

---

## 数理科学部

### “鼓励探索、突出原创”典型案例

#### 数学：

##### 保持哈密尔顿系统结构的数值分析理论

在构造天体力学、量子力学、电磁学等学科中许多数学模型的数值算法时，需要尽可能多的保持原系统的内在对称性、守恒性等物理特性，传统算法并未针对这些物理特性或本质特征来构造数值格式。我国学者针对经典哈密尔顿系统，创立了一种几何上定性、数值上定量的数值分析理论，应用生成函数法和幂级数法构造辛格式，既严格保持哈密尔顿系统辛几何结构，又很好的保持其物理性质，彻底解决了长时间计算稳定性问题，现称这种高性能新型算法为辛算法。辛算法在哈密尔顿系统的数值计算中表现出独特优越性，具有很强的数值预测能力和数值跟踪能力，在其它许多科学、技术和工程领域也有广泛而深刻的应用。辛算法的保结构思想已成为现代计算数学算法构造和分析的基本理念，开启了现代科学计算的一个重要研究方向-保结构算法的研究。

#### 力学：

##### 湍流的时空关联理论和方法

湍流是流体力学的核心科学问题，时空关联反映了湍流的时间和空间尺度耦合的统计特性，其里程碑成果是它的泰勒模型和Kraichnan模型。但是它们均不能反映湍流的涡传播和畸变的耦

---

合效应，从而限制了对湍流时空耦合规律和湍流噪声产生机制的基本认识。我国学者引入湍流时空关联过程自相似的概念研究湍流的时空耦合，将柯尔莫哥洛夫和泰勒的理论结合起来，提出了时空关联的EA模型，解决了泰勒模型和Kraichnan模型缺乏涡传播和畸变耦合效应的问题。在此基础上，发展了湍流大涡模拟的时空关联方法，由此得到的湍流模型克服了能量平衡法的根本缺陷，它们能够正确计算时空能谱，进而精准地预测湍流的噪声谱。上述原创成果开辟了湍流领域一个新的研究方向，并在高速运载装置的湍流噪声问题中得到了重要的应用。

天文：

### 建立测量银河系旋臂结构新方法

银河系旋臂结构是天文学中持续时间最长但至今仍未解决的重大问题之一。尽管有关银河系结构的模型已有 100 多种，由于这些模型所依赖的天体距离的不确定性，使得一些基本问题，如银河系尺度、旋臂形状和数量等远未解决。因此，精确测定天体的距离是研究银河系结构的关键。我国学者首次提出用甚长基线干涉阵测量天体脉泽的三角视差距离来研究银河系旋臂结构的方法，实现了天体测量技术的划时代突破，使距离测量精度比以前天文学中的最高测量精度提高了两个量级。通过该方法精确测定了银河系英仙臂的距离，彻底解决了天文界关于英仙臂距离的长期争论，并首次发现本地臂是银河系的一条旋臂，彻底排除了天文界长期以来认为本地臂只是由零星物质组成的微小次结构的观点，对经典密度波理论提出了巨大挑战，率先提出并证实

---

银河系不是单纯由宏伟的、规则的螺旋形主旋臂组成，而是在主旋臂间充满着次结构的非常复杂的旋涡星系的观点。该系统性、开创性的工作，被国内外专家评价为开创新时代、开拓新领域的里程碑式的工作，推动发起了美国国立射电天文台史上最大的国际合作项目-BeSSeL，获得了广泛认可的银河系最精确的旋臂结构模型、基本参数和旋转曲线。

## 物理 I

### 量子反常霍尔效应的实验发现

量子反常霍尔效应是一种不需要外加磁场、基于全新物理原理的量子霍尔效应。它不但是量子霍尔态得以实际应用的关键，还是很多新奇量子效应实现的基础。实验发现量子反常霍尔效应是凝聚态物理学的重大科学目标之一，二十多年来没有实质性实验进展。我国学者建立了  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  家族拓扑绝缘体分子束外延生长动力学并发展出高质量拓扑绝缘体薄膜材料的制备方法，首次制备出了同时具备铁磁性、体绝缘性、拓扑非平庸性的磁性掺杂拓扑绝缘体薄膜，在这种薄膜中首次观测到量子反常霍尔效应。这是从原理上的全新实验发现，是从 0 到 1 的研究工作。该发现被 2016 年诺贝尔物理学奖评奖委员会和获得者霍尔丹列为拓扑物质领域近二十年来最重要的实验发现，是建国以来我国物理学家发现的一个重要科学效应，为多种新奇量子现象的实现铺平了道路。

---

## 物理 II

### 大亚湾反应堆中微子实验发现新的中微子振荡模式

中微子是构成物质世界的基本粒子，共有 3 种类型，不带电，质量极其微小。不同种类的中微子在飞行过程中能相互转换，物理学称之为“中微子振荡”。原则上三种中微子之间相互振荡，应该有三种模式。其中两种模式已被大气中微子实验和太阳中微子实验所证实。第三种振荡（对应中微子混合角  $\theta_{13}$ ）则一直未被发现，甚至有理论预言其根本不存在。由于中微子混合角  $\theta_{13}$  是中微子振荡的六个基本参数之一，也是物理学中的 28 个基本参数之一，其大小关系到中微子物理研究未来的发展方向，并和宇宙中的“反物质消失之谜”相关，科学意义重大，是国际上中微子研究的热点。我国学者利用大亚湾反应堆功率高，探测距离优，山体屏蔽好的优势，攻克了多项技术难关，完成样机研制、工程设计、探测器建造和数据采集与分析，首次提出了系列降低系统误差的办法，精度比过去国际最好水平提高近一个量级，于 2012 年宣布发现新的中微子振荡模式，并精确测定其振荡几率。之后继续保持高质量的运行，取得了世界上最大的反应堆中微子数据样本，不断刷新  $\theta_{13}$ 、中微子质量平方差、反应堆中微子能谱等的测量精度，带领中微子研究进入精确测量时代。

---

## “聚焦前沿、独辟蹊径”典型案例

**数学：**

### 扩充未来光管猜想的解决

扩充未来光管猜想，即扩充未来光锥管域是全纯域。全纯域是多复变函数中最基本、最重要的概念之一。起源于量子场论的扩充未来光管猜想已有40多年的历史，被诸多世界数学家和物理学家研究而未得到解决，被公认为是著名的困难问题，是多复变函数论研究的前沿、核心问题。在许多著名文献中，比如国际权威的《数学百科全书》“量子场论”条目都把它列为未解决问题。我国学者利用华罗庚建立的有关典型域的经典理论和方法，结合一些现代数学工具和技巧，独辟蹊径，完全证明了扩充未来光管猜想。这是一项具有中国多复变学派特色、得到国际数学界特别是多复变函数论领域充分肯定的研究成果，被认为是二十世纪下半叶数学发展的亮点工作之一，被评价为获得了新知识，被写入史料性著作《二十世纪的数学大事》、《数学的发展：1950-2000》。

**力学：**

### 微米尺度异质界面中的结构超滑

结构超滑是表界面力学的重要研究领域，自1983年理论上提出有可能在两个原子级光滑且非公度接触的固体表面实现几乎为零摩擦的状态后，这种现在被称为结构超滑的现象长期未得到证实。2004年荷兰科学家首次在纳米尺度、超高真空条件下观察到石墨-石墨烯界面结构超滑。如何实现更大尺度结构超滑是学

---

科前沿问题。2008年，我国学者首次实现微米尺度石墨片在室温大气环境下的自回复现象，并于2012年通过测量该体系单晶石墨界面摩擦力和自锁现象，证实了2008年发现的自回复现象为结构超滑，从而确认了微米尺度结构超滑的存在。2018年，进而实验展示了微米尺度石墨-六方氮化硼单晶界面中旋转稳定的结构超滑特性。这些成果表明了我国学者在结构超滑领域研究中的国际影响力。

天文：

### 建立恒星绝热物质损失模型

恒星级双黑洞、双中子星、双白矮星等致密天体引力波源，以及 X 射线双星、脉冲星、Ia 型超新星等这些处于现代天文学研究前沿地位的重要天体，都是双星演化的产物。这些天体在形成过程中一般会经历双星间的物质交换和公共包层演化过程。双星间物质交换的稳定性，以及非稳定物质交换时形成的公共包层和演化，是双星演化的两个基本未解问题。人们在研究双星演化形成的相关天体时，稳定性判据通常采用的是上世纪 80 年代末多方模型的结果，导致双星演化理论和观测上有很多显而易见的矛盾。为了从根本上解决双星演化的两个基本问题，我国学者建立了恒星绝热物质损失模型，用最少的物理假设还原了真实的物理过程，并在此基础上研究了双星发生非稳定物质交换的判据和公共包层演化过程，很好地解释了激变变星的质量比上限。这些研究成果的应用，可以大幅度提高双星相关天体研究的准确性和可靠性。基于该研究结果的双星星族合成研究显示，Ia 型超新

---

星共生星通道的诞生率是原来的 5 倍，缓解了现有理论下 Ia 型超新星诞生率严重不足的问题。

## 物理 I

### 多粒子纠缠态的确定性制备

量子纠缠是多粒子间特有的一种关联现象，利用量子纠缠态能够使得测量精度超越标准量子极限，在量子计算和量子精密测量等方面具有重要的应用价值。多粒子纠缠态的制备与操控一直是物理学家孜孜不倦的奋斗目标，但随着粒子数的增多，通过系统粒子间的相互作用来演变成一个纠缠状态的手段变得越来越复杂和低效。我国学者独辟蹊径，采用调控多粒子系统量子相变，确定性制备出了一种特殊的多粒子纠缠态。通过对碱金属铷-87 原子玻色-爱因斯坦凝聚体施加连续调控的微波场，近绝热的缓慢驱动凝聚体在基态连续发生两次量子相变，实现了约 11000 个原子双数态的确定性制备。测量显示不同内态（磁子能级）间原子数差值的涨落低于经典极限  $10.7 \pm 0.6$  分贝，反映系统纯度的集体自旋归一化长度为近似完美的  $0.99 \pm 0.01$ 。依据理论判据，这两个指标反映该多体纠缠态用于干涉测量时可以提供超越标准量子极限精度约 6 分贝的相位测量灵敏度，以及至少含有 910 个纠缠原子数（1 标准方差的置信度），创造了当时能确定性制备的量子纠缠粒子数目的世界纪录，在量子精密测量领域有较强的应用前景。

---

## 物理 II

### LHCb实验首次发现五夸克态

质子和中子具有更深层次的结构，它们是由夸克组成的。除了质子和中子，科学家在宇宙线和加速器实验上还发现了上千个由夸克组成的粒子，它们被统称为强子。已发现的强子大都由一个夸克和一个反夸克、三个夸克（或三个反夸克）组成。量子色动力学是描述夸克间强相互作用的基本理论，但由于其在原子核尺度上表现出的非微扰性质，目前人类还不能从第一原理严格预言强子的性质，理解强相互作用规律是当代粒子物理与核物理研究的最前沿课题之一。早在粒子物理“夸克模型”理论创建的初期，包括诺贝尔奖获得者盖尔曼等科学家就预言可能存在由五个夸克组成的强子，其后的五十年间实验上没能得出确切结论。2015年大型强子对撞机上的底夸克实验组(LHCb)首次发现五夸克态。我国学者在研究 $\Lambda_b^0$ 重子衰变到  $J/\psi K^- p$ 过程中，发现 $J/\psi p$ 不变质量谱中存在明显的增强结构，研究发现该增强结构是由五夸克态导致，从而在实验上确认了五夸克态的存在。五夸克态的发现丰富了强子谱学研究的内容，为探索强相互作用非微扰性质打开了一个新窗口。对五夸克态的形成机制和内部结构的研究有可能使我们对强相互作用的理解提高到一个新的层次。



---

## “需求牵引、突破瓶颈”典型案例

**数学：**

### 内爆多介质多物理过程计算方法

内爆过程是爆轰物理的重要过程，涉及高温高压极端条件下的多种复杂化学、物理过程和多介质大变形运动，其中爆炸、冲击、辐射输运核反应等过程数学物理模型和相关参数极为复杂，而多介质大变形、不稳定性与湍流混合对计算方法提出挑战，一般的算法或软件不能满足爆轰研究的要求。我国学者针对多种物理性质差别极大的轻重介质大变形运动界面及后期界面两侧介质发生混合、具有强间断系数和强刚性的三维输运方程、多尺度的三维可压缩流和输运方程等问题，发展了自适应算法、移动网格法、拉氏方法、ALE方法、中子输运、辐射输运算法等众多具有针对性的算法，发展了一批涉及多物理多过程的计算软件，有效支撑了国家重大需求。

**力学：**

### 航天器系统动力学机理认知、设计调控及其应用

现代工程技术不断催生新的动态系统，而系统自身日趋复杂，服役环境日趋苛刻，呈现突出的非线性、不确定性、多场耦合、多尺度、时滞传输等特征。我国学者瞄准新型飞行器、大型柔性空间可展结构、柔性雷达等航天器系统中的关键科学问题，提出了系统反馈时滞新理论方法，揭示了反馈时滞、弹性约束、迟滞阻尼等因素引起的非线性动力学规律；提出了斜碰撞振动分析新

---

理论，揭示了新碰撞振动及分岔机理；提出了碰撞隔振系统的非线性动力学设计方法，解决了多种飞行器研制中的振动控制问题；提出了高维多柔体动力学建模与计算新理论与方法，解决了复杂柔性空间可展结构的动特性设计问题。上述理论与方法突破了多项技术瓶颈，为我国航天器系统的创新发展提供了技术支撑。

天文：

### 地球同步轨道区域物体的运动特征研究与观测

地球同步轨道是稀缺资源，是可利用的重要区域，其附近物体的分布规律、轨道长期演化特征以及观测处理复杂，这一区域物体的数量不断增加，给航天活动的顺利开展带来了很大的困难。我国学者利用基本天文学方法，建立了扩展化理想共振模型，从理论上揭示出同步轨道物体的双平动运动特征，给出了五种运动特征的分类判据，实现了利用一组轨道数据直接判定非受控物体的运动特征；得到倾角定量变化范围、轨道面参数相关性以及星下点经纬度变化相关性的解析表达式，揭示了同步轨道区域非受控物体纬度方向变化区间和演化分布规律，将同步轨道区域物体搜索效率提高 1 倍；克服无先验信息、密集星场等问题，建立了实时、高效的多物体检测方法，获得了高精度的光学测量数据，提高了定轨预报精度。通过建立集运动特征理论研究、观测方法、物体检测、轨道识别与精密预报于一体的、可靠高效的体系，显著提升了同步轨道区域物体的发现、分类、轨道识别以及精密预报能力，已在空间事件分析、碰撞预警以及减缓策略研究等航天活动中得到应用。

---

## 物理 I

### 铌酸锂光量子芯片的研制

量子信息领域因其具有巨大应用价值成为当前各国竞争的战略制高点，光量子信息技术走向实际应用必须实现芯片化。硅基光子芯片虽然具有与 CMOS 工艺兼容优势，但因为硅为间接带隙，发光效率低下，至今还没研制出实用的低功耗片上光源。铌酸锂晶体有很好的光学特性和综合的物理性能，铌酸锂芯片将会在光子产率、调制速率、调谐范围等核心指标上具有优势，但铌酸锂晶体面临加工难度大，技术不够成熟等困难。我国学者解决了铌酸锂芯片上高效纠缠光源、高速电光调制器和低损耗光波导加工制备的关键技术，研制出国际上第一片电光调制铌酸锂有源光量子芯片，其关键性能指标优于国际上同类硅基光量子芯片，引起了国际同行的广泛关注。该工作是铌酸锂光量子芯片开端性工作，揭示了铌酸锂光子芯片在新型芯片化纠缠光源制备、量子计算、量子模拟等方面的研究价值和应用前景。

