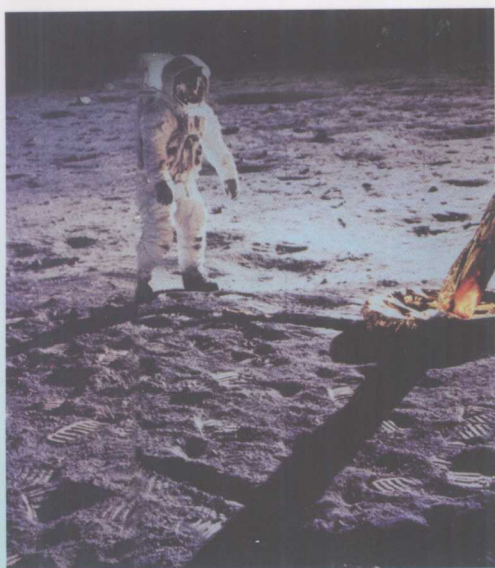


月球足迹

田如森 史宗田 编著



科学普及出版社



月球足迹

田如森 史宗田 编著

科学普及出版社
· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

月球足迹/田如森, 史宗田编著. —北京: 科学普及出版社, 2009.2

ISBN 978-7-110-06720-8

I. 月… II. ①田…②史… III. 月球探索—普及读物 IV. V1-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 015859 号

自 2006 年 4 月起本社图书封面均贴有防伪标志, 未贴防伪标志的为盗版图书。

本书在成书的过程中得到林巧英、张贵玲、秦宪安、杜爱军、南勇、李博文、田奕、刘永瞻、张玲等先生在资料和图片上给予了很大帮助, 在此表示衷心的感谢!

科学普及出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号

邮政编码: 100081

电话: 010-62103210 传真: 010-62183872

<http://www.kjpbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京长宁印刷有限公司印刷

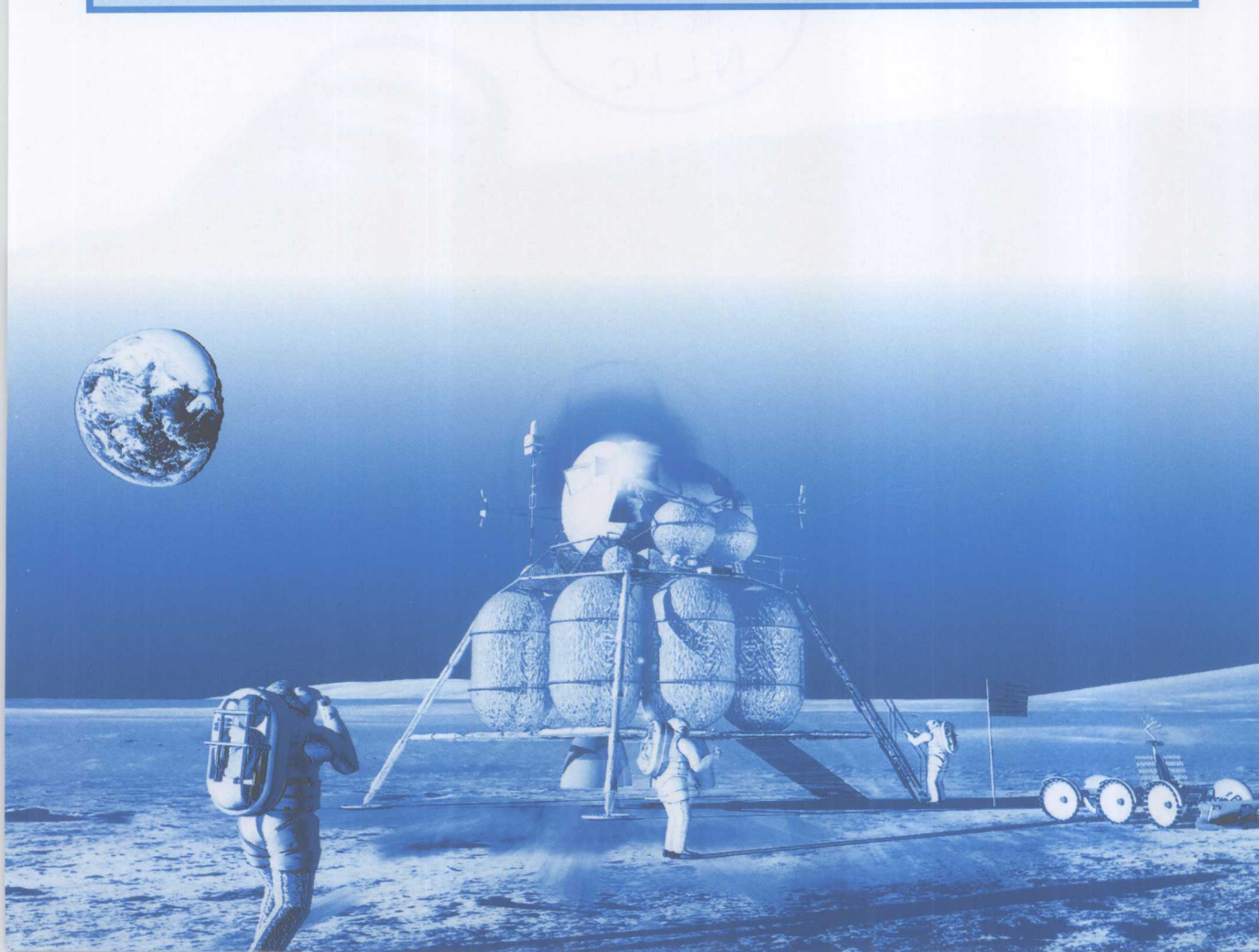
*

开本: 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张: 7

2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 次印刷

定价: 36.00 元

(凡购买本社的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)





