空间站应用与发展工程

空间科学与应用项目指南

（V1.0）

中国载人航天工程办公室

二〇二三年六月

目　录

一、空间生命科学与人体研究领域 1
指南 1: 空间环境对人体生理影响研究 2
指南 2: 空间飞行人因研究 8
指南 3: 空间脑科学研究 12
指南 4: 传统医学与其他新技术研究 16
指南 5: 空间基础生物学研究 21
指南 6: 空间生物技术及转化应用研究 25
指南 7: 空间生命生态基础研究 29
指南 8: 生命起源及前沿和交叉研究 32

二、空间微重力物理领域 35
指南 9: 微重力流体动力学及其应用研究 36
指南 10: 微重力复杂流体与软物质研究 39
指南 11: 多相流与相变传热及其空间应用研究 42
指南 12: 近可燃极限和基础燃烧研究 45
指南 13: 微重力下材料着火特性和防护研究 48
指南 14: 重要应用燃烧机理及转化研究 51
指南 15: 微重力下材料制备过程机理研究 54
指南 16: 重要应用新材料和制备技术研究 57
指南 17: 空间应用材料使役行为研究 60
指南 18: 空间冷原子物理及应用研究 63
指南 19: 高精度时频与相关基础物理研究 65

指南 20：复杂等离子体物理研究 68

三、空间天文与地球科学领域 72

指南 21：空间天文与地球科学 73

四、空间新技术与应用领域 75

指南 22：元器件与组件空间效应机理研究.....76

指南 23：空间信息与精密测量新技术研究.....80

指南 24：空间应用新技术研究 83

指南 25：在轨制造与建造技术 86

指南 26：机器人与自主系统技术 91

指南 27：新型能源与推进技术 94

指南 28：环控与生保系统技术 98

指南 29：航天器共性新技术 101

一、空间生命科学与人体研究领域

空间生命科学与人体研究领域是伴随人类航天活动产生和发展起来的重要学科，对提升空间生命现象认知、完善人类知识体系、推进人类长期太空生存活动能力、发展生物医药新技术新手段，具有重要的科学意义和应用价值。

探索浩瀚宇宙不仅是人类对未知的孜孜追求，更是人类拓宽生存疆域，认识自我，改善自我，发展自我，提高福祉的重要途径。太空人体研究针对制约长期载人航天飞行的主要医学问题，瞄准航天医学发展制高点，发展航天医学理论，发展先进的航天医学应用技术，为提高人类空间探索生存能力提供理论支撑和技术储备；利用航天特因环境，开展深化人类自身认识的前沿研究，促进对天地相通疾病问题的机制认识和相关诊疗技术发展；推动成果转化，带动健康产业发展，服务国家健康工程。

生命是最复杂的物质存在形式，地球生物包括人类的生存、繁衍和进化是在地球特有的环境下实现的。在空间微重力、强辐射、弱磁场以及“昼夜”变更等不同于地面的特殊条件下研究地球生命和生命体各层次的应激、响应、适应和变化，是深入探究生命现象本质的重要途径。利用空间微重力等环境开展创新生物技术研究，能够促进其在再生医学、生物细胞疗法、生物医药、合成生物制造等领域的转化研究和应用开发，为人民生命健康和环境大健康服务。

指南 1：空间环境对人体生理影响研究

针对长期飞行中失重、辐射等空间综合因素对健康的影响与防护需求，从人体、动物、组织器官、细胞分子等层次，系统开展空间环境对机体生理病理影响规律及其机制研究，深化空间环境机体稳态维持与调控等整合生理机制认识，研发新型评估、预警与防护技术，研究肠道微生态对健康的调控作用，研究空间辐射损伤及防护机制等。利用空间实验平台，研究退行性病变、衰老、肿瘤等天地相通疾病的发病机制和诊疗新技术，服务于长期载人航天和地面大众健康。

特别关注：失重环境下骨代谢、心-脑、骨骼肌微环境、免疫系统、整合组学、干细胞等多器官、多系统交互调控；失重引起的骨丢失及防护、在轨防护评估新技术、器官衰老、生物节律变化及机体代谢等防护策略；肠道菌群稳态演变对健康的调控作用；空间辐射生物学微剂量测量技术、辐射损伤预警技术、辐射生物效应等空间辐射损伤及防护机制。

一、研究目标

针对长期失重和空间飞行综合因素影响，深化重力环境与机体稳态调控等整合生理机制研究，围绕机体重力响应、组织间交互作用、干细胞修复、衰老调控等前沿科学问题，通过比较组学、多模态影像、人工智能等多因素耦合跨尺度技术系统研究，发展重力生理学理论，研发新型防护技术。

针对辐射致癌变、神经与认知功能退化、心血管疾病、免疫系统抑制、代谢异常、衰老等人类重大健康威胁，系统研究辐射生物效应及机制、生物剂量测量技术，建立从宏观到微观的空间辐射风险动态评估和预警防护技术体系。

二、关键科学问题

（1）长期失重环境对人体的生理病理影响及多系统多层次调控机制。

（2）航天特因生理效应发生、发展的动态时序特征及个体化健康预警新技术；干细胞响应失重的生物学效应及调控机制；航天特因环境对骨骼肌细胞增殖分化能力及微环境的影响、骨骼肌系统稳态维持的关键调控分子及其干预途径。

（3）长期空间环境下人体肠道微生态的变化规律、肠道微生物组与多生理系统间的相互调控作用及“肠轴”机制。

（4）长期航天飞行骨肌系统变化特征及机制、物理和锻炼防护新技术；在轨防护模式下的精准智能化体征监测及仿真评估、防护有效性评估、失重生理效应与防护措施的时空关联规律。

（5）空间环境中人干细胞和器官稳态维持机制、衰老干预策略的基础与转化。

（6）空间站内辐射环境微剂量特性及精准定位的生物学响应特征。

（7）空间辐射损伤的早期生物事件，空间复杂环境下的辐射生物预警与损伤风险评估技术。

（8）辐射敏感器官、组织的损伤效应机制，空间辐射对癌症早期事件发生影响机制以及空间辐射损伤防护靶点等。

三、空间站研究支撑条件

在空间站上开展研究的支撑条件详询各指南联系人。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）开展以下研究。

（一）长期航天飞行生理效应整合生理机制研究

针对长期航天飞行致机体骨丢失、肌肉萎缩、心血管功能紊乱、免疫功能下降、内分泌失调、视功能变化、前庭与运动感知变化、脑高级功能变化等问题，从整体、组织器官、细胞分子等多层次，系统及系统间交互

调控、关键器官组织氧化还原调控等多角度，研究失重生理效应机制，建立检测分析技术，探寻多组学微观数据与多系统宏观生理数据间的联系，解析空间环境网络调节动态特征，识别筛选“跨系统”调控网络中的关键靶点，提出人体适应空间特因环境整合生理机制创新理论，发展防护干预新方法。重点研究:

（1）长期航天飞行骨代谢多系统整合调节与交互调控机制研究，包括与骨代谢相关的神经和免疫系统等重要组织器官代谢变化及骨调控相关分泌因子的变化特征、骨代谢相关组织器官关键系统的形态特征/生理指标/分子特征及机体功能的变化特征和关联关系、多系统来源分泌因子对航天飞行条件下骨代谢关键器官/系统应激损伤的调控作用等。

（2）长期航天飞行心-脑交互作用研究，包括从整体水平研究揭示心血管和脑功能相关航天医学问题发病机理及其预警防护策略; 从器官、组织或细胞水平研究空间环境下心-脑交互作用机制及干预措施。

（3）长期航天飞行骨骼肌微环境稳态的适应性变化规律研究，包括长期航天特因环境下骨骼肌细胞增殖分化能力、骨骼肌细胞可塑性的变化规律及调控机制、骨骼肌细胞微环境的适应性变化规律、调控骨骼肌微环境稳态的分子机制、骨骼肌系统稳态维持的关键调控分子及其干预途径。

（4）基于整合组学的个体化健康状态评估技术研究，包括定量描述特定航天特因生理效应发生、发展的共性规律和个体差异; 研究航天特因环境下生理状态的时序变化规律; 基于表观遗传组、转录组等多组学数据研究个体化生理状态评估技术。

（5）干细胞在失重性器官重塑中的作用及其机制研究，包括明确干细胞参与的失重性适应性变化表型，鉴定响应失重的关键细胞亚群; 筛选空间失重环境决定干细胞命运的特异性生物学标志物; 探究干细胞微环境影响失重组织修复和再生的机制。

（二）基于新机制、新技术的失重生理效应防护策略

针对长期航天飞行中高效、精准开展失重生理效应防护与评估需求，研究空间环境下机体失重性骨丢失和肌萎缩、器官衰老及退行性演变、生物节律响应、机体物质能量代谢稳态等生理活动的变化特征，挖掘其响应机制，发展基于新技术、新理念、新方法的失重生理效应综合防护策略。重点研究:

（1）长期飞行失重生理效应防护评估新技术研究，包括研究基于生物力学仿真的在轨防护锻炼有效性评估技术; 发展非接触式失重生理效应监测评估技术，研究运动负荷评价技术; 发展新型无创骨肌系统功能检测技术，研究在轨锻炼防护量效关系。

（2）长期航天飞行骨肌系统物理和锻炼防护新技术研究，包括针对长期失重导致的核心肌群萎缩问题，研究开发新型物理和体育锻炼防护技术; 针对抗重力肌群萎缩的区域和部位特征，建立高效精准的肌肉防护技术; 研究失重性骨丢失的部位和个体差异特征，发展有效的针对性防护技术和新型防护策略。

（3）长期航天飞行器官衰老与干预技术研究，包括研究空间环境引起的对机体不同层次发生损伤、稳态失衡、退行变化乃至衰老的演变规律影响及特征; 器官衰老特征变化的天地差异及关键生物因子和分子网络机制; 有效缓解器官退行性变化及加速衰老的防护措施。

（4）空间环境生物节律变化机制与综合导引技术研究，包括研究长期飞行空间复合环境对人体生理节律影响的神经内分泌作用途径及其分子调控机制; 以生理节律导引与健康防护为目标，开发适用于空间的新型节律相位导引干预技术与方法。

（5）空间环境机体代谢稳态维持与调控技术研究，包括研究长期航天飞行对机体物质能量代谢稳态的变化特征; 研究关键器官组织细胞器相

互作用机制及其调控技术; 探索低代谢稳态维持机制与空间环境下的稳态维持调控技术。

（三）肠道微生态对健康的调控作用研究

明确空间环境下肠道微生物组结构、功能、代谢的变化规律，揭示长期空间环境下微生物组稳态失衡，稳态重建及维持优化的过程与机制; 发现影响人体健康的菌群标志物，建立肠道菌群与空间环境人体健康指征映射关系; 探究肠道微生态变化对机体代谢的影响，发现人体糖脂代谢网络调控关键微生态因子，阐明其与宿主间的互作关系，探索基于微生态的可能代谢调控措施。重点研究:

（1）长期航天飞行肠道菌群稳态演变特征和规律研究，包括研究空间环境与肠道微生态的关联关系，解析肠道菌群与代谢产物的演变规律; 鉴定参与长期航天飞行肠道稳态失衡触发、稳态重建和稳态维持的核心菌群、代谢产物等标志物; 研究粪便菌群及其代谢物与尿液、血液中代谢物的网络关联，建立菌群-代谢产物-人体代谢标志物的关联。

（2）肠道微生态对长期航天飞行代谢紊乱的作用机制及干预策略研究，包括航天特因环境对糖脂代谢紊乱的影响，肠道微生态在其中的关键作用; 失重等航天特因环境对关键微生态因子（关键菌株、代谢产物等）的影响及其分子机制; 微生态因子调控人体糖脂代谢紊乱的关键靶点及调控网络,靶向菌源及宿主的关键靶点，探索基于肠道微生态调节的相关干预措施。

（四）空间辐射损伤与防护机制研究

研究、开发主动测量装置，获得人体器官剂量数据、器官入射粒子角度、能谱、LET 等信息，建立新型空间辐射剂量与生物学效应关联模型。研究空间辐射损伤与防护机制，探索空间辐射损伤的早期生物事件，研究辐射生物剂量预警的新方法，揭示空间辐射生物医学效应的分子机理，并

提出防护建议。重点研究:

（1）空间站内辐射生物学微剂量技术，包括通过微剂量探测和高能粒子输运理论分析方法，建立空间站辐射微剂量学检测技术；通过微剂量检测技术研究空间站高能粒子传能线密度、注量等场量参数分布特征；开展空间辐射分子损伤研究，分析分子损伤效应数据和微观层面场量参数间的关联，建立空间辐射生物物理响应模型。

（2）空间辐射损伤生物预警技术，包括研究空间辐射对航天员体液生物分子的影响规律；探索空间辐射损伤的早期生物事件，整合先进的检测技术，建立辐射生物剂量估算和损伤预警新方法。

（3）空间辐射生物效应研究，包括空间辐射对免疫、血液、生殖、神经等系统的损伤效应机制和干预措施研究；空间辐射对癌症早期事件发生的影响及机制；空间辐射损伤防护靶点等。

指南 2：空间飞行人因研究

空间飞行人因研究是人因工程在载人航天领域的拓展。主要是针对航天员、航天器、空间环境构成的人-机-环系统，以保障航天员在轨高效工作为目标，研究空间飞行航天员能力、航天人机界面与人机交互、人机协同与人机融合等的特性变化及行为机制等。

特别关注：长期空间飞行特因环境下人的能力特性变化规律及机制，建立在轨能力维持和增强技术；空间飞行环境下人机界面设计、人机交互技术对航天员交互行为、效率、可靠性及负荷的影响；人机协同任务中人的行为机制，具有高空间环境与任务适应性的人机协同模式与人机融合技术等。

一、研究目标

围绕长期空间飞行中航天员作业能力维持及作业效率提升的需求，研究长期在轨人的能力变化机理，研发人的能力维持和增强技术；研究多种先进人机交互技术和人机界面的在轨环境适应性、任务适应性；研究人-机器人协同中的人因问题并开展智能协作机器人的在轨验证；探索载人航天任务中影响人能力发挥的要素，促进航天人因工程理论与技术的发展与应用。

二、关键科学问题

（1）长期飞行航天员精细动作控制的变化规律及适应性学习机制，包括重力变化对感知运动系统中精细动作控制的影响及内在认知机制、长期在轨精细动作控制功能适应性学习理论模型等。

（2）长期在轨航天员手-臂触觉感知变化规律和机理，包括在轨触觉感知能力测量方法、长期在轨手-臂触觉感知能力变化规律及机理等。

（3）重力对视觉运动信息加工过程的影响及其机理，包括重力对视

觉运动信息加工影响的有效实验范式、重力环境对视觉运动信息加工的调制规律及其神经机制等。

（4）空间站照明环境对作业任务绩效的光生物驱动效应及机理，包括日光剥夺环境下的光生物效应关键影响因子、在轨飞行期间任务时段的光生物效应及神经机理、有利于典型任务完成的照明调整策略等。

（5）长期在轨航天员认知能力维持与增强技术，包括长期在轨特因环境对关键认知能力影响的行为和神经生理指标体系、关键认知能力维持与增强技术方案、认知能力对典型任务作业绩效与行为特征作用理论模型等。

（6）高空间环境适应性的自然人机交互技术，包括失重环境下人机交互的变化机制，在轨高空间环境适应性的自然人机交互意图理解方法与交互设计技术等。

（7）长期在轨飞行中信息呈现感知与交互界面，包括在轨信息感知水平和人机交互界面设计关联机制、在轨复杂任务因素与航天员能力变化对人机界面设计的影响、多人协作复杂任务有限屏幕空间的多人协作人机界面设计方法等。

（8）航天员-机器人高效协作方法，包括人-机器人意图解析与表达方法、人机团队信息高效共享的人机自然交互技术、在轨飞行环境因素与人因设计要素对人机信任及人机协同行为的影响等。

三、空间站研究支撑条件

在空间站上开展研究的支撑条件详询各指南联系人。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）开展以下研究。

（一）人的能力变化机理与增强技术研究

多维度、多层次阐释长期空间飞行特因环境下人的能力特征、变化规

律及机制机理，建立适合航天员在轨使用的能力维持和增强技术。重点研究：

（1）长期在轨飞行中航天员精细动作控制的变化规律及适应性学习机制研究，包括精细动作控制相关的时间和空间信息处理的变化规律、力学信息处理的变化规律，以及适应性学习规律及机制。

（2）长期在轨航天员手-臂触觉感知变化规律和机理研究，包括长期在轨对静止状态下手部单点或多点触觉感知能力的影响及机理；对静止状态下手-臂协同触觉感知能力的影响及机理；对典型手-臂动作和运动中触觉感知能力的影响及机理。

（3）重力对视觉运动信息加工过程的影响及其机理研究，包括重力环境变化及长期失重环境对重力特异性生物运动信息加工、非生物运动信息加工的影响规律；重力调节视觉运动信息加工的认知神经机制。

（4）空间站照明环境对作业任务绩效的光生物驱动效应及机理研究，包括空间站舱内照明环境光生物效应影响因素及关键因子；光生物效应关键因子的驱动效应及机理；面向在轨典型作业任务绩效维持与提升的生物照明干预技术。

（5）长期在轨航天员认知能力维持与增强技术研究,包括长期在轨特因环境对关键认知能力影响的行为和神经生理指标；长期在轨飞行认知维持和增强技术对行为和神经生理指标的影响规律；长期在轨飞行环境下认知能力对典型任务的影响；面向在轨特因环境的关键认知能力维持与增强方法。

（二）人机界面与人机交互设计原理研究

面向航天员作业状态和交互行为，以人机自然交互为牵引，构建具有高度空间环境适应性的先进交互技术。研究建立与长期空间飞行中航天员能力变化相适应的有限屏幕空间下复杂航天器/任务信息的高效组织架构

和呈现技术。重点研究:

（1）长期在轨对脑机接口影响与优化设计研究，包括长期在轨诱发和自发脑控信号特征的变化规律；脑机接口的优化设计方法和解码算法；适用于身体漂浮状态的脑机接口实验系统构建与典型任务脑控验证。

（2）面向多人协作复杂任务的信息呈现感知与交互界面设计研究，包括长期在轨对航天员人机交互界面信息感知与加工特性的影响；多人协作界面空间动态分配机制与协作分工机制；多人协作人机交互界面信息呈现特征；面向空间站复杂维修、实验等典型任务的多人协作交互界面设计与验证。

