

四类科学问题属性 案例说明

国家自然科学基金委员会
科学传播与成果转化中心制作

NSFC 2021



引言

习近平总书记深刻指出：“基础研究是整个科学体系的源头，是所有技术问题的总机关”“科技领域是最需要不断改革的领域”。在深化科学基金改革中，自然科学基金委明确提出新时期资助导向——“鼓励探索、突出原创；聚焦前沿、独辟蹊径；需求牵引、突破瓶颈；共性导向、交叉融通”。强调基础研究就是提出和解决科学问题的研究活动，明确资助导向就是，要把四类科学问题属性体现在项目申请、资助评审、绩效评价的全过程，引导申请人根据要解决科学问题的属性，更好地凝练科学问题，进一步提升项目申请质量；鼓励评审专家根据申请项目的属性，按照与之相应评审要点更加精准地遴选资助项目，进一步提高资助项目质量。

为了使各位专家更好地理解四类科学问题属性及其在分类申请与评审中的应用，我们特别从2020年资助项目中选择了一些案例供大家参考。



四类科学问题属性的基本内涵

“鼓励探索，突出原创”

是指科学问题源于科研人员的灵感和新思想，且具有鲜明的首创性特征，旨在通过自由探索产出从无到有的原创性成果。

“聚焦前沿、独辟蹊径”

是指科学问题源于世界科技前沿的热点、难点和新兴领域，且具有鲜明的引领性或开创性特征，旨在通过独辟蹊径取得开拓性成果，引领或拓展科学前沿。

“需求牵引，突破瓶颈”

是指科学问题源于国家重大需求和经济主战场，且具有鲜明的需求导向、问题导向和目标导向特征，旨在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。

“共性导向、交叉融通”

是指科学问题源于多学科领域交叉的共性难题，具有鲜明的学科交叉特征，旨在通过交叉研究产出重大科学突破，促进分科知识融通发展为知识体系。

案例目录

“鼓励探索，突出原创”

面上项目案例：全球地表覆盖制图的有限样本稳定分类研究

重点项目案例：迁移体在肿瘤转移过程中的功能研究

“聚焦前沿，独辟蹊径”

面上项目案例：21世纪中国地表风速变化及其对风能生产的影响机制

重点项目案例：电化学脱嵌法从盐湖卤水中分离锂和铷、铯的物理化学

“需求牵引，突破瓶颈”

面上项目案例：智慧燃煤发电系统多层次自学习协同最优控制

重点项目案例：软物质界面水化膜的形成、水化/去水化机制及摩擦调控研究

“共性导向，交叉融通”

面上项目案例：富CO₂流体混合物在多组分电解质水溶液中的溶解度和体积性质的计算模拟及应用

重点项目案例：玉米基因型-表型数据关联的智能处理方法与验证

面上项目案例：全球地表覆盖制图的有限样本稳定分类研究

1. 申请人选择“鼓励探索，突出原创”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。

面上项目案例：全球地表覆盖制图的有限样本稳定分类研究

2. 通讯评审专家评审意见汇总

- 在基金委新时代科学基金的资助导向下，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和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。



重点项目案例：迁移体在肿瘤转移过程中的功能研究

1. 申请人选择“鼓励探索，突出原创”科学问题属性的理由



迁移体是申请人发现的新型细胞器；

本项目首次发现迁移体在肿瘤转移中的重要作用，并建立了迁移体疾病模型；

拟系统性观测迁移体在肿瘤转移过程中的时空分布与动态变化；

深入研究迁移体在肿瘤转移过程中的生物学功能和工作机制。

肿瘤转移是目前肿瘤研究领域的一大难题。肿瘤转移过程中肿瘤细胞间如何协调发展，如何分泌和传递信号都是亟待解决的关键科学问题。本项目研究不仅将揭示迁移体的新的生理功能，更为肿瘤转移研究提供全新视角和新理论，对肿瘤的诊断和治疗提供新思路新方法。

重点项目案例：迁移体在肿瘤转移过程中的功能研究

2. 通讯评审专家评审意见汇总

- 迁移体是申请人首次命名的新型细胞器。本项目是原创性前期研究的逻辑延伸，具有得天独厚的原创性。

- 本项目以迁移体对肿瘤转移进行研究，在研究思路和方向上具有较为新颖的视角，值得探索。

- 肿瘤转移是癌症病人面临的比较致命的威胁，一直是肿瘤发生和治疗的研究重点。本项目对迁移体在肿瘤转移中的机制研究，为肿瘤防治研究带来新思路、新视角。



面上项目案例：21世纪中国地表风速变化及其对风能生产的影响机制

1. 申请人选择“聚焦前沿，独辟蹊径”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。本项目具有鲜明的引领性和开创新特征，属于“聚焦前沿，独辟蹊径”。

