

## 科技进步奖公示:

项目名称	先进航空发动机用高品质高温合金材料与超纯净化冶炼技术及应用
提名者	中国科学院沈阳分院
提名意见	<p>我单位认真审阅了该项目提名书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目符合填写要求。按照要求，我单位和完成人所在单位都已对该项目进行了公示，目前无异议。</p> <p>该项目以国防装备需求为导向，针对我国航空发动机高性能高温合金材料缺乏、合金主成分精确控制困难、杂质元素含量偏高等问题，在高温合金材料研发及工程化应用领域开展了大量研究工作，实现了高温合金成分自主设计与高温合金冶炼技术的科技进步，为保障多种航空发动机的研制和批产提供了重要的技术支撑，满足了我国主力战机对高品质高温合金材料的需求，主要体现如下：</p> <p>(1) 基于国防领域对高温合金材料的需求，研究团队通过深入研究合金 C、B、Si、Al、Cr、W 等元素间交互作用机理，澄清了关键合金元素作用机制，掌握了高温合金组织优化控制方法，制定了 K465、K4951、DZ40M/K40M、K416B 等高温合金的成分控制范围。</p> <p>(2) 为提升高温合金母合金品质，开发出了超纯净化冶炼技术，将高温合金中 O、N、S 等杂质元素的含量稳定控制在 5ppm 以下。</p> <p>(3) 所研制和生产的高品质高温合金材料已实现向沈阳航发精密铸造有限公司等近 20 家航空发动机高温部件制造企业和民营航空零部件制造企业批量供货，近 3 年累计产值超过 4 亿元。</p> <p>该项目获得国家授权专利 10 余项（其中国防专利 5 项），发表学术论文 50 余篇。</p> <p>对照省科学技术进步奖授奖条件，提名该项目为 2019 年度辽宁省科学技术进步奖一等奖。</p>
项目简介	<p>高温合金由于其高温综合性能优异，在航空发动机和工业燃机等国民经济和国防建设领域有着无可替代的地位，业已成为国家战略安全的核心材料。然而，由于高温合金材料成分复杂，Al、Cr、C 等易烧损元素的波动和 O、N、S 等杂质元素的超标均会严重损害高温部件的稳定性，是影响航空发动机长期服役可靠性的主要技术瓶颈之一。项目组针对我国航空发动机高性能高温合金材料缺乏、合金成分精确控制困难、杂质元素含量偏高等问题，通过多年的努力探索与技术创新，实现了高温合金成分自主设计与超纯净化冶炼技术的科技进步，将由夹杂等冶金缺陷导致的报废降低 10%，满足了我国航空发动机对材料及部件综合性能不断提升的重大战略需求，主要科技进步体现如下：</p> <p>在高温合金材料研制方面，澄清了 Al、Cr、W、Mo 等关键元素对合金固溶强作用和析出强化的作用机理；从控制合金 Mo、Cr、W 等难熔元素总含量的角度，提出抑制合金 TCP 有害相析出的措施，掌握了热处理过程中高温合金 <math>\gamma'</math> 相、晶界、碳化物的演化规律，形成了 <math>\gamma'</math> 相和碳化物相复合强化的高温合金成分设计准则，并制定了 6 项企业标准。</p> <p>在纯净化冶炼方面，澄清了合金高温冶炼过程中，杂质元素在固-液-气三相界面传输规律，掌握了高稳定性复合坩埚材料及其制备技术，将高温合金中 O、N、S 等杂质元素含量稳定控制在 5ppm 以下。</p>

