

# 2009 年空间科学与应用发展综述

2009 年载人航空气间科学与应用研究主要围绕国际空间站展开,已经完成的国际空间站第 19 长期考察团和 20 长期考察团任务进行了大规模的多学科空间科学实验。

2009 年的探月活动非常丰富,美国于 2009 年 6 月 18 日发射了“月球轨道勘测器(LRO)”和“月球坑观测与感知卫星”(LCROSS),印度的“月球初航”-1 月球探测器和日本的“月亮女神”月球探测器相继完成任务,并陆续发布已取得的成果。

## 一、国际空间站空间科学与应用发展综述

国际空间站开展的实验项目重点涉及的学科领域有,空间生命科学、微重力生物学、微重力物理学、空间天文学、对地观测和空间站技术研发六个学科领域。

2009 年 9 月 10 日,美国国家航空航天局(NASA)发布国际空间站上 8 年来取得的科学研究成果的详细报告,报告包括 100 多项科学实验,详述了 22 个不同的技术演示,33 个物理科学实验,27 个生物实验,32 个人体实验,此外还有地球观测及教育活动等。

### (一)2009 年国际空间站新增科学实验设施

#### 1.尿液监测系统

尿液监测系统(UMS)是由 NASA 研制的升级系统,属于人体研究设施(HRF)的一部分。

UMS 系统进行检验时,系统硬件将测试其在循环周期间消除液体结转的效果、外水体积测量的不准确性和无效样本的交叉污染情况。获得的样品作为检验的一部分,将在 STS-129/ULF3 次飞行中返回地面进行分析。一旦验证系统能够正常运作,将为需要收集尿液的实验服务。

航天员将运作该系统并执行以下任务,对国际空间站小便池软管接口处的气流状况进行评估、校准评估和全面的用户评价:

- 气流评估将验证国际空间站 UMS 系统小便池软管用户端的气流是否合适。

- 校准评估的目的是为压力与体积的标定和精确的个人外水体积测量获得全分离碗压力读数。

- 完整的用户交互评估将需要参与人员利用国际空间站 UMS 系统进行少量排尿,而不再直接利用废物和卫生舱。机组人员对每次排尿完成一个象征性的 UMS 循环周期,包括为空间飞行后分析进行样品采集。计划在 5 天任务中,进行一天该系统的实验。

安全、准确、可靠地获得国际空间站航天员的典型性尿液样本和测量总外水体积,对人体研究是必不可少的。UMS 是对空间站现有系统的成功改进,解决了液体结转、外水体积测量不准确和无效样本的交叉污染问题,能够准确地收集和测量国际空间站内人员的尿液样本外水体积,从空气中分离尿液,并允许个人采集,样本不受污染。

该系统更加便于执行航天员健康监测的非侵入性方法、应对方法评估以及未来探索任务的各种生物医学研究规范,还将大大降低尿液收集所需的发射质量和耗材量,消除了大量剩余尿液的在轨存放和处理,避免了需要尿液样本时水回收系统的尿液损失,解决了现有系统由于航天员性别不同带来的问题,并且易于操作。该系统也将为收集尿液样本,并自动测量外水体积用于今后真正的实时样品分析提供了便利。在轨分析可以减少需要返回地球的样本数量,并为研究人员和空间站的医疗人员提供更及时的结果反馈。

## 2. 先进生物研究系统

先进生物研究系统(ABRS)是一个由 NASA 研制的独立的中层甲板柜替换设施。

ABRS 包括两个独立控制的生长室。每个生长室都是一个封闭

的系统,能够独立控制温度、光照能力和大气成分,并具备通用的自上而下成像能力及动力和数据服务,可满足装在生长室内部的各种独特的实验设备的需求。ABRS 的生长室可生长各种生物有机体,包括植物、微生物及小型节肢动物(昆虫、蜘蛛)等。

ABRS 的两个独立控制生长室的具体功能包括:

- 温度控制在比环境温度低 8℃;
- 光合有效辐射强度为 50~300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ;
- 不间断滤除乙烯,使之浓度保持在 25ppb 以下;
- 二氧化碳水平可控;
- 不间断滤除挥发性有机化合物;
- 相对湿度控制在 60%~90%之间;
- 包括 3 架照相机的通用成像室;
- 通用支持独特实验设备,包括绿色荧光蛋白成像器。

ABRS 为后部换气的动力柜,同时与航天飞机和国际空间站快速集运箱(EXPRESS)机架兼容,属于快速集运箱上的子机架设施载荷,既可以作为基础设施,也可以作为样品上下传输的设施。ABRS 传感器的数据和图像通过快速集运箱机架上的以太网传输至地面,ABRS 既可通过地面控制,也可通过快速集运箱机架上的笔记本电脑控制。

