

中国航天50年的回顾与展望

# 中国的探月工程

## ——中国航天第三个里程碑

栾恩杰

(国防科学技术工业委员会, 北京 100037)

**[摘要]** 人类对月球的探测显示了人类的智慧和能力, 也带动了人类社会及科学技术的进步和发展。中国以“绕”、“落”、“回”为标志的探月工程是中国航天的第三个里程碑性工程, 既是国力强大的体现, 也是中国航天能力的表征。

**[关键词]** 中国航天; 月球勘探; 嫦娥1号

**[中图分类号]** V476.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)10-0031-06

月亮是地球唯一的自然天体卫星, 它以宁静皎洁的形态展现在地球人类的面前, 中华民族将它比喻为玉盘、婵娟, 因为它在夜晚为人们散射着淡淡的光辉, 让花前月下的伴侣享受清寂的温馨。

在上世纪50年代末60年代初, 原苏联和美国相继发射了月球探测的航天器, 特别是美国在1969年阿波罗11号实现了人类的首次登月, 显示了地球人类的智慧和能力(见图1)。

中国航天起步在50年前, 但中国的航天活动是从上世纪70年代初开始, 以中国的第一颗人造卫星发射升空为标志, 走过了35年, 这35年间我们取得了人造卫星和载人飞船二大里程碑式的成果。那么, 下一步是什么? 经过认真思考, 笔者和同事们抓住运载能力的提升和型谱化发展; 应用卫星的型谱化建设; 航天工程对国民经济发展的贡献以及深空探测这4项关键方向, 提出了中国航天发展的“211”计划(2个型谱、1个应用、2个深空)。从这个思路的形成到现在的进展已经证明, 它是完全正确的。截至目前, 大运载的型谱和卫星平台型谱已经开始研制; 卫星应用、对地观测系统已纳入国家规划; 以探月工程为切入点的深空探测工程正在进行。

### 1 嫦娥1号工程

人类对深空的探测活动应首推美国, 除冥王星目前尚未有接触性探索之外, 太阳系其余的行星, 人类已经进行了初步的探索。纵观人类对月球的探测, 可以分为3个大的阶段: 探、登、驻(住)。美国已经完成了前2个阶段, 现在美国进行的月球工程应是以第3阶段为主, 即“驻(住)”——研究并发射无人或有人照料的驻月装置, 或建造可供人居住、生活、工作、实验的条件, 进行驻月的科学活动。

笔者认为, 在现有条件下, 应实事求是地确定我们的目标, 首先以“探”为主攻方向, 分步实施, 逐步积累知识和经验, 及时提高运载能力以适应深空发展要求的方针, 确立按绕、落、回为标志的中国探月计划。

