

附件 1

**空间站应用与发展工程
科学研究与应用类项目指南
(2026 年)**

中国载人航天工程办公室

二〇二六年七月

目 录

一、空间生命科学与人体研究领域	1
指南 1: 空间生物物理研究	2
指南 2: 空间生理病理及繁育研究	6
指南 3: 空间生物技术和转化研究	8
指南 4: 空间生态生物学基础研究	13
指南 5: 空间生命科学前沿探索	16
二、空间微重力物理领域	20
指南 6: 微重力流体动力学及其应用研究	21
指南 7: 微重力复杂流体与软物质研究	25
指南 8: 多相流与相变传热及其空间应用研究	28
指南 9: 近可燃极限和基础燃烧研究	31
指南 10: 微重力下材料着火特性和防护研究	34
指南 11: 重要应用燃烧机理及交叉领域研究	37
指南 12: 微重力下材料制备过程机理研究	40
指南 13: 重要应用新材料和制备技术研究	45
指南 14: 空间应用材料使役行为研究	50
指南 15: 空间冷原子物理及应用研究	54
指南 16: 复杂等离子体物理研究	56
三、空间新技术与应用领域	58
指南 17: 空间信息与精密测量新技术研究	59
指南 18: 空间应用新技术研究	62
指南 19: 在轨制造与建造技术	65
指南 20: 机器人与自主系统技术	69
指南 21: 新型推进技术	72
指南 22: 环控与生保系统技术	75
指南 23: 航天器共性新技术	78

一、空间生命科学与人体研究领域

探索浩瀚宇宙、拓展生存疆域、认知生命本质与人类自我，并最终反哺大众，是空间生命科学与人体研究领域发展的核心目标，也是进一步深化空间环境对生命影响机理认知，全面提升人类长期空间探索能力，发展先进空间生物和航天医学技术，增进人民健康福祉的重要途径，长期以来是各航天大国战略布局的关键科技高地。

空间生命科学聚焦在空间微重力、强辐射、弱磁场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。开展哺乳动物全生命周期生理适应、病理变化及繁育等的规律，以及相应的细胞分子生物学机制，能为长期载人航天以及地面人群面临的健康挑战，提供新的理论与技术指导和支撑；利用空间微重力等环境开展创新生物技术研究，能够促进其在生物医药、合成生物制造、先进微生物技术等领域的转化研究和应用开发，为人民和环境大健康服务。

指南 1：空间生物物理研究

空间生物物理是空间生命科学的基础和重要组成部分。本指南面向长期载人航天的需求，面向空间生物物理学科前沿，利用或借助空间站的条件，开展地球生物体在空间特殊物理环境（微重力、辐射、亚磁，及其复合环境）下发生的生物学特性变化，及其响应物理扰动的动态机制的研究。计划通过持续的系列化、综合性实验研究，加深对空间特殊物理环境下生命过程变化规律与响应机制的认识，为人类健康/疾病研究提供新的知识；并通过对生命过程响应空间物理变量的定量检测，加深对空间生物物理普遍规律的认识，推动空间重力生物学、生物力学、辐射生物学、亚磁生物学等学科的发展。

一、研究目标

研究生物在空间环境作用下，对特殊物理场的感知、传递、转导和响应，以及遗传漂变等相关的生物力学和重力生物学、辐射生物学、亚磁生物学等的科学问题；揭示重力、电离辐射或/和磁场对生物分子、细胞、组织器官的初级（**primary/initial**）作用，及后续级联效应过程；积累并治理相应的样本数据，形成规范定性定量评估方法，赋能生物学机制研究，发现鉴定空间特殊物理场的作用靶标、生物标志物，解析应激响应通路/网络，构建从生物分子到宏观个体的跨尺度模型。

二、关键科学问题

（1）生物体对微重力信号的感知和转导机制，适应重力环境变化的基本规律。

（2）变重力环境影响生命过程的生物力学规律和跨尺度力学-生物学耦合机制，以及外力对生物体微重力效应的主动调控作用。

（3）空间辐射导致生物体损伤的直接与间接靶点、宏观与微观的短期或长期量效关系以及相应的响应变异规律，防/抗辐射措施及辐射育种

的生物学机制。

(4) 生物体对地磁场缺失或动态变化的响应特征和机制，磁场作用于生物体的关键组织器官和细胞类型及其核心分子靶标；处于亚磁环境不同时长后，生物体的应激、修复、重适应及遗传漂变规律及其机制；空间亚磁场与微重力、辐射等复合物理环境的生物效应及其机理。

三、空间站研究支撑条件

本指南研究可能用到(但不限于)的支撑条件包括生命生态实验柜(通用生物培养模块、小型通用生物培养模块、小型离心机实验模块)、生物技术实验柜(细胞组织实验模块、生物力学实验模块)、空间辐射生物学暴露实验装置(标准生物实验单元、微流控芯片实验单元)、变重力科学实验柜、科学手套箱与低温存储柜等，具体详见《中国载人空间站科学实验与技术试验设施用户使用手册》等。

四、重点资助研究方向

本指南重点资助(但不限于)以下研究：

(一) 空间重力生物学和生物力学研究

阐明长期失重所致生理病理变化的力学-生物学耦合机制，从分子、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) 典型模式生命系统中细胞感知重力变化的生物力学机制，空间生物效应中重力信号传递和转导的力学-生物学耦合规律。

(2) 微重力环境下典型模式器官的多尺度力学特征与跨器官互作规律，相关组织发生及损伤修复的力学敏感通路和分子机制。

(3) 微重力环境影响模式动物物质运输、代谢、再生、繁殖等功能的力学机制。

(4) 模式植物感知微重力的信号转导和响应机制，微重力对植物生长发育的影响，以及植物相应的适应规律。

(二) 空间辐射生物学

研究空间辐射环境对生物体不同层次（从分子、细胞、组织、器官到个体）的生物效应和遗传变异规律，系统动态地揭示辐射在生物体生长、发育、分化过程中的损伤修复、应激响应、稳态重塑以及遗传变异的规律与分子机制，探索空间辐射与微重力、亚磁等其他空间环境因素的复合效应。重点研究：

(1) 针对不同类型生物建立相应的空间辐射生物效应量效关系模型，探讨微重力、亚磁等其他环境因素对空间辐射的复合生物效应，为“航天医学”建立辐射损伤和防护提供预测预警模型提供数据信息支撑。

(2) 综合物理探测、生物检测和实验技术等手段，研究动物个体、器官、组织、细胞、细胞器和生物大分子等各层次对空间辐射的短期和/或长期、直接和/或间接的应激响应规律，特别关注与免疫抑制、退行性病变等健康风险相关的组织反应、分子机制、关键靶点及其特异性生物标志物的研究，支撑“航天医学”辐射防护策略的完善。

(3) 探讨具有重要利用价值的植物、微生物，或需防控的潜在有害生物在空间辐射下的遗传变异规律，在利用空间辐射资源丰富优质品质性状，获得新的种质资源的同时，积累样本、数据，为遗传学研究奠定基础。

(三) 空间亚磁生物学

通过天地对照实验，解析亚磁与微重力、辐射复合环境对动物个体及单细胞生物的影响，解析其细胞分子生物学机制，发现并阐释空间亚磁环境关键生物学效应及靶点，提出相应防范和保护策略。重点研究：

(1) 以模式动物研究空间亚磁环境对生物节律、行为及学习记忆等影响，揭示其神经环路及脑网络动态机制，探寻脑磁防护策略。

(2) 以模式生物研究空间亚磁环境对繁殖、发育、寿命的影响，探索长期亚磁环境对蛋白稳态、菌群稳态及基因演化的作用，筛选具有保护作用的分子和药物。

(3) 从离子稳态、氧化还原、免疫应答，及线粒体、内质网应激等层面，解析空间亚磁环境效应的细胞分子机制。

(4) 以感磁模式生物探究在空间亚磁环境中的生物感磁机制与生物矿化效应。

指南 2：空间生理病理及繁育研究

动物空间生理病理及繁育是空间生命科学服务于长期载人航天的重要内容，该领域着重针对哺乳动物及与人体生理病理相关的模式动物在空间环境下生存与繁育的生理适应、病理响应等科学问题，开展长期持续的系列化、综合性实验研究，规范化、标准化的样本数据治理；通过与天-地动物和人群健康相关数据信息的整合分析，深入认识空间环境下动物，特别是哺乳动物全生命周期生理适应、病理变化及繁育等的规律，以及相应的细胞分子生物学机制，为长期载人航天以及地面人群健康，提供新的理论与技术指导 and 支撑。

一、研究目标

揭示哺乳动物及与人体生理病理相关模式动物在空间环境因素（除空间特殊物理环境外，特别注重人的生存与活动环境）作用下，重要组织、器官、系统、整体的应激、生理适应/重适应与病理变化，以及生殖细胞发生、受精、胚胎发育、妊娠、子代健康与遗传变异等的规律，解析上述过程的细胞分子生物学机制；揭示发挥关键调控作用的生物学靶标并建立定性定量评估方法；探索相关病理状态诊断、预防、干预的新技术新方法。

