

关于发布关键金属冶金的科学基础重大研究计划

2025 年度项目指南的通告

国科金发计〔2025〕10号

国家自然科学基金委员会现发布关键金属冶金的科学基础重大研究计划 2025 年度项目指南，请申请人及依托单位按项目指南所述要求和注意事项申请。

国家自然科学基金委员会

2025 年 1 月 24 日

关键金属冶金的科学基础重大研究计划

2025 年度项目指南

关键金属是指新能源、电子信息等战略性新兴产业发展必需、供应风险较大且需要重点保障的稀有、稀散、稀土与稀贵等金属。基于冶金产业升级与战略性新兴产业供应链安全，推进实施“关键金属冶金的科学基础”重大研究计划项目，设立本指南。

一、科学目标

面向国家重大战略需求，聚焦新能源、电子信息等领域用关键金属，探索关键金属元素富集分离与纯化的新机制，建立关键金属元素超常富集、相似分离、超纯制备的新方法，形成强选择性的冶金技术体系与科学基础，

构建关键金属冶金的研究新范式，推进冶金产业升级，保障关键金属供应链安全。

二、核心科学问题

本重大研究计划围绕以下三个核心科学问题展开研究。

（一）关键金属元素的富集提取机制。

关键金属元素的富集提取新体系；复杂溶液体系中关键金属元素的富集提取新机制；熔盐分离体系中关键金属元素超常富集新过程。

（二）关键金属相似元素的高效分离原理。

关键金属元素的相似性、“主客体”作用与靶向识别新机制；关键金属相似元素的高选择性分离新原理及过程调控。

（三）关键金属超纯制备过程调控规律。

关键金属制备过程中杂质元素迁移规律、多场耦合纯化机理与过程强化机制；超纯关键金属材料的晶相演变与遗传阻断新机制。

三、2025 年度资助方向

基于上述科学目标与核心科学问题，设立培育项目、重点支持项目、集成项目，形成关键金属冶金的新思路，建立冶金新理论与技术新体系，实现关键金属冶金的重大工程实施与重点产品开发。

（一）培育项目。

超越传统冶金研究范式，突出强调形成“强选择性”冶金反应新机制、新原理、新思路。优先支持探索性强且思路新颖的项目。

1. 关键金属元素的富集提取新机制

主要包括但不限于：1) 关键金属元素选择性提取新原理与新方法；2) 复杂混合分散相的物理、化学、生物等超常富集新机制；3) 关键金属冶金过程热力学、动力学及过程强化新方法。

2. 关键金属相似元素的分离新方法

主要包括但不限于：1) 关键金属相似元素、同位素分离的新原理与新方法；2) 共伴生体系中关键金属相似元素的多尺度分离新方法；3) 关键金属相似元素分离过程动力学原位表征新技术。

3. 关键金属的超纯制备新体系

主要包括但不限于：1) 关键金属超纯制备过程中杂质相间迁移与过程强化原理；2) 关键金属的多物理场超纯制备新技术；3) 超纯关键金属中痕量杂质检测新方法。

(二) 重点支持项目。

超越传统冶金研究范式，突出强调形成“强选择性”冶金反应新理论、新体系、新产品。优先支持科学问题明确、学术思想新颖、技术与产品体系完整，有望在新能源、电子信息等产业及重大工程领域形成支撑的项目。

1. 新能矿提取冶金与资源开发

(1) 针对低丰度关键金属（如锂、铀等）稀溶液体系（如盐湖原卤、地热卤水、海水等），明晰元素赋存与动态转化机制，揭示元素微观形态与溶液环境的响应规律，形成能突破“百万分之一”的冶金新体系，实现关键金属元素超常富集提取。如锂综合回收率 80%以上，铀综合提取率 90%以上。

(2) 针对低品位新能矿的固体矿产 (如粘土锂、红土镍、页岩钒等), 通过强化选择性提取过程与机制创新, 形成超常富集的绿色冶金方法与新体系, 显著提高能源金属浸出率、回收率。如锂富集的原位浸出率 70%以上; 镍富集的原位浸出率 80%以上; 钒富集比 100, 综合回收率 85%以上。

(3) 针对退役电池资源循环的绿色冶金, 以规模化资源循环工程为背景, 提出电池梯次利用体系, 创新预处理物理分离方法, 推进短流程材料再造, 形成退役电池绿色循环冶金新工艺与产品体系。如锂、镍、钴回收率 95%以上。

2. 相似 (共伴生) 元素分离与纯化冶金

(1) 针对相似元素分离的冶金方法, 通过物理、化学、生物等学科的交叉研究探索新思路, 鼓励利用大科学装置揭示机理, 显著提高分离效率; 采用元素或分子识别、电化学强化等方法, 形成相似分离新体系。

(2) 针对相似元素与稀土元素的分离纯化过程, 研究元素分离与杂质元素迁移规律, 揭示分离与纯化强化机制, 建立相似分离冶金新体系, 形成产品体系, 保障基础原材料供应。如钨钼分离中钨纯度达到 6N 以上, 钨中钼含量小于 0.1 ppm; 钼纯度 5N 以上, 钼中钨含量小于 1 ppm; 钒、钛冶炼分离系数大于 600, 钒、钛冶金综合回收率 70%以上; 稀土金属纯度达到 5N 以上, 关键放射性元素含量小于 0.2 ppm。