## 物理 II

### X射线辐射成像的研究与应用

针对打击国际贸易中集装箱走私、反恐以及国防装备方面的重大国家安全需求，我国学者长期坚持开展 X 射线辐射成像相关原理、方法和技术的基础研究与应用基础研究。通过对辐射成像的成像机理、成像模式、重建方法以及辐射源、探测器、加速器 X 射线源的小型化、小焦点化、高稳定性、可变能量等关键技术的研究，

---

实现了大型集装箱检查系统的产业化，并在国际上率先研制出具有物质分辨能力的双能大型集装箱检查系统产品，不但为国家打私、反恐等提供了高科技手段，并将产品出口到 160 多个国家和地区，树立了我国自有知识产权高科技成套设备进入国际市场的典范，实现了从“中国制造”到“中国创造”的转变。为了突破欧美国家对我国大型国防装备 X 射线无损检测技术的封锁，聚焦高剂量率小焦点高能电子直线加速器、高效率高分辨力阵列探测器、高精度扫描方法及计算机断层成像相关的基础物理与关键技术问题，实现了对大型装备中微小缺陷的探测成像，并使相关产品成功应用到国防装备生产。这一工作不但为我国解决了核心技术瓶颈问题，并且实现了相关技术及装备的国际领先。

### “共性导向、交叉融通”典型案例

数学：

#### 稀疏信息处理的 $L(1/2)$ 正则化理论

雷达成像在目标探测、地球遥感等涉及大范围、高分辨率观测应用中面临挑战。雷达数据采集一直是以香农定理为基础，或难以实现期望的高采样率，或带宽限制难以支持实时处理，或系统复杂难以机载或星载。如何突破香农采样以更少的采样实现高分辨率观测，是稀疏微波成像的基础科学与技术问题。我国学者基于巴拿赫空间几何理论，通过解析雷达成像过程的数学表示，建立雷达观测矩阵的近似逆表示（称为雷达回波模拟器），提出

---

了不直接基于雷达观测矩阵而基于雷达回波模拟器的成像新模型，发现并建立了稀疏信息处理的  $L(1/2)$  正则化理论，将原有稀疏雷达成像算法的单步迭代复杂性从  $N^2$  减少到了  $N \log(N)$  量级。实现了与常用雷达算法复杂性相当的算法，为稀疏雷达的大场景成像及实用化铺平了道路，为解决广泛的稀疏信息处理问题提供了迥然不同的求解范式和快速算法，形成了稀疏雷达成像的原创成像理论，已在广泛的科学技术领域产生影响。

### 力学：

#### 软材料与生物软组织的表面失稳力学研究

软物质研究涉及力学、材料科学与生命科学的交叉领域，而变形稳定性是其中的基本问题。由于弹性模量很低、对外界刺激响应敏感，软材料比传统固体材料更容易发生几何失稳。针对生物医学工程、柔性电子、功能材料与器件、软体机器人等前沿技术的发展对软材料表面失稳研究提出了迫切需求，我国学者历经多年深入研究，建立了软材料与生物软组织表面失稳及其演化的力学理论与计算方法，发现了表面失稳与演化的多种新现象与新规律，揭示了宏、微观尺度上表面失稳的物理新机制，为柔性器件与结构设计、材料表面性能调控、力学性质测量等提供了理论基础，对癌症、炎症等软组织病变的诊疗具有应用价值。

---

天文：

### 轨道力学精确建模方法研究

北斗导航系统提供全球高精度导航定位授时服务对时空基准的建立、维持与传递提出了更高的要求。北斗卫星精密轨道测定误差是影响北斗空间基准传递精度的重要因素，同时也制约了北斗坐标系实现和维持精度。我国学者基于基本天文学（轨道力学）基本原理，结合北斗导航系统星地星间多源测量体制的特点，开展北斗 GEO/IGSO/MEO 不同类型卫星轨道力学精确建模研究，建立了适用于北斗二号、北斗三号卫星不同姿态控制模式下太阳光压模型，提高了北斗卫星轨道测定与预报精度，达到与 GPS 相当的水平，并进而提高了北斗坐标系与国际大地参考框架在厘米级水平上的一致性，拓展了北斗特色测量体制应用范围，对北斗导航系统的稳定服务和科学应用提供重要技术支持。传统天文学中轨道力学的理论应用于卫星导航空间基准的精确测定和预报，而卫星导航的发展对基本天文学研究又提出了新的问题和挑战，两者的交叉有力地推动了天文学与地球科学、信息科学相关领域的新发展。

---

## 物理 I

### 单个蛋白质分子的磁共振探测

在纳米尺度上直接测量单个分子的组成、结构及动力学性质是当今物质科学探索的发展趋势。磁共振在医学成像等领域已发挥重要作用，但传统磁共振技术通常只能测量毫米尺度以上百亿个分子系综的统计平均性质，无法实现对单个分子的直接测量，在更高精度上进行生物成像成为物理学和生命科学共同关心的问题。我国学者基于金刚石量子传感器和新颖的自旋量子干涉仪探测原理，实现了单分子磁共振的突破，首次获得了单个蛋白质分子（直径约 5 nm）的顺磁共振谱，并解析出其动力学信息，成功将电子顺磁共振技术分辨率从毫米推进到纳米，灵敏度从百亿个分子推进到单分子水平。这一成果得到美国化学会、德国马普所等广泛的新闻报道。《Science》将该成果选为研究亮点并配发专文报道，称其“实现了一个崇高的目标”，“是通往活体细胞中单蛋白分子实时成像的重要里程碑”。该探测技术可用来在单分子层面认识物质科学和生命科学的机理，特别是其室温大气的宽松探测条件为生命科学等领域的研究提供了尤为适宜的条件，对疾病早期诊断具有积极意义。



---

## 物理 II

### 纳米材料健康效应与安全性研究中的核技术方法

系统理解纳米尺度与纳米结构材料的生物学效应和开展纳米安全性研究，既是物理、化学、材料与医学科学交汇所出现的前沿基础科学问题，也是纳米技术可持续发展所必须建立的安全性评价与分析检测等实际应用问题。生物医用的纳米结构材料具有小尺寸效应、表面效应、团聚效应以及量子效应的特点，我国学者利用多种先进核技术与大科学装置平台技术系统，开展纳米结构材料对生命健康产生影响的研究，深入研究了纳米材料健康效应与安全性，突破了纳米尺度物质生物学效应体内定量检测的方法学瓶颈，解决了纳米物质体内行为的复杂化学生物学机制难题。建立了测定纳米颗粒体内分布与转运速率定量方法，实现单细胞与单颗粒的三维高分辨成像、纳米-生物界面精细结构表征、纳米材料体内行为的动态分析和表征，为纳米生物医学研究提供了重要的分析方法和研究手段，推动了核技术与大科学装置在纳米生物医学与安全性评价研究等交叉学科的发展。



---

## 化学科学部

### “鼓励探索、突出原创”典型案例

#### 一、项目背景（重要性、必要性）的阐述

硫化学在生命科学、材料科学、天然产物、医药农药、乃至我们日常生活的食品、香精香料中都扮演着举足轻重的作用。

2016 年世界排名前 200 名的零售药中，含硫药物就达到 33 个。

然而，含硫结构化合物合成领域目前仍存在诸多瓶颈科学问题：

（1）硫的孤对电子的强配位性极易将金属毒化；（2）硫的多氧化态导致反应可控性差；（3）硫的高活性使得体系兼容性低。

这些都严重制约着硫化学的发展和应用。

#### 二、项目原创性（从无到有）的阐述

该项目针对以上科学挑战，从共轭效应、电子效应、以及面具张力三个方面考虑，设计稳定易转化且无臭的双边过硫试剂，实现从无到有。把原本毒化金属、挥发恶臭、氧化不兼容的巯基硫源转变成无臭稳定、绿色安全的无机硫盐，同时实现“从无机向有机”多样性功能转化。传统非对称过硫化合物的构建方法，都是从构建 S-S 键出发，这必然需要两个反应物都引入硫原子，大大降低了原子经济性和步骤经济性，同时巯基的起始原料取代会带来一系列兼容与环保问题。虽然我们前期的单边过硫试剂“面具效应”策略为解决以上问题提供了可能性，但还存在以下

---

问题：无法实现“两边”同时灵活改变，构建非对称过硫；无法实现四硫结构的构建（单边过硫最多只能实现三硫结构构建）；无法实现环状、桥状过硫结构的构建；无法对过硫天然产物和药物构建进行更广谱的合成和后修饰衍生。

### 三、具体阐述该项目符合此属性的理由

1. 该项目拟设计合成的新型双边多硫试剂是一个全新的构想，具有鲜明的首创性。

2. 该项目拟运用全新的“配体向金属中心传递电子的模型”来实现对硫的活化扰动激发自由基，让硫自由基实现可控阶梯氧化。最终将该绿色高兼容的体系应用于复杂药物、生命大分子的调控性合成与修饰。

3. 该项目是该领域独创性的研究工作，课题特色鲜明，是“鼓励探索、突出原创”的典型范例。

### “聚焦前沿、独辟蹊径”典型案例

#### 一、该项目所聚焦的前沿问题是什么？

**二氧化碳分离属于国际前沿研究课题。**二氧化碳是导致全球变暖的主要温室效应气体，现行解决方案是利用有机胺类水溶液对二氧化碳进行分离回收，但该方法耗能巨大；通过发展新型高选择性、高吸附容量的固相材料，实现二氧化碳的高效吸附与分

---

离是当前的科学前沿问题。

## 二、该项目中独特的解决方案是什么？

**多功能耦合共价有机框架材料为二氧化碳的高效分离与转化提供了独特的解决方案。**近年来，大量工作致力于发展基于物理吸附原理的多孔材料开展二氧化碳分离的探索研究，材料体系集中在金属有机框架材料，但其配位键的化学本质影响材料在服役条件下的稳定性；

与之相比，共价有机框架材料具有更高的稳定性、结晶性和高比表面积，更加适用于二氧化碳的吸附分离。该课题组在前期已开展了一些原创研究工作，在此基础上本项目拟通过调控初/高次结构进一步提高选择性和吸附容量，通过在材料中引入光催化活性基团，将二氧化碳变成一氧化碳、甲醇、乙醇等化学燃料，发展新型多功能耦合的共价有机框架材料，为二氧化碳吸附分离转化这一前沿科学问题提供独特的解决方案。

## 三、具体阐述该项目符合此属性的理由

**聚焦二氧化碳分离的前沿问题，通过发展多功能耦合共价有机框架材料，为二氧化碳的高效分离与转化提供独特的解决方案。**

本项目利用拓扑学设计初次及高次结构共价有机框架材料，通过分子设计调控孔形状、孔径尺寸以及孔壁界面，为二氧化碳吸附分离提供材料支撑；通过在骨架引入催化位点进一步将二氧化碳变成一氧化碳、甲醇、乙醇等化学燃料；结合特定场景需求创新

---

过程研究，探索基于模块的固相分离技术。本项目的研究为二氧化碳吸附分离转化这一前沿科学问题提供了独特的解决方案，是“聚焦前沿、独辟蹊径”的典型案列。

## “需求牵引、突破瓶颈”典型案例

### 一、该项目契合国家哪方面需求？

氮氧化物排放控制契合“打好污染防治攻坚战”这一国家重大战略需求。氮氧化物（ $\text{NO}_x$ ）是大气污染物 $\text{PM}_{2.5}$ 和臭氧的重要前体物，是造成严重灰霾天气或臭氧污染天气的重要原因之一。氮氧化物（ $\text{NO}_x$ ）来源包括机动车尾气、燃煤电厂、工业源（如钢铁、焦化、水泥、玻璃和陶瓷等行业）排放等，且工业源排放是大气 $\text{NO}_x$ 的主要来源。虽然近年来机动车尾气和燃煤电厂 $\text{NO}_x$ 排放已得到较好控制，但是工业源 $\text{NO}_x$ 排放仍未得到有效控制。工业源 $\text{NO}_x$ 排放是导致大气中 $\text{PM}_{2.5}$ 和臭氧浓度居高不下，造成严重灰霾或 $\text{O}_3$ 污染天气，对气候、环境和人类健康造成巨大危害的重要原因之一。因此，有效控制工业源 $\text{NO}_x$ 排放是大气污染控制的重要组成部分，契合“打好污染防治攻坚战”这一国家重大战略需求。

### 二、该项目可能解决哪方面科学问题、突破哪方面技术瓶颈？

该项目拟突破工业烟气脱硝中 $\text{NH}_3$ -SCR 催化剂容易发生 ABS 中毒这一技术瓶颈。 $\text{NH}_3$ 选择性催化还原  $\text{NO}_x$  (Selective

---

Catalytic Reduction of NO<sub>x</sub> with NH<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>-SCR), 是一种利用脱硝催化剂(比如 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-WO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>)将 NO<sub>x</sub> 转为 N<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 的技术。NH<sub>3</sub>-SCR 因具有环境友好、转化高效等特点被广泛应用。值得注意的是, 在工业烟气中, 大量的 SO<sub>3</sub> 及 SO<sub>2</sub> 可与 NH<sub>3</sub> 和 H<sub>2</sub>O 反应生成硫酸氢铵 (ABS)。在低于 ABS 露点的工业烟温下, ABS 粘性较大, 覆盖于催化剂表面后容易导致催化剂失活、NH<sub>3</sub>-SCR 技术失效。因此, 研发低温下高效分解硫酸氢铵的 NH<sub>3</sub>-SCR 催化剂可以突破工业烟气脱硝过程中容易发生 ABS 中毒这一关键技术瓶颈。

### 三、具体阐述该项目符合此属性的理由

**工业烟气脱硝契合大气污染控制国家需求, 低温 ABS 中毒是工业烟气脱硝的关键技术瓶颈。** 本项目针对脱硝催化剂(比如 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-WO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>) 在工业烟气中容易中毒这一问题, 拟利用 Ti-γ-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 替代 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 降低 SO<sub>2</sub> 氧化活性并提高 NO<sub>x</sub> 转化效率, 获取有利于控制 ABS 生成的活性组分; 利用 Nb<sup>5+</sup> 或/和 Sb<sup>5+</sup> 掺杂 α-MoO<sub>3</sub>, 提高 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 和 HSO<sub>4</sub><sup>-</sup> 分离效率, 获取有利于低温高效分解 ABS 的助剂; 利用硫酸化 TiO<sub>2</sub>-S, 降低 SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub> 吸附并显著提高 NH<sub>3</sub> 吸附, 获取不利于 ABS 生成的载体。通过活性组分、助剂、载体三管齐下, 形成不易发生低温 ABS 中毒的催化剂 Ti-γ-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Nb(Sb)-MoO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub>-S; 在此基础上, 通过对催化剂分解 ABS、转化 NH<sub>3</sub> 以及它们之间协同效应分析, 构建低温分解 ABS 的阴阳离子拆分-催化氧化机理和低温 NH<sub>3</sub>-SCR 反应机理。催化

---

剂是  $\text{NH}_3$ -SCR 核心，ABS 中毒是催化剂失效关键，建立新 ABS 转化机理有助于从本质上克服 ABS 中毒，抗 ABS 中毒新型催化剂合成可以推进  $\text{NH}_3$ -SCR 技术在工业烟气脱硝中应用。该项目通过新材料合成和新机理解析，为控制大气污染物  $\text{PM}_{2.5}$  和  $\text{O}_3$  前体物  $\text{NO}_x$  排放提供了技术和理论储备，是“需求牵引、突破瓶颈”的典型**案例**。

