

军工行业研究

行业深度研究

证券研究报告

军工组

分析师：杨晨（执业 S1130522060001）
 yangchen@gjzq.com.cn

联系人：黄怡文
 huangyiwen@gjzq.com.cn

航空锻造：稳定格局筑专业化壁垒，顺势而为拓产业链深度

核心观点

设备、工艺与材料先进性要求，航空锻造是锻造领域技术制高点。锻造作为航空制造中游关键环节，大型、精密、一体化发展，支撑飞机与发动机性能提升。材料端，航空锻造对铝合金、高强度钢、钛合金和高温合金难变形材料进行塑性加工，以实现良好机械性能；工艺端，整体锻造成形、等温精密锻造、精密轧制技术发展，提高锻件精度、性能与材料利用率。设备作为锻造技术与工艺实现的核心，大型模锻压机是世界范围内的稀缺资源，“大国重器”助力航空制造业发展。

军机与发动机各百亿级市场需求，专业化发展形成稳定配套格局。我们测算未来十年国内军机锻件年需求超 130 亿，军用发动机锻件年需求近百亿，商用航空市场国产大飞机、国产商发空间广阔，外贸转包市场疫情后恢复，需求端高增长持续。供给端格局稳定，中航重机下属宏远、安大、景航公司作为航空工业体系内企业，产品与客户覆盖全面；以三角防务、航宇科技、派克新材为代表的民企，通过细分领域的专注发展和技术积累，参与型号研制配套。扩产发展下具备规模化基础，航空锻造企业进入业绩释放期；同时紧跟行业趋势与客户需求，积极布局产品升级与产业链延伸。

装备批产释放规模效应，产线与技术升级优化推动行业降本增效。锻造设备是锻造企业核心资产，大型设备造价高昂、投产后折旧费用高；核心锻造设备产能弹性大，通过增加辅助设备具备挖潜空间。从小批量、多品种生产到件号批产，能够充分发挥设备能力与生产效率，同时摊薄模具成本，带来显著规模效益。锻造工艺参数要求严格，锻造企业通过数控智能产线进行规模化标准生产，不断研发精益技术与工艺水平，可以有效缩短研发周期、提升产品质量、减少原材料损耗，实现降本增效。

纵横拓展具备能力与客户基础，对标 PCC 发展路径打开市场空间。锻造设备与工艺具有通用性和可迁移性，基于客户资源与需求横向拓展品类，可加强系统配套能力。主机厂聚焦核心总装，零部件与装配需求外溢趋势下，锻造企业拓展机加与部件装配业务，可提升产品附加值与行业地位，同时有助于产业链降本与供应链安全。借鉴海外航空锻铸造龙头 PCC 发展路径，并购横向拓展打造航空锻造平台，纵向延伸结构件及原材料业务，规模与盈利显著提高，并为股东带来超额收益；国内优势企业根据自身专业化和规模化发展阶段特征，有望复制 PCC 路径，打开市场空间。

推荐关注

- 1) 中航重机：**航空锻铸造龙头，飞机与发动机锻造市场均占据主力地位，内生外延提升大型模锻件能力；规模优势下，积极向产业链上、下游延伸，打造一体化供货平台；产品附加值提高叠加内部改革推进，盈利能力不断提升。
- 2) 航宇科技：**专注航发环锻件领域，境内军品市场受益批产+科研型号需求，境外商用航空市场疫情后需求恢复，在手订单饱满预示高增长；工艺优化与规模效应释放下，盈利水平稳步提升，德阳投产发展再上台阶。
- 3) 三角防务：**依托 400MN 液压机形成大型模锻件承制优势，300MN 等温锻造液压机形成搭配，满足多品类研制需求；横向拓展中小锻件、发动机盘环件和精锻叶片，纵向拓展精加工、飞机蒙皮和部件组装，打开长期发展空间。
- 4) 派克新材：**航发环锻件核心供应商之一，型号批产放量带动业绩高增，持续技改投入扩充设备与产能，提升产品覆盖能力；顺应军机与国产大飞机市场精密模锻件需求增长，定增募投拓展模锻业务，有望带来新增增长点。

风险提示

新型号批产进度不及预期的风险，原材料价格大幅波动的风险，扩产及业务拓展进度不及预期的风险。

内容目录

一、锻造：航空制造中游关键环节	5
1、航空锻造是支撑飞机和发动机性能提升的重要基石	5
2、机体结构锻件：飞机关键承力部件，一体化锻造趋势	6
3、发动机锻件：结构多样分布广泛，强调难变形材料应用	8
二、设备为基，航空锻造大型、精密化发展	10
1、锻压设备和工艺共同决定金属材料性能提高幅度	10
2、模锻：一体化成形依托重型设备，等温锻为精密成型重要工艺	12
3、环锻：精密碾轧工艺提升环锻件质量，产线智能化要求较高	14
三、军机与发动机高景气需求，稳定格局打造专业化、规模化优势	15
1、机身与发动机锻造各百亿级市场，“军转民”空间广阔	15
2、专业化发展下格局稳定，锻造企业进入业绩释放期	17
3、募投助力企业扩产，规模化阶段战略存在差异	19
四、提升盈利能力：批产放量带来规模效应，智能化产线提高效率	20
1、大型锻造设备价格高昂，产能挖潜空间大	20
2、先进锻造对模具要求高，批产摊薄模具成本	21
3、智能化产线布局，降低材料与制造端成本	22
五、打开市场空间：立足中游，品类扩张与业务延伸	23
1、设备+工艺+客户资源禀赋，锻造企业具备扩品类基础	23
2、主机外溢需求+提升价值量动力，锻造企业向机加延伸	24
3、海外借鉴：业务纵横拓展，铸就 PCC 全产业链龙头地位	26
六、投资建议	27
七、风险提示	28

图表目录

图表 1：航空锻造支撑飞机和航空发动机性能提升	5
图表 2：锻造位于航空制造产业链中游	5
图表 3：锻造是航空制造的关键环节	5
图表 4：锻件在机体结构中的应用	6
图表 5：某强击机机身内部布置与主要受力构件	6
图表 6：F-22 战机机身 Ti-6Al-4V 隔框	6
图表 7：机翼元件示意图	7
图表 8：A380 飞机整体翼梁铝合金大型模锻件	7
图表 9：锻件在起落架上的应用	7
图表 10：某新型运输机起落架锻件设计图	7
图表 11：锻件在直升机上的应用	7
图表 12：锻件在航空发动机上的应用	8

图表 13:	航空发动机环锻件示意图	8
图表 14:	用于 LEAP 发动机的高压涡轮机匣和风扇机匣	8
图表 15:	钛合金盘锻件用于整体叶盘加工	9
图表 16:	涡轮盘结构较为复杂	9
图表 17:	典型航空发动机叶片机构	9
图表 18:	压气机动叶与静叶叶片	9
图表 19:	典型航空发动机轴件类型及形状	9
图表 20:	带封严装置的轴承座	9
图表 21:	常见金属材料成型工艺及特点	10
图表 22:	锻件内部金属晶粒更细, 力学性能更佳	10
图表 23:	锻件的金属组织流线更完整, 综合性能更好	10
图表 24:	锻造是基于材料的设备与工艺的结合, 锻造设备至关重要	11
图表 25:	典型锻压设备类型及工作特点	11
图表 26:	锻造工艺基本类型及特点	11
图表 27:	模锻工艺流程	12
图表 28:	开式模锻与闭式模锻对比	12
图表 29:	F-22 战斗机钛合金尾部发动机机架大型锻造部件	12
图表 30:	万航模锻 800MN 大型模锻液压机	12
图表 31:	国内部分 3 万吨以上模锻压机及加工能力	12
图表 32:	等温模锻工艺示意图	13
图表 33:	三角防务 300MN 等温模锻液压机	13
图表 34:	多向模锻的复合分模工艺实体图	13
图表 35:	西南铝业 1 万吨多向模锻液压机	13
图表 36:	环锻件生产流程和设备	14
图表 39:	我国军机数量与美国存在较大差异	15
图表 40:	我国军机机队结构与美、俄存在一定差距	15
图表 41:	预计未来十年国内军用飞机机体结构锻件市场空间超 1300 亿元	15
图表 42:	航空发动机研发与维修支出可观	15
图表 43:	航空发动机寿命短于机体寿命	15
图表 44:	预计未来十年国内军用航空发动机锻件市场空间超 900 亿元	16
图表 45:	国产民用大飞机 C919 发展历程	16
图表 46:	国产商用发动机渐成谱系	16
图表 47:	国际航空发动机四大主机厂多种部件转包生产	16
图表 48:	国内主要从事航空锻造的企业	17
图表 49:	主要公司归母净利润增速	17
图表 50:	主要公司净利率	17
图表 51:	主要公司可比业务收入 (亿元)	18
图表 52:	主要公司可比业务收入增速	18
图表 53:	主要公司可比业务毛利率	18
图表 54:	主要公司可比业务成本构成	18
图表 55:	主要公司研发费用 (亿元)	18

图表 56:	主要公司研发费用率	18
图表 57:	航空锻造主要企业募投项目情况	19
图表 58:	大型锻造设备造价较高	20
图表 59:	锻造企业产能弹性大	20
图表 60:	加热金属材料是锻造流程中耗时最长的环节	20
图表 61:	原材料与模具成本占模锻件制造成本的 80%以上	21
图表 62:	利用铸坯制造模具可有效提升模具寿命	21
图表 63:	大型模锻件的模具形状较为复杂	21
图表 64:	国内外典型等温锻造用高温合金成分	21
图表 65:	大型锻件生产过程较长, 影响因素多, 难以全部同时准确控制	22
图表 66:	多级闭环的智能管控系统架构图	22
图表 67:	精密辗环机生产过程的数字化控制操作系统	22
图表 68:	PCC 公司借助并购横向拓展锻造业务产品品类	23
图表 69:	派克新材与三角防务相似技术	23
图表 70:	主机厂合作认证周期长	23
图表 71:	航空机体部件加工工艺流程	24
图表 72:	航空发动机零件加工工艺流程 (以涡轮盘为例)	24
图表 73:	制造费用为爱乐达主要成本	24
图表 74:	制造费用为航亚科技零部件加工主要成本	24
图表 75:	波音公司供应链示意图	25
图表 76:	国内主机厂推行“小核心, 大协作”改革规划	25
图表 77:	机加工企业毛利率高于锻造企业	25
图表 78:	锻造企业进行机加业务拓展可显著提升盈利能力	25
图表 79:	PCC 业务覆盖全面	26
图表 80:	PCC 发展经历三个阶段, 新世纪来聚焦航空锻造业务带来规模增长	26
图表 81:	产业链延伸对毛利率改善显著	27
图表 82:	业务拓展下 PCC 股东回报率远超市场指数	27
图表 83:	不同企业获得成本优势的途径不同	27
图表 84:	行业景气基础上的业务拓展是 PCC 成功的关键	27

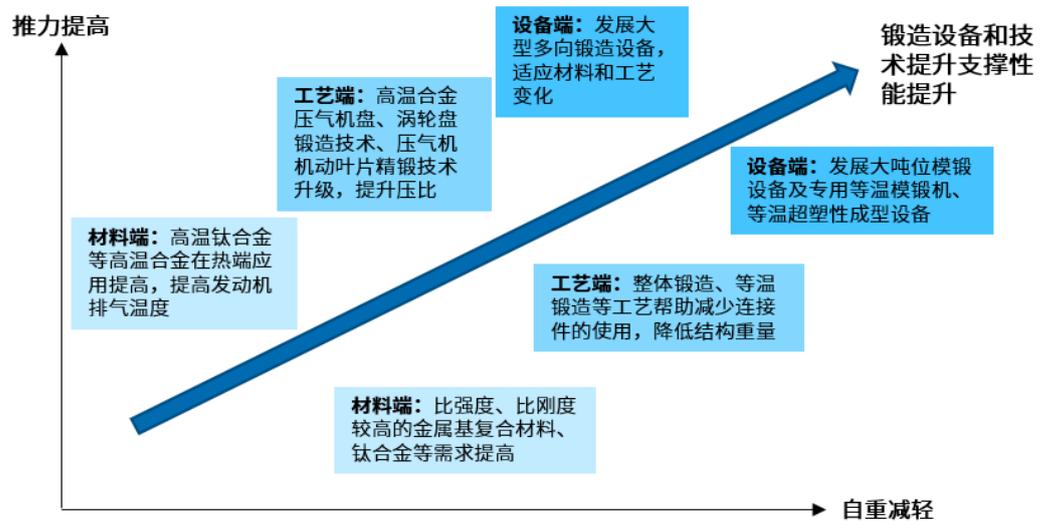
一、锻造：航空制造中游关键环节

1、航空锻造是支撑飞机和发动机性能提升的重要基石

航空锻造属于高端制造业，支撑飞机和航空发动机升级迭代。锻造是金属材料、工艺和设备的结合，航空锻造在这三方面要求均显著高于普通锻件，航空锻造位于锻造行业制高点。从材料端来看，航空锻件一般选择高比强度、比刚度的材料，钛合金、高温合金等难变形材料应用广泛。

从工艺端来看，航空锻件与普通机械制造工业用锻件相比在精度和质量方面要求更高，先进锻造技术如整体成形技术、等温锻造技术、精密轧制技术应用更为广泛。从设备端来看，航空锻造需要大型锻压设备实现金属形变的目的。据《大型航空模锻件生产现状及发展趋势》，模锻件制成的零件重量约占飞机机体结构重量的 20-35%，占发动机结构重量的 30-45%，是飞机及其发动机机体结构的关键零部件，其结构型式、材料性能与质量、制造成本是决定飞机和发动机的性能、可靠性、寿命和经济性的重要因素之一。

图表1：航空锻造支撑飞机和航空发动机性能提升



来源：航空航天材料发展现状及前景，航空钛合金锻造技术的研究进展，镁合金在航空航天领域研究应用现状与展望，国金证券研究所

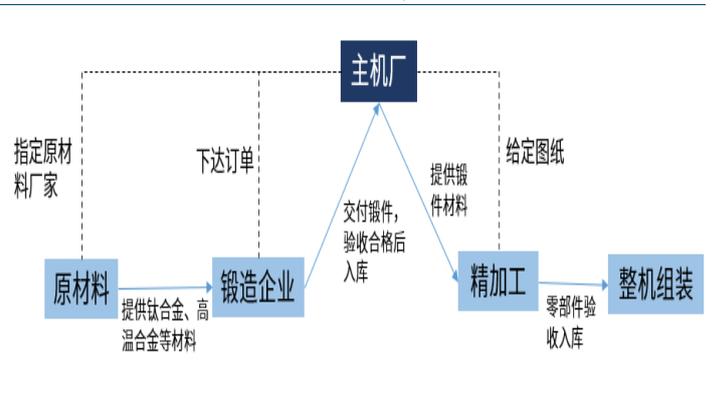
航空锻造位于产业链中游，是航空制造的关键环节。飞机及航空发动机制造产业链上游为各类原材料供应商，包括高温合金、钛合金、铝合金、高强钢等金属材料。锻造企业利用锻压设备基于一定工艺将原料加工为力学性能优良的金属锻件，产品交付给主机厂进行质量检验，合格产品交由机加及结构件制造商装配为结构件，最终由主机厂进行总装。

图表2：锻造位于航空制造产业链中游



来源：国金证券研究所

图表3：锻造是航空制造的关键环节



来源：爱乐达招股说明书，国金证券研究所

整体化、精密化发展下锻件机加工余量逐步减小，锻件附加值及锻造重要性进一步提升。在新一代材料性能提升前提下，整体成形工艺应用日益广泛，整体锻造作为其中的关键技术得到普及。据《世界航空航天制造技术特点与发展趋势研究》，整体成形技术可将几十甚至几百个零件减少成 1 个或几个零件，减少分段和后续焊接操作，也可大幅减轻结构质量，减少加工废料，降低装配成本。相较于普通模锻，精密锻造机加工余量显著减小，可减小后续机加工工序。根据《精密锻造成型技术的应用及其发展》，精密锻造成形技术可应用于精化毛坯，从而实现利用锻造技术取代粗机械加工工序。随着锻件精度逐步提高，或将替代焊接等部分传统机械加工业务，锻件附加值提升的同时锻造环节重要性将进一步提升。

2、机体结构锻件：飞机关键承力部件，一体化锻造趋势

锻件在机体结构中主要应用于机身、机翼、尾翼、起落架等关键结构部分。由于锻件具有良好的承力性能，在机体结构件中应用广泛，包括机身、机翼、尾翼中的关键承力部件以及起落架主体部分。根据不同部件的工作特点，应用材料也有所不同。在技术发展方向上，先进战机机体结构锻件一体化锻造发展趋势显著。

图表4：锻件在机体结构中的应用

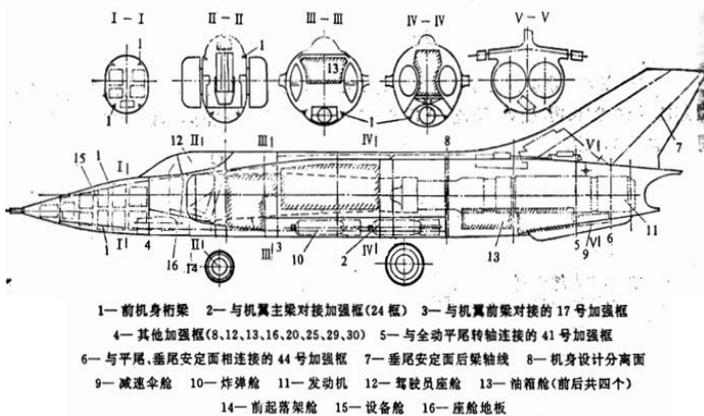
机体结构部分	主要结构件	主要功用	主要材料
机身	隔框	普通框维持机身截面形状，加强框还需将装载的质量力和其它部件载荷进行传递	钛合金、铝合金
	长桁	承受机身弯曲时产生的轴力，同时对蒙皮有所支撑	
	桁梁	与长桁类似	
机翼、尾翼	翼梁	主要纵向受力件，承受剪力和弯矩	钛合金、铝合金
	长桁	连接蒙皮和翼肋，承受机翼弯矩引起的部分轴向力，同时对蒙皮起一定支撑作用	
	翼肋	维持机翼剖面所需形状，为蒙皮和长桁提供垂直方向支撑	
	纵墙（含腹板）	与蒙皮组成封闭盒段承受机翼扭矩	
起落架	机身-机翼接头	重要受力件，连接机身和机翼，进行升力传导	钛合金、高强度钢、铝合金
	前、主起横梁		
	支柱外筒	主要承力部件，起到支撑和缓冲作用	
	活塞杆		
	扭力臂、斜支撑		

