

# “鼓励探索，突出原创” 科学属性类项目资助案例

## ——全球地表覆盖制图的有限样本稳定分类研究

### 1、申请人阐明选择该类科学问题属性的理由

全球地表覆盖制图是全球变化及相关研究的重要基础数据。其中，样本获取、迁移和应用是监督 分类全球地表覆盖制图的核心技术之一。关于全球地表覆盖制图的训练样本量、样本分布与制图精度关系，一直都是经验性、定性判断。用数学理论或统计方法定量研究样本，大多集中在验证样本的采样方案、验证样本评价精度等方面。同时监督分类要使用复杂多样的算法，训练样本与分类精度的量化关系不那么直接和明确。为了更好地理解样本获取和迁移中的问题本质和应用边界，本研究通过理论分析和大量实验比较，更加明确量化地解释样本量、样本分布与分类精度的关系问题，为全球地表覆盖制图的样本采集、扩展和迁移应用提供基础支持。

### 2、评审专家评述分类评审意见

在基金委新时代科学基金的资助导向下，函评和会评专家一致认为该项目所提出的科学问题和解决方案属于典型的“鼓励探索，突出原创，土地覆盖相关的训练样本的数量、质量、分布以及迁移性能对于地表覆盖分类至关重要。但是，当前已有的研究对训练样本对分类结果的影响仅限于少量实验总结的定性经验认识，其定量化程度与推广潜力都十分有限。相关的样本理论分析是十分基础的工作，但遗憾的是长期以来可能由于难度问题并未受到遥感学者的深入关注。本项目申请者针对全球土地覆盖分类问题，研究和发展相适应的有限样本稳定分类理论，推演其中关键的数学证据与基础，是极具价值的一次尝试，对于推动土地覆盖制图的基础理论发展具有十分重用的意义。

A “鼓励探索，突出原创”

南极半岛、南设得兰群岛地区中新世代几个关键古气候变化事件的生物响应过程

申请人在申请书中阐明选择该科学问题属性的理由（800字以内）

南极大陆是人类了解最少的大陆，也是唯一一块被冰盖覆盖的大陆，历来是全球各国针对多种领域、利用多手段进行研究的热点。近年来随着全球变暖趋势加重，人们对全球气候的演变尤为关注，距离人类社会较近的古气候事件正成为研究热点。南极地区受冰盖的反馈作用影响，古气候事件对南极的影响比中低纬度地区会更强。

古新世-始新世极热事件(PETM)是地球历史中最强烈的全球升温事件之一，也是距离现代人类社会时间最近的一次升温事件，又因其温室气体的排放与当前工业废气排放水平相当，因而在全球变化与地球系统科学研究中具有重要的研究意义。此前关于南极地区的PETM研究报导都是通过大洋钻探获取的深海底部岩芯的记录。陆地上的记录从来没有发现过，跟大洋盆地记录相比，理论上一个古气候事件对陆地的影响要比海洋更为强烈，对高纬度地区的影响要强于低纬度地区。因而通过高纬度地区陆相地层的沉积记录来研究一个影响最强烈的气候事件中生物的响应和生态面貌的演变具有重要的意义。白垩纪高温温室气候时期也是最受学术界，争议是该时期有无91.2Ma短冰期出现。南设得兰群岛的地层分布规律是西南侧相对更老些，加上周边地区火成岩的年龄记录，现有证据支持可能属于高温温室气候时期的短冰期记录。Oi-1骤冷事件和Mi-1降温事件属于降温事件，属于南极冰冻圈两次出发事件。这几个气候事件的既有突然变暖的，又有突然变冷的，还有暖中突然变冷的。如果能够完整重建这几个事件中生物的响应过程，会对评估全球气候变化对人类可持续发展的影响提供很好的借鉴。

如果项目能够得到批准，并且能够顺利实施，将会产生重要的原创性成果。

南极地区科学考察不利条件是自然环境恶劣，未知困难多，野外科学考察只能依靠徒步，非常艰苦；有利条件是研究基础薄弱，遇见新发现的概率大。选取南极半岛、南设得兰群岛作为研究区域，也是对未知领域的探索。

评审专家的具体评价意见：

一、该申请项目的研究内容是否具有原创性并值得鼓励尝试？请针对创新点（如新思想、新理论、新方法、新技术等）详细阐述判断理由。

专家一：

全球变化是人类社会和科学界关注的热点，而南极地区受冰盖的反馈作用影响，古气候事件对全球的影响具有倍增器的作用，是各国争先开展的地区，对白垩纪以来的全球变化一些典型事件的研究，可以产生原创性成果，具有重要意义。

申请人拟选择南极半岛、南设得兰群岛地区的中-新生代地层作为研究对象，对白垩纪时期（91.2Ma，短冰期？），古新世始新世极热事件、渐新世和中新世Oi-1骤冷事件和Mi-1降温事件等开展生物地层学、古生物学、岩石地层学、有机碳同位素、地球化学、矿物学的研究，分析气候变化事件中生物响应过程和生态面貌演化过程，探讨关键气候变化事件中生物的响应过程，为全球气候变化对人类可持续发展的影响提供借鉴。

专家二：

“南极半岛、南设得兰群岛地区中新世代几个关键古气候变化事件的生物响应过程”面上项目，研究区域为人类目前了解最少的南极大陆，研究对象为首次发现的南极陆地沉积剖面，具有原创性，并非常值得鼓励尝试。研究目标包括恢复南极半岛地区关键气候事件中的生物响应过程和环境变化过程，对探讨生物与环境协同演化规律具有重要科学意义，对总结古气候变化规律、预测全球气候变化趋势具有原始创新性。

# 四类科学问题属性案例分析—A类

## 案例、建立未蚀刻与蚀刻裂变径迹关系的几个创新方法

### 申请者阐述选择科学属性的理由：

**科学问题提出：**裂变径迹热年代学方法利用铀裂变产生的径迹进行定年和热史分析，广泛应用于地质、石油勘探、考古等领域。然而裂变径迹被化学蚀刻放大后，其微观信息丢失，导致在如何认识“未蚀刻与蚀刻裂变径迹之间的关系”方面存在巨大争议。

**原创性研究思路：**申请人具有地质学和核工程交叉背景，利用离子加速器、透射电镜等手段，探索多种新技术，从原子尺度研究“未蚀刻”径迹，并对照“蚀刻”径迹，建立两者联系，探索解决裂变径迹领域这一悬而未决的难题。

**新方法：**本申请拟开发“原位蚀刻”新方法，观察裂变径迹蚀刻全过程，探索利用与表面相交径迹代替稀少的围限径迹，以提高测量蚀刻长度的效率；拟开发“从样品侧面测量核径迹蚀刻长度”新方法，建立蚀刻长度缩短与未蚀刻径迹退火的对应关系；拟开发“高分辨透射电镜-原位加热”方法，实现原子尺度下观察裂变径迹在热退火时缺陷湮灭、损伤恢复完整过程。

## 专家分类评审意见：

一、该申请项目的研究内容是否具有原创性并值得鼓励尝试？请针对创新点（如新思想、新理论、新方法、新技术等）详细阐述判断理由。

该申请从原子尺度上进行微观研究，拟采用一些新的方法手段（离子探针）和新的技术方法（包括径迹长度统计、蚀刻方法等）来建立未蚀刻与蚀刻裂变径迹间的关系。该申请具有原创性，有望在机理与方法方面促进裂变径迹热年代学的发展。

二、请评述申请项目所提出创新点的科学价值及对相关领域的潜在影响。

申请项目对未蚀刻裂变径迹的研究是实现正确测量裂变径迹的基础，有助于合理的反演区域热演化历史。高分辨率透射电镜-原位加热方法的开发，有望实现原子尺度下观察裂变径迹的退火过程。该申请将推动裂变径迹年代学的研究，在低温热年代学和物质微结构科学研究领域具有引领性。

三、请结合申请人的学术背景及研究方案评述开展该原创性研究的可能性。

申请人长期从事热年代学研究，在径迹损伤结构、退火行为与过程、实验方法与技术等方面开展了大量卓有成效的研究工作。所在单位具备开展本研究的离子辐射、材料表征及热年代学分析设备等条件。申请的实验方案和技术路线合理可行。

四、其他建议

加强“裂变点蚀刻受阻”研究。



# “鼓励探索、突出原创”

## ——火星弓激波上游阿尔芬波观测研究

### 申请人：

请阐明选择该科学问题属性的理由（800字以内）：

#### 科学背景与研究意义：

过去近三十年，基于火星空间磁场或电子和离子密度探测，对火星弓激波上游阿尔芬波的基本特征有了初步认识，但对波源机制知之甚少。另外，磁绳和其背景等离子体环境都非常复杂，暂无相关理论和数值模拟可准确描述磁绳中的扭转阿尔芬波，单点卫星观测又难以判定磁场是否沿方位角方向准周期振荡，在火星上游探寻扭转阿尔芬波极具挑战性。

