

“变革性技术关键科学问题”重点专项

2019 年度项目申报指南

（征求意见稿）

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。

2019 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（含数学）等 6 个领域方向部署项目。

1. 高效热电磁全固态能源转换新材料

研究内容：研究电子-声子-自旋/局域磁场相互作用及其物理新机制和新效应，研发同时具有高热电性能和高磁熵变等多功能的新材料，研究其材料设计、精细结构表征及其构效关系、超快速制备新技术与结构控制原理。研究热电磁多功能新型器件设计与制造方法，热电磁能量转换新原理与热电磁全固态制冷原型系统。

考核指标：建立热电磁多功能特性协同调控理论与方法，发现 2-3 种热电磁全固态能源转换新材料，发展 1-2 种变革性新技术，热电磁全固态制冷原型系统制冷系数达到 3.0-4.0。

2. 铌酸锂薄膜重要片上光子器件研究

研究内容：研究高品质铌酸锂薄膜光波导、光学微腔，以及光学超晶格等光学微结构的制备；研究片上光子频率高速调谐，以及片上纠缠光子对产生；研究以光子频率作为量子信息编码实现量子逻辑门操作；研制片上有源光量子器件、可编程光量子信息处理芯片，及片上光频梳等重要器件。

考核指标：铌酸锂单模光波导损耗达到 0.01 dB/cm 量级，微腔光学品质达到 10^8 量级；片上高速光子频率调制带宽大于 40GHz，半波电压小于 2 V；片上双光子频率纠缠态的纠缠度大于 90%；频率编码两量子比特逻辑门操作保真度大于 85%；光频梳器件谱宽大于 300nm。

3. 高能量密度二次电池材料

研究内容：面向新一代智能电动汽车和可穿戴式设备的需求，突破二次电池的体积能量密度和安全性瓶颈，研究分级纳米超结构负极材料反应过程原位观测和动力学性能调控技术、高能量密度梯度正极材料原位观测和界面调控技术、多级结构纳米导电材料输运性能调控技术和储能器件设

计、材料匹配与制造工艺，研制出新一代高能量密度锂离子电池和柔性可穿戴电池。

考核指标：设计和制备分级纳米超结构负极材料，储锂密度比现有石墨负极材料提升一倍以上；设计和制备高能量密度梯度正极材料，比现有正极材料提升 20%以上；建立纳米正/负极材料的中子衍射、高分辨电镜、Raman 光谱、X 射线三维成像等原位观测方法，设计和制造高能量密度二次电池，动力电池能量密度 $\geq 1000\text{Wh/L}$ ，循环寿命大于 1000 次，安全性达到国标要求柔性，与人体友好的可穿戴高能量密度电池能量密度 $\geq 400\text{Wh/L}$ ，循环寿命大于 500 次。

4. “石墨烯基第三代+”深紫外固态光源器件

研究内容：发展介电衬底上石墨烯的直接生长方法，获得高质量、大面积、层数可控、掺杂浓度和晶畴尺寸可调的石墨烯薄膜，实现宏量制备；研究石墨烯上氮化物薄膜的生长机制，解决氮化物异质外延中晶格失配和热失配的瓶颈问题，建立范德华外延生长氮化物的系统理论，实现大尺寸非晶衬底上高质量氮化物的可控制备技术；研制非晶衬底上深紫外发光器件；发展基于石墨烯的器件转移技术，实现深紫外发光器件的柔性构筑。

考核指标：实现介电衬底上高质量石墨烯样品的直接生长，建立大面积（12 英寸）、层数可控（1~5 层）、缺陷密度可调、单层覆盖率 95%以上的宏量制备方法；实现非晶衬

底上 AlN 材料位错密度低于 $5 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ ，UVC 波段深紫外 LED 内量子效率大于 30%；获得柔性深紫外 LED 的原型器件，建立相应工艺示范线，引领第三代半导体材料制备方法的变革性创新。

5. 宽波段光电探测材料

研究内容：针对全天候、全天时高分辨率对地成像观测需要，开展具有宽波段响应特性的光电探测材料新体系设计；研究其 n 型和 p 型杂质能级特征，并探索其掺杂和激活工艺；研究其异质外延薄膜微观结构及界面特征演化规律，并构造其多层膜；研制宽光谱多波段光电探测原型器件，并演示其对航天光学载荷小型化、轻量化的技术价值。

考核指标：构建起材料组份与禁带宽度关系数据库，实现禁带宽度介于 90 meV 到 4.1 eV 可调可控，实现紫外到长波红外探测的全覆盖；探索出 n 型和 p 型掺杂方案，材料的载流子浓度介于 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 到 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 可调可控；掌握其外延薄膜微观结构-宏观性质-制备工艺的内在联系，实现 2 英寸薄膜及其多层膜的异质外延生长控制；形成宽光谱多波段光电探测器件设计准则，掌握器件制造工艺，所研制原型器件对紫外、可见光、中波红外、长波红外辐射的探测率分别达到 1×10^{13} Jones(350 nm, 77 K)、 1×10^{12} Jones(550 nm, 77 K)、 1×10^{11} Jones(3 μm , 77 K)及 1×10^{10} Jones(10 μm , 77 K)。

6. 超纯净高均质高温合金及其电子束层凝基础

研究内容：电子束精炼高温合金中微量杂质元素去除机制及合金元素调控方法；电子束层凝高温合金均质化控制原理；高温合金熔体团簇结构与杂质元素及合金元素的交互作用；超纯净高均质高温合金的加工制备及其组织与性能。突破现有高温合金纯净度低、偏析高的冶金质量瓶颈，探索超纯净高均质高温合金电子束层凝技术体系并进行验证性应用。