来源：现代飞机结构设计，大型飞机起落架制造技术，国金证券研究所

机身部件为飞机关键承力部件，机身锻件材料主要为铝合金和钛合金。机身是飞机的重要部件，是整架飞机的受力基础，其内部结构主要由横向的隔框和纵向的长桁、桁梁构成。隔框分为普通框和加强框两大类，普通框用来维持机身截面形状，加强框还要将装载的质量力和其他部件上的载荷经接头传导至机身结构上的集中力加以扩散并传导给机身蒙皮。

根据《铝合金航空整体结构件加工变形机理与预测研究》，在高机动性飞行器中钛合金占比显著提升，但在民用大飞机中铝合金应用广泛。据《关于先进战斗机结构制造用钛概述》，F-15 机身可分为 3 段，前端包括雷达罩、座舱、电子设备舱等主要结构材料为铝合金，中端前 3 个框为铝合金，后 3 个框为钛合金，后端为全钛合金设计。

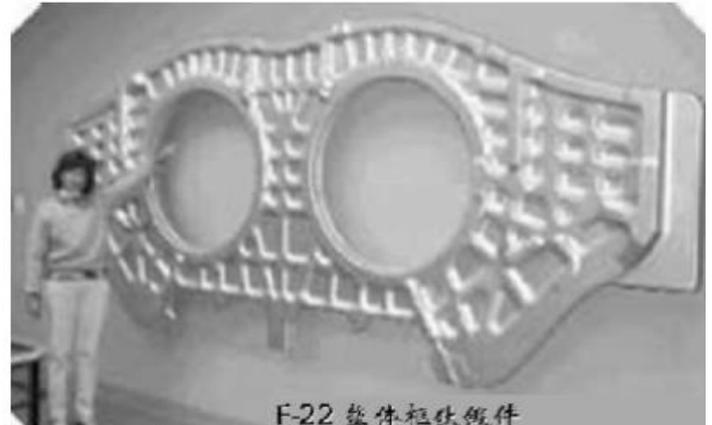
图表5：某强击机机身内部布置与主要受力构件



来源：现代飞机结构设计，国金证券研究所

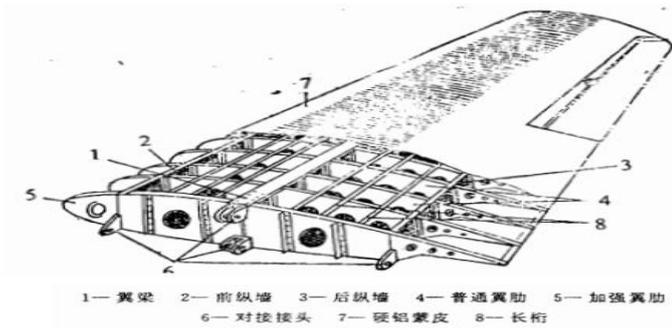
机翼与尾翼为飞机提供升力以及进行方向操控，机翼及尾翼锻件材料主要为铝合金和钛合金。机翼的主要功用是为飞机提供升力，常安装起落架、发动机等其它部件，内部多用来收藏主起落架或携带燃油，军用战机往往在机翼下布置多种外挂。尾翼主要用于保证飞机纵向和横向的平衡与安定性，以及实现对飞机的纵向和航线的操纵。机翼内部元件一般包括纵向的翼梁、长桁、腹板以及横向的翼肋，其中翼梁为机翼主要纵向受力件。机翼锻件材料主要为铝合金和钛合金，先进军机多使用钛合金锻件，据《先进战斗机结构制造用钛概述》，F22 机翼的前梁、平尾转轴、下部纵梁、发动机支架、尾部接头等均为钛合金锻件。

图表6：F-22 战机机身 Ti-6Al-4V 隔框



来源：大型航空模锻件的生产现状及发展趋势，国金证券研究所

图表7: 机翼元件示意图



图表8: A380 飞机整体翼梁铝合金大型模锻件

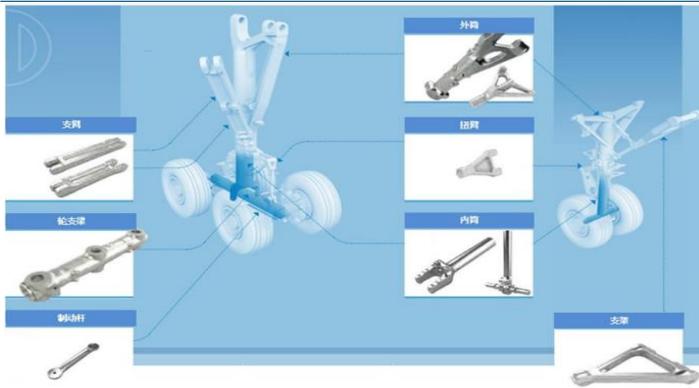


来源: 现代飞机结构设计, 国金证券研究所

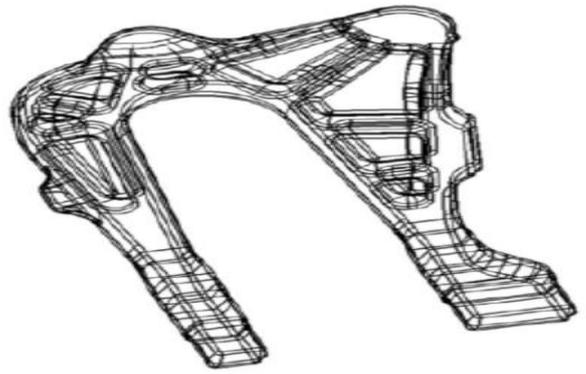
来源: 航空工业模锻装备的应用及其发展趋势, 国金证券研究所

起落架内部结构复杂, 起落架锻件材料主要为超高强度钢。起落架供飞机起飞、着陆时在地面或水上滑跑、滑行以及移动和停放, 是飞机主要结构件之一。现代飞机起落架包括减震装置、受力支柱、机轮、刹车装置、收放机构和其他一些系统, 是一种复杂的机械装置。随着现代飞机载荷日益增大, 起落架也随之增大, 锻件在起落架系统中起到重要支撑作用。起落架锻件材料主要为高强度钢, 据《飞机起落架用超高强度钢应用现状及展望》, 当今世界 95% 以上的飞机起落架采用超高强度钢制造。

图表9: 锻件在起落架上的应用



图表10: 某新型运输机起落架锻件设计图



来源: 三角防务招股说明书, 国金证券研究所

来源: 一种起落架用大型 TC18 钛合金模锻件的锻造方法, 国金证券研究所

先进直升机复合材料应用更广泛, 机体锻件主要为起落架及传动部件。复合材料自 70 年代起在直升机上得到广泛应用, 最初应用于蒙皮等次要机构上, 90 年代后广泛应用于隔框、桁条等机体主结构件。根据《复合材料在直升机上的应用与发展》, NH-90 战术运输直升机复合材料用量达 95%, 仅动力舱平台、隔板仍采用金属件。锻件在直升机上应用范围较小, 主要为直升机部分旋翼系统 (包括轴、中央件以及连接件) 及起落架, 其中大型直升机桨毂中央件属于超大型锻件, 材料主要为钛合金。

图表11: 锻件在直升机上的应用



来源: 三角防务招股说明书, 国金证券研究所

3、发动机锻件：结构多样分布广泛，强调难变形材料应用

锻件在航空发动机中应用广泛，主要起承力、传力、包容等作用。由于锻造可显著提升金属材料性能，锻件在航空发动机中应用广泛，根据应用部位可分为冷端、热端以及附件，根据工艺及形状不同可分为盘、环（含部分机匣）、轴、叶片锻件以及中小结构件。由于难变形材料在航空发动机中使用较多，等温模锻等锻造技术应运而生。

图表12：锻件在航空发动机上的应用

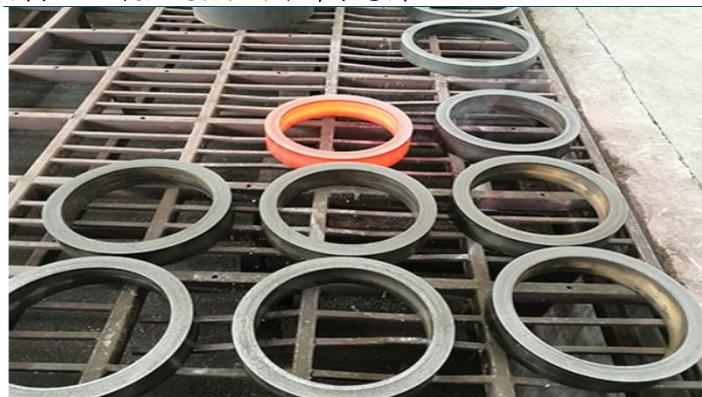
锻件类型	应用部位	主要功用	主要材料
环锻件	封严环	起到封严作用，防止高压高温气体逆向流动或逸散	高强度钢、钛合金、高温合金
	篦齿环		
	安装边		
环形机匣	进气机匣	保证压气机叶片入口处流场均匀，保证一定收敛度防止气流分离	铝镁合金、钛合金、高温合金
	风扇机匣	为外来空气提供进入通道，对风扇叶片起到保护作用，对风扇叶片碎片起包容作用	
	压气机机匣	起到支撑与包容作用，与整流叶片、内外环、支承等零件组成静子机匣部件	
	涡轮机匣	安装导向器叶片等，起到支撑、排气等作用	
盘锻件	风扇盘	连接风扇叶片，同时起到部分调压作用	高强铝合金、钛合金、镍基高温合金
	压气机盘	连接压气机转子叶片，部分采用整体叶盘，起到传输功率以及固定支撑作用	
	涡轮盘	连接涡轮转子叶片，传输功率并制成叶片	
叶片	风扇叶片	对进入发动机的空气进行初步压缩	不锈钢、铝合金、钛合金、高温合金
	压气机叶片	对进入内涵道的空气进行进一步压缩	
轴锻件	风扇、压气机轴	与相应盘件、叶片组成转子，提供承力支点	高温合金、高强度钢
	涡轮轴		
中小构件	轴承座	与相应机匣安装边相连接，承受径向力	不锈钢、铝合金、钛合金、高温合金
	活塞相关组件	作为活塞外筒进行叶片、放气机构等的调节	
	喷嘴壳体	喷嘴嘴外壳体，维持形状提供支撑	
	联轴器	压气机转子、风扇转子与涡轮转子通过联轴器组成整体支撑在轴承上高速旋转	

来源：航空制造手册，国金证券研究所

航空发动机环形件类型多，分布广，包括导向器外环、燃烧室外套安装边及外套后安装边、加力燃烧室安装边、卡环、前后内半环、静子内半环块、封严环、级间封严环、内封严环、盘心篦齿环、外篦齿环等，根据部位不同主要起到承力、封严、固定、连接作用。其中承受轴向力和起连接作用的环形件一般选用自由锻件或轧制环形件，高转速、高温条件工作的环形件则多为模锻件。环锻件常用材料为不锈钢、弹簧钢、高温合金、钛合金。

发动机机匣为重要支撑、传力和包容结构件。发动机机匣根据形状可分为环形机匣和箱体机匣，其中箱体机匣由于形状较为复杂，多使用铸造毛坯。环形机匣包括进气机匣、风扇机匣、压气机机匣、涡轮机匣等，是发动机的承力部件，广泛采用锻造毛坯。发动机环形机匣锻件材料包括铝镁合金、钛合金以及高温合金，以铝镁合金为材料的机匣壳体多为等直径、大壁厚对开式或整体式结构，重量较重且工艺流程复杂；以钛合金和高温合金为材料的机匣壳体多为薄壁焊接结构的对开式或整体式环形机匣，重量较轻、刚性较差且加工难度大。

图表13：航空发动机环锻件示意图



来源：派克新材官网，国金证券研究所

图表14：用于LEAP发动机的高压涡轮机匣和风扇机匣



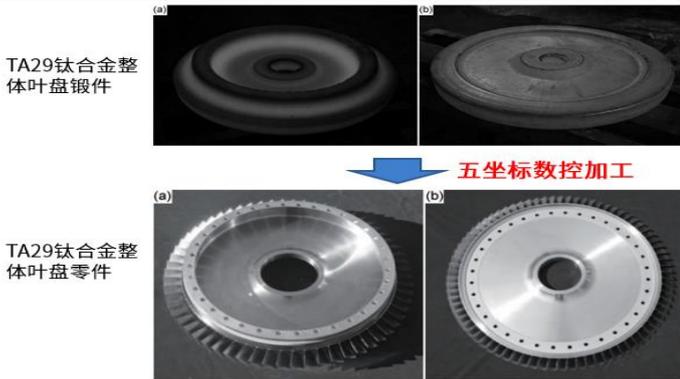
发动机型号：LEAP 1A/1B
零件名称：高压涡轮机匣
材料牌号：优质718Plus
外形尺寸：Φ700×Φ599×186

发动机型号：LEAP C
零件名称：风扇机匣
材料牌号：Ti64
外形尺寸：Φ2150×Φ2011×688

来源：航宇科技官网，国金证券研究所

发动机盘锻件主要为风扇盘、压气机盘和涡轮盘，材料主要为钛合金和变形高温合金。航空发动机中包含大量圆盘类零部件，其毛坯大多为锻件，作为转动件长期在高温高压和交变载荷下工作，对于锻造工艺和材料有较高要求，根据《航空制造手册》，盘类件工作转速在 10000r/min 以上，涡轮盘工作温度 500-800℃，压气机盘工作温度 0-430℃。发动机盘锻件根据应用部位不同可分为风扇盘、压气机盘和涡轮盘锻件。压气机盘常用材料包括高强铝合金、钛合金、镍基高温合金，部分盘锻件用于整体叶盘的加工。涡轮盘材料主要为变形高温合金，利用热等静压技术锻压的粉末高温合金涡轮盘在新型航空发动机中逐渐得到广泛应用。

图表15: 钛合金盘锻件用于整体叶盘加工



图表16: 涡轮盘结构较为复杂

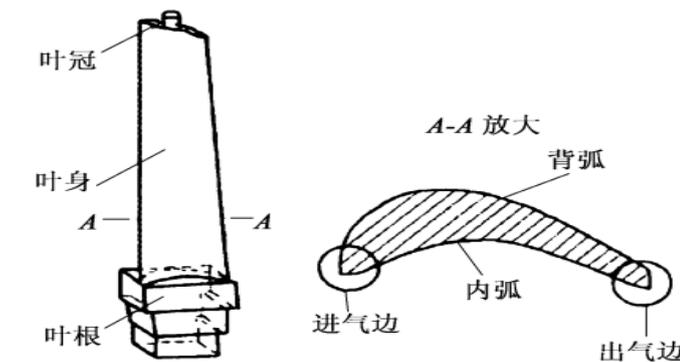


来源: 航空发动机用先进高温钛合金材料技术研究与发展, 国金证券研究所

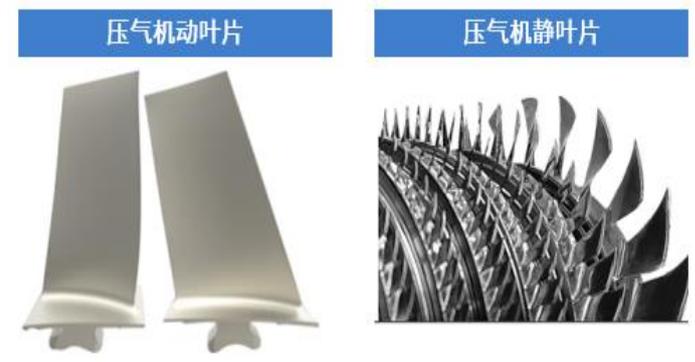
来源: 粉末冶金涡轮盘精密加工技术研究现状, 国金证券研究所

锻造叶片主要应用于发动机风扇和压气机, 材料主要为钛合金、铝合金和高温合金。航空发动机叶片种类多, 数量大, 形状复杂, 材质性能要求高, 据《航空制造手册》, 叶片制造工作量占发动机制造工作总量的 30%以上, 叶片模压在发动机制造中发挥着重要作用。叶片模锻件属于长轴类锻件, 多应用于风扇以及压气机, 根据叶身型面单面加工余量大小可分为普通模锻叶片、小余量模锻叶片、半精锻叶片以及精锻叶片, 其中模锻叶片材料包括不锈钢、铝合金、钛合金以及高温合金, 精锻叶片材料主要为铝合金和钛合金。

