

附件 2:

2026 年度中国航天基金会 “高校航天前沿领域人才创新计划”研究方向

本年度研究指南按研究领域分为五类，共 16 项问题，70 个研究方向。申报者围绕各方向的研究目的，提出具体的课题标题、研究重点和技术途径，并阐述该研究的难点以及必要性、合理性、可行性。

研究领域一（科学问题）：空间物理与深空天文探测（共 5 项问题，24 个研究方向）

（一）外日球层与星际空间的环境特性及其相互作用（202001）

1. 外日球层磁力线回弯对太阳风加热的调控效应研究

研究目的：针对磁力线回弯（Switchback）在外日球层传播过程中能量耗散与太阳风加热的关联机制尚不清晰的问题，研究回弯结构通过湍流级联向等离子体注入能量的物理过程，揭示其振幅衰减与太阳风非绝热加热之间的定量关系，以及其边界层对离子加热的调控效应。突破回弯演化与其热力学效应之间的理论连接瓶颈，建立磁力线回弯对太阳风加热贡献的定量评估模型。

2. 内源性多组分拾起离子的不稳定性波动激发与加速逃逸耦合机制研究

研究目的：针对行星环境内源性氢、氧多组分拾起离子环束流分布驱动的电磁回旋不稳定性波动激发机制不清、波-粒相互作用如何促进行星重离子加速逃逸的物理链条尚未建立的问题，研究基于线性 Vlasov-Maxwell 色散理论与动理学模拟相结合的多组分拾起离子不

稳定性定量分析方法，揭示内源性拾起离子自由能在不同模式离子回旋波之间的分配规律，以及波幅、传播角和极化特性对离子投掷角散射与能化效率的调控关系，突破多离子组分共存下不稳定性增长率预测、波动非线性饱和与离子加速逃逸的耦合建模等关键问题，建立行星磁鞘区拾起离子波动激发-离子散射-加速逃逸的一体化物理模型，为理解内源性拾起离子加速过程提供理论支撑。

3. 基于时变能量中性原子全天空分布反演日球层顶三维结构及其动态变化研究

研究目的：IMAP 卫星宽能段全天空能量中性原子(ENA)成像，为反演日球层顶三维结构带来新机遇。以往研究多局限于固定太阳风条件下的反演或单点太阳风探测的互相关分析反演，难以刻画全局时变特征。利用时变太阳风驱动的日球层动力学模型，开展 ENA 全天空成谱成像时变观测分析，利用时变模型和时变观测联合反演日球层顶三维结构研究其对太阳活动响应。

4. 太阳风束流作用区对日球层银河宇宙线的调制研究

研究目的：太阳风束流作用区源于高速与低速太阳风相互作用，是影响银河宇宙线在日球层传输的关键因素，但其主导调制机制尚不明确。本项目拟结合典型数值模拟与多源观测统计，系统分析宇宙线通量随能量、时间和空间的演化规律，并深入探究通量变化与太阳风背景湍动的触发耦合机理，旨在揭示束流作用区的调制物理图像，为日球层宇宙线环境研究提供科学依据。

5. 星际拾起离子调制下外日球层太阳风与天体相互作用研究

研究目的：针对星际拾起离子(Pickup ions)，其具有非麦克斯韦球壳状速度分布，且占比随日心距显著增加。拾起离子对外日球层

磁化/非磁化天体空间等离子体环境中的能量耗散过程具有重要的调制作用，背后的物理机理尚不清楚。利用观测数据和动理学数值建模开展研究，旨在揭示拾起离子对外日球层天体弓激波耗散和磁层演化等过程的调制和耦合机理，为未来边际探测器的天体飞掠和沿途可探科学目标提供研究基础。

（二）太阳磁场周期性反转与太阳全球磁场探测（202101）

6. 基于长周期矢量磁场观测和磁螺度守恒约束下的太阳发电机模型研究

研究目的：针对缺乏三维矢量磁场和三维流场演化特征，尤其是缺乏太阳极区磁场和流场特征的输入，造成太阳全球磁场在观测约束上是不完备的，阻碍了太阳发电机理论的进一步发展，研究长周期海量太阳活动区矢量磁场数据的磁螺度积累特征，建立大磁雷诺数下基于磁螺度守恒约束的太阳发电机模型，在太阳磁活动周起源的重大科学问题上取得突破。

7. 从光球、色球到日冕的太阳磁场和速度场高精度立体诊断方法研究

研究目的：针对目前近地空间太阳磁场诊断的局限，研究非局部热动平衡、光学薄的极端条件下，基于塞曼效应、汉克尔效应等物理机制，从紫外、可见光到红外多波段、从光学、色球到日冕的高精度太阳磁场的立体诊断方法；探索基于光球矢量磁场的日冕和行星际磁场外推和数值模拟新方法，突破太阳全球磁场和速度场的高精度快速诊断方法。

