

# **地球宜居性的深部驱动机制重大研究计划**

## **2026 年度项目指南**

“地球宜居性的深部驱动机制”重大研究计划瞄准地球内部层圈（地核、地幔及地壳）在控制地球宜居性中的重要作用，围绕以深部挥发分为纽带的跨圈层动力过程与能量物质循环重大科学问题，通过地球科学、数学、物理学、化学科学、信息科学、材料科学等多学科跨领域跨尺度综合研究，为破解地球宜居性的深部引擎之谜提供基础理论和技术支撑。

### **一、科学目标**

聚焦地球宜居性的深部驱动机制，查明地球深部碳、氢、氧等挥发分的化学行为、分布及赋存状态，阐明其对深部组成、性质和结构的影响，探究地球深部碳-氢-氧的循环机制与通量，揭示其与深部地球动力过程的联系，查明深部新化学反应的类型、机制及效应，探索地球深部-浅部关联机制及其对地球宜居性演变和新型稀缺能源形成的调控作用，促进地球系统科学的重大理论创新，培养一支有国际影响力的研究队伍，提升我国在深地领域的创新能力。

### **二、核心科学问题**

本重大研究计划以深部挥发分的“催化作用”和新化学反应为切入点，围绕挥发分（重点关注碳-氢-氧）在地球内部的分布、循环和效应三个相互关联的核心科学问题开展研究。

#### **（一）深部挥发分的分布与地球内部性质。**

综合实测地球化学数据、地球物理观测、极端条件与计算模拟、材料微观结构等研究地球深部挥发分的行为、分布及其对地球内部性质的影响，查明地球深部主要界面和不均匀体的物质组成、结构特征及成因。

### （二）深部挥发分的循环与地球动力过程。

研究地球内部“从上至下”（如板块俯冲）和“从下至上”（如地幔对流上涌和地幔柱活动）过程中挥发分的产生及作用与循环机理，厘清超级火山岩浆储库的组成和挥发分的迁移富集规律；限定富水溶液、含水熔体和超临界流体等产生的物理化学条件和携带挥发分的能力，以及挥发分在不同类型流体中的存在形式；约束不同组成挥发分在不同类型地球动力过程中循环的记录、效率、通量和控制因素。

### （三）地球深部-浅部关联机制与宜居性。

综合大数据分析及人工智能运算、正演模拟研究和地球系统模型开发，重建地史时期多种地球宜居性要素的高分辨率演化历史，研究深部化学引擎在大氧化和缺氧、冰室和极热气候、超级火山、生物繁盛和大灭绝以及氢气、氦气富集等重大事件中的作用，揭示深部过程对地球宜居性演变的作用机制，建立地球不同演化阶段深部-浅部相互作用的理论框架。

## 三、2026 年度资助的研究方向

### （一）培育项目。

以总体科学目标为牵引，基于核心科学问题，2026 年度拟围绕以下研究方向优先资助探索性强、具有原创性思路、提出新技术路径的申请项目。

#### 1. 地球早期宜居要素的形成与物理化学制约。

通过比较行星学研究，探索地球成为宜居星球的原因和机制；评估岩浆洋演化对地球早期宜居性的影响；重建原始大气/海洋/地壳的组成，约束地球宜居性的起源机制。

## **2. 地球深部挥发分的产生机制、化学组成和性质。**

通过研究地幔深度来源的样品（包括超高压变质岩和金刚石）以及实验和计算模拟，限定地球深部挥发分产生的物理化学条件和机制以及地球化学成分和性质，揭示地球深部挥发分的组成和来源，探究其对地球内部动力学的效应。

## **3. 地球宜居要素的表征方法。**

研发高精度（精度~万分之一）定年方法（如 ID-TIMS），通过约束宜居要素的高分辨变率揭示地球系统变化的多样性和潜在的控制因素；宜居要素（如 CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、降水量、温度等）和环境因子（redox、风化、地貌等）新替代指标的开发与应用；探索人工智能技术在地球宜居性演化研究中的应用。

## **4. 地球深部挥发分多尺度探测技术与方法。**

研发能揭示地球深部挥发分分布的地球物理探测技术，以及能确定地球深部储库中挥发分种类和含量的地球化学示踪技术；构建能定量描述深地 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 循环通量的综合模型。

