

附件 2

“变革性技术关键科学问题”重点专项 2018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。

根据专项实施方案和“十二五”期间有关部署，2018年本重点专项将围绕信息、能源、地学、制造、材料、生命科学及交叉等6个领域方向部署项目，优先支持37个研究方向。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、技术路线明显不同时，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。2018年度专项拟部署项目的国拨经费总概算为9.7亿元。

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。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6家。

项目执行期一般为5年，申报项目须提出明确、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）；立项项目实行“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. 脑信息认知技术基础研究

研究内容：面向仿脑、类脑、人—机互联等技术发展需求，探索构建脑信息认知的核心方法体系。研究电磁光声等多手段脑信息联合获取技术；研究生物神经环路的计算原理与数学建模方法；研究复杂神经模式的脉冲计算模型；研究多脑区神经元功能连接与联合解析原理；研究神经元锋电位、局部场电位、事件相关电位、头皮脑电等脑信息的单模态及多模态解码的新机制与新算法；研究多时空尺度、多脑区协同解码模型与方法。

考核指标：构建电磁光声等多手段、跨脑区脑信息认知新方法，建立至少5种脑信息新模态，搭建运动增强或感知增强的脑机融合实验系统两种以上，其中至少一种是对人的植入式验证。

2. 存算一体器件及其计算新架构

研究内容：面向大数据高性能计算需求，突破传统冯·诺依曼计算架构在访存速率和能效方面的局限，探索新型存算一体器件及其计算新架构。研究存算一体新原理器件及其性能调控方法；研究存算一体计算的基本理论，发展器件集成关键技术；设计存算一体的存内处理电路和全系统模拟器，研究动态存算资源调配新方法和计算新架构。

考核指标：阐明影响存算一体器件性能的关键因素，建立其物理模型；研制新型存算一体器件单元，开关速度 ≤ 20 ns、功耗 ≤ 1 pJ；开发互补金属氧化物半导体（CMOS）兼容的平面和三维集成技术，集成规模 ≥ 1 Mb、三维堆叠层数 ≥ 8 层；研制存算一体芯片，实现模式识别应用验证，系统能效相比图形处理器（GPU）提升 2 个数量级。

3. 智能通信架构与可信协议基础

研究内容：针对网络化、信息化面临的日益突出的通信安全、网络干扰及资源瓶颈等问题，突破传统的网络通信架构，探索融合智能计算、内容存储、反馈协同的高效、安全通信新架构及协议新体系。研究基于智能计算的信息通信理论，建立新的网络通信容量表征方法；研究基于反馈的协同通信体制，发展感知环境、业务、内容的智能通信方法；研究网络节点接入行为及链接关系

模型，建立安全可信协议，形成以用户为中心的个性化通信服务架构。

考核指标：建立面向用户的智能信息代理模型和网络链接关系模型，建立用户数据的分布式管控模式；建立基于智能计算的信息通信理论基础，构建智能协同通信体制，通信容量及资源效率提升 1 个数量级；构建可信通信环境，变被动防御为主动拦截，将服务受到的分布式拒绝服务（DDOS）攻击强度降低一个数量级以上。

4. 人工智能元学习理论与技术

研究内容：面向复杂不确定场景下发展稳健人工智能技术的需求，探索系统自学习/自设计、环境自适应的元学习理论与技术。研究元学习中机器对模型、数据和算法的自我学习、设计的理论与技术；研究元学习的环境自适应搜索与优化、知识自推断等技术；研究元学习的统计可解释性理论。

考核指标：形成数据自选择、度量自调节、正则项自设定的机器学习理论基础；实现面向问题/数据的自博弈的学习结构自设计与算法自选择方法；建立一套数据到知识的通用自推断/生成系统；形成基于贝叶斯与统计理论的元学习可解释性理论；在智慧城市或医疗大数据等典型场景中研发示范应用系统。

5. 全息光存储基础理论与关键技术

研究内容：面向海量数据高效存储需求，突破传统光存储二维记录、一维读写的理论极限，探索超高密度、超快传输、超长寿命全息光存储新方法。研究振幅、相位和偏振等多维调制技术，提出优化全息光存储介质的新途径；研究高效编码技术，提升读写速度；研究数据稳定长存新机理，大幅降低存储能耗；研究增强数据存储安全的新方法；设计快速、高效评估存储性能指标的新工具。

考核指标：研制全息光存储设备，存储密度较传统光存储技术（25Gb/inch²）提高2个数量级以上，读取速度>128 Gb/s，写入速度>20Gb/s，数据掉电保存寿命50年以上；研制评估工具，验证以上指标。

6. 微波光子合成孔径成像理论方法

研究内容：面向精准探测和精确目标特性分析需求，突破传统探测系统波段、带宽受限等瓶颈，探索基于光子内核的超宽带合成孔径成像新技术。研究产生和处理相参超宽带微波信号的光子学理论；分析信号跨波段相参融合对成像分辨率的倍增机理；研究获取目标广谱散射特性的新方法，建立目标散射特性数据库，实现高分辨率微波成像。

考核指标：形成产生和处理相参超宽带微波信号的光子学理论基础，基于光子器件产生并处理线性调频微波信号；研制基于

光子内核，连续覆盖 S、C、X 与 Ku 波段的相参成像系统，总宽带 $\geq 16\text{GHz}$ ，二维分辨率 $\leq 3\text{cm}\times 3\text{cm}$ ；实现基于超宽带高分辨率成像的目标广谱散射特性反演演示验证。

