



# 高温合金返回料：从工业废料到战略资源的价值重塑

文/曹李慧

## 摘要

在原材料成本占比较高且价格波动大的背景下，高温合金企业成本结构长期承压，降本已迫在眉睫。返回料的应用，即通过回收利用生产及报废过程中产生的废料，正成为行业破局的核心路径。据测算，采用返回料可使生产成本降低 20%~30%，同时节约矿石消耗、减少能耗。曾因杂质富集风险被行业排斥的返回料，如今随着技术突破和标准体系逐步完善，正经历从工业废料到战略资源的价值重塑。数字化赋能与专业第三方正在重塑产业格局，构建“原生料+返回料”双轨并行供应链的企业有望在新一轮产业竞争中占据主导地位。

## 正文

### 一、行业背景

高温合金是航空发动机等高端装备不可替代的关键材料，但原材料成本占比较高且价格波动大；返回料指生产及报废过程中产生的废料，其循环利用可降低对原生矿产的依赖：一方面降本显著，可使成本降低 20%~30%，另一方面可节约矿石消耗、减少能耗，提升产业链资源安全韧性。

高温合金是以铁、镍、钴为基体，能在 600℃ 以上高温环境承受复杂应力、长期可靠工作的一类金属材料，被誉为“工业明珠”。因其优异的高温强度、抗氧化腐蚀性能和疲劳性能，高温合金已成为航空发动机涡轮叶片、燃烧室、导向器以及燃气轮机、核反应堆、石油化工等高端装备不可替代的关键基础材料。根据基体元素不同，高温合金主要分为铁基、镍基和钴基三大类，其中镍基高温合金因综合性能最优，应用最为广泛。根据 Qyresearch 调研显示，全球高温合金市场销售额预计 2030 年将达到 1,080 亿元，年复合增长率（CAGR）为 6.4%（2024~2030）。中国高温合金市场规模预计将从 2023 年的约 50 亿元增至 2030 年的 120 亿元，增长潜力显著。然而，高温合金供给端结构性矛盾依然突出，特别是在尖端产品上，我国仍存在较大的供给缺口。高温合金的成本结构长期承压——镍、钴等有色金属占比较高且价格波动大，任何剧烈变动都会直接挤压加工环节利润。在此背景下，如何降低对原生矿产的依赖、稳定原材料成本，成为高温合金行业必须直面的核心命题。

返回料是指在高温合金冶炼、加工及零部件服役报废过程中产生的各类废料，按照来源可划分为两类：一是企业自产的浇冒口、切头、切尾、车削屑等加工废料，这类废料牌号明确、成分稳定、纯净度较高，回收利用价值最大；二是从市场回收的报废零部

件，如航空发动机退役叶片、导向器、涡轮盘等，这类废料虽然牌号复杂、杂质含量较高，但随着回收分选技术的进步，其资源价值正被逐步发掘。返回料的产业链涵盖废料回收、分选分类、净化处理、重熔冶炼、性能认证、再制造等环节，其中专业化第三方处理企业的参与程度，直接影响废料资源化的效率与质量。返回料正经历从工业废料到战略资源的价值重塑，与原生料生产相比，返回料应用具备双重价值：一方面降本效应显著，采用返回料可使高温合金生产成本降低 20%~30%；另一方面资源节约与减排并行，使用返回料可显著节约原生矿石消耗，同时减少大量冶炼能耗。从资源安全角度看，中国镍资源的对外依存度长期处于 80% 以上，提高返回料利用率本质上是开发“城市矿山”，减少对海外矿产的依赖，提升极端情况下的产业链韧性。

## 二、技术突破

高温合金返回料曾因杂质富集风险被行业排斥，随着多联熔炼等技术的突破，其纯净度已可达原生料水平；通过返回料利用将战略金属保留在工业体系内部，既减少了对原生资源的消耗，也为高端制造业的原材料保障提供了更多选择。

在过去很长一段时间里，高温合金返回料在行业内被视为低价值废钢。早期航空发动机的研制与生产对其使用持审慎态度，主要原因在于杂质控制难题。高温合金在经历一次熔炼和零件制造后，表面会沾染杂质，内部微观组织也可能发生变化。在多次重熔过程中，硫、氧、氮及铅、砷等微量元素可能富集，即使含量增加百万分之几，也可能导致合金性能下降，甚至引发涡轮叶片断裂等失效风险。因此，返回料长期未能得到高价值利用，造成了战略金属资源的浪费。

