

# 载人航天技术及其发展

戚发轫

(中国空间技术研究院, 北京 100081)

**[摘要]** 太空是人类继陆地、海洋、大气层之后的第四活动领域。第四活动领域具有高真空、微重力、强辐射、改变昼夜节律等特点, 为人类的发展带来了巨大的潜力和开发前景。以发展载人航天器为重点的、由航天员参与的载人航天技术是以对太空进行探索以及利用太空环境进行科学研究、资源开发与应用的综合工程技术, 它是新技术群中的一个重要领域, 是高技术密集的尖端科学技术。

文章从载人航天技术的概念、内容和发展载人航天技术的意义三个方面对载人航天技术进行阐述, 说明载人航天技术对人类社会的重要性。文章还对世界载人航天技术发展的概况与未来的发展做了介绍, 最后提出了中国发展载人航天技术的设想。

**[关键词]** 载人航天; 高技术; 概念; 发展

## 1 载人航天技术的概念及内容

### 1.1 载人航天技术的概念

载人航天技术是指有人(航天员)参与的、对空间(包括地球以外的天体)进行探索以及利用空间特有环境进行科学研究、资源开发与应用的综合工程技术。

发展载人航天技术的目的之一, 不仅是为了将人送到空间, 满足人类强烈的探险欲望, 而且航天员的参与是空间飞行任务中不可缺少的一个组成部分, 并在空间发挥机器所不能代替的作用。以体现载人航天技术的载人航天工程是以保证航天员的生命安全为第一要素的。它不仅要保证航天员顺利进入太空, 而且要保证航天员安全地在空间工作以及安全返回地面。

### 1.2 载人航天的内容

载人航天的内容主要通过载人航天系统体现出来。目前的载人航天系统主要包括载人飞船航天系统、航天飞机航天系统和载人空间站航天系统, 其中载人空间站航天系统是规模最大、天地一体化的

载人航天系统。它包括三大部分:

1) 轨道基础设施。它是由在低轨道上运行的载人空间站、无人轨道平台及在高轨道上运行的数据中继卫星、定位卫星等组成的。

2) 地面基础设施。它是由指挥控制中心、跟踪通信网、发射中心、着陆场、航天员选拔训练中心及有效载荷中心等组成的。

3) 天地往返运输系统。依靠它向空间站接送换班的航天员, 把货物由地面送到空间站, 并把重要的试样及资料送回地面。已经使用的有两种天地往返运输系统: ①一次性使用的载人飞船和运货飞船; ②重复使用的航天飞机。

## 2 发展载人航天的意义

早期载人航天技术的发展, 主要是受政治因素的影响。随着科技日新月异的发展以及人类对发展载人航天的进一步认识, 载人航天技术在现代生活中所带来的优势越来越令人瞩目。

### 2.1 充分利用空间环境资源

太空是人类继陆地、海洋、大气层之后的第四

活动领域,有着巨大的潜力和开发前景。在有人的条件下,利用空间的高远位置,更能有效地进行对地观测,以获取更丰富的信息。

此外,利用空间环境的特殊条件进行物质生产具有较强的吸引力。科学家们希望在空间摸清一些可用以指导地面生产的规律。其中,空间微重力环境的开发和利用受到特别重视。开发的重点是空间材料加工和空间制药。

## 2.2 促进科技进步和高技术产业的发展

载人航天技术博采现代科学技术众多领域的最新成就,是高技术密集的综合尖端科学技术。同时,它又对现代科学技术的各个领域提出了新的发展需求,从而推动了整个科学技术的进步和高技术产业的发展。载人航天的发展水平全面地反映一个国家的整体科技和高技术产业的水平,特别是系统工程、自动控制、计算机、推进、通信、遥感、测试、新能源、新材料、新工艺、激光、微电子、光电子等技术以及近代力学、天文学、地球科学、航天医学、空间科学等的水平。

