

附件

“变革性技术关键科学问题” 重点专项 2017 年度项目申报指南

为落实创新驱动发展战略，促进我国变革性技术的不断涌现，按照《国家中长期科技发展规划纲要（2006-2020）》部署，根据国务院《关于深化中央财政科技计划（专项、基金等）管理改革的方案》，国家重点研发计划启动实施“变革性技术关键科学问题”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2017 年度项目申报指南。

变革性技术是指通过科学或技术的创新和突破，对已有传统或主流的技术、工艺流程等进行一种另辟蹊径的革新，并对经济社会发展产生革命性、突变式进步的技术。“变革性技术关键科学问题”重点专项重点支持相关重要科学前沿或我国科学家取得原创突破，应用前景明确，有望产出具有变革性影响技术原型，对经济社会发展产生重大影响的前瞻性、原创性的基础研究和前沿交叉研究（如材料素化、碳基资源催化、超构材料、太赫兹科学技术等方向）。在 5 类科技计划中已有布局的研究内容不在本专项重复支持。专项实施周期为 5 年（2017-2021 年）。

2017 年，变革性技术关键科学问题重点专项将围绕化学键精

准重构、超构材料、精确介观测量、新型太赫兹辐射源等方向部署 13 个研究方向，国拨总经费约 3.9 亿元。同一指南方向下，原则上只支持 1 项，仅在申报项目评审结果相近，技术路线明显不同，可同时支持 2 项，并建立动态调整机制，根据中期评估结果，再择优继续支持。

申报单位根据指南支持方向，面向解决重大科学问题和突破关键技术进行一体化设计。鼓励围绕一个重大科学问题，从基础研究到应用研究全链条组织项目。鼓励依托国家重点实验室等重要科研基地组织项目。项目应整体申报，须覆盖相应指南方向的全部考核指标。如无特殊说明，每个项目下设课题不超过 5 个，每个项目所含单位数不超过 10 家。项目申报需具备相关研究基础，并曾获得国家科技计划支持且实施效果良好、具有重大应用前景。申报项目负责人需具有承担国家重大科技项目的经历。

项目执行期一般为 5 年，申报项目特别需提出明确、有显示度的 5 年总体目标和 2 年阶段目标和考核指标（或研究进度）。项目实行“2+3”分段式资助，在项目执行 2 年左右对其目标完成情况进行评估，根据评估情况确定项目后续支持方式。

1. 电-热耦合催化能源小分子化学键的精准重构

研究内容：能源小分子的活化和转化是化石能源高效利用的核心，常规转化过程存在高耗能、高耗水、低选择性等瓶颈；发展基于电-热耦合催化分子选键活化新方法，促进甲烷和二氧化碳

等碳基小分子中碳-氢、碳-氧和碳-碳键精准重构，实现温和条件下甲烷无氧活化和转化的变革性方式，发展甲烷与二氧化碳以及甲烷与煤碳中性转化的原子炼制新过程。

考核指标：利用电场等外场激发与纳米和单原子活性中心催化相耦合，实现温和条件下甲烷的活化和转化，阐明自由基反应和外场增强活化等非常规甲烷活化机制；突破甲烷利用的传统方式，与煤转化或二氧化碳转化过程相耦合，实现转化过程的碳、氢、氧自身平衡（碳中性），有效降低碳基能源利用中的二氧化碳排放和水的消耗；发展外场作用下表界面反应的原位表征技术和方法，对表面催化反应的初生产物、中间物种以及过渡态进行有效探测，实现在原子分子层次上对变革性反应过程的理解。

2. 数字编码和现场可编程超构材料

研究内容：超构材料是物理和信息领域的前沿方向，但现有的基于等效媒质超构材料属于模拟体系，很难实时地调控电磁波。本项目建立数字编码和现场可编程超构材料新体系，包括：数字编码超构材料对电磁波近远场的调控理论；数字编码超构材料的信息论操作及数字信号处理运算；高比特位数字编码和现场可编程超构材料的设计方法及物理实现。

考核指标：建立数字编码超构材料对电磁波近远场的调控理论并探索其高效求解方法，挖掘信息论操作和数字信号处理给数字编码超构材料调控电磁波带来的新物理特征和新应用潜力，制

