

载人航天工程基础

主编	张育林	郑荣跃	沈力平	陈善广
编写	张育林	周建平	郑荣跃	王克昌
	任兵	刘玉盛	陈道木	

国防科技大学出版社

内 容 简 介

本书是一本全面综合载人航天各工程领域基本原理的基础教材，系统地介绍了有关载人航天的基本概念、基本理论和工程技术基础知识。内容主要包括天文学、宇宙物理学基础；载人航天器轨道运行原理；载人飞船设计原理、结构功能与构成；测控与通信基本原理等。

本书可作为航天员的培训教材和从事载人航天的工程技术人员与管理人员的技术参考书，还可作为高等院校师生的教学参考书。

前 言

载人航天是人类将活动空间扩展到地球大气层以外的广阔空间的伟大壮举，是人类探索宇宙和利用空间资源的重要实践。与其它航天活动相比，载人航天的最显著特点就是人——航天员参与整个飞行过程，因此，航天员是载人航天的核心。

航天员是从地面起飞，经过地球大气层，进入宇宙空间飞行的。因此，他们必须掌握与此有关的各种基本科学知识和技术理论，如飞行动力学、空气动力学、地球物理学、宇宙物理学、气象学、天文学和宇宙航行学等；航天员是借助运载火箭、飞船等飞行的，因此他们还必须熟悉与航天器有关的理论知识和工程技术基础，包括火箭推进原理、载人飞船的系统组成和部件结构、空间导航、制导与控制、测控与通信等。将以上这些知识进行必要的总结、归纳与融合，便形成了这部《载人航天工程基础》教材。

本教材主要针对航天员的培训任务，也为从事载人航天事业的工程技术人员及管理人员提供技术参考，还可以作为航天院校高年级本科生及研究生的教材和教学参考书。本教材共分十八章，第一章概述了载人航天的意义、历史、现状和发展方向，对各种航天器作了简要介绍；第二章至第五章主要介绍有关天文学的基本知识和基本原理，概括了观测天文学的主要内容，叙述了太阳系内外有关天体的基本特点，描述了地球、太阳与有关天体的运动特性，引出了天球的概念，给出了天球坐标系的定义及其换算关系，说明了引入复杂计时系统的必要性，建立了几种时间系统的换算关系，最后讨论了星座的特点及其观测；第六章则详细叙述了与空间飞行关系密切的近地空间环境问题；第七章着重描述飞船与其它航天器在地心引力作用下作轨道运动所遵循的一般性规律，并简要介绍了交会与对接的基本原理；第八章主要涉及在飞船上进行对地观测的基本知识和理论基础；第九章对轨道摄动问题进行了简要讨论和分析；第十章简要介绍了奔月和行星际飞行的基本知识，包括碰到的问题和可能的飞行方式；从第十一章开始，围绕载人飞船各分系统展开详细的讨论，第十一章全面介绍了组成载人飞船的各分系统，包括它们各自的构成、任务、特点及其工作原理；第十二章则进一步介绍了与整个载人航天相关的运载系统和航天发射场系统；第十三章介绍了飞船从发射准备、上升入轨、在轨运行到返回着陆各阶段的应急救生措施、设备和方法；第十四章是关于GNC系统基本任务与基本原理的讨论，包括姿态测量与空间导航的基本原理、姿态控制与轨道控制的基本原理与方法；第十五章初步介绍了载人飞船返回过程的控制程序、主要物理现象、飞船着陆系统的构成、地面回收和救援的组织、管理和工作方式。最后三章主要讨论与飞船测控通信有关的一些问题，第十六章主要介绍了测控网的任务、功能与组成，给出了测控系统工作流程；第十七章在简述飞行器运动参数测量原理的基础上对轨道测量与跟踪系统各种功能的实现途径、体制及主要设备作了介绍；第十八章围绕通信系统展开，集中

讨论了通信网的功能与组成、跟踪测量和遥测指令的信息与数据传输的流程。

本教材是在综合国内外有关大量资料的基础上编写而成的，编写过程中得到了航天医学工程研究所和国防科技大学航天技术系的领导和专家等的大力支持和帮助，同时也得到了国内许多同行专家的帮助，在此一并致谢。

