

“变革性技术关键科学问题”重点专项 2019 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。

2019 年本重点专项将围绕材料、地学、信息、制造、能源、生命科学及交叉等 6 个领域方向部署项目，优先支持 39 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，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。2019 年度专项拟部署项目的国拨概算总经费为 9.9 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4个，每个项目参与单位数不超过6家。

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）；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. 高效热电磁全固态能源转换新材料与器件

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；同时具有高热电性能和高磁熵变等多功能新材料设计、精细结构表征及其构效关系；热电磁多功能新材料超快速制备新技术与结构控制原理；基于新材料的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，制冷量 $\geq 30\text{W}$ ，工作温区 $\leq 300\text{K}$ ，温跨 $\geq 10\text{K}$ 。

2. 铌酸锂薄膜重要片上光子器件

研究内容：研究高品质铌酸锂薄膜光波导、光学微腔和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 40 GHz，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 300 nm。

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，以及储能器件设计、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：设计和制备高容量密度负极材料，可逆容量密度达到 1500 Ah/L 以上；设计和制备高能量密度梯度正极材料，和金属锂负极配对，该正极材料能量密度达到 3200 Wh/L 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，动力电池能量密度不小于 1000 Wh/L，循环寿命大于 1000 次，安

全性达到国标要求；设计和制造所有材料与人体友好的可穿戴高能量密度电池，能量密度不小于 400 Wh/L，循环寿命大于 500 次，安全性达到医用要求。

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理论模型，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（不小于 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 波段深紫外固态光源内量子效率大于 30%；获得柔性深紫外固态光源的原型器件；建立相应工艺示范线，具备年产 5000 片 12 英寸石墨烯玻璃的能力。

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，并开展其在航天光学载荷中应用价值评估考核。

考核指标：构建材料组份与禁带宽度关系数据库，实现禁带宽度介于 90 meV~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，材料的载流子浓度在 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ~ $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 的范围内可调可控；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，获得器件制造工艺，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. 电子束层凝制备超纯净高均质高温合金

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；高温合金的化学近程序团簇结构及超纯净合金化再设计；粉末制件与超纯母合金的组织遗传性及其疲劳性能；超纯净高均质难变形高温合金的塑性变形机理及其组织性能调控；超纯净单晶高温合金的铸造缺陷控制及力学性能评价。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；利用电子束层凝技术，在粉末高温合金中实现杂质元素 $O+N+S \leq 15$ ppm，制作直径 ≥ 150 mm 的模拟盘件，该盘件的 650 °C 低循环疲劳寿命 $\geq 10^4$ 周次；在难变形高温合金中实现杂质元素 $O+N+S \leq 10$ ppm 的变形合金，在温度 750 °C、应力 530 MPa 条件下持久寿命 ≥ 50 h，制作直径 ≥ 150 mm 的模拟盘件；在不含稀贵金属的单晶高温合金中实现杂质元素 $O+N+S \leq 6$ ppm，在温度 1100 °C、应力 130 MPa 条件下持久性能 ≥ 125 h，制作高度 ≥ 82 mm 单晶涡轮高压叶片样件。

7. 水伏效应材料及其制备与应用研究

研究内容：研究固液界面电荷传输和能量转换规律，研究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。

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 ≥ 10 V、电流 ≥ 10 mA

(功率密度 $\geq 10 \text{ W/m}^2$, 常规气候条件); 构建生电、降温、产生净水的协同生态化光伏效应演示验证系统, 每平方米光伏效应材料系统每小时使室内降温 $\geq 3 \text{ K}$ (环境温度 300 K)、产净水 $\geq 1 \text{ kg}$ 。

8. 复杂油气智能钻井理论与方法

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, 构建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; 揭示钻井工程参数地面-井下闭环响应机制, 研究复杂地层钻井井筒稳定性智能调控方法; 研究自适应智能钻井液体系, 探索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; 形成钻井工程智能监控、诊断与决策系统平台。开展深部复杂地层钻井现场试验, 储层钻遇率 $\geq 90\%$, 相同区块钻井效率提高 30%以上。

