

美国国际空间站的经历与探索 及对我国的启示*

胡文瑞

(中国科学院力学研究所 北京 100190)

摘要 建设空间站是人类探索外层空间的重要步骤。美、俄、欧、日、加等国联合运营的国际空间站将于 2010 年建成,并延续到 2020 年。中国的载人空间站将于 2020 年升空。本文回顾了空间站的主要历史,概述了美国在国际空间站上 10 年(1998—2008)的工作,分析了空间站可能对人类做出的贡献,介绍了美国新政府对载人航天任务的新选择,最后借鉴国外发展空间站的经验教训,提出了我国研制空间站应注意的问题。

关键词 载人空间站,空间站的利用,国际空间站,空间微重力科学,空间生命科学

DOI:10.3969/j.issn.1000-3045.2010.03.011



中国科学院



胡文瑞院士

1 国际空间站的历史回顾

1957 年第一颗人造地球卫星成功发射开辟了人类探索太空奥秘的新时代;1961 年第一位宇航员成功遨游太空开启了人类

载人空间活动的新时代。这两次全球振奋的历史性事件都是在苏联实现的,这对于自认为执全球科技牛耳的美国政府和百姓无疑是难于承受的惨重精神灾难。为此,美国启动了雄心勃勃的阿波罗载人登月计划,这是一项耗资巨大的空间探索计划,美、苏也由

此开始了载人登月的空间竞争。1969 年阿波罗 -11 号的登月舱稳稳地落到月面,美国宇航员阿姆斯特朗成为登月第一人。这个名垂千古的科学探索活动,使美国在美、苏空间竞争中赢得完美的胜利。以后的 20 年,苏联致力于研发载人空间站,美国致力于研发可重复使用的航天飞机。

苏联的载人空间站礼炮 -1 号于 1971 年升空,第二代的礼炮 -4 号于 1974 年发射,同时研制了联盟号载人飞船和进步号载货飞船。经历了 10 年艰苦历程,1977 年发射的礼炮 -6 号和 1982 年发射的礼炮 -7 号才建成了比较成熟的载人空间站系统。1986 年,苏联发射了和平号空间站,它是当时最大的空间设施,有 6 个对接口,可以联结 4 个工作舱和两艘飞船。和平号空间站设计寿命 8 年,实际工作寿命 15 年^[1]。

美国在完成阿波罗计划后全力发展可

* 修改稿收到日期 2010 年 5 月 6 日

部分重复使用的航天飞机,其在太空中可作为空间实验室,返回时可以像飞机一样着陆,火箭发射时可以回收燃料箱。航天飞机的高技术特征体现了美国引领空间最前沿技术的国策,也显示了美国在空间领域的霸主地位。航天飞机的首航由哥伦比亚号于1981年完成,先后建成哥伦比亚号、挑战者号、发现号、阿特兰梯斯号和奋进号5艘,1986年挑战者号发射时失事烧毁,2003年哥伦比亚号返回时失事烧毁^[2]。

在苏联解体以前,人类的空間活动的主旋律是美、苏两个超级大国的竞争。美国在发展航天飞机的同时,于1973年利用阿波罗技术发射了天空实验室,于1975年实现了阿波罗飞船与苏联联盟号飞航的对接,这些都是某种形式的空间站。美国里根政府也提出了建立“自由号”大型空间站的建议。在美国航天飞机运行以后,苏联也研制了“暴风雪”号航天飞机并于1987年和1988年进行了两次飞行。在超级大国竞争时代,空间活动的政治目的占有首要地位,巨额耗资的空间活动具有一定的盲目性。和平号空间站的4个对接舱段有1个做天文观测,两个从事对地观测,只有1个研究材料制备。在美国天空实验室中也安排了一些天文观测项目。苏联有非常成熟的飞船运输器,经济实惠;在美国航天飞机出世后,仍耗巨资跟踪研发航天飞机。因运营经费太高,两次无人试飞后即终上。

在苏联解体后,空间国际合作成为大势所趋。1993年美、俄达成联合建立“国际空间站”的意向,俄国的“Zarya”(日出)舱为成为第一个公共舱段于1998年升空,俄国还有自己的“Zvezda”(星辰)舱、多功能空间实验舱、对接和货物舱,并提供了飞船作为天地往返的运输器。欧洲空间局和日本是国际空间站的重要参与者,正在空间活动中发挥着重要作用。国际空间站的参加者还有加拿

