

# 国家重点研发计划

## “工程科学与综合交叉”重点专项

### 2024 年度项目申报指南

2024 年度指南围绕极端制造领域、信息领域、可再生能源领域、海洋领域、医工领域、交通工程领域、材料领域等 7 个重点领域进行部署，拟支持项目 65 项，拟安排国拨经费总概算 9.4 亿元。其中，拟支持青年科学家项目 19 项，拟安排国拨经费概算 7650 万元，每个项目 350—500 万元。项目统一按指南二级标题的指南方向申报。同一指南方向下，原则上只支持 1 项。

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设计。项目应整体申报，须覆盖相应指南方向的全部内容。项目执行期一般为 5 年。一般项目下设课题数原则上不超过 4 个，每个项目所含单位总数不超过 6 家。项目设 1 名负责人，每个课题设 1 名负责人。

指南方向 8 是青年科学家项目，支持青年科研人员（40 周岁以下）承担国家科研任务，也可参考指南方向中标\*的方向组织申报，但不受研究内容和考核指标限制。青年科学家项目不再下设课题，项目参与单位总数不超过 3 家。项目设 1 名项目负责人

人，原则上团队其他参与人员年龄要求同上。

## 1. 极端制造领域

### 1.1 超大型空间结构在轨装配基础研究

**研究内容：**面向微重力等极端空间环境下百米以上超大型空间结构由地面装配向太空在轨装配发展的迫切需求，研究基于数—实融合的在轨装配系统设计方法，揭示空间结构可装配扩展高刚度结构的形成机制；阐明大型刚柔耦合变拓扑结构在轨装配过程的动力学演化规律，提出浮动基座上机器人高精度操控方法；提出超大型空间装配结构动态响应实时测量、辨识和结构分布式振动控制方法；突破基于轻质超材料的装配结构智能驱动和展开关键技术。开展大挠性空间结构在轨装配的地面试验验证。

**考核指标：**提出在轨装配系统设计方法与构型、变拓扑动力学模型和机器人在轨装配操控方法；完成地面装配试验：装配结构尺寸 $\geq 10\text{m}$ （可数字模拟 100m），装配模块 $\geq 3$ ，型面变形 $\text{RMS} \leq 5\text{mm}$ ，一阶基频 $\geq 1.0\text{Hz}$ ，最大静态装配误差 $\leq 1\text{mm}@10\text{m}$ ，具备振动控制功能，冲击激励后的振动衰减时间相比没有控制情况缩短 90%以上；完成微重力环境动态响应试验并研制毫米波动态响应测量装置：重力卸载率 $\geq 95\%$ ，可测范围 $\geq 100\text{m} \times 10\text{m}$ ，测量误差 $\leq 0.02\text{mm} + 0.01\text{mm}/\text{m}$ ；研制展开结构机构样机，材料强度

$\geq 200\text{MPa}$ ，形状回复率 $\geq 98\%$ 。

## 1.2 海洋大型超厚构件智能化超高功率激光-电弧复合焊接制造

**研究内容：**研究海洋超厚构件超高功率激光-电弧复合焊接能量耦合机制、小孔-熔池动态行为及瞬态凝固行为，研发大型超厚高强钢、钛合金构件超高功率激光-电弧复合焊接新工艺及接头形性调控方法；突破超高功率激光稳定输出与光束调制、多源信号融合的焊接状态智能感知与过程稳定性控制、多机器人协同焊接等关键技术，研制大型超厚构件智能化复合焊接系统。

**考核指标：**形成复合焊接监控软件和多机器人焊接原型装备，定位精度优于 $\pm 0.05\text{mm}$ ，激光最高输出功率 $\geq 50\text{kW}$ ；单道焊接熔深 $\geq 35\text{mm}$ ，高强钢接头强度系数 $\geq 0.98$ 、钛合金接头强度系数 $\geq 0.95$ ，焊缝气孔率 $\leq 3\%$ ，焊接过程监测信号不少于 3 类、缺陷实时监测识别准确率不低于 90%，与传统弧焊相比效率提升 6 倍以上、变形量降低到 1/5 以下。在大潜深潜艇耐压壳体、新一代极地破冰船船艏等样件上开展应用验证。

## 1.3 高速光电信息传输器件高性能耦合封装技术

**研究内容：**针对高速光电信息传输器件对高性能耦合封装工艺与集成化装备的需求，研究高速光电信息传输器件的高频电信号、光信号传输机理与规律，阐明异质异构光电互连界面的传输

封装机理；突破光电芯片的高精度共晶贴片、精准阻抗匹配电互连、光传输通道的纳米级精度耦合等关键技术，研发从芯片—组件—器件—模块一体化集成自动化封装工艺与装备，实现高速光电信息传输器件的高性能集成制造。

**考核指标：**提出高精度光耦合和互连强度生成方法与技术，耦合损耗 $\leq 1.0\text{dB}$ ，通道间串扰 $\leq -21\text{dB}$ ；提出光电芯片高精度贴片和超大跨度引线键合技术，贴片对准精度优于 $3\mu\text{m}$ ，引线的保形精度优于 $10\mu\text{m}$ ；研制高速光电信息传输器件一体化集成自动化封装装备：传输速率 $\geq 800\text{Gb/s}$ ，光耦合对准精度优于 $50\text{nm}$ 。

#### 1.4 轻量化大口径光学铝反射镜制造技术

**研究内容：**针对空天光学系统服役中面临的轻量化、大温变、高机动和多色应用等挑战，研究适应极端服役环境的光学铝合金组织微晶化和性质稳定化调控原理与技术；研究同质材料光学系统无热化与轻量化光机结构设计方法；形成复杂曲面铝反射镜超精密快轴切削及可控柔体抛光制造工艺；突破组合式装配技术，研制高性能金属光学系统，在空天模拟环境中试验验证。

**考核指标：**研制国产微晶铝材料无双金属效应光学系统：反射镜等轴晶粒平均尺寸 $\leq 5\mu\text{m}$ ，口径 $\geq 400\text{mm}$ ，面密度 $\leq 40\text{kg/m}^2$ ，面形精度 RMS 值优于 $15\text{nm}$ ，表面粗糙度 RMS $\leq 2\text{nm}$ ；样机系统波像差 RMS $\leq \lambda/14$ （ $\lambda$  为工作波段的中心波长）；在空间光学典型

模拟环境中试验验证。

### 1.5 极端条件下飞行器强相似物理模型制造基础

**研究内容：**针对高机动飞机、高超声速飞行器等重大装备的高马赫数/高温等极端条件风洞试验对强相似物理模型的迫切需求，研究飞行器气动弹性强相似物理模型的流固热多物理性能形成规律，提出飞行器气动弹性强相似物理模型多物理性能建模方法；揭示制造过程中材料、结构不确定性对典型外形物理模型气动弹性相似性的耦合影响关系，建立面向极端环境风洞试验的强相似物理模型的精确反求制造方法；形成流固热多因素影响下的飞行器物理模型相似性精准评定与调控技术，研制典型高超声速飞行器强相似物理模型并进行极端条件风洞试验验证。

