

2017 年国外空间科学与应用发展综述

国际空间站第 49/50 次和第 51/52 次长期考察任务乘组(2016 年 9 月—2017 年 9 月)在技术开发与验证、人体研究、教育活动和推广、生物学与生物技术、物理科学及地球与空间科学 6 大研究领域开展了 349 项科学研究实验。

一、科学研究与应用概况

在这 4 次长期考察任务中,美国国家航空航天局(NASA)、俄罗斯航天国家集团公司(Roscosmos)、日本宇宙航空研究开发机构(JAXA)、欧洲航天局(ESA)和加拿大航天局(CSA)在 6 大研究领域资助开展的实验项目数及其中新实验的项数如表 1 所示。

表 1 国际空间站第 49~52 次长期考察任务中各航天局在各研究领域资助开展的实验项数(括号中为新实验项数)

	技术开发 与验证	人体 研究	生物学与 生物技术	物理 科学	教育和 文化活动	地球与 空间科学	总计 ^①
NASA	68(41)	22(4)	40(34)	24(8)	26(18)	15(9)	195(114)
Roscosmos	17(3)	20(2)	19(3)	4(1)	5(0)	9(2)	74(11)
ESA	10(4)	17(3)	1(1)	16(11)	2(1)	2(0)	48(20)
JAXA	3(0)	6(2)	6(0)	7(0)	1(0)	5(0)	28(2)

续表

	技术开发 与验证	人体 研究	生物学与 生物技术	物理 科学	教育和 文化活动	地球与 空间科学	总计 ^①
CSA	2(0)	4(0)	0(-)	0(-)	2(2)	0(-)	8(2)
总计	100(48)	66(11)	66(38)	50(20)	36(21)	31(11)	349(149)

①存在合作项目，总研究领域项目总计小于等于各航天局项目数之和。

在第 49~52 次长期考察任务开展的全部 349 项实验中，NASA 资助了 195 项，其中技术实验最多，其次为生物学与生物技术实验。Roscosmos 共资助 74 项实验，其中人体研究最多，生物和技术实验次之。此外，ESA 在人体研究和物理科学，JAXA 在物理科学、人体研究和生物，以及 CSA 在人体研究方面的实验项目数相对较多。在全部 349 项实验中有 149 项为新实验，其中 114 项由 NASA 资助，技术、生物、教育和物理科学领域的新实验较多。

二、科学研究与应用进展

(一) 技术开发与验证实验

1. 研究概况

技术开发与验证实验共计 100 项，其中 48 项为新实验，NASA、ESA 和 Roscosmos 分别资助了 41 项、4 项与 3 项新实验，小卫星和控制技术、航电设备和软件、航天器和轨道环境、辐射测量和防护等研究方向的新实验最多。

2. 研究进展和新变化

NASA 资助了 9 项小卫星和控制技术新实验。“OSIRIS-3U 立方体卫星”将对地基 Arecibo 天文台向电离层特定区域发射的脉冲开展近距离观测，增进对电离层的理解。“国际空间站耐辐射计

算机任务”测试新型计算机系统在空间辐射环境下的表现。“立方体卫星的恒星陀螺系统验证”利用小型相机拍摄星场并开展在轨分析，为小卫星提供定位，并测试新型软件预测卫星在大气阻力下的路径。“同步位置保持、轨道预定、再定向实验卫星-光晕”将升级多个同步位置保持、轨道预定、再定向实验卫星 (SPHERES)，使每个 SPHERES 可以同时支持 6 个外围设备，测试新型控制和远程组装方法。“技术教育卫星-5-按需样品返回能力-小型载荷快速返回”实验研究利用大气阻力调整航天器的“外构刹车”(Exo-Brake) 系统。“纳米机架-QB50 项目”利用国际空间站部署由 28 颗立方体卫星构成的星座，开展地球热层研究。“纳米机架-冰立方”卫星将测量云层中的冰粒子，有助于提升大气监测技术。“纳米机架-‘牵牛星’空间平台技术探路者”实验测试“牵牛星”(ALTAIR) 下一代可负担弹性空间平台所需的导航传感器等多项关键技术。“纳米机架-加利福尼亚州立大学北岭分校卫星 1”旨在测试适用于空间低温环境的新型轻质、长寿命电池系统。