## 2.3 增强综合国力

发展载人航天技术已经成为或者正在成为发达国家科技发展战略的重要组成部分。载人航天技术的发展预示着一个国家在科技和经济领域的实力,是一个国家综合国力的反映。

发达国家均把增强综合国力作为发展载人航天技术的主要目的。各国在其发展战略和规划中,都认为发展载人航天具有增强民族自豪感和凝聚力的作用。当今世界发达国家制定的战略性计划,都是基于21世纪初将进行综合国力较量的认识。其核心是发展高技术,主要内容之一就是建立和发展相应的载人航天体系。所以,今天的载人航天系统的发展与国家战略及其政治、经济、科技、社会的发展以及国家安全的联系十分紧密。

## 2.4 开发军事应用的潜力

人和自动化设备或机器相互结合,取长补短,可使系统的性能更加灵活和可靠,从而提高军事应用的及时性、准确性和有效性。军用航天器的下一步发展可能是多用途的综合性空间平台,它能用于侦察以及监视、指挥、控制和通信等活动,从而起到支援和加强地面防御力量的作用。载人航天系统可承担军用航天器的管理和检测、维修和组装以及其它各种空间勤务。尽管上述军事应用的大部分功能还要进行大量的探索性试验,但可以肯定存在着

巨大潜力。

## 3 世界载人航天技术发展概况

载人航天技术的发展,几乎是与卫星技术在20世纪50年代末同时起步的。在发展载人航天的诸多因素中,最关键的是政治决策。

### 3.1 载人航天技术的发展阶段

根据前苏联和美国的经验,从发射无人飞船开始到建立长期性空间站,历时三十多年,经历了五个发展阶段:

1) 无人飞船。利用动物进行轨道飞行及回收试验,为人上天作准备。

2) 单人飞船。试验人对轨道飞行的适应能力,全面验证飞船的各基本系统。

3) 多人飞船。一般载2~3人,试验人的舱外活动、飞船的轨道机动、交会与对接等。

4) 短期性空间站。一般是单舱式站(或一个生活舱加一个后勤舱),试验压力舱的基本系统,进行空间科学、微重力应用、对地观测等试验。

5) 长期性(永久性)空间站。是一种模块式组装的大型空间基地,是从科学实验向轨道生产过渡的空间设施。

后起的空间国家如果借鉴他们的经验,可能会缩短这个过程。表1和表2分别列出了前苏联和美国载人航天的发展情况。

### 3.2 载人航天器的发展

载人航天器是载人航天技术中的重要组成部分,目前发展的载人航天器主要有载人飞船、航天飞机和空间站。它们也是组成空间站系统的三个主要单元。

3.2.1 载人飞船 载人飞船是指小升阻比的载人舱,它必须用火箭发射,在轨运行后经过制动,沿弹道式或半弹道式(升阻比一般 $<0.5$ )弹道穿过大气层,用降落伞或小推力火箭制动软着陆。载人飞船既可作为天地往返运输工具,也可作为空间站机组人员的应急救生航天器。

50年代末至60年代,前苏联与美国互相竞争,发展载人飞船。前苏联的试验型载人飞船有载1人的东方号、载3人的上升号及联盟号飞船,投入使用的有联盟-T及联盟-TM飞船。美国的试验型载人飞船有载1人的水星号、载2人的双子座飞船,投入使用的有载3人的阿波罗登月飞船。

载人飞船由乘员返回舱、轨道舱、服务舱、对

表 1 前苏联载人航天技术发展情况简表<sup>[1]</sup>

Table 1 The survey of Russian manned spacecraft

载人航天器名称	发射年代	飞行次数	主要活动
单人飞船 (东方号)	1961.4~1963.6	6	考验人在空间的适应能力, 编队飞行
三人飞船 (上升号)	1964.10~1965.3	2	舱外活动
三人飞船 (联盟号)	1967.4~1970.6	8	机动飞行, 交会, 对接
短期空间站 (礼炮 1-5 号)	1971.4~1976.6	15	军事应用
空间站 (礼炮 6、7 号)	1977.9~	33	微重力试验及应用, 空间科学, 对地观察, 军事用途
长期空间站 (和平号)	1986.2~		微重力试验及应用, 空间科学