	<p>在合金产业化应用方面，团队所开发的高品质高温合金材料已向沈阳航发精密铸造有限公司、中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司、西安航发精密铸造有限公司、中国航发动力股份有限公司、贵阳航发精密铸造有限公司、中国航发贵州黎明航空动力有限公司等航空零部件制造公司批量供货，近 3 年累计产值超过 4 亿元。项目组生产的高品质高温合金母合金通过各大航空厂制备成叶片等高温部件后完成交付。项目组生产的 K465、DZ40M、K40M 等高温合金材料的应用，为我国国防事业做出了突出贡献。</p> <p>该项目获得国家授权专利 10 余项（其中国防专利 5 项），发表学术论文 50 余篇。</p>
客观评价	<p>1) 中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司的评价（附件 5.2）： 中国科学院金属研究所在高温合金材料研发、母合金材料超净化冶炼方面具有深厚的积累。近年来，采用其开发的超净化冶炼技术，向中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司提供了 200 余吨的高品质 K640M、DZ640M、K417G、DZ417G 等牌号高温合金母合金，主要用于制造高、低压涡轮工作叶片、导向叶片、结构件等核心热端部件，并在多个型号航空发动机获得推广应用。</p> <p>该单位生产的高温合金母合金主元素含量控制稳定，杂质元素含量低。同时金属研究所利用其技术优势，在高温合金母合金应用过程中的工艺改进、技术支撑等方面为中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司提供了有效服务，为铸件生产提供了质量保证，使我单位多种型号发动机在试车、试飞及服役过程中表现优异，有力保证了我国主战飞机的批产以及新型航空发动机/燃气轮机的研制进度，为我单位高效完成国家重要型号保障任务做出了重要贡献。</p> <p>2) 中国航发动力股份有限公司的评价（附件 5.4）： 该单位在高温合金材料研发、母合金材料超净化冶炼方面具有深厚的积累，其研发的超净化冶炼技术成功应用于多种铸造高温合金材料的制备。近 3 年来，中国科学院金属研究所向西安航发精密铸造有限公司提供了近 300 余吨的高品质 K444、K452、K640、K640M、DZ640M、K465、M951 等牌号高温合金母合金，成功用于多个型号航空发动机以及某型燃气轮机上。同时金属研究所利用其技术优势，在高温合金母合金应用过程中的工艺改进、技术支撑等方面为中国航发动力股份有限公司提供了有效服务，为铸件生产提供了质量保证。</p> <p>3) 中国航发黎明航空发动机有限责任公司的评价（附件 5.6）： 中国科学院金属研究所采用超净化冶炼技术制备的 K417G、K465、K438、DZ438、K438G、DZ438G 等牌号高温合金材料已经用于制造中国航发黎明航空发动机有限公司生产的各类高、低压涡轮叶片等关键热端部件。部分部件主要提供给中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司。</p> <p>4) 安徽应流机电股份有限公司（附件 5.7） 中国科学院金属研究所是我国主要高温合金母合金供应单位之一，其研发的超净化冶炼技术成功应用于多种铸造高温合金材料的制备。近 3 年来，中国科学院金属研究所向安徽应流机电股份有限公司提供了几十吨的高品质 M951、HS31、K465、K438、In718、K418、K640、FSX414、K424、In939、K414 等牌号高温合金母合金，成功用于多个型号航空发动机以及燃气轮机上，主要用于制造高、低压涡轮工作叶片、导向叶片、结</p>

构件等核心热端部件。该单位生产的高温合金母合金主元素含量控制稳定，杂质元素含量低。同时金属研究所利用其技术优势，为安徽应流机电股份有限公司提供了有效服务，确保了铸件生产的质量，为我单位高效完成国家重要型号保障任务做出了重要贡献。

5) 中国航发航空科技股份有限公司（附件 5.8）

中国科学院金属研究所在高温合金材料研发、母合金材料超净化冶炼方面具明显的技术优势。近 3 年来，金属研究所向中国航发航空科技股份有限公司提供了几十吨的高品质的 K465 高温合金母合金，成功用于航空发动机上，主要用于制造叶片等核心热端部件。同时金属研究所为中国航发航空科技股份有限公司在在高温合金母合金应用过程中的工艺改进、技术支撑等提供了有效服务，确保了铸件生产的质量，为我单位高效完成国家重要型号保障任务做出了重要贡献。