7. 纳光电集成芯片及技术基础

研究内容：面向高性能基础器件与芯片的变革需求，建立超小尺寸、超高速、超低能耗纳光电子器件与集成技术基础。研究介观尺度下光场调控的新机理，实现可与微电子芯片融合集成的纳光子器件；研究纳光子器件和微电子器件的融合闭环反馈控制技术；研究纳光子器件和微电子器件融合集成和精准制备技术，实现高速低功耗光电集成芯片；发展超高时空分辨的探测技术，研究器件及芯片的超快动力学行为。

考核指标：阐明介观尺度下光场调控的新机理；研制纳光子器件与阵列单元，串扰 $< -20\text{dB}$ 、工作波长覆盖近红外和通信波段、带宽 $> 50\text{nm}$ 、波长偏差 $< 0.3\text{nm}$ ；实现空间分辨率 10nm 、时间分辨率 100fs 超高时空分辨光学探测；实现纳光子器件与微电子芯片的融合集成，设计 2~3 种光电集成芯片，时间响应皮秒量级，功耗降低一个数量级。

8. 新一代非铂高温燃料电池研究

研究内容：面向新一代质子交换膜燃料电池，重点发展高性能非铂和低贵金属催化剂，制备与新型催化剂催化电极反应动力

学匹配的、低阻抗、稳定的低成本高温质子交换膜材料。大幅度提高非铂燃料电池，特别是在高温条件下的稳定性和可靠性，摆脱燃料电池对铂金属的依赖。

考核指标：阴极非铂催化剂和阳极低贵金属催化剂组装的质子交换膜燃料电池(PEMFC)在运行温度高于 140°C、电压为 0.7V 条件下，电流密度达到 500 mA/cm²，并稳定运行 100 h 以上，功率衰减不大于 10%。

9. 合成气一步法直接制备乙二醇研究

研究内容：创新催化剂体系和反应过程，实现合成气(CO/H₂)或含氧中间体在催化剂表面控制偶联，直接制备高碳含氧化合物，从原理上缩短反应历程，降低过程的 CO₂ 排放和水耗，实现碳基资源的原子经济转换。

考核指标：验证合成气转换的传统条件（温度小于 500°C，压力小于 10MPa）下，CO 的氢助偶联直接偶联生成含高碳氧化合物的可行性，创新合成气转化的新途径。针对合成气直接制备乙二醇过程，CO 单程转化率不小于 10%，目的产物的选择性不低于 50%。

10. 低温区高效热电材料与器件研究

研究内容：颠覆传统窄带隙半导体热电材料体系禁锢，开发面向低温区（高温端<300°C）发电的高效热电材料。利用缺陷、

晶格对称性、自旋等多重自由度调控电声耦合，协同提升热电性能；发展原子尺度及低维结构热电材料可控制备方法及表征手段，利用表界面效应提升薄膜材料热电性能；利用热—电—磁耦合效应，发展电流与热流异向热电技术，实现电子、空穴协同贡献热电转换；发展具有低界面热阻、电阻的热电器件制备方法，提高热电器件的能量转换效率。

考核指标：获得新概念热电材料，在低温区热电材料优值系数（ZT）不小于 2.0，5cm×5cm 小型热电能量转换器件效率达到 10%。

11. 分布式信息能源系统的智能进化机理和设计

研究内容：面向信息和能源耦合的分布式复杂系统，针对其能源节点的时空特性，构建能源节点为智能体的群智能能源网络。突破阿尔法零（Alpha Zero）算法的完全信息博弈环境局限，研究实时变化下的能源复杂系统的分布式智能进化机理，探索其智能进化的最优性和收敛性。开发由智能终端、拓扑结构网络、云平台组成的三层分布式仿真实验平台，采用群智算法建立能源网络群智模型，实现在环境和用户需求变化过程中能源节点运行和各类能源调配方案的可持续进化。

考核指标：开发实时变化环境下的智能进化算法，建立分布式能源网络仿真实验平台支持 12000 个能源节点群智模型实时调

整优化目标，使得系统能效比非智能进化方法提升 15%以上，能源网络随机移除超过 20%节点仍保持稳定；有密集动态热源的信息能源系统在制冷耗电量方面比传统恒温控制降低 40%以上。

12. 高效能仿生型储热材料和过程设计

研究内容：以仿生等级孔结构及复合结构陶瓷新材料及储热系统为研究对象，重点突破等级结构复合结构陶瓷新材料的粒子波传递机理，揭示新材料储热系统的动态运行本质特性。提出基于等级孔结构及复合结构陶瓷新材料储热系统的优化设计方法和运行调控策略。为开发革命性的高效率高可靠性储热技术提供理论和技术支撑。

考核指标：研究可适合于采暖和太阳能热发电等中高温储热的系列等级孔储热材料，包括显热潜热复合储热材料，工作温度 200~700℃，非合金类材料的储热密度达到 200 kJ/kg，导热系数不低于 20W/mK，热循环寿命大于 5000 次，储热、放热能力衰减小于 10%。

13. 稠油化学复合冷采基础研究与驱油体系构建

研究内容：研究稠油微观聚集态复杂分子间作用机制和多孔介质中稠油—化学复合体系—水多相多组分渗流规律，研究不同类型稠油组成及沥青质与胶质分子作用力类型与大小、极性、电性及空间构型特征，稠油流体的表界面性质、体系稳定性、粘性