#### 研究内容与创新性：

本项目拟利用火星探测器MAVEN提供的磁场与粒子同步探测，研究火星弓激波上游产生阿尔芬波的离子源，进而分析离子速度分布函数，以期增进对阿尔芬波的激发机制的认识。另外，提出诊断扭转阿尔芬波的新方法，选取时长仅为1-2分钟的高分辨率磁场数据（32Hz采样），将磁绳自身扭缠对波动诊断的影响最小化，分析磁绳中磁场的旋转特征，提取沿方位角方向的准周期性振荡（扭转波模的特征），以期在火星上游找到扭转波模的观测证据，进一步丰富阿尔芬波理论。

### 科学背景与研究意义

阿尔芬波是火星弓激波上游区域最主要的低频波动，是太阳风与火星相互作用过程中产生的多种等离子体不稳定性激发。对其时空分布和波源机制的研究将有助于理解太阳风与火星相互作用和火星大气逃逸。

### 研究内容与创新性

创新地提出了利用MAVEN的磁场与粒子同步观测数据，分析阿尔芬波的离子速度分布函数，探讨阿尔芬波的激发机制；同时，提出通过分析磁绳中磁场沿方位角方向的准周期性振荡来诊断扭转阿尔芬波的新思路。

### 资助导向与专家评价

火星探测是世界深空探测的热点，也是中国深空行星探测的第一目标。阿尔芬波是空间物理学中最重要的波动之一，申请人拟从离子分布函数的角度，揭示阿尔芬波的时空分布和波源机制，是一个有创意的研究项目。

## A类： 大气黑碳颗粒的老化机制及其分形维数表征

### 申请人选择A类科学问题属性的理由

黑碳是由生物质和化石燃料等不完全燃烧排放的一种气溶胶。黑碳颗粒粒径小和质量浓度偏小，但其数浓度大，危害与影响比较严重。黑碳颗粒表面携带着有毒、有害的有机或无机组分，对人体健康产生严重威胁。另一方面，作为难降解的黑色气溶胶物质，黑碳颗粒具有强吸光特性，影响大气的辐射平衡，从而改变大气边界层对流稳定性，对区域和全球气候产生重要影响。因此，目前大气黑碳颗粒研究已经成为国际大气环境研究领域的前沿和热点。

近年来，关于黑碳颗粒的研究主要集中于对其质量浓度、粒径分布和混合状态的观测，针对其光学效应和气候影响的评估仍然存在较大不确定性。研究表明，黑碳颗粒具有极其复杂的链状结构，如果被二次气溶胶包裹能够产生“透镜效应”导致其光学吸收能力增加。目前已经知道黑碳颗粒的形貌、混合结构特征与其光学效应密切相关，然而如何把外场直接观测数据和黑碳单颗粒参数应用到对其光学计算一直缺乏一种有效手段。

为了解决以上科学难题，申请人团队在黑碳颗粒的分析技术与数据模式分析方面进行了长期探索，近几年在黑碳颗粒形貌表征的数学模型计算与图象识别编译方面取得重要进展。申请人完全自主开发SP软件，不仅能自动识别电镜图像中黑碳单颗粒参数，还能直接计算单个黑碳颗粒的分形维数。目前申请人已经形成SP软件的初级版本，之前未申请过任何项目资助。本项目拟首次应用SP软件以不同排放源的新鲜黑碳、不同大气环境条件下的老化黑碳以及受排放源影响微环境中的黑碳颗粒为研究对象，阐明黑碳颗粒的理化特性及其老化过程中的分形维数特征，揭示大气黑碳颗粒的老化机制及其来源特征。

总之，本项目立足于解决当前大气环境科学领域的热点与难点科学问题，不仅能丰富气溶胶单颗粒研究的理论体系，还能实现从外场观测到模式计算的突破，应用该新技术获得黑碳单颗粒的复杂形貌结构具有鲜明的首创性特征。该研究将为准确评估大气黑碳的光学效应及其气候影响提供重要数据基础和关键科学依据。

### 评审专家评述分类评审意见

黑碳是大气中的重要颗粒物，一方面，由于其表面吸附有毒有害物质会影响人体健康，另一方面具有强吸光性，影响气候，间接影响大气辐射平衡。此外，在大气传输过程中会与大气中的污染物混合。为了更准确地评估大气黑碳颗粒的光学特征及其气候效应，在不同大气环境条件下的黑碳形貌特征及混合机制显得尤为重要。目前已有的方法准确性较低，因此，申请人拟针对不同排放源、不同大气环境条件，采集PM2.5和单颗粒样品，采用TEM以及自主开发的黑碳系数计算软件以及其它技术手段，观测大气黑碳颗粒的质量浓度、形貌特征和混合状态等，并定量表征黑碳颗粒老化过程中的分形维数变化特征。拟开展工作与已有研究不同，率先建立黑碳单颗粒外场观测-实验分析-模型计算的快速准确量化表征平台与方法体系，具有原创性，并且研究结果能够得到后期的推广应用。整体研究方案可行，研究基础较好。综上，建议优先资助。

该项目采用SP新技术结合透射电镜和黑碳仪等手段，以不同排放源的新鲜黑碳、不同大气环境条件下的老化黑碳以及排放源新鲜黑碳颗粒为研究对象，能够为外场观测与模式计算搭建桥梁，并且可以为黑碳的气候效应、老化过程影响等方面提供基础数据，具有广泛应用。

申请人团队一直从事气溶胶颗粒物研究，具有丰富的外场经验和单颗粒研究方法的良好基础。申请人团队已经开发了黑碳系数计算SP软件的初级版本，本项目的研究内容整体合理可行。

# 鼓励探索，突出原创

## 中印度洋模态过程中热带印度洋季节内变化的特征及机制

### 申请人阐明选择该类科学问题的理由

- **该项目提出了原创概念：**中印度洋模态是申请者和合作者在综合分析观测数据和前人研究成果的基础上，独立提出的全新的海气耦合模态，完全符合“源于科研人员的灵感和新思想”的要求，并“具有鲜明的首创性特征”。
- **该项目与以往研究有本质区别：**中印度洋模态期间热带印度洋海表温度的变化也和MJO期间海表温度的变化有明显不同的特点，其机制也与之前海洋对MJO的响应有实质区别，这是申请人提出本研究计划的重要基础，该目标也同样“具有鲜明的首创性特征”。
- **该申请预期有原创成果：**中印度洋模态的提出为深化人们对印太区域海气耦合过程的了解提供了全新的视角，也为提高印太区域天气和气候的模拟与预报能力提供了新的可能性。可以在机制探讨、数值模拟和预报预测等各个方面推动印太区域季节内尺度海气相互作用的基础理论研究和应用研究，同时获得更多的“从无到有的原创性成果”。

### 评审专家评述分类评审意见

- **认可申请项目的原创特征：**中印度洋模态（CIO）是申请人提出的一个新海气耦合模态，跟MJO有本质的区别。CIO有利于季节内振荡向北传播，能促使夏季风的爆发，因而具有重要的研究意义。
- **预期申请项目可产出原创成果：**申请人具有良好的前期研究基础，有望取得突破性成果，建议资助。

**项目名称：土壤胶体颗粒聚合过程中的强极化与极化诱导共价作用****◆ 申请人阐明选择该科学问题属性的理由：**

在土壤学中，“从原子/亚原子尺度上的界面反应，到介观尺度上土壤不同胶体颗粒间相互作用，再到土壤系列宏观性质与过程发生”的定量关联研究较为缺乏。“土粒界面反应→土粒间作用力→土壤流失强度”的定量关联研究并不多见。出现这种情况的可能原因是：土壤体系的复杂性和特殊性使得基于经典基础科学原理的土壤学理论难以实现这种定量关联研究。正是考虑到土壤胶体物质（包括矿物和有机胶体）的独特属性，近期申请者及其团队将量子力学中的薛定谔方程应用于土壤带电胶体体系，发现了经典物理学和化学原理中没有涵盖的新物理效应：离子/原子外层轨道非对称杂化，和基于此物理效应的新化学成键方式：极化诱导共价作用。因此，本项目将利用这些新发现去重新认识土壤不同带电胶体颗粒间的聚合作用过程（包括长程力“凝聚”和短程力“键合”），为未来的“不同尺度之间土壤过程的定量关联研究”寻找新的出路。

**◆ 评审专家意见：利用新思想和新知识，去重新认识原子尺度上土壤界面反应的微观机制，为未来“不同尺度之间土壤过程的定量关联研究”和“土壤这一独特自然体独立知识体系的建立”寻找新的出路。**



# “聚焦前沿，独辟蹊径”科学属性类项目资助

## ——21世纪中国地表风速变化及其对风能生产的影响机制

### 1、 申请人阐明选择该类科学问题属性的理由

风能是正在快速发展的可替代传统化石燃料的清洁能源，其开发利用是实现人类社会可持续发展的重要途径，且具有广阔的市场前景。地表风速变化将严重影响风力涡轮机的发电效率，其变化的不确定性是全球风能产业面临的重大挑战。本项目聚焦21世纪中国地表风速变化及其对风能发电的影响，通过融合多源观测数据和新一代地球系统模型，研究中国地表风速时空变化的特征，改进模型对地表风速的模拟，分析控制中国地表风速年代际波动的动力机制，预测未来一定时期内中国地表风速的变化并分析其对中国风能发电的影响。本课题将为我国风电产业的长远规划与健康发展提供科技支撑，保障我国切实有效地通过风能替代传统化石燃料达到缓解并控制全球气候变化的目的。尽管已有大量中国地表风速变化的科研成果，但是大部分研究都侧重于早期的中国地表风速下降，缺乏对21世纪中国地表风速变化及其机制的系统研究，其对中国风能产业的影响仍需进一步讨论。本项目具有鲜明的引领性和开创新特征。 因此，我们认为，本课题属于“聚焦前沿、独辟蹊径”。