8. 深空太阳全球磁场探测系统方案设计和关键技术研究

研究目的：针对距离太阳近、轨道周期短，发射能力限制的基础困难，设计合适的天体借力方案，开展航天器的飞行路径规划技术研究；针对深空高热通量太阳观测条件，开展大视场、高分辨率、高光谱分辨率、高偏振测量精度的轻量化、低功耗光学系统的设计、仿真和地面系统验证；突破深空太阳立体探测高精度全球磁场探测的关键技术难题。

9. 太阳极区和抵近探测任务自主控制及自主管理技术研究

研究目的：突破太阳极区和脱离黄道面的抵进探测多目标多任务行星际转移轨道设计与优化技术，开展深空太阳探测的航天器自主控制、自主管理、在轨智能处置等关键技术研究。

10. 太阳抵近探测热防护技术研究

研究目的：针对太阳抵近探测任务面临的超高热流、强紫外与粒子辐照环境难题，研究极端热环境下多层复合热防护材料的失效机理，突破轻量化抗辐照隔热与主动热控协同瓶颈。建立多场耦合下防护结构演化预测模型，开发在轨热防护状态感知方法，保障探测器近日飞行安全，为太阳抵近探测任务提供热防护技术支撑。

（三）星系生态环境中的反馈效应及“重子缺失”问题（202102）

11. 面向 HUBS 的 TES 超导量子探测器阵列数据智能处理技术研究

研究目的：针对 HUBS 的超导量子探测器阵列像素多、像素大、数据量大等限制因素导致传统地面式脉冲处理难以在轨实时实现的问题，研究轻量化深度学习事件甄别与重建方法，揭示脉冲堆积、位

置效应与基线漂移下能量估计精度退化规律，突破实时事件筛选与自标定关键技术，建立面向大面积 TES 阵列的在轨智能处理架构。

12. HUBS 先导星在轨本底模拟研究

研究目的：针对 HUBS 先导星在轨本底制约观测灵敏度及本底特征谱线干扰天体物理谱线诊断的问题，基于广泛应用于粒子与物质相互作用模拟的蒙特卡罗工具包 Geant4 构建载荷质量模型，模拟宇宙线、大气反照中子与光子等空间辐射过程，计算不同地磁纬度与太阳活动下的本底能谱，评估南大西洋异常区延迟本底的演化规律，为载荷观测规划提供依据。

13. HUBS 先导星 X 射线载荷焦平面零磁场环境亥姆霍兹线圈设计与仿真研究

研究目的：面向 HUBS 先导星 X 射线载荷，针对超导量子探测器阵列与频分复用读出电子学的磁场敏感性，研究焦平面零磁场亥姆霍兹线圈设计与仿真。建立三维磁场仿真模型，优化线圈构型与励磁参数，结合磁屏蔽实现地磁场高效抵消与高均匀度、低剩余磁场，抑制磁干扰引入的读出噪声与串扰，形成在轨零磁场设计准则与地面验证方法。

14. HUBS 卫星空间磁制冷剩余磁矩优化研究

研究目的：绝热去磁是目前空间实现 mK 温度统治性的制冷方法。其内含强磁场导致整星磁矩很难消除，影响 HUBS 整星姿态控制。针对这一问题，以数值模拟为手段，根据多级绝热去磁制冷机工作特性，揭示其剩余磁矩时空特性和分布规律，优化制冷机工作特性并以主被动结合的方式，构建并完善 HUBS 绝热去磁制冷机剩余磁矩优化策略。

15. 角秒级成像 X 射线望远镜的公差分配与真实性能仿真方法研究

研究目的：角秒级成像 X 射线望远镜的成像性能高度依赖其镜片的表面精度，尽管当前制造能力不断提高，镜片加工、系统装配和在轨运行仍会引入多尺度、多来源误差。研究各类误差分解框架，分析芯轴加工误差、全局应力误差和厚度诱导局部弯曲误差等构造形式，构建覆盖电铸镍望远镜从研制到在轨使用全流程的误差建模方法。

（四）宇宙物理动力学效应及“动力获取”问题（202201）

16. 非对称电磁场中能量-动量传递与微弱力形成机理研究

研究目的：针对非对称电磁场中微弱力产生机理不清、动量传递过程难以准确表征的问题，研究电磁场空间非均匀分布、边界条件及介质特性对系统能量-动量输运的影响，揭示场与介质相互作用下微弱力的形成与演化规律，建立理论模型与定量判据，阐明宇宙物理动力学效应中的动力产生机制。

