

## 2018 年国外航天员系统发展综述

2018 年，国际空间站第 54~57 长期考察团完成驻站任务，安全返回。联盟 MS-10 载人飞船发射上演 30 多年来惊人一幕，火箭失去控制，飞船紧急逃逸系统自动启动，两名航天员安全着陆，幸免于难。8 月，俄罗斯新一批航天员选拔结果公布，8 名航天员入选，与此同时，NASA 商业载人运输项目首批航天员名单公布，包括 8 名 NASA 航天员以及 1 名商业公司航天员。NASA 与转化研究所开启新一轮航天医学合作，为综合人体研究创建新框架。各国继续开展各类地面模拟试验，研究未来星际任务中航天员的健康与绩效。高级生命保障系统落户国际空间站，标志着向所谓的闭环式生命保障系统迈出重要一步。

### 一、航天员执行航天任务情况

#### (一) 国际空间站四批考察团完成驻站任务安全返回

2018 年，国际空间站第 54、55、56、57 长期考察团完成驻站任务。

国际空间站第 54 长期考察团驻站 168 天，在国际空间站上进行了微重力下光纤灯丝制造的研究，并致力于改进植入式葡萄糖生物传感器，这项研究还涉及测量太阳输入地球的能量。该考察团共完成 3 次出舱任务，其中俄罗斯航天员亚历山大·米苏尔金和安东·什卡普列罗夫进行了 2018 年俄罗斯第一次出舱活动，为星辰舱天线更换了接收装置，并以 8h 13min 创下本国舱外活动持续时间的新纪录。

国际空间站第 55 长期考察团同样驻站约 168 天，航天员们在生物学、地球科学、人体研究、物理学等领域，开展了约 250 项科学研究，进行的研究亮点包括：在恶劣的太空环境中测试材料、进行大型实验的分项研究，微重力环境对骨髓中产生血细胞的影响研究，测试一套新开发的用于植物生长的营养运输系统等。完成 2 次出舱任务，主要目标是完成冷却系统硬件的升级，安装新的和更新通信设备，以便未来的商业航天器可以停靠空间站。此外，他们还给国际空间站的命运号舱外部安装了摄像系统。

国际空间站第 56 长期考察团在为期约 197 天的国际空间站驻留任务中，完成了数百次科学实验，亮点包括：利用首个商业化欧洲设施进行微重力环境下的超冷量子气体研究，表面作用力利用系统进行液体-液体分离等。共完成 2 次出舱任务，第一次两位太空行走者在国际空间站和谐号节点舱前端的对接适配器附近安装了一个新的高分辨率相机和支架，并关闭日本希望号实验舱外的一个外部环境成像实验的光圈。第二次释放了 4 颗纳米卫星，安装了鸟类迁徙监测设备的天线装置，取下了两个安装在国际空间站外面的存放微生物的试验箱，这两个试验箱被运回地面，主要用于研究空间环境对生命的影响。

国际空间站第 57 长期考察团于 2018 年 12 月 20 日返回地球，共驻站 197 天。该乘组乘员瑟琳娜·奥娜-钱塞勒成为了历史上首位进入太空的古巴裔女航天员，她是航天医学和电气工程方面的专家，2009 年加入美国航天员大队。12 月 11 日，俄罗斯航天员谢尔盖·普罗科皮耶夫同刚刚到站的第 58 长期考察团乘员奥列格·科诺年科一起出舱，对此前发现孔洞的联盟 MS-09 飞船进行检查，俩人在舱外停留了 7h 45min，比预计时间长 1h 14min。两名航天员在联盟 MS-09 飞船的生活舱外部出现小孔的地方，将绝缘层和微陨石防护层切割掉，并对小孔进行拍照和摄像，然后从飞船的表面取下污迹和密封胶样本，密封存放在一个专用绝缘箱

内，准备带回地面并转交给专业部门对采样进行分析研究。

## **(二) 联盟 MS-10 载人飞船发射失败，两名航天员生还**

2018 年 10 月 11 日，国际空间站第 57/58 长期考察团乘员，俄罗斯航天员阿列克谢·奥夫奇宁和美国航天员尼克·黑格，在乘俄联盟 MS-10 载人飞船从哈萨克斯坦拜科努尔航天发射场第一发射台由联盟 FG 运载火箭发射升空的过程中出现了严重事故，火箭失去了控制，飞船的紧急逃逸系统自动启动，两名航天员在哈萨克斯坦境内安全着陆，幸免于难。这是 35 年来该型号的运载火箭第一次出现这种紧急情况。

10 月 17 日，在加加林航天员训练中心召开了联盟号火箭发射事故后的新闻发布会，俄罗斯英雄、航天员阿列克谢·奥夫奇宁出席了发布会并回答了记者的提问。他说，这大概是自己有生以来经历过的最严重的一次非正常情况。但是，平日的飞行训练、跳伞训练、潜水训练、以及各种气候地理环境中的野外生存训练，使自己能够在复杂环境中保持头脑清醒，采取合理行动，知道自己做了什么以及下一步将做什么，正是这些训练及经验才使自己在这起发射事故中没有惊慌失措。

此外，首次参与飞行的 NASA 航天员尼克·黑格在约翰逊航天中心的新闻发布会上的发言中，对俄罗斯航天员阿列克谢·奥夫奇宁在发射事故中的表现也给予了高度评价。

另据俄罗斯塔斯社消息，因 10 月 11 日发射事故未能抵达国际空间站的两名航天员将于 2019 年 3 月 1 日参加飞行。除此之外，乘组还有一名美国女航天员克里斯蒂娜·库克。

