



国家出版基金资助项目

“十二五”国家重点出版规划项目

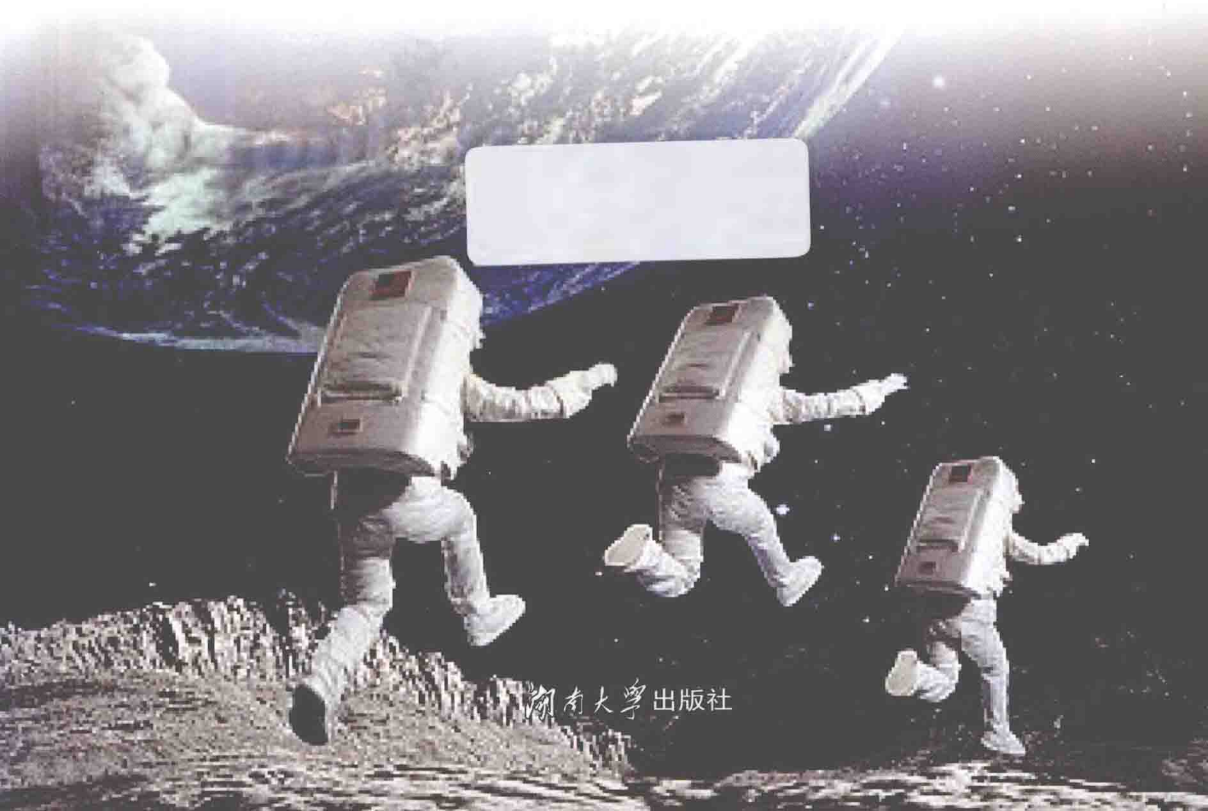
月球与人类丛书

丛书主编 钟志华

# 月球畅想曲

教育部深空探测联合研究中心 组编

分册主编 焦维新



河南大学出版社



国家出版基金资助项目

“十二五”国家重点出版规划项目

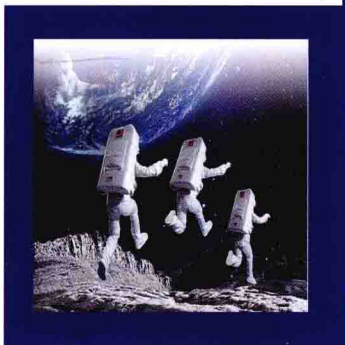
丛书主编 钟志华

月球与人类丛书——

# 月球畅想曲

YUEQIU YU RENLEI CONGSHU ——

YUEQIU CHANGXIANGQU



教育部深空探测联合研究中心 组编

分册主编 焦维新

湖南大学出版社

## 内容简介

分析了人类重返月球的必要性以及新时期载人登月的技术特点。第二章描述了月球基地概念的发展、初级月球基地的主要结构。介绍了高级月球基地的主要特征和功能,包括高级月面运输、地—月太空电梯以及月球经济活动。分析了月球资源、月球资源开发利用的方式和方法,重点介绍氧与氦-3的提取技术。展望了月球旅游的美好前景,涉及旅游观光内容、旅游基础设施建设。展望了月球基地建设远景,介绍了月球社会的经济、科学与文化活动,特别是人类未来在月球上的科学考察设施与活动。