17. 强磁场等离子体多场耦合与能量-动量输运机制研究

研究目的：针对强磁场条件下等离子体中电磁场、粒子运动及边界效应多尺度耦合机理不清的问题，研究磁化等离子体中能量沉积、粒子输运与动量交换过程，揭示不同场强、密度及约束条件下能量-动量输运规律，建立多场耦合动力学模型，为探索宇宙物理动力学效应中的动力传递与获取机制提供基础。

18. 微弱力效应高置信测量与系统误差辨识方法研究

研究目的：针对微弱力测量中热漂移、振动、电磁干扰等因素与真实力信号难以有效区分的问题，研究多源扰动对测量系统的耦合与传递机制，揭示典型误差的产生和演化规律，建立微弱力在线标定、

系统误差辨识与不确定度评价方法，形成可重复验证的高置信测量方法。

19. 空间无工质推进技术研究

研究目的：面向深空探测与大型空间平台持续轨道维持需求，研究无工质推进装置在空间辐照、真空交变环境下推力生成机理，突破微推力精准控制与能量高效转换瓶颈。建立电-磁-力多场耦合动力学模型，开发推力在轨标定与闭环调控方法，实现长寿命低损耗推进，为深空长航任务提供新型推进技术支撑。

（五）太阳系外宜居行星与生命标记及其搜寻、证认方法（202202）

20. 宜居行星及生命信号推断及量化方法研究

研究目的：面向系外行星宜居性与生命信号探测中先验约束不足、非生命信号假阳性机制复杂、单一标记难以证认等难题，综合大气环流、行星地质与生化过程等多学科模型，开展生命及非生命活动产生机制、多维度标记联合推断等研究，揭示环境背景与生命信号可探测性的耦合机理，形成多源信息融合下宜居性及生命信号量化方法。

21. 宜居行星热辐射光谱参数耦合机理与反演方法研究

研究目的：面向中红外热辐射光谱探测反演中行星有效温度与大气成分简并、生命标记探测置信度受限的难题，开展热辐射光谱参数耦合机理、多历元光谱反演等研究，揭示行星温度、气体丰度、云霾特性等在热辐射光谱探测反演中的耦合机理，形成面向未来中红外直接成像任务的热辐射光谱高置信度反演方法框架。

22. 宽谱段光电相位调控理论方法研究

研究目的：面向光程变化、相移色散、振幅失配等多维参数耦合对宽谱段光学干涉对比度劣化难题，开展基于光电相位调控的宽谱段

无色差相位延迟、振幅色散调控等研究，揭示多维参数联合调控理论极限，形成光电相位调控理论框架。

23. 深低温环境下作动器多物理场耦合机理研究

研究目的：面向深低温环境下作动器因迟滞蠕变、热应力形变等叠加导致位移精度劣化的难题，开展作动材料相变热力学、应力迟滞及热机械耦合规律研究，建立深低温多物理场耦合模型，揭示多因素耦合对位移精度及长期稳定性的影响机理。

24. 中红外宽谱段单模空间滤波理论方法研究

研究目的：面向中红外宽谱段高精度波前控制和高通量传输难题，开展基于光波导的色散特性与无尽单模传输机理、高通量全谱段传输效率优化等研究，揭示宽谱段光波导模式演化与空间滤波效率的耦合机理，形成中红外超宽谱段无尽单模空间滤波的理论设计方法的具体要求。

研究领域二（技术难题）：新型航天器与能源动力技术（共 2 项问题，7 个研究方向）

（一）新动力航天器及工程应用（202002）

25. 空间高温气体磁流体发电技术研究

研究目的：针对当前型号核电转换效率偏低、大功率任务支持不足的问题，揭示磁流体发电过程中热力学、流体力学、动力学、电动力学的多场耦合动力学机理，研究磁流体发电过程中的数学物理模型，分析典型非线性偏微分方程组的求解方法，突破高温气体磁流体发电的应用基础问题。

26. 空间高热流密度高效散热技术研究

研究目的：针对大功率空间载荷在轨高热流集聚引发的局部过热难题，研究真空、高低温交变环境下多路径热量传递机理，突破轻量化相变传热与辐射散热一体化瓶颈。建立力-热耦合仿真模型，开发在轨自适应热调控方法，抑制热点温升，保障大功率航天装备长期稳定运行，为空间大型设施热管理提供理论与技术支撑。