（三）人机协同与人机融合机制研究

研究人机协同任务中人的行为机制，提高人机系统透明度，提高人机意图解析准确率，构建具有高空间环境与任务适应性的人机协同模式与人机融合技术。重点研究:

（1）航天员-舱内智能飞行机器人高效协作方法研究，包括与航天员作业空间和作业行为相匹配的协同模式；与在轨任务场景相适应的航天员-智能飞行机器人关键交互技术；在轨特因环境对航天员-智能飞行机器人协作效能的影响。

（2）长期在轨飞行对人机信任与人机协同行为的影响研究，包括面向在轨应用的人机信任测量方法和典型任务人机协同行为采集与分析技术；人因设计要素对典型协同任务中人机信任与人机协同行为的影响；长期在轨飞行对人机信任与人机协同行为的影响。

指南 3：空间脑科学研究

空间脑科学研究旨在与中国“脑计划”相接轨，充分利用空间特殊环境和实验平台，一方面认识和理解空间特因环境下脑功能及结构变化和适应性机制，发展可能的脑功能维护与提高技术等；另一方面为促进人类认知大脑和思维奥秘、研究地面大众脑疾病发病机制及诊疗新技术等提供特因环境实验平台，服务地面大众健康。

特别关注：空间环境下脑发育的生物学机制，包括空间特因因素对神经发育、遗传、老化、损伤与再生、神经系统病理变化的影响规律和机制等。空间环境下机体稳态的神经环路及调节机制，包括空间特因环境下生物节律评估和相关特异性内源性物质变化及调控；空间环境下认知变化规律、机制与调控原理；空间环境下群脑协同机制、模型与调控技术。

一、研究目标

应用脑科学前沿技术和取得的重大成就，充分利用空间特殊环境和实验平台，探索和认识脑发育进程和思维奥秘，阐释空间特因环境对脑的影响及脑适应空间特因环境的机制，发展可能的脑功能维护与提高技术等，服务于长期载人航天和地面大众健康，以及对脑相关重大疾病发生机制的深入认识等。

二、关键科学问题

（1）空间环境下脑神经干细胞增殖、分化以及子代细胞产生、命运决定和谱系发生的特征性变化及发生机制。

（2）空间环境下神经细胞、组织、系统老化及退行性进程的变化规律和机制等。

（3）空间环境下脑不同类型神经细胞特化成熟和环路组装的影响机制，以及脑类器官神经环路特征及功能图谱等。

（4）空间特因环境下的机体稳态维持及神经调节机制，包括机体机械力感受稳态的维持、神经系统的可塑性稳态、中枢神经系统对机体稳态的调节变化规律与机制等。

（5）长期空间飞行对睡眠与觉醒的影响及神经环路机制与调控，空间特因环境对生物节律、睡眠觉醒的调控机制及其对认知影响的作用机制。

（6）长期空间飞行认知能力特征、时变规律，以及神经元、环路、脑区等多层次神经生物学机制。

（7）长期空间飞行认知能力维持和调控的原理与机制，包括认知的适应与自我调控，物理刺激、行为训练等增强和调控认知能力的关键基因、分子、神经通路、神经环路和脑区等。

（8）空间环境下群脑协同机制，包括团队协同行为及脑机制的影响因素和作用途径，群脑协同的信息加工机制和神经环路响应机制等。

（9）空间环境下群脑协同增强技术与原理，发展在轨群脑协同增强技术等。

三、空间站研究支撑条件

在空间站上开展研究的支撑条件详询各指南联系人。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）开展以下研究。

（一）空间环境下脑发育的生物学机制

利用神经元、脑类器官组织和实验动物等，研究微重力、辐射、快速昼夜变更等空间特因环境对神经系统发育、老化和脑遗传特性的影响，揭示空间特因环境影响神经发育分化的表型及其分子调控机制；绘制空间环境下脑类器官的神经网络功能图谱；阐释空间环境下脑疾病类器官神经系统的病理变化特征及机制；提出空间特因环境影响脑发育的关键神经通路机制。重点研究：

（1）空间环境对哺乳动物脑发育及脑老化过程的影响及机制，包括哺乳动物的脑神经细胞增殖分化特性，特化成熟和神经环路发育组装；哺乳动物脑神经细胞老化及退行性进程的影响和机制，脑神经的损伤与再生机制。

（2）基于人源脑类器官的空间脑发育生物学机制研究，包括神经发育变化规律及机制，神经网络发育和动力学变化规律及机制；脑疾病类器官神经系统病理变化的叠加影响及机制；空间环境对血脑屏障的作用及其对脑发育的影响。

（二）空间环境下机体稳态维持的神经环路及调节机制

研究机体稳态的变化规律及其神经调控机制，阐述空间特因环境下机体稳态维持的规律及机制、神经系统稳态可塑性的神经结构与功能的适应性变化规律与机制；研究长期空间特因环境因素影响机体生物节律和觉醒睡眠的分子及神经环路机制，揭示生物节律相关的内源性物质对睡眠-觉醒及认知的影响规律与调控原理，建立空间特因环境对生物节律影响的评估体系；提出睡眠-觉醒调控新理论和非侵入、无创性干预新手段。重点研究：

（1）空间特因环境下机体感受稳态维持及神经调节机制，包括机体感受的神经响应和稳态维持的变化规律；机体感受稳态维持的神经信号转导机制与神经环路机制；神经系统的可塑性稳态变化规律与机制；中枢神经系统对生理、行为稳态的调节改变与机制。

（2）长期空间飞行对睡眠觉醒的影响及其神经环路机制与干预调控，包括生物节律及睡眠的变化规律与神经环路机制；节律与睡眠变化对记忆等认知的影响与调控机制；睡眠-觉醒的干预靶点研究；觉醒睡眠调控的非侵入式无创干预技术研究。

（三）空间环境下认知变化规律、机制与调控原理

研究长期空间特因环境下认知能力的时变特征和规律，揭示变化机制，绘制多尺度认知行为相关的脑功能图谱；研究长期空间特因环境下维持和增强认知能力的神经生物学原理与技术，发现增强认知能力的技术、规律和原理，揭示认知能力自适应机制，创建长期空间特因环境下认知能力的变化、适应与调控理论。重点研究：

（1）长期空间飞行基本认知的变化规律、机制与调控，包括感知觉信息加工及整合、运动控制、记忆、注意等的变化规律、脑机制与调控机理，绘制多尺度基本认知行为相关的脑功能图谱。

（2）长期空间飞行高级认知的变化规律、机制与调控，决策行为、问题解决、认知地图、社会认知变化、认知控制与执行功能变化的规律与神经机制；高级认知相关的多模态跨尺度人脑复杂网络与认知变化的规律及机制；高级认知能力的调控方法与机制。

（四）空间环境下群脑协同机制、模型与调控技术

研究空间环境下群脑协同机制，识别长期空间特因环境对团队协同行为及脑机制的影响，揭示群体行为的独特模式与群体协同脑信息加工的机制；研究在轨群脑协同调控技术，建立适用于在轨的群脑辅助决策、脑力协同增强的群脑协同技术体系，阐释空间特因环境下群脑协同增强的脑机制。重点研究：

长期在轨飞行群脑协同变化规律、机制与调控，包括研究群脑协同模式的时变规律、关键影响因素及作用机制；研究群脑协同神经加工模型，探究在轨群脑协同调控方法及作用机制。

指南 4：传统医学与其他新技术研究

针对长期飞行及深空探测面临的多系统深层次医学问题，发挥传统医学多系统调节和治未病的优势，将传统医学航天应用基础研究与现代科技发展相结合，开展具有中医药特色的健康监测和干预技术创新研究。利用科技领域发展前沿技术，积极探索创新的航天医学实验研究和在轨健康监测评估与维护新技术，利用空间特因环境试验，为在轨健康新技术研究奠定理论基础。

特别关注：在轨中医诊断新技术、基于穴位调理的健康维护技术、中药新剂型、航天神经功能紊乱防护及在轨中医药实验的新技术研究；多模态生理生化指标健康监测新技术研究；微量生物样本在轨预处理及多指标检测技术；人体神经、心血管、骨肌、消化、代谢系统等单一器官或多器官级联的空间复合效应在轨研究新模型新方法；空间环境微生物生物效应、适应性变化机制及致病分子机制等。

一、研究目标

拓展传统医学航天应用；丰富太空人体科学研究空间研究模型；建立精准、高通量、微量样本检测技术；研究空间环境微生物致病性与人体相互作用，探索空间环境微生物防护的新方法。

二、关键科学问题

（1）长期飞行中医证候与人体表征多维信息特征的量化关联特性，基于多维信息准确识别、无损提取与精准判定的中医诊断技术。

（2）长期航天飞行神经功能紊乱的中医病机与生理调控机制间的内在关联，中医药调控机制及功效物质基础。胃肠功能紊乱、免疫功能失调、皮肤病等的在轨中药新剂型药效及作用机制。

（3）航天飞行主要医学问题的中医证候经络调控机制，不同穴位刺

激组方的调控原理及生物学响应特性等。

（4）复杂环境下柔性多参数电化学传感器高可靠和高稳定测量的机理，汗液与血液组分的关联关系等。

（5）复杂多径与失重环境下的非接触体征监测机制，失重条件下心脏机械活动与电活动间的映射机理，以及基于非接触式监测的睡眠质量评估模型。

（6）基于小尺寸光声元件的成像系统工作机制，多参数量化成像的抗光谱混叠、基于光声信号的血液流速检测机制等。

（7）微量体液中多类型蛋白标志物检测方法、面向空间环境应用的核酸萃取及长效保存方法。

（8）与人体器官结构和功能高度相似的单器官/多器官研究模型构建，空间环境下在轨自动化培养、给药与样本回收；基于在轨单器官/多器官生理表征、功能指标和器官间交互作用检测与分析的空间复合效应研究。

（9）空间环境对微生物的影响及其机制，包括空间环境代表性条件致病菌的高效分离培养，空间环境对微生物的生物学特征、致病性、耐药性的影响及其分子机制。

三、空间站研究支撑条件

在空间站上开展研究的支撑条件详询各指南联系人。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）开展以下研究。

（一）中医药技术在轨应用研究

面向空间站长期载人飞行的航天医学问题，发挥中医药理论和疗效优势，提升航天中医药研究水平，形成自成体系的特色资源。重点研究：

（1）基于多维信息采集的智能中医诊断新技术研究，包括在轨中医望诊多维度信息采集关键技术研究；基于科技新技术的信息分析与智能化

处理，不同部位图像信息、脉像信息分析研究等。

（2）航天特因环境所致神经功能紊乱中医药防护关键技术研究，包括筛选中医药防护措施；探讨航天飞行神经细胞变化特征及药物防护机制；研究中药有效成分、中药复方或药食同源产品的功效物质基础等。

（3）在轨中药新剂型技术研究，聚焦皮肤病、胃肠功能紊乱、免疫功能失调等航天医学问题，筛选中药复方或有效活性成分；研制适合航天飞行的中药新剂型；探讨在轨药效、作用机理及其有效活性成分的精准高效透皮机制。

（4）中药对太空环境下机体代谢功能影响的新技术研究，包括研发适宜于在轨细胞培养装置的微流控培养模块，制备适宜于研究中药对机体代谢作用的生物模型；利用多组学生物信息获取分析等方法，研究中药的调理作用。

（二）基于穴位刺激的调理技术研究

以中医针灸学理论为指导，研究经络、腧穴及刺灸防护航天医学问题的方法及其规律，发展基于穴位刺激的在轨特色调理技术。重点研究：

（1）针对睡眠障碍、焦虑、抑郁、胃肠功能紊乱、运动损伤等航天医学问题，研制基于手穴、耳穴、眼穴等穴位刺激的防护装置。

（2）构建航天医学问题相关医学防护的穴位组库。

（三）多模态健康监测新技术

开展非接触式生理监测、汗液信息实时监测、可穿戴光声成像等技术研究，实现航天员多类型生理生化指标的精准、低侵扰、长时程连续监测，发展适用于长期载人飞行的多模态健康监测技术。重点研究：

（1）基于柔性电子技术的汗液信息实时监测技术研究，包括研究汗液组分电化学检测方法及柔性多通道传感技术；研制基于柔性电子技术的可穿戴汗液监测设备；研究汗液生化指标与血液指标的关联模型。

（2）基于非接触式测量技术的生理体征监测技术研究，包括研究复杂电磁环境下的生理体征信号感知及干扰抑制技术；研制低功耗高集成度的非接触式智能监测设备；构建基于非接触感知信号的生理指标测量模型；研究基于非接触式测量的睡眠质量、心血管健康状态等评估方法。

（3）基于可穿戴光声成像技术的人体微循环检测技术研究，包括研究适用于空间环境的人体功能影像技术；研制高灵敏度、无标记、高分辨率、安全的可穿戴光声功能成像设备；研究血管分布、血液流速、血氧分布等与体表血管微循环状态的关联模型。

（四）微量生物样本在轨检测新技术

集成多学科技术的前沿进展，发展微量医学实验样本多指标的预处理及检测技术。重点研究：

（1）微量血液中蛋白标志物快检技术研究，包括微量血液中蛋白标志物的快速可视化免疫检测技术；免疫分析检测试剂的在轨常温长效存储技术；与空间站离心机匹配的微流控免疫检测芯片研制；航天员体液样本中健康标志物在轨快速检测。

（2）微量体液样本核酸富集及长效保存技术研究，包括开发核酸富集材料，建立体液样本中细胞裂解、核酸原位富集及长效保存技术；研制便携式的核酸富集芯片及配套组件；在轨体液样本采集、预处理及核酸富集保存。

（五）基于新模型的空间复合效应评估技术

建立针对特定航天医学问题的新型模型和评估技术，重点开展基于类器官或器官芯片的空间复合效应评估新技术研究与应用：构建包含多细胞种类的微生理结构和功能高度仿生的人体类器官/器官芯片，或反映多器官相互作用的融合类器官/多器官芯片模型；研究与空间站现有培养设备和显微观察设备匹配的技术，实现类器官/器官芯片的自动化培养、观察和

样本回收；构建自动化类器官刺激与生物样本集成检测技术，开展长期空间复合效应下器官的形态、功能特征和交互效应的在线分析。

（六）在轨微生物致病机制研究

通过搭载及地面模拟空间环境研究微生物的空间生物学效应，揭示空间站微生物感应和适应空间环境的分子机制，解析其致病机制；研发适合空间站代表性条件致病菌的在轨高效分离培养及储存技术。重点研究：

（1）微生物空间生物学效应研究，包括研究空间环境对微生物的增殖、毒力因子、致病性、耐药性等生物学效应和病原学特征的影响；在多组学水平揭示对微生物的影响，激发病原微生物毒力因子、耐药因子产生的分子基础。

（2）在轨条件致病菌高效分离培养方法研究，包括研发代表性条件致病菌的高效分离培养基；代表性条件致病菌的药敏测定；条件致病菌的多组学数据库建立及特征性标志物的鉴定等。

指南 5：空间基础生物学研究

空间基础生物学是空间生命科学的基础和重要组成部分，主要内涵是在空间特殊环境（微重力、辐射、亚磁等）下开展地球生物体，包括动物、植物和微生物及其各层次的生命过程变化规律的研究，特别关注空间环境对哺乳动物生命孕育和生理病理影响；进而为认识决定生命繁衍的应激响应和适应变化机制乃至生命起源与演化的分子机制提供特殊环境的观测数据与实验证据。计划通过长期持续实施系列化、综合性的实验研究，取得生命现象和本质规律的重要研究成果；推动重力生物学、辐射生物学、生物力学、亚磁生物学等学科的突破性发展。

一、研究目标

研究地球生物体（动物、植物、微生物）及其器官、组织、细胞、分子等各层次对空间特殊环境的应激响应和适应变化等科学问题；理解空间环境下哺乳动物的生理病理变化和药物调控机制，力争实现哺乳动物太空受孕并认识其生殖发育规律；认识不同生理层次的生物力学特征以及物质输运过程；掌握空间辐射下的应激机制、损伤变异和评估方法；理解亚磁及其复合微重力环境对不同生理层次的影响机制。

二、关键科学问题

（1）地球生物体对微重力信号的感知和转导机制，以及适应重力环境变化的基本规律。

（2）空间环境影响哺乳动物配子发生与干细胞分化、胚胎发育与子代健康、组织器官生理与病理变化等的分子机制。

（3）变重力环境调控生命过程的生物力学规律，尤其是跨尺度力学-生物学耦合的机制，以及外力对生物体微重力效应的主动调控作用。

（4）空间辐射对遗传变异影响的机制和生物体损伤与修复的机理，

空间辐射与微重力等复合环境作用的生物效应及其机理。

（5）地磁场减弱或消除的生物学效应规律及机制，空间亚磁场与微重力复合的生物效应及其机理。

三、空间站研究支撑条件

本指南研究的可能用到(但不限于)的支撑条件包括生命生态实验柜、生物技术实验柜、流体物理实验柜、舱外空间生物学暴露实验装置、科学手套箱与低温存储柜、变重力科学实验柜等，具体详询各指南联系人。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）开展以下研究。

（一）空间重力生物学和辐射生物学研究

针对空间环境（微重力和空间辐射）对植物、动物和微生物的不同层次（从分子、细胞、组织、器官到个体）的作用效应，多层次、系统性及动态地揭示在生长、发育、分化过程中关键节点的分子与生理机制。重点研究:

（1）高等植物对重力信号变化的感知和响应的分子机制，有重要利用价值的植物在微重力环境下生长发育的变化及规律。

（2）空间环境对动物干细胞干性维持与定向分化的影响；重点关注干细胞分化为神经细胞及类脑组织、血液细胞及免疫细胞、胰岛细胞及类胰脏、肝细胞及类肝脏等的规律。

（3）动物及其细胞、组织、器官、系统等对重力信号变化感知、传导和响应的分子机制；以及适应重力环境变化的基本规律。

（4）空间辐射环境对动物各层次和不同系统损伤的作用及其修复的规律，以及对肿瘤等病变发生与演化的影响。

（5）空间环境对典型植物和微生物的表型（生长发育等）和遗传的变化规律及其分子机制。

（6）空间站舱内环境微生物的生物学变化规律、对人和空间环境健康的风险评估及生物安全防护策略。

（二）空间哺乳动物生命孕育研究

探究哺乳动物胚胎能否在空间环境下完成发育并实现后代繁衍。重点研究:

（1）空间环境因素对生殖细胞发生，受精和胚胎发育损伤的影响及机制。

（2）空间环境下哺乳动物胚胎的长时程发育。

（3）空间适应性哺乳动物品系的建立与筛选。

（三）空间环境对动物生理病理的影响

针对生物体在长期空间环境下的生理病理变化及其分子机制等关键科学问题，认识以模式动物及其细胞与类器官为研究对象的各种生理病理变化效应、分子机制以及相应药物的调控作用。重点研究:

（1）空间环境下动物相关生理与病理变化，如动物体的骨质变化、肌肉萎缩、心血管功能障碍、内分泌与代谢失调、神经与消化功能紊乱、免疫抑制、肿瘤发生与变异等的作用和效应。

（2）空间环境产生重要生理病理效应的分子机制与关键分子靶点，及针对这些分子靶点开展药物调控的可行性，以及生物节律和免疫应答规律。

（四）空间生物力学研究

阐明长期失重所致生理病理变化的力学-生物学耦合机制，从细胞、组织、器官、个体层次认识生物体对重力变化的适应性改变和/或不可逆变化的基本规律。重点研究:

（1）骨骼-肌肉、心血管、免疫、神经、消化等生理系统细胞感知重力变化的生物力学机制，空间生物效应中信号传递和转导的力学-生物学

耦合规律。

（2）空间环境下细胞生长与分化的力学特征及应答调控，组织发生及损伤修复的力学敏感通路和分子机制。

（3）空间环境影响生命系统物质输运与生物屏障功能的力学机制，外力对组织/器官构建的主动调控作用和补偿机制。

（五）空间亚磁生物学研究

研究空间亚磁环境下动物个体、细胞、分子水平生物效应，阐释空间亚磁生物学机制。重点研究:

（1）神经细胞的应激及磁感受机制，干细胞、肿瘤细胞的应答机制;肌肉组织变化及线粒体应激，骨组织变化与骨重建机制，免疫系统的响应机制与肿瘤生长和干预。

（2）动物生物节律、行为的变化和脑机制，动物发育、寿命、传代变化及基因调控机制。

（3）磁铁矿感磁受体和亚磁响应机制，亚磁效应的防护及干预。

指南 6：空间生物技术及转化应用研究

空间特殊环境（微重力、辐射、亚磁等）为发展创新生物技术提供了重要机遇。开展空间细胞与组织器官培养技术研究、空间合成生物制造技术研究、应用微生物、空间生物医药技术和空间辐射诱变技术等研究，不仅有助于在研发新型生物材料、生物产品和生物技术方法方面实现在地面难以达到的突破；而且可为空间生物医学和生态研究开发创新技术和新型装置提供工程迭代场景，支撑相关研发工作的顺利开展。本研究方向希望获得多种有重要应用价值的空间生物技术和生物医药成果，通过空间与地面研发的结合，推动成果技术转移转化，服务于医药、人民健康和经济社会发展等重大需求，发挥经济价值和社会效益。

一、研究目标

利用空间微重力等特殊环境，研究多种类型细胞空间培养特性，发展高通量细胞培养、微流控芯片细胞培养、器官芯片以及3D生物打印等技术，研发先进微小型生化检测技术等在轨分析技术；开展蛋白质与核酸及其复合物等重要生物分子机器的组装机制和功能效率研究，指导生物新药和药物新剂型的设计与研发，服务国家重大新药创制；开展空间辐射诱变，服务国家工业及粮食生产；探索构建人工生物材料，为长期太空飞行或行星驻留提供合成生物制造技术途径。

二、关键科学与技术问题

（1）高效的化学/电化学、化学-生物耦合的人工系统构建，空间合成生物学制造。

（2）微重力下细胞及多细胞通用培养的传代、营养供给、悬浮培养、3D培养等技术。

（3）微流控芯片器官生理微系统构建，不同组织器官的结构功能和

复杂的器官间联系。

（4）空间环境因素对蛋白质分子机器结构及其组装的影响规律、热力学与动力学调控机制，新型药物的发现与筛选及药物制剂新技术。

（5）利用空间环境因素进行植物种子、可无性繁殖营养体、微生物等诱变，研究其突变及相关遗传机制，指导育种。

三、空间站研究支撑条件

本指南研究的可能用到(但不限于)的支撑条件包括生物技术实验柜、流体物理实验柜、舱外空间生物学暴露实验装置、科学手套箱与低温存储柜、变重力科学实验柜等，具体详询各指南联系人。

四、重点资助研究内容

本指南重点资助（但不限于）开展以下研究。

（一）空间合成生物制造

创建人工生物转化体系，为太空探索等特殊环境中食物等物质（元素）等生命必需物资的循环利用提供创新解决方案，并为地面合成生物产业发展提供新技术新方法。重点研究:

（1）设计并合成CO_2“吸附-固定-还原”的复合功能分子催化剂或纳米材料电催化剂，高选择性电催化CO_2还原制备C1化合物。

（2）高效碳缩合多酶系统，实现C1化合物到还原糖的高效合成；原位还原糖分离与浓缩工艺。

（3）集成还原、聚合和分离一体化装置实现二氧化碳到可食用还原糖的高效合成。

（二）空间细胞与组织器官培养技术

针对空间细胞长期培养和繁殖问题，研究适合空间环境条件的细胞培养技术，器官芯片及3D生物打印技术，构建类器官芯片系统，并加强技术转化应用。重点研究:

（1）空间干细胞分化与器官芯片技术；空间复合环境下重要敏感器官仿生芯片研究；空间器官芯片非接触原位可视化连续监测技术。

（2）空间三维组织培养及其功能实现技术；微载体的生物相容性及细胞扩增培养技术；动物细胞的广谱和特殊培养技术体系；适合在空间站应用的微生物高效分离培养技术；植物细胞全能性快速扩繁技术等。

（3）空间高精度、功能化3D生物打印技术研究；细胞、组织和类器官的先进影像和生化分析等技术。

（三）空间应用微生物技术

基于微生物在空间极端环境中的生长繁殖、发育分化、遗传代谢等生物学过程，探索空间微生物技术及其应用。重点研究：

（1）具有未来地外空间应用潜力的食用保健、工业、环境等相关微生物的空间环境适配技术及应用价值评估。

（2）载人航天废物（水）微生物处理技术，及其与物理化学处理技术的接口与适配。

（四）空间生物医药技术

针对“空地共患疾病”防治相关方法与药物在空间环境下的变化，研究空间环境对靶点及配体的分子结构和相互作用和在关键组织系统层次上生物学功能的影响以及由此造成的药理、药效、毒理变化，研究相应的用药规范。研究相关药物剂型对上述变化的影响，研究适用新型药物、制剂与新生物医学材料及检测分析技术，开发相应制药工艺、质量评价技术。重点研究：

（1）微重力环境对典型疾病相关生物靶标分子与药物配体结构与功能、药物构效关系的影响，关注其与目标（病态）细胞、组织和器官和系统的作用机制，关注不同剂型在空间环境下的效应变化；开展相关药理、药效、毒理研究。

（2）在上述机制研究的基础上，研究适用新型药物、新生物医学材料以及相关的制剂与/或药物递送技术，相应的检测分析技术，开发相应制药工艺、质量评价技术。研究适应太空条件的药物安全使用技术和药物使用规范。

（3）针对感染和非感染疾病致病病原（各种微生物）和患病生物标志物的精准和快速检测技术、有害和致病物质及低丰度代谢物质的检测技术。

（五）空间辐射诱变育种技术

研究高能离子辐射、微重力、磁场等单一及复合空间环境因素对植物种子、可无性繁殖营养体、微生物等的遗传效应及应用价值，建立空间育种使能新技术，创新种质资源。重点研究:

（1）以育种为导向的植物、微生物空间突变发生与遗传的机制及其应用。

（2）以快速生长为导向的植物、微生物育种技术开发与应用。

指南 7：空间生命生态基础研究

空间生命生态学是研究空间或地外环境影响生物群落结构和功能、生物之间的相互作用、生态系统中物质循环和能量流动的科学，是未来载人深空探测所需的生物再生循环生命保障系统的理论基础。空间生命生态基础研究旨在解答地球生物群落、循环生态过程对空间环境的应答及其机制，探索构成空间生物再生循环生命保障系统的方法和路径，为人类长期太空活动原位循环生产氧气、水和优质食物等生存物资做理论和基础技术储备，具有重要理论意义和应用价值。

一、研究目标

面向长期载人探测任务，研究空间环境对生物部件的物质转化、生物链环之间的互作、生态系统物质循环-能量流动-信息传递等影响，探索从生物个体、群落到系统多层次生物再生生态系统的基础科学规律，筛选、验证、优化闭合循环生态系统的适宜生物部件及其组合，研究生物多代更替的系统发展演变和进化规律，建立构建空间生物再生循环系统的方法；阐明生态系统在空间环境下的响应机制与遗传规律。

二、关键科学与技术问题

（1）适宜于空间任务的生物再生循环生态系统组成，及自养和异养生物代谢等物质转化过程对空间环境的响应机制。

（2）空间环境下生物再生循环生态系统内的植物、动物、微生物物种间的相互作用规律。

（3)空间环境对生物再生循环生态系统物质循环、能量流动等影响，适应微重力或低重力条件下载人探索任务环境的生物再生循环生态系统的生物部件匹配和系统构成方法。

三、空间站研究支撑条件

本指南研究的可能用到(但不限于)的支撑条件包括生命生态实验柜、生物技术实验柜、流体物理实验柜、科学手套箱与低温存储柜、变重力科学实验柜等，具体详询各指南联系人。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）开展以下研究。

（一）空间个体生态学研究

聚焦空间环境对构成循环生态保系统的生物部件的生态作用与生物适应研究。重点研究:

（1）空间环境中非生物因子耦合调控可食用植物的生长、产氧的内在机制与监测、控制方法。

（2）可食用昆虫、大型真菌培养对空间环境的适应性及其机制。

（3）空间环境下微生物转化有机固体废物、固碳固氮功能的变化机理与调控方法。

（二）空间群落生态学研究

聚焦空间环境下对构成生物再生循环生态系统的不同生物的相互关系与群落动态。重点研究:

（1）空间环境下植物根际和共生微生物组及其对植物空间适应性的作用。

（2）空间环境下固废过程的关键微生物的群落动态与代谢功能。

（3）空间环境下异养链环（可食用昆虫、大型真菌、固废转化微生物、水生动物）与自养链环（可食用植物、微藻）的相互关系与气液交换规律。

（4）空间环境下地衣互惠共生链环、群落动态及其人类宜居环境指示作用。

（三）空间生态系统生态学研究

面向微重力、低重力下的复合空间环境，探索可能的生物再生循环系统的生物部件匹配方案和系统构成方法，研究空间环境因素对生态系统的物质循环、能量利用影响。重点研究:

（1）空间环境下生产者、消费者与分解者构建微型生态系统的部件匹配方案和系统平衡调控方法。

（2）空间环境下生产者、消费者与分解者构建型生态系统的物质循环、能量流动与系统演化。

指南 8：生命起源及前沿和交叉研究

生命起源是人类始终关注的前沿科学问题，生命的产生和进化与环境密切相关，现有生命起源的基本理论与假设均基于有重力的环境。微重力、强辐射等极端空间环境应是生命种子“地外起源”的本源环境。我国空间站计划开展生命分子和化学起源的基础前沿探索，利用空间特殊环境来探索生命起源的可能途径，为探寻和认知生命起源和地外生命打下重要的科学理论基础。

一、研究目标

利用强辐射及微重力等空间特殊环境，研究有机小分子生成生命大分子、形成原始细胞、实现非生命物质到生命转化的条件和机理；探讨磷活化及各种空间环境中常见的矿物质在有机分子由小到大组装过程中潜在的催化、聚合、保护机制，最终揭示遗传密码子起源、同手性起源、原始细胞形式等关键生命起源核心问题与空间环境因素的关系，为探索生命起源之谜提供重要的科学指导依据。

二、关键科学问题

（1）生物分子的同手性及遗传密码的化学起源：极端环境下生命有机小分子在生命元素磷的活化、矿物界面的催化、聚合、保护等作用下自组装成生命大分子的响应，单一手性产生的可能条件和潜在机理及其在生命大分子中的传递、放大或筛选机制。

（2）矿物表面对生命有机分子的催化调控及辐射保护作用的微重力响应：微重力环境下矿物界面对生命分子所具有的辐射保护作用及催化聚合作用的特点及潜在的分子机制。

（3）原始细胞的化学起源及演化：空间微重力环境下，多肽、寡糖、寡聚核酸等不同生物大分子在水溶液或矿物界面的吸附、催化等作用下自

发组装形成不同形态原始细胞的条件和过程；微重力、辐照对原始细胞形态、功能和演化的影响机制。

（4）多聚磷酸盐对极端环境微生物中生物分子稳态的调控：空间环境下多聚磷酸盐对耐辐射奇球菌等极端环境微生物中核酸、多肽等生物分子形成和稳态的调控作用和机制。

三、空间站研究支撑条件

本指南研究的可能用到(但不限于)的支撑条件包括生命生态实验柜、生物技术实验柜、舱外空间生物学辐射暴露装置、科学手套箱与低温存储柜、变重力科学实验柜等，具体详询各指南联系人。

四、重点资助研究内容

本指南重点资助（但不限于）开展以下研究。

（一）空间环境生物分子自主装聚合反应及手性选择研究

（1）基本有机分子单元在空间环境及宇宙尘埃、矿物表面等作用下的组装反应及辐射保护机制；氨基酸成肽反应与核苷的互作关系及密码子的化学起源；辐射暴露引起的生命物质分子的化学响应机制。

（2）不同手性有机小分子组装过程的手性选择放大效应；原位手性识别及拆分新技术、新方法；生命物质分子原位快速分析、鉴定的新方法。

（二）矿物表面对生命有机分子的聚合催化、手性选择及辐射保护作用的微重力响应

探索微重力等空间极端环境下，宇宙中常见矿物可能对生命分子的聚合、保护及手性选择所产生的调控作用及机制。重点研究：

（1）空间矿物对多肽、核酸的聚合反应及保护作用的影响。

（2）空间环境下矿物对生命分子手性选择的调控作用。

（三）空间环境下生物分子自组装演变为原始细胞的潜在机制

系统研究空间环境下不同生物大分子在水溶液或矿物界面的吸附、催

化等作用下自发形成不同形态原始细胞的条件和过程。重点研究:

（1）在电场、辐照等能量作用下原始细胞的形成过程，以及发生融合、分裂、进化等类生命过程的机制。

（2）原始细胞在演化过程中对不同手性生物分子的选择机制。

（3）微重力和辐射在无生命物质到生命转化过程中发挥的作用。

（四）空间环境下微生物胞内生物分子的形成和稳态调控

认识空间环境下微生物生物分子形成过程与调控机制。重点研究:

（1）多聚磷酸盐在耐辐射奇球菌等极端环境微生物核酸、多肽等生物大分子形成中的作用。

（2）多聚磷酸盐对极端环境微生物胞内核酸、蛋白质稳态的调控作用和机制。

二、空间微重力物理领域

在微重力环境下，地面重力所掩盖的次级效应将会凸显，影响或改变流体运动规律、传热传质过程、燃烧现象及机制、材料生长机理及制备工艺等，能够发现新现象、新机理，掌握新技术，指导地面相关产业创新发展。同时，宏观物体、原子分子等微观粒子受重力约束被极大减弱，能够在更高精度上开展基础物理的检验和验证，有望发现新规律。

微重力流体与热物理聚焦表面力主导的流动，湍流与颗粒的相互作用，复杂流体与软物质非平衡态，多相流动与传热等，促进流体管理、特殊功能软物质等地面与航天技术的创新发展。

微重力燃烧科学聚焦燃烧现象、过程和新规律，服务于燃烧基础理论研究、先进航空动力系统提升和航天器防火应用等，惠及地面高效低碳燃烧、节能减排，服务国家“双碳”战略。

空间材料科学围绕金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料、半导体材料及生物医学材料等，聚焦材料加工成形原理、相变过程规律研究，制备地面难以制备的新材料，推动关键材料自主可控，满足我国高技术及高端制造发展需求。

微重力基础物理利用空间大尺度的等独特优势开展量子模拟、等效原理检验、广义相对论效应、超轻暗物质探测等当代重大基础前沿科学问题研究，酝酿着重大科学突破，能够推动空间精密测量技术和应用等重要方向发展。

指南 9：微重力流体动力学及其应用研究

微重力流体动力学主要聚焦微重力（或低重力）条件下宏观尺度连续介质流体运动行为。通过研究表面力主导的流体转捩、湍流普适性机制等问题，发展相关理论和模型。微重力流体物理及动力学研究与航天器（热）流体管理、推进剂高效供给、生保系统维持和空间材料制备，以及晶体生长过程、薄膜制备工艺等密切相关，对地面工业生产中的流体（溶体）过程和热质输运有重要应用价值。

一、研究目标

探索微重力条件下表面力主导与常重力环境中体积力主导的流体运动的差异性，研究流体界面动力学及条件耦合机制、流动不稳定性及诱导机理、转捩途径及混沌动力学机制，在湍流转捩及相关的核心科学问题取得标志性成果。探索流体在微（变）重力条件下的运动行为、惯性颗粒在湍流场中的分布、聚集与运动行为；研究微重力条件下气泡成核、生长和脱离机制；探索新型改性表面动态润湿性和输运特性，以及外加物理场的影响；发展空间及地面应用中流体的高效输运与控制管理提供新途径和新方法。

二、关键科学问题

（1）微重力环境液体重定位过程及界面控制，包括动态接触线、固液浸润特性及耦合构型、g 跳（包括航天器机动、变重力等情况）诱发重力效应机理，外物理场调控与界面张力驱动、以及液体输运与控制等。

（2）界面张力梯度驱动流（热毛细、浓度毛细等作用）及耦合模型的失稳规律和转捩与分岔途径，流动模态非线性竞争的空间演化，混沌动力学机制。

（3）表面张力驱动的液滴（气泡）迁移动力学及主动控制，气泡在

材料表面的成核、生长和脱离过程与机制，液滴群相互作用以及外场耦合机制，微重力条件下湍流流场中惯性颗粒的运动学统计特性及动力学机理。

（4）微重力条件下流体多组分、多机制扩散过程的非平衡现象和扩散调控方法。

三、空间站研究支撑条件

本指南研究的可能用到(但不限于)的支撑条件包括流体物理实验柜、科学手套箱与低温存储柜、变重力科学实验柜等，具体详询各指南联系人。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）开展以下研究。