大和巴西。韩国和印度也已正式提出加入国际空间站计划。中国做为发展中国家,正独立地在载人空间活动中崭露头角。

2 美国国际空间站的十年历程(1998—2008)

2008年,美国举行了多种活动总结国际空间站10周年(1998—2008),将美国在国际空间站上的主要活动归纳为人体研究(32项实验)、生物学(27项实验)、物理科学(33项实验)、技术发展(22项实验)、地球观测和教育(13项实验)、空间站运营(11项实验)等6大类(截至2008年的前15次任务),总共148项实验。可以看出,物理科学(即微重力科学)为单项之首,包括人体科学和生物学的空间生命科学达到59项,微重力科学和空间生命科学加起来占全部实验项目的62%。在技术发展等其他大类中,还有许多微重力研究^[3]。

2.1 人体研究计划

空间人体研究主要研究人体对微重力和辐射的响应,其一直是载人空间活动的最主要任务。宇航员在空间飞行时的临床证据揭示了重要的生理学变化,相关实验研究了乘员健康和长期微重力环境对策效应的各个方面。国际空间站上集中于人体的32项任务包括骨骼和肌肉损失、血管系统、免疫学响应的变化、辐射效应和孤立空间生活时精神-交际方面的研究。

进一步的研究集中于长期空间飞行时生理学变化和最大健康风险保障方面的知识间隙,设计能保障宇航员健康的更详细复杂变化的实验。现在,已进行了国际空间站乘员的集合参数组监测,例如营养学和集合免疫学样品,以及分析乘员在飞行期间和飞行前后的血液、尿和唾液。这些样品用于研究骨骼代谢、氧化损伤、免疫功能的相关变化,而且是独特的。另外相关联的实验

装置监测身体的流体变化,将心电图收集起来监测心脏功能和动脉健康。乘员周期性地试验肺功能并维持记录,以用来定量分析乘员对孤立环境的响应。

2.2 微重力生物学

早期的工作主要是试验新的生物技术装置,包括细胞生物技术操作支持系统、商业基因生物过程装置、先进的宇航培养器、生物质量产品系统、微封装静电加工系统、植物基因生物过程装置、活化组合流体加工装置。

一个最激动人心的结果是确认了普通病原体在太空飞行过程中变得更恶性。已经研究的一种微生物是导致人类肠胃炎的沙门氏菌,空间实验发现有 167 种与地面不同的基因表达。包括更广泛基因表达在内的微重力响应增加了产生疾病的可能性。这些结果更好地揭示了病原体传播疾病的机理,同时有助于预防人在太空中生病。由于这种新的视野,在国际空间站上进行了一些病原体的实验。初始的实验是为了宇航员在空间探索时的健康,以后的研究便扩展到预防地面疾病的可能应用。

2.3 微重力物理学

本系列实验的早期主要研究微重力条件下的蛋白质生长以及流体的基本性质和胶体的特殊行为。目前的重点集中于胶体和复杂流体的基本性质,属于较新的物理领域——软物质。软物质的基本性质取决于颗粒的行为和性质,以及它们聚集和成团以形成颗粒结构的条件。重力会感应复杂的重力分层。微重力条件下没有对流相互作用,提供了不同于重力的相边界和对定向力的响应。

胶体乳剂的顺磁性聚集结构研究(InSPACE)可以对磁流变流体进行新的观测和发现尚未解释的结构和结构转换。微重力条件下可以长时间地观测磁颗粒聚集的形

成及其结构和动力学。磁控材料广泛地应用于工业领域,例如机器人、自动化工业(悬浮和阻尼系统等)、土木工程(桥樑、地震预防等)。

流体物理研究有许多实际应用。例如毛细流动实验(CFE)记录了微重力环境中不同几何形状容器中液体的毛细流动。由此首次发展出有效的数值模拟方法以描述液体的运动行为。正确认识微重力环境中流体毛细运动的规律对于设计空间大体积容器内的流体管理十分重要,其对空间燃料罐和飞行器流体系统的设计有重要意义。