目前的运行计划包括将 ABRS 永久放置在国际空间站上,并以低功耗上升模式在中层甲板上运行。

### 3. EXPOSE-R 设施

EXPOSE-R 设施由欧洲航天局研制,在“进步”号 P31 次飞行中运往国际空间站,在 2009 年 3 月的一次出舱活动中,被连接到俄罗斯“星辰”号服务舱外面的欧洲外部设施平台上。它涵盖光化学、光生物学和天体生物学等领域的多项实验,需要暴露于外部空间环境中,可同时记录温度和辐射光谱数据。

该设施包括以下子系统:

- 整体构造和机械装置;
- 快门(包括盖、铰链和快门驱动器);
- 托盘(包括窗口、密封件、阀门和连接器);
- 样品托架(包括窗口、过滤器和控制器);
- 暴露控制单元(控制电机和阀门,及进行数据采集);
- 传感器(温度、压力、紫外线和接近度传感器);
- 4个传感器包(紫外线 B 和辐射计传感器包);
- 热控制系统;
- EuTEF 数据处理和电源装置的电子 I/F 转换。

实验托盘用于支撑和密封科学有效载荷结构,托盘配有四方形凹槽,可放入的样品托架尺寸为 77 毫米×77 毫米×26 毫米。每个托盘可容纳四个样品架,用光学窗口密封或开放于空间环境中。托盘与结构之间的机械接口方便了快门的使用,可以全方位观察样品架,不存在边缘或突出部位的遮挡。

目前,Expose-R 有效载荷包括九个实验,配备了三个托盘,盛载多种生物样品,包括植物种子及细菌、真菌和蕨类孢子,将在恶劣的空间环境中暴露约一年半的时间。暴露实验结束后,托盘将随航天飞机返回地球,样品将送往德国科隆的微重力用户支持中心(MUSC),在微重力用户支持中心样品被分发给相关科学家进行进一步分析。

## (二)2009 年国际空间站进行的科学研究及实验

### 1.空间生命科学领域

空间生命科学研究包括微重力环境下的生命科学、人体研究、人体生理及心理学等。下面按机构分类介绍国际空间站空间生命科学领域实验情况。

#### (1)美国国家航空航天局

##### ①辐射对航天员的长期异常影响——辐射量测定

辐射照射是人类在近地球轨道之外探索任务中所面临的最大

风险之一。辐射量测定(ALTEA-Dosi)将测量国际空间站美国“命运”号实验舱的粒子通量,区分粒子类型并测量粒子轨迹和沉积能量。将ALTEA-Dosi数据与舱内带电粒子定向光谱仪(IVCPDS)、舱外带电粒子定向光谱仪(EVCPDS)的数据进行比较,将有助于了解“命运”号辐射光谱和辐射屏蔽的特点。

#### ②利用双膦酸盐对抗空间飞行诱导的骨损耗

在过去长期空间飞行中,尽管航天员进行运动锻炼,但身体某些部分骨质流失的速度仍然达到每月1%~2%。利用双膦酸盐应对空间飞行诱导的骨损耗(Bisphosphonates),将验证有助于减少骨质流失的抗吸收剂与常规的空间飞行锻炼计划共同作用,是否有助于阻止航天员的骨密度下降。

#### ③航天员免疫功能监测规程的验证以及短期生物学检查

航天员免疫功能监测规程的验证-短期生物学检查(Integrated-Immune-SDBI)将评估空间飞行对人体免疫系统产生不利影响的临床风险,并验证适用于空间飞行的免疫监测策略,以便今后研发相应对策。对免疫系统的变化进行监测包括在空间飞行之前、期间和之后,对航天员的血液、尿液和唾液样本进行采集和分析。

#### ④营养状况评估

营养状况评估是NASA迄今为止进行的有关空间飞行中人体生理变化最全面的研究,包括骨质代谢、氧化损伤、营养评估和激素变化等。这项研究将收集航天员在飞行前、飞行期间及飞行后的血液和尿液样品,利用标准的实验室方法对样品进行生化分析,并对分析结果加以统计,检测营养状况。

这项研究对未来向更深的空间领域探索具有重要意义,将影响未来营养需求和食物系统的发展,还有利于了解空间锻炼和药物措施对航天员营养状况和营养需求的影响。

#### ⑤NASA生物标本库

NASA生物标本库(Repository)是一个在良好的受控条件下长

期保存生物样本的存储库,将收集、处理和存储国际空间站飞行任务中空间飞行之前、期间和之后的血液和尿液样本。这项研究存储的生物样品作为未来空间飞行相关研究的资源。

#### ⑥利用睡眠-清醒活动记录仪记录环境照明对睡眠的影响

之前的研究表明,在空间站和航天飞机上,航天员的睡眠-清醒模式被扰乱。睡眠实验将研究空间飞行环境照明对航天员睡眠-清醒周期的影响。航天员还将其睡眠长度和质量的主观感受记录下来。这一研究将有助于确定照明和其他居住要求、睡眠轮班方法以及未来探索飞行任务工作量规划,并确定是否需要更多的对策方法来改善睡眠质量。