面上项目案例：21世纪中国地表风速变化及其对风能生产的影响机制

2.通讯评审专家评审意见汇总

● 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。



重点项目案例：电化学脱嵌法从盐湖卤水中分离锂和铷、铯的物理化学

1. 申请人选择“聚焦前沿，独辟蹊径”科学问题属性的理由



我国盐湖卤水丰富，且含大量的稀有金属锂和分散元素铷、铯资源，因镁锂化学性质相似导致锂难以提取。同时，对于盐湖提取铷、铯，由于其赋存品位很低，并与浓度高得多且化学性质相似的同族元素锂、钠、钾共存，给铷、铯的分离提取带来了巨大挑战。

项目借鉴锂离子电池工作原理，“反其道而行之”，将含锂的复杂天然盐湖卤水“代替”传统的 LiPF_6 锂离子电解液，在新的充放电体系中，卤水中的锂将选择性的在电极材料中进行锂的嵌入和脱出；

选择不同电极吸附材料来构筑相应的电化学分离体系，通过调控电位使得 Li^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ 的选择性嵌入/脱出，实现目标元素锂、铷、铯离子的高精度分离提取；

项目研究形成从盐湖卤水选择性提取锂、铷、铯的电化学新体系，为我国盐湖资源的综合高效利用提供理论支撑，具有重要的战略意义。

项目提出了基于摇椅式锂离子电池“反向”工作原理的电化学脱嵌法从盐湖卤水中选择性提取稀有金属锂、铷、铯的新方法，从而达到卤水中锂、铷、铯的绿色、高效提取和富集，该方法完全不同于传统的分离方法，独辟蹊径，具有显著的引领性，属于“聚焦前沿，独辟蹊径”。

重点项目案例：电化学脱嵌法从盐湖卤水中分离锂和铷、铯的物理化学

2. 通讯评审专家评审意见汇总

● 项目将锂离子电池的工作原理反过来应用于盐湖卤水提取锂，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，创造性地提出“电化学脱嵌法盐湖提锂”新技术，新思路或有望拓展至其他元素和化合物的分离和纯化，丰富分离科学的理论体系。

● 项目提出了电化学脱嵌法从盐湖卤水中选择性提取锂等金属的新思路，可解决长期困扰冶金界的高镁锂比盐湖卤水提锂的技术难题，从源头上进行流程设计，属于变革性技术创新。

● 项目采用逆向思维的模式，提出完全不同于传统的镁锂分离方法，提出了电化学脱嵌法从盐湖综合提取锂、铷、铯的新方法，对低浓度复杂有色金属资源的高效清洁提取具有重要参考价值和示范意义。

● 项目具有明显的“聚焦前沿，独辟蹊径”的特色。



面上项目案例：智慧燃煤发电系统多层次自学习协同最优控制

1. 申请人选择“需求牵引，突破瓶颈”科学问题属性的理由



能源问题是我国发展面临的挑战与重大需求，研发新一代燃煤发电系统智能协调控制新技术，提高管理品质，对智能电网和智慧电厂的发展具有重大价值和现实意义，也是推动电力产业的智能化进程，带动产业升级的重要举措。

目前，燃煤发电控制系统存在的瓶颈问题包括发电系统建模不精确、机炉协调控制不能满足灵活发电需求、锅炉效率与污染物排放优化不足、汽水系统中汽包水位控制不准确等。

该项目拟通过贝叶斯网络等技术建立机炉协调系统、锅炉燃烧系统等系统神经网络控制模型；建立机炉多层次协同最优控制和机炉鲁棒自适应动态规划自学习最优控制方案；建立多目标锅炉燃烧子系统自学习最优控制方案，进一步构建汽水系统和汽轮机阀门自适应动态规划协调最优控制方案；建立燃煤发电控制系统自学习最优控制测试平台。

该项目针对燃煤发电控制的实际需求，以解决技术瓶颈性问题为目标，致力于推动电力产业的智能化进程，符合“需求牵引，突破瓶颈”属性。

面上项目案例：智慧燃煤发电系统多层次自学习协同最优控制

2.通讯评审专家评审意见汇总

● 新一代燃煤发电系统要求高效、灵活、绿色、低碳、经济，是国家重大需求。项目从燃煤发电控制系统实际需求出发，针对现有电厂发电系统协调控制存在的瓶颈问题开展研究，与国家大力推进煤炭清洁高效利用的需求密切相关。

● 项目针对燃煤发电控制系统存在着发电系统建模不精确、机炉协调控制不能满足灵活发电需求、锅炉运行效率低等燃煤发电核心问题，拟建立一套燃煤发电系统多层次自学习协同最优控制方案。项目问题来源于实际，针对性和实用性强。

