

不能提供足够的质量保证,仍需添加外包装,而另外两种材料Tolas和 Technipaq 则不需要外包装。此项研究的分析测试表明还可将保质期再延长 18 个月。Tolas 材料的成功特性可将目前国际空间站上的包装系统减至单层。

目前航天飞机和国际空间站所用的食品系统使用的是预包装的干饮料,并将热稳定食品、辐照食品、冷冻食品和中湿度食品进行分类保存。大部分食品采用双层包装。目前,研究人员正在进行大包装评价,以代替目前国际空间站所用的独立多层包装系统。初步结果表明如果采用大包装,国际空间站每年可节省 50 千克的重量,同时还可以节省将近 20%的体积,50%包装食品的时间。2011 年后,国际空间站可能采用这种包装,并将食品装满货物转运袋(“猎户座”飞船由于受质量/体积的限制而不能使用硬容器)。

(七)空间人的因素研究力图进行精确的人体测量

“猎户座”飞船的设计人员需要精确的人体测量数据,以确保航天员适应航天器。当乘员暴露在微重力下时,由于体液飘移,椎骨的压力降低,导致脊柱的自然曲线被拉直,脊柱拉长。这样会增加骨折发生的概率,因此座位高度的增加会限制设计人员设计,且影响乘员的安全和选拔。

为了采集微重力下精确的座位高度,进行了 3 次模拟(抛物线)研究飞行,来摸索采集此类数据的方法。模拟飞行所获取的经验在未来航天飞行程序和硬件的设计中都会予以考虑。模拟微重力飞行证明,成功地采集航天飞行中精确的座位高度非常重要。

2009 年,在航天飞机任务中定做和发射了一台人体测量仪。任务期间,乘员在轨 10 天后选择微重力下的座位高度。初步结果表明,在轨坐高增加。最终的结果将在 23 名被试者完成实验后确定。乘员在航天飞行中脊柱拉长的量级将影响到乘员的安全、选拔和航天器的设计。如果没有正确的人体测量数据,乘员在再入和着陆时也许会有没有足够的间隙,服装也会不合适,那么安全会受到影响。

三、NASA 载人星际飞行地面模拟试验及研究进展

NASA 从 20 世纪 90 年代以来就一直为载人星际航行进行着先期研究工作,进行了大量长期星际飞行的相关地面模拟试验,主要包括南极计划、荒漠试验、霍顿-火星计划、NEEMO 试验、帕维金湖研究项目、高压舱组合体试验、抛物线飞行模拟和卧床实验等,这些试验各通过不同的设施和环境,深入地研究行星表面着陆硬件设施、生命保障设备、航天员行星表面作业训练,以及长期飞行对人体生理和心理的影响,为人类登陆月球和火星提供了良好的研究基础。

(一)南极计划

NASA 科学家认为,南极的气候、地形、温度和隔离环境,非常接近长期人类航天任务面临的隔离和压力状况。美国南极计划 (US-AP) 在南极的几个地点(包括麦克莫多、帕默和南极站)都设有研究设备。大部分研究活动都是在麦克莫多站进行的,该站位于罗斯岛南端的火山丘陵沿海地带。麦克莫多站平均年度温度为 0°C ,在南半球夏季和冬季温度可能达到 50°C 和 -58°C 。平均风速是 12kt。由于存在极昼和极夜,因此温度影响范围变化非常大,各种设施内只能通过人工照明来控制睡眠时间间隔。

由于麦克莫多站隔绝和封闭的程度较高,因此为进行长期任务研究提供了一个极佳的地点。参加研究的被试者都是整个冬季驻留在科考站上的科学家和技术人员,与外界物理隔离。他们必须定期到站内其他几个地点活动,并可以与外界进行通信和登陆因特网。研究需要较少样本人群,进行较高级别的隔离。

2003 年,为了给载人星际飞行做初步考察准备,NASA、欧洲航天局和法国航天局开始在南极工作站进行了多种“人类适应太空”实验,以测试人类在失重、孤独和幽闭极限状态下可能会产生的生理和心理反应。2009 年初,进行了“长期隔离及低压缺氧对人体免疫力的影响”地面模拟试验的评价与验证,实验期间欧洲航天局和

NASA 的科学家成在肯考迪亚基地进行采样，并开始利用血细胞计数器进行处理和分析。2008-2009 年，在麦克莫多站进行了月球/火星充气式居住舱的地面试验验证，获得了该类型居住舱的装卸、搭建和运输，并在苛刻极端环境下使用，远程监测居住舱性能和处理月尘（南极冰雪和灰尘）的经验。

