配低压部件并嵌入经过验证的新技术后形成“长江”2000 发动机。类似地，通过相似缩小和优化、匹配发展支线客机发动机“长江”500。

图6 中国航发商发产品规划



资料来源：《“长江”系列发动机取得阶段性进展》，中国知网，中航证券研究所

“长江”1000 发动机起飞推力约为 133kN，耗油率水平与国际最新一代窄体客机发动机相当，比上一代发动机降低约 15%。“长江”2000 发动机起飞推力则达到 347kN，除了具有与“长江”1000 基本相似的技术特征外，还嵌入了部分新一代核心部件关键设计和工艺技术，耗油率低于现役同类型先进发动机。“长江”500 发动机已完成概念方案设计，将视中国商飞新支线客机发展计划而适时启动。

表11 A320 系列、B737 系列与 C919 飞机发动机应用现状

发动机制造商	机型	发动机数量/个	发动机选项 1	发动机选项 2	发动机选项 3
空客	A318	2	CFM56-5B	PW6000	/
	A319/A320/A321	2	CFM56-5B	V2500	/
	A319neo/A320neo/A321neo	2	Leap	PW1100G	/
波音	737-300/400/500	2	CFM56-3B	/	/
	737NG (600/700/800/900)	2	CFM56-7B	/	/
	737 Max (7/8/9)	2	Leap	/	/
中国商飞	C919	2	Leap-1C	CJ-1000AX	

资料来源：《全球商用航空发动机产业竞争态势研究》，中航证券研究所

2013 年 1 月，“长江” 1000AX 验证机通过概念设计评审；2016 年 7 月，“长江” 1000AX 验证机通过初步设计评审，正式转入详细设计阶段；2017 年 12 月，“长江” 1000A 发动机项目通过了概念设计评审，转入初步设计阶段，标志着我国大型客机动力装置从技术验证全面转入工程研制，整个项目正按计划有序推进。

“长江” 2000 发动机正在进行关键技术攻关和技术验证，并取得阶段性成果。2022 年 9 月，中国航发宣布将在航展中展出配装宽体客机的长江 2000 民用航空发动机。

图7 “长江”系列发动机技术特点


资料来源：《“长江”系列发动机取得阶段性进展》，中国知网，中航证券研究所

2022年9月，国产大型客机C919完成型号取证。目前，距离国产大型客机C919正式进行商业运营距离已经不远，国产大飞机C919预计2022年完成首架交付。

2022年11月8日，在第十四届中国国际航空航天博览会上，中国商飞公司发布《中国商飞公司市场预测年报（2022-2041）》（简称“年报”），对未来20年全球和中国的商用飞机市场作出分析预测。该报告是中国商飞基于对航空运输相关影响因素分析，应用全球经济、运量、机队等数据进行预测建模，通过航空市场供需分析，以及后疫情时代和长期发展趋势的判断，对全球和各地区未来20年航空需求增长和机队变化作出的预测。

根据年报预计，未来20年全球旅客周转量（RPKs）将以每年3.9%的速度增长，在2041年达到19.9万亿客公里。基于全球经济到2041年保持年均约2.6%的增长速度，2041年全球客机机队规模将达到47531架，将有超过42428架新机交付，用于替代和支持机队的发展。

年报指出，未来，随着中国经济稳步上升，中国民航业将步入发展质量提升期和格局拓展期，开启多领域民航强国建设新征程。根据中国GDP年均增长速度预测，中国的旅客周转量年均增长率为5.6%，机队年均增长率为5.1%。未来二十年，中国航空运输市场将接收喷气客机9284架，其中支线客机958架，单通道客机6288架，双通道客机2038架。**到2041年，中国的机队规模将达到10007架，占全球客机机队21.1%。中国航空市场将成为全球最大的单一航空市场。**

表12 全球各地区客机机队预测（单位：架次）

国家地区	2021		2041F		2022—2041
	机队小计	占全球比例	机队小计	占全球比例	年均增长率
中国*	3695	16%	10007	21%	5.10%
亚太**	2752	15%	9211	19%	6.20%
北美	6124	29%	9467	20%	2.20%
欧洲	4017	19%	9322	20%	4.30%
拉美	1217	7%	3412	7%	5.30%
中东	1081	5%	3048	6%	5.30%
俄罗斯和独联体	1031	5%	1538	3%	2.00%
非洲	646	4%	1526	3%	4.40%
全球总计	20563	100%	47531	100%	4.30%

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

备注*中国包含香港、澳门特别行政区和台湾地区；** 亚太不含中国

表13 全球各地区历史和预测的客机交付量（单位：架次）

国家地区	2002—2021 年历史交付量		2022—2041 年预测交付量	
中国*	4272	19%	9284	22%
亚太**	3555	16%	8413	20%
北美	6002	26%	8167	19%
欧洲	4721	21%	8310	20%
拉美	1262	6%	2941	7%
中东	1240	5%	2781	7%
俄罗斯和独联体	1041	5%	1152	3%
非洲	676	3%	1380	3%
全球总计	22769	100%	42428	100%

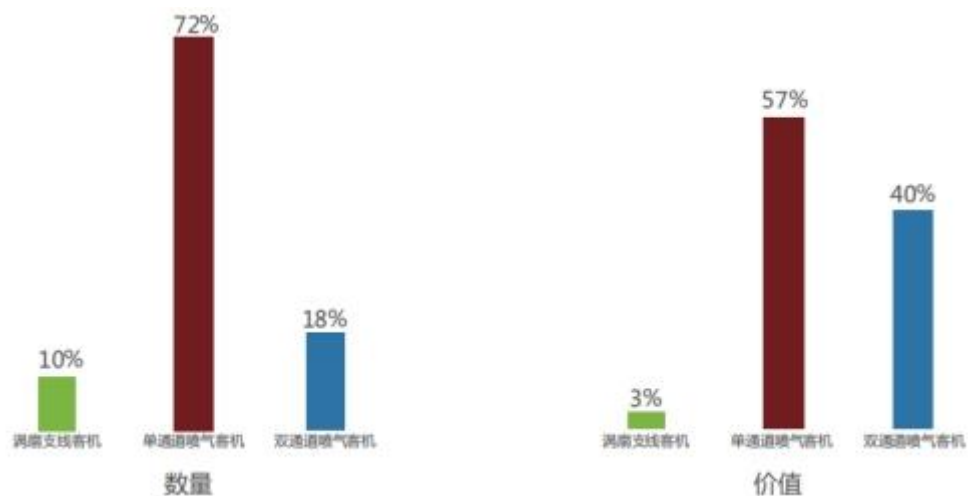
资料来源：《中国商飞公司市场预测年报（2022-2041）》，中航证券研究所整理

备注*中国包含香港、澳门特别行政区和台湾地区；** 亚太不含中国

未来二十年，市场需求量最大的依旧是单通道喷气客机。预计到预测期末，现役机队中约 75% 的单通道喷气客机将被燃油效率更高的全新单通道喷气客机替换。新兴市场干线航空运量的增长以及全球低成本模式的发展是单通道喷气客机增长的重要推动力。

根据中国商飞预测，2022—2041 年，预计全球将有 30367 架单通道喷气客机交付运营，其中 67.8% 为中型单通道喷气客机。单通道喷气客机机队的年均增长率为 4.3%，可供座位数的年均增长率为 4.6%，平均座位数将从 165 座增至 175 座。

2022—2041 年，中国商飞等新兴单通道喷气客机制造商所生产的新一代客机将陆续投入市场，在提高全球单通道喷气客机的供给能力的同时，也将丰富产品的多样性。中国商飞最新的市场预测报告中指出，亚太地区（含中国）将是单通道喷气客机的最大市场，占到全球新机交付量的 41.8%，中国在其中占 20.7%。

图8 2022-2041 年全球各类型客机交付量及价值比例


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

(三) 航空发动机市场空间测算

综合以上因素，对航空发动机的市场空间进行测算，由于军用航空发动机与民用在发展阶段和面向市场有所区别，我们进行分开测算：

① 军用航空发动机：

我国航空装备已经实现了从第三代到第四代、从机械化到信息化、从陆基到海基、从中小型到大中型、从有人到无人的跨越。以歼 20、歼 16、歼 15、歼 10C、轰 6K、空警 500、空警 200、运 20、直 20 等为代表的新型战机，支持我军以空中力量为主体，构建起战役战术攻防体系，航空武器装备实现整体跨代；以 AG600、“新舟” 60、运 12F、AC 系列直升机、“翼龙” 民用无人机等为代表的民用航空产品，构建了民用飞机技术创新体系，建立民用飞机产业体系，使我国的航空技术体系更加完善；中国航空工业已经具备研制高性能军民用航空产品的强大能力。

从产业发展的角度而言，新型号装备的体系化发展，需求的客观增加也带动航空产业、包括航空发动机产业的提速发展。当下保质保量保交付成为航空产业发展的核心重点，军品迭代和生产能力提升、降本增效成为航空产业发展的主旋律。长期来看，我们认为军机行业增长的驱动力为 2027 年建军百年和 2035 年基本实现国防和军队现代化建设的目标，以及规模列装后随之增长的军机维修、军贸和军转民市场。

比较航空主机厂及航发主机厂十四五以来营业收入数据的情况（中航成飞尚未上市，暂无公开数据），**我国航空装备迎来了结构性升级和规模性的增长**，中航沈飞（多款型号战斗机）、中航西飞（多款型号运输机）逐步提速；而洪都航空（多款型号教练机）、中直股份（多款型号直升机）因产品结构调整，出现了一定程度的放缓。

从发动机主机厂而言，**航发动力作为军用航空动力总装上市的唯一平台，收入出现了明显的提速**，2021 年收入增速达到 19.10%，2022Q3 收入增速为 22.18%，呈现持续提速的发展态势。航发控制是军用航空发动机控制系统的龙头企业，其收入增速基本与行业同步且相对均衡，可作为行业增长的观测指标。从航发控制的营收增速来看，2021 年营收增速 18.25%，2022Q3 营收增速为 23.19%。

表14 我国主要军机主机厂及航空发动机主机厂营收规模及增速

代码	公司名称	主要产品	2021 年营收 (亿元)	2021 年营 收增速	2022Q3 营收 (亿元)	2022Q3 营收增 速
000768.SZ	中航西飞	运输机等	327.0	-2.34%	283.5	22.66%
600038.SH	中直股份	直升机等	217.9	10.86%	106.1	-25.23%
600760.SH	中航沈飞	多款型号战斗机	340.9	24.79%	302.8	20.58%
600316.SH	洪都航空	教练机等	72.1	42.33%	27.4	-36.40%

600893.SH	航发动力	唯一航发主机上市平台	341.0	19.10%	224.1	22.18%
000738.SZ	航发控制	控制系统龙头企业，与航发行业增速保持一致	41.6	18.25%	37.5	23.49%

资料来源：WIND，中航证券研究所

党的十九届五中全会明确提出确保 2027 年实现建军一百年奋斗目标，形成了到 2027 年、2035 年、本世纪中叶，近、中、远目标梯次衔接的新“三步走”战略安排。到 2027 年实现建军一百年奋斗目标，是国防和军队现代化新“三步走”十分紧要的一步，以建军一百年这个历史节点为刻度标定目标指向和发展重点，体现了党的历史使命、国家战略需求和我军使命任务的有机统一，根本指向是提高捍卫国家主权、安全、发展利益的战略能力；我们将中短期测算的维度放在 2022 年—2027 年。

由于航发动力包含四家主要主机厂，我们以航发动力旗下四家子公司作为行业增速测算的基准参考。考虑到航空发动机随着飞机平台结构性调整，各配套主机厂增速也将大概率出现分化。我们预计以太行系列发动机产品为主的航发黎明，十四五期间收入有望保持最高，预计 20%—25% 的复合增速；航发西航、航发黎阳由于其产品结构调整，新型号需要逐步走向成熟，预计增速略低于航发黎明，复合增速约为 15%—20%；航发南方的主要产品配套直升机等使用，受到下游需求结构的调整，预计增速维持在 10%—15%，据此测算，至 2027 年，我国军用航空发动机的市场规模约为 977—1256 亿元。

表15 军用航空发动机主机厂市场规模测算（2022—2027）（单位：亿元）

主机厂	主要产品	复合增速	2021A	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E
西航（母公司）	涡扇发动机等	15%	90.1	103.7	119.2	137.1	157.7	181.3	208.5
		20%	90.1	108.2	129.8	155.8	186.9	224.3	269.2
黎明公司	WS-10 系列发动机等	20%	186.4	223.6	268.3	322.0	386.4	463.7	556.4
		25%	186.4	232.9	291.2	364.0	455.0	568.7	710.9
南方公司	涡轴 8、涡桨 6 和活塞式发动机等	10%	80.3	88.3	97.2	106.9	117.6	129.3	142.3
		15%	80.3	92.4	106.2	122.1	140.5	161.5	185.8
贵州黎阳	三代中等推力航空发动机等产品	15%	30.2	34.7	39.9	45.9	52.8	60.7	69.9
		20%	30.2	36.2	43.5	52.2	62.6	75.1	90.2
合计下限			341.0	450.4	524.7	611.9	714.5	835.1	977.1
合计上限			341.0	469.7	570.7	694.1	845.0	1029.7	1256.0

资料来源：WIND，中航证券研究所

② 民用航空发动机

国际民用航空市场窄体客机用大型涡扇发动机已发展了四代，宽体客机用大型涡扇发动机发展了三代，民用大功率涡桨发动机、民用涡轴发动机已经发展了四代，耗油率不断降低、首翻期不断延长，产品经济性不断提高；用于中小型多用途的小功率民用涡桨发动机在经济性、安全性等方面不断提高；用于教练机/特种作业飞机（直升机）的民用航空活塞发动机产品成熟且已大众化。

2022年11月8日，在第十四届中国国际航空航天博览会上，中国商飞公司发布《中国商飞公司市场预测年报（2022-2041）》（简称“年报”），对未来20年全球和中国的商用飞机市场作出分析预测。根据年报预计，未来20年全球旅客周转量（RPKs）将以每年3.9%的速度增长，在2041年达到19.9万亿客公里。基于全球经济到2041年保持年均约2.6%的增长速度，2041年全球客机机队规模将达到47531架，将有超过42428架新机交付，用于替代和支持机队的发展。

根据前瞻产业研究院的分析，航空发动机价值占比约为整机价值量的20%—30%，结合中国商飞最新预测未来20年交付新机价值总量，则2022-2041年航空发动机市场规模约为12804-19206亿美元，对应平均每年640—960亿美元；其中，中国市场新机交付量约占全球22%，据此测算未来20年我国民用航空发动机市场规模为2802—4203亿美元，平均对应每年140—210亿美元。

我国民用航空发动机虽然取得了一系列进展且已经呈现提速态势，短期内可能会
有小批试制订单，但距离批量生产仍需要时间。

表16 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（30%）（亿美元）	663	10929	7614	19206	960
发动机市场空间（20%）（亿美元）	442	7286	5076	12804	640
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）	485	7543	6723	14009	700
国内发动机市场空间（30%）（亿美元）	145	2263	2017	4203	210
国内发动机市场空间（20%）（亿美元）	97	1509	1345	2802	140

资料来源：COMAC，中航证券研究所

二、航空发动机的产业特点及分类

(一) 产业特点：强国重器，难度大、回报高

1、基于核心机衍生发展、不断挑战极端工作环境

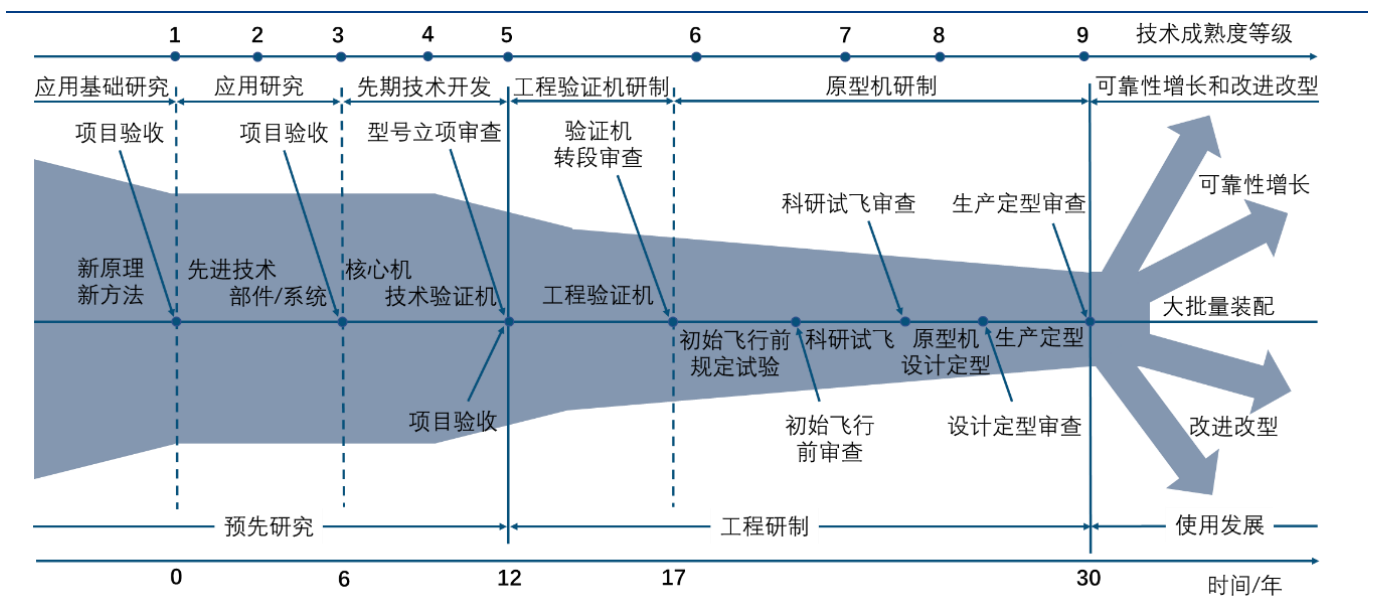
航空发动机的研制流程可分为预先研究、工程研制和使用发展三大阶段。

(1) 预先研究阶段：为发展新型发动机提供技术储备，缩短研制周期，降低研制风险，不断提高技术水平，同时，为改进现役发动机性能、可靠性提供实用的技术成果。

(2) 工程研制阶段：根据主要作战使用性能指标，研制满足装备使用要求的发动机产品。工程研制阶段结束后，将最终给出是否可以大批量装备使用的结论。

(3) 使用发展阶段：是发动机全寿命科研工作的重要组成部分，发动机装备使用后应不断解决使用中暴露的技术质量问题，提高可靠性，并根据装备发展需求和新技术研究成果进行改进改型发展。

图9 航空发动机研制流程



资料来源：《航空发动机研制全寿命管理研究及建议》，中国知网，中航证券研究所

由高压压气机、燃烧室和高压涡轮组成的发动机核心机，包括了推进系统中温度最高、压力最大、转速最高的组件，其成本和周期在发动机研制中占比重大，是发动机研制主要难点和关键技术最集中的部分。据统计，发动机研制过程中发

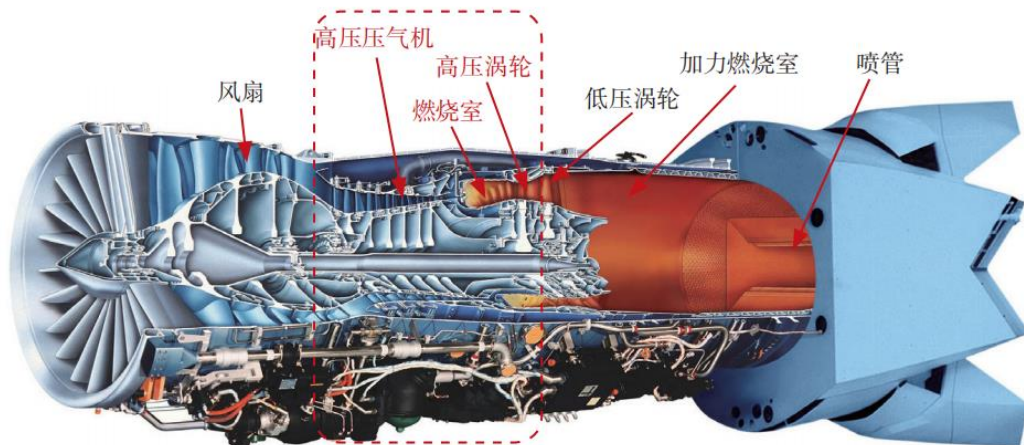
生的 80% 以上的技术问题都与核心机密切相关。

20 世纪 60 年代以来，美国空军通过核心机计划开展技术验证和提高技术成熟度，建立了丰富的经过验证的核心机关键技术储备。

采用成熟核心机衍生发展发动机产品的主要优点包括：

- ① 原核心机的可靠性、耐久性和维修性得到继承和提高；
- ② 大量成熟技术得到继承，创新的相对较少，技术台阶低，研制难度小，可节省研制经费、缩短研制周期、降低研制风险；
- ③ 创新的先进技术提前在发动机产品中得到验证和成熟度提升，降低了下一代全新研制产品的风险和费用；
- ④ 可以对军民用户的不同任务需求做出快速反应，迅速形成产品，例如，GE 航空集团的民用发动机 CF34-10 的研制周期仅为 24 个月。

图10 美国 F119 发动机的核心机（红色框线部分）



资料来源：《核心机技术发展研究》，中国知网，中航证券研究所

核心机衍生发展发动机产品的主要方式有以下几种：

- ① **核心机不动，改低压部件。**例如，F101 发动机与 F110-GE-100 发动机。F110-GE-100 发动机的风扇是 F404 发动机风扇的比例放大；核心机与 F101 发动机的基本相同，为了适应直径减小的风扇流路，少量改动了高压压气机静子的作动系统、放气系统、燃油管路和燃烧室机匣的后部构件；低压涡轮以 F101 发动机的低压涡轮为基础重新设计；加力燃烧室是 F101 发动机燃烧室的缩小型，

喷管基于 F101 和 F404 发动机的喷管改型。

② **改变流道件或者改变高压轴转速。**例如，F110-GE-100 发动机与 F110-GE-129 发动机。F110-GE-129 发动机继承了 F110-GE-100 发动机 81%的零部件；使用新材料，提高了涡轮进口温度和转子速度，增大了涡轮压力；采用改进性能的全权限数字式电子控制（FADEC）系统，代替了模拟式电子控制器和机械-液压式控制器。

③ **核心机加减级。**增加级数的如 F100-PW-220 发动机与 F100-PW-229 发动机，将 9 级高压压气机的前 4 级改成 5 级，增大了流量。减少级数的如 GE90-76B 发动机与 GE90-90B 发动机，GE90-90B 发动机按照三维气动力技术设计高压压气机叶片，并取消了第 10 级，总级数减少为 9 级。

④ **核心机按比例缩放。**例如，英国罗罗公司的遑达 800 发动机与遑达 900 发动机。遑达 900 发动机高压压气机是遑达 800 按 90%比例的缩小型；遑达 900 高压涡轮几何尺寸基本与遑达 800 相同，高压涡轮的转速比遑达 800 高。