前言

本书介绍了探测月球和开发月球两部分的内容。

探测月球部分,重点介绍了具有重要历史意义的我国成功进行地首次月球探测活动。真实地介绍了嫦娥一号卫星从奔月前的准备、起飞、奔月到探月的全过程,其中包括发射探月卫星所面临的诸多挑战及攻克的技术难关;嫦娥一号如何克服地球引力奔向月球;在绕月飞行期间怎样对月球进行探测以及如何把探测信息传回地球等,涵盖了现代月球探测五大系统的基本科学技术知识。

月球是距离地球最近的天体,与人类的生产和生活息息相关,自古以来便是人类首选的探测目标,并经过了慢长的探月历程。随着航天技术的发展,从20世纪50年代末开始使用火箭发射探测器,进行近距离对月球探测,特别是阿波罗登月成功才彻底揭开了月球的神秘面纱。书中

对神奇的月球世界,奇特的月球地形地貌和仍存在的种种迷团做了概括性的介绍。

进入21世纪,美国、俄罗斯、欧空局、日本、印度等国家及国际组织纷纷制定自己的月球探测计划,新一轮探月热潮正在兴起。在21世纪的中后期,人类的脚印将再次踏上月球,但决不是重复以往的探测活动,除了进行更深入的探测以外,重点将放在评估如何开发月球资源和建立月球基地。书中介绍了人类将要开发的月球资源和建设月球基地的构想。

由于水平所限,书中不妥之处,敬请批评、指正。

谨以此书的出版向所有关心我国载人航天事业发展的读者和朋友们表示最深切的感谢!

编者

2008年10月

目 录

一、中国嫦娥一号探月纪实 / 1

- (一) 迎接新挑战 / 2
- (二) 攻克技术关键,破解技术难题 / 4
- (三) 美丽的“月城”送“嫦娥”
奔月 / 12
- (四) 长征三号甲再铸辉煌 / 15
- (五) 崎岖奔月路 / 20
- (六) 深空测控为嫦娥一号保驾
护航 / 22
- (七) 绕月探测 / 25
- (八) 把探测信息传回地球 / 30
- (九) 公布探测成果 / 32

二、人类探月活动的过去与 未来 / 34

- (一) 古人裸眼观月与《历法》 / 34
- (二) 利用望远镜观察月球,人类第一
次看到了月亮的真实面貌 / 35
- (三) 航天时代的探月活动,彻底揭开
了月亮的神秘面纱 / 36

- (四) 新一轮探月热潮正在兴起 / 51

三、神奇的月球世界 / 56

- (一) 壮观的荒漠 / 56
- (二) 月海 / 59
- (三) 环形山、撞击坑无处不在 / 60
- (四) 月湾、月沼与月湖 / 61
- (五) 月谷,月溪和辐射纹 / 62
- (六) 月球的背面 / 64
- (七) 地球的天然宝库 / 64
- (八) 月壤中蕴含着极为丰富的
能源资源 / 66
- (九) 八大谜团 / 68

四、开发月球资源 / 73

- (一) 开发月球能源资源 / 73
- (二) 开发月球矿物宝藏 / 76
- (三) 月球——人类的天然空间站 / 78
- (四) 理想的对天观测站和对地
监测站 / 78
- (五) 星际航行的中转站 / 80
- (六) 开发月球观光旅游资源 / 82

五、建立月球基地 / 84

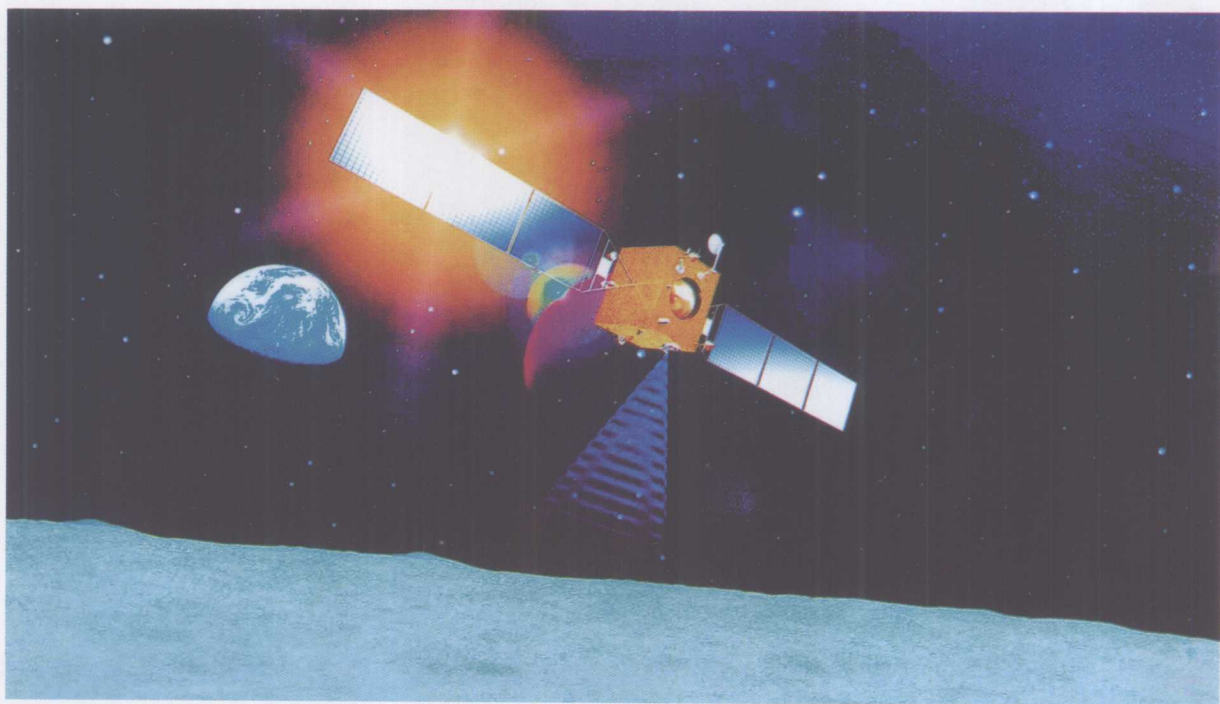
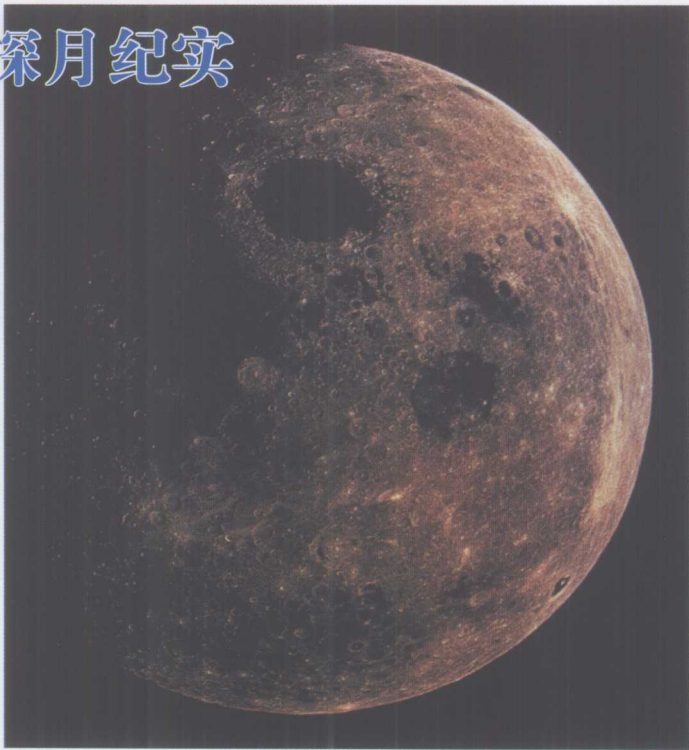
- (一) 建设月球基地目的与策略 / 86
- (二) 怎样建设月球基地 / 87
- (三) 月球基地居住舱建设的各
种构想 / 94
- (四) 创造人在月球上的生存条件 / 98
- (五) 月面的交通运输 / 103
- (六) 地月空间的往返运输 / 106