**考核指标：**提出飞行器气动弹性强相似物理模型多物理性能建模方法，形成面向极端风洞试验条件的新型飞行器强相似物理模型的制造理论与技术；研制典型高超声速飞行器强相似物理模型：柔度分布误差 $\leq 5\%$ ，前 5 阶模态频率误差 $\leq 5\%$ ，气动加热下的热变形误差 $\leq 15\%$ ；完成飞行器物理模型高温高马赫数风洞试验：物理模型半翼展 $\geq 1.0\text{m}$ ，试验最高风速 $\geq 4$  马赫，最高试验总温 $\geq 1200\text{K}$ ，吹风时间 $\geq 90\text{s}$ 。

### 1.6 大尺寸氮化镓单晶制备用高温超高压反应釜设计制造技术

**研究内容：**针对高品质氮化镓单晶制备对大直径、高安全、高温超高压反应釜的需求，研究高温、超高压、强腐蚀介质环境下反应釜的复杂失效模式与损伤机理；研发大直径超高压容器用镍基高温合金成分组织及性能调控技术，突破基于失效模式的高温超高压反应釜设计制造技术；提出大壁厚镍基高温合金反应釜缺陷无损检测及评价方法，研制大尺寸氮化镓单晶制备用高温超高压反应釜并在半导体材料生产行业中示范应用。

**考核指标：**形成高温超高压反应釜材料开发、设计制造、检测评价相关的新技术/新方法不少于 5 项；开发出高强韧镍基高温合金，室温条件下抗拉强度 $\geq 1150\text{MPa}$ 、屈服强度 $\geq 900\text{MPa}$ 、延伸率 $\geq 12\%$ 、断裂韧性 $\geq 130\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ ， $-60^\circ\text{C}$ 冲击功 $\geq 60\text{J}$ ， $650^\circ\text{C}$ 条件下抗拉强度 $\geq 980\text{MPa}$ 、屈服强度 $\geq 820\text{MPa}$ 、断裂韧性 $\geq 80\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ ， $650^\circ\text{C}$ 及  $550\text{MPa}$  条件下持久寿命 $\geq 1500\text{h}$ ；研制大直径高温超高压反应釜，设计温度 $\geq 650^\circ\text{C}$ 、设计压力 $\geq 150\text{MPa}$ 、公称直径 $\geq 240\text{mm}$ ，在半导体材料生产企业示范应用。

### 1.7 宽压宽温域高可靠射流伺服阀技术研究

**研究内容：**建立高功率密度伺服阀宽温域电磁结构设计理论模型；研究高雷诺数气液两相方孔射流紊动机理、薄壁元件流固耦合振荡抑制技术、耐温耐压结构设计与密封技术；阐明极端工况下伺服阀性能退化机理；形成亚微米级精密加工与智能装配集

成制造方法，研制出适用于宽压力、宽温度、强耐油液污染能力的高功率密度高可靠射流伺服阀，突破伺服阀射流稳定性控制和健康管理等关键技术，在高压飞控作动器和航空发动机控制系统中考核验证。

**考核指标：**提出极端工况射流伺服阀高可靠设计制造理论和射流稳定性控制方法；研制射流伺服阀样机：重量 $\leq 0.3\text{kg}$ ，工作温度范围 $-55^{\circ}\text{C}$ — $300^{\circ}\text{C}$ ，压力范围  $1.5\text{MPa}$ — $35\text{MPa}$ ，最大空载流量 $\geq 50\text{L/min}$ ，最大频响 $\geq 100\text{Hz}$ ，MTBF $\geq 20$  万小时；可在 GB/T39095 规定的清洁度 CCC=(B9) 条件下工作不少于 35 小时。

## 1.8 高寒地区风电机组混合支撑结构的力学性能与振动控制

**研究内容：**研发适应高寒环境的大容量风电机组混合支撑结构，揭示损伤演化机理和失效机制，提出考虑结构时变非线性振动特性的抗震设计方法及韧性提升技术，建立考虑控制策略的风电机组混合支撑结构在风—叶片覆冰—地震耦合作用下的分析理论，研发气动—机械综合减载抑振及振—震双控技术。

**考核指标：**建立高寒地区大容量风电机组混合支撑结构设计理论；与传统纯钢支撑结构相比，混合支撑结构的综合成本降低 20%以上；提出风电机组混合支撑结构气动—机械综合减载抑振技术，减载 $\geq 10\%$ ，抑振 $\geq 15\%$ ；完成 1 台 7MW 及以上风电机组工

程应用示范。

## 2. 信息领域

### 2.1 基于听觉注意力机制的复杂信号智能处理方法

**研究内容：**面向电磁空间博弈、工业物联网、低空经济等重大应用领域需求，突破现有理论在分析和处理多维、异构、非平稳、大带宽的动态模糊复杂信号方面存在的瓶颈难题，构造新一代听觉启发机制赋能的智能信息认知范式。主要借鉴人类听觉注意力机制，开展听觉感知的神经环路机制研究，构建听皮层神经元对听觉感知的计算机模型，揭示复杂声学场景中听觉注意机理；构建听觉选择性加工模型，研究听觉注意力启发的复杂信号智能分析与理解理论与方法；研制听觉感知启发的智能信号处理装置。

**考核指标：**研制听觉感知启发的智能信号处理装置，对典型混叠电磁信号的分离精度 $>95\%$ ，可分离电磁信号种类不小于 8 类，可识别调制样式不小于 10 类、识别准确率 $>95\%$ ，对听觉注意目标检测准确率 $>80\%$ ，对多人说话语音中目标语音提取性能达到信噪比 $>15\text{dB}$ 、可懂度评价 $>93\%$ （0—100%）、音质评价 $>3.5$ （0—5）。

### 2.2 生物群体智能驱动的网络化认知理论及关键技术



**研究内容：**面向多层、跨域、异构网络场景，研究多物种生物群体智能模型，突破群体智能系统的单种群局限；研究多物种生物群体智能驱动的网络化认知模型，探索网元的网络态势感知、意图识别等仿生机理；研究群体互惠与对抗的智能仿生机理，分析网元间简约化通信与耦合关系，实现群体一致性决策的网元自组织；研究多粒度网络化认知模型，实现数据驱动与知识推演融合的决策动态收敛，支持网络自演进。

**考核指标：**搭建多物种生物群体智能驱动的网络化认知计算平台，满足多层、跨域、异构网络场景需求，包含的生物物种种群 2 个以上，支持 10 种及以上意图识别，识别精度达 90%以上，网元间的认知决策一致率高于 90%，决策动态收敛时间达到毫秒级。

### 2.3 信息光学远场超分辨成像理论及关键技术

**研究内容：**面向远距离超分辨成像的国家重大需求，研究基于光场高维信息感知的超衍射极限成像理论，研究基于物理模型、多模态先验信息、感知任务等多要素融合引导的智能光场成像方法，发展基于光场高维信息感知的超衍射极限成像技术，研制光学远场高分辨率成像原理样机，开展信息光学远场超分辨成像外场试验验证。

**考核指标：**建立信息光学超分辨成像理论体系，面向遥感等

应用场景，突破远距离超分辨成像、基于物理模型和先验信息融合的光场高维图像快速智能重构等关键技术，完成光学远场高分辨率成像原理样机研制，并开展自然光照明遥感被动探测模式下典型应用目标远场超分辨成像外场原理验证试验：成像距离 $\geq 1$ 公里；具备三维成像能力；空间分辨率超同孔径传统光学成像系统瑞利极限 4 倍以上；成像图像质量与理想成像条件下 4 倍口径的传统成像系统获取的图像的结构相似性（SSIM）不低于 80%、峰值信噪比（PSNR）不低于 26dB。

