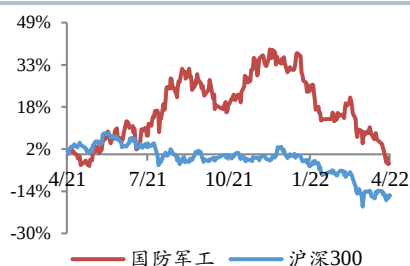


高温合金，金属新材料优质赛道

行业评级：增持

报告日期：2022-04-16

行业指数与沪深300走势比较



分析师：郑小霞

执业证书号：S0010520080007

电话：13391921291

邮箱：zhengxx@hazq.com

联系人：邓承佺

执业证书号：S0010121030022

电话：18610696630

邮箱：dengcy@hazq.com

相关报告

1. Q3 经营情况大幅改善，定增项目支撑未来 2021-10-21
2. 三驾马车齐头并进，定增扩产直击产能瓶颈 2021-7-29
3. 高端金属材料成型工艺领军者 2021-5-28

主要观点：

● 高温合金是内燃机的完美伴侣

温度和压力对内燃机效率至关重要，为提高燃机输出效率，航空航天发动机、燃气轮机的热端部件需承受 600℃-1200℃ 的高温以及复杂应力的交互作用，材料要求非常苛刻。相比于常用的铝合金、钛合金及镁合金，高温合金更适应更高的温度（600℃）和腐蚀严重的复杂环境，其中镍基合金占据当前高温合金市场近 80% 的份额。

● 三类高温合金性能各异，无需担心相互替代

变形高温合金是经过锻造、轧制、墩粗和冷拔等塑性变形工艺和热处理支撑的一类高温材料，目前已是用量最大、品种最多的一类高温材料，内燃机涡轮盘为主要应用领域。

铸造高温合金由合金锭重熔后直接浇注或定向凝固成零件的高温合金，因其可通过精密铸造或者定向凝固工艺直接成型，因而无需考虑锻造变形性能，同成分的铸造高温合金要比变形高温合金使用温度提高 10-30℃，内燃机叶片为主要应用领域。

粉末高温合金是利用粉末冶金工艺制备的高温合金，相较于此前的铸-锻高温合金，粉末冶金工艺可以一定程度上解决变形高温合金成形困难及铸造高温合金存在的力学性能波动等问题，目前航空发动机涡轮盘为主要应用领域。

经过几十年的发展，高温合金已经衍生出了上千种牌号，各类牌号特点不一，基于内燃机构造复杂，不同部位零部件处于不同的工况，选材的出发点是整体结构各性能参数的适配性，因而三类高温合金不存在相互替代的关系。

● 新工艺、防护涂层、新品类合金类型及返回料或为未来发展趋势

大部分高温合金熔点在 1200℃ 左右，随着大型内燃机诸如航空发动机向高涵道比、高推重比、高涡轮进口温度方向发展，内燃机热端部件的工作温度屡创新高，因而研发新工艺、新合金的研制及高温防护涂层的开发对延续高温合金市场的成长十分关键。

返回料方面，根据相关专利显示，传统的双联工艺制备的变形合金出成率不高于 60%，而铸造类单晶合金最终零件的重量只有原材料的 30% 左右，同时高温合金的利用率极低，其中精铸件的利用率约占 20%~30%，形状复杂的零件只占 10% 左右，导致资源的巨大浪费。因此高温合金废料的回收重新利用，既可以降低成本，又可以降低对重要战略物资元素（如镍、钴、铬等）的依赖。

● 军工催生万吨需求，汽车、核电及化工有望创增量空间

当前最先进的战机中高温合金的用量已经超过 50%，主要用于燃烧

室、导向器、涡轮叶片和涡轮盘四大热端部件，其未来用量占比依然呈现不断增长的趋势，价值占比有望进一步提升。根据团队测算，未来五年军用高温合金市场空间将达 1.3 万吨，存量国产商用客机发动机对高温合金的需求量突破万吨。

此外，汽车为推升燃油效率降低排放装配涡轮增压器、工业燃气轮机国产替代加速、碳中和下核电站建设稳步推进及石化炼化装备升级转型，预计民用领域将成为未来高温合金应用的主战场。

● 中游企业技术路线不一，直接竞争小，返回料领域值得期待

高温合金的市场目前主要定位于航空航天等军工领域，而武器装备科研生产及材料配套流程时间周期较长，定型后基本不会更换材料及设计方案，严格的准入资质有助于加高行业壁垒。国内现从事高温合金材料及高温合金精密铸件生产的企业数量有限，基于航空领域零部件数量繁多，各家企业技术路线及主打产品牌号迥异，该领域直接竞争小，格局相对稳定。

返回料领域，从专利角度分析，当前玩家数量不多，据不完全统计，上市公司中抚顺特钢及钢研高纳已申请过相关专利，未上市公司中航上大也有所布局，未来该领域成长性令人期待。

● 投资建议

基于军工行业景气度高、高温合金技术难度大及行业准入门槛高，我们重点推荐已覆盖的西部超导，我们认为伴随着项目建设完毕释放产能，预计公司可实现持续稳健发展。建议关注抚顺特钢、钢研高纳、图南股份、应流股份、万泽股份等。

● 风险提示

新型军机放量不及预期；发动机、燃气轮机等领域国产化替代进程缓慢；高温合金原材料价格上涨；高温合金技术突破不及预期；相关公司产能拓展进展不及预期。

正文目录

1 高温合金：极端环境条件中的最佳金属新材料	8
1.1 变形高温合金：最先用于航空发动机的高温合金类型	10
1.2 铸造高温合金：被广泛应用于燃气轮机涡轮叶片部位	14
1.3 粉末高温合金：有效解决铸造高温合金力学性能波动	20
1.4 工艺、防护层及新组成是夯实高温合金应用三大助力	23
1.5 提升返回比例及降低成本是开拓高温合金市场的关键	28
2 需求端：源于内燃机，高耐温性扩展下游市场	33
2.1 内燃机不可或缺的伴侣	34
2.1.1 航空发动机：下游旺盛需求催生万吨空间	36
2.1.2 汽车涡轮盘：五年内复合增速将达到 16%	42
2.1.3 工业燃气轮机：国产化替换已成为主旋律	44
2.2 碳中和催生核电近万吨需求	47
2.3 化工新能源有望开辟新战场	49
3 供给端：中游寥若晨星，返回件领域格局未定	53
3.1 国内高温合金新料各企业正独领风骚	55
3.2 国内高温合金返回料企业将逐鹿中原	59
4 高温合金重点关注公司	64
4.1 抚顺特钢：老牌钢企涅槃重生	64
4.2 钢研高纳：铸造高温合金龙头	67
4.3 西部超导：高温合金新锐企业	70
4.4 图南股份：民营最红“中国芯”	73
4.5 应流股份：两机业务奠定未来	77
4.6 万泽股份：院厂结合快速突破	80
4.7 中航上大：守正创新强军富民	84
4.8 江苏奇纳：致力于特种母合金	90
风险提示：	93

图表目录

图表 1 金属零部件全寿命过程图.....	8
图表 2 钢材按化学成分分类.....	8
图表 3 碳钢、钛合金、铝合金、镁合金及高温合金性能对比.....	9
图表 4 高温合金分类及各类合金的特点.....	9
图表 5 变形高温合金按应用品种分类及其主要特点.....	10
图表 6 我国变形高温合金涡轮盘代次划分.....	10
表 7 变形高温合金成分设计原则.....	11
图表 8 高温合金中的合金元素及其作用.....	11
图表 9 高温合金微量元素及作用.....	11
图表 10 高温合金主要熔炼设备性能对比.....	12
图表 11 高温合金 IN718 三联工艺重熔锭中的夹杂物真空感应熔炼锭少.....	12
图表 12 相比铸造及机加工，锻造加工出的高温合金韧性高、纤维组织合理.....	13
图表 13 变形高温热处理工艺.....	13
图表 14 三种不同工艺下相同成分合金（M-M200）的蠕变及持久性能.....	14
图表 15 航空发动机涡轮叶片高温合金材料及成形技术发展.....	14
图表 16 我国等轴晶铸造高温合金及其发动机上的应用情况.....	15
图表 17 等轴晶铸造高温合金晶粒度与性能.....	16
图表 18 铸造高温合金细晶工艺.....	16
图表 19 定向凝固柱状晶高温合金的发展.....	17
图表 20 四代定向凝固柱状晶合金蠕变性能对比.....	17
图表 21 壳型凝固法装置.....	18
图表 22 液态金属冷却法.....	18
图表 23 单晶高温合金的发展.....	19
图表 24 五代单晶合金承温能力对比.....	19
图表 25 粉末高温合金的发展.....	20
图表 26 每代粉末合金承温能力对比.....	21
图表 27 美国和俄罗斯粉末涡轮盘制备工艺流程对比.....	21
图表 28 我国粉末冶金高温合金的工艺路线.....	22
图表 29 AA 和 PREP 制粉工艺示意图.....	22
图表 30 不同制粉工艺对 IN 100 高温合金持久性能的影响（752℃，686MPa 情况下）.....	22
图表 31 不同固实化工艺对 ASTROLOGY 持久性能的影响.....	23
图表 32 高温合金产业链.....	23
图表 33 高温合金新工艺.....	24
图表 34 高温合金现有工艺改进的切入点.....	24
图表 35 高温合金用防护涂层类别及应用.....	25
图表 36 典型热障涂层体系（左：结构示意图，右：实物图）.....	25
图表 37 涂覆防护层后的高温合金热腐蚀动力学曲线.....	26
图表 38 高温结构材料的发展示意图.....	26
图表 39 新型高温合金简介.....	27
图表 40 放电等离子烧结法制备高熵合金.....	27
图表 41 返回料比例及次数对合金成分、组织和力学性能的影响.....	28

图表 42 专利 CN113337742 对 GH141 合金返回料的熔炼过程示意图	29
图表 43 专利 CN113249584A 对 K465 合金返回料的熔炼流程示意图	30
图表 44 专利 CN112760508A 对 FGH4096 合金返回料的熔炼设备示意图	31
图表 45 专利 CN111761007A 对高返回料添加 GH4169 合金盘锻件制造示意图	31
图表 46 GH4169 合金盘锻件标准热处理后室温拉伸性能 (返回比 $\geq 50\%$)	32
图表 47 GH4169 合金盘锻件标准热处理后 650℃拉伸性能 (返回比 $\geq 50\%$)	32
图表 48 GH4169 合金盘锻件标 650℃/690MPa 组合持久性能 (返回比 $\geq 50\%$)	32
图表 49 各行业对高温合金的需求	33
图表 50 高温合金可应用行业	34
图表 51 高温合金下游行业的应用占比	34
图表 52 同一温度下, 压力越大发动机效率越高	34
图表 53 效率相同情况下, 发动机温度越高, 推力越大	34
图表 54 涡轮机对材料的需求	35
图表 55 液体燃料火箭发动机结构示意图	35
图表 56 飞机/发动机性能匹配评估流程	36
图表 57 涡轮发动机结构模型	37
图表 58 涡轮前温度对推力和耗油率的影响	37
图表 59 涵道比对推力和耗油率的影响	38
图表 60 风扇压比对推力和涵道比的影响	38
图表 61 航空发动机材料结构的发展情况 (1950 年-2010 年)	39
图表 62 高温合金在我国军用飞机发动机的应用	40
图表 63 军用飞机发动机高温合金需求	41
图表 64 高温合金在民用航空发动机涡轮盘的应用	41
图表 65 民用航空对高温合金的需求	42
图表 66 高温合金在汽车涡轮盘中应用发展	42
图表 67 国内外增压涡轮用高温合金的主要力学性能	43
图表 68 汽车涡轮盘增压器高温合金需求	43
图表 69 海外燃气轮机中高温合金的应用	44
图表 70 我国燃气轮机高温合金的应用	45
图表 71 工业燃气轮机涡轮叶片合金的发展	45
图表 72 2015-2020 年全球燃气轮机行业市场规模统计及增长情况	46
图表 73 我国燃气轮机高温合金的应用	46
图表 74 核电设备中高温合金的应用	47
图表 75 核电用镍基合金名义成分及标准态相组成	47
图表 76 核电用镍基合金 1000 小时持久强度	47
图表 77 第一代核电用 INCONEL 625 浸蚀过程溶解示意图	48
图表 78 2021 年我国在建核电情况	49
图表 79 石化设备中高温合金的应用	50
图表 80 INCOLOY 825 (A) 和 INCOLOY 276 合金在二氧化碳/硫化氢环境中的耐腐蚀性	50
图表 81 根据油气井环境选用冷加工强化的镍基高温合金	51
图表 82 根据油气井环境选用热处理强化的镍基高温合金	51
图表 83 近六年我国油气开采行业营收及单位数量	52
图表 84 近六年我国原油进口、原油加工情况	52
图表 85 海外主要的高温合金企业	53

图表 86 海外高温合金发展历程	54
图表 87 国内高温合金发展历程	54
图表 88 国内主要高温合金厂商对比	56
图表 89 武器装备科研生产及材料配套流程	57
图表 90 我国主要变形高温合金上市企业技术路线对比	58
图表 91 我国主要铸造高温合金上市企业技术路线对比	59
图表 92 我国主要军用粉末高温合金生产企业技术路线对比	59
图表 93 专利角度看高温合金返回料企业专注领域（截止 2021 年年底）	60
图表 94 高温合金返回料技术专利按专注技术种类分类（单位：件）	61
图表 95 高温合金返回料技术专利按时间分类（单位：件）	61
图表 96 高温合金返回料技术专利按合金种类分类（单位：件）	62
图表 97 高温合金返回料技术专利按公司分类（单位：件）	62
图表 98 抚顺特钢营收情况	64
图表 99 2021 年抚顺特钢产品结构	64
图表 100 抚顺特钢高温合金专利申请数量（件）	64
图表 101 抚顺特钢研发费用及占比	64
图表 102 抚顺特钢高温合金系列产品	65
图表 103 抚顺特钢电渣炉生产线	65
图表 104 抚顺特钢高温合金工艺路线	66
图表 105 钢研高纳营收情况	67
图表 106 2020 年钢研高纳产品结构	67
图表 107 钢研高纳高温合金专利申请数量（件）	67
图表 108 钢研高纳研发费用及占比	67
图表 109 钢研高纳高温合金系列产品	68
图表 110 钢研高纳相关技术	69
图表 111 钢研高纳高温合金组织控制实验室	69
图表 112 西部超导营收情况	70
图表 113 2020 年西部超导产品结构	70
图表 114 西部超导高温合金专利申请数量（件）	70
图表 115 西部超导研发费用及占比	70
图表 116 西部超导自主设计及改造的真空自耗电弧炉	71
图表 117 西部超导熔炼及锻造车间方案总设计	72
图表 118 图南股份营收情况	73
图表 119 2020 年图南股份产品结构	73
图表 120 图南股份高温合金专利申请数量（件）	73
图表 121 图南股份研发费用及占比	73
图表 122 图南股份产品	74
图表 123 图南股份产品工艺流程	75
图表 124 图南股份 8000KG 真空感应炉	75
图表 125 图南股份 8T 装料机	76
图表 126 图南股份锻压工艺流程	76
图表 127 应流股份营收情况	77
图表 128 2020 年应流股份产品结构	77
图表 129 应流股份高温合金专利申请数量（件）	77

图表 130 应流股份研发费用及占比.....	77
图表 131 应流股份铸造成形生产线.....	78
图表 132 应流股份航空发动机和燃气轮机高温合金热端部件.....	79
图表 133 应流股份高端装备核心零部件应用于航空、能源、油气和资源领域.....	79
图表 134 万泽股份营收情况.....	80
图表 135 2021 年万泽股份产品结构.....	80
图表 136 万泽股份高温合金专利申请数量（件）.....	80
图表 137 万泽股份研发费用及占比.....	80
图表 138 万泽股份镍基高温合金样品.....	81
图表 139 万泽股份镍基高温合金.....	81
图表 140 万泽股份铸造高温合金相关性能.....	82
图表 141 万泽股份涡轮盘件.....	83
图表 142 万泽股份热等静压设备.....	83
图表 143 中航上大发展历程.....	84
图表 144 中航上大高温合金应用领域.....	84
图表 145 中航上大高温合金种类.....	85
图表 146 中航上大引进德国 ALD 公司 6 吨真空感应炉.....	85
图表 147 中航上大引进 6T 真空自耗炉完成热负荷试车.....	86
图表 148 中航上大精炼设备.....	87
图表 149 中航上大锻造设备性能系数.....	87
图表 150 中航上大锻造设备.....	88
图表 151 中航上大轧制设备.....	88
图表 152 中航上大部分高温合金专利.....	89
图表 153 公司高温合金母合金.....	90
图表 154 公司高温合金丝材.....	90
图表 155 公司产品详细信息.....	90
图表 156 江苏奇纳冶炼设备.....	91
图表 157 江苏奇纳相关检测设备.....	91
图表 158 江苏奇纳部分高温合金专利.....	92

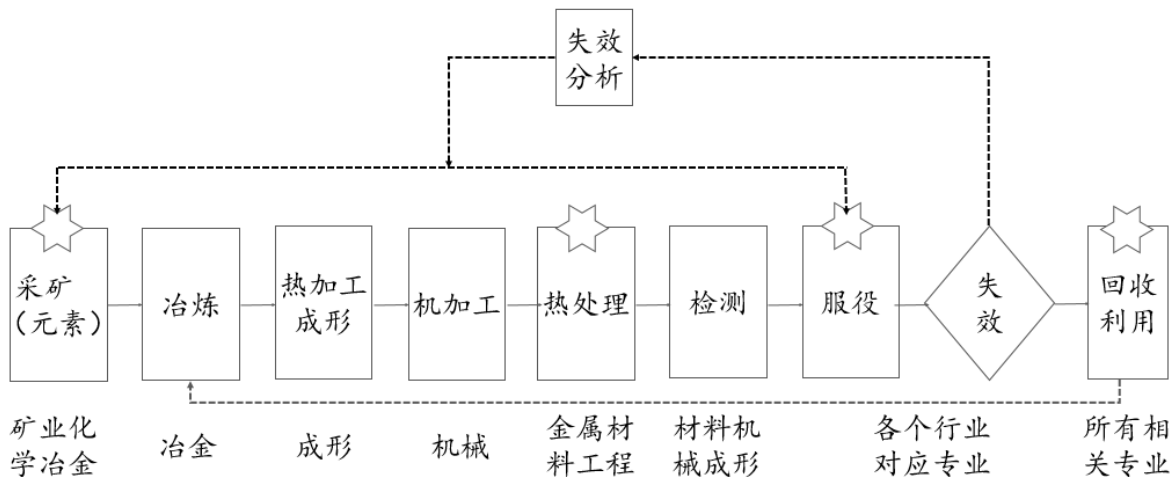
1 高温合金：极端环境条件下的最佳金属新材料

长期以来，金属材料一直是最重要的结构材料的功能材料之一，其力、热、电磁、光、声等指标决定了应用领域。按照化学成分，金属材料可分为纯金属材料 and 合金材料，前者主要由一种金属元素组成，后者由一种基体元素和一种以上的金属元素和/或非金属元素所组成。由于合金材料中其他元素的加入，基体金属的性能往往会得到大幅改善，因而金属新材料多以合金的形式应用。

- **结构材料：**制造构造整体、实现运动和传递动力的结构件，一般以力学性能指标来评价，偶尔会提出抗腐蚀、抗氧化等物化性能等要求。
- **功能材料：**利用其对外部环境的敏感反应来实现信息处理和功能转换，一般以热、电磁、光、声等物理指标来评价，偶尔提出一定的力学性能要求。

从金属材料被制成零部件服役的流程来看，主要分为采矿、冶炼、加工等环节。零部件的全寿命过程较长，任何一个流程都不能作为金属零部件的绝对主导因素，上游的流程势必会对下游流程产生一定的影响，因而对于金属材料而言，产业链联动效果较强，每一环节都可能诞生一批极具实力的优质公司。

图表 1 金属零部件全寿命过程图



资料来源：《金属材料学》，华安证券研究所

图表 2 钢材按化学成分分类

类别	说明
非合金钢	Si、Mn 和其他元素含量均在 GB/T13304 相应规定范围界限以内的钢。
碳素钢	C 含量一般为 0.02%-2% 的铁碳合金。
低碳钢	C 含量小于 0.25% 的碳素钢。
中碳钢	C 含量为 0.25%~0.60% 的碳素钢。
高碳钢	C 含量大于 0.60% 的碳素钢。
微合金化钢	低碳钢或低合金高强度钢中加入一种或多种能形成碳化物、氮化物或碳氮化物的微量合金元素钢。
低合金钢	至少有一种合金元素含量在 GB/T13304 相应规定范围界限内，合金元素总含量大于 5% 的钢。
合金钢	至少有一种合金元素含量在 GB/T13304 相应规定范围界限内的钢。
高合金钢	合金元素含量大于 10% 的合金钢。

资料来源：《金属材料速查手册》，华安证券研究所

相比于常用的铝合金、钛合金及镁合金，高温合金更适应更高的温度（600℃）和腐蚀严重的服役环境。高温合金种类繁多，不同类型的合金特点各异，应用领域也大相径庭。按核心基体元素的划分标准，高温合金可分为铁基高温合金、镍基高温合金和钴基高温合金等。我国由于镍、钴等资源相对贫乏，50年代便开始铁基合金的研究，但铁基合金使用温度较低，应用领域受到限制。钴基合金具有优异的抗热腐蚀性、抗热疲劳性，以及良好的铸造和焊接性，适合作为导向器的材料，但钴资源被刚果（金）垄断，资源的稀缺造成其价格昂贵，钴基合金生产和使用受成本限制。相较而言，镍基合金使用温度较高、价格相对较低，具有显著的性价比优势，目前镍基合金占据高温合金市场近80%的份额。

图表3 碳钢、钛合金、铝合金、镁合金及高温合金性能对比

类别	耐温情况	密度 (g/cm ³)	熔点 (°C)	抗拉强度 (MPa)	比强度 (MPa·cm ³ /g)	导热系数 (W/m·K)	耐腐蚀性能
镁合金	<150°C	1.82	596	290	154	54	表面有氧化层，但不致密
铝合金	<200°C	2.7	595	315	177	100	对Cl ⁻ 极度敏感，不耐酸碱盐环境
碳钢	<350°C	7.86	1520	517	66	42	弱酸及碱液中容易脆裂
钛合金	<500°C	4.51	1668	539	120	15.24	1：表面有致密氧化层 2：防中子辐射
高温合金	<1200°C	7.7-9.0	1320-1450	900-1300	160	11	合金化增强抗氧化及抗燃气腐蚀

资料来源：《材料技术》，华安证券研究所

图表4 高温合金分类及各类合金的特点

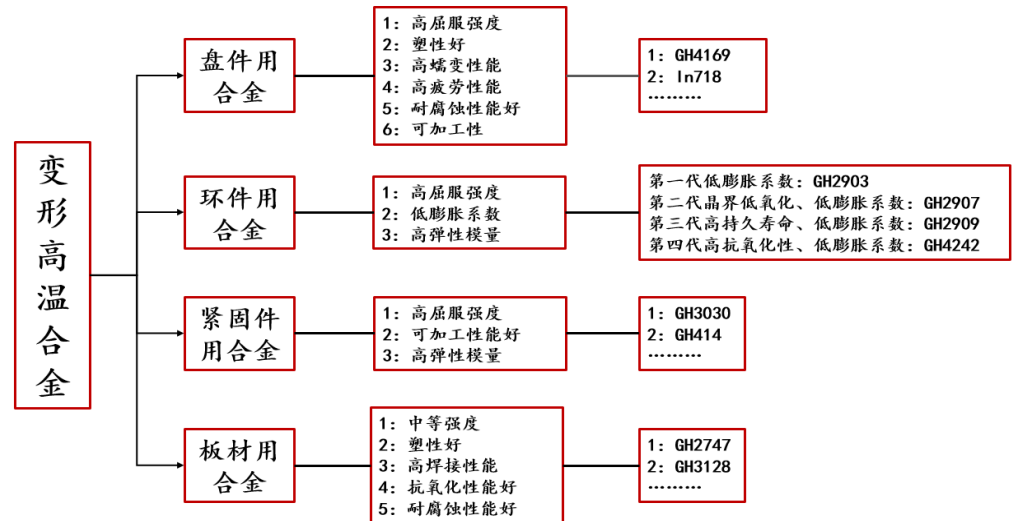
分类标准	高温合金种类	主要特点
制造工艺	变形高温合金	合金化程度和高温强度较低。
	铸造高温合金	采用精密铸造工艺制成零件，零件强度高，缺点是不适合进行热加工。
	粉末高温合金	采用液态金属雾化或高能球磨机制粉，晶粒细小、成分和组织均匀，显著改善了热加工性能，难于变形的铸造高温合金可以通过粉末冶金工艺改善其热塑性而成为变形高温合金。
基体元素	铁基高温合金	使用温度较低（600-850℃），一般用于发动机中工作温度较低的部件。
	镍基高温合金	使用温度最高（约1000℃），广泛用于制造涡轮喷气式航空动机、各种工业燃气轮机的最热端零件，如涡轮部分工作叶片、导向叶片、涡轮等。
	钴基高温合金	使用温度约950℃，具有良好的铸造性和焊接性，主要用于导向叶片材料，该合金由于钴资源较少价格昂贵。

资料来源：西部超导招股说明书，华安证券研究所

1.1 变形高温合金：最先用于航空发动机的高温合金类型

变形高温合金是最先用于航空发动机的高温合金，目前已是用量最大、品种最多的一类高温材料。变形高温合金是经过锻造、轧制、墩粗和冷拔等塑性变形工艺和热处理支撑的一类高温材料，以涡轮盘为主要应用领域，按照涡轮盘使用温度，变形高温合金大致可划分为五代。

图表 5 变形高温合金按应用品种分类及其主要特点



资料来源：《航空材料技术》，华安证券研究所

图表 6 我国变形高温合金涡轮盘代次划分

变形涡轮盘代次	第一代	第二代	第三代	第四代	第五代
涡轮盘工作温度/°C	550	600	650	700	750-900
推重比	3-4	5-6	7-8	9-10	15-20
涡轮前温度/°C	~877	977-1127	1327-1477	1577-1677	1977-2077
材料	耐热钢、 耐热不锈钢	耐热钢、 碳化物强化的耐热合金	镍基高温合金	高合金化镍基难变形合金	难变形高温合金
典型牌号	H146	G188	GH4169	GH4742	CK151

资料来源：《航空材料技术》，华安证券研究所

合金成分设计、熔炼、加工及热处理等工艺成为提升变形高温合金性能的核心战场。

● 合金成分方面，传统“试验-修正”实验方式已不合适，数值模拟快速发展

变形高温合金合金化程度较低，因而发展初期合金成分设计十分关键，目前高温合金中的元素共有十多种，可分为三类：第一类，优先形成塑性性能好的奥氏体的元素，包括 Ni、Co、Fe、Cr、Mo、W、V 等；第二类，进入基体形成 γ' 相强化相的元素，包括 Al、Ti、Nb、Ta 等；第三类，原子直径大小不固定，常偏聚在晶界导致晶界偏析的元素，有 Pb、Sn 等。合金成分设计的原则主要在于控制有害相析出、促进有利相生成，以保证高温合金的高温强度。随着高温合金的发展，各元素优化性能的理论及数据库都日趋完善，相关模型相继建立，如电子空穴理论与相计算、d 电子合金理论与新相机算、多元线性回归及人工神经网络等，为计算机辅助设计变形高温合金成分打下了坚实的基础，同时减少了实际实验次数以降低合金成本。

表 7 变形高温合金成分设计原则

性能类别	性能改进工艺方向
低温强度	1、溶质原子：高晶格匹配度和模量错配度，降低层错能； 2、沉淀相：共格、大尺寸、高反相畴界能，高错配度 3、晶粒尺寸：小
高温强度	1、溶质原子：高晶格匹配度和模量错配度，低层错能； 2、沉淀相：共格、细小和超细小、高反相畴界能，高错配度 3、晶粒尺寸：当小于 0.5 倍合金绝对温度熔点时，小；当大于 0.5 倍合金绝对温度熔点时，大；
蠕变抗力	1、晶体结构：密排结构 2、溶质原子：高模量、基体中扩散系数低 3、沉淀相：非共格、细小和超细小、高体积分数、高层错能、低错配度 4、弥散相：高体积分数、稳定、高晶粒形状比 5、晶粒尺寸：大，柱状晶或单晶 6、纤维相：高体积分数、稳定

资料来源：《航空材料技术》，华安证券研究所

图表 8 高温合金中的合金元素及其作用

作用	铁基	钴基	镍基
固溶强化	Cr、Mo	Nb、Cr、Mo、Ni、W、Ta	Co、Fe、Cr、Mo、Ti、W、Ta、V
形成 γ' 相强化相	Al、Ni、Ti	-	Al、Ni、Ta、Nb
提高抗氧化性能	Cr	Al、Cr	Cr、Al
提高抗硫化性	Cr	Cr	Cr
提高耐腐蚀性	La、Y	La、Y、Th	La、Th、Al、Cr
提高蠕变性能	B	-	B
改善加工性能	-	Ni、Ti	-
导致晶界偏析	-	B、Zr	B

资料来源：《航空航天用先进材料》，华安证券研究所

图表 9 高温合金微量元素及作用

	类型	元素
有益	净化基体	Mg、Ca、Ce、La
	高含量合金化元素	Hf、Zr
	微量合金化元素	B、Mg、C、Zr、Hf
有害	残余气体	N、H、O、Ar、He
	非金属杂质	P、S
	金属及金属夹杂	Pb、Bi、Sb、As、Se、Ag、Cu、Ti

资料来源：《航空航天用先进材料》，华安证券研究所

● 熔炼工艺方面，三联法渐成主流方法

通常合金化程度较高的变形高温合金采用真空感应炉熔炼成电极棒后，再经电渣重熔去除真空感应熔炼电极中的夹杂物，以改善纯净度，为后续真空自耗炉提供致密、无缺陷的电极，以提高重熔过程的稳定性，降低合金的宏观偏析。目前该法已逐渐成为高合金化变形合金扩大锭型、消除低倍缺陷和提高质量的主要措施。

图表 10 高温合金主要熔炼设备性能对比

对比项目		真空感应熔炼	电渣重熔	真空自耗重熔	电子束熔炼	等离子熔炼
成分控制	合金成分	容易	取决于母材	取决于母材	取决于母材	取决于母材
	活泼元素	容易	较难	容易	容易	容易
	易挥发元素	Mn、N 等较难	容易	Mn、N 等较难	Mn、N 等较难	容易
纯洁	氢	低	取决于母材	低	低	低
	氧	低	较高	低	低	低
	氮	低	取决于母材	低	低	低
	硫	取决于母材	低	取决于母材	取决于母材	取决于母材
	磷	取决于母材	脱磷率低	取决于母材	取决于母材	取决于母材
铸态组织	铸锭表面质量	一般	好	扒皮	扒皮	好
	疏松	一般	低	低	低	低
	二次枝晶间距	大	小	较小	较大	较大
	结晶组织	普通铸锭	柱状晶发达	柱状晶发达	自下而上柱状晶	柱状晶发达
成本	设备	真空设备、中工频电源	变压器、整流设备	真空设备、整流设备	真空设备、整流设备、电子枪	整流设备、电子枪
	单位电耗 (KW. h/Kg)	0.6	1.0-2.0	0.6-1.0	1.0-2.0	1.0-2.0
	产品成本	较高	低	较高	高	较高
	设备投资	较高	低	较高	高	较高
	结晶组织	普通铸锭	柱状晶发达	柱状晶发达	自下而上柱状晶	柱状晶发达
	金属收得率	较高	低	较高	高	较高

资料来源：《航空材料技术》，华安证券研究所

图表 11 高温合金 IN718 三联工艺重熔锭中的夹杂物较真空感应熔炼锭少

工艺	氧化物夹杂个数 ($\geq 20 \mu m$)	氧化物夹杂的面积 (mm^2)	氧化物夹杂的比面积 (mm^2/kg)
真空感应熔炼	成团成簇	2.7×10^{-1}	2.8×10^{-4}
		9.0×10^{-2}	9.5×10^{-5}
		1.8×10^{-1}	2.0×10^{-4}
三联熔炼	0	0	0
	0	0	0
	23	5.5×10^{-3}	3.2×10^{-5}
	3	4.5×10^{-4}	6.4×10^{-7}
	0	0	0
	0	0	0

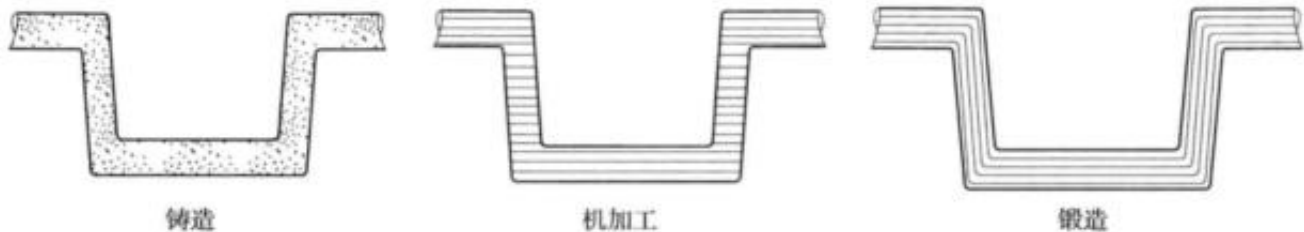
资料来源：《高温合金熔炼工艺讨论》，华安证券研究所

● 变形工艺方面，相比铸造及机加工，锻造加工出的合金综合性能好

高温合金的变形工艺是合金在外力作用下，通过塑性变形，形成具有一定形状、尺寸及力学性能的型材、毛坯和零件的加工方法，可分为冷加工和热加工，个别采用温加工。冷加工方面主要指丝材拉丝、管材冷拉冷拔及薄板的冷轧，热加工则包括锻造、焊接等，主要可以细化晶粒、均匀组织及消除铸造缺陷，可大幅改善高温合金的力学性能，其中锻造热加工工艺是变形高温合金的主要手段。

随着下游应用环境的愈发严苛，变形高温合金的强度要求愈发严格，因而添加的元素总量随之提高，组织结构愈发复杂，造成了零件加工变形抗力的提升，给锻造工艺带来了极大的困难。

图表 12 相比铸造及机加工，锻造加工出的高温合金韧性高、纤维组织合理



资料来源：《航空材料技术》，华安证券研究所

● 热处理工艺方面，正确的工艺可使合金最大限度发挥作用

化学成分和组织结构是决定合金性能的关键所在，合金成分、熔炼工艺及变形工艺确定后，合金性能往往依然无法满足需求，热处理工艺是最后的补足手段。然而合理的热处理工艺必然需要对合金的组成、相的稳定性及性能要求拥有深入的了解，尤其是镍基高温合金不易在加热过程控制（调整）晶粒大小，因而热处理工艺是构建变形高温合金护城河的关键所在。

图表 13 变形高温热处理工艺

工艺名称	工艺目的	主要措施
固溶热处理	1: 析出强化相 2: 获取均匀合适的晶粒尺寸 3: 降低或消除偏析	1: 合理选择固溶温度 2: 合理选择保温时间 3: 控制冷却速率
中间处理	1: 提高合金持久和蠕变性能 2: 改善稳定性	控制中间处理温度
时效热处理	1: 提升合金强度 2: 改善合金持久和蠕变性能	1: 时效温度 2: 时效次数
热机械处理	1: 提高中低温强度 2: 改善疲劳、屈服强度	1: 热处理温度 2: 合理机械处理制度
退火热处理	1: 降低材料硬度 2: 提高塑韧性	1: 退火温度 2: 时间
应力消除热处理	消除残余应力	热处理温度
再结晶退火处理	1: 控制晶粒度 2: 提高塑性 3: 降低硬度	1: 退火温度 2: 退火时间
弯曲晶界热处理	1: 提高晶界强度 2: 提高塑性和强度	1: 控制固溶后冷却速率 2: 二次固溶 3: 温度及保温时间

资料来源：《航空材料技术》，华安证券研究所

1.2 铸造高温合金：被广泛应用于燃气轮机涡轮叶片部位

同成分的铸造高温合金要比变形高温合金使用温度提高 10-30℃。铸造高温合金由合金锭重熔后直接浇注或定向凝固成零件，因其可通过精密铸造或者定向凝固工艺直接成型，因而无需考虑锻造变形性能，合金元素总量要显著高于变形合金，持久强度、抗拉强度及使用温度均有大幅提高。按照凝固方法可分为等轴晶铸造高温合金、定向凝固高温合金及单晶高温合金三类。

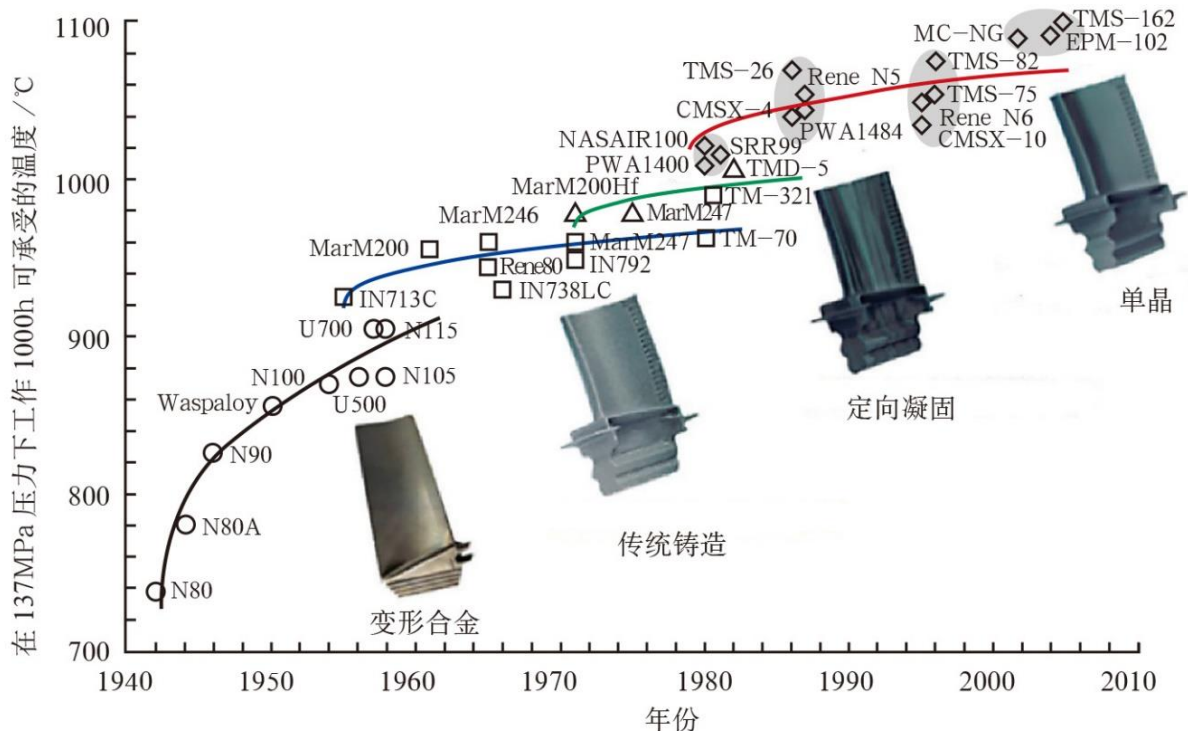
- 1943 年美国首次在涡轮喷气发动机选用铸造高温合金 HS-21 替代变形高温合金 Hastelloy-B，开创了铸造高温合金的先例；
- 20 世纪 50 年代，真空熔炼技术出现，合金中有害杂质和气体去除，合金成分得到精确控制，IN100、BI900 等纷纷出现；
- 20 世纪 60 年代，定向凝固技术的发展，促进了定向柱状晶和单晶高温合金的蓬勃发展，航空发动机的使用温度达到 1700℃ 以上。