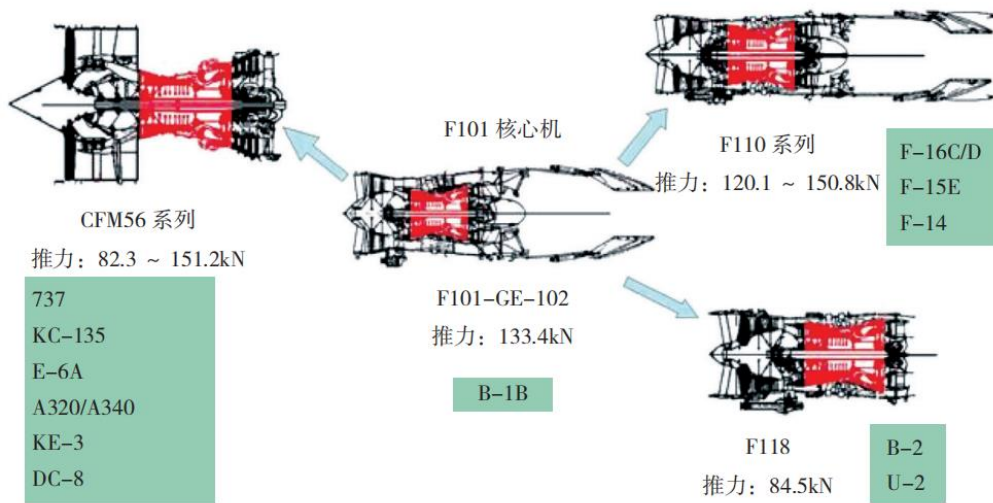
表17 美国主要核心机发展情况

代次	GE 航空集团		普惠公司	
	验证核心机	验证发动机	验证核心机	验证发动机
第一代	X370	GE1	STF200 的核心机	STF200
第二代	GE14 的核心机	GE14	JTF22 的核心机	JFT22
第三代	GE23 的核心机	GE23	PW685	PW690
第四代	GE29 的核心机	GE29	PW699 的核心机	PW699
第五代	XTC-45	GE37(XTE-45)	XTC-65	XTE-65
第六代	XTC-76	XTE-76	XTC-66	XTE-66
第七代	XTC-77	XTE-77	XTC-67	XTE-67
第八代	VAATE 第一阶段			
第九代	VAATE 第二阶段			
第十代	VAATE 第三阶段			

资料来源：《核心机技术发展研究》，中国知网，中航证券研究所

F101 核心机是衍生发展航空发动机产品的典型代表。GE 航空集团将经过充分考验和鉴定的 F101 发动机作为通用核心机，改型研制了多型发动机，F110 发动机配装 F-15 和 F-16 飞机使用，发展了 F118 发动机配装 B-2 远程轰炸机，改进改型发展了 CFM56 发动机。

图11 F101 核心机的衍生系列化发展



资料来源：《核心机技术发展研究》，中国知网，中航证券研究所

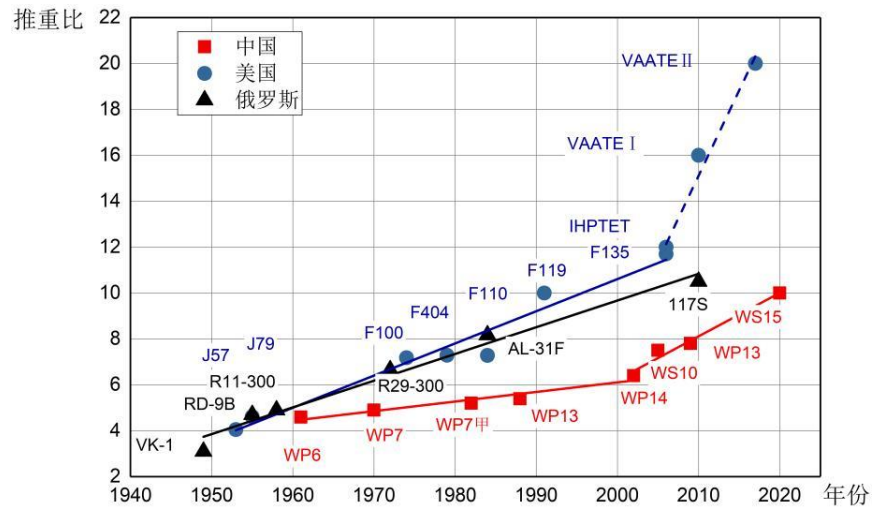
2、研发周期长、准入门槛高、涉及面广

先进航空发动机的研制是一项周期长、技术状态多变、涉及面广的系统性工程；属于知识密集型与资本密集型制造业，有极高的资本壁垒和技术壁垒，进入门槛高。航空发动机使用环境严格甚至不断挑战极端工作环境，要求其具备较高的可靠性、经济性等，较多的使用新工艺、新技术和新材料，因此航空发动机的技术水平往往要求走在各制造业前沿；需要投入大量的时间、人员和资金。

美国将航空发动机技术定义为“一个高技术要求、高准入门槛的领域，它需要以国家的力量充分扶持，需要长时间的技术积累以及巨大的资本投入”。1988—2017年，美国“综合高性能涡轮发动机技术”(IHPTET)和“通用经济可承受涡轮发动机”(VAATE)两项计划共投入87亿美元；GE、罗罗和赛峰近年来在航空发动机领域的科研投入每年都超过10亿美元；典型四代机发动机F119的研发经费达到31亿美元，而在该发动机基础上发展的F135发动机研制经费更高达90亿美元；据统计，1950—2000年美国在航空涡轮发动机上的研究和开发投入超过1000亿美元。

同时，航空发动机研制还需要通过相应的资质认证。民用航空发动机需要对其设计、制造、运营、维修的适航性进行审定，以保证飞行安全，满足公众利益，促进行业发展。军用航空发动机也有相关的认证要求。

图12 中、美、俄战斗机发动机发展对比

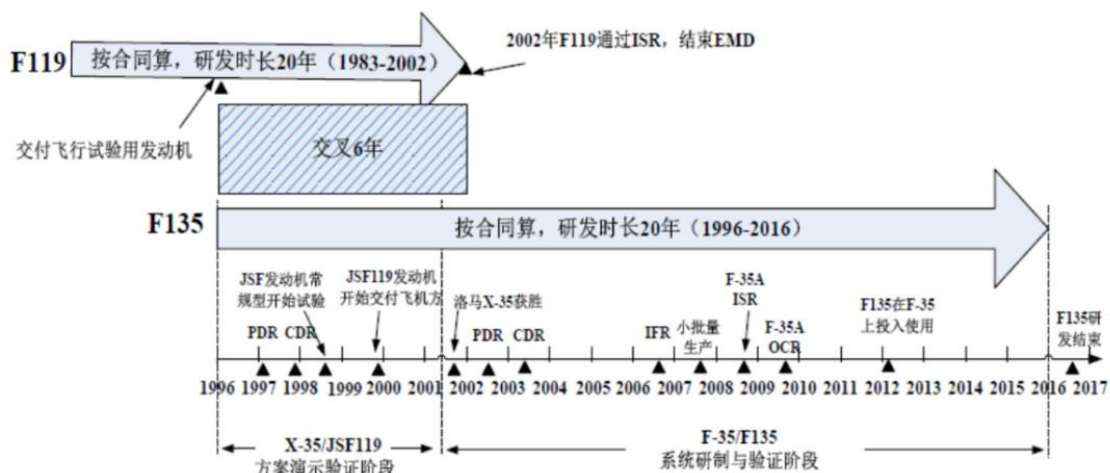


资料来源：《航空发动机核心技术及发动机发展型谱研究》，中国知网，中航证券研究所

据统计，全新研制一型跨代航空发动机，一般需要二十几年，比全新研制同一代飞机时间长一倍。国外第四代战斗机发动机部件技术研究始于 20 世纪 70 年代初，到 2005 年 12 月投入使用，具备初始作战能力，周期长达 30 年。

以美国 F135 为例，F135 航空发动机是 F-35 “闪电 II” 的动力装置，也是有史以来战斗机安装过推力最大的喷气式发动机。为实现低风险和低成本目标，该型航空发动机在研制中以 F119 发动机核心机为基础，发展同时满足空军、海军和海军陆战队三型飞机需求的发动机。2016 年，普惠公司宣布 F135 发动机研发结束，转入全面生产阶段。即使在 F119 的核心机的基础上，F135 的研发到转入全面生产阶段也跨越了 20 年之久。

图13 F135 发动机研制历程



资料来源：《美国军用航空发动机研制与采办程序演化规律及启示》，中国知网，中航证券研究所

3、技术带动作用强、经济溢出效应明显，必须自主可控发展

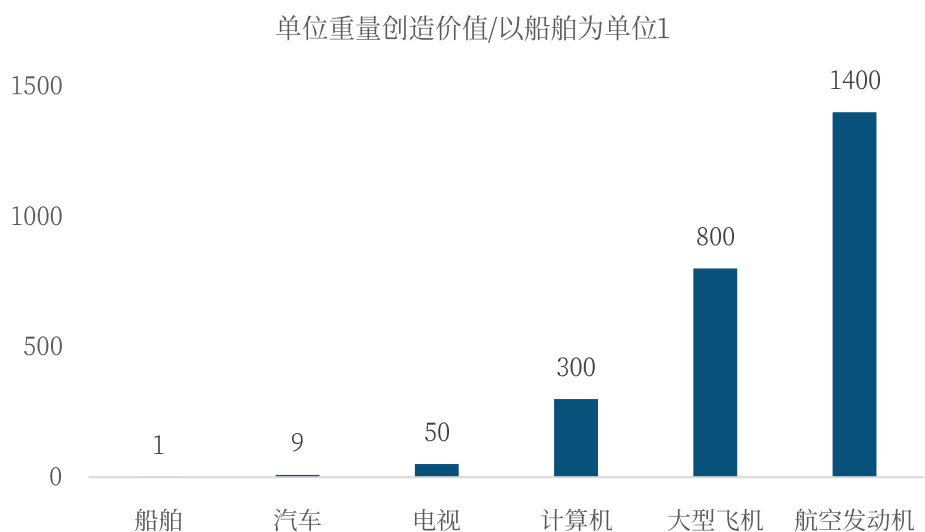
航空发动机产业从研究设计、研制生产、产品配套、试飞试验、销售服务、维修维护等，将涉及从原材料、专用工艺设备、机载设备、专用加工制造、测试设备等等，覆盖到新材料、钢铁、能源、通信、机械、电子等行业，由于航空发动机技术带有先导性和高度综合的特点，将有力推动高技术及相关产业的大力发展和产业升级；对基础工业和科学技术的发展有巨大带动作用和产业辐射效应。

根据日本通产省统计，按照产品单位重量创造的价值来计算，如果船舶为 1、则汽车为 9、电视机为 50、电子计算机为 300、大型飞机为 800、航空发动机为 1400。例如，如果汽车的单位重量价值与汉堡包相当，航空发动机的单位重量价值与白银相当，涡轮叶片的单位重量价值与黄金相当。

同时，航空发动机产业因为技术极其高端，处于寡头垄断的环境中，一款成熟产品能够销售 30—50 年，面临的竞争威胁很小，制造商可以安心享受技术和产业链升级带来的好处，几乎不必担心竞争和市场回报问题。

航空发动机是一个高门槛、高投入、新手难以进入的尖端技术领域。目前，几大航空强国都将航空发动机产业归为核心技术产业，在新一代航空发动机研制方面投入了大量的资金和人力，规划并实施了一系列技术研发计划。与此同时，一些发达国家在掌握技术后，对先进技术长期实现封锁、抑制甚至排挤其他国家航空发动机的研制发展。

图14 单位重量创造价值的对比

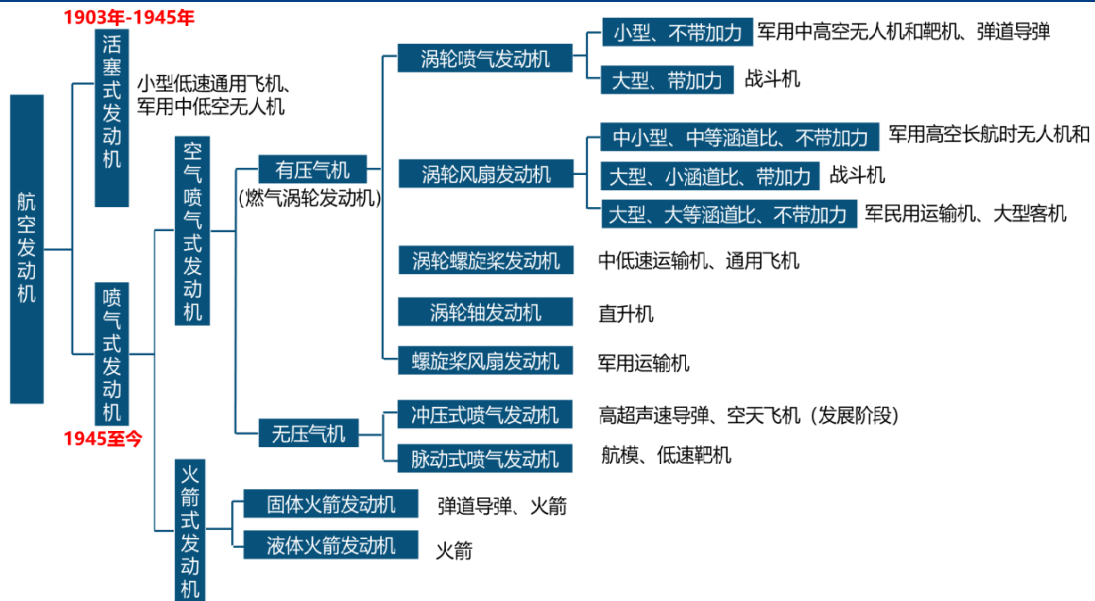


资料来源：《国内外智能制造的发展及对我国商用航空发动机发展的启示》，中航证券研究所

(二) 航空发动机分类

1903年，美国莱特兄弟制造出一架装有推进式螺旋桨的双翼飞机，采用了自制的功率约为9千瓦的活塞式发动机，这款活塞式发动机也是世界上第一种飞上蓝天的航空发动机，自此航空发动机的发展不断助推整个航空工业发展向前。

图15 航空发动机的分类与适用范围



资料来源：中航证券研究所

1、活塞发动机—仍广泛用于轻型、低速通航、无人机等

活塞发动机主要依靠活塞在气缸中的往复运动使气体工质完成热力循环，将燃料的化学能转化为机械能。航空活塞发动机的原理与汽车发动机的结构和原理类似，具有低油耗、低成本、工作可靠的特点，目前仍然在航空动力领域牢牢占据着一席之地。

活塞发动机的技术较为成熟，具有良好的经济性和可靠性，主要应用于军、民用低速飞行器，特别是在中低速无人机、长航时无人机、通用飞机领域占据主导地位。其中重油活塞发动机具有更高的燃油效率和燃料的安全性、经济性，受到无人机市场的青睐。

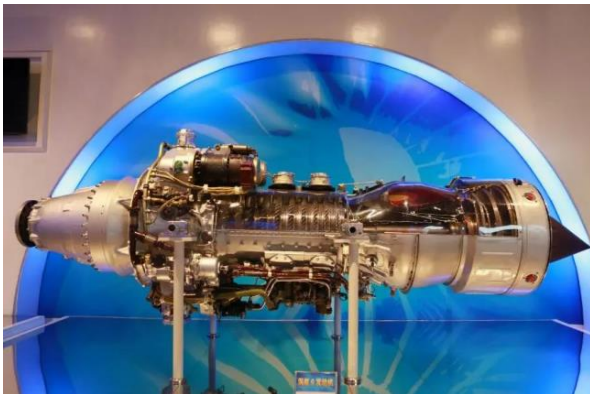
2、涡桨发动机—适用于低速飞行，应用于中小型运输机和通飞

涡桨发动机的驱动原理与活塞式发动机基本相同，是以螺旋桨旋转时所产生的力量来作为飞机前进的推进力，结合了涡喷功率大和螺旋桨推进效率高的优点。

一般飞行速度低于 800km/h 时，涡喷发动机的推进效率低于涡桨发动机，涡桨发动机适合于低速飞行。目前涡桨发动机在中小型运输机和通用飞机上仍有广泛用途，在大型远程运输机上，已被涡扇发动机所取代。

2018 年 10 月，配装国产涡桨-6 发动机的大型水陆两栖飞机 AG600 在湖北荆门漳河机场成功进行水上首飞，这标志着我国自主研发的民用涡桨发动机的使用领域从高原内陆走向了辽阔海疆。

图16 涡桨-6 发动机



资料来源：中国航发集团官网，中航证券研究所

图17 大型特种用途民用飞机—AG600



资料来源：中国航发集团官网，中航证券研究所

3、涡轴发动机—功重比高、油耗低，多用于直升机

涡轴发动机是直升机的核心，其研制水平直接关系到军民用直升机有效载荷、燃油经济性的、噪声排放等，对直升机的使用性有至关重要的作用。涡轴发动机的工作原理与涡桨发动机类似，燃气流经驱动压气机的涡轮后，再流经一个驱动减速器的自由涡轮，最后从尾喷管中喷出，减速器的输出轴与传动直升机旋翼的主减速器相连，驱动旋翼的旋转。涡轴发动机具有功重比高、油耗低等特点。

表18 涡轴发动机的分代

分代	第一代	第二代	第三代	第四代
单位功率 kw/ (kg/s)	<180	200~230	230~280	280~300
功重比	<3	3-4.5	>5	>6
欧美发展时间区间	1950~1960 年	1960 年~1970 年	1970 年~1980 年	1990 年至今
典型欧美飞机	海王、法国宇航云雀 II 型	CH-53、HKP-4C	EC225、UH-60、AH-64、米-17	RAH-66、NH-90、EH101、PAH-2/HAP、卡-52
典型欧美发动机	T58-GE-10、	T64-GE-6、RR	马基拉、T700-	T800-LHT-800、RTM322、

	阿都斯特 II	土地神	GE-701A、TV3-117	MTR390、TVD1500
中国发展时间区间	/	1970-1980 年	1980-2000 年	2000 年至今
典型中国飞机	/	直-6、直-8	直-9、直-10	直-20
典型中国发动机	/	涡轴-5、涡轴-6	涡轴-8、涡轴-9	涡轴-10、涡轴-11、涡轴-16

资料来源：《国外航空发动机简明手册》、《我国民用涡轴发动机的发展研究》、《涡轴发动机的应用现状与发展探讨》，中航证券研究所整理分析

在航空涡轴发动机研制过程中，很少有国家能够在独自承担技术和资金风险的同时，以较短的周期实现良好的发动机性能和获得可观的经济效益。绝大多数航空发动机公司均走上了国际合作化发展道路。通过国际合作，可以分摊研制费用、降低技术风险、缩短研制周期、快速开拓市场，同时实现各大制造商的技术优势互补，大大提升航空涡轴发动机的整体发展水平。

值得一提的是，近年来，我国的航空涡轴发动机在军民领域均取得一系列进步，“玉龙”、涡轴 16、AES100 成果不断。

① “玉龙”发动机

“玉龙”发动机是由我国自主研发、具有自主知识产权的先进涡轴发动机。在研制中获得 127 项专利，突破了一系列关键技术，攻克了一系列技术难题，在国内首次自主建立、应用并验证先进涡轴发动机研发体系，闯出了一条独立自主研发先进涡轴发动机的道路。2013 年，“玉龙”发动机工程荣获国家科学技术进步一等奖，“玉龙”发动机工程实现了涡轴发动机设计及验证技术水平的巨大跨越。

② 涡轴 16 发动机

2019 年，涡轮 16 发动机宣布取得型号合格证，并取得首批订单。涡轴-16 发动机是中国航发集团和法国赛峰集团联合研制的民用航空发动机，可以满足 AC352 等 7 吨级双发直升机的需要，发动机可靠性高、翻修间隔时间长，达到国际先进水平。涡轴-16 发动机是我国首次与国外以对等合作模式完成研制的航空产品，是中法两国在航空领域合作的重要成果。

涡轴 16 发动机以全生命周期成本最低为设计指导思想，结构简单、油耗低、可靠性高、寿命长，其综合性能与国际同功率等级的涡轴发动机相当，达到了先进的第四代涡轴发动机的水平。

③ AES100 民用涡轴发动机

AES100 发动机是我国第一型具有国际竞争力和完全自主知识产权的

1000kW 级先进民用涡轴发动机，可满足 5~6 吨级双发和 3~4 吨级单发直升机动力需求。该型发动机寿命、耗油率等技术指标达到国际第四代涡轴发动机技术水平，配有独立的健康管理系统；目标价格与国外同等功率发动机相当，运营维护成本低，全寿命期经济性好；严格按适航要求开展研制，平均故障间隔时间超过 550 小时，全包线范围安全可靠。AES100 发动机项目的成功研制，将进一步完善我国民用涡轴发动机研发体系和适航体系。以 AES100 为基础衍生的涡桨、涡扇发动机和混合动力系统正在同步发展，将形成家族化、系列化融合发展的良好局面，促进我国民用航空发动机产业化发展。

AES100 发动机于 2016 年立项研制，2021 年 7 月双发配装直升机成功首飞。目前，AES100 发动机正在加快设计验证迭代，进行长寿命、结构完整性、叶片包容、结冰、防火等验证，向着适航取证目标积极迈进。

2022 年 7 月 1 日，中国航发自主研制的 1000kW 级先进民用涡轴发动机 AES100 首家先锋用户签约仪式在京举行。中国航发发动机研究所、南方公司与航天科技彩虹公司签订发动机采购合同，AES100 发动机将为“彩虹”大型倾转旋翼无人机提供动力。

4、涡喷发动机—逐步被涡扇发动机替代，小涡喷可用于中空无人机、靶机等

涡喷发动机一般由进气道、压气机、燃烧室、涡轮、加力燃烧室、尾喷管、附件传动装置和附属系统等组成。我国先后研制了涡喷 5、涡喷 6、涡喷 7、涡喷 13、“昆仑”等系列发动机。

由于涡喷发动机产生推力时会高速喷出燃气，高速高温燃气喷出发动机后直接散溢造成巨大的能量损失， $\text{涡扇发动机推力} = \text{内涵推力} + \text{外涵推力} > \text{涡喷发动机推力}$ ，涡喷发动机的经济性差、油耗高。除了尚未退役的部分二代战斗机用涡喷发动机外，大多数已被涡轮风扇发动机所取代，当前小型涡喷发动机主要应用于中空无人机、靶机和弹道导弹领域。

5、涡扇发动机—军民机通用主力型号

涡扇发动机是在涡喷发动机的核心机基础上由低压涡轮及其带动的风扇共同组成而成的，空气通过风扇进入发动机并由外涵道向后流，外涵道和内涵道的空气流量之比，称为涵道比。小涵道比涡扇适用于战斗机、大涵道比发动机适用于民用飞机和军用运输机。太行发动机是我国自主研制的先进军用涡扇发动机。