一、中国嫦娥一号探月纪实

2007年11月24日,我国首次发射的嫦娥一号月球探测卫星取得圆满成功,实现了中华民族千年奔月梦想,是继人造地球卫星、载人航天取得成功之后,我国航天事业发展的又一座里程碑。嫦娥一号是我国自主研发的创新型成果,中国探月从高起点上起步,发射的月球探测卫星其轨道运行精度超过了原设计要求,并实现了四大科学探测目标,令世界瞩目。

下面让我们回顾一下具有重要历史意义的嫦娥一号探月卫星,从奔月前的准备、起飞到探月的全过程。



嫦娥一号卫星对月探测模拟图



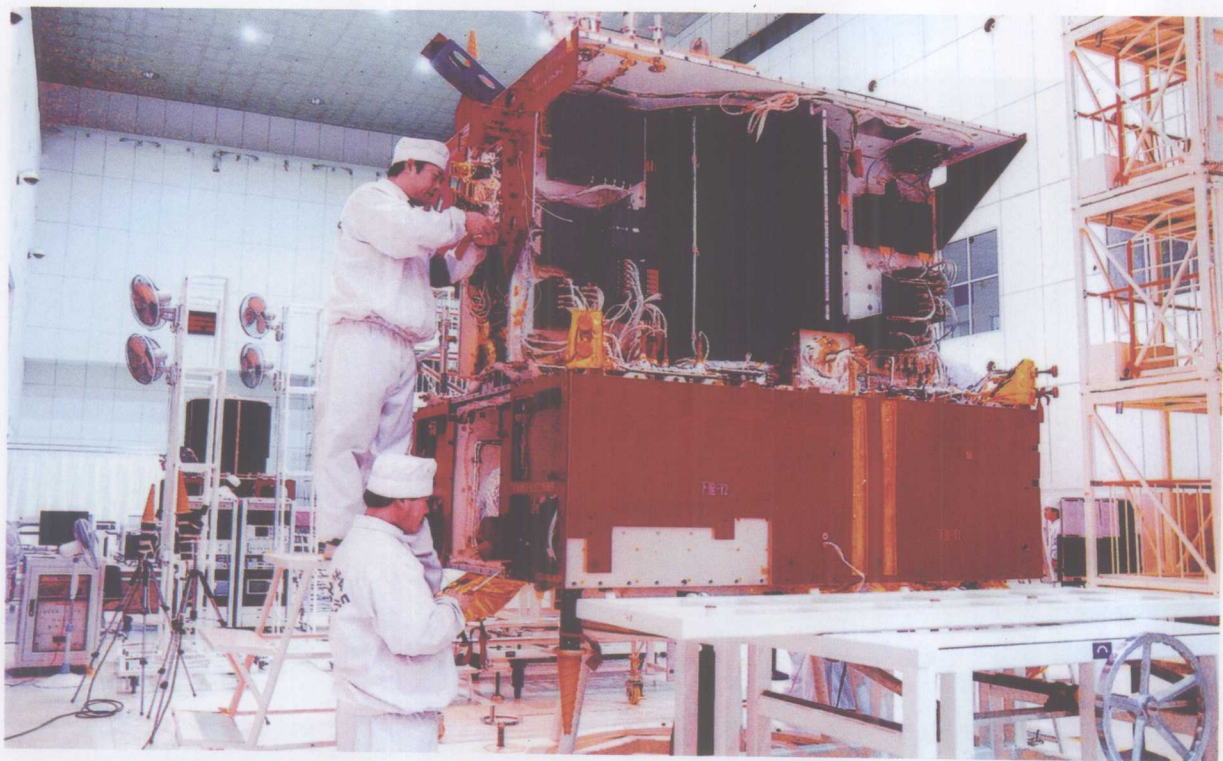
(一)迎接新挑战

中国过去发射过各种地球轨道卫星，其中飞行最远的是“双星探测”卫星，飞行距离地球 8 万千米，而月球距离地球约 38 万千米，是地球同步轨道卫星距离地球的 10 倍，是“双星探测”卫星距离地球的 5 倍。发射月球探测卫星不仅要跨过这样远的距离，而且月球探测卫星飞往月球所面临的环境，也和地球卫星有着明显的不同，是更加复杂和严酷。从地球到月球之间和在环月球轨道上的环境十分恶劣，对航天器的影响极大。卫星在这样的环境里运行，充满着未知数，对实施探月工程中国航天是一个巨大的挑战。中国的科研人员能否突破关键技术和难题，确保嫦娥一号卫星研制质量和可靠性，事关嫦娥工程的成败。