图表 14 三种不同工艺下相同成分合金（M-M200）的蠕变及持久性能

合金类型	760℃, 686MPa			871℃, 345MPa			982℃, 209MPa		
	持久寿命 /h	A/%	最小蠕变速率 [mm/(nm. h)]	持久寿命 /h	A/%	最小蠕变速率 [mm/(nm. h)]	持久寿命 /h	A/%	最小蠕变速率 [mm/(nm. h)]
等轴晶	4.9	0.45	70×10^{-5}	245.9	2.2	3.4×10^{-5}	35.6	2.6	70×10^{-5}
定向凝固	366.0	12.5	14.5×10^{-5}	280.0	35.8	7.7×10^{-5}	67.0	23.6	70×10^{-5}
单晶	1914.0	14.5	2.3×10^{-5}	848.0	18.1	1.4×10^{-5}	107.0	23.3	70×10^{-5}

资料来源：《航空航天用先进材料》，华安证券研究所

图表 15 航空发动机涡轮叶片高温合金材料及成形技术发展



资料来源：《重型燃气轮机热端部件材料发展现状及趋势》，华安证券研究所

随着工业的发展，内燃机叶片需要满足更高的工作温度和强度要求，以及叶片结构复杂程度的增加，致使通过锻造成型的变形高温合金已无法满足要求，铸造高温合金孕育而生。与航空发动机涡轮叶片相比，燃气轮机涡轮叶片材料对耐久性、抗腐蚀性要求更高，使得航空发动机涡轮叶片材料不能直接用于燃气轮机涡轮叶片。燃气轮机涡轮叶片长时间连续工作在高温、易腐蚀和复杂应力下，工作环境十分恶劣，因此，只能通过高度的合金化不断增强合金的高温综合性能。

燃气轮机叶片材料及其成形技术研究和产业化已有 60 多年的历史，20 世纪 40—50 年代，涡轮叶片以变形钴（Co）基和镍（Ni）基高温合金为主要用材；50 年代中期，随着真空冶炼技术的商业化，开始研究铸造镍基合金；60 年代，精密铸造技术成熟，使得复杂叶片型面及冷却通道设计变为可能，通过添加合金元素改善材料的组织结构，提高了铸造高温合金的高温强度，使燃气轮机的入口温度大幅度提高；70 年代，定向凝固柱晶高温合金开始用于航空发动机叶片；到了 90 年代后期，定向凝固柱晶和单晶高温合金开始用于重型燃气轮机叶片。通过定向凝固技术，将涡轮叶片的组织由传统的等轴晶改进为定向柱晶，能够大大提高涡轮叶片的高温性能。尤其是单晶叶片，在定向凝固的过程中消除了叶片晶界，极大地提高了其高温蠕变性能，且高温组织稳定，综合性能好。目前，大尺寸单晶空心高温合金叶片材料及无余量精密铸造技术是重型燃气轮机叶片制造技术最高水平的标志。

1) 等轴晶高温合金为用普通精密铸造方法成型铸造高温合金，组织以大小不等的等轴晶为主，局部可有少量柱状晶。

20 世纪 50 年代，等轴晶铸造高温合金得到迅速发展，陆续出现了至今仍被广泛使用的性能优异的 IN100、B1900、MAR-M200 等合金。我国铸造高温合金的发展是从 20 世纪 50 年代中期开始，经历了从仿制发展到独创和提高阶段。等轴晶铸造高温合金以国家统一的形式命名为“K”系列。等轴晶高温合金整体结构铸件大量应用于航空、航天发动机及地面燃机，与传统的多件钣金件焊接或者连接的大型复杂结构件相比，直接用精密铸造技术一次成型具有十分重要的经济价值。

图表 16 我国等轴晶铸造高温合金及其发动机上的应用情况

合金	发动机型号
K401	BK-1（I 导）
K403	涡喷 7（I、II 导）、涡桨-6（I、II 涡，I、II 导），915#（I 导）
K405	涡桨-5（II 涡）
K406	915#（III，N 涡）
K417	涡喷 7（I 涡），涡喷 13（I 涡），
K417G	915#（I 涡）
K418	涡喷 5A1（III 涡，II、III 导）
K418B、K423A	涡轴 8
K419H	Spey

资料来源：《航空材料技术》，华安证券研究所

从等轴晶高温合金的发展历史来看，熔炼技术最为关键，其主要目的是减小晶粒的尺寸，以提升高温合金的疲劳寿命、抗拉强度及持久性能。

图表 17 等轴晶铸造高温合金晶粒度与性能

晶粒尺寸/nm	室温拉伸			650°C, 700MPa 持久性能
	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	τ /h
3-6	880-980	610-755	10.0-10.5	44-63
0.5-1	980-1070	760-950	6.0-7.5	153-199
0.1-0.5	1100-1215	890-1100	6.0-8.0	165-278
0.05-0.1	1285-1310	1130-1155	10.0-13.0	77-444

资料来源：《中国高温合金五十年》，华安证券研究所

细晶工艺搭配热等静压、热处理等逐渐成为等轴晶高温合金的主要工艺。

- **热控法**：技术要点是控制液态金属过热温度、浇注温度和壳型温度，并妥善选择热等静压参数及热处理工艺，对设备的要求及工艺人员要求高，壁垒较高，当前的新工艺是在浇注过程中利用磁场抑制金属形核；
- **机械法**：包括电磁搅拌、超声震荡和机械旋转振动法，国内以旋转法为主要手段，对工艺人员要求较高，壁垒高；
- **化学法**：技术要点在于选择合适的细化剂，同时兼顾加入的剂量及时机，相较热控、机械等方法，无需附加设备的投入，是一种高效、低成本的工艺方法，但对工艺人员及研发能力要求高，壁垒极高。

图表 18 铸造高温合金细晶工艺

工艺名称	工艺难点	热等静压技术难点	热处理难点	典型高温合金	运用部位
热控法	合理控制液态金属温度、冷速、热流方向、熔体、膜壳温度梯度	工艺参数	1: 合适的工艺 2: 合理的温度	K4169	涡轮泵
机械法	1: 铸型参数 2: 铸型搅动参数	工艺参数	1: 合适的工艺 2: 合理的温度	K418	叶片
化学法	1: 细化剂选择 2: 添加量及时机	无	1: 合适的工艺 2: 合理的温度	K438	涡轮

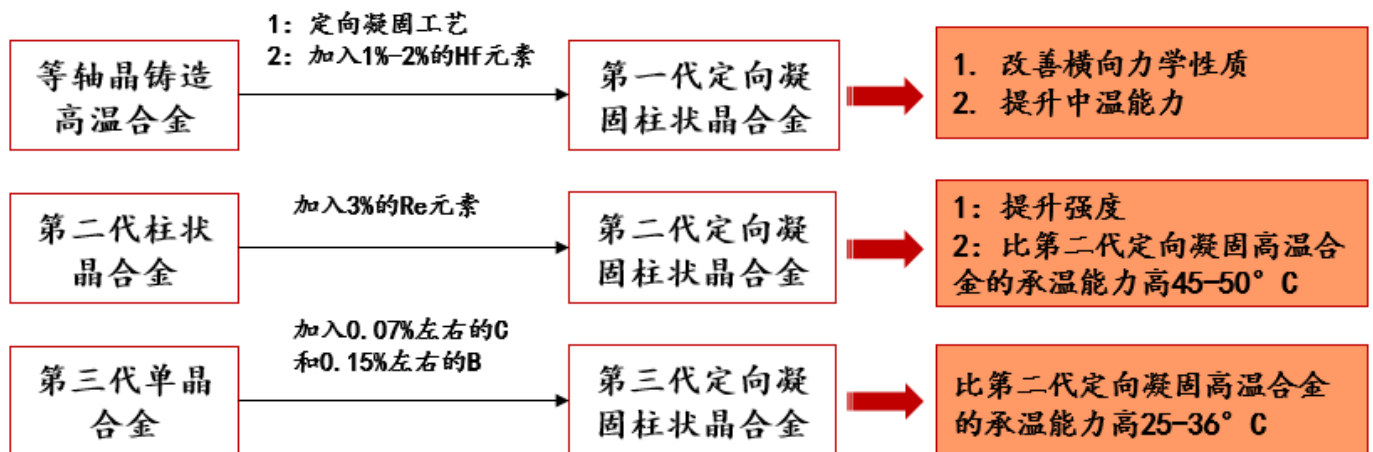
资料来源：《航空材料技术》，华安证券研究所

2) 定向凝固柱状晶高温合金为通过定向凝固技术制备出晶界平行于主应力轴从而消除有害横向晶界的高温合金。

定向凝固方式可以制造平行于纵向轴的低模数取向柱状晶的合金，因而可以显著改善材料的蠕变性能、塑性及热疲劳性能。相比铸造高温合金其他类型，定向凝固方式工艺流程快、成品率高及检测费用较低，因而该法具有极大的发展空间。

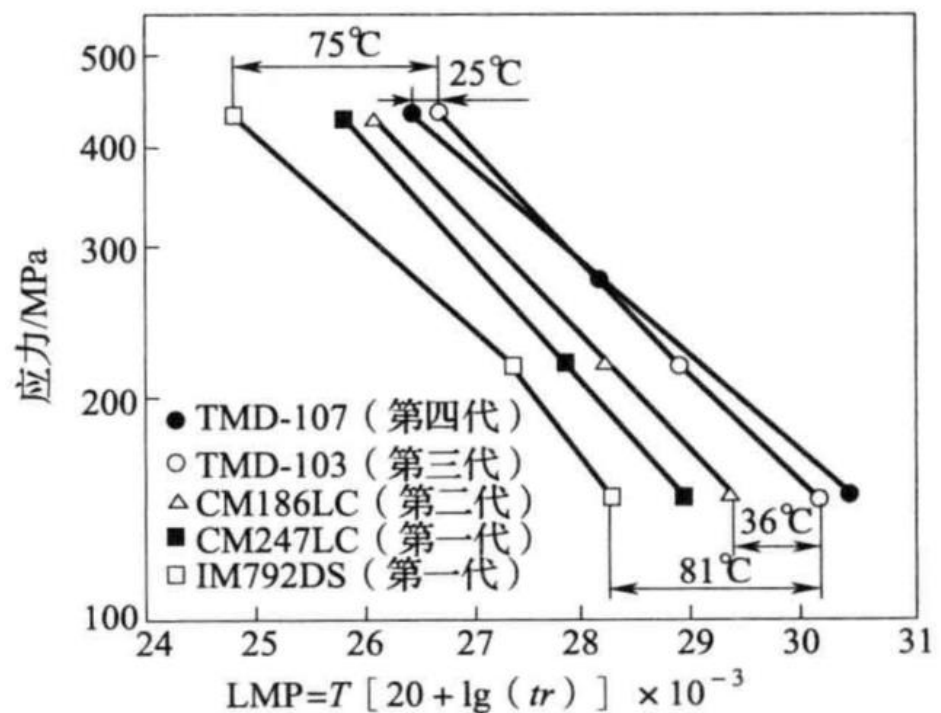
根据《航空航天用新材料》及《航空材料技术》披露，目前国外的定向凝固柱状晶合金已经衍生了四代，第一代及第二代已经被制成多种结构的涡轮叶片和导向器叶片而应用在多种先进发动机中。而我国目前已经完成了第一代的研究，第二代及第三代仍处在技术积累过程中。

图表 19 定向凝固柱状晶高温合金的发展



资料来源：《航空航天用先进材料》，华安证券研究所

图表 20 四代定向凝固柱状晶合金蠕变性能对比



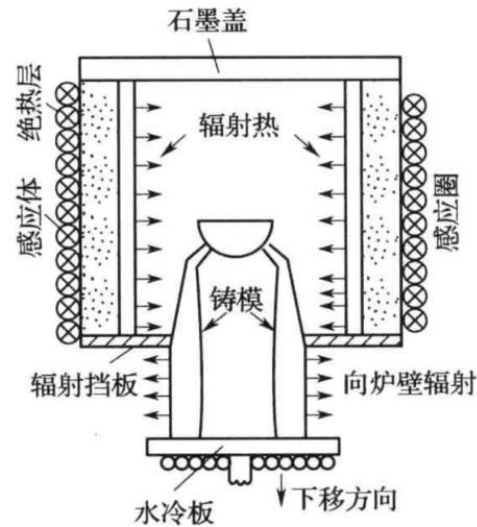
资料来源：《航空材料技术》，华安证券研究所

根据定向凝固原理，合金的质量取决于能否使得合金定向凝固得到平面凝固组织，因而凝固设备及热处理工艺十分关键。

- **凝固设备方面**，壳型移动法及液态金属冷却法为主要的铸造工艺，考虑到定向凝固技术的核心在于提高固-液界面温度梯度，因而设备的工艺参数及辅助模块的研发至关重要。
- **热处理工艺方面**，固溶+时效处理为最常用的工艺，其目的在于两点：第一，降低或消除偏析；第二，增加强化相数量。因而固溶温度、时效温度及时间

等工艺参数的选择最为关键。

图表 21 壳型凝固法装置



资料来源：《航空材料技术》，华安证券研究所

图表 22 液态金属冷却法

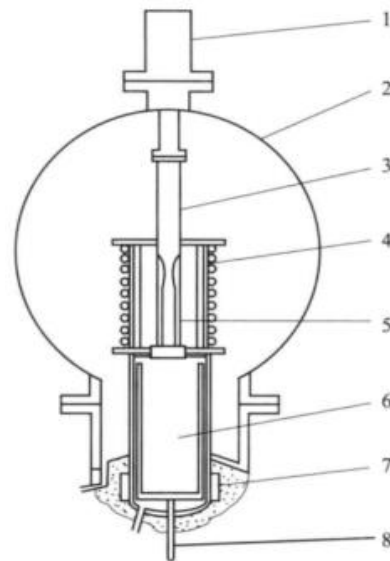


图 2-17 液态金属冷却法装置

1—升降机构；2—真空室；3—吊架；
 4—加热器；5—壳型；6—金属液池；
 7—电热丝；8—转轴

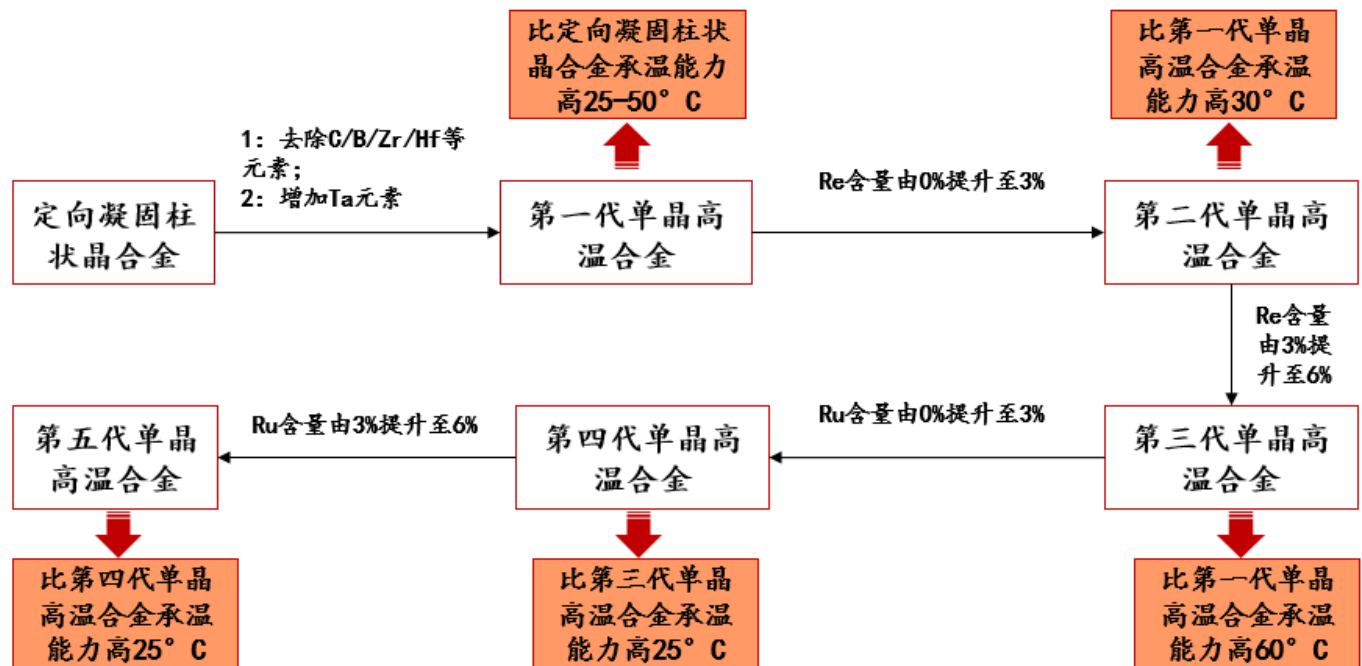
资料来源：《航空材料技术》，华安证券研究所

3) 单晶高温合金为通过定向凝固技术消除所有晶界的高温合金。

早期的单晶高温合金除了横向性能及塑性有所改善外，蠕变性能、热疲劳性能及抗氧化性能等与定向凝固柱状晶合金并无差别，且成本较高，因而研究一度缓慢。直至 20 世纪 70 年代，相关元素与性能的数据库日趋完善后，结合固溶处理工艺，

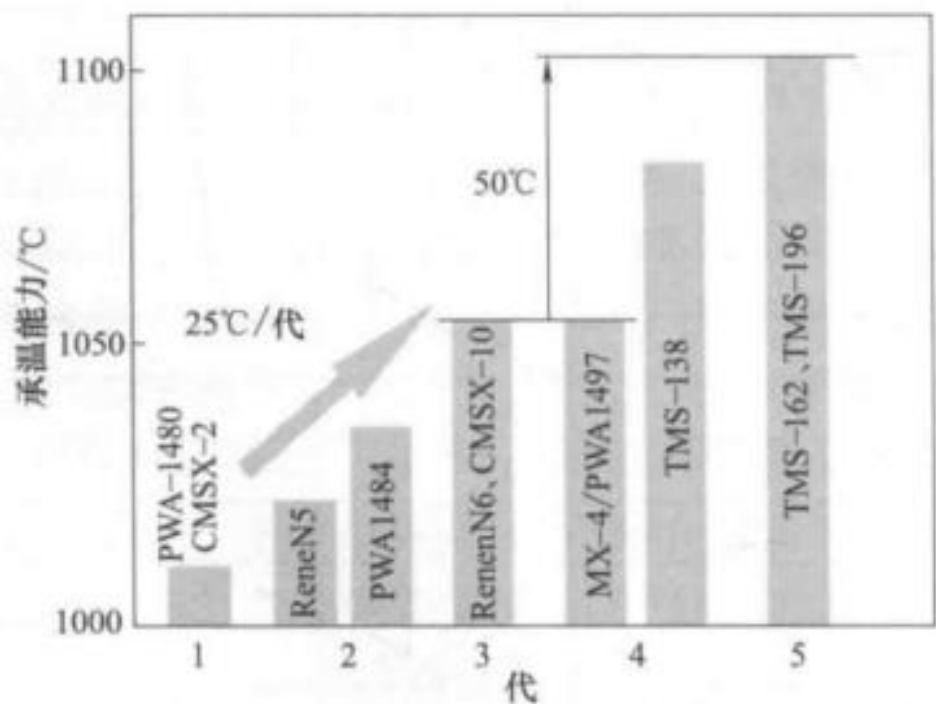
单晶高温合金的承温能力不断突破。

图表 23 单晶高温合金的发展



资料来源：《航空航天用先进材料》，华安证券研究所

图表 24 五代单晶合金承温能力对比



资料来源：《航空材料技术》，华安证券研究所

单晶的制备本质上依然属于定向凝固，除了合金成分设计外，凝固设备及热处

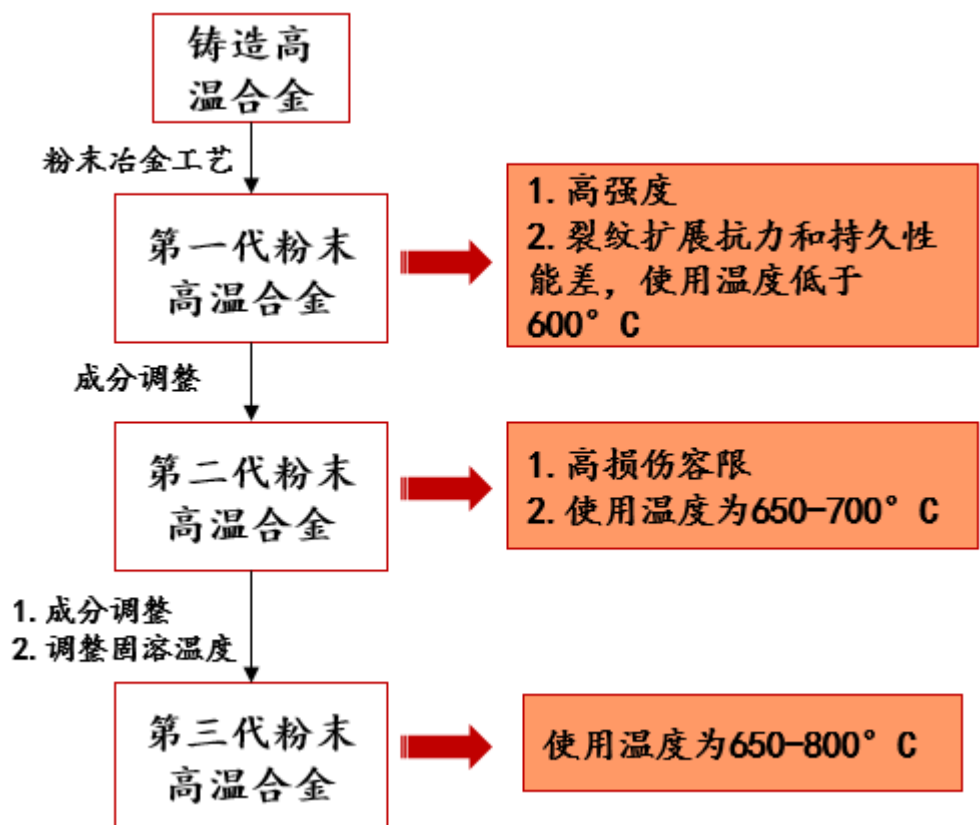
理工艺同样十分关键。

- **合金成分设计方面**，单晶高温合金性能提升的核心要素在于 TCP 相，加入的 Re 及 Ru 元素含量多少及分布对其形态十分重要，然而这两种元素十分稀有，因而试验次数受到限制，数值模拟方式成为主要的手段。
- **凝固设备方面**，相较于定向凝固工艺，单晶凝固要求更加严格，因而如何对壳型法设备进行改造，以提升温度梯度和控制热流成为难点。
- **热处理工艺**：增强相对于高温合金的力学性能十分重要，因而合理的固溶温度、时效时间、再结晶温度等工艺参数的改进极其关键。

1.3 粉末高温合金：有效解决铸造高温合金力学性能波动

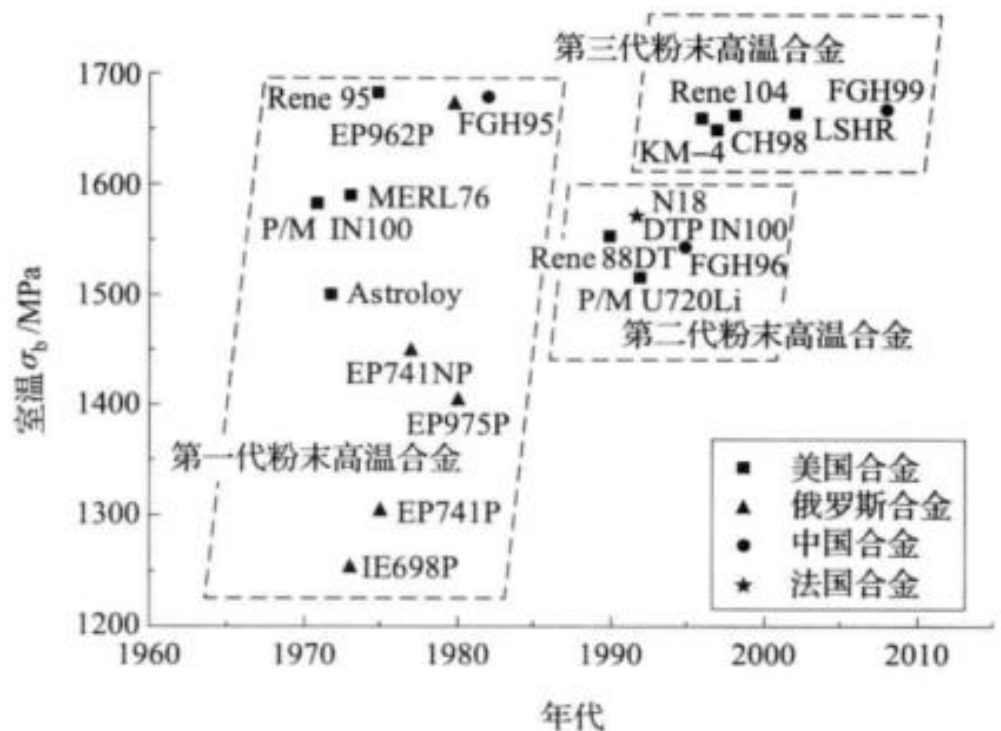
粉末高温合金可以克服铸造高温合金存在的力学性能波动。粉末高温合金是利用粉末冶金工艺制备的高温合金，相较于此前的铸-锻高温合金，粉末冶金工艺可以一定程度上解决合金铸锭内成分偏析、组织不均匀、热工艺性能恶化、成形困难等问题。随着高温合金成分日趋复杂、零件尺寸不断增大，粉末冶金已成为航空发动机涡轮盘最重要的制备工艺。

图表 25 粉末高温合金的发展



资料来源：《航空航天用先进材料》，华安证券研究所

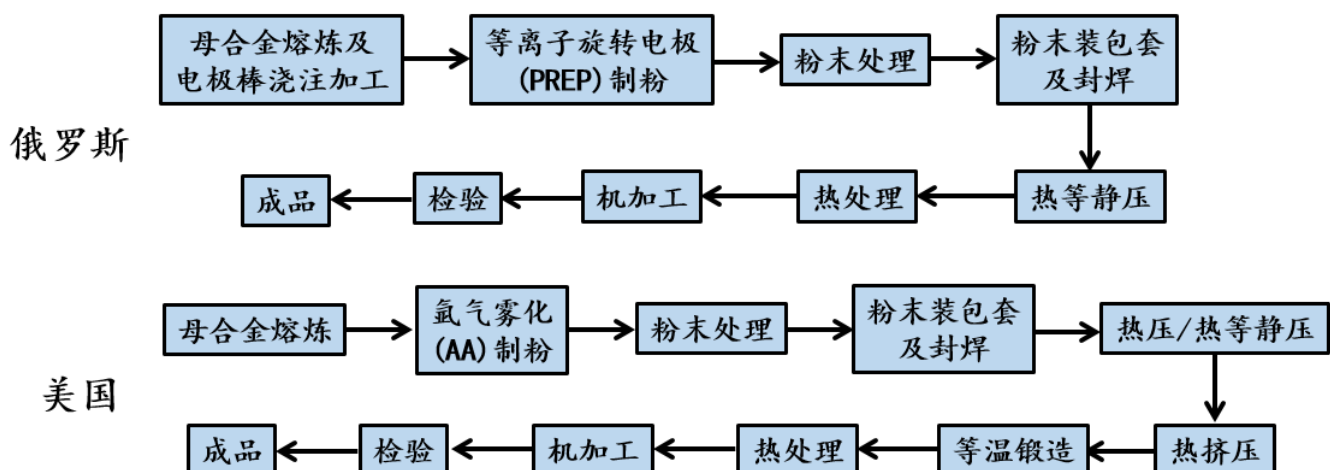
图表 26 每代粉末合金承温能力对比



资料来源：《航空材料技术》，华安证券研究所

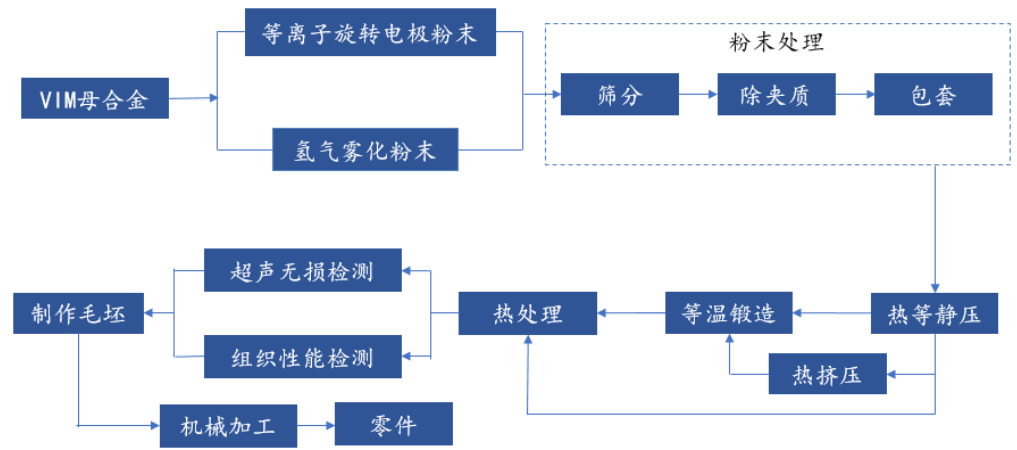
粉末高温合金质量的关键在于制粉工艺及固实化工艺。各国的粉末高温合金的技术路线虽然不尽相同，但都大体包括母合金纯洁冶炼、粉末制备与处理、固实工艺（热等静压致密化、热挤压、锻造成形）、热处理及检测等步骤，其中粉末制备与处理、固实工艺是核心工艺。

图表 27 美国和俄罗斯粉末涡轮盘制备工艺流程对比



资料来源：《航空航天用先进材料》，华安证券研究所

图表 28 我国粉末冶金高温合金的工艺路线

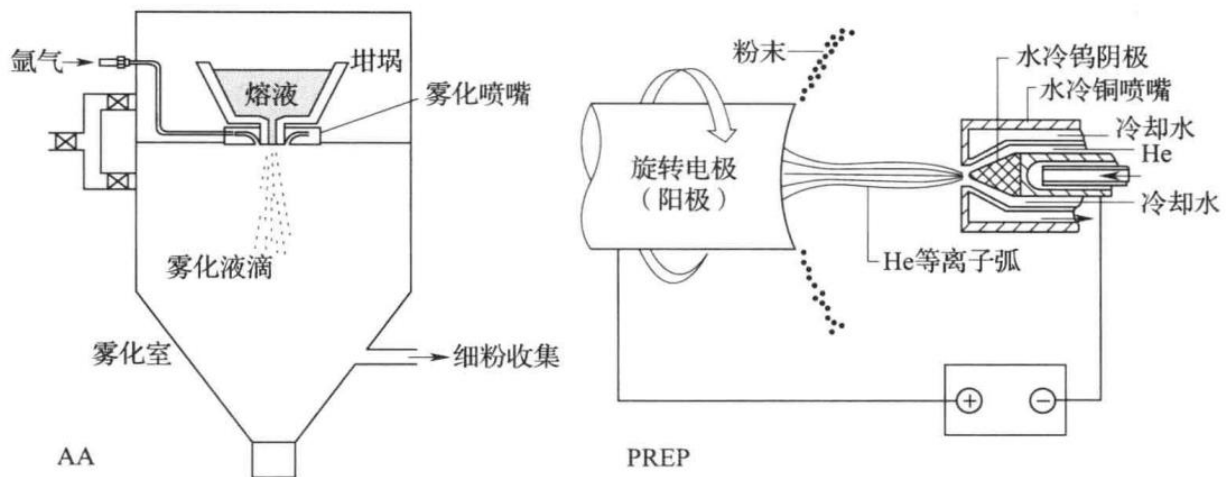


资料来源：CNKI，华安证券研究所

● 粉末制备方面，设备及辅助模块开发是重点

超纯净细粉是制件性能的基础，优质高温合金粉末的制备是关键环节。惰性气体雾化、等离子旋转电极及真空雾化法是最通用的三种制粉方式。其中氩气雾化应用最为广泛，其流程大致是在整个真空及密闭设备中，经真空熔炼的合金熔体经注口流下，在高压高速的气流中雾化成粉末，因而母合金质量、设备、参数选择至关重要。

图表 29AA 和 PREP 制粉工艺示意图



资料来源：《航空材料技术》，华安证券研究所

图表 30 不同制粉工艺对 IN 100 高温合金持久性能的影响 (752℃, 686MPa 情况下)

制粉工艺	τ/h	$A/\%$	$\psi/\%$
惰性气体雾化法	90.4-96.7	5.3-8.0	6.3-9.3
旋转电极法	104.7-106.0	5.0-6.0	5.5-8.9
真空雾化法	87.2-111.6	5.0-6.0	5.5-7.1

资料来源：《航空航天用先进材料》，华安证券研究所

● 固实工艺方面，工艺参数具有极高壁垒

固实工艺不仅要获得具有一定形状的部件或预成形坯，还要使得粉末经受塑性变形和扩散蠕变流动以达到紧密连接及相应的组织变化的目的，是合金成形的关键所在。

图表 31 不同固实化工艺对 Astrology 持久性能的影响

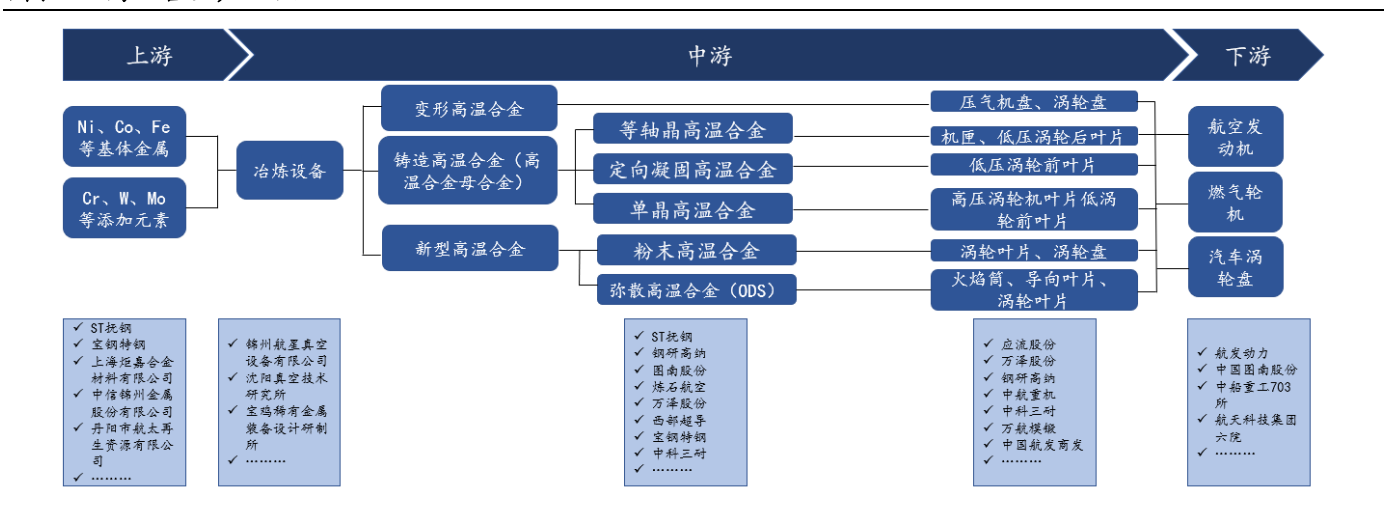
固实化工艺	760℃, 549MPa		704℃, 755MPa	
	τ /h	A/%	τ /h	A/%
热等静压 (1288℃)	31.1-40.5	10.9-12.3	110.1-124.9	24.2-27.8
挤压	18.1-23.1	17.2-21.4	112.7-125.3	20.0-21.4
锻造	37.1-52.9	19.3	116.1-130.4	15.1-27.8

资料来源：《航空航天用先进材料》，华安证券研究所

1.4 工艺、防护层及新组成是夯实高温合金应用三大助力

高温合金是航空发动机的主要原材料，经过半个世纪的发展，我国的高温合金产业已渐成规模，上游和中游已经涌现出颇具规模的强竞争力的企业。

图表 32 高温合金产业链



资料来源：新材料在线，公司官网，公司年报，华安证券研究所

高温合金产业链主要包括上中下游。产业链上游的主体为原材料供应商，主要向下游企业提供铁、镍、钴等金属原材料；产业链中游的主要参与者为生产设备供应商、高温合金生产制造商以及高温合金零部件制造商。高温合金生产制造商通过冶炼工艺制造母合金，并通过锻造、热处理和精铸等工艺技术制造出精铸件、棒材、板材等半成品，再通过零部件制造商将高温合金半成品生产成涡轮叶片、涡轮盘、导向器等零部件产品。高温合金产业链下游主体为航空航天发动机、燃气轮机及汽车涡轮盘等终端产品企业，目前国内的高温合金主要被用来制造航空航天发动机。

高温合金的质量是其应用的关键，因而我们认为其未来的发展方向可大致归纳为工艺革新、新合金的研制及高温合金返回件三大类。当前，各类高温合金或多或少都存在一些问题，或存在一些应用局限性，因而革新老工艺及研发新工艺对提升

现有合金的性能、扩大市场应用至关重要。但由于合金本身的属性，其熔点大致在1200℃左右，目前最先进的单晶高温合金的使用温度已经达到了1100℃，因而新合金的研制及高温防护涂层的开发对延续高温合金市场的成长十分关键。

● **工艺革新方面，能否拥有设备自主研发实力及独家工艺参数是当前企业的核心竞争力要素，新设备及新工艺的储备则决定其未来高度。**

提高高温合金的性能是高温合金永恒的主题，而其性能则取决于合金成分、组织结构及相关处理工艺。对于上游企业而言，原材料的纯净度是当前的重点，对于中游企业，相关设备及工艺参数则是核心竞争力，是扩大市场占有率的利器。