考核指标：揭示高温合金电子束层凝过程中微量杂质元素及夹杂物去除机制；阐明合金元素的再分配规律及层间界面演化机制；构建高温合金中成分与结构的团簇理论模型；研制出杂质元素 $O+N+S \leq 15\text{ppm}$ 的粉末合金和变形合金，粉末合金 650°C 低循环疲劳寿命 $\geq 10^4$ 周次，变形合金 $750^\circ\text{C}/530\text{MPa}$ 持久寿命 $\geq 50\text{h}$ ，分别制作直径 $\geq 150\text{mm}$ 的模拟盘件；研制出杂质元素 $O+N+S \leq 10\text{ppm}$ 、不含稀贵金属的单晶合金，在 $1100^\circ\text{C}/130\text{MPa}$ 持久性能 $\geq 125\text{h}$ ，制作高度 $\geq 82\text{mm}$ 单晶涡轮高压叶片样件。

7. 水伏效应材料与技术

研究内容：研究固液界面电荷传输和能量转换规律，深刻认识功能材料与水相互作用生电的水伏效应机理；开展具有优异水伏效应材料的微结构设计和构效优化方法研究，发展高效水伏效应材料的宏量可控制备方法；研究水伏效应器

件的长效稳定性，建立大规模集成化生产工艺，演示验证水
伏效应的突破性应用。

考核指标：揭示水伏效应机理，建立高效水伏效应材料
体系的优化设计方法；实现平方米级以上的高质量水伏效应
材料的可控制备，单个水伏发电器件稳定输出电压 $\geq 10\text{ V}$ 、
电流 $\geq 10\text{ mA}$ （功率密度 $\geq 10\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ，常规气候条件）；构建生
电、降温、产生净水相协调的生态化水伏效应演示验证系统，
每小时降室温 $\geq 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ （环境温度 300 K ）、产净水 $\geq 1\text{ kg}$ ，引领
水伏效应材料的变革性创新。

8. 复杂油气智能钻完井基础研究

研究内容：研究井下智能传感器响应机理与随钻测录导
一体化协同机制，建立复杂地层参数智能表征与超前探测方
法；研究地层环境自适应的智能破岩作用机理，探索复杂地
层钻井井眼轨迹智能导向控制方法；研究钻井工程参数地面
-井下闭环响应机制，建立复杂地层钻井井筒稳定性智能调控
方法；探索自适应智能钻井液体系，建立钻井液性能智能化
设计、评价与调控方法；研究钻井数据智能流动、融合与自
我净化方法，构建复杂油气钻井智能监控、诊断与决策系统。

考核指标：突破复杂地层钻井超前探测与智能导向控制
方法；建立钻井工程参数闭环调控模型，初步形成复杂油气
智能钻井理论基础；建立钻井工程智能监控、诊断与决策系

统平台。深部复杂地层钻井现场试验，储层钻遇率提高 20% 以上，钻井效率提高 30% 以上。

9. 深部碳、氧循环的金属同位素示踪技术

研究内容：面向开拓非传统金属稳定同位素示踪地球深部碳、氧循环的技术体系。它们包括碳酸盐含有的金属元素，氧逸度敏感的变价金属元素和生命需要的金属元素的同位素高精度分析技术研发；板块俯冲和岩浆过程中这些金属同位素地球化学行为和分馏机制的调查；建立深部碳、氧循环的金属同位素联合示踪的理论和体系。

考核指标：建立高精度多种金属同位素分析技术（包括： $\delta^{26}\text{Mg}$ ，精确度优于 0.05； $\delta^{44/40}\text{Ca}$ 、 $\delta^{98}\text{Mo}$ 和 $\delta^{60}\text{Ni}$ 优于 0.06； $\delta^{56}\text{Fe}$ 优于 0.02； $\delta^{53}\text{Cr}$ 优于 0.03； $\delta^{66}\text{Zn}$ 优于 0.04； $\delta^{51}\text{V}$ 优于 0.08；）；查明板块俯冲和岩浆过程中金属稳定同位素的地球化学行为和分馏机制；给出 2 个板块俯冲带深部碳、氧循环的金属同位素示踪实例；发展放射成因同位素对深部碳、氧循环发生时间的制约技术。

10. 俯冲带深部过程与非生物成气

研究内容：针对俯冲带为地球深部提供充足的碳源和水源，在俯冲过程中发生一系列高温高压变质反应，形成 C-H 循环和 CH_4 等碳氢化合物的特点，突破对甲烷气和氢气资源的认知仅限于地表之下不到十公里的范围内的传统认识，揭示从地球深部到地表 C-H 化合物的物理化学性质和交换机

制，开辟高压有机化学新领域。结合典型俯冲带研究，初步揭示地球深部无机成因气的运移机理。

考核指标：通过金刚石压腔与多种尖端分析技术结合，确立 1-130 GPa，300-2500 K 下烷烃、环烷烃、芳香烃等的物理化学性质及其状态方程。结合岩石学研究，利用大腔体压机和水热金刚石压腔，原位厘定 1-10 GPa，300-1200 K 下水-岩作用形成碳氢化合物的反应机理，准确计算俯冲带 C-H 循环通量，误差在 ± 1 Mt。通过西南天山和西太平洋俯冲带剖析，查明俯冲带 C-H 化合物分离与迁移成藏的有利条件，初步揭示深部无机成因气运移机理。

11. 揭示三维岩石圈物质架构的理论方法体系

研究内容：面向深部探测的重大需求，针对制约深部物质探究的瓶颈问题，综合集成岩浆岩探针及深部物质示踪分析技术，研究全岩 Nd、锆石 Hf 等同位素示踪结果的关联性及其影响因素；探索岩浆岩捕获锆石信息填图等深部物质探究的新方法；揭示区域深部物质探究与地球物理探测、实验模拟结果的相互制约关系，形成以岩石探针及同位素填图为核心的探索深部物质时空分布、三维架构及其演变的新方法体系，实现揭示岩石圈深部物质架构的理论和方法体系集成创新。

考核指标：建立全岩 Nd、锆石 Hf 等不同同位素示踪结果的相互校正指标；探索深部物质探究与地球物理、实验模

拟结果的标定指标；构建一套探究深部物质组成、三维格架的技术方法体系；提供若干研究实例。

12. 油页岩原位转化开采技术的基础研究

研究内容：面向中深层油页岩有效开发利用难题，研究半封闭体系、地层含水、地层压力、地下人工加热条件下有机质转化过程及机理；研究各向异性多孔介质与多相流体耦合条件下的原位高效传热机制及实现方法；研究复合结构催化剂的井下原位合成机理和方法；研究地下产出物、地下环境的热力平衡、地应力平衡以及油页岩岩体变形等产生的环境地质效应。为推进油页岩原位转化开采工业试验取得突破提供理论和技术支撑。