## **5. 地球深部-浅部关联机制。**

研究超级火山喷发、陆壳形成与风化、动力地形、地磁场等地球深部-浅部关联机制中存在的问题，发展研究地球内外联动的方法体系，探索新

的跨圈层联动机制；提出地球不同演化阶段（前板块构造阶段、古老板块构造阶段、现代板块构造阶段）地球深部-浅部的互馈机制。

## **6. 地表重大宜居要素演变及其深部驱动机制。**

重建深时地表宜居要素（如 CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、降水量、温度）、环境因子和生物多样性的高分辨演变历史，通过深度融合实测数据与数值模拟，阐明其与深部过程之间的关联机制。

## **7. 地球宜居性演化的多因素耦合调控机制。**

研究生命活动（如微生物）、海洋风暴、地震、地球深部过程与外源强迫（如轨道、太阳辐射）的协同耦合作用对地球宜居性演化的影响。

### **（二）重点支持项目。**

以总体科学目标为牵引，基于核心科学问题，2026 年拟围绕以下研究方向优先资助前期研究成果积累较好、交叉性强、对总体科学目标有较大贡献的重点支持项目。

#### **1. 地球宜居性的起源和形成机理。**

通过比较行星学研究，探索地球成为宜居星球的原因和机制；通过对冥古宙地球系统的研究，评估岩浆洋演化对地球早期宜居性的影响，重建原始大气、海洋和地壳的组成及前生命化学环境，查明生命起源所需的关键营养元素富集机制，约束地球早期宜居要素的形成机理。

#### **2. 地球深部挥发分的分布和物理化学效应。**

研究地球深部挥发分的产生、赋存、分布及其物理化学效应，理解挥发分在地球内部各层圈的产生条件、赋存形式和溶解机制及控制因素，阐明深部高温高压条件下物质的微观结构特征与挥发分含量的关联，定量约

束挥发分在地球内部各圈层（如上地幔、过渡带、下地幔、地核）的丰度；阐明多种挥发分及其协同效应对地幔、地核物质物理化学性质（如氧化还原状态、输运性质、波速、元素分配、流变性质和部分熔融等）的作用和影响。

### **3. 俯冲带深部挥发分循环和氢气/氦气富集。**

厘清地壳物质（包括蛇纹岩）在俯冲过程中产生、携带和释放挥发分的物理化学机制和地球化学作用，阐明俯冲带蛇纹石化和脱蛇纹石化反应过程乃至氢气和甲烷等生成的物理化学机制；限定挥发分在富水溶液、含水熔体以及超临界流体等熔/流体中的溶解度与存在形式；研究挥发分在地幔不同深度的循环的地质记录和机制及其效率，从定性到定量约束通过俯冲板片迁移到地球深部的挥发分通量和控制因素；揭示流体疏导体系与深部甲烷、氢气、氦气等新型稀缺地质资源在浅部富集机理的关联。

### **4. 超级火山的形成机理、挥发分释放与效应。**

探究超级火山（包括大火成岩省和  $VEI > 7$  的火山）形成及其深部构造控制；限定与超级火山喷发有关的重要岩浆房过程及其精确时间尺度，揭示挥发分促进地幔和地壳大规模熔融、触发超级火山喷发的机理；查清超级火山喷发过程中释放挥发分的来源、释放量和释放速率及其气候环境效应，阐明超级火山喷发（如火山灰、释放气体、岩石风化、岩浆侵入引起的热变质）和喷发频次对地球气候的调节机理。

### **5. 地球深部新化学反应机理。**

研究地球深部高温高压环境下轻质挥发分与地幔/地核物质间的反应，探寻深部新物质，解析超氧化物等新化学反应产物的生成机制、演化历史

和物理化学性质，阐明深部物质引擎的化学要素和对地表宜居性的调控。

(鼓励地球科学与化学、物理学、材料科学交叉)

## **6. 地球宜居性演化的多金属同位素示踪体系构建和应用。**

研究宜居环境形成和演变中多种金属同位素分馏机理，构建追踪火山活动-大陆风化-环境变化-生命反馈全链条演化路径的多元同位素示踪体系，研究关键地质时期环境-生命协同演化规律和驱动力。

## **7. 地球固体圈层演变对地球宜居性的影响。**

重建3亿年以来全球（特别是东亚）古地貌演变，定量分析深部地幔动力地形、岩石圈变形和地表动力剥蚀过程的贡献，综合对比深浅环境代用指标，探讨深浅耦合机制；重建关键地史时期全球构造古地理格局与气候带的同步转变，揭示真极移引发的地表物质和元素循环，阐明全球尺度快速构造变动通过深-浅多圈层耦联调控地表环境和生命演化的机制。（鼓励地球科学与数学、信息科学交叉）