显而易见，载人航天工程基础涉及与载人航天有关的各个学科领域的相关知识，因此这部教材是多学科的综合，编写这样一部教材是一个庞大的系统工程。尽管在编写过程中组织有关专家进行了多次评审，但限于编写者的认识水平，教材中难免有错误和不足之处，敬请读者批评指正。

编者
1997 年 5 月

目 录

第一章 概论

1.1 载人航天的意义·····	(1)
1.2 载人航天发展简史·····	(2)
1.3 载人飞船·····	(9)
1.4 航天飞机·····	(12)
1.5 空间站·····	(15)

第二章 宇宙概述

2.1 宇宙·····	(20)
2.2 恒星、星云和星系·····	(21)
2.3 银河系·····	(28)
2.4 太阳系天体及其运动·····	(30)
2.5 太阳与月球·····	(38)

第三章 天球坐标系及其变换

3.1 天球及其运动·····	(50)
3.2 天球坐标系·····	(56)
3.3 球面三角形初步·····	(60)
3.4 坐标系变换·····	(67)
3.5 岁差与章动·····	(70)

第四章 时间与历法

4.1 时间计量系统·····	(75)
4.2 恒星时·····	(76)
4.3 太阳时·····	(78)
4.4 地方时、区时·····	(82)
4.5 历书时、原子时·····	(87)
4.6 历法简介·····	(90)

第五章 天体的观测

5.1 观察设备·····	(95)
---------------	------

5.2	视差与距离·····	(98)
5.3	恒星位置的测量 ·····	(100)
5.4	亮度与星等 ·····	(101)
5.5	太阳、行星、月球的观测 ·····	(102)
5.6	星图辨认 ·····	(104)
5.7	天文导航简介 ·····	(110)
第六章 近地空间环境		
6.1	地球概述 ·····	(111)
6.2	地球形状、尺寸、重力 ·····	(111)
6.3	大气结构与大气模式 ·····	(113)
6.4	电磁辐射和粒子辐射 ·····	(118)
6.5	地球的磁场与磁层 ·····	(119)
6.6	空间碎片 ·····	(121)
6.7	气象与气候 ·····	(123)
6.8	微重力环境 ·····	(129)
6.9	空间环境对航天器的影响 ·····	(133)
第七章 飞船轨道运行原理		
7.1	天体力学基本定律 ·····	(137)
7.2	轨道方程 ·····	(143)
7.3	飞船沿轨道运动条件与规律 ·····	(152)
7.4	基本轨道要素及其与位置和速度矢量的关系 ·····	(154)
7.5	位置与时间的函数关系 ·····	(163)
7.6	轨道确定 ·····	(170)
7.7	轨道调整与轨道转移 ·····	(180)
7.8	飞船在邻近轨道上的相对运动 ·····	(195)
7.9	航天器的交会与对接 ·····	(198)
第八章 飞船在轨观测		
8.1	概述 ·····	(201)
8.2	飞船的星下点轨迹 ·····	(202)
8.3	无旋地球上的星下点轨迹 ·····	(210)
8.4	旋转地球上的星下点轨迹 ·····	(215)
8.5	飞船对地观测的覆盖区 ·····	(223)
8.6	星下点轨迹的照明 ·····	(228)
8.7	飞船受晒与星蚀 ·····	(233)
8.8	飞船上观测到的地面景象 ·····	(236)

第九章 轨道摄动

9.1	基本知识	(239)
9.2	变动轨道要素法	(242)
9.3	地球扁率的摄动	(250)
9.4	空气动力摄动和飞船在轨道上运行的寿命	(254)
9.5	轨道保持	(257)

第十章 奔月轨道和行星际飞行轨道

10.1	概述	(259)
10.2	奔月轨道	(260)
10.3	月球探测器返回轨道	(271)
10.4	行星际飞行	(273)
10.5	恒星际飞行轨道	(281)

第十一章 飞船的基本组成

11.1	概述	(286)
11.2	构形与布局	(290)
11.3	飞船结构和机构	(302)
11.4	环境控制与生命保障	(309)
11.5	电源系统	(327)
11.6	仪表和照明	(334)
11.7	数据管理	(338)
11.8	推进系统	(340)
11.9	飞船通信	(348)

第十二章 飞船的发射与人轨

12.1	航天器发射工程体系概述	(352)
12.2	航天发射场	(355)
12.3	运载火箭	(370)
12.4	发射阵地	(381)
12.5	测试发射模式	(387)
12.6	发射装置和辅助设备	(390)
12.7	发射窗口	(392)
12.8	发射入轨程序	(393)