二、关键科学问题

（1）动物机体重要组织、器官、系统、整体对空间环境应激、生理适应/重适应与病理变化的基本规律、细胞分子机制；探索相关病理状态的有效干预措施。

（2）探索空间环境下动物繁育的基本规律及相关生物学机制，包括生殖细胞发生、受精、胚胎发育等，研发促进动物繁育的相关技术与方法。

三、空间站研究支撑条件

本指南研究可能用到（但不限于）的支撑条件包括空间小型哺乳动物饲养装置、生物技术实验柜（细胞组织实验模块）、科学手套箱与低温存储柜

等，具体详见《中国载人空间站科学实验与技术试验设施用户使用手册》等。

四、重点研究方向

本指南重点资助（但不限于）以下研究：

（一）动物空间生理病理研究

（1）研究空间环境对哺乳动物及与人体生理病理相关模式动物生理适应与病理变化的作用规律，重点开展动物体的骨骼肌肉系统、心血管系统、神经系统、免疫系统、消化系统与代谢等研究。探寻动物机体在空间环境生存不同时间跨度变化及适应的生物标志物。

（2）从细胞、组织、器官到系统各层次以及跨层次研究空间环境下哺乳动物及相关模式动物产生重要生理性适应与病理性损伤效应的关键蛋白质分子机器，及相关细胞分子生物学机制。发现对应关键靶标，支撑针对性的药物与非药物干预措施的研发。

（3）利用仿生微生理系统研究空间环境对重要组织器官生理病理影响的作用规律，关注空间环境下干细胞和功能细胞构建组织、类器官的生物学过程及机制；探究空间环境下多组织、多器官交互作用，支撑针对性的疾病与药物干预研究。

（二）空间生命繁育

（1）空间环境对哺乳动物生殖细胞发生的影响与机制及空间生育力保存。

（2）空间环境下的动物受精。

（3）空间环境对哺乳动物或重要模式动物胚胎发育的影响。人工胚胎的空间构建与发育。

指南 3：空间生物技术和转化研究

空间生物技术为开展空间生命科学研究提供关键技术支撑，空间特殊环境为生物技术创新发展提供了重要机遇：利用空间特殊物理条件，有可能实现地面难以突破的生物技术研发目标；空间生命科学研究由于环境条件的特殊性，需要相应的检测与测试技术的研发创新；空间生物医学研究所获得的新知识、发现的新问题，可能成为空间生物技术转化研究的导向和基础。本指南以空间生物技术研究内涵为纲，与空间生命科学各研究领域紧密协同，开展技术创新和转化服务研究，赋能空间生命科学研究向高水平提升和深层次拓展，服务长期载人航天。期望获得有重要应用价值的生物技术、生物制造和生物医药成果，并通过空间-地面协同创新，推动应用转化，服务人民健康和社会发展。

一、研究目标

在空间站条件下，开发针对动物个体及细胞、组织、器官功能的原位实时检测以及关键分子靶标的在轨分析技术；认识重要蛋白质/核酸及其复合物在空间微重力等特殊环境下的结构功能关系；解析在空间条件下，药物与靶点相互作用、药物代谢机制，探索适应空间条件的药物剂型设计；构建以空间细胞生物技术为基础的仿生微生理系统，支撑动物空间生理病理研究；研究空间人工合成关键食物组分，药用分子或新型制剂；开展空间微生物应用技术及相关基础研究，为服务天地环境与人类的安全与健康奠定基础。

二、关键科学与技术问题

(1) 针对空间动物个体以及在细胞、组织、器官和系统多层次研究的需求，以实现空间实时原位检测或在轨分析为目标，与相应的研究装置配合，研发无创/微创的生理、生化、分子和细胞生物学检测分析新技术。

(2) 利用空间微重力等特殊环境，开展蛋白质与核酸及其复合物等重要生物分子机器的结构功能研究，认识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。研究天地之间药物与靶点互作、药物代谢规律的异同，探索适应空间条件的药物及剂型的设计、筛选和评价新技术。

(3) 以动物空间生理病理研究为导向，开展空间仿生微生理系统的创新开发，建立多器官生理病理模拟技术，支撑动物在空间环境下重要生命过程的研究，为地面人类健康研究提供新的理论和技术指导。

(4) 利用合成生物技术，研究空间人工合成关键食物组分，研究空间环境对人工合成系统中物质代谢与能量代谢网络影响的机制。

(5) 以空间环境和空间动物相关微生物与微生物组为对象，开展与环境及人类的安全健康相关的研究，开发相应的预防、干预技术；以医、药、工、农应用相关微生物为对象，研究其在空间特殊环境下的生理生化响应及遗传变异，为菌株品质提升探索新改造方法，创制新种质资源，发现新代谢产物。

三、空间站研究支撑条件

本指南研究可能用到（但不限于）的支撑条件包括生物技术实验柜（细胞组织实验模块、生化与分子实验/蛋白结晶与分析模块、蛋白与核酸实验模块、生物力学实验模块）、生命生态实验柜（通用生物培养模块、小型通用生物培养模块、小型受控生命生态实验模块、小型离心机实验模块）、空间辐射生物学暴露实验装置（标准生物实验单元、微流控芯片实验单元）、变重力科学实验柜、科学手套箱与低温存储柜等，具体详见《中国载人空间站科学实验与技术试验设施用户使用手册》等。

四、重点资助研究方向

本指南重点资助（但不限于）以下技术研究。如果该项技术研究需要研发新的装置，必须明确新研发装置的必要性、关键功能和技术指标，并提出和空间站科学实验与技术试验设施相匹配的资源需求。

（一）空间生命科学研究检测分析技术

(1) 生物样品快速提取、扩增与富集技术：研发适合空间环境的生物

样品（核酸、蛋白质）快速提取、扩增、富集和检测技术，实现空间环境生物样本的快速、安全、高效检测。

（2）分子探针检测分析技术：研发面向空间站生命科学研究需求的分子探针检测分析技术，实现对活体（从细胞、组织到个体）样品的无创或微创实时检测、对液体样本中生物分子的在轨定性定量检测分析。

（3）空间原位检测与测序技术：研发面向空间站生命科学研究需求的原位检测与测序技术。通过靶向性探针设计、原位信号增强、成像空间定位、组织结构保留固定和背景噪声抑制AI算法等功能模块的协同运行，实现低丰度代谢物原位检测和基因表达的“分子坐标定位”，同时获取基因表达水平和空间信息。

（二）空间蛋白质技术

（1）空间蛋白质结晶方法学研究：揭示微重力易感蛋白质组装的分子结构特征，研究空间蛋白质结晶调控技术，建立空间蛋白质结晶相关的测量分析技术，提出空间蛋白质结晶优化策略。

（2）空间蛋白质结晶：针对地面结晶困难、AI结构预测难以确认的蛋白质，研究其在空间微重力环境下的结晶，解析高分辨分子结构。针对地面与空间结晶性能差别大，选取具有重要意义的蛋白质，研究其相关结构/构象与功能关系。

（三）空间药学研究

（1）针对长期空间飞行出现的典型病理变化，探究疾病快速发展演进的机制；探索适应空间条件的药物及剂型的设计、筛选和评价新技术；开展具有明确应用前景的新型活性分子、药物分子及制剂的空间干预功效研究；建立适应空间环境的高效、长效、安全的药物调控方法。

（2）研究空间环境对于生物靶标分子与药物配体结合功能、药物构效关系的影响，探索药物与靶细胞、组织、器官和个体的作用特点。关注不同药物类型尤其是核酸、多肽蛋白等药物在空间环境下的疗效及毒副作用变

化规律。

（四）空间微生理系统

创建空间仿生微生理系统，支撑开展哺乳动物在空间环境下重要组织、器官和系统的生理适应、病理响应及各种生命过程的研究，加速研发有效干预措施。重点研究：

（1）针对皮肤、骨骼、肌肉、神经、免疫、心血管和肝脏等人体重要组织器官，开发适合在轨细胞生物学实验的器官芯片、类器官和3D生物打印技术，建立空间组织器官体外构建新策略，形成空间血管化3D组织与长期动态培养技术，发展空间人工胚胎构建及发育研究技术，建立高仿真组织器官定性定量评估方法。

（2）基于空间微生理系统，研究空间特殊环境（如微重力、辐射）对上述重要组织器官的生理、病理影响和效应机制，探究空间多器官间交互作用和调控机制，支撑空间或地面相应的疾病和药物干预发现。

（五）空间合成生物制造

以人类太空探索特殊环境中食物等生命必需物资的循环利用需求为导向，以提供“合成生物制造”创新解决方案为目标，研究构建以电为能量供应基础的人工生物转化体系，包含面向新途径、新方案、新技术的“概念验证研究”和面向应用的技术体系迭代优化的“转化型研究”两个层次。重点研究：

（1）空间碳水合成：以利用二氧化碳原位置成果糖、葡萄糖等重要碳水化合物为导向，探索或优化空间环境下化学-生物耦合的人工碳水化合物合成系统，开发高效酶固定化技术，研发适合空间环境的微型传感器，建立合成过程重要参数的在线采集与动态调控手段，为研制空间智能化和一体化的碳水化合物合成装置奠定基础。

（2）空间蛋白、油脂合成：以构建可应用于空间环境的电能驱动固定二氧化碳合成蛋白或油脂的人工生物合成实验验证系统为目标，以电活性

微生物为合成底盘，研究空间环境对电子跨膜传递以及蛋白、油脂合成过程的影响规律，设计电子直接传递元件，优化细胞内能量转化与供给模块，强化蛋白、油脂合成途径；探索包括化学-生物转化等高效利用二氧化碳合成蛋白、油脂的新路线。