图表17: 典型航空发动机叶片机构



图表18: 压气机动叶与静叶叶片



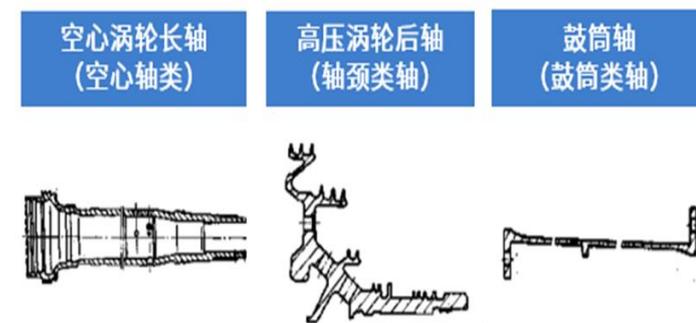
来源: 叶片精密锻造技术的发展现状及其展望, 国金证券研究所

来源: 航亚科技招股说明书, 国金证券研究所

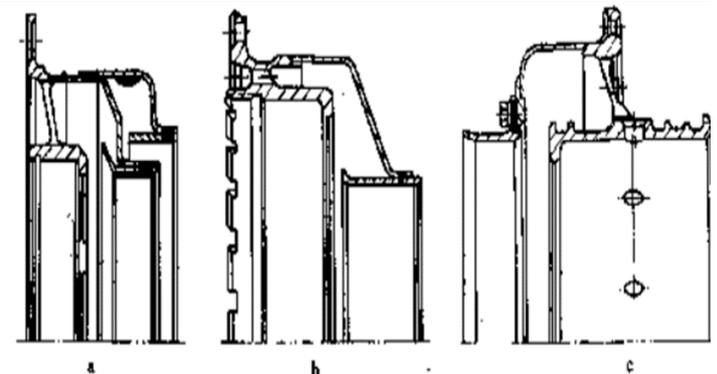
发动机轴锻件损耗较快, 根据功能可分为高压压气机轴、低压压气机轴、风扇轴、高压涡轮轴、低压涡轮轴等, 根据轴件构型可分为空心长轴类轴、轴颈类轴、鼓筒类轴。轴类零件毛坯多为锻造工艺制造, 相对尺寸较大且具有多级变截面特征, 强韧性要求较高。我国航空发动机轴锻件材料主要为高温合金和高强度钢, 其中高压涡轮后轴材料主要为变形高温合金。

发动机中、小构件种类多、分布广, 其特点为生产不需要大型设备、单台发动机上件号多但数量少。毛坯为模锻件或自由锻件的中小构件包括活塞及组件、轴承支座、封严件 (包括封气和封油套)、连接件 (如联轴器)、承力支架 (连接发动机与飞机)、活动连接件、转接件 (如液泵转接座)、喷油嘴壳体等。发动机中小锻件的材料应用因使用部位而异, 包括不锈钢、铝合金、钛合金、高温合金等。

图表19: 典型航空发动机轴件类型及形状



图表20: 带封严装置的轴承座



来源: 航空制造手册, 国金证券研究

来源: 航空制造手册, 国金证券研究所

二、设备为基，航空锻造大型、精密化发展

1、锻压设备和工艺共同决定金属材料性能提高幅度

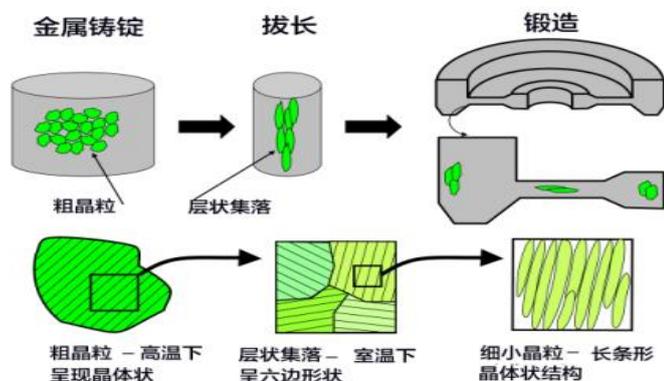
锻造是传统金属加工工艺，核心为金属材料的热变形和热处理。锻造是一种通过锻压设备对金属坯料施加压力，使其发生塑性形变并获得优良性能和尺寸的加工方法。相较于铸造和机械加工，经过锻造的金属可以消除在冶炼过程中产生的铸态疏松、焊态孔洞等缺陷，并可获得较细的金属晶粒，保留完整的金属流线，从而达到优化内部金属组织结构，提升金属性能的目的。相较于冲压，锻造属于热工艺加工，锻造过程对于金属材料内部结构重塑起到较大作用，在加工过程中难以检测产品质量，同时经过锻造的产品热处理环节也对产品性能有较大影响。因此锻造工艺的核心在于金属材料的热变形和热处理。

图表21：常见金属材料成型工艺及特点

成型工艺	工艺说明	细分工艺	优点	不足
液态成形	将金属熔炼成符合一定要求的液体并浇进铸型里，经冷却凝固和清理处理后得到有预定形状、尺寸和性能的铸件，通常包括铸件准备、金属熔化和浇注、铸件处理和检验三个阶段	普通砂型铸造 熔模精密铸造 金属型铸造 压力铸造 离心铸造 重力铸造	可生产出形状复杂，特别是具有复杂内腔的零件毛坯 铸造生产的适应性广，工艺灵活性大 普通铸件成本较低	铸件的机械性能不如锻件，易出现组织粗大等缺陷 质量不稳定，影响因素复杂
塑性加工	利用金属的塑性，通过外力使金属铸锭、金属粉末或各种金属坯料发生塑性变形，从而获得具有所需形状、尺寸和性能制品的加工方法	锻造 冲压 轧制 挤压 拉拔	材料利用率高，生产效率高 产品质量高、性能好、缺陷小	加工精度和成型极限有限 模具和设备费用昂贵
机械加工	利用切削刀具在切削机床上（或用手工）将金属工件的多余加工量切去，以达到规定的形状、尺寸和表面质量的工艺过程	车削 铣削 刨削 磨削 钻削 镗削	可获得高加工精度和低表面粗糙度 切削加工零件的材料、形状、尺寸和重量的范围较大 生产率较高，只在少数特殊场合低于精密铸造、精密锻造和粉末冶金等方法	刀具和工件均须具有一定的强度和刚度 不同工艺需要使用相应的机床与设备 破坏了金属流线，复杂性面易造成零件应力集中，导致金属疲劳断裂
焊接成型	通过加热、加压，或两者并用，使两工件产生原子间结合，实现永久性连接的加工和连接方式	熔焊 压焊 钎焊	节约金属材料，结构重量轻 简化铸造、锻造及切削加工工艺	焊接接头的组织性能往往不均匀，会产生焊接缺陷

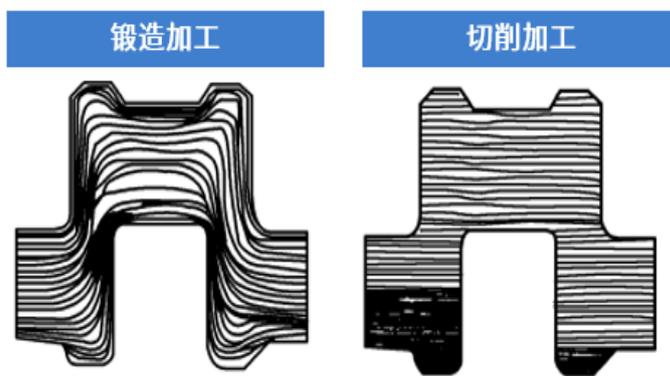
来源：金属材料常识普及读本，金属材料的成型加工工艺，切削加工的分类、特点、作用和发展方向及零件的种类和组成，焊接工艺及特点，国金证券研究所

图表22：锻件内部金属晶粒更细，力学性能更佳



来源：派克新材招股说明书，国金证券研究所

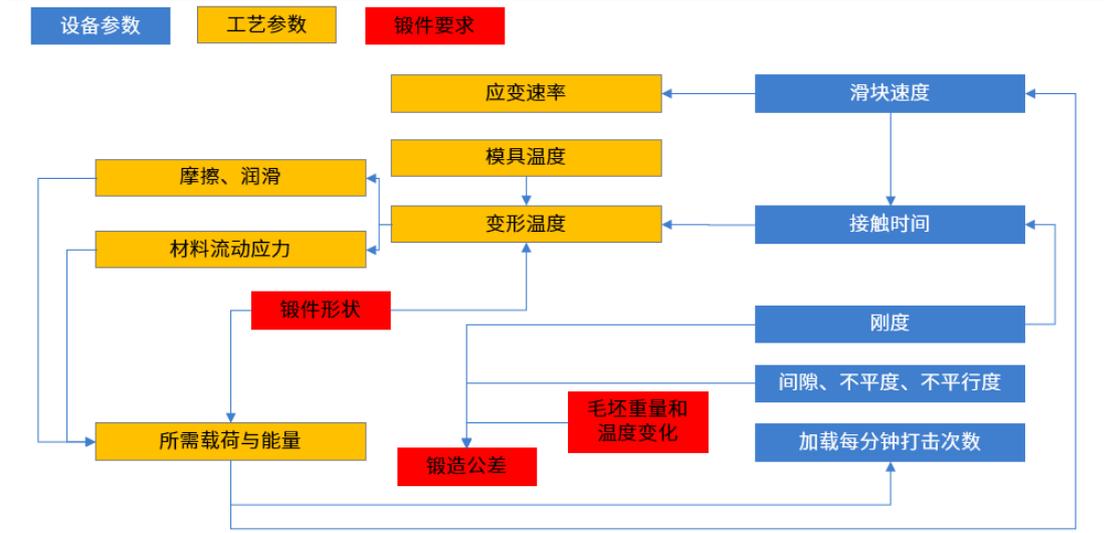
图表23：锻件的金属组织流线更完整，综合性能更好



来源：金属材料常识普及读本（第2版），国金证券研究所

锻造过程的难点为设备与工艺的结合，设备对于工艺实现至关重要。对于锻造企业来说，锻压设备为核心资产，决定锻造企业生产能力和工艺实现。锻压设备根据施加压力的方式不同可分为锻锤类（冲击能量限制）、机械压力类（冲力和行程限制）、螺旋压力机类（能量限制）、液压机类（冲力限制），生产时需根据锻件的尺寸、结构、材料以及工艺要求进行设备选择。锻压设备是实现特定锻造工艺的关键，根据三角防务招股说明书，公司多种类型锻件生产专利均围绕核心设备 400MN 锻压机展开。由于锻压设备大多单价较高，如何最大化利用锻压设备并使其与锻造工艺结合，是锻造过程的难点。

图表24: 锻造是基于材料的设备与工艺的结合, 锻造设备至关重要



来源: 航空制造手册, 国金证券研究所

图表25: 典型锻压设备类型及工作特点

压力类型	锻压设备	工作优点	工作缺点
螺旋压力	摩擦螺旋压力机	具有锻锤和机械压力机的特长 运行精度高, 可在模具上设计导向结构	摩擦件会受到环境温度变化影响, 不易控制打击能力
	液压马达传动螺旋压力机 (含电动)	在摩擦螺旋压力机基础上克服了不可靠性, 精度较高 造价低于机械压力机	维护较为困难, 尤其电气系统和液压系统 不允许超出螺杆直径范围的偏心打击力
液压	水压机	结构上易于得到较大的总压力、工作空间和较长的工作行程, 动力以“柔性”传动、避免机器过载情况, 拉伸过程只有单一的直线驱动力, 加工系统生命周期较长、成品率较高	生产效率较低 设备体积大, 占地面积大
	油压机	在水压机基础上采用油作为传动工作介质, 可调节加压速度、提高锻件质量, 能耗较低, 可维护性较高	与水压机类似
锻锤	双作用磨锻锤 (含对击锤)	一定形成速度打击能量下可连续打击, 行程、速度可由操作者控制; 打击速度高, 无下死点	导向精度差, 错移量较大, 要求工人素质较高; 工作环境较为恶劣
	夹板锤 (含落锤)	速度随行程变化, 可粗控打击力, 导向精度高于模锻锤	不能连续打击; 两次打击件时间较长
机械压力	曲柄热模锻压力机	行程受设备设计有所限制, 下死点速度接近0 运行精度较高, 综合间隙较大, 易于实现机械化, 操作简单 成形中金属水平流动速度大于高度方向	沿打击方向刚度不够, 抗偏击能力差 安全保寿使用吨位为名义吨位的75-85%
	楔式传动压力机	在曲柄热模锻压力机基础上提高抗偏心打击能力和刚性	与曲柄热模锻压力机类似

来源: 航空制造手册, 现代自由锻造液压机的技术经济性分析, 搜狐网, 国金证券研究所

锻造根据成型工艺不同分为自由锻、模锻、碾环。根据成形机理不同, 锻造可分为自由锻、模锻、碾环、特殊锻造等。由于自由锻件材料利用率较低, 产品一致性较难保证, 在航空锻造领域模锻与碾环逐步取代自由锻成为主流工艺。碾环工艺即径向轧制, 在航空发动机环形零件制备中应用广泛, 且可以制备超大型环件, 据《高温合金环件环扎工艺研究进展》, 碾环工艺制备的高温合金环件较自由锻件表面质量好、尺寸精度高、组织更均匀。自由锻目前往往成为制胚的主要手段, 操作灵活且成本较低。

图表26: 锻造工艺基本类型及特点

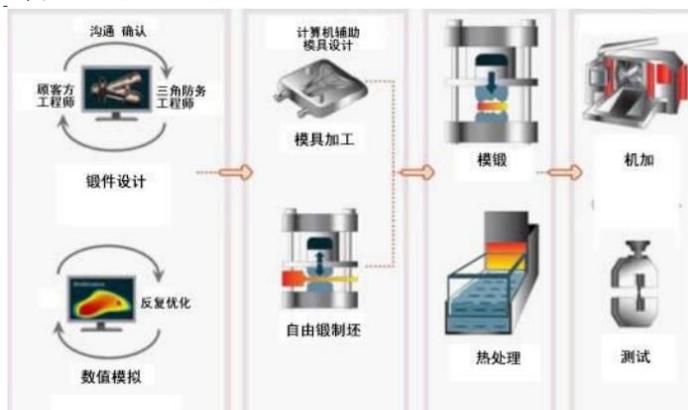
锻造工艺	示意图	工艺描述及特点	使用设备
自由锻		利用冲击力或压力使金属在上下砧面间各个方向自由变形以获得所需几何形状的加工方法; 通用性、灵活性好, 适用小批量	快锻机 自由锻造水压机 自由锻造油压机等
模锻		金属坯料在具有一定形状锻模膛内受压变形而获得锻件; 锻件复杂度高, 力学性能较高, 适用大批量生产	模锻液压机 螺旋压力机 多向模锻机等
碾环		又称环锻、环轧, 是借助碾环机使环件产生连续塑性变形的加工工艺; 可制作大型环类零件	碾环机

来源: 派克新材招股书, 国金证券研究所

2、模锻：一体化成形依托重型设备，等温锻为精密成型重要工艺

模锻可用于形状复杂锻件制造，适用于批量生产。模锻指借助专用模锻设备，利用模锻模具成型的锻造工艺，具有生产效率高、劳动强度低、尺寸精确、加工余量小、可锻制复杂形状锻件的优点，适用于批量生产。模锻根据模具形状可分为开式模锻和闭式模锻，其中闭式模锻材料利用率更高，锻件金属流线型更好，更适用于难变形金属材料锻造，但对毛坯要求较为精确，否则会造成模具损毁。根据变形温度可分为热模锻、冷模锻、温模锻，其中冷模锻与温模锻锻造精度更高，是未来的发展方向。

图表27：模锻工艺流程



来源：三角防务招股说明书，国金证券研究所

图表28：开式模锻与闭式模锻对比

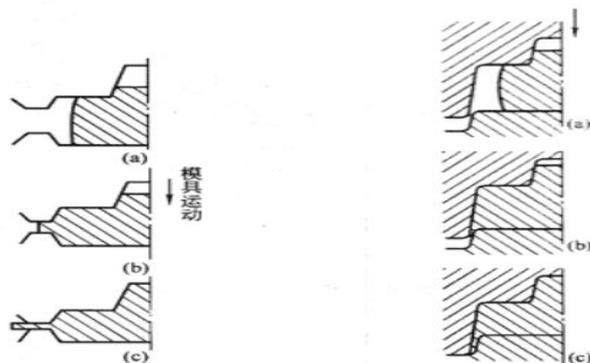


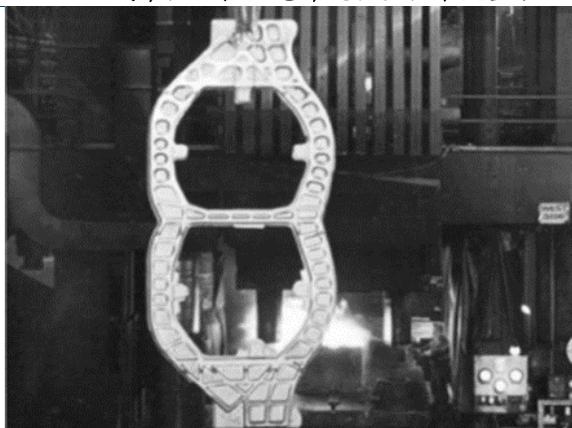
图 3-2 开式模锻过程

图 3-4 闭式模锻过程

来源：金属塑性变形物理基础（网络），国金证券研究所

航空大型锻件一体化成形是重要发展方向，大型锻压设备是关键。航空模锻件整体化可显著提高构件整体刚性，减少装配误差并减少机加台时，减轻飞机结构重量并降低材料消耗。据《大型航空模锻件的生产现状及发展趋势》，F102 歼击机采用长度达 3.2m 的铝合金整体大梁精密模锻件取代原设计的 272 种零件和 3200 个铆钉，使得飞机减重 45.5-54.5kg，解决机加工工时 50%；安 22 运输机机身采用 20 个大型隔框整体模锻件，共减少 800 个零件，减轻飞机机体重量 1000kg，减少机加工工时 15-20%。

图表29：F-22 战斗机钛合金尾部发动机机架大型锻造部件



来源：大型航空模锻件的生产现状及发展趋势，国金证券研究所

图表30：万航模锻 800MN 大型模锻液压机



来源：国机重装官网，国金证券研究所

航空大型模锻件的生产依托于大型锻压设备和先进模锻工艺，前者是实现的基础，目前全世界仅有美国、俄罗斯、法国以及我国有锻压能力超过 4 万吨的大型模锻液压设备，我国大型锻压设备数量居世界首位，二重万航 800MN 模锻液压机是世界最大模锻液压机，三角防务 400MN 大型模锻液压机是世界最大单缸模锻液压机。