#### 2.4 面向生物医学的激光驱动新一代小型化短脉冲重频离子技术研究

**研究内容：**面向人民生命健康前沿领域和国家高端放射医疗装备的重大需求，解决基于超强超短激光驱动的新一代小型化短脉冲重频质子技术的关键核心问题。探索超短脉冲质子束压缩和强电磁辐射环境下的重频质子源的新方法、新技术；研究质子加速新机制，发展小型化质子束传输与调控技术；系统探索 Flash 治疗的生物学效应和原理，尤其是超短脉冲和超高瞬时峰值剂量下的极端条件下的生物学效应。

**考核指标：**发展基于超强超短激光驱动的新一代小型化短脉冲重频质子技术，应用于实验装置，实现重复频率 0.1—1Hz 可变，峰值能量稳定性 $<10\%$  (Std)，质子束脉冲宽度 1—10ns 可

调, 瞬时峰值剂量 $>10^9\text{Gy/s}$  的激光驱动质子束; 探索质子加速新机制, 发展新型的小型化质子传输和调控技术, 实现生物辐照尺寸 0.1—1cm, 电荷量 1—10pC; 研究激光驱动质子 Flash 放疗原理, 建立超短脉冲和超高瞬时峰值剂量条件下的 Flash 放射生物学原理框架。

## 2.5 人体健康医疗信息多维度感知与孪生网络体系

**研究内容:** 面向重大疾病的新机理发现、数字化防治需求, 构建人体健康医疗信息多维度感知与体域孪生网络体系。研究基于视觉或智能终端的人体信息采集、感知及健康—疾病动态演化计算方法; 研究多模态医疗语义表征及编码传输体系, 实现人体及周边多源信号的精细化感知、与信源—信道联合优化; 构建个体、环境与机器交互的低时延、高能效、高可信“感—通—算”一体化智能体域网络; 研发多层、跨域的人体健康医疗信息安全共享与协作建模, 建立多目标优化、个性化适配的多模态联邦孪生系统。

**考核指标:** 研究基于视觉或新智能终端的人体表型信息感知技术 (至少 5 种, 如柔性电子技术), 突破便携可穿戴智能感知器件关键技术, 能够支持 6 种以上人体电生理信号、感官信号或环境信号的实时采集、处理与分析; 搭建面向多模态医疗信息的语义表征与编码传输体系, 实现较传统方案传输带宽需求减少 30%

以上；实现基于联邦孪生系统的多中心医疗数据安全共享与智能协同平台，具备覆盖大规模人群、不少于 10 个联邦方的协作建模能力，并支持至少 15 种重大疾病(如慢性疾病、肿瘤、认知障碍等)的健康—疾病风险动态评估及管理。

## **2.6 强弱光协同移动通信与智能芯片级组网机理**

**研究内容：**面向重要网络和信息系统安全保障重大需求，解决强弱光协同信息安全一体化光子网络重大问题，探索集成强光、弱光、移动通信的芯片级智能组网机理，建立异构融合、灵活扩展、智能感知的强弱光协同移动通信网络设计方法，形成高安全、高性能、高可靠的强弱光协同智能移动通信网络组网机制，构建标准体系。研制出强弱光协同移动通信原型样机与仿真系统，系统传输能力至少提升 1 倍，支持 3 种以上参数动态可调，网络规模不少 200 个节点，端到端控制时延小于 200ms。

## **3. 可再生能源领域**

### **3.1 太阳能与生物质能耦合制氢发电的工程科学与技术**

**研究内容：**面向绿氢绿电生产和交通领域分布式供能等需求，研究太阳能与生物质能互补制氢发电及其能势匹配机制、物质与能量耦合转化机理；建立聚焦太阳能与生物质热化学气化耦合制氢发电理论；形成聚焦太阳能与生物质热化学气化耦合制氢发电、

CO<sub>2</sub>富集一体化系统设计方法；研制系统匹配的材料与装置。

**考核指标：**提供一体化系统样机，装置发电功率 $>1\text{ MW}$ ；实现典型生物质能源转化率 $>95\%$ ，氢气产率 $>80\text{ g H}_2/\text{kg}$  干生物质，与自热气化相比，太阳能与生物质耦合提高产氢率 $>30\%$ 。

### 3.2 多级高效热电能源转换理论与方法

**研究内容：**针对极端环境特种能源、分布式智能传感系统、便携式与可穿戴设备等对长寿命、免维护能源的安全服役需求，研究面向多目标的光、电、热多级能量转换材料和器件设计理论与方法；研究数据驱动融合高效仿真在发展热电转换新材料及器件中的应用，开发微型热电器件集成制备方法；阐明材料与器件在多场耦合下的性能演化规律、调控机制并提出寿命预测模型；研制高效率、低衰减热电能量转换器件并开展示范应用。

**考核指标：**微型热电器件单个热电臂面积不大于  $0.01\text{ mm}^2$ ，热电阵列不小于  $1000\text{ 对}/\text{cm}^2$ ；光吸收率不低于  $90\%$ ；薄膜热电器件功率密度不小于  $500\text{ mW}/\text{cm}^2$ ；宽温域发电器件能量转换效率不小于  $18\%$ ；演示装置功率衰减率小于  $2\%/年$ ，器件衰减率采用不少于  $2000\text{ 小时}$  实测数据外推方式。

### 3.3 太阳能海水淡化与原位光催化蒸汽制氢耦合理论与方法

**研究内容：**利用太阳能和海水资源，探索基于界面光热转化

的高效太阳能海水淡化与原位光催化水蒸汽制氢耦合的理论与方法。研究大面积太阳能全谱高吸收、红外低发射、低能量需求、抗盐稳定的高效界面光热材料设计及制备理论；研究界面光热水蒸发的强化机制与方法，探索海水中干扰性污染物的同步高效去除机制，发展水活化策略与蒸发原型，开发基于高效光热转化和低能量需求的高产水量太阳能海水淡化器件；探索原位光催化水蒸汽制氢机制，开发高效水蒸汽制氢新材料；揭示光热海水淡化与蒸汽制氢的材料和集成方法学匹配机制，建立太阳能海水淡化及原位蒸汽制氢耦合系统。

**考核指标：**大面积 ( $>1\text{m}^2$ ) 光热材料太阳能全光谱吸收率  $\geq 95\%$ ，红外发射率  $\leq 50\%$ ；大面积平均蒸发速率  $\geq 5\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ，太阳能海水淡化产量  $\geq 3\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ；水蒸气光催化制氢能量转化效率  $\geq 1.8\%$ ，工作时间  $\geq 100$  天，太阳能海水淡化产量衰减  $\leq 10\%$ 。进行平米级太阳能海水淡化与原位蒸汽制氢耦合系统的验证。

### 3.4 宽光谱太阳能驱动 $\text{CO}_2$ 制备含碳燃料理论与方法\*

**研究内容：**以  $\text{CO}_2$  资源化利用为目标，研究太阳能宽光谱高效吸收转化材料的精准制备及其光/热/电耦合转化与载能子输运机制；研究多物理场作用下载能子与物质在多尺度多相界面的协同转化机制；建立能量流与物质流全流程协同匹配的太阳能  $\text{CO}_2$  还原系统模型，研究聚光驱动光化学与热化学耦合机制；研