图表 33 高温合金新工艺

合金类型	相关新工艺名称	解决的问题	实际应用
变形高温合金	变形高温合金复合材料	添加钨纤维、碳化硅纤维提升强度	Mar-M200 合金
单晶铸造高温合金	叶片近净成形熔模精密铸造技术	避免机械加工等过程，降低成本	罗罗公司的 K417
粉末高温合金	高温合金喷射成形技术	减少工序，降低成本	GE 的 GH472
	氧化物弥散高温合金	机械法混粉均匀化组织，提高高温强度	MA754

资料来源：《航空材料技术》，华安证券研究所

图表 34 高温合金现有工艺改进的切入点

合金种类	主要环节		关键点
变形高温合金	合金成分及组织结构	原料	提高纯洁度
		冶炼设备	新设备及辅助模块
		冶炼工艺	工艺参数控制
		合金成分设计	数值模拟
		锻造工艺	工艺参数控制
		热处理工艺	工艺参数控制
	变形抗力	锻造设备	新设备及辅助模块
		锻造工艺	工艺参数控制
等轴晶铸造高温合金	合金成分及组织结构	原料	提高纯洁度
		铸造设备	新设备及辅助模块
		铸造工艺	工艺参数控制
		热处理工艺	工艺参数控制
定向凝固铸造高温合金、单晶铸造高温合金	合金成分及组织结构	原料	提高纯洁度
		凝固设备	新设备及辅助模块
		凝固技术	工艺参数控制
		热处理工艺	工艺参数控制
粉末高温合金	合金成分及组织结构	原料	提高纯洁度
		合金成分设计	数值模拟
	粉末制备	粉末制备设备	新设备及辅助模块
		粉末制备技术	工艺参数控制
	固实工艺	固实设备	新设备及辅助模块
		固实工艺	工艺参数控制
		固实工艺	工艺参数控制

资料来源：《航空材料技术》，华安证券研究所

● **高温合金因自身属性的限制，无法在超过 1700℃的环境中应用，因而防护涂层的出现，可以推动高温合金的应用场景，从而扩大市场占有率。**

为了保证高温合金在使役环境下既有良好的高温力学性能，又需要它的抗高温

氧化和抗热腐蚀性能优异，一种有解决途径即是在保证高温合金高温力学性能的前提下，在其表面施加适当的涂层。通过基体来承担高温强度的要求，而通过施加的涂层来提高抗高温腐蚀的能力，保护基体金属不受高温的腐蚀作用。因为基体合金和防护涂层是可单独设计的，所施加防护涂层的合金部件就可既保持合金原本良好的高温强度而其表面的涂层又具有优异的抗高温腐蚀性能。尤其在一些需要良好抗高温腐蚀性能的情况下，通过在低级材料的表面施加防护涂层可达到高级材料的功效，从而可节约成本。

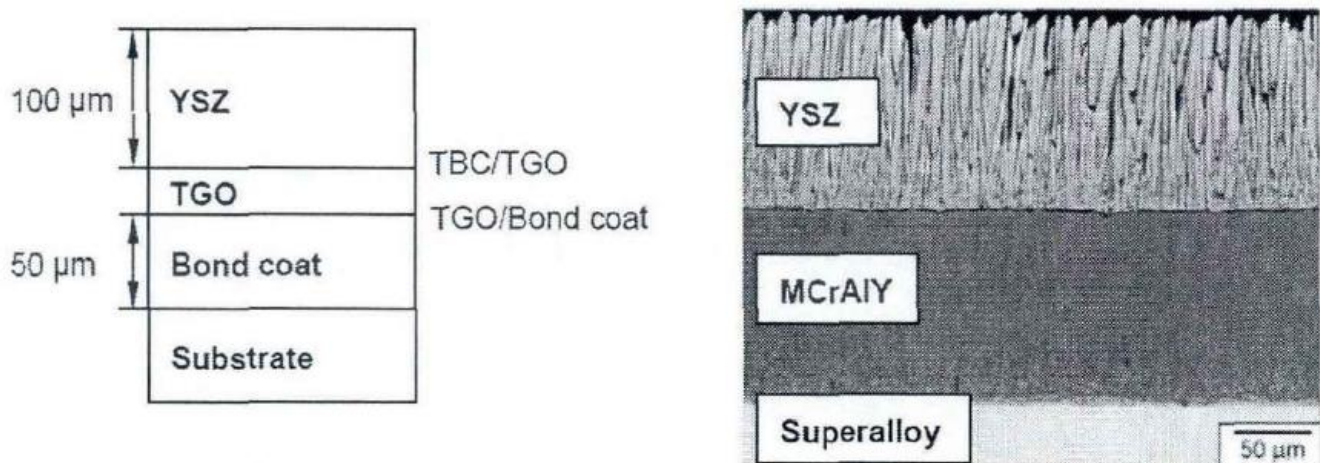
高温防护涂层的研究基本上经历了 4 个时期。20 世纪 50 年代研制应用的第一代涂层为 β -NiAl 基铝化物涂层，但是 NiAl 相脆性非常大，容易开裂，由于 Al 原子扩散快，涂层的寿命很短。第二代涂层则是 20 世纪 70 年代开发的改进型的铝化物涂层，其目的是设法减小涂层与基体之间的互扩散作用，加强扩散来提高涂层的使用温度，如 Cr-Al、Si-Al、Ti-Al、Pt-Al 等，这些涂层在航空发动机上得到广泛应用。第三代涂层是 20 世纪 80 年代发展起来的 MCrAlY 包覆涂层（M 代表 Fe、Co、Ni），它的特点是成分和厚度可按要求控制，可在更高温度下起到抗氧化作用，满足不同工况条件下的要求。第四代涂层是 90 年代利用物理气相沉积的方法研制开发的陶瓷热障涂层（ Y_2O_3 部分稳定的 ZrO_2 涂层）。该涂层具有明显的隔热效果，但由于陶瓷材料脆性较大，且与气体材料系数不匹配，通常会在陶瓷与基体间加一层粘结层来改善陶瓷与基体间的兼容性。

图表 35 高温合金用防护涂层类别及应用

涂层类别	工艺要点	性能提升点	实际应用
铝化物涂层	添加第二元素的渗铝涂层	抗氧化性能和抗热腐蚀性能	WP14 发动机、WP6 改地面燃气轮机
改性铝化物涂层	简单铝化物中掺入 Cr、Mo、W、Si、Ta 及各种稀土元素或贵金属元素	提高氧化膜粘附性和延长涂层的防护寿命	GE 专利 US3415672
合金包覆涂层	抗氧化腐蚀的合金包覆在高温合金上	抗氧化性能和抗热腐蚀性能	WP13B 发动机、FWP14 发动机
热障涂层	陶瓷与金属基体相复合	抗高温耐腐蚀性能	WP6 加力筒件

资料来源：《航空材料技术》，华安证券研究所

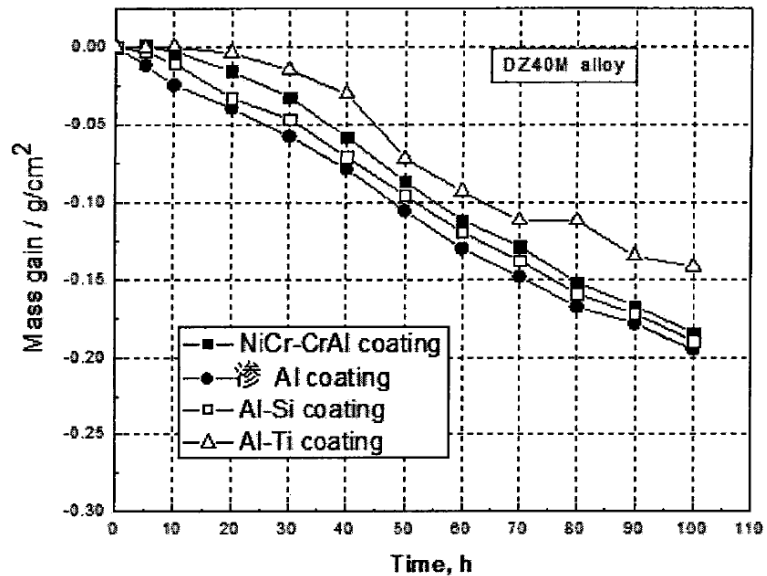
图表 36 典型热障涂层体系（左：结构示意图，右：实物图）



资料来源：《涂层对定向高温合金力学性能的影响及其抗热腐蚀性能的研究》，华安证券研究所

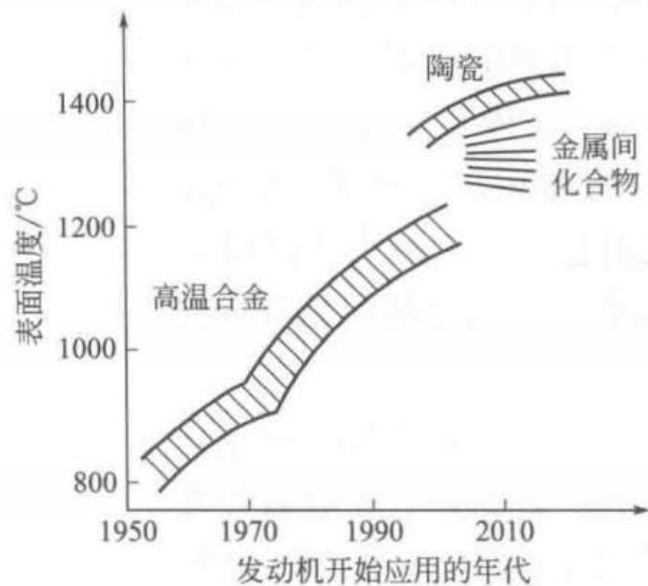
当前比较成熟的防护涂层有铝化物涂层、合金包覆型涂层及热障涂层等三类，但我国高温防护涂层技术与国外相比仍具有一定的差距。抗高温氧化腐蚀金属涂层适用于单晶或者定向高温合金，1150℃以上完全抗氧化级的高温防护涂层的开发将是扩展其应用的关键；热障涂层技术则需要发展可在1200℃以上抗烧蚀、长寿命、高隔热的陶瓷层技术，以满足推重比12-15级发动机的需求。

图表 37 涂覆防护层后的高温合金热腐蚀动力学曲线



资料来源：《涂层对定向高温合金力学性能的影响及其抗热腐蚀性能的研究》，华安证券研究所

图表 38 高温结构材料的发展示意图



资料来源：《金属材料学》，华安证券研究所

● 新型合金方面，巩固高温金属材料地位的关键。

新型合金方面，主要关注两条路径，一方面是深挖合金钢的潜力，另一方面是开发新型的金属间高温合金。

除了高温合金中常见的镍基、钴基及铁基高温合金外，Ni-Al、Nb-Si、Ti-Al、Fe-Al 等具有更高熔点及低密度金属间高温合金、高熵合金的出现推高了高温合金高温性能天花板进而拓宽市场应用范围，是延续高温合金市场的关键所在。

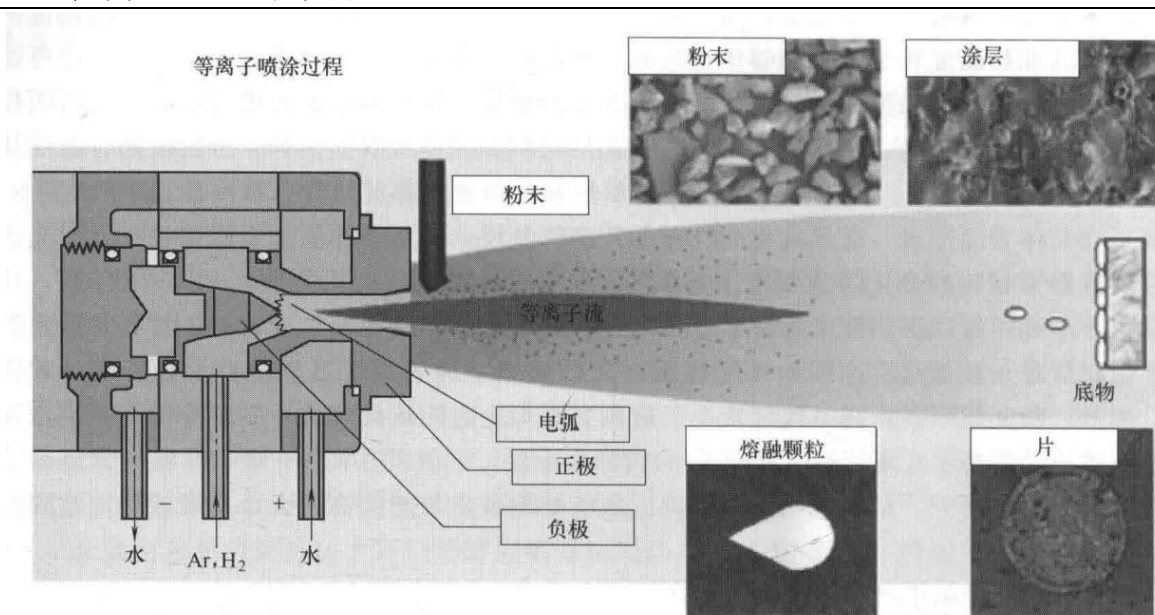
高温金属间化合物可在航空航天器或某些民用装置中作高温结构材料，如 Ni₃Al 可作航天飞机的筒体材料；NiAl 作航空发动机的涡轮叶片；Ti₃Al 和 TiAl 作航空发动机环形件；Fe₃Al 和 FeAl 可在煤的汽化、液化和燃烧装置中获得应用。高温金属间化合物除了金属键外，还有一部分共价键，兼有金属的较好塑性和陶瓷的良好高温强度，表现出一系列的优异性能，如高强度、高弹性模量、较低的蠕变速率、较高的形变硬化率、稳定的组织结构、较小的密度和良好的抗氧化腐蚀性能等，使用温度介于高温合金与高温结构陶瓷材料之间。高温金属间化合物种类很多，如铝化物、硅化物等。

图表 39 新型高温合金简介

合金类别	熔点/°C	密度/(g/cm ³)	实际应用
常用高温合金	≈1200	≈8	航空发动机、燃气轮机
Ni ₃ Al	1400	7.5	1150-1200°C 的发动机单晶导向叶片
Ti ₃ Al	1600	4.2	12-15 级推重比的发动机燃烧室机匣
Nb ₅ Si ₃	2484	7.16	15 级推重比的燃气轮机涡轮叶片
高熵合金 (WMoTaNb 为例)	>2600	12-13.8	潜在的替代陶瓷基复合材料产品

资料来源：CNKI，华安证券研究所

图表 40 放电等离子烧结法制备高熵合金



资料来源：《航空航天用先进材料》，华安证券研究所

高熵合金设计理念的提出，突破了传统合金以一种或两种元素为主的设计理念，

极大扩展了材料设计的成分空间。高熵合金是由五种或五种以上等量或大约等量金属形成的合金。由于高熵合金可能具有许多理想的性质。以往的合金中主要的金属成分可能只有一至两种。已有研究表明，高熵合金具有许多特殊的物理、化学和力学性能，如高的组织稳定性、优异的高低温力学性能、耐腐蚀、抗氧化、抗辐照等，在航空航天、交通运输、核工业、国防安全等领域都具有广阔的应用前景。

1.5 提升返回比例及降低成本是开拓高温合金市场的关键

随着航空发动机和燃气轮机工业的快速发展，高温合金作为涡轮叶片、导向叶片、涡轮盘等热端部件使用材料被广泛应用。在铸件加工中会产生大量高温合金废料，即为高温合金返回料，高温合金返回料大体可以分为三类：浇道、冒口和报废铸件。由于高温合金中含有大量贵金属元素，如：Ni、Cr、W、Mo、Nb、Hf 等，因此，对高温合金返回料的回收重新利用，大大提高了材料利用率，降低了资源浪费，具有重要的意义。

开展合金返回料的回收利用研究尤为重要，这也是时代发展的必然要求。高温合金包含的重要战略物资元素（如镍、钴、铬等）的量是巨大的，随着航空航天、发电和舰船用燃气轮机工业的科研创新，高温合金的使用量逐年攀升，随之产生的返回料也会越积越多，而高温合金的利用率极低，其中精铸件的利用率约占 20%~30%，形状复杂的零件只占 10%左右，导致资源的巨大浪费。若能保证材料的质量而将返回料合金循环利用起来，可以很大程度上提高材料的利用率。

目前，国内外都在相关返回料的应用研究中取得了一定的进展。比如说美国采用将废料返回熔炼的办法来处理返回料，在 1986 年回收的 $2.5 \times 10^7 \text{Kg}$ 高温合金中，约 20%降级使用；英国已对 12 种高温合金，比如 MAR-M246、IN100、IN939 等合金的返回料进行了回收处理并加以利用；法国针对涡轮叶片所使用的高温合金进行回收利用，其返回料利用率达到 50%；俄罗斯采用真空熔铸的办法，开发了一套完整的铸造回炉料的铸造工艺，该工艺生产的 80%返回料具有相当可观的持久强度；我国曾在涡浆型发动机一、二级涡轮叶片中使用了 50%的 K3 返回料。

图表 41 返回料比例及次数对合金成分、组织和力学性能的影响

方式	具体影响
返回料比例	为保证合金成分、组织和力学性能的稳定性，返回料在新料合金中都有一定的加入比例。一般规定返回料比例不应大于 50%，然而由于合金成分和铸造方法的不同，对返回料添加比例的要求就存在差异，如等轴晶铸造合金返回料比例可达 80%，定向高温合金要少于 60%
返回次数	返回料合金多次熔炼的不利作用主要体现在两个方面：（1）提高了返回料合金的氧氮含量；（2）在重熔过程中因熔炼工艺、气氛、坩埚反应等因素在熔体中引入更多夹杂。

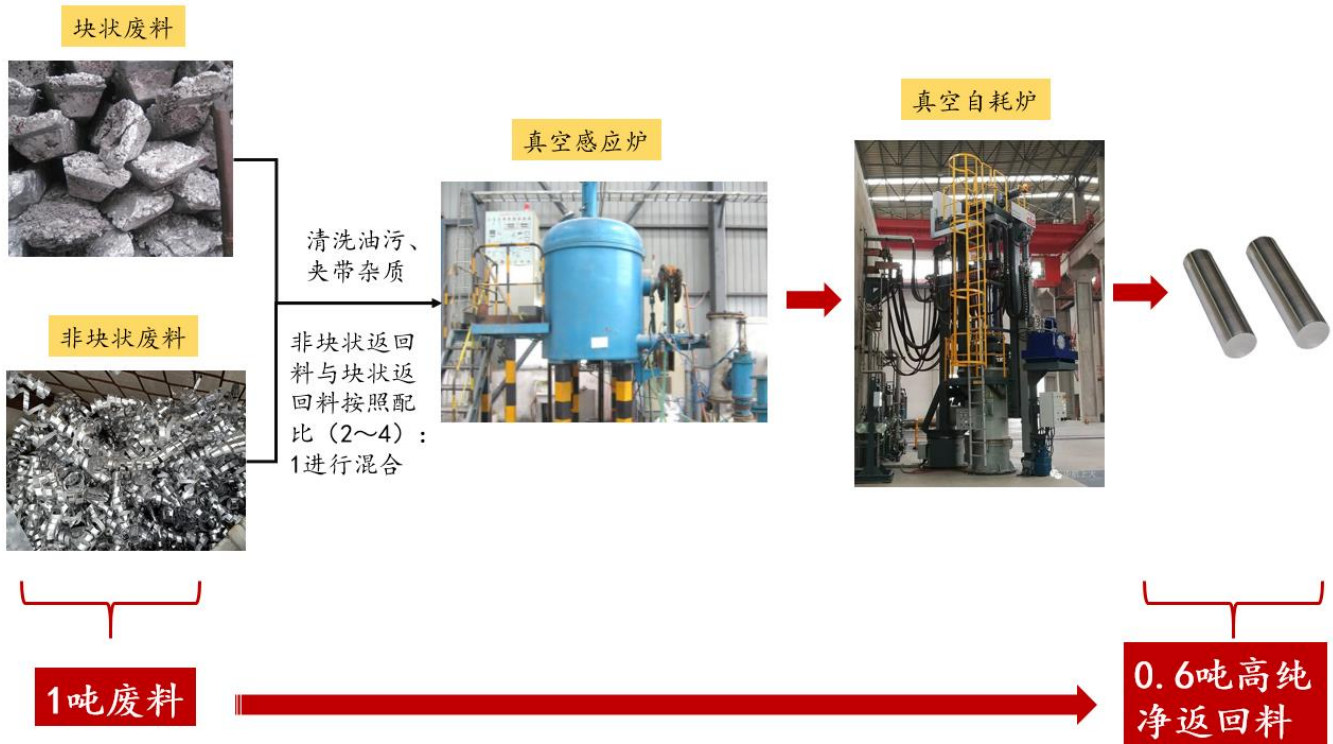
资料来源：《高温合金 K418 和 GH4169 返回料的净化与成分调控》，华安证券研究所

国内外高温合金的成本区别在于国内高温合金返回率低，根据中航上大专利显示，GH141 合金废料率为 92%，根据中国航发成都发动机有限公司专利，K465 废料率为 85%。

- 中航上大专利号 CN113337742A《高纯净返回料生产 GH141 的冶炼工艺》指出，GH141 合金是一种沉淀硬化型难变形高温合金，在 870℃以下具有较高的抗拉强度和持久强度，还具有良好的韧性、氧化性和耐腐蚀性，广泛应用于 850℃以下要求高强度和 980℃以下要求抗氧化的航空发动机高温部件，如叶片、盘、机匣和燃烧室零件等，国内生产 GH141 合金主要用于某发动

机结构件，生产该合金时，所有配入的原料均使用经过处理的精料、纯金属等，据可靠数据统计，GH4141 投入的原料经过冶炼、加工直至最终装机，产品的利用率仅为 6~8%，产生大约 92% 的材料废品，过程加工产生的料头、车屑等材料因夹带杂质、油污等问题无法继续使用只能作为废品，造成了极大的资源浪费。

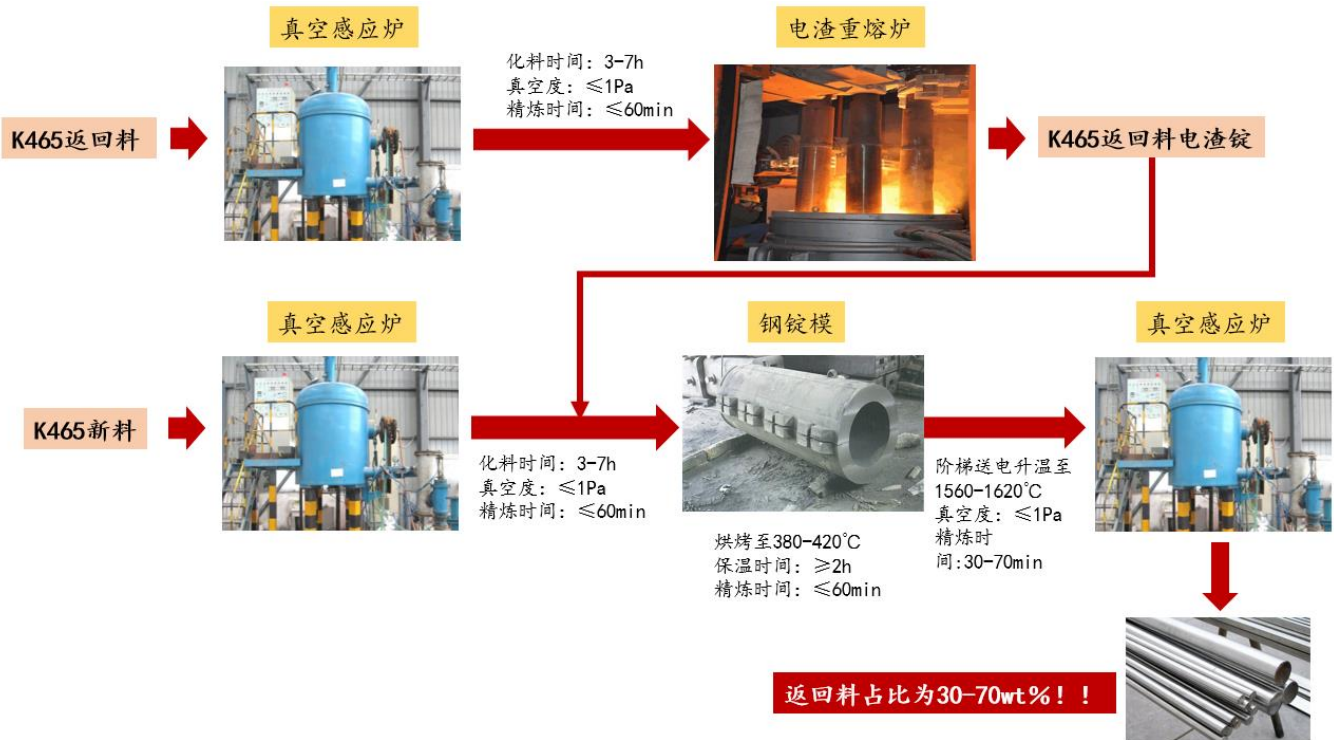
图表 42 专利 CN113337742 对 GH141 合金返回料的熔炼过程示意图



资料来源：《高纯净返回料生产 GH141 的冶炼工艺》，华安证券研究所

- 中国航发成都发动机有限公司专利号 CN113249584A 《一种航空发动机涡轮叶片用合金返回料重利用方法》指出，随着发动机推重比的不断增大，高温合金材料在航空发动机中的占比越来越高，尤其是航空发动机的核心部件，如涡轮叶片、导向叶片等。K465 合金具有较高的屈服强度、较低的导热系数、优异的高温抗氧化性能，使得其在航空发动机领域已得到了广泛的应用，但是由于铸造工艺本身的特点，K465 高温合金的利用率很低，尤其是在结构复杂的涡轮转子叶片上，其利用率在 15% 左右，大量的 K465 合金都以料头、浇道、冒口、报废零件和切屑等形式被浪费，通常将这些浪费的合金称为高温合金返回料。K465 合金是一种耐热的铸造镍基高温合金，需要添加大量的 Mo、W、Nb 等难熔元素进行熔炼制备，由于我国的 Ni、Co 矿产资源相对匮乏，Ni、Co 等金属采购价格逐年攀高且受市场影响价格波动较大。目前国内对 K465 高温合金返回料纯净化的重熔利用还没有进行过系统研究，因此开展 K465 合金返回料的纯净化重熔利用研究，不但具有十分巨大的经济价值，而且有助于实现稀贵金属资源的循环利用。

图表 43 专利 CN113249584A 对 K465 合金返回料的熔炼流程示意图



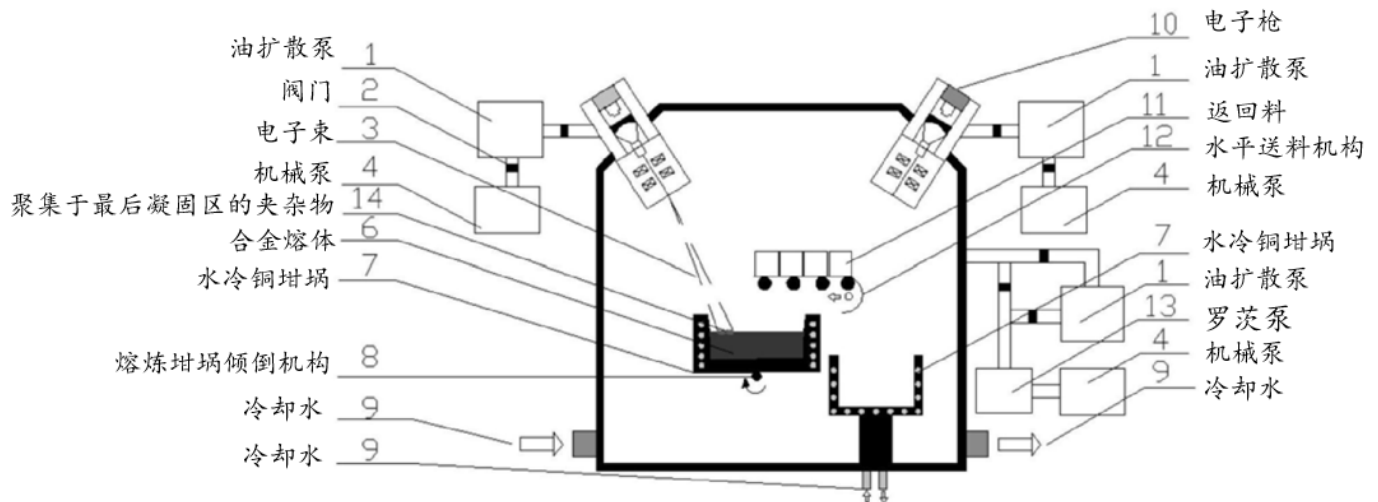
资料来源：《一种航空发动机涡轮叶片用合金返回料重利用方法》，华安证券研究所

高温合金新料熔炼过程中的废料亦可返回重熔，根据大连理工专利披露，传统的双联工艺制备的变形合金出成率不高于 60%，而铸造类单晶合金最终零件的重量只有原材料的 30% 左右。大连理工专利号 CN112760508A《一种电子束连续精炼高温合金返回料的方法》指出，返回料的回收仍以真空感应高温精炼、浇铸过滤为主，返回料提纯再利用的相关技术水平与国外发达国家相比尚存在较大的差距，尚未建立返回料回收与利用的相关标准与规范。在杂质及夹杂物的控制上，我国返回料合金锭的纯净度还达不到新料的水平，导致当前高温合金返回料的利用率偏低，造成资源的严重浪费的技术问题。该专利主要采用电子束精炼的手段提纯高温合金返回料，利用高温高真空的环境使熔体充分发生脱气反应，利用电子束精炼过程中的局部大过热实现熔体内部小尺寸夹杂物的溶解，利用高能电子束的轰击作用实现熔体表面大尺寸夹杂物的分解，并通过浇铸获得高纯的高温合金返回料锭坯。在此基础上，通过重复送料、精炼、浇铸过程，实现高温合金返回料的连续精炼与提纯。

高返回料添加比的高温合金加工方式与通常高温合金加工方式几无差异，故亦可以通过工艺改进进一步降低其成本。中国航发北京航空材料研究院专利号 CN111761007A《一种添加返回料的 GH4169 合金盘锻件制备方法》一文中指出，当前国内 GH4169 盘锻件所用棒材均为矿冶新料经熔炼和锻造所制造，返回料的使用仅局限于各冶金厂自身熔炼和锻造过程所产生的“废料”，使用比例非常低。高温合金返回料中的碎屑料和块状料均是合格高温合金材料加工的边角余料，经过了多次的真空提纯和精炼，纯净度水平要高于矿冶新料，如果能够实现同等级别相同材料的循环利用，将有效提升高温合金材料的纯净度，且能显著降低原材料成本。这也是国外相同合金 IN718 质量优、价格低的主要原因之一。为了提高返回料再生利用技术成熟度，促进 GH4169 合金制造成熟度的提高，提升 GH4169 盘锻件整体质量，同时

降低盘锻件的制造成本,航材院提出一种添加返回料的 GH4169 合金盘锻件制备方法,该方法可以细化盘锻件的晶粒组织,提升锻件组织均匀性,同时缩短锻件制造周期,降低锻件成本。

图表 44 专利 CN112760508A 对 FGH4096 合金返回料的熔炼设备示意图



资料来源:《一种电子束连续精炼高温合金返回料的方法》, 华安证券研究所

图表 45 专利 CN111761007A 对高返回料添加 GH4169 合金盘锻件制造示意图



资料来源:《一种添加返回料的 GH4169 合金盘锻件制备方法》, 华安证券研究所

图表 46 GH4169 合金盘锻件标准热处理后室温拉伸性能（返回比 $\geq 50\%$ ）

	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	延伸率/%	断面收缩率/%
高返回料添加比高温合金	1495	1252	19.5	30.1
GB/T30566-2014 标准值	1241	1034	10	12
AMS5663 标准值	1241	1000	10	12

资料来源：《一种添加返回料的 GH4169 合金盘锻件制备方法》，华安证券研究所

图表 47 GH4169 合金盘锻件标准热处理后 650℃拉伸性能（返回比 $\geq 50\%$ ）

	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	延伸率/%	断面收缩率/%
高返回料添加比高温合金	1205	1045	26.7	56.2
GB/T30566-2014 标准值	965	862	10	12
AMS5663 标准值	965	841	10	12

资料来源：《一种添加返回料的 GH4169 合金盘锻件制备方法》，华安证券研究所

图表 48 GH4169 合金盘锻件标 650℃/690MPa 组合持久性能（返回比 $\geq 50\%$ ）

	持久时间/h	延伸率/%	备注
高返回料添加比高温合金	263.05	10.25	光滑断
GB/T30566-2014 标准值	23	4	—
AMS5663 标准值	23	4	—

资料来源：《一种添加返回料的 GH4169 合金盘锻件制备方法》，华安证券研究所

2 需求端：源于内燃机，高耐温性扩展下游市场

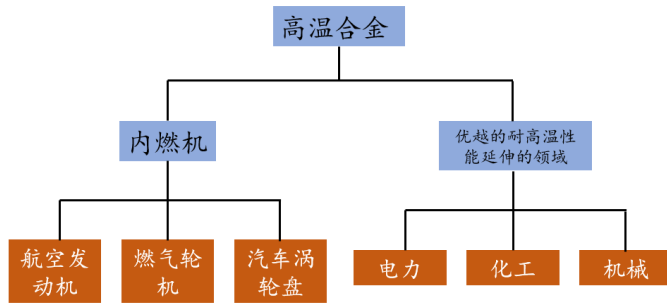
高温合金的研制源于内燃机需求，随着近一个世纪的发展，其应用范围也逐渐向化工、石油等领域渗透。

图表 49 各行业对高温合金的需求

行业	部位	行业需求	当前应用材料
航空发动机	燃烧室	1: 燃烧室壁材料需承受 800-900℃ 的高温，局部甚至高达 1100℃ 以上； 2: 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	变形高温合金、结构钢及不锈钢
	导向器	1: 材料工作温度最高可达 1100℃ 以上； 2: 承受较大的热冲击，但承受的应力比较低，一般低于 70MPa	精密铸造镍基高温合金
	涡轮叶片	1: 其所承受温度低于相应导向叶片 50-100℃； 2: 在高速转动时，叶身部分所受应力高达 140MPa，叶根部分达 280-560MPa	精密铸造镍基高温合金
	涡轮盘	1: 所占质量最大，是航空发动机上的重要转动部件 2: 一般轮缘为 550-750℃，轮心为 300℃ 左右 3: 盘件径向的热应力大，特别是盘件在正常高速转动时，因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	屈服强度很高、细晶粒的变形高温合金和粉末高温合金
燃气轮机	涡轮盘	1: 工作环境需要承受高硫燃气和海水盐分的腐蚀 2: 工作寿命要求达到 50000-100000 小时 3: 涡轮盘在工作时转数接近 10000 转/分钟 4: 要求材料耐用温度达到 600℃ 以上	镍基高温合金
火箭发动机	燃烧室	1: 工作温度在 3000-4000℃ 以上、20MPa 高压 2: 2500-5000m/s 高流速燃气冲刷	镍基高温合金
	涡轮泵	1: 超低温液氧和燃料的冲刷 2: 转速高、压力大、密封性要求高	GH4586、K4169 及 GH420
汽车	涡轮增压器	1: 工作温度在 600℃ 以上 2: 抗热冲击性能强，耐腐蚀性能好	镍基高温合金
核电	燃料机组、控制棒驱动机构、压力容器、蒸发器、燃料棒定位格架、高温气体炉热交换器	1: 承受 600-800℃ 的高温 2: 排气温度	In 718
煤电	过热器、再热器	1: 温度在 500-750℃ 2: 酸性蒸汽	GH2948
石油	注射阀、气体升举阀、双制化学注射阀、安全阀	1: 酸性环境，耐 H ₂ S 腐蚀，泥沙冲击 2: 温度在 0-218℃	In 718
机械	熔炼炉、机械手臂	1: 温度在 200-1200℃ 2: 腐蚀性气体	镍基高温合金
化工	化工裂解炉	1: 温度在 1000-1100℃ 2: 酸碱腐蚀气体	Inconel 625、Incoly 800H

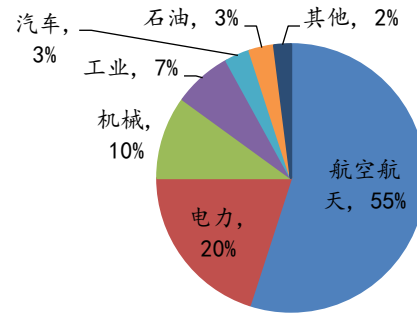
资料来源：《航空材料技术》，《航空航天用先进材料》，华安证券研究所

图表 50 高温合金可应用行业



资料来源: wind, 华安证券研究所

图表 51 高温合金下游行业的应用占比



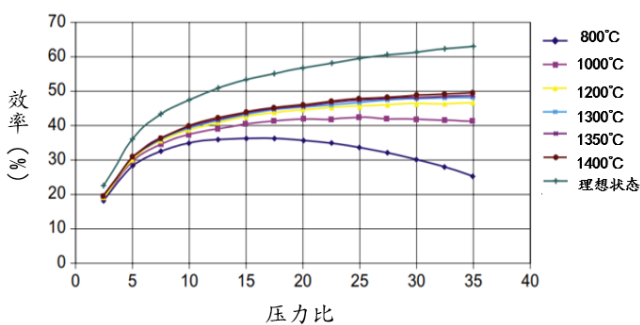
资料来源: 前瞻产业研究院, 华安证券研究所

第二次世界大战期间, 为了满足新型航空发动机的需要, 高温合金的研究和使用进入了蓬勃发展时期。40 年代初, 英国首先在 80Ni-20Cr 合金中加入少量铝和钛, 形成 γ' 相以进行强化, 研制成第一种具有较高的高温强度的镍基合金。同一时期, 美国为了适应活塞式航空发动机用涡轮增压器发展的需要, 开始用 Vitallium 钴基合金制作叶片。伴随着高温合金性能不断提升及其他行业的发展, 高温合金适用的环境正不断扩宽。

2.1 内燃机不可或缺的伴侣

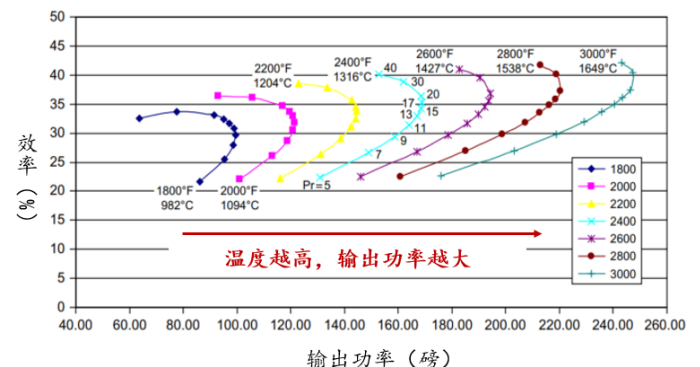
温度和压力对内燃机效率至关重要。从热力学第二定律出发可知, 相同的压比情况下, 透平入口温度越高, 内燃机效率越高; 相同的透平入口温度, 压比在一定范围内与效率成正比。其中温度的影响最为显著, 根据《Boyce》显示, 温度每升高 100 °F (55.5°C), 功输出增加约 10%, 效率提高约 0.5-1%。为了提高燃机输出效率, 航空航天发动机、燃气轮机的热端部件需承受 600°C~1200°C 的高温以及复杂应力的交互作用, 材料要求非常苛刻, 高温合金是这些装备的关键材料。镍基高温合金有高的耐热强度、良好的塑性、优秀的抗高温氧化和燃气腐蚀能力, 以及长期组织稳定性等特性, 被广泛用于制造各种高温部件。