中国科学院金属所开发的高温合金材料和超净化冶炼技术立足辽宁，面向全国，经过 20 余年的技术开发，其制备的高品质高温合金材料已经推广应用于沈阳航发精密铸造有限公司、中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司、贵阳航发精密铸造有限公司、西安航发精密铸造有限公司等我国航空发动机叶片制造的骨干单位，并成功应用于我国主力战机。近三年实现新增产值超过 4 亿元（附件 5.1、5.2、5.3、5.4、5.5 和 5.6），产生了显著的经济效益和社会效益，推动了本学科领域材料制备与成形技术的发展与进步，促进了辽宁省航空产业的发展，为我国国防事业的进步奠定基础。主要应用情况如下：

推广应用情况

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人/电话
1	沈阳航发精密铸造有限公司 (附件 5.1)	超净化冶炼技术	采用超净化冶炼技术制备的高品质 K640M、DZ640M、K417G、DZ417G 等高温合金材料，应用于沈阳航发精密铸造有限公司生产的高、低压涡轮工作与导向叶片等多种型号军用航空发动机核心热端部件。近 3 年使金属研究所新增产值 1 亿元。	2006-至今	王铁军 /13998155945
2	西安航发精密铸造有限公司 (附件 5.3)	超净化冶炼技术	采用高品质高温合金材料 K444、K452、K640、K640M、DZ640M、K465、M951 等制备航空发动机的高压涡轮导向与工作叶片、浮动壁瓦块等多种航空发动机核心热端部件。近 3 年使金属研究所新增产值 1.2 亿元	2007 年至今	李长青 /13991364667

	3	贵阳航发精密铸造有限公司 (附件 5.5)	超纯净化冶炼技术	采用高品质高温合金材料 K417G、K465、K438、DZ438、K438G、DZ438G 等量产制备航空发动机用高、低压涡轮工作与导向叶片。近 3 年使金属研究所新增产值 2 亿元	2005 年至今	吴建颢 /136985 27558
--	---	--------------------------	----------	--	----------	-------------------------

主要知识产权和标准规范等目录 (不超过 10 件)

知识产权 (标准) 类别	知识产权 (标准) 具体名称	国家 (地区)	授权号 (标准编号)	授权 (标准实施) 日期	证书编号 (标准批准发布部门)	权利人 (标准起草单位)	发明人 (标准起草人)	发明专利 (标准) 有效状态
发明专利	一种含铅高钨镍基等轴晶合金及其应用	中国	ZL 2011103881 66.1	2013-09-04	第 1265991 号	中国科学院金属研究所	孙晓峰, 于金江, 孟杰, 杨彦红, 王亮, 储昭颀, 金涛, 侯桂臣	授权
发明专利	镍基高温合金的超纯净冶炼方法	中国	ZL 03133533.0	2006-02-15	第 250669 号	中国科学院金属研究所	王志辉, 金涛, 计永茂, 侯桂臣, 赵乃仁, 孙晓峰, 管恒荣, 胡壮麒	授权
发明专利	定向凝固过程连续测温装置和方法	中国	ZL 201210251 785.0	2013-11-13	第 1305945 号	中国科学院金属研究所	张小丽、周亦胄、金涛、孙晓峰	授权
企业标准	K416B 铸造高温合金锭规范 (暂行)	中国	Q/KJ.J02.4 6-2014	2014-11.10	中国科学院金属研究所高温合金部	中国科学院金属研究所	于金江	有效
企业标准	K465 铸造高温母合金锭 (暂)	中国	Q/KJ.J02.3 3-2006	2006-04-25	中国科学院金属研究所高温	中国科学院金属研究	郑启、孙晓峰、管恒荣	有效