究聚光多场耦合驱动 CO<sub>2</sub> 还原反应动力学，研制直接太阳能驱动 CO<sub>2</sub> 还原制备燃料原理样机。

**考核指标：**太阳能驱动 CO<sub>2</sub> 还原制取 CO 和 C1、C2 碳氢燃料的太阳光谱利用范围 280—1000nm，目标产物选择性>90%；研制太阳能驱动 CO<sub>2</sub> 还原制备燃料原理样机，输入太阳能光功率≥10kW，能量转化效率≥15%，稳定运行时间≥100 h。

### 3.5 太阳能驱动生物质转化制备化学品的理论和方法

**研究内容：**针对交通运输领域对新型生物燃料的迫切需求，研究不同类型生物质分子的太阳能光电催化全组分定向转化性能，并发展高效光/电催化剂的高通量筛选与精准制备理论；开发全谱太阳能光/电催化反应装置和工艺，揭示光/电催化界面电荷转移和动力学反应机理；提出光/电催化性能的多维度评价参数；建立太阳能自驱动生物质平台分子催化转化为具有商业应用价值的高附加值燃料与化学品体系。

**考核指标：**以廉价生物质平台分子为原料，开发至少 10 种制备高性能醇类汽油燃料、酯类柴油燃料、烃类航空燃料及醛、酸、胺等化合物的绿色合成路线；研制太阳能驱动制备化学品原理样机，输入太阳能光功率≥10kW，目标产物选择性>90%；标准太阳光条件下装置稳定性>300 小时。

### 3.6 可逆中温燃料电池发电和储能的工程科学与技术

**研究内容:** 面向可再生能源储能和交通动力需求, 研究可逆中温燃料电池及其关键材料设计理论; 研究离子输运与多燃料可逆电催化机制, 建立发电和储能可逆电化学能量转换过程机制与强化方法; 研究电堆多尺度多物理场耦合规律和性能优化方法。

**考核指标:** 开发氢/碳/氮基多燃料循环可逆中温 (650—750℃) 燃料电池; 电解质离子电导率  $\geq 0.1 \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ , 发电功率密度  $\geq 1 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ , 电堆输出功率  $\geq 10 \text{ kW}$ , 电解合成燃料效率  $\geq 95\%$ , 循环稳定运行  $\geq 1000 \text{ h}$ 。

### 3.7 高比例可再生能源分布式能源系统设计理论和调控方法\*

**研究内容:** 针对工业园区智能综合能源系统, 开展多能输入、多联产分布式能源系统的多能耦合设计理论与调控方法研究。研究聚光太阳能与碳氢燃料耦合机理与协同转化方法; 针对高比例光伏-光热分布式能源系统, 研究分布式热、电、气综合能源系统变工况耦合原理及梯级利用方法; 考虑光伏、光热与负荷等不确定性, 研究兼顾能效和灵活性热、电、气的源-网-储-荷主动调控方法; 研究聚光太阳能与碳氢燃料耦合转化、模块化设计、运行调控等关键方法与系统集成验证。

**考核指标:** 建立聚光太阳能与碳氢燃料品位耦合的分布式综合能源系统设计理论; 提出工业园区多能源互补的分布式能源系



统热力学评价方法和变工况主动调控方法；完成 MW 级工业园区多能源互补的电网友好型分布式能源系统验证，其中光伏-光热装机占最大用电负荷比例大于 60%，太阳能利用率 95%以上，能源综合利用效率达到 85%以上。

### **3.8 油气行业多能耦合系统低碳设计理论与方法\***

**研究内容：**针对我国油气行业稠油热采的能效提升与清洁替代，开展多能耦合分布式能源系统理论与方法的研究。包括：聚光太阳能、生物质能等与天然气热化学耦合转化理论与方法；针对电/热/汽联产系统，制低碳燃料与原位脱碳协同转化的高效、清洁、低碳一体化系统设计方法；基于供需侧能量品位匹配的井-地联动、电-汽协同稠油热采方法与技术；源头脱碳的稠油热采电/热/汽联产系统设计方法与技术验证。

**考核指标：**针对稠油开采的多能耦合分布式能源系统理论与方法，形成设计方法与软件，完成 MW 级源头脱碳的稠油热采电/热/汽联产系统验证；多能互补稠油热采供能系统弃光率小于 1%，能源综合利用率大于 85%，多能互补系统年运行时间 1000 小时以上。

## **4. 海洋领域**

### **4.1 南极底层水的形成变异机理及气候效应**

**研究内容：**围绕拓展深海与极地战略新疆域和应对气候变化国家重大需求，以南极底层水（AABW）这一全球大洋和气候系统中最大水团为抓手，开展 AABW 源区综合观测和耦合模拟研究，揭示 AABW 生成及其跨陆架/陆坡下沉的动力机制，阐明大气、海洋、海冰和冰架过程对 AABW 产量和性质变异的影响，改进地球系统模式对 AABW 的模拟能力，发展高分辨率海-冰-气耦合模式，探究过去 AABW 变化及其调控机制，提高气候和海平面变化预测水平。

#### 4.2 北极超慢速扩张洋中脊增生机制

**研究内容：**针对北极全球最慢扩张洋中脊探测难、认知少的技术与理论瓶颈问题，突破冰下海底地球物理深部探测与多源数据融合关键技术，获得北极洋中脊岩石圈速度、电性和密度结构，揭示极慢扩张速率条件下洋中脊地幔熔融—地壳增生机制和岩浆—构造动力过程，建立最慢速扩张洋中脊演化的板块动力端元理论模型。

**考核指标：**获得沿北极洋中脊和跨洋中脊的海底地震、大地电磁探测剖面 and 同步地形地貌、重力数据；海底地震和大地电磁探测深度分别大于 10km 和 30km，海底地震站位布设间距不大于 15km，连续观测时长不少于 2 周；地震的速度模型和重力的密度模型一致性优于 90%；建立北极全球最慢速扩张的海底洋中脊地

慢熔融、地壳增生和构造活动的动力模型；构建的理论模型能够刻画全球其他超慢速扩张洋中脊的主要动力演化特征。

#### **4.3 海底大规模滑坡驱动机制与模拟预测方法**

**研究内容：**面向海底资源开发与重大基础设施建设工程，厘清我国南海关键海域大规模海底滑坡特征，并揭示其控制因素和复发规律；综合利用多源数据建立海洋工程地质模型与海底大规模滑坡运动模型，揭示海底大规模滑坡及链生灾害驱动机制与演变过程，形成海底大规模滑坡灾害模拟预测方法与技术，实现对海底边坡变形失稳时间序列预测与评价，建立海底滑坡及链生灾害应急预警流程与防控机制。

**考核指标：**厘清我国南海重点海域大规模海底滑坡发育特征，识别不少于 50 个海底滑坡事件并确定其关键几何参数；工程地质模型深度大于 500m（海底下），岩性和关键力学参数预测误差小于 20%；形成海底大规模滑坡孕育演变、监测、预警与防控计算机仿真系统，海底滑坡孕育参数不少于 4 个，海底滑坡致灾参数不少于 3 个，滑坡模拟预测误差小于 30%；模拟不少于 2 个不同规模海底滑坡的海啸灾害风险等。

#### **4.4 陆海统筹下河口海湾水生态系统健康诊断及调控机理**

**研究内容：**围绕陆海统筹下河口海湾水生态系统健康诊断及调控机理，厘清河流—河口—湿地—海湾连续体水环境过程及水

生态效应，揭示水文水动力条件、陆源海源污染、气候变化等因素对河口海湾水生态系统健康的影响机制，研发基于多污染源防治、滨岸带整治、水文水动力调节的河口海湾水环境改善与水生态修复技术，提出保障河口海湾水生态系统健康的陆海统筹调控方案。