图表 52 同一温度下, 压力越大发动力效率越高



资料来源: 《Boyce》, 华安证券研究所

图表 53 效率相同情况下, 发动机温度越高, 推力越大



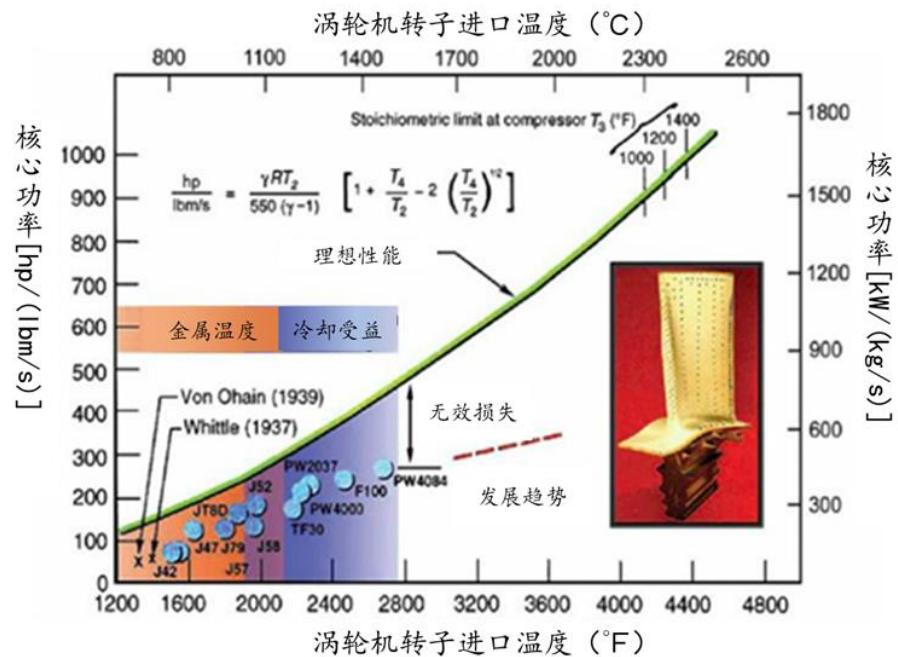
资料来源: 《Boyce》, 华安证券研究所

高温合金与内燃机市场相辅相成, 共同成长。过去很长一段时间里燃气轮机被

认为是一种相对低效的能量转换方式。在 20 世纪 50 年代早期，它的效率低至 15%，随着新的耐高温性能优异的高温合金技术的突破，汽轮机的温度得到了提高。根据《Boyce》显示，新型燃气轮机的入口温度高达 1427°C，压力比达到 40:1，效率已经突破了 45%。

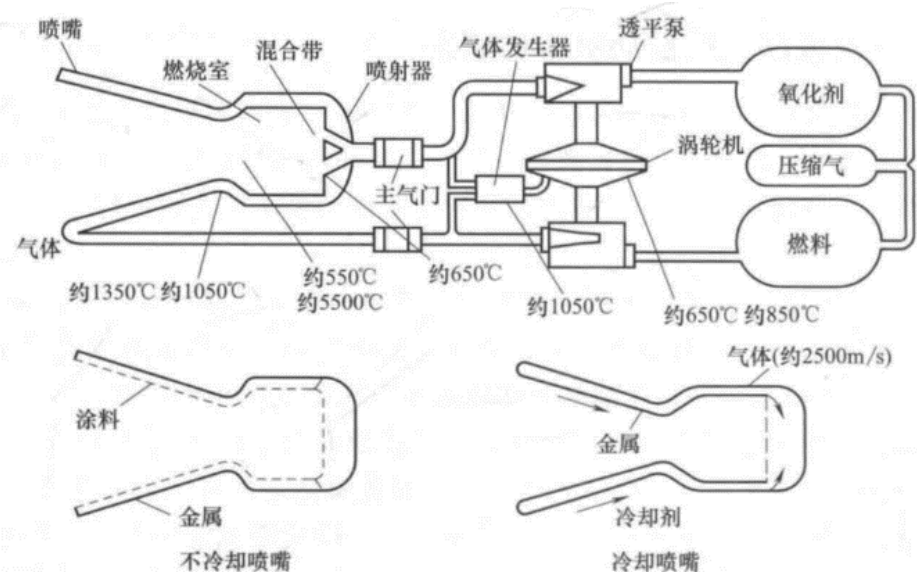
严格从定义来看，航空发动机、汽车发动机及燃气轮机等均属于内燃机的范畴，因而是高温合金的主要应用领域。

图表 54 涡轮机对材料的需求



资料来源：《Boyce》，华安证券研究所

图表 55 液体燃料火箭发动机结构示意图

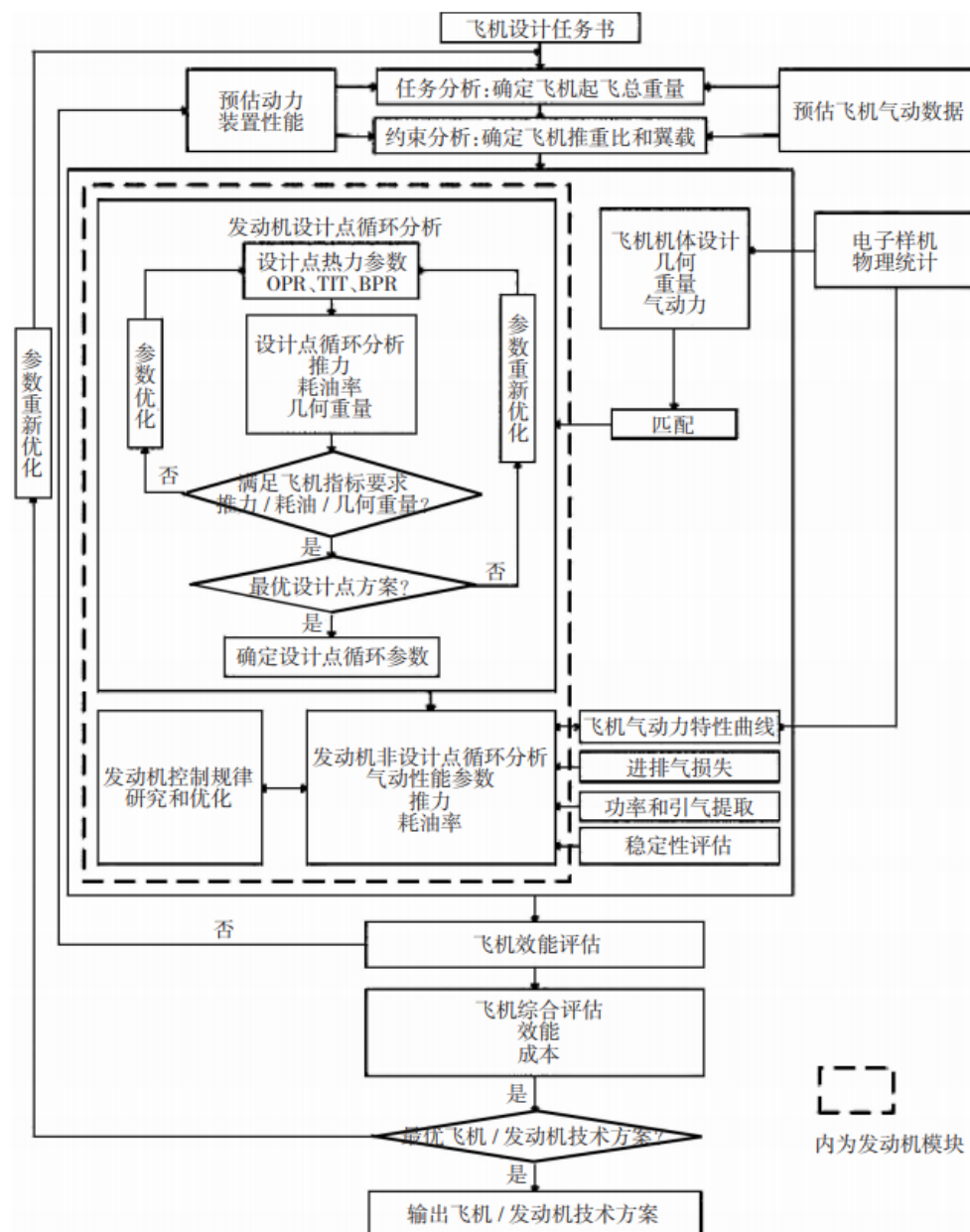


资料来源：《金属材料学》，华安证券研究所

2.1.1 航空发动机：下游旺盛需求催生万吨空间

航空发动机性能的对飞机性能的改进一直起着决定性作用。飞机的种类繁多，用途不同，对发动机的要求也各不相同。要成功地设计出高性能的现代飞机，需要考虑飞机性能要求以及飞机与发动机的相互影响，进行飞机和发动机之间的协调和匹配。开展飞机/发动机的匹配研究能够在飞机方案设计阶段为发动机的选型提供指标支持，提出飞机对发动机的性能需求。同时，通过性能匹配与优化，使飞机/发动机的性能达到最优。

图表 56 飞机/发动机性能匹配评估流程



资料来源：《飞机与发动机性能匹配分析》，华安证券研究所

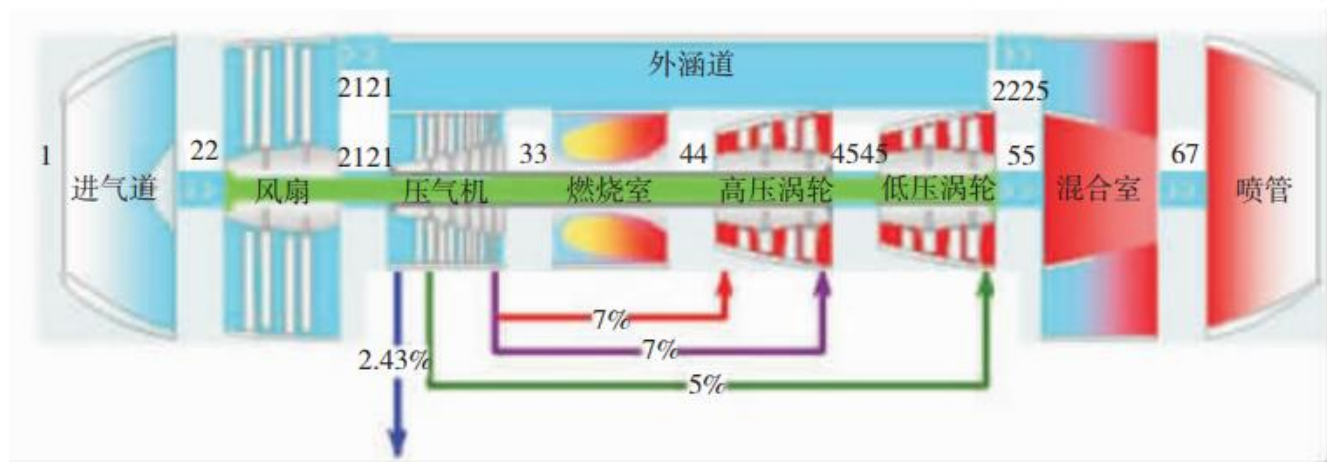
飞机发动机的设计主要参数在于涡轮前温度、涵道比、总增压及风扇压比等指标，最终影响飞机的推力、耗油量、成本及稳定性。

● 涡轮前温度对推力增加的作用最明显，温度越高越好，所以先进发动机设计都采用很高的涡轮前温度，如美国 F119 发动机的涡轮前温度超过 2000K，基本接近材料及冷却技术的极限。

● 为了获得较高的单位推力，同时兼顾耗油率的要求，还要选取较小的涵道比和合适的总增压比，目前国外第四代发动机的涵道比选择在 0.3 左右、总增压比在 25~30 之间。

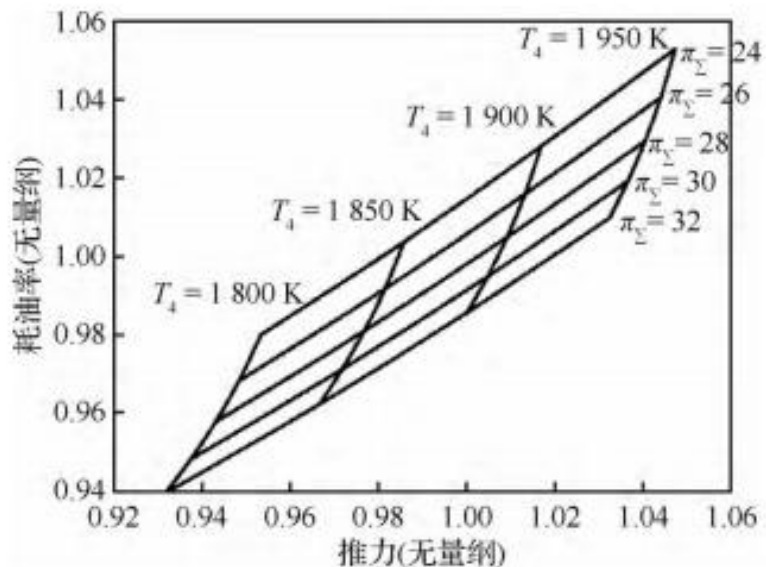
风扇压比提高对推力和耗油率都有利，但风扇压比增加到一定程度后推力增加就不太明显，而且还要兼顾混合器外内涵气流的压力比值合适以保证内外涵能量分配和混合损失都在可接受范围内。

图表 57 涡轮发动机结构模型



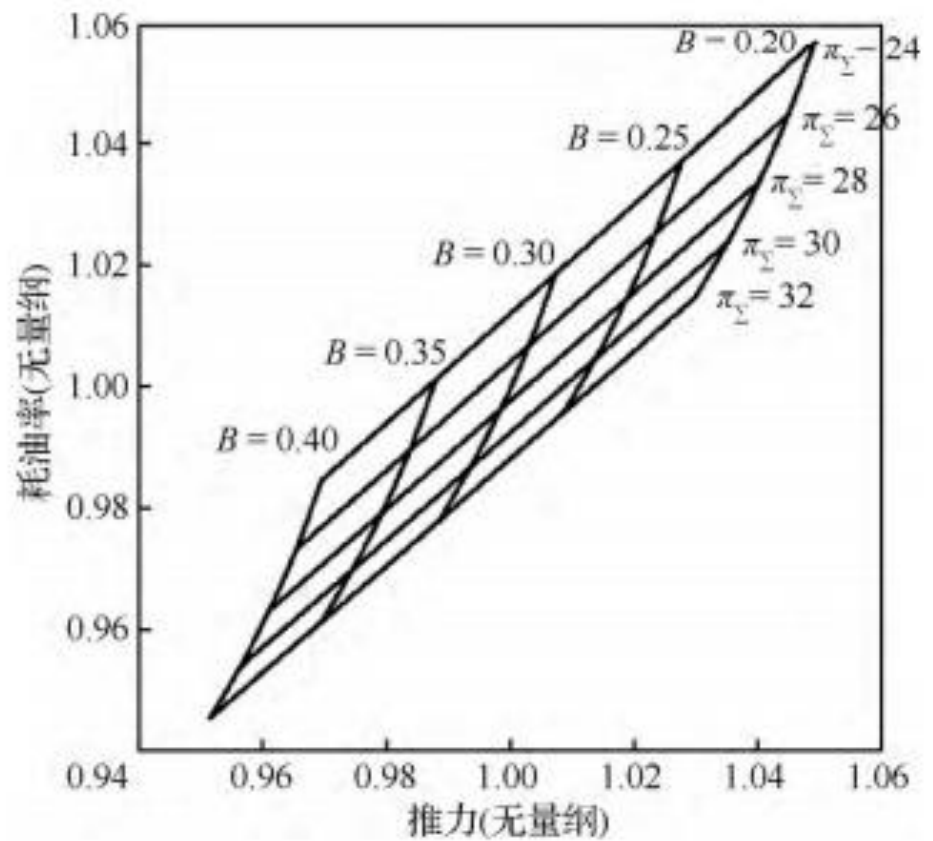
资料来源：《飞机与发动机性能匹配分析》，华安证券研究所

图表 58 涡轮前温度对推力和耗油率的影响



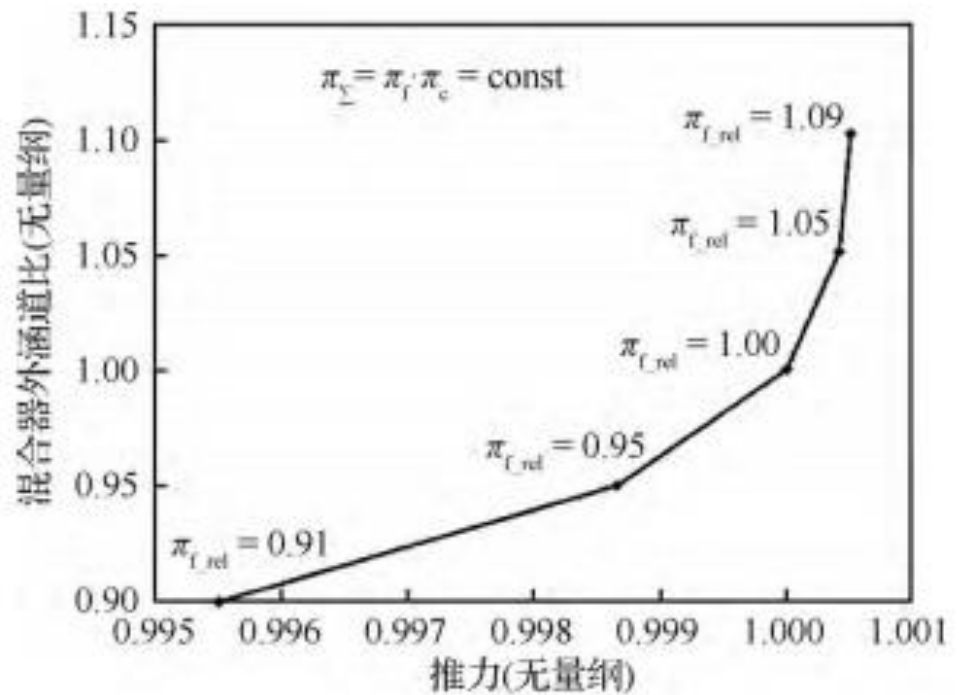
资料来源：《第四代战斗机动力技术特征和实现途径》，华安证券研究所

图表 59 涵道比对推力和耗油率的影响



资料来源：《第四代战斗机动力技术特征和实现途径》，华安证券研究所

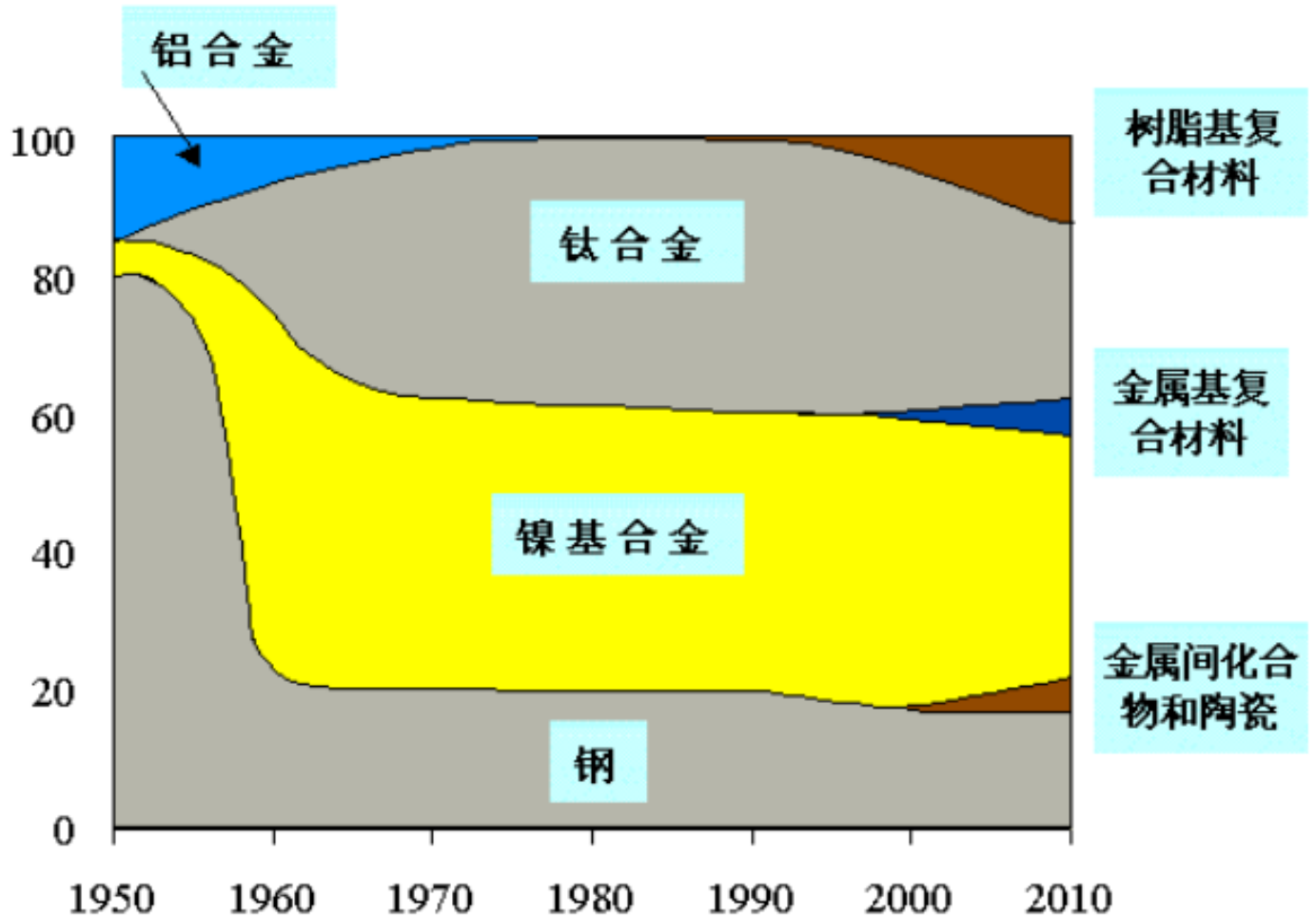
图表 60 风扇压比对推力和涵道比的影响



资料来源：《第四代战斗机动力技术特征和实现途径》，华安证券研究所

对于飞机发动机而言，耐高温的材料需求是刚需，高温合金无疑是最佳材料，可以说，航空发动机的发展史就是高温合金的发展史，两者互相成就。当前最先进的战机中高温合金的用量已经超过 50%，主要用于燃烧室、导向器、涡轮叶片和涡轮盘四大热端部件，此外还用于机匣、环件、加力燃烧室和尾喷口等部件，其未来用量占比依然呈现不断增长的趋势，价值占比有望进一步提升。

图表 61 航空发动机材料结构的发展情况（1950 年-2010 年）



资料来源：《飞机与发动机性能匹配分析》，华安证券研究所

当前情况下，我国航空发动机方面的需求主要由两个因素在推动：

● 军用航空发动机的自主可控点燃国内高温合金的需求

军用航空发动机技术一直处于禁运状态，自主研发新型号发动机及老旧型号国产化替代是必然趋势，考虑到目前我国二代机占比依然超过 70%，大量搭载先进航空发动机的三代机、四代机将快速放量，高温合金的需求量将激增。

图表 62 高温合金在我国军用飞机发动机的应用

发动机分类	高温合金应用部位	高温合金环境温度/℃	高温合金应用牌号
WP-6	加力筒体、内外挡流板	<850	变形：GH1140
	I、II 级涡轮盘	<700	变形：GH4033
	I、II 级涡轮叶片	800-850	变形：GH4037
	I、II 级导向叶片	<900	铸造：K401
WP-7	燃气导管、密封片等	<850	变形：GH3039
	涡轮工作叶片	800-850	变形：GH4037
	I、II 级涡轮盘	<750	变形：GH4133B
	I、II 级导向叶片	900-1000	铸造：K403
WP-8	I、II 级涡轮盘	<650	变形：GH2036
	II、III 级涡轮叶片	<700	变形：GH4033
	I、II 级涡轮叶片	800-850	变形：GH4037
	I、II 级导向叶片	900-1000	铸造：K403
WP-13	涡轮机匣	<650	变形：GH2132
	涡轮工作叶片	<900	变形：GH4049
	I、II 级涡轮盘	<750	变形：GH4133B
	I、II 级导向叶片	900-1000	铸造：K403
WP-14	I、II 级涡轮盘	<650	变形：GH4169
	I、II 级导向叶片	900-1000	铸造：K403
	低压涡轮叶片	1000~1050	DZ404
WS-9	高低压 I、II 级涡轮盘	<650	变形 GH2901
	高压 I 级导向叶片	<1050	铸造 K640
	低压 II 级导向叶片	750	铸造 K4130
FWS-10	高、低压涡轮盘	<650	变形：GH4169
	高压涡轮盘	550-650	粉末：FGH4095
	导向器	900-1200	粉末：MGH4754
	低压 I、II 级导向叶片	<900	铸造：K417G
WS-15	加力燃烧器	900-1250	粉末：MGH2756
WZ-8	导向器	<980	变形：GH8158
	I、II 级涡轮盘	<870	变形：GH4500
	I 级涡轮叶片	<950	铸造：DZ422B
WZ-9	I、II 级涡轮盘	<650	变形：GH4169
	高压涡轮盘	550-650	粉末：FGH4095
	高压涡轮叶片	<1040	铸造：DD403
WJ-9	I 级导向叶片	<980	变形：GH5188
	II 级导向叶片	<980	变形：GH5605
	I 级涡轮叶片	<950	铸造：DZ422B

资料来源：《中国高温合金五十年》，华安证券研究所

根据以下假设，可测算未来五年军用飞机发动机高温合金的需求量为 1.25 万吨：

- ✓ **关键假设 1:** 根据新浪军事网新闻，俄罗斯发动机寿命大约在 1200 小时左右，我国发动机研制体系源于苏联，考虑到技术进展，可认为我国发动机寿命稍有提高至 1500 小时，目前我军飞行训练强度逼近美国 300 小时/年，可测算更换发动机的周期大约是 5 年；
- ✓ **关键假设 2:** 根据图南股份招股书披露，现有及新增军用飞机单发和双发数量比例为 1:1，因此考虑更换、备用等因素，未来 5 年内，新增飞机每架发动机需求数量为 5.5 台，存量飞机发动机每架需求数量为 1.5 台；
- ✓ **关键假设 3:** 根据图南股份招股书数据测算，现代发动机的高温合金平均用量约为 2.5 吨/台。
- ✓ **关键假设 4:** 每一类飞机增量取其过去五年复合增速计算。

图表 63 军用飞机发动机高温合金需求

分类	2016	2017	2018	2019	2020	五年复合增速 (%)	未来五年存量飞机发动机高温合金累计用量 (t)	未来五年增量飞机发动机高温合金累计用量 (t)
战斗机	1523	1527	1624	1603	1610	14.0	1265	6037.5
特种飞机	84	83	97	111	115	8.2	591.25	431.25
加油机	3	3	3	3	3	0	11.25	0
教练机	352	354	368	366	366	1.0	260.15	1372.5
运输机	184	185	193	224	264	9.4	1581.25	990
合计							3643.75	8843

资料来源：World air force，图南股份招股书，新浪军事网，华安证券研究所

● 大飞机交付节点落地点燃商用高温合金的需求

2020 年 3 月 1 日，国产大飞机 C919 在全球的首个正式购机合同签署，东航将成为全球首家运营 C919 大型客机的航空公司，按照双方签署的 C919 大型客机购机合同，东航首批引进 5 架 C919 客机。2022 年 1 月 19 日，市政协委员、中国商飞副总经理吴永良在上海两会期间接受采访时表示，国产 C919 项目预计将于 2022 年完成交付。

图表 64 高温合金在民用航空发动机涡轮盘的应用

部位	高温合金牌号
涡轮盘	变形：GH4169 粉末：FGH
涡轮叶片	铸造：K424
涡轮转子叶片（950℃以下）	铸造：K418
涡轮空心叶片、铸造涡轮（1000℃以下）	铸造：K419
涡轮转子叶片（1000℃以下）	铸造：K4002

资料来源：《中国高温合金五十年》，华安证券研究所

根据以下假设,可测算出存量国产商用客机发动机对高温合金的需求量约为 1.3 万吨:

- ✓ **关键假设 1:** 根据图南股份招股书披露,平均每架民航飞机配备 3 台发动机;
- ✓ **关键假设 2:** 根据图南股份招股书数据测算,现代发动机的高温合金平均用量约为 2.5 吨/台。

图表 65 民用航空对高温合金的需求

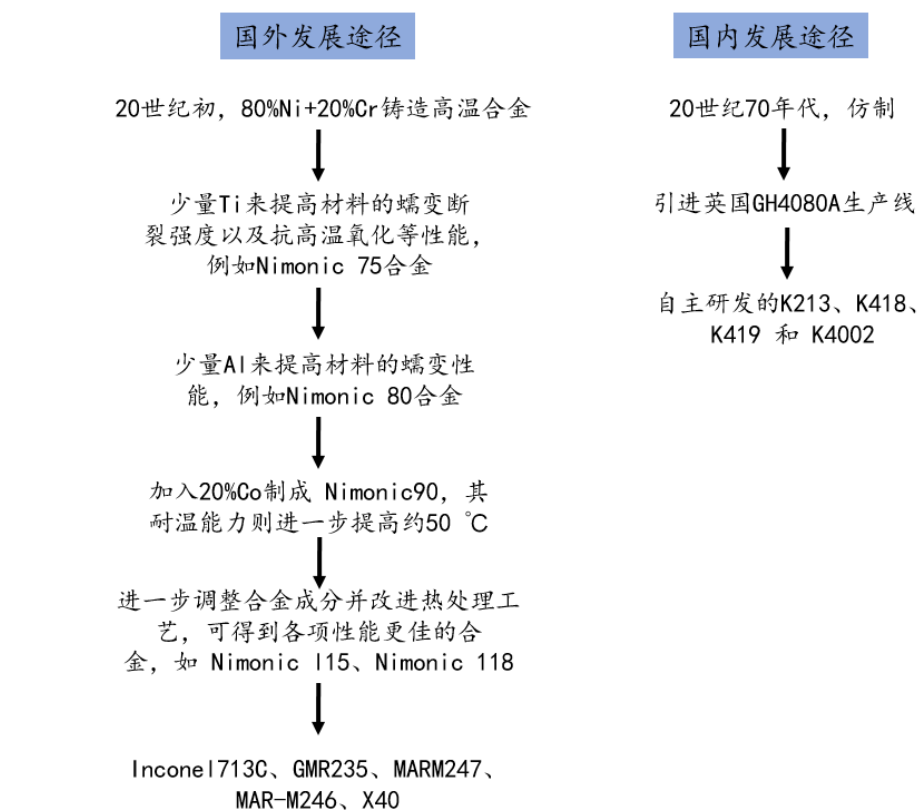
型号	订单数 (架)	存量飞机高温合金累计用量 (t)
C919	1056	7920
ARJ21	770	5775
合计		13695

资料来源: 商飞官网, 华安证券研究所

2.1.2 汽车涡轮增压: 五年内复合增速将达到 16%

涡轮增压器技术在汽车工业中的广泛应用已成为提高发动机效率、降低燃油消耗、减少废气排放的有效手段。

图表 66 高温合金在汽车涡轮增压中应用发展



资料来源: 《车用涡轮增压器叶片材料的发展概述》, 华安证券研究所

涡轮增压器能够增加空气密度, 增加气缸内的进气量, 提高发动机热效率, 从而

提高发动机的输出效率。但是它还有不可忽略的缺点，其中最重要的一点为动力输出反应滞后。特别值得强调的是，其不断变化的负载的涡轮增压器响应特性并不令人满意，这是涡轮增压技术中常见的问题。为了提高加速性能并减少涡轮滞后带来的影响，应减少旋转体的惯性矩（转动惯量），最有效的方法是减少旋转体的质量。使用新的涡轮机制造材料，并降低涡轮质量是降低惯性矩并提高涡轮增压器响应特性的重要手段。当涡轮机运转时，涡轮机具有较高的瞬时速度和工作环境温度，因此对涡轮机材料有很高的性能要求。近年来，许多国家正在研究开发新材料，其中镍基合金已成为制造涡轮增压器的主要材料之一。

图表 67 国内外增压涡轮用高温合金的主要力学性能

牌号	抗拉强度/MPa	1000 小时持久强度 (MPa)
В ж 36- л 3	490 (750℃)	294 (700℃)
X40	515 (650℃)	314 (650℃)
CRM-6D	537 (650℃)	333 (650℃)
Э и -787 л	706 (750℃)	294 (700℃)
K213	731 (700℃)	431 (700℃)
K418	937 (700℃)	519 (700℃)
K491	1020 (600℃)	294 (850℃)

资料来源：《高温合金在能源工业领域中的应用现状》，华安证券研究所

由于目前铸造过程中形成的缺陷仍对涡轮增压器的工作安全性影响很大，“万金油”变形高温合金 GH4169 逐渐成为研究热点，近年来在汽车领域已开始有所应用，其效果可使增压器压比提高、转速提高及可靠性提高。中车大连机车研究所有限公司曾在 2015 年申请一项名为“内燃机车用增压器涡轮盘与主轴联接结构”的专利，指出 GH4169 高温合金可以成为内燃机涡轮盘的可靠材料，重庆市汽车动力系统测试中心在 2019 年发文对汽车内燃机涡轮盘增压器用 GH4169 的高温氧化性能进行研究，因而被誉为“高温合金万金油”的 GH4169 高温合金极有可能替代现在的 K213、K418、K419 和 K4002 等铸造高温合金成为该领域的主打产品。

图表 68 汽车涡轮盘增压器高温合金需求

	2017	2018	2019	2020	2021	2022E	2023E	2024E	2025E
中国汽车产量（万辆）	2902	2782	2572	2522	2608	2686	2767	2850	2935
汽车产量增速（%）	3	-4	-8	-2	3.5	3	3	3	3
中国涡轮增压渗透率（%）	35	40	41	45	50	58	66	72	80
每万辆汽车涡轮增压器高温合金用量（吨）	3.1	3.5	3.6	3.8	4.3	5	5.6	6.1	6.8
汽车高温合金需求总量（吨）	8887	9737	9227	9688	11214	13431	15494	17384	19960
需求增速（%）	-	9.6	-5.2	5.0	15.8	19.8	15.4	12.2	14.8

资料来源：汽车之家，图南股份招股书，华安证券研究所

市场规模方面，由于中国的排放标准基本遵循欧洲标准，在“国六”之前采用的均为 NEDC 工况（New European Driving Cycle），国六后同样与欧洲“欧六 c”同步更改为 WLTC（Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle）循环。该类型的测试标准在平稳路况上考察时间占比较长，因此配备涡轮增压能够拥有较好的减排效果，因而未来我国涡轮增压需求将提速提升。根据以下假设，可测算出 2025

年汽车用高温合金的需求将接近 2 万吨，五年内复合增速将达到 16%：

✓ **关键假设 1：**2020 年国内汽车产销量受疫情影响有所下滑，后续会有恢复性增长；

✓ **关键假设 2：**根据图南股份招股书数据，我国涡轮渗透率远不及西方国家，预计 2025 年将接近海外平均水平 80%；

✓ **关键假设 3：**根据图南股份招股书披露，2018 年每万辆高温合金平均用量约为 3.5 吨/台，后续可根据渗透率估测出未来每年每万辆汽车涡轮增压器高温合金用量。

2.1.3 工业燃气轮机：国产化替换已成为主旋律

与传统的柴油机、蒸汽轮机等动力装置相比，工业燃气轮机具有体积小、效率高、污染低、功率范围广等优点，广泛用于工业发电、舰船、石油及天然气管路输送、供热、矿井通风等领域的动力装置。欧美等工业强国都将燃气轮机的研制作作为重要的发展方向。工业燃气轮机的发展代表着国家重大装备制造业的总体水平，是国家高新技术和科技实力的重要标志。

图表 69 海外燃气轮机中高温合金的应用

生产商	型号	输出功率/MW	旋转叶片材料	静止叶片材料
GE	轻型	LM2500	18.7	1 st : ReneN5
	中型	LM2500+	27.6	2 nd : Rene80
	中型	LM2500+G4	34.8	涡轮: GTD111、IN738LC、Rene77
	重型	7/9EA	120	1 st : GTD111 2 nd : IN738 3 rd : U-500
		7/9FA	256	1 st : GTD111 2 nd /3 rd : IN738
		7H/9H	400	1 st : ReneN5 2 nd : DS GTD111 3 rd /4 th : DS GTD444
RR	中型	WR-21	25.2	1 st : Mar-M002 2 nd : Mar-M002DS
	中型	MT50	50	CMXS-10
SIEMENS	重型	V84/94.3A	286	1 st /2 nd : PWA1483 3 rd /4 th : IN939
MHI	重型	501/701F	270	MGA 2400
	重型	501/701G	334	1 st /2 nd : 2400 3 rd /4 th : 2400

资料来源：《工业燃气轮机涡轮叶片用铸造高温合金研究及应用进展》，华安证券研究所

工业燃气轮机按功率等级划分大体分为微型、轻型、中型、重型 4 个等级。

● 微型燃机功率一般在 0.3MW 以内，主要用于分布式能源；

- 轻型燃机功率一般为 0.3-20MW，主要用于分布式能源和一些轻型动力装置（小型舰船等）；
- 中型燃机功率在 20-100MW 范围，主要用于大中型水面舰艇和地面长距离管线增压；
- 重型燃机功率一般在 100MW 以上，主要与蒸汽轮机联合循环用于工业发电。