备高比特位数字编码和现场可编程超构材料（编码切换时间小于 30 ms，工作频率覆盖 X、Ku、Ka 波段，编码状态误差小于 10%）；发展双频数字编码和现场可编程超构材料、各向异性数字编码和现场可编程超构材料、频（时）空联合数字编码超构材料、以及幅相联合数字编码超构材料；研制基于数字信号处理、现场可编程门阵列（FPGA）控制模块和数字编码超构材料软硬件一体化的现场可编程信息系统原型。

3. 多能流综合能量管理与优化控制

研究内容：针对类互联网能源网络具有的多能协同互补、多端供需互动、信息能量融合等核心挑战，突破多能流综合能量管理与优化控制瓶颈问题。包括：特性各异多能流统一建模与多时间尺度状态估计；多主体在线多能流分析与动态安全评估；含高维复杂约束的多能流动态优化与协同控制；信息能量融合系统安全机理；多能流综合能量管理原型系统。

考核指标：构建面向类互联网能源网络的多能流综合能量管理与优化控制理论体系。实现以下关键技术的原创性或变革性突破：提出冷、热、电、气、交通等特性各异多能流统一建模方法，突破多能流多时间尺度状态估计技术；实现多主体在线分布式多能流分析与动态安全评估技术；突破含高维偏微分-微分代数方程组约束的多能流动态优化，实现能量“发输配用储”各环节、多主体的互动协调；揭示在信息扰动条件（含恶意网络攻击）下信

息能量融合系统的动态行为特征和安全性机理；提出多能流综合能量管理的自律协同算法，研发多能流综合能量管理系统原型，涵盖冷、热、电、气、交通等至少 3 种能源链，实现 10 个以上能量管理自律子系统的协同互动，能源网络节点数大于 1000 个。在典型运行场景下，通过仿真验证多能流协同优化后综合用能成本下降 8% 以上。

4. 完整器官三维结构与功能信息的精准介观测量

研究内容：针对生物医学前沿科学问题，发展精准介观测量新原理和方法，突破现有研究手段在大体积样本中难以进行高分辨率三维测量的瓶颈问题，实现重要器官内多维生命科学大数据的高精度获取、重建与可视化。进而，在具有代表解剖结构、组织特征和生理病理状态的辅助坐标或注释中，可视化展现完整器官内不同类型细胞的结构与功能图谱。

考核指标：以完整器官三维结构与功能信息的精准介观测量为关键科学问题，通过对通量标记、示踪、成像与检测及与之配套的图像信息处理原理和方法的变革性发展，建立全新技术体系，具体包括，1) 建立全器官（厘米级生物大样本）的原位稳态成像检测方法，具有微米量级的体素分辨和空间定位能力，实现多尺度测量范围（单个细胞、组织微环境、结构功能区等）和多参数（形态、表型、转录组或蛋白组等）并行测量与精准匹配；2) 建立活体瞬态的超高灵敏原位活体成像检测方法，具有生物组织中

重要分子纳摩尔（nM）量级的检测能力；3）海量空间信息的高效并行处理与整合，对大于 10 TB 高维数据进行多维重建与可视化。由此，为在重要器官的细胞综合图谱绘制中取得引领性成果提供创新性研究手段。

5. 人体器官芯片的精准介观测量

研究内容：探索人体器官芯片生化特征介观测量与表征新原理与方法，从分子、细胞到组织、器官甚至系统的多个层次，建立具有多参数、多维度、多模态的高分辨率在线精准检测手段，以实现对接器官的实时监控和对微结构仿生状态的客观评估，并研究器官芯片的模型特征，验证其与人体组织的相似性，为药物筛选和疾病治疗提供技术支撑。

考核指标：从分子、细胞到组织、器官甚至系统的多个层次，建立可与肝脏、心脏等器官芯片集成的多模态精准介观测量与表征全新技术体系，具体包括：1）发展在毫米量级的三维空间视场下空间分辨率达到亚细胞量级的快速成像技术；2）发展成像范围在毫米量级的高分辨率多模态检测，空间分辨率亚微米水平；3）发展复杂环境下分子水平的超高时空分辨率检测新技术，实现对人体芯片中生物表界面的介观测量；4）发展三维智能仿生支架材料，原位构建人体芯片在线检测技术，检测指标不少于 5 个。实现对可用于药物筛选与疾病疗效评价的人体组织 / 器官芯片进行示范性的筛选评估。