NASA 资助了 8 项航电设备和软件新实验。“用于维护、库存和配载的增强现实应用”实验验证利用增强现实技术执行维护任务和配载管理等标准活动。“乘员自主规划测试”实验旨在确定乘员自主规划日常任务运行是否会对任务造成负面影响。“霍尼韦尔公司-摩海德州立大学-可靠多处理器-7”实验验证可靠多处理器新型计算机软件系统技术在空间辐射环境下的性能。“SG100 云计算载荷”实验验证基于 SG100 单板计算机的云计算载荷长期处于近地轨道辐射环境下的性能。“高精度雷达校准航天器”实验验证利用立方体卫星为地面雷达站基座偏移提供校准数据。“国际空间站上的高性能商用现货计算机系统”实验验证高性能商用现货计算机系统在国际空间站辐射环境下的性能。“空间测试计划-休斯顿 5-高性能可重构计算中心空间处理器”实验研究用于立方

体卫星、小型卫星和其他小型航天器系统的微型空间计算机。“空间测试计划-休斯顿 5-SpaceCube-Mini”实验验证该版本混合计算机处理器的性能。

NASA 资助了 4 项航天器和轨道环境新实验。“空间测试计划-休斯顿 5-自动化羽流哨兵”实验研究到达的航天器的推进器与国际空间站的相互作用。“空间测试计划-休斯顿 5-无线电掩星和紫外分光光度法共定位”实验研究电离层的结构和变化。“空间测试计划-休斯顿 5-集成微型静电分析仪-再飞行”实验测量等离子体的密度和能量，改进对电离层以及航天器在近地轨道的充电效应的预测。“空间测试计划-休斯顿 5-临边成像电离层和热层极紫外摄谱仪”实验研究热层和电离层，有助于更好理解和预测空间天气。

NASA 资助了 4 项辐射测量和防护新实验。“快中子光谱仪”实验研究更加适用于深空混合辐射场的新型中子测量技术。“微型粒子望远镜”实验旨在验证仅有掌心大小的辐射探测器确定空间带电粒子能谱的方向特性的能力。“空间屏蔽：被动屏蔽伽马射线”实验利用盖革计数器测量被动屏蔽材料的抗辐射水平。“空间测试计划-休斯顿 5-抗辐射电子存储器实验”研究电子存储器在空间高能粒子辐射下的故障频率。

NASA 资助了 2 项表征实验硬件新实验。“国际空间站便捷性非侵入式采样和结果传回地面”实验测试一种可在轨检测乘员的唾液，实现直接实时分析的便携式生物分析设备。“铺展式太阳能电池阵列”实验测试一种可展开的新型太阳能电池阵列。

NASA 资助了 2 项成像技术新实验。“纳米机架-电荷注入器件”实验验证电荷注入器件在空间环境下的性能。“纳米机架-KE IIM”微卫星搭载电光成像系统载荷，验证在近地轨道利用微卫星支持关键操作的概念。

NASA 资助了 2 项灭火和火情探测新实验。“航天器火灾实

验-2”和“航天器火灾实验-3”系列实验在“天鹅座”飞船返程期间在空舱内燃烧多种材料的实验样本，结果有助于遴选空间应用的阻燃材料，以及理解火焰是如何在航天器中蔓延的。

NASA 资助了 2 项热管理系统新实验。“被动热飞行实验”测试三种先进的基于热管技术的器件，验证其在轨性能。“空间测试计划-休斯顿 5-电流体动力学”实验研究一种利用电场泵浦冷却剂的原型泵。