### 2、 评审专家评述分类评审意见

作为一种重要的清洁能源，风能的开发利用是实现人类社会可持续发展战略的重要途径。风力发电与风速密切相关，地表风速变化的不确定性将是全球风能产业面临的重大挑战。揭示地表风速变化格局及其对风能生产的影响机制，为我国风能开发利用的长远规划和行业的健康发展以及风机发电效率的提高提供重要的科技支撑并具有很好的指导意义。申请人课题组前期关于全球地表风速变化的研究与传统的地表风速在持续下降的认识有所不同，需要进一步开展相关的研究，进一步揭示地表风速的变化特征。该项目聚焦前沿，改进模型对地表风速的模拟，分析控制中国地表风速年代际波动的动力机制，将进一步拓展我国地表风风速变化及其物理机制的科学认识。项目具有“聚焦前沿、独辟蹊径”的特色。

B “聚焦前沿，独辟蹊径”  
俯冲带典型碳酸盐矿物在流体中溶解度和碳种型的实验研究

申请人在申请书中阐明选择该科学问题属性的理由（800字以内）

- 碳是组成地表生物圈和影响地球宜居性的关键元素之一，对全球碳的运移、交换和循环的研究是关系到人类生存环境的重要科学问题。俯冲带是地表碳进入地球内部的主要通道，也是部分俯冲碳通过岛弧火山作用返回地表，影响大气环境和地球演化的关键环节，俯冲带碳循环是目前地球科学研究的前沿。俯冲板片中碳主要以碳酸盐矿物形式存在，俯冲板片脱出的富水流体是碳迁移的主要载体，但目前对碳酸盐矿物在俯冲带条件下流体中的溶解度和流体中碳的赋存形式的研究还非常有限，特别是弧下深度高温高压条件下的实验研究缺乏，严重阻碍了对俯冲带碳循环的准确定量约束。在此背景下，本项目设计创新性地将水热金刚石压腔高温高压装置和显微激光拉曼、显微红外光谱等微区分析手段相结合，在俯冲带条件下(0.5-3 GPa, 400-900 °C)，对典型俯冲碳酸盐矿物方解石/文石和菱镁矿在纯水和不同浓度NaCl溶液中的溶解度进行原位准确测定，同时对高温高压流体中的碳种型及含量进行原位的光谱学定量分析。并结合传统的非原位方法，在活塞圆筒压机中对碳酸盐在高温高压流体中的溶解度进行验证测定。通过系统的研究，查明温度、压力和盐度对碳酸盐溶解度和流体中碳种型及含量的影响，定量解析板片流体，特别是弧下深度(2-3 GPa, 600-900 °C)的高温高压流体迁移碳的能力和机制，深化对俯冲带碳循环的认识。

评审专家的具体评价意见：  
一、该申请项目所关注的科学问题是否源于多学科领域交叉的共性问题，具有明确的学科交叉特征？请详细阐述判断理由并评价预期成果的科学价值。

专家一：  
该申请拟采用热液金刚石压腔与显微激光拉曼、显微红外光谱连接开展方解石、文石、菱镁矿等碳酸盐矿物在纯水和卤水中的溶解度实验，配合活塞圆筒的实验以确定碳酸盐矿物的溶解度，并探讨存在的种型以及温度、压力和盐度的影响，以此评估弧下深度的流体迁移碳的能力和机制。相对于传统矿物溶解度的差重法而言，本申请重点采用HDAC+激光拉曼或红外光谱的手段实现高温高压实验的原位观测，一方面实现了矿物溶解过程的直观观测，另一方面避免了传统方法中淬火效应的发生，因此，该方法是新颖的、独特的，代表了目前水热实验最先进的手段及未来发展方向。

专家二：  
本项目研究拟通过高温高压实验，研究俯冲带条件下典型碳酸盐矿物在纯水和不同浓度NaCl溶液中的溶解度，并分析碳的种型和含量，查明温度、压力和盐度对碳酸盐溶解度和流体中碳种型及分布的影响，解析板片流体迁移碳的能力和机制。俯冲带是地表和深部之间碳循环的关键场所，是地学前沿研究领域。但目前对碳酸盐矿物在俯冲带流体，特别是弧下深度流体中的溶解度和碳赋存形式的研究程度较低，因此本项目研究具有创新性。

# 四类科学问题属性案例分析—B类

**案例、**加拿大北极地区晚二叠-早三叠世黑色页岩的镍同位素组成及其环境意义

**申请者阐述选择科学属性的理由：**

**研究热点、难点问题：**二叠纪末生命大灭绝及早三叠世生命缓慢复苏中的环境驱动机制一直是地球科学研究的热点问题之一，其中超大规模火山喷发及其触发的大气和海洋环境的剧烈变化被认为是关键因素。重建二叠-三叠纪海洋环境变化虽取得了长足进展，但**依据地质和地球化学记录示踪大气化学组成变化及其对生命灭绝和复苏的影响**仍是难点问题。

**最新分析技术：**多接收电感耦合等离子质谱仪（MC-ICPMS）能够对全岩（黑色页岩、条带状铁矿等）和单矿物（黄铁矿等）进行**高精度镍同位素**分析，为二叠-三叠纪大气-海洋化学组成的变化及其对生命灭绝和缓慢复苏的影响研究提供了新的手段和思路。

**鲜明引领性特征：**前人研究主要集中在中低纬度的碳酸盐剖面。本申请拟以高纬度地区以黑色页岩为主的加拿大Sverdrup盆地为研究区，以镍同位素为主要研究手段示踪超大规模火山喷发造成的大气化学组成的剧烈变化，**为研究二叠-三叠纪全球气候和环境变化在生命灭绝和复苏过程中的关键作用提供新的证据和较全面的认识。**

## 专家分类评审意见：

### 一、该申请项目的研究思想或方案是否具有新颖性和独特性？请详细阐述判断理由。

二叠纪末期生物大灭绝及早三叠世生命缓慢复苏一直是国际地质学界研究的热点。该申请**创新性地以镍同位素**为主要研究手段，对加拿大北极地区Sverdrup盆地晚二叠-早三叠世黑色页岩剖面开展系统研究，并由此制约西伯利亚大火成岩省的喷发与大气和海洋环境变化在时间和成因上的联系，探讨该时期生命灭绝和复苏过程中的环境因素。**该项目立意新颖，研究方法先进，研究思路独特。**

### 二、请评述申请项目所关注问题的科学价值以及对相关前沿领域的潜在贡献。

揭示二叠-三叠纪之交镍的生物地球化学循环对于深入理解大气和海洋环境变化及其与生物演化之间的相互作用具有重要的科学价值。加拿大北极地区高纬度P-Tr剖面的研究结果**能够为解析全球气候和海洋环境变化提供新的依据，具有重要的理论和实际意义。**

### 三、请评述申请人的创新潜力与研究方案的可行性。

申请人已获得剖面样品，具有较好的研究基础。从发表的成果看**具有较高的创新潜力**，研究方案**合理可行**，有望取得有国际影响的研究成果。

### 四、其他建议

加强生物地层及年代地层研究；加强镍同位素组成的生物环境意义及分馏机理研究。



# “聚焦前沿、独辟蹊径”

## ——从背景噪声中提取长周期勒夫面波和体波新方法研究

申请人:

请阐明选择该科学问题属性的理由(800字以内):

地震背景噪声互相关技术是近十几年发展起来的一种新的地震学探测方法。此方法利用背景噪声数据获得台站间的面波来进行成像,克服了传统地震面波成像中地震震源分布不均匀的限制,同时又克服了由于地震震源不确定所引起的误差,且通过噪声互相关可以得到更短周期的面波信号,利于进行地壳上地幔高精度成像,近年来成为地震学研究热点。噪声成像的广泛应用极大地促进了地震学的发展。同时,现有的噪声成像技术还存在有待解决的重要问题。例如,(1)非均匀分布的噪声源会在互相关函数中形成假的到达时信号,从而干扰面波速度信息的提取;(2)背景噪声互相关通常需要长时间的噪声信号才能获得好的面波信号,因此记录背景噪声的台站需要较长的布设时间,这样一方面增加了数据采集成本,另一方面增加了后续噪声数据处理所需时间和计算资源;(3)现存的背景噪声处理方法还无法提取中长周期勒夫波信号,以至于我们一直无法利用背景噪声成像获得高精度的上地幔径向各向异性结构;(4)现存的背景噪声处理方法还不能有效地提取体波信号。其主要原因是体波呈三维传播,其衰减更快,背景噪声中包含的体波能量较弱,同时互相关过程对体波噪声源的分布要求也更为苛刻。因此,要将噪声成像技术更好地应用于精细的地下结构成像,充分发挥噪声成像技术成像高分辨率、非侵入、无破坏等优势,非常有必要对噪声面波与体波成像的数据处理技术进行更加深入的研究。本项目将研究从噪声数据中更有效的提取面波和体波数据处理技术方法。重点研究选择叠加方法、中长周期勒夫面波数据处理技术、利用非稳相区信号产生的前驱体波信号提取噪声体波信号等噪声互相关技术。本项目旨在为地震噪声成像提供技术基础,对丰富和完善噪声地震学理论、拓展这一技术的应用领域具有重要科学意义。