绕——发射环绕月球的航天器: 嫦娥1号卫星。

落——发射可释放落月探测装置的航天器, 实现在有限范围内活动的触月探测。

回——在落月的基础上, 实现可携带月表物质的返回。

一期工程即绕月探测工程已在2004年启动,

**[收稿日期]** 2006-08-26

**[作者简介]** 栾恩杰(1940-), 男, 辽宁沈阳市人, 国防科学技术工业委员会研究员, 中国绕月探测工程总指挥

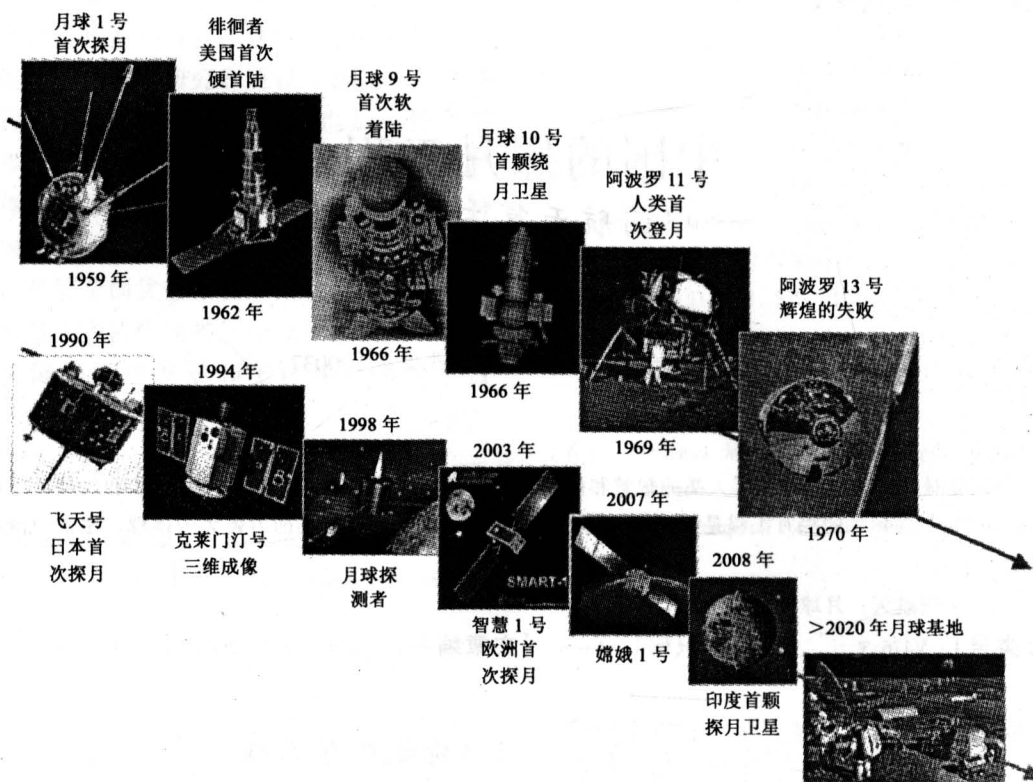


图 1 月球探测的过去、现在和未来

Fig.1 The Past, present and future of lunar

经过技术攻关、初样产品研制，2006 年已进入正样星的建造。如果一切顺利，可望在 2007 年实现嫦娥 1 号的首飞。嫦娥 1 号五大系统的组成如图 2 所示。



图 2 五大系统组成

Fig.2 The five major systems

卫星平台：以成熟的东方红 3 号通讯卫星平台为基础，充分继承和利用成熟技术和相关卫星的经验。就其技术状态而言，嫦娥 1 号（见图 3）实际上也是一颗新的航天器，随着研制的进展，这个认识更为强烈。

运载火箭：选择以发射东方红 3 号平台为主的长征 3 号甲，它 9 次发射 9 次成功，其中有 7 次是发射东方红 3 号平台（见图 4）。为发射嫦娥 1 号卫

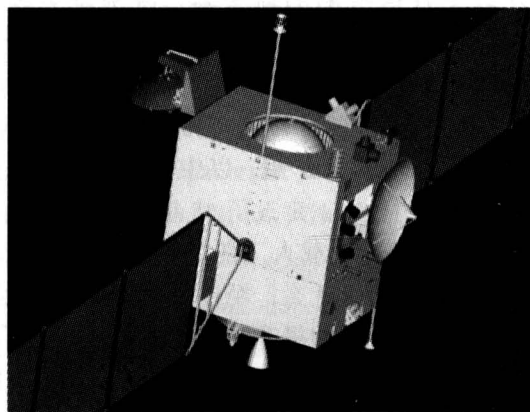


图 3 CE-1 卫星

Fig.3 Lunar exploration spacecraft: Chang'e - 1

星，对火箭进行了多项的适应性改进，特别是在可靠性工程上下了大功夫，多项关键环节采取了冗余设计。

发射场系统：选择我国发射地球同步轨道卫星的西昌卫星发射中心（见图 5），为适应探月卫星的特点进行了多处改进，特别是在安全和可靠性上做了改进。

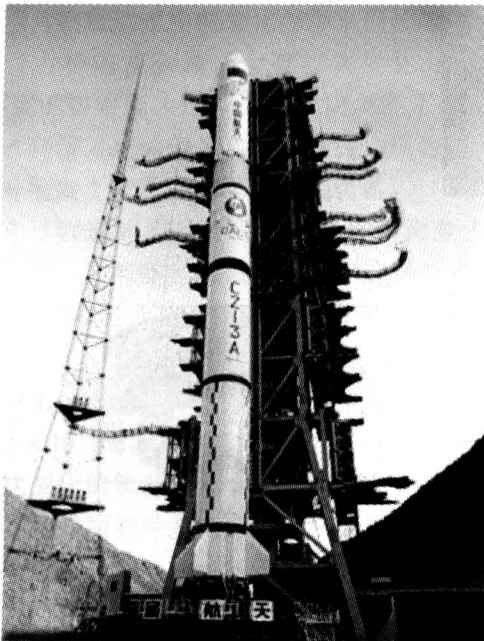


图 4 CZ-3A 运载火箭

Fig.4 The LM-3A launch vehicle

测控系统 (见图 6): 立足于我国现有的航天测控基地、测量船。为提高轨道测量的精度和手段的冗余, 首次采用天文系统甚长基线干涉仪 (VLBI), 为探月卫星的测、定轨提供赤经和赤纬。

