

2010 年国外航天员系统发展综述

2010 年俄罗斯完成了新一批航天员的选拔工作,美国、日本、加拿大、欧洲航天局等国家和机构的预备航天员正在进行或已经完成了基础培训,美国国家航空航天局的“人体研究项目”在航天员医监医保、航天食品、航天工效学等方面取得了较大研究进展。此外美国国家航空航天局在极地、荒漠、水下和其他模拟设施中展开了大量星际探索地面模拟试验,俄罗斯也进行了“火星-500”试验,深入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,为未来人类登陆火星提供保障。

一、国外航天员队伍整体情况进展

为扩充航天员队伍,俄罗斯 2010 年完成了 6 名预备航天员的选拔工作,并正式投入训练。此外,加加林中心、“能源”公司和生物医学问题研究所的 3 支航天员队伍也在 2010 年底宣布合并。欧洲航天局、美国、日本和加拿大的预备航天员基础训练工作顺利开展,世界航天员队伍呈现出蒸蒸日上的发展态势。

(一)俄罗斯完成新航天员选拔并进行航天员队伍合并工作

2010 年 4 月,俄罗斯航天局召开了跨部门委员会航天员选拔会议,主要议题是为载人飞船及空间站乘组选拔航天员,会上审议并批准了加加林航天员训练中心、“能源”公司及生物医学问题研究所的航天员鉴定书。会议决定按照上述三家单位的要求,对航天员-试飞员、航天员-研究员候选人进行补充选拔。

俄罗斯航天员选拔工作在 2010 年 4 月 1 日至 8 月 1 日进行。6 名新选拔出来的预备航天员于 11 月 15 日开始了为期一年半的基础航天培训。

6名预备航天员中有2名来自空军:阿列克谢·霍缅楚克,杰尼斯·马特韦耶夫;4名来自“能源”火箭航天公司:安德烈·巴布金,谢尔盖·库季-斯维尔奇科夫,斯维亚托斯拉夫·莫罗佐夫,伊万·瓦尔涅尔。

阿列克谢·米哈伊洛维奇·霍缅楚克,1975年出生,2008年加加林中心跳伞训练部门负责专业跳伞培训工作;2010年起任加加林中心高级工程师-试验员;2008年空军少校;2010年空军中校。

杰尼斯·弗拉基米罗维奇·马特韦耶夫,出生于1983年4月25日,曾任加加林中心主管工程师,军衔为预备役上尉。

安德烈·尼古拉耶维奇·巴布金,1969年4月21日出生于俄罗斯布良斯克市,1986年-1990年(1987年-1989年服兵役)在布良斯克运输机械制造学院学习;1995年毕业于莫斯科航空学院,专业是生命保障系统,获工程学副博士学位;1997年4月起在“能源”火箭航天公司先后担任2级、1级工程师;2007年10月起任高级研究员。

谢尔盖·弗拉基米罗维奇·库季·斯维尔奇科,1983年8月23日出生于列宁斯克市。2000年-2006年,在莫斯科国立巴乌曼工程大学火箭发动机专业学习;2006年8月起任“能源”火箭航天公司2级工程师;2009年12月起任1级工程师。

斯维亚托斯拉夫·安德烈耶维奇·莫罗佐夫,出生于1985年8月22日,2010年起任“能源”公司出舱活动保障部2级工程师。

伊万·维克托罗维奇·瓦格涅尔,2010年起任“能源”火箭航天公司总机动指挥组工程师。

基础航天培训在2010年11月15日-2012年7月期间展开。预备航天员将参加航天理论基础、工程技术基础、科学研究和实验基础的培训。此外,培训内容还包括飞行训练和跳伞训练、生物医学知识培训、航天产品的测试原理、失重飞机模拟失重训练、着航天服进行训练、英语学习等。如果在基础航天培训时,他们能够顺利通过国家考试,将获得“航天员-试飞员”的资格,并有机会被选拔

进入乘组。

2010年底,俄罗斯联邦航天局局长 A.H.佩尔米诺夫签署了关于“成立俄罗斯航天局统一航天员大队”的第 197 号命令,宣布 2011 年 1 月 1 日前成立俄罗斯航天局统一航天员大队——联邦国家预算机构“加加林航天员科研试验训练中心”,将“能源”公司和生物医学问题研究所的预备航天员、航天员和教练航天员过渡到俄联邦航天局航天员大队。