“长江”系列发动机是我国在研的民用大涵道比涡扇发动机。

第一个型号是在涡喷 6 基础上改型设计的涡扇 5。1965 年自行设计的涡扇 6 启动，最大推力 12210daN，推重比 6.0；经近 20 年努力，达到设计指标，通过了 24h 长期试车，却因装机目标不明确而于 1984 年“下马”。1975 年我国购买英国斯贝 MK202 涡扇发动机的专利许可权，1980 年制造成功，编号为涡扇 9，最大推力 9126daN，装备“飞豹”歼击轰炸机。2002 年计划用于高级教练机的涡扇 11 研制成功。

2005 年 12 月 28 日，沈阳航空发动机设计研究所设计的“太行”涡扇发动机（WS10）设计定型，其基本型的推力 12500daN，推重比 8.0。这个里程碑事件标志着我国航空发动机实现了从中等推力到大推力、从涡喷到涡扇、从第二代航空发动机到第三代的历史性跨越。

① 小涵道比涡扇发动机，战斗机用

小涵道比加力涡扇发动机兼具亚音速巡航低油耗和超音速机动性的特点，适合作为战斗机动力。战斗机用涡扇发动机涵道比为 0.3—1.0，以推重比为主要发展指标。

战斗机动力的发展与战斗机是相辅相成的，其飞行特点往往与发动机特征有紧密的关联。发动机推动比、涡轮前温度不断提升，性能越来越好，工作环境越来越极限，制造难度也随之快速提升。

第一代到第四代战斗机及其动力发展的特点如下表所示：

表19 战斗机及其动力的发展

代次	第一代战斗机	第二代战斗机	第三代战斗机	第四代战斗机
时间	50 年代初	50 年代末	60 至 70 年代	80 年代
飞行特点	亚声速飞行，近距离，尾随攻击	超声速飞行，亚声速巡航，近距离格斗，全向攻击	超声速飞行，亚声速巡航和高机动性，超视距和近距离格斗	不加力超声速巡航，超声速和过失速机动性，隐身性
代表机型	米格-15/19,F-86/100	米格-21/23/25,F4/104	米格-29,苏-27, F-15/16	F-22
发动机特征	涡喷发动机	以加力涡喷发动机为主	以涡扇发动机和加力式涡扇发动机为主	加力式涡扇发动机为主
发动机推重比	3-4	5-6	7-8	9-10
涡轮前温度 (K)	1100--1300	1400--1500	1600--1750	1850--2000

资料来源：《航空发动机原理》，中航证券研究所

各主要型号及对应发动机的性能参数如下表所示：

表20 典型欧美涡扇发动机及对应参数

系列	生产厂商	型号	推重比	涵道比	总增压比	涡轮前温度 (K)	装机对象	定型/交付
F100	普惠	F100-PW100	7.8	0.6	25	1672	F-15A/B、F-15C/D	1974
		F100-PW220	7.7	0.6	25	1672	F-15C/D F-16C/D、F-15E	1988
		F100-PW-229	7.9	0.4	32	1672	F-15、F-16	1989
F110	GE	F110-GE-100 基本型	7	0.87	30.4	1644-1700	F-16	1985
		F110-GE-400 海军型	6	0.87	29.9	1650	F-14	1987
		F110-GE-129 性能改进型	7.2	0.76	30.7	1730	F-15、F-16、 F-2	1992
		F110-GE132	7.86	0.68	33.3	1750-1800	F-16	2003
F119	普惠	F119-PW-100	>10 (11.7)	0.3	26	1850-1950	F-22	2000
AL-31F	留里卡设计局“礼炮”公司	AL-31F	8.17	0.571	23.8	1659	苏-27、苏-30MKK、苏-30(Salyut)	1985
		AL-31FP 矢量推力喷管	7.96	0.56	23.8	1665	苏-30MKI、苏-30MKM	2000
		AL-31FM1 矢量推力喷管					苏-27SM, 苏-30, 苏-34	2007

资料来源：《航空发动机原理》，中航证券研究所

②大涵道比涡扇发动机，军用运输机、民机用

大涵道比发动机具有耗油率低、噪声小的特点，通常广泛用于大型民用客机、军民用运输。大涵道比涡扇发动机采用“三高”循环参数设计：高涵道比、高总增压比和高涡轮前温度。

图18 民用飞机较多的使用高涵道比的加力式涡扇发动机


资料来源：《航空发动机原理》，中航证券研究所整理

按照发动机所采用的循环参数与设计技术，大涵道比涡扇发动机的大致可分为四代，主要指标如下表所示：

表21 大涵道比涡扇发动机的四个发展阶段

指标	第一代	第二代	第三代	第四代
涵道比	4.2~5.0	5.0~6.0	6.0~8.0	8.0~12.5
总压比	22~30	28~34	34~40	40~52
涡轮前温度 (K)	<1523	1573~1673	1673~1573	>1573
欧美发展时间区间	1970~1980年	1980~1990年	1990~2000年	2000年至今
典型欧美飞机	波音 747-200/-300、L1011、DC-10、波音 757	波音 747、767	A330、A340、波音 777 和波音 A321	A380、A350XWB、波音 787、波音 747-8
典型欧美发动机	RB211、CF6、JT9D	CFM56、V2500	GE90、Trent800、PW4084	GEnx、Trent1000、TrentXWB

资料来源：《大涵道比涡扇发动机总体性能与循环参数设计》，中航证券研究所

三、航空发动机产业链及价值链拆分

经过数十年的发展，我国航空发动机产业已经形成涵盖研发设计、加工制造、运营维修三大环节的科研生产体系。

① 研发设计环节分为基础预研、子系统设计、整机集成设计等子环节，参与主体为中国航发系统内单位、航空类高校及相关科研院所。

② 加工制造环节涉及原材料、零部件、整机集成等子环节，参与主体除了中国航发系统内单位，还包括系统外企业、科研院所。

③ 运营主体主要是军队，维修主体包括中国航发下属维修企业和专业化维修企业。值得指出的是，在推进军民功能结合的背景下，“小核心、大协作，专业化、开放型”思路的科研体系建设逐步深入，吸引了众多民营企业参与航空发动机产业链。民营企业在细分领域精耕细作，实现了产品专精化与差异化，为航空发动机产业发展注入了活力。

图19 我国航空发动机科研生产体系主体构



资料来源：《航空发动机关键核心技术攻关的组织策略研究》，中国知网，中航证券研究所

表22 航空发动机产业链各环节现状及全景图

产业链环节	现状	主要企业		
总装	航发集团体系内企业主导	航发动力	中国航发黎明（大中型涡扇航空发动机）	
			中国航发黎阳（中小推力涡扇、涡喷航空发动机）	
			中国航发西航（大中型涡扇航空发动机）	
			中国航发南方（涡轴、涡桨类中小航空发动机）	
		中国航发成发（涡喷、涡扇、国际转包、试验等）		
		中国航发哈尔滨东安（直升机传动系统、涡桨、涡轴）		
		中国航发常州兰翔（涡轴等）		
		中国航发商发（民机涡扇发动机）		
控制系统	航发集团体系内企业主导	中国航发 614 所（控制系统及电子控制器/控制软件的研发、制造、集成）		
		航发控制	长春控制（燃油供给与计量装置，电液/电气转换装置，作动筒及伺服作动器，空气调节控制装置等专业核心产品）	
			西控科技（航空发动机燃油控制系统、飞机液压装置等）	
			北京航科（军用涡轴、涡桨航空发动机燃油控制与调节系统和涡扇发动机尾喷口控制系统）	
			贵州红林（各类油泵及液压控制系统、汽车零部件制造及修理业务）	
零部件—锻件	航发集团体系外企业为主，少数几家稳定供应	中航重机（环锻件、盘轴件、中小型锻件）		
		航宇科技（环锻件）		
		派克新材（环锻件）		
		三角防务（盘轴件）		
		钢研高纳（变形涡轮盘锻件、粉末涡轮盘锻件）		
零部件—铸件	国有控股企业为主，民营企业较少	航发动力（主机厂内部设有铸造分厂，可从事叶片等加工）		
		航材院	航材股份（中介机匣、压气机或风扇用钛合金精密铸件）	
			部分事业部从事高温合金叶片、复杂薄壁结构件、涡轮盘等	
		钢研高纳（涡轮叶片、小型涡喷、涡扇发动机整铸涡轮转子、导向器类铸件；大型涡扇发动机结构件；商用大涵道比涡扇发动机机匣结构件等）		
		图南股份（民营企业、铸造机匣等）		
		安吉精铸（高温合金、钛合金等铸件产品）		
		航安型芯（提供铸造用耗材，陶瓷型芯）		

零部件—叶片	国有企业为主，民营企业在细分品类积极参与	贵州航发精铸（航发集团下属、航材院管理，涡轮叶片）
		钢研高纳（涡轮叶片等，包括等轴晶叶片、定向凝固叶片、单晶叶片）
		安泰叶片（压气机叶片、风扇叶片等）
		应流股份（涡轮叶片，包括等轴晶、定向单晶叶片等）
		万泽股份（涡轮叶片，包括等轴、定向及单晶涡轮叶片）
		航亚科技（压气机精锻叶片）
		中科三耐（涡轮叶片）
零部件—增材制造	新工艺、大趋势，体系内外企业积极进行尝试和拓展	铂力特（设备制造及方案提供商）
		华曙高科（设备制造及方案提供商）
		鑫精合(零部件加工供应商)
材料—高温合金	体系外企业为主，差异化竞争。为巩固竞争力，较多企业启动扩产计划及向下游零部件拓展	钢研高纳（中国钢研下属，科研实力较强。铸造高温合金龙头企业，加大零部件布局）
		抚顺特钢（特钢企业。变形高温合金领先企业，扩产计划有序推进）
		图南股份（铸造高温合金企业，机匣市占率较高，加大零部件拓布局）
		隆达股份（民营企业，后起之秀，铸造高温合金、变形高温合金产能逐步释放）
		西部超导（西北有色院下属。聚焦重点牌号，小批量交付，逐步发展产业化能力）
		航材股份（中国航发集团旗下唯一高温合金母合金生产单位）
材料—钛合金	以陕西为主的几家钛合金企业稳定供应	宝钛股份（全谱系覆盖，中国最大的钛及钛合金生产科研基地）
		西部超导（西北有色院下属。航空用钛棒丝材主要研发生产基地）
		西部材料（钛合金板材、管材等）
		金天钛业（板材、棒材，航发集团各大发动机公司主要配套商之一）
材料—隐身涂层	技术含量较高，目前实现产业化的企业极少	华秦科技（中高温隐身材料）
材料—复合材料	面向未来先进发动机，体系内外企业均在进行技术储备与产业化准备	中航高科（航空工业集团下属企业，稳步推进商用航空发动机复材零部件研制）
		立亚特陶（专注于陶瓷基复合材料，可用于航空发动机热端零部件制造）

资料来源：WIND，各公司官网等，中航证券研究所

（一）总装、控制系统—由航发集团下属单位主导

航空发动机总装环节主要由中国航发集团下属八大主机厂承担，其中航发动力旗下拥有四家，对应的发动机型号包括“秦岭”、“昆仑”、“太行”、“玉龙”等涡喷、涡扇、涡轴、涡桨航空发动机等，配套用于歼击机、轰炸机等武器装备。

不同机种（轰炸机、战斗轰炸机、歼击机、强击机、直升机、运输机）对发动机的性能要求也不相同，其配套发动机的生产技术、生产工艺及材质等方面存在较大差异，因而，所对应配套发动机具有唯一性和不可替代性。在我国航空工业的管理体制下，不同航空发动机生产企业所生产的航空发动机产品形成了我国航空发动机产业的动力谱系。

表23 航空发动机主机厂及其对应产品

主机厂		代号	成立时间	区域	主要产品
航发动力 (600893.SH)	中国航发黎明	410厂	1954年	沈阳	涡喷-5、涡喷-6系列、涡喷-7系列、“昆仑”、“太行”等10多个型号的大中型喷气发动机，被誉为“中国航空涡轮喷气发动机的摇篮”
	中国航发黎阳	460厂	1965年	贵阳	中小推力涡喷、涡扇发动机总承制单位和先进航空发动机核心零部件的重要供应商
	中国航发西航	430厂	1958年	西安	各类大中型航空发动机，先后完成了我国第一台中型轰炸机发动机、大型歼击轰炸机发动机、航空发动机核心机、大功率舰用燃气轮机燃气发生器生产制造等。先后与美国GE、英国RR、法国SNECMA等世界著名航空发动机制造企业建立合作，并成为近百种零件的海外唯一供应商
	中国航发南方	331厂	1951年	株洲	相继成功研制出我国第一台空空导弹、第一台重型摩托车发动机、第一台地面燃气轮机、第一台涡桨发动机等产品。公司致力成为世界一流的中小航空发动机供应商
中国航发成都发动机有限公司 (控股航发科技)		420厂	1958年	成都	涡喷、涡扇发动机

中国航发哈尔滨东安发动机有限公司	120厂	1948年	哈尔滨	直升机传动系统、某型涡桨航空发动机、涡轴-16航空发动机
中国航发常州兰翔机械有限责任公司	---	1969年	常州	某系列涡轴航空发动机
中国航发商用航空发动机有限责任公司	---	2009年	上海	大型客机发动机验证机项目的总承制单位

资料来源：航发集团官网、公开信息，中航证券研究所

控制系统是发动机的重要组成部分，是体现飞机和航空发动机研制水平的关键之一。航空发动机的工作状态变化范围宽，包括启动、慢车、巡航、最大速度、加力等；环境条件变化大，包括低空高速飞行、强气流冲击、武器发射等，不同情况都会给控制系统的设计提出严苛要求。

现代航空的发动机基本都采用全权限数字电子控制系统（FEDEC）。FEDEC系统是感受航空发动机工作状态和环境信息的传感装置、对信息进行逻辑判断和控制运算的计算装置、把计算结果施加给航空发动机的控制装置以及他们之间传递信息的机械、电缆和管路组成。

图20 发动机控制系统构成



资料来源：《皇冠上的明珠—航空发动机》，航证券研究所整理

表24 航空发动机主机厂及控制系统相关企业及概况（单位：亿元）

上市代码	公司简称	背景及特点	2021年 营收	2021年 净利润
600893.SH	航发动力	中国航发集团下属上市企业。航发动力是我国军用航空发动机整机制造主平台，也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企业；具备涵盖产品全寿命周期的设计、制造、总装、试车整套技术和发动机综合服务保障能力；具备一、二、三代航空发动机及燃气轮机总装试车能力以及四、五代机试制能力。	341.02	11.88
000738.SZ	航发控制	中国航发集团下属上市企业。国内主要航空发动机控制系统研制生产企业，在航空发动机控制系统细分领域处于行业领先地位，市占率99%以上。公司全方位参与国内所有在役、在研型号的研制生产，具备行业领先的研制技术和能力，细分领域属于垄断地位。	41.57	4.88

资料来源：WIND，中航证券研究所整理

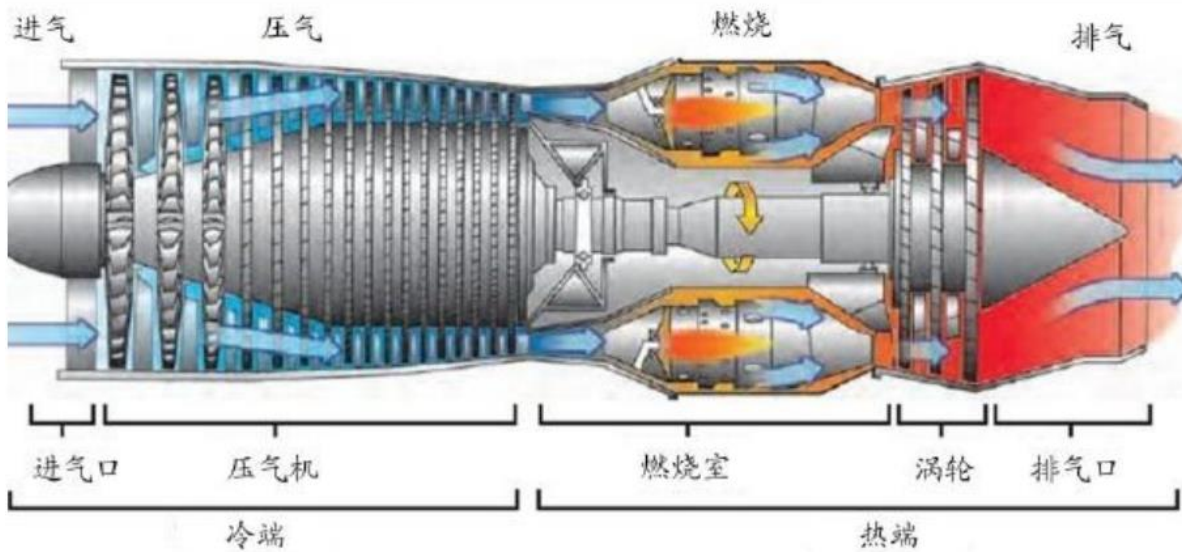
（二）零部件—结构、工艺、材料一体化发展高精尖行业

航空发动机是在高温、高压、高速旋转的恶劣环境条件下长期可靠工作的复杂热力机械，在各类武器装备中，航空发动机对材料和制造技术的依存度最为突出，航空发动机高转速、高温的苛刻使用条件和长寿命、高可靠性的工作要求，把对材料和制造技术的要求逼到了极限。

1、结构—压气机、燃烧室、涡轮构成三大核心部件

航空发动机的部件构成可分为进气道、风扇、压气机、燃气室、涡轮、尾喷口。这几个部件中最重要的就是压气机、燃气室和涡轮，而其中最为关键且数量最多的零部件—叶片，是航空发动机最难加工的部分。

图21 典型涡扇喷气式发动机结构



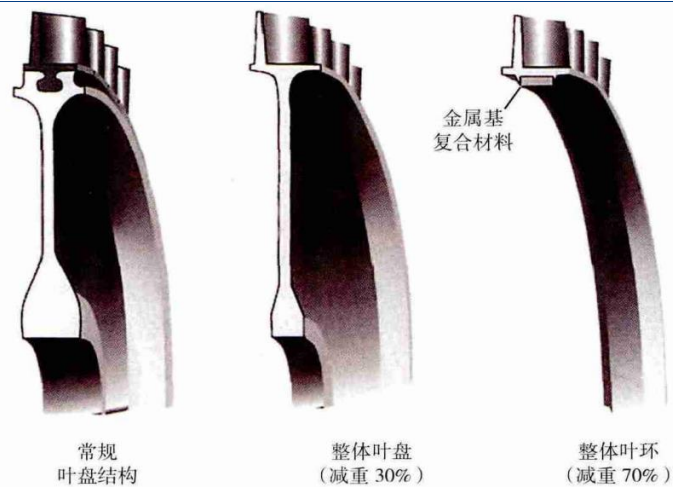
资料来源：科普中国，中航证券研究所

① 压气机

压气机是航空发动机三大核心部件之一，其主要功能为提高流经航空发动机空气流压力的装置，可分为低压压气机和高压压气机。

压气机的设计要点包括叶片设计、整体叶盘设计；材料采用钛合金居多，主要工艺包括模锻、等温模锻等。压气机由压气机叶片和叶盘构成，有些也采用整体叶盘设计。压气机叶片的形态特点的扭曲多变，用超塑性成形钛合金叶片较多。

图22 压气机结构变化



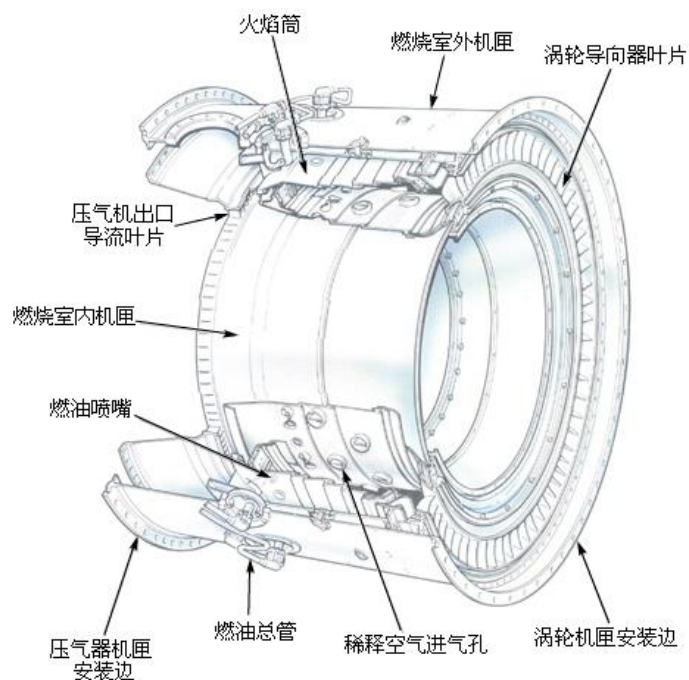
资料来源：《航空发动机关键部件结构及航空发动机关键部件结构及制造工艺的发展》，中航证券研究所

② 燃烧室

燃烧室是航空燃气轮机的主要部件之一，它介于压气机与涡轮之间，压气机出口的气流进入燃烧室，在其中喷入燃油进行燃烧，成为高温燃气进入涡轮。

燃烧室是发动机各部件中温度最高的区域，燃烧室内燃气温度可高达 1,500-2000℃，作为燃烧室壁的高温合金材料需承受 800-900℃的高温，局部甚至高达 1100℃以上。除需承受高温外，燃烧室材料还应能承受周期性点火启动导致的急剧热疲劳应力和燃气的冲击力。用于制造燃烧室的主要材料有高温合金、不锈钢和结构钢，其中用量最大、最为关键的是变形高温合金。

图23 燃烧室结构示意图



资料来源：《航空发动机原理》，中航证券研究所

③ 涡轮部件

涡轮部件的功能是将从燃烧室流出的高温高压燃气的热能和压力能转换为机械功。

涡轮部件是发动机中单位重量最大、最复杂、成本最高的部件，主要的涡轮盘及安装在上面的涡轮叶片构成，有些也采用整体叶盘结构。

涡轮盘在四大热端部件中所占质量最大。涡轮盘是航空发动机上的重要转动部件，工作温度不高，一般轮缘为 550-750℃，轮心为 300℃左右，因此盘件径向的热应力大，特别是盘件在正常高速转动时，由于盘件质量重达几十至几百千克，且带着叶片旋转，要承受极大的离心力作用，在启动与停车过程中又构成周

期性的大应力低周疲劳。用作涡轮盘的高温合金为屈服强度很高、细晶粒的变形高温合金和粉末高温合金。在我国涡轮盘中变形高温合金 GH4169 合金用量最大、应用范围最广。由于涡轮盘功能重要，服役环境苛刻，受力状态复杂，涡轮盘主要采用变形高温合金制造，涡轮盘用变形高温合金占发动机总质量的 20%左右。

