

附件 4

国家重点研发计划 “工程科学与综合交叉”重点专项 2025 年度第一批项目申报指南

2025 年度第一批指南围绕空间科学、极端制造、信息、可再生能源、海洋、医工、交通工程、材料等 8 个重点领域进行部署，拟支持项目 148 项，安排国拨经费总概算 15.63 亿元。其中，拟支持青年科学家项目 32 项，安排国拨经费概算 9650 万元，每个项目 300—350 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 9 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。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，原则上团队其他参与人员年龄要求同上。

1. 空间科学领域

1.1 面向 CSST 的人工智能星系模型与类银河系演化研究

研究内容：基于 CSST 等大尺度巡天设施的海量观测数据和国内相关地面大型观测设备数据，面向银河系起源与演化重大科学问题，研发面向 CSST 科学研究的星系人工智能模型，具备天文领域专家级的数据处理、分析推理、模拟推演等能力；研发星系表征分析工具，建设高完备的星系观测数据集和基于 CSST 的星系参数星表；利用 CSST 星系人工智能模型和物理模型，对图像、光变、光谱等多种观测数据进行处理，对低信噪比、高红移河外星系数据进行增强，构建类银河星系数据库，开展多尺度、多角度联合分析研究；构建基于 CSST 星系人工智能模型的星系科学开放研究平台，支持对类银河星系的大规模搜寻，为全球天文学家基于 CSST 巡天数据开展星系起源和演化研究提供支撑。

考核指标：研发参数量 $\geq 100\text{B}$ 的 CSST 星系人工智能模型，支持 ≥ 3 种下游任务的示例精调；构建高完备星系观测数据集，星系数目 ≥ 100 万，每个星系包括图像、光谱、专家标注等信息；类银河星系搜寻条件 ≥ 5 ，比传统方法搜寻效率提升 20 倍以上，搜寻结果完备性 $\geq 90\%$ ；刻画类银河星系从红移 0 到红移 3 的演化历史；基于星系模型构建开放研究平台，支持 ≥ 1000 名天文学家的在线研究。

1.2 日地空间天气效应的全球性与中国区域特性研究

研究内容：利用 ASO-S、张衡系列卫星、风云卫星、澳科卫星和子午工程的天地基数据，聚焦灾害性空间天气事件的射电效应及其对地影响的全球性和中国区域特性，研究太阳爆发的射电辐射机制和传播过程，发展基于射电观测的日冕大气参数诊断新方法，追踪太阳爆发活动在近日空间的“全景”（多波段）动力学传播过程；探索太阳爆发对全球电离层/中高层大气的影响及其在中国地区的响应特征，揭示其引起的电离层和中高层大气多尺度扰动演化特性及其激发、传播和耗散机理；研究太阳爆发引起地球空间中性与带电粒子相互作用的过程和规律及其对全球电离层电场、电流结构、电子密度和无线电波传播的影响，揭示太阳爆发事件对大气化学成分和大气密度影响的物理机制；研究太阳爆发引起近地空间高能粒子通量上升的多尺度演化过程，揭示其伴随的粒子加速、传输和耗散的全链条物理过程；开发以自主观测数据为主导的太阳爆发活动对地有效性的物理与经验预报模式，形成空间天气体系化预报能力。

考核指标：揭示太阳爆发的射电辐射机制、高能粒子加速机制、传播特性、对地影响；建立太阳爆发的射电诊断和反演方法、自主数据驱动的太阳爆发传播物理预报模式，能否到达地球预报准确率 $>70\%$ （提高 15%），到达时间误差 <9 小时（提高 20%），提前量 >2 天；建立电离层对太阳活动响应的模型 1 套（ $1^\circ \times$

1°)，时间分辨率达到 15 分钟。

1.3 月壤资源高效利用方法与技术

研究内容：面向月壤资源规模化高效利用需求，开展热特性等效模拟物制备、高效加热与利用技术研究。开展月壤热特性研究，揭示月壤传热传质机理，创建热特性等效模拟物高效制备工艺与表征方法，开展月壤筛分分级与分选富集研究，形成月壤高拟实度制备方法与技术；揭示多相态月壤多场源受热、多手段强化传热传质等能量高效利用机制，研究月壤加热熔融、月壤水冰热致挥发基础理论，形成月壤及水冰物质加热提取与利用新方法新技术；开展熔融体与固态颗粒间结构粘聚效应研究，提出月壤混杂相态成型方法，拓展月壤成型新工艺与新应用；构建月壤加热熔融综合利用多模式验证场景，形成月壤及水冰资源高效利用评价体系，为月壤资源高效利用提供验证条件。

考核指标：模拟物 ≥ 3 类，模拟物与真实月壤热偏差 $\leq 25\%$ ，主要矿物组成、粒径分布与真实月壤偏差 $\leq 15\%$ ；研制月壤高效利用系统，具备筛分分级与分选富集能力，筛分粒度 $10\mu\text{m}$ 时筛分效率 $\geq 80\%$ ，磁性矿物富集比 ≥ 3 ；具备独立或复合能源加热、主动强化传热能力，最高加热温度 $\geq 2000^\circ\text{C}$ ，加热控温精度优于 $\pm 50^\circ\text{C}$ ，月壤水冰提取率 $\geq 85\%$ ；制定月壤熔融体与固态颗粒的混配成型工艺，成型构件抗压强度 $\geq 120\text{MPa}$ 、月基道路硬化强度 $\geq 20\text{MPa}$ ；月壤综合利用多模式验证场景 ≥ 3 类。

1.4 火星宜居环境演化

研究内容：面向 2028 年“天问三号”火星探测工程任务需求，以我国“天问一号”探测数据为主，结合 MRO 和 MAVEN 等国际探测数据，开展火星大气-表面圈层耦合过程的关键性科学问题研究。利用“天问一号”MINPA 和磁强计等数据，研究火星大气与太阳风作用机制，获取太阳风中中性化率及能量中性原子空间分布；探明火星大气中性氢、氧原子及氧离子等逃逸速率及其内外驱动源，揭示火星堆积磁层、大气和岩石剩磁等多要素与火星大气快速逃逸的内在关联；研究火星与水相关地形地貌特征规律，揭示含水矿物和沉积地层的形成机制和空间分布特征，表征当代火星表面水活动方式；厘清火星空间辐射条件，推演火星宜居环境演化历史，指导“天问三号”任务着陆区遴选和高科学价值样品的采集。

考核指标：磁场在空间环境中的调控，包括大气与太阳风作用机制，剩余磁场、低层大气、电离层和堆积磁层贡献；形成火星大气逃逸速率评估方案，包含氢原子、氧离子等 ≥ 3 种大气成分；现代火星水循环模型（主要为浅表层）；给出早期火星气候特征和演化新认识，绘制火星典型区域地质图（比例尺 $\geq 1:100000$ ，包括含水矿物、沉积地层、地形地貌等元素）。

1.5 基于 CSST 的恒星可分辨近邻星系研究

研究内容：针对中国空间站巡天空间望远镜（CSST）巡天

观测的约一百个不同类型恒星可分辨的近邻星系，充分利用人工智能等最新技术手段，以跨学科交叉优势，研究近邻星系内各个星族的恒星初始质量函数与金属丰度、恒星形成率、外围环境等特征的相关性，探究初始质量函数物理本质；研究星系群成员星系星族组成、各星族形成过程以及星系之间的相互作用，刻画成员星系共同演化历史；联合地面大型时域巡天观测设备研究近邻星系结构，搜寻新的矮星系，分析其卫星星系和星团物理特征；寻找各类星系中红超巨星等特殊演化阶段恒星并研究其演化，结合地面大型时域巡天观测搜寻近邻星系内爆发源的前身星。

考核指标：中国空间站巡天空间望远镜（CSST）近邻星系密集场恒星目标检测完备度好于哈勃空间望远镜现有水平 15 个百分点以上；发表世界最大近邻星系成员恒星多色测光星表，基于此星表完成 ≥ 4 个星系群全面刻画；测量 10 个星系初始质量函数；发现近邻星系新的矮星系和星团；证认 ≥ 10000 个超巨星样本；测量 ≥ 10 个爆发源前身星。

1.6 依托天关卫星的黑洞等致密天体活动机制及探测技术研究

研究内容：针对黑洞、中子星和白矮星各类致密天体的极端物理过程及其形成和演化中的关键科学问题，以国际最高探测灵敏度和空间分辨率，在 X 射线波段开展时域监测，发现并研究跨尺度、多类型的致密天体的剧烈活动及其物理机制。研究内容

包括：监测一批大质量黑洞的 X 射线光变，捕捉剧烈耀发及伴随中微子事件的耀发，研究耀发机制；监测银河系及近邻星系中的恒星级致密天体活动，发现新黑洞、中子星、白矮星，进一步揭示其活动规律和爆发机制；搜寻中等质量黑洞候选体，研究其活动机制及形成演化；研发基于天关卫星数据的天体耀发智能探测和证认技术，显著提升耀发探测和证认效率。

考核指标：监测 200 个大质量黑洞的长期 X 射线活动，探测 50 例 10 倍以上的剧烈耀发事件，开展 10 例中微子事件的耀发对应体的搜寻，限制和完善黑洞活动的理论模型和中微子产生机制；监测 100 个恒星级致密天体的活动，完善吸积和喷流理论模型，发现 10 个新的恒星级黑洞、中子星和白矮星；发现 5 例中等质量黑洞候选体，并获得黑洞质量估计；开发出针对“天关”卫星数据的耀发智能识别证认软件。

1.7 太阳系多类型近地小天体特性天地高效协同联测理论研究

研究内容：面向我国深空探测重大工程和近地小行星防御体系建设的重大需求，针对多类型近地小天体的立体观测方法和全息特性构建中的关键科学和技术问题，研究近地小行星的天地基可见光、红外等多源数据融合定轨方法，研发适用计算撞击地球概率的精密定轨动力学模型、高精度数值方法和处理软件；研究多波段天地基一体化联合巡天搜索策略，研发高置信度的近地小

行星大小、自转、形状等物理特性的天地协同多波段测定方法；研究小微流星体的快速捕获、材质反演、极短弧段数据关联与定轨方法，设计天地基多波段流星体监测演示系统，构建小微流星体尺频分布模型；研究高精度时空转换模型和深空测量模型，研发具有统一时空基准的天地基多维信息智能监测和处理平台。

考核指标：实现天地基光学和雷达 3 类数据联合处理，对天基多星监测组网轨道定轨精度优于 5cm，典型情况下小行星定轨精度优于 80km；优化协同巡天策略，提高巡天效率 20%；近地小行星特性测量数量 100 颗/年以上，特性测量准确率超 90%；年观测流星体 3 万颗，覆盖到 100 μ m~10m 流星体；流星轨迹确定精度可达 20m；平台支持 ≥ 3 类观测手段数据的仿真和融合处理，提供小天体检索、定轨残差统计、历元轨道、轨道预报、对测站数据仿真。

1.8 月面人机协同高效作业关键技术研究

研究内容：面向月球科研站建设重大工程需求，针对月面环境下着服航天员与机器人的高效协同作业问题，研究航天员着服后的人-机-环境系统动力学建模方法，建立人-服-机器人-作业环境耦合动力学模型；研究月面环境与有限信息下的航天员意图识别方法，构建基于人-服-机器人系统的多源信息融合机制；研究着服航天员与月面机器人任务动态分配与联合作业模式，确立共享空间安全交互机制，实现协同任务高效规划；研究月面环境

下人机协同控制方法，建立人机系统安全、高效控制策略；研究人机系统地面集成验证技术，构建全任务流程验证平台。

考核指标：人机协同任务类型 ≥ 10 种；着服状态下航天员意图识别模态 ≥ 5 种，判断时间 $\leq 1.5\text{s}$ ，识别准确率 $\geq 95\%$ ；机器人在线运动规划时间 $\leq 2\text{ms}$ ；航天员负荷降低90%以上；具备柔顺安全措施，确保航天员安全。

1.9 月面极端环境下微电网构建理论和关键技术

研究内容：面向月球基地大规模、长期驻留的能源供给需求，研究考虑核能、太阳能、氢能等月面能源分布特征的微电网多分区柔性组网技术，提出满足月面抗辐照要求的微电网系统架构、电压等级和供配电方式；研发可实现功率流多向调度的分区互联调节器，解决子分区内阶段性供用能失配问题；研究长月夜和极端高低温环境对月面能源供给/存储的影响规律，揭示月面微电网源-荷-储能量交互特性，提出考虑月面资源禀赋和载荷特性的运行调控方法；研究碎片撞击、单粒子效应等意外事件对微电网系统的作用机理，揭示故障特性及其演化规律，提出典型故障防护措施；构建月面微电网半实物模型，结合智能仿真技术进行月面微电网拓扑结构和控制运行模式的全面验证。

考核指标：构建 $\geq 100\text{kW}$ 的半实物验证系统，其中单个分区 $\geq 10\text{kW}$ ，系统母线电压波动 $\leq 2\%$ ；涵盖核堆、太阳电池阵、燃料电池等典型月面能源要素 ≥ 3 种；研发分区互联调节器，应

具备 3 个以上功率互联接口，额定功率 $\geq 20\text{kW}$ ，电能转换效率 $\geq 90\%$ ；对月面微电网系统的故障机理分析及应对措施，涵盖高低温、强辐照、月尘等 ≥ 3 种典型月面环境因素；制定月面微电网系统设计导则，包含月面环境适应性、系统架构、运行控制、故障防护等方面。

1.10 为载人航天服务的空间生命科学数据治理体系研究

研究内容：围绕空间生命科学研究数据高效存管用的需求，提出空间特殊环境下生命科学数据标准，建立从样本到数据的规范采集与质控体系。针对多类型生物在航天飞行不同时空节点上分子/细胞/生物体/生态位等多层次的多模态数据及样本，研发汇聚从观测到实验数据的智能治理技术，建立天-地结合的数据库与样本库；研发空间生命科学数据导航图，建设可交互检索的一站式科研数据支撑平台，揭示与生理病理功能表型相关的分子细胞机制及因果关系。融合空间生命科学研究数据与地球一般环境下的生物医学研究知识，开发基于大模型的空间生命科学智能体；面向太空条件下组织/器官/系统的生理病理改变、空间生命孕育等研究提供示范服务，赋能空间生命科学知识发现。

考核指标：制定 3~5 类的空间生物样本采集与保藏技术通用标准；建立一套空间生命科学跨尺度数据元素集和数据质量评价指标体系，支撑多源异构数据的规范化、统一化集成。研发 ≥ 3 项基于人工智能的数据治理工具，建成具备汇交 $\geq 1\text{PB}$ 多组

学多模态数据能力的数据库,具备完整质量管理体系的空间生物样本库;构建1个数据导航图,支持分子组学、表型与环境因子的交互式查询。研制1个空间生命科学智能体,在2~3项数据驱动的知识发现研究中应用。

1.11 空间组织器官仿生构筑及应用研究

研究内容:面向空间乘员与地面人群生命健康需求,围绕空间特殊环境(特别是微重力环境),针对人体重要器官(如心、脑、骨骼、肌肉、肝等),构建可模拟器官生理病理特征,并适应空间环境的器官芯片/类器官功能模块与在轨3D组织稳定培养系统;探究空间环境因素对体内器官结构和功能改变的影响和关键调控因素,阐释不同组织器官的感知响应与互作方式;整合多种生化检测手段与多组学分析技术,研究空间环境下物理力学改变对组织器官分子信号通路和代谢重编程等调控机制,阐明关键分子机制和敏感靶点;深度探索空间生物技术的地面转移,开发新型生物治疗手段,为保障空间乘员健康和地面相关疾病治疗干预提供新策略。

考核指标:针对空间生物学与航天医学研究需求,构建心、脑、肌肉、肝、骨等 ≥ 3 种人源性组织器官功能模块,开发2~3种空间血管化组织稳定培养和互联技术,建立集成式培养系统,并进行空间实验验证;解析2~3种空间环境下心、脑、肌肉、肝、骨等器官结构和功能改变的关键生物学机制,并发现1~2

种干预靶点或预防措施；建立 1 套具有自主知识产权的空间生命组学数据库，为空间生命科学研究提供独特研究工具与宝贵的科学数据，实现 1 项地面转移创新应用。

1.12 空间复杂多相流体多尺度动力学与调控

研究内容：针对空间先进能源动力、地外原位资源利用、在轨制造及环控生保等国家战略需求，揭示多场协同下喷雾液滴-液膜-壁面耦合互动、多相流动与相变传热强化机理及重力作用机制；建立复杂变过载下低温流体动力学机制与管理技术、超临界流体流动与跨临界相变耦合规律及系统能量利用方案；阐明（活性）微纳颗粒多场调控机理、输运与聚并机制、自组织-相变与非平衡动力学；发展纳米流体电喷印界面演化理论与形性调控技术；研究微/变重力下惯性颗粒湍流输运重力作用机制，发展颗粒群气力输运多尺度动力学。

考核指标：发展多相多物理场耦合热质传输理论和调控方法，建立稠密惯性颗粒流与可变形颗粒流跨尺度耦合动力学模型，预测误差 $\leq 20\%$ ；开发微重力多相流测试技术，三维液膜形貌测量精度 $\leq 1\mu\text{m}$ ，液膜速度测量精度 $\leq 0.3\text{cm/s}$ ，数字全息流动测量精度 $\leq \lambda/10$ ；形成（活性）微纳颗粒多场操控方法，温度梯度范围 $0.1\sim 1\text{K}/\mu\text{m}$ ，实现电导率 $\geq 10^{-4}\text{S/m}$ 耦合介观电荷迁移的电喷打印数值仿真与沉积线宽 $\leq 5\mu\text{m}$ 微重力实验验证。

1.13 微重力多物理场协同下近极限燃烧的关键基础问题

研究内容:面向载人航天防火安全以及高空和太空极端条件燃烧应用等领域,深刻了解可燃极限及主动控制手段成为迫切需求。利用微重力多组分气体燃料近可燃极限实验,研究微重力本征可燃极限及燃烧特性,揭示近极限条件下燃烧不稳定性和火焰结构演变规律;利用击穿和非击穿电场、磁场、声场等手段调控微重力环境下的燃烧极限;开发高效催化剂,利用微重力催化燃烧实验揭示近极限条件下催化对燃烧的影响规律,并发展模型和仿真平台;基于反应流计算的降维方法构建的人工神经网络预测模型,并对微重力多组分气体燃料的近可燃极限进行准确预测。

考核指标:微重力环境下的可燃极限实验值与模型预测值相对偏差 $\gt 10\%$;通过电场、磁场、声场等手段调控微重力环境下的可燃极限,调控范围达到可燃极限当量比的 $\pm 10\%$;开发 ≤ 2 种高效催化剂,通过微重力实验和数值仿真验证其可燃极限调控能力;研制空间站多场耦合燃烧实验插件原理样机 1 套,总功耗 $\gt 400W$,能驱动多场发生类型 2 种。

1.14 无机非金属材料制备与熔体热物性的空间环境效应研究

研究内容:面向航空航天和高灵敏探测领域对无机非金属材料的重要应用需求,发展突破极限性能的介电储能、红外与辐射检测、长寿命高可靠润滑等无机非金属材料。研究多元共晶陶瓷熔体的热物性和凝固调控,揭示熔体物理特性和共晶生长规律;

研究微重力、电、热多场耦合条件下介电陶瓷的多尺度显微结构、电畴、缺陷、晶界演化规律；研究微重力条件下多组分材料组分分凝，揭示多组分有序结构形成及演化规律，实现对材料缺陷和性能的调控；研究元素掺杂单晶材料的结晶形核和热质输运，阐明掺杂离子占位及分布规律，实现对材料结构有序与性能调控；研究空间微重力、辐照、高温耦合条件下非金属薄膜材料表界面特性，揭示晶相重构、构效演化与性能调控规律。

考核指标：聚焦空间环境效应下多元多组分无机非金属材料制备、构效关系、性能调控和熔体热物性，揭示微重力与多场耦合机制，在 $T_m \pm 200K$ 范围内建立复相陶瓷熔体热物理参数随温度变化的定量函数；介质陶瓷储能密度 $\geq 25J/cm^3$ ；多组分红外探测晶体组分不均匀性 $\leq 1\%$ ；辐射探测晶体能量分辨率优于 $7.5\% @ 662keV$ ；多组分薄膜润滑材料空间多场耦合条件下寿命 $\geq 3.0 \times 10^5 r$ 。

1.15 空间站微重力三维复杂等离子体关键科学问题研究

研究内容：针对空间站微重力复杂等离子体实验研究的迫切需求，研究三维复杂等离子体系统放电特性与其中介观颗粒间的相互作用，颗粒群体行为与系统参数间的关联；开发三维复杂等离子体实验分析系统，聚焦三维分布的颗粒识别和立体定位、速度三维追踪等；探索三维复杂等离子体的统计物理规律，包括非平衡涨落定理的时空收敛性质、多重输运的微观图像、活性颗粒

在等离子体中的集群运动规律等；挖掘三维复杂等离子体的一系列相变过程在颗粒层面的物理机制，包括结晶、熔化，以及超临界类气液转变等；分析强耦合液相复杂等离子体的流变行为，包括流体横波传播的截止波矢、不同时空尺度下的流变特性等。

考核指标：构建等离子体放电模式对颗粒间相互作用的自洽模型；基于实验载荷参数，优化三维立体重建算法，实现实验误差不高于理论误差上限的 3 倍；给出不同子系统熵增减概率比的收敛性质，得到涨落定理收敛时间；基于不少于 3 种有效判据，给出不同参数条件下复杂等离子体的超临界转变温度及相图；给出系统横波截止波矢数值，及其与参数的关联。

1.16 基于 SMILE 任务的太阳风-磁层整体相互作用研究

研究内容：面向提高我国空间天气的预报能力的需求，本项目将开展日地耦合太阳风-磁层整体相互作用过程以及机理研究。研究日球层和宇宙背景的 SWCX 软 X-射线，地球日侧磁层顶的磁场重联模式，磁层亚暴活动周期，磁层的磁暴与亚暴的关系。

考核指标：对太阳风电荷交换辐射 (SWCX) 进行物理建模：解构 ≥ 4 种高价粒子成分的辐射，模型确认对 SWCX 辐射贡献占比达到 30% 以上的粒子成分；从软 X-射线背景判断磁层顶，空间精确度达 $0.5R_e$ (地球半径)。对地球磁层顶磁重联、亚暴、磁暴进行建模：确认日侧磁重联的空间位置和起始时间，空间精确度达到 $2.0R_e$ ，时间精确度达 10min；获得电流体系的空间分

布模型，空间范围至少达 30Re。

1.17 面向环境治理的空间碎片监测和演化机制研究

研究内容：面对外空活动长期可持续发展需求，针对我国空间碎片高精度数据模型和环境治理策略缺乏等问题，研究基于多波段广域监测的空间碎片编目方法，支持解体小碎片和地月空间碎片的发现和编目，建立公开发布的多维度空间碎片特性数据库；研究基于多元数据融合的高精度定轨预报模型，构建高精度大气阻力和太阳光压、目标瞬态特征模型，应用于重点目标的高精度定轨预报；发展空间碎片多维度精细特性建模技术，结合多波段实际探测信息和地面实验室测量数据开展模型验证和改进；研究复杂环境耦合下的空间碎片环境长期稳定的影响机理，开展空间环境指数和空间承载力分析评估，应用于空间碎片清除星座设计、清除策略和效能评估以及巨型星座治理。