2.4 为空间探索的技术发展

为今后空间探索而研究新技术和新材料试验是美国空间局的优先任务。这些实验包括研究微重力环境的特征、监测空间站内外的环境、试验飞行器材料、发展新的飞行器系统、试验微小卫星和新卫星指挥和控制等。最近的实验包括燃烧物理、烟的生成(对重新设计烟探测器十分重要)和微流化床技术(快速检测各种组分,如杆菌和真菌)。

国际空间站的材料实验(MISSE)将几百种材料样品暴露在空间站外,以研究太阳辐射、原子氧化腐蚀、热回路、微气象环境、轨道垃圾碰撞及飞行器污染物的作用。这些结果对工业界、科学界、空间局和国防部都非常有用。

2.5 宇航员观测地球和教育活动

乘员地球观测(CEO)可以提供对地球科学有用的图象,是一个传统的项目。这些观测可以监测海岸线的变化及时记录火山爆发等事件、发现南极冰山破裂和飘移等。国际空间站已提供了 32.5 万幅照片,供大家使用。

国际空间站的教育活动是一个传统项目,它联系了数百万学生,许多学生参与了空间站的实验。宇航员通过各种方式与学生接触,向学生们提供微重力环境中的生活和



中国科学院

实验的短片,与学生分享知识。

2.6 国际空间站运营所带动的科学

除了空间站进行的大量专项科学实验外,国际空间站的每日运行数据也支撑了许多科学研究。这些数据包括宇航员和飞行器的逐日参数、建造构件的变化和硬件响应、构件的时间变化、空间环境(辐射和微气候及轨道垃圾的流量等)以及改善环境的功效。这些运行数据及相关数据的分析对进一步的空间探索极为重要。

从美国上述对国际空间站的任务安排可以看出,其主要任务是进行微重力研究。

3 国际空间站科研成果对改进人类地面生活质量的贡献

在国际空间站上,已经进行了大量微重力科学和空间生命科学的实验,这些研究已经取得了一批重大成果,不少成果已开始用于改进地面人类的生活质量。

3.1 空间微重力研究促进地面高技术发展

(1)蛋白质单晶生长。微重力环境下可以生长出比地面质量更好的蛋白质单晶,利用这些单晶可以获得蛋白质的结构信息,从而有利于研制新药和促进蛋白质工程的发展。空间蛋白质晶体生长已经成为一项新的空间商业计划项目,吸引了众多商家的关注和参与。

(2)细胞/组织培养。空间的细胞/组织三维培养可以获得与活体功能相近的组织。人们借鉴空间生物反应器的成果,致力于发展地基的先进生物反应器,从而促进组织工程的发展。

(3)改进地面铸造技术。微重力环境下可以更准确地测定熔体的热物理参数和物质输运系数,这些基础数据在材料制备模型与模拟研究中是必不可少的。通过使用精确材料参数的模型化研究,可以发展先进的地基铸造技术,特别是叶片研制。欧洲已对此

安排了具体的商业计划。

(4)沸石结晶。美、欧、日都大力进行了空间沸石研究。沸石是一种多孔材料,广泛用于石油催化等过程。地面生长的沸石结晶只有微米尺寸,而空间生长的结晶可达毫米。通过空间沸石制备研究,将直接获取高质量的沸石晶体和改进地基沸石制备工艺,促进炼油效率的提高,其具有重要的商业价值。

(5)节能减排技术。利用微重力环境研制催化燃烧系统,使燃料的燃烧更完全,污染物排放更少,燃烧效益更接近于理论极限。中国则更关注煤的燃烧,促进煤的减排和节能。

(6)喷雾灭火技术。在微重力环境中研究雾水对火焰散布的抑止作用,抑制火焰的熄灭,并以此发展地面的雾水灭火新技术,取代目前灭火剂使用的卤化碳氢化合物。

(7)医疗健康。载人航天过程需要对宇航员进行细致的医监和医保,特别要针对骨流失、肌肉萎缩等寻求应对措施,以及监护人体心血管和血液流动系统。这些空间医学成果亦可改进地面治疗骨质疏松等疾病的相关医疗水平,促进人类健康。