## **二、航天员选拔与训练情况**

### **(一) 俄公布第 17 次航天员选拔最终结果**

2018 年 8 月 10 日，俄罗斯航天员选拔委员会对外公布了

2017—2018 年度航天员最终选拔结果，这也是苏/俄历史上第 17 次选拔。此次选拔的主要任务是选出俄罗斯最好的职业航天员，以执行国际空间站和新一代载人航天飞船联邦号的飞行任务，他们很可能还会成为俄罗斯的第一批登月者。

选拔工作从 2017 年 3 月 14 日开始启动，是俄罗斯历史上第二次面向全社会的公开选拔，在经过长达 1 年半的时间里，8 名候选人才从 420 位申请人中脱颖而出。

2018 年 9 月，8 名预备航天员在加加林航天员训练中心开始为期 2 年的集中训练，进行第二轮“选拔”，只有通过了所有的航天员训练科目和考试合格后，才能成为一名真正的航天员并正式加入俄罗斯职业航天员队伍，以备俄罗斯未来载人航天工程需求。

按照计划，此次选拔过程包括了以下几个阶段：1) 综合审核阶段(对申请者的学习经历、职业经历、适应能力、综合知识水平以及是否具备航天员素质进行审查)；2) 医检阶段；3) 体能考核和心理测试阶段。

此外，对候选人还要有以下硬性要求：1) 必须是俄罗斯公民；2) 年龄必须在 35 岁以下；3) 候选人必须具有高等教育学历和工作经历，俄罗斯航空和火箭航天工业领域工作人员优先。

再者，航天员选拔的一个重要因素是航天技术知识的学习和实践能力，候选人应具备航天各系统的构造基础研究能力和对其物理特点的理解能力以及航天技术信息、特性和专业术语的记忆能力，尤其是必须具备掌握和运用计算机技术和外语(英语)知识的能力。

最终选出的这 8 位预备航天员中有 4 位是飞行员，5 位有军人经历，4 位是现役军人，均有技术工程师职称。

此次公开选拔出来的 8 名预备航天员的具体参加飞行时间，不仅取决于俄罗斯现行的航天计划，还与即将开展的载人月球计划、以及阿联酋航天员可能参与国际空间站长期飞行密切相关。

## (二) NASA 公布商业载人运输项目首批航天员

8月3日，NASA在休斯敦约翰逊航天中心举行仪式，公布了新一代商业飞船首批试飞航天员名单及时间表，包括8名NASA航天员以及1名商业公司航天员，其中既有已多次上天的老兵，也有从未上过天的新手，未来他们将参加波音和太空技术探索公司商业载人运输项目首批载人飞行任务。这意味着，美国新一代载人飞船即将进入真人实测阶段。

预计2019年，首次真人试飞这两款美国国产版飞船——SpaceX推出的载人龙飞船(Crew Dragon)、波音推出的星际客船(CST-100)。

此次应用的载人龙飞船和星际客船按设计都能乘坐4人。NASA称，随后将有更多乘员“由NASA的国际伙伴在晚些时候指派”。这些伙伴将包括以往一直靠NASA提供国际空间站运输手段的加拿大、欧洲和日本，还可能会包括俄罗斯。NASA官员此前曾谈论过要让俄航天员乘坐美商业载人飞船，有可能会以此来换取俄联盟号飞船上的座位。

## (三) 阿联酋首批航天员诞生

2018年9月3日，迪拜领导人谢赫穆罕默德·本·拉希德表示，阿联酋已经选拔出首批两名航天员前往国际空间站执行任务。新入选的航天员为34岁的曼苏里和37岁的内亚迪。曼苏里和内亚迪是从申请该项目的4000多名阿联酋人中筛选出来的。他们经过了严格的6阶段的审查程序。

哈沙·阿里·曼苏里，1983年生于阿联酋的阿布扎比，现年34岁，获哈利法·本·扎耶德航空学院航空科学和军事航空学士学位，有14年的军事航空经验，并在阿联酋国内外完成多项培训。于2016年取得飞行员资质，目前驾驶F-16B60型飞机。

苏丹·阿里·内亚迪，1981年生于阿联酋的艾恩，现年37岁，先后获得英国布莱顿大学电子与通信工程学士学位和格里菲

斯大学信息与网络安全硕士学位，并于 2016 年获格里菲斯大学数据泄漏防护技术博士学位，目前在阿联酋武装部队任网络支持工程师。

曼苏里和内亚迪以航天飞行参加者的身份于 9 月 4 日开始了在加加林航天员训练中心的训练。他们中的一人计划于 2019 年 4 月乘联盟 MS-12 飞船前往国际空间站，拟停留 10 天。

此外，俄阿两国还签署了《俄罗斯将在 2020 年后通过联盟号载人飞船定期向国际空间站运送阿联酋航天员》的协议。航天员项目将使阿联酋成为中东仅有的几个将人送入太空的国家之一。阿联酋希望履行自己的承诺，成为太空探索领域的全球领导者。

#### **(四) 俄罗斯航天员专项跳伞训练完美结束**

截至 2018 年 6 月 17 日，俄罗斯国家航天集团公司航天员大队 3 名航天员-试验员参与的专项跳伞训练完美收官。参加跳伞训练的 3 名航天员-试验员是谢尔盖·雷日科夫、安娜·基金娜和谢尔盖·库季-斯韦尔奇科夫。

训练在位于缅泽林斯克的航空俱乐部的飞行基地进行。负责此次活动的加加林航天员训练中心训练队成员有教练员、医生和心理专家。他们在为期 3 周的训练中模拟了航天飞行中一些关键因素，锻炼航天员在极端条件下最大可能地保持注意力高度集中。

航天员的跳伞训练共分三个阶段，前两个阶段在基础航天培训期间完成，通过该项训练的人可获得职业跳伞技能。第三阶段的任务之一是巩固之前的技能。同时，跳伞与完成附加任务相结合：完成小组花样配合、新闻报道等，多次反复训练有助于降低航天员的神经情感紧张水平，改善其在复杂情感境中的操作活动技能。