### “共性导向、交叉融通”典型案例

#### 一、该项目的共性科学问题是什么？

化学生物学角度的仿生器件制备，细胞生物学角度的胞外物质摄入机制以及药剂学范畴的纳米药物制剂可以共同导向一个基本问题：如何基于细胞的天然代谢属性设计纳米级的仿生药物载供体系，推进机制与效用的并行研究。当前的纳米药物研发和实践中，细胞及亚细胞水平上纳米材料与细胞屏障的相互作用往往并不明晰；纳米材料如何识别细胞、如何进入或影响细胞、如何参与胞内代谢并释放药物的具体机制研究尚浅。蓬勃发展的 DNA 纳米技术在精确结构组装方面具有独特优势，有望为医学问题的解决提供新工具、新方法。因此，利用 DNA 纳米技术设计的仿病毒结构体系进行细胞侵染和细胞代谢机制研究，将为新型纳米载药给药体系的开发提供更好的指导。

#### 二、该项目所具有的交叉融通特征是什么？

---

该项目通过设计合成仿病毒的纳米复合体进行细胞侵染,是DNA纳米技术,化学生物学以及细胞生物学的合理交叉。DNA纳米技术的发展使得纳米尺度的各类结构可以精确设计与合成,通过修饰更可以进一步功能化,这为模拟自然界进化而来的纳米级生命分子复合物结构提供了重要的材料与技术基础。病毒侵染宿主的能力与其结构学特性息息相关,而利用它们的侵染特性实现可控靶向的药物输运是当前重要的研究方向。依据DNA纳米技术在结构设计与定制能力上的显著优势,以模拟病毒形貌作为切入点设计开发两类仿病毒DNA纳米复合体,通过复合体与功能蛋白的整合在穿膜和内吞两种细胞侵染方式上研究其作用机制与侵染效率,分析仿病毒复合体侵染细胞过程中关键的生物物理条件与参数,并建立利用人工仿病毒纳米装置实现针对细胞进行基因转染或药物投递的高效方法,为新型纳米载药体系的开发提供依据。

### 三、具体阐述所选项目符合此属性的理由

该项目拟依据DNA纳米技术在结构设计与定制能力上的显著优势,以模拟病毒形貌作为切入点设计开发两类DNA纳米结构为主体的仿病毒纳米复合体。利用DNA-磷脂膜自组装复合纳米结构模拟天然病毒,构建仿病毒纳米复合体,将DNA组装结构的可设计性和纳米尺度精确调控能力与病毒形貌和功能蛋白决定的细胞识别侵染能力相整合,研究其与人工脂膜可控相互作用的方式,探索其侵染细胞的生理生化过程,以期构建细胞靶向的药

---

物投递体系,开发精准高效的人工载药工具。因此,该项目是“共性导向、交叉融通”的典型案列。

NSFC四类科学问题属性典型案例库



---

## 生命科学部

### “鼓励探索、突出原创”典型案例

#### 案例 1: 机械门控 Piezo 通道的离子通透与机械门控机制研究

机械门控 Piezo 离子通道是新近发现的一类具有重要生理病理功能且与人类疾病直接相关的全新复杂离子通道家族。鉴于其生理病理功能的重要性和作为脊椎动物机械门控阳离子通道的原型成员的新颖性,深入解析 Piezo 离子通道的结构功能关系代表“离子通道与受体”研究领域的一个重要科学前沿。项目负责人继首次证实 Piezo 蛋白是机械门控阳离子通道的孔道蛋白之后,又解析了鼠源 Piezo1 离子通道的冷冻电镜三维结构,揭示了其离子通透与机械力传感的分子基础,从而帮助理解脊椎动物机械门控阳离子通道的工作原理、与生理/病理疾病发生的相关性,并为相关的药物设计与开发提供线索和理论依据。

该研究首次提出了 Piezo 通道以类似杠杆原理进行机械门控的精巧工作机制,对理解生物机体如何将机械力刺激转化为电化学信号这一基本生命过程具有重要意义。研究成果于 2018 年发表在 Nature 杂志上。

#### 案例 2: 克隆和半克隆胚胎发育的表观遗传调控研究

单倍体细胞在生物医药研究领域受到广泛关注,主要原因之

---

一是单倍体细胞只有一套遗传物质，改变基因后立即能够观察到相应的表型，利于开展大规模遗传筛选与改造。哺乳动物的单倍体细胞系的建立，将极大地促进哺乳动物基因功能及遗传学等方面的研究。项目申请人建立了孤雄单倍体胚胎干细胞介导的半克隆技术，然而，半克隆胚胎发育异常且效率低。克隆技术和半克隆技术产生的胚胎发育异常现象为研究胚胎发育的表观遗传调控提供了新的手段；而这些机制的揭示也为提高克隆或者半克隆胚胎的体内发育潜力提供了线索。项目围绕 X 染色体失活和印记基因（如 H19）的表达在克隆和半克隆胚胎发育中的作用开展研究，研究 X 染色体失活和 H19 基因在克隆和半克隆胚胎中的表达规律，通过调节 X 染色体失活和 H19 基因的表达水平来改变克隆和半克隆胚胎的发育潜能。希望通过这些研究提高克隆和半克隆胚胎发育效率，同时揭示与胚胎发育相关的重要的表观遗传学调控机制。

课题组从小鼠的精子中建立了孤雄单倍体胚胎干细胞，并证明这些细胞能够代替精子使卵母细胞“受精”产生半克隆小鼠。课题组以此为基础，继续深入，通过将调控雄性印记基因 H19 和 Gt12 表达的 H19-DMR 和 IG-DMR 敲除后建立了能稳定且高效支持半克隆小鼠出生的单倍体细胞系（因此又被称为“人造精子细胞”）；利用相似印记表达调控策略，从小鼠卵子中产生了能代替精子使用的单倍体胚胎干细胞，实现了小鼠孤雌胚胎的高效发育；建立了人的卵子来源的单倍体胚胎干细胞。该系列研究使得“人

---

造精子细胞”成为制备复杂基因编辑小鼠模型和开展小鼠个体水平遗传筛选的新工具，开辟了单倍体干细胞研究和应用的新领域。研究成果于2015年分别发表于Cell Stem Cell和Cell Research杂志上。

## “聚焦前沿、独辟蹊径”典型案例

### 案例 1: Th17 细胞分化中的表观遗传调节机制

Th17 细胞异常反应是导致自身免疫疾病发生的关键性原因，并与多种肿瘤的疾病进程密切相关。研究表明 Th17 细胞分化过程中伴随着谱系特性的表观遗传修饰，但是相关细胞因子和转录因子如何调节 Th17 细胞特异性的表观遗传机制，尚缺乏系统研究。在前期工作中，项目负责人发现表观遗传调节蛋白和共激活因子如 Trim28、Trim33、SRC2 等对 Th17 分化发育起重要作用，本项目利用多种（条件性）基因敲除小鼠和高通量测序技术，深入研究细胞因子、转录因子如何通过表观遗传调节蛋白在 Th17 细胞中确立、维持和调节其特异的表观遗传机制。本研究将有望为治疗 Th17 细胞相关的免疫性疾病提供新的药物靶点。

Th17 细胞分化的表观调控机制是免疫学研究的前沿领域。该项目在前期工作基础上，深入研究细胞因子、转录因子通过表观遗传调节蛋白在 Th17 细胞中确立、维持和调节其特异表观遗传机制。研究成果于 2019 年发表在 Immunity 杂志上。

### 案例 2: 蛋白激酶 Wts/Lats 的稳定性调控

---

细胞增殖与细胞凋亡的平衡是机体维持稳态的重要机制。研究表明,几乎所有的肿瘤都存在细胞周期调控机制紊乱而导致的细胞生长增殖失控、分化受阻、凋亡异常。Hippo 肿瘤抑制信号通路能够协同调控细胞生长、增殖与凋亡,在生长控制和特定器官大小发育中发挥重要作用。肿瘤抑制基因 Wts/Lats 是 Hippo 通路核心组分之一,其活性受到内外环境的精密调节。通过遗传学筛选,课题组在前期鉴定了 3 个新的调节 Wts/Lats 活性的 E3 泛素连接酶 Su(wts)1、2 和 3 的基础上,综合利用细胞生物学、遗传学和生化与分子生物学等手段着重研究了 Su(wts)1/2/3 调控 Wts 蛋白稳定性的分子机制及其在动物发育过程中的生理意义。

本项目构建果蝇的 Wts 活性修饰筛选系统,首次建立了低氧通过 SIAH2-Lats2 调节 Hippo 通路活性的信号转导模型。该项研究从低氧环境调节的视角揭示 Hippo 通路活性的分子机制,对进一步深入理解 Hippo 信号在决定器官大小发育和疾病发生中的作用具有理论意义。研究成果于 2015 年发表在 Nature Cell Biology 杂志上。

### 案例 3: 外侧下丘脑 orexin 神经元-丘脑室旁核通路对睡眠/觉醒周期的调控及机制研究

觉醒和睡眠是脑的两个基本功能状态。促觉醒食欲素 orexin(又称 hypocretin)系统在觉醒/睡眠的转换及觉醒状态的

---

维持中起关键作用，但其促觉醒效应的神经环路机制有待阐明。课题组在前期报道 orexin 密集支配到上行激活系统中丘脑中线核团-丘脑室旁核 (PVT) 的基础上，拟综合应用形态学、电生理学、光/药物遗传学、钙成像及脑/肌电监测等技术，在分子-细胞-环路水平上，系统解析 orexin 神经元-PVT 解剖和功能联系；阐明 orexin 神经元-PVT 通路在正常觉醒/睡眠中的调控作用；分析 PVT 内 orexin 纤维的活动模式及其对丘脑-皮层网络振荡的影响，旨在揭示 orexin 发挥促觉醒效应新的神经环路机制。

觉醒/睡眠发生机制探讨是神经科学领域的前沿热点。既往研究主要关注脑干和下丘脑，该项目则将研究重点投向丘脑。联合应用多通道电生理记录、钙成像、光遗传学和化学遗传学等新技术，证实丘脑室旁核 (PVT) 是觉醒维持的关键脑区。研究成果于 2018 年发表在 Science 上。

#### 案例 4：作物双生病毒致病的分子机制

双生病毒引起的农作物病害严重影响了作物的产量和品质，明确病毒致病机理可为双生病毒病害防控提供理论基础。该项目通过双生病毒致病机理的研究，分析了植物细胞如何通过自噬来降解双生病毒细胞核蛋白及抑制病毒侵染，分离、鉴定出参与抗双生病毒的细胞自噬基因并明确其作用机制，剖析植物与病毒之间的长期共进化与‘分子军备竞赛’机制；通过转录组、蛋白质组等分析同时受双生病毒侵染及细胞自噬途径调控的寄主因子，

---

理解其复杂的互作关系，并绘制其互作关系的网络图。项目全面、深层次揭示植物对双生病毒的防御及双生病毒对植物的反防御机制，为双生病毒病害防控提供新思路和新靶标。

病毒与寄主因子互作关系解析，是植物病毒病研究领域的前沿热点。本项目独辟蹊径，从植物寄主细胞自噬这一角度出发，深入揭示细胞自噬介导的防御反应抵抗双生病毒侵染以及二者互作机制，将推动双生病毒病及其他植物病毒病科学研究。成果于2018年发表在 *Journal of Virology* 等专业期刊上。

### “需求牵引、突破瓶颈”典型案例

**案例 1：鉴别影响猪肌肉脂肪含量的关键基因及其因果突变位点**

肌肉脂肪含量（“雪花肉”）是影响猪肉品质的重要因素，与肉的风味、多汁性和嫩度直接相关。国内外一直没有分离得到畜禽产“雪花肉”的关键基因和因果突变位点，影响了畜禽优质肉生产。本项目利用我国特有的世界上肌肉脂肪含量最高的地方猪种莱芜猪为研究材料，结合其他商品猪及地方猪种群体，在国际上首次分离得到猪“雪花肉”的因果基因和突变位点，阐明了因果突变位点提高猪肌肉脂肪的分子机制。

“雪花肉”等优质肉具有巨大的市场需求。鉴别肌肉脂肪含

---

量的关键基因及因果突变位点，解析其提高肌肉脂肪含量的分子机制是优良肉质种猪培育的核心科学问题。本项目首次分离了猪产“雪花肉”的关键基因，揭示了因果突变位点提高猪肌肉脂肪的分子机制；同时鉴别和分离了产生劣质酸肉的关键基因和因果突变位点，为提高商品猪肉品质提供重要技术支撑，在生猪生产中具有巨大的商业利用价值。相关成果已申请国际和国内专利，并在 PLoS Genetics 等杂志发表。

### 案例 2：基于广谱性抗体的兽药多残留免疫分析研究

基于我国动物源食品安全的迫切需求，以及制约兽药多残留免疫分析技术发展的“瓶颈”问题，本项目通过选用磺胺类、喹诺酮类等兽药，确定同类兽药分子的共有抗原决定簇；通过兽药分子结构改造，获得最佳半抗原；研制出广谱性单克隆抗体和天然基因重组抗体等方法，建立灵敏度高、检测谱广的量子点荧光、荧光偏振和化学发光等兽药多残留快速免疫分析检测技术，为我国动物源食品中兽药残留检测提供理论依据和技术保障。

动物源食品中兽药残留严重危害畜禽和人类健康，建立高效的兽药残留检测技术已成为当前国家保障食品安全的战略需求。动物源食品中兽药残留的多样化和复杂性是制约的技术瓶颈，通过研究建立可同时检测同类或不同类多种兽药残留的免疫分析技术是解决这一问题的有效途径。本项目建立的动物源性食品中磺胺类、喹诺酮类、 $\beta$ -兴奋剂类等兽药的多残留免疫分析检测

---

技术，灵敏度和稳定性均符合动物源性食品中兽药残留的检测要求，为我国动物源食品中兽药残留检测提供技术保障。

### 案例 3：对虾抗病毒相关基因的功能与抗病毒机理分析

对虾是重要的海水养殖动物，但对虾养殖产业长期遭受病毒等病害侵袭，造成巨大经济损失。由于当前产业对对虾的抗病毒机理及调控途径知之甚少，因此亟待开发针对对虾病毒病的有效治疗药物。本项目从模式识别、感染信号调节、信号转导途径及调控机理、效应分子等不同层面鉴定对虾的抗病毒相关功能基因，分析它们在病毒感染条件下的表达模式；利用 RNA 沉默和基因过表达等技术，深入研究这些基因在对虾体内的抗病毒功能；进一步研究免疫相关信号途径对抗病毒基因的调控，阐明这些基因在对虾抗病毒免疫防御中的作用及调控机制。该项研究为对虾病毒病的防治提供理论基础，筛选可用于基因工程药物开发的靶标基因，为抗病毒对虾品系的选育提供新的选择标记，具有重要的理论意义和应用前景。

该项目立足我国对虾养殖和病害防控的重大需求，为突破对虾病毒疫病防控的瓶颈问题，从模式识别、感染信号调节、信号转导途径及调控机理、效应分子等不同水平上系统研究了对虾抗病毒相关基因的功能和抗病机理。在对虾体内鉴定了十几类模式识别受体(包括膜型、可溶型及胞内受体)；发现丝氨酸蛋白酶及其抑制因子参与感染信号的调节；Toll 途径、IMD 途径、JAK/STAT



---

途径、RNA 干扰途径和泛素化途径等参与对虾的抗病毒免疫；发现了 20 多种抗菌肽分子，其中多种抗脂多糖因子和甲壳肽具有抑制病毒增殖的功能。该研究为解决困扰对虾养殖业病毒病的防治具有重要的应用价值。