和流变性特征等，研究化学复合体系微观驱替机理、驱替规律和剩余油分布特征，稠油冷采过程中油、水、驱油体系多组分多相流动机理表征与模拟方法，形成稠油化学复合冷采驱油新理论、新方法，带动我国稠油油藏（包括陆上和海上）经济有效和绿色环保开采技术的发展。

考核指标：建立稠油复杂微观聚集态的实验评价体系，形成稠油分子空间构型预测方法；建立稠油化学复合冷采驱油多尺度物理模拟装置，揭示不同驱油体系与原油/岩石/地层水的微观作用机理和驱替规律；构建化学复合冷采驱油理论，形成稠油冷采化学复合驱油体系设计方法及不同类型稠油油藏复合冷采驱油体系。应用于地下原油粘度小于1000 mpa·s(地面原油粘度小于10000 mpa·s)稠油油藏的化学复合冷采矿场试验，与热采相比，预计平均单井产量由3吨/天增加到5吨/天以上，提高采收率5个百分点以上。

14. 高分辨率地震勘测实时成像技术

研究内容：研究人工智能与地震反演理论结合途径，实现对地质信息的个体化表达，建立地震数据与地质、测井信息的实时融合模型，解决地质先验约束的准确性、普适性和相容性问题。研究基于多种信息实时融合模型的全波形地震反演理论，解决全波形反演对初始模型的依赖性问题，大幅度降低反演多解性。利

用人工智能技术识别并提取不同地质体地震反射信号，对不同反射信号进行选择性和个性化处理。建立地质导向的地震成像理论，突破现有地震成像技术分辨率极限。在新理论基础，研发地震全波形反演和成像技术，建立地震实时成像技术软件系统，并在我国石油勘探中初步应用。

考核指标：建立基于多种信息实时融合模型的地震全波形反演理论和智能化信息选择地震成像理论。建立地震实时成像软件系统，具备野外原始数据处理能力，并在 1~2 个实际区块示范应用。利用全波形反演建立高精度速度模型，精度比现有技术提高 50%。地震成像分辨率达到 1/8 波长，能识别 5~10 米的薄层和 5 米断距的断层。

15. 面向矿床学研究的原位分析新技术

研究内容：针对矿床学研究样品多期次、多组分、多来源的特点，突破传统全分析手段难以提供高时空分辨率信息的瓶颈问题，发展复杂基体条件下的微区原位分析新技术和新方法，实现单矿物微米尺度元素含量和同位素组成信息的高精度测定和可视化，精细刻画元素在岩浆和/或热液体系中的分配行为和富集过程，查明关键控制因素。针对若干重要矿床类型，综合集成矿物组分微区原位分析手段，形成示踪成矿过程和预测矿化中心的新方法体系。

考核指标：升级高精度多元素快速测定和扫描离子探针原位分析技术，将分析束斑缩小到 $<10\mu\text{m}$ ，元素定量分析精度和准确度优于 $\pm 10\%$ ，同时提高分析测试效率。优化激光微区原位分析技术，开发干扰校正、定量化等数据处理方法。开发单个包裹体地球化学成分原位分析技术，将微量元素含量分析精度提高到 $<\pm 15\%$ 。升级矿物微量元素系列原位分析技术，将分析束斑缩小到 $<30\mu\text{m}$ ，实现矿物尺度特殊元素分布的快速二/三维可视化。开发热液矿物稳定同位素原位测试系列新技术，同时研发适合矿床样品分析的固体同位素标准物质，将氧和硫测试精度提高到 $<0.3\text{‰}$ ，铁和铜同位素测试精度提高到 $<0.15\text{‰}$ 。

16. 地球内部超临界流体的性质和效应

研究内容：针对多变量、高度复杂的地球深部岩石—流体体系，革新传统的富水流体和含水熔体二分法认识，探索高温高压条件下超临界流体的结构和成分及其物理化学性质。开发高温高压条件下实验新技术，全方位推进原位测试手段在认识超临界流体结构和物理化学性质中的应用。将第一性原理计算方法拓展到超临界流体，提高理论模拟多组分流体微观相互作用的准确性。对极端变质条件下形成的地质样品开展地球化学综合分析，探索超临界流体在岩石圈深度形成和消失的物理化学条件及其地球化学特征，剖析超临界流体对金属元素的溶解迁移能力。

考核指标：研制带窗口的新型大腔体水热装置。将水热金刚石压腔的温压上限提高到 1000℃和 5GPa，在>0.2mm 尺度上合成多种岩石体系的超临界流体。通过尖端实验技术与多种分析测试技术的联用，实现超临界流体微观结构和物理化学性质的原位测定，将精度提高到±10%。建立第一性原理模拟新方法，准确处理超临界流体的微观相互作用，计算与实验结果相差不超过 20%。确定超临界流体在地球深部形成和发生相分离的温度压力条件，将精度提高到±10℃和±100MPa。查明超临界流体对金属元素溶解迁移能力，找到岩石圈深度区分不同性质流体活动的定量地球化学指标（准确度>75%）。

17. 大型复合材料航天运载器贮箱一体化制造基础

研究内容：针对大型航天器低温推进剂复合材料贮箱的一体化制造，主要研究：低温介质相容的树脂基复合材料体系设计与制备；耐极端环境复合材料贮箱材料—结构—功能多维协同设计理论与方法；大型复合材料薄壁曲面构件的低缺陷成型与低损伤加工；多物理场耦合条件下的复合材料结构性能跨尺度、在线综合测试与评价方法。