#### **(五) 14 名俄美日航天员顺利完成水上生存训练**

2018 年 7 月 2~20 日，来自俄罗斯、NASA 和 JAXA 的共 14 名航天员在俄罗斯紧急情况部的诺金斯克救援中心顺利完成飞船

在水上着陆后的救生训练。

水上生存训练是航天乘组在飞行前必须要经历的一个训练阶段，其训练大纲包括一次准备性(地上)训练及两次水上考核训练(一次短时及一次长时)。

负责水上救生训练组织的试验训练队，其成员包括加加林航天员训练中心负责野外训练的专家和摄影摄像人员、能源火箭航天公司的代表以及俄罗斯紧急情况部的专业人士。航天员们克服了恶劣天气的不利影响，顺利完成了所有训练任务，训练期间没有发生任何违反安全措施的情况。

### 三、NASA 人体研究计划进展

#### (一) 成立转化研究所，与 NASA 开展航天医学合作

NASA 人体研究计划(HRP)通过利用地面研究设施、国际空间站以及模拟环境来减少对航天员健康和绩效的风险，从而实现载人空间探索。其研究重点是：形成保持人类健康、绩效和适居性的标准；制定减轻风险的对策和解决方案；以及开发先进的适居性和医学保障技术。

2016 年 10 月，NASA 开始执行人体研究计划监督下的转化研究所(TRI)合作协议，该协议将运行到 2022 年 9 月，有可能运行到 2028 年。

TRI 加入 NASA，与其同时加入的还有休斯敦贝勒医学院及其合作伙伴，加州理工学院和麻省理工学院。该研究所的主要目的是提供尖端的研究成果，加快降低与探索任务有关的健康风险。TRI 实施了“工作台到太空飞行”的运行模式，允许将实验室或临床试验的研究方法快速转化到提高航天员的健康和绩效。该项研究的终点是将有前途的新方法、治疗方法、对抗措施和技术应用到航天实践中。

TRI 的任务与 NSBRI 的任务不同，它与 HRP 有密切的关系，

并与 HRP 风险降低途径密切相关。TRI 将寻求新颖的、潜在的改变游戏规则的方法来应对降低风险的挑战，研究人员和开发者不是采用传统 NASA 协作的方式。在 HRP 继续执行通过人体研究路线图(<https://humanresearchroadmap.nasa.gov>)降低风险的同时，新的研究所将投资于更有风险的研究——这些研究可能比传统研究方法可以更快地解决实践应用问题。

此外，TRI 将为科学家提供机会，为 NASA 内外实验室的前沿研究获得经验，并用他们的知识和专长来减少载人航天探索的风险。NASA 与财团内的合作伙伴合作，将提供一批高素质的研究科学家，他们将帮助建立战略构想，以降低探索任务对人体健康和绩效的风险。TRI 将提供一个交流和发展地球和航天乘员健康与绩效研究合作思想的论坛。TRI 是 NASA 的新应用，有潜力挖掘全球科学界的智慧，并提供比传统的独立 NASA 研究公告更具成本效益和更及时的解决方案。

## **(二) NASA 为综合研究创建新框架**

当前，NASA 正在加快步伐力图解决人类航天飞行的 5 大风险：空间辐射、隔离与受限、远离地球、重力场(或缺乏重力场)，以及敌对/封闭环境对太空中人类构成的心灵和身体上的巨大威胁。NASA 的人体研究计划负责发现支持安全、高效的载人航天飞行的最佳方法和技术，以应对载人航天飞行的 5 大风险。对于这个新的研究机会，NASA 寻求一种完全整合的方法，来探索辐射、隔离和限制以及重力场改变之间的关系，以及它们对航天员的中枢神经系统、行为健康和运动感知系统(统称 CBS)造成的潜在危害。

NASA 约翰逊航天中心人体研究计划的首席科学家珍妮弗·福格蒂认为，CBS 代表了深空环境的复杂程度，有助于理解当人类同时经历三种危险或压力时，他们将如何受到影响。例如，空间辐射、微重力和隔离已经被证明会对中枢神经系统、大脑产生



影响。令人担心的是，当同时经受这些压力时，大脑中受各种危险影响的区域可能会更加复杂。这可能导致思维方式、移动身体的方式、以及任务期间对事件和乘组人员情绪反应的改变，所有这些都可能导致任务的失败。太空中的诸多因素组合成了一个极其复杂的环境。

### **(三) NASA 选择 35 项提案以保障航天员在长期任务中的健康与绩效**

NASA 的人体研究计划和空间生物学计划选择资助 35 项提案，以帮助解决航天员未来在地球轨道以及地球轨道之外的长期飞行任务中的健康和绩效问题。在选定的这些提案中，研究内容主要包括研究部分重力暴露期间啮齿动物的生物、生理和行为功能，航天员的视力问题，确定对空间辐射的医学对策，开发自主飞行期间实时的人的绩效支持系统。所选择的提案将研究空间环境对航天员健康的各方面影响，包括大脑、眼睛、感觉运动、心血管、肌肉、骨骼和免疫系统，以及航天飞行中的生物、生理和行为适应。这些项目将有助于 NASA 的长期计划，包括人类登月和登陆火星的任务。

NASA 正在为未来一年国际空间站考察任务打下基础。研究人员和科学家们被要求提交一份包括多达 30 名航天员的研究方案：10 名执行最多两个月的短期飞行任务，10 名执行标准六个月飞行任务，以及 10 名执行为期一年的太空飞行任务。通过经历不同长度的飞行任务，NASA 试图了解人类生理、行为和心理变化的概况，这项研究对确保未来长期深空飞行任务中航天员的健康和绩效具有重要意义。