表 2 美国载人航天技术发展情况简表<sup>[2]</sup>

Table 2 The survey of American manned spacecraft

载人航天器名称	发射年代	飞行次数	主要活动
单人飞船 (水星号)	1961.5~1963.5	6	考验人的适应能力
双人飞船 (双子座)	1965.3~1966.11	10	轨道机动, 交会, 对接, 舱外活动
三人飞船 (阿波罗)	1968.10~1972.12	11	其中 6 次登月, 3 次绕月飞行
短期空间站 (天空实验室)	1973.5~1979.7	3	空间修理, 材料加工, 生物医学, 地球资源, 天文学等研究
航天飞机	1981.4~	88	发射、回收与修理卫星, 空间实验室、空间站建设
长期空间站	1998~		

接舱和应急救生装置等部分组成。登月飞船还具有登月舱。返回舱是载人飞船的核心舱段, 是飞船上升和返回过程中航天员的座舱, 也是整个飞船的控制中心, 它不仅和其他舱段一样要承受上升段和轨道运行阶段的各种应力和环境条件, 而且还要经受再入大气层和返回地面阶段的减速过载和气动加热。轨道舱是航天员在轨道上的工作场所, 里面装有各种实验仪器和设备。服务舱通常安装推进系统、电源和气源等设备, 对飞船起服务保障作用。对接舱是用来与空间站或其他航天器对接的舱段。载人飞船最基本的舱段是返回舱及服务舱。在完成轨道任务之后, 只有返回舱载人返回地面。

载人飞船具有多种用途, 主要有: ①进行近地轨道飞行, 试验各种载人航天技术, 如轨道交会、对接和航天员在轨道上出舱, 进入太空活动等; ②考察轨道上失重和空间辐射等因素对人体的影响, 发展航天医学; ③进行载人登月飞行; ④为航天站接送人员和运送物资; ⑤进行军事侦察和地球资源勘测; ⑥进行临时性的天文观测。

载人飞船主要由结构、姿态控制、轨道控制、无线电测控、电源、返回着陆、生命保障、仪表照明、数据管理、热控制和应急救生 11 个分系统组

成。

联盟-TM 飞船的总长为 7.13 m, 直径 2.2 m, 总质量 7 070 kg。其中返回舱质量 3 000 kg, 能乘坐 3 名航天员, 上行同时运送 100 kg 货物。联盟-TM 飞船至今一直用作和平号空间站的载人往返运输工具, 还可作为国际空间站的救生飞船使用。

美国的阿波罗飞船由指令舱、服务舱和登月舱三个部分组成, 总质量为 47 900 kg, 其中指令舱质量 5 560 kg, 能乘坐 3 名航天员, 同时回收 450 kg 货物。

“阿波罗”计划开始于 1961 年 5 月, 至 1972 年 12 月第 6 次登月成功结束, 历时约 11 年, 耗资 255 亿美元。阿波罗 11 号飞船于 1969 年 7 月 20~21 日首次实现人类登上月球的理想。此后, 美国又相继 6 次发射阿波罗飞船, 其中 5 次成功。在这项计划中共有 12 名航天员登上月球。

3.2.2 航天飞机 航天飞机是以火箭发动机为动力的具有飞机外形的往返于地球表面和近地轨道之间的可重复使用的载人及载货航天器。航天飞机可乘 7 名航天员, 包括 3 名机组人员 (机长、驾驶员和任务专家), 4 名有效载荷专家。航天飞机在轨

道上运行时可完成释放卫星、回收与维修卫星,以及进行各种微重力科学实验等多种任务。航天飞机是建造轨道空间站的主要运输与服务工具。航天飞机集中了许多现代科学技术成果,是火箭、航天器和航空器技术的综合产物。

美国的哥伦比亚号航天飞机于1981年4月12日首次进行轨道试飞成功。目前已投入使用的航天飞机有哥伦比亚号、挑战者号、阿特兰蒂斯号、奋进号等(其中挑战者号已于1986年1月28日升空后炸毁)。前苏联在1991年对暴风雪号航天飞机进行了成功的无人飞行轨道试飞后,由于经费短缺等原因而使计划终止。所以目前只有美国成功地研制并使用了航天飞机(见图1)。