(二)欧洲航天局新一批航天员完成基础培训

11 月 22 日,德国科隆欧洲航天员中心召开新闻发布会,欧洲航天局 6 位航天员候选人——意大利的萨曼塔·克里斯托福瑞蒂、卢卡·帕米塔诺,德国的亚历山大·格斯特,丹麦的安德里亚·摩根森,英国的蒂莫西·皮克和法国的托马斯·佩斯凯,完成基础训练并获得了毕业证书,成为正式的航天员。

他们完成的训练内容包括:航天工程、电子工程、各种科学学科和国际空间站及其他航天器的主要系统,还包括为模拟出舱活动进行的潜水训练、机器人操纵、救生训练、交会对接训练和俄语学习。

2015 年前,欧洲航天局有三次新航天员飞往国际空间站的机会,所以半数新航天员将会有机会飞往太空。第一位新航天员飞往地球轨道的时间将在 2013 年。随着这些新航天员飞往太空,他们将给国际站站的科学应用提供新的力量。

新航天员将继续进行指派任务前的训练,并参加公共活动。一旦得到任务任命,他们将集中进行该次任务的特别训练。

(三)美日加继续新航天员基础培训

2010 年,美国新选拔的 9 位第 12 批航天员:赛丽娜·奥诺恩、珍妮特·埃普斯、杰克·费希尔、迈克尔·霍普金斯,谢尔·林格伦、凯思林·鲁宾斯、斯科特·廷格尔、马克·范德海、格雷戈·怀斯曼,日本 3 位航天员:油井龟美也、大西卓哉、金井宣茂,以及加拿大 2 位航天员:赫雷米·汉森和大卫·圣雅克在美国国家航空航天局(NASA)约

约翰逊航天中心(JSC)继续进行基础培训。

训练科目包括:T-38 喷气式训练机飞行、抛物线飞行、潜水训练,国际空间站系统和环境、机械臂操纵、出舱活动训练(包括舱外航天服使用、出舱活动工具使用、中性浮力水槽训练、气闸舱设备使用等)、“联盟”TMA 飞船系统、欧洲“自动转移飞行器”(ATV)和“哥伦布”实验舱系统、日本“希望”实验舱和“H-II 转移飞行器”(HTV)系统,以及地质学、天文学、航天医学、俄语等。

新航天员还参加了犹他州“国家户外领导者学校”(NOLS, National Outdoor Leadership School)训练,包括提高自我管理能力和团队协作能力,并能够很好地与领导者和同事合作;对意外事件或紧急状况能够做出正确选择的判断等。训练期间每位新航天员轮流担任领导者,领导其他航天员共同完成任务。

二、NASA 人体研究项目进展

随着美国奥巴马总统将其载人航天的目标直接指向火星,NASA 进行人体研究的重要性更加突显,2010 年后的连续 5 年,人体研究的经费预算从原来的 1.5 亿美元增加到 2.5 亿美元。从硬件制造到软件开发,从地面模拟到飞行验证,NASA 继续通过国际空间站医学研究、空间辐射、航天员健康对抗措施、探索医学能力、空间人的因素和适居性、行为健康与绩效 6 个方面的研究来降低星际探索任务中航天员健康和绩效的风险。

(一)软硬件同时研发,不断提高医学保障能力

综合医学模型(IMM)是一种基于软件的决策支持工具,任务规划人员和医学系统的设计人员可利用它来评估航天隔离环境中的风险和设计医学系统。IMM 通过循证方法在航天飞行质量、空间和补给的限定范围内来优化医学资源和减少风险,并量化航天医学、飞行实施、工程、训练和研究领域的知识。这种经过量化的知识用于在各个任务和乘员剖面预测乘员健康和任务成功的风险。构建和验