#### 案例 4：哺乳动物早期胚胎的单细胞功能基因组学研究

生育障碍影响了我国数千万对夫妇。降低出生缺陷以及遗传疾病的发病率，提高生殖健康，优生优育是人口与健康领域的重大需求。胚胎早期诊断作为重要的介入手段之一，亟需单细胞组学测序技术的突破，因此单个细胞组学测序技术成为限制我们了解早期胚胎发育机理以及开展临床胚胎早期诊断的研究和技术瓶颈。

本项目立足于在单细胞水平解读功能基因组信息，开发胚胎植入前遗传学诊断技术，试图从根本上阻断单基因遗传疾病在家庭中的传递，对于成千上万的家庭和全社会都有着重要的社会意义。通过本项目的成果应用，世界首例经 MALBAC 基因组扩增高通量测序进行单基因遗传病筛查的健康试管婴儿顺利诞生。研究成果发表在 Nature、PNAS 等期刊上。

#### 案例 5：水稻蛋白品质形成关键基因的功能研究

稻米蛋白主要由谷蛋白、醇溶蛋白和球蛋白等组成，当蛋白质总量一定，谷蛋白含量越高，营养价值和食味品质越好。但对肾脏病人，不能食用谷蛋白含量 >4% 的稻米。因此，深入解析谷

---

蛋白合成、转运的分子机制对培育适宜不同人群水稻品种至关重要。该项目以两个谷蛋白转运突变体 gpa3 和 gpa4 为研究材料，通过系统的表型鉴定和后续基因功能研究，对谷蛋白 ER 输出和后高尔基分选两个关键节点有了深入的理解。进一步证实谷蛋白 ER-Golgi 的运输受 COPII 介导，且 GPA4 通过调控 COPII 组装从而控制谷蛋白的 ER 输出；明确谷蛋白后高尔基体分选由致密囊泡介导，且 GPA3 作为植物特有的调控因子通过调控致密囊泡定向分选进而控制谷蛋白的沉积。筛选获得一批新的谷蛋白分选突变体，并采用图位克隆的策略获得十多个谷蛋白分选关键基因。这些基因的功能解析将逐步构建谷蛋白分选分子网络途径，为稻米的蛋白品质改良奠定良好的理论基础。研究结果发表在 *The Plant Cell* 等期刊，培育了低谷蛋白水稻新品系 W0868。

该项目针对稻米品质改良的作物科学重大需求和瓶颈，从改良稻米品质背后的科学问题出发，聚焦水稻谷蛋白合成、转运开展深入研究。在获得十多个谷蛋白分选关键基因，并研究这些基因功能的基础上构建谷蛋白分选分子网络途径，培育出肾脏病人专用低谷蛋白水稻新品系 W0868，该品系抗稻瘟病，丰产性好，其谷蛋白平均含量仅为对照品种的一半（2.1%，总蛋白含量为 6.8%，2018 年）。该品系已经实现转让，2017-2018 年在江苏大丰种植推广应用 1.6 万亩，取得了良好的经济效益和社会效益。

---

## “共性导向、交叉融通”典型案例

### 案例 1：冷冻电镜数据采集和实时电子显微图像处理技术研究

冷冻电子显微学借助于近年来的一系列突破性进展，分辨率获得了极大的提高，部分技术已经可以达到近原子分辨率的水平，成为生物结构解析的重要工具。然而，冷冻电镜的数据采集和分析处理仍然是一个费时费力的工作，极大地限制了该项技术的发展和应用。同时，高分辨率所依赖的新一代高速相机，更是产生了巨大的数据量，达到每天 10TB 以上，对现有的数据采集分析系统构成了极大的挑战。为解决这一问题，该项目通过发展新一代的冷冻电镜自动化图像采集和实时图像处理系统来大幅提高整个冷冻电镜应用的效率和易用性，以实现基于图形处理器的高速实时图像处理算法，使近原子分辨率的结构解析变得更加易于获得。同时这也将为电镜方法和技术研究提供一个自主研发的平台，提升我国在相应领域的技术开发能力。

该项目通过在图像识别、算法开发、自动化处理等领域交叉研究，发展了新一代的冷冻电镜自动化图像采集和实时图像处理系统，大幅提高了冷冻电镜应用的效率和易用性，提升了我国在相应领域的技术开发能力。研究成果发表在 Nature Methods 等专业学术期刊上。

### 案例 2：天然源稠三环螺内酯的抗植物病毒作用机制及其先

---

## 导优化

植物病毒是植物保护领域的难题，给我国农业生产带来巨大损失。该项目构建了新型稠三环螺内酯骨架，明确其通过交联二聚 TMV-CP 并钝化 TMV，基于此原创性新先导和新作用机制，针对我国重大病毒病害，利用植物保护的原理和生命科学的前沿技术，从 TMV 复制、组装及其侵染循环、移动的各阶段及诱导寄主抗性开展新化合物作用机制的研究，构建 TMV-CP 并完善 EGFP-TMV 抗 TMV 筛选平台。基于 TMV-CP 蛋白晶体结构信息，利用有机化学和农药学原理及计算机辅助分子设计手段，优化稠三环螺内酯骨架中双键和 OH 的数量与位置，引进杂原子或诱导抗病活性亚结构或成药性调节单元，设计、合成新型稠三环螺内酯衍生物并进行构效关系的研究。开展高活性化合物蛋白质组学或转录组学或复合物单晶结构或诱导抗病作用机制的研究和验证。

项目利用计算机辅助分子设计，以及生物化学、分子生物学等手段，充分体现了在农药分子设计、有害生物防治等有机化学和植物保护及化学生物学领域的多学科交叉。

## 地球科学部

### “鼓励探索、突出原创”典型案例

#### 案例 1：新时代中国西部深内陆城市的全球化研究：基本路径、全球网络和动力机制

##### 一、科学背景与研究意义

基于全球化和智慧社会的时代背景，城市将产业链或社会活动的不同环节嵌入到全球各个地理区位中，日益国际化的产业组织、社会文化活动如何影响位于发展“末端”的中国西部深内陆的城市全球化？“一带一路”倡议、包容性全球化和国家现代化必赋予深内陆城市超出政策本身内涵的多重目的。基于地理学视角，考虑到全球化和地方化相互作用的“深内陆情景”，深内陆城市全球化存在影响发展转型的地方性。对中国深内陆城市全球化的基本路径、全球网络和动力机制的研究几为空白。

##### 二、研究内容与创新性

在此背景下，《新时代中国西部深内陆城市的全球化研究：基本路径、全球网络和动力机制》（项目批准号：41971198）项目建立指标体系，测度城市全球化水平和特点；采用数理统计等方法分析城市产业全球化的路径、格局和特征；进而基于网络模型、价值链模型等，建构城市全球化的生产网络、贸易网络、服务网络等，探讨全球化路径和地方特征；通过政策响应分析、行

---

动者模型等，分析全球化动力机制；最后，尝试总结深内陆城市全球化的理论框架，提出政策建议，推进中国城市全球化和实践领域的研究工作。

### 三、资助导向与专家评价

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，在世界范围内的全球化进入新的阶段，我国西部内陆地区，关于前一阶段全球化的研究没有受到关注，本项目聚焦我国西部深内陆城市的全球化问题，是对空白领域的研究选题，分析深内陆城市全球化的特定地方性因素，以及不同于东部城市的特殊路径、融入全球网络的方式和动力机制，是有特色的研究选题，具有非常好的学术创新价值。

#### 案例 2：基于“基因”视角的三八面体层状硅酸盐矿物结构构筑模式与演化机理

##### 一、科学背景与研究意义

作为典型的二维片层状矿物的代表，粘土矿物的生长过程及生长机制一直以来仅有宏观现象的描述，层生长和螺旋生长模式。但是近些年的新发现的定向贴附、纳米粒子拼接、外延生长等等模型相继提出，表明粘土矿物生长问题还远未查明。本项目系统地阐述了矿物结构构筑方面的研究现状及指出需要解决的主要问题，具有一定的创新性，其结果对矿物晶体结构演化、矿物成

---

因学有着参考价值。

## 二、研究内容与创新性

在此背景下，《基于“基因”视角的三八面体层状硅酸盐矿物结构构筑模式与演化机理》（项目批准号：41972042）针对超基性岩蚀变过程中蛇纹石化、滑石化、金云母化、绿泥石化和蛭石化的矿物演化关系，以及所形成的三八面体层状硅酸盐矿物结构的异同特征，创新性地提出从“基因”视角出发，通过典型矿床蚀变带野外和实验室岩石矿物样品的观察和分析、蚀变过程实验室模拟与理论计算验证，研究天然地质作用和实验室模拟母矿物和子矿物的蚀变演化过程及形貌、成分、结构和谱学参数变化规律与影响因素；将硅氧四面体片(T)和水镁石八面体片(O)类比为“碱基”，将形成TO和TOT型结构层和晶层过程类比为“配对互补”，采用热力学和动力学及第一性原理方法计算这些二维结构单元体的内能及在母-子矿物转化过程中结构构筑的能量变化；查明二维结构单元体在三八面体层状硅酸盐矿物形成和演化中的控制与继承作用，揭示矿物蚀变转化过程中“基因”的“重构”、“变异”及驱动力；建立三八面体层状硅酸盐矿物结构构筑模式与演化机理；为矿物基因组计划/工程研究提供研究范例。

## 三、资助导向与专家评价

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”。申请者创新性的提出了类似生物“基因”的层状硅酸盐研究思路，试图将这类矿物的结构关系更加可预测、可制备和可改变，这是一种新的思路可以鼓励。通过实验和模拟计算相互验证的方法，分析考察蚀变演化过程中矿物形貌、结构、成分和谱学参数变化规律和影响因素，查明二维结构单元体在层状硅酸盐矿物形成和演化中的控制与继承等类似基因的作用，揭示八面体层状硅酸盐矿物结构构筑与演化模式，并研究其转变机制。这一“基因”研究思想和方案与现有矿物晶体结构和晶体生长理论并行不悖，且极具特色，具有极强创新性。

### 案例 3：探索 Ti 同位素在高温地质过程中的应用基础

#### 一、科学背景与研究意义

非传统稳定同位素地球化学是地球科学领域最具活力的新兴学科之一，钛 (Ti) 同位素在壳-幔物质循环、地幔交代、岩浆成因与演化和成矿作用等研究方面具有可能的地球化学示踪作用。然而，Ti 同位素地球化学研究才刚刚起步，对于球粒陨石与硅酸盐地球 (BSE) 的 Ti 同位素组成是否一致目前还没有定论，对地幔橄榄岩及其组成矿物的 Ti 同位素研究尚属空白，Ti 同位素在地幔深部过程（如部分熔融和地幔交代）中的行为还不清楚，限制了其在高温地质过程中的应用。

#### 二、研究内容与创新性

在此背景下，《硅酸盐地球的 Ti 同位素组成及地幔深部过程



---

中 Ti 同位素分馏机制研究》(项目批准号: 41973015) 创新性地提出对地球上最大化学储库的直接样品——地幔橄榄岩及其矿物进行系统测定, 查明 Ti 同位素在地幔中的组成特征; 更为合理、准确地限定 BSE 的 Ti 同位素组成; 建立平衡状态下 Ti 同位素在地幔各矿物间的分馏关系; 查明地幔部分熔融和交代过程中 Ti 同位素的分馏尺度及其机制, 从而评估 Ti 同位素体系在指示地幔交代、熔融与岩浆源区方面的潜力, 实现在 Ti 同位素理论框架研究上的突破, 进而推动利用 Ti 同位素体系解决地球系统科学相关问题。

### 三、资助导向与专家评价

按照基金委新时代科学基金的资助导向, 该项目所提出的科学问题和解决方案具有很好的创新性和前瞻性。专家指出, 针对地幔岩的 Ti 同位素研究基本处于空白, 因此申请项目具有可观的科学价值。开展 Ti 同位素组成以及在地幔深部过程中 Ti 同位素的分馏机制研究是应用 Ti 同位素示踪的前提和基础, 该项目对于推动 Ti 同位素在高温地质过程中的应用具有重要意义。

### 案例 4: 磁暴期间电离层热层的恢复过程研究

#### 一、科学背景与研究意义

在过去几十年里, 电离层和热层对磁暴的响应得到电离层物理界的广泛关注和研究。但是, 目前关于磁暴时电离层和热层的恢复过程研究却很缺乏, 国际上也尚未见系统研究暴时电离层-

---

热层的恢复过程。另外，忽视该恢复过程是很难以认清和预报电离层热层对整个磁暴过程的响应。该项目将推动暴时电离层-热层耦合系统光化学、电动力学和能量转换等方面的机理研究。

## 二、研究内容与创新性

在此背景下，《磁暴期间电离层热层的恢复过程研究》（项目批准号：41974181）创新性地融合多源数据，利用测高仪、GNSS 以及低轨道卫星 LEO 的电离层及热层大气观测数据，分析电离层热层恢复时间随磁暴类型、磁暴强度、发生季节和世界时等因素的依赖性，探索暴时电离层热层大气的恢复机制以及顶部电离层与 F2 层恢复过程的差异，首创探究背景大气影响暴时电离层的恢复过程以及相关的电离层和热层耦合作用，以期为空间天气预报提供理论依据。

## 三、资助导向与专家评价

在基金委新时代科学基金的资助导向下，函评专家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”，指出该项目具有鲜明的首创性特征，利用多手段观测数据，联合电离层-热层耦合理论模型，研究暴时恢复过程中电离层-热层的恢复特性和物理机制，并对电离层-热层耦合物理机理展开研究，对深入理解电离层、热层对整个磁暴过程的响应具有非常重要的科学意义和创新性。

**案例 5：研发“阵列平移复用镜像综合孔径”新方法，开创**

---

## 卫星气象学新领域

### 一、科学背景与研究意义

相比红外与可见光波段，微波穿透能力强，具有应用于全天时监测极端天气和气候事件及其衍生灾害的巨大潜力；目前发达国家正积极部署基于地球静止轨道卫星的大气微波探测技术。然而，微波较红外与可见光具有较长的波长，为满足高空间分辨率遥感需求的天线口径过大，很难搭载至静止卫星，这已成为世界性难题。

### 二、研究内容与创新性

《基于阵列平移复用的镜像综合孔径大气遥感微波辐射测量方法》（项目批准号：41975042）申请人继研发“常规镜像综合孔径”测量方法之后，又创造性地提出了在地球静止卫星上基于“阵列平移复用的镜像综合孔径”测量微波辐射的新方法。该方法的创新性在于通过平移小型阵列实现阵列复用，改善常规镜像综合孔径转移矩阵秩亏缺问题，同时以较少天线单元实现高空间分辨率来降低星载应用风险。

### 三、资助导向与专家评价

由于该项目研究风险大，挑战性高，函评意见很难达到共识，以往年的项目评审经验来看，很难获得资助。在基金委新时代科学基金的资助导向下，会评专家基于“鼓励探索、突出原创”的科学属性内涵，认为该项目预期成果属于卫星气象学的新技术，

---

原创性强，一旦成功有望开创大气微波遥感应用的新领域。

## 案例 6：采用新型二维高分辨率原位传感器系统观测硒的界面传输过程

### 一、科学背景与研究意义

硒是人体必需微量元素，对人体健康有着重要影响。硒的缺乏或过量都会危害人体健康。人体获取硒的途径主要是食物，而稻米是我国主要食物。水稻根际是影响水稻吸收硒的重要环节。由于硒有不同形态使得它的生物有效性也有差异。因此有必要研究水稻根际硒形态转化和生物有效性的微界面机制，以便施肥等措施调节水稻对硒的利用效率。