(二) 大空域跨速域高速飞行器气动布局设计方法与技术（202105）

27. 跨域高超气动外形的物理正则紧致表征与智能优化研究

研究目的：针对跨域高速飞行器宽速域气动特性强非线性耦合、外形高维设计导致传统迭代寻优效率低的问题，研究嵌入激波依赖关系等物理约束的气动外形物理正则紧致表征方法，揭示低维隐变量与宽速域升阻、力矩特性的关联规律，突破跨速域多目标设计空间高效搜索与物理可行性保持等关键问题，建立宽速域气动外形协同智能优化设计方法。

28. 高超飞行器内外流一体化布局设计与调控技术研究

研究目的：针对吸气式跨域高超飞行器的一体化设计需求，建立轴对称内外流耦合计算框架，开发轴对称内外流的消波处理手段，减少总压损失，发展高超声速飞行器内外流一体化气动布局设计方法；利用高保真数值计算方法，分析复杂内流激波/边界层干扰、激波/激波干扰特性，阐明非定常分离涡的演化特性，探究高能效比的分离流抑制技术。

29. 空天飞行器低速涡系结构诊断与演化调控机制研究

研究目的：围绕跨速域飞行低速气动性能瓶颈，开展低速涡动力学机理与控制研究。针对低速流动分离、涡的生成、发展与破裂等关

键问题，综合运用先进流场诊断技术与数值模拟方法，揭示涡系结构的演化规律及其对气动力特性的影响机制，发展基于流动控制的涡系优化设计方法，为提升宽速域飞行器低速气动与操稳性能提供理论和技术支撑。

30 高超声速增升的激波依赖域理论和方法研究

研究目的：面向跨域高超飞行器的高速高性能飞行需求，揭示附着激波增升的流动机理，结合特征线理论确定激波效应的依赖区域，对比粘性和无粘依赖范围的不同，分析激波强度和依赖范围对气动性能的影响，建立激波依赖域随飞行环境变化的数学模型，并探索激波依赖域理论在气动工程修型、宽速域和一体化设计方面的应用。

31. 跨超速域旋涡激波结构演化规律与气动作用机制研究

研究目的：面向跨速域高超飞行器跨声速和超声速速域气动减阻和高升阻比设计需求，研究激波和旋涡结构随来流 Ma 数和姿态角的演化和耦合作用规律，揭示其对气动升阻和力矩特性的影响和作用机制，进而研究跨超声速高升阻比特别是减阻的气动布局设计方法和流动控制减阻机理，为提升飞行器提升跨超声速性能提供设计理论和方法支撑。

研究领域三（技术难题）：空间能源、电力与热管理技术（共 3 项问题，13 个研究方向）

（一）空间准绝对零度超低温热管理技术（202104）

32. 微重力场下极低温闭式循环稀释制冷机理与方法研究

研究目的：针对空间微重力环境下，稀释制冷工质难以获得稳定相界面，同位素工质无法分离循环的难题，探究微重力、极低温、微尺度等极端条件下氦同位素气相、超流相、混合相的分离和循环机制，

剖析微重力场下 $3\text{He}/4\text{He}$ 的流动和传热规律，揭示微尺度下 He 同位素的相界面控制机理，构建微重力场下闭式循环稀释制冷设计方法。

33. 面向在轨应用的节流-吸附耦合 1K 以下低温获取技术研究

研究目的：针对航天载荷对 1K 以下极端低温的需求，传统单一制冷方案存在体积功耗大、制冷能力受限问题，研究低温节流与吸附制冷耦合技术路线，揭示多级制冷单元热耦合匹配机理，攻克低损耗热连接、工质循环调控、轻量化整机构型设计关键问题，掌握适配航天工况的高效、轻量化 1K 以下极端低温获取技术。

(二) 空间高压大功率发电与电力管理技术 (202106)

34. 空间高压固态配电限流保护拓扑及模型驱动正向设计方法研究

研究目的：针对空间高压供电系统电弧/绝缘故障风险高、短路需快速限流切除且空间环境约束严苛的问题，研究高压限流型固态功率控制器拓扑与基于模型的正向设计方法，揭示空间电弧故障表征，突破限流控制、速动保护与轻量化设计等关键问题，为空间 400V 及以上固态配电装备研发奠定理论基础。

35. 空间高压电源功率拓扑与控制算法研究

研究目的：针对基于输入串联输出并联 (ISOP) 结构 DC/DC 航天器千伏级高压大功率电源系统，开展模块化拓扑设计、宽范围均压控制策略及参数优化研究，论证 ISOP 结构对航天高压母线应用的适配性。建立考虑模块参数不一致性、控制耦合及空间环境约束的 ISOP 系统统一小信号模型，揭示输入均压与输出均流的动态耦合机理与稳定性边界。研究基于谐振型拓扑的宽范围软开关控制策略，实现 ISOP 协调控制，完成谐振/滤波参数与控制参数的联合优化。建立系统仿真