考核指标：建立基于自主数据建立包含低轨道、高轨道以及地月轨道空间碎片光学图像、测轨、特征等信息的综合数据库，极限尺寸突破低轨 2cm，中高轨 10cm；重点低轨碎片定轨精度优于 1m、24h 预报精度优于 50m，重点高轨碎片定轨精度优于 100m、24h 预报精度优于 500m；基于多波段数据的高精度特征模型对重点目标特征反演误差 < 10%；200 年内轨道演化平均半长轴精度优于 50km。

1.18 暴时电离层扰动对北斗/GNSS 高精度测量影响研究

研究内容：针对北斗/GNSS 及其增强系统对短期、中尺度电离层扰动急变的精确建模和高效表达的重大工程需求，研究太阳活动事件期间电离层扰动及其影响导航服务精度的物理机理，实现对电离层扰动影响导航性能的预警；构建短期、急变电离层模型，研究其在北斗/GNSS 及增强系统导航电文中的高精度高效表达、生成和应用策略；研发配套的系统端和用户端原型软件系统，构建基于地面网络或无线电播发的端到端系统，在至少一个典型区域开展实测验证。

考核指标：提出太阳活动高年（平时和暴时）北斗/GNSS 电离层模型参数精化调整方案、生成策略、更新机制和用户端应用策略，具备升级现有北斗及其增强系统的可实施性；在不改变广播电文格式的前提下，提出系统端和用户端改造方案，实现暴时 ($k_p \geq 4$) 电离层 TEC 广播模型精度、SBAS 电离层格网模型 GIVD 精度和星基增强服务可用性等总体提升 20%，单频 SPP 定位误差和 PPP-B2b 收敛时间恶化程度压减 50%，低轨卫星实时定轨精度优于 0.3m；研制验证系统，基于不少于 6 年的数据开展效能验证。

1.19 木星空间环境的科学研究及探测原理

研究内容：面向天问四号木星探测工程需求，建立遥感与辐射环境原位探测关联，研究全球动态变化并服务卫星探测工程需求；针对木星系统起源与演化的重大科学问题，完善大气与空间

物理场模型，理解内部结构；聚焦木星系统物质能量循环这一前沿研究方向，发展高精度全球数值模式，揭示磁场结构及空间环境效应；基于木星系统的可拓展比较特性，建立比较行星学手段研究定性定量分析框架，完善木星环境向太阳系内外行星拓展应用的理论依据。

考核指标：揭示木星空间环境物质与能量输运规律及机制，建立一套木星全空间数值模式，时间分辨率优于 1s，在木卫四处空间分辨率优于 0.1 个木星半径；建立一套木卫内部关键参数反演方法，可分离木卫四的感应磁场来源；建立一套高能粒子辐射模型，提供平均状态和极端状态的粒子辐射分布；建立一套木星大气温度和风场反演算法，提供对流层（1bar~0.1bar）风场垂直廓线（3~5 层），对流层/平流层（1bar~0.1mbar）温度垂直廓线（15~20 层）的全球分布。

1.20 空间天气关键物理过程的地面实验研究

研究内容：发展针对相关地面等离子体装置的数值模拟模型，实现和空间天气关键物理过程的等效性评估；构建高时空分辨率的电磁场与粒子诊断技术体系；揭示磁场重联扩散区的精细结构和能量转换过程；探究等离子体波动和高能粒子束的相互作用。

考核指标：在地面等离子体装置上获得高时空分辨诊断数据，开展天气关键物理过程的实验研究，揭示其演化规律。建立针对地面装置的数值仿真软件 1 套；实现关键物理参数全域性同时测

量：测量点位 ≥ 60 个，空间分辨率优于8mm、时间分辨率优于0.5 μ s。粒子束传输磁场测控精度优于10ppm，粒子束斑监测精度优于1mm。

1.21 月表空间环境一体化感知技术研究

研究内容：针对月表挥发分输运机制研究对月表环境多要素一体化感知的重大工程需求，开发高性能多要素环境感知技术，包括基于多光谱联用的月表物质成分和显微成像的物质形貌探测技术、高质谱分辨及高精度中性与带电粒子探测技术、高灵敏带电尘埃探测技术；研究紧耦合载荷集成架构技术以及自主智能的多要素协同探测技术；开发基于月表物质、悬浮月尘、中性及带电粒子(含光电子及二次电子)的多要素月表挥发分迁移模型，模拟月表重要挥发分(H_2 、 H_2O 、He、Ar、K等)的空间分布；建立基于软、硬件的多要素一体化感知的自主联合月表空间环境一体化感知平台，满足月表挥发分输运机制的科学研究需要。

考核指标：载荷一体化感知方面：月表物质成分：光谱范围220nm~850nm(分辨率 ≤ 0.2 nm)，1.6 μ m~3.4 μ m(分辨率 ≤ 10 nm)；月表物质形貌：分辨率 ≤ 0.1 μ m；中性粒子密度：范围 $10^2 \sim 10^6$ cm $^{-3}$ ，准确度 $\leq 10\%$ ；中性及带电粒子质谱：范围1~250amu，分辨率($M/\Delta M$) ≥ 500 ；带电尘埃：电荷感应灵敏度 ≤ 0.1 fC；一体化紧耦合集成设计，支持 ≥ 4 种要素的对月表挥发分自主智能协同一体化观测。一体化数据融合分析建模方面：建

立月表挥发分迁移模型；具备模拟月表和外逸层中挥发分浓度及其随经纬度、地方时变化特征。

1.22 地月空间长期载人可维护空间站关键工程科学问题研究

研究内容：面向我国争夺地月空间战略制高点、发展月球科研站和探索未知宇宙空间的迫切需求，构建地月空间长期载人可维护太空港的系统架构和设计模型；建立载人太空港智能管控与自主规划算法及模型，解决地月空间测控条件保障难与载人航天器安全性要求高、决策实时性需求强的矛盾；利用地球和月球资源开展太空制造研究，建立抗辐射-抗冲击多材料体系和多目标性能协同优化模型，突破梯度材料界面强化与致密化成形难题；建立航天器内空间免疫生物技术体系，为人类在深空环境超长期生存提供科学依据。

考核指标：论证符合我国国情的地月空间长期载人太空港建造可行性方案，建立系统架构和设计模型 1 套；建立太空港在轨任务规划模型 1 套，融合 ≥ 10 种约束条件；提出 ≥ 5 种太空港在轨自主健康监测与处置算法，利用 ≥ 4 种模态的空间站在轨数据完成系统验证；研发基于地球和月球资源融合的多材料太空制造工艺，典型构件 ≥ 5 种，构件可适应温度 77K~400K，具备微流星体防护能力，密封舱全任务周期 PNP ≤ 0.9 ；形成多宿主空间环境免疫系统产物数据库 1 套；在空间站上开展相关科学技术验

证。

1.23 空间探索中人体生命信息跨尺度表征与人的能力演进

研究内容：面向空间探索中人体多维度动态响应知识解析、健康稳态评估预警、环境适应性能力提升等关键科学和技术问题，通过多学科交叉融合，解决空间探索人体多维度组学与多模态表型数据生命信息获取难题，构建空间探索新技术驱动的人体生命信息表征集；绘制全周期人体动态响应知识图谱，从微观到宏观全景揭示人类适应空间探索的动态过程及深层机制，建立空间探索人体跨维度数据到知识解析体系；探究空间环境对健康风险的影响机理及潜在路径，鉴定多维度关键响应参数及其动态时序特征，发展健康稳态评估预警技术提升人类空间探索适应性；开发人的能力增强新范式，提升载人飞行任务中人的适应探索能力。

考核指标：构建跨尺度空间探索中多维度（ ≤ 5 ）人体信息数据图谱 1 套，发现人体适应特征；开发长期保存样本的预处理、分析技术 2~3 项，制备技术成熟度 ≤ 3 级原理样机 1~2 套；完成空间飞行人体健康稳态评估与风险预警模型（准确率 $\leq 80\%$ ）1 套；建立能力演进人机智能融合的感知与交互新范式 1 种。

1.24 地球先锋微生物地外环境拓荒微生态体系构建

研究内容：针对地外生命探测和向地外拓展生存边界的迫切需求，研究高能粒子、紫外、大气、温度、模拟火/月壤、磁场等多环境要素的协同模拟技术；评价地衣、蓝藻、古菌为主的地

球先锋微生物在强辐射、干旱、高/低温、微氧等地外模拟环境下的生存繁殖及拓荒能力，阐明机制；评价共生型自养地球先锋微生物在强辐射、干旱、低温、微氧等地外模拟环境下的生存繁殖及拓荒能力，阐明机制；基于人工培养物构建向地外拓展生存边界的生命自我维持或共生循环拓荒微生态系统，建立局域和人工可控的地外土壤固化改良微生态技术体系。

考核指标：建立至少涵盖高能质子($>20\text{MeV}$)、紫外(200~400nm)、火星大气、高/低温、亚磁、模拟火/月壤 6 类环境要素的综合模拟装置 1 套；筛选出多要素综合模拟环境下耐旱、拓荒的地衣、蓝藻、古菌为主的先锋微生物 10~20 种，揭示生存繁殖及拓荒新机制 2~3 个，建立千株以上地外拓荒先锋微生物种质资源库 1 个；开发多重防护功能高分子材料 1 种，自愈合速度 300s 内；提出先锋微生物协同加固地外土壤技术 1 套，最高抗压强度 5MPa；利用人工培养物构建产氧/产甲烷和改良模拟火/月壤的拓荒微生态系统 1~2 套，具备生命自我维持或共生循环功能。

1.25 面向地外天体精准着陆的遥感测绘与仿真模拟验证

研究内容：面向我国地外天体探测工程精准着陆任务的定位、导航与触地优化需求，研究融合多源遥感数据的地外天体参考控制网构建技术，构建多源数据获取到处理的误差分析模型与全链路误差溯源理论，阐明多源数据协同构网的精度约束机制；研究

观测数据缺失条件下地外天体表面地形的三维建模方法,建立考虑多次散射与未知大气影响的动态光照建模模型,解决复杂光照条件下地形测绘精度不足的问题;发展基于地形视觉特征的匹配导航方法体系,构建地形障碍误差与遇障概率模型,突破全着陆阶段自主定位导航的关键技术;开展着陆触地阶段羽射喷流过程的真空环境试验,系统分析喷流对地形环境的扰动范围及其改造效应,并通过模拟着陆实验进行双向验证,为着陆过程优化提供理论支持。

考核指标: 构建的影像控制网定位精度优于 10m; 构建的着陆区地形空间分辨率优于 0.3m、动态光照模型时间分辨率优于分钟级; 着陆点定位精度优于 5m, 避障安全区优选置信度优于 99.7%; 开展喷射器构形与喷射状态关键参数分析, 喷射指标参数 ≥ 4 类。

1.26 月球熔岩管形成机理和探测方法

研究内容: 面向月球永久基地选址的重大工程需求, 深入研究火山活动、熔岩流动固化及热对流动力学理论, 阐明月球熔岩管形成机制, 建立月球熔岩管空、地、体探测与评估基本理论框架; 研发月球熔岩管遥感探测技术, 建立多参数联合解译方法, 明晰全月熔岩管空间分布规律; 创新月球熔岩管原位结构、形态与资源一体化探测技术, 构建典型月球熔岩管可利用性评价体系; 突破月球熔岩管岩土力学参数就位勘测技术, 攻克月球熔岩管岩

土样本采集与地面测试技术,构建月球熔岩管结构稳定性评估模型。

考核指标:构建月球熔岩管形成机理解释模型,建立月球熔岩管空、地、体综合评估指标;建立熔岩管遥感探测和内部结构探测方法,研制原理样机 1 套,三维模型分辨率达到厘米级;研制月球熔岩管岩土力学参数微型综合勘测装备样机 1 套,测试精度 $\geq \pm 3\%$;建立月球熔岩管结构稳定性评估方法并研发软件 1 套,公里级尺度模型计算误差 $\leq \pm 5\%$ 。

1.27 空间稀薄气体原位用电推进技术

研究内容:针对超低轨道航天器对空间稀薄气体原位资源利用用电推进技术的应用需求,开展空间稀薄气体原位用电推进技术研究。构建混合分子气体高效电离加速物理模型,掌握电离加速特性与工程设计参数之间的映射关系,研制适用于空间稀薄气体工质的电推力器;研究高速稀薄气体粒子与壁面相互作用机理,掌握特定构型下的稀薄气体流动与输运特性,研制大增压比集气装置;根据超低轨道空间环境特点提出气体组分及密度测试方法,研制精密测量专用仪器;开展电推进与大增压比集气增压装置集成优化设计,系统优化性能指标,明确关键指标验证方法并提出地面测试评价方案,完成地面性能集成测试。

考核指标:以氮氧混合气体为工质,开发电推进仿真模型 1 套,电推进等离子体特性仿真误差优于 20%;研制环境气体原

位利用电推进系统原理样机 1 台，在氮氧混合气体 1:1 组分条件下实现：推力 $\geq 15\text{mN}$ 、推功比 $\geq 15.5\text{mN/kW}$ 、电推力器效率 $\geq 35\%$ ，气体增压装置收集效率 $\geq 30\%$ 、增压比 ≥ 500 倍的性能指标；轨道环境气体专用测试仪器 1 台，氮气、氧气测量误差优于 $\pm 5\%$ 。

1.28 火星探测与返回工程中的关键科学问题研究

研究内容：针对火星探测与返回任务中必须攻克的确着陆、火面起飞等关键任务需求，开展超高速进/再入气动、材料与结构耦合模拟研究，建立气固两相烧蚀耦合的算法和模型；开展超音速降落伞瞬态非线性大变形过程多物理场耦合分析方法研究，建立超声速下伞衣纤维和结构透气特性模型；开展火星精确定点着陆及起飞上升自主容错导航与鲁棒控制理论方法研究，提出火星着陆过程高精度图像导航算法和系统设计方案；开发一种应用于火星表面起飞的可适应火星夜间低温的低冰点推进剂，揭示低冰点推进剂宽温域稳定性与燃烧动力学工作机理，研究火面推进剂原位制备技术。

考核指标：火星进入速度不低于 4.7km/s ，火星返回地球再入速度不低于 11.5km/s ；超高速进/再入多因素耦合工况下典型位置热环境预测误差 $< 10\%$ ；火星降落伞瞬态非线性大变形过程 ($\text{Ma}0\sim 3$) 多物理场耦合工况下气动力计算误差 $\leq 8\%$ ；火星定点着陆精度达到 100m 量级；低冰点推进剂冰点 $\leq -100^\circ\text{C}$ ，自燃

着火延迟期 $\leq 5\text{ms}$ ，发动机真空比冲 $\geq 315\text{s}$ ；火面原位氧和甲烷制备效率不低于 60%。

2. 极端制造领域

2.1 电池集流体超宽极薄复合箔材原子沉积制造

研究内容：围绕电池集流体米级幅宽极薄复合箔材绿色制造需求，开展全干法原子沉积制造基础研究。提出低熔点热敏感柔性高分子基底恒低温冷却控制方法；阐明高分子基底表面金属原子均质沉积规律，揭示沉积金属层组织结构调控机理；建立复合箔材结构-力学性能-电学性能-抗腐蚀作用之间的关联关系，发展极薄高强高导耐腐复合箔材高效制备技术；建立多场耦合下复合箔材宏微观跨尺度制造计算模型；开发复合箔材全干法制造装备，实现复合箔材批量制造，并在全电池体系中应用验证。

考核指标：阐明低熔点热敏感柔性高分子基膜表面活性官能团与金属粒子强相互作用原理，揭示金属种子层结构演化与调控机制；形成极薄复合箔材金属镀层均质低缺陷全干法制造技术，研制复合箔材全干法制造装备，可生产幅宽 $\geq 1.5\text{m}$ 、高分子基膜厚度 $\leq 4.5\ \mu\text{m}$ 、单面金属层厚度 $\leq 1\ \mu\text{m}$ 的复合箔材，单台装备生产双面复合箔材产率 $\geq 1200\text{m}^2/\text{h}$ ，单次连续长度 $\geq 7000\text{m}$ 。复合箔材产品技术指标：横向厚度不均匀性 $\leq \pm 6\%$ 、纵向厚度不均匀性 $\leq \pm 3\%$ 、粗糙度 $S_a \leq 0.3\ \mu\text{m}$ 、面密度均匀性 $\leq 0.5\text{g}/\text{m}^2$ 、抗拉强度 $\geq 200\text{MPa}$ 、复合铜箔方阻 $\leq 20\text{m}\ \Omega$ 、复合铝箔方阻

$\leq 40\text{m}\Omega$ 。实现复合箔材批量制造，并建立产品数据库，数据采集量：国产化全干法制造装备 ≥ 15 台套，复合箔材面积 $\geq 1.8 \times 10^6\text{m}^2$ 。在三元锂电池体系中应用验证：对比 $6\mu\text{m}$ 铜箔/ $10\mu\text{m}$ 铝箔传统电池集流体，复合箔材集流体电芯质量减少 $\geq 5\%$ ，质量能量密度提升 $\geq 6\%$ 。

2.2 大推质比液氧/甲烷发动机关键构件高集成一体化设计制造

研究内容：面向我国重复使用大推质比液氧/甲烷发动机高集成、低成本研制的迫切需求，建立大推质比发动机关键构件高集成一体化结构设计模型，阐明复杂型腔封闭结构与受限空间内推进剂高效稳定燃烧、流动控制、热防护等内在耦合机制，揭示高温合金大梯度壁厚差精密结构熔凝缺陷控制与全流程组织演变规律，建立跨尺度结构性能一致性主动调控方法，突破复杂液体火箭发动机结构精密铸造、增材制造等关键技术，研制富氧预燃室-泵壳体发动机组件及喷注单元等样件，并实现点火测试。

考核指标：建立大推质比发动机关键构件高集成一体化结构设计理论，掌握高强抗氧化构件微观组织与性能综合调控方法，突破复杂发动机结构精密铸造与跨尺度结构增材制造技术，研制出液氧/甲烷发动机核心关键构件。液氧/甲烷发动机理论推质比 ≥ 140 ；高强抗氧化合金大壁厚差铸造构件最大轮廓尺寸 $\geq 500\text{mm}$ ，粗糙度 $Ra \leq 3.2\mu\text{m}$ ；增材制造跨尺度结构件壁厚差

$\geq 1/15$ ，跨尺度特征结构性能差异 $\leq 15\%$ ，增材制造材料致密度 $\geq 99.9\%$ ；预燃室-泵壳体试验件液压强度 $\geq 60\text{MPa}$ ，喷注单元经过点火测试。

2.3 复杂严酷失效机制叠加条件下承压设备损伤理论与安全评估

研究内容：面向石油化工等流程工业高温承压设备长寿命安全运行重大需求，研究高温承压设备在复杂严酷失效机制叠加条件下的材料微观组织演变规律，揭示高温承压设备回火脆化与氢脆、蠕变、球化之间的相互作用损伤机制，建立承压设备损伤演化动力学模型并确定损伤容限，提出高温承压设备寿命预测与安全评估方法，形成长时服役承压设备检维修策略，并在石油化工等领域进行工程示范应用。

考核指标：揭示回火脆化与氢脆、蠕变、球化叠加对材料组织及性能的影响机制；提出复杂严酷失效机制叠加条件下承压设备寿命预测与安全评估方法，叠加失效模式 ≥ 3 类；形成服役35年以上高温临氢容器实物解剖试验数据库，样本数量 ≥ 2000 例；开发承压设备结构件高温性能测试装置，温度 $\geq 480^\circ\text{C}$ 、压力 $\geq 20\text{MPa}$ ；开发高温承压设备服役50年延寿技术，修订/报批高温临氢容器运行维护相关国家标准 ≥ 1 项；在石油化工领域服役35年以上高温临氢容器、高温蒸汽管道等示范应用 ≥ 10 台套。

2.4 高强铝合金薄壁构件镜像加载无模成形新原理

研究内容:面向新一代飞行器对高强铝合金薄壁件快速迭代低成本与无缺陷的制造需求,提出复杂曲面薄壁构件镜像加载无模成形新原理,发展小批量薄壁件高效率低成本成形新技术。研究高强铝合金局部刚柔加载变形力学行为及各向异性三维本构关系,揭示镜像匹配加载提高铝合金成形极限的力学机制,提出曲率交变复杂薄壁件镜像加载轨迹优化与缺陷控制方法,研发多参量协同控制镜像加载成形装备样机,研制典型飞机舱门样件并进行静力试验验证。

考核指标:阐明曲面薄壁构件镜像加载无模成形新原理,提出高强铝合金无模镜像成形方法,研制无模镜像成形装备样机 1 台:成形力 $\geq 8\text{kN}$,位移进给精度 $\leq 0.1\text{mm}$,工作区面积 $\geq 3\text{m}^2$;试制飞机舱门样件,缩短周期 80%以上,局部凸起极限高度提高 2 倍以上,小圆角比 ≤ 5 ,壁厚 $\leq 2\text{mm}$,减薄率 $\leq 20\%$;铝合金构件试样抗拉强度 $\geq 450\text{MPa}$,延伸率 $\geq 10\%$,并进行静力试验验证。

2.5 难变形金属极薄带电致塑性轧制关键技术与装备

研究内容:针对高精密难变形金属极薄带在光刻机、电子 3C 等领域的迫切需求,构建极薄带“宏-介-微”多尺度电致塑性轧制变形模型,揭示极薄带轧制尺寸效应和变形机理;探究电流对极薄带位错运动、相变、再结晶的作用机理,阐明“电-热-力”多场作用下极薄带微观组织演变规律及力学性能调控机制;

明晰多因素耦合作用下极薄带金属流动与张力分布的动态关联机制，建立张力精准调控策略和板形计算模型，开发极薄带轧制规程计算软件；优化关键结构件绝缘与功能特性，研制特种精密多辊轧制装备样机，开展难变形金属极薄带电致塑性轧制试验验证。

考核指标：建立极薄带“电-热-力”多场耦合轧制变形理论，揭示电流作用下难变形材料组织性能演变机理，突破难变形金属极薄带电致塑性轧制技术，研制特种精密多辊轧制样机，试制高品质极薄带产品。对比常规室温轧制，脉冲电流施加后轧件屈服强度下降 $\geq 10\%$ 、轧后维氏硬度降低 $\geq 15\%$ 、轧后断裂伸长率提升 $\geq 20\%$ ；轧机工作辊直径 $\leq 16\text{mm}$ ，辊身长度 $\geq 250\text{mm}$ ，轧制力 $\geq 300\text{kN}$ ；轧件最小可轧厚度 $\leq 0.01\text{mm}$ ，板厚偏差 $\leq 10\%$ ，板形平直度 $\leq 10\text{I}$ 。

2.6 晶圆级微光学元件制造基础

研究内容：针对深紫外光刻机等集成电路装备对氟化钙晶圆级微光学元件的超精密制造需求，揭示微光学元件表面加工形貌与光学性能之间的全频段映射关系和影响机制，研究高效率、低损伤阵列非球面仿形超精密磨削工艺技术，建立晶圆级微结构表面高一致性、近零损伤的保形抛光方法，研究大面积微结构三维形貌与表面完整性的跨尺度测量和高精度表征方法，研发针对晶圆级微光学元件的成套超精密制造工艺与装备，在集成电路制造

领域开展应用验证。

考核指标:揭示光学微结构超精密仿形磨削加工原理和亚表面损伤抑制机制,阐明多能场作用下微结构表面材料改性与高效、均匀微量去除机理,建立微结构阵列表面完整性与使役性能间映射关系,开发针对氟化钙等软脆晶体材料的亚纳米级超精密加工和检测技术;晶圆尺寸 ≥ 6 寸,微结构阵列周期 $\leq 500\ \mu\text{m}$,微结构单元面形精度 $\text{RMS} \leq 30\text{nm}$,表面粗糙度 $S_q \leq 2\text{nm}$;光学不均匀性 $\leq 2.5\%$;在集成电路制造领域典型应用场景中开展验证。

