

空间站应用与发展工程
空间科学与应用项目指南
(2024年)

中国载人航天工程办公室

二〇二四年十二月

指南 1：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、辐射等）下开展地球生物体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。

一、研究目标

研究地球生物体及其器官、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；掌握空间辐射下的应激机制、损伤变异和评估方法。

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）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。

三、空间站研究支撑条件

本指南研究可能用到（但不限于）的支撑条件主要包括生命生态实验柜、生物技术实验柜、舱外空间生物学暴露实验装置、科学手套箱与低温存储柜等，具体详询指南联系人。

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等。

（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等。

（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）空间辐射生物学研究

针对空间辐射对植物、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）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。

（2）空间辐射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。

指南 2：空间应用材料使役行为研究

近地轨道原子氧、空间辐射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。包括空间热控材料、舱外航天服材料、太阳能电池材料、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

本指南研究主要利用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。具体详询指南联系人。

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

本指南重点资助有明确应用背景及应用潜力、受空间环境因素影响较大的相关材料在空间的使役行为研究（鼓励与应用单位联合申报），包括（但不限于）以下研究方向。

（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）揭示低轨空间环境与材料的作用机理，研究材料在空间环境下的微结构演化、性能变化及其损伤效应与机理。

（2）结合在轨试验和地面模拟试验，研究材料服役性能及相关功能、寿命提高的新理论和新方法，材料制备工艺改进与使役性能提升新方法。

（二）空间暴露环境下功能材料在轨动态性能评估

针对材料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) 研究在空间暴露环境下使用的热控材料、太阳能电池材料、防护材料、舱外航天服材料、等多种材料服役行为的演变规律。

(2) 阐明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, 优化材料在轨特性评估方法及在轨寿命预测方法, 建立航天应用材料服役性能数据库。

指南 3：元器件与组件空间效应机理研究

空间电子元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件与组件的新现象、新原理、新机理等，指导电子元件与组件在原理、工艺、性能等方面的改进与提升，推动新型高性能空间元件和组件研发，提高元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，开展基于元件与组件空间效应机理研究及在轨验证，定量获取元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，评估元件与组件的在轨应用效能，进而指导高性能空间应用元件及组件的设计、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

| 类型 | 数量 | 试验区分布 |
|--------|--|--------------|
| IEUI | 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 (SEMUI) 占用 3 个，以太网通信控制单元占用 1 个。 | I~VI 区各 12 个 |
| IEUII | | |
| IEUIII | | |
| OEUI | 2 个标准暴露试验单元 | V 区 |
| OEUII | 2 个标准暴露试验单元 | |

(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 (试验 V 区) |
| 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 LVDS 数据线, 传输速率为 32Mbps, I~V 每个试验区两路; (4) 以太网: 1 路以太网总线, 仅试验 I 区可用, 支持 IEEE802.3 协议规定的 10、100、1000Base-T 通讯模式。 |

(4) 空间环境监测单位 (SEMU) 指标

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

另有空间站舱外其他装置空间辐射探测等环境数据支持。

四、重点研究项目

本指南项目自筹经费开展, 载人航天工程提供上行及下行支持条件。

(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、自旋输运等)、新材料 (如 SiC、 Ga_2O_3 、GaN、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 (系统级封装、倒装、凸块、晶圆级封装、3D 封装) 等先进技术, 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。如国产新研智能处理器、存算一体器件、光通信或感知模块、大功率电源模块, 以及汽车工业级等 COTS 元器件。

(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 4：空间应用新技术实验

空间站作为我国综合性的近地空间太空实验室，具有长期在轨、天地往返、有人参与等独特优势，可为我国在近地轨道及以远载人探测空间新技术发展与应用提供有效的试验验证平台，能够助力解决制约空间应用及相关技术高水平发展的一系列前沿问题和前瞻性技术难题，服务于空间探索和发现，提升空间利用能力，支撑空间技术发展，有力支撑航天强国建设。

一、研究目标

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，充分利用空间环境，在原理性、机理性、规律性研究方面取得突破，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，研究方向包括但不限于在轨制造和建造、核心部组件舱外暴露、空间信息与精密测量、微小卫星应用、共性基础应用新技术等，为未来载人月球及深空探索任务做技术储备，同时将新发现应用于地面相关技术的提升，推动空间应用创新发展。

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新技术实/试验验证。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指南联系人。此外，载荷的安装运行还需要进一步考虑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设计需求，在后续论证中进一

步细化确定。