（六）空间应用微生物技术

（1）天地结合，建立空间环境微生物的高效收集、富集、检测和培养技术，支撑建立空间站微生物分离培养物的空间应用价值与/或空间危害潜力评估体系。

（2）危害性微生物（腐蚀性/致病性/耐药性/生物被膜形成等）在空间环境条件下的性状演化规律与检测防控技术。

（3）空间特殊环境对宿主微生物组的影响及其与机体生理病理响应的关系，研究相关作用机制及菌群稳态调控策略。

指南 4：空间生态生物学基础研究

空间生态生物学是研究地球生物在空间特殊物理环境下的生态学效应，包括空间生态系统中生物个体、个体间以及群体的生态学效应，这些效应对空间生态系统结构（生物之间的相互作用）形成、扰动和平衡的机制，以及功能（物质循环和能量流动）内在运行与外延衔接的规律的科学。空间生态生物学基础研究，将进一步丰富空间生态学基础理论，为人类在长期太空活动提供必需的生物安全保障和生态系统，奠定理论基础及探索方法路径。

一、研究目标

聚焦地球生态功能类群在空间环境中的响应机制、互作关系与系统协同特征，系统解析空间环境下植物、微生物与动物在典型生态功能过程中的生理响应机制、代谢参与方式的通量特征，包括氮素转化、营养物质合成与废弃物降解过程中的独立、互作与协同的参数化规律等，构建相关通量模型；研究多种兼具空间环境友好，有实用价值的植物的空间生态生物学特性，研究地球极端环境生物适应空间环境的特殊生物学效应及相关机制，为发展适用于不同任务场景的生态系统提供数据、信息、知识、模型以及资源等基础支撑。

二、关键科学与技术问题

（1）适宜于空间任务的生物种类及其代谢功能对空间环境的响应机制，其生态过程在空间环境下的响应机制与动态规律。

（2）空间环境下生态功能类群的协同机制与涌现行为，空间生态系统内的生产者、消费者与分解者物种间以及链环间的相互作用规律及物质能量转换通量。

（3）空间生态系统的稳态维持机制与功能临界突变点的预测理论，空间环境对生态系统物质循环、能量流动和服务功能的影响。

(4) 适合在空间应用的动植物多代连续高效培养机制以及生态学效应。

三、空间站研究支撑条件

本指南研究可能用到(但不限于)的支撑条件包括生命生态实验柜(通用生物培养模块、小型通用生物培养模块、小型受控生命生态实验模块、小型离心机实验模块)、空间辐射生物学暴露实验装置(标准生物实验单元、微流控芯片实验单元)、变重力科学实验柜、科学手套箱与低温存储柜等,具体详见《中国载人空间站科学实验与技术试验设施用户使用手册》等。

四、重点资助研究方向

本指南重点资助(但不限于)以下研究:

(一) 空间功能类群生态学研究

聚焦空间环境对构成循环生态系统的生物部件的生态作用与生物适应、空间生态功能类群关键过程的独立响应与适应机制。重点研究:

(1) 空间环境下可食用植物类群的生态功能与实现机制。

(2) 可食用植物生长发育对空间环境的适应性及其机制,非生物因子耦合调控其生长、产氧的内在机制与控制方法。

(3) 空间环境下功能微生物类群介导的物质转化过程及其调控方法和机制。

(4) 空间环境下低等动物在资源处理过程中的代谢特性与输出效能研究。

(5) 空间环境下可食用低等动物、真菌等生长、发育、繁殖的适应性及其机制。

(二) 空间群落生态学研究

聚焦空间环境下构成生态系统的不同生物的相互关系与群落动态、生态模块种间互作机制与功能增强。重点研究:

(1) 空间环境下植物-微生物互作对植物营养与适应性的协同机制。

(2) 空间环境下多种微生物、动物-微生物协同转化生态系统中重要物质或元素过程的影响机制与调控方法。

(3) 空间植物互作对 C/N/P 吸收代谢与光合固碳过程的协同调控机制。

(4) 空间环境中先锋共生体的适应极限及其生态功能拓展。

(5) 空间环境下地外模拟土壤（月壤/火壤等地外资源）生物利用和改良机制及其互作规律。

(三) 空间生态系统生态学研究

聚焦空间环境下生态系统的生物部件匹配方案和系统构成方法，空间环境因素对生态系统的物质循环、能量利用影响，空间多组分生态系统高效协同运行机制与动态稳定性调控方法。重点研究：

(1) 空间环境下陆生系统中植物-微生物-动物协同构型与营养转化机制，生产者、消费者与分解者构建生态系统的匹配方案和系统平衡调控方法。

(2) 空间水生系统中产氧-净化-消费功能的集成机制。

(3) 合成微生物子系统驱动的生态功能增强机制。

(4) 空间生态系统的物质循环、能量流动及演化规律。

(5) 适用于空间环境的可食用动/植物多代连续高效培养机制及生态学效应。

指南 5：空间生命科学前沿探索

空间生命科学前沿探索主要利用空间站实验条件，研究特殊物理因素（微重力/变重力、复杂类型辐射、磁场形成极性变化等）与地球/地外行星生命起源和生物演化相关的化学、生物化学、微生物/细胞遗传生物学过程的关系。通过研究，提升对生命分子结构变异与功能涌现规律的认识，为人工设计生命、改造生命、创制生命奠定基础。本指南利用空间站特殊条件，模拟与地球生命起源与演化不同阶段类似的实验环境，探索生命起源的可能途径，近 LUCA（Last Universal Common Ancestor）深度分支（Deeply Branching）微生物的生存机制，人工原型生命的活动（代谢、生长、复制），为生命起源和生物演化提供新的科学假说；为生物技术的创新发展提供新的思路或材料。

一、研究目标

利用空间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，期盼揭示遗传密码子起源、同手性起源、原始细胞形成、近 LUCA 深度分支微生物生存响应机制等关键生命起源及演化核心问题与空间环境因素的关系，为探索生命起源和演化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：空间特殊环境下生命有机小分子自组装成生命大分子的响应机制；同手性产生的潜在机理及其在生命大分子中的传递、放大或筛选机制；空间环境下，早期遗传密码调控前生命肽合成的形式及其机制。

（2）微重力环境下矿物表面对生命有机分子的催化调控及辐射保护

作用：微重力条件下矿物界面对生命分子催化、聚合、保护作用的特点及潜在的分子机制。

(3) 原始大分子和原始细胞（包括近 LUCA 深度分支微生物）的起源及演化：空间辐射、微重力及变磁场环境下，多肽、寡糖、寡聚核酸等不同生物大分子自发组装形成不同形态原始细胞的条件和过程；微重力、辐射对原始细胞形态、功能和演化的影响机制。

(4) 多聚磷酸盐对极端环境生物分子稳态的调控：多聚磷酸盐在原始细胞形成中的功能和抗逆进化机制，多聚磷酸盐在凝聚态原始细胞骨架形成、胞内亚结构形成中的功能和逆境稳态调控的作用机制。

三、空间站研究支撑条件

本指南研究可能用到(但不限于)的支撑条件包括生物技术实验柜(生化与分子实验模块、蛋白与核酸实验模块、细胞组织实验模块)、生命生态实验柜(小型通用生物培养模块、小型离心机实验模块)、空间辐射生物学暴露实验装置(标准生物实验单元)、变重力科学实验柜(标准科学载荷或非标科学载荷)、科学手套箱与低温存储柜等，具体详见《中国载人空间站科学实验与技术试验设施用户使用手册》等。

四、重点资助研究方向

本指南重点资助(但不限于)以下研究：

(一) 空间环境生物分子自组装聚合反应及手性选择

(1) 生命有机分子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；前生命肽合成及其与核苷的互作关系和密码子的化学起源；辐射暴露引起的生命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催化、聚合、手性选择及辐射保护作用的微重力响应

探索微重力等空间特殊环境下,宇宙中常见矿物可能对生命分子的催化、聚合、保护及手性选择作用及调控机制。重点研究:

(1) 矿物对多肽、核酸的催化聚合反应及保护作用。

(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

系统研究空间站微重力、辐射和变磁场等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) 在空间站环境下从无生命物质到生命物质的转化过程,原始细胞形成与发生融合、分裂、进化等生命过程的机制。

(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) 空间站特殊物理环境对近 LUCA 深度分支微生物(如嗜热菌、耐辐射菌、感磁菌、古菌等)生存及生物学特征变异的影响与机制以及地球早期极端环境微生物生存和演化机制。

(四) 空间环境下多聚磷酸盐对微生物、原始细胞胞内生物分子的形成和抗逆稳态调控机制

认识空间环境下微生物胞内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。

(3) 多聚磷酸盐在凝聚态原始细胞骨架形成、胞内亚结构形成中的作用。

(4) 多聚磷酸盐形成的亚结构及其分解产物对凝聚态原始细胞在辐射等空间特殊环境下的逆境稳态调控作用机制。

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微重力等独特优势开展三维复杂等离子体动力学、非平衡统计规律等重大前沿科学问题研究，推动重要应用方向发展。

指南 6：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及其与颗粒相互作用的运动行为。通过研究表面力主导的流体转捩、湍流普适性机制以及颗粒在湍流场中的分布、聚集与运动行为等问题，发展相关理论、模型和运动行为调控方法。微重力流体物理及动力学研究与航天器（热）流体管理、推进剂高效供给和在轨加注、环境控制与生命保障、空间材料制备、在轨增材制造和空间资源原位利用，以及晶体生长过程、薄膜制备工艺、超临界流体技术应用等密切相关，对地面大尺寸光电晶体生长、石油组分分布预测及开采等工业生产中的流体（溶体）过程和热质输运具有重要应用价值。

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、颗粒（含固体颗粒、液滴和气泡）在湍流场中的分布、聚集与运动、颗粒-流体-壁面相互作用动力学规律；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新途径和新方法。