	行)				合金部	所		
企业标准	M951 铸造高温合金锭规范(暂行)	中国	Q/KJ.J02.3 0-2008	2008-07-03	中国科学院金属研究所高温合金部	中国科学院金属研究所	中国科学院金属研究所高温合金部	有效
主要完成人情况		<p>摘自辽宁省技术发明奖提名书中“主要完成人情况表”中姓名、排名、行政职务、技术职称、工作单位、完成单位、对本项目贡献。</p> <p>1. 姓名：孙晓峰</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 排名：1</li> <li>• 行政职务：副所长</li> <li>• 技术职称：研究员</li> <li>• 工作单位：中国科学院金属研究所</li> <li>• 完成项目时所在单位：中国科学院金属研究所</li> <li>• 对本项目贡献：负责整个项目的研究工作，对四个科技创新点均有重要贡献，带领研究组人员发展了高温合金超纯净化冶炼技术，将该技术应用到十余种铸造高温合金，使得高品质高温合金的纯净度达到国内领先水平，将高品质高温合金推广到沈阳航发精密铸造有限公司、西安航发精密铸造有限公司、贵阳航发精密铸造有限公司等企业航空发动机关键部件的生产制造过程中，促进了我省乃至我国航空事业的发展。</li> </ul> <p>2. 姓名：侯桂臣</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 排名：2</li> <li>• 行政职务：无</li> <li>• 技术职称：高级工程师</li> <li>• 工作单位：中国科学院金属研究所</li> <li>• 完成项目时所在单位：中国科学院金属研究所</li> <li>• 对本项目贡献：参与了整个项目的研究工作，对科技创新点二、科技创新点三和科技创新点四有重要贡献。通过对复合坩埚稳定性与长寿命的研究，提出延长复合坩埚使用寿命的方法，在此基础上，通过对高温熔体中 O、N 和 S 等杂质元素运动机制的研究，提出杂质元素的控制方法。针对母合金铸锭成分偏析与缩孔、疏松以及铸造遗传性的问题，提出母合金铸锭缺陷的有效控制措施，所制备的高品质高温合金在航空发动机叶片生产厂得到了实际应用和推广，有效的提高了叶片等热端部件生产合格率。</li> </ul> <p>3. 姓名：周亦霄</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 排名：3</li> <li>• 行政职务：无</li> <li>• 技术职称：研究员</li> <li>• 工作单位：中国科学院金属研究所</li> <li>• 完成项目时所在单位：中国科学院金属研究所</li> <li>• 对本项目贡献：参与了整个项目研究的研究工作，对科技创新点一、</li> </ul>						

科技创新点三和科技创新点四有重要贡献，通过开展高温合金超纯净化冶炼基础研究，建立了高温合金超纯净化冶炼工艺规范，使高温合金中 O、N、S 等杂质元素控制在几个 ppm 量级水平，明显改善合金的冶金质量，提高了合金的综合性能。

4. 姓名：王铁军

- 排名：4
- 行政职务：厂长
- 技术职称：研究员级高级工程师
- 工作单位：沈阳航发精密铸造有限公司
- 完成项目时所在单位：沈阳航发精密铸造有限公司
- 对本项目贡献：参与了部分项目的研究工作，对本项目中 K640M、DZ640M 等高温合金材料纯净化冶炼技术应用有重要贡献，通过高温合金叶片等热端部件的制备，为超纯高温合金在新型号发动机中的应用提供保障。

5. 姓名：李长青

- 排名：5
- 行政职务：厂长
- 技术职称：高级工程师
- 工作单位：西安航发精密铸造有限公司
- 完成项目时所在单位：西安航发精密铸造有限公司
- 对本项目贡献：参与了部分项目的研究工作，对本项目中 K444、K452、K640、K640M、DZ640M、K465、M951 等高温合金材料纯净化冶炼技术应用有重要贡献，通过高温合金叶片等热端部件的制备，为超纯高温合金在新型号发动机中的应用提供保障。