涡轮叶片是航空发动机的关键零件，其承受温度的能力是评价发动机性能和决定发动机寿命的重要因素，因此涡轮叶片的结构和材料的选用是提高航空发动机性能的关键，其技术及工艺在后文进行详细分析。

航空发动机材料工艺体系是一个以材料、工艺技术为核心，遵循技术发展规律，围绕技术发展和产品应用，按照基础研究、应用研究、工程应用等展开，由基础、制备、应用、分析、保障等技术要素构成的系统有机整体。

表25 涡扇发动机核心部件典型材料和工艺

代别		第二代	第三代	第四代	未来先进发动机	
主要结构特征及材料和加工工艺	压气机	结构	盘片分离	盘片分离	整体叶盘	整体叶环、整体转子
		材料	铝合金、不锈钢	钛合金、高温合金	高温钛合金、阻燃钛合金、粉末合金	TiAl 系合金、新型高温合金
		工艺	模锻	模锻、电子束焊接	等温模锻、摩擦焊	特种加工、扩散焊 / 摩擦焊
	燃烧室	结构	单管燃烧室	短环燃烧室	高温升短环浮壁燃烧室	CMC 全环火焰筒
		材料	镍基高温合金	镍基和钴基高温合金	钴基和氧化物弥散强化高温合金	CMC-SiC
		工艺	钣金 + 氩弧焊	环轧件 + 电子束焊	多斜孔电火花加工	一体化成形、超快激光制孔
	涡轮	结构	实心叶片	简单空心叶片	复合冷却空心叶片	超冷叶片、CMC 多联导叶、双辐板涡轮盘
		材料	高温合金	第一代单晶和粉末合金	第二代单晶和粉末合金	高代次单晶、CMC-SiC、高代次粉末合金
		工艺	模锻或等轴晶精铸	模锻、定向无余量精铸	热等静压 + 热挤压 + 等温模锻	整体成形、超快激光制孔、真空等温锻

资料来源：《航空发动机材料及工艺发展浅析》，中国知网，中航证券研究所整理

表26 航空发动机材料工艺概况

材料工艺	锻造	铸造	3D 打印	粉末冶金
工艺原材料	海绵钛/钛锭/高温合金	海绵钛/钛锭/高温合金	钛粉	钛粉/粉末高温合金
核心设备	锻压机	凝壳炉、铸造炉	3D 打印机	冷/热等静压罐
工艺优势	机械力学性能优于铸件，生产过程可连续运转	适用范围广，可铸造各种复杂形状结构，表面质量好，材料利用率较高	不需要模具，前期准备工序少，零件材料利用率高	生产效率高，机械性能优良，材料利用率接近 100%
工艺劣势	难以进行复杂形状部件成型，后期加工多，材料利用率低	力学性能不如锻件，工序多、设备多、周期长	设备投资大、设备占用时间长，连续生产效率低、成本高	设备投资大，难以进行复杂形状部件成型，实验验证周期长
适用范围	适用于形状简单、机械性能要求较高的零部件批量生产，多用于环形件、梁肋、铰链、轴承等承力件	常用于结构设计复杂、成型难度高的零部件生产，结合热等静压提升铸件机械性能	适用于极高形状难度（有空腔、孔隙等）部件成型，也常用于试制件、小批件	适用于形状结构简单的高密度、高性能零部件大规模生产
代表零部件	各类环锻件、压气机盘等	机匣、叶片等	燃油喷嘴	涡轮盘

资料来源：《航空铸造钛合金及其成型技术发展》、《国内航空发动机涡轮盘用铸锻难变形高温合金热加工研究现状与展望》等，中航证券研究所整理分析

2、锻件—发动机的骨骼、主要承力件

随着航空产业的不断发展，对航空装备极端轻质化与可靠化的追求越来越紧迫，对材料和锻件的性能要求（如比强度、强韧性）也越来越高。先进航空发动机中高温合金和钛合金锻件重量占发动机总结构重量的 55%--65%。

高温合金、钛合金属于难变形材料，即加工参数范围狭窄、变形抗力大、组织性能对加工过程十分敏感。所以锻造技术在航空制造领域的应用相比其他工业领域难度较大。

表27 航空锻造工艺分类

工艺名称	工艺描述	工艺特点
自由锻	指用简单的通用性工具，或在锻所用工具和设备简单，通用性好，成本低。造设备的上、下砧铁之间直接对坯料施加外力，使坯料产生变形而获得所需的几何形状及内部质量的锻件的加工方法	所用工具和设备简单，通用性好，成本低；锻件形状简单，操作灵活。
模锻	模锻又分为开式模锻和闭式模锻。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	①由于有模膛引导金属的流动，锻件的形状可以比较复杂。②锻件内部的锻造流线按锻件轮廓分布，从而提高了零件的力学性能和使用寿命。③操作简单，易于实现机械化，生产率高
辗环	辗环是指通过专用设备辗环机生产不同直径的环形零件；辗环实际上是径向轧制，即通过轧制将带孔的坯料，厚度辗薄，直径扩大成环形零件。	与传统的模锻比较，其优点为： ①设备吨位小。由于是回转成形，接触面积小，故轧制压力大幅减少，所用设备重量显著下降。 ②可以做大型环类零件。例如直径10m、高度4m的反应堆容器加强环，除碾环工艺外，其他工艺是很难完成的。 ③材料利用率高。没有模锻飞边与拔模斜度，尺寸精度高。 ④内在质量好。碾环变形为径向压缩，周向延伸，金属纤维沿环件周围连续分布，有利于环形零件的承载与耐磨性能。

资料来源：WIND，《三角防务定增公告》，中航证券研究所整理

随着高新技术武器装备向小型化、精确化、轻量化、高可靠、低成本方向发展，对结构件及其成形技术的要求越来越高，促使塑性成形技术向精密、整体、复杂、高性能、高可靠、低成本方向发展。

图24 航空发动机盘锻件、轴件

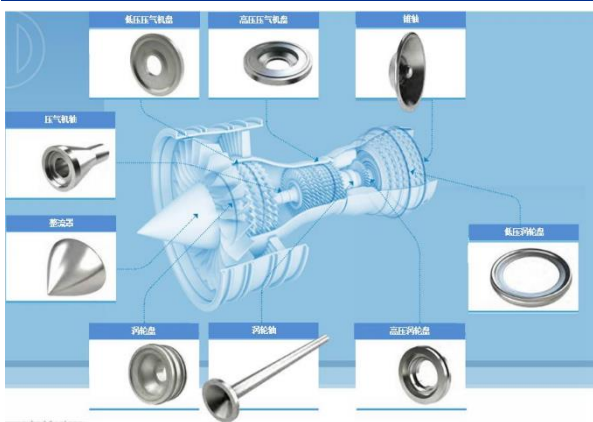
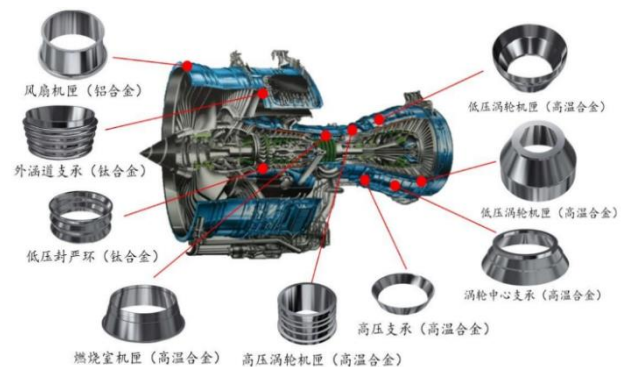


图25 航空发动机环锻件



资料来源：三角防务招股书、航宇科技招股书，中航证券研究所整理

环形件、盘件、轴等几类锻件是航空发动机的重要组成部分，其质量在很大程度上影响航空发动机的性能；由此可以看出发展先进的航空锻造技术十分紧迫，对提高航空发动机整体性能有重要意义。综合来看，我国航空锻造技术的发展方向包括：

① 整体精密锻造技术

整体精密锻造技术可大大减轻飞机重量（约 20%）、提高疲劳寿命、降低制造成本。在航空制造领域，广泛采用大型整体结构件已成为新一代飞机提高结构效率、减少零件数量、降低成本和缩短周期的重要手段。整体精密锻造技术需要大型设备的支撑，依靠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，我国近年来也陆续具有万吨级模锻压力机，如德阳二重的 800MN 模锻液压机，三角防务的 400MN 模锻液压机，陕西宏远锻造的 200MN 模锻液压机等。

② 等温精密锻造技术

早期的盘件和叶片多采用常规模锻技术生产。近年来，由于采用等温锻造技术可显著改善锻件的微观组织和使用性能，提高锻件组织性能均匀性和流线完整性，进一步提高零件使用可靠性，提高材料利用率，节约稀缺战略资源，发达国家已广泛采用等温锻造技术生产发动机关键锻件。美国、英国、法国和德国等欧洲国家航空发动机盘件中 90% 以上采用等温锻造技术生产。

③ 精密环轧技术

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。精确环轧技术是生产高性能无缝环件的首选工艺方法。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，精确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。

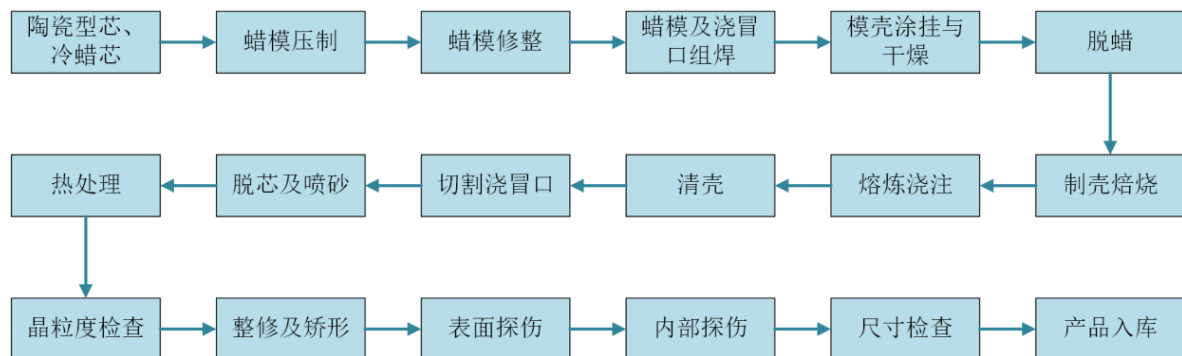
表28 航空发动机锻件相关企业及概况（单位：亿元）

上市代码	公司简称	背景及特点	产品类别	2021 年营收	2021 年净利润
600765.SH	中航重机 (贵州安大)	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	航空发动机盘轴类和环形锻件、中小型锻件	87.90	8.91
688239.SH	航宇科技	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	9.60	1.39
605123.SH	派克新材	民营企业。2013 年开始进入航空航天、核电燃机等高端市场领域；产品应用领域包括航空航天,石化,电力,船舶等	航空发动机环锻件	17.33	3.04
300775.SZ	三角防务	民营企业。以中大型机体结构件为主，部分涉及航空发动机模锻件	航空发动机盘轴类锻件	11.72	4.12

资料来源：WIND，中航证券研究所整理

3、铸件—制造结构设计复杂、成型难度高的零部件

航空发动机叶片、叶轮、喷嘴等形状复杂，尺寸精确以及表面粗糙度要求较高，需要寻找一种新的精密成型工艺。借鉴于先进精密铸造技术和流传下来的失蜡铸造，经过对材料与工艺的改进，现代熔模精密铸造技术得以快速发展。随着我国航空发动机叶片、机匣、登机与应急舱门、进气道唇口、机翼及平尾支座等精密构件的研制进展，我国熔模精密铸造工业化进程也加速推进。

图26 航空铸件生产流程示意图


资料来源：图南股份招股书，中航证券研究所整理

① 高温合金精密铸造技术

高温合金精密铸造技术主要应用于航空发动机关键热端部件制造，如航空发动机叶片、整体涡轮盘、整体机匣等。20 世纪 70 年代，美、英、法等发达国家率先成功研究高温合金近净成形熔模精密铸造技术，并应用于工业化生产。近年来，计算机技术的应用，更提高了熔模铸件生产的成品率和的可靠性。

② 钛合金精密铸造技术

美国于 20 世纪 60 年代开始研究应用钛合金精密铸造技术，开发出了熔模陶瓷铸型技术、机加石墨铸型技术和热等静压技术等。铸造组合件和组合结构件相比，消除了机械紧固连结，减少了组合件的数量，可以减轻结构件的重量，提高结构的整体性，缩短研制周期，减低制造成本。

表29 航空发动机铸件制造相关公司概况（单位：亿元）

上市代码	公司简称	背景及特点	产品类别	2021 年 营收	2021 年净 利润
600893.SH	航发动力	中国航发集团下属企业，航空动力唯一主机厂上市企业。各大主机厂内部设有铸造分厂	涡轮盘、叶片等	341.02	11.88
300034.SZ	钢研高纳	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	涡轮叶片等（高温合金）	9.60	1.39
A22228.SH	航材股份	中国航发集团下属企业。技术研发能力强，在航空市场居于领先地位，有稳定的客户群及成熟的产品	中介机匣、压气机或风扇用钛合金精密铸件（钛合金）	17.33	3.04
300855.SZ	图南股份	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	铸造机匣等（高温合金）	87.90	8.91
---	安吉精铸	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	配套航空工业系统主机厂客户型号任务为主	---	---
A22167.SZ	航安型芯	民营企业。主要生产陶瓷型芯，主要客户包括航材院、航发集团下属企业等，目前市占率较高	铸造用陶瓷型芯	1.45	0.90

资料来源：WIND，公司官网等，中航证券研究所整理

4、叶片—零部件数量最多，价值量占比大，具有消耗属性

航空发动机的制造是一项极其复杂的系统工程，其中最核心的部件当属“叶片”，它的制造占据了整个发动机制造 30% 以上的工作量。航空发动机工作时，不管是风扇叶片、压气机叶片，还是涡轮叶片都要承受十分恶劣的工况，但是又存在一些差异。因此，航空发动机不同部位的叶片往往会采用不同的材料来制造。

目前，金属材料与先进复合材料是航空发动机叶片制造的两大类主要材料，对其加工方法及工艺技术的研究已经成为制造高性能航空发动机的关键。

① 风扇/压气机叶片

压气机叶片决定了总增压比，即发动机对空气流动的压缩程度，提高发动机的增压比可以提高航空发动机的压缩效率和燃烧效率。压气机叶片级数较多，每台发动机压气机叶片数量一般在 2000 片左右。不同发动机型号设计的叶片级数均存在差异。

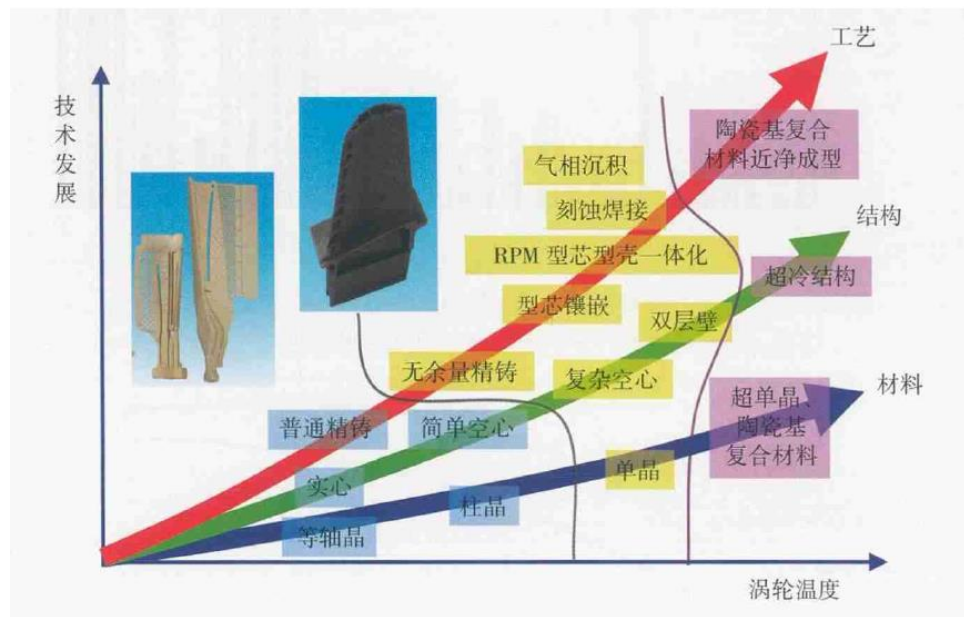
压气机叶片叶型薄，易变形，精准控制其成型精度，并高效、高质量地加工是叶片制造过程中的核心难点。在各类叶片当中，压气机叶片是航空发动机中型面结构最复杂、工作环境最苛刻的零部件之一。为了减少空气流动动力损失，压气机叶片相较于其他部位叶片最大的特点便是其复杂的型面扭转度以及叶片本身轻薄的厚度。型面复杂的扭转度具体体现为从叶根到叶尖的叶型弯扭角度的不同。另一方面，叶片前后缘的厚度非常薄，并且轮廓度要求极高。

目前，风扇/压气机叶片主要以数控加工、精密锻造、超塑成形/扩散连接方法为主，辅以表面处理技术来完成叶片的高品质制造。

② 涡轮叶片

由于涡轮叶片所处的环境更为恶劣，相较于风扇/压气机叶片，对其材料和加工工艺都提出了更为严苛的要求。目前，涡轮叶片的加工普遍采用精密铸造的方式，辅以磨削等其他一些加工方法。

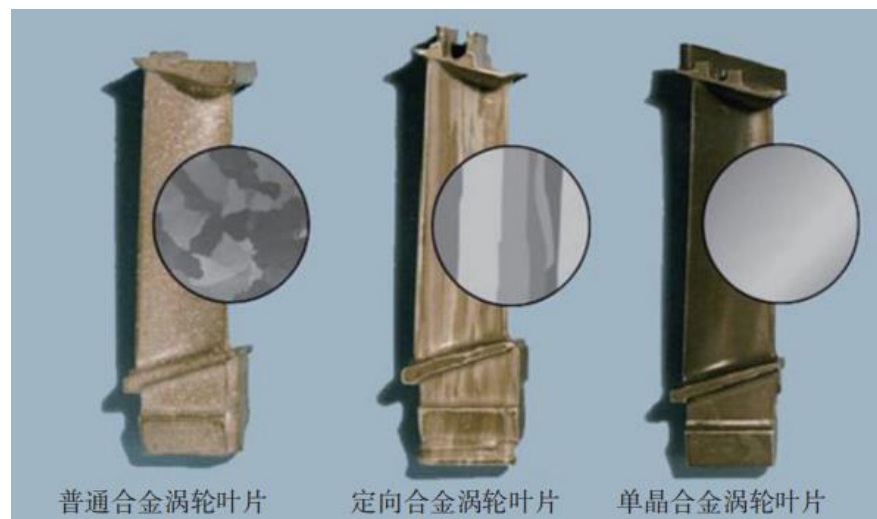
图27 涡轮叶片发展历程



资料来源:《航空发动机涡轮叶片精密成形技术及其发展趋势》, 中国知网, 中航证券研究所

涡轮叶片发展至今是叶片设计、合金、铸造工艺、加工以及表面涂层工艺共同发展所做出的共同贡献。现阶段, 先进的涡轮叶片设计几乎都采用了单晶、空心、复合气膜冷却以及陶瓷层热障涂层结构。要实现涡轮叶片的制造生产须基于涡轮叶片的设计方案, 经历毛坯铸件制备, 机械加工和涂层三大主要步骤。

图28 3种精密铸造涡轮叶片



资料来源:《航空发动机叶片关键制造技术研究进展》, 中国知网, 中航证券研究所整理

③ 复合材料叶片

先进复合材料由于其质轻、高强、耐腐蚀、抗疲劳等诸多特性越来越多地应

用在航空、航天领域。树脂基复合材料制造的风扇叶片、金属基复合材料制造的风扇 / 压气机叶片、陶瓷基复合材料制造的涡轮叶片已成为航空发动机减重增推的关键技术手段。

表30 航空发动机叶片相关公司（单位：亿元）

代码	相关公司	对应产品情况	材料及工艺	2021年 营收	2021年 净利润
---	贵阳航发精铸 (170厂)	航空发动机精密铸造叶片、精密铸造结构件、陶瓷型芯、铸造母合金	涡轮叶片 (铸造)	---	---
300034.SZ	钢研高纳	高温合金等轴晶叶片、定向凝固叶片、单晶叶片等。其中单晶高温合金及叶片研制方面处于国内领先水平，具有单晶涡轮叶片研制全过程的技术积累	涡轮叶片 (铸造)	20.03	3.05
600893.SH	航发动力（安泰叶片）	生产商用航空发动机、工业和船用燃气轮机、汽轮机的压气机叶片和风扇叶片、医疗植入件及各类结构件。	风扇/压气机叶片	341.02	11.88
603308.SH	应流股份	等轴晶叶片、定向单晶叶片等。截至2021年底，“两机”业务累计取得500余品种的叶片、环形件和机匣开发订单，已开发完成的品种约230个，尚在开发阶段的品种约270个	涡轮叶片 (铸造)	20.40	2.31
000534.SZ	万泽股份	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	涡轮叶片 (铸造)	6.56	0.95
688510.SH	航亚科技	赛峰 leap 系列发动机压气机叶片批量交付的整体份额稳步提升，承接 RR 公司和 GE 公司压气机叶片	压气机叶片 (锻造)	3.13	0.24
430513.NQ	中科三耐	中科院金属所下属企业。中国航空发动机、燃机轮机先进动力用透平叶片、高温合金等主要生产基地之一	涡轮叶片	1.11	0.30

资料来源：公司公告，公开信息，中航证券研究所整理

5、增材制造—零部件新工艺

增材制造技术诞生于 20 世纪 80 年代末，被认为是制造技术的一次革命性突破。增材制造从三维模型出发实现零件的直接近净成形制造，主要优势体现在所制造产品的复杂程度、生产制造的范围、生产效率、满足客户个性化需求等方面。由于增材制造工艺较传统工艺具有独特的优势，越来越受到发动机设计及制造行业的重视。

表31 增材制造主要工艺及原理

工艺	工艺原理
SLA	利用紫外激光束使液态光敏树脂固化，逐层生成制件
SLS	在材料粉末中混合某种粘结剂，用小功率激光烧结成形毛坯，然后对坯体进行适当的后处理，最终得到制件
LMD	利用高能量激光束将与光束同轴喷射或侧向喷射的金属粉末直接熔化为液态，通过运动控制，将熔化后的液态金属按照预定的轨迹堆积凝固成形，获得从尺寸或形状上非常接近于最终零件的“近形”制件
SLM	基于分层叠加制造原理，利用高能量激光束逐层熔化金属粉末成形复杂结构金属零件
EBM	基于离散 - 堆积成形原理，以高能量密度和高能量利用率的电子束作为加工热源，对材料进行完全熔化成形的三维实体零件制造方法；真空条件及电子束是 EBM 与 LMD 和 SLM 的主要区别