地面应用系统 (见图 7): 所谓的地面应用系统是指嫦娥 1 号的下行数据接收、科学数据的处理和实施在轨业务运行。

## 2 嫦娥 1 号的有效载荷

第一期工程即嫦娥 1 号航天器承担的任务主要是 4 个方面的科学目标: 为月球“画像”, 获取月球表面三维影像; 探明月面的若干种元素的含量和分布; 初步探测月壤厚度; 探测地月空间环境。

为完成上述 4 项任务, 嫦娥 1 号卫星上装置了 6 类载荷共 25 台设备。6 类载荷有光学成像系统 (CCD 立体相机、干涉成像光谱仪); 激光高度计;  $\gamma/X$  射线谱仪; 微波探测器; 空间环境探测 (太阳高能粒子探测器、低能离子探测器); 有效载荷数

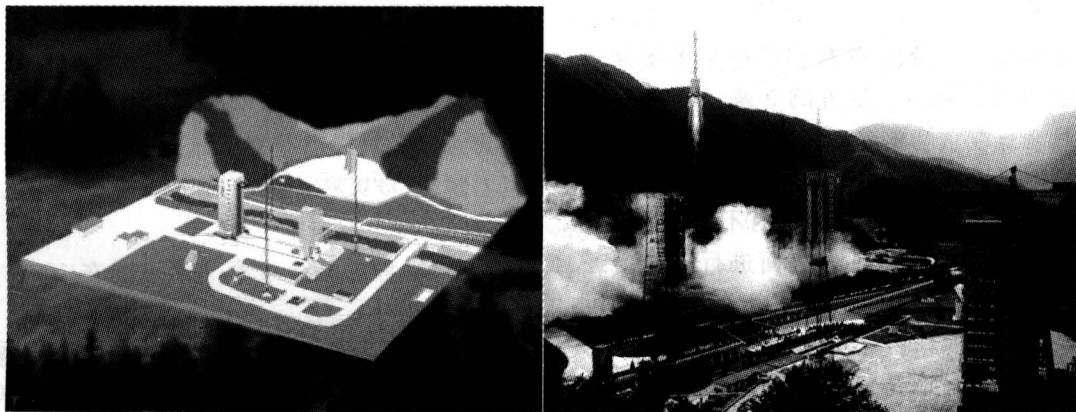


图 5 西昌卫星发射中心

Fig.5 Xichang satellite launch center

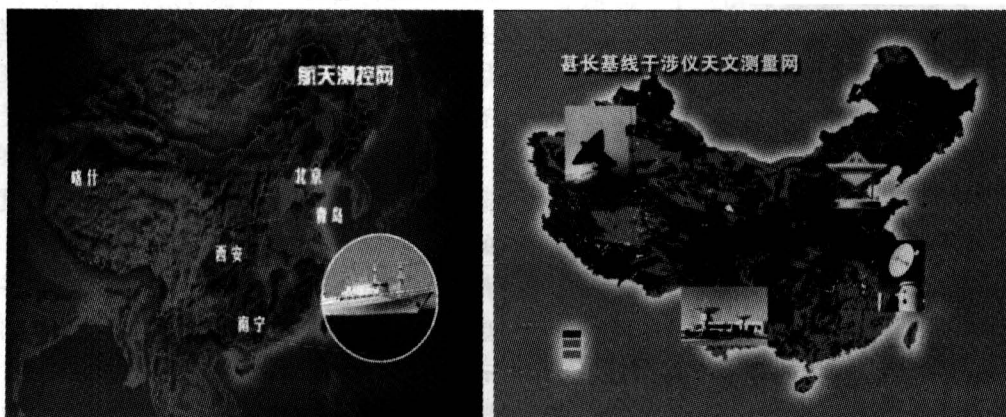


图 6 测控系统

Fig.6 TT&C system

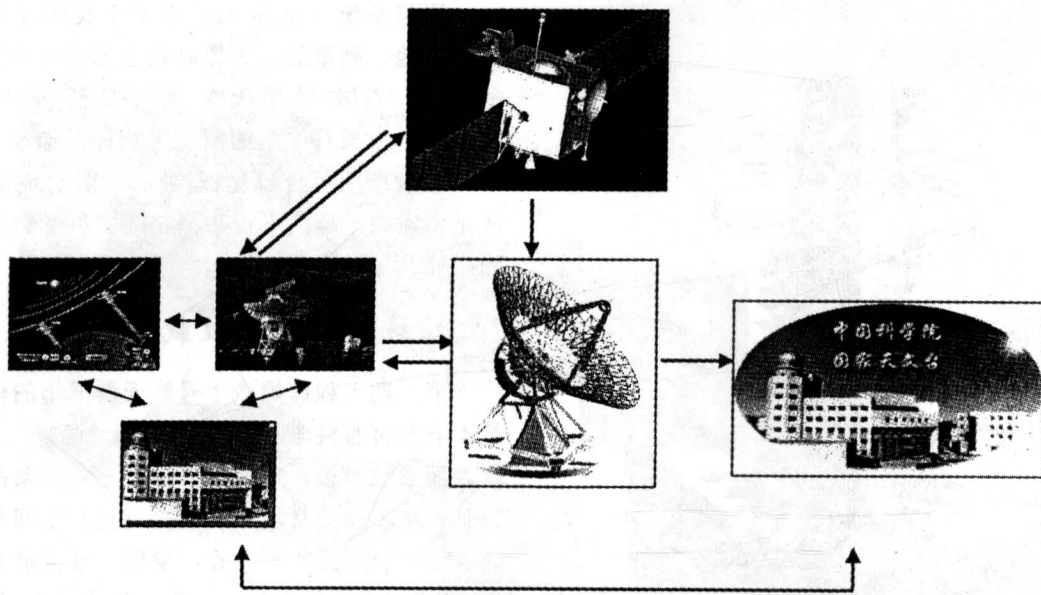


图7 地面应用系统

Fig.7 Ground application system

管系统。

其中光学成像系统的 CCD 立体相机采用同一星下点的正下方、前方、后方的 3 幅二维原始数据, 重构月表三维立体影像。因此对卫星的姿态和精确定轨提出了更高的要求。