除了 NASA 选定的这些研究提案外，来自加拿大、法国和德国的合作伙伴空间机构还将为此计划提供多项实验。

此次选择的提案主要是从 11 个州的 19 家机构中遴选出来的，在未来 7 年期间将获得超过 3 千万美元的资助。

#### (四) NASA 就“双胞胎兄弟基因改变”事件发表声明

针对世界各地多家新闻机构所发布的“航天员斯科特·凯利在返回地球后 7% 的 DNA 发生改变”的消息，NASA 于 2018 年 3 月 18 日发表了一份声明以应对这次混乱的“假新闻”事件。

在声明中 NASA 确认并强调——斯科特并没有因从太空返回而成为一个变异体：“马克和斯科特仍为同卵双胞胎，斯科特的 DNA 没有发生根本性改变。研究人员观察到的是基因表达的变化，这是身体对环境的一种反应，与在登山或潜水等应激环境下人体出现的反应相似。在航天飞行 6 个月之后确实出现了 7% 的基因表达变化，但这一变化非常微小。我们只是刚刚开始了解航天飞行在分子水平上是如何对人体产生影响的。NASA 和其他有关这些研究的研究人员未来将公布关于双胞胎研究的更全面的成果。”

#### (五) 主要研究进展

##### 1. 对航天飞行期间的视力保护有了新的认识

目前，科学家们通过一项美日联合研究的“小鼠表观遗传学”首次证实微重力下眼部蛋白质组成发生明显变化。科学家们认为氧化应激可能是导致眼部血管损伤的主要因素，氧化应激可能在损害视力方面发挥重要作用。该项研究结果发表在《国际分子科学杂志》上。

这些实验小鼠在日本宇宙航空研究开发机构(JAXA)希望舱安装的“鼠笼”(HCU)中待了 35 天。一组小鼠被安置在空间站的微重力环境中，另一组则被安置在人工重力环境中，即由 HCU 的旋转离心机产生的 1g 重力。制造人工重力意味着，小鼠除了经历与地球相同的重力水平外，与航天飞行相关的大多数环境条件仍然存在。这使得研究人员首次测试了利用人工重力来减少微重力影响的有效性。

先前的研究表明，人体对航天飞行和微重力的反应之一是氧

化应激。正常细胞代谢产生的活性氧和细胞处理代谢产生的有毒副产物的能力之间的不平衡，氧化应激产生过氧化物和自由基，不稳定的原子——都可以破坏细胞。在地球上，氧化应激是一种正常的有益细胞过程，但如果应激过量，就会造成癌症、帕金森氏症、心血管疾病和许多其他疾病。

实验证明，在微重力环境下的小鼠视网膜血管细胞的凋亡率高于人工重力和地面受控环境下的对照组小鼠。细胞凋亡，或程序性细胞死亡，是指体内不再需要的细胞死亡，是生长发育的正常组成部分。分析还显示，在微重力环境下的小鼠，其眼部负责细胞死亡、细胞修复、炎症和代谢功能的蛋白质发生了显著变化。

此外，一名休斯顿大学的验光师利用光学相干断层扫描技术对航天员的视力变化进行了量化，并在美国医学会杂志上发表了他的研究结果。他研究了 15 名航天员飞行前和飞行后的数据，研究显示，经过长时间的航天飞行之后，眼部有三大变化发生：Bruch 膜孔位置变化，靠近视神经头边缘的视网膜厚度增加，脉络膜皱褶比率增加。虽然确切的原因尚不清楚，但据推测，航天员的眼部变化是由与微重力相关的颅内流体变化造成的。因为在这项研究中，一些航天员曾有过航天飞行经验，所以在与飞行前的扫描比较之前，预飞行数据首先与健康的对照组进行比较。

## 2. 失重可能导致航天员的体温升高

来自柏林医科大学的科学家在科学杂志上发表了研究成果，长期在失重条件下驻留的航天员的体温会升高 1 摄氏度，并且剧烈的体力活动会引起“空间发烧”，航天员的体温可能会超过 40 摄氏度。

汉斯-克里斯汀·冈加领导的团队使用前额传感器测量国际空间站上航天员的核心体温，有 11 名航天员(7 男 4 女)参与了这项实验。研究人员测量了航天员在国际空间站驻留前、驻留期间和驻留后的体温，并在休息和运动期间测量他们的体温。

研究人员发现，航天员的核心体温并没有突然升高，而是在两个半月的时间里逐渐升高，最终达到了大约 38 摄氏度，而健康人标准体温是 37 摄氏度。此外，科学家们发现，航天员在轨进行体能训练时出现了所谓的“空间发烧”现象，在此期间，他们的身体往往发烧达 40 摄氏度以上，医生认为，这对健康构成严重的威胁，在某些情况下甚至会有致命的后果。

在太空中，汗液蒸发的速度比地球上的慢，这就解释了为什么航天员在国际空间站上进行的锻炼测试中体温上升特别快。然而，研究人员指出，在返回地球后身体温度调节会完全恢复正常。

核心体温过高的波动会损害身体和认知能力，甚至会危及生命。希望这些新发现对未来长期航天任务中保持航天员的健康具有积极意义。

### 3. NASA 科学家成功实现在轨鉴定未知微生物

能够在 ISS 在轨实时鉴定微生物，而不需要等到将样本送回地面后再鉴定是微生物研究和空间探索的一次革命。2017 年“基因在空间”-3 项目组首次实现了从样本采集到测序的所有过程全部在轨完成。

在轨鉴定微生物的能力有助于实时诊断和治疗航天员的疾病，也有助于鉴定其他星球上以 DNA 为遗传物质的生命，还可能有益于在这个轨道实验室开展的其他实验。鉴定微生物涉及到提取样本 DNA，然后进行 DNA 扩增、序列测定或鉴定等过程。该项研究分为两部分：微生物样本采集和 PCR 扩增，然后对微生物测序和鉴定。