(8)遥医疗技术。为了对空间工作的宇航员进行医监和医保,各国发展了遥医学技术。目前,遥医学已应用到地基系统,可以对边远地区的患者进行实时医学处理。

国际空间站实验除安排了大量科学研究计划外,还有相当数量的商业研究计划。这些商业研究计划都有很强的应用背景,尤其关注促进地面的高技术发展。

3.2 国际空间站的科研成果改善人类生活质量^[3]

3.2.1 有用的副产品和专利

空间微重力研究不断提供创新结果。公众投资的国际空间站研究凝练着返回地球

的收益。除上节论述的一般效益外,还可以列举近期的几个实例。

(1) 乙稀基二氧化钛空气纯化技术。用于空间实验的生长器设备与空气中病原体净化器一体化设计可有效抗炭疽热孢子。

(2) 碳氢化合物探测。由宇航员拍摄的河流系统附近沉殿物大扇面斜视照片可以反演出沉淀特征的全球分布。这个结果已申请专利。

(3) 药物微封装技术。空间微颗粒探测和分析研究对化工和制药工业有支撑作用,国际空间站和航天飞机上对此进行了一些实验。药物微封装技术是一种新的高效方法,使药物能更好地达到病灶区域。该技术已用于地面微封装。

(4) 显微镜的锁靶技术。空间二元胶体合金的临界点实验用显微镜观测了胶体的动力学成团行为,运动的胶体物质团会移动出视场。为此发展的显微镜锁靶技术,可以用于地面。

(5) 表面处理技术。空间站的材料暴露实验获得了许多可用于现在和未来空间飞行器的材料。一个副产品是用原子氧从表面质换有机物质,例如用原子氧去恢复有价值的艺术品,以及外科移置细菌污染物等。最近的一项专利是蚀刻光纤表面,用以增加血液分析的表面面积并能快速评估血液葡萄糖的水平。

3.2.2 着眼于下一代的教育

美国约有 3 000 万学生和 1.5 万名教师参加了国际空间站的科学活动及示范。在国际空间站上特别安排了一些学生实验和用于教学目的的优秀教育论证等。2006 年还安排了女教师宇航员上天,在飞行期间她指导了课堂教学节目。利用国际空间站培育和激发学生的空间实验能力,一方面奠基了下一代空间探索的人才,同时也提升全民的科

学素养。

事实上,在科研团队承担的国际空间站项目中,一般都安排许多学生和研究生从事地基模拟研究、空间装置硬件研制、空间实验操作以及空间实验数据分析等工作。这些空间实验项目代表当代科技前沿,为大学的高水平研究提供了动力,也为学生的创新能力培养提供了平台。

国际空间站作为一个教育平台已受到各国的重视。在国际空间站的安排中,教育活动与研究计划、商业计划和其它活动同样重要。

3.2.3 进一步的空间研究

国际空间站是一个微重力实验室,其完成的实验取得了丰硕的成果。美国相关实验结果的正式出版物持续增加,2008 年的数目已达 200 种。

10 年来,对国际空间站的研究项目提出了许多新科学范畴和内容。

(1) 协调的人体研究实验。与国际参与者的科学目标和活动合作,分享数据收集和飞行样品的原始资料,目的在于理解造成人体变化的集合因果关系。

(2) 新建成的流体集成槽、燃烧集成槽和材料科学研究槽将可以安排流体行为、燃烧以及金属合金中与热相关的结晶图样的研究。

(3) 探索技术发展。将在早期的材料暴露、烟的产生、液体燃料管理和环境监测等实验的基础上做进一步的研究。

(4) 舱窗观测。通过新的装置提供支持遥感仪器的能力,使宇航员能更好地进行地球观测研究。例如证明农作物的健康以及试验利用兰-绿波段研究海洋。

随着国际空间站上持续的科学活动,过去实验获得的数据将和新实验数据一起重新分析、整理和组合,可以预期,成功的国际空间站研究将激励新的概念和假设,并产生



中国科学院

进一步的未来实验任务。

4 美国载人航天政策的调整

为了显示美国在空间探索中的领先实力,布什总统曾于2004年提出其“空间探索愿景”,以载人火星探测为目标,以载人探月为中间步骤。在此愿景指导下,美国空间局进行了大改组,对空间任务进行了大调整。首先是发展新的火箭和载人飞船系统,以取代航天飞机;其次是2016年终止国际空间站计划,2020年载人重返月球。然后,在2030年前后载人探测火星。载人火星探测无疑是当今最前沿的科技探索项目,具有极大的震撼力;而人类长驻月球也是极具吸引力的科技项目。各国学术界对这两项任务从科学、技术和经济方面都进行过许多论证。