干涉成像是利用不同物体具有不同的光谱特性来成像的一种相机, 对月球表面进行多光谱遥感。对立体成像的月面数字形貌充填光谱信息, 可以实现区域性的资源和物质特性的研究。

激光高度计是对月表高程数据的补充和月表数字模型的精化。

$\gamma/X$  射线谱仪是根据各种元素受宇宙射线激发产生的  $\gamma/X$  线能谱差异, 获得不同元素的分布。如  $\gamma$  谱对 Th, U, K 等元素, X 谱对 Na, S, Ni 等元素。两种谱段可共同获取信息的有 Fe, Ti, Al, Mg 等元素。

微波探测: 卫星上经常采用微波/毫米波辐射计。利用不同频段微波在月壤中穿透深度不同的特点, 对月壤在特定频段的微波辐射亮度进行测量, 反演月壤厚度。这种测量是被动式的。嫦娥 1 号设计成 4 个不同的频段。

空间环境探测: 主要测量的是太阳风中的重离子成分, 质子能谱、低能离子成分及空间分布。

### 3 嫦娥 1 号的轨道选择

轨道的选择是嫦娥工程非常重要的技术内容,

这是我国第一次进行  $40 \times 10^4$  km 的航程。

轨道的选择应满足以下要求:

1) 科学目标 尽可能对全月面进行观测, 选择为月球极轨。

2) 数据获取具有相同分辨率 采用近月的圆轨道。

3) 较高图像分辨率 尽可能在 100 ~ 200 km 之内。

4) 1 年的寿命周期 考虑到月球引力场异常, 如果选用 100 km 高的轨道, 可能在半年内落月, 在嫦娥 1 号不对月球引力场进行专题探测的情况下, 选择 200 km 高的轨道较适宜。按 200 km 的环月球轨道, 它的周期是 127 min。