二、关键科学问题

（1）微（变）重力环境液体重定位过程、界面控制及刚液耦合动力学，包括航天器机动、 g 跳等诱发重力效应机理，外物理场调控与界面张力驱动以及液体输运与控制等。

（2）多物理场作用下空间流动构型形成、失稳及时空演化，混沌动力学和湍流规律。

(3) 多物理场作用下液滴/气泡(群)迁移、相互作用及调控机制;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,颗粒-流体-壁面相互作用动力学规律。

(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。

(5) 跨临界相变过程的流体界面演化、变重力环境超临界流体的流动与传热规律、热声效应。

(6) 微重力液膜的复杂结构形成与稳定性,多场耦合作用的界面流动、凝固、蒸发、破碎等特征。

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,具体详见《中国载人空间站科学实验与技术试验设施用户使用手册》等。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助(但不限于)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、新型改性表面动态润湿性及其影响,发展空间流体界面调控与流动输运技术。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。

(3) 微重力下润湿梯度表面上多元液滴的定向运动规律及其调控机制,表面微结构对输运过程及界面稳定性的影响,发展基于复杂流体界面调控的稳定高效输运方法。

(4) 超毛细尺度液滴撞击、破碎、聚并过程中动力学特性与能质传递规律。

(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的本质差异,研究微重力环境中多物理场多构型空间流动形成、失稳及时空演化。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,开发可解释 AI 方法,实现基于物理知识与数据驱动的分析、建模、转捩预测和控制。

(2) 多物理场作用下对流的分岔转捩途径与时空演化规律及混沌动力学机制,揭示临界稳定性、主导特征模态、多尺度结构间的竞争机制与耦合动力学,发展流动失稳调控方法。

(3) 空间多物理场对流的湍流特征,解析空间湍流多尺度结构。

(三) 微重力条件下流场中颗粒的动力学特性

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(气泡)或液滴(气泡)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、液滴及固体颗粒相互耦合作用的综合可视化再现技术及关联性解析。

(4) 研究颗粒与壁面及气相流场间动量及能量传输规律;研究内聚力作用下的颗粒聚集(或团簇)行为,探索微重力流场中颗粒团簇形成规律及特性;发展微重力下流场中颗粒运动行为调控方法。

(四) 多组份流体扩散演化规律与调控方法

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。
- (3) 发展多组分流体扩散过程的调控方法。

(五) 超临界流体的热质输运规律

微重力、低重力与g跳环境下，超临界流体的强物性畸变对流动、传热与传质的影响机理。重点研究：

- (1) 跨临界相变过程的界面演化动力学与流体管理。
- (2) 非 Boussinesq 效应的对流传热规律，及热声效应的传热机制。
- (3) 多元溶质超临界体系的非平衡热质输运现象及温度调控机制。

(六) 液膜动力学规律

理解微重力液膜动力学、界面热质输运及相变的规律。重点研究：

- (1) 双自由面液膜中耦合溶质与热毛细流动的转捩过程。
- (2) 多物理场作用对液膜形成与破碎的影响机理。
- (3) 液膜固化过程的界面热质输运机理。

指南 7：微重力复杂流体与软物质研究

软物质(复杂流体)泛指处于固体和简单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，解决地面难以深入研究的基础科学问题，促进先进材料、智能制造、生物技术等前沿科技发展，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、结构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；调控软物质组分或粒子间相互作用的非平衡状态，构建材料、生物多尺度结构，支持空间智能制造、空间生物技术发展。

二、关键科学问题

(1) (微)重力环境对胶体、高(超)分子、活性物质与生物流体等软物质体系的结构与动力学行为、相变及性能等的影响及内在机制。

(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) 颗粒物质系统在低有效应力状态下的耗散结构与相变、流变特性，获得颗粒物质的统计物理模型与统一流变模型。

(4) 软物质在材料、生物应用中的多尺度结构调控与性能关联的复杂性问题；动力学行为与功能响应的时效性问题；界面相互作用与复合体

系相容性问题。

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,具体详见《中国载人空间站科学实验与技术试验设施用户使用手册》等。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助(但不限于)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浸润行为,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流变性能调控,系统研究非牛顿流体的微观结构、动力学形态与宏观流变性能间的关系,支持非牛顿流体材料性能调控技术与在轨制造技术发展。重点研究:

(1) 空间环境下非牛顿流体分子组成与微观结构及其演化动力学过程与机理研究，揭示其与宏观流变行为和流动之间的内在关系。

(2) 空间环境下表界面力对非牛顿流体的流变行为、传热传质特性及流体稳定性的影响机制。

(3) 分子水平上对空间环境下非牛顿流体微观结构、动力学行为和宏观流变特性的调控机制及方法。

(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，开展与材料及生物交叉的软物质实验新技术研究，支持空间智能制造、空间生物技术发展，重点研究：

(1) 软物质的纳米组装、超材料及量子点材料制备、手性大分子、高（超）分子等先进空间材料制备技术。

(2) 利用软物质的引导自组装和流变性能调控，开展基元调控技术、微流控技术和空间打印等空间智能制造先进技术研究。

(3) 利用生物活性物质空间先进组装技术，构建多尺度功能结构、开发药物递送技术等。

指南 8：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、动力与推进、载人航天环境控制与生命保障技术、空间资源原位利用等技术密切相关，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，探索极高热流密度传热方法，揭示重力作用机制，发展多相热流体动力学理论模型，进行流体和热管理及相关技术开发和应用研究，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/变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/变重力条件下蒸发、沸腾与冷凝复杂界面现象与热质传递及其强化机制、流动混合与演变、气液两相流动与热质输运、空间在轨低温流体管理等，发展完善微/变重力条件下多相流动与传热系统失稳抑制策略，提出应用原型系统并开展实验验证，指导航天工程相关技术研发。

二、关键技术与科学问题

(1) 蒸发、沸腾与冷凝相变界面热质传输耦合规律与强化机制，气液相互作用模式及其热动力学机理，表面微纳结构、润湿特性等对蒸发、沸腾和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与热力学特征及其沿程演化规律、热质传输规律及强化机制；界面效应对多孔介质内传热传质的影响机制等。

(4) 微/变重力下低温推进剂流体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。

(5) 多组分介质流动混合机理、界面演化现象与相变传热特性。

(6) 微/变重力下超临界流体气液相变特征、流动转变与散热耦合规律；多温区能量梯级利用及功能多元化技术。

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，具体详见《中国载人空间站科学实验与技术试验设施用户使用手册》等。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助(但不限于)以下研究。

(一) 空间蒸发-沸腾-冷凝界面现象与传热

揭示微/变重力条件下热质传输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，形成空间蒸发-沸腾-冷凝强化传热方法与技术体系。重点研究：

(1) 微/变重力条件下相变界面气液相互作用模式及气液两相流动与传热机理。

(2) 微/变重力条件下空间液体形貌、特殊表面结构、纳米流体等对(蒸发、沸腾与冷凝)相变界面与传热规律的影响机制及其相关强化传热新技术等。

(3) 微/变重力条件下主动式(如电、磁、声波、振动等空间外加场效应)及其与被动式(如表面微结构、润湿性)结合的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。

(4) 空间喷雾冷却中液滴与液滴群冲击的动态界面演化规律与传热机理。

(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、多元/多组分换热体系中工质特性、混合与分离、相变传热、流型及其演化和失稳抑制机制与方法。

(2) 针对空间应用热管理设备与系统(如空间热管、热虹吸管、制冷系统、超临界流体冷却系统等)在微/变重力环境中的高效热管理方法与技术应用验证。

(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、流动、相变的影响规律等。

(三) 低温推进剂空间流体管理

利用模拟工质研究微/变重力条件下低温推进剂两相流动、相变传热、热质耦合传输特殊机理及流体管理技术。重点研究:

(1) 低温推进剂输运过程中的两相界面运动、失稳特殊规律与调控方法;气液两相竞争传输机制与相分离方法。

(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、蒸发抑制机理、热分层与压力控制方法。

指南 9：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。

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，具体详见《中国载人空间站科学实验与技术试验设施用户使用手册》等。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）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无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、失稳、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) 低动量层流非预混火焰（正/反扩散火焰）碳烟临界生成条件与输运机制，热辐射特性与火焰温度演变规律、辐射热损与火焰熄灭极限的定量关系等。

(3) 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。

(4) 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。

(5) 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 10：微重力下材料着火特性和防护研究

载人航天器火灾事故严重威胁空间探索活动的人员与设备安全。面向载人航天器火灾防治的重大需求，研究航天器材料尤其是非金属固体可燃材料在微重力等特殊环境条件下的火灾动力学特性，建立航天器材料火灾安全评价和筛选的方法，发展载人航天器新型火灾探测和灭火技术；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

针对我国载人航天器的可燃材料、气相氛围、空间结构等特征，建立我国载人航天器可燃材料火灾燃烧特性的数据库，系统揭示微重力条件下可燃材料的热解、着火、火蔓延与熄灭等火灾动力学行为机制，建立航天器可燃材料防火性能评价和材料筛选方法，以及烟颗粒、气体等火灾探测参量表征方法和气相、液相灭火方法，发展航天器新型火灾探测与灭火技术，从而实现为我国载人航天器的火灾防控技术提供重要的理论与技术支撑。

二、关键科学与应用问题

(1) 微重力条件下航天器典型可燃材料热解、着火、火蔓延和熄灭行为的理论、模型和机制。

(2) 航天器典型固体材料阴燃向明火转化的机理、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) 航天器典型固体材料火灾烟颗粒、气体等探测参量的行为特征、输运规律以及识别机理与技术。