● 项目以燃煤发电系统为对象开展多层次自学习协同最优控制的研究，解决建模、机炉协调控制、锅炉运行效率提升等瓶颈问题，具有重要的实际意义。

● 该申请项目考虑燃煤发电控制，面向国家需求，以解决技术瓶颈性问题为目标，符合“需求牵引、突破瓶颈”属性。



重点项目案例：软物质界面水化膜的形成、水化/去水化机制及摩擦调控研究

1. 申请人选择“需求牵引，突破瓶颈”科学问题属性的理由（1）



随着人口老龄化加剧，植介入医疗器械需求愈加强烈。表面水润滑改性可以延长器械的使用寿命、改善舒适性，其与器械防蛋白黏着、降低摩擦、提高相容性密切相关，而高性能软物质水润滑材料与关键制备技术是改性的基础。开发润滑-抗磨一体化的长效软物质水润滑材料仍然是该领域的技术瓶颈。

近年来，国产水润滑材料性能方面主要问题如下：1.软物质材料表面水化膜厚度较薄，在宏观接触工况下，粗糙点局部应力集中会导致软物质层边界润滑失效；2.软物质润滑材料力学承载和抗磨损性能较差，导致其使用寿命较短。

究其原因，主要在于长效软物质水润滑材料这一技术瓶颈背后的核心科学问题尚未被清楚认识，例如：亲水界面水化膜如何形成？受压剪切过程中水化/去水化动态转变如何发生？界面接触对水化及其黏着和摩擦（润滑）的影响规律是什么？

重点项目案例：软物质界面水化膜的形成、水化/去水化机制及摩擦调控研究

1. 申请人选择“需求牵引，突破瓶颈”科学问题属性的理由（2）



本项目拟通过搭建原位光学观测平台考察界面水化膜的动态形成过程、精准测量界面水化层的真实膜厚、揭示界面接触状态对水化膜的形成或破坏机制、明确界面水化/去水化过程中切向摩擦和法向黏附的耦合关系以及通过分子动力学和接触力学模型构建界面水化和承载耦合的跨尺度模型等技术途径，来解决技术瓶颈背后的核心科学问题。

在此基础上，通过“增加水化膜厚度和材料结构化设计”的独特理念，突破传统软物质水润滑材料因承载和抗磨性能较差而无法满足其在实际工况下使用的难点，开发多种自适应水润滑材料，实现 2~3 种材料在医疗器械领域的实际应用，提升高端水润滑医疗器械的国产自主研发水平。

该项目针对老龄人口对植介入医疗器械强烈需求，以研发高端水润滑医疗器械为目标，针对传统软物质水润滑材料表面水化膜较薄和承载与抗磨性能较差的难点和技术瓶颈，研究并开发多种自适应水润滑材料以满足实际应用，因此该项目符合“需求牵引，突破瓶颈”属性。

重点项目案例：软物质界面水化膜的形成、水化/去水化机制及摩擦调控研究

2. 通讯评审专家评审意见汇总

- 该项目拟围绕影响水润滑材料使用性能的水化/去水化过程及其调控开展研究平台搭建，研究方法建立到具体体系研究的工作，以期为我国水润滑材料的升级换代奠定基础。

- 提出的研究课题面向国家发展需要和经济建设主战场特点，具有“需求牵引、突破瓶颈”特点。

- 软物质表面水化/去水化机制及摩擦调控，是高性能水润滑医疗器械中所面临的重要科学问题。该项目提出考察水化膜的动态形成过程，揭示界面状态对水化膜的形成与破坏机制，明确水化/去水化过程中摩擦和粘附作用的关系，建立力学模型，为解决界面水润滑体系中摩擦调控这一重要科学问题提供理论和实验依据。

- 研究方案详细阐述了如何在微观/宏观水平上表征分析水润滑界面结构与性能之间关系，进而建立水润滑体系中微观结构与宏观性能的关联机制，所提研究方案具有很好的系统性和良好的创新性。这一研究对于促进界面科学的发展、提升我国高端水润滑医疗器械的自主研发水平具有重要的意义。



面上项目案例：富CO₂流体混合物在多组分电解质水溶液中的溶解度和体积性质的计算 模拟及应用

1. 申请人选择“共性导向，交叉融通”科学问题属性的理由



面向国家需求：近年来，CO₂捕获与储存（CCS）逐渐成为学界关注的重要科学问题，而深部咸水层因封存储量大被视为CO₂封存的最佳选择之一。当富CO₂流体混合物注入到深部咸水层后，富CO₂流体处于超临界状态，上浮于咸水层上方，形成气-液两相流体。在一定的温度、压力和盐度下，查明富CO₂流体在咸水层中的溶解度、体积变化，以及后期富CO₂流体混合物的再注入量，是回答这一复杂科学问题的关键。