2008年美国新总统奥巴马上任,同时美国爆发了金融危机。另一方面,“空间愿景”在执行过程中暴露出许多技术难题和财政困难。2009年6月1日美国联邦政府成立了以奥古斯丁(Norman R. Augustine)为主席的10人“评估美国载人空间飞行计划委员会”,对美国载人空间探索计划进行评估和建议可能的改变。委员会于2009年10月向美国政府呈送了报告,提出了对这些问题的建议,供美国政府抉择。报告共九章^[4],问题的核心大概是美国不可能在目前财政预算水平上同时进行国际空间站和载人重返月球两个各千亿美元投资的重大空间项目,必须对计划进行重大调整。

4.1 载人探索的目的和任务

首先要明确的是载人空间飞行的目的,而不是目的地。目的明确以后,再逐步确定目的地、探索战略和运输构件等。人类载人空间飞行对社会产生了切实的收益。载人空间飞行是一项技术精深的活动,其高新技术成果返回到地球上,将影响日常生活。载人和机器人探索对扩展科学知识做出了贡献;探索越复杂的目的地,贡献越多。在当今多

极世界中,载人探索可以显示美国在知识领域的领袖作用。载人探索还可用新的方法教育公众,激励下一代科学家和工程师致力于发展进一步的科学、技术和工程。委员会的多数人相信,尽管我们现在还不清楚如何及向何处移民,载人探索终将推动向太阳系其它行星的移民。委员会的评述正是基于载人空间飞行的目的而进行的。

委员会确定了下列5个问题,即航天飞机的未来、国际空间站的未来、下一个大推力发射器的基础、如何运送宇航员到近地轨道、空间探索近地轨道以远的最可行战略。研讨这些问题后就可勾画出相关的政策建议。由这些问题的解答可以组合出3000种不同的载人空间飞行计划,委员会根据经费和相关进展选择出5种代表性方案,其它的组合也可做为替代方案。

4.2 现行的计划

目前在执行的计划有航天飞机、国际空间站以及火箭和飞船的完整布局3个计划。在航天飞机退役和新载人运输器服役之间有个“间隙”问题。

4.2.1 航天飞机

原计划美国航天飞机将在2010年9月前退役,现在已将退役期延到2010年年底,2011年将没有航天飞机运行的预算。委员会根据目前计划的安排估计,航天飞机退役和新的载人飞行器服役之间至少有7年的间隙。一种选择是,在安全的前题下延长航天飞机的飞行。这需要分析延长航天飞机所需的人力、可行性、价格、风险度以及可能的收益;当然还需要由一个独立的委员会评估后,才能开绿灯。

4.2.2 国际空间站

原计划美国将于2016年终止国际空间站的预算。国际空间站是与航天飞机配套设计的,航天飞机退役将使国际空间站运营依赖于国际的飞行器和尚未证实的美国商业

运货飞船。商业运输能力对国际空间站的运营和利用都是关键性的。

国际空间站将于 2010 年建成,届时可同时容纳 6 名宇航员工作。国际空间站今后的成功完全取决于其利用,这是最优先的。委员会发现,将国际空间站延长到 2020 年对美国及国际同伙的投资回报是重要的。经过 25 年的计划和建设,而仅仅工作 5 年是不明智的。而不延长空间站的运营将极大削弱美国发展和领导今后的国际空间飞行合作。进一步,空间站在其全功能水平上运行将极大地增加其投资回报:可发挥作为最新型国家实验室的功能;增强支撑空间探索技术和运行技术的平台作用;以及支持广泛国际合作的管理结构。