技术演进的推动正在改变这一局面。近年来，多联熔炼技术的突破推动了返回料的高值化利用进程。通过“真空感应熔炼+电渣重熔+真空电弧重熔”的组合工艺，并辅以等离子光谱、质谱仪等在线检测手段，可以有效控制返回料中的杂质含量，使其纯净度达到与原生料相当的水平，从源头上解决了应用端对性能一致性的顾虑。有研究表明，采用电子束冷床熔炼等创新工艺，能够有效去除合金中的氧化物夹杂。以 DZ125 定向凝固高温合金为例，通过熔滴电子束冷床熔炼预处理，可使氧、氮、硫总含量降至 10ppm 以下，返回料的蠕变寿命较传统工艺提升 43.2%，超过标准 DZ125 合金的下限要求。此外，西安钢研功能材料股份有限公司于 2025 年申请的“高纯级高温合金返回料重熔提纯方法”专利，采用“电弧炉冶炼+多级渣系处理+真空精炼”的组合工艺，解决了传统电渣重熔无法有效脱碳、以及非真空工艺气体含量较高的问题。

从“工业废料”到“战略资源”的转变，反映了冶金技术从粗放向精细化发展的趋势。通过循环利用将战略金属保留在工业体系内部，既减少了对原生资源的消耗，也为高端制造业的原材料保障提供了更多选择。

### 三、政策环境

随着行业标准从无到有、从团体标准升级为行业标准，返回料应用告别了“无标可依”的混沌期；标准体系的完善不仅提升了废料资源化的技术门槛，也为下游用户提供了质量判定的依据，正在加速返回料从企业内部消化走向市场化流通。

近年来，国家层面对战略性稀贵金属回收利用的重视程度持续提升，政策导向正在从宏观倡导转向具体规范。行业标准的密集出台，标志着返回料应用进入了规范化发展的新阶段。从团体标准到行业标准的升级，反映出监管部门对再生高温合金原料质量可控性的高度关注，也为产业链各环节提供了统一的技术语言和判定依据。

**表 1 关于高温合金返回料的部分政策及标准**

政策/标准名称	发布时间	发布单位	主要内容
《关于加快推动制造业绿色化发展的指导意见》	2024 年 2 月	工业和信息化部等七部门	明确提出加强废旧金属等再生资源综合利用
《航空航天用变形高温合金返回料管理规范》	2025 年 4 月	中国锻压协会	规定返回料术语、回收工序、分类分级等技术要求
《再生铸造高温合金原料》行业标准 (YB/T 6350-2025)	2025 年 8 月	工业和信息化部	规定再生铸造高温合金原料的类别、级别、技术要求，2026 年 3 月实施

资料来源：公开资料，由大公国际整理

标准体系的完善正在产生多重积极影响。对于生产企业而言，明确的技术要求和检验方法使得返回料的分类分级有了可操作的依据，降低了因质量争议带来的交易成本。对于下游用户尤其是航空发动机等高端用户而言，标准的出台为返回料的批量采购提供了质量背书，有助于缩短认证周期。对于专业回收处理企业而言，标准的实施提高了行业准入门槛，推动废料资源从“灰色流通”转向规范化回收，一批具备技术实力的专业第三方正在崛起。北京百慕合金有限责任公司（以下简称“北京百慕合金”）自主建设的“再生高温合金原料工程应用平台”于 2026 年 1 月通过专家评审，该项目属国内首创，在节能降碳减成本等方面效果显著，整体达国内领先水平并同步于国际先进水平，同时也是贯彻落实《固体废物综合治理行动计划》《再生材料应用推广行动方案》等最新政策精神的生动实践。

在“双碳”目标与资源安全的双重驱动下，返回料应用的政策红利正在释放。使用返回料生产高温合金可降低碳排放，在碳约束日益严格的背景下，这一优势将转化为实实在在的竞争力。与此同时，镍价维持在较高位区间，使返回料的成本优势更加突出，市场自发的驱动力正在强化。

## 四、产业链

高温合金返回料产业链覆盖了从废料收集到再生材料应用的全过程，主要包括上游废料回收、中游分类处理与重熔冶炼、下游再生材料应用三大环节。

### 1、上游：废料回收与分类

产业链源头是各类高温合金废料的收集与分类。按来源划分，主要包括两类：一是企业自产的浇冒口、切头、切尾、车削屑等加工废料，这类废料牌号明确、成分稳定，回收价值最高；二是从市场回收的报废零部件，如航空发动机退役叶片、导向器、涡轮盘、燃气轮机热端部件等，这类废料牌号复杂、杂质含量较高，但总量庞大，随着回收分选技术进步，资源潜力正被逐步释放。