2004 年嫦娥绕月探测工程正式立项，随即便开始了试制和工程研制，到 2007 年 4 月发射，在短短三年多的时间里，整个工程队伍坚持自主创新，刻苦攻关，先后突破了绕月探测工程各项技术难关，取得了全面地胜利。



嫦娥一号探月卫星



嫦娥一号在进行试验前的总装



火箭对接



(二) 攻克技术关键，破解技术难题

1. 突破轨道设计与飞程序控制关

嫦娥一号探月卫星飞行轨道与地球卫星飞行轨道不同，地球卫星飞行轨道只有椭圆轨道或圆轨道两种，而嫦娥一号月球探测卫星在飞向月球的过程中要经过调相轨道段、地月转移轨道段、月球捕获轨道，最终到达环月轨道，即要飞经四个不同轨道段。由于地球、月球和卫星都在运动，在地、月、卫星三体运动条件下及月球引力场的异常复杂性，使得嫦娥一号卫星的轨道设计，较以往的地球卫星轨道设计更为复杂。为了保证嫦娥一号顺利到达月球，在调相轨道阶段，要进行4次轨道调整，使嫦娥一号在预定的时间到达地月转移轨道的入口。在地月转移轨道飞行过程中，计划要进行1~2次轨道修正，消除误差，确保嫦娥一号能够准确到达月球附近，到达月球近旁后，还要经历三次轨道调整，使嫦娥一号从最初的双曲线轨道变为椭圆轨道，然后进一步缩小椭圆轨道的扁率，最终使嫦娥一号在一条高度为200千米，倾角为90度的圆形轨道上绕月飞行，并开展探测活动。在环绕月球运行过程中，还要考虑月球对嫦娥一号的遮挡，运行期间的光照条件及月食对嫦娥一号日常工作的影响等，此外，在轨道设计时还要考虑运载火箭、发射场、地面测控系统等方面的要求。

综合上述各约束条件，经过大量计算分析，并对其其中的一些不利的结果加以甄别和排除，最终突破了轨道设计与飞程序控制技术，使轨道设计达到了最优化，使嫦娥一号奔月飞行所需能量最少。

2. 攻克三体定向关

地球卫星在轨道运行时只需同时完成对地和对日的二体定向，即卫星上的太阳翼对准太阳，保证获得足够的光照并产生足够的电能，而星上的通信或遥感装置对准地球表面，以便执行任务。嫦娥一号在环绕月球飞行过程中，要始终保持对日、地和月的三体定向，即月球探测卫星太阳帆板对日，以保证获得足够的光照并产生足够的电能；

嫦娥一号的探测目标是月球，因此卫星必须保证科学探测仪器对准月球表面；为了将获取的科学数据送回地球，嫦娥一号在环绕月球飞行的过程中还应将定向天线对准地球，在限定的时间内将嫦娥一号自身工作状态信息和科学载荷的输出结果发