（二）荒漠试验

荒漠试验(D-RATS)是一项 NASA 各中心科学家和工程师，与企业 and 学术界代表合作，组成联合小组执行荒漠野外试验。这些试验能够验证实验性硬件/软件、任务实施技术，并为未来星际探索确定和建立技术需求。当前，D-RATS 野外试验主要在亚利桑那州弗拉格斯塔夫市郊区的荒漠高地进行，预先测试则在约翰逊航天中心(JSC)“岩石场”进行。

NASA 每年进行为期两周的荒漠试验(RATS)，主要的测试内容包括：航天服性能、航天服与其他舱外设备的接口验证、科学考察地质和生物学样本采集和处理过程、医学生理学监测、生命保障系统及其后勤补给，以及行星基地建造、两位航天员出舱协作、月球车驾驶机动等任务。

2010 年 8 月 31 日-9 月 15 日，第 13 次 D-RATS 试验成功完成了模拟测试。以 NASA 为总负责机构，来自美国各地的工程师、航天员和科学家小组，聚集在亚利桑那州荒漠进行技术开发研究。2010 年，D-RATS 试验验证的硬件包括：航天探索运输车、居住舱样机/增压机动舱、全地形六腿舱外探险车(Tri-ATHLETE)、便携式概念通讯终端(PCT)、“人马-2”、便携式多用途集装架(PUP)、新地质学采样工具。

在本次任务期间，4 人乘组居住在两辆探索运输车内。他们的行驶路线包括从陡峭的斜坡开上开下，并以不同的速度从崎岖的道路上行驶。乘组也验证了 PUP 与居住舱的对接和分离。运输车的另一个目的是验证乘组成员和地面支持人员在不同的通信方式下，其绩

效的差异,并评估运输车行驶的不同的实施概念。

(三)霍顿-火星计划

霍顿-火星计划(Haughton-Mars Project)是一项国际性的,包括各种学科的地面研究项目,开展对德文岛火山口和周围地形的科学研究。德文岛是地球上最大的无人居住岛屿,位于加拿大高原北极圈努纳乌特地区。德文岛荒芜的地形、寒冷的温度、隔离和偏远的位置,给 NASA 科学家提供了大量独特的研究机会。而极地昼夜循环、有限的后勤补给和通信能力,提供了模拟长期航天飞行的适宜场所。除了正在进行的通信、设备测试、运输车及舱外活动实施等研究之外,德文岛也是探索计划的研究基地,旨在开发保障未来月球、火星和其他星球的新技术、战略和实施方案。

在这个研究基地中,主要进行开发和分析先进舱外活动(EVA)系统和技術,以及执行远途跋涉和地质学任务时的有限人体研究(包括代谢等)。极地的工作日很长,站内工作人员的停留时间很短(少于 14 天)。该地点不适合进行大量被试者参加、长时间停留的研究项目。

2010 年 7 月 19 日霍顿-火星计划(HMP-2010)开始,包括三周乘组和任务控制活动和机器人测试。NASA 使用智能机器人小组开发的机器人——K10,K10 配备了大量仪器设备,其中包括 3D 扫描激光雷达、彩色摄像头、分光计和地面穿透雷达。K10 系统勘测豪顿火山口地区的地面和地下结构和辨别岩石、土壤和地形特征。NASA 还进行一系列实验,检测未来表面系统(例如乘组运输车),运输航天员从一个地点到一个新集合点,进行自动重新配置。

(四)NEEMO 试验

极端环境任务实施计划(NEEMO)是在美国国家海洋和大气管理局(NOAA)国家海下研究计划(NURP)的“宝瓶座”海底居住舱内进行的,并由北卡罗来纳州威尔明顿大学的国家海下研究中心(NURC/UNCW)具体负责。NASA 每年进行 1~3 次 NEEMO 任务,一

般持续 7 天~14 天。NASA 航天员、科学家、医学研究者、任务控制中心(MCC)人员和工程师能够有效地使用“宝瓶座”海底研究设备,将之作为长期航天飞行的模拟器,开发实施概念、进行实验、执行航天模拟任务、训练乘组技能。目前该任务由“空间生命科学”(Space Life Sciences)项目提供部分资金,科学研究成为重要的任务组成部分,乘组通常参与至少一项生命科学项目。过去的任务中乘组成员包括生命科学研究者和乘组医生,还进行过远程外科医学的研究项目。