模型，开展额定工况、宽输入电压范围、负载突变及模块参数失配等多工况仿真验证。

36. 空间环境下钙钛矿光伏失效机理与性能调控研究

研究目的：针对空间环境下钙钛矿光伏受高能粒子辐照、真空、原子氧、温度循环等多因素耦合作用导致性能衰减与失效的问题，研究空间极端环境下器件关键组分演变、界面反应与载流子输运机制，揭示辐照—热—应力多场耦合失效规律，突破缺陷调控、界面稳定与性能协同优化等关键问题，建立面向空间环境的钙钛矿光伏性能调控与可靠性提升方法。

37. MW 级空间电力系统方案及性能仿真研究

研究目的：针对高功率太空数据中心、高功率轨道间运输器等空间高功率供电需求，开展 MW 级空间电力系统架构及关键技术比较分析，择优选择可行的架构开展系统方案设计并开展系统性能仿真，提出关键技术发展需求及工程技术指标。

38. 空间大功率能源系统在轨健康管理自主重构方法研究

研究目的：针对空间高压大功率发电与配电系统在轨故障难以维修的特点，研究电力器件及阵列性能退化规律，突破多源异构电力信号故障特征提取瓶颈。发展 AI 驱动的故障诊断、定位与系统自主重构算法，实现电力系统故障快速隔离与功率路由自主调整，提升空间大功率能源系统在轨容错与持续供电能力。

（三）远距离大功率无线能量传输技术（202204）

39. 波形工程支持的高效微波功率放大器设计研究

研究目的：微波功率放大器的功率附加效率（PAE）是决定微波能量传输整体效率的关键因素之一。围绕 C 频段微波功率放大器效

率增强的需求，研究射频波形工程设计方法，建立基于 GaN 器件的电压牵引的仿真模型，设计基波与谐波负载匹配网络，形成功率附加效率不低于 80% 的设计结果；同时挖掘微波功率器件的潜力，对其物理性能提升提出量化要求。

40. 非平稳基线高精度快捷测向方法研究

研究目的：导引信号的来波反向测量是反向波束控制的基础。针对大规模微波能量星地传输中高精度波束指向控制的需求，结合空间环境下大尺度阵列动态形变及其结构模块姿位偏差的特性，研究高精度分布式测向系统原理和快速测向处理技术，构建可持续提升的测向方法体系，理论上实现百米级非平稳基线 0.0005° 的测向精度。

41. 星载微波能量发射阵列的多功能结构集成研究

研究目的：减轻微波能量发射阵列的质量是提升微波能量传输系统效费比的重要手段，面向高效星载微波能量发射阵列轻量化集成的需求，研究机电热多物理场耦合分析方法和多功能集成技术，提出微波功率通道低损耗分配和连结方式，设定合理的技术（如功率转换效率、结构强度等）发展条件并形成满足在轨运行的面密度优于 10kg/m^2 的发射阵列集成方案。

42. 基于钙钛矿材料的太阳光-激光双源能量接收关键技术研究

研究目的：面向双源能量一体化高效捕获的需求，利用钙钛矿材料带隙连续可调、光吸收系数高、宽谱适配性强的本征特性，重点攻克双源适配的能带梯度设计与叠层器件构筑技术、双源耦合工况的载流子输运优化与界面钝化技术等关键技术，实现太阳光宽谱与激光单色输入的匹配式高效光电转换，形成可兼容多能量输入模态的新型空间能量接收装置构建新路径。

43. 基于激光相控阵技术的空间多目标激光无线传能关键技术研究

研究目的：面向航天器集群、分布式空间载荷组网的多点位协同供能需求，亟需发展激光相控阵波束电控扫描与多波束独立控制技术，重点攻克高功率激光相控阵单元阵列设计与多波束独立调控技术、空间动态工况下多目标快速捕获与高精度跟瞄技术，揭示多波束并行传输下的能量分布规律与对准误差耦合作用机制，形成无机械扫描激光无线传能技术新路径。

44. 基于微波的空间能量信息同传技术研究

研究目的：面向空间组网平台能量供给与数据交互一体化需求，研究微波载波下能量传输与信息调制耦合机理，突破高能波束与高速信号共频同传干扰抑制瓶颈。建立能量-信息协同传输多域耦合模型，开发功率与带宽动态自适应调控算法，实现公里量级远距离同步供能与高速通信，为空间一体化能量信息网络构建提供核心技术支撑。