（一）复杂流体界面调控及润湿性

研究微重力条件下液体界面效应主导的流体特征形貌和输运，时空相分布及静/动态稳定性等空间复杂流动过程及调控技术，新型改性表面动态润湿性及其影响，发展表面改性技术。重点研究:

（1）不同表面特性材料关联的液体气液界面动力学控制机制，构型与固液浸润特性耦合下的流体稳定性及输运特性。

（2）振动及变重力诱发复杂流体界面不稳定现象、重力效应、气液分离、液膜破碎等，外加物理场对流体界面形态影响及稳定性控制。

（二）热对流失稳机制及转捩

认识空间自然对流与地面浮力热对流体积力作用的本质差异，开展微重力环境中液体界面张力梯度作用驱动流动过程及失稳研究。重点研究:

（1）界面张力梯度驱动流动的非线性过程，在不同物理模型下的对流稳定性与转捩特征及关联性; 基于人工智能的机器学习与转捩预测与控制。

（2）界面诱导热对流的新型分岔转捩途径与时空演化规律及混沌动力学机制；超临界状态下的流动结构竞争机制与斑图演化规律。

（3）空间热对流的湍流特征；空间各向同性条件下球形流体动力学模型和行星湍流的多尺度结构。

（三）微重力条件下流场中颗粒和液滴的动力学特性

理解液滴(气泡)迁移动力学和湍流中惯性颗粒运动规律。重点研究:

（1）强非线性液滴、气泡迁移与主动控制，内外流场与界面及物理场耦合的相互关联机制，多相多液滴或液滴群迁移行为以及相互作用规律。

（2）主被动颗粒在湍流场中的分散、聚集、碰撞的统计特性和集团迁移行为，及其随流场参数的变化规律及关系，与标量场的耦合作用规律。

（3）流场、液滴及颗粒相互耦合作用的综合可视化再现技术及关联性解析。

（四）多组份流体扩散演化规律与调控方法研究

针对微重力条件下多组分流体扩散现象等。重点研究:

（1）多组分流体扩散的规律以及在多物理场中的耦合作用机制。

（2）多组分扩散过程关键物理量的精准测量及非平衡演化机理与调控方法。

指南 10：微重力复杂流体与软物质研究

软物质（复杂流体），泛指处于固体和理想流体之间的复杂凝聚态物质，典型特征是基元间存在弱相互作用，受到微小扰动后，会产生结构上大的变化，涌现出新奇的有序结构或相态。在空间微重力条件下深入研究软物质体系中新结构、动力学过程及物理、化学或生物学特性变化，揭示非平衡系统的科学本质与规律，解决地面难以深入的基础性科学问题，促进先进材料、智能制造、柔性制造、特殊功能流体等前沿技术发展，催生颠覆性技术，并推动其在地面及空间探索中的应用。

一、研究目标

聚焦软物质中相互作用与自组织、非平衡形态和动力学等基本问题，利用空间微重力环境发现受地面重力干扰难于揭示的软物质新结构、新现象和新机制；探究微重力下非牛顿流体的动力学形态、宏观性能与微观结构的联系，形成空间环境下非牛顿流体性能的精准调控技术途径；揭示微重力环境下多组分扩散与晶体新机制，获得地面难于形成的新晶体结构；发展空间复杂流体粒子操控与测量新技术，调控软物质组分或粒子间相互作用的非平衡状态，发现复杂系统动态交互作用导致系综和突变现象的机理。

二、关键科学问题

（1）（微）重力环境对胶体、超分子、功能流体、活性粒子、生物流体等软物质的非平衡形态、动力学行为、相变及性能等的影响及内在机制；颗粒物质系统在低有效应力状态下的流变特性，及颗粒统一流变模型。

（2）微重力下非牛顿流体的微观结构、流变行为和传递过程特性及三者之间内在关联的规律，空间环境下非牛顿流体宏观性能精准高效调控的物理机制。

（3）微重力下多组分体系浓度、热扩散过程及多因素耦合作用下的结晶动力学及缺陷形成机理。

（4）微重力下软物质表面力主导的微观、介观结构的无序与涨落对宏观现象影响机理；软物质非平衡复杂系统斑图、自组织现象产生的内在规律及其边界效应。

三、空间站研究支撑条件

本指南研究的可能用到(但不限于)的支撑条件包括流体物理实验柜、科学手套箱与低温存储柜、变重力科学实验柜等，具体详询各指南联系人。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）开展以下研究。

（一）微重力下软物质非平衡动力学

系统研究空间环境下软物质非平衡动力学过程，聚焦活性物质、胶体、液晶、颗粒物质以及高分子、超分子等软物质在微重力下的共性和特异性问题，复杂界面演化规律与润湿行为，活性物质自驱效应及非平衡动力学现象。重点研究:

（1）非活性物质自组织动力学，如空间环境对胶体系统的结晶、相分离、玻璃化等相变行为和扩散、弛豫等动力学行为的影响机制等。

（2）活性物质非平衡动力学，如活性胶体粒子固有的自推进机制和粒子间的非平衡相互作用、自组装及相变行为，活性物质的集群动力学、均匀活性胶体溶液的流变行为等。

（3）超分子、高分子物质的组装和非平衡动力学，包括分子结构、分子间各种非共价相互作用在微重力下的演变，及对软物质特性和功能的影响。

（4）颗粒物质非平衡动力学，包括颗粒物质流变、相变问题及三维活性颗粒统计行为等。

（二）微重力下非牛顿流体流变特性与分子调控

聚焦空间环境下非牛顿流体微观结构演化动力学。重点研究:

（1）分子组成与微观结构及其演化动力学过程与机理研究。

（2）空间环境下表界面力对流变特性的影响。

（3）空间流变特性的分子调控机制与方法。

（三）空间先进软物质技术与应用

聚焦大分子、软物质领域空间实验技术及先进智能制造技术，开展手性分子、蛋白质结晶及软物质实验新技术研究，支持空间智能制造、空间生物及制药技术发展。

（1）先进材料与应用技术：利用软物质的晶体生长、手性分子、大（高）分子及蛋白质结晶等先进空间材料技术。

（2）空间智能制造技术：利用软物质的空间 3D 打印微观调控、印刷、微流控等先进技术。

（3）空间生物、医药技术应用：利用软物质的空间生物、医药技术等先进技术。

指南 11：多相流与相变传热及其空间应用研究

空间多相流动与相变传热是伴随人类航天活动产生和发展起来的交叉学科，涉及与重力相关的多相流动与热质传递过程基本规律，与航天器流体管理、热管理技术、载人航天环境控制与生命保障技术等密切相关，具有重要科学意义和工程价值。利用我国空间站深入开展多相流动与传热现象的基本特征与规律研究，揭示重力作用机制，发展多相热流体动力学理论模型，推动学科自身发展，促进相关航天技术的创新，服务我国后续大型航天工程以及地面相关技术应用水平的提升。

一、研究目标

揭示微重力条件下多相流体流动与传热基本规律及其重力变化的影响机制；重点研究微重力和其他重力条件下蒸发与冷凝复杂界面现象与传热强化机制、沸腾与凝结传热、气液两相流动与热质输运、空间在轨流体管理等，发展完善微重力与其他重力条件下多相流动与传热系统失稳抑制策略方法，提出应用原型系统概念和方案并开展实验验证；探索低温流体在微(变)重力条件下的热质传输特殊规律，指导航天工程相关技术研发。

二、关键科学与技术问题

（1）蒸发与冷凝相变界面热质传输耦合规律与强化机制，气液相作用模式及其热动力学机理，表面微纳结构、润湿特性等对沸腾、冷凝传热的调控作用及其机理。

（2）空间两相流体回路与热流体系统失稳机制及重力影响机理。

（3）多物理场作用下两相流体流动与传热过程中动力学及热力学特征及其沿程演化规律、热质传输规律与传热强化机制；电化学反应多相流动特征及其电性能影响机制；界面效应对多孔介质内传热传质的影响机制等。

（4）微-变重力下推进剂流体自由界面流动与输运稳定性、相变热质输运耦合机制、温度分层机理及气液分离规律与调控机制。

三、空间站研究支撑条件

本指南研究的可能用到(但不限于)的支撑条件包括两相系统实验柜、流体物理实验柜、变重力科学实验柜等，具体详询各指南联系人。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）开展以下研究。

（一）蒸发冷凝界面现象及传热

揭示具有热质传输交换的两相流体界面现象及其相变传热的基本规律，发展多尺度气-液界面流动与相变传热耦合作用模型。重点研究:

（1）不同重力、不同体系相变界面气液相互作用模式及气液两相流动与传热机理，空间蒸发气相扩散特殊规律以及对相变传热过程的影响。

（2）空间蒸发与冷凝相变强化机制，空间液体形貌、特殊表面结构等对（蒸发与冷凝）相变界面与传热规律的影响机制及其相关新技术等。

（3）微重力主、被动式沸腾与冷凝传热强化机制与方法，核态沸腾传热的重力效应及其重力标度规律。

（二）空间应用两相回路系统与传热

研究回路系统传热效能、稳定参数、失稳机制及重力对系统稳定性的影响机理,探索不同重力环境中多相流动与传热系统失稳抑制策略与方法,发展新型两相回路系统技术。重点研究:

（1）面向各种空间应用需求，研究气液两相（或单相强化）换热体系，研究工质特性、流型及其演化等特征参数变化规律和效能。

（2）两相绝热流动、流动沸腾或流动凝结过程中的局部稳定性特征及演化规律、失稳抑制机制与方法。

（3）针对空间应用通用热设备（如空间热管等）在微重力至变重力

环境中的高性能热管理方法与先进技术应用验证。

（三）多物理场耦合两相系统热质输运

揭示不同重力条件下和多物理场作用下两相流体流动与传热过程中流动特征及其演化规律。重点研究:

（1）空间外加场（电、磁、声波、振动等）效应对相变界面过程影响规律研究；微重力或不同重力条件下耦合电化学反应气液两相流动特性。

（2）不同工质、材料及表面结构等对空间两相流动、传热强化与相变界面热质传输过程的影响机制。

（3）相变储能系统基体材料与结构、相变材料物性、导热增强剂及重力等对两相系统传热特性的影响规律等。

（四）空间流体管理与模拟低温工质流动与传热

利用常温模拟工质，探索微、变重力条件下空间流体与低温推进剂两相流动、相变传热、热质耦合传输特殊机理。重点研究:

（1）空间流体与低温推进剂流体模拟工质的两相界面运动与失稳特殊规律与调控方法。

（2）低温流体蒸发与冷凝相变过热（冷）度、相变模式及速率、气-液界面热力学非平衡效应的模拟研究。

（3）空间微重力与漏热影响下的推进剂流体温度分层等特殊现象；多孔介质输运特性模拟，被动热管理技术模拟实验研究等。

指南 12：近可燃极限和基础燃烧研究

先进燃烧技术的发展在很大程度上取决于对点火、火焰传播、多火焰相互作用以及火焰稳定、熄火等基础燃烧过程的深入研究和充分认识。例如，先进发动机燃烧技术的发展趋势之一是将燃烧工况推向临近可燃极限，从而提高发动机性能，促进节能减排。我国空间站燃烧科学实验柜提供了在有限密闭空间开展长时间微重力燃烧实验的条件，有利于研究近可燃极限燃烧过程和点火、火焰传播、火焰稳定、熄火等基础燃烧过程，揭示其中的物理化学机制，发展燃烧基础理论，同时为发展未来天地能源与动力系统中的先进燃烧技术提供科学依据。

一、研究目标

面向天地各类能源和动力推进系统以及其他重要燃烧过程中的近可燃极限和基础燃烧现象，开展空间微重力燃烧实验，解耦重力场对火焰和燃烧过程的影响，揭示近可燃极限预混燃气的燃烧特性，多作用场对火焰的影响规律与调控机制等，深入理解能源、动力系统及相关领域中的基础燃烧过程，发展基础燃烧新理论和新技术，解决高效低碳燃烧、节能减排、动力系统性能提升等关键问题。

二、关键科学问题

（1）近可燃极限预混燃气的燃烧特性，化学反应、输运以及辐射换热在近可燃极限层流燃烧过程中的耦合作用机理。

（2）层流预混、部分预混及扩散火焰的点火、传播/驻定、熄火规律与机理。

（3）层流火焰向湍流火焰转捩机制及其火焰结构演变规律；层流和弱强度湍流燃烧中流动与燃烧相互作用机理及定量预测模型。

（4）多火焰相互作用机制、火焰结构形态及动力学行为演变规律；

火焰融合机理及预测模型。

（5）电场、磁场、等离子体、声场等作用场对火焰的影响规律与调控机制。

三、空间站研究支撑条件

本指南可能用到（但不限于）的支撑条件包括燃烧科学实验柜、在轨维修装调支持平台实验柜等，具体详询各指南联系人。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）开展以下研究。

（一）近可燃极限燃烧研究

研究不同燃料近可燃极限燃烧特性，揭示化学反应与输运过程对近可燃极限燃烧的耦合作用机制，发展近可燃极限燃烧新理论，聚焦研究解决具有重大应用背景问题或解决国家重点工程中关键科学问题。重点研究：

（1）常规碳氢燃料或经验证无毒或腐蚀性的燃料在近可燃极限条件下的预混燃烧特性，热辐射、燃料与稀释气体输运特性等因素对近可燃极限点火、火焰稳定、火焰传播、熄火等过程的影响规律与机制。

（2）不同流动条件、不同点火方式下近可燃极限预混燃气中点火核的形成与演变规律；近可燃极限临界点火条件与火焰传播的定量预测模型；近可燃极限条件下火焰球的形成与演变规律等。

（二）微重力层流和湍流燃烧机理研究

研究预混、非预混以及部分预混火焰，揭示不同燃料的输运特性、燃氧混合比例等对火焰结构和动力学特性的影响规律，探索弱湍流燃烧过程中多尺度湍流结构与火焰相互作用的内在规律，发展层流与湍流燃烧新理论和新模型。重点研究：

（1）不同单组分和多组分燃料的点火、火焰传播或驻定、火焰不稳定性及熄火特性；层流非预混和部分预混火焰的驻定、抬升及吹熄机理；

热辐射与火焰的耦合作用；稀释气体和阻燃气体对临界点火与熄火条件的影响；低温冷火焰的发展和演化规律；复杂层流火焰结构及其受边界的影响等。

（2）弱湍流或弱旋流火焰结构特征和演化规律，分层火焰结构和稳定机理，火焰与涡的相互作用机制，低速湍流扩散火焰的结构和稳定机理等。

（3）射流火焰从层流向湍流转捩的机制和火焰结构演变规律，层流火焰向湍流火焰转捩的临界条件及定量预测模型；重力对多尺度弱湍流火焰结构和瞬态响应特性的影响规律等。

（4）多射流火焰间相互作用与火焰融合机理，火焰间空气卷吸限制和热反馈增强作用下的动力学规律，多火焰相互作用导致的层流/湍流转捩增速现象的机制等。

（三）多场耦合与新概念燃烧研究

通过微重力场突显电场、电磁场、等离子体、声场等（不限于）作用场对火焰的影响规律与调控机制，发展新概念燃烧技术。重点研究：

（1）电场/电磁场对火焰的影响与调控机制，等离子体助燃机理与燃烧调控方法，声场对火焰结构的影响机理。

（2）多场耦合对火焰和燃烧中间产物的影响规律研究，多场耦合燃烧理论和数值模拟与诊断技术，多能互补的空间动力研究，催化燃烧机理和模型等。

指南 13：微重力下材料着火特性和防护研究

航天器火灾事故严重威胁载人空间探索活动的安全。为预防航天器火灾的发生，需要掌握航天器材料，特别是非金属固体材料在空间特定环境中的可燃特性，进而建立材料火灾安全评价和材料选用的方法。火灾应对措施需要考虑并适应微重力条件下火灾燃烧的特点，夯实载人航天器火灾探测和灭火技术的科学基础。面向载人航天器舱内的防火安全需求，研究微重力条件下材料着火燃烧的本质特征和机理，掌握微重力下火灾防护和安全的科学规律，获得火灾燃烧动力学和火灾防护机理的创新成果，为我国载人航天工程长远发展提供坚实保障。

一、研究目标

针对微重力条件下材料燃烧行为和特性开展多层次多影响因素研究，获得对火灾燃烧动力学机制、环境因素影响机理的系统认识，在此基础上取得载人航天器材料防火性能评价和材料筛选的实质性突破，丰富载人航天器材料防火特性基础数据；开展微重力下火灾防护问题研究，认识微重力环境中火灾的信号特征、烟气输运规律和火灾探测机理，研究不同灭火剂和灭火方法的效能与机理、产物消减方法，为评估现有火灾探测器、设计新一代高可靠探测器提供基础，为灭火剂选择、灭火系统设计等提供依据。

二、关键科学与应用问题

（1）微重力下固体材料着火、火蔓延和燃烧产物生成的燃烧动力学机制，材料着火、火蔓延和可燃极限的理论和模型。

（2）固体材料阴燃及阴燃向明火转化机理、临界条件与判据。

（3)航天器材料可燃性表征、阻燃机制及防火性能评价原理和方法。

（4）火灾信号的典型特征及重力条件影响规律，典型材料火灾燃烧

的烟气产物特性，静止和低速强迫对流条件下火灾烟气产物的输运规律。

（5）灭火剂、火焰和可燃物表面之间的相互作用过程和灭火机理，新型灭火方法对火焰行为的影响及抑制机理，火灾烟气消减的机理和方法，灭火剂和灭火方法效能评估与使用策略。

三、空间站研究支撑条件

本指南可能用到（但不限于）的支撑条件包括燃烧科学实验柜、在轨维修装调支持平台实验柜等，具体详询各指南联系人。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）开展以下研究。

（一）微重力下固体材料燃烧行为与评价研究

研究固体材料着火燃烧过程及演化规律，揭示环境条件的影响规律和作用机理，发展微重力下多因素耦合的材料着火、火蔓延和可燃极限理论。重点研究：

（1）气流速度、氧气浓度和压力等环境条件对材料着火和火蔓延特征的影响规律，材料着火及火焰特性的预测模型，火蔓延和火焰熄灭理论，材料可燃性的常、微重力差异表征及防火性能评价原理。