(5) 气相、液相灭火剂抑制火焰的机理与方法，消减火灾烟气的机理和方法。

三、空间站研究支撑条件

本指南可能用到（但不限于）的支撑条件包括燃烧科学实验柜、在轨维修装调支持平台实验柜等，具体详见《中国载人空间站科学实验与技术试验设施用户使用手册》等。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）以下研究。

（一）微重力条件航天器典型可燃材料火灾动力学行为机制研究

研究可燃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航天器典型可燃材料（航天器复合材料）的热解、着火和火蔓延、熄灭的特征行为规律与预测模型，以及材料可燃性能评价方法。

(2) 多组分气相燃料模拟凝聚相可燃材料燃烧特性的实验方法，凝聚相可燃材料的燃烧速率预测理论与模型。

(3) 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。

(4) 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）微重力下火灾特征参量的特征及探测方法研究

研究微重力环境中烟颗粒、气体等火灾探测参量的行为机制，发展载人航天器新型火灾探测技术。重点研究：

(1) 航天器导线等典型固体材料早期火灾热解与阴燃阶段烟颗粒、气体、热辐射等特征信号的时空行为规律与表征方法。

(2) 航天器早期火灾烟颗粒与水汽等干扰源的信号特征、输运规律以及热辐射规律，烟颗粒、气体等火灾探测参量的抗干扰识别方法，航天器低误报/漏报的新型火灾多级预警与报警技术。

(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) 气相、液相灭火剂抑制火焰的物理与化学机理，灭火剂浓度等参数与灭火临界参数之间的定量关系，灭火剂灭火效能的评估方法。

(2) 火灾烟气消减的物理和化学作用机理，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 11：重要应用燃烧机理及交叉领域研究

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、燃烧材料制备及其他交叉领域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、火焰合成材料以及燃烧与其他领域交叉等方面的技术进步。

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。

(5) 化工、材料、生物与医学等交叉方向与燃烧过程的交互作用机制。

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，具体详见《中国载人空间站科学实验与技术试验设施用户使用手册》等。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）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。

（3）微重力跨介质跨界面流体输运、火焰传播及多相态燃料耦合燃烧机理。

（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、铝等金属燃料和其他非金属燃料等）的微重力下燃烧特性。重点研究：

（1）典型固体能源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，燃料非对称性和过程多相性的本征影响。

（2）固体动力燃料的高效、清洁低碳燃烧。

（3）固体含能燃料着火燃烧基本特性，压强对燃烧过程的影响规律，凝聚相扩散特性及凝相燃烧产物特性。

（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）交叉领域研究

以揭示理想流动环境中燃烧过程与化工、材料、生物、医学等领域的交互作用机理为目标。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）新型催化剂、半导体、高熵合金、超高温复合材料等功能性材料燃烧合成关键技术。

（3）微重力下生物活性组织在燃烧环境中的损伤演化机制与防护治疗技术。

（4）能利用在轨燃烧科学实验柜进行的其他交叉领域研究，包括但不限于生物与医学方向。

指南 12：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，空间微重力环境下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。在深化对材料微观结构演化与缺陷控制等关键科学问题认识的基础上，面向材料制备与性能提升需求，形成可指导应用的理论与方法，更好服务于先进材料研制与应用。

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，液相烧结致密化等。

(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、在线维修装调操作柜等，具体详见《中国载人空间站科学实验与技术试验设施用户使用手册》等。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）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）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，相界面附近元素输运特性。

（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。

（3）空间环境下团簇构型特征、形成机制及动力学演变规律，电化学活性与团簇构型及其联通和堆叠模式本征关联及调控方法，高活性玻璃

功能材料开发。

(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。

(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。

(六) 液态金属脱合金机理及异质金属纳米复合材料研究

探索空间环境下液态金属脱合金过程及其影响规律,制备异质金属纳米复合材料,揭示其性能特征。重点研究:

(1) 液态金属与前驱体合金之间的相互作用,以及液态金属脱合金过程中选择性溶出机理与控制;研究脱合金诱导的团簇构型特征及其形成机制与动力学演变规律,特别关注空间环境的特异性影响。

(2) 前驱体组织结构的演变规律与调控,以及空间环境对异质金属相尺度和空间分布、团簇结构特征及演变动力学的影响规律;研究力学、电化学等性能与团簇构型、连通性及堆叠模式之间的本征关联及调控方法。

(3) 液态金属中溶质元素的扩散行为,间隙液态金属的凝固行为,以及异质金属间的界面结合性质,并开发高性能异质金属纳米复合材料及电化学活性材料。

(七) 高性能合金钢空间制备组织结构演变规律研究

开展高性能合金钢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,揭示空间条件对材料组织与性能的影响规律。重点研究:

(1) 空间环境对高性能合金钢凝固行为和微观组织结构影响机制。

(2) 结合深过冷技术实现空间环境高性能合金钢组织结构调控,实现性能优化,揭示微重力环境下深过冷凝固及形核行为。

(3) 通过引入高熵效应实现微合金化多元复合,揭示深过冷状态下微合金化元素对高性能合金钢过冷凝固及形核行为的影响机制。

(八) 复杂结构单晶的空间生长机理与原位研究

聚焦空间微重力环境下复杂结构单晶生长行为及其调控机理。重点研究:

(1) 微重力环境下单晶复杂结构生长过程中的单晶扩展、攀移、扭转机理与控制。

(2) 复杂结构单晶生长中枝晶取向、间距以及高次枝晶的演化行为与调控机理。

(3) 熔体偏析在微重力环境下的空间运动规律及对复杂结构单晶生长的影响机理。

指南 13：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。探索空间条件下材料制备新方法，形成可转化、可放大的关键技术与应用成果，为地面大规模高性能材料制备与性能优化提供重要科学依据和技术支撑。

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) 高质量功能晶体材料、低维晶态材料、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、在线维修装调操作柜、流体物理

实验柜等，具体详见《中国载人空间站科学实验与技术试验设施用户使用手册》等。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）以下研究。

（一）微重力条件下功能晶体生长与机理

研究具有应用价值的半导体晶体、闪烁晶体和激光与非线性晶体等功能晶体的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）微重力条件下质量输运、热输运规律，获得组分均匀、结构完整的晶体材料。

（2）空间微重力环境对晶体成核、生长及缺陷形成的影响，揭示材料组分、微结构与性能之间的内在关联。

（3）空间环境下，功能晶体生长的关键技术和性能调控方法，指导改进地面晶体生长工艺和技术。

（二）空间低维晶态材料制备及其应用研究

研究可用于存储器件、逻辑器件与集成电路、光电探测器与传感器、电致发光与激光器、柔性器件等领域的低维晶态材料。利用空间环境研究低维晶态材料的制备过程，阐明其空间成核和生长机理。重点研究：

（1）微重力环境对低维晶态材料成核、组成、结构及缺陷的调控作用，高质量低维晶态材料制备新理论新技术的构建与发展。

（2）微重力环境对低维晶态材料物理性能参数的调控及作用机理，基于空间低维晶态材料研发先进制程的半导体光/电器件、柔性传感器件等。

（三）金属铁性智能材料的空间制备及微观结构调控的机理研究

研究金属铁性智能材料（包括形状记忆合金、磁性合金）在空间微重力环境下的凝固制备及微观结构，揭示空间凝固组织对铁性玻璃转变过程

中畴结构形成与演变的影响规律。重点研究：

(1) 在空间制备的金属铁性智能材料中，非平衡凝固组织对铁性玻璃转变行为及其力、热、磁等性能的影响规律。

(2) 过冷度对凝固组织（析出相形貌、晶粒尺寸等）、凝固析出相与基体相界面（成分梯度、应力场分布等）和铁性玻璃畴结构演化（形核、长大）的调控机制。

(3) 建立凝固组织-铁性玻璃转变机制-力热磁性能之间的内在联系，基于空间制备的凝固组织调控，建立获得高精度、窄滞后力热磁性能的新方法。

(四) 超导体材料的空间制备与特性研究

开展空间环境下超导体材料的制备过程及制备技术等研究。重点研究：

(1) 空间环境对超导体材料制备过程的影响机理，包括微重力环境下超导材料生长的动力学，界面稳定性等。

(2) 高品质、大尺寸超导体材料的空间制备技术。空间环境下材料组分均匀性控制、缺陷调控等关键技术。

(五) 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) 面向空间环境和空间制备的功能梯度材料的组分与结构设计，多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、形性调控关键技术。

(3) 面向空间环境和空间制备的功能梯度材料组分、结构及其功能演变的多尺度评价方法。

(六) 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。

(七) 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。

(八) 高性能无机微纳材料空间合成研究

开展具有重要应用价值的无机微纳材料，如纳米金属材料、纳米氧化物材料、纳米稀土材料、纳米陶瓷材料和纳米碳材料等的合成机理研究，揭示空间条件对无机微纳材料形核和生长的影响规律。重点研究：

(1) 弱相互作用主导的形核动力学模型，研究无重力条件下空位形成规律和元素掺杂规律。

(2) 无机微纳材料团簇、单晶、多晶结构等在无重力条件下的生成机制和缺陷调控机制，发展无机微纳材料空间合成理论。

(3) 空间环境下无机微纳材料结构与性能之间的构效关系，发展提升微纳材料性能的新方法和新技术。

(九) 有机微纳功能材料空间合成研究

开展具有独特性质的有机微纳材料的合成机理研究，揭示微重力对有机微纳材料从分子到微纳米尺度的形成过程（成核、生长、组装）的影响，

深入理解动力学/热力学。重点研究：

(1) 微重力对成核速率、生长速率和聚合速率的影响，进而揭示微重力对粒径、分子量及其分布的影响规律。

(2) 空间微重力条件下微纳有机材料的自组装驱动力（如熵变、焓变）、相变行为、结构稳定性，发展功能有机微纳材料的空间合成理论。

(3) 空间微重力条件下，有机微纳材料的形核、生长方式，奥斯特瓦尔德熟化机制，以及表面能和表面性质。

(十) 纳米复合材料的空间组装研究

在空间开展以无机/有机微纳材料为组装基元，通过在材料基因层面设计杂化位点，实现化学键重构和能量/信息交换系统的建立，进而达到协同效应和自主装特性的目的。重点研究：