9. 深部碳、氧循环的金属同位素示踪方法研究

研究内容: 面向开拓金属稳定同位素示踪地球深部碳、氧循环的技术体系, 研究包括碳酸盐含有的二价金属元素、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

技术体系；研究板块俯冲和岩浆过程中金属同位素地球化学行为和分馏机制；开发多种金属同位素体系联合示踪地球深部碳、氧循环的理论和体系。

考核指标：建立多种金属同位素高精度分析技术，在精确度方面， $\delta^{26}\text{Mg}$ 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；构建 Rb-Sr、Sm-Nd、Lu-Hf 等放射性同位素体系对地幔碳酸盐交代的准确定年技术，年龄精度优于 2%。

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，形成了甲烷气和氢气等资源，突破对这些清洁能源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，开辟以部分烃类为代表的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：通过高压实验设备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，利用高温高压实验技术厘定 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。通过剖析西南天山和西太平洋俯冲带，提出俯冲带 C-H 化合物分离与迁移成藏的有利条件。

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索 and 研究的瓶颈问题，研发和集成岩石圈深部物质组成与演化的综合示踪技术，研究全岩元素 Sr、Nd、Pb 及锆石 Hf、O 等不同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；对比区域深部物质示踪结果与地球物理探测、实验模拟结果，揭示其结果的相互印证与关联性；形成以深部岩石探针、特殊矿物探针及同位素填图为核心的探索深部物质性质、时空分布、三维架构、岩石圈热-化学组分及其演变过程的新方法体系。

考核指标：建立全岩 Sr、Nd、Pb 及锆石 Hf、O 等不同同位素方法示踪结果的关联性指标；构建 Mg、Fe、Ti、Zn 等新兴同位素示踪深部物质与循环的方法体系；确定区域深部物质组成架构示踪结果与地球物理探测、实验模拟结果的对应指标；构建一套探究岩石圈三维物质组成架构及其演变的理论技术方法体系；提供典型造山带和克拉通 3~4 个研究实例。

12. 油页岩原位转化开采机理与实现方法

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；研究高效油页岩原位转化加热新方法和机理；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。

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 1~2 种油页岩原位转化高效率加热新方法，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。

13. 油/水/固界面浸润调控智能流体提高采收率关键材料与机理研究

研究内容：发展油/水/岩石界面浸润调控的智能流体高效开采技术，阐明定向流动、微观多相渗流及高效油水驱替机理，建立地层条件物理与数值综合模拟评价平台，开发满足油藏润湿性、温度或压差等条件的智能响应材料，高效调控岩石矿物与原油间离子水合桥，在油藏条件下有效改善原油、水、岩石间的界面活

性，实现地下剩余油高效开采。

考核指标：阐明油/水/岩石界面浸润调控智能流体设计和制备原理，建立智能流体分子设计和特殊浸润表面构筑方法，制备2~3种针对润湿性、温度或压差等应用条件具有环境智能响应的功能新材料，形成油藏注入介质定向流动开发模式，有效改善油、水、岩石三相界面效应，实现低渗、特低渗岩心驱替效率提高到50%、小孔波及效率提高到60%。

14. 近地空间全天时星敏感方法研究

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3 km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 ≤ 200 m (3σ)，重量 ≤ 6 kg，功耗 ≤ 15 W。

15. 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器件均一性和可靠性差、难以用于边缘计算的局限，探索新型薄膜器件及其计算新架构。研究用于智能边缘计算的新型薄膜工艺晶体管（TFT）及其性能调控方法；研究高鲁棒性和高能效的多维边缘计算架构及其电路实现方法；研究支持从示例学习的纯薄膜工艺认知系统。

考核指标：TFT 开关比达 10^{10} ，亚阈值摆幅不大于 0.1 V/Dec ，迁移率不小于 $50 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$ ；提出认知计算新架构，支持从示例学习、能容忍 30%器件失效，达到 CMOS 边缘计算架构的能效水平；集成 100×100 传感器阵列的纯薄膜工艺认知边缘计算系统，实现整体延时不大于 5 ms 、功耗不大于 1 mW 的智能交互等示范应用。