4.2.3 完整布局计划

国际空间站是由美国主导的国际合作计划,应该有完整布局。由于航天飞机接连失事和新运输方式的推迟,现在只能依靠国际合作伙伴的配套。完整布局计划包括研制将宇航员运送到近地轨道的战神-I 火箭,将宇航员和装置运送到月球的战神-V 大推力火箭,把宇航员运送到近地轨道和更远的猎户座飞船,以及供宇航员探索月面的月球着陆器和月面系统。该计划的经费依赖于航天飞机和国际空间站分别于 2010 年和 2016 年退役。由于技术和预算的原因,战神-I 火箭和猎户座飞船遇到许多麻烦,而战神-V 火箭和牵牛座号月球着陆器已经推迟。委员会认为,技术问题可以解决,但会增加预算和推迟工期。原计划要求战神-I 火箭和猎户座飞船于 2012 年服役,现已推迟到 2015 年,委员会的技术评估是还要再推迟 2 年。这个期限使间隙期达到 7 年,已超过国际空间站原定寿命。

4.3 总体计划选择

近地轨道国际空间站以后的空间探索

战略可以很多,如果限于内太阳系探索的话,大体有 3 条途径:登陆火星优先;月球优先(聚焦于发展探索火星能力);和探索内太阳系的灵活途径,它可以选择在月球表面和火星表面的探测、月球轨道、拉格朗日点、近地轨道、火星的卫星探测等。载人登火星无疑是科学上最有吸引力的项目,但长期的辐射环境、微重力环境和孤立的心理环境都对现代技术提出了许多挑战。委员会认为,载人火星探测还不是最好的下一个目标。

委员会提出 5 个方案供联邦政府选择,其中前两个方案是基于联邦政府 2010 年重返月球和国际空间站预算的 1 080 亿美元(比目前美国空间局预算多 280 亿美元);第 3、4 方案为登月优先方案;最后一个方案是灵活方案。

报告表达了美国追求科学霸主地位的期待和现实能力有限的无奈。它从载人登火星的宏伟愿景,退回到空间站利用的现实。该报告也显示,像阿波罗计划那样政治考虑第一的空间时代已经不再了。

5 我国空间站的建设展望

2009 年 10 月在韩国举行的第 60 届国际宇航大会的吹风会上,中国有关方面发布了中国空间站计划,即在 2020 年发射一个多舱段结构的空间站,并且强调了中国空间站的民用性。这表明,从 1992 年起动的我国载人航天工程计划正在进入建设空间站的阶段。“载人航天”作为我国中长期科技发展规划的专项得到了政府的支持,载人航天的成果也获得人民的广泛赞誉。在我国载人航天工程即将转入空间站建设阶段时,应进行特别深入审慎的思考。

5.1 建设中国空间站的政治意义

中国航天工程从“两弹一星”到“载人航天”的发展具有重大的战略意义,它形成了一种精神,也显示了国家的综合实力。我国



中国科学院

载人航天工程第一阶段利用飞船起步,实现了载人航天。正在执行的第二阶段着重于解决交汇、对接、大型压力舱的载人条件研制等关键技术问题。最后的第三阶段是空间站的建设和运营。2020年我国空间站上天,也应该是当时国际空间活动的重大事件。

1986年苏联“和平号”空间站上天时,许多人呼唤人类进入了“空间站时代”。作为大国竞争的冷战产物,空间站的声誉如日中天。我国的载人航天工程就是在这个背景下立项的。苏联解体后,1993年美、俄以及欧、日、加等国决定联合建立“国际空间站”,采用先进的超大规模桁架结构,有更大的空间和更多的能量。与第一代的舱段结构空间站相比,可以看成是第二代构型。与国际空间站配套的美国航天飞机接连失事,使国际空间站建成时间由2004年推迟到2010年,造成了重大的困扰。2004年美国总统布什的“空间探索愿景”计划,要求尽快结束国际空间站运营,转而执行载人的月球和火星探测任务。最近,美国新任总统奥巴马更进一步提出要以载人探索小行星和火星作为美载人航天的重点,并取消了重返月球,延长了国际空间站的运营。

借鉴奥古斯丁委员会的报告,我们似乎更应该强调我国空间站在科学和技术方面的实际效益,以大大提升我国的科技能力和重大成果产出。

5.2 中国空间站的主要功能

我国空间站利用的主要目标是一个需要仔细研讨的问题。苏联和平号空间站没有很好解决这个问题,它对接的4个压力舱有两个用作对地观测、1个从事天文观测,只有1个进行空间材料加工等微重力研究。载人空间站比无人卫星昂贵得多,把大量只依托无人的航天就能完成的任务放在载人的航天任务中,显然是一种浪费。遗憾的是,和平号空间站的教训仍未被我国某些人记取。