(1) 微重力作用下杂化界面相互作用的本质，建立各种弱相互作用力的贡献机制。

(2) 微重力条件下，异质界面的化学作用本质、结构特征及其对组分间协同效应和最终材料性能的决定性影响，发展空间组装理论。

(3) 微重力条件下杂化过程的动力学和热力学机制，理解组装/复合过程的驱动力，关注相分离动力学和结构演变动力学，从能量/电子转移、应力/物质传递和功能协同等方面阐述组分间协同效应。

指南 14：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变化以及力学、热学或光学性能的劣化。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，揭示并掌握空间环境下材料使役性能演化规律。在深化机理认知的基础上，形成可支撑工程选材与设计优化的评价方法与数据依据，为空间应用新材料的研发、验证与可靠使用提供科学支撑和实验依据。

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) 空间服役环境条件下材料的物理、化学、力学、谱学变化以及表面功能特性变化等，如空间润滑材料、防护涂层材料、传感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，具体详见《中国载人空间站科学实验与技术试验设施用户使用手册》等。

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，如开展动态摩擦学实验、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）以下研究。

（一）空间能源系统材料使役性能及影响机制研究

开展光伏材料、光热材料、储能材料等空间能源系统材料的在轨使役行为研究，揭示相关材料在空间环境下的性能老化机制并提出相应的稳定性提升策略。重点研究：

（1）空间高能粒子（质子、电子、中子等）与能源系统材料的相互作用机制，揭示能源材料的辐照损伤机制。

（2）紫外辐照、原子氧侵蚀、温度交变环境下能源系统材料的老化机理，提出可行的性能修复策略。

（3）基于天地对比实验，揭示材料地基寿命与在轨寿命的关联，建立在轨寿命定量预测模型，为相关材料未来空间应用提供理论指导。

（二）空间生活保障系统材料在轨动态性能评估

针对空间生活保障系统关键材料开展在轨动态性能评估研究。重点研究：

(1) 新型航天服柔性防护结构单元的材料性能、结构、功能的演变规律；头盔面窗材料及其高效光防护膜系的抗冲击性能、黄变特性退化机制；行动辅助材料在微重力环境下的疲劳特性与摩擦学行为；新型智能适应性和集成传感材料等。

(2) 系统研究材料性能的动态衰减规律，为空间站长期驻留和深空探测任务提供材料保障。建立材料寿命预测模型，指导新一代空间生命保障材料的优化设计。

(三) 空间结构材料使役性能及影响机制研究

研究适应近地轨道环境的空间结构材料的空间服役行为，获取空间结构材料在空间环境下性能演变特性，推动新材料研制、改进和工程应用。重点研究：

(1) 空间环境对空间结构材料，如太阳翼结构材料、薄膜天线结构材料等空间服役行为的影响机制。

(2) 建立空间结构材料的低轨空间环境失效模型、构建结构材料在轨特性评估方法，指导改进空间结构材料制备工艺和技术。

(3) 空间结构材料如复合材料等的在轨制备与空间环境下的服役行为研究。

(四) 空间机构防护材料在轨动态性能评估

研究适应近地轨道环境的空间防护材料的空间服役行为，获取空间防护材料在空间环境下性能演变特性，重点研究：

(1) 空间环境对空间防护材料（如原子氧防护材料、空间碎片防护材料、激光防护材料、隐身材料等）空间服役行为的影响机制。

(2) 建立空间防护材料的低轨空间环境失效模型、揭示低轨空间环境作用机理、构建空间防护材料在轨特性评估方法，指导改进空间防护材料制备工艺和技术。

(3) 空间防护材料的在轨制备与空间环境下的服役行为研究，推动

新材料研制、改进和工程应用。

（五）空间机械运动机构材料在暴露环境中的性能演变

针对空间机械运动机构材料开展新型空间材料的使役行为研究。重点研究：

（1）舱外环境对各类运动部件及润滑、动静密封材料的损伤机制以及材料性能演变规律。

（2）与空间环境相容的自适应、自修复材料设计及原位自补偿材料构建方法研究，有效提高空间运动机构在轨运行寿命及运行可靠性。

（六）空间探测系统材料在轨性能演变研究

针对空间探测系统关键功能材料及器件开展在轨性能演变研究。重点研究：

（1）舱外环境对射线探测材料、光电探测材料、透波材料、电磁探测材料等材料的损伤机制，及其对探测系统分辨率、在轨稳定性、灵敏度等使用性能的影响。

（2）系统研究材料性能的空间环境响应机制，为空间探测载荷设计提供材料寿命预测模型和性能优化依据。

（3）舱外环境对半导体等光电探测器件、显示器件等空间使役性能的影响和相关辐射损伤机理研究。

（七）面向未来空间探索的材料的使役性能研究

针对未来空间探索和地外建设需求，系统开展新型空间材料的使役行为研究。重点研究：

（1）形状记忆合金、压电材料等智能材料，智能自修复材料，柔性电子、水凝胶等软材料，太空3D打印材料，超材料，胶黏材料以及可逆物理黏附材料等在舱外环境中的性能演变规律。

（2）建立材料-结构-功能一体化设计制造准则，为地外建设、空间探索等未来任务提供关键材料解决方案。

指南 15：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，获得亚皮开尔文的超低温环境，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（亚皮开尔文）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，具体详见《中国载人空间站科学实验与技术试验设施用户使用手册》等。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）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 亚皮开尔文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）低维和维度交叉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，如基于旋量 BEC 模拟早期宇宙学或相变动力学中的拓扑缺陷形成。

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

（6）微重力条件下原子激光的新方法和新技术。

（7）量子系统中模拟类比引力现象例如宇宙演化过程中粒子的产生。

（8）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。

（2）发展基于原子的量子惯性传感技术。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 16：复杂等离子体物理研究

复杂等离子体是由电离气体与介观颗粒组成的一种强耦合非平衡多相态的特殊等离子体系统，广泛存在于宇宙空间和实验室的各种等离子体中，是一个综合等离子体物理、凝聚态物理、统计物理、流体物理、天体物理、表面与界面物理、光学、非线性科学、材料科学、空间科学的交叉创新研究方向。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，是发现新物理现象，揭示关键物理规律的天然“物理模拟器”。与电离气体中的电子、离子不同，介观颗粒在地面实验室受重力沉降约束，仅能形成二维系统。依托载人空间站独特的微重力实验环境，实现均匀的三维复杂等离子体系统，在宏观、可视条件下开展三维非平衡复杂系统的微观结构及动理学过程的实验与理论研究，在功能材料、航天工程、聚变能源、芯片制造等国家重大战略需求方面也有重要应用。

一、研究目标

揭示微重力条件下强耦合复杂等离子体的基本性质、描述复杂等离子体的特殊相行为、发现远离平衡态三维复杂等离子体的统计物理规律。

二、关键科学问题

- (1) 射频复杂等离子体特性，波动与不稳定性等。
- (2) 微观尺度的自组织、流体物理性质、非晶结构与动力学、气液相变与相转变等。
- (3) 非平衡输运过程与统计规律、自驱动活性复杂等离子体等。

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（正在研制中），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。

系统由等离子体产生子系统、真空与供气子系统、颗粒注入与调控子系统、观察与诊断子系统、实验电控、热控与结构子系统组成。射频信号驱动实现 Ar/Ne 等离子体调制放电与颗粒约束；电磁颗粒注射器支持同时

注入不同种类（材料、表面修饰）介观固体微颗粒；观察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；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

本指南为培育项目指南，重点资助（但不限于）以下研究。

（一）强耦合复杂等离子体基本性质研究

（1）微重力条件下复杂等离子体的形成、空间分布与演化特征，尘埃颗粒凝聚及分形结构特性等。

（2）复杂等离子体射频放电特性、晶格波谱特性、非线性波动特性，以及调控手段。

（二）复杂等离子体的特殊相行为研究

（1）微重力条件下复杂等离子体的自组织微观机制、边界效应、缺陷动力学等，双分散复杂等离子体的相分离机制及其抑制手段、非晶复杂等离子体的制备与物性测量。

（2）三维复杂等离子体流体物理性质，不同时空尺度下的流变响应规律，气液相变与相转变问题，湍流的产生与演化机制。

（三）非平衡态三维复杂等离子体的统计物理规律研究

（1）微重力条件下三维非平衡输运系数及其标度率、带电颗粒三维运动的内禀统计分布特性、非平衡统计物理规律。

（2）微重力条件下表面修饰尘埃颗粒的自驱动机制及其运动规律。

三、空间新技术与应用领域

空间站长期在轨、天地往返、有人参与等优势可为我国在近地轨道及以远载人探测空间新技术发展及应用提供有效的试验验证平台，能够高效地推动空间技术创新发展，开展重要验证及应用，同时促进空间新技术及应用与其他领域的深度融合，助力建立新的技术体系和探索能力。