### 二、研究内容与创新性

在此背景下《硒在水稻根际中迁移转化的微界面机制研究》（项目批准号：41977111）水稻根际土壤中硒为研究对象，采用申请人前期开发的融合梯度扩散薄膜技术和平板光极技术的新型二维高分辨率原位传感器系统，研究水稻泌氧程度、水分管理、不同磷硫含量、土壤性质对水稻根际硒形态转化和生物有效性的微界面影响机制为科学利用土壤硒，合理添加含硒肥料，调节水稻对硒的利用效率提供科学和技术支撑。

### 三、资助导向与专家评价

---

新时代科学基金的资助导向下，虽然 D07 学科还没有按照新的资助导向进行分类评审，但函审专家认为该项目所提出的科学问题和解决方案属于的“鼓励探索，突出原创”，既强调了项目科学问题的前沿性和必要性，也体现了研究方法的创新性，尤其是以申请人个人前期开发的梯度扩散薄膜技术为基础，集成了 DGT 和平板光极技术与 LA-ICP-MS 研究水稻根际硒迁移和转化的根-土微界面机制，揭示水稻根际硒的微界面迁移转化机制，为科学利用土壤硒以及有效调控硒从土壤向植物迁移提供理论和技术支撑。

### “聚焦前沿、独辟蹊径”典型案例

#### 案例 1：南极难言岛末次冰消期以来冰川消退历史与相对海平面变化研究

##### 一、科学背景与研究意义

全球变暖加剧导致极地冰盖变化对海平面上升的影响将会越来越显著，准确计算冰川物质平衡的变化是评估冰川对海平面升降影响的关键。极地地区目前的地壳均衡变化不仅受到现代冰盖物质变化的影响，而且还受到末次冰盛期尤其是末次冰消期以来冰盖变化的影响。冰川均衡调整作用的影响研究是目前基于遥感方法估算冰盖物质平衡研究的重点和难点。该研究以南极边缘末次冰消期以来冰川变化大的难言岛地区开展冰川变化、相对海

---

平面变化以及现在地表的升降变化研究，将对冰川均衡调整模型提供检验和验证，并为基于遥感方法获取的冰盖物质平衡可靠性评估以及南极冰盖过去变化重建研究提供科学基础。

## 二、研究内容与创新性

在此背景下，《南极难言岛末次冰消期以来冰川消退历史与相对海平面变化研究》（项目批准号：41971088）创新性地将从末次冰消期以来的冰川变化与相对海平面变化相结合，来分析冰川变化对冰后期地壳均衡上升过程的影响。该研究的特色是利用难言岛地区存在多级上升海岸的特点，通过对其形成年代的测定，期望研究该区域末次冰消期以来相对海平面变化过程的研究。

## 三、资助导向与专家评价

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“聚焦前沿，独辟蹊径”。该项目既强调了项目科学问题的前沿性，也体现了研究思路的“创新性”；本项目将古冰川发育和海面变化相结合的研究，为精确恢复古冰盖活动，地壳均衡调整过程和冰川均衡模型提供了创新的研究思路和方向，具有重要的科学价值，提升我国南极研究进入国际前沿水平。

## 案例 2：中国东南沿海白垩纪花岗质火山-侵入杂岩岩浆起源与演化

### 一、科学背景与研究意义

---

有关岩浆的形成、侵位、演化和火山喷发机制问题，是国际地学界火成岩研究的学术前沿。中国东南沿海花岗质火山-侵入杂岩研究虽有较好基础，但在准确刻画岩浆作用过程各个不同阶段特征、约束火山作用与侵入作用的  $P$ - $T$ - $XH_2O$ - $fO_2$  结晶条件、建立火山岩与侵入岩内在成因联系方面，一直没有大的突破。本项目将揭示花岗质火山岩和侵入岩的内在成因联系，拓展这一前沿领域，提升对花岗质岩浆作用精细过程及地壳演化的认识。

## 二、研究内容与创新性

在此背景下，《中国东南沿海白垩纪花岗质火山-侵入杂岩岩浆起源与演化》（项目批准号：41930214）创新性地提出利用岩相学与热力学数值模拟的结合研究方法，通过花岗质岩浆过程中的结晶分异-熔体抽离作用与火山岩-侵入岩联系性，结合野外地质测量和精细的定年，准确解析岩浆作用的时序、跨度，并探索岩体累积生长过程，深入揭示结晶分异-熔体抽作用过程这一基础理论问题。

## 三、资助导向与专家评价

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“聚焦前沿，独辟蹊径”分类，是研究领域的国际学术前沿和挑战性科学问题，研究思想和方案具新颖性。该项目选取的研究对象为中国东南沿海广泛出露的白垩纪花岗质火山-侵入杂岩，为深入探

---

讨论结晶分异-熔体抽离作用过程这一重要前沿科学问题提供了天然有利的条件；拟采用的热力学数值模拟与非传统稳定同位素等研究手段也是国际上火成岩研究的前沿和热点，将引领中国东南沿海岩浆岩的研究。

### 案例 3：利用岩浆动力学模拟揭示花岗质岩浆作用过程

#### 一、科学背景与研究意义

花岗质岩浆作用是大陆地壳演化、爆发式火山活动和稀有金属矿产形成等的关键过程之一。对花岗质岩浆作用的两种产物，即酸性火山岩与侵入岩的联系的研究，是目前固体地球科学研究的主题和前沿领域之一。然而，前人研究从地球化学探索岩石成因的角度开展研究的较多，而从岩浆动力学过程的角度开展研究的很少，以地壳岩浆作用的统一视角探讨岩浆的起源和演化，是研究的薄弱环节。

#### 二、研究内容与创新性

在此背景下，《华南钦州湾地区印支期地壳深熔与火山-侵入岩浆作用》（项目批准号：41903027）创新性地提出结合矿物温度计和热力学模拟估算，针对地幔能量输入较低的碰撞造山带岩浆作用这一薄弱地带，刻画岩浆各阶段结晶的 P-T-XH<sub>2</sub>O 条件，追溯岩浆上升、储存以及结晶的精细过程，揭示花岗质火山岩和侵入岩的内在成因联系，结合残留成因的麻粒岩包体研究地壳的不平衡熔融，探讨地壳深熔作用对火山-侵入岩浆作用的影响，



---

弥补酸性火山-侵入岩浆作用的内在成因联系基础理论方面的不足。

### 三、资助导向与专家评价

按照基金委新时代科学基金的资助导向，该项目所提出的科学问题和解决方案属于“聚焦前沿，独辟蹊径”。其研究思路紧跟国际前沿，研究视角独特，研究手段新颖且综合；地壳深熔与火山-侵入岩浆作用的精细研究对深入探讨地壳熔融机制及造山过程具有重要意义，同时对于花岗岩理论研究也有借鉴意义。

#### 案例 4：地壳与上地幔介质普遍各向异性的全波形成像

##### 一、科学背景与研究意义

了解地球内部的速度结构对地球物理研究具有极为重要的意义，而各向异性是描述地球内部介质动力学性质最敏感的地震学参数，是地震学领域非常重要的一部分研究内容。传统上，地球内部速度各向异性的研究都基于剪切波分裂的观测和相对较为简单的范围各向异性模型，然而在研究对称轴倾斜的各向异性时，并不是一个很好的选择，存在其它震相的干扰。该项目提出基于全波形反演各向异性结构的新方法，是对地震学确定各向异性的重要推动，是未来地震学发展的一个重要方向。研究结果对于地球动力学和地质构造都具有重要参考意义。

##### 二、研究内容与创新性

---

在此背景下，《地壳与上地幔介质普遍各向异性的全波形成像》(项目批准号: 41974046) 针对目前各向异性研究中的不足, 创新性地提出了通过 DSM 和 SEM 的结合, 高效计算复杂各向异性介质理论地震图, 并通过线性与非线性反演方法的结合, 有效解决各向异性对称轴倾斜的问题。进而, 以此建立一个能够有效地对地壳与上地幔普遍各向异性结构进行三维成像的新方法, 且选择观测资料丰富的南加州地震台网, 对所提出的方法进行应用, 以期增进对地壳与上地幔各向异性结构的认识。

### 三、资助导向与专家评价

在基金委新时代科学基金的资助导向下, 函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“聚焦前沿, 独辟蹊径”, 既强调了项目科学问题的前沿性, 也体现了研究方法的“独特性、新颖性”。该研究属于方法学的尝试, 发展的新方法能获得地壳、地幔深部更加准确的各向异性速度结构, 如能成功实现, 将为认识地球内部变形和动力学过程提供新的更可靠的信息。

## 案例 5: 巧用激光云高仪提升近地层气溶胶的探测能力

### 一、科学背景与研究意义

气溶胶所引起的空气污染、气候变化等环境问题已经成为社会大众关注的焦点和前沿问题, 也是国家中长期科技规划的重点领域之一。然而, 目前的星载、机载和地基激光雷达等主流气溶

---

胶探测手段存在时空分辨率低、近地层有探测盲区等局限性，无法合理地给出大范围、高密度、全天时的气溶胶三维结构，造成核心科学问题的突破缺少关键数据的证据支持，极大制约了相关领域的研究进展。

## 二、研究内容与创新性

在此背景下，《基于云高仪的全天时气溶胶垂直分布反演研究》（项目批准号：41975022）创新性地提出基于简易激光雷达云高仪后向散射信号，结合常规气溶胶和气象观测，通过机器学习来反演气溶胶三维结构的方法。该方法的优势在于无需考虑探测盲区、能实时提供气溶胶近地层三维结构的演变规律，并能广泛用于规模庞大的云高仪观测网，从而从空间和时间上极大地弥补卫星观测在气溶胶垂直分布，特别是在近地面层实时探测的不足。

## 三、资助导向与专家评价

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“聚焦前沿，独辟蹊径”，既强调了项目科学问题的前沿性，也体现了研究方法的“独特性、新颖性”——“四两拨千斤”；该项目的实施有望为气溶胶的源排放、预测以及空气污染对人类的危害评估提供重要的数据支撑，也对准确评估气溶胶的气候影响有着重要科学意义。

---

## 案例 6：重点项目“全新世南极企鹅盛衰与栖息地变化及其对大气海洋变化的响应”

### 一、科学背景与研究意义

南极地区因其严酷的自然环境、脆弱的生态系统和气候变化的敏感性成为全球研究气候变化和生态环境演化的重点区域，其极端条件下生物过程和生态系统为研究气候变化的生态效应提供了机遇，南极生态变化的时空格局及其对气候变化的响应和反馈是国际科学的前沿和研究热点。

### 二、研究内容与创新性

企鹅作为南极典型的大型海洋生物，其古生态演变与大气圈、水圈、以及人类活动的影响相关，然而当前企鹅与南大洋生态系统及复杂大气海洋系统的联系尚无系统研究。《全新世南极企鹅盛衰与栖息地变化及其对大气海洋变化的响应》（批准号：41930532）建立大的时空尺度企鹅种群、古生态演化的记录，促进气候、海洋环流异常以及二者相互作用的过程和机制的研究，关注过去大气环流、海洋条件等的复杂变化及其对南大洋生态系统和企鹅的级联效应，从气候系统的角度出发，探讨多种大气海洋要素的变化对企鹅生态产生的叠加效应及其多样性。

### 三、项目属性分析

综合分析认为该项目的科学问题属性属于“聚焦前沿，独辟蹊径”，一致认为该项目将企鹅栖息地变迁及古生态特征——气

---

候环境变化——南大洋生态系统变化——大气海洋耦合进行集成研究，有助于深入认识和了解南极生态对气候环境变化的响应过程与机制。

## 案例 7：氮循环过程模型-多源数据融合系统开发与应用

### 一、科学背景与研究意义

极端降水事件发生的频率和强度增加是全球变化的重要特征，也是人类面临的严峻挑战。已有研究表明，农田生态系统将对极端降水有所响应。然而，有关极端降水对农田氮循环关键过程的影响研究还很缺乏，农田氮排放强度在未来极端降水增加下如何变化也无从得知，且这种脆弱性也急需评估。

### 二、研究内容与创新性

在此背景下，《极端降水对中国稻田氮排放强度的影响及其机制》（项目批准号：41977082）以稻田为研究对象，拟开展跨区域人工降水控制试验并整合多尺度观测数据，阐明不同种植制度下水稻生长和氮排放过程对不同极端降水特征响应的敏感性和尺度效应，并优化相关模型，估算过去 50 年极端降水对中国水稻产量和氮排放的年际波动的影响，评估未来中国稻田氮排放强度上升的风险。有利于提高氮循环过程对极端降水的响应机理认识。

### 三、资助导向与专家评价

---

模型模拟是基础研究的重要手段。新时代科学基金的资助导向下，虽然 D07 学科还没有按照新的资助导向进行分类评审，但申请者本人和函审专家认为该项目所提出的科学问题和解决方案属于的“聚焦前沿，独辟蹊径”，既强调了项目科学问题的前沿性和必要性，也体现了研究方法的创新性，尤其是改进水稻物候、形态及“水-土-气”界面氮迁移转化过程模拟，优化稻田氮循环模型的关键参数，实现多源数据-模型的融合，提高模型模拟精度。明确了极端降水对水稻生长和氮排放过程及其耦合关系的作用机制，能够为国家气候智能型农业建设提供科学依据和支撑。

## “需求牵引、突破瓶颈”典型案例

### 案例 1: 利用中国北方北斗/GPS 观测站网数据估算积雪深度

#### 一、科学背景与研究意义

积雪是冰冻圈中分布范围最广、最活跃的要素。积雪深度是提供雪水当量的最重要参数，其获取是水文气象和水资源管理科学研究中的重要问题。然而，鉴于积雪的复杂时空特性及观测反演能力限制，长时间序列高时空分辨率积雪深度数据获取目前仍是一项极具挑战的工作。尤其缺乏区域尺度上的积雪深度精细观测产品，从而制约其在气候模式、水文模型、雪灾监测预警中的应用。

---

## 二、研究内容与创新性

在此背景下，《利用中国北方北斗/GPS 观测站网数据估算积雪深度》(项目批准号：41971377) 面向国家自主导航卫星应用、气象业务应用的实际需求，依托中国北方地基北斗/GPS 观测站网数据，发展一套面向积雪监测业务试应用的积雪深度估算模型方案，并初步生成中国北方典型站点的长时间序列(2011-2021)积雪深度数据集。该研究成果将为北斗卫星、北斗/GPS 卫星联合估算积雪深度提供关键理论、技术方法和模型方案，并将支撑服务于气象积雪监测业务应用，提升我国现有地基 GNSS 观测站网数据的潜在价值。

## 三、资助导向与专家评价

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“突破瓶颈，需求牵引”。积雪深度是寒区气候、水文和水资源管理科学研究的重要变量，高时间分辨率和高精度的雪深数据获取目前仍是一项极具挑战的工作。与传统的观测和遥感反演手段不同，此申请书创新性的利用导航卫星反射信号进行积雪深度反演，并与国家气象业务应用密切关联，拟依托气象局 GNSS 站网发展长时间序列雪深数据集。此研究紧扣科学问题属性“通过解决技术瓶颈背后的核心科学问题，促使基础研究成果走向应用”，立意新颖，具有重要科研意义和应用前景。

---

## 案例 2：鄂尔多斯盆地北部煤和煤灰中稀土元素赋存状态及提取研究

### 一、科学背景与研究意义

中国是煤炭生产世界第一大国，也是稀土生产世界第一大国，两者均在国家工业经济社会中占有重要地位。煤灰中含有很多锆、镓、锂、铀和稀土等有益金属元素，尤其是稀土元素，如果能够得以提取利用，将产生巨大经济效益并减轻环境污染，能为国家能源资源安全，提供重要保障。外我国煤中稀土含量较高，尤其是鄂尔多斯盆地石炭-二叠纪煤层中发现有多处稀土富集现象。开展从煤灰中提取稀土研究具有重要资源战略意义和实际应用前景。我国鄂尔多斯盆地发现的煤中稀土异常富集点多，它们之间是否具有内在成因联系，鄂尔多斯盆地是否存在工业开发规模的煤型稀土矿床？以煤为燃料的附近电厂飞灰（或者经过初步物理和化学处理之后）其稀土元素含量是否可以富集到工业开发品位，成为我国获取稀土成品的新原料？是两个亟待解决的科学问题。