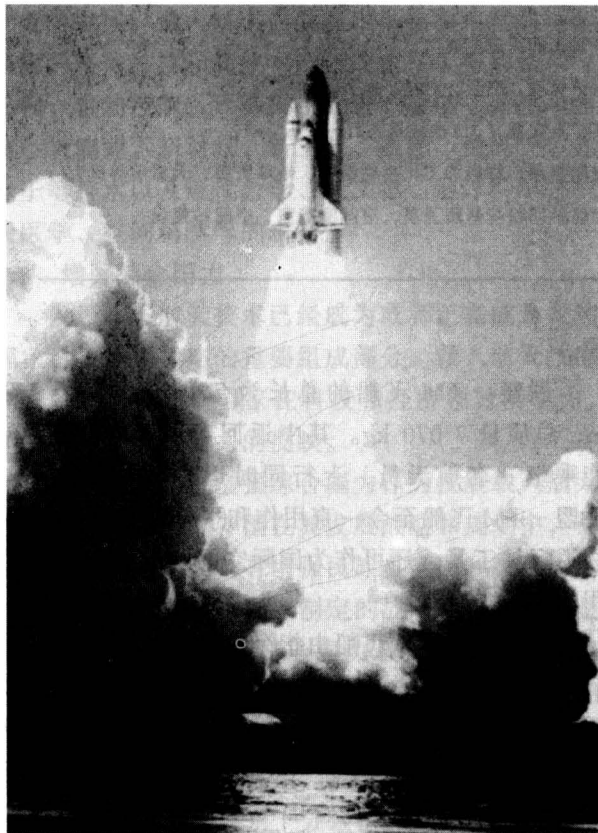


图1 美国的航天飞机

Fig.1 American space shuttle

美国的航天飞机又称空间运输系统,它由轨道器、两枚固体助推火箭和外储箱组成。航天飞机的总起飞质量为2040 t,总长度为56.14 m,水平安放时的总高度为23.35 m。航天飞机的海平面总推力为34622 kN。轨道器的外形像一架飞机,共装有三台液液氧火箭发动机,每台推力为1754 kN。轨道器的翼展为23.79 m,机身长度37.24

m,着陆状态高度17.27 m,干质量74.844 t<sup>[2]</sup>。美国航天飞机的低轨道运载能力为25 t(轨道倾角28.5°),研制费约为100亿美元(1980年币值),每架轨道器的造价约为29亿美元(1990年币值),每次发射的运行费约为4亿美元(1990年币值)。到1998年底为止,美国的航天飞机共进行了88次轨道飞行。航天飞机在20世纪末和21世纪初的主要任务是承担建造国际空间站的运输任务。

3.2.3 空间站 空间站是在近地轨道上运行的有人居住的航天器,它可以是小型的空间实验室,也可以是具有加工生产、对天对地观测及星际飞行转运等综合功能的大型空间轨道基地<sup>[3]</sup>。

空间站从总体方案方面可分为三个主要类型,即单模块空间站、多模块组合空间站和一体化综合轨道基地<sup>[4]</sup>。

1) 单模块空间站 单模块空间站是指由火箭一次发射入轨即可运行的空间站。如前苏联的礼炮号空间站、美国的天空实验室和欧洲曾计划的哥伦布自由飞舱等。

单模块空间站是间断的短期有人照料的空间基础设施。它除了有保证航天员生活的带有生命支持系统的增压舱以外,还必须带有推进系统、制导与控制系统、交会对接系统、电源系统、对地通信与指令系统等全部维持在轨独立运行所需的基本系统。

2) 多模块组合空间站 俄罗斯的和平方空间站是多模块组合空间站的典型例子。和平方空间站由一个核心舱和五个有效载荷舱组成(见图2),五个有效载荷舱是量子舱、量子2号舱、晶体舱、自然舱和光谱舱。核心舱的前端共有5个对接口,其侧面可以对接4个模块,轴向可对接载人或运货飞船。和平方空间站由联盟-TM飞船承担天地往返运人任务,由进步号飞船承担运货任务。

和平方空间站的特点是各舱段为积木式组合,每个舱段都有独立的电源及控制系统,比较灵活。其目的是为了在其被发射入轨后进行变轨、导引及交会对接。多模块组合空间站的缺点是增加了每个舱段的复杂性,优点是在空间站组合连接以后,这些系统可以起到冗余作用,增加了空间站运行的可靠性。