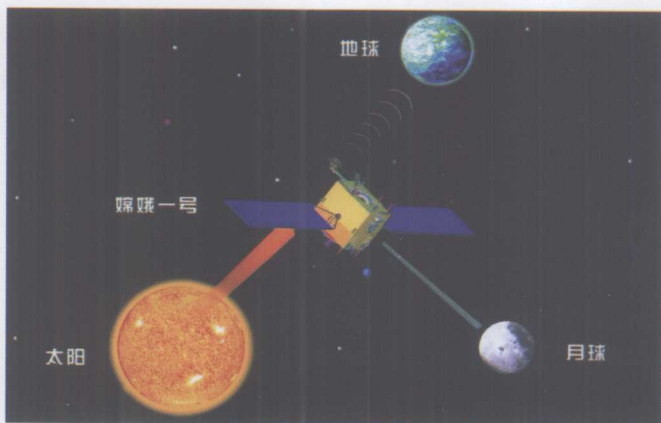


嫦娥一号卫星力学试验

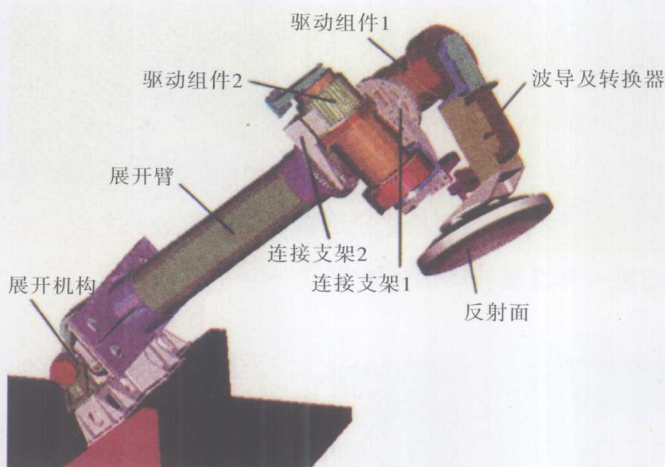


回地球。上述条件只要有一个对不上就很难工作。由于地球、太阳和月球的空间关系随时都在发生变化，而且比较复杂，给三体定向带来很多困难。

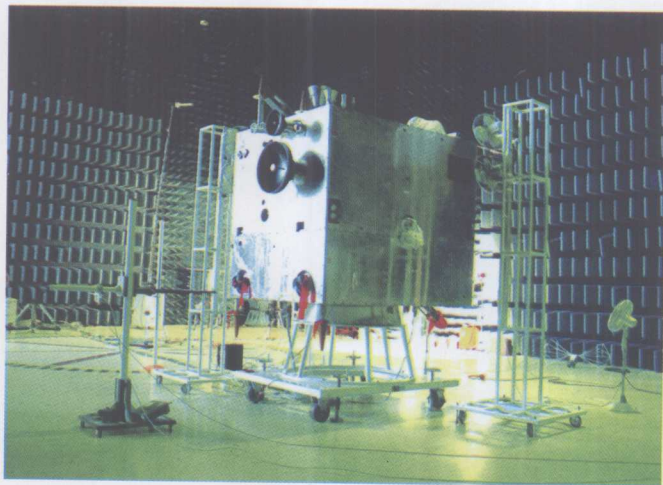
为使嫦娥一号上的科学探测仪器始终对准月球表面进行连续探测，首先要解决观察月球的“眼睛”，即采用什么样的敏感器。地球卫星对地球的定向，采用技术成熟的红外地球敏感器，但这种敏感器并不能应用月球探测上，因为月球没有大气层，也就没有稳定的红外辐射带，因此红外敏感器虽然技术成熟，但在月球探测上派不上用场。月球有稳定的紫外辐射，我国经过攻关自主研发了紫外月球敏感器作为“眼睛”观察月球，同时采取三轴稳定的姿态控制方式，保证了星体上安装的科学探测仪器的一面，始终朝向月球。为保证太阳帆板对日，采用了一种特制的驱动机构，它能带动太阳帆板实现 360° 的转动，利用太阳帆板上的敏感器来捕获太阳的方位，然后不断控制驱动机构一直保持太阳帆板获得最佳的太阳光入射角，从而为嫦娥一号提供充足的能源。为了使嫦娥一号的定向天线一直对准地球，我国研制的定向天线双轴驱动机构，它可在半球空间内实现高精度指向定位要求，从而使定向天线始终对准地球。同时还采取提高卫星控制、制导与导航分系统可靠性等手段，确保了三体定向及精度要求。