(3) 针对大宗金属共伴生元素的关键金属冶金, 明晰伴生元素在大宗冶金过程中的迁移富集规律与二次资源特性, 在此基础上, 针对不同有价元素建立“强选择性”分离提纯方法与新工艺, 实现有价元素有效回收并

形成系列产品。如铌、钽冶金综合回收率 50%以上，纯度 4N；铈冶金综合回收率 85%以上，纯度 5N。

3. 电子级纯化制程与基础材料

(1) 针对电子信息用关键金属的材料需求，推进智能驱动设计与制造，探索“显微结构-智能解构”平行智能机制，确立金属结构-性能的构效关系，开发杂质性能映射与纯化方法；构建形成包含模型生成、结果反馈、专家验证的研究迭代闭环；建立平行数智关键金属冶金理论与方法。

(2) 针对电子信息用镓、铟、锗等基础材料的纯化制程，明晰不同应用场景的材料性能，探索杂质迁移机制、净化机理，明晰敏感杂质扩散、均质化行为，无晶界钉扎的结晶成核生长机制，提出高纯金属（制品）制程方法；形成基于高纯金属（如铟 8N、镓 8N）的多场景应用材料体系。

(3) 针对电子级高纯金属检测与痕量分析，特别是不同场景材料性能研究，通过揭示纯度/杂质映射，探索杂质与元素作用机制、杂质元素聚集-分散迁移规律，形成杂质分析方法与标准；要求关键杂质成分检测达到 ppb 级，同时明晰材料杂质敏感性及其影响。

(三) 集成项目。

以重大工程实施与重点产品开发为背景，突出强调形成“强选择性”冶金反应的学术思想创新、体系集成与产品突破，推进集成项目实施。优先支持顶层设计完备，研究基础扎实，学术思路与体系清晰，产学研结合，负责人协调组织能力强，依托单位支持与保障能力强的项目。

1. 非传统与复杂锂矿的资源化规模开发

针对锂云母、粘土锂等非传统与复杂锂矿资源开发问题（如元素赋存与矿产禀赋复杂、主元素锂品位贫化严重，伴生元素回收难，有害元素污染风险高，造岩矿物难规模化处置，矿产回收经济性差等），以资源开发的重大工程为背景，推进非传统矿产的资源化开发，确立非传统锂矿的资源地位并形成新能矿的重要支撑。主要研究包括但不限于：明晰资源禀赋、成矿机制与矿床学特征；矿物分离过程与富集机制；元素超常富集与冶金学原理；伴生元素及回收方法；大规模造岩矿物处置与利用；基础原材料导向的材料体系。凝练非传统锂矿资源化的核心科学问题，构建超常富集、分离与纯化的高选择性冶金体系与系统，形成多元有竞争力的产品，强化非传统与复杂锂矿绿色高效开发。主要目标与指标：实现锂边界品位 0.3% 的资源开发，选矿回收率 80% 以上；碳酸锂（电池级）冶炼回收率 85% 以上；铷、铯分离系数 80，铷/铯纯度 3 N 以上；有害元素得到控制，铍铊浸出毒性小于 5 ppb；造岩矿物处置与利用合理，经济与环境效益显著。

2. 关键稀散金属锆的超常富集与高纯制程

涉及锆从自然资源提取到高纯化全过程，以不同场景 2-3 种高纯锆（或同位素）重点材料产品开发为背景。主要内容包括但不限于：探索锆纯化制程新原理与新方法，揭示纯化分离机制与杂质迁移规律，探明杂质物理赋存及脱除机制，满足产品组分与组织要求；建立高纯材料分析检测方法；明晰锆同位素赋存丰度与组分输运机理，建立锆同位素分离理论；揭示煤系锆超常富集规律、大宗金属冶金锆的迁移富集机制。凝练核心科学问题，形成高选择性锆冶金原理及纯化材料体系。主要目标与指标：规模化锆资源开发与高纯锆产品应用工程示范 2-3 项。锆冶金综合回收率 85%

以上;高纯锆(单晶) 12N-13N(可检纯度),净杂质浓度低于 $1E10/cm^3$,位错密度 $100\sim 4000\text{ cm}^{-2}$;锆-76 同位素丰度 85%以上,百克量级锆-70 同位素丰度不低于 99.9%。