3) 一体化综合轨道基地 一体化组合空间站是在一个基础框架结构(或称龙骨结构)上安装试验舱、生活舱、太阳帆板、移动式机械臂搬运系

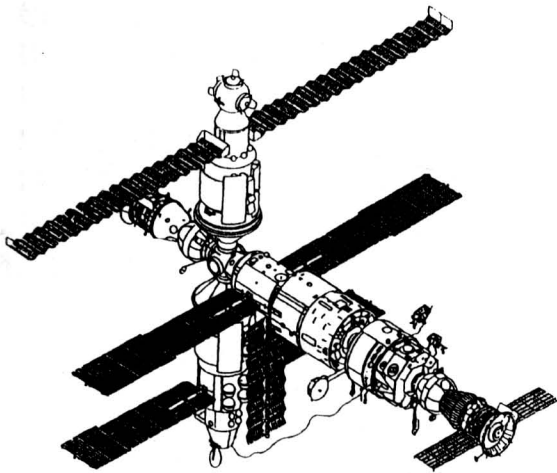


图2 和平号空间站

Fig.2 “Мир” space station

统、暴露设施乃至转运发射设施的大型空间站。这种空间站有统一的服务设施，集中供电、供气、散热，统一的姿控系统和交会系统，使每个组成模块的功能单一化，提高了全站效率。

一体化的轨道基地规模大，管理复杂，适用于多国合作的全球性空间站。它的建设要依赖于带有轨道操作功能的航天飞机。在使用上的缺点是总的微重力水平不如自由飞行的单模块空间站好，而且在不同位置的实验舱，其微重力水平也有优劣之分。

未来空间站将向大型化方向发展。大型空间站以大尺寸的空间桁架做基础构架，并在基础构架上安装生活舱、实验舱、起吊设施、太阳能电站及其他辅助设施。大型空间站不仅是近地轨道的空间加工厂和实验室，也是飞向太阳系的一个人造空间港。从这里可以组装大型火箭，可向月球和太阳系发射载人飞船。

## 4 未来航天技术的发展

21世纪初，载人航天主要向两个方面发展：一是建成国际空间站并投入运行；二是有人探测其他行星。

### 4.1 国际空间站的建成与运行

国际空间站的轨道组装工作已在1998年开始进行，计划在2005年全部建成（见图3）。国际空间站的设计寿命为30年，质量为377 t，运行轨道高度397 km，乘员6人。

国际空间站的主要基础设施包括基础桁架、居

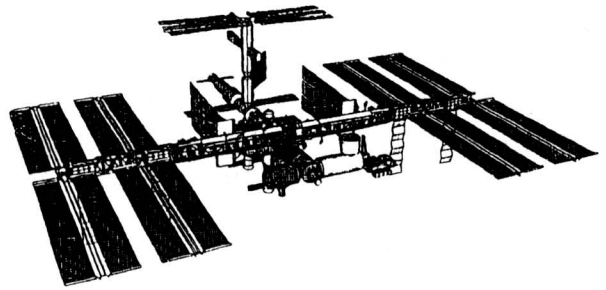


图3 国际空间站

Fig.3 International space station

住舱及服务舱、功能货舱和实验舱。

### 4.2 有人行星探测

1969年7月20~21日，美国的两名航天员首次登上月球，开创了人类征服其它天体的历史。阿波罗登月计划结束之后，载人星际探测停留于小型的研究计划。此间不少学者提出了飞向太阳系其它星球的几步曲：建立近地空间站—建立月球基地或在L5平动点建立大型空间移民基地—实现有人火星探测—建立有人火星基地，开发火星。

20世纪90年代初，有人探测火星的呼声越来越高，美俄等国已决定开展国际合作，即先在20世纪末和21世纪初向火星发射一系列无人火星探测器和火星表面行走车，作为有人探测的先导，对火星表面作全面勘查，再从火星表面取样返回。同时研制载人火星飞船，把人送到火星去探测。由于从地球飞往火星的单程需一年多时间，往返需三年，如何克服如此长时间失重飞行对人体带来的负面影响，是一个有待研究的课题。