适合科学爱好者及青少年阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

月球畅想曲/焦维新主编. —长沙: 湖南大学出版社, 2014. 4

(月球与人类丛书/钟志华主编)

ISBN 978-7-5667-0640-9

I. ①月… II. ①焦… III. ①月球探索—青少年读物

IV. ①V 1-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第064610号

## 月球与人类丛书——月球畅想曲

YUEQIU YU RENLEI CONGSHU——YUEQIU CHANGXIANGQU

组 编:教育部深空探测联合研究中心

丛书主编:钟志华 分册主编:焦维新

丛书策划:雷 鸣

项目责任人:刘非凡

责任编辑:罗素蓉 黄 旺 张 毅 责任校对:全 健

出版发行:湖南大学出版社有限责任公司

社 址:湖南·长沙·岳麓山 邮编:410082

电 话:0731 88822559(发行部), 88822264(编辑室)

0731 88821006(出版部)

传 真:0731 88649312(发行部), 88822264(总编室)

电子邮箱:hnuplff@126.com

网 址:<http://www.hnupress.com>

印 装:湖南天闻新华印务有限公司

开 本:730×960 16开 印张:9.75 字数:160千

版 次:2014年4月第1版 印次:2014年4月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5667-0640-9/V·1

定 价:38.00元

版权所有,盗版必究

## “月球与人类”丛书编委会

顾 问 王礼恒 吴伟仁  
主 编 钟志华  
副主编 焦维新 谢更新  
编 委 张建华 肖 龙 杨力行  
启 涛 邓湘金 岳 娜  
彭盈盈 栗石军 杨小俊

## “月球畅想曲”分册

分册主编：焦维新



# 目 录

## 第一章 重返月球/1

---

- 1. 人类为什么要重返月球/1
- 2. 中国开展载人登月的意义/6
- 3. 怎样登月/10
- 4. 超重型运载火箭/15
- 5. 全月面着陆/26

## 第二章 初期月球基地/41

---

- 1. 什么是月球基地/41
- 2. 月球基地面面观/50

## 第三章 高级月球基地/62

---

- 1. 高级月球基地主要特征/62
- 2. 月面交通运输/73
- 3. 月球太空电梯/78
- 4. 通信与定位/87
- 5. 月球经济/88

## 第四章 月球资源利用/94

---

- 1. 月球资源/94
- 2. 就地资源利用/105



### 3. 氧与氦-3的生产技术/110

## 第五章 月球旅游/116

---

### 1. 月球旅游不是梦/116

### 2. 初探广寒宫/122

### 3. 月宫盛世/132

## 第六章 2100年后的月球/139

---

### 1. 月球社会/139

### 2. 月球科学/145



# 第一章 重返月球

## 1. 人类为什么要重返月球

### 1.1 “阿波罗”计划的局限性

提起载人登月，人们自然想起美国的“阿波罗”计划。早在1969年7月，当阿姆斯特朗踏上月球表面时说道：“对个人来说，这是一小步，但对人类而言，这却是一大步。”这句具有丰富哲理的话已经传遍全球。而“阿波罗”11号航天员在月球上的照片（见图1-1），则成为现代化与技术成就的全球性象征。确实，人类首次成功登月对社会带来的影响是巨大而深远的。