资料来源：《增材制造技术在航空发动机中的应用及发展》，中航证券研究所整理分析

增材制造技术在航空发动机中的应用主要有以下几方面：

- ① 成形传统工艺制造难度大的零件；
- ② 制备长生产准备周期零件，通过减少工装，缩短制造周期，降低制造成本；
- ③ 制备高成本材料零件，提高材料利用率以降低原材料成本；
- ④ 高成本发动机零件维修；
- ⑤ 结合拓扑优化实现减重以及提高性能（冷却性能等）；
- ⑥ 整体设计零件，增加产品可靠性；
- ⑦ 异种材料增材制造；
- ⑧ 发动机研制过程中的快速试制响应；
- ⑨ 打印树脂模型进行发动机模拟装配等。

对于航空发动机研制过程，增材制造技术的优势在于能够实现更为复杂结构零件的制造。例如，采用增材制造技术制备的发动机涡轮叶片，能够实现十分复

杂的内腔结构，这是传统制造工艺很难实现的。对于发动机实际零件的制作主要是金属零件的制备，应用包括零件铸造和金属零件直接打印以及构件修复。

要进一步推广增材制造技术在航空发动机中的工程化应用，需要解决原材料制备、成形工艺过程管控、成形零件质量控制、评估以及工程化标准等若干问题。

① 原材料制备

粉末材料是目前最常用的金属类增材制造用材料。由于航空发动机零部件的特殊工作环境及性能要求，一般进行增材制造所选用的粉末材料需要专门制备，价格昂贵，导致增材制造零件的材料成本较高，在一定程度上阻碍了增材制造技术在航空发动机中的应用。目前，国内增材制造所选用的粉末材料大多依赖于进口渠道，制备满足发动机应用要求的低成本粉末材料，已经是国内材料行业及增材制造领域的重要发展方向。

② 发动机用增材制造零件质量控制

金属材料增材制造技术的难点在于金属的熔点高，成形过程涉及到固液相变、表面扩散及热传导等问题；激光或电子束的快速加热和冷却过程容易引起零件内部较大的残余应力。发动机零件对制造精度及性能等方面的要求往往高于常规零件，如尺寸精度、表面粗糙度及机械性能等。

目前的增材制造技术在很多指标方面还不能完全满足发动机零件的精度及性能需求，需要进行成形后处理或后加工，这在一定程度上阻碍了增材制造技术的推广。要实现增材制造零件在发动机中的应用，还需要解决很多关键工艺技术问题，实现对增材制造制件冶金质量及力学性能的有效控制。

③ 增材制造零件的热处理/热等静压工艺

增材制造的成形材料呈粉末状，通过激光的逐行逐层扫描、烧结后，成形零件中会形成大量的孔隙，孔隙的存在将使零件的整体力学性能下降，严重影响增材制造零件的实际应用。

通过热等静压处理，成形件中的大尺寸闭合气孔、裂纹得以愈合，小尺寸闭合气孔、裂纹得到有效的消除，同时晶粒发生再结晶现象，使得晶粒得到细化，组织致密。内部裂纹修复愈合和再结晶使得成形件强度和塑性得到恢复和提升，力学性能的稳定性和可靠性也会得到提高。而通过对制件进行适当的热处理，可以改善不同材料制件的显微组织、力学性能和残余应力等。

表32 航空航天领域增材制造相关上市公司（单位：亿元）

代码	企业简称	公司概况	2021年 营收	2021年 净利润
688333.SH	铂力特	专注于工业级金属增材制造（3D 打印）的高新技术企业，为客户提供金属增材制造与再制造技术全套解决方案，业务涵盖金属 3D 打印设备的研发及生产、金属 3D 打印定制化产品服务、金属 3D 打印原材料的研发及生产、金属 3D 打印结构优化设计开发及工艺技术服务（含金属 3D 打印定制化工程软件的开发等），构建了较为完整的金属 3D 打印产业生态链，整体实力在国内外金属增材制造领域处于领先地位	5.52	-0.53
A22284.SH	华曙高科	专注于工业级增材制造设备的研发、生产与销售，致力于为全球客户提供金属（SLM）增材制造设备和高分子（SLS）增材制造设备，并提供 3D 打印材料、工艺及服务。	3.34	1.17
300227.SZ	光韵达	全资子公司通宇航空主要生产航空零部件、机加工及 3D 打印零部件，主要客户为成都飞机工业(集团)有限责任公司。通宇航空毗邻核心客户，入驻成飞航空产业园，是其航空零部件和 3D 打印供应商，在与成飞集团多年的合作中，公司已经融入成飞供应链，成为重要供应商之一，承接了批量订单	9.30	0.92
688237.SH	超卓航科	国内少数掌握冷喷涂增材制造技术并产业化运用在航空器维修再制造领域的企业之一，通过产线定制化设计、原材料供应链与原材料质量检测体系的构建、金属粉末的配制和改性、冷喷涂工艺参数的研发以及基体材质的适配性研究，实现了多种金属材料的高强度沉积，建立了公司冷喷涂增材制造技术体系	1.41	0.71
---	鑫精合	以智能 3D 智造为依托，面向航天航空、航海、核电等高端制造领域，是专业从事复杂金属构件定制化产品制造、产品设计与优化、软件定制开发与销售、技术咨询与服务；产品再制作与修复	---	---

资料来源：WIND、公司官网等，中航证券研究所整理

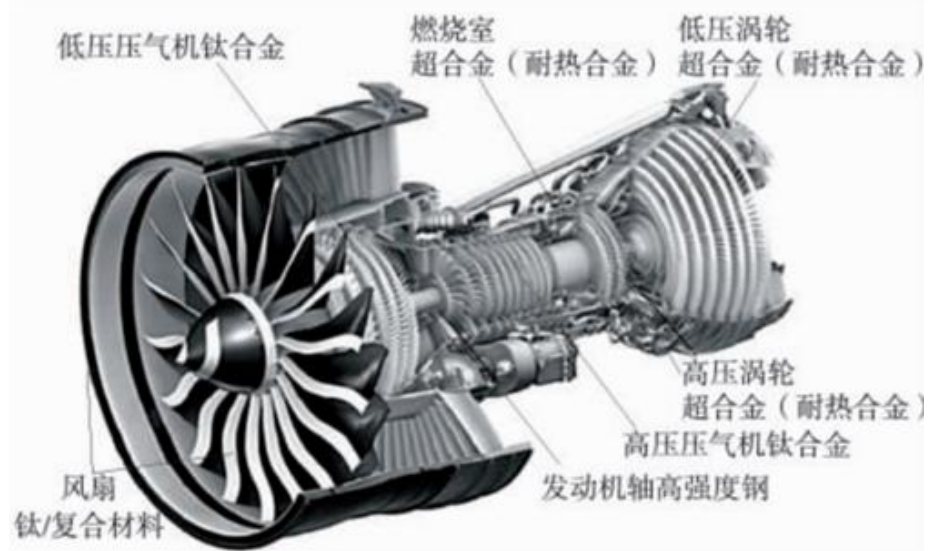
（三）材料—差异化经营，竞合为主，有序扩产

在新一代航空发动机性能的提高中，工艺技术与材料的贡献率为 50%—70%，在发动机减重的贡献率中，工艺技术和材料的贡献率占 70%—80%，充分表明先进工艺和材料技术是制约新型航空发动机发展的关键技术。

航空发动机是在高温、高压、高速旋转的恶劣环境条件下长期可靠工作的复杂热力机械，在各类武器装备中，航空发动机对材料和制造技术的依存度最为突出，航空发动机对材料和和制造技术要求逼到了极限，如第一、二代发动机的主要结构件为金属材料，第三代发动机开始应用复合材料及先进的工艺材料。

从航空发动机材料的发展趋势来看，航空发动机部件正向着高温、高压比、高可靠性发展，发动机性能向着轻量化、整体化、复合化的方向发展，发动机的性能的改进一半靠材料。据预测，新材料、新工艺和新结构对推重比 12—15 级发动机的贡献率将达到 50%以上，从未来的发展来看，甚至可占约为 2/3。因此，先进的材料和制造技术保证了新材料的构件及新型结构的实现，使发动机质量不断减轻，发动机的效率、使用寿命、稳定性和可靠性不断提高。

图29 航空发动机对应部件及材料



资料来源：中国知网，中航证券研究所整理

目前航空发动机材料以钛合金和镍基高温合金为主。纤维增强复合材料具有耐高温、低密度、抗氧化和抗腐蚀等优良性能，成为航空领域的新型战略材料，并逐渐应用于航空发动机热端部件。美国 GE 公司利用纤维增强复合材料制造第五代航空发动机涡轮叶片等关键零部件，使发动机推重比提高 25%的同时油耗降低了 10%，可见新型复合材料在航空发动机生产中具有广阔应用前景。

表33 第一代至第五代发动机采用的新材料

发动机	采用的新材料
第一代发动机	钢、铝合金（金属材料）
第二代发动机	镍基合金、超级合金、钛合金（金属材料）
第三代发动机	粉末合金、单晶镍基高温合金、隔热涂层、树脂基复合材料（开始用复合材料）
第四代发动机	金属基复合材料、陶瓷热障涂层、陶瓷基复合材料（广泛采用复合材料）
第五代发动机	阻燃钛合金、镍铝和钛铝金属间化合物、聚合物基复合材料、碳纤维复合材料、双合金、钴铁软磁合金、形状记忆合金、超导材料

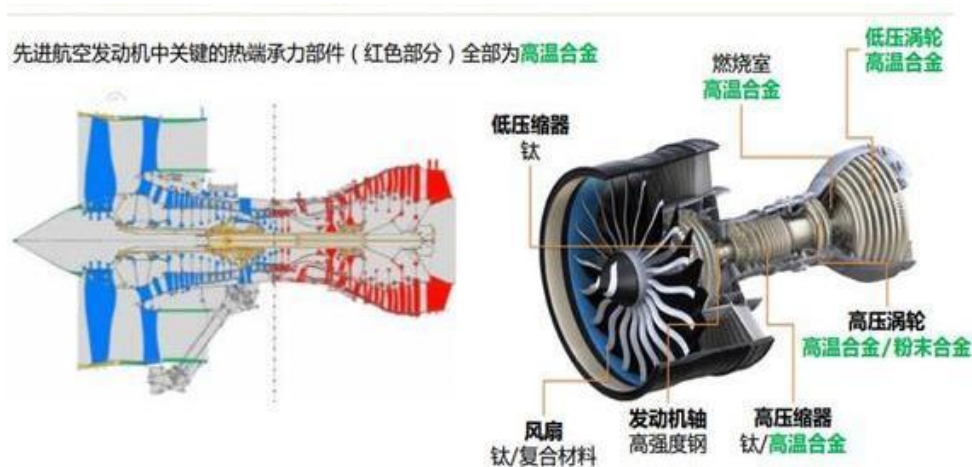
资料来源：《振兴航空动力 实现民族梦想》、中国知网，中航证券研究所

1、高温合金—制造先进发动机的基石

现代航空发动机必须满足超高速、大升限、长航时、远航程的要求，因此航空涡轮发动机的推力势必增大，燃烧室的温度也会随之升高，航空发动机的工作性能和可靠性主要取决于其零部件能否有效承受热冲击、高温腐蚀、高热变和复杂应力。为达到航空发动机在高温环境下可靠运行的目的，航空零部件大量使用高温合金制造，以此保证航空发动机在高温工作的安全性和各项性能指标。

高温合金是指在 600 度以上，一定应力条件下可以长期工作的金属材料，具有优异的高温强度，良好的疲劳性能，断裂韧性等综合性能，是军民燃气轮机发动机热端部件不可替代的关键材料。在世界先进航空发动机中，高温合金的用量可占到发动机总重量的 40%—60%。


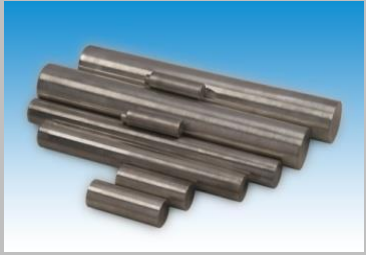



图30 高温合金在航空发动机使用位置示意图



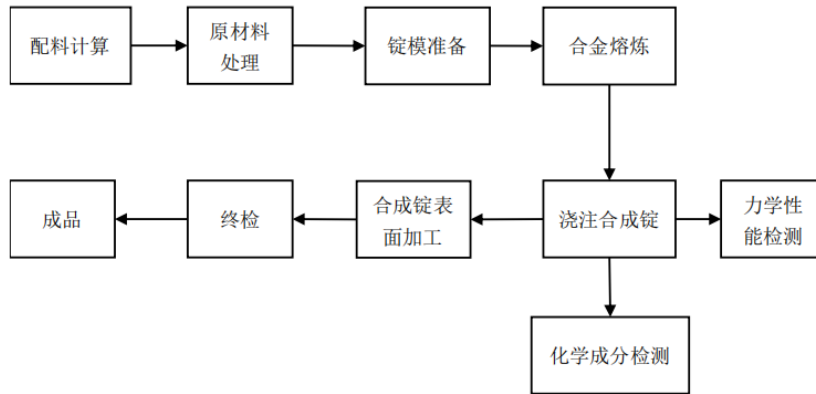
资料来源：WIND，中航证券研究所

我国的高温合金研发始于 1956 年，经过前苏联专家指导，生产出了高温合金 GH3030；我国也从仿制到尝试自主，到自主研发成功，到新材料不断取得突破；是成为继美、英、俄后第四个拥有自主高温大体系的国家。航空发动机的性能指标的提高不断推动着新型高温合金的发展。通过数十年的发展，我国自主研发的航空发动机用粉末高温合金、铸造高温合金基本实现国产化，变形高温合金的国产替代率亦大幅提升。

表34 高温合金材料分类及对应特点和典型应用

高温合金类别		示意图	功能描述	典型零部件
变形高温合金母合金			可以在较宽温度范围内工作，进行热、冷变形加工，包括盘、板、棒、丝、带、管等产品，具有良好的力学性能和综合的强、韧性指标，具有较高的抗氧化、抗腐蚀性能	航天、航空领域的结构锻件、饼材、环件等
铸造高温合金	等轴晶高温合金母合金		在高温下有较高的力学性能及抗热腐蚀性能。不同牌号的等轴晶高温合金母合金可在不同温度下呈现不同的拉伸强度、拉伸塑形及持久强度极限，满足多种应用场景的性能需要	航空发动机涡轮叶片、导向叶片及整铸涡轮
	定向高温合金母合金		可在较高温度范围内使用，并且在此温度范围内具有优良的综合性能和抗氧化、抗热腐蚀性能	航空发动机涡轮叶片
	单晶高温合金母合金		可在高温范围使用，并且在此温度范围内具有优良的综合性能和抗氧化、抗热腐蚀性能	航空发动机涡轮叶片
粉末高温合金母合金			粉末高温合金具有晶粒细小，组织均匀，无宏观偏析，合金化程度高，屈服强度高，疲劳性能好等优点，是制造大推重比先进军用飞机发动机涡轮盘的最佳材料	航空发动机粉末盘

资料来源：WIND，《航材股份招股说明书》，中航证券研究所整理

图31 高温合金母合金生产工艺流程图


资料来源：《航材股份招股说明书》，中航证券研究所整理

目前，国外先进航空发动机的涡轮叶片、导向叶片、涡轮盘、燃烧室等零件几乎都由高温合金制成。高温合金结构件在国外航空发动机上获得了广泛成熟的应用，且制定了成套的系列标准。以美国、英国、法国和俄罗斯为代表的国家掌握了定向凝固和单晶空心涡轮叶片精密制造技术。同时，在先进精密技术工程应用方面加大投入，使得高温合金构件的生产质量和合格率大幅提高。

国内众多航空发动机也都采用高温合金作为涡轮盘和导向叶片的生产材料。在镍基高温合金的生产方面，目前我国已经具备相应的材料成型工艺自主研发能力，基本建成了与航空发动机生产相配套、工艺完整、设备齐全的航空发动机叶片精铸生产线和制造生产线，并形成了配套的管理体系和制度。我国研制的DD402、DD406等单晶高温合金已经在航空领域得到应用。

虽然我国高温合金行业取得了长足的进步，但与世界先进水平相比仍存在一定不足，我国高温合金行业从业企业数量少，整体技术开发水平与国际先进水平还有较大差距，整体产能、实际有效产量较小，尤其是高端航空用高温合金的有效产能仍无法完全满足日益增长的市场需求。

表35 国内主要高温合金上市及拟上市企业主要情况及对比（单位：亿元）

上市代码	公司简称	背景及特点	变形高温合金	铸造高温合金	新型高温合金	产能(吨)	2021年营收	2021年净利润
600399.SH	抚顺特钢	民营控股，变形高温合金领先企业，航空航天市场占有率高达80%以上	变形高温合金市场占有率较高	---	---	5900吨变形高温合金（扩产5000吨）	74.14	7.83
300034.SZ	钢研高纳	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，高温合金牌号120余种	公司承担75%以上国家层面变形高温合金研发项目，技术处于领先地位。	单晶、定向、等轴晶均可生产。市场占有率较高	在俄系粉末高温合金，技术积累深厚，占据市场主导地位	铸造/变形合计3000吨（铸造占比更高）	20.03	3.05
300855.SZ	图南股份	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，航空发动机匣市占率较高	产品主要为棒材、丝材、管材	主要为定向和等轴高温合金	---	2021年铸造高温合金713吨；变形高温合金1354吨	6.98	1.81
688231.SH	隆达股份	2015年涉足高温合金领域，第一期铸造高温合金母合金生产线于2017年投产，第二期变形高温合金生产线于2020年末试产	7个变形高温合金牌号在研或在验证	6个牌号通过验证。多个牌号在验证	---	3000吨铸造高温合金、3000吨变形高温合金	7.26	0.70
688122.SH	西部超导	西北有色金属院旗下，聚焦的重点牌号产品已实现向客户的小批量交付，正在进行的产业化能力建设	GH4169、GH738等典型牌号	---	---	554.69吨	29.27	7.41

A22228.SH	航材股份	中国航发下属航空发动机用高温母合金唯一一批产单位，高温合金牌号 60 余种	可生产大部分变形高温合金母合金	单晶、定向、等轴晶均可生产，具备从合金到制品能力	拥有完整的粉末高温合金母合金制备技术体系	4500 吨（包括铸造、变形高温合金）	19.47	3.75
A22396.SZ	中航上大	在高返回比再生高温合金制备和关键战略材料进口替代两个方面取得突破，产品应用场景覆盖航空航天、燃气轮机及汽轮机、核工程等多个领域	再生超细晶高温合金 GH4169、GH4141 产品通过验证评审，实现批量生产	---	---	1020 吨（拟扩建 8000 吨）	9.12	0.69

资料来源：WIND，公司公告，中航证券研究所整理

注：以上产能数据截至 2021 年底

2、钛合金—轻质高强用材

发动机的风扇、高压压气机盘件和叶片等转动部件，不仅要承受很大的应力，而且要有一定的耐热性。这样的工况条件对铝来说温度太高；对钢来说密度太大。钛是最佳的选择，钛在 300~650℃温度下具有良好的抗高温强度、抗蠕变性和抗氧化性能。同时，发动机的一个重要性能指标是推重比，即发动机产生的推力与其质量之比。使用钛合金替代原镍基高温合金可使发动机的质量降低，大大提高飞机发动机的推重比。钛在飞机发动机上的用量越来越多，在国外先进航空发动机中，高温钛合金用量已占发动机总质量的 25%~40%，如第 3 代发动机 F100 的钛合金用量为 25%，第 4 代发动机 F119 的钛合金用量为 40%。

表36 飞机发动机应用钛合金的部位及合金制造方法

应用部位	特性要求	制造方法
风扇外壳	高强度、耐冲击	环锻
风扇叶片	耐冲击、耐疲劳	锻造/超塑成形
风扇静翼罩	高强度、高韧性	铸造
风扇圆盘件	耐低周疲劳、高韧性	锻造
压气机罩	抗蠕变、耐疲劳	环锻
压气机叶片	耐冲击、耐疲劳、高韧性	锻造/铸造
压气机盘件	抗蠕变、耐低周疲劳、高温强度、高韧性	锻造
短轴	耐疲劳、高韧性	锻造

资料来源：中航证券研究所

表37 一些西方国家航空发动机的钛用量

发动机型号	推出年代	装备机型	钛合金用量/ %
J79	1956	F-4、F-104	2
JT3D/TF33	1960	B-707、B-52、F-141	15
TF36	1965	C-5A	32
TF39	1968	C-5A、C-5B	33
JT90	1969	B-747、B-767、F-5A	25
F100	1973	F-15、F-16	25
F101	1976	B-1	20
CF6	1985	A-330、B-747、B-767	27
V2500	1989	A-320、A-321	31
F119	1992	F-22	40

资料来源：《航空用钛及钛合金的发展及应用》，中航证券研究所

从历史来看，宝钛股份、西部超导和西部材料同源，是国家建设的军工服务研究地，最早在宝鸡是研究院加上加工厂，一直到80年代中期。研究院独立成为西北有色金属研究院，从宝鸡搬迁西安，之后先后成立西部材料和西部超导。西部材料最开始从事稀有难熔金属，后面西部钛业和西部材料重组，加入了钛合金业务。西部超导最早是做超导材料，钛合金也是后续发展加入的业务。从目前来看，由于历史地位的存在，宝钛股份是产业化最长、最大、材料品种最全的钛合金生产企业，可以看为是钛合金的“百货商店”。而西部材料与西部超导两家实控人同为西北有

色金属研究院，因此存在同业竞争限制，致使西部材料主要是钛合金板材、管材，西部超导主要是钛合金棒丝材。

表38 航空发动机钛合金材料主要公司概况（单位：亿元）

代码	上市公司	公司介绍	产品形态	主要领域	2021年 营收	2021年 净利润
600456.SH	宝钛股份	公司是中国最大的钛及钛合金生产、科研基地。主要产品为各种规格的钛及钛合金板、带、箔、管、棒、线、锻件、铸件等加工材和各种金属复合材料产品。	全谱系	军民用航空航天、发动机及民用石化领域	52.46	5.60
688122.SH	西部超导	主要从事高端钛合金材料、超导材料以及高温合金材料，是我国航空用钛合金棒丝材的主要研发生产基地，可以满足国家对新型战机、大型客机、大型运输机、重型直升机、舰载机、兵器、民品高端特殊医疗等对关键钛合金棒丝材的需求。	棒材、丝材	军用航空，新一代战机、运输机等	29.27	7.41
002149.SZ	西部材料	公司以钛产业（含钛及钛合金加工、层状金属复合材料、稀有金属装备及管道管件制造等）为主业，具有万吨级以钛为主的加工材生产能力，可生产各类优质钛及钛合金产品。	板材、管材	航空航天用钛薄板、兵器以及民用钛合金	23.95	1.33
——	金天钛业	主要从事大型钛及钛合金系列高端产品，涉及国标牌号20余种，是航空工业集团旗下飞机公司及配套航空材料各大模锻厂主要钛合金材料供应单位、航发集团旗下各大发动机公司主要配套供应单位。	板材、棒材	航空航天、海洋装备、石油化工等	——	——