考核指标：揭示低温介质与贮箱复合材料体系微观化学/物理交互作用机制；开发满足介质相容性、渗透性与低温力学性能要求的复合材料体系；阐明极端力/热耦合效应下贮箱复合材料结构

的静/动态力学行为与跨尺度损伤演化机理；建立 3~10m 直径的复合材料贮箱材料—结构—功能协同设计方案与复杂环境多尺度力学分析方法；开发复合材料贮箱大型薄壁曲面部件高精度成型与加工工艺；制造直径 $\geq 3\text{m}$ 的复合材料贮箱样件，与同尺寸金属材料贮箱对比减重 $\geq 25\%$ ；建立贮箱综合性能检测/监测与安全评价方法。

18. 超大尺度金属材料构件均质化构筑成形基础

研究内容：针对超大尺度金属构件的均质化制造瓶颈难题，突破“以大铸锭制造大构件”的传统思路，提出超大尺度金属件构筑成形新方法；研发适度尺寸构筑基材的纯净化、均质化、致密化制备技术，新型高性能合金基材制备技术，基材高效加工与表面预处理技术；揭示基材间界面形貌、物理特性对界面结合的影响规律，探索界面微观形貌设计方法、洁净化和活化处理原理与方法，阐明高温、高压、多向形变和复合场调控下的界面愈合规律；研究高性能合金基材体系，建立构筑成形构件的界面表征与性能评价方法，实现构筑成形加工过程的多尺度模拟计算与全流程形性协同控制。

考核指标：揭示基材间界面再结晶、氧化膜分解、原子扩散和演化规律，创建均质化大尺度高品质构件的新型构筑成形理论、方法与工艺技术；通过金属构筑成形，解决超大尺度金属材料构

件的成分偏析、组织均匀性，以及高性能合金构件制造等瓶颈问题；研究出系列的高性能合金基材体系，研制 2~3 种典型的高品质大型产品样件，包括： $\Phi 5\text{m}$ 级合金钢容器高品质锻件（全断面碳元素偏析控制到 $\pm 0.02\%$ 、硬度均匀性控制到洛氏硬度 $\text{HRC}\pm 2$ ）和 $\Phi 15\text{m}$ 级高品质环筒类构件（任意两点强度偏差小于 $\pm 20\text{MPa}$ 、冲击功偏差小于 $\pm 25\text{J}$ ）等。

19. 气体膨胀制冷新原理与技术基础

研究内容：开展不同于“透平膨胀”的气体波动膨胀制冷新方法和新技术研究。主要包括：研究运动波系引起的气体膨胀、压缩和能量转换机理；阐明操作参数、介质类型和结构形式等对波系运动行为和制冷性能的影响规律；研究高压和带液工况下气体波动制冷装备关键部件的设计方法；解决高压、高频和长周期使役核心部件的振动、疲劳断裂等安全问题；研究高强度、轻量化和高热阻等核心部件精密制造技术；研制工业用大型气体波动制冷装备样机。

考核指标：建立相对完备的气体波动膨胀—压缩能量转换理论体系，形成以之为基础的非定常气体波膨胀和运动激波增压技术，研制出过程效率高、尺寸紧凑及稳定可靠的变革性制冷技术装备。研制大型气体波动制冷装备样机，指标为：压力低于 0.5MPa 下流量大于 35kg/s ，膨胀端等熵效率大于 70% ，压缩端等熵效率

大于 90%，转速低于 3000 转/分，可带液 25%wt 以上，并进行初步工业应用验证。

20. 体外生物组织/器官精准制造基础

研究内容：围绕组织器官的体外制造，揭示组织器官复杂结构多材料同步精准成形机理，创建多喷头双闭环复合工艺组织构建理论，研制异质组织器官精准制造关键装备，开展组织器官制造关键科学问题研究。主要包括：研发多工艺融合高精度生物设计制造理论，提出多曲率曲面制造，细胞导向精准排列和功能诱导；组织内部复杂营养通道同步构建等精准成形新工艺和复杂流变材料的多场耦合成形交联机制，制定体外构建异质组织器官的物理及生物功能的评价体系。

考核指标：研制定位精度不大于 $1\mu\text{m}$ ，不少于 6 喷头，支持载 6 种不同细胞材料同时且共点成形，具备喷墨、挤出、光固化等多工艺融合成形设备，水平轴分辨率不大于 30nm，重复定位精度 $\pm 0.6\mu\text{m}$ ，竖轴分辨率 $\leq 100\text{nm}$ ，重复定位精度 $\pm 2\mu\text{m}$ ，精密除振系统水平/垂直方向的固有频率 $\leq 5\text{Hz}$ ，实现平台温控 $0\sim 60^\circ\text{C}$ ，喷头温控 $0\sim 240^\circ\text{C}$ 。开发相应的复杂组织结构优化设计软件；提出不少于 3 种形成细胞定向精准排列制备工艺；完成不少于 10 种复杂三维结构组织及器官（如全层皮肤、角膜、血管等）的精确成形和生物功能验证，其中不少于 5 种进行动物试验评价；构