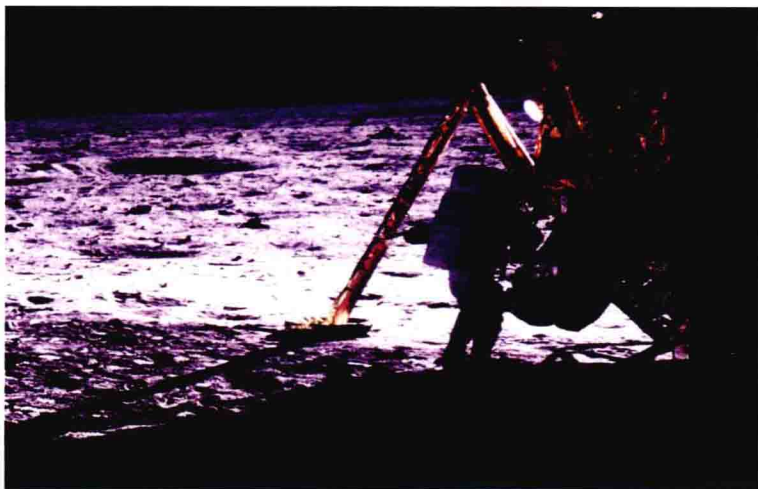


图1-1 美国航天员阿姆斯特朗踏上月球





美国当时推出“阿波罗”计划是出于冷战的需要，为了与苏联争夺空间霸权，但毫无疑问，这是人类一次史无前例的伟大壮举。在科学方面，“阿波罗”飞船对月球的探索取得了“十大发现”；在技术方面，载人登月计划培养了一代高水平的科学家、技术专家，其科研成果带动了美国 and 全世界20世纪60-70年代计算机技术、通信技术、测控技术、火箭技术、激光技术、材料技术、医疗技术等高新技术的全面发展，把科技整体水平提高到了一个全新的高度。美国目前的科技水平和军事力量很大程度上是在“阿波罗”计划的基础上进一步发展起来的。

尽管这个计划曾取得丰硕成果，但限于当时的技术条件，存在不少局限性，主要表现在以下几个方面：

(1) 着陆点限于月球正面的低纬地区（见图1-2中的彩色条带），所采集的样品自然限于这些地区。仅凭从这些局部区域采集的样品判断整个月球起源与演变过程中所发生的重要地质过程，判断月球资源的分布，确定月球的内部结构等重大科学问题，显然证据不充分。实际上，有些结果还只是猜想。

(2) 限于当时的技术水平，所获得的探测数据和现场试验数据精度不高，不能满足深入研究的需要。

(3) 限于当时对月球的认识和了解，有些实验项目设计不甚合理，有的根本就没有取得有用数据。

(4) 航天员在月面的科考活动重视采集样品，但没有充分利用这个宝贵的机会，用科学仪器获取更多的实地探测数据。返回舱的运载能力是有限的，带回样品的重量自然是有限的，但能带回的科学数据可以是无限的。

(5) 与月球特殊环境有关的试验项目太少，特别是1/6重力加速度环境下对生命效应的实验基本没有涉及。

从人类首次登月到现在已经40多年了。在这40多年中，人类社会发生了巨大变化。从政治方面看，冷战早已结束，当前世界尽管还不安宁，但和平与发展是主流，国际合作是大势所趋；从技术方面看，运载技术、飞





船技术、探测技术、通信技术等都取得突飞猛进的发展。因此,如果我们以新的思维方式,重新审视“阿波罗”计划的得失,站在新的高度,展望未来的载人登月、月球基地建设、月球资源开发利用以及更远的载人深空探测,其社会效应、科学意义将远远超出“阿波罗”计划。