资料来源：WIND，中航证券研究所

3、隐身材料—先进航空发动机的关键材料之一

四代战斗机及未来的隐身飞机对发动机提出了较高的隐身指标要求。而发动机后腔体及其内部件和边缘等产生的雷达散射信号、后腔体及其热端部件和尾喷流等产生的红外辐射信号占整个飞机尾部方向特征信号的95%以上。此外，发动机喷管的颜色、腔体反射及尾喷流产生的高温热态水蒸气遇冷产生的尾迹会对飞机的可见光隐身产生较大困难。如果发动机不能实现后向的隐身，则隐身飞机无法实现全方

位的隐身，其作战能力将大幅降低。

F119 和 F135 发动机就采用了大量的隐身涂层，如红外隐身涂层、雷达吸波涂层等隐身材料的应用可以在不改变结构设计的前提下降低红外辐射和 RCS。

表39 典型隐身措施应用难点及代价

序号	隐身措施	应用对象	代价	风险
1	S 弯进气道	战斗机、轰炸机、无人机	重量大、气动损失	超声速气动损失加大、加工制造难度大
2	风扇雷达修形	F119/F135 发动机	气动损失、结构改动	结构改动风险大，需兼顾防冰
3	一体化隐身加力燃烧室	F119 发动机	加力效率降低、损失加力推力	结构复杂，与整机匹配和加工难度大
4	二维矢量喷管	F119 发动机	重量大、需引冷却气，降低推力	结构复杂，与整机匹配和加工难度大、与飞机匹配难度大
5	S 弯二维喷管	B-2 飞机发动机	重量大，发动机安装复杂	与飞机后机身匹配难度大、推力损失大
6	锯齿修形轴对称喷管	F135 发动机	引冷却气、隐身效果一般	风险较小
7	隐身涂层材料	广泛应用	增重	脱落、氧化、烧蚀等
8	飞机后机身遮挡及冷却	F-22A 等	增重、提供冷却气	一体化设计难度大、控制风险大

资料来源：《航空发动机隐身技术与论述》，中航证券研究所

图32 航空发动机隐身材料的应用

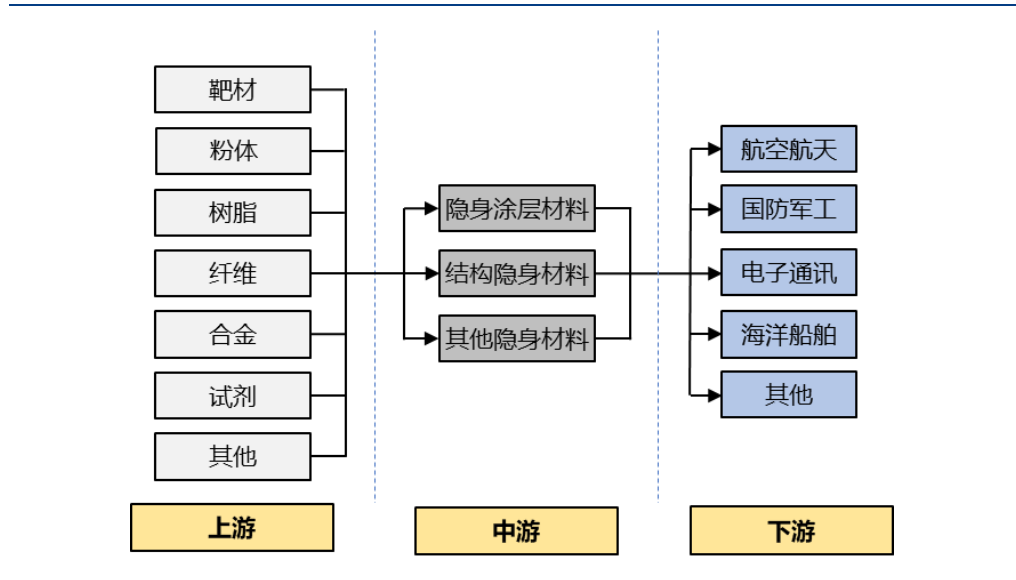


资料来源：《航空发动机隐身技术与论述》，中航证券研究所

隐身材料是具有隐身功能材料的一种统称，产业链上游主要是相关原材料，如

靶材、粉体、树脂、纤维、合金及试剂等，中游为隐身材料的制备商，下游为具体的应用领域，主要还是国防军工的武器装备方面。

图33 隐身涂层材料的主要工艺



资料来源：中航证券研究所整理

不同隐身材料工艺也大不相同。从两种主要成型工艺的隐身材料（隐身涂层材料和结构隐身材料）来看：隐身涂层材料的主要工艺包括物理涂覆、化学镀、物理气相沉积、热喷涂和溶胶—凝胶技术等。

表40 隐身涂层材料的主要工艺

名称	制备方法简述
物理涂覆法	采用涂覆—烘干（烧结）法制备吸波涂层，通常是在吸波剂微粒或短纤维中加入适量的分散剂和粘结剂，并使微粒或短纤维均匀分散，得到具有一定粘度的浆料，然后将浆料刷涂在基材表面，其表面形成一层涂层后取出，在一定温度下烘干或烧结，如此反复数次，形成厚度可控的吸波涂层。该方法具有工艺简单、涂层致密、涂层厚度可控制的优点。
化学镀法	化学镀法是在无电流通过时借助还原剂在同一溶液中发生氧化还原反应，从而使金属离子还原沉积在零件表面上的一种镀覆方法。化学镀工艺适用于大多数无机粉末和纤维芯材，如空心微珠、石墨、碳化硅晶须等。
物理气相沉积法	物理气相沉积技术是指在真空条件下，采用物理方法，将材料源—固体或液体表面气化成气态原子、分子或部分电离成离子，并通过低压气体（或等离子体）过程，在基体表面沉积具有某种特殊功能的薄膜的技术。物理气相沉积的主要方法有，真空蒸镀、溅射镀膜、电弧等离子体镀、离子镀膜，及分子束外延等。物理气相沉积技术不仅可沉积金属膜、合金膜、还可以沉积化合物、陶瓷、半导体、聚合物膜等。

热喷涂法	<p>热喷涂法是利用某种热源将涂层材料加热到熔融或半熔融状态，同时借助焰流或高速气体将其雾化，并推动这些雾化后的粒子喷射到基体表面，沉积成具有某种功能的涂层技术。</p> <p>由于在喷涂过程中粒子沉积到基体时具有较高的动能及热能使得基体和粒子之间或粒子之间形成良好的结合，并且涂层的厚度可控。此外无机陶瓷粉末喷涂的涂层具有较高的抗高温性能。</p>
溶胶—凝胶法	<p>溶胶—凝胶法是近些年发展起来的用于制备纳米材料的一种新工艺。它是将金属有机或无机化合物经溶液制得溶胶；溶胶在一定的条件下（如加热）脱水时，具有流动性的溶胶逐渐变粘稠，成为略显弹性的固体凝胶；再将凝胶干燥、焙烧得到纳米级产物。溶胶—凝胶法的优点是：反应条件温和，两相分散均匀；通过控制反应条件和各组分的比率，可对复合材料的电磁参数进行调整；合成材料的均匀度、纯度高（均匀性可达分子或原子水平）；工艺简单，不需要昂贵的设备。</p>

资料来源：华秦科技招股说明书，中航证券研究所

从全球隐身材料的市场规模来看，据统计，2017 年全球隐身超材料在武器装备中的应用市场规模大约在 1.3 亿美元。到 2025 年，这一规模有望达到 11.7 亿美元左右，年均复合增长率在 30% 以上。根据 Global Market Insights Inc. 的研究报告，到 2026 年，隐形涂料市场规模预计将超过 8.34 亿美元，其中航空航天和国防产品（例如军用飞机，导弹，武器和潜艇）的消费将强劲推动对隐形涂料的需求。对于我国来讲，随着新型武器装备的批产，将带动隐身材料需求应用的快速增长。

国外相关的隐身材料起步早，由于隐身材料技术涉及重大军事材料的研制，国外在该项技术方面对我国实行严密的封锁，因此国外的隐身材料企业不会对国内形成直接竞争。但值得注意的是，国外常规化吸波涂料、吸波贴片已经形成系列化、商品化，其中以莱尔德的 ECCOSORB@ 系列产品为典型代表。如 ECCOSORB@FGM 系列宽频带吸收贴片材料以及 CR 系列吸波涂层等。同时以美国为代表，已经形成了如莱尔德、康明微博、ARC 技术等具有一定技术的隐身材料公司。

相较于国外，国内方面商业化进程仍处于发展初期，目前开展研究的包括各大军工集团下属研究院以及各大高校等，由于隐身材料本身技术路线多样、保密严格等原因，目前公开的隐身材料公司并不多，虽然都是应用在武器装备上的隐身材料，但由于应用的工艺类型、应用的装备型号的不同等，并没有强烈的直接竞争。具体的公司主要有华秦科技、光启技术以及佳驰科技等，其中应用在发动机上的主要为华秦科技。

表41 隐身材料相关上市公司概况（单位：亿元）

上市代码	公司简称	背景及特点	2021年营收	2021年净利润
688281.SH	华秦科技	主要从事特种功能材料，包括隐身材料、伪装材料及防护材料，产品主要应用于我国重大国防武器装备如飞机、主战坦克、舰船、导弹等的隐身、重要地面军事目标的伪装和各类装备部件的表面防护。	5.12	2.33
002625.SZ	光启技术	主要是子公司光启尖端从事超材料前沿技术研究及尖端装备超材料方案提供和产品生产，其主要产品包括：超材料功能结构、超材料高性能电磁罩以及超材料高性能天线等。	8.59	2.71
A22176.SH	佳驰科技	主要从事电磁辐射功能材料与结构的设计、测试、分析及制造，主要产品为吸波贴片、吸波胶板、功能涂层、吸波泡沫、吸波蜂窝、吸波负载、磁性基板等，产品属于常温隐身材料。	5.30	3.16
300629.SZ	新劲刚 (康泰威)	主要从事军工新材料业务，产品包括热喷涂材料、电磁吸波材料、结构吸波功能材料制品、防腐导静电材料、ZnS 光学材料等。目前热喷涂材料、电磁吸波材料、防腐导静电材料均已实现小批量产。ZnS 光学材料及结构吸波功能材料制品尚处于研发验证阶段。	3.60	0.97

资料来源：WIND，中航证券研究所

4、高性能复合材料—面向未来先进发动机的前沿材料

复合材料构件具有材料/结构/制造一体化的特征，是未来先进发动机突破轻量化和整体化的关键途径之一，其中纤维增强树脂基复合材料、纤维增强钛基复合材料、纤维增强陶瓷基复合材料是分别支撑未来先进航空发动机低温部件、中温部件和高温部件的三大关键新型材料。

① 树脂基复合材料

树脂基复合材料（PMC）密度低，比强度和比模量高，可设计性强，用于发动机进气机匣、外涵道机匣、风扇叶片/机匣等冷端部件可减质20%—40%，是发动机冷端部件先进性的重要实现手段。国际领先公司目前已将 PMC 广泛用于发动机冷

端和外部部件，并大规模实现了第一代和第二代碳纤维增强 PMC 的应用，尤其是 PMC 外涵机匣大多已进入工程生产阶段，技术成熟度达到 9 级。目前，正在开展耐温 400°C 及以上材料研究。我国已开展了大量 PMC 构件的验证工作，技术成熟度高于 CMCSiC 构件，但较领先水平仍存在差距，需突破耐温或/和耐湿型 PMC 开发、高温模具、构件设计与制造一体化、大型复杂构件成形、缺陷检测与评估等关键技术，还需提高国产化关键生产装备工艺能力及配套软件技术，解决成本过高等问题。

② 钛基复合材料

随着航空航天事业的进一步发展，发动机零部件将面临更严苛的服役条件，承受更高的温度，更大的冲击载荷。而传统的高温钛合金存在“热障”温度，即使用温度不得超过 600 °C，这使得研究人员倾向于开发以钛合金为基体的钛基复合材料。钛基复合材料的研究始于 20 世纪 70 年代，目前已成为超音速宇航飞行器和新一代航空发动机的候选材料，其高温性能及耐腐蚀性能均优于高温钛合金。据预测，未来发动机用材中 Ti-MMC 约占 30%，TiAl-MMC 约占 15%。我国自 20 世纪 90 年代开始 Ti-MMC 及其构件研制，迄今先后突破了高性能单丝 SiC 纤维批产、高品质先驱丝制备、构件成形等关键技术，打通了 Ti-MMC 整体叶环一体化制造技术路线，但还需强化增强环芯形性控制、残余应力调控等技术研究，充分发挥 Ti-MMC 的优势。

③ 陶瓷基复合材料

陶瓷基复合材料具有类似金属的断裂行为、对裂纹不敏感、没有灾难性损毁，是军用和民用发动机不可或缺的高温材料。其中应用最广泛的是氮化硅基复合材料。

与高温合金和单相陶瓷相比，陶瓷基复合材料的优势有：密度低，仅为高温合金的 1/4—1/3；具有很好的耐高温能力，只需较少气体冷却或根本不需要冷却；具有较高的氧化稳定性，使用该材料的高温部件可以不使用昂贵且沉重的隔热涂层或氧化保护涂层。陶瓷基复合材料主要应用于发动机的燃烧室、高压涡轮、低压涡轮和喷管等部件上。

对于民用航空发动机市场而言，降低燃油消耗，提高发动机使用寿命是众多发动机制造商关注的焦点。以波音 787 梦想号客机为例，由于使用了超过 50% 的先进

复合材料，油耗下降了 20%左右。

对于军用发动机市场而言，进一步提高发动机推重比，降低服役成本等是现阶段各国研究的重点。现有推重比 10 一级的发动机涡轮进口温度均达到了 1500°C，如 M88-2 型发动机涡轮进口温度达到 1577°C，F119 型发动机涡轮进口温度达到 1700°C 左右，而目前正在研制的推重比 12--15 的发动机涡轮进口平均温度将超过 1800°C 以上，这远远超过了高温合金及金属间化合物的使用温度。目前，耐热性能最好的镍基高温合金材料工作温度达到 1100°C 左右，而且必须采用隔热涂层，同时设计先进的冷却结构。因此，现有的高温合金材料体系已经难以满足先进航空发动机，要发展具有更高推重比的航空发动机，必须开发新型轻质、高强度、耐高温、长寿命的发动机热端部件材料。陶瓷基复合材料能够满足上述要求，成为能够替代高温合金在发动机高温部件上应用最具有应用潜力的材料，并被认为是极端高温环境服役构件最具应用前景的战略材料。

图34 斯奈克玛将陶瓷基复合材料应用于燃烧室火焰筒和火焰稳定器
图35 GE 公司采用陶瓷基复合材料叶片的涡轮转子



资料来源：航发集团官网，中航证券研究所整理

国内主要开展相关研究的单位主要包括中航复材、西北工业大学、国防科大等单位。由于我国陶瓷基复合材料的研究起步较晚，与美国、法国等西方先进国家尚存在较大差距。

表42 航空发动机复合材料相关上市公司概况（单位：亿元）

代码	上市公司	公司介绍	产品形态	2021年营收	2021年净利润
600862.SH	中航高科	航空工业集团下属上市企业。稳步推进商用航空发动机复材零部件研制，完成商用航空发动机复合材料风扇叶片、流道板、叶栅等产品的研制任务	碳纤维复合材料	38.08	5.91
603678.SH	火炬电子 (立亚特陶)	CASAS-300特种陶瓷材料，与陶瓷基体同属陶瓷材料，可用于各类型的发动机、热结构材料的主选材料，能有效改善发动机性能，提高燃烧效率	陶瓷基复合材料	47.34	9.56

资料来源：WIND，中航证券研究所

四、小型航空发动机—迎接无人机、通航时代的到来

(一) 小型航空发动机的分类与应用

相比于大涵道比民用涡扇发动机和大推力军用涡喷、涡扇发动机，小型燃气涡轮发动机并非大型航发的缩比，具有其独特的技术特点。首先，由于气动、结构和强度方面的“尺寸效应”，小航发的转速是大航发转速的3到5倍，甚至达到十几倍，因此在轴承、传动、润滑方面的设计不同。其次，大型航发多选择轴流式压气机，小型燃气涡轮发动机多采用离心压气机或离心与轴流结合的压气机技术。为了更好的匹配离心式叶片、保障燃油的高效燃烧，燃烧室往往采用回流或折流等特殊设计。因此，小航发的研制方法并不能照搬大航发，而需要专业团队进行专门设计研究。活塞发动机提高功率的办法主要是增加气缸数量，普惠公司 R-4360 发动机气缸数量 28 个，功率约 2600kW，基本上代表了活塞发动机功率的巅峰，仍然属于小型航空发动机的范畴。

表43 小型、大型燃气涡轮发动机的技术特点比较

不同点	大型发动机	小型发动机
转子速度	约 5000-15000rpm	约 20000-120000rpm
压气机构型	一般采用轴流式压气机	一般采用离心式或离心与轴流组合压气机
燃烧室构型	一般采用直流式燃烧室	一般采用回流式、折流式燃烧室

资料来源：公开信息，中航证券研究所

小型航空发动机在军用和民用领域应用广泛，根据性能优势和技术特点，不同类型的发动机具有不同的适用范围，装机对象主要包括无人机、通用航空飞行器、巡航导弹和巡飞弹。

涡喷发动机在高速飞行条件下具有优势，但由于耗油率较高，在 2kN 推力以上和长航程的应用场景下已经被涡扇发动机所替代，小推力涡喷发动机在靶机、靶弹等特殊的应用领域仍然具有独特的地位，而在民用方面，数十公斤推力的微型涡喷在近几年受到航模爱好者的推崇。小型涡扇发动机和涡桨发动机主要应用于通用飞机和大型无人机，配备涡扇发动机的无人机基本上都代表了世界无人机的最高水平，其升限一般在 10000~20000 m，最大飞行马赫数可以达到 0.85。小型涡轴发动机主要应用于小型军用直升机和通用直升机。

活塞发动机的技术较为成熟，具有良好的经济性和可靠性，主要应用于军、民用低速飞行器，特别是在中低速无人机、长航时无人机、通用飞机领域占据主导地位。其中重油活塞发动机具有更高的燃油效率和燃料的安全性、经济性，受到无人机市场的青睐，比如美军的MQ-1“捕食者”无人机采用的是Rotax 914F涡轮增压活塞发动机。转子发动机的结构简单，具有功重比高、振动与噪声小等优点，适合作为小型无人机的动力装置。比如 Austro 的 AE50R 转子发动机（功率 41kW）已于 2011 年获得欧洲航空安全局的适航认证，并应用于西贝尔公司无人直升机。

表44 小型航空发动机的主要应用领域

发动机类型	军用领域	民用领域
涡喷发动机	巡航导弹、靶弹、靶机、高空高速无人机	航模、单人飞行器
涡扇发动机	教练机、轻型攻击机、轻型运输机、反潜攻击机、预警机、巡航导弹、无人侦察机、无人攻击机、靶机、靶弹	公务机、轻型运输机、中小支线客机
涡轴发动机	武装直升机、边防巡逻机、战术运输机、搜索救援机、反潜机、无人直升机	勘探直升机、警务机、公务机、救生直升机、农林机
涡桨发动机	初级教练机、轻型运输机、轻型攻击机、侦察机、预警机、低速无人机	农林机、公务机、轻型运输机
活塞发动机	初级教练机、低速无人机、无人直升机	农林机、轻型飞机
转子发动机	低速无人机、无人直升机	轻型飞机

资料来源：《大力加强我国中小型航空发动机技术的发展》，中航证券研究所

近年来，小型航空发动机随着下游应用的延伸和拓展而不断向前发展，特别是随着以无人机、通用航空为代表的市场不断打开，作为关键核心的动力装置，小航发市场也迎来了前所未有的发展契机。

（二）小型航空发动机产业链

相比于大型航空发动机，小型航空发动机的热端部件温度较低，对于材料要求略有降低，但仍然以铝合金、高强度钢、钛合金和镍基高温合金为主。

产业链的中游为单元体制造和发动机整机装配，包括发动机原料及零部件采购与组装、发动机关键零部件加工制造，以及发动机整机装配和出厂测试。航空发动机产业为主承包商-供应商发展模式，发动机主机厂的身后则有一列长长的供应商名单，将大量的生产工作甚至一些零部件/子系统的研发工作转包给供应商。产业链的

下游为发动机交付和运营、维修，小型航空发动机主要服务于无人机、通用航空、巡航导弹等领域。发动机零部件更换及维修。军用主要由军队相关单位提供维修保养，民用则由运营单位进行日常维护，以及由交付单位提供返厂大修和回收报废。

图36 小型航空发动机产业链



资料来源：公开信息，中航证券研究所

(三) 小型航空发动机市场分析

1、无人机是小航发主战场

无人战斗机要求动力装置工作包线宽广，加、减速性能好，巡航耗油率低，隐身性能好，一般采用涡扇发动机。信息无人机往往具有高空、长航时特点，一般采用涡扇发动机或活塞发动机。小型低空无人侦察机动力装置功率小，但要求其质量小，加工成本低，一般采用活塞发动机。察打一体机既要侦察、监视，也要实施电子战、实弹攻击等任务，动力装置需融合速度、高度、续航和隐身优势，一般采用涡轮增压活塞发动机，也可以采用涡桨发动机和转子发动机。靶机可以分为低速靶机、亚音速靶机和超音速靶机，其中低速靶机一般采用活塞发动机，亚音速靶机一般将涡喷发动机作为首选动力，而超音速靶机一般采用火箭发动机和冲压发动机。

无人直升机作为旋翼机，其动力要求较为特殊，涡轴发动机具有功重比大、结构紧凑、振动小、高原性能好、燃料适用性好、便于维修等优点，成为直升机的主要动力装置。重量较轻的无人直升机也可以采用或活塞发动机或转子发动机。

表45 不同类型军用无人机动力装置要求和类型

类型	动力装置要求	动力类型	代表型号	动力装置
无人战斗机	机动性好，工作包线宽广，巡航耗油率低，隐身性能好	涡扇发动机	X-47B	普惠 F100-220U
			“神经元”	阿杜尔 M88
			“雷电之神”	阿杜尔 MK951
			“电鳐”	RD-93
信息无人机	长航程、低油耗、长寿命、大负荷、高可靠性	涡扇发动机	“全球鹰” RQ-4	罗罗公司 AE-3007E
			“暗星” RQ-3	威廉姆斯公司 FJ-44-1A
		活塞发动机	“苍鹭” TP	Rotax 914
察打一体机	融合飞行速度、高度和续航时间优势	活塞发动机	“捕食者” MQ-1	Rotax 914F
			翼龙-1、彩虹-4	Rotax 914F
		涡桨发动机	“死神” MQ-9	霍尼韦尔 TPE-331-10Y
		转子发动机	“影子” RQ-7	AR-741
靶机	低速靶机：模拟中低速度飞行状态，推力小，成本低	活塞发动机	美国 MQM33/36；意大利的米拉奇-10、米拉奇-20	
	亚音速靶机：模拟亚音速飞行状态，推力中等	涡喷发动机	法国的 C22	TRI60-2-071
			BQW-74 “石鸡”	WR24-8
			美国 KDA-1 “火蜂”	J69-T-29A
	意大利的米拉奇-100、米拉奇-300			
超音速靶机：模拟超音速飞行，推力大	火箭发动机 冲压发动机	GQM-163A “郊狼”	Mk 70 MARC-R-22	
无人直升机	垂直起降、空中悬停（能执行侦察、监视、目标截获、诱饵、攻击、通信中继等任务）	涡轴发动机	“火力侦察兵” RQ-8A/B	罗罗公司 250-C20W
			“哨兵” CL-227 CL327	威廉姆斯国际 WTS-125
		活塞发动机	KA-137	Hirth 2706-R05
		转子发动机	Camcopter S-100	Austro AE50R