16. 基于心理生理多模态信息的精神障碍早期识别与干预方法

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：建立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，形成生物反馈、运动等非药物干预技术体系；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；应用于学生等特定人群，经专业医疗机构验证相应指标。

17. 超大容量光纤信息传输处理基础理论及应用

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）信号处理器规模随模态数呈平方增长、运算量随模态数呈近立方增长，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（80 Tb/s）增长 600 倍以上，同时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 km、容量达到 50 Pb/s。

18. 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，研究适用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因素；给出基于新型模型的计算机体系结构；研制能高效处理图问题的信息处理计算机原型系统，处理节点数不少于 10000，求解时间相比英特尔 i7 8700 CPU 等传统计算机处理器降低 10 个数量级以上，并实现计算机漏洞搜索等典型应用验证。

19. 空间非合作目标智能附着理论方法

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；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，着陆位置偏差不大于 3 m，能够适应 ± 300 mm 的地形起伏；相比传统刚性附着技术，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。

20. 面向天文观测的空间分布式合成孔径光学干涉成像理论方法

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 70 mm、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 800 mm，最大基线长度不小于 800 mm，干涉成像光谱带宽不小于 200 nm，Fizeau 型成像时视场不小于 1 角分。

21. 铝合金薄壁构件超低温成形制造新原理

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 ≥ 20 MN，最低成形温度低于 -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，包括整体椭球曲面件（开口直径 ≥ 2000 mm、厚径比 $\leq 3\%$ 、贴模度 ≤ 0.5 mm；T6态抗拉强度 ≥ 400 MPa、延伸率 $\geq 5\%$ ）。

22. 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

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；建立大型反射面板热变形分析、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 $\geq 3\text{ m}\times 4\text{ m}$ ，面型精度 RMS 优于 $30\text{ }\mu\text{m}$ ， $-80\sim +120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度范围内面型精度 RMS 值变化 $\leq 10\text{ }\mu\text{m}$ ，太阳吸发比 ≤ 1 。

23. 重型运载火箭薄壁结构立式装配原理及形性综合控制

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 0.4 mm/1000 mm，端面同轴度小于 0.5 mm/1000 mm，面差小于 0.05 mm/1000 mm。

24. 大型复杂构件机器人化智能装备协同加工理论与方法

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、焊接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、加工装备-工件系统现场测量与精度调控、工艺知识与多传感器信息驱动的多机智能控制、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。

考核指标：建立机器人化智能装备多工序协同加工工艺新原理，探索大型构件重载加工过程中多机/工件系统加工质量综合保

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智能化协同控制新方法，研制多机智能化加工单元，定位精度优于 $\pm 0.05\text{ mm}$ ，行程大于 5 m ，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 $\leq \text{Ra } 3.2$ 。

25. 余辉寿命可控高品质 LED 制造原理与技术体系

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；余辉可控微纳复合材料的设计新方法，材料组分调控中发光、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组分调控中发光、散射等光功能属性失配的机制，形成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，新型交流 LED 器件光效不小于 130 lm/W 、频闪弥补不小于 90% ，空间颜色偏差缩小至 100 K 内（传统技术 $> 1000\text{ K}$ ）；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。

26. 新型树脂基复合材料飞机壁板结构件形性制造

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，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题。

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；开发新型树脂样品，其室温强度与热固性树脂相当，且能够像热塑性树脂一样降解；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（面积不小于 1 m×2 m）的一体化制造；能同时回收复合材料中的树脂和碳纤维，回收的连续纤维强度下降小于 10%。

27. 气动升力协同高速列车技术的理论与方法

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的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；研究考虑升力翼后的车体结构轻量化设计技术；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，气动升力等效减小车体重量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。

28. 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 ≥ 300 Ah，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 ≥ 0.2 MWh，具备换液再生