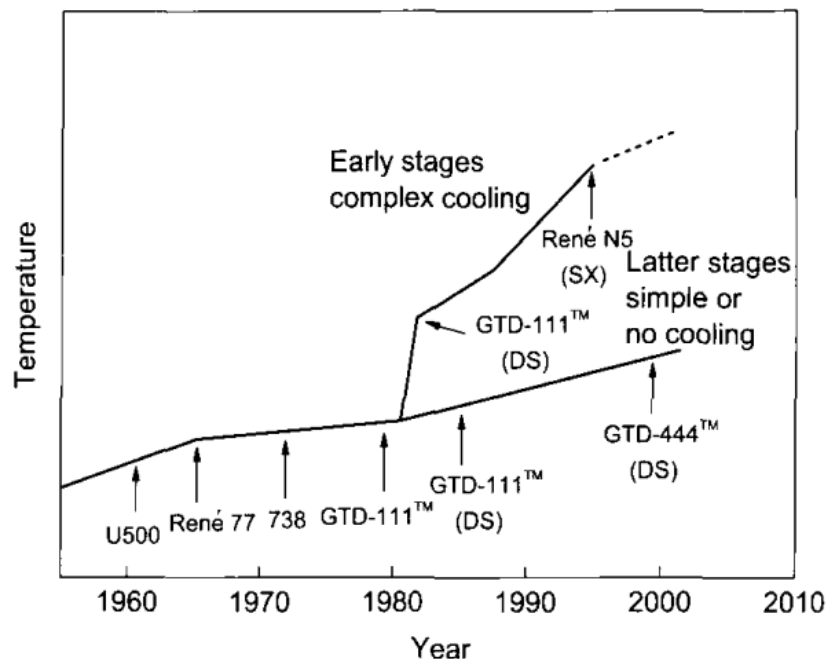
图表 70 我国燃气轮机高温合金的应用

型号		输出功率/MW	叶片材料
QD70	轻型	7	DZ411/DZ38G/K438
QD128	轻型	12.8	DZ22/K441/K438
QD168	轻型	16.8	K465
QC185	轻型	17.8	DZ125/K40M/K444
QC400	中型	25	K444/K452
R0110	重型	110	K444/K452

资料来源：《高温合金在能源工业领域中的应用现状及发展》，华安证券研究所

工业燃气轮机用高温合金具有更为良好的耐热腐蚀性能、长期组织稳定性、蠕变寿命和铸造工艺性能。与航空发动机叶片材料相比，工业燃气轮机叶片的工作环境要恶劣得多，其环境大多含硫、钠等杂质，易造成热腐蚀，对高温合金部件破坏作用极大；燃机叶片寿命通常达几万乃至几十万小时，承受基本载荷的时间长；重型燃气轮机叶片尺寸大、质量大。因此，航空发动机涡轮叶片和工业燃气轮机涡轮叶片材料各自成体系，但也有交叉之处。

图表 71 工业燃气轮机涡轮叶片合金的发展

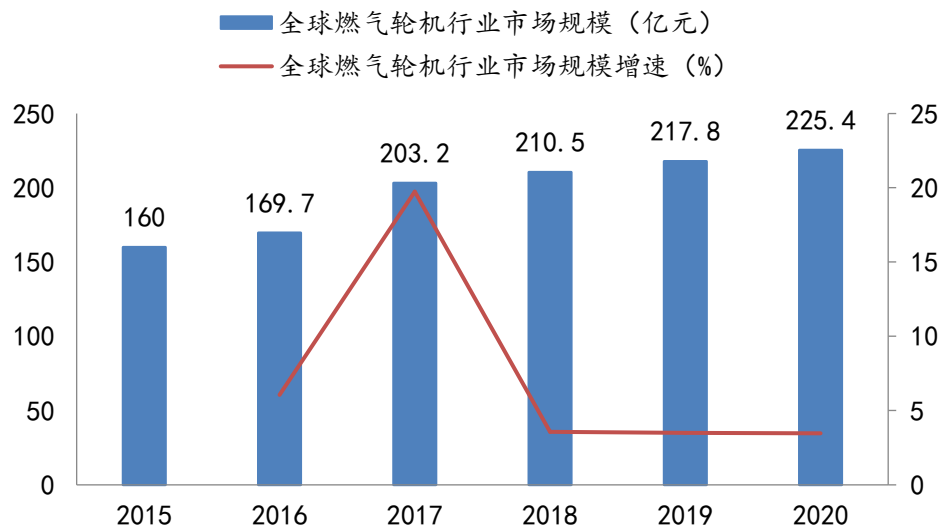


资料来源：《高温合金在能源工业领域中的应用现状及发展》，华安证券研究所

《财富》（Fortune）商业观察（Business Insights）最新报告摘要显示，全

球工业燃气轮机市场预计将每年增长，到 2026 年将达到 102.3 亿美元，预计未来七年将以每年约 1.4% 的速度增长。燃气轮机对于涡轮叶片的需求包括新增与更新两部分。新增需求方面，一台燃气轮机涡轮工作叶片共分为 3 级，每级拥有涡轮工作叶片数量约 92 片，合计 276 片。导向叶片同样分为 3 级，合计 108 片。以重型燃气轮机的 1 级涡轮为例，海外供应商涡轮工作叶片的单片成本（单晶）约为 40 万元，售价达到 100 万元/片左右。更新需求方面，一台燃气轮机中，各级叶片的平均使用时间为 1.5 万小时~2.4 万小时，一般情况下正常使用 2 年后进入替换周期。平均来说，一台燃气轮机每年需要的涡轮工作叶片备件约 110 片、导向叶片备件约 60 片。通常情况下，每千瓦燃气轮机发电装置的投资额约为 3000 元。

图表 72 2015-2020 年全球燃气轮机行业市场规模统计及增长情况



资料来源：前瞻产业研究院，华安证券研究所

图表 73 我国燃气轮机高温合金的应用

部位		国内主要厂家情况
燃烧室	陶瓷片	进口
	气阀	进口
	控制系统	哈电实现国产化
	气压机	进口
透平	透平叶片	进口

资料来源：《高温合金在能源工业领域中的应用现状及发展》，华安证券研究所

轻重型燃气轮机当前国产化零部件价值不到 70%，F 级、E 级燃气轮机热端部件均依赖进口。尽管我国现已具备轻型燃机(功率 5 万千瓦以下)自主化能力，但重燃(功率 5 万千瓦以上)仍基本依赖进口，技术基本被美国 GE、日本三菱、德国西门子等国际厂家垄断，国内市场存在被“卡脖子”的风险。作为动力机械领域“皇冠上的明珠”，国家非常重视燃气轮机的国产化。为加快推进燃气轮机产业创新发展，国家发展改革委和国家能源局联合印发《依托能源工程推进燃气轮机创新发展的若干意见》，并组织了第一批燃气轮机创新发展示范项目，力争在 2022 年前完成技术装备攻关和项目建设，我国燃气轮机产业长期以来依赖进口的关键核心技术将逐步

实现国产化。

2.2 碳中和催生核电近万吨需求

高温合金主要用于核电站反应堆、水堆蒸汽发生器传热管，元件价格和压紧弹簧价值约占核电设备投资的 8%，100 万千瓦机组约需要 140-150 吨。核电站的核心是反应堆，由堆芯、反射层、控制棒、堆容器和屏蔽层组成。商业发电最多的是压水堆核电站，反应堆内的自持核裂变反应放出的能量以热能形式被一回路循环水带出，冷却剂流出反应堆后进入蒸汽发生器内数以千计的传热管，通过他们把一回路水带出的热量传给二回路水，使其沸腾产生蒸汽送入汽轮机中，随之通过膨胀做功驱动汽轮机叶片高速旋转进而带动发电机发电。一般而言，蒸汽发生器及过热器中的温度在 340-450℃，且为高浓度碱性水蒸汽，因而对材料的屈服强度及耐蚀性提出了极高的要求。

图表 74 核电设备中高温合金的应用

型号	高温合金牌号
沸水反应堆	In600、InX-750、Haynes25
压水反应堆	In600、In675、In800、In690、In718
钠快冷堆	In800、InX-750
HTGB	In600、In675、In800、In X-750、In718、Hastelloy B
多用途高温气冷反应器	In625、In617、In800、In 807、Hastelloy X

资料来源：《核电用镍基合金组织与性能研究》，华安证券研究所

图表 75 核电用镍基合金名义成分及标准态相组成

牌号	名义成分	标准态相组成	长期服役相转变
Incoloy 800	0Cr21Ni33AlTi	γ γ' M23C6	$\gamma' \rightarrow \eta$, TCP
Inconel 600	0Cr15Ni75	γ Cr7C3 TiC	Cr7C3 $\rightarrow$ M23C6, TCP
Inconel 617	0Cr22Co13Ni52Mo9AlTi	γ γ'' M6C	$\gamma' \rightarrow \eta$
Inconel 625	00Cr21Ni60Mo9Nb4	γ γ'' NbC	$\gamma' \rightarrow \delta$, M6C, TCP
Inconel 690	00Cr29Ni60	γ M23C6	TCP
Inconel 718	00Cr19Ni52Mo3AlTiNb5	γ γ'' δ NbC	TCP, $\gamma' \rightarrow \delta$, M23C6
Hastelloy X	0Cr22CoNi50Mo9W	γ M6C	TCP

资料来源：《核电用镍基合金组织与性能研究》，华安证券研究所

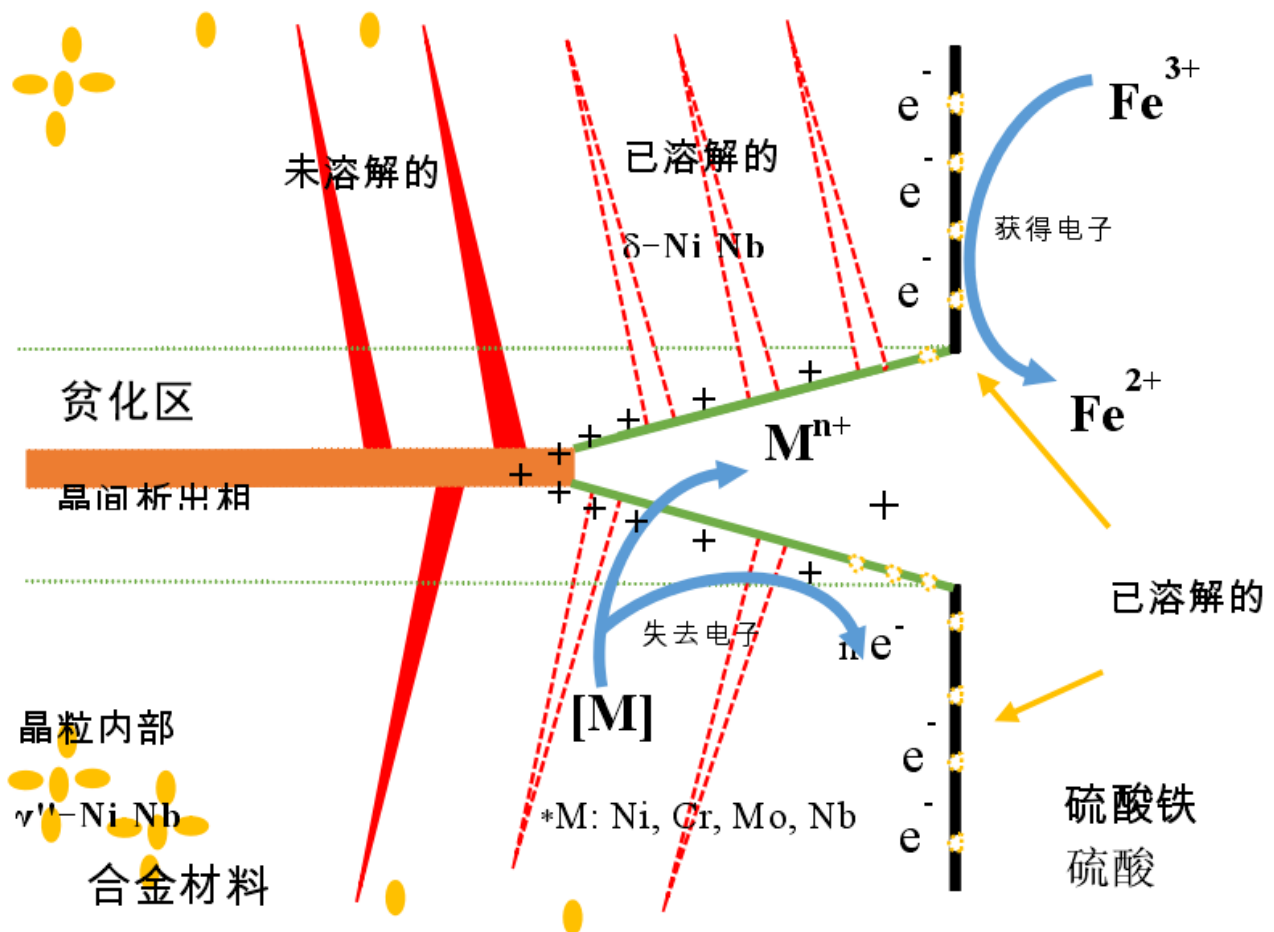
图表 76 核电用镍基合金 1000 小时持久强度

牌号	1000 小时持久强度 (MPa)			
	649℃	704℃	760℃	916℃
Inconel 600	195	90	63	43
Inconel 617	360	220	165	97
Inconel 625	370	240	160	90
Inconel 690	100	64	41	—
Inconel 718	595	365	195	—
Hastelloy X	215	150	100	69

资料来源：《核电用镍基合金组织与性能研究》，华安证券研究所

自 1954 年第一座核电站—前苏联奥布灵斯克核电站建成，在过去的 60 年里，国际上已经成功开发出了三代核电站。第二代核电技术广泛商业化，现运行的核电站大多为此技术。能够满足美国“先进轻水堆型用户要”和“欧洲用户对轻水堆型核电站的要求”的核电站为第三代核电技术，其效率及安全性进一步提高，其中代表性的为美国 AP1000、法国 EPR。2001 年，美、英、日、法等 10 个国家签署协议，正式成立了“第四代核能系统国际论坛(GIF)”，决定联合开发新一代核能系统。第四代核能系统的先进性指标将超越前三代，预计在 2030 年前后可达到工业应用水平。我国已引进美国第三代 AP1000 核电技术，并建设浙江三门核电站；清华大学核研院成功研发了第四代高温气冷堆，并联合华能集团、中核建集团建设了荣成石岛湾核电站。随着核电技术的发展，核电站的安全性和发电效率不断提升，一回路和蒸汽发生器内的过热度不断提高。第三代 AP1000 一回路水可达 360°C/17.2MPa，第四代超临界水冷堆和高温气冷堆蒸发器内将达到 560°C/24MPa。一回路水进入蒸发器内传热管，将热量传递给二回路水产生蒸汽，最终带动汽轮机高速旋转发电。蒸发器的安全工作核电站正常运转的保证。

图表 77 第一代核电用 Inconel 625 浸蚀过程溶解示意图



资料来源：《核电用镍基合金组织与性能研究》，华安证券研究所

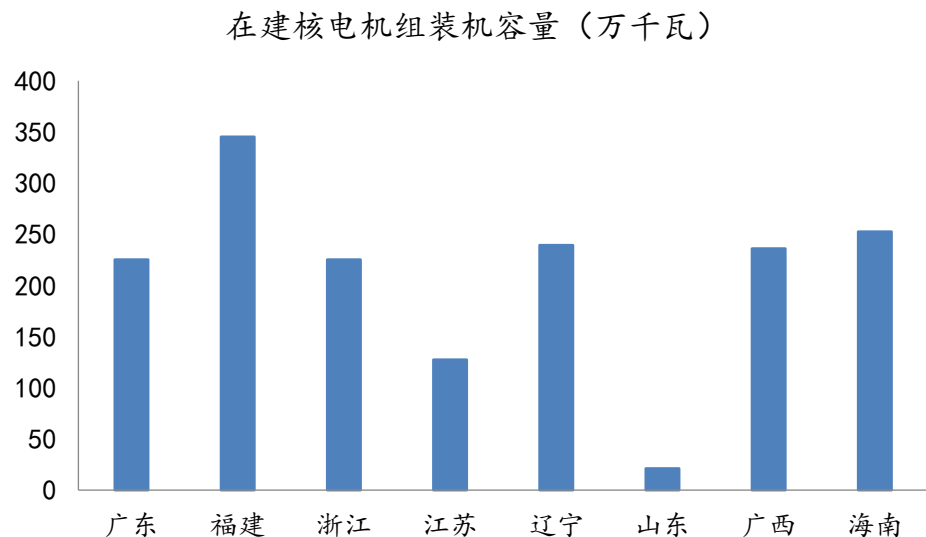
国外反应堆蒸发器选材经历了三个阶段：第一代核电技术主要选用 304 或 316

不锈钢管；第二代核电技术选用了铁镍基合金 Incoloy 800 (0Cr21Ni33AlTi) 和镍基合金 Inconel 600 (0Cr15Ni75)；第三代核电技术选用了镍基合金 Inconel 690 (00Cr29Ni60) 德国多数核电站及我国秦山核电站采用了 Incoloy 800 合金，法国多数核电站、我国大亚湾核电站、秦山二期、岭澳核电站及大部分在建的核电站均采用了 Inconel 690 合金。这些合金在服役期间都出现了应力腐蚀问题，第四代核电技术更苛刻的服役条件，也对蒸发器材料提出了更高的要求。

预计 2021 年核电高温合金的需求量在 2000 吨左右。为保证我国能源的长期稳定供应、保障国家能源安全，核能是必不可少的替代能源。随着我国治理雾霾力度加大，核电作为高效率清洁能源，其发展迎来契机。新华社 2021 年 3 月 13 日受权发布《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》(以下简称“十四五”规划)，针对核电定调：“安全稳妥推动沿海核电建设”。

“现代能源体系建设工程”专栏对未来五年核电发展的技术选型、核燃料循环等进一步指明方向：建设华龙一号、国和一号、高温气冷堆示范工程，积极有序推动沿海三代核电建设。推动模块式小型堆、60 万千瓦级商用高温气冷堆、海上浮动式核动力平台等先进堆型示范。根据中国核能行业协会数据，截至 2021 年底，我国在建核电机组 16 台，总装机容量 1750.779 万千瓦。

图表 78 2021 年我国在建核电情况



资料来源：国际电力网，华安证券研究所

碳中和概念的出炉，无疑加速了核电的发展，预计未来十年核电高温合金的增量空间在七千吨左右。中国已承诺在 2030 年前实现碳达峰，可再生能源（风电、光伏）总装机容量达到 12 亿千瓦；非化石能源占一次能源消费比重达到 25%。另两种非化石能源是水电和核电。因主要河流梯级选址有限和生态顾虑，水电规模扩张已经放缓，因此核电将是达到 25% 目标的关键之一。国际电力网预测，到 2030 年，核电发电量预计将占一次能源需求的 4%，总装机容量接近 1 亿千瓦，因而未来核电高温合金的增量空间预计在七千吨左右。

2.3 化工新能源有望开辟新战场

由于石化设施设备对安全可靠性要求较高，且大多运行在高温、高压和高腐蚀

等恶劣工况下,对在该环境下的不锈钢管相关性能有着较为严苛的要求。因此,耐高温、耐高压、耐高腐蚀的高温合金是石化设施设备中重要的基础部件,尤其在油气开采及炼油厂的烟气轮机中。

图表 79 石化设备中高温合金的应用

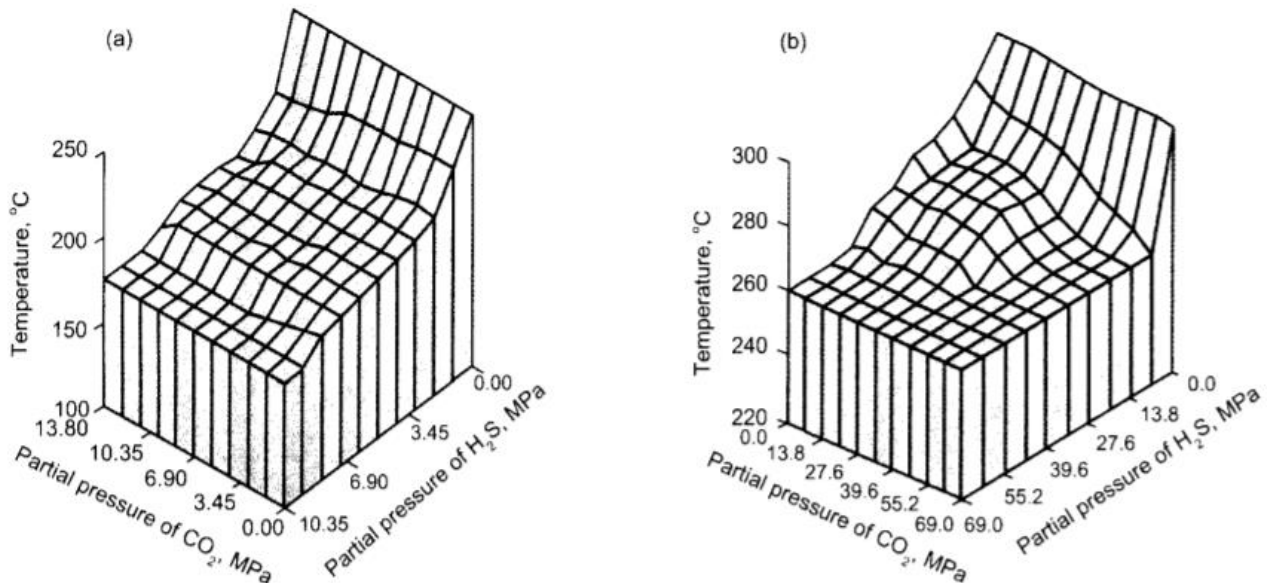
型号	高温合金牌号
油气开采	In718、In600、Incoloy625、Incoloy725、Incoloy825、Incoloy925、Incoloy945、IncoloyG-3、IncoloyG-276
烟气轮机用高温合金	GH2132、GH4738、K213

资料来源:《高温合金在能源工业领域中的应用现状及发展》,华安证券研究所

● **油气井**: 深井环境中条件恶劣,长期处于低 PH 值的酸性环境,每升溶液中最可含有 300g 氯化物。除此之外,深井空气中还可能会存在硫化氢、二氧化碳等,最大气体分压可达 14MPa,在 0-218℃环境中许多材料都无法适用,目前应用最多的依然是镍基高温合金。

● **烟气轮机**: 炼油厂催化裂化装置能量回收系统的核心机组,其中的烟气具有 98-196kPa 的压力及 650-750℃的温度,目前海外多用镍基合金,国内也常用钴基合金及铁基合金。

图表 80 Incoloy 825 (a) 和 Incoloy 276 合金在二氧化碳/硫化氢环境中的耐腐蚀性

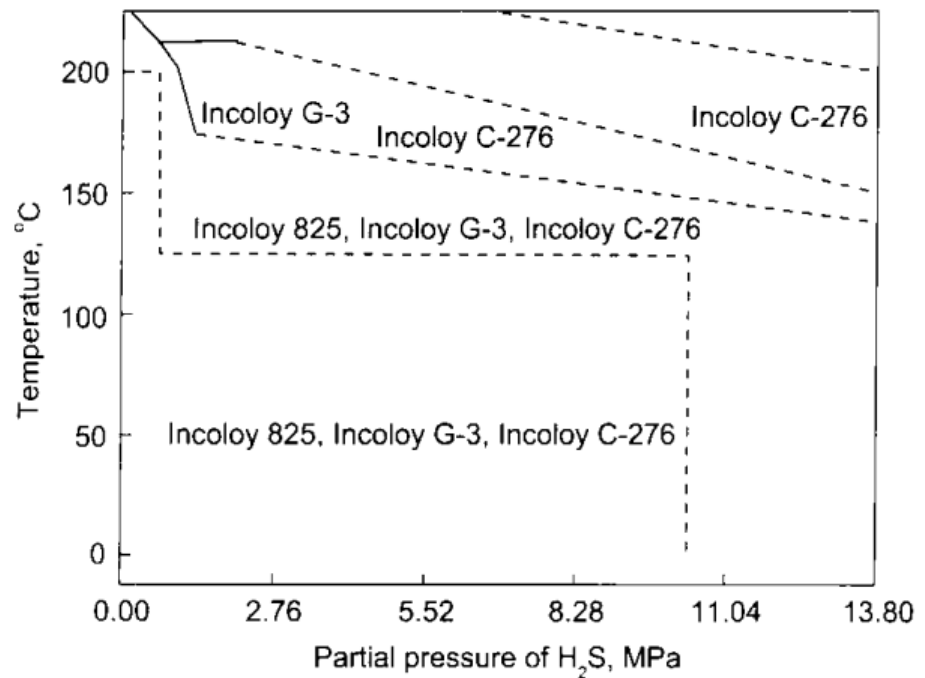


资料来源:《高温合金在能源工业领域中的应用现状及发展》,华安证券研究所

我国石油目前进口缺口依然巨大,高品质油气开采正日益转向超深油气、页岩油气、深水油气、煤层气等领域,高温合金的需求有望持续提升。2020 年 12 月,中国石化集团经济技术研究院有限公司及伍德麦肯兹咨询公司发布了《2021 中国能源化工产业发展报告》,指出“十四五”期间国内勘探开发投资持续加码,确保近 2 亿吨的石油产量和 5%左右的国产气增速。石油和天然气开采业作为能源工业,是我国重要的基础产业和支柱产业,在国民经济中具有极其重要的地位。其中 2021 年中国

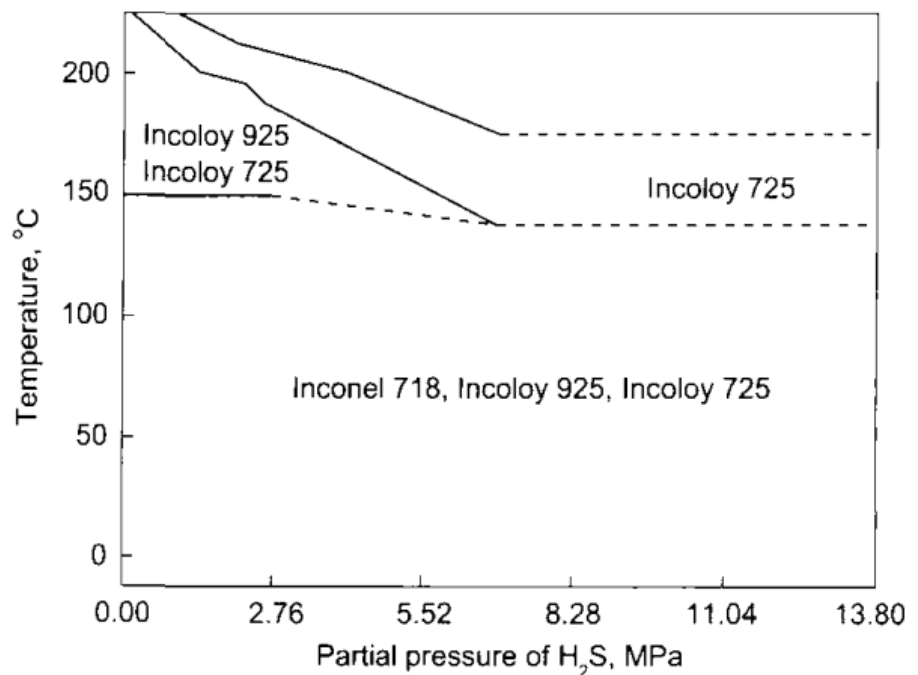
石油和天然气开采业单位数为 145 个,比 2020 年增加 20 个,行业营业收入为 9112.3 亿元,同比增长 36.5%, 预计高温合金的需求将持续增长。

图表 81 根据油气井环境选用冷加工强化的镍基高温合金



资料来源:《高温合金在能源工业领域中的应用现状及发展》, 华安证券研究所

图表 82 根据油气井环境选用热处理强化的镍基高温合金

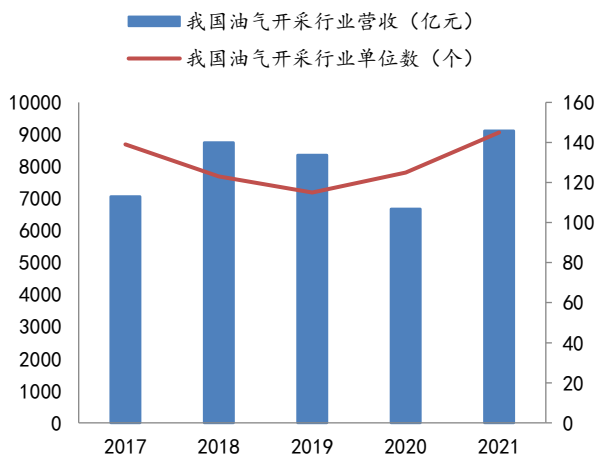


资料来源:《高温合金在能源工业领域中的应用现状及发展》, 华安证券研究所

炼化装备升级转型关键期或将成为高温合金未来主战场。中国炼化行业将瞄准

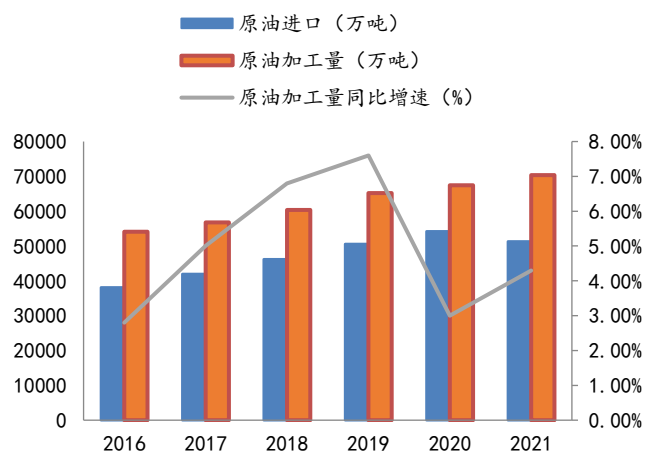
转型升级、高质量发展。一是加快炼油结构调整。以先进产能淘汰落后产能；提升炼化一体化、合并减油增化，利用多产低碳烯烃和化工原料；与新能源汽车产业融合发展，将加油站转变为“油气电氢”综合能源补给站。二是实现化工差异化、高端化发展。优化烯烃产业链结构、提高芳烃产业链竞争力、突破高端材料技术瓶颈；拓展化工原料多元化渠道，提升价值链空间。三是要重视技术创新，包括重油加工转化技术、高端化工材料生产技术、塑料循环利用技术、炼化企业数字化技术（包括原油分子信息库、智慧供应链、物流能量管理与优化、设备运行优化系统和智慧加油站等）。近五年原油加工量稳步提升，2020 年达到 6.7 亿吨，四年复合增速达到 6.2%，伴随炼油设备更新换代，高温合金的需求有望释放。

图表 83 近六年我国油气开采行业营收及单位数量



资料来源：国家统计局，华安证券研究所

图表 84 近六年我国原油进口、原油加工情况



资料来源：国家统计局，华安证券研究所

3 供给端：中游寥若晨星，返回件领域格局未定

美国和英国等国从 20 世纪 30 年代后期就开始研究高温合金。在第二次世界大战期间为了满足新型航空发动机的需要，高温合金的研究和使用进入了高速发展。

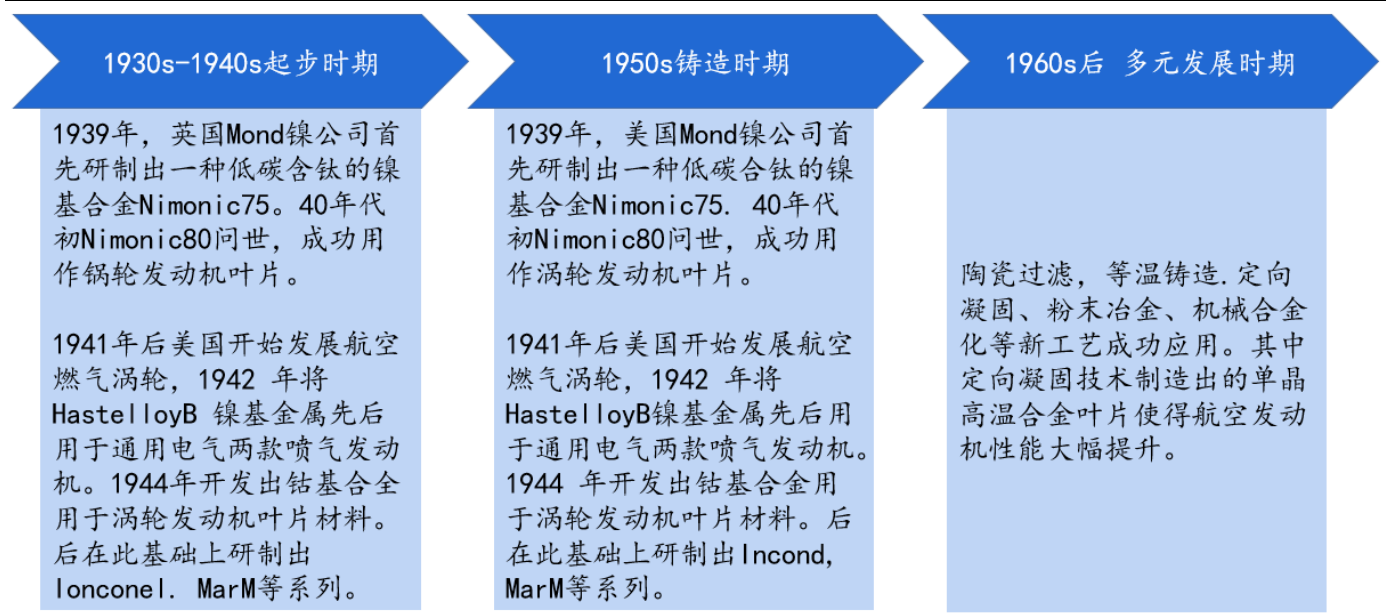
图表 85 海外主要的高温合金企业

国家	企业	基本情况	主要产品
美国	通用电气公司	通用电气是世界三大航空发动机厂商之一，通用电气掌握第二代单晶叶片 RenN5, 广泛用于航空发动机领域。	RenN5
美国	普拉特-惠特尼公司	美国最大的两家航空发动机制造公司之一，世界主要的航空燃气涡轮发动机制造商之一。掌握第二代单晶高温合金 PWA1484。	第二代单晶高温合金 PWA1484
美国	佳能-穆斯克贡公司	美国著名的高温合金生产公司，熔模铸造合金的全球领导者，生产等轴、定向凝固和单晶的镍基和钴基合金，以及用于熔炼应用的气熔结合合金。拥有单晶和定向凝固合金产品线，包括 CM Alloy 品牌的 CMSK-4(高温单晶高温合金)。	CM 合金和 CMSK 单晶高温合金系
美国	汉四斯·司蒙特公司	专业从事耐腐蚀和耐高温的航空航天合金，化学处理和工业燃气轮机行业。Haynes 产品用于当今几乎所有商用飞机的零件，以及用于美国及同盟国的军用飞机的零件。	Haynes 系列
美国	卡彭特公司	一家专业生产特殊化工产品 and 特种化工材料的全球性跨国公司。其经营范围包括炭黑、气相法二氧化硅、喷墨墨水颜料色浆、特种金属材料、纳米胶、塑料色母粒以及特种钻井流体等。	Carpenter41 等
美国	国际四科合金公司	世界上最先生产与开发可锻和可机加工的高性能镍合金的厂家。	Inconel 合金系、Incoloy 合金系、IN 合金系
美国	特殊金属公司	全球领先的镍合金和钴合金的发明者，开发者和生产商，其产品组合包括 100 多种合金成分，锻进产品和焊接材料广泛应用于石油开采、航空航天、发电，一般工业等领域。	Udimet 合金系
英国	罗尔斯·罗伊斯公司	英国著名的航空发动机公司，欧洲最大的航空发动机企业。定向凝固和单晶合金 SRR90、SRR2000 和 SRR2060 等高温合金主要用在航空发动机制造方面。	SRR90、SRR2000 和 SRR2060
英国	国际镍合金集团	世界最早高温合金的国家之一，铸造合金技术世界领先，目前研究定向凝固和单晶合金，主要用于航空发动机。	Nimonic、Nimocast 合金
日本	JFE 钢铁株式会社	是世界上第二大钢铁集团，多项技术代表世界钢铁行业的最高水平，能够独立生产高温合金钢管。	镍基单晶高温合金
日本	日本新日铁住金株式会社（现日本制铁株式会社）	世界大型钢铁公司之一，其担钢产量为日本第一，同时仅次于安赛乐米塔尔位居世界第二名。	AH 系列高温合金、耐腐蚀镍合金

资料来源：中国产业信息网，华安证券研究所

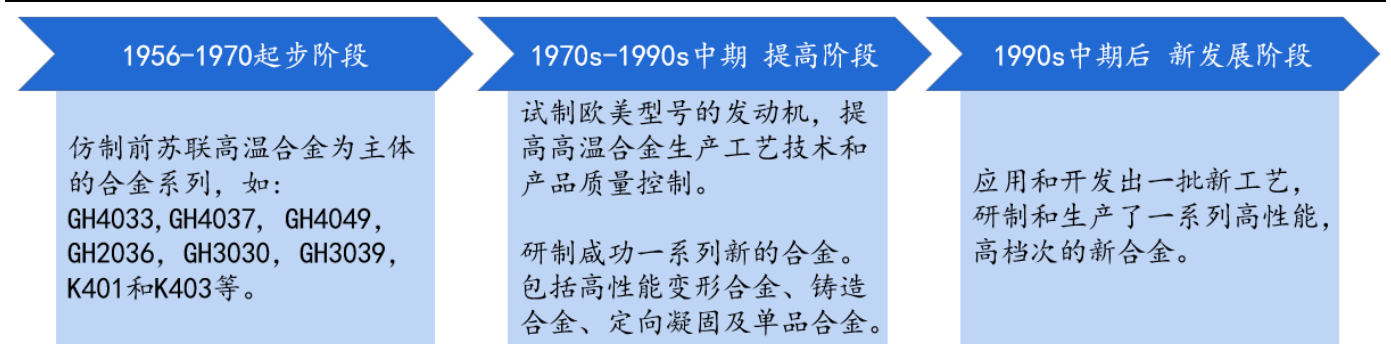
40年代初，英国研制出首例具有高温强度的镍基合金，并且美国在同一时期研制出钴基合金以满足活塞式航空发动机用涡轮增压器发展的需求。在多年的发展下，为适应航空发动机和其它领域对材料的耐热温度不断提高的需要，多种新型生产工艺和高温合金种类被研制出来。目前，从全球范围来看，美国、英国、俄罗斯、日本和中国等国家具备完整的高温合金研发和生产体系。

图表 86 海外高温合金发展历程



资料来源：中国产业信息网，华安证券研究所

图表 87 国内高温合金发展历程



资料来源：中国产业信息网，华安证券研究所

美国在高温合金研发以及制造方面一直居于世界领先地位，拥有多家具备独立研发生产能力的高温合金企业，包括能够生产航空发动机用高温合金的通用电气和普特拉-惠特尼公司。另外，英国的高温合金铸造技术也居世界一流水平，美国航空发动机公司罗尔斯罗伊斯也研制出定向凝固合金和单晶合金。日本高温合金企业也拥有先进的研发能力和技术水平，包括 JEF 钢铁株式会社和新日铁住金等在内的日本企业在镍基单晶高温合金、镍基超塑性高温合金和氧化物晶粒弥散强化高温合金方面取得较大成绩，并且仍致力于研发新型高温合金。