图表31：国内部分 3 万吨以上模锻压机及加工能力

设备所有企业	设备	加工能力
三角防务	400MN 大型模锻液压机	主要用于大型运输机、新一代战斗机、民用客机各类框、梁整体化生产，也可作为航空发动机用涡轮盘、压气机盘、燃气机盘生产研制平台，适用于铝合金、钛合金、高温合金高强度合金钢等难变形材料大型构件的整体模锻成型
万航模锻	800MN 模锻液压机	用于轻金属及其合金、镍基和铁基等高温合金的大型模锻件制造，为我国航空、舰船、航天、兵器、电力工业、核工业行业提供高性能的模锻产品
中航重机	365MN 电动螺旋压力机	锻造能力可以覆盖 80% 以上的飞机结构件，以及几乎全部的航空发动机模锻件，并可兼顾重型燃机、航空航天、交通、船舶、电力等高端锻件市场
中钛青锻	680MN/260MN 挤压/模锻机组	是中国自主设计、自主建造的集热挤压和模锻一体的双功能重型压机，具备生产各类大尺寸模锻件、特别是大尺寸航空锻件、船用锻件的能力

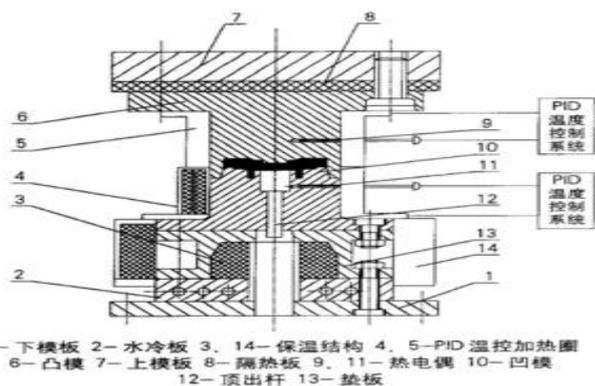
设备所有企业	设备	加工能力
南山锻造 (中航重机拟收购)	500MN 模锻压机	可以保证生产出超大规格的尺寸精度高、内部组织一致的航空模锻件，如大型客机的起落架支撑梁、机舱隔框整体模锻件等
西南铝业	300MN 立式模锻水压机	为“长征”系列火箭、“神舟”系列飞船、“嫦娥”系列探月卫星、国产大飞机提供板带、模锻件、锻环等
昆仑重工	300MN 模锻液压机	产品覆盖风电齿轮、飞机机身锻件以及高温合金锻件
无锡透平	355MN 高能螺旋压力机	可实现电站长叶片和飞机、航空发动机的高性能特种钢、钛金属和镍基高温合金类结构产品生产

来源：三角防务招股说明书，浙江即时报，空天界，南山锻造官网，中钛青锻官网，世界金属导报，无锡透平官网，国金证券研究所

精密锻造可大幅提高零部件生产效率，等温锻压设备性能参数要求高。精密锻造成形（净成形）是指零件锻造成形后只需少量加工或不再加工即符合零件要求的成型技术，可以显著节约材料和能源、减少加工工序和设备、提升生产量和产品质量。精密锻造技术按照成型温度不同可分为热精锻、冷精锻、温精锻、复合精锻、等温精锻等，其中等温精锻在航空锻造中应用较为广泛，常用于钛合金、铝合金、镁合金等难变形材料的精密成型。

据《等温精密锻造技术的研究进展》，F-15 战斗机中某钛合金隔框零件质量为 10kg，普通模锻毛坯质量达 154kg，而等温近净形模锻件质量仅为 29kg，每件减少了 125kg 的机加工量。据《航空工业中的锻压技术及其发展》，采用等温锻造的涡轮盘可使零件重量减轻 30%，燃油消耗减少 30%。等温锻造技术需要配置等温锻压机以及相应的等温锻造系统，据清华大学天津高端设备研究院，三角防务 300MN 等温模锻液压机可实现超低恒速度和恒应变速率锻造，设备控制精度与锻造精度均达到世界一流水平。

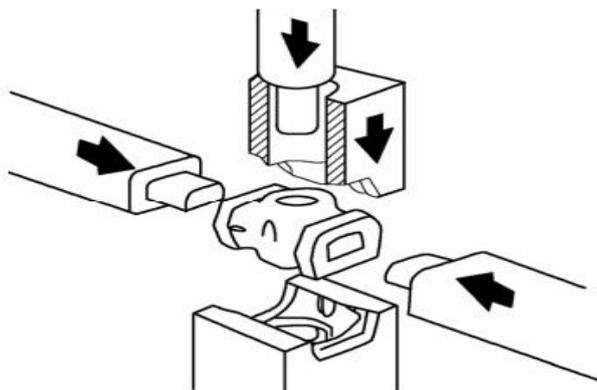
图表32：等温模锻工艺示意图



来源：等温精密模锻技术在复杂锻件上的应用，国金证券研究所

利用多向模锻可完成复杂锻件的加工，普通模锻液压机进行局部改造可满足工艺要求。多向模锻技术结合普通模锻和挤压的特点，在模具闭合后几个重头可在不同方向对毛坯进行挤压，从而在一次加热和压机的一次行程中完成复杂锻件，尤其是带内空腔或凹凸外形锻件的成形，材料利用率高。多向模锻已应用于航空锻件中，据《多向模锻制造技术及其装备研制》，多向模锻制造的起落架锻件寿命可提高 3-4 倍，制造成本可降低 20%，英美飞机起落架等筒形零件多利用多向模锻进行制备。难变形材料的多向模锻既可以投资重型多向模锻设备，也可在普通模锻液压机基础上添加施力机架或装置。

图表34：多向模锻的复合分模工艺实体图



来源：多向模锻制造技术及其装备研制，国金证券研究所

图表33：三角防务 300MN 等温模锻液压机



来源：环球网，国金证券研究所

图表35：西南铝业 1 万吨多向模锻液压机



来源：中国重型机械研究院股份公司，国金证券研究所

3、环锻：精密碾轧工艺提升环锻件质量，产线智能化要求较高

航空环锻件的主要生产工序包括下料（按照原材料棒材大小及工艺要求进行下料）、加热、锻造（主要包括采用液压机进行制坯；采用碾环机对坯料进行扩孔、碾环工序）、胀形（采用胀形机使锻件毛坯厚度减薄、内外径扩大）、热处理、机械加工、理化检测、成品检验。

碾环工艺已逐步成为环锻件主要制备工艺。碾环工艺即径向轧制，是借助碾环机使环件产生连续的局部塑性变形，最终实现壁厚减小、直径扩大、截面轮廓成型的塑性加工工艺，与传统锻造工艺相比可大幅降低设备吨位和投资，是无缝环件的先进加工技术。碾环工艺在航空发动机环形件制备中应用广泛，且可以制备超大型环件，据《高温合金环形件环轧工艺研究进展》，环形轧制技术由于具有产品尺寸精确、组织致密、表面质量好、成型效率高等优点，成为航空航天高性能环形件制备的首选工艺。

图表36：环锻件生产流程和设备

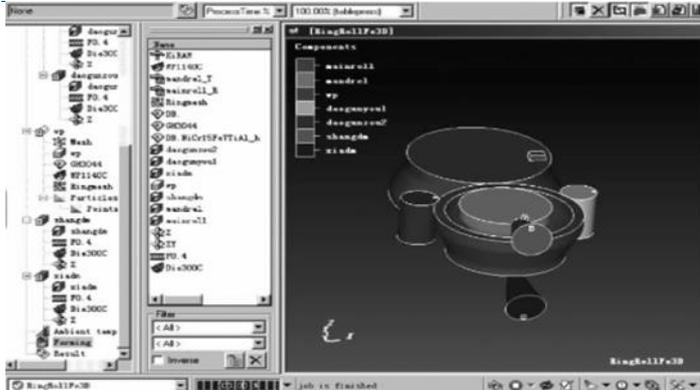


来源：航空科技官网，派克新材官网，国金证券研究所

碾环机为碾环的核心设备，智能产线对实现精密碾轧有显著作用。环形件在航空发动机中应用广泛，精密碾轧技术对于提升环锻件的组织结构均匀性有较大帮助。据《大型环件热碾扩成形宽展的工艺因素效应研究》在碾环过程中由于没有轴向锥辊的约束作用，环件会沿轴向产生伸长变形（宽展），而宽展通常需要在后续机加工中被切除，对于材料和能量均形成无效消耗，因此精密碾轧技术至关重要。据《环件精密轧制成形技术研究及应用》，工作参数调节方便的柔性环件轧制设备目前已受到重视，此外引用现代计算机技术、信息技术和控制技术可以在线监测轧制毛坯几何精度、重量误差和材料性能等变化，优化轧制参数并提高环形产品性能质量，实现精密碾轧。

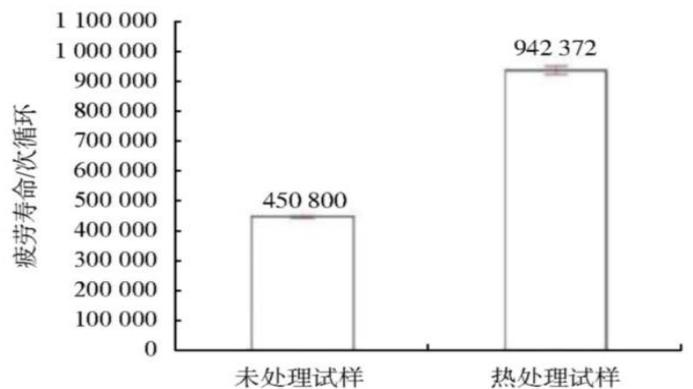
锻造和碾环工艺主要由相应锻压机和碾环机完成，后续胀形和热处理工艺对提升锻件性能尤为重要。根据《GH4169合金低压涡轮机匣异形环锻件胀形工艺》，轧制后采用胀形工艺得到的低压涡轮机匣异形环锻件的尺寸精度更高，力学性能和组织均匀性有所提升；在保证低压涡轮机匣异形环锻件形状尺寸满足粗加工要求的前提下，使锻件质量减少 135kg，材料利用率提高 17%，从而可显著降低生产成本。硬度性能和疲劳性能是衡量金属材料性能的重要指标，是航空锻件检验评价的标准；热处理工艺是增强锻件的强度和疲劳寿命，提高锻件使用性能的关键。

图表37：环锻轧制数值模拟求解器参数设置图



来源：《基于 Simufact 的 GH3044 异形截面环件轧制过程数值模拟》，国金证券研究所

图表38：热处理前后 GH2036 疲劳寿命的对比



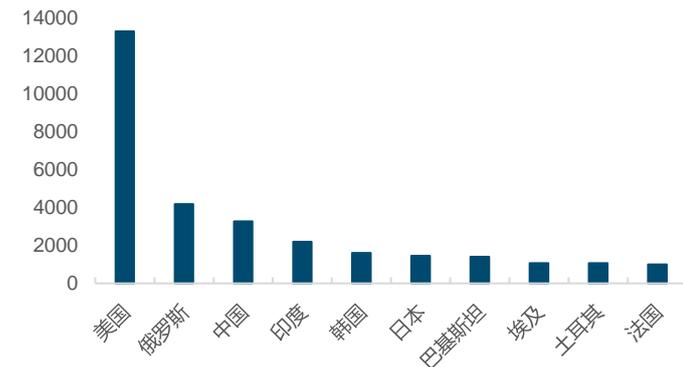
来源：《航空 GH2036 合金硬度热处理优化及疲劳性能 DIC 分析》，国金证券研究所

三、军机与发动机高景气需求，稳定格局打造专业化、规模化优势

1、机身与发动机锻造各百亿级市场，“军转民”空间广阔

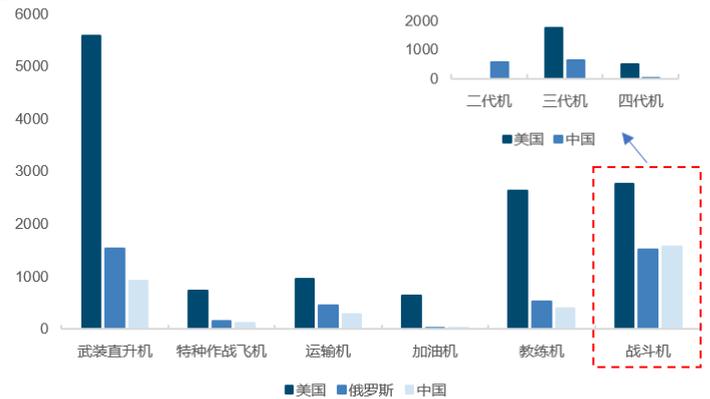
军机数量与结构存在差距，升级列装加速。当前我国军机数量与结构均与美国、俄罗斯等存在较大差距，机队扩编需求确定，军机市场空间广阔。据立鼎产业网研究，动力系统约占军机总价值量的25%；根据证券导报，锻件在飞机构件价值占比约6-9%。基于以上研究，我们假设未来十年参照美国将各类军机扩编、等比例换代以及更新换代至美国的约60%水平，其中对于不同类型飞机的扩编比例，参考我国现状、技术实力和与美军不同需求有不同程度修正。参考国外对应军机采购价格，在此基础上分别测算各类型军机增量和对应的市场需求，预计未来十年国内军机增量市场空间超20000亿元，对应机身锻件市场空间超1300亿元，平均每年市场需求超130亿元。

图表39：我国军机数量与美国存在较大差异



来源：World Air Forces 2023，国金证券研究所

图表40：我国军机机队结构与美、俄存在一定差距



来源：World Air Forces 2023，国金证券研究所

图表41：预计未来十年国内军用飞机机体结构锻件市场空间超1300亿元

	美国现有	中国现有	军机增量合计	军机增量市场空间 (亿元)	机体结构价值量占比	锻件占机体价值量比重	机身锻件市场空间 (亿元)
战斗机、轰炸机	2363	1349	1644	9668	75%	9%	653
运输机、加油机、特种作战飞机	2325	395	801	6463	75%	9%	436
教练机	2368	303	911	1540	75%	9%	104
直升机	5850	1016	2134	2509	75%	9%	169
合计	12906	3063	5490	20181			1362

来源：World Air Forces 2023，美国国防部，国金证券研究所

先进航空发动机研制周期长，所需研制投入大，其研发阶段成本约占全生命周期成本的10%，考虑到锻件作为关键结构部件，研制阶段即产生可观需求。军用小涵道比涡扇发动机与国外存在差距，目前国产战机配套仍有大量国外发动机；随着国产先进发动机逐步成熟并进入批产，国产替代空间广阔。航空发动机工作环境恶劣，随着发动机性能的提高，发动机构件所承受的气动负荷、热负荷和离心负荷更大，构件内部工作应力提高下断裂故障几率提升，发动机寿命短于机体寿命；此外实战演训消耗增加，进一步带动换发与维修市场需求。

图表42：航空发动机研发与维修支出可观

全寿命周期阶段	各阶段成本构成	目标成本%	全寿命周期成本%
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%
	发动机修理	22%	11%
	零备件	51%	25.5%

来源：目标成本管理在航空发动机产业链上的应用与创新，国金证券研究所

图表43：航空发动机寿命短于机体寿命



来源：新浪军事，国金证券研究所

我们根据军机市场存量与增量需求，参考国外对应型号发动机采购价格，在此基础上进一步测算军机列装备发、换发和发动机维修三方面的市场需求，预计未来十年国内军用航空市场空间超 6000 亿元。假设对于发动机新机，锻件价值占比为 20%；锻件是静态构件、维修需求少，假设发动机维修中锻件价值占比为 1%。测算得到未来十年国内军用航空锻件市场空间超 900 亿元，平均每年市场需求近百亿元。

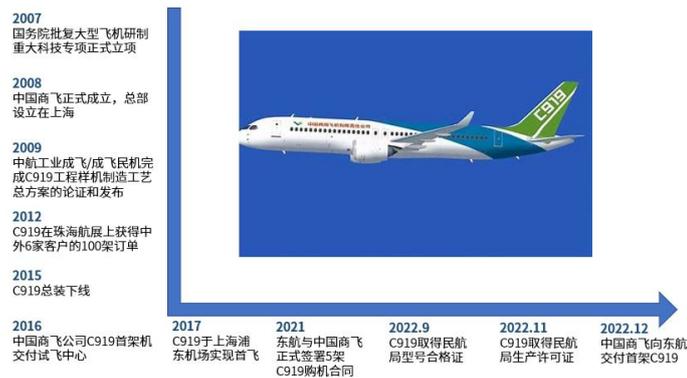
图表44：预计未来十年国内军用航空发动机锻件市场空间超 900 亿元

单位：亿元	预测军机 增量	新机装备发动 机市场空间	新机装备锻 件市场空间	换发市场空 间	换发锻件市 场空间	发动机维修 市场空间	维修锻件 市场空间	军用航发锻 件市场空间
战斗机、轰炸机	1644	1414	283	767	153	1161	12	448
运输机、加油机、特种作战飞机	801	1383	277	462	92	603	7	376
教练机	911	213	43	65	13	89	1	57
直升机	2134	272	54	118	24	139	1	79
合计	5490	3283	657	1412	282	1992	21	960

来源：World Air Forces 2023，美国国防部，国金证券研究所

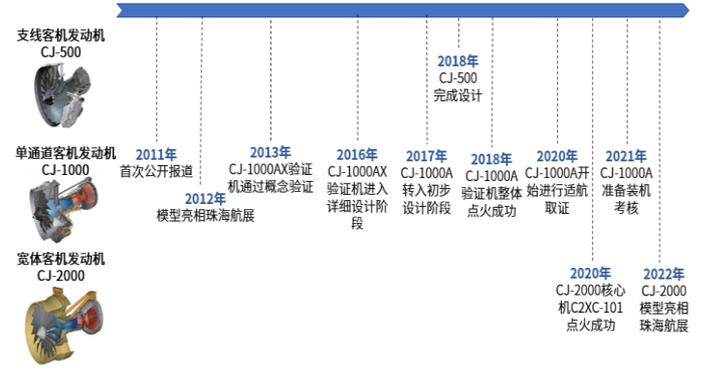
国产大飞机适时启航，国产商用发动机谱系逐步确立。根据商飞公司预测，到 2041 年我国民用客机机队规模预计达 10007 架，未来 20 年交付新机 9284 架，其中支线客机 958 架，单通道客机 6398 架，双通道客机 2038 架。国产民机体系发展提速进入新阶段，2022 年末支线客机 ARJ21 交付第 100 架，窄体干线客机 C919 顺利完成首架交付。国产配套商用发动机谱系逐步完善，其中支线客机配套发动机 CJ-500 已完成设计；单通道客机发动机 CJ-1000 已开始装机考核；双通道客机发动机 CJ-2000 模型亮相 2022 航展。国产大飞机与国产商发前景广阔，有望带来配套锻件市场巨大需求增量。