第十三章 飞船应急救援

13.1	应急救援概述	(395)
------	--------	-------

13.2	飞船故障和救生策略.....	(400)
13.3	上升段救生.....	(408)
13.4	轨道段救生.....	(413)
13.5	返回段应急救生.....	(417)
13.6	“联盟-TM”飞船的应急救生系统	(420)
13.7	“阿波罗”飞船上升段应急救生.....	(427)

第十四章 飞船制导导航与姿态控制

14.1	飞船的控制.....	(431)
14.2	GNC 系统的构成	(433)
14.3	飞船姿态控制.....	(447)
14.4	飞船轨道控制.....	(474)
14.5	GNC 系统的手控操作	(479)
14.6	航天员手控操作模型与特性.....	(483)
14.7	GNC 系统与其它系统的联系	(485)

第十五章 返回与着陆

15.1	载人飞船的返回过程.....	(487)
15.2	飞船着陆系统.....	(494)
15.3	着陆系统工作程序.....	(504)
15.4	回收救援.....	(511)

第十六章 测控系统

16.1	测控系统概论.....	(520)
16.2	指挥控制系统.....	(530)
16.3	测控台站.....	(535)
16.4	测控系统工程流程.....	(539)

第十七章 轨道测量与跟踪

17.1	轨道测量的目的和任务.....	(544)
17.2	飞行器运动参数的测量原理.....	(546)
17.3	跟踪测量系统各种功能的实现途径.....	(551)
17.4	轨道测量系统分类与主要设备.....	(553)
17.5	轨道测量系统体制.....	(558)

第十八章 通信系统

18.1	系统概述.....	(561)
18.2	国外飞船的通信系统.....	(576)

18.3 遥测系统..... (579)

18.4 信息和数据传输系统..... (584)

18.5 监控显示系统..... (590)

附录

参考文献

第一章 概 论

载人航天是人类驾驶和乘坐载人航天器在太空从事各种探测、试验、研究和生产的往返飞行活动。自 1961 年 4 月 12 日前苏联航天员加加林实现了人类首次轨道飞行以来，载人航天已经历了很长的历程，得到了长足的发展。由于载人航天的各种应用对国家的政治、军事、经济和科学技术的发展具有重大和深远的影响，当前发展载人航天的国家已从前苏联和美国扩展到欧洲空间局、日本和加拿大。很明显，载人航天将进一步发展，并成为未来航天大国的重要标志之一。

1.1 载人航天的意义

嫦娥奔月、万户飞天，说明人类自古以来就有飞离地球进入宇宙空间的渴望，正是载人航天的成功把这种渴望变成了现实，同时也给现实世界带来了重大影响。

人类的发展历史表明：为了扩大社会生产活动，必然要不断开拓新的天地。而宇宙不但以其辽阔无垠的空间和无与伦比的精美构造令人神往，更以其取之不尽的能源和物质财富引人瞩目。当今世界航天技术和航天活动的发展，极大地扩展了人类活动的新领域，这是人类认识自然，开发宇宙空间一个质的飞跃，也是一个必然阶段。

众所周知，人类的活动范围，经历了从陆地到海洋、从海洋到大气层，再从大气层到外层空间的逐步扩展过程。1981 年在罗马召开的国际宇航联合会第 32 届大会上，把陆地、海洋和大气层分别称为人类的第一、第二和第三环境，把外层空间称为人类的第四环境。从环境和资源的角度看，将外层空间的下边界定在距离地表 100km 左右的高度比较合适。人类进入空间以及开始适应、研究、认识、利用和开发这个新的第四环境，是人类文明史上一次了不起的飞跃。在这个人类新进入的第四环境中的地球引力作用区（该环境中还应有太阳引力作用区、银河系引力作用区、河外星系引力作用区等）内，现已探明的可供利用和开发的空间资源就有：

- 相对于地表的高远位置资源；
- 高真空和超洁净环境资源；
- 航天器内部的微重力环境资源；
- 太阳能资源；
- 月球资源。

上述五大空间资源都是极其丰富的，有的甚至是取之不竭、用之不尽的。这样一来，摆在人类面前的问题是，用什么样的办法和手段，花多大的代价才能长久地处于空间环境之中，进而去研究和认识这个环境并逐步利用和开发它所具有的各项资源以造福人类。至今最好的办法是大力发展航天技术（又称空间技术）。