我国的高温合金的研发生产起步较晚，从 1956 年开始仿制到目前的独创研发已

经历了六十多年。从 1956 年至 20 世纪 70 年代初，我国高温合金发展处于创业和起始阶段，在本时期我国主要仿制前苏联高温合金为主体的合金系列，包括 GH4033、GH4037、GH4049、K401 和 K403 等。此外，我国还针对缺少镍铬资源的情况研制出铁镍基高温合金来进行替代。从 20 世纪 70 年代中至 90 年代中期，我国高温合金行业进入提高阶段。本阶段，我国在仿制欧美发动机的过程中引进一系列欧美体系的合金和技术，按照国外的技术标准进行研发和生产，并且参照国外的技术规范加强质量控制和检测流程。研发成果方面，我国研制出包括高性能变形高温合金、定向凝固合金和单晶合金在内的新合金类型。从 20 世纪 90 年代中至今是我国高温合金的新发展阶段。这段时期，我国独立开发并应用新的生产工艺，并且研制和生产具备高新能的高温合金，包括氧化物弥散强化高温合金、粉末高温合金、单晶高温合金等。

3.1 国内高温合金新材料各企业正独领风骚

国内现从事高温合金材料及高温合金精密铸件生产的企业数量有限，主要是基于国家在计划经济时期规划的高温合金生产基地和研发基地，以及一些原航空工业配套高温合金铸件的专业铸造单位。一类是以抚顺特钢、宝钢特钢、长城特钢等特钢企业为主的大型钢铁厂变形高温合金生产基地；另一类是以钢研总院、中科院金属所、北京航材院为代表的研究、生产基地，如钢研高纳、中科三耐等。

供给端上市公司方面，高技术难度及严格的准入资质为高温合金构建了两道坚实的壁垒。西部超导位于高温合金铸锻领域。由于军工体系的高准入标准，目前从事变形高温合金的企业主要有 ST 抚钢、钢研高纳、图南股份及西部超导，从事铸造高温合金的企业有钢研高纳、图南股份、应流股份、炼石航空及万泽股份，从事粉末高温合金的企业有钢研高纳及西部超导。

高温合金的市场目前主要定位于航空航天等军工领域，而武器装备科研生产及材料配套流程时间周期较长，定型后基本不会更换材料及设计方案，严格的准入资质有助于加高端高温合金行业壁垒。

军用航空材料的开发通过参与军工配套项目的形式进行，一般而言，从资质认证、参与预研到正式实现规模生产和批量供应，需要至少 6-7 年时间。此外，军工企业在进行供应商筛选时，优先考虑可控：质量可控，供应可控，然后才考虑性能指标（满足设计要求前提下择优）因素。

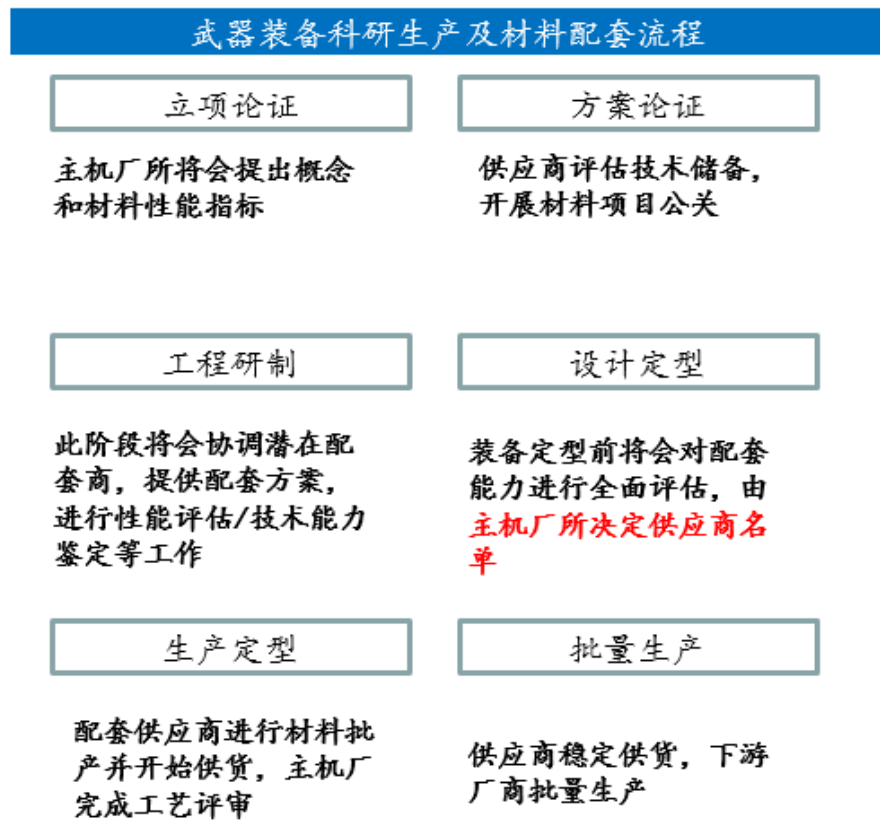
- **质量可靠性**，航空航天军工产品由于要实现长达数十年的服役周期，质量管控极为严格，使用单位对原材料的可靠性极为重视。
- **供应稳定性**，军品研制过程的关键是技术状态控制，装备结束研制阶段后会进行设计定型，定型方案中会细化到具体原材料的型号和供应商。因此，已经设计定型的武器装备大多会一直使用选定的原材料和对应的供应商，直至新项目立项或该型号停产。
- **性能先进性**，航空航天及军工领域的指标通常由设计单位给出，由于装备研制的特点，对先进技术使用有比例限制，因此量产型号通常优先考虑技术成熟度而不是技术先进性。定型后的武器装备在没有新的研制项目时不会随意更换性能更好的原料。

图表 88 国内主要高温合金厂商对比

类别	公司名称	产品	产品特点	牌号
第一类 科研院所转 自主生产， 强高温合金 材料自主研 发能力及铸 造合金冶炼 能力	钢研高纳	铸造高温合金	国内唯二可生产单晶叶片，布局全部在研及批产航空发动机型号，航空领域市占率约为 40%，航天弹用结构件方面市场占有率超过 90%	K130、K242、K403、K414、K417、K418、K423、K423A、K424、K438、K477、K480、K488、K487、K640、K825、K4002、K4104、K4169、K4202、K4537、K4648、DZ410、DZ417G、DD402 等
		变形高温合金	承担 75%以上国家层面变形高温合金研发项目，牌号占比全国类型 80%以上	GH4169、GH4698、GH4708、GH4742、GH4065、GH4141、GH4586、GH4706、GH4742、GH4968 等
		新型高温合金	牌号占比全国类型 80%以上，粉末高温合金占据市场主导地位	FGH4095、FGH4096、FGH4097、FGH4091、FGH4098、MGH6000、MGH760、MGH957 等
	北京航材院	铸造高温合金	国内唯二可生产单晶叶片，还可定制汽车涡轮盘	/
	中科三耐	铸造高温合金	发动机空心涡轮叶片及燃气轮机叶片极具优势，侧重基础理论研究	/
第二类 钢企转型， 有较强的合 金锻造能力	ST 抚钢	变形高温合金	镍基高温合金产品处于国内领先地位，主打大尺寸难变形高温合金涡轮盘，主用于航空发动机及核反应堆	GH3230、GH4080A、GH4049、GH4098、GH4099、GH4413、GH4133B、GH4145、GH4169、GH4698、GH4738、GH4742、GH4220、GH4141、GH4163、GH4169（IN718）、GH4600、GH6605、GH4720Li、GH4738（Waspaloy）等
	宝钢特钢	变形高温合金	民品占比高，军用以 GH4169 等发动机盘锻件为主打产品	/
	齐齐哈尔钢厂	变形高温合金	主营民用高温合金	GH4033、GH4037、GH4049、GH4133、GH4169 等
第三类 新进入者， 民营企业起 步晚，技术 积累薄弱， 市占率较小	图南股份	铸造、变形高温合金	国内航空发动机用大型复杂薄壁高温合金结构件的重要供应商，国内飞机、航空发动机用高温合金和不锈钢无缝管的主要供应商	GH4080A、GH4169、GH3625、GH2132、GH4145、GH4033、GH4090、GH4133、GH2901、GH2036、GH1035、GH1140、GH2150、GH2696、GH1143、GH3128、GH4163、GH4648、GH4751、GH4738 等
	西部超导	铸造、变形、粉末高温合金	“两机”重大专项用高性能镍基高温合金	GH4169、GH4738、GH4698、FGH4097 等
	应流股份	铸造高温合金	航空发动机和燃气轮机高温合金热端部件，产品有等轴晶叶片、定向单晶叶片	/
	炼石航空	铸造高温合金	含铼高温合金	/
	万泽股份	铸造、粉末高温合金	粉末合金盘合格率达 100%，国内领先水准	/

资料来源：公司公告，公司专利，产业信息网，华安证券研究所

图表 89 武器装备科研生产及材料配套流程



资料来源：各公司公告，华安证券研究所

- **变形高温合金领域**，抚钢、钢研高纳、图南股份及西部超导技术路线各不相同，每家企业均开发独特工艺来提升产品性能。西部超导更多基于钛合金的熔炼经验，建立起了数字化熔炼体系，以更快的完成合金成分设计及锻造工艺改进，可大幅提高生产效率、降低容错率，一定程度上可降低成本。考虑到项目投产后产能逐步释放，西部超导有望成为国内仅次于抚钢的第二大变形高温合金供应商。
- **铸造高温合金领域**，钢研高纳、图南股份、万泽股份、应流股份均有相关产品，但各家技术路线差异巨大。

钢研高纳承接了多家主机厂和设计所多种新产品的研发任务。在某大尺寸型号单晶合金及涡轮叶片上突破核心制备工艺，具备批量交付生产能力。此外，子公司河北德凯作为公司轻质合金熔模铸件的研发生产基地，拥有 AS9100D 体系、CNAS 认证，建立了独立的质量体系，布局近乎全部的在研及批产航空发动机型号，为开拓国际市场提供了保障。

图南股份建立了完善的大型复杂薄壁件的精密铸造体系，形成了先进的近净型熔模精密铸造技术，在国内率先实现直径大于 1000mm、壁厚小于 2mm 的大型高温合金精铸件批量生产，铸件尺寸精度高、加工余量小、壁厚薄，形成了为航空发动机制造企业稳定供货的能力

应流股份高温合金叶片精密铸造项目通过全资子公司安徽应流集团霍山铸造有限公司实施，项目建成后将形成年产 20 万件高温合金叶片，主要应用于航空发动机

和燃气轮机领域，产品包括等轴晶叶片、定向单晶叶片、钛铝叶片等。项目总投资额 117680 万元，项目建设周期 2 年。公司已经取得 AS9100 国际宇航资质，关键工序通过 NADCAP 国际认证，并已获得国内航空发动机高温合金叶片等部件承制单位资格。

万泽股份已建立超高纯度高温合金熔炼核心技术体系，主要生产镍基高温母合金，该产品主要作为母材应用于镍基高温合金材料及构件的生产中。

- **粉末高温合金领域**，目前粉末高温合金的企业有钢研高纳和西部超导，西部超导的制粉设备及涡轮盘设备均为自主研发，并成功打破了国外垄断，成为国内拥有该类型设备制造能力的企业。凭借着 IPO 项目产能的逐步释放，西部超导有望冲击该领域龙头地位。除此之外，万泽股份也在深圳建立材料研究院，主要涉及粉末高温合金设计及母合金熔炼、高纯度低氧含量粉末制备以及热等静压包套设计、热等静压工艺设计优化、等温锻造等成型过程工艺路线设计、模拟工作；粉末高温合金构件服役状态模拟及失效分析；粉末高温合金热处理制度设计及优化；粉末高温合金构件寿命预测及损伤容限设计；粉末盘件延寿等，目前已具备小批量粉末冶金盘件制备生产能力。

图表 90 我国主要变形高温合金上市企业技术路线对比

公司	2020 年 销量 (吨)	熔炼		变形加工		热处理	产品应用 领域	产品形态
		相关设备	相关工艺	相关设备	相关工艺			
抚顺特钢	5800	1: 真空感应炉 2: 真空自耗炉 3: 气体保护电渣炉	大规格超高纯净熔炼技术	快锻机	大尺寸锻造技术	大型锻件快速退火	航空发动机、核电	棒、涡轮盘
钢研高纳	2500	1: 真空感应炉 2: 真空自耗炉 3: 电渣重熔炉 4: 水平连铸机	1: 高温合金低偏析冶炼技术 2: 纯净化精炼技术	1: 快锻机 2: 高温合金等温锻造系统	1: 大型坯料锻造流变稳定控制技术 2: 细晶坯料制备技术	均匀化退火	航空发动机、燃气轮机	轴锻件、涡轮盘
图南股份	1310	1: 真空感应炉 2: 真空自耗炉 3: 电渣重熔炉	1: 原料预处理 2: 高纯度钙质坩锅打结与冶炼 3: 复合脱硫	1: 拉丝机 2: 冷轧管机	1: 组织均匀性控制技术 2: 高精度无缝管材制造技术	高温扩散退火	航空发动机、燃气轮机及石油化工	棒材、丝材
西部超导	180	1: 真空感应炉 2: 真空自耗炉 3: 电渣重熔炉 4: Var 熔炼模型	1: 超纯净高温合金材料建设 2: 全流程高温合金制备工艺数值模拟技术	快锻机	1: “高低高”锻造技术 2: 多向锻造技术 3: 高频锻造技术	真空热处理	航空发动机、燃气轮机	棒材

注:1、多家上市公司 2021 年年报未披露，故采用 2020 年年报数据进行统一比较

2、其中钢研高纳变形高温合金销量按其营收占比进行估算，西部超导两机项目目前为小批量供应，认为现在高温合金产能来源于 IPO 项目，故销量按照变形高温合金募投产能占比估算

资料来源：各公司年报，华安证券研究所

图表 91 我国主要铸造高温合金上市企业技术路线对比

公司	2020 年销量 (吨)	熔炼		热处理	产品应用领域
		相关设备	相关工艺		
钢研高纳	6200	1: 真空感应炉 2: 真空自耗炉 3: 电渣重熔炉 4: 水平连铸机 5: 计算模拟软件	1: 双频熔炼搅拌技术 2: 提高生产效率 3: 集成化 CA 精密铸造技术 4: 大规格薄壁复杂结构铸造技术	真空热处理	航空航天发动机、烟气轮机
图南股份	646	1: 真空感应炉 2: 真空自耗炉 3: 电渣重熔炉	1: 纯净高温合金熔炼技术 2: 近净型熔模精密铸造技术	高纯氢气氛无氧化热处理	航空发动机、燃气轮机
万泽股份	2	1: 真空感应炉 2: 真空自耗炉 3: 电渣重熔炉 4: 材料基因组	高纯净度高性能熔炼技术	真空热处理	航空发动机、燃气轮机
应流股份	未披露	1: 真空感应炉 2: 真空自耗炉 3: 电渣重熔炉	1: 氩氧脱碳精炼 2: 真空氧脱碳精炼 3: 钢包吹氩精炼	真空热处理	航空发动机、燃气轮机
炼石航空	未披露	1: 蜡膜生产线 2: 真空定向凝固炉	单晶叶片一致性	真空热处理	航空发动机

注: 1、多家上市公司 2021 年年报未披露, 故采用 2020 年年报数据进行统一比较

2、应流股份及炼石航空未披露高温合金总产量, 故无法计算出相关销量

资料来源: 各公司年报, 华安证券研究所

图表 92 我国主要军用粉末高温合金生产企业技术路线对比

公司	2020 年销量 (吨)	固实工艺设备	热处理	产品应用领域
钢研高纳	1100	热等静压	梯度热处理	航空发动机
西部超导	60	航空级金属粉末涡轮盘坯制备设备	真空热处理	航空发动机
万泽股份	未披露	热等静压	真空热处理	航空发动机

注: 1、多家上市公司 2021 年年报未披露, 故采用 2020 年年报数据进行统一比较

2、钢研高纳粉末高温合金销量按其营收占比进行估算, 西部超导两机项目目前为小批量供应, 认为现在高温合金产能来源于 IPO 项目, 故销量按照粉末高温合金募投产能占比估算

资料来源: 各公司年报, 华安证券研究所

3.2 国内高温合金返回料企业将逐鹿中原

随着航空发动机及和燃气轮机工业的不断发展, 高温合金的使用量越来越多, 因此会产生大量返回料。为提高材料利用率、降低生产成本, 返回料已被应用于高温合金母合金的生产。高温合金返回料大体可以分为三类: 浇道、冒口和报废铸件。

钢研高纳在专利号 111534713 B 指出,定向高温合金 DZ4125,由于含有高含量的钴、钨、钽、铪等贵金属元素,新料母合金价格昂贵,达到 75 万元/吨,如果以含镍量 60%回收,返回料的价格仅为 5 万元/吨左右。目前返回料一般作为废品处理,一般仅能回收其中的镍元素,其它贵金属元素都浪费了,而且还会给下游产品(如不锈钢)的质量带来很大的不利影响。因此高温合金返回料的回收重新利用,大大提高了材料利用率,降低了资源浪费,具有非常重要的意义。

根据江苏美特林科特殊合金股份有限公司专利披露,目前,国际上著名的高温合金冶炼厂均大规模使用返回料,如 Special Metal、ATI、卡朋特公司、Rolls-Royce 等对常用的高温合金返回料的利用比例高达 85%以上,平均为 60%左右。在国内高温合金返回料处理和利用领域,抚顺特钢、宝钢特钢、长城特钢等可以利用内部产生的块状返回料,尚没有大规模将返回料用于真空级别的冶炼中,平均返回料的使用比例低于 20%。

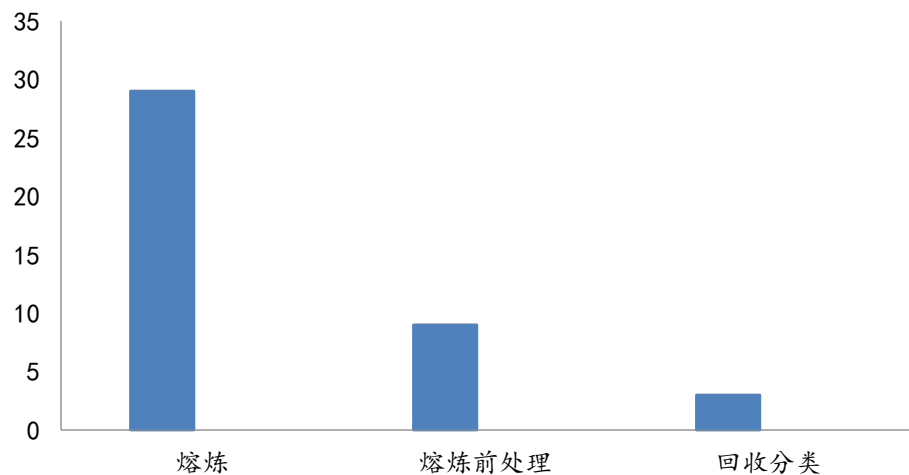
图表 93 专利角度看高温合金返回料企业专注领域(截止 2021 年年底)

企业	专利公开时间	专利号	专利提及的重点领域
中国科学院金属研究所;江苏金研新材料科技有限公司	2021-09-28	CN111304470B	不区分领域
北京科技大学;中航上大高温合金材料股份有限公司	2021-09-17	CN113020552B	不区分领域
北京科技大学	2021-11-16	CN113652564B	不区分领域
北京科技大学	2021-10-19	CN113512654A	不区分领域
中航上大高温合金材料股份有限公司	2021-09-03	CN113337742A	航空发动机
中国科学院金属研究所;江苏金研新材料科技有限公司	2020-06-19	CN111304470A	不区分领域
中国科学院金属研究所	2009-05-27	CN101440436	燃气轮机
中国航空工业第一集团公司北京航空材料研究院	2009-04-01	CN101397621	不区分领域
中国航发成都发动机有限公司	2021-08-13	CN113249584A	航空发动机
中国航发北京航空材料研究院	2020-10-13	CN111761007A	航空发动机
中国航发北京航空材料研究院	2020-07-07	CN111378848A	航空发动机
中国航发北京航空材料研究院	2018-05-01	CN107974566A	航空发动机
西安瑞鑫科金属材料有限责任公司	2015-06-03	CN104674298A	不区分领域
沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司	2016-03-23	CN105420524A	航空发动机/燃气轮机
沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司	2015-03-25	CN104451266A	航空发动机/燃气轮机
沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司	2012-01-11	CN102312113A	航空发动机
沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司	2011-03-30	CN101994020A	航空发动机
沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司	2011-03-30	CN101994021A	航空发动机
沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司	2010-06-02	CN101717865A	航空发动机/燃气轮机
沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司	2010-05-19	CN101709387A	航空发动机
沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司	2006-06-14	CN1786228	燃气轮机
江苏新华合金有限公司	2020-04-10	CN110983111A	核电站
江苏新核合金科技有限公司	2021-04-09	CN112626375A	石化
江苏美特林科特殊合金股份有限公司	2021-12-31	CN111823063A	航空发动机/燃气轮机
江苏美特林科特殊合金股份有限公司	2021-10-26	CN111621675A	不区分领域
江苏美特林科特殊合金股份有限公司	2021-09-10	CN113370084A	不区分领域
江苏美特林科特殊合金股份有限公司	2020-10-27	CN111823063A	航空发动机/燃气轮机
江苏美特林科特殊合金股份有限公司	2020-09-04	CN111621675A	不区分领域

江苏隆达超合金航材有限公司	2021-11-05	CN113600599A	航空发动机/燃气轮机
江苏隆达超合金航材有限公司	2020-12-11	CN112058797A	航空发动机/燃气轮机
江苏隆达超合金航材有限公司	2020-12-08	CN112048727A	航空发动机/燃气轮机
江苏奇纳新材料科技有限公司	2020-05-19	CN110408852B	不区分领域
抚顺特殊钢股份有限公司	2015-04-22	CN104532027A	火电
抚顺特殊钢股份有限公司	2015-04-22	CN104532063A	不区分领域
大连理工大学	2021-05-07	CN112760508A	不区分领域
大连理工大学	2021-05-04	CN112746177A	不区分领域
北京科技大学;中航上大高温合金材料股份有限公司	2021-06-25	CN113020552A	不区分领域
北京航空航天大学;北京航空航天大学苏州创新研究院	2019-08-09	CN110106374A	航空发动机/燃气轮机
北京钢研高纳科技股份有限公司	2020-10-16	CN111534713B	不区分领域
北京钢研高纳科技股份有限公司	2020-08-14	CN111534713A	不区分领域
北京百慕合金有限责任公司	2019-10-25	CN110373536A	不区分领域

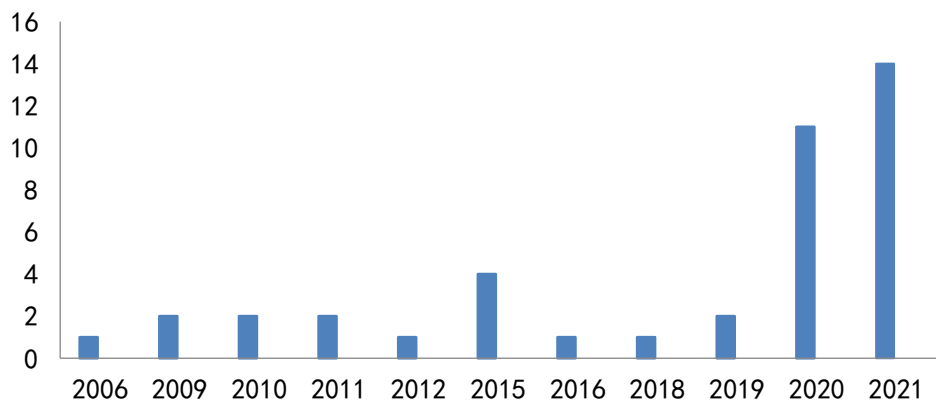
资料来源：中国知网专利搜索，华安证券研究所

图表 94 高温合金返回料技术专利按专注技术种类分类（单位：件）



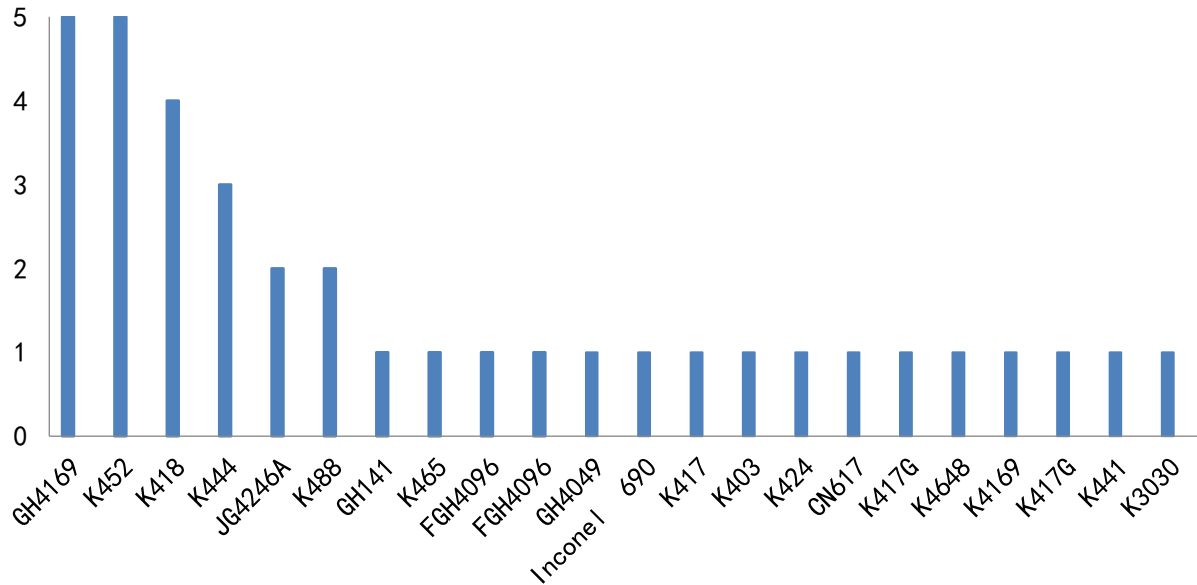
资料来源：中国知网专利搜索，华安证券研究所

图表 95 高温合金返回料技术专利按时间分类（单位：件）



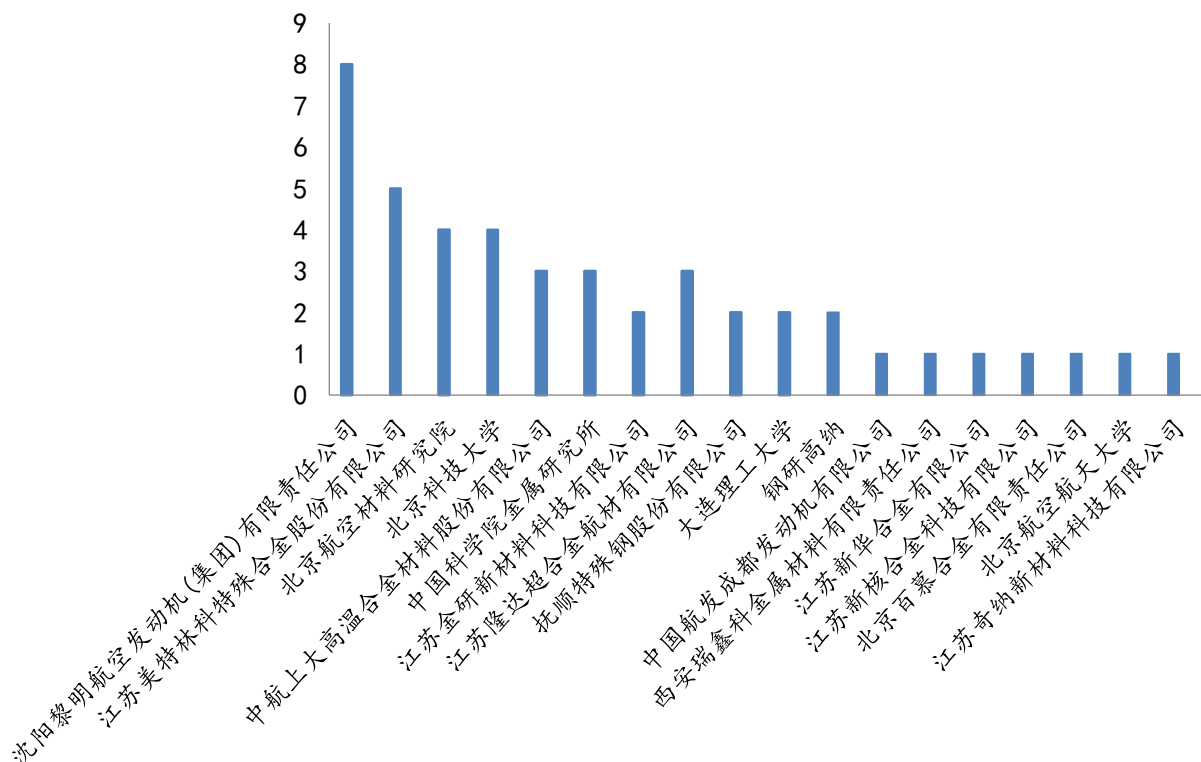
资料来源：中国知网专利搜索，华安证券研究所

图表 96 高温合金返回料技术专利按合金种类分类（单位：件）



资料来源：中国知网专利搜索，华安证券研究所

图表 97 高温合金返回料技术专利按公司分类（单位：件）



资料来源：中国知网专利搜索，华安证券研究所

以“返回料”为搜索关键词，知网显示一共 41 件涉及高温合金返回料专利。目

前高温合金返回料技术正处于各大企业专利布局的起步阶段，各企业专注领域依然有较大差异，各领域尚未出现绝对的龙头企业，因而各企业均有可能在各细分领域中逐步布局并成长为龙头企业。

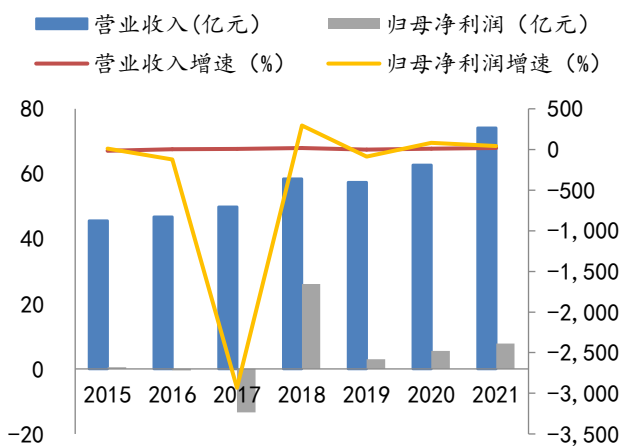
- 技术领域方面，熔炼过程备受关注，一共有 29 件专利涉及此领域；
- 时间上，2020 年及 2021 年（截止至 2021 年 10 月 17 日）是高温合金返回料专利申请井喷的两年，2019 年前国内总计仅有 16 件专利，2020 年及 2021 年一共有 25 件专利；
- 合金种类上，GH4169 牌号所涉及专利最多，一共有 5 件专利涉及，其次是 K452 合金及 K418 合金，分别有 4 件专利涉及；
- 数量上，沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司拥有专利数量最多，已申请 8 项专利，上市公司中抚顺特钢及钢研高纳均有 2 件，未上市公司中航上大则拥有 3 件。

4 高温合金重点关注公司

4.1 抚顺特钢：老牌钢企涅槃重生

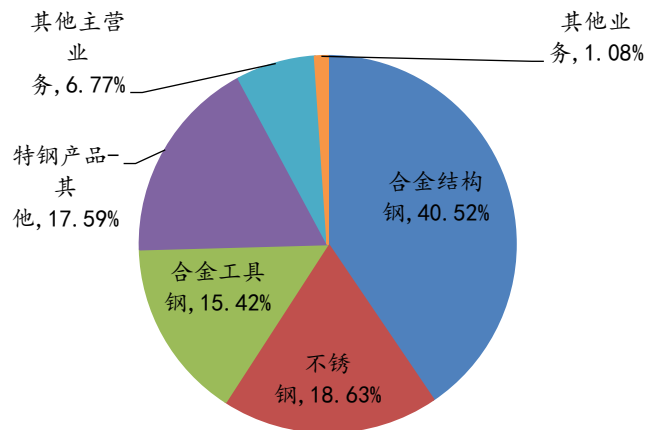
公司以特殊钢和合金材料的研发制造为主营业务，主要产品为高温合金、不锈钢、工模具钢、合金结构钢等。1956年，公司成功冶炼出我国第一炉高温合金GH3030，由此拉开了我国高温合金产业从无到有，从低级到高级，从仿制到独立创新的序幕。2021年公司实现营业收入74.14亿元，同比增长18.21%，实现净利润7.83亿元，同比增长42.02%。

图表 98 抚顺特钢营收情况



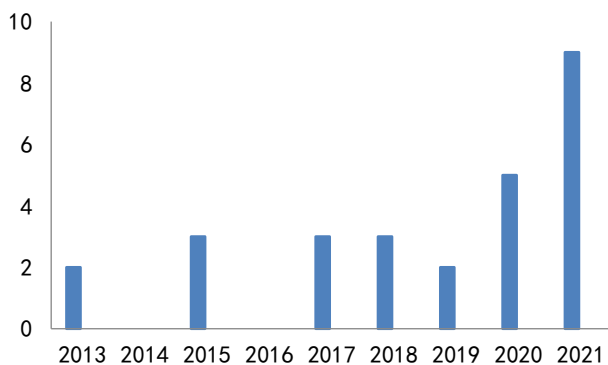
资料来源：wind，华安证券研究所

图表 99 2021 年抚顺特钢产品结构



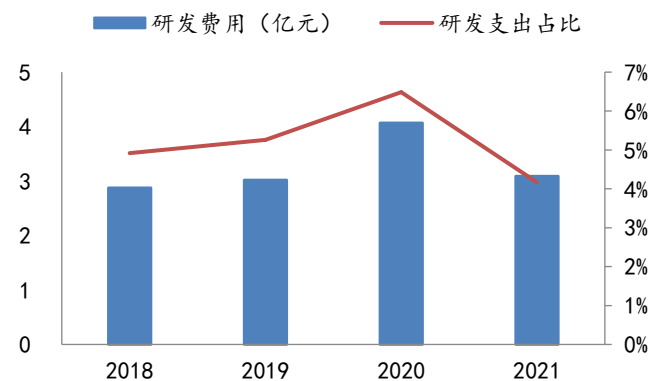
资料来源：wind，华安证券研究所

图表 100 抚顺特钢高温合金专利申请数量 (件)



资料来源：中国知网专利搜索，华安证券研究所

图表 101 抚顺特钢研发费用及占比



资料来源：wind，华安证券研究所

抚顺特钢研发费用及研发费用占比稳步增加，至 2021 年抚顺特钢研发费用支出达 3.09 亿元，占总营收 4.17%，研发人员数量 896 人，占员工总人数的 13%。2021 年，公司继续深入推进新产品研发及产品质量攻关工作，获批国家课题 6 项，在研科研课题共计 56 项，其中国防科工局课题 33 项，科技部课题 13 项，中科院课题 1 项，工信部课题 1 项，产学研及省、市级课题 8 项。

公司是中国最早的特殊钢企业之一，是我国东北地区唯一的特殊钢行业上市公

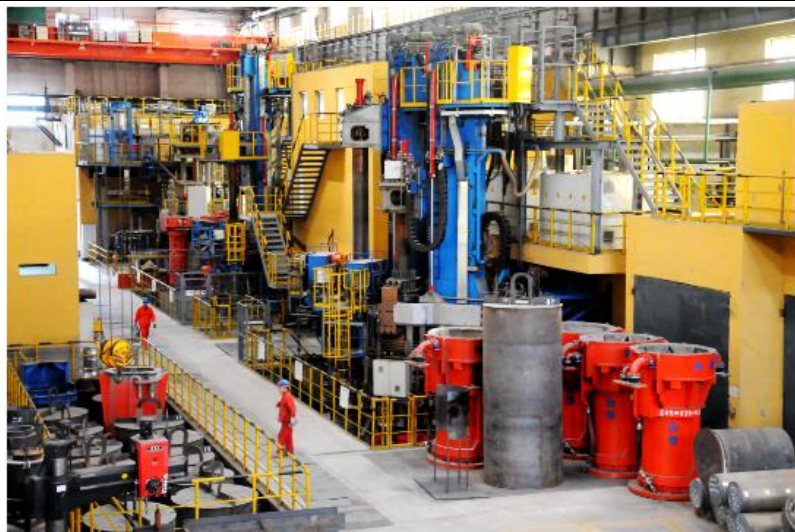
司。公司具备雄厚的技术基础，拥有先进的冶金装备，长期承担国家大量特殊钢新材料的研发任务。公司有高温合金、超高强度钢、特种冶炼不锈钢、高档工模具钢、高档汽车钢、高速工具钢、钛合金、减速机、增速机行业用钢等各类产品 5400 多个牌号特殊钢新材料的生产经验，以“高、精、尖、奇、难、缺、特、新”的产品发展理念促进中国合金材料的发展，保证国家战略安全。公司的四大主打产品高温合金、超高强度钢、特冶不锈钢、高档工模具钢在国内特钢行业具有一定的优势。公司产品广泛服务于航空航天、国防军工、能源电力、石油化工、交通运输、机械机电、节能环保等领域，是国内重要的特殊钢新材料供应商之一。

图表 102 抚顺特钢高温合金系列产品

领域	高温合金牌号	产品规格
航空、航天用高温合金	GH2907、GH4169（IN718）、GH4698、GH2132（A286）、GH6605、GH4742、GH4720Li、GH4738、GH2901、GH2706、GH4049、GH4220、GH4141、GH4099、GH4133B、GH3536、GH3128、GH3230、GH4163、GH2909、GH3044、GH1140、GH1035、GH4098、GH6783、GH3625、GH1131、GH4600、GH6159 等	轧材、锻材、板材、锻件、冷拔材
舰船用高温合金	GH4169、GH4698、GH4742、GH696、GH3039、GH4413、GH4133B、Super alloy80A	轧材、锻材、板材
能源、电力用高温合金	GH4169、GH2132、Incoloy800、Inconel 600、Inconel X750、N06625、690、UNS N10003、1Cr15Ni36W3Ti、新 13 号	轧材、锻材、板材、锻件
汽轮机用高温（耐蚀）合金	R26、GH1016、GH6783、GH4145、GH2136、GH4698、GH742、GH4099、GH4169、GH2706、GH3039、GH3536、GH4080A、GH4738、N08120	轧材、锻材、板材
石油石化用耐蚀合金	TDJ-G3、N06625、N10276、N08367、N08810、N08825、N08028、N08020、N08904、N06601、N08367、NS334、NS336、NS331、Incoloy800 系列、Incoloy825、IN718（Inconel718）、Inconel600、Inconel625、Inconel690、F308、MONEL 400、MONEL K500、FN-2、HastelloyC4、HastelloyC276、HastelloyC2000、HastelloyC59、HastelloyB2、HastelloyB3	轧材、锻材、管坯
标准件用高温合金	IN718（Inconel718）、A286、N06625	轧材、锻材、线材