研究领域四（技术难题）：空间智能感知与信息网络技术（共 3 项问题，13 个研究方向）

（一）与 5G/6G 技术融合发展的卫星互联网络通信技术（202004）

45. 面向 6G 原生的星地一体化异构多层网络架构与弹性可重构组网机理研究

研究目的：针对星地网络异构、拓扑高速时变、单星能力受限导致架构设计难的问题，研究 GEO/MEO/LEO 轨道多层融合与透明转发向星上再生演进的组网方法，揭示算力受限下网元柔性部署与在轨自治机理，突破分布式自治架构、覆盖与资源协同等关键问题，形成 6G 原生、弹性可重构的星地一体化网络架构体系。

46. 星上智能处理与通感算网融合内生安全研究

研究目的：针对星上资源受限、算力与业务动态失配，以及开放空间信道易受窃听干扰的问题，研究星载 AI 边缘计算与星地算网融合、跳波束资源联合调度机理，探索星基通感一体与内生安全架构，揭示功率—波束—算力—安全的联合优化规律，突破在轨轻量智能推理、通感互惠与物理层抗干扰等关键问题，建立智能内生、安全可信的星地体系。

47. 星地统一空口的时变信道紧致波形与大多普勒长时延自适应传输机理研究

研究目的：针对星地信道差异大、大多普勒频偏与长往返时延使地面空口失效的问题，研究星地统一波形、可变参数集与帧结构自适应设计方法，揭示时延多普勒双弥散信道的紧致表征规律，突破正交时频空/仿射频分复用（OTFS/AFDM）波形、随机接入与定时提前、混合自动重传请求/无线链路控制（HARQ/RLC）增强等关键问题，形成兼容地面、载荷复杂度最小的统一空口传输体系。

48. 大规模低轨星座时变拓扑下的星间路由与星地无缝移动性管理机理研究

研究目的：针对巨型星座拓扑高速时变、馈电与服务链路频繁切换导致业务中断的问题，研究轨道可预测驱动的星间链路路由与星地移动性联合管理方法，揭示时变拓扑下路由收敛与切换时序的耦合机理，突破星上再生路由、无缝切换与业务连续性保障等关键问题，形成用户无感知的星地一体移动性管理体系。

49. 星载通信-感知-计算一体化波形与算力受限下多维资源联合调度机理研究

研究目的：针对星载通感共享波形自干扰强、算力与能耗受限导致资源难协同的问题，研究星上通感一体化波形与在轨边缘计算融合方法，揭示感知辅助波束对准与通感算资源竞争的博弈机理，突破遥感通信一体化、自干扰抑制与通信-感知-计算联合调度等关键问题，形成星载通感算一体的资源优化体系。

(二) 近地小行星快速监测预警与防御技术（202203）

50. 近地小行星监测预警系统巡天策略规划技术研究

研究目的：针对监测预警覆盖效率低、多平台协同规划难的问题，研究多平台协同的巡天策略优化方法，突破载荷调度与巡天策略优化关键问题，实现近地小行星快速发现与预警能力的有效提升。通过建设近地小行星数据库，建立光学监测载荷模型，开展天基平台任务轨道设计，构建系统效能评估模型，发展多平台任务协同分配与巡天策略联合优化方法。

51. 近地小行星巡天编目轨道确定技术研究

研究目的：针对轨道确定不确定性较大、观测数据关联编目难的问题，研究近地小行星的轨道确定与编目方法，突破初始轨道确定与精密定轨等关键问题，实现近地小行星轨道高精度编目能力的有效提升。通过发展数据关联与轨道识别方法，开展基于角度观测的初始轨道确定与考虑多源摄动的精密定轨研究，为巡天观测数据的自动编目提供技术支撑。

52. 近地小行星在轨处置防御轨道设计技术研究

研究目的：针对防御任务轨道设计约束多、偏转效果评估效率低的问题，研究在轨处置任务的防御轨道设计优化方法，突破转移轨道设计与多航天器联合轨道优化等关键技术，实现近地小行星在轨处置防御能力的有效提升。通过发展动能撞击偏转效果评估方法，开展连续与脉冲推力转移轨道优化设计，实现观测器与撞击器联合轨道优化。

53. 近地小行星动能撞击末段制导技术研究

研究目的：针对末段撞击高精度自主导航与制导难的问题，研究基于光学敏感器的自主导航与末端制导方法，突破自主光学导航、末端制导律设计与撞击精度控制关键技术，实现动能撞击器高精度撞击目标能力的提升。通过发展基于光学测量的自主导航与状态估计方法，设计末段撞击制导律并分析制导精度，开展导航制导控制系统半实物仿真验证。