作为常规微生物监测的一部分，要以皮氏培养皿接触空间站的各种表面，然后在微重力科学手套箱中培养大约一周，只要成功收集到菌落细胞，就能够鉴定出未知的微生物，这也是空间微生物学上的第一次。

“基因在空间”-1 项目标志着首次在空间应用迷你 PCR 扩增

仪来扩展 DNA，之后不久是 MinION 装置进行 DNA 测序。而“基因在空间”-3 项目则是将这两项研究嫁接起来，创造了一个微重力环境下完整的微生物鉴定过程。

#### 4. 突破性药物可以防止宇宙辐射造成的脑损伤

NASA 和 SpaceX 等私人太空公司计划在未来 15 年内将人类送往火星这颗红色星球，所面临的主要挑战之一是如何保护航天员免受太空中危险的宇宙辐射。研究人员现在发现了一种新型药物治疗方法，不仅可以预防由这种辐射引起的认知缺陷，而且可以修复辐射后造成的脑部损伤。

银河宇宙射线(GCR)对人类的短期和长期影响尚未被完全理解。来自太阳系以外的银河系的高能粒子不容易被常规航天器屏蔽阻挡，并且可能对人体组织造成损害。最近的研究发现，暴露于这些粒子中会导致严重的神经损伤(也被称为“太空脑”)，其以认知障碍和判断力减弱为标志。

尽管受到地球磁层的保护，在国际空间站工作的航天员仍然受到一定程度的宇宙射线影响；一旦超过低地球轨道，这一影响将更为严重。因此，开发一种应对这些破坏性射线的方法是任何长期星际任务的基础。

已经有证据表明长期暴露于深空辐射中可能会影响大脑功能。在 NASA 的空间辐射实验室里，研究小组将小鼠暴露在与太空中将面临的类似辐射水平中。一周后被运回 UCSF，对这些小鼠用 PLX5622 进行为期 15 天的治疗。该实验室先前已经证明这种药物可以有效保护小鼠免受由癌症治疗中传递给大脑的辐射引起的认知缺陷。

在此次研究中，经辐照的小鼠最初没有认知缺陷，但在三个月后，它们开始出现记忆障碍迹象。通常，当研究人员将小鼠放在一个有熟悉和陌生的物体的房间里时，动物会花更多时间探索新物体。但是三个月前暴露于太空辐射的小鼠均等地探测了这两

个物体——大概是因为他们已经不记得前一天看到过其中一个物体。

通过检查动物大脑显示，虽然未经治疗的小鼠显示大量活化的小胶质细胞(中枢神经系统的免疫细胞)，但也显示突触数量的显著减少。该假设是辐射剂量刺激小胶质细胞活性，其可以最终导致认知衰退的突触消除。PLX5622 药物暂时消耗暴露于辐射的小胶质细胞，并促使它们被新的健康小胶质细胞替代，从而帮助防止辐射的负面认知后果发生。

### 5. 新型运动传感器让可穿戴技术迈出重要一步

FAMU—FSU 学院的工程研究人员开发出一类具有突破性的运动传感器，预示着在不久的将来，完全集成且可负担得起的可穿戴技术能够得到广泛应用。

在《材料与设计》杂志发表的一篇论文中，FSU 高性能研究所的工程师与法国国家应用科学学院的科学家合作撰文，详述了利用一种名为“巴基纸”的碳纳米管制作先进运动传感器的过程。这一产品具有令人印象深刻的性能和低成本的特点，而碳纳米管的性能特点是灵活、纯度高且耐用。

这些新的巴基纸传感器使得当前工业标准得到明显提高，它灵活、负担得起、还可伸缩。这项技术是多功能的，这是一个巨大的创新，由此带来许多新的可能性。

在现阶段，可打印的巴基纸传感器可以集成到床单内监测睡眠质量，放到鞋内可以记步，放到运动服内可以衡量运动强度。

研究人员还预测了可穿戴技术领域之外的潜在应用。在软机器人领域，这种材料可以促进生产灵敏、自我校正的人工肌肉。此外，可伸缩的传感器标志着未来“物联网”性能的提升，在“物联网”上，几乎所有个人的计算机、设备、服装、装置和器械都通过数字连接在“云”中自由交换信息。

## 四、地面模拟试验情况

### (一) NASA“赫拉”试验系列 4 结束

6 月 19 日, 美国“赫拉”-17(载人探索研究模拟)试验乘员圆满完成了模拟任务, 从虚构小行星 Geographos 返回并降落在 NASA 的约翰逊航天中心。

“赫拉”试验是 NASA 人体研究计划(HRP)开展的模拟研究之一。原本没有“赫拉”-17 计划, 但当飓风“哈维”于 2017 年 8 月下旬袭击休斯敦时, “赫拉”-14 因安全原因于第 23 天结束。因此, 这一最新的任务从 5 月 4 日开始被加入到系列试验中以弥补完成先前中断的研究。

参与“赫拉”-17 试验的乘员包括威廉·丹尼尔斯、埃利诺·摩根、米歇尔·佩考特和基米·海尔。他们在一个没有窗户、很少与外界接触的公寓里居住了 45 天, 同时, 在这些条件下测试团队凝聚力、绩效和人际关系。

本次“赫拉”任务还纳入了一个睡眠减少的时间表, 乘员们被限制在 5 小时内的睡眠, 没有午睡且咖啡有限, 以此来测试睡眠不足的乘员会发生什么, 并寻找解决任务疲劳的方法。此外还做了虚拟现实(VR)研究, 模拟到小行星表面, 收集岩石样本, 部署科学仪器。