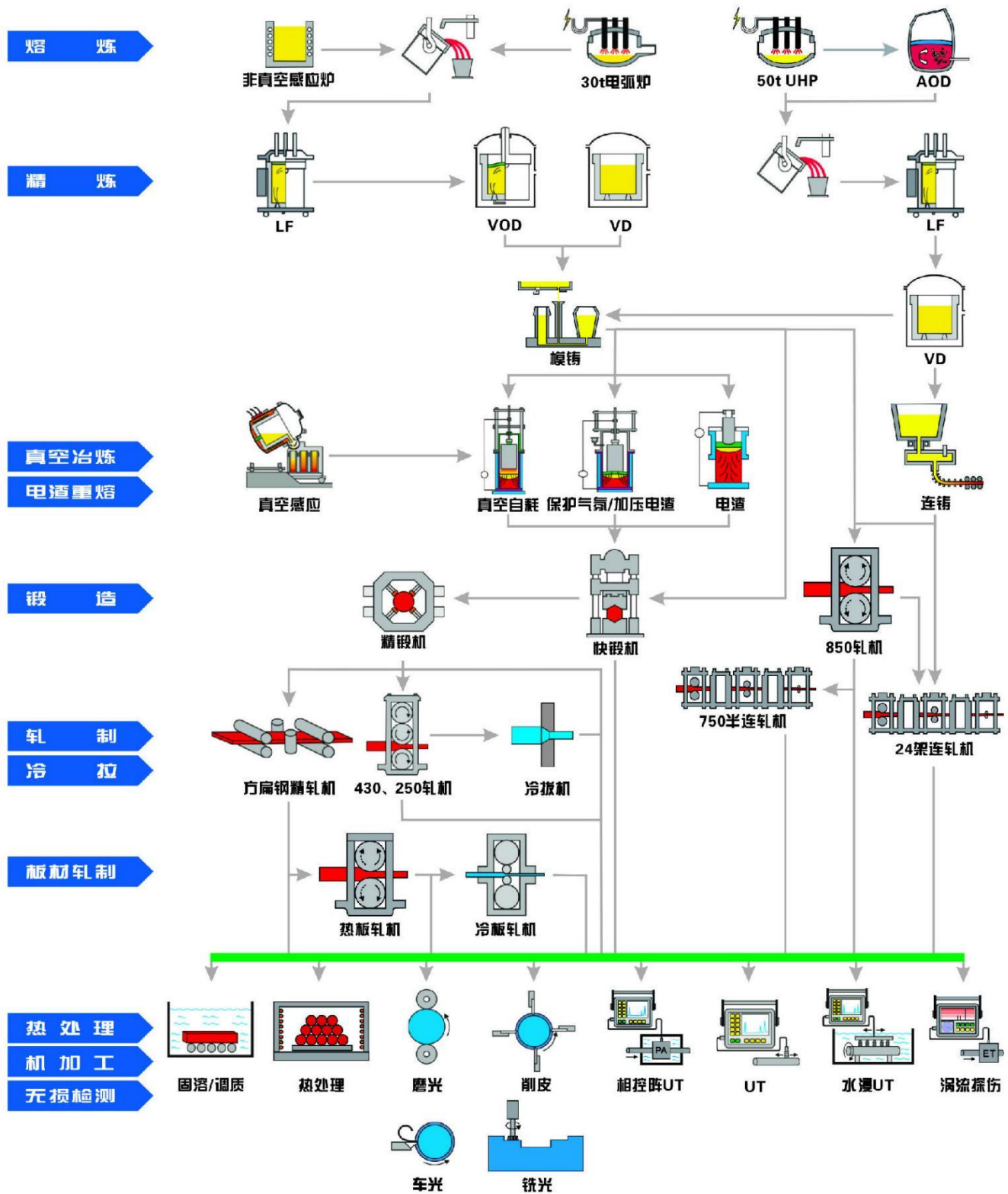
资料来源：公司官网，华安证券研究所

图表 103 抚顺特钢电渣炉生产线



资料来源：公司官网，华安证券研究所

图表 104 抚顺特钢高温合金工艺路线



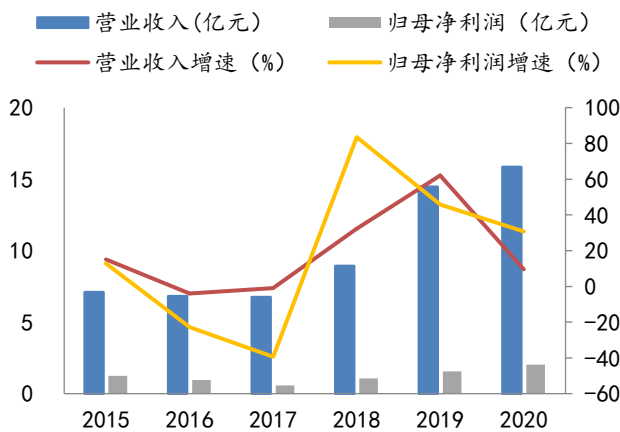
资料来源：公司官网，华安证券研究所

4.2 钢研高纳：铸造高温合金龙头

公司前身为北京钢研高纳科技有限责任公司，成立于2002年11月8日，2004年经国务院国资委批准，由有限责任公司整体改制为股份有限公司。2009年12月公司成功登陆深圳证券交易所创业板，成为创业板第二批上市企业之一。

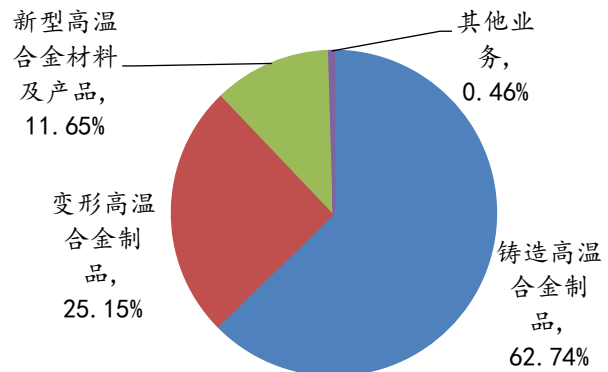
2020年公司围绕产业链布局，根据市场需求，持续加大研发力度。2020年公司的GH4169变形合金涡轮盘通过梳理供应链和现场改进挖潜，降低产品成本，单月交付记录创新高；公司研制的材料GH3230成功应用到新型发动机上，并获得客户订单，这是公司继GH4169D、Ti2AlNb等新材料后又一应用到该新型发动机上的新材料；工艺研究方面，公司通过工艺优化和技术改造，制备出GH4061大尺寸板材、棒材，满足了航天发动机用材需求。除此之外，公司积极拓展高温合金应用新领域，在某轻质合金铸市场需求增加基础上，公司加大投入，及时调整生产计划，匹配各项保障资源，确保了该铸件的准时交付；同时，公司积极推进核电取证，截止2020年底公司已取得核电证书，已取得核电意向订单。

图表 105 钢研高纳营收情况



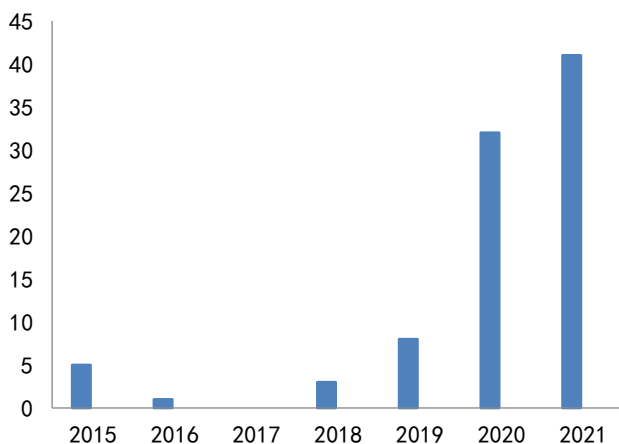
资料来源：wind，华安证券研究所

图表 106 2020 年钢研高纳产品结构



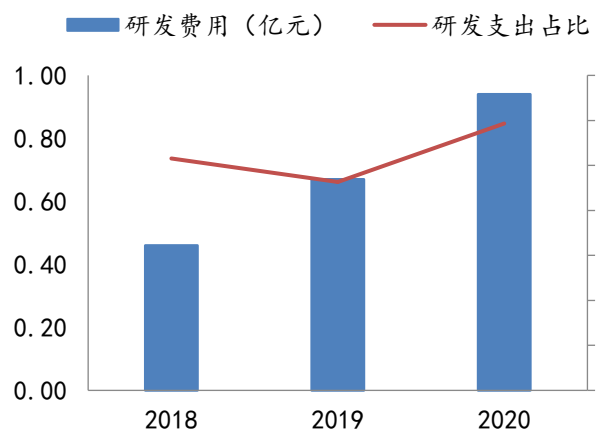
资料来源：wind，华安证券研究所

图表 107 钢研高纳高温合金专利申请数量 (件)



资料来源：中国知网专利搜索，华安证券研究所

图表 108 钢研高纳研发费用及占比



资料来源：wind，华安证券研究所

根据公司官网，公司定位于中国“先进高温材料”技术的引领者与产业升级的推动者，主要从事航空航天材料中高温材料的研发、生产和销售，目前是国内高端和新型高温材料制品生产规模最大的企业之一，多个细分产品占据市场主导地位。公司产品定位在高端和新型高温合金领域，面向的客户也是以航空航天发动机装备制造企业和大型的发电设备企业集团为主，同时也向冶金、化工、玻璃制造等领域的企业销售用于高温环境下的热端部件。公司与这些大型企业建立了长期稳定的业务合作关系。

图表 109 钢研高纳高温合金系列产品

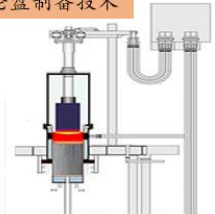
类别	产品类型	牌号或者技术内容	应用领域
铸造合金	高温合金母合金	K130、K242、K403、K414、K417、K418、K423、K423A、K424、K438、K477、K480、K488、K487、K640、K825、K4002、K4104、K4169、K4202、K4537、K4648、DZ410、DZ417G、DD402、DD407	发动机、燃气轮机
	精密铸造合金制品	K488、K4537、K403、Ti2AlNb、Ti3Al、TiAl、Ni3Al、Inconel 系列、Monel 系列、哈氏合金系列 Ni 基合金	发动机、汽车等
	高温合金叶片	DD407、DD402、K403、K465、K446、K452、K4648	发动机、燃气轮机
变形高温合金	高温合金盘锻件	GH4169、GH4698、GH4708、GH4742、GH4720Li、GH4065、GH4141、GH4586、GH4706、GH4742、GH4968、GH202、GH901、GH2674、GH600、GH625、GH706、GH4738、GH1139、GH2132、GH2901、R26	航空发动机、航天动力、地面及石油、化工、勘探及核工业
	高温合金棒材	GH4169、GH2132、GH600、GH901、GH3030、GH3039、GH4049、GH3044、GH3128、GH80、GH738、GH578、GH4282、GH4141 等	航空、航天、能源
	高温合金板材、带材	GH4169、GH3230、GH4648、GH4099、GH4098、GH4199、GH4170、GH4282、GH625、GH2132、GH706、GH738、GH1139、GH578、GH4282、GH4698、GH4708、GH4742、GH2901、R26、GH4720Li、GH3600、GH180、C-276、G-3	能源、石油、化工、核工业、冶金、机械、电力及玻璃建材
	高温合金管材	GH3128、GH3044、GH4169	能源、石油、化工、核工业
	高温合金丝材	HGH367、HGH533、HGH4202、HGH3128、HGH5188、HGH4169、HGH2132、HGH3044、GH4169、GH625、GH2132、GH706、GH738、GH1139、GH4698、GH4708、GH4742、GH2901、R26、GH4720Li	发动机、石油钻井、核电站
	燃烧室用高温合金环件	GH3230、GH4648、GH4098、GH4199	航空航天发动机
	高均质涡轮盘	合金钢低偏析冶炼技术及特种锻造技术	航空航天发动机
	粉末高温合金锻件	FGH4095、FGH4096、FGH409	航空发动机
粉末高温合金	热等静压合金制件	FGH4095、FGH4096、FGH4097、FGH4091、FGH4098	航空发动机
	高品质球形金属粉末	PREP 工艺	航空、航天、能源、石化、医学

资料来源：公司官网，华安证券研究所

公司 2020 年年报披露，自 1958 年以来，公司共研制各类高温合金 120 余种。其中，变形高温合金 90 余种，粉末高温合金 10 余种，均占全国该类型合金 80% 以上。最新出版《中国高温合金手册》收录的 201 个牌号中，公司及其前身牵头研发

114 种，占总牌号数量的 56%。公司目前是国内高端和新型高温合金制品生产规模最大的企业之一，拥有年生产超千吨航空航天用高温合金母合金的能力以及航天发动机用精铸件的能力，在变形高温合金盘锻件和汽轮机叶片防护片等方面具有先进的生产技术，具有制造先进航空发动机亟需的粉末高温合金和 ODS 合金的生产技术和能力。

图表 110 钢研高纳相关技术

难变形合金热加工技术 研制具有更高承温能力与力学性能的难变形合金是变形高温合金领域的一个重要发展方向。难变形合金的突出特点是热塑性差、热加工窗口小、变形抗力大。解决热加工问题是发展新型难变形合金的重要前提条件 	高均质化难变形高温合金涡轮盘制备技术 高均质化难变形高温合金涡轮盘制备技术包括电渣重熔连续定向凝固技术和 3D 整体锻造技术。电渣重熔连续定向凝固技术用于制备高纯净、低偏析、大尺寸的定向凝固铸锭；3D 整体锻造技术可制备组织一致性高的涡轮盘锻坯材料，采用该坯料经模锻制备的涡轮盘可彻底避免因组织不均匀造成的超声波可探性低和性能一致性差的问题 
精密铸造技术 通过技术攻关，公司在多个型号航空发动机用高温合金精铸件的研制过程中，解决了大尺寸薄壁类铸件、复杂异型结构铸件等一系列高难度高温合金精铸件的生产工艺技术难题，突破了一系列关键技术，研制生产的高难度、高品质高温合金精铸件很好的满足了用户需求 	纯净化精炼技术 在成分基本相同的情况下，金属材料的超纯净和组织的均质化大幅提升了材料的高性能、长寿命和高可靠性。公司以生产“高均质、超纯净”关键金属材料为目标，建立了高均质超纯净电渣重熔精炼工艺与装备平台 
精密铸造技术 公司粉末高温合金产品采用直接热等静压工艺，主要工艺流程包括真空感应熔炼合金、等离子旋转电极工艺（PREP）制粉、粉末处理、脱气装套封焊、热等静压（HIP）成形、机加工、热处理、超声无损检测、性能测试、产品编号包装等 	真空连铸技术 公司立足于自主研发，在高温合金真空水平连铸技术上取得重大突破，攻克了高温移动表面的真空密封综合技术和高精度连铸拖坯技术，开发成功了高温合金真空水平连铸集成技术和成套装备，在世界上首次实现了完全在真空环境下进行高温合金冶炼和连铸，可真正实现整个高温合金家族的高质量连铸成型，成套集成技术达到世界先进水平 

资料来源：公司官网，华安证券研究所

图表 111 钢研高纳高温合金组织控制实验室



资料来源：公司官网，华安证券研究所

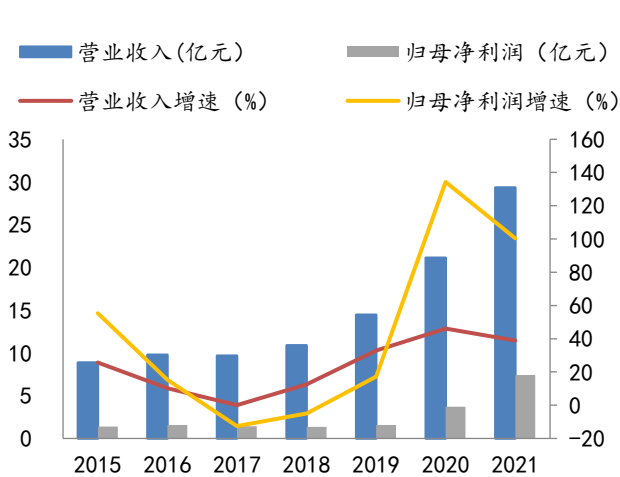
4.3 西部超导：高温合金新锐企业

公司主要从事高端钛合金材料、超导产品和高性能高温合金材料的研发、生产和销售。公司是我国高端钛合金棒丝材、锻坯主要研发生产基地之一；是目前国内唯一的低温超导线材生产企业，是目前全球唯一的铌钛锭棒、超导线材、超导磁体的全流程生产企业；也是我国高性能高温合金材料重点研发生产企业之一。

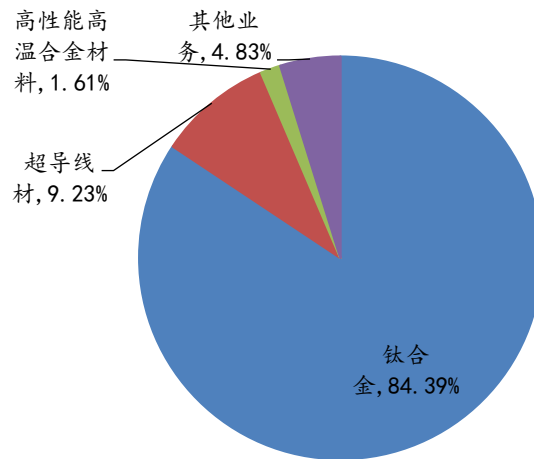
公司主要产品有三类，第一类是高端钛合金材料，包括棒材、丝材和锻坯等；第二类是超导产品，包括铌钛锭棒、铌钛超导线材、铌三锡超导线材和超导磁体等；第三类是高性能高温合金材料，包括变形高温合金、铸造和粉末高温合金母合金等。公司产品以“国际先进、国内空白、解决急需”为定位，始终服务国家战略，补上了我国新型战机、大飞机、直升机、航空发动机、舰船制造所需关键材料的“短板”。

2021 年高端钛合金、超导、高温合金行业快速发展，公司以客户需求为导向，紧抓市场机遇，积极开拓市场，全年收到的订单较为饱满，产能整体利用率较高，主要产品产销量进一步提升，销售结构进一步优化，当期经营业绩较同期明显提升。

图表 112 西部超导营收情况



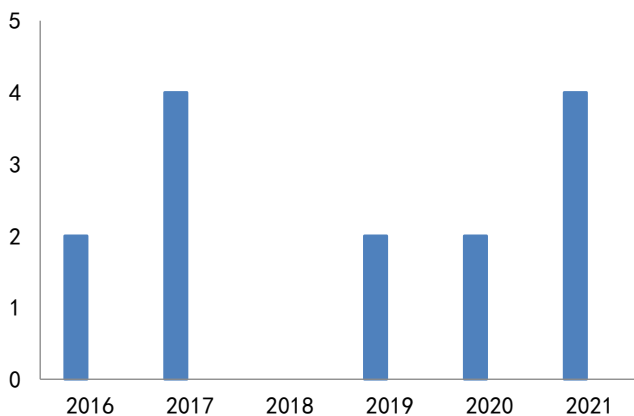
图表 113 2020 年西部超导产品结构



资料来源：wind，华安证券研究所

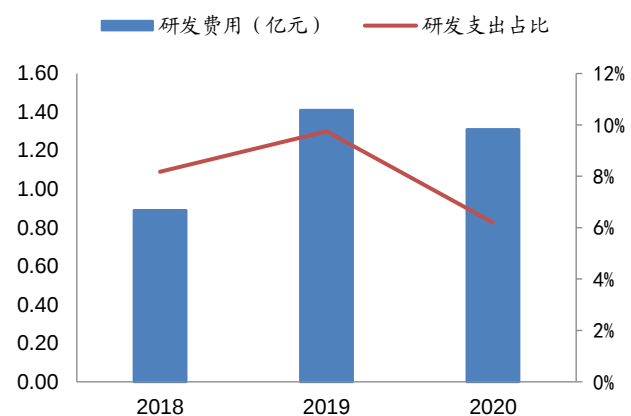
资料来源：wind，华安证券研究所

图表 114 西部超导高温合金专利申请数量（件）



资料来源：中国知网专利搜索，华安证券研究所

图表 115 西部超导研发费用及占比



资料来源：wind，华安证券研究所

2021 年公司实现营业总收入 29.35 亿元，同比增长 38.91%，实现归属于母公司所有者的净利润 7.43 亿元，同比增长 100.39%，实现归属于母公司所有者的扣除非经常性损益的净利润 6.55 亿元，同比增长 123.29%，实现基本每股收益 1.68 元，同比增长 100.39%。

研发方面，2020 年公司为研发费用 13,069.40 万元，较同期减少 1,026.06 万元，主要研发投入在飞机结构件钛合金、发动机用钛合金与高温合金以及低温超导线材等材料应用方面。高温合金铸锭净化熔炼控制技术显著提升，实现重大冶金缺陷“零发生”。成功研制 GH4169 合金 $\Phi 420\text{mm}$ 大规格棒材、GH4738 合金 $\Phi 600\text{mm}$ 超大规格棒材，并实现批量交付。某高温合金粉末盘部件考核试验进展顺利。

图表 116 西部超导自主设计及改造的真空自耗电弧炉



资料来源：公司官网，华安证券研究所

根据公司 2020 年年报披露，公司近十年来开展高性能高温合金的工程化研究，经过多年市场调研和技术开发，以航空、航天用高端钛合金完善的生产、研发、质量体系为依托，在西安经济技术开发区泾渭新城特种材料产业园内已建成高性能高温合金棒材项目，该项目于 2017 年 5 月开始热试车，2018 年进入了试生产阶段。

公司作为国内高性能高温合金材料的新兴供应商之一，陆续承担了国内重点国防装备用多个高温合金材料的研制任务。某高温合金粉末盘部件考核试验进展顺利；

多个牌号高温合金大规格棒材获得某型航空发动机用料供货资格；多个重点型号航空发动机高温合金材料已经通过了某型号发动机的长试考核，具备了供货资格，已开始供货；高温合金铸锭纯净化熔炼控制技术显著提升，实现重大冶金缺陷“零发生”。形成了一系列先进的制备工艺和质量过程控制技术：

(1) 全流程高温合金制备工艺数值模拟技术。公司自主开发了高温合金熔炼、棒材锻造的全流程制备工艺数值模拟模型，并成功应用于航空发动机用多个牌号高组织均匀性高温合金细晶棒材制备。

(2) 量化过程控制体系。公司建立了覆盖高温合金原材料、工艺装备、制备过程的作业规范和量化的产品质量过程控制体系，以解决高性能高温合金质量稳定性不高的难题。

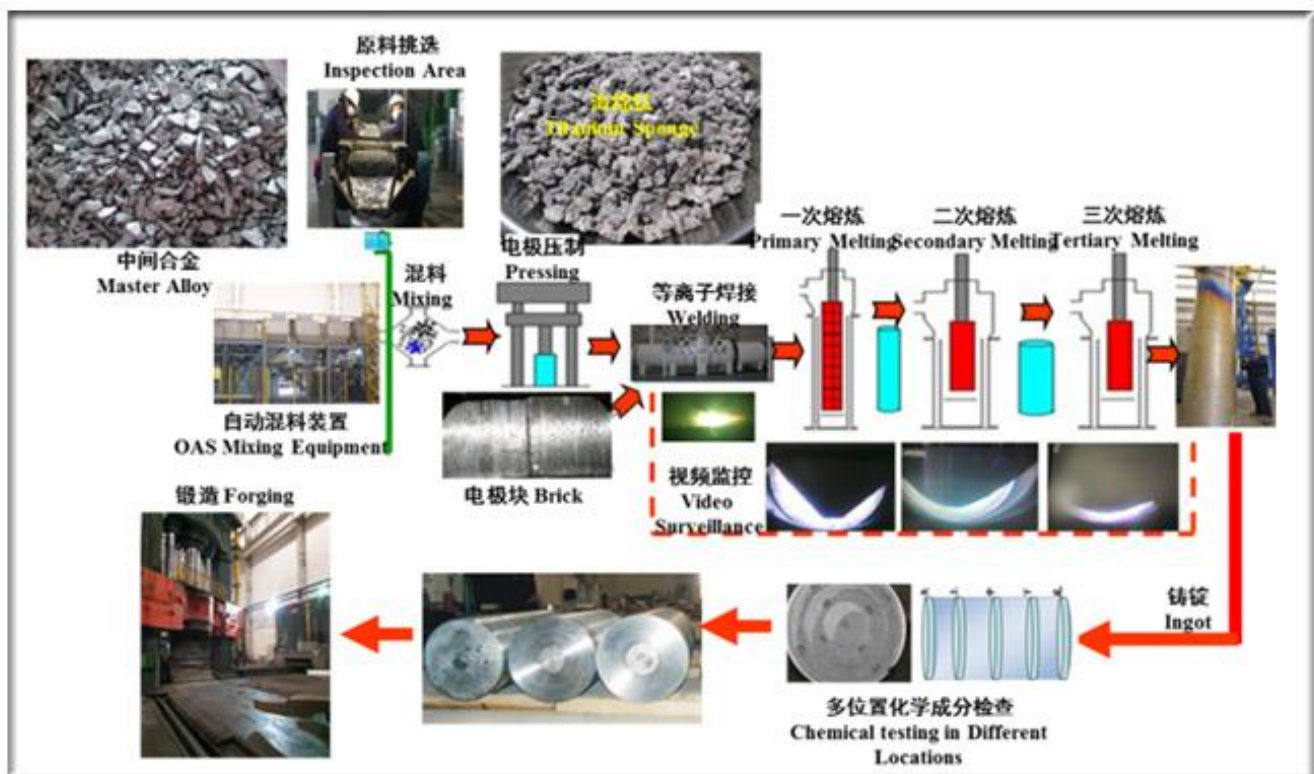
(3) 动态渣系控制技术。公司建立了典型牌号高温合金电渣熔炼的预熔渣系，有效降低了高温合金电渣熔炼过程中的元素烧损率。

(4) 高纯净度高温合金熔炼控制技术。公司自主开发了特种中间合金并应用于熔炼过程，同时采用自主设计的合金熔液过滤系统，提高了高温合金的纯净度。

(5) 高温合金铸锭开坯锻造技术。公司解决了 GH4720Li、GH4738、FGH4096 等难变形高温合金铸锭开坯锻造难题。

(6) 高均匀性高温合金棒材锻造技术。公司采用“高低高”锻造技术、多向锻造技术、高频锻造技术，成功制备出晶粒度极差 2 级的 GH4169、GH2907 及 GH4738 合金棒材，达到国内先进水平。

图表 117 西部超导熔炼及锻造车间方案总设计



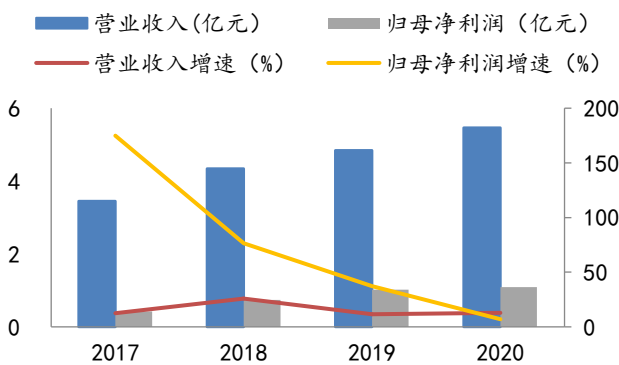
资料来源：公司官网，华安证券研究所

4.4 图南股份：民营最红“中国芯”

公司主营业务为高温合金、特种不锈钢等高性能合金材料及其制品的研发、生产和销售。公司拥有先进的特种冶炼、精密铸造、制管等装备，建立了特种熔炼、锻造、热轧、轧拔、铸造的全产业链生产流程，自主生产高温合金、精密合金、特种不锈钢等高性能特种合金材料，并通过冷、热加工工艺，形成了棒材、丝材、管材、铸件等较完整的产品结构，是国内少数能同时批量化生产变形高温合金、铸造高温合金（母合金、精密铸件）产品的企业之一。

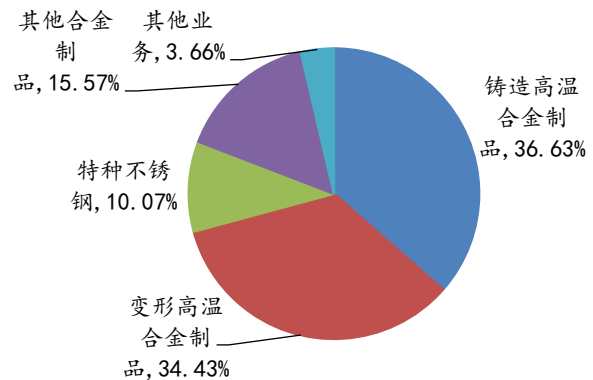
公司掌握了高温合金材料的超纯净熔炼、近净型熔模精密铸造技术、高精度无缝管材制造等关键核心技术，经过多年发展，公司已成为国内高温合金生产企业中少数同时具备生产铸造高温合金母合金、精密铸件、变形高温合金产品的全产业链工业化生产能力的企业。公司以“专、精、特”的产品特性适应市场，以差异化竞争和技术服务开拓市场，通过多年的积累和发展，已成为国内高温合金产品的主要生产企业之一，国内航空发动机用大型复杂薄壁高温合金结构件的重要供应商，国内飞机、航空发动机用高温合金和不锈钢无缝管的主要供应商，承担了我国多款重点型号航空发动机材料、关键部件的配套科研和生产任务。

图表 118 图南股份营收情况



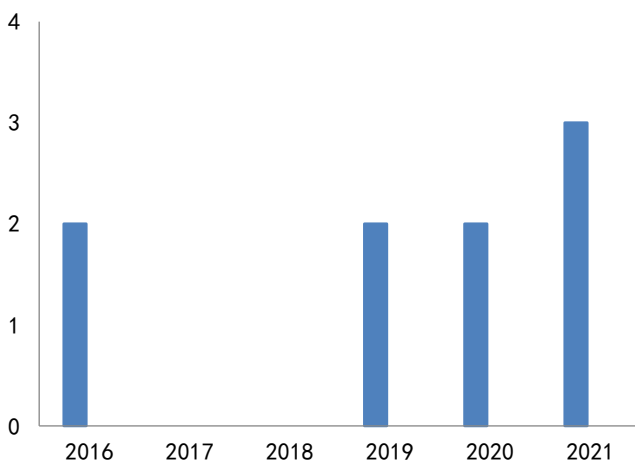
资料来源：wind，华安证券研究所

图表 119 2020 年图南股份产品结构



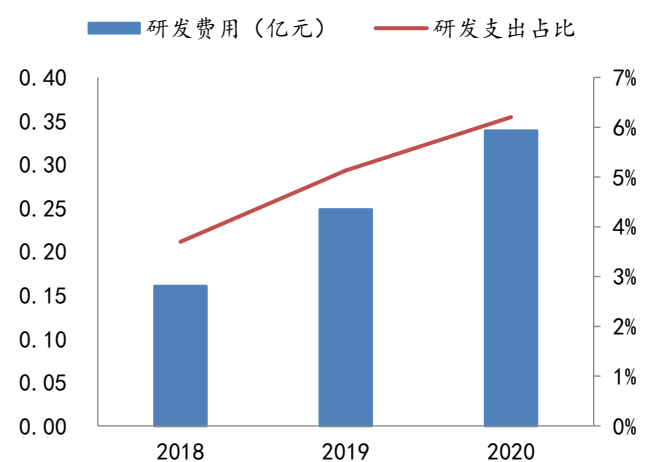
资料来源：wind，华安证券研究所

图表 120 图南股份高温合金专利申请数量 (件)



资料来源：中国知网专利搜索，华安证券研究所

图表 121 图南股份研发费用及占比



资料来源：wind，华安证券研究所

2020 年公司在有效防范新冠肺炎疫情的同时在技术研发、产品质量提升、产品配套交付等方面都完成了年度既定目标，全年公司实现营业收入 5.46 亿元，较上年同期增长 12.84%；实现归属于公司股东的净利润 1.09 亿元，较上年同期增长 6.99%；实现扣除非经常性损益后归属于公司股东的净利润 0.94 亿元，较上年同期增长 3.23%。

2020 年度，公司研发投入 0.34 亿元，研发投入占营业收入比例 6.20%，比上年增加 36.42%。全年公司开展合作研发项目 5 项，委托研发项目 2 项，自主开发项目 10 项，项目涉及主要产品铸造高温合金母合金、精密铸件、变形高温合金、管材等技术和产品的研发，主要目标为提升现有产品技术质量、新产品的研制和进口替代国产化等，研发项目的开展，将提高现有产品的质量和成材率，和增加公司配套产品的种类，有利于公司进一步提升市场竞争力，不断拓宽产品链，拓展国内外市场。

图表 122 图南股份产品

类别	产品图样	牌号
铸造高温合金		K403、K403、K417、K4169、K423、K423A、K424、K4648、K418、K417G、K4750、K605、K477、K6059、K465、K536
变形高温合金		GH4080A、GH4169、GH3625、GH2132、GH4145、Ni30、GH3030、GH3039、GH3044、GH3536、GH3600、GH4033、GH4090、GH4133、GH2901、GH2036、GH1035、GH1140、GH2150、GH2696、GH1143、GH3128、GH4163、GH4648、GH4751、GH4738、GH5605、GH5188

资料来源：公司官网，华安证券研究所

公司的主要产品包括铸造高温合金、变形高温合金、特种不锈钢等高性能合金材料及其制品，主要应用在包含航空发动机、燃气轮机、核电装备等军用及高端民用领域。

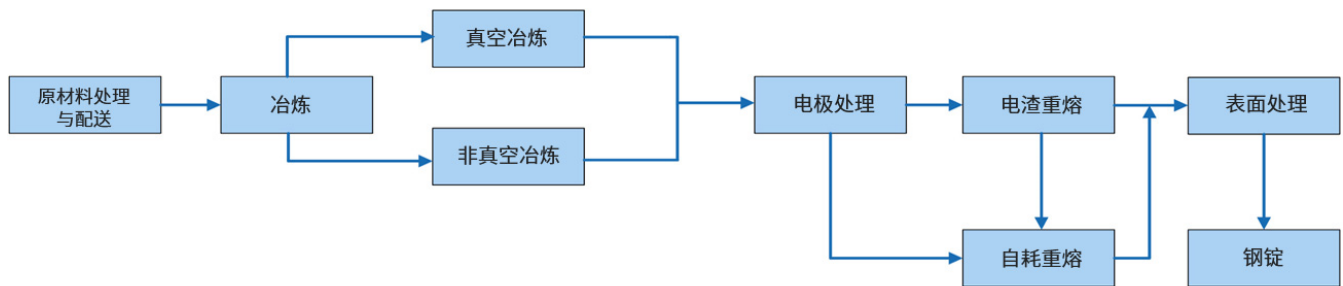
● 铸造高温合金

公司的铸造高温合金包含铸造高温合金母合金及精密铸件，产品主要用于航空领域。铸造高温合金母合金是用铸造方法成型零件的一类高温合金，具有更高的合金化程度，更高的服役温度范围，应用领域更为广阔，可根据需要用于设计、制造出近终型或无余量的具有复杂结构和形状的高温合金铸件。精密铸件是应用于航空发动机、燃气轮机热端部分的关键部件，包括机匣类大型复杂薄壁结构件、涡轮转动及导向叶片、整体叶盘、导向器、扩压器等。

● 变形高温合金

公司生产的变形高温合金主要应用于核电、燃气轮机、飞机、航空发动机、石油化工等领域。

图表 123 图南股份产品工艺流程



资料来源：公司官网，华安证券研究所

图表 124 图南股份 8000KG 真空感应炉



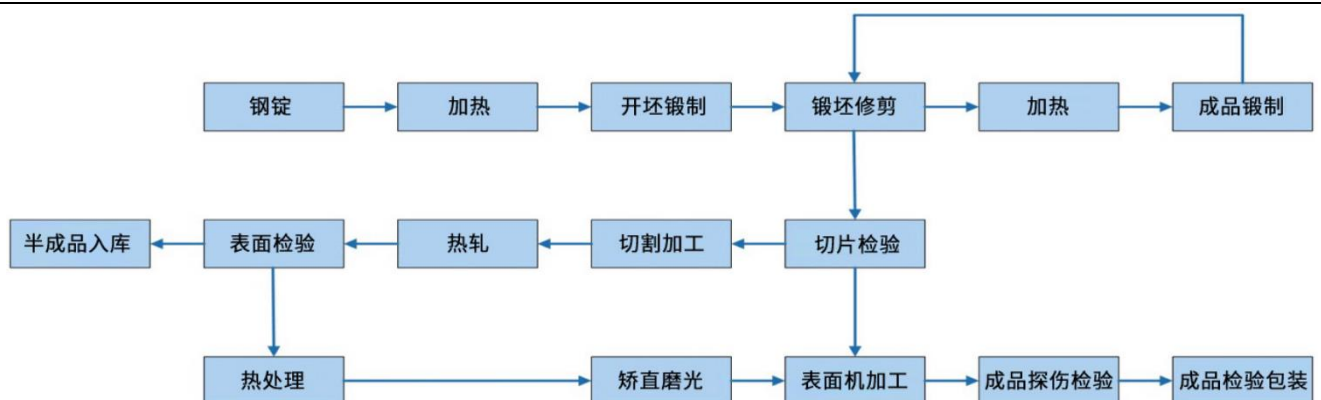
资料来源：公司官网，华安证券研究所

图表 125 图南股份 8T 装料机



资料来源：公司官网，华安证券研究所

图表 126 图南股份锻压工艺流程



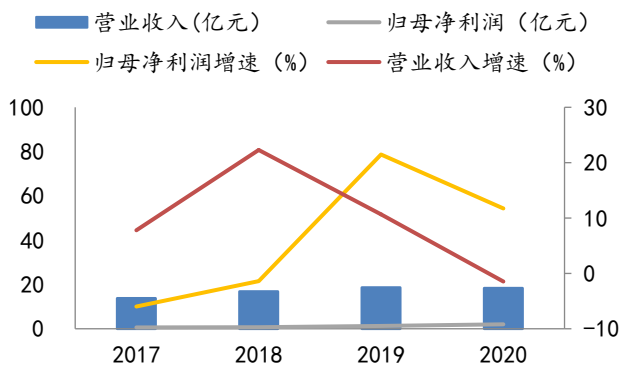
资料来源：公司官网，华安证券研究所

4.5 应流股份：两机业务奠定未来

公司是专用设备零部件生产领域内的领先企业，主要产品为泵及阀门零件、机械装备构件，应用在航空航天、核电、油气、资源及国防军工等高端装备领域。公司专注于高端装备核心零部件的研发、制造和销售，制造技术、生产装备达到国内领先水平，产品出口以欧美为主的 30 多个国家、近百家客户，其中包括通用电气、西门子、卡特彼勒、斯伦贝谢等十余家世界 500 强企业和艾默生等众多全国行业龙头。近年来，公司贯彻“瞄前沿、补短板、重创新、上高端”发展理念，围绕国家重大装备迫切需求，推进“产业链延伸、价值链延伸”，加大技术创新，加快转型升级，在高端部件、核能材料和航空科技领域迈出坚实步伐。