近 40 年来，空间技术有了重大发展，特别是在开发航天器利用空间相对于地表的高远位置资源以获取、传输和转发信息方面取得了更为明显的进展，而且已经获得了巨大

的效益。应该指出，这种空间的高远位置资源在信息领域中的首先利用开发，主要是因为它可以在完全自动化和无须人在空间直接参与的技术和条件下实现，早期的空间技术的发展正是建立在这种相对比较简单的基础上的。随着人类对空间资源开发、利用要求的日益增加，需要在空间建立更大的航天器。例如在空间建造有超大规模天线的通信卫星以适应日益增长的通信要求。这种超大规模天线的通信卫星，不仅天线很大，而且卫星本身的结构也很大，这类卫星已不能用传统的装载于运载器上，然后发射到空间轨道上自动展开的方式了，而要用压紧包装经一次或几次发射，在空间轨道上靠人工展开、装配或组合的方式完成。面对这种情况，采用完全自动化的技术和条件就已不能适应，需要有人参与才能实现。利用和开发空间微重力资源制备高级材料、高纯药物和其它高级产品及开发太阳能建造大型空间太阳能电站等工作的展开，也已远远超过只有信息采集的单一工作，而要进一步获取、加工、转变、运输和存储物质材料和能量，为此所采用的方法和过程、所需的装备和设备、所耗用的能源，一般都要比用于信息采集、传递方面大得多和复杂得多，在现在和可预见的将来，还很难或不宜全部自动化，因此，利用开发这些空间资源也需要人在空间直接参与。进一步发展空间科学，例如，在空间站上或在月球上设置供天文学家长期进行天文学研究的观测设备以及在月球上开展定居等各项研究试验工作也都更需要人直接参与。种种情况表明，空间技术发展现阶段，人们已认识到人在空间发挥其能动作用，直接参与研究、试验和利用、开发资源的工作，是从根本上扫除阻碍空间科学技术进步和进一步利用开发空间资源的重要步骤。

其实，早在空间技术起步时，人们就已认识到了人最终必将直接参与，为此，从 20 世纪 60 年代开始，美苏等国就大力开展和发展载人航天活动。几十年来，美苏载人航天的实践有力地证明：任何自动化系统都无法代替人的作用，航天器上的各种仪器设备经人的精心管理、操作和使用，其功能的灵活性、可靠性都有很大的提高，人机结合的综合效果使效费比大大提高。另外，大量事实也证明：人的眼、耳、鼻、脑、手的信息收集、处理、分析、判断、学习、利用经验、直觉和意外事件处理、计划修改、创造能力、决策能力、操作能力等方面都要优于自动化系统。当人的这些能力和自动化系统结合以后，就会发挥最大的效能。由此可见，人直接参与航天（也就是载人航天技术）无论哪方面讲都是有十分重要意义的。

综观人类空间技术的发展过程，大致可分为两大阶段。第一阶段主要是发展无人卫星，并开始载人航天起步；第二阶段则是以载人航天为主要特征，探索空间利用“非人不可”的技术领域，开拓人类生存的第四疆域。因此载人航天是人类开发空间的必然阶段，是空间技术合乎逻辑的发展步骤。

1.2 载人航天发展简史

自前苏联航天员加加林乘坐“东方号”飞船绕地球轨道飞行一圈，成为第一个进入太空的人后，载人航天大致经历了三个阶段。第一阶段主要解决把人送入地球轨道并安全返回的问题。这一阶段的载人航天证实了人在过载、失重、真空和强辐射等恶劣环境下不仅能够生存，而且能有效地工作。第二阶段主要是发展载人航天基本技术，如飞船

的轨道机动飞行、两艘飞船在空间交会、对接以及编队飞行，考察航天员出舱活动的设备和能力，同时也进行其他科学研究工作。第三阶段是发展实验性空间站，进一步考察人在太空环境条件下长期生活和工作的能力；利用空间独特环境从事多种学科研究和应用实验，诸如生物学、医学、天文学、材料及工艺实验和地球资源勘测以及军事活动等，同时也为建立实用空间站积累经验。