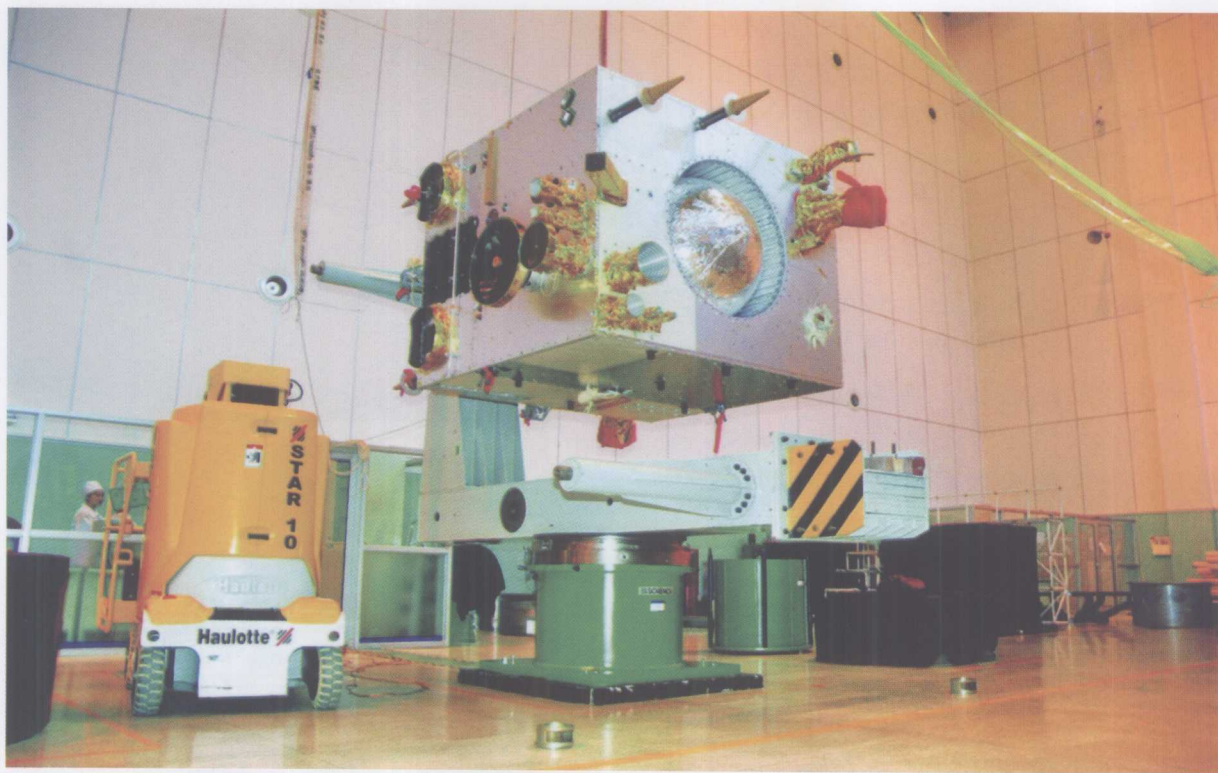
三体定向原理示意图



月球卫星上使用的可双轴转动的定向天线



卫星电磁兼容试验



嫦娥一号卫星转动惯量检测



嫦娥一号卫星振动试验

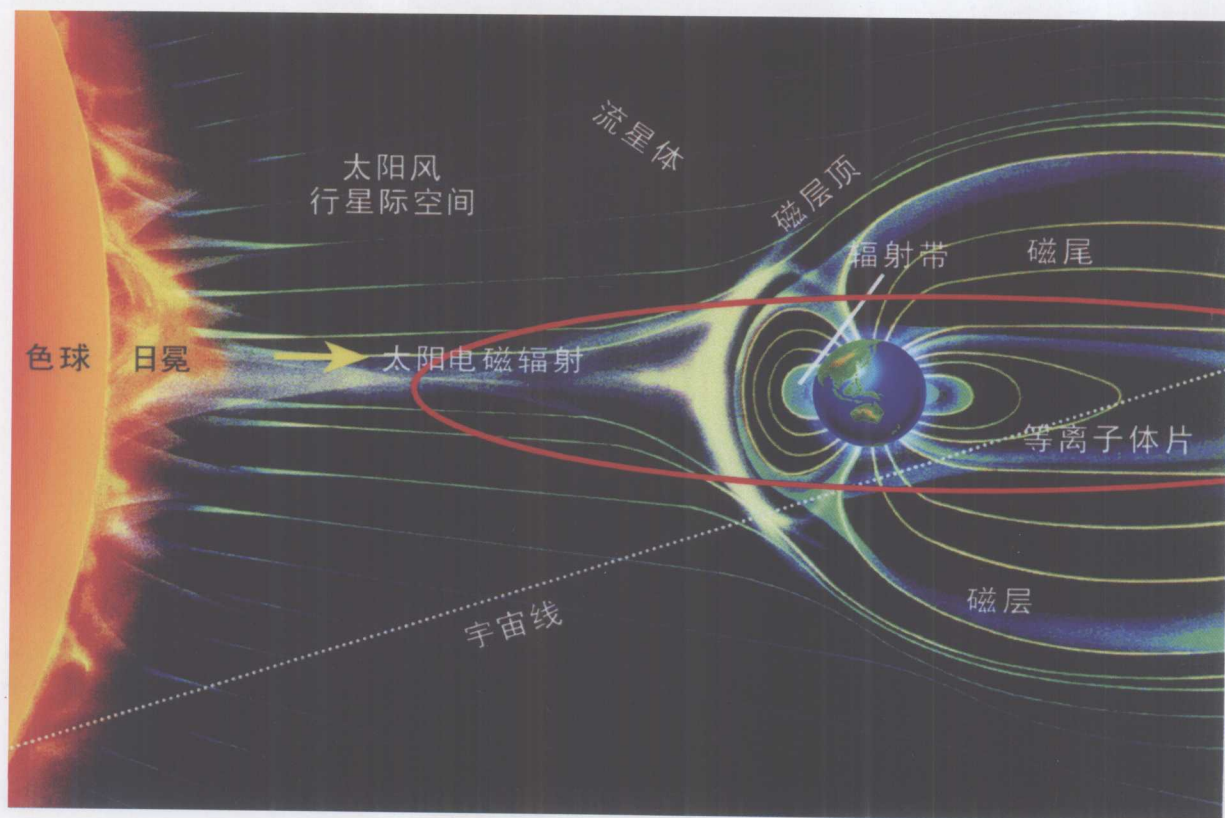


3. 突破空间环境关

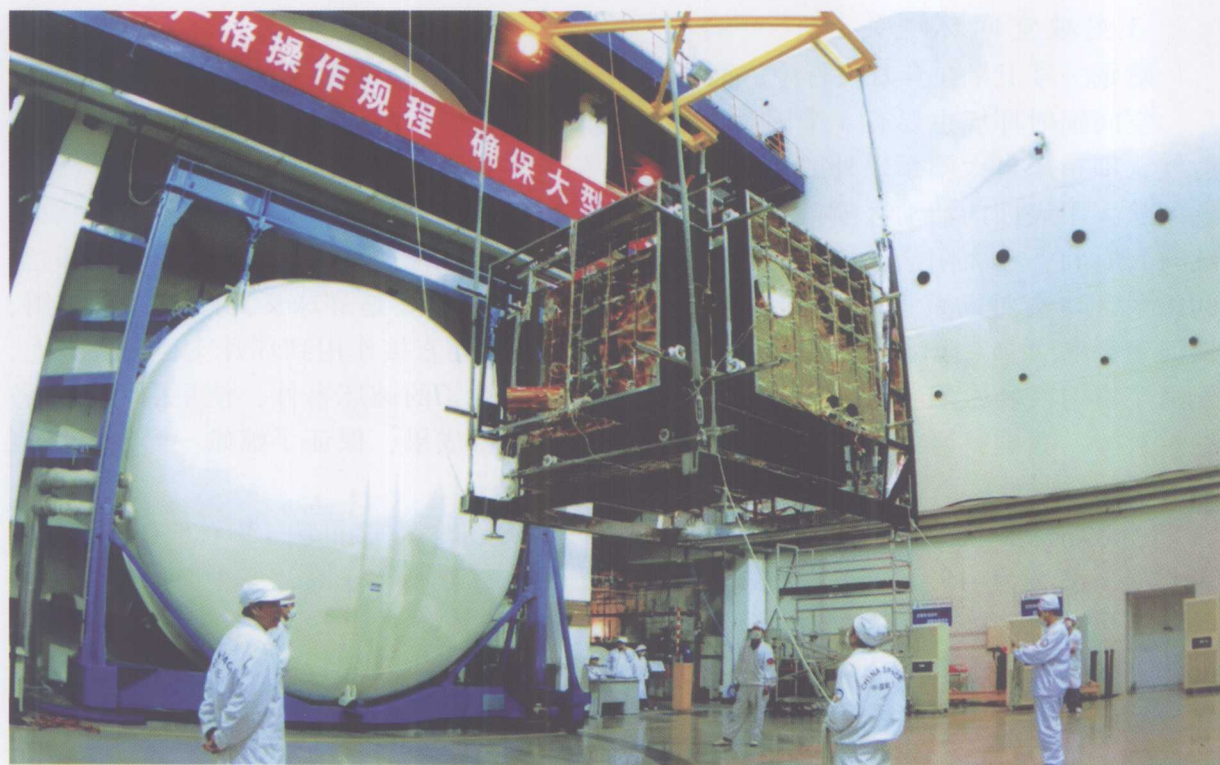
嫦娥一号卫星在奔月飞行中，面临着严酷的空间辐射和冷热环境的考验。

空间辐射环境主要有 4 个因素：①地球辐射带中俘获的电子和质子。②银河宇宙射线，即指来自太阳系以外的银河系的高能粒子。③太阳宇宙线，是指太阳耀斑爆发期间从太阳表面的活动区喷射出来的高能粒子流。太阳宇宙线发生是随机的，一般持续几天时间，在太阳活动峰年出现频繁会更高。④太阳风的低能带电粒子。这样的空间辐射环境会对嫦娥一号飞行和工作造成不利影响，尤其是月球又无磁场屏蔽作用，银河宇宙射线、太阳耀斑爆发产生的太阳宇宙射线，会直接作用到环月飞行的卫星上，银河宇宙射线和太阳宇宙射线都可能会引发高能单粒子的破坏事件，使星内电子设备发生故障。我国科研人员经过在防护方面的攻关取得成果，保证了嫦娥一号能够在复杂的空间辐射环境下正常工作。

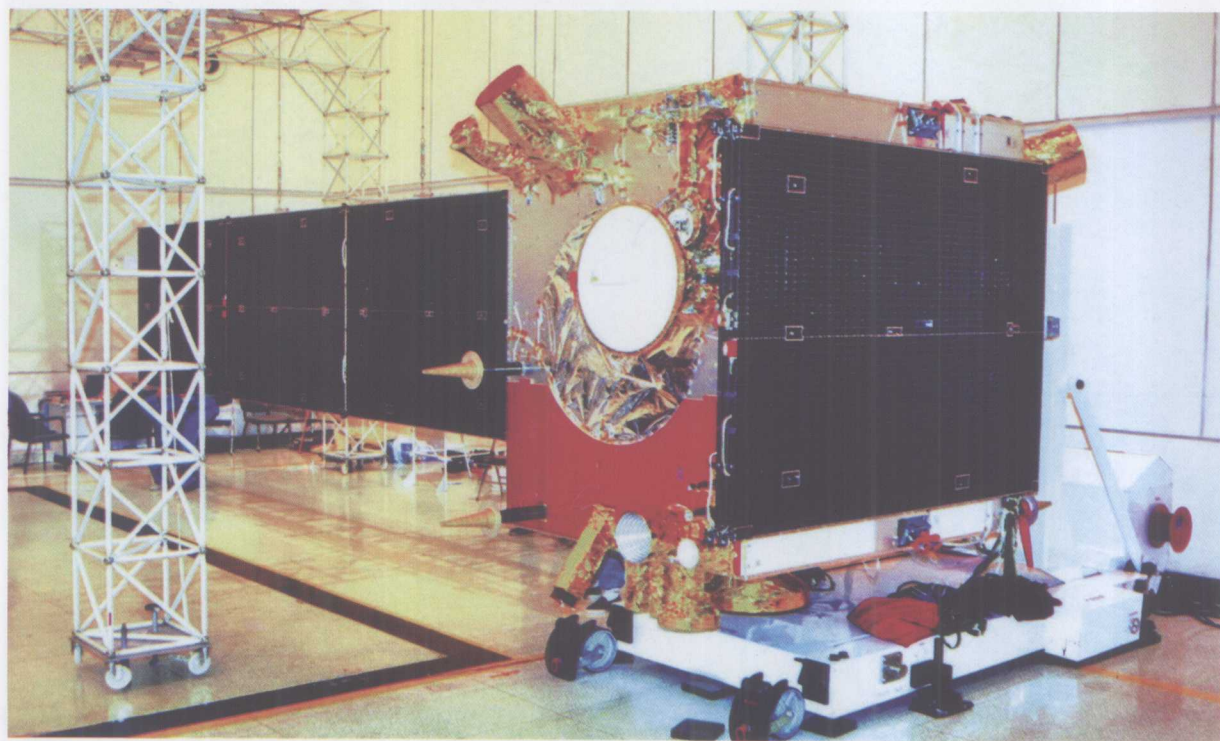