考核指标：研制出 2-3 套油页岩原位转化条件下的动态模拟实验装置，揭示油页岩原位转化开采物理化学过程及机理，形成油页岩原位转化及油藏动态模拟技术，研发 1 套油页岩原位转化开采数值模拟软件；形成低能耗、高效率井下加热方法，油页岩油气采收率实验评价达到 60%以上；揭示油母质在催化剂的酸中心、脱氧中心上的转化途径，研制出 2-3 种催化剂，降低油母质热解反应活化能 15%以上；建立油页岩原位开采条件下生态环境质量评价指标体系。

14. 油/固界面浸润调控智能流体提高采收率基础研究

研究内容：发展油/固界面浸润调控智能流体提高采收率技术，阐明定向流动、原油识别及高效油水分离机理，建立

地层条件物理与数值综合模拟评价平台，开发满足油藏条件的智能响应功能材料，高效切断岩石矿物与原油间离子水合桥，实现地下剩余油高效开采的变革性技术突破。

考核指标：阐明油/固界面浸润调控智能流体设计和制备原理，建立结构设计与功能化开发方法，制备 2-3 种具有不同智能响应机制的功能新材料，实现定向流动及油中完全浸润等特性，室内驱替效率提高 10%以上、波及效率提高 40%以上。

15. 近地空间全天时星敏感器技术基础

研究内容：针对近地空间全天时星敏感器向小型化、自主性、高精度方向发展的瓶颈问题，突破现有光学成像体制局限，探索基于光线方向选择的成像新技术；研究多视场组合恒星探测方法，建立多视场恒星观测信息融合处理机制；研究大气对恒星成像的干扰机理，提出大气层内恒星观测矢量精确校正模型与方法；研究基于全天时恒星探测的自主定位模型与误差补偿方法。

考核指标：提出大视场高信噪比恒星探测与自主定位理论方法，建立大气层内恒星观测矢量精确校正模型；开展原理样机研制与技术验证，在白天晴好天气条件下，在海拔 3km 实现不依赖转动/扫描机构的自主恒星探测与定姿定位，视场 $\geq 5^\circ \times 5^\circ$ ，定姿误差 $\leq 5''$ (3σ)，定位误差 $\leq 200\text{m}$ (3σ)，重量 $\leq 6\text{Kg}$ ，功耗 $\leq 15\text{W}$ 。

16. 大面积薄膜器件与集成系统

研究内容：面向物联网和人工智能等对边缘计算的需求，突破传统纯薄膜显示工艺不能实现智能认知边缘计算的局限，探索电源管理、大面积传感和认知边缘计算及系统集成新方法。研究高性能、高可靠性薄膜工艺晶体管（TFT）器件制备技术；研究兼具高鲁棒性、高性能和高能效的电路与认知边缘计算架构；研究纯薄膜工艺、对大量失效器件不敏感、支持从示例学习的认知计算和系统。

考核指标：TFT 开关比达 10^{10} ，亚阈值摆幅达 0.1V/Dec ，迁移率达 $50\text{cm}^2/(\text{Vs})$ ；从示例学习的认知计算能容忍 30% 器件失效，达到 CMOS 边缘计算能效水平；集成 100×100 传感器阵列的纯薄膜工艺认知边缘计算系统，实现医疗健康、智能交互等示范应用。

17. 基于心理生理多模态信息的精神障碍早期识别与干预技术

研究内容：针对精神障碍的早期精准量化与识别问题，突破传统基于症状描述分类诊疗方法有效指标稀缺、精确度低的局限，探索基于心理生理多模态信息的早期识别与干预技术。研究人体脑电、眼动、语音、行为、影像等多模态心理生理特征与早期精神障碍之间的关联机制，建立多模态信息模型与识别指标体系；研究多模态信息的特征融合方法与

数据驱动的精神障碍早期精准分类、分层识别框架；研究生物信息反馈、运动等非药物干预模型和手段。

考核指标：提出基于心理生理多模态信息的精神障碍早期定量化识别模型和非药物干预技术；研制原型系统，至少包含 6 种模态，对精神障碍的早期识别率达到 90%以上，分类、分层精确度达到 90%以上，干预有效率达到 80%以上；应用于特定人群，经专业医疗机构验证相应指标。

18. 超大容量光纤信息传输处理基础及应用

研究内容：面向未来光纤通信容量数量级增长的需求，针对传统多模态复用光纤通信扩容方案的多入多出(MIMO)信号处理器规模、运算量随模态数分别呈平方、近立方增长关系，从而造成信号处理瓶颈、难以实用化等问题，研究利用光纤新型模态、降低信号处理规模、实现超低运算量的变革性模态复用系统原理和关键技术，进行系统集成与实时数据传输实验。

考核指标：提出超大容量光纤信息传输处理方法，每光纤通信容量相比传统单模光纤的现有实验室水平(80Tb/s)增长 600 倍以上，而运算量增长相比传统扩容方法降低 3 个数量级以上；在实际运行的数据中心或超算中心间进行输入输出数据流量相等的实时数据传输验证，传输距离不小于 100 千米、容量达到 50Pb/s。

19. 多维并行图计算模型

研究内容：针对传统串行处理计算模型不能有效处理大规模组合优化问题的挑战，研究适应于大规模图问题求解的多维并行计算模型。提出适于并行计算的多维数据结构及其运算规则，支持常规运算及多功能运算，包括连接运算，信息传递运算等；提出适于多维并行图计算模型的计算机体系结构；寻找相适应的实现材料，如电子器件、合成材料、生物材料等，研制基于新型计算模型的计算机原型系统。