“赫拉”试验系列 5 将于 2019 年 1 月开始, 同样也包括 4 次任务。

### (二) 夏威夷第 6 次 HI-SEAS 模拟任务被迫延期

由 NASA 资助的 HI-SEAS 试验, 全名为“夏威夷太空探索模拟”, 主要研究人的行为与绩效, 以帮助确定个人和团队在长期太空探索任务中的需求。

2018 年 2 月 15 日, 第 6 次 HI-SEAS 任务启动, 为期 8 个

月，共有 4 名乘员参加，他们分别来自澳大利亚、韩国、英国和斯洛伐克。不幸的是，19 日晨，其中一名乘员因病就医，考虑到乘员安全，本次模拟任务被迫延期举行，具体时间尚未明确。

### **(三) 日本航天员在封闭环境中研究心理压力**

金井宣茂在 JAXA 的筑波空间中心一个封闭的隔离舱内进行了一项联合研究，观察到在隔离舱试验中，唾液应激激素(皮质醇)的昼夜节律紊乱，面部表情的扭曲增加。

研究小组通过研究唾液和面部表情的变化，发现了快速自我评估的可能性。根据这一正在进行的联合研究成果，金井宣茂将致力于开发综合皮肤美容解决方案，以尽量减少压力对皮肤和身体的影响，而 JAXA 将利用这些结果为空间站上的航天员建立压力评估方法。

JAXA 一直在考虑引入生物标记来进行自我压力评估，这样航天员就可以在无法定期接受专业的面对面精神和心理健康评估的情况下，自行检查其压力水平。作为这些计划的一部分，JAXA 在隔离舱中进行实验，精确地控制实验条件，并详细跟踪参与者的行为。

金井宣茂一直致力于研究压力与皮肤/免疫系统之间的关系，并于 2016 年 1 月加入 3 项 JAXA 的测试，结果如下：1、唾液皮质醇的昼夜节律在隔离舱驻留期开始时和结束的前一天被打乱；2、面部扭曲测试的结果，包括测量面部表情的左右对称等，显示在隔离舱停留期间扭曲程度增加。

这项研究的结果表明，唾液皮质醇水平和面部表情的扭曲可以作为压力生物标志，不仅可以在太空环境中使用，而且可以在更广泛的环境中使用。

研究结果还揭示了在日常生活中，包括日常压力评估、以及太空与地球之间的远程评估等各种情况下，应用面部扭曲作为应激生物标志物的可能性。这些研究结果在第 63 届日本航空和环境



医学学会年会上发布。

#### (四) 俄罗斯开展干浸实验研究失重对人体的影响

本年度，俄罗斯科学院生物医学问题研究所分别于 3 月和 9 月进行了两次干浸实验，时长分别为 5 天和 21 天，主要研究往返月球过程中失重对人体的影响。

第一次干浸实验的主要目的是研究低频和低强度肌电刺激在预防失重对人体的感觉运动、心血管和其他系统的影响，以制定应用和评估肌电刺激(EMC)在预防老年和疾病引起的肌肉减少症患者的肌肉质量和功能损失与恢复中的有效性的方案。

共有 10 名志愿者参与了此次实验，全部为男性。每次实验同时有两名志愿者参加，在两个相邻的用于干浸实验的小“水池”(大浴缸)内开展。在为期 5 昼夜的时间内，参试者在充满水的水池内以水平的姿势平躺在不透水的薄膜上，水温保持在 33℃。每天晚上，参试者被抬出水池，进行约 15min 的洗漱和清洁。

值班团队由医生、实验员和工程师组成，他们负责保障参试者每日 3 餐、参试者身体情况 24h 连续监控、实验装置及测试设备的正常运行。在没有测试的空余时间，参试者可以保持平躺的姿势从事例如阅读、看电视、打电话、使用移动电脑等活动。

实验期间，使用两个 6 通道的低频、低强度的电刺激仪针对大腿和小腿的前后表面进行刺激。每次针对一块肌肉。对肌肉的电刺激活动 5 昼夜期间每天 3h。

第二次干浸实验是“模拟部分航天飞行因素对人体生理系统状态影响研究”系列实验的第一阶段，该项研究需要解决的实际课题是揭示无支撑在人体各系统中发挥作用的机制，以及探索预防此类作用负面影响的预防方法。本次实验为对照实验，即不采取预防手段的研究。

第一阶段研究有 6 名来自研究所的同事，他们躺在浸入水中的薄膜上，模拟失重对人体组织的影响，2019 年还会有 4 名受试

者参加。第二阶段将于 2019 年秋天进行，受试者将在离心机中进行一系列旋转，以此来研究干浸条件下人工重力应用的有效性。

在为期 21 天的实验里，生物医学问题研究所的专家团队开展了 50 余项研究，从血液采样到肌肉活检和脊柱的计算机断层扫描。研究清单中还包括研究 21 天无支撑对人体的感觉运动、心血管、肌肉、骨骼、免疫系统，以及身体的功能表现、血液学和心理生理指标的影响。该实验还特别关注航天医学领域的专题研究——背痛和眼压变化的现象。

该项研究是在没有专门拨款的情况下进行的。参加此项研究工作的还有来自罗马尼亚、德国和瑞典的外国同行专家。

### **(五) 以色列首次开展火星沙漠试验**

2018 年 2 月 15~18 日，6 名以色列志愿者完成了“模拟火星探险”的 4 天试验，他们在以色列内盖夫沙漠中的拉蒙坑中建立了模拟站，与世隔绝生存了 4 天时间。

这个火星沙漠研究站位于以色列南部一片沙漠的腹地中。在这里，4 名男性和 2 名女性“航天员”在与火星极其相似的环境中进行科学试验，探索人类如何在火星生存，这也是以色列首次开展火星沙漠试验。