资料来源：《世界无人机动力装置及其发展趋势》，中航证券研究所

长期以来，我国在发动机研制方面，将绝大部分资源都投入到了主力战机的配套发动机研制中去，现有的大部分发动机是根据有人驾驶飞机配套研发的，而针对无人机需求的小型发动机的发展滞后于无人机系统。

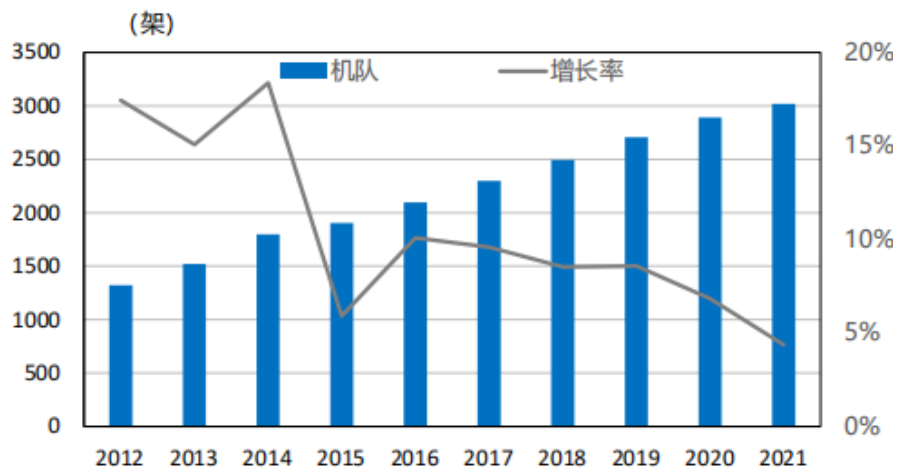
广泛应用于中小型中空低速无人机的活塞发动机，国内市场较大份额被奥地利罗塔克斯（Rotax）公司、美国莱康明（Lycoming）公司占据，而对于燃油性能和高空性能更加优异的重油活塞发动机，部分国外厂家禁止国内用作无人机动力。

燃气涡轮发动机方面，目前国内市场在长寿命小型涡轮燃气发动机领域，如300kW以下级别的小型涡轴/涡桨发动机、2-10kN推力的小型涡扇发动机等，可用产品较少。对于高空长航时无人机，我国已有多家单位研发高空长航时无人机，其动力装置的选择成为影响研发及竞争力的重要因素之一。

2、通用航空：发动机可靠性与经济性要求高，市场潜力大

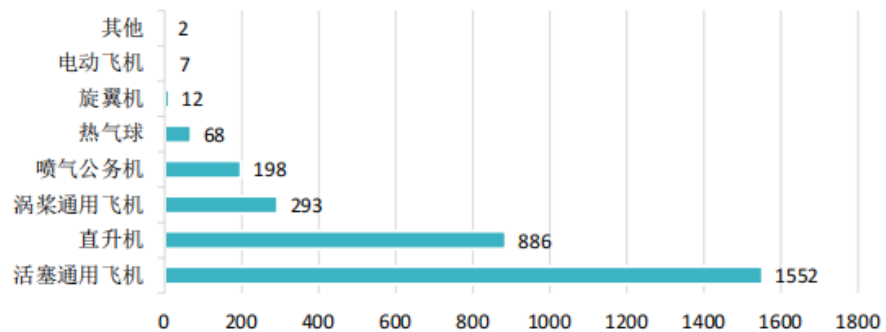
中国通航机队规模稳步增长，截至2021年末，中国通航在役机队规模达到3018架，较上一年度新增126架。近十年，我国通航机队规模平均增速为10.5%。我国通航市场以活塞通用飞机为主，机队规模为1552架，占整体的51.4%。直升机、涡桨通用飞机和喷气公务机机队规模分别为886架、293架、198架，此外，电动飞机数量为7架。

图37 中国在役通用航空器架数（2010年-2021年）



资料来源：《通用航空中国市场预测年报 2022-2041》，中航证券研究所整理

图38 2021年中国在役通用航空器数量（单位：架）



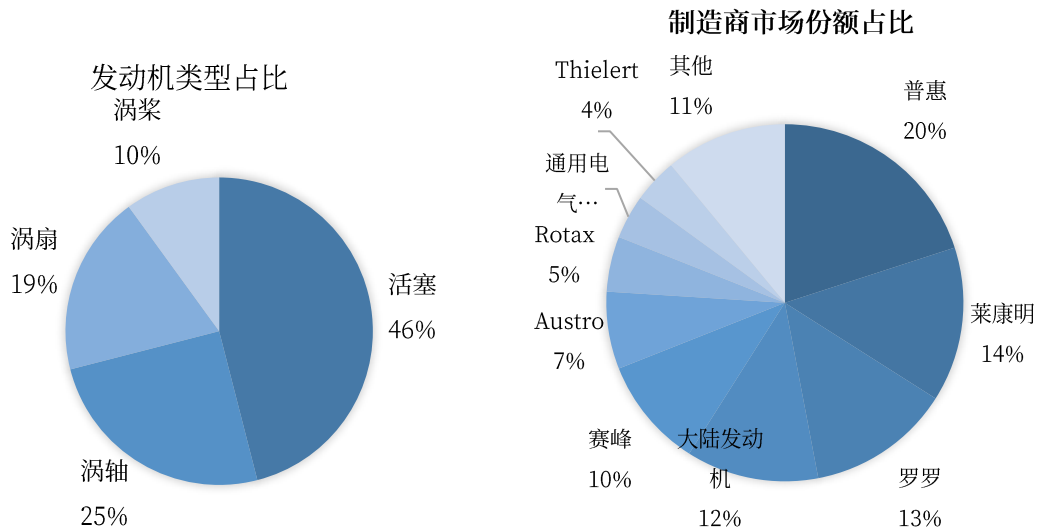
资料来源：《通用航空中国市场预测年报 2022-2041》，中航证券研究所整理

在通用航空器的国产化方面，目前我国的国产通用航空器仅占 28%。在零部件特别是核心零部件方面，也需大量依赖国外技术或产品，特别是通用航空飞行器的发动机，目前我国通用航空发动机市场仍旧是外国制造商占据绝对主导地位，国产的通用飞机“运五”“初教六”“农五”“小鹰 500”，以及引进生产的“塞纳斯 162/172”“钻石 40/42”“佳宝 J160”等固定翼飞机，所使用的活塞发动机基本上都是由国外进口。

《中国通航报告 2021》显示，截至 2021 年 6 月，我国内地运营中的通用航空器的发动机数量总共为 3936 台，其中，活塞发动机占据近一半，占比达 46%。从制造商市场份额占比来看，普惠公司在涡轴、涡扇和涡桨皆有极高的市场占有率，在制造商排名中稳居第一，总体市场份额达到 20%。在活塞发动机市场努力耕耘的

莱康明和大陆发动机，因为活塞发动机庞大的市场份额，在发动机市场上中总数排名第二（14%）和第四（12%），罗罗和赛峰则因各自在涡轴和涡扇市场上优秀的表现而分别位列第三（13%）和第五（10%）。

图39 2014-2021年中国大陆通航数量变化以及2021年航空器类型占比



资料来源：《中国通航报告 2021》，中航证券研究所

（四）小型航空发动机市场竞争格局—国际竞争激烈，国内企业积极推进国产化

在小型航空发动机方面，我国的多家军工集团单位已研制和生产多款小航发产品，并应用于巡航导弹、靶机、无人机等飞行器。据公开报道，中国航发作为中国航空发动机产业的国家队，在小型航空发动机方面积累了大量经验，研制了多型小型涡扇、涡轴、活塞发动机等。中国航发集团多款小型涡喷、涡扇、涡轴、涡桨发动机参展，积极推进无人机和通用飞机动力的国产化。航天科工三院 31 所、总参 60 所也有部分成熟产品，可用于无人机和靶机等。

表46 我国小型航空发动机主体体系内企业和相关产品

公司名称	类型	应用领域	进展情况
航天科工三院 31 所（北京动力机械研究所）	涡喷	巡航导弹、无人机	CTJ-2 已应用于 C802 导弹，CTJ-20、40 亮相 2021 年珠海航展
	涡扇	巡航导弹、无人机	CTF-9、12 亮相 2021 年珠海航展
航发集团： 中国燃气涡轮研究院（624 所）、中国航空动力机械研究所（608 所）、中国航发南方工业有限公司（331 厂）、中国航发哈尔滨东安发动机有限公司、中国燃气涡轮研究院	涡扇	巡航导弹、无人机	WS300 在 2005 年定型
	涡喷	出口型中程高速无人机	2019 年四川航展
	涡扇	国产双发“云影”无人机	2019 年北京航展
		高空长航时无人机、公务机	
	涡轴	5~6 吨级双发和 3~4 吨级单发直升机	2021 年 7 月首飞成功
		6~8 吨级直升机	2019 年 10 月取证（与法国赛峰公司合作）
涡桨	无人机		
总参 60 所	活塞	小型无人机	批量生产
	涡喷	小型无人机、靶机或小型飞弹/导弹	批量生产

资料来源：各公司官网，中航证券研究所整理

近几年，随着军品市场准入门槛降低和我国工业制造水平的提升，加之小航发本身的研制门槛相对较低，系统外企业在小航发领域日渐活跃，相关的民营企业数量也逐渐增加，各家企业之间差异化竞争，产品系列基本上覆盖了小型航空发动机的主要应用范围。

活塞发动机方面，以宗申动力控股子公司宗申航发和安徽航瑞为代表的企业坚持走自主研发的道路，而以厦门林巴赫航发、武汉文发航空、隆鑫通用、芜湖钻石航发、山河航空动力为代表的公司则选择收购国外成熟发动机公司或者以成立中外合资公司的模式进入航空发动机领域。

燃气涡轮发动机近几年受到资本市场的广泛关注，多家民营企业通过联合高校、科研院所，或通过引进国外技术，纷纷进入此领域。如中科航星研发 4~10 kN 推力级小型涡扇发动机；北京航空航天大学联合泸州市政府成立泸州研究院，研发

100kW 级涡轴发动机；安徽应流航空联合德国 SBM 涡轮公司开发了 97kW 和 120kW 两种型号的涡轴发动机；浙江华擎航发研发 5.6kN 涡扇发动机，2019 年与四川航天中天动力装备有限责任公司和哈尔滨腾迈通用航空科技有限公司签约，打造小型涡喷涡扇发动机研发生产基地等等。

近几年，随着军队实战化训练的持续推行、民参军门槛降低，一次性使用的靶机、靶弹市场向民营企业持续扩大开放，其配套使用的小微型涡喷发动机的需求出现了井喷之势，此外，随着国内高端航模市场兴起，航模飞机的微型涡喷发动机和微型涡轴发动机也受到关注，市场需求扩大。保定玄云涡喷动力、驰宇空天、中科航星、中动航空科技、海空天微型航空航天发动机有限公司等国内民营企业敏锐地抓住了市场需求，都在生产或研发各自的小微型涡喷发动机产品。

表47 我国小型航空发动机主要民营企业概况

公司名称	成立时间	主要产品	应用领域
驰宇空天技术有限公司	2008	涡喷发动机：CY-WP 系列（推力 40~160kg）	高速无人机、靶弹、巡航导弹
福建德龙航空科技股份有限公司	2012	活塞发动机（德国林巴贺）：功率 15~118kW	无人机、直升机、旋翼机、飞艇
保定市玄云涡喷动力设备研发有限公司	2013	涡喷发动机：推力 6~80kg	靶标、巡飞弹、无人机、高速航模、农业植保等
重庆宗申航空发动机制造有限公司	2014	活塞发动机：C80、C115、C145 等（功率 2~400HP）	旋翼、固定翼通航飞机、无人机
安徽航瑞航空动力装备有限公司	2015	活塞发动机：7、13、150HP（量产）400、800HP（在研）	无人机、巡飞弹、通航飞机、旋翼机
中科航星科技有限公司	2016	涡喷发动机：TWP140、TWP200 等（推力 60-500kg）	无人机、靶机、巡航导弹、巡飞弹
		涡扇发动机：TWS800（推力 400~1000kg）	
		涡轴/涡桨发动机（功率 300~600kW）	
浙江华擎航空发动机科技有限公司	2016	涡喷发动机（推力 200kg、400kg、446kg）	无人机、小型公务机、靶弹
		涡扇发动机：HQ500G（在研）	
中发天信航空发动机科技股份有限公司	2016	涡喷发动机：ZF850（推力 8.3kN）、ZF1000（推力 10.0kN）	战略无人机、无人战斗机
		涡扇发动机：11D（推力 10.0kN）	
		涡扇发动机：11D（推力 10.0kN）	公务机、巡航导弹

无锡鸿鹏航空动力有限公司	2020	涡桨、涡轴、涡喷发动机	无人机、运输机、靶弹
--------------	------	-------------	------------

资料来源：爱企查，各公司官网，中航证券研究所整理。注：企业按成立时间先后排序

五、产业发展方向及重点关注领域

(一) 航发产业链投资主线分析

1、主机厂新型号产品逐步成熟，期待盈利能力提升

目前，我国已具备自主研制生产当今几乎所有种类航空动力，包括先进航空发动机的能力。多款国产战鹰接连官宣换装“中国心”，一方面体现了我国航空发动机的技术的确取得了长足的进步，另一方面，表明我国航空发动机正式进入国产替代进程，将极大的打开市场空间。

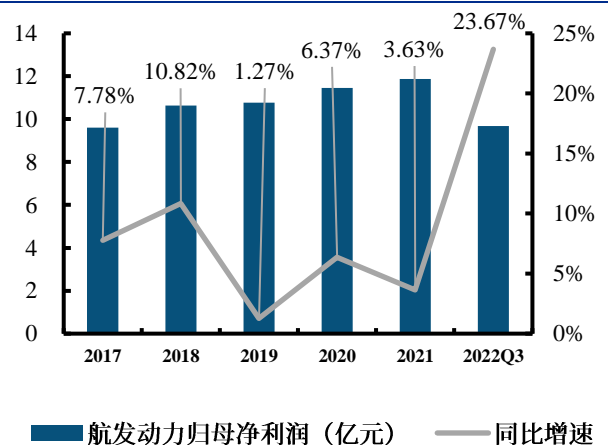
虽然我国航空发动机取得了长足的进步，新产品陆续定型量产，但航发动力的盈利能力和利润率并不高，尤其近五年，毛利率呈现下滑的趋势，呈现增收不增利的局面，净利率与国外相比也明显偏低，以 2021 年为例，航发动力净利率仅为 3.61%，而 GE 航空净利率为 13.52%、赛峰集团则达到了 18.04%。

从代表行业增速的下游主机厂航发动力来看，2021 年主机厂收入增速创历史新高，首次接近 20%。但归母净利润并未出现同幅度增长，毛利率近年来持续下滑；这一方面与新产品交付增多，产品成熟度仍需要进一步加强；另一方面，去年原材料上涨对公司造成了一定的影响。

图40 需求增加，行业收入迎来提速



图41 航空发动机主机厂归母净利稳步提升



资料来源：WIND，中航证券研究所整理

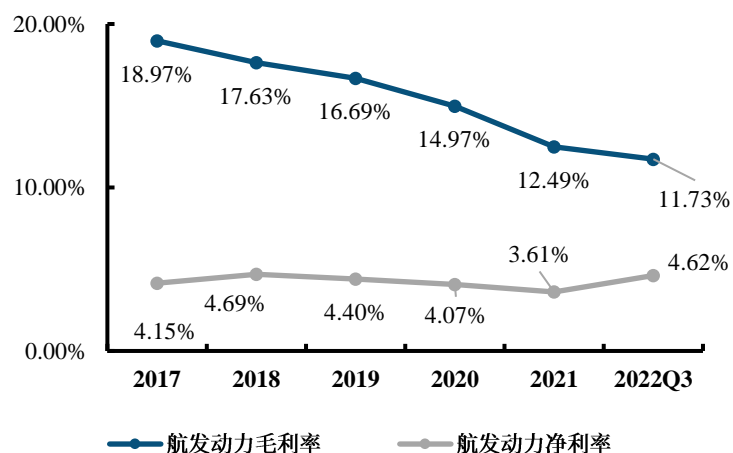
表48 航发动力主要子公司近五年财务数据

公司名称	科目	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年
航发动力母 公司（西 航）	营业收入（亿元）	60.98	64.10	67.40	63.35	90.14
	增速（%）	0.72%	5.12%	5.15%	-6.01%	42.29%
黎明公司	营业收入（亿元）	114.13	112.79	126.50	159.21	186.35
	增速（%）	14.45%	-1.17%	12.16%	25.86%	17.05%
南方公司	营业收入（亿元）	38.45	49.44	58.38	71.90	80.31
	增速（%）	-3.25%	28.58%	18.08%	23.16%	11.70%
贵州黎阳	营业收入（亿元）	22.07	21.84	34.57	22.67	30.20
	增速（%）	4.45%	-1.04%	58.29%	-34.43%	33.22%

资料来源：WIND，中航证券研究所

同时主机厂规模效应逐步显现，三费费用率出现五连降。随着产品收入规模的增大，三费费用率逐年下降，尤其是合同负债到账后，财务费用率出现了显著下降，费用率的下降给公司盈利预留了一些空间。但整体来看，公司净利率仍旧没有突破5%，维持在较低的水平。随着产品成熟度的上升，规模效应逐步显现后，主机厂的毛利率、净利率还有较大的提升空间，有望进入增收又增利的良性发展轨道。

资产负债表端，多个指标显示下游景气度仍旧在持续，以航发动力为链长的总装厂收到大额合同负债落地，在手订单高增，关联交易增速创新高等，说明行业需求仍旧处于较为旺盛的态势。

图42 产品成熟度有待提升，主机厂盈利水平仍较低


资料来源：WIND，中航证券研究所

2、小核心、大协作深化，关注产业链拓展取得业务增量的企业

按照“小核心、大协作、专业化、开放型”发展策略，主机厂聚焦核心能力，并将通用性强、市场竞争充分的零部件加工、工装制造、部组件装配、设备维保等业务转向社会企业配套，培育安全性强、弹性高的供应体系，发挥社会化产能优势，实现产业链能力的快速提升。截至 2022 年 5 月，航发集团外部配套率为 27.8%，与成飞集团外部的配套率 75%（2020 年底数据）相比，有较大的提升空间。

为应对下游快速增长的需求，航空发动机企业纷纷寻求资本市场支持，启动扩产，行业呈现如火如荼保交付的大好局面。同时，部分企业联合主机厂或围绕主机厂延伸新业务。如航发动力与钢研高纳共同出资设立西安钢研高纳航空部件有限公司，用以承接航发动力外协订单，实现双赢局面；图南股份在沈阳设立子公司，开展航发零部件业务。

一方面，企业通过内生+外延，纵向完善产业链，巩固核心能力，提升配套层级，持续提升竞争力。如高温合金企业，钢研高纳联合航发动力新设西安钢研、图南股份联合华秦科技新设华秦航发，由高温合金材料向零部件加工拓展；钢研高纳新设锻造子公司，由材料延伸至锻造，打开新的市场空间；另一方面，企业在原有技术积累和产品结构的基础上，完善产品体系和品类，实现产业链横向拓展。

表49 航空发动机产业链主要企业扩产及延伸产业链情况

资金来源	公司简称	产业链对应环节	公告时间	投资金额 (亿元)	对应投向
IPO	航宇科技	锻造件	2021/7/2	4.0	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
IPO	华秦科技	隐身材料	2022/3/4	31.6	特种功能材料产业化项目等
IPO	隆达股份	高温合金	2022/6/21	8.6	新增年产 1 万吨航空高温合金技改项目
定增	中航重机	锻造件	2021/6/29	19.1	航空精密模锻产业转型升级项目、特种材料等温锻造生产线建设项
定增	航发控制	控制系统	2021/10/22	43.0	航空发动机控制系统科研生产平台能力建设项目、四个子公司核心产品能力提升建设项目等
定增	派克新材	锻造件	2022/10/11	15.0	航空航天用特种合金结构件智能生产线建设项目
自有资金	图南股份	零部件加工	2021/11/18	1.6	航空中小零部件自动化加工生产线项目
自有资金	抚顺特钢	高温合金材料	2022/3/31	10.8	为突破公司重点产品产能瓶颈，进一步提高公司产品交付能力及产品质量，公司拟 2022-2023 年度使用自有资金投资建设相关技术改造项目

自有资金	钢研高纳+航发动力	零部件加工	2022/4/23	0.8	与航发动力共同出资设立子公司；持股比例67.97%，航发动力以其部分资产出资，持股比例32.03%
自有资金	钢研高纳	零部件锻造	2022/6/9	0.1	围绕公司主营业务产业链的拓展，促进公司长远战略规划逐步落地，以自有资金在四川省德阳市投资设立全资子公司“德阳市钢研高纳锻造有限责任公司”
自有资金	华秦科技+图南股份	零部件加工	2022/8/24	2.4	华秦科技拟与图南股份、陕西黎航万生商务信息咨询合伙企业（有限合伙）、沈阳黎航发石化机械设备有限公司、沈阳新大方电力设备有限公司，共同出资设立沈阳华秦航发科技有限责任公司，注册资本24,000万元，本次设立是公司进一步在航空发动机产业链上的布局与延伸，是对公司长期发展战略规划的践行，有助于增强公司竞争力。
拟上市	航材股份	高温合金、钛合金材料	2022/6/23	26.2	航空高性能弹性体材料及零件、航空透明件、大型飞机风挡玻璃项目、航空发动机及燃气轮机用高性能高温母合金制品、航空航天钛合金制件热处理及精密加工工艺升级等
拟上市	航安型芯	陶瓷型芯	2022/6/16	4.5	陶瓷型芯生产基地建设项目

资料来源：WIND，公司公告，中航证券研究所整理。注：统计时间周期 2021 年—2022 年 10 月

3、专注关键技术，如先进材料、增材制造、叶片等有望成为体系外企业突破点

一般而言，民营企业技术和资金实力相对有限，在大型航空发动机整机上较难取得突破。但航空发动机是一项复杂的系统工程，其技术一直处于迭代更新中，在某些细分的核心环节，体系外通过技术攻关，可能取得突破，如叶片、材料等领域。