### 2、中游：分类处理与重熔冶炼

这是产业链的技术核心环节，主要包括废料的预处理、分类分级、净化处理和重熔冶炼。技术流程通常为：废料回收→分选分类→净化处理（去除表面污染物）→重熔冶炼（真空感应熔炼、电渣重熔、真空电弧重熔等多联熔炼）→成分调控→铸锭或电极坯。当前，这一环节主要由两类主体承担：一是高温合金生产企业内部配套的返回料处理能力；二是专业化第三方处理企业，这类企业专注于废料回收、分类分选和精料配送，正逐步成为连接废料来源与合金冶炼厂的关键桥梁。

### 3、下游：再生材料应用

经过再生处理的高温合金返回料，最终应用于航空航天、燃气轮机、核电、石油化工等高端装备制造领域。应用形式包括以一定比例与原生料混合使用和经深度净化后直接作为再生母合金使用。

当前，我国高温合金返回料的应用仍以高温合金生产商“自产自用”为主流模式，即企业在自身冶炼、加工过程中产生的废料，经内部回收处理后重新投入本企业生产环节。这种闭环利用方式虽然能实现部分资源的直接回用，但也导致废料资源化效率受限，大量优质返回料无法跨企业、跨区域高效流通。与此同时，专业第三方回收处理机构的参与程度较低，尚未实现大面积覆盖，国内尚缺乏覆盖“回收—分选—精料配送”全链条的专业化服务体系。正因如此，目前返回料更多停留在企业内部消化阶段，从“自产自用”走向市场化流通仍面临较大障碍。

## 五、供需分析

当前，我国高温合金市场整体供不应求，航空航天、燃气轮机等下游需求快速扩张，高端产品仍存在约30%的供给缺口；返回料尚未形成独立商品化供需体系，仍以“企业内循环”为主；在多种因素驱动下，返回料有望逐步走向市场化流通。

从需求侧看，高温合金下游应用领域正处于快速扩张阶段。有机构预测，2025~2030年我国高温合金年均需求量约5.65万吨。航空航天领域方面，我国军机进入换代高峰

期，新型号发动机列装加速，火箭发射频率大幅提升，对高温合金材料需求激增；燃气轮机领域方面，AI 算力爆发驱动燃气轮机订单大幅增长，国内重型燃气轮机国产化取得突破，舰船用燃气轮机需求持续释放；核电与石化领域方面，三代核电重启叠加四代核电示范工程推进，核电站用高温合金需求快速增长，石化行业设备升级换代，推动耐蚀合金、高温合金需求稳步提升。从供给侧看，我国高温合金行业仍存在结构性供给缺口，虽然国产化率已从 2020 年的不足 40% 提升至 2025 年的约 65%，但高端产品仍存在约 30% 的供给缺口。这表明，高温合金市场整体呈现“需求旺盛、供给偏紧”的格局。

与原生高温合金不同，返回料并非面向终端用户的独立商品，而是冶炼加工过程中产生的中间产物，其产生量直接取决于原生料的生产规模和加工成材率，其使用量则取决于冶炼企业返回料配入比例的技术经济决策。因此，返回料不存在独立的“供给曲线”或“需求曲线”——废料无法脱离原生料生产而单独“生产”，再生材料也无法脱离原生料体系而单独“消费”。

综合来看，当前高温合金返回料市场仍处于“企业内循环”为主的发展阶段，尚未形成独立的商品化供需体系。但随着多项国家标准和行业标准的密集出台、专业第三方处理企业的崛起、下游用户对成本控制和质量稳定性的双重追求，以及高温合金供需缺口的客观现实，返回料有望逐步从企业内部消化走向市场化流通。

## 六、企业实践与发展现状

循环再生应用技术的差距是我国与美国等发达国家高温合金质量与成本控制方面存在差异的重要原因之一；我国部分龙头企业已实现技术突破，返回料应用比例达 70%，成本优势显著，并获得国内外核心客户的认证与批量订单，验证了技术路线的可行性。

美国从 1970 年代起就开展高温合金返回料的再生利用，已形成技术成熟、体系完善、返回料严格分类回收和再生利用的全产业链闭环模式，在生产过程中返回料使用比例达到 70%~90%。目前国内航空发动机领域高温合金返回料利用率远低于国际先进水平，我国航空工业高温合金有效利用率仅为 10%~15%，大部分返回料被降级使用于不锈钢等民用领域或直接当作垃圾处理。这表明，循环再生应用技术的差距是我国与美国等发达国家高温合金质量与成本控制方面存在差异的重要原因之一。

以中航上大高温合金材料股份有限公司（以下简称“上大股份”）为代表的龙头企业已取得重大突破。上大股份是国内唯一掌握高温合金返回料再生应用技术并形成产业化、通过发动机试车考核的企业。以 GH4169 牌号高温合金为例，上大股份使用约 70% 的同牌号返回料作为原材料进行冶炼生产，相较于传统使用纯金属料的生产方式可降低生产成本约 30%，同时通过自主研发的全自动无污染预处理技术和返回料分级使用管理技术，保证了高返回比冶炼特种合金的质量水平，实现了“越炼越纯、越炼越精”的理想效果。在市场拓展方面，上大股份已获得中国航空发动机集团有限公司、中国航空工业集团有限公司等核心客户认证并批量供货，2025 年 12 月更获得某海外航空领域龙头企