**考核指标：**构建河口海湾与滨海湿地水生生物群落 DNA 数据库 1 个，敏感物种数量不少于 10 种，构建耦合 eDNA 技术和多组学技术的河口海湾水生态系统健康评价方法体系 1 套，编制河口海湾水生态系统健康诊断技术指南 1 个；建立河流—河口—湿地—海湾水环境过程与水生态效应耦合模型以及污染协同减排经济优化模型，关键指标模拟误差为 10—20%；研发基于陆源海源污染防治、滨岸带整治、水文水动力调节的河口海湾水环境改善与水生态修复关键技术 3—4 项，提出面向河口海湾水生态系统健康保障的陆海统筹水生态调控方案 1 套，选择 2 个典型区域开展应用示范。

#### 4.5 典型海上养殖环境微型生物碳汇过程机制与工程原理

**研究内容：**围绕中国近海典型养殖环境中微生物介导的碳汇形成机制与增汇工程原理，研究藻类养殖和滩涂生态系统中微生物驱动的有机/无机联合增汇生物和生态学特征，建立垂直碳埋藏与横向碳运移一体化监测方法；阐明惰性有机碳微生物代谢和

主控环境因子调控机理，揭示关键碳汇过程参数边界条件并建立动态模型，探讨微生物介导的生命/非生命关键增汇过程中碳酸盐消长与微生物群落的耦合机制，以及不同养殖区微型生物类群与有机碳分子组成的偶联关系，评估增汇工程的效应。

**考核指标：**建立典型养殖环境综合增汇创新理论，突破养殖区有机碳横向输送通量监测技术瓶颈，构建水体贝藻养殖和滩涂养殖增汇模型，建设典型养殖区碳汇时间序列观测站 2 个；构建海水养殖区微型生物介导生成的有机碳分子数据集 1 套；研发可实现营养盐智能调控的多能互补人工上升流增汇装备；建立基于碳-氮-磷耦合机理的模拟生物碳泵和微型生物碳泵的生物地球化学数值模型 1 套，开展海上养殖环境中人工增汇的模拟，分辨率不低于 100 米，区域范围不小于 100 公里；编制典型养殖区人工上升流和碱性矿物增汇技术规程，开展不少于 2 处海上养殖环境人工增汇应用示范。

#### 4.6 深渊俯冲带流体活动与生态系统演化

**研究内容：**聚焦深渊俯冲系统中水-岩反应等地质过程支撑的洋壳生态系统，厘清其地质过程与物质埋藏状态，揭示以微生物代谢为主的洋壳生命过程及其生态贡献，建立与压力、温度和营养相关的极限生命理论模型，阐明深渊生态系统受地球动力过程的调控机制，认识海底深部低能量环境中的生命过程及其演化

基本规律，建立深渊俯冲带物质与能量通量的定性与定量模型。

#### 4.7 大型智慧枢纽海港数字孪生工程原理

**研究内容：**研究大型海港精细化气象、水文信息与物流信息大数据特征，研究进出港船舶目标与海港环境态势的图像与射频特征，研发船舶在港风险预测方法与船舶靠离泊安全辅助系统，突破智慧港口“多模传感器+大数据+人工智能+数字孪生”技术体系，研发进出港航运船舶动态感知技术，研发海港基础设施多传感器动态融合感知技术、立体智能健康监测技术、安全预警和防控关键技术，研发大型海港安全应急处置智能决策算法，建立基于多模传感器、数据分析与智能算法的海港动态感知系统和实时智控数字平台。

**考核指标：**形成海港综合信息实时监控与智能分析方法，船舶靠离泊安全辅助系统全天候实时定位精度 70m 内大于 95%，研发大型海港数字孪生平台与算法体系，智控算法瞬时（0.5 秒）求解与最优解之差低于 1%，拟合精度高于 98%，数字孪生系统平均实时刷新率不高于 2 秒；自主研发关键感知及智能处理模块不少于 2 套，实现我国典型海港示范应用。

### 5. 医工领域

#### 5.1 光学多模态信息脑活体成像关键问题研究

**研究内容：**利用散射、吸收、荧光、偏振等多种光学手段，建立光学信息与脑血管疾病的关联，研制出适用于深层组织血管结构分析和组织光学参数提取的多维光信息检测系统，实现脑血管疾病的多维信息融合，解决血管病变特征的精准识别问题。研究光场调控原理与方法、标记与非标记策略、以及高时空分辨非线性成像技术，对活体生物组织进行高速或多色动态成像。研制多模态图像引导的导航系统，实现多模态刚弹性配准，术前三维图像与术中二维图像的实时配准，骨性结构与神经、血管等软组织混合三维显示，机械臂控制的手术器械定位等功能。

**考核指标：**自主研制高分辨非线性生物光学成像系统，须同时满足亚微米空间分辨率、百微米级视场，实现实时成像。多维检测系统图像分辨率优于  $20\ \mu\text{m}$ 。多模态成像配准精度优于  $1\text{mm}$ ，配准时间小于 3 秒，定位精度小于  $2\ \text{mm}$ 。

## 5.2 基于穿戴技术的重大心血管事件智能评估与预警研究

**研究内容：**研制无线可穿戴的智能化监测系统，实现心电、血流、血氧、心肌标志物、结构影像等指标的连续监测；筛选并验证心脏功能预警指标，融合多模态生命体征参数，建立心脏功能健康状态及重大心血管事件评估、预警和预测方法与模型；开发基于知识引导和机器学习的可用于心源性猝死等精准预警的智能化时空动态无创性技术方法，构建心电—心肌标志物—影像

的多维度精准风险预警体系，提高心源性猝死早期识别和早期预警的精准度。

**考核指标：**筛选验证 3 种以上（包含心电、心肌标志物、影像等）多模态心血管预警指标，并实现无创监测，建立不少于 5 种心血管疾病及心源性猝死等动态演进的多模态大数据库，样本量不少于 5000 例，猝死高危人群不少于 1000 例；研发多参数、低功耗、长时程、智能化心电、生化指标及影像监测的心源性猝死等风险预警的关键设备，达到医疗级安全和技术标准要求；建立心源性猝死风险预警模型，预警准确性 $\geq 90\%$ 。构建基于血流、心电、心肌标志物和影像的心源性猝死风险预警行业或团体标准。

### 5.3 人体健康指标的精准检测关键技术研究

**研究内容：**阐明可用于生化、免疫及分子诊断的关键共性检测方法的原理，研究面向生化、免疫及分子诊断的超灵敏动态生物传感技术，研究与体外诊断需求适配的微流控芯片及相关反应试剂，研究芯片上试剂预存储和血浆分离等样本前处理方法，研究成本可控、质量稳定且可批量化生产的芯片制造技术，完成通用型诊断技术和装置的验证。

**考核指标：**基于超灵敏动态生物传感技术的微流控检测芯片在 1 小时内分别完成不低于 9 个健康或病变状态指标的检测，其中生化指标检验效能符合相应的国家标准或行业标准，免疫指标



中低丰度标志物分子（如抗原等）的检测灵敏度达 1—10pg/mL，高丰度标志物分子（如抗体等）检测灵敏度达 0.1—1ng/mL，核酸指标的检测灵敏度达 150—500copies/mL。检测芯片抗干扰能力强，可适应多种样本类型。芯片可在正常生理温度条件下同时实现多类型生物标志物的定量检测。实现不少于三种类型生物标志物的检测及医学应用。