（2）环境因素和材料特性对固体材料阴燃及其向明火转化的影响机制，阴燃点火、火蔓延、熄火和向明火转变的临界条件与判据，微重力阴燃火灾动力学理论等。

（3）不同阻燃机制材料的着火机理和燃烧行为，阻燃材料燃烧过程中的热解和火蔓延演变规律，微重力环境下材料的阻燃作用机制，航天器材料阻燃设计思路和方法。

（二）微重力下火灾信号特征及探测研究

研究微重力环境中火灾的早期信号特征与时空演化规律，提供航天器火灾探测技术的科学基础。重点研究：

（1）航天器典型材料和元器部件着火早期可探测因素及其分布规律，烟颗粒分形凝并、形貌特征、粒径的时空演化与增长特征，火灾烟气产物特征及输运特性。

（2）常重力和微重力下烟颗粒、典型气体产物等火灾早期特性参数的差异与表征，基于烟颗粒光电散射、气体产物识别的航天器火灾探测原理、参数优化与布置方法。

（三）微重力下灭火机理及烟气消减研究

研究微重力环境中灭火及火灾烟气消减机理，提供航天器火灾应对技术的科学基础。重点研究:

（1）灭火剂对火灾发展过程的物理与化学抑制机理，灭火剂参数与火焰临界熄灭特性之间的定量关系，新型清洁高效灭火剂和火灾抑制措施的作用规律，灭火效能评估方法。

（2）火灾烟气物理和化学消减的机理，火灾应对和灾后清除的清洁高效消减方法和技术路线。

指南 14：重要应用燃烧机理及转化研究

本指南主要面向与天地能源及空天推进动力相关的燃烧应用技术，包括了燃烧过程中多相耦合以及污染物生成等复杂问题，通过空间微重力实验开展相应的机理和潜在技术转化研究。我国空间站燃烧科学实验柜提供了在有限密闭空间开展长时间微重力燃烧实验的条件，有利于实现稳定可控的基础燃烧实验，加深对基础燃烧过程的认识，拓展空间燃烧科学研究的深度和广度，为地面高效清洁低碳燃烧、空天推进动力系统性能提升、燃烧材料制备等应用和技术转化提供支撑。

一、研究目标

针对燃烧重要应用技术中的基础物理和化学现象，开展相关机理研究，包括传统和新型液体燃料燃烧基础特性及物理-化学耦合动力学本质、固体燃料燃烧和气化过程的相关机理、燃烧过程中典型污染物的生成机理和火焰合成功能性材料颗粒机理和调控方法等，深入理解能源、动力系统和相关领域燃烧的重要机理，推动我国在清洁燃烧、节能减排、空天推进动力燃烧技术、火焰合成材料等方面的技术进步。

二、关键科学和应用问题

（1）液态燃料雾化点火极限及初始火核形成、联焰和释热宏观特性，燃料液滴的碰撞、蒸发、燃烧基础特性。

（2）固体动力和含能燃料的着火燃烧特性和改性机理。

（3）燃料燃烧中污染物的生成机理，包括氮氧化物和碳烟等燃烧污染物生成的关键过程和调控方法。

（4）流动环境中前驱体液滴燃烧生成纳米或微米颗粒的过程，常/微重力作用下液滴的燃烧动力学特性和功能性纳米颗粒合成的优化调控。

三、空间站研究支撑条件

本指南可能用到（但不限于）的支撑条件包括燃烧科学实验柜、在轨维修装调支持平台实验柜等，具体详询各指南联系人。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）开展以下研究。

（一）雾化、液滴及液滴群燃烧特性及模化研究

针对先进发动机的碳氢液态燃料及单元推进剂燃烧过程机理和效率提升。重点研究:

（1）喷雾不同液滴索特平均粒径条件下的雾化点火极限及初始火核形成、联焰和释热宏观特性研究;喷雾燃烧中的液滴或液滴群的微观研究，建立燃料液滴的碰撞、蒸发、燃烧特性参数数据库。

（2）一维球或二维轴对称液滴动力学及燃烧理论，面向地空雾化应用的液滴和液滴群子模型开发；可控二次液滴分布特性的雾化方法构建。

（二）固体动力燃料和含能燃料的燃烧特性研究

针对典型固体动力燃料（如煤颗粒）和含能燃料（如镁、铝等金属燃料）的微重力下燃烧特性。重点研究:

（1）典型固体燃料的着火燃烧基本特性，反应物组分、压力和颗粒升温速度等关键参数对燃烧过程的影响规律。

（2）固体动力燃料的高效、清洁低碳燃烧，含能燃料的改性机理。

（三）超低污染燃烧应用基础研究

以降低燃料燃烧过程中所产生的碳烟和氮氧化物等对燃烧效率、环境和人类健康有显著影响的污染物为目标。重点研究:

（1）燃料燃烧中污染物的生成机理，探寻氮氧化物和碳烟等污染物生成的关键过程和调控方法,燃烧源颗粒物(含碳烟)的生成和演化规律。

（2）微重力条件对典型污染物分布及颗粒的成核、表面生长和碰撞聚并等的影响机制;污染物形成机理、调控方法和生成的理论模型的完善，

推动超低污染燃烧技术发展。

（四）微重力功能性材料火焰合成

针对理想流动环境中燃烧生成功能性材料颗粒的过程。重点研究:

（1）常/微重力作用下液滴的燃烧动力学特性对比，并通过对液滴组分和燃烧条件的优化，实现功能性纳米颗粒合成的调控。

（2）突破深空探索需求的新型催化剂和半导体等功能性纳米材料火焰合成关键技术。

指南 15：微重力下材料制备过程机理研究

微重力条件下，基于地面材料制备的对流控制、扩散机制、凝固过程和缺陷形成等机理不再适用，空间环境下还便于实现材料的无容器合成与加工，为创造热力学非平衡条件下的材料研究和准确的材料热物性测量提供了有利条件。在空间站上开展微重力条件下材料制备过程的机理研究，通过研究材料熔体结构与热物理性质，凝固过程与凝固组织优化设计方法，微观结构变化、缺陷控制与材料性能关系等，深入了解材料微观组织形成原理、相变过程规律，有望在材料制备与成形的基础研究方面取得具有世界先进水平的突破。

一、研究目标

研究空间环境下与各类材料组织结构和性能相关联的特殊物理、化学过程，如金属/合金材料的熔体结构、热物理性质、凝固过程、组织和缺陷控制，金属复合材料、大块金属玻璃等凝固过程机理和凝固组织优化设计方法等。解决材料微观结构与缺陷控制等关键科学问题，丰富和发展材料科学基础理论。

二、关键科学问题

（1）过冷、形核与生长过程，包括过冷液体的物理性质，亚稳相形成及其动力学，深过冷与非平衡凝固等。

（2）晶体生长的界面稳定性与缺陷形成，包括晶体生长的界面特性、生长形态演化、缺陷形成等。

（3）相分离与聚集行为，包括相界面的结构与性质，分离相的运动与相互作用，相分离体系组织结构，相界面、相分离、相聚集及相关动力学效应等。

（4）高温熔体的物理性质，包括过冷亚稳态高温熔体的热物理性质

测量；扩散系数的测量及其与流动效应的解耦等。

三、空间站研究支撑条件

本指南可能用到（但不限于）的支撑条件包括高温材料科学实验柜、无容器材料实验柜、变重力科学实验柜等，具体详询各指南联系人。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）开展以下研究。

（一）高性能金属材料空间凝固制备过程研究

开展重要金属材料，包括航空航天以及装备制造等产业所需重要金属/合金/复合材料的凝固机理研究，揭示空间条件对材料组织与性能的影响规律。重点研究：

（1）揭示多晶、单晶合金组织形成机理、缺陷形成机理，丰富和发展凝固理论，探索各影响因素间的相互作用。

（2）溶质元素扩散系数，多溶质分布规律。

（3）快速生长动力学模型；凝固组织的主动控制；金属材料性能提升相关的新方法与技术。

（二）高熵材料的空间制备及凝固机理研究

开展高熵材料在空间环境下的凝固制备及微观结构研究，获得高性能材料，揭示凝固机制和相选择规律。重点研究：

（1）空间环境对高熵材料凝固行为和微观组织结构（如元素偏析和短程有序等）的影响规律，阐明微观组织结构形成机理。

（2）空间环境对高熵材料的熔体热物理性质、深过冷状态、形核过程、枝晶生长动力学、元素分布、相选择等的影响规律。

（三）熔体玻璃转变过程的微观结构演变及机理研究

开展空间环境下玻璃凝固过程液-液相变研究，揭示玻璃化转变机制。重点研究：

（1）空间环境下金属和非金属及其过冷液相动态结构不均匀性的物理起源以及析晶、团簇结构和液-液相变，力学性能与动态结构不均匀性的本征关联及其机理。

（2）熔体和过冷熔体的动力学参数和结构参数，金属和非金属过冷态液体的本征性质以及玻璃转变的微观物理机制，高性能玻璃材料开发。

（四）难混溶合金凝固组织形成机理及控制方法

研究空间环境下难混溶合金凝固过程、凝固组织及其对合金性能的影响。重点研究:

（1）难混溶合金的凝固行为，凝固组织形成机理及调控机制。

（2）空间环境对液-液和液-固相变过程的作用机理，难混溶合金凝固理论的丰富与完善。

（3）空间环境凝固形成的组织形态与使役性能之间的内在关系，主动调控凝固组织形态的新方法和新途径。

（4）空间材料科学与天文学交叉与类比研究。

（五）熔体热物理性质测量与研究

认识材料合成相关的热物理性质变化规律。重点研究:

（1）高温平衡态与过冷态熔体密度、粘度、表面张力、比热、表面热辐射性质、原子扩散输运性质等参数测量；熔体物性数据库的研究建立。

（2）熔体热物理性质在空间环境下的演化规律，熔体热物理性质预测模型的建立和验证。

（3）熔体物性与熔体结构间的相互作用关系，熔体物性对凝固过程、形核生长等的影响及应用。

指南 16：重要应用新材料和制备技术研究

空间环境下材料制备能够克服重力沉降导致的分布不均、浮力对流引起的晶体缺陷、静压梯度导致的液面畸变等问题，是新材料制备极为重要的突破途径之一。本指南以地面环境难以制备生长，但性能优异、具有重要应用价值的各种高性能材料为研究对象，通过在微重力下研究材料制备过程及调控机理，深入了解材料加工成形原理，开发新型材料制备技术，研究和制备面向国家重大战略需求和具有重要应用背景的新型材料，争取实现批量性成果转化和推广应用，在科技、经济、社会、民生等方面产生重大效益。

一、研究目标

面向国家重大战略需求材料，如高质量半导体材料、高性能功能晶体、高温合金、新型生物医用材料等，研究其在空间环境下的凝固-生长-烧结机理，空间环境-结构-性能的关系，阐明材料组织结构、性能及其演化规律。探索空间条件下的材料制备新方法。形成重要应用成果，为地面大规模高性能材料制备和性能优化提供重要的科学依据。

二、关键科学与技术问题

（1）空间环境下材料制备合成的物理化学方法和过程；重力、表面/界面张力、扩散、热传输等因素对材料合成制备过程的影响。

（2）高质量半导体材料、特殊结构材料和功能材料、新型纳米材料及复合材料等先进材料的空间制备工艺、性能表征及材料性能优化方法。

三、空间站研究支撑条件

本指南可能用到（但不限于）的支撑条件包括高温材料科学实验柜、无容器材料实验柜、变重力科学实验柜等，具体详询各指南联系人。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）开展以下研究。

（一）微重力条件下功能晶体生长与机理

研究各类有应用价值的功能晶体生长及缺陷形成过程，制备出结构更均匀、性能更优的晶体材料，推动地面制备工艺改进。重点研究:

（1）空间环境对晶体成核、生长、缺陷、性能的影响机制，晶体生长和性能调控的方法。

（2）空间环境下生长高质量半导体晶体、闪烁晶体和激光与非线性晶体等功能晶体的关键技术，指导改进晶体生长传统工艺和技术。

（二）高温超导材料的空间制备与特性研究

开展空间环境下高温超导体制备过程及制备技术研究。重点研究:

（1）空间环境对超导材料制备过程的影响机理，新型高温超导材料空间制备技术。

（2）提高超导性能，获得高纯度、大尺寸高温超导材料。

（三）先进金属材料的空间制备和性能研究

探索空间环境下先进金属材料超常制备，解决缺陷控制和结构性能优化等关键问题。重点研究:

（1）合金凝固组织与缺陷控制技术、非平衡凝固新材料、金属基复合材料制备新方法。

（2）服务于航空航天航海、高端制造、能源交通等国家重大需求领域的高性能金属材料开发与制备。

（四）功能梯度材料的空间制备与应用

研究空间环境对非均质、多性能功能梯度材料组成控制、结构形成和性能提升的作用。重点研究:

（1）功能梯度材料的组分与结构设计，复杂结构功能梯度材料的设计方法。

（2）功能梯度材料的空间制备技术（高温合成、增材制造等），空间功能梯度材料成形关键技术。

（五）多孔金属材料的空间制备技术及孔结构形成机制

研究微重力空间环境对多孔金属材料的制备技术，孔结构形成机制及其对多孔材料性能的影响。重点研究：

（1）微重力空间环境对多孔金属熔体的凝固、相变、孔结构形成等过程的影响规律与机制；微重力条件对熔体的形核、生长、溶质富集等过程的影响规律与机制，多孔材料不同体系及其制备工艺参数优化。

（2）不同孔径尺度、不同构型的多孔材料制备，反应合成等新方法，形成相关制备理论与新制备技术。

（六）高性能功能陶瓷材料的关键制备技术与机理

研究空间环境下功能陶瓷材料的制备方法和技术，烧结过程的微结构形成机理等。重点研究：

（1）陶瓷液相烧结及微结构控制机理，不同成分陶瓷熔体过热和过冷状态的热物性数据精确测定，熔体成分、过冷度和氧分压等对陶瓷亚稳相形成过程的影响规律等。

（2）成分高度均匀、高致密度、具有优异性能的功能陶瓷材料制备。

（七）生物纳米材料的构建及应用

利用空间环境研究生物医用微纳材料的合成制备过程，阐明其空间成核和生长机理。重点研究：

（1）空间环境对生物纳米材料组成、结构、形态、表面的调控作用，微纳材料制备理论及生物材料的设计理论丰富和完善。

（2）空间微重力条件下微纳材料制备新方法和新技术，具有高性价比、高质量的新结构和功能性生物纳米材料研发。

指南 17：空间应用材料使役行为研究

近地轨道原子氧、空间辐射、高真空及冷热交变效应可导致暴露在空间环境的材料产生氧化、侵蚀和开裂，从而造成航天器/部件防护材料、热控材料等发生严重的结构、热学或光学劣化。目前的地面加速试验无法重现材料在真实太空环境中的失效过程。空间站舱外暴露平台具备在轨监测、样品回收等条件，支持开展多种空间应用新材料的服役性能研究，认识空间环境下材料使役行为和使役性能的特殊规律，为航天工程和空间应用先进材料的设计和研发提供科学依据，具有重要的科学意义和应用价值。

一、研究目标

面向材料在空间环境下的性能演化及失效机理等科学与应用问题，评估各种空间应用材料和新材料在空间环境下的形态、组织结构变化，掌握空间环境下材料使役性能演化规律，为空间应用新材料开发使用提供科学依据和实验验证。

二、关键科学与应用问题

（1）材料在空间原子氧剥蚀、强紫外照射、高能粒子等辐照、极端冷热交变、超高真空环境下的组织结构演变和使役行为。

（2）材料对空间服役环境的物理、化学、光谱、表面响应特性。包括空间润滑材料、自修复材料、涂层保护材料等的空间使役性能等。

三、空间站研究支撑条件

本指南主要利用材料舱外暴露实验装置，具体详询各指南联系人。

材料舱外暴露实验装置支持在舱外原子氧、紫外照射、高真空、宇宙辐射、高低温交变等环境暴露实验中开展材料损伤、使役行为和性能变化研究。装置安装在朝天 III 象限，包括静态实验区和动态实验区两种分区，支持多类和多尺寸样品安装。静态实验区可将实验样品单独或分别安装在

迎风暴露面（空间站飞行方向）和背风暴露面（前进方向的反方向），开展独立实验和比对实验，具备对样品形貌及变化的巡回细观观察能力。动态实验区具备供电和测控支持能力，可用于有限数量的带有活动部件和需要供电的材料实验，开展润滑、摩擦材料和摩擦学实验、光电材料的性能标定和变化特性实验等。

装置通过机械臂进出实验舱，回收完成暴露实验的样品和单元，安装新的实验样品和单元，同时成批开展多项暴露实验。样品一般需要返回地面进行进一步分析研究。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）开展以下研究。

（一）材料微结构演化及对使役性能影响及机制研究

针对在空间暴露环境下使用的航天工程和空间应用新材料，如高分子材料（航天服材料、舱外电缆光缆包覆材料等）、树脂基复合材料、润滑材料、热控材料（涂层和包覆材料等）、空间应用膜系镀层材料、功能涂覆材料、太阳电池等光电材料及保护材料等，开展空间暴露实验。重点研究：

（1）材料在空间环境下的微结构演化及其性能变化和损伤效应与机理；航天应用材料基础数据库的建立。

（2）材料服役性能及相关功能提高的新理论和新方法，地面空间环境因素模拟试验指导，制备工艺改进与使役性能提升等。

（二）空间暴露环境下功能材料在轨动态性能评估

针对空间机构在暴露环境下的应用需求，开展相关材料的动态性能研究。重点研究：

（1）空间暴露环境下润滑材料、记忆合金等多种材料服役行为的演变规律。

（2）功能材料在轨服役行为与空间环境的耦合作用与失效机理。

指南 18：空间冷原子物理及应用研究

以玻色-爱因斯坦凝聚（BEC）为代表的超冷原子物理是近三十年来蓬勃兴起的一个科学领域，超冷原子系统所展现的独特量子波动性、宏观量子相干性以及人工可调控性为原子分子物理、低温与凝聚态物理、光学等领域的研究提供了独特的工作平台，逐步发展出以量子模拟、量子精密测量为代表的新的前沿研究方向。利用我国空间站超冷原子实验柜和其他实验条件，开展超冷原子物理实验，探索极端低温条件下的新奇量子现象和物理规律，研究基于冷原子的精密测量的原理和新方法，推动空间量子科技的发展。