54. 近地小行星超高速动能撞击过程的数值模拟仿真技术研究

研究目的：针对超高速撞击过程机理复杂、动量增强效应评估难的问题，研究基于无网格化方法的撞击过程数值模拟方法，突破撞击成坑、溅射物抛射过程数值仿真等关键技术，实现动能撞击过程高精度模拟能力的有效提升。通过建立超高速撞击物理模型与材料本构关系，发展超高速动能撞击过程数值模拟技术，全面提升动能撞击过程数值模拟能力。

55. 弱引力小行星柔性附着导航制导技术研究

研究目的：针对小行星弱引力、形貌复杂导致传统刚性附着适应性差的问题，研究柔性附着的自主导航与制导方法，突破多节点协同

鲁棒估计、柔性约束附着制导控制等关键技术，提高弱引力小行星表面附着稳健性。

（三）基于天地学习泛化的空间星群智能自主协同作业技术（202206）

56. 考虑非完全信息的星群博弈行为智能认知技术研究

研究目的：针对星群轨道博弈过程中目标信息不完备、行为意图隐蔽导致的行为认知难题，研究融合先验知识与人工智能的非完全信息星群博弈行为表征与推理方法，揭示不完全信息条件下观测信息向博弈行为意图表征的映射机理，突破不确定信息条件下星群博弈行为认知等关键问题，建立面向非完全信息环境的星群博弈行为智能认知方法。

57. 大规模异构星群分布式协同动态弹性自组织维持技术研究

研究目的：针对高动态条件下大规模异构星群的动态自主组网、恢复与维持需求，研究基于深度强化学习的多维多智能体分布式协同自组织弹性决策方法，突破高动态条件下星群分布式协同构型高效重构、能力弹性恢复、网络稳定维持等关键问题，构建分布式协同动态自组织与自协商机制，形成大规模星群的分布式协同动态弹性自组织维持技术。

研究领域五（技术难题）：空间先进制造与地外资源原位利用技术（共3项问题，13个研究方向）

（一）面向空间超大型天线结构的在轨增材制造技术（202003）

58. 面向空间大口径天线柔性结构组装的机器人创新结构设计研究

研究目的：针对空间大口径天线在轨建造中作业尺度大、装配空间受限及柔性结构变形导致机器人操作灵活性与装配柔顺能力不足

的问题，研究兼顾复杂空间大尺度运动与柔顺装配的机器人创新结构，研究机器人自由度配置及作业空间、运动灵活性与对接刚度约束下的操作优化方法，解决复杂装配空间精细调姿、低冲击接触与容差对接等关键问题。

59. 空间超大型天线结构在轨增材制造天地等效试验方法研究

研究目的：针对超大型天线在轨增材制造因天地物理差异导致地面动力学试验评估失真的问题，研究跨尺度畸变等效、跨环境重力解耦及在轨制造过程的天地一致性原理，揭示重力环境与尺寸效应对力学性能及动力学特性的映射规律，突破等效缩比试验、多参数畸变补偿等关键技术，建立面向在轨制造的地面验证与预测方法。

60. 大型空间天线在轨高精度自主感知与自适应调整方法研究

研究目的：聚焦大型空间天线在轨高精度自主感知与自适应调整难题，突破传统测量受限、调整缺失、天地不一致等瓶颈。发展 AI 驱动的多源异构信息感知融合、误差演化数字孪生建模与测量驱动闭环的调控方法，实现几何偏差在轨自主感知与自适应修正，为大型空间天线在轨高精度构建提供技术支撑。

61. 面向桁架胞元结构在轨原位连接的强度与刚度协同增强技术研究

研究目的：针对空间桁架胞元中 T 型接头承载不足的问题，提出基于熔融沉积材料与碳纤维/聚醚醚酮 (CF/PEEK) 管壁界面活化的原位连接方法。重点揭示熔融聚合物在异质曲面上的动态润湿与分子链互穿机制，建立考虑热-力耦合的界面结合强度预测模型。开发面向多向 T 型位形的自适应路径规划算法，通过调控沉积温度场与压力场优

化应力分布，构建涵盖铺展、浸润与固化的工艺窗口，增强接头剪切强度和弯曲刚度。

62. 连续纤维空间天线热-力-电磁耦合设计与在轨增材制造技术研究

研究目的：针对未来空间超大型天线结构在轨制造需求，探索空间微重力条件下连续纤维天线反射面在轨增材制造机理，构建三维曲面结构的高效成形方法与材料体系；建立面向真空、高低温交变条件的天线反射面热-力-电磁多功能耦合设计策略；开展连续纤维复合材料反射面天线结构地面制造验证与性能评价，为空间反射面天线高效率、一体化制造提供理论基础与技术支撑。