6. 面向智能制造的软件自动构造

研究内容：研究智能制造系统的领域模型和运行机理，建立面向物联制造、定制化柔性生产、供应链协同优化以及智能服务的创新型信息化支撑体系架构。研究部分知识下的软件刻画方法，研究非完备定义下的目标软件行为推理与预测方法，研究面向领域的软件自动构造技术。研究面向智能制造软件的正确性确保和性能优化技术，为自动构造软件提供可信保障。

考核指标：研制面向智能制造的软件自动构造平台，要求具备领域知识建模的能力，模块级工业控制软件自动构造的能力，以及软件形式化分析与验证的能力，显著提高软件开发生产力和软件质量。在 3-5 家制造领域企业进行示范应用，在应用企业实现提质增效、转型升级，为本领域服务型制造业和生产性服务业的变革性发展做出表率。

7. 界面调控与构筑实现材料素化的原理及演示验证

研究内容：跨尺度界面（晶界、相界）结构的形成、演化、调控规律；界面数量及分布、结构、成分与材料力学性能和物理性能间的关系；界面调控实现高温合金素化原理验证；界面调控实现热电材料素化原理验证。通过界面调控与构筑实现材料素化，突破材料发展过度依赖合金化的瓶颈，减少稀、贵、毒元素的使用，促进回收再利用，实现可持续发展。

考核指标：研究晶界调控方法以及合金元素在晶界与相界的

偏析规律，在三种典型不同材料中实现材料的低能晶界含量超过50%以上，发展出高稳定性相界控制方法。建立不同类型界面与材料的力学性能、物理性能之间的关系。围绕高温结构素化，在铸造高温合金中实现合金不含铌和钒，合金密度 $\leq 8.6\text{g/cm}^3$ 、高温强度高于 $1100^\circ\text{C}/137\text{MPa}$ ，持久寿命 $\geq 120\text{h}$ ；在变形高温合金中实现 Co 含量 $\leq 20\%$ ，特殊晶界含量 $>30\%$ ， 760°C 的 $\sigma_{0.2}>900\text{MPa}$ ， $760^\circ\text{C}/480\text{MPa}$ 持久寿命 $>450\text{h}$ 。降低高温合金对稀贵资源的依赖，降低高温合金成本。在 Bi_2Te_3 合金体系中通过界面调控实现现有无机热电材料优值系数（ZT）值提升 20% 以上。发展环境友好型和资源节约型新型热电材料。

8. 下一代深度学习理论与技术

研究内容：面向泛在（如移动计算）、高风险（如精准医疗）、高可靠性（如智能交通）等应用场景，突破深度学习理论基础薄弱、模型结构单一、资源消耗过高、数据依赖性强的瓶颈。研究下一代深度学习基本理论；非神经网络、资源节约型深度学习模型、方法及高效优化技术；适于小样本/无监督样本、强化/博弈学习的深度学习方法与技术。

考核指标：针对深度学习模型高度非线性、参数空间分层且巨大等复杂特性，建立一套揭示深度学习工作机理的理论框架、形成一组深度学习模型分析工具与方法；研制出一系列基于非神经网络结构的新型机器学习模型、方法与技术，在深度学习模型

可解释性、高扩展性、易配置性上取得突破；提出存储和计算资源消耗低的多种深度学习模型与方法，设计快速高效、适用于非凸深度学习训练的新型梯度与非梯度优化技术，大幅提升深度学习技术部署能力；研制面向小样本、无监督样本、弱标记样本、非单标记样本的深度学习方法与技术，降低深度学习对于大规模高质量标注数据的严重依赖；研制多事件触发的深度学习模型和技术，适应信息社会的开放环境和快速涌现的新现象；拓广深度学习应用领域，提出适用于在线学习、强化学习、博弈学习的深度学习方法与技术。

9. 深度神经网络处理器的新原理、新结构和新方法

研究内容：深度神经网络已在多种云端和终端应用中起到了关键性支撑作用。然而，现有芯片远远难以满足深度神经网络的速度和能效需求，有必要探索能高效处理大规模深度神经网络的新型处理器的设计原理、体系结构、指令集和编程语言；探索深亚微米工艺（ $\leq 16\text{nm}$ ）及新型器件对深度神经网络处理器设计方法的影响。研制新型深度神经网络处理器芯片，探索全异步特征的极低功耗神经网络架构。

考核指标：研制能处理大规模深度神经网络（包含一亿神经元和十亿突触）的深度神经网络处理器样片。该样片支持国产深度神经网络指令集，集成硬件神经元/突触作为其运算部分，支持硬件神经元的时分复用，支持 Caffe、TensorFlow 和 MXNet 等主