5) 轨道对月球的覆盖 这一点很容易满足, 因为月球自转周期很长, 相邻轨道间距在赤道处只有 35 km, 一个月 (27 天) 即可对月球覆盖一次。

6) 光照条件 在一年的绕月飞行中, 只靠太阳帆的单轴转动已不能满足要求, 为此设计成卫星的  $90^\circ$  旋转, 采用两个正交的飞行姿态。月赤道和黄道的夹角为  $1.5^\circ$  左右, 近于平行; 在日光下, 卫星被照射的阴影角为  $63.7^\circ$ ; 半阴影时间为 22.5 min; 阴影时间为 45 min。因此, 在一个周期里, 轨道阴影最大为 45 min, 光照时间为  $127 - 45 = 82$  min, 45 min 及 82 min 是在太阳与轨道面夹角为  $0^\circ$  和  $180^\circ$  时出现的。



绕月轨道的短周期变化较小，但长周期下由于月球引力场的复杂性，会有较大变化。对于 200 km 高度的初始圆轨道，在一年内可能下降 100 km 左右，环绕月球的卫星轨道高度保持极为重要。嫦娥 1 号需要 2 个月左右调整一次轨道。

奔月轨道的实现，是要选择一条远地点在  $38 \times 10^4$  km 的大椭圆，嫦娥 1 号采取是近地点为 600 km 并逐步增加近地点速度，以抬升远地点高度的方式。

目前采取 3 次加速的方案，使远地点高度分别为  $5.1 \times 10^4$  km,  $7.1 \times 10^4$  km 和  $12 \times 10^4$  km 左右，这 3 次变化的轨道周期分别为 16 h, 24 h 和 48 h, 这有利于地面测控系统的工作并可实现有条件的轨道等待。

月球捕获是嫦娥 1 号工程轨道设计最为关键的要点，如果完成得不完美，将使卫星掠月而过或撞月接触，这都是严重的失误。嫦娥 1 号卫星在测控系统的保证下进行 3 次减速，使轨道周期从 12 h, 3.5 h 变为 127 min 的环绕月球的极地圆轨道。

#### 4 卫星控制系统

嫦娥 1 号卫星的控制系统要完成各传感器的输出判断，活动部件的驱动，卫星姿态的确定和自动

调整，对环月卫星的定向和对月、对地、对星、对太阳的多体跟踪与控制。

为完成卫星在轨正常运行的任务，星上装置有陀螺仪、加速度计、对日敏感器、对月紫外敏感器、对星敏感器、动量轮控制与卸载、帆板驱动机构、推力器控制等。其中的对月紫外敏感器是在工程进展中开展攻关，现已达到任务要求指标。

星上的导航控制 (GNC) 具有自诊断和一定的故障处理功能。

星载计算机采取冗余设计，以保证可靠运行，嫦娥 1 号卫星数据管理系统是在以往卫星经验的基础上进行了适应性修改。比如对遥测码速率采取有卷积编码和无卷积编码的不同方式，多路加热器的自主控制，实施整星能源管理和分配，故障下的应急处理功能等。

热控是嫦娥 1 号极为重要的一个问题，必须给予高度重视。

#### 5 深空探测对科技发展的带动

美国 NASA 有一个说法，他们在深空探测工程中的投入可以达到 1:100 的拉动效应。我们虽没有较为详细的论证，但从技术进步需求看，还是很广泛的 (见表 1)。

表 1 技术进步需求

Table 1 Technical progress needs

在科学方面	在技术经济方面
1. 创建和完善、深化月球科学 (月亮地质学、月球物理研究)	1. 新型运载能力、运载方式
2. 推动比较行星学的发展	2. 远距数据传输与通信
3. 进行地外空间环境的研究	3. 自动控制与导航的新领域
4. 建立行星大地测量学和制图学	4. 超常材料
5. 推进遥感理论和方法、工程、实践及行星际遥感技术	5. 微波/毫米波传输和遥感
6. 开展类地行星的深入研究	6. 微量和非破坏性分析技术
7. 促进地-月-日系统起源和演化研究	7. 人工智能
8. 地外生命的探索	8. 遥科学
	9. 生物工程等

美国的月球基地设想，实际是创造一个无氧生存环境的重大课题 (见图 8)，它所需要的技术领域已经超出了我们目前在地球上所做的克服一切生存极限的努力，在月球上实现人员起居环境、科学实验、植物培育、人体活动、室外工作场、对地联络信息通信、地月往返的能力等。这是人类对自然的挑战，又是人类对自然的适应，是人类智慧和力量的凝聚，又是人类增长智慧和力量的征途。