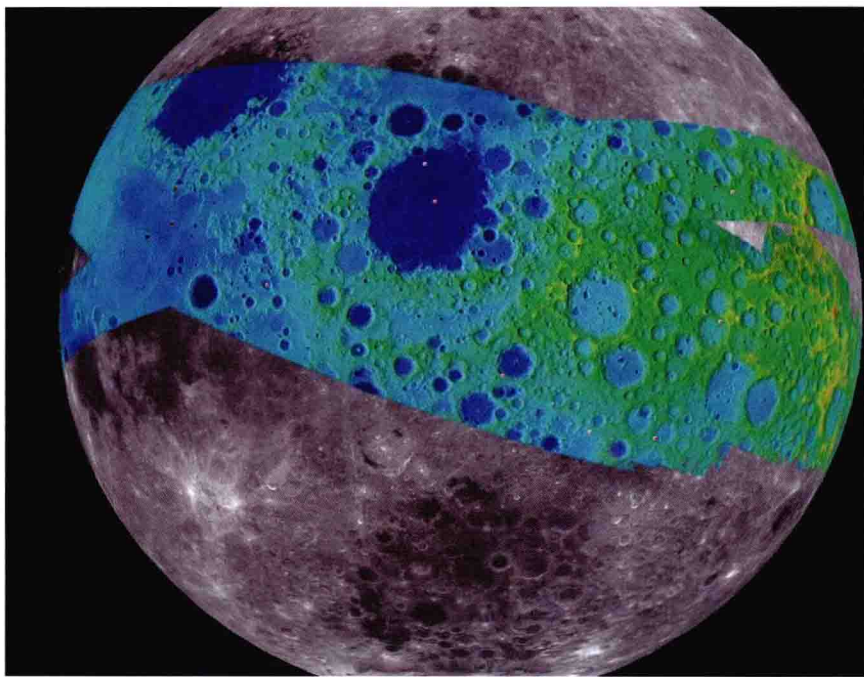


图1-2 “阿波罗”飞船的着陆区及地形特征

## 1.2 科学探索的必要方式

2007年以来,人类探索月球的活动出现了新的高潮,除了美国、俄罗斯外,更多的国家参与进来。中国的嫦娥三号已经落月,日本和印度相继发射了探月卫星,欧洲的德国和英国等国家也制定了各自的月球探测计划。美国还制定了详细的重返月球的星座计划,尽管这个计划后来被奥巴马政府取消了,但其前期探索为载人登月做了许多准备工作。如目前在轨



运行的月球勘察轨道器（LRO）和圣杯（GRAIL），都是原星座计划的一部分，目的是为人类重返月球确定着陆点，全面了解月球的空间环境。在探月的新时期，月球资源、能源的开发利用成为关注的焦点，国际间的合作范围更广泛、更具体。另外，科学目标更加明确，除了上述探测活动外，许多国家的学者还对新时期探月的科学目标进行了全面系统的研究，梳理出未来各种形式探月的路线图。

尽管人类在20世纪六七十年代已经发射了大量探月卫星，近年来又开始了新的探测，未来也将有更多的着陆器或机器人到达月球表面，但人的作用是无法替代的。人的最重要特征是具有思维和判断能力，特别是一个训练有素的航天员，比较全面地掌握了地质、矿物学、地球化学和地球物理学的知识，能在茫茫的月面上，发现最有科学价值的样品。现代科学仪器并非都是属于“傻瓜型”的，例如数字式地震仪，安装时必须有懂仪器的人进行调整，否则获得的数据是不可靠的。另外，新时期的载人登月，已不限于带回样品，而是现场进行大量试验，这些试验都含有较复杂的步骤。经过这些试验后，带回的将是非常有价值的数据与图像。新时期探月的重要科学目标之一，就是获得与月球起源与演变以及现在状态密切相关的样品和数据，使月球科学研究提高到一个新的水平。显然，载人登月对实现新的科学目标将起到不可替代的作用。

另外，新时期的载人登月还将在月面进行生命科学实验、空间天文观测等等。这些复杂的实验在有人参与下，将充分发挥仪器的效能。例如在空间站上，大部分实验是自动的，但也有部分实验必须有航天员的参与。

### 1.3 建立月球基地的前提

在新时期，人类重返月球已经不限于取回一些样品，做些简单的实验，而是要建立月球基地，在月球上长期居住。

如果不建立月球基地，人类重返月球所能达到的目标是很有限的。航天员在月球表面停留两三天，无论从所到的空间范围还是能开展的科学实验活动来看都是很有限的，从经济的角度看，这样的探索方式也是不划算



的。有了月球基地，人类就可以“驻留”下来，有充裕的时间，到达更广的地方，开展多学科的科学考察。

为了这个目的，人类应尽快重返月球，为月球基地建设做准备。

#### 1.4 开发资源的必要条件

当前，地球上资源短缺问题十分突出，而月球上的资源是非常丰富的，如矿物资源、月壤和极区的挥发性物质资源、极区陨石坑内的水冰资源等。特别是钛铁矿、稀土资源以及氦-3资源，都是人类的发展所急需的。但如何开发利用这些资源是一个非常复杂而困难的问题。首先涉及这些资源的确切分布，接着是如何提取、开发和利用。我们不否认遥感卫星在勘察资源方面所起到的巨大作用，但这种方式只限于普查，仅凭遥感勘察结果，还不能判断一个地区矿物的开采价值，需要就地进行详查。这一步可用机器人完成，但开发和利用这些资源，就必须有人操作。仅凭遥控机器人是无法完成这些任务的，因为这些过程太复杂。