#### ⑦航天器内微生物和过敏原的综合表征

航天器内微生物和过敏原的综合表征(SWAB)实验将采用先进的分子技术,全面评估国际空间站上包括病原体在内的微生物,还将追踪航天器到站和增加新模块后微生物群落的变化。这项研究将使我们能够评估微生物对航天员和航天器的风险。

#### ⑧航天员最大摄氧量评估

航天员最大摄氧量评估( $VO_{2max}$ )是一项航天员在长期国际空间站任务之前、期间和之后的最大摄氧量估算和最大摄氧量次极大评估实验。这项调查将证实空间飞行中最大摄氧量的特点,并评估现有跟踪国际空间站任务执行期间及其后有氧代谢能力变化的方法的有效性。通过对空间飞行期间最大摄氧量变化情况的认识,可以对航天员舱外活动联系对策进行调整。

#### ⑨微重力环境下脊髓延伸率及其对坐高的影响

在空间飞行微重力下,人体的身高及坐高都将增长。微重力环境下脊髓延伸率及其对坐高的影响(Spinal Elongation)研究的目的是得到微重力下脊髓延伸率导致的坐高变化的量化数据。

#### ⑩发射过程中的振动对视觉影响的人体评估

发射过程中的振动对视觉影响的人体评估(Visual-Perfor-

mance)研究将确定航天飞机上振动和重力负载下的视觉性能极限。在发射过程中,航天员将观看印有不同大小字体的读物,并指出可读的最小字体大小。

### ⑪从国际空间站返回时的心脑血管疾病防治

从国际空间站返回时的心脑血管疾病防治(CCISS)是 NASA 与加拿大航天局合作完成的一项实验,研究长期空间飞行对航天员的心脏功能和脑血管的影响,该项研究有助于应对长时间飞行导致的血压下降问题。在返回地面时,及时保持血压正常对航天员的健康十分必要。CCISS 实验通过搜集航天员在空间飞行之前、期间和之后的心电图和血压数据,从而获得血压稳定性信息。

### ⑫国际空间站精神运动警觉症的自我测试

国际空间站精神运动警觉症的自我测试(Reaction-Self-Test)是一项便携式、耗时仅 5 分钟的实验,将允许航天员监测疲劳对工作效率的影响。Reaction-Self-Test 可以帮助航天员客观地鉴定各种疲劳因素导致工作能力降低的时间。实验将评估工作能力自我测试与疲劳之间的敏感程度,同时还将评估将这种自我测试作为工作能力评估工具的反馈效果。

## (2)俄罗斯联邦航天局

俄罗斯在国际空间站上进行的空间生命科学领域实验情况包括下列方面:

- ①长期空间飞行中睡眠时间生理功能的综合性研究(Sonokard)
- ②长期空间飞行中心理生理调节和航天员专业性活动的个人特征研究(Pilot)
- ③监测空间飞行条件下的人员集体活动(Vzaimodeistvie)
- ④空间飞行条件下的呼吸调节和生物力学研究(Dykhaniye)
- ⑤国际空间站内操作人员长期空间飞行中的活动形态特征研究(Tipologia)
- ⑥长期空间飞行中,空间飞行因素对血液循环、呼吸和心脏收

缩功能的营养调控的影响(Pneumocard)

⑦沿空间站俄罗斯部分的飞行路径和站内隔间的辐射环境动态,以及空间站内外人体模型的剂量积累(Matryeshka-R)

### (3)欧洲航天局

#### ①失重对视觉信息心理表征的影响

失重状态可能导致空间感的心理表征扰乱,如对水平线和垂直线的感知能力及对目标深度和距离的感知能力。失重对视觉信息心理表征的影响(3D-Space)实验研究空间飞行期间及其后,失重对航天员空间感的心理表征的影响。这项实验包括对飞行前、期间及之后的感知能力和心理意象进行比较,并特别要参考空间飞行引起的感知对象垂直分量的减少。

#### ②长期失重状态下心血管系统的变化

利用新型便携设备研究长期失重状态下心脏疾病机理的模式(Card)实验研究人体暴露在微重力环境下的血压下降情况。航天员在飞行任务中的低血压问题可能是由于身体低钠引起的。该项研究将检测微重力环境下盐摄入量与心血管系统的关系。为了使血压增加到相当于在地面上的水平,将在航天员的饮食中添加食盐。为监测血压情况,实验将在飞行任务的不同时段,读取血压读数,并采集尿液样品。

#### ③应激和免疫系统变化

应激和免疫系统变化(Immuno)实验的目的是确定空间飞行期间及之后,应激和免疫反应的变化。实验内容包括检查唾液、血液和尿液样本,找到与应激反应有关的激素,并对白细胞进行分析。同时还将关注可能会影响免疫反应的能量代谢的变化。该项研究将有助于开发药物用以应对长期太空任务导致的免疫副作用。