月球环境温差特别大，白天太阳光直射的地方，最高温度可达 130°C 左右，而背向太阳的一面则为 -150°C 以下左右，卫星 127 分钟绕月球飞行一圈，一半时间有阳光照射，一半时间笼罩在黑暗中，并不断地重复，而所有探测仪器必须保持在 $\pm 40^{\circ}\text{C}$ 范围内工作，否则会有损坏的危险。因此，嫦娥一号对温度控制要求特别高，这个难题通过采用新材料和新技术得到了很好的解决。



日、地、月空间环境示意图



卫星热真空试验



太阳帆板展开试验



4. 突破深空测控通信关

深空测控，一般来讲是指地面通过无线电手段对飞往月球以远的卫星进行跟踪、遥测和遥控的简称。

我国现有的航天测控网只适应 36000 千米以下的各类地球卫星和载人航天任务，而地球与月球间平均距离达 38 万千米，这对我国的探月测控系统提出了挑战：一是通信距离远，信号衰减大，比同样发射功率的地球同步轨道卫星信号减弱了 127 倍；二是通信单程时延大大增加，无法实时通信，因为电磁波的传输速度为 30 万千米/秒，从地球至月球单程需要 1.3 秒，相当于我们说完话 1.3 秒后，对方才能听见，这种时延造成了在探月过程中，很难做到实时响应；三是无法对绕月探测器进行连续观测，这是因为在我国国土上最多只能连续观测 10 多个小时，不能实现全天时的观测；四是提高测量精度有极大难度，对航天器的轨道测量包括测角、测距和测速，最终确定航天器的准确位置，但依靠一个测控站来测量轨道时，很难提高测角的精度，而且随目标距离增大，引起的位置误差也增大等。