#### 5.4 类器官及类器官芯片的肿瘤精准诊疗多组学评价决策问题研究\*

**研究内容：**研制可用于个体化用药评价的肿瘤类器官与类器官芯片，研发配套的培养、处理、测量和成像系统。发展面向肿瘤类器官芯片的原位测序技术，实现空间基因组、转录组等组学信息的获取。研究肿瘤细胞、免疫细胞和间质细胞等细胞间的相互作用，实现基于肿瘤类器官芯片的多参量个体化药物评价。构建融合临床与类器官多组学数据的跨学科肿瘤精准诊疗知识图谱和人工智能大模型；研发基于肿瘤类器官大数据与知识融合的肿瘤精准诊疗智能决策支持系统。

#### 5.5 卒中神经调控重塑机制及个体化智能康复基础问题研究

**研究内容：**面向卒中精准康复需求，研究脑、神经和肌肉多模态成像及生理信息解析手段，探索卒中后的损伤神经的生理变

异机制，开发基于人工智能的算法，实现功能状态及康复效果的精准评估；研究联合视听觉、触觉、本体感觉等多维度感觉协同刺激与经颅电、磁、超声刺激等中枢神经刺激的感觉—中枢协同刺激促进神经重塑机制，构建个体化的非侵入性神经调控训练方法；探索卒中病灶影响的神经环路机制，突破具有个体化精准导航的自动神经刺激与调控技术，建立个性化临床治疗靶点与精准调控策略；研发安全高效的卒中康复训练系统和智能化康复治疗辅助设备，开展临床疗效评价。

**考核指标：**构建卒中后不同功能损伤的特异性干预靶点选择图谱不少于 10 个，实现个体化自动靶点选择、精准导航、自动干预的神经干预算法及脑功能状态精准评定；实现不少于 2 类生理信息的时—空同步采集，实现视觉、听觉、本体感觉、触觉和前庭觉等不少于 5 种感觉刺激与精准调控，视觉刺激同本体感觉/触觉刺激的延迟时间不超过 20 毫秒；实现不少于 3 种感觉—中枢协同刺激康复方案，功能状态及康复效果个性化评估的重复测量一致性不低于 90%；创制的卒中运动康复机器人和智能康复设备在不少于 10 家临床中心完成不少于 500 例卒中康复疗效评价。

## **5.6 针对精神障碍疾病的光声调控诊治与康复基础研究\***

**研究内容：**发展无创光、声调控干预精神障碍疾病的新方法，研究光、声调控的有效途径和量效关系，研发无创光、声调控干

预目标疾病的新技术。探索光、声对功能脑区调控的途径、作用和方法，建立无创光、声调控干预精神障碍疾病的新方法；通过建立多维信息精神状态量化评估方法，实现对无创光、声调控干预的闭环生物信息反馈及光、声参量控制，研制具有闭环反馈光、声参量控制功能的无创光、声调控技术，并进行临床验证。

### 5.7 面向心肌微血管病的核医学分子影像技术体系研究\*

**研究内容：**开发核医学成像新技术，阐明心肌微血管功能障碍的关键分子机制，研发靶向心肌微血管功能障碍的核医学成像探针，提高微血管病变成像的靶向性和精准度；研发采用高三维空间分辨率和高时间分辨率探测器的心脏专用正电子发射断层扫描成像（PET）系统。构建基于关键分子机制—靶向分子探针—专用成像仪器—创新成像技术的心肌微血管病变精准诊断体系。涵盖血管内皮功能障碍、心肌炎症和心肌能量代谢异常等靶标；建立涵盖新型分子探针、创新成像技术和临床指标的核医学数据库。

### 5.8 融合“时空—能量”标定模型的能谱 CT 关键问题研究

**研究内容：**研究复杂诊疗场景大视野实时几何配准、高分辨 X 射线能谱探测器、高灵敏射线响应复合造影剂等关键问题与核心技术，阐明 CT 成像实现“时空-能量”精准特异性探测的数学条件与物理机制。发展个性化、大视野 CT 成像在线几何校正

模型，研制具有自主知识产权的钙钛矿直接转化型平板探测器，构建新型空间复采样 CT 成像技术及能量依赖的非线性散射校正方法，合成新型诊疗一体化复合造影剂，最终建立面向任务的特异性 CT 成像解决方案，实现在神经系统重大疾病诊断、癌症诊断和治疗等领域的应用。

**考核指标：**大视野单帧在线柔性自标定位投影角度精度 $\leq 0.03^\circ$ ；研发融合“时空-能量”标定模型的能谱 CT 智能重建算法，三维特异性 CT 图像物质识别种类 $\geq 5$ ；钙钛矿直接转化 X 射线探测器材料层缺陷密度 $\leq 10^{14}/\text{cm}^3$ ，探测器成像面积 $\geq 10\text{cm} \times 10\text{cm}$ ，像素尺寸 $\leq 0.1\text{mm} \times 0.1\text{mm}$ ，探测器成像层数 $\geq 2$ ；开发复合型 X 射线响应造影剂种类 $\geq 2$ ，其在肿瘤放化疗联合治疗中的抑制率 $\geq 90\%$ 。项目完成时通过可靠性测试和第三方测试，至少应用于两个领域。

## 6. 交通工程领域

### 6.1 地下交通工程的智能建造和运维的理论与方法

**研究内容：**针对我国地下交通工程智能建造和运维体系与技术框架还没有形成的问题，建立多工法地下交通工程全过程智能建造基础理论；提出以岩土体为介质的数字孪生体建模、表达与交互方法以及全寿命高维时空数据优化建模方法；提出结构全寿命特征信息快速、高精度、透明化感知以及韧性评估和增强方法；提出地下交通工程多灾条件下灾前性能评估、灾中性能损失预测、

灾后性能恢复决策方法；构建地下交通工程建造与运维智能服务平台。

**考核指标：**建立地下交通工程全过程智能建造理论，工法 $\geq 3$ 种；数字孪生体模型精度 $\geq 95\%$ ，时间精度偏差小于5秒，高维时空数据预测精度 $\geq 90\%$ ；感知—分析—反馈时间 $\leq 10$ 分钟，病害预测精度 $\geq 90\%$ ，病害识别率 $\geq 95\%$ ，病害类别3种以上，并提出相应的治理方法；多灾种 $\geq 3$ 种；构建地下交通工程建造与运维智能服务平台1套；在包含不少于3种工法的地下交通工程中开展应用示范。

## 6.2 高温超导电动悬浮列车磁轨相互作用基础研究

**研究内容：**研究高温超导电动悬浮电—磁—热—力多场耦合理论分析模型与高效仿真方法，研究轨道线圈激扰诱发的高温超导磁体失超机理与防控方法，探索超导电动悬浮磁轨作用特征及车轨桥耦合动力作用机制，提出超导电动悬浮主动减振控制方法，研制高温超导磁体样机与轨道线圈，开发超导电动悬浮高速域性能参数测试技术，形成高温超导电动悬浮磁轨设计和车轨桥系统动力学设计理论。

**考核指标：**研制高温超导磁体样机，磁体工作温度 $\geq 25\text{K}$ ，磁场强度 $\geq 3.0\text{T}$ ，超导磁极数 $\geq 2$ ，总磁动势 $\geq 700\text{kA}$ ；构建磁轨相互作用理论模型与试验方法，建成基础试验平台，模拟速度 $\geq$