#### ④空间飞行中腰部疼痛的研究

一些航天员在空间飞行期间发生腰部疼痛的问题,但目前对微重力条件下疼痛如何发生仍缺乏了解。空间飞行中腰部疼痛的研究

(Mus)实验将研究在空间飞行期间,航天员腰背疼痛发生的详细情况。该实验的目的是评估微重力下航天员的肌肉萎缩情况,检查腰部肌肉以确定是否有萎缩现象发生,及萎缩情况如何。

#### ⑤空间飞行后的不明确倾斜和平移运动

内耳的平衡系统,即耳石,能够感知头部相对重力的平移和倾斜,而在空间飞行中,感觉不到头部倾斜,因此大脑必须学习在失重状态下如何定向,否则会引起返回地球时在重力作用下的运动感知和平衡控制失调。空间飞行后的不明确倾斜和平移运动(Zag)实验的目的是研究大脑如何适应可能导致空间飞行后运动障碍的这两种互相矛盾的感知条件。

#### ⑥空间飞行后再适应期的耳石评估

空间飞行后再适应期的耳石评估(Otolith)实验将评估航天员飞行前、飞行后的耳石(内耳的小骨)功能。通过耳石眼反应(OOR)和主观视觉垂直线(SVV)评估单侧椭圆囊功能。通过记录前庭诱发(VEMP)肌源性电位评估单侧球囊功能。该项实验是对耳石系统的所有方面进行的全面检查,可提供有关耳石不对称假说的有效性和飞行后适应期航天员耳石功能的关键信息。

#### ⑦离心法应对耳石生理功能失调有效性的验证

离心法应对耳石生理功能失调有效性的验证(Spin)实验将研究微重力对耳石-眼反射和联系耳石-眼反射与立位耐力的自主神经功能的影响,以及微重力对主观垂直线知觉的影响。实验将测量耳石介导的眼睛运动,尤其是针对飞行前、后切向离心重力-惯性加速度矢量的倾斜的眼球反旋转(OCR)、前庭-眼反射(VOR)的空间定位和视动震颤(OKN)。通过在标准倾斜试验中监测心率、血压和体液转移评估飞行前、后的立位耐力。节段性体阻抗将用于估算体液转移和每搏输出量,由此可计算出血管阻力,并作为对交感兴奋的评估。

### (4)加拿大航天局

加拿大航天局进行了空间环境下的人体适应性研究(BISE)。空

间环境下的人体适应性研究针对处于零重力下及返回之后内部和外部线索对自我定位的相对贡献,进行长期微重力条件下的实验,从而更好地了解人体如何适应微重力条件,以及返回地球后如何重新适应正常重力条件。BISE 包括对空间飞行之前、期间及之后的感知和心理意象进行比较,并特别要参考空间飞行引起的感知对象垂直分量的减少。

## 2. 微重力生物学领域

微重力环境下的生物学研究方向包括:宇航生物学、外空生物学、生物技术、生物工程等。

### (1)美国国家航空航天局

#### ①国家实验室探路者疫苗实验 5

国家实验室探路者疫苗实验 5(NLP-Vaccine-5)是一项在国际空间站国家实验室进行的探索性系列商业实验,将测试多种病原体在空间飞行期间的变化,利用之前获得的对病毒毒性和疫苗研发的知识,研究病原体在微重力环境下的生长变化,以及可能造成的感染。

②利用现有飞行资源验证蔬菜生产单元的工厂、协议、程序和要求实验

利用现有飞行资源验证蔬菜生产单元的工厂、协议、程序和要求实验(Lada-VPU-P3R)将推动微重力条件下植物生长技术的发展,研究相关的食品安全问题,考察在轨植物生长对航天员的非营养价值,如减轻航天员的工作压力等,并制定相关程序和协议,最终使美国航天员安全地吃上空间种植的蔬菜。

#### ③小鼠抽屉系统实验

小鼠抽屉系统(MDS)实验是意大利航天局(ASI)的一项研究,将利用经过验证的小鼠模型研究微重力下基础骨质流失的遗传学机制。MDS 是对人体研究项目的模拟,目标是增强低地球轨道之外人类生存的安全性。

MDS 将测试以下假设,由于骨质增加受与骨骼形成有关的基因的直接影响,因此骨质密度更高的小鼠,更不容易骨质疏松。MDS 实验的结果将有助于研究转基因小鼠的生长和分化因子——成骨细胞刺激因子-1 卸载的影响,并研究骨质的病理生理学遗传机制。

## (2)俄罗斯联邦航天局

### ①高等植物多代生长发育实验

理解重力对植物生命的影响对未来星际探索十分重要。在空间飞行中生产高能量、低重量食物的能力,将能够保障航天员长期空间飞行的健康状况,同时减少长期任务所需的资源。植物生长室的用途还包括将其作为月球和火星探索的再生生命支持系统的组成部分。高等植物多代生长发育实验(Rastenia)研究旨在解决未来温室的基础生物学和植物优化问题的种植模式的问题,作为先进的太空生命支持系统的一部分。