业长期供货确认函，2026年至2030年总订货金额约1亿元人民币；成功中标中国科学院上海应用物理研究所钎基熔盐堆关键装备与技术开发项目用GH3535合金材料采购项目，成为钎基熔盐堆关键材料核心供应商之一。

随着国产航空发动机批产提速，加工废料与报废零部件的规模将持续扩大，为返回料再生利用提供了日益充足的原料来源；商业航天的兴起、化工装备的升级换代以及半导体制造设备的国产化替代，也在为高温合金返回料开辟新的应用空间。供给与需求的双重驱动，将使返回料领域从技术可行走向产业规模化。

## 七、挑战与趋势

返回料的规模化推广仍面临技术、标准与产业链三重现实阻力，但数字化赋能与专业第三方正在重塑产业格局，构建“原生料+返回料”双轨并行供应链的企业有望在新一轮产业竞争中占据主导地位。

尽管前景明朗，但返回料的规模化推广仍面临技术、标准与产业链三重现实阻力。

从技术层面看，返回料应用的核心难点在于成分的不可控性——不同牌号合金混杂、不同形态废料的物理化学特性差异等，增加了分类处理的难度。微量元素残留的检测与控制精度，仍是制约高纯净度牌号应用的技术瓶颈。此外，高温合金行业本身具有较高的技术门槛、市场先入优势以及严格的准入要求，新进入者短期内难以形成有效竞争。

从标准层面看，航空发动机对高温合金材料的精度、纯度等有着极为严格的要求，任何新工艺或新材料的引入均需经过长期考核。通常情况下，一套新牌号或新工艺从实验室研发到实际装机应用，认证周期需5至10年。即便在技术成熟的情况下，主机厂对返回料的接受仍需要一个过程。技术验证进度不及预期、认证周期延长，是行业面临的主要不确定因素。

从产业链层面看，国内目前缺乏专业化的高温合金废料回收体系，大量废料流入非正规渠道，导致原料纯度与供应稳定性难以得到保障。与此同时，原生料供应商已在矿产—冶炼环节投入大量资金，返回料的推广可能对其既有市场份额形成冲击。如何在原生与循环两种模式之间寻求平衡，考验着产业的协同能力。

在此背景下，数字化赋能与专业第三方正在重塑产业格局。

从技术发展趋势看，随着大数据和在线检测技术的成熟，返回料利用有望从经验驱动向数据驱动转型。基于成分数据库的智能配料系统、结合激光诱导击穿光谱的在线分选技术，将为废料的精细化分级与闭环利用提供支撑，从而提升利用效率与产品稳定性。值得关注的是，采用返回料生产高温合金可比传统工艺降低碳排放约60%，在倡导绿色低碳背景下，这一优势将更加凸显。

从产业格局演变看，当前返回料处理仍以企业内部消化为主，但随着市场规模扩大和技术复杂度提升，专业第三方处理企业有望成为产业链的重要环节。以北京百慕合金为例，这类企业不直接从事合金生产，而是专注于废料回收、分类分选和精料配送，提

供一站式服务，正逐步成为连接废料来源与合金冶炼厂的关键桥梁。

面向未来，推动返回料产业高质量发展需从三方面发力。一是加快认证体系建设，针对返回料应用特点，建立差异化的认证通道，缩短优质企业的认证周期，为技术成熟企业提供“绿色通道”。二是完善回收网络布局，支持专业化回收企业建设区域性回收中心，建立废料溯源体系，确保原料来源可控、质量可溯。三是强化政策协同支持，在税收优惠、专项资金、技术改造等方面给予倾斜，鼓励原生料企业与返回料企业协同发展，形成“原生+循环”双轨并行的产业生态。

高温合金行业的返回料革命，不仅是技术路线的演进，更是产业模式的深层变革。在成本压力、政策引导与技术进步的共同作用下，率先构建“原生料+返回料”双轨并行供应链的企业，有望在新一轮产业竞争中占据主导地位。

## 报告声明

本报告分析及建议所依据的信息均来源于公开资料，本公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，也不保证所依据的信息和建议不会发生任何变化。我们已力求报告内容的客观、公正，但文中的观点、结论和建议仅供参考，不构成任何投资建议。投资者依据本报告提供的信息进行证券投资所造成的一切后果，本公司概不负责。

本报告版权仅为本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。如引用、刊发，需注明出处为大公国际，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。