火星沙漠研究站是在以色列航天局支持下建立起来的一个火星模拟基地，其主体是一个白色的“太空舱”。志愿者的日程安排、饮食作息、通信条件等都严格模拟实际航天任务，比如他们与“地球”联络的通信信号都要延迟 10 分钟。

这 6 名“航天员”在执行“太空任务”时，既分工明确，又协调合作。他们的任务包括测算宇宙辐射、收集岩石样本寻求火星上的生命、利用火星上的土壤探索在火星上使用 3D 打印技术的可行性、研究孤立和紧张环境对航天员的心理影响等。

## 五、生活保障技术发展

### (一) 高级生活保障系统落户国际空间站

国际空间站日前安装了一套新的生活保障系统，该系统可以再生氧气，并有望大大减少运送到空间站制造氧气所需的水量，它标志着向所谓的闭环式生活保障系统又迈出了重要一步，未来将可以在没有来自地球补给的情况下无限期地维持航天员的生命。这样的系统对于未来在月球和火星上的长期任务至关重要。

新安装的由欧洲航天局 (ESA) 研发的先进闭环式生保系统 (ACLS) 于 9 月下旬由日本的 HTV-7 货船运抵国际空间站。该系统可以将制氧系统所需的水量减少 400 升。这个重达 750 千克的系统，安装在一个 2 米×1 米×0.9 米的有效载荷机架上，将 50% 航天员呼出的二氧化碳再生重新变成氧气。当空气通过该系统时，由胺构成的小颗粒捕获二氧化碳，并从中提取几乎纯的二氧化碳，随后将二氧化碳与氢反应，然后提取水和甲烷。水进一步分裂成氢气和更重要的氧气，供航天员呼吸。这种新工艺提取的水和甲烷的量相当，但是，目前甲烷还没有任何用处，所以把甲烷排放到太空。

明年，该团队将与德国航天局开发的藻类光生物反应器一起对该系统进行测试。提取出来的二氧化碳将被“喂给”藻类。藻类会吸入二氧化碳用于生长，通过光合作用释放氧气。ESA 计划对该系统进行 1~2 年的测试。

### (二) 新型水再生系统在国际空间站俄罗斯舱段进行测试

俄罗斯新型尿液水再生装置 (CPB-Y-PC) 由以下 4 家企业联合研制：能源火箭航天公司、生物医学问题研究所、加加林航天员训练中心、化学机械制造研究所。该系统重达 100 千克，其

生产率为每小时 3.5 升，是美国现有系统的 2 倍。

新型尿液水再生装置的在轨测试在俄罗斯舱段的黎明号舱内进行，由在轨值守的俄罗斯航天员奥列格·阿尔捷米耶夫负责。该装置测试实验将持续一年。如果测试结果正常，第二年计划将该装置纳入到空间站生保系统中。据悉，获得的再生水将仅用于技术需求，包括用于获取氧气。

据悉，该尿液水再生装置(CPB-Y-PC)的原型曾在和平号空间站长期服役，1990—1999 年，利用再生装置共获得了 6 吨再生水。

专家表示，再生水系统的测试是载人登月和火星任务的重要准备阶段。

### **(三) NASA 寻找新方法处理深空任务中的垃圾问题**

垃圾管理一直是国际空间站航天员面临的挑战，他们必须手动压缩和储藏垃圾，直到有货运飞船离港时，这些垃圾才得以卸载，这些携带有垃圾的飞船或在地面着陆，或在再入穿过地球大气层时手控焚烧掉。而前往月球或火星的任务则没有国际空间站这样定期有飞船到访的稳健的供给链，为此，NASA 正在通过早期投资来解决深空任务中的垃圾管理难题。

NASA 已挑选了内华达山脉公司(SNC)和联合技术公司航空航天系统部(UTAS)来研发能够减少深空任务期间的垃圾体积，并处理产生的大气污染物的系统。这两家公司都提出了垃圾压缩舱方案，可以利用热循环来减少和隔离气态或液态污染物、并将这些污染物排放到航天器外。内华达山脉公司还正在设计一个互补系统，用于从固态垃圾中回收水，同时正在拟定选项来确定是否有可能将污染物处理并与在轨回收利用系统安全集成。

内华达山脉公司正在开发的新垃圾处理系统——热熔压缩机，它不仅提供了一种安全管理航天器内垃圾的方法，还提供了一种从垃圾中回收再利用水和其他资源的方法。目前，设计的热熔压

缩机原型系统将日常的航天员垃圾压缩成 9 英寸正方形砖，而这些砖不到原来垃圾体积的八分之一。垃圾压缩后加热到 150℃ 进行消毒、脱水，排掉有毒气体。这些气体可以释放到太空的真空中，或处理成可进入航天器的空气再生系统的安全气体。脱下来的水可以被回收以满足舱内需要，没有细菌生长和不良气味的垃圾压实方砖可以用于屏蔽辐射。

热熔压缩机提供了垃圾和废物处理的切实可行的解决办法，目前，热熔压缩机已在地面上进行了大量的试验。下一步将是选择一个团队研制升级版本的热熔压缩技术，然后在国际空间站上对其进行太空测试。

#### **(四) 微生物可以帮助航天员将废物转化为食物**

目前，宾夕法尼亚州立大学的一个研究小组表明，利用一系列微生物反应器可以快速分解固体和液体废物来生产食物，同时最大限度地减少病原体的滋生。

研究人员使用废物管理测试中常用的人造固体和液体废物来进行实验。他们制造了一个长 4 英尺、直径 4 英寸的封闭圆柱形系统，用特定的微生物与废物接触。微生物利用厌氧消化来分解废物，类似于人类消化食物的过程。