1.2.1 前苏联的载人航天发展历程

前苏联载人航天事业比美国发展得早。第一颗人造地球卫星上天后不久，前苏联就开始了生物卫星的试验工作。1957年11月，前苏联把一颗载有小狗“莱依卡”的人造地球卫星发射到轨道上。从1960年5月至1961年3月，在将近一年的时间内前苏联先后发射了五艘卫星式飞船，作为载人飞船的先驱，进行了大量的航天医学和航天生物学试验，为载人飞船上天作技术准备。1961年4月12日，前苏联把“东方1号”载人飞船发射到地球轨道上，在轨道上绕了一圈，飞行了108min，成为第一个进行载人航天的国家。从第一个人上天到今天，前苏联先后制定并执行过四个载人航天计划：三个载人飞船计划——“东方号”、“上升号”和“联盟号”，一个“礼炮号”空间站计划。整个历史发展过程一般可分为三个阶段。

第一阶段为执行“东方号”计划和“上升号”计划。主要是为了与美国争夺空间霸权，抢先把载一人和载多人的飞船送入轨道，争夺“空间第一”；其次是为了试验人在空间环境中的适应能力，验证飞船和运载火箭各系统的性能。

“东方号”是前苏联第一个载人航天计划；从1961年4月到1963年6月，“东方号”共进行过六次飞行，其中四次为编队飞行，第一队为“东方3号”和“东方4号”飞船，两者相隔一天被发射到轨道上，分别在轨道上飞行3天和4天，两艘飞船之间最近的距离为6.4km，第二队为“东方5号”和“东方6号”，“东方6号”比“东方5号”晚两天发射，但是在同一天返回。“东方6号”飞船上是一名女航天员。两艘飞船在轨道上最近距离为4.8km。

“上升号”计划只发射过两艘飞船：“上升1号”和“上升2号”。“上升1号”有三名航天员，其中有一名是医生，目的是为了对航天员的健康状况进行直接观察，以及有目的的自我观察。“上升2号”载两名航天员，其中一名在飞行中出舱活动20min。

第二阶段是从1967年开始，以“联盟号”的首次飞行为标志，到发射“联盟9号”结束。除政治上的需要，主要是为在近地空间建立空间站作准备。也就是试验和探索人在近地空间究竟能做些什么，有何实际的军事和科学价值；继续研究人对空间环境的长期适应能力。在这一阶段中，前苏联进行了“联盟号”的会合、对接、机动变轨以及三艘飞船编队飞行。

第三阶段是从1976年“联盟10号”开始，以“礼炮号”的飞行为标志。任务与目的和第二阶段大致相同，但重点放在试验和探索建立近地空间站的技术途径，继续研究人在空间站内有何军事、经济和科学价值等，为建立未来大型空间站准备条件。

1971年4月19日，前苏联发射了第一艘地球轨道空间科学站“礼炮1号”，紧接着于4月23日发射了“联盟10号”和空间站对接，一起飞行5.5h，然后“联盟10号”脱

离空间站返回地球。6月6日又发射“联盟11号”。“联盟11号”的三名航天员进入空间站内生活和工作24天。6月29日“联盟11号”与“礼炮1号”脱离，并按正常程序返回地面。在返回过程中，由于座舱密封性不严，造成舱内气压迅速下降，因此到着陆后发现三名航天员全部死亡。

1973年4月至1976年6月，前苏联相继把四艘“礼炮号”空间站送上天，除“礼炮2号”入轨后出现故障而失败外，其它三艘都在轨道上停留了一定时间，并依次与“联盟号”系列飞船进行过对接。

1977年9月21日，前苏联成功地发射了“礼炮6号”空间站。从入轨后至1981年5月27日前苏联宣布停止接待航天员的三年零八个月的时间内，曾分别与“联盟号”及其改进型“联盟T号”系列飞船和“进步号”无人货运飞船进行对接，先后接待过16批共33名前苏联及其盟国的航天员，累计载人飞行676天，创造了185天载人飞行的世界纪录，完成了120多项科学试验，取得了大量可应用于科学和国民经济各部门的重要资源。