图表45：国产民用大飞机 C919 发展历程



来源：人民网，中国民航网，航空知识，国金证券研究所

图表46：国产商用发动机渐成谱系



来源：“长江”系列发动机取得突破性进展，网易军事，立鼎产业研究院，民用航空网，国金证券研究所

航空“转包”生产成为全球航空飞机和发动机制造商普遍采用的供应链合作模式，亚太地区承接订单不断增加。根据航亚科技招股说明书，按照国际航空发展惯例，航空飞机及发动机的输出方至少得向输入市场转包生产不低于 20% 的零部件份额；目前全球发动机零部件总体“转包”市场规模约 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接近 10%。航发体系内的公司承接了较多国际转包业务，以航宇科技和航亚科技为代表的民企，分别凭借机匣等环形锻件和精锻叶片领域技术优势，充分参与外贸市场竞争，获得了较高的市场份额。

图表47：国际航空发动机四大主机厂多种部件转包生产

主机厂	机匣及环件	盘件	护罩壳体	支撑件	轴件	叶片	轴承	喷射管	火焰筒
GE						GE90/GE9X 引擎型号			
普惠						GTF 引擎型号			
罗罗						钛合金空心叶片型号			
赛峰						转包 LEAP 系列			

注：自产；部分转包；全部转包

来源：航亚科技公告，国金证券研究所

2、专业化发展下格局稳定，锻造企业进入业绩释放期

国内航空锻造经历专业化发展，已形成较为稳定的配套结构和竞争格局。中航重机作为航空工业体系内企业，子公司安大锻造、宏远锻造是国内最早从事航空锻件研制的企业，拥有明显的技术积累和市场先发优势，产品涵盖机体结构锻件、发动机锻件全类型；万航模锻由二重集团与航空工业共同持股，在大型模锻件领域具有优势地位。以三角防务、航宇科技和派克新材为代表的民企，顺应下游需求增长，积极培育专业领域技术优势、参与军品市场竞争，成为主机单位重要配套供应商。

飞机机体结构件锻造领域，宏远公司精于大中型模锻件生产，同时内生外延补件号短板，持续提升大型模锻件生产能力，景航公司在中小型锻件领域具备较强竞争优势和较高市场份额。三角防务与万航模锻借助 400MN 液压机和 800MN 液压机大型设备优势，主要承担国内先进军机大型机体结构件配套。

航空发动机锻件领域，安大公司是国内最早从事航空环形锻件研制的企业、在批产型号环形锻件市场具备优势，也是目前国内最大的航空环锻件生产企业。航宇科技专注环锻件，全面参与国内军用航发预研、在研和型号改进工作，是世界主流航空发动机制造商亚太地区主要环锻件供应商之一，并参与商发长江系列发动机研制工作。派克新材作为国内航空环锻件专业化企业，参与多个型号发动机研制和配套，境外市场与 RR 和 GE 的长协订单不断推进。

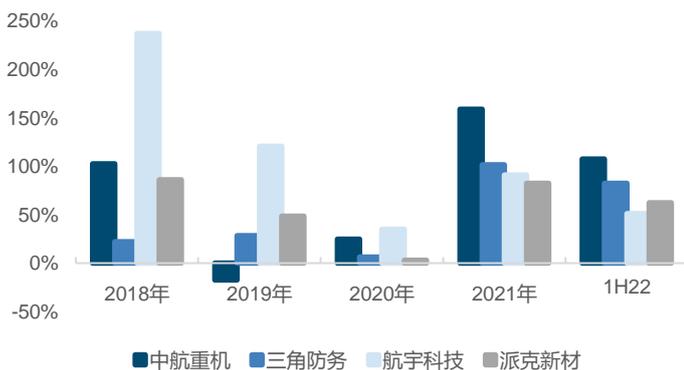
图表48：国内主要从事航空锻造的企业

公司	成立时间	主要设备	优势领域	收入体量 (2021年, 亿元)
宏远公司	1965年	365MN 电动螺旋压力机, 200MN 油压机	大型或超大型飞机结构件, 发动机大型盘轴类件	26.90
安大公司	1966年	120MN 等温模锻压机, 3M 碾环机, 1.8M 碾轧机	环锻件、等温锻件、盘和盘轴类、轴类锻件、中小模锻件	23.80
景航公司	1970年	80/100MN 数控电动螺旋压力机, 1.6M 碾环机	中小型模锻、自由锻件为主	10.70
三角防务	2002年	400MN 模锻压力机, 300MN 等温锻压机	大型整体模锻件	11.47
万航模锻	1958年	800MN 模锻压力机, 200MN 多向模锻压机	大型整体模锻件	未披露
航宇科技	2006年	4.5M、2.5M、1.6M 精密数控碾环机	机匣等环锻件	8.18
派克新材	2006年	5M、2.5M、1.2M 精密数控碾环机	机匣等环锻件	7.16

来源：中航重机公告，航宇科技公告，派克新材公告，三角防务公告，万航模锻公众号，国金证券研究所，注：航宇科技和派克新材收入为公告披露的航空航天锻件业务收入

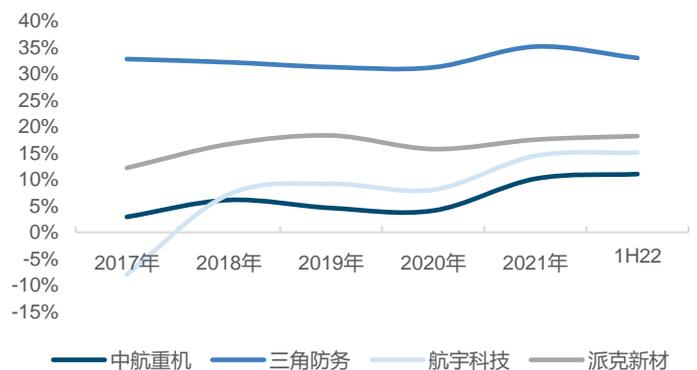
“十四五”装备需求放量，航空锻造板块业绩表现亮眼。2021年以来，伴随下游飞机、发动机批产型号列装放量，以及新型号研发接力需求牵引，航空锻造作为中游重要配套环节，进入业绩释放期。中航重机、三角防务、航宇科技、派克新材 2021 年净利润增速均超过 80%，2022 上半年增速均超过 50%。内部改革与提质增效带来中航重机 2019 年以来净利率快速提升，2021 年以来净利率突破 10%；规模快速放量下，航宇科技净利率稳步提升，2022 上半年净利率超过 15%；三角防务和派克新材分别保持着 30%以上和 15%以上较高的净利率水平。

图表49：主要公司归母净利润增速



来源：wind，国金证券研究所

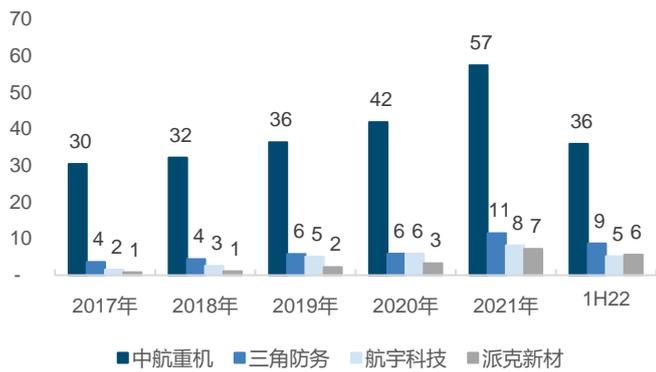
图表50：主要公司净利率



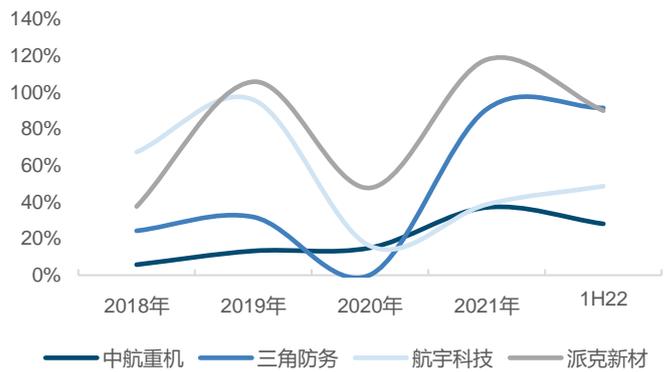
来源：wind，国金证券研究所

从军品锻造可比业务收入对比来看，中航重机深耕行业、全面参与各型号配套，同时供应机身和发动机锻件，收入体量明显高于民企公司，航空锻造业务收入保持稳健增长趋势。三角防务和派克新材得益于主要配套型号批产放量，收入端增速领先，2021 年以来航空（航天）锻造业务收入连续近翻倍增长。航宇科技外贸业务收入占比相对较高，伴随境内航发需求增长、境外商发需求疫情后恢复，2021 年以来收入增长提速。

图表51: 主要公司可比业务收入 (亿元)



图表52: 主要公司可比业务收入增速



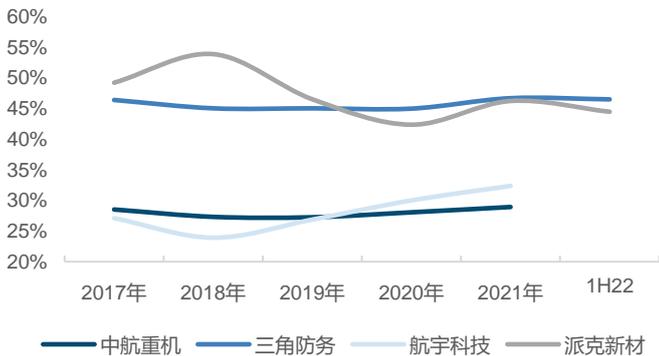
来源: wind, 中航重机公告, 国金证券研究所, 注: 航宇科技和派克新材为公告披露的航空航天锻件业务收入

来源: wind, 中航重机公告, 国金证券研究所

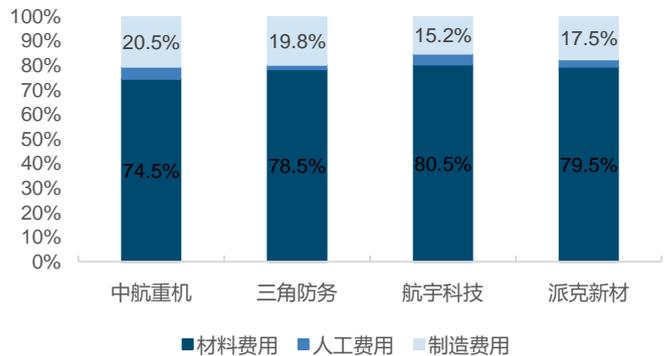
从军品锻造可比业务毛利率对比来看, 中航重机作为体系内企业承担军品任务, 配套型号广、产品件号多, 部分低附加值产品对整体效率与盈利能力有所拖累, 毛利率相对较低, 2021年航空锻造业务毛利率为 28.9%。三角防务大型模锻件产品应用于先进军机, 产品价值量较高, 4万吨大型设备先进性有助于提升材料利用率, 型号批产伴随工艺稳定和成熟, 近年来毛利率保持在 45% 以上的较高水平。派克新材航空航天锻件业务得益于型号批产放量, 近年来毛利率有所波动、整体处于较高水平, 2022 上半年毛利率为 44.4%。航宇科技外贸业务比重相对较高、毛利率较境内军品低; 根据公司最新公告, 2022Q1-Q3 航空锻件业务毛利率为 34.97%, 盈利能力呈现稳定提升趋势。

军品锻造业务成本构成来看, 主要公司较为接近, 材料费用比重在 75-80% 左右, 人工费用比重小于 5%, 制造费用比重在 15-20% 水平。伴随工艺优化成熟与智能化产线改造, 成本端整体呈现制造费用和人工费用比重下降趋势。

图表53: 主要公司可比业务毛利率



图表54: 主要公司可比业务成本构成

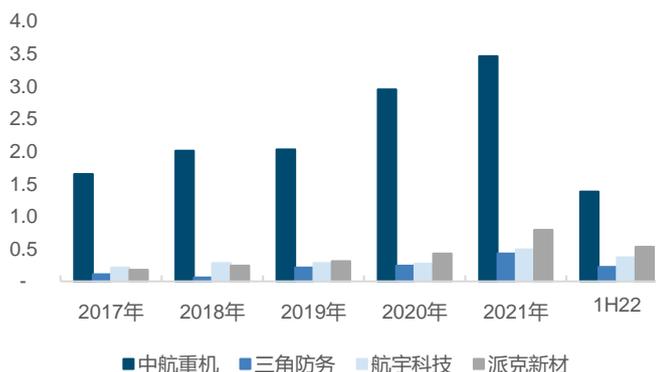


来源: wind, 国金证券研究所, 注: 航宇科技和派克新材为公告披露的航空航天锻件业务毛利率

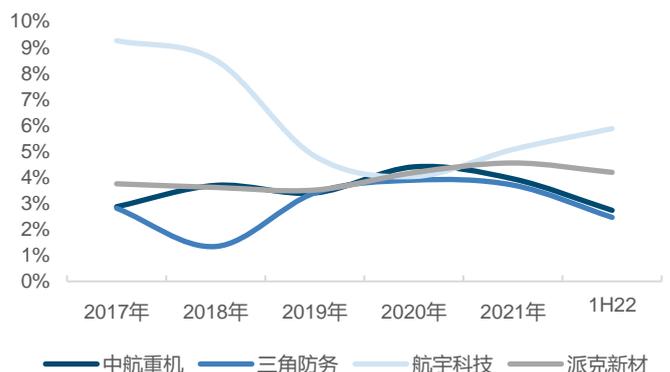
来源: wind, 国金证券研究所, 注: 三角防务年报未拆分成本项, 为公司公告披露的 20 年数据, 其余公司为 21 年报数据

航空锻造属技术密集型行业, 研发周期长且具有定制化特征, 同步研发是参与型号配套的关键, 通过研发优化工艺与技术, 能够提升材料利用率与降低成本。从主要公司研发投入来看, 中航重机研发投入金额最高, 21 年重点监控的 32 项武器装备型号在研项目有序推进, 21 项新增重点科研项目完成研制合同或技术协议签订。航宇科技研发费用率最高, 2022 上半年研发费用率达 5.9%, 在研项目数量达到 45 项, 研发人员数量大幅增加。持续的研发投入推动锻造企业技术进步与效益提升。

图表55: 主要公司研发费用 (亿元)



图表56: 主要公司研发费用率



来源: wind, 国金证券研究所

来源: wind, 国金证券研究所

3、募投助力企业扩产，规模化阶段战略存在差异

航空锻造主要企业经历专业化发展阶段，在各自见长领域形成一定壁垒，并具备规模化优势。主战装备批产放量需求牵引，锻造企业提前布局扩产能，中航重机 2018 年定增，三角防务、派克新材、航宇科技在 2019-2021 年 IPO，通过新建产线与扩充设备，解决关键产能瓶颈环节。产能陆续进入投放期，保障军品交付需求，支撑新订单承接，航空锻造行业景气持续向上。

根据自身发展阶段、技术与资源禀赋特点，主要企业在当前阶段的发展战略呈现出一定差异化特征。中航重机 2021 年定增募资，针对宏远大型、精密模锻件，以及安大特种材料锻件生产能力不足问题，进行产线和产品升级。2022 年 12 月公告与贵州省双龙区政府达成合作，计划以“1+6”形式统筹建设研究院+6 个产业基地，拓展精密铸造、机加及钛合金、高温合金材料业务。2023 年 1 月公司与南山铝业签署合作意向协议，借力南山铝业 5 万吨模锻压机设备优势，加速大型模锻件能力建设。

民营企业多以单项能力见长进入军品配套，随着技术、客户资源的积累，具备相应的扩品类和产业链延伸基础。从三角防务、航宇科技和派克新材三家主要锻造民企看，三角防务大型设备优势下、承担先进军机大型整体精密模锻件配套任务，过去产品件号相对单一。400MN 模锻液压机和 300MN 等温锻造液压机技术迁移与产能挖潜空间大，通过可转债和定增项目，公司添置辗环机、螺旋压力机、机床等关键设备，布局飞机中小锻件、发动机盘环件、发动机精锻叶片领域，同时拓展结构件加工、飞机蒙皮、部件组装业务，品类与业务布局广泛。

航宇科技锚定主机厂需求，当前阶段专注于环锻件配套，境内与外贸两个市场共同发展，募投产线围绕核心主业开展，提升产能和自动化水平，培育专业领域技术和竞争优势。派克新材在扩充环锻产能同时，定增募投项目将购置大型模锻液压设备，提升高端、精密锻造水平，拓展航空模锻件业务，进一步丰富产品结构。