NASA 资助了 2 项生保系统和宜居性新实验。“用于生保研究的毛细结构”实验研究利用毛细结构被动分离微重力下的气体和液体的新方法。“空间探戈公司有效载荷卡-仙人掌介导微重力二氧化碳去除”实验评估仙人掌去除航天器舱内空气中的二氧化碳的能力。

NASA 资助了 2 项微重力环境测量新实验。“空间测试计划-休斯顿 5-航天器结构健康监测研究”实验监测空间测试计划设备上的零部件从组装、测试至到达轨道所发生的变化，旨在发现确定设备失效的新方法。“无线泄漏探测”实验验证一种新型超声传感器，以确定国际空间站结构上发生漏气的位置。

NASA 还资助了其他 4 项新实验。“空间测试计划-休斯顿 5-创新涂层实验”研究近地轨道航天器采用的新型涂层长期暴露于空间环境的稳定性。“气溶胶取样实验”采集并分析国际空间站舱内空气的粒子样本，为未来长期载人任务设计粒子监测器提供信息。“热防护材料飞行测试和再入数据采集”实验研究可搭载航天器再入地球大气层的新型记录设备，为了解航天器经历的极端条件提供关键数据。“空间测试计划-休斯顿 5-渡鸦”实验旨在验证航天器自主实时导航系统。

ESA 资助了 4 项新实验。“回声”实验评估遥操作超声系统，为在轨人员提供快速准确的医疗诊断。“国际空间站新型表面材料的微生物气溶胶附着”实验研究多种新型航天器舱内表面材料

在空间中的抗菌性能。Aquapad 实验旨在验证新型水质检测方法，提高国际空间站饮用水测试的速度和效率。EveryWear 是一个利用可穿戴式传感器的动态数据采集系统，可记录和传输服务科学和医疗目的的各类生理学数据。

Roscosmos 资助了 3 项新实验。“冲击”实验将在脉冲串模式下建立羽流污染排放簇射流场的时间分布函数计算模型。“纳卫星”实验验证 TNS-02 纳卫星在真实空间环境的飞行控制能力。“计时器”综合研究国际空间站的技术运行环境，开发用以评估航天员出舱活动准备情况的自动系统。

此外，“毕格罗可扩展式活动模块”“机器人航天员”“激光通信科学光学有效载荷”等 52 项实验继续开展。

(二) 人体研究实验

人体研究实验共计 66 项，其中新实验有 11 项。

NASA 资助了 4 项新实验。“医用耗材跟踪”实验利用无线电识别码跟踪国际空间站上的药品和医疗用品，方便地面管理人员了解医疗用品的使用和剩余情况。“空间探戈公司有效载荷卡-微重力下的葡萄糖生物传感器”实验旨在评估医疗植入式葡萄糖生物传感器用于日常糖尿病管理的准确性。“国际空间站上免疫功能的改变，潜伏的疱疹病毒再激活，以及生理应激与临床发病率”实验通过分析航天员血液和唾液样本，确定飞行过程中航天员身体免疫系统发生的变化。“国际空间站高保真模拟和飞行研究期间测试利用固态照明改善生理适应、睡眠和绩效”实验测试航天员在日间活动期间使用固态发光二极管照明的效果，评估固态照明使用时间规划表对航天员视觉、睡眠、警觉性、昼夜节律以及整体健康状况的影响。

ESA 资助了 3 项新实验。“感觉运动绩效的重力参考：伸手与抓取”实验旨在更好地理解中枢神经系统如何整合不同感官的信息。GRIP 实验研究长期空间飞行对人在操作物体时调节握力和上

肢轨迹的能力的影响。“透视”实验利用虚拟现实技术研究人体认知功能适应微重力环境时产生的变化。

JAXA 资助了 2 项新实验。“空间生态系统中人体微生物代谢串扰的多组学分析”实验结合对肠道中微生物成分、代谢物概况和免疫系统的测量数据，评估空间环境和益生菌对小鼠免疫功能的影响。“封闭微重力环境下评估持续摄入益生菌对航天员免疫功能和肠道微生物群的影响”实验研究长期空间飞行中摄入干酪乳酸菌代田株能否改善航天员肠道菌群及免疫功能。