一、研究目标

利用微重力环境优势，探索新的冷却方法，获得 10~100 pK（1 pK = 10^{-12} K）超低温，开展微重力条件下的超冷原子物理实验，如超低温量子物态、拓扑量子态、玻色量子气体深度简并、复杂系统动力学量子相变、相干物质波输出等系列实验; 发展基于超低温的精密物理测量新原理和方法，探索新的对称性破缺理论、微弱力测量、暗物质探测等问题，并推动空间高精度超冷原子干涉仪等量子传感器的原理突破和技术进步。

二、关键科学问题

（1）超低温区（10~100pK 量级）玻色量子简并气体的制备、探测和分析方法。

（2）超低温量子物态探索和量子模拟研究，包括拓扑量子态、光晶格动力学量子相变、光晶格高能带操控、相干物质波、量子统计物理、量子计算等。

（3）超低温量子精密测量相关新机理、新技术与应用。

三、空间站研究支撑条件

本指南可能用到（但不限于）的支撑条件包括超冷原子物理实验柜、高微重力实验柜等，具体详询各指南联系人。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）开展以下研究。

（一）微重力条件下的玻色爱因斯坦凝聚研究

开展在微重力下进入 10~100pK 量级超低温区的新方法探索，进行超低温新奇量子现象及相关物理研究。重点研究:

（1）光晶格中新型关联量子相、高激发能带量子相及其相变；光晶格动力学量子相变。

（2）光晶格中的新型量子物态、拓扑量子相变、强相互作用性质等，测量对应的整数或分数化反常漂移、多体关联函数。

（3）低维量子物态的量子临界行为、非厄米现象、标度率变化、以及超越平均场描述的强关联表现。

（4）多自旋分量凝聚体的量子模拟研究，如制备手征量子物态，揭示手征诱导自旋极化的微观物理机制。

（5）获得 pK~fK（$1fK = 10^{-15}K$）量级量子气体冷却新机制研究。

（6）微重力条件下原子激光与物质波输出。

（7）适用于超冷柜实验的物理问题理论研究。

（二）空间超低温量子精密测量和基本物理定律检验

开展可能的精密测量新方法、新技术探索研究与应用。重点研究:

（1）空间高精度物质波干涉仪技术探索，包括基于光晶格的新型重力仪的物理机制研究; 研究物质波的相干性在传播和被导引时的演化现象。

（2）发展基于原子的量子力传感技术。利用光晶格超冷原子布洛赫振荡等新方法，对极微弱的电磁矢量力进行高精度测量。

（3）引力环境下退相干物理和实验方案的研究。

指南 19：高精度时频与相关基础物理研究

高精度时频与相关基础物理研究是空间基础物理的重要方向之一。利用空间站高精度时频系统以及原子干涉量子传感器等精密测量方法，组合成为高精度时空测量网，开展基本物理常数精密测量、引力理论检验、暗物质暗能量等基础物理科学研究。高精度时频与相关基础物理研究将推动空间高精度时频技术和惯性测量技术的广泛应用，突破更高精度的时频产生、传递技术，支撑空间科学研究和深空探测，带动物理学、时频科学、地球科学等多学科交叉融合，具有重要的科学和战略意义。

一、研究目标

利用空间高精度时频系统以及原子干涉精密测量技术开展等效原理高精度检验、基本对称性破缺理论检验、基本物理常数和引力红移等高精度测量、暗物质探测等基础物理研究；发展相对论重力位、重力位梯度等测定新方法，拓展空间高精度时频系统以及惯性测量系统在授时服务、大地测量、深空导航方面的应用。推动我国基础物理研究、PNT 系统关键技术等领域的发展。

二、关键科学与应用问题

（1）广义相对论相关理论的高精度检验，现有引力理论模型的检验，量子力学基本原理检验。

（2）精细结构常数等基本物理常数及其随时间变化的高精度测量。

（3）电荷-宇称-时间（CPT）破缺、洛伦兹破缺的实验检验。

（4）暗物质探测原理、方案与技术。

（5）时频重力位测量新方法研究。

（6）天基高精度时频资源在授时服务、大地测量、新一代全球定位系统、深空导航定位等领域的拓展应用。

三、空间站研究支撑条件

本指南可能用到（但不限于）的支撑条件包括高精度时频系统、高微重力实验柜等，具体详询各指南联系人。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）开展以下研究。

（一）引力物理与相对论理论检验

利用高精度时频系统以及空间冷原子干涉仪，发展空-地高性能原子钟比对方法和其他精密物理测量技术。重点研究:

（1）等效原理检验，包括弱等效原理、局域洛伦兹不变性、局域位置不变性的检验，探索检验等效原理的新方法等。

（2）引力红移实验检验；精细结构常数随时间变化检验。

（3）发展高精度原子干涉测量技术，在高微重力条件下开展等效原理的量子检验。

（4)寻找在普朗克尺度下可能存在的CPT破缺、洛伦兹对称性破缺，进行标准模型校验。

（5）开展暗物质探测、暗能量理论的验证，寻找新的相互作用力。

（6）发展新的精密测量技术，检验引力 AB 效应，进行引力常数 G 的精密测量。

（二）高精度时频系统应用研究（空地结合实验）

开拓高精度时频系统在导航定位、大地测量、近地空间环境探测等领域的应用。重点研究:

（1）天基高精度时频系统在全球定位系统和授时、深空导航定位等领域的应用。

（2）探索高精度时频系统在大地测量中的应用，如研究高精度测定重力位的新方法及关键技术，检验大地水准面和重力等势面的关系，测量

时钟的潮汐效应等。

（3）探索高精度时频传递在大气物理和电磁波传播等领域中的应用。

（三）高精度原子干涉仪应用研究

开拓高精度原子干涉仪在惯性测量、地球重力场测量、深空导航定位和基础物理研究等领域的应用。重点研究:

（1）空间高精度冷原子干涉仪在空间惯性测量以及导航定位中的应用，如无拖曳控制、自主导航定位等。

（2）空间高精度冷原子重力梯度仪在地球物理中的应用，如地球重力场测量与时变重力场测绘及相关技术。

指南 20：复杂等离子体物理研究

复杂（尘埃）等离子体是由低温等离子体与介观固体颗粒组成的复杂系统，广泛存在于宇宙空间和实验室的各种等离子体过程中，是等离子体物理、凝聚态与流体物理、统计物理、天体物理、材料科学、非线性科学等多学科的交叉研究领域。复杂等离子体具有颗粒可见、运动可视、集体效应显著、相互作用可调等优势，是典型的强耦合、弱阻尼、多状态复杂物质系统，可以在宏观、可视条件下研究物质在颗粒尺度上的微观结构与动理学过程，是揭示关键物理过程的天然“物理模拟器”，在航天工程等国家重大战略需求方面也有重要应用。

一、研究目标

开展三维复杂等离子体非平衡结晶与融化中结构与动力学关联、非晶的形成条件及弛豫行为、强耦合流体中的动量能量输运及层流湍流性质、超临界区问题等相行为研究；探索异形颗粒、活性颗粒与等离子体耦合相互作用，研究颗粒自组织与不稳定性产生机理；揭示非线性非平衡准稳态三维复杂等离子体的统计物理规律，并对现有非平衡态统计物理理论进行检验。

二、关键科学与应用问题

（1）三维复杂等离子体的产生与约束方法，等离子体放电调制与颗粒三维诊断技术、各类不稳定性机理与控制手段。

（2）强耦合复杂等离子体的非平衡统计物理规律，熵产生及与之对应的涨落定理检验。

（3）三维复杂等离子体的非平衡结晶路径与格波特性、非晶的低频标度行为、微观流变到 Navier-Stokes 方程描述的宏观流的差异与过渡、气液相变存在性等相行为及机理。

（4）微重力条件下尘埃凝结生长、三维尘埃等离子体电磁特性及在空间科学与航天工程中的拓展应用。

三、空间站研究支撑条件

本指南主要利用微重力复杂等离子体实验平台，该平台支持微重力三维复杂等离子体物理实验观测与机理研究。

系统组成：由等离子体产生系统、真空与供气系统、颗粒注射与调控系统、观察诊断系统、控制与信息系统组成。射频信号驱动实现 Ar/Ne 等离子体调制放电与颗粒约束；6 台电磁颗粒注射器支持同时加注不同种类（材料、形状、表面修饰）介观固体微颗粒；综合诊断系统包含辉光相机、光谱仪、高速相机、立体相机阵列、全景相机，可以获得等离子体特征频率的辉光空间分布与定点的完整光谱，记录颗粒局域三维位置信息与高速二维运动信息，并具备断面扫描功能；3 束高强度激光结合振镜系统实现动态光学调控功能。

四、重点资助研究内容

本指南重点资助（但不限于）开展以下研究。

（一）三维复杂等离子体产生、调控与统计规律研究

探索不同条件下强耦合复杂等离子体的基本性质与统计规律。重点研究：

（1）脉冲调制射频、裁剪波形等电学方式调控三维复杂等离子体性质，自组织行为诱发与不稳定性控制。

（2）标准球形颗粒、异形颗粒、活性颗粒与等离子体相互作用，颗粒的个体与集体运动特性。

（3）微重力复杂等离子体液体状态下的各种输运系数、固体状态的不同力学参数等一系列内禀宏观物理性质随系统参数的变化规律，结合系统颗粒三维运动的实验诊断，给出上述宏观物理性质在单颗粒层面的微观

物理机制。

（4）微重力复杂等离子体中的非平衡统计物理规律，基于对复杂等离子体在微重力环境中不同物理过程的颗粒运动观测数据分析，验证稳态、暂态涨落定理等非平衡统计物理规律。

（二）三维复杂等离子体相行为研究

探索微重力条件下三维复杂等离子体的相行为。重点研究:

（1）非平衡晶体生长路径，等离子体晶格中的三维结构与动力学关联，格波的色散关系，融化的多重物理机制，多层级介观团簇与复杂网络，边界效应与拓扑缺陷特性等。

（2）激光调制下稳定颗粒流系统的黏度、热导等输运特性及三维流场下的层流、湍流的物理性质，波动的非线性特性，双分散体系中的混合与相分离现象与机理。

（3）多分散复杂等离子体的结晶抑制方法，非晶的低频振动标度行为，Beta 弛豫过程等。

（4）研究微重力复杂等离子体的超临界流体性质，探索其类气液转变的物理性质和统计规律，通过有效的实验诊断手段，进行微重力实验验证。

（5）系统复杂流变效应对应的基础物理机制，包括系统表现出的黏弹性、固体状态下系统弹性、液体状态下系统截止波矢等一系列宏观现象的微观物理根源。

（三）复杂等离子体空间应用研究

利用微重力条件拓展复杂等离子体的应用领域。重点研究:

（1）微重力条件下复杂等离子体的长时演化，尘埃颗粒的凝结生长以及刻蚀工艺中的颗粒杂质问题等。

（2）研究复杂等离子体环境的电磁特征，以及与材料/器件/功能部件

相互作用。

三、空间天文与地球科学领域

空间天文开启了全波段天文观测的新时代，为天文学的发展带来了前所未有的繁荣，是人类研究天体和揭示宇宙自然规律的重大飞跃。空间天文研究内容涵盖当代天体物理学的主要方面，包括恒星形成与演化、星系和宇宙学、粒子天体物理、高能天体物理、系外行星，以及与天文紧密相关的基本物理重大科学问题，酝酿着新的重大科学认知突破，至今已经产出多项诺贝尔奖。

空间地球科学是以空间观测为主要手段，对地球整体行为进行研究的综合交叉学科，主要研究地球系统各圈层（大气圈、水圈、岩石圈、生物圈，扩展到地球电离层、磁层和日地空间）及圈层间相互作用和演变过程，将加深地球系统及其变化规律的认识，对陆地海洋生态、资源勘查，农林产业、环境保护、国土规划、灾害和污染监测，城市管理等与经济社会发展密切相关的重大问题，具有重要意义。

地球空间也包括中高层大气、电离层和磁层，既是地球系统的有机组成部分，又是日地耦合过程的重要环节，受太阳活动和宇宙辐射的强烈影响，等离子体与磁场电场作用复杂，存在宇宙尘和微流星等特殊条件，因此开展地球空间环境（包括空间天气）的研究和预报对保障包括载人航天器在内的空间资产安全具有重要意义。

指南 21：空间天文与地球科学

空间站为开展空间天文和地球科学观测研究提供了独特优势。一是冲破了地球大气层对宇宙射线、X 射线、伽马射线以及紫外等谱段的吸收屏障，克服了大气扰动等影响，为深入理解各种天体物理过程提供了高精度和全波段观测的优势条件；二是空间站位于“日-地空间因果体系链”、电离层峰值密度区域，并穿越南大西洋磁异常区，为理解近地空间环境关键科学问题提供了难得的机遇，三是空间站轨道交点地方时在不断变化，可实现对同一地区可变光照条件下的观测以及持续的观测。通过充分发挥空间站长期运行、有人参维护与等一般卫星无法比拟的独特优势，部署具有强大国际竞争力和创新性的重点项目，取得原创性成果，为学科发展和国家需求做出重大贡献。

一、研究目标

本指南主要支持空间天文与天体物理、空间物理与空间环境、空间地球科学等领域方向的科学载荷研制与科学研究，重视聚焦国际前沿科学问题，鼓励新型观测技术的发展和应用，不做重复性布局。空间天文主要围绕“一黑两暗三起源”，即黑洞、暗物质、暗能量、宇宙起源、天体起源、宇宙生命起源以及相关天文学和天体物理学重大科学问题；空间物理与空间环境主要围绕近地空间环境的探测研究及空间天气预报等；空间地球科学主要围绕地球系统、全球变化、多圈层耦合以及“双碳”战略等相关科学研究。

二、空间站研究支撑条件

本指南项目实施需要研制安装在舱外的独立载荷并开展相应的观测研究。空间站舱外独立载荷通过机械臂安装于舱外暴露平台或载荷挂点上，采用适配器进行机械连接，并提供机械、电源、信息、热控接口，满足不

同功率、不同散热和信息管理的需求，必要时可以通过机械臂收回舱内进行维护，或通过航天员出舱活动进行维修或更换，舱外暴露平台及载荷挂点等支持能力具体详询各指南联系人。此外，载荷的安装运行还需要进一步考虑到空间环境变化和舱外周边环境的约束，包括视场遮挡、安装干涉、太阳光照、冷热交变、污染物、振动等具体因素的影响，需要在项目建议中提出明确的考虑和需求，在后续论证中进一步细化确定。

四、空间新技术与应用领域

空间技术是探索、开发和利用太空以及地球以外天体的综合性工程技术。中国航天面向世界科技前沿和国家重大战略需求，以航天重大工程为牵引，加快关键核心技术攻关和应用，大力发展空间技术与系统，开展航天科技相关储备型技术与装备、航天器跨代技术与装备在轨试验，解决制约空间技术高水平发展的一系列前沿技术问题，实现航天技术的自主可控和持续提升，全面提升进出、探索、利用和治理空间的能力，推动航天可持续发展，有力支撑航天强国建设，促进我国经济发展、推动社会进步。

面向世界空间应用技术快速发展的挑战，聚焦我国空间应用技术等多方面的发展需求，一方面需满足在轨服务、核心部组件、先进技术产品、信息服务等功能性试验验证需求，为未来载人深空探索做技术储备；另一方面利用空间环境在原理性、机理性、规律性方面取得突破，促进提出更多的新概念、新思想、新方案，推动解决重要空间应用高水平发展的瓶颈问题，同时将新发现应用于地面相关技术的提升，在夯实空间应用基础技术的同时，引领带动空间应用的创新发展。

指南 22：元器件与组件空间效应机理研究

空间电子元器件和组件是所有航天器以及空间科学和应用有效载荷的重要技术基础，也是其质量与可靠性的重要保障。随着我国航天事业的发展，高性能、低功耗、智能化芯片和新型空间电子元器件、组件在工艺、结构、材料等方面不断发展，需要开展空间实验和在轨验证，进一步深化空间相关效应机理研究，完善评估方法。开展国产高性能、复杂、新型电子元器件和传感器等的空间效应机理研究及在轨验证，探索发现空间复杂环境下元器件与组件的新现象、新原理、新机理等，指导电子元器件与组件在原理、工艺、性能等方面的改进与提升，推动新型高性能空间元器件和组件研发，提高元器件与部组件在空间应用的可靠性与实用化，实现重要和新型高性能元器件和组件自主可控。

一、研究目标

在真实飞行条件下，开展基于元器件与组件空间效应机理研究及在轨验证，定量获取元器件与组件的工作参数和在轨特性数据，通过与地面验证数据结合进行综合分析，评估元器件与组件的在轨应用效能，进而指导高性能空间应用元器件及组件的设计、研发与应用。

二、关键科学与技术问题

（1）元组件空间辐射等效应规律与机理、元组件功能错误或失效模式与机理，以及相关数理模型研究等。

（2）新型（新原理、新材料、新结构、新工艺、新产品、新应用和先进封装等）元器件与组件的空间使役性能、辐射效应等机理与验证等。

（3）空间辐射等效应加固防护方法和有效性验证等。

（4）空间真实辐射环境与地面加速器束流等效应试验结果比对，产生差异的机理和地面效应试验条件优化等。

三、空间站研究支撑条件

本指南主要利用元器件与组件舱外通用试验装置，具体详询各指南联系人。主要相关条件与参数指标如下。

（一）暴露装置安装位置

问天实验舱外 III 象限，对天安装。

（二）试验种类

暴露试验：标准暴露试验单元：4 个，可组合使用；

非暴露试验：标准非暴露试验单元：48 个，可组合使用。

（三）实验支持和检测能力

（1）试验单元（EU）数量级分布

表 1 试验单元（EU）数量及分布

<table>
<tr><th>类型</th><th>数量</th><th>试验区分布</th></tr>
<tr><td>IEUI</td><td rowspan="3">总计 48 个标准非暴露试验单元（IEUI），IEUIII 相当于 3 个 IEUI，空间环境检测单元（SEMU）占用 3 个</td><td rowspan="3">I~VI 区各 12 个</td></tr>
<tr><td>IEUII</td></tr>
<tr><td>IEUIII</td></tr>
<tr><td>OEUI</td><td>2 个标准暴露试验单元</td><td rowspan="2">V 区</td></tr>
<tr><td>OEUII</td><td>2 个标准暴露试验单元</td></tr>
</table>