图表57: 航空锻造主要企业募投项目情况

公司	所属项目	项目名称	计划结项时间	项目意义	投资金额(亿元)	其中:设备投资(亿元)	飞机/发动机为主	产品类别	达产年收入(亿元)
中航重机	2018 定增	宏远西安新区先进锻造产业基地建设	23 年 12 月	扩产能	13.9	7.2	飞机	等温锻造与精密锻造	13.9
		安大民用航空环形锻件生产线建设	22 年 12 月	扩产能	4.5	2.5	发动机	环锻件	4.2
	2021 定增	宏远航空精密模锻产业转型升级	24 年 12 月	产品升级	8.1	5.8	飞机	大型精密模锻件	未披露
		安大特种材料等温锻造生产线建设	24 年 12 月	产品升级	6.4	4.9	发动机	等温模锻件	未披露
三角防务	2019 IPO	400MN 模锻液压机生产线技改及深加工建设	21 年 12 月	扩产能	1.3	0.8	飞机	铝合金锻件	1.5
		发动机盘环件先进制造生产线建设	21 年 12 月	扩品类	2.2	1.1	发动机	环锻件	3.9
	2021 可转债	先进航空零部件智能互联制造基地	24 年 5 月	产业链延伸	12.8	8.5	飞机	结构件加工、飞机蒙皮	4.7
	2022 定增	航空精密模锻产业深化提升	25 年 12 月	扩品类	3.3	2.7	飞机	中小锻件	2.8
航空发动机叶片精锻		25 年 12 月	扩品类	5.3	3.3	发动机	精锻叶片	3.6	
航宇科技	2021 IPO	航空数字化集成中心	25 年 12 月	产业链延伸	7.1	4.7	飞机	部组件装配	3.0
		航空发动机、燃气轮机用特种合金环扎锻件精密制造产业园建设	23 年 1 月	扩产能	6.0	2.9	发动机	环锻件	11.6
		航空发动机及燃气轮机用热端特种合金材料及部件建设	22 年 12 月	扩产能	5.8	4.6	发动机	环锻件	5.0
派克新材	2022 定增	航空航天用特种合金结构件智能生产线建设	24 年 12 月	扩品类	15.0	10.4	飞机	模锻件	17.6

来源: 中航重机公告, 三角防务公告, 航宇科技公告, 派克新材公告, 国金证券研究所

四、提升盈利能力：批产放量带来规模效应，智能化产线提高效率

1、大型锻造设备价格高昂，产能挖潜空间大

大型锻造设备价格高昂，折旧费用规模大。大型锻件的生产需要大型锻压设备，高温合金、钛合金等难变形材料锻造需要等温锻造设备，核心锻造设备价格高昂。根据三角防务 IPO 及可转债募集说明书，400MN 液压机设备原值约 4.3 亿，按折旧年限为 30 年计算，每年折旧费用约 1400 万元；300MN 等温锻压机原值约 1.1 亿，按折旧年限为 10 年、残值率为 9.5% 计算，每年折旧费用约 995 万。对比航空零部件机加工行业，其主要工艺设备为数控机床，根据爱乐达招股书，五轴龙门加工中心单价仅 1200 万元。对于航空锻造企业来说，大型设备扩充后折旧费用较高，达产后规模效应显著。

图表58：大型锻造设备造价较高

400MN大型模锻压机
设备原值4.29亿元



五轴龙门加工中心
设备原值1200万元

≈ 36 *



来源：三角防务招股说明书，爱乐达招股说明书，明利钢材官网，国金证券研究所

核心设备产能弹性较大，通过合理规划及技改可显著提升产能。航空锻造材料多为难变形材料，如钛合金、高温合金等，导热性较低且模锻温度范围狭窄，模具和毛坯均需要进行较长时间预热；根据中航重机安大公众号，某些高温合金锻件产品仅模具加热就需要近 30 个小时。相较于加热时间，核心设备进行锻造的时间较短。根据航空知识，C919 起落架主起外筒宽 1.2 米，高 2.8 米，是典型的大型锻件，其锻压过程共需 3 分半钟，但锻压成型过程只需几秒。因此通过合理安排工序、进行小范围技改等手段，可以有效的提高核心大型设备的产能。根据中航重机宏远公众号，压力成型厂通过加热炉技改项目彻底解决万吨设备的产能问题，使得梁、框类及盘类产品产出效能得到根本性转变。

图表59：锻造企业产能弹性大



来源：三角防务招股说明书及定向发行说明书，航宇科技招股说明书及定向发行说明书，国金证券研究所

图表60：加热金属材料是锻造流程中耗时最长的环节

操作	锻压次数	操作时长	时长占比 (%)
坯料放入加热炉并加热		4h26min	68.7
锻粗		1min	0.3
一次锻压	5	1min	0.3
放入加热炉并加热		15min	3.9
二次锻压	3	2min	0.5
放入加热炉并加热		28min	7.2
三次锻压	6	2min	0.5
放入加热炉并加热		30min	7.8
四次锻压	15	7min	1.8
水中淬火		35min	9.0
合计		6h27min	100
锻压环节用时合计		12min	3.1
加热环节用时合计		6h15min	96.9

来源：镍基高温合金 Inconel_625 锻压工艺仿真及优化，国金证券研究所

扩产转固后盈利能力会受到短暂压制，产能释放后盈利能力将提升。赛道高景气牵引下航空锻造行业进入扩产周期，主要锻造企业均进行大规模扩产，预计 25-26 年集中转固，短期对于毛利率存在一定压制。但随着核心设备产能逐步释放以及内部技改推进，规模效应作用下盈利能力预计提升。

2、先进锻造对模具要求高，批产摊薄模具成本

模具具有定制化特征，是锻造企业重要成本，提高锻模寿命并控制模具成本对于控制成本至关重要。模锻是航空锻造的主流工艺，模锻件生产具有高材料消耗、高工装费用、高能源消耗特点，不同型号零件对于模具的要求不同，模具成本是模锻的重要成本。根据《难变形材料热模锻》，美国模具成本占锻件成本8%，修理和修复模具成本占锻件成本6-20%，俄系模锻模具制造和修复费用占锻件成本的20-30%，某些特殊零件如涡轮叶片甚至要占锻件成本的40-50%。控制模具成本对于锻造企业提升盈利能力较为重要，提高锻模寿命、锻造效率和以及降低锻模成本是模具设计的根本原则，在实际操作中可以通过优化工步设计、合理润滑和操作、减少工件与锻模接触时间、合理维修利用并尽量修旧利废等手段压缩模具成本。

图61：原材料与模具成本占模锻件制造成本的80%以上

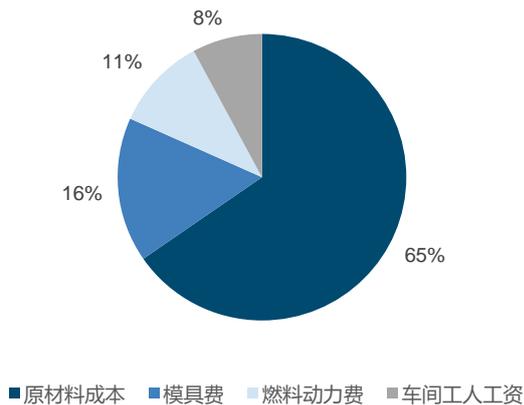


图62：利用铸坯制造模具可有效提升模具寿命

批产后可使用铸坯进行模锻，模具寿命更长，有利于摊薄成本

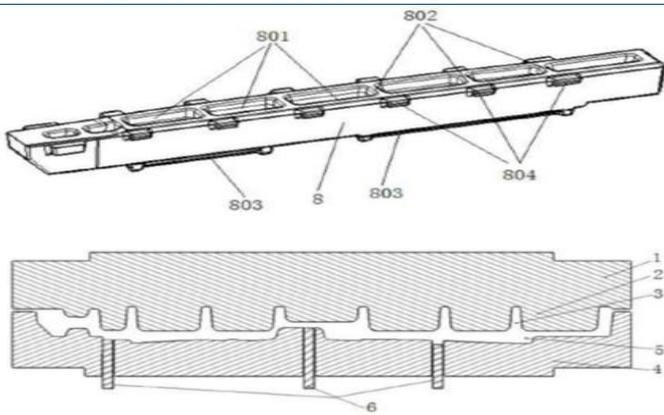
锻件	锻件材料	锻坯		铸坯	
		模具材料	寿命(件数)	模具材料	寿命(件数)
燃气轮机叶片	钛合金	5XHB	120	XH77TiOP	340
涡轮盘	镍合金	5XHB	25~30	XH77TiOP	160~280
型面锻件	热强钢	3X2B8	1~2	XH77TiOP	50

来源：模锻件的技术经济分析，模锻的经济性问题，国金证券研究所；注：制造成本中不考虑车间管理费

来源：难变形材料热模锻，国金证券研究所

大型锻件及等温锻件较普通模锻件模具材料更先进，制造难度更大，制造成本更高。大型化锻造模具费用较中小型模具费用更高，据《提高热模锻生产中的模具使用寿命》，一整套120MN锻压机生产线上的六拐曲轴锻模各个工序的模具总价约70-90万元。等温模锻由于需要面临较高温环境，模具材料主要为镍基铸造高温合金，材料成本更高且制造难度更大，损耗也较普通模锻更快，模具成本较普通模锻更高。

图63：大型模锻件的模具形状较为复杂



来源：一种大型钛合金深腔长盆肋锻件、模具及其成型方法，国金证券研究所

图64：国内外典型等温锻造用高温合金成分

合金名称	使用温度	化学成分(wt%)										
		Al	C	Cr	Co	Fe	Mn	Mo	Ni	Si	Ti	其它
Inconel 718C(美)	—	5.1	0.12	12.5	—	1	0.15	4.2	余量	0.4	0.6	2N ₂ , 0.01Zr, 0.1Zr
Inconel 718(美)	—	0.5	0.04	19	—	18.5	0.2	3	52.5	0.2	0.9	5.1N ₂
In-100(美)	—	5.5	0.18	10	15	0	0	3	60	0	4.7	0.018B, 0.05Zr, 1V
MAR-M-200(美)	—	5.0	0.15	9	10	—	—	—	余量	—	2.0	0.018B, 1.8N, 11.5W, 0.05Zr
Udimet 500(美)	1000	2.9	0.08	18	18.5	0.0	0.0	4	54.0	0.0	2.9	0.048B, 0.05Zr
Udimet 700(美)	1000	4	0.05	15	17	0.0	0.0	5	余量	—	3.5	0.04C, 0.03B
Astrolloy(美)	—	4.0	0.05	15	17	—	—	5.3	55	—	3.5	0.03B
TZM(俄表)	可变 1700℃	—	0.03	—	—	<0.01	0.008	余量	<0.002	—	0.48	<0.0005H, <0.0025O
K3(中)	可变 1000℃	5.3~	0.11~	18.3~	4.3~	—	—	5.3~	余量	<0.5	2.3~	0.4~5.3W, 0.012~0.022B
K2(中)	至1050℃	5.9	0.18	12	6.0	≤2.0	≤0.5	4.5	余量	—	2.9	0.03~0.04Zr, 0.01Cr
K2(中)	至1050℃	6.0	0.15	3.0	<10.0	—	—	—	余量	—	<0.2	18.4W, 1.0N ₂ , 0.5Zr, 0.02B
Nanos(日)	至1070℃	6.0	—	—	—	—	—	10	余量	—	—	0.01Y, 1.12W
ms-4(俄罗斯)	至1000℃	5.5	0.16	11	4.5	<2	<0.4	4	余量	<0.4	2.75	0.02B
ms-4(俄罗斯)	至1000℃	5.1	0.13	8.0	9.5	—	—	1.2	余量	—	2.0	Zr<0.04, B<0.035, 9.5W, Cr<0.02, 0.02N, Y<0.01

可用于钛合金等温锻造

美国等温锻造粉末高温合金盘件的唯一模具材料

件号批产后企业可选择不同手段合理延长模具寿命，提升生产效率并摊薄模具成本。航空锻造产品具备高定制化特点，过去小批量生产下锻造企业需跟随下游主机厂设计要求进行相应生产，模具变更较为频繁，对于锻造企业来说一方面较难降低模具的采购成本，另一方面也难以探索合适的延长模具使用寿命的方法，若因模具故障而停工对于产线生产效率有较大影响。

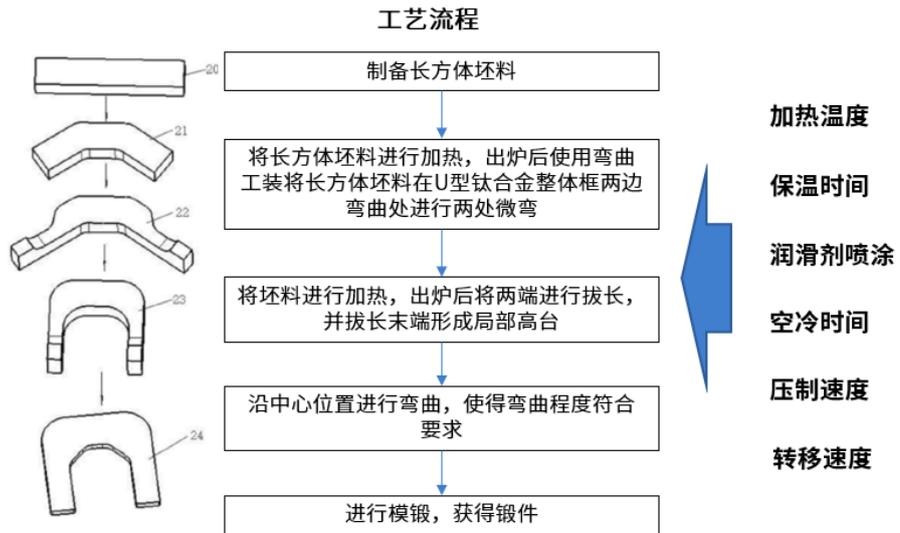
根据中航重机安大公众号，更换一次模具需要4-5小时，生产一件产品约耗时80-120秒，更换过程中生产线需暂停工作，不考虑原材料重新加热、模具预热的时间，更换一次模具的时间可以生产120-225件产品。随着下游主战装备进入快速放量期，大量件号定型批产，锻造企业可通过更换工艺、合理规划工序等手段提升模具寿命，预计可显著摊薄模具成本并提升产能，锻造企业盈利能力具备进一步提升空间。

3、智能化产线布局，降低材料与制造端成本

锻造热加工工艺参数要求严格，实际生产中存在靠经验问题。锻造属于金属热加工工艺，涉及金属内部结构变化，核心环节为锻造和热处理。在锻件成形过程中，变形温度、压下速度以及压下量等工艺参数对于锻件的组织和性能有显著影响；在热处理环节中，锻件冷却方式、温度和速度对于金属内部晶体形成有显著影响。

据三角防务《一种起落架用大型 TC18 钛合金模锻件的锻造方法》专利，在模锻环节的工艺流程为：预热模具至 250-350℃并喷涂专用石墨水剂，预热胚料 100-200℃并保温 10-20min 后喷涂 Ti-7 润滑剂，厚度 0.2-0.4mm，锻造过程中压制速度为 2-3mm/s；在热处理环节的工艺流程为：锻件于 840℃入炉，保温 180min，炉冷至 750℃，保温 150min，出炉空冷。在锻造和热处理环节每个环境参数的处理均要求较为严格，而在实际生产中由于环境较为复杂，难以同时精准控制多个因素，导致锻造行业在制造过程中需要靠经验，影响锻件产品质量一致性。

图表65：大型锻件生产过程较长，影响因素多，难以全部同时准确控制

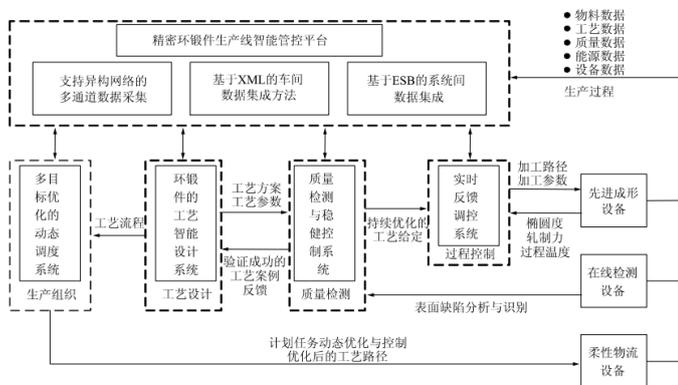


来源：一种超大 U 型钛合金整体锻件的锻造方法，国金证券研究所

智能化产线可提高材料利用率、生产效率以及产品品质，助力盈利能力提升。以环锻件为例，大型复杂环锻件由于服役条件苛刻且性能要求较高，存在产品工艺设计周期较长、变形质量不稳定、生产效率低等问题，智能产线可针对痛点提升生产效率及生产规范性，同时实现材料利用率提升。

根据航宇科技公众号，航宇科技智能生产线实现了设计数字化、技术智能化、生产可视化和数据化管理的有效集成，消除人为环节对产品质量的影响，大幅提升企业产品质量和生产效率。根据贵州日报，安大智能环锻生产线只需要 1 至 2 名技术人员进行操作即可实现全自动化生产，能够兼容数千项产品生产，实现柔性化制造，对于产品成本可控性，产品质量稳定性、一致性，产能大幅度提高都起到积极作用。较高良品率以及较高材料利用率和有效帮助锻造企业控制成本，提升盈利能力。