#### 1.5 载人深空探索的基础

人类必须走向深空，这既是人类探索未知的天性使然，也是出于人类生存和可持续发展的必然选择。那么，载人登月在未来载人深空探测中处于什么样的地位和作用呢？

(1) 月球是人类探索更远深空的基地与中转站。

对于探测更远的天体，月球可起到中转站作用。如果我们将太空比作大海，月球就是距离大陆最近的岛屿。为了探索浩瀚大海的秘密，将离大陆最近的岛屿作为一个中转站，将是非常有利的。在月球上建立基地，不仅对深入研究月球有重要意义，而且还可以将月球作为载人探索火星和其他更远天体的中转站。在这个中转站可开展的工作包括培训航天员、摸索就地资源利用的方法、验证新技术，甚至从月球直接发射航天器。

(2) 按照循序渐进的原则，通过载人登月积累探测小行星和火星的经验。

月球是距离地球最近的较大天体，载人登月的行程比较近，只要两三天就可以到达月球。通过载人登月，可以验证超重型运载火箭技术、载人





飞船技术、登月舱的下落和上升技术以及深空对接技术等，取得人类奔向更远天体的经验。如果不首先实现载人登月，直接将航天员送到小行星或火星等遥远的天体，从技术上来说具有很大的风险。

## 1.6 国际交流合作的平台

建立月球基地，无论是在经济方面还是技术方面，都不是哪一个国家能独立承受的。因此，载人登月，进而建立并完善月球基地，可以促进国际交流与合作，增加各国间对彼此太空计划的了解及建立信任，有利于促进全球的和平与发展。

# 2. 中国开展载人登月的意义

## 2.1 政治和社会意义

### (1) 对MIT理念的思考。

2008年12月，美国麻省理工学院（MIT）航天、政策与社会研究组提交了一份美国载人航天未来的报告。为了梳理开展载人航天的理由，报告引入了主要和次要目标的概念。

主要目标是指那些只能通过派人亲临才能实现、效益高于机会成本以及值得冒很高的人员生命安全风险，乃至冒可能失去生命危险的目标。主要目标是探索、增强民族自豪感、提高国际威望和占据领先地位。次要目标是指那些能因为派人亲临太空而产生效益但其本身并不足以证明所花费或所冒风险具有合理性的目标。次要目标包括科学、经济发展与就业、技术发展、教育和激励作用。

MIT报告已得到美国政界领袖、奥巴马团队和其他有关方面的积极认同。奥巴马取消重返月球计划，将近期载人深空探索目标定位于火星和小行星，也许是依据这个报告的理念。

MIT报告所表达的理念很明确，载人航天的主要目标就是增强民族自豪感，保持美国的霸主地位。为了这个目标，国家可以不遗余力。



事实上，世界上许多国家开展载人航天与深空探测，都自觉或不自觉体现了这个理念，只是由于各国的文化不同，在这个问题上有不同的表达方式。

中国载人航天所取得的巨大成就，极大地增强了中华民族的自豪感，提高了中国的国际威望和国际地位。有些人不愿意从政治方面看问题，那么从MIT报告所表达的理念，美国人不是首先从政治方面看问题吗？因此，我们在讨论开展载人登月的必要性时，不要回避或淡化政治因素。只是我们讨论问题的角度要从全民族的根本利益出发，从提高国家的战略能力出发。

### （2）增强民族自豪感，提高中国国际威望。

探索一直是、而且也应该成为载人航天飞行的一个主要目标。举例来说，“阿波罗”计划经久不衰的影响力，并不只是靠其先进技术，也不只是所取得的科学成果，给全世界留下深刻烙印的是人类在另一个世界漫步的画面。

与探索这一目标密切相关的还有民族自豪感和国际威望这两个目标。载人航天是现代化和国际一流地位的标志，踏上地球以外的星球，不仅代表了航天员所在国家的成就，也是地球人类的骄傲。因此，我国制定并实施载人登月计划，符合国家战略和科技进步要求，有利于促使我国早日成为航天强国，抢占近地空间战略制高点，对于提高综合国力和国际竞争力，进一步巩固大国地位，增强民族自豪感和凝聚力具有重要意义。