鲜明多学科交叉特征：要解决该问题，首先需了解富CO₂流体混合物的体积和相平衡性质，其次是富CO₂流体混合物在CCS条件下的溶解度，最后是单相多组分气-水-盐体系的体积和密度。这些问题涉及到计算机科学、化学、物理学和地质学的交叉，只有具有扎实的物理化学热力学基本功、熟练的计算机编程能力以及良好的深部地球地质学知识，才能顺利完成预定研究目标。

面上项目案例：富CO₂流体混合物在多组分电解质水溶液中的溶解度和体积性质的计算 模拟及应用

2.通讯评审专家评审意见汇总

该申请聚焦富CO₂流体混合物注入深部咸水层的溶解度、体积变化等问题，拟设计CO₂-N₂-O₂-Ar-CH₄-H₂S体系流体状态方程，结合Pitzer方程进行模拟。该申请通过计算机科学、化学、物理学和地质学深度交叉，对富CO₂混合流体在深部咸水层的注入提供量化标准，有一定的科学价值。

该项目针对CO₂-N₂-O₂-Ar-CH₄-H₂S流体混合物，构建Helmholtz自由状态方程，结合Pitzer模型，模拟计算富CO₂流体混合物在多组分电解质溶液中溶解度和体积变化，具有一定的创新性。扎实的研究基础和合理的研究方案可保证项目顺利执行。

项目组成员长期从事地质流体的热力学模拟和预测的研究，在高温高压地质流体体系的计算和模拟研究方面有丰富的经验，并已发表了系列重要研究论文，为项目研究奠定了基础。

在单组份气体溶解度预测模型基础上，扩展预测混合气体的溶解度，需要详细给出具体预测混合气体溶解度的方案。



重点项目案例：玉米基因型-表型数据关联的智能处理方法与验证

1. 申请人选择“共性导向，交叉融通”科学问题属性的理由



现代生物实验技术积累了大量的作物遗传数据，推动了传统田间育种向智能分子育种的转化。项目采用信息表示、机器学习、农学验证等理论与方法，解析玉米基因型-表型数据关联，提出了通过揭示基因序列特征对表型作用机理，实现玉米多组学数据的网络联合表示理论，探索亲本基因型-杂交种表型间遗传转化机制，以发现玉米分子遗传和智能化育种规律。

研究内容属于智能化信息科学理论、方法与农业分子育种技术两个学科的交叉领域，需要解决基因型与表型正向决策可靠性和反向溯源合理性问题。拟采取的研究思路也是研究围绕基因型-表型间遗传关联网络构建、双向联合分析等不同阶段涉及的特定机器学习算法问题。相关研究成果能为揭示玉米基因型-表型间内在关联提供一种新的信息处理方法，有助于提升农作物产量与品质的分子育种。

重点项目案例：玉米基因型-表型数据关联的智能处理方法与验证

2.通讯评审专家评审意见汇总（1）

- 玉米是我国最重要的农作物之一，人工智能、生物学技术及生物信息学理论在这一领域的应用具有重要的意义和实用价值。项目属于人工智能等信息学理论与玉米发育及智能育种等生物学机制和现代农业等多学科领域交叉的重要共性问题。

- 该项目聚焦国家粮食安全重大需求，针对主粮作玉米智能育种发展缓慢的现实需求，以推动主粮玉米作物分子育种的智能、高效和定向培育为目标，针对信息科学和生命科学前沿交叉领域共性重大科学问题，开展交叉创新研究。



重点项目案例：玉米基因型-表型数据关联的智能处理方法与验证

2.通讯评审专家评审意见汇总（2）

● 本项目以玉米遗传发育机制和优化育种为问题对象，提出开展玉米基因型-表型数据关联研究，目的是通过引入信息科学领域先进的处理与分析方法，对复杂的遗传数据进行有效的整合分析，解析玉米亲本遗传数据中所包含的遗传特征、调控网络、以及遗传关系，以更好地指导杂交实验，提升育种的品质和速度。项目研究工作涉及生命科学与信息科学的高度交叉，是信息科学方法与农业分子育种技术的深度融合。

● 本研究拟研究玉米基因型-表型数据关联的智能处理方法，并验证。玉米是我国重要粮食作物之一，本课题对于指导玉米智能精准育种，以及探索玉米遗传发育机制和智能优化育种方面具有重要理论指导和应用价值，是多学科领域交叉重要共性问题。



欢迎各位专家把您对四类科学问题属性的理解反馈给我们，让我们一道不断优化和改进科学基金的分类申请和评审资助工作。

联系邮箱：gaotx@nsfc.gov.cn

国家自然科学基金委员会
科学传播与成果转化中心制作