600km/h；提出高温超导电动悬浮的物理力学性能调控方法与系统动力学设计原则。

### 6.3 地下城轨交通综合体振动及结构安全控制方法

**研究内容：**面向地下城轨交通复杂综合体的快速发展与建设需求，研究建立地下城轨交通车致综合体大系统耦合振动噪声的预测理论和高效仿真方法，揭示城市地铁的车轨空间耦合振动在综合体中的全路径传播与响应特性，提出兼顾建筑结构振动及抗震安全性的控制方法，研发地下城轨综合体复杂体系动力性能演化及状态识别技术，形成地下城轨交通综合体减振降噪及结构安全控制方法。

**考核指标：**揭示城市地铁的车轨空间耦合振动在综合体中的全路径传播规律；开发地下城轨交通复杂综合体车致耦合振动噪声高效计算分析方法及预测和混合仿真平台，计算精度提升 20% 以上，提出综合体建筑结构全频段（包含 10Hz 以下低频段）综合减振降噪技术，减振效果提升 3—5dB；形成地下城轨交通综合体动态服役性能演化监测与安全控制技术，制定技术标准一部。

### 6.4 强烈构造区深地交通工程动力响应与安全保障技术研究

**研究内容：**研究多模式强烈构造作用下场地工程荷载演化规律与表征方法；揭示围岩与支护结构多场多尺度动态力学性质与

动力响应机制,建立数物融合的多尺度多层次静动态模拟方法体系;研发围岩与支护联合承载结构的性态感知与情景推演技术,提出强动力作用下围岩—支护体系灾变演化与灾害风险评估方法;研发系列新型抗/减震抗错断结构与技术,建立深地交通工程动力灾害的静动协同控制与韧性减灾设计理论。研究深地工程结构爆炸冲击灾害毁伤模拟和评估方法,提出结构抗震、抗爆灾害耦合分析方法,研发结构抗爆防护设计技术、材料及装备。

**考核指标:**形成多尺度多层次静动态高效模拟方法与平台,动力计算效率提升 $\geq 20\%$ ;建立强烈构造区深地交通工程灾变风险评估理论与方法,形成技术标准1项以上;提出强烈构造区深地交通工程韧性设计与安全控制技术,研发不少于3种抗/减震抗错断结构。研发不少于2种结构抗爆防护材料或装备。

## 7. 材料领域

### 7.1 硅酸盐胶凝材料低碳制造与碳固化新材料

**研究内容:**研究硅酸盐胶凝材料工业窑高替代原燃料工况下燃烧动力学和熟料矿相反应热力学及调控机理与能质耦合作用机制,提出基于大量使用替代原燃料的硅酸盐胶凝材料低碳制造工程理论与技术;发展气—液—固多相多质传输的 $\text{CO}_2$ 矿化与胶凝固结理论,研发具有高效固碳能力的关键碳固化物相与高性能

碳固化材料新体系；形成硅酸盐胶凝材料制造流程减碳与烟气固碳的碳中和工程理论与技术，并实现示范应用。

**考核指标：**基于大量使用替代原燃料的硅酸盐胶凝材料低碳制造工程理论、气—液—固多相多质传输的 CO<sub>2</sub> 矿化与胶凝固结理论；非化石燃料替代化石燃料的比例  $\geq 50\%$ ，窑炉系统热效率  $\geq 70\%$ ，碳排放  $\leq 700\text{kg/吨熟料}$ ，标煤耗降低 7% 以上，且优于熟料单位产品 1 级能耗标准，建成示范线；开发的关键碳固化物相在 40%CO<sub>2</sub> 浓度下 1 天固碳量  $> 300\text{kg/吨}$ ，1 天抗压强度  $> 200\text{MPa}$ ，28 天氯离子扩散系数较传统硅酸盐水泥提升 1 个数量级；开发面向不同应用场景的碳固化材料 3 种以上，形成利用工业窑烟气制备碳固化材料技术体系，形成百万吨级工业化固碳能力。

## 7.2 高性能金属材料短流程低碳制造关键技术与示范应用

**研究内容：**针对钢、铜等关键金属材料碳中和对短流程制造新技术及其材料高质化的重大需求，研究新型短流程工艺条件下钢铁材料全过程组织演变规律和一体化调控技术，研发制备先进高强钢铁材料，开展成形、氢脆、疲劳等关键服役性能评估并进行产业化示范应用；研究铜合金短流程制造新原理新工艺，阐明短流程制造铜合金组织与性能演化规律，建立工艺-组织-性能关系模型；开发新型高性能铜合金，开发短流程产业化关键工艺。

**考核指标：**揭示短流程钢铁材料组织性能调控机制，开发出



780MPa 级冷成型和 1800MPa 级热成形先进高强钢，钢后工序制造能耗降低 $\geq 40\%$ ，并实现万吨级示范应用；构建短流程铜合金工艺-组织-性能关系模型，开发板带材和棒线材等 2 种新型铜合金产品及其短流程工艺，工艺流程缩短 50%、制造能耗降低 40%，建成万吨级铜短流程产线，并实现示范应用。

### 7.3 基于光纤传感网络的商用飞机智能复合材料

**研究内容：**研发基于光纤传感网络智能感知的智能复合材料，提出光纤/树脂界面相容性与光纤优化布设评价方法，构建功能/结构一体化智能感知复合材料的优化制备体系，开展商用飞机典型构件智能制备和结构响应监测示范验证，同时开展智能复合材料在商用飞机减振、减重、健康检测的应用探索。

**考核指标：**提出内植光纤和各向异性复合材料的相容性机理；智能复合材料的内植光纤直径 $\leq 60\ \mu\text{m}$ ，单纤传感数量 $\geq 2000$ 个，智能复合材料动静态结构力学性能变化 $\leq 5\%$ ；智能材料具有温度、应变和振动的感知功能，温度测量范围 $-60^{\circ}\text{C}$ — $220^{\circ}\text{C}$ ，测量精度 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，应变测量范围 $-10000\ \mu\epsilon$ — $10000\ \mu\epsilon$ ，精度 $\pm 3\%$ ，振动频率测量范围 $2\text{Hz}$ — $2000\text{Hz}$ ，精度 $\pm 3\%$ ，局部损伤定位精度 $\leq 10\%$ 。

### 7.4 计算与数据驱动的高性能光电功能薄膜材料

**研究内容：**围绕透明导电的高性能光电功能薄膜材料设计筛选与制备优化，发展基于人工智能加速的跨尺度、高通量计算方

法与数据库技术,研究多物理场协同作用下薄膜及其异质结构的生长动力学,探索电子—声子耦合和杂质散射等影响光电性能的微观图像及其动力学机制,研制基于高性能新型光电薄膜的复合结构与原型器件。

**考核指标:**高通量材料计算方法及软件的能量精度小于 3meV/atom,键长误差小于 0.05Å,每天可完成 500 种以上材料晶格结构、能带与态密度计算;建立自主且包含 $\geq 30$  万种功能材料的数据库,提供 3 万种以上光电材料的介电和力学张量数据;建立材料性能人工智能预测模型,实现 3 种以上数据驱动光电功能新材料发现案例。