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，一方面需满足核心部组件、先进技术产品、在轨制造、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 17：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及数据,实现信息高效传输、处理及计算分析。依托空间站长期在轨、稳定运行、承载量大等优势,提升天体测量与深空探测的时空分辨能力,获取高置信度的空间目标多维度特性数据,实现对空间环境的精准认知与动态监测,从而构建从基础前沿探索到工程应用验证的全链条技术体系,为我国空间科学与应用的持续深入发展奠定坚实基础。

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、弱光、弱力等各类基本物理参数和空间环境的测量需求,开展精密测量新技术研究,提升空间信息获取、传输及处理能力,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) 实现空间宽频段微弱信号监测的电磁场精密测量新技术。
- (2) 提升地外高光谱高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) 实现空间通信网络、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，具体详见《中国载人空间站科学实验与技术试验设施用户使用手册》等。

四、重点资助研究内容

本指南重点资助（但不限于）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技术

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。重点研究空间暗物质信号探测新技术，支持宽频段的暗物质与电场、磁场相互作用的测量研究。

（二）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）地球（或月球）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。

（2）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。

（三）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，满足高精度惯性平台、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。

（四）空间通信网络、信息处理与计算架构新技术

开展高性能智能化空间通信、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及可靠性。

（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机软硬件技术，支持空间在轨云计算平台建设。

（4）开展空间态势感知与预警、空间数据智能分析与应用研究，大力推动人工智能赋能信息技术发展。

指南 18：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的技术。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，开展光学部件在轨成型技术、功能器件的空间制造与应用、增减材复合在轨制造技术、智能材料在轨利用与成型、材料在轨循环与再利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，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。

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科学问题。

(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，具体详见《中国载人空间站科学实验与技术试验设施用户使用手册》等。

四、重点资助研究项目

本指南重点资助（但不限于）以下研究。

（一）光学部件在轨成型技术

开展光学部件在轨成型技术，特别是光学材料的自生长及其对光学特性的影响研究。重点研究：

（1）典型光学材料（如薄膜材料）的自生长过程及其对光学特性的影响规律，实现纳米级面形精度、低内应力光学部件（如红外透镜、激光反射镜、衍射光栅）的在轨制造。

（2）光学部件在轨成型工艺，实现小型化和功能化的集成设计，开发满足空间适应性的在轨制造装置。

（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、特种光纤等功能器件的材料、工艺与制造装备。重点研究：

（1）多材料（如玻璃材料）功能结构的高精度复合制造工艺。

（2）异质材料在制造过程中的形位精度匹配问题与界面问题。

（三）增减材复合在轨制造技术

聚焦将增材制造的自由成形能力与减材制造的高精度特性相结合，突破运载约束，实现大型结构的一体化制造与修复。重点研究：

（1）微重力环境下增材制造与减材制造工艺交替进行时，工艺参数交互作用对部件成型精度、表面质量和内部性能的影响机制，构建多工艺

协同制造的科学理论模型。

(2) 开发适用于空间站环境的增减材复合制造装备, 研究金属、陶瓷等材料在微重力下的复合制造工艺, 建立质量控制标准, 实现高精度、复杂空间部件的原位制造与修复。

(四) 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。

(五) 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。

指南 19：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。同时聚焦国民经济发展，利用空间站微重力环境、空间飞行器高动势能的独特优势，开展在轨生产、在轨制造等技术试验，建立工业化应用平台，促进空间科技成果转化。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生成体系、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) 适用于空间制造的电子、电气制造体系研究；
- (3) 空间环境下在轨制造、成型技术和工艺研究；
- (4) 适应空间环境条件的可靠高效连接技术研究；
- (5) 精密组装技术研究；
- (6) 高精度测量及调控、表面功能和损伤检测修复技术研究；
- (7) 面向深空探测原位资源制造技术研究；
- (8) 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，具体详见《中国载人空间站科学实（试）验设施科学用户使用手册》。

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，其他研究方向项目也可申报。

（一）低能耗在轨成型与修复技术

面向低能耗在轨成型制造需求，开展非晶合金等具有低温塑性的新材料在轨成型工艺技术研究，实现航天器结构和关键零部件的原位修复与功能重构。重点研究：

（1）开展非晶合金等新材料在轨 3D 打印技术研究，通过优化打印参数与合理规划路径，实现具有复杂拓扑结构的零部件成型制造，为损伤零件提供高性能替换解决方案。

（2）针对航天器孔洞等异型损伤，研究新材料在异型漏孔封堵零件成型制造中的应用，开展复合连接技术研究，构建高效的孔洞修复体系。

（二）在轨电子电气制造技术

面向低能耗、高纯度、高性能器件、传感器部组件等电子电气产品制造需求，开展电子电气产品在轨制造研究。重点研究：

（1）利用空间微重力环境、空间真空环境优势，研究行波管等真空微波器件、高性能传感器等部组件的在轨制造技术，提高器件性能和寿命，提升电子电气高效制造能力。

（2）研究空间电子电气模块化制造及在轨加工组装技术、工艺和设备，提升在轨电子电气组装建造能力。

（三）原位资源利用技术

面向地外规模化资源开发任务需求,开展微重力环境综合场作用下颗粒物质运动规律和冶金熔池动力学规律研究,突破空间环境下开采与颗粒定向输运、废旧金属等材料解离、高效分选与冶金提取等关键技术,开展空间技术试验与演示验证。重点研究:

(1) 微重力下材料解离、富集与高效分选技术和低能耗电化学冶炼金属技术研究,探究空间环境下适用于材料分选的复合物理场构建方法,形成复杂粒径级配的矿物在电磁耦合场中的运动预测模型;在轨验证材料精准分选技术,为废旧金属等材料原位循环利用奠定基础。

(2) 构建低能耗电化学冶炼系统,建立电解质溶剂与星壤溶质之间溶解度和溶解速率,突破微重力下高温气液隔离与分离技术,为太空冶金奠定技术基础。

（四）模块化在轨组装与重构技术

面向下一代灵活可重构航天器平台需求,开展模块化在轨组装与重构技术研究。突破高可靠的重复插拔连接与分离、微重力环境无人机械臂高精度在轨组装、气液工质补加、遥操作控制等关键技术,实现在轨自主组装、检测和加注等功能。

（五）空间生物制造技术

依托空间站环境和资源,开展在轨药物等高价值目标产物的生物合成手段和调控分析技术试验验证,获得全新的合成基因元件库,构建适应空间特殊环境的生物制造技术验证试验平台,形成可扩展的空间生物制造技术标准,为空间系统在轨生物制造提供有效技术手段,逐步构建空间生物制造工业化应用平台,推进航天技术成果转移转化,促进国民经济发展。重点研究:

(1) 构建低成本、快迭代的试验验证平台,为潜在的生物合成与制造技术在轨验证提供支持能力。

(2) 开展潜在技术的生物制造技术稳定性和环境适应性考核评估, 开发适用于空间环境的生物合成技术手段, 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。

指南 20：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，解决柔性/刚柔机器人运动控制，灵巧、自主及协同操控和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。面向空间站长期安全高效稳定运行等任务需求，开展基于人工智能的航天器在轨运营管理技术研究，实现航天器系统状态监测与预测性维护、故障早期预警、智能诊断和自主修复，提升航天器在轨自主运营和决策能力，提高航天员协同工作的效率。

二、关键技术问题

- (1) 柔性机器人高性能运动控制技术；
- (2) 多约束条件下机器人灵巧、自主决策及协同操控技术；
- (3) 空间机器人关键部件和技术工程化研究；
- (4) 有限资源、复杂环境等欠资源条件下航天器智能化自主操控与运行技术。

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，具体详见《中国载人空间站科学实（试）验设施科学用户使用手册》。

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，其他研究方向项目也可申报。

（一）刚柔/柔性机器人技术

面向空间站舱外狭小空间巡检作业、柱体环绕巡检、设备维修等任务需求，开展柔性/刚柔混合机器人技术试验，实现航天员及空间机械臂不可达区域的任务实施。

（二）空间机器人天-地-数智能进化技术

智能进化是应对空间复杂作业任务不确定性问题的有效途径，开展空间机器人天-地-数智能进化技术验证，构建“感知-决策-执行-进化”一体化智能系统，突破空间智能机器人资源瓶颈，进一步拓展和提升执行任务的能力，为复杂任务场景下的机器人自主运行提供技术支撑。

（三）基于大模型的在轨智能系统技术

面向在轨智能技术应用需求，构建基于大模型的在轨智能算力平台，开展航天器智能运行管理、智能辅助航天员工作、在轨机器人智能作业等技术验证，形成天地一体智能运行体系，持续提升在轨运行管理和任务实施的智能化水平。

（四）管道机器人智能检测技术

面向空间站管型狭小复杂的空间巡检任务需求，开展机器人运动及操作智能技术研究，对自主/半自主的机器人检测处置能力验证。

（五）机器人灵巧末端技术

面向空间站巡检作业、设备维修更换、精细化操作等任务需求，开展灵巧末端及工具技术试验，提升空间智能机器人操作能力，实现各类复杂

任务的实施。

指南 21：新型推进技术

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、电推进技术、新型推进工质技术、在轨羽流形态及影响等技术研究。

一、研究目标

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；开展新型低成本推进工质在轨技术试验，验证基于新型工质的推力器工作特性和空间环境适应性，提升空间推进系统的效率和可靠性，促进空间推进系统经济化。

二、关键技术问题

- (1) 空间推进系统先进组件在空间环境下的工作机理研究；
- (2) 新型推进工质技术研究；
- (3) 贮箱高效主动管理技术。

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，具体详见《中国载人空间站科学实（试）验设施科学用户使用手册》。