证 IMM 的过程采用 NASA 程序要求 8705.5 和 NASA STD 7009 模型和模拟标准中所描述的风险评估技术见表 1。

表 1 IMM 的输入和输出

乘员数量和任务时间	医学事件的数量与类型
乘员特征(如年龄、性别)	已使用和/或已耗尽的医学资源量
任务活动(如太空行走)	撤离风险
医学状态和可能性	乘员丧失生命的风险
任务结果(如撤离)	使医学资源的质量和体积最优化
飞行中诊断和治疗的方案和资源(如药品、设备)	为特定任务和飞行中的医学能力对乘员健康进行比较评估
乘员功能损伤预估	医学资源耗尽的时间预估

IMM 采用随机计算方法(超过 2 万次试验的蒙特·卡罗模拟)来预测乘员健康和医学资源利用的可能分布状态,以及医学撤离和乘员丧失生命的风险。

对于每次模拟试验,IMM 都要跟踪发生的医学事件,以及每种疾病诊治所需的药品和补给的消耗。如果基本的补给已经耗尽,那么疾病也许将无法治愈,乘员处于危险之中,任务成功的可能性也大大降低。而病人对治疗的反应也具有不确定性。

IMM 项目紧密联系医学人员和工程人员,并提供一种共同的风险语言来讨论飞行中的缓解策略。目前,IMM 辨别出 83 种疾病,其中 47 种曾在短期和长期航天飞行中发生过。这 83 种疾病中有 9 种源自人体对空间的适应性。利用飞行历史数据和适当的地面模拟数据,航天医学专家不断研发出新的药品和应急决策支持工具,使飞行医学系统达到最优。

2010 年 10 月 IMM 正式投入使用,对国际空间站的价值已经得到证明。IMM 医学事件和医学资源列表已经用来辅助国际空间站健康维持系统的再设计。IMM 疾病列表已作为探索任务中疾病发生的基础列表。此外,撤离和乘员丧生的风险预估也正用来更新国际空间站的概率风险模型。

NASA 7009 软件标准要求每个软件产品都应有一个可信度得分,包括模型开发、验证与确认(V&V)、文件、主题专家评审。为了支持这一要求,IMM 建模和模拟可信度分值矩阵已经完成,它详细说明了建模和模拟开发计划、验证和确认活动,为模型的可信度评估了用户需求,为可信度证据文件提供了链接,并跟踪主题专家和内部评审的得分。文件在指定可信度因素的基础上对 NASA-STD-7009 的可信度进行自动评估,将累积数据提供给用户,并将分类等级赋给可信度因素。该矩阵已经由 HRP 其他建模小组进行修正和改进,并作为 NASA-STD-7009 用户的一个普通工具。

硬件方面,便携式肺功能系统(PPFS)和肌肉萎缩研究和训练系统(MARES)均已通过飞行验证,静脉注射液生产(IVGEN)系统通过关键设计评审,开始投入制造,在轨血液分析仪已生产出原型样机。

便携式肺功能系统为 NASA 和 ESA 的联合研制项目,ESA 提供代谢气体分析系统,用于测量体力峰值和心脏输出。PPFS 可在国际空间站任何地方使用,以便测量训练过程中的代谢率。2009 年夏,该设备在国际空间站上成功通过飞行设备检测,开始用于记录长期飞行期间乘员最大耗氧量的变化。PPFS 同样也能测量呼吸贮备量、呼吸代谢率、肺总容量、肺毛细血管量、心输出量、部分吸入和呼出量。

肌肉萎缩研究和训练系统(MARES)也是 ESA 和 NASA 联合研制的生理研究设备,用于在国际空间站上进行肌骨骼、生物力学和神经肌肉学的研究。此项研究的结果将有助于更好地了解微重力对肌肉系统的影响以及对减轻肌萎缩所采取对抗措施的评价。2009 年 MARES 设备取得了所有飞行验证,2010 年初随 STS-131 任务升空。

2008 年 12 月,格林研究中心研制的静脉注射液生产(IVGEN)系统成功通过关键设计评审。2009 年,开始进行飞行硬件的制造。11 月,IVGEN 的研制人员将其转交给多功能后勤舱的硬件负责人员。2010 年 3 月,发射升空。