### 二、研究内容与创新性

在此背景下，《鄂尔多斯盆地北部煤和煤灰中稀土元素赋存状态及提取研究》（项目批准号：）拟以我国华北地区富稀土煤层及其燃烧产物作为研究对象，开展两个方面研究，一是，对鄂尔多斯盆地北部已经有稀土相对富集报道的煤矿，进行稀土含量测



---

试并研究其赋存状态及富集机理探索研究。二是，优化稀土富集-提取技术工艺，提高稀土提取率，为今后实现工业提取稀土提供科学和理论依据。该项目创新之处是注重研究的实际应用价值，研究以煤和飞灰中稀土的赋存状态为切入点，以物理分离和化学萃取流程优化为创新手段，以提高稀土回收率为目的，寻找获取稀土新原料，促进煤灰变废为宝。

### 三、资助导向与专家评价

本学科针对面上项目未进行分类评审试点，项目在申请时填报类别为“需求牵引，突破瓶颈”，项目围绕国家资源安全的重大需求设定了研究目标和相关研究内容。函评专家认为随着传统稀土矿床日益减少，煤灰（飞灰和底灰）中的稀土有望成为今后稀土资源的重要补充。该项目研究既有理论意义，也可为满足国家重大高科技发展和经济发展急需提供基础理论支持。

### 案例 3：碳酸岩型重稀土找矿突破服务国家战略资源需求

#### 一、科学背景与研究意义

稀土是发展现代高新科技的关键金属，是世界各国竞相争取的紧缺战略资源，而相对于轻稀土，重稀土是未来新能源技术更为重要的原材料并面临着严重的资源短缺风险。碳酸岩是所有火成岩中稀土含量最高的岩石，蕴藏丰富的轻稀土资源，但罕见重稀土矿物。何种机制导致碳酸岩中轻-重稀土的分异，以及碳酸岩是否具有富集重稀土成矿的潜力并作为重稀土资源的勘探目

---

标，是核心的前沿科学问题。

## 二、研究内容与创新性

在此背景下，《碳酸岩轻-重稀土分异和重稀土富集机理研究》（项目批准号：41973036）针对出现大量非常罕见的重稀土矿物的陕西华阳川-黄龙铺和新疆巴楚碳酸岩开展研究，创新性地结合微区原位地球化学分析与高温高压模拟实验，查明重稀土成矿流体的来源和物理化学性质，揭示稀土在碳酸岩岩浆到热液流体过程的演化、分异和富集成矿的关键控制因素，查明轻重稀土的分异和重稀土富集机理，将完善碳酸岩稀土成矿理论，为揭示轻、重稀土分异和重稀土沉淀过程提供新的工作思路和认识。

## 三、资助导向与专家评价

按照基金委新时代科学基金的资助导向，该项目所提出的科学问题和解决方案属于“需求牵引，突破瓶颈”，选题同时具有重要的科学意义和现实意义。该项目的实施不仅能够完善和发展稀土元素成矿机制，更能为未来我国重稀土资源的勘探提供新的理论指导。

### 案例 4：重点项目“海洋弹性导航定位理论研究”

#### 一、科学背景与研究意义

海洋导航定位授时（海洋 PNT）是国家未来综合 PNT 体系的重要组成部分，是实现“透明海洋”和空地海 PNT 一体化的重

---

要支撑。当前，我国亟需发展海洋导航定位空间基准和多传感器海洋导航定位技术，支撑国家安全、海洋经济建设、海洋强国战略以及“海上丝绸之路”等国家重大需求或战略，同时为深海探测、海洋资源开发、海洋科学研究以及海洋环境与海洋灾害监测等提供技术支撑。

## 二、研究内容与创新性

在此背景下，《海洋弹性导航定位理论研究》（项目批准号：41931076）结合国家海洋综合 PNT 重大需求和国家专项工程，深化前期自适应导航定位等研究成果，破解我国在海底空间基准技术短板问题和海洋多传感器综合导航定位理论问题，构建水下弹性导航定位理论与方法，实现复杂海洋环境下的多传感器自适应导航定位，为我国发展“水下北斗”和海洋综合 PNT 储备技术力量。

## 三、资助导向与专家评价

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“需求牵引、突破瓶颈”，既强调了项目源于国家重大需求和经济主战场，具有鲜明的需求导向；也体现了研究方法旨在解决技术瓶颈背后的核心科学问题，促使基础研究成果走向应用。该项目的实施研究将极大丰富我国海洋水下导航定位理论与方法，为我国发展陆海综合 PNT 体系提供理论与技术支撑。

---

## 案例 5：重点项目“挑战青藏高原异常降水预报难题”

### 一、科学背景与研究意义

在全球气候变化背景下，青藏高原的降水出现了显著的异常特征，不仅给当地带来严重灾害，对全球自然和气候环境变化也有着深远影响。已有相关研究指出孟加拉湾风暴的水汽和能量输送对高原降水活动有重要影响，但风暴如何引起高原水汽输送条件变异、导致高原降水异常的具体机制是什么，一直是灾害性天气预报领域的瓶颈问题。

### 二、研究内容与创新性

重点项目《青藏高原异常降水与孟加拉湾风暴影响的机制研究》（项目批准号：41930972）将基于高原长期多源观测资料，研究高原降水异常的时空变化特征，分析得到高原异常降水与风暴活动相关性的统计学物理模型，进而诊断研究风暴对高原异常降水中水汽和能量循环结构变异的贡献，揭示高原动力热力系统与风暴相互作用时的三维环流结构及其演变物理过程对高原降水异常的影响机制，以期得到风暴影响高原异常降水的天气动力学概念模型。

### 三、资助导向与专家评价

评审专家认为，天气学机理研究具有“非线性”、“非静力”、“实证性高”的特点，因此难度大、耗时长、尤其难于在短期内发表大量科研论文，在过去“唯论文”的评价导向下，此类项目

---

较难获得资助。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提出的科学问题和解决方案属于典型的“需求牵引、突破瓶颈”。一旦有所突破，将为提高青藏高原异常降水预报水平提供科学依据和支撑，对我国气象事业的发展具有重要意义。

## 案例 6：冰层空气反循环钻进冰芯冰屑运移特性及反循环形成机制研究

### 一、科学背景与研究意义

通过钻探获得极地冰芯及其它原状地质样品对探索全球气候环境变化特征及其耦合机制，研究人类活动对全球变化的影响规律具有重要意义。世界各国都在竞相开展冰芯钻探工程以寻找包含更长时间尺度的冰芯，并将其作为冰芯科学研究计划的优先目标之一。受极地恶劣气候、冰雪地表环境及后勤保障等因素的影响，现场工作季十分短暂，钻探作业极为复杂，常规冰钻技术不但采用钻井液，而且需提钻取芯，钻进速度慢、效率低，急需研发快速、可靠、轻便的钻探装备及技术。

### 二、研究内容与创新性

《冰层空气反循环钻进冰芯冰屑运移特性及反循环形成机制研究》（批准号：41976213）提出的空气反循环钻进技术由于钻进速度快、对环境污染小（不使用钻井液）、不需提钻取芯等优点，在极地冰钻领域极具应用潜力。尽管空气反循环技术在地

---

质钻探领域得到了广泛的应用，但主要用于取样钻进，该技术能否将大尺寸冰芯连续不断地输送至地表、冰芯干扰下能否形成强力有效的反循环是实施冰层空气反循环取芯钻进成功与否的关键。该研究针对上述理论问题，开展冰芯、冰屑的运动规律及影响因素研究，探讨取心状态下的反循环形成机理，提出确保冰芯在气体介质中连续上返输送以及取心状态下形成强力反循环的基本原理与方法，不但可直接用于指导极地冰层空气钻探技术及相关装备的研发，而且对空气钻进在地质钻探领域和油气钻井领域的应用亦具有重要的参考和借鉴价值。

### 三、项目属性分析

综合分析认为该项目的科学问题属性属于“聚焦前沿，独辟蹊径”，通过冰芯与冰屑共存条件下运移特性研究及取芯条件下的反循环形成机制研究，可为研发冰层空气反循环连续取芯钻井技术和钻探装备提供理论依据和技术支撑。

## 案例 7：深远海低成本、长航时协同导航定位系统关键技术研究

### 一、科学背景与研究意义

海洋强国战略的实现依赖于深远海装备与通用配套技术能力的提升。低成本、长航时导航定位是深远海长航程 AUV、Glider 等水下航行器进入深远海、探测深远海的关键通用配套技术。随着水下航行器向低成本、长航时、集群化方向发展，以及海洋观

---

测对多台套水下航行器立体组网、协同观测的强烈需求，现有的基于海洋“重”、“中”装备的水下协同导航定位系统不仅使用成本高昂，而且不适合长时间工作，成为制约深远海水下航行器实际应用的瓶颈问题，迫切需要一种新型的深远海低成本、长航时导航定位技术。深远海低成本、长航时导航定位一直是国际海洋工程技术领域的研究热点，也是研究难点。

## 二、研究内容与创新性

《深远海低成本、长航时协同导航定位系统关键技术研究》（批准号：41976182）构建基于波浪滑翔器、水声通信机、MEMS 传感器等海洋“轻”装备的协同导航定位系统，重点攻克上述海洋“轻”装备在协同作业时面临的关键技术问题。针对波浪滑翔机航行速度慢、无法同步跟随航行的瓶颈问题，建立波浪滑翔器路径规划方法，确保波浪滑翔器与水下航行器之间持续可靠的信息交互；针对真实声速剖面难以获取、声线跟踪计算量大的瓶颈问题，建立水声通信单向测距方法，实现水平距离快速精确估计；针对 MEMS 传感器精度低、水声通信单向测距辅助欠约束的瓶颈问题，建立水声通信-MEMS 传感器协同导航定位方法，保证导航定位精准度。在此基础上，通过对各海洋“轻”装备的协同整合与深度融合，实现深远海低成本、长航时协同导航定位。

## 三、项目属性分析

综合分析认为该项目的科学问题属性属于“需求牵引，突破

---

瓶颈”，该项目提出基于波浪滑翔器、水声通信机、MEMS 传感器等海洋“轻”装备的协同导航定位系统，有助于突破长期制约我国深远海水下航行器实际应用的瓶颈问题，推动我国深远海通用配套技术能力的提升。

## 案例 8: 瞄准城市建设重大需求, 着力提升垃圾填埋场设计、服役与灾害防控水平

### 一、科学背景与研究意义

垃圾无害化处置是国家“十三五”规划的最终目标之一，而卫生填埋仍是我国当前和今后垃圾主要处置手段。我国垃圾填埋场普遍存在渗滤液水位高、气压高等问题，地震作用下极易发生失稳破坏，造成灾难性影响；采用已有边坡动力稳定分析方法无法阐释填埋场动力失稳灾变机理，更无法进行合理设计。本项目研究对我国现代卫生填埋场动力稳定和长期服役性能的合理分析与评价，以及现代卫生填埋场的科学设计都有重大意义，符合国家城市建设和可持续发展的重大需求。

### 二、研究内容与创新性

在此背景下，《地震作用下垃圾填埋场失稳灾变机理及防控措施》（项目批准号：41931289）开展原状垃圾土大型动力三轴试验和现场动力测试研究垃圾土动力特性，建立考虑固液气耦合作用的垃圾土动力本构模型；利用大型多功能界面动力剪切仪，结合离散元模拟，研究衬垫系统动力剪切特性，建立考虑损伤特



---

性的衬垫界面动力本构模型；开展考虑高液气压力、底部衬垫系统等复杂因素影响的填埋场离心机振动台试验，结合填埋场动力稳定分析数值模拟，揭示地震作用下填埋场失稳灾变机理；针对我国填埋场高水位、高压特征，提出填埋场抗震设计方法及失稳灾变防控措施。

### 三、资助导向与专家评价

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“需求牵引，突破瓶颈”，该科学问题源于国家城市建设和可持续发展的重大需求，具有鲜明的需求导向特征，旨在通过解决地震作用下垃圾填埋场失稳灾变机理技术瓶颈背后的核心科学问题。该项目的实施对于我国现代卫生填埋场的科学设计、长期服役与灾害防控具有重要的理论价值和工程意义。

## “共性导向、交叉融通”典型案例

### 案例 1：全新世时期人类对泛滥平原的适应机制和过程

#### 一、科学背景与研究意义

全新世在全球气候普遍转向适宜背景下，人类文明得到快速发展，形成适应不同气候和自然地理条件的差异化文明形态。泛滥平原是人类文明形成和发展的重要地貌类型，其变化频繁，生态系统多样，受气候影响较大，因而人类对泛滥平原的适应机制

---

也十分复杂。

## 二、研究内容与创新性

在此背景下，《全新世时期人类对泛滥平原的适应机制和过程》（项目批准号：41971251），项目选择位于黄淮泛滥平原的沙颍河流域开展全新世人类对泛滥平原环境变化的适应机制研究。通过选取典型剖面，以地层精确年代测定为基础，建立起区域温度、降水、水文、植被和生态的多指标环境变化曲线；同时收集考古、景观考古、动植物考古的数据，建立研究区域人口波动、土地利用、生业经济转变等反映人类活动的多指标变化曲线；最后，通过曲线间波动的耦合研究，探索人类以不同的生业经济模式适应泛滥平原环境变化的机制和过程。本研究通过历史地理、环境变化与考古学的交叉研究，探索泛滥平原人与环境交互作用发生和发展机制，对于理解和促进地理学人地关系和人地系统的耦合机理具有重要意义。

## 三、资助导向与专家评价

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”，泛滥平原是连接我国北方旱作和南方稻作农业的过度区域，该区域人与环境相互作用、人地系统耦合的重要组成部分，体现了共性导向的项目特性，而研究内容及方案涉及的地理学、环境学、考古学、气象学、水文学、生态学等多学科交

---

又融通的特点。

## 案例 2：中国绢蝶属（凤蝶科：绢蝶亚科）多样性动态模式、适应性分子进化及新生代以来的主要地球环境事件

### 一、科学背景与研究意义

生物类群的进化与地球环境及其演变之间的关系是地球生物学研究的核心内容之一。绢蝶属蝶类不同物种的地理分布通常存在差异，同一物种内不同地理居群间的生态类型（特别是分布海拔、经纬度、栖息地温度等）也有明显差异。因此，在研究复杂地质环境演变条件下物种形成和分化（包括种间分化和种内分化）的模式及其驱动因素，以及生物类群适应高原极端环境的分子生物学机制方面，绢蝶属蝶类是一个理想的模式生物类群。青藏高原造山运动及相关环境事件导致了绢蝶属蝶类的形成和快速辐射演化。然而，有关绢蝶属时空分化的主要驱动因素及其对高原极端环境适应的分子生物学机制尚不清楚。

### 二、研究内容与创新性

在此背景下，《中国绢蝶属（凤蝶科：绢蝶亚科）多样性动态模式、适应性分子进化及新生代以来的主要地球环境事件》（项目批准号： ），拟对我国青藏高原及其周边地区分布的绢蝶属主要亚属间、种间和部分物种地理种群间的稳健系统树和谱系生物地理格局进行重建；探讨绢蝶属物种形成和分化的多样性动态模式及主要环境驱动因子，以及绢蝶属蝶类对高原极端环境的适应