### 7.5 心血管疾病诊疗一体化材料

**研究内容:**针对心血管疾病早期预警和精准诊疗的临床需求,研究磁基元及组装材料对光/声/磁等外场的多尺度原位响应机制;阐明心血管腔内多功能材料序构及与诊疗效果间构效关系;研究心血管斑块钙化与易损程度关联及病理微环境调控机理;建立多力学自由度血栓溶通一体化磁致动杂化纤维的制备与测控系统;发展诊疗一体化材料体系的智能递送、多模态成像和血栓消融功能的协同与集成技术。

**考核指标:**开发 3—5 种心血管疾病诊疗磁基元及组装材料(磁共振血管有效成像时间 $\geq 12$ h、剂量降低 30%;溶栓药载药率

≥40%、装载效率≥80%；斑块靶向效率较纯药物提高 20%以上)；建立材料外场响应原位评价和斑块钙化体外光学研究新方法；开发溶通一体化杂化纤维除栓样机，转向曲率半径≤3mm。

## 8. 青年科学家项目

### 8.1 长寿命高精度柔性传感器制造基础

**研究内容：**针对生命健康检测领域柔性传感器寿命短、稳定性差、工作温度区间窄、生物相容性有限等难题，研究复杂环境与机械疲劳载荷下柔性电极的失效机理，提出高导电、高延展、抗疲劳、宽温域、高生物相容、高频段的表面微细导电结构与新型复合柔性电极功能材料；研究表面微细功能结构对柔性电极寿命与稳定性的影响机制，提出微细导电结构复合电极的形性综合调控方法，形成长寿命高精度柔性传感器制造新技术，研制出可应用于生命健康检测的柔性传感器。

### 8.2 宽域超敏仿生感知结构设计与制造

**研究内容：**针对超精密高端装备等领域所需机械量（压力、振动等）传感器宽域检测范围与超敏精准感知难以兼顾的技术难题，揭示节肢动物机械量感知结构宽域超敏感知机理，建立宽域超敏仿生感知结构模型；提出宽域超敏机械量传感器仿生设计原理及方法；形成宽域超敏传感结构的精准可控加工制造技术，研

制出可用于空间卫星、大型超精密磨抛系统的宽域超敏机械量传感器。

### 8.3 载细胞复杂三维结构的多工艺融合增材制造研究

**研究内容：**针对药物研发用载细胞复杂三维结构精准制造难题，提出材料-结构-生物功能一体化设计理论与制造方法；研究物理及化学耦合作用下载细胞生物软材料成形机理与制备方法；形成多种载细胞生物软材料的三维宏微结构构建方法和多工艺融合增材制造技术，并实现结构的多级血管化；研究载细胞三维宏微结构诱导形成功能化活性组织的转变机制，研制出可用于药物筛选的功能化活性组织及自动化平台。

### 8.4 生物群体时空组织机理启发的网络化认知方法

**研究内容：**变革传统纯集中或纯分布的认知模式，构建生物群体时空组织机理启发的柔性网络化认知架构，研究高时效性多模态感知、自主学习和灵巧协同机制，探索面向时空关联任务的网络化情境理解与决策方法。

### 8.5 意图驱动的智能传输机理

**研究内容：**针对传统通信单纯追求数据传输性能、忽略数据蕴含的信息内容和含义，导致用户信息理解效率低及通信业务体验差等缺陷，基于无线通信、人工智能、认知科学等多学科交叉，研究意图驱动的通信传输模型，构建能够精准反映用户意图的传

输体系，探索广义信息编码传输机理，形成面向主观意图的无线传输新范式，推动通信技术向更高效、更智能、更个性化的方向发展。

#### **8.6 新型激光读取物理不可克隆器件**

**研究内容：**结合纳米材料科学与激光科学研究新型激光读取物理不可克隆器件，探索纳米材料构效性能对激光编码响应的调控规律，优化编码位响应均匀性与随机性，构建高鲁棒性编码方案与动态进制重构范式，探索噪声形成机制与器件失效机理，设计面向信息安全领域的高安全性、高鲁棒性的物理不可克隆器件及激光读取认证系统原型。

#### **8.7 海底沉积物光纤传感器探测方法研究**

**研究内容：**利用分布式光纤传感器技术，研究海底分布式光纤探测数据采集、处理与解释方法，探索海底三分量分布式光纤探测原理，提出沉积物结构海底光纤探测技术及其评价指标，在实验区形成应用示范。

#### **8.8 仿生智能感知与探测技术原理研究**

**研究内容：**研究海洋生物探测原理与生物声呐调控规律，揭示海洋生物材料特性，研制海洋仿生材料，开发海洋仿生智能感知与探测技术，构建基于数字孪生的海洋仿生智能探测系统。

#### **8.9 极端环境设施附着微生物群落及腐蚀机制研究**

**研究内容：**研究深海环境工程设施附着微生物群落特征，揭示不同材料与微生物多样性情况下的腐蚀矿化机制；研发腐蚀微生物光电定量检测技术，利用环境模拟和原位富集等方法分离培养微生物，鉴定新微生物种属，研究纳米填料、防污剂等与不同聚合物树脂复合的深海防腐防污一体化涂层技术和金属耐蚀抗菌镀层技术，并揭示其性能增强机制。

#### 8.10 特殊环境下长寿命高性能沥青路面材料设计与制备基础研究

**研究内容：**针对高原高寒、高温湿热严酷服役环境下沥青路面性能劣化难题，研究严酷环境下沥青路面与材料力学行为、性能演变规律与失效机理；研究纳米材料、聚合物等对沥青的改性机理与方法，研发适用于不同服役条件的长寿命道路沥青材料；开发具有自诊断自修复、抗车辙、防凝冰、抗滑等功能的高性能沥青路面材料；研究严酷环境下沥青路面材料力学行为、寿命演变规律与设计理论。

#### 8.11 新型轨道结构材料强韧化协同原理与调控理论

**研究内容：**针对复杂环境下有砟轨道固化道床、无砟轨道沥青混凝土基床等新型轨道结构材料强韧性协同设计难题，研究新型轨道结构的动态力学响应机制，建立材料—结构一体化设计理论与方法；研究新型轨道结构材料强韧性协同设计与多尺度调控，

开发面向多种应用场景，具备高适应性、高耐久性的新型轨道结构材料；研究环境—动载耦合下新型轨道结构材料性能演变与损伤失效机理，建立寿命预测模型。

#### 8.12 苛刻环境下交通设施关键结构劣化机制与长寿命防护理论

**研究内容：**针对高原、滨海等苛刻环境制约交通设施关键薄弱部位长寿命服役的难题，研究苛刻强变环境下路基、桥梁、隧道、码头等关键薄弱部位复杂局部环境耦合劣化形成及演化机理，建立复杂局部环境的关键因子(温度、结合水、盐含量等)致损致灾机制与模型；研究复杂局部环境与荷载耦合作用下关键结构与材料的累积损伤机制；建立基于局部环境演变、材料损伤和结构失效可靠度的结构失效模型；研究苛刻环境下材料与结构协同防御机制，建立适应苛刻环境的新型长寿命防护材料-关键结构设计理论与方法。

#### 8.13 常温常压信息存储材料态密度调控与器件

**研究内容：**研制具备优越读写循环次数、长时间数据保存、纳秒量级超快读写速度的常温常压新型信息存储材料与器件；提出可在常温常压下表征信息存储材料态密度的电化学检测新方法；开发具备纳米尺度空间分辨率的电化学检测技术及测量装置，揭示导致材料与器件失效的机制与影响规律。