3. 核级关键金属冶金与材料体系开发

以钍基熔盐堆/快中子堆核能系统为背景与依托,形成关键金属冶金新体系和科学基础。主要内容包括但不限于:推进核级锆铪、铟钢(乏燃料)等分离纯化;揭示间隙元素冶金纯化与扩散迁移规律;明晰相似元素分离策略和控制因素,揭示分离动力学机制与分离新理论;开发同位素分离体系,形成同位素分离技术原型,推进同位素法的核级元素分离;探索钍金属分离与纯化新方法,探索耦合多形态氟化氢与关键金属元素反应动力学控制机理,探索干扰元素掩蔽方法、痕量杂质与关键金属元素作用机制,建立核级钍-铀循环氟盐分析方法。项目强调以核心科学问题为牵引,形成技术体系与重大工程支撑。主要目标与指标:锆铪纯度达 5N5,氧含量低于 30 ppm;钍纯度达 5N,相应氟化物氧含量 20 ppm 以下,硼当量 5 ppm 以下;氟盐体系分析的氧含量 10 ppm 以下,稀土含量 10 ppb 以下;熔盐介质的铟钢系元素分离因子不低于 500。

四、项目遴选的基本原则

(一) 紧密围绕核心科学问题,注重需求及应用背景约束,鼓励原创性、基础性和交叉性强的前沿探索。

(二) 优先资助能够解决关键金属冶金的科学难题或超出冶金学传统研究范式的研究项目。

(三) 重点支持项目应具有良好的研究基础和前期积累, 对总体科学目标有直接贡献与支撑。

(四) 集成项目既要有工程背景与材料目标, 同时要强调核心科学问题凝练以及高选择性冶金体系的形成与创新。

五、2025 年度资助计划

(一) 培育项目 10-15 项, 直接费用资助强度约为 60 万元/项, 资助期限为 3 年, 申请书中研究期限应填写“2026 年 1 月 1 日-2028 年 12 月 31 日”; 重点支持项目 4-6 项, 直接费用的资助强度约为 300 万元/项, 资助期限为 4 年, 申请书中研究期限应填写“2026 年 1 月 1 日-2029 年 12 月 31 日”。

(二) 集成项目 1-2 项, 直接费用的资助强度 800-1500 万元/项, 资助期限为 4-5 年, 研究期限起始为 2026 年 1 月 1 日。

六、申请要求及注意事项

(一) 申请条件。

申请人应当具备以下条件:

1. 具有承担基础研究课题的经历;
2. 具有高级专业技术职务(职称)。

在站博士后研究人员、正在攻读研究生学位以及无工作单位或者所在单位不是依托单位的人员不得作为申请人进行申请。

(二) 限项申请规定。

执行《2025 年度国家自然科学基金项目指南》“申请规定”中限项申请规定的相关要求。

(三) 申请注意事项。

申请人和依托单位应当认真阅读并执行本项目指南、《2025 年度国家自然科学基金项目指南》和《关于 2025 年度国家自然科学基金项目申请与结题等有关事项的通告》中相关要求。

1. 本重大研究计划项目实行无纸化申请。申请书提交日期为 2025 年 3 月 1 日 - 2025 年 3 月 20 日 16 时。

(1) 申请人应当按照科学基金网络信息系统中重大研究计划项目的填报说明与撰写提纲要求在线填写和提交电子申请书及附件材料。

(2) 本重大研究计划旨在紧密围绕核心科学问题，对多学科相关研究进行战略性的方向引导和优势整合，成为一个项目集群。申请人应根据本重大研究计划拟解决的具体科学问题和项目指南公布的拟资助研究方向，自行拟定项目名称、科学目标、研究内容、技术路线和相应的研究经费等。

(3) 申请书中的资助类别选择“重大研究计划”，亚类说明选择“集成项目”或“重点支持项目”或“培育项目”，附注说明选择“关键金属冶金的科学基础”，受理代码选择 T01，根据申请的具体研究内容选择不超过 5 个申请代码。

培育项目和重点支持项目的合作研究单位不得超过 2 个，集成项目合作研究单位不得超过 4 个。集成项目主要参与者必须是项目的实际贡献者，合计人数不超过 9 人。

(4) 申请人在申请书“立项依据与研究内容”部分，应当明确说明申请符合本项目指南中的资助研究方向，以及对解决本重大研究计划核心科学问题、实现本重大研究计划科学目标的贡献。

如果申请人已经承担与本重大研究计划相关的其他科技计划项目，应当在申请书正文的“研究基础与工作条件”部分论述申请项目与其他相关项目的区别与联系。

2. 依托单位应当按照要求完成依托单位承诺、组织申请以及审核申请材料等工作。在 2025 年 3 月 20 日 16 时前通过信息系统逐项确认提交本单位电子申请书及附件材料，并于 3 月 21 日 16 时前在线提交本单位项目申请清单。

3. 其他注意事项。

(1) 为实现重大研究计划总体科学目标和多学科集成，获得资助的项目负责人应当承诺遵守相关数据和资料管理与共享的规定，项目执行过程中应关注与本重大研究计划其他项目之间的相互支撑关系。

(2) 为加强项目的学术交流，促进项目群的形成和多学科交叉与集成，本重大研究计划将每年举办 1 次资助项目的年度学术交流会，并将不定期地组织相关领域的学术研讨会。获资助项目负责人有义务参加本重大研究计划指导专家组和管理工作组所组织的上述学术交流活动。

(四) 咨询方式。

交叉科学部交叉科学一处

联系电话：010-62328382