建的不小于 5mm 直径血管能再现典型血管三层细胞结构（内皮、平滑肌及成纤维细胞层）。

21. 高性能印刷电子器件的高精度跨尺度制造基础

研究内容：针对柔性显示等印刷电子器件的高精度跨尺度制造，研究突破印刷电子器件喷印制造的新型材料、功能墨水、工艺机理和装备原理，主要包括：研究可印刷高性能半导体材料的宏量制备、良好加工性的功能墨水配置、柔性大面积微纳结构高分辨率喷印制造、印刷电子器件系统高效集成等新原理和新方法，建立高性能印刷电子器件的高精度跨尺度制造理论与方法，为电子器件制造从“光刻技术”变革到“印刷技术”提供理论、技术和装备支撑。

考核指标：揭示纳米尺度上有机墨液复合与改性机理、外场作用下功能墨水喷印动力学行为以及微纳结构沉积成形的演变规律，实现印刷电子器件系统的高效集成；从分子层次设计合成高迁移率 ($>15\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$) 有机/聚合物半导体等功能材料及功能墨水；提出大面积柔性微纳结构高分辨率喷印新工艺，适用墨水粘度范围 $1\sim 10000\text{cPs}$ ，喷印精度 $<1\mu\text{m}$ ，喷印面积 $\geq 1\text{m}^2$ ；研发高分辨率喷印装备原理样机，制备包括印刷柔性 TFT（薄膜晶体管）/RGB（红绿蓝三原色）/TFE（薄膜封装）器件阵列、压力/温度传感器、存储/成像/波段选择等功能集成器件。

22. 高品质金属复合板高效制备原理与技术基础

研究内容：针对高品质金属复合板高效制造新方法研究，主要包括：高品质金属复合板轧制成形原理和板形控制理论；复杂辊缝曲线下异种金属的复合机理；高强度波纹型空间结合界面微结构及组织性能演变规律与调控机制；复合板残余应力时空分布规律和动态调控机理；开发高品质复合板高效轧制工艺、原理样机及成套装备。

考核指标：揭示异种金属板轧制的高强度复合机理，建立高品质复合板高效轧制工艺；研制出高品质复合板轧制原理及成套装备样机，实现双层及多层金属复合板连续高效高品质轧制，包括镁/铝、不锈钢/普碳钢、钛/不锈钢、铜/铝等金属复合板等；与传统轧制方法相比：新技术可在较小压下率下（从 60%降低至 45%）或在低温条件下（从 500~1200℃降低至 20~300℃），实现异种金属的冶金结合，结合强度提高 20%、残余应力减小 80%、翘曲度减小 80%。试制出波纹型空间结合界面的金属复合板，宽度 $\geq 600\text{mm}$ ，冷轧厚度 $\leq 3\text{mm}$ ，热轧厚度 3~50mm，不平度 $\leq 3\text{mm/m}$ ，面积结合率 $\geq 98\%$ ，三向残余应力均 $\leq 10\text{MPa}$ 。

23. 大型复杂过流曲面构件仿生设计制造基础

研究内容：针对下一代大涵道比航空发动机风扇叶片为主的大型复杂过流曲面构件，研究仿生设计与制造技术，主要包括：

揭示大型复杂过流曲面构件流固耦合作用机制和生物低噪声飞行与流场控制原理，提出复杂构件结构与性能协调的仿生优化调控方法与策略，研究大型复杂曲面构件的性能映射及仿生创成技术，大型复杂过流曲面构件形/性设计、材料匹配与成型制造工艺，研制出下一代大涵道比航空发动机风扇的仿生叶片。

考核指标：建立表征生物精巧结构降噪参数的物理与数学模型；构建从生物结构到大型过流曲面构件的功能映射模型，形成复杂过流曲面构件的结构仿生设计准则与理论；形成大型复杂过流曲面构件功能的材料异质异性精确匹配与可控制造；应用于下一代大涵道比航空发动机风扇新型叶片的研制，新型叶片气动噪声降低 4dB~7dB，流动损失减小 5%以上，刚度提升 4%以上，强度提升 5%以上。

24. 纳米结构超硬材料的性能调控与精密成形加工

研究内容：以金刚石类共价材料为研究对象，发展高温高压下纳米结构化和复合化的综合性能调控方法，大幅度提升超硬材料的关键性能指标。探索超硬材料硬化、韧化和稳定化的新原理以及新的材料体系，突破大尺寸纳米结构超硬块材合成的技术瓶颈，发展纳米结构超硬材料刀具和对顶砧的精密成形加工方法，阐明该类先进刀具磨损和超精密加工机理，研发出难加工材料和复杂结构加工的变革性新技术。

考核指标：揭示多晶共价材料硬化、韧化和稳定化的物理机制，建立纳米结构超硬块材综合性能调控的原理和技术，显著提高硬度、韧性和热稳定性三大关键性能指标：维氏硬度 $H_V > 200 \text{GPa}$ ，断裂韧性 $K_{IC} > 20 \text{MPa} \cdot \text{m}^{0.5}$ ，起始氧化温度 $T_{ox} > 1000^\circ\text{C}$ ；设计并制备出新型纳米结构超硬材料；优化大尺寸纳米结构超硬块材的合成工艺和综合性能，块材直径从 2mm 提高到 10mm；建立超硬块材的精密成形加工原理和工艺路线，制造出纳米结构金刚石先进刀具和对顶砧并开展性能评估，实现关键难加工材料的切削加工代替磨削加工以及复杂结构部件的超高精密切削加工。