6. 姓名：吴建颢

- 排名：6
- 行政职务：总工程师
- 技术职称：高级工程师
- 工作单位：贵阳航发精密铸造有限公司
- 完成项目时所在单位：贵阳航发精密铸造有限公司
- 对本项目贡献：参与了部分项目的研究工作，对本项目中 K465 等高温合金材料纯净化冶炼技术应用有重要贡献，通过高温合金叶片等热端部件的制备，为超纯高温合金在新型号发动机中的应用提供保障。

7. 姓名：王振江

- 排名：7
- 行政职务：无
- 技术职称：工程师
- 工作单位：中国科学院金属研究所
- 完成项目时所在单位：中国科学院金属研究所
- 对本项目贡献：参与了纯净化冶炼工作，对科技创新点三和科技创新点四有重要贡献，对本项目中 K40M、DZ40M、K465、K416B、M951

高温合金材料的应用有重要贡献，通过高温合金叶片等热端部件的制备，为超纯高温合金在新型号发动机中的应用提供保障。

8. 姓名：荀淑玲

- 排名：8
- 行政职务：无
- 技术职称：工程师
- 工作单位：中国科学院金属研究所
- 完成项目时所在单位：中国科学院金属研究所
- 对本项目贡献：参与了高温合金推广应用，对本项目中 K40M、DZ40M、K465、K416B、M951 和 DZ951 等合金推广应用到多个发动机中做出重要贡献，保障了新型号发动机的研制进度。

9. 姓名：谢君

- 排名：9
- 行政职务：无
- 技术职称：副研究员
- 工作单位：中国科学院金属研究所
- 完成项目时所在单位：中国科学院金属研究所
- 对本项目贡献：参与了本项目不同高温合金的研制与推广应用，对科技创新点二、科技创新点三和科技创新点四有重要贡献，通过超纯净化冶炼技术研究，实现母合金主元素成分的精确控制和微量杂质元素含量的有效控制，提高了合金服役性能的可靠性和安全性，也为母合金的生产应用提供了技术保障，并将 M951、K416B 等高温合金推广应用于不同型号的发动机，为高温合金母合金的应用做出重要贡献，保障了新型号发动机的研制进度。

10. 姓名：于金江

- 排名：10
- 行政职务：无
- 技术职称：研究员
- 工作单位：中国科学院金属研究所
- 完成项目时所在单位：中国科学院金属研究所
- 对本项目贡献：参与了高温合金研制与推广应用，对科技创新点一有重要贡献，研制出 M951、DZ951 和 K416B 等高温合金材料，并将合金推广应用到多个发动机中，为合金的研制和应用做出重要贡献，保障了新型号发动机的研制进度。

11. 姓名：李金国

- 排名：11
- 行政职务：无
- 技术职称：研究员
- 工作单位：中国科学院金属研究所
- 完成项目时所在单位：中国科学院金属研究所
- 对本项目贡献：参与了部分项目研究工作，对科技创新点一和科技创