2.7 结构超滑自供能微系统制造与集成

研究内容:针对物联网领域对低能耗、长寿命自供能微系统的研制需求,研究原子级光滑结构超滑表界面精密制造技术;开发结构超滑接触副与器件功能结构的可靠集成技术;研究结构超滑功能界面的多物理场耦合机制及性能极限;研究集成结构超滑功能界面的高功率密度微发电机和低能耗、低插入损耗微机械射频开关的设计方法与制造技术;研制集环境能量俘获与发电、无线信号发射等功能于一体的长寿命、低功耗结构超滑自供能微系统,在智慧电网中开展应用验证。

考核指标:形成原子级光滑结构超滑表界面的设计理论、制造方法以及结构超滑功能部件集成到自供能微系统的制造技术;结构超滑功能界面的表面粗糙度 $R_a \leq 0.4\text{nm}$;开发出结构超滑微发电机,功率密度 $\geq 0.04\ \mu\text{W}/\text{mm}^3$,寿命 ≥ 1 亿次;开发出结构

超滑微机械射频收发开关，开关能耗 $\leq 0.04\text{mW}$ ，插入损耗 $\leq 0.2\text{dB}(2.4\text{GHz})$ ，寿命 ≥ 1 亿次；开发出结构超滑自供能微系统，微系统体积 $\leq 20 \times 20 \times 15\text{mm}^3$ ，在智慧电网监测场景中应用验证。

2.8 高性能曲面金刚石光学元件设计与制造

研究内容：针对高超声速飞行器对服役光学元件的复合透波、抗热震和耐侵蚀等性能的迫切需求，研究极端工况下曲面金刚石光学元件气动热力失效机理，提出元件光/力/热耦合一体化设计方法；突破多场耦合微波等离子体调控难题，开发高光学透过性大张角曲面金刚石均质沉积技术；揭示多能场作用下金刚石材料去除机制，形成大径厚比曲面金刚石形性协同超精密加工工艺；建立材料特性-加工精度-服役环境-元件性能综合评价体系，研制大张角高性能曲面金刚石光学元件，实现地面模拟验证。

考核指标：形成曲面金刚石均质生长、超精密加工、检测评价理论与技术；开发高超声速飞行器用大张角高性能曲面金刚石材料，口径 $\geq 75\text{mm}$ 、厚度 $\geq 1.2\text{mm}$ 、球面张角 $\geq 120^\circ$ 、长波（ $8.0 \sim 12.0 \mu\text{m}$ ）透过率 $\geq 70\%$ 、中波（ $3.0 \sim 4.1 \mu\text{m}$ ）透过率 $\geq 65\%$ 、通光口径范围透过率差异 $\leq 5\%$ ，断裂强度 $\geq 400\text{MPa}$ ；元件内外球面粗糙度 $\leq 10\text{nm}$ 、内球面圆度误差 $\leq 50 \mu\text{m}$ 、外球面圆度误差 $\leq 25 \mu\text{m}$ 、同心度中心偏距 $\leq 60 \mu\text{m}$ ；元件抗氧化温度 $\geq 800^\circ\text{C}$ 、砂蚀速率 $\leq 1.9\text{mg/kg}$ 、抗热震 $\geq 600^\circ\text{C}$ ，完成地面测试验证。

2.9 极强放射性 U-TRU-Zr 金属燃料芯体制造基础

研究内容:针对一体化快堆等堆型对极强放射性、极强毒性、加工易变形变性的铀-超铀-锆 (U-TRU-Zr) 金属燃料芯体制造重大需求, 研究物理数据融合驱动的 U-TRU-Zr 燃料物性参数分析模型, 探明芯体干式切削机理与控形控性切削工艺; 研究极强放射性对高精度传感性能的影响规律, 提出适用于芯体外形尺寸与外观缺陷的检测方法; 研究芯体制造装备的性能退化机制, 突破关键功能部件抗强辐射设计技术; 研制芯体制造原型装备, 在极强放射性下实现模拟材料制造的试验验证。

考核指标:形成极强放射性 U-TRU-Zr 金属燃料芯体制造基础研究的新技术/新方法 ≥ 3 项; 建立芯体物性参数分析模型: 抗拉强度误差 $\leq 10\%$, 弹性模量误差 $\leq 10\%$, 衰变热误差 $\leq 10\%$; 突破芯体控形控性切削机理与工艺: 实现直径 5mm~10mm、最大长径比 100 的芯体干式切削, 直线度 $\leq 0.6\text{mm}$ (全行程), 端面垂直度 $\leq 0.1\text{mm}$; 发展芯体外形尺寸与外观缺陷检测技术: 尺寸检测不确定度 $\leq \pm 0.05\text{mm}$, 可自动识别芯体表面缺陷 ≥ 3 类, 识别准确率 $\geq 95\%$; 揭示关键功能部件性能退化机制, 建立抗强辐射设计方法, 研制金属燃料芯体制造原型装备, 实现耐辐射累积剂量 $\geq 10^5\text{Gy}$ (钴-60 源、剂量率 $\geq 50\text{Gy/h}$)。

2.10 弱刚性复杂曲面 X 射线反射镜超精密制造

研究内容:面向空间 X 射线望远镜对超精密反射镜的制造

需求,研究硬脆材料弱刚性复杂曲面反射镜超精密磨削面形误差与加工损伤的形成机理与控制策略;研究弱刚性复杂曲面反射镜抛光的材料去除机理与表面形性控制方法;研究复杂曲面反射镜超精密加工与在位测量共机集成方法,研制反射镜加工-测量一体化装备;研究弱刚性复杂曲面反射镜装调方法,开展空间模拟环境下 X 射线反射镜组件光学性能验证。

考核指标:揭示硬脆材料弱刚性复杂曲面反射镜磨削和抛光过程中的形性创成机理,建立弱刚性复杂曲面 X 射线反射镜超精密制造方法;开发反射镜加工-测量一体化原理样机 1 台;实现 ≥ 2 种复杂曲面形状的 X 射线反射镜片加工,满足以下加工技术指标:镜片尺寸 $\geq 100\text{mm} \times 100\text{mm}$,厚度 $\leq 1.0\text{mm}$,表面粗糙度 $R_a \leq 0.5\text{nm}$,面形精度 $PV \leq 1.0 \mu\text{m}$,斜率误差 $\leq 1 \mu\text{rad RMS}$;实现 X 射线反射镜组件装调,镜片俯仰/偏摆误差 $\leq 1''$,在空间模拟环境下开展 X 射线光学系统反射率和角分辨率性能验证,单次反射率 $\geq 65\%$ (1.5keV),角分辨率 $\leq 5''$ 。

2.11 下一代结构可控泡沫靶制造原理

研究内容:针对我国惯性约束核聚变重大工程领域对高性能泡沫靶的迫切需求,研究泡沫靶参数化设计数理模型,阐明超快时空矢量光场作用下材料微纳形成性规律及分子定向组装机理;研制高速高精度激光扫描成形制造装备,形成跨尺度、纳米精度泡沫靶部件的制造工艺;研究泡沫靶结构形貌、交联密度等

物化特性的定量检测与评价方法；实现物理参数可定义的泡沫靶部件的高效可控精准制造，并在高能量密度物理模拟实验等国家重大工程领域完成应用验证。

考核指标：建立超快时空矢量光场作用下材料光固化成形理论和分子定向组装数理模型，实现微观结构有序、物理参数可定义的泡沫靶部件的高效可控精准制造，泡沫微结构特征寸 $\leq 1\ \mu\text{m}$ ，泡沫靶外直径 $\geq 3\text{mm}$ ，泡沫靶外径尺寸误差 $< 1\%$ ，泡沫密度 $30\sim 800\text{mg/cm}^3$ 可调控；装备成形精度优于 200nm ，峰值体素成形产率 ≥ 6 亿体素/秒，单个泡沫靶制造时长（ 3mm 外直径） $\leq 1\text{h}$ ；形成至少3类适用于泡沫靶部件可控精准制造的分子前驱体和制造工艺库；实现在高能量密度物理模拟实验中的应用验证。

3.信息领域

3.1 意图启发的无线网络智简机理

研究内容：针对无线通信网络的可持续发展需求，研究通信意图启发的无线网络智简组织理论，构建智简信息交互技术体系，扩展经典通信系统的性能极限，揭示无线网络的智简优化机理；研究意图启发的无线网络智简传输机理，构建意图驱动下高压缩、强韧性的无线收发机智能体（AI Agent），提出多智能体间的高效交互与鲁棒协作机制，形成环境、任务、需求敏捷感知的智简无线传输新范式，建立面向意图达成的端到端传输质量综合评价体系；研究人类意图交互与演化机理启发的动态适变无线网络架

构，构建按需简约与智能演化的无线网络原型；搭建意图启发的智简无线网络试验平台，实现端到端通信意图的敏捷获取，达成全域全网的智慧通信目标。

考核指标：提出意图启发的智简无线网络体系，支持至少 10 种典型通信业务意图识别，识别准确率达到 90%以上，且支持泛化到至少 50 种细粒度通信意图识别；人类通信场景中，平均传输效率提高 50%以上，端到端最大传输时延降低 40%以上，用户调查意图达成度提高 20%以上；机器通信场景，平均传输时效性提高 50%以上，控制意图达成度 80%以上；支持 ≥ 4 类典型场景中的智简无线网络部署，多智能体网络交互效率提升 30%以上，网络交互时延抖动降低 50%以上，网络通信容量提升 50%以上。

3.2 生电信息融合的传递与计算一体化方法

研究内容：从信息论角度研究生电信息高效采集、处理与传递机制，建立面向仿生智能的大规模生物神经信息采集、处理、传递和认知模型；通过模型解析形成生电信息论框架，构建生电信息融合的基础理论体系，提出基于语义通信的生电信息高效传递机制，探究主动认知与非主动认知的高效协作机制和智能决策方法；研制基于神经形态器件的生电信息融合芯片，研究基于融合芯片的多神经分区联合生电信息计算与传递高效仿真机制，搭建生电信息融合的新型仿生计算平台。

考核指标：生物神经电活动信号采集平台，采样率 $\geq 20\text{kHz}$ ，可同时采集 5000 通道；灵长类动物进行 2 种以上感觉运动协同任务时，对至少 8 个神经分区同步采集；生电信息协同计算与传递平台保证毫秒级延迟，实现 8 个神经分区协同计算。

3.3 面向低空安全的类脑推理电磁大模型

研究内容：面向发展低空经济新质生产力国家战略需求，针对低空电磁频谱安全存在超大规模用频规划难、干扰和异常信号精细辨识难、广域立体频谱态势精确构建难等问题，围绕类脑知识图谱、多模态融合和认知学习机理，开展面向低空安全的类脑推理电磁大模型构建理论研究和平台研制。从类脑图谱认知机理出发，借鉴大脑多模态信息处理机制，开展电磁频谱知识图谱构建技术研究，构建知识图谱增强的电磁大模型网络架构；研究大脑快慢双循环认知机理，突破环境和任务认知自适应的电磁大模型预训练、电磁大模型微调、电磁大模型压缩部署、基于电磁大模型的干扰分析、频率规划和电磁频谱态势生成等关键技术，研发面向低空安全的类脑推理电磁大模型平台，为低空经济安全发展奠定关键技术基础。

考核指标：建立类脑推理电磁大模型平台 1 套，参数规模 ≥ 70 亿；低空电磁频谱知识图谱 1 套，实体个数 ≥ 10000 个；无人机干扰信号类型识别准确率 $\geq 90\%$ ，无人机用频异常检测准确率 $\geq 85\%$ ；数据缺失比 85% 下三维立体电磁频谱态势补全误差 $<$

10%，低空电磁频谱相关国际标准提案 10 项以上。

3.4 生物群体智能驱动的网络化意图识别和认知决策方法

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，探索异构网元间的高效动态自适应交互机制，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；支持 ≥ 2 个典型应用场景的异构网元高效交互，网元间通信能力提升 30%以上；网元间的认知决策一致率 $> 90\%$ ，决策动态收敛时间达到毫秒级。

3.5 语义原生的泛在智简无线组网方法

研究内容：针对无线网络向服务场景泛在化、通信智能深度融合化带来的高效组网挑战，结合系统科学、复杂网络理论和动力学分析等理论方法，构建通信智能深度融合基础上的语义原生泛在智简组网方法体系，具体包括：结合系统科学等方法，研究

泛在复杂无线网络智简组网设计准则及优化方法，研究支持 CPU、GPU、FPGA 等异构内核基础上的语义原生无线组网技术；建立针对泛在无线网络的语义原生智能模型，基于复杂网络理论和动力学分析等方法，研究语义原生智能模型在泛在无线网络中的非线性传播机制，攻克语义原生智能模型分发、传递与增量更新等关键技术，支撑泛在无线网络智简组网需求；研制支持语义原生的泛在智简无线组网试验验证平台，包括语义原生的无线空口、多模态信息处理、多维网络资源管理等核心模块，支持语义原生智简无线组网体系，支持空天地泛在无线组网场景，实现无线网络组网效率与服务质量的提升。

考核指标：提出语义原生的泛在智简无线组网方法，支持 CPU、GPU、FPGA 等至少 3 种异构内核基础上的语义原生无线组网体系；建立针对泛在无线网络的语义原生智能模型，支持该模型的分发、传递与增量更新功能；研制支持语义原生的泛在智简无线组网试验验证平台，支持语义原生的无线空口、多模态信息处理、多维网络资源管理功能；相比现有组网方法，在空天地泛在无线组网等场景下网络通信效率提升 50%，资源消耗减少 30%，时延降低 20%，业务服务质量提高 20%。

3.6 亚光周期飞秒纳米超快透射电镜成像

研究内容：面向物理-化学-生物交叉领域纳米尺度超快动力学的高时空分辨成像需求，发展通过超快光近场调制自由电子束

以极大增强超快透射电子显微成像时间分辨能力和光子-电子相互作用成像灵敏度的方法。构建超快激光与电介质纳米结构的量子相互作用的物理模型,研究高效调制超快电子波包纳米器件结构,研制紧凑的超快激光调制电子束系统;基于电子能谱研究调制电子束特性和相互作用强度;实现亚光周期超高时间分辨透射电子显微镜,揭示纳米半导体结构中光诱导准粒子动力学物理现象;探索在普通透射电镜(TEM)实现超高时空分辨可行性。

考核指标:制备集成激光驱动电子波包调制器件的透射电镜样品杆/光阑;建立亚光周期时间分辨光近场电子显微成像系统,TEM实空间成像在 $\leq 1\text{fs}$ 时间分辨率的基础上,空间分辨率 $\leq 10\text{nm}$;超快自由电子探针直径 $\leq 5\text{nm}$,零损失峰谱宽 $\leq 0.8\text{eV}$;建立电子波包与光近场相互作用的宏观量子电动力学模型和仿真工具。

3.7 多脉冲多维度超快连续成像

研究内容:面向极端条件下的物理研究领域,包括聚变燃烧过程、冲击压缩物理、天体等离子体行为等典型应用,依托超强超短激光装置发展高时间分辨、多脉冲多维度超快成像技术。结合超强超短激光与多镜片阵列技术,发展多脉冲多维度超快成像方案;突破现有单脉冲X射线成像技术,建立连续动态成像的超快诊断手段,在飞秒至皮秒时间分辨下对短至皮秒时间尺度的单次超快过程进行研究。

考核指标：研发单次超快过程的 X 射线连续成像方法和技
术；基于超强超短激光装置研发飞秒至皮秒时间尺度连续动态成
像的诊断手段，实现 10 帧连续动态成像，时间分辨 100fs~1ps，
诊断过程范围 100fs~100ps。

3.8 新一代超强超短激光与高能粒子产生技术研究

研究内容：面向激光驱动的重频、高能粒子束在生物医学、
材料科学以及空间探测等领域的重大需求，拟突破当前超强超短
激光时空质量受限、重复频率受限以及光场特性单一的技术难题，
基于超宽带/高效率/小型化脉冲放大技术、脉冲时空质量精密调
控技术、高重频大能量脉冲放大技术、新型脉冲后压缩技术等发
展拍瓦级新一代超强超短激光。结合新一代超强超短激光技术、
机器学习技术和超强光场调控技术等，开展超高梯度的重频、高
能粒子加速新机制研究，推动激光驱动粒子加速及其应用取得重
大突破。

考核指标：开展新一代超强超短激光技术研究，实现能同时
兼具高重复频率（1~5Hz）、极窄脉冲宽度（ $\leq 15\text{fs}$ ）、超高时域
对比度（ 10^{-12} ）以及超高聚焦峰值强度（ $\geq 10^{22}\text{W/cm}^2$ ）等重要特
性的超强超短激光输出能力，并利用光场调控实现 $3 \times 10^{20}\text{W/cm}^2$
的拉盖尔高斯光；基于新一代超强超短激光技术、超强光场调控
技术以及机器学习技术等，探索重频、高能粒子加速新机制，推
动激光驱动粒子加速及其应用取得重大突破，实现截止能量

≥80MeV 的高能质子束和瞬时峰值剂量≥10⁹Gy/s 的强流质子束。

3.9 硅基片上冷原子传感关键技术研究

研究内容:面向激光冷却技术与信息科学交叉前沿的未来发展,研究微小型片上冷原子系综的实现方法;利用片上微型结构的特点,攻关片上冷原子系统所需的关键核心单元器件,减低单元光学器件所需的功耗和插损,研制微小型冷原子真空系统、用于新型激光冷却的片上稳频窄线宽光源、片上声光调制器、片上光开关等单元光学器件;解决不同器件间的耦合接口,提高器件间的耦合效率;集成实现基于硅基光电子芯片的新型激光冷却制备的冷原子系统,演示验证片上冷原子磁强计。

考核指标:研制基于新型激光冷却技术的冷原子芯片磁强计原理样机,探测端体积≤1L,重量<300g;实现免维护的小型化真空系统,真空度<10⁻⁶Pa,制备片上温度≤50 μK 的冷原子,囚禁原子数>10⁶个;实现磁场测量短期稳定度达到量子投影噪声极限,动态范围 0.1~10⁶pT。

3.10 基于语义推理和安全共享的健康医疗大数据计算框架与方法

研究内容:围绕重大疾病的超早期诊断与治疗智能化,构建海量多模态健康医疗数据从感知到认知的一体化技术体系;从信息论视角研究跨模态互信息的量化机制,探索完备的多模态语义表征原理,提出新一代多模态协同语义表征提取方法;构建多模

态信息理解框架，通过量化分析多模态数据间的语义关联性，提供跨模态理解的证据支持，并发展高维因果结构学习理论，推动多模态数据融合和应用中的决策优化与可信推理；研究多模态数据的云端语义知识库高效构建方法，开发多用户柔性化智能设计的模分多址技术，建立语义层面的信息表征与隐私保护通信技术，在确保数据不出域的前提下实现安全的数据共享与合作。基于上述框架，开发基于体液的疾病早期信息获取与处理系统，实现重大疾病无创早期筛查，建立可解释、可回溯、可泛化的重大疾病辅助诊疗模式。

考核指标：针对重大疾病的至少 10 种以上的多模态医学语义图，多模态联合认知推理的粗细粒度语义信息理解准确性、跨模态医学信息融合一致性提升 10%以上；构建面向医疗的云端语义知识库及模分多址多用户样机，实现毫秒级切片传输；研制一套支持多模态健康医疗数据的分布外可泛化智能计算平台，开发至少 5 种高效通信优化方法，多中心智能协同的通信时效性提升 20%以上，决策动态收敛时间达到毫秒级，实现医疗数据安全、高效的多中心协同；在不少于 10 种重大疾病领域开展应用示范，开发不少于 2 种基于体液的疾病标志物检测技术，每种疾病筛选出至少 5 个维度早期信号，覆盖不少于两百万人口，开展真实世界的智能诊疗示范应用。

3.11 人体健康全时空多模态感知与重大慢病管控基础问题

研究

研究内容：面向重大慢性疾病的中西医管控需求，解决基于孪生体域网的一体化预防、筛查、诊断、治疗和干预问题。研究电磁、光电、声振等高精度多模态健康感知技术，实现全方位多场景下的人体生理、生化和行为等跨尺度健康数据无创无扰采集；基于多模态、跨尺度健康数据，构建心、肺等人体器官和心血管、呼吸等系统的数字孪生模型，研究个人综合健康指数评估方法，心血管疾病、慢性呼吸系统疾病等重大慢病的风险预测和早期预警方法；运用中医辨证论治理论与现代医学分析方法，研究基于量子计算与人工智能的中西医结合精准干预与治疗方案；建立健康数据隐私保护与联邦计算机制，支撑健康数据安全交互与利用；构建人体健康全时空多模态感知与重大慢病管控系统，开展示范应用。

考核指标：研发 5 类以上高精度无创无扰健康感知设备，实现 5 种以上人体生理、生化和行为指标的实时连续采集，准确度 90%以上；构建 4 类以上人体器官、系统的数字孪生模型，形成 1 套个人综合健康指数评估模型，实现 4 种以上重大慢病的风险预测和早期预警，准确率达到 80%以上，数字孪生模型响应时间 < 2 秒；支持 4 种以上重大慢病的中西医结合智能辅助诊疗，有效率 85%以上；研发支持 10 个以上联邦方的健康数据隐私计算方法，能够防御 4 种以上隐私攻击，隐私计算准确率 85%以上；

研制 1 套人体健康全时空多模态感知与重大慢病管控系统，示范应用 ≥ 3 个城市，覆盖 ≥ 5 家医疗机构、5 家健康管理机构和养老机构，服务人数 ≥ 5 万人。

3.12 量子经典异构算力网络与量子人工智能

研究内容：研制人工原子、囚禁离子和原子等多技术路线量子芯片，探索芯片互联等可扩展集成和封装技术，研发经典电路控制芯片，实现可扩展量子计算。发展自主可控大规模量子芯片设计、制备和测试全链条技术，构建量子计算测控系统，实现对多量子比特的同时操控，实现高保真度量子逻辑门操作，关键指标如相干时间、单双比特逻辑门保真度达到世界先进水平。搭建量子芯片互联、分布式量子计算网络、量子计算与经典异构算力网络，实现算力网络动态感知，探索异构资源表征与行为描述，实现对多种算力资源、接口等异构计算节点的统一资源描述，任务调度和集群管理，实现量子计算与云计算技术的融合。探索量子逻辑门模拟神经元行为的最优方案，借助量子计算的超并行计算能力，增强神经网络的计算性能；利用人工智能技术，提升量子计算的芯片设计和制备、量子态测控和读出、算法等技术性能，实现人工智能和量子计算的双向赋能。

考核指标：同时操控的量子比特数达到世界先进水平，或者人工原子如超导比特数 > 100 ，离子阱稳定囚禁和操控离子数 > 100 ，光镊囚禁中性原子无缺陷阵列 > 100 ；实现量子纠错，单双

逻辑门保真度分别达到 99.5%和 99%；实现分布式量子计算网络，结合经典算力实现异构量子计算网络，算力调度和管理效率提升 10%以上；实现量子计算与人工智能的双向赋能，算力效率互相提升 20%以上。