2010 年 5 月 10 日,NASA 在“宝瓶座”海底实验室,4 位乘组成员正式开始 NEEMO 14 任务。NEEMO 14 任务目标和内容包括:出舱活动训练、月球车/火星车测试、着陆器测试、探索任务模拟、教育和科普、乘组成员健康。NEEMO 14 的研究项目包括:行为健康和绩效研究、人体健康对抗措施研究,以及 CASPER(心脏适应性睡眠参数心电图记录器)对 NEEMO 14 考察团在“宝瓶座”海下居住舱内进行监测等。

(五)帕维金湖研究项目

NASA 艾姆斯研究中心和不列颠哥伦比亚大学于 2004 年建立了帕维金湖研究项目。该项目的目的是保障持续的、多学科的、国际化的科学和探索工作,以更好地了解 and 开发、扩展和保存帕维金湖的微生物沉积岩(microbialites,是一种有机沉积物,由底栖微生物群落与岩屑或化学沉积物结合而成)构造。帕维金湖距加拿大温哥华东北 420 千米,是地球上少数几个发现有微生物沉积岩的地方。选择在帕维金湖进行模拟任务是由于其极端、偏远的地理位置可以给测试和开发研究和探测方法提供挑战性的场所。采集微生物沉积岩样本将帮助提高未来航天探索任务和科学研究任务的相关采集技术。

2010 年,研究小组使用遥控运输车、自动水下运输车、SCUBA 潜水员和 DeepWorker 潜水器,共同测绘帕维金湖深度,采集微生物岩石进行分析,并对不同类型的微生物岩石外形进行分类。加拿大

航天局项目负责人阿兰·博瑞斯坦认为,湖底可以模拟行星表面,通过研究这种极端环境,可以帮助加拿大航天局开发未来月球或火星探险所需准备的技能。

帕维金湖科学小组面临的许多挑战与月球表面驾驶月球车采集样本的出舱航天员相似。湖水较浅地区的工作由 SCUBA 潜水员完成,较深的地区则由潜水器内的人员进行。执行任务的人员需要学习控制生命保障系统、有效地与机器人协同工作,并且与地面科学家建立良好的沟通,这些也可以为航天员提供良好的训练机会。加拿大航天局航天员克里斯·哈德菲尔德和 NASA 航天员迈克尔·格哈特和斯坦·莱夫都参加了此次试验。

四、“火星-500”大型地面模拟试验进展

2010年6月3日,6位乘组人员进入俄罗斯生物医学问题研究所(IBMP)的“飞船”,正式拉开了520天“火星-500”试验的帷幕。

本次试验将模拟火星飞行全过程,250天飞往火星,30天火星表面停留(2011年2月8日-3月10日),240天返回飞行,乘组指令长由俄罗斯成员担任。在接近2年的隔离期间,乘组成员将经历类似实际飞行航天员面临的状况(除了辐射和失重)。试验舱为4个密封的互相连接的居住舱,一个外部舱模拟“火星表面”,居住舱总体积为550立方米。

(一)520天模拟试验目标

本次试验的主要目标包括:

- 1.火星长期考察团乘组健康和工作绩效;
- 2.火星飞行乘组活动及其与地面控制中心交流的组织;
- 3.对乘组长期驻留居住舱的控制和监测的原则、方法和手段;
- 4.乘组在火星表面的出舱活动和火星飞行期间的工作;
- 5.确定控制、诊断和预测健康状况和工作绩效的原则、方法和手段,改善医学救助和预防方法;

- 6.改善医学和生理学信息的采集、处理和分析方法；
- 7.建立和鉴定参考信息系统,保障乘组活动需要,并保持和传递电子信息；
- 8.对人类健康进行远程控制的远程医学方法和手段的确定；
- 9.心理支持方法和自主心理支持手段的确认；
- 10.评估人类生命、活动保障和防护的先进技术、系统和手段。

试验期间乘组将被密封隔离,“火星表面工作”时乘组将分为两组,三名乘员将出舱进入火星表面模拟器,另外三名乘员将驻守在“飞船”内。乘组的生活和工作与国际空间站乘员相同,进行舱内维护、科学实验和日常锻炼。除了模拟特殊和紧急状况时,乘员一周7天中可休息2天,试验期间乘组将受到监控,其心理、医学和生理信号都将被记录下来。乘组使用的消耗品有限,与外界仅通过网络进行通信,并具有与实际航天飞行相同的联系中断和延迟。