1982年4月19日，前苏联又成功发射了一艘新的空间站——“礼炮7号”。发射的目的主要是继续前苏联在科学和国民经济领域感兴趣的科学技术研究与实验活动，同时在飞行期间继续试验和演练空间站上经过改进的各分系统和设备。“礼炮7号”空间站上天以后，前苏联继续发射“联盟T号”系列载人飞船和“进步号”无人货运飞船，在空间与空间站进行对接，组成联合飞行体，执行各种飞行任务。两名航天员阿·别列扎沃伊和瓦·列别杰在“礼炮7号”上创造了211天载人飞行的又一世界新纪录，于当年12月10日安全返回地面。

1986年2月，前苏联发射了第三代空间站——“和平号”。它是一个永久性的载人空间站。它有6个对接口，可同时与2艘飞船和4个实验舱对接，并可居住6—10名航天员。1987年4月，前苏联首次实现了“和平号”核心舱、“量子-1号”天文物理实验舱、“联盟TM号”载人飞船和“进步号”货运飞船4个舱体的成功对接，对接而成的轨道复合体总重达 $6 \times 10^4 \text{kg}$ 。1987年12月3日，航天员季托夫和马纳罗夫乘“联盟TM-4号”与“和平号”对接。他们曾三次出舱完成安装和修理工作，1988年12月21日返回地面，在“和平号”内连续生活364昼夜，加上对接前的前两天，在太空飞行的时间共366昼夜，创造了航天员在太空飞行的最新记录。1989年11月26日，前苏联又发射了进行科学实验的“量子-2号”实验舱与“和平号”对接。1990年5月31日，前苏联从拜科努尔发射场用“质子号”火箭将重 $1.95 \times 10^4 \text{kg}$ 的“晶体”舱送入轨道，与“和平号”空间站对接，开始空间生产与试验。前苏联解体后，俄罗斯成了其航天事业的继承者。1993年2月4日，俄罗斯科学家利用停靠在“和平号”上的无人驾驶的“进步号”货运飞船进行了首次太空伞试验，把人类第一个太空伞顺利地九霄云外打开，向地球反射了夺目的阳光，实现了人类多年的梦想，托起了首颗“人造月亮”。前苏联是唯一在地球低轨道长期从事载人飞行的国家，预计20世纪90年代俄罗斯将进一步扩展这个空间站，最终组成一个总重 $1 \times 10^5 \text{kg}$ 、总发电能力约24—30kW的永久性载人空间站。

继“和平号”空间站之后，前苏联还曾准备重新建造一个大型空间站——“和平2号”，这个空间站比“和平号”性能优越，它可由航天飞机提供维修、补给等服务。

“和平 2 号”空间站本身重量可达 $4 \times 10^5 \text{kg}$ ，可容纳 12—30 名航天员，航天飞机将成为往返运输的重要交通工具。1987 年 5 月 15 日，前苏联成功地发射了“能源号”巨型运载火箭，使向近地轨道发射有效载荷能力达到 $1 \times 10^5 \text{kg}$ 以上。它可用来发射航天飞机、空间站及空间武器平台等。

1988 年 11 月 15 日，前苏联从拜科努尔发射场用“能源号”运载火箭首次成功发射了“暴风雪号”大型航天飞机。它完成了围绕地球两圈的不载人飞行和自动返回着陆，在历时 205min 的飞行过程中，对航天飞机自动入轨、飞行和返回时的各系统和航天飞机的结构进行了综合试验。

前苏联的解体导致了各主权加盟共和国纷纷瓜分前苏联的航天工业与航天设施。然而，应该看到，绝大部分的航天工业均在俄罗斯境内，因此，俄罗斯仍然是重要的航天工业、航天技术大国。

1.2.2 美国载人航天历史

美国自 1961 年 5 月发射了第一艘航天载人器以来已有三十多年载人航天史了。在这三十多年中美国先后研制了“水星号”、“双子星号”、“阿波罗号”飞船、“天空实验室”试验性空间站和航天飞机。

一、“水星”计划

“水星”计划是美国第一个载人航天计划，始于 1958 年 10 月，结束于 1963 年 6 月。该计划共进行过 17 次飞行、2 次动物试验飞行、2 次载人亚轨道飞行和 4 次载人轨道飞行。“水星”计划的目的是把人和飞船安全地送入轨道并收回，考察人能否在空间环境中生存和工作。