### 科学背景与研究意义

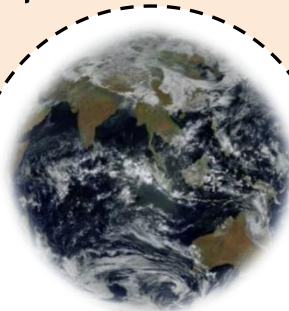
背景噪声成像技术是目前地震学最前沿的研究领域之一。该申请拟对噪声面波与体波成像的数据处理技术进行更加深入的研究,可为地震噪声成像提供技术基础,对丰富和完善噪声地震学理论、拓展地下结构观测约束等均具有重要意义。

### 研究内容与创新性

针对现今噪声地震学中存在的无法有效提取长周期勒夫面波与体波的两大难题,该申请提出,选择叠加法与基于波形与频散曲线相似度提高水平分量信噪比方法,对地震学资料分析处理技术的进步和结构观测约束的提升都具有重要意义。

### 资助导向与专家评价

噪声函数是21世纪地震学的革命性成果。申请者从有效提取不同结构信号所需的噪声源特点出发,发展噪声数据分析处理新方法。这对噪声成像的发展和解决上地幔结构具有良好的促进作用。本项目的成功,将为获取高精度的地幔速度与径向各向异性结构创造一个重要的里程碑。





# B类：青藏高原大型湖泊蒸发量的观测与模拟研究

## 申请人选择B类科学问题属性的理由

青藏高原广泛分布着数量众多的冰川、冻土、积雪、湖泊和河流，其水资源养育着东亚、南亚及东南亚地区数十亿人口，对高原及其下游区域生态环境变化至关重要，被称作“亚洲水塔”。在第二次青藏科考的引领下，科学家对于量化青藏高原水资源要素开展了众多野外科考活动，但针对青藏高原大型湖泊蒸发的直接观测和模型模拟研究工作仍十分缺乏，尤其是湖泊冬季结冰过程。湖泊观测资料的缺乏导致其蒸发量的遥感估算和模型模拟存在巨大偏差。在此背景下，湖泊蒸发量的年际变化规律、影响因素及变化趋势如何？湖泊冰面升华量大小及其在年蒸发量中的占比如何？大型湖泊蒸发量的时空变化规律及其水资源总量如何？针对以上科学问题，本项目将（1）基于青藏高原中西部三个大型湖泊湖气相互作用过程（尤其是冬季冰面升华）的直接观测，研究湖泊蒸发量的年际变化规律及其影响因素；（2）结合卫星遥感应用和模型模拟方法，提高大型湖泊结冰过程的模拟效果，分析大型湖泊蒸发量的空间分布规律、变化趋势及其水资源总量，获得青藏高原大型湖泊蒸发量观测及过程分析研究的开拓性成果。

## 评审专家评述分类评审意见

本项目将基于高原中西部三个湖泊（纳木错、巴木错、拉昂错）湖气相互作用过程（包含结冰过程）观测（风、温、湿、压、辐射观测、涡动水热通量观测、水温链观测），对比分析三个湖泊热力分层结构、水热通量季节变化及其影响因素的异同；进而结合卫星遥感算法总体传输法和能量平衡法和湖泊模型（Flake和WRF-Lake），改善湖泊水热通量模拟效果，探究湖泊蒸发量的空间分布规律、变化趋势及其水资源总量。为青藏高原流域和区域水量平衡研究奠定基础。项目的研究思路有创新性。通过野外观测，湖泊模式模拟，对比研究等方法有独特性。

青藏高原有众多湖泊，湖泊的湖气相互作用对于维持青藏高原水循环非常重要。湖泊蒸发量是青藏高原内陆湖泊水量平衡的重要支出项，对流域水分循环和水量平衡研究至关重要。目前，青藏高原大型湖泊蒸发量（尤其是冰面升华量）观测严重缺乏，遥感估算和模型模拟因缺少资料验证而存在很大的不确定性，同一湖泊蒸发量估算结果差异显著。该项目研究青藏高原水资源变化面向国家需求，青藏高原湖气相互作用是有很好的前沿科学问题。

项目的研究内容合理，技术方案可行。项目包括对3个湖泊的野外观测，湖泊模式的模拟研究，遥感资料与观测资料结合在模式中的应用。是一个非常好的研究项目。申请人有从事该领域方向的研究工作基础和能量，能够完成项目的研究目标。项目经费预算合理，申请单位有野外台站作为支撑，有基础条件。项目评价优秀，建议优先资助。

# 聚焦前沿，独辟蹊径

## 低氧下海洋微生物胞外活性氧的生产机制与影响机理研究

### 申请人阐明选择该类科学问题的理由

- **聚焦前沿，阐明研究的重要性：**海洋氧循环是一个多时空尺度的过程，相关的氧收支估算存在较大不确定性。新近发现海洋非光依赖型的胞外活性氧（ROS）分子年产量占海洋氧的年总产量约1/3，是氧收支重要组成部分。海洋微生物是非光依赖型胞外ROS的主要制造者，微生物与ROS的互作能够对海洋氧循环产生不可忽视的影响，是微生物海洋学研究的新焦点。
- **独辟蹊径，强调研究的稀缺性：**近海脱氧是全球变化的显著特征之一，微生物的有氧代谢可以在低氧甚至缺氧下进行，但伴随的胞外ROS生产未曾被研究。富营养化下近海的生产力高、有机质多，是ROS生产的“热点”区。然而，低氧海区ROS生产的生物地球化学过程和机制仍未知。该项目拟探讨低氧区微生物驱动的光依赖型和“黑暗”胞外ROS生产的机制；低氧下ROS分子对奇古菌代谢调节的机理。该项目研究对象和内容涉及海洋ROS研究的空白区域和鲜有报道的古菌ROS分子，有望实现海洋氧循环生态过程研究的新认知，实现古菌有氧代谢研究的新发现。

### 评审专家评述分类评审意见

- **聚焦前沿，肯定研究的前沿性：**海洋非光依赖型的胞外活性氧（ROS）是海洋氧收支的重要组成部分。海洋微生物是非光依赖型胞外ROS的主要制造者，微生物与ROS的互作是微生物海洋学研究的前沿问题。
- **独辟蹊径，肯定研究的新颖性：**研究思路的新颖性体现在以胞外活性氧分子的形成对自养和异养微生物生理代谢的影响为切入点，认识微生物微观过程与海洋氧循环的宏观效应。

**项目名称：森林大气二羰基化合物的源与汇机制闭合研究****◆ 申请人阐明选择该科学问题属性的理由：**

近年来，挥发性有机物（VOCs）已被证实是形成大气复合污染的重要前体物。但是，人为源与天然源交互作用对SOA生成的影响至今尚不清楚，属于大气环境化学前沿科学问题。值得关注的是，二羰基化合物（Dicarbonyls）在大气环境中的源汇机制并不十分清楚，可能成为破解二次有机气溶胶成因问题的关键。项目申请人前期研究发现，在城市周边的偏远森林地区，植物持续排放大量化学活性强的天然源挥发性有机物（BVOCs）可生成高浓度的二羰基化合物。一旦受到来自城市人为源大气污染物的影响时，森林将形成天然的大气氧化池，促使大气SOA浓度大幅度上升，从而导致森林空气质量恶化。然而，森林对大气复合污染的反馈作用至今仍不清楚，人为源与天然源交互作用仍为大气复合污染成因机理研究的盲区。为此，本项目选择南岭森林大气中二羰基化合物作为研究对象，重点追踪森林大气光化学反应中分子标志物的来源，阐明人为源与天然源交互作用下二羰基化合物的源汇机制，探索森林大气SOA的成因机理及其对大气复合污染的反馈作用。

**◆ 评审专家意见：针对国际前沿科学领域，创新性地开展城市周边光化学活跃区森林大气环境中二羰基化合物源汇机制研究，有望取得开拓性成果，拓展科学前沿。**

1、申请人阐明选择该类科学问题属性的理由

随着全球气候持续变暖、水气循环日益加速，极端降雨诱发的堰塞坝发生概率和致灾损失都愈发严重。历史上由极端降雨诱发的堰塞坝灾害事件常有发生，并给我国造成大量生命损失。然而，现有堰塞坝灾害防治的研究和实践集中在拥有一定响应时间的常规堰塞坝灾害，而对极端降雨诱发的堰塞坝的快速溃决机理和致灾风险管控尚无成熟的理论和经验。相比其它类型堰塞坝，极端降雨诱发堰塞坝灾害具有汇水时间短、溃坝速度快、溃坝洪水大、致灾风险高的特点，亟需开展科学研究揭示其溃决机理和风险演化规律。本项目拟通过理论分析、模型实验、数值模拟、风险评估等多种方法，探明极端降雨和高位库水双向渗流作用对坝体材料抗剪强度和抗冲刷性的影响规律，揭示暴雨诱发超常水流造成堰塞坝剧烈冲刷和连续坝坡失稳的循环作用溃坝机理，建立考虑渗流潜蚀作用的堰塞坝溃坝水土物质耦合运移分析模型，基于多源不完备信息融合贝叶斯网络方法提出堰塞坝溃坝风险预警决策理论。本项目将积极服务我国重大战略和工程，研究成果有利于改变对极端降雨诱发堰塞坝完全被动应付的不利局面，提升堰塞坝易发流域的应急安全管理，保障溃坝洪水影响区域的生命财产安全，以及指导城镇与交通规划和可持续化发展具有重要的理论及现实意义。