3.13 基于生物介尺度效应的无人平台数据要素化信息系统与关键技术

研究内容：面向国家数据要素×交通运输的发展规划以及构建低空经济新型战略产业的重大需求，突破现有无人平台由于数据挖掘整合弱、提纯共享难而导致交通效率低、安全隐患大、监管人工依赖等难题，构造基于信息理论与生物复杂系统交叉的数据要素化信息处理新路径。借鉴生物科学的介尺度建模与演化理论，开展多尺度、可演进的数据要素化信息处理方法研究，充分利用无人驾驶平台的感知、航迹、气象、地理环境等多模态数据进行持续训练与演化，实现语义信息度量与精炼表征；针对大规模、多模态、非平稳的无人平台数据，研究数据要素的构造、流通、演化等关键技术，突破跨场景的数据要素组织运用与闭环反馈方法；研制可持续演进的分布式数据要素化信息系统。

考核指标：面向无人机动平台，建立海量数据跨场景组织运用的数据要素化信息系统，突破数据要素的构造、流通、演化等关键技术，并在典型场景下开展示范应用与验证；数据要素化信息系统接入公共数据资源/重点行业数据资源 ≥ 5 个，完成 ≥ 10

家数据流通利用主体接入,针对超过 PB 量级的原始多样数据集,交互数据规模降低 100 倍,且算力代价降低 2~3 个数量级。

4.可再生能源领域

4.1 深远海抗台型张力腿浮式风电与海上油气融合开发关键技术与工程应用

研究内容:以深远海浮式风电与油气融合经济性开发为目标,开展深远海抗台型张力腿浮式风电与油气融合关键技术攻关和工程应用技术研究。具体包括:深远海 16MW 级抗台型张力腿浮式风电总体方案和关键技术;海上浮式风电与油气并网融合关键技术;兆瓦级柔性电解水制氢、储运关键技术研究及试验测试;掺氢发电燃烧器研制、优化设计以及海底油气管道高效掺氢混输关键技术。

考核指标:提出 $\geq 16\text{MW}$ 级张力腿浮式风电机组-基础-系泊-锚固系统设计方案,并开展工程应用研究。张力腿风电系统适应水深 $\geq 100\text{m}$,离岸距离 $\geq 100\text{km}$,单位 kW 投资较当前平均水平降低 30%,通过第三方机构认证;建立海上油田电网与海上风电高穿透功率仿真模拟方法,仿真结果与实际数据的吻合度达到 90%以上;电解水制氢系统运行功率调节范围 $\geq 10\% \sim 120\%$,氢能制储运系统能量效率 $\geq 45\%$;完成国产 7MW 级燃机掺氢燃烧发电技术方案研究,掺氢发电燃烧器的燃烧效率不低于改造前且掺氢比例 $\geq 50\%$,形成海上油气管道掺氢混输装备及多

相混输工艺计算方法，管道掺氢比 30%以内，模型预测精度误差在±5%以内。

4.2 波动性可再生能源混合制氢工程科学与技术

研究内容：开展低成本高温碱性电解水制氢与高效固体氧化物电解（SOEC）制氢相结合的混合波动性可再生能源制氢技术研究，主要包括低成本的高温碱性制氢能效及可靠性提升技术，高温碱性制氢强波动性适应性技术；大功率开放式 SOEC 电堆一致可靠组装与原位监测技术；SOEC 系统宽功率调节方法和快速热平衡技术，研究 SOEC 制氢系统的动态可靠性和长期运行稳定性；针对不同波动电力场景下的混合制氢系统容量配置优化方法和耦合系统协调控制策略，优化波动性可再生能源混合制氢系统设计，研究高温混合制氢系统热-电效应耦合机制与吸-放热演变特性，开发适应宽功率波动的混合制氢系统，研究混合制氢系统安全控制策略和效率提升机理。

考核指标：开发低成本低能耗高温碱性制氢技术，工作温度 $\geq 120^{\circ}\text{C}$ ，直流电耗 $\leq 3.7\text{kWh}/\text{Nm}^3\text{H}_2$ ；开发高可靠 10kW 级 SOEC 电堆，直流电耗 $\leq 3.4\text{kWh}/\text{Nm}^3\text{H}_2$ ；开发兆瓦级高温碱性-SOEC 混合制氢系统，突破具备宽功率（10%~110%）运行范围、快速波动响应（功率动态调节速率 $\geq 20\%/ \text{min}$ ）及大比例热负荷调节能力（-40%~40%）的大规模混合制氢系统设计优化与模块化集成技术，实现高产量、低能耗波动性可再生能源制氢系统的

长期稳定高效运行。

4.3 海上风电流场的海天一体化监测及多场耦合协同调控

研究内容：面向广域海上风电的高效安全运行需求，构建海基监测网络，研究多星协同的多尺度多模态数据集成技术，研发海天一体化监测平台；研究海气界面三维动力流场的高分辨率反演方法，揭示海上风电与海洋、大气的耦合作用机制；建立海上风电高精度、高时效流场大模型，研发海上风电场数字孪生系统；研究海上风电流场诱导及机群协同优化调度方法，突破极端工况下多任务安全韧性运行控制技术，开展示范应用。

考核指标：海天一体化监测平台支持自主可控的天基数据源 ≥ 3 个、海基多模数据源 ≥ 10 类；海上风电三维风场融合反演的空间分辨达到10m量级；海上风电流场大模型计算实时性 $\leq 10\text{min}$ 、精度 $\geq 80\%$ ，海上风电场数字孪生系统具备核心功能 ≥ 9 项；协同调度及多任务自适应安全韧性运行控制技术 ≥ 3 种，风力发电过程 ≥ 3 个关键运行状态的越限故障发生率降低60%。

4.4 耦合化石能源和可再生能源的百千瓦级固体氧化物电池工程科学与技术

研究内容：针对可再生能源具有的波动性和间歇性，开展双向可逆固体氧化物电池氢储能研究，具体包括：研究循环可逆固体氧化物电池（RSOC）电堆的设计与批量化封接技术，攻克工况运行中温度分布不均和应力集中问题；研究大功率RSOC的

模组设计与集成技术，解决热管理需求差异大的难题；研究多模组的快速热平衡和热管理技术，开发多模组协同运行控制策略；研究百千瓦级系统不同快速切换技术与先进智能化调控技术，实现系统稳定运行。

考核指标：开发循环可逆 RSOC 电堆，电堆电解功率 $\geq 10\text{kW}$ ，发电功率 $\geq 5\text{kW}$ ，电堆 100 次循环衰减率 $\leq 2\%$ ；开发大功率可逆 RSOC 模组，实现模组电解功率 $\geq 100\text{kW}$ ，发电功率 $\geq 50\text{kW}$ ；完成百千瓦级可逆 RSOC 系统研制，系统电-氢-电效率 $\geq 50\%$ ，其中电解工况下功率 $\geq 200\text{kW}$ ，发电工况下功率 $\geq 100\text{kW}$ ；开发 RSOC 系统可逆智能化先进控制策略，实现不同工况的快速切换和在线主动优化技术，实现系统稳定运行 $\geq 1000\text{h}$ 。

4.5 油气藏地下原位制氢协同提高采收率技术

研究内容：优选适合地下原位制氢的衰竭气藏和适合地下原位产氢/改质/生烃提高采收率的稠油油藏，开展可再生能源驱动下注富氧空气燃烧或耦合电加热地下原位制氢协同提高采收率研究。具体包括：衰竭气藏制氢和稠油油藏产氢/改质/生烃边界条件评价方法，油气氧化热动力学机理及自燃预测模型，油气地下原位制氢反应动力学机理及产氢关键路径；内源产氢催化机理，内外源催化耦合增效机制及可再生催化剂体系，油气地下原位产氢/供氢-催化耦合改质反应动力学机理；三维特高温高压油气原位制氢模拟系统，空气注入性及传播性，原位制氢/供氢改质过

程多场多相多组分热-流-固耦合渗流模型，产氢效率、生烃效率和改质效率及协同提高采收率机理；空气安全注入工艺，井下大功率低能耗电加热器，油气藏原位制氢一维岩心尺度-三维物模尺度-油藏大尺度一体化建模及智能化数值模拟软件，衰竭气藏地下原位制氢方案，稠油油藏原位产氢/原位供氢-催化改质/裂解生烃协同提高采收率方案，现场应用实证。

考核指标：氧化热动力学、自燃延迟预测、产氢反应动力学、催化反应动力学、多场多相多组分渗流模型、跨尺度动力学模型 6 套；研制内外源催化耦合增效可再生新型催化剂 3 种，单次稳定运行 >90 天；大型三维特高温（800℃）高压（7MPa）油气原位制氢模拟系统 1 套，油气藏原位制氢跨尺度智能化数值模拟软件 1 套，井下电加热器加热功率 $\geq 100\text{kW}$ ；大型物模衰竭气藏原位制氢气相中氢气浓度 >50%，稠油原位氢气-催化改质生烃 >60%、降黏率 >99%、氢催化改质裂解生烃率 >60%、提高采收率 >30%；现场试验 3 口井，气藏单井产氢 0.2 吨/天，稠油油藏采收率提高 10%。

4.6 可再生能源高温电转 X 工程科学与技术

研究内容：针对可再生能源大规模消纳以及余热高效利用需求，开展可再生能源高温电化学转化 CO_2 和 H_2O 生成高附加值化工产品（电转 X）工程科学与技术研究，包括：与电转 X 系统匹配的高效低成本、聚光光伏光热组件的设计与研制；大功率、

一致可靠高温共电解堆的跨尺度界面调控、封装与故障诊断技术；高稳定性高选择性电转 X 催化剂设计、制备与原位动态表征技术；热电协同电转 X 系统的电-热-气-化管理与集成工艺；百兆瓦级热电协同电转 X 系统工艺包及经济性分析。

考核指标：提出可再生能源高温电化学转化新机制；研制聚光光伏光热系统实验装置，室外测试条件下实现光电效率 $\geq 23\%$ ，光电光热总效率 $\geq 68\%$ ；掌握 10kW 级高温共电解堆标准化集成技术，提高共电解堆一致性、可靠性，5%~100%功率范围内直流电解效率 $\geq 90\%$ ；高附加值化工产品选择性 $\geq 80\%$ ；建立太阳能聚光驱动下百千瓦级热电协同可再生能源高温电化学转化 CO₂ 和 H₂O 的系统集成验证平台，研制出热电协同可再生能源高温电转 X 系统，系统功率 $\geq 100\text{kW}$ ，电解效率 $\geq 80\%$ ，形成百兆瓦级热电协同电转 X 系统工艺包。

4.7 智能化高能量密度电化学储能电池及器件系统

研究内容：构建融合“人工智能”与“电化学机制”复合模型架构，开发基于电化学储能新体系；研究固态（或半固态）电解质体系中动力学调控下的电子转换反应路径、中间态产物衍变规律和表界面电荷转移行为；研究基于先进表征方法的高比能电池全生命周期动态老化过程及故障模式解析；研究高比能电池系统的热/电/力结构一体化设计，研究多应用边界条件下的电池性能应用控制策略，研究电池组的热/电/健康管理技术。

考核指标：建立融合“人工智能”与“电化学机制”的高性能储能/动力电池设计制备新理论和新方法，开发基于 AI 技术的超高能量密度电池及系统的制备技术和故障诊断技术。单体电池容量 $\geq 20\text{Ah}$ ，单体电池比能量 $\geq 700\text{Wh/kg}$ ；电池系统比能量 $\geq 550\text{Wh/kg}$ ；循环寿命 ≥ 500 次；工作温度 $-40^\circ\text{C}\sim 60^\circ\text{C}$ ；安全性满足相关国标要求。建立多模态电池性能状态与故障诊断模型及电池结构化性能图谱；实现复杂环境及工况下电池多故障高精度诊断与控制技术，完成应用示范；电池系统荷电状态及能量状态评估准确度 $\geq 92\%$ ；寿命预测准确度 $\geq 90\%$ ；电池内短路故障诊断准确率 $\geq 90\%$ ；热失控预警时间提前量 $\geq 10\text{min}$ ；预警准确率 $\geq 90\%$ 。

4.8 面向低轨应用的低成本柔性光伏储能一体化系统研究

研究内容：面向低轨空间平台对轻量化、赋形能力强、可靠性高的电源系统需求，研究光伏-储能一体化系统设计及智能主动调控技术；开发片-单元-系统集成模块技术，探究器件制备及集成过程中的耦合机制；研究低轨环境多物理场耦合对一体化电源的影响，揭示全生命周期高性能稳定运行机理；研制柔性光伏发电储能一体化系统样机。

考核指标：一体化能源系统功率调节效率 $\geq 95\%$ ，体积比功率 $\geq 1.0\text{W/cm}^3$ ；太阳电池重量比功率 $\geq 1000\text{W/kg}$ ，柔性太阳电池片-单元-系统集成模块密度 $\leq 1.2\text{kg/m}^2$ （含柔性基板）， 1MeV ，

$1 \times 10^{15} \text{e/cm}^2$ 电子辐照后，效率衰降 $\leq 14\%$ ， $-100^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ ，循环 3000 次后效率衰减 $\leq 20\%$ ；用于智能管理一体化储能系统的单体电池比能量 $\geq 250 \text{Wh/kg}$ ；研制柔性光伏发电储能一体化样机，进行实验验证。

4.9 可再生能源驱动 CO₂ 制备生物航空燃料理论与方法

研究内容：以 CO₂ 资源化利用目标，研究可再生能源驱动制备生物航空燃料。具体包括，研究电与生物催化协同机制，开发电驱动生物催化 CO₂ 制备 C1-C2 发酵碳源技术，如乙酸；构建 C1-C2 高效利用菌种/菌群，优化生物催化制备航空燃料前驱体代谢途径，开发发酵控制技术研究；研究光热与热化学催化耦合机制，开发光热驱动生物质制备氢气及高效分离技术；生物航空燃料加氢调质及系统集成。

考核指标：电/生物催化协同制备乙酸浓度不低于 30 克/升；获得 C1-C2 高效利用菌种不少于 1 株，法尼烯浓度不低于 16 克/升；光热氢能量转化效率不低于 20%；建立可再生能源驱动 CO₂ 制备生物航空燃料系统模型，完成系统实验验证，生物航空燃料的能量密度、冰点、闪点和燃点等主要参数达到 RP-3 标准。

4.10 风光电解制氢耦合电网互动与试验验证

研究内容：针对能源低碳转型对绿氢高效制取及电氢互动要求，开展风光电解制氢耦合电网互动与试验验证研究，具体包括：研究波动及频繁调控下质子交换膜 (PEM) 电解制氢多场多过程热质输运机理，研究 PEM 电解制氢系统高效能质协同优化技术；

研究适应波动的电解制氢电源高效变流及电网支撑技术；研究风光电解制氢能量管控及与电网互动调控技术；研究风光电解制氢耦合电网故障过程推演及保护技术，开展源-网-氢协同调控全模态试验及实证。

考核指标：响应源网调控的电解制氢装置：系统单位总电耗 $\leq 4.8\text{kWh/Nm}^3$ ，功率调节范围达 $5\% \sim 150\%$ ，调节速度 $\geq 15\%$ 额定功率/s；制氢电源：全功率响应时间 $\leq 100\text{ms}$ ，效率 $\geq 97.5\%$ ，输出电流纹波 $\leq 1\%$ ；风光电解制氢能量管控平台：响应电网调节时间 $\leq 1\text{s}$ ；源-网-氢协同调控全模态实验平台：具备 PEM 电解制氢动/稳态试验能力，单堆测试能力 $\geq 2\text{MW}$ ，功率可调范围 $5\% \sim 120\%$ ，在典型区域完成入网性能实证，风电装机容量 $\geq 15\text{MW}$ ，光伏装机容量 $\geq 1.5\text{MW}$ ，具备功率波动适应性、电网扰动适应性、暂稳态电网支撑特性等入网性能、协同调控试验及实证能力。

4.11 面向应用的高效稳定大面积钙钛矿光伏组件制备及装备研发

研究内容：以推动钙钛矿光伏产业化为目标，探明提升钙钛矿组件稳定性的内在机制与方法，研究大面积、高质量钙钛矿薄膜制备方法及其生长机制，研发精准缺陷钝化方法；研究大面积组件实际服役环境中的退化机制，开发理化多尺度界面调控和封装等优化策略，提升组件工作稳定性；开发兼具高效率和高稳定性的大面积钙钛矿组件制备技术及装备。

考核指标:在 AM1.5G(1000W/m²)下,单结钙钛矿的 300mm×300mm 组件效率≥24%,中型商用组件≥22%(面积≥0.7m²),大面积商用组件≥20%(面积≥2m²);参照 IEC 61215:2021 标准,初始效率达到前述指标的商用组件,在“双 85”、AM1.5G 下 MPPT 测试 5000h 效率衰减≤10%,在-40℃~85℃冷热交替、极端温度保持≥10min 条件下循环 200 次衰减≤10%,在户外服役条件工作 365 天无衰减;获得高效稳定大面积钙钛矿组件制备技术,开发镀膜面积≥2m²的大面积原子级缺陷钝化装备,实现常压环境缺陷钝化。

5. 海洋领域

5.1 水下航行体运动流场结构与被动远程探测技术

研究内容:以海洋领域国家安全能力建设重大需求为牵引,瞄准水下航行体远程探测难题,研究水下航行体运动引发的非定常流场结构,揭示非定常流场在自由海面、可压缩水体等条件下激发波动场的机理和规律;研究起伏海底、时变海面、分层水体等环境下的波场时空演化理论,建立水下航行体运动引发的海洋波动场生成与传播高精度数值模型,形成三维非定常流场激发时域波动场数值软件;研究流场-波场信号特征分析方法与目标定位识别技术,开发多传感器信号时间序列关联分析、特征提取和目标定位算法,获得波场典型时空分布规律及可探测识别特征,研制智能分析与识别模型软件;研制水下航行体激发波动场的被动远程探测系统,开展远程探测海上试验与南海深海重点海域示

范应用。

考核指标: 计算得到的直航状态艇体艏部平均速度和脉动速度与标准模型试验数据相比, 两者相差不超过来流速度的 10%; 完成范围 $\geq 10\text{km} \times 10\text{km}$ 的三维水下流场-波场仿真, 海深 $\geq 3\text{km}$, 模型可计算的频率范围优于 $3\text{Hz} \sim 100\text{Hz}$, 总网格数 ≥ 400 亿, 远场波动频率谱峰值频率与试验结果相比误差 $\leq 3\text{Hz}$; 目标距离估计精度优于 $10\% \times L$ (L 为目标相对传感器距离), 水面水下目标识别准确率优于 85%; 波场传感器低频截止频率 $\leq 0.1\text{Hz}$ 、高频截止频率 $\geq 100\text{Hz}$ 、等效噪声压优于 $30\text{dB}@10\text{Hz}$; 流场结构反演空间网格步长 $\leq 300\text{m}$; 单套探测系统尺寸 $\leq \Phi 1\text{m} \times 2\text{m}$ 、包含多基元波场传感器、工作海域海深 $\geq 3\text{km}$ 、对安静型水下目标被动发现距离 $\geq 6\text{km}$ (在目标航速 $5\text{kn} \pm 1\text{kn}$ 、探测系统基元数 ≤ 4 个条件下)。

5.2 深渊极端生命过程与适应机制

研究内容: 为系统揭示深渊生物圈的组成、规模、生命过程及环境效应机制, 厘清深渊带洋壳水-岩反应过程支撑的生态系统的组成、边界、规模和演化机制; 揭示洋壳微生物应对低能、高压、低温、高温环境的适应策略; 评估洋壳生命参与海底元素循环、物质及能量转换的通量与规模。

考核指标: 创新深渊生态系统演化、物质-能量耦合、极端生命进化与维持机理; 新获得 > 3000 个深渊来源生物基因组, 构建 $> 100\text{TB}$ 深渊生地化循环过程科学研究数据库, 揭示深渊生

命与极端环境的耦合关系；建立深渊带关键地质微生物功能群及其生态功能单元分类清单，新发掘>5个深渊关键功能群及生态单元并进行富集培养验证；建立深渊带生态系统物质与能量演化的评估模型，全球海洋物理生地化耦合数值模型水平精度 $\geq 0.5^\circ$ ，垂向分层 ≥ 75 层，生地化状态变量 ≥ 33 个。

5.3 海底多矿种规模成矿机理与资源预测

研究内容：研发海底多矿种成矿环境中成矿元素的来源、通量、跨矿种迁移及其环境要素的观测识别装置，揭示成矿作用反应场中的钴、镍、铜、锰、稀土等金属元素多圈层迁移富集过程及多矿种共生机理，构建多矿种成矿地质模型；基于海洋地球科学大数据和人工智能技术，构建多矿种控矿因素和关键金属预测模型，形成可解释性和不确定性度量能力强的海底矿产成矿预测理论、方法和软件系统，实现海底多矿种及关键金属空间预测，优选找矿靶区。

考核指标：研发工作水深6000m级成矿金属元素及成矿环境要素的变化、耦合的现场观测装置，实现主要成矿金属元素、微型生物量和Eh、pH、溶解氧等参数及梯度同步观测，主要成矿金属检测限优于0.4%，微型生物颗粒最低检出限优于 10^4 个/mL，成矿环境同步观测时间 ≥ 40 天；揭示海底多矿种中关键金属迁移、成矿机理、控矿因素和找矿标志，构建海底多矿种数字成矿地质模型，控矿因素 ≥ 5 个（包括但不限于构造、岩浆、沉积、流体、生物等），找矿标志参数 ≥ 3 个；结合室内模拟，形

成海底多矿种智能预测评价软件系统 1 套,开发多源地学信息挖掘、矿床成因判别、控矿因素识别和关键金属预测模块,关键金属预测验证精度 $\geq 80\%$; 优选海底多矿种找矿靶区 ≥ 3 个。

5.4 深海装备设施的腐蚀机制及防污技术装置

研究内容:研究典型海域重要深海装备和设施污损生物的附着及污损-腐蚀耦合机制; 研发深海极端环境装备设施材料生物污损和腐蚀的原位监测装置; 研发适用于深海装备设施的高性能防污防腐涂层及专门化的超声波-光-电催化协同防污技术与装置; 构建基于深海不同深度和时间序列的生物、生态和海水流场实海数据的生物污损预警体系; 建立深海装备设施污损生物附着防护效果和模拟评估方法, 并对典型区域进行追踪评价和反馈。

考核指标:阐明 2 种以上优势污损生物的附着动力学机制及 3 种关键附着途径, 解析其代谢活动诱导的 3 种关键腐蚀机制, 构建 ≥ 180 种污损生物的标准化数据库, 建立污损生物附着率与海水流场的定量关系模型 ($R^2 \geq 0.9$); 搭建 1 套深海原位生物污损监测装置, 实现多参数 (生物膜厚度、溶解氧、pH、温度、流速、金属腐蚀速率等) 同步采集, 监测装置耐压 $\geq 30\text{MPa}$, 实海观测试验不小于 1 个月; 防污涂层材料与金属基底附着力 $> 12\text{MPa}$, 材料防护期 ≥ 48 个月且生物附着面积 $\leq 3\%$; 原位电催化产活性物质杀菌率 $\geq 95\%$, 电极材料寿命 ≥ 48 个月; 光催化无机防污涂层微生物附着率降低 90%以上, 寿命 ≥ 24 个月; 建立 1 套实验室条件下的深海生物污损模拟评价装置, 与实海数据

的误差率 $\leq 15\%$ （参照 NACE AMPP TM21612 标准）；构建深海不同深度和时间序列的生物、生态和海水流场的实海生物污损预警数据库，时间分辨率 ≤ 1 天；建立生物附着防护效果评估方法 1 套。

5.5 面向高影响海气事件预测的适应性观测与强耦合同化研究

研究内容：围绕国家防灾减灾重大战略的迫切需求，聚焦高影响海气事件预测能力的提升，研发融合非线性最优扰动方法和人工智能模型的适应性观测新技术，高效快捷地识别优先观测区域，建立人工智能技术和传统滤波理论融合的强耦合同化理论体系，实现多源海气观测资料的强耦合同化，发展自主可控的高分辨率多圈层耦合预测模型，有效提升高影响海气事件的预测水平。