四、重点支持研究内容

本指南重点支持开展新型推进系统技术研究，主要是：

- (1) 低成本推进工质技术

面向批量化、低成本航天器任务需求，开展航天器低成本推进工质技术研究，研究新型工质推进系统贮供管理、推力器工作特性、羽流分布、污染沉积和防护、空间环境适应性等内容。通过深入探索低成本工质推进

技术的关键技术，优化推进系统设计，提升推力器效率与可靠性，为实现航天器的经济运行提供技术支撑。

（2）低温推进剂管理技术

发展低温化学推进系统，适应未来新型空间系统快响应轨道机动、高效率转移运输等任务需求，开展微重力和空间热环境下高强度低导热材料与结构，推进剂供应，高效预冷调控、泄压单相排气，气液混合压力控制与流体混合在轨低温推进剂管理相关共性技术研究和基于应用全剖面的集成试验，揭示和把握低温推进剂在空间环境下各种效应的机理及规律，促进相关核心技术取得突破。

（3）吸气式推进技术

开展低轨吸气式推进系统集成气系统关键技术研究，研究轨道环境条件下气体资源收集、压缩等相关共性技术问题，促进低轨道航天器相关核心技术的成熟度提升，为发展低轨吸气式电推进先进动力技术奠定基础。

（4）推进剂高效主动管理技术

开展基于超声聚能等技术的推进剂主动高效管理控制技术研究，突破微重力环境下液体工质主动控制技术瓶颈，满足航天器快速机动推进剂稳定供应和主动管理，支撑新一代大机动航天器任务发展。

（5）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 22：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化、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，具体详见《中国载人空间站科学实（试）验设施科学用户使用手册》。

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，其他研究方向项目也可申报。

（一）高效二氧化碳转化与氧气再生技术

开展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：

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技术，开展二氧化碳制备与合成多类含碳化合物、碳氢化合物的技术验证。

（二）新型高效二氧化碳富集技术

研究新型高效再生式二氧化碳富集技术，本阶段重点研究：

针对载人航天器等在轨日常及出舱环境下的二氧化碳去除需求，研发新型高效二氧化碳富集材料，通过结构调控和工艺改进，进一步提高对二氧化碳的单位吸附容量和吸附速率，可实现低功耗条件下的高效再生，并具备长期运行稳定性，实现高效率、轻量化、高循环的二氧化碳富集要求，进一步提高大气再生系统的综合性能。

（三）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）研究载人航天器内高浓度废水的水再生技术，开发低能耗、低消耗品、高水回收率、高可靠性安全性的高浓度废水处理系统。开展载人航天器内微重力环境下对高浓废水、高含水固废等废弃物的在轨处理验证，实现对多种类在轨废弃物的水回收能力，包括但不限于尿残液、固废混合物、高温生活垃圾等，探索进一步提高空间站水回收循环系统物质闭合度的新方法。

（2）开展固体废弃物处理技术研究，采用物理化学、生物处理等方法，对固体废弃物有机物质进行分解、转化和利用，实现环控生保系统中固体废弃物的处理与回收，如大便中水的回收、废物处理产物直接用于植物栽培基质等。

（四）长期空间环境微生物腐蚀防护技术

面向载人航天工程材料长期安全服役需求，系统揭示微重力环境下微

生物腐蚀的跨尺度作用机制，构建天地差异关联的动力学模型，突破地面模拟评价与长效防护技术瓶颈，实现“微生物-材料-环境”交互机理认知、寿命预测模型开发及工程防护应用的全链条创新，为我国深空探测任务和空间装备可靠性提升提供理论支撑与技术保障。重点研究：

（1）防霉评价体系优化与标准化

1）基于天地腐蚀相关性模型，建立地面大规模筛选和在轨原位检验验证的天地联动的微生物腐蚀评价体系。

2）筛选优化评价菌株、试验条件和评价标准，制定适用于载人航天工程应用的可靠性在轨防霉评价标准及地面模拟加速试验方法。

（2）腐蚀防护技术工程应用

面向可重复使用载人航天器等典型航天任务特征，建立专项原材料选用防霉评价准则和微生物清洁控制方法，开展工程应用验证。

指南 23：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、飞行器在轨健康监测技术、在轨维修技术、人工智能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) 基于典型空间应用场景的在轨维修技术。

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，具体详见《中国载人空间站科学实（试）验设施科学用户使用手册》。

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，其他研究方向项目也可申报。

（一）新型元器件、部组件、原材料及工艺技术

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）面向空间柔性太阳能电池阵等柔性薄膜结构应用场景需求，开展柔性薄膜多层结构空间环境性能退化机理与长期服役性能提升技术验证，研究柔性薄膜结构与空间环境因素相互作用机理及失效机制、空间环境下柔性薄膜结构的功能演化规律与体系寿命预测、面向长期稳定服役需求的柔性薄膜结构设计方法、柔性薄膜结构长期服役性能退化抑制技术与寿命提升技术等。

（2）围绕具有高集成度的综合电子系统关键技术验证需求，开展基于新品器件技术体系的电子系统关键技术试验，验证该体系在复杂空间环境和复杂任务工况下工作的性能、稳定性和安全性，为后续载人航天任务提供技术储备。

（3）针对微重力、真空等极端空间环境，开展高可靠性传感器长寿命设计与免标定技术研究，突破环境干扰抑制与性能稳定性瓶颈，提升传感器在轨运行寿命与数据精度。

(4) 面向国产商用器件宇航应用需求,开展系统架构和软件容错纠错机制的应用防护技术在轨验证。研究超大算力芯片单粒子锁定在轨无感防护、商用器件单粒子翻转软件算法加固设计方法。支撑形成基于低成本、高性能商用器件和系统软件的单粒子应用加固标准规范,牵引建立宇航电子系统设计新模式。

(二) 快响型控温储液器热管理技术

开展快响型两相流体回路控温储液器空间热管理技术研究,验证空间环境下快响型两相流体回路控温储液器的功能性能,本阶段重点研究:

(1) 微重力下喷雾冷却快响型控温储液器内部气液转化规律,揭示微重力环境对喷雾冷却传热和传质的影响。

(2) 针对大功率设备及载荷对温度稳定性的高要求,制定两相流体回路控温储液器的快响应、高精度控温策略,开展喷雾冷却技术微重力下有效性的在轨验证。

(三) 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) 开展太阳辐射环境、中性大气环境、电磁环境、真空环境、带电粒子辐射环境、微流星和轨道碎片环境、极低轨空间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研究。通过积累准确的空间环境和效应在轨数据,支撑航天器安全稳定运行和空间环境防护设计。

(2) 综合运用光谱分析、色谱分离及质谱联用等技术,实现载人航天器舱内气体污染物的多组分协同实时监测。

(四) 空间目标探测与识别技术

开展航天器密封舱体结构、太阳帆板、管路等舱外设备的空间碎片感

知、监测、防护技术研究，获取空间站轨道百微米至毫米级等微小空间碎片特征参数，监测能力能够覆盖航天员不可达区域，建立我国自主可控的空间碎片环境模型，为空间站碎片撞击风险评估和防护提供支撑；

开展在轨航天器高精度识别及损伤识别技术研究，获取精准、有效数据，构建高精度的在轨航天器实做模型。开展航天器损伤识别及航天器大尺度实体结构模型精准拼接算法研究，有效评估航天器的损伤演化趋势以及大尺度结构的精度变化。实现航天器在轨扫描数据处理（几何特征拟合度偏差不大于0.5mm）、高精度识别微损伤形貌（1mm尺度识别率达95%）、大尺度三维结构模型拼接（30m尺度下拼接精度误差不超过3mm）。

（五）在轨维修技术

面向空间站长期稳定安全运行需求，瞄准在轨实际应用场景，开展在轨维修技术研究。以舱外流体管路、多层结构等为试验验证对象，开展在轨维修整体策略与方法研究。设计适用于空间微重力环境应用的柔性工具等新型工具，提高在轨维修的可达性和可操作性。结合空间机器人、在轨制造等技术，开展在轨维修的系统性研究。通过面向任务的在轨维修技术验证，建立在轨维修和工具的标准和规范。

重点突破舱外狭小空间内管路损伤缺陷检测和识别、流体管路快速切割与多余物防护、承压管路快速连接与密封保持、舱体局部破损部位在轨裁切、残留物控制与收集、柔性工具设计、狭小不可视空间设备拆卸等关键技术。实现空间站柔性工具、舱外异常管路快速修复和典型多层防护结构有效裁切等关键技术验证，解决地面重力条件下无法完全验证的不足，支撑我国载人空间站长期在轨安全运行。

重点研究：

（1）针对舱外流体管路损伤多样性和位置的不确定性，开展流体管路在轨维修整体策略与方法的研究。重点开展狭小空间管路在轨快速切割工艺、多余物防护、承压管路连接和密封保持等技术研究；开展适用于舱

内、舱外空间管路的原位损伤热修复技术研究，基于修复过程、成形、组织、性能等因素建立工艺参数体系，综合实现空间管路原位修复，并通过在轨验证。

（2）研究真空失重环境下材料裁切去除过程中的动力学行为和复杂多层防护结构精准可控裁切工艺，制定材料去除残留物控制与收集策略。

（3）研究适用于舱外狭小空间的柔性拆卸工具，对狭小空间、不可视等严酷区域且需要着舱外服操作的设备进行维修更换技术研究，实现在轨无重力干扰状态下，对维修操作对象的捕捉、定位、拆卸、到位反馈等技术验证，验证适用于空间微重力环境柔性工具设计的可操作性、可达性。

（4）开展在轨工具的体系研究，建立在轨维修和工具的标准规范，实现在轨工具的统型和优化。