### ②基因型检测功能实验

基因型检测功能(实验对象-果蝇、吸浆虫)(Poligen)实验将确定长期持续飞行因素抗力的个体特征。

### ③空间飞行对高等植物发育生长的影响(Rasteniya)

### ④微重力对细菌质粒迁移流动的影响(Plazmida)

### ⑤空间飞行因素对免疫调节剂产生应变的影响(Laktolen)

### ⑥摇瓶发酵(SFF)对生产白介素 1 $\alpha$ 、1 $\beta$ 菌株表达的影响(AR-

IL)

### ⑦摇瓶发酵(SFF)对生产超氧化物歧化酶菌株的影响(OChB)

⑧空间辐射重带电粒子通量对细胞生物活性物质遗传特性的影响(Biotrack)

### ⑨利用细菌接合方法完成遗传物质的传送过程(Kon'yugatsiya)

⑩结构材料表面的生物降解和生物腐蚀的初始阶段评估实验(Biodegradatsiya)

### ⑪封闭式自主反应器在不进行额外投入配料和去除代谢产物

的情况下,获得微生物和具有生物活性的生物质的研究和改进实验(Bioemulsiya)

⑫不同类型细胞的培养过程的研究实验(Cascad)

⑬零重力下大肠杆菌蛋白 Caf1 的培养生产实验(Astrovaktsina)

⑭增加人参生物活性的可能性的研究实验(Zhenshen-2)

⑮航天因素对双歧菌的工艺和生物学特性的影响(BIF)

⑯航天因素对噬菌体的影响(Bakteriofag)

⑰空间飞行对与空间技术生态安全和行星检疫问题有关的微生物培养基系统状态的影响(Biorisk)

### (3)欧洲航天局

#### ①暴露实验

暴露实验(Expose)是一个可容纳光学处理、光生物学和外太空生物学等不同学科实验的多用途设施。暴露实验可以在国际空间站的空间环境和紫外线辐射条件下进行短期和长期的暴露性实验。

Expose 实验装置安装在欧洲技术暴露设施(EuTEF)上,正对天顶方向,可以最大限度地暴露于太阳照射下。

目前进行的实验为 EXPOSE-E 和 EXPOSE-R 两个先后开始的暴露实验。

EXPOSE-E 包括以下 5 项实验:

· 生存极限(Life)实验

该实验测试地衣、真菌和共生体的生存极限。

· 适应性(Adapt)实验

该实验研究微生物分子对不同空间和行星紫外线气候条件的适应性。

· 演化(PROCESS)实验

该实验是有关空间站的前生命有机化学研究,目标是增强对地球大气圈外环境的有机分子的化学特性和演化的认识。

· 抗性(Protect)实验

该实验研究附着在航天器外表面的孢子在开放的空间环境中的抗性。主要研究抵抗度、持续损伤类型和孢子修复机制。

- 物种(Seeds)实验

该实验测试将植物种子作为胚种论传播的地球物种模型。

EXPOSE-R 包括以下 8 项实验：

- Amino

氨基酸实验的主要目的是确定暴露在紫外线 C 的辐射下,生物活性分子(氨基酸和多肽)在多大程度上转化为 L 和 D 分子的混合转换。

- Endo

本实验将评估由于臭氧消耗,南极点臭氧洞下增加的紫外线 B 和紫外线 C 辐射对藻类和蓝藻的影响。

- Organic

本实验研究空间紫外线辐射、低压和重离子轰击条件,对有机质演化的影响。

- Osmo

本实验研究微生物对真空和太阳辐射的响应。

- Photo

本实验研究太阳紫外线辐射对细菌孢子及其 DNA 样本的影响。

- PUR

本实验研究太阳紫外线辐射对噬菌体和尿嘧啶的影响。

- Spores

本实验研究陨石材料在空间环境下对细菌、真菌和蕨类孢子的保护。

- Subtil

本实验研究孢子和细菌芽孢杆菌暴露在真空和太阳紫外线辐射环境下,引起的枯草芽孢杆菌质粒 DNA 突变的程度。

②国际空间站环境下的微生物适应物种研究

人体携带的微生物是国际空间站微生物的一种重要来源,而致病微生物在国际空间站的空间环境下,可能变得更加危险,因此必须控制不良微生物的数量以保证航天员的健康。

国际空间站环境下的微生物适应物种研究(Sample)将展示微生物如何被人类带进太空,并最终出现在国际空间站的表面和设备上,以及微生物在国际空间站如何生存、适应,甚至繁殖。Sample 实验还将表明,如果国际空间站存在“热点”(微生物最容易生长的地方)地区,将有可能通过适当措施保持国际空间站的清洁和航天员的健康。