Roscosmos 资助了 2 项新实验。“预防-2”实验研究在长期空间飞行条件下，不同种类的体育锻炼对航天员身体和生理健康状况的影响与机制。Sarcolab 实验研究长期飞行状态下航天员做出规定或受限收缩动作时肌肉肌腱和神经肌肉之间的关系。

此外，“空间头痛研究”等 55 项实验继续开展。

(三) 生物学与生物技术实验

生物学与生物技术实验共计 66 项，其中新实验有 38 项。

NASA 共资助了 34 项新实验，其中细胞生物学方向有 14 项。“Azonafide 抗体-药物复合体(ADC)在微重力下的功效与代谢”实验旨在评估新型 ADC 药物，将免疫激活药物与抗体结合，针对癌细胞进行靶向治疗。“脂肪间充质干细胞转化成成熟的心肌细胞”实验利用空间微重力环境研究干细胞如何分化成特定的心肌细胞。“空间飞行对心血管干细胞功能的影响”实验研究微重力如何影响干细胞，探究控制干细胞活动的因素。“辅酶 Q10 在国际空间站上作为由放射和微重力引起的视网膜病变的抗凋亡对策：视网膜细胞培养实验”实验利用培养的人视网膜细胞检测辅酶 Q10 对空间辐射和微重力的防护作用。“微重力对干细胞介导的细胞再生的影响”实验通过为不同类型的肺细胞提供关键生长因子，观察微重力如何影响新生肺组织的生长和特化形态。“微重力下用于生物研究的磁化三维细胞培养”实验旨在验证磁性细胞培养和生

物打印可否成为微重力下二维和三维细胞培养的通用平台。“心肌细胞生物制造的成熟研究”实验旨在研究三维生物打印的心脏和血管细胞在微重力环境下的生长和发育。“微重力下干细胞扩增”实验利用国际空间站平台培育人体干细胞用于临床试验并评估其治疗效果。“分析微重力引发人体卫星细胞功能改变的多学科方法及可能对策研究”实验观察人体肌肉卫星细胞的分子、细胞和功能变化，研究特定基因 IGF-1 在抵消微重力导致的肌肉萎缩中的作用。“纳米机架-北京理工大学-1-空间环境下在 PCR 反应中 DNA 错配规律研究”实验旨在研究空间辐射及微重力环境对抗体编码基因的突变影响。“纳米技术对长期暴露在微重力环境下的肌肉组织氧化应激的解决方案”实验利用氧化铈纳米颗粒抵消肌肉变化与变化引发的功能性问题。“微重力环境下内源性大麻素系统在干细胞重编程过程中的作用”实验评估微重力环境下内源性大麻素系统在骨代谢变化中的作用，鉴定新的骨再生治疗靶点。“空间探戈公司细胞培养硬件测试”实验旨在评估 TangoLab-1 设备内的细胞培养模块和微流控。“空间探戈公司有效载荷卡-平滑肌细胞培养”实验旨在评估小鼠主动脉平滑肌细胞的不自主动收缩。

NASA 在微生物学研究方向上资助了 7 项新实验。“高等植物实验-02-2”实验测定空间飞行中辐射造成的酿酒酵母克隆缺失，确定辐射损伤的分子机制。“微生物跟踪-2-国际空间站致病性病毒、细菌和真菌的微生物观测”实验将记录和表征国际空间站上潜在的致病微生物，分析样本微生物含量之间的关系以及潜在的健康影响。“利用‘基因雷达’预测病原体基因突变研究的概念验证”实验评估“基因雷达”(Gene-RADAR)识别空间中细菌突变的可行性。“空间探戈公司有效载荷卡-外显子组微生物细菌”实验研究常见微生物细菌对微重力环境的响应。“空间探戈公司有效载荷卡-MMARS-1”商业实验研究巴氏甲烷八叠球菌对空间微重