（2）试验单元（EU）指标

表 2 试验单元（EU）参数及指标

类型	重量	尺寸	功耗
IEUI	≤1kg	275×202×26.5mm	≤5.8W
IEUII	≤1.5kg	275×202×53.5mm	≤11.6W
IEUIII	≤2kg	275×202×80.5mm	≤17.4W
OEUI	≤2kg	267×100×160mm	≤10W
OEUII	≤4kg	250×200×160mm	≤20W

（3）试验单元外部接口支持

表 3 试验单元外部接口支持

类型	接口情况
供电	（1）每个 EU1 路; （2）IEU ： +28V（试验 I 区），±12V（试验 II、III、IV 区）; （3）OEU: +28V
OC 指令	每个 EU 2 路
模拟量	每个 EU 2 路
测温通道	共计 6 个
信息接口	（1）CAN 总线接口、LVDS 接口和以太网接口可选; （2）CAN 总线：1 路，双冗余 CAN 总线（500Kbps，支持 52 个端），I-V 每个试验区两路; （3））LVDS：10 路双冗余 LVDS 数据线，传输速率为 32Mbps，I-V 每个试验区两路; （4）以太网：1 路百兆以太网总线，仅试验 I 区可用。

（4）空间环境监测单位（SEMU）指标

硅等效 LET 谱探测范围: 0.001MeV/(mg/cm^2)~100 MeV/(mg/cm^2); LET 谱定标精度优于 15%; 重离子定位精度 0.5mm。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）开展以下研究。

（一）新型元器件与组件在轨辐射效应规律与机理研究

面向国家战略需求和技术发展，开展新理论、新材料、新结构、新工艺、新产品、新应用和先进封装等的元器件与组件在轨辐射效应规律与机理研究，开展加固技术的空间实验验证。面向新理论（如量子阱、低温载流子输运等）、新材料（如 SiC、Ga_2O_3、铁电半导体、二维硫化物等）、新结构（FinFET、UTB-FDSOI、碳纳米管和二维晶体管结构等）、新工艺（高 K、应变、铁电薄膜生长、界面缺陷钝化等），以及先进封装（如系统级封装（SiP）等新封装方式，倒装（FlipChip）、凸块（Bumping）、晶圆级封装（Wafer level package）和 3D 封装（TSV）等先进封装技术），依托模式

样品元器件开展天地比对测试试验，研究新型元器件空间效应表征状态、揭示物理机理以及相互耦合问题。

（二）国产新研或 COTS 元器件与组件飞行验证与评价

针对国产新研或商业货架（COTS）元组件开展飞行验证及分析，尽早发现产品设计、制造缺陷和质量隐患问题，促进国产新研或 COTS 元组件在型号工程中推广应用。如国产新研大功率电源模块、智能处理器，以及 COTS 存储器等。

（三）空间辐射等效应天地比对及数理模型研究

针对空间辐射等效应，开展天地比对等效性综合评价及评估，完善地面综合辐射效应模拟试验方法和相关数理模型。如多物理场耦合效应机理天地比对、建模方法及其标准研究等。

指南23：空间信息与精密测量新技术研究

空间探索与利用一方面需要发展多样化精密测量新技术，对表征空间信息的各类基本物理参数开展高精度测量，确保定点定量定时获取信息，另一方面需要利用空间通信网络，实现信息处理、计算分析及高效传输。依托空间站长期在轨、稳定运行、承载量大等优势，构建面向近地、地月空间、火星及深远太阳系探索的精密测量新技术研究体系，是推动我国空间科技创新发展的一个重要途径。

一、研究目标

利用空间站的微重力、有人维护、远离地面环境干扰等优势条件，面向空间电磁场、时间和空间、惯性和微重力等各类基本物理参数，开展精密测量新技术研究，提升空间信息获取、处理与传输能力，推动空间探测、光谱分析、授时导航、惯性测量等空间科学与应用的发展和进步。

二、关键技术问题

（1）实现空间宽频段暗弱信号监测的电磁场精密测量新技术。

（2）提升地外有机物光谱分析能力的高时间和高光谱分辨率原位测量新技术。

（3）增强空间时频传递及近地以远空间飞行器导航性能的激光/微波精密测量新技术。

（4）实现超高精度微重力测量的新型惯性传感技术。

（5）空间通信网络、信息处理及计算架构新技术。

三、空间站研究支撑条件

本指南可能用到（但不限于）的支撑条件包括高微重力实验柜、高精度时频实验柜等。如果已有条件不能满足需求，可参考舱内标准载荷单元SPU、标准抽屉单元SDU以及舱外独立载荷的资源要求和接口尺寸约束，

提出个性化研制方案，具体详询各指南联系人。

四、重点资助研究内容

本指南重点资助（但不限于）开展以下研究。

（一）空间电磁场精密测量和宽频段暗物质信号探测

开展电磁场精密测量和宽频段暗物质信号探测新技术研究，验证其在空间站内部及空间环境中的应用能力。重点研究:

（1）里德堡原子的电场测量技术，实现多频段微波信号接收及宽频段频谱信号监测。

（2）攻关小型化、高精度的磁场测量新技术，支持空间站内部磁场以及行星复杂磁场研究。

（3）研究空间暗物质信号探测技术，研究宽频段的暗物质与电场、磁场相互作用的测量技术。

（二）地外有机物高时间和高光谱分辨率探测技术

针对生物暴露试验中样品及挥发有机物的演化规律，开展空间环境下有机物高时间分辨率、高光谱分辨率探测技术研究，验证其在空间站及地外有机物探测能力。重点研究:

（1）新型高稳定、高通量、高光谱分辨率、高时间分辨率光谱探测技术研究，实现有机物在轨高灵敏度检测。

（2）研发空间辐照条件下高性能光谱测量仪器，实现不同条件下有机物质光谱信息测量分析。

（三）高精度时频传递、时空测量及空间飞行器精密定轨新技术

利用空间站空间原子钟组高精度时频信号、舱内高微重力环境及舱外试验平台等资源条件，研究高精度时频传递、时空测量及空间飞行器精密定轨新技术。重点研究:

（1）星地和星间激光载波高精度时频传递（频率和时间比对）新方

法，包括激光产生和控制、光电探测、时频测量、稳定光链路连接等关键配套技术，日时间比对稳定度优于 50fs。

（2）地球（或月球）重力梯度测量、空间引力波探测、微弱引力测量、等效原理检验等高精度时空测量的新方法和新技术，相应的技术指标或可行性应优于已有方案。

（3）远距离激光/微波高精度测距、测速、测角，以及弱光或弱微波信号捕获和跟踪的新方法和新技术，提升地月空间及深空飞行器测定轨精度，相应的技术指标应优于已有方案。

（四）空间微重力与惯性传感新技术

研制不同带宽及动态范围的高精度微重力测量仪器，研究新型惯性传感技术。重点研究:

（1）高精度空间微重力和振动测量技术及其验证，发展新型微重力与微振动测量技术，实现适用于低轨大扰动航天器上的高精度微重力测量，满足低轨高精度惯性平台、全球重力场测量等应用需求。

（2）高精度惯性传感器技术验证，研究微重力环境下的新型惯性测量技术，测试在不同带宽和动态范围下的功能和性能指标。

（五）空间通信网络、信息处理与计算架构新技术

开展高性能空间通信、光学/微波一体化空间通信网络、信息处理及计算架构的相关新技术研究。重点研究:

（1）开展应用于空间站舱内或远距空间的无线光通信新原理和新方法研究，进一步提升空间通信能力。

（2）开展空间光学和微波等新型/一体化通信网络关键技术研究，提高信息处理的效能及稳定性。

（3）开展在轨云计算、边缘计算架构及系统关键技术研究，发展高性能的空间计算软硬件技术，支持空间在轨云计算平台建设。

指南 24：空间应用新技术研究

随着人类太空探索逐步走向深空，不断提升人类在地外空间的生存与活动能力是未来空间应用的核心主题之一，是人类利用空间、拓展生存边界所必需的战略性技术。本指南主要围绕在微重力等特殊空间环境下研究多种材料宏微观结构成型过程及其物理、化学规律，研究不同尺度、功能、性能的构建/部组件在空间环境下的加工成型与组装方法，掌握其控形控性方法，系统性研究从材料、工艺到制造装备的全链路问题，提升我国在轨成型技术及空间探索的相关各类新技术，为未来载人月球与火星等任务建立技术支撑。

一、研究目标

研究各类材料/加工方式/应用场景等相关需求下的空间加工成型与应用实现途径，开展耐空间环境复合材料在轨成型与组装、功能器件/特种粉末材料的空间制备与应用、材料在轨循环与再利用、智能材料在轨利用与成型、长寿命小型化高能束流制造装置与应用等研究及关键技术验证，形成在轨成型技术的重要理论与技术成果，为支持空间站应用与发展、载人月球及深空探测任务等空间制造的定制化服务发展奠定技术基础。

二、关键科学与技术问题

（1）揭示空间环境下材料在熔化、相变、流动及凝固等成形过程中的新现象、新规律，研究空间环境下材料在制造过程中的组分输运、流变特性、熔凝行为及形性调控等问题。

（2）研制适应微重力、宽温度交变、高真空等空间特殊环境条件的太空制造装备，满足材料成型过程中对温度、压力、运动范围与精度等要求。

（3）探索面向空间大型有效载荷在轨建造的结构设计新方法、耐空

间环境新材料、原位制造与组装新技术等。

三、空间站研究支撑条件

本指南可能用到（但不限于）的支撑条件包括在线维修装调支持平台等。如果已有条件不能满足需求，可参考舱内标准载荷单元 SPU、标准抽屉单元 SDU 以及舱外独立载荷的资源要求和接口尺寸约束，提出个性化研制方案，具体详询各指南联系人。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）开展以下研究。

（一）耐空间环境复合材料在轨成型与组装

开展耐空间环境增材制造用复合材料制备、成型技术研究，阐明空间环境复合材料成型机理。重点研究:

（1）耐原子氧、紫外辐照复合材料的制备、增材制造技术，阐明空间极端环境（微重力、热真空）对复合材料增材制造成型过程、结构、缺陷、性能的影响机制。

（2）空间复合材料增材制造新方法和新技术，高比强度、耐空间辐照的复合材料结构件的制备技术，极端环境复合材料结构件的服役性能评价方法。

（二）功能器件的空间制造与应用

研究空间环境下原位制造天线单元、电子电路、传感器等功能器件的材料、工艺与制造装备。重点研究:

（1）多材料功能结构的高精度复合制造工艺，研制智能化、模块化装备。

（2）异质材料在制造过程中的形位精度匹配问题、界面问题。

（三）基于特种粉末材料的空间制造与应用

研究高分子、金属、陶瓷等的特种粉末类型材料在空间环境下的成型

工艺与制造装备。重点研究:

（1）粉末类型材料在微重力/低重力环境下的操控方法。

（2）适用于微重力/低重力环境的粉末类型材料控形、致密化方法。

（四）材料循环与再利用技术

探索空间站内材料、空间飞行器材料的回收和再利用技术，为空间探索提供材料来源。重点研究:

（1）微重力环境下的碳纤维复合材料、金属/陶瓷材料、高分子材料的低功耗回收新方法。

（2）空间环境回收粉末材料成型关键技术，微重力对成型过程的影响规律与机制，形成相关制备理论与新成型技术。

（五）智能材料在轨利用与成型技术

开展太空环境下智能材料的制备技术、损伤机理研究，探索智能材料在空间探索任务中应用。重点研究:

（1）空间增材制造用自变形、自感知、自修复智能材料的制备、机理及实现机制，阐明材料组分-增材制造工艺-性能映射规律。

（2）智能材料的太空环境服役性能及损伤失效机理，空间环境下服役的自变形、自感知、自修复的新型智能材料开发。

（六）长寿命小型化高能束流制造装置与应用

聚焦微重力环境下高能束流制造与加工技术，以及金属材料在成型过程中融化、蒸发和凝固等状态下的性能变化机理。重点研究:

（1）研制适用于空间环境的高可靠、低功耗、紧凑型高能束流制造与加工装置。

（2）揭示微重力环境下高能束流制造与加工的基本行为规律，探究金属材料在熔融沉积过程中熔池的熔凝行为特征。

指南 25：在轨制造与建造技术

在轨制造与建造技术主要面向未来载人深空探测与在轨服务任务需求，对大型空间设施在轨组装与建造、在轨增材制造与先进加工制造以及原位资源利用等技术进行先期验证。结合空间站在轨制造、维修和维护应用需求，研究空间环境条件下在轨制造、组装、检测与维修等相关共性技术问题，促进相关核心技术与产品的成熟度提升。

一、研究目标

开展空间站舱内及舱外环境的在轨制造与建造技术研究，验证适用于空间制造的材料体系、制造成型工艺、适应空间环境条件的可靠高效连接技术、精密组装技术、高精度测量及调控、表面功能和损伤检测修复技术，以及空间生物制造等技术。为在轨制造、维修和维护提供成形工艺基础，为后续多维复杂桁架在轨构建提供技术保障，为空间站功能扩展及维修维护提供技术支持，为大型空间系统在轨制造提供有效技术手段，支撑我国航天技术的快速发展。

二、关键技术问题

（1）适用于空间制造的材料/复合材料制造体系研究;

（2）空间环境下在轨制造、成型技术和工艺研究;

（3）适应空间环境条件的可靠高效连接技术研究;

（4）精密组装技术研究;

（5）高精度测量及调控、表面功能和损伤检测修复技术研究;

（6）原位制造技术;

（7）建立空间生物制造技术体系，发展高性能生物制造技术。

三、空间站研究支撑条件

本指南可通过航天基础试验机柜等舱内资源及舱外的暴露实验平台、

标准载荷接口、大型载荷挂点以及货运飞船的标准载荷试验支持平台开展在轨试验，具体支持能力详询各指南联系人。

四、重点支持研究内容

本指南重点支持（但不限于）开展以下研究。

（一）原位制造技术

针对载人航天工程货物上行减振包装泡沫多孔高分子等材料废弃后的在轨回收再利用难题，结合空间站可持续发展维修保障需求，以及未来在轨制造、地外居住设施建造等技术发展需求，验证废弃泡沫等材料在轨回收再利用技术的应用可行性，探索微重力对多孔高分子材料原位改性成丝过程的影响规律与机制，进行相关技术方案、试验装置的研究和验证，实现空间站废弃物等材料的在轨回收再利用。重点研究:

（1）开展多孔高分子、碳纤维等材料循环利用技术研究，探究空间环境下高分子等材料基于熔融挤出、分子结构原位改性、自动收卷的成丝技术，形成在轨可循环利用的材料。

（2）微重力条件下的多孔高分子材料机械粉碎、颗粒聚集、稳定输运技术研究。

（3）微重力条件下的熔体-液体-气体混合状态控制、高效气液分离技术研究。

（二）基于新材料的在轨制造技术

针对空间站在轨建造和在轨维护服务需求，突破基于空间新材料的在轨制造技术，完成在轨验证。重点研究:

（1）构建耐空间极端环境的形状记忆聚合物和连续纤维增强的热塑性聚合物复合材料体系。

（2）研究多场耦合下形状记忆聚合物复合材料的智能变形行为，突破超混杂增强的形状记忆聚合物复合材料在轨成型技术，开展形状记忆聚

合物复合材料在轨成型、赋形及检测评价一体化验证。

（3）研究纤维增强热塑性复合材料在轨连续成型及表面功能材料原位实施技术，突破面向在轨制造的涂层材料设计与制备、结构性能调控等关键技术，开展热塑性复合材料在轨成型、表面实施及检测评价一体化验证。

（三）结构损伤检测及表面修复技术

航天器结构长期在轨面临着空间辐照、高低温交变、太空碎片等特殊环境引发的结构及部分功能损伤的风险，因此，为了尽可能挽回航天器结构损伤造成的损失，满足未来航天器长寿命、轻量化的研制需求，需要开展以提升航天器在轨服役可靠性及延长寿命为目的在轨修复技术研究。重点研究:

（1）航天器材料在空间综合辐照、冷热交变等高能粒子-力-热耦合作用下性能的演变规律。

（2）研究材料微裂纹在多场耦合空间环境下的生成及演变过程。

（3）设计并研制材料损伤快速修补装置，研究微重力环境下能量源与修复材料的作用机制及修补工艺。

（四）空间承力结构在轨制造与组装技术

研究基于在轨组装和在轨制造的空间结构优化设计方法，突破空间结构的在轨原位检测与评价技术，开展高真空、微重力、高低温交变等条件对轻合金弹塑性变形和高性能树脂及其复合材料的熔融成形特性、制造装备运行特性等影响规律研究，完成构件舱外制造及功能接口延伸；研究微重力条件下较为通用高效的空间结构、部件连接技术，降低运营成本，为航天器在轨维修和建造奠定基础。本阶段重点研究:

（1）面向空间站舱外原位建造承力结构的系统优化设计和性能预示技术研究，欠资源条件下在轨制造结构的性能检测与评价技术，以及在轨

验证方法研究。

（2）空间极端环境条件下金属带材弯曲回弹特性及杆件弯压复合成形技术、高性能树脂复合材料熔融行为及其低功率高效成形技术，以及真空、高低温交变环境高效自主运行成形装置的高可靠性设计技术研究。

（3）空间承力结构高效组装方法研究，基于快速组装/原位制造的空间站舱外资源扩展及延伸技术研究。

（4）研究适应多功能应用场景的集成物理设计方法和高能效装备技术；航天器常用结构材料微重力熔池凝固形核特征及凝固结晶动力学机理；微重力条件下太空焊接电子束作用区熔池失稳与脱落分离控制机制及加工技术。

（5）复合材料结构真空大温变环境下的热熔连接面熔合行为、热影响区及其性能微观表征，真空大温变环境下能量源与连接界面的作用机制及连接工艺。

（五）空间生物制造技术

依托空间站环境，开展在轨药物的生物合成和过程调控技术试验验证，开发具有成药前景的生物活性物质，建立全新的药物开发方法。同时与地面产业链相结合，引领和带动航天技术与生物医药领域的深度融合。重点研究：