实验将通过对比空间站微重力环境下和地球正常重力环境下埃希氏菌属大肠杆菌的生物膜形成过程,进行分析得出结论。

#### (4)日本航天航空探索局

日本航天航空探索局(JAXA)进行了高品质蛋白质结晶实验(HQPC),旨在发展生物大分子晶体的反扩散技术。HQPC 实验的科学目标是要在微重力环境下生长品质优良的蛋白质晶体。在空间生长的晶体将应用于结构生物学和药物活性。

### 3. 微重力物理学领域

微重力环境下的物理学研究包括以下方向:基础物理、流体物理、燃烧科学、材料科学。

#### (1)美国国家航空航天局

##### ①胶体乳液顺磁聚团结构研究-2

胶体乳液顺磁聚团结构研究-2(InSPACE-2)将研究磁性胶状流体在不同磁场影响下的基本行为。这些流体属于智能材料,能够在磁场作用下,其微观结构通过成型和交联转变为类固体状态。对其微观结构的观察将有助于更好地了解磁流变流体结构中磁场、表面张力和斥力之间的相互作用。在地球上,这些材料用于可以打开或关闭振动阻尼系统。实验将从磁流变流体中获得数据,可以用于改进或开发新的刹车系统和机器人,并有可能改善如桥梁和建筑物等

设计结构的能力,使之更好地承受地震力。

### ②二元胶体聚合实验 3 和 4:临界点实验

二元胶体聚合实验 3 和 4:临界点实验(BCAT-3-4-CP)将测定相分离率,并对临界流体系统模型的相图增加必要的关键点。研究人员将对模拟液/气相变的聚合物和胶体颗粒样本拍照。结果将有助于科学家揭示由于重力的影响所隐藏的基本物理概念。

### ③双结胶体凝聚试验 4:多分散性

双结胶体凝聚试验 4:多分散性(BCAT-4-Poly)实验,将使用硬球模型探索胶体籽晶成核和多分散性的影响。研究人员将对模拟液/气相变的聚合物和胶体颗粒样本拍照。结果将有助于科学家揭示由于重力的影响所隐藏的基本物理概念。

### ④二元胶体聚合实验 5:三维熔体

国际空间站舱内温度在一个星期内会有几摄氏度的波动,二元胶体聚合实验 5(BCAT-5-3D-Melt)实验将利用依赖这种温度波动、能够形成胶状晶体和熔化的三维热敏粒子研究熔化的机制。BCAT-5-3D-Melt 实验将拍摄微重力条件下,初始随机分布的胶体样本,以确定随时间推移产生的结构变化。该实验将帮助科学家捕捉到晶体形成和融化的过程。结果将有助于科学家揭示由于重力和沉降的影响所隐藏的基本物理概念。

### ⑤二元胶体聚合实验 5:竞争

二元胶体聚合实验 5:竞争(BCAT-5-Compete)实验将拍摄国际空间站上的随机分布胶体样本,以确定随时间推移产生的结构变化。利用 EarthKAM 软件和硬件,科学家将获得样本的动力学特性,以及每个样本的最终平衡状态。BCAT-5-Compete 将利用 BCAT-5 硬件中的样本 6-8 研究相分离和结晶化之间的竞争关系,这对于塑料和其他材料的制造非常重要。

### ⑥二元胶体聚合实验 5:相分离

二元胶体聚合实验 5:相分离(BCAT-5-PhaseSep)实验将拍摄

国际空间站上的随机分布胶体样本,以确定随时间推移产生的结构变化。利用 EarthKAM 软件和硬件,科学家将获得样本的动力学特性,以及每个样本的最终平衡状态。BCAT-5-PhaseSep 将利用 BCAT-5 硬件中的样本 1-5 研究结构塌陷问题。这一研究可有助于解决许多产品需要昂贵的添加剂以确保在保质期内不发生结构塌陷的情况,增加对强化日常生活品性能和稳定性的基本物理原理的了解,降低生产成本。

### ⑦二元胶体聚合实验 5: 籽晶生长

二元胶体聚合实验 5: 籽晶生长(BCAT-5-SeededGrowth)实验将研究折射率匹配液体内的微小颗粒集中系统的特性,这些粒子中 99.8% 是单分散的“硬球”,剩余 0.2% 粒子的直径比每个“硬球”大 11.5 倍。这些较大的“籽晶”粒子可诱导异相成核结晶。理论预测,如果籽晶的尺寸和浓度合适,可以利用它通过减少与晶体成核关联的自由能势垒控制晶粒尺寸。结果将有助于科学家摆脱受重力和沉降影响的晶体结晶机制研究。

### ⑧多用途液滴燃烧装置-阻燃灭火实验

多用途液滴燃烧装置-阻燃灭火实验(MDCA-FLEX)将评估灭火剂在微重力环境下的有效性,并定量研究不同空间环境对灭火产生的影响。实验目的是为进行较大规模的灭火测试提供定义和方向,为新一代航天器选择灭火剂。MDCA-FLEX 实验将利用燃烧集成机架(CIR),燃烧的所有动态将由机架上的彩色摄像机近实时记录下来。实验分析的燃烧独立变量包括氧气摩尔浓度、非灭火成分的稀释气体、灭火剂类型、气压、燃料类型和液滴直径等。