当时测控系统成了制约整个探月工程的瓶颈。我国航天科学家经过充分论证，提出了在采用我国航天测控网的基础上，利用上海天文台佘山站、国家天文台北京密云站和云南昆明天文台射电望远镜的观测能力，让天文台甚长基线干涉天文测量网系统进行辅助测量，以提高测量精度的方案。与此同时我国一线的航天科研人员通过技术攻关和加强国际合作等措施，在很短的时间里就解决了所有技术难题，从而满足了嫦娥一号月球探测器的深空测控要求。



国家天文台北京密云站射电望远镜



云南昆明天文台射电望远镜



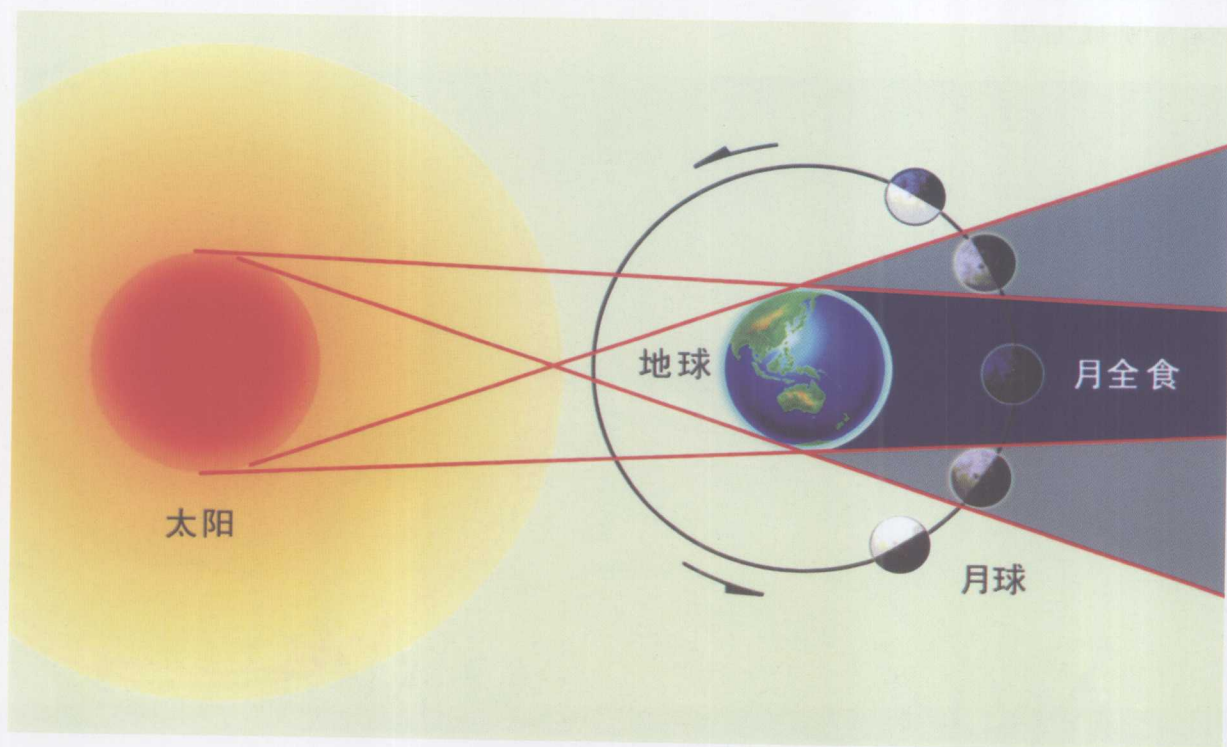
测控网分布图



5. 应对月食

嫦娥一号环绕月球飞行的一年时间里，要遇到两次月食。一次全月食，时间约 5 小时，另一次半月食，时间约 3 个半小时。月食期间地球挡住太阳光，如果没有阳光，太阳电池帆板不能供电，然而卫星里为了保证足够的温度，需要继续供电，为此科研人员对嫦娥一号在遇到月食时如何保证卫星仪器正常工作，进行了深入研究，想了很多对策。

月食是月球进入地球影子时发生的现象，地球的影子有本影、半影之分。当月球的一部分进入本影时，发生月偏食，当月球全部进入本影时，就是月全食。在半影区域内，太阳辐射强度变渐变弱，当太阳辐射强度还比较大时，太阳电池仍能部分供电，这时星上各系统仪器、设备采取设置为最小功耗模式；当卫星进入本影区时，也就是在月全食阶段，太阳能电池停止供电，这时卫星转为由蓄电池组单独供电；在月食阶段，为消除月食阴影和正常轨道阴影的叠加效应，缩短月食阴影时间，嫦娥一号在进入月食前需进行调整其在轨道上的相位，使其不产生阴影的叠加；月食期间环境温度会骤然下降，当嫦娥一号离开月食本影后，及时调高热控制分系统的补偿加热功率，以保证卫星各部位尽快回温。经过采取上述一系列措施，保证了嫦娥一号安全地渡过了月食的影响。



月食发生示意图



西昌市“月城”标志

(三) 美丽的“月城”送“嫦娥”奔月

四 四川省西南部的凉山州首府西昌，位于四川省西南部，自古人们在西昌就能经常观赏到分外明亮皎洁的月亮，故西昌又称“月城”，而今它又亲送嫦娥一号奔向遥远的月球。

1. 驰名中外的西昌卫星发射中心

西昌卫星发射中心，它组建于 1970 年，是中国三大卫星发射中心之一。主要用于发射地球同步轨道卫星，是我国对外开放最早、承担外星发射最多、综合发射能力较强的卫星发射中心，也是我国实施探月工程的首选航天发射场。经过 30 多年不断发展建设，建成了自成体系、配套完善的测试发射、测量控制、通信、气象和勤务保障等五大系统。目前，该中心能发射中国自行研制的长征三号甲、长征三号乙等五种大型运载火箭，是探月工程一期、二期的发射场。西昌卫星发射中心具有独特的地理优势，坐落在东经 102° 、北纬 28° ，所处纬度低，可以充分利用地球自转的附加速度，节省



西昌卫星发射中心发射嫦娥一号的 3 号发射工位(右)