2、评审专家评述分类评审意见

我国正在积极推进“一带一路”、西部大开发和全国地质灾害防治“十三五”规划等国家重大战略，正在建设川藏铁路和西南梯级水电等重大工程。但随着全球气候持续变暖、水气循环日益加速，极端降雨诱发的堰塞坝发生概率和致灾损失都愈发严重，并给我国造成大量生命损失。极端降雨作用下的堰塞坝溃坝研究是我国防灾减灾的重大需求所在，其中的溃坝机理是亟待解决的重要科学问题，也是突破相关技术瓶颈的基本前提，有着重要的学术价值。为此，开展本项目研究将积极服务我国重大战略和工程，研究成果有利于改变对极端降雨诱发堰塞坝完全被动应付的不利局面，提升堰塞坝易发流域的应急安全管理，保障溃坝洪水影响区域的生命财产安全，以及指导城镇与交通规划和可持续化发展具有重要的理论及现实意义。符合“需求牵引、突破瓶颈”的科学问题属性。

C “需求牵引，突破瓶颈”  
海相富气页岩低阻成因及其对含气性的控制机理(D0207)

申请人在申请书中阐明选择该科学问题属性的理由（800字以内）

- 1.我国页岩气资源潜力巨大，是未来能源主要接替领域，也是缓解目前能源短缺的主要抓手之一。据2015年国土资源部资源评价结果，全国页岩气技术可采资源量21.8万亿方，其中海相13.0万亿方，具有巨大勘探潜力。2019年我国页岩气产量超140亿方，是天然气产量中增长最快的类型，其巨大的资源潜力也必将成为未来能源的主要接替领域。因此，该项目源于国家重大需求。
- 2.低阻是排除差气层的主要依据之一，但四川盆地海相低阻页岩高含气、高产气现象多有出现测井解释是页岩气勘探的重要手段，低阻特征是常规油气勘探排除风险层的主要依据之一。四川盆地海相低阻页岩气井虽也出现低产、无产现象，但最新勘探表明低阻页岩气井也具有含气性好（宁227井，电阻率3Ω·m，含气量4.2方/吨）、产量高（自204井，电阻率10Ω·m，产量10万方/天）的特征，展现出良好勘探潜力。
- 3.低阻特征及其控气机理不清，导致页岩气甜点的判识和选取漏失，必将给页岩气勘探带来巨大损失前期勘探中发现了低阻页岩高含气现象，但未对其进行深入研究，低阻特征及其控气机理研究还比较薄弱，导致页岩气甜点预测不理想，理论认识的不足制约了低阻气藏的优选开发，因此该项目具有鲜明的应用需求。
- 4.页岩低阻成因复杂，不同低阻成因导致页岩储层孔隙结构和润湿性不同，进而导致含气性不同页岩低阻是矿物组分、有机质和地层水等多因素综合影响的结果。低阻成因复杂，进而导致储层介质界面效应和微观孔隙结构差异性，使气体赋存状态及含气量控制机制和因素不清，是技术瓶颈背后亟待解决的核心科学问题。
- 5.阐明低阻页岩含气控制机制并形成含气性评价方法，将极大促进我国页岩气事业的进一步发展揭示低阻页岩含气性控制机制，建立含气性地质和测井评价方法并应用到页岩气勘探选区和风险评估中，有利于低阻页岩气勘探突破瓶颈，对于丰富页岩气富集理论，指导页岩气有利区预测和甜点优选均有重要意义。

评审专家的具体评价意见：  
一、该申请项目是否面向国家需求并试图解决技术瓶颈背后的基础问题？请结合应用需求详细阐述判断理由。

专家一：  
海相页岩气是我国天然气增储上产的重要领域。四川盆地南部深层海相页岩气是重要区域。但在川南地区深层页岩中遇到了低阻高含气高产量的复杂情况。低阻往往造成测井含气性解释为水层，这在四川盆地南部早期的测井解释中经常出现，导致勘探出现重大失误。解决页岩地层低阻形成原因及其对含气性的控制作用，直接面向生产需求，解决低阻页岩气层识别技术需要突破的核心科学问题--低阻成因及控气机理。立项科学性、解决问题的关键瓶颈明确。

专家二：  
我国面临十分严峻的能源供给问题，据统计，我国油气资源对外依存度逐年攀升，2019年石油的对外依存度超过了70%，天然气超过了45%。另一方面，我国页岩气资源十分丰富，已经成为重要的战略接替能源，但进一步推进页岩气的勘探开发仍面临较大挑战。尽管我国已经取得了页岩气勘探开发的重大突破，当前四川盆地及其周缘的海相页岩仍然是最主要的产气层位。南方部分海相页岩呈现出显著的低阻现象，但含气性和产量差异显著，相关机理研究较少，制约了对低阻页岩含气性的评价和勘探指导。本项目聚焦低阻海相页岩成因及其对含气性的控制机理，可望揭示研究区低阻页岩高含气、高产气的内在机理，项目研究成果有利于突破低阻页岩气勘探的瓶颈，丰富页岩气富集理论，并可望直接指导有利区预测和甜点段优选。



# 四类科学问题属性案例分析—C类

## 案例、页岩中有机质表面非均质性研究（D0309）

### 申请者阐述选择科学属性的理由：

**面向国家需求：**页岩含气性是页岩气资源量评价的基础和关键指标，但目前对页岩气差异富集机理与主控因素的认识还不够深入，页岩含气性的强烈非均质性大大制约了页岩气的高效勘探与开发。有机质表面性质及其非均质性特征很大程度上决定了页岩气的赋存形式、原地气量及可开采性。厘清不同类型有机质表面性质的差异及其热演化规律、主控因素对提高我国高、过成熟深层页岩气的高效勘探开发意义重大。

**解决问题的方法：**本项目拟结合实际地质样品和热模拟样品开展系统研究，在辨明有机质特征的基础上，探讨不同热演化阶段不同类型有机质的结构演化特征，并从分子尺度研究有机质表面非均质性特征。在此基础上进一步阐明有机质表面非均质性对不同流体分子吸附特征的影响，研究结果可直接服务于我国深层页岩气的勘探开发。

## 专家分类评审意见：

一、该申请项目是否面向国家需求并试图解决技术瓶颈背后的基础问题？请结合应用需求详细阐述判断理由。

该申请围绕国家能源保障重大需求，针对页岩气差异富集机理与主控因素研究不够深入这一当前制约页岩气资源评价的关键问题，开展有机质组成与化学结构的差异、有机质表面非均质性及其对气体赋存的影响等领域的研究，对我国页岩气勘探开发和资源评价具有重要的理论与实际意义。

二、请评述申请项目所提出的科学问题与预期成果的科学价值。

该申请的主要科学问题为页岩中有机质表面非均质性特征及其对流体分子吸附的影响，这是页岩有机质控气机理的本质问题。预期成果可为页岩气储层的精细评价提供技术支撑，对进一步揭示页岩气富集机理具有十分重要的意义。

三、请评述申请人的创新潜力及研究方案的创新性和可行性。

申请者具备一定的研究能力与前期基础。页岩有机质表面非均质性及其吸附性能的研究思路具有非常明显的创新潜力。项目研究目标明确，关键科学问题认识清晰，研究内容设计合理，技术路线和实验方案可行。

四、其他建议。

加强除II型以外的其他类型干酪根对比；加强不同沉积微相页岩之间的对比。

# “需求牵引、突破瓶颈”

## ——GNSS高精度定位质量控制理论与方法

### 申请人：

请阐明选择该科学问题属性的理由（800字以内）：

随着我国北斗导航系统全球组网的完成、多频多模卫星导航系统（GNSS）的不断发展，卫星导航定位技术在国防安全、以及智慧城市、智能交通和无人驾驶等领域的应用取得了长足的发展。毋庸置疑，高精度已成为当前卫星定位技术应用的主要方向。当定位精度达到分米级甚至厘米级时，就会巨大地推动以高精度为核心的诸多位置服务产业的发展，比如基于车道级定位精度的交通安全智能判别、智慧港口管理和自动装卸等。

在实际应用中，不同定位模式的定位精度通常是通过与参考值比对或者静态模拟动态实验来统计给出的经验精度，还没有建立定位系统自身的可信度完备理论，也就是说我们在给出定位结果的同时，给用户提供的定位结果的可信度参考指标不可信，从而导致实际应用中依然存在较大的弃真及纳伪错误。弃真错误将降低应用效率，而纳伪错误在某些重要应用行业（如电力巡检、自动驾驶）可能会导致灾难性的后果。加之GNSS信号的抗干扰能力差，复杂环境下的异常（多路径、数据中断、周跳等）频发，包括接收机内部信号处理异常、电离层扰动、非视距误差、滤波模型失效等，因此，为了拓展GNSS在高精度需求领域的深度应用，必须解决GNSS定位的质量控制问题。