力和辐射环境的适应情况，验证利用压力测量评估细菌的代谢能力。“空间技术和先进研究系统公司-生物科学-1”实验研究 N315 金黄色葡萄球菌在微重力环境下失去有害性的原因。“空间技术和先进研究系统公司-地心真菌”实验利用微重力环境培育罕见的产黄青霉，研究新型抗生素。

NASA 在动物生物学研究方向上资助了 5 项新实验。“啮齿类动物研究-4-组织再生-骨缺损”实验旨在了解受重力影响的伤口愈合机制。“啮齿类动物研究-5-NELL-1 系统治疗骨质疏松症”实验旨在测试一种可以修复骨骼并减缓骨质流失的新药。“啮齿类动物研究-9-空间环境对头部、颈部、膝关节、髋关节以及眼部血液和淋巴管的影响”实验旨在研究微重力对啮齿动物血液、淋巴管、肌肉和骨骼的影响，以及液压对眼部和头部的影响。“利用果蝇模型研究微重力对心脏功能、结构和基因表达的影响”实验将对比空间孵化的果蝇与地面生长的果蝇，了解空间飞行对果蝇心脏功能的影响。“纳米机架-Valley 基督高中-微重力对秀丽隐杆线虫神经发育的影响”实验对秀丽隐杆线虫进行特殊遗传标记并记录其形态变化，与地面对照组进行比较。

NASA 在植物生物学研究方向资助了 4 项新实验。“高等植物实验-04-拟南芥响应空间飞行的后生变化-国际空间站上植物的微分胞嘧啶 DNA 甲基化”实验研究微重力下拟南芥幼苗生长过程中发生的分子变化。“罐中生物学研究-22”实验研究拟南芥在微重力条件下应激反应的基因调控。“拟南芥根的吸力表征-2”实验研究空间飞行导致植物生长、特别是根的生长发生改变的分子信号，以及植物感知重力方向的遗传基础。“空间探戈公司有效载荷卡-植物发芽和生长模块评估”实验利用该模块研究多种植物在微重力环境中不同生长阶段的情况，为未来植物生长研究提供科学和技术数据。

NASA 还资助了另外 4 项新实验。“空间科学促进中心-蛋白

质晶体生长-6-用于加速再活化剂设计的人乙酰胆碱酯酶中子晶体学研究”实验旨在生产医学上重要的神经递质酶——乙酰胆碱酯酶的晶体。“空间科学促进中心-蛋白质晶体生长-7-微重力条件下 LRRK2 的结晶”实验利用国际空间站微重力环境生长更大的 LRRK2 晶体。“纳米机架-圣约瑟夫卡罗美学院- β -淀粉样肽”实验利用荧光光谱仪研究微重力下纤维的形成和 β -淀粉样肽。“空间探戈公司有效载荷卡-种子-1 和种子-2”实验研究缬草和长春花两种药用植物在微重力下基因表达的改变。

Roscosmos 资助了 3 项新实验。RR 实验旨在理解空间飞行中与组织再生/恢复相关的生物和分子过程的特性，在空间飞行条件下评估某些骨诱导剂的治疗效果。Mikrovir 实验研究空间飞行对噬菌体溶菌速度的影响。Probiovit 实验旨在开发可在国际空间站上简单方便制作益生菌发酵乳的技术。