和安全剂注入维护功能。

29. 超结构多级孔柔性储能器件

研究内容：开发跨尺度、多维度、多功能基元的模块化、程序化超组装新技术，探索介孔基元与柔性功能基元可控组装，发展超结构多级孔材料的制备体系，精确调控其孔性质、微纳结构、电学和力学等物性，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：获得 5 种以上柔性超结构多级孔电极材料，形成柔性电极材料制备技术，研制 2 种以上新型柔性储能器件；柔性电池比能量 ≥ 300 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。

30. 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、颗粒材料运动与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技术系统，研发以物理分离为主、生物化学方法为辅的废水处理工艺流程技术和工程装置技术。

考核指标：在废水处理整体达标排放的前提下，化学破乳剂用量减少 90%以上，油泥、浮渣、VOCs 废气量减排达 80%以上。研发包括海上采油平台含油废水、海上采气平台生产废水、石油炼制废水、甲醇制烯烃废水和乙烯废碱液等 5 类石化废水废液物

理分离新技术和新装备样机，装备样机含油废水处理能力可达 2 万 t/天，含油污水综合处理成本减少 50%。

31. 可隔热发电的新一代有机光伏材料与应用研究

研究内容：发展可集成于建筑、汽车玻璃发电窗等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和纯化工艺，开发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%、功率转换效率不小于 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功率转换效率达 18% 以上，面积 100 cm² 有机光伏组件功率转换效率达 12% 以上或当时世界最高水平；封装组件通过加速老化实验测试的稳定性达 10 年以上；建成百瓦级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。

32. 纳米界面高效酶催化及传感体系

研究内容：面向精准医疗等未来国家战略需求，突破制约生物/纳米酶催化应用的瓶颈，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，探索酶催化性能和界面结构之间的构-效关系，大幅提升酶催化速率；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

效率。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，应用于重大疾病诊断。

考核指标：通过酶催化反应微观界面的合理设计，在提高酶催化速率的同时，制备出适合高效酶催化反应的界面材料；阐明纳米酶催化的化学机理和生化机制，构建构-效关系理论模型，指导开发 3 种以上性能稳定的高效纳米酶，催化效率达到或接近天然酶水平，其室温工作寿命可以达到 1 年，在 4~60 °C，pH 值 3~11 的环境中稳定工作 3 个月；开发具有高稳定性、高效的酶传感器件，应用于高灵敏、高选择性血糖检测，允许误差从±15%降低到±10%，将血糖检测拓展到其它生化指标如乳酸、胆固醇等的精准检测；脑部神经疾病生物标志物早期诊断，检测早期阿尔茨海默症血液样本中β淀粉样蛋白含量，准确率达 90%以上。

33. 合成塑料降解酶的定向进化工程及应用

研究内容：分离筛选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研究，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：分离鉴定 5~8 株聚乙烯、聚苯乙烯、聚丙烯、聚酯、聚氨酯等 5 种通用塑料的降解菌株；鉴定 2~5 种塑料降解酶；

解析塑料降解酶的晶体结构，获得 3~6 种定向进化改良的高效降解酶制剂；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，与目前常用镜像蛋白化学合成方法相比，将同等质量目标镜像蛋白的合成成本降低 30% 以上；实现 2~5 种化学合成纤维织物亲水化预处理（水接触角小于 10° ）和 2~5 种合成塑料的高效酶生物降解（降解效率 96 h 内大于 50%）。

34. 肿瘤单细胞精准捕获及高分辨单分子分析

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，如基于微观磁学技术实现单细胞高分辨磁共振检测，精准测量单个肿瘤细胞、内微环境中细胞器在治疗前后的改变；发展高时空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；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个单体肿瘤细胞的器官亲嗜性等重要规律；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。

考核指标：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；实现单细胞磁共振探测，分辨率优于 1 μm ；高时空高分辨的单分子光谱分析技术，空间分辨率小于 5Å、时间分辨率达到 10 ms，实现膜上生物分子位置与构像的精准测量；厘米级视场亚微米分辨率的多个单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；临床实现至少 5 种重要内源性生物功能分子的高灵敏 7.0T 磁共振探测，活体人体组织的空间分辨率 0.2 mm，发展非质子元素原位代谢波普新技术。