---

性分子进化机制。项目优势是运用独特的研究素材，运用现代生物学、古生物学和地球科学、数学统计学等多学科方法，尝试进一步厘清绢蝶属的起源和演化历史，并在此基础上探讨绢蝶属物种多样性形成的主要驱动因子和动态变化模式。

### 三、资助导向与专家评价

本学科针对面上项目未进行分类评审试点，项目在申请时填报类别为“共性导向，交叉融通”，项目在研究目标、研究内容和研究手段等多方面，均涉及到现代生物学、古生物学和地球科学、数学统计学等多个学科，体现了明显的学科交叉的特点。评审专家认为该项目研究内容适当，目标明确，拟解决的关键技术问题选择准确，研究方案切实可行。也有专家提出要加强与生物信息学领域专家的合作。

### 案例 3：考古学结合同位素地球化学揭示史前东西方交流

#### 一、科学背景与研究意义

传统的关于中西交流史的研究多以文化遗物为研究对象，往往受制于时间、材料和阶级等的限制，无法全面反映早期东西交流的真实情况。该领域乃至更早年代的考古学需要更广泛的研究对象和量化的研究方法。同时，稳定同位素在现代生物体内的代谢残留规律是生物地球化学的重要研究领域，但对古代生物遗体的研究则相对较少。考古学和生物地球化学的共同需求指向了对史前生物遗体的同位素研究。

---

## 二、研究内容与创新性

在此背景下，《同位素视角下的粟黍西传：以新疆地区为切入点》（项目批准号：41903001）创新性地采用多稳定同位素分析方法和牙结石微体化石提取鉴定技术等多种研究手段，对东西交流的关键地区—新疆—出土的青铜时代人和动物样品进行系统研究，以期从先民食谱的变化的角度来揭示古代新疆生业格局的转变和粟黍摄食情况的变迁。此外，项目还将结合已发表的青铜时代欧亚大陆人骨胶原的稳定同位素数据、动植物考古证据和放射性测年结果，重建粟黍从黄河流域一路西传至欧洲的时空轨迹及其背后的动因和机理。

## 三、资助导向与专家评价

按照基金委新时代科学基金的资助导向，该项目所提出的科学问题和解决方案属于“共性导向，交叉融通”。评审专家指出，该项目将传统考古与稳定同位素地球化学方法有机结合，具有较好的创新性。其研究不仅对历史问题的研究有所裨益，也可为现代稳定同位素地球化学的研究带来有益的思考。

### 案例 4：重点项目“月壤的太空风化成因特性研究”

#### 一、科学背景与研究意义

月壤作为最重要的月表环境因素之一，而月壤的太空风化成因特性研究是深入认识月壤演化历史这一重大月球科学问题的关键，也是我国月球探测工程不断深入的迫切需求。该研究既是

---

一个关乎月球演化的重要基础科学问题，也是月球探测中遥感数据解译面临的应用科学问题。研究内容涉及太空风化的作用机理和纳米尺度的金属铁、矿物晶格的损伤和矿物水等微观特性的分析以及成因解释，是地质、物理、化学、材料等多个学科交叉融合。此外，太空风化过程的月壤微观特性指标体系以及光谱探测数据的太空风化信息分析和提取方法的建立，都是面向工程应用迫切需要解决的关键科学问题。

## 二、研究内容与创新性

在此背景下，《月壤的太空风化成因特性研究》(项目批准号：41931077)拟立足实验模拟研究和样品分析，开展不同条件的离子注入、激光轰击以及热模拟实验，从微观机理上认识不同太空风化过程的作用机制以及产物的微观特性，进一步对月球角砾岩陨石和项目执行期间获得的嫦娥5号月壤样品进行分析，系统认识太空风化过程对月壤性质的改造特征。据月壤颗粒的太空风化微观成因特性，建立月表太空风化过程的微观特性和宏观光谱特征指标等，探讨特定区域月壤的太空风化改造过程，满足科学和工程需求。

## 三、资助导向与专家评价

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”，具有鲜明的学科交叉特征，既是多学科领域交

---

叉的共性难题，又通过交叉研究可产出重大科学突破。通过实验分析，可系统理解太空风化过程、机理以及对月壤的改造特征，深入认识月壤演化历史这一重大月球科学问题。

## 案例 5：融合数学理论研究海气耦合模式的适定性

### 一、科学背景与研究意义

地球系统科学是二十一世纪地球科学的主要发展方向，地球系统模式是开展地球科学研究的重要平台。其中海气耦合过程是地球系统模式的核心，也是决定整个地球系统模式性能的关键部分。目前对海气耦合动力学方程的适定性鲜有研究，还停留在半理论半经验的阶段。由于动力学框架的原始方程组太过复杂，需要在数学与大气科学两个学科层面深度融合，才有可能解决这一问题，为海气耦合模式乃至地球系统模式的数学理论研究和模式改进提供理论依据和技术指导。

### 二、研究内容与创新性

在此背景下，面上项目《基于原始方程数学理论的海气耦合模式适定性研究》（项目批准号：41975129）提出，将方程适定性理论的数学方法用于海气耦合模式中，研究海气耦合模式整体弱解的稳定性，整体强解的存在唯一性以及整体吸引子的存在性等科学问题，进而在理论上保证大气环流模式和海洋环流模式相互耦合的协调性，有助于模式长时间积分的稳定性。另一方面，利用数值模拟的结果可以验证数学适定性理论的正确性，为数学

---

相关领域的发展提供有益的例证。

### 三、资助导向与专家评价

评审专家认为该项目使用数学方法研究大气科学领域的关键问题，属于不同学科间融合交叉的研究，具有鲜明的学科交叉特征，属于典型的“共性导向、交叉融通”的科学属性类别。这种挑战性强的项目在函评阶段往往不具有评分优势，而在基金委新时代科学基金的资助导向下，由于采用了分类评审，使得该项目脱颖而出。

#### 案例 6：大数据驱动的海洋捕捞强度分布预测研究

##### 一、科学背景与研究意义

海洋捕捞的信息化和精准化管理是解决我国近海渔业资源衰退的主要措施之一。传统捕捞信息的研究均以统计结果为主要目标，只能表现捕捞强度的历史分布，无法定量揭示未来捕捞趋势。然而，渔业船位监控系统（VMS）大数据中蕴含着丰富的时空信息，为分析海洋捕捞作业的精细化时空分布和强度预测提供了可能。高精度捕捞强度分布预测模型的建立将有助于提高我国渔业资源的管理和规划水平。

##### 二、研究内容与创新性

在此背景下，《船位监控系统大数据驱动的海洋捕捞强度分布预测研究》（项目批准号：41976185）通过联合深度学习网络，



---

在挖掘 VMS 大数据时空特性以及船舶间航行关系特性基础上，建立了 VMS 数据、气象和海洋环境参数及突发事件等多时空要素融合的海洋捕捞强度分布预测模型。该模型实现了捕捞强度由静态历史分布到动态的高精度预测，可定量揭示未来渔捞强度的发展演化，是海洋捕捞 VMS 数据研究的理论模型创新。

### 三、项目属性分析

经分析，在基金委新时代科学基金的资助导向下，本项目具有“共性导向，交叉融通”的特点。该项目是空间定位大数据分析技术在海洋捕捞领域的应用，是大数据分析、海洋信息和海洋捕捞等 3 个学科的交叉融合。拟完成的海洋捕捞强度分布预测模型，不仅能揭示未来相关海域渔业资源的发展演化，也为海洋信息研究提供了可借鉴的时空预测模型和软件工具，为其他大数据的应用研究提供了技术示范。

## 案例 7：巧用多学科交叉手段研究空气污染物对恶性肿瘤发生与转移机制

### 一、科学背景与研究意义

空气污染能引发恶性肿瘤，但典型空气污染物诱发恶性肿瘤的机理目前尚不十分清楚，因此无法科学、精准、有效地对引发恶性肿瘤的空气污染物出台针对性的防控措施和治理政策。通过多学科合作交叉，综合考虑从空气污染物到肿瘤的发生、转移等多个环节，从分子层次来研究污染物的健康效应，通过创新性的

---

研究思路，有望取得空气污染与肿瘤发生、转移关系机理机制研究方面新的突破，为我国空气污染的源头治理和环境政策供科学依据。

## 二、研究内容与创新性

在此背景下，《典型空气污染物在恶性肿瘤发生与转移中作用机理的研究》（项目批准号：41931291）综合利用环境大气科学、生命医学、信息学等多学科手段，以典型空气污染物处理肿瘤细胞、肿瘤微环境细胞和模式动物为模型，利用高通量单细胞测序、生物信息学等方法，系统研究典型空气污染物对肿瘤细胞及其微环境在表观遗传上的影响和改变。通过构建新的计算生物学分析方法，对空气污染物引起的基因调控网络变化进行分析、鉴定出空气污染物中促进肿瘤发生与转移的关键调控因子，揭示典型空气污染物对肿瘤细胞表观遗传调控的分子机制。

## 三、资助导向与专家评价

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”，该科学问题源于环境大气科学、生命医学、信息学等多学科领域交叉的共性难题，具有鲜明的学科交叉特征，该项目的实施有望为我国大气环境的源头治理、政策制定以及恶性肿瘤预警、诊断、治疗等提供科学依据和新思路。

---

## 工程与材料科学部

### “鼓励探索、突出原创”典型案例

#### 亚稳相铁基光电催化分解水制氢

各国对氢能的需求越来越大，纷纷制定了燃油车退出的时间表。太阳能光电催化分解水制氢具有重要应用和发展前景。但是，太阳能光电催化分解水应用的瓶颈：缺乏低成本、高效、环境友好、稳定的光电极材料。经典使用的  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  光电极材料，间接带隙半导体，光吸收系数小，空穴迁移率低，因此实验上获得的分解水的性能远低于理论值  $12.6 \text{ mA cm}^{-2}$ 。能否寻找理论转化效率更高、直接带隙、低成本的光电极材料是迫在眉睫的事情。

前期工作发现，亚稳相的  $\beta$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  太阳能-氢能的理论转化效率 20.9%，高于经典  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (15%)，证实了  $\beta$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  是直接带隙半导体材料，同时发现了其在激光加热条件下向  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  转变的相变行为。另外，亚稳相  $\eta$ - $\text{YFeO}_3$  太阳能-氢能的理论转化效率可以达到 21%。因此，如果能够寻找到稳定亚稳相的方法，有望突破传统  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的限制，提高光电转换至氢的效率。

因此，我国学者提出利用元素掺杂提高亚稳相  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的稳定性，同时提高载流子浓度；并构筑电荷传输通道，应用到光解水领域，提升分解水性能。在国际上率先探索亚稳相铁基光电极材料的研究，拓宽人们的视野，推动光电催化分解水制氢的发展。

---

## “聚焦前沿、独辟蹊径”典型案例

### 电化学脱嵌法的盐湖提锂

锂是重要的战略金属，我国储量居世界第二，我国 80%左右的锂赋存于盐湖卤水，镁锂高却非常难提取。

我国学者将锂离子电池的工作原理应用于从盐湖卤水中选择性提取锂，“反其道而行之”发明了“电化学脱嵌法盐湖提锂”新方法。基于这一独特思路，构筑了“富锂态吸附材料 | 支持电解质 | 阴离子膜 | 卤水 | 欠锂态吸附材料”的电化学提锂新体系。实现了盐湖卤水中锂的高选择性、低成本、绿色提取和富集。

同传统方法相比，新方法处理高镁锂具有优势：1) 提高 30~50%锂综合回收率；2) 可直接处理原卤、老卤及任意阶段的卤水；3) 碳酸锂成本低于 2 万元/吨；4) 过程清洁环保；5) 提锂装置模块化、智能化。

## “需求牵引、突破瓶颈”典型案例

### 金属基复合材料

金属基复合材料具有高比强度、高比刚度、抗疲劳、耐热、耐磨、高导热、低热膨胀等特性，是航空航天、能源、电子信息和交通运输等领域高速发展不可缺少的共性关键材料，其应用广度、生产发展的速度和规模，已成为衡量一个国家材料科技水平

---

的重要标志之一。由于其在关键领域的重要性，基本无法依靠进口，成为制约我国相应领域发展的“卡脖子”问题。

我国学者致力于从以下三个方向自主研发新一代的金属基复合材料，一是，在复合材料设计中引入非均匀的复合构型，通过基体与增强体在空间的合理构型设计与协调耦合效应，从而打破原本耦合在一起的材料性能，实现其性能指标的最优化配置；二是，基于材料基因工程的思想，建立材料成分/结构/性能的共享数据库，通过高通量模拟计算预测有望提高材料性能的因素，优选出材料的成分和合成工艺，从而节省研发时间、降低材料成本；三是，寻求性能更加优异的增强体，将碳纳米管和石墨烯用作纳米增强体，用于高性能金属基复合材料的制备。

我国学者经过对金属基复合材料进行了长期的基础研究后，在金属基复合材料领域取得了可喜的进展。在复合材料性能方面，通过基础研究所开辟的新的思路与方法，以及所发展新的复合制备理念和技术原型，有效打破了金属基复合材料一些性能之间存在的“倒置”关系瓶颈，获得了优异的综合力学与功能特性。在材料和相关制品方面，我国学者以国家需求为牵引，研究开发出了系列的高性能构件，在航天、军事、核能等领域获得广泛的应用，有效提高了我国在相关领域的国际竞争力，有力解决了在我国在金属基复合材料领域的“卡脖子”现象。

---

## “共性导向、交叉融通”典型案例

### 青藏高原湖泊水量遥感监测

青藏高原是“亚洲水塔”和“中华水塔”，也是我国湖泊分布最集中的地区，这些湖泊是区域水热循环的重要节点，对气候变化十分敏感。准确认识气候波动和变化下湖泊水量消长的规律，对提高区域水文-气候相互作用机理及演变规律的认识具有重要的科学意义。另一方面，近20年来青藏高原湖泊呈现快速扩张的趋势，对湖泊邻近地区的农田牧场、基础设施的威胁与日俱增，甚至可能诱发湖泊溢流洪水。青藏高原湖泊水量实测资料严重匮乏，而遥感数据正好具有覆盖范围广、平均成本低、数据量大等特点，可运用空间观测技术监测湖泊水位、水量变化。

我国学者借助谷歌地球引擎(Google Earth Engine)高效利用 Landsat 光学影像，将光学影像观测到的岸线变化过程转化为湖泊水位消长过程，再结合湖泊面积观测将其转化为水量变化信息，并通过严格的不确定性分析和多次野外实验对光学水位信息的准确性进行了有效验证，借助高分辨率影像从源头上分析了误差来源，构建了光学水位不确定度与相关要素的关系式。在此基础上，形成相应的水量数据集，并包含丰富的湖泊水储量变化时空分布信息。另一方面，利用光学水位信息时间连续性较高的特点，可以甄别出不同的测高卫星数据之间存在的系统误差并予以移除。模型计算与遥感观测对结果相互验证，实现了遥感与水文

---

与水资源学科的有机结合。

NSFC四类科学问题属性典型案例库

---

## 信息科学部 四类科学问题举例

### 1. “鼓励探索、突出原创” 典型案例

#### 基于微结构七芯光纤的光致微马达（F05 光学与光电子学）

在光学操控领域，完全吸收性粒子的可控操作一直是一个具有挑战性的难题，目前仅在空气中或复杂光场（如矢量光场）下有少数实现案例。申请人提出了利用激光诱导产生光泳力，并同时调节介质热交换系数的新思想，实现了液体环境中吸收性粒子的捕获、移动、振动等操作，并利用常见的高斯光束，通过改变光强即可控制粒子的位置、运动速度、振动频率等物理量。它能够提供比于传统光学操控手段高 $3\sim 5$ 个数量级的驱动力。项目意在发展基于微结构七芯光纤的光致微马达，为光致微马达家族增添一种新的实现形式。