## **8. 关键地质历史时期深-浅关联机制与宜居性演化。**

围绕若干重大地质事件（大氧化和缺氧、冰室和极热气候、超级火山、生物繁盛和大灭绝等），重建高分辨率地质年代学格架、生物多样性、宜居要素（CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、降水量、温度等）和关键环境因子的记录，研究深部岩浆作用、地壳风化、元素循环与生命活动之间的时空关联，揭示由深部驱动的跨圈层元素生物地球化学循环过程对温室气体演变、功能微生物、生态系统的调控作用，阐明深部过程、气候、环境和生命共演化规律及驱动力。

### **(三) 集成项目。**

在前期布局和资助成果的基础上，集中优势力量，围绕以下方向进行集成，力争实现跨越发展。

### **1. 地球深部动力过程对地表宜居性的驱动与控制机制。**

构建基于多学科观测约束的真实三维地球动力模型，重建显生宙以来板块俯冲历史、地幔柱活动以及陆内变形和抬升等，定量考察全球俯冲带、大陆裂谷和洋中脊分布、陆地面积和硅酸盐陆壳风化的速率、大火成岩省喷发频率的演变历史和关键时期的变率，揭示不同深地过程对地表宜居要素长期变化的贡献和控制机制。

### **2. 深浅耦合模型构建与宜居要素演化的定量解析。**

研发用于重建地表关键环境因子变化的示踪体系，构建耦合金属同位素和地球深部挥发分循环的生物地球化学模型（如 COPSE、EPOC 等）和地球系统模型（如 GENIE、SCION 等），揭示若干关键地质历史时期地球深部挥发分向地表排放的速率、总量和模式，以及其引发的浅表宜居要素和环境因子变化，阐明地表环境变化和生物多样性演变的深部驱动机制。

## **四、遴选项目的基本原则**

- (一) 对实现总体科学目标的贡献度。
- (二) 促进科学问题解决的新思路、新方法。
- (三) 学科交叉，促进我国相关领域发展的国际合作与共享。
- (四) 培育项目优先资助探索性强、具有原创性思路、提出新技术路径的申请项目；重点支持项目应具有良好的研究基础和前期积累，学科交叉性强，对总体科学目标有直接贡献与支撑；集成项目需紧密聚焦指南方

向与核心研究内容，开展系统性、贯通式攻关，旨在实现重大理论突破，产出具有国际领先水平的标志性成果。

## **五、2026 年度资助计划**

拟资助培育项目约 12 项，直接费用资助强度约为 60 万/项，资助年限为 3 年，申请书中研究期限应填写“2027 年 1 月 1 日 - 2029 年 12 月 31 日”；拟资助重点支持项目约 10 项，直接费用资助强度约为 280 万/项，资助期限为 4 年，申请书中研究期限应填写“2027 年 1 月 1 日 - 2030 年 12 月 31 日”；拟资助集成项目约 2 项，直接费用资助强度约为 600 万/项，资助期限为 3 年，申请书中研究期限应填写“2027 年 1 月 1 日 - 2029 年 12 月 31 日”。

## **六、申报要求及注意事项**

### **(一) 申请条件。**

本重大研究计划项目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科学技术人员不得作为申请人进行申请。

### **(二) 限项申请规定。**

执行《2026 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、《2026 年度国家自然科学基金项目指南》和《关于 2026 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。申请书提交时间为 2026 年 3 月 1 日 - 2026 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(以下简称“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) 项目申请人在科学基金网络信息系统中选择“在线申请”——“新增项目申请”——“申请交叉科学部项目”进行项目申报。

申请书中的资助类别选择“重大研究计划”，亚类说明选择“培育项目”、“重点支持项目”或“集成项目”，附注说明选择“**地球宜居性的深部驱动机制**”，受理代码选择 T04，并根据申请项目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，集成项目的合作单位不得超过 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) 申请人在申请书起始部分应明确说明申请符合本项目指南中的具体资助研究方向（写明指南中的研究方向序号和相应内容），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 2026 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。**未按时提交项目清单的申请将不予接收。**

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，并认真开展学术交流。

**(四) 咨询方式。**

国家自然科学基金委员会交叉科学部交叉科学四处

联系电话：010-62328922