考核指标：提出多维并行图计算模型，阐明新型计算理论的关键颠覆性因素；给出基于新型模型的计算机体系结构；研制节点数不少于 10000 的图信息处理计算机原型系统，相比传统计算机处理能力提升 10 个数量级以上，并实现计算机漏洞搜索等典型应用验证。

20. 空间非合作目标智能附着基础问题与关键技术

研究内容：针对着陆器在太空非合作目标上着陆易失控和倾覆损毁等难题，突破传统着陆器的未知环境信息确定化策略刚性附着模式，通过将柔性着陆体智能化环境感知融合，建立着陆器在非合作目标上自主匹配式降落。研究智能柔性稳定附着与环境自配准，非一致约束智能协同与约束导向规划，暗弱目标环境自感知与曲率制导技术，弱引力、暗目标、非合作等约束的主动智能附着技术；建立弱引力附着地面模拟系统，研制智能附着原理样机。

考核指标：提出空间非合作目标智能附着技术方法；完成弱引力场等效模拟与智能主动附着地面试验验证，附着系统智能节点 3 个以上；相比传统附着技术，智能柔性附着系统弱引力末端容忍速度提高 3 倍以上、末端位置具有自适应能力。

21. 微波无线能量传输技术

研究内容：面向远距离和自适应微波无线能量高效率传输的迫切需求，研究微波无线能量传输的收/发匹配理论，突破传统设计无法在远距离和自适应条件下获得高效率的局限；研究点对多点微波能量相控发射技术，以及大功率动态变化下高效整流技术；针对地质灾害无线传感器网络，设计高效和自适应微波无线能量传输工程应用系统。

考核指标：建立高效率微波无线能量传输系统的收/发空间匹配理论，在 100m 距离和 1kW 发射功率下实现直流到直流传输效率大于 20%，微波功率 10dB 动态变化内整流效率不低于 70%；针对地质灾害无线传感器网络，完成高效和自适应微波无线能量传输工程试验，传输距离大于 200 m、接收点数量大于 20 个、覆盖区域大于 50000 m²、单点获得直流功率不小于 10W。

22. 面向天文观测的空间分布式合成孔径光学干涉成像关键技术

研究内容：针对天文直接观测临近系外行星的高动态、高分辨率应用背景，分析可见光波段的目标特征提取与特性表征和空间干涉阵列编队控制需求，围绕合成孔径光学干涉成像涉及的天体目标特性、阵列控制精度等因素，研究 Fizeau 型、Michelson 型及混合型阵列高分辨率、高对比度干涉成像望远镜技术，建立系统仿真模型，研究光学合成孔径系统的共相探测与控制技术、合成孔径干涉成像的基线测量及变阵技术、干涉动态图像处理与复原方法，研制干涉成像光机系统和悬浮实验平台，实现技术验证与功能演示。

考核指标：构建微重力环境下干涉成像光机系统和悬浮实验平台，分布式望远镜口径不小于 70mm、数量不小于 3 个，至少实现两型干涉成像；针对不少于 5 种的典型合成孔径组阵场景，实现技术验证与功能演示。微重力悬浮实验验证系统干涉成像空间分辨率比单孔径提高 10 倍以上，等效合成口径不小于 800mm，最大基线长度不小于 800mm，干涉成像光谱带宽不小于 200nm，Fizeau 型成像时视场不小于 1 角分。

23. 铝合金薄壁构件超低温成形制造新原理与关键技术

研究内容：针对现有的冷成形与热成形两大类技术制造铝合金整体薄壁构件存在的难题，提出铝合金超低温成形新原理；研究复杂应力状态超低温下铝合金及搅拌摩擦焊接头双增效应和成形极限提高的微观变形机制；超低温复杂加载

条件下铝合金各向异性屈服与流动模型；铝合金构件超低温成形过程组织性能演变规律；铝合金复杂薄壁构件超低温成形过程缺陷形成机制与调控方法；铝合金板类/管类构件整体成形工艺、模具与超低温成形装备关键技术。

考核指标：发现超低温条件下铝合金及搅拌摩擦焊接头成形极限提高的新机制；揭示复杂加载条件下铝合金超低温宏观变形规律及缺陷形成机制；建立铝合金薄壁整体构件超低温成形工艺技术体系；研制出超低温成形设备样机(成形力 $\geq 20\text{MN}$ ，最低成形温度 -196°C)； -190°C 超低温下，铝合金及焊缝成形极限比室温提高 50%以上，壁厚均匀性提高 20%以上；试制出 Al-Cu、Al-Mg-Si 和 Al-Li 合金 3 个系列铝合金典型样件，包括火箭整体箱底（直径 $\geq 2000\text{mm}$ 、厚径比 $\leq 2\%$ 、贴模度 $\leq 0.5\text{mm}$ ；T6 态抗拉强度 $\geq 400\text{MPa}$ 、延伸率 $\geq 5\%$ ）。

24. 极端工况高稳定性大型天线反射面板的材料结构一体化精密制造基础

研究内容：面向微波探测等重大工程对大口径天线制造的需求，研究极端工况高稳定性复合材料夹层结构大型反射面板的精密制造基础理论和关键技术。主要包括：大型反射面板材料结构一体化设计理论与方法，高稳定性大型反射面板材料结构一体化制造理论与工艺，微波频率选择性天线多层结构金属化反射面设计制造理论与技术，大型天线反射面板精度检测、性能评价与模拟验证。

考核指标：揭示宽温域大型反射面板热变形对面型精度的影响规律，创建高稳定性大型天线反射面板材料结构一体化优化设计方法；开发大型反射面板成型与加工工艺、微波频率选择性天线反射面制造工艺，形成大型反射面板材料结构一体化精密制造理论与方法；建立大型反射面板精度检测、性能评价与模拟验证方法；制造亚毫米波天线反射面板样件，尺寸 $\geq 2\text{m}\times 4\text{m}$ ，面型精度 RMS 优于 $40\mu\text{m}$ ， $-80\sim +120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度范围内面型精度 RMS 值变化 $\leq 10\mu\text{m}$ ，太阳吸发比 ≤ 1 。