ESA 资助的新实验“幼苗生长-3”利用拟南芥研究重力对植物感光的细胞信号转导机制的影响，以及在微重力环境下细胞生长和增殖对光刺激的响应。

此外，“JAXA 蛋白质晶体生长”“蔬菜硬件-03”等 28 项实验继续开展。

(四) 物理科学实验

物理科学实验共计 50 项，其中新实验有 20 项。

ESA 共资助了 11 项新实验，其中 10 项实验利用电磁悬浮炉开展。“电磁悬浮炉连铸钢的激冷”实验研究模拟连铸产品表面凝固的冷却工业合金钢的表面形态，并分析获得的微结构。“铜合金的过冷和分层”实验研究在地面上难以混溶的铜钴合金样品的表面张力和界面张力。“呈现二十面体短程有序的过冷液态钛钴镍的热物理性能和凝固行为”实验研究不同组成的过冷液态钛钴镍的热物理特性，并通过研究最大过冷条件下液体的流动效应来评估新的成核模型。“过冷熔体中的成核和相选择现象研究与模

拟：应用于工业相关磁性合金”实验利用磁悬浮高速相机观测铁、钴、镍等磁性合金，研究磁性合金的亚稳相形成。“非平衡凝固，工业合金微结构形成模拟”实验研究插入液态镍铝合金与铝铜合金的针棒周围形成的微观结构及其生长速度。“电磁对流下包晶合金的快速凝固”实验研究熔体对流对包晶合金相选择的影响。“高温金属的电阻率测量”实验将校准和验证样品耦合电子器件，并测量铌镍合金和锆镍合金的电阻率。“微重力下熔融和过冷液态半导体的热物理特性”实验研究液态硅锗合金的温度与热物理特性之间的关系。“液态合金的高精度热物理特性数据用于模拟工业凝固过程”实验研究液态工业合金的温度与热物理特性之间的关系。“非平衡多次相变：共晶凝固、调幅分解和玻璃形成”实验研究逐步过冷下从共晶和枝晶凝固至调幅分解和玻璃形成的一系列相变过程。ESA 资助的另一项新实验“空间流体动力学”实验研究模拟燃料箱的小球在温度梯度下的质心位置。

NASA 共资助了 8 项新实验。“微重力 CLYC 晶体生长”实验将生长 CLYC 晶体，有助于更好了解获得高质量、无缺陷晶体的精确条件。“碘化铟晶体非接触生长”实验采用非接触方法生长高质量碘化铟晶体。“先进胶体实验-温度-6”实验研究凝胶和乳霜中胶体的微观行为，了解其中微结构的演变。“DECLIC 临界流体与结晶化研究设备-与 ALICE 类似的插件-翻新”实验研究微重力下处于沸腾边缘的液体中热的流动，有助于开发微重力下的冷却系统。“难以润湿的表面”实验旨在研究微重力对药物原料溶解性的影响，结果有助于改善药物递送，改进空间和地面应用药物的设计。“微重力下的冻干法”实验在国际空间站上研究微重力环境下的冷冻干燥过程，并将一系列冻干样品送返地面与控制样品进行对比分析。“先进燃烧微重力实验”开展 5 项层流气体非预混火焰实验，旨在提高地面实际燃烧的燃料效率同时减少污染，通过开展材料可燃性创新研究改进航天器防火。“纳米机架-Vitae

项目 Vi-III”实验测试形状记忆合金的空间成熟度。

Roscosmos 资助了 1 项新实验。“火光”实验旨在获取数据并建立微重力条件下的碳氢燃料燃烧模型，以便在密闭舱体内建立消防安全系统。

此外，“毛细管流”“冷焰研究”“等离子体晶体-4”等 30 项实验继续开展。

(五) 教育活动和推广实验

教育类实验共计 36 项，其中 21 项为新实验。

NASA 资助了 18 项新实验，其中 13 项利用纳米机架开展，研究内容涉及动植物、蛋白质、微生物等生物学研究，流体、材料等物理学研究，以及环境传感器等技术类研究等。“空间中的基因”开展了 3 项系列实验，“空间中的基因-2”实验利用聚合酶链反应(PCR)和 miniPCR 系统探究是否可以在空间中增强 DNA，从而测量和监测空间飞行期间 DNA 的端粒变化。“空间中的基因-3”实验旨在验证可以在微重力环境下使用地面常规方法进行 DNA 扩增和样本制备，并建立一套流程。“空间中的基因-4”实验利用秀丽隐杆线虫和小型化 DNA 检定系统检测空间高辐射微重力环境下热休克蛋白的基因表达。此外，新实验“国际空间学校教育信托基金”开展微生物燃料电池、突变果蝇的活动、仙人掌介导二氧化碳脱除等 3 个教育项目，“拟南芥”实验旨在研究微重力环境如何影响拟南芥的生命周期。