① 新材料：复合材料，特种功能材料等

“一代材料、一代发动机”，材料是航空发动机性能、耐久性/维修性和成本的决定性因素，航空发动机性能改进的 50%—70%靠材料。新材料、新工艺和新结构对推重比 12—15 发动机的贡献将达到 70%—80%，其中复合材料的用量可达到 15%—20%。

新材料是航空动力技术进步的重要基础，是提高军用航空发动机推重比的主要突破口。主要有：树脂基复合材料、纤维增强的钛基材料、耐高温合金材料、陶瓷

基复合材料、碳-碳基复合材料等。通过采用新材料，在保证其耐高温性、高强度的前提下，减轻发动机质量。此外部分特种材料如隐身材料、热障涂层材料等，部分高校、科研院所、企业等已经开始布局，取得产业化突破的企业将具备较大的先发优势。

② 制造工艺：叶片、增材制造等

航空发动机在制造的精细性上要求非常苛刻，这种精细性不仅体现在对尺寸精度、形位公差、配合间隙的要求很高，还体现在对显微组织、表面完整性、残余应力、机械加工变质层等方面都有极高的要求。

航空发动机制造工艺极其复杂，核心工艺包括宽弦空心风扇叶片扩散连接，复杂空心叶片精铸、复杂陶瓷型芯制造、钛合金锻造、微孔加工、涂层与特种焊接等先进制造技术等。

增材制造技术可大幅减少工序数量、缩短制造周期、减少成本且减轻重量，主要优势体现在所制造产品的复杂程度、生产制造的范围、生产效率、满足客户个性化需求等方面。由于增材制造工艺较传统工艺具有独特的优势，越来越受到发动机设计及制造行业的重视。

叶片是航空发动机关键零件，它的制造量占整机制造量的三分之一左右，是发动机中数量最大的一类零件。工信部将其列为工业基础产品和工艺应用难题，并给出航空发动机耐高温叶片“一条龙”应用计划示范企业。在叶片领域，航亚科技的精锻叶片、应流股份高温合金叶片等均取得了不错的进展。

③ 试验及检测

航空发动机从研发到投入使用，需要经过材料级、模型级、零件级、部件级、子系统级、核心机级和整机级的多轮次、多层级试验验证。航空发动机研制所需的部件试验验证大约需要 100000 小时，子系统级试验验证大约需要 40000 小时，整机级试验验证大约需要 10000 小时的地面和高空模拟试验，以及 2000 小时的飞行试验。

先进航空发动机需要大力发展在线检测技术，包括性能检测、缺陷检查、故障判断、尺寸测量、状态监控等；也亟须发展在极端环境下的测试技术，如高温应变测量能力，需研制光学应变测量系统作为应变计的替代设备，进行大量试验考查高温应变计工作稳定性、测量误差及表面应变随温度的变化特性等；还需研发新型传感器，如光纤传感器、薄膜传感器、红外传感器和新型谐振式传感器等；高温成像

探针和荧光测温也是高温和燃气涡轮发动机环境中亟须的专项测试技术，可为发动机试验测试提供全方位的技术支持。

民营企业在航空发动机的核心环节、关键工艺等取得突破将形成较高的壁垒，既有力地促进了行业的发展，同时也将自身带来稳定且丰厚的回报。

(二) 产业链全景图及重点公司概况

经过数十年的发展，我国航空发动机产业已经形成涵盖研发设计、加工制造、运营维修三大环节的科研生产体系。

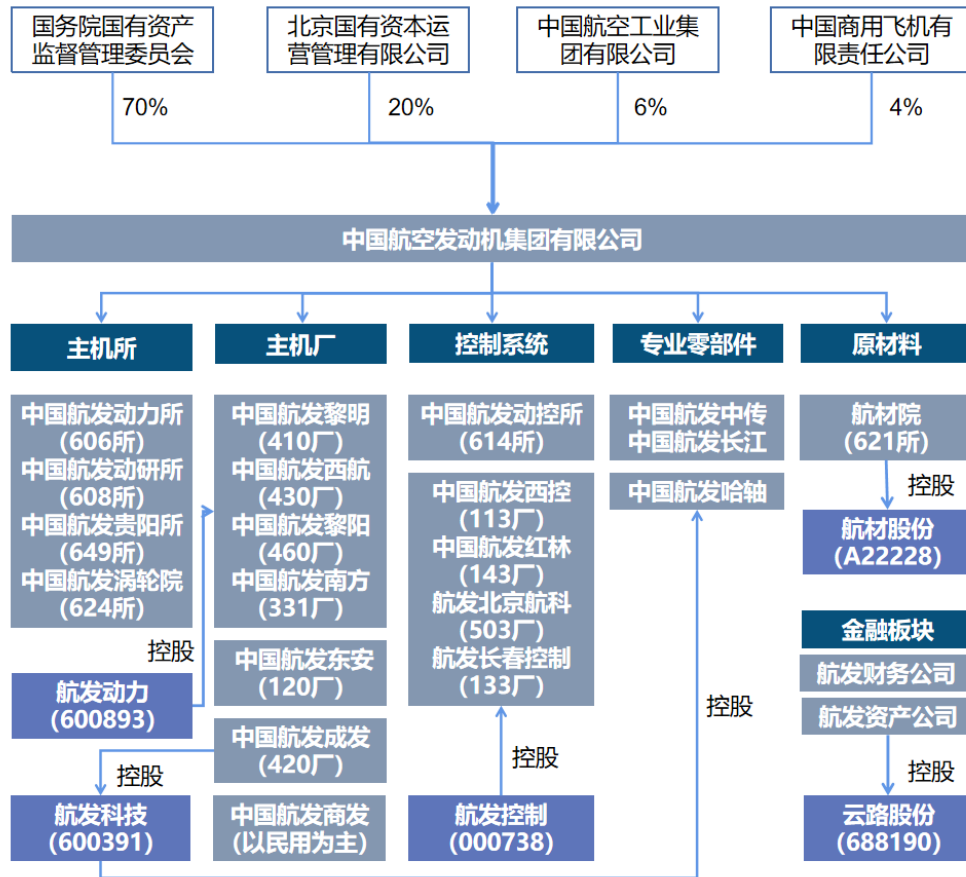
- ① 研发设计环节分为基础预研、子系统设计、整机集成设计等子环节，参与主体为中国航发系统内单位、航空类高校及相关科研院所。
- ② 加工制造环节涉及原材料、零部件、整机集成等子环节，参与主体除了中国航发系统内单位，还包括系统外企业、科研院所。
- ③ 运营主体主要是军队，维修主体包括中国航发下属维修企业和专业化维修企业。

图43 我国航空发动机科研生产体系主体构成



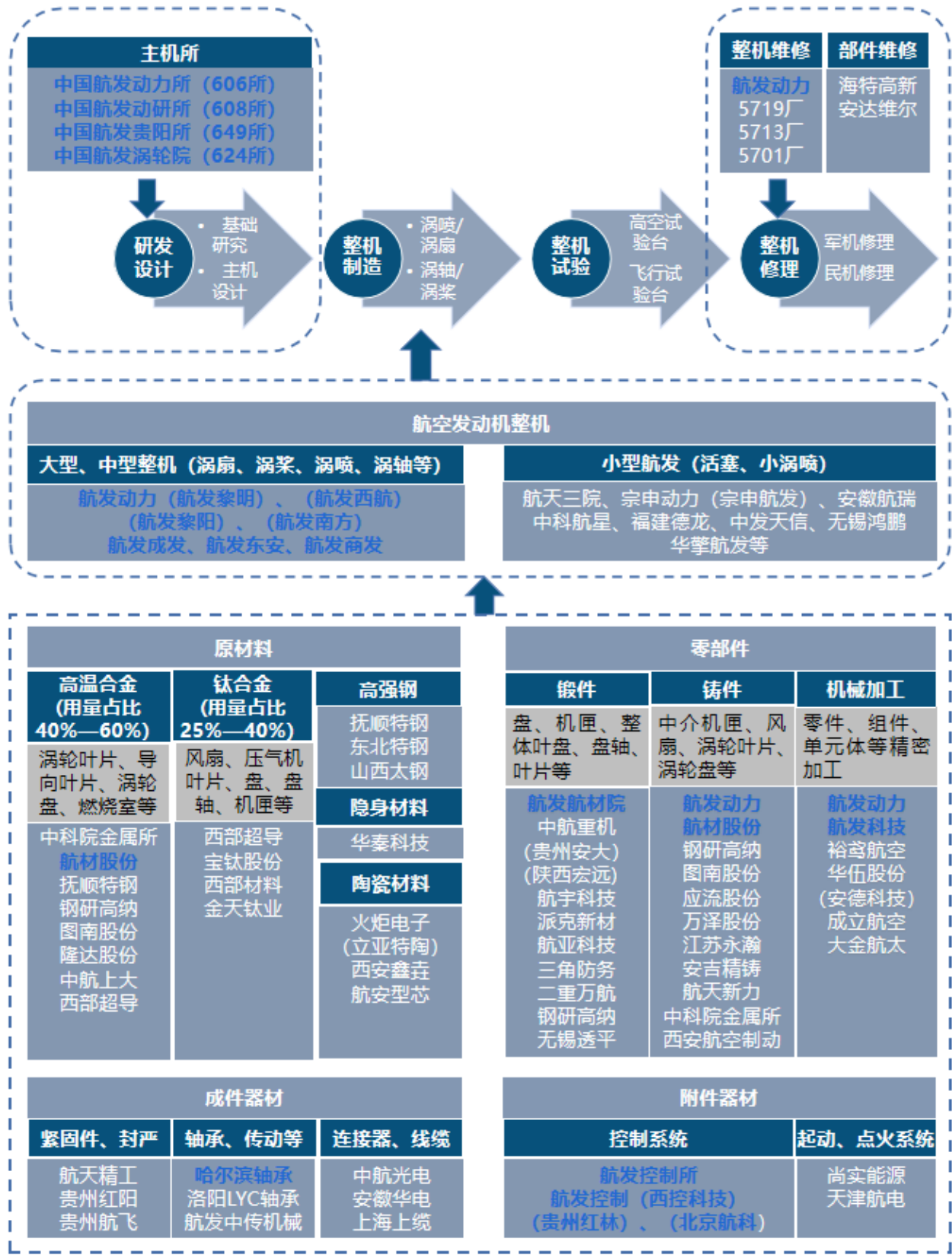
资料来源：《航空发动机关键核心技术攻关的组织策略研究》，中国知网，中航证券研究所

图44 航发集团股权结构及业务分类



资料来源：天眼查、WIND、公开资料整理，中航证券研究所

图45 国内发动机产业链主要企业



资料来源：公开资料，中航证券研究所 注：标注为蓝色企业为航发集团控股

表50 航空发动机产业链各环节现状及全景图

产业链环节	现状	主要企业		
总装	航发集团体系内企业主导	航发动力	中国航发黎明（大中型涡扇航空发动机）	
			中国航发黎阳（中小推力涡扇、涡喷航空发动机）	
			中国航发西航（大中型涡扇航空发动机）	
			中国航发南方（涡轴、涡桨类中小航空发动机）	
				中国航发成发（涡喷、涡扇、国际转包、试验等）
				中国航发哈尔滨东安（直升机传动系统、涡桨、涡轴）
				中国航发常州兰翔（涡轴等）
				中国航发商发（民机涡扇发动机）
控制系统	航发集团体系内企业主导	中国航发 614 所（控制系统及电子控制器/控制软件的研发、制造、集成）		
		航发控制	长春控制（燃油供给与计量装置，电液/电气转换装置，作动筒及伺服作动器，空气调节控制装置等专业核心产品）	
			西控科技（航空发动机燃油控制系统、飞机液压装置等）	
			北京航科（军用涡轴、涡桨航空发动机燃油控制与调节系统和涡扇发动机尾喷口控制系统）	
		贵州红林（各类油泵及液压控制系统、汽车零部件制造及修理业务）		
零部件—锻件	航发集团体系外企业为主，少数几家稳定供应	中航重机（环锻件、盘轴件、中小型锻件）		
		航宇科技（环锻件）		
		派克新材（环锻件）		
		三角防务（盘轴件）		
		钢研高纳（变形涡轮盘锻件、粉末涡轮盘锻件）		
零部件—铸件	国有控股企业为主，民营企业较少	航发动力（主机厂内部设有铸造分厂，可从事叶片等加工）		
		航材院	航材股份（中介机匣、压气机或风扇用钛合金精密铸件）	
			部分事业部从事高温合金叶片、复杂薄壁结构件、涡轮盘等	
		钢研高纳（涡轮叶片、小型涡喷、涡扇发动机整铸涡轮转子、导向器类铸件；大型涡扇发动机结构件；商用大涵道比涡扇发动机机匣结构件等）		
		图南股份（民营企业、铸造机匣等）		
		安吉精铸（高温合金、钛合金等铸件产品）		
		航安型芯（提供铸造用耗材，陶瓷型芯）		
零部件—叶片		贵州航发精铸（航发集团下属、航材院管理，涡轮叶片）		

	国有企业为主， 民营企业在细分 品类积极参与	钢研高纳（涡轮叶片等，包括等轴晶叶片、定向凝固叶片、单晶叶片） 安泰叶片（压气机叶片、风扇叶片等） 应流股份（涡轮叶片，包括等轴晶、定向单晶叶片等） 万泽股份（涡轮叶片，包括等轴、定向及单晶涡轮叶片） 航亚科技（压气机精锻叶片） 中科三耐（涡轮叶片）
零部件—增材 制造	新工艺、大趋势，体系内外企业积极进行尝试和拓展	铂力特（设备制造及方案提供商） 华曙高科（设备制造及方案提供商） 鑫精合(零部件加工供应商)
材料—高温合 金	体系外企业为主，差异化竞争。为巩固竞争力，较多企业启动扩产计划及向下游零部件拓展	钢研高纳（中国钢研下属，科研实力较强。铸造高温合金龙头企业，加大零部件布局） 抚顺特钢（特钢企业。变形高温合金领先企业，扩产计划有序推进） 图南股份（铸造高温合金企业，机匣市占率较高，加大零部件拓布局） 隆达股份（民营企业，后起之秀，铸造高温合金、变形高温合金产能逐步释放） 西部超导（西北有色院下属。聚焦重点牌号，小批量交付，逐步发展产业化能力） 航材股份（中国航发集团旗下唯一高温合金母合金生产单位）
材料—钛合金	以陕西为主的几家钛合金企业稳定供应	宝钛股份（全谱系覆盖，中国最大的钛及钛合金生产科研基地） 西部超导（西北有色院下属。航空用钛棒丝材主要研发生产基地） 西部材料（钛合金板材、管材等） 金天钛业（板材、棒材，航发集团各大发动机公司主要配套商之一）
材料—隐身涂 层	技术含量较高， 目前实现产业化 的企业极少	华秦科技（中高温隐身材料）
材料—复合材 料	面向未来先进发 动机，体系内外 企业均在进行技 术储备与产业化 准备	中航高科（航空工业集团下属企业，稳步推进商用航空发动机复材零部件研制） 立亚特陶（专注于陶瓷基复合材料，可用于航空发动机热端零部件制造）

资料来源：WIND，中航证券研究所

表51 航发产业链重点上市企业概况（单位：亿元）

分类	上市代码	公司简称	背景及特点	2021年 营收	2021年 净利润
主机厂	600893.SH	航发动力	中国航发集团下属上市企业。航发动力是我国军用航空发动机整机制造的主平台，也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；具备涵盖产品全寿命周期的设计、制造、总装、试车整套技术和发动机综合服务保障能力；具备一、二、三代航空发动机及燃气轮机的总装试车能力以及四、五代机试制能力	341.02	11.88
控制系统	000738.SZ	航发控制	中国航发集团下属上市企业。国内主要航空发动机控制系统研制生产企业，在航空发动机控制系统细分领域处于行业领先地位，市占率99%以上。公司全方位参与国内所有在役、在研型号的研制生产，具备行业领先的研制技术和能力，细分领域属于垄断地位	41.57	4.88
锻件	600765.SH	中航重机	发动机结构件；国内大型的精密轧制和特种锻造基地在高温合金、钛合金、粉末高温合金、不锈钢、铝合金等新材料、新工艺、新技术的锻造领域具备国内领先的研发优势	87.90	8.91
	688239.SH	航宇科技	发动机结构件；国内大型的精密轧制和特种锻造基地在高温合金、钛合金、粉末高温合金、不锈钢、铝合金等新材料、新工艺、新技术的锻造领域具备国内领先的研发优势	9.60	1.39
	605123.SH	派克新材	2013年开始进入航空航天、核电燃机等高端市场领域；主要做发动机环锻件	17.33	3.04
	300775.SZ	三角防务	中大型机体结构件为主。关键的结构件和发动机盘件在内的各类大型模锻件和自由锻件，拥有国内领先研发水平的拥有4万吨模锻液压设备	11.72	4.12
铸件	600893.SH	航发动力	中国航发集团下属企业，航空动力唯一主机厂上市企业。各大主机厂内部设有铸造分厂	341.02	11.88
	300034.SZ	钢研高纳	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	9.60	1.39



			金领域技术水平最为先进、生产种类最为齐全的企业之一		
	300855.SZ	图南股份	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	87.90	8.91
	A22228.SH	航材股份	中国航发集团下属企业。技术研发能力强，在航空市场居于领先地位，有稳定的客户群及成熟的产品	17.33	3.04
	430513.NQ	中科三耐	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	1.11	0.30
	A22167.SZ	航安型芯	民营企业。主要生产陶瓷型芯，主要客户包括航材院、航发集团下属企业等，目前市占率较高	1.45	0.90
增材制造	688333.SH	铂力特	专注于工业级金属增材制造（3D 打印）的高新技术企业，为客户提供金属增材制造与再制造技术全套解决方案，业务涵盖金属 3D 打印设备的研发及生产、金属 3D 打印定制化产品服务、金属 3D 打印原材料的研发及生产、金属 3D 打印结构优化设计开发及工艺技术服务（含金属 3D 打印定制化工程软件的开发等），构建了较为完整的金属 3D 打印产业生态链，整体实力在国内外金属增材制造领域处于领先地位	5.52	-0.53
	A22284.SH	华曙高科	专注于工业级增材制造设备的研发、生产与销售，致力于为全球客户提供金属（SLM）增材制造设备和高分子（SLS）增材制造设备，并提供 3D 打印材料、工艺及服务	3.34	1.17
叶片	603308.SH	应流股份	等轴晶叶片、定向单晶叶片等。截至 2021 年年底，“两机”业务累计取得 500 余品种的叶片、环形件和机匣开发订单，已开发完成的品种约 230 个，尚在开发阶段的品种约 270 个	20.40	2.31
	000534.SZ	万泽股份	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	6.56	0.95
	688510.SH	航亚科技	赛峰 leap 系列发动机压气机叶片批量交付的整体份额稳步提升，承接 RR 公司和 GE 公司压气机叶片	3.13	0.24



	600893.SH	航发动力 (安泰叶片)	生产商用航空发动机、工业和船用燃气轮机、汽轮机的压气机叶片和风扇叶片、医疗植入件及各类结构件	341.02	11.88
	A22228.SH	航材股份	各类母合金，用于生产航空发动机涡轮叶片、导向叶片、复杂结构件及整铸涡轮；粉末盘、各类结构锻件、饼材、环件	19.47	3.75
高温合金	600399.SH	抚顺特钢	民营控股，变形高温合金领先企业，航空航天市场占有率高达80%以上；变形高温合金市占率较高	74.14	7.83
	300034.SZ	钢研高纳	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，高温合金牌号120余种。公司承担75%以上国家层面变形高温合金研发项目，技术处于领先地位。	20.03	3.05
	300855.SZ	图南股份	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	6.98	1.81
	688231.SH	隆达股份	2015年涉足高温合金领域，第一期铸造高温合金母合金生产线于2017年投产，第二期变形高温合金生产线于2020年末试产	7.26	0.70
	688122.SH	西部超导	西北有色金属院旗下，聚焦的重点牌号产品已实现向客户的小批量交付，正在进行的产业化能力建设	29.27	7.41
	A22228.SH	航材股份	中国航发下属航空发动机用高温母合金唯一批产单位，高温合金牌号60余种	19.47	3.75
	A22396.SZ	中航上大	在高返回比再生高温合金制备和关键战略材料进口替代两个方面取得突破，产品应用场景覆盖航空航天、燃气轮机及汽轮机、核工程等多个领域	9.12	0.69
钛合金	600456.SH	宝钛股份	公司是中国最大的钛及钛合金生产、科研基地。主要产品为各种规格的钛及钛合金板、带、箔、管、棒、线、锻件、铸件等加工材和各种金属复合材料产品	52.46	5.60



	688122.SH	西部超导	主要从事高端钛合金材料、超导材料以及高温合金材料，是我国航空用钛合金棒丝材的主要研发生产基地，可以满足国家对新型战机、大型客机、大型运输机、重型直升机、舰载机、兵器、民品高端特殊医疗等对关键钛合金棒丝材的需求	29.27	7.41
	002149.SZ	西部材料	公司以钛产业（含钛及钛合金加工、层状金属复合材料、稀有金属装备及管道管件制造等）为主业，具有万吨级以钛为主的加工材生产能力，可生产各类优质钛及钛合金产品	23.95	1.33
复合材料	600862.SH	中航高科	航空工业集团下属上市企业。稳步推进商用航空发动机复材零部件研制，完成商用航空发动机复合材料风扇叶片、流道板、叶栅等产品的研制任务	38.08	5.91
	603678.SH	火炬电子	CASAS-300 特种陶瓷材料，与陶瓷基体同属陶瓷材料，可用于各类型的发动机、热结构材料的首选材料，能有效改善发动机性能，提高燃烧效率	47.34	9.56
隐身材料	688281.SH	华秦科技	民营企业。公司产品从中高温隐身材料向全温域隐身材料发展、从雷达或红外等单一功能隐身材料全面向多频谱兼容隐身材料方向发展，并实现隐身涂层材料与结构隐身复合材料并行快速发展的研发格局	5.12	2.33

资料来源：WIND，中航证券研究所整理



六、风险提示

- ① 疫情发展仍不确定，导致国内宏观经济承压，军费投入力度降低；
- ② 航空发动机研发投入大、周期长、风险高，型号进展可能不及预期；
- ③ 随着军品定价机制的改革，以及订单放量，部分军品降价后相关企业业绩受损；
- ④ 原材料价格波动，影响行业盈利能力；
- ⑤ 军工集团发展战略变化，影响上市公司定位。

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: 规模 20 余人, 为资本市场最大的军工研究团队, 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:

李裕淇, 18674857775, liyuq@avicsec.com, S0640119010012
李友琳, 18665808487, liyoul@avicsec.com, S0640521050001
曾佳辉, 13764019163, zengjh@avicsec.com, S0640119020011

分析师承诺:

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

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

免责声明:

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

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