(二)520天模拟试验乘组

520天火星飞行乘组由3名俄罗斯、2名欧洲和1名中国志愿者组成,他们分别是:

阿列克谢·西焦夫:38岁,指令长,来自俄罗斯,加加林航天员训练中心高级工程师、研究员、高级潜水专家。研究领域是生命保障系统改进,乘组建造空间站舱外活动程序制定,航天员星际探索技术手段和设备开发。

苏赫罗博·卡莫洛夫:37岁,来自俄罗斯,巴库廖夫心血管科学研究中心医生。研究领域为心理学和血液循环病理生理学,长期隔离环境下疾病的医学保障和预防。

亚历山大·斯莫利耶夫斯基:32岁,来自俄罗斯,俄罗斯航空航天医学和军事工效学科学研究试验中心心理-生理学研究实验室主任。研究领域为生物化学、药理学、生理学。

罗曼·查尔斯:31岁,来自法国圣马洛,Sotira公司质量经理和质量工程师。

迭戈·乌尔维纳:26岁,来自意大利都灵,工程师,曾在欧洲航天局航天员训练中心进行航天员训练,并参加了国际空间站“太空图像反转”实验和美国犹他州火星荒漠研究站试验。

王跃:27岁,来自北京,中国航天员训练中心航天员助理教员,参加了神舟7号航天员训练和选拔工作,第二批中国预备航天员选拔工作。

(三)520天模拟试验进展

1. 形成了高效协作的统一团队

7月14日,隔离试验的第一个月结束。这个月取得的最主要成果是——6名志愿者形成了一个统一的、协作顺畅的团队。

生物医学问题研究所专家认为,这是一个团结协作的集体。尽管还存在一定的语言障碍,但这并没有妨碍他们成为一个团队。这说明志愿者具有较强的参试动机,专业的心理支持也值得称赞。

其次,在这段时间内乘组对“火星-500”项目中的科学研究任务有了细致的、初步掌握。志愿者在没有项目负责人辅助的情况下,不得不自己进行各项试验的准备工作。其间他们遇到了不少小麻烦:包括参试设备的使用方法,各种版本的 Windows 系统导致一些软件运行不畅等。大家一同寻找问题的根源及解决办法,最终都一一克服了困难,乘组成员对所有的科学任务都投入了极大的兴趣和专业精神。

第三,乘组已经开始熟悉和习惯于在封闭空间内生活。志愿者已经完全熟悉了地面实验舱的各个角落,很清楚所需设备、耗材、食品的所在位置,每个星期六进行全面的清扫工作。

第四,对志愿者的医学监督表明,所有乘员的身体健康状况都保持良好。志愿者在舱内还进行了深入的医学监测:乘组医生的检查,身体主要系统的监测。测试结果显示,乘员的体力工作状态与进舱前没有变化。这表明,食品摄入量和营养质量、制定的工作计划、休息制度及居住环境参数使乘组健康维持在应有的水平上。

2. 建立了统一的心理支持

105 天试验期间,生物所和欧洲航天局专家就欧洲航天局选送乘员的健康和心理状况进行了多次讨论和交流,力图在心理支持方法和手段上达成共识。105 天隔离试验的乘组中有 4 名俄罗斯人,其中 2 人已参加过 14 天隔离试验,因此 4 名俄罗斯人进舱后情绪稳定。而 2 名欧洲志愿者进舱后最初一段时间感觉很孤立,出现问题直接联系负责心理支持的欧洲航天局代表而不是和俄罗斯成员协商。在地面支持团队的耐心帮助下,6 名乘员最终形成了一个团结协作的乘组。因此,心理专家在 105 天试验结束后决定,尽管参试志愿者属于不同国家和机构,在 520 天试验进行期间实行统一的心理支持,这样更有利于增强乘组的凝聚力。

3. 科学试验任务顺利实施

各国参试项目共有 105 项,目前所有的项目均已启动。科学实验项目的组成如表 2。科学实验项目的名称和完成机构情况见附录 3。

表 2 520 天试验科学研究组成

研究方向	项目数量			合计
	俄罗斯	欧洲航天局	其他国家	
生理学研究	17	3	6	26
心理学和心理-生理学研究	16	7	3	26
生物化学、免疫学和生物学研究	24	3	7	34
微生物和卫生保健研究	7	1	-	8
实施技术类实验	10	1	-	11
合计	74	15	16	105