25. 重型运载火箭薄壁结构立式装配理论与技术基础

研究内容：针对重型运载火箭薄壁结构的大尺度、弱刚性、自重变形特征对装配精度和性能的影响，研究燃料贮箱壁板变序列原位拼装的过约束定位、分片拼装过程在位检测及其误差自适应补偿方法，形成超大薄壁结构装配偏差实时校正与精度创成新原理；研究薄壁筒段校形的变拓扑内撑机构设计、刚度非均匀筒段的校形机构运动反解算法，探索超大薄壁筒段偏差的整体协调校形新方法；研究高刚度镜像对称焊接的双并联机构设计、搅拌摩擦焊镜像支撑与机器人恒力控制方法，建立超大筒段镜像支撑搅拌摩擦焊新技术；研究厚板搅拌摩擦焊缝厚向组织演化规律、长程焊缝搅拌摩擦焊变形控制机制，形成重型运载火箭贮箱的壁板-筒段-箱体焊铣装一体化立式装配新技术。

考核指标：揭示超大薄壁结构装配序列与偏差场的动态映射规律，发现局部刚度与整体柔度复合作用的多点超静定变形协调机制，建立镜像对称制造的轨迹-模态-频响匹配原理与协同控制方法，发展重型火箭薄壁结构立式装配工艺模式；形成超大薄壁构件整体协调校形、镜像支撑搅拌摩擦焊以及焊装误差自适应控制新技术，建立重型火箭燃料贮箱立式装配的原型实验平台，实验样件焊缝连接系数大于 0.9，对接面圆度小于 0.4mm/1000mm，端面同轴度小于 0.5mm/1000mm，面差小于 0.05mm/1000mm

26. 大型复杂构件机器人化智能装备协同加工基础研究

研究内容：针对航空航天、能源、运载等领域大型复杂构件铣削、光整、钻铆等对加工装备的特殊需求，研究大型复杂构件机器人化智能装备协同加工的新模式、新原理和新装备。主要包括：高性能机器人化加工单元的设计与控制、现场加工装备-工件系统在位测量与精度调控、工艺知识与多传感器信息驱动的多机协调控制、加工过程在线监控与加工质量评价、大型构件测量-加工-监控一体化验证平台等内容，为超大型复杂构件制造模式的变革提供理论与技术支撑。

考核指标：建立机器人化智能装备自寻位与多工序协同加工新原理，探索大型构件重载加工过程中多机/工件系统精度与加工性能保障新机制，提出大型复杂构件多机并行加工中多源信息融合与协同控制新方法，研制多机器人协同作业

的机器人化智能装备系统，包含 4 台以上移动式机器人加工装备，定位精度优于 ± 0.05 mm，行程大于 5 米，在超大复杂构件高效高精加工中得到演示验证，面型误差小于零件尺寸的 0.05%、表面粗糙度 $\leq Ra3.2$ 。

27. 微型核反应堆超高温非能动热传输系统制造关键科学问题

研究内容：针对空天、海洋巡/潜航器、海岛与海洋平台等国家战略领域对高功率微型核能装置的重大需求，突破核反应堆微型化关键理论与技术瓶颈，研究微型核反应堆超高温非能动热传输系统关键制造科学问题、技术与装备。主要内容包括：金属锂/锂合金热管超高温非能动热传输原理与实现方法；适配于液态金属锂/锂合金工质特性的毛细结构设计原理与方法；钼基合金管内壁毛细结构高效精密成形关键技术；液态金属锂/锂合金热管封装、测试成套技术与装备；金属锂/锂合金热管集束阵列热传输系统与堆芯/发电端耦合连接的适配性及可靠性影响机制，为实现微型核反应堆超高温非能动高效热传输提供制造理论与技术支持。

考核指标：揭示超高温热管液态金属锂/锂合金相变传热及其微型核反应堆服役条件下热传输机制；提出超高温热管钼合金管壳、毛细结构精密成形与高可靠封装新方法、新技术；研制 1 套钼合金管内壁毛细结构连续成形装备；研制 1 套超高温锂/锂合金热管封装与热管阵列集成装配新装置；单

根锂/锂合金热管长度满足微型核反应堆系统要求，工作温度 1600-1800 K、热传输功率 ≥ 15 kW；形成 1 套热管阵列热传输系统与堆芯/发电端耦合连接的装配工艺，搭建适用于百千瓦级微型核反应堆热管集束阵列热传输实验样机 1 套，完成运行温度 ≥ 1600 K、与高压氦气（ ≥ 8 MPa）耦合换热及考虑磁场扰动等多因素耦合工况条件下 ≥ 5000 h 的测试验证。

28. 余辉寿命可控高品质 LED 制造基础

研究内容：余辉可控高品质 LED，是指基于稀土的交流 LED 余辉的光容量和释放过程调控，达到光效大幅度提升、频闪和颜色偏差进一步减小的高品质 LED，通过对其制造基础理论研究，实现其制造工艺和装备技术的突破。主要研究内容包括：余辉可控的材料陷阱中心形成机制；稀土半径、电荷和材料粒径、形貌对陷阱中心和电子传递的影响和调控机制；余辉可控微纳材料复合的设计新方法，材料配制中发光、散射等光功能属性；材料功能粒子可控分布；交流 LED 余辉可控微纳材料高均匀度（如辊压、旋涂、喷涂等）成膜和 LED 器件制造方法、制造工艺和技术装备。

考核指标：探明余辉可控材料的陷阱中心调控机理；揭示余辉可控微纳材料配制中发光、散射等光功能属性失配的机制，研究出调控器件光谱及亮度、改善器件光色均匀性的 LED 制造方法和技术；相对于传统技术制造的余辉可控交流 LED 器件，光效提升 30%以上、频闪弥补提升 10%以上，空