中国作为发展中国家，在有限的条件下进行有

限度的深空活动，既是国力强大的体现，也是中国航天能力的表征。

在促进嫦娥工程立项、研制过程中，各级领导和部门都始终给予了很大的关注。国务院总理温家宝同志于 2004 年春节期间批复嫦娥工程立项，并一直关注工程进展，多次做过具体、明确的指示和要求。筹备之初，时任国务院总理的朱镕基同志就曾做过明确的指示和要求。中央军委委员、时任总装备部部长李继耐上将为此题词：“开展月球探

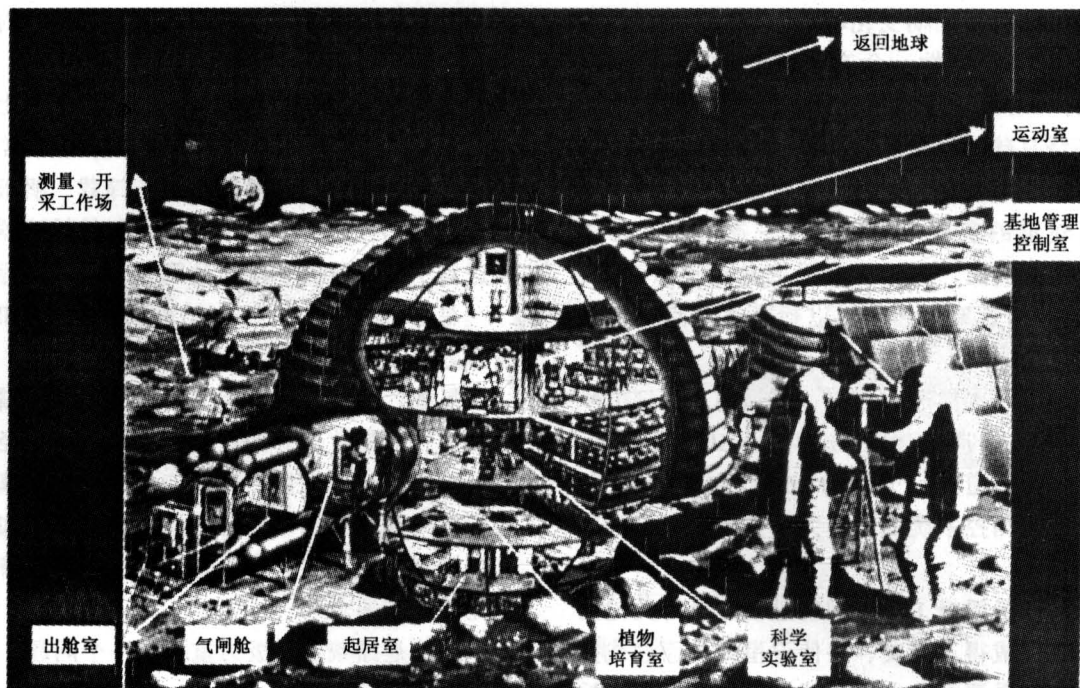


图 8 月球基地设想

Fig.8 The artist's concept of lunar base

测 再铸航天辉煌”。国防科工委原党组书记、原主任刘积斌同志为实现工程立项，指示成立工程筹备 3 人领导小组。国防科工委党组书记、主任，绕月探测工程领导小组组长张云川同志为航天的发展倾注心血，在组织工程进展和建立工程组织模式，强化技术攻关、技术管理和质量控制上运筹帷幄。各

部门大力协同，承担工程具体任务的总装备部、中国科学院、中国航天科技集团公司的领导和同志们做出了巨大的努力。

中国航天人不会辜负党和政府的重托以及祖国和人民的期望，将努力工作，圆满完成嫦娥 1 号工程。

## China's Lunar Exploration Program ——The Third Milestone for China's Space Industry

Luan Enjie

(Commission of Science, Technology and Industry for National Defense, Beijing 100037, China)

**[Abstract]** To explore the moon demonstrates the wisdom and capability of mankind. China's lunar exploration program that features "orbiting", "landing" and "returning" is the third milestone for China's space industry. As a developing country, China conducts definite deep space activities under limited conditions, reflecting its strong national strength and symbolizing ability of its space industry.

**[Key words]** China's space; lunar exploration; Chang'e - 1 spacecraft