### 科学背景与研究意义

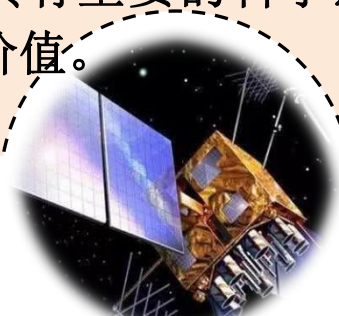
高精度定位已成为当前卫星定位技术应用的主要方向。该申请拟开展GNSS高精度定位质量控制方法研究，将在安全保障、智慧城市、智能交通和无人驾驶等领域的应用具有广阔的前景和需求。

### 研究内容与创新性

该申请提出了增强函数模型、场景自洽随机模型、为模型化偏差的诊断等四个关键技术，旨在建立GNSS高精度定位的全过程质量控制理论和方法体系，属于当前在国防、国民经济等无人智能系统应用卫星高精度定位亟待解决的瓶颈问题。

### 资助导向与专家评价

随着我国北斗导航系统全球组网的完成、多频多模卫星导航系统（GNSS）的不断发展，高精度已成为当前卫星定位技术应用的主要方向。该项目预期研究成果旨在建立GNSS高精度定位的全过程质量控制理论和方法体系，实现高精度、高可靠性和高可用的GNSS定位数据处理流程，具有重要的科学意义和应用价值。



# C类：面向全球公里级分辨率的高效耦合技术

## 申请人选择C类科学问题属性的理由

全球公里级水平分辨率是地球系统模式和数值预报的必然发展方向。耦合器是支撑地球系统模式、耦合数值预报模式等系统集成所不可或缺的一项关键核心技术。由于耦合技术的局限性，现有耦合器的启动开销和内存需求随模式分辨率和并行度的增加而增大。因此，在全球公里级水平分辨率将要求模式高效使用更多处理器核的情况下，现有耦合器必将成为未来模式耦合的严重性能瓶颈，而解决这一性能瓶颈就是模式发展的必然需求。

本项目将在国际上率先解决这一瓶颈问题，不仅将开展能降低启动开销和内存需求的并行算法与新耦合器技术研究，还将把研究成果直接应用于国产耦合器C-Coupler新版本的研制，并完成对已使用了C-Coupler的我国多个耦合模式的升级，使我国耦合模式率先具备全球公里级分辨率的高效耦合能力。

## 评审专家评述分类评审意见

未来天气预报预报模式的发展趋势，必将考虑不同圈层的高分辨率的天气-气候一体化模式；从硬件性能发展的趋势来看，未来5-10年业务模式的水平分辨率将会达到公里量级。基于上述两个理由，有必要马上开展具有自主知识产权的公里级别的高分辨率耦合器研制。

该项目拟在最新版本C-Coupler2的基础上，面向模式的超高分辨率发展方向，解决现有耦合器的启动开销大和内存需求量的瓶颈问题，其中将系统性开展通信路由关系并行建立算法、网格信息分布式存储管理方法和插值权重并行初始化技术的研究。问题凝练准确，预期成果具有重要的科学与应用价值。

该项目的目标是为更为领先的国产耦合器版本奠定创新的技术基础，因此其基础技术与软件产品研制应用相结合的研究方案具有必要性和可行性，让其研究成果既能解决实际问题，又能得到基于应用的客观评价。申请人自2010年起带领团队，成功研制了国产耦合器C-Coupler，打破了欧美耦合器的垄断，研究基础和实力雄厚。

# 需求牵引，突破瓶颈

海水环境钢铁锈层生物膜内优势腐蚀微生物培养、生长代谢特征及其内在腐蚀机制研究

## 申请人阐明选择该类科学问题的理由

- **需求牵引，阐明研究的国家需求：**金属材料设施的海洋腐蚀问题是困扰海洋设施装备长期安全服役的重大技术难题。海洋微生物腐蚀是许多设施装备腐蚀中的常见问题，由于对微生物腐蚀的了解仍不深入，相关防腐蚀往往成为难题。因此，金属材料的海洋微生物腐蚀是亟待解决的科学问题。
- **突出申请项目独特的优势：**在钢铁材料表面，腐蚀性的硫酸盐还原菌（SRB）是优势腐蚀微生物，且在不同的内外锈层深度分布有不同代谢功能的SRB。该项目拟探讨钢铁材料在微生物的代谢过程中的作用，微生物的生理生态响应，以及群落内特定细菌的功能蛋白以及代谢产物对腐蚀的影响，研究结果有望深入认识微生物-材料的相互作用过程和机制，将可能为海洋设施微生物腐蚀防护、耐蚀金属材料 and 新型防污防腐技术研发等提供新的技术途径。
- **突破瓶颈，细化研究方向：**突破以上瓶颈的关键在于加深材料表面微生物群落和腐蚀代谢功能的认知。该项目拟通过创新培养方法分离培养相关的腐蚀微生物，在此基础上研究材料对微生物生长代谢的影响，以及微生物通过电子传递等方式对材料腐蚀产生的影响机制。

## 评审专家评述分类 评审意见

**认可研究的国家需求和研究方法在技术瓶颈的突破：**申请项目面向国家需求，提出的解决技术瓶颈背后的重大科学问题是腐蚀微生物与材料之间的相互作用过程和影响机制。突出突破的技术瓶颈是创新腐蚀微生物的培养分离方法。



**项目名称：零价铁的化学和微生物硫化分子机制及硫化颗粒界面特性****◆ 申请人阐明选择该科学问题属性的理由：**

近年来，挥发性氯代烃作为常用工业溶剂是污染场地最典型的有机污染物，构成了人类健康和生态受体所面临的主要风险。氯代烃污染场地的高扰动修复模式（如开挖）极易造成难以防控的二次污染。为此，低扰动原位还原修复或风险管控技术研究已成为学术及工业界关注的焦点。零价铁颗粒是目前唯一实际应用的低扰动原位修复材料。迄今为止，人们对零价铁用于地下水原位修复的关注仅停留在它对污染物的降解，而往往忽略零价铁在地下水圈发生的生物地球化学演变，以及这些演变对修复效果的影响。目前零价铁的化学硫化也被应用于零价铁进入地球系统之前的工程改性，来提升修复效果，但存在硫化效率低的问题，无法最大限度地发挥硫化的优势，这也主要源于化学硫化机制不清，无法对硫化过程进行精准调控。本项目的研究目标是揭示零价铁的化学与微生物硫化的分子机制，探明相应硫化颗粒的结构特征及与污染物作用的界面特性。本项目有望为发展高效硫化方法提供方法基础，为指导（硫化）零价铁修复技术在氯代烃污染场地上的应用提供理论指导。

**◆ 评审专家意见：**通过开展零价铁的化学与微生物硫化作用机制开展研究，提高对氯化烃污染物还原脱氯降解效果，为解决**国家需求**提供重要科技支撑。

# “共性导向，交叉融通”科学属性类项目资助案例

## ——闽西岩溶系统氧同位素传输机制及对ENSO的响应

### 1、申请人阐明选择该类科学问题属性的理由

岩溶系统现代过程监测和近现代石笋记录与器测资料对比的综合研究是了解石笋氧同位素指示意义的最为直接有效的途径。本项目瞄准我国东南地区作为东亚夏季风的前沿地带所拥有的科学价值和地域优势，以  $\delta 18\text{O}$  信号作为研究的纽带，通过气象学、同位素水文学、古气候学、年代学等多学科领域的交叉研究，进行多尺度和跨圈层综合研究，通过多个水文年的大气降水-洞穴滴水-新生成次生碳酸盐沉积物氧同位素传递过程研究，结合近现代季节-年际高分辨率石笋氧同位素记录，与器测资料、水汽来源、季风指数和ENSO等进行对比，分析水汽来源/ENSO等对区域大气降水和滴水的  $\delta 18\text{O}$  的影响机制，明确我国东南地区湿润亚热带典型季风区石笋氧同位素的指代意义。另外，中国东南地区是世界上台风登陆最多和灾害最严重的地区之一。通过台风降雨和洞穴滴水  $\delta 18\text{O}$  的研究，探究洞穴滴水点对台风信号响应的敏感性。因此，本项目涉及的解译石笋氧同位素的意义和台风信号在洞穴的传递属于多学科交叉、跨尺度和跨圈层的综合研究。

### 2、评审专家评述分类评审意见

在基金委新时代科学基金的资助导向下，函评和会评专家一致认为该项目所提出的科学问题和解决方案属于典型的“共性导向，交叉融通”，石笋是古气候研究的重要支柱，其氧同位素记录是引领古气候理论突破的关键证据。但石笋氧同位素信号的解译依然有很大争议，国内同行已经开展了现代观测，但是连续观测期限多小于3年，时间较短，给深入探讨气候事件（比如ENSO（周期2-7年））带来了困难。该项目开展现代过程监测和近现代季节性高分辨率石笋记录研究，通过多年大气降水-洞穴滴水-次生碳酸盐氧同位素传递过程研究，结合高分辨率石笋氧同位素记录，与器测资料、水汽来源、季风指数、ENSO等进行对比，分析水汽来源、ENSO、台风等对大气降水和洞穴滴水  $\delta 18\text{O}$  的影响机制。本研究是气象学、气候学和同位素水文学的多学科交叉研究，对理解中国东南部石笋氧同位素意义有重要作用。