研究小组发现，厌氧消化人体废物期间容易产生甲烷，可用于培养出不同的微生物，即荚膜甲基球菌 (*Methylococcus capsulatus*)，这在今天被用作动物饲料。该小组认为，这种微生物的培养可以用来生产用于深空飞行的营养食品。他们发表文章称，他们培养的荚膜甲基球菌中，蛋白质含量为 52%，脂肪含量为 36%，因此可成为航天员营养的潜在来源。

由于病原体也是在封闭的潮湿空间中生长的微生物，研究小组还研究了在碱性环境或高温环境下培养微生物的方法。他们惊奇地发现，在 PH 为 11 的环境中，一种嗜盐单胞菌属 (*Halomonas*) 绝对能茁壮成长，这种细菌含有 15% 蛋白质和 7% 脂

肪。在 158°F 的情况下，大部分病原体被杀死，而他们种植的食用水生栖热菌(the edible thermus aquaticus)存活着，其含有 61% 的蛋白质和 16% 的脂肪。

在测试过程中，团队在 13 个小时内移除了 49%~59% 的固体废物。这比现有的废物处理方式要快得多，现有的方式大约需要几天时间才能完成。

### (五) NASA 开展太空火灾烟雾探测研究

为了科学地定义太空中烟雾颗粒的特性和行为，NASA 和国家标准与技术研究所(NIST)在国际空间站上进行了烟雾和气溶胶测量实验。

该实验称为“SAME 实验”，研究由 5 种航天器常见材料所产生的烟雾颗粒，这些材料是：纤维素化合物，以棉花灯芯的形式存在；聚酰亚胺，一种用于隔热的聚合物；硅橡胶，用于密封和垫圈；聚四氟乙烯，用于绝缘电线；聚氨酯泡沫塑料，用于包装物品，以抵消发射和重返大气层的压力。

研究时，这些样本包在金属丝里，由国际空间站的航天员装进手套箱内的一个旋转容器内。软件程序会将电流释放到电线上，加热材料，产生烟雾。然后，烟雾被“陈置”在一个隔离室里，以模拟真实的火灾场景。

在 SAME 实验的每个阶段中，“陈置”烟雾由 6 种设备监测和处理：一部样本收集器(地球上电子显微镜分析，确定烟雾粒子的形态)，一部颗粒计数器，一部商业烟雾探测器和一部质量监测器用来测量颗粒大小，以及两部不同的飞船烟雾探测器(在航天飞机计划期间使用的电离模型和目前国际空间站光电系统)。

研究人员通过控制和改变样品加热率、加热材料周围的气流和“陈置”烟雾，从各种可能的火灾条件下获得有价值的烟雾数据。

评估当前国际空间站烟雾探测器的性能，产生了一些令人不安的发现。由过热的纤维素化合物、硅橡胶和聚氨酯泡沫塑料样本产生的大烟雾颗粒很容易被 ISS 光散射光电探测器捕捉到。然而，它经常无法探测到来自聚四氟乙烯和聚酰亚胺的烟雾颗粒。不过，来自航天飞机时代的较旧的离子化探测器对聚四氟乙烯的烟雾探测比较敏感。也就是说，目前还没有一种烟雾检测方法足够敏感检测所有可能的烟雾颗粒大小，因此还需要进行更多的研究，以便更好地了解火灾在微重力环境下的蔓延，进而了解如何尽可能早地发现它们所产生的任何类型的烟雾。

### **(六) NASA 推进航天服外骨骼技术研发**

NASA 的可穿戴机器人技术研发工作，不断地扩展着人类能力可达到的极限。NASA 与莱斯大学共同推进的肩部外骨骼技术取得了新的进展。

由于人体的肩关节活动自由度很多，长期以来一直困扰着可穿戴设备研发领域，与下肢关节相比学术界的研究相对较少，这在很大程度上是由于其运动复杂性。这种软式可穿戴上肢服装被称为“Armstrong”，使用躯干上的“博登拉线传输系统”，拉动肩部和肘关节之间的人造肌腱来创造所需的动作。这项技术可以帮助减少长时间穿着航天服造成的肩部损伤和疲劳，进而可以增强舱外活动能力并改变舱外活动的计划和执行模式。随着电池和制动技术的不断改进，这种系统在某些任务情况下比现有系统具有更大的优势。

目前，航天服外骨骼技术得到 NASA“改变游戏规则研发计划”的资助，其目标是研发一套多种功能的航天服，不仅可以为航天员提供锻炼、康复和增强功能，还能造福于地球普通民众，推进可穿戴机器人技术的广泛应用。

### **(七) 俄联邦号飞船救生服和座椅样品于年底问世**

俄罗斯著名的航天服研制企业星星公司为搭乘俄罗斯联邦号

新型载人飞船的航天员研制隼-M型舱内救生服。据介绍，服装为双层，包括密封层和力量层，依然是人们熟悉的白色，上面带有蓝色的条纹。此外，服装号码通用，不需要根据航天员的身材进行尺寸调节。

新座椅的研发也是远离个性化，也就是必须能够通用，并且对于不同身材的航天员可以调整尺寸。与现有座椅相比，新座椅的尺寸有所增加，因为联邦飞船上空间比较大，而航天员的坐姿也不再采取“子宫”式姿势。座椅由铝合金制成，因为复合材料随着时间的推移会释放气味，这在密闭的飞船内是不可接受的。

此外，星星公司还将提交联邦航天服初样，新航天服的各部分组装已经完成，其外壳具有全新的穿戴方式，而且有新的通风系统。新一代航天服将更符合航天员的要求，也会变得更符合人体工程学。研制期间听取了航天员们对新航天服的建议。例如，他们希望扩大航天服的入口、为不同臂长的人引入可更换袖子等。2019年，星星公司将按合同要求生产出航天服的样品并进行测试。

(中国航天员科研训练中心)