（二）利用太空原位资源实现人类长期地外生存（202103）

63. 地外极端环境下矿物颗粒动力学行为研究

研究目的：针对地外极端环境下地外天体连续开采过程中颗粒流动及输运、筛分分离等问题，研究低微重力与高真空下重力、接触弹塑性、颗粒嵌锁、范德华力、静电力之间的竞争关系，建立颗粒形貌、矿物组成和表面状态的广义接触模型；揭示小行星采矿过程中力链网络的形成、重构、局部化与失稳机制。

64. 小行星稀贵金属元素提取与分离方法研究

研究目的：小行星铁镍基体强度大、硬度高，其含有的贵金属元素难以通过传统方法破碎和分选分离，需探索化学手段实现基体金属与贵金属的选择性分离提取。利用铁镍与铂族金属氧化还原电位差异，实现电化学溶解铁镍，并探索不溶铂族金属在电解质中富集分离，形成无需机械破碎的稀贵金属分离富集新路径。

65. 低微重力环境下星壤挖掘过程系统力学建模及分析

研究目的：面向月球基地建设及原位资源利用对月壤高效开挖的迫切需求，针对低重力环境下月壤力学行为与地面显著差异、开挖阻力、稳定性机理不清等难题，依据机器地面力学与仿生减阻设计理论，建立低重力环境下月壤-机具相互作用系统力学模型，揭示开挖过程阻力形成与传递规律，为月壤开挖装备仿生减阻优化及高效作业提供理论支撑。

66. 激光诱导约束等离子体加载下金属质/硅质破岩基础研究

研究目的：针对小行星开采中金属质与硅质岩体破碎响应不明、真空微重力下破岩控制难题，拟研究激光诱导约束等离子体载荷形成与传递，揭示两类岩体应力波传播、塑性变形、脆性断裂、裂纹扩展及能量耗散差异，建立材料微纳属性、激光参数与等离子体冲击破岩效应的关联，为地外资源选择性破岩提供理论依据。

67. 金属质/硅质小行星高拟实材料研发及其高效破岩机制研究

研究目的：多组分、非均质、孔隙复杂的金属质/硅质小行星在极端环境下破岩力学机制复杂。基于典型金属质/硅质小行星研发高拟实模拟星壤材料，复现小行星的矿物嵌布、孔隙结构及微纳-宏观力学特性，研究不同小行星材料在机械钻掘及爆破破岩下的微纳尺度变形、微观裂纹萌生扩展、破碎演化与能量耗散规律，形成小行星高效破岩基础理论。

68. 月球水冰高效提取技术研究

研究目的：面向月球极区原位资源利用与长期驻留保障需求，研究极区低温阴影坑水冰赋存分布与热升华迁移机理，突破真空极寒环境下低含量水冰高效解离、富集与提纯瓶颈。建立月壤-水冰多相耦合

分离模型，开发低能耗原位热提取与闭环收集工艺，实现月球水资源高效稳定获取，为月球基地自持化生存与深空探测补给提供资源保障技术支撑。

（三）利用月壤资源实现月面原位建造（202205）

69. 月球昼夜大温差下热胀冷缩对月表建筑的影响研究

研究目的：针对月昼最高温度 127℃，月夜最低温度-183℃，月球表面存在约 310℃的极端昼夜温差，一个月球月周期内完成一轮完整的热胀-冷缩循环；月表日出日落阶段存在短时百摄氏度级快速热冲击效应。月表基地处于内部常压、外部真空的服役环境，材料、结构、地基均承受周期性交变温度荷载，易诱发多类失效风险，制约月球地表建筑长期可靠服役。为月表基地抗热胀冷缩结构设计、地基处理提供依据。

70. 月球建筑学研究

研究目的：月球建筑学与地球建筑学存在本质范式差异。月球建筑本质为密闭压力容器，在高真空、约 310℃周期性昼夜温差、强宇宙辐射、微流星体冲击、1/6 地球表面重力、月尘环境下开展建造。受力模式由地球的受压主导转变为内部气压带来的拉力主导，温度交变与热冲击成为控制结构失效的关键因素，有材料热疲劳、多材料界面脱粘、地基-月壤温度梯度等突出难题。传统地球建材无法直接在月表服役，需要发展月壤原位烧结等新型建材体系；建筑围护壳体需要集成气密、热防护、辐射屏蔽、抗撞击多重功能；建造以机器人自动化施工为主。月球建筑学是指导月球村建设的理论基础，也需要在未来月球建设实践中发展完善，本研究仅是为月球建筑学提供理论的探讨。