### （3）提高国家战略能力。

国家战略能力既是指在非战争状态下，塑造有利于本国战略安全态势的能力，也是指在战争状态下赢得胜利的能力。这种能力包括领导力（远见和意志）、政治动员能力（其基础是人民对政治体系的支持力）、军事动员能力、技术能力、经济实力以及影响人民主观看法和心理状态的“软实力”等要素。

中国的载人登月是一个庞大的系统工程，涉及科学技术的许多领域。因此，确定并完美地实现这一系统工程，是试验动员能力、检验领导能



力、考验技术能力、提升战略能力的实践。

## 2.2 书写中华民族的新篇章

美国实施“阿波罗”计划，在科学上获得十项重大发现，极大地丰富了人类对月球的认识。回顾人类的文明史，中华民族曾以“四大发明”引以为荣。但进入太空时代的50多年来，在行星科学和空间天文学领域，难以见到中华民族书写的历史。我们应当让子孙后代除了欣赏“四大发明”外，还有更多值得自豪的回忆。载人登月可以充分发挥中国人的智慧，利用现代科学技术，取得远远超过“阿波罗”的成果，在人类文明史上书写中华民族的新篇章。

中国未来的载人登月是在新的技术条件下进行的，包括新的探测技术、实验技术、通信导航技术和新的飞船技术等。在这些新技术的支撑下，我们将以新的视点，全面深入地认识和了解月球。通过对月球表面的科学考察，获得与月球形成、演变和当前状态密切相关的直接数据和关键样品，使我国对月球科学的研究迈入世界先进行列。

在新的技术条件下，我国可以考虑在南极登月甚至在月球背面着陆。这样，从载人登月着陆点的角度看，我国也将创造几个世界第一。这些第一不仅在形式上，更重要的是我们完全可能在科学上有重大发现，使得中华民族在人类探索太空领域做出新的重大贡献。这些贡献将让我们的子孙后代引以为荣。此外，科学上的重大发现，又会进一步扩大我国载人登月的政治和社会影响力。

实现载人登月，也是千百年来中华民族的夙愿，嫦娥奔月的美丽传说，才算真正实现。届时，身处广寒宫的嫦娥终于盼来了亲人，其喜悦心情可想而知。

## 2.3 扩展国家的利益空间

月球含有丰富的矿物资源，也许在可以预见的未来，这些资源无法带回地球，但在人类登上月球后，可以逐步就地利用这些资源，以减少探索



成本，并为更远天体的资源利用积累经验。

联合国《外层空间条约》和《月球协定》规定，各国有权在平等基础上自由探索和利用月球，公平分享月球的资源利益，天体的所有地区均可自由进入。这些规定的实质含义是“先登月者先得益”。实施载人登月，将使我国具备探索、开发和利用月球资源的能力，有利于维护我国的月球权益，扩展国家的利益空间。

值得注意的是，美国航空航天局在2011年发布了一份《登月守则》，提出为了保护“阿波罗”着陆器和月球车硬件、不载人飞船的月面着陆点和撞击点、航天员在试验时留在月面的工具和设备、航天员以及月球车在月面留下的痕迹等。为了达到上述保护目的，美国建议设立禁飞区和缓冲区，从而防止火箭喷射的废气或尘埃坠落在那些具有历史意义的仪器设备上。

美国航空航天局的这一建议，等于宣布美国航天器到过的地区就是美国政府在月球上的财产。而联合国1967年的《外层空间条约》规定，没有一个国家能宣称拥有月球上的任何部分，探月国家只能有优先权。美国设立禁飞区的真正目的，是为了阻止其他国家接下来的探月任务，包括日本、印度和中国。

众所周知，美国向来对联合国宪章采取实用主义态度，有利于我的就执行，不利于我的就不执行。如果这个建议得到美国政府批准，虽然没有国际法的效力，但美国可以依据国内法处理国际事务，这是推行霸权主义的美国一贯的做法。这件事也给我们以启迪，为了扩展我国的利益空间，应尽快实现载人登月。

## 2.4 具备经济和技术的基础

### (1) 经济基础。

改革开放以来，我国的经济得到迅速发展。根据中华人民共和国2008年国民经济和社会发展统计公报，2008年我国的GDP为30万亿元，比上年增长9.0%，首次超过德国，仅次于美国和日本，跻身世界第三，达到1967年美国