### ⑨同向流动烟点实验

以前的实验表明,无论是正常重力或微重力条件下的火灾,烟尘在火焰发出的热量中都占据主导地位。同向流动烟点实验(SPICE)将确定微重力条件下,气体喷射火焰开始排放烟尘的烟点。对火焰排放的烟尘的研究对于了解实际燃烧系统空间的火灾蔓延

和烟尘控制非常重要。对小气体喷射火焰开始烟尘排放的研究,可以为评估烟尘形成的燃料化学和流动条件之间的相互作用提供一个数据库。这些结果将用于燃烧理论的研究,和评估微重力条件下的火灾行为。

## (2)俄罗斯联邦航天局

俄罗斯在国际空间站上进行的微重力物理学领域实验情况包括下列方面:

①空间自蔓延高温融合实验(SVS)

②微重力下的等离子体尘埃晶体和流体研究实验(Plazmennyi Kristall)

③暴露在开放空间中的材料样品的紫外线辐射效应实验(EX-POSE-R)

## (3)欧洲航天局

欧洲航天局在微重力物理学领域进行了摩擦和润滑实验(TriboLab)。TriboLab 实验研究微重力条件下不同润滑剂的摩擦学特性,即摩擦、润滑以及运动状态下的表面相互作用造成的磨损机制。这项实验在欧洲技术暴露设施(EuTEF)上进行。实验将测试两种类型的摩擦磨损机制,即销盘式和球轴承摩擦磨损,销盘式摩擦实验将测试特殊涂层摩擦系数的变化,球轴承摩擦实验将测试典型摩擦机制。所有测试将在典型的空间条件下进行,如微重力、真空、辐射及极端温度条件等,这些都是地球环境下无法模拟的。

## (4)日本航天航空探索局

日本航天航空探索局在微重力物理学领域进行了对流中的混沌、湍流及其过渡过程(Marangoni)实验,包括 Marangoni EXP 和 U-VP 两个流体物理实验,将观察 Marangoni 对流,即表面张力驱动流动。直径 30 毫米或 50 毫米的硅油液体桥形成一对圆盘,利用强加在圆盘之间的温差诱导对流产生。由于流体不稳定,随着驱动力不断增加,流动状态将依次从稳定变化到振荡、湍流和涡流。实验

将对每个阶段的流体和温度场进行观察，并对转变条件和过程进行研究。

#### 4. 空间天文学领域

空间天文学研究包括天体物理学、太阳系探测、空间环境、宇宙射线监测等方面的研究。在此领域，俄罗斯联邦航天局进行了快中子和热中子通量的研究实验(BTN-Neutron)。

#### 5. 对地观测

##### (1)美国国家航空航天局

###### ①农业观测实验

农业观测实验(AgCam)采用多光谱相机，可在可见光和近红外波段以中高空间分辨率成像，利用国际空间站作为观测平台，拍摄美国北部平原和落基山脉地区植被情况，将拍摄图像在2天内提供给所需人员，为改善土地利用和环境管理提供帮助。同时，图像也将共享给课堂教学使用。

###### ②航天员对地观测实验

国际空间站上的航天员进行了大量对地观测实验(CEO)，将利用手持式相机和各种成像设备对地球表面的动态自然变化和认为变化进行观测和拍照，为地面研究人员长期和短期研究动态地球事件提供关键图像数据。同时该实验配合国际极地年计划，对地球南北两极地区的极光和球状云进行观测和拍摄。航天员将每天花费约10分钟，每周5天，进行对地观测和拍照。

###### ③大气中性密度实验-2

大气中性密度试验-2(ANDE-2)由从航天飞机货舱发射的两颗微型卫星完成，该项试验将测量低地球轨道大气密度和组分，并同时被地面跟踪。这些数据将被用来更好地描述用于计算卫星阻力系数的参数，从而更好地预测在轨物体的运动和衰变。这两颗微型卫星分别叫做 ANDE 主动航天器(Castor)和 ANDE 被动航天器(Pol-lux)，两颗球形卫星直径为48厘米，由卫星激光测距系统和空间监

视网跟踪。

#### ④沿海海洋超光谱成像仪实验有效载荷

沿海海洋超光谱成像仪实验(HREP)载荷为沿海海洋超光谱成像仪(HICO)和沿海海洋远程大气和电离层探测系统(RAIDS)两个实验载荷的合并。HICO将运行可见光和近红外光海洋超光谱成像系统,从国际空间站上发现、识别和量化沿海地球物理特征。