考核指标：识别适应性观测区域的计算效率至少提高 50%；建立的强耦合同化系统具备同化国产气象-海洋卫星、漂流浮标、ARGO 及水下滑翔机等海气观测资料的能力，并且相比非/弱耦合同化分析误差降低达 20%；多圈层耦合预测模型实现自主可控，全球模型水平分辨率达到 0.25° ，重点区域模型大气分辨率达 3km，海洋分辨率达 10km，高影响海气事件 ENSO、海洋热浪和台风等的预测技巧相较于未实施适应性观测和强耦合同化至少提升 15%。

5.6 寡营养海区生态自然演化机理与增汇地球工程策略

研究内容：针对双碳战略目标、海洋生态系统保护与全球海

洋治理的迫切需求，发展数据融合技术并重构历史观测数据，构建涵盖生态系统演变的生物地球化学及机器学习模型，研究生态系统演化规律，评估生态系统健康，揭示寡营养海区全水深固碳和储碳机理，评估储碳容量；研发新型环境友好的增汇材料，提升施铁、碱化的增汇效率，评估新材料的短期和长期生态效应，评估不同排放情景和增汇方式下生态系统的演变趋势及可能的突变风险。

考核指标：融合船基与遥感观测，重构不少于 30 年的典型寡营养海域生态系统关键参数的高一致性时序数据产品，空间分辨率达 4km，遥感产品较现有国际主流产品准确度提升 50%以上；构建海洋生态系统演变趋势预测模型，包括至少 3 种增汇情景和 4 种浮游生物功能群，形成情景化预测应用示范 2~3 个，诊断生态系统临界点；研发 >3000m 深海原位固碳培养系统 1 套，可同步开展 >20 组培养，移液精度达 1mL；研制环境友好型、面向不同应用场景的低密度缓释增汇材料 3 种以上，与现有方法相比提升增汇效率 50%以上，增汇材料成本控制在 2000 元/吨之内，增汇效率达 35 吨 CO₂/km²/年以上。

5.7 深海冷泉甲烷演变和极端生命演化综合探测系统研发

研究内容：围绕深海冷泉生态系统演变过程、动力机制、极端生命等关键科学问题，研发冷泉区甲烷、典型生物及其代谢等综合探测与模拟系统。研发原位综合智能光学成像技术，在远距离实现冷泉区甲烷羽状流光学全景式引导探测成像，在近距离实

现冷泉区微生物群落、甲烷相态动态变化等的无标记智能光学四维显微成像；研发多通道多参数拉曼光谱探测技术，实现多相态甲烷的精准定量探测；研制深海冷泉模拟系统，实现冷泉甲烷物态演化与生态系统重塑；解析深海冷泉典型微生物及其参与的有机/无机过程机制，发展基于荧光、电镜及生物信息分析的多尺度联用技术体系，提高冷泉区微生物群落演替和环境响应机制的认知。

考核指标：研制 1 套深海冷泉原位综合智能光学成像系统，工作水深 2000m，在 10m 成像距离下实现冷泉区甲烷气泡羽状流高分辨率全景感知与精确定位，在厘米级近距离观测实现优于亚微米级分辨率以及超过 1M 像素数的四维多相态原位显微成像；研制 1 套深海多通道多参数激光拉曼光谱定量探测系统，工作水深 2000m，光谱测量通道 2~4 个，实现对溶解态甲烷、气态甲烷、水合物态甲烷等 3 类目标物的定量探测，探测精度误差 $\leq 5\%$ ；研制 1 套深海冷泉模拟系统，最大模拟水深 2000m，有效体积 $\geq 100L$ ，生态系统模拟周期 ≥ 6 个月；开发 1 套深海冷泉典型微生物荧光-电镜-生信联用系统，矿物结构空间分辨率 $< 1nm$ ，完成深海冷泉生态系统中 2000 个微生物基因组的高质量组装，每个基因组的 BUSCO（单拷贝直系同源基因）完整度 $\geq 95\%$ ，碱基错误率 $\leq 0.1\%$ 。构建冷泉微生物-矿物关联数据库。

5.8 流域-河口-近海碳通量立体监测

研究内容：针对流域-河口-近海连续体跨尺度横向-垂向碳

通量立体监测与评估的难题,基于流域-河口-近海的长期生态系统网络碳通量观测,结合环境力学动力学模拟和机器学习模型,攻克中小尺度高时空分辨率碳汇变化的连续探测难题,构建基于流域-河口-近海水动力过程-生物地球化学耦合过程的多界面碳通量评估技术,同时建立水文站点-区域通量-时空遥感三维一体的碳通量协同观测体系,实现流域-河口-近海关键界面碳交换通量数值模拟与遥感监测融合;研发流域-河流-近海连续体碳收支综合监测与模拟系统,攻克全球变化下高精度陆海碳汇统筹难题。

考核指标: 涵盖我国近海不少于 30 个典型流域-河口-近海观测站点 ≥ 5 年的日尺度碳通量长期连续观测数据库 1 套,通量观测有效数据比例 $\geq 60\%$,能量平衡闭合度 $\geq 75\%$ 。涵盖长江和黄河典型流域-河口-近海近 10 年水平输出关键碳组分通量数据库 1 套,空间分辨率优于 10km,碳排放、碳沉积、碳输送等关键碳组分通量模拟精度达到 80%以上,栅格数据文件 ≥ 10000 个,数据存储量 $\geq 10\text{GB}$;近 20 年关键碳组分通量高分辨率遥感监测数据集 1 套,空间分辨率优于 1km,幅宽 $\geq 300\text{km}$,碳交换通量、碳输送通量、浮游植物固碳量、水体有机碳储量等关键碳组分遥感反演精度优于 70%,栅格数据文件 ≥ 6000 个,数据存储量 $\geq 200\text{GB}$ 。建立多尺度多过程耦合的碳输运动力学模型和气体传输速率的实验标定装置 1 套,实验测量误差在 5%以内,测量范围覆盖 0.1cm/h~10cm/h;建立生态水文过程和遥感大数据耦合的碳通量观测技术,与水文站点和中国通量站点观测交互验证,

估算精度优于 70%。

5.9 深远海模块化平台力学响应和协同控制技术研究

研究内容:公里级多模块超大浮体作为海洋开发的重要载体,将在国家海洋强国战略中发挥越来越重要的作用。研究极端海况三维海洋环境重构技术,极端海况下多模块平台非线性力学响应特性,研究多尺度耦合结构动态响应及失效行为,形成自主设计分析方法及软件;研究海洋环境及模块化平台水上/水下动力行为实时监测技术,突破核心技术国产化瓶颈;研究高海况平台协同控制与动态平衡机制,形成自主协同控制技术。解决复杂海洋环境耦合作用下多模块连接界面非线性动力学建模与耦合预测及多自由度协同控制稳定性等科学技术难题。

考核指标:形成三维海洋环境重构软件,与试验结果对比误差 $<15\%$;形成多浮体水动力分析软件,水动力系数及运动响应预测值与国际先进水动力分析软件误差 $<5\%$,浮体模块间连接载荷、系泊载荷与试验结果的误差 $<10\%$;开发多尺度非局部结构失效仿真软件,起裂载荷及裂纹扩展路径与试验值误差 $<5\%$;研制模型尺度全系统动力行为实时监测技术与装备,并进行大尺度海上拓展示范,运动监测空间分辨率 $\leq 1\text{mm}$,结构应变监测精度 $\pm 1.0\%$,系泊载荷监测精度 $\pm 0.5\%$,国产化率 95%以上;形成自主协同控制模型,在风浪流耦合水池中模拟实际海洋环境,四级海况下平台整体轨迹与预设路径偏差 $<5\%$ 。

5.10 水下电-声场仿生调控与融合探测技术

研究内容：面向水下目标精准探测与辨识的迫切需求，探索典型海洋生物电-声场调控与探测感知的机理；研究基于弱电场仿生调控机理的目标物性主动电场探测成像方法；突破基于仿生柔性结构调控的宽带高效声辐射技术；研究电-声物理场耦合模型与解耦方法，设计电-声场关联融合探测系统，研究融合探测识别算法；研发水下电-声场仿生探辨装置，开展智能融合探辨物海上验证试验。

考核指标：水下仿生弱电场调控探测的辐射功率 $\leq 100\text{W}$ 、探测分辨力优于 $1\ \mu\Omega$ ；仿生声辐射 -6dB 频率带宽大于中心频率的 $80\% @ 100\text{kHz}$ ，仿生结构插入损失 $\leq 2\text{dB}$ ，距离分辨力优于 0.02m ；水下电-声场仿生调控融合探辨装置在水下 30m 距离内对模拟蛙人、水雷、岩石等水下目标融合探辨准确率 $\geq 90\%$ 。

6. 医工领域

6.1 复杂药品质量多模态传感及 AI 测控技术研究

研究内容：针对复杂医药产品（如细胞疗法、核酸药物以及中药）质量测控难题，采用分子光谱等新技术方法，研制多模态高灵敏传感系统，实现关键质量属性的原位检测；围绕核酸药翻译效率和 dsRNA 残留量、CAR-T 细胞阳性率和病毒载体残留量、中药整体生物效应测定等重大需求，针对关键生产物料、关键工艺参数与产品质量属性间相关性，构建可解释的质量风险预测 DNN 模型，创立复杂药品质量 AI 测控模式，保障其安全、有效与批次一致性；研发基于知识蒸馏的多模态高维信息融合处理技

术，建立复杂药品质量 AI 测评智能体，为医药创新产品研发、工程转化和监管审批提供关键技术工具。

考核指标：以 2~3 种模态传感检测法为主导，自主研发完成基于化学-生物多模态传感的复杂医药产品质量 AI 测控设备的原理样机，图像分辨率优于 20 μm ，光谱检测灵敏度优于 1 μM ，核酸药总核酸检测灵敏度 $\geq 10\text{fg/mL}$ ；创建 AI 融合多模态信息的复杂医药产品质量测评智能体，判定准确率 $> 95\%$ ，突破医药创新产品工程转化瓶颈；起草相关产品质量 AI 测控技术指南或团体标准，以细胞疗法、核酸或中药为范例开展 2 个以上应用场景技术验证。

6.2 基于低场磁共振的个体化闭环脑调控方法与系统研究

研究内容：针对脑损伤功能恢复的重大紧迫需求，研究基于脑机接口的闭环脑调控技术，开发超声、电学等多模态可穿戴脑机智能技术与系统；基于低场磁共振影像精准确定病灶位置，研究急性、亚急性期卒中等病灶导致的神经系统疾病的快速状态评估与干预靶点选择技术；研发自动化精准神经调控系统，以个体化神经调控策略为核心，实现自动选择个体化刺激靶点、精准定位、同步跟踪等功能；研发闭环智能康复系统，整合卒中状态评估系统和自动化精准神经调控系统，实现“策略制定-实施干预-评估反馈-策略优化”系统组合，从评估反馈到多维的个体化精准调控。

考核指标：研制的可穿戴式超声经颅调控设备通道数 ≥ 32 通道，换能器焦点声压 $\geq 2.0\text{MPa}$ ，单通道峰值功率 $\geq 2\text{W}$ ，支持不低于 256 电平的任意波形发射，可调时间精度步长优于 10ns，经颅聚焦超声焦点半高全宽优于 1.5mm，聚焦深度优于 5cm，用于超声场聚焦的柔性调控器件厚度 $\leq 5\text{mm}$ 、模态数量 ≥ 2 种、柔性调控器件复合材料种类 ≥ 3 种，柔性调控器件支持多点调控同步聚焦，焦点数量 ≥ 3 个；基于低场磁共振影像，卒中超急性期出缺血判断准确率 $\geq 90\%$ ，快速状态评估时间 $\leq 2\text{min}$ ，急性期卒中梗死灶分割 dice 值 ≥ 0.8 ，训练模型样本量 ≥ 5000 人；精准神经导航定位误差 $< 0.5\text{mm}$ ，辅助治疗设备定位刷新率 $\geq 200\text{Hz}$ ，全脑覆盖率 $\geq 95\%$ ，卒中后症状干预指导图谱 ≥ 15 种，图谱构建来源样本量 ≥ 10000 人，卒中后个体化干预全脑分区 ≥ 400 个。

6.3 高灵敏多波长无标记光学成像系统研究

研究内容：针对肿瘤研究和诊断的重大需求，研究无标记活体快速病理光学成像检测技术，研究活体细胞的分子信息和代谢动力学特征，实现在活体条件下，对细胞、细胞器三维形态和代谢等生物功能的实时、长时间观测和成像；研究生物组织内源性光学标志物的多维度光学特性，研发高灵敏度、高分辨率的多模态、跨尺度、多功能的无标记光学成像技术，研发低噪音飞秒脉冲激光器、光学参量振荡器及相应的非线性成像系统；针对细胞内化学物质成像，研发无标记拉曼成像系统，为肿瘤的多模态光

学检测与辅助诊断提供新依据。

考核指标：针对成像系统光源需求，研制低噪音光学参量振荡器及倍频模块 1 套，波长范围 380~640nm，相对强度噪声 < -150dBc/Hz (@10MHz)；研制高灵敏多波长无标记光学成像系统 1 套，包含 ≥ 2 种成像模态，系统实现显微成像分辨率 < 100nm，单点扫描时间 < 10 μ s；受激拉曼检测灵敏度优于 5mM，受激拉曼光谱波数范围 800~3200 cm^{-1} ，技术成熟度 ≥ 7 级，至少应用于 3 种类型肿瘤的辅助诊断。

6.4 基于类脑智能的视听言语功能障碍康复关键技术研究

研究内容：面向视听言语功能障碍的智能精准康复需求，构建基于类脑智能的视觉、听觉与言语功能的协同干预和康复机制；研究老视、白内障等老年视障问题发生发展的生物力学因素，建立晶状体-悬韧带-睫状肌联动模型，构建基于光力耦合的个体化非侵入性视障训练及在体评价方法；研制新型可穿戴听力损失检测系统和基于临床大数据的深度学习模型，实现基于人工智能的听力损失自动分类与精准量化评估，研制基于智能助听芯片与听觉注意解码算法的类脑助听器，探索听觉功能障碍的神经康复机制；探索言语交流过程中的核心语言功能和信息结构的编解码机制，建立听觉言语康复功能的客观评价体系；研制基于增强现实、混合现实的人机交互训练方法以及融合生物反馈、无创神经调控的脑调控技术，构建对康复效果的精准预测模型，并开展临床验

证。

考核指标：建立至少一套整合视觉/听觉/言语通路的多模态类脑神经网络模型及协同干预训练策略；建立微尺度眼前节组织的三维生理光学分析及重建模型，精度 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ ；研制1套可穿戴听力损失检测系统，听力损失检测误差 $<3\text{dB}$ ，听损自动分类准确率 $\geq 90\%$ ，智能助听芯片解码时间 $<1\text{s}$ 、解码准确率 $\geq 90\%$ ；研制一套言语障碍全通路客观评估方法，与主流评估量表的检测一致性 ≥ 0.75 ，建立言语与听觉协同干预策略，提升功能障碍康复效果 $\geq 20\%$ ；研制智能化言语交流与听觉障碍闭环康复系统并完成临床验证，申请发明专利 ≥ 6 项。

6.5 超声遗传工程靶向神经调控技术研究

研究内容：面向脑疾病无创靶向神经调控干预技术前沿，开发高灵敏、低本底的超声遗传工程基因元件，以 MscL、Prestin、TRPA1 和其他机械敏感蛋白为模板，开发优化超声遗传工程元件；利用超声刺激结合钙成像等方法，筛选对特定频率的超声高灵敏响应的超声遗传工程元件，开发声场强度可调的可穿戴超声刺激设备，包括头戴式面阵列超声换能器和超声刺激控制电子系统；研究超声遗传工程靶向调控灵长类等模式动物大脑运动神经环路，以超声刺激设备定向刺激纹状体等脑区，激活表达超声遗传工程元件的神经元，进行在体电生理记录，分析超声刺激对 D1/D2-MSN 等运动控制神经元的活动调节特点；研究利用超声

遗传工程靶向调控干预灵长类等帕金森病动物模型运动表型,以 Kurlan 评分、行为轨迹分析、肌电记录、食物拾取实验等系统评估超声靶向神经调控对帕金森病猕猴模型运动相关表型的干预效果。

考核指标: 研制 2~4 种高灵敏度低本底活性的超声遗传工程基因元件, 响应超声频率 $\leq 0.5\text{MHz}$, 声压 $\leq 0.5\text{MPa}$; 研制灵长类可穿戴超声刺激设备, 面阵列超声阵元数 ≥ 512 , 支持三维多点动态调控, 系统通道数 ≥ 256 , 单通道瞬时最大支持能量 $\geq 2\text{W}$, 超声脉冲幅度参数至少 5 档可调, 最大激励电压 $\geq 90\text{V}$, 支持 ≥ 32 通道接收, 采样率 $\geq 5\text{MSPS}$, 可实时分析超声回波频谱; 实现以超声遗传工程手段对灵长类动物 1~3 种运动控制神经元的靶向标记和神经活动调节; 在灵长类疾病模型动物中实现对 1~2 种累及神经元疾病的超声靶向活动调控和疾病表型干预。

6.6 近红外二区大视野三维活体光学成像系统研究

研究内容: 面向近红外二区三维活体光学成像的需求, 研究有机近红外二区发光材料的发光亮度、激发态动力学行为与材料结构之间的关联机制, 制备高亮度的有机近红外二区造影剂; 研发近红外荧光蛋白探针, 研究配套大视野光学成像系统的硬件耦合、信号同步以及图像快速处理技术并构建成像系统; 研发智能化影像特征提取方法, 量化分析生物分子活动的动态变化规律; 在不同类型的模式动物上开展活体实验, 促进对生命活动和疾病

发展的认知。

考核指标：制备 2~3 种有机近红外二区造影剂，产生荧光的光谱峰值位于 900nm~1880nm 范围内，且在水相中绝对发光量子产率 $\geq 7\%$ ，吸光峰吸光系数大于 $10^5/\text{M} \cdot \text{cm}$ ；研制大视野近红外二区光学成像系统 1 套，活体成像的灵敏度达到纳摩尔级 ($\leq 10\text{nM}$)，空间分辨率达到微米级 ($\leq 30 \mu\text{m}$)，时间分辨率达到毫秒级 ($\leq 30\text{ms}$)，成像深度达到毫米级 ($\geq 1\text{mm}$)，成像视野达到厘米级 ($\geq 6\text{cm} \times 6\text{cm}$)；研制能够快速实现荧光图像增强与量化分析的智能化成像方法 2~3 种，具备活体荧光强度成像与荧光寿命成像的能力；在活体小动物、大动物等模式动物上，开展 3 种生物医学新应用。

6.7 微纳流控结构和生物电子纳米材料关键问题研究

研究内容：研究生物电子纳米材料与疾病分子的相互作用及其机制，阐明生物电子纳米材料与生物传感效应之间的构效关系，揭示其可控调节生物分子相容性和选择性的机制；研究生物纳米界面和信息转换等过程及理化机制，发展和完善应用于生物诊断标志物靶向识别、多元互作检测的微纳流控技术、生物电子纳米材料和器件的理论体系和方法；开发临床组学分析的生物电子方法及智能分析平台，实现面向临床多组学分子的生物电子信号自动化处理、实时分析和快速响应，构建生物电子系统医学健康信息网络化应用体系；研究微纳观水平疾病演进与重要分子构象特

征变化的内在关系，发展复杂环境下单分子水平的检测新技术，研制高灵敏、高特异性液体活检生物标志物的快速检测新原理和新方法，优化生物电子器件材料与界面设计，提升信号捕获和检测稳定性，实现在复杂环境下痕量标志物的快速、高灵敏定量检测。

考核指标：发展 1~2 种高性能纳米电子材料，建立 ≥ 2 种生物电子纳米材料与组学分子的相互作用定量模型；构建 1~2 种微流控与生物传感器集成技术，研制出多通道生物传感集成芯片和设备，实现核酸、蛋白、代谢物等的精准检测，检测信噪比 $\geq 100: 1$ ，检测限达到皮摩尔-飞摩尔量级，其中核酸分子 $< 100\text{copies/mL}$ 、蛋白分子 $< 1\text{fg/mL}$ ；构建临床信息网络系统，人工智能模型的 AUC 值达到 0.9 以上，支持远程监控和诊断；建立痕量检测标准化流程，实现 ≥ 1 种分子构象特征检测，检测时间 $< 10\text{min}$ ，通道数 > 12 ，临床样本分析符合率 $> 90\%$ 。

6.8 面向瘫痪患者的脑心肺协同干预与康复关键技术研究

研究内容：面向瘫痪卧床患者，研究运动障碍的神经肌肉与心肺功能变化及耦合规律，解析中枢神经对心肺-运动协同调控的脉冲编码机制；开发脑心肺功能动态精准评测方法和技术，实现脑、神经肌肉及心肺功能常见指标（包括脑电、肌电、脑氧、肌氧、呼吸代谢、心输出量等）的动态监测；研发脑心肺协同的智能物理康复方法和技术，构建包含器械、肌骨的人机共融、刚

柔耦合的生物力学模型,基于多模态生理指标识别患者运动意图,并构建仿生运动意图解码器,实现交互力优化和精准控制。

考核指标:阐明不少于 2 项运动障碍的神经肌肉与心肺功能变化及耦合机制,实现对瘫痪患者神经肌肉与心肺功能的协同评估算法 ≥ 2 种;建立脑心肺协同干预与评测系统,实现不少于上述 6 种脑心肺生理功能参数的高分辨检测,肌电与肌氧信号的原位同步柔性复合传感通道 ≥ 64 ,无创连续监测单个运动单元活动,同步监测运动单元 ≥ 20 个,峰值摄氧量和心输出量精度 $\geq 90\%$;多物理场协同干预模式 ≥ 3 种,6 个以上自由度运动意图识别精度 $\geq 90\%$,识别延迟 $< 30\text{ms}$,实现 3 种以上力触觉与本体感觉检测及精准反馈交互,人机交互界面的接触力控制精度优于 5%,申请发明专利 ≥ 6 项。

6.9 智能心肺仿生系统关键技术研究

研究内容:面向复杂生理病理状态下人体心肺系统耦合动力学技术前沿,突破高非线性呼吸力学行为的体外模拟技术瓶颈,研发能够模拟正常生理、慢阻肺/哮喘等病理情况下人体/患者呼吸阻力和顺应性的新型智能调控模组;创制能够模拟血液循环系统/呼吸系统耦合响应过程的原创型心肺耦合动力学仿生模组,高仿真度地再现人体肺部正常生理和多种病理状态的气体交换和血流动力学反应;研发能够模拟正常生理、慢阻肺/哮喘等病理情况下肺部气体交换能力和鼻端呼气成分变化的仿真模块;研

发能够模拟真实生理/病理情况下指端血氧动态变化的仿生手指；开发呼吸阻力/顺应性智能调控模组、心肺耦合动力学仿生模组、肺部气体交换仿真模块和仿生手指的一体化耦合运行系统，并进行检测评价。