实施“阿波罗”工程的水平。2011年我国的GDP为47万亿元，合5.74万亿美元，超过日本，位居世界第二。按照目前我国的经济实力和未来的发展速度，是有能力发展载人登月的。

### （2）技术基础。

到2017年左右，我国将实施到月球取样返回的计划；2020年左右，载人航天三步走的计划也将胜利完成。届时，我国的运载火箭技术、飞船技术、空间交会对接技术、太空行走技术、降落月球表面的技术以及从月球返回的技术都将趋于成熟，这些技术都将为载人登月打下坚实的技术基础。

### （3）社会基础。

中国自古就有嫦娥奔月的美丽传说，这个传说所以能长久流传，是因为它表达了中华儿女美好的愿望。中国实施载人登月的计划，将使中国人几千年的梦想成真，这个计划有着深厚的社会背景，定会得到亿万人民的拥护。

## 3. 怎样登月

### 3.1 “阿波罗”计划的经验

将航天员从地球表面送到月球表面并安全返回，是一项非常复杂的系统工程，对于飞行中的每一个细节，都要精心设计、精心安排。对总体方案更要周到、细致地思考，因为这决定着整个计划实施的走向。在考虑总体方案时，最关键的因素是火箭的运载能力、方案的可靠性和成本。美国在制定“阿波罗”计划时曾提出五种方案：

#### （1）直接登月方案。

直接登月方案是指用火箭直接将飞船送到月球上，在登陆月球时火箭翻转，使其发动机对着月球，然后发动机制动使飞船软着陆到月面。飞船离开月球时，再由同一枚火箭以同样的方法把航天员带回地球。

这种方案需要研制大推力的运载火箭，而推力要求远远超过最后实施



登月任务的“土星-5”运载火箭的能力。另外，采用直接登月方案要求大型火箭实现垂直着陆，这在技术上也面临很多问题。

### （2）在轨加注模式。

这种模式是首先将登月飞船的各舱段（不含用于奔月过程的燃料）发射到近地轨道完成组装，然后发射携带燃料的飞行器与登月飞船对接，为执行奔月任务的推进系统的燃料储箱进行在轨加注。通过几次加注，当燃料的重量满足任务需求时实施登月任务。按照此方案，需要利用5~7枚土星C-2火箭来完成发射组装任务，其中3枚用于发射登月飞船各舱段，其余的用来进行燃料在轨加注。

这种方案的突出特点是通过增加发射次数来降低对运载能力的要求。但多次交会对接存在很大的技术风险，倘若其中有一次发射失败就会对整个任务造成致命的影响。

### （3）基于环月轨道交会组装登月模式。

这种方案是通过运载火箭将整个登月飞船一次性发射到环月轨道，然后指令舱（CM）与登月舱（LM）分离。登月舱包括下落级和上升级两部分，利用着陆系统执行登月任务。任务完成后，登月舱的上升级点火，将上升级送入环月轨道，同指令与服务舱（CSM）交会对接（见图1-3），航天员返回指令舱，然后利用服务舱（SM）提供的动力返回地球。

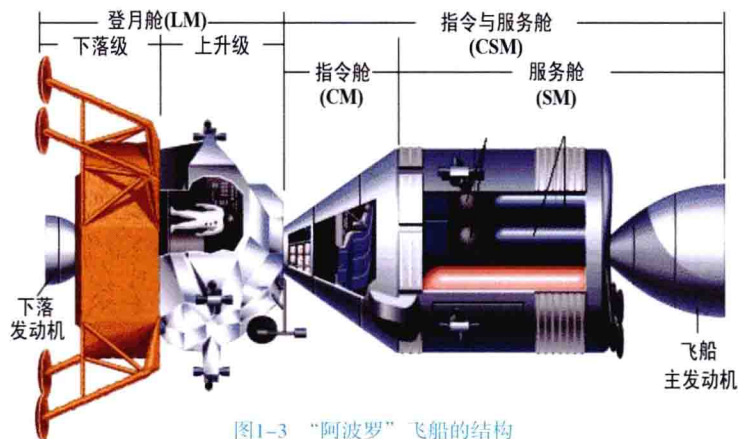


图1-3 “阿波罗”飞船的结构