D “共性导向，交叉融通”  
青藏高原东北缘祁连山现今构造变形模式研究—基于高精度三维地壳形变的约束

申请人在申请书中阐明选择该科学问题属性的理由（800字以内）

- 现今构造变形模式对地球动力学机制具有很强的指示意义，对剖析区域强震孕育、发生的机理具有重要价值。另一方面，现今构造变形模式是地壳及其深部，不同层位、不同性质地质体对动力过程复杂变形响应的结果。因此，其**科学特性决定了构造变形模式研究，需要充分发挥不同学科的探测优势，交叉、融合开展系统的逆向回溯性重构研究**。此外，每种学科的观测都受到自身误差的影响，而对结果认识产生偏差。基于多种学科手段获取各类观测约束，开展交叉对比研究，可控制上述不确定性对结果的影响，而更科学的理解构建区域构造变形模式。
- 地质学通常通过测量断层近场地质体的错动和变形记录，辅以年代学约束来定量获取断层附近地壳变形、断裂活动和其浅部几何产状信息，为构造变形模式研究提供变形时空约束。地球物理探测的优势在于能够揭示地壳及深部构造变形行迹、地质体结构及性质特征，是对地质的方法通常只能获取断层浅部和近场变形信息的完善。
- 近年来随着大地测量（GPS、水准、InSAR等）的迅速发展，使得获取高精度、空间高分辨率区域现今三维地壳形变场成为可能，其虽反映的是地壳长期构造变形过程中的短暂瞬间，但却是深入认识区域构造变形及其动力学的重要窗口。同时，断层位错与地表三维形变间解析模型的建立和发展，拓展了断裂深部几何与运动研究的思路，为区域构造变形模式研究提供了更多有益约束，是对地质、地球物理研究的重要补充。
- 目前，饱受争议的青藏高原东北缘祁连山构造变形模式均得到地质与地球物理结果和证据的支持。本项目以此为切入点，通过融合GPS水平和精密水准垂直形变结果，获取区域空间高分辨率地壳长期三维运动图像，进而反演研究区域深部断层几何和运动特征，综合地质、地球物理探测结果，构建该区现今三维地壳形变与构造变形模式，为青藏高原东北缘隆升和向外扩展的动力学研究提供更多的参考。

评审专家的具体评价意见：  
一、该申请项目的研究思想或方案是否具有新颖性和独特性？请详细阐述判断理由。

专家一：  
本申请关注青藏高原北缘祁连山现今构造模式问题，拟通过高精度GPS和精密水准数据，约束三维地壳形变图像。**属于科学问题和技术手段的学科交叉**，将GPS和水准数据用于示踪构造变形问题，思路新颖，有很好的科学价值。

专家二：  
前人**基于构造地质学和地球物理学**观察提出了不同的青藏高原东北缘祁连山构造变形模式，该项目拟通过融合GPS水平和精密水准垂直形变，获取区域高精度三维地壳运动图像，然后反演深部断层的几何学和运动学特征，建立祁连山现今三维地壳变形模式。该研究将大地测量手段应用于区域构造变形研究，提供了该地区构造变形不同时间尺度的约束，**属于学科交叉**。预期成果有望促进对青藏高原东北缘变形机制和地震活动性的认识，为研究大陆岩石圈流变的不均一性和青藏高原扩展动力学提供新的信息。

# 四类科学问题属性案例分析—D类

**案例、**油藏土著微生物关键功能菌群及其在深地碳循环中的作用（D0312）

**申请者阐述选择科学属性的理由：**

**面向国家需求：**近年来，地球深部生物圈逐渐成为学界关注的热点。油藏是一个典型的深地生态系统，介导石油烃厌氧氧化和厌氧降解产甲烷的缓慢过程，并耦联元素循环，在深部元素循环与生物地球化学过程中发挥着重要的作用。**油藏土著微生物介导的深地碳循环**过程是该领域重要的科学问题，可深入理解深地生态系统中微生物参与的碳循环过程，也可为CO<sub>2</sub>在油藏的生物固定技术和微生物采油技术的开发提供重要的理论依据。

**鲜明多学科交叉特征：**要解决该问题，首先需拿到油藏原位环境的“岩心”样品而不是油井采出液、水井返排液或油砂尾矿池等非原位获取的“代理”样本；其次，阐明油藏土著碳代谢菌群组成及其与矿物组成和环境因子的关系；最后，揭示油藏原位环境中不同类型碳源介导的微生物碳代谢模式。**这些问题涉及到微生物学、地质学、生物信息和微生物生态等多个学科。**需要扎实的微生物学和生态学知识、熟练的生物信息学分析能力及良好的地质学和矿物学知识。

## 专家分类评审意见：

### 一、该申请项目所关注的科学问题是否源于多学科领域交叉的共性问题，具有明确的学科交叉特征？请详细阐述判断理由并评价预期成果的科学价值。

申请者以油藏原位岩心为研究对象，**多学科结合**，揭示对油藏原位环境下不同碳源介导的微生物碳代谢模式以及碳循环驱动机制，解译油藏微生物关键功能菌群与深地碳循环的关系。该申请涉及了**微生物学、地质学、生物信息和微生物生态**等多个学科，具有交叉融通的特点，其成果将为**进一步研究微生物与碳循环之间的关系**提供更多理论依据。

### 二、请针对学科交叉特点评述申请项目研究方案或技术路线的创新性和可行性。

该项目采用的研究技术包括宏转录组测序技术、稳定同位素技术、生态学技术、矿物学技术和生物信息学技术等，具有明显的学科交叉特点。**样本的高保真性**为该项目的创新性。项目团队已经获得油藏岩心，具有完善的实验条件，**研究方案和技术路线合理可行**。

### 三、请评述申请人与/或参与者的多学科背景和研究专长。

申请人长期从事油藏微生物和微生物采油技术研究，在油藏微生物分离纯化、基因组分析表达、核酸稳定同位素技术等方面开展了较为系统的研究工作，取得了较好的研究成果。

### 四、其他建议

加强岩心样品取出时间和保存方式对研究结果影响的研究。



# “共性导向、交叉融通”

## ——基于电磁超表面的探地雷达增强探测新方法研究

申请人:

请阐明选择该科学问题属性的理由(800字以内):

科学背景和研究意义:

探地雷达是城市地球物理领域一项重要的物探技术,其对地下目标体的有效探测深度受多种因素影响,包括复杂的地下土壤衰减环境,以及本项目拟重点解决的地表阻抗失配问题。传统的阻抗匹配技术由于尺寸大,重量重,频带窄等原因无法满足探地雷达的实际需求。探地雷达增强探测技术急需得到物理机理方面的创新突破。另一方面,近年来超表面技术的迅猛发展为研究者提供了灵活有效的电磁波调控手段,催生了大量的应用场景。但作为影响电磁波调控最重要因素的介质却常常被简单地限定为单层无损耗均匀介质。超表面需要更复杂的介质参数来发掘其调控潜力。因此,探地雷达技术与超表面技术存在着极佳的共性导向,两者的交叉融通孕育了它们在各自领域的重要突破。

研究内容和创新性:

本项目确立了三个主要研究内容。首先,从超表面匹配模型和土壤介质关键参数的角度出发,设计超薄、轻盈、宽带及多带匹配层模型。其次,研究对地下介质介电常数不敏感的超表面匹配层。最后,研究匹配层的调控性,针对多层介质中某一目标层建立阻抗匹配模型并进行结构设计。这三项研究内容逐层推进,从理想模型的性能指标研究推演到更适应实际复杂介质特性的匹配层设计,反映该项目的设计思路具有较为清晰的逻辑关系。一方面,从物理模型的角度出发能深度开发超表面在电磁波调控方面的潜力,满足复杂介质探测的需求;另一方面,实际探测中对匹配层及介质关键参数的要求和限制也倒逼物理模型的重建和优化。因此,本项目体现了无损检测领域和超表面领域的共性难题和鲜明的交叉特性。同时,超表面理论模型与探地雷达应用探测的融合也促进了彼此的进一步研究和应用。本项目研究思路是基于前期成功的预研而酝酿提出的,是超表面在增强无损探测中的应用拓展和模型迭代进化。本项目的顺利实施,将对探地雷达增强探测乃至通用无损检测领域产生重要的示范作用,具有重要的理论和应用意义。

### 科学背景与研究意义

该申请针对探地雷达实际探测中的阻抗匹配难题,利用超表面对电磁波幅值和相位的灵活调控能力,开展面向实际应用需求的超表面匹配层研究,可以更好的将其拓展到无损检测探地雷达领域的相关应用。

### 研究内容与创新性

该申请拟通过将电磁超表面技术应用在地质雷达系统,实现天线系统与地面耦合的阻抗匹配,该研究的成果有望大大增加地质雷达系统的探测深度,对探地雷达相关的基础理论进行深入研究。