## 5 中国的载人航天技术的发展进程

载人航天技术是新技术群中一个重要的领域。载人航天技术是在现代科学技术的基础上发展起来的，它的出现和应用反过来又加速工业现代化、农业现代化、科学技术现代化和国防现代化的发展，推动社会不断前进。

1957年10月4日，当前苏联成功发射了世界上第一颗人造地球卫星以后，有着悠久历史和“嫦娥奔月”美丽神话传说的中华民族，立下了“我们也要搞人造卫星”的壮丽誓言。经过几年的自力更生与艰苦奋斗，终于在1970年4月成功发射了中国自行研制的第一颗人造卫星。

二十多年来，我国的空间事业一直坚持着“不搞太空竞赛”、“不与美苏争月球”、“积极发展急用

实用的卫星”的方针，发扬“自力更生、艰苦奋斗、大力协同、无私奉献、严谨务实和勇于攀登”的航天精神，集中有限的国力，用于解决国家建设急需的应用卫星系统。载人航天虽然在政治上和科技上都具有重大意义，但由于其经济效益在当时是不明显的，而且载人航天的发展道路也可能是相当曲折的，并要耗费巨额资金。所以过去的二十多年，中国未开展载人航天系统的研制是正确的。

随着中国经济改革的进一步深入，并结合中国二十多年来所取得的空间技术成就，今天的中国已经具备了发展载人航天技术的基本条件。载人航天虽然仍处于花大钱、做试验和做准备的阶段，新的往前推进的任何项目都要冒很大的风险，但其科学技术的价值越来越达成共识，经济效益和发展潜力更是难以估计。中国现在可以借鉴别人的发展经验，经过冷静观察与思考，探索一条既适合中国国情又少走弯路的载人航天发展道路。

1986年国家“八六三”计划开始实施，其中的航天技术领域的专家组结合当时中国的实际情况，对载人航天进行了科学的、实事求是的论证，认为中国具备了实施载人航天工程所需要的各方面条件，建议以载人飞船为突破口发展中国的载人航天工程。随后在全国各有关单位开展了预先研究工作。1992年1月，中央批准中国载人航天工程立项，并定名为“921”工程。以中国空间技术研究院为主承担中国载人飞船的研制和北京空间技术研

制试验中心的建设。1998年底，江泽民主席到建成的北京空间技术研制试验中心视察飞船的研制工作时，为中国载人飞船题名“神舟”。经过7年的努力，1999年11月20日6时30分在酒泉卫星发射中心新建成的载人飞船发射场，中国第一艘试验飞船由新研制的长征二号F运载火箭发射升空，并准确地进入预定轨道。经过21小时的轨道飞行，飞船返回舱在第15圈时进入返回轨道，并于21日凌晨3时41分准确地着陆于预定的回收场，圆满地完成了试验任务（“神舟”号试验飞船俯视图见本期封面）。这次试验任务的成功标志着中国的载人航天技术取得了新的突破，使中国成为世界上第三个拥有载人航天技术的国家。中国载人航天技术的发展将为提高我国高技术水平和发展国民经济创造更加有利的条件。

#### 参考文献

- [1] Johnson N L. Handbook of Soviet manned space flight science and technology series [M]. Vol. 48 AAS, 1980
- [2] 中国大百科全书·航空航天卷编写组. 中国大百科全书·航空航天卷 [M]. 北京·上海: 中国大百科全书出版社, 1985
- [3] Robertson D F. Survival space station [J]. Space, 1994, (5~6): 7~11
- [4] 范剑峰. 空间站工程概论 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1990

## Manned Space and Development

Qi Faren

(Chinese Academy of Space Technology, Beijing 100081, China)

**[Abstract]** Space is the fourth activity field after land, ocean and atmosphere. It is characterized by vacuum, microgravity, stronger radiation and so on. There are many potential values for researching and exploring. Since the dawn of the manned space program more than 30 years ago, it has played an important role in taking human to space, and exploiting space wealth.

The manned space program is introduced on the concept, content and signification in this article, and especially three manned spacecraft—spaceship, space shuttle and space station is described. The author emphasizes that developing manned space program and utilizing space will make a great contribution in promoting the progress of mankind. In addition, the author also imagines Chinese manned space program.

**[Key words]** manned space; high technology; concept; development