(二)空间辐射研究完成大量模拟实验

NASA 空间辐射实验室(NSRL)利用高能重离子束模拟空间辐射环境,进行辐射生物学的地面研究。为了开发精确的、与探索乘员的健康息息相关的辐射风险模型,并且确定可减少这些风险的对抗措施,NASA 的主要研究人员分别在 2009 年春、夏、秋进行了三次实验活动,共做了上百个实验,照射了各种生物样本、组织和细胞,照射时间达 1130 小时,获得非常有价值的实验数据。在春季活动中首次使用了新的 SPE 模拟器,研究人员对 SPE 的低能谱和低剂量等级进行了测试。夏季时采用的是大离子束(60 × 60 平方厘米 vs 25 × 25 平方厘米),同时对大量的样本进行辐照,以优化离子束的使用时间。对于未来长期暴露任务中的低剂率研究,这些新的辐照能力将会降低成本,优化程序,提高穿透力,此研究结果已在科学刊物中刊载。

美国科罗拉多州立大学 M. Weil 等人将铁诱发老鼠患肝癌的研究和以前铁诱发老鼠患乳腺癌、泪腺癌的研究进行了比较,在调整不同的铁能量和与其他癌症风险进行比较之后,结果表明,标准的癌症诱发曲线有着非常高的相对生物效应,这种效应随辐照剂量的变低而升高。实验的主要研究结果表明:

- 重离子对白血病的相对生物效应比原先预想要低;
- 重离子对肝癌和肺癌的相对生物效应较高,肿瘤的无靶效应取得了新证据;
- 人体肺、结肠和胸部组织的 2D 和 3D 有机细胞培养模型表明,DNA 破坏和基因不稳定的重要原因是细胞间矩阵的变化。

(三)训练对抗措施研究采集大量数据样本

功能任务测试(FTT)主要基于未来的探索活动,测试包括心血管、神经肌肉、感觉运动等多个方面。模拟探索任务时,在航天飞机和国际空间站飞行前后都进行了绩效数据的采集。FTT 的测试结果将表明未来星际探索任务中哪类活动会受影响,何种对抗措施能有效保障乘员的健康和绩效。

2009年6月-9月,参与束带补充研制测试(STD0)研究的第一批国际空间站乘员完成了测试工作,乘员们完成了关于束带的16项计划数据的采集工作,包括国际空间站目前所使用的束带以及格林研究中心新研制的束带。数据包括由负荷传感器所提供的乘员肩部和臀部的负荷值,以及乘员在选择训练课程之后所做的关于束带舒适性的主观反馈。舒适度和负荷数据的相关性研究将有助于对训练束带设计要求的理解,从而完成改进工作。

最大吸氧量(VO_{2max})实验的目标是直接测量长期飞行中、后的需氧量,从而评价目前长期飞行中、后 VO_{2max} 改变量预估“方法”的有效性,决定是否可通过增加极限下吸氧量和心输出量的测量,来提高 VO_{2max} 改变量预估值的精确性。飞行研究包括乘员需氧量的测量,测量方法即在最大训练量时直接测量其氧的吸入量。欧洲航天局的便携式肺功能系统(PPFS)正用来采集所有代谢变量。此项研究将表明目前需氧量的近似值是否为精确地表征航天飞行所引起的变化提供了足够的数据,该近似值用心率作为隔振自行车功量计训练速率的响应;或者是否可在乘员心血管训练能力的常规评估中增加更为综合的测量手段。12名乘员将参与此项研究。

(四)药物稳定性研究完成,结果不容乐观

药物稳定性的研究包括4个药包,内装有不同剂量配置的31种药物。环境监测表明,空间中的平均温度和湿度均与地面相类似。不过,随着在空间停留时间的延长,累积的辐射剂量明显要高。初步结论表明配方中药物的含量百分比降到了美国药物限值以下,且一些配方在空间中降解得更快。少量药物在过期后仍然保持稳定。太空中可能影响药物稳定性的其他因素还包括振动、累积辐射剂量和剂量组成的改变等。