“水星号”飞船可载一人，重约 1 600kg，高 2.9m，最大直径 1.8m，由密封舱和伞舱构成，外形像一口圆锥型钟。“水星号”飞船的载人飞行情况如表 1-1 所示。

二、“双子星”计划

“双子星号”计划是美国第二个载人轨道飞行计划，始于 1961 年 11 月，结束于 1966 年 11 月，共进行过两次不载人飞行，10 次载人飞行，总费用约 6.5 亿美元。

“双子星”计划的飞行任务是为载人登月计划作技术准备，发展轨道交会、对接、机动变轨技术和舱外活动能力，以及研究人在失重条件下的耐力极限。

“双子星号”飞船可载两人进行长达两周的空间飞行，由再入舱和对接舱构成，舱体前有交会用的雷达。飞船外形呈长圆锥形，也有些像钟，高 5.63m，最大直径 3.1m，重约 3 000—4 000kg，约比水星号飞船大 50%。

飞船用“大力神-2”火箭发射，其轨道参数为近地点 153.3km，远地点 239.8km，倾角 32.6° ；周期 88.3min。

“双子星号”飞船载人飞行情况见表 1-2。

表 1-1 “水星号”飞船载人飞行概况

型号	发射日期	飞行时间	航天员	任 务	故障及医学问题
3号	1961. 5. 5	15min	谢波德	美国第一次载人亚轨道飞行, 目的是评定航天员在空间的反应和检验座舱系统	飞船在水中溅落后, 因密封舱门提前打开而一度沉入水中
4号	1961. 7. 21	16min	格里森	第二次亚轨道飞行, 任务与 3 号相同	
6号	1962. 2. 20	4h 55min	格森	美国首次载人地球轨道飞行, 目的是①研究飞船飞行轨道; ②回收载人容器; ③考查飞船的性能和人在空间的适应能力	飞行中姿态控制系统曾发生故障
7号	1962. 5. 24	4h 56min	卡本特	①将飞船送入预定轨道并在预定地点回收; ②评定人在航天中的活动能力; ③听取航天员对飞船及联合操纵系统驾驶的意见	飞行中冷却系统发生故障, 舱温上升至 40℃; 定向系统发生故障, 被迫用手操纵
8号	1962. 10. 3	9h 13min	希尔拉	①考查飞船系统性能; ②研究人在空间的活动能力; ③对上层大气分布、空间辐射、绝缘材料等进行研究	第一圈飞行时致冷剂阀门部分阻塞, 使服装温度不能及时稳定; 首次发现飞行后, 航天员立位耐力下降
9号	1963. 5. 15	1d 10h 20min	库柏	①为今后飞行计划搜集有关资料; ②研究轨道飞行对人体的影响及人在飞行中的工作能力	因自动系统元件发生故障, 用手操纵返回

表 1-2 “双子星号”飞船载人飞行概况

型号	发射日期	飞行时间	航天员	任 务
3号	1965. 3. 23	4h53min	格里森、 约翰·杨	①进行飞行中手控机动试验; ②研究失重及辐射对人体的影响
4号	1965. 6. 3	4d 1h 56min	麦克迪维特、 怀特	①评价飞船及其系统性能; ②进行了 11 项试验; ③完成了出舱活动
5号	1965. 8. 21	7d 22h 56min	库柏、康拉德	共进行了 17 项试验, 着重研究失重对人体的影响以及交会用雷达的工作性能
6号	1965. 12. 15	1d 1h 51min	希拉、 斯塔福德	与“双子星 7 号”编队飞行, 实现了第一次近距离 (相距 2m) 交会和编队飞行
7号	1965. 12. 4	13d 18h 35min	博尔曼、 洛弗尔	①与“双子星 6 号”编队飞行; ②进行了 20 多项试验, 特别研究了长期失重对人体的影响
8号	1966. 3. 16	10h 41min	阿姆斯特朗、 斯科特	①首次在空间与目标卫星对接; ②出舱活动 96min
9号	1966. 6. 3	3d 21min	福坦福特、 赛尔南	①与目标卫星对接; ②长时间空间行走, 航天员行走 128min
10号	1966. 7. 18	2d 22h 47min	约翰·杨、 柯林斯	①先后与目标卫星“阿金纳 10 号”和“阿金纳 8 号”交会; ②飞行中柯林斯两次出舱活动
11号	1966. 9. 12	2d 23h 17min	康拉德、戈登	①与目标卫星交会, 将飞船与卫星用绳连接起来; ②出舱活动; ③拍摄地球及星体照片
12号	1966. 11. 11	3d 22h 34min	洛弗尔、奥尔德林	①与“阿金纳 12 号”卫星交会; ②飞行中进行一系列空间试验和调查; ③出舱活动 149min