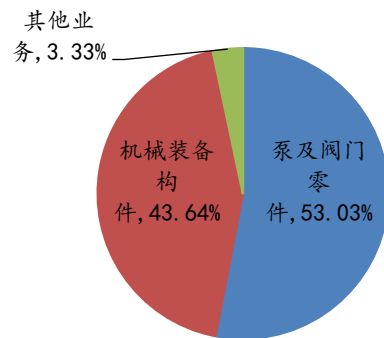
2020 年公司实现营业收入 18.33 亿元，同比下降 1.47%；实现归属母公司股东的净利润 2.02 亿元，同比增长 54.28%。2020 年研发费用达 2.24 亿元，同比下降了 6.79%，主要原因在于公司在维持新产品开发节奏的同时，整体的技术和工艺水平有所提升，节约了一部分研发费用。

图表 127 应流股份营收情况



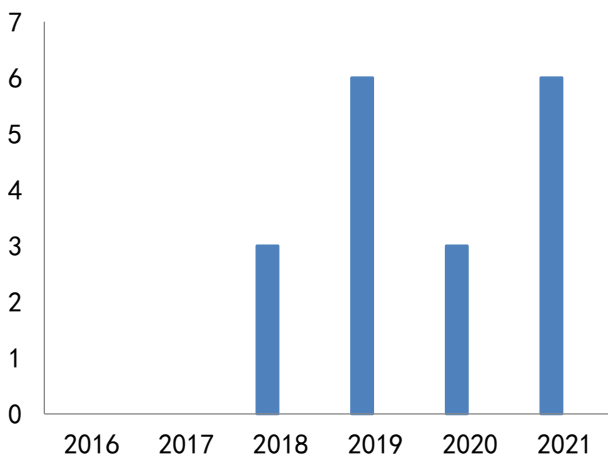
资料来源：wind，华安证券研究所

图表 128 2020 年应流股份产品结构



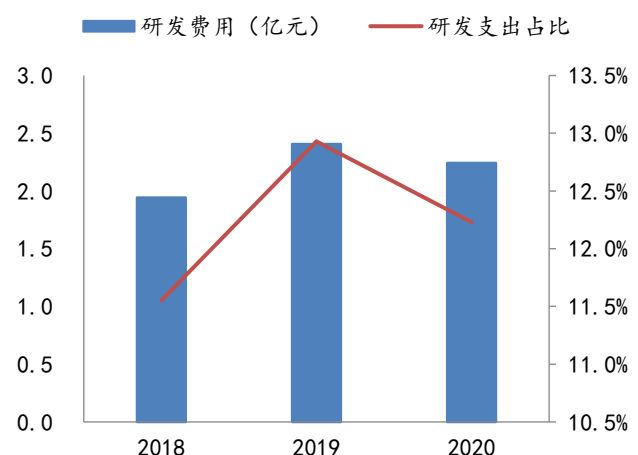
资料来源：wind，华安证券研究所

图表 129 应流股份高温合金专利申请数量 (件)



资料来源：中国知网专利搜索，华安证券研究所

图表 130 应流股份研发费用及占比



资料来源：wind，华安证券研究所

公司全资子公司安徽应流集团霍山铸造有限公司成立于 2003 年 6 月 10 日，注册资本 180,000 万元，经营范围：研发、生产、销售航空发动机和燃气轮机零部件，

核电设备零部件，先进火电设备零部件，油气钻采和炼油化工装备零部件，海洋工程装备和高技术船舶零部件，工程矿山设备零部件，机车车辆和动车组零部件；泵、阀门、仪表和其他通用机械零部件；关键智能基础零部件；高性能高温合金、高品质钛合金，金属基复合材料及制品，金属粉末材料及粉末冶金制品，金属粉体材料及增材制造零部件；碳钢、合金钢、不锈钢及特殊钢、铁基高温合金、镍基高温合金、钴基合金、钛及钛合金、铝基铝合金铸锻件制造、加工及技术开发；铸造用原辅材料、金属材料和非金属材料批发；生产性废旧金属批发；复合屏蔽材料（包括柔性屏蔽材料）生产、销售。

图表 131 应流股份铸造成形生产线



资料来源：公司官网，华安证券研究所

图表 132 应流股份航空发动机和燃气轮机高温合金热端部件



资料来源：公司官网，华安证券研究所

图表 133 应流股份高端装备核心零部件应用于航空、能源、油气和资源领域



资料来源：公司官网，华安证券研究所

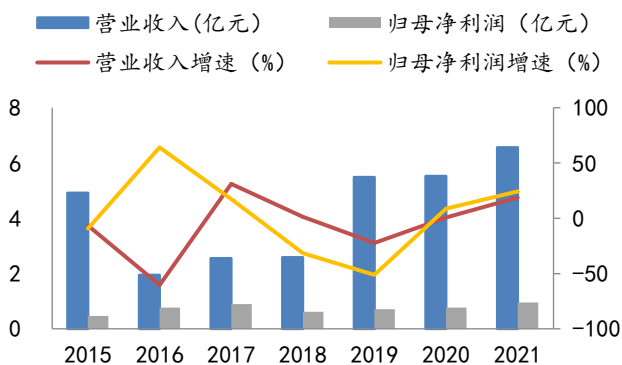
4.6 万泽股份：院厂结合快速突破

万泽股份专注高温合金材料和核心部件的研发制造，致力于研发、生产具有自主知识产权和国际竞争力的精密铸造叶片、高温合金粉末盘件、高温母合金及其合金粉末等。(1) 已建立超高纯度高温合金熔炼核心技术体系，主要生产镍基高温母合金；该产品主要作为母材应用于材料及其构件的生产中，如粉末冶金制粉、高温合金铸造等；(2) 已建立超高纯度粉末冶金制粉核心技术体系，主要是将镍基高温母合金进行液态金属雾化，来完成高温合金粉末的制备，主要用于制造发动机的涡轮盘、压气机盘、鼓筒轴、封严盘、封严环、导风轮以及挡板等高温承力转动部件；

(3) 已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，相关产品已应用于航空发动机、燃气轮机航天动力、机车动力等产业；(4) 已掌握高温合金粉末涡轮盘件、篦齿盘等构件制备的核心工艺及其参数控制技术，成功研制并交付第二代高温合金粉末盘件并通过装机长试考核。

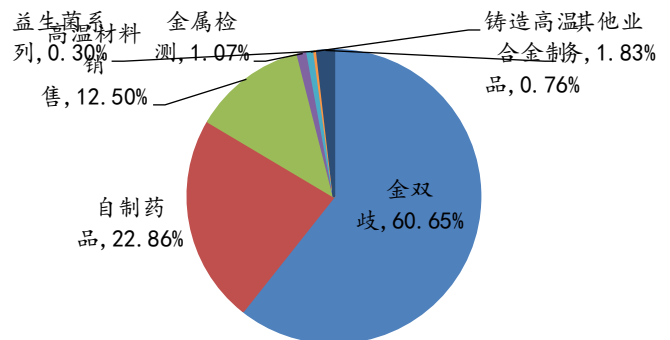
2021 年公司实现营业收入 6.56 亿元，较去年同期增长 18.77%；归属于母公司所有者的净利润 0.95 亿元，较去年同期增长 24.20%。

图表 134 万泽股份营收情况



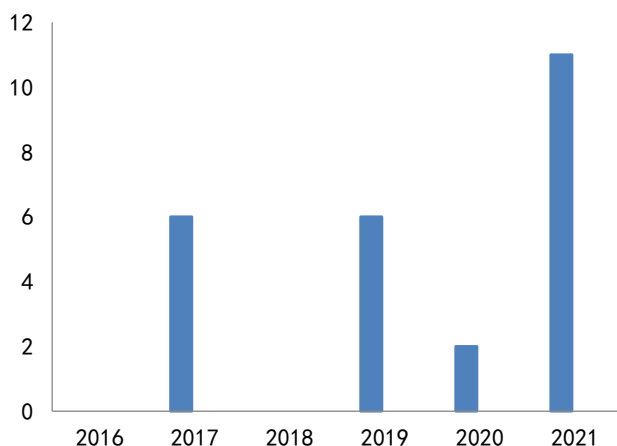
资料来源：wind，华安证券研究所

图表 135 2021 年万泽股份产品结构



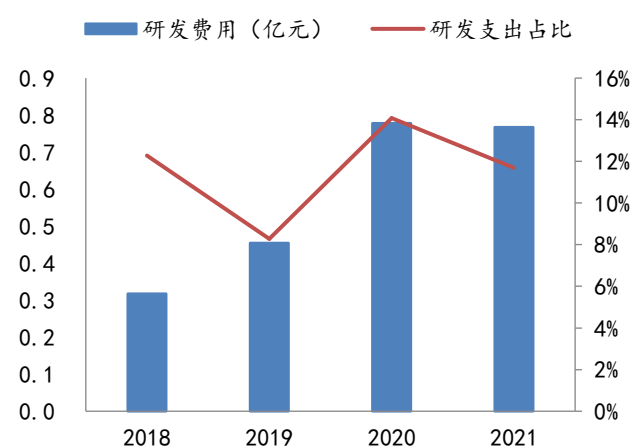
资料来源：wind，华安证券研究所

图表 136 万泽股份高温合金专利申请数量 (件)



资料来源：中国知网专利搜索，华安证券研究所

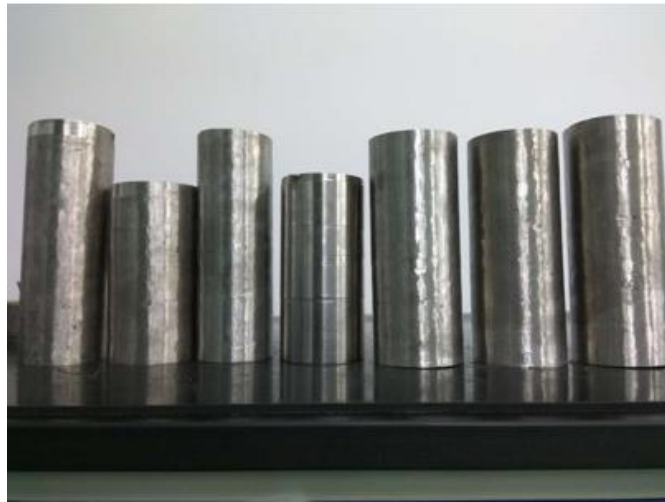
图表 137 万泽股份研发费用及占比



资料来源：wind，华安证券研究所

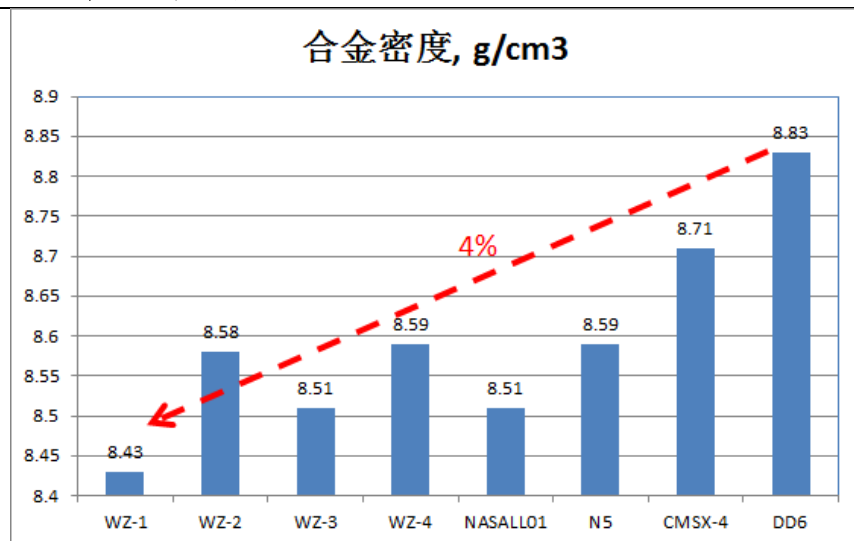
公司以万泽中南研究院作为高温合金的技术研发平台，持续推进高温合金产业化所必需的基础技术研发。双性能第三代粉末盘项目、两盘国产化项目、“创新链+产业链”融合专项等承接的国家、省、市级科研项目均按计划稳步推进中，并拟承接高温合金先进定向凝固技术、发动机叶片修复用合金材料研究、新一代单晶高温合金叶片研发及产业化等各级科研项目，同时与中南大学、西安交大、上海大学等高校及有关科研院所开展技术合作和项目研究，顺利入驻涡轮院科创中心、共建联合创新团队。2021 年是公司高温合金叶片项目高速发展的一年，全年共立项 53 项，按计划节点完成 49 项，全年研发生产涡轮叶片并实现成品交付 7474 件。报告期内，通过厂房改造优化布局及工艺升级，长沙精铸中心已具备单晶/定向涡轮叶片铸件 7000 件/年的产能，小批量试制能力进一步提升。截至 2021 年 12 月 31 日，万泽中南研究院累计申请发明专利 36 项、实用新型专利 35 项、软件著作权 4 项，已获得授权 47 项。

图表 138 万泽股份镍基高温合金样品



资料来源：公司官网，华安证券研究所

图表 139 万泽股份镍基高温合金



资料来源：公司官网，华安证券研究所

根据 2021 年年报，深汕万泽精密启动扩产计划，开展了以 250kg 制粉炉、25kg 熔炼炉为重点的配套建设，并根据新增设备计划以及叶片精铸线的建设任务，对厂房进行改造设计，同时全年共开展工艺改进 22 项。深汕万泽精密已形成涡轮盘小批生产能力，2022 年可形成年产单晶定向叶片万片的生产能力，熔炼技术和产能均得到大幅度提升。

● 铸造高温合金

根据深圳万泽中南研究院官网，万泽万泽以 CMSX-4、Ren é N5、DD6 等三个合金为参比合金，比较其密度、热处理窗口的大小、强化相 γ' 的含量、强化相 γ' 的热稳定性、TCP 有害相的含量及稳定性等因素，成功设计出具有自主知识产权的低密度高性能镍基高温合金。目前万泽已经能够生产包括等轴晶、定向凝固、单晶合金在内的几十种牌号的母合金，适用于 650-1100°C 范围内的不同温度环境。高温合金母合金主要供应发动机厂、其它精密铸造厂生产民用航空发动机、燃气轮机。

图表 140 万泽股份铸造高温合金相关性能

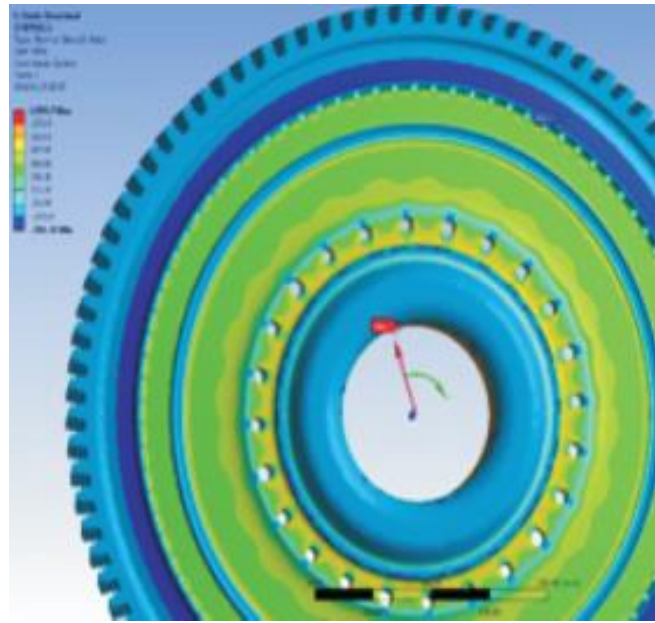
类别	牌号	拉伸性能				持久性能		适用范围
		温度/ °C	屈服强 度/Mpa	抗拉强 度/Mpa	延伸率 / %	温度/应力	持久寿 命/h	
等轴晶	k417	900	640	745	10	900° C/200MPa	>1000	适用于 950° C 以下，合金强度高、塑性好、密度低。
	K418	900	455	670	9.5	900° C/127MPa	>6000	适用于 900° C 以下，具有较高的蠕变强度和抗氧化性能。
	K465	900	695	790	10	900° C/209MPa	>2000	适用于 1050° C 以下，具有较高的高温强度和耐热腐蚀性能。
定向晶	DZ22	980	480	652	21	980° C/186MPa	>210	适用于 1050° C 以下，具有良好的中、高温性能和抗冷 热疲劳性能。
	DZ408 (CM247 LC)	980	460	660	28	980° C/186MPa	>250	适用于 1050° C 以下，具有良好的抗蠕变、抗疲劳和高承温能力。
二代单晶	CMSX-4	980	570	700	18	1100° C/137MPa	>100	适用于 1100° C 以下，高温强度高、综合性能好、组织稳定。
	Rene N5	980	615	857	23	1100° C/137MPa	>120	适用于 1100° C 以下，高温强度高、综合性能好、组织稳定。
	WZ4	980	623	752	26	1100° C/137MPa	>100	适用于 1100° C 以下，综合性能好、组织稳定、低密度 高性价比。
三代单晶	WZ30	980	640	860	35	1100° C/137MPa	>260	适用于 1150° C 以下，高温性能优异，组织稳定。

资料来源：公司官网，华安证券研究所

● 粉末高温合金涡轮盘件

目前万泽已具备小批量粉末冶金盘件制备生产能力，建立了粉末盘件分析检测、制备生产工艺过程控制的专业化人才队伍。涡轮盘件用的粉末牌号分别为 FGH95、FGH96、FGH97、RR1000、Rene88DT、LSHR、U720Li、Rene104。

图表 141 万泽股份涡轮盘件



资料来源：公司官网，华安证券研究所

图表 142 万泽股份热等静压设备

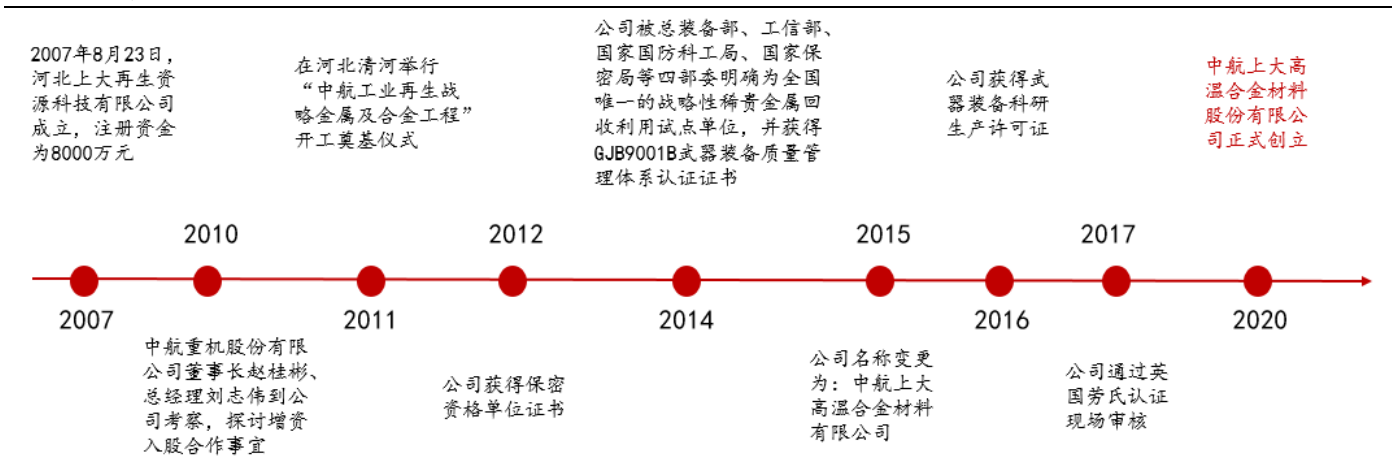


资料来源：公司官网，华安证券研究所

4.7 中航上大：守正创新强军富民

中航上大高温合金材料股份有限公司成立于 2003 年 9 月，总资产 20 亿元，占地 466 亩，位于河北省清河经济开发区，是我国军工和高端装备制造业关键性基础材料的重要生产研发基地，是一家央企参股的混合所有制企业。中航上大实行全面质量管理，军工生产资质齐全，已通过 ISO 9001 质量管理体系认证、ISO 14001 环境管理体系认证、ISO 45001 职业健康安全管理体系认证、AS 9100 航空航天质量管理体系认证、美国石油协会 (API) 质量管理体系认证、英国劳氏质量管理体系认证、欧盟 AD2000-W0 和 TUV SUD PED 2014/68/EU 认证等。中航上大以材料兴国为崇高使命，以强军富民为精神寄托，以守正创新为立身之本，以精准严谨为行为准则，致力于成为国家关键战略材料保障基地和全球高端装备制造核心材料顶级供应商，全力推动我国高端装备制造业高质量发展。

图表 143 中航上大发展历程



资料来源：公司官网，华安证券研究所

图表 144 中航上大高温合金应用领域



资料来源：公司官网，华安证券研究所

图表 145 中航上大高温合金种类

代表牌号	执行标准	产品规格
GH4169、GH4099、GH4133B、GH5188、GH3039、GH3044、GH3625、GH800、GH2901、GH2132、GH2761、GH2135、GH2302、GH2696	GB/T、GBn 标准、协议	棒材：Φ80mm~Φ450mm 板坯：厚≤200mm，宽≤1000mm 轧材： 棒材：Φ10mm~Φ80mm 热板：2-6mm 冷板：0.5-2mm

资料来源：公司官网，华安证券研究所

中航上大拥有国际先进的特种冶炼能力，主要生产设备包括三联真空冶炼工艺生产线、30 吨超高功率电炉/30 吨电炉/AOD/LF/VOD 精炼生产线、60MN/25MN 快锻生产线、450/320 高温合金径向压延生产线、冷拔生产线等，可年产高温合金、耐蚀合金、超高强度钢、精密合金、特种不锈钢、高档工模具钢等材料 12 万吨，广泛应用于航空、航天、船舶、兵器、核电、石油、化工、汽车、电子、海洋工程等领域。

● 生产能力

VIM-VIDP1000 型 6 吨真空感应炉是从德国 ALD 公司引进的世界领先水平的真空感应炉，可生产直径 Φ80-Φ580mm、长度 1000-4000mm、重量 0.04-6 吨的优质真空棒料。该炉具有 3 吨和 6 吨两个坩埚，具有独立的熔炼室、顶加料室、侧加料室、铸锭室、流槽室。该炉配备强大的真空系统：极限真空度达到 0.07Pa；漏气度达到 32Pa·L/s，可以生产出 O、N、H 含量极低的特种合金；浇注时可经过两层挡渣和陶瓷过滤保证钢水的纯洁度，从装备上保证了产品质量的可靠性。

图表 146 中航上大引进德国 ALD 公司 6 吨真空感应炉



资料来源：中航上大微信公共号，华安证券研究所

图表 147 中航上大引进 6t 真空自耗炉完成热负荷试车



资料来源：中航上大微信公共号，华安证券研究所

VAR L660 P6 型 6 吨真空自耗炉是从德国 ALD 公司引进的世界领先水平的真空自耗炉，可生产直径 $\Phi 305$ – $\Phi 660$ mm、长度 1500–2700mm、重量 1–6 吨的优质真空自耗钢锭。该炉为“H”型双工位炉体旋转式结构，氦气冷却和急流层水套的设计可最大限度的减少钢锭偏析；电极 X-Y 调整系统可保证熔炼环隙一致；冷却强度自动控制系统可获得均匀的组织结构；高效的真空系统配置可使冶炼真空度达到 0.08Pa；高精度全补偿的称重系统使称重整体精度达到 0.125%；包括焊接、起弧、熔炼、充填在内的全过程计算机控制把熔炼产品稳定在很高的质量水平。熔炼过程中的重要参数都由计算机实时记录并生成趋势图，可即时观察及自动储存，保持了产品永久的可追溯性。

ESR FB 830/17 WIII 型 18 吨三工位气体保护抽锭式电渣炉是从德国 ALD 公司引进的世界领先水平的电渣炉。可生产直径 $\Phi 360$ – $\Phi 820$ mm、长度 1000–4000mm、重量 1–18 吨的优质电渣锭。该炉的同轴导电设计可最大限度的减少电能消耗和冶炼中的杂散磁场干扰；高精度称重系统可准确进行熔速控制；电极 X-Y 调整系统可保证熔炼环隙一致；惰性气体控制系统可减少易氧化元素的烧损及 O、N、H 的增加；具

有熔速自动控制、钢液面高度自动控制、渣阻波动控制等智能控制技术，可将冶炼中的异常情况自动控制到合理状态。熔炼过程中的重要参数都由计算机实时记录并生成趋势图，可即时观察及自动储存，保持了产品永久的可追溯性。

● 精炼端

主要设备包括 2#纯净化炉、1#纯净化炉、20 吨 AOD 精炼炉、20 吨 LF 钢包精炼炉、20 吨 VD/VOD 精炼炉各一台，具备氩气保护浇注功能的模铸生产线三条。公司精炼设备齐全，可根据不同原材料和钢种要求，设计不同的冶炼工艺流程，具备超低碳、超低磷、超低硫钢和高合金钢的生产能力，主要生产品种有高温合金、耐蚀合金、精密合金、特种不锈钢和高档工模具钢。

图表 148 中航上大精炼设备



资料来源：公司官网，华安证券研究所

● 锻造端

主要设备包括 25MN 和 8MN 快锻机各一台、室式加热炉五台、台车式加热炉两台和热处理炉五台。精整设备主要有卧式车床、立式车床、龙门铣床、镗床、刨床、带锯、修磨机等，可以对各种锻件进行表面机加工，保证了产品的内在和表面质量。主要产品有高温合金、耐蚀合金、特种不锈钢、高档工模具钢、合金结构钢等，产品类型有圆钢棒材、模块类、台阶轴类、饼类、环类、筒类等。

图表 149 中航上大锻造设备性能系数

产品类别	产品规格
圆（孔）饼	$D \leq 1200\text{mm}$, $H \leq 400\text{mm}$
轴件	大台阶 $D \leq 500\text{mm}$
模块	S 截面积 $\leq 280000\text{mm}^2$, 宽度 $\leq 1000\text{mm}$, 厚度 $\leq 400\text{mm}$
环件	$D \leq 2000\text{mm}$, $H \geq 100\text{mm}$
各种异形件	根据客户需求

资料来源：公司官网，华安证券研究所

图表 150 中航上大锻造设备



资料来源：公司官网，华安证券研究所

图表 151 中航上大轧制设备



资料来源：公司官网，华安证券研究所

● 轧制端

横列式轧机是高温合金、难变形特种合金的专用设备。主要设备包括 450 轧机、

320 轧机各一台, 90 在线矫直机、7 辊双曲线 40 矫直机、11 辊 40 矫直机各一台, 100 扒皮机、40 扒皮机各一台, 83 无心磨床、80 无心磨床各一台。可轧制直径 $\Phi 10\text{--}\Phi 80\text{mm}$ 高端特种合金圆钢棒材。

中航上大是国家高新技术企业, 拥有众多国家专利, 参与了 30 多项国家、省部级科研课题, 通过了多项科技成果。公司建有院士工作站、博士后创新实践基地、河北省耐腐蚀合金材料重点实验室、河北省企业技术中心、河北省特种合金再生工程技术研究中心、高温合金再生技术与新型变形材料联合实验室, 是河北省战略性新兴产业重点企业、河北省军民融合型企业、河北省军民融合产学研用示范基地。

图表 152 中航上大部分高温合金专利

时间	专利号	实现的效果
2021-12-10	CN113779906A	为镍基高温合金 VIM 冶炼脱氮工艺方案设计提供理论指导和技术支持, 对实现镍基高温合金材料的高净化目标具有重要意义。
2021-11-23	CN113684387A	能够确保直径大于 $\Phi 180\text{mm}$ 的合金锭中心及边缘成分、组织及性能的均匀性, 提高成材率。
2021-11-19	CN113667861A	利用清洗后的再生料与纯金属料共同冶炼 GH3625 合金不仅能够大幅降低冶炼过程中熔体中的氧和氮的含量, 使冶炼得到 GH3625 合金的力学性能有较大的提升, 还确保了高的铌元素的收得率, 避免了铌元素的偏析。
2021-11-19	CN113667878A	通过再生料和全新原材料共同冶炼的方法制备 GH907 合金, 不仅能够大幅降低 GH907 合金的生产成本, 还可以提高 GH907 合金的质量稳定性及 GH907 合金的性能水平。
2021-11-16	CN113652537A	GH3230 合金废料经过该方法再生后, 可再次用于生产 GH3230 合金, 且制得的 GH3230 合金性能可靠, 显著降低了 GH3230 合金的生产成本。
2021-10-19	CN113510149A	提高了 GH4169 材料的强度性能。
2021-09-28	CN112831676B	有效提高 GH4169 合金中铌的均匀性的同时, 降低 O, N 等有害元素含量。
2021-09-21	CN113414246A	提高了再生利用 GH4169 合金冷拉棒材材料的强度性能。
2021-09-17	CN113020552B	充分利用返回料, 降低 GH4169 合金生产成本。
2021-09-14	CN113390696A	提高检验效率, 挥发刺激性气体少, 节约环保, 组织结构及晶界非常清晰, 能满足生产企业开发新产品及观察新产品组织结构, 便于准确的测量其晶粒度。
2021-09-03	CN113333491A	提高了 GH738 合金的可塑性、保证了组织均匀性。
2021-09-03	CN113337742A	在提高质量的前提下充分降低高纯净返回料生产 GH141 合金生产成本, 提高了经济效益, 本发明的创新性极大增强了国内外市场产品竞争力, 且操作流程不繁琐, 适合大量推广。
2021-09-03	CN113337755A	解决了超低气体含量的 GH4350 合金熔炼工艺, 将其他 O 降低到了 10ppm 以下, N 降低到了 20ppm 以下, 并且将有害气体 N 含量控制到了 20ppm 以下。
2021-07-16	CN113118354A	实现了大规格 GH4049 合金棒材的短周期常温锻造, 且成材率高, 可有效保证棒材的内部质量。
2021-06-25	CN113020552A	能够充分利用返回料冶炼 GH4169 合金, 降低合金生产成本。
2021-06-01	CN110802189B	实现了难变形高温合金的低温锻造。
2021-05-25	CN112831676A	有效提高 GH4169 合金中铌的均匀性的同时, 降低 O, N 等有害元素含量。
2021-05-18	CN112813306A	实现使用再生料生产高质量超细晶 GH4169 合金棒材的目的。
2020-04-21	CN210359049U	有效防止难变形高温合金板坯锻造设备加工过程中出现前后移动的现象。
2020-02-18	CN110802189A	能够改进现有技术的不足, 实现了难变形高温合金的低温锻造。

资料来源: 中国知网专利搜索, 华安证券研究所

4.8 江苏奇纳：致力于特种母合金

江苏奇纳新材料科技有限公司是一家专业从事高温合金母合金、高温合金丝线材等特种金属材料生产和研发的国家高新技术企业。公司联合东北大学、上海交通大学、中科院金属所等科研院所，加大科研力度，为航天军工、能源电力、增材制造、医疗器械、石油化工等行业用户提供优质的高温合金合金母材和丝线材等产品。公司总投资 15000 万元，公司员工 80 余人，公司通过 ISO9001 质量管理体系认证，武器装备质量管理体系认证，航空质量体系认证，是全国“创新创业大赛”优秀奖企业、江苏省瞪羚企业、江苏省军民融合示范企业。公司建有江苏省高温合金材料工程研究中心，江苏省增材制造高温合金材料工程技术研究中心，是国家核电材料发展联盟理事单位、江苏省增材制造协会常务理事单位，拥有授权专利 32 项，其中发明专利 10 项。公司拥有国家级引进人才 1 名，江苏省双创人才 2 名。公司先后承担国家重点攻项目、省重点研发、省军民融合示范、市科技成果转化等多个项目，已完成两轮股权融资。

图表 153 公司高温合金母合金



资料来源：公司官网，华安证券研究所

图表 154 公司高温合金丝材



资料来源：公司官网，华安证券研究所

图表 155 公司产品详细信息

产品牌号	规格参数	产品执行标准
镍基母合金：K418、IN713、K4169、K424、IN738、GH4169、GH3536、GH3625、M247 等； 钴基母合金：CoCrMo、CoCrW	直径：50-80mm； 长度：120-700mm	GB/T 25932 铸造高温合金母合金通用技术条件； HB 7763 航空发动机用等轴晶铸造高温合金锭规范
镍基合金丝材：GH3625、GH4169、18Ni300	直径：0.1-1.6mm	GB/T 25831-2010 高温合金丝材通用技术条件

资料来源：公司官网，华安证券研究所

根据公司微信公共号披露，公司拥有美国进口 Consarc-1000KG 真空熔炼炉、Consarc-3000KG 真空熔炼炉，具备高频加热/工频搅拌等功能，保证了材料的均匀性，减少高温合金的成分偏析，精炼真空度低于 1Pa，极大地减少了材料的杂质和含气量。此外，公司建有江苏省高温合金材料工程研究中心，江苏省增材制造高温合金

材料工程技术研究中心，拥有的成分分析设备包括 ICP、美国 leco 公司的碳硫仪、氧氮分析仪，同时建有化学成分分析室，力学性能分析设备包括疲劳测试仪、高温蠕变设备以及微观金相分析设备。

图表 156 江苏奇纳冶炼设备



资料来源：公司官网，华安证券研究所

图表 157 江苏奇纳相关检测设备



资料来源：公司官网，华安证券研究所

近年来，公司非常重视科研创新，年均研发费用占比超过 10%。公司目前主要开展超高纯净高温合金熔炼技术，高温合金真空连续铸造技术，返回料/返回粉循环利用技术、高温合金电磁增塑拉拔技术。在高温合金、3D 打印金属、生物医用合金、电热合金等领域开发系列产品，为多家上市公司提供优质的特种金属材料。

图表 158 江苏奇纳部分高温合金专利

时间	专利号	实现的效果
2022-01-28	CN113976918A	解决了面向增材制造制粉厂产生的余粉回收重熔问题，利用本工艺，高温合金余粉返回比可以达到 30~70%，同时不影响此类母合金在增材制造领域中的应用。
2022-01-28	CN113976829A	控制钢液在浇注过程中的流动稳定、降温，同时抑制模具钢管内金属的凝固速度，提高铸锭表面质量、减少铸锭中心二次疏松、降低产品中夹杂物的含量。
2020-11-06	CN111118319A	整个制备过程均在真空状态完成，纯净度可达到三联冶炼工艺的水平，得到的电极棒内部组织致密，无集中缩孔。
2020-09-29	CN211588465U	可准确控制高温合金中易烧损的有益微量元素含量，可在线控制中间包内钢液的温度，提高连铸稳定性、成材率和高温合金棒材的成分均匀性，并且能生产任意指定长度的高温合金棒材。
2020-05-19	CN110408852A	利用高温合金自身基体纯金属粉末硬度和屈服强度较低的性能，在室温压力成型过程中起到成型的作用。由于不使用任何粘结剂，不会引入其他杂质元素，通过这种工艺可以有效回收不能直接使用的高温合金粉末，提高了粉末成型的效率。
2020-05-08	CN111112587A	利用熔液浇铸的高温和外加气体压力进行熔点附近的热等静压处理，从而起到类似压铸的效果，极大的减轻甚至消除高温合金母合金的二次缩孔。
2019-12-27	CN110616330A	避开了高温合金因 Al、Cr 含量高，化学溶解过程中易形成氧化膜而难以溶解的问题，反其道而行，将合金在高温氧气下进行充分氧化反应，再进行后续提纯。
2019-10-18	CN110343908A	有效避免缩孔和疏松，并在一定程度上减少有害相，可以在强化合金的同时保持其良好的塑性，从而实现强度和塑性的同步改善。
2019-07-09	CN209077725U	通过对冒口和模具管的改进，可在保证表面和内部质量完好且总熔炼投料不变的前提下，改善并提高高温合金铸造母合金棒材长棒成品率。
2019-06-25	CN109926593A	镍基高温合金粉末具有较低氧含量、高球形度，并且收得率较高，粉末粒径 50 μm 以下镍基高温合金粉末收得率在 90% 以上，成本较低，使最终镍基高温合金粉末满足 3D 打印工艺的高标准，满足了 3D 打印工艺的要求。
2018-04-20	CN107931577A	完美地解决快速凝固炉做成的涡轮因过于粗大的组织会导致涡轮叶片产生柱状晶的问题，有效提高涡轮使用寿命。
2018-01-02	CN206824652U	旨在提供一种高温母合金浇铸用分流净化装置，可用于对母合金模具组合进行平稳均匀分流浇铸和净化钢水的作用。
2016-03-16	CN105400974A	此工艺所获得合金材料外观光洁，内部几乎无缩孔，晶粒尺寸相比未加电磁场搅拌细化 5 倍以上，材料均匀性得到极大提高，尤其是对于合金元素密度差异较大的合金，效果非常明显，极大的提高了材料的综合性能。

资料来源：中国知网专利搜索，华安证券研究所

风险提示：

新型军机放量不及预期；
发动机、燃气轮机等领域国产化替代进程缓慢；
高温合金原材料价格上涨；
高温合金技术突破不及预期；
相关公司产能拓展进展不及预期。

重要声明

分析师声明

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，以勤勉的执业态度、专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，独立、客观地出具本报告，本报告所采用的数据和信息均来自市场公开信息，本人对这些信息的准确性或完整性不做任何保证，也不保证所包含的信息和建议不会发生任何变更。报告中的信息和意见仅供参考。本人过去不曾与、现在不与、未来也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接接收任何形式的补偿，分析结论不受任何第三方的授意或影响，特此声明。

免责声明

华安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。本报告由华安证券股份有限公司在中华人民共和国（不包括香港、澳门、台湾）提供。本报告中的信息均来源于合规渠道，华安证券研究所力求准确、可靠，但对这些信息的准确性及完整性均不做任何保证。在任何情况下，本报告中的信息或表述的意见均不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司、本公司员工或者关联机构不承诺投资者一定获利，不与投资者分享投资收益，也不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。投资者务必注意，其据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或者关联机构无关。华安证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

本报告仅向特定客户传送，未经华安证券研究所书面授权，本研究报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。如欲引用或转载本文内容，务必联络华安证券研究所并获得许可，并需注明出处为华安证券研究所，且不得对本文进行有悖原意的引用和删改。如未经本公司授权，私自转载或者转发本报告，所引起的一切后果及法律责任由私自转载或转发者承担。本公司并保留追究其法律责任的权利。

投资评级说明

以本报告发布之日起 6 个月内，证券（或行业指数）相对于同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准，A 股以沪深 300 指数为基准；新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以纳斯达克指数或标普 500 指数为基准。定义如下：

行业评级体系

- 增持—未来 6 个月的投资收益率领先市场基准指数 5%以上；
- 中性—未来 6 个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至 5%；
- 减持—未来 6 个月的投资收益率落后市场基准指数 5%以上；

公司评级体系

- 买入—未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 15%以上；
- 增持—未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 5%至 15%；
- 中性—未来 6-12 个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至 5%；
- 减持—未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 5%至 15%；
- 卖出—未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 15%以上；
- 无评级—因无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见结果的重大不确定性事件，或者其他原因，致使无法给出明确的投资评级。