考核指标：研制智能心肺仿生系统 1 套，具备模拟从正常人及各种危重症病人的肺部病理生理状况的能力，能够与真实心肺监护装备进行连接，主要呼吸指标和心肺耦合指标与在体实验准确度误差 $\leq 10\%$ ；开发心肺耦合动力学算法 1 套，能够模拟生理和病理情况下呼吸系统与血液循环系统主要参数的耦合关系；研制气体交换模拟模块 1 套，能够模拟患者真实吸入 O_2 及呼出 CO_2 ，用于临床使用的心肺康复设备可实时监测呼气末 CO_2 浓度（ $etCO_2$ ）和吸入氧浓度（ FiO_2 ），误差 $\leq 15\%$ ；研制仿生手指 1 套，能够模拟患者真实的血氧饱和度（ SpO_2 ），并可用于各种心肺康复治疗的效果反馈，误差 $\leq 10\%$ ；研制的一体化耦合运行系统完成 ≥ 10 例心肺系统临床事件的模拟测试验证，申请发明专利 ≥ 5 项。

7. 交通工程领域

7.1 高寒荒漠地区交通基础设施结构混凝土服役行为与长寿保障关键技术

研究内容：针对高寒荒漠地区交通基础设施建设的重大需求，研究高频冻融、极大温差、极端干燥、极高盐分环境下桥隧混凝

土施工与服役期间性能劣化规律；研究混凝土低温微晶诱导强度增长、大温差变形疲劳控制、低湿表面湿度梯度抑制、低气压引气稳泡抗冻、多尺度孔隙传输抑制等功能材料与延寿技术，研究考虑典型高寒荒漠地域性材料特性的混凝土制备技术；研究基于表层强化的功能梯度混凝土及多材料界面的介质传输机制与协同受力机理，研究高寒荒漠地区的材料-结构-功能一体化智能优化设计方法和多功能-多层次混凝土的长寿命桥梁结构和隧道衬砌结构。

考核指标：建立高寒荒漠极端环境下桥隧结构混凝土的损伤失效模型与评估方法；研发 5 种应对高寒荒漠典型环境条件的混凝土延寿功能材料，分别实现 0℃ 低温下抗压强度持续发展且 24h 强度 $\geq 8\text{MPa}$ ，温差疲劳作用引起的内部拉应力降低 $\geq 30\%$ ，30%低湿下混凝土收缩降低 $\geq 50\%$ ，60kPa 低气压下抗冻融性能提高 $\geq 40\%$ ，10%（质量分数）高浓度硫酸盐溶液作用下抗侵蚀性能提高 $\geq 50\%$ ，形成利用地域性材料制备高寒荒漠抗裂耐久混凝土的成套技术；研发基于功能梯度的桥梁结构新形式和隧道衬砌结构新形式各 ≥ 1 个，保障高寒荒漠环境下结构混凝土 100 年服役寿命，实现在高寒荒漠地区工程示范应用 ≥ 1 项。

7.2 复杂环境下桥梁与隧道结构维护修复与提升关键材料及应用技术

研究内容：面向高温/高寒/高湿/侵蚀性离子等恶劣环境中桥

梁和隧道结构性能保持、修复及提升需求，研发耐湿热环境的混凝土结构表面功能性高分子防护涂层材料和裂缝自修复材料及其应用技术；研发耐气候高温和湿热环境的高性能胶黏剂，并开发基于高性能纤维复材的桥梁钢结构和桥隧混凝土结构高效性能加固提升技术；研发耐冻融环境的高界面粘结强度和韧性的水泥基快速加固修复材料及其应用技术，开发基于高性能金属的结构低损伤快速加固技术。

考核指标：防护涂层粘结强度 $\geq 1.5\text{MPa}$ ，断裂伸长率 $\geq 200\%$ ， $-40^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 循环 20 次后抗渗性下降 $\leq 10\%$ ；裂缝自修复材料粘度 $\leq 200\text{mPa}\cdot\text{s}$ ，湿粘结强度 $\geq 2.0\text{MPa}$ ，抗渗压力 $\geq 1.2\text{MPa}$ ；高性能胶黏剂抗拉强度 $\geq 40\text{MPa}$ 、断裂伸长率 $\geq 1.5\%$ ，钢对钢拉伸剪切强度 $\geq 17\text{MPa}$ ，热变形温度 $\geq 70^{\circ}\text{C}$ ， 60°C 湿热老化 1000h 后抗拉强度保留率 $\geq 70\%$ ；水泥基快速修复加固材料 24h 抗压强度 $\geq 24\text{MPa}$ ，28d 抗压强度 $\geq 80\text{MPa}$ 、劈裂抗拉强度 $\geq 10\text{MPa}$ 、拉伸粘结强度 $\geq 3.5\text{MPa}$ ，28d 收缩率 $\leq 0.01\%$ ，28d 氯离子扩散系数 $\leq 1.0\times 10^{-12}\text{m}^2/\text{s}$ （RCM 法），28d 300 次冻融循环后相对动弹性模量 $\geq 95\%$ 、质量损失率 $\leq 2\%$ ；基于高性能纤维复材的桥梁钢结构和桥隧混凝土结构加固提升技术 ≥ 4 种，性能较未加固结构提升 $\geq 30\%$ ；基于水泥基材料的快速加固技术 ≥ 2 种，基于高性能金属的结构低损伤快速加固技术 ≥ 2 种，性能较未加固结构提升 $\geq 30\%$ 。

7.3 海洋交通工程混凝土材料与结构强韧化设计理论

研究内容: 研究海洋环境下交通工程混凝土材料损伤、断裂机理和脆性本质及其表征理论; 研究纳米改性和纤维增韧混凝土纳-微-细-宏多尺度断裂机理, 提出增韧理论; 研究强韧性混凝土材料在海洋环境下的耐久性, 建立考虑微细多缝开裂宽度的强韧性混凝土耐久性评估方法; 研究强韧性混凝土材料的高效组合机制, 提出与强韧性材料匹配的结构设计准则, 建立面向海洋环境下结构的材料指标体系和智能设计理论, 实现强韧性混凝土材料与轻量化复合结构的一体化设计。

考核指标: 构建可描述混凝土纳微观裂缝起裂、微细多缝开裂和宏观断裂破坏全过程的准细观数值模型, 模拟和研发的强韧性混凝土材料微细多缝开裂宽度 $\leq 100 \mu\text{m}$; 建立基于断裂力学的强韧性混凝土材料设计准则; 建立强韧性混凝土材料名义强度尺寸效应律公式, 尺寸效应律曲线可描述材料塑性破坏、应变硬化、准脆性和完全脆性 4 类破坏类型; 梁板式组合结构重量减轻 40%; 形成“环境-材料-结构”一体化的强韧设计方法。

7.4 交通铺面感-诊-治-监一体化智慧技术

研究内容: 针对不同公路铺面结构和长大桥梁铺装结构在复杂气象灾害、地质灾害、公路结构性退化及交通荷载下的失效行为感知与修复韧性难题, 研究公路铺面感知信息的异构数据融合与解析方法, 研究参数化实景建模与建设运维一体化建模技术,

实现高度精细化、虚拟化模型系统与真实交通的数字孪生，构建关键损伤、致灾因素监测指标集；研究建造和运维环节对结构、材料和功能多维数据全息快速智能感知和快速、无损健康检测监测策略与技术；研究服役性能动态推演、可靠度诊断、失效预警机制及解耦控制理论方法；研发损伤快速绿色化修复技术；研发具备场景构建-状态感知-预测推演-决策控制的长期监测与数字化运维平台，实现感知、诊断、处治、监测全过程的智能化与自动化协同。

考核指标：构建多维度智能感知体系，提出多源传感器融合技术、快速无损检测技术等健康检测监测方法；提出基于数字孪生和 AI 驱动诊断算法的多尺度损伤演化诊治方法及失效预警模型，建立铺面真实服役状态的评价模型和多目标优化决策模型；构建铺面靶向处治技术体系，提出低碳、快速、精准的智能修复技术并研发功能材料；提出公路铺面感-诊-治-监一体化成套技术标准；开发公路铺面感-诊-治-监一体化的智慧协同数字孪生平台，实现基于全要素、多物理场融合的虚实交互验证。

7.5 极端环境长大深埋隧道服役期灾变时滞规律与智能感知关键技术

研究内容：研制可实现复杂地应力环境下长大深埋隧道结构灾变孕育、演化全过程多因素还原分析与验证平台，揭示高地应力、强富水、高地温、断层破碎带等重大不良地质孕灾演化机理、

岩爆与大变形等时滞性灾变全过程力学演化规律；研究隧道沿线关键区域深部应力应变与隧道结构多维度长期探测/监测技术，开发基于多参量融合传感、适用于极端环境的长大深埋隧道围岩与结构一体化感知装备；研究建立力-水-温-时多场耦合下围岩与结构相互作用高效仿真与灾变情景推演方法，建立临界状态评估与性能突变的预测模型；提出基于多源信息的灾害分级与风险自动判识方法，建立隧道结构灾变状态信息智能感知和链式灾害准确预测预警技术。

考核指标：研制可实现复杂地应力环境下长大深埋隧道结构灾变孕育、演化全过程多因素还原分析与验证平台，可实现高地应力、强富水、高地温、断层破碎带等不良地质环境的多场耦合模拟，其中几何相似比尺度 $\geq 1/50$ ，可等效模拟三维地应力 $\geq 150\text{MPa}$ 、水压 $\geq 20\text{MPa}$ ；多参量融合传感装置 ≥ 2 类，监测参量 ≥ 5 种：应力、应变、温度、声波、振动等，测量距离 $\geq 20\text{km}$ ，分布式传感噪声水平优于 $5p\ \varepsilon / \sqrt{\text{Hz}}@10\text{Hz}$ 、高精度点式传感长期漂移优于 $10^{-3}\ \mu\ \varepsilon$ ，技术就绪度 ≥ 7 级，形成技术标准1项；建立隧道结构灾变临界状态评估与性能突变的预测模型，适用于包括岩爆、大变形等诱发的结构灾变 ≥ 2 类。

7.6 高速铁路基础设施智能动态感知及诊治一体化关键技术 与装备

研究内容：研制更高速铁路轨道、接触网、通信信号等基础

设施全域感知与智能检测装备；揭示轮轨荷载、速度等长周期多因素耦合作用下高速铁路基础设施病害形成和演化机理；构建几何-响应-图像多模态特征融合下高速铁路基础设施病害智能诊断与复杂服役性能评估平台；研究高速铁路基础设施关键设备绿色、低碳、高性能快速修复和整治技术。

考核指标：研制 1 套最高试验速度 450km/h 的高速综合检测关键系统：包括轨道几何、接触网、通信信号、车辆动态响应、轮轨力检测系统，技术就绪度 ≥ 7 级，具备空间同步、时空校准、集中监控、数据网络、车地无线传输、数据管理及综合展示功能，时空同步定位精度 $\leq 1\text{m}$ ，轨道几何检测系统最小分辨力 0.1mm，重复性指标最高 $\leq 1\text{mm}$ ，接触网几何参数检测系统分辨力 1mm；建立 ≥ 3 项基础设施状态发展演变模型，包括钢轨轨面伤损、轨道结构隐蔽病害、接触网定位部件病害发展演变模型；形成高速铁路基础设施典型病害智能诊断技术 ≥ 5 项，包括钢轨短波复合病害、轨道横移、隧道仰拱上拱、基础不均匀沉降、接触网定位部件异常磨损，识别率 90%以上；构建铁路基础设施检测监测大数据平台。形成 5 项基础设施异常状态预测预警方法，包括钢轨短波复合病害、轨道横移、隧道仰拱上拱、基础不均匀沉降、接触网定位部件异常磨损，异常预警分析时间缩短至 1 天；提出面向不同类型基础设施病害的环境友好、高性能、高效率修复与整治技术 ≥ 5 项；研发无砟轨道层间无水解离及有内限位凹槽的

无砟轨道抬升纠偏技术，新型物理解离工艺用水量 $\leq 0.5\text{m}^3/\text{m}^2$ ，有内限位凹槽无砟轨道层间解离抬升纠偏工效 $\geq 5\text{m}/\text{天窗点}$ ；研发路基冻胀精准调控及翻浆冒泥土体高性能环保固化技术，冻胀调控范围直径 $\geq 1.0\text{m}$ ，固化聚合处理后土体抗压强度在 $0.5\sim 20\text{MPa}$ 可调控、300万次疲劳荷载不开裂；研发隧底结构高效更换技术，更换效率 $\geq 1\text{m}/\text{天窗点}$ ，施工期间行车速度 $\geq 80\text{km}/\text{h}$ ；研发钢拱桥除锈与涂装装备，施工速度 $\geq 30\text{m}^2/\text{h}$ 。

7.7 青藏高原高速公路战略主通道智能建造与韧性提升关键技术及装备

研究内容：面向高寒高海拔极敏感多年冻土长时低温、高频冻融、超强紫外辐射等极端环境，研究进藏高速公路主通道高品质建造及抗灾抗打击韧性理论、方法与关键技术；建立高寒极端环境下高速公路韧性评估理论与方法；创新高寒极端环境下高速公路高韧性材料与结构；研发极端环境下的进藏高速公路智能建造技术及装备；研发青藏高原高速公路健康监测诊断、灾害预警与数字孪生系统平台；构建平战结合进藏高速公路应急救援保障关键技术体系。

考核指标：形成高原极端环境高速公路重大理论、方法和技术，实现工程高韧长寿目标；构建青藏高原高寒极端环境下高速公路建养阶段韧性评估理论，灾种覆盖率 $\geq 80\%$ ；开发面向高寒极端环境的长寿命高韧性材料与结构，沥青抗冻抗紫外性能提升

≥25%，混凝土裂缝损伤自修复率≥80%，结构耐久性综合提升≥30%，路基年最大沉降≤5cm，建成30年后总沉降≤30cm；研发交通基础设施新型工业化结构类型≥5项，结构整体装配化率≥80%，建造效率提升≥40%；研发自适应多年冻土钻进装备与透明冻土地质模型，对比传统岩心钻机进尺速率提升≥2倍，多年冻土取芯整体率≥90%，多元信息类型≥5种，冻土识别精度达到亚米级，冻土演化预测年限≥50年，构建青藏高原高速公路水-热-变形预测平台1个，准确率≥90%；在青藏高原高速公路战略主通道进行应用验证。

7.8 高速铁路桥梁工业化建造结构体系与建造运维关键技术

研究内容：基于材料结构一体化与设计建造一体化思想，针对中小跨径桥梁和大跨径缆索体系桥梁，研发面向工业化建造的高速铁路桥梁结构新体系；揭示高速铁路运营条件下关键连接与整体结构的静动力性能以及疲劳、收缩、徐变等长期性能，提出考虑材料与连接构造性能影响的结构计算模型，实现材料、连接构造与结构整体性能的一体化高效设计；研究新体系的工业化建造方法，实现结构与工业机器人系统的协同设计；研发关键连接构造与整体结构性能的智能检测或监测技术，实现损伤高效精准识别与评价。

考核指标：研发≥3种面向工业化建造的高速铁路桥梁结构新体系，建立新型桥梁结构体系分析计算模型、设计方法、建造

与运维系列技术；编制完成相关国家/行业/团体技术标准（送审稿）1部；申请/授权发明专利 ≥ 5 项；在桥梁工程领域完成示范工程应用 ≥ 1 项，相比于现有结构体系有关指标达到：结构材料用量降低 $> 10\%$ ，建造效率提升 $> 20\%$ 。

7.9 极端气候-高铁列车荷载耦合作用下轮轨系统轨道结构状态演化与智能运维

研究内容：针对复杂服役条件下轮轨系统轨道结构状态演化不清晰与运维技术不科学的问题，研究极端气候-高速列车荷载耦合作用下轨道系统性能演化大型试验平台物理模拟方法；建立极端气候条件下轮轨系统轨道结构精细均衡仿真分析模型，揭示全寿命周期轨道结构的损伤机理与性能失效机制；研究极端环境下轮轨系统轨道结构安全风险泛在感知与智能预警技术；提出材料-结构协同的轨道结构功能恢复与养修技术。

考核指标：研发极端气候与高速列车荷载耦合的轨道系统性能演化试验平台，轨道结构长度 $\geq 25\text{m}$ ，温度范围覆盖 $-50^{\circ}\text{C} \sim 90^{\circ}\text{C}$ ，湿度范围覆盖 $20\% \sim 95\%$ ，疲劳荷载作动头 ≥ 3 个，最大加载能力 $\geq 50\text{t}$ ；建立极端气候条件下轨道结构精细均衡仿真分析模型，与试验结果对比，模型精度 $\geq 90\%$ ；提出极端环境下轮轨系统轨道结构风险感知与预警技术方案，极低温-列车荷载耦合作用下感知预警失效率 $\leq 20\%$ ；提出轨道结构多层次养护维修技术，涵盖 ≥ 3 类典型病害。

7.10 长大编组重载列车动力学性能演化与服役安全调控

研究内容:面向重载列车服役安全和更大编组技术突破的需求,发展数模驱动的重载列车动力学与服役安全分析方法,揭示长大编组列车纵向动力学随机特性、碰撞安全相应机制及等效验证规律,探明复杂时变纵向载荷下列车承载稳定机理和轮轨安全演化机制,构建融合仿真、试验、跟踪监测的重载列车运行安全综合性能评估体系,提出长大编组重载列车服役性能提升与安全调控技术。

考核指标:形成基于数模驱动的重载列车动力学与服役安全计算分析方法,构建面向双机重联万吨、组合2万吨及更大编组的重载列车纵向动力学与承载安全性计算平台2个,典型工况下列车安全性指标准准确率 $\geq 90\%$;通过2种典型场景验证长大编组重载列车纵向动力学随机特性和承载、碰撞安全等效机制的普适性;形成基于仿真、试验、跟踪监测融合的长大编组重载列车运行安全综合性能评估体系,开展至少2项自主化技术装备的性能评估应用验证;研发长大编组列车机车级、列车级运行安全监测系统样机各1套,制定在途实时智能安全预警方案及处置规范各1套,在2万吨重载组合列车形成示范应用;提出重载列车服役安全调控技术2项,运行安全关键指标提升10%;制定机车重载适应性安全评价试验标准1项。

7.11 高速轨道交通空气动力噪声机理及其控制

研究内容：围绕高速（350+km/h）铁路或超高速（600+km/h）磁浮列车气动噪声调控难题，发展高速及超高速轨道交通气动噪声风洞或动模型试验技术，揭示轨道交通列车与环境流固耦合作用机制，探明高速及超高速轨道交通系统空气动力噪声产生与传播机制，构建高速及超高速轨道交通空气动力噪声理论研究方法体系，提出降低列车空气动力噪声的控制技术。

考核指标：形成时速 350km 以上高速列车和时速 600km 以上磁浮列车空气动力噪声试验技术与计算分析体系，典型工况的试验与计算噪声强度结果偏差 $<2\text{dB}$ ；通过 2 种典型场景验证轨道交通列车与环境流固耦合作用机制的普适性；建立高速及超高速轨道交通空气动力与噪声表征、测试与调控新方法 3 项；研发满足多场景、多制式要求的高速及超高速轨道交通空气动力噪声预测分析软件 2 套；制定高速及超高速轨道交通气动噪声测试与控制行业技术标准（规范）1 项。

7.12 太阳能热发电吸热塔的风-地震-结构耦合效应与性态控制

研究内容：面向结构和工艺装备安全与发电效率需求，研发适用于大容量太阳能热发电站吸热塔的钢-混凝土混合结构体系，形成滞回性态可调控的“承载-耗能”结构功能集成技术，揭示风、强震作用下结构非线性动力反应的调控机制；提出基于性态响应的非线性抗震设计方法，建立适用于太阳能热发电站的大容

量吸热塔在风、强震作用下的结构性态控制理论及高效减振技术，提出基于结构抗倒塌能力与可恢复能力协同提升的结构性态控制技术。

考核指标：研发适用于吸热塔的钢-混凝土混合结构体系，建立结构体系基于性态的设计理论与方法，形成结构滞回性态与动力特性调控技术；与传统吸热塔结构体系相比，新型吸热塔在正常工作状态下镜场溢出损失减少 $\geq 3.0\%$ ，集热效率（计算值）提升 $\geq 1.2\%$ ，结构体系关键区段非线性变形能力提升 $\geq 100\%$ ；开发结构体系动力响应高效计算分析方法，性态响应预测精度 $\geq 90\%$ ，计算效率提升 $\geq 30\%$ ；完成 5 座总容量 500MW 以上的吸热塔工程应用示范。

7.13 超大容量海上风机支撑结构耦合振动机理与破坏机制

研究内容：针对海洋复杂气候、水文、地质条件下的超大容量风机，研究考虑风机群尾流效应的海上超大容量风机支撑结构-叶片气弹效应；研究非线性波浪作用下风机基础瞬态水动力特性；研究地震、海流冲刷和循环荷载作用下支撑结构基础与地基协同承载机理；研究地震-风浪流耦合作用下支撑结构体系破坏机制的一体化分析方法。

考核指标：构建高精度动态尾流模型，误差 $\leq 5\%$ ；提出风机支撑结构和叶片风振响应精细化分析方法，误差 $\leq 10\%$ 。建立风机基础非线性波浪瞬态载荷精细化预报模型，对瞬态载荷的预

报误差 $\leq 15\%$ 。建立复杂边界和荷载条件下的地基承载力计算模型，模型精度 $\geq 85\%$ 。建立地震-风浪流耦合作用下的海上风机一体化分析模型，提出耦合系统非线性随机响应分析方法，计算效率与蒙特卡罗方法相比提高一个数量级。

7.14 高寒及复杂地质环境下地热发电结构多场耦合效应与设计理论

研究内容：面向高寒与复杂地质条件下地热资源开发需求，研究地热流体注采对地下岩土的热-水-应力-化学多场耦合效应机制以及多场作用规律；研究地热发电网络式地热井的全局优化设计与时变调度模型；研究地热发电岩土-管道-结构耦合系统地震动态响应机理、抗震设计方法与强韧技术；研究基于环境与地质特征的高寒及复杂地质地区地热发电风险预警与应急响应机制。

考核指标：提出地热注采参数-岩石应力-热力性能耦合关系及优化设计方法，岩石多物理场参数精确辨识误差 $< 15\%$ ；建立网络式地热井的调度与优化模型，发电效率提升 $\geq 20\%$ ；提出地热发电岩土-管道-结构耦合系统抗震性能评价指标体系和设计方法，研发强韧技术 2 套；编制相关标准规范 ≥ 2 项，在 4000m 深地热井及兆瓦级地热电站完成示范。

7.15 青藏高原盆山周边重大交通工程廊道流域地质和冰雪灾害风险评估及预警

研究内容：针对青藏高原盆山周边灾患复杂多样、现有观测技术受限的问题，研究重大交通工程廊道“空-天-地”监测技术与极端链式灾害风险源智能化识别方法；研究地质条件-构造作用-气候变化-灾害发生的耦合机制，揭示交通工程灾害风险的多尺度、多时效耦合特征和时空演化规律；研究易发性-危险性-风险的全链条灾害动态评估方法，研发跨流域尺度的灾害评估模型体系；研究交通廊道灾害链式预警机制，研发风险分级预警与联防联控智能决策平台，在不同类型的重大交通工程开展应用。

考核指标：构建青藏高原盆山周边重大交通工程廊道“空-天-地”监测技术体系，形成极端链式灾害风险源智能化识别样本数据库（样本数量 ≥ 50 个），涵盖滑坡、泥石流、雪崩等 ≥ 5 种灾害类型，智能识别精准率 $\geq 90\%$ ；开发青藏高原盆山周边小流域（百平方公里）地质条件-构造作用-气候变化-灾害发生耦合作用模型，模型验证结果与实际观测数据吻合度 $\geq 90\%$ ；开发青藏高原盆山周边流域的灾害风险评估模型体系 1 套，模型评估结果准确度比现有机理模型提高 15%~20%，编制全链条灾害动态评估行业/团体标准（送审稿）1 项；研发青藏高原盆山重大交通工程廊道智能化风险识别、动态风险评估及预警平台系统 1 套，风险预警准确率 $\geq 90\%$ ，平台系统反应时间 $< 10s$ ；编制青藏高原地方防灾减灾标准（送审稿）1 项，应用于青藏高原 ≥ 3 种类型的重大交通工程廊道，总服务面积 $\geq 300km^2$ 。