在美国和西方国家,自由号空间站计划和国际空间站计划都是由国家空间局组织论证和实施。在准备自由号空间站时,美国国防部曾组织论证空间站的军事利用,结论是没有直接的军事需求。以后,美国的国家研究委员会将空间站定义为长期和有人操作的微重力实验室。正如上文所述的,2009年美国空间局发布的国际空间站10年总结中可以看出,国际空间站的主要任务还是进行微重力实验。1993年俄国参加国际空间站计划后,也接受了国际上广泛认可的这一利用方向。

人们设法在地面上创造许多极端的物理条件,去突破自然科学的前沿课题,微重力环境就是一种地面上很难较长时间维持的条件。空间微重力实验已经解决了一批在地面上难于研究的生命科学和物理学问题,对扩展自然科学知识做出了重要贡献。近些年来,国际空间站计划还特别关注有应用背景和高技术含量的研究内容,以改进和提高地面的人类健康和生活质量,这些努力正在不断取得进展。如果与国际接轨,我国载人空间站的利用计划亦应以进行微重力研究为主流方向,要争取在该方向上取得重大成果。

5.3 采取切实措施完善空间站系统的布局

建造载人空间站是一个复杂的大型系统工程,需要配套的硬件设施。以国际空间站为例,航天飞机退役前已完成大舱段的运输,今后可以靠俄国的联盟号飞船和欧洲空间局的运人飞船运送宇航员,利用俄国的进步号和日本的运货飞船运送货物。但航天飞机退役和大型猎户座飞船推迟服役将使空间站上的大型装置难于运回地球。我国的空间站系统可能也会遇到类似的问题。

我国的空间活动在历史上是以空间技术为先导,在管理上往往以技术为主,只支持技术发展和相应的硬件研制,不支持上天

前和返回后的研究。一个好的空间微重力项目一般需要地面若干年的前期研究。我国目前的体制要求前期研究经费由部门或基金支持,这使凝练空间微重力项目遇到困难。美国空间局在管理空间站计划时执行全程支持,先发布课题指南,支持一大批地基预研项目,在此基础上选择出一些空间实验项目予以支持,然后支持上天的空间实验和实验结果分析。欧洲空间局首先成立一批重大研究方向任务组,包括科学家、空间局的管理人员以及企业的硬件设计人员。任务组提出具体课题,经审核后一步步执行。由于空间实验机会少、耗资大、准备时间长,全程管理有利于推进相关工作。

事实上,为了推进空间站的实验工作,各国空间局都有自己的微重力科学和生命科学研究中心,进行相关的研究工作和某些组织管理工作。为了更有效地进行微重力实验,除了建立地面模拟实验装置外,还需建立地面自由落体设施、作抛物线飞行的低重力飞机、微重力探空火箭设施以及返回式卫星实验和航天飞机实验等配套设施。和平号空间站中安排的微重力科学实验相对较少,但是,前苏联也健全了微重力研究的配套设施,诸如落井、微重力飞机、微重力火箭和返回式卫星。各国空间局都全力支持这些配套设施的建设。借鉴各国空间站的运营经验,我国目前的空间站配套系统还不完善,任务管理体制还有进一步改进的余地。

5.4 切忌把空间站建成对地观测平台

我国准备2020年发射的空间站采用舱段结构,与苏联1986年发射的和平号空间站类似,但规模要小些。在和平号空间站的任务中,对地观测项目占了很重的份量。这种安排无疑和冷战时期美、苏空间竞争的政治思维有关,决策者突出地强调空间站的政治意义,并没有对载人空间站应该做什么事进行深入研究。事实上,把一些不需要人操

作的项目放到空间站的压力舱中去完成,是一种极大的浪费。

上世纪末,人们曾经讨论过建立暴露式有人照料的综合对地观测平台,一个位于极轨、一个位于地球同步轨道,而宇航员可以定时去照料平台上的载荷。这种方案有许多优点,没有原则性的技术难题,但其经济性和可行性遇到了问题。