### 2. “聚焦前沿、独辟蹊径” 典型案例

#### 开放场景中大规模物体识别方法研究（F02 计算机科学）

目前的“深度学习+大规模数据+强监督标注”视觉识别模型范式在封闭场景数据集（类别确定、数量有限、标注充分）上的性能取得不断突破的同时也在日趋饱和，其发展正逐渐面临来自真实开放场景应用的挑战。申请人针对真实环境中开放式大规模物体识别的需求，重点解决小数据、弱标注、跨场景三个核心问



---

题。不同于传统思路将物体识别看作单一维度、固定类别标签的分类任务，从真实世界万物互联的内在本质特性与人类视觉系统动态学习的智能机理中获得启发，将“物体识别”延伸为深度与广度两个维度上的“物理解”。本项目面向真实跨场景模型迁移需求，以视觉目标概念库为知识载体，通过场景动态交互建立模型学习与知识更新的闭环，赋予机器模型类人“终身学习”机制，有望突破现有识别方法框架的局限，建立具有仿人类视觉感知系统知识推理能力的理论与方法，引领形成新型的开放场景物体识别研究范式。

### 3. “需求牵引、突破瓶颈”典型案例

#### 带钢轧机机组健康状况多源信息融合诊断与智能预测方法研究 (F03 自动化)

带钢轧机机组健康状况决定轧机运行效率和轧制产品质量。本项目从轧机异常振动识别和关键设备故障诊断两个方面评估机组健康状况，建立机组异常振动动力学和故障机理模型，探索轧制过程多源信息融合新方法，构建工业环境下深度学习智能预测策略，实现带钢轧机机组健康状况监测。本项目从带钢轧机机组实际生产中凝练关键科学问题，突破制约机组健康状况监测的关键技术瓶颈，属于需求牵引类研究。

---

#### 4. “共性导向、交叉融通”典型案例

##### 基于射电天文望远镜的多基地雷达天体三维成像方法研究（F01 电子学与信息系统）

射电天文望远镜作为一种被动接收射电信号的科学装置是人类研究宇宙的重要工具。“十三五”期间建设的多部大口径射电望远镜都没有配备发射源，不具备主动雷达天文探测功能。申请人提出了基于射电天文望远镜的多基地雷达，通过将多部射电天文望远镜与雷达协同工作，使探测距离倍增。申请人提出的研究内容属于雷达和射电天文两个学科的交叉领域，需要解决的是行星高精度三维成像问题，研究的是天文学空间尺度与雷达成像机理的共同作用，拟采取的研究思路也是天文学知识与雷达信号处理技术相结合的产物。相关研究成果能为天文学提供一种新的观测手段，促进对类地行星和近地小行星的知识积累，有助于产生新的科学发现。

## 管理科学部

### “鼓励探索、突出原创”典型案例

#### 案例 1：中国企业管理理论创新研究

欧美经典的企业管理理论虽然得到广泛应用，但是由于各国制度基础、经济基础、社会文化基础等因素的差异，传统企业管理理论面临诸多挑战。我国具有新兴市场和转型经济的双重特征，其制度环境和市场环境具有变化迅速、不确定性高、规模庞大以及模糊地带众多等特征。如何基于我国企业管理实践，探索具有中国特色、并被国际管理学界认可、又能为其他新兴市场（或转型经济体）的企业所借鉴的原创管理理论。

**原创之处：**中国特色的企业管理“合”理论，包含复合、联合、相合、结合等核心元素，提出资源和能力的“独特组合、开放利用和共生发展”，以合补短、以合促长、合则共生，进而创建其竞争优势或弥补劣势，规避简单直接的取舍和极端决策，从而创造出市场快速响应、高性价比、复合式服务等独特优势。该研究构建了中国特色企业管理的上升螺旋模型及其理论逻辑与动态机制，得到国际学术同行的广泛关注。

**探索思路：**该研究基于对我国企业管理实践的深入调研和融合凝练，围绕我国企业的国际化理论体系，充分考虑我国独特的社会与文化、制度与市场等情境要素，结合企业特有的组织基础

---

和资源特征，探索以战略管理为视角的中国企业管理中的“合”理论体系。

## 案例 2：基于行为运筹学的供应链管理理论与方法研究

传统的供应链管理研究通常假设系统为完全理性。然而，如果人是系统的行为主体，则其行为规律通常并不遵循完全理性的假设，而表现出有限理性以及各种类型的行为偏好，这导致现有供应链管理理论在实际应用中难以达到理想的运行效果。因此，针对现实的供应链系统，需要考虑人的决策行为规律来研究供应链管理理论，以提高其实用价值。该研究从我国供应链管理实践出发，以中国人为实验主体，从实验与实证、行为特征认知、建模与优化和还原机制四个方面开展探索性研究，并归纳出适用于中国情境的供应链管理理论，为现实供应链管理提供更科学的决策支持。

**原创之处：**目前，在供应链管理领域，决策过程中的有限理性以及行为偏好尚无成熟的理论结果。而且，已有研究大多基于以西方人为主体的实验研究，其结论并不一定适用于中国情境。由于人的决策偏好与文化背景紧密相关，因此该研究对中国人在供应链管理中的行为与决策规律开展了原创性研究。

**探索思路：**该研究开展了一系列探索性工作，通过实验设计探索了可获取管理者决策数据的方法和途径，通过行为特征认知探索了可定量刻画管理者行为规律的数学建模方法，通过建模与

---

优化探索了在考虑管理者行为特征时的最优策略，通过还原机制探索了在不改变人的行为特征下能实现理想的系统绩效的机制。这些探索性工作支撑了基于中国情境的供应链管理理论的研究。

## “聚焦前沿、独辟蹊径”典型案例

### 相关系数暧昧环境下金融市场有限参与与不对称信息

该研究考察风险资产之间相关系数暧昧性(ambiguity)在投资者行为和资产定价中的作用。模型设定了获取暧昧信息程度不同的四类市场参与者，结合风险与暧昧进行个人决策，获得投资者为规避相关系数暧昧的理性决策，求解一般经济均衡定价规则，为解释经济行为现象和资产定价异象提供启示。本研究试图解释金融领域存在的一系列金融异象，包括有限参与、分散化不足、本土偏好等，从而更好地反映现实情况。

**前沿描述：**资产定价是金融管理学科的前沿热点研究之一，行为资产定价理论是目前金融领域的前沿研究话题，暧昧环境下股票市场有限参与问题是其中的重要研究问题。金融学界对有限参与的成因开展多维度的研究，但既有文献仍存不足，如认为投资者对资产期望收益和波动是暧昧的，主要考虑投资者的风险承受能力；而相关系数的暧昧性揭示了不参与现象之间的交互程度。

**独辟蹊径思路：**学者们普遍关注均值和方差上的暧昧性，而忽视了在经济体中相关系数暧昧性。该研究首次将相关系数暧昧

---

性直接用于资产定价与有限参与问题，基于多学科的理论知识，对传统金融学理论的基本预设和分析范式进行完善，增加异质信念、理性预期等要素，并对有限参与问题给出了清晰答案：相关系数暧昧性导致有限参与。

## “需求牵引、突破瓶颈”典型案例

### 案例 1：智慧供应链运营管理研究

随着互联网、人工智能、物联网等新技术的突破式发展，企业供应链管理的业务范围逐步延伸，日常运营的决策颗粒度和时效性日益多样，外部环境的不确定性和风险与日俱增，传统的供应链运营体系将难以适应。因此，发展智慧供应链是国家经济发展的战略需要，也是行业革新的必然趋势，正逐渐成为企业升级的源动力。如何超越传统供应链决策体系，构建智慧供应链决策的整体解决方案成为学术界共同关注的科学问题。

**科学问题的瓶颈：**在物流企业供应链运营管理实践中，智能仓储与调度优化是核心难题。该研究围绕智慧供应链中的多机器人协同作业的智能仓储问题，重点解决多机器人协同作业的智能仓库调度算法优化等瓶颈。

**突破瓶颈思路：**该研究运用大数据挖掘、人工智能、运筹优化等方法和技术，构建多机器人工作路径联合动态优化等模型，突破实时求解算法优化的难点和瓶颈，建立一套智慧供应链决策

---

的整体解决方案，并搭建具有理论创新和应用价值的多机器人协同作业联合调度优化平台，帮助企业构建大数据时代下的智慧供应链体系，提升企业核心竞争力，促进其供应链降本增效、转型升级。

## 案例 2：航空运营中的大规模组合优化问题及算法研究

针对中国航空公司运控管理多为分阶段决策、难以优化统筹众多资源等科学问题该研究对中国航空公司机队、机组、旅客、空域进行一体化建模，自主研发了具有理论创新和应用价值的智能航空运控平台，帮助中国航空公司实现全流程、一体化的运控管理，全面优化航空公司的航线网络、飞机路径、机组排班质量、旅客服务保障。

**科学问题的瓶颈：**目前中国航空公司的运控管理系统主要依赖欧美国家进口，其产品并不完全契合中国国情，难以针对中国航空公司定制服务。且运控管理由多部门、分阶段进行决策，难以兼顾众多资源的统筹优化，耗费大量的经济成本和时间成本。因此，针对中国航空运营构建一体化模型不仅是航司生产资源全局优化的科学需要，也是中国交通强国的战略需求。

**突破瓶颈思路：**整合问题的复杂性远远大于分阶段决策，如何针对整合需求问题开发出有效算法、在保证求解质量的同时提高求解速度是构建一体化模型的瓶颈问题。在航空公司一体化运控管理中，大规模不正常航班恢复问题最具挑战性，现有研究的

---

实际应用效果不够理想，在短时间内不能给出全局优化方案，大部分结果仍需要手工调整，使得航班恢复过程费时费力。该研究构建一体化模型保证了恢复方案的全面性与全局最优性，突破了分步骤决策方式可能导致的次优性以及反复校正等瓶颈问题。

## “共性导向、交叉融通”典型案例

### 基于心理实验等方法的消费者行为研究

产品的广告、价格、性能、点评等决策信息如何影响消费者的感知和决策，备受产品设计者、生产者、以及市场营销学者的重视。该研究应用心理实验等方法探讨消费者行为决策问题，从而帮助企业决策者优化营销策略，也帮助消费者规避认知陷阱，做出更加科学理智的决策。

**共性问题：**如何准确刻画消费者的信息感知和决策过程是心理学、行为科学、营销科学共同关注的科学问题之一，该研究以消费者的信息感知与行为决策问题为导向。

**交叉融通思路：**该项目基于心理学的实验方法，融合信息科学、行为科学、统计学、营销科学等理论方法，开展多学科交叉研究，深度融合心理距离和数量信息处理这两个不同的研究领域，定量刻画心理距离如何影响消费者对结构化和非结构化数量信息的加工处理。以往心理距离的研究大多集中于文字和图像信息，并且主要关注心理距离对解释水平的影响。而消费者数量信息处



---

理的研究立足于探讨不同的数字特征在信息处理的不同阶段（包括注意、编码、推论、及元认知）所产生的影响。因此，该研究进一步拓展和完善对于心理距离如何影响信息处理的理论认识，将两个看似独立的领域在深层次上交叉融合，探究心理距离如何影响人们对数量信息的处理，最终立足于多个应用情境，研究解决营销管理决策中的消费者感知与购买决策等科学问题。

NSFC四类科学问题属性典型案例库

---

## 医学科学部

### “鼓励探索、突出原创”典型案例

#### 冠状动脉血管起源的新发现

冠心病引起的心肌梗死是全世界因疾病死亡的首要原因，调控冠状动脉侧支血管生成是治疗冠心病的重要思路。冠状动脉血管如何形成已经研究了一个多世纪，在过去的二十年间，冠状动脉血管的起源问题引起了激烈的争论。我国学者利用转基因小鼠结合谱系示踪技术，对冠状动脉的起源和发育机制进行了研究。研究发现，冠状动脉血管的起源可划分为两部分：一部分起源于心外膜下内皮细胞，位于心脏外侧；另一部分起源于心内膜，位于心脏内部。该研究还发现新生期心脏具有重新生成冠状动脉的能力。上述原创成果开辟了心血管发育与再生领域的一个新的研究方向，为先天性心脏病和冠状动脉血管损伤修复与治疗以及体外人工心脏血管生成提供新的思路和途径。

### “聚焦前沿、独辟蹊径”典型案例

#### 肿瘤发生发展的微环境调控新机制

肿瘤微环境是指肿瘤细胞所处环境周围的间质细胞和细胞外基质成分。Stephen Paget 于 1889 年就提出了肿瘤微环境理论，认为肿瘤微环境与肿瘤细胞的相互作用对肿瘤的发生发展起

---

着关键作用。近年来，肿瘤微环境研究逐渐成为国际肿瘤研究的前沿热点。但肿瘤微环境如何影响肿瘤发生发展，其具体细胞生物学机制一直不甚清楚。2017年，我国学者发现肿瘤肺转移与肿瘤细胞招募巨噬细胞和中性粒细胞调控转移前微环境密切相关。2018年，我国学者发现神经系统白质束形成的肿瘤微环境可促进神经胶质瘤干细胞（GSC）的核心转录因子表达，使GSC获得生存优势进而促进肿瘤发生。这为肿瘤微环境促进肿瘤发生提供了有力证据。同年，我国学者还发现了一群特殊的成纤维细胞亚群，这群细胞以CD10和GPR77为“身份标签”，通过促进肿瘤细胞干性，诱导化疗耐受。这些成果表明我国学者在肿瘤发生发展的微环境调控研究前沿领域，独辟蹊径，取得了具有国际影响力的成绩。

### “需求牵引、突破瓶颈”典型案例

#### 人体肺部功能磁共振成像(MRI)系统研制

由早期肺功能损伤逐渐发展至后续肺结构病变是肺部重大疾病的共同发展规律。肺部重大疾患如肺癌、慢性阻塞性肺疾病等是我国目前排名前三位的死因，对其早期诊断有着十分迫切的需求。但胸透、电子计算机断层扫描(CT)、传统质子MRI等传统医学影像技术无法对肺部通气、气血交换功能进行可视化和定量评估。这一缺陷极大阻碍了肺部重大疾病早期，即功能损伤期的深入研究。为突破这一瓶颈，我国学者研制了一套肺部功能MRI

---

系统。该系统不仅可检测肺微结构病变；同时兼具肺部通气、气血交换的高灵敏可视化和定量检测功能，无创无电离辐射，打破肺部“盲区”；且该系统可与我国目前医院和研究机构所有的主流人体成像仪(如场强 1.5T 和 3T)兼容，将已有成像仪升级为具备早期探测肺功能改变的多功能人体 MRI。人体肺部功能 MRI 系统的研制突破了现有技术瓶颈，为肺部重大疾病的早期探测、精准诊疗提供了技术支撑。

## “共性导向、交叉融通”典型案例

### 硬组织生物活性材料与宿主相互作用的机制研究

硬组织生物活性材料研究涉及材料科学、材料工程学、化学与生命科学、医学的交叉领域，而生物活性材料植入体内后与宿主的相互作用及产生的生物学应答是其中的核心问题，决定组织再生及损伤修复的成败。通过多学科交叉研究阐明材料与宿主相互作用规律及机制，对于再生医学的发展意义重大。我国学者围绕这一问题，一方面研究生物材料对宿主体内成骨相关细胞黏附、增殖、分化的影响及分子机制；另一方面研究材料激发的宿主生物学应答对材料降解和转归的影响机制，发现了活性材料促进硬组织再生的关键宿主信号通路，阐明了骨再生与生物活性材料理化特性的关系，不仅为新型组织再生材料的设计、开发和安全应用建立理论基础，而且为组织工程学、再生医学、材料科学等学科的相互深入交叉和发展提供新思路。