资助导向与专家评价

探地雷达是城市地球物理领域一项重要的物探技术。该申请将电磁理论、材料学的前沿发展方向应用在地质雷达勘探领域,属于地球科学与电子信息学科交叉的共性问题,为探测埋设较深的地下目标体提供了一个崭新的科研思路。

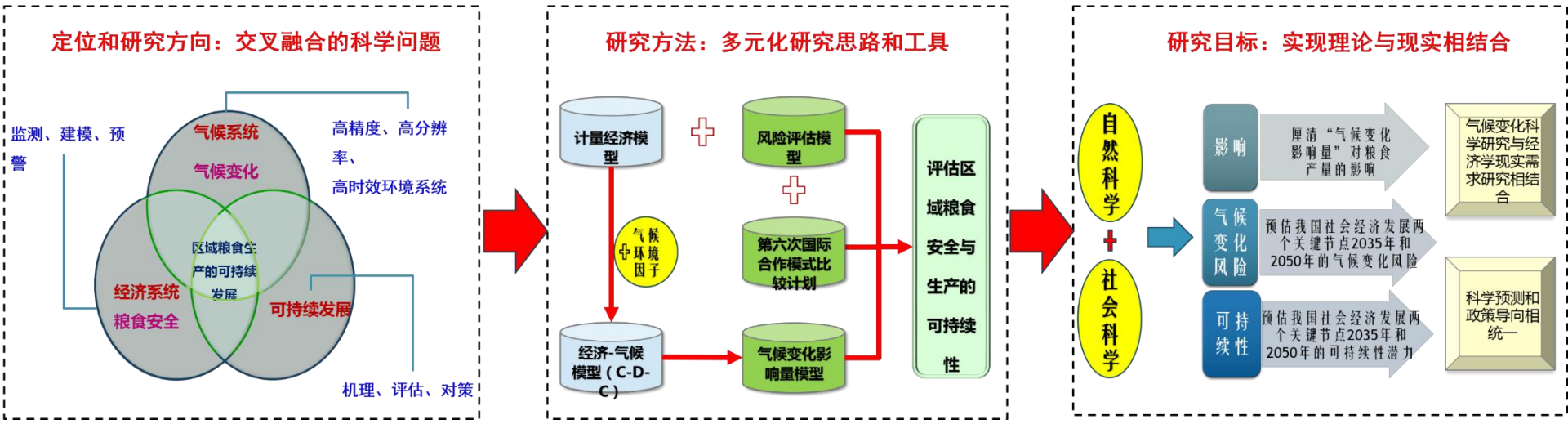


# D类：基于气候变化经济学视角的中国粮食产量气候变化风险弹性与可持续性研究

科学问题

研究手段

研究对象



# D类：基于气候变化经济学视角的中国粮食产量气候变化风险弹性与可持续性研究

## 申请人选择D类科学问题属性的理由

本项目具有鲜明的“共性导向、交叉融通”科学属性。

作为世界上最大的粮食生产国、消费国和进口国，我国的农业生产尤其是粮食生产和粮食安全面临着气候变化影响的现实风险。解决这一课题需要多学科的合作和攻关。本项目试图从自然科学和社会科学的交叉研究入手，运用计量经济学模型对气候变化数据进行统计分析，预估我国社会经济发展两个关键节点2035年和2050年粮食生产的气候变化风险。

1、在研究视角上，坚持气候变化科学和经济学相结合的交叉融合研究。在粮食生产的气候变化风险研究中，自然科学家重点关注的是气候变化带来的作物生长以及收成产量方面的变化，但忽视了经济系统的完整性，经济学界关注未来粮食产生的供给需求和人文风险因素，却忽略了气候变化的影响。本项目希望能弥补双方的不足，构架一座气候变化研究和经济学研究的桥梁。

2、在研究方法上，运用自主研发的“经济-气候（C-D-C）模型”这个交叉科学新模型，明确以创新提出“气候产出弹性”和“气候变化影响率”作为风险评估的两个指标，以此推进运用计量经济学模型对气候变化数据进行统计分析的研究，改变国内外已有研究中的单一作物模型分析法和统计分析方法，实现模型法和统计方法的有机结合。

3、在研究对象上，以中国粮食生产主产区为空间范围，以未来30年为时间尺度，厘清“气候变化影响量”对粮食产量的影响，预测不同气候情景下近中期（2020-2035年、2020-2050年）粮食产量的气候变化风险和持续性影响。本项目所设计的气候变化情景时间尺度与中国经济发展中长期规划同步，以更好地体现科学预测的有效性和实用性。

综上所述，本项目针对中国粮食产量气候变化风险这一“共性导向、交叉融通”的科学问题，从研究视角、研究方法、研究对象方面着力，力争实现气候变化科学与经济学计量研究相结合，达到科学预测和政策导向相统一。

## 评审专家评述分类评审意见

该项目针对气候变化背景下的中国粮食产量风险，从自然科学和社会科学两手，运用计量经济学模型对气候变化数据进行统计分析，研究气候变化的影响与粮食生产的可持续性，能体现“共性导向、交叉共通”的科学问题属性。

该项目使用计量经济学方法来评估气候外部驱动因素与观测到的气候变化之间的因果关系，以中国范围内的粮食生产区域和中国经济发展70年的时空范围为前提，在申请者构建的经济-气候模型（C-D-C）基础上，建立气候变化风险弹性指数，并结合风险评估模型和第六次国际耦合模式比较计划（CMIP6）的全球模式（BCC-CSM2-MR）资料，预估未来不同气候情景下近中期我国社会经济发展两个关键节点2035年和2050年时段的气候变化风险，厘清“气候变化影响量”对粮食产量的影响，从可持续性发展角度对中国粮食生产的风险做出科学评估。该项目研究内容是国家关注的问题，研究方法有较好的创新性。技术路线清楚，研究方案总体可行，研究团队有较好的前期工作基础。

申请者有经济学和大气科学教育背景，从事过粮食方面的研究，有较好的交叉学科研究基础和专长。中国粮食作物各类多，产量高低及影响的气候因素不同，建议先分作物分析后再集成。

# 共性导向，交叉融通

## 多指标重建加拿大北极晚全新世生态演变

### 申请人阐明选择该类科学问题的理由

- **阐述研究的共性导向：**加拿大北极的生态系统以海鸟栖息地对气候变化响应十分敏感，是研究全球变化的关键区域。然而加拿大北极群岛中东部在小冰期的气候历史仍存在争议：古气候学的多数研究认为该地区在小冰期没有明显变冷，但考古学研究却发现该地区的原住民遗存均在小冰期之前，认为原住民受小冰期降温影响而南迁。两个学科的研究结果存在明显的不一致。
- **交叉融通，说明研究的交叉性：**该项目拟开展生态地质学、环境地球化学的交叉研究，结合前人的考古学和古气候学研究结论，重建晚全新世加拿大北极群岛中东部的生态环境演变，建立加拿大北极对气候变化的响应机制，尝试解决古气候学和考古学研究结果之间的矛盾。

### 评审专家评述分类评审意见

- **认可申请项目的多学科交叉属性：**该项目计划通过有机质等指标，利用地球化学、沉积学等多学科技术，集成生态学与地质学的研究内容，尝试解决研究区现有的古气候与考古学关于该区小冰期气候的争议。这一项目有助于加深北极气候敏感区响应全球变化的认识。该项目所关注的科学问题属于多学科交叉领域的共同难题，即古气候学与考古学存在的跨学科争议。该项目尝试从古生态学的角度去开展工作，很有特色。故该项目符合D类研究属性。



# D类：共性导向，交叉融通——“会聚”

## 项目名称：有机磷酸酯阻燃剂的环境暴露与育龄男性生殖健康损害的关联性研究

### ◆ 申请人阐明选择该科学问题属性的理由：

有机磷酸酯阻燃剂（OPFRs）作为溴代阻燃剂的主要替代产品，已被广泛添加于各种工业产品和日常消费品中。我国人群存在较高的OPFRs暴露风险，而OPFRs具有生殖毒性和内分泌干扰效应在内的多种生物毒性。近四十年间全球男性生殖健康状况呈现不断下降的趋势，我国普通育龄期男性暴露于OPFRs会导致怎样的男性生殖健康损害？是本项目亟待解决的科学问题。该项目基于准确的个体暴露评估和敏感的生殖效应指标，将环境暴露监测与健康效应评价相结合，开展OPFRs暴露致育龄男性生殖损害的环境流行病学研究，属于区域环境污染、生殖健康以及生物统计等多学科领域的交叉研究。在个体暴露评估上，全面准确评估OPFRs的个体暴露水平和来源。在生殖效应评价上，准确反映低剂量OPFRs暴露对男性生殖健康的影响。在人群选择上，利用捐精筛查人群定期随访的优势，首次前瞻性探讨OPFRs暴露对精子发生不同阶段的影响。该项目预期成果可为评估OPFRs暴露的生殖损害风险、规范合理使用和制定环境健康基准提供基础数据和科学依据。

◆ 评审专家意见：将区域环境污染、生殖健康、生物统计学多学科研究交叉。在个体水平上，将暴露水平（内暴露）与来源评价（外暴露）相结合。具有非常明显的学科交叉融和的特点。