（1）搭建合成基因元件库，通过微生物在轨试验，突破微生物天然产物生物合成水平低的技术瓶颈；

（2）开发特征标记物的识别技术，对潜在天然产物的合成、代谢性能实现空间原位表征；结合地面试验验证，形成生物介导的在轨合成的系统性和可持续性的空间开发体系。

（六）空间高精度微纳制造技术

研究微重力条件下高精度微纳操纵关键技术，建立微重力条件下微纳

操纵理论模型与操控方法，并通过空间试验验证该操纵方法各项指标及能力。利用空间微重力环境下微纳粒子提供了非沉降、无重力对流的环境，发展微纳操纵技术应用。重点研究：

（1）不同尺寸在轨微纳粒子微纳操纵方法基本原理及理论模型；新型高分辨率大幅面微纳操纵可视化平台；微重力微纳操纵反馈控制策略与软件。

（2）在轨微纳粒子高均一性合成技术；在轨生物标志物连续分离技术；在轨微纳粒子聚集组装技术。

指南 26：机器人与自主系统技术

机器人与自主系统技术主要面向未来在轨建造大型空间设施、舱外复杂环境下精细化操作、在轨可更换设备照料与维修、空间废弃物清除与主动离轨等任务需求，提升应对复杂空间任务的能力，加速推进更完备的空间体系设施建设。主要开展空间先进操作与协同智能系统技术研究和试验，包括舱内外作业智能机器人、大型舱外设施离轨与清除操作等系统在轨试验。

一、研究目标

结合空间站对机器人系统的需求，开展面向空间站智能作业的机器人与自主系统研究，在充分考虑机器人的空间环境适应性、可实现性、可拓展性的基础上，解决机器人智能作业的系统设计技术、智能化/精细化操作技术、关键部件工程化等问题，提供机器人先进技术在轨验证平台，开展智能作业机器人系统的舱内外作业关键技术验证、综合飞行试验及其它新技术验证。

二、关键技术问题

（1）面向任务的机器人系统多维度优化设计方法

从空间站资源、系统能力、健壮性等多个方面进行设计和优化，建立机器人系统设计评价方法，提出满足需求的机器人系统优化方案，设计机器人系统空间应用场景、在轨使用策略及地面验证方案，确保机器人系统设计合理、验证充分、高度可靠。

（2）约束资源下机器人智能化、精细化操作技术研究

面向机器人在轨建造、维护、维修等任务，开展作业机器人大范围移动、精细操作、自主操作、协同操作、人机交互等关键技术的研究，特别是在约束空间资源条件下，开展机器人系统中涉及的硬件、平台、算法、

策略等研究与验证。

（3）机器人关键部件和技术工程化研究

以满足空间环境适应性为目标，开展机器人关键部件和技术工程化研究，主要包括：以轻量化、集成化、高可靠为目标的执行部件设计与实现；以高精度、低耦合为目标的多源感知传感部件设计与实现；以高性能、高实时为目标的计算部件设计与实现。

三、空间站研究支撑条件

本指南可通过航天基础试验机柜等舱内资源及舱外的暴露实验平台、标准载荷接口、大型载荷挂点以及货运飞船的标准载荷试验支持平台开展在轨试验，具体支持能力详询各指南联系人。

四、重点支持研究内容

本阶段将重点支持（但不限于）开展以下研究。

（一）面向在轨作业的智能机器人技术试验验证

开展面向在轨作业的智能机器人技术研究，完成适应空间环境的机器人系统设计，研制具备空间站舱内作业能力的机器人，在开展舱内作业的同时可实现对舱外作业机器人技术的在轨验证，开展面向舱内、舱外作业任务需求的关键技术在轨试验与验证，支撑未来智能机器人在轨作业，重点研究：

（1）智能机器人系统设计技术。面向任务需求，从空间环境适应性以及系统的操作性、灵活性、健壮性、可靠性等方面进行分析，完成机器人系统设计与优化。

（2）人机交互、协同作业技术。面向航天员在轨需求，实现与航天员的交互并可与航天员协同开展在轨任务。

（3）在轨精细操作技术。开展机器人自主规划、非合作目标识别测量与引导、多目标对象抓取、复杂条件下力位控制等技术研究及机器人系

统在轨综合验证。

（4）地面验证技术。开展机器人地面复杂过程数字化、在轨任务半物理验证、关键环节全物理验证等技术的研究。

指南 27：新型能源与推进技术

新型能源技术主要面向未来可大幅提升能量密度等性能的新一代高效电源和不依赖太阳能的新型电源，主要开展新型供电、新型储能及传能等技术在轨应用。

新型推进技术主要面向新一代高效推进技术，主要开展新型推进系统、新型推进组件、新型推进工质技术、在轨羽流形态及影响研究。

一、研究目标

（1）新型能源技术

新型能源系统研究主要涵盖发电、储能、传能、能量转换等关键要素。解决面向未来航天器使用的新型供电体系研究及工程化应用问题，开展高能量密度储能技术在空间使用研究，开展空间用无缆化电传输技术研究，进一步研究提升光伏能量转换效率，开展新型空间能量转换技术研究，拓展航天器能源系统使用场景。

（2）新型推进技术

开展空间推进贮箱等组件先进技术、新一代高效推进，以及不使用传统推进剂等特质的深空探索用新型推进技术和在轨补加技术验证，促进新型推进技术的在轨应用；开展在轨羽流监测和影响评估技术试验，指导地面羽流仿真模型修正，提升航天器设计基础技术能力。

二、关键技术问题

（1）新型供电体系在轨工作特性技术研究；

（2）高能量密度的新型储能在轨应用技术研究；

（3）高效率、高可靠无缆化电传输技术在轨工作性能研究；

（4）空间太阳能量转换特性研究；

（5）新型太阳电池片复杂空间环境性能研究；

（6）新型物质能量转换技术研究;

（7）空间推进系统先进组件在空间环境下的工作机理研究。

（8）新型推进技术在轨应用特性研究。

三、空间站研究支撑条件

本指南可通过航天基础试验机柜等舱内资源及舱外的暴露实验平台、标准载荷接口、大型载荷挂点以及货运飞船的标准载荷试验支持平台开展在轨试验，具体支持能力详询各指南联系人。

四、重点支持研究内容

本指南重点支持（但不限于）开展以下研究。

（一）新型能源系统技术

（1）新型供电技术

研究不依赖太阳能作为电能来源（如氢燃料等），通过化学等方式产生电能，以及一体化整合集成式微生物燃料电池技术，实现有机污染物-电能高效转化等物质能量转化的新型供电技术。研究 300V 以上等超高压、超大功率的新型供电技术，开展发电、储能等关键环节在空间的工作机理及特性分析验证。通过上述研究深入了解新型供电技术在空间的工作特性，并突破在航天器使用的应用技术问题。

（2）新型空间能量转换技术

研究太阳能至激光、热电转换等其他形式的空间能量转换技术，开展关键部组件空间工作特性及性能研究，掌握关键性能指标，为后续的使用奠定基础。

（3）高效能太阳电池技术

研究高效能太阳电池及其材料在轨试验应用，开展微观结构与性能分析，为后续高性能太阳电池片的应用奠定基础。

（4）新型储能技术

研究高安全性、高能量密度的新型储能技术，开展新型储能产品在轨工作特性和性能研究，以及在轨使用验证，为后续航天器的使用奠定基础。

（5）新型电传输技术

发展空间复杂环境下无缆化的电传输技术，同步开展超高压、超大功率的电能传输技术研究，掌握空间使用中电磁场分布特性，提升电能传输可靠性，满足后续航天器对电压及功率不断持续增加的需求。

（二）新型推进系统技术

（1）空间推进系统流体控制关键技术

研究微重力条件下液体蓄留稳定、定向传输及晃动抑制机理；发展非接触式剩余量高精度测量方法；研究微重力条件下气液分离控制以及在轨加注泵空化流动机理。重点研究：

1）研究微重力、表面张力、电磁力、电场力等复杂力学环境下流体传输技术和蓄留技术，探索表面张力贮箱蓄流及传输稳定影响因素和影响规律。

2）研究复杂加速度条件下液体晃动特性影响因素和影响规律，探索液体晃动抑制方法，为航天器高精度控制提供技术支撑。

3）研究微重力气液界面超声信号时频特性；探索推进剂高精度测量多元数据融合方法，建立具备高精度、快响应测量能力测量模型。

4）研究排气式推进剂加注过程、贯通式推进剂加注过程的气液分离动力学特性，气液分离器的极限分离能力，探索微重力条件下翼型空化演化机制及流体机械空化抑制机理。

（2）在轨羽流监测和影响评估技术

开展化学推进系统、电推进系统及其他高效推进技术发动机/推力器在轨羽流形态、温度、能量监测研究，开展发动机/推力器羽流影响在轨试验，积累在轨羽流数据，指导地面羽流仿真模型修正。重点研究：

1）开展推进系统发动机羽流形态、温度和沉积量、电推进等离子体密度等参数的在轨监测，获取高真空度、开放空间下的在轨羽流真实数据。

2）开展不同航天器设备、材料受羽流力、热、污染、剥蚀、等离子场等因素作用，以及耦合空间环境作用下的性能变化研究，研究发动机/推力器羽流对航天器的影响。

指南28：环控与生保系统技术

环控与生保系统技术主要面向以更长时间、更远距离载人空间探索为目的，探索研究空间飞行或地外生存环境控制与生命保障系统的关键技术问题。主要开展包括二氧化碳转换、氧气再生、食品原位速生、生活废弃物无害化降解处理与利用、空间微生物防控体系建设、抗菌防霉性能评价与材料在轨制备，以及高闭合度受控生态生保系统等核心技术试验。

一、研究目标

载人深空探测和地外生存任务具有任务时间长，以及地外生存场景多样的特性，需在目前的技术基础上发展出资源再生利用效率更高的环控生保技术，尽可能减小飞行任务环控生保资源需求量，降低任务成本，为支持后续载人深空探测、月球与火星地外生存等飞行任务奠定技术基础。

二、关键技术问题

（1）二氧化碳转化与氧气再生技术;

（2）水回收与管理技术;

（3）废物处理技术;

（4）食物再生技术;

（5）长期空间环境微生物腐蚀防护技术。

三、空间站研究支撑条件

本指南可通过航天基础试验机柜等舱内资源开展在轨试验，具体支持能力详询各指南联系人。

四、重点支持研究内容

本指南重点支持（但不限于）开展以下研究。

（一）高效二氧化碳转化与氧气再生技术

开展以地外人工光合作用技术为代表的高效二氧化碳转化和氧气制

备空间技术研究，验证空间环境下二氧化碳资源利用新路径，重点研究:

（1）高效二氧化碳转化与氧气再生，研究微重力下二氧化碳转化和氧气再生反应的能量与物质转化规律，揭示微重力环境对反应表/界面的影响，发展高氧利用率的二氧化碳转化方法，探索二氧化碳制备多类碳氢化合物方法。

（2）微重力环境下高精度流体管理，研究适用于空间环境的微型化气、液供给技术和高精度微流量控制方法，揭示系统参数对二氧化碳转化和氧气再生反应的影响。

（二）受控生态生保技术

分阶段开展植物培养模块、藻类培养模块、废物生物处理模块、废水生物处理模块和模块集成的在轨验证与应用，本阶段重点研究:

（1）植物培养生长要素高效供给技术验证

重点解决失重环境下，流体（水分）边界层加厚导致的植物与环境物质交换困难的难题。

（2）不同类植物长期迭代培养技术验证

基于不同类植物在空间的生长发育特性，研究和验证不同批次（代）植物的培养技术，涉及植物迭代培养过程中的栽培基质构成与合理配置、根部水分有效供应与测量、根部养分供应与合理施用和植物功能评价，以及不同批次（代）植物的性能和遗传特性分析与评价等技术验证。

（三）长期空间环境微生物腐蚀防护技术

开展长期空间环境下微生物的生长及与材料的相互作用及微重力环境下材料表面抗菌结构的生长机理及调控机制研究，重点研究:

（1）空间环境条件下微生物与载人航天器（材料）相互作用而产生的各种效应及规律，以及载人航天器微生物安全风险防控技术开发。

（2）通过利用载人航天器密封舱内微生物菌落特征数据库，针对密

封舱内空气、水及设备表面等介质，开发以新型快速检测技术为手段，集采样、浓度检测、菌落鉴别于一体的新型空间微生物检测系统，实现载人航天器内微生物的高灵敏度、快速检测。

（3）纳米抗菌材料在轨制备模块设计、仿生纳米抗菌结构的在轨生长机理与可控制备技术、快速杀菌机理研究以及长效自清洁性能技术研究。

指南 29：航天器共性新技术

航天器共性新技术主要注重通过空间站在轨飞行试验，揭示和把握空间环境与航天器相互作用所产生的各种效应的机理及规律，以及用于新型航天器开发或性能升级换代的相关核心技术与关键部组件的工程化和成熟度提升，突破和掌握一批航天器战略性支撑技术和前沿技术，促进关键核心技术自主可控，推动航天强国建设。

一、研究目标

开展与航天器一般共性支撑技术和前沿技术相关的新技术、新原理、新材料、新工艺、新部组件飞行试验验证，涵盖航天器用新型元器件、基础材料、工艺、精密部组件、长寿命高可靠技术、空间热管理技术、导航制导与控制技术、测控通信技术、高性能信息处理技术、空间环境效应监测与防护技术、空间计量和标定技术、空间目标识别与感知技术、在轨维修技术等航天器发展所需的共性技术。通过在轨试验，发展和掌握一批新的空间核心技术，实现航天基础技术的自主可控和持续提升。

二、关键技术问题

（1）新型元器件、原材料、工艺技术;

（2）空间机构和活动部件的长寿命高可靠技术;

（3）空间新型热管理技术;

（4）空间环境效应数据获取与空间环境防护技术;

（5）空间新型导航制导与控制、测控通信、高性能信息处理等技术;

（6）空间计量技术;

（7）新型空间目标识别与感知技术;

（8）在轨维修技术。

三、空间站研究支撑条件

本指南可通过舱内航天基础试验机柜等舱内资源及舱外的暴露实验平台、标准载荷接口、大型载荷挂点以及货运飞船的标准载荷试验支持平台开展在轨试验，具体支持能力详询各指南联系人。

四、重点支持研究内容

本指南重点支持（但不限于）开展以下研究。

（一）新型元器件、原材料、工艺技术

以积极推进航天器用元器件、原材料等战略性基础物资产品的高效高质量国产化应用转化为目标，通过分期、分批规划实施新型元器件、原材料及部组件的空间环境适应性及应用性能飞行考核验证，引导我国空间应用领域基础材料、元器件、基础机电产品“装备一代、研制一代、探索一代”体系化发展新模式。重点研究:

（1）面向空间微重力、高真空、辐照以及高低温等极端综合空间环境下新构型电机系统等运动类部组件长寿命可靠性需求，开展空间环境下高可靠长寿命电机系统动力学特性研究与验证、空间环境下新构型电机系统关键部件运行特性与老化机理研究与验证等。

（2）舱外服柔性防护材料与空间环境因素的相互作用机理及材料失效机制、柔性防护结构在空间环境中的功能演化规律、舱外服柔性防护体系寿命预测研究等。

（3）研究光敏、刚性与柔性等材料的空间抗磨损技术，以及复杂极端环境下材料快速修复技术等。

（4）开展碳纤维、光学材料、吸波材料、涂层、油脂及润滑材料等国产化材料，第二代半导体材料、纳米材料、高效热管理类材料等先进防护与感知功能材料，以及工业低成本材料的在轨验证。

（5）面向超大规模集成电路在空间辐射与真空环境下的高可靠应用需求，开展大规模、高性能、高集成微系统芯片抗辐照应用能力以及电性

能参数变化特性验证与研究，并对超高速片间互联接口的长寿命应用和先进封装工艺在空间环境下的应用进行可靠性验证。

（二）空间深低温区大冷量制冷技术

面向载人火星探测、低温存储装置等后续任务需求，同时为开拓空间远距离飞行及低温超导应用奠定基础，开展新型制冷技术的试验验证，重点研究:

（1）空间深低温区大冷量获取方法，揭示大温降小温差传热机理。

（2）突破大温跨小温差高效逆流换热相关设备研制技术。

（三）新型通信、导航与控制技术

用于支持航天器测控通信、导航制导与控制、通信组网新技术/新产品验证。面向未来载人航天的通信、导航探测、联网等有效载荷的装备改进升级，专业综合集成优化，体系整合及效能优化等技术试验和验证。重点研究:

（1）高精度基线测量技术研究，飞秒双光梳绝对距离测量技术的研究和验证等。

（2）基于物联网技术的空间站设备物资智能化感知、识别与定位方法研究。

（3）空间量子等新型通信等技术。

（四）空间计量技术

为保证长期航天任务的测量单位统一和测量准确可靠,利用空间站长期在轨条件,开展空间计量技术试验，重点研究:

（1）开展载人航天空间计量技术研究，建立空间基准、参考标准、比对标准的量值溯源阵列。

（2）开展计量器具稳定性和环境适应性考核，开展温度、流量、压力、气体成分、太阳电池等在轨综合校准技术研究。

（五）空间环境效应监测技术

研究空间综合环境要素与航天飞行器相互作用而产生的各种环境效应，揭示机理与内在规律；考核验证相应的环境防护或环境适应性新技术。重点研究：

（1）空间站电磁环境实时监测，分析其长期趋势性规律；研究在轨运行期间设备的电磁指纹特性，研究电子设备的电磁发射特性要素分析方法。

（2）研究太阳辐射环境、中性大气环境、真空环境、带电粒子辐射环境、微流星和轨道碎片环境等空间环境要素与航天器相互作用而产生的各种环境效应。

（六）空间目标探测与识别技术

开展空间合作目标与非合作目标的跟踪、测量、定位技术研究，掌握空间目标的分布、运行规律及几何特征。对空间站周边的环境进行实时监视，保证载人空间站的长期在轨安全运行。重点研究：

（1）低轨天基监测设备探测手段分析，具备对厘米级空间碎片的监测能力。

（2）大范围高速搜索与稳定跟踪技术，发展复杂背景下空间目标高可靠高精度识别技术。

（七）在轨维修技术

面向载人航天器在轨维修后续任务需求，开展在轨维修新技术试验验证，重点研究：

（1）面向板卡级、部件级的精细化维修和在轨修复技术研究及验证，进一步降低维修层级和对 ORU 在轨修复、重复利用。

（2）面向精细化维修需求，基于数字孪生和人工智能的在轨测试故障定位技术研究及验证。

（3）基于人在回路的增强现实与人工智能等技术的在轨维修实时全过程多模式交互支持技术研究和验证。