35. 基于生物纳米孔的生物大分子测序和检测

研究内容：面向长读长、高精度、小型化低成本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；研究新型生物纳米孔及其支撑阵列的稳定制备和生物纳米孔在支撑阵列上的上膜嵌孔技术；发展新型纳米孔核酸测序和蛋白质检测技术，实现高精度和长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：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，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；形成 2~3 种新型纳米孔及其支撑阵列稳定制备和生物纳米孔在支撑阵列上的上膜嵌孔技术；基于以上新型纳米孔发展 DNA 测序方案，并完成基于自主原创性研发、并取得知识产权的 DNA 测序样机验证，能够实现 10 kb 长读长，序列直读（直接读出序列）、快速（大于 100 nt/s）、单次过孔 90%以上准确率和阵列不小于 10×10 的 DNA 测序，能够对修饰核苷酸测序；基于以上新型生物纳米孔发展 RNA 和蛋白质的检测技术，在原理上展示直接 RNA 测序及蛋白质的序列识别。

36. 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，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，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，开发可编程加速卡间高效通信及并行模拟算法，构建多个定制可编程加速卡软硬件协同工作的原型系统，开发解决下一代基于定制芯片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的软

硬件协同设计技术路线。

考核指标：实现 1 套基于可编程逻辑门阵列 FPGA 硬件及其描述性编程语言的生物体系全原子分子动力学模拟软件；采用该 FPGA 原型系统完成对单个定制可编程加速卡以及定制网络互联下多个可编程加速卡整体的功能、性能 24 h 连续正常运转验证；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 ns 的计算性能。

37. 社交与情感的生物学基础和转化研究

研究内容：基于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，建立以家犬为模式动物的社交与情感以及认知功能研究领域，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：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；建立高效精准的家犬基因编辑和克隆技术，针对 3~5 个重要的社交和情感相关基因，创建家犬突变体模型；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，申请专利 5~8 项。

38. 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、胞外生理数据等多维度、多模态高精度实验数据测量规范与标准并建立实验数据集，构建实验测量数据驱动的、以电脉冲激发整合神经元为基本计算单元的全脑神经计算模型。对某些与奖惩等高级情感相关的脑功能模块的各个测量模态下建立的计算模型、全脑计算模型与动态实验数据进行交叉验证，促进理解高级情感相关的脑功能模块以及全脑工作机制，逐步提高和完善模块计算模型、全脑计算模型的可靠性，促进新一代类脑智能算法的发展和应用。

考核指标：以电脉冲激发整合神经元为基本计算单元，建立与多尺度、多模态相关实验数据相匹配的、可以进行计算测试的脑功能神经计算模型。形成 1 套适合于大规模（不少于 1000 万个神经元）、多尺度（细胞、影像、环境交互作用）神经实验数据建模的严格数据同化、机器学习等理论方法，构建新型类脑智能模块算法 3 个，在 2 种脑重大疾病医疗诊疗等应用领域中的分析准确率较经典临床医疗诊疗方法有 10%以上的提升。

39. 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，

针对新型光电元件材料、纳米尺寸大区域版图工艺及半导体器件仿真、三维光刻全波模拟和电路设计优化等集成电路设计与制造中的关键问题，研究创新的计算方法与数学理论，包括：电子结构的可计算模型、高效算法及其数学理论，三维场计算的高效高精度自适应算法及后验误差控制理论，电路智能优化设计及成品率分析方法与理论。

考核指标：建立典型二维材料的可计算模型，提出高效的数值方法，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；提出新一代集成电路场路耦合模型的自适应算法、三维光刻全波仿真的快速算法以及半导体器件新型多尺度计算方法，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；提出智能电路优化方法，在保证精度前提下，电路优化效率相比现有算法提升至少 5 倍以上；提出成品率智能分析方法，成品率分析效率相比蒙特卡洛提高一个量级。