8. 材料领域

8.1 单晶压电薄膜及高频声学滤波器

研究内容:研究高频声学滤波器芯片应用的高性能单晶压电薄膜材料,解决压电薄膜晶圆应力消除、性能恢复等难题,制备出高品质硅基单晶压电薄膜,建立晶圆级单晶压电薄膜压电性能无损检测方法;研究硅基单晶压电薄膜异质结构中高声速谐振模式控制方法,厘清多层结构设计参数、谐振器结构对寄生模态和声波泄露的影响规律,建立寄生模态抑制方法,研发出高优值的高频新型声学谐振器,开发高频声学滤波器的设计仿真技术,研制出高频声学滤波器芯片。

考核指标:硅基声学滤波器衬底材料尺寸 $\geq 8''$,表面平均粗糙度 $Ra < 0.5nm$,XRD半峰宽(FWHM) $< 150arcsec$,面内厚度偏差 $\leq 50nm$,晶圆总厚度偏差(TTV) $\leq 10\mu m$,晶圆翘曲度(WARP) $\leq 60\mu m$;声学谐振器谐振频率 $\geq 12GHz$,机电耦合系数 $\geq 12\%$,等效声速 $\geq 12000m/s$,优值(FoM) > 30 ;声学滤波器中心频率 $\geq 12GHz$,通带分数带宽 $\geq 5\%$,频率温度系数(TCF)绝对值 $\leq 45ppm/^{\circ}C$,插入损耗 $\leq 3dB$ 。

8.2 基于中国空间站的材料设计合成与组织性能调控

研究内容:围绕空间材料科学技术领域前沿探索和工程应用重大需求,针对几类对空间环境敏感的新材料开展设计与合成研究。利用中国空间站独特的环境资源,研究特种金属材料的液态

特性、制备加工过程和组织性能调控规律，并揭示其空间服役特性；构建新型梯度复合材料的空间合成方法、构效关系与组织性能优化途径；开展特种探测半导体晶体的空间生长并实现其组份、缺陷和性能有效调控。

考核指标：耐高温金属材料生长速度调控范围上限 $\geq 10\text{m/s}$ ，轻质合金材料抗拉强度 $> 300\text{MPa}$ ；先进梯度复合材料弯曲强度 $> 500\text{MPa}$ ；特种探测半导体晶体电阻率 $\geq 10^{10}\Omega\text{cm}$ ，缺陷密度 $\leq 10^3/\text{cm}^2$ 。

8.3 新型极性拓扑材料与器件

研究内容：针对后摩尔时代信息存算对小尺度、低功耗、多储态电介质材料的迫切需求，发展极性拓扑材料科学原理和器件概念，设计生长新型介电超晶格和纳米阵列，研究极性拓扑材料制备工艺和构筑机理；发展跨时空尺度极性结构精细表征技术，研究极性拓扑材料的拓扑构型与性能关系及其在挠曲、扭转、滑移及外场作用下的演化规律；研发基于极性拓扑材料的颠覆性信息器件，探索新型拓扑存算器和负电容晶体管等应用。

考核指标：制备 ≥ 3 类极性拓扑结构(最小拓扑尺寸 $\leq 3\text{nm}$)；精细表征拓扑构型(空间分辨精度 $\leq 0.5\text{pm}$)、三维分布(衍射分辨 $\leq (0.0015/\text{\AA})^3$)和时间演化(分辨精度 $\leq 50\text{fs}$)；研制2类新概念器件(存算器开关能耗 $\leq 1\text{fJ}$ ；晶体管SS值 $\leq 30\text{mV/dec}$)。

8.4 新型光电忆阻功能材料与器件

研究内容：面向高效人工视觉系统需求，发展 CMOS 工艺兼容的新型无机光电忆阻功能材料，探索等离子激元、电荷捕获等光电忆阻新原理，阐明光电忆阻材料中光子、电子、离子的耦合机理；构筑具备光写入/光擦除能力的多异质结多界面光电忆阻器件新结构；开发大面积晶圆级忆阻材料可控制备技术与器件阵列集成技术，研制适用于多波段的快响应、低能耗光电忆阻器阵列，实现图像感知、存储与自适应处理一体化功能验证。

考核指标：具有不同工作原理的感存算一体化光电忆阻材料体系 ≥ 3 种，波长响应范围包含紫外、可见、近红外波段，实现 4" 晶圆级材料制备；器件光响应时间 $\leq 10 \mu s$ ，光响应度 $\geq 10 A/W$ ，多值存储能力 $\geq 8 bit$ ，读取能耗 $\leq 10 fJ$ ，电阻调节线性度 ≥ 0.98 ；阵列规模 $\geq 128 \times 128$ ，实现图像感知、存储与目标识别功能验证。

8.5 相干红外辐射控制材料与结构

研究内容：研究红外窗口区相干辐射产生与调控原理，构筑相干红外辐射控制材料与功能基元序构；发展红外辐射频率、相位、偏振等多参量调控技术，揭示材料相干红外辐射特性在磁、电和光等多物理场作用下的调控规律；研制小型化、集成化的红外辐射调控与探测器件，分别实现其在智能蒙皮与深空探测领域的应用前景验证。

考核指标：构建相干红外辐射产生与调控理论模型，发展出

材料与结构设计方法；研制出几类相干红外辐射调控材料与结构，技术指标包括：I类：覆盖 $8\sim 20\ \mu\text{m}$ 频谱范围，平均正交偏振辐射比 $\geq 10:1$ ；II类：聚焦效率 $\geq 65\%$ ，阵列规模 32×32 ，中心波长 $4.65\ \mu\text{m}$ ；III类：具备波段选择性辐射：探测波段有效发射率 ≤ 0.15 ，非探测波段最高发射率 ≥ 0.8 、相对带宽 ≥ 0.35 ；制备高灵敏长波红外多维电磁信息探测器，探测波长覆盖 $8\sim 14\ \mu\text{m}$ ，长波红外峰值偏振消光比 ≥ 50 ，光谱分辨率 $\leq 200\text{nm}$ ，比探测率 $D^*\geq 10^{10}\text{Jones}$ ；制备非制冷红外阵列式平衡探测器，探测波长覆盖 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ ，阵列规模 32×32 ，暗电流 $\leq 1\text{nA}$ 。

8.6 面向空间应用的智能热控超材料

研究内容：针对载人航天、深空探测等空间任务中航天器所面临的严苛热环境、轻量化和低功耗需求等多重挑战，研究基于数据驱动的无源智能热控超材料的高效设计及优化方法，探索其在极端环境下的多谱段动态光热调控特性及多场耦合效应；提出适用于批量化生产的制备技术；阐明超材料在空间环境辐照下的性能衰退机理，提升其稳定性与耐久性，建立长周期在轨服役寿命预测方法，开展空天环境试验验证。

考核指标：形成智能热控超材料设计、制备和性能评价相关的新技术/新方法；研制满足以下性能的智能热控超材料：尺寸为 $40\times 40\times 0.2\text{mm}^3$ ，面密度 $\leq 460\text{g/m}^2$ ，红外发射率调控幅度 ≥ 0.5 （波长 $2.5\sim 25\ \mu\text{m}$ ），太阳吸收比 ≤ 0.3 ，相变温度范围 $0\sim$

40℃；相变循环 10000 次后，红外发射率调控幅度衰减 ≤ 0.05 ，湿热环境（ $50\pm 5^\circ\text{C}$ 、 $95\pm 5\%\text{RH}$ ）下放置 300h 红外发射率调控幅度衰减 ≤ 0.05 ；地面模拟地球 LEO、GEO 和火星轨道等效 10 年空间辐照环境下，红外发射率调控幅度衰减 ≤ 0.1 。

8.7 大尺寸高密度封装玻璃基板关键技术研发与应用

研究内容：针对 AI、算力芯片领域对大尺寸高密度封装玻璃基板的迫切需求，揭示玻璃组成-结构-介电/热力学性能的构效关系，研究极难熔玻璃熔化制备的热力学、动力学过程与温度场、流动场的高效协同机理，突破低损耗、低膨胀、高均匀性基板玻璃核心制备工艺；探究超快激光诱导玻璃键态断裂与选择性定向刻蚀的耦合作用机制，开发高深径比玻璃通孔及高质量金属填孔关键技术；研究异质多层布线附着力、翘曲度、化学兼容性控制与精细布线技术，实现面板级高密度封装玻璃基板系统集成与应用验证。

考核指标：基板玻璃热膨胀系数 $(3\sim 5)\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ，介电损耗 $\leq 0.004@1\text{GHz}$ ，杨氏模量 $\geq 70\text{GPa}$ ，尺寸 $\geq 510\text{mm}\times 515\text{mm}$ ，厚度 $0.3\text{mm}\sim 1.0\text{mm}$ ，厚薄差 $\leq 0.01\text{mm}$ ；最小通孔孔径 $\leq 20\ \mu\text{m}$ ，电镀填孔最大通孔深径比 $\geq 20:1$ ；基板布线层数 ≥ 16 层，最小线宽/间距 $\leq 5/5\ \mu\text{m}$ ，最小微凸点节距 $\leq 45\ \mu\text{m}$ ，基板最小单元尺寸 $\geq 80\text{mm}\times 80\text{mm}$ 。

8.8 构件残余应力宽温域原位表征与全生命周期形性-组织-

应力协同控制技术

研究内容：面向深空探测、空间防御等重大工程应用，聚焦制约铝合金构件极端环境可靠服役、形位精确控制的残余应力表征及调控问题，研究构件宽温域三维残余应力原位精确评价技术，建立跨尺度残余应力演化预测模型；揭示构件制备加工及服役过程中在宽温域、复杂热力耦合条件下残余应力重分布规律及残余应力-组织-性能协同调控机理，建立大规格构件跨尺度残余应力-形位-组织-性能协同的高效、稳定调控策略；阐明构件在残余应力-结构载荷-服役环境耦合作用下的形位及性能演化机理，探究构件服役过程残余应力-形性关联关系及失效规律，实现关键构件残余应力精准协同调控和服役演化预测，并在空天领域相关产品上开展验证。

考核指标：建立构件（尺寸 $\geq \Phi 200\text{mm} \times 60\text{mm}$ ）、宽温区（ $-253 \sim 500^\circ\text{C}$ ）条件下的深部三维残余应力原位表征平台和演化模型，研制试样宽温区（ $-253 \sim 500^\circ\text{C}$ ）、变载荷（ $0.1 \sim 10\text{kN}$ 载荷， $10^{-5} \sim 10^{-1}\text{s}^{-1}$ 应变速率）条件下的原位环境装置，在同时满足取样分辨 4mm 、时间分辨 1min 、原位检测铝合金厚度 $\geq 100\text{mm}$ 条件下，应变误差 $\leq 100 \mu \varepsilon$ ；针对 5 种典型关键构件，建立以深冷处理为核心的残余应力精准调控工艺规范，通过工艺优化实现残余应力释放达到 70%以上，并在至少三种产品上得到应用。

8.9 塑性高强氮化硅陶瓷新材料研制与应用

研究内容:面向航空航天发动机、核用关键高温部件等领域对高强塑陶瓷材料的迫切需求,开发塑性高强氮化硅陶瓷新材料,发展宏观块材的关键制备工艺,有效细化陶瓷晶粒尺寸,实现相界面结构的精准调控;从原子尺度上阐明氮化硅陶瓷界面结构对其塑性变形行为的影响机制;开展塑性氮化硅陶瓷的全面性能评价,获得其力学、热学、抗氧化、耐腐蚀等关键性能数据,模拟其在工况条件下的使役行为。

考核指标:所制备塑性高强氮化硅陶瓷宏观块材样品的长度 $\geq 150\text{mm}$,具有各向同性性能。其中,理化性质满足:密度 $\geq 3.2\text{g/cm}^3$,致密度 $\geq 99\%$,热膨胀系数 $\leq 5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$;室温力学性能满足:室温弯曲强度 $\geq 1400\text{MPa}$,拉伸强度 $\geq 800\text{MPa}$,硬度 $\geq 18\text{GPa}$,模量 $\geq 250\text{GPa}$,比强度 $\geq 100\text{kN}\cdot\text{m/kg}$,宏观块材应变 $\geq 1\%$;高温力学性能满足:1350 $^\circ\text{C}$ 下弯曲强度 $\geq 600\text{MPa}$,1350 $^\circ\text{C}$ 下拉伸强度 $\geq 400\text{MPa}$,1200 $^\circ\text{C}/200\text{MPa}$ 载荷下高温蠕变时间 $\geq 60\text{h}$ 。

8.10 新型热电材料与器件的关键工程科学问题及应用研究

研究内容:探索多自由度耦合调控热电输运性能的新机制与新效应,创制高性能近室温热电材料,构筑近室温区发电与制冷应用的高效可靠热电器件;创建面向深空自供能应用的低热值热源高效热电发电样机;研制深海特殊控温的热电制冷与加热应用

示范系统；开发液氮温区深低温高效热电材料与器件，开展红外探测等深低温制冷和控温应用研究。

考核指标：开发 1~2 种新型近室温热电材料，250~350K 温区热电优值 $zT \geq 1.0$ ；300~600K 温区热电器件效率 $\geq 12\%$ ，输出功率密度 $\geq 1.0 \text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$ ；300~600K 温区低热值热源 RTG 样机的发电效率 $\geq 6\%$ ；273~373K 温区磁增强热电制冷与加热系统的最大温跨 $\geq 30\text{K}$ ；系统制冷功率 $\geq 10\text{kW}$ ，COP ≥ 2.0 ；250K 时材料热电优值 $zT \geq 0.9$ ，压缩形变量 $\geq 50\%$ ；300K 时热电器件的制冷温差 $\geq 130\text{K}$ ；77~100K 深低温热电器件的制冷温差 $\geq 6\text{K}$ 。

8.11 宽温区超低热膨胀材料及应用研究

研究内容：围绕高精密空间光学探测需求，研发紫外-可见-近红外全透明的新型高性能超低热膨胀光学材料和综合性能优异的轻质金属基超低热膨胀结构材料；构建电子布居-声子激发-晶格结构外场响应之间的关系，揭示局域原子配位、长程晶格序构和界面结构等对热、光、力等综合性能的作用机理；开发超低热膨胀光学材料和结构材料典型样件的制备工艺，开展空间光学探测领域的应用验证研究。

考核指标：空间光学探测用各向同性超低热膨胀材料，热膨胀系数为 $10^{-7}/\text{K}$ 量级，热导率 $> 25 \text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ ，杨氏模量 $> 100 \text{GPa}$ ，密度 $< 4.5 \text{g}/\text{cm}^3$ 。其中，光学元件：尺寸 $> \Phi 50 \times 20 \text{mm}$ ，超低膨胀温区 4.2~270K，透过率 $> 90\%$ （波长 300~2000nm，厚度

1mm)，热光系数 $<5\times 10^{-6}$ ，吸收/发射波长温漂 $<0.03\text{nm/K}$ ；结构部件：坯材尺寸 $>\Phi 300\times 60\text{mm}$ ，超低膨胀温区 $220\sim 330\text{K}$ ，在工作温区内冷热循环1000次后， $\Phi 300\times 60\text{mm}$ 样件尺寸变化量 $<1\mu\text{m}$ ，可进行异形部件车铣刨磨加工。在1~2种空间光学系统中完成典型样件应用验证研究。

8.12 航空发动机大尺寸钛合金构件粉末冶金-等温锻造成形技术

研究内容：围绕航空发动机对大尺寸高均质高性能钛合金构件的迫切需求，针对现有铸锻件成分偏析、组织粗大不均、抗外物损伤性能不足等难题，开展大尺寸高均质高致密粉末冶金锭坯制备技术、大尺寸粉末冶金钛合金等温锻造成形技术、粉末冶金-等温锻造钛合金构件性能调控技术等研究，突破航空发动机典型钛合金构件性能提升瓶颈，形成该类钛合金构件的粉末冶金成形技术体系，支撑航空发动机钛合金构件全生命周期失效控制及可靠服役。

考核指标：航空发动机典型盘/构件直径 $\geq 1\text{m}$ ，主要合金元素同伴差 $\leq \pm 0.15\text{wt}\%$ ；航空发动机典型盘/构件组织性能： $R_m \geq 1200\text{MPa}$ ， $R_{p0.2} \geq 1100\text{MPa}$ ， $A \geq 8\%$ ， $Z \geq 15\%$ ， $K_{IC} \geq 70\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ，高周疲劳 $\sigma_{\max} \geq 450\text{MPa}$ （ $N_f \geq 10^7$ ， $K_t=1$ ， $R=-1$ ），低周 $N_f \geq 11000$ ；超声波无损探伤检验杂波水平： $\Phi \leq 0.8\text{mm}-6\text{dB}$ ；航空发动机典型盘/构件不同部位抗拉强度

$C_v \leq 3\%$ ，不同批次锻件相同部位抗拉强度 $C_v \leq 3\%$ 。

8.13 超高功率高熵介质陶瓷及其脉冲电容器

研究内容：采用机器学习多目标性能预测和高通量实验筛选，构建基于铁电体的高熵介质陶瓷体系；研究不同构型熵介质陶瓷的极化-耐压-储能效率的关联关系，阐明熵调控介质陶瓷极化机理；研究脉冲电场下高熵介质陶瓷储能性能演变规律，揭示熵增强介电储能的物理机制；发展基于贱金属电极和高熵介质陶瓷的多层电容器，研究脉冲强场下电容器的充放电服役特性。

考核指标：介质陶瓷的介电常数 ≥ 500 ，介电损耗 $\leq 2\%$ ，耐击穿电场强度 $\geq 100\text{MV/m}$ ，体积电阻率 $\geq 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ ；多层陶瓷电容器的储能密度 $\geq 20\text{J/cm}^3$ ，能量效率 $> 90\%$ ，放电功率 $\geq 20\text{MW}$ ； $-55 \sim 125^\circ\text{C}$ 内储能密度与能量效率的变化率 $\leq 10\%$ 。

8.14 超高温热防护涂层材料设计及性能验证

研究内容：研究陶瓷声子/电子结构高温介电和热光学响应机制与测量反演方法，构建高温基础热光学数据库；研究多元陶瓷组成-结构-性能精准预测的数智模型和算法，筛选优化陶瓷涂层新体系；研究陶瓷涂层数智化制备方法；研发高温/超高温热光学性能测试装备；开展典型结构高性能热防护涂层制备技术优化与验证。

考核指标：建立本征介电函数的测量-反演修正模型，相对误差 $< 10\%$ ，相位精度 $> 0.5^\circ$ ；建立超高温陶瓷涂层材料关键

热光学性能数据库，数据量 ≥ 50 万条，预测模型精度80%以上；研发5种以上陶瓷涂层材料：透过率 $\leq 10\%$ 、发射率 ≥ 0.85 、热导率 $\leq 2\text{W/m}\cdot\text{K}$ 、 1500°C 高温无相变；陶瓷涂层耐温 $\geq 1500^\circ\text{C}$ ，热导率 $\leq 0.8\text{W/m}\cdot\text{K}$ 。

8.15 重大疾病诊断标志物生物制造新方法 with 高端标准物质研究

研究内容：面向肿瘤、心血管、肾病、糖尿病等重大慢病的临床检验急需，研究体外诊断生物标志物人工智能高通量快速表达和重组蛋白分离纯化技术体系。针对 ProGRP、PSA、TK1、HE4、OPN、GP73 等肿瘤标志物，开展基于高通量筛选、单细胞测序、多组学整合分析等的生物技术研究，揭示疾病标志物结构特性与免疫活性的关联关系；针对 BNP、NT-proBNP 等心衰标志物，开展基于糖基化位点等疾病特异性结构域的设计合成研究，打破急慢性病、共病、药物等因素对特定疾病诊断结果的干扰；针对 FGF-23、脂联素 ADP 等肾病、糖尿病等代谢性疾病诊断标志物，系统阐释原核和真核宿主体系异源蛋白高可溶、高活性表达机制，实现高效表达。开展在线/原位高精度结构表征技术和高端标准物质研究，阐述标准物质校准测量系统对临床诊断准确性的影响机制；开展生物合成制造临床诊断标志物原材料的等价性研究、高端标准物质在 IVD 临床检验的正确度和互通性评价研究等。

考核指标：ProGRP、HE4 等至少 8 种标志物实现可溶表达，FGF-23 等至少 3 种的表达量 $\geq 1\text{g/L}$ ；应用合成纯化后（HPLC 纯 $\geq 95\%$ ）的原料，研制纯度国家标准物质 ≥ 4 种（不确定度 $\leq 7\%$ ），其中一级 ≥ 2 种（不确定度 $\leq 5\%$ ）；质控品 ≥ 3 种；至少 5 种原料实现有效应用，与已有临床检验系统具有等价性，1~2 种通过临床实验验证；阐明 BNP 等的结构特性对免疫检测结果等准确性的影响机制。

8.16 生物可吸收医用新材料研究

研究内容：针对生物可吸收医用材料高质化的重大需求，开展与基体组织高度适配的智能化可吸收或具有生物活性的新型高分子材料设计制备研究；针对可吸收医疗器械多元化需求，聚焦 PLGA 和 PPDO 材料体系，通过反应器多尺度结构创新设计与工艺放大协同优化，突破高粘反应体系多场耦合下共聚物序列结构可控性、逐级放大下产物均匀性与稳定性等瓶颈问题，建立 PLGA、PPDO 类可吸收高分子材料规模化制备示范线；结合临床差异化应用需求及不同可吸收医用高分子物化特性，开发用于封堵器、支架、缝合线、微球等不同应用场景的医用器材适应性加工技术；建立可吸收医用高分子材料及器械的评价体系。

考核指标：研发 $\geq 2\sim 3$ 种智能化/具有生物活性可吸收新材料，细胞相对存活率 $\geq 90\%$ ；聚合物重均分子量 $\geq 100\text{kDa}$ 、分子量分布 ≤ 2.5 、锡含量 $\leq 50\text{ppm}$ ，分别建成具有自主知识产权、品

质可控的 PPDO 和 PLGA 规模化生产线；完成至少 3 种医用原料主文档备案；开发 ≥ 3 种满足临床应用的生物可吸收医用器材，其中心脏封堵器的溶血率 $< 3\%$ 、凝血时间降低值 $\leq 30\%$ ；开发至少 2 种手术缝合线，其（3-0 线径）断裂强力平均值 $\geq 17.5\text{N}$ ，并至少 1 种缝合线获得注册受理通知书。

8.17 肾衰竭或慢性肾脏病的内源性毒素清除材料

研究内容：本项目针对肾衰竭或慢性肾疾病患者体内蛋白结合毒素清除效率低的临床难题，开发新型毒素分解酶、竞争剂、活性膜材料和吸附材料等，创新血液净化系统。尿酸氧化酶、渗透剂和竞争剂的分子设计和制备，有效清除尿酸、硫酸对甲酚、硫酸吲哚酚等小分子毒素；制备接枝竞争剂的高通量活性膜，提高蛋白结合毒素的分离率、降低蛋白吸附并减少凝血激活；构建具有大分子通道和微孔吸附位点的多层级结构，实现目标毒素分子的选择性吸附。构建多模式协同毒素清除系统，为临床试验开展提供强有力的理论依据。