流深度神经网络编程框架，能完成多层感知机（MLP）、卷积神经网络（CNN）、长短时记忆网络（LSTM）、循环神经网络（RNN）、生成对抗网络（GAN）和更快速的基于区域的卷积神经网络（Faster-RCNN）等主流深度神经网络的使用，实测能效和性能超过英伟达图形处理单元（NVIDIA GPU）产品 M40 的 20 倍。设计深度神经网络处理器的基准测试集，覆盖语音、图像和自然语言理解等应用。设计高效的深度神经网络处理器核和片上互连结构。研制面向深度神经网络处理器的编程语言、编译器和汇编器。研制面向深度神经网络处理器的驱动和系统软件。完成深度神经网络处理器在超过 100 万部移动终端中的应用部署，实现原来需要云计算才能处理的智能任务在移动终端本地处理。

10. 面向生物医学应用研究的新型太赫兹辐射源

研究内容：面向太赫兹波生物效应及检测等生物医学应用，探索自由电子与新兴材料及新型结构相互作用产生太赫兹辐射的物理机制，揭示变革性太赫兹辐射的基本规律，突破传统太赫兹辐射源的技术瓶颈，产生宽频带可调谐、大功率、连续波小型化和具有一定无衍射长度的相干太赫兹辐射。

考核指标：研发出频段可调谐、连续波、室温工作、瓦级功率输出、具有一定无衍射长度的相干太赫兹辐射源。

11. 类生物体灵巧假肢及其神经信息通道重建

研究内容：围绕“再造人手功能”的科学目标，探索操作感

知一体化类生物体灵巧假肢设计、制造、神经接口编码解码算法和神经接口硬件系统，及其与神经系统的信息通道重建方法，及神经智能与人工智能的融合与交互。重点研究基于软体材料的灵巧假肢机构设计制造原理，神经信号的提取与解码，人手运动信息的神经编码规律与新一代神经控制模型，传感信号的神经传入机制及假肢的自然感觉功能再造方法，实现闭环的双向神经接口，完成稳定和可以持续学习改善功能的能力。

考核指标：建立基于主动功能材料的软体机构设计、制造与运动控制原理，研发具有类生物体机械特性的新一代灵巧假肢机构；研制神经信号的高分辨率无创或植入式微创测量系统，揭示肢体运动信息在神经单元中的编码规律，建立假肢多自由度运动的神经控制模型，实现 10~15 种离散动作模式的准确控制及 2~4 个自由度的连续运动控制；建立非侵入式或植入式微创电触觉系统的刺激编码与控制方法，重建假肢触觉传感信号的神经传入通道，解决触感位置及触觉模式的有效分辨问题，实现假肢触觉信息的自然反馈。完成操作感知一体化类生物体灵巧假肢的样机研制与功能验证。

12. 多复杂曲面共体光学元件纳米精度制造基础

研究内容：多复杂曲面共体光学元件将为自由曲面在下一代大视场、高分辨率成像系统中的应用带来变革性影响。瓶颈难题是多复杂曲面共体元件的控形、控位、控性制造，需研究制造约

束的共体自由曲面光学元件设计理论、纳米精度形位检测方法和形、性智能可控的加工方法等，形成光学智能制造新理论、新工艺与新方法。

考核指标：形成制造约束的共体自由曲面光学系统设计方法，建立该类光学系统可靠描述的精确表达模型；揭示多复杂曲面共体光学系统的像差形成机理，建立面形与位姿误差协同的测量模型和像差解耦机制；建立复杂曲面多方法检测的统计检验与推断模型，形成纳米精度复杂光学表面误差信息的表征方法与理论；揭示共体复杂曲面多物理特性再构机理和光学制造过程精度演进规律，创新智能可控柔体光学制造工艺；建立形位误差测量感知智能、工艺决策认知智能以及可控柔体制造智能的方法与装备，形成光学智能制造理论与方法。光学自由曲面面形精度优于10nm RMS，位置精度优于3 μ m。

13. 有望培育变革性技术的重大科学问题研究

目前已在科学前沿取得国际公认的重大创新，经过3~5年研究，在科学上取得重大原创突破，有望培育形成对产业变革和经济社会发展具有重大影响的技术原型。

（本条指南由教育部、中国科学院、国家自然科学基金委员会作为组织申报的推荐单位）