国际空间站采用大型的桁架结构,在它的桁架上会安装一些大型装置,其中包括对地观测的装置。在国际空间站的日本实验舱外,有一个暴露平台,它上面也安装了一些包括材料实验、X-射线天文观测、对地观测和通讯实验的设备。但是,国际空间站的主要任务还是进行微重力实验,包括空间医学和生理学、微重力物理科学和微重力生命科学实验。空间站上的对地观测任务主要是宇航员通过压力舱窗口对地面进行的观测。和平号空间站把载人压力舱当作对地观测平台的作法是一种不可取的教训,现在的俄国决策者和专家也不会再这样做。我国的专家们,要切忌把中国空间站的载人微重力资源建成对地观测平台。

5.5 独立自主和国际合作

冷战结束以后,人类空间探索的总趋势是从竞争和对抗转入合作和协商。许多国家都表示,像国际空间站这样的大型空间工程不是一个国家所能承担的。国际空间站开始的参加国有美、苏、日、欧、加等国的空间局,以后又扩展到巴西、印度和韩国。大型空间科学活动一般都需要较高的技术和较大的经费,往往是多国合作完成的。

我国空间科学的“双星计划”采取中国航天局与欧洲空间局联合的方式取得很多成功的经验。我国的载人航天工程第二阶段中,也安排了中德合作的联合研究项目,迈出了可喜的一步。国际空间站将延期到2020年或更迟一些退役,中国空间站计划



中国科学院

于 2020 年服役,我国载人航天计划第三阶段处于一个关键时期。中国政府提倡建立和
谐的、合作的和有责任的国际关系。如何在
像空间站建设这样的重大空间探索中贯彻
这种精神,把这种国际合作的新视野与载人
航天精神相结合,有可能探索出更快和更好
的新途径。

我国的载人航天工程已经取得了重大
成就,完成了一批微重力实验项目、实现了
单人和多人的太空飞行、最近又完成了宇航
员出舱活动;下一步还将实现飞行器的交汇
和对接、建立空间实验室、准备和进行空间
微重力实验和建立中国空间站系统。目前正
值承上启下的关键时期,中科院作为我国载
人航天工程利用系统的负责单位,明确空间
站利用的目标和重点,向国家提出负责的

建议,这是非常重要的。

主要参考文献

- 1 Medvedchikov A I. Pioneering space: the Russia
space programme, in 50 Years of Space (Edt. Rao,
P.V.M.). India :Universities Press, 2007, 1.
- 2 Dick S J. Exploring the unknown: 50 years of
NASA history, in 50 Years of Space (Edt. Rao, P.V.
M.). India :Universities Press, 2007, 45.
- 3 Evans C A ,Robinson J A et al. International space
station science research accomplishments during
the assembly years: An analysis of results from
2000
—2008, NASA/TP-2009-213146-REVISION A.
- 4 Review of US Spaceflight Plans Committee,
Seeking a human spaceflight program worthy of a
great nation, Oct. 2009.

The Experience and Exploration by the U.S. International Space Station (USISS) and Its Inspiration to China

Hu Wenrui

(Institute of Mechanics, CAS 100190 Beijing)

The construction of space station is an important step in the outerspace manned exploration. The International Space Station (ISS) operated jointly by the USA, Russia, Europe, Japan, Canada and other countries will be completed in the 2010, and extended to 2020. The Manned Space Station of China will be launched in 2020. The present paper has reviewed the main history of the space station, summarized the researches organized in the 10 years (1998 - 2008) in the ISS by NASA, analyzed the possible contribution of ISS to the mankind, introduced the new selections of the USA new government for manned space missions, and in the last, proposed the careful issues for developing the space station of China based on the experiences and lessons of space station abroad.

Keywords manned space station, utilizations of space station, International Space Station, microgravity science
in space, space life science

胡文瑞 中科院院士,中科院力学研究所研究员。1958年毕业于北京大学数学力学系
流体力学专业。毕业后到中科院力学所跟随郭永怀先生从事磁流体力学研究,1973年开始
从事天体物理和空间物理研究,1986年参加“863-2”专家委员会,并转入微重力科学研究。
1992年负责载人航天工程论证组利用系统。20年来,参加了一些微重力科学的课题研究和
项目组织。1995年被选为中科院院士,1996年被选为国际宇航科学院院士。E-mail:
wrhu@imech.ac.cn