考核指标：研发 ≥ 3 种新型结合竞争剂分子，其白蛋白结合位点竞争率达到 85% 以上，对于硫酸对甲酚、吲哚-3-乙酸和硫酸吲哚酚的游离率提升 $> 60\%$ 。重组表达尿酸氧化酶，酶活达到 18U/mL ， 40°C 半衰期 $\geq 12\text{h}$ ，酶法合成的多种分子量艾考糊精类似物，达到临床用艾考糊精效果。改性膜材料将实现蛋白结合毒素清除率提升 30% 以上（血流速 $200\sim 250\text{mL/min}$ ），白蛋白渗漏

率控制在 1% 以下，通量保持率 $>85\%$ ，血液接触表面纤维蛋白原吸附量 $<50\text{ng}/\text{cm}^2$ ，活化部分凝血活酶时间为 $22.3\sim 32.5\text{s}$ ，D-二聚体含量 $\leq 0.55\text{mg}/\text{LFEU}$ 。开发的血液灌流器一次性使用时对于硫酸对甲酚、吲哚-3-乙酸和硫酸吲哚酚的清除率均 $>65\%$ （血流速 $200\sim 250\text{mL}/\text{min}$ ），单次使用寿命达到 4h 以上。

8.18 医用机器人柔性材料研发

研究内容：针对医用机器人在体内复杂动态环境中的应用需求，研发高柔顺性和生物相容性的新型高性能聚合物柔性材料；研究柔性材料在外部激励（如电、光或磁等）作用下的形变机制和运动模型，开展力学与界面性能调控研究；在肠道动态复杂皱褶和心血管流体环境中，研究适配聚合物柔性材料的多模态驱动与智能控制方法；研发单体集成驱动-感知-生物医学功能的柔性机器人系统，实现在血管、消化道、蛛网膜下腔等狭窄空间中精准执行医疗任务，并进行动物验证。

考核指标：医用机器人的柔性材料模量 $<100\text{kPa}$ ；标准体外细胞毒性测试的细胞存活率 $\geq 90\%$ ；在体内植入实验中免疫炎症指数 $<600 \times 10^9/\text{L}$ ；可控运动模态（爬行、翻滚、摆动等） ≥ 3 种，且能适应狭窄腔道环境；机器人驱动响应时间 $<0.1\text{s}$ ；运动精度优于 6% ；开发原理样机 3 套，验证 3 个具体场景应用（血管内、消化道内、蛛网膜下腔等）。

8.19 牙齿微观构效适配智能修复材料

研究内容：针对“缺损、疼痛、感染”牙齿疾病领域最普遍的临床难题，发展高度适配牙齿生长发育、龋病机理的新型微观构效适配的高效修复材料与技术，提升治疗效能、延长修复寿命。研发具有多形核位点与高表面活性的基质模板，设计合成精确识别、精准组装、功能性定制的仿生基元，阐明势垒效应、物理场对模板组装、基元识别和结构形成的动力学调控规律，研发定向构筑、维数可控、时空有序的牙齿多级结构组装技术，在动物模型中完成牙病治疗智能性、高效性与安全性评价，启动临床试验。

考核指标：研发 3~5 种组装诱导基质模板，形核位点与形核速率较釉原蛋白提升 3 倍以上；研发 3~4 种复合仿生基元，拉伸强度 $\geq 1500\text{MPa}$ ，韧性 $\geq 45\text{MJ/m}^3$ ；构建 2~3 种牙齿原位生长修补材料与技术体系：牙釉质缺损体内原位生长修补速度 $\geq 20\ \mu\text{m/天}$ ；牙本质缺损体内原位重构釉牙本质界，牙痛阻断时效 ≥ 6 个月；体内龋病逆转深度 $\geq 2\text{mm}$ ；完成生物安全性评价，进入临床试验。

9.青年科学家项目

9.1 空间 MeV 伽马射线天文与探测技术研究

研究内容：面向空间天文领域对 MeV 伽马射线成像观测的迫切需求，研究基于双面硅微条的高位置分辨探测技术，在双面硅微条精密封装、低噪声读出以及海量微条通道低功耗读出等方面实现突破；立足国产化碲锌镉晶体器件，研究基于碲锌镉晶体

阵列的高能量分辨探测技术，在读出方法上实现突破；研究亚 GeV 暗物质、原初黑洞霍金辐射、超铁元素衰变等重要 MeV 辐射源信号的谱线特征与辐射强度，并给出观测预期，为我国将来 MeV 伽玛射线成像望远镜工程方案提供科学依据与指导。

9.2 基于空间原子光钟的新物理和新应用

研究内容：针对基础物理前沿领域和空间应用领域对高精密时频标的迫切需求，研究 E-18 量级空间时频标的建立和传递方案，发展空间适应性的超高频率稳定度激光锁频与远距离时频传递技术以确保高精度性能，为高精度卫星导航提供时间基准，为星间频率比对探索新物理提供基础；研究利用光钟技术进行引力红移和大地测量的实验方案，揭示引力与光钟相互作用的物理机制，为广义相对论提供更精确的实验验证等；研究多光钟广域网络模型，提出利用光钟网络探测低频段引力波的实验方案，探索空间时空结构的深层次物理特性。

9.3 地球空间暴的关键机理、协同监测技术和预报应用

研究内容：研究空间天气链式机理及预报技术，厘清空间天气因果链机理，形成地球空间暴指数产品清单；探索太阳风暴作用于地球圈层的物理机制，梳理地球空间暴关键区域关键参数，提出观测要素需求与布局建议；提出地球空间暴协同监测体系技术方案，开展难点设备研制、安装等关键技术预先研究；开展地球空间暴观测数据关键算法预先研究，建立地球空间暴数据与业

务产品体系；制定自主地磁空间暴数据与预报产品的多维度在线检验评估方案。

9.4 海王星系统立体磁层建模与探测任务规划方法

研究内容：针对海王星系统立体磁层探测对任务设计的迫切需求，研究太阳风与海王星磁层相互作用机理，建立海王星全球磁层磁流体力学模型；研究多次海卫旁近飞掠的大范围轨道倾角改变方法，揭示多天体系统中旁近飞越对轨道倾角等参数的改变机理，提出有限能量下倾角可达范围表征方法，并发展自然力与轨道机动相结合的轨道设计理论；开展多信息融合科学探测系统可观测性理论方法研究，突破基于观测目标自主优选的海王星引力场、磁场等参数与导航状态估计技术；开展污染可能性建模研究，提出探测器轨道误差长期演化与碰撞风险评估方法，建立全周期生物/污染物防控体系并提出量化的控制要求。

9.5 光电子芯片制造中的原子级缺陷超高时空分辨检测新原理

研究内容：针对集成光电子芯片超精密加工表面缺陷检测难题，研究原子级摩擦缺陷与光子、电子、声子超快能量交互作用原理；阐明多能场耦合条件下原子级摩擦缺陷调控超快能量耗散机制；发展兼具飞秒级时间分辨和原子级空间分辨的摩擦缺陷在线检测技术；研制飞秒超快光学图形晶圆原子级缺陷检测样机，并在芯片制造中应用验证。

9.6 多层电子复合材料连续可控声制造前沿

研究内容:针对高端服务器领域印制电路板复合材料传统制造工艺界面结合弱、厚度均匀性差等瓶颈问题,提出多层电子复合材料声制造成型新方法,揭示多层电子复合材料声波成型机理,实现多层电子复合材料快速成型;探明异质层间声波传播特性及界面结合声场调控规律,建立异质层间界面强化机制;提出多层电子复合材料声制造质量控制方法,形成多层电子复合材料高质量成型新工艺,研制出高端服务器印制电路板复合材料样件。

9.7 高性能防/除固体粘附涂层设计与制造

研究内容:针对海洋跨温域复杂环境中冰层覆着与固态污染物导致海洋装备重要部件表面污染粘附的共性难题,揭示典型生物表面的防/除固体粘附机理,建立固-固界面粘附断裂力学模型;提出固体污染粘附自主清除涂层设计与界面粘附接触状态调控方法,形成具有宽温域、自除冰、抗污染物粘附、耐冲蚀、抗磨损的新型复合抗污涂层材料体系;突破自除污涂层高效制造,实现防除冰/抗污的功能协同与环境自清除,研制出适用于海洋装备关键部件表面的高性能防/除固体粘附涂层。

9.8 多模态大模型驱动的自主通用机器人研究

研究内容:面向智能制造、无人作战、应急救援等重大应用领域需求,针对现有机器人系统存在适应性和自主性缺陷难以满足复杂环境下的任务问题,研究多模态大模型驱动的自主通用机

器人，构建支持视觉、听觉、触觉等多种模态输入的通用能力基座框架。从类脑智能和具身控制交叉出发，构建适应不同任务场景和任务需求的通用大模型，突破多模态大模型驱动的具身智能感知、具身策略规划和具身动作控制等关键技术，提升多种工业设备的异常诊断能力。研发多模态大模型驱动的自主通用机器人，支持多种类型任务，提升机器人复杂场景自适应能力。

9.9 地月空间多功能融合信息网络关键技术

研究内容：面向探月、登月、行星探测等重大科学工程，突破现有地月空间信息传输与应用在功能拓展、性能提升、任务周期、覆盖范围等方面存在的瓶颈难题，构建地月空间多功能融合信息网络架构和技术体系。研究建立地月空间信息服务体制和信息网络总体架构，建立网络拓扑结构与协议，适应无人探月、载人登月、月球基地、深空探测、分布式对地观测等不同场景，数传通信、导航定位、定时同步、遥感测量、数据存算等不同功能的综合需求。研究超远距离微波激光多功能融合链路技术，实现快速建链、长期稳健维持、通信/测距/时频同步等多功能融合。研究地月空间时空基准与导航、信息接入与存算等基础服务能力的构建技术，实现高性能泛在服务。研究超远距离高效信息传输机制，针对遥感数据传输、传感数据采集等实现高可靠通信支持，提升低信噪比环境下遥感数据实时传输能力。搭建地月空间多功能融合信息网络仿真验证平台，支持微波激光融合传输半实物仿

真验证，支持地月高可靠通信半实物仿真验证。

9.10 化石能源伴生气太阳能高效催化转化高价值燃料系统创新与柔性工艺

研究内容：开展可再生能源与化石能源的耦合互补利用研究，探索低能耗油气田伴生气转化为高价值液体燃料的系统集成与工艺开发。具体包括：研发并制备低能耗化石能源伴生气回收、定向分离、分组分利用一体化集成装置，研究能量传递与利用效率，优化工艺参数，提升整体系统稳定性和经济性；精准定向分离回收的化石能源伴生气各组分，实现伴生气脱水、C1组分单独分离资源化利用、C2+等组分集中回收作为燃料回用；精细设计耦合太阳能高效转化定向分离出的C1组分为C2+液体燃料的催化剂；建立多场协同效应理论模型，揭示耦合互补利用机制，精准调控反应路径，实现C2+液体燃料高选择性合成。

9.11 可再生能源驱动的高温电解二氧化碳制氧气关键技术研究

研究内容：针对太空探索密闭空间中清除CO₂同时为宇航员供氧的需求，开展可再生能源驱动的高温电解二氧化碳制氧气关键技术研究，具体包括：高一致性和稳定性固体氧化物电解池制备技术；适应波动工况的高温固体氧化物电解池结构与组堆工艺开发；“电-热-质”高效集成系统宽负荷高动态柔性调控技术；10kW级光电驱动的高温电解CO₂系统开发。

9.12 光伏/光热/储能多元耦合的全天候自适应能源系统研究

研究内容：面向全天候高效率太阳能利用的需求，研究光/热/电/环/算/控对多目标容量自适应太阳能高效利用的影响机制；构建宽光谱太阳光自适应高效率综合能量利用模型；形成光伏/光热/储能多元高效耦合一体化系统的设计方法与准则；研制一体化样机。

9.13 基于丰产元素的超高能量密度快充锂电池工程科学与技术

研究内容：探索研究基于数据驱动高能量密度智能化快充电池体系及关键材料设计新理论与新方法；研究载流子输运、结构演变、氧化还原反应等行为及其在颗粒尺度与电极尺度下的非均匀性；结合多尺度（原位）表征，研究电极/（半）固态电解质界面高效电化学能量转换与存储规律，活性物及电极自修复机制、表界面反应动力学、结构演变及智能化调控机制与策略；以及智能化高比能电池多维度传感、性能及高安全自适应调控等问题。

9.14 海洋灾害事件的地震声学探测关键技术

研究内容：基于地震声学组阵观测方法，揭示不同海洋动力过程的地震声学特征和信号传播机理，聚焦台风和地震等海气和海底界面的重大事件，探索其在海底和水中的地震声学探测原理，开发智能识别和探测新算法，解析海底地震孕育区结构变化，研发高灵敏度声学传感器及重大海洋灾害事件的跨圈层地震声学

精准探测工程样机，在台风生成及过境深水区开展近场观测应用示范，识别事件准确率 $\geq 90\%$ ，定位误差 $< 1\text{km}$ ，海底地震孕育区结构分辨率提高 30%。

9.15 海底浊流长程输运高效监测关键技术

研究内容：研究海底浊流和海底环境之间的界面层的物质交换过程与动态互馈机制；突破海底浊流-环境边界层物质交换、特性变化和动力演化机理；研发海底长程浊流边界层高效监测装备样机，关键参数 ≥ 5 个，监测距离 $\geq 20\text{km}$ ；开发浊流-环境界面动态互馈的高精度数值模型，提出海底设施优化设计和海底浊流工程灾害防控技术标准。

9.16 天然气水合物多场多相耦合行为表征与模拟技术

研究内容：开展典型海洋水合物系统底辟流体上侵动力学模拟及其伴生物理、化学过程综合表征；研发水合物系统甲烷在沉积层-水体界面的相变转化原位表征技术；揭示水合物区甲烷迁移的生-地-化反应过程，构建海洋水合物系统热-流-固-化-生多场多相耦合模型；研制天然气水合物异位再造中继样机，可应用水深 $\geq 1300\text{m}$ ；实现海洋水合物系统多场多相过程长期原位模拟，揭示地层失稳灾变机制。

9.17 智能化阿尔茨海默病早期诊断关键技术研究

研究内容：研究高通量技术并进行大规模生物样本的快速筛选，结合基因组、表观组、蛋白质组、代谢组、转录组等多组学

测序,开发基于人工智能的动态生物标志物追踪算法和跨模态数据融合框架,验证和识别与阿尔茨海默病相关的新型生物标志物;与传统生物标志物相比,新型生物标志物可提前检测并预测轻度认知障碍转归,区分阿尔茨海默病与其他类型痴呆,并量化评估疾病进展;建立阿尔茨海默病患者临床队列,综合病史、血浆标记物检测、神经影像及神经电信号等多模态数据建立模型与数据混合驱动的深度学习模型识别算法,构建阿尔茨海默病早期预警数学模型及全链条智能化早期诊疗系统。

9.18 微创超细柔性器械与重症监测关键技术研究

研究内容:研发基于双波长分光技术的精准呼吸、血氧饱和度测量技术,结合超细传导光纤实现呼吸压力/流量、血氧饱和度等参数的连续、精准监测;研发呼吸阻抗、智能心排量测量技术,集成微型可变加热电阻丝实现热稀释过程中加热温度的精确控制;研发导管集成式力学传感阵列测量技术,实现压力分布的连续、精准、原位测量;研究高精度抗干扰微传感器技术,在缩小尺寸的同时,克服信号损失、热效应及电磁干扰等问题,实现温度、压力传感器的微型化、集成化设计;研究多腔导管集成技术,突破微小尺寸下柔性介入高值耗材的多种传感器集成与数据融合难题,实现对多项呼吸、血流参数同步准确性与实时性监测。

9.19 高拟人步态的仿生髌关节助行关键技术研究

研究内容:针对步态障碍老年人助行外骨骼的驱动拟人性、

自由度适配、工作能效和人机交互等方面存在问题，研究可实现多自由度驱动和球心转动的模块化仿生髌关节外骨骼关节驱动器；研究基于强化学习的老年人步态主动干预控制算法；研究基于生物力学优化的老年人助行外骨骼人机物理交互技术、老年人步态助行效果评估与按需辅助康复策略。

9.20 人体腔道用可吸收材料制备关键技术研究

研究内容：研究临床可吸收高分子材料制造技术，实现从毫米到纳米级多尺度材料的连续化生产，解决人体腔道用可吸收原料短缺和品控差等问题；研究可吸收型材料的降解行为与人体腔道修复愈合周期的适配性，明晰纤维原料制备参数和成型制造工艺参数对可吸收型材料的力学—降解曲线的调控机理，开发出泌尿系统疾病（输尿管支架）和神经系统疾病（周围神经导管）等多种可吸收人体腔道用材料制品并实现临床应用；基于自供电原理和多维多重成型方法，研究植入式柔性压力传感部件关键组分的可控制备及结构调控规律，研发性能优异、对腔道疾病具有监测功能及疗效的植入式柔性监测及治疗器件，并进行功能有效性、稳定性验证。

9.21 精准肝胆外科智能化关键技术与应用研究

研究内容：从精准肝胆外科的共性临床问题出发，融合多模态医学影像与大模型集成智能技术，建构肝脏3D数字孪生模型，精确定量评估肿瘤侵袭范围与肝段功能体积，实现数智化手术规

划并生成 3D 手术地图；构建肝胆肿瘤 AI 手术导航平台，研发高特异性生物分子探针术中实时显示肿瘤微小病灶，结合术中图像多模态生成模型及形变矫正算法研发，实现肿瘤与关键脉管结构的精准定位与实时导航。

9.22 基于数智技术的中医智能诊疗系统研究

研究内容：面向中医临床及健康管理对中医诊疗设备的智能化需求，研究基于大语言模型的中医多模态数据融合技术、人体健康状态要素与疾病关系的中医知识发现技术、中医疾病多维风险因素的智能化预警算法等，实现中医四诊信息的客观化、标准化、定量化表达；研究中医诊疗决策支持系统，辅助医生临床诊疗及经验挖掘；研制基于实时连续高性能计算的精准智能化中医诊疗、健康监测装备，开展装备临床应用示范与验证研究，建立相应标准和规范。

9.23 基于多模态影像融合的个体化精准放疗优化研究

研究内容：研发基于多模态影像设备的放疗模拟定位技术，将 MRI、PET 等多种影像技术进行高效融合，实现靶区定义、计划设计、剂量计算及预后评估等全链条的放疗影像引导，构建诊疗质控流程；深入分析肿瘤的生物特性或患者个体差异，制定个性化的放疗计划；研发自适应放疗动态调整策略，根据患者解剖结构变化和肿瘤反应情况调整放疗计划，实现放疗剂量和照射范围动态优化，提高放疗精准性和有效性，并对多种放疗场景

进行临床效果评估。

9.24 环境自适应高性能工程材料基因构筑与智能优化理论

研究内容：针对未来工程建设中工程材料面临的环境挑战、智能化、绿色化的复杂综合需求，研究不同环境及复杂荷载作用下工程材料多性能演变规律及机制，提出材料长期性能评估方法；研究多尺度工程材料基因智能筛选原理与方法，提出耦合条件下高性能工程材料的基因跨尺度构筑路径；研究工程材料在服役过程中的环境自适应及自修复材料与技术，建立不同条件下工程材料性能主动提升理论。

9.25 “站桥合一”式组合结构轨道交通车站抗震韧性与智能优化

研究内容：研发适用于“站桥合一”式城市轨道交通枢纽车站的高性能钢-混凝土组合结构体系，建立组合结构车站的精细化高效数值模型，研究“站桥合一”式城市轨道交通车站的抗震性能和灾变机理；研发具有功能可恢复性特征的组合结构减震控制新体系，研究“站桥合一”式城市轨道交通组合结构车站的韧性评价和设计方法；构建基于人工智能的结构力学性能分析高效代理模型，研究“站桥合一”式城市轨道交通组合结构车站的智能优化方法。

9.26 长大重载列车动力学仿测融合驱动的主动安全调控技术

研究内容：针对长大重载列车服役安全性能“测不全”“算不准”的难题，构建监测数据与数值仿真混合驱动的长大重载列车动力学性能仿测融合模型，研究动力学多源数据融合驱动的长大列车全寿命周期服役安全性能演化预测与评估方法，提出面向智能驾驶的长大列车动态性能自适应主动安全调控技术。

9.27 寒冷海域风电场协同控制技术 & 深水超大容量风机支撑结构设计理论

研究内容：面向寒冷海域深水超大容量风机支撑结构设计安全与风电场全寿命期发电量提升，建立风、浪、流、冰多要素环境载荷与结构动力响应耦合表征方法；研发结构磨损-腐蚀耦合损伤监测与解耦技术；提出叶片覆冰-结构磨损腐蚀等灾变条件下时变结构动力学与损伤分析方法；建立载荷-结构动力响应-损伤预报方法与主-被动联合控制技术；研发风电场全寿命期环境载荷-结构灾变高精度仿真建模技术；提出基于风电场发电量提升-寿命协同优化控制技术的寒冷海域深水超大容量风机支撑结构设计理论。

9.28 非制冷光子型红外焦平面探测新材料及器件

研究内容：探索拓扑能带结构调控方法与原理，揭示拓扑中间态作用下的量子输运过程与激子形成机制；提出拓扑绝缘体、拓扑半金属等材料的高分辨与跨尺度表征方法，揭示其室温红外响应的调控原理与微观机制；基于拓扑材料，开发满足室温工作

条件、非制冷、高灵敏超快光子型中长波红外成像焦平面探测器。

9.29 大尺寸铌酸锂薄膜及在光子集成芯片中的应用

研究内容：研究突破光学衍射极限的飞秒激光光刻机理与技术，开发大规模铌酸锂光量子芯片的高速制备工艺与装置；研制米级长度的超低损耗准相位匹配铌酸锂光波导，获得带宽千纳米级的超高亮度薄膜铌酸锂片上量子光源；基于超宽带量子光源实现亚皮秒级干涉峰宽超快双光子干涉，开展高分辨量子精密测距应用探索。

9.30 空间太阳能电池阵感知用关键功能材料及核心器件研发

研究内容：研究宽光谱、亚微秒级快响应的激光传感器结构设计及制备方法；研究高灵敏度、耐高低温、耐辐照的柔性压电振动传感器结构设计及制备方法；研究激光、动能两种打击方式对太阳能电池阵的损伤程度，建立激光和动能对太阳能电池阵的损伤失效机制；研究低功耗边缘计算器件设计及制备方法，突破其中存算一体功能薄膜材料制备及性能调控关键技术；构建太阳能电池阵感知模块演示样件，进行原理性试验验证。

9.31 可长期穿戴多模态柔性生物传感材料研究

研究内容：研发柔性传感材料并集成构建多模态传感器，精准检测运动学、电生理学和生物化学等多模态数据；开展基于新型材料的可穿戴器件研究，针对神经、心血管系统疾病的关键生理参数的实时监测；开发适配材料和传感需求的人工智能算法并

用于分析健康大数据，提供疾病预警和健康评估；研究新型自供能材料，支撑器件长时间稳定运行。

9.32 面向多模态诊疗的靶向显影材料开发

研究内容：本项目致力于多模态医用显影材料的创新研发。通过构建具备靶向识别能力的多模态造影剂，实现高空间分辨率、实时动态成像与图像融合。重点开发具备诊疗一体化潜力的靶向与载药型超声造影材料，突破抗体或多肽等靶向配体的高效偶联方法，优化显影材料的结构设计与合成工艺，获得具有优异成像性能、显著空化效应与长效组织滞留能力的智能超声显影平台。材料系统同时具备高灵敏成像与治疗介导功能，赋能心血管等重大疾病的精准诊疗。