	<p>新点三有重要贡献，通过研究合金元素交互作用机理，参与研制出几种高温合金材料；同时开展高温合金杂质元素控制技术研究，为高温合金的超纯净化冶炼提供技术支持。</p>
<p>主要完成单位及创新推广贡献</p>	<p><b>1. 单位名称：中国科学院金属研究所</b>  单位贡献：中国科学院金属研究所是中科院新创建的首批研究所之一，为国家若干重大工程提供了若干关键材料与技术。经过数十年的研究，研发出了近 20 种牌号的等轴晶、定向柱晶高温合金材料，并开发出高温合金材料超纯净化冶炼技术，高品质高温合金在航空、航天、舰船等领域广泛应用，实现了主元素成分的精确控制，微量杂质元素含量亦得到有效控制，其中高温合金母合金中 O、N、S 等杂质含量控制在 5ppm 以下，为十余种现役、在研和预研型号发动机研制和批产提供了材料保障。近三年产值超过 4 亿元。</p> <p><b>2. 单位名称：沈阳航发精密铸造有限公司</b>  单位贡献：沈阳航发精密铸造有限公司是我国从事航空发动机高温合金叶片等热端部件的生产单位之一。该公司采用金属所生产的 K640M、DZ640M、K417G、DZ417G 等牌号的超纯高温合金母合金为我国航空发动机提供高温合金叶片等热端部件，为本项目高品质高温合金及纯净化冶炼技术的推广应用提供了保障。近三年使金属所新增产值近 1 亿元。</p> <p><b>3. 单位名称：西安航发精密铸造有限公司</b>  单位贡献：西安航发精密铸造有限公司是我国从事航空发动机/燃气轮机铸造叶片毛坯及成品、铸造结构件毛坯等热端部件的生产单位之一。公司采用金属所生产的 K444、K452、K640、K640M、DZ640M、K465、M951 等牌号高品质高温合金母合金为我国航空发动机和燃气轮机提供高温合金叶片等热端部件，为本项目高品质高温合金及纯净化冶炼技术的推广应用提供了保障。近三年使金属所新增产值近 1.2 亿元。</p> <p><b>4. 单位名称：贵阳航发精密铸造有限公司</b>  单位贡献：贵阳航发精密铸造有限公司前身为原贵州新艺机械厂（170 厂），始建于 1965 年，是以叶片精密铸造产品专业化为核心，集创新研究、产品方案实验、批量生产为一体的航空发动机高温合金叶片专业化公司，是一家国有军工高端装备制造企业。公司采用金属所生产的 K417G、K465、K438、DZ438、K438G、DZ438G 等牌号的高品质高温合金母合金为我国航空发动机提供高温合金叶片等热端部件，为本项目高品质高温合金及超纯净化冶炼技术的推广应用提供了保障。近三年使金属所新增产值约 2 亿元。</p>
<p>完成人合作关系说明</p>	<p>项目第一完成人孙晓峰研究员为项目负责人，自 2005 年起承担项目的总体研究方案和组织实施，带领研究组人员发展了高温合金纯净化冶炼技术，将该技术应用到十余种铸造高温合金，对《主要科技创新》中所列的四个科技创新点均有重要贡献。项目第二完成人侯桂臣高级工程师为孙晓峰研究员项目组团队核心成员，同属于一个课题组，自 1998 年加入课题组以来一直从事高温合金超纯净化技术研发工作，对《主要科技创新》</p>



	<p>中所列的第二个、第三个和第四个科技创新点均有重要贡献。项目第三完成人周亦胄研究员为孙晓峰研究员项目组核心成员，同属于一个课题组，一直从事高温合金材料设计与工程化应用工作，建立了高温合金纯净化冶炼工艺规范，使高温合金中 O、N、S 等杂质元素控制在几个 ppm 量级水平，对《主要科技创新》中所列的第一个、第三个和第四个科技创新点均有重要贡献。</p> <p>项目第四完成人王铁军研究员、项目第五完成人李长青高级工程师和项目第六完成人吴建颢高级工程师多年来与孙晓峰研究员课题组在高温合金工程化应用方面一直保持良好的合作关系，为 K640、DZ640M、M951 等牌号高温合金在航空发动机中的应用做出重要贡献。</p> <p>项目第七完成人王振江工程师、项目第八完成人荀淑玲工程师、项目第九完成人谢君副研究员、项目第十完成人于金江研究员和项目第十一完成人李金国研究员均为项目组高温合金材料研发、母合金超净化冶炼及推广应用主要参与人员，与孙晓峰研究员同属于一个课题组。其中王振江工程师主要负责母合金技术研发与生产，荀淑玲工程师主要负责母合金推广应用；谢君副研究员、于金江研究员和李金国研究员为 K416B、M951、DZ951 合金的研制及应用做出了重要贡献。</p>
--	---