25. 石墨炔能量转换与催化的应用基础研究

研究内容：深入研究和认识石墨炔的形成规律，本征性质与其结构的构效关系，阐明石墨炔特殊电子结构在新能量转换和催化领域引发的新概念、新性质和新效应等，实现在能量转换与催化应用领域的变革性突破。发展高效、可控石墨炔制备新方法，实现宏量生产，获得高质量、大面积、层数可控石墨炔薄膜。

考核指标：实现高质量石墨炔样品的制备（纯度 $> 99.9\%$ ），建立可稳定、连续制备 100 克量级高质量石墨炔关键技术和方法，形成以石墨炔为基础的新型材料体系；建立大面积（ $10 \times 10 \text{cm}^2$ ）、高质量（纯度 $> 99.9\%$ ）单层、少层（3~7 层）石墨炔的可控制备

方法学；揭示石墨炔的物理与化学新性质、新现象与新效应；探索石墨炔在能量转换和催化等领域的新应用模式；构建基于高效化学键可逆转换的新原理快速应变能量转换器件；设计、高效制备石墨炔原子催化剂的新方法，获得 3 类以上基于石墨炔原子催化剂，引领催化领域的变革性创新。

26. 高温高强高热稳定性块体非晶合金新材料与应用基础

研究内容：突破现有技术手段在非晶合金研制中的瓶颈，发展适合非晶合金的材料探索新方法；系统研究元素特征对非晶合金形成成分范围的影响和非晶形成能力随合金成分的演化规律，发展非晶合金成分设计新方法；突破现有块体非晶合金材料的应用限于常规环境的束缚，探索高温高强高热稳定性的块体非晶合金体系并进行验证性应用。

考核指标：揭示控制非晶形成能力的主要元素特征，建立非晶合金成分设计新方法；获得 ≥ 5 个三元合金体系的、完整的非晶形成成分范围；揭示控制非晶形成能力的主要元素特征，建立非晶合金成分设计新方法；研制出临界尺寸 $\geq 3\text{mm}$ 、玻璃转变温度 $\geq 1100\text{ K}$ 、过冷液相区宽度 $\geq 120\text{ K}$ 、 1000 K 的机械强度 $\geq 3500\text{ MPa}$ 的块体非晶合金材料体系，在温度 $\geq 700\text{ K}$ 或工业气体等场景中进行验证性应用演示。

27. 二维电子材料晶圆级外延与异质界面构筑

研究内容：瞄准二维过渡金属硫族化合物新型电子材料的晶圆级制备，突破异质结构构筑等制约其规模化器件应用的瓶颈。聚焦晶圆级二维电子材料外延和异质界面构筑的关键科学问题，发展二维材料进行器件构筑的变革性技术，完成超薄、柔性、透明的高性能场效应晶体管原型器件的原理性验证。

考核指标：针对半导体沟道材料、电极和栅介质材料等构成电子器件的核心材料发展晶圆级二维电子材料制备技术，实现四英寸及以上晶圆尺度单层 n 型二硫化钼和 p 型二碲化钼的取向外延、石墨烯及氮化硼单晶外延；发展以上二维电子材料的晶圆尺度可控加工与异质结构构建技术，获得原子级突变的高质量异质界面；高分辨成像与超快光谱原位结合的表征与探测技术，达到亚十纳米空间尺度和亚百飞秒时间尺度的分辨率；利用全二维材料构筑场效应晶体管并实现纵向器件叠层，实现亚五纳米沟道长度分立器件中的加工，完成超薄（物理厚度小于 10nm）、柔性（曲率半径可达 0.5cm）、透明（透光率大于 70%）、高性能（开关比可达 10^8 ）原型器件的原理性验证。

28. 高灵敏量子阱红外探测材料与器件研究

研究内容：研究多场作用下量子阱的带间跃迁光吸收过程，聚焦光生载流子的逃逸和抽取效率等关键科学问题，阐明光吸收系数增强的机理，挖掘强局域电场调控给量子阱红外探测带来的

新物理特征和新应用潜力；建立多场操控的具有非平衡态特征的带间跃迁量子阱红外探测器的物理模型，研制吸收效率倍增和暗电流干扰免疫的高灵敏红外探测器材料与器件。

考核指标：建立多场调控下带间跃迁量子阱材料中光吸收和载流子输运的非平衡态理论，基于新原理实现新一代带间跃迁的高灵敏量子阱红外探测器；突破传统量子阱光电转换理论的限制，大幅提高光吸收系数（比现有理论值提高 50 倍以上）和光生载流子逃逸率（达 95%以上）；研制出基于带间跃迁量子阱材料的红外探测器，比现有相同波长的薄膜探测器灵敏度提高 10 倍以上，验证该类器件在红外光电转换能力方面超越当前量子阱器件的理论极限。

29. 大面积有机微激光可控阵列技术基础

研究内容：研究大规模制备有机光电功能材料阵列化和复杂图案化的方法。探索超亲液/超疏液材料对流体行为的调控机制；建立界面微区浸润性与流体分割和微区输运之间的关系；探索在微纳米尺度上对基底特定区域进行结构调整和浸润性梯度修饰的新方法；制备定位准确、高质量的有机单晶结构阵列，同时实现复杂单晶结构图案化的制备。为有机激光阵列显示技术的发展提供关键技术的支持，同时为未来光子集成/光电协同技术提供微结构图形化解决方案。

考核指标：阐明相邻晶体结构连接中的晶体融合过程，优化参数，减少在晶体连接中的过度生长，解决在大面积微结构制备过程中的溶液浓度分布均匀性问题；在微区内形成单晶结构可控，实现激光模数从单模到多模的调制；对 10 种以上有机激光材料进行大面积单晶阵列和复杂结构的制备；单晶结构尺寸均匀同时可控制在 $60\mu\text{m}\times 10\mu\text{m}$ 以下；制备规模在 $30\text{cm}\times 50\text{cm}$ 以上。

30. 密码数学难题与密码系统的新原理与新方法

研究内容：格最短向量问题和格最近向量问题、含噪声有限域方程组求解、大整数分解等，发展高效求解的数学理论以及量子计算方法；建立对称密码算法的新型分析理论与方法，分析主流密码算法的安全性；研究密码算法的安全性分析模型，以及在量子计算环境下的攻击方法，并基于格最短向量、含噪声有限域非线性方程求解等困难问题，设计下一代可证明安全的密码体制；探索深度学习方法在密码分析与设计中的应用，研究基于深度学习的密码分析理论与设计理论；针对区块链、卫星保密通讯等系统对密码的重大应用需求，构建灵活性强、安全可靠、执行效率高的密码支撑系统。

考核指标：提出格最短向量和格最近向量、含噪声有限域非线性方程组求解等密码数学难题的新的有效求解算法与相关问题的量子计算算法，计算速度实现提升 10 个量级乃至实现指数级复

杂度提升，或给出其量子计算复杂度；给出基于格困难问题等的公钥密码体制新的分析方法或安全性证明；提出对称密码算法的分析新模型，具有普适性，可用于一类或多类主流对称密码算法的安全性分析；给出密码算法的新的量子分析模型，基于格困难问题等，构建抗量子计算攻击的密码体系；基于自动化搜索以及机器学习等深度学习与分析技术，提出密码算法攻击路线的自动化搜索方法；设计适用于区块链、保密卫星通讯等关键应用实际需求的密码系统，包括密文搜索、新型公钥加密与签名算法、高效同态加密算法、基于属性的密码算法、适合于风险控制的区块链密码系统等。

31. 不确定性系统智能控制的数学理论与方法

研究内容：结合工程技术领域某些典型复杂系统控制问题的背景和特点，重点研究下列科学问题的普适性数学理论和创新方法：复杂非线性不确定性系统基于数据的在线估计算法及算法性能的数学理论；复杂非线性不确定性动力系统的自适应滤波与预测的数学理论和方法；复杂环境下多自主体系统的自主规划与分布式智能协同控制的数学算法及理论；复杂多模态非线性不确定性混杂系统智能控制与反馈能力的数学理论与方法。

考核指标：提出创新性的控制算法、建立相应的数学理论，并在航空航天或电力等高新技术领域的某些典型不确定性系统中验

证其有效性。特别地，建立分布式在线优化算法和基于混杂数据的实时快速辨识算法，并建立相应的算法性能分析理论；在系统参数和边界条件不确定情形下，构造基于多源数据的自适应预测算法，并给出预测精度的理论估计；给出不确定性环境下自主路径规划与分布式自适应协同的数学理论及实现算法；给出多模态多层次混杂非线性系统智能控制的理论与方法，使其能够对付大范围不确定性和具有逻辑演化特性或博弈行为的被控对象。

32. 金融风险的计量理论与方法

研究内容：建立基于现代随机分析和现代概率统计理论的金融风险计量理论体系与防范技术机制，包括：基于现代随机分析的金融市场资产定价理论和金融风险计量理论；金融风险量化方法与高性能计算；投资策略和金融风险计量的人工智能技术；基于金融大数据的金融风险计量与防范系统的设计方法与实现。

考核指标：以金融风险的计量为关键科学问题，构建面向金融大数据的金融风险计量与防范理论体系。提出基于现代随机分析和非线性概率统计的各类金融风险计量的建模方法，突破计量金融市场不确定性的关键技术；揭示金融市场不确定性的动态行为特征与机制、机理；揭示我国金融市场模型不确定性的行为特征与机理，研发金融风险模型验证系统原型；揭示不确定性对系统性金融风险的影响机理，研发不确定性溢价的计量方法；突破

高维资产定价模型和高维风险计量模型的计算技术，实现金融风险的系统性计量和智能监管；研发基于金融大数据的金融风险计算技术平台与风险预警防范系统。

33. 分子可编程精准合成及其生物医学应用

研究内容：借鉴生物大分子的程序性连接化学，发展分子可编程精准合成的新技术。设计合成具有目标活性的分子基元，研发分子基元的精准合成原理和构效关系，合成具有生物调控活性和响应的多基元功能分子，确定其纳米结构，开发靶向、高效、低毒的分子影像剂和药物，为恶性肿瘤等重大疾病的精准诊断与治疗提供新技术。

考核指标：设计合成 10 种以上新的具有遗传编码、自组装作用力、信号功能、调控活性、药学活性等功能的分子基元；利用不同的分子基元，构建具有特定生物学功能与状态，包括可特异性、高亲合力结合靶标分子以及可行成水凝胶、胶束等纳米结构和动态组装体的多基元分子，开发多功能纳米药物；发展恶性肿瘤的超高灵敏原位活体成像新方法，研发新型分子影像剂 2~3 种，实现对于重要分子纳摩尔量级的活体、原位检测能力；开发靶向、高效、低毒的新型药物 2 种，在活体中实现恶性肿瘤的高特异性分配和显著的肿瘤抑制生长活性。

34. 人体器官芯片构筑与功能化

研究内容：针对生命科学和新药研发领域的前沿科学问题，在细胞、组织、器官和系统水平，建立功能化人体器官芯片构筑的新技术、新体系，突破现有研究手段难以模拟人体器官生理与功能特点的瓶颈问题，实现针对重要组织器官关键功能单元的体外多维重建，器官间作用模拟和生命大数据获取；通过集成多参数、多维度、多模态分析手段和数字化数据输出，系统评价与验证人体器官芯片的生理相关性与功能，为新药研发、毒性预测和疾病精准治疗等提供科学依据和技术支撑。

考核指标：利用人源性细胞，建立符合人体重要组织器官关键功能特性的器官芯片体系，可集成高分辨成像、多模传感检测与组学分析等技术。具体包括：针对中枢神经系统、循环系统和生殖系统，建立不少于 2 种具有多种细胞成分、组织屏障特点和组织器官关键功能的人体器官芯片，实现三维（3D）组织动态培养，可模拟对外界刺激的生理响应；建立具有人体生理相关性和器官间作用的多器官芯片体系和模型算法，突破实现多器官集成的技术瓶颈；结合生物传感、高分辨成像和组学分析等方法，实现不少于 6 个指标的组织器官关键功能评价与并行测量；利用构筑的组织/器官芯片，针对 10 种以上药物/活性化合物进行药效/毒性评价与验证。

35. 活体生物组织的超高灵敏谱学与成像探测

研究内容：针对生物医学及交叉领域的前沿科学问题，发展超高灵敏、高空间分辨、无损和不受深度局限的活体生物功能分子信息的获取、重建与可视化新方法和新技术；设计合成兼具高特异性生物功能分子识别、光热/光声转换性能的多效探针，实现肿瘤的示踪和干预，发展具有诊疗一体化潜能的新方法和新技术；针对重要功能分子（如核酸），发展体内外痕量、多指标联合并行检测新原理和高灵敏、高通量微纳芯片新技术；实现三类方法和技术的相互印证，为重大疾病生物标志物高效准确测定提供变革性新手段，为阐明重大疾病的发生发展机制提供关键数据和技术支撑。

考核指标：构建合成出 5 种超极化选择性射频示踪分子，使活体分子成像灵敏度提高 3 个数量级，探测深度覆盖全脑或胸腹部器官，通过欠采样、深度学习、人工智能等技术的高度集成，使数据采集时间减半，达到 0.5 秒，图谱重建时间减少 1/4，达到 1.5 秒，活体深部器官的空间分辨达到 0.5 mm；设计合成 10 种集高灵敏和靶向性于一体的多功能、多模态、高生物安全性的光频或声频示踪探针，探测灵敏度达到纳摩尔量级，并且可选择性杀死肿瘤细胞；探索微纳体系痕量核酸高灵敏度、多指标联合并行检测新原理与低成本分子诊断技术新方法，实现痕量核酸微流控芯片恒温扩增、反应体积<1.5 μ l、检测灵敏度达到 10 个核酸拷贝、

多指标检测通道数>200。

36. 恶性肿瘤的介入精准内放疗和磁热疗

研究内容：突破腔道恶性肿瘤内放疗定量、可控技术难题，探索难以手术的特殊部位肿瘤的精准介入磁热疗策略。构建基于剂量—效应的¹²⁵I粒子植入放射生物学理论，建立多模态影像融合与动态脏器的运动模型，实现¹²⁵I粒子精准植入与手术全过程剂量学验证、管理。综合多模影像融合和虚拟现实导航技术，实现多模影像导引自动精准穿刺及术前仿真；发展支架—放射性粒子的自动化无人装配技术，以及高精密驱动和多模态力/触觉融合与反馈技术，实现主从式机器人宏微复合驱动及视觉、力触觉等多通道操控反馈。研究精准自控温的无毒副作用智能纳米颗粒材料，发展肿瘤精准介入磁热疗技术。

考核指标：发展植入放疗剂量学策略，准确描绘等剂量曲线及三维分布，实现对¹²⁵I粒子种植过程的实时快速监控与优化；发展粒子源自动、精准封装与多模态定位、术中导航技术，实现集视觉、力触觉等多通道信息协同反馈的机器人辅助植入；研发性能优越的自控温智能纳米颗粒（平均直径<50nm，热疗温度42~45℃，控温精度1℃），研发脑肿瘤磁热疗样机，建立相关技术规范；完成实体恶性肿瘤治疗30例以上，至少包括20例腔道恶性肿瘤。

37. 基于铁基超导的下一代高场磁体技术及验证

研究内容：面向未来高能粒子加速器、可控核聚变及高场核磁成像等应用方向，基于铁基超导基础研究和应用基础研究方面的优势和材料特性，突破制约高场超导磁体变革性技术发展的瓶颈，开创铁基超导新应用。揭示制约铁基超导性能的微观机理，探索面向高场应用的铁基超导体系；通过微观结构调控和人工引入钉扎中心等先进手段，发展高性能、高强度和高均匀的铁基超导多芯长线制备技术；基于自主研发的铁基超导导线，突破下一代高场超导磁体关键技术。

考核指标：通过对铁基超导体磁通动力学研究，揭示磁通钉扎微观机理，解决电传输弱连接问题，获得具有优越高场应用性能的铁基线材；发展百米级铁基超导导线的实用化制备技术；掌握导线传输电流性能达 $6 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$ (4.2K, 10T) 的下一代高场磁体关键技术，完成铁基超导高场磁体原型样机示范验证。