CSA 资助了 2 项新实验。“西红柿-5”实验对经历过国际空间站环境的和地面上普通的西红柿种子开展对比种植研究。“音乐与空间”通过在国际空间站上播放音乐提高公众关注度。

ESA 资助了 1 项新实验。两台 AstroPi 电脑将用于测量国际空间站内部环境，探测空间站移动状态和地球磁场。

此外，“地球之窗”等 15 项实验继续开展。

(六) 地球与空间科学实验

地球与空间科学领域共开展了 31 项实验，其中 11 项为新实验。

NASA 共资助了 9 项新实验，其中 4 项为天体物理学实验。“国际空间站宇宙线能量和质量”实验旨在测量高能粒子，研究宇宙线的起源及历史，深入了解宇宙基本结构。“中子星内部构成探测器”旨在开展中子星高精度测量，并测试 X 射线授时和导航技术。“天体物理学研究角秒空间望远镜”是一个从国际空间站部署、旨在探测系外行星的 6 单元立方体卫星。“摩海德州立大学宇宙 X 射线背景纳卫星”是一个从国际空间站部署的 2 单元立方体卫星，旨在以低于 5 % 的精确度测量 30~50 keV 的宇宙 X 射线背景。

NASA 还资助了 3 项对地观测新实验。“平流层气溶胶和气体实验 III”通过对地球臭氧层、其他气体、气溶胶和大气中的微小颗粒进行长期测量，帮助人类了解和保护地球大气层。“空间测试计划-休斯顿 5-法布里-珀罗甲烷光谱仪”实验旨在验证开发、建造和运行一种新型天基甲烷测量仪器，有助于解决甲烷分布、通量和趋势等关键科学问题。“空间测试计划-休斯顿 5-闪电成像传感器”实验旨在测量闪电的数量、速度和能量，提高对闪电及其与天气的关系的认识。

NASA 资助的 Dellinger/RBLE 实验为一个 6 单元立方体卫星，旨在测量地球高层大气的磁场波动和分子变化，以确定基线条件并观测空间天气影响；“内布拉斯加大学林肯分校太阳中子探测器”实验旨在测量低能量的太阳中子，验证数十年来对太阳产生中子的预测，并检测由中子造成的辐射损伤和材料疲劳。

Roscosmos 资助了 2 项新实验。“场景”利用国际空间站上的遥感设备记录地球上的灾害现象，并根据观察结果开发评估地球灾害、潜在危险及环境问题的方法。“晨昏线”研究中层大气上部

和热层底部的大气分层结构。

此外，“阿尔法磁谱仪-02”“量能器型电子望远镜”“沿海海洋超光谱成像仪”等 20 项实验继续开展。

三、结束语

国际空间站已迎来空间科研应用活动的高峰期。自 2015 年起，每年的 4 次长期考察任务都开展了超过 300 项实验。各国航天局积极谋划在 2024 年国际空间站计划结束之前，最大限度地发挥国际空间站的科研应用价值。在 2017 年 9 月召开的第 68 届国际宇航大会上，NASA 局长表示正在与各方合作伙伴探讨在 2024 年后继续运营国际空间站的可能性，JAXA 局长称现阶段应重点关注如何充分利用国际空间站，以获取更大收益。美国在 2017 年 9 月首次实现美国舱段 4 人驻站，使航天员有更多时间开展科研活动。可以预见，各国还将继续加强对国际空间站的科研应用。