图表66：多级闭环的智能管控系统架构图



来源：航空航天大型环锻件智能产线管控与集成技术，国金证券研究所

图表67：精密辗环机生产过程的数字化控制操作系统



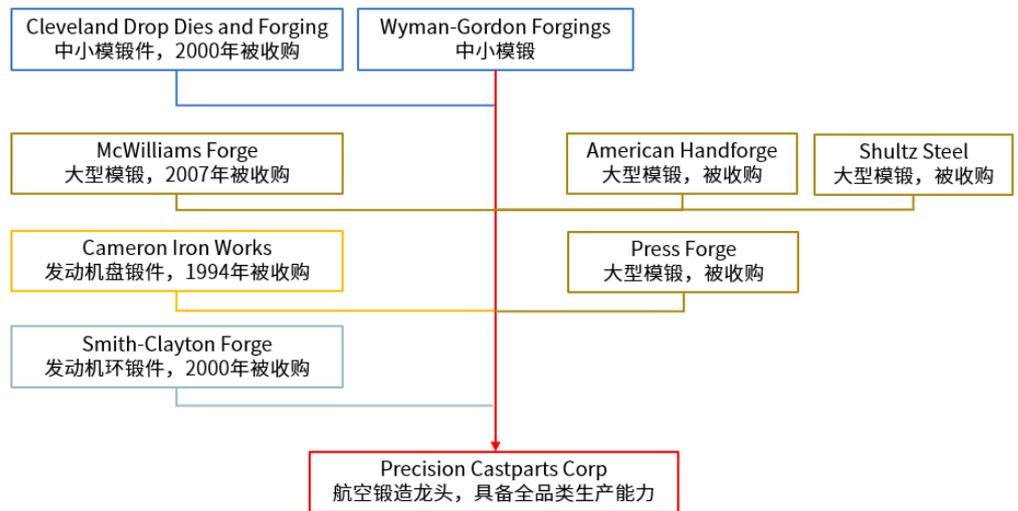
来源：贵州省发改委，国金证券研究所

五、打开市场空间：立足中游，品类扩张与业务延伸

1、设备+工艺+客户资源禀赋，锻造企业具备扩品类基础

横向拓展品类可加强系统配套能力。目前航空锻造领域民营企业多专注于细分领域配套，经过多年深耕与下游主机厂达成深度绑定关系，如航宇科技专注于环锻件生产，三角防务专长于机体结构模锻件生产。对于锻造企业来说，拓展品类一方面是基于主业的合理延伸，可以切入另一个高景气赛道从而提升业务天花板，另一方面也可加强自身系统配套能力，通过帮助主机厂降低联络等成本的方式加强与主机厂的联系，实现稳定并扩大市场份额的目的。观察美国主要锻造企业发展，头部企业多通过并购来实现品类横向拓展的目的，扩大市场份额并加强系统配套能力。

图表68：PCC公司借助并购横向拓展锻造业务产品品类



来源：Wyman-Gordon 官网，PCC 官网，国金证券研究所

基于锻造设备通用性以及工艺可迁移性，锻造企业进行内生性品类拓展具备可行性。自15年我国将军民融合战略提升到国家战略的地位后，参与军品生产的民营企业数量有所增加，但由于军品生产需要较为严格的资质审查，目前参与企业仍较少，较难通过外延并购实现横向品类拓展。目前锻造企业多选择内生性品类拓展，通过募集资金进行生产线建设和工艺研发。

大型锻造设备具备一定通用性，通过小幅改造可实现多种锻造技术，根据三角防务招股说明书，核心设备4万吨模锻压机能够满足等温锻造、热模锻锻造、普通锻造等各种锻造工艺对设备的参数要求，可满足先进飞机、航空发动机及燃气轮机中的大型模锻件生产。锻造工艺是基于设备和材料而开发的，因而同样具备一定可迁移性，据三角防务定向发行募资说明书及回复函，募投项目中计划生产的中小锻件产品、锻造叶片与现有大型锻件产品技术与工艺类似，目前的技术与工艺可以适用于新产品生产。

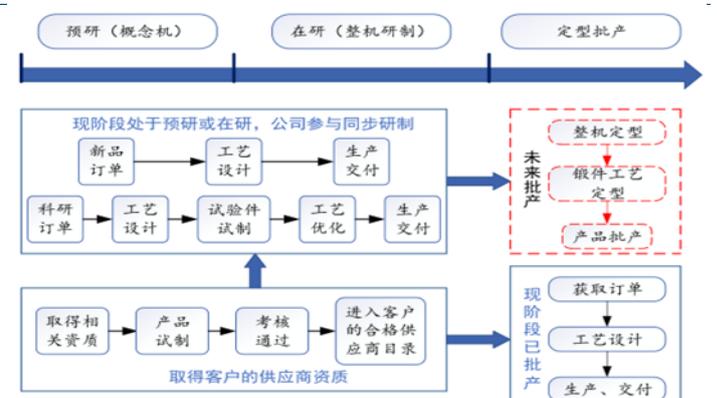
航空锻件从设计到定型与主机厂深度绑定，锻造企业借助客户资源实现市场开拓。航空产品定制化程度高，从预研到定型生产周期较长，锻造企业作为关键部件供应商需要从机型预研阶段便切入供应链，与主机厂建立密切联系，并且更好地了解主机厂的需求，横向进行品类拓展具备客户基础。

图表69：派克新材与三角防务相似技术

派克新材	三角防务
<p>高温合金锻造技术</p> <p>高温合金广泛应用于航空发动机及燃气轮机等耐高温部件，是高温精密性能的关键材料。锻造是高温合金的成型工艺，因此对高温合金性能的要求非常苛刻。高温合金的成分和结构复杂，工艺中，生产加工过程中影响因素多，锻造变形时容易出现裂纹等缺陷。实际生产中，对缺陷控制的要求非常高。</p> <p>公司对高温合金材料的加工性进行了系统研究，建立了锻造材料性能数据库，结合实际生产条件，建立了各种高温合金零件的工艺路线，锻造材料性能。同时采用特殊的高温合金保护和热处理工艺以提高其韧性并防止氧化，实现了高温合金零件的稳定生产，产品质量优良，几乎满足目前所有的民用和航空发动机型号。</p>	<p>某合金锻造及热处理技术</p> <p>通过大量的工艺探索和试验，获得了某合金锻造加热温度和保温时间与锻件组织性能的关系，热处理温度与保温时间、锻件冷却方式对锻件性能的影响关系，首次实现了某合金大型整体锻件的液压机模锻成型，保证了锻件的组织质量水平。</p>
<p>钛合金锻造技术</p> <p>钛合金具有强度高、重量轻、耐腐蚀、抗疲劳和耐辐射等优点，是一种在航天、航空、兵器以及民用等众多领域中都非常重要的高温金属材料。应用于航空航天领域的钛合金零件对力学性能和物理性能的要求均较高，必须严格控制锻件组织，但是，钛合金的塑性低，导热系数低，锻造过程中难以控制锻件组织，工艺难度非常大。</p> <p>公司根据航空发动机钛合金零件的技术标准和锻件要求，开展了大量的材料研究，建立了合理的工艺路线，实现了全流程控制。通过优化锻造材料组织，并提高锻件均匀性，通过热处理和热处理工艺相结合可强化钛合金的组织结构，控制锻件和次生α相的尺寸、形态、数量及分布，提高锻件均匀性，进而提高锻件的综合力学性能和物理性能。目前公司已掌握了该项技术，生产的锻件在各种重要的航空发动机型号中得到成熟应用。</p>	<p>某合金整体锻造技术</p> <p>通过对某合金材料整体锻件的成形和热处理等关键参数的工艺探索和试验研究，获得了加热温度、保温时间、锻造速度、锻后冷却方式、热处理温度、保温时间、冷却参数等对某合金整体锻件组织性能的影响关系，获得了优化的工艺参数组合，保证了锻件质量，成功生产出了我国多个型号航空发动机整体锻件。</p>
<p>钛合金大型锻件锻造技术</p> <p>钛合金具有强度高、重量轻、耐腐蚀、抗疲劳和耐辐射等优点，是一种在航天、航空、兵器以及民用等众多领域中都非常重要的高温金属材料。应用于航空航天领域的钛合金零件对力学性能和物理性能的要求均较高，必须严格控制锻件组织，但是，钛合金的塑性低，导热系数低，锻造过程中难以控制锻件组织，工艺难度非常大。</p> <p>公司根据航空发动机钛合金零件的技术标准和锻件要求，开展了大量的材料研究，建立了合理的工艺路线，实现了全流程控制。通过优化锻造材料组织，并提高锻件均匀性，通过热处理和热处理工艺相结合可强化钛合金的组织结构，控制锻件和次生α相的尺寸、形态、数量及分布，提高锻件均匀性，进而提高锻件的综合力学性能和物理性能。目前公司已掌握了该项技术，生产的锻件在各种重要的航空发动机型号中得到成熟应用。</p>	<p>某合金大型锻件锻造技术</p> <p>通过大量工艺试验，研究某合金大型锻件对超声波探伤信号的影响，并以多个零件为研制载体，通过数值模拟仿真技术，研究不同变量对锻件高、韧性匹配合理，组织均匀性较好，为我国中推力发动机的研制制定了工程化基础。</p>

来源：派克新材招股说明书，三角防务定向发行说明书，国金证券研究所

图表70：主机厂合作认证周期长



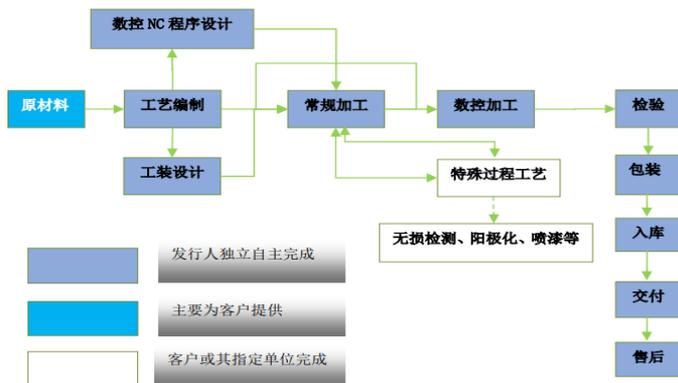
来源：航宇科技招股说明书，国金证券研究所

2、主机外溢需求+提升价值量动力，锻造企业向机加延伸

机械加工种类繁多，不同零件和材料需要特定加工工艺，核心为数控加工能力与特种工艺处理。机加工位于锻造下游，一般指对于金属材料的精密加工，根据加工形状和设备不同可分为车削、铣削、刨削、镗削、磨削、齿轮加工等多种工艺。由于航空零部件结构与形状较为复杂，各零部件间配合关系复杂，且加工材料多为钛合金、铝合金、高温合金等难加工金属材料，因此在航空零部件制造中数控加工技术得到普遍应用，且基于数控加工技术，需要发展相应成熟的加工工艺与技术，如高精度盲孔加工技术等。此外机加工还需发展特种工艺处理技术，包括无损检测、热处理、表面处理等。

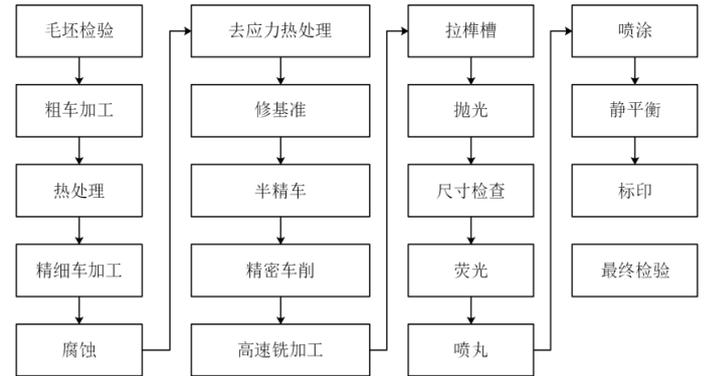
据《钛合金加工工艺技术研究》，钛合金机械加工需要选择钨钴类硬质合金刀具，采用较小前角和较大后角，以增大切屑与前刀面的接触长度，并减少工件与后刀面摩擦；刀尖采用圆弧过渡刀并保持锋利，保持低速切削防止烧刃和刀具磨损过快，需加入冷却液使刀具充分冷却。据《浅谈高温合金的切削加工》，不同类型高温合金需要选用不同类型的硬质合金刀具以及刀具前后角、切削液、乳化液等。

图表71：航空机体部件加工工艺流程



来源：爱乐达招股说明书，国金证券研究所

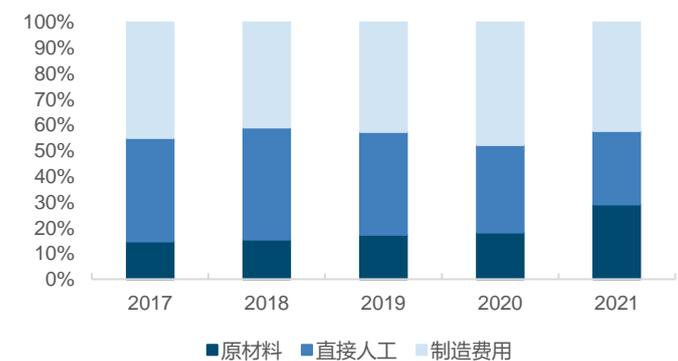
图表72：航空发动机零件加工工艺流程（以涡轮盘为例）



来源：航亚科技招股说明书，国金证券研究所

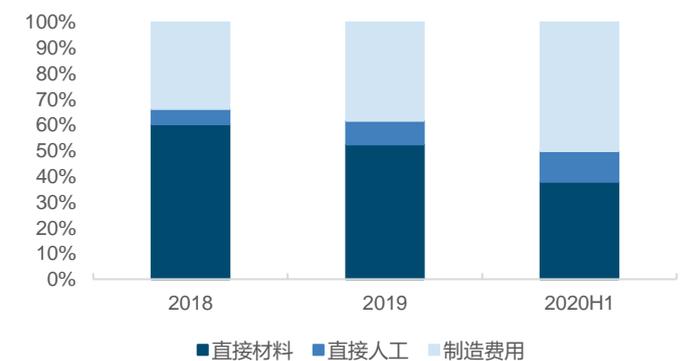
机加工企业多为来料加工，高良率和高效率生产是行业关键。根据爱乐达招股说明书，机加工企业主要成本为刀具损耗、人工成本以及设备折旧，多为来料加工模式，以收取加工费为主，下游对接主机厂；主机厂定价时综合考虑产品原材料价值、加工难度、加工风险、加工精度要求等指标，结合行业平均工时价格决定价格区间。由于航空零部件要求产品质量具有高可靠性、高安全性以及高稳定性，高良品率和高效率生产是航空零部件精密加工企业的盈利关键，航空零部件原材料价格昂贵，一个不合格产品造成的损失往往需要加工数个合格产品才能弥补。

图表73：制造费用为爱乐达主要成本



来源：爱乐达年报，国金证券研究所

图表74：制造费用为航亚科技零部件加工主要成本

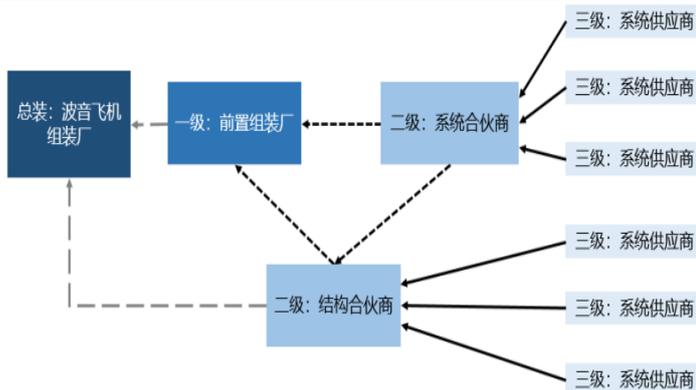


来源：航亚科技招股说明书，国金证券研究所；注：上市后航亚科技未进一步拆分成本，因此仅选取上市前具有参考性的成本数据

小核心大协作要求下，主机厂零部件加工及装配需求外溢。过去结构件、零部件生产主要由主机厂系统内部工程负责，随着行业规模扩大，主战装备进入批产放量以及国家军民融合战略的逐步推进，航空工业集团以及航空发动机集团均提出将聚焦核心总装业务，非核心业务交由外部专业配套企业负责。以波音787飞机为例，在其400多万个零部件中，波音只负责尾翼生产和总装大约10%的工作量，其余由全球40多家主要合作伙伴完成；缩短了33%的市场进入时间，节省了50%的研发费用。

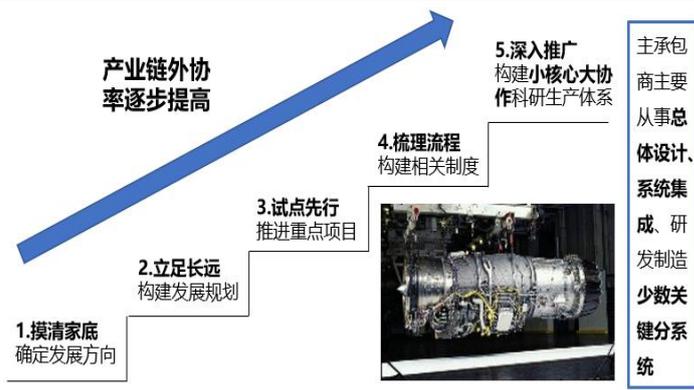
根据航空工业西飞公众号，公司进一步加大了一般加工能力零组件社会化配套力度，针对各型号研制批产任务及各专业厂产能平衡需求，通过编制飞机零组件超能力外扩实施大纲，统筹布局指导外扩项目执行，将产能适度释放工作前移；持续推进全流程外包工序扩容，在“零件加工+热处理”的基础上，将下料工序扩展至外包内容，缓解了物流管控中心薄板下料瓶颈，供应商实现原材料下料与产品制造的无缝连接。