间颜色偏差缩小至 100K 内（传统技术 > 1000K）；开发出高均匀度交流 LED 余辉可控微纳材料成膜和 LED 器件制造方法、工艺技术及其制造装备样机。

29. 新型树脂基复合材料飞机壁板结构件的制造基础

研究内容：针对轻质高强复合材料飞机壁板结构件制造的重大需求，研究以下内容：开发兼具热塑性易加工和热固性高强度特性的新型树脂；研究复杂三维新型树脂构件的成型制造新技术和新工艺；研究新型树脂基复合材料 T 型加筋飞机壁板结构件的一体化制造新方法；研究新型树脂及其复合材料结构件制造的评价方法，包括力学性能、树脂和纤维的可回收性、制造过程的环境友好性等。解决传统热固性树脂无法三维成型制造的难题，解决传统胶结共固化方法制造效率低、装备复杂等问题，解决传统热固性树脂基复合材料无法降解回收再利用的难。

考核指标：揭示共价键可控交联-降解机理，建立制造过程的力-热-化学模型；开发兼具热塑性易加工和热固性高强度特性的新型树脂；实现新型树脂复杂三维结构件的成型制造；实现新型树脂基复合材料 T 型加筋飞机壁板结构件（面积：1m×2m 以上）的一体化制造；能同时回收复合材料中的树脂和碳纤维，回收的连续纤维的强度下降小于 10%。

30. 气动升力协同高速列车技术基础研究

研究内容：在不改变现有高速铁路格局条件下，探索气动升力协同利用高速列车设计原理和技术，实现节能降耗和提升运营速度的目的。研究高速铁路限界约束条件下升力翼设计技术；建立升力翼与车体融合设计方法；研究横风作用、会车和隧道通过等运行场景的升力精确控制技术；研究三维仿生编织材料车体轻量化技术；建立轮/轨/车体/升力翼/流场耦合作用车辆动力学性能分析和评估方法；提出气动升力协同高速列车设计方案。

考核指标：揭示出气动升力高速运行中的减阻降耗机理，形成高速铁路限界约束条件下的升力翼设计方法和技术；形成气动升力协同高速列车动力学性能评价方法和技术；形成新型高速列车设计方案并完成综合性能实验验证，在单车明线实验速度 400~500 km/h 条件下，气动升力减小车辆轴重 20~30%，在横风作用、会车和隧道通过条件下，列车动力学性能指标满足高速列车设计规范。

31. 微藻减排烟气高效生产蛋白质机理研究

研究内容：研究光合作用系统基因水平-蛋白表达水平-光合系统相互作用的新机理。采用系统生物学和基因工程手段，开创性的实现基因水平--蛋白表达水平--光合系统上综合调控微藻光系统活性比（PSI/PSII）和光合商（PQ），开辟从亚细胞水平提高微藻光合系统效率的新途径，最终实现微藻高光转化效率和固碳效率。

考核指标: 微藻规模养殖 (养殖面积 10 万平米) 产量超过 30 克 (干重) / 平米 (反应器占地面积, 含间距) / 天 (全年平均值), 光转化效率大于 2.5%; 室内养殖光转化效率大于 10%; 微藻养殖成本低于 1 万元每吨 (干重), 接近商业化水平; 实现烟气中 NO_x 的高效脱除和高纯度硝酸/硝酸盐的生产, 烟气 NO_x 含量 < 50mg/m³; 开发 3 种以上微藻蛋白功能饲料产品, 蛋白含量等指标达到新资源食品 (无重金属、可食用) 要求。

32. 新型锂浆料储能电池研究

研究内容: 基于浆料电极结构与材料的精细调控, 发展电力储能用锂浆料电池, 开发浆料电极的制备技术和电池系统的换液再生技术, 降低储能电池成本, 提高安全性能, 实现大容量锂浆料电池的规模制备。

考核指标: 电池单体容量 ≥ 300Ah, 能量密度 ≥ 100 Wh/kg, 成本 ≤ 0.7 元/Wh, 电池强行短路后不起火不爆炸, 预计日历使用寿命 ≥ 10 年; 储能示范电池系统容量 ≥ 0.2MWh, 具备换液再生和安全剂注入维护功能

33. 超结构多级孔柔性储能器件

研究内容: 发展跨尺度、多维度、多功能基元的模块化、程序化超组装新技术, 实现介孔基元与柔性功能基元可控组装, 构筑超结构多级孔材料体系, 精确调控其孔性质和微纳结构实现物性优化, 研究超结构多级孔材料在柔性储能器件

应用中关键基础和技术问题。

考核指标：发展柔性超结构多级孔电极材料、新型柔性集流层、柔性电极和柔性电解质制备技术，研制 2 种以上新型柔性储能器件；柔性电池比能量 $\geq 300\text{Wh/kg}$ ，循环寿命 ≥ 500 次，保持率 $\geq 85\%$ ；弯折 1000 次后器件容量保持率 $\geq 90\%$ ，安全性达到国标要求。

34. 物理法处理石化废水研究

研究内容：揭示废水湍流动力学与微米级颗粒材料运动学及污染物传递的关联分离机制，构建以废水中微米级颗粒高速自转、自公转耦合为核心的物理分离系统技术，研究出以物理分离为主、生物化学方法为辅的废水复合处理工艺流程技术和工程装备技术。

考核指标：在废水处理整体达标排放的前提下，与现有技术相比，化学药剂用量减少 90%以上，油泥、浮渣、VOCs 废气量的减排 80%以上，综合处理成本下降不低于 50%。研究出包括海上平台油气废水、石油炼制废水、甲醇制烯烃废水等五类石化废水的物理分离新技术和新装备样机。

35. 可隔热发电的新一代有机光伏技术

研究内容：发展可集成于多元化技术和应用领域的新型高效有机光伏材料体系，研究高性能近红外波段的光敏层材料及界面层材料的宏量制备及纯化工艺以及半透明柔性有机光伏器件新型结构；结合大面积印刷和封装工艺，建立高

性能有机光伏器件模组的制造理论与方法，发展器件集成关键技术。

考核指标：实现颜色可调、红外隔热率超过 90%、效率达 12%及可见光透明度大于 30%的半透明有机光伏器件；小面积有机光伏器件效率达到 18%或世界最高水平，面积 100 平方厘米有机光伏组件效率达到 12%或世界最高水平；封装器件的稳定性达 10 年以上；实现可隔热发电的半透明有机光伏器件的多功能一体化示范应用系统。