#### ⑤沿海海洋远程大气和电离层探测系统实验

沿海海洋远程大气和电离层探测系统实验(HREP)载荷是紫外和可见光遥感设备,实验将为大气科学家提供大气对热层和电离层主要组分的完整描述和海拔100千米~350千米的全球电子密度分布,可用于改进卫星拖动模式。

#### ⑥毛伊岛空间监测中心对高层大气注入的分析

毛伊岛空间监测中心对高层大气注入的分析(MAUI)实验从位于夏威夷毛伊岛的空间监测中心观察分析航天飞机发动机排气羽流。当航天飞机飞行在夜间或黄昏经过毛伊岛时,一架望远镜和全天候成像仪将采集图像和数据。对这些图像进行分析,从而更好地了解航天器羽流与地球高层大气之间的相互作用。

#### ⑦国际空间站内部和外部三维模型化

国际空间站内部和外部三维模型化(Photosynth)是NASA与微软Live实验室的合作项目,将生成国际空间站内部和外部的三维可视化模型,观看者的视角可以像摄影者一样变化,多种角度、多种尺度地观看空间站。Photosynth获得的图像将通过网络发布,可用于教学,NASA还计划将其用于未来航天员训练中。

### (2)俄罗斯联邦航天局

#### ①光化学反应和大气光现象研究实验

光化学反应和大气光现象研究实验(Relaksatsiya)研究在轨道高度及航天器进入地球大气层上层期间,在航天器推进系统的废气产物和地球大气之间的高速相互作用下的光化学反应和大气光

现象。

## ②减灾防灾实验

减灾防灾实验(Uragan)用于自然和人为灾害预测、减轻已造成的损失和促进恢复的地基和天基系统的验证。

## ③电离层脉冲等离子源探测

电离层脉冲等离子源探测实验研究近地空间环境内的高能粒子流。

## ④地震效应监测(Vsplek)

## ⑤测试地球大气层的二氧化碳和甲烷含量测定程序(Rusalka)

对测定地球大气层的二氧化碳和甲烷含量的程序加以测试,以了解人类活动在自然进程中的作用。

⑥搜索和控制世界海洋商业生产区域进程的实验方法研究(Seyener)

⑦利用空间站俄罗斯部分的资源用于评估区域生态调查的实验研究(Econ)

⑧微重力条件下物理定律和现象的科学教育示范(Physics-Education)

## ⑨航天器和用于个人通信的最新技术(MAI-75)

### (3)欧洲航天局

#### ①太阳能通量与地球大气化学和气候之间的相互作用

太阳能通量与地球大气化学和气候之间的相互作用(Solar)共包括以下三项实验:

#### · 太阳能自动校准极紫外/紫外分光光度计(SOLACES)

SOLACES 将测量 0.5 纳米~2 纳米中度光谱分辨率下,17 纳米~220 纳米的太阳光极紫外/紫外光谱辐照度。利用自动校准功能,该项试验预计将长期获得具有很高绝对分辨率的光谱数据。

#### · 太阳光谱辐照度测量实验(SOLSPEC)

SOLSPEC 实验的目标为:获得绝对的测量结果;研究 23 天太阳

活动周期内短期和长期时间尺度的太阳变化情况;研究太阳光谱和辐射总量之间的相关性以及它们的变化对大气和气候的影响。太阳光谱辐照度测量(SOLSPEC)实验将从国际空间站上观测太阳光谱辐照度,光谱范围为 180 纳米~3000 纳米,光谱分辨率极高,对紫外光的精确度为 2%,对可见和红外光的精确度为 1%。

#### · 太阳变化及辐照度监测器(SOVIM)

SOVIM 关注于基本的太阳自身变化,以及利用这种变化研究其他物理现象,如太阳振荡。辐照度变化的基本原因对了解太阳和恒星的演变是至关重要的。SOVIM 将通过滤波辐射计,在近紫外(402 纳米)、可见(500 纳米)和近红外(862 纳米)光谱范围内高精度、高稳定性地观察和测量太阳光谱辐照度,并利用两种辐射计测量从 200 纳米到 100 微米光谱范围的太阳总辐照度。

#### ②氧原子通量探测实验

通量探测实验-氧原子时分测量(FIPEX)是基于固体氧化物电解质微型传感器的系统,能够在极低环境压力下区分和测量氧分子和原子,是在长期任务中第一次对低地球轨道氧原子和分子分布进行长期测量。

#### (4)日本航天航空探索局

高清电视系统的激活和测试(JAXA-HDTV)将采用高清晰度视频摄像机捕捉高清晰度影像,利用国际空间站上使用的 Ku 波段实时传输到地面。

#### (5)加拿大航天局

加拿大航天局进行的 Tomatosphere-III 计划将携带到国际空间站 40 万个番茄种子,并暴露于空间环境中。种子返回地球后,将分发到加拿大 10000 间教室中,作为一种学习资源。学生将测量这些种子的发芽率、生长规律和茁壮度。

### 6. 空间站技术研发

空间站技术研发包括国际空间站运行、装配和服务等技术研发。