图表75: 波音公司供应链示意图



来源: 波音的供应链管理, 国金证券研究所

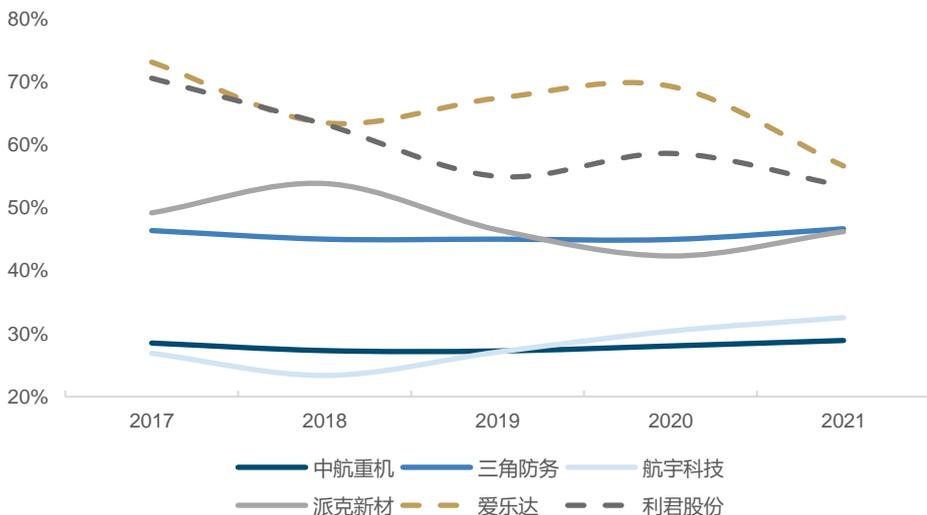
图表76: 国内主机厂推行“小核心, 大协作”改革规划



来源: 军工企业推进军民融合战略的思考与实践, 航空发动机军民融合发展研究, 国金证券研究所

锻造企业拓展机加与部件装配业务, 可提升产品附加值及行业地位。主机厂基于供应链管理和节约外协成本的要求, 倾向于选择现有配套单位发展部组件装配业务。由于在生产过程中锻件需要先交由主机厂进行质量检验, 锻造企业与主机厂关系密切, 具备承接主机厂机加业务外溢需求的能力。拓展部组件加工及装配业务对于锻造企业来说, 一方面可提高产品附加值, 提升盈利能力, 另外一方面也可以提高行业地位, 提升对上游的议价能力。

图表77: 机加工企业毛利率高于锻造企业



来源: wind, 国金证券研究所, 注: 爱乐达为飞机零部件业务毛利率, 利君股份为航空零件及工装设计制造业务毛利率

我们以中航重机为例进行测算, 假设中航重机航空锻造业务毛利率、成本结构与公告披露的锻造板块整体一致; 参考爱乐达及航亚科技相关业务数据, 假设锻件毛坯经过精加工后价值量提升 1 倍, 精加工环节加工费占锻件毛坯价值的 50%。测算可得锻造企业业务延伸后, 随着交付精加工产品比例上升, 收入与盈利能力将得到显著提升。

图表78: 锻造企业进行机加业务拓展可显著提升盈利能力

	中航重机 2021 年经营数据		产品精加工交付比例				
	锻造业务	航空锻造	10%	20%	50%	80%	100%
收入	65.84	57.31	63.04	68.77	85.97	103.16	114.62
锻件		57.31	51.6	45.8	28.7	11.5	-
精加工件		-	11.5	22.9	57.3	91.7	114.6
成本	46.80	40.73	45.1	46.5	55.1	63.7	69.4
材料成本	34.96	30.43	30.4	30.4	30.4	30.4	30.4
其他成本	11.84	10.30	11.8	10.3	10.3	10.3	10.3
精加工成本		-	2.9	5.7	14.3	22.9	28.7
测算毛利率	28.9%	28.9%	28.4%	32.4%	35.9%	38.3%	39.5%
毛利率提升			-0.5%	3.5%	7.0%	9.4%	10.5%

来源: 中航重机年报, 爱乐达年报, 航亚科技招股说明书, 国金证券研究所

3、海外借鉴：业务纵横拓展，铸就 PCC 全产业链龙头地位

PCC 集团业务覆盖航空锻铸造及金属材料、结构件全产业链，下游覆盖军用及民用市场。PCC 起家于航空发动机铸造业务，在 1967 年与 GE 签订 TF39 发动机部件合同，并与商普拉特·惠特尼签署了将大型结构铸件纳入 JT9D 商用发动机的协议，成为航空航天业的重要参与者。在经历过 90 年代业务多元化发展，以及新世纪重新聚焦航空业务进行兼并收购后，PCC 目前有四大业务平台，其业务全面覆盖航空锻铸造及金属材料、结构件。

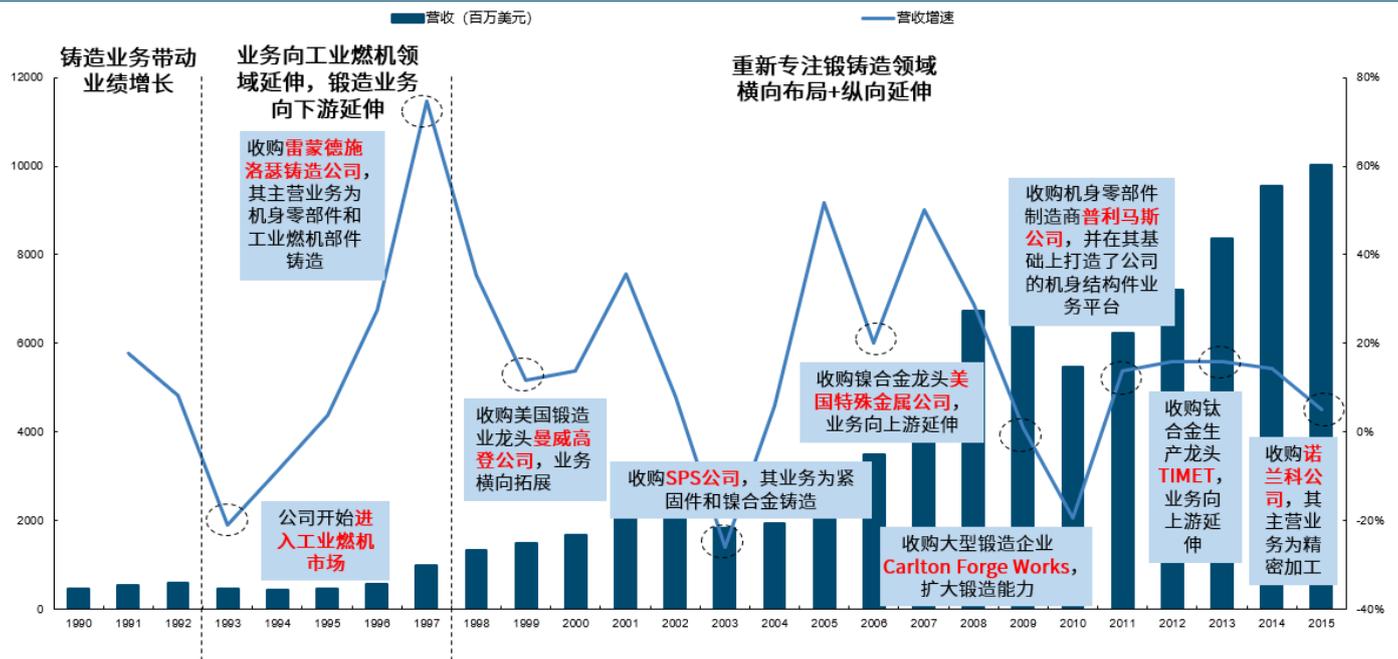
图表 79：PCC 业务覆盖全面



来源：PCC 官网，国金证券研究所

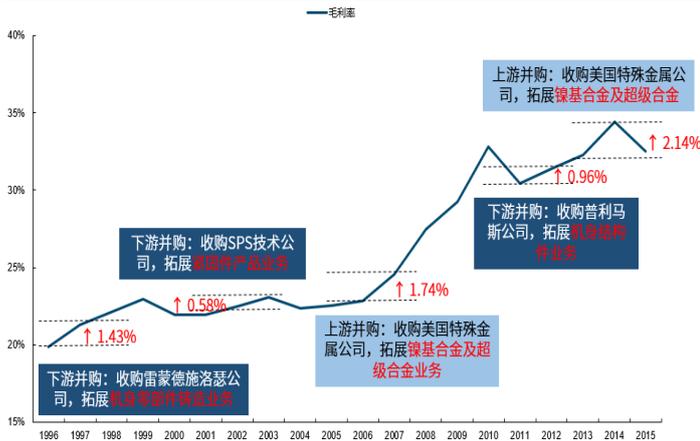
纵横并购带来产品结构优化和业务规模增长，业务拓展创造显著收益。PCC 公司发展可分为专注铸造业务→铸造业务多元化→重新聚焦航空领域三个阶段，进入新世纪以来 PCC 聚焦航空领域，积极进行纵横并购，拓展业务覆盖范围。1999 年完成对航空锻件制造商怀曼-戈登公司的收购，并基于怀曼-戈登公司的锻造业务通过并购进行锻造业务横向品类扩张。PCC 同样陆续收购产业链上下游企业，向上游原材料及下游精密加工以及部件装配延伸，通过并购带动营收规模增长以及盈利能力提升。

图表 80：PCC 发展经历三个阶段，新世纪来聚焦航空锻造业务带来规模增长



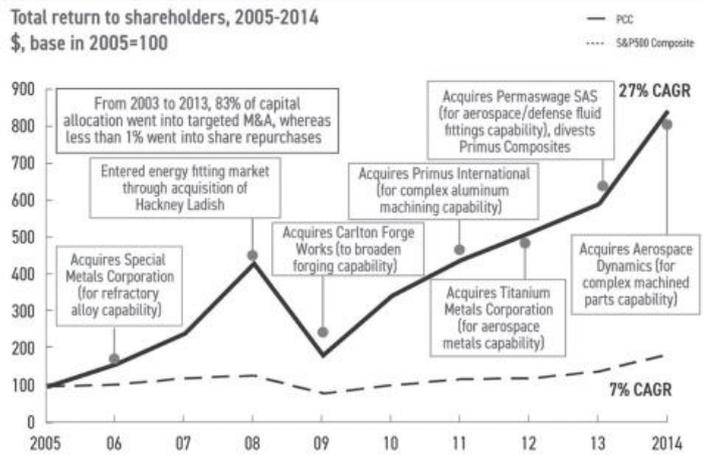
来源：Capital IQ, PCC 官网，国金证券研究所

图表81：产业链延伸对毛利率改善显著



来源：Capital IQ, PCC 官网, 国金证券研究所

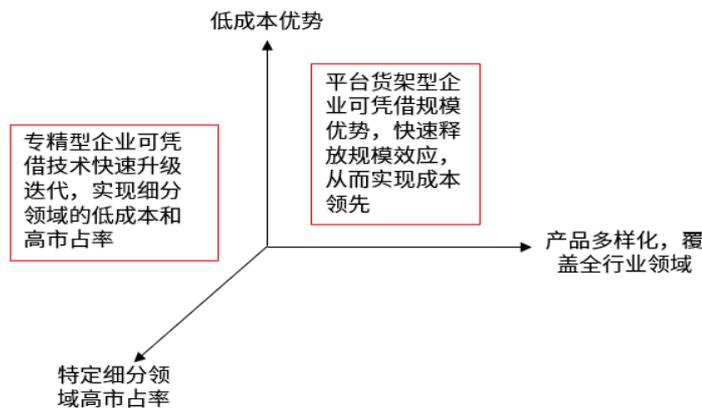
图表82：业务拓展下 PCC 股东回报率远超市场指数



来源：Strategy Beyond the Hockey Stick_ People, Probabilities, and Big Moves to Beat the Odds, 国金证券研究所

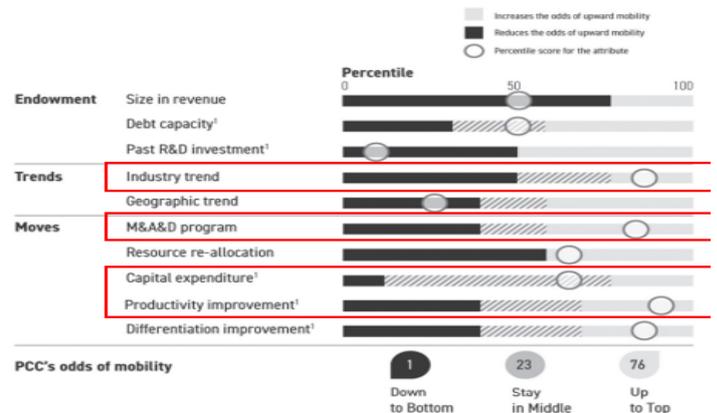
PCC 的发展对于处于产业链中游环节的航空锻造企业具有如下启示：1) 专精特新企业需专注技术研发与卡位优势：专精特新企业往往在某一细分领域市占率较高，通过技术迭代、工艺优化等方式，在核心产品市场实现配套能力与成本优势，与客户形成深度绑定关系；2) 平台货架型企业需关注规模效应释放与业务拓展：平台货架型企业规模体量领先，可通过规模效应释放获取总成本优势，且建立在规模基础上的业务拓展具备经济性，增长具有可复制性与可持续性；3) 行业高景气下，高资本支出带来的产能扩充以及并购带来的业务拓展是 PCC 战略成功的关键：根据麦肯锡研究，PCC 在 05-15 年的四次重大收购及业务扩张是帮助其实现稳定增长的关键，基于行业高景气下的业务拓展和延伸具备合理性。

图表83：不同企业获得成本优势的途径不同



来源：竞争战略, 国金证券研究所

图表84：行业景气基础上的业务拓展是 PCC 成功的关键



来源：Strategy Beyond the Hockey Stick_ People, Probabilities, and Big Moves to Beat the Odds, 国金证券研究所

六、投资建议

军机、发动机、商用航空与外贸转包共同牵引国内航空锻造市场需求，主力企业经历专业化发展，进入规模化阶段；顺应行业发展与主机需求趋势，设备为基提升配套能力，精进工艺实现降本增效，立足中游拓展产业链深度；其本质是效率提升的行业高质量发展。推荐关注：

- 1) 中航重机：航空锻铸造龙头，飞机与发动机锻造市场均占据主力地位，内生外延提升大型模锻件能力；规模优势下，积极向产业链上、下游延伸，打造一体化供货平台；产品附加值提高叠加内部改革推进，盈利能力不断提升。
- 2) 航宇科技：专注航发环锻件领域，境内军品市场受益批产+科研型号需求，境外商用航空市场疫情后需求恢复，在手订单饱满预示高增长；工艺优化与规模效应释放下，盈利水平稳步提升，德阳投产发展再上台阶。
- 3) 三角防务：依托 400MN 液压机形成大型模锻件承制优势，300MN 等温锻造液压机形成搭配，满足多品类研制需求；横向拓展中小锻件、发动机盘环件和精锻叶片，纵向拓展精加工、飞机蒙皮和部件组装，打开长期发展空间。
- 4) 派克新材：航发环锻件核心供应商之一，型号批产放量带动业绩高增，持续技改投入扩充设备与产能，提升产品覆盖能力；顺应军机与国产大飞机市场精密模锻件需求增长，定增募投拓展模锻业务，有望带来新增增长点。

七、风险提示

■ 新型号批产进度不及预期的风险。

航空锻造企业参与主机厂型号发动机研发配套，多为小批量、多品种试制，如型号转批产进度不及预期，将会影响收入增长与规模效应释放。

■ 原材料价格大幅波动的风险。

航空锻造企业位于产业链中游，高温合金、钛合金等原材料成本占营收比重高，如原材料价格大幅波动，将对盈利能力产生影响。

■ 扩产及业务拓展进度不及预期的风险。

锻造企业扩产进度如不及预期，将对产品交付和承接新订单产生影响；扩品类与产业链延伸存在研发、产品认证等壁垒，进度如不及预期将影响企业规模与效益增长。

行业投资评级的说明：

买入：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15%以上；
增持：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%—15%；
中性：预期未来 3—6 个月内该行业变动幅度相对大盘在 -5%—5%；
减持：预期未来 3—6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5%以上。

特别声明：

国金证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

本报告版权归“国金证券股份有限公司”（以下简称“国金证券”）所有，未经事先书面授权，任何机构和个人均不得以任何方式对本报告的任何部分制作任何形式的复制、转发、转载、引用、修改、仿制、刊发，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发，需注明出处为“国金证券股份有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，但国金证券及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。本报告反映撰写研究人员的不同设想、见解及分析方法，故本报告所载观点可能与其他类似研究报告的观点及市场实际情况不一致，国金证券不对使用本报告所包含的材料产生的任何直接或间接损失或与此有关的其他任何损失承担任何责任。且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，在不作事先通知的情况下，可能会随时调整，亦可因使用不同假设和标准、采用不同观点和分析方法而与国金证券其它业务部门、单位或附属机构在制作类似的其他材料时所给出的意见不同或者相反。

本报告仅为参考之用，在任何地区均不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告提及的任何证券或金融工具均可能含有重大的风险，可能不易变卖以及不适合所有投资者。本报告所提及的证券或金融工具的价格、价值及收益可能会受汇率影响而波动。过往的业绩并不能代表未来的表现。

客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突，而不应视本报告为作出投资决策的唯一因素。证券研究报告是用于服务具备专业知识的投资者和投资顾问的专业产品，使用时必须经专业人士进行解读。国金证券建议获取报告人员应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。

在法律允许的情况下，国金证券的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布该研究报告的人员。国金证券并不因收件人收到本报告而视其为国金证券的客户。本报告对于收件人而言属高度机密，只有符合条件的收件人才能使用。根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告仅供国金证券股份有限公司客户中风险评级高于 C3 级（含 C3 级）的投资者使用；本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，不应被视为对特定客户关于特定证券或金融工具的建议或策略。对于本报告中提及的任何证券或金融工具，本报告的收件人须保持自身的独立判断。使用国金证券研究报告进行投资，遭受任何损失，国金证券不承担相关法律责任。

若国金证券以外的任何机构或个人发送本报告，则由该机构或个人为此发送行为承担全部责任。本报告不构成国金证券向发送本报告机构或个人的收件人提供投资建议，国金证券不为此承担任何责任。

此报告仅限于中国境内使用。国金证券版权所有，保留一切权利。

上海
电话：021-60753903
传真：021-61038200
邮箱：researchsh@gjzq.com.cn
邮编：201204
地址：上海浦东新区芳甸路 1088 号
紫竹国际大厦 7 楼

北京
电话：010-85950438
邮箱：researchbj@gjzq.com.cn
邮编：100005
地址：北京市东城区建内大街 26 号
新闻大厦 8 层南侧

深圳
电话：0755-83831378
传真：0755-83830558
邮箱：researchsz@gjzq.com.cn
邮编：518000
地址：中国深圳市福田区中心四路 1-1 号
嘉里建设广场 T3-2402