(五)采集空间站微生物样本,运用新技术降低乘员患病风险

太空中大多数微生物对人体无害甚至有益,但也有一些微生物威胁着航天员的健康和航天器系统的功能。除了感染疾病,微生物

还会产生毒素,腐蚀食物,使植物患病,挥发有机气体,降解航天器材料,污染环境系统。“和平”号空间站和国际空间站上的环境分析证明,微生物种类的增加对空间站生命产生威胁。因此,了解飞行中航天器内微生物的生态对确定和降低登月和火星探索任务中的风险极为重要。过去,航天器分析技术主要采用培养的方法,即用一些特殊的营养物质来促进特种微生物的生长。近来,分子生物学和设备的发展进一步促进了人们对环境的全面评价。

利用特殊硬件,国际空间站第 13~18 长期考察团已采集大量空气和表面样本用于表面、水和空气的生物特性(SWAB)飞行实验。水样本从国际空间站便携式水分配器的热水和温水分流点上采集。返回地球前,利用各种技术先对样本进行处理,包括细菌和真菌分子筛的鉴定,以及识别和列举特种基因的量化技术。这些技术有别于传统的隔离相似样本的培养技术,而是用一定量的聚合酶链反应来分析几种样本,从中检测出不同的病毒。如水痘病毒,许多人都携带这种病毒,它会在某种特定条件下再次“激活”,从而导致水痘发生,实验期间所采集的信息对了解长期飞行中与微生物相关的疾病非常重要。通过 SWAB 实验所获取的数据,加上新的分子筛技术,NASA 将能够进一步降低星际探索任务中威胁乘员健康和航天器功能的风险。

(六)高级食品技术旨在延长食品保质期和减轻重量

热稳定食品的长保质期是此项研究的重点。热稳定食品经过高温处理,可以确保食品的安全和无菌,但同时也会造成营养流失,口感下降、以及其他质量上的改变。此研究中保质期定义为产品的营养价值和口味的保持。一项为期 3 年的非冷冻食品保质期研究已经完成,其中肉品和其他主菜的保质期定为 3 年,水果和甜点的保质期定为 1.5 年-5 年,淀粉和蔬菜的保质期定为 1 年-4 年。除了维生素 C 和 B 大量损失以外,大部分食品的营养价值保持良好。NASA 推断 65 种热稳定食品中有 10%的保质期能达到 5 年或

更长,大约 45%的食品保质期会超过 3 年。分析表明新的食品加工技术应该能够改善食品最初的质量,并能够延长食品的保质期,更适宜长期飞行。

未来长期载人飞行向食品系统提出了挑战,为了更好地保持食品的质量,可能会导致食品系统的质量和体积增大。“猎户座”载人飞船比航天飞机和国际空间站小,其食品的质量和体积也非常有限。因此,食品研究人员试图将现有每人每天 1.81 千克的食物减至每人每天 1.14 千克。此研究的目的就是在保持热量和复水要求的同时如何减少食品系统的质量和体积。

研究发现,通过减少湿度,增加脂肪的卡路里,食品系统质量每人每天可减少 321 克,占总重量的 22%。用肉棒(每人每天只一条)代替标准的菜单,质量可减少 240 克,占总重量的 17%。如果将两种方法结合起来,食品系统可减少 529 克,占总重量的 36%。用肉棒作替换,同时减少湿度、增加脂肪,可将每人每天 1.81 千克减少至 1.28 千克,接近 1.14 千克的目标。

湿气和氧气的相互作用会大大减少食品的保质期。良好的食品包装系统可以提供柔韧结实的屏障来防止食品暴露。目前国际空间站复水食品和自然形态食品的包装系统包括一层主包装,再附加第二层外包装。主包装一般采用较薄的透明材质(Combitherm),用来辅助控制质量,第二层外包装一般采用较厚的不透明的材料,以确保食品的保质期可达到至少 18 个月的要求。虽然多层包装确保了食品的保质期,但也产生了更多的垃圾,增加了重量和人力。

实验证明,半透明的厚密材料(Tolas)不需要外包装也能确保 18 个月的保质期,因此可以将现有包装减少至单层。为期 18 个月的比较研究就是用来比较(Tolas)和现有材料(Technipaq)的差异。干麦片粥、花生以棉花子油,极易受湿气和氧气的影响,将它们分别用各种材料进行包装。包装食品保存在与“猎户座”飞船内相对湿度基本类似的地方,当临近 18 个月时,结果证明 Combitherm 这种材料