三、“阿波罗”计划

“阿波罗”计划是美国第三个载人航天计划，始于1961年5月，结束于1972年12月，共进行了16次发射；6次无人亚轨道飞行，1次地球轨道飞行，3次载人绕月球飞行，6次载人登月飞行，总费用为250亿美元。

“阿波罗”计划的飞行任务是把人送上月球，在月面上进行考察、取标本，然后安全返回地面。

“阿波罗号”飞船可载3人，总重量约 $5\times 10^4\text{kg}$ ，飞船由登月舱、服务舱、指挥舱和救生逃逸装置4个部分组成。

飞船用土星系列运载火箭发射，“土星-1”用于飞船试验阶段的飞行；“土星-1B”用于“阿波罗号”飞船载人地球轨道飞行；“土星-5”用于“阿波罗”飞船载人登月飞行。

“阿波罗号”飞船的载人飞行情况见表1-3。

表 1-3 “阿波罗号”飞船载人飞行概况

型号	发射日期	飞行时间	航天员	任 务	故障及医学问题
7号	1968.10.11	10d 20h 9min	希拉、艾西尔、坎宁安	①验证指挥舱和服务舱性能；②了解飞行期间航天员活动能力；③与“土星-4B”会合、模拟对接；④从飞船上播送生活电视	航天员在飞行中患呼吸道感染病毒综合症
8号	1968.12.21	6d 3h	博尔曼、洛弗尔、安德斯	①第一次载人月球轨道飞行；②对月球进行科学摄影	航天员产生运动病
9号	1969.3.3	10d 1h 1min	麦克迪维特、斯科特、施维卡特	①模拟登月飞行；②绕月球轨道飞行，拍摄了红外彩色照片	因航天员患病毒感染、发射推迟3天；因空间运动病，修改了飞行中出舱活动计划
10号	1969.5.18	8d 3min	斯坦福德、塞尔南、约翰·杨	①验证飞船及维持设备性能，鉴定指挥舱在月球轨道内的性能；②飞船绕月球飞行；查“阿波罗11号”的着陆点	玻璃纤维绝缘材料刺激皮肤、眼睛和上呼吸道
11号	1969.7.16	8d 3h 18min	阿姆斯特朗、柯林斯、奥尔德林	①完成登月计划，在月球上停留2h31min；②在月球上采集岩石、装置月震仪、激光反射器和太阳风测试仪，并发送电视图像	
12号	1969.11.14	10d 4h 36min	康拉德、戈登、比恩	①两名航天员在月球上停留31h，两次出舱活动；②在月球上安装了核动力科学站，测量月球磁场、收集59kg土壤标本；③飞行期间面向地面发送10次电视	飞行中两次被闪电击中，使电子系统发生故障，但得到及时修复，导电膏引起接触性皮炎
13号	1970.4.11	5d 22h 55min	洛弗尔、海斯、斯威格特		飞行过程中由于服务舱氧气箱被电诱发起火而中止飞行，被迫取消登月，航天员有泌尿系统感染
14号	1971.1.31	9d 42min	谢波得、罗斯、米切尔	①两名航天员两次登上月面，采集标本、安装彩色电视、运送物品、拍照；②在飞船上进行材料加工和金属铸造等试验	
15号	1971.7.26	12d 7h 12min	斯科特、沃登、欧文	①首次使用月游车；②收集标本，在月面建立核动力试验站，记录月球环境数据；③在月球轨道发射一颗人造月球卫星	飞行期间航天员出现心律失常和期外收缩
16号	1972.4.16	10d 14h 51min	马丁利、杜克、约翰·杨	①3次月球表面活动、采集标本，拍摄照片；②从飞船上发射一颗月球卫星；③研究闪光现象	
17号	1972.12.6	12d 13h 51min	塞尔南、埃文斯、施密特	①3次舱外活动，采集标本113kg；②对月球的热度、重力、大气成分、地质、月面陨石等进行了研究；③在月球建立了核动力科学站	