36. 纳米界面高效酶催化及传感技术

研究内容：面向未来精准医疗、个体化治疗等与人民健康息息相关的国家战略需求，基于我国在表界面以及纳米酶的基础研究和应用基础研究方面的优势，突破制约生物/纳米酶催化动力学的变革性技术发展的瓶颈，开拓酶传感技术前沿。设计并构筑具有特定微观结构的酶催化反应界面，探索酶动力学和界面结构之间的构-效关系，大幅提升酶动力学；鉴于生物酶的稳定性问题，发展纳米酶，通过纳米酶表面微结构及组成调控，揭示纳米酶的催化机理，提高其催化动力学和选择性。基于自主研发的高效酶催化反应体系，发展下一代高效生物酶传感关键技术。

考核指标：（1）通过酶催化反应微观界面的合理设计，在揭示酶本征催化动力学的同时，制备出适合高效酶催化的界面材料；（2）阐明纳米酶催化的本质，构建构效关系理论

模型，指导开发三种以上性能稳定的高效纳米酶，其室温工作寿命可以达到1年，在4-60度，pH 3-11的环境中稳定工作3个月；（3）开发一系列高效酶传感器件，以血糖为例，线性范围（0-30毫摩尔）、检测灵敏度（>0.1微安/毫摩尔）、选择性（>90%）。希望将国际误差标准从±20%提高到±10%。

37. 合成塑料降解酶的定向进化工程及应用技术

研究内容：分离筛选量大面广的通用塑料的高效降解菌株，鉴定塑料降解酶和基因；解析塑料降解酶底物结合态高分辨晶体结构，揭示塑料降解酶的分子机制，开展酶的定向进化与改良，提高酶的催化活性及稳定性；实现塑料降解酶在多种表达系统中的高效表达和镜像生物学系统的酶合成，实现塑料降解酶制剂的规模化制备；开发化纤织物表面酶预处理技术和塑料生物降解处理技术。

考核指标：（1）分离鉴定聚乙烯、聚苯乙烯、聚丙烯、聚酯、聚氨酯等五种量大面广的通用塑料的降解菌株5-8株；（2）鉴定塑料降解酶2-5种；（3）解析塑料降解酶的晶体结构，获得定向进化改良的高效降解酶制剂3-6种；（4）实现3-5种含400个氨基酸以上的镜像塑料降解酶的全化学合成，优化合成方法，将镜像蛋白质合成的成本降低30%以上；（5）实现3-5种化学合成纤维织物亲水化预处理（水接触角小于30°）。

38. 肿瘤单细胞精准捕获及高分辨单分子分析技术

研究内容：针对恶性肿瘤（如肝癌、乳腺癌、前列腺癌等）的发生、发展、复发、转移及耐药监测这一世界性难题，重点构建痕量肿瘤细胞的分离富集技术，发展高时空分辨单个肿瘤细胞、活细胞膜上单个生物分子及内源性生物功能分子的分析技术。研究肿瘤细胞与界面特异识别规律，构筑仿生高效分离材料与器件；发展高分辨单细胞检测分析技术如量子微观磁学技术、单细胞高分辨磁共振技术，精准测量单个肿瘤细胞、内微环境中细胞器及膜蛋白功能与构象在治疗前后的改变；发展时空高分辨单分子光谱分析技术，研究细胞膜上单个生物分子在外界刺激下位置与构象的特征变化；发展可用于临床的内源性生物功能分子信息的无损无深度限制的获取、重建与可视化新方法和新技术，研究原位介微观水平肿瘤演进与重要分子代谢异常和影像的时空关系；构建兼具宏观视场和介观分辨率的多目标观测跟踪技术和平台，揭示恶性肿瘤转移中多单体肿瘤细胞的器官亲嗜性等重要规律。

考核指标：（1）基于仿生原理的痕量循环肿瘤细胞富集技术，获得 3-5 种特异富集分离材料，达到 90%以上的富集效率；（2）基于量子原理的微观磁学技术及单细胞磁共振技术，分辨率达到 1 微米，实现单个肿瘤细胞与跨膜蛋白分子的磁学检测与实时构像；（3）时空高分辨的单分子光谱分析技术，空间分辨率小于 5 埃、时间分辨率达到 10 毫秒，实

现膜上生物分子位置与构像的精准测量；（4）活体非质子元素原位代谢波谱新技术，临床实现至少 5 种重要内源性生物功能分子的高灵敏探测；（5）厘米级视场亚微米分辨率的群体肿瘤细胞跨尺度迁移动态成像技术，实现十亿像素计算显微动态成像。

39. 基于生物纳米孔的新型生物大分子测序和检测技术

研究内容：面向长读长、高精度、小型化低成本的生物纳米孔核酸测序技术的临床应用需求，针对目前纳米孔测序技术发展的纳米孔质量差和测序精度低等问题，突破新型生物纳米孔制备和新型测序方法的瓶颈。研究各类生物纳米孔结构与功能，揭示其组装与形成的分子机制；解析各类新型纳米孔的三维结构并对其进行优化改造，系统发现和筛选适合高精度生物大分子测序和检测的新型纳米孔体系；发展新型生物纳米孔的大量制备、支撑阵列和上膜嵌孔技术；发展新型纳米孔核酸测序和蛋白质检测技术，实现高精度和高读长的核酸测序和高灵敏度的蛋白质检测；完成有应用价值的纳米孔测序样机。

考核指标：（1）发现和鉴定3-4种具有单碱基分辨能力的新型生物纳米孔体系，解析其原子分辨率的三维结构和阐明纳米孔组装与形成的分子机制，并对其进行优化和改造；（2）发展2-3种新型纳米孔稳定制备、支撑阵列和上膜嵌孔技术；（3）基于以上新型纳米孔发展纳米孔核酸测序方案和蛋白

质的检测技术和测序方案，实现10kb长读长，单次过孔90%以上准确率的DNA测序，原理上展示直接RNA测序及蛋白质的序列识别；（4）完成具有自主知识产权的新型纳米孔核酸测序的样机验证。

40. 基于定制芯片的生物体系全原子分子动力学模拟专用机原型系统

研究内容：面向生命科学、生物医药等多学科前沿交叉领域重大需求的共性关键技术-生物体系全原子分子动力学模拟，突破现有基于通用芯片的计算机体系架构以及先设计芯片和整机硬件再开发应用软件的传统模式，采用应用程序开发引领芯片和整机硬件协同设计变革性方式，结合我国在生物体系分子动力学模拟研究，以及自主计算机芯片与整机硬件研制方面的科技优势，揭示生物体系全原子毫秒时间尺度分子动力学模拟的制约因素以及内在缺陷，在现场可编程逻辑门阵列（FPGA）软硬件协同设计环境下，通过设计各种不同函数高精度计算的硬件加速模块及各模块间的片内高速互联，开发片间高效通信及并行模拟算法，构建多个定制软硬件协同工作的原型系统，为解决下一代百万原子生物体系毫秒级全原子分子动力学模拟的算力瓶颈问题提供软硬件协同设计技术路线。

考核指标：（1）实现一整套适用于生物体系全原子毫秒时间尺度分子动力学模拟的FPGA定制芯片硬件体系结构，

以及相应应用软件设计方案的原型系统；（2）采用该FPGA原型系统完成对单个定制芯片以及定制网络互联下多个芯片整体的功能、性能和稳定性验证；（3）在该原型系统中实现2类（脂溶性和水溶性）典型生物体系单FPGA卡百万原子1天模拟1纳秒的计算性能。

41. 社交与情感的生物学基础和转化研究

研究内容：基于我国在家犬基因组、基因编辑和克隆等基础和转化应用方面的国际领先优势，以及经过三万多年人工选育后家犬所展现的千变万化的各种性状，活跃的社交和丰富的情感（包括与人类的跨物种共情）等特性，建立以家犬为模式生物的社交与情感以及认知功能研究流域，揭示人类社交和情感的遗传和神经生物学机制，并在认知和精神疾病药物研发上取得突破。发展高效，精准的家犬基因编辑和克隆技术；创建家犬社交、情感和共情的定量评价体系以及大脑结构和功能分析技术和平台；突破传统动物模型的限制，推动家犬作为新一代模式动物在生命科学基础和转化应用研究中的应用。

考核指标：（1）利用基因组、转录组、蛋白组等组学手段鉴定控制家犬社交和情感等的关键基因和蛋白调控网络；（2）建立高效精准的家犬基因编辑和克隆技术，针对重要的社交和情感相关基因，创建家犬突变体模型；（3）创建家

犬大脑发育、结构和功能，以及社交和情感检测体系和平台，筛选和测试改善社交和情感异常的候选药物。

42. 类脑智能的模块化计算及其数学基础

研究内容：发展和应用数据同化、机器学习等方向的现代数学理论方法，建立功能磁共振成像、弥散张量成像等多维度、多模态高精度实验数据测量规范与标准，构建实验测量数据驱动的、基于电脉冲发放模型的全脑神经计算模型。依靠全脑计算模型，对于一些重要的脑功能模块（如奖励、惩罚等区域）的演化与测量的动态实验数据进行交叉验证，促进理解脑功能模块以及全脑工作机制，逐步提高该全脑计算模型的可靠性，发展新型模块化学习算法，促进新一代人工智能算法的发展和应用。

考核指标：在整合激发等神经动力学介观水平上，建立与现有实验数据相匹配的、供脑科学家做计算测试的全脑神经计算模型。形成一套适合于大规模、多尺度建模的严格数据同化、机器学习等理论。构建新型模块化学习算法，在人工智能相关的应用领域中有效果较好的运用。

43. 集成电路设计中的新型计算方法及数学理论

研究内容：面向后摩尔时代新一代集成电路的设计与制造，重点研究下列科学问题的创新计算方法与数学理论：研究纳米尺寸大区域版图工艺仿真的高效高精度算法及自适应误差控制理论，基于全波模拟研究三维光刻的可计算模型

与新型计算方法及其有效性的数学理论；研究纳米尺寸半导体器件的多尺度计算方法及其收敛性的数学理论；研究下一代光电元件材料的电子结构可计算模型与高效算法，包括可靠性、有效性与误差控制的数学理论；研究机器学习与自适应结合的电路智能优化设计及成品率分析方法与理论。

考核指标：提出新一代集成电路场路耦合模型的自适应算法以及三维光刻全波仿真的快速算法，建立算法的可靠性和误差控制等数学理论，构建新一代场路分析工具原型系统；提出纳米半导体器件的多尺度模型与新型计算方法，建立问题的可解性与计算方法的收敛性等数学理论；建立第一原理电子结构计算中典型模型的逼近可靠性与有效性以及误差控制的数学理论；建立二维材料无公度体系的可计算模型，发展相应的数值方法，为下一代光电元件材料的光电性质模拟和预测提供科学计算手段；提出智能电路优化方法，优化效果优于模拟退火、进化算法等随机优化算法；提出成品率智能分析方法，将成品率分析效率提高一个量级。

44. 颠覆性技术感知响应平台研发与应用示范

研究内容：研究科技资源集成应用技术，开发建设面向颠覆性技术识别的科技资源池；研究颠覆性技术动态、智能感知响应方法与技术；研究颠覆性技术识别的准确性验证方法和技术；开发一套包括资源采集处理、颠覆性技术识别挖掘、可视化分析等的情报分析工具；研制集成上述工具的颠

覆性技术感知响应平台，构建平台运营服务体系，开展示范应用。

考核指标：构建比较系统的颠覆性技术感知响应模型和体系，在颠覆性技术动态、智能感知响应方法与技术取得创新突破。围绕科技前沿、科技文献、科技人才、科技成果等科技资源，形成特色资源池。开发资源采集处理、颠覆性技术识别挖掘、可视化等工具库（不少于 10 个）。研发颠覆性技术感知响应平台，建立平台运营服务体系，选择 3 个以上技术领域。申请专利或登记软件著作权不少